

本資料のうち、枠囲みの内容は
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-8 改7
提出年月日	平成30年4月23日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-8

【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】

平成30年4月

日本原子力発電株式会社

改定履歴

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改0	H30.2.5	補足-348 改0として提出 ・1.1章, 1.4.1章, 1.4.4~1.4.7章を提出
改1	H30.2.15	補足-348 改1として提出 ・1.5章を新規作成し, 改0に追加
改2	H30.2.19	補足-348 改2として提出 ・改1のうち, 1.1章, 1.4.4~1.4.7章を修正
改0	H30.3.7	資料番号を修正 補足-340-8 改0 ・「1.4. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方」のうち, 1.4.3章, 1.4.8~1.4.10章, 1.4.12章を新規作成し, 追加
改1	H30.3.26	・P.3~5に補足説明資料と添付書類との関連を記載 ・1.4.1章, 1.4.4章~1.4.7章を修正 ・4章を新規作成し, 追加
改2	H30.4.6	・1.4.2章, 1.4.11章, 1.4.17章を新規作成し, 追加 ・4章を修正 ・12章を新規作成し, 追加
改3	H30.4.9	・1.3章, 2章を新規作成し, 追加 ・4.4章を修正
改4	H30.4.9	・1.2章, 8章, 11章を新規作成し, 追加
改5	H30.4.12	・10章を新規作成し, 追加
改6	H30.4.13	・1.4.13章, 1.4.14章, 1.4.15章, 1.4.16章, 1.4.18章を新規作成し, 追加 ・1.5章, 1.6章を新規作成し, 追加 ・5章, 6章, 7章, 9章, 14章, 16章, 17章を新規作成し, 追加
改7	H30.4.23	・10章, 11章, 17章を修正 ・3章, 13章, 15章, 18章を新規作成し, 追加

目次

[]内は、当該箇所を提出（最新）したときの改訂を示す。

1. 共通事項

- 1.1 対象設備[改 7 H30. 4. 23]
- 1.2 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容[改 4 H30. 4. 9]
- 1.3 安全係数[改 3 H30. 4. 9]
- 1.4 屋外重要土木構造部の耐震評価における断面選定の考え方
 - 1.4.1 方針[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.2 取水構造物の断面選定の考え方[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.3 屋外二重管の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.4 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.5 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.6 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.7 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.8 代替淡水貯槽の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.9 常設低圧代替注水系ポンプ室の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.10 常設低圧代替注水系配管カルバートの断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.11 格納容器圧力逃がし装置用カルバートの断面選定の考え方[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.12 緊急用海水ポンプピットの断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.13 緊急用海水取水管の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.14 S A用海水ピットの断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.15 海水引込み管の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.16 S A用海水ピット取水塔の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.17 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面選定の考え方[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.18 可搬型設備用軽油タンク基礎の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
- 1.5 地盤物性のばらつきの考慮方法[改 6 H30. 4. 16]
- 1.6 許容応力度法における許容限界について[改 6 H30. 4. 16]

2. 取水構造物の耐震安全性評価[改 3 H30. 4. 9]

3. 屋外二重管の耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]

- 4. 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震安全性評価[改 3 H30. 4. 9]
- 5. 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
- 6. 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
- 7. 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
- 8. 代替淡水貯槽の耐震安全性評価[改 4 H30. 4. 9]
- 9. 常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
- 10. 常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]
- 11. 格納容器圧力逃がし装置用カルバートの耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]
- 12. 緊急用海水ポンプピットの耐震安全性評価[改 3 H30. 4. 9]

13. 緊急用海水取水管の耐震安全性評価[改7 H30.4.23]
14. SA用海水ピットの耐震安全性評価[改6 H30.4.16]
15. 海水引込み管の耐震安全性評価[改7 H30.4.23]
16. SA用海水ピット取水塔の耐震安全性評価[改6 H30.4.16]
17. 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価[改7 H30.4.23]
18. 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価[改7 H30.4.23]

本補足説明資料は、耐震性に関する説明書のうち屋外重要土木構造物の耐震安全性評価についての内容を補足するものである。本補足説明資料と添付書類との関連を以下に示す。

補足説明資料と添付書類との関連

工事計画に係る補足説明資料 耐震性に関する説明書のうち 補足-340-8 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】		該当添付書類	
1. 共通事項	1.1 対象設備	共通事項	
	1.2 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容	共通事項	
	1.3 安全係数	共通事項	
	1.4 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方	1.4.1 方針	共通事項
		1.4.2 取水構造物の断面選定の考え方	V-2-2-6 取水構造物の地震応答計算書
		1.4.3 屋外二重管	V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書
		1.4.4 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備	V-2-2-21-1 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書
		1.4.5 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）	V-2-2-21-3 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の地震応答計算書
		1.4.6 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）	V-2-2-21-4 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の地震応答計算書
		1.4.7 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）	V-2-2-21-2 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の地震応答計算書
		1.4.8 代替淡水貯槽	V-2-2-27 代替淡水貯槽の地震応答計算書
		1.4.9 常設低圧代替注水系ポンプ室	V-2-2-25 常設低圧代替注水系ポンプ室の地震応答計算書
		1.4.10 常設低圧代替注水系配管カルバート	V-2-2-29 常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答計算書
		1.4.11 格納容器圧力逃がし装置用カルバート	V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書
		1.4.12 緊急用海水ポンプピット	V-2-2-33 緊急用海水ポンプピットの地震応答計算書
		1.4.13 緊急用海水取水管	V-2-10-4-5 緊急用海水取水管の耐震性についての計算書
		1.4.14 SA用海水ピット	V-2-2-31 SA用海水ピットの地震応答計算書
		1.4.15 海水引込み管	V-2-10-4-3 海水引込み管の耐震性についての計算書
		1.4.16 SA用海水ピット取水塔	V-2-10-4-2 SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書
1.4.17 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎		V-2-2-11 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	
1.4.18 可搬型設備用軽油タンク基礎		V-2-2-23 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書	

	1.5 地盤物性・材料物性のばらつきの考慮方法	共通事項
2.	取水構造物の耐震安全性評価	V-2-2-6 取水構造物の地震応答計算書 V-2-2-7 取水構造物の耐震性についての計算書
3.	屋外二重管の耐震安全性評価	V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書 V-2-2-9 屋外二重管の耐震性についての計算書
4.	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震安全性評価	V-2-2-21-1 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書 V-2-2-22-1 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震性についての計算書
5.	常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震安全性評価	V-2-2-21-3 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の地震応答計算書 V-2-2-22-3 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震性についての計算書
6.	常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震安全性評価	V-2-2-21-4 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の地震応答計算書 V-2-2-22-4 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震性についての計算書
7.	常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震安全性評価	V-2-2-21-2 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の地震応答計算書 V-2-2-22-2 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震性についての計算書
8.	代替淡水貯槽の耐震安全性評価	V-2-2-27 代替淡水貯槽の地震応答計算書 V-2-2-28 代替淡水貯槽の耐震性についての計算書
9.	常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震安全性評価	V-2-2-25 常設低圧代替注水系ポンプ室の地震応答計算書 V-2-2-26 常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書
10.	常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震安全性評価	V-2-2-29 常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答計算書 V-2-2-30 常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震性についての計算書
11.	格納容器圧力逃がし装置用カルバートの耐震安全性評価	V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書 V-2-2-20 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震性についての計算書
12.	緊急用海水ポンプピットの耐震安全性評価	V-2-2-33 緊急用海水ポンプピットの地震応答計算書 V-2-2-34 緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書

13. 緊急用海水取水管の耐震安全性評価	V-2-10-4-5 緊急用海水取水管の耐震性についての計算書
14. SA用海水ピットの耐震安全性評価	V-2-2-31 SA用海水ピットの地震応答計算書 V-2-2-32 SA用海水ピットの耐震性についての計算書
15. 海水引込み管の耐震安全性評価	V-2-10-4-3 海水引込み管の耐震性についての計算書
16. SA用海水ピット取水塔の耐震安全性評価	V-2-10-4-2 SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書
17. 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価	V-2-2-11 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書 V-2-2-12 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書
18. 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価	V-2-2-23 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書 V-2-2-24 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書

1. 共通事項

1.1 対象設備

耐震安全性評価の対象とする屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管の間接支持構造物若しくは非常時における海水の通水機能・貯水機能を求められる取水構造物，屋外二重管，貯留堰，常設代替高圧電源装置置場及び常設代替高圧電源装置用カルバートである。

また，同様に耐震安全性評価の対象とする「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備」及び「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設」に該当する土木構造物である代替淡水貯槽，常設低圧代替注水系ポンプ室，常設低圧代替注水系配管カルバート，格納容器圧力逃がし装置用カルバート，緊急用海水ポンプピット，緊急用海水取水管，SA用海水ピット，海水引込み管，SA用海水ピット取水塔，緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎，可搬型設備用軽油タンク基礎についても記載する。

なお，防潮堤及び貯留堰については，津波防護施設としての耐震安全性評価を別途実施する。これらの屋外重要土木構造物等の位置図を図1.1-1に示す。

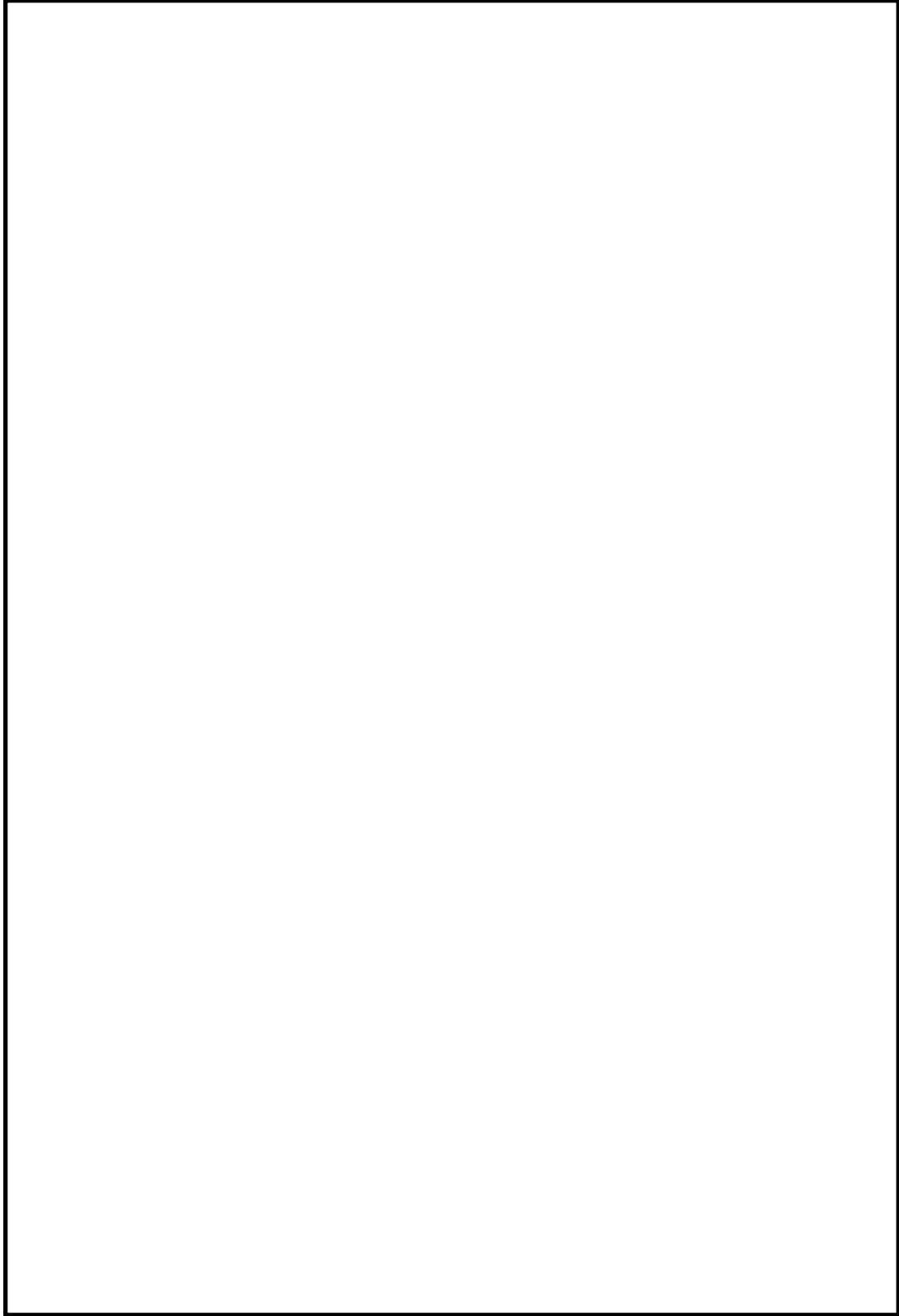


图 1.1-1 屋外重要土木构造物等位置图

3. 屋外二重管基礎の耐震安全性評価

目 次

3. 屋外二重管の耐震安全性評価	1
3.1 評価方法	1
3.2 評価条件	1
3.2.1 適用規格	1
3.2.2 耐震安全性評価フロー	2
3.2.3 評価対象断面の方向	3
3.2.4 評価対象断面の選定	4
3.2.5 使用材料及び材料定数	12
3.2.6 地下水位	16
3.2.7 地震応答解析手法	16
3.2.8 解析モデルの設定	18
3.2.9 減衰特性	33
3.2.10 荷重の組合せ	35
3.2.11 地震応答解析の検討ケース	37
3.3 評価内容	39
3.3.1 入力地震動の設定	39
3.3.2 許容限界の設定	72
3.4 評価結果	76
3.4.1 地震応答解析結果	76
3.4.2 耐震評価結果（追而）	99
3.5 まとめ（追而）	115

3.1 評価方法

屋外二重管基礎は、耐震安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能を求められる土木構造物である。この屋外二重管基礎の耐震評価は、基準地震動 S_s による耐震安全性評価として、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析に基づく杭基礎部の部材に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。また、地盤改良体については、地震応答解析より求められる発生せん断力に対して想定すべり線上の応力状態を考慮したすべり評価を実施し、安定性を確認する。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく接地圧が許容限界以下であることを確認する。

3.2 評価条件

3.2.1 適用規格

屋外二重管基礎の耐震評価に当たっては、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 ((社) 日本電気協会) 及び、道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月) を適用する。

適用する主な規格, 基準類を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 適用する主な規格, 基準類

項目	適用する主な規格, 基準類	備考
使用材料及び 材料定数	・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (平成 24 年 3 月)	—
荷重及び荷重の 組合せ	・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (平成 24 年 3 月)	・活荷重及び衝撃以外の主荷重 + 地震の影響の組合せについて, 最も不利となる条件を考慮して検討する。
許容限界	・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (平成 24 年 3 月) ・ J E A G 4 6 0 1 - 1987	・曲げ及びせん断に対する照査は, 発生応力が短期許容応力度以下であることを確認する。 ・すべりに対する照査は, すべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。
地震応答解析	・ J E A G 4 6 0 1 - 1987	・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析である。

3.2.2 耐震安全性評価フロー

図 3.2-1 に屋外二重管の地震応答計算及び屋外二重管基礎の耐震性能評価の評価フローを示す。

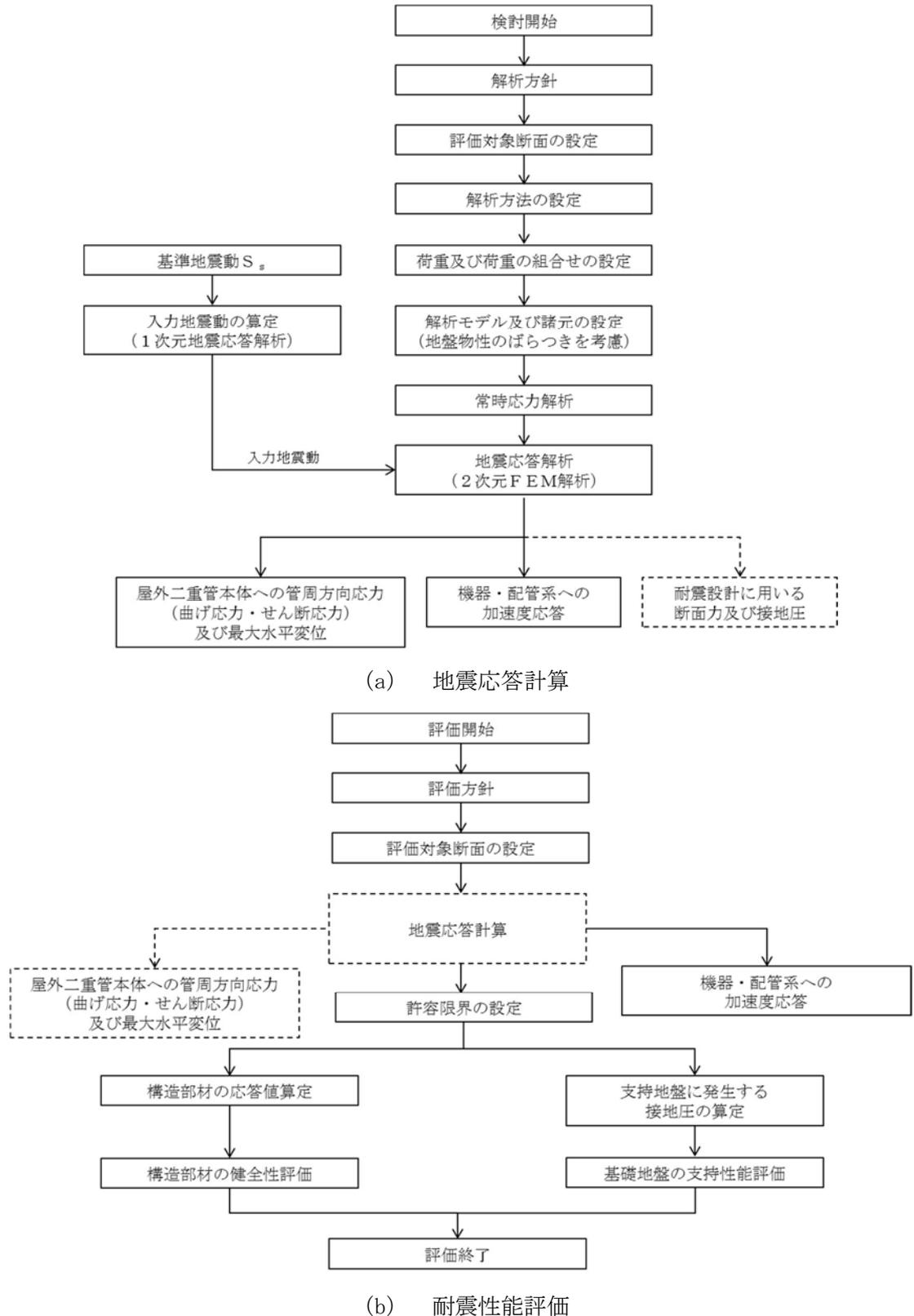


図 3.2-1 屋外二重管の地震応答計算及び屋外二重管基礎の耐震性能評価の評価フロー

3.2.3 評価対象断面の方向

屋外二重管の位置を図 3.2-2 に示す。

屋外二重管は、Sクラス機器である残留熱除去系海水系配管(RHRS)、非常用ディーゼル発電機用海水系配管(DGSW)等の間接支持機能を有する延長約 215 m、内径 2.0 m 及び 1.8 m の 2 本の鋼管の地中構造物である。屋外二重管基礎は、屋外二重管の直下に配置した鋼製桁と剛結した鋼管杭を介して支持岩盤に支持するラーメン構造の杭基礎部及び、屋外二重管下を岩盤相当の地盤に置換した地盤改良部で構成する。

杭基礎部の鋼管杭は、強軸と弱軸が明確でなく、横断方向と縦断方向で地質断面に差異があるため、直交する横断方向と縦断方向の両方向を評価対象断面の方向とする。



図 3.2-2 屋外二重管の位置図

3.2.4 評価対象断面の選定

屋外二重管基礎の平面図を図 3.2-3 に、断面図を図 3.2-4 に示す。

屋外二重管基礎の杭基礎部は、水平方向の鋼製桁と鉛直方向の鋼管杭を剛結したラーメン構造であり、鋼製桁上に設置された屋外二重管本体を、鋼管杭を介して十分な支持機能を有する岩盤に支持させる。地盤改良部は、屋外二重管本体を岩盤相当の地盤に置換した地盤改良体で支持する構造である。

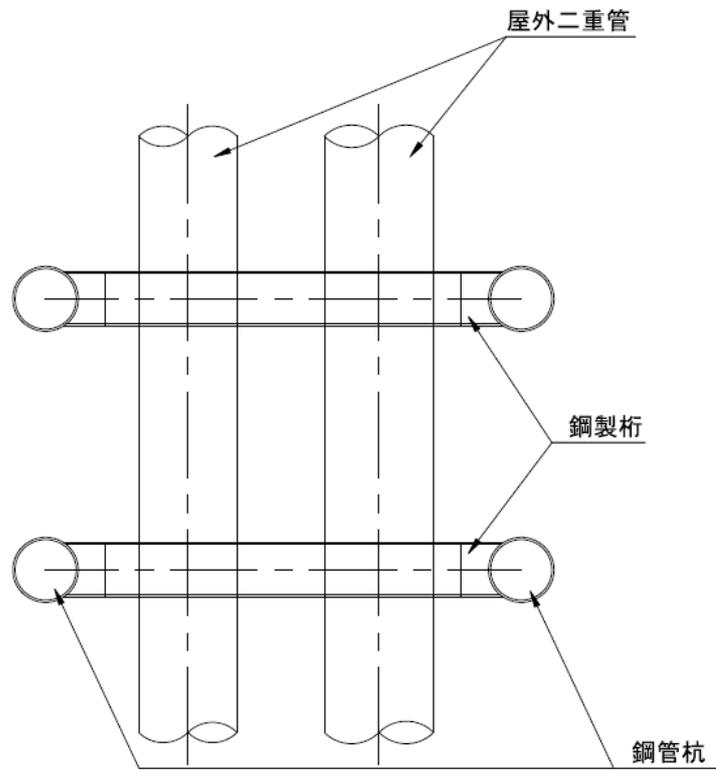
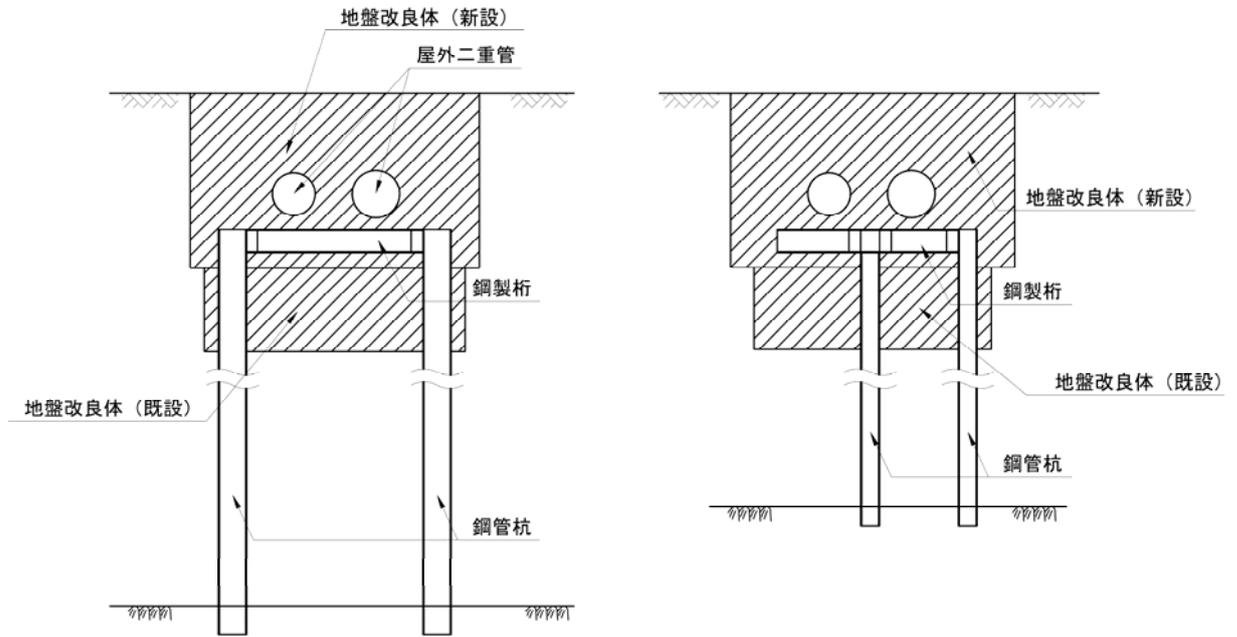
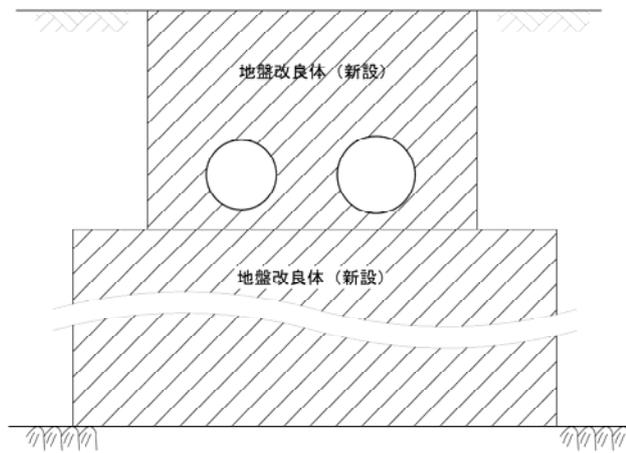


図 3.2-3 屋外二重管基礎の平面図



B-B断面 (杭基礎部)

C-C断面 (杭基礎部)



C-C断面 (地盤改良部)

図 3.2-4 屋外二重管基礎の断面図

評価対象断面は、「1.4.3 屋外二重管基礎の断面選定の考え方」で記載したとおり，基礎構造物の構造的特徴や周辺の状況も考慮して，杭基礎部は図 3.2-5 に示す A-A 断面，B-B 断面及び C-C 断面を，地盤改良部は C-C 断面を代表として耐震評価を実施する。

屋外二重管基礎の評価対象断面として選定した断面位置を図 3.2-5 に，評価対象断面を図 3.2-6 に示す。



図 3.2-5 屋外二重管の評価対象断面位置図

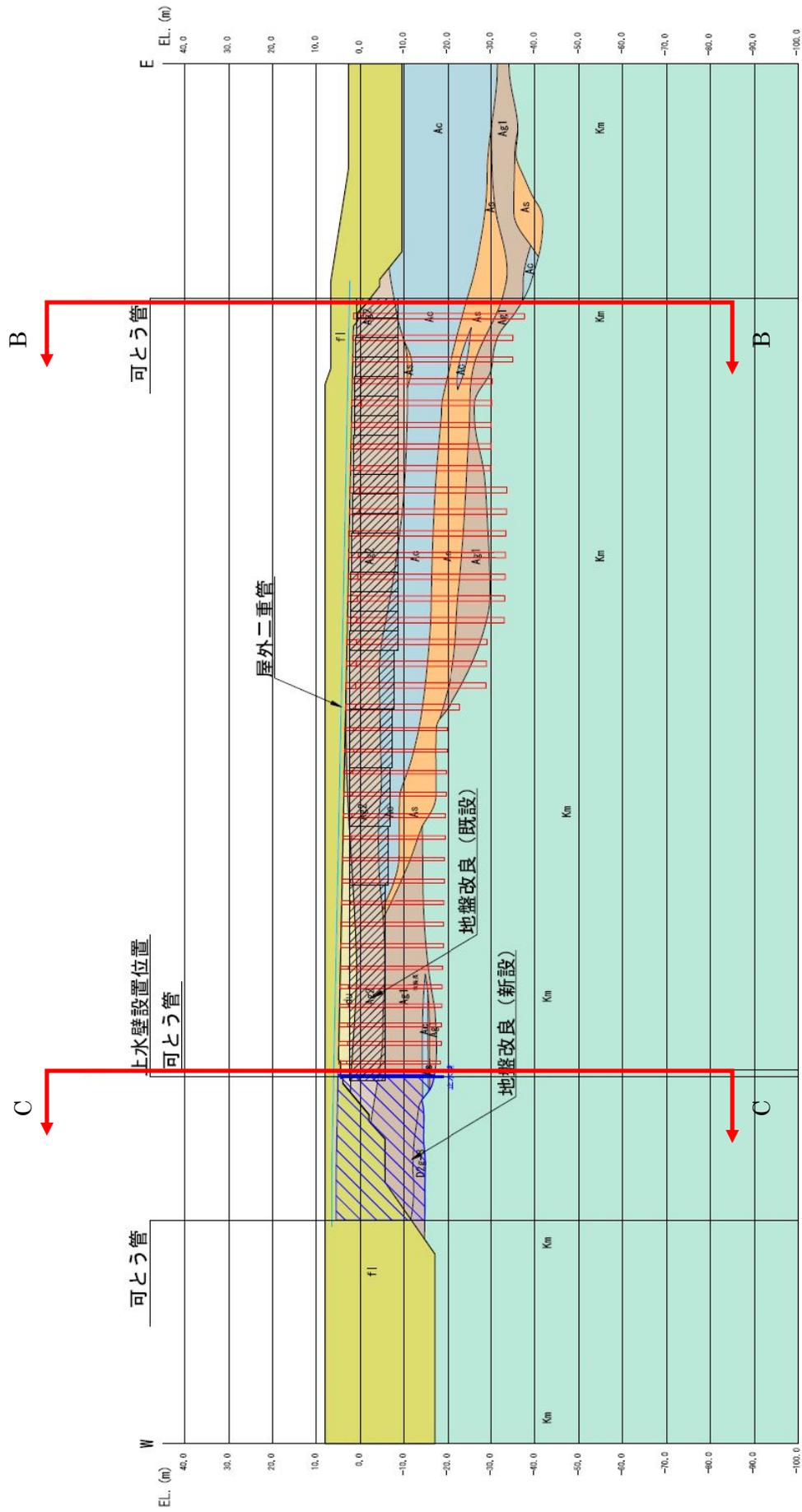


図 3.2-6 (1) 屋外二重管の評価対象断面図 (A-A断面)

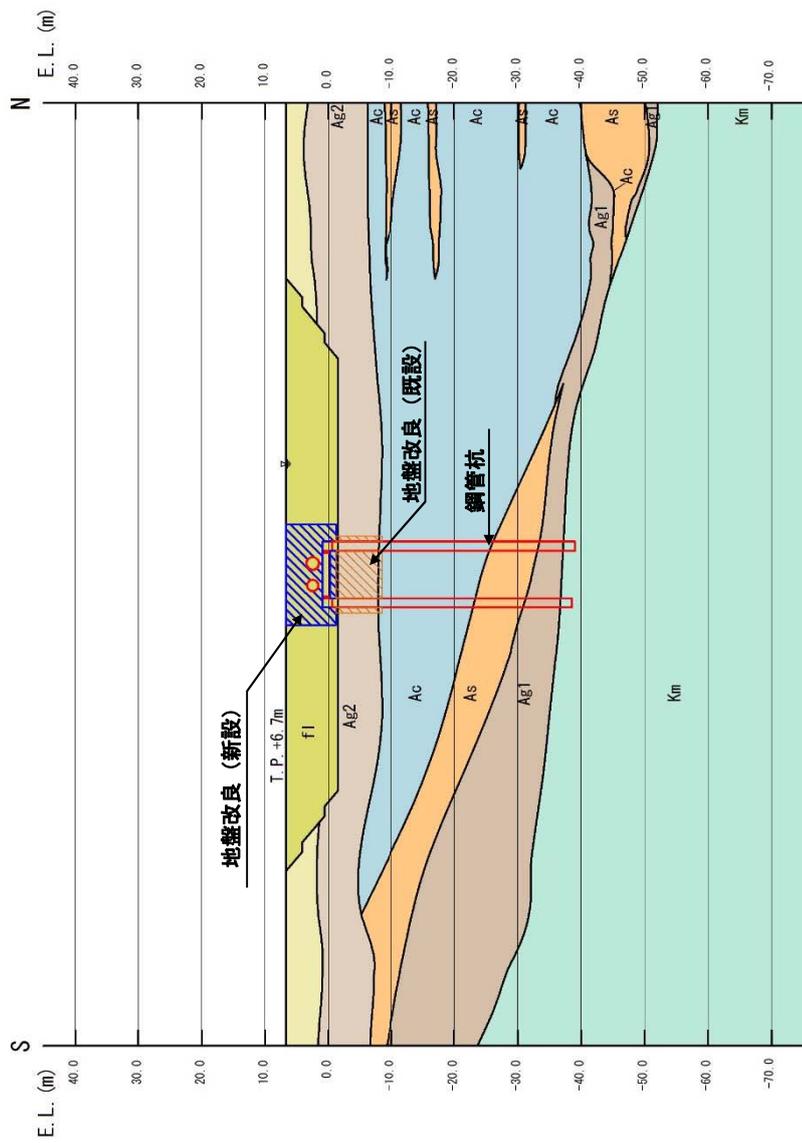


図 3.2-6 (2) 屋外二重管の評価対象断面図 (B-B 断面)

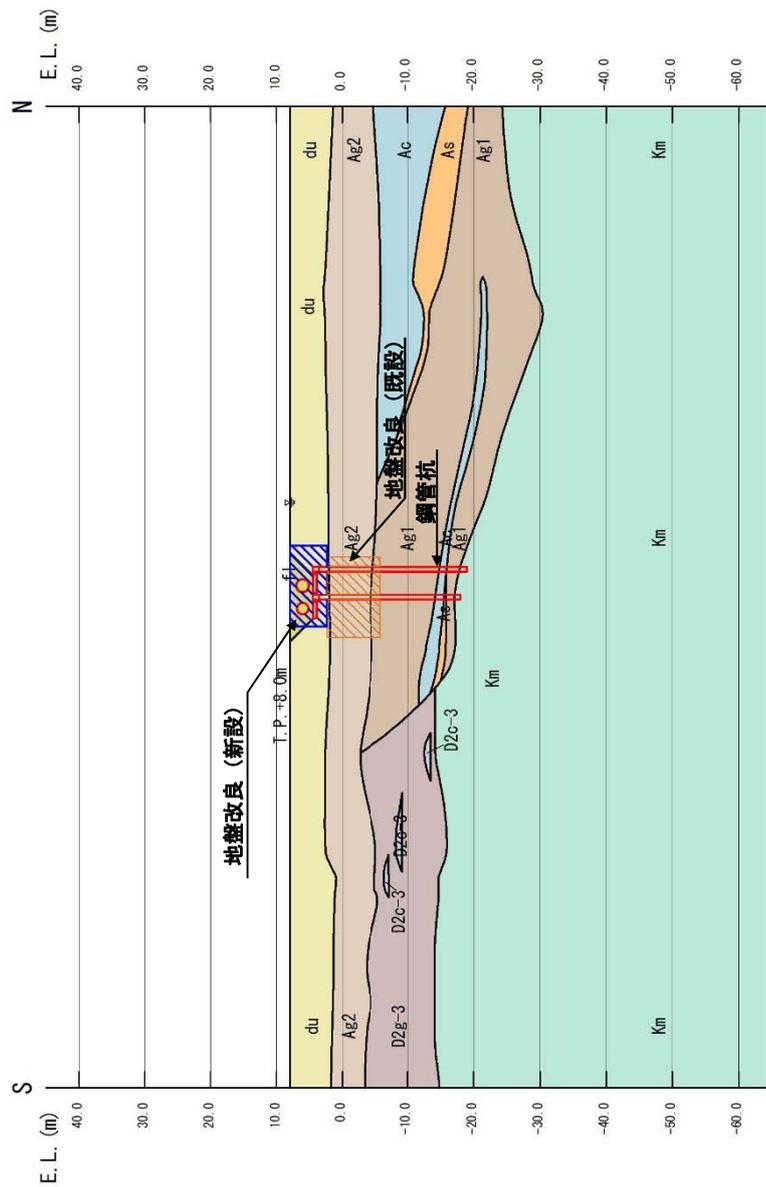


図 3.2-6 (3) 屋外二重管の評価対象断面図 (C-C 断面・杭基礎部)

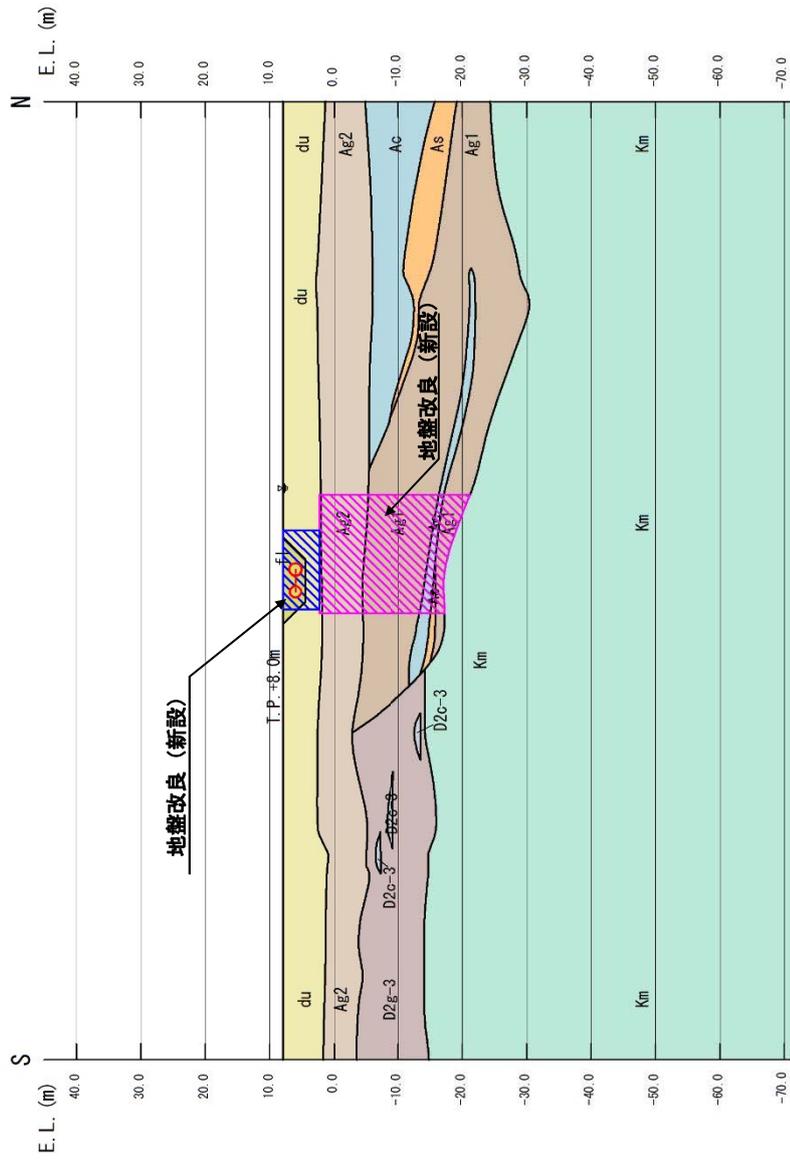


図 3.2-6 (4) 屋外二重管の評価対象断面図 (C-C断面・地盤改良部)

3.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）に基づいて設定する。構造物の使用材料を表 3.2-2 に、材料物性値を表 3.2-3 に示す。

地盤及び地盤改良体の諸元は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤物性値を表 3.2-4 に、地盤改良体の物性値を表 3.2-5 に示す。

表 3.2-2 使用材料

使用箇所	材料	諸元
屋外二重管	鋼管	SM400 相当 (SM41B)
鋼製桁	鋼板	SM570
鋼管杭	鋼管杭	SM570

表 3.2-3 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼管	77.0	2.00×10 ⁵	0.3
鋼板			
鋼管杭			

表 3.2-4 (1) 地盤の解析用物性値一覧 (液状化検討対象層)

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系 (液状化検討対象層)							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{mn}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{mn}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

表 3.2-4 (2) 地盤の解析用物性値一覧 (非液状化層)

パラメータ				原地盤				
				第四系 (非液状化層)				新第三系
				Ac	D2c-3	lm	D1c-1	Km
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{mn}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z (標高) 毎に物性値を 設定
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{mn}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026	
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 3.2-4 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP (m) Z	通用深度 TP (m)	密度 ρ (g/cm ³)	静ポアソン比 ν_{cp}	粘着力 C_{cp} (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ_{cp} (°)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G_{ma}	基準体積 弾性係数 K_{ma} (kN/m ²)	基準平均有効 主応力 σ'_{ma} (kN/m ²)	拘束圧 依存係数	最大履歴 減衰率 $\beta_{max}(-)$	動ポアソン比 ν_d	硬密波 速度Vp (m/s)	1000*Vp
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	319,509	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326,965	371,843	504	0.0	0.108	0.463	1,661	1,661,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644	1,644,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331,480	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652	1,652,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332,992	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656	1,656,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659	1,659,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663	1,663,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,671	1,671,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654	1,654,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	504	0.0	0.112	0.461	1,662	1,662,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,665	1,665,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348,300	381,471	498	0.0	0.112	0.461	1,673	1,673,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351,403	384,870	498	0.0	0.113	0.461	1,680	1,680,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352,959	386,574	498	0.0	0.113	0.460	1,664	1,664,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356,083	389,996	498	0.0	0.114	0.460	1,672	1,672,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357,650	391,712	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	360,794	395,155	498	0.0	0.115	0.460	1,683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362,371	396,883	498	0.0	0.115	0.459	1,667	1,667,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365,536	400,349	498	0.0	0.115	0.459	1,675	1,675,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367,124	402,088	498	0.0	0.116	0.459	1,678	1,678,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370,309	405,577	498	0.0	0.116	0.459	1,685	1,685,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371,907	407,327	498	0.0	0.117	0.459	1,689	1,689,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375,113	410,838	498	0.0	0.117	0.458	1,678	1,678,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376,721	412,599	498	0.0	0.117	0.458	1,681	1,681,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379,948	416,134	498	0.0	0.118	0.458	1,688	1,688,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385,416	422,122	498	0.0	0.118	0.458	1,696	1,696,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387,051	423,913	498	0.0	0.118	0.458	1,699	1,699,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390,331	427,505	498	0.0	0.118	0.457	1,688	1,688,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391,976	429,307	498	0.0	0.119	0.457	1,692	1,692,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395,277	432,922	498	0.0	0.119	0.457	1,699	1,699,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396,933	434,736	498	0.0	0.120	0.457	1,702	1,702,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400,255	422,491	492	0.0	0.120	0.457	1,709	1,709,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401,921	424,250	492	0.0	0.120	0.456	1,695	1,695,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405,263	427,778	492	0.0	0.120	0.456	1,702	1,702,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406,939	429,547	492	0.0	0.121	0.456	1,705	1,705,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410,302	433,097	492	0.0	0.121	0.456	1,712	1,712,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413,679	436,661	492	0.0	0.121	0.456	1,719	1,719,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415,373	438,449	492	0.0	0.122	0.455	1,705	1,705,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418,771	442,036	492	0.0	0.122	0.455	1,712	1,712,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420,475	443,835	492	0.0	0.122	0.455	1,716	1,716,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423,893	447,443	492	0.0	0.122	0.455	1,723	1,723,000
57	-82	-83 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425,608	449,253	492	0.0	0.123	0.455	1,726	1,726,000
58	-88	-89 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434,232	458,356	492	0.0	0.124	0.454	1,726	1,726,000
59	-92	-93 ~ -89	1.73	0.14	913	14.1	504	439,448	463,862	492	0.0	0.124	0.454	1,736	1,736,000
60	-98	-101 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	448,210	473,111	492	0.0	0.125	0.453	1,736	1,736,000
61	-104	-108 ~ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	455,282	463,485	486	0.0	0.126	0.452	1,733	1,733,000
62	-112	-115 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465,995	474,391	486	0.0	0.127	0.451	1,737	1,737,000
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475,016	483,575	486	0.0	0.127	0.451	1,754	1,754,000
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485,957	494,713	486	0.0	0.128	0.450	1,758	1,758,000

表 3.2-5 地盤改良体の物性値一覧

項目		地盤改良体 (セメント改良)	
		一軸圧縮強度 (≤8.5N/mm ² の場合)	一軸圧縮強度 (>8.5N/mm ² の場合)
物理特性	密度 ρ_t (g/cm ³)	改良対象の原地盤の平均密度×1.1	
静的変形特性	静弾性係数 (N/mm ²)	581	2159
	静ポアソン比 ν_s	0.260	
動的変形特性	初期せん断剛性 G_0 (N/mm ²)	$G_0 = \rho_t / 1000 \times V_s^2$ $V_s = 147.6 \times q_u^{0.417}$ (m/s) q_u : 一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	
	動ポアソン比 ν_d	0.431	
	動せん断弾性係数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$	$G/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma / 0.000537}$ γ : せん断ひずみ (-)	$G/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma / 0.001560}$ γ : せん断ひずみ (-)
	減衰定数 $h \sim \gamma$	$h = 0.152 \frac{\gamma / 0.000537}{1 + \gamma / 0.000537}$ γ : せん断ひずみ (-)	$h = 0.178 \frac{\gamma / 0.001560}{1 + \gamma / 0.001560}$ γ : せん断ひずみ (-)
強度特性	粘着力 C (N/mm ²)	$C = q_u / 2$ q_u : 一軸圧縮強度 (N/mm ²)	

3.2.6 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

3.2.7 地震応答解析手法

屋外二重管の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。部材については、線形はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。地震応答解析については、解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録24「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図3.2-7に示す。

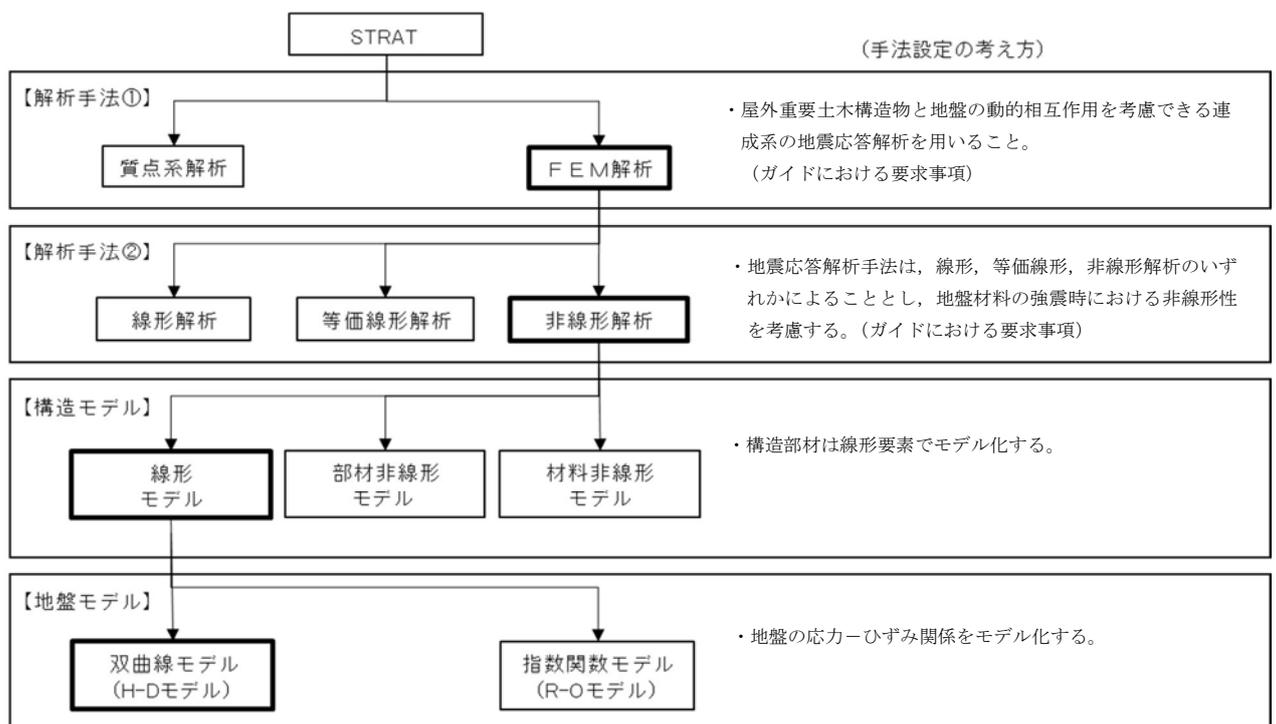


図 3.2-7 地震応答解析手法の選定フロー

H-Dモデルの選定理由は次のとおりである。すなわち、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル（H-Dモデル）を選定する。

3.2.8 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 - 1987 を参考に、図 3.2-8 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、モデル高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長に対して 5、又は 4 分割以上になるように要素高さを設定している。

屋外二重管周辺の地質断面図を図 3.2-9 に、地震応答解析モデルを図 3.2-10 に示す。なお、縦断方向断面における原子炉建屋及び海水ポンプ室は埋戻土としてモデル化する。

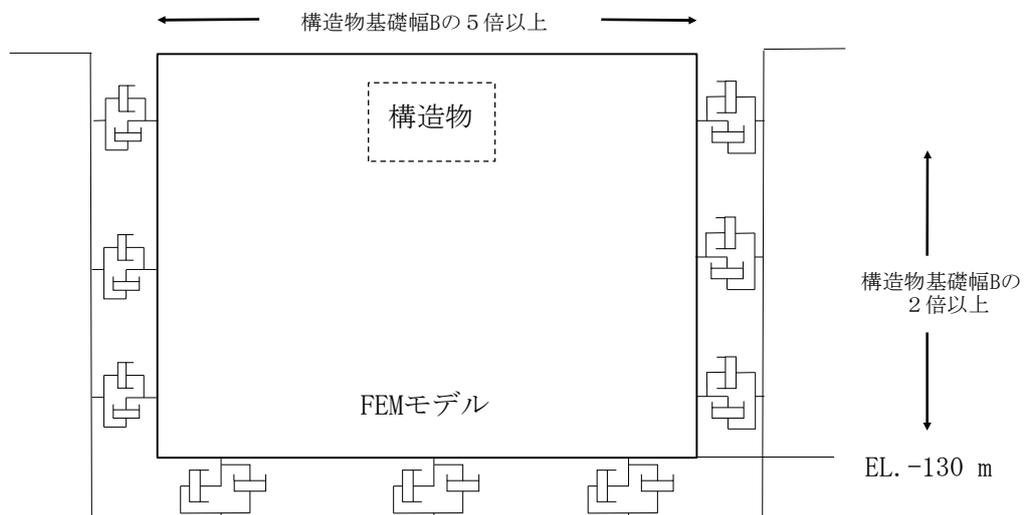


図 3.2-8 モデル範囲の考え方

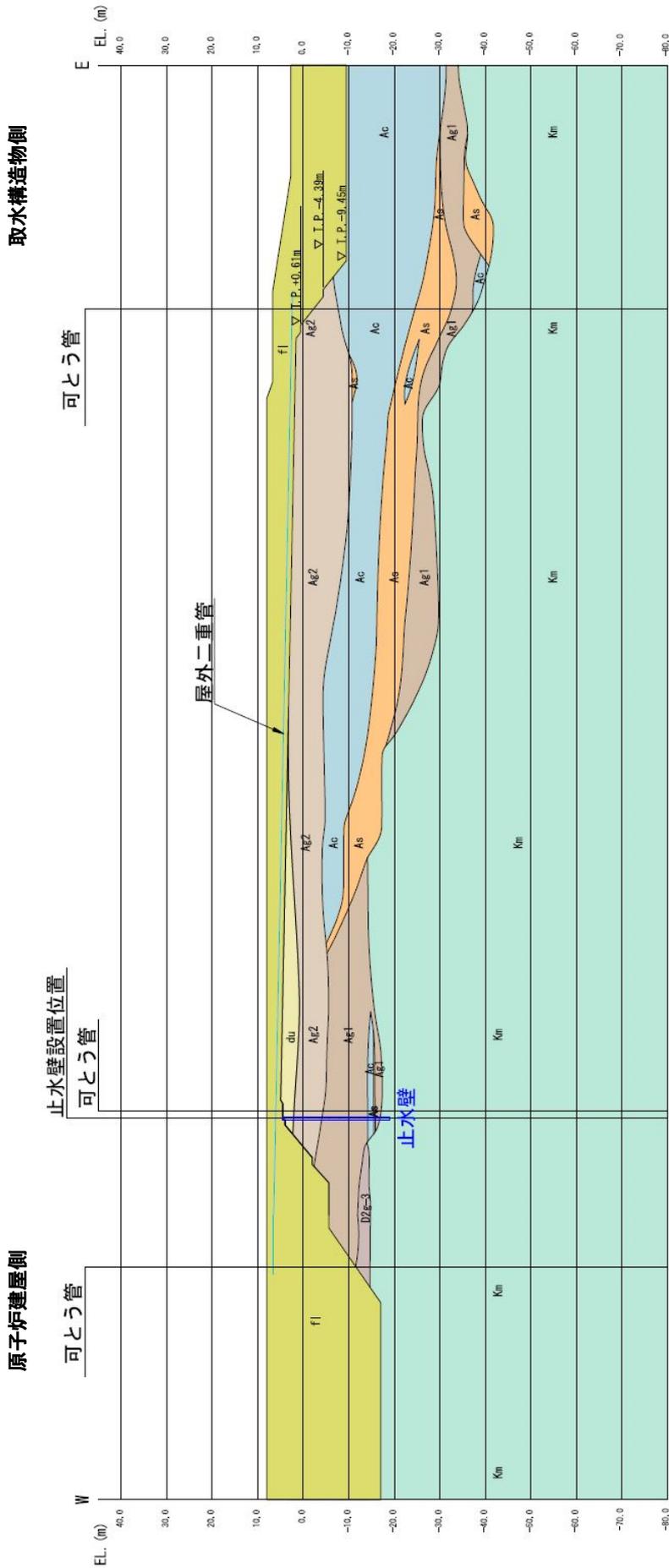


図 3.2-9 (1) 地質断面図 (A-A断面)

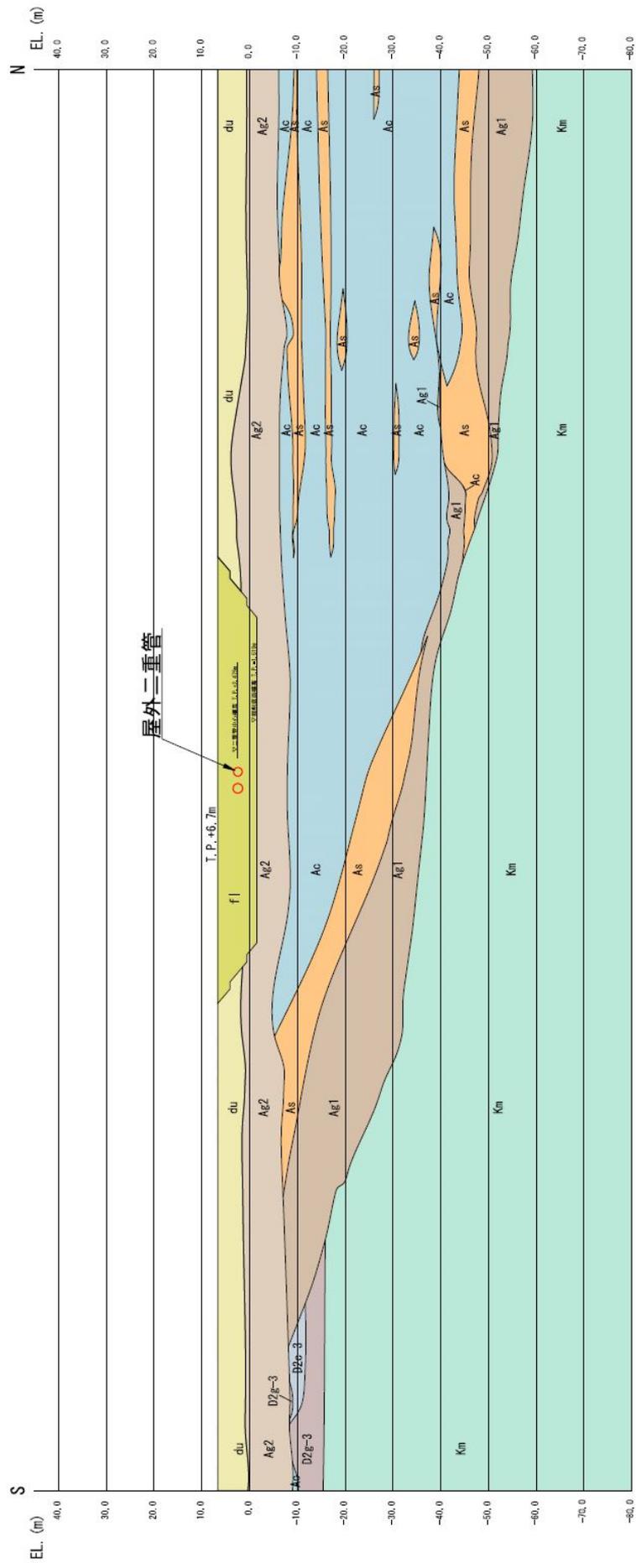


图 3.2-9 (2) 地质断面图 (B-B 断面)

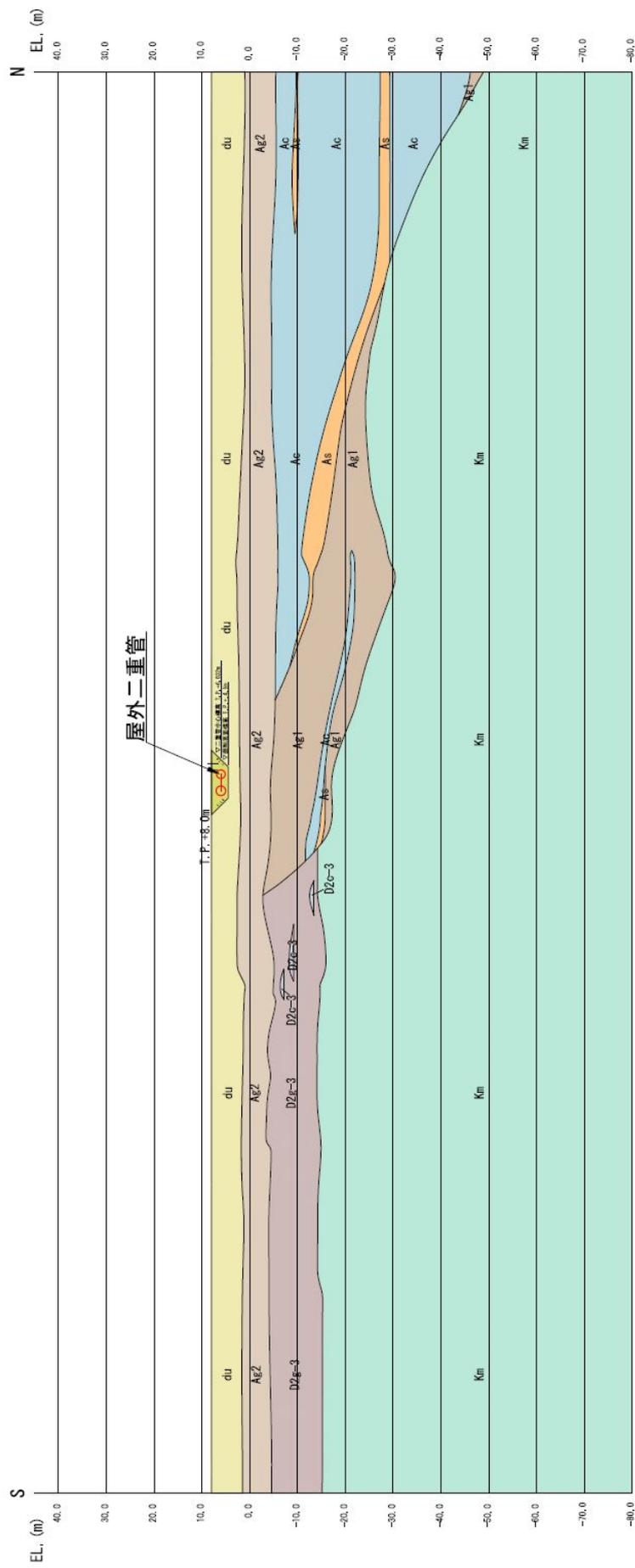


图 3.2-9 (3) 地质断面图 (C-C 断面)

図 3.2-10 (1) 屋外二重管の地震応答解析モデル (A-A 断面・追面)

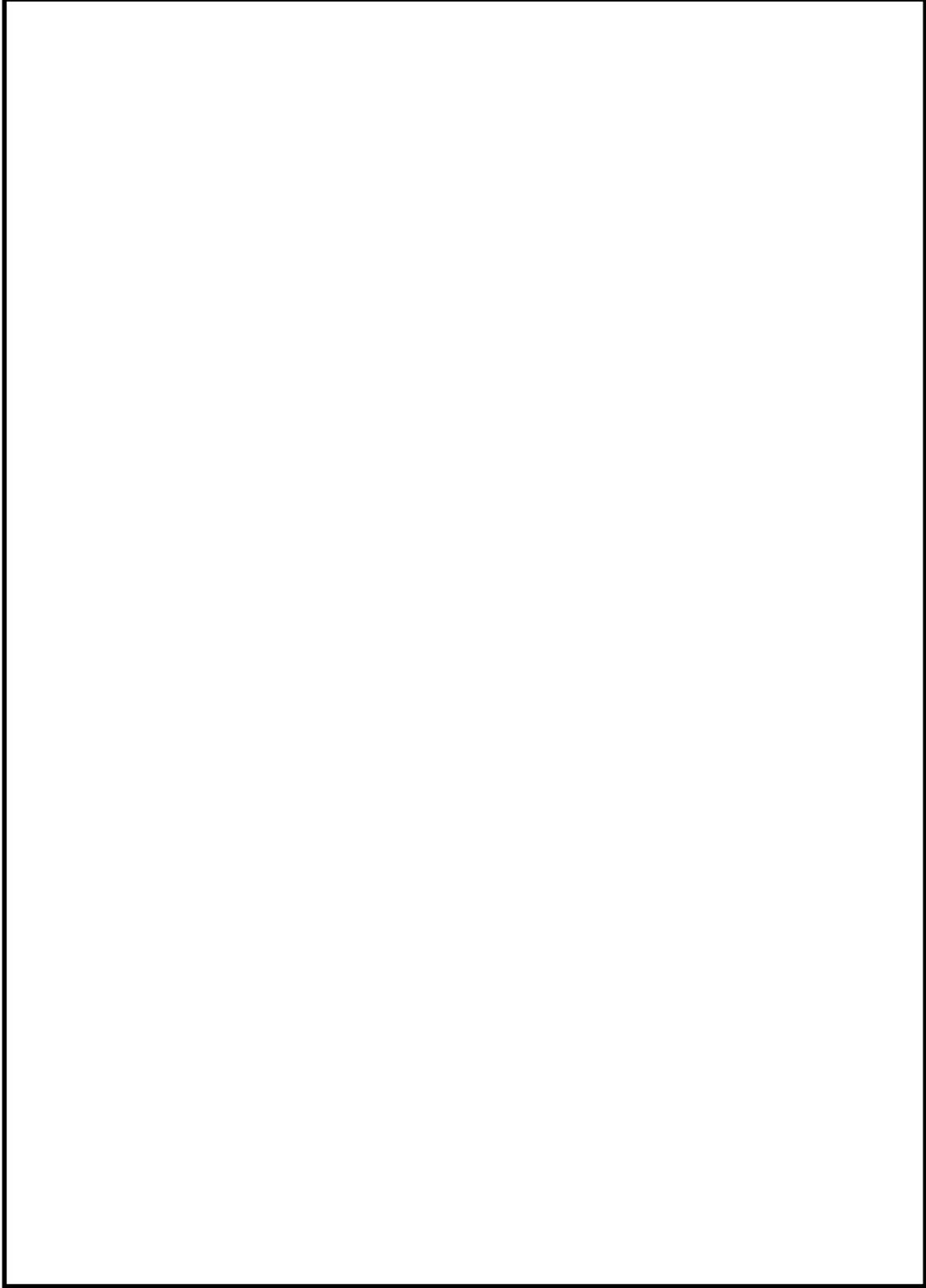


図 3.2-10 (2) 屋外二重管の地震応答解析モデル (B-B 断面)

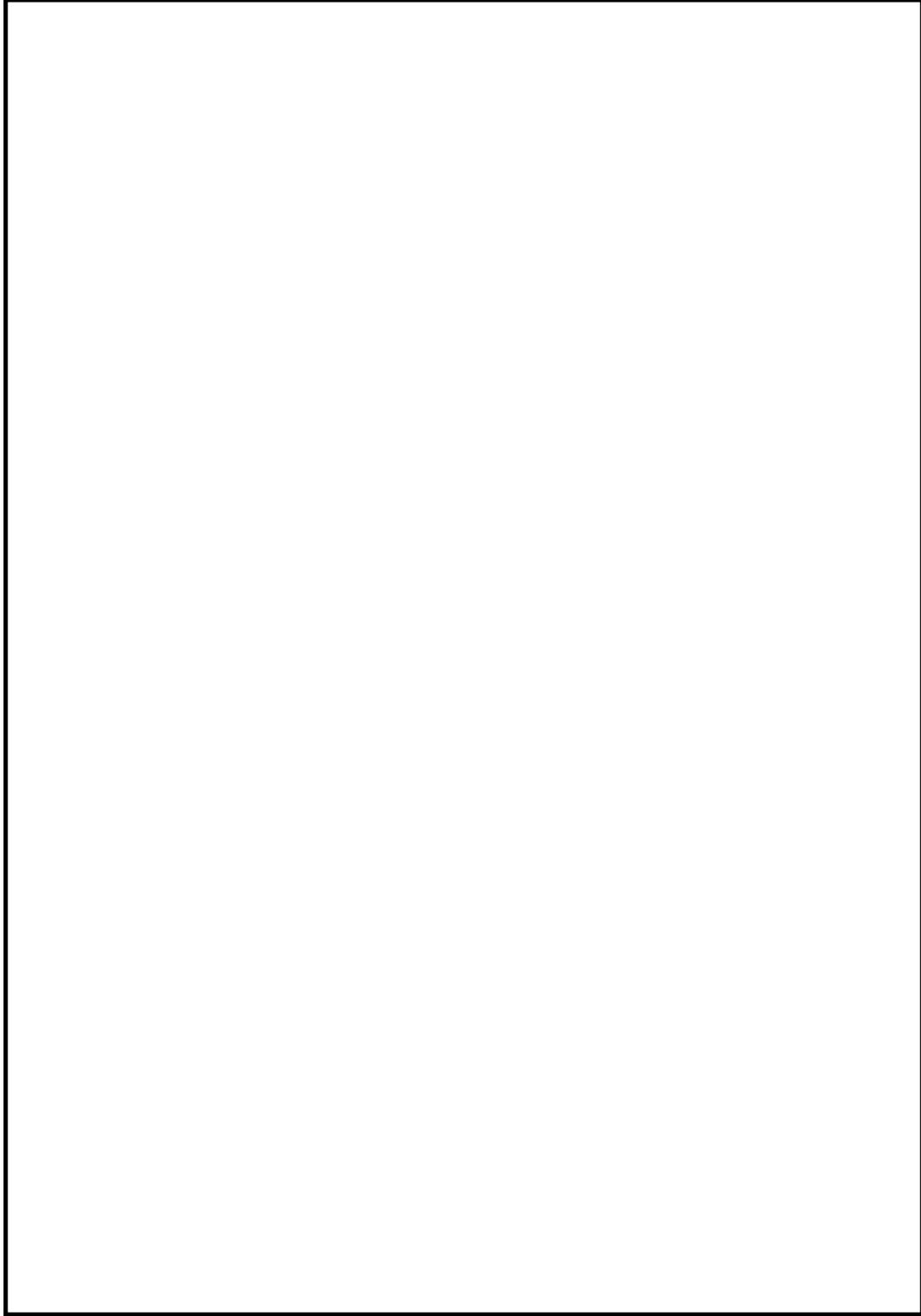


図 3.2-10 (3) 屋外二重管の地震応答解析モデル (C-C断面：杭基礎部)

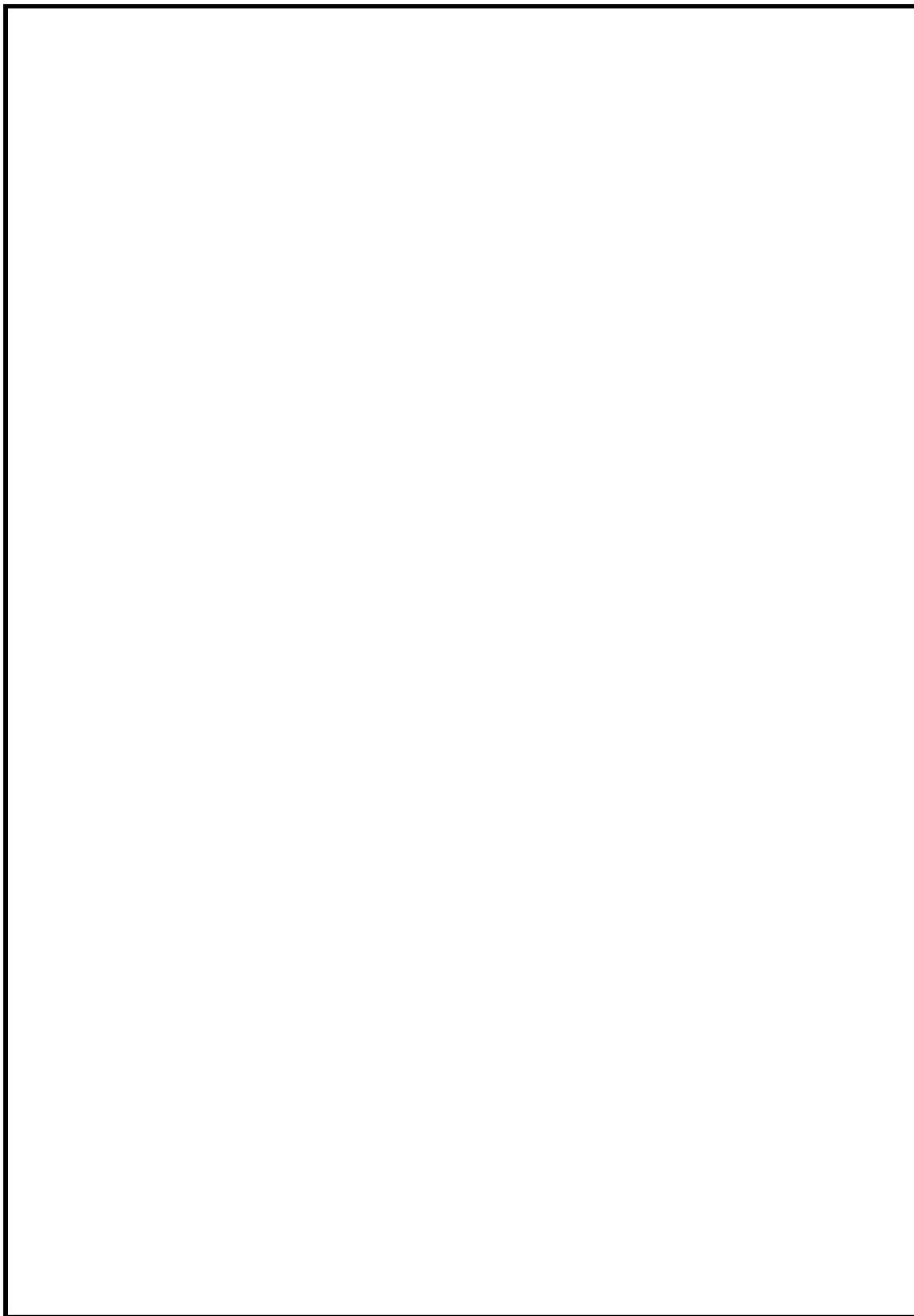


図 3.2-10 (4) 屋外二重管の地震応答解析モデル (C-C断面：地盤改良部)

(2) 構造物のモデル化

屋外二重管基礎の鋼製桁及び鋼管杭は、部材軸線における線形はり要素としてモデル化する。地盤と鋼製桁及び地盤と改良体の境界面にはジョイント要素を配置し、地盤と鋼管杭を地盤バネで接続する。また、屋外二重管本体に発生する応力を評価するため、二重管横断方向の評価対象断面では管体を線形はり要素でモデル化する。

モデル化の概要図を図 3.2-11 に示す。

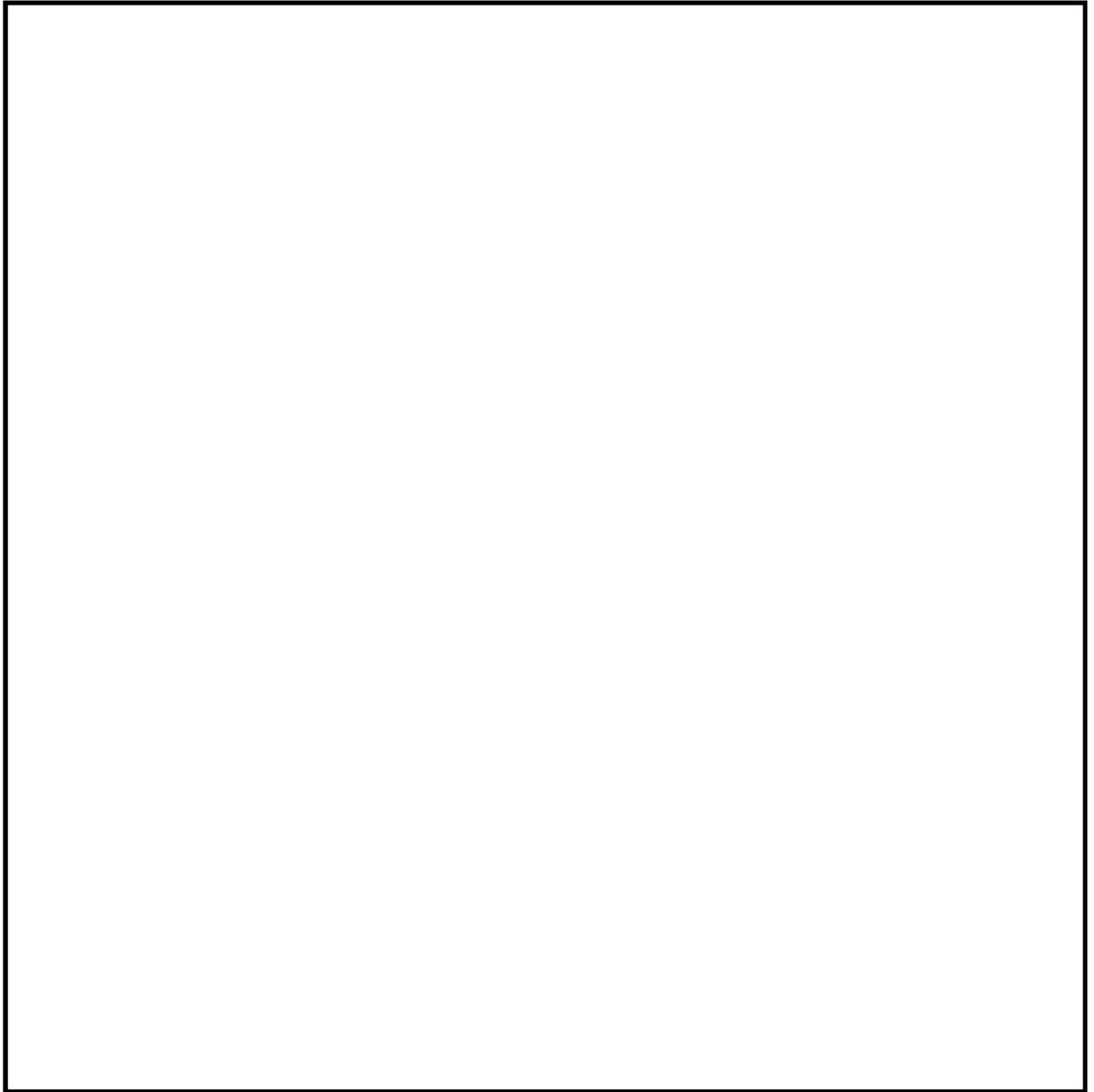


図 3.2-11 屋外二重管基礎のモデル概要図

(3) ジョイント要素の設定

地盤と構造物及び地盤と改良体の境界部にジョイント要素を設けることにより、地盤と構造物、地盤と改良体の剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、法線方向及び接線方向に分けて二重節点として設定する。法線方向は、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。接線方向では、地盤と構造物のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。 c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とする。(表 3.2-6 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 3.2-6 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (度)	備考
第四紀層	f1 層	0	37.3	—
	du 層	0	37.3	—
	Ac 層	0.025	29.1	—
	As 層	0	41.0	—
	Ag 1 層	0	37.4	—
	Ag 2 層	0	37.4	—
	D 2 g-3 層	0	44.4	—
	D 2 c-3 層	0.026	35.6	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—
地盤改良体		$1/2 q_u$	0	—

z : 標高 (m)

q_u : 一軸圧縮強さ (N/mm²)

ジョイント要素のばね定数は、数値計算上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値として港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、表 3.2-7 のとおり設定する。ジョイント要素の設定位置を図 3.2-12 に、ジョイント要素設定の考え方を図 3.2-13 に示す。

表 3.2-7 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6

(A-A断面・追而)

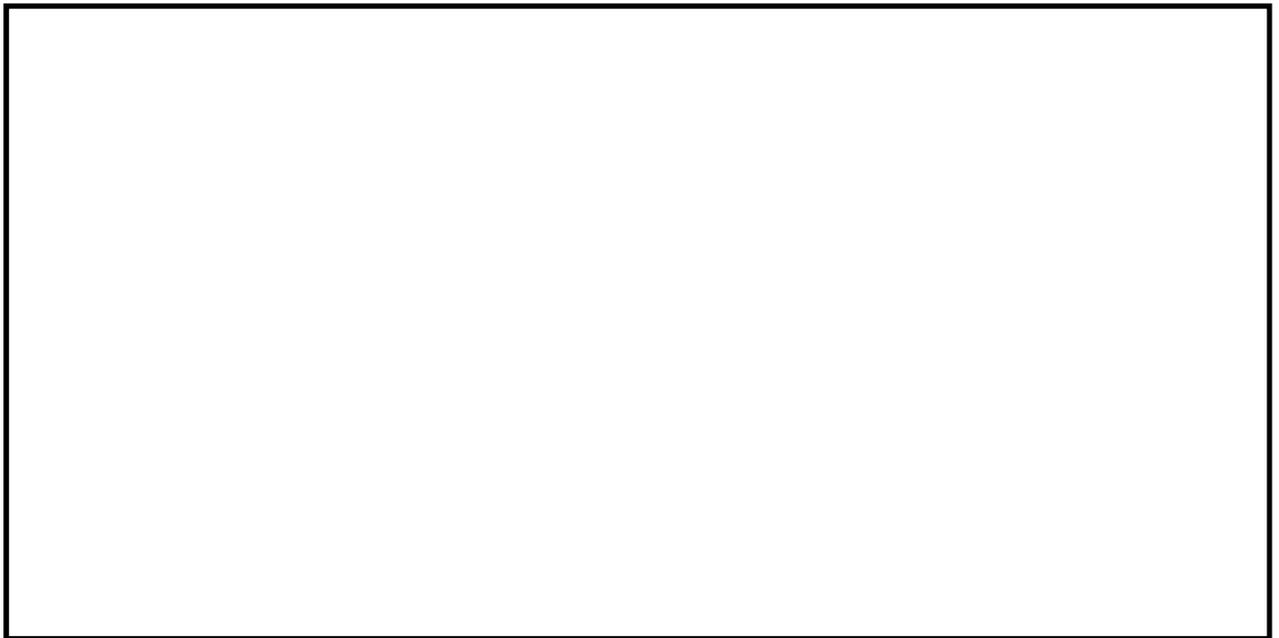


図 3.2-12 ジョイント要素の設定位置

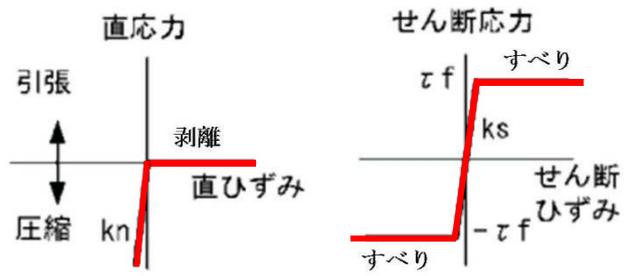


図 3.2-13 ジョイント要素設定の考え方

(4) 杭－地盤相互作用ばねの設定

地盤と杭が接している箇所の側方境界部に杭－地盤相互作用ばねを設けることにより、地盤と杭の相互作用における3次元効果を2次元モデルで適切に考慮する。

杭－地盤相互作用ばねの杭軸方向では、地盤と杭のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。 c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とする。(表 3.2-8 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

τ_f : せん断強度

c : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角

表 3.2-8 周辺地盤及び杭との境界に用いる強度特性

周辺の状況	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (度)	備考
Ac 層	0.025	29.1	—
As 層	0	41.0	—
Ag 1 層	0	37.4	—
Ag 2 層	0	37.4	—
D 2 g-3 層	0	44.4	—
D 2 c-3 層	0.026	35.6	—
新第三系	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—
地盤改良体	$1/2 q_u$	0	—

z : 標高 (m)

q_u : 一軸圧縮強さ (N/mm²)

杭－地盤相互作用ばねの杭軸方向のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値として、表 3.2-9 のとおり設定する。

また、杭－地盤相互作用ばねの杭軸直角方向のばね定数については、杭径及び杭間隔より設定される*。

図 3.2-14 に杭－地盤相互作用ばね設定の考え方を示す。

注記 * : FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」

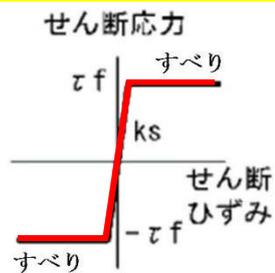
表 3.2-9 杭-地盤相互作用ばねのばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m^3)
杭軸方向	1.0×10^6

(A-A断面・追而)



(a) 杭-地盤相互作用ばね配置図



(b) 杭-地盤相互作用ばね（杭軸方向）の力学的特性

図 3.2-14 杭-地盤相互作用ばね設定の考え方

(5) 杭下端ジョイントばねの設定

杭下端境界部に圧縮応力の上限値を有さないジョイントばねを設けることにより、杭下端における地盤と杭の相互作用を適切に考慮する。

杭下端の杭軸方向について設定するジョイントばねは、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。

杭下端ジョイントばねのばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値として、表 3.2-10 のとおり設定する。図 3.2-15 に杭下端ジョイントばね設定の考え方を示す。

表 3.2-10 杭下端ジョイントばねのばね定数

	圧縮剛性 k_v (kN/m)
杭軸方向	1.0×10^6

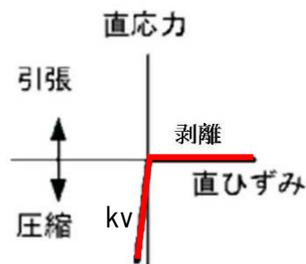


図 3.2-15 杭下端ジョイントばね設定の考え方

3.2.9 減衰特性

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰は、 $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトしていくことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 $\alpha[M]$ の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 $\alpha[M]$ の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように、低振動数帯で減衰 $\alpha[M]$ の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

ここで、

$[C]$: 減衰係数マトリックス

$[M]$: 質量マトリックス

$[K]$: 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

係数 α 、 β は、以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

地盤の減衰定数は1%（解析における減衰は、ひずみが大きい領域では履歴減衰が支配的となる。このため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している）とする。また、線形材料としてモデル化する鋼材の減衰定数は3%（J E A G 4 6 0 1 - 1987）とする。

図3.2-16にRayleigh減衰の設定フローを、表3.2-11に固有値解析結果を示す。

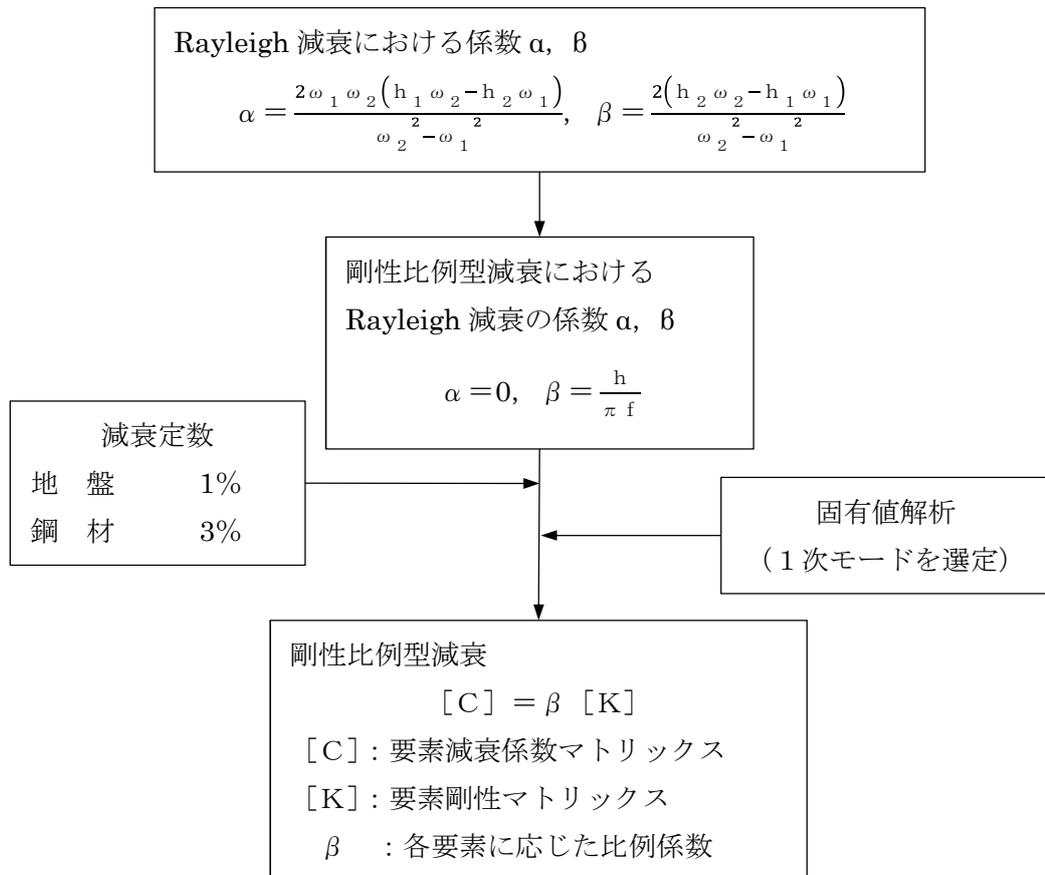


図 3.2-16 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 3.2-11 (1) 固有値解析結果 (A断面・追而)

表 3.2-11 (2) 固有値解析結果 (B断面・追而)

表 3.2-11 (3) 固有値解析結果 (C断面 (杭基礎)・追而)

表 3.2-11 (4) 固有値解析結果 (C断面 (地盤改良)・追而)

3.2.10 荷重の組合せ

耐震安全性評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震時荷重を抽出し、それぞれ組合せて設定する。地震時荷重には、地震時土圧、動水圧、機器・配管系からの反力による荷重が含まれるものとする。

変動荷重（積雪荷重、風荷重、温度荷重）については、発電所の立地特性や屋外二重管が地中に埋設された構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力と組合せる荷重としては除外した。

なお、屋外二重管は、地盤内に埋設されている構造物であることから、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられるため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地盤内で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。

荷重の組合せを表 3.2-12 に示す。

地震時に屋外二重管基礎に作用する機器・配管荷重については、解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 3.2-12 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○	・設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。
		機器・配管荷重	○	・機器・配管荷重の重量に基づいて設定する。
		土被り荷重	○	・常時応力解析により設定する。
		永久上載荷重	—	・恒常的に配置された設備等はないことから、考慮しない。
	静止土圧		○	・常時応力解析により算定する。
	外水圧		○	・地下水位に応じた静水圧として設定する。 ・水の単位体積重量を考慮する。
	内水圧		—	・内水がないことから、考慮しない。
変動荷重	積雪荷重 風荷重 温度荷重	—	・発電所の立地特性及び構造物の配置状況を踏まえると、偶発荷重（地震荷重）と組合せるべき変動荷重はない。	
偶発荷重	水平地震動	○	・基準地震動 S_0 による水平・鉛直同時加振をする。	
	鉛直地震動	○	・躯体、機器・配管系の慣性力、動土圧を考慮する。	
	動水圧	—	・内水がないことから、考慮しない。	

(1) 機器・配管荷重

機器・配管荷重は、屋外二重管の外管に付加質量として考慮する。付加質量は、外管の密度に含める。外管の密度を表 3.2-13 に示す。

表 3.2-13 外管密度 (付加質量を含む)

外管径 (mm)	外管密度 (g/cm ³)
φ 1800	13.99
φ 2000	14.18

(2) 外水圧

地下水位は地表面として設定する。設定の際は、水の密度として 1.00 g/cm³ を考慮する。

3.2.11 地震応答解析の検討ケース

(1) 耐震設計における検討ケース

屋外二重管の耐震設計における検討ケースを表 3.2-14 に示す。

表 3.2-14 屋外二重管の耐震設計における検討ケース

検討ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波 (位相)	S _s -D 1	(++)	1	1	1	1	1
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(--)	1				
	S _s -1 1	(++)	1				
	S _s -1 2	(++)	1				
	S _s -1 3	(++)	1				
	S _s -1 4	(++)	1				
	S _s -2 1	(++)	1				
		(-+)	1				
S _s -2 2	(++)	1					
	(-+)	1					
計		12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用いて実施する。
最も厳しい地震動の選定にあたっては、各施設の評価部位(上部構造及び下部構造)毎に1波選定する。

(2) 機器・配管系に対する加速度応答抽出のための検討ケース

機器・配管系に対する加速度応答の抽出における検討ケースを表 3.2-15 に示す。

表 3.2-15 機器・配管系への加速度応答の抽出における検討ケース

検討ケース		④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース			
液状化強度特性の設定		敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用			
地震波 (位相)	S _s -D 1	(++)	1	1	1		
		(+-)		1			
		(-+)		1			
		(--)		1			
	S _s -1 1	(++)		⑤において、上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。		1	⑤において、上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。
	S _s -1 2	(++)		1			
	S _s -1 3	(++)		1			
	S _s -1 4	(++)		1			
	S _s -2 1	(++)		1			
	S _s -2 2	(++)		1			
S _s -3 1	(++)	1					
	(-+)	1					
計		1	12	1			

3.3 評価内容

3.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を 1 次元波動論によって、地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

入力地震動算定の概念図を図 3.3-1 に、管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3.3-2 に、管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3.3-3 に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録 24「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

なお、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。断層モデル波である $S_s-11 \sim S_s-22$ については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向を考慮し、方位補正を行う。具体的には、南北方向及び東西方向の地震動について構造物の評価対象断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した地震動を設定する。

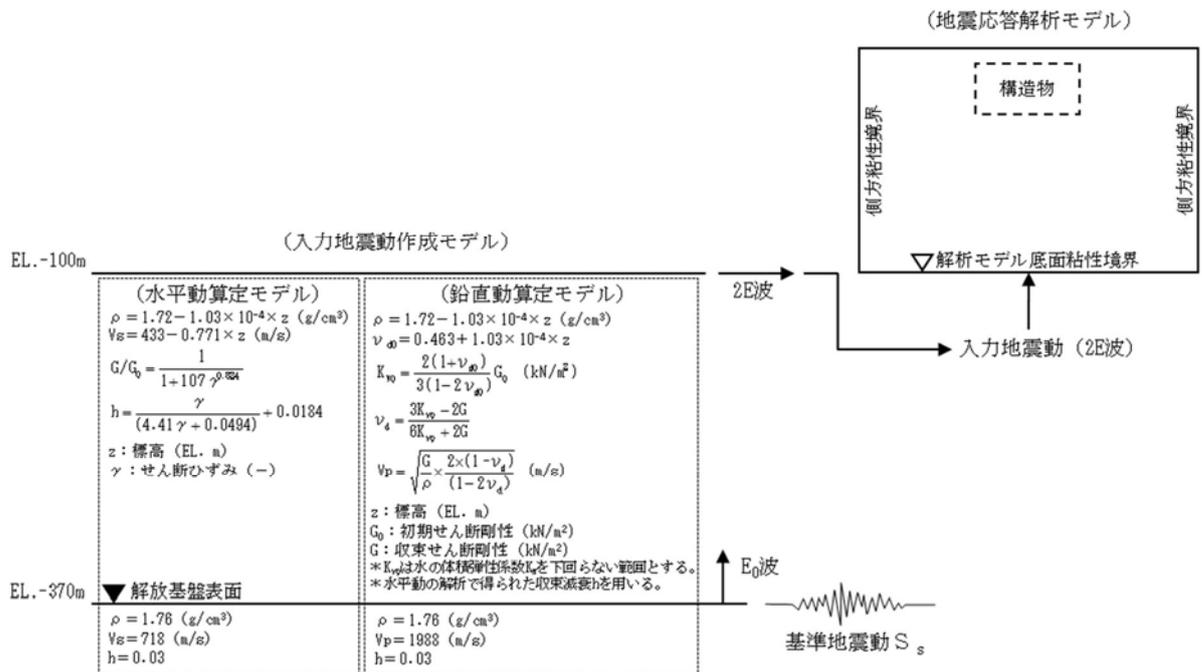
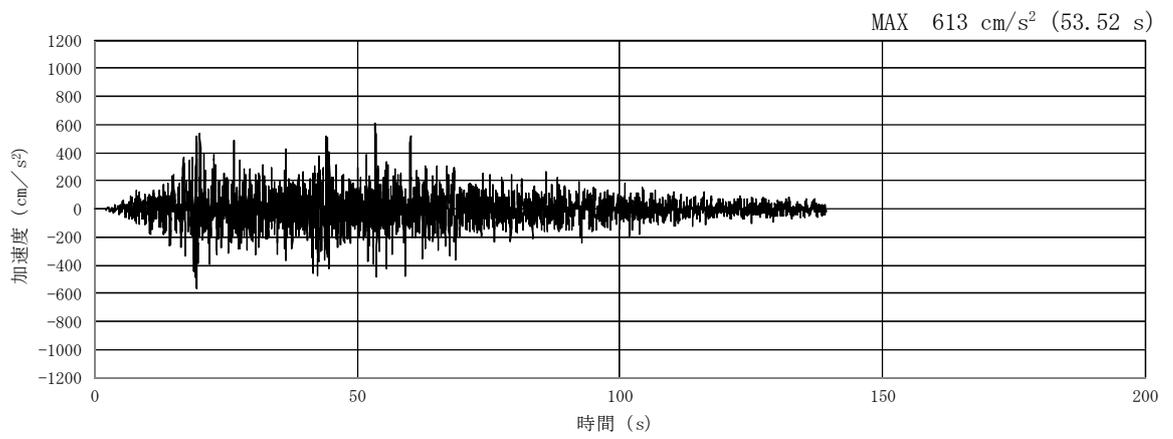
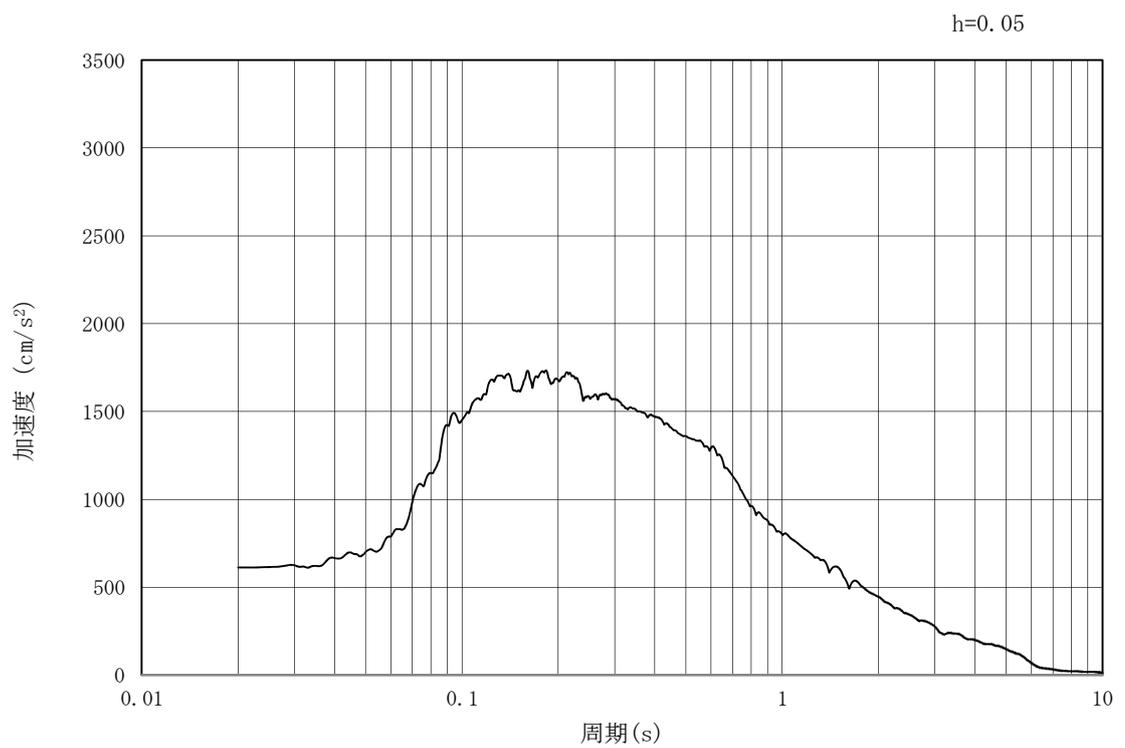


図 3.3-1 入力地震動算定の概念図

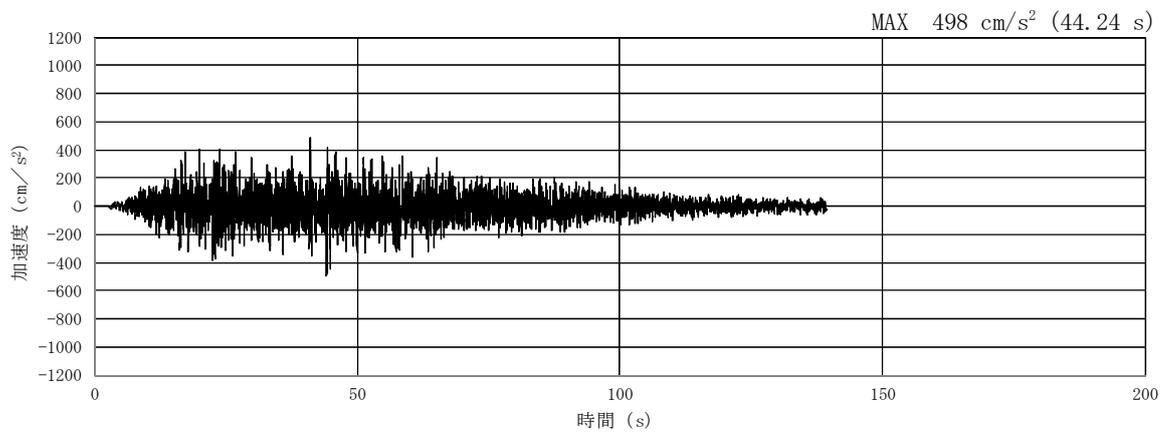


(a) 加速度時刻歴波形

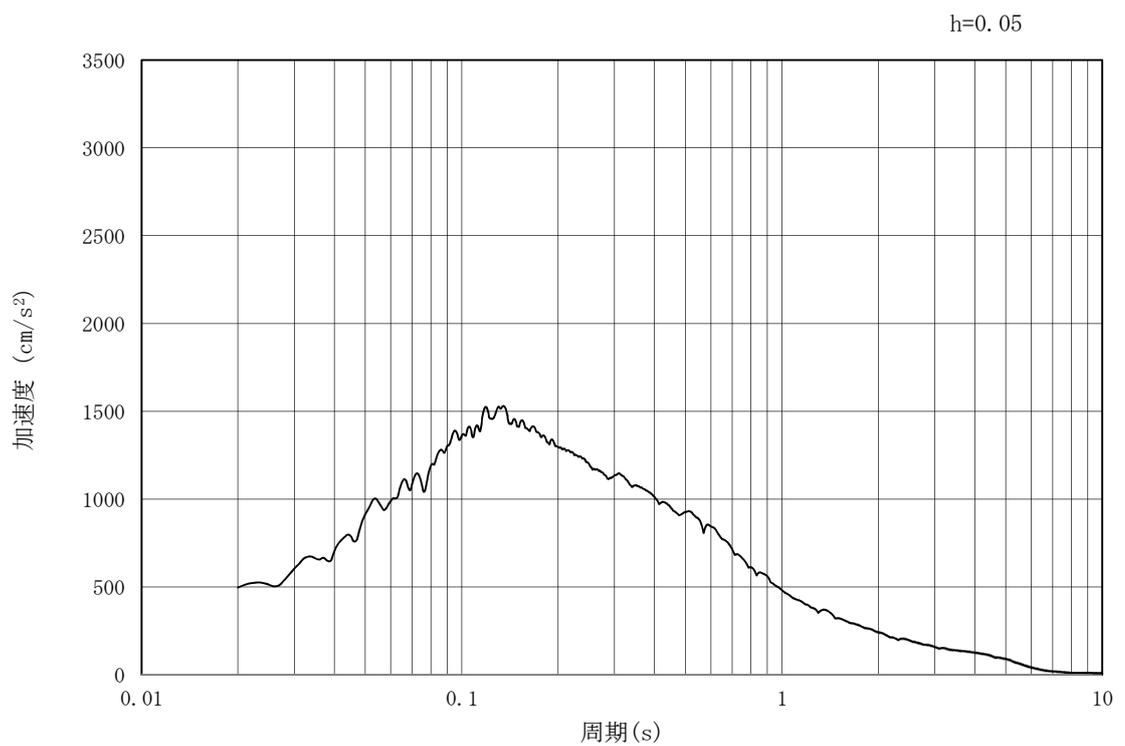


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (1) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - D 1$)

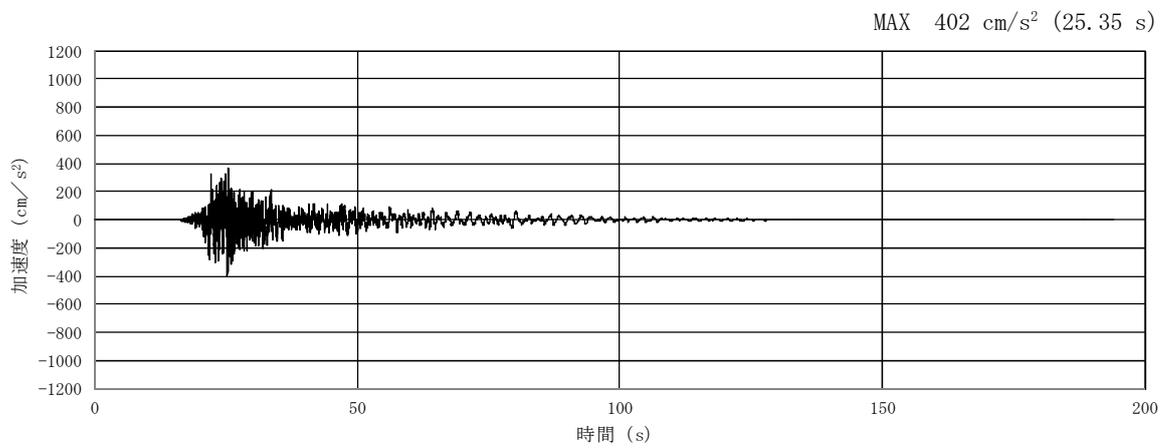


(a) 加速度時刻歴波形

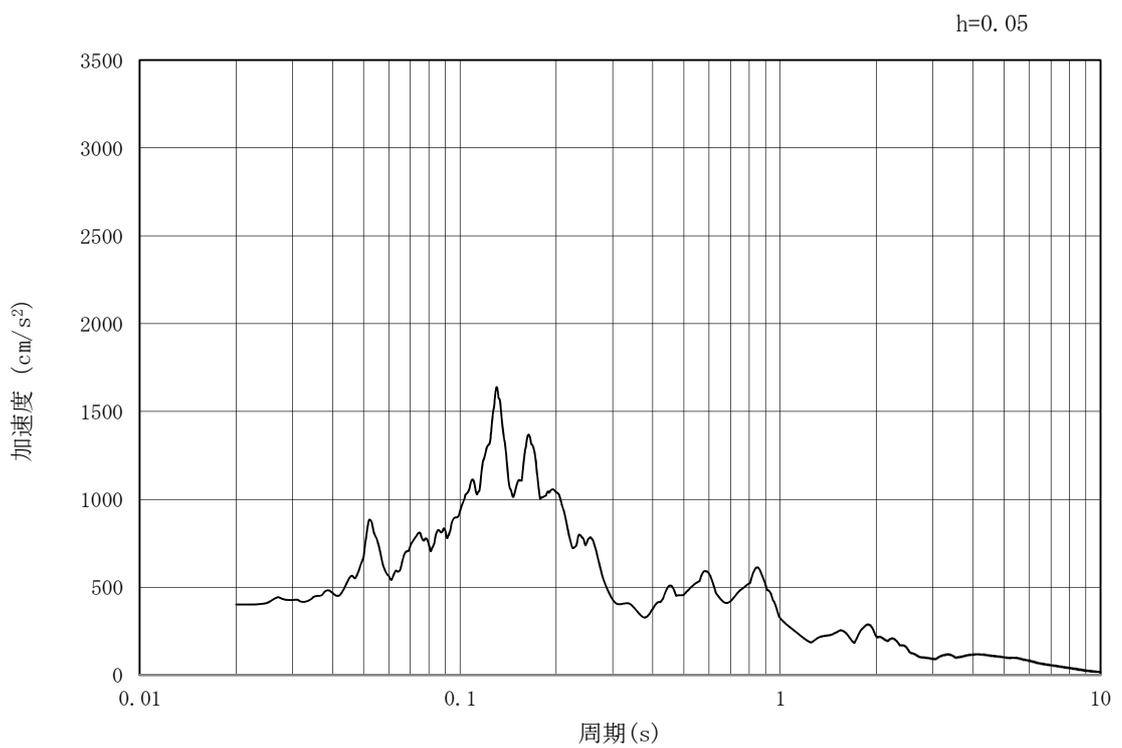


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 図 (2) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S_s-D1)

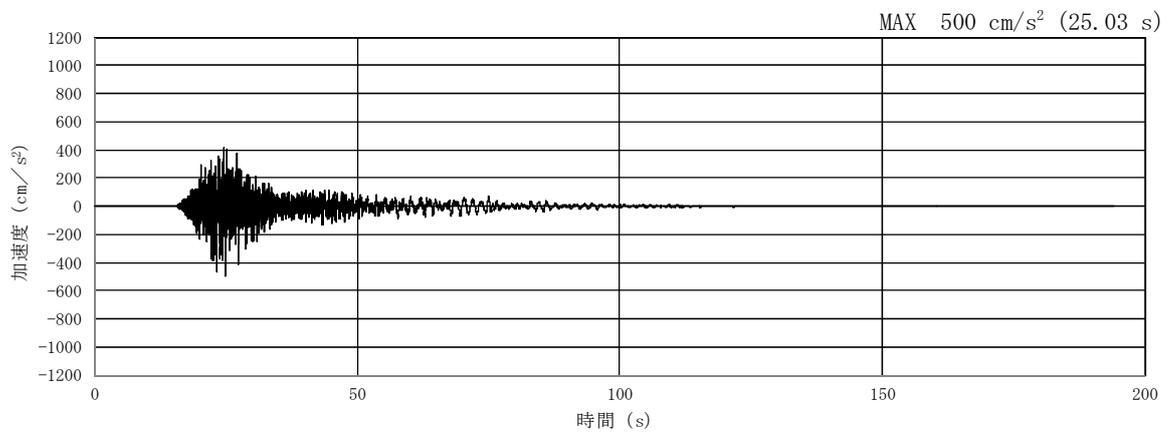


(a) 加速度時刻歴波形

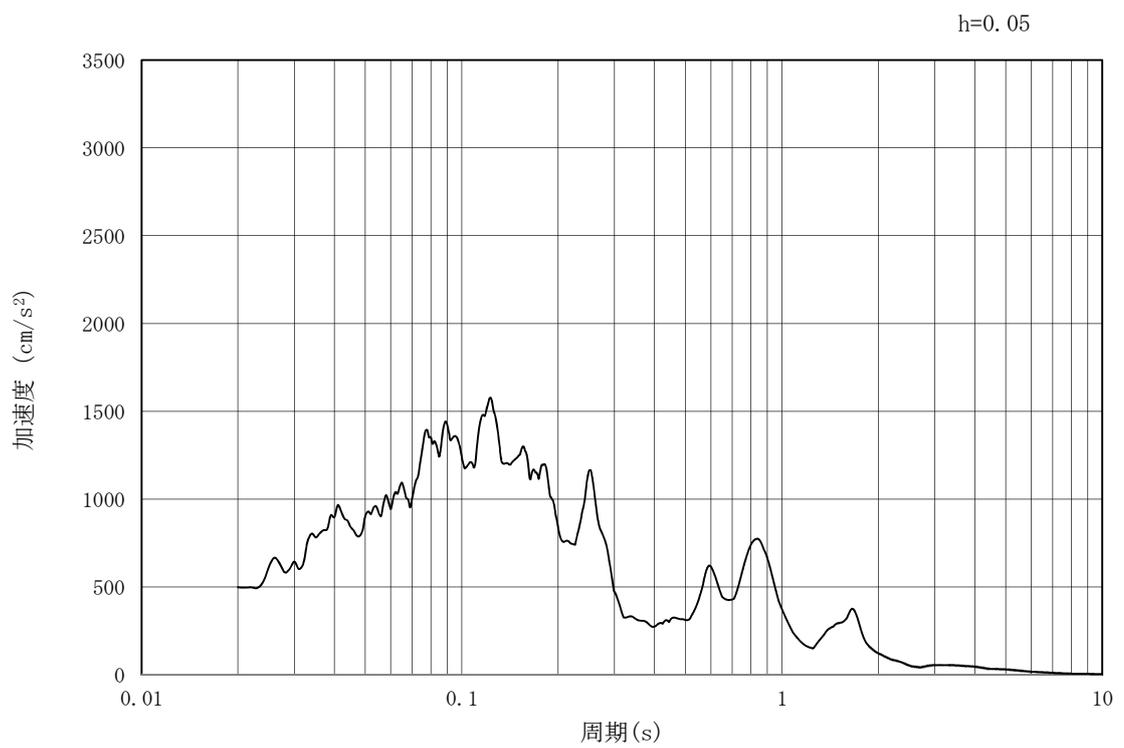


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (3) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.1$)

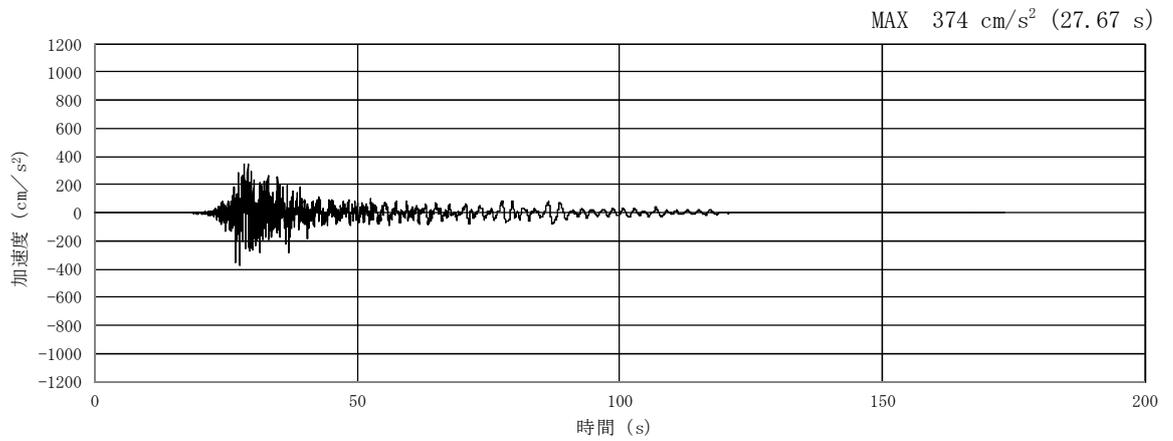


(a) 加速度時刻歴波形

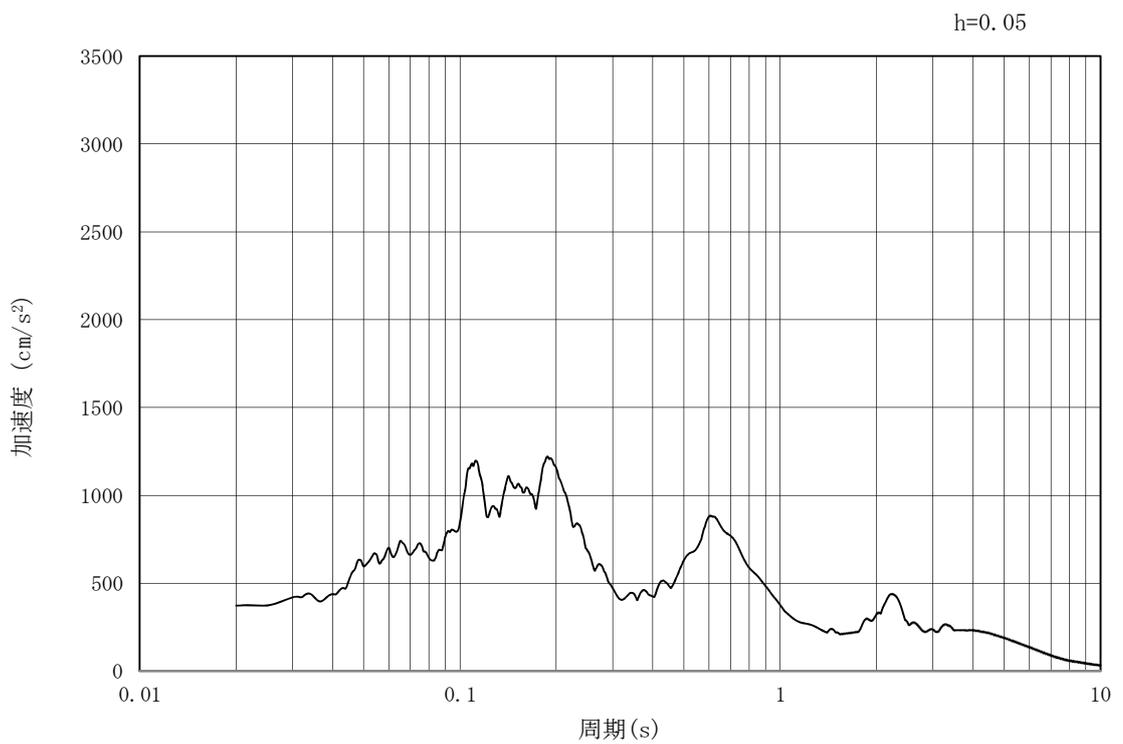


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (4) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.1$)

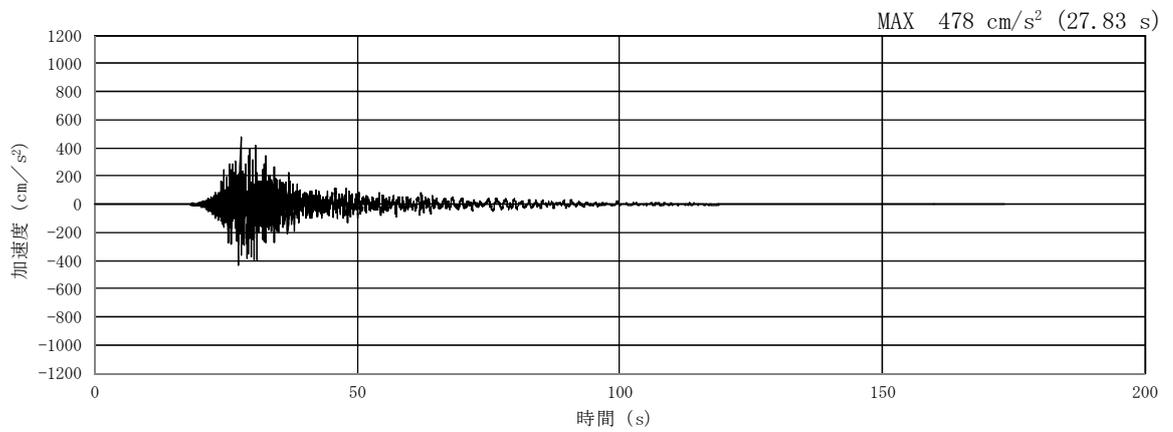


(a) 加速度時刻歴波形

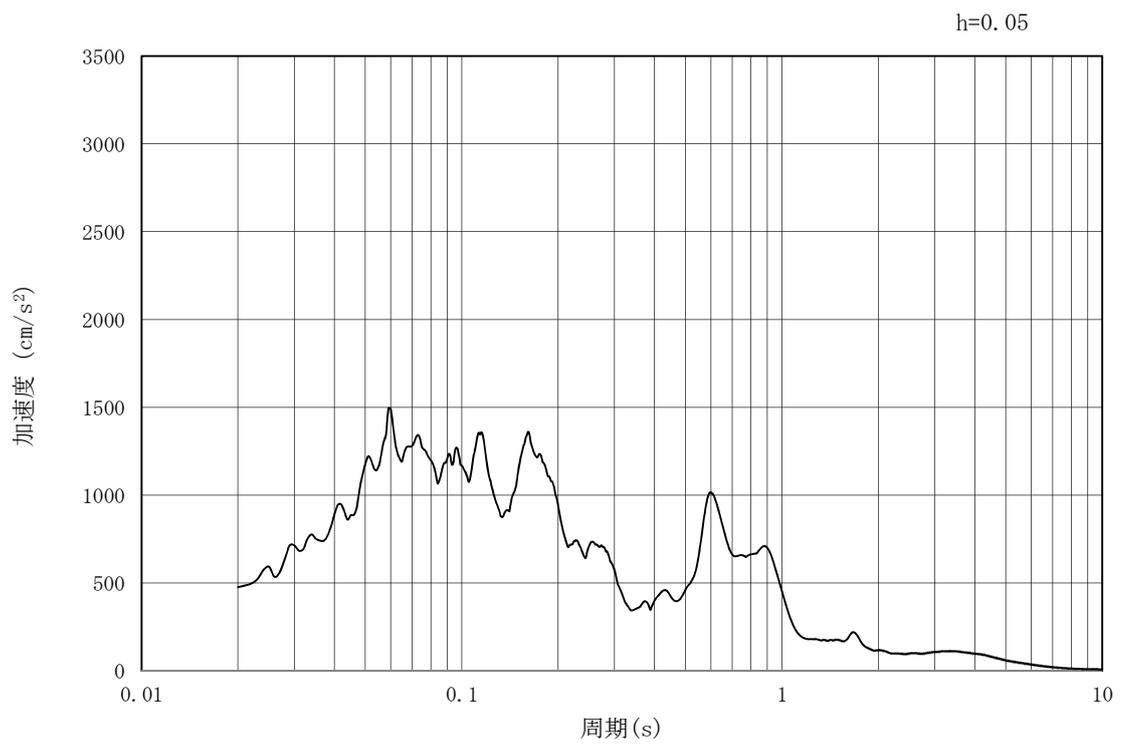


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (5) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.2$)

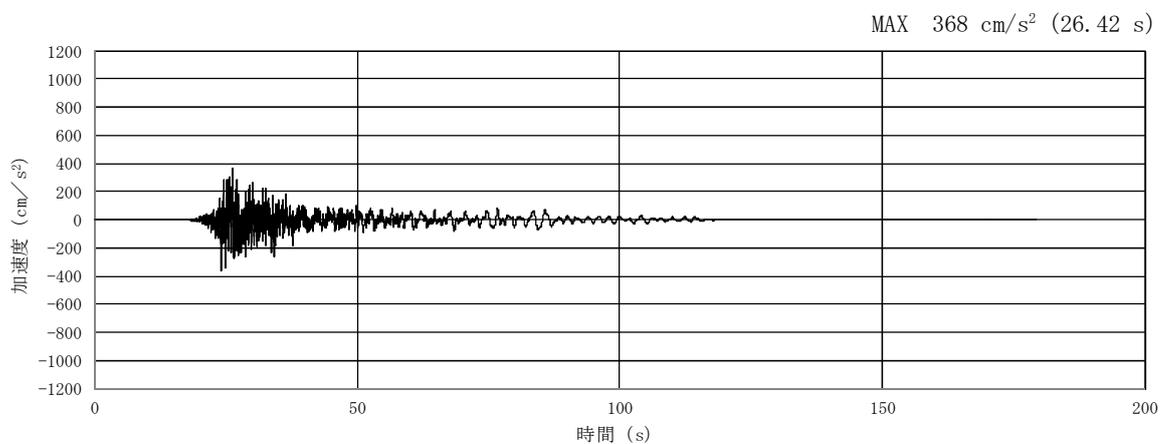


(a) 加速度時刻歴波形

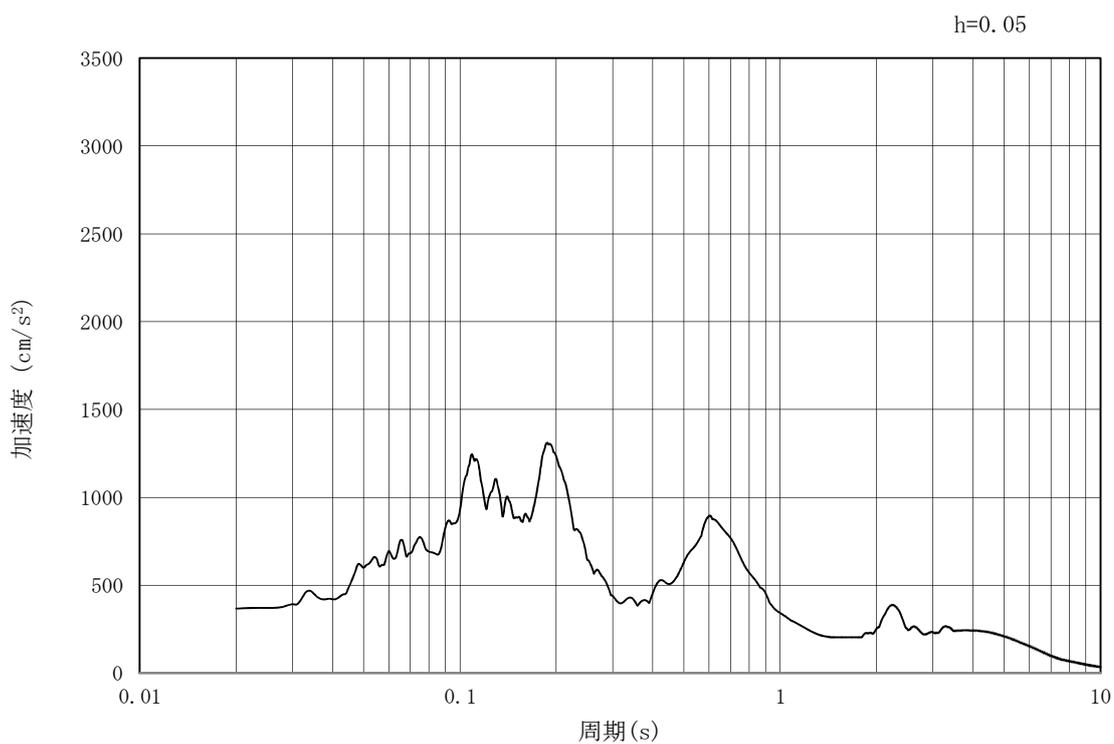


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (6) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.2$)

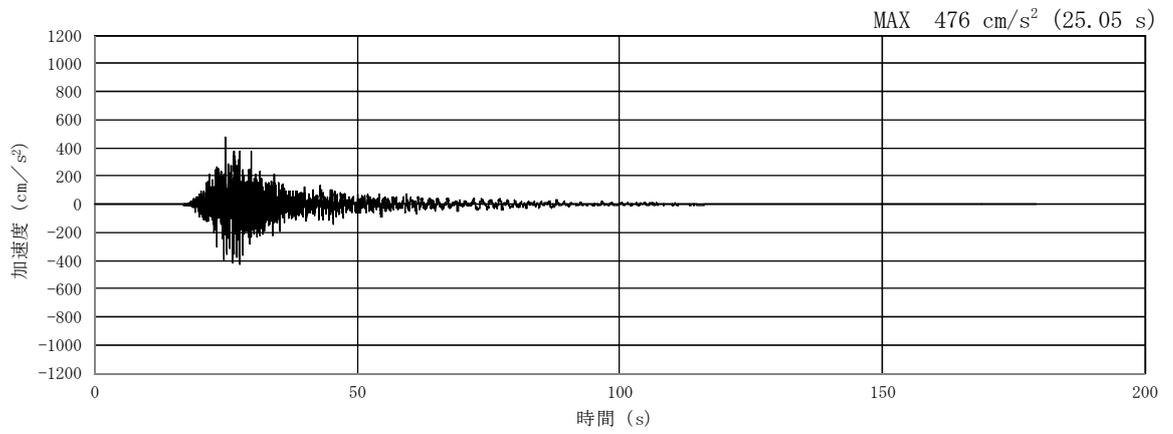


(a) 加速度時刻歴波形

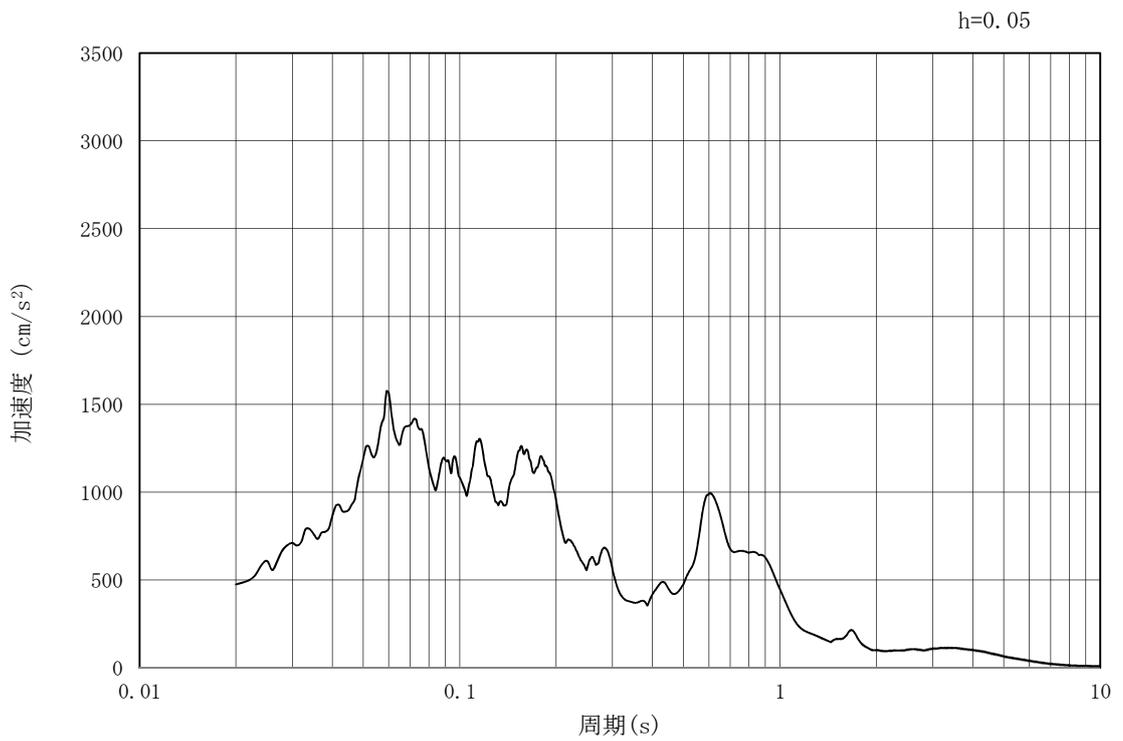


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (7) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.3$)

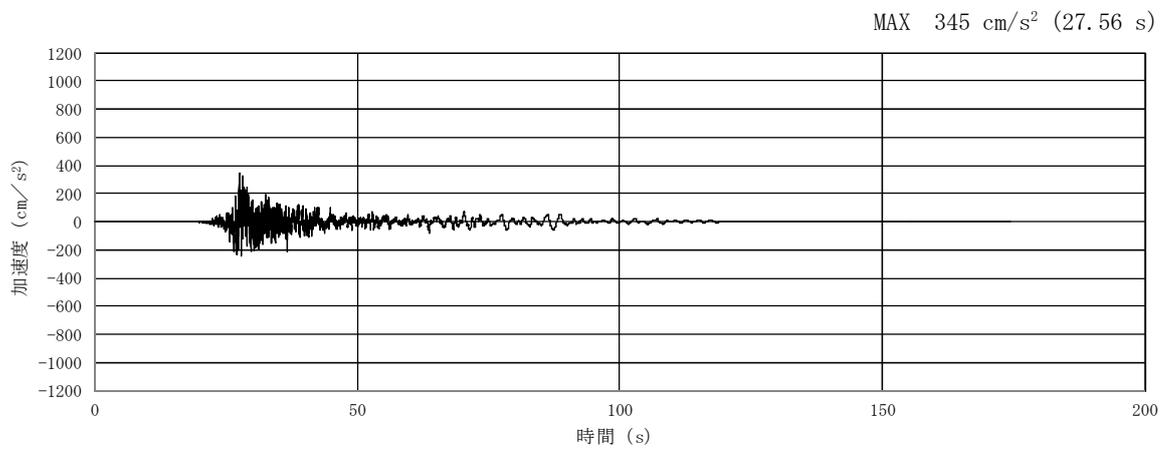


(a) 加速度時刻歴波形

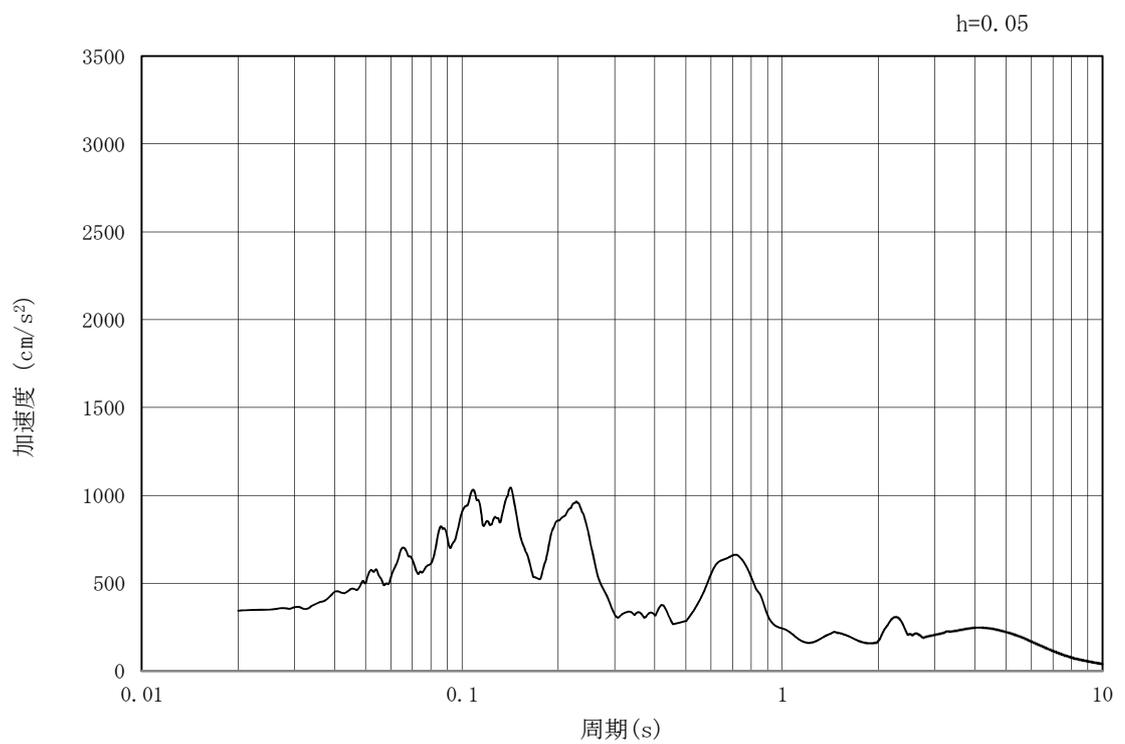


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (8) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.3$)

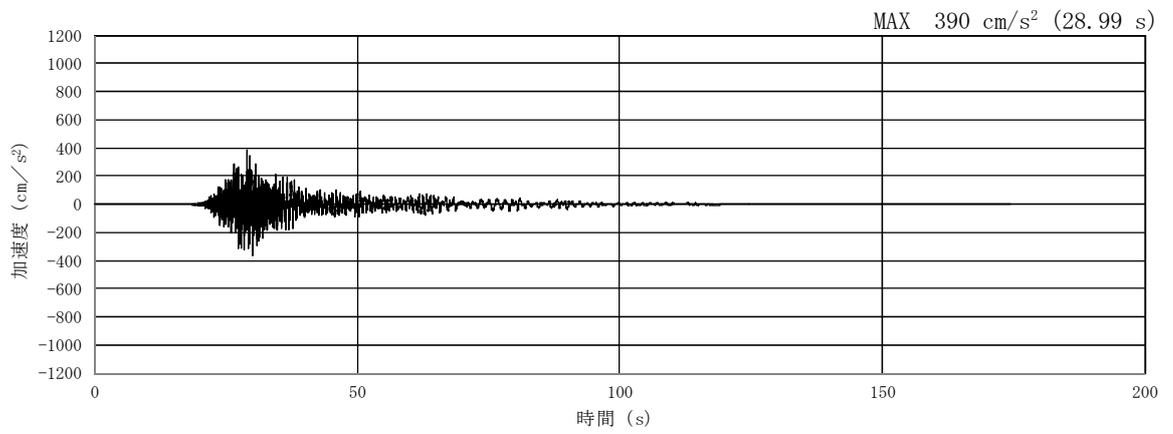


(a) 加速度時刻歴波形

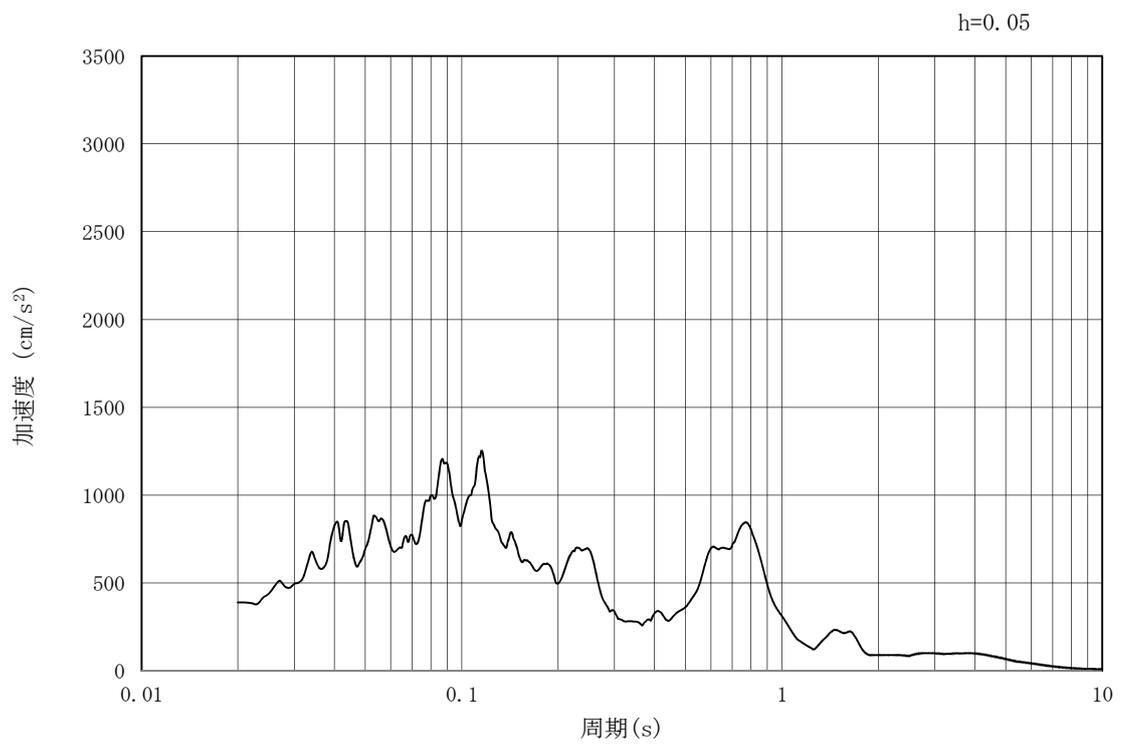


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (9) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.4$)

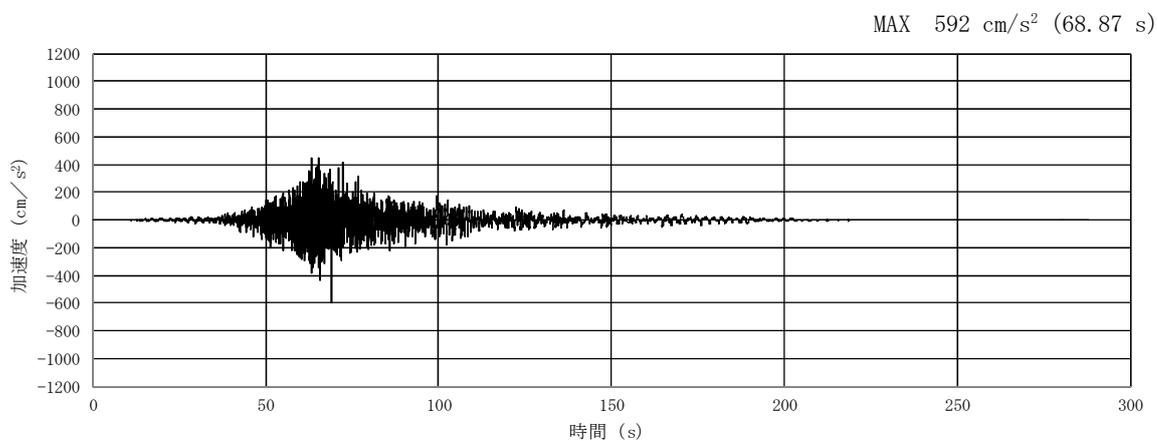


(a) 加速度時刻歴波形

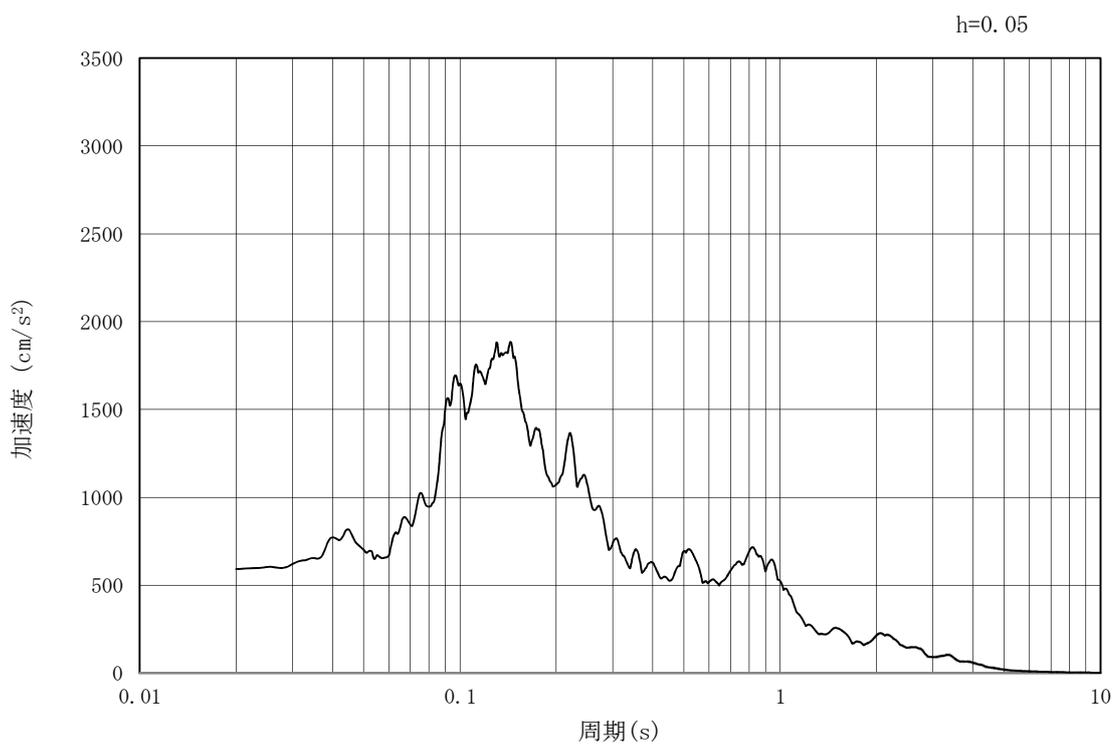


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (10) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.4$)

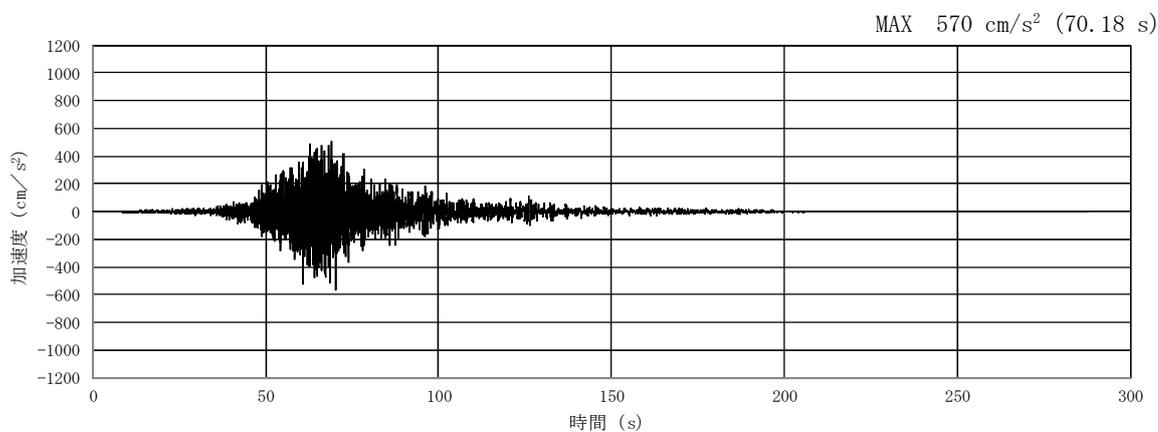


(a) 加速度時刻歴波形

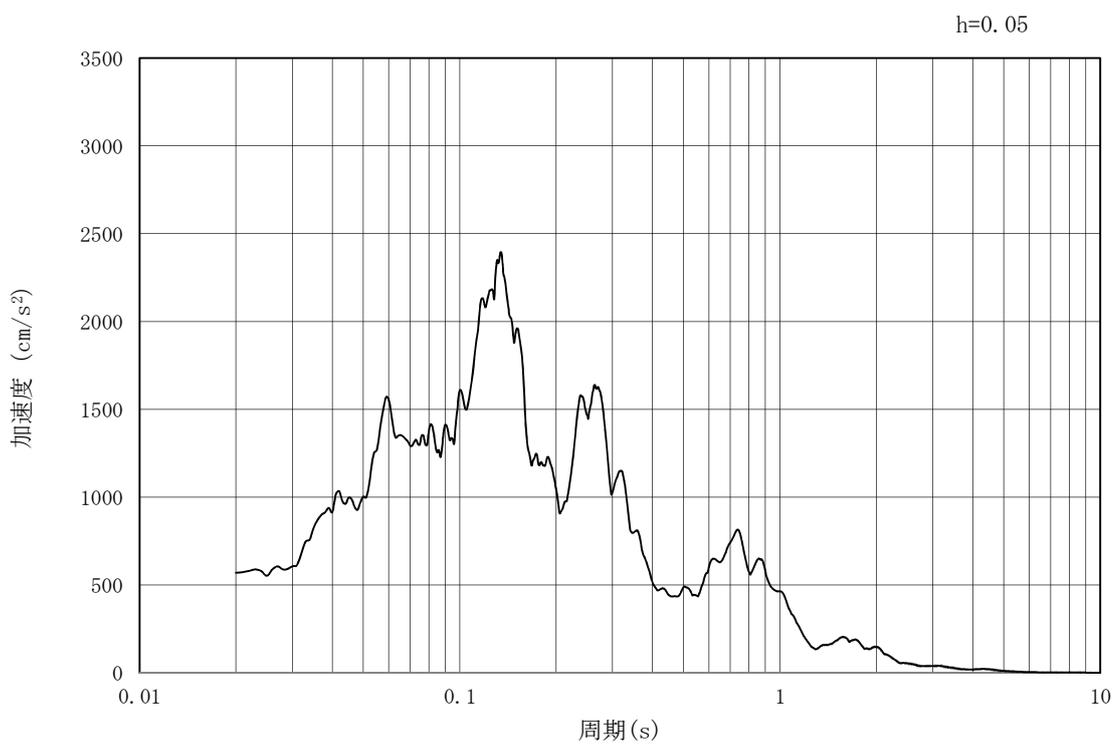


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (11) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 2.1$)

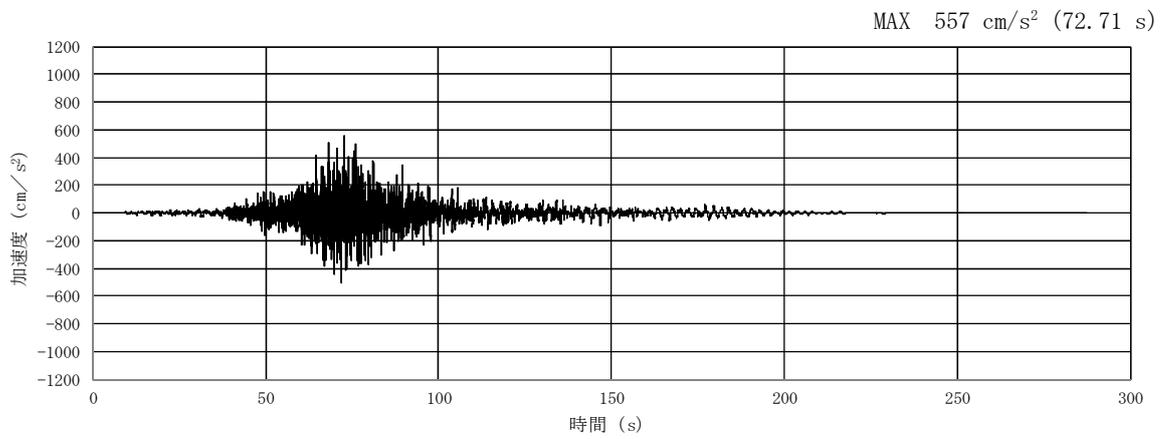


(a) 加速度時刻歴波形

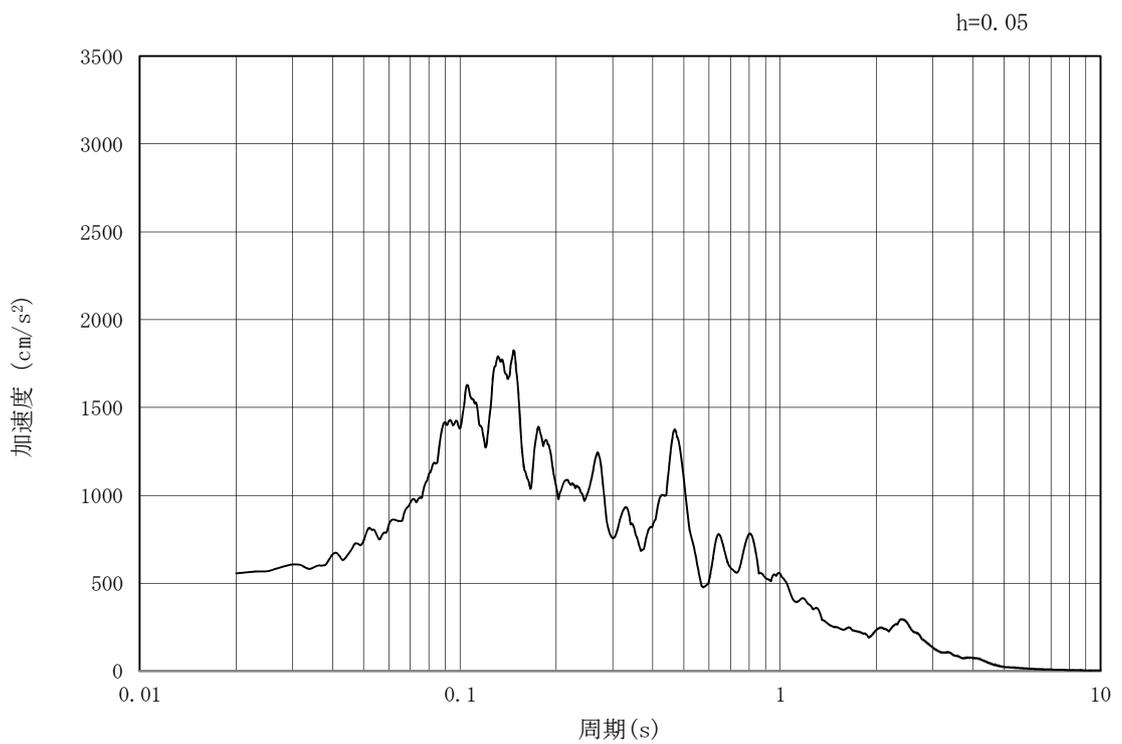


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (12) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 2.1$)

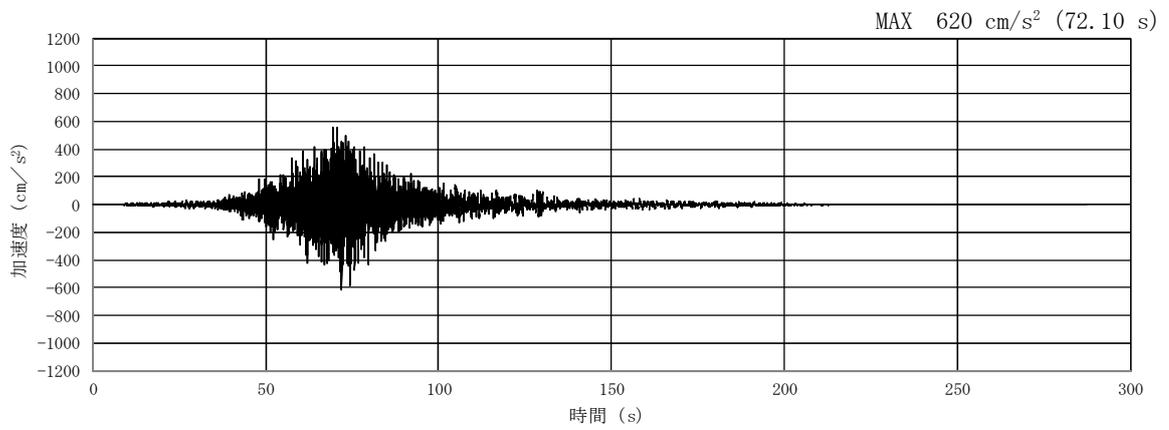


(a) 加速度時刻歴波形

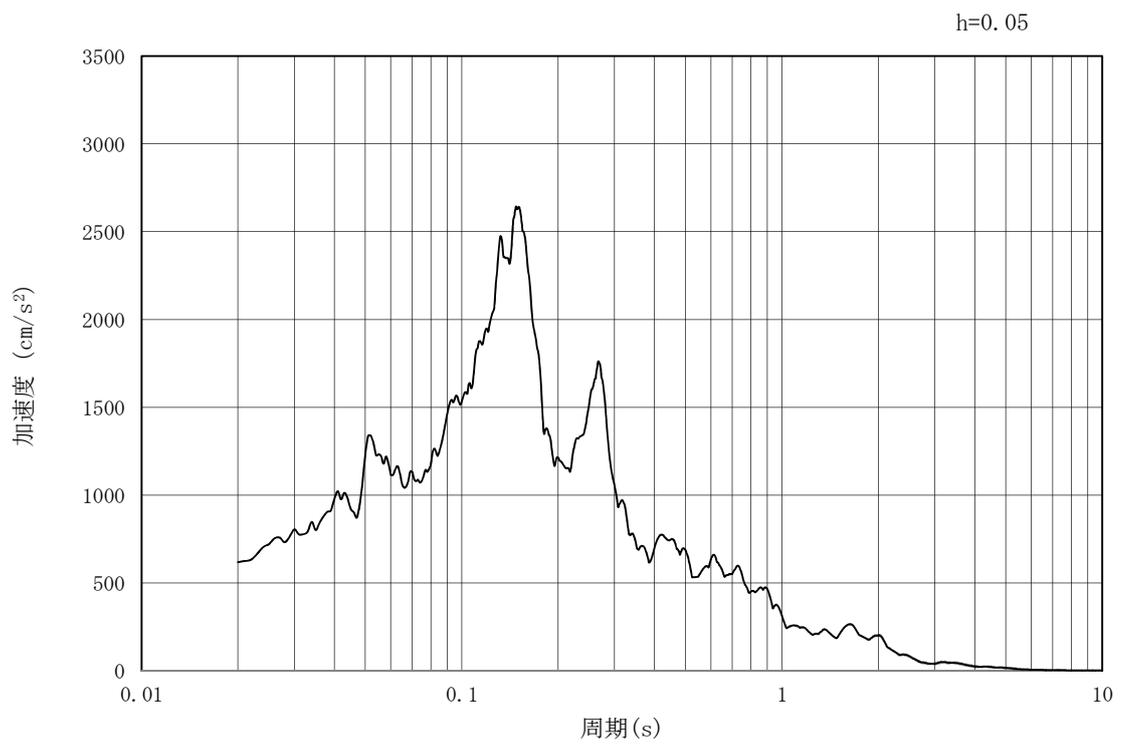


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (13) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 2.2$)

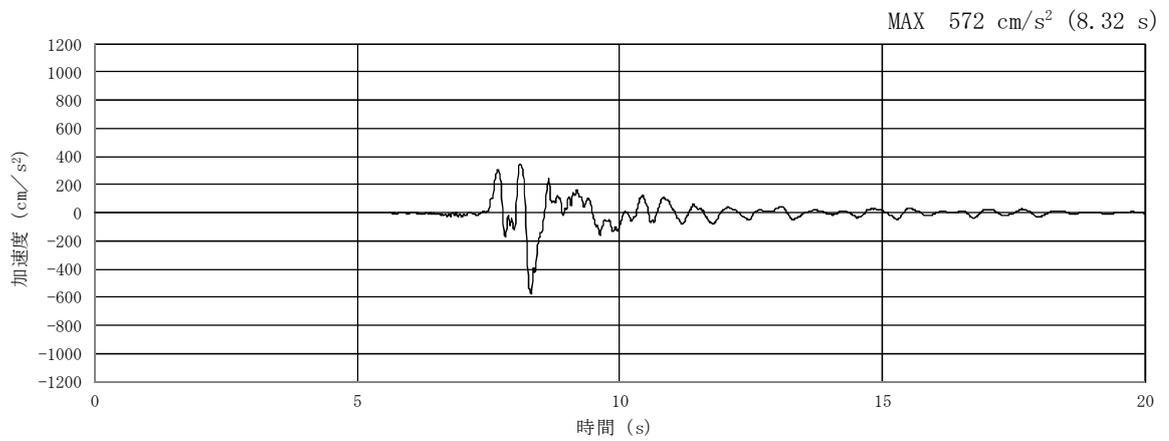


(a) 加速度時刻歴波形

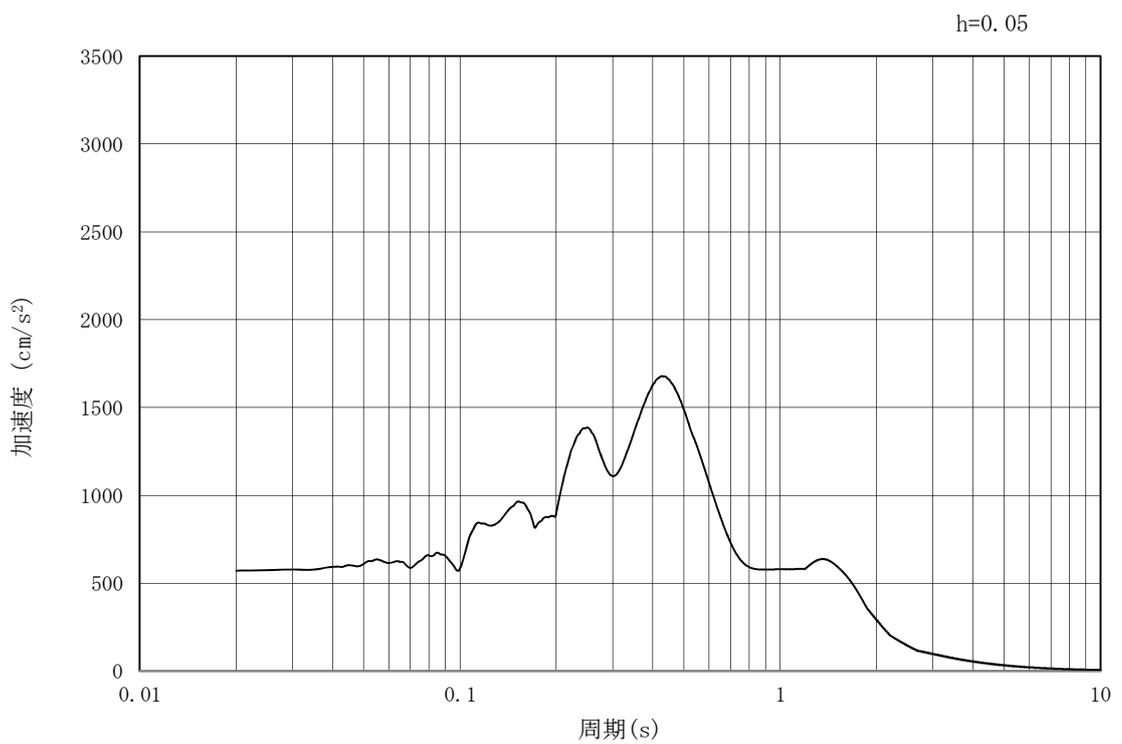


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (14) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 2.2$)

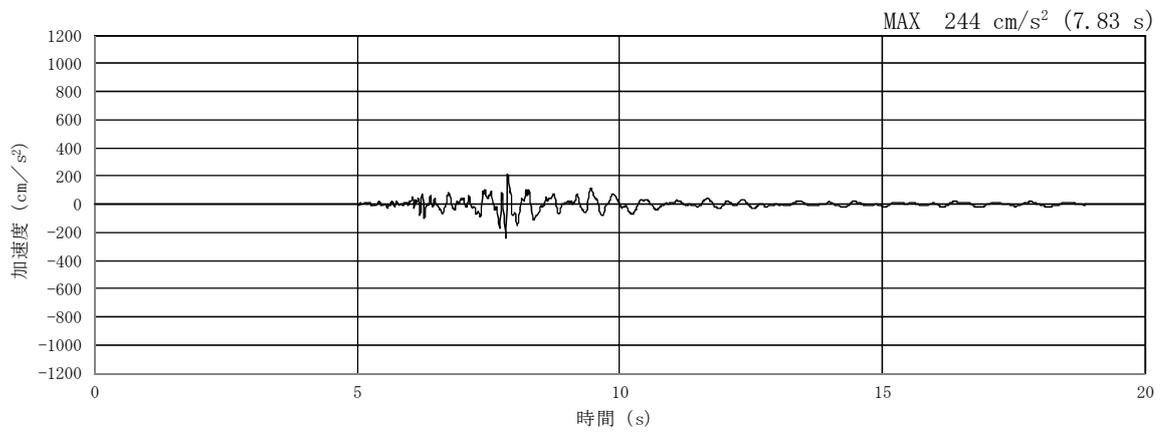


(a) 加速度時刻歴波形

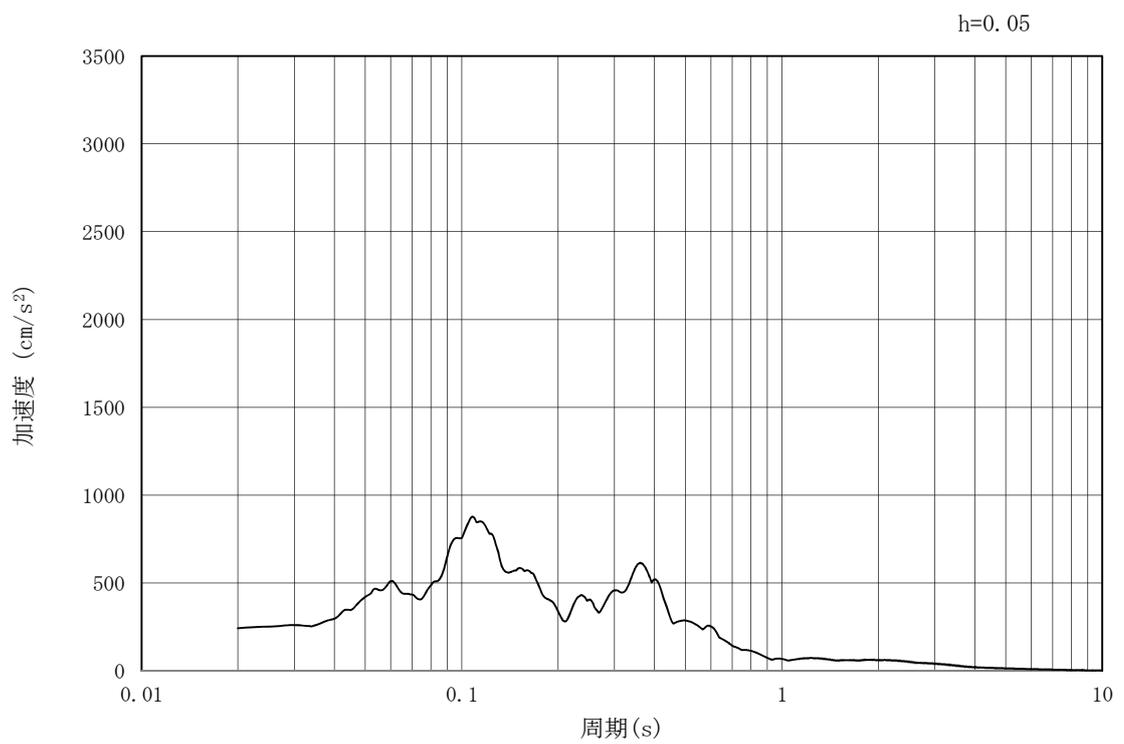


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (15) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 31$)

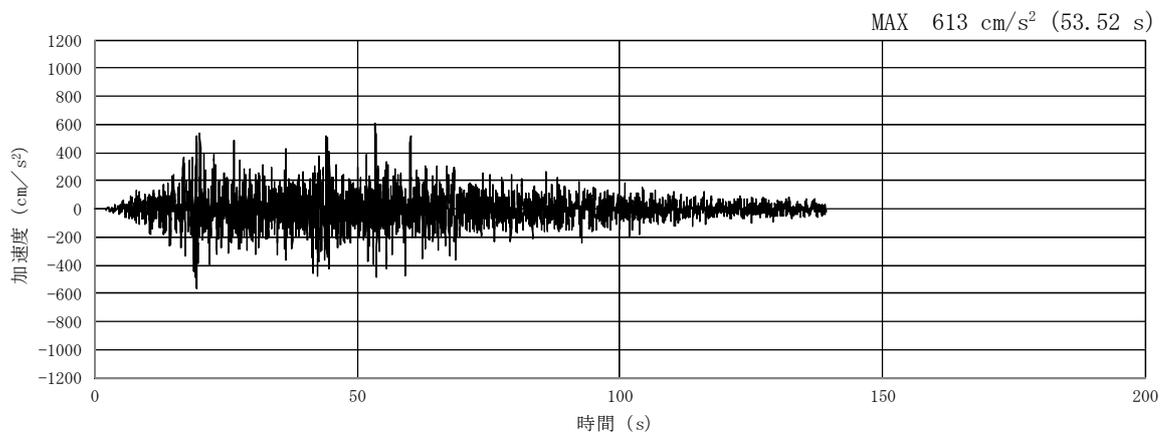


(a) 加速度時刻歴波形

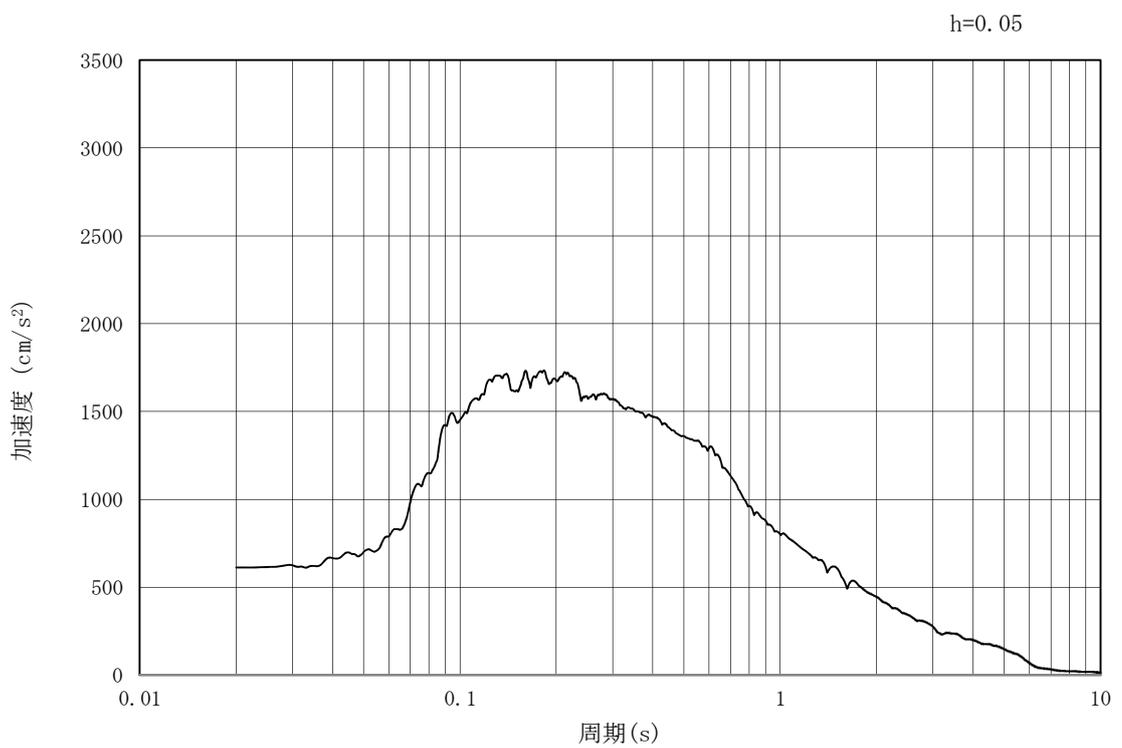


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (16) 管軸方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 31$)

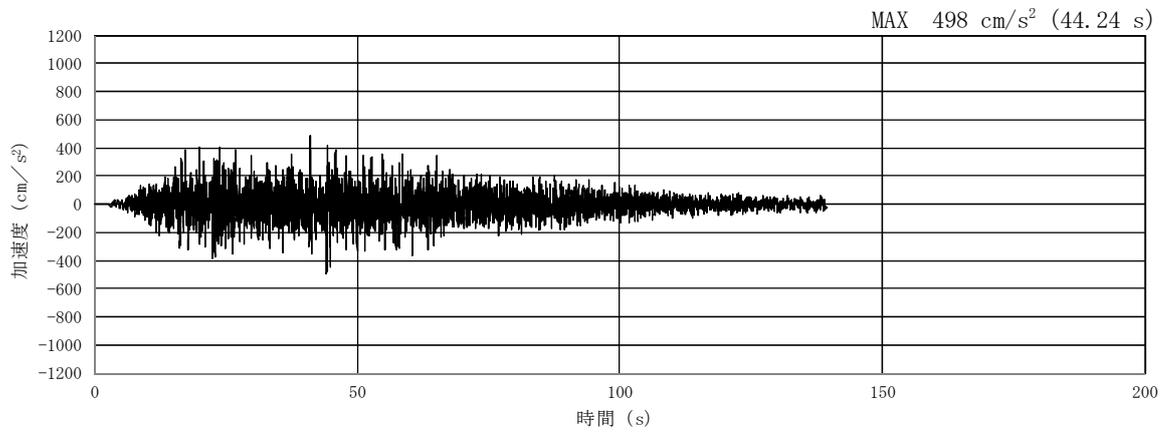


(a) 加速度時刻歴波形

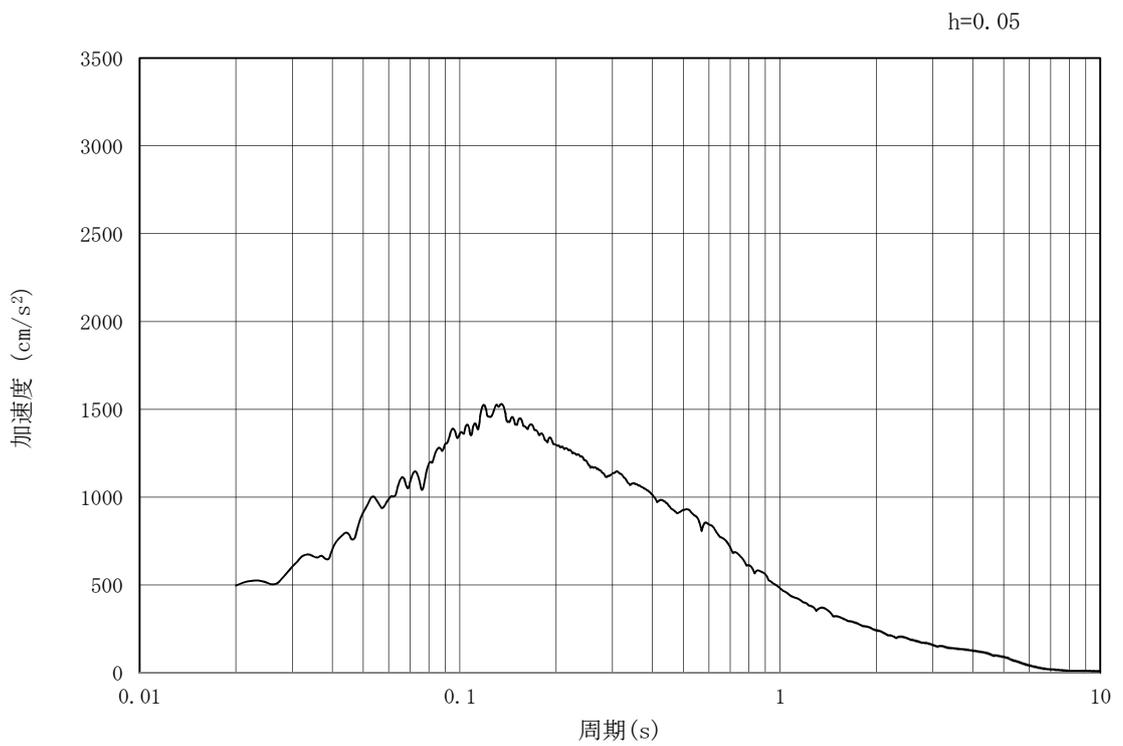


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (1) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-D 1)

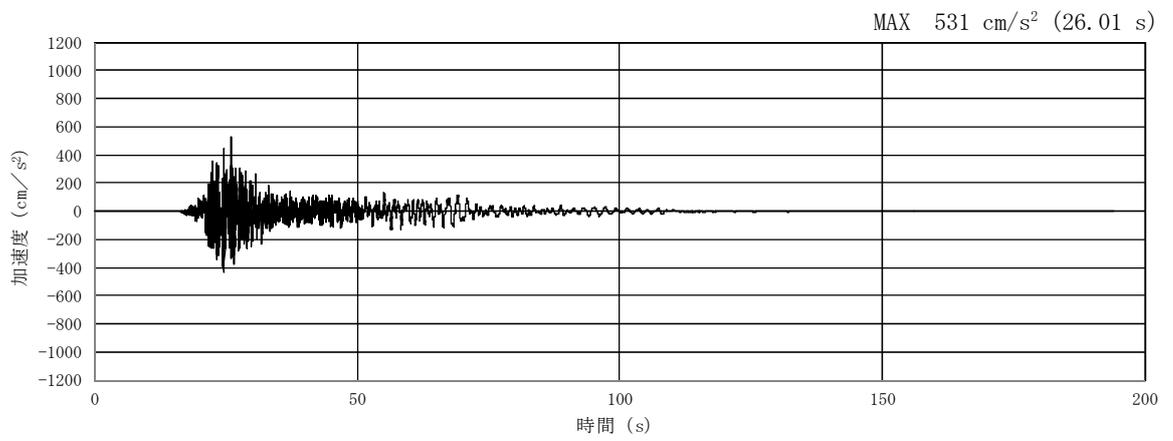


(a) 加速度時刻歴波形

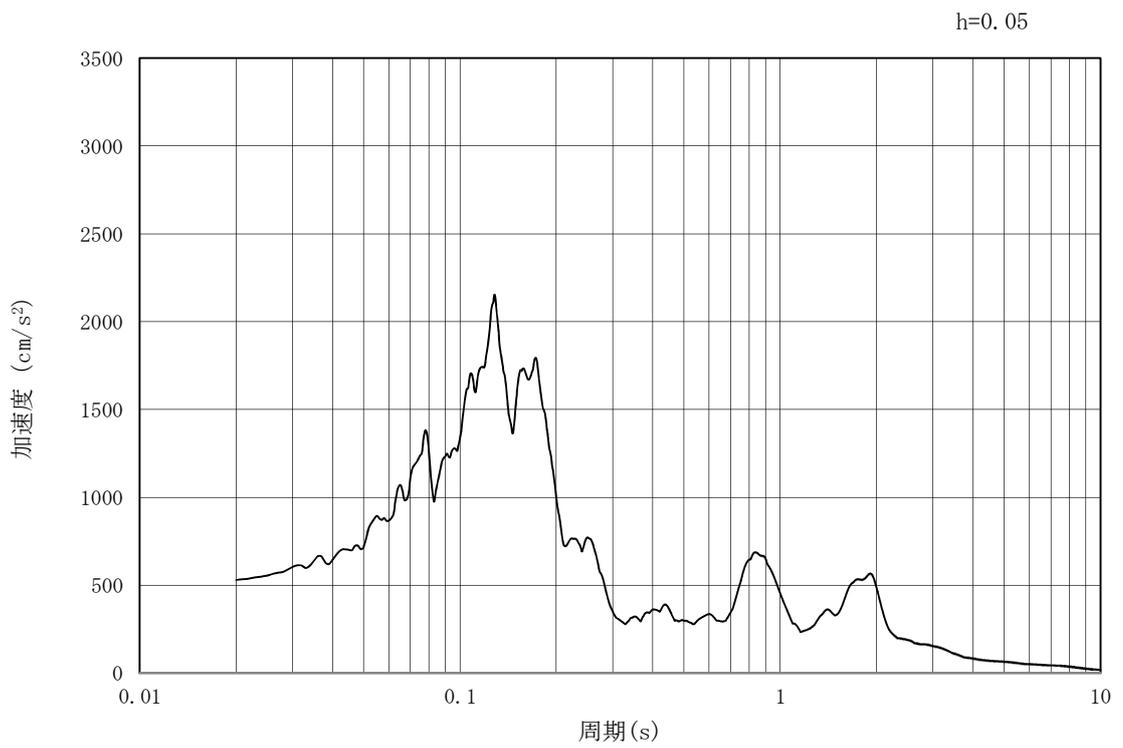


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (2) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S_s-D 1)

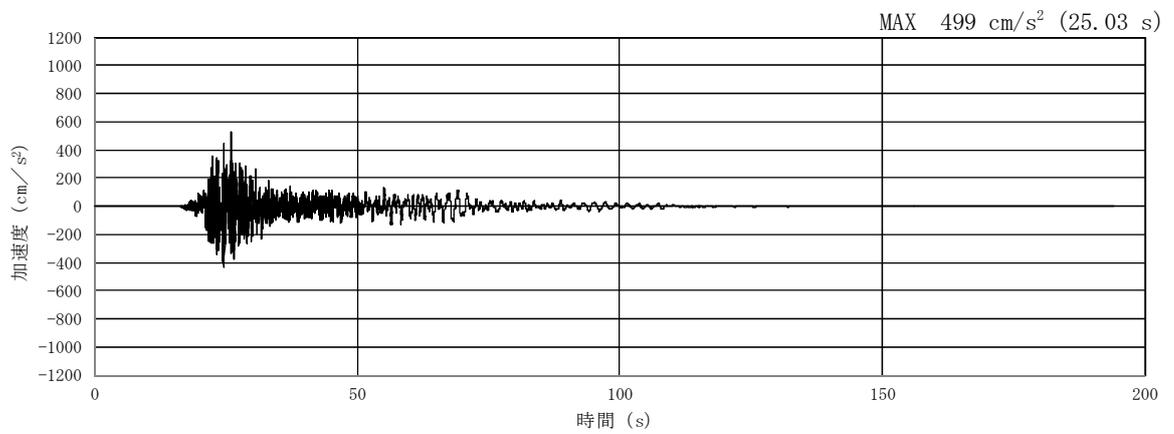


(a) 加速度時刻歴波形

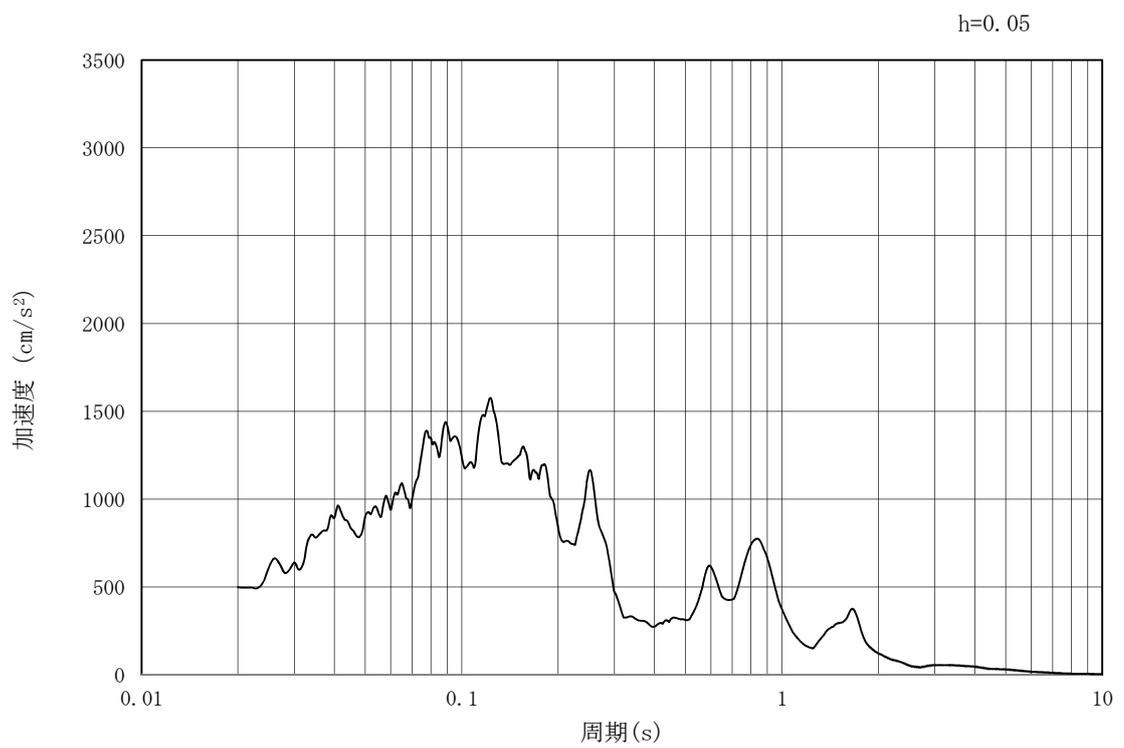


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (3) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.1$)

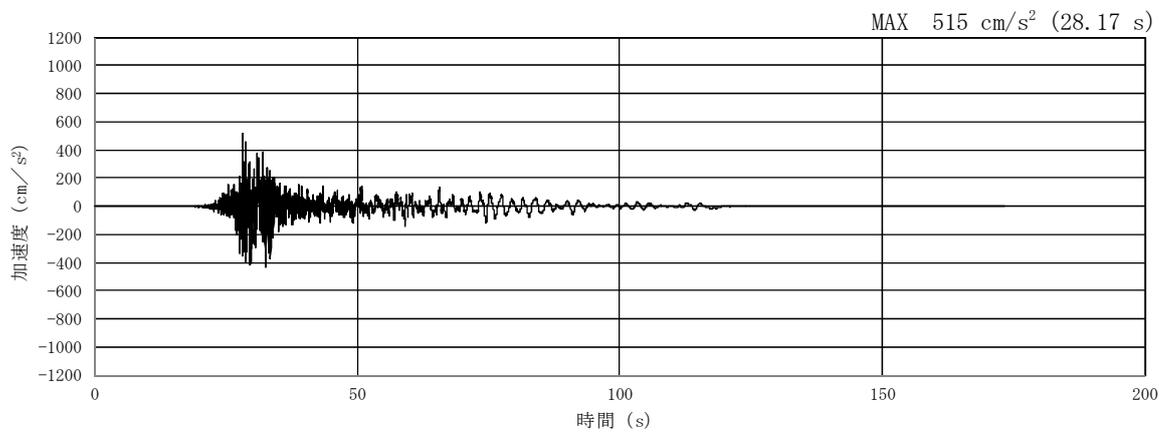


(a) 加速度時刻歴波形

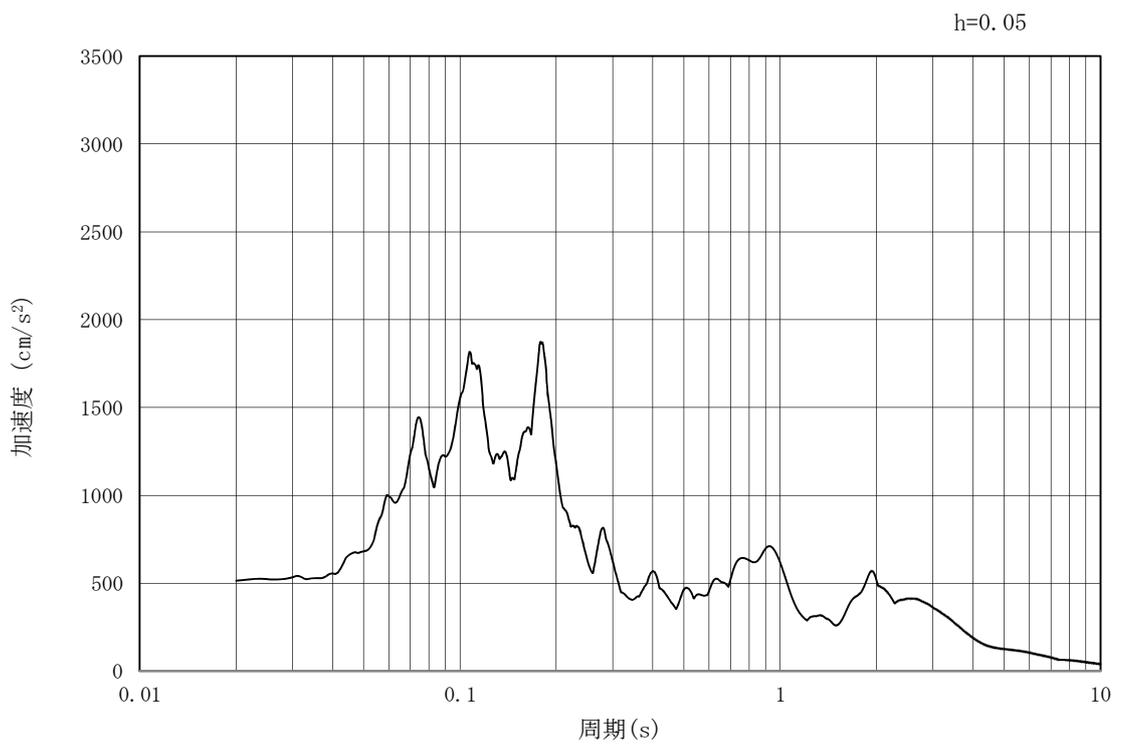


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (4) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.1$)

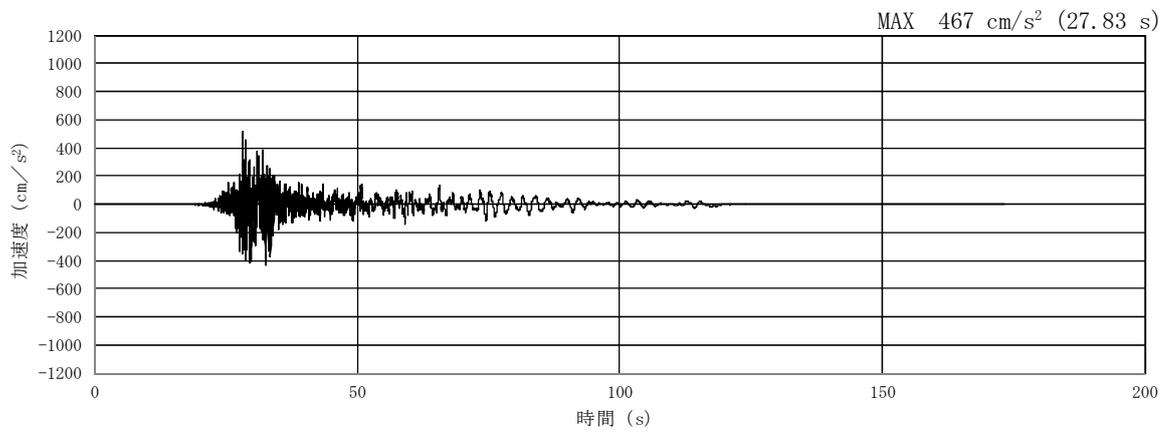


(a) 加速度時刻歴波形

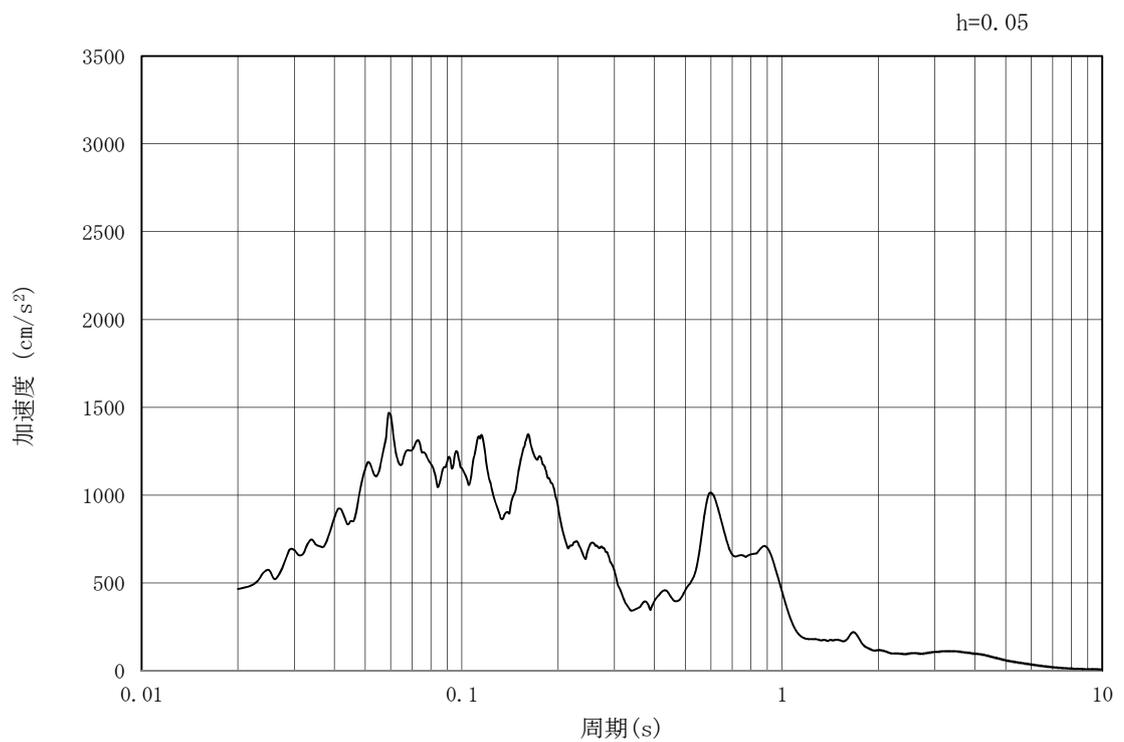


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (5) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.2$)

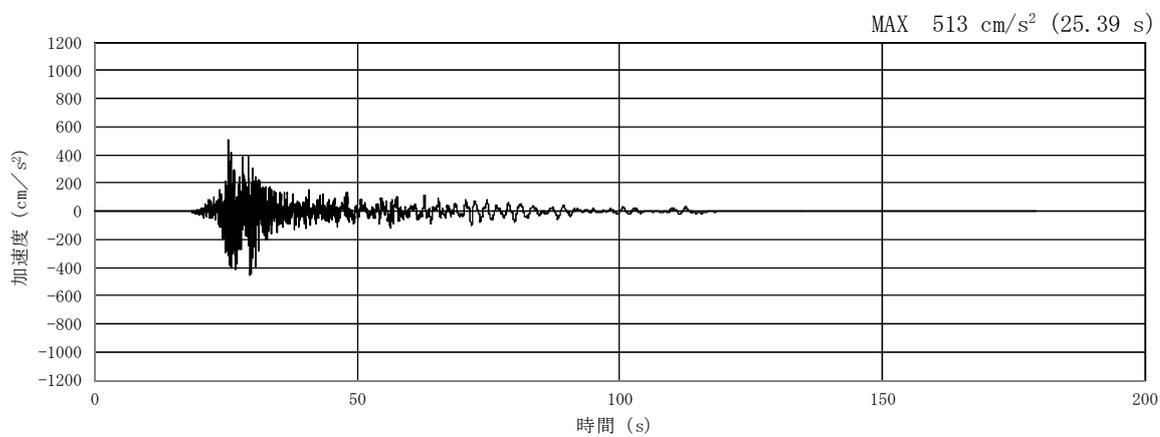


(a) 加速度時刻歴波形

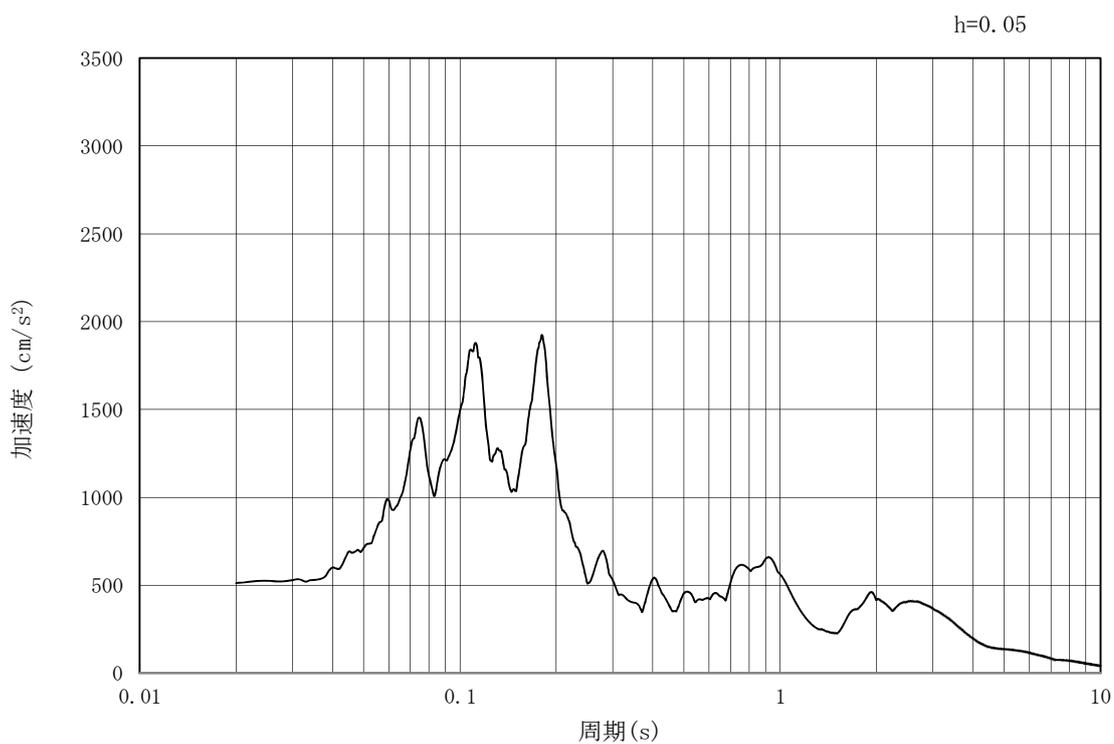


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (6) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.2$)

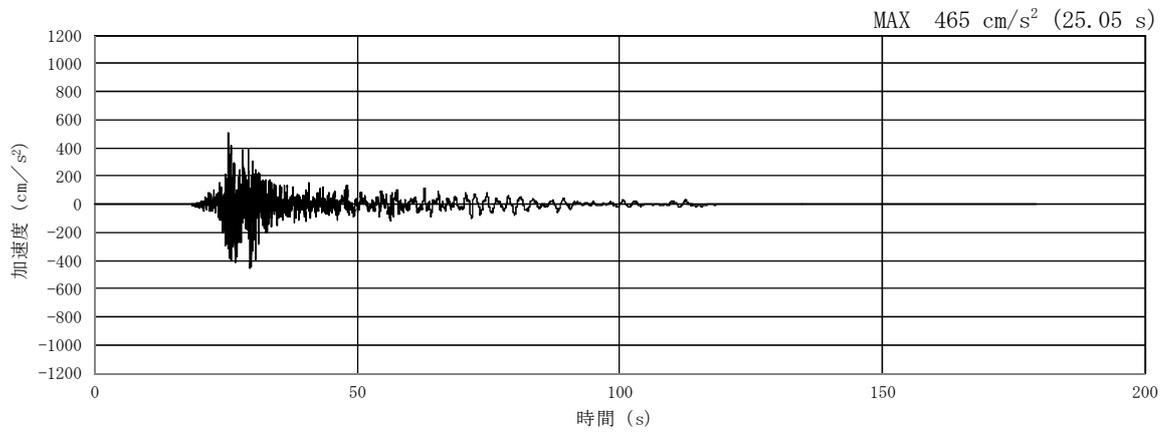


(a) 加速度時刻歴波形

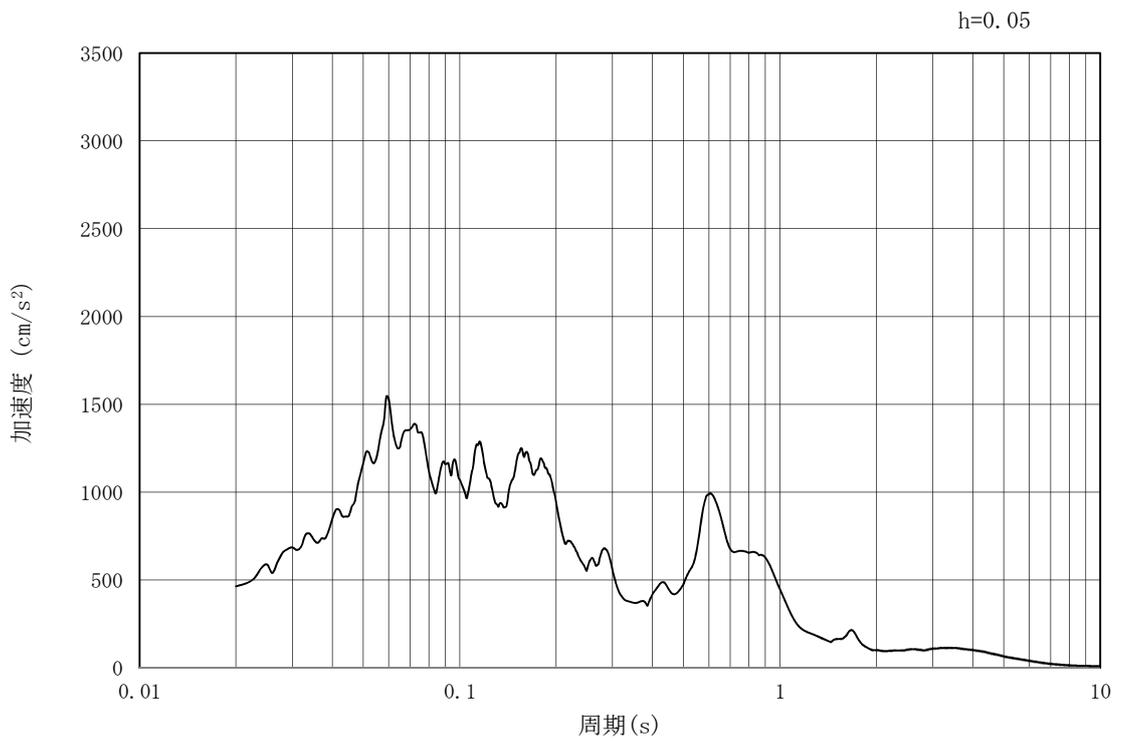


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (7) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.3$)

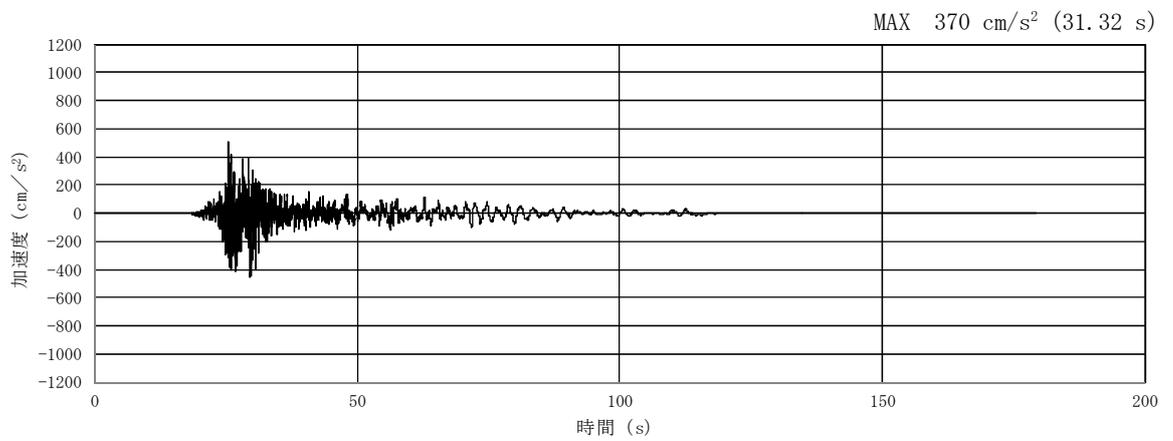


(a) 加速度時刻歴波形

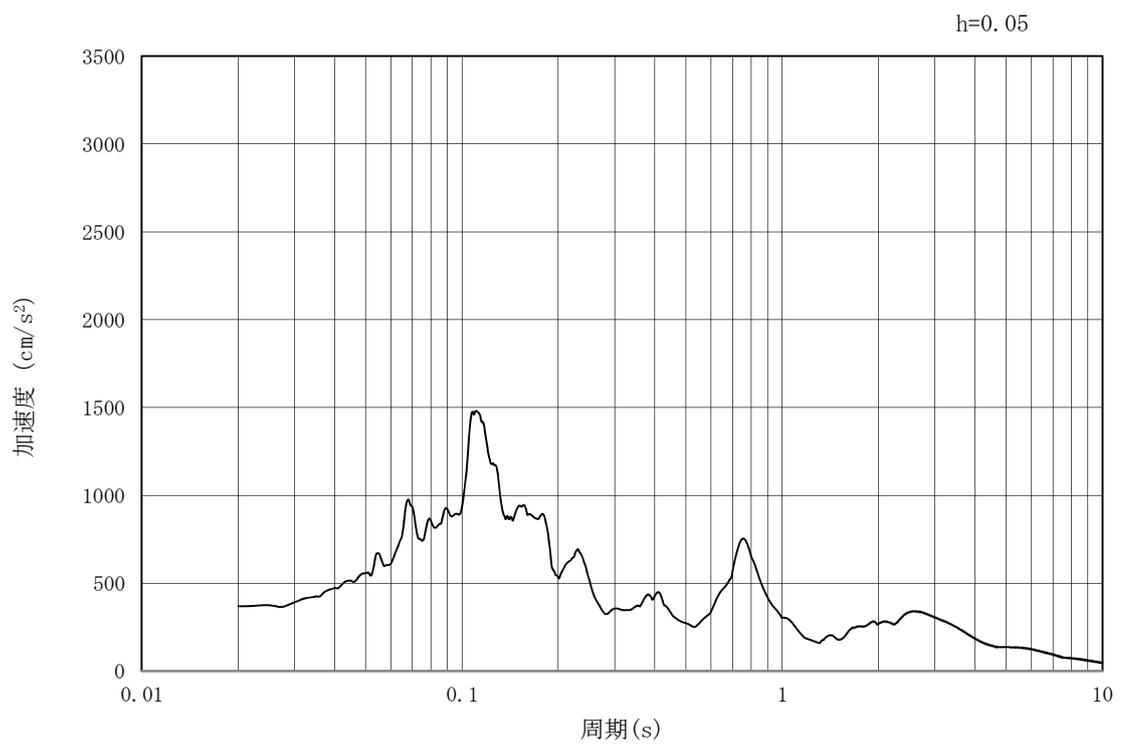


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (8) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.3$)

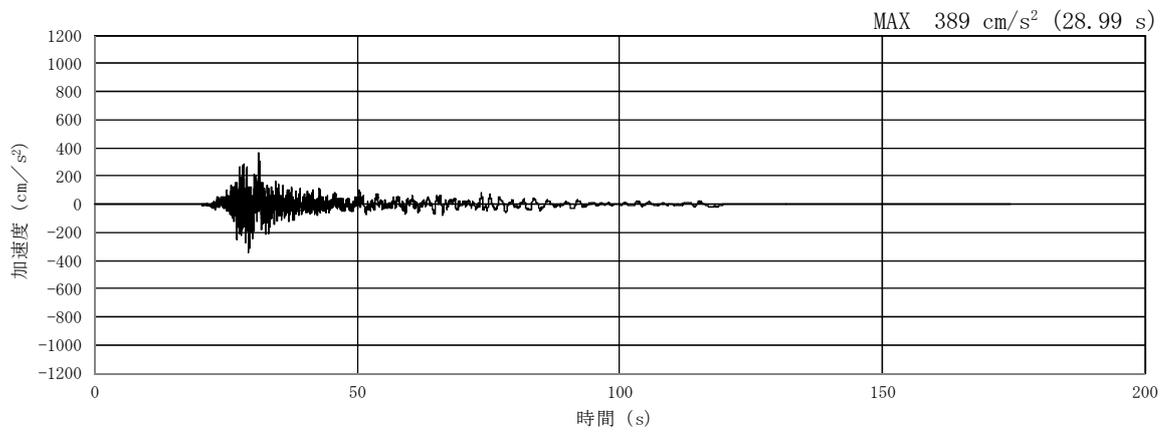


(a) 加速度時刻歴波形

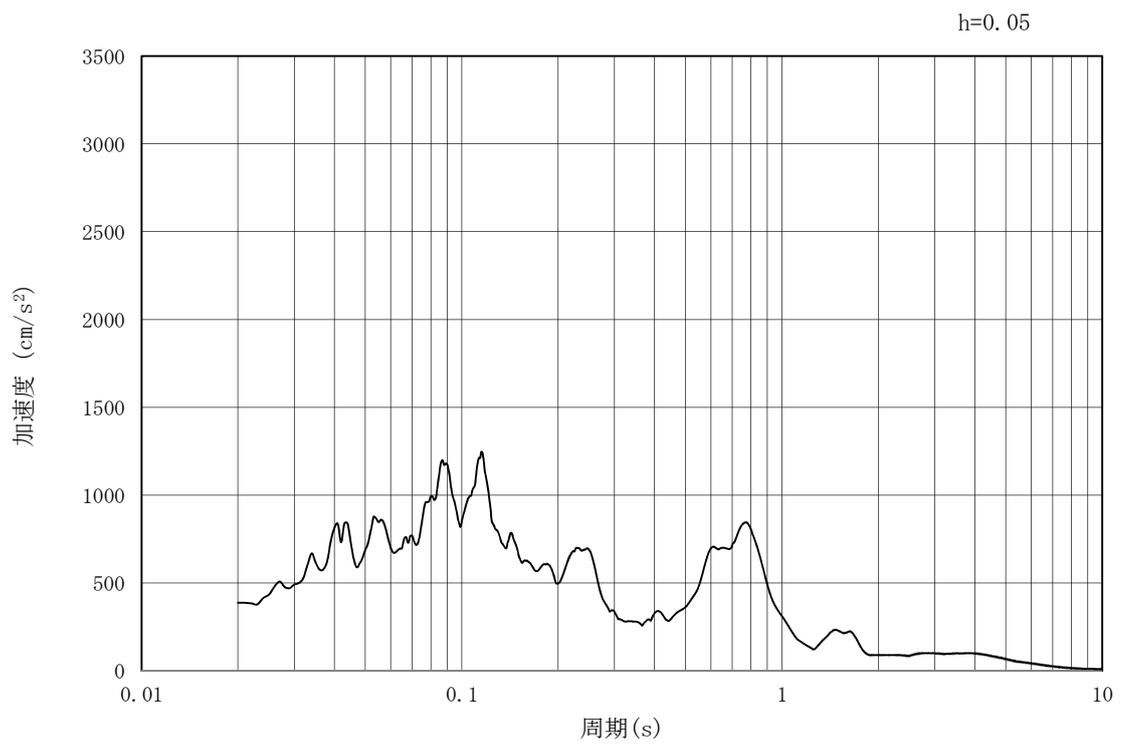


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (9) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.4$)

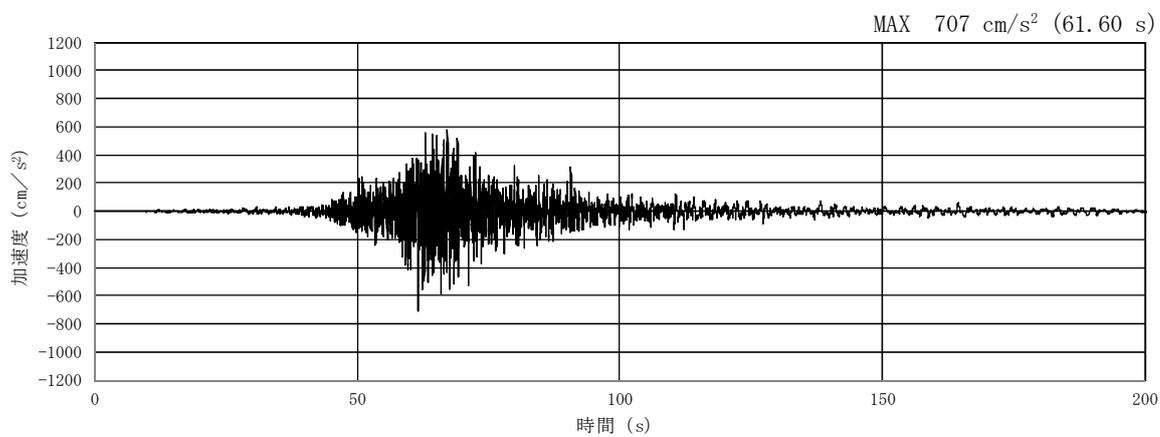


(a) 加速度時刻歴波形

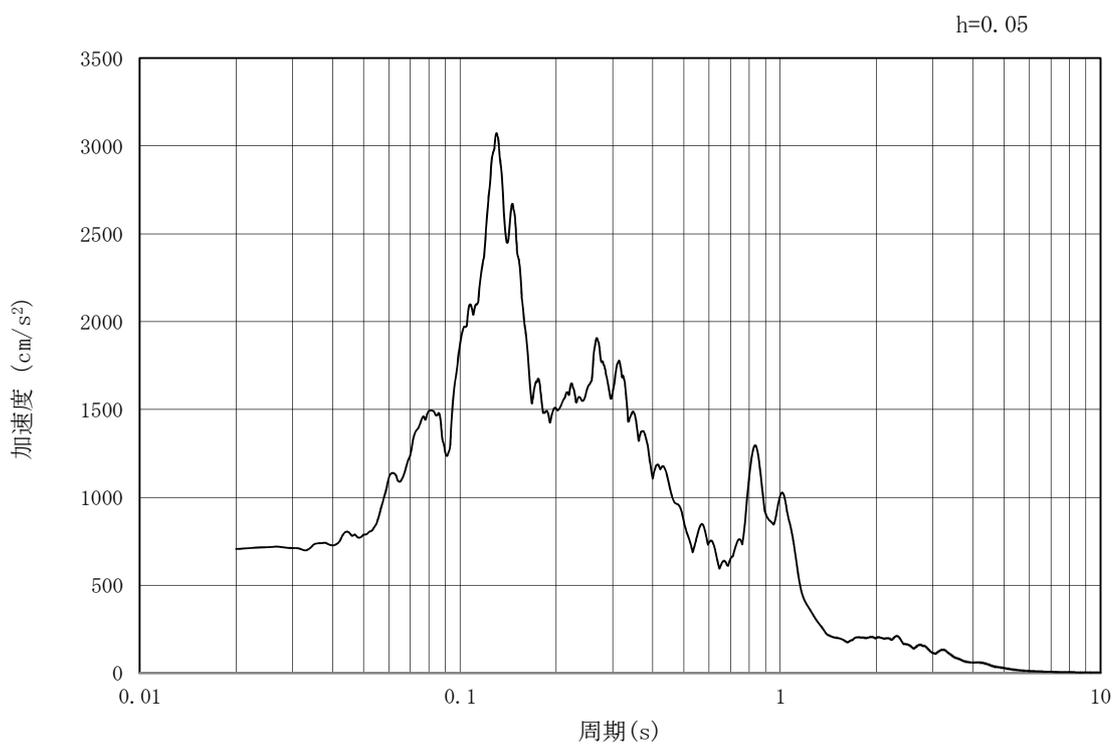


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (10) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.4$)

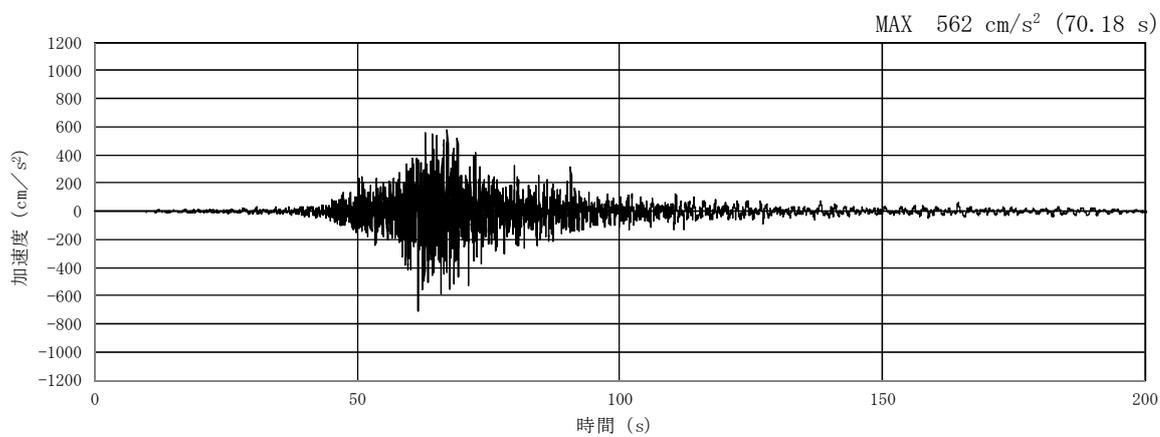


(a) 加速度時刻歴波形

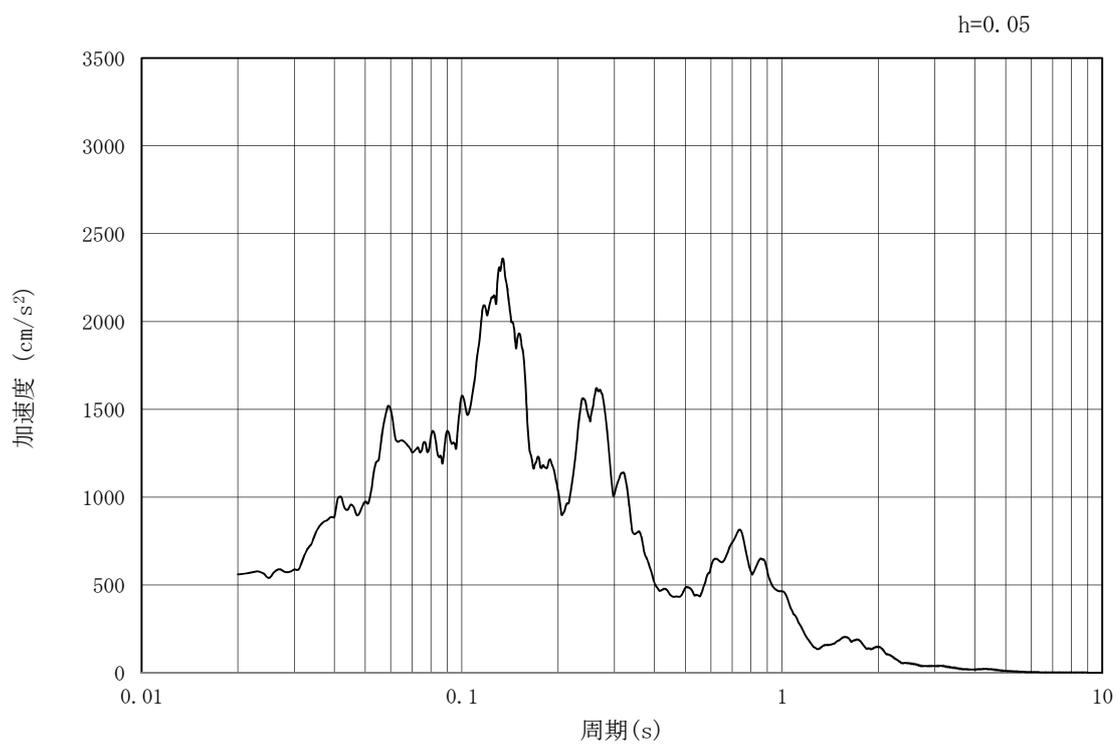


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (11) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 2.1$)

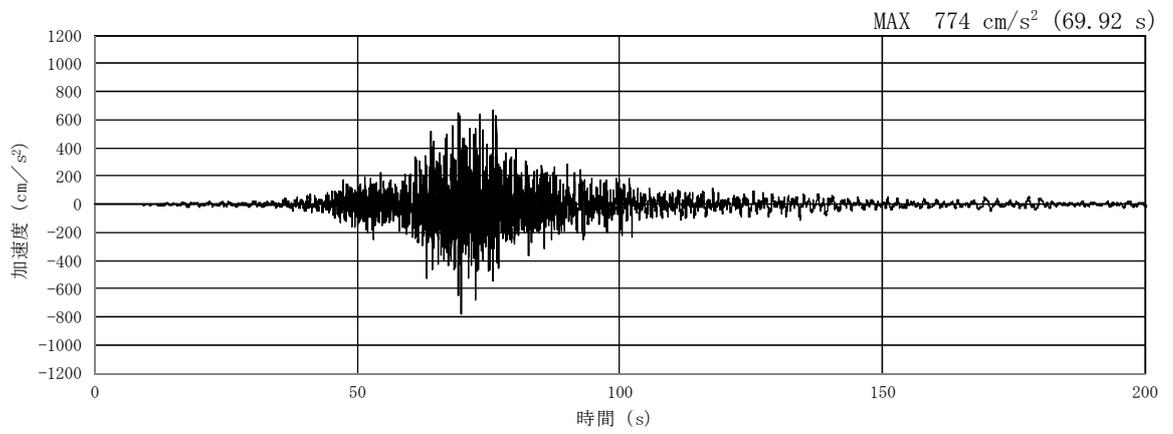


(a) 加速度時刻歴波形

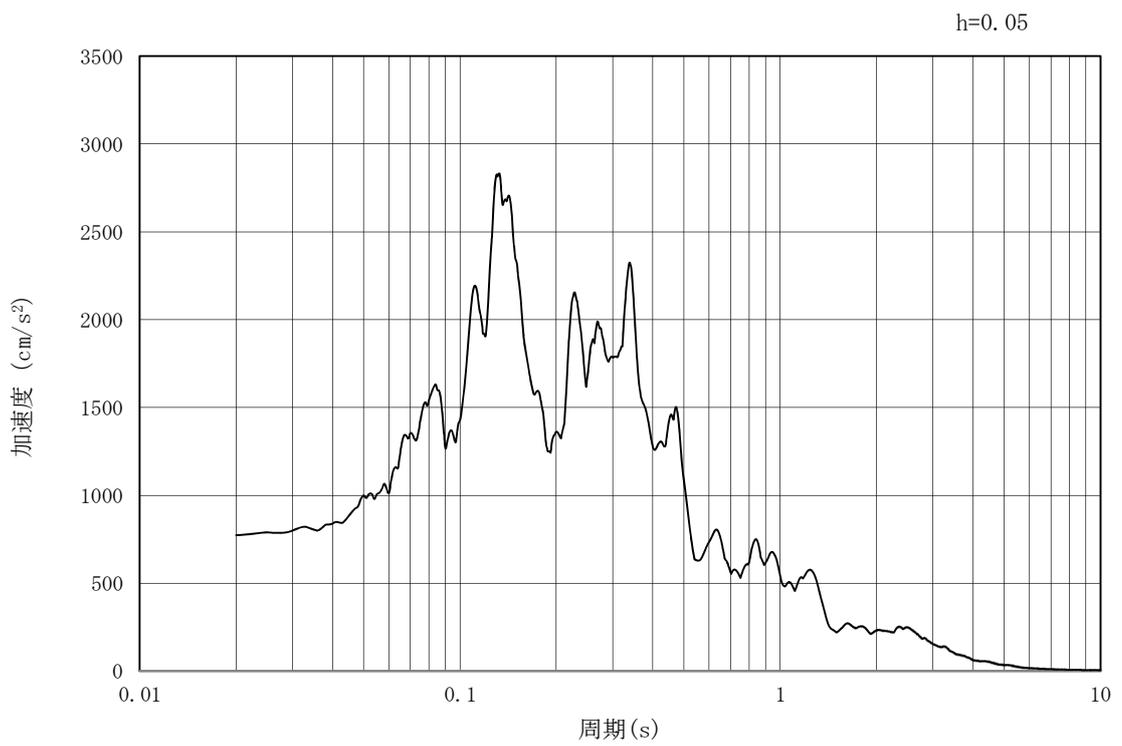


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (12) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 2.1$)

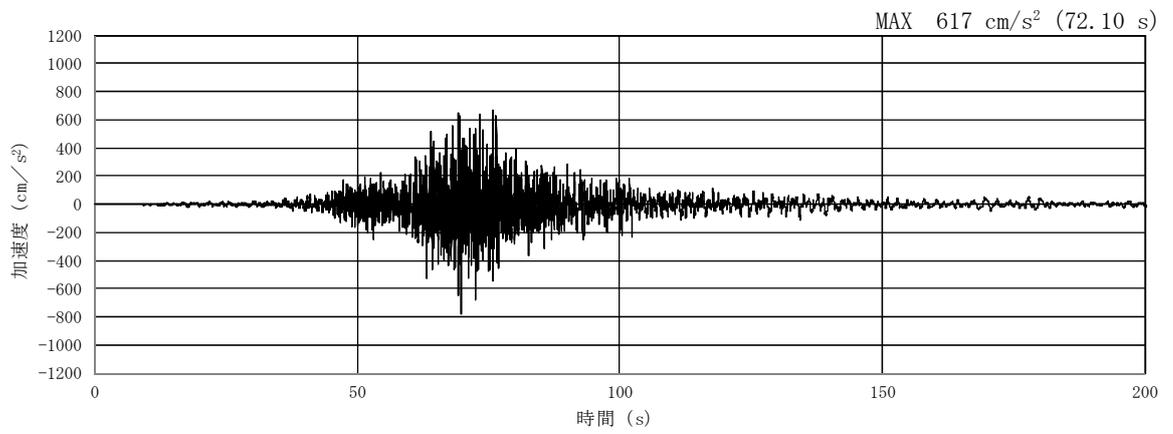


(a) 加速度時刻歴波形

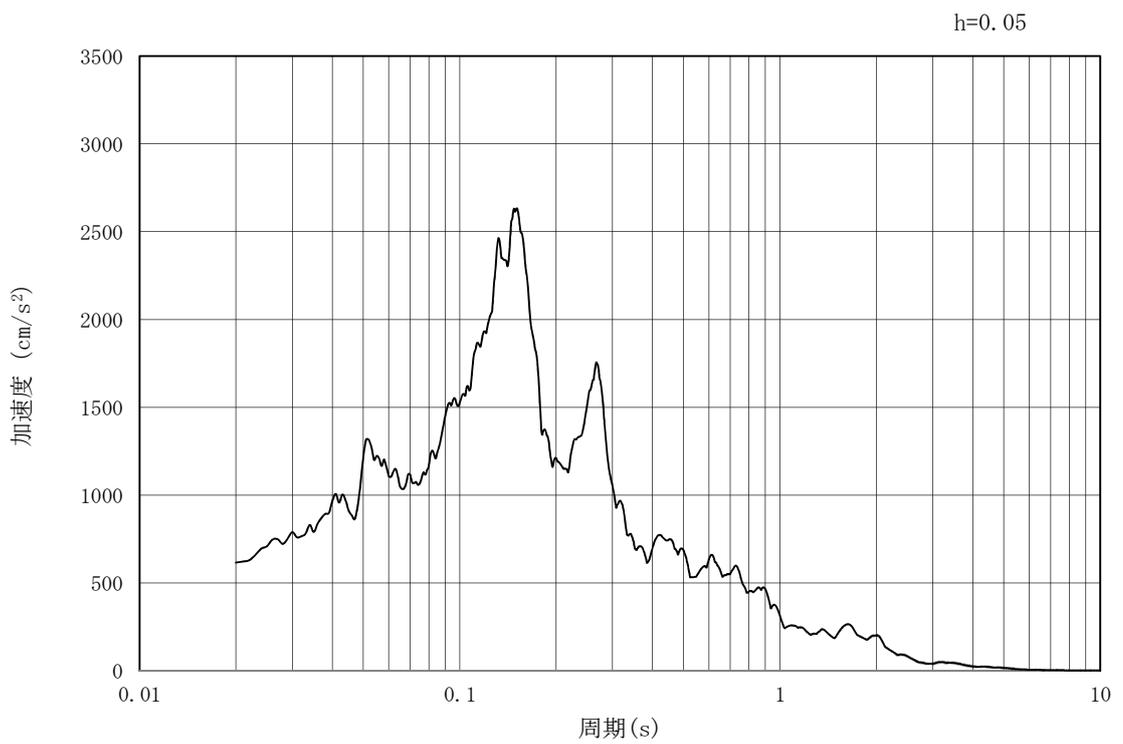


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (13) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 2.2$)

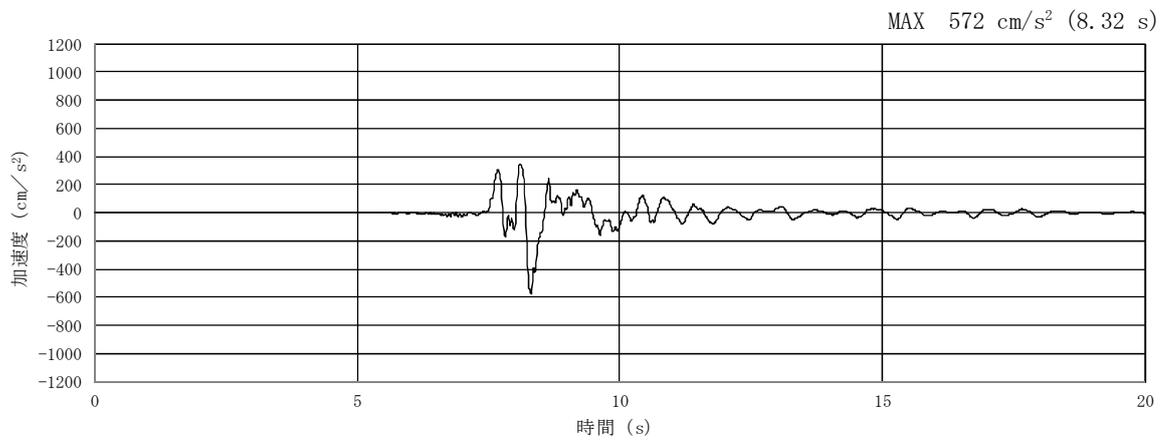


(a) 加速度時刻歴波形

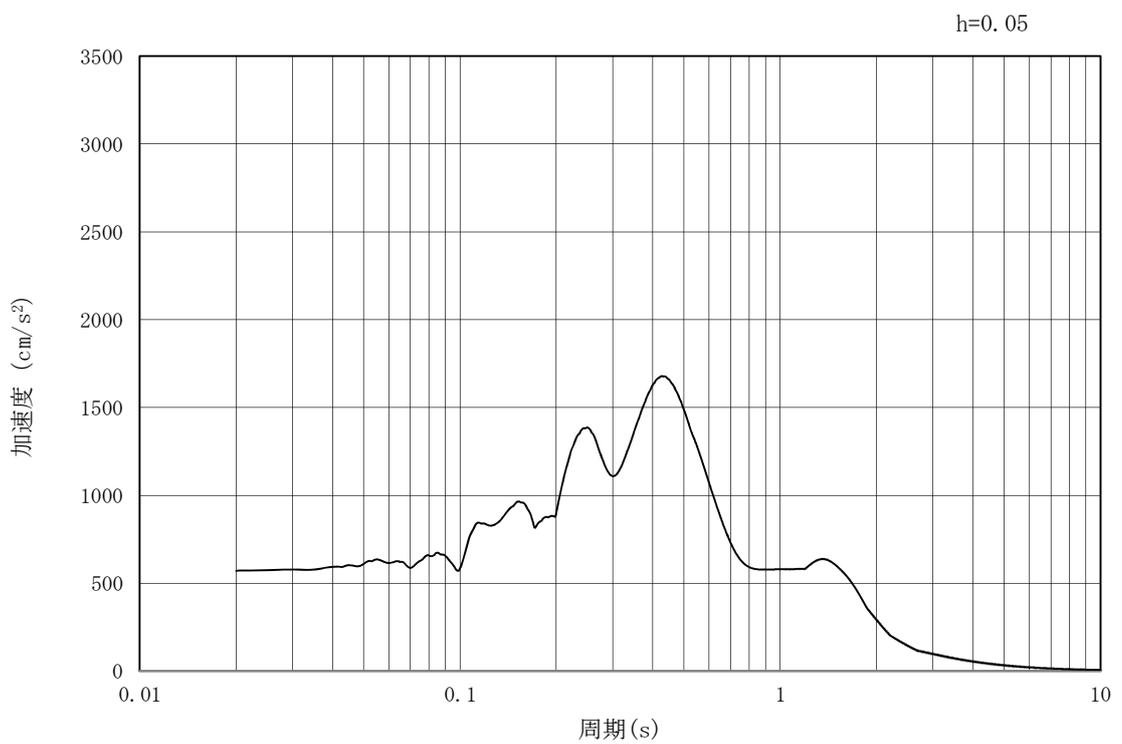


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (14) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 2.2$)

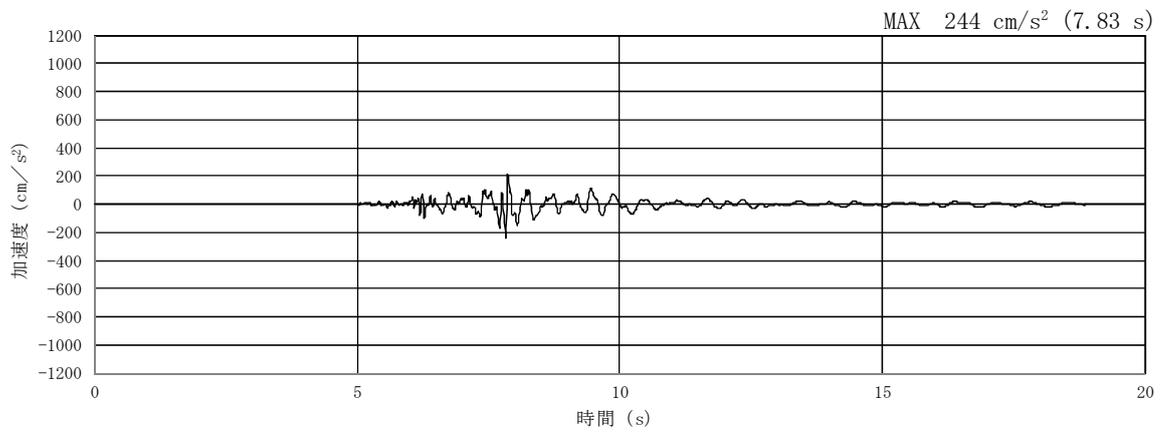


(a) 加速度時刻歴波形

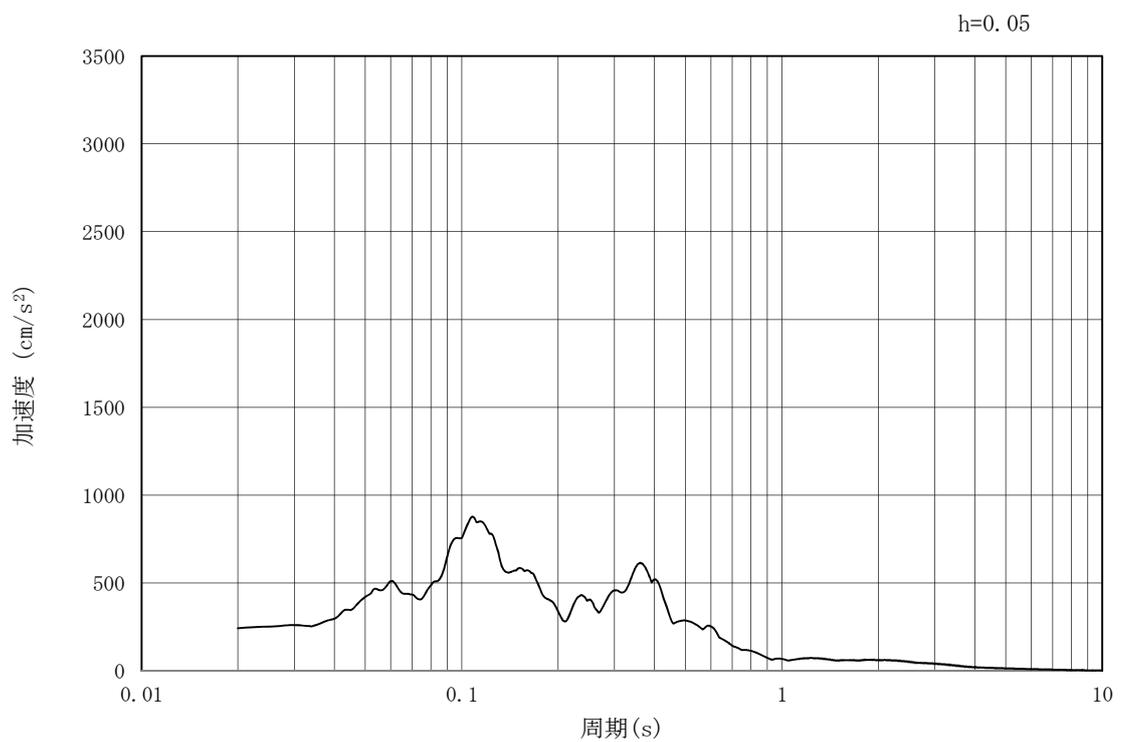


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (15) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 31$)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-3 (16) 管軸直角方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 3.1$)

3.3.2 許容限界の設定

(1) 構造部材に対する許容限界

a. 杭基礎の鋼製桁及び鋼管杭

屋外二重管基礎の構造部材となる杭基礎の鋼製桁及び鋼管杭は、許容応力度法による照査を基本とする。許容応力度については、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）に基づき，表 3.3-1 のとおり設定する。なお，表 3.3-1 に示す許容応力度は短期許容応力度とし，短期許容応力度は耐震設計上考慮する荷重が地震荷重であることを考慮し，鋼材の許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 3.3-1 許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (N/mm ²)
鋼製桁	SM570*	許容引張応力度，許容圧縮応力度 σ_{ca}	382.5
		許容せん断応力度 τ_a	217.5
鋼管杭	SM570*	許容引張応力度，許容圧縮応力度 σ_{ca}	382.5
		許容せん断応力度 τ_a	217.5

注記 *：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説
（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）

b. 地盤改良体

地盤改良体の健全性に係る許容限界は，原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）に基づき，表 3.3-2 のとおり，すべり安全率 1.2 とする。

表 3.3-2 地盤改良体の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2

(2) 基礎地盤の支持力に対する許容限界

基礎地盤の支持性能については、構造物の接地圧が基礎地盤の極限支持力以下であることを確認する。屋外二重管の基礎地盤に作用する接地圧に対する許容限界は、以下のよう
に算定する。

a. 杭基礎部

基礎地盤に作用する接地圧に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、極限支持力を設定する。なお、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。ただし、杭を根入れした岩盤及び岩着している地盤改良体とその上方の非液状化層が連続している場合は、杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合がある。

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

ここで、

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

q_u : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

注記 * : q_u は Km 層の非排水せん断強度 $\times 2$

A : 杭先端面積 (m²)

U : 杭の周長 (m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

b. 地盤改良部

地盤改良部における接地圧に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。

$$q_d = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q$$

ここで、

q_d : 基礎底面地盤の極限支持力度 (kN/m²)

c : 基礎底面より下にある地盤の粘着力 (kN/m²)

注記 * : c は、 K_m 層の非排水せん断強度

γ_1 : 基礎底面より下にある地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする

γ_2 : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする

α, β : 表 3.3-3 に示す基礎底面の形状係数

D : 基礎幅 (m)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)

N_c, N_q, N_γ : 図 3.3-4 に示す支持力係数

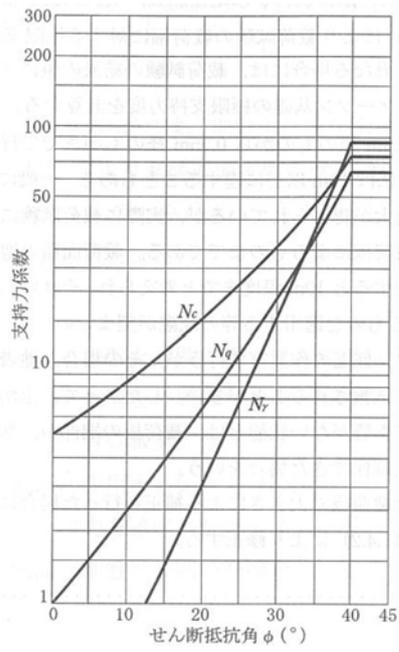
表 3.3-3 基礎底面の形状係数

形状係数 \ 基礎底面の形状	帯状	正方形, 円形	長方形, 小判形
α	1.0	1.3	$1 + 0.3 \frac{B}{D}$
β	1.0	0.6	$1 - 0.4 \frac{B}{D}$

D : ケーソン前面幅 (m), B : ケーソン側面幅 (m)

ただし、 $B/D > 1$ の場合、 $B/D = 1$ とする。

「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社)日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」より



「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（(社)日本道路協会，平成 24 年 3 月）」より

図 3.3-4 支持力係数を求めるグラフ

3.4 評価結果

3.4.1 地震応答解析結果

屋外二重管基礎のうち杭基礎部の基準地震動 S_s による断面力(曲げモーメント, 軸力, せん断力)を図3.4-1~図3.4-3に示す。本図は, 鋼管杭及び鋼製桁の曲げ応力及びせん断応力が最大となる時刻の断面力を示したものである。

また, 最大せん断ひずみ分布図を図3.4-4~図3.4-7に示し, 過剰間隙水圧比の分布図を図3.4-8~図3.4-11に示す。これらの図は, 各要素に発生したせん断ひずみ及び過剰間隙水圧比の全時刻における最大値の分布を示したものである。

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (1) A断面の地震時断面力 (S_s-D1 [H+, V+])

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (2) A断面の地震時断面力 (S_s-D1 [H+, V-])

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (3) A断面の地震時断面力 (S_s-D1 [H-, V+])

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (4) A断面の地震時断面力 (S_s-D1 [H-, V-])

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (5) A断面の地震時断面力 ($S_s - 1.1$)

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (6) A断面の地震時断面力 ($S_s - 1.2$)

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (7) A断面の地震時断面力 (S_s-13)

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (8) A断面の地震時断面力 ($S_s - 1.4$)

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (9) A断面の地震時断面力 ($S_s - 21$)

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (10) A断面の地震時断面力 (S_s-22)

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (11) A断面の地震時断面力 ($S_s - 3.1$ [H+, V+])

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 (t=●●.●●s)

(b) せん断応力最大時刻 (t=●●.●●s)

図 3.4-1 (12) A断面の地震時断面力 ($S_s - 3.1$ [H-, V+])

図 3.4-2 (1) B断面の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 3.4-2 (2) B断面の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 3.4-2 (3) B断面の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 3.4-2 (4) B断面の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 3.4-2 (5) B断面の地震時断面力 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-2 (6) B断面の地震時断面力 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-2 (7) B断面の地震時断面力 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-2 (8) B断面の地震時断面力 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-2 (9) B断面の地震時断面力 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-2 (10) B断面の地震時断面力 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-2 (11) B断面の地震時断面力 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 3.4-2 (12) B断面の地震時断面力 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 3.4-3 (1) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 3.4-3 (2) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 3.4-3 (3) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 3.4-3 (4) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 3.4-3 (5) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-3 (6) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-3 (7) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-3 (8) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-3 (9) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-3 (10) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-3 (11) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 3.4-3 (12) C断面 (杭基礎部) の地震時断面力 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 3.4-4 (1) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 3.4-4 (2) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 3.4-4 (3) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 3.4-4 (4) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 3.4-4 (5) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-4 (6) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-4 (7) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-4 (8) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-4 (9) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-4 (10) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-4 (11) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 3.4-4 (12) A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 3.4-5 (1) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 3.4-5 (2) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 3.4-5 (3) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 3.4-5 (4) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 3.4-5 (5) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-5 (6) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-5 (7) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-5 (8) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-5 (9) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-5 (10) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-5 (11) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 3.4-5 (12) B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 3.4-6 (1) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 3.4-6 (2) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 3.4-6 (3) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 3.4-6 (4) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 3.4-6 (5) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-6 (6) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-6 (7) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-6 (8) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-6 (9) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-6 (10) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-6 (11) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 3.4-6 (12) C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

- 図 3.4-7 (1) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)
- 図 3.4-7 (2) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)
- 図 3.4-7 (3) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)
- 図 3.4-7 (4) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)
- 図 3.4-7 (5) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)
- 図 3.4-7 (6) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 2$)
- 図 3.4-7 (7) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 3$)
- 図 3.4-7 (8) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 4$)
- 図 3.4-7 (9) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 1$)
- 図 3.4-7 (10) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 2$)
- 図 3.4-7 (11) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)
- 図 3.4-7 (12) C断面 (地盤改良部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 3.4-8 (1) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1$ [H+, V+])

図 3.4-8 (2) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1$ [H+, V-])

図 3.4-8 (3) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1$ [H-, V+])

図 3.4-8 (4) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1$ [H-, V-])

図 3.4-8 (5) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-8 (6) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-8 (7) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-8 (8) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-8 (9) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-8 (10) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-8 (11) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1$ [H+, V+])

図 3.4-8 (12) A断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1$ [H-, V+])

図 3.4-9 (1) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 3.4-9 (2) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 3.4-9 (3) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 3.4-9 (4) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 3.4-9 (5) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-9 (6) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-9 (7) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-9 (8) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-9 (9) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-9 (10) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-9 (11) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 3.4-9 (12) B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 3.4-10 (1) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 3.4-10 (2) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 3.4-10 (3) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 3.4-10 (4) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 3.4-10 (5) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-10 (6) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-10 (7) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-10 (8) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-10 (9) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-10 (10) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-10 (11) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 3.4-10 (12) C断面 (杭基礎部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 3.4-11 (1) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 3.4-11 (2) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 3.4-11 (3) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 3.4-11 (4) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 3.4-11 (5) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-11 (6) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-11 (7) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-11 (8) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-11 (9) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-11 (10) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 2$)

図 3.4-11 (11) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 3.4-11 (12) C断面 (地盤改良部) の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

3.4.2 耐震評価結果 (追而)

(1) 鋼管杭及び鋼製桁の評価結果

a. 曲げに対する照査

断面計算に用いた断面諸元を表3.4-1に, 曲げに対する照査結果を表3.4-2に示す。
鋼管杭及び鋼製桁に対して許容応力度法による照査を行った結果, 曲げ応力が短期許容
応力度以下であることを確認した。なお, 発生応力度は各地震動において最大となる値
を示している。

表 3.4-1 鋼管杭及び鋼製桁 (SM570) の断面諸元

構造物	板厚 (mm)	断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
鋼管杭				
鋼製桁				

表 3.4-2 (1) 曲げに対する安全率 (A断面)

地盤	地震動	検討対象	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生曲げ 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -D 1 ++	鋼管杭					
	S _s -D 1 +-	鋼管杭					
	S _s -D 1 -+	鋼管杭					
	S _s -D 1 --	鋼管杭					
	S _s -1 1	鋼管杭					
	S _s -1 2	鋼管杭					
	S _s -1 3	鋼管杭					
	S _s -1 4	鋼管杭					
	S _s -2 1	鋼管杭					
	S _s -2 2	鋼管杭					
	S _s -3 1 ++	鋼管杭					
	S _s -3 1 -+	鋼管杭					

表 3.4-2 (2) 曲げに対する安全率 (B断面)

地盤	地震動	検討対象	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生曲げ 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -D 1 ++	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -D 1 +-	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -D 1 -+	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -D 1 --	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -1 1	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -1 2	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -1 3	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -1 4	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					

表 3.4-2 (3) 曲げに対する安全率 (B断面)

地盤	地震動	検討対象	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生曲げ 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -2 1	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -2 2	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -3 1 ++	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -3 1 -+	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					

表 3.4-2 (4) 曲げに対する安全率 (C断面・杭基礎部)

地盤	地震動	検討対象	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生曲げ 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -D 1 ++	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -D 1 +-	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -D 1 -+	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -D 1 --	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -1 1	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -1 2	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -1 3	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -1 4	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					

表 3.4-2 (5) 曲げに対する安全率 (C断面・杭基礎部)

地盤	地震動	検討対象	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生曲げ 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -2 1	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -2 2	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -3 1 ++	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					
	S _s -3 1 -+	鋼製桁					
		鋼管杭 (左)					
		鋼管杭 (右)					

b. せん断に対する照査

断面計算に用いた断面諸元は前出の表 3.4-1 に、せん断に対する照査結果を表 3.4-3 に示す。

鋼管杭に対して許容応力度法による照査を行った結果、せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力は各地震動において最大となる値を示している。

表 3.4-3 (1) せん断に対する安全率 (A断面)

地盤	地震動		検討対象	せん断力 (kN)	発生せん断 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -D 1 ++		鋼管杭				
	S _s -D 1 +-		鋼管杭				
	S _s -D 1 -+		鋼管杭				
	S _s -D 1 --		鋼管杭				
	S _s -1 1		鋼管杭				
	S _s -1 2		鋼管杭				
	S _s -1 3		鋼管杭				
	S _s -1 4		鋼管杭				
	S _s -2 1		鋼管杭				
	S _s -2 2		鋼管杭				
	S _s -3 1 ++		鋼管杭				
	S _s -3 1 -+		鋼管杭				

追而

表 3.4-3 (2) せん断に対する安全率 (B断面)

地盤	地震動	検討対象	せん断力 (kN)	発生せん断 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -D 1 ++	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -D 1 +-	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -D 1 -+	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -D 1 --	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -1 1	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -1 2	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -1 3	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -1 4	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				

表 3.4-3 (3) せん断に対する安全率 (B断面)

地盤	地震動	検討対象	せん断力 (kN)	発生せん断 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -2 1	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -2 2	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -3 1 ++	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -3 1 -+	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				

表 3.4-3 (4) せん断に対する安全率 (C断面・杭基礎部)

地盤	地震動	検討対象	せん断力 (kN)	発生せん断 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -D 1 ++	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -D 1 +-	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -D 1 -+	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -D 1 --	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -1 1	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -1 2	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -1 3	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -1 4	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				

表 3.4-3 (5) せん断に対する安全率 (C断面・杭基礎部)

地盤	地震動	検討対象	せん断力 (kN)	発生せん断 応力 (N/mm ²)	安全率	判定
平均 剛性	S _s -2 1	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -2 2	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -3 1 ++	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				
	S _s -3 1 -+	鋼製桁				
		鋼管杭 (左)				
		鋼管杭 (右)				

(2) 地盤改良体の評価結果

屋外二重管を支持する地盤改良体に対するすべり評価結果を表 3.4-4 に示す。地盤改良体に対してすべり安全率による照査を行った結果、最小すべり安全率が必要安全率を確保することを確認した。なお、最小すべり安全率は、想定したすべり線のうち、各地震動において最小となる値を示している。

表 3.4-4 地盤改良体のすべりに対する安全率 (C断面・地盤改良部)

地盤	地震動	すべり安全率	判定
平均剛性	$S_s-D 1++$		
	$S_s-D 1+-$		
	$S_s-D 1-+$		
	$S_s-D 1--$		
	$S_s-1 1$		
	$S_s-1 2$		
	$S_s-1 3$		
	$S_s-1 4$		
	$S_s-2 1$		
	$S_s-2 2$		
	$S_s-3 1++$		
	$S_s-3 1-+$		

(3) 基礎地盤の支持力に対する評価結果

a. 杭基礎部

基礎地盤の支持力に対する照査結果を表 3.4-5 に示す。

基礎地盤の支持力に対する照査を行った結果、接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 3.4-5 (1) 極限支持力に対する安全率 (A断面)

地盤	地震動	接地圧 (kN/m ²)	極限支持力 (kN/m ²)	安全率	判定
平均剛性	S _s -D 1 ++				
	S _s -D 1 +-				
	S _s -D 1 -+				
	S _s -D 1 --				
	S _s -1 1				
	S _s -1 2				
	S _s -1 3				
	S _s -1 4				
	S _s -2 1				
	S _s -2 2				
	S _s -3 1 ++				
	S _s -3 1 -+				

表 3.4-5 (2) 極限支持力に対する安全率 (B断面)

地盤	地震動	接地圧 (kN/m ²)	極限支持力 (kN/m ²)	安全率	判定
平均剛性	S _s -D 1 ++				
	S _s -D 1 +-				
	S _s -D 1 -+				
	S _s -D 1 --				
	S _s -1 1				
	S _s -1 2				
	S _s -1 3				
	S _s -1 4				
	S _s -2 1				
	S _s -2 2				
	S _s -3 1 ++				
	S _s -3 1 -+				

表 3.4-5 (3) 極限支持力に対する安全率 (C断面・杭基礎部)

地盤	地震動	接地圧 (kN/m ²)	極限支持力 (kN/m ²)	安全率	判定
平均剛性	S _s -D 1 ++				
	S _s -D 1 +-				
	S _s -D 1 -+				
	S _s -D 1 --				
	S _s -1 1				
	S _s -1 2				
	S _s -1 3				
	S _s -1 4				
	S _s -2 1				
	S _s -2 2				
	S _s -3 1 ++				
	S _s -3 1 -+				

b. 地盤改良部

基礎地盤の支持力に対する照査結果を表 3.4-6 に示す。

基礎地盤の支持力に対する照査を行った結果、接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 3.4-6 極限支持力に対する安全率 (C断面・地盤改良部)

地盤	地震動	接地圧 (kN/m ²)	極限支持力 (kN/m ²)	安全率	判定
平均剛性	S _s -D 1 ++				
	S _s -D 1 +-				
	S _s -D 1 -+				
	S _s -D 1 --				
	S _s -1 1				
	S _s -1 2				
	S _s -1 3				
	S _s -1 4				
	S _s -2 1				
	S _s -2 2				
	S _s -3 1 ++				
	S _s -3 1 -+				

3.5 まとめ (追而)

10. 常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震安全性評価

目次

10.1	評価方法	2
10.2	評価条件	3
10.2.1	適用基準	3
10.2.2	耐震安全性評価フロー	4
10.2.3	評価対象断面の方向	5
10.2.4	評価対象断面の選定	7
10.2.5	使用材料及び材料定数	11
10.2.6	地下水位	14
10.2.7	地震応答解析手法	14
10.2.8	解析モデルの設定	14
10.2.9	減衰特性	20
10.2.10	荷重の組合せ	22
10.2.11	地震応答解析の検討ケース	24
10.3	評価内容	26
10.3.1	入力地震動の設定	26
10.3.2	許容限界の設定	43
10.4	評価結果	46
10.4.1	地震応答解析結果	46
10.4.2	耐震評価結果	50
10.5	まとめ（追而）	55

10.1 評価方法

常設低圧代替注水系配管カルバートは、常設耐震重大事故防止設備及び常設重大事故緩和施設が設置される重大事故等対処施設に分類され、常設低圧代替注水系における複数の代替淡水源に対応するために設置し、常設低圧代替注水系配管の間接支持機能を有する。常設低圧代替注水系配管カルバートは、原子炉建屋と常設低圧代替注水ポンプ室間をつないでいる。常設低圧代替注水系配管カルバートについて基準地震動 S_0 による耐震安全性評価として、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持力性能評価を実施する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

10.2 評価条件

10.2.1 適用基準

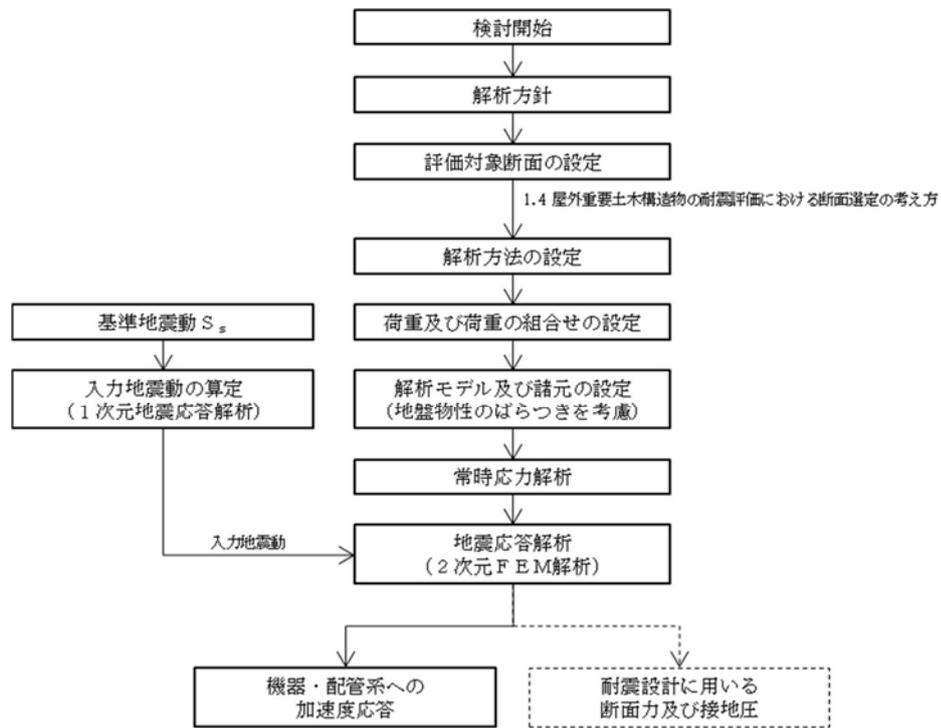
常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震評価にあたっては、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 ((社) 日本電気協会)、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 年) を適用するが、鉄筋コンクリートの曲げ及びせん断の許容限界については、道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月) を適用する。

表 10.2-1 に適用する規格、基準類を示す。

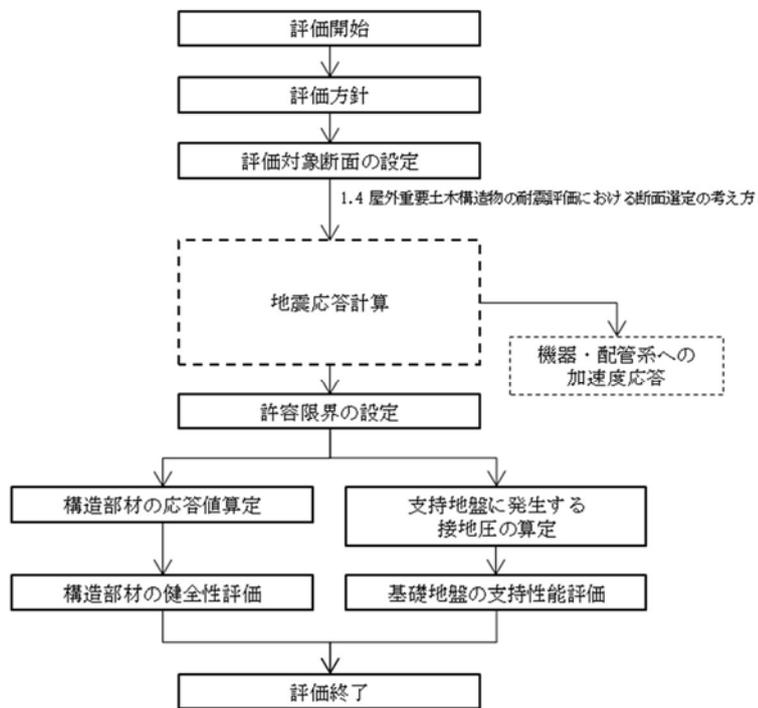
表 10.2-1 適用する規格、基準類

項目	適用する規格、基準類	備考
使用材料及び材料定数	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002 年制定) ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2005 年) 	—
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002 年制定) 	<ul style="list-style-type: none"> ・永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002 年制定) ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (平成 24 年 3 月) ・ J E A G 4 6 0 1 - 1987 	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げに対する照査は、発生応力度が、許容応力度以下であることを確認 ・せん断に対する照査は、発生応力度又は発生せん断力が、許容応力度又は許容せん断力以下であることを確認
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> ・ J E A G 4 6 0 1 - 1987 	<ul style="list-style-type: none"> ・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

10.2.2 耐震安全性評価フロー



<地震応答計算>



<耐震性評価>

図 10.2-1 耐震安全性評価フロー

10.2.3 評価対象断面の方向

常設低圧代替注水系配管カルバートの位置を図 10.2-2 に示す。

常設低圧代替注水系配管カルバートは、延長 19.5 m (南北方向)、内空及び内空高さ 2.3 m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、軸方向に対して内空寸法が一様で、人工岩盤を介して十分な支持性能を有する岩盤で支持する。構造物の軸直角方向が弱軸断面方向となるため、軸直角方向を評価対象断面とする。

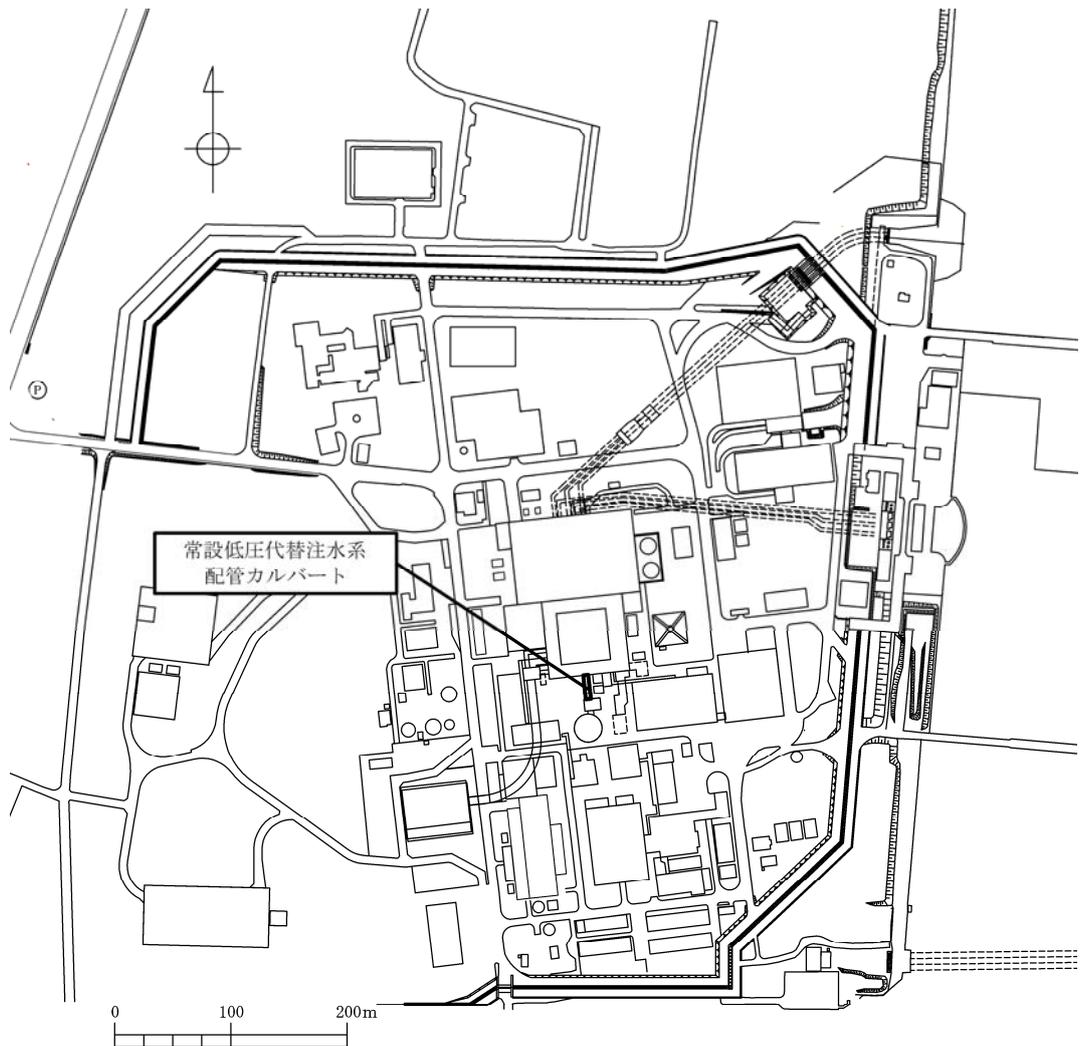


図 10.2-2 (1) 常設低圧代替注水系配管カルバート位置図

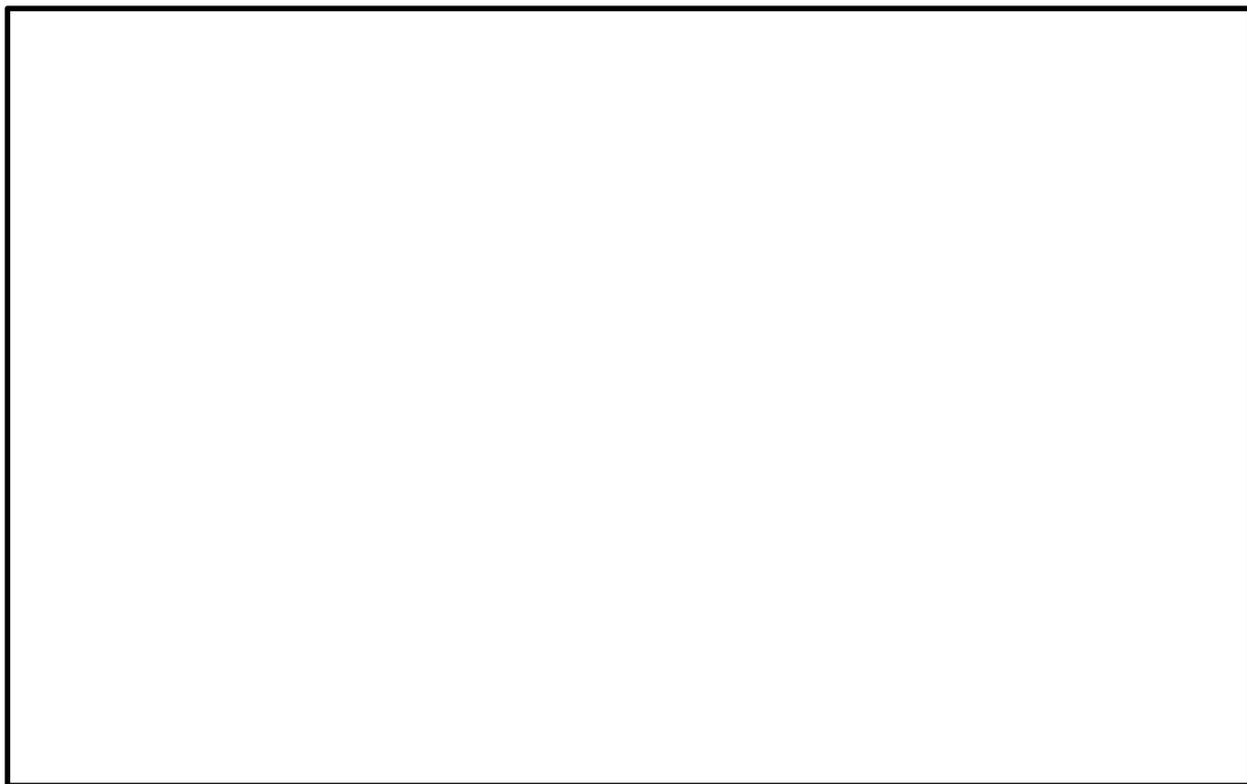


図 10.2-2 (2) 常設低圧代替注水系配管カルバート位置図

10.2.4 評価対象断面の選定

図 10.2-3 に常設低圧代替注水系配管カルバートの断面図を示す。

常設低圧代替注水系配管カルバートは、延長 19.5 m、内空及び内空高さ 2.3 m の一連のボックスカルバート構造の鉄筋コンクリート造である。埋戻土内に埋設するため、人工岩盤を介して十分な支持性能を有する岩盤で支持する。

評価対象断面は、「1.4.10 常設低圧代替注水系配管カルバートの断面算定の考え方」で記載したとおり、常設低圧代替注水系カルバートは、内空寸法が一樣なボックスカルバート構造の鉄筋コンクリート構造物であるため、軸直角方向 1 断面を選定し、耐震評価では基準地震動 S_a に対する耐震評価を実施する。

評価対象断面位置図を図 10.2-4 に、評価対象断面図を図 10.2-5 に示す。

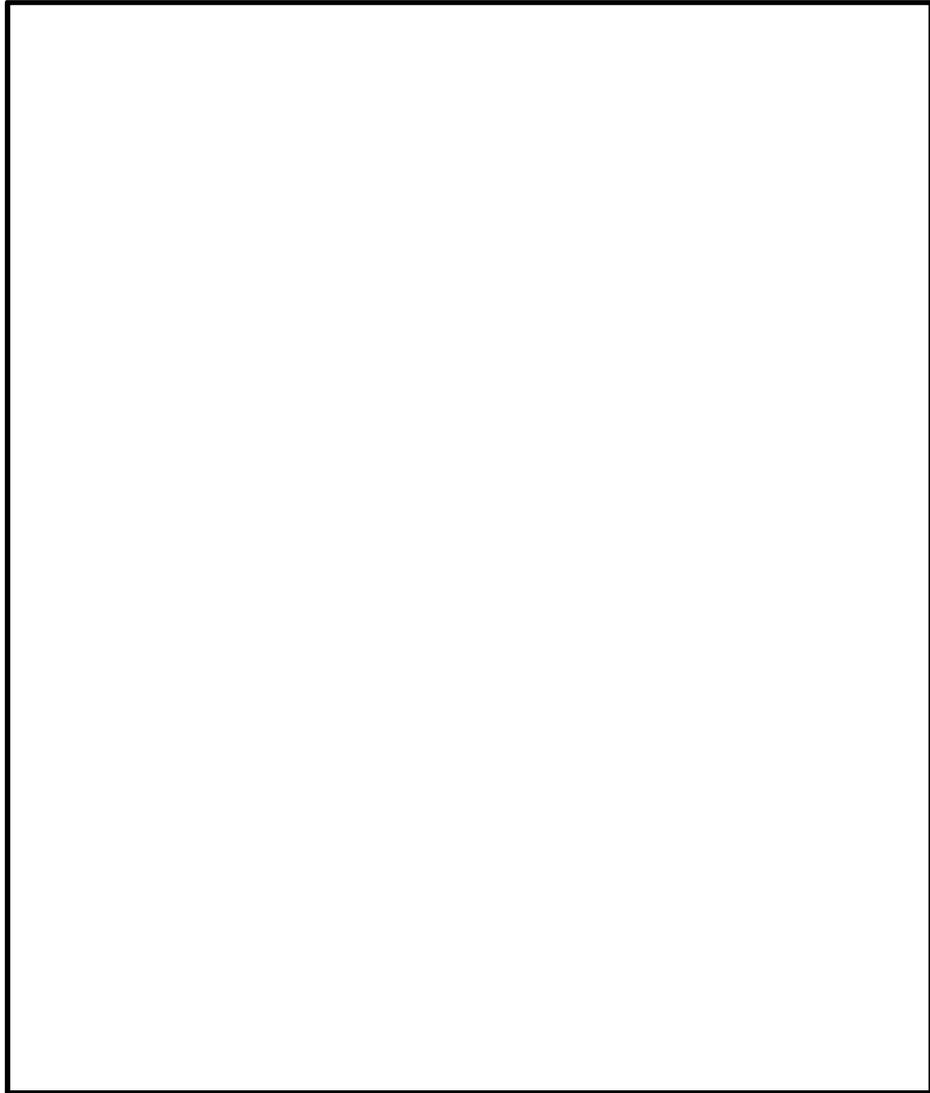


図 10.2-3 常設低圧代替注水系配管カルバート断面図

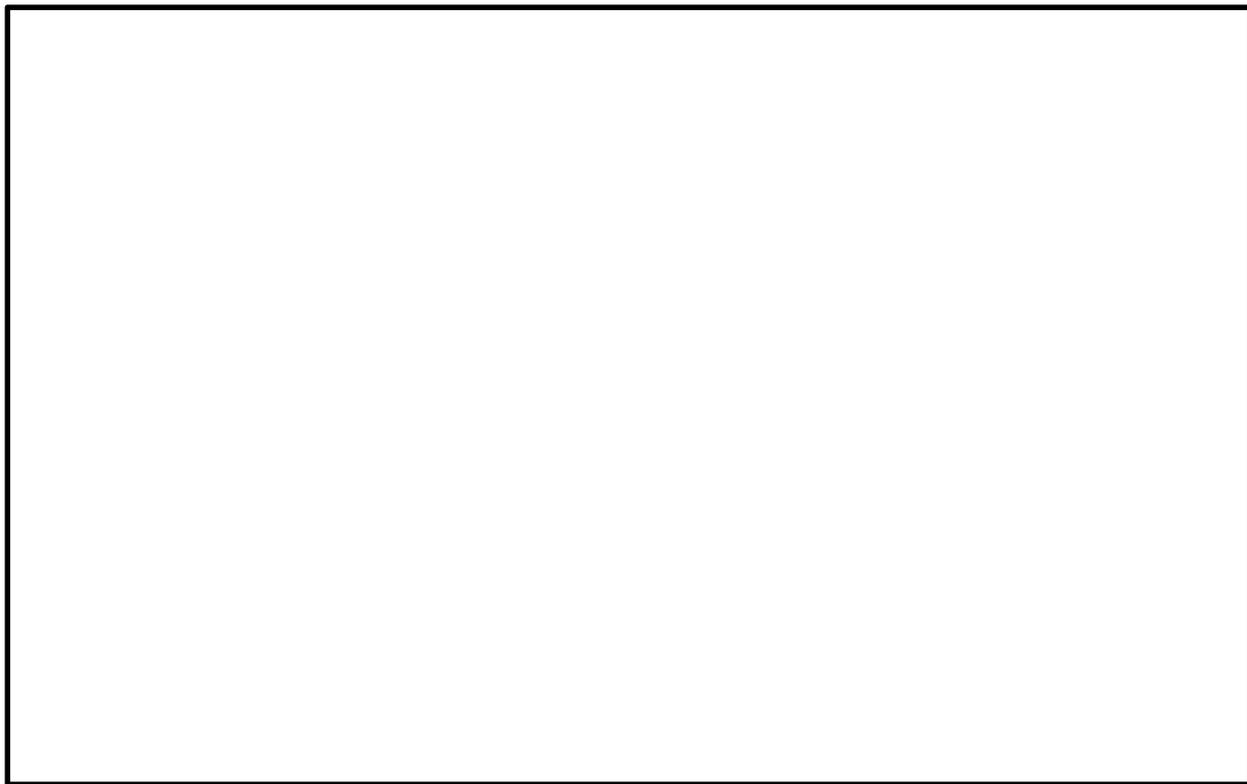


図 10.2-4 常設低圧代替注水系配管カルバート 耐震評価対象断面選定位置

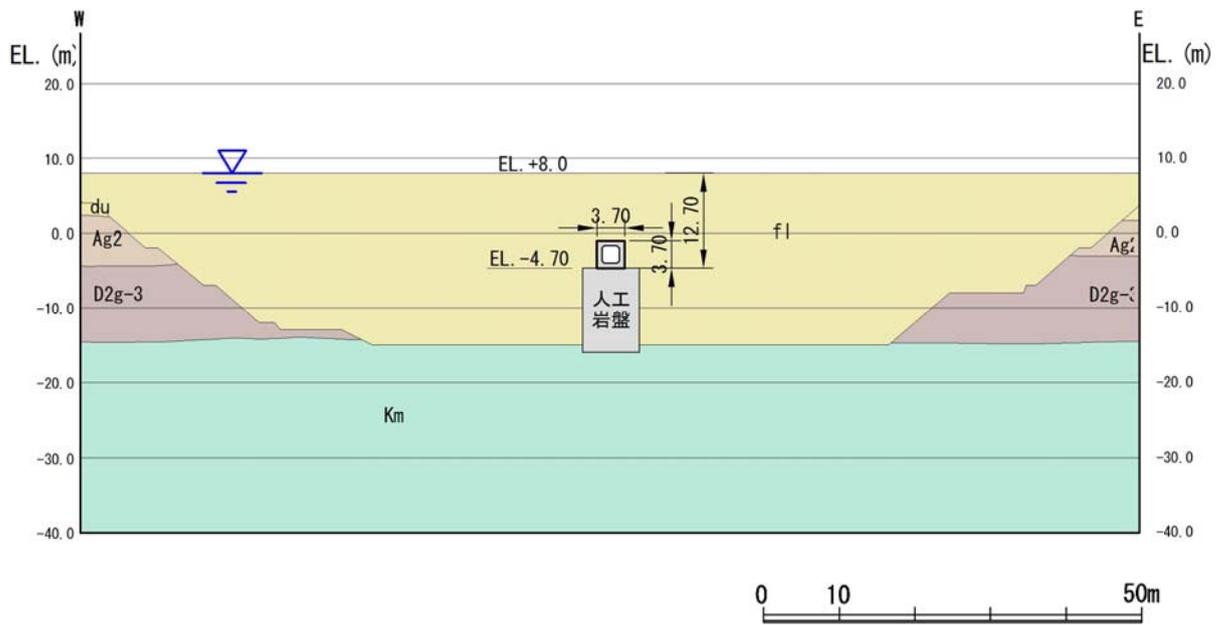


図 10.2-5 常設低圧代替注水系配管カルバート評価対象断面図

10.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、適用する基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 10.2-2 に、材料物性値を表 10.2-3 に示す。

地盤の諸元は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデル化とする。地盤の物性値を表 10.2-4 に示す。

表 10.2-2 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 40 N/mm ²
鉄筋	SD345, SD390

表 10.2-3 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.5	3.1×10^4	0.2
人工岩盤	23.0	2.1×10^4	0.2

表 10.2-4 (1) 地盤の解析用物性値一覧 (液状化検討対象層)

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系 (液状化検討対象層)							
				f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	D1g-1	
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

表 10.2-4 (2) 地盤の解析用物性値一覧 (非液状化層)

パラメータ				原地盤				
				第四系 (非液状化層)				新第三系
				Ac	D2c-3	lm	D1c-1	Km
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ²	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z (標高) 毎に物性値を 設定
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026	$0.358-0.00603 \cdot z$
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 10.2-4 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP (m) Z	通用深度 TP (m)	密度 ρ (g/cm ³)	静ポアソン比 ν_{cp}	粘着力 C_{cp} (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ_{cp} (°)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G_{ma} (kN/m ²)	基準体積 弾性係数 K_{ma} (kN/m ²)	基準平均有効 主応力 σ'_{ma} (kN/m ²)	拘束圧 依存係数 mg, mk	最大履歴 減衰率 hmax(-)	動ポアソン比 ν_d	硬密波 速度Vp (m/s)	1000*Vp
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	326,967	371,839	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	328,465	373,543	504	0.0	0.108	0.463	1,661	1,661,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	329,972	375,251	504	0.0	0.109	0.462	1,644	1,644,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	331,482	376,962	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	332,992	378,677	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	334,507	380,397	504	0.0	0.109	0.462	1,652	1,652,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	336,028	382,121	504	0.0	0.110	0.462	1,656	1,656,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	337,551	383,849	504	0.0	0.110	0.462	1,659	1,659,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	340,074	387,384	504	0.0	0.110	0.462	1,663	1,663,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	343,074	392,414	504	0.0	0.111	0.462	1,671	1,671,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	346,063	397,449	504	0.0	0.111	0.461	1,654	1,654,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	349,051	402,489	504	0.0	0.112	0.461	1,662	1,662,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	352,041	407,533	504	0.0	0.112	0.461	1,665	1,665,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	355,033	412,581	498	0.0	0.112	0.461	1,673	1,673,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	358,028	417,633	498	0.0	0.113	0.461	1,680	1,680,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	361,028	422,689	498	0.0	0.113	0.460	1,664	1,664,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	364,033	427,751	498	0.0	0.114	0.460	1,672	1,672,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	367,043	432,817	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	370,057	437,887	498	0.0	0.115	0.460	1,683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	373,074	442,961	498	0.0	0.115	0.459	1,667	1,667,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	376,093	448,039	498	0.0	0.115	0.459	1,675	1,675,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	379,114	453,121	498	0.0	0.116	0.459	1,678	1,678,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	382,139	458,207	498	0.0	0.116	0.459	1,685	1,685,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	385,167	463,297	498	0.0	0.117	0.459	1,689	1,689,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	388,197	468,391	498	0.0	0.117	0.458	1,678	1,678,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	391,228	473,489	498	0.0	0.117	0.458	1,681	1,681,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	394,261	478,591	498	0.0	0.118	0.458	1,688	1,688,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	397,297	483,697	498	0.0	0.118	0.458	1,696	1,696,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	400,333	488,807	498	0.0	0.118	0.458	1,699	1,699,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	403,371	493,919	498	0.0	0.118	0.457	1,688	1,688,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	406,411	499,033	498	0.0	0.119	0.457	1,692	1,692,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	409,453	504,149	498	0.0	0.119	0.457	1,699	1,699,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	412,497	509,267	498	0.0	0.120	0.457	1,702	1,702,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	415,543	514,387	492	0.0	0.120	0.457	1,709	1,709,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	418,591	519,509	492	0.0	0.120	0.456	1,695	1,695,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	421,641	524,633	492	0.0	0.120	0.456	1,702	1,702,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	424,693	529,759	492	0.0	0.121	0.456	1,705	1,705,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	427,747	534,887	492	0.0	0.121	0.456	1,712	1,712,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	430,803	540,017	492	0.0	0.121	0.456	1,719	1,719,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	433,861	545,149	492	0.0	0.122	0.455	1,705	1,705,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	436,921	550,283	492	0.0	0.122	0.455	1,712	1,712,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	440,003	555,417	492	0.0	0.122	0.455	1,716	1,716,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	443,087	560,553	492	0.0	0.122	0.455	1,723	1,723,000
57	-82	-83 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	446,173	565,691	492	0.0	0.123	0.455	1,726	1,726,000
58	-88	-90 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	455,282	580,807	492	0.0	0.124	0.454	1,726	1,726,000
59	-92	-95 ~ -90	1.73	0.14	913	14.1	504	460,397	591,921	492	0.0	0.124	0.454	1,736	1,736,000
60	-98	-101 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	470,507	607,033	492	0.0	0.125	0.453	1,736	1,736,000
61	-104	-108 ~ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	480,617	622,147	486	0.0	0.126	0.452	1,733	1,733,000
62	-112	-115 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	490,727	637,261	486	0.0	0.127	0.451	1,737	1,737,000
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	500,837	652,375	486	0.0	0.127	0.451	1,754	1,754,000
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	510,947	667,489	486	0.0	0.128	0.450	1,758	1,758,000

10.2.6 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

10.2.7 地震応答解析手法

常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴非線形解析にて行う。部材については、はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデル化とする。地震応答解析については、解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録24「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図10.2-6に示す。

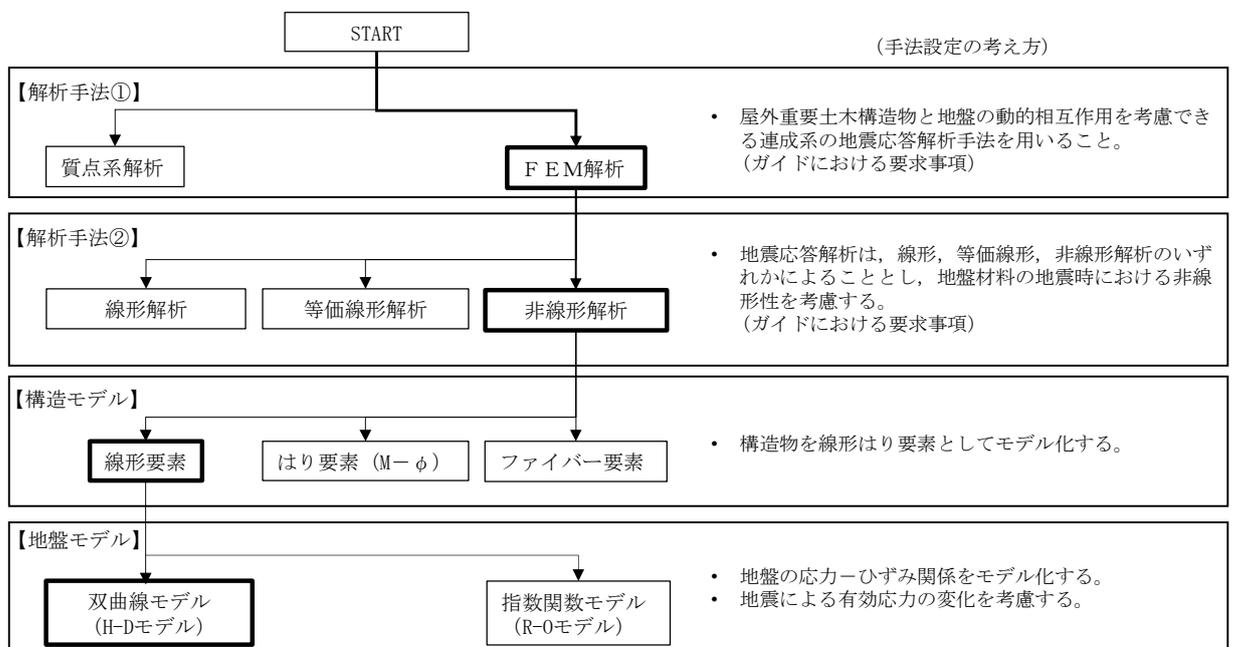


図 10.2-6 地震応答解析手法の選定フロー

H-Dモデルの選定理由は次の通りである。すなわち、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関

するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル(H-Dモデル)を選定する。

10.2.8 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 -1987を参考に、図10.2-7に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の5倍以上、モデル高さを構造物幅の2倍以上を確保する。

常設低圧代替注水系配管カルバート周辺の地質断面図を図10.2-8に示す。なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長に対して5または4分割以上になるように要素高さを設定している。

地震応答解析モデルを図10.2-9に示す。

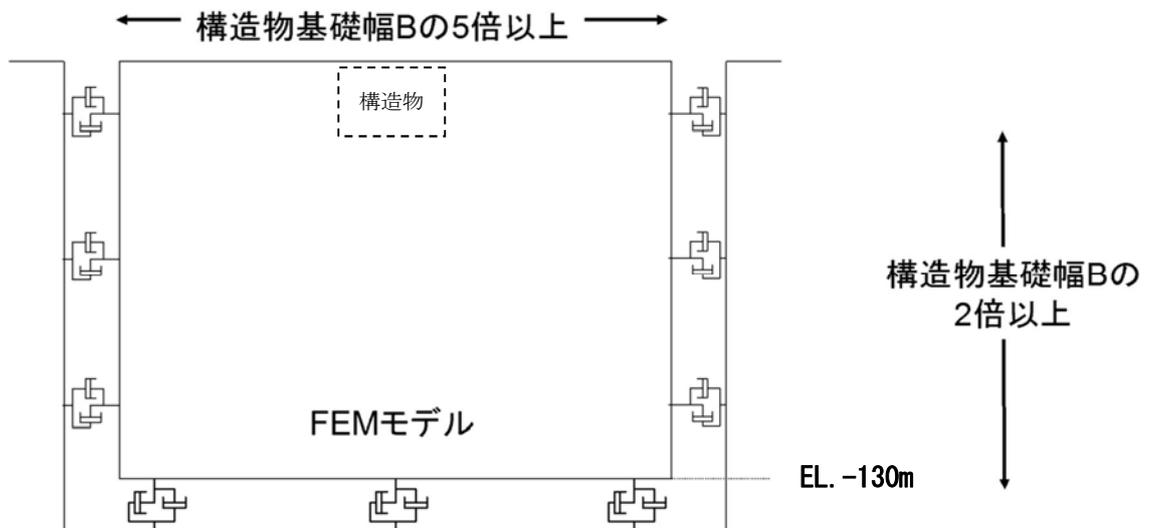


図10.2-7 モデル範囲の考え方

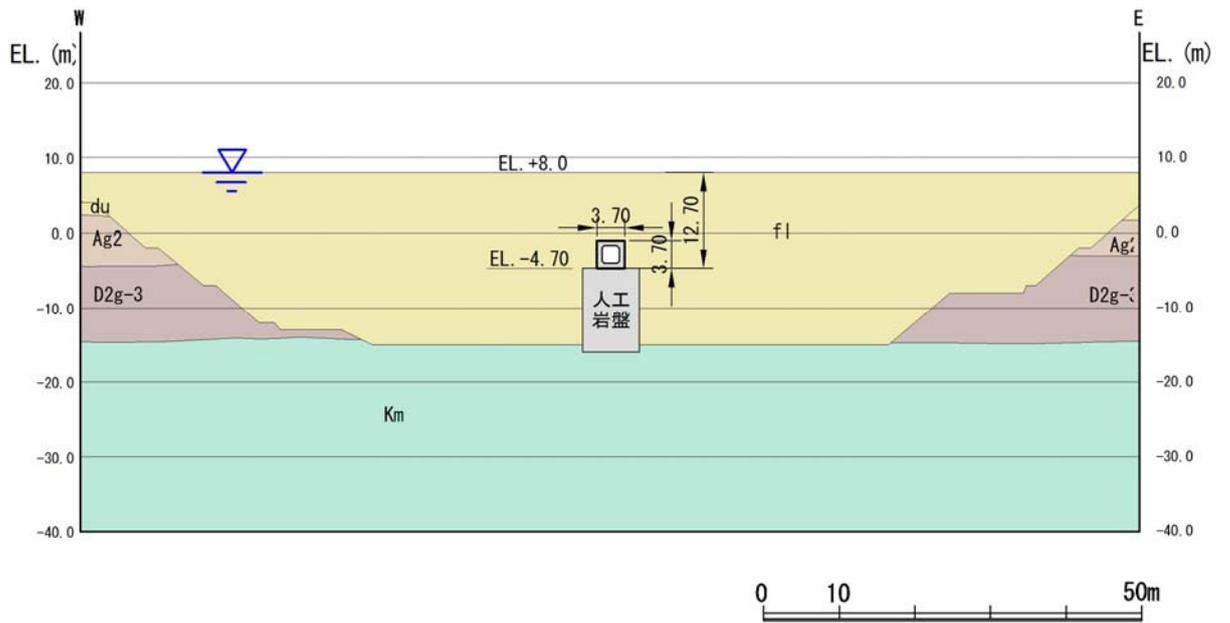


图 10.2-8 地質断面图

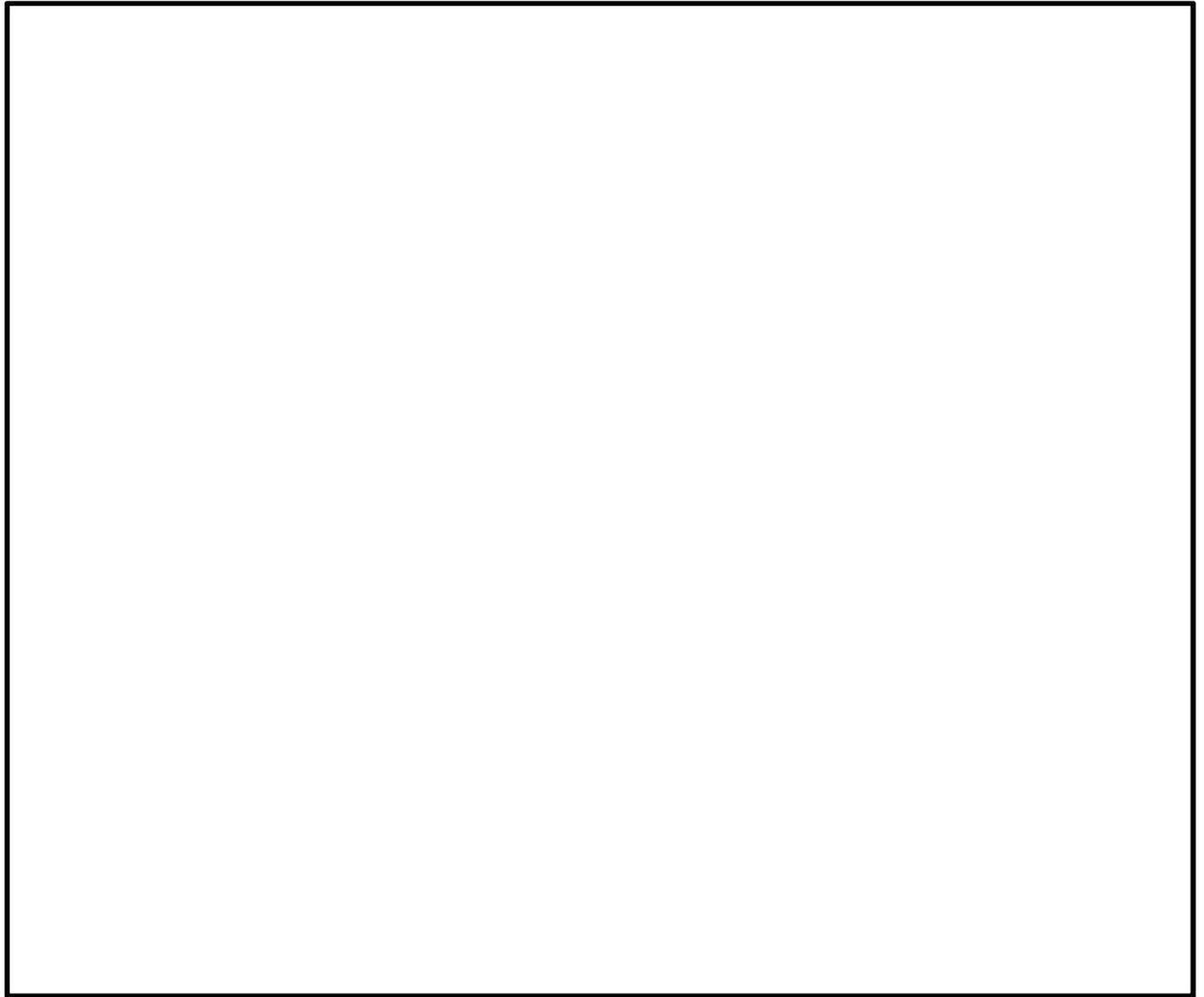


図 10.2-9 常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答解析モデル

(2) ジョイント要素の設定

地盤と構造物の境界部にジョイント要素を設けることにより、地盤と構造物の剥離・すべりを考慮する。

ジョイント要素は法線方向、接線方向に分けて二重節点として設定する。法線方向では、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。接線方向では、地盤と構造物のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。c、 ϕ は周辺地盤の c、 ϕ とする。(表 10.2-5 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、 τ_f : せん断強度

c : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角

表 10.2-5 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

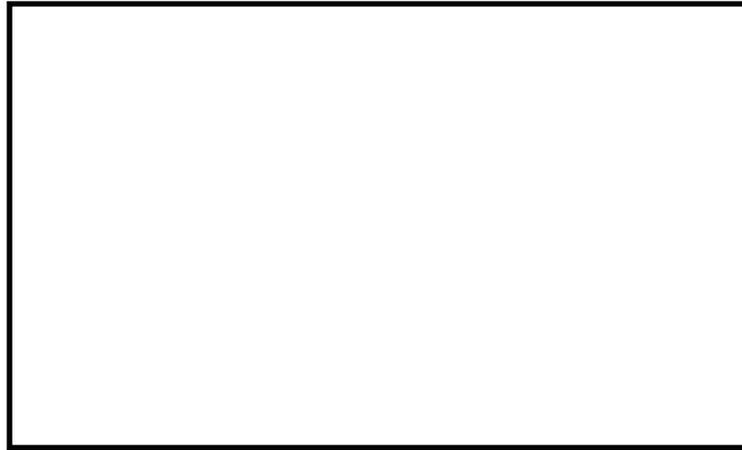
周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	f1 層	0	37.3	—
	du 層	0	37.3	—
	Ag2 層	0	37.4	—
	D2c-3 層	0.026	35.6	—
	D2g-3 層	0	44.4	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—

z : 標高 (m)

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集 (沿岸開発技術センター) に従い、表 10.2-6 のとおり設定する。図 10.2-10 にジョイント要素設定の考え方を示す。

表 10.2-6 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6



(東西方向断面)

— : ジョイント要素

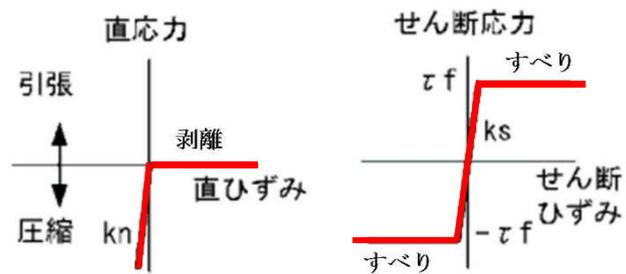


図 10.2-10 ジョイント要素の考え方

(3) 材料特性の設定

構造部材は、線形はり要素、及び、質点と地盤間をつなぐ仮想剛梁要素によりモデル化する。

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

10.2.9 減衰特性

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトして行くことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 $\alpha[M]$ の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 $\alpha[M]$ の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように、低振動数帯で減衰 $\alpha[M]$ の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

ここで、

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

係数 α 、 β は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

地盤の減衰定数は1%（解析における減衰は、ひずみ大きい領域では履歴減衰が支配的となる。このため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している）とする。また、線形材料としてモデル化するコンクリートの減衰定数は5%（J E A G 4 6 0 1-1987）とする。

図 10.2-11 に Rayleigh 減衰の設定フローを、表 10.2-7 に固有値解析結果を示す。

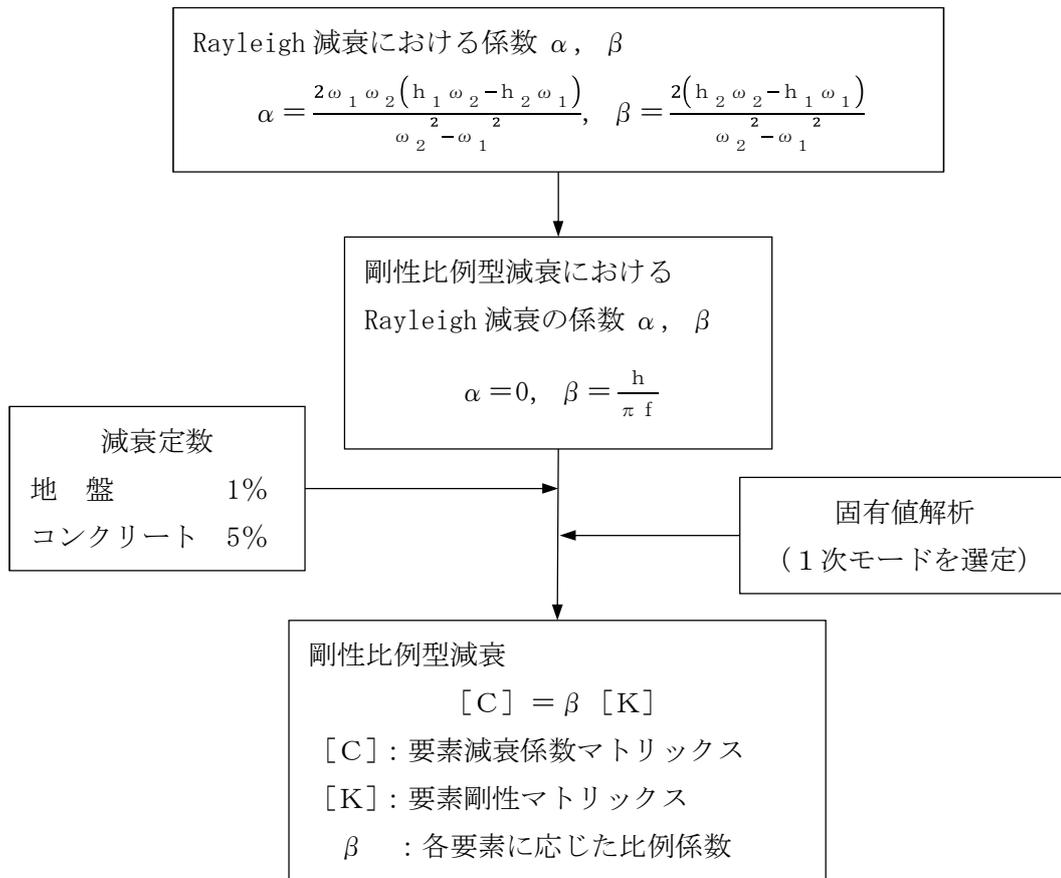


図 10.2-11 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 10.2-7 固有値解析結果 (追而)

10.2.10 荷重の組合せ

耐震安全性評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震時荷重を抽出し、それぞれ組合せて設定する。地震時荷重には、地震時土圧、動水圧、機器・配管系からの反力による荷重が含まれるものとする。

変動荷重（雪荷重・風荷重・温度荷重）については、発電所の立地特性や常設低圧代替注水系配管カルバートが地中に埋設された構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力と組合せる荷重としては除外した。

なお、常設低圧代替注水系配管カルバートは、地盤内に埋設する構造物であることから、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられるため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地盤内で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 10.2-8 に示す。地震時に常設低圧代替注水系配管カルバートに作用する機器・配管系からの反力については、機器・配管系を、解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 10.2-8 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○	・設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定
		機器・配管荷重	○	・機器・配管荷重の重量に基づいて設定
		土被り荷重	—	・躯体天端が地表面にある構造物を参照
		永久上載荷重	—	・恒常的に配置された設備はないことから、考慮しない。
	静止土圧		○	・常時応力解析により算定
	外水圧		○	・地下水位に応じた静水圧として設定 ・水の単位体積重量を考慮
変動荷重		—	・発電所の立地特性及び構造物の配置状況を踏まえると、偶発荷重（地震荷重）と組合せるべき変動荷重はない	
偶発荷重	水平地震動	○	・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振	
	鉛直地震動	○	・躯体、機器・配管の慣性力、動土圧を考慮	

(1) 機器・配管荷重

底版には図 10.2-12 に示すとおり配管の荷重を考慮する。配管の荷重は、全荷重を内空幅で除した単位奥行き当たりの荷重として考慮する。

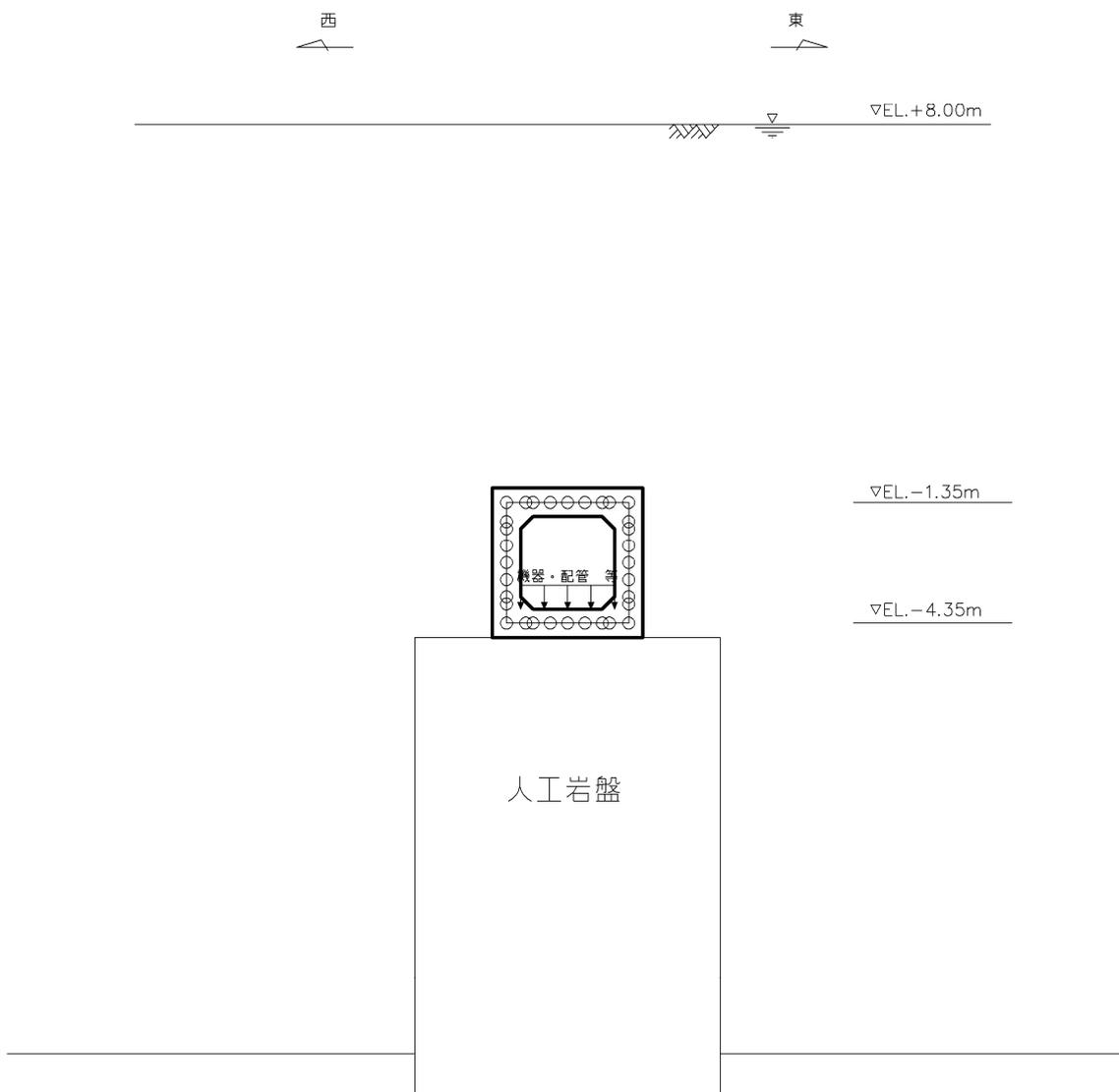


図 10.2-12 作用荷重図

(2) 外水圧

水の密度として 1.00 g/cm^3 を考慮する。

10.2.11 地震応答解析の検討ケース

(1) 耐震設計における検討ケース

常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震設計における検討ケースを表 10.2-9 に示す。

表 10.2-9 常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震設計における検討ケース

検討ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波 (位相)	S _s -D 1	(++)	1	1	1	1	1
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(--)	1				
	S _s -1 1	(++)	1				
	S _s -1 2	(++)	1				
	S _s -1 3	(++)	1				
	S _s -1 4	(++)	1				
	S _s -2 1	(++)	1				
	S _s -2 2	(++)	1				
S _s -3 1	(++)	1					
	(-+)	1					
計		12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用いて実施する。
最も厳しい地震動の選定にあたっては、各施設の**評価部位(上部構造及び下部構造)**毎に1波選定する。

異なる建屋・構築物間の相対変位の算定は、上記ケースの中で、変位量が最も大きいケースにて行う。

(2) 機器・配管系に対する加速度応答抽出のための検討ケース

機器・配管系に対する加速度応答抽出における検討ケースを表 10.2-10 に示す。

表 10.2-10 機器・配管系への加速度応答の抽出における検討ケース

検討ケース		④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース	
液状化強度特性の設定		敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用	
地震波(位相)	S _s -D1	(++)	1	⑤において、上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。	
		(+-)	1		
		(-+)	1		
		(--)	1		
	S _s -11	(++)	⑤において、上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。		1
	S _s -12	(++)	1		
	S _s -13	(++)	1		
	S _s -14	(++)	1		
	S _s -21	(++)	1		
	S _s -22	(++)	1		
S _s -31	(++)	1			
	(-+)	1			
計		1	12	1	

10.3 評価内容

10.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動算定の概念図を図 10.3-1 に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 10.3-2 に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。

なお、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。断層モデル波である $S_s-11 \sim S_s-22$ については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向を考慮し、方位補正を行う。具体的には南北方向及び東西方向の地震動について構造物の評価断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した地震動を設定する。

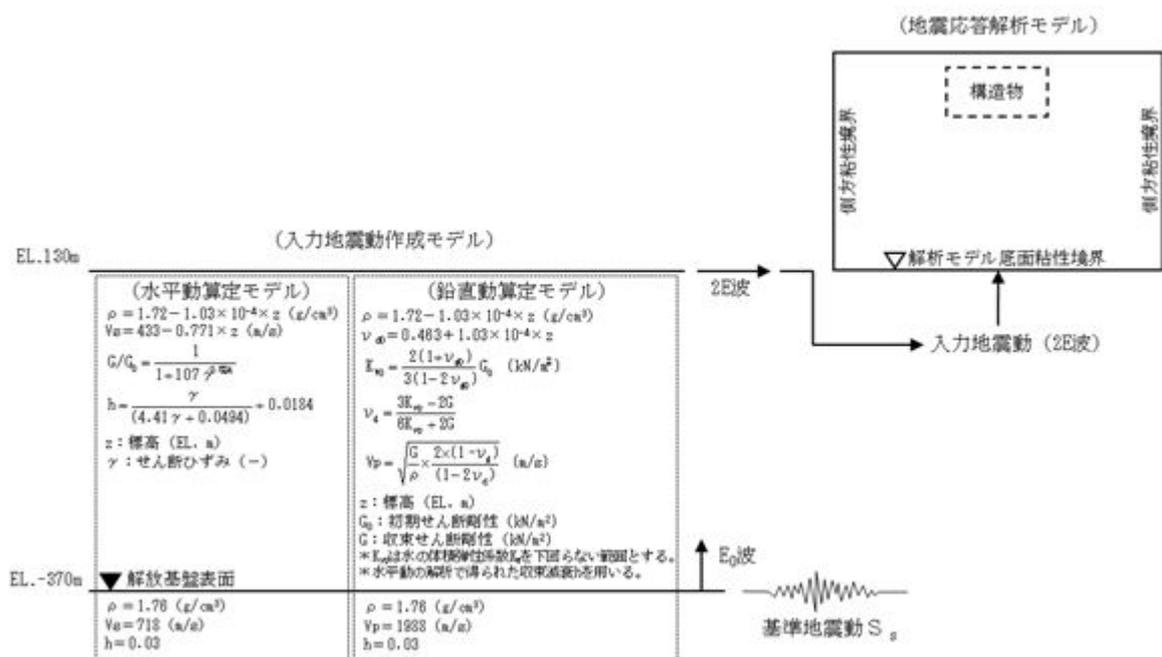
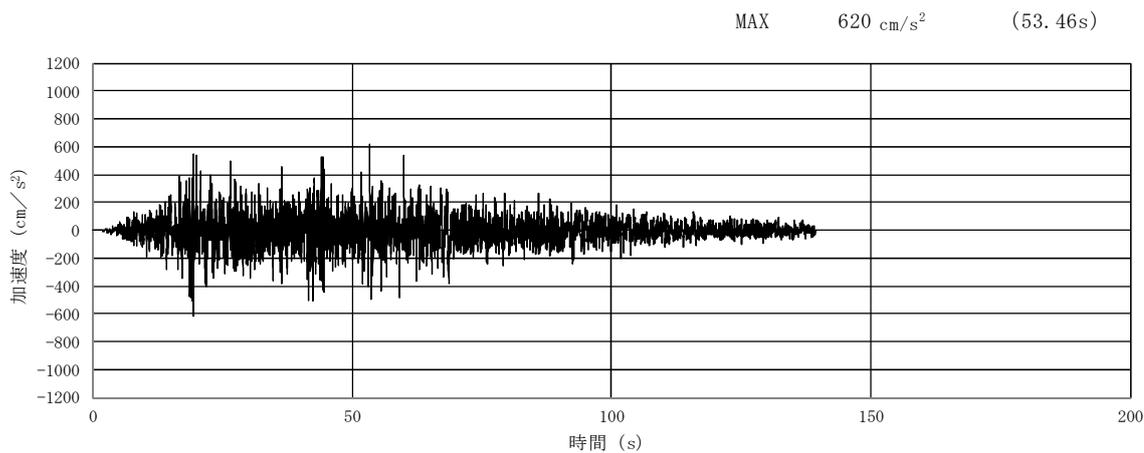
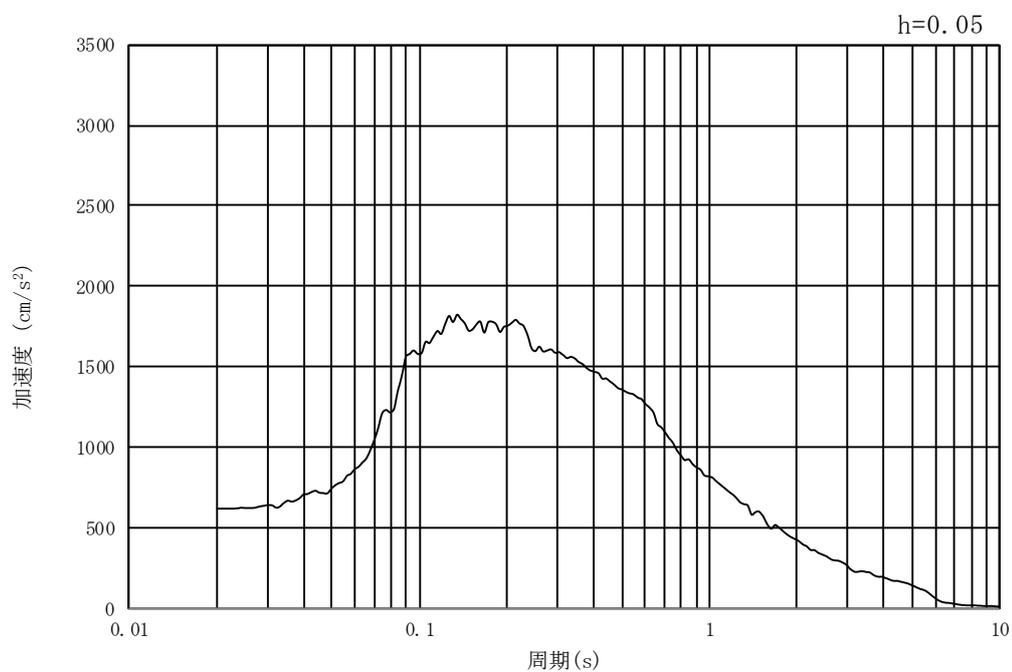


図 10.3-1 入力地震動算定の概念図

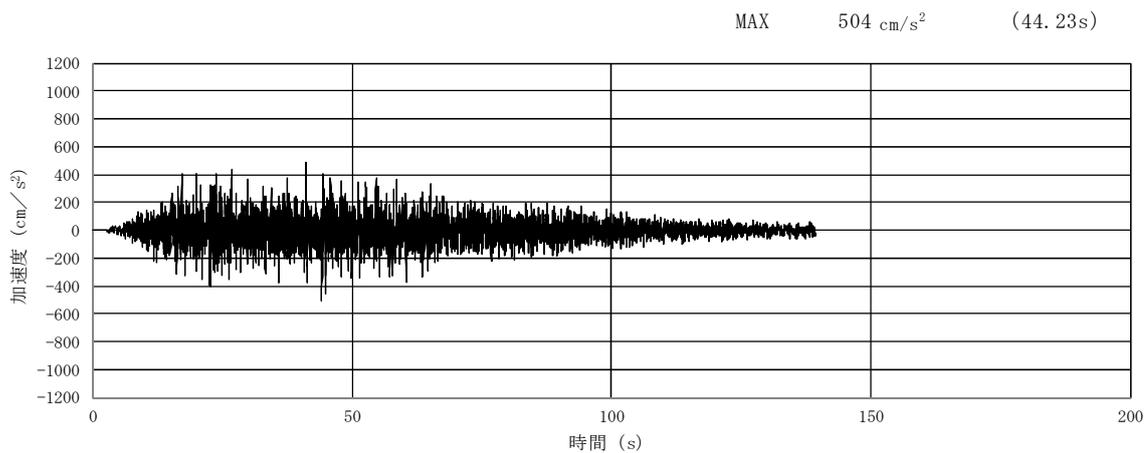


(a) 加速度時刻歴波形

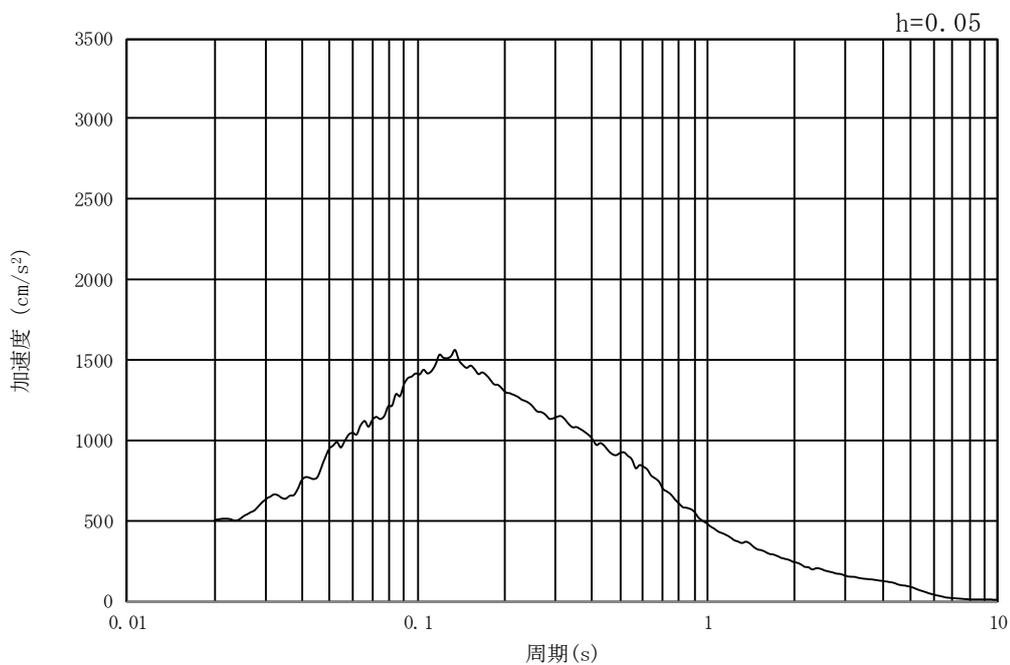


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (1) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - D1$)

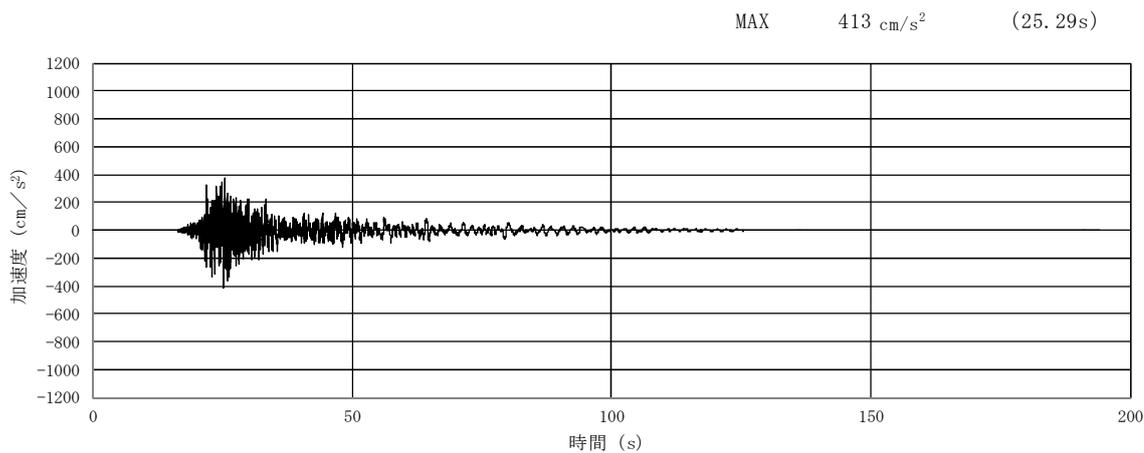


(a) 加速度時刻歴波形

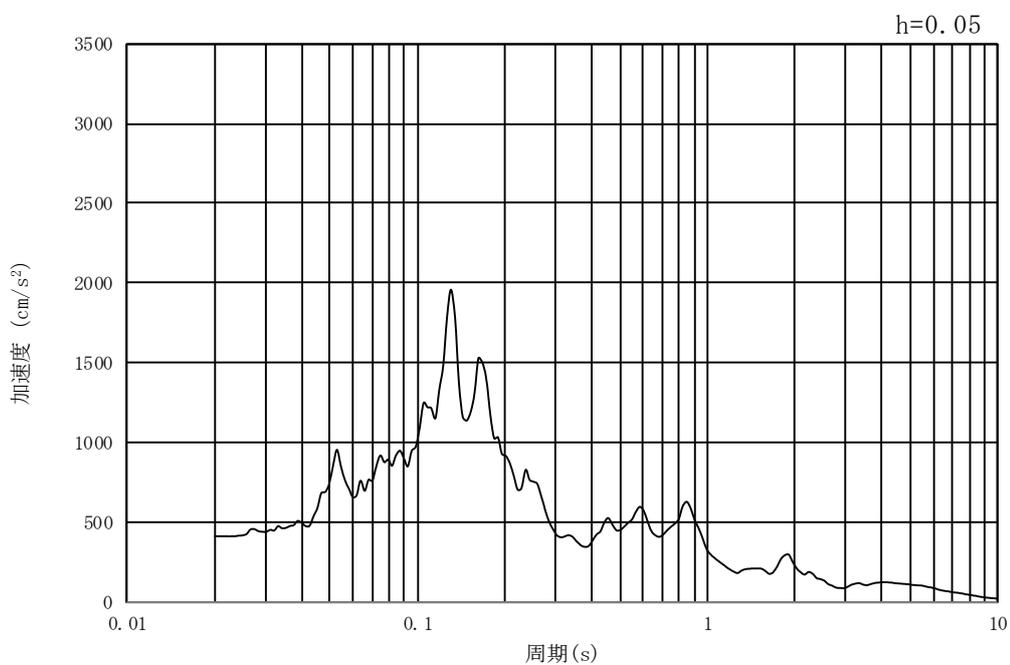


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (2) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S_s-D1)

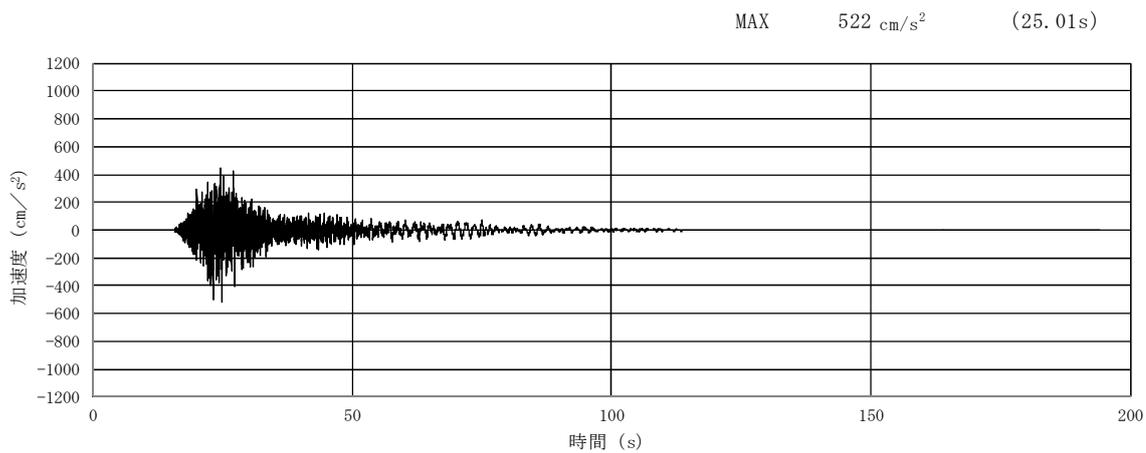


(a) 加速度時刻歴波形

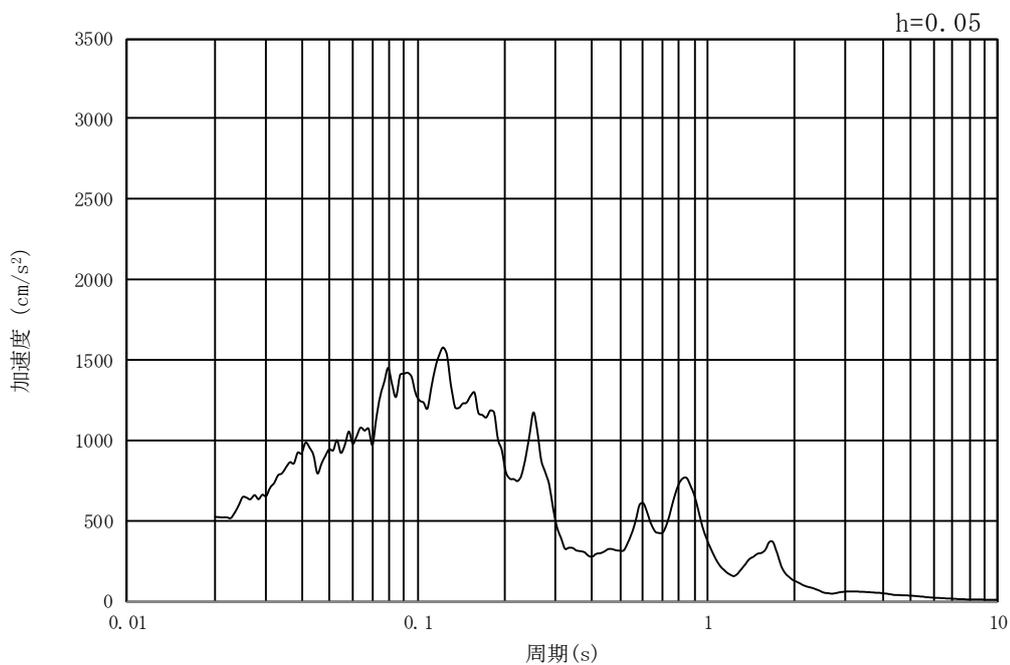


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (3) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.1$)

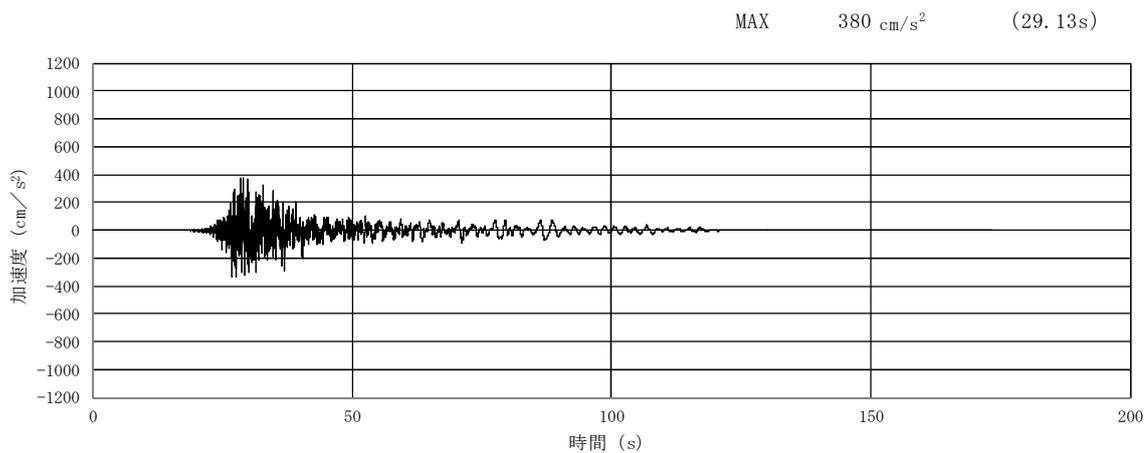


(a) 加速度時刻歴波形

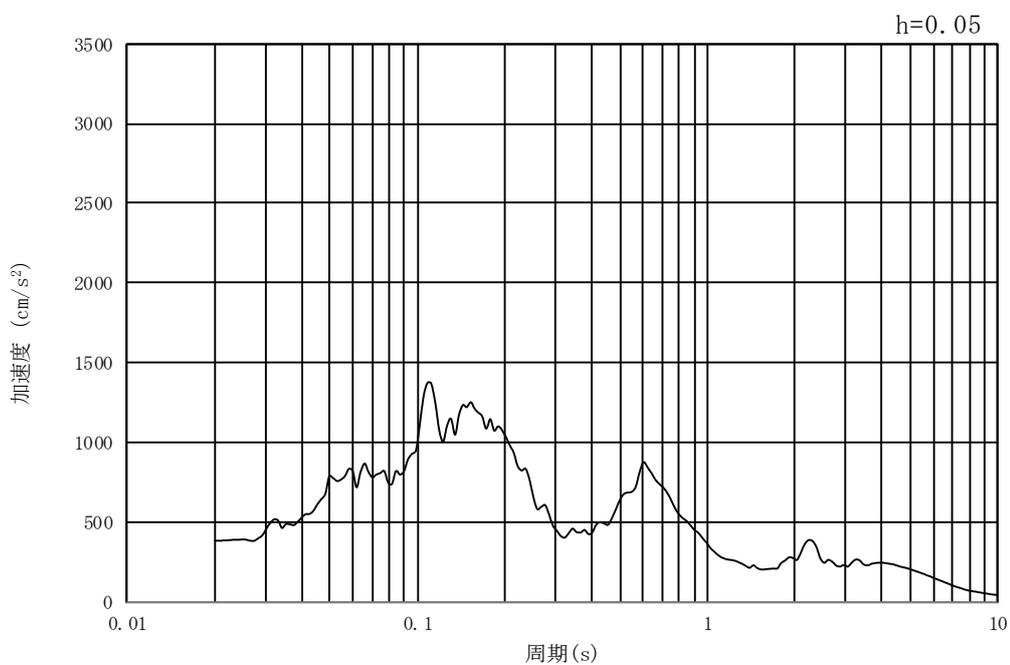


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (4) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.1$)

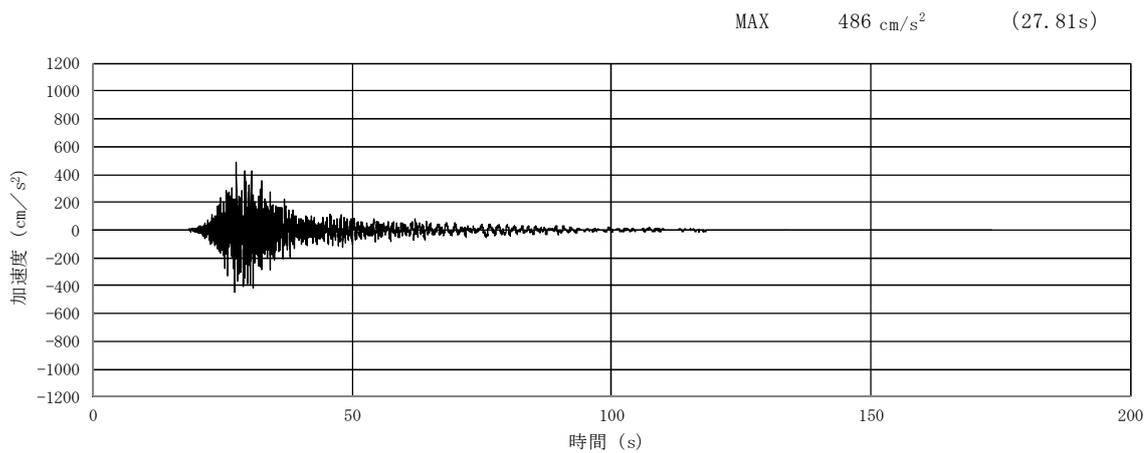


(a) 加速度時刻歴波形

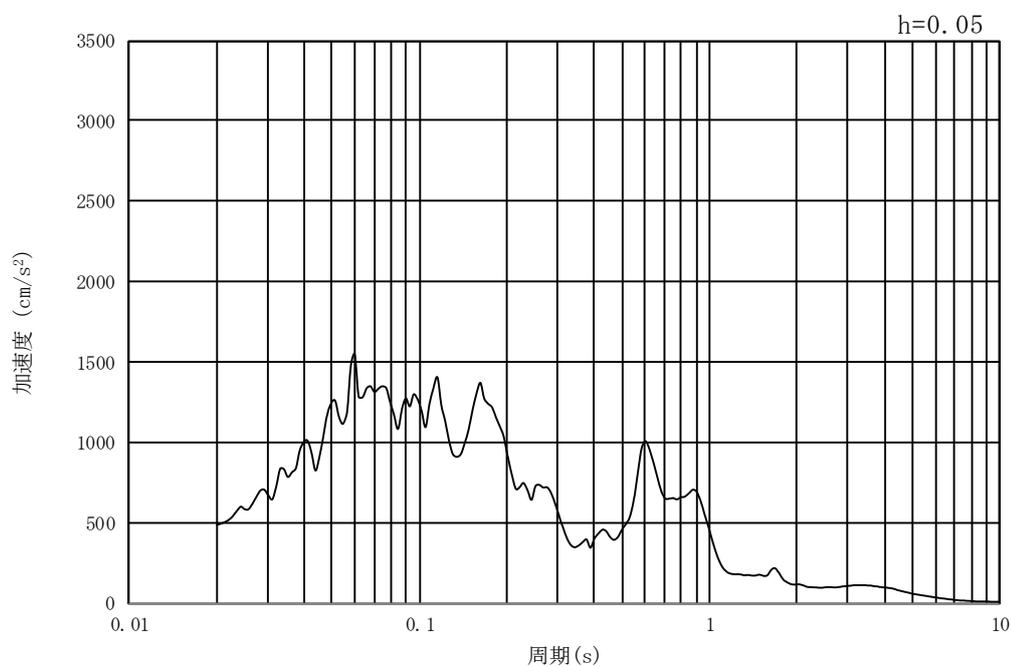


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (5) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.2$)

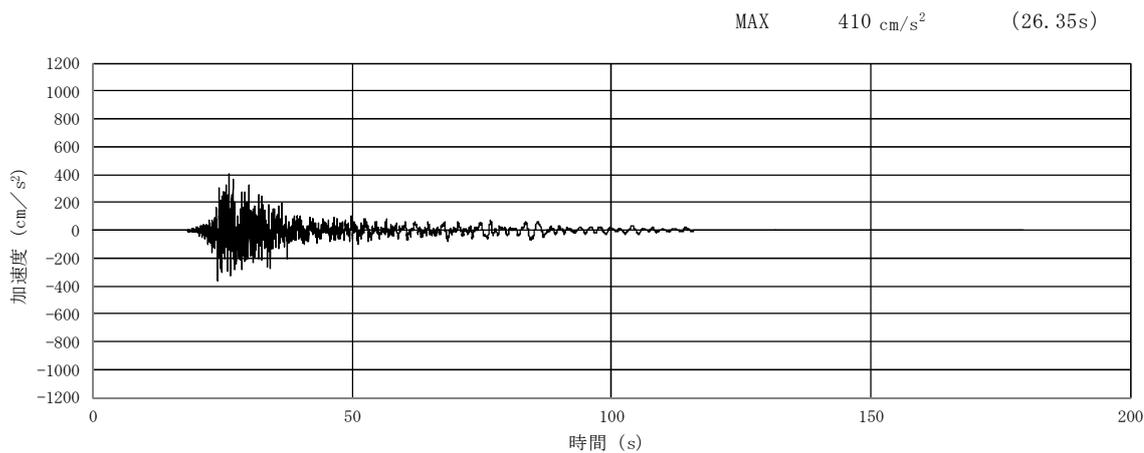


(a) 加速度時刻歴波形

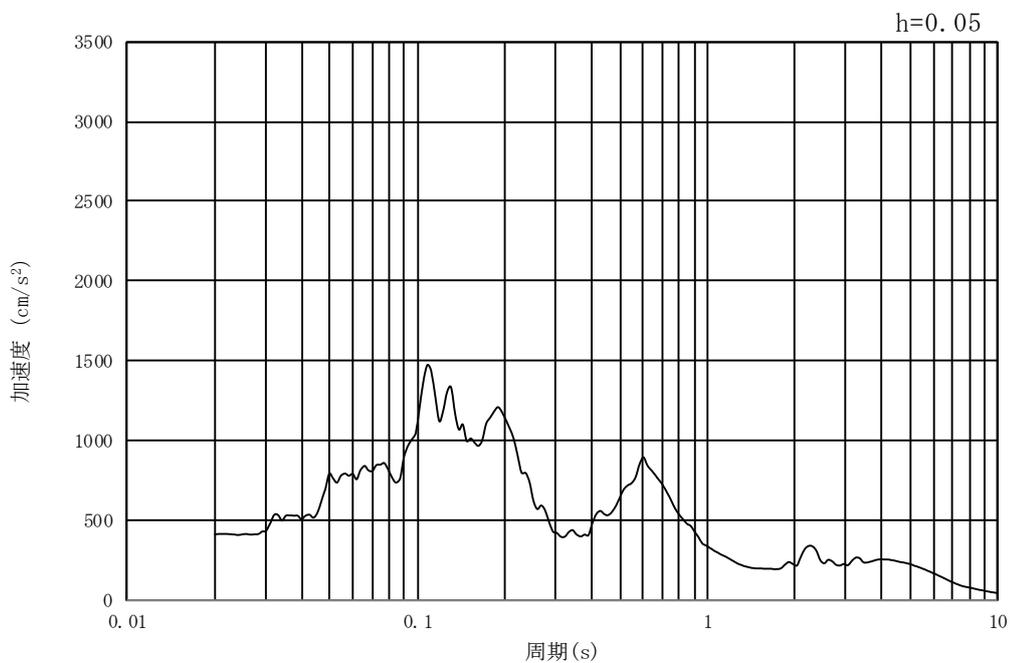


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (6) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.2$)

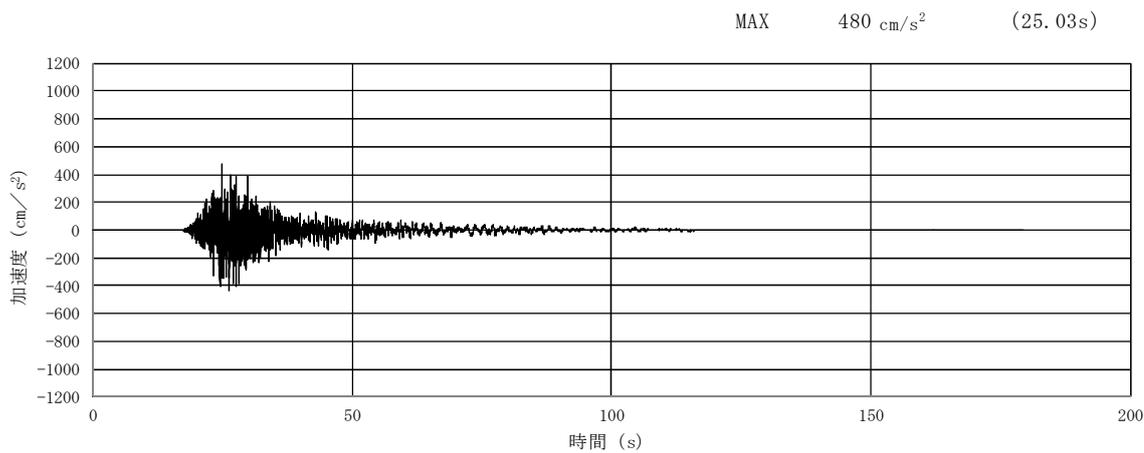


(a) 加速度時刻歴波形

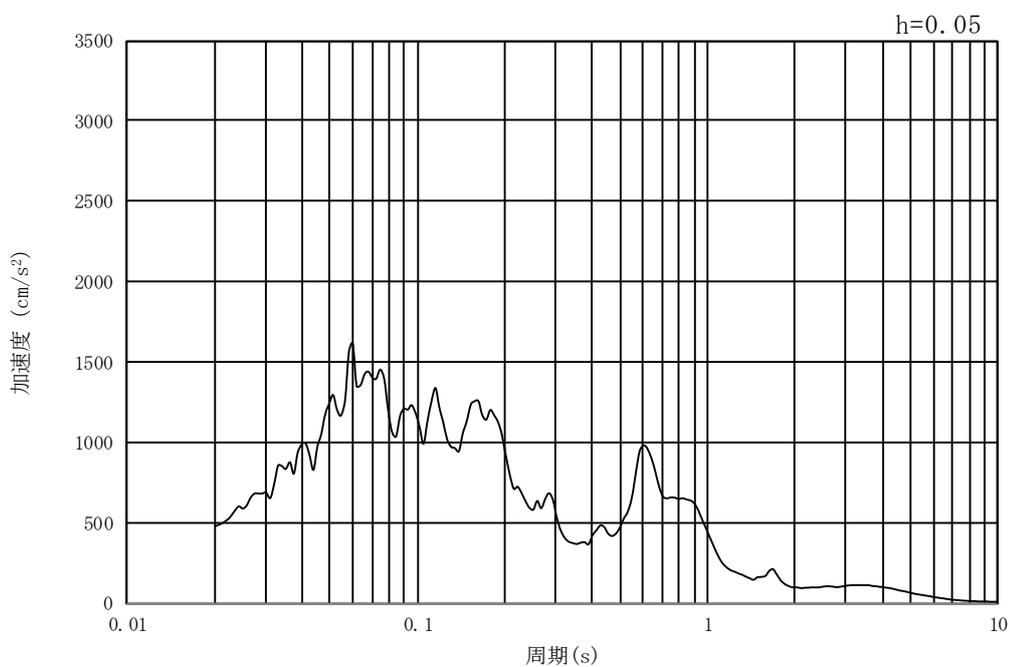


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (7) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.3$)

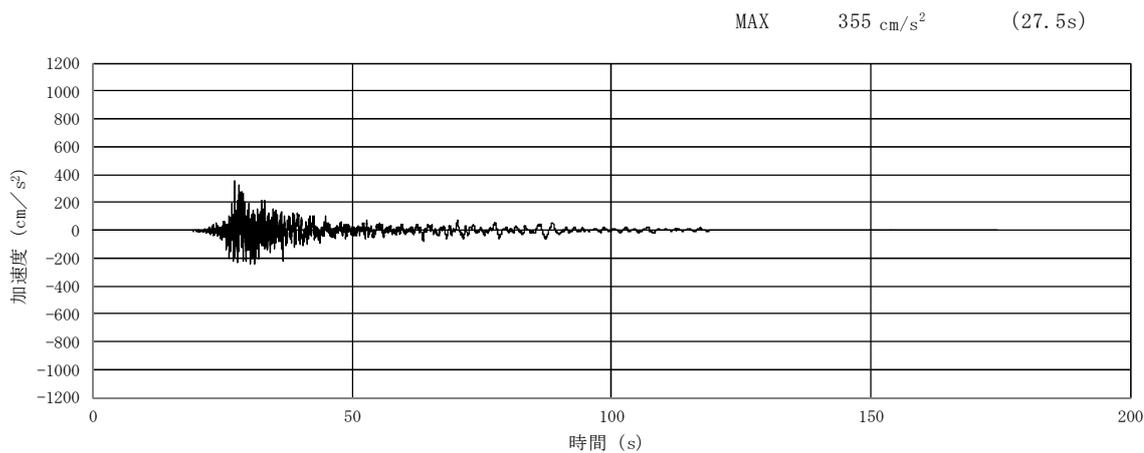


(a) 加速度時刻歴波形

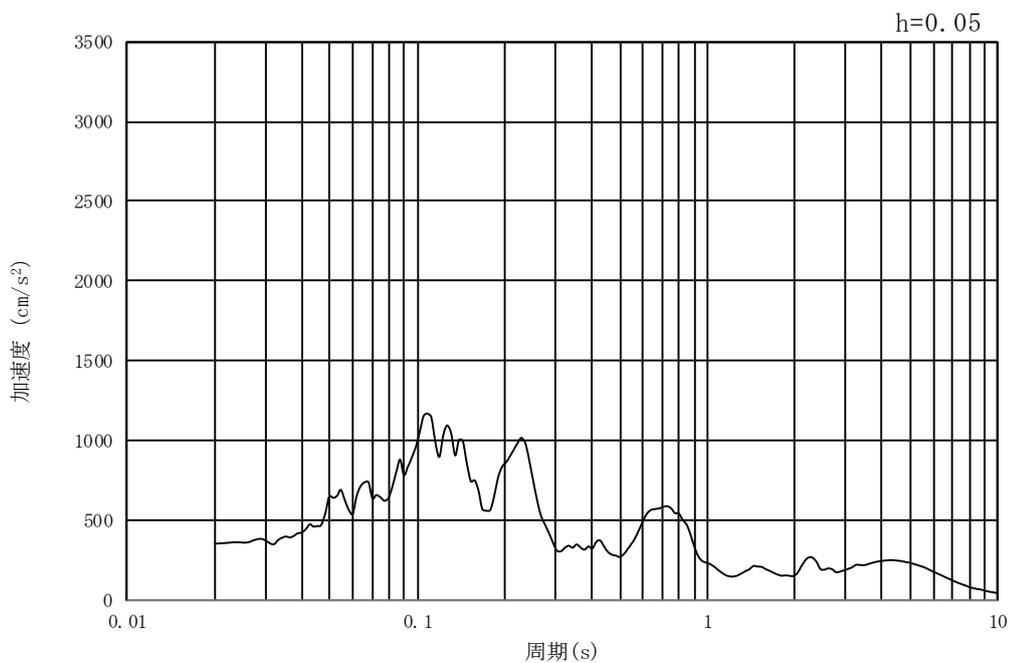


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (8) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 13$)

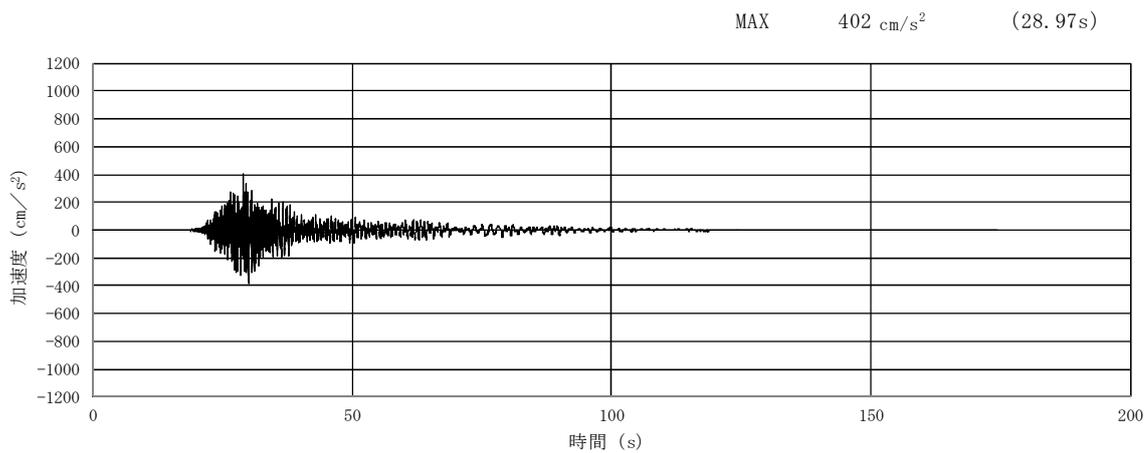


(a) 加速度時刻歴波形

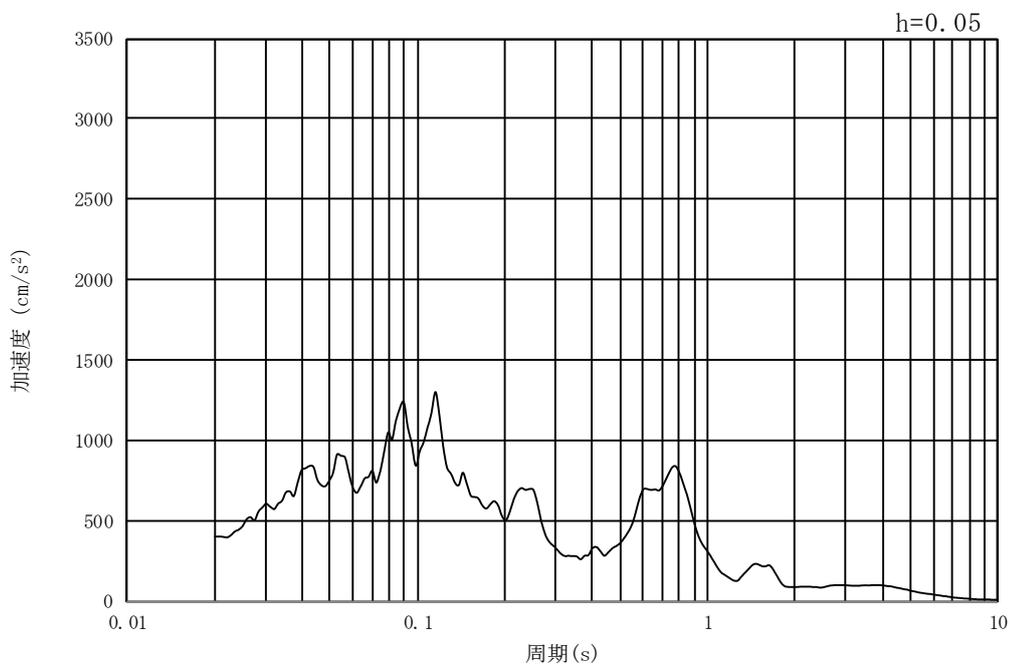


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (9) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.4$)

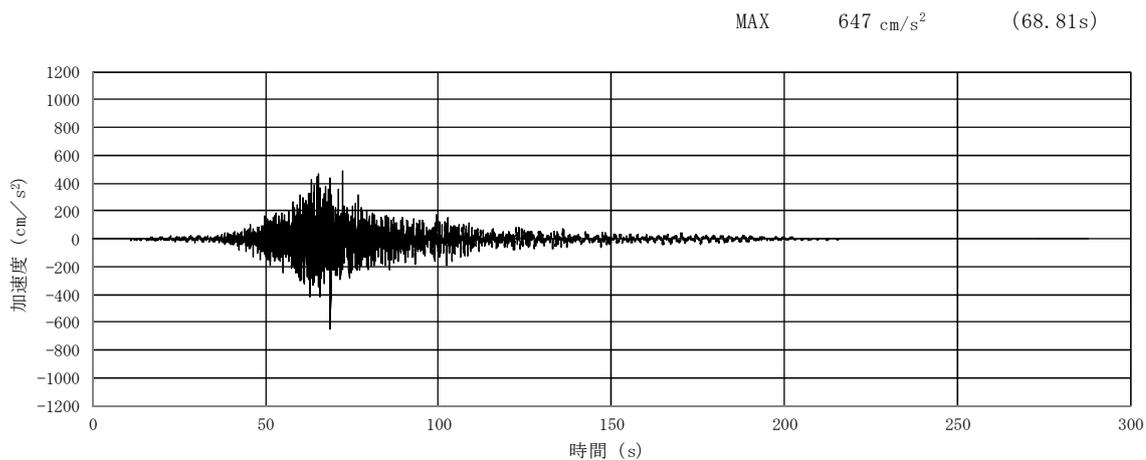


(a) 加速度時刻歴波形

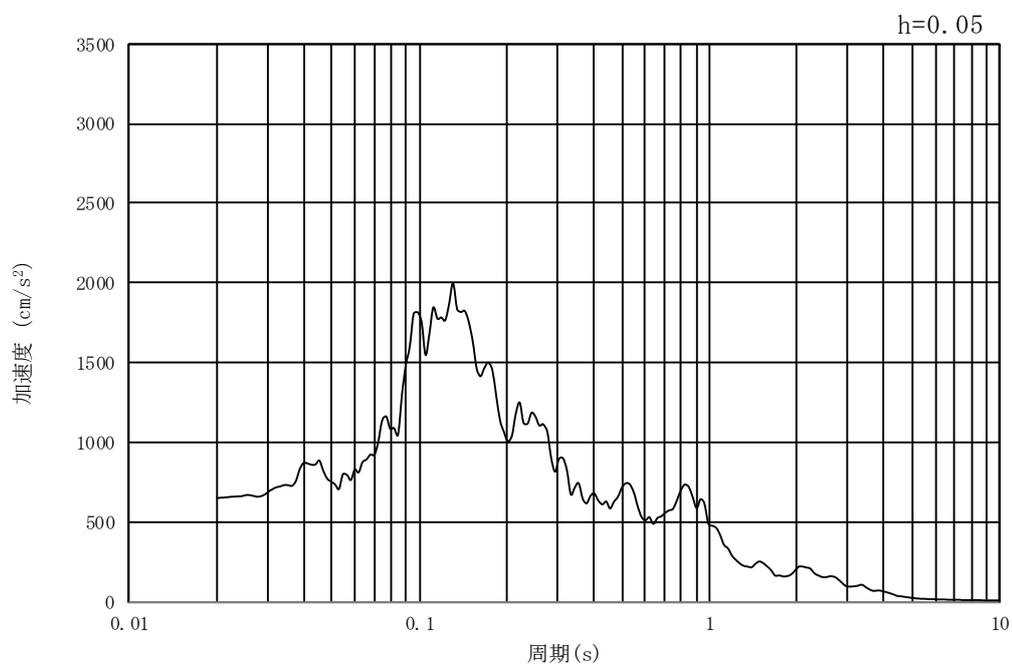


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (10) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.4$)

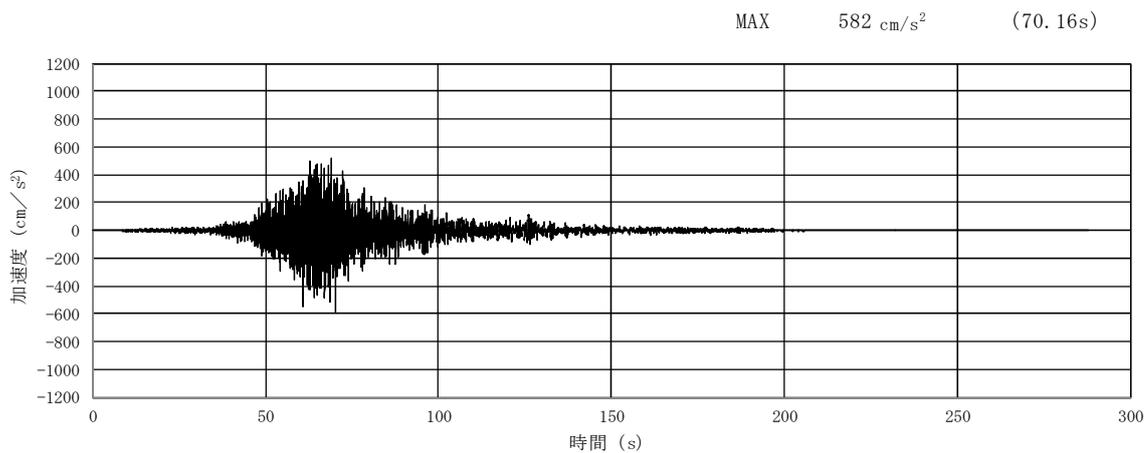


(a) 加速度時刻歴波形

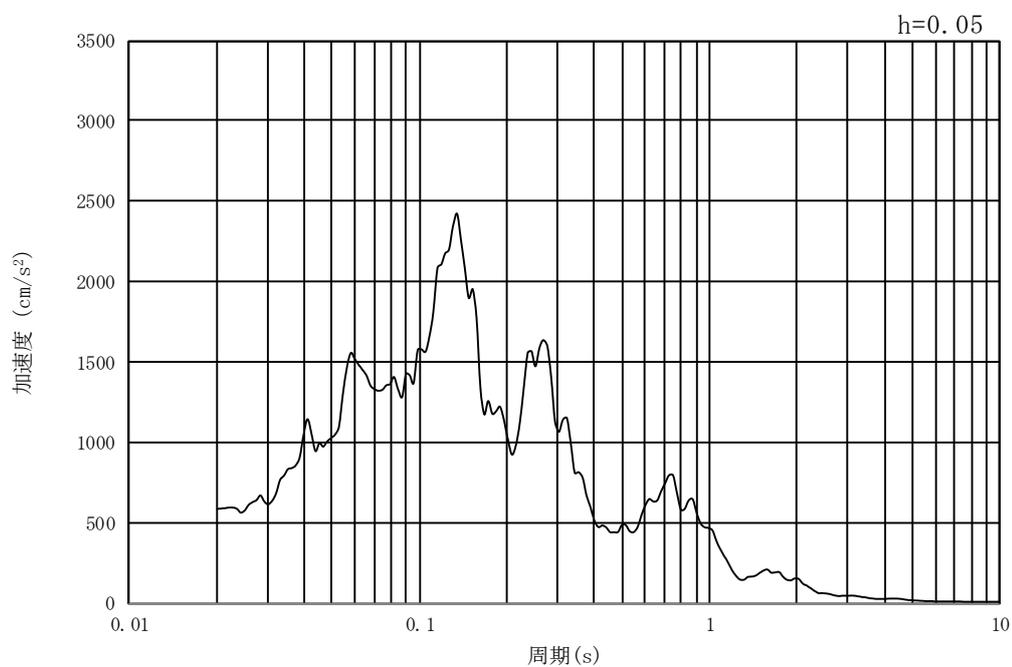


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (11) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 21$)

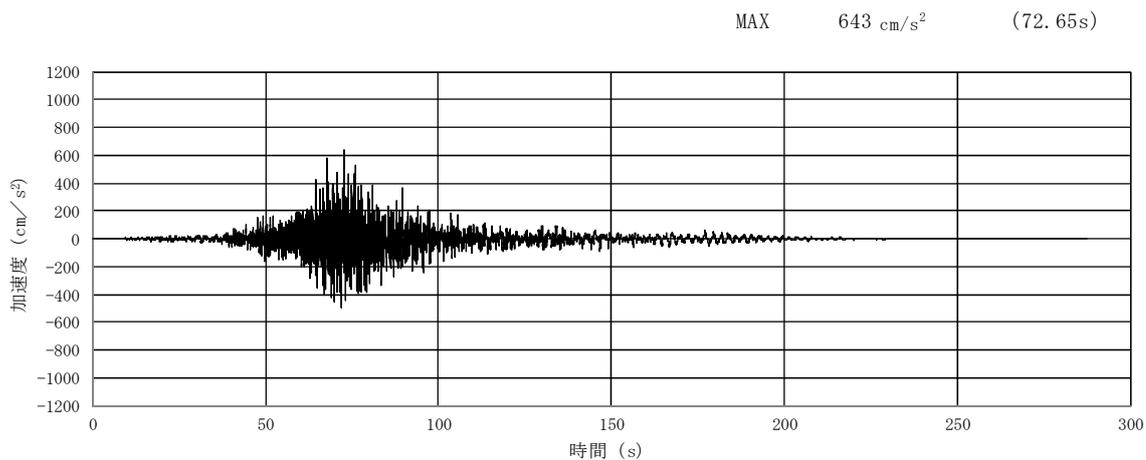


(a) 加速度時刻歴波形

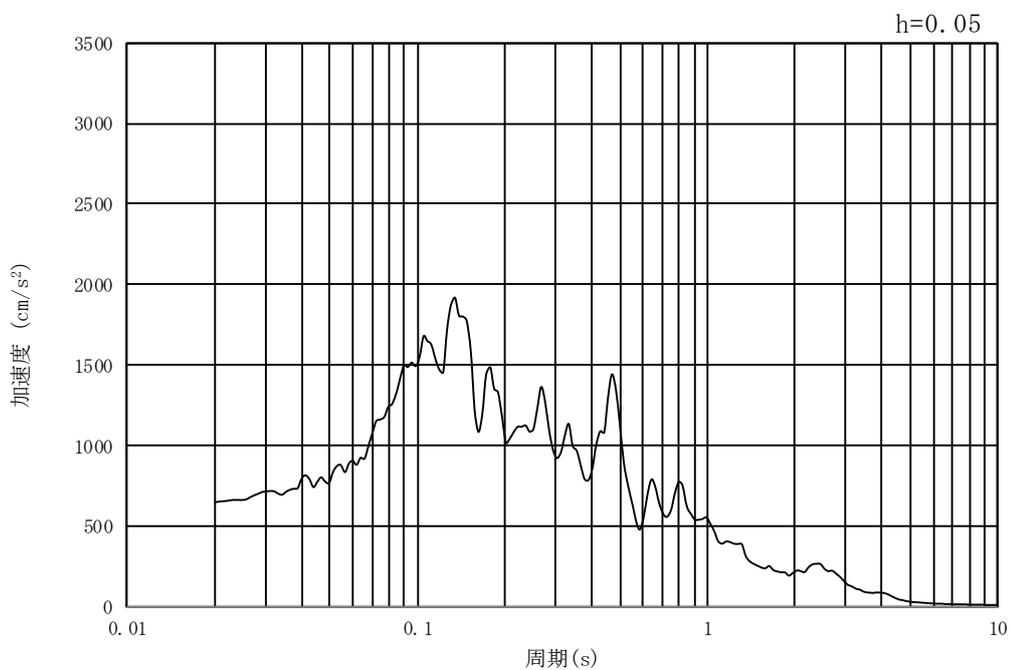


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (12) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S_s-2 1)

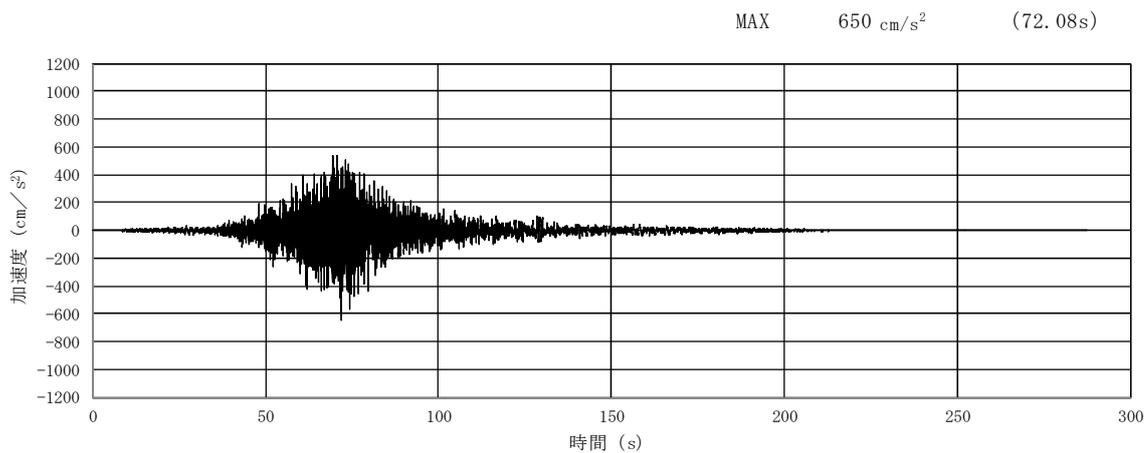


(a) 加速度時刻歴波形

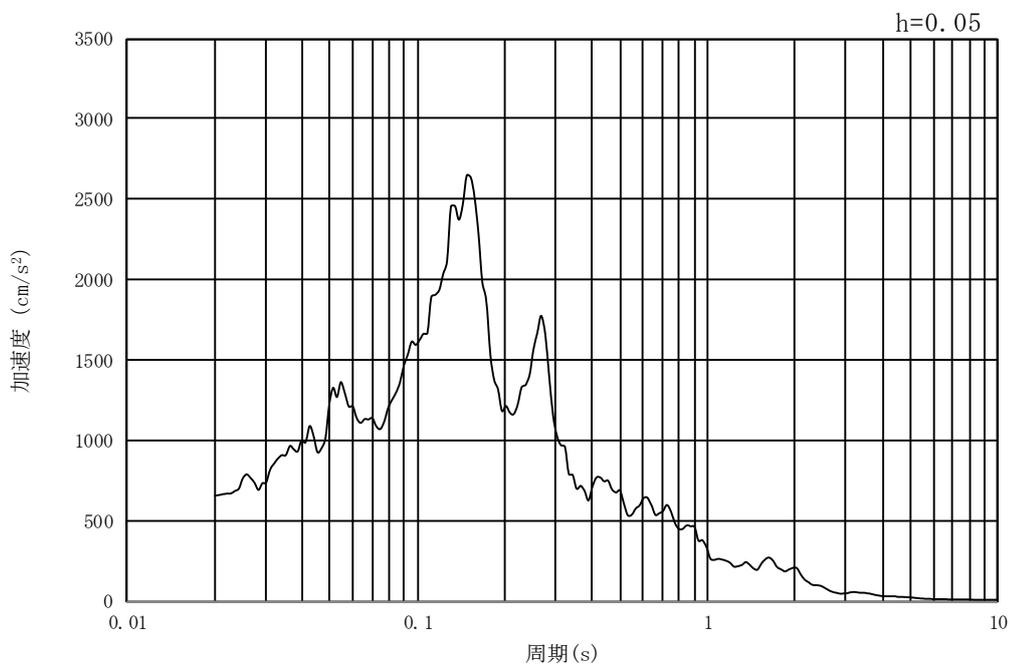


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (13) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 22$)

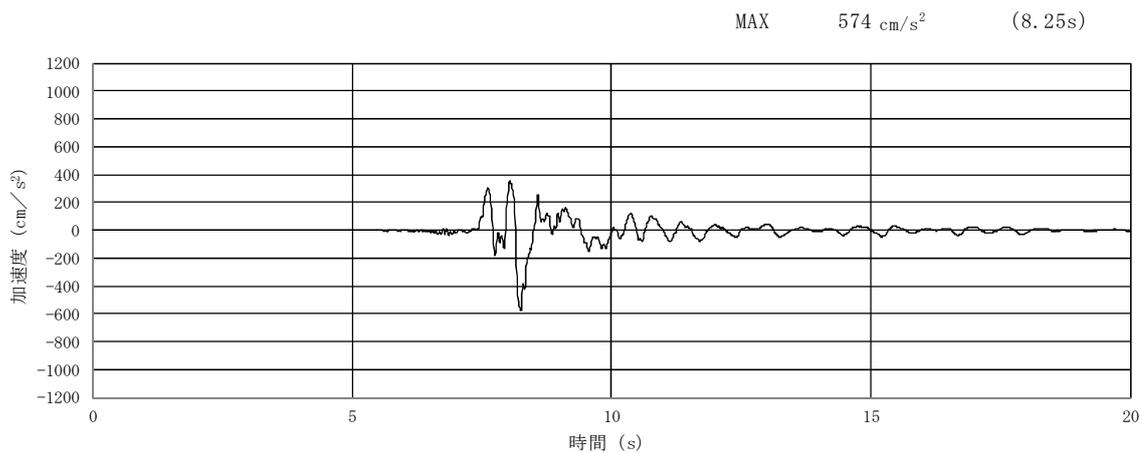


(a) 加速度時刻歴波形

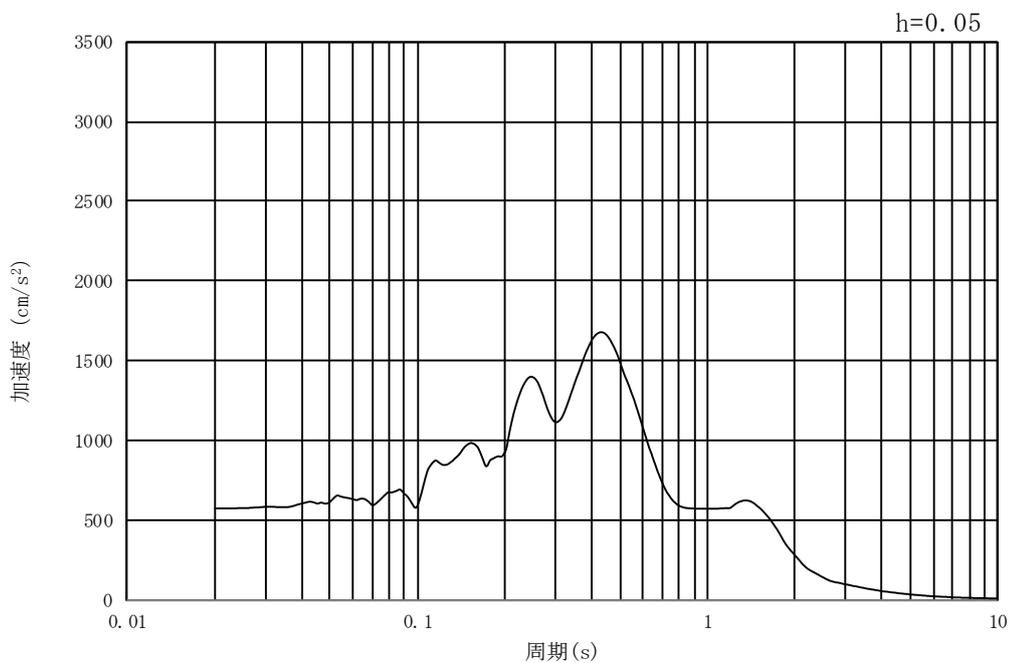


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-3 (14) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 22$)

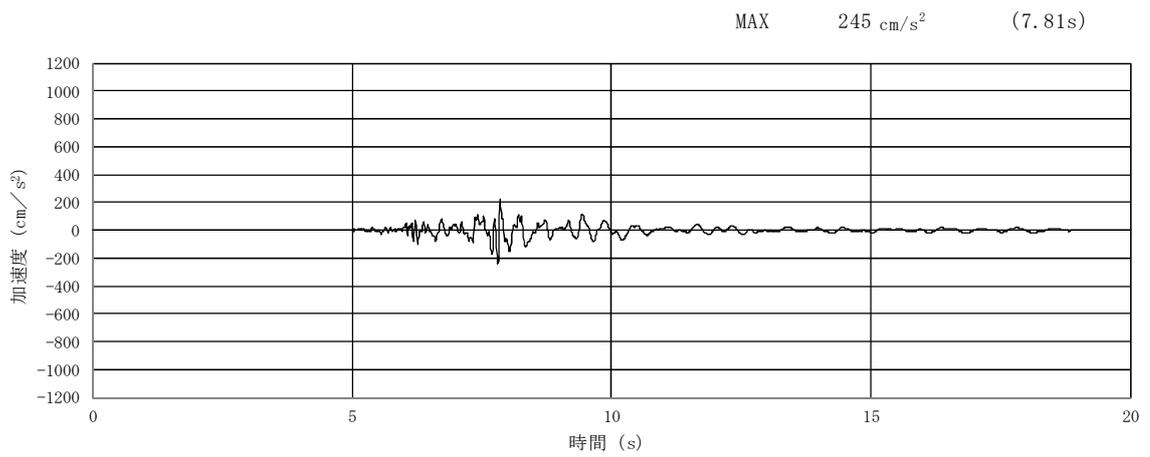


(a) 加速度時刻歴波形

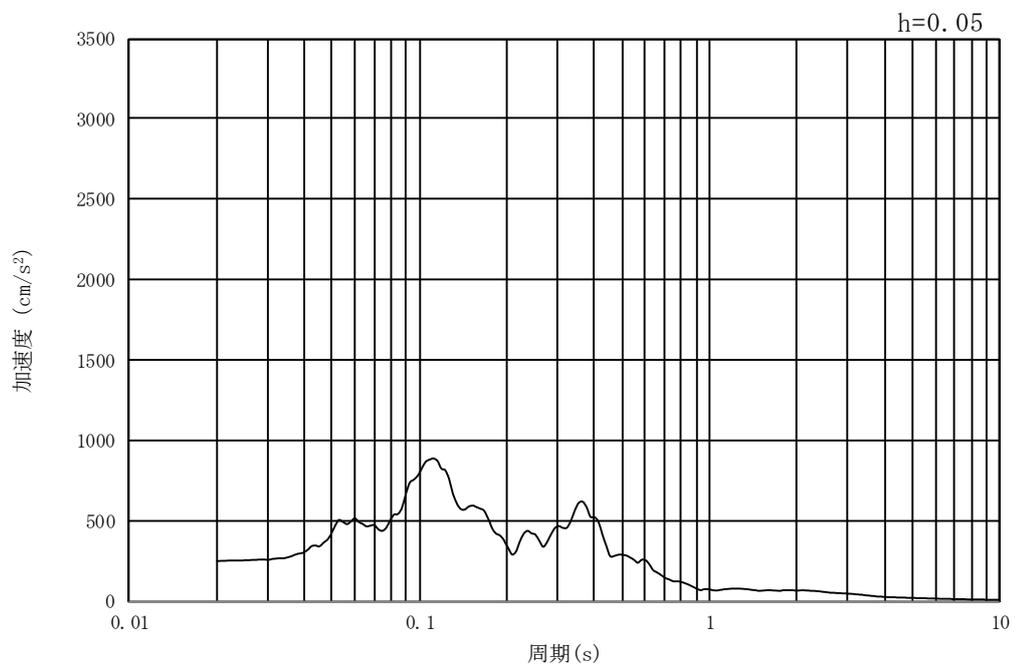


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-3 (15) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 31$)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (16) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 31$)

10.3.2 許容限界の設定

(1) 許容応力度による許容限界

常設低圧代替注水系配管カルバートの構造部材は、許容応力度による照査を行う。評価位置においてコンクリートの圧縮応力度、鉄筋の引張応力度、コンクリートのせん断応力度が許容応力度以下であることを確認する。許容応力度については、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年制定）」に基づき、**コンクリート及び鉄筋の許容応力度に対して割増係数 1.5 を考慮し、表 10.3-1 のとおり設定する。**

表 10.3-1 短期許容応力度

評価項目		短期許容応力度 (N/mm ²)
コンクリート*1 ($f'_{ck} = 40$ N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	21
	許容せん断応力度 τ_{a1}	0.825*2
鉄筋	SD345*1	294
	SD390*1	309

注記 *1: コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年制定）

*2: 斜め引張鉄筋を考慮する場合は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年制定）」に準拠し、次式により求められる許容せん断力 (V_a) を許容限界とする。各部材における許容限界を表 10.3-2 に示す。

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで、 V_{ca} : コンクリートの負担するせん断力

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

V_{sa} : 斜め引張鉄筋の負担するせん断力

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot j \cdot d / s$$

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w : 有効幅

j : $1/1.15$

d : 有効高さ

A_w : 斜め引張鉄筋断面積

σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度

s : 斜め引張鉄筋間隔

表 10.3-2 斜め引張鉄筋を配置する部材のせん断力に対する許容限界（追而）

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤の支持性能については、構造物の接地圧が基礎地盤の極限支持力以下であることを確認する。

常設低圧代替注水系配管カルバートの基礎地盤に作用する接地圧に対する許容限界は、常設低圧代替注水系配管カルバートの基礎地盤を構成する新第三系 Km 層の極限支持力を用いる。極限支持力については、「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」のケーソン基礎の設計に基づき、以下の通り設定する。

$$q_d = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q$$

ここで、

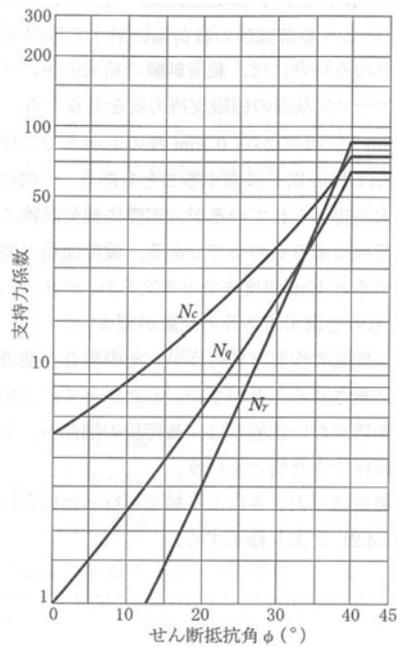
- q_d : 基礎底面地盤の極限支持力度
- c : 基礎底面より下にある地盤の粘着力
- γ_1 : 基礎底面より下にある地盤の単位体積重量。ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする
- γ_2 : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位体積重量。ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする
- α, β : 表 10.3-3 に示す基礎底面の形状係数
- D : 基礎幅
- D_f : 基礎の有効根入れ深さ
- N_c, N_q, N_γ : 図 10.3-3 に示す支持力係数

表 10.3-3 基礎底面の形状係数

形状係数	基礎底面の形状	帯状	正方形, 円形	長方形, 小判形
α		1.0	1.3	$1+0.3\frac{B}{D}$
β		1.0	0.6	$1-0.4\frac{B}{D}$

D : ケーソン前面幅 (m), B : ケーソン側面幅 (m)
 ただし, $B/D > 1$ の場合, $B/D = 1$ とする。

「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社)日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」より」



「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社)日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」より」

図 10.3-3 支持力係数を求めるグラフ

常設低圧代替注水系配管カルバートにおける許容限界を表 10.3-4 に示す。

表 10.3-4 基礎地盤の支持力に対する許容限界 (追而)

10.4 評価結果

10.4.1 地震応答解析結果

代替淡水貯槽の基準地震動 S_s による断面力(曲げモーメント, 軸力, せん断力)を図 10.4-1 及に示す。本図は構造部材の曲げ, せん断照査結果が最も厳しくなる部材の評価時刻における断面力を示したものである。

また, 最大せん断ひずみ分布図を図 10.4-2 に示し, 過剰間隙水圧比の分布図を図 10.4-3 に示す。これらの図は, 各要素に発生したせん断ひずみ及び過剰間隙水圧比の全時刻における最大値の分布を示したものである。

図 10.4-1 (1) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H+, V+]$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (2) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H+, V-]$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (3) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H-, V+]$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (4) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - D 1 [H-, V-]$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (5) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - 1 1$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (6) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - 1 2$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (7) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - 1 3$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (8) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - 1 4$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (9) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - 2 1$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (10) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - 2 2$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (11) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$, $t=00. 00s$)

図 10.4-1 (12) 東西方向断面の地震時断面力 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$, $t=00. 00s$)

図 10.4-2 (1) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 10.4-2 (2) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 10.4-2 (3) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 10.4-2 (4) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 10.4-2 (5) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)

図 10.4-2 (6) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 2$)

図 10.4-2 (7) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 3$)

図 10.4-2 (8) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 4$)

図 10.4-2 (9) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 1$)

図 10.4-2 (10) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 2$)

図 10.4-2 (11) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 10.4-2 (12) 東西方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 10.4-3 (1) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 10.4-3 (2) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 10.4-3 (3) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 10.4-3 (4) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 10.4-3 (5) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 1$)

図 10.4-3 (6) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 2$)

図 10.4-3 (7) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 3$)

図 10.4-3 (8) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 4$)

図 10.4-3 (9) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 1$)

図 10.4-3 (10) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 2$)

図 10.4-3 (11) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 10.4-3 (12) 東西方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

10.4.2 耐震評価結果

コンクリートの曲げ照査結果を表 10.4-1 に，鉄筋の曲げ照査結果を表 10.4-2 にそれぞれ示す。

常設低圧代替注水系配管カルバートにおける許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。なお，発生応力度は各地震動，各部材において最大となる値を示している。

以上より，常設低圧代替注水系配管カルバートの構造部材の応答値は，許容限界以下であることを確認した。

概略配筋図を図 10.4-4 に，断面計算に用いた断面諸元の一覧を表 10.4-3 に示す。

表 10.4-1 (1) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (2) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (3) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (4) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (5) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (6) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (1) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (2) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (3) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (4) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (5) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (6) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

図 10.4-4 概略配筋図 (東西断面方向)

表 10.4-3 断面諸元一覧表 (東西断面方向)

(2) 構造部材のせん断に対する評価結果

表 10.4-4 にせん断に対する照査結果を示す。

常設低圧代替注水系配管カルバートにおける許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が許容せん断応力度以下又は発生せん断力がコンクリートの許容せん断力 ($V_{c,a}$) と、斜め引張鉄筋の許容せん断力 ($V_{s,a}$) を合わせた許容せん断力 (V_a) 以下であることを確認した。なお、発生応力度及び発生断面力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上より、常設低圧代替注水系配管カルバートの構造部材の応答値は、許容限界以下であることを確認した。

図 10.4-5 に概略配筋図を、表 10.4-5 に断面計算に用いた断面諸元の一覧を示す。

表 10.4-4 (1) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (2) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (3) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (4) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (5) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (6) せん断照査結果 (東西断面方向)

図 10.4-5 概略配筋図 (東西断面方向)

表 10.4-5 断面諸元一覧表 (東西断面方向)

(3) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

表 10.4-6 に基礎地盤の支持性能評価結果を，図 10.4-6 に接地圧分布図を示す。

常設低圧代替注水系配管カルバートの接地圧は $S_s - D 1$ [H+, V+] (東西断面方向) で $\bigcirc\bigcirc \text{ kN/m}^2$ であり，基礎地盤の極限支持力 $\Delta\Delta \text{ kN/m}^2$ 以下である。

以上のことから，常設低圧代替注水系配管カルバートの基礎地盤は，基準地震動 S_s に対し，支持性能を有する。

表 10.4-6 基礎地盤の支持性能評価結果

図 10.4-6 (1) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - D 1$ [H+, V+])

図 10.4-6 (2) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - D 1$ [H+, V-])

図 10.4-6 (3) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - D 1$ [H-, V+])

図 10.4-6 (4) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - D 1$ [H-, V-])

図 10.4-6 (5) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - 1 1$)

図 10.4-6 (6) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - 1 2$)

図 10.4-6 (7) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - 1 3$)

図 10.4-6 (8) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - 1 4$)

図 10.4-6 (9) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - 2 1$)

図 10.4-6 (10) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - 2 2$)

図 10.4-6 (11) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - 3 1$ [H+, V+])

図 10.4-6 (12) 東西断面方向の接地圧分布図 ($S_s - 3 1$ [H-, V+])

10.5 まとめ（追而）

11. 格納容器圧力逃がし装置用カルバートの耐震安全性評価

目次

11.1 評価方法	2
11.2 評価条件	2
11.2.1 適用基準	2
11.2.2 耐震安全性評価フロー	4
11.2.3 評価対象断面の方向	5
11.2.4 評価対象断面の選定	7
11.2.5 使用材料及び材料定数	10
11.2.6 地下水位	13
11.2.7 地震応答解析手法	13
11.2.8 解析モデルの設定	14
11.2.9 減衰定数	19
11.2.10 荷重の組合せ	21
11.2.11 地震応答解析の検討ケース	23
11.3 評価内容	25
11.3.1 入力地震動の設定	25
11.3.2 許容限界の設定	42
11.4 評価結果	45
11.4.1 地震応答解析結果	45
11.4.2 耐震評価結果	45
11.5 まとめ	46

11.1 評価方法

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは、格納容器圧力逃がし装置用配管を間接支持する鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、内空寸法で延長約 37 m、幅約 3 m～9 m（東西方向）、高さ約 8 m である。また、人工岩盤を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートについて基準地震動 S_s による耐震安全性評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び地盤の支持性能評価を実施する。

構造部材の曲げ、せん断評価については地震応答解析に基づく発生応力度又は発生せん断力が許容限界を超えないことを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

11.2 評価条件

11.2.1 適用基準

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震評価に当たっては、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会、2002 年制定）、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（（社）日本建築学会、2005 年）等に準拠するが、鉄筋コンクリートの曲げ及びせん断の許容限界については、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）を参考とする。

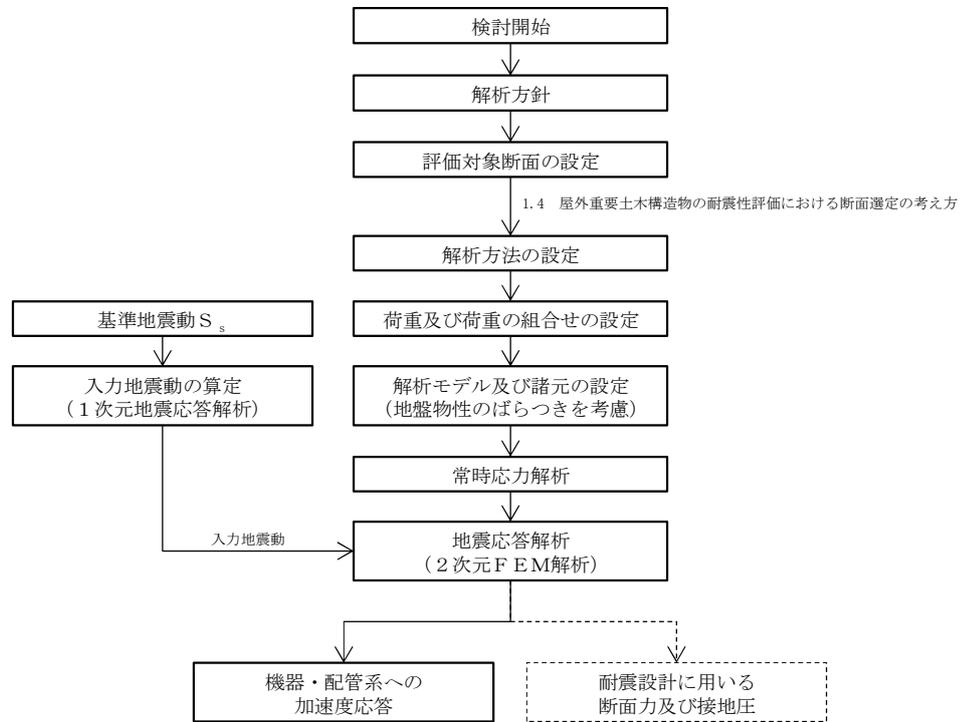
表 11.2-1 に適用する規格、基準類を示す。

表 11.2-1 適用する規格, 基準類

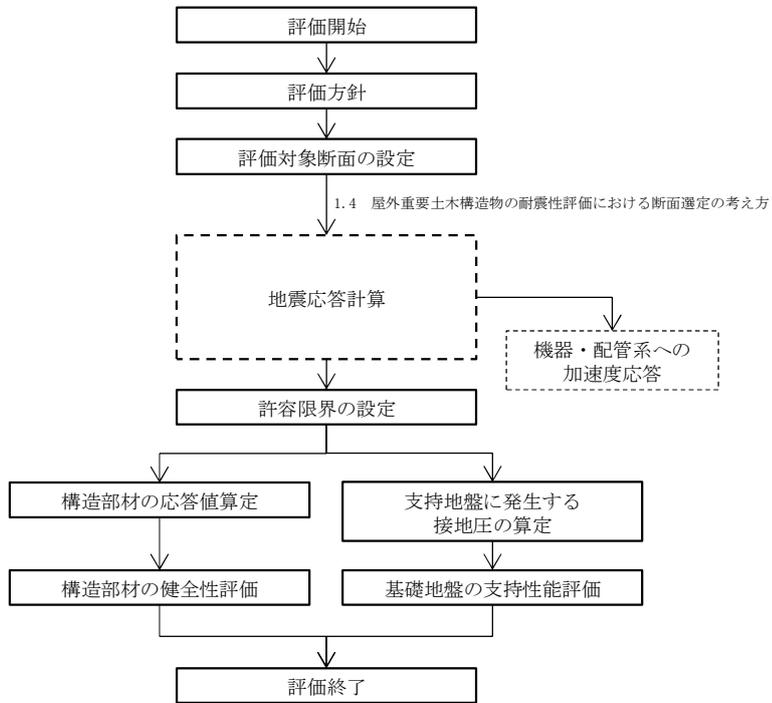
項目	参考とする主な基準	備考
使用材料及び材料定数	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕(2002年制定) ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2005年) 	—
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕(2002年制定) 	<ul style="list-style-type: none"> ・永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕(2002年制定) ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (平成 24 年 3 月) ・ J E A G 4 6 0 1 -1987 	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げに対する照査は, 発生応力が, 許容応力以下であることを確認 ・せん断に対する照査は, 発生応力又は発生せん断力が, 許容限界以下であることを確認
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> ・ J E A G 4 6 0 1 -1987 	<ul style="list-style-type: none"> ・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

11.2.2 耐震安全性評価フロー

図 11.2-1 に格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震安全性評価フローを示す。



<地震応答計算>



<耐震性評価>

図 11.2-1 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震安全性評価フロー

11.2.3 評価対象断面の方向

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの位置を図 11.2-2 に示す。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは、延長約 37 m の鉄筋コンクリート造である。格納容器圧力逃がし装置用カルバートの縦断方向（南北方向）は、加振方向と平行に配置される躯体を耐震設計上見込むことができるため強軸断面方向となる。一方、横断方向（東西方向）は加振方向と平行に躯体が少ないことから、弱軸断面方向となる。

以上のことから、格納容器圧力逃がし装置用カルバートの耐震評価では、構造の安定性に支配的な東西方向を評価対象断面の方向とする。

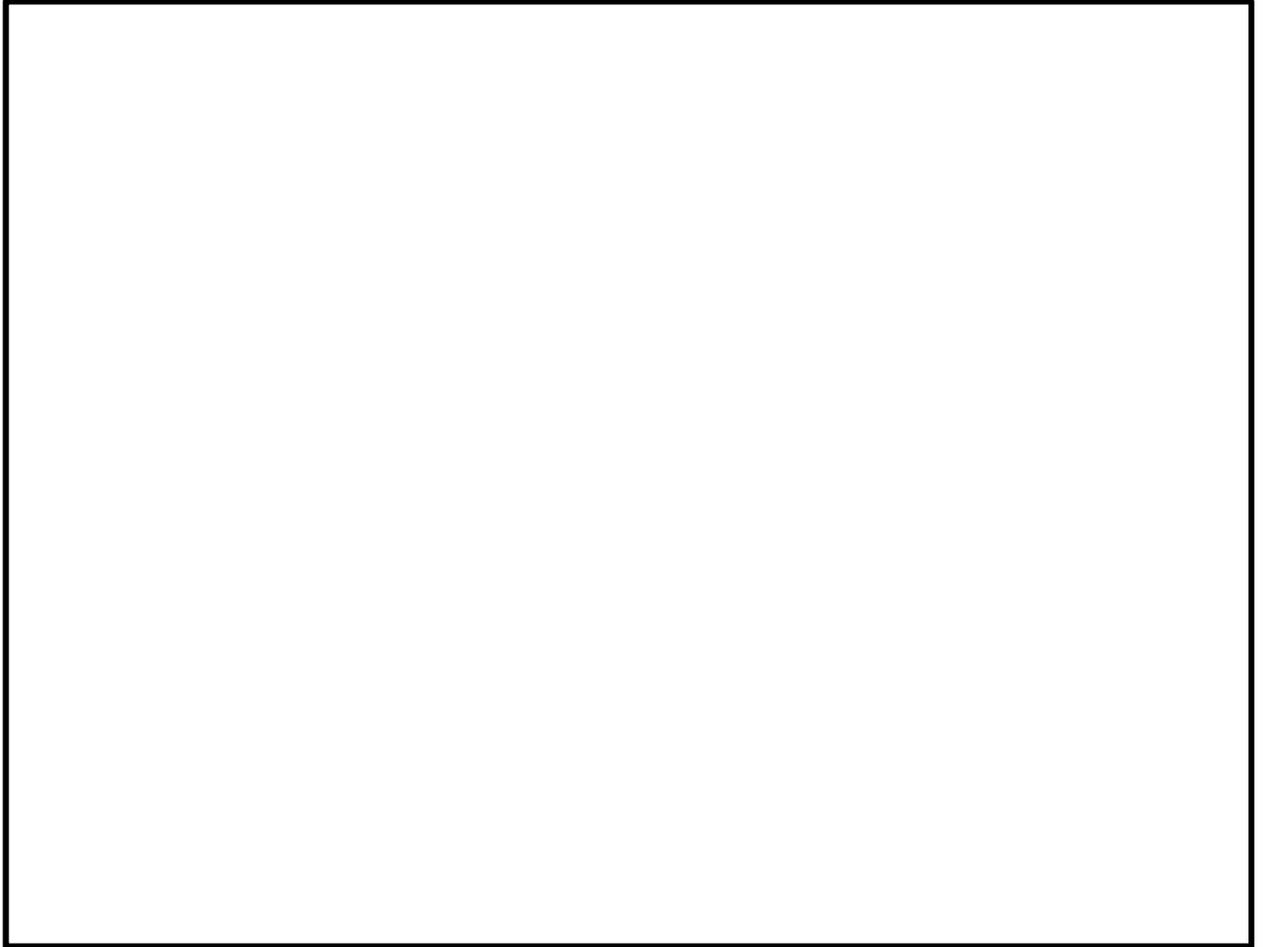


図 11.2-2 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの位置図（全体平面図）

11.2.4 評価対象断面の選定

図 11.2-3 及び図 11.2-4 に格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの断面位置図及び断面図を示す。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは、延長約 37 m の鉄筋コンクリート造である。

評価対象断面は、「1.4.11 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの断面選定の考え方」で記載したとおり、構造物のほぼ中央部の一般部であり、構造物の弱軸断面方向である A-A 断面を代表として耐震評価を実施する。

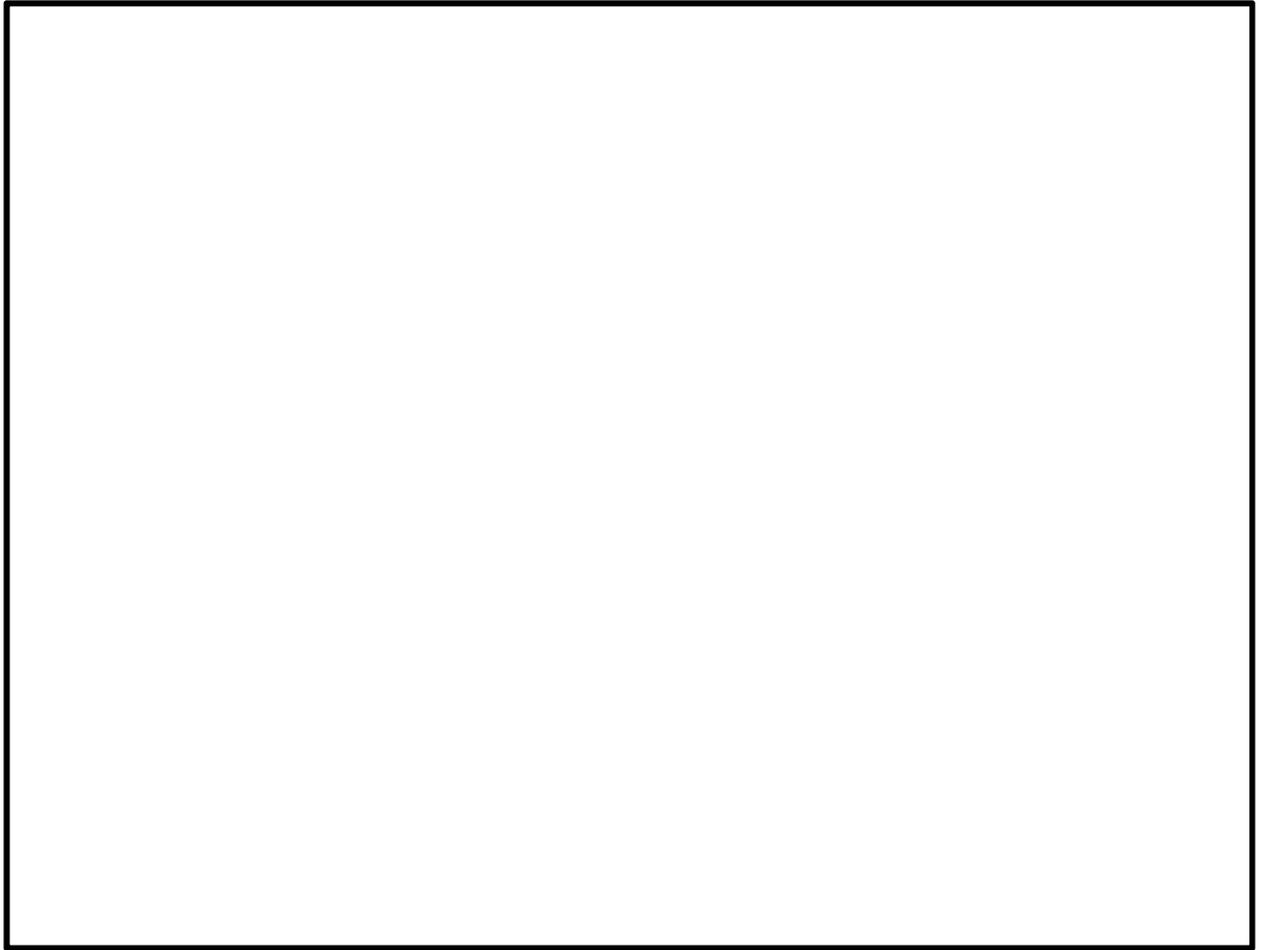


図 11.2-3 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの断面位置図

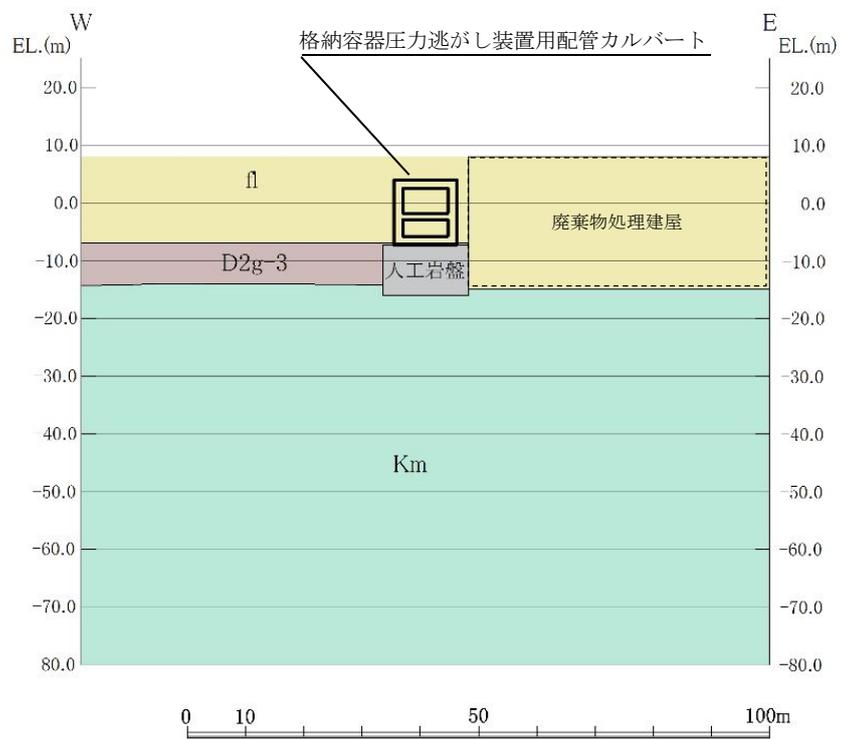


図 11.2-4 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの断面図 (A-A 断面)

11.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 11.2-2 に、材料物性値を表 11.2-3 に示す。

地盤の諸定は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切にモデル化する。地盤の物性値を表 11.2-4 に示す。

表 11.2-2 使用材料

諸元	
コンクリート	設計基準強度 40 N/mm ²
鉄筋	SD490
人工岩盤（新設）	設計基準強度 18 N/mm ²

表 11.2-3 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.5	3.1×10 ⁴	0.2
人工岩盤（新設）	23.0	2.06×10 ⁴	0.2

表 11.2-4(1) 地盤の解析用物性値一覧（液状化検討対象層）

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系（液状化検討対象層）							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 ()は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 ()は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 ()は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

表 11.2-4 (2) 地盤の解析用物性値一覧（非液状化層）

パラメータ				原地盤				
				第四系（非液状化層）				新第三系
				Ac	D2c-3	1m	D1c-1	Km
物理特性	密度 ()は地下水位以浅	ρ	g/cm ²	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 ()は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z (標高) 毎に物性値を 設定
	基準初期せん断剛性 ()は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026	
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 11.2-4 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP(m) Z	適用深度 TP(m)	密度 ρ (g/cm)	静ポアソン比 ν^{CD}	粘着力 C_D (kN/m)	内部摩擦角 ϕ_{CD} ($^{\circ}$)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 Gma (kN/m)	基準体積 弾性係数 Kma (kN/m)	基準平均有効 主応力 σ'_{ma} (kN/m)	拘束圧 依存係数 m6, mK	最大履歴 減衰率 hmax(-)	動ポアソン比 ν^d	確密波 速度Vp (m/s)	1000*Vp
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326,965	371,843	504	0.0	0.108	0.463	1,661	1,661,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644	1,644,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331,480	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652	1,652,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332,992	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656	1,656,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659	1,659,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663	1,663,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,671	1,671,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654	1,654,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	504	0.0	0.112	0.461	1,662	1,662,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,665	1,665,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348,300	381,471	498	0.0	0.112	0.461	1,673	1,673,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351,403	384,870	498	0.0	0.113	0.461	1,680	1,680,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352,959	386,574	498	0.0	0.113	0.460	1,664	1,664,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356,083	389,996	498	0.0	0.114	0.460	1,672	1,672,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357,650	391,712	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	360,794	395,155	498	0.0	0.115	0.460	1,683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362,371	396,883	498	0.0	0.115	0.459	1,667	1,667,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365,536	400,349	498	0.0	0.115	0.459	1,675	1,675,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367,124	402,088	498	0.0	0.116	0.459	1,678	1,678,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370,309	405,577	498	0.0	0.116	0.459	1,685	1,685,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371,907	407,327	498	0.0	0.117	0.459	1,689	1,689,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375,113	410,838	498	0.0	0.117	0.458	1,678	1,678,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376,721	412,599	498	0.0	0.117	0.458	1,681	1,681,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379,948	416,134	498	0.0	0.118	0.458	1,688	1,688,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385,416	422,122	498	0.0	0.118	0.458	1,696	1,696,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387,051	423,913	498	0.0	0.118	0.458	1,699	1,699,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390,331	427,505	498	0.0	0.118	0.457	1,688	1,688,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391,976	429,307	498	0.0	0.119	0.457	1,692	1,692,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395,277	432,922	498	0.0	0.119	0.457	1,699	1,699,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396,933	434,736	498	0.0	0.120	0.457	1,702	1,702,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400,255	422,491	492	0.0	0.120	0.457	1,709	1,709,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401,921	424,250	492	0.0	0.120	0.456	1,695	1,695,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405,263	427,778	492	0.0	0.120	0.456	1,702	1,702,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406,939	429,547	492	0.0	0.121	0.456	1,705	1,705,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410,302	433,097	492	0.0	0.121	0.456	1,712	1,712,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413,679	436,661	492	0.0	0.121	0.456	1,719	1,719,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415,373	438,449	492	0.0	0.122	0.455	1,705	1,705,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418,771	442,036	492	0.0	0.122	0.455	1,712	1,712,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420,475	443,835	492	0.0	0.122	0.455	1,716	1,716,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423,893	447,443	492	0.0	0.122	0.455	1,723	1,723,000
57	-82	-85 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425,608	449,253	492	0.0	0.123	0.455	1,726	1,726,000
58	-88	-90 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434,232	458,356	492	0.0	0.124	0.454	1,726	1,726,000
59	-92	-95 ~ -90	1.73	0.14	913	14.1	504	439,448	463,862	492	0.0	0.124	0.454	1,736	1,736,000
60	-98	-101 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	448,210	473,111	492	0.0	0.125	0.453	1,736	1,736,000
61	-104	-108 ~ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	455,282	463,485	486	0.0	0.126	0.452	1,733	1,733,000
62	-112	-115 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465,995	474,391	486	0.0	0.127	0.451	1,737	1,737,000
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475,016	483,575	486	0.0	0.127	0.451	1,754	1,754,000
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485,957	494,713	486	0.0	0.128	0.450	1,758	1,758,000

11.2.6 地下水位

地下水位は地表面に設定する。

11.2.7 地震応答解析手法

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。部材については、はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。地震応答解析については、解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録24「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図11.2-5に示す。

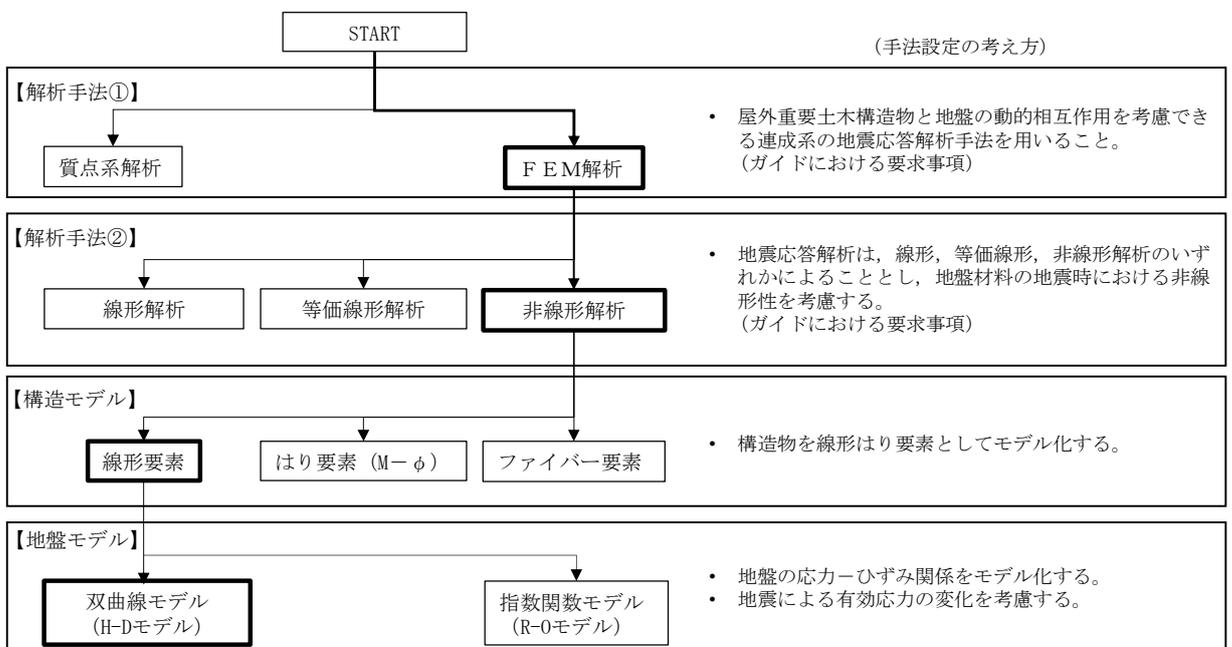


図 11.2-5 地震応答解析手法の選定フロー

H-D モデルの選定理由は次の通りである。すなわち、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線

に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた上記の2つの特徴を適切に表現できる双曲線モデル (H-D モデル) を選定する。

11.2.8 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 -1987 を参考に、図 11.2-6 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の5倍以上、モデル高さを構造物幅の2倍以上確保する。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート周辺の地質断面図を図 11.2-7 に示す。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長に対して5または4分割以上になるように要素高さを設定している。

地震応答解析モデルを図 11.2-8 に示す。

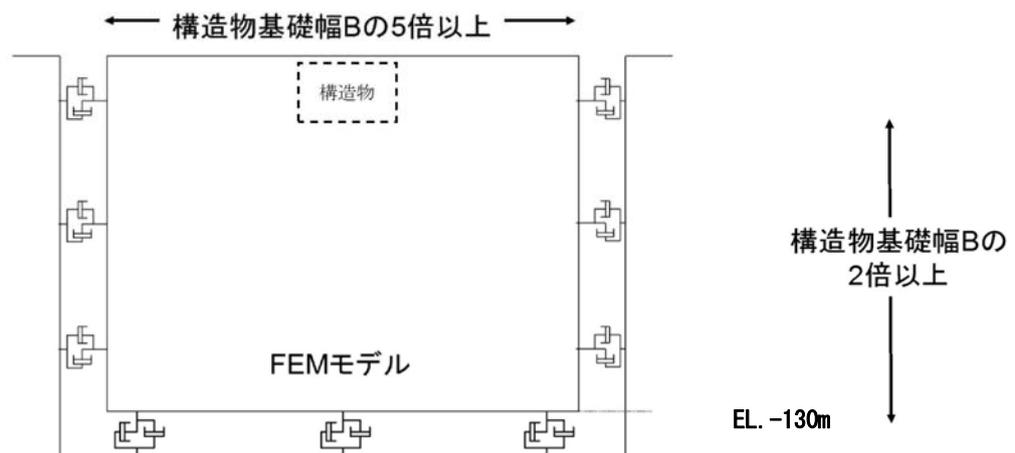


図 11.2-6 モデル範囲の考え方

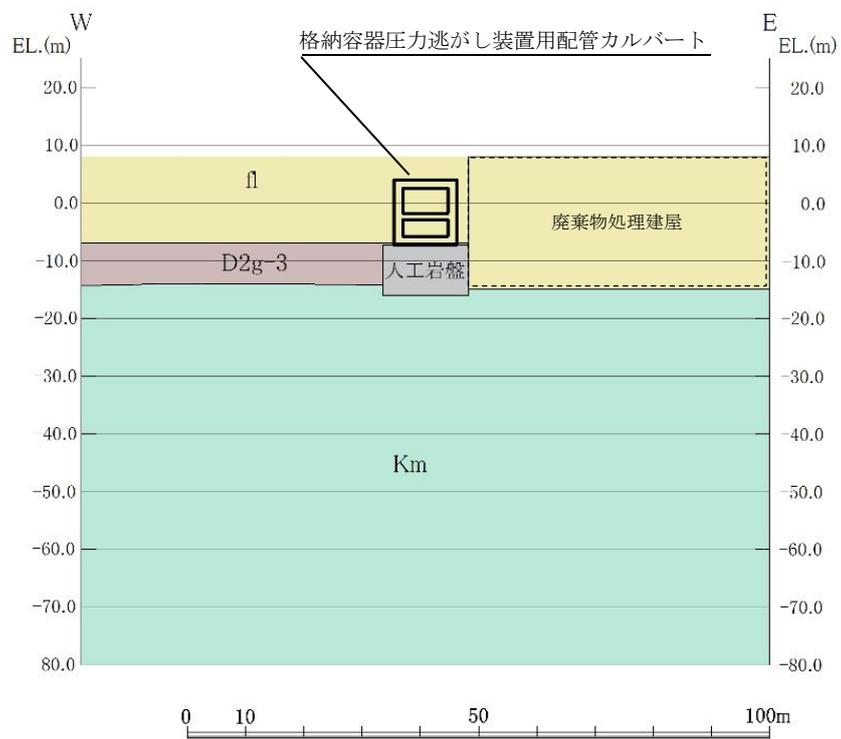


図 11.2-7 地質断面図 (A-A 断面)

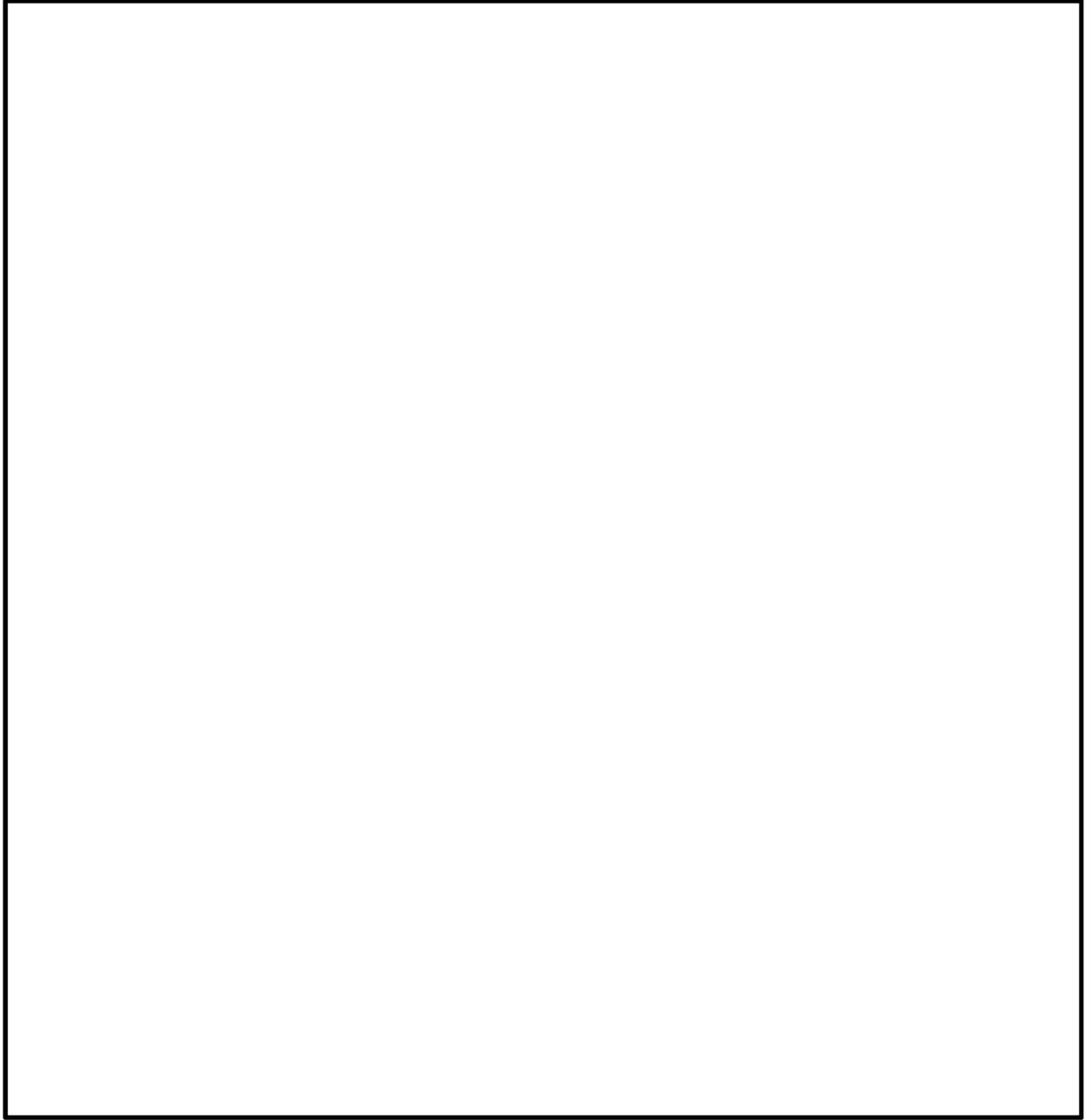


図 11.2-8 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答解析モデル (A-A 断面)

(2) ジョイント要素の設定

構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。

ジョイント要素は法線方向、接線方向に分けて二重節点として設定する。法線方向では、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。接線方向では、構造物と地盤のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。c、 ϕ は周辺地盤の c、 ϕ とする。（表 11.2-5 参照）

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 11.2-5 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	f1 層	0	37.3	du 層で代用
	D2g-3 層	0	44.4	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—

z : 標高 (m)

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、表 11.2-6 のとおり設定する。図 11.2-9 にジョイント要素設定の考え方を示す。

表 11.2-6 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6



(A-A 断面)

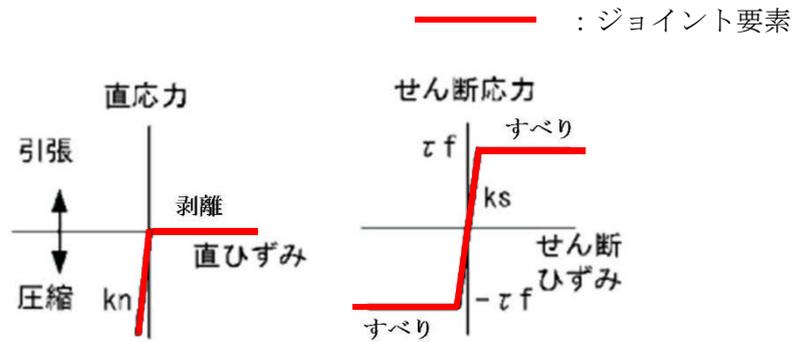


図 11.2-9 ジョイント要素の考え方

(3) 材料特性の設定

地震応答解析における鉄筋コンクリート部材は、線形のはり要素としてモデル化する。
 地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

11.2.9 減衰定数

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトして行くことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 α [M]の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように、低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

ここで、

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

係数 α 、 β は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

地盤の減衰定数は1%（解析における減衰は、ひずみが大きい領域では履歴減衰が支配的となる。そのため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している。）また、線形材料としてモデル化するコンクリートの減衰定数は5%（J E A G 4 6 0 1 -1987）とする。

図 11.2-10 に Rayleigh 減衰の設定フローを、表 11.2-7 に固有値解析結果を示す。

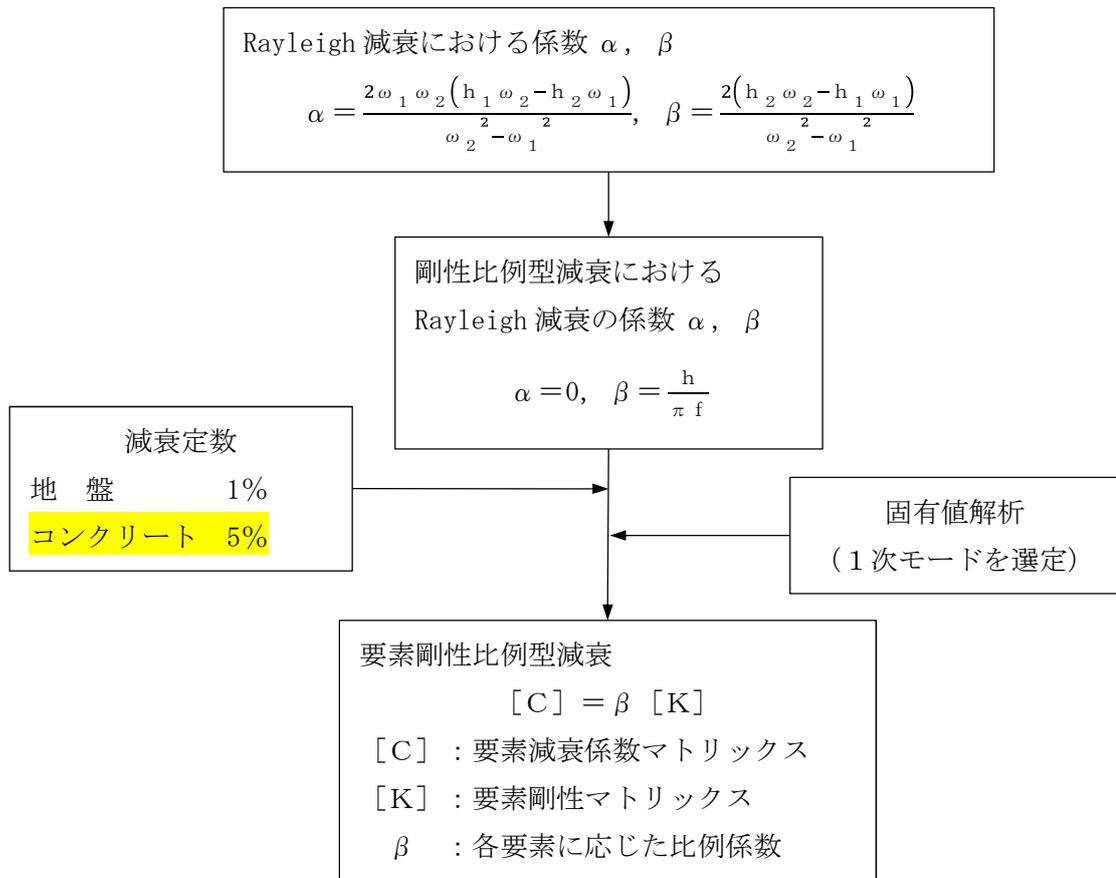


図 11.2-10 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 11.2-7 固有値解析結果 (追而)

11.2.10 荷重の組合せ

耐震性能照査にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重には、地震時土圧、動水圧、機器・配管系からの反力による荷重が含まれるものとする。

変動荷重については、発電所の立地特性や格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートが埋設された構造物であると考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力と組合せる荷重としては除外した。

なお、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは、地盤内に埋設されている構造物であることから運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられるため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また重大事故等対処時においても、地盤内で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 11.2-8 に示す。地震時に格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートに作用する機器・配管系からの反力については、機器・配管系を、解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 11.2-8 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○	・設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定
		機器・配管自重	○	・機器・配管の重さに基づいて設定
		土被り荷重	○	・常時応力解析により設定
		永久上載荷重	—	・恒常的に配置された設備等はないことから、考慮しない
	静止土圧		○	・常時応力解析により設定
	外水圧		○	・地下水位に応じた静水圧として設定 ・地下水の密度を考慮
	内水圧		—	・水を保有しない設備であることから、考慮しない
変動荷重	雪荷重	—	・地中に埋設され地表面に構造物が現れないことから、考慮しない	
	風荷重	—	・地中に埋設された構造物であるため、考慮しない	
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振	
	鉛直地震動	○	・躯体、機器・配管の慣性力、動土圧を考慮	
	動水圧	○	・水位条件、密度は、永久荷重と同様	

(1) 機器・配管荷重

図 11.2-11 に A-A 断面における機器・配管荷重図を示す。

機器・配管荷重は解析の単位奥行き (1 m) あたりの付加質量として考慮する。

EL. -1.80 m レベル及び EL. -5.80 m レベルに機器・配管質量として 110 kg/m^2 を考慮する。

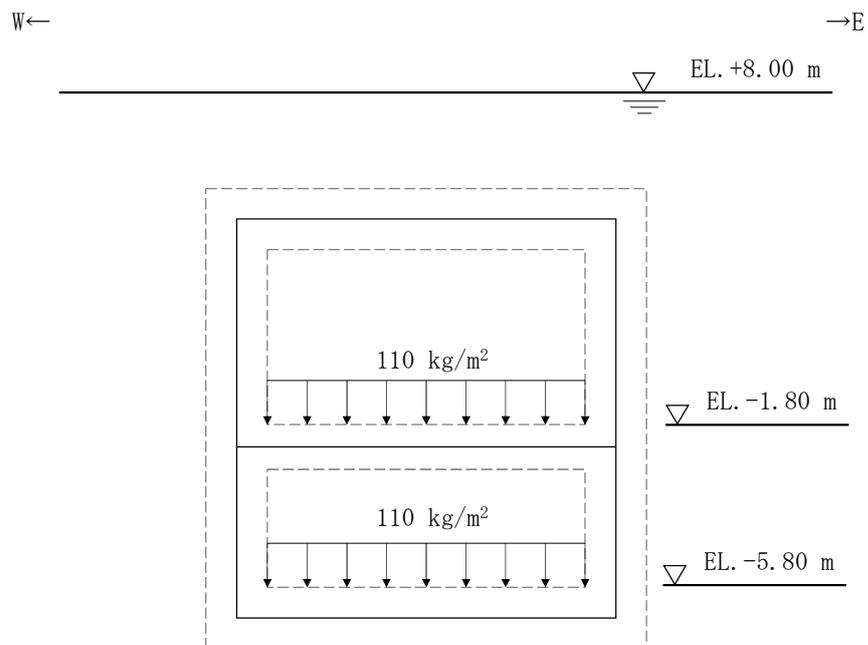


図 11.2-11 機器・配管荷重図 (A-A 断面)

(2) 外水圧

地下水位は地表面として設定する。設定の際は、地下水の密度として、 1.00 g/cm^3 を考慮する。

11.2.11 地震応答解析の検討ケース

(1) 耐震設計における検討ケース

耐震設計における検討ケースを表 11.2-9 に示す。

表 11.2-9 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震設計における検討ケース

検討ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波(位相)	S _s -D 1	(++)	1	1	1	1	1
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(--)	1				
	S _s -1 1	(++)	1				
	S _s -1 2	(++)	1				
	S _s -1 3	(++)	1				
	S _s -1 4	(++)	1				
	S _s -2 1	(++)	1				
	S _s -2 2	(++)	1				
S _s -3 1	(++)	1					
	(-+)	1					
計		12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用いて実施する。
最も厳しい地震動の選定にあたっては、各施設の評価部位(上部構造及び下部構造)毎に1波選定する。

異なる建屋・構築物間の相対変位の算定は、上記ケースの中で、変位量が最も大きいケースにて行う。

11.3 評価内容

11.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1次元波動論によって、地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

図 11.3-1 に入力地震動算定の概念図を、図 11.3-2 に入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。

なお、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。断層モデル波である $S_s-11 \sim S_s-22$ については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向を考慮し、方位補正を行う。具体的には NS 方向及び EW 方向の地震動について構造物の評価断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した地震動を設定する。

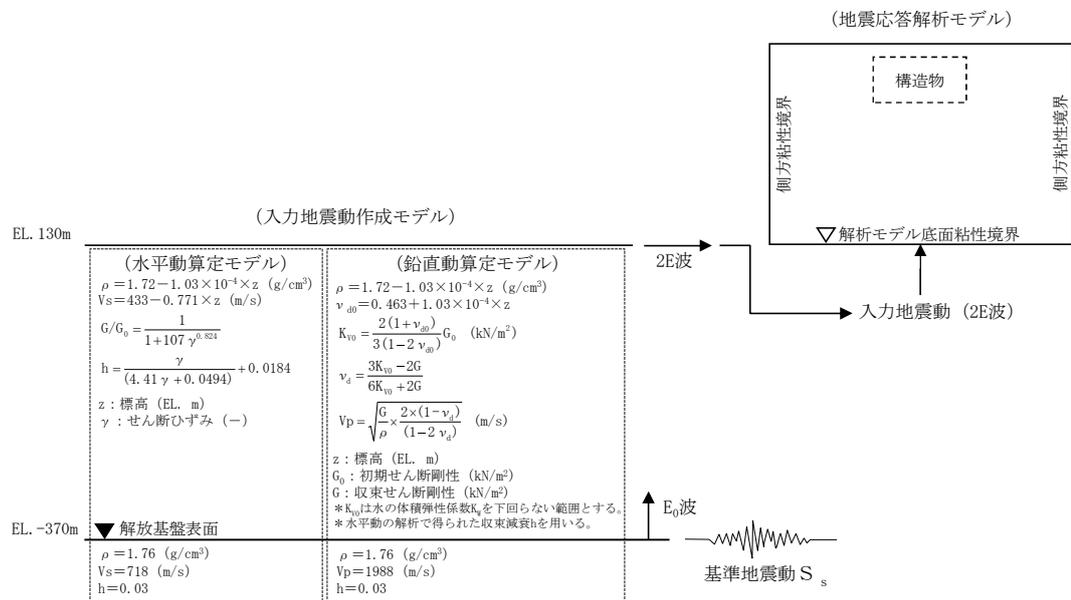
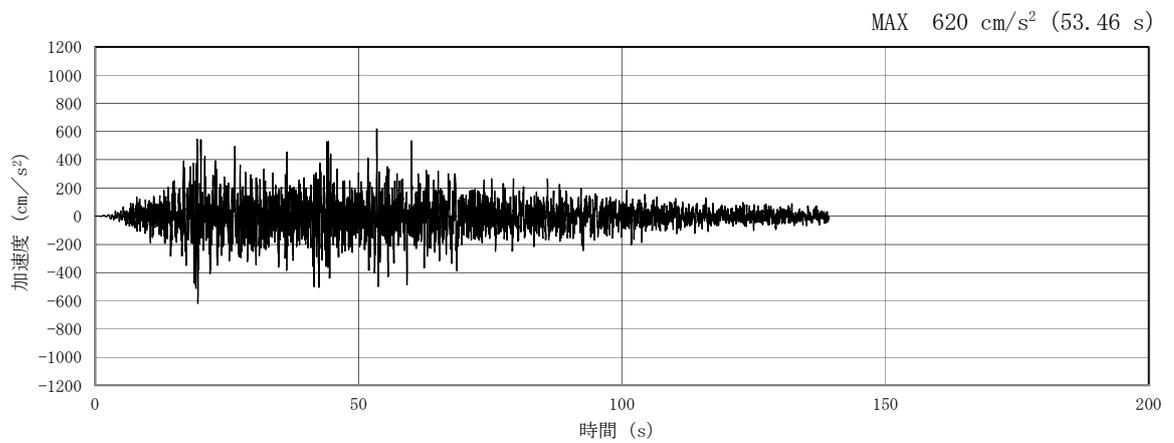
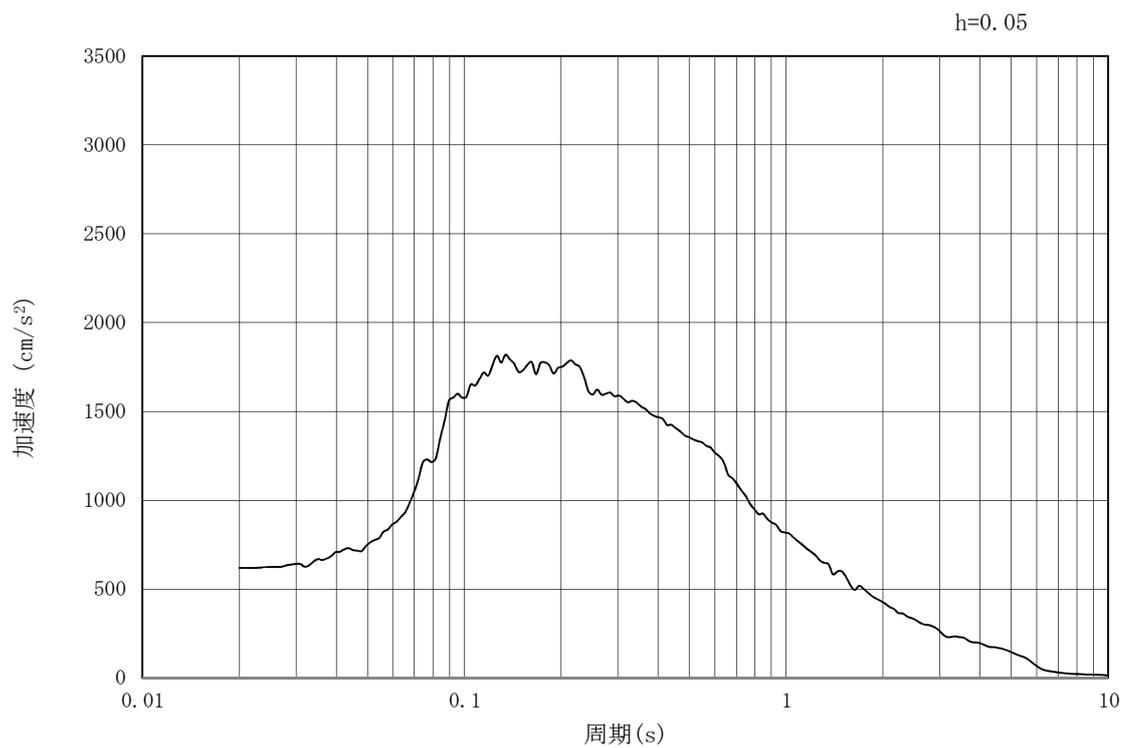


図 11.3-1 入力地震動算定の概念図

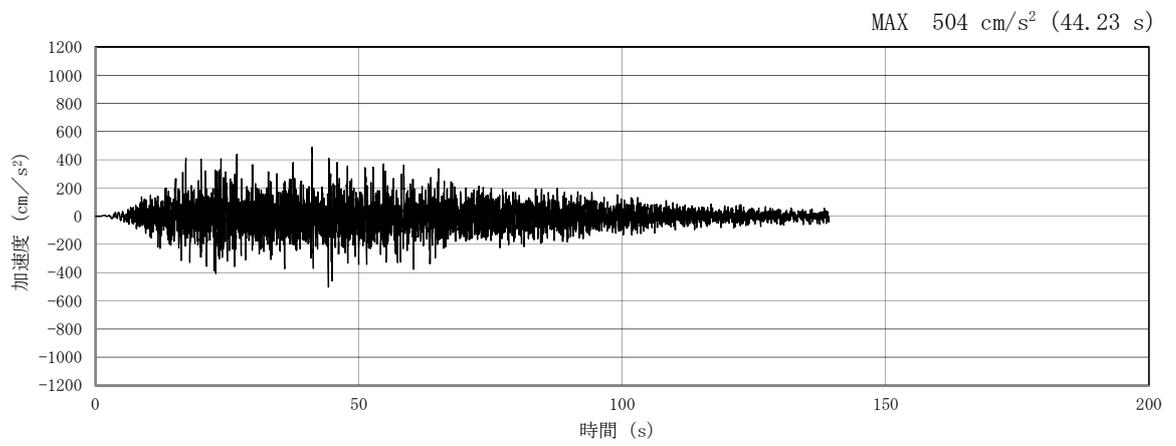


(a) 加速度時刻歴波形

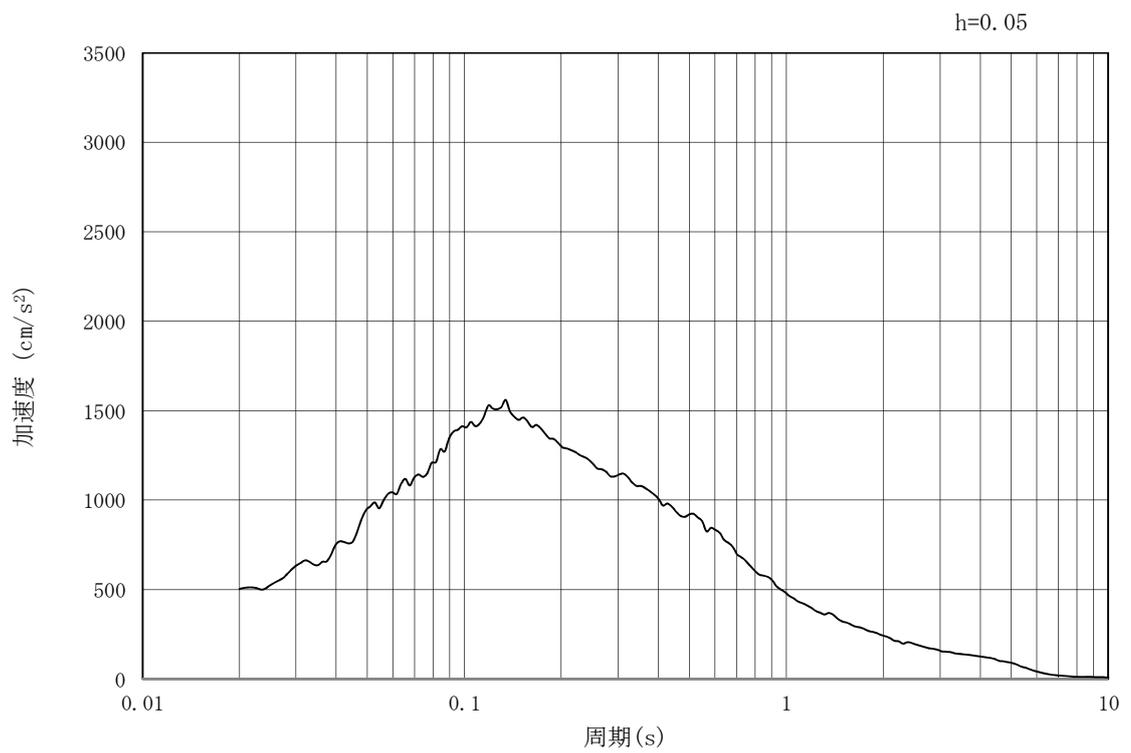


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (1) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向：S_s-D1)

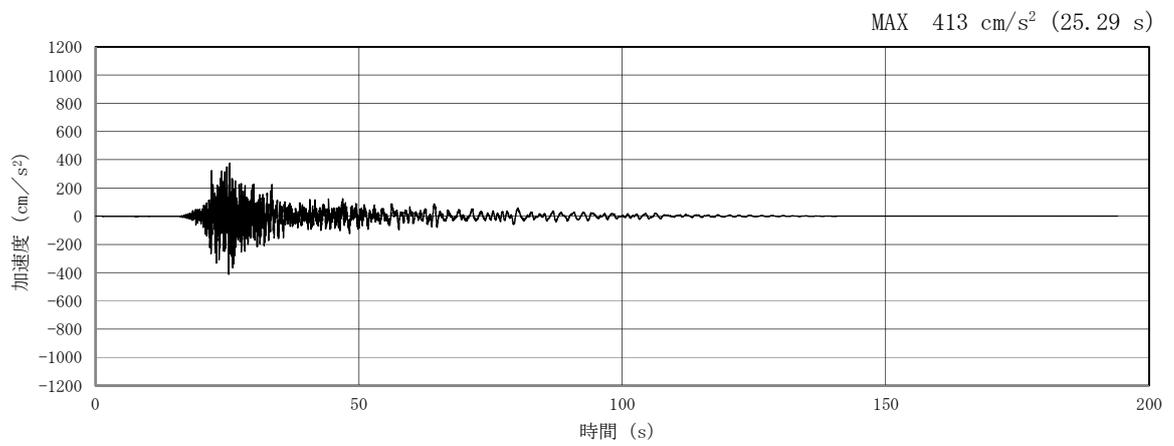


(a) 加速度時刻歴波形

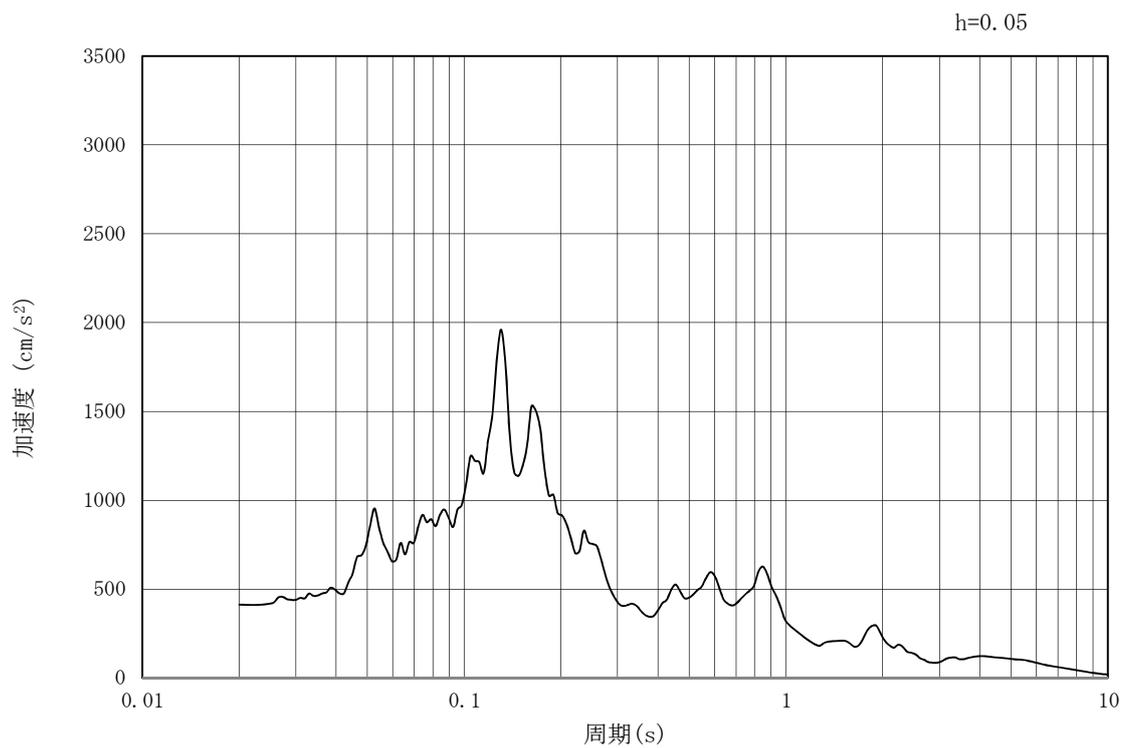


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (2) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - D 1$)

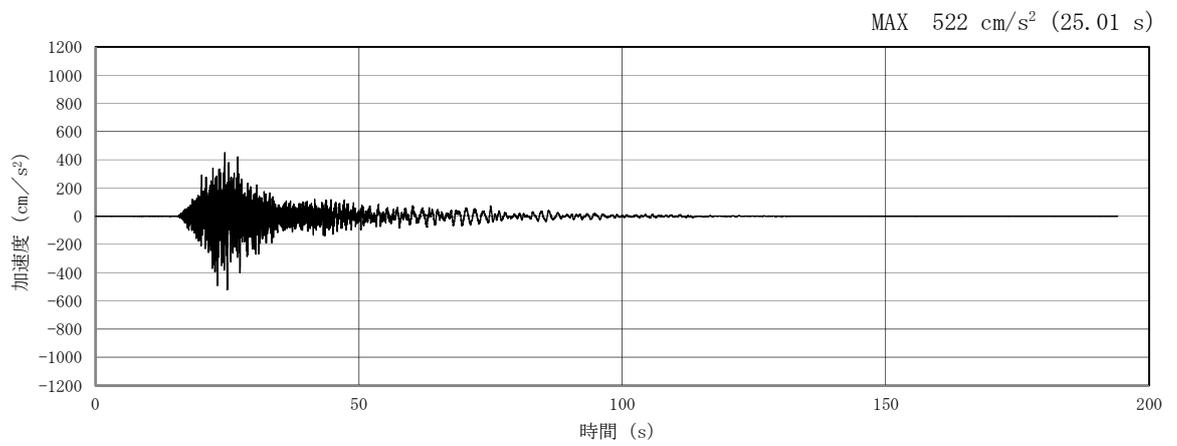


(a) 加速度時刻歴波形

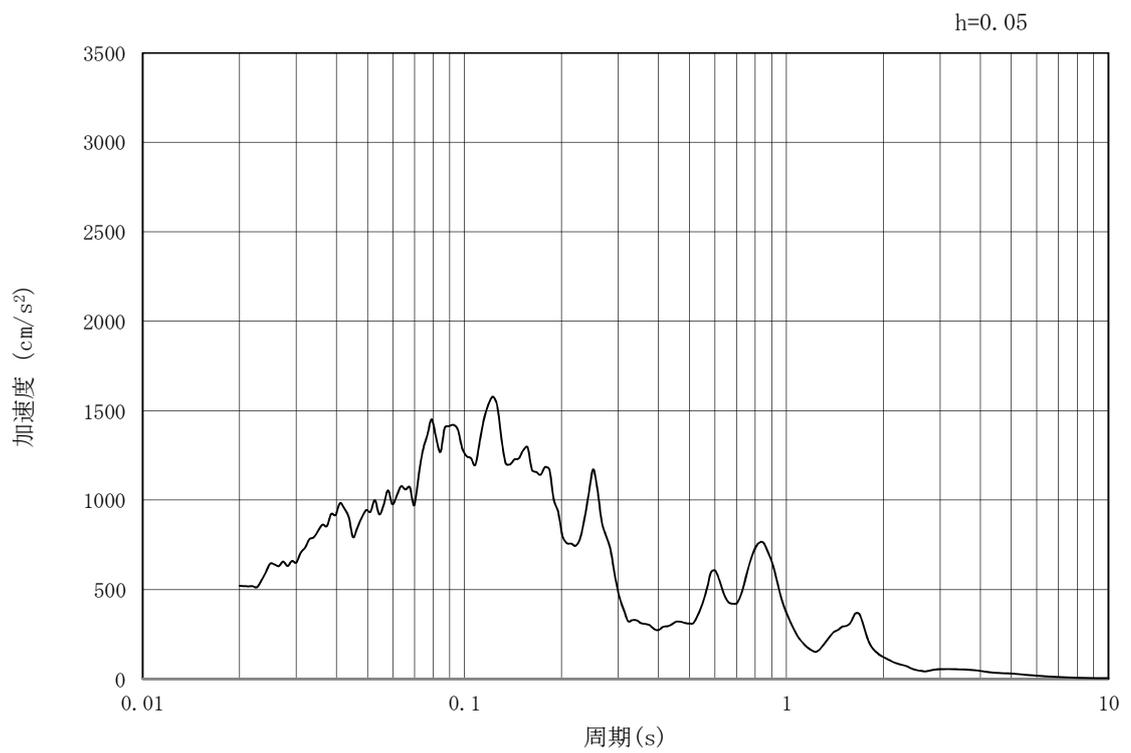


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (3) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.1$)

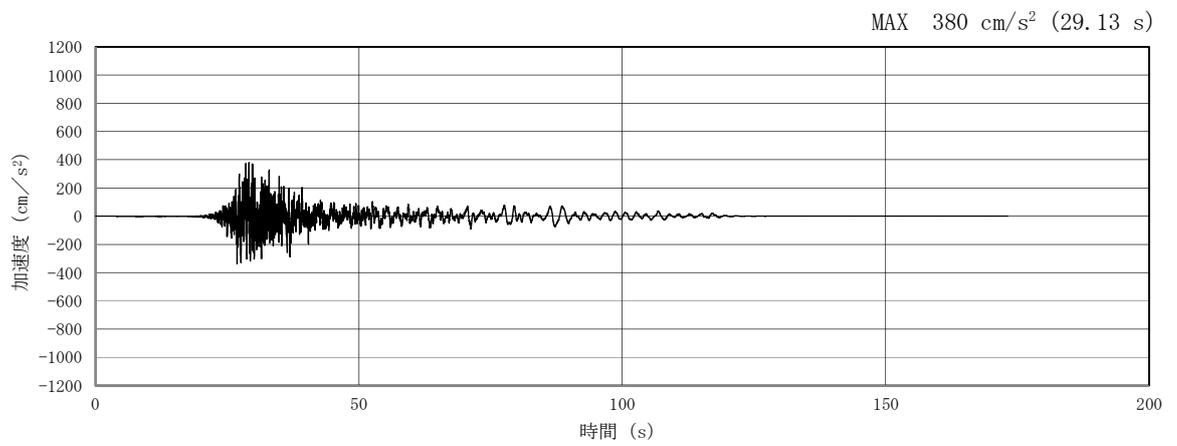


(a) 加速度時刻歴波形

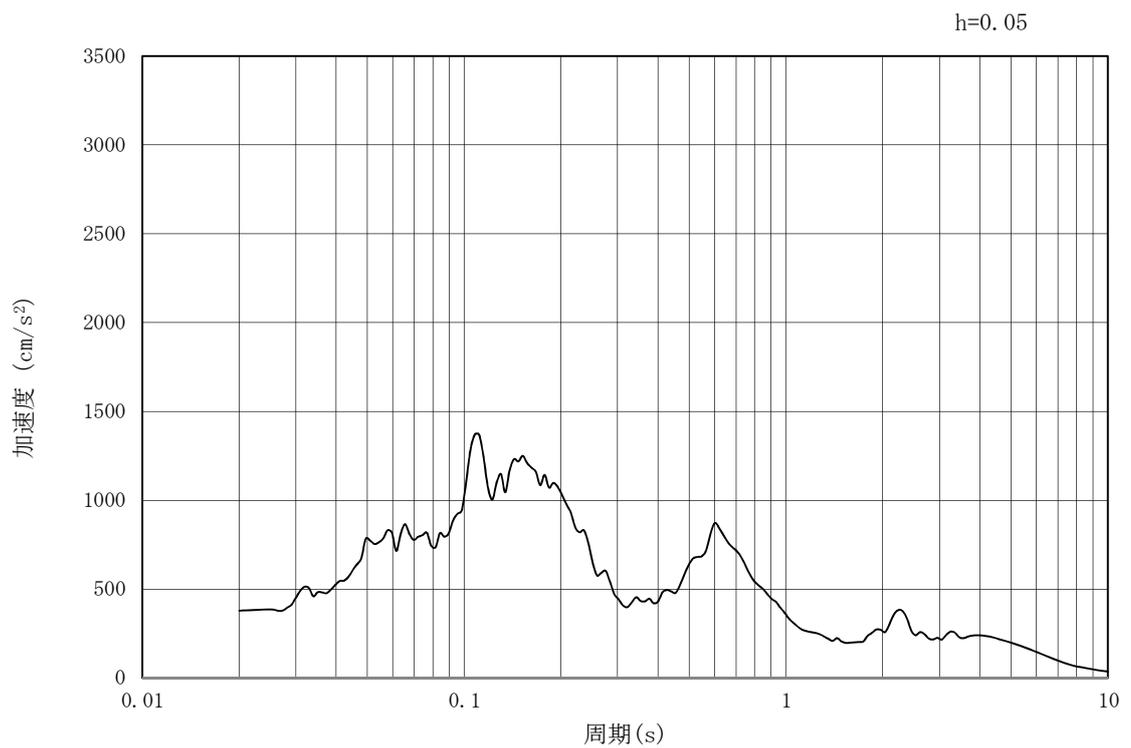


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (4) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.1$)

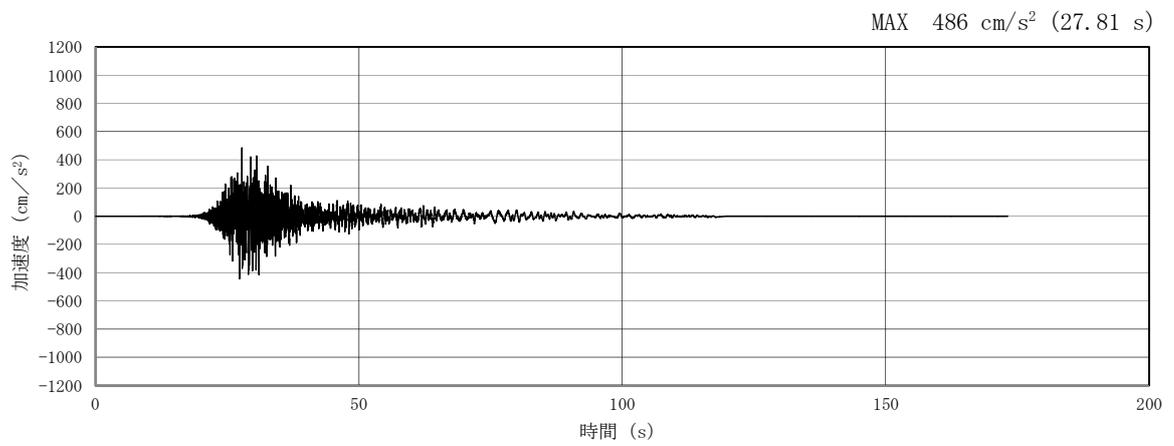


(a) 加速度時刻歴波形

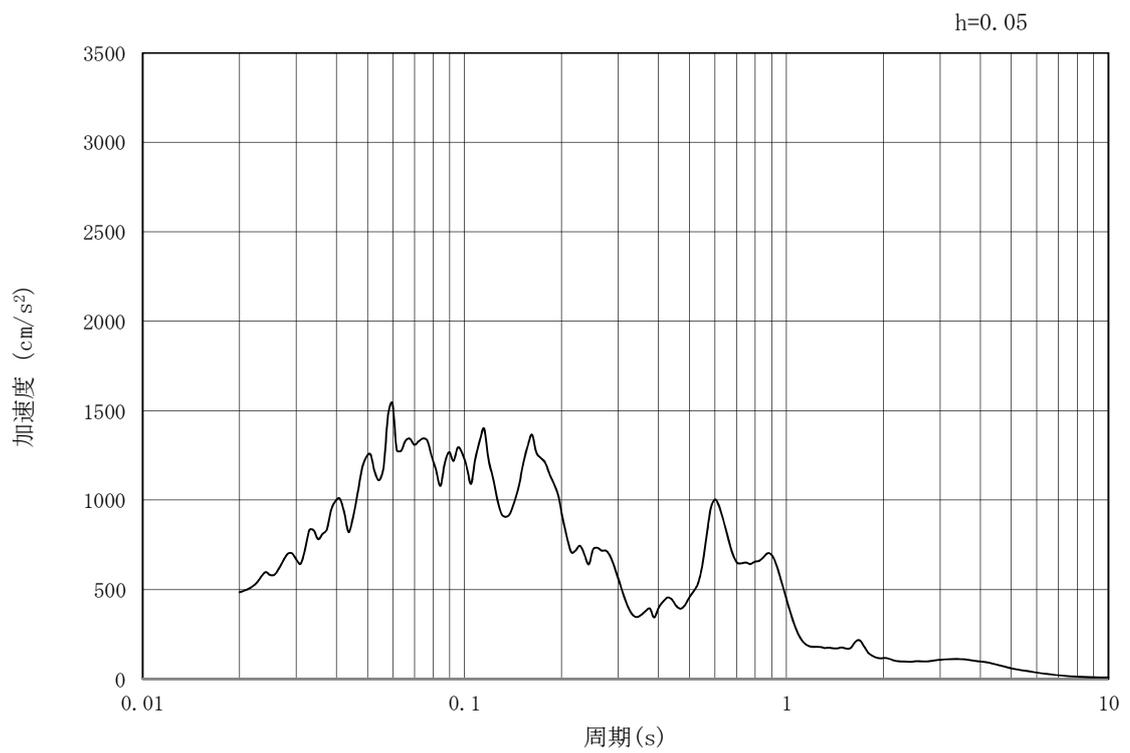


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (5) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.2$)

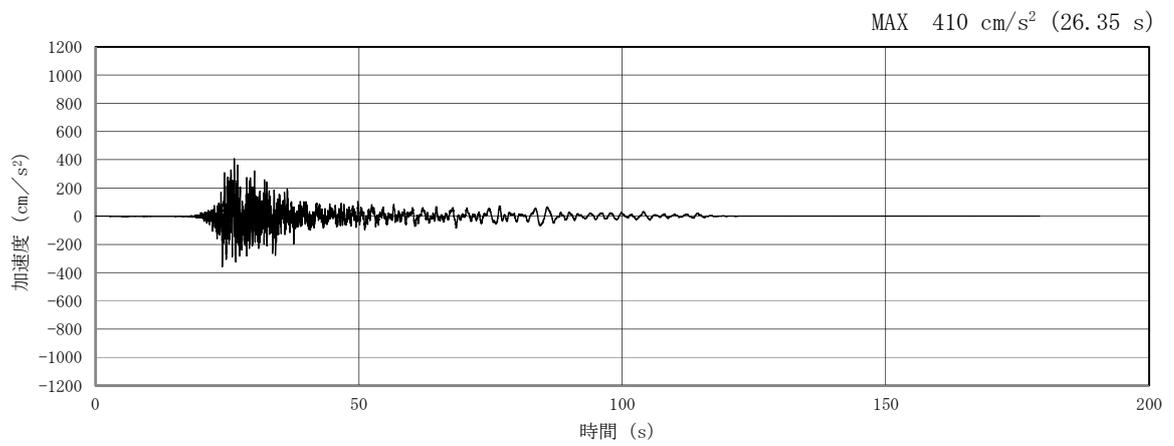


(a) 加速度時刻歴波形

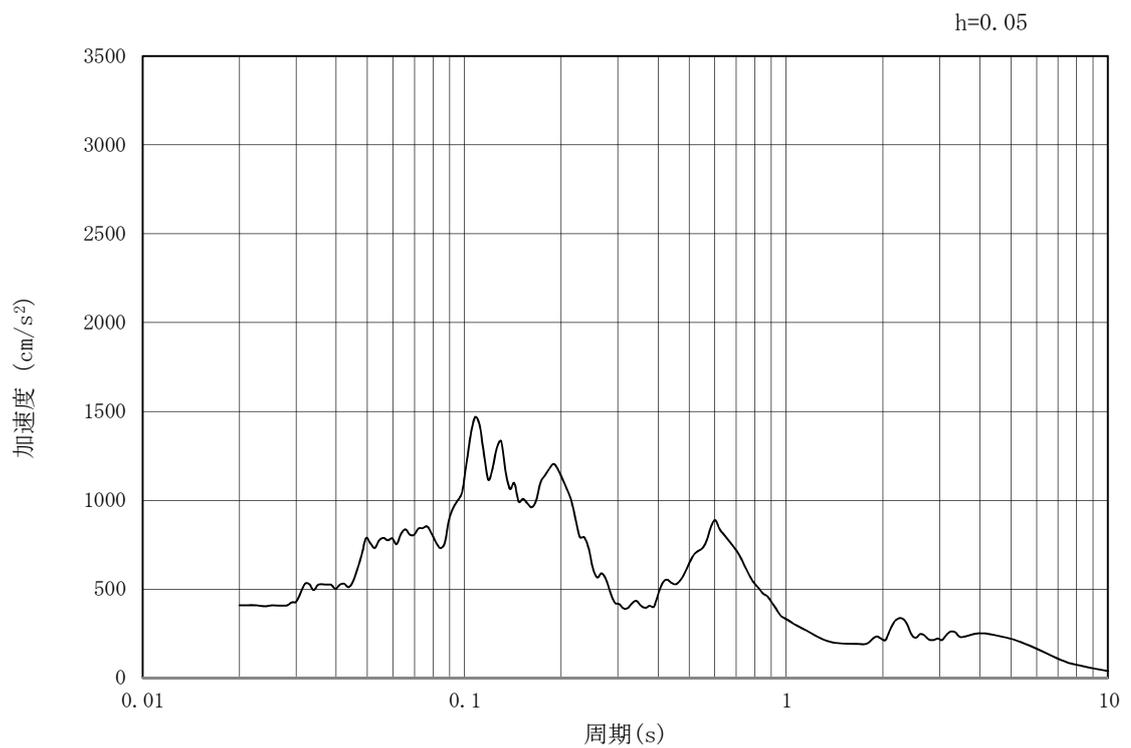


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (6) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.2$)

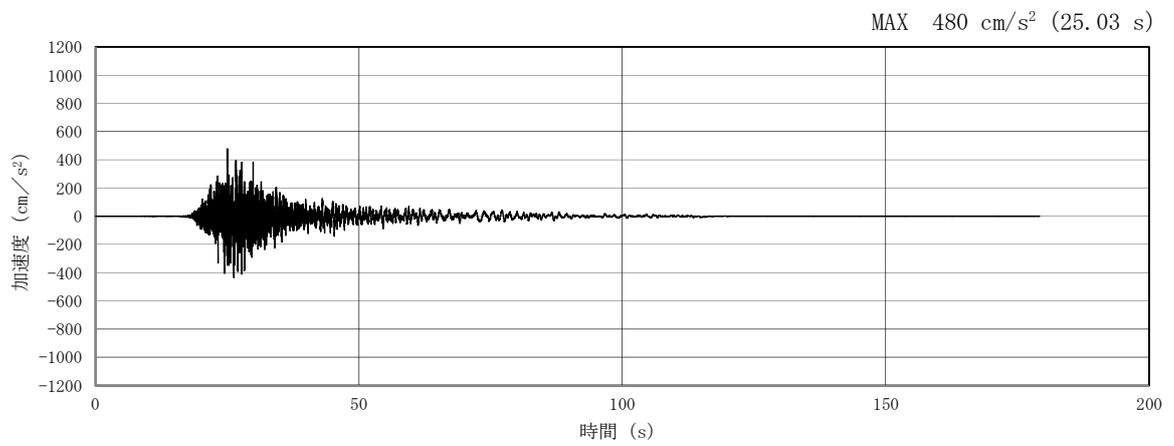


(a) 加速度時刻歴波形

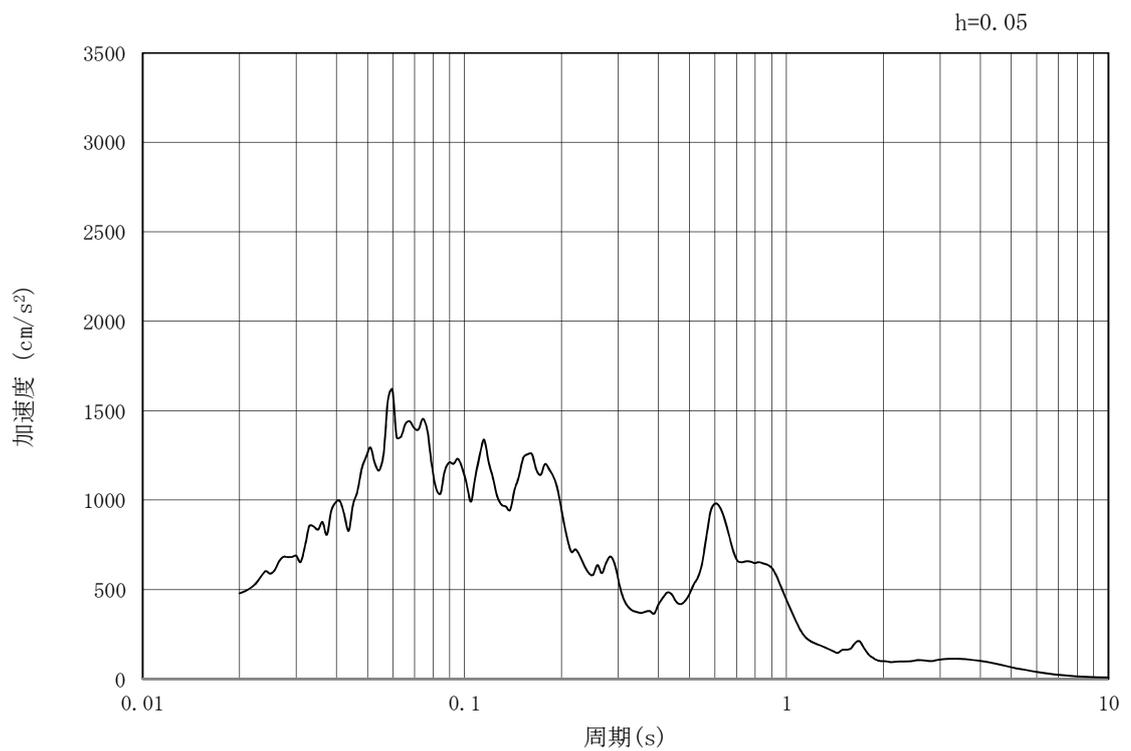


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (7) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.3$)

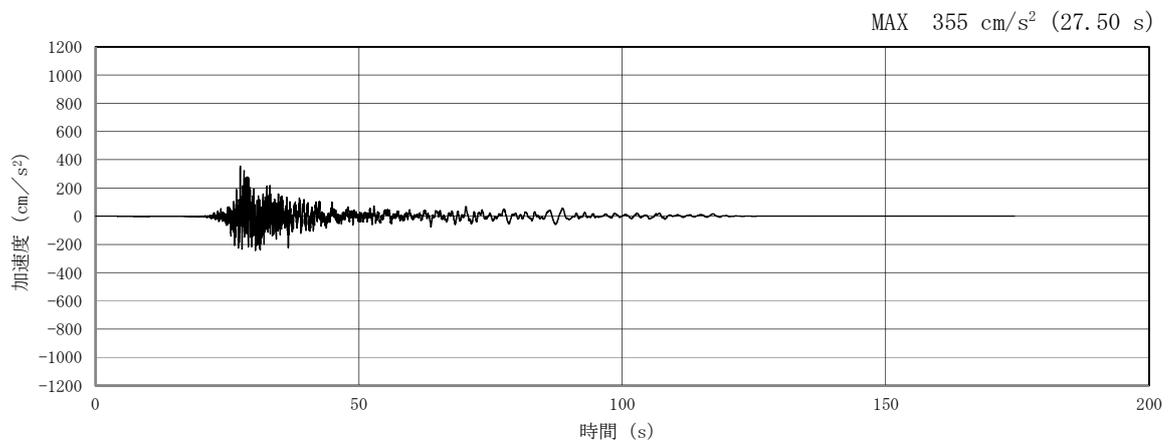


(a) 加速度時刻歴波形

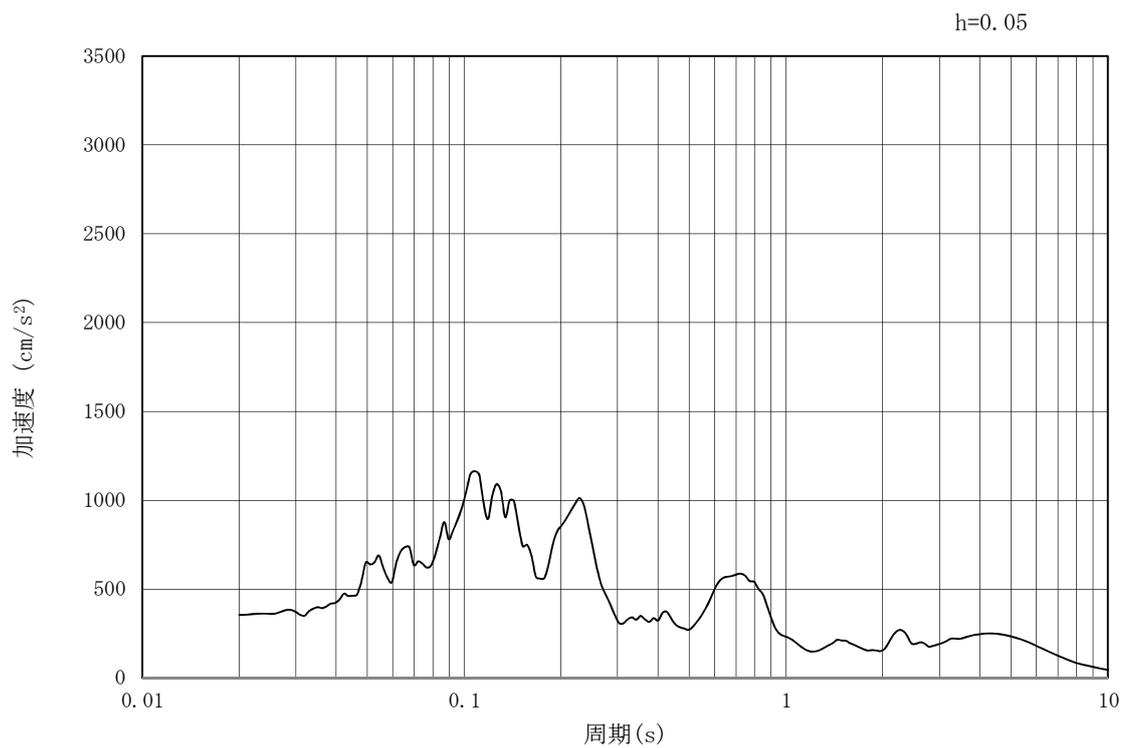


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (8) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.3$)

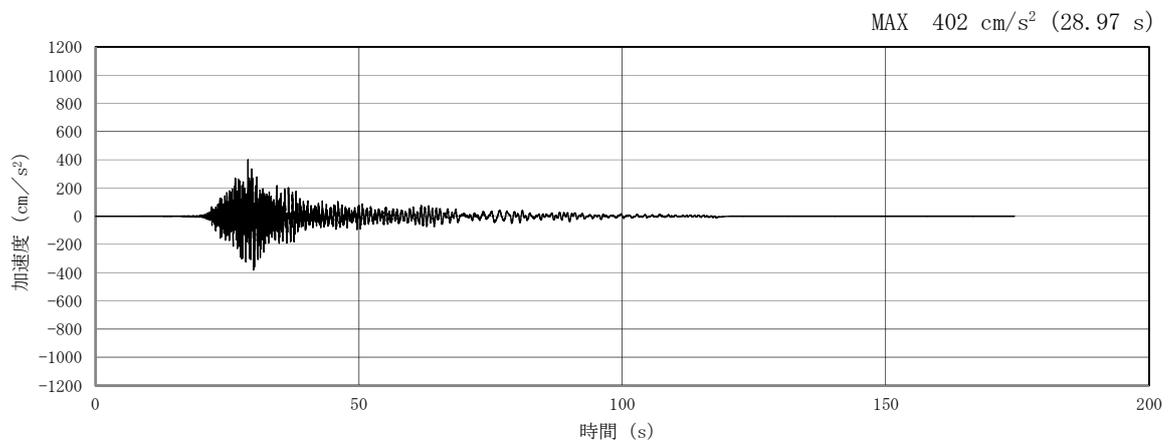


(a) 加速度時刻歴波形

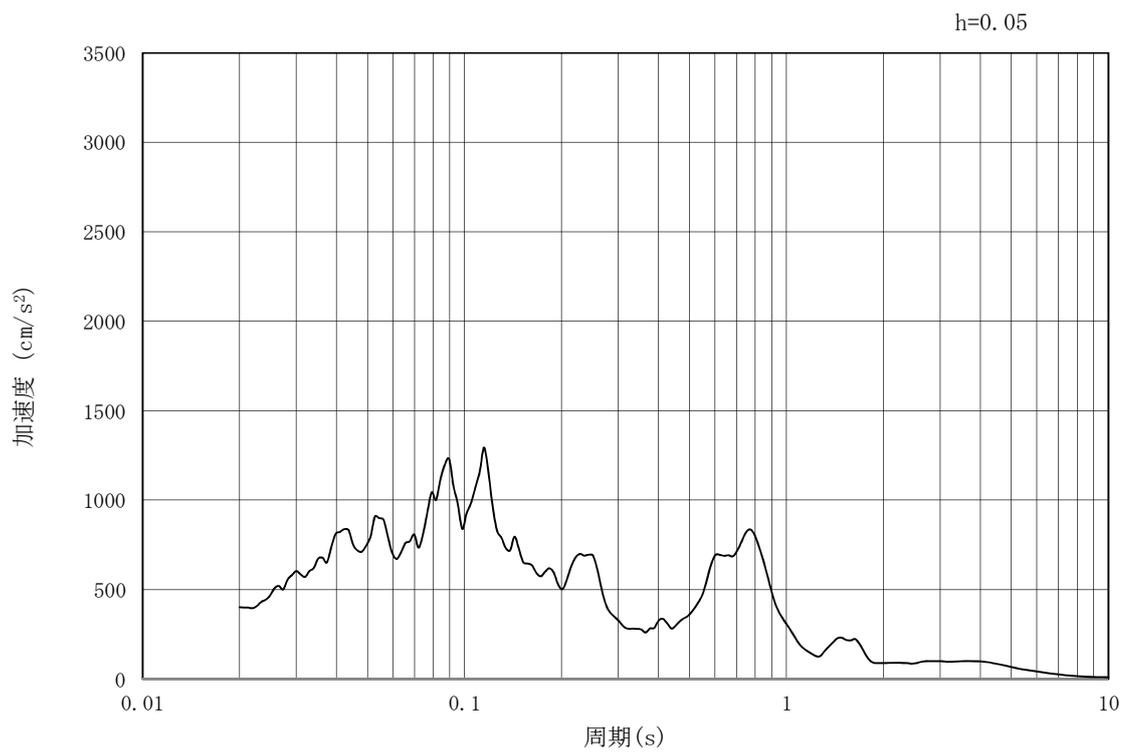


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (9) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.4$)

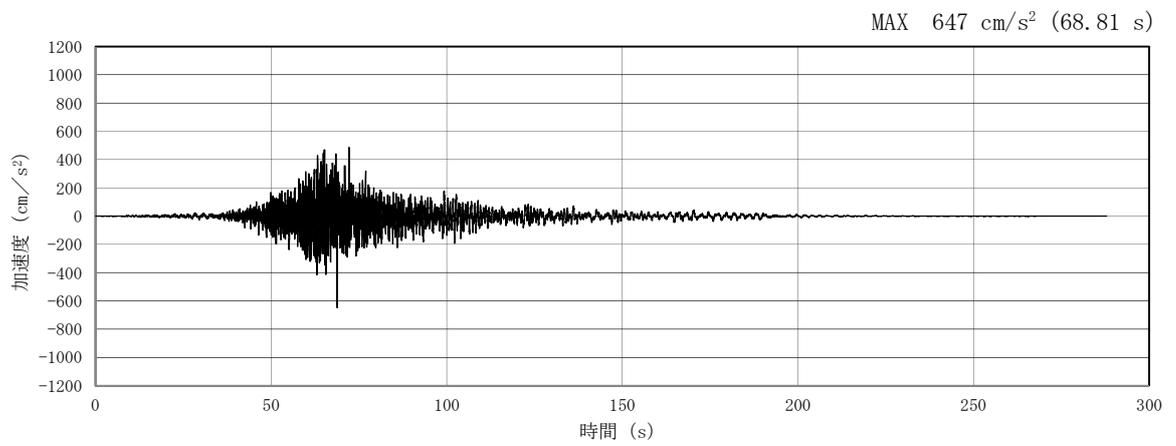


(a) 加速度時刻歴波形

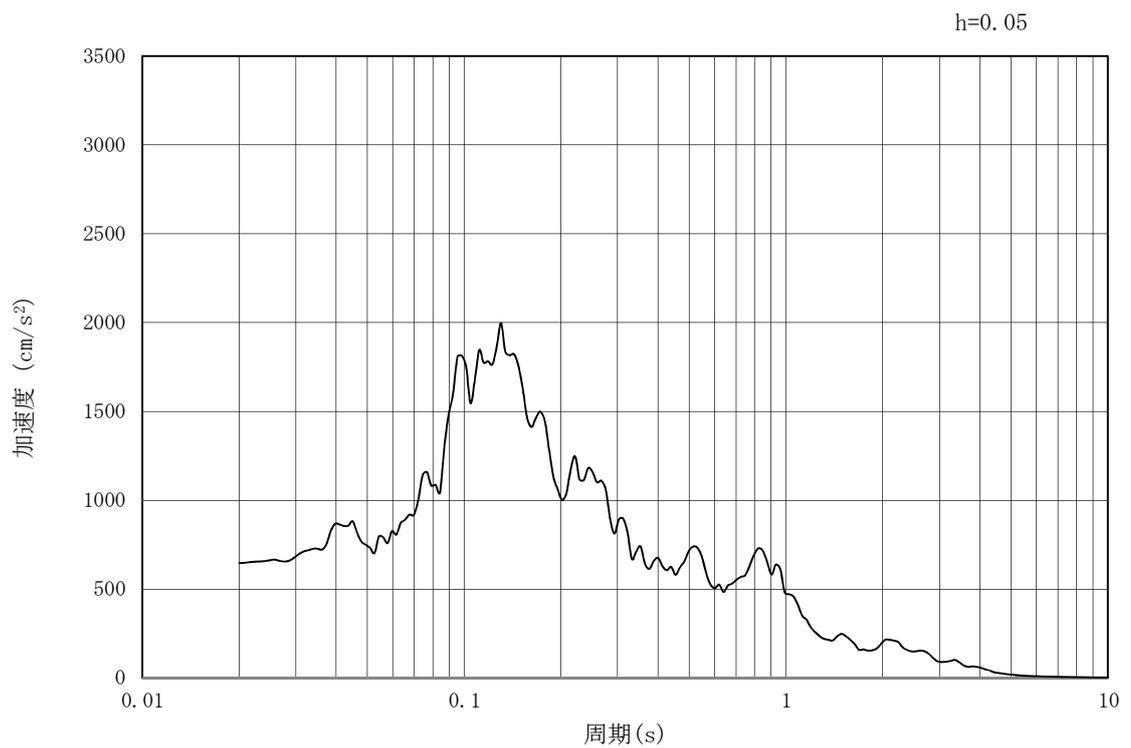


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (10) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.4$)

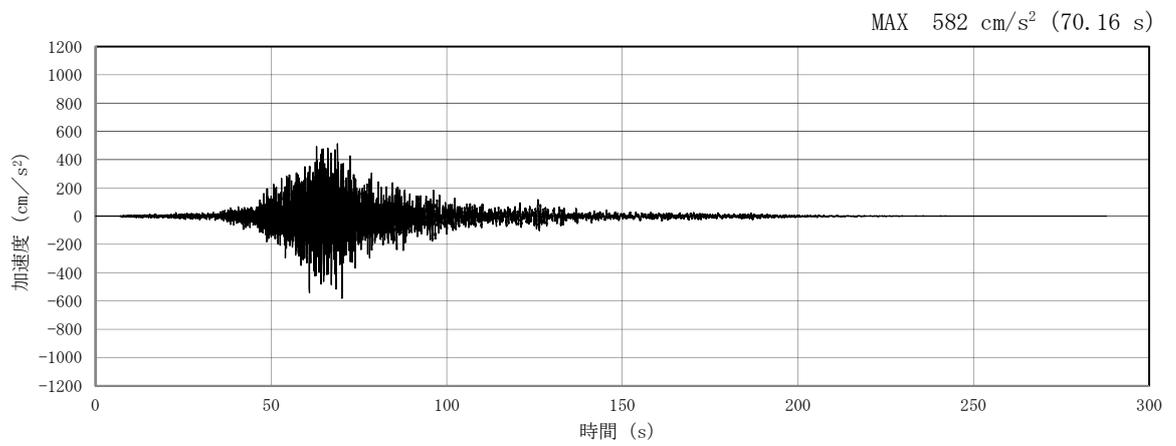


(a) 加速度時刻歴波形

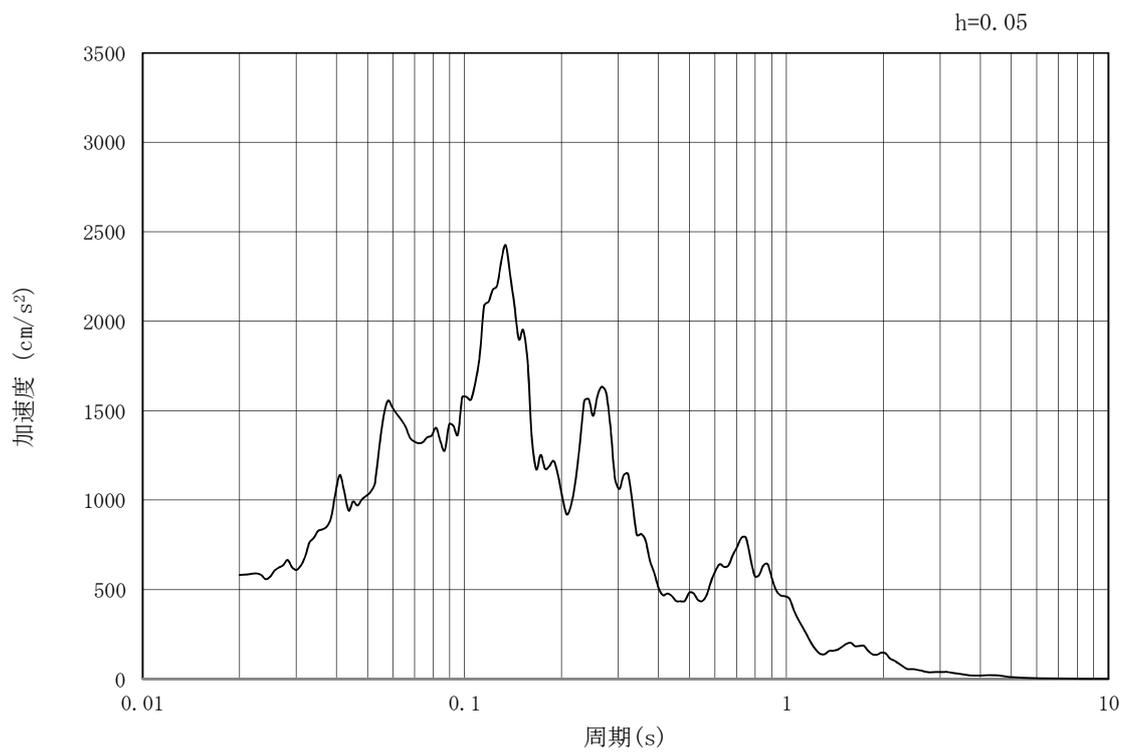


(b) 加速度応答スペクトル

第 11.3-4 図 (11) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 21$)

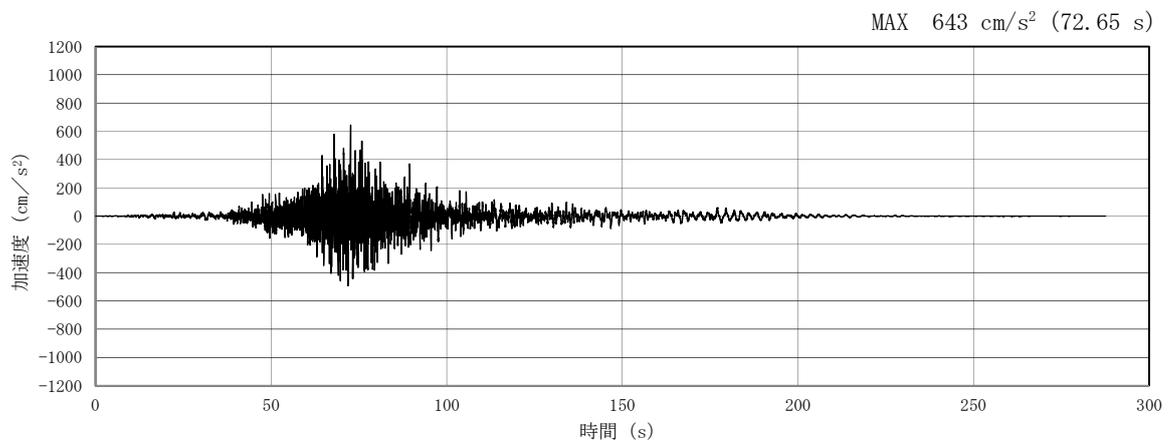


(a) 加速度時刻歴波形

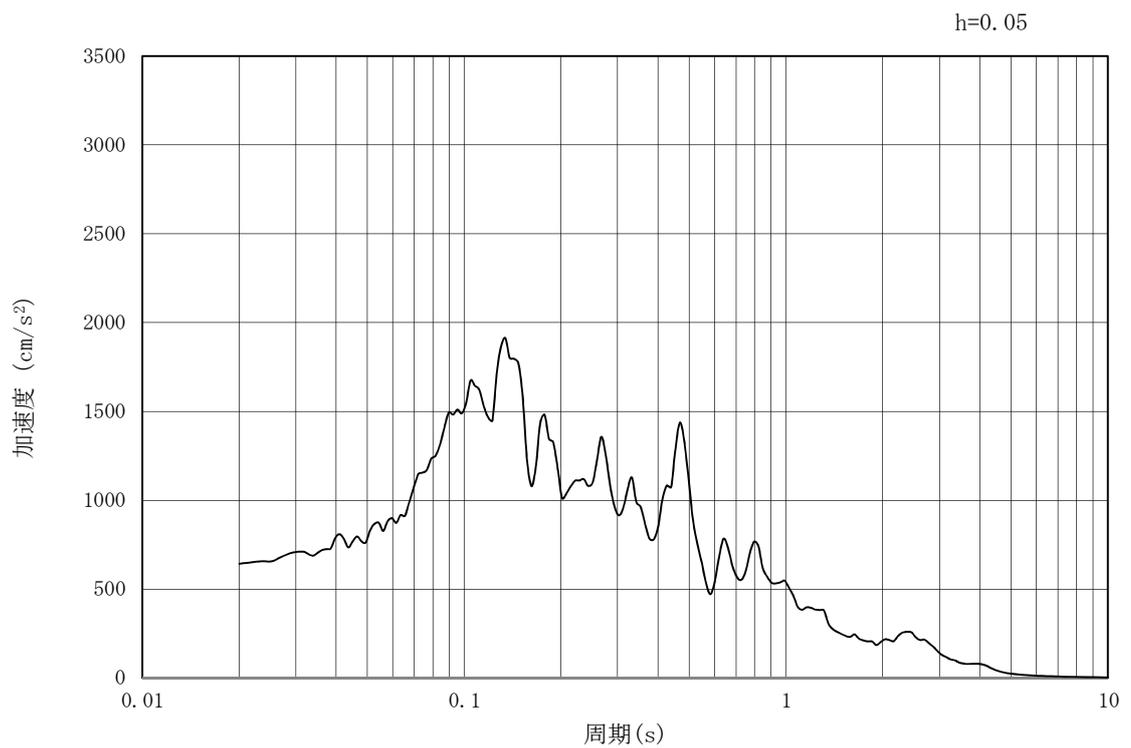


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (12) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 2.1$)

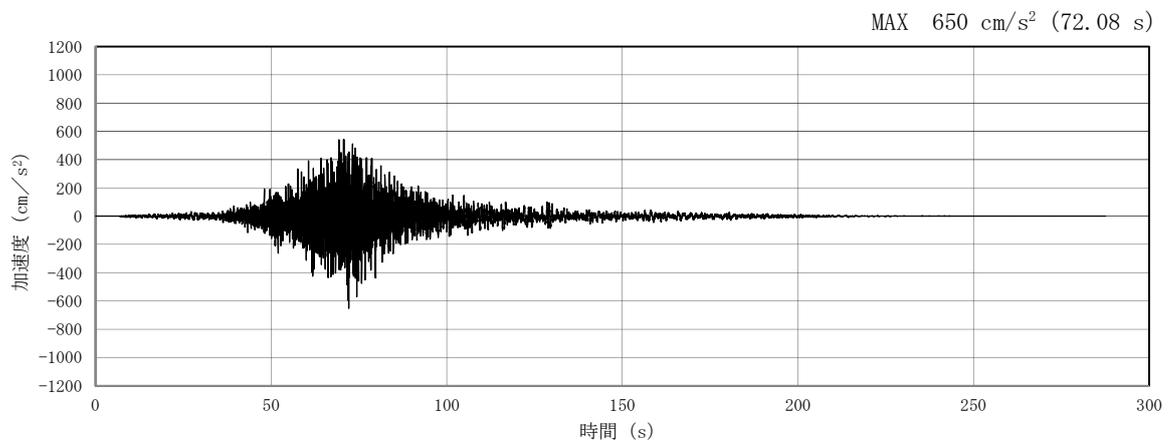


(a) 加速度時刻歴波形

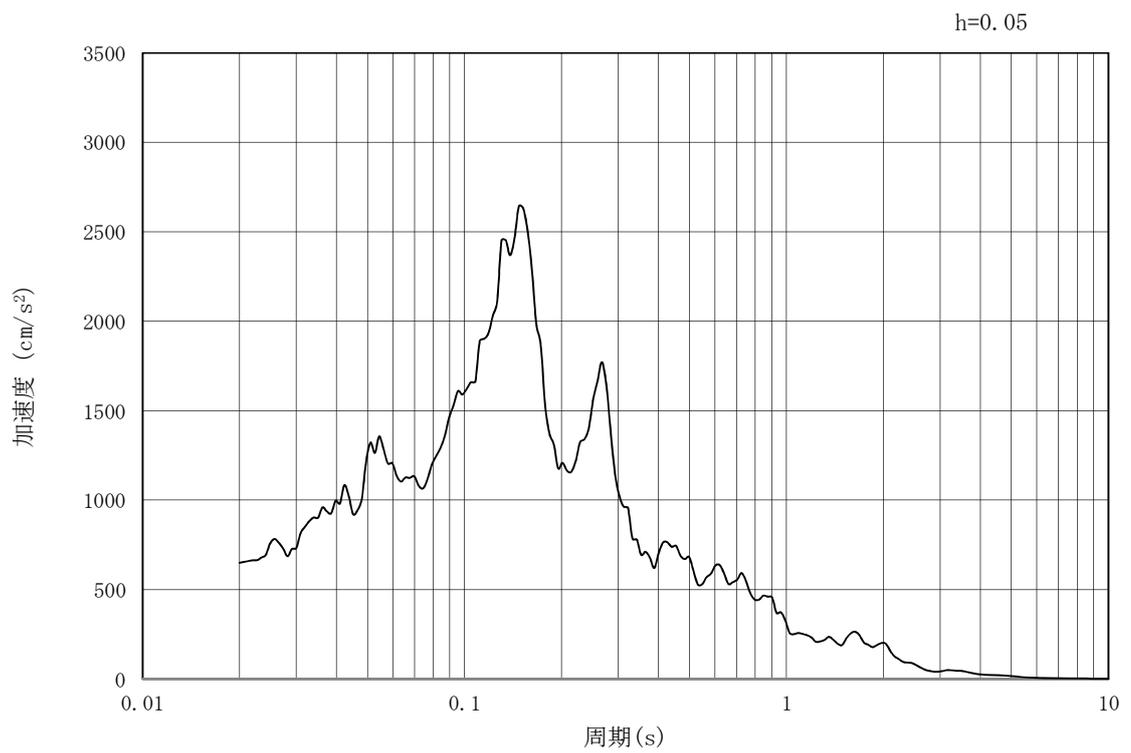


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (13) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 2.2$)

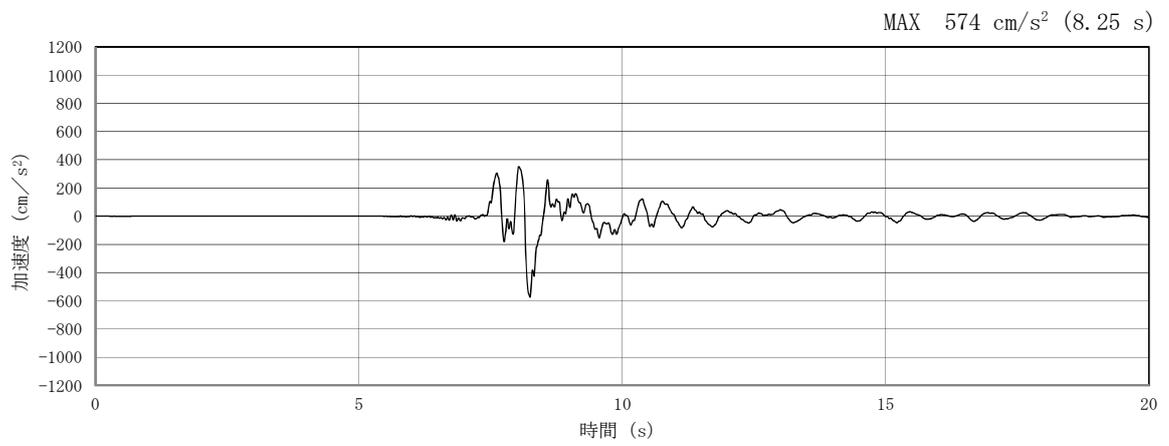


(a) 加速度時刻歴波形

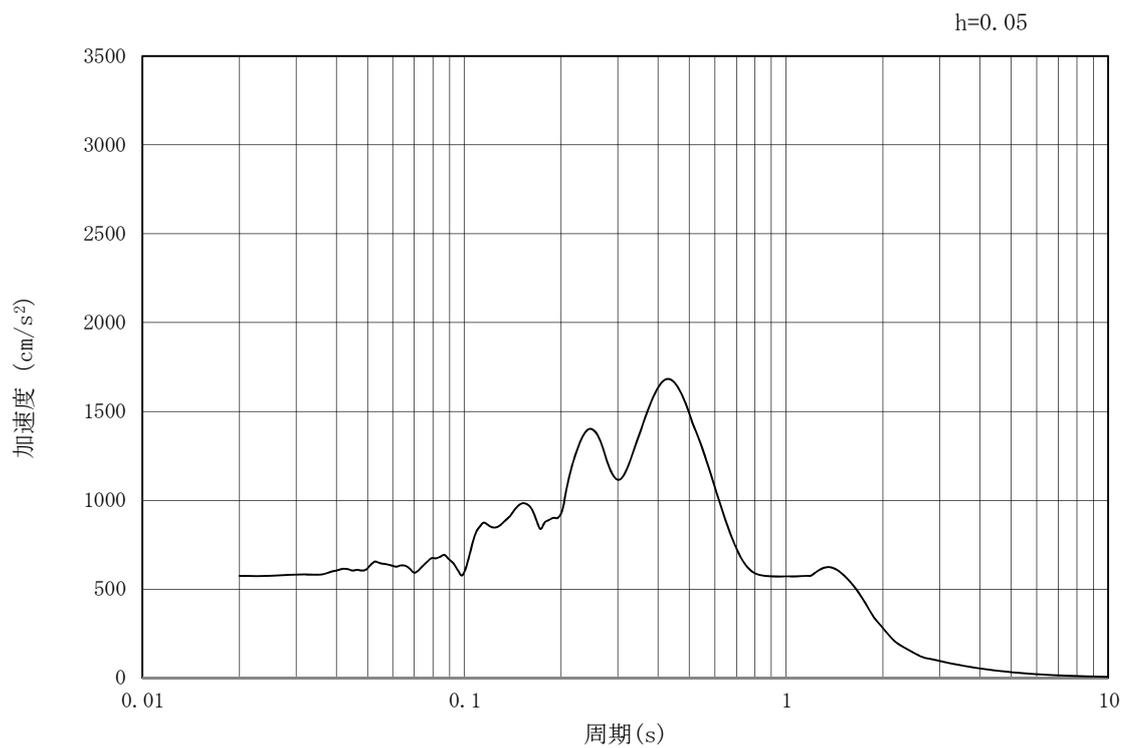


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (14) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 2.2$)

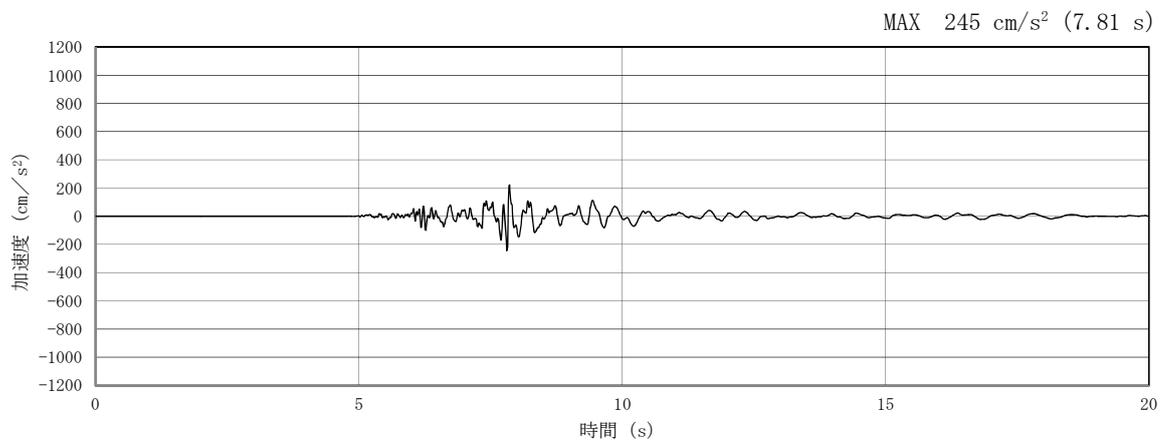


(a) 加速度時刻歴波形

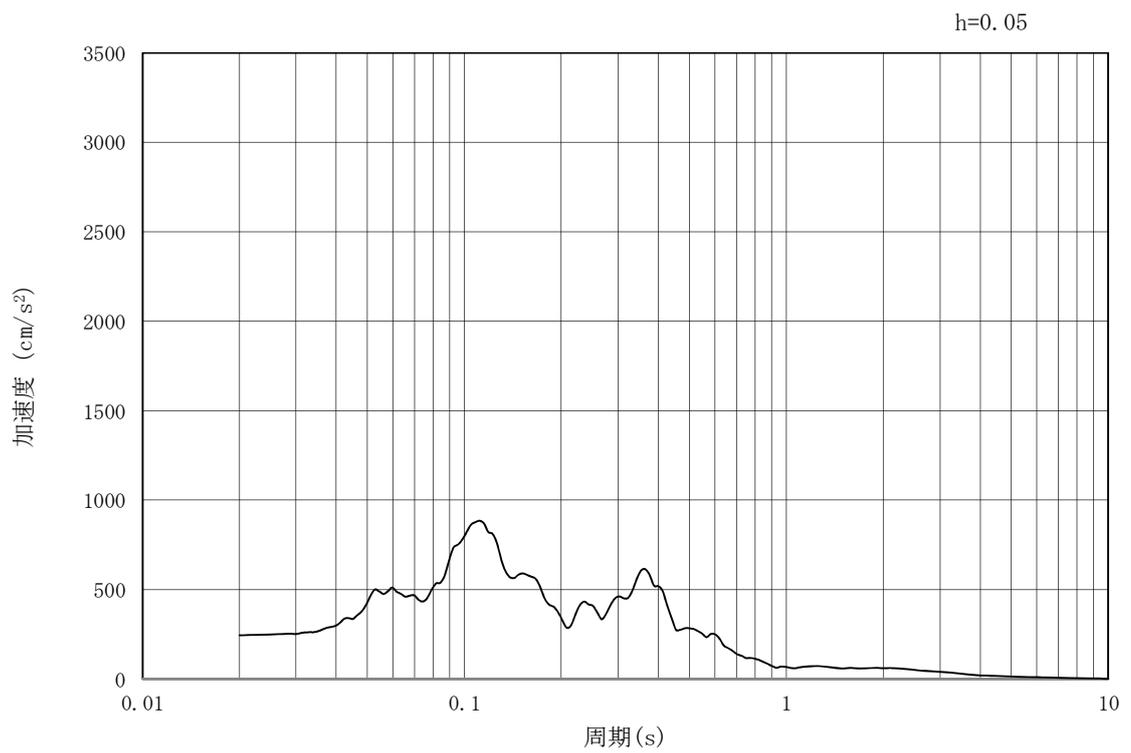


(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (15) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 31$)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 11.3-2 (16) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 31$)

11.3.2 許容限界の設定

(1) 許容応力度による許容限界

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの構造部材は，許容応力度による照査を行う。評価位置においてコンクリートの圧縮応力度，鉄筋の引張応力度，コンクリートのせん断応力度が許容応力度以下であることを確認する。

許容応力度については，「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年制定）」及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成24年3月）」に基づき，表 11.3-1 のとおり設定する。

表 11.3-1 許容応力度

評価項目		短期許容応力度 (N/mm ²)
コンクリート*1 (f'ck=40 N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	21.0
	許容せん断応力度 τ_{a1}	0.825*3
鉄筋(SD490)*2	許容引張応力度 σ_{sa} (曲げ)	435
	許容引張応力度 σ_{sa} (せん断)	300

注記 *1：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）

*2：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）

*3：斜め引張鉄筋を考慮する場合は，「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年制定）」を適用し，次式により求められる

許容せん断力

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで，

V_{ca} : コンクリートの許容せん断力

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

V_{sa} : 斜め引張鉄筋の許容せん断力

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa2} \cdot j \cdot d / s$$

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w : 有効幅

j : 1/1.15

d : 有効高さ

A_w : 斜め引張鉄筋断面積

σ_{sa2} : 鉄筋の許容引張応力度

s : 斜め引張鉄筋間隔

表 11.3-2 斜め引張鉄筋を配置する部材のせん断力に対する許容限界 (追而)

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤の支持性能については、構造物の接地圧が基礎地盤の極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

道路橋示方書による直接基礎の支持力算定式を以下に示す。

極限支持力算定式 (直接基礎)

$$q_d = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q$$

q_d : 基礎底面地盤の極限支持力度 (kN/m²)

c : 基礎底面より下にある地盤の粘着力 (kN/m²)

* c は Km 層の非排水せん断強度

γ_1 : 基礎底面より下にある地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする。

γ_2 : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする。

α, β : 図 11.3-3 に示す基礎底面の形状係数

B : 基礎幅 (m)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)

N_c, N_q, N_γ : 図 11.3-3 に示す支持力係数

表-解 11.4.1 基礎底面の形状係数

形状係数	基礎底面の形状	帯状	正方形, 円形	長方形, 小判形
α		1.0	1.3	$1+0.3\frac{B}{D}$
β		1.0	0.6	$1-0.4\frac{B}{D}$

D : ケーソン前面幅 (m), B : ケーソン側面幅 (m)

ただし, $B/D > 1$ の場合, $B/D = 1$ とする。

「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」より

図 11.3-3 基礎底面の形状係数

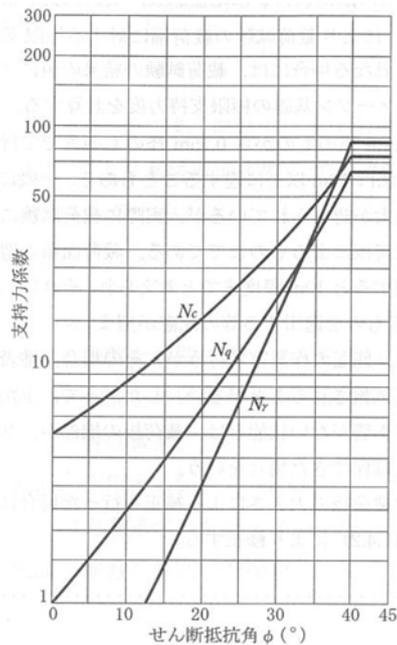


図-解 11.4.2 支持力係数を求めるグラフ

「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」より

図 11.3-4 支持力係数を求めるグラフ

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートにおける許容限界を表 11.3-3 に示す。

表 11.3-3 基礎地盤の支持力に対する許容限界 (追而)

11.4 評価結果

11.4.1 地震応答解析結果

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの基準地震動 S_s による断面力（曲げモーメント，軸力，せん断力）を図 11.4-1 及に示す。本図は構造部材の曲げ，せん断照査結果が最も厳しくなる部材の評価時刻における断面力を示したものである。

また，最大せん断ひずみ分布図を図 11.4-2 に示し，過剰間隙水圧比の分布図を図 11.4-3 に示す。これらの図は，各要素に発生したせん断ひずみ及び過剰間隙水圧比の全時刻における最大値の分布を示したものである。

11.4.2 耐震評価結果

コンクリートの曲げ照査結果を表 11.4-1 に，鉄筋の曲げ照査結果を表 11.4-2 にそれぞれ示す。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートにおける許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が許容応力度以下であることを確認した。なお，発生応力度は各地震動，各部材において最大となる値を示している。

以上より，格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの構造部材の応答値は，許容限界以下であることを確認した。

概略配筋図を図 11.4-4 に，断面計算に用いた断面諸元の一覧を表 11.4-3 に示す。

(1) 構造部材のせん断に対する評価結果

表 11.4-4 にせん断に対する照査結果を示す。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートにおける許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてせん断応力度が許容せん断応力度以下又は発生せん断力がコンクリートの許容せん断力 ($V_{c,a}$) と，斜め引張鉄筋の許容せん断力 ($V_{s,a}$) を合わせた許容せん断力 (V_a) 以下であることを確認した。なお，発生応力度及び発生断面力は各地震動，各部材において最大となる値を示している。

以上より，格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの構造部材の応答値は，許容限界以下であることを確認した。図 11.4-4 に概略配筋図を，表 11.4-5 に断面計算に用いた断面諸元の一覧を示す。

(2) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

表 11.4-6 に基礎地盤の支持性能評価結果を，図 11.4-5 に最大接地圧分布図を示す。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの最大接地圧は S_s-D1 〔H+，V+〕（東西断面方向）で $\bigcirc\bigcirc$ kN/m^2 であり，基礎地盤の極限支持力度 $\triangle\triangle$ kN/m^2 以下である。

以上のことから，格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの基礎地盤は，基準地震動 S_s に対し，支持性能を有する。

11.5 まとめ



13. 緊急用海水取水管の耐震安全性評価

目 次

13.1	評価方針	1
13.2	評価条件	2
13.2.1	適用基準	2
13.2.2	耐震安全性評価フロー	8
13.2.3	評価対象箇所及び評価対象断面	9
13.2.4	使用材料及び材料定数	14
13.2.5	地下水位	17
13.2.6	許容限界	17
13.3	横断面方向応力の評価方法	20
13.3.1	地震応答解析手法	20
13.3.2	解析モデルの設定	21
13.3.3	減衰定数	24
13.3.4	荷重の組合せ	26
13.3.5	地震応答解析の検討ケース	28
13.3.6	入力地震動の設定	29
13.4	縦断面方向応力の評価方法	46
13.4.1	縦断面方向の応力解析	48
13.5	評価結果	56
13.5.1	地震応答解析結果	56
13.5.2	断面の耐震評価結果	61
13.6	まとめ	66

13.1 評価方針

緊急用海水取水管は、非常時における海水の通水機能を求められる土木構造物である。

緊急用海水取水管の耐震安全性評価では、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析及び応力解析を行い、緊急用海水取水管に生じる発生応力が許容限界以下であることを確認することで、地震時に通水機能を維持できることを確認する。

13.2 評価条件

13.2.1 適用基準

表 13.2-1 に一般的な埋設鋼製管路の耐震設計に関する規格，基準類における耐震評価の概要を示す。

管径が比較的小さい一般的な埋設鋼製管路は，断面の外周長と比較して，縦断面方向長が長いことから，周辺の地盤の変位に伴う縦断面方向の発生応力（または発生ひずみ）を中心に耐震評価を行う設計となっている。

また，横断面方向（縦断面方向に対して直交方向）についても考慮する基準においては，地震時における管路上の土被り等による鉛直荷重による横断面方向の発生応力を縦断面方向の発生応力と組み合わせた合成応力で評価する設計となっている。

緊急用海水取水管は，内径が 1.2 m と一般的な埋設管路と同等であること，岩盤内を掘削して設置することから，横断面方向，縦断面方向ともに発生応力（または発生ひずみ）は顕著でない。

ただし，緊急用海水取水管は可とう管の設置スパンが比較的長く，縦断面方向に長大な構造であることを考慮し，縦断面方向の発生応力についても保守的に考慮する。基本的な耐震評価の流れについては，横断面方向と縦断面方向の発生応力の組合せを考慮した設計体系の規格，基準類のうち，既往の工事計画認可申請において実績のある「水道施設耐震工法指針・解説 1997 版（日本水道協会，1997）」を適用する。

また，横断面方向については，上記基準における鉛直方向の地震力に加え，水平方向の地震力についても保守的に考慮することとする。

許容限界については，表 13.2-1 において，塑性領域の許容限界として管体ひずみを採用している規格，基準類もあることから，鋼製管路は，優れた変形特性を有する材料であり，弾性領域を越え塑性域に達しても，地盤の変形への追従性を失うことなく，通水断面を確保できるものと判断される。

しかし，緊急用海水取水管の耐震評価では，非常用取水設備の重要性を鑑み，鋼材の短期許容応力度を許容限界とすることとし，「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説- [第 5 回改訂版]（（社）電力土木技術協会）」を適用する。

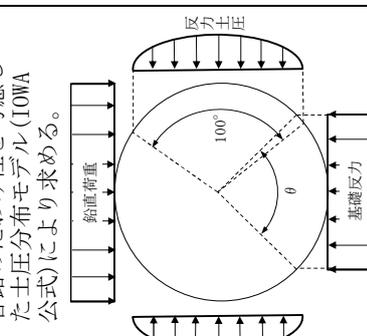
表 13.2-2 に適用する規格，基準類を示す。

表 13.2-1 (1) 埋設管路の耐震設計に関する規格、基準類の概要

規格、基準*1	対象設備 (一般的な管径*2)	要求性能*3	許容限界*4	備考
<p>①石油パイプライン事業の事業用施設 の技術上の基準の細目を定める告示 (昭和48年9月28日通商産業省・ 運輸省・建設省・自治省告示第一号)</p>	<p>送油導管 (～650mm)</p>	<p>導管等の構造は、輸送される石油の 重量、導管等の内圧、導管等および その附属設備の自重、土圧、水圧、 列車荷重、自動車荷重、浮力等の主 荷重ならびに風荷重、雪荷重、温度 変化の影響、振動の影響、地震の影 響、投錨による衝撃の影響、波浪お よび潮流の影響、設置時における荷 重の影響、他工事による影響等の従 荷重によって生ずる応力に対して安 全なものとならなければならない*5。</p>	<p>規格最小降伏応点力度の 90% (*4, *5)</p>	<p>わが国で初めて埋設管路に対す る応答変位法の考え方を設計法 として総合的に体系化した「石 油パイプライン技術基準」と 同様の設計手法。管路のひずみ を算定するための地震の重量方 法等は、その後の地中構造物の 耐震設計指針等で踏襲されてい る。</p>
<p>②港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会、平成19年)</p>	<p>送油導管 (特に無し)</p>	<p>作用による損傷等が軽微な修復によ り施設の機能の回復に影響を及ぼさ ない。(修復性)</p>	<p>導管の降伏応点力度を構造 解析係数で除したものと</p>	<p>基本的に①の考え方を踏襲して いる。</p>
<p>③水道施設耐震工法指針・解説 1997 版 (日本水道協会、1997)</p>	<p>水輸送用埋設鋼管路 (特に無し)</p>	<p>人命に重大な影響を与えないこと。 個々の施設に軽微な被害が生じて も、その機能保持が可能であること</p>	<p>管体歪み 46t/D 以下 (D は管外径, t は管厚)</p>	<p>基本的に①の考え方を踏襲して いる。</p>
<p>④水道用埋設鋼管路耐震設計基準 WSP029-2006 (日本水道鋼管協会、平成18年)</p>	<p>水輸送用埋設鋼管路 (～3,000mm)</p>	<p>変形は生じても、通水機能を保持す ること。</p>	<p>許容ひずみ値 46t/D (D は管外径, t は管厚)</p>	<p>基本的に①の考え方を踏襲して いる。</p>
<p>⑤高圧ガス導管耐震設計指針 JGA 指 206-13 (日本ガス協会、2013)</p>	<p>ゲージ圧力 1MPa 以上 の圧力ガスを輸送す る埋設鋼管路 (～650mm)</p>	<p>導管に変形は生じるが、漏洩は生じ ないこと。</p>	<p>許容ひずみは 3% とする。</p>	<p>当該指針における地盤変位は、 縦断面方向に伝播する進行波 (レイリー波)を仮定してお り、縦断面方向の検討に限定し ている。したがって、①で考慮 している波動伝播の重量は考慮 していない。</p>

注記 *1: 記載の規格、基準のうち、下線で示すものは、工事計画認可申請において実績があるもの。
 *2: 各規格、基準において材料の規格として取り扱われているJIS規格等の最大径を記載したもので、適用範囲を限定するものではない。
 *3: 要求性能は、施設の耐震レベル及び地震動レベルが高いもの(レベル2地震動等)について記載。
 *4: 許容限界については、鋼材の許容応点力度(降伏応点力度)とするものと許容ひずみとするものがあるが、第13.2-1図に示すとおり鋼材の許容応点力度のひずみレベル(降伏ひずみ)は、鋼材の許容ひずみより小さい。したがって、許容限界を鋼材の許容応点力度とした場合の方が保守的な評価を与える。なお、⑤の規格・基準の許容ひずみは、3%と、その他の規格、基準の許容ひずみより大きくなり大きい(約30倍)。ここで、①、②における許容応点力度のひずみレベルは、許容応点力度/ヤング係数で求めた。
 *5: 石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令(昭和47年12月25日通商産業省・運輸省・建設省・自治省令第二号)を参照。

表 13.2-1 (2) 埋設管路の耐震設計に関する規格、基準類の概要

規格、基準 ^{*1}	耐震評価の概要			①と②の組合せ
	① 縦断面方向 ^{*2,*3} 軸方向応力 σ_L 又は軸方向ひずみ ϵ_L	②横断面方向 ^{*3} 鉛直方向地震力 水平方向地震力	③ 横断面方向 ^{*3} 鉛直方向地震力	
①石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示 (昭和48年9月28日通商産業省・運輸省・建設省・自治省告示第一号)	<ul style="list-style-type: none"> 地盤変位を考慮した応答変位法 管路に生じる軸応力σ_Lと曲げ応力σ_Bを合成する。 $\sigma_1 = \sqrt{3.12 \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2}$	鉛直方向地震力 <ul style="list-style-type: none"> 管路のたわみ性を考慮した土圧分布モデル(IOWA公式)により求める。 	<ul style="list-style-type: none"> ①縦断面方向と②横断面方向応力を組み合わせる。 $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_C^2 + \sigma_1 \sigma_C + 3\tau_S^2}$ ここで、 σ_C : 横断面方向応力 τ_S : 管直方向のせん断応力	①と②の組合せ
②港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会, 平成19年)	<ul style="list-style-type: none"> 地盤変位を考慮した応答変位法 管路に生じる軸応力σ_Lと曲げ応力σ_Bを合成する。 	鉛直方向地震力 考慮しない。	考慮しない。	考慮しない。
③水道施設耐震工法指針・解説 1997版 (日本水道協会, 1997)	<ul style="list-style-type: none"> 地盤変位を考慮した応答変位法 管路に生じる軸ひずみϵ_Lと曲げひずみϵ_Bを合成する。 $\epsilon_1 = \sqrt{\alpha \cdot \epsilon_L^2 + \epsilon_B^2}$ 但し、 $\alpha = 1.00 \sim 3.12$	鉛直方向地震力 考慮しない。	考慮しない。	考慮しない。
④水道用埋設鋼管路耐震設計基準 WSP029-2006 (日本水道鋼管協会, 平成18年)	<ul style="list-style-type: none"> 地盤変位を考慮した応答変位法 管路に生じる軸ひずみϵ_Lと曲げひずみϵ_Bを合成する。 $\epsilon_1 = \sqrt{\epsilon_L^2 + \epsilon_B^2}$	鉛直方向地震力 考慮しない。	考慮しない。	考慮しない。

注記 *1: 表13.2-1 (1) で示した規格、基準類のうち、鋼管の許容ひずみが3%とかなり大きい⑤については、除外した。
 *2: 各規格、基準では、応答変位法に用いる地盤変位を定めるためのパラメータ(水平震度、応答速度等)が地震動レベル毎に定められていることから、地震応答解析や構造計算を伴わずに、応力(ひずみ)を算出可能。但し、緊急用海水取水(水管の耐震評価)では、①基準地震動Ssを対象とすること②取水管路が屈曲していることを考慮して、地震応答解析及び数値計算(構造計算)を基に σ_L 及び σ_B を算出。
 *3: 縦断面方向及び管周方向の評価のイメージについては、図13.2-2及び図13.2-3を参考。

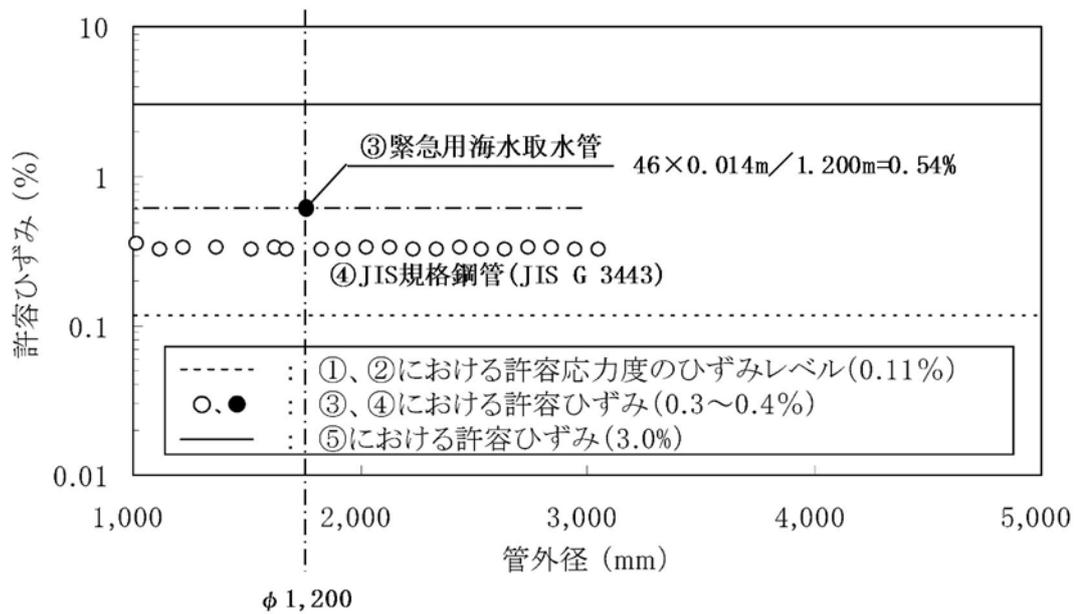
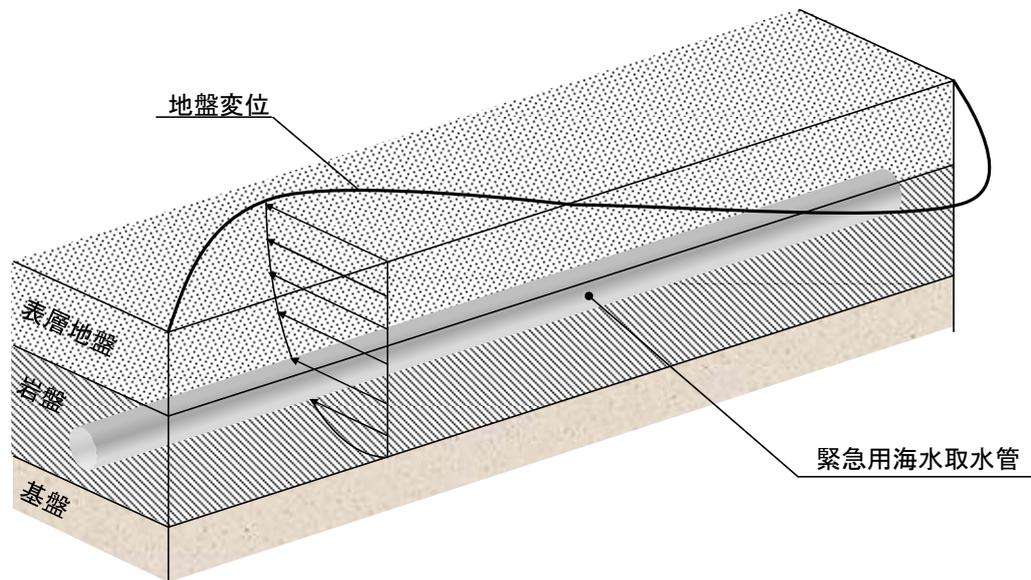


図 13.2-1 各規格，基準類における許容ひずみの比較

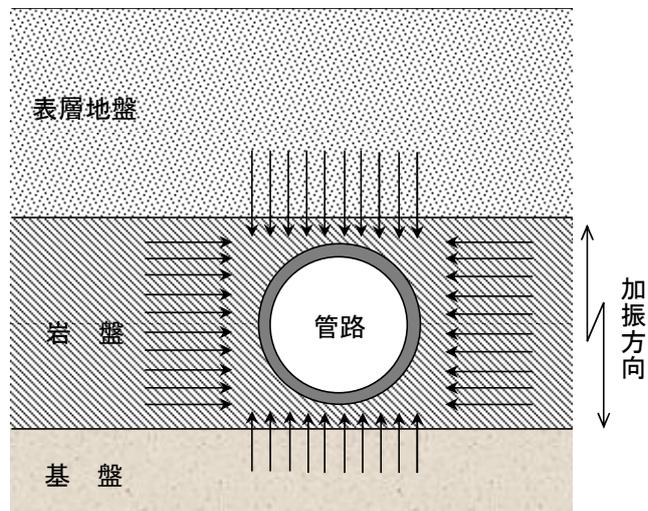


縦断面方向については，水平方向に伝播する地震波（進行方向に直交する方向に振動する進行波）による，周辺地盤の変位を考慮する。

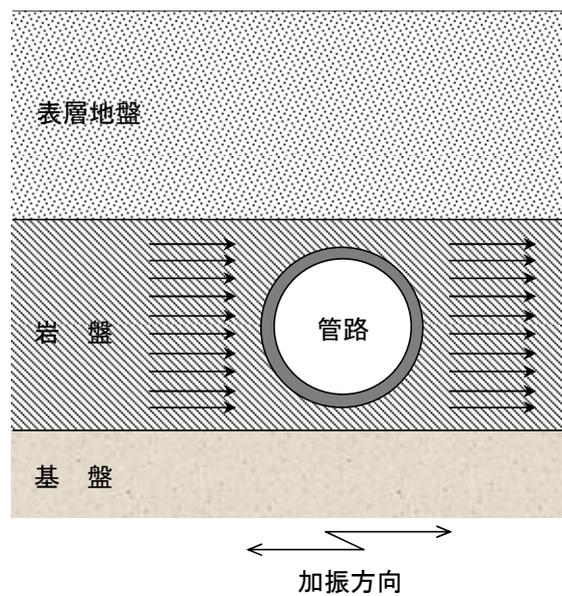
埋設された鋼製管路は，地震時に周辺地盤の変形に追従することが，多くの屋外，室内模型実験や実構造物からの地震観測結果から確かめられている。したがって，埋設された鋼製管路の耐震計算においては，上図のような地震時の周辺地盤の変位に基づいた耐震設計として，応答変位法が一般的に用いられる。

図 13.2-2 縦断面方向の耐震評価イメージ

(鉛直方向地震力)



(水平方向地震力)



横断面方向については埋設された鋼製管路上の土被り及び上載荷重により鋼製管路に作用する土圧を考慮する。

なお、表 13.2-1 に示した各規格、基準類では、一般式より横断面方向応力を求める手法が記載されているが、後述の横断面方向応力の算出では、その他の屋外重要土木構造物と同様に、2次元動的FEM解析（水平、鉛直同時加振）にて求める。

図 13.2-3 横断面方向の耐震評価イメージ

表 13.2-2 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び 材料定数	<ul style="list-style-type: none"> 水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説- [第5回改訂版] 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（(社) 電力土木技術協会） 	-
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> J E A G 4 6 0 1 -1987（(社) 日本電気協会） 	<ul style="list-style-type: none"> 永久荷重+偶発荷重の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> 水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説- [第5回改訂版] 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（(社) 電力土木技術協会） 道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（(社) 日本道路協会，平成24年3月） 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材の発生応力が短期許容応力度以下であることを確認 基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認
評価手法	<ul style="list-style-type: none"> 水道施設耐震工法指針・解説 2009年版（日本水道協会，2009） 	<ul style="list-style-type: none"> 縦断面方向と横断面方向の発生応力を組み合わせた耐震評価 管路に生じる軸応力σ_Lと曲げ応力σ_Bを合成する場合の係数α (3.12)
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> J E A G 4 6 0 1 -1987（(社) 日本電気協会） 	<ul style="list-style-type: none"> 有限要素法による2次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

13.2.2 耐震安全性評価フロー

図 13.2-4 に緊急用海水取水管の耐震安全性評価フローを示す。

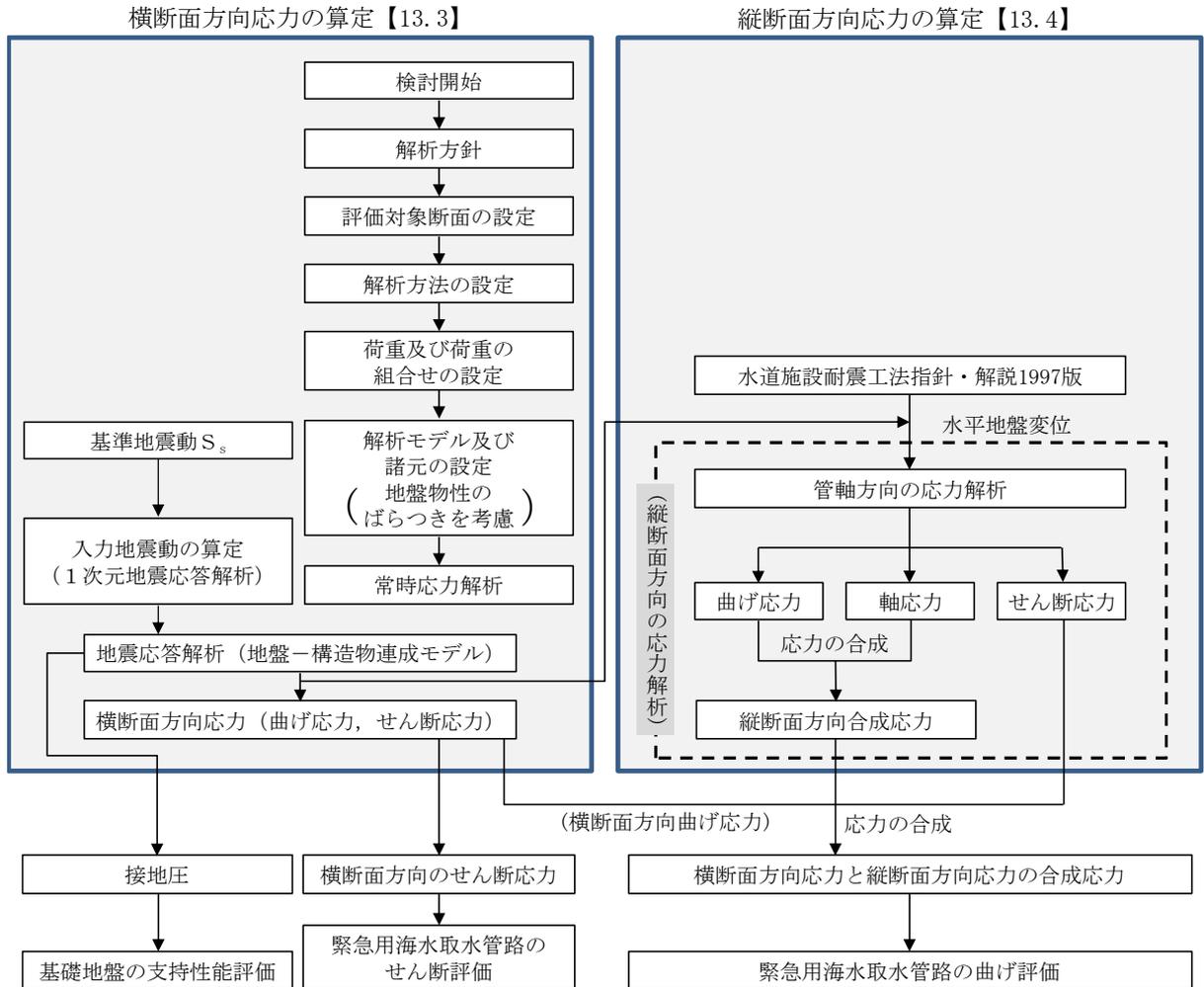


図 13.2-4 緊急用海水取水管の耐震安全性評価フロー

13.2.3 評価対象箇所及び評価対象断面

緊急用海水取水管は、SA用海水ピットと緊急用海水ポンプピットを接続する延長約168 m、内径1.2 mの鋼製の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤内に直接設置する。

緊急用海水取水管は線状構造物であり、カルバート構造物と同様に縦断面方向に対して一様の断面形状を有するため、縦断面方向の発生応力が耐震設計上有意であることから、横断面方向及び縦断面方向の発生応力を組み合わせて評価を行う。

横断面方向の評価対象断面は、「1.4.13 緊急用海水取水管の断面選定の考え方」で記載したとおり、緊急用海水ポンプピット付近の②-②断面を代表位置として選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

縦断面方向については、管路全長をモデル化した応答変位法により静的フレーム解析を実施して縦断面方向の曲げ応力を求め、横断面方向の曲げ応力との合成応力を算定して評価を行う。

緊急用海水取水管の位置図を図13.2-5に、平面図を図13.2-6に、評価対象断面図（縦断面）を図13.2-7に、評価対象断面図（横断面）を図13.2-8に示す。

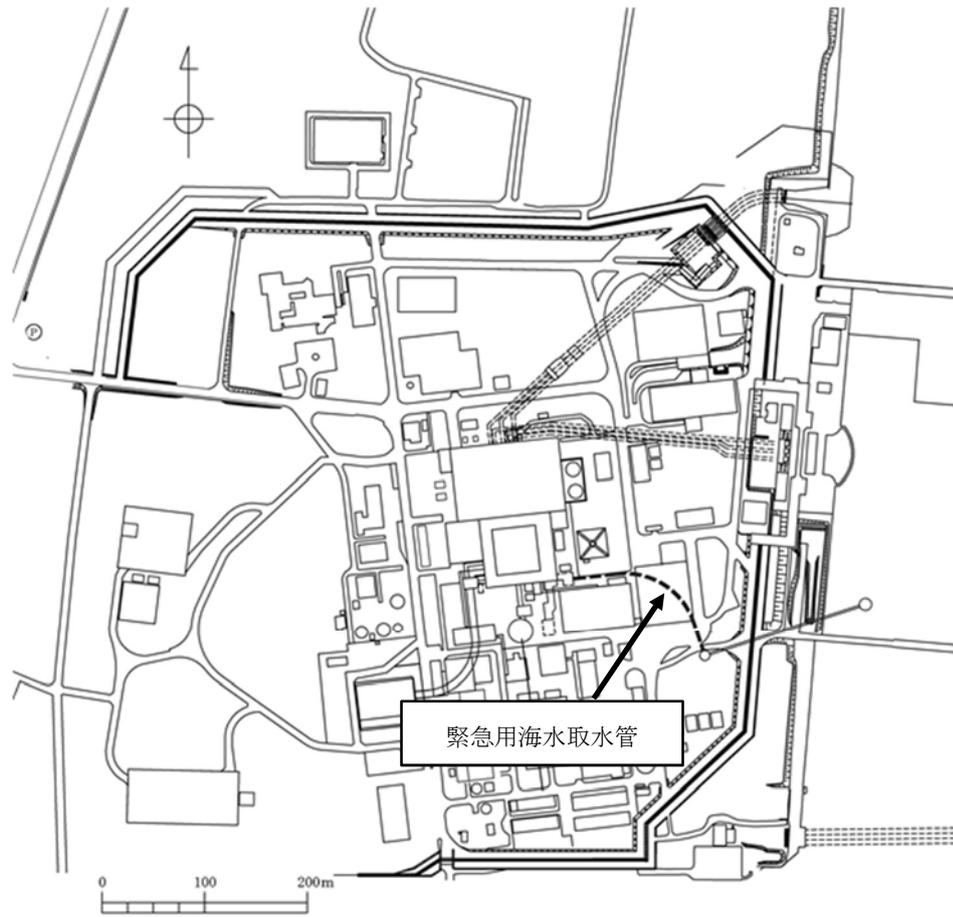


図 13.2-5 (1) 緊急用海水取水管 平面位置図 (全体図)

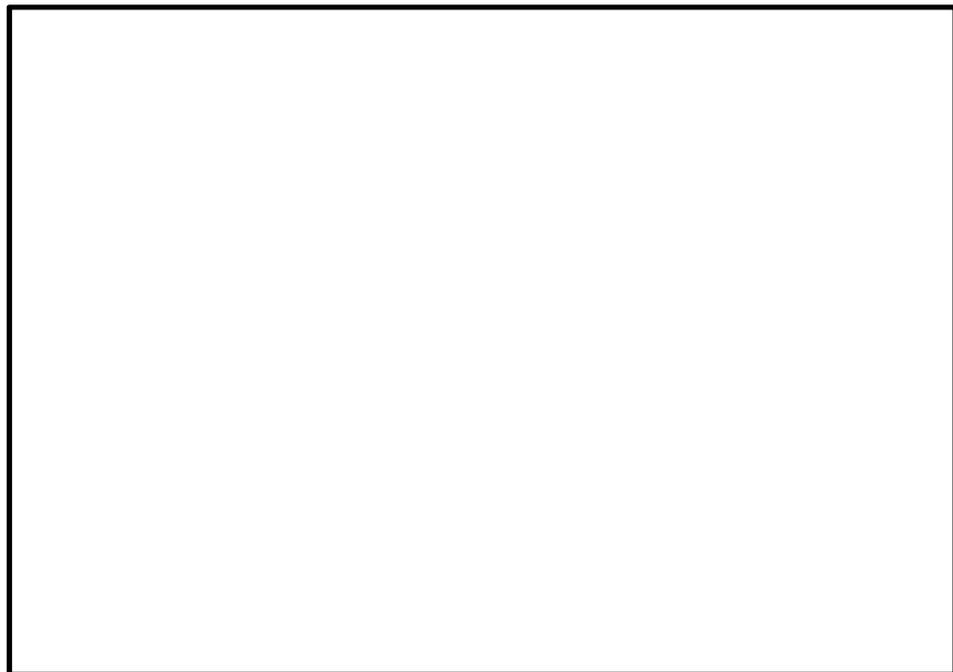


図 13.2-5 (2) 緊急用海水取水管 平面位置図 (拡大図)

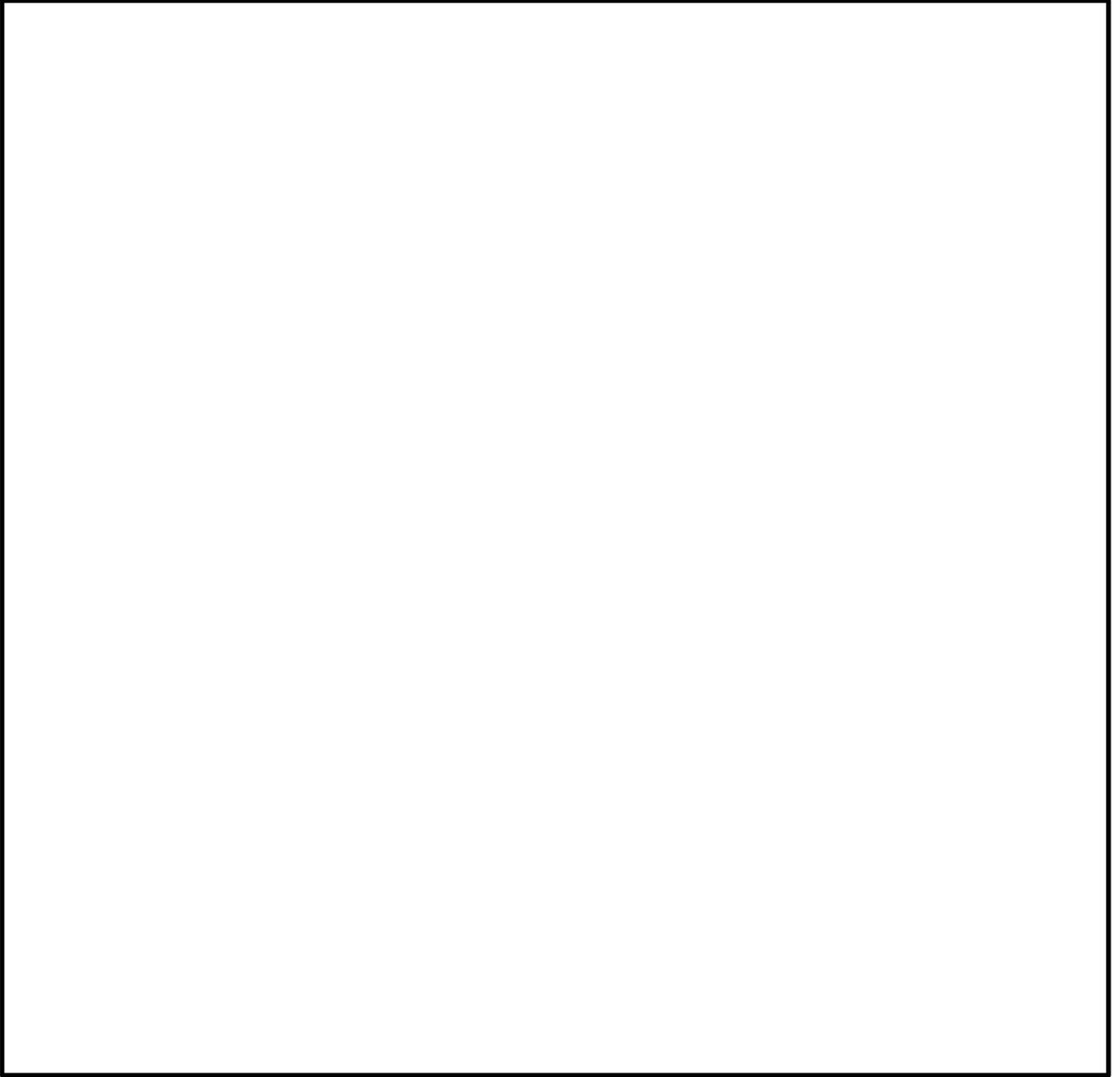


图 13.2-6 紧急用海水取水管 平面图

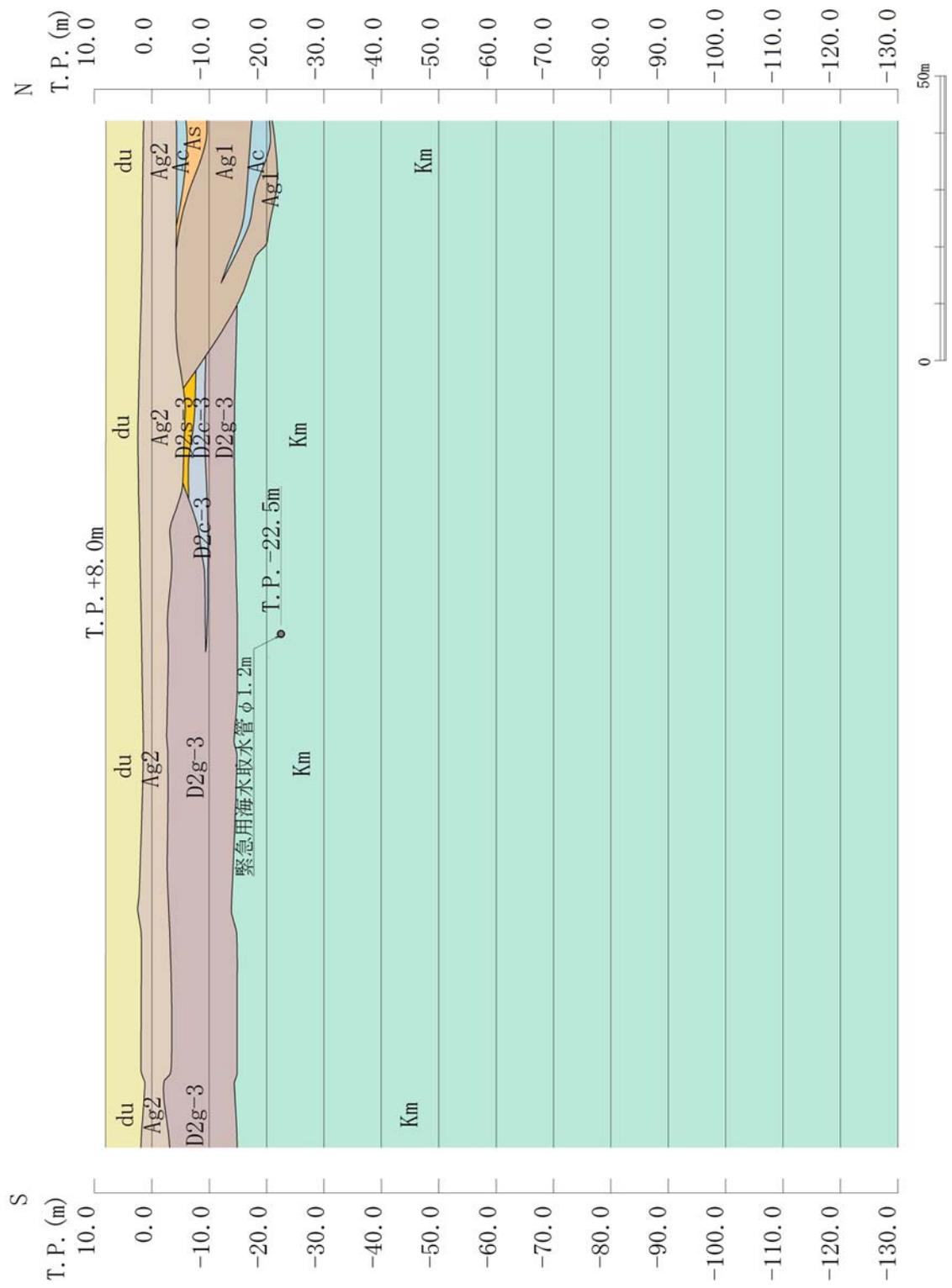


图 13.2-8 紧急用海水取水管 断面图 (横断面 B-B)

13.2.4 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 13.2-3 に、材料物性値を表 13.2-4 に示す。

地盤の諸元は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデル化する。地盤の物性値を表 13.2-5 に示す。

表 13.2-3 使用材料

材料	断面形状 (mm)	諸元
鋼製管	内径 1200×t20*	SM570

注記 * : 1.5 mm の腐食代を考慮する。

表 13.2-4 材料の物性値

材料	単位体積密度 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼製管	77.0 (水門鉄管技術基準)	2.0×10 ⁵ (水門鉄管技術基準)	0.3 (水門鉄管技術基準)

注記 () : 設定根拠

表 13.2-5 (1) 地盤の解析用物性値一覧 (液状化検討対象層)

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系 (液状化検討対象層)							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

表 13.2-5 (2) 地盤の解析用物性値一覧 (非液状化層)

パラメータ				原地盤				
				第四系 (非液状化層)				新第三系
				Ac	D2c-3	1m	D1c-1	Km
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ²	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z (標高) 毎に物性値を設定 ;
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026	
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 13.2-5 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP(m) Z	適用深度 TP(m)	密度 ρ (g/cm ³)	静ポアソン比 ν_{CD}	粘着力 C _{cd} (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ_{CD} (°)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G _{0a} (kN/m ²)	基準体積 弾性係数 K _{va} (kN/m ²)	基準平均有効 主応力 σ'_{ms} (kN/m ²)	拘束圧 依存係数 m ₀ , m _k	最大履歴 減衰率 h _{max} (-)	動ポアソン比 ν_d	疎密波 速度Vp (m/s)	1000*Vp
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326,965	371,843	504	0.0	0.108	0.463	1,661	1,661,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644	1,644,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331,480	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652	1,652,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332,992	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656	1,656,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659	1,659,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663	1,663,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,671	1,671,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654	1,654,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	504	0.0	0.112	0.461	1,662	1,662,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,665	1,665,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348,300	391,471	498	0.0	0.112	0.461	1,673	1,673,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351,403	394,870	498	0.0	0.113	0.461	1,680	1,680,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352,959	396,574	498	0.0	0.113	0.460	1,664	1,664,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356,083	399,996	498	0.0	0.114	0.460	1,672	1,672,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357,650	391,712	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	360,794	395,155	498	0.0	0.115	0.460	1,683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362,371	396,883	498	0.0	0.115	0.459	1,667	1,667,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365,536	400,349	498	0.0	0.115	0.459	1,675	1,675,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367,124	402,088	498	0.0	0.116	0.459	1,678	1,678,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370,309	405,577	498	0.0	0.116	0.459	1,685	1,685,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371,907	407,327	498	0.0	0.117	0.459	1,689	1,689,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375,113	410,838	498	0.0	0.117	0.458	1,678	1,678,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376,721	412,599	498	0.0	0.117	0.458	1,681	1,681,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379,948	416,134	498	0.0	0.118	0.458	1,688	1,688,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385,416	422,122	498	0.0	0.118	0.458	1,696	1,696,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387,051	423,913	498	0.0	0.118	0.458	1,699	1,699,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390,331	427,505	498	0.0	0.118	0.457	1,688	1,688,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391,976	429,307	498	0.0	0.119	0.457	1,692	1,692,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395,277	432,922	498	0.0	0.119	0.457	1,699	1,699,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396,933	434,736	498	0.0	0.120	0.457	1,702	1,702,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400,255	422,491	492	0.0	0.120	0.457	1,709	1,709,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401,921	424,250	492	0.0	0.120	0.456	1,695	1,695,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405,263	427,778	492	0.0	0.120	0.456	1,702	1,702,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406,939	429,547	492	0.0	0.121	0.456	1,705	1,705,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410,302	433,097	492	0.0	0.121	0.456	1,712	1,712,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413,679	436,661	492	0.0	0.121	0.456	1,719	1,719,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415,373	438,449	492	0.0	0.122	0.455	1,705	1,705,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418,771	442,036	492	0.0	0.122	0.455	1,712	1,712,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420,475	443,835	492	0.0	0.122	0.455	1,716	1,716,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423,893	447,443	492	0.0	0.122	0.455	1,723	1,723,000
57	-82	-85 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425,608	449,253	492	0.0	0.123	0.455	1,726	1,726,000
58	-88	-90 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434,232	458,356	492	0.0	0.124	0.454	1,726	1,726,000
59	-92	-95 ~ -90	1.73	0.14	913	14.1	504	439,448	463,862	492	0.0	0.124	0.454	1,736	1,736,000
60	-98	-101 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	448,210	473,111	492	0.0	0.125	0.453	1,736	1,736,000
61	-104	-108 ~ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	455,282	463,485	486	0.0	0.126	0.452	1,733	1,733,000
62	-112	-115 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465,995	474,391	486	0.0	0.127	0.451	1,737	1,737,000
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475,016	483,575	486	0.0	0.127	0.451	1,754	1,754,000
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485,957	494,713	486	0.0	0.128	0.450	1,758	1,758,000

13.2.5 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

13.2.6 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 緊急用海水取水管の許容限界

許容限界については、「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説- [第5回改訂版]」（（社）電力土木技術協会，平成29年）に基づき表13.2-6のとおり設定する。短期許容応力度は鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割増しを考慮する。

表 13.2-6 許容応力度

評価項目		短期許容応力度 (N/mm ²)
鋼材 (SM570) *	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	360
	許容せん断応力度 τ_{sa}	202.5

注記 * : 水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）付解説- [第5回改訂版]」（（社）電力土木技術協会，平成29年）

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

極限支持力は，道路橋示方書の支持力算定式等に基づき，対象施設の岩盤の室内試験結果（せん断強度）等より設定する。

道路橋示方書による直接基礎の支持力算定式を以下に示す。

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \right\}$$

ここで，

Q_u : 荷重の偏心傾斜，支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力 (kN)

c : 地盤の粘着力 (kN/m²)

q : 上載荷重 (kN/m²) で， $q = \gamma_2 D_f$

A_e : 有効載荷面積 (m²)

γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m³)
ただし，地下水位以下では水中単位体積重量を用いる

B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2e_B$$

B : 基礎幅 (m)

- e_B : 荷重の偏心量 (m)
- D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)
- α, β : 表 13.2-7 に示す基礎底面の形状係数
- κ : 根入れ効果に対する割増係数
- N_c, N_q, N_γ : 図 13.2-9, 図 13.2-10 及び図 13.2-11 に示す荷重の傾斜を考慮した支持力係数
- S_c, S_q, S_γ : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

表 13.2-7 基礎底面の形状係数 (道路橋示方書より)

基礎底面の形状 形状係数	帯状	正方形, 円形	長方形, 楕円形, 小判形
α	1.0	1.3	$1 + 0.3 \frac{B_e}{D_e}$
β	1.0	0.6	$1 - 0.4 \frac{B_e}{D_e}$

B_e, D_e は図-解 10.3.4, 図-解 10.3.5 による。ただし, $\frac{B_e}{D_e} > 1$ の場合, $\frac{B_e}{D_e} = 1$ とする。

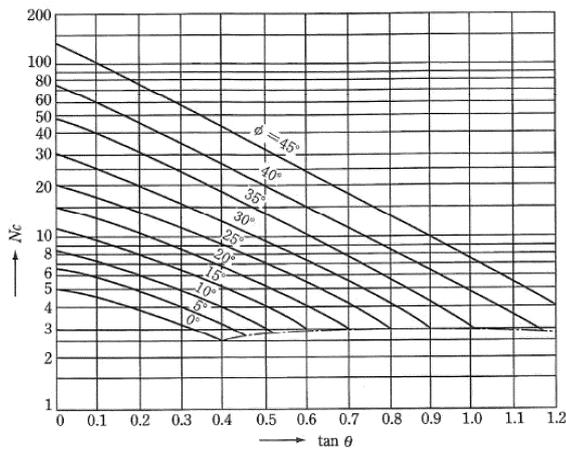


図 13.2-9 支持力係数 N_c を求めるグラフ (道路橋示方書より)

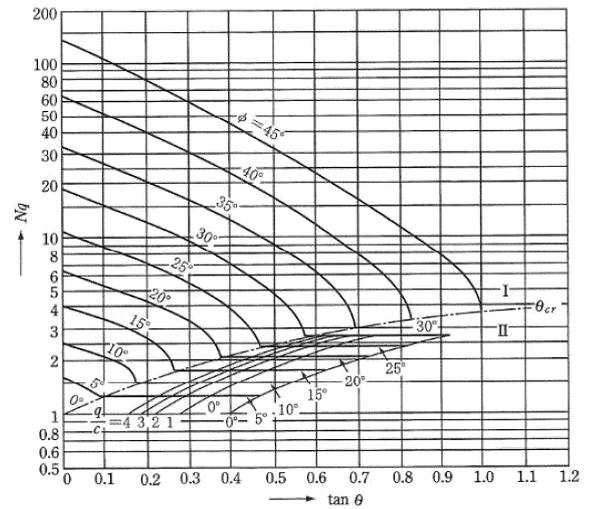


図 13.2-10 支持力係数 N_q を求めるグラフ (道路橋示方書より)

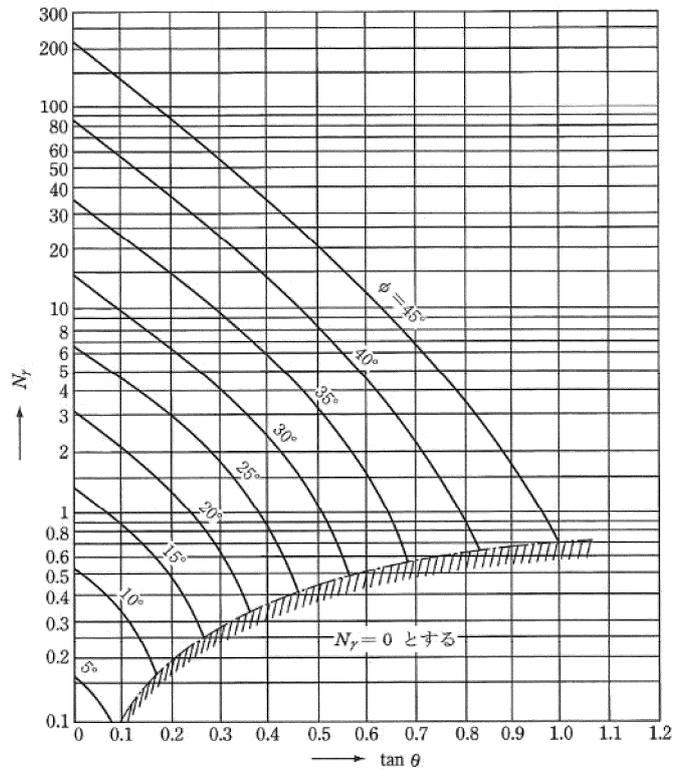


図 15.2-11 支持力係数 N_γ を求めるグラフ
(道路橋示方書より)

13.3 横断面方向応力の評価方法

13.3.1 地震応答解析手法

緊急用取水管の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。部材については、線形はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。地震応答解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、付録24「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図13.3-1に示す。

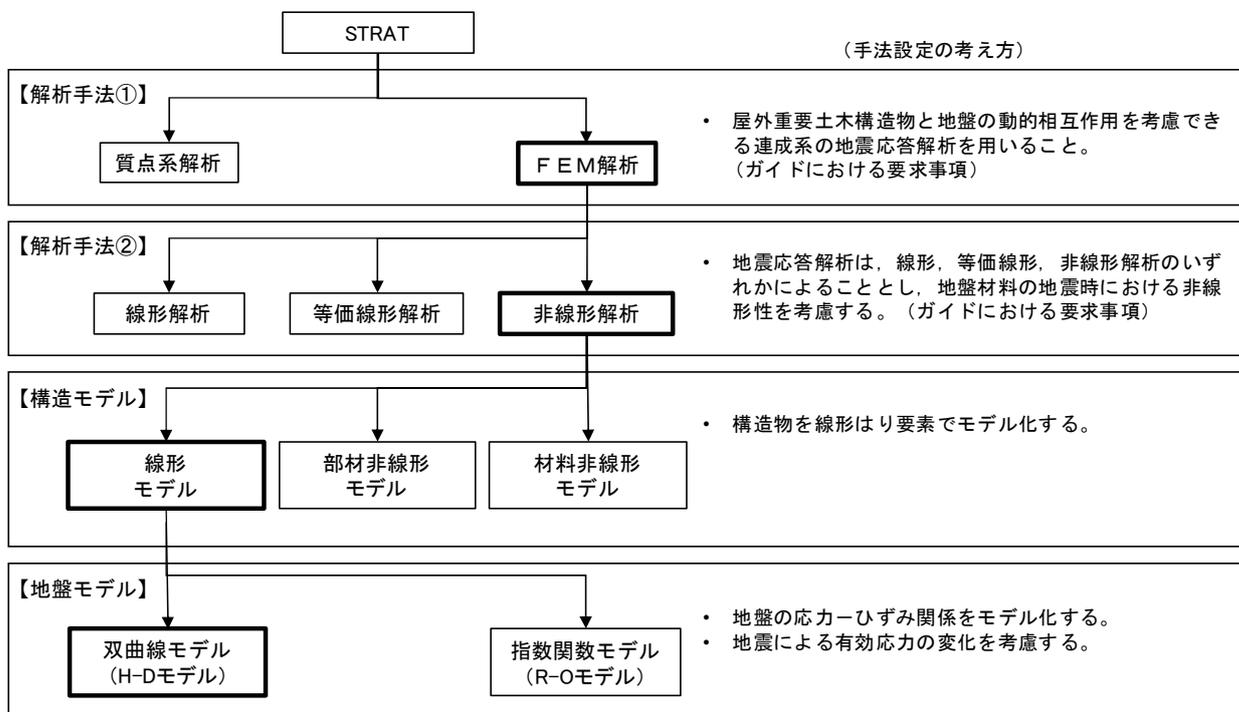


図 13.3-1 地震応答解析手法の選定フロー

H-Dモデルの選定理由は次のとおりである。すなわち、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル (H-Dモデル) を選定する。

13.3.2 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 -1987を適用し、図 13.3-2 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。なお、解析モデルの境界条件は、側方における波動の反射の影響を低減するとともに、下方への波動の逸散を考慮するために側面及び底面ともに粘性境界とする。

緊急用海水取水横断方向の地震応答解析モデルを図 13.3-3 に示す。

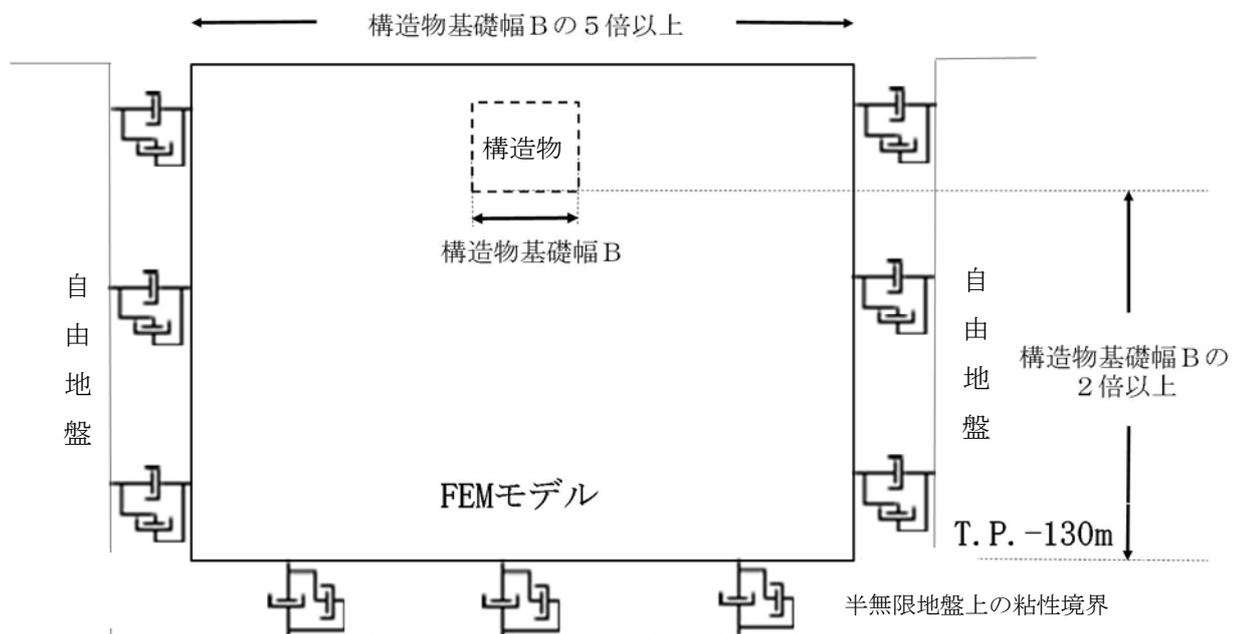


図 13.3-2 解析モデル領域の考え方

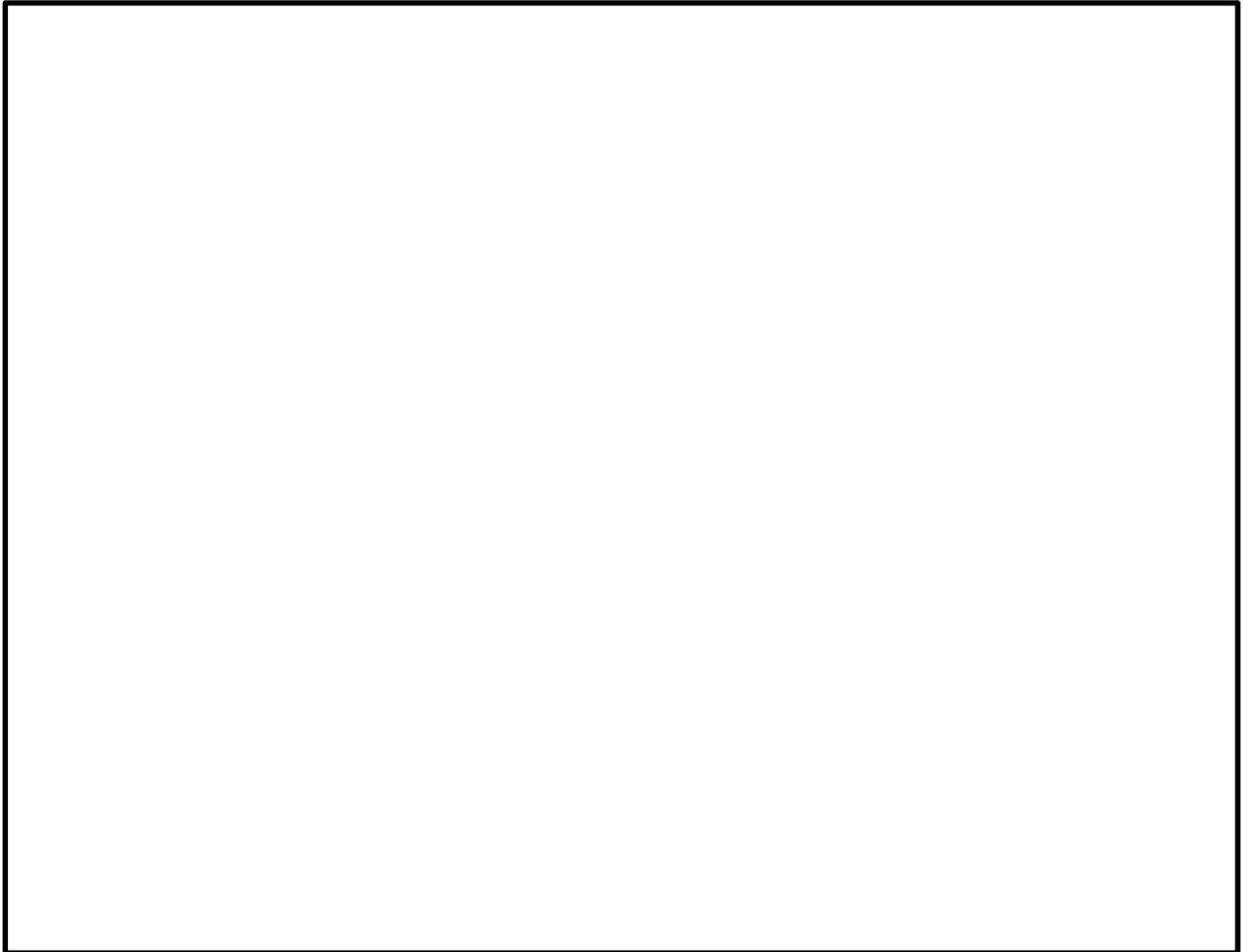


図 13.3-3 緊急用海水取水管横断方向の地震応答解析モデル

(2) 構造物のモデル化

構造部材は、線形はり要素でモデル化する。

(3) 地盤のモデル化

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水圧要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(4) ジョイント要素の設定

地盤と構造物の境界部にジョイント要素を設けることにより、地盤と構造物の剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は法線方向、接線方向に分けて二重節点として設定する。法線方向では、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。接線方向では、地盤と構造物のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。

c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とする。(表 13, 3-1 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

τ_f : せん断強度 (N/mm²)

c : 粘着力 (N/mm²)

ϕ : 内部摩擦角 (°)

表 13.3-1 周辺地盤との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	備考
新第三系	Km層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	-

z : 標高 (m)

ジョイント要素のばね定数は、数値計算上の不安定挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、表 13.3-2 のとおり設定する。図 13.3-4 にジョイント要素の設定の考え方を示す。

表 13.3-2 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6

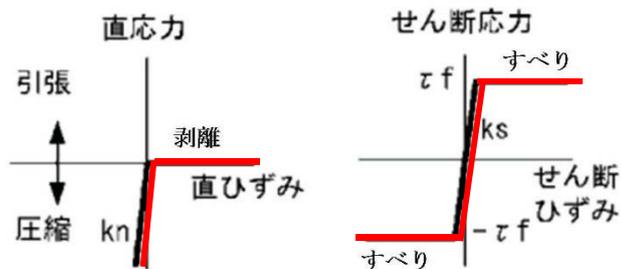


図 13.3-4 ジョイント要素の考え方

13.3.3 減衰定数

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトして行くことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 α [M]の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように、低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K] : \text{減衰係数マトリックス}$$

ここで、

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

係数 α 、 β は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

地盤の減衰定数は1%（解析における減衰は、ひずみが大きい領域では履歴減衰が支配的となる。このため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している）とする。また、線形材料としてモデル化する鋼材の減衰定数は3%（道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月））とする。

図13.3-5にRayleigh減衰の設定フローを、表13.3-3に固有値解析結果を示す。

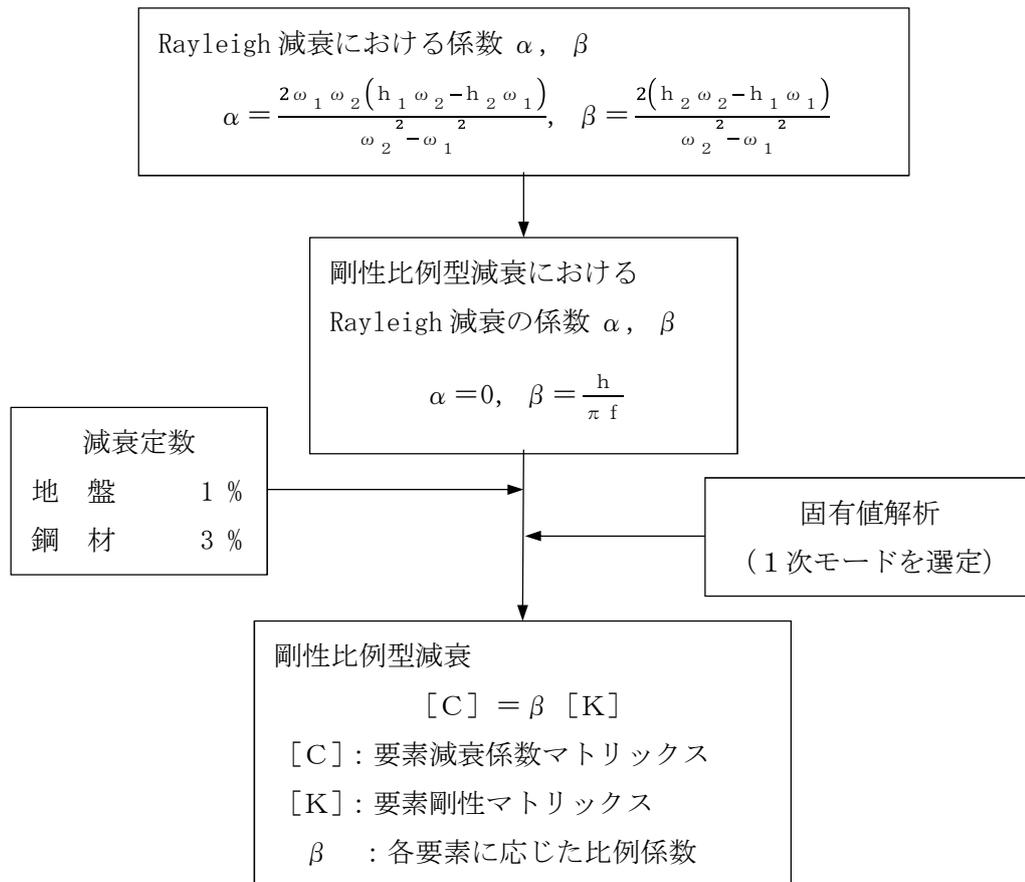


図 13.3-5 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 13.3-3 固有値解析結果
(追而)

13.3.4 荷重の組合せ

横断面方向応力算出のための地震応答解析では、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重は、地震応答解析から得られる地震時土圧及び躯体に作用する慣性力を考慮する。

変動荷重のうち、積雪荷重及び風荷重については、緊急用海水取水管が地中構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力との組み合わせるべき荷重としては除外した。

なお、緊急用海水取水管は、運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態或いは重大事故等時の状態の影響を受けないと考えられるため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。

荷重の組合せを表 13.3-4 に示す。

表 13.3-4 荷重の組合せ

種別	荷重	考慮箇所		算定方法	
		横断面 方向	縦断面 方向		
永久 荷重	常時 考慮 荷重	躯体自重	○	—	・対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	—	・機器・配管等は設置されない。
		土被り荷重	○	—	・常時応力解析により設定する。
		永久上載荷重	—	—	—
	静止土圧		○	—	・常時応力解析により設定する。
	外水圧		○	—	・地下水位に応じた静水圧として考慮する。 ・地下水の密度を考慮する。
	水圧		○	—	・H.W.L T.P. +0.61 mからの内水圧を設定する。 ・海水の密度を考慮する。
変動荷重		—	—	・埋設構造物であるため、積雪荷重、風荷重は作用しない。	
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	○	・基準地震動 S_s によって水平・鉛直に同時加振する。	
	鉛直地震動	○	—	・躯体、機器・配管の慣性力、動土圧を考慮する。 ・縦断面方向は、応答変位法による応力解析にて地盤変位を考慮*する。	
	動水圧	○	—	・水位条件、密度は、永久荷重と同様とする。	

注記 * : 参考に縦断面方向の応力解析にて考慮する荷重についても記載

(1) 外水

緊急用海水取水管横断面周辺の地盤においては、地下水位を地表面に設定する。地下水の密度は 1.00 g/cm^3 とする。

(2) 内水

緊急用海水取水管の内水圧水頭は海面と同じ朔望平均満潮位 (T.P. +0.61 m) とする。海水の密度は 1.03 g/cm^3 とする。

緊急用海水取水管は全域にわたり朔望平均満潮位 (T.P. +0.61 m) 以深で常時満管状態であることから、常時応力解析においては T.P. +0.61 m からの静水圧、地震応答解析においては自由水面を持たない固定水として付加質量で考慮する。

13.3.5 地震応答解析の検討ケース

緊急用海水取水管の耐震設計における検討ケースを表 13.3-5 に示す

表 13.3-5 緊急用海水取水管の耐震設計における検討ケース

検討ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース (基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波 (位相)	S _s -D 1	(++)	1				
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(--)	1				
	S _s -1 1	(++)	1	1	1	1	1
	S _s -1 2	(++)	1				
	S _s -1 3	(++)	1				
	S _s -1 4	(++)	1				
	S _s -2 1	(++)	1				
		(-+)	1				
S _s -3 1	(++)	1					
	(-+)	1					
計		12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用いて実施する。
最も厳しい地震動の選定にあたっては、各施設の評価部位(上部構造及び下部構造)毎に1波選定する。

異なる建屋・構築物間の相対変位の算定は、上記ケースの中で、変位量が最も大きいケースにて行う。

13.3.6 入力地震動の設定

入力地震動は、資料V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を、1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動算定の概念図を図13.3-6に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録39「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

なお、断層モデル波である S_s -11, 12, 13, 14, 21, 22 については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向に合わせて方位補正を行う。具体的にはN-S方向及びE-W方向の地震動について構造物の評価断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した基準地震動を設定する。

図13.3-7～図13.3-22に入力地震動の加速度時刻歴波形及びに加速度応答スペクトルを示す。

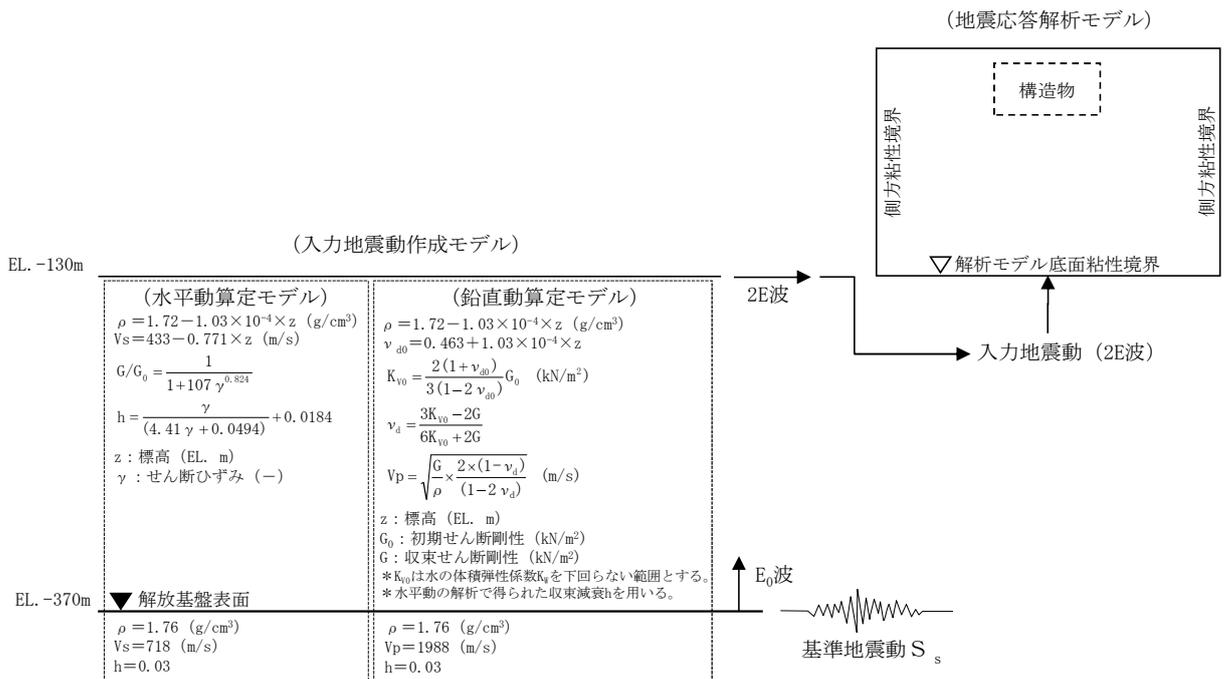
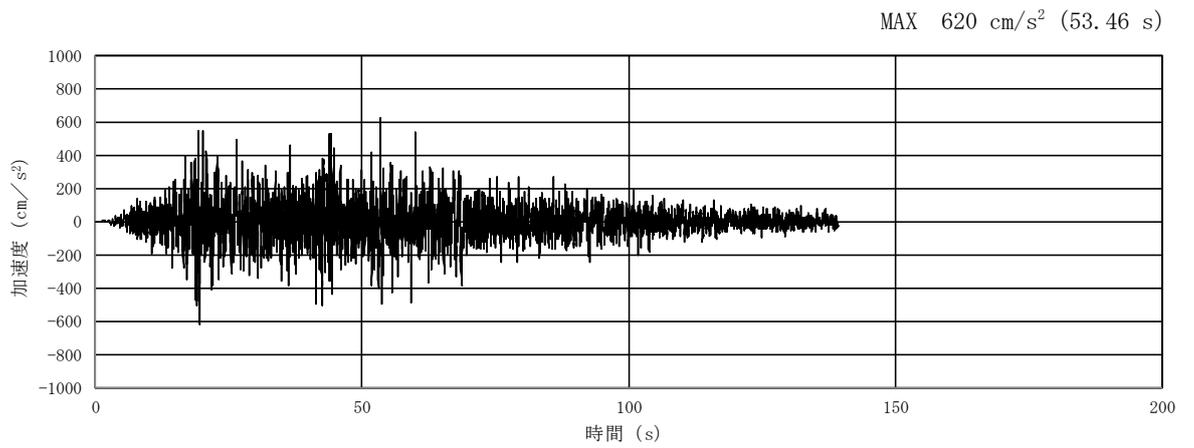
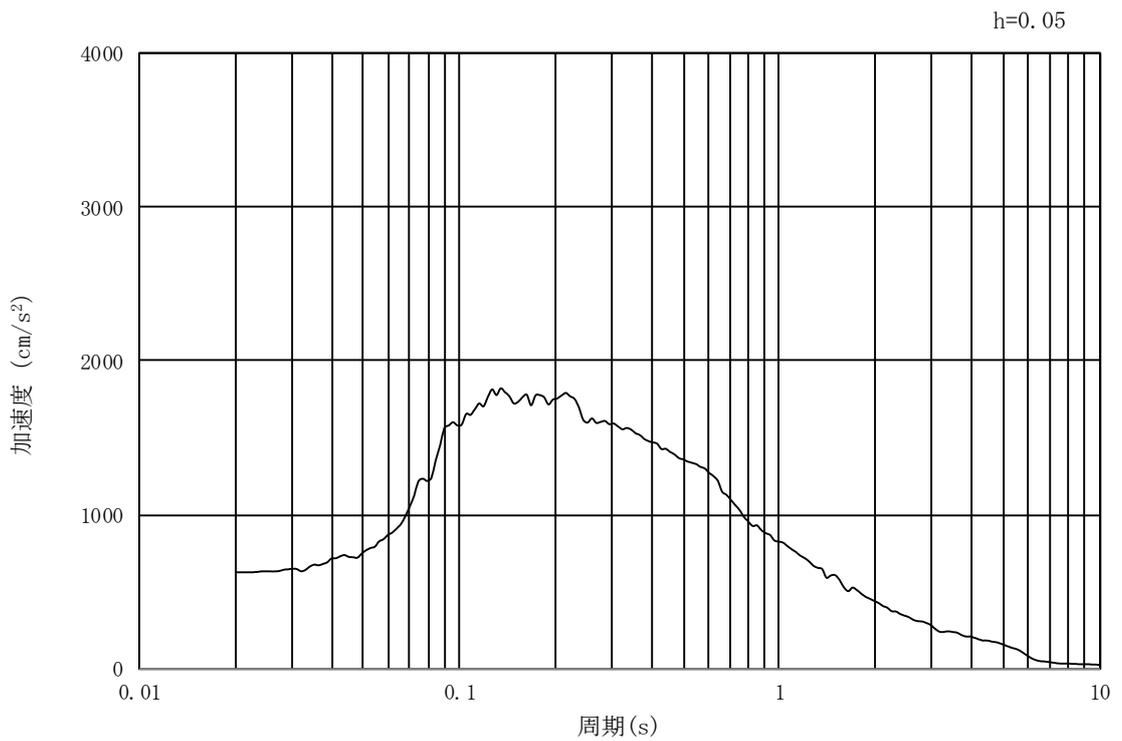


図13.3-6 入力地震動策定の概念図

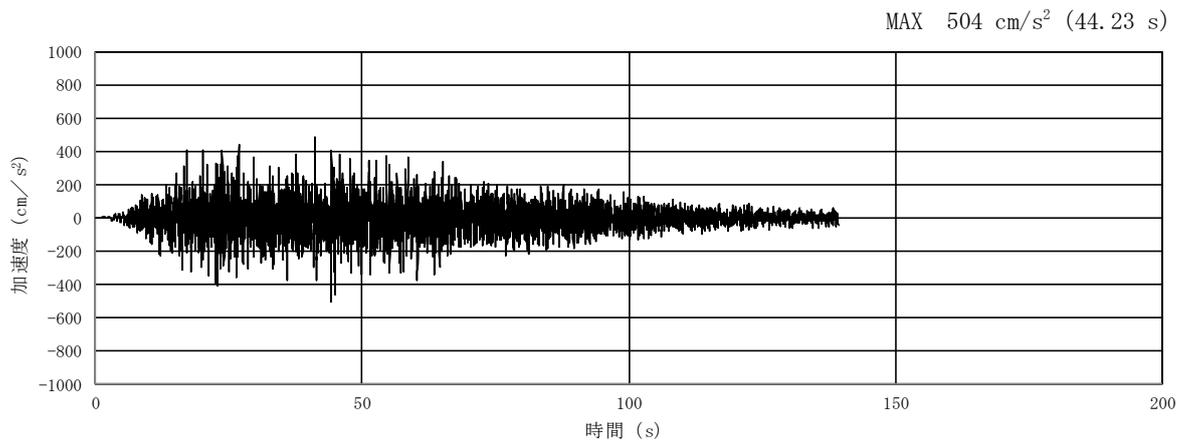


(a) 加速度時刻歴波形

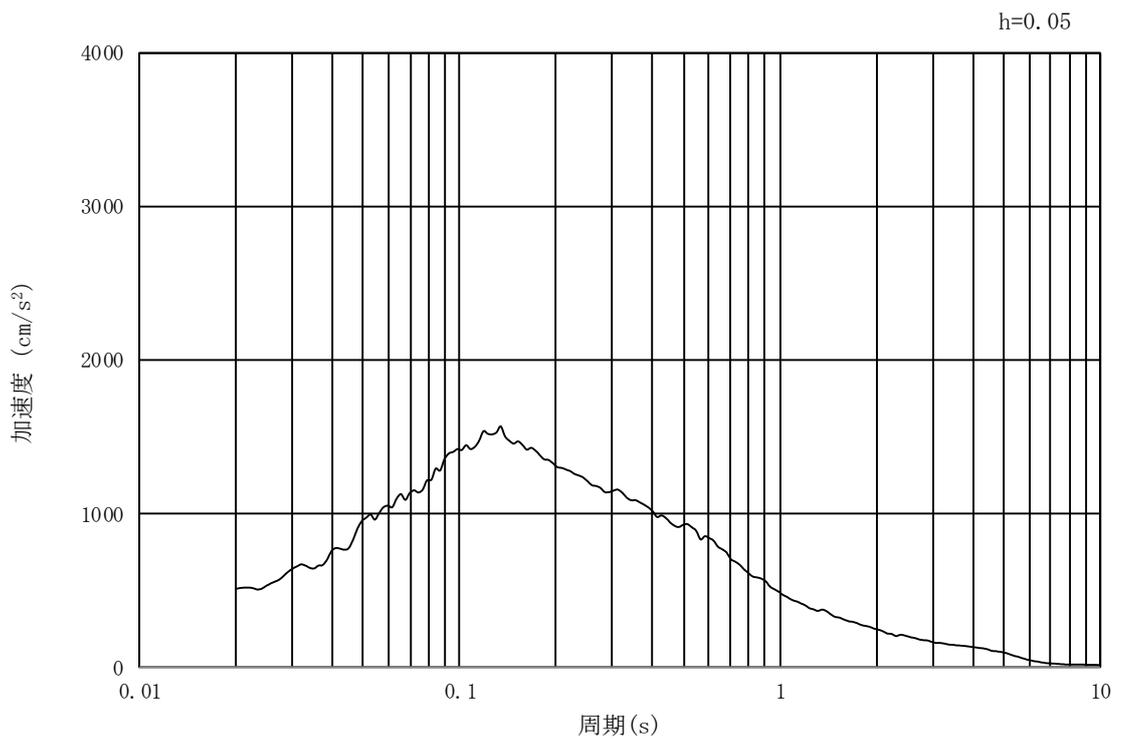


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S_s-D1)

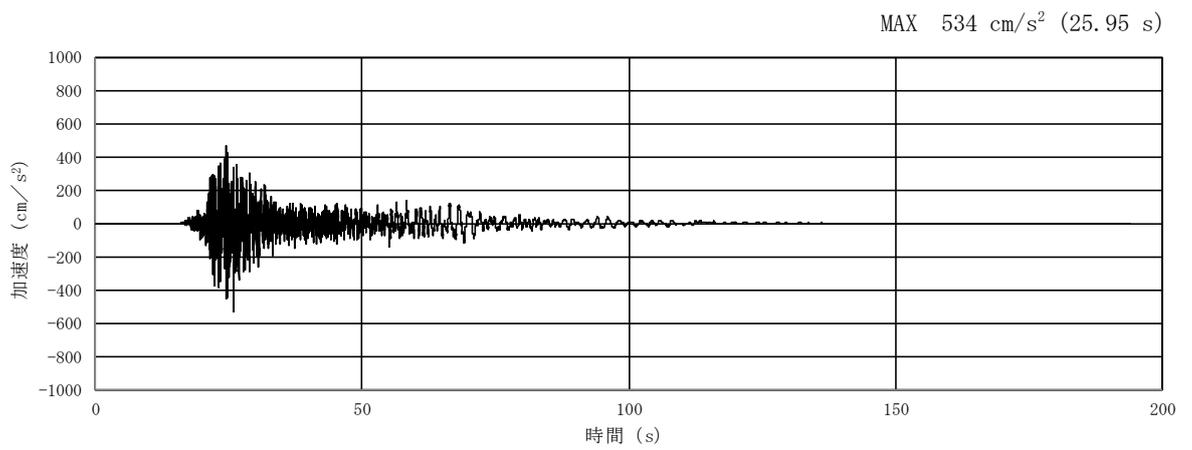


(a) 加速度時刻歴波形

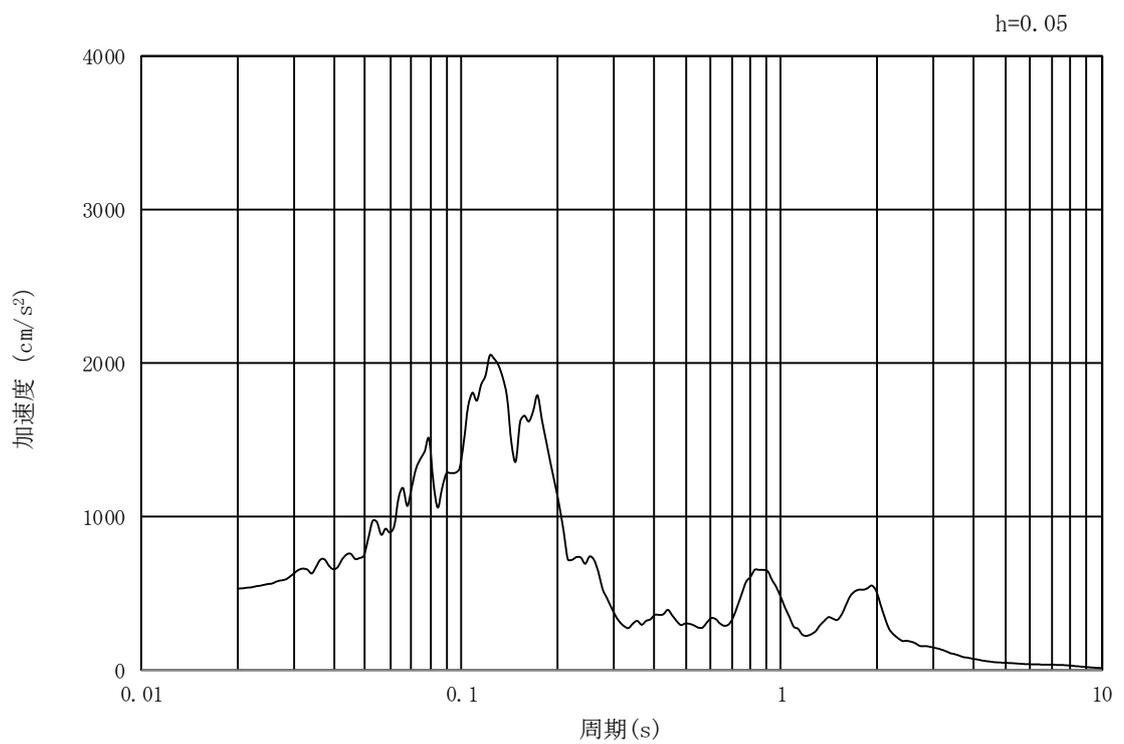


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S_s-D1)

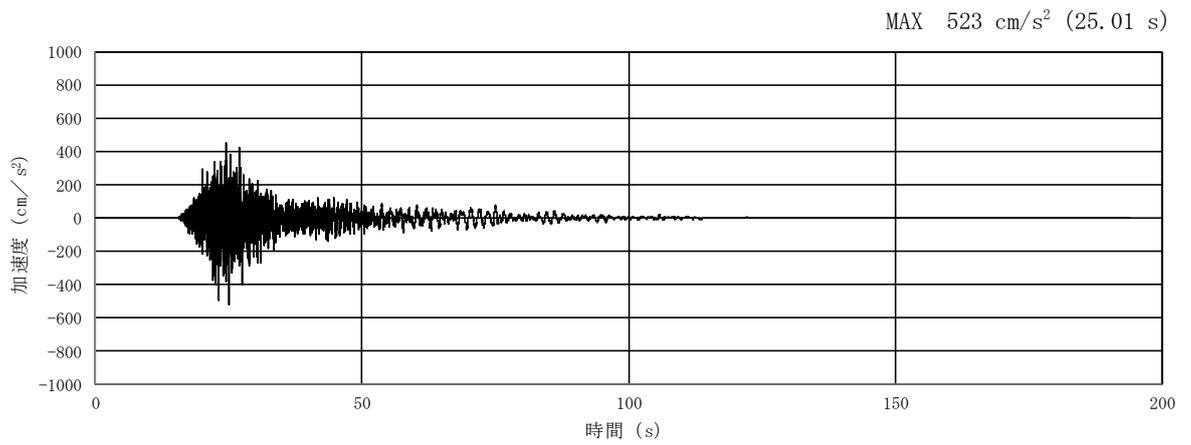


(a) 加速度時刻歴波形

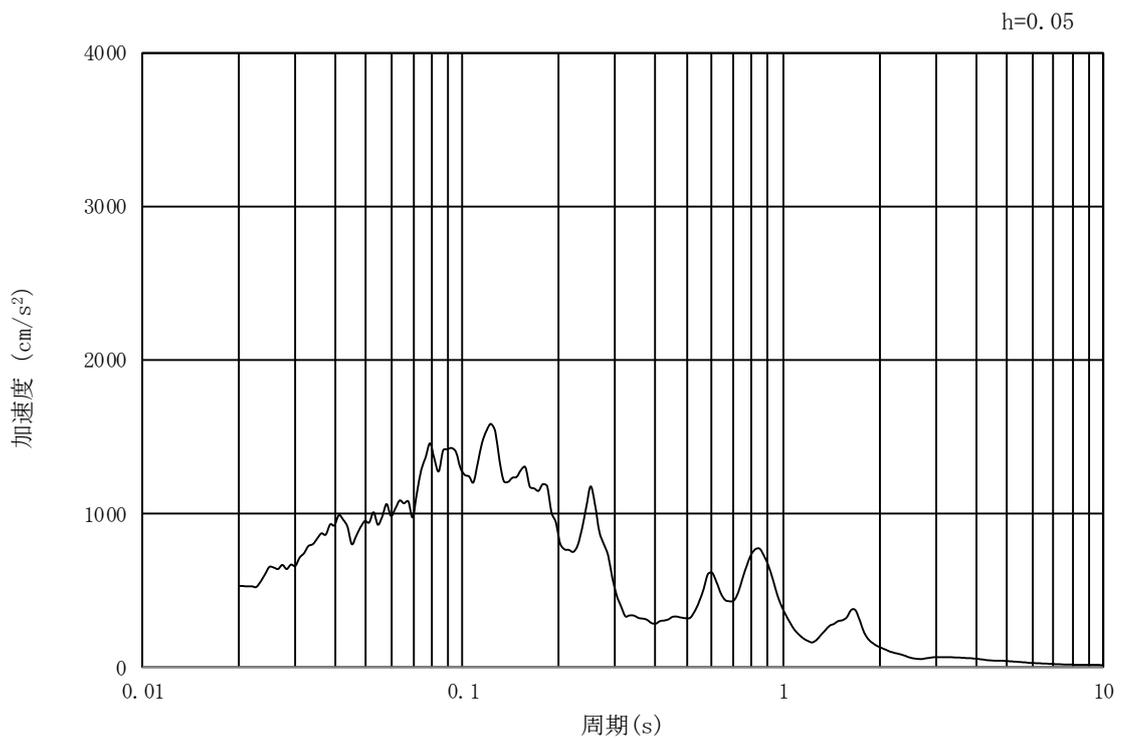


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 11$)

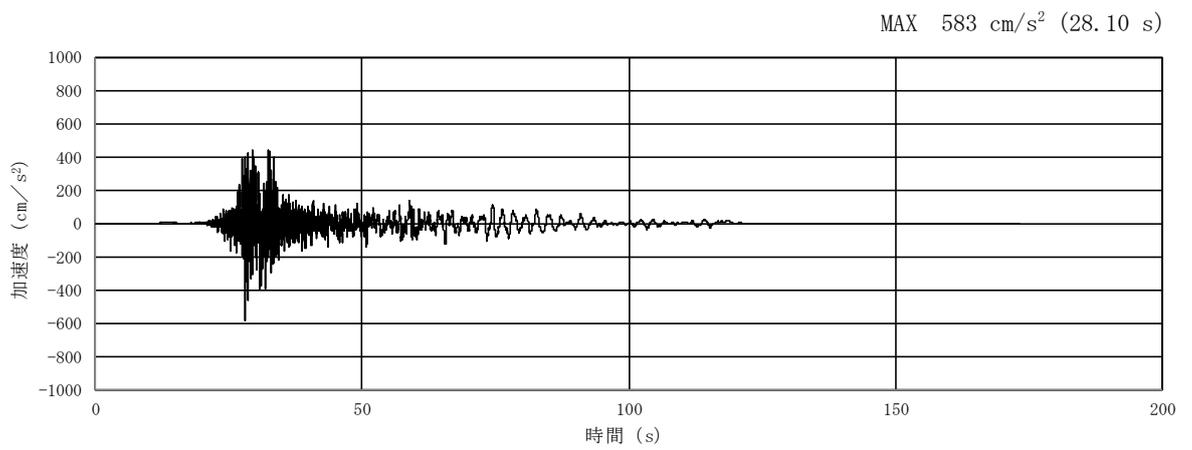


(a) 加速度時刻歴波形

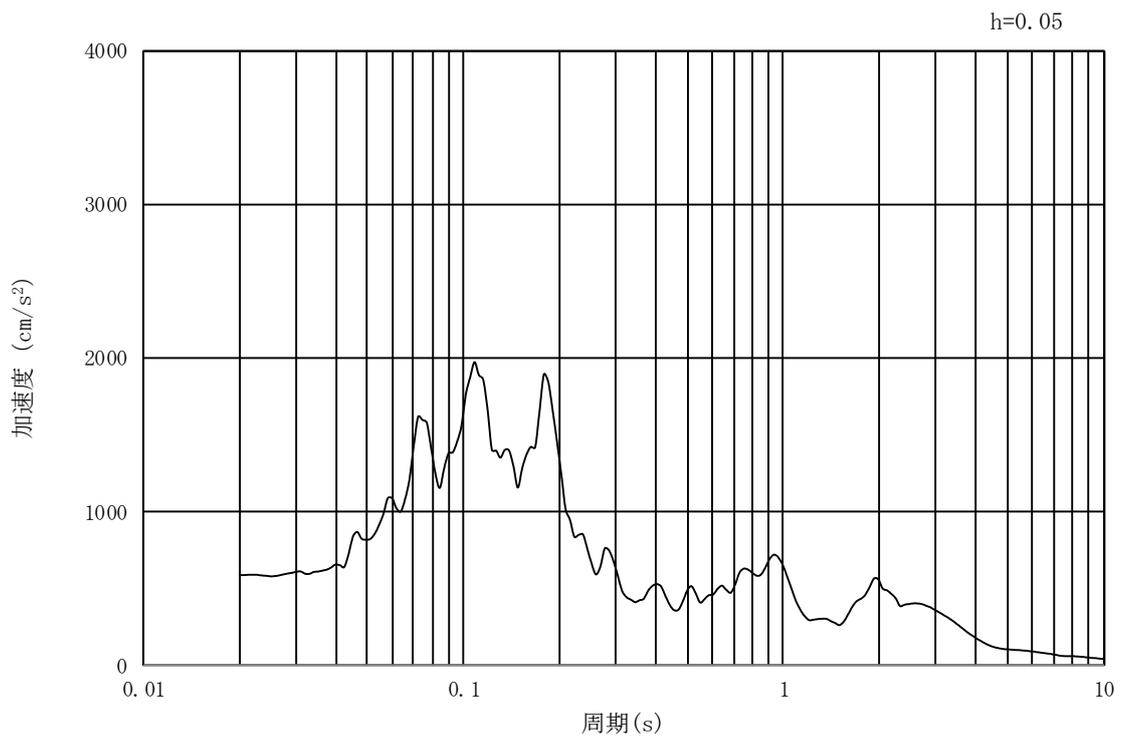


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 11$)

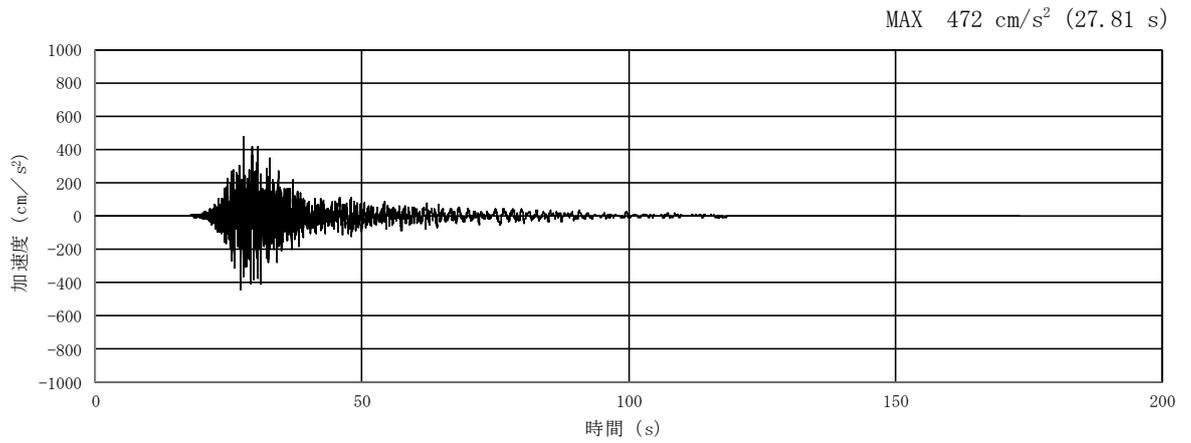


(a) 加速度時刻歴波形

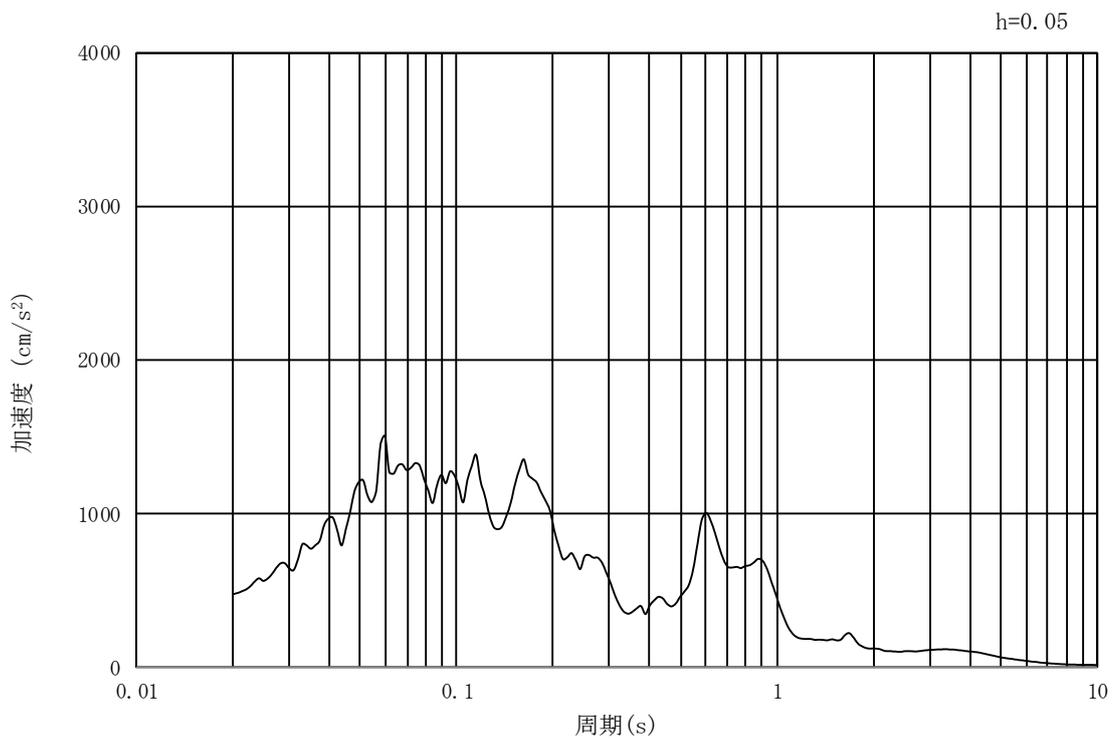


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 1.2$)

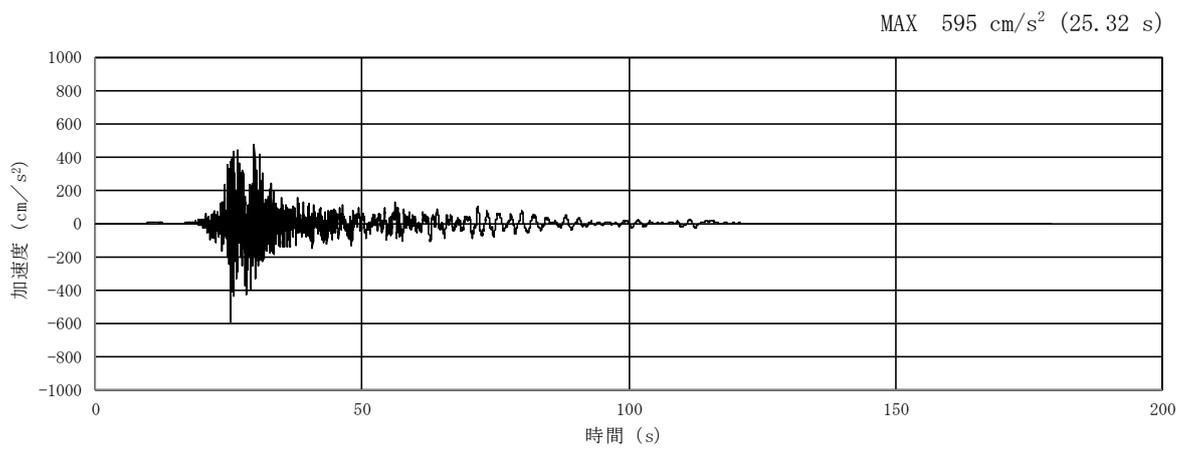


(a) 加速度時刻歴波形

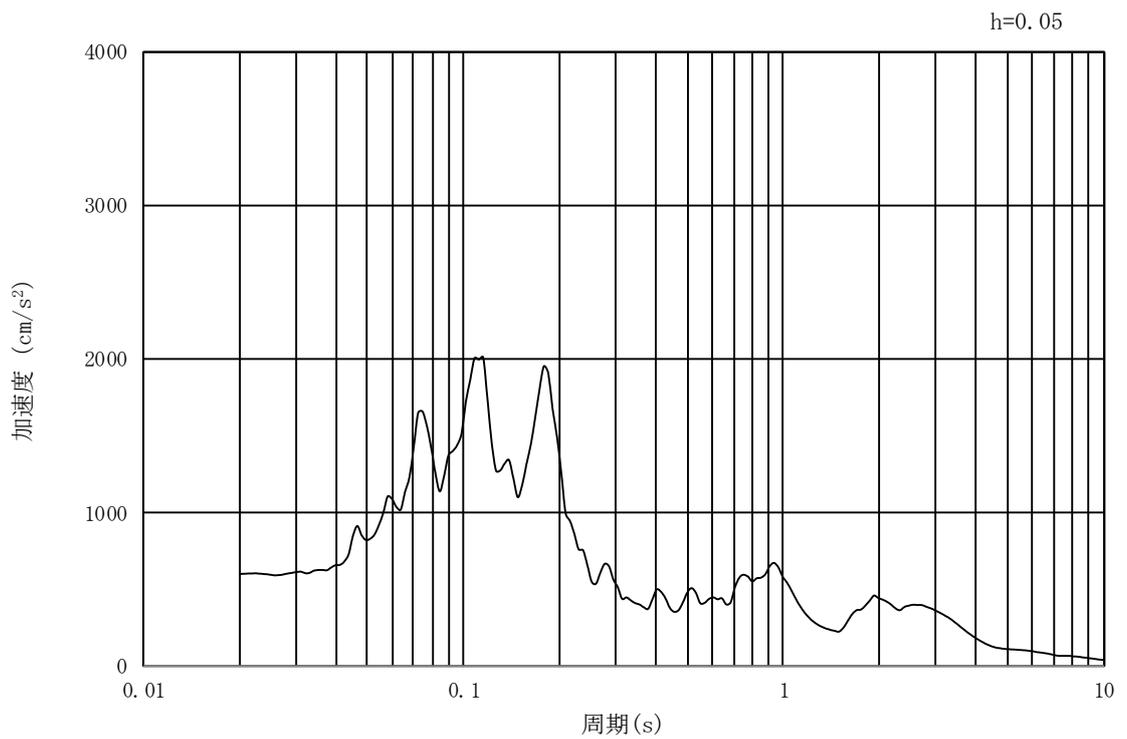


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 1.2$)

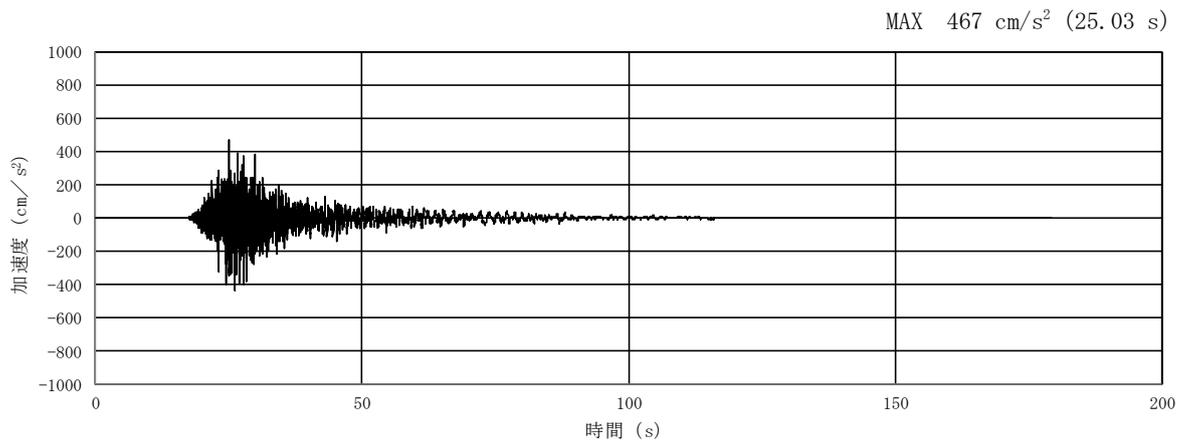


(a) 加速度時刻歴波形

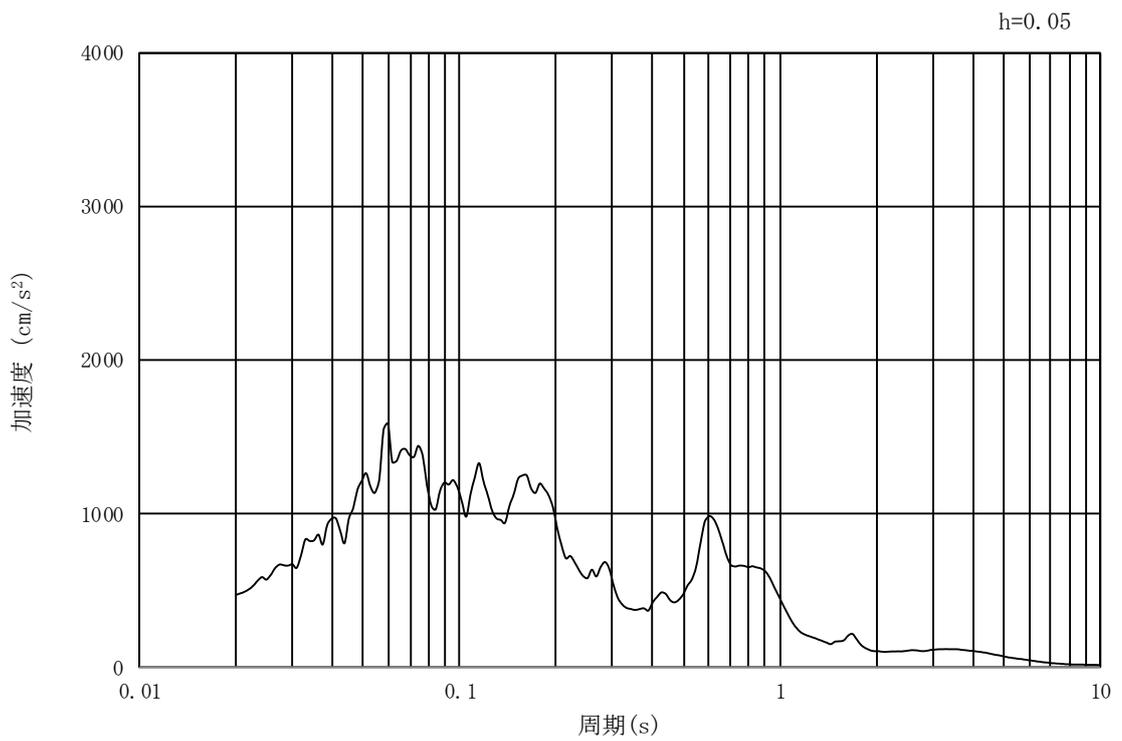


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 1.3$)

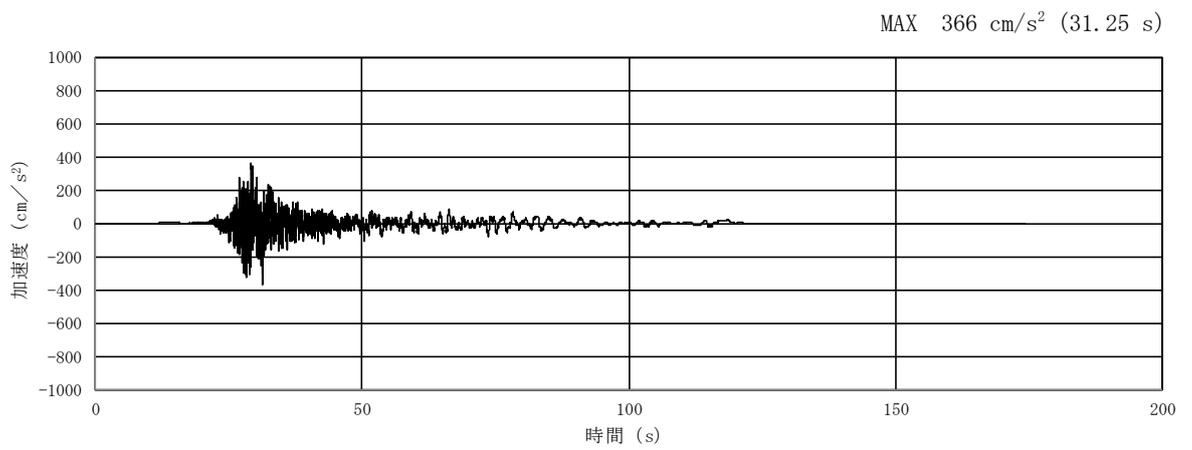


(a) 加速度時刻歴波形

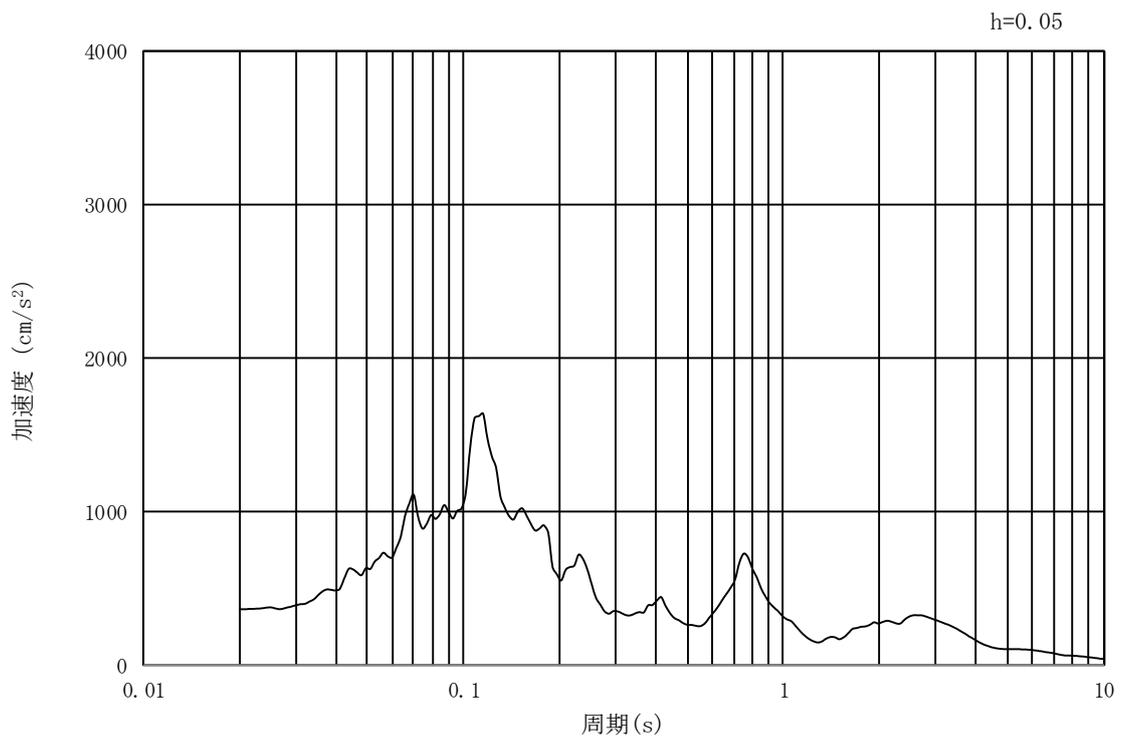


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 1.3$)

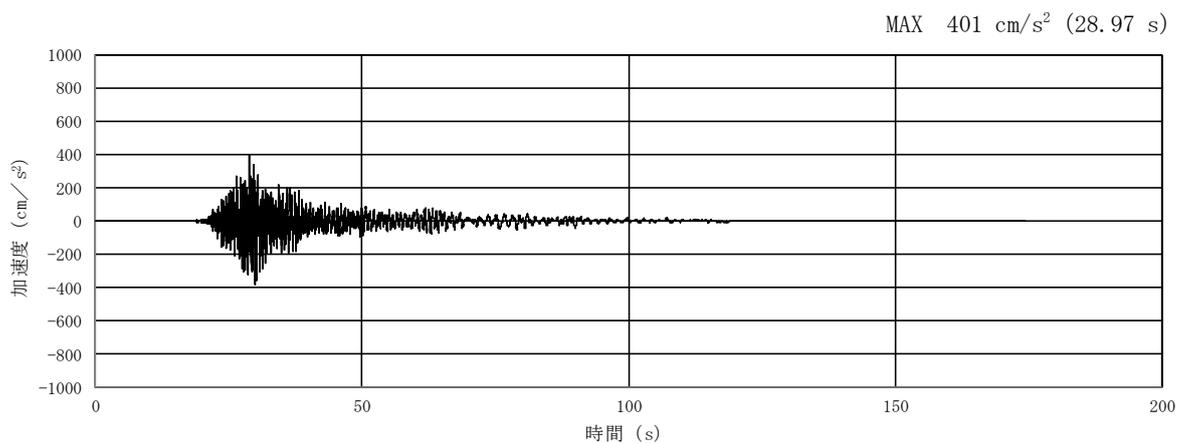


(a) 加速度時刻歴波形

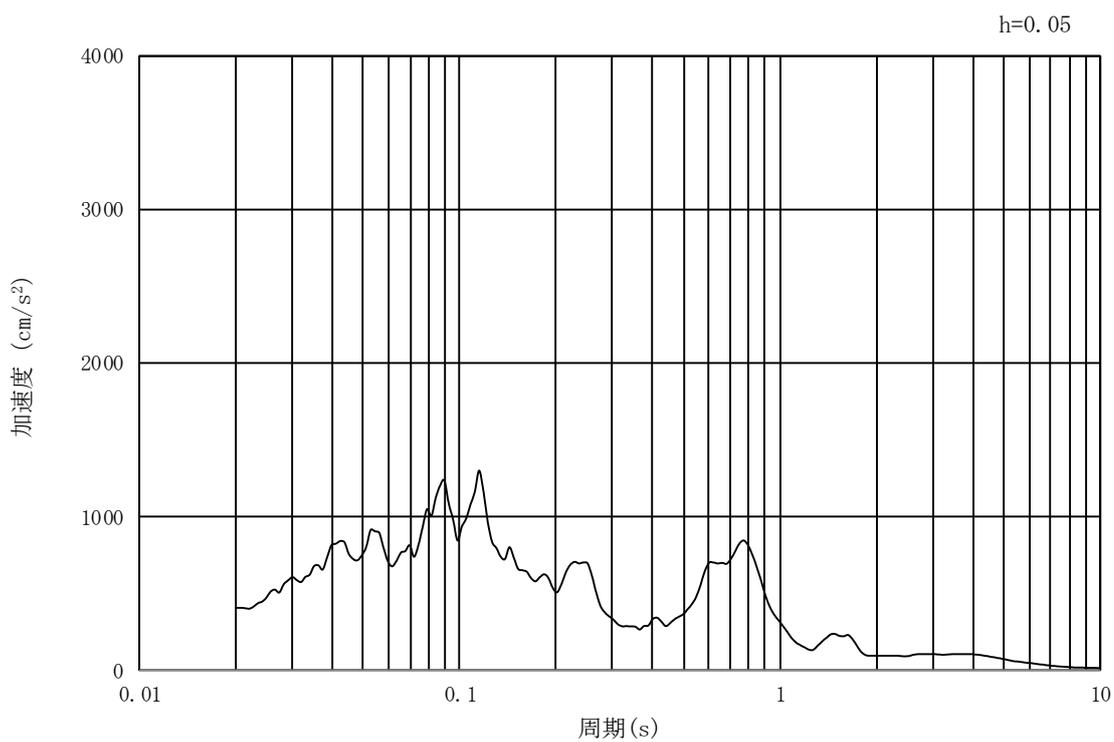


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 1.4$)

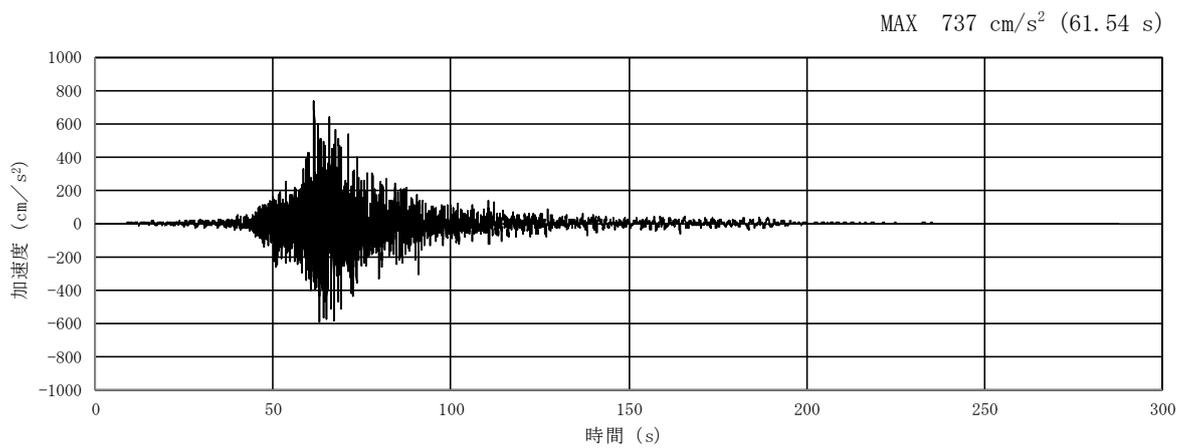


(a) 加速度時刻歴波形

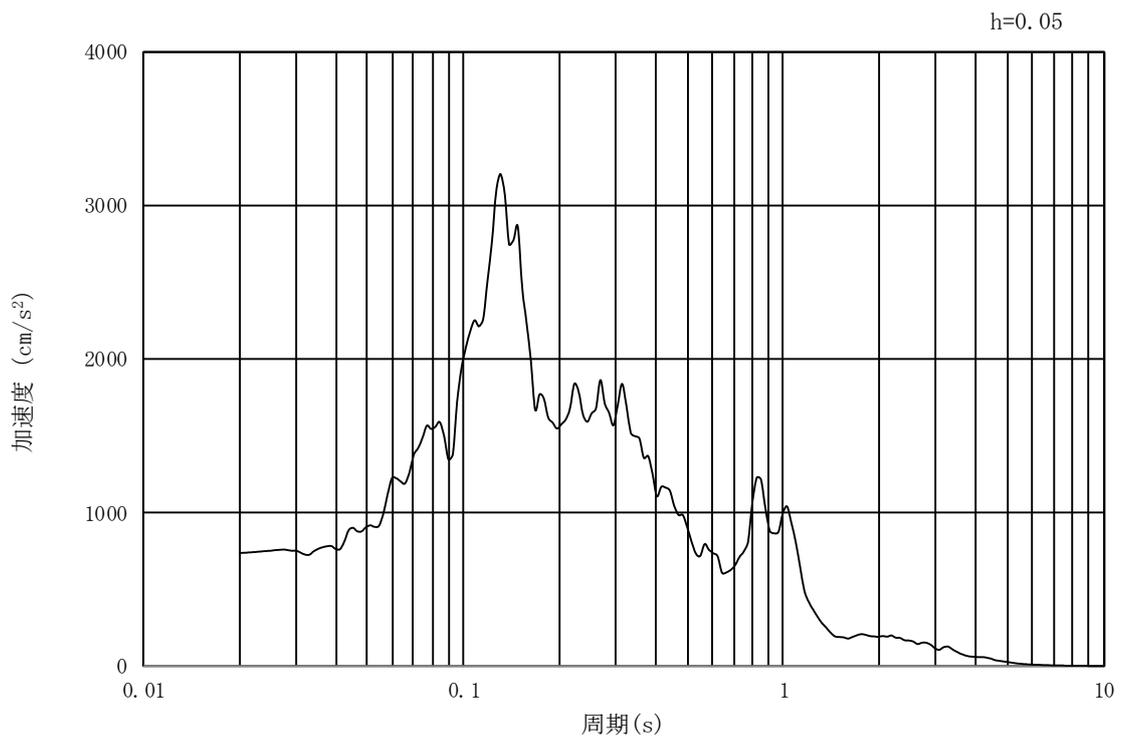


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 1.4$)

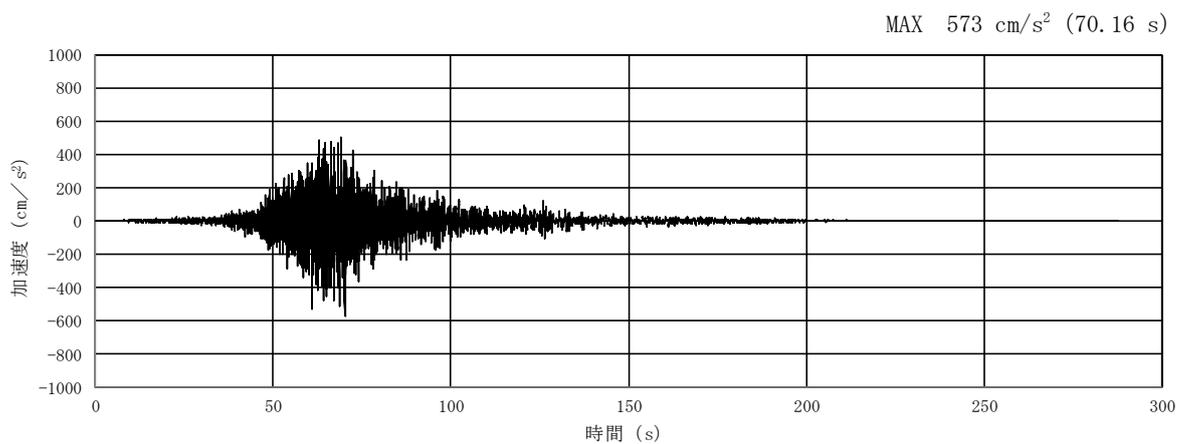


(a) 加速度時刻歴波形

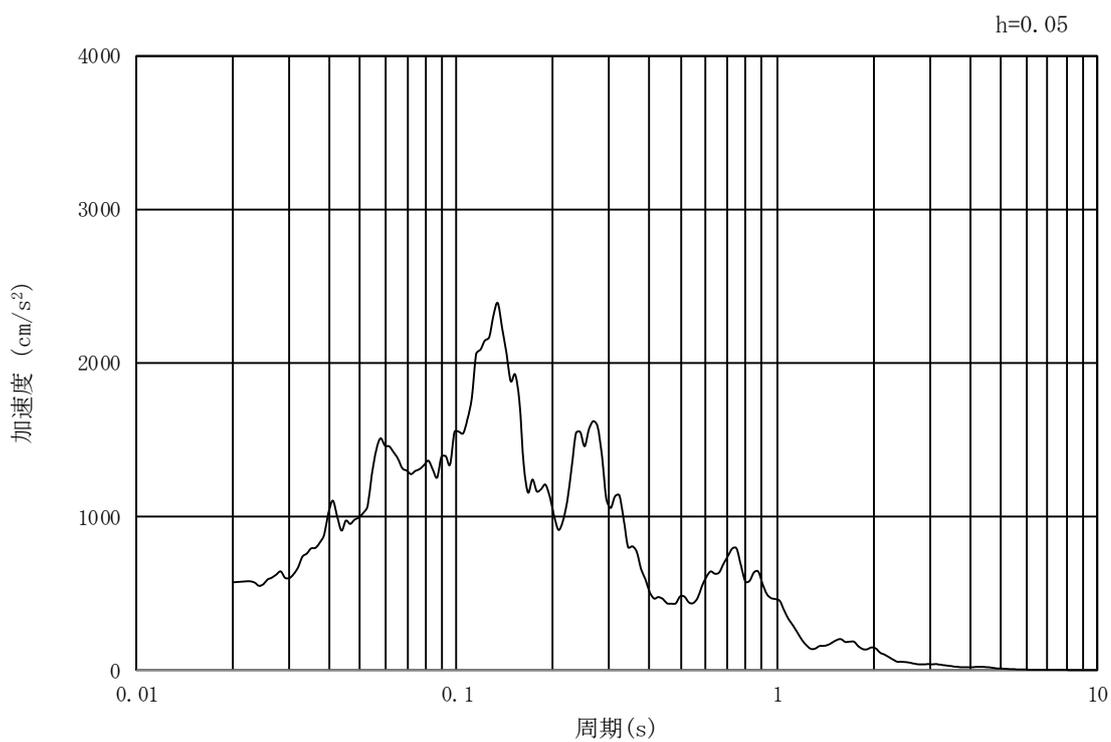


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 21$)

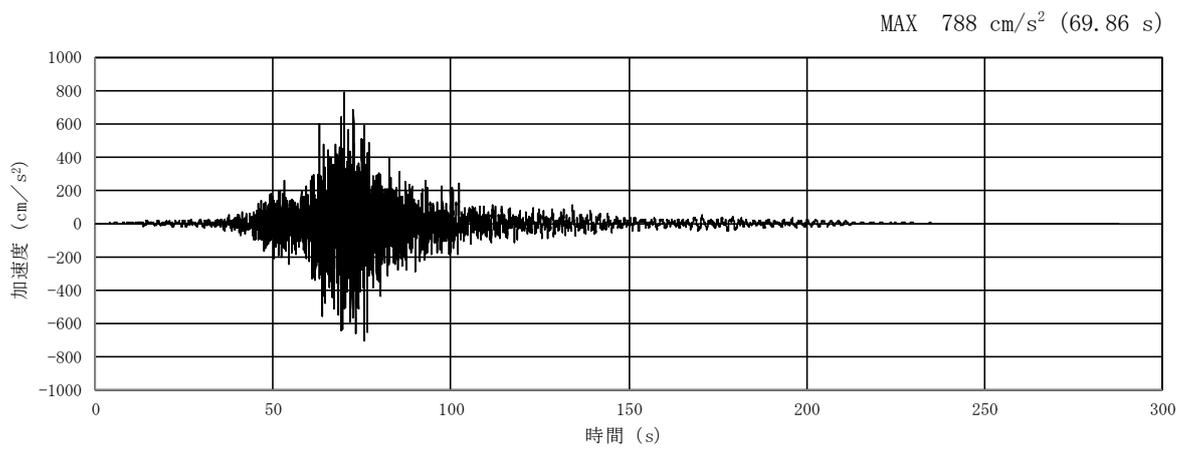


(a) 加速度時刻歴波形

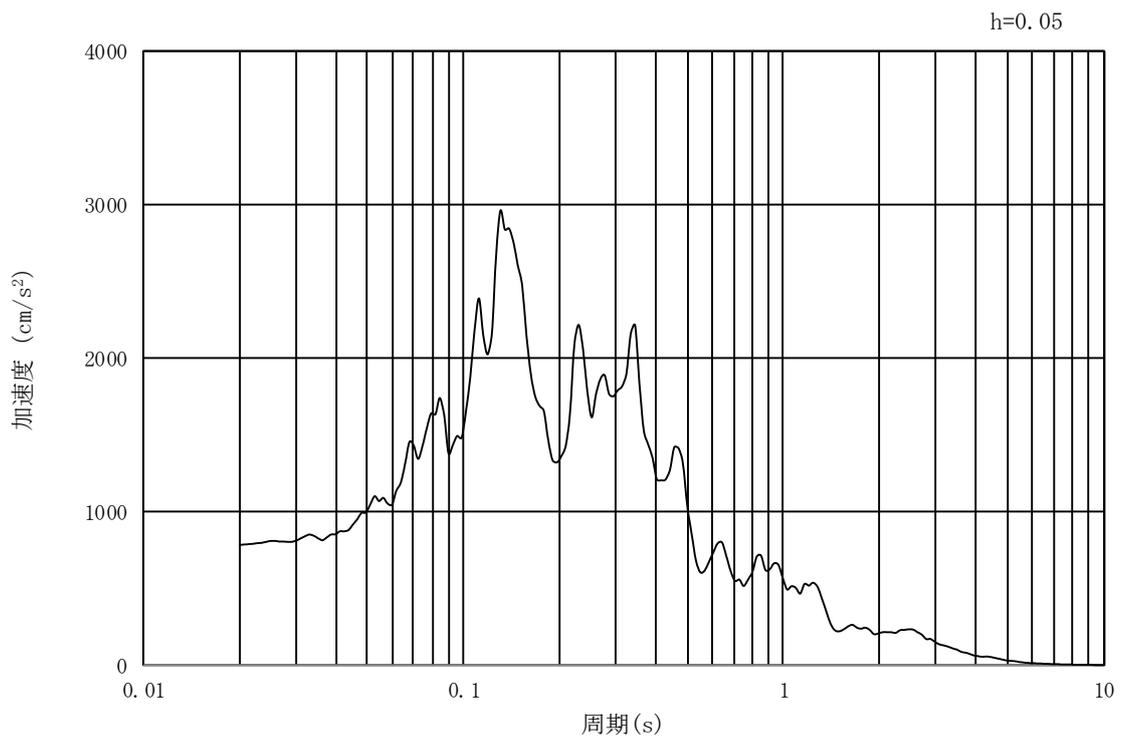


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 21$)

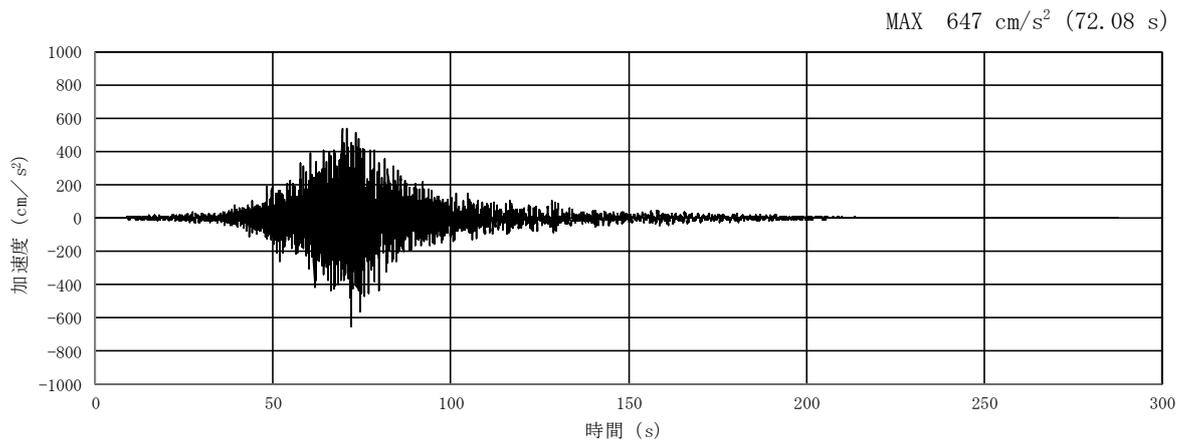


(a) 加速度時刻歴波形

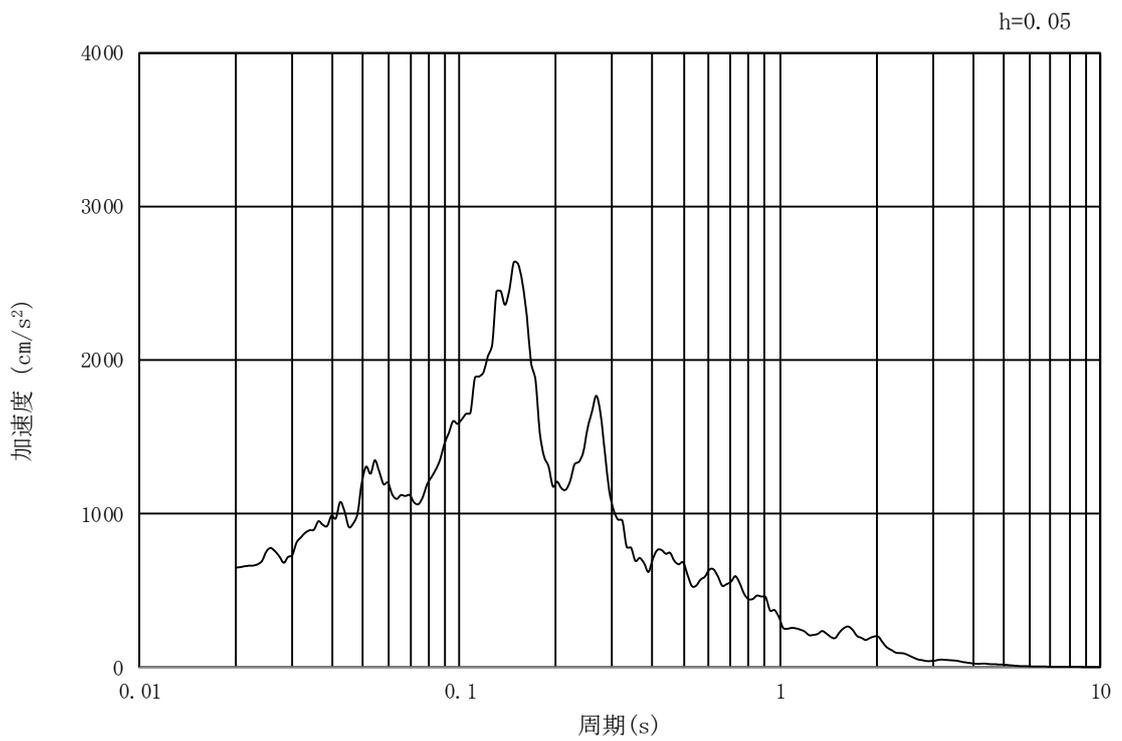


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 22$)

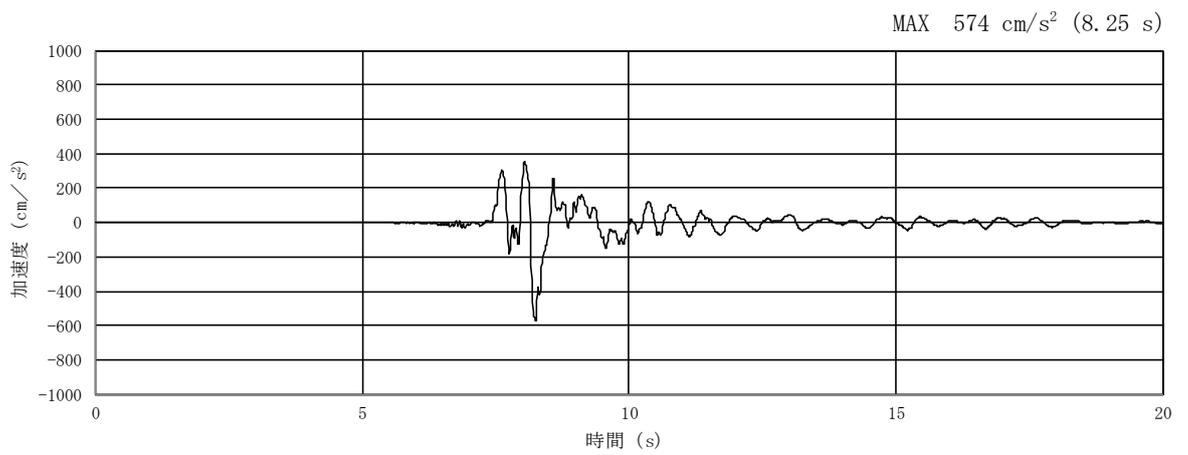


(a) 加速度時刻歴波形

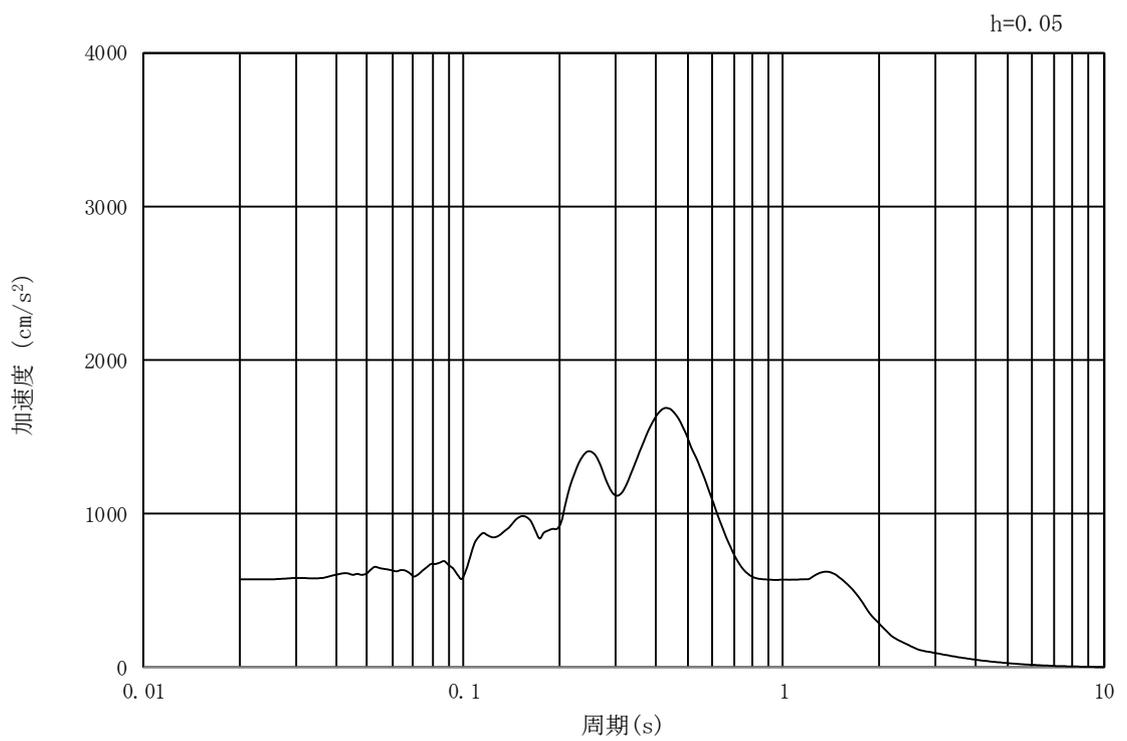


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 22$)

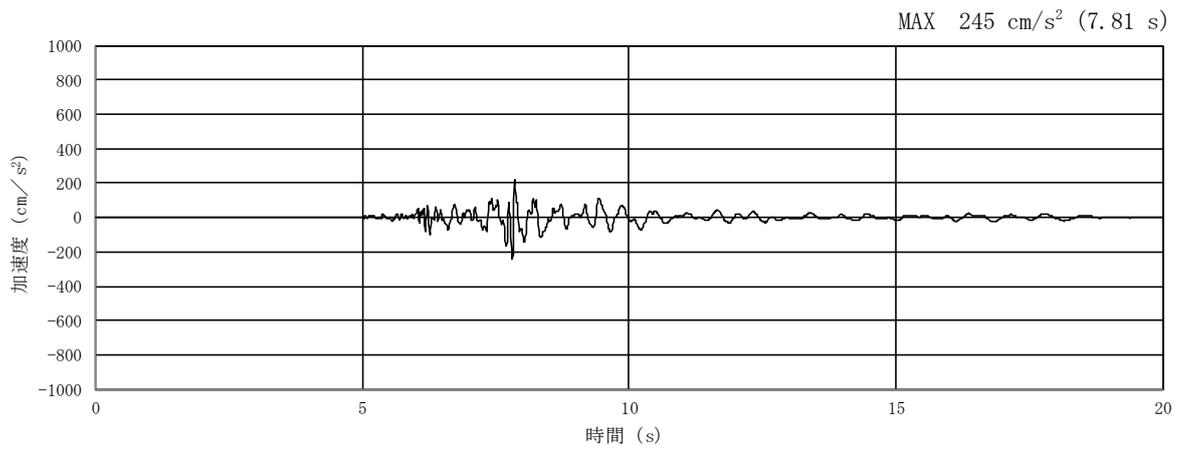


(a) 加速度時刻歴波形

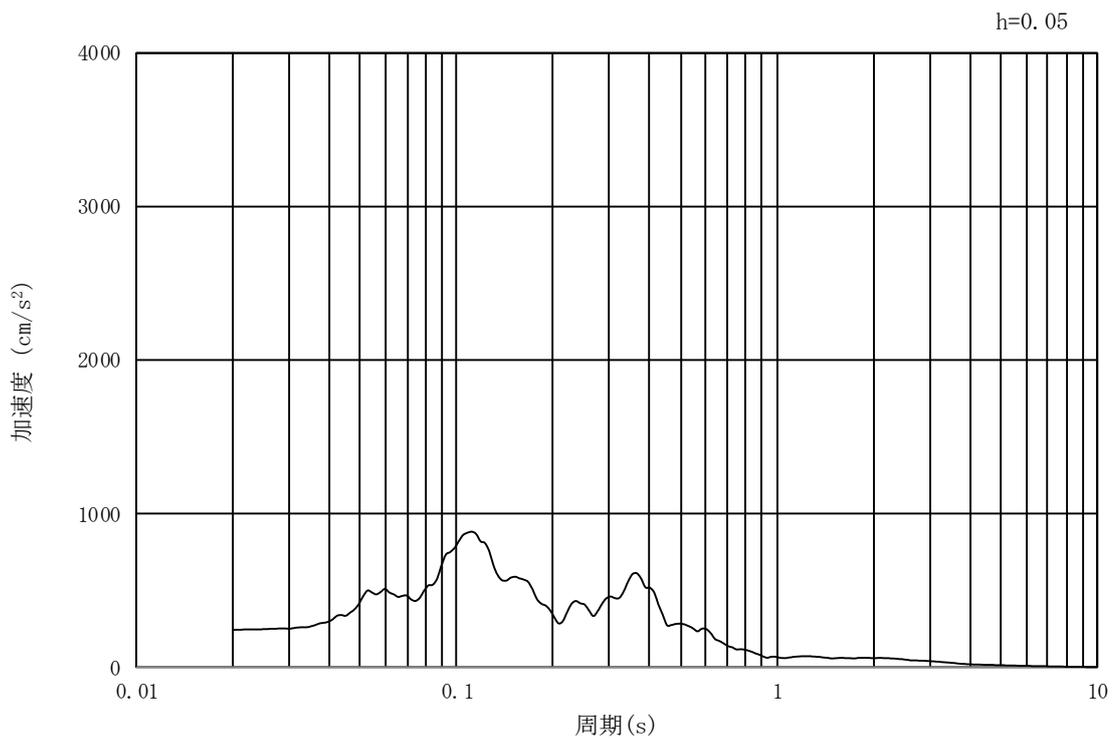


(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : $S_s - 31$)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 13.3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分： $S_s - 31$)

13.4 縦断面方向応力の評価方法

緊急用海水取水管は、縦断面方向に長大な構造であることを考慮し、縦断面方向の発生応力についても評価する。

縦断面方向応力は、1次元地震応答解析から得られる水平地盤変位を考慮した応答変位法による応力解析にて求める。

埋設された鋼製管路は、地震時に周辺地盤の変形に追従することが知られている。したがって、緊急用海水取水管の縦断面方向の評価においては、図 13.4-1 に示すような水平方向に伝播する地震波（進行方向に対して直角方向に振動する進行波）による周辺地盤の変位を考慮する。

応答変位法による解析には、解析コード「Engineer's Studio Ver. 6.00.04」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、付録 53「計算機プログラム」（解析コード）の概要」に示す。

縦断面方向応力の評価フローを図 13.4-1 に示す。

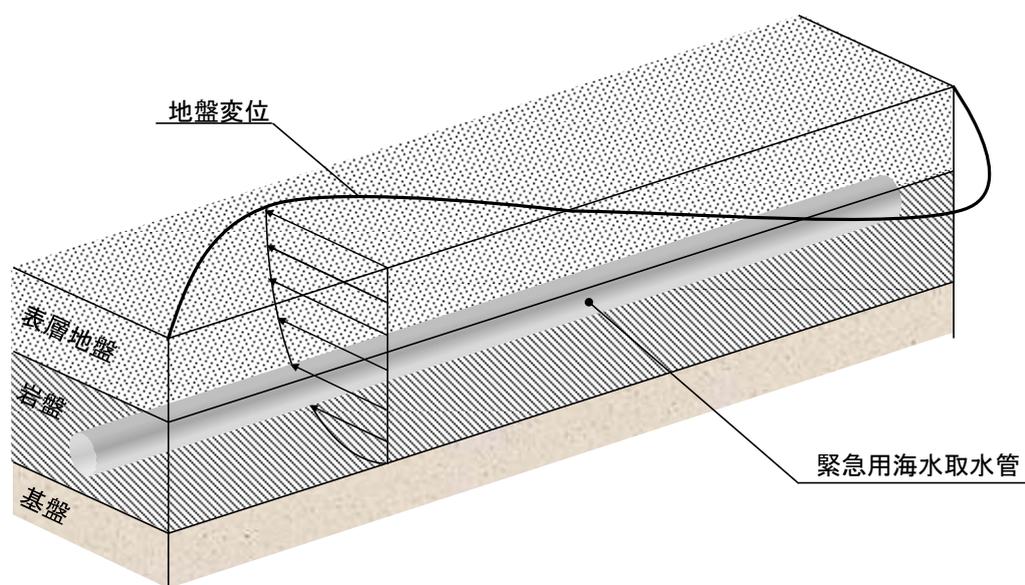


図 13.4-1 縦断面方向の耐震評価イメージ

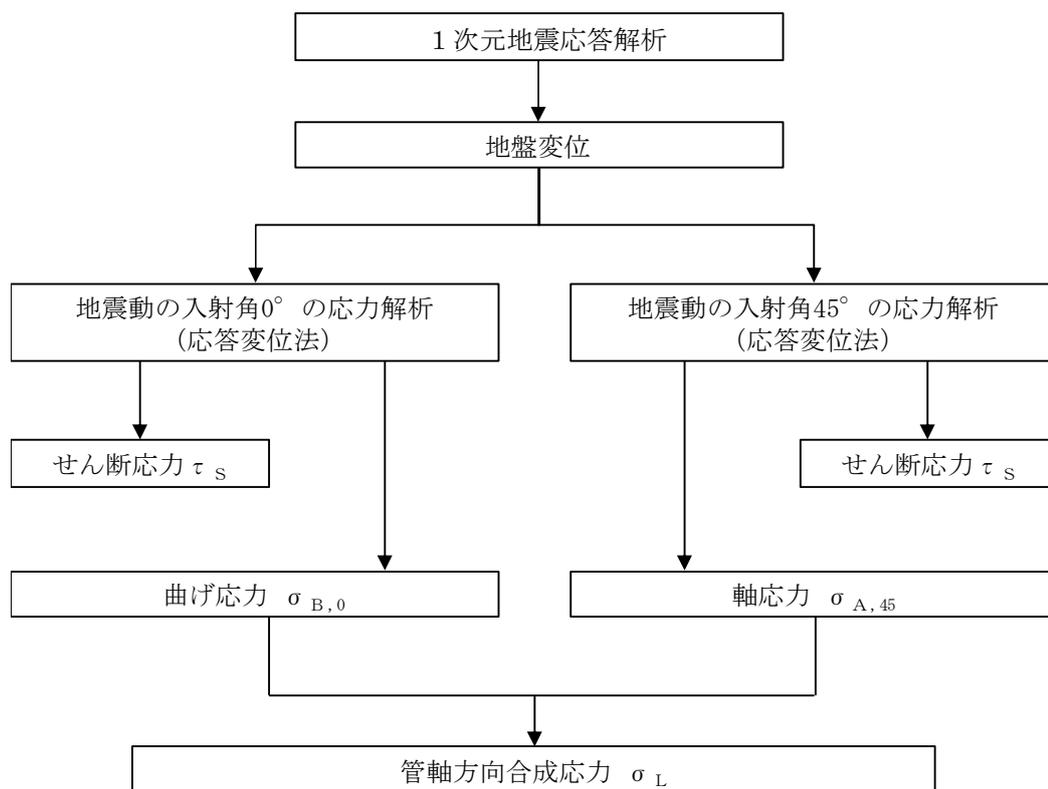


図 13.4-2 縦断面方向応力の評価フロー

13.4.1 縦断面方向の応力解析

縦断面方向の応力解析（応答変位法）の概念図を図 13.4-3 に示す。

同図より、縦断面方向の応力解析においては、地盤に生じる水平変位と地震動の波長
の関係、つまり、地盤ひずみに支配される。

地盤ひずみ $\varepsilon_G(x)$ は、地盤に生じる変位と波長より、次式で与えられる。

$$\varepsilon_G(x) = \frac{dU(x)}{dx} = 2\pi \frac{U_0}{L} \times \cos\left(\frac{2\pi}{L}x + \varphi\right)$$

ここで、

U_0 : 管軸位置の地盤の水平方向最大応答変位 (m)
(応答解析の結果より)

L : 地震動の波長 (m)

x : 地震動に沿った距離 (m)

φ : 地震動の位相 (度)

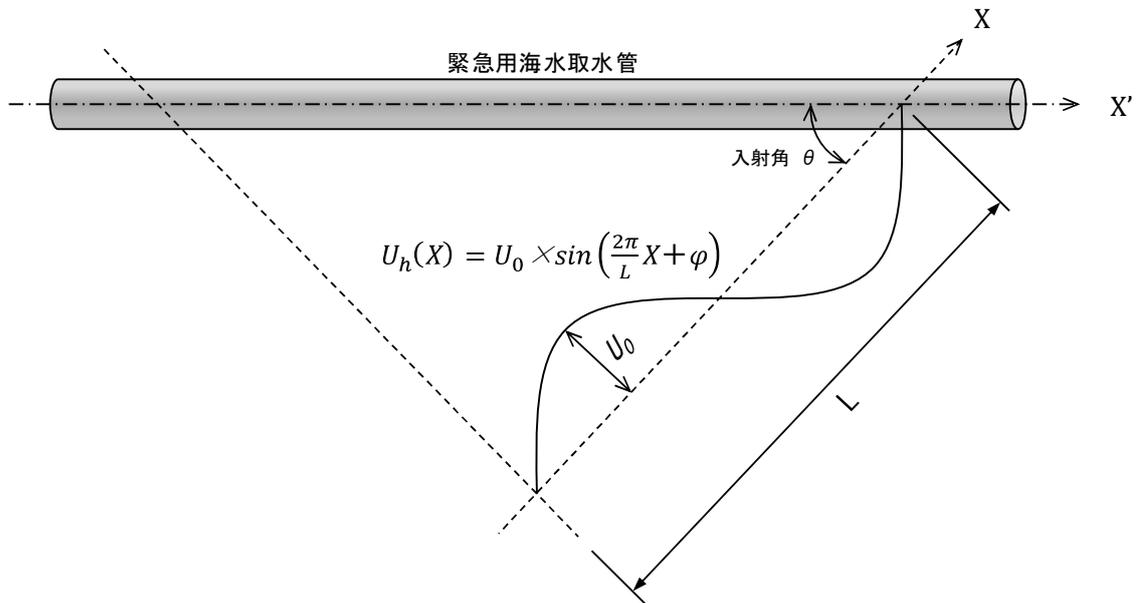
以上より、最大地盤ひずみは、次式で表される。

$$\varepsilon_{Gmax} = 2\pi \frac{U_0}{L}$$

表 13.4-1 に、地震応答解析結果を基に算出した地盤ひずみの最大値を示す。

表 13.4-1 地盤の最大ひずみ
(追而)

(平面図)



- U_h : 水平変位 (m)
- U_0 : 縦断面位置の地盤の水平方向最大応答変位* (m)
(応答解析の結果より)
- L : 地震動の波長 (m)
- x : 地震動に沿った距離 (m)
- ϕ : 地震動の位相 (°)

注記 * : 応力解析における地盤変位は、水道施設耐震工法指針・解説 1997 版 (日本水道協会, 1997) に基づき、縦断面位置の水平変位を用いる。

図 13.4-3 縦断面方向の応力解析の概念図

(1) 縦断面方向の解析モデル

縦断面方向の応力解析モデルを図 13.4-4 に示す。

a. 構造部材

構造部材は、線形はり要素でモデル化する。

b. 境界条件

緊急用海水取水管の両端は S A 用海水ピットと緊急用海水ポンプピットに可とう管を介して接続されることから、管軸方向及び回転方向自由、管軸直交方向固定とする。可とう管が設置される箇所については自由端とし、回転及び変位を許容することで、可とう管の効果を考慮する。

c. 地盤バネの設定

地盤は、非線形バネ要素でモデル化する。

地盤バネは 1 次元地震応力解析 (FLIP) を行い設定する。管応力にとって厳しくなる地震波を抽出し、その地震波で管深度の相対水平変位最大時刻 t_{max} における地盤の応力状態に着目し以下の手順で地盤反力係数を設定する。なお、地盤バネは、軸方向のせん断バネ及び軸直角方向の直バネを与える。

地盤バネのバネ値に用いる地盤反力係数

$$k_0 = \frac{1}{0.3} \alpha E_s$$

$$E_s = 2(1 + \nu_d) G_s$$

$$G_s = \frac{\tau_s}{\gamma}$$

$$\tau_s = \frac{\gamma}{\frac{1}{G_{ma} \times \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{ma}}\right)^{0.5} + \left| \frac{\gamma}{c \times \cos \phi_{CD} + \sigma'_m \times \sin \phi_{CD}} \right|}}$$

地盤バネの上限値 τ_f, σ_f

$$\text{せん断方向} : \tau_f = c \times \cos \phi_{CD} + \sigma'_m \times \sin \phi_{CD}$$

$$\text{軸直角方向} : \sigma_f = c \times \cos \phi_{CD} + \sigma'_m \times (1 + \sin \phi_{CD})$$

ここで、

k_0 : 水平方向及び鉛直方向の地盤反力係数, α : 地盤反力係数の換算係数 (=1)

γ : せん断ひずみ, σ'_m : 平均有効主応力 (kN/m²), E_s : 変形係数 (kN/m²)

ν_d : 動ポアソン比, G_s : 骨格曲線上の割線剛性 (kN/m²), τ_s : 骨格曲線上のせん断応力 (kN/m²)

G_{ma} : 基準平均主応力 σ'_{ma} における微小せん断ひずみでの初期せん断剛性 (kN/m²)

σ'_{ma} : 基準平均有効主応力 (kN/m²)

τ_f : 時刻 t_{max} における各地盤深度の σ'_m に対応するせん断応力の上限値 (kN/m²)

σ_f : 時刻 t_{max} における各地盤深度の σ'_m に軸圧縮応力の上限値 (kN/m²)

c : 粘着力 (kN/m²), ϕ_{CD} : 内部摩擦角 (°)

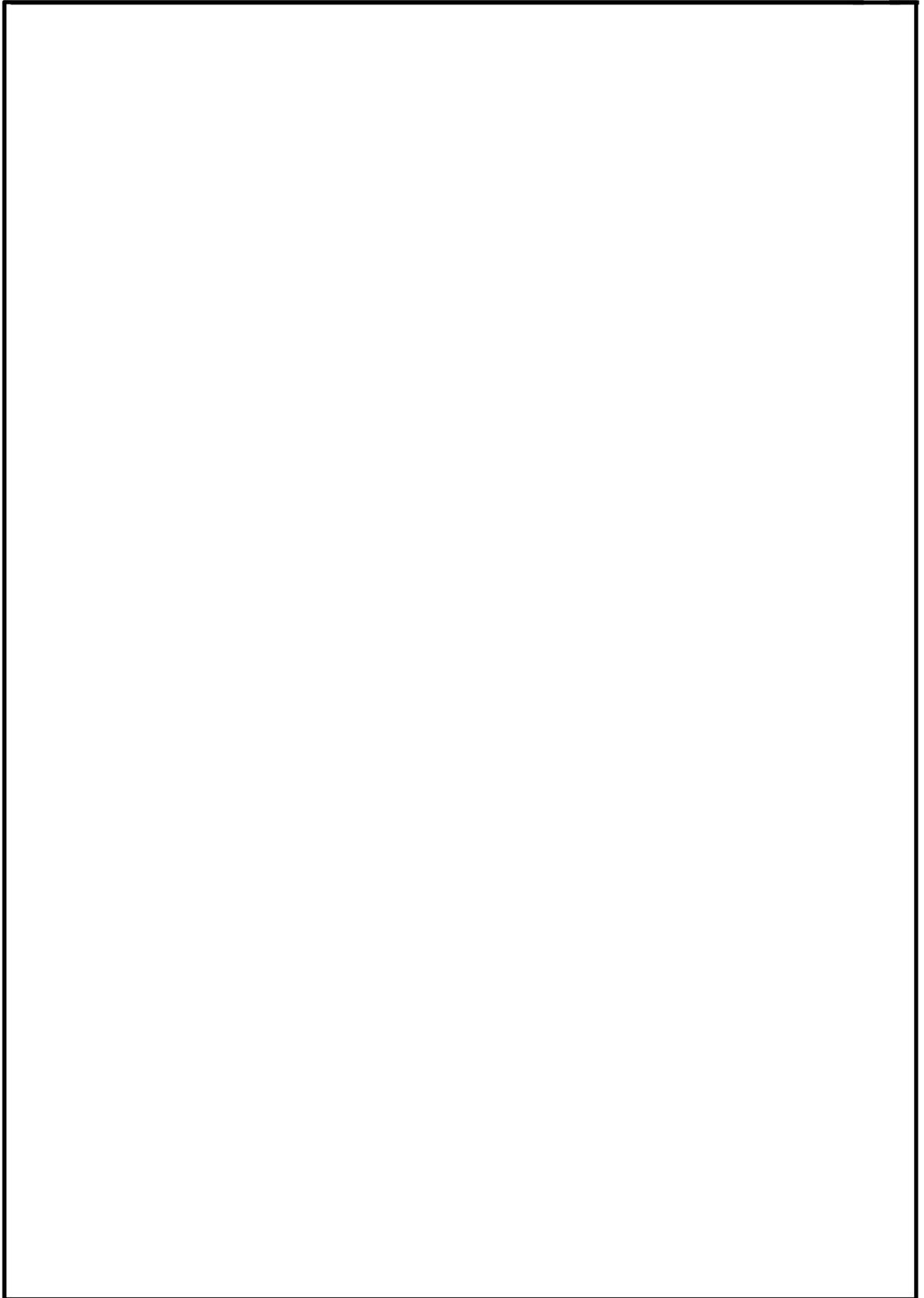


図 13.4-4 縦断面方向の応力解析モデル

表 13.4-2 縦断面方向の応力解析に用いる地盤バネ定数 (追而)

地震動	地盤バネ定数 (kN/m ²)	
	せん断バネ (軸方向)	直バネ (軸直方向)

(2) 荷重及び荷重の組合せ

縦断面方向の応力解析にて考慮する荷重は、表 13.3-2 に示したとおり、地震時における動土圧 (地盤変位) のみとし、躯体に作用する慣性力や内水圧等は、横断面方向応力の評価にて考慮する。

(3) 入力地盤変位

応力解析モデルに入力する地盤変位は、1次元地震応力解析 (FLIP) 結果から得られる地盤変位のうち、緊急用海水取水管の最深部中心標高に対する最浅部中心標高における最大水平相対変位及び地震動の波長を考慮して以下の式で与える。最大水平相対変位の算定概念図を図 13.4-5 に示す。

$$U_h(x) = U_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{L}x + \phi\right)$$

ここで、

- U_h : 地盤変位 (m)
- U_0 : 1次元地震応力解析における緊急用海水取水管最深部標高に対する接続標高での最大水平相対変位 (m)
- L : 地震動の波長 (m)
- x : 地震動に沿った距離 (m)
- ϕ : 地震動の位相 (°)

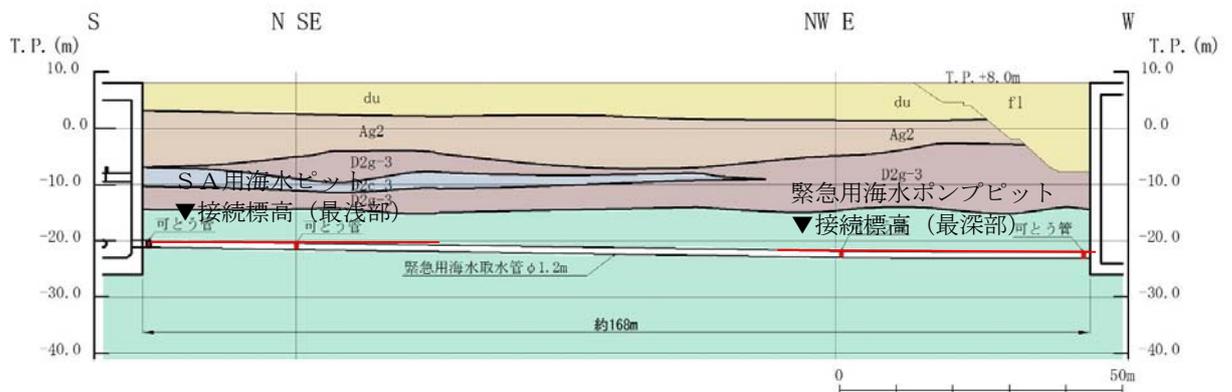


図 13.4-5 最大水平相対変位の算定概念図

ここで、縦断面方向の応力解析にて緊急用海水取水管に発生する応力は、地震動（地盤変位）の入射角 θ により発生値が変化する。表 13.4-3 に示すとおり、入射角 0° で曲げ応力、入射角 45° で軸応力が最大となることから、地震動の入射角は、 0° 及び 45° とする。

なお、保守側の評価となるよう地盤の変位振幅が最大となる地震動の値を用いて設定する。図 13.4-6 に、入射角 0° の場合及び入射角 45° の場合の入力地盤変位 U_h を示す。

表 13.4-3 縦断面方向応力解析における地震動の入射角と発生応力の関係

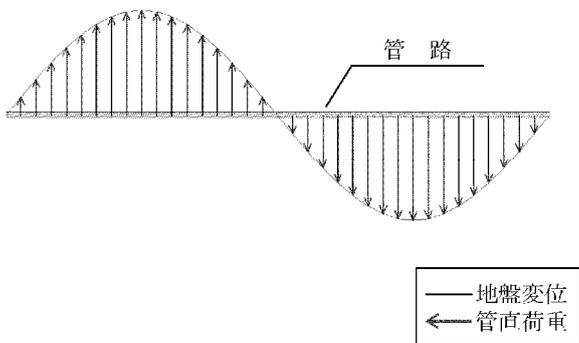
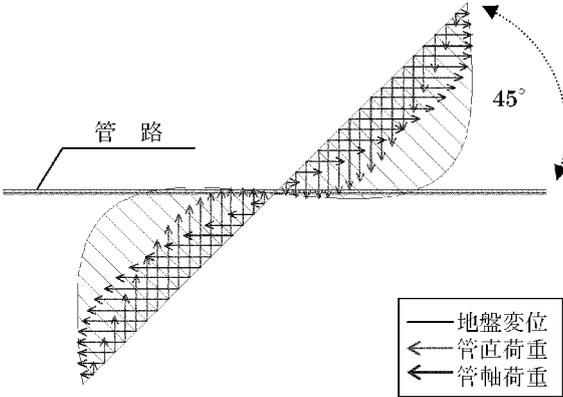
地震動の入射角 θ	応力発生イメージ	備考
0°		<p>地震動の入射角が0°の場合、管路と直交方向の地盤変位が最大となるため、管路に発生する曲げ応力が最大となる。なお、軸方向の応力は発生しない。</p>
45°		<p>地震動の入射角が45°の場合、管路と平行方向の地盤変位が最大となるため、管路に発生する軸応力が最大となる。なお、曲げ応力も発生するが、0°入射の場合よりも小さい。</p>

図 13.4-6 入力地盤変位（追而）

(4) 縦断面方向応力の合成

縦断面方向応力は、入射角 0° の場合の応力と入射角 45° の場合の応力を次式にて合成したものとする。

$$\sigma_L = \sqrt{3.12 \times (\sigma_{A,45})^2 + (\sigma_{B,0})^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

σ_L : 管軸方向合成応力

$\sigma_{A,45}$: 入射角 45° の場合の軸方向応力 (軸応力)

$\sigma_{B,0}$: 入射角 0° の場合の軸方向応力 (曲げ応力)

図 13.4-7 は、水平及び鉛直面内の波動が、縦断面 (y 軸) 方向に対して入射角 θ で入射した場合のイメージ図である。

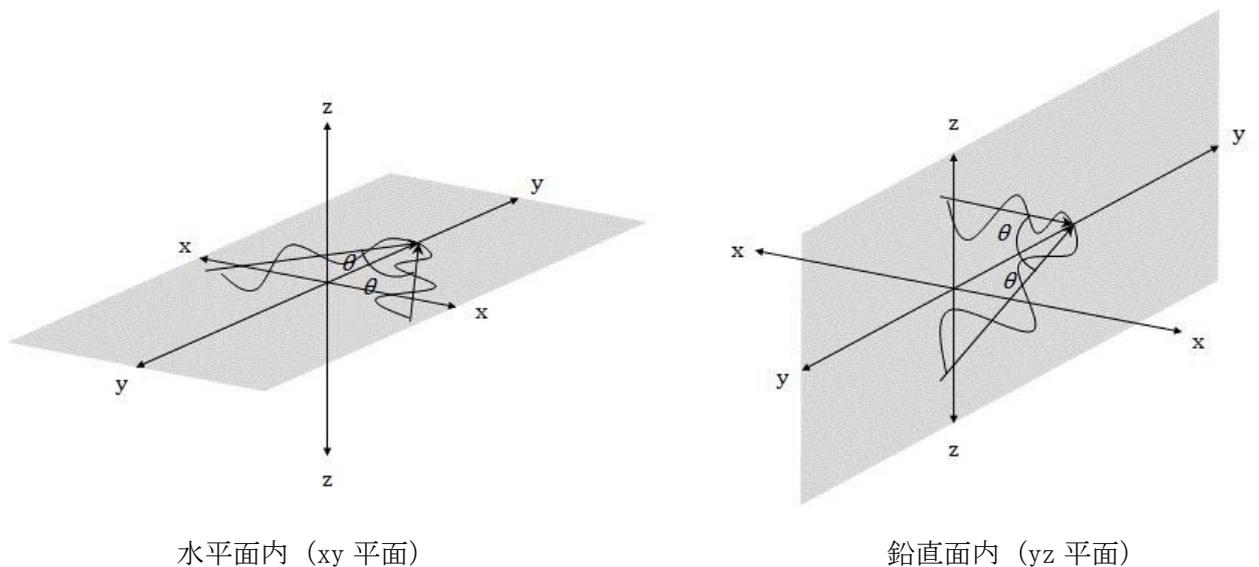


図 13.4-7 水平及び鉛直面内における入射角 θ のイメージ図

応力が最大となる入射角は、それぞれ軸応力：45°，曲げ応力：0°であることから、各々が最大となる入射角を考慮した重ね合わせを行う。

軸応力が最大となる $\theta = 45^\circ$ の傾きを持つ波動（水平及び鉛直面内で y 軸に対して線対称の波動：4 波）及び曲げ応力が最大となる $\theta = 0^\circ$ の傾きを持つ水平面内波動の計 5 波が入射した場合の合成応力 σ_e を、二乗和平方根で均等化したものを、次式で表す。

$$\sigma_e = \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2}$$

ここで、

γ : 波動成分による重畳係数 ($1.00 \leq \gamma \leq 3.12$)

σ_L : 軸応力

σ_B : 曲げ応力

上式における重畳係数は、波動成分によって 1.00～3.12 の値をとる。上述の 5 波を考慮した場合、鉛直面内で入射する波動による応力は、水平面内で入射する波動による応力の 75% として、次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sqrt{2(1.0^2 + 0.75^2) \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} \\ &= \sqrt{3.12 \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} \end{aligned}$$

つまり、式(1)で求まる縦断面方向応力には、周辺地盤の最大水平変位による影響に加え、最大水平変位の 75% の振幅を持つ鉛直地盤変位についても考慮されている。

13.5 評価結果

13.5.1 地震応答解析結果

緊急用海水取水管の標準断面図を図 13.5-1 に示す。

緊急用海水取水管の基準地震動 S_s による応力分布図を図 13.5-2～図 13.5-3 に示す。これらの図は、構造部材の曲げ及びせん断照査結果が最も厳しくなる時刻における断面力を示したものである。

また、最大せん断ひずみ分布図を図 13.5-4 に示し、過剰間隙水圧比の分布図を図 13.5-5 に示す。これらの図は、各要素に発生したせん断ひずみ及び過剰間隙水圧比の全時刻における最大値の分布を示したものである。

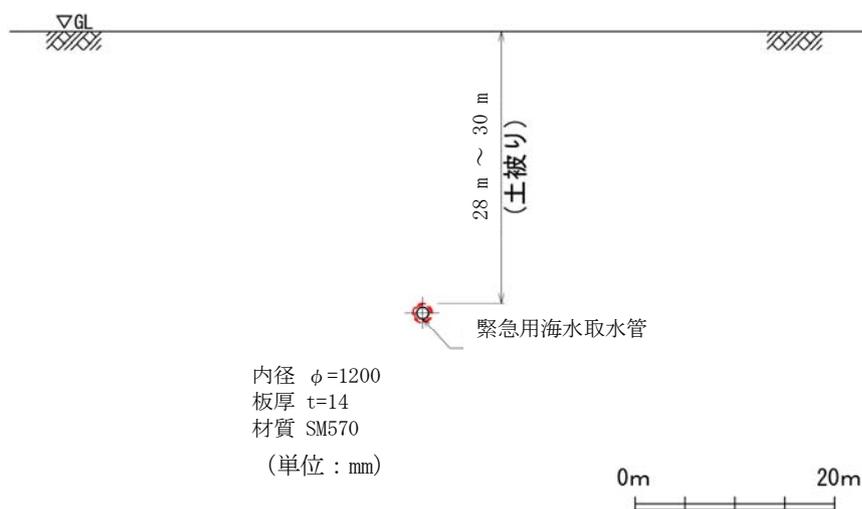


図 13.5-1 緊急用海水取水管 標準横断面図

図 13.5-2 (1) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H+, V+]$)

図 13.5-2 (2) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H+, V-]$)

図 13.5-2 (3) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H-, V+]$)

図 13.5-2 (4) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H-, V-]$)

図 13.5-2 (5) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-1 1$)

図 13.5-2 (6) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-1 2$)

図 13.5-2 (7) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-1 3$)

図 13.5-2 (8) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-1 4$)

図 13.5-2 (9) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-2 1$)

図 13.5-2 (10) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-2 2$)

図 13.5-2 (11) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-3 1 [H+, V+]$)

図 13.5-2 (12) 横断方向の地震時応力分布図 ($S_s-3 1 [H-, V+]$)

図 13.5-3 (1) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 13.5-3 (2) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 13.5-3 (3) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 13.5-3 (4) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 13.5-3 (5) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - 1 1$)

図 13.5-3 (6) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - 1 2$)

図 13.5-3 (7) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - 1 3$)

図 13.5-3 (8) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - 1 4$)

図 13.5-3 (9) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - 2 1$)

図 13.5-3 (10) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - 2 2$)

図 13.5-3 (11) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 13.5-3 (12) 縦断方向の地震時応力分布図 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

図 13.5-4 (1) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1$ [H+, V+])

図 13.5-4 (2) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1$ [H+, V-])

図 13.5-4 (3) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1$ [H-, V+])

図 13.5-4 (4) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1$ [H-, V-])

図 13.5-4 (5) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)

図 13.5-4 (6) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 2$)

図 13.5-4 (7) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 3$)

図 13.5-4 (8) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 4$)

図 13.5-4 (9) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 1$)

図 13.5-4 (10) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 2$)

図 13.5-4 (11) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1$ [H+, V+])

図 13.5-4 (12) 横断方向の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1$ [H-, V+])

図 13.5-5 (1) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 13.5-5 (2) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 13.5-5 (3) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 13.5-5 (4) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 13.5-5 (5) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - 1 1$)

図 13.5-5 (6) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - 1 2$)

図 13.5-5 (7) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - 1 3$)

図 13.5-5 (8) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - 1 4$)

図 13.5-5 (9) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - 2 1$)

図 13.5-5 (10) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - 2 2$)

図 13.5-5 (11) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 13.5-5 (12) 横断方向の過剰間隙水圧比 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

13.5.2 断面の耐震評価結果

(1) 構造部材横断方向の曲げに対する評価結果

鋼材照査結果を表 13.5-1 に示す。

緊急用海水取水管における許容応力度法による照査を行った結果、評価位置において応力度が許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力度は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上のことから、緊急用海水取水管の構造部材の発生応力が許容応力度以下であることを確認した。

「追而」

表 13.5-1 鋼材の曲げ照査結果（横断方向）

地震時	位相	板厚 (mm)	①照査用応力度 (N/mm ²)	②短期許容応力度 (N/mm ²)	照査値 ①/②
S _s -D1	[H+, V+]				
	[H+, V-]				
	[H-, V+]				
	[H-, V-]				
S _s -11	-				
S _s -12	-				
S _s -13	-				
S _s -14	-				
S _s -21	-				
S _s -22	-				
S _s -31	[H+, V+]				
	[H-, V+]				

(2) 構造部材横断方向のせん断に対する評価結果

せん断に対する照査結果を表 13.5-2 に示す。

緊急用海水取水管における許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力度及び発生断面力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上のことから、緊急用海水取水管の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

「追而」

表 13.5-2 せん断照査結果（横断方向）

地震時	位相	板厚 (mm)	①照査用応力度 (N/mm ²)	②短期許容応力度 (N/mm ²)	照査値 ①/②
S _s -D 1	[H+, V+]				
	[H+, V-]				
	[H-, V+]				
	[H-, V-]				
S _s -1 1	-				
S _s -1 2	-				
S _s -1 3	-				
S _s -1 4	-				
S _s -2 1	-				
S _s -2 2	-				
S _s -3 1	[H+, V+]				
	[H-, V+]				

(3) 構造部材の合成応力に対する評価結果

緊急用海水取水管の発生応力は、横断方向応力と縦断応力を以下の式にて組み合わせる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_C^2 + \sigma_L \sigma_C + 3\tau_S^2}$$

ここで、

- σ : 合成応力 (N/mm²)
- σ_C : 管周方向曲げ応力 (N/mm²)
- τ_S : 管軸方向せん断応力 (N/mm²)

緊急用海水取水管の曲げ評価結果を表 13.5-3 に示す。

同表より、緊急用海水取水管に生じる曲げ応力が許容限界以下であることを確認した。

表 13.5-3 合成応力の評価結果

「追而」

地震動	位相	管周方向	管軸方向		合成応力 σ (N/mm ²)	許容限界 σ_a (N/mm ²)	σ/σ_a
		曲げ応力 $*\sigma_C$ (N/mm ²)	合成応力 σ_L (N/mm ²)	せん断応力 τ_S (N/mm ²)			
S s - D 1	[H+, V+]						
	[H+, V-]						
	[H-, V+]						
	[H-, V-]						
S s - 1 1	-						
S s - 1 2	-						
S s - 1 3	-						
S s - 1 4	-						
S s - 2 1	-						
S s - 2 2	-						
S s - 3 1	[H+, V+]						
	[H-, V+]						

注記 * : 地震応答解析による曲げ応力に内圧による管周方向応力を考慮したもの

(4) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能評価結果を表 13.5-4 に、接地圧分布図を図 13.5-6 に示す。

緊急用海水取水管の接地圧は $S_s - D 1 [H+, V+]$ (横断断面方向) で $\bigcirc\bigcirc \text{ kN/m}^2$ であり、基礎地盤の極限支持力 $\Delta\Delta \text{ kN/m}^2$ 以下である。

以上のことから、緊急用海水取水管の基礎地盤は、基準地震動 S_s に対し、支持性能を有することを確認した。

表 13.5-4 基礎地盤の支持性能評価結果

「追而」

図 13.5-6 (1) 横断方向の接地圧分布図 (S s - D 1 [H+, V+])

図 13.5-6 (2) 横断方向の接地圧分布図 (S s - D 1 [H+, V-])

図 13.5-6 (3) 横断方向の接地圧分布図 (S s - D 1 [H-, V+])

図 13.5-6 (4) 横断方向の接地圧分布図 (S s - D 1 [H-, V-])

図 13.5-6 (5) 横断方向の接地圧分布図 (S s - 1 1)

図 13.5-6 (6) 横断方向の接地圧分布図 (S s - 1 2)

図 13.5-6 (7) 横断方向の接地圧分布図 (S s - 1 3)

図 13.5-6 (8) 横断方向の接地圧分布図 (S s - 1 4)

図 13.5-6 (9) 横断方向の接地圧分布図 (S s - 2 1)

図 13.5-6 (10) 横断方向の接地圧分布図 (S s - 2 2)

図 13.5-6 (11) 横断方向の接地圧分布図 (S s - 3 1 [H+, V+])

図 13.5-6 (12) 横断方向の接地圧分布図 (S s - 3 1 [H-, V+])

13.6 まとめ

緊急用海水取水管について、基準地震動 S_s による地震力に対し、構造物の曲げ及びせん断並びに接地圧が許容限界以下であることを確認した。

以上のことから、緊急用海水取水管は、基準地震動 S_s による地震力に対して、要求機能を維持できる。

15. 海水引込み管の耐震安全性評価

目 次

15.1	評価方針	1
15.2	評価条件	2
15.2.1	適用基準	2
15.2.2	耐震安全性評価フロー	8
15.2.3	評価対象箇所及び評価対象断面	9
15.2.4	使用材料及び材料定数	13
15.2.5	地下水位	16
15.2.6	許容限界	16
15.3	横断面方向応力の評価方法	19
15.3.1	地震応答解析手法	19
15.3.2	解析モデルの設定	20
15.3.3	減衰定数	23
15.3.4	荷重の組合せ	25
15.3.5	地震応答解析の検討ケース	27
15.3.6	入力地震動の設定	28
15.4	縦断面方向応力の評価方法	45
15.4.1	縦断面方向の応力解析	47
15.5	評価結果	55
15.5.1	地震応答解析結果	55
15.5.2	耐震評価結果	60
15.6	まとめ	65

15.1 評価方針

海水引込み管は、非常時における海水の通水機能を求められる土木構造物である。

海水引込み管の耐震安全性評価では、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析及び応力解析を行い、海水引込み管に生じる発生応力が許容限界以下であることを確認することで、地震時に通水機能を維持できることを確認する。

15.2 評価条件

15.2.1 適用基準

表 15.2-1 に一般的な埋設鋼製管路の耐震設計に関する規格，基準類における耐震評価の概要を示す。

管径が比較的小さい一般的な埋設鋼製管路は，断面の外周長と比較して，縦断面方向長が長いことから，周辺の地盤の変位に伴う縦断面方向の発生応力（または発生ひずみ）を中心に耐震評価を行う設計となっている。

また，横断面方向（縦断面方向に対して直交方向）についても考慮する基準においては，地震時における管路上の土被り等による鉛直荷重による横断面方向の発生応力を縦断面方向の発生応力と組合せた合成応力で評価する設計となっている。

海水引込み管は，内径が 1.2 m と一般的な埋設管路と同等であること，岩盤内を掘削して設置することから，横断面方向，縦断面方向ともに発生応力（または発生ひずみ）は顕著でない。

ただし，海水引込み管は可とう管の設置スパンが比較的長く，縦断面方向に長大な構造であることを考慮し，縦断面方向の発生応力についても保守的に考慮する。基本的な耐震評価の流れについては，横断面方向と縦断面方向の発生応力の組合せを考慮した設計体系の規格，基準類のうち，既往の工事計画認可申請において実績のある「水道施設耐震工法指針・解説 1997 版（日本水道協会，1997）」を適用する。

また，横断面方向については，上記基準における鉛直方向の地震力に加え，水平方向の地震力についても保守的に考慮することとする。

許容限界については，表 15.2-1 において，塑性領域の許容限界として管体ひずみを採用している規格，基準類もあることから，鋼製管路は，優れた変形特性を有する材料であり，弾性領域を越え塑性域に達しても，地盤の変形への追従性を失うことなく，通水断面を確保できるものと判断される。

しかし，海水引込み管の耐震評価では，非常用取水設備の重要性を鑑み，鋼材の短期許容応力度を許容限界とすることとし，「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説- [第 5 回改訂版]（(社)電力土木技術協会）」を適用する。

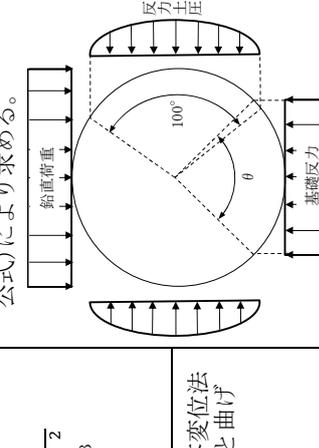
表 15.2-2 に適用する規格，基準類を示す。

表 15.2-1 (1) 埋設管路の耐震設計に関する規格、基準類の概要

規格、基準*1	対象設備 (一般的な管径*2)	要求性能*3	許容限界*4	備考
①石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示(昭和48年9月28日通商産業省・運輸省・建設省・自治省告示第一号)	送油導管 (~650mm)	導管等の構造は、輸送される石油の重量、導管等の内圧、導管等およびその附属設備の自重、土圧、水圧、列車荷重、自動車荷重、浮力等の主荷重ならびに風荷重、雪荷重、温度変化の影響、振動の影響、地震の影響、投锚による衝撃の影響、波浪および潮流の影響、設置時における荷重の影響、他工事による影響等の従荷重によって生ずる応力に対して安全なもので行われなければならない。*5	規格最小降伏点応力度の90% (*5)	わが国で初めて埋設管路に対する応答変位法の考え方を設計法として総合的に体系化した「石油パイプライン技術基準」と同様の設計手法。管路のひずみを算定するための地中の重量方法を等価は、その後の地中構造物の耐震設計指針等で踏襲されている。
②港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会、平成19年)	送油導管 (特に無し)	作用による損傷等が軽微な修復により施設の機能の回復に影響を及ぼさない。(修復性)	導管の降伏応力度を構造解析係数で除したものである。	基本的に①の考え方を踏襲している。
③水道施設耐震工法指針・解説1997版(日本水道協会、1997)	水輸送用埋設鋼管路 (特に無し)	人命に重大な影響を与えないこと。個々の施設に軽微な被害が生じていても、その機能保持が可能であること	管体歪み 46t/D 以下 (D は管外径, t は管厚)	基本的に①の考え方を踏襲している。
④水道用埋設鋼管路耐震設計基準 WSP029-2006 (日本水道鋼管協会、平成18年)	水輸送用埋設鋼管路 (~3,000mm)	変形は生じていても、通水機能を保持すること。	許容ひずみ値 46t/D (D は管外径, t は管厚)	基本的に①の考え方を踏襲している。
⑤高圧ガス導管耐震設計指針 JGA指 206-13 (日本ガス協会、2013)	ゲージ圧力 1MPa 以上の圧力ガスを輸送する埋設鋼管路 (~650mm)	導管に変形は生じるが、漏洩は生じないこと。	許容ひずみは 3% とする。	当該指針における地盤変位は、縦断面方向に伝播する進行波(レイリー波)を仮定しており、縦断面方向の検討に限定している。したがって、①で考慮している波動伝播の重量は考慮していない。

注記 *1: 記載の規格、基準類のうち、下線で示すものは、工事計画認可申請において実績があるもの。
 *2: 各規格、基準において材料の規格として取り扱われているJIS規格等の最大径を記載したもので、適用範囲を限定するものではない。
 *3: 要求性能は、施設の耐震レベル及び地震動レベルが高いもの(レベル2地震動等)について記載。
 *4: 許容限界については、鋼材の許容応力度(降伏応力度)とするものと許容ひずみとするものがあるが、第15.2-1図に示すとおり鋼材の許容応力度のひずみレベル(降伏ひずみ)は、鋼材の許容ひずみよりも小さい。したがって、許容限界を鋼材の許容応力度とした場合の方が保守的な評価を与える。なお、⑤の規格、基準類の許容応力度/ヤング係数で求めた。
 *5: 石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令(昭和47年12月25日通商産業省・運輸省・建設省・自治省令第二号)を参照。

表 15.2-1 (2) 埋設管路の耐震設計に関する規格，基準類の概要

耐震評価の概要			
規格，基準*1	① 縦断面方向*2*3 軸方向応力 σ_L 又は軸方向ひずみ ϵ_L		鉛直方向地震力
	鉛直方向地震力	②横断面方向*3	①と②の組合せ
①石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示(昭和48年9月28日通商産業省・運輸省・建設省・自治省告示第一号)	・地盤変位を考慮した応答変位法 ・管路に生じる軸応力 σ_L と曲げ応力 σ_B を合成する。 $\sigma_L = \sqrt{3.12 \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2}$	・管路のたわみ性を考慮した土圧分布モデル(IOWA公式)により求める。 	・①縦断面方向と②横断面方向応力を組み合わせる。 $\sigma = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_C^2 + \sigma_1^2 \sigma_C + 3\tau_S^2}$ ここで、 σ_C : 横断面方向応力 τ_S : 管直方向のせん断応力
	・地盤変位を考慮した応答変位法 ・管路に生じる軸ひずみ ϵ_L と曲げひずみ ϵ_B を合成する。 $\epsilon_L = \sqrt{\alpha \cdot \epsilon_L^2 + \epsilon_B^2}$ 但し、 $\alpha = 1.00 \sim 3.12$	考慮しない。	考慮しない。
②港湾の施設の技術上の基準・同解説(日本港湾協会，平成19年)	・地盤変位を考慮した応答変位法 ・管路に生じる軸応力 σ_L と曲げ応力 σ_B を合成する。	考慮しない。	考慮しない。
③水道施設耐震工法指針・解説1997版(日本水道協会，1997)	・地盤変位を考慮した応答変位法 ・管路に生じる軸ひずみ ϵ_L と曲げひずみ ϵ_B を合成する。 $\epsilon_L = \sqrt{\alpha \cdot \epsilon_L^2 + \epsilon_B^2}$ 但し、 $\alpha = 1.00 \sim 3.12$	考慮しない。	考慮しない。
④水道用埋設鋼管路耐震設計基準WSP029-2006(日本水道鋼管協会，平成18年)	・地盤変位を考慮した応答変位法 ・管路に生じる軸ひずみ ϵ_L と曲げひずみ ϵ_B を合成する。 $\epsilon_L = \sqrt{\epsilon_L^2 + \epsilon_B^2}$	考慮しない。	考慮しない。

注記 *1: 表13.2-1 (1) で示した規格，基準類のうち，鋼管の許容ひずみが3%とかなり大きい⑤については，除外した。
 *2: 各規格，基準類では，応答変位法に用いる地盤変位を定めるためのパラメータ（水平震度，応答速度等）が地震動レベル毎に定められていることから，地震応答解析や構造計算を伴わずに，応力（ひずみ）を算出可能。但し，海水引込み管の耐震評価では，①基準地震動Ssを対象とすること②取水管路が屈曲していることを考慮して，地震応答解析及び数値計算（構造計算）を基に σ_L 及び σ_B を算出。
 *3: 縦断面方向及び管周方向の評価のイメージについては，図15.2-2及び図15.2-3を参考。

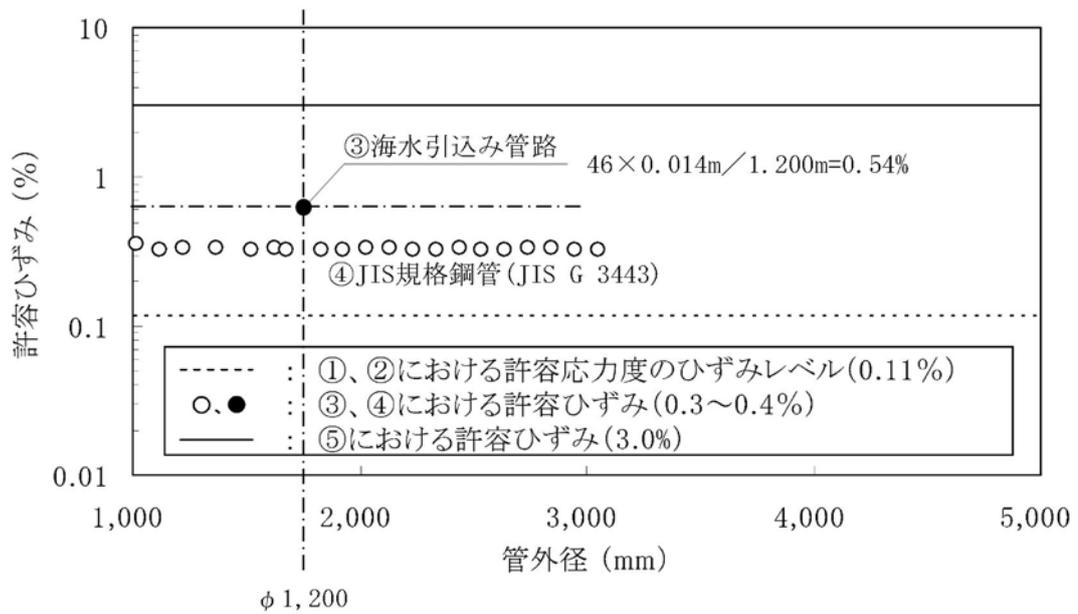
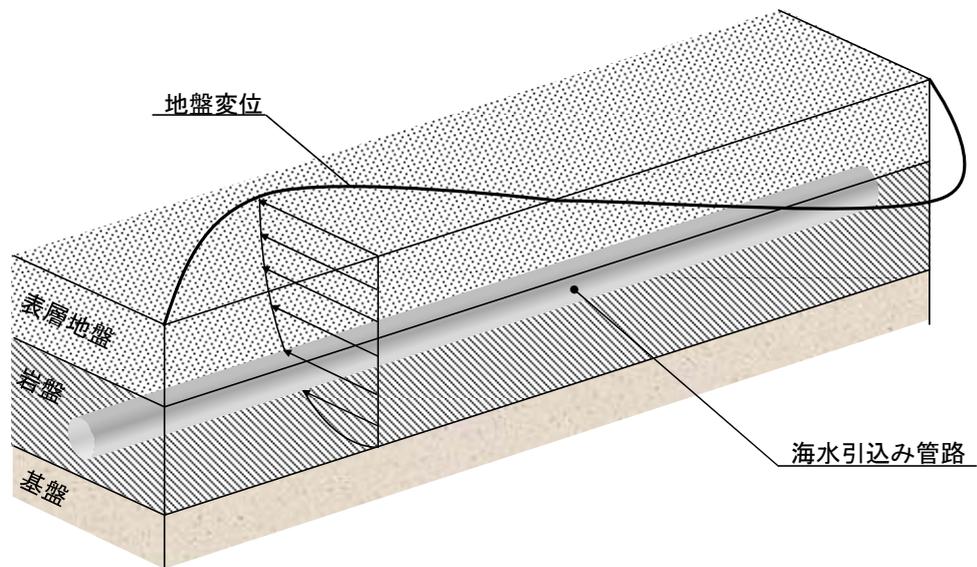


図 15.2-1 各規格，基準類における許容ひずみの比較

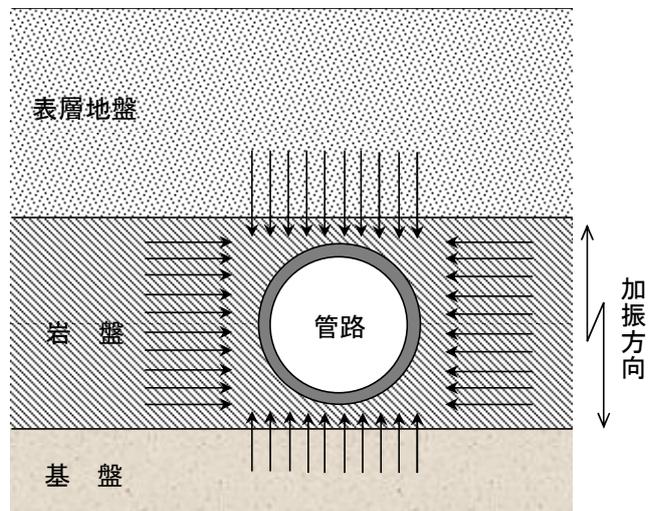


縦断面方向については，水平方向に伝播する地震波（進行方向に直交する方向に振動する進行波）による，周辺地盤の変位を考慮する。

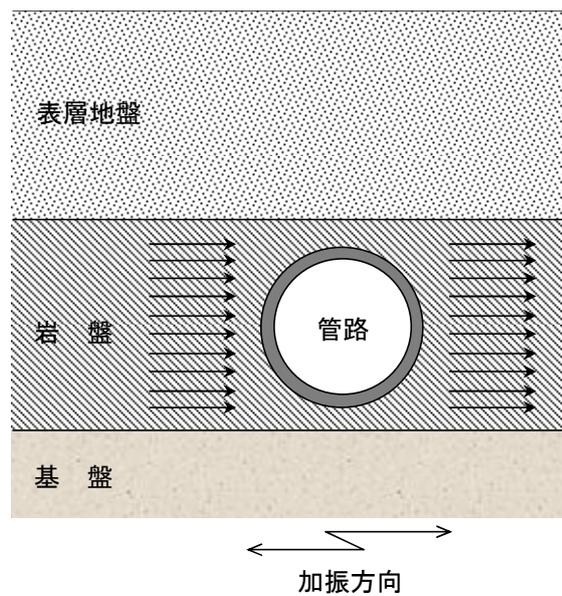
埋設された鋼製管路は，地震時に周辺地盤の変形に追従することが，多くの屋外，室内模型実験や実構造物からの地震観測結果から確かめられている。したがって，埋設された鋼製管路の耐震計算においては，上図のような地震時の周辺地盤の変位に基づいた耐震設計として，応答変位法が一般的に用いられる。

図 15.2-2 縦断面方向の耐震評価イメージ

(鉛直方向地震力)



(水平方向地震力)



横断面方向については埋設された鋼製管路上の土被り及び上載荷重により鋼製管路に作用する土圧を考慮する。

なお、表 15.2-1 に示した各規格、基準類では、一般式より横断面方向応力を求める手法が記載されているが、後述の横断面方向応力の算出では、その他の屋外重要土木構造物と同様に、2次元動的FEM解析（水平、鉛直同時加振）にて求める。

図 15.2-3 横断面方向の耐震評価イメージ

表 15.2-2 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び 材料定数	<ul style="list-style-type: none"> 水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説- [第5回改訂版] 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（(社) 電力土木技術協会） 	-
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> J E A G 4 6 0 1 -1987（(社) 日本電気協会） 	<ul style="list-style-type: none"> 永久荷重+偶発荷重の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> 水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説- [第5回改訂版] 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（(社) 電力土木技術協会） 道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（(社) 日本道路協会，平成24年3月） 	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材の発生応力が短期許容応力度以下であることを確認 基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認
評価手法	<ul style="list-style-type: none"> 水道施設耐震工法指針・解説 2009年版（日本水道協会，2009） 	<ul style="list-style-type: none"> 縦断面方向と横断面方向の発生応力を組み合わせた耐震評価 管路に生じる軸応力σ_Lと曲げ応力σ_Bを合成する場合の係数α (3.12)
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> J E A G 4 6 0 1 -1987（(社) 日本電気協会） 	<ul style="list-style-type: none"> 有限要素法による2次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

15.2.2 耐震安全性評価フロー

図 15.2-4 に海水引込み管の耐震安全性評価フローを示す。

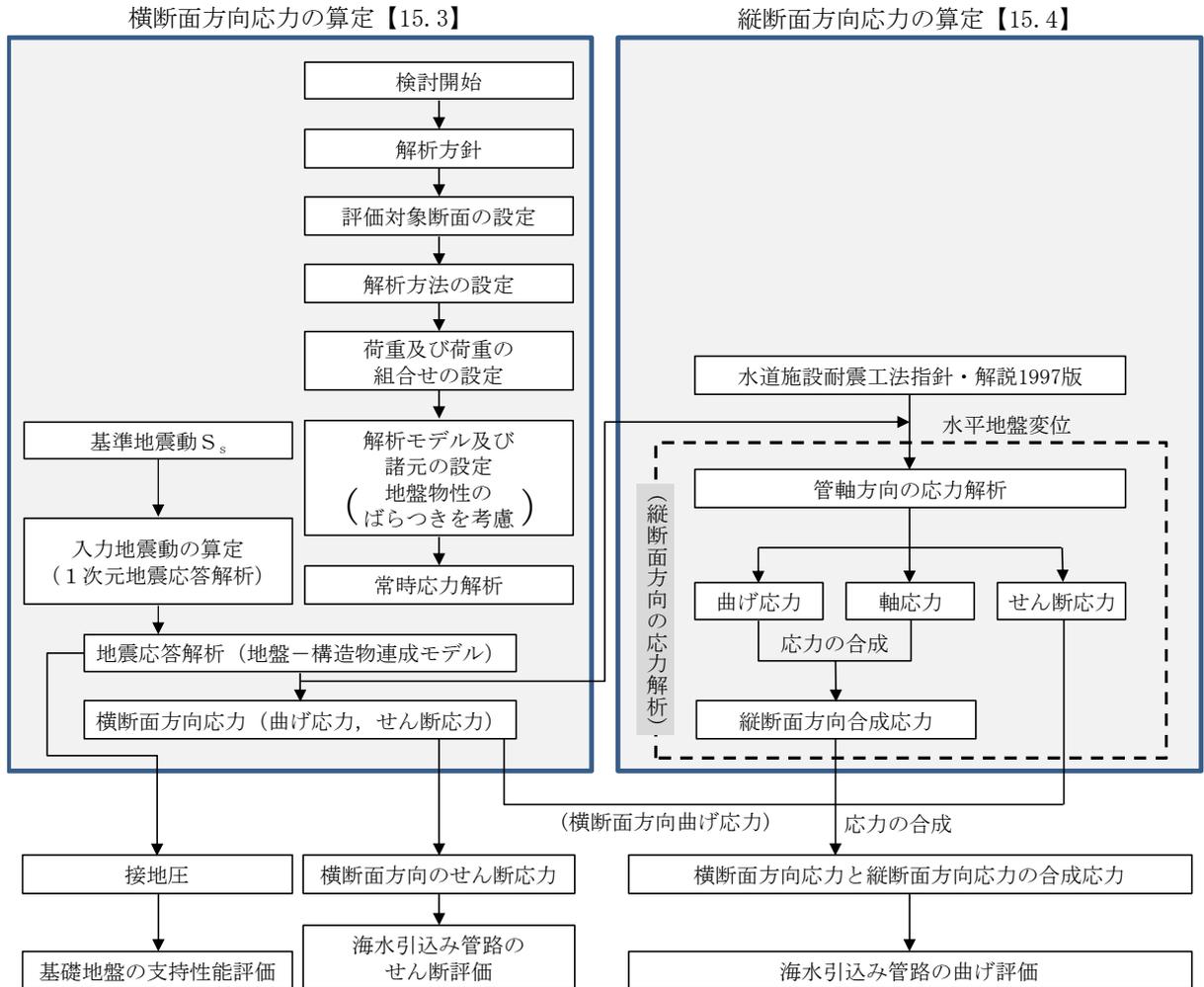


図 15.2-4 海水引込み管の耐震安全性評価フロー

15.2.3 評価対象箇所及び評価対象断面

海水引込み管は、SA用海水ピット取水塔とSA用海水ピットを接続する延長約154 m、内径1.2 mの鋼製の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤内に直接設置する。

海水引込み管は線状構造物であり、カルバート構造物と同様に縦断面方向に対して一様な断面形状を有するため、縦断面方向の発生応力が耐震設計上有意であることから、横断面方向及び縦断面方向の発生応力を組み合わせて評価を行う。

横断面方向の評価対象断面は、「1.4.15 海水引込み管の断面選定の考え方」で記載したとおり、土被り及び設置深度ともに最大の②-②断面を代表位置として選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

縦断面方向については、管路全長をモデル化した応答変位法により静的フレーム解析を実施して縦断面方向の曲げ応力を求め、横断面方向の曲げ応力との合成応力を算定して評価を行う。

海水引込み管の位置図を図15.2-5に、評価対象断面（縦断面）を図15.2-6に、評価対象断面（横断面）を図15.2-7に示す。

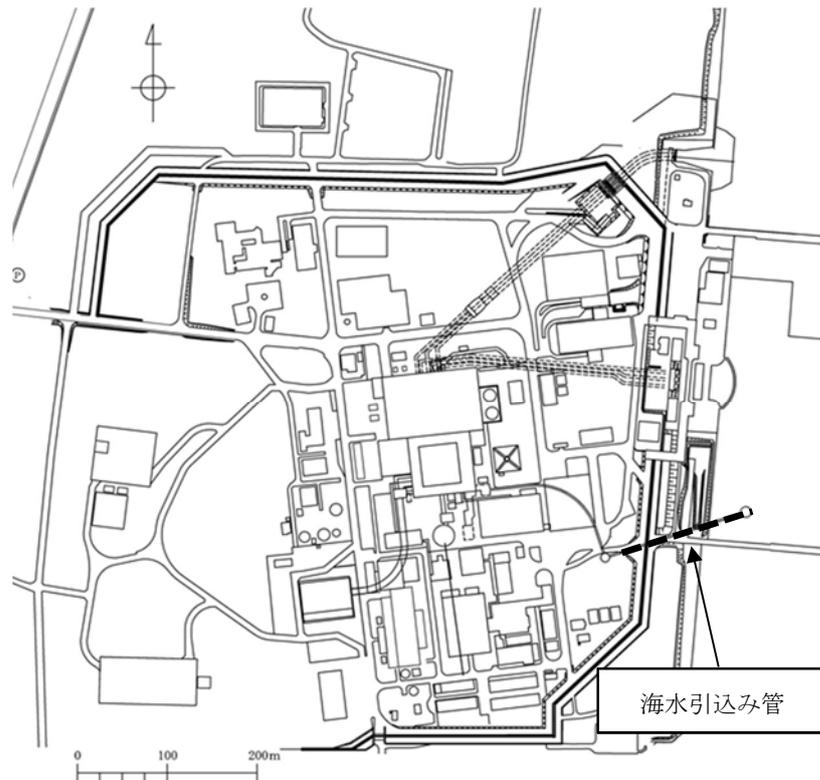


図15.2-5 (1) 海水引込み管 位置図(全体図)

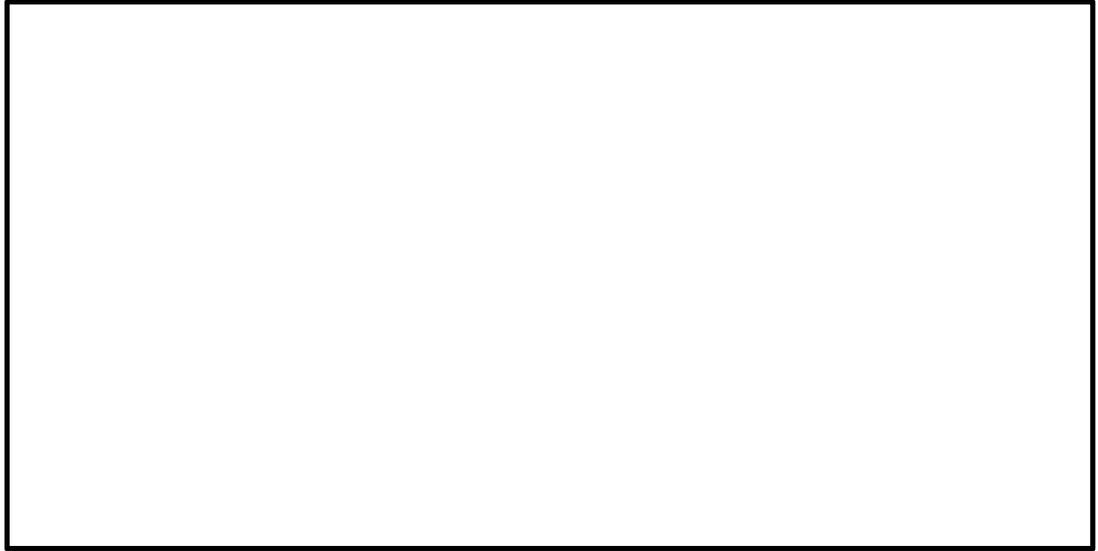


図 15.2-5 (2) 海水引込み管 位置図(拡大図)

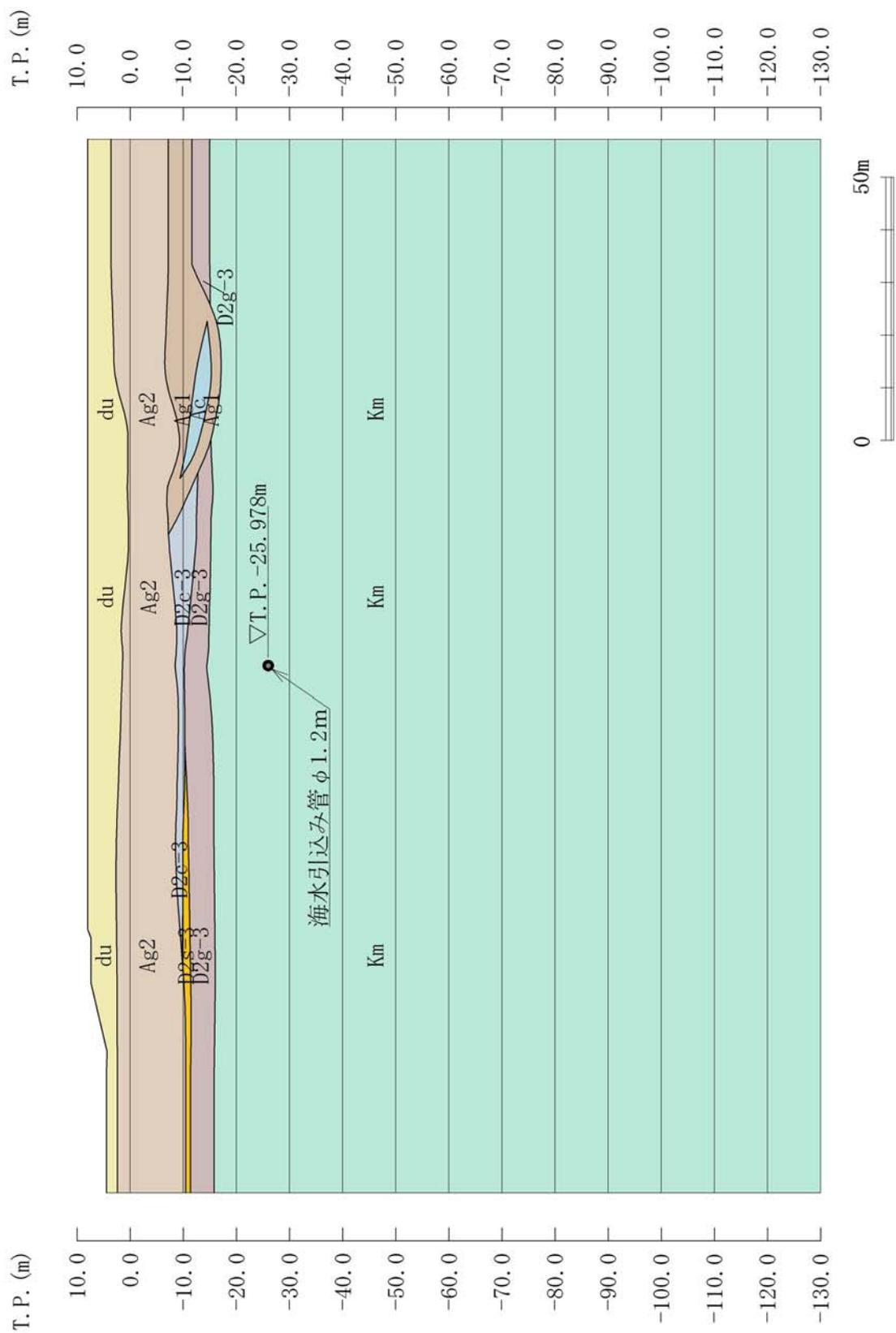


图 15.2-7 海水引込み管 断面图 (B-B 横断面)

15.2.4 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 15.2-3 に、材料物性値を表 15.2-4 に示す。

地盤の諸元は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデル化する。地盤の物性値を表 15.2-5 に示す。

表 15.2-3 使用材料

材料	断面形状 (mm)	諸元
鋼製管	内径 1200×t20*	SM570

注記 * : 1.5 mm の腐食代を考慮する。

表 15.2-4 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼製管	77.0 (水門鉄管技術基準)	2.0×10 ⁵ (水門鉄管技術基準)	0.3 (水門鉄管技術基準)

注記 () : 設定根拠

表 15.2-5 (1) 地盤の解析用物性値一覧 (液状化検討対象層)

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系 (液状化検討対象層)							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

表 15.2-5 (2) 地盤の解析用物性値一覧 (非液状化層)

パラメータ				原地盤				
				第四系 (非液状化層)				新第三系
				Ac	D2c-3	1m	D1c-1	Km
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ²	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z (標高) ごとに物性値を設定 z
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026	
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 15.2-5 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP(m) Z	適用深度 TP(m)	密度 ρ (g/cm ³)	静ポアソン比 ν_{CD}	粘着力 C _{cd} (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ_{CD} (°)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G _{0a} (kN/m ²)	基準体積 弾性係数 K _{va} (kN/m ²)	基準平均有効 主応力 σ'_{ms} (kN/m ²)	拘束圧 依存係数 m ₀ , m _k	最大履歴 減衰率 h _{max} (%)	動ポアソン比 ν_d	疎密波 速度Vp (m/s)	1000*Vp
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326,965	371,843	504	0.0	0.108	0.463	1,661	1,661,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644	1,644,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331,480	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652	1,652,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332,992	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656	1,656,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659	1,659,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663	1,663,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,671	1,671,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654	1,654,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	504	0.0	0.112	0.461	1,662	1,662,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,665	1,665,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348,300	391,471	498	0.0	0.112	0.461	1,673	1,673,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351,403	394,870	498	0.0	0.113	0.461	1,680	1,680,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352,959	396,574	498	0.0	0.113	0.460	1,664	1,664,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356,083	399,996	498	0.0	0.114	0.460	1,672	1,672,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357,650	391,712	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	360,794	395,155	498	0.0	0.115	0.460	1,683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362,371	396,883	498	0.0	0.115	0.459	1,667	1,667,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365,536	400,349	498	0.0	0.115	0.459	1,675	1,675,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367,124	402,088	498	0.0	0.116	0.459	1,678	1,678,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370,309	405,577	498	0.0	0.116	0.459	1,685	1,685,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371,907	407,327	498	0.0	0.117	0.459	1,689	1,689,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375,113	410,838	498	0.0	0.117	0.458	1,678	1,678,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376,721	412,599	498	0.0	0.117	0.458	1,681	1,681,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379,948	416,134	498	0.0	0.118	0.458	1,688	1,688,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385,416	422,122	498	0.0	0.118	0.458	1,696	1,696,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387,051	423,913	498	0.0	0.118	0.458	1,699	1,699,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390,331	427,505	498	0.0	0.118	0.457	1,688	1,688,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391,976	429,307	498	0.0	0.119	0.457	1,692	1,692,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395,277	432,922	498	0.0	0.119	0.457	1,699	1,699,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396,933	434,736	498	0.0	0.120	0.457	1,702	1,702,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400,255	422,491	492	0.0	0.120	0.457	1,709	1,709,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401,921	424,250	492	0.0	0.120	0.456	1,695	1,695,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405,263	427,778	492	0.0	0.120	0.456	1,702	1,702,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406,939	429,547	492	0.0	0.121	0.456	1,705	1,705,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410,302	433,097	492	0.0	0.121	0.456	1,712	1,712,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413,679	436,661	492	0.0	0.121	0.456	1,719	1,719,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415,373	438,449	492	0.0	0.122	0.455	1,705	1,705,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418,771	442,036	492	0.0	0.122	0.455	1,712	1,712,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420,475	443,835	492	0.0	0.122	0.455	1,716	1,716,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423,893	447,443	492	0.0	0.122	0.455	1,723	1,723,000
57	-82	-85 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425,608	449,253	492	0.0	0.123	0.455	1,726	1,726,000
58	-88	-90 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434,232	458,356	492	0.0	0.124	0.454	1,726	1,726,000
59	-92	-95 ~ -90	1.73	0.14	913	14.1	504	439,448	463,862	492	0.0	0.124	0.454	1,736	1,736,000
60	-98	-101 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	448,210	473,111	492	0.0	0.125	0.453	1,736	1,736,000
61	-104	-108 ~ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	455,282	463,485	486	0.0	0.126	0.452	1,733	1,733,000
62	-112	-115 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465,995	474,391	486	0.0	0.127	0.451	1,737	1,737,000
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475,016	483,575	486	0.0	0.127	0.451	1,754	1,754,000
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485,957	494,713	486	0.0	0.128	0.450	1,758	1,758,000

15.2.5 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

15.2.6 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 海水引込み管の許容限界

許容限界については、「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）－付解説－[第5回改訂版]」（（社）電力土木技術協会，平成29年）に基づき表15.2-6のとおりを設定する。短期許容応力度は鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割増しを考慮する。

表 15.2-6 許容応力度

評価項目		短期許容応力度 (N/mm ²)
鋼材 (SM570) *	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	360
	許容せん断応力度 τ_{sa}	202.5

注記 *：水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）付解説－[第5回改訂版]」（（社）電力土木技術協会，平成29年）

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

極限支持力は，道路橋示方書の支持力算定式等に基づき，対象施設の岩盤の室内試験結果（せん断強度）等より設定する。

道路橋示方書による直接基礎の支持力算定式を以下に示す。

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \right\}$$

ここで，

Q_u : 荷重の偏心傾斜，支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力 (kN)

c : 地盤の粘着力 (kN/m²)

q : 上載荷重 (kN/m²) で， $q = \gamma_2 D_f$

A_e : 有効載荷面積 (m²)

γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m³)
ただし，地下水位以下では水中単位体積重量を用いる

B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2e_B$$

B : 基礎幅 (m)

- e_B : 荷重の偏心量 (m)
- D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)
- α, β : 表 13.2-7 に示す基礎底面の形状係数
- κ : 根入れ効果に対する割増係数
- N_c, N_q, N_γ : 図 13.2-9, 図 13.2-10 及び図 13.2-11 に示す荷重の傾斜を考慮した支持力係数
- S_c, S_q, S_γ : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

表 15.2-7 基礎底面の形状係数 (道路橋示方書より)

基礎底面の形状 形状係数	帯状	正方形, 円形	長方形, 楕円形, 小判形
α	1.0	1.3	$1 + 0.3 \frac{B_e}{D_e}$
β	1.0	0.6	$1 - 0.4 \frac{B_e}{D_e}$

B_e, D_e は図-解 10.3.4, 図-解 10.3.5 による。ただし, $\frac{B_e}{D_e} > 1$ の場合, $\frac{B_e}{D_e} = 1$ とする。

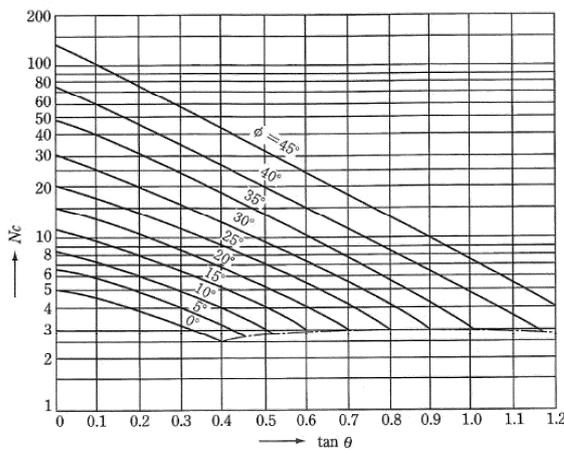


図 15.2-9 支持力係数 N_c を求めるグラフ
(道路橋示方書より)

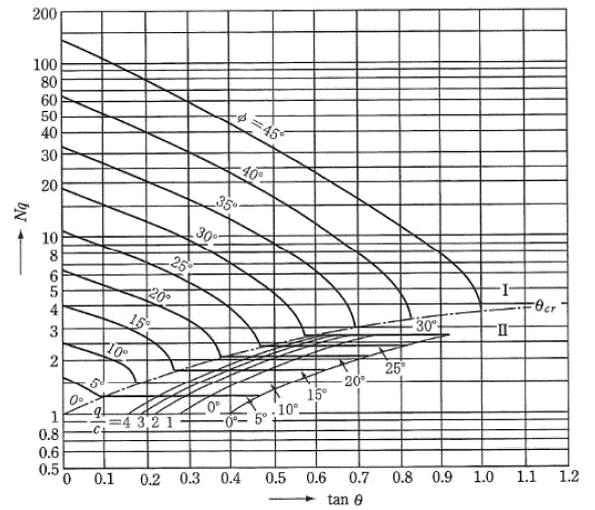


図 15.2-10 支持力係数 N_q を求めるグラフ
(道路橋示方書より)

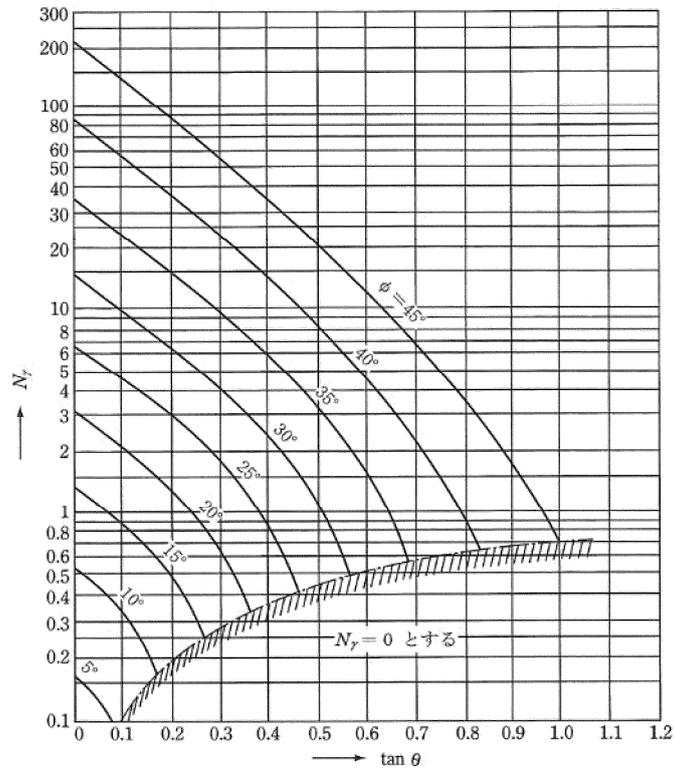


図 15.2-11 支持力係数 N_γ を求めるグラフ
(道路橋示方書より)

15.3 横断面方向応力の評価方法

15.3.1 地震応答解析手法

海水引込み管の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。部材については、線形はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。地震応答解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録24「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図15.3-1に示す。

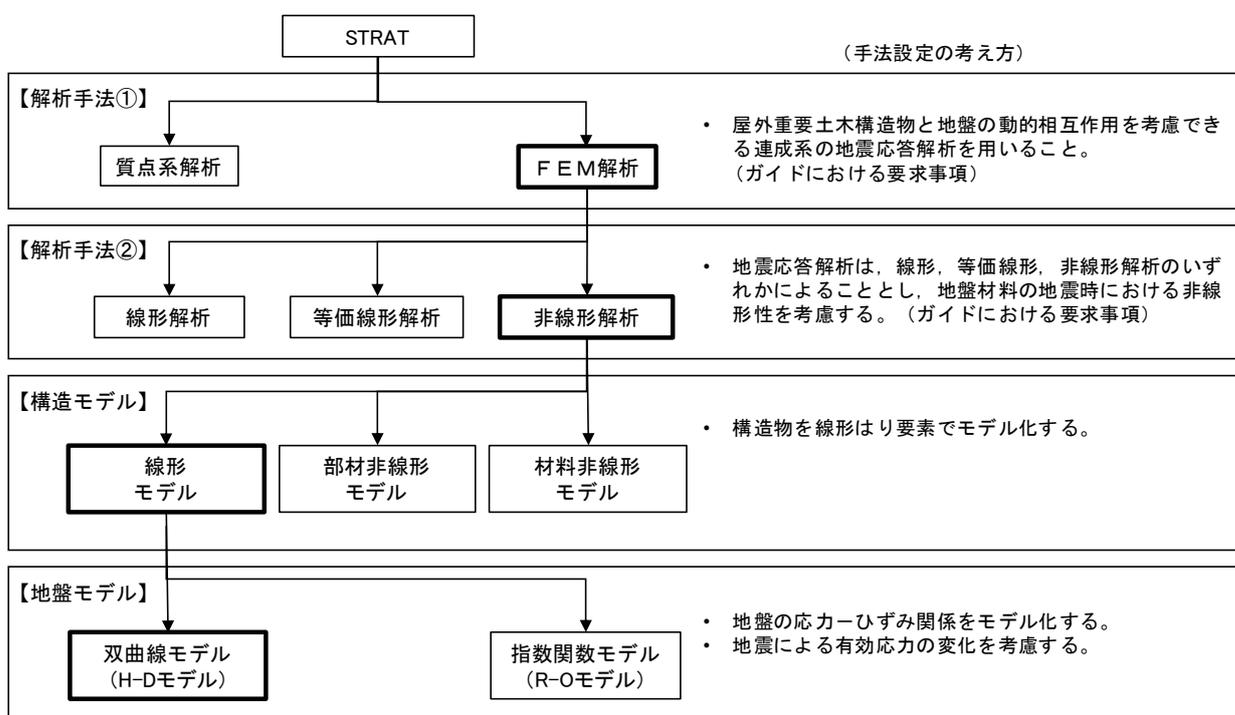


図 15.3-1 地震応答解析手法の選定フロー

H-Dモデルの選定理由は次の通りである。すなわち、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル (H-Dモデル) を選定する。

15.3.2 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 -1987 を適用し、図 15.3-2 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。なお、解析モデルの境界条件は、側方における波動の反射の影響を低減するとともに、下方への波動の逸散を考慮するために側面及び底面ともに粘性境界とする。

海水引込み管横断方向の地震応答解析モデルを図 15.3-3 に示す。

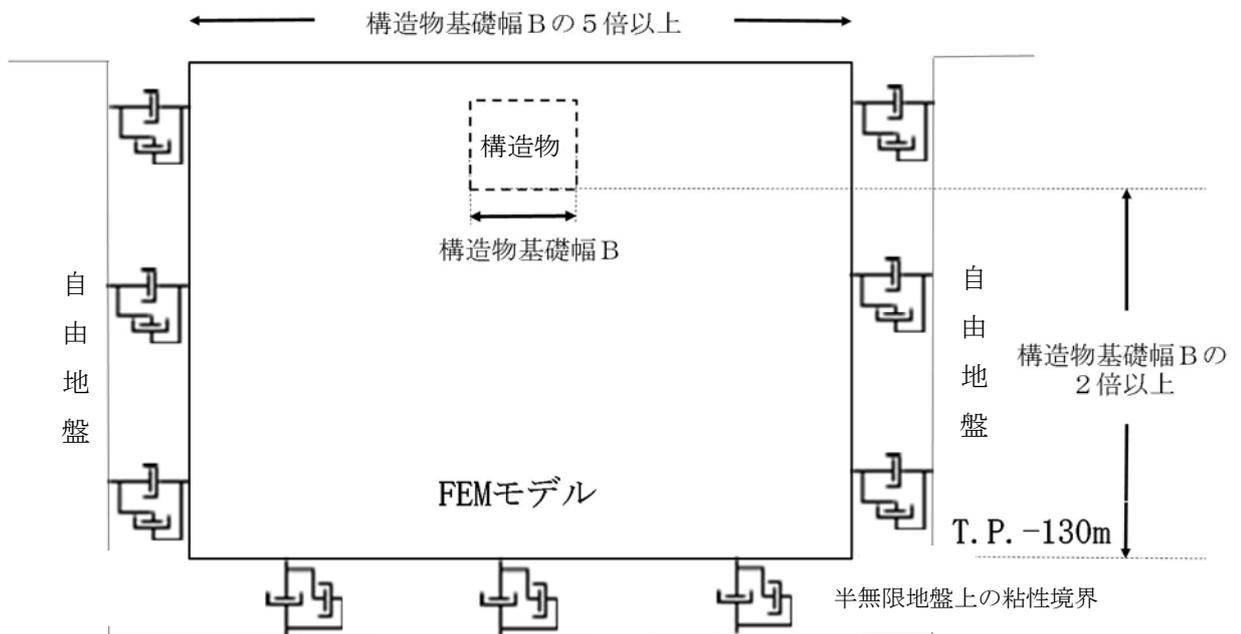


図 15.3-2 解析モデル領域の考え方

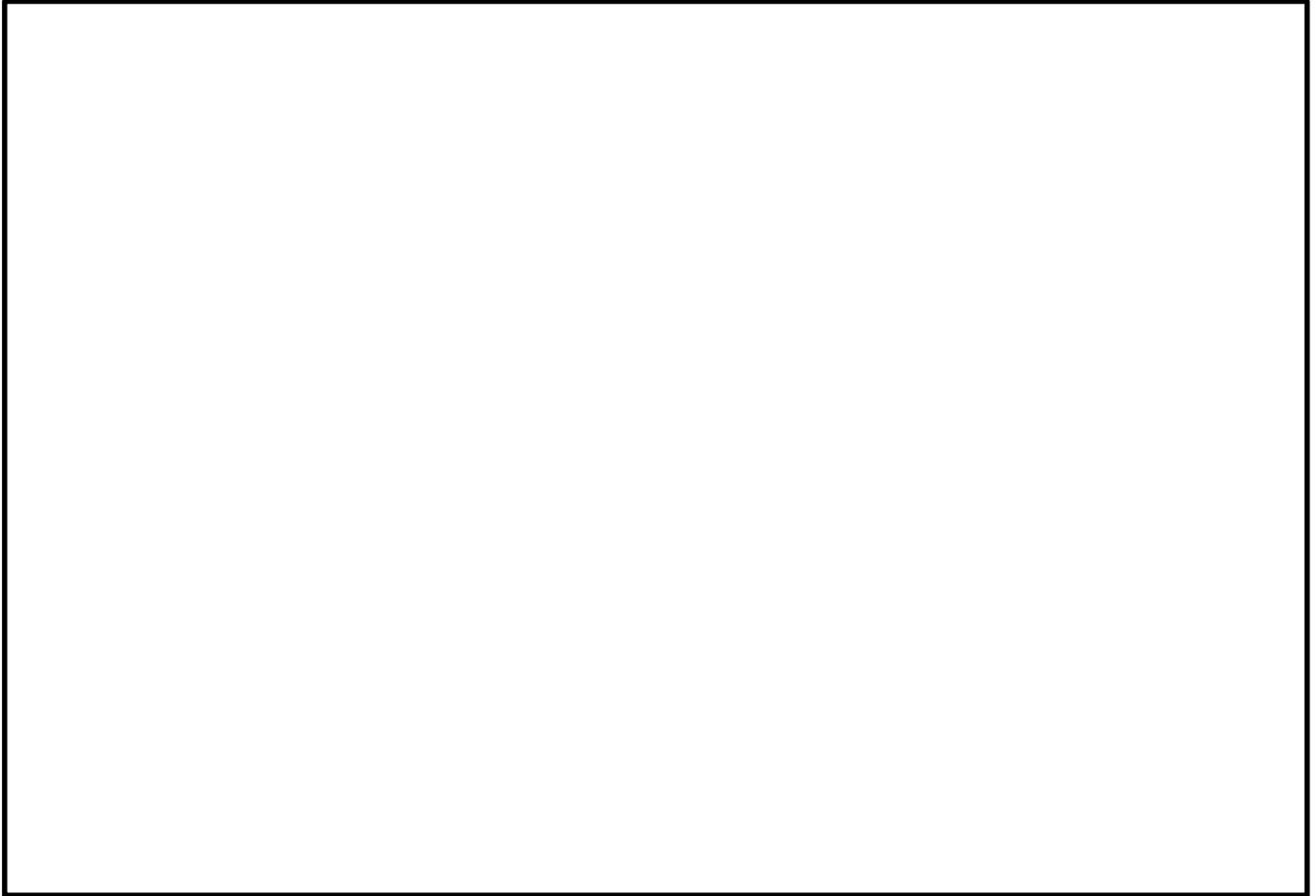


図 15.3-3 海水引込み管横断面方向の地震応答解析モデル

(2) 構造物のモデル化

構造部材は、線形はり要素でモデル化する。

(3) 地盤のモデル化

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水圧要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(4) ジョイント要素の設定

地盤と構造物の境界部にジョイント要素を設けることにより、地盤と構造物の剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は法線方向、接線方向に分けて二重節点として設定する。法線方向では、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。接線方向では、地盤と構造物のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。c、 ϕ は周辺地盤の c、 ϕ とする。(表 15.3-1 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで,

- τ_f : せん断強度 (N/mm²)
- c : 粘着力 (N/mm²)
- ϕ : 内部摩擦角 (°)

表 15.3-1 周辺地盤との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	備考
新第三系	Km層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	-

z : 標高 (m)

ジョイント要素のばね定数は、数値計算上の不安定挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、表 13.3-2 のとおり設定する。図 15.3-4 にジョイント要素の設定の考え方を示す。

表 13.3-2 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6

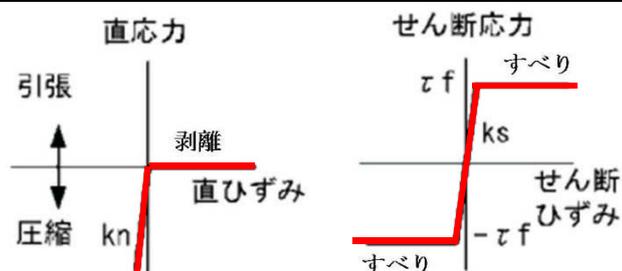
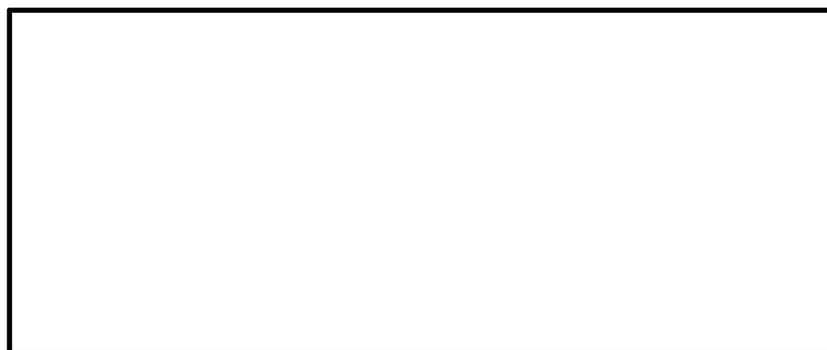


図 15.3-4 ジョイント要素の考え方

15.3.3 減衰定数

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトして行くことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 α [M]の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように、低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K] : \text{減衰係数マトリックス}$$

ここで、

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

係数 α 、 β は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

地盤の減衰定数は1%（解析における減衰は、ひずみが大きい領域では履歴減衰が支配的となる。このため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している）とする。また、線形材料としてモデル化する鋼材の減衰定数は3%（道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月））とする。

図15.3-5にRayleigh減衰の設定フローを、表15.3-3に固有値解析結果を示す。

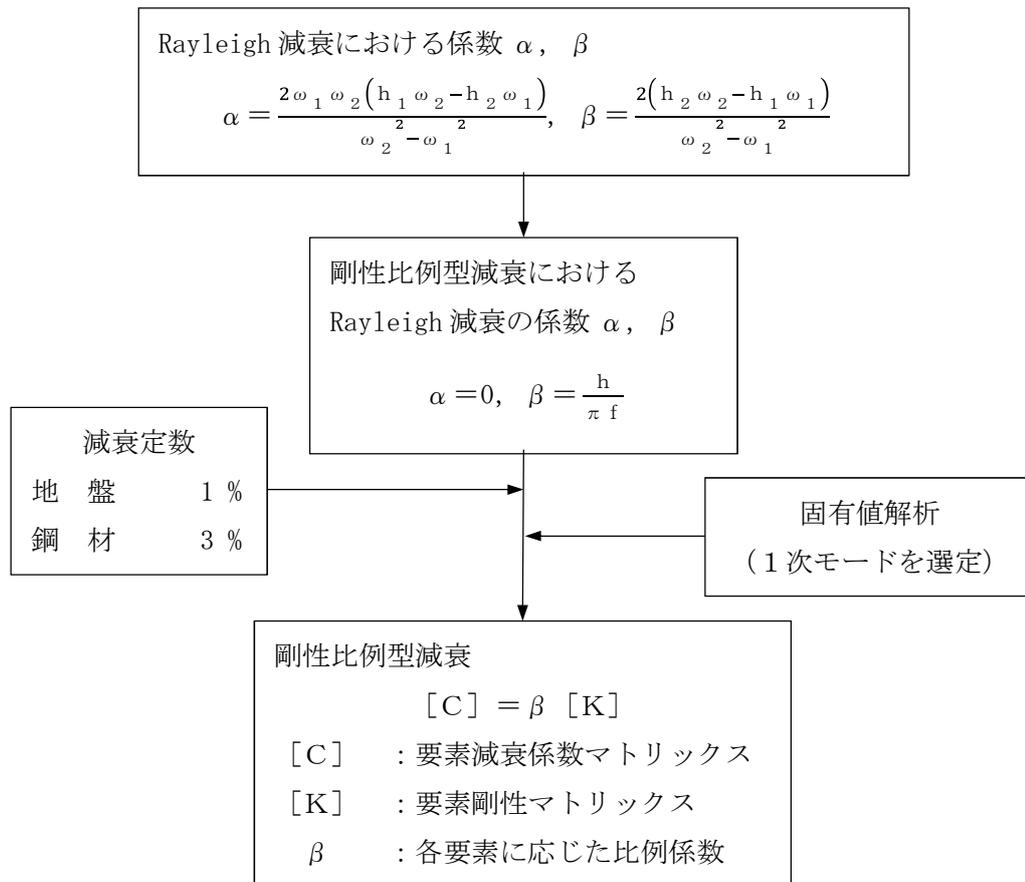


図 15.3-5 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 15.3-3 固有値解析結果
(追而)

15.3.4 荷重の組合せ

横断面方向応力算出のための地震応答解析では、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせで設定する。地震荷重は、地震応答解析から得られる地震時土圧及び躯体に作用する慣性力を考慮する。

変動荷重のうち、積雪荷重及び風荷重については、海水引込み管が地中構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力との組み合わせるべき荷重としては除外した。

なお、海水引込み管は、運転時の異常な過渡変化時の状態、設計基準事故時の状態及び重大事故等時の状態の影響を受けないと考えられるため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。

荷重の組合せを表 15.3-4 に示す。

表 15.3-4 荷重の組合せ

種別	荷重	考慮箇所		算定方法
		横断面 方向	縦断面 方向	
永久 荷重	躯体自重	○	—	・対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
	機器・配管自重	—	—	・機器・配管等は設置されない。
	土被り荷重	○	—	・常時応力解析により設定する。
	永久上載荷重	—	—	—
	静止土圧	○	—	・常時応力解析により設定する。
	外水圧	○	—	・地下水位に応じた静水圧として考慮する。 ・地下水の密度を考慮する。
	水圧	○	—	・H.W.L T.P. +0.61 mからの内水圧を設定する。 ・海水の密度を考慮する。
変動荷重		—	—	・埋設構造物であるため、積雪荷重、風荷重は作用しない。
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	○	・基準地震動 S_s によって水平・鉛直に同時加振する。
	鉛直地震動	○	—	・躯体、機器・配管の慣性力、動土圧を考慮する。 ・縦断面方向は、応答変位法による応力解析にて地盤変位を考慮*する。
	動水圧	○	—	・水位条件、密度は、永久荷重と同様とする。

注記 *：参考に縦断面方向の応力解析にて考慮する荷重についても記載

(1) 外水

海水引込み管横断面周辺の地盤においては、地下水位を地表面に設定する。地下水の密度は 1.00 g/cm^3 とする。

(2) 内水

海水引込み管の内水圧水頭は海面と同じ朔望平均満潮位 (T.P. +0.61 m) とする。海水の密度は 1.03 g/cm^3 とする。

海水引込み管は全域にわたり朔望平均満潮位 (T.P. +0.61 m) 以深で常時満管状態であることから、常時応力解析においては T.P. +0.61 m からの静水圧、地震応答解析においては自由水面を持たない固定水として付加質量で考慮する。

15.3.5 地震応答解析の検討ケース

海水引込み管耐震設計における検討ケースを表 15.3-5 に示す。

表 15.3-5 海水引込み管の耐震設計における検討ケース

検討ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース (基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波 (位相)	S _s -D 1	(++)	1				
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(--)	1				
	S _s -1 1	(++)	1	1	1	1	1
	S _s -1 2	(++)	1				
	S _s -1 3	(++)	1				
	S _s -1 4	(++)	1				
	S _s -2 1	(++)	1				
		(-+)	1				
S _s -3 1	(++)	1					
	(-+)	1					
計		12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用いて実施する。
最も厳しい地震動の選定にあたっては、各施設の評価部位（上部構造及び下部構造）毎に1波選定する。

異なる建屋・構築物間の相対変位の算定は、上記ケースの中で、変位量が最も大きいケースにて行う。

15.3.6 入力地震動の設定

入力地震動は、資料V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を、1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動算定の概念図を図15.3-6に示す。

入力地震動の算定には解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録39「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

なお、断層モデル波である S_s -11, 12, 13, 14, 21, 22については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向に合わせて方位補正を行う。具体的にはN-S方向及びE-W方向の地震動について構造物の評価断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した基準地震動を設定する。

図15.3-7～図15.3-22に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。

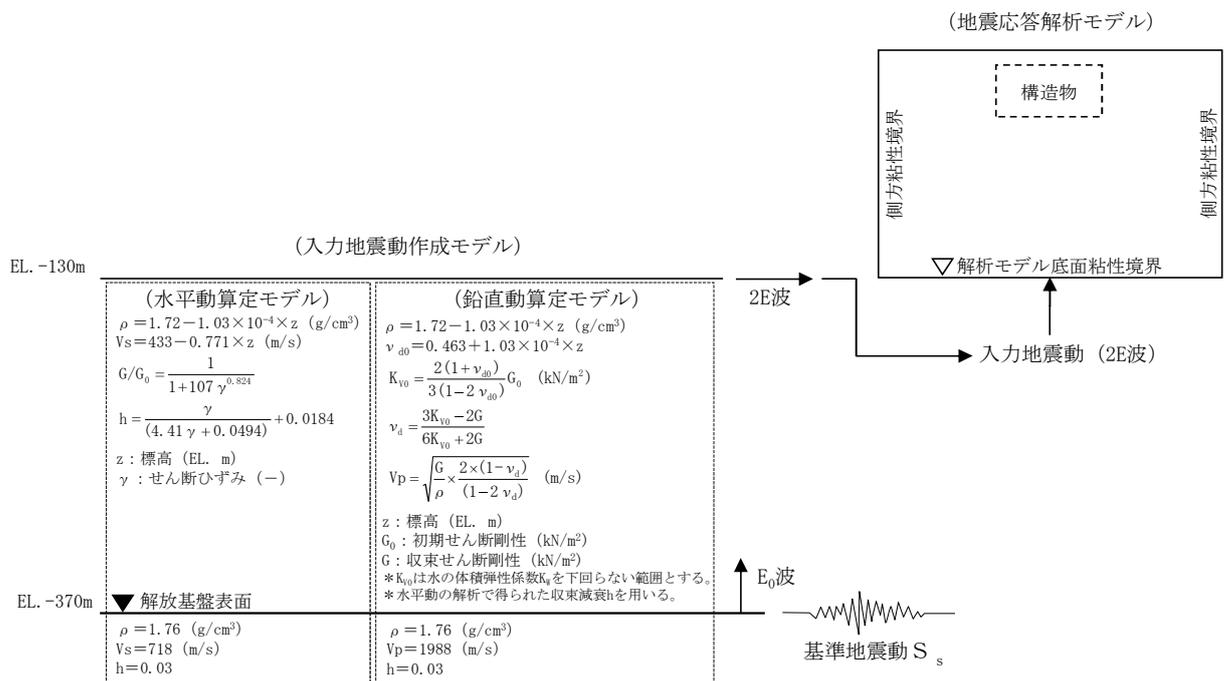
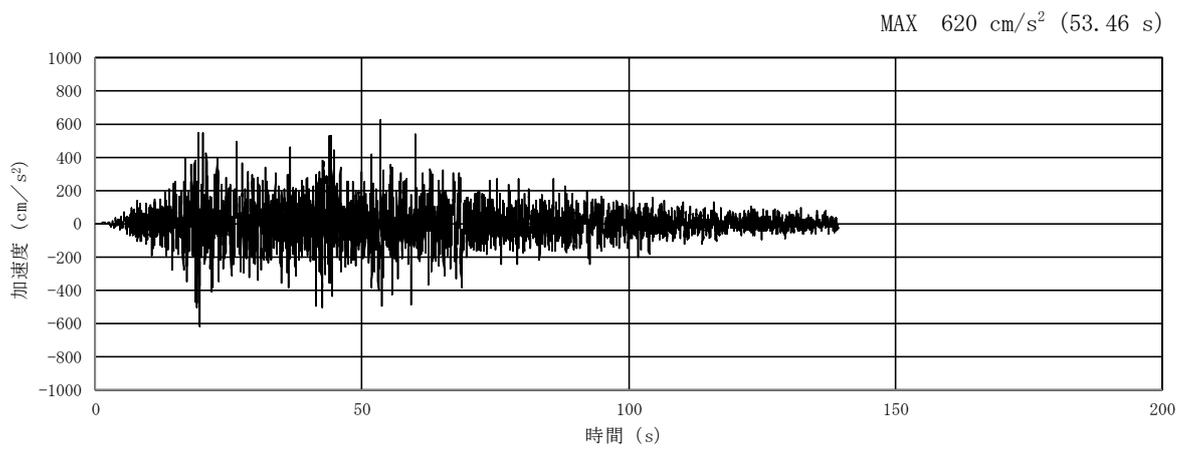
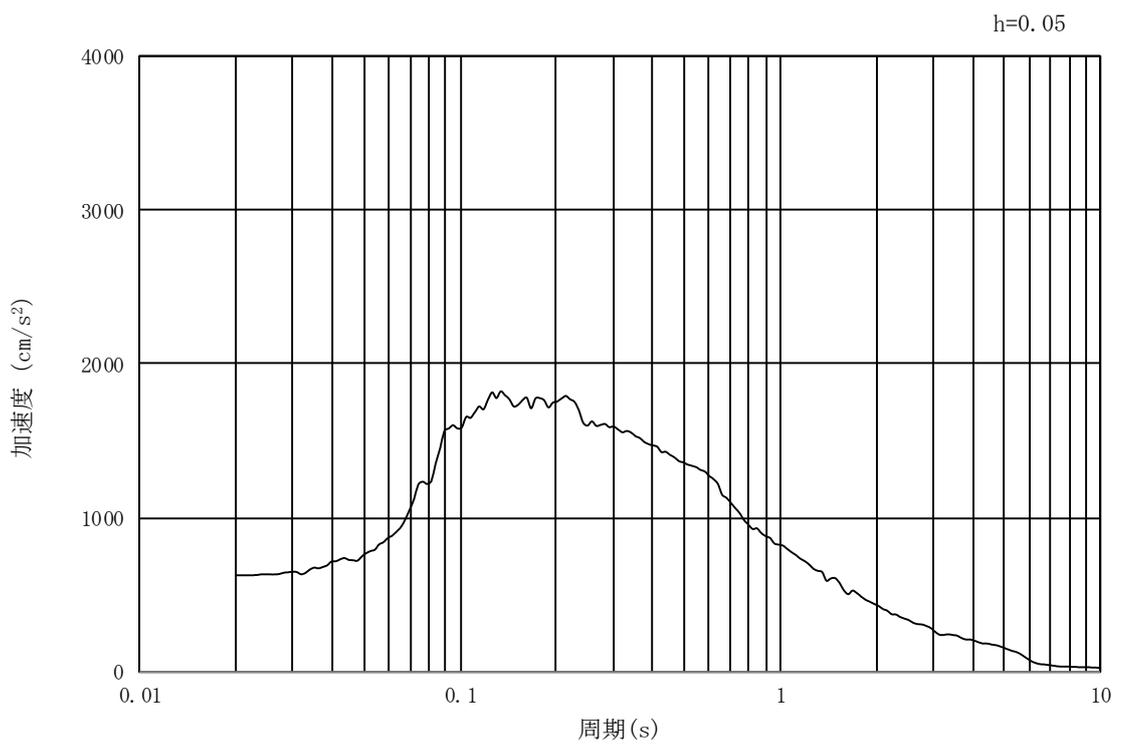


図15.3-6 入力地震動策定の概念図

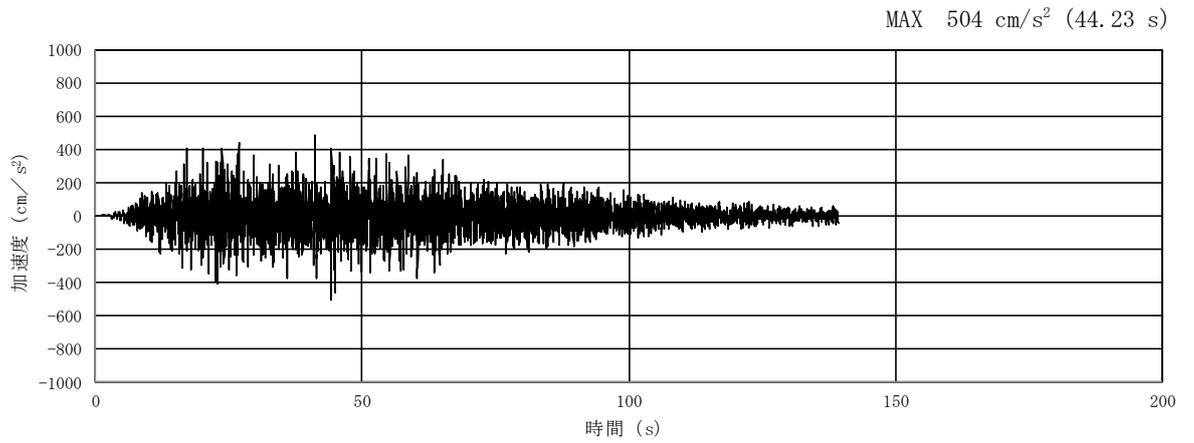


(a) 加速度時刻歴波形

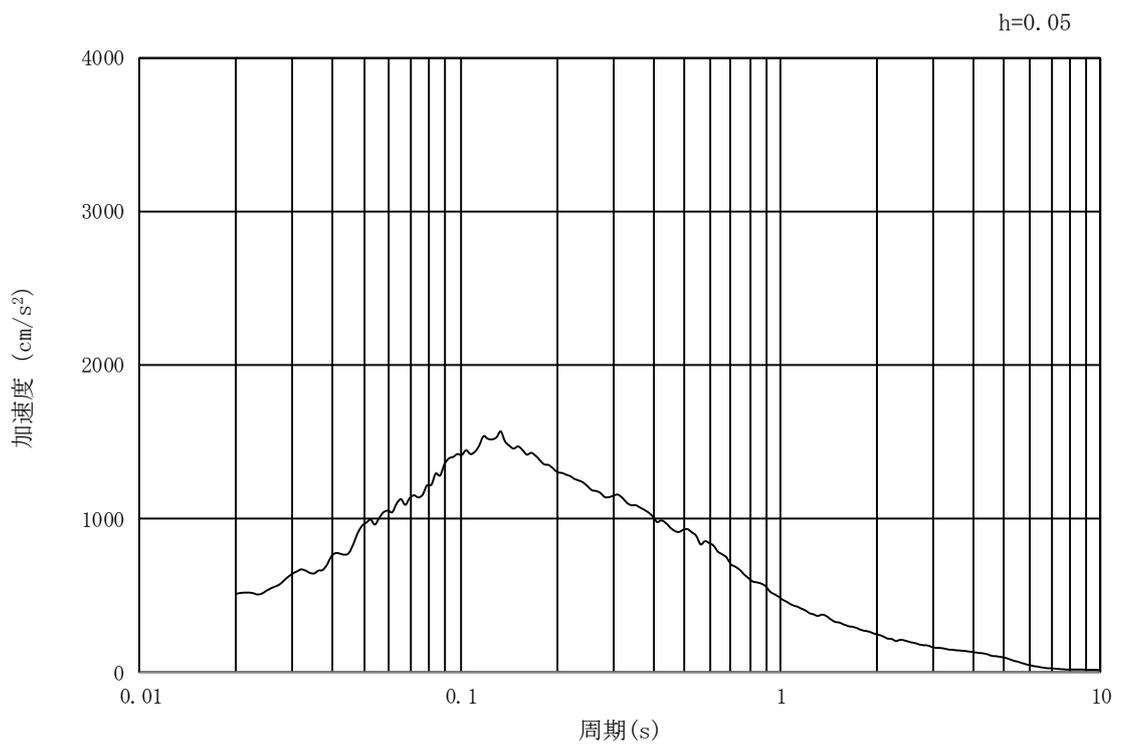


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S_s-D1)

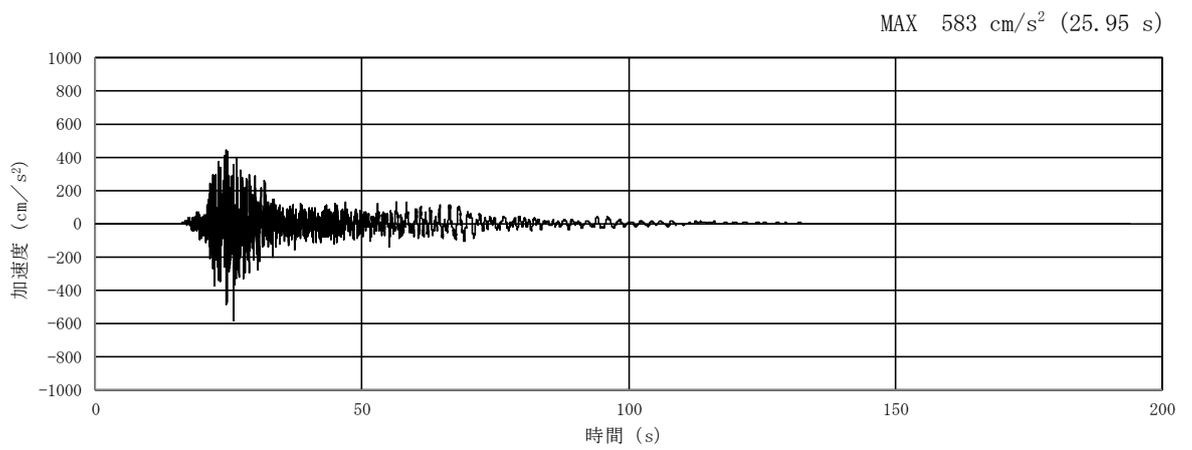


(a) 加速度時刻歴波形

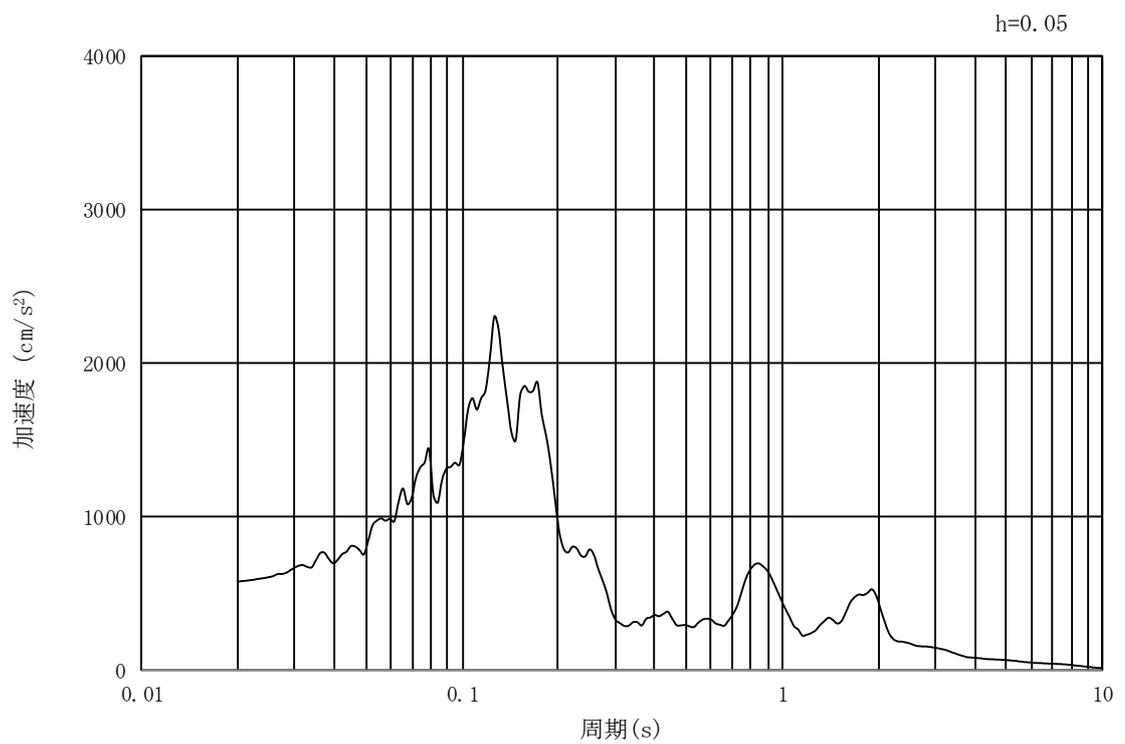


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S_s-D1)

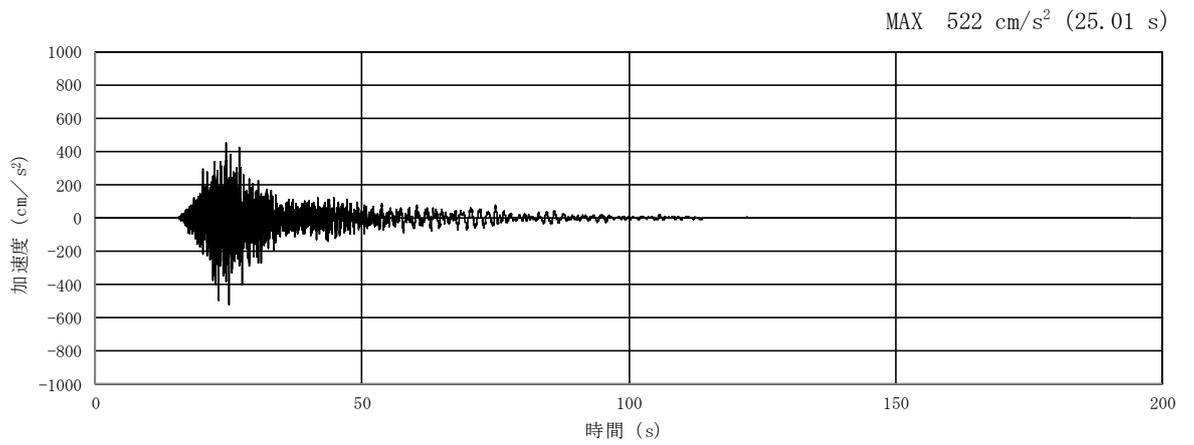


(a) 加速度時刻歴波形

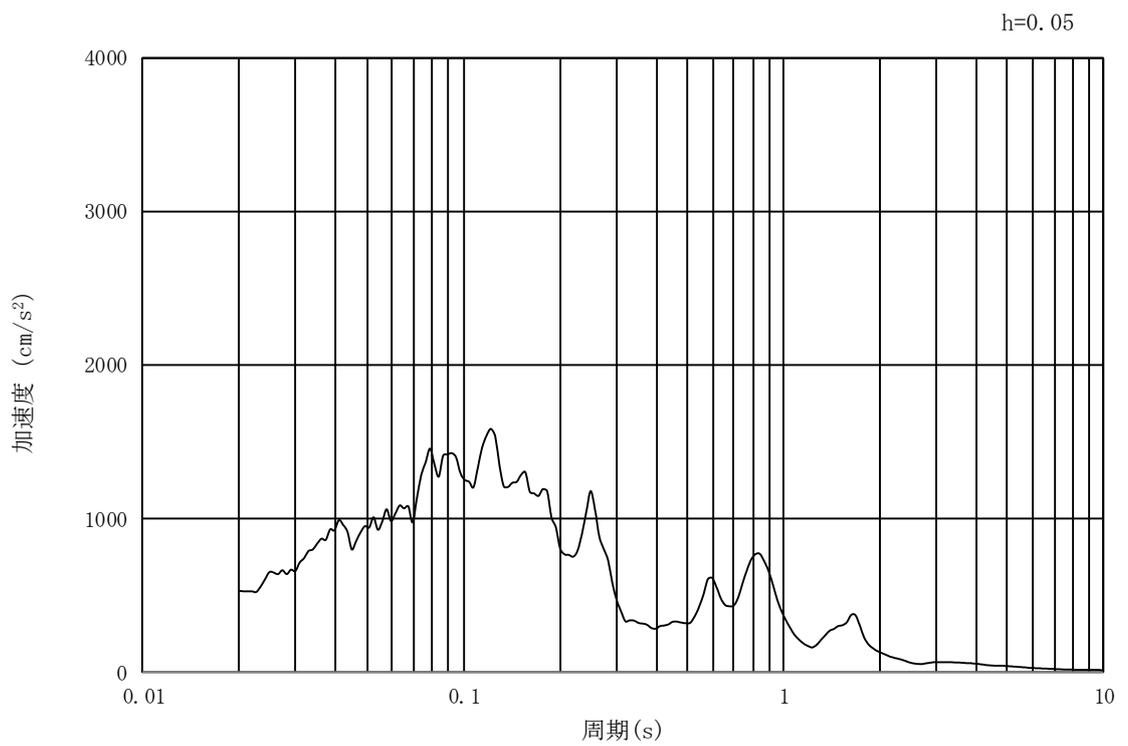


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 11$)

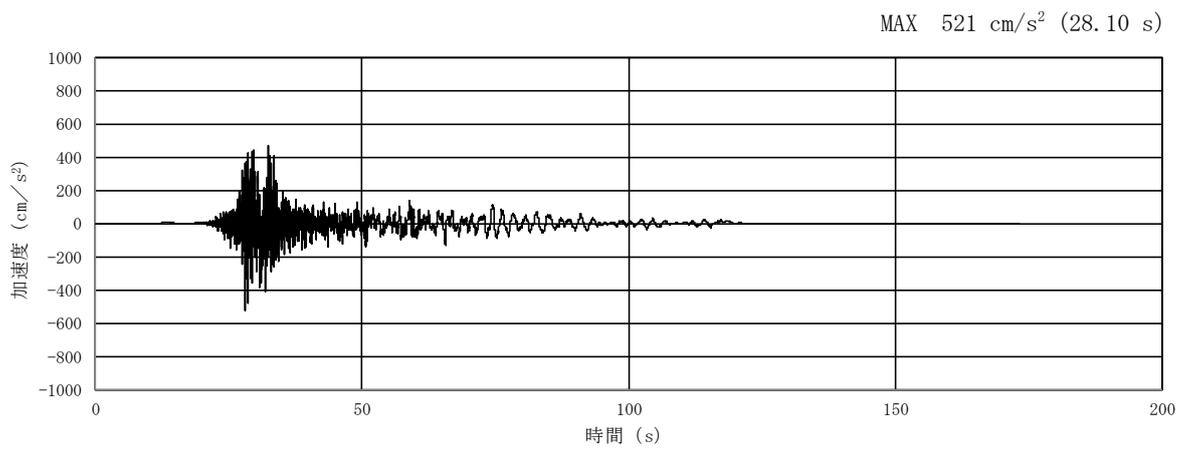


(a) 加速度時刻歴波形

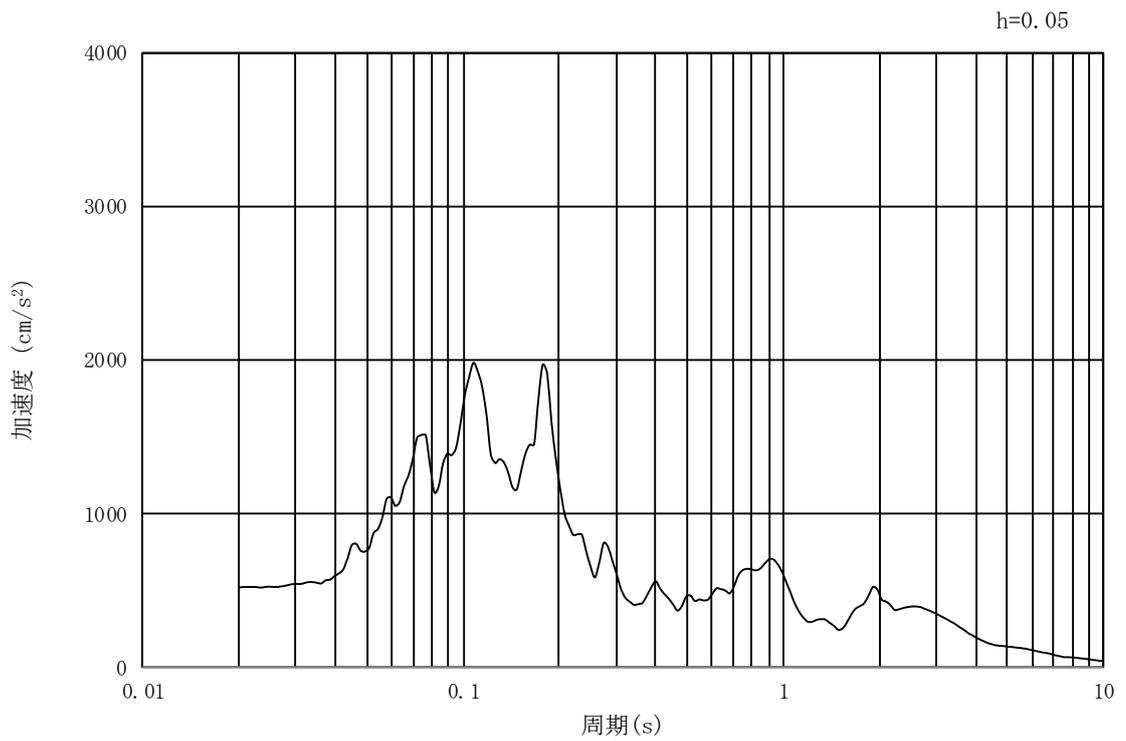


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 11$)

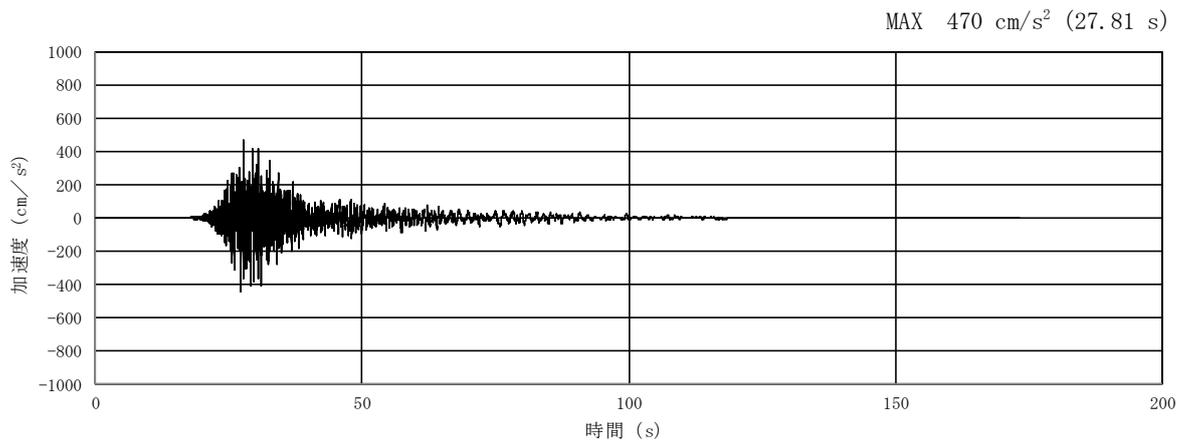


(a) 加速度時刻歴波形

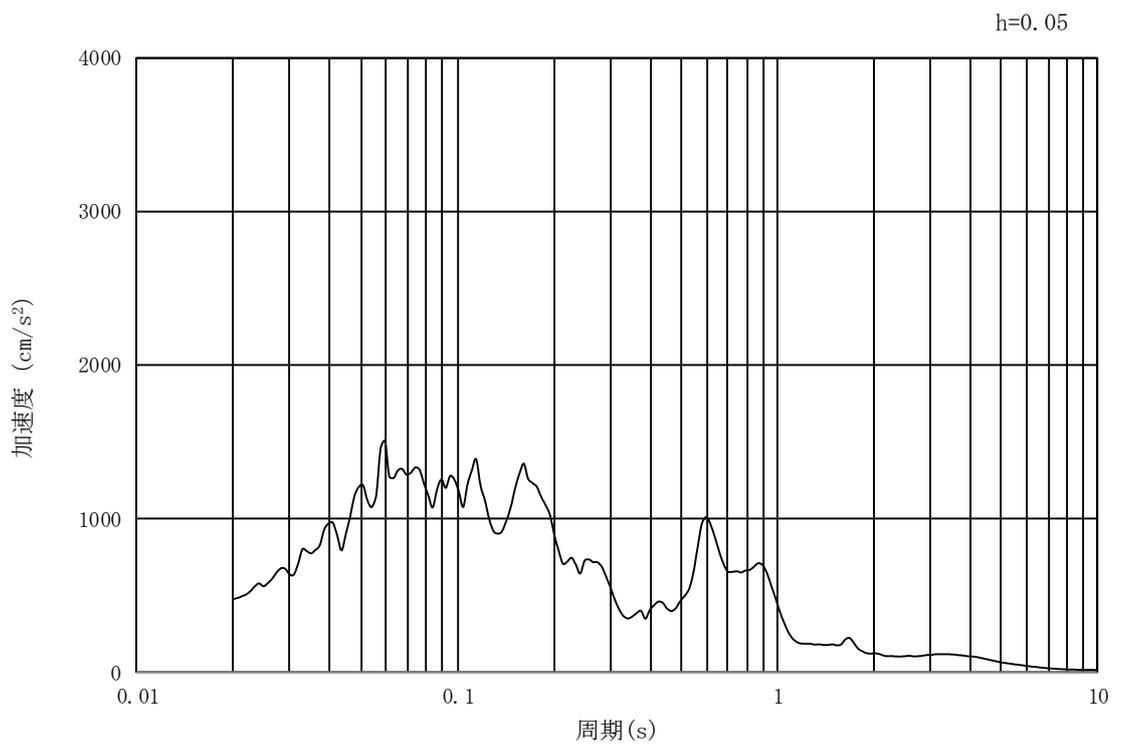


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 1.2$)

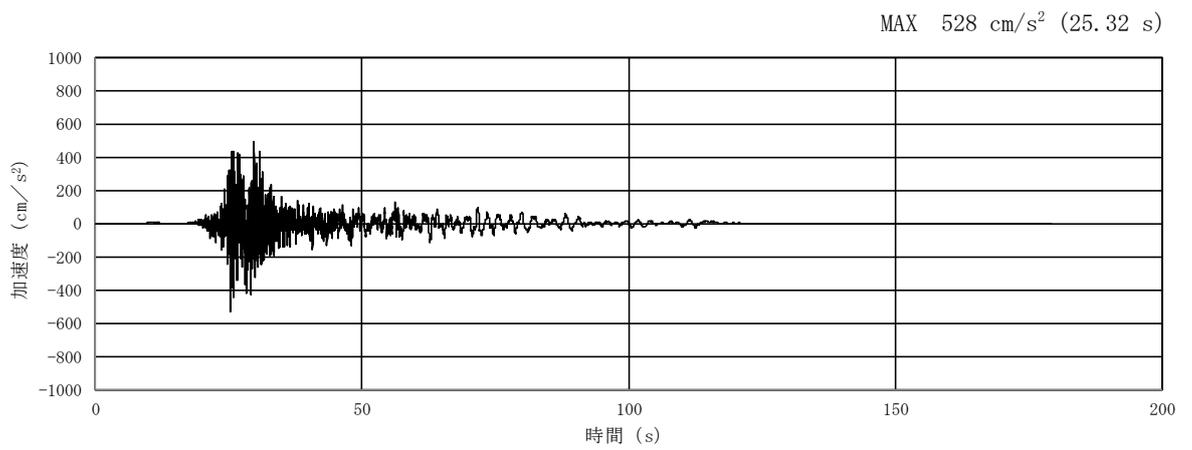


(a) 加速度時刻歴波形

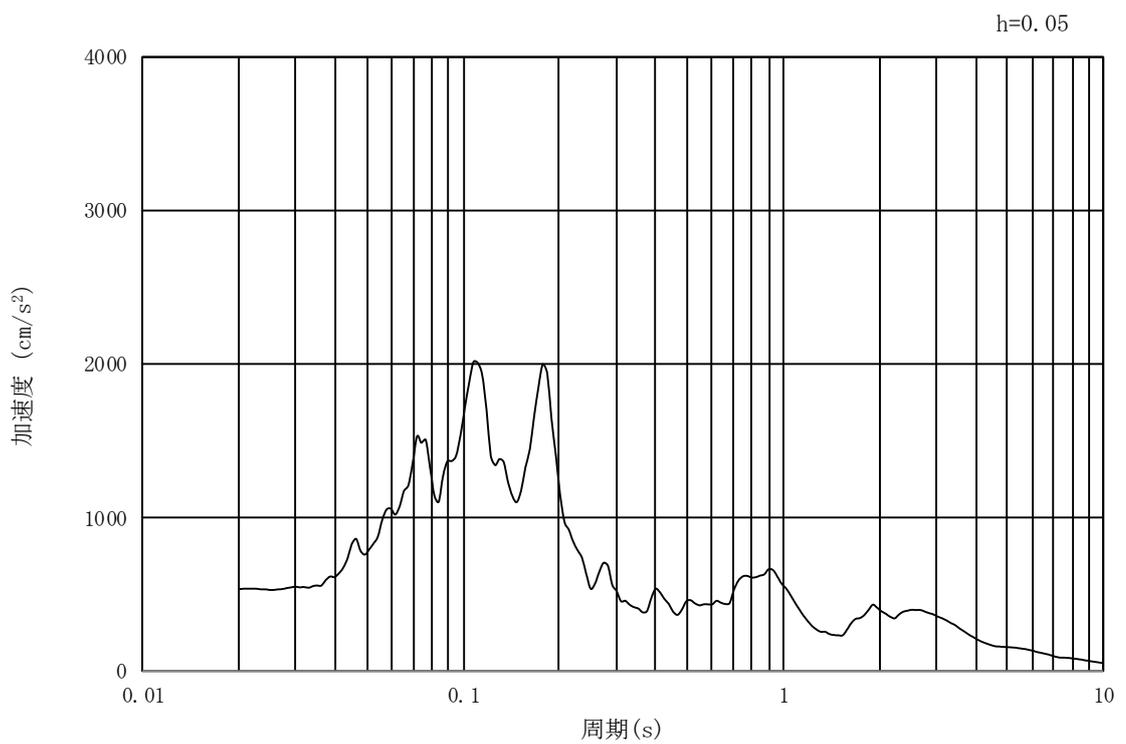


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 1.2$)

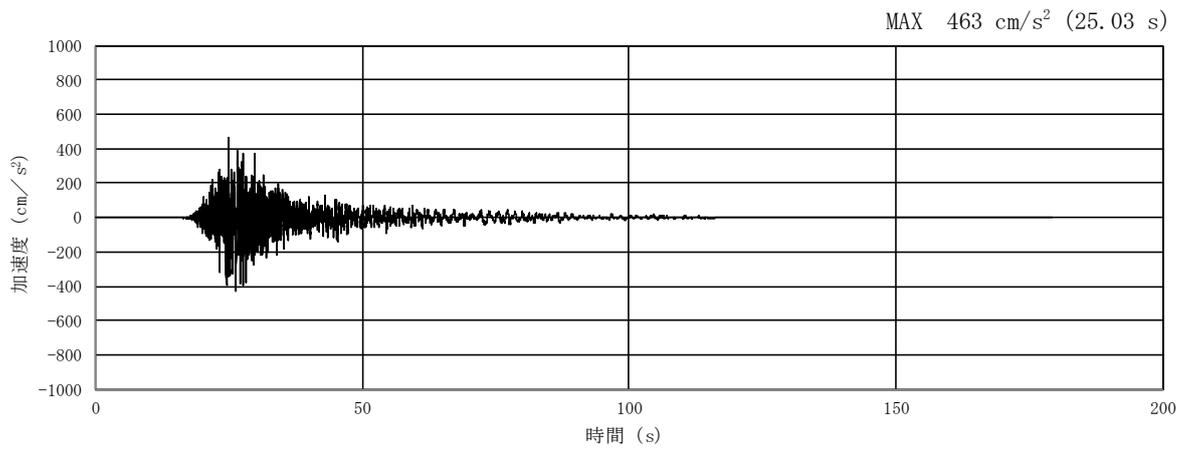


(a) 加速度時刻歴波形

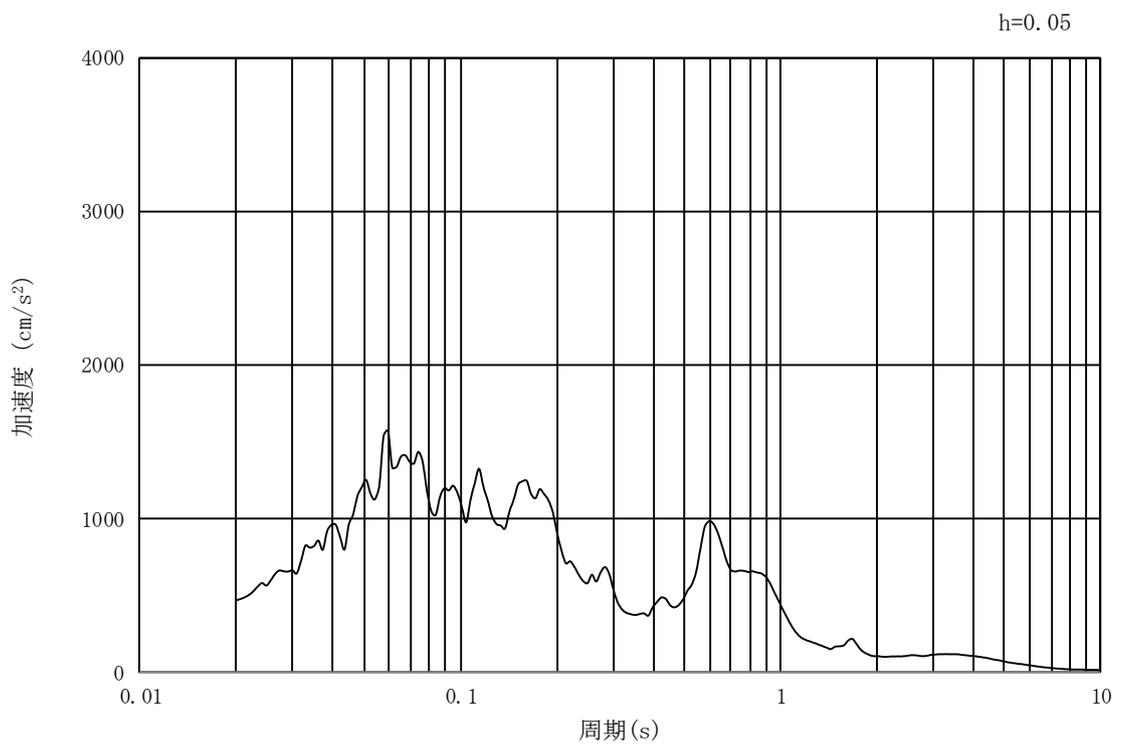


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 1.3$)

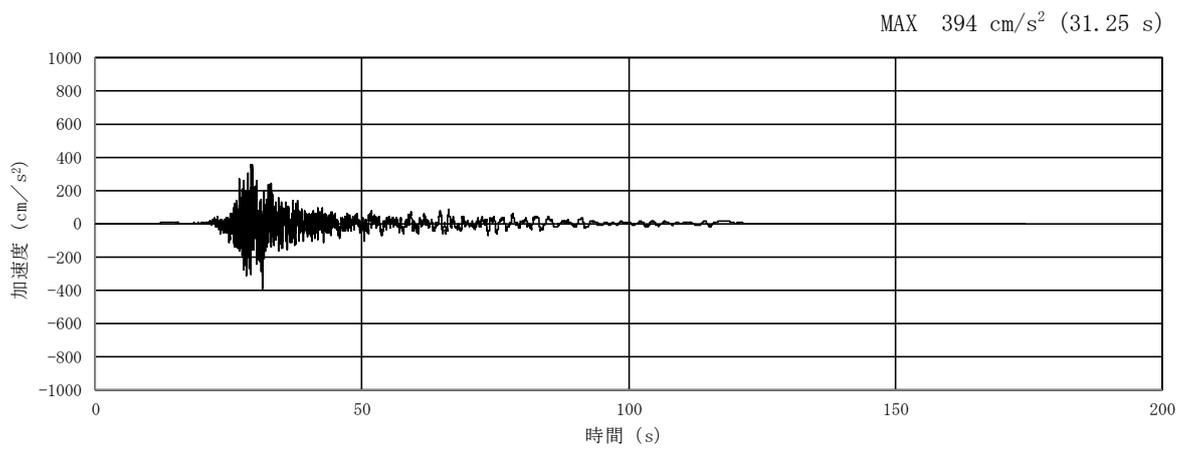


(a) 加速度時刻歴波形

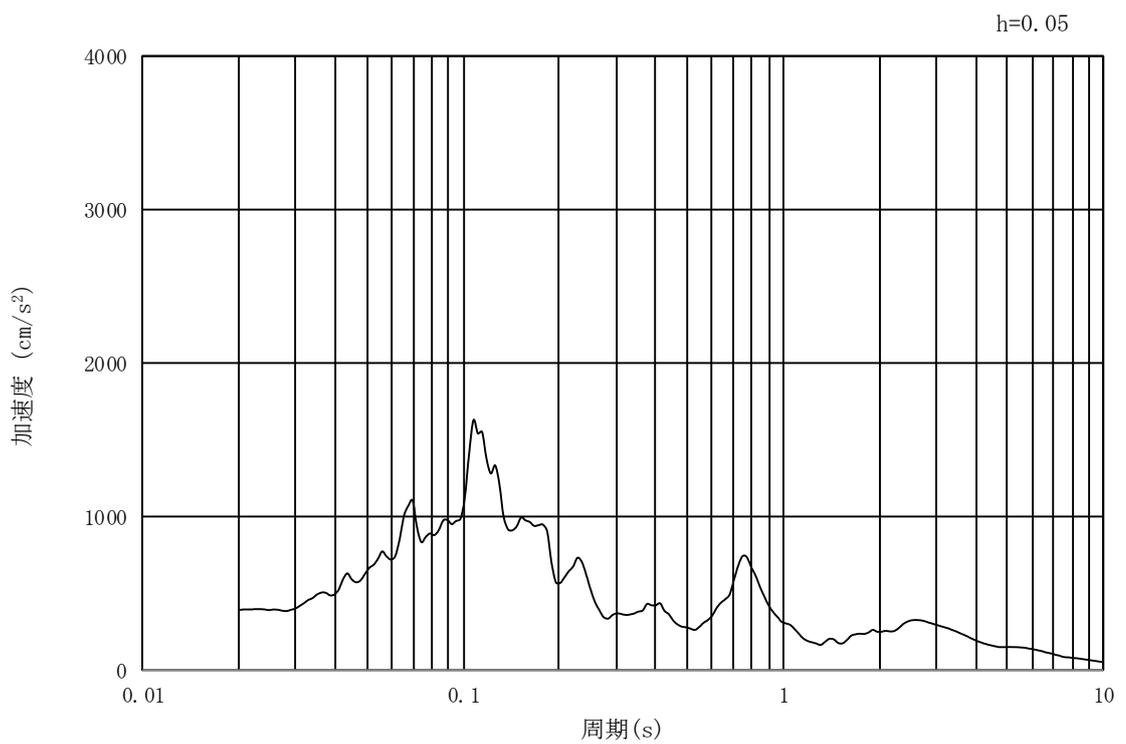


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 13$)

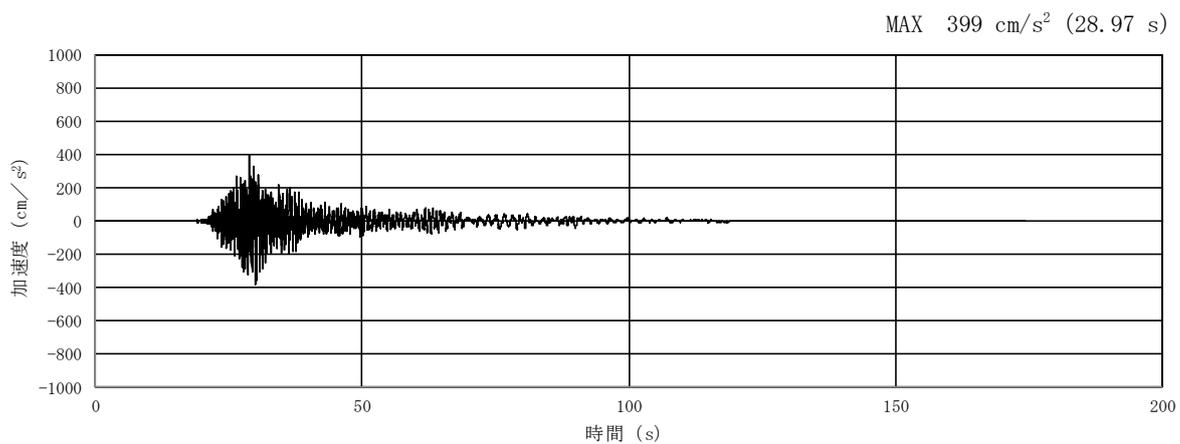


(a) 加速度時刻歴波形

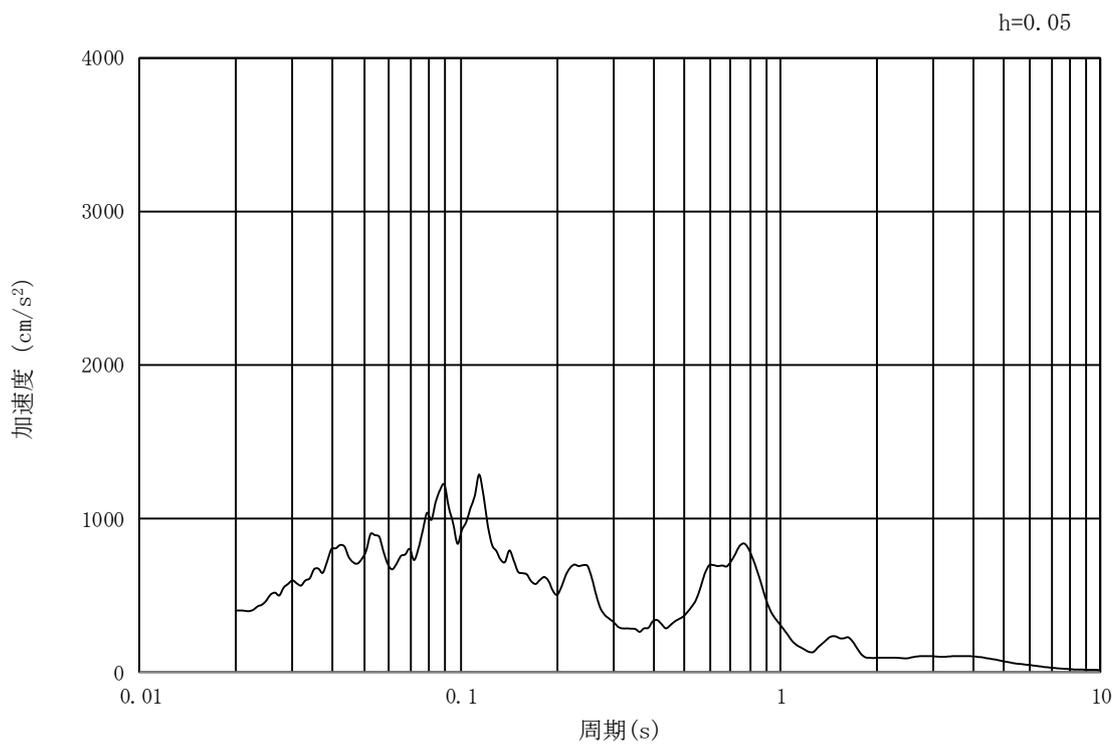


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 1.4$)

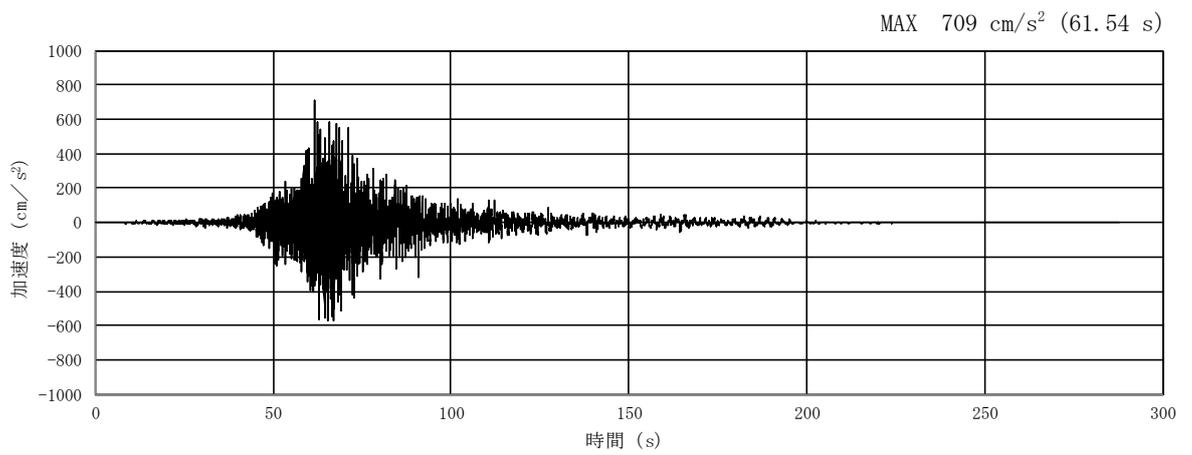


(a) 加速度時刻歴波形

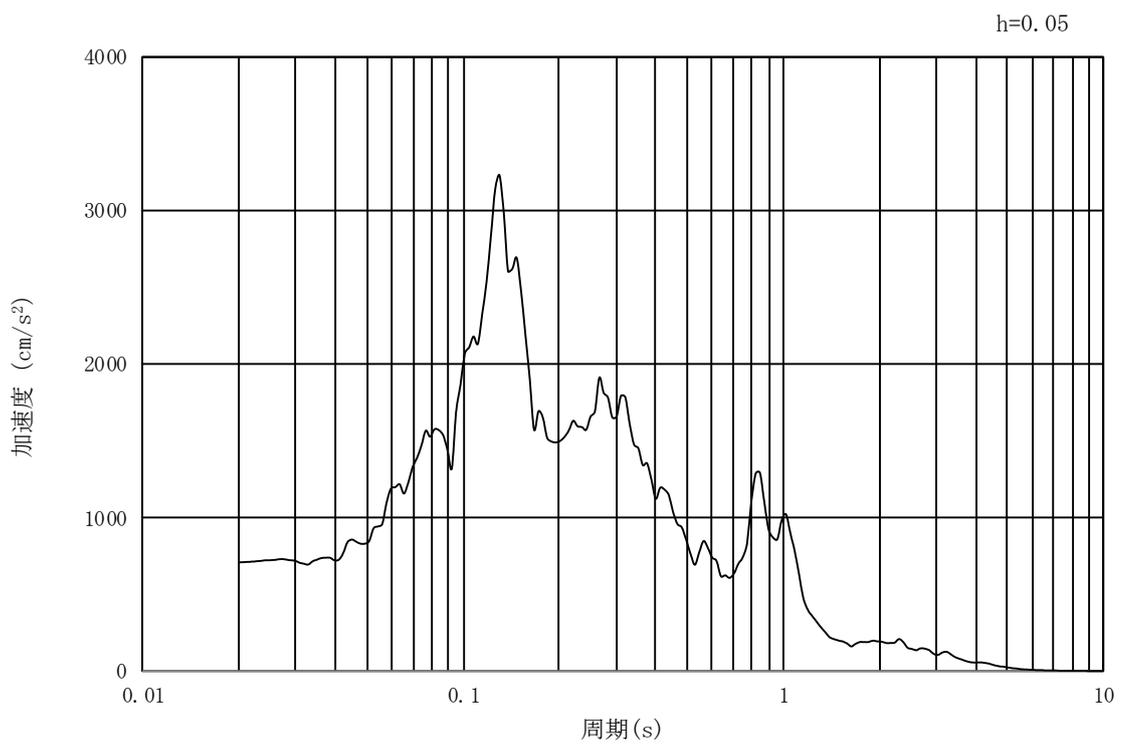


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 1.4$)

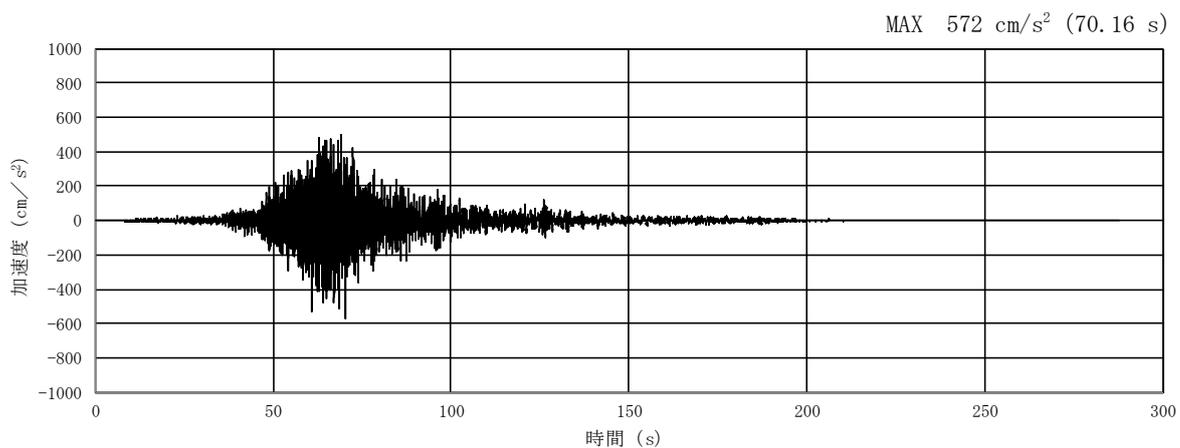


(a) 加速度時刻歴波形

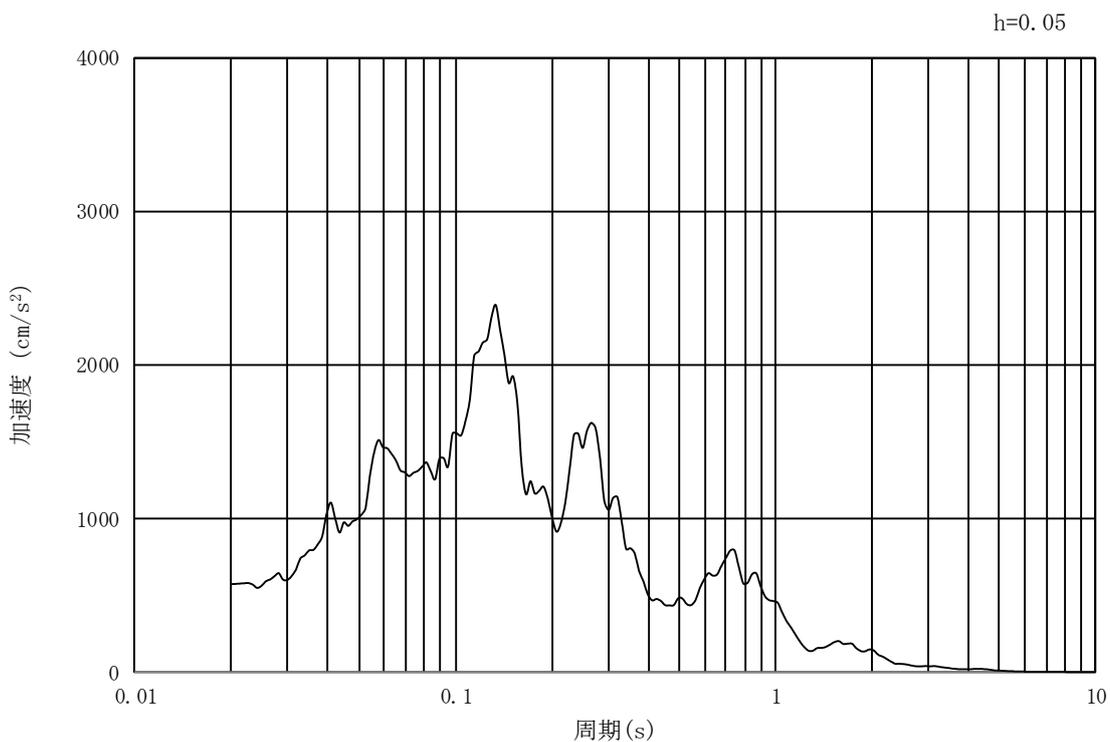


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 21$)

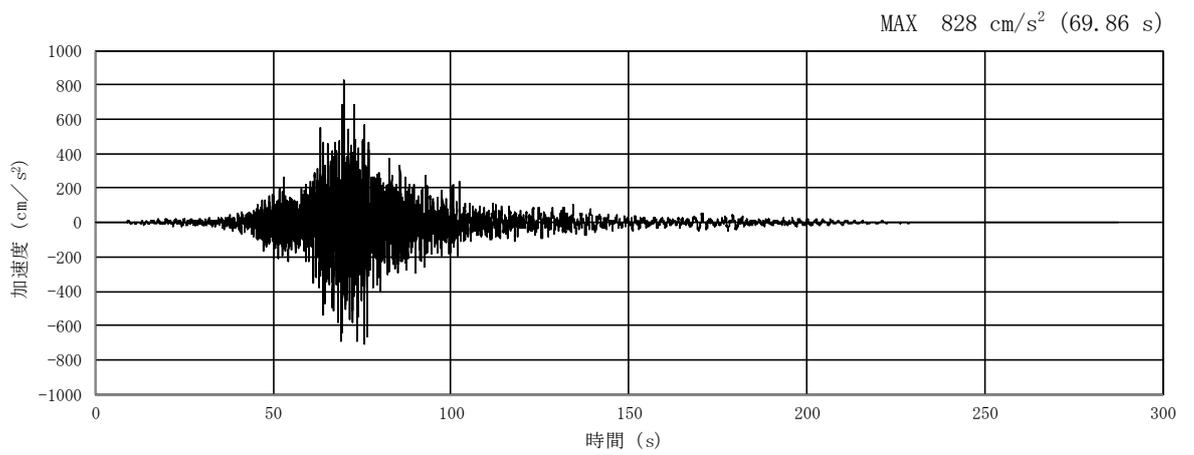


(a) 加速度時刻歴波形

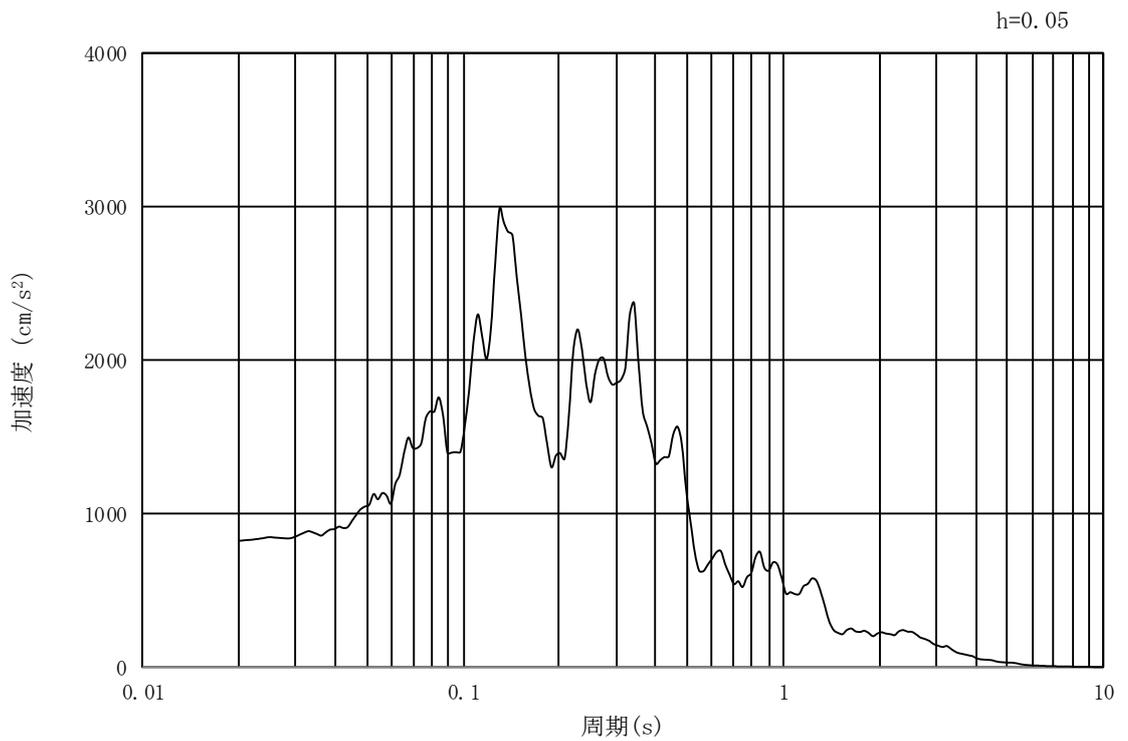


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 21$)

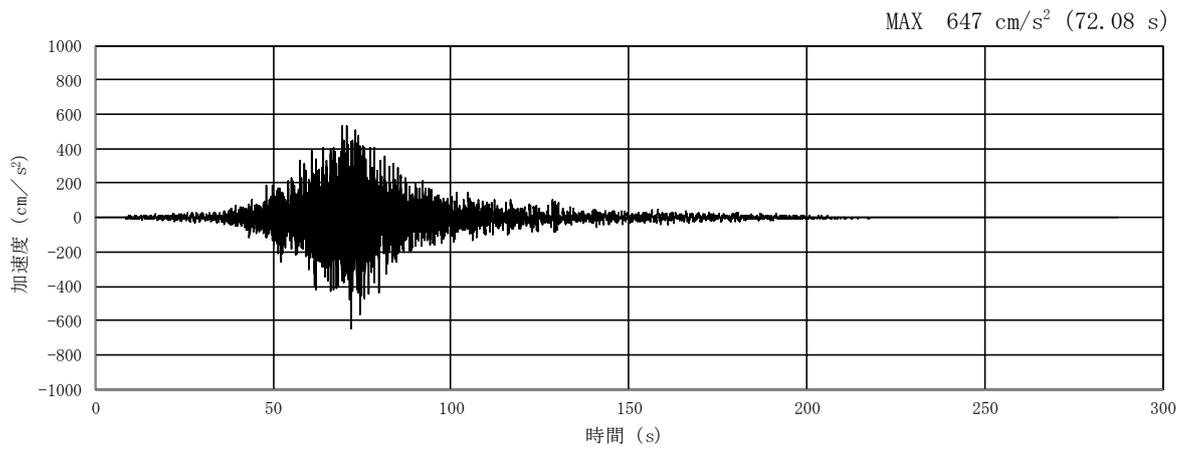


(a) 加速度時刻歴波形

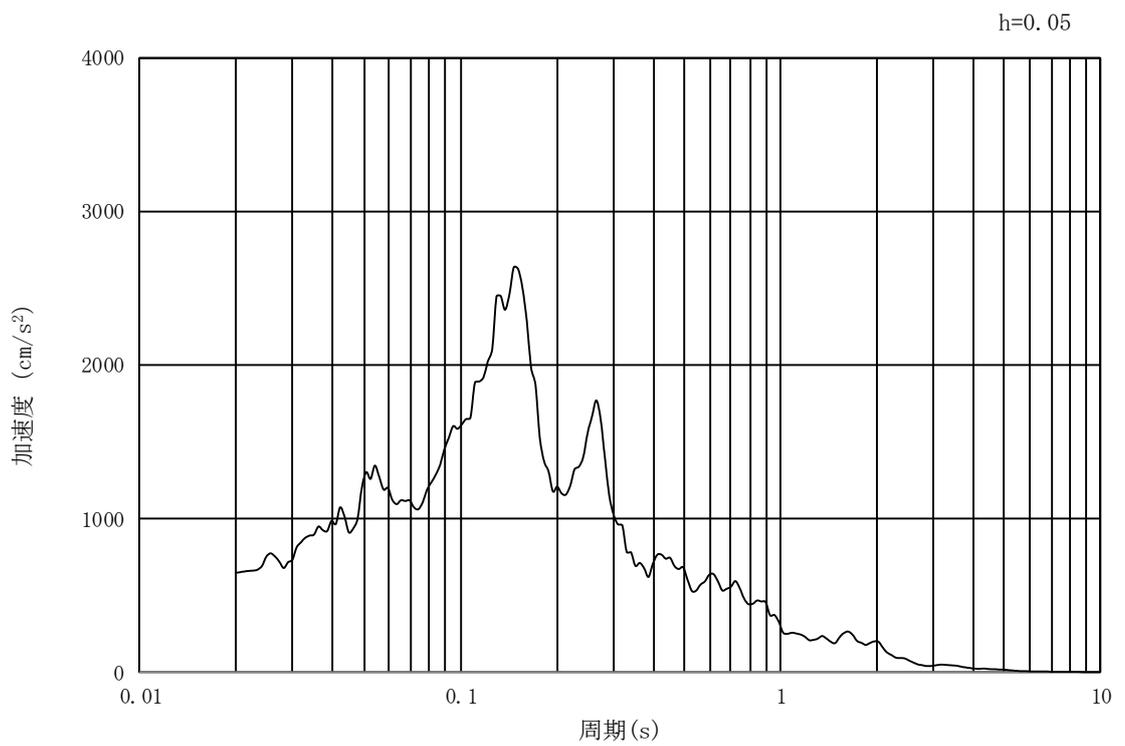


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 水平成分: $S_s - 22$)

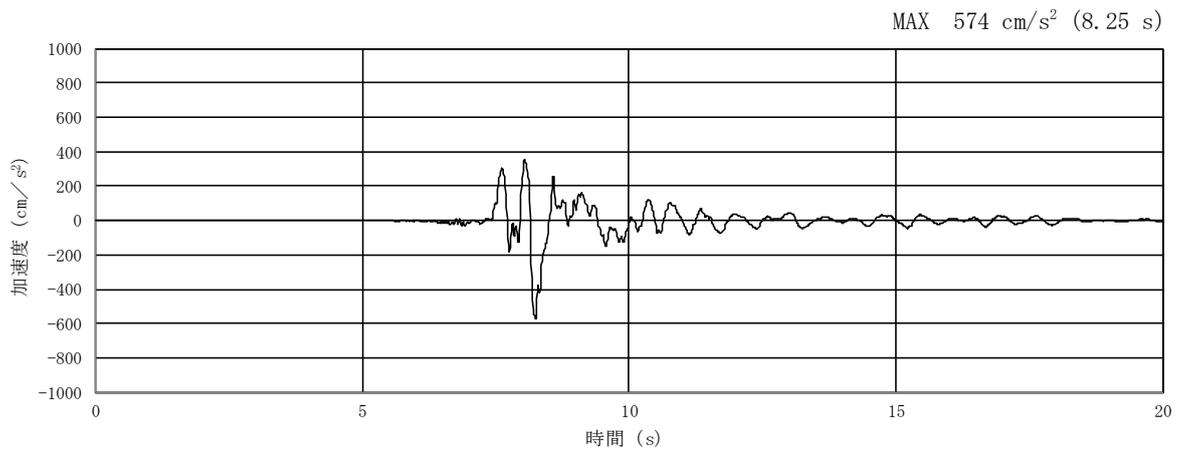


(a) 加速度時刻歴波形

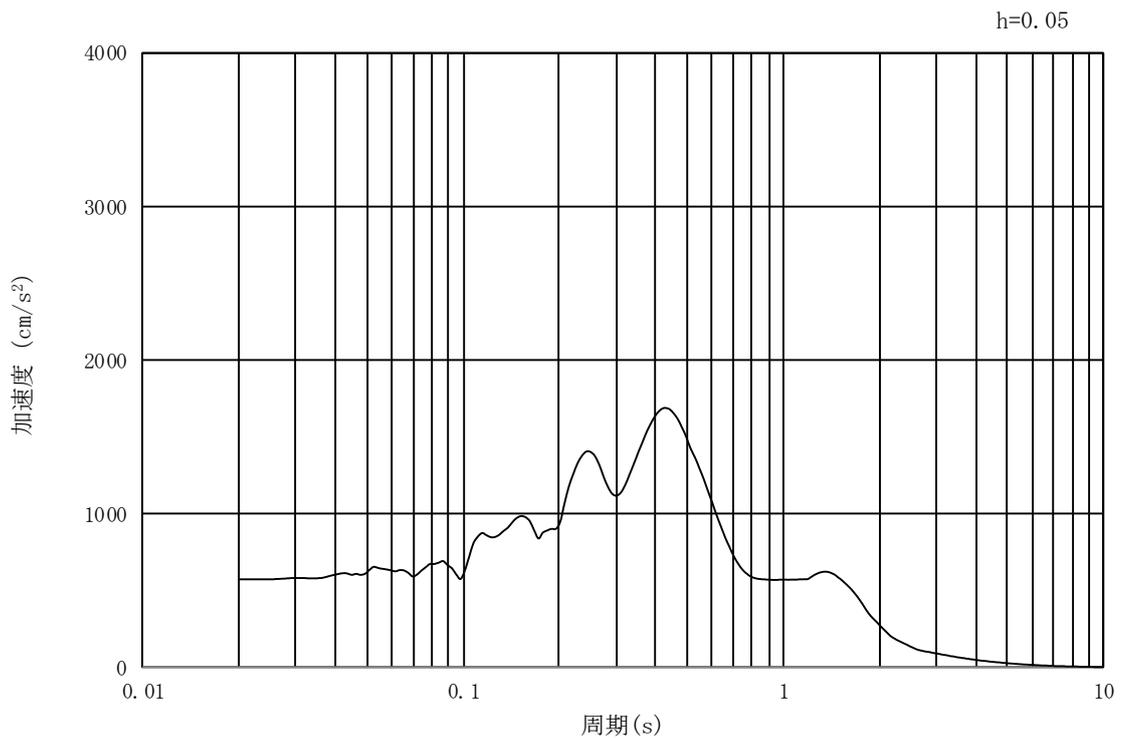


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(横断面方向, 鉛直成分: $S_s - 22$)

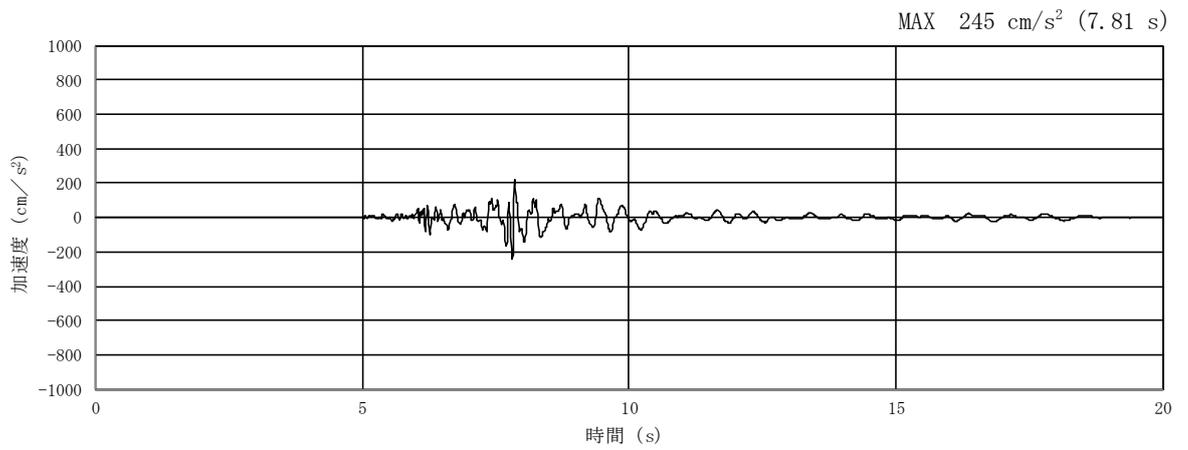


(a) 加速度時刻歴波形

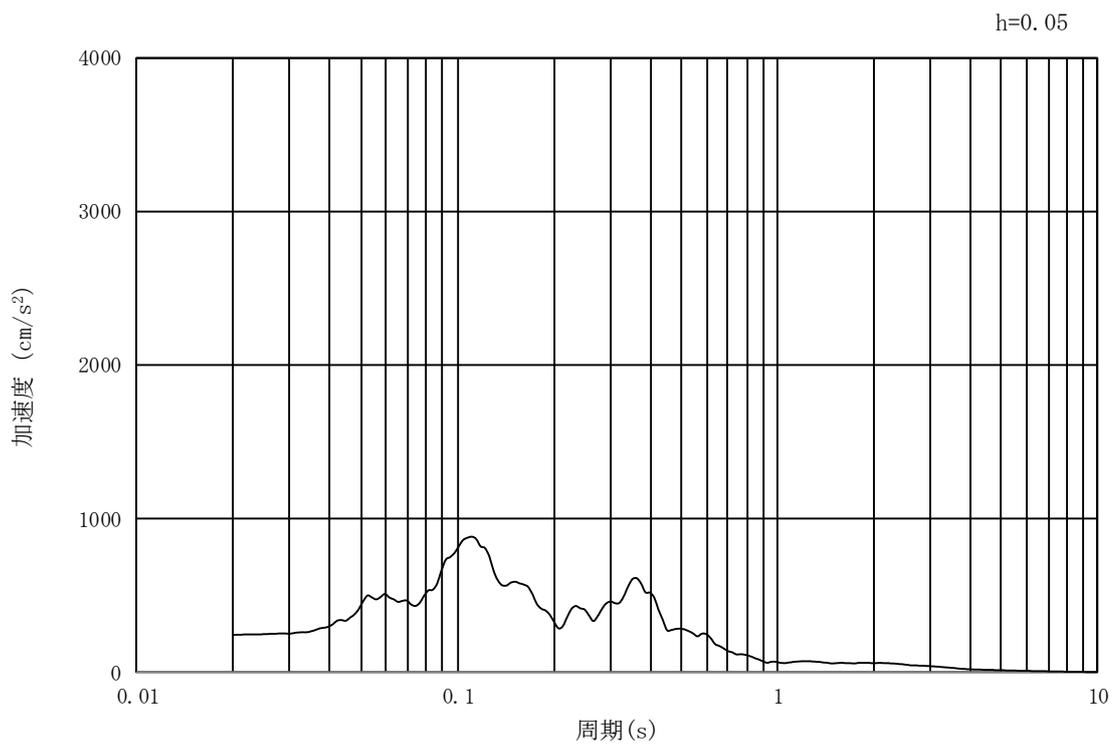


(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分: $S_s - 31$)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 15.3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分： $S_s - 31$)

15.4 縦断面方向応力の評価方法

海水引込み管は、縦断面方向に長大な構造であることを考慮し、縦断面方向の発生応力についても評価する。

縦断面方向応力は、1次元地震応答解析から得られる水平地盤変位を考慮した応答変位法による応力解析にて求める。

埋設された鋼製管路は、地震時に周辺地盤の変形に追従することが知られている。したがって、海水引込み管の縦断面方向の評価においては、図 15.4-1 に示すような水平方向に伝播する地震波（進行方向に対して直角方向に振動する進行波）による周辺地盤の変位を考慮する。

応答変位法による解析には、解析コード「Engineer's Studio ver.6.00.04」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録 53「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

縦断面方向応力の評価フローを図 15.4-2 に示す。

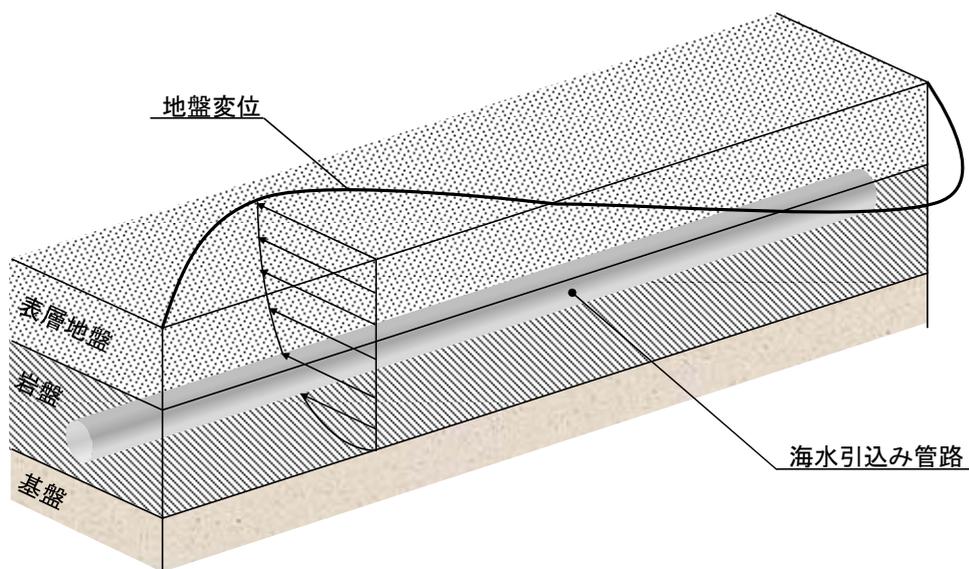


図 15.4-1 縦断面方向の耐震評価イメージ

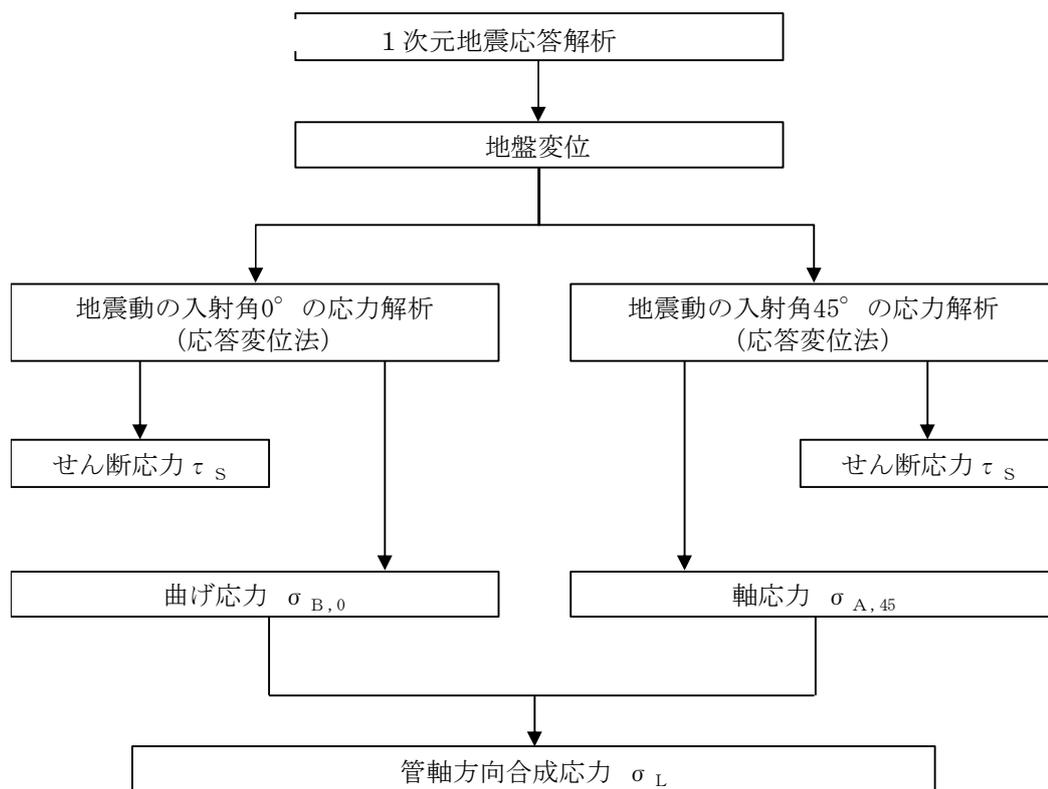


図 15.4-2 縦断面方向応力の評価フロー

15.4.1 縦断面方向の応力解析

縦断面方向の応力解析（応答変位法）の概念図を図 15.4-3 に示す。

同図より、縦断面方向の応力解析においては、地盤に生じる水平変位と地震動の波長の

関係、つまり、地盤ひずみに支配される。

地盤ひずみ $\varepsilon_G(x)$ は、地盤に生じる変位と波長より、次式で与えられる。

$$\varepsilon_G(x) = \frac{dU(x)}{dx} = 2\pi \frac{U_0}{L} \times \cos\left(\frac{2\pi}{L}x + \varphi\right)$$

ここで、

U_0 : 管軸位置の地盤の水平方向最大応答変位 (m)
(応答解析の結果より)

L : 地震動の波長 (m)

x : 地震動に沿った距離 (m)

φ : 地震動の位相 (度)

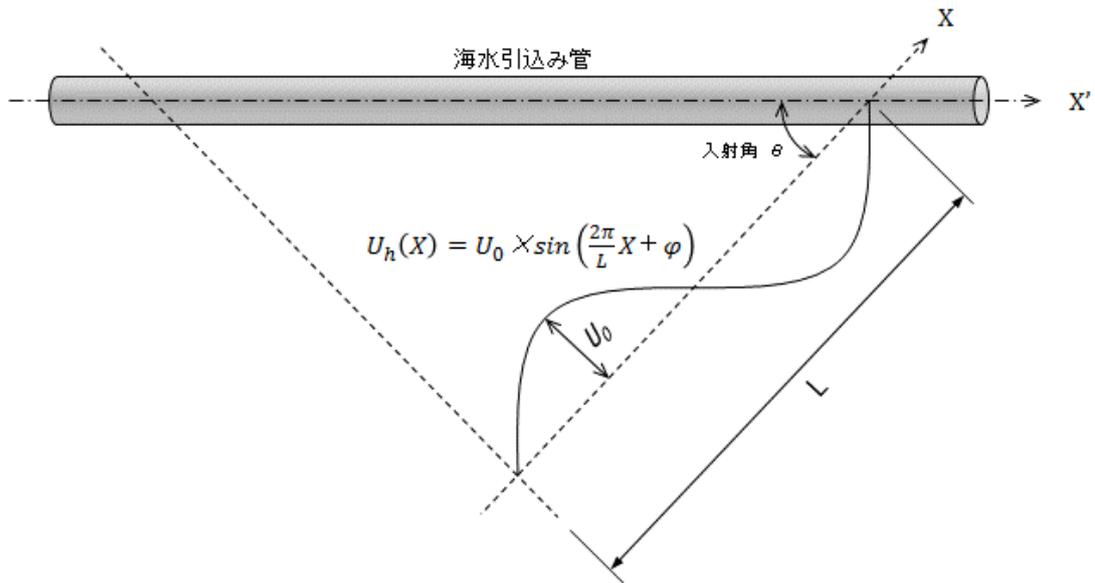
以上より、最大地盤ひずみは、次式で表される。

$$\varepsilon_{Gmax} = 2\pi \frac{U_0}{L}$$

表 15.4-1 に、地震応答解析結果を基に算出した地盤ひずみの最大値を示す。

表 15.4-1 地盤の最大ひずみ (追而)

(平面図)



U_h : 水平変位 (m)

U_0 : 縦断面位置の地盤の水平方向最大応答変位* (m)
(応答解析の結果より)

L : 地震動の波長 (m)

x : 地震動に沿った距離 (m)

ϕ : 地震動の位相 (°)

注記 * : 応力解析における地盤変位は、水道施設耐震工法指針・解説 1997 版
(日本水道協会, 1997) に基づき、縦断面位置の水平変位を用いる。

図 15.4-3 縦断面方向の応力解析の概念図

(1) 縦断面方向の解析モデル

縦断面方向の応力解析モデルを図 15.4-4 に示す。

a. 構造部材

構造部材は、線形はり要素でモデル化する。

b. 境界条件

海水引込み管の両端は SA 用海水ピットと SA 用海水ピット取水塔に可とう管を介して接続されることから、管軸方向及び回転方向自由、管軸直交方向固定とする。可とう管が設置される箇所については自由端とし、回転及び変位を許容することで、可とう管の効果を考慮する。

c. 地盤バネの設定

地盤は、非線形バネ要素でモデル化する。

地盤バネは 1 次元地震応力解析 (FLIP) を行い設定する。管応力にとって厳しくなる地震波を抽出し、その地震波で管深度の相対水平変位最大時刻 t_{max} における地盤の応力状態に着目し以下の手順で地盤反力係数を設定する。なお、地盤バネは、軸方向のせん断バネ及び軸直角方向の直バネを与える。

地盤バネのバネ値に用いる地盤反力係数

$$k_0 = \frac{1}{0.3} \alpha E_s$$

$$E_s = 2(1 + \nu_d) G_s$$

$$G_s = \frac{\tau_s}{\gamma}$$

$$\tau_s = \frac{\gamma}{\frac{1}{G_{ma} \times \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{ma}}\right)^{0.5} + \left| \frac{\gamma}{c \times \cos \phi_{CD} + \sigma'_m \times \sin \phi_{CD}} \right|}}$$

地盤バネの上限値 τ_f , σ_f

$$\text{せん断方向} : \tau_f = c \times \cos \phi_{CD} + \sigma'_m \times \sin \phi_{CD}$$

$$\text{軸直角方向} : \sigma_f = c \times \cos \phi_{CD} + \sigma'_m \times (1 + \sin \phi_{CD})$$

ここで、

- k_0 : 水平方向及び鉛直方向の地盤反力係数, α : 地盤反力係数の換算係数 (=1)
 γ : せん断ひずみ, σ'_m : 平均有効主応力 (kN/m²), E_s : 変形係数 (kN/m²)
 ν_d : 動ポアソン比, G_s : 骨格曲線上の割線剛性 (kN/m²), τ_s : 骨格曲線上のせん断応力 (kN/m²)
 G_{ma} : 基準平均主応力 σ'_{ma} における微小せん断ひずみでの初期せん断剛性 (kN/m²)
 σ'_{ma} : 基準平均有効主応力 (kN/m²)
 τ_f : 時刻 t_{max} における各地盤深度の σ'_m に対応するせん断応力の上限値 (kN/m²)
 σ_f : 時刻 t_{max} における各地盤深度の σ'_m に軸圧縮応力の上限値 (kN/m²)
 c : 粘着力 (kN/m²), ϕ_{CD} : 内部摩擦角 (°)



表 15.4-2 縦断面方向の応力解析に用いる地盤バネ定数 (追而)

地震動	地盤バネ定数 (kN/m ²)	
	せん断バネ (軸方向)	直バネ (軸直方向)

(2) 荷重及び荷重の組合せ

縦断面方向の応力解析にて考慮する荷重は、表 15.3-4 に示したとおり、地震時における動土圧 (地盤変位) のみとし、躯体に作用する慣性力や内水圧等は、横断面方向応力の評価にて考慮する。

(3) 入力地盤変位

応力解析モデルに入力する地盤変位は、1次元地震応力解析 (FLIP) 結果から得られる地盤変位のうち、海水引込み管の最深部中心標高に対する S A用海水ピット取水塔、S A用海水ピットそれぞれの接続標高における最大水平相対変位及び地震動の波長を考慮して以下の式で与える。最大水平相対変位の算定概念図を図 15.4-5 に示す。

$$U_h(x) = U_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{L}x + \phi\right)$$

ここで、

- U_h : 地盤変位 (m)
- Q_u : 1次元地震応力解析における海水引込み管最深部標高に対する接続標高での最大水平相対変位 (m)
- L : 地震動の波長 (m)
- x : 地震動に沿った距離 (m)
- ϕ : 地震動の位相 (°)

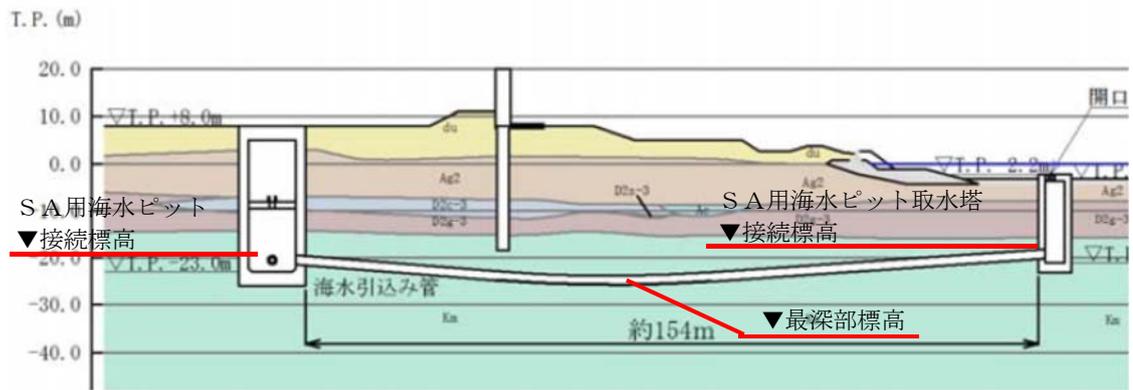


図 15.4-5 最大水平相対変位の算定概念図

ここで、縦断面方向の応力解析にて海水引込み管に発生する応力は、地震動（地盤変位）の入射角 θ により発生値が変化する。表 15.4-3 に示すとおり、入射角 0° で曲げ応力、入射角 45° で軸応力が最大となることから、地震動の入射角は、 0° 及び 45° とする。

なお、保守側の評価となるよう地盤の変位振幅が最大となる地震動の値を用いて設定する。図 15.4-6 に、入射角 0° の場合と入射角 45° の場合の入力地盤変位 U_h を示す。

表 15.4-3 縦断面方向応力解析における地震動の入射角と発生応力の関係

地震動の入射角 θ	応力発生イメージ	備考
0°	<p>—地盤変位 ←管直荷重</p>	<p>地震動の入射角が 0° の場合、管路と直交方向の地盤変位が最大となるため、管路に発生する曲げ応力が最大となる。なお、軸方向の応力は発生しない。</p>
45°	<p>—地盤変位 ←管直荷重 ←管軸荷重</p>	<p>地震動の入射角が 45° の場合、管路と平行方向の地盤変位が最大となるため、管路に発生する軸応力が最大となる。なお、曲げ応力も発生するが、0°入射の場合よりも小さい。</p>

図 15.4-6 入力地盤変位 (追而)

(4) 縦断面方向応力の合成

縦断面方向応力は、入射角 0° の場合の応力と入射角 45° の場合の応力を次式にて合成したものとする。

$$\sigma_L = \sqrt{3.12 \times (\sigma_{A,45})^2 + (\sigma_{B,0})^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

σ_L : 管軸方向合成応力

$\sigma_{A,45}$: 入射角 45° の場合の軸方向応力 (軸応力)

$\sigma_{B,0}$: 入射角 0° の場合の軸方向応力 (曲げ応力)

図 15.4-7 は、水平及び鉛直面内の波動が、縦断面(y 軸) 方向に対して入射角 θ で入射した場合のイメージ図である。

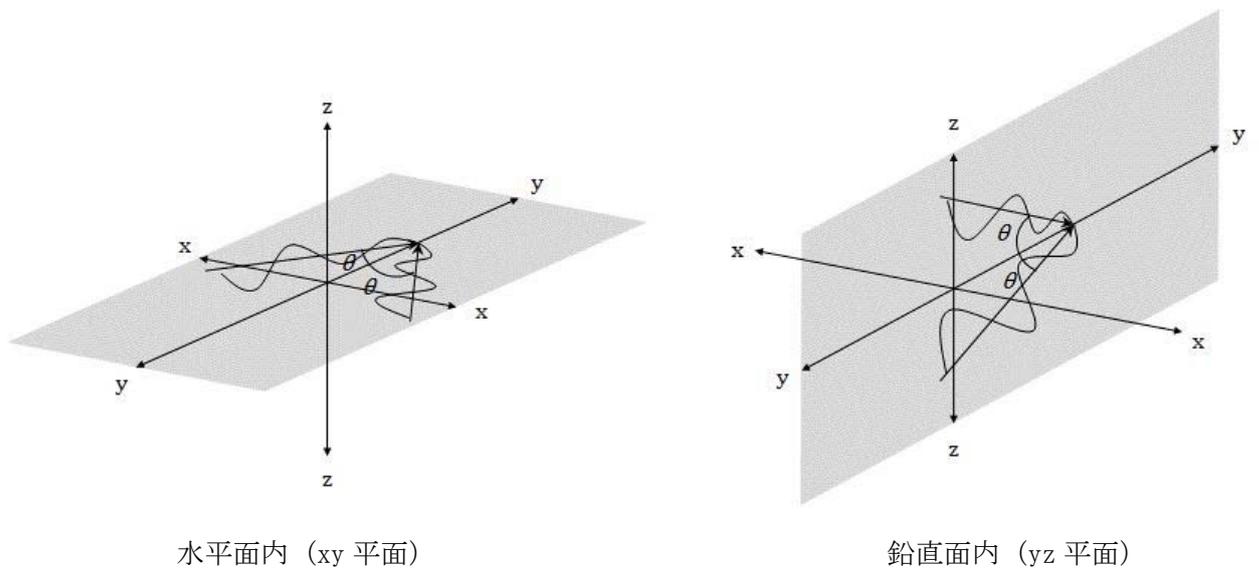


図 15.4-7 水平及び鉛直面内における入射角 θ のイメージ図

応力が最大となる入射角は、それぞれ軸応力：45°，曲げ応力：0°であることから、各々が最大となる入射角を考慮した重ね合わせを行う。

軸応力が最大となる $\theta = 45^\circ$ の傾きを持つ波動（水平及び鉛直面内で y 軸に対して線対称の波動：4 波）及び曲げ応力が最大となる $\theta = 0^\circ$ の傾きを持つ水平面内波動の計 5 波が入射した場合の合成応力 σ_e を、二乗和平方根で均等化したものを、次式で表す。

$$\sigma_e = \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2}$$

ここで、

γ : 波動成分による重畳係数 ($1.00 \leq \gamma \leq 3.12$)

σ_L : 軸応力

σ_B : 曲げ応力

上式における重畳係数は、波動成分によって 1.00～3.12 の値をとる。上述の 5 波を考慮した場合、鉛直面内で入射する波動による応力は、水平面内で入射する波動による応力の 75% として、次式で表すことができる。

$$\begin{aligned}\sigma_e &= \sqrt{2(1.0^2 + 0.75^2) \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} \\ &= \sqrt{3.12 \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2}\end{aligned}$$

つまり、式(1)で求まる縦断面方向応力には、周辺地盤の最大水平変位による影響に加え、最大水平変位の 75% の振幅を持つ鉛直地盤変位についても考慮されている。

15.5 評価結果

15.5.1 地震応答解析結果

海水引込み管の標準断面図を図 15.5-1 に示す。

海水引込み管の基準地震動 S_s による応力分布図を図 15.5-2 及び図 15.5-3 に示す。これらの図は構造部材の曲げ及びせん断照査結果が最も厳しくなる時刻における断面力を示したものである。

また、最大せん断ひずみ分布図を図 15.5-4 に示し、過剰間隙水圧比の分布図を図 15.5-5 に示す。これらの図は、各要素に発生したせん断ひずみ及び過剰間隙水圧比の全時刻における最大値の分布を示したものである。

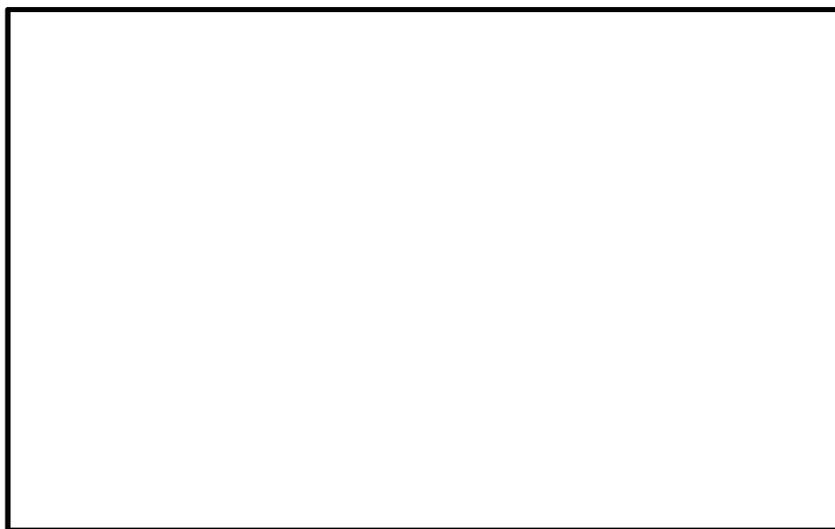


図 15.5-1 海水引込み管 標準断面図

図 15.5-2 (1) 横断方向断面の地震時断面力 ($S_s-D 1 [H+, V+]$)

図 15.5-2 (2) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H+, V-]$)

図 15.5-2 (3) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H-, V+]$)

図 15.5-2 (4) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H-, V-]$)

図 15.5-2 (5) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-1 1$)

図 15.5-2 (6) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-1 2$)

図 15.5-2 (7) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-1 3$)

図 15.5-2 (8) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-1 4$)

図 15.5-2 (9) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-2 1$)

図 15.5-2 (10) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-2 2$)

図 15.5-2 (11) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-3 1 [H+, V+]$)

図 15.5-2 (12) 横断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-3 1 [H-, V+]$)

- 図 15.5-3 (1) 縦断方向断面の地震時断面力 ($S_s-D 1 [H+, V+]$)
- 図 15.5-3 (2) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H+, V-]$)
- 図 15.5-3 (3) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H-, V+]$)
- 図 15.5-3 (4) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-D 1 [H-, V-]$)
- 図 15.5-3 (5) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-1 1$)
- 図 15.5-3 (6) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-1 2$)
- 図 15.5-3 (7) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-1 3$)
- 図 15.5-3 (8) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-1 4$)
- 図 15.5-3 (9) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-2 1$)
- 図 15.5-3 (10) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-2 2$)
- 図 15.5-3 (11) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-3 1 [H+, V+]$)
- 図 15.5-3 (12) 縦断方向断面の地震時応力分布図 ($S_s-3 1 [H-, V+]$)

- 図 15.5-4 (1) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1$ [(H+, V+)])
- 図 15.5-4 (2) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1$ [(H+, V-)])
- 図 15.5-4 (3) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1$ [(H-, V+)])
- 図 15.5-4 (4) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - D 1$ [(H-, V-)])
- 図 15.5-4 (5) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)
- 図 15.5-4 (6) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 2$)
- 図 15.5-4 (7) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 3$)
- 図 15.5-4 (8) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 4$)
- 図 15.5-4 (9) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 1$)
- 図 15.5-4 (10) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 2 2$)
- 図 15.5-4 (11) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1$ [(H+, V+)])
- 図 15.5-4 (12) 横断方向断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 3 1$ [(H-, V+)])

図 15.5-5 (1) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)

図 15.5-5 (2) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)

図 15.5-5 (3) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)

図 15.5-5 (4) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)

図 15.5-5 (5) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 1$)

図 15.5-5 (6) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 2$)

図 15.5-5 (7) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 3$)

図 15.5-5 (8) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 4$)

図 15.5-5 (9) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 1$)

図 15.5-5 (10) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 2 2$)

図 15.5-5 (11) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)

図 15.5-5 (12) 横断方向断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

15.5.2 耐震評価結果

(1) 構造部材の横断方向の曲げに対する評価結果

鋼材の照査結果を表 15.5-1 に示す。

海水引込み管における許容応力度法による照査を行った結果、評価位置において応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力度は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上のことから、海水引込み管の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

「追而」

表 15.5-1 鋼材の曲げ照査結果（横断方向）

地震動	位相	板厚 (mm)	①照査用応力度 (N/mm ²)	②短期許容応力度 (N/mm ²)	照査値 ①/②
S _s -D1	[H+, V+]				
	[H+, V-]				
	[H-, V+]				
	[H-, V-]				
S _s -11	-				
S _s -12	-				
S _s -13	-				
S _s -14	-				
S _s -21	-				
S _s -22	-				
S _s -31	[H+, V+]				
	[H-, V+]				

※1 評価位置は下図に示す

(2) 構造部材の横断方向のせん断に対する評価結果

せん断に対する照査結果を表 15.5-2 に示す。

海水引込み管におけるにおける許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力度及び発生断面力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上のことから、海水引込み管の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

「追而」

表 15.5-2 せん断照査結果（横断方向）

地震動	位相	板厚 (mm)	①照査用応力度 (N/mm ²)	②短期許容応力度 (N/mm ²)	照査値 ①/②
S _s -D1	[H+, V+]				
	[H+, V-]				
	[H-, V+]				
	[H-, V-]				
S _s -11	-				
S _s -12	-				
S _s -13	-				
S _s -14	-				
S _s -21	-				
S _s -22	-				
S _s -31	[H+, V+]				
	[H-, V+]				

注記 * : 評価位置は下図に示す

(3) 構造部材の合成応力に対する評価結果

海水引込み管の発生応力は、横断方向応力と縦断応力を以下の式にて組み合わせる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_C^2 + \sigma_L \sigma_C + 3\tau_S^2}$$

ここで、

- σ : 合成応力 (N/mm²)
- σ_C : 管周方向曲げ応力 (N/mm²)
- τ_S : 管軸方向せん断応力 (N/mm²)

海水引込み管の曲げ評価結果を表 15.5-3 に示す。

同表より、海水引込み管に生じる曲げ応力が許容限界以下であることを確認した。

「追而」

表 15.5-3 合成応力の評価結果

地震動	位相	管周方向	管軸方向		合成応力 σ (N/mm ²)	許容限界 σ_a (N/mm ²)	σ/σ_a
		曲げ応力 $*\sigma_C$ (N/mm ²)	合成応力 σ_L (N/mm ²)	せん断応力 τ_S (N/mm ²)			
S s - D 1	[H+, V+]						
	[H+, V-]						
	[H-, V+]						
	[H-, V-]						
S s - 1 1	-						
S s - 1 2	-						
S s - 1 3	-						
S s - 1 4	-						
S s - 2 1	-						
S s - 2 2	-						
S s - 3 1	[H+, V+]						
	[H-, V+]						

注記 * : 地震応答解析による曲げ応力に内圧による管周方向応力を考慮したもの

(4) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

表 15.5-4 に基礎地盤の支持性能評価結果を，図 15.5-6 に接地圧分布図を示す。

海水引込み管の接地圧は $S_s - D 1$ [H+, V+] (横断方向) で $\bigcirc\bigcirc \text{ kN/m}^2$ であり，基礎地盤の極限支持力 $\Delta\Delta \text{ kN/m}^2$ 以下である。

以上のことから，海水引込み管の基礎地盤は，基準地震動 S_s に対し，支持性能を有することを確認した。

「追而」

表 15.5-4 基礎地盤の支持性能評価結果

- 図 15.5-6 (1) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - D 1 [H+, V+]$)
- 図 15.5-6 (2) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - D 1 [H+, V-]$)
- 図 15.5-6 (3) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - D 1 [H-, V+]$)
- 図 15.5-6 (4) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - D 1 [H-, V-]$)
- 図 15.5-6 (5) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - 1 1$)
- 図 15.5-6 (6) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - 1 2$)
- 図 15.5-6 (7) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - 1 3$)
- 図 15.5-6 (8) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - 1 4$)
- 図 15.5-6 (9) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - 2 1$)
- 図 15.5-6 (10) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - 2 2$)
- 図 15.5-6 (11) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - 3 1 [H+, V+]$)
- 図 15.5-6 (12) 横断方向の接地圧分布図 ($S_s - 3 1 [H-, V+]$)

15.6 まとめ

海水引込み管について、基準地震動 S_s による地震力に対し、構造物の曲げ及びせん断並びに接地圧が許容限界以下であることを確認した。

以上のことから、海水引込み管は、基準地震動 S_s による地震力に対して、要求機能を維持できる。

17. 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価

目次

17.1 評価方法	2
17.2 評価条件	2
17.2.1 適用基準	2
17.2.2 耐震安全性評価フロー	4
17.2.3 評価対象断面の方向	5
17.2.4 評価対象断面の選定	7
17.2.5 使用材料及び材料定数	10
17.2.6 地下水位	13
17.2.7 地震応答解析手法	13
17.2.8 解析モデルの設定	14
17.2.9 減衰定数	23
17.2.10 荷重の組合せ	25
17.2.11 地震応答解析の検討ケース	27
17.3 評価内容	29
17.3.1 入力地震動の設定	29
17.3.2 許容限界の設定	58
17.4 評価結果	61
17.4.1 地震応答解析結果	61
17.4.2 耐震評価結果	61
17.5 まとめ	62

17.1 評価方法

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎は、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンクを間接支持する鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、内空幅9 m（タンク軸方向）×約5 m（タンク横断方向）、内空高さ約6 mである。また、杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎について基準地震動 S_s による耐震安全性評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び地盤の支持性能評価を実施する。

構造部材の曲げ、せん断評価については地震応答解析に基づく発生応力又は発生せん断力が許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく接地圧が許容限界以下であることを確認する。

17.2 評価条件

17.2.1 適用基準

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震評価に当たっては、原子力発電所耐震設計技術指針J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会、2002年制定）を適応するが、鉄筋コンクリートの曲げ及びせん断の許容限界については、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成24年3月）、鋼管杭は道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）を適応する。

表 17.2-1 に適用する規格、基準類を示す。

表 17.2-1 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定）	—
荷重及び荷重の組合せ	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定）	・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定） ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（平成24年3月） ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（平成14年3月） ・J E A G 4 6 0 1 -1987 	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げに対する照査は，発生応力が，許容応力以下であることを確認 ・せん断に対する照査は，発生応力又は発生せん断力が，許容限界以下であることを確認
地震応答解析	・J E A G 4 6 0 1 -1987	・有限要素法による2次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

17.2.2 耐震安全性評価フロー

図 17.2-1 に緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価フローを示す。

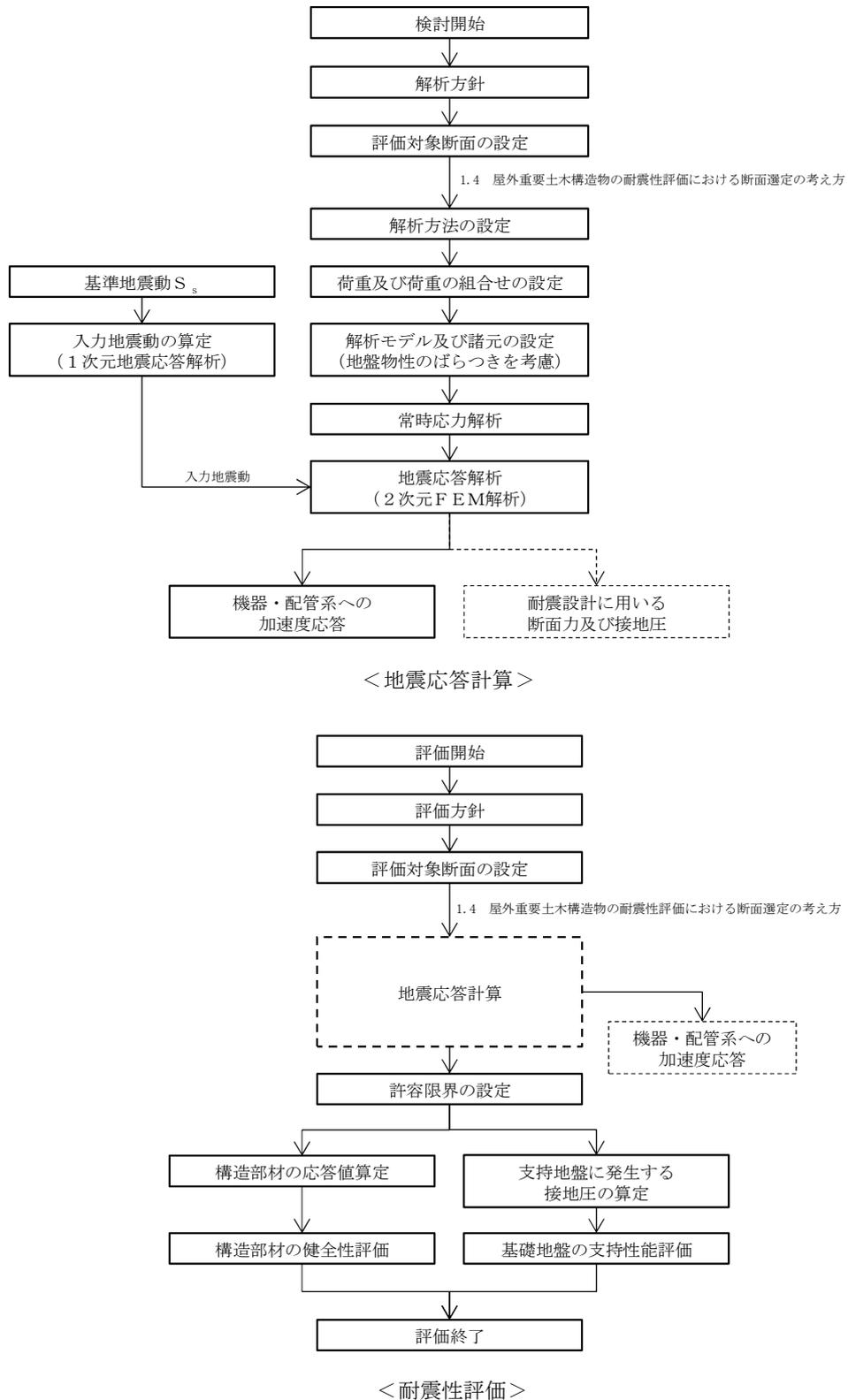


図 17.2-1 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価フロー

17.2.3 評価対象断面の方向

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の位置を図 17.2-2 に示す。

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎は、内空幅 9 m (タンク軸方向) × 約 5 m (タンク横断方向)、内空高さ約 6 m の鉄筋コンクリート造である。緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の縦断方向 (東西方向) は加振方向と平行に配置される側壁を耐震設計上見込むことができることから、強軸断面方向となる。一方、横断断面方向 (南北方向) は、タンクを格納するため側壁の離隔が大きく耐震設計上見込めないことから、弱軸断面方向となる。

以上のことから、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震評価では、構造の安定性に支配的な南北方向を評価対象断面の方向とする。

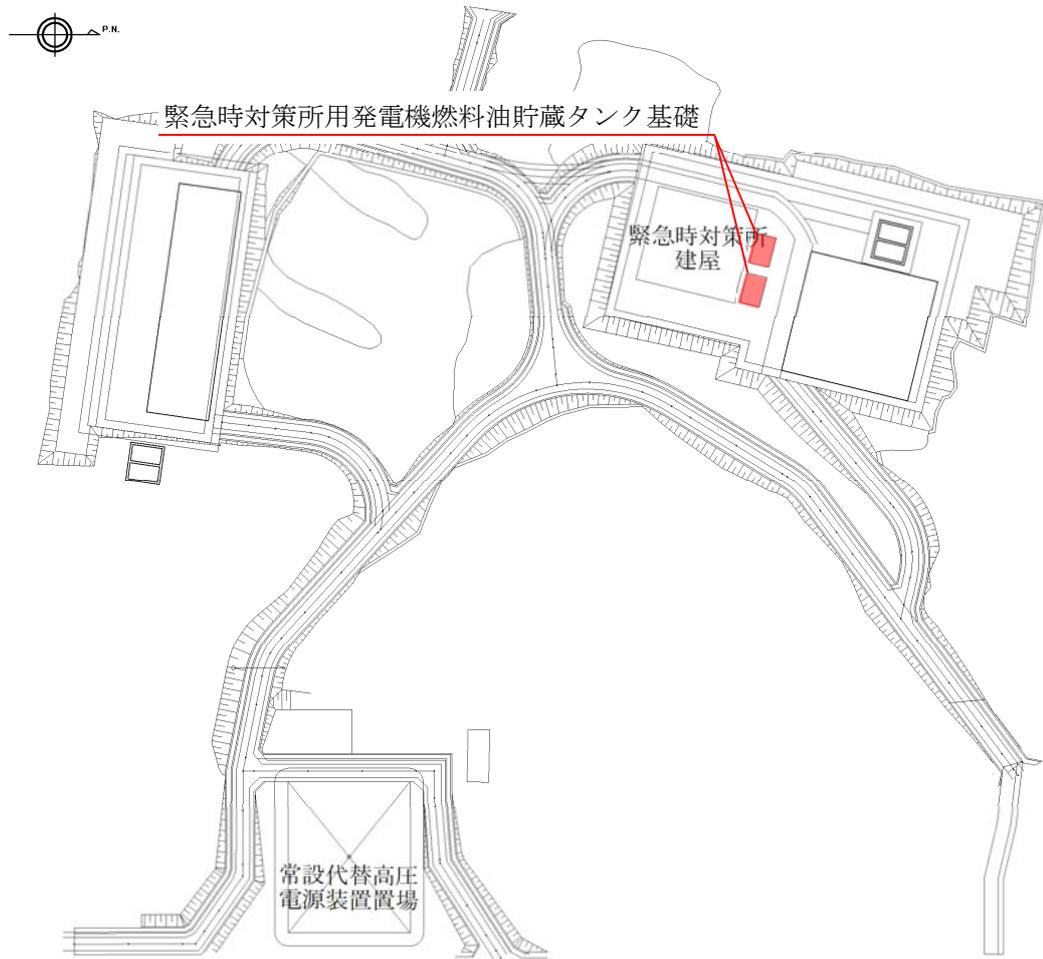


図 17.2-2 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の位置図（全体平面図）

17.2.4 評価対象断面の選定

図 17.2-3 及び図 17.2-4 に緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面位置図及び断面図を示す。

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎は、内空幅 9 m (タンク軸方向) × 約 5 m (タンク横断方向)、内空高さ約 6 m の鉄筋コンクリート造である。

評価対象断面は、「1.4.17 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面選定の考え方」で記載したとおり、第四紀層の液状化検討層の厚さが比較的厚く、構造物の弱軸断面方向である①-①断面を代表として耐震評価を実施する。なお、②-②断面についても、設備の床応答算出の観点から地震応答解析を実施する。

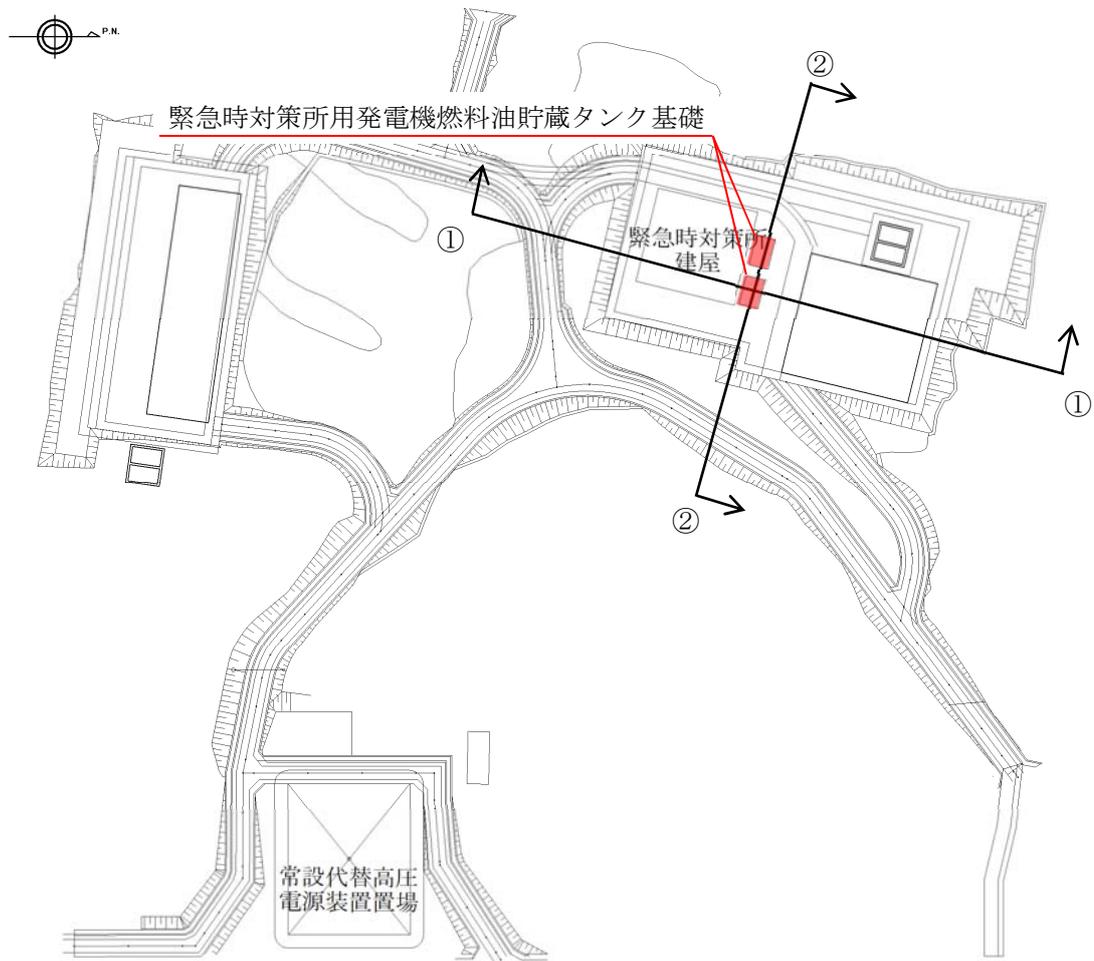
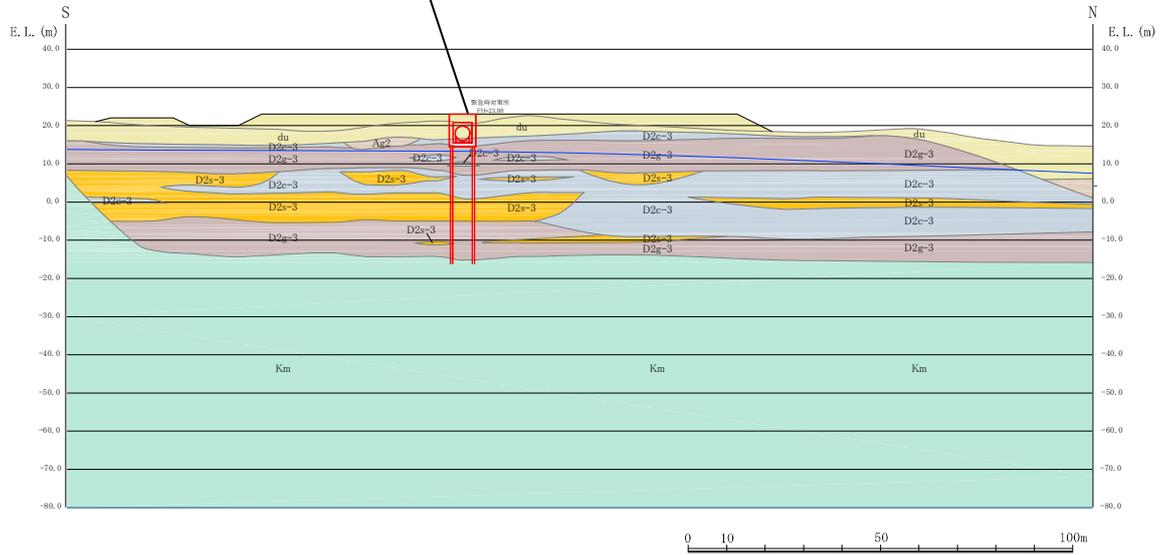


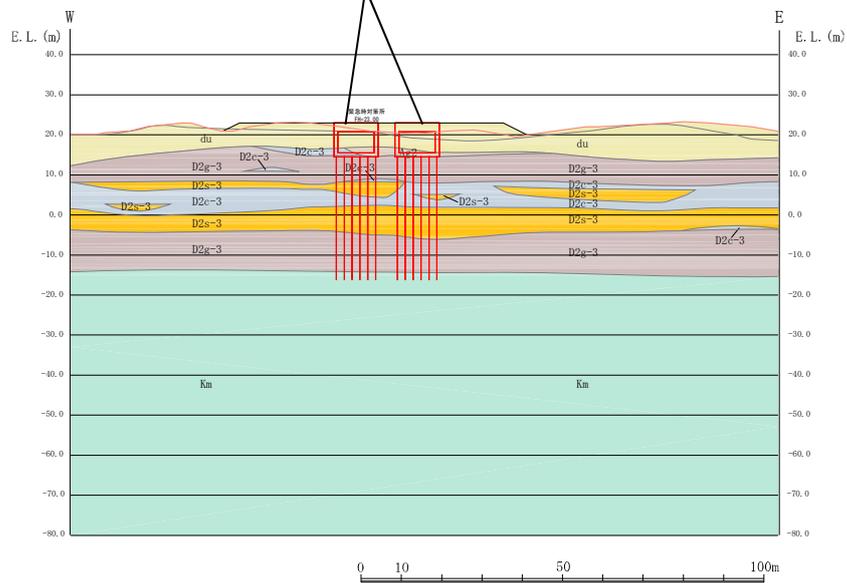
図 17.2-3 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面位置図

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎



(①-①断面)

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎



(②-②断面)

図 17.2-4 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面図

17.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 17.2-2 に、材料物性値を表 17.2-3 に示す。

地盤の諸元は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切にモデル化する。地盤の物性値を表 17.2-4 に示す。

表 17.2-2 使用材料

諸元	
コンクリート	設計基準強度 40 N/mm ²
鉄筋	SD490
鋼管杭	SKK490

表 17.2-3 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.5	3.1×10 ⁴	0.2
鋼管杭	77	2.0×10 ⁵	0.3

表 17.2-4(1) 地盤の解析用物性値一覧（液状化検討対象層）

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系（液状化検討対象層）							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 ()は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 ()は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 ()は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

表 17.2-4 (2) 地盤の解析用物性値一覧（非液状化層）

パラメータ				原地盤				
				第四系（非液状化層）				新第三系
				Ac	D2c-3	1m	D1c-1	Km
物理特性	密度 ()は地下水位以浅	ρ	g/cm ²	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 ()は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z（標高）毎に物性値を 設定
	基準初期せん断剛性 ()は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026	
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 17.2-4 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP(m) Z	適用深度 TP(m)	密度 ρ (g/cm ³)	静ポアソン比 ν^{CD}	粘着力 C_D (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ_{CD} ($^{\circ}$)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G _{ma} (kN/m ²)	基準体積 弾性係数 K _{ma} (kN/m ²)	基準平均有効 主応力 σ'_{ma} (kN/m ²)	拘束圧 依存係数 m ₆ , m ₆	最大履歴 減衰率 h _{max} (-)	動ポアソン比 ν^d	確密波 速度V _p (m/s)	1000*V _p
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326,965	371,843	504	0.0	0.108	0.463	1,661	1,661,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644	1,644,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331,480	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652	1,652,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332,992	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656	1,656,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659	1,659,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663	1,663,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,671	1,671,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654	1,654,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	504	0.0	0.112	0.461	1,662	1,662,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,665	1,665,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348,300	381,471	498	0.0	0.112	0.461	1,673	1,673,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351,403	384,870	498	0.0	0.113	0.461	1,680	1,680,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352,959	386,574	498	0.0	0.113	0.460	1,664	1,664,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356,083	389,996	498	0.0	0.114	0.460	1,672	1,672,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357,650	391,712	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	360,794	395,155	498	0.0	0.115	0.460	1,683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362,371	396,883	498	0.0	0.115	0.459	1,667	1,667,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365,536	400,349	498	0.0	0.115	0.459	1,675	1,675,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367,124	402,088	498	0.0	0.116	0.459	1,678	1,678,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370,309	405,577	498	0.0	0.116	0.459	1,685	1,685,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371,907	407,327	498	0.0	0.117	0.459	1,689	1,689,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375,113	410,838	498	0.0	0.117	0.458	1,678	1,678,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376,721	412,599	498	0.0	0.117	0.458	1,681	1,681,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379,948	416,134	498	0.0	0.118	0.458	1,688	1,688,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385,416	422,122	498	0.0	0.118	0.458	1,696	1,696,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387,051	423,913	498	0.0	0.118	0.458	1,699	1,699,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390,331	427,505	498	0.0	0.118	0.457	1,688	1,688,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391,976	429,307	498	0.0	0.119	0.457	1,692	1,692,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395,277	432,922	498	0.0	0.119	0.457	1,699	1,699,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396,933	434,736	498	0.0	0.120	0.457	1,702	1,702,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400,255	422,491	492	0.0	0.120	0.457	1,709	1,709,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401,921	424,250	492	0.0	0.120	0.456	1,695	1,695,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405,263	427,778	492	0.0	0.120	0.456	1,702	1,702,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406,939	429,547	492	0.0	0.121	0.456	1,705	1,705,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410,302	433,097	492	0.0	0.121	0.456	1,712	1,712,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413,679	436,661	492	0.0	0.121	0.456	1,719	1,719,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415,373	438,449	492	0.0	0.122	0.455	1,705	1,705,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418,771	442,036	492	0.0	0.122	0.455	1,712	1,712,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420,475	443,835	492	0.0	0.122	0.455	1,716	1,716,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423,893	447,443	492	0.0	0.122	0.455	1,723	1,723,000
57	-82	-85 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425,608	449,253	492	0.0	0.123	0.455	1,726	1,726,000
58	-88	-90 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434,232	458,356	492	0.0	0.124	0.454	1,726	1,726,000
59	-92	-95 ~ -90	1.73	0.14	913	14.1	504	439,448	463,862	492	0.0	0.124	0.454	1,736	1,736,000
60	-98	-101 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	448,210	473,111	492	0.0	0.125	0.453	1,736	1,736,000
61	-104	-108 ~ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	455,282	463,485	486	0.0	0.126	0.452	1,733	1,733,000
62	-112	-115 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465,995	474,391	486	0.0	0.127	0.451	1,737	1,737,000
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475,016	483,575	486	0.0	0.127	0.451	1,754	1,754,000
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485,957	494,713	486	0.0	0.128	0.450	1,758	1,758,000

17.2.6 地下水位

地下水位は地表面に設定する。

17.2.7 地震応答解析手法

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。部材については、線形はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデル化とする。地震応答解析については、解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、付録24「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図17.2-5に示す。

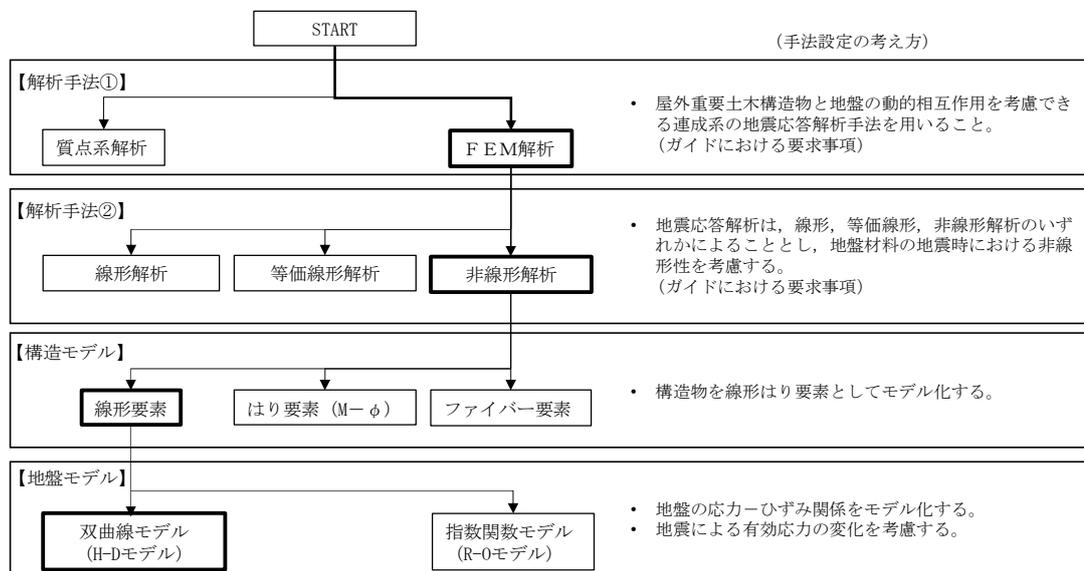


図 17.2-5 地震応答解析手法の選定フロー

H-D モデルの選定理由は次の通りである。すなわち、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた上記の2つの特徴を適切に表現できる双曲線モデル (H-D モデル) を選定する。

17.2.8 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 -1987 を適応し、図 17.2-6 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、モデル高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎周辺の地質断面図を図 17.2-7 に示す。

なお、解析モデルの境界条件は、側方及び底面ともに粘性境界とする。

要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長に対して 5 または 4 分割以上になるように要素高さを設定している。

地震応答解析モデルを図 17.2-8 に示す。

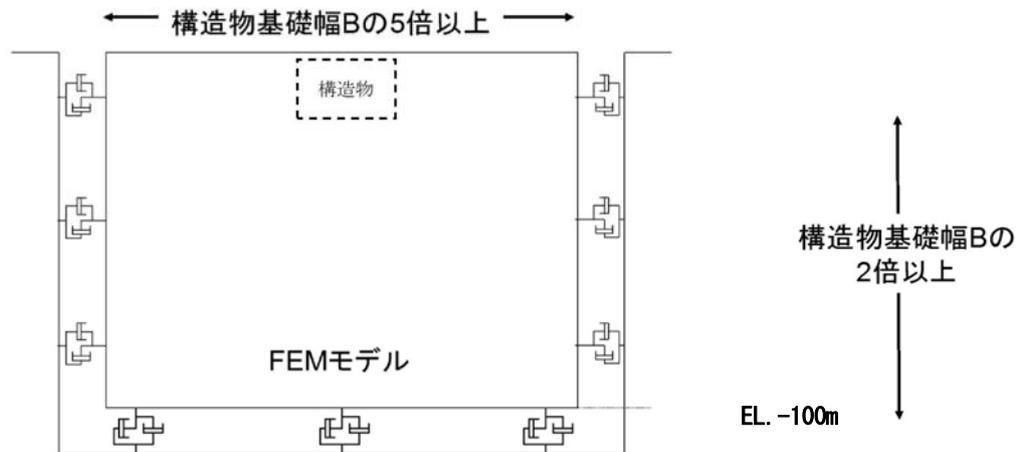


図 17.2-6 モデル範囲の考え方

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎

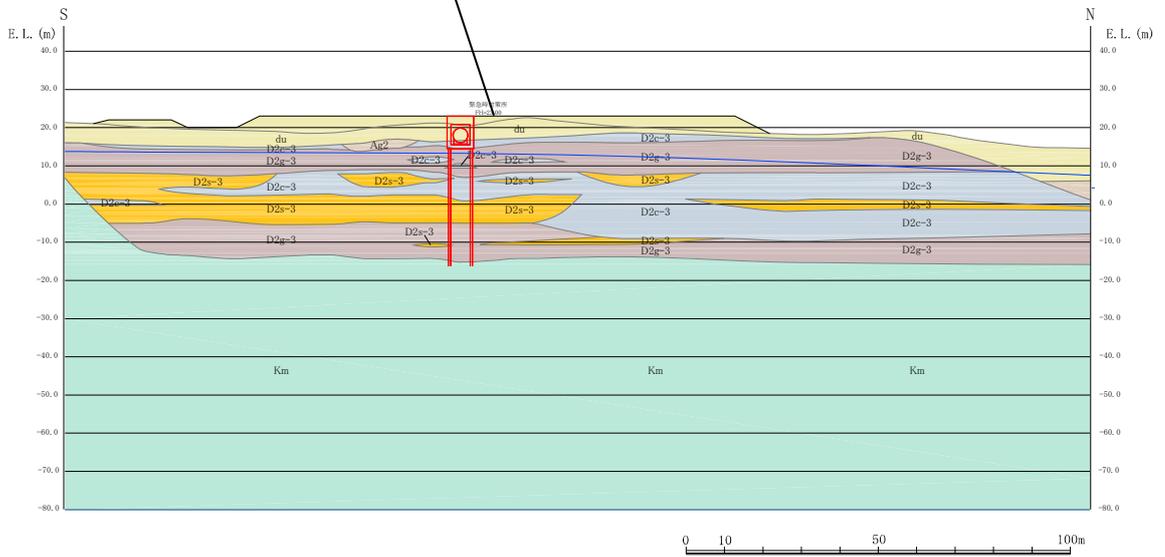


図 17.2-7 (1) 地質断面図 (①-①断面)

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎

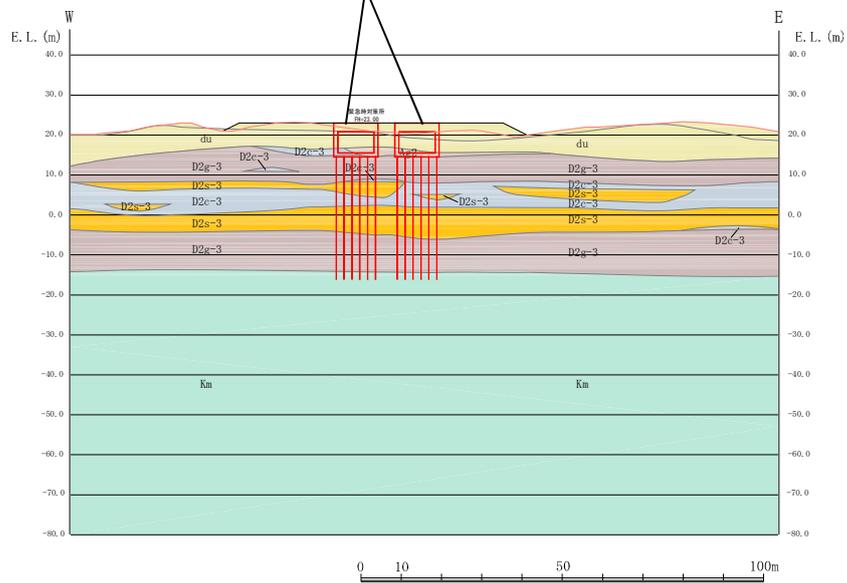


図 17.2-7 (2) 地質断面図 (②-②断面)

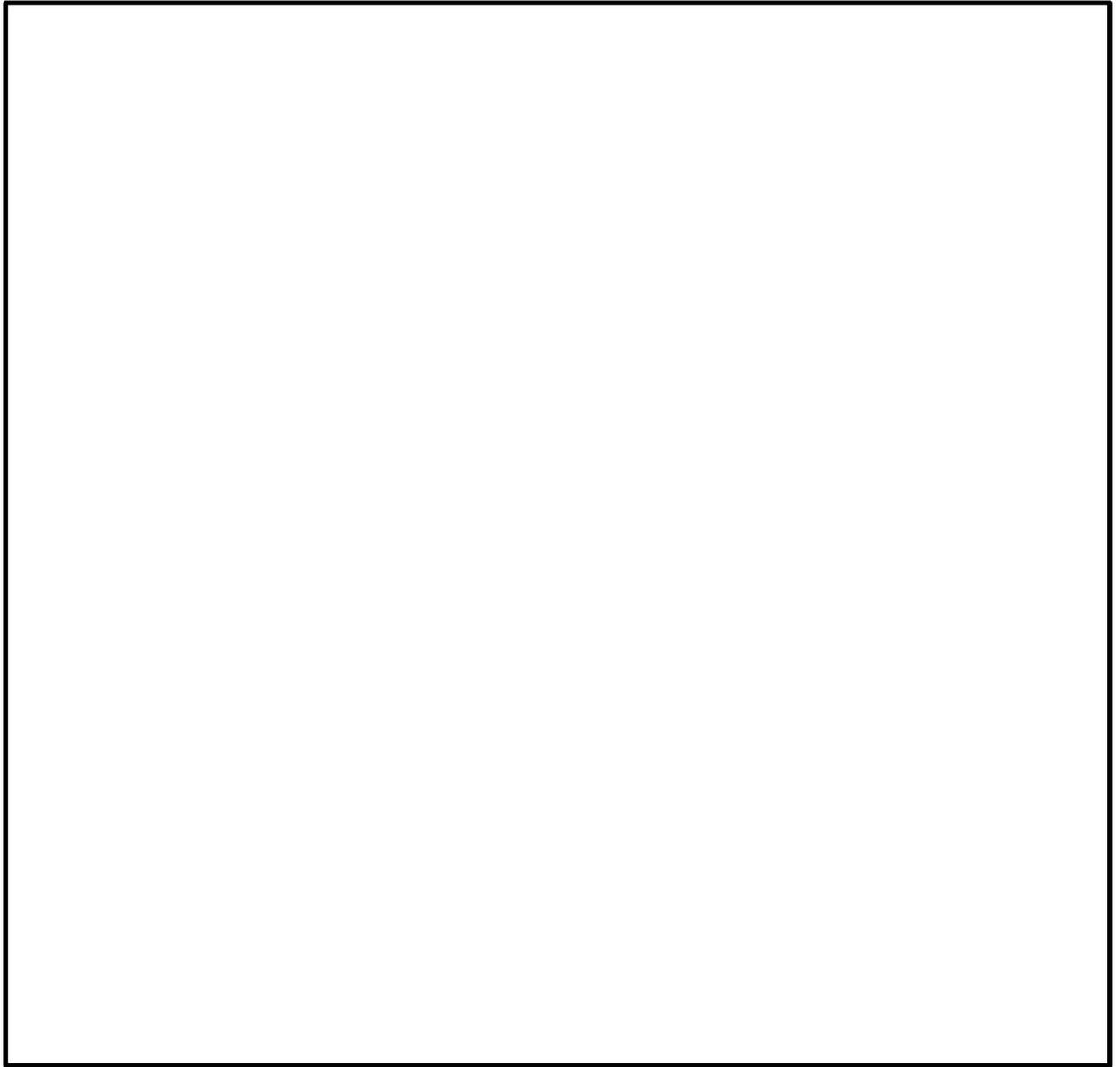


図 17.2-8 (1) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答解析モデル
(①-①断面)

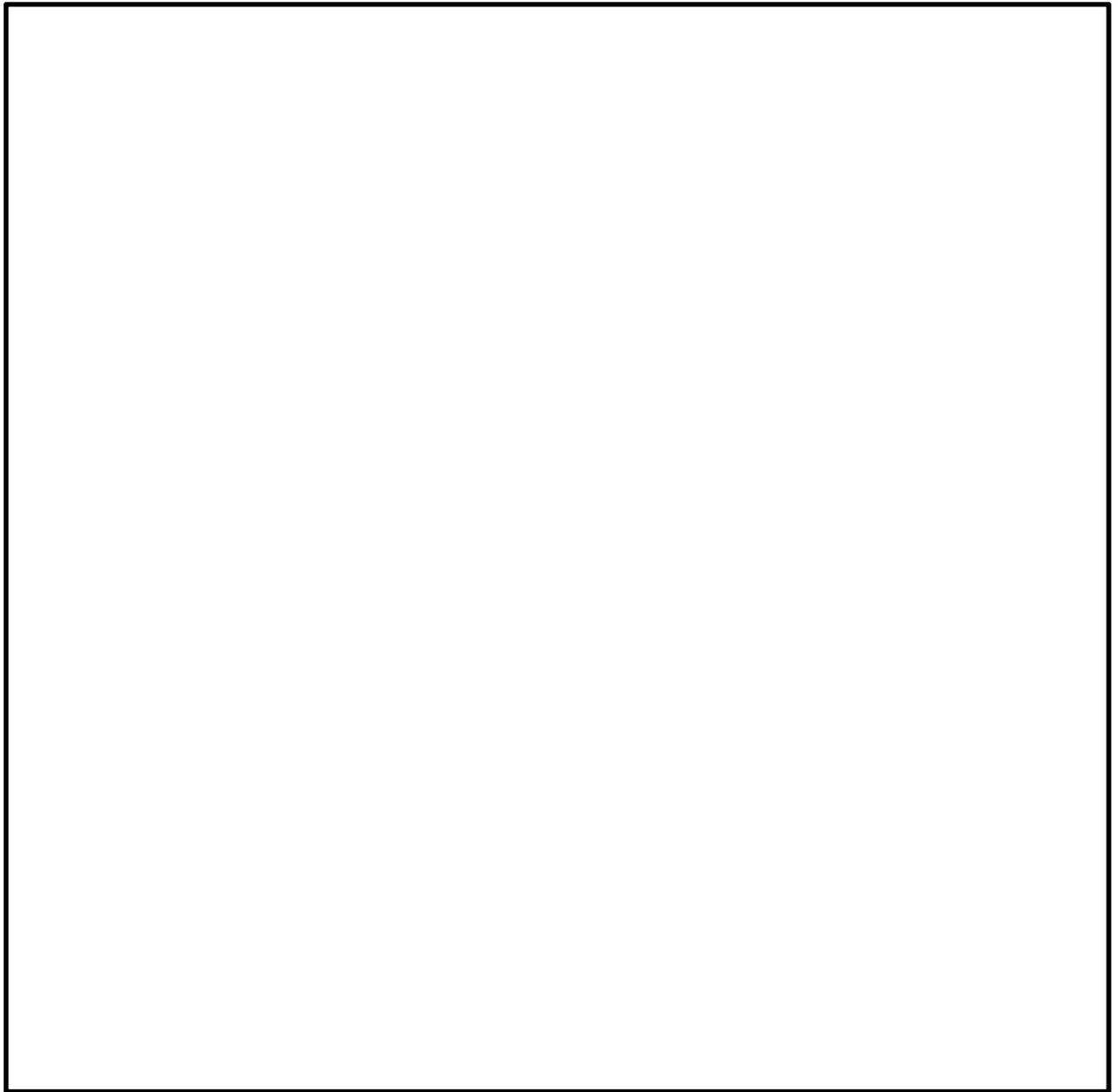


図 17.2-8 (2) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答解析モデル
(②-②断面)

(2) ジョイント要素の設定

地盤と構造物の境界部にジョイント要素を設けることにより、地盤と構造物の剥離・すべりを考慮する。

ジョイント要素は法線方向、接線方向に分けて二重節点として設定する。法線方向では、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。接線方向では、地盤と構造物のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。c、 ϕ は周辺地盤の c、 ϕ とする。（表 17.2-5 参照）

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 17.2-5 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	du 層	0	37.3	—
	D2c-3 層	0.026	35.6	—
	D2s-3 層	0.01	35.8	—
	D2g-3 層	0	44.4	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—
地盤改良体		0.5	0	—

z : 標高 (m)

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、表 17.2-6 のとおり設定する。図 17.2-9 にジョイント要素設定の考え方を示す。

表 17.2-6 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6



(①-①断面)



(②-②断面)

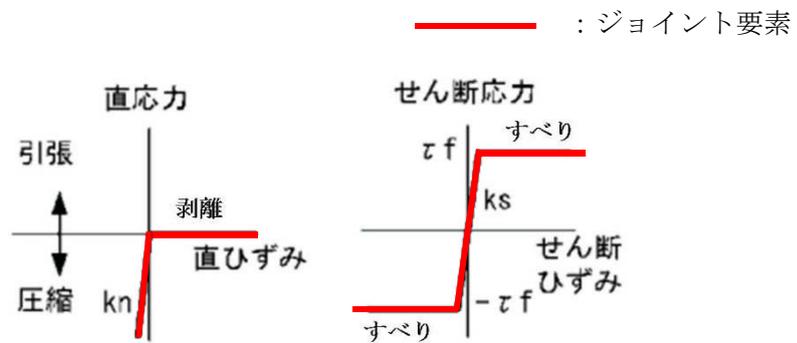


図 17.2-9 ジョイント要素の考え方

(3) 材料特性の設定

地震応答解析における鉄筋コンクリート部材は、線形のはり要素としてモデル化する。
 地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(4) 杭-地盤相互ばねの設定

地盤と杭が接している箇所側方境界部に杭-地盤相互作用ばねを設けることにより、地盤と杭の相互作用における3次元効果を2次元モデルで適切に考慮する。

杭-地盤相互作用ばねの杭軸方向では、地盤と杭のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。 c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とする。(表 17.2-7 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

τ_f : せん断強度

c : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角

表 17.2-7 周辺地盤及び杭との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	du 層	0	37.3	—
	D2c-3 層	0.026	35.6	—
	D2s-3 層	0.01	35.8	—
	D2g-3 層	0	44.4	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—
地盤改良体		0.5	0	—

z : 標高 (m)

z : 標高 (m)

杭-地盤相互作用ばねの杭軸方向のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値として、表 17.2-8 のとおり設定する。

また、杭-地盤相互作用ばねの杭軸直角方向のばね定数については、杭径及び杭間隔より設定される*。

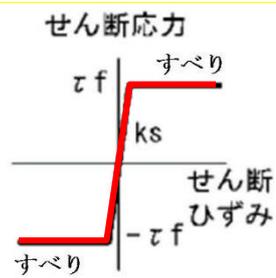
図 3.2-3 に杭-地盤相互作用ばね設定の考え方を示す。

※ FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」

表 17.2-8 杭-地盤相互作用ばねのばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)
杭軸方向	1.0×10^6

(a) 杭-地盤相互作用ばね配置図 (追而)



(b) 杭-地盤相互作用ばね (杭軸方向) の力学的特性

図 17.2-10 杭-地盤相互作用ばね設定の考え方

(5) 杭下端ジョイントばねの設定

杭下端境界部に圧縮応力の上限値を有さないジョイントばねを設けることにより、杭下端における地盤と杭の相互作用を適切に考慮する。

杭下端の杭軸方向について設定するジョイントばねは、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。

杭下端ジョイントばねのばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値として、表 17.2-9 のとおり設定する。図 17.2-11 に杭下端ジョイントばね設定の考え方を示す。

表 17.2-9 杭下端ジョイントばねのばね定数

	圧縮剛性 k_v (kN/m)
杭軸方向	1.0×10^6

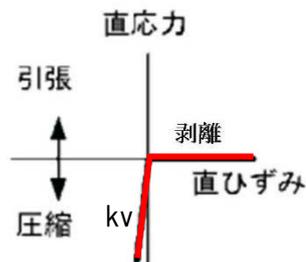


図 17.2-11 杭下端ジョイントばね設定の考え方

17.2.9 減衰定数

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトして行くことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 α [M]の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように、低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

ここで、

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

係数 α 、 β は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

地盤の減衰定数は1%（解析における減衰は、ひずみが大きい領域では履歴減衰が支配的となる。そのため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している。）また、線形材料としてモデル化する鋼材の減衰定数は3%（道路橋示方書（V耐震設計編）同解説（平成24年3月））、コンクリートの減衰定数は5%（J E A G 4 6 0 1 -1987）とする。

図 17.2-10 に Rayleigh 減衰の設定フローを、表 17.2-8 に固有値解析結果を示す。

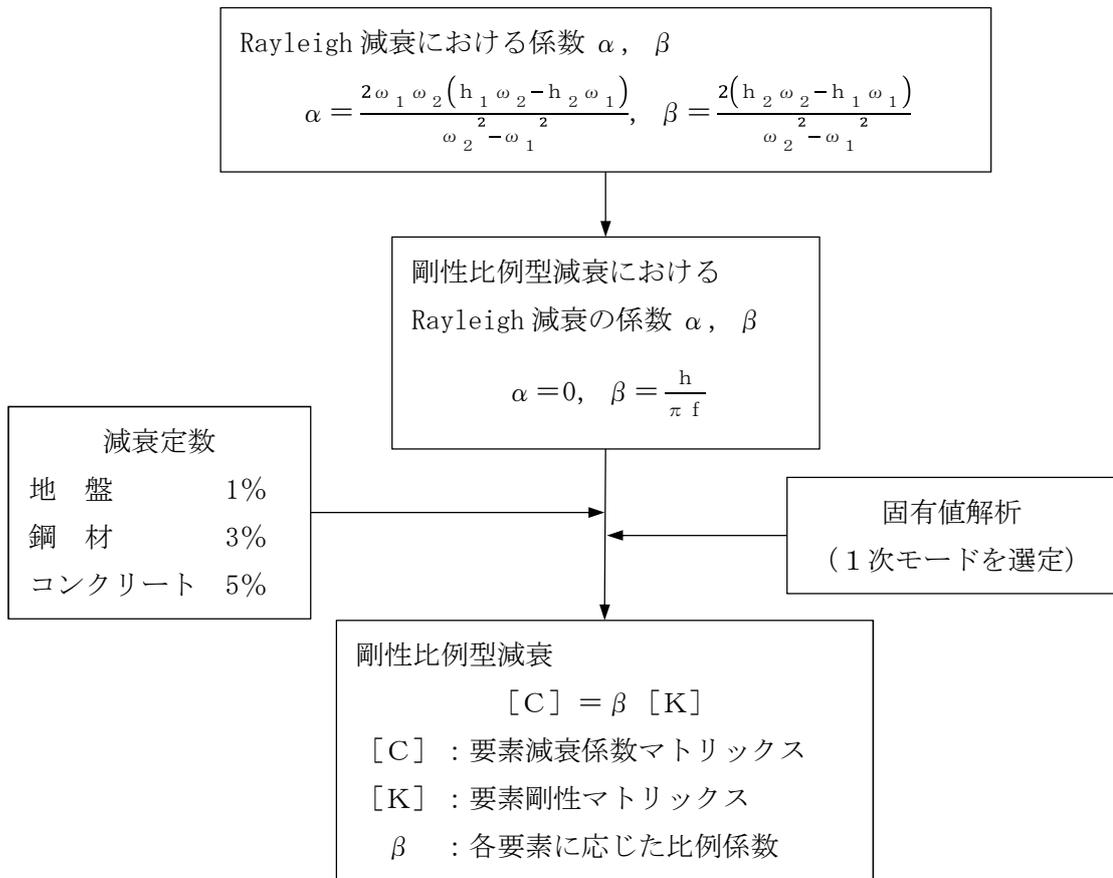


図 17.2-11 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 17.2-9 固有値解析結果 (追而)

17.2.10 荷重の組合せ

耐震性能照査にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重には、地震時土圧、動水圧、機器・配管系からの反力による荷重が含まれるものとする。

なお、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎は、地盤内に埋設されている構造物であることから運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられるため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また重大事故等対処時においても、地盤内で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 17.2-10 に示す。地震時に緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎に作用する機器・配管系からの反力については、機器・配管系を、解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 17.2-10 荷重の組合せ

種別		荷重	算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○ ・設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定
		機器・配管自重	○ ・機器・配管の重さに基づいて設定 ・内包される砂の荷重を考慮
		土被り荷重	○ ・常時応力解析により設定
		永久上載荷重	— ・恒常的に配置された設備等はないことから、考慮しない
	静止土圧		○ ・常時応力解析により設定
	外水圧		○ ・地下水位に応じた静水圧として設定 ・地下水の密度を考慮
	内水圧		— ・水を保有しない設備であることから、考慮しない
変動荷重	雪荷重		○ ・雪荷重を考慮
	風荷重		— ・地中に埋設された構造物であるため、考慮しない
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動		○ ・基準地震動 S_d による水平・鉛直同時加振
	鉛直地震動		○ ・躯体の慣性力、動土圧を考慮
	動水圧		○ ・水位条件、密度は、永久荷重と同様

(1) 機器・配管荷重

図 17.2-11 に①-①断面における機器・配管荷重図を示す。

機器・配管荷重は解析の単位奥行き(1 m)あたりの付加質量として考慮する。緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンクの内空には砂が充填されているため、内空容積から緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンクの容積を除いた部分をすべて砂(比重 1.7)として考慮する。

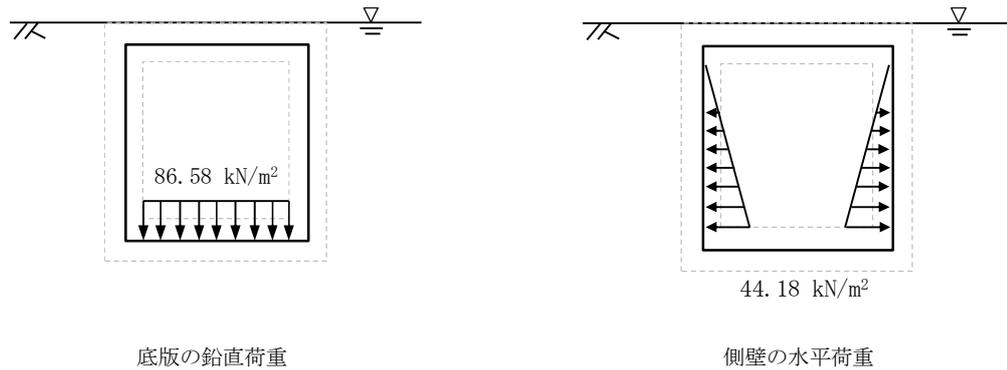


図 17.2-11 機器・配管荷重図

(2) 外水圧

地下水位は地表面として設定する。設定の際は、地下水の密度として、 1.00 g/cm^3 を考慮する。

(3) 雪荷重

図 17.2-12 に雪荷重図を示す。

雪荷重については、「建築基準法施行令第 86 条」及び「茨城県建築基準法施行細則 第 16 条の 4」に従って設定する。積雪の厚さ 1 cm あたりの荷重を $20 \text{ N/m}^2/\text{cm}$ として、積雪量は 30 cm としていることから積雪荷重は 600 N/m^2 であるが、地震時短期荷重として積雪荷重の 0.35 倍である 0.21 kN/m^2 を考慮する。

積雪荷重は構造物上面に付加質量として考慮する。

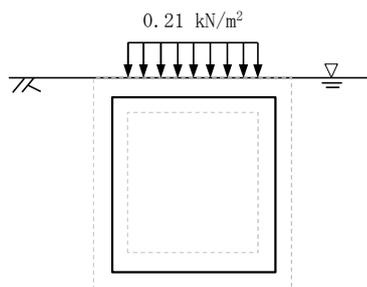


図 17.2-12 雪荷重図

17.2.11 地震応答解析の検討ケース

(1) 耐震設計における検討ケース

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震設計における検討ケースを表 17.2-11 に示す。

表 17.2-11 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震設計における検討ケース

検討ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波 (位相)	S _s -D 1	(++)	1	1	1	1	1
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(--)	1				
	S _s -1 1	(++)	1				
	S _s -1 2	(++)	1				
	S _s -1 3	(++)	1				
	S _s -1 4	(++)	1				
	S _s -2 1	(++)	1				
	S _s -2 2	(++)	1				
		(-+)	1				
計		12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用いて実施する。
最も厳しい地震動の選定にあたっては、各施設の評価部位(上部構造及び下部構造)毎に1波選定する。

(2) 機器・配管系に対する加速度応答抽出のための検討ケース

機器・配管系に対する加速度応答の抽出における検討ケースを表 17.2-12 に示す。

表 17.2-12 機器・配管に対する加速度応答抽出のための検討ケース

検討ケース		④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース			
液状化強度特性の設定		敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用			
地震波(位相)	S _s -D1	(++)	1	1	1		
		(+-)		1			
		(-+)		1			
		(--)		1			
	S _s -11	(++)		⑤において、上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。		1	⑤において、上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。
	S _s -12	(++)		1			
	S _s -13	(++)		1			
	S _s -14	(++)		1			
	S _s -21	(++)		1			
	S _s -31	(++)		1			
(-+)		1					
計		1	12	1			

17.3 評価内容

17.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1次元波動論によって、地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

図 17.3-1 に入力地震動算定の概念図を、図 17.3-2 に入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。

なお、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。断層モデル波である $S_s-11 \sim S_s-22$ については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向を考慮し、方位補正を行う。具体的には NS 方向及び EW 方向の地震動について構造物の評価断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した地震動を設定する。

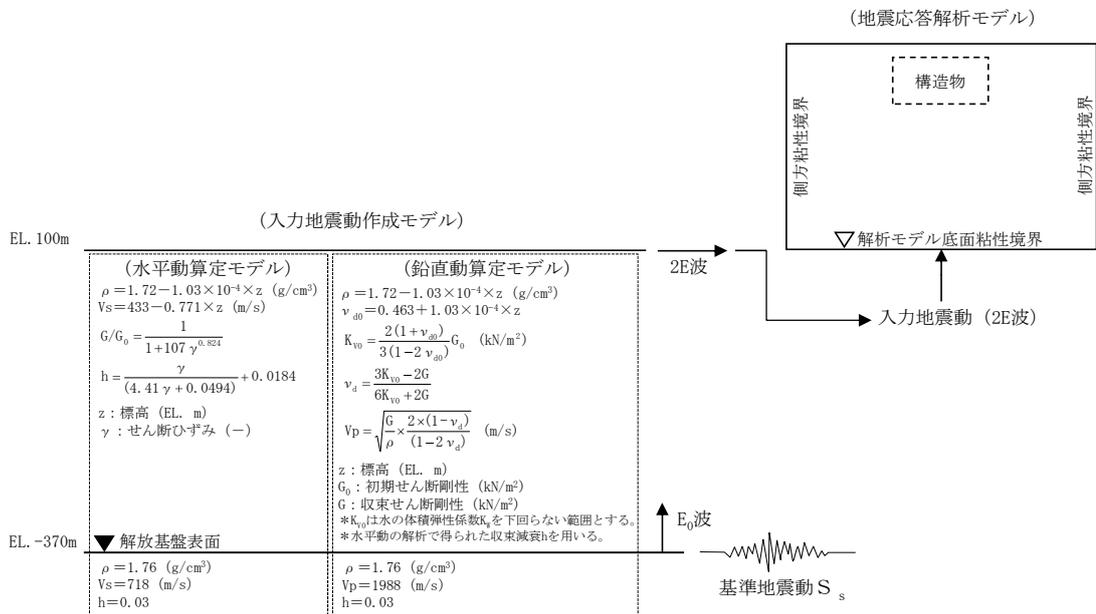
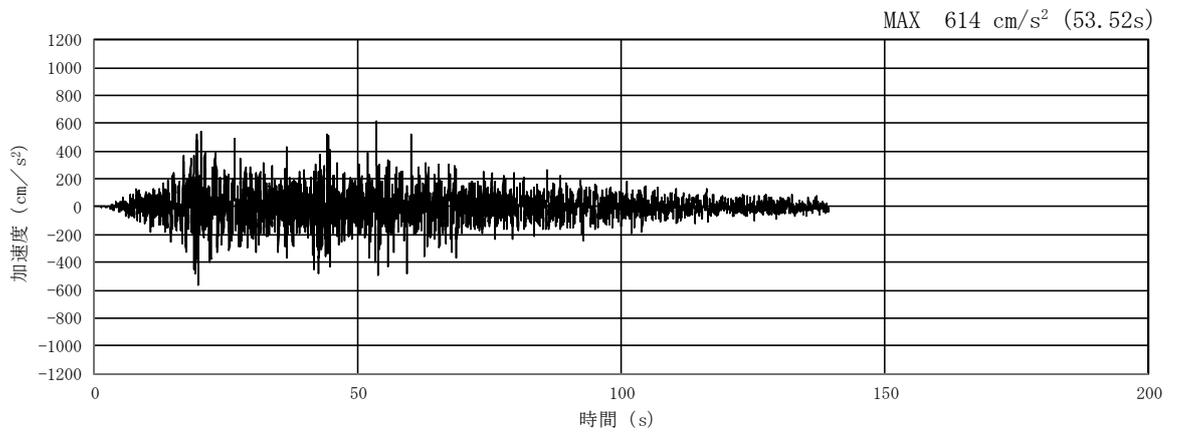
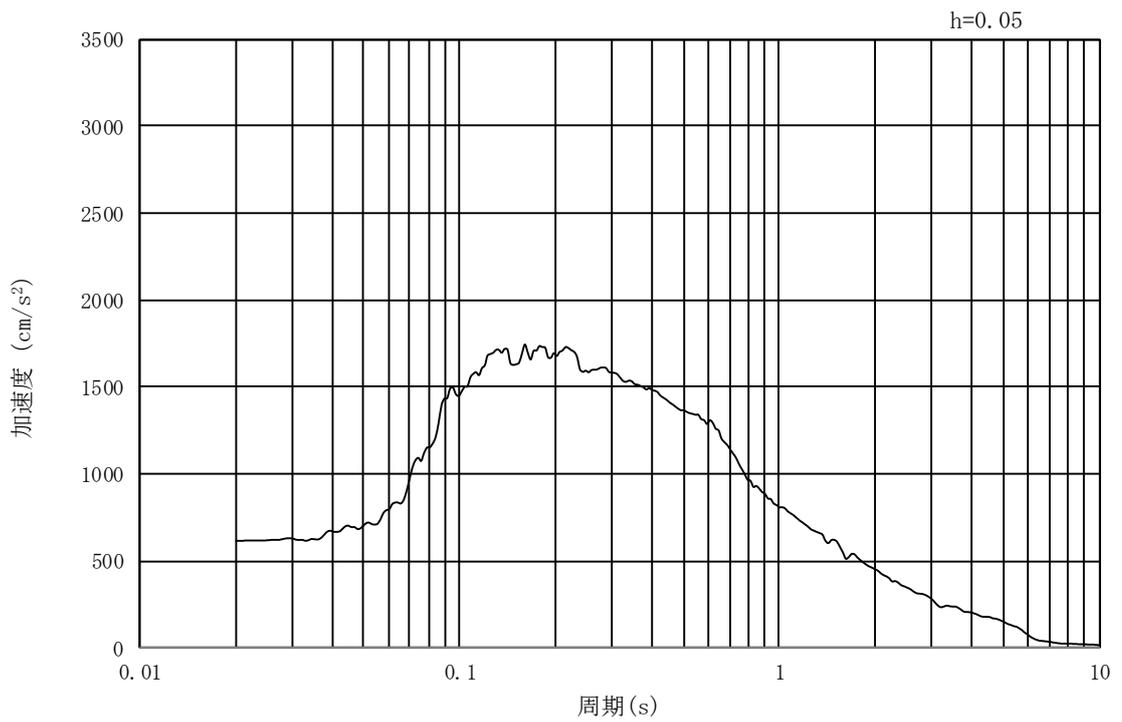


図 17.3-1 入力地震動算定の概念図

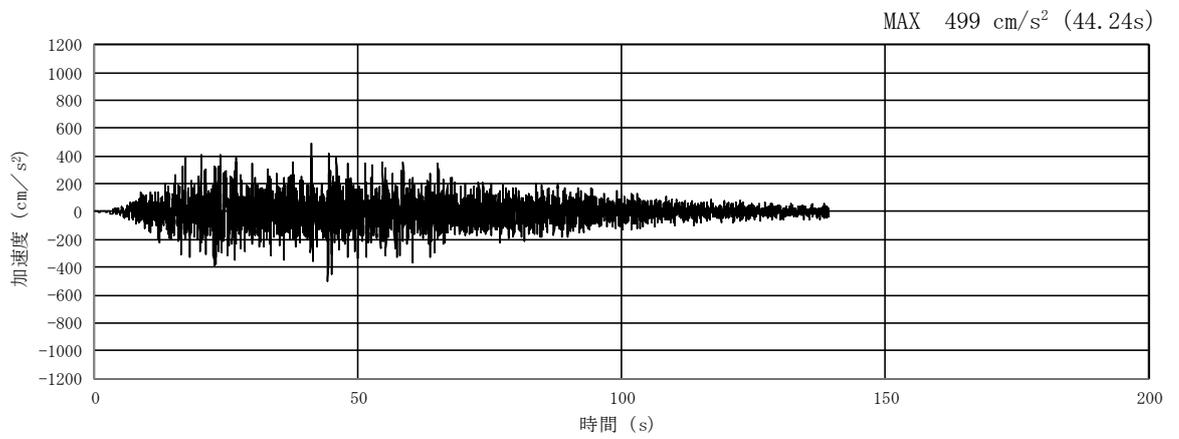


(a) 加速度時刻歴波形

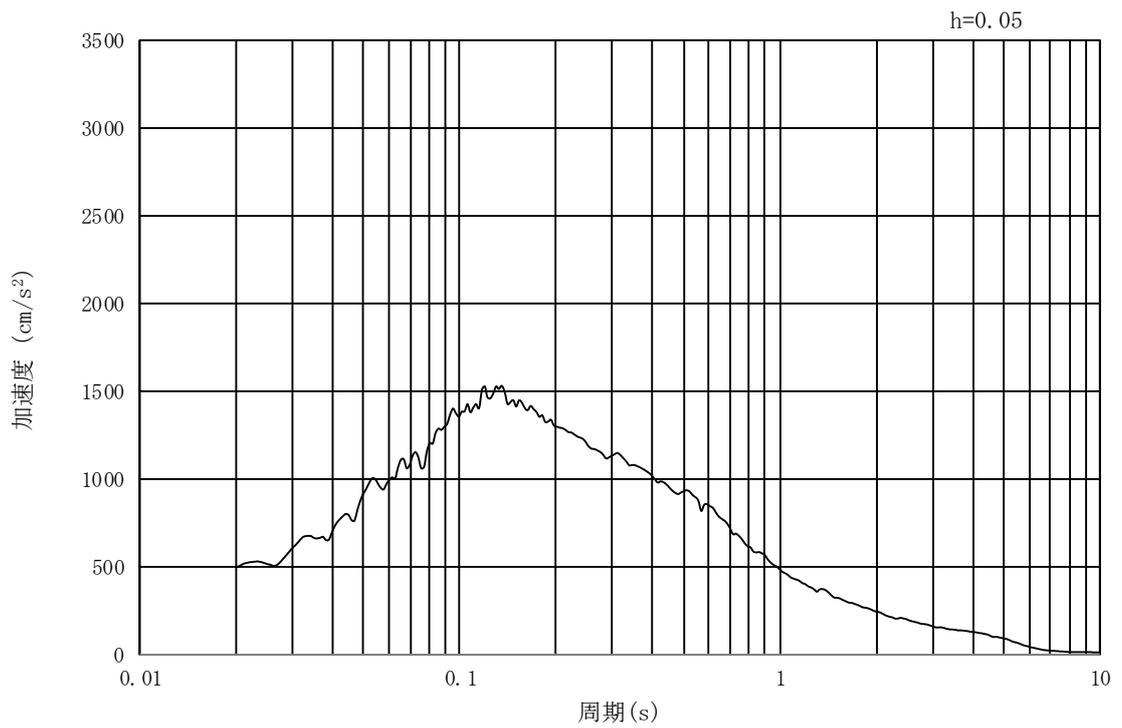


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - D 1$)

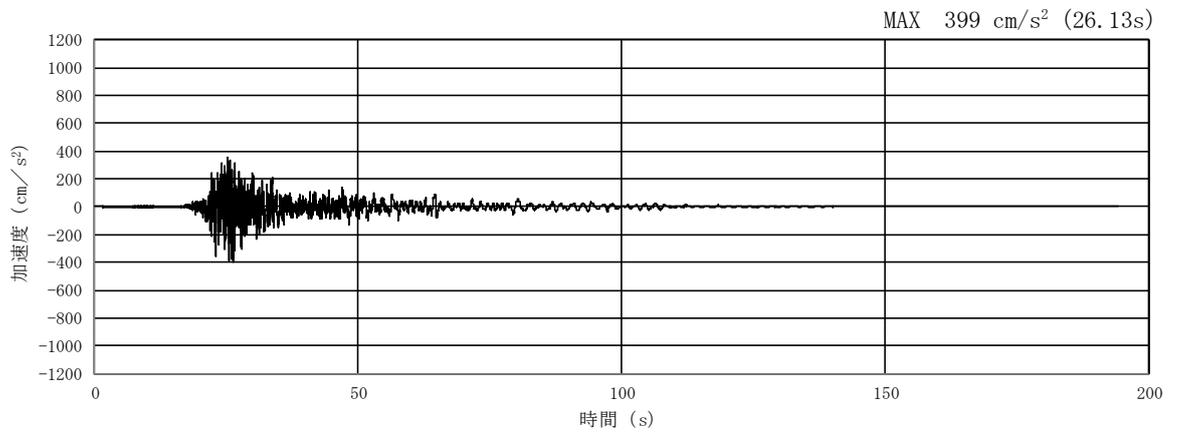


(a) 加速度時刻歴波形

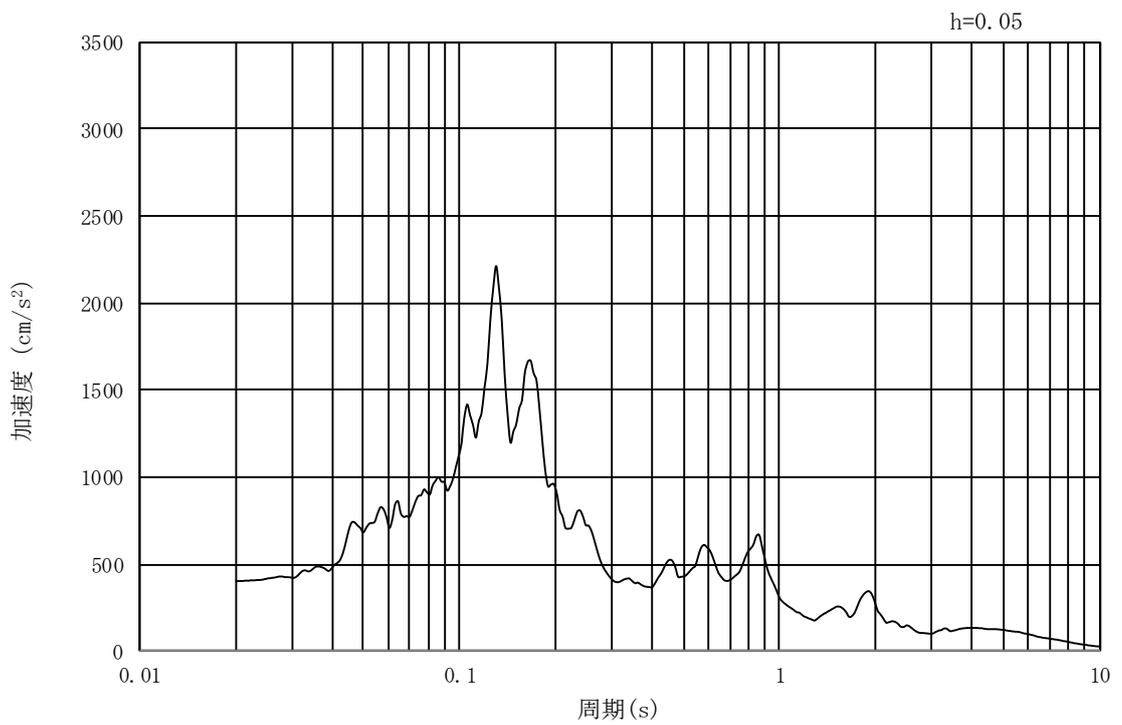


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - D 1$)

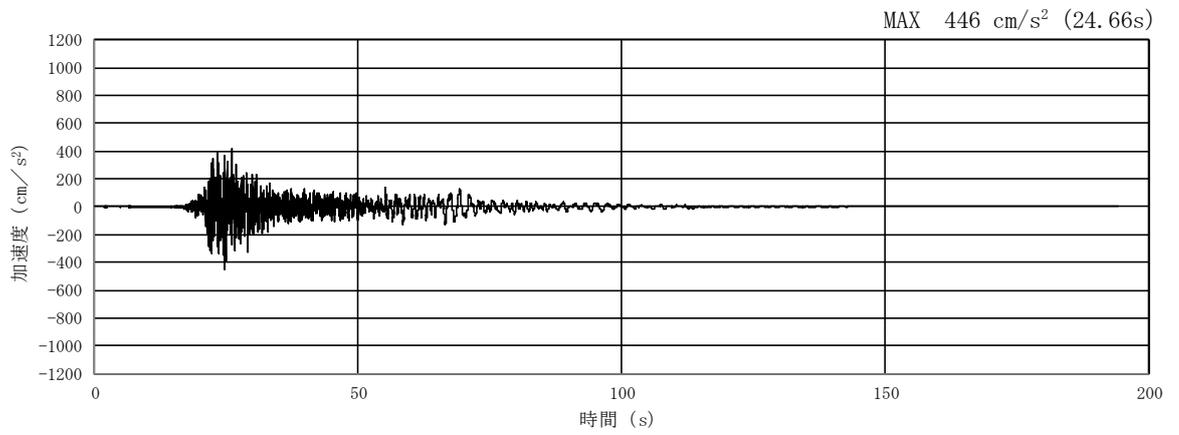


(a) 加速度時刻歴波形

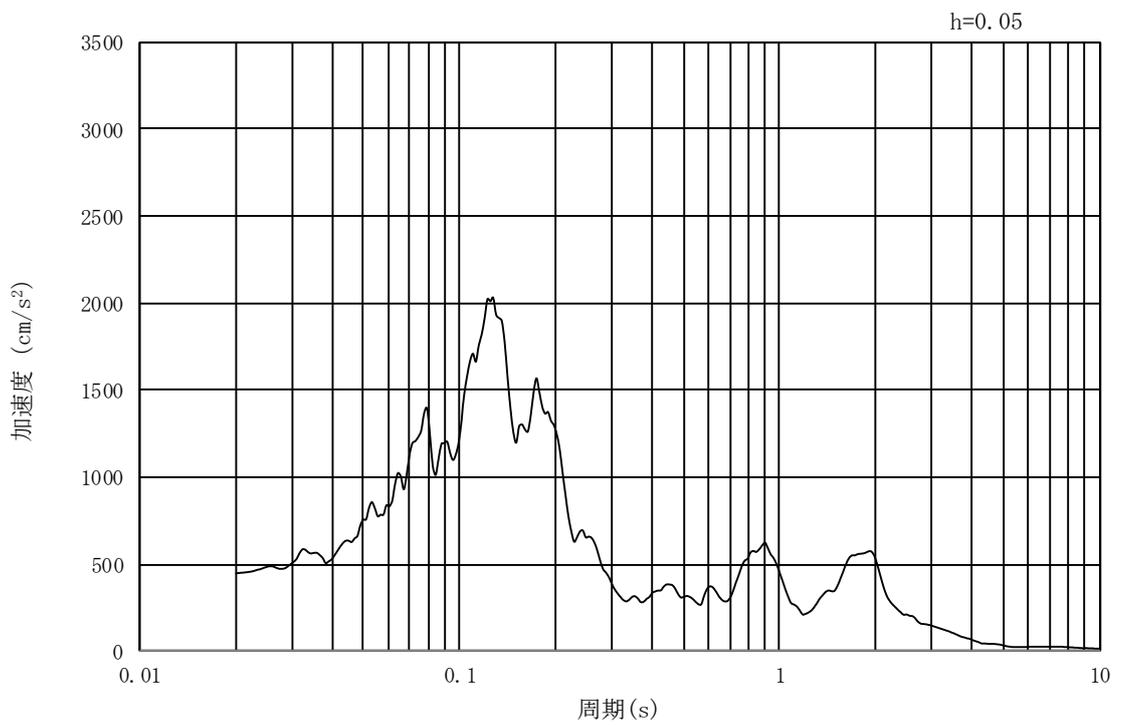


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (3) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 11$)

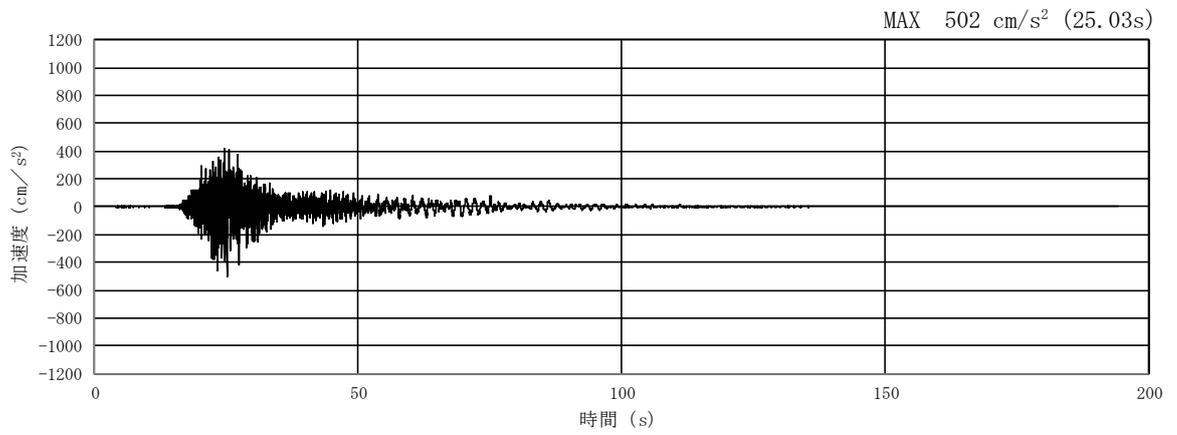


(a) 加速度時刻歴波形

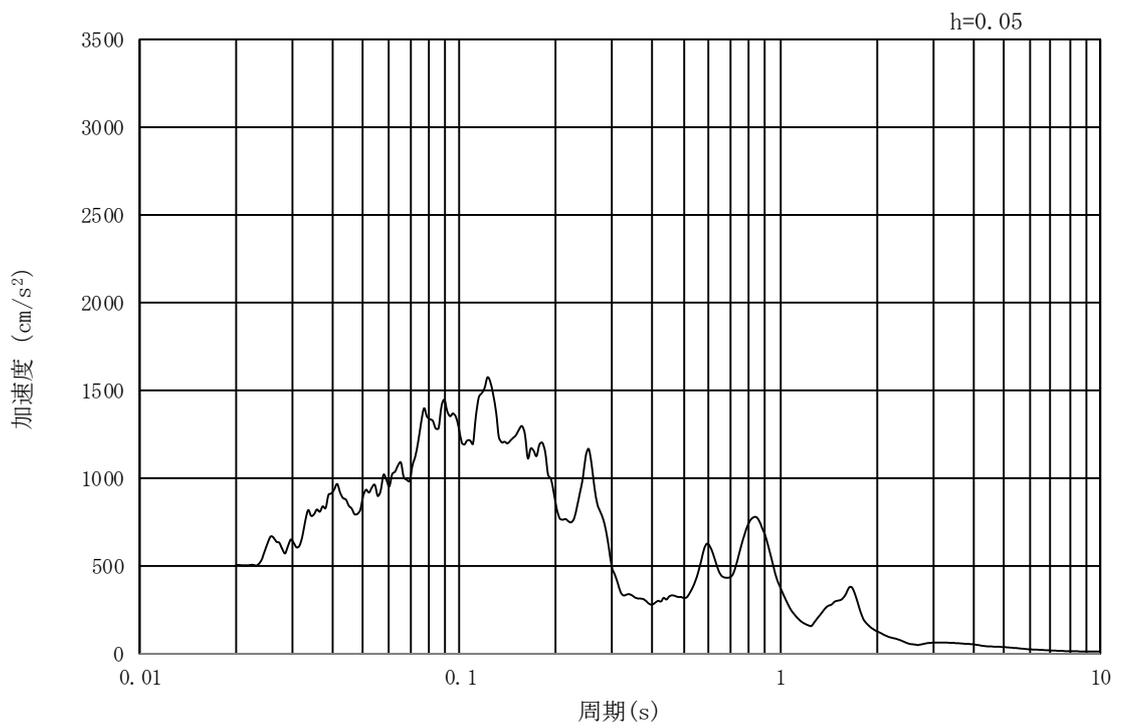


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (4) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 11$)

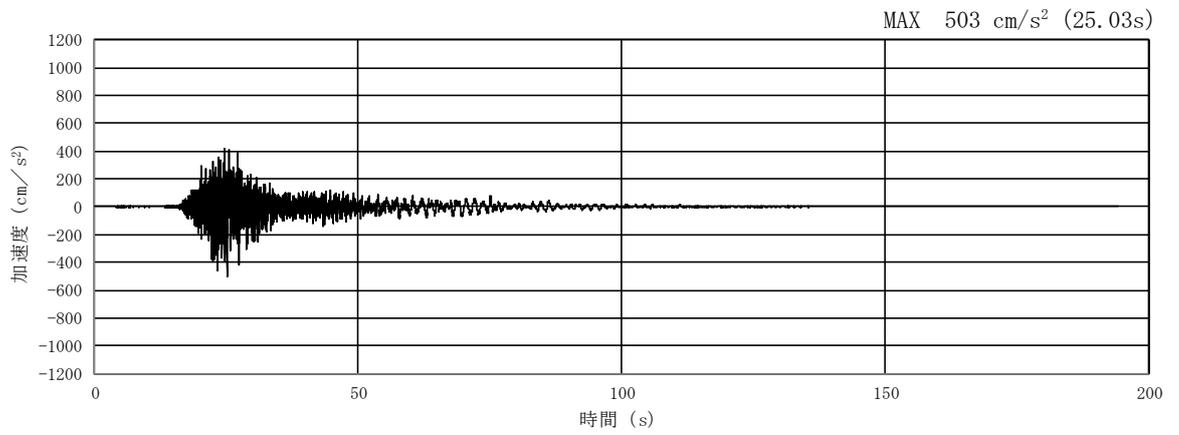


(a) 加速度時刻歴波形

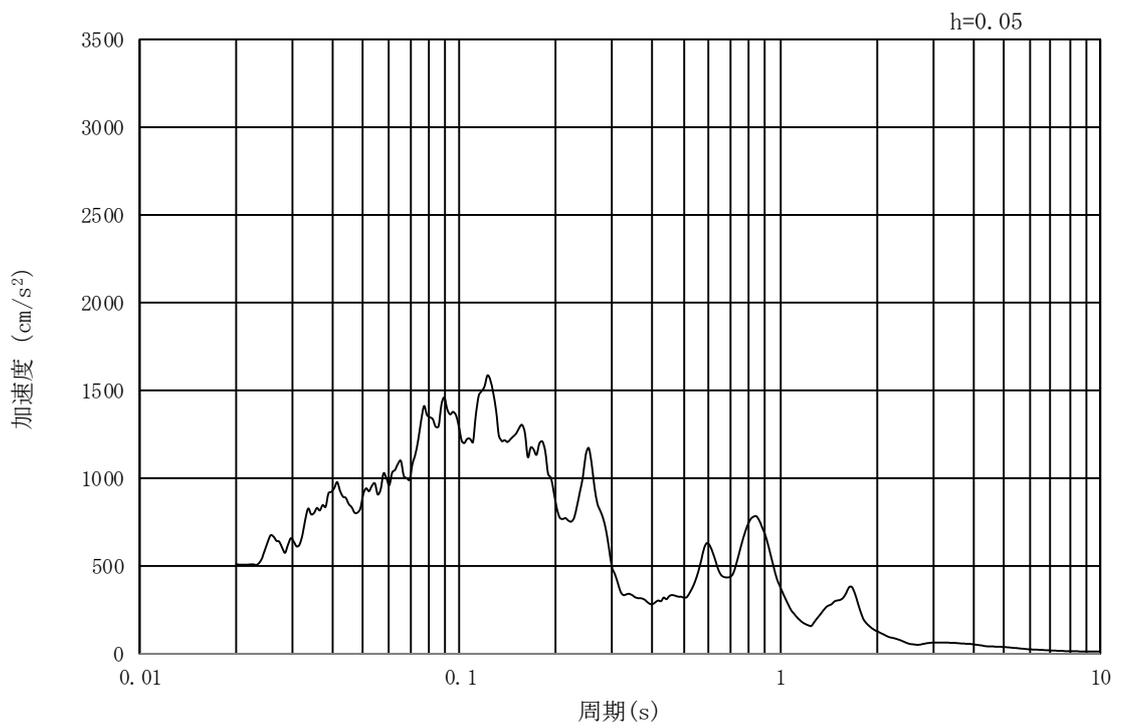


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (5) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.1$)

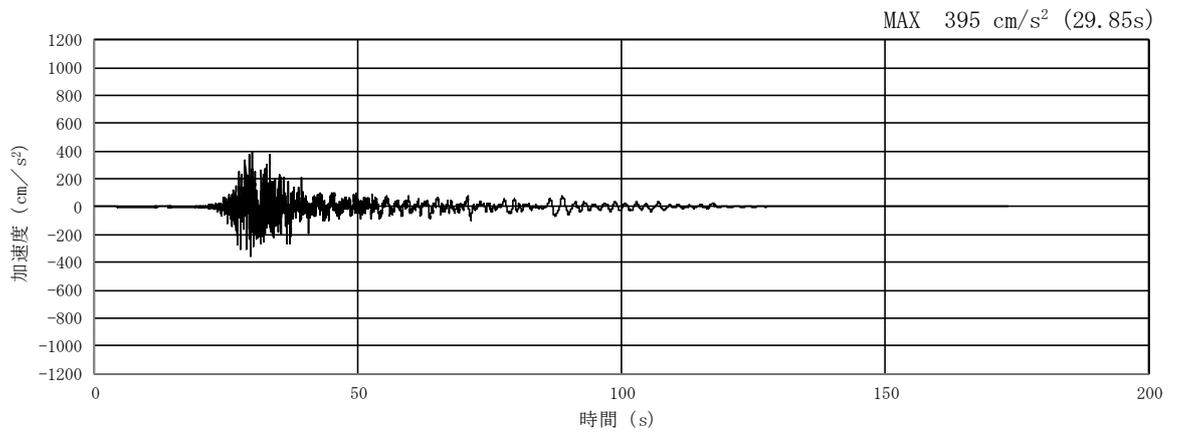


(a) 加速度時刻歴波形

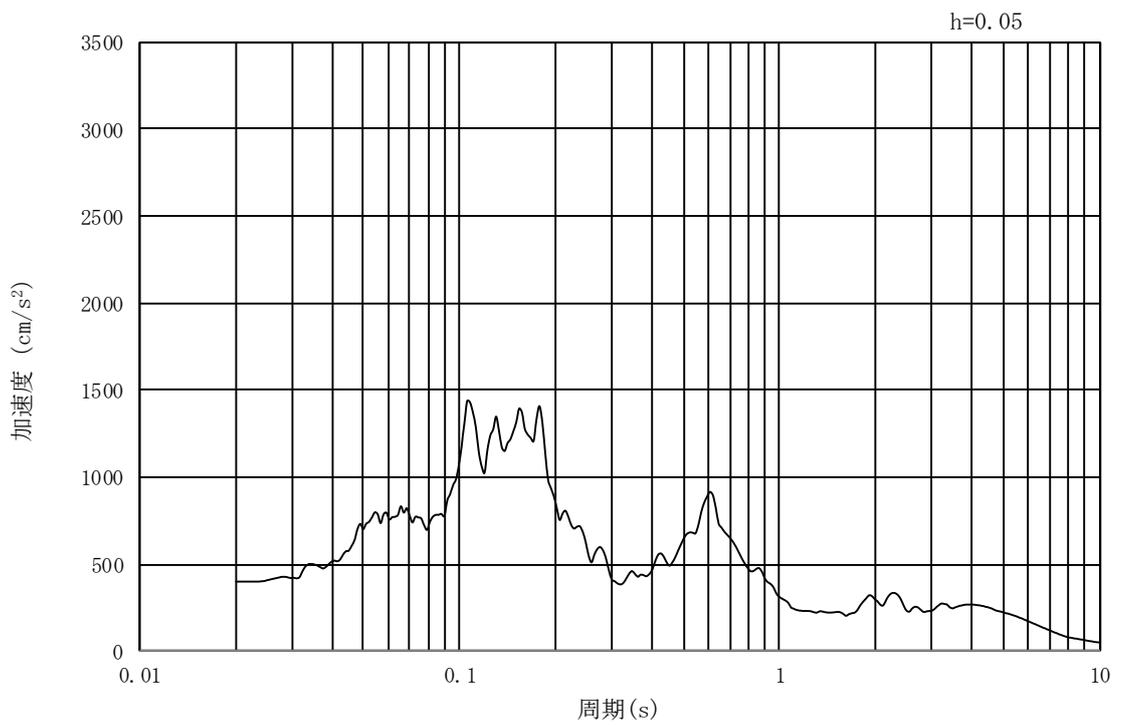


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (6) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.1$)

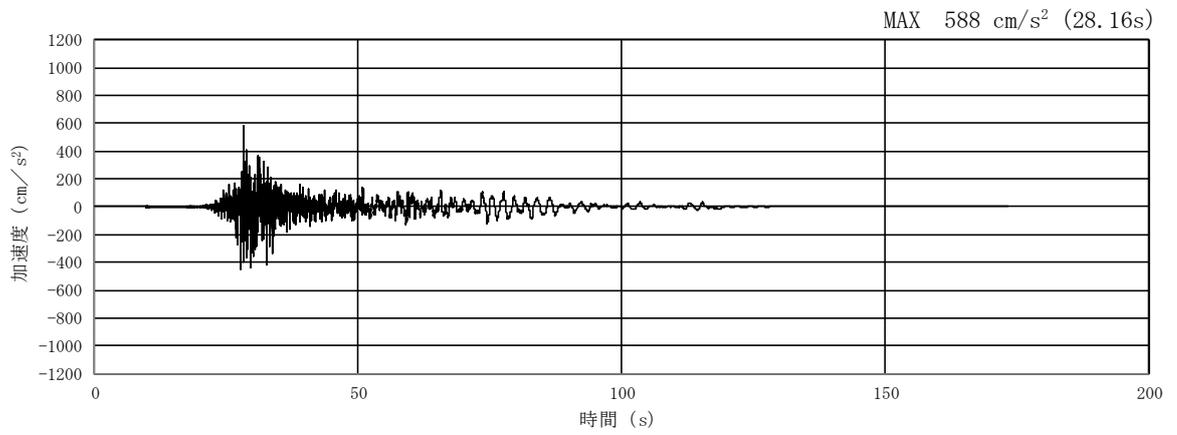


(a) 加速度時刻歴波形

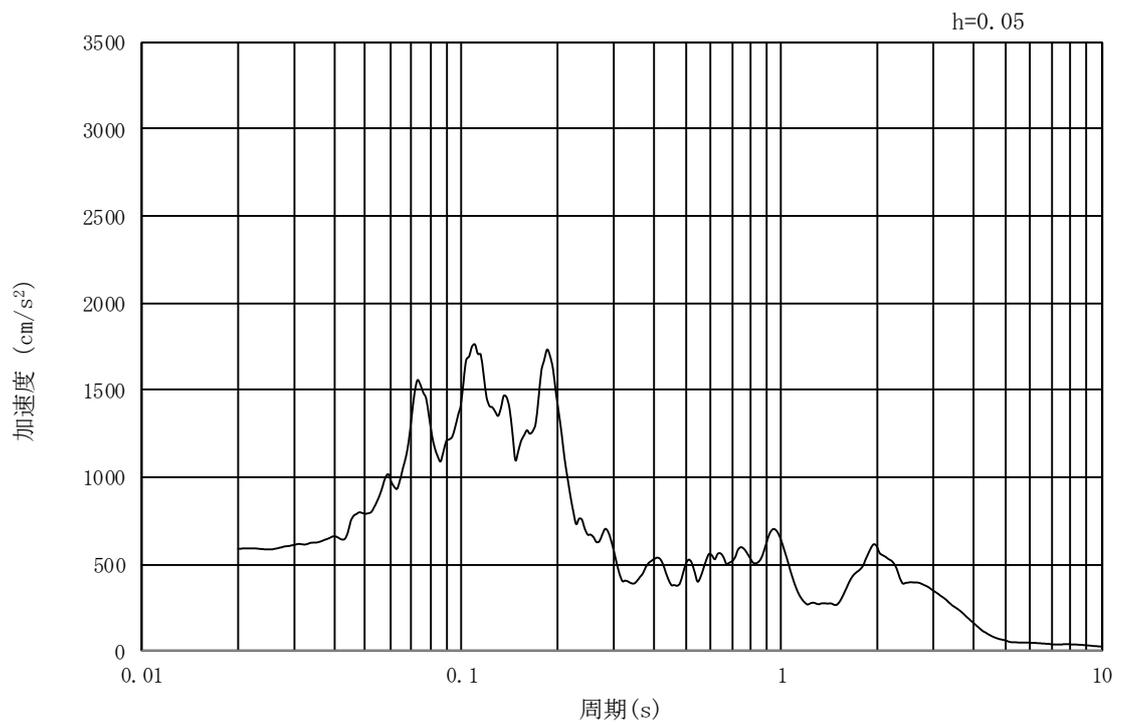


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (7) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.2$)

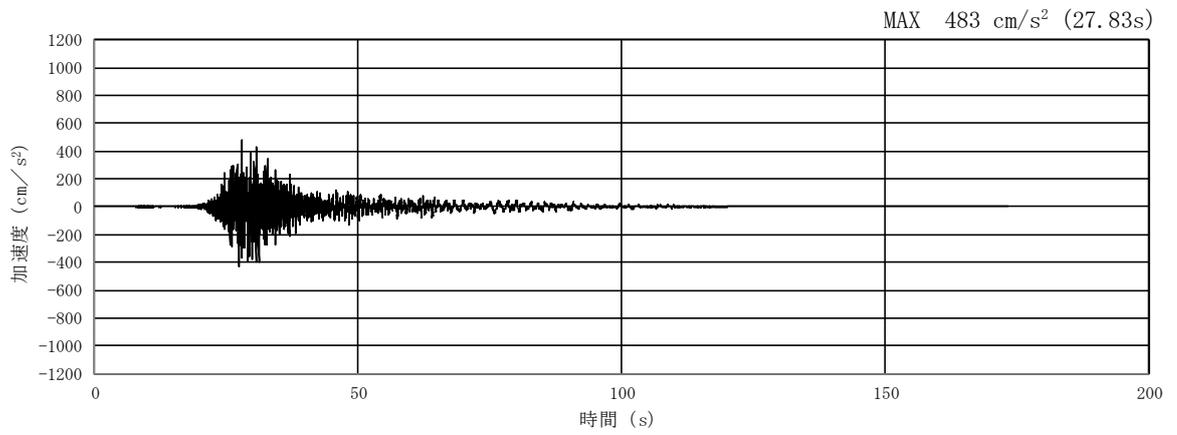


(a) 加速度時刻歴波形

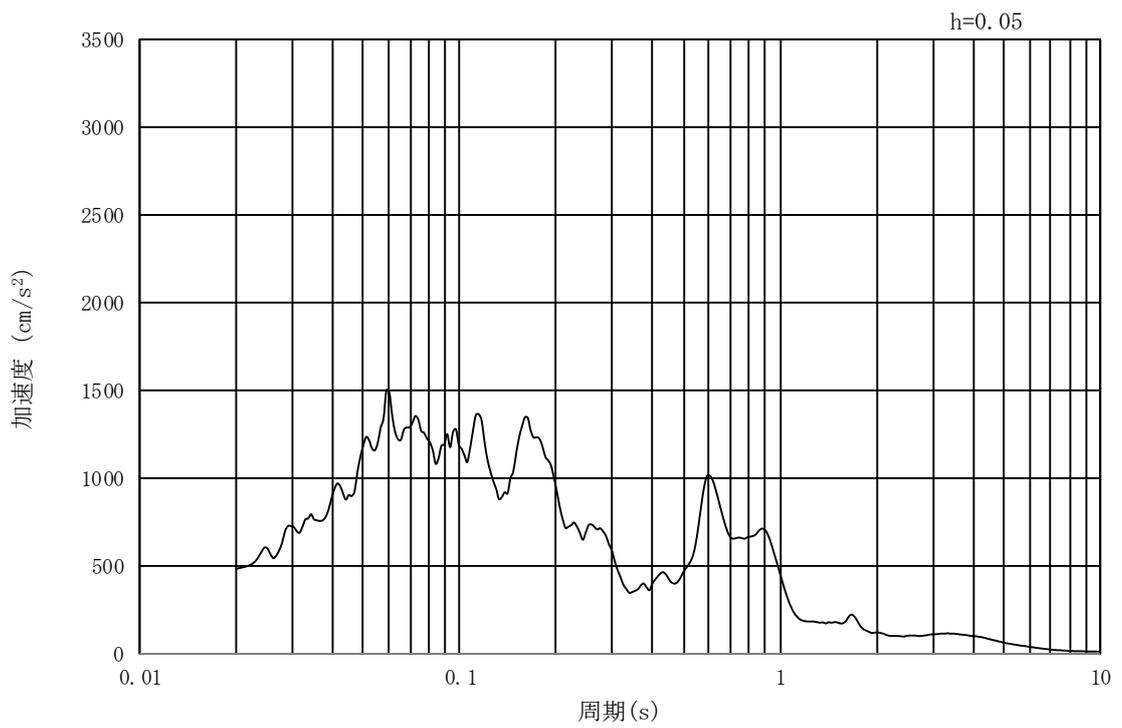


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (8) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.2$)

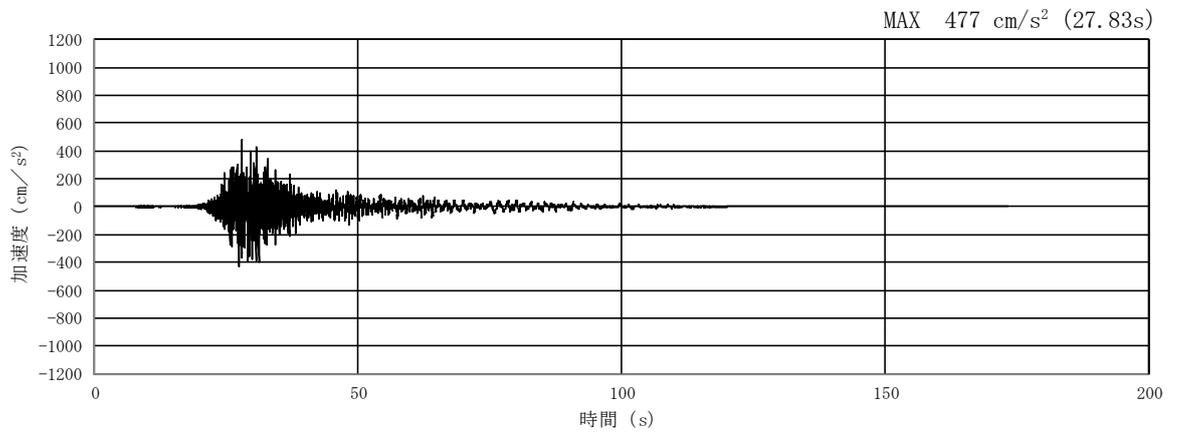


(a) 加速度時刻歴波形

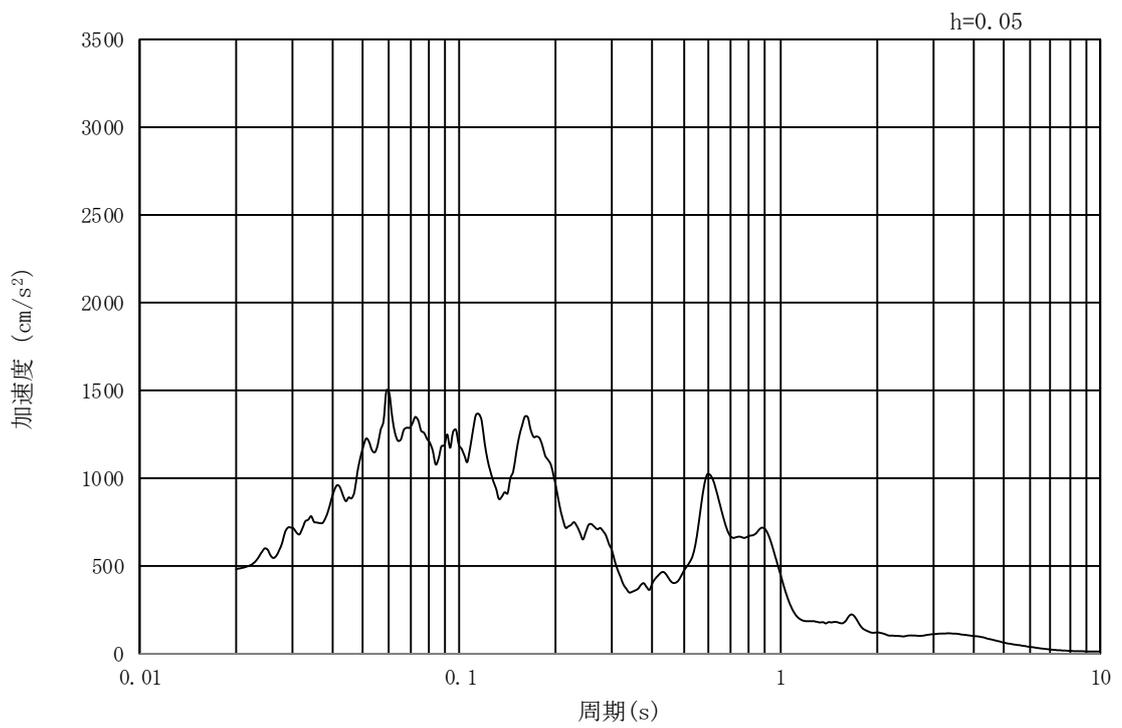


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (9) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.2$)

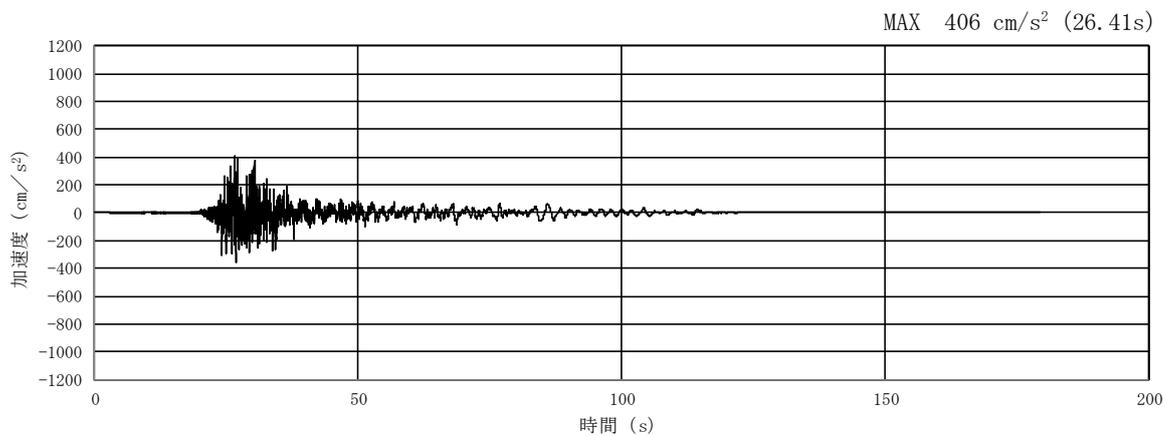


(a) 加速度時刻歴波形

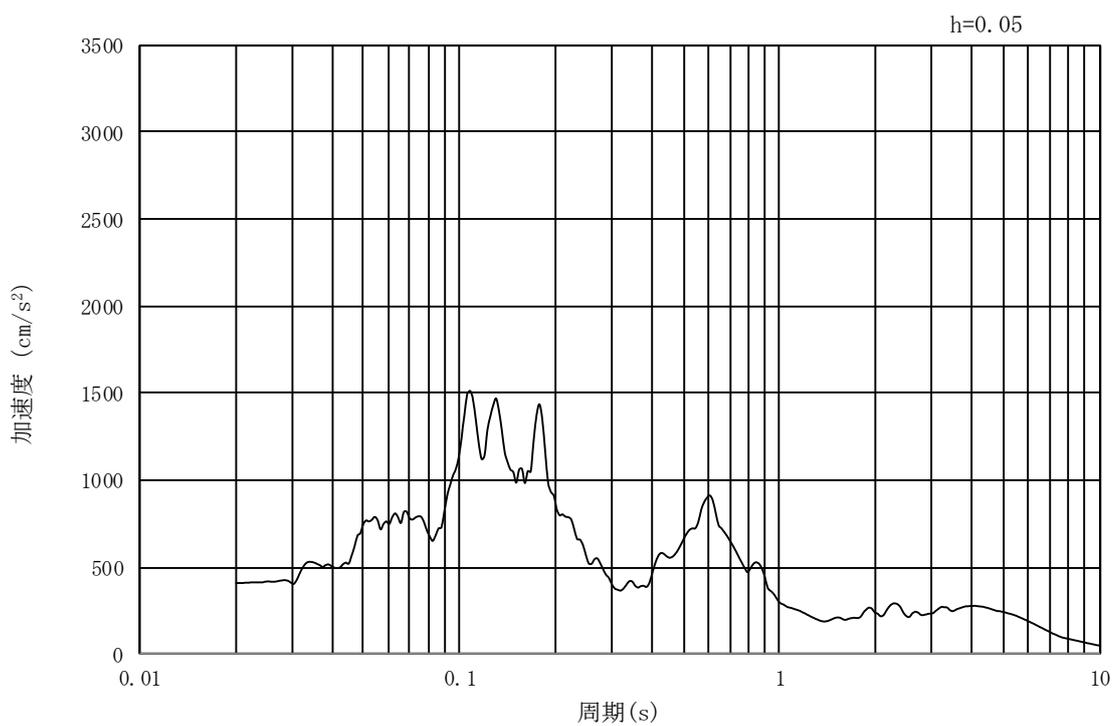


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (10) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.2$)

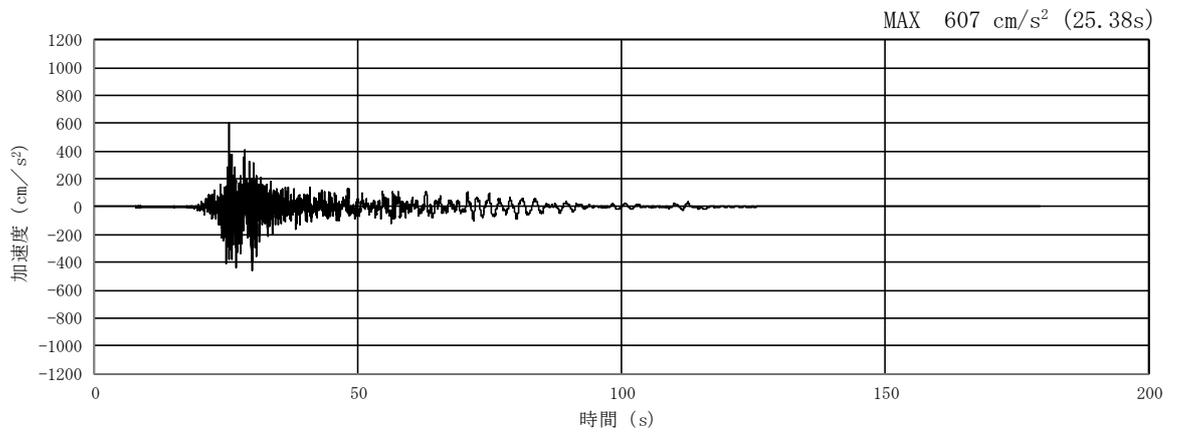


(a) 加速度時刻歴波形

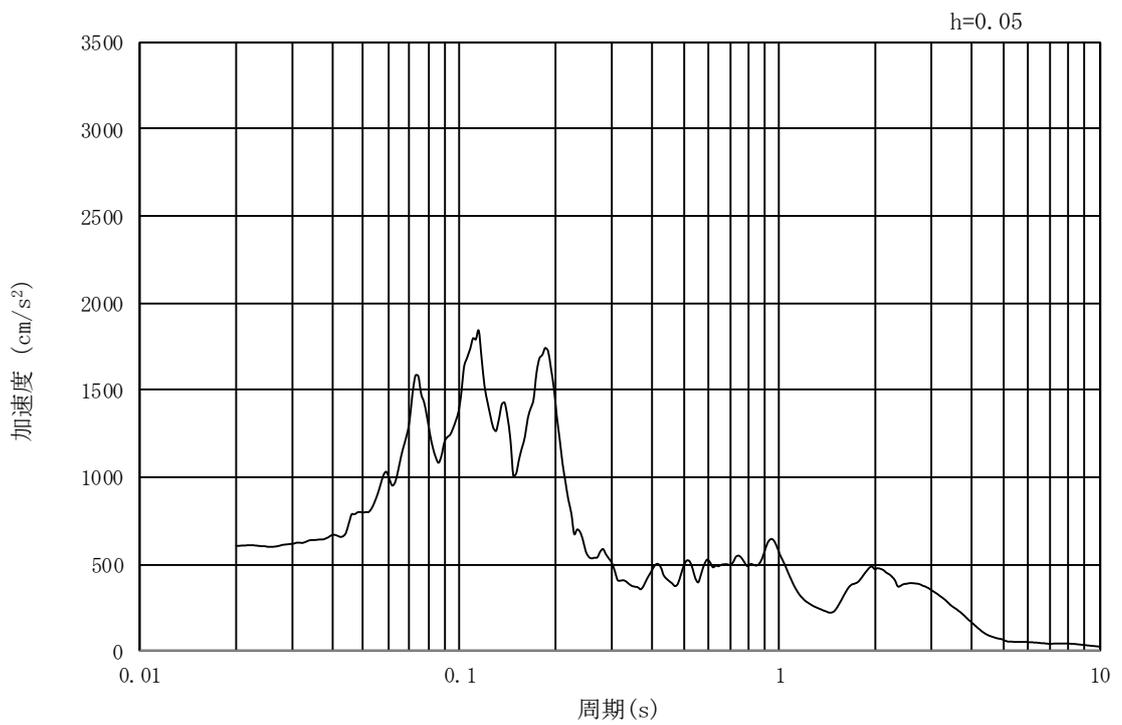


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (11) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.3$)

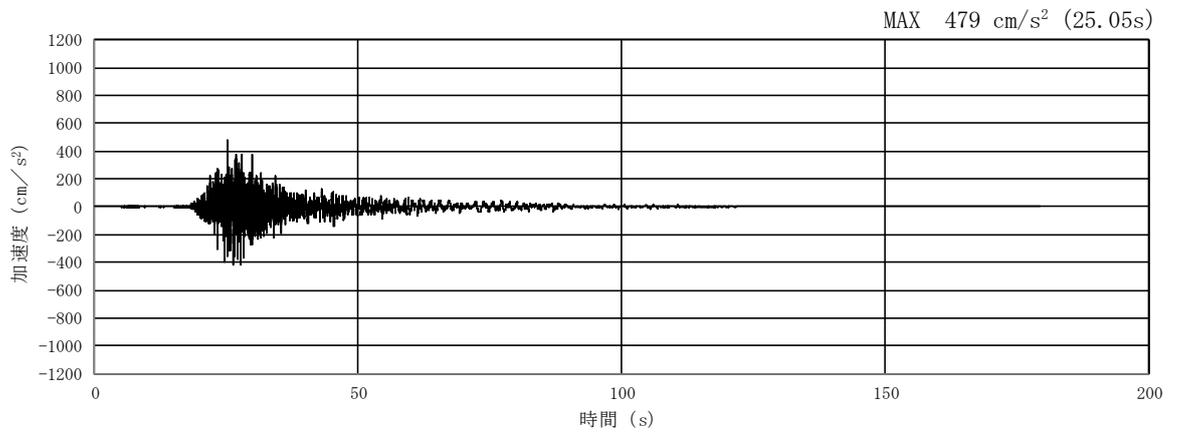


(a) 加速度時刻歴波形

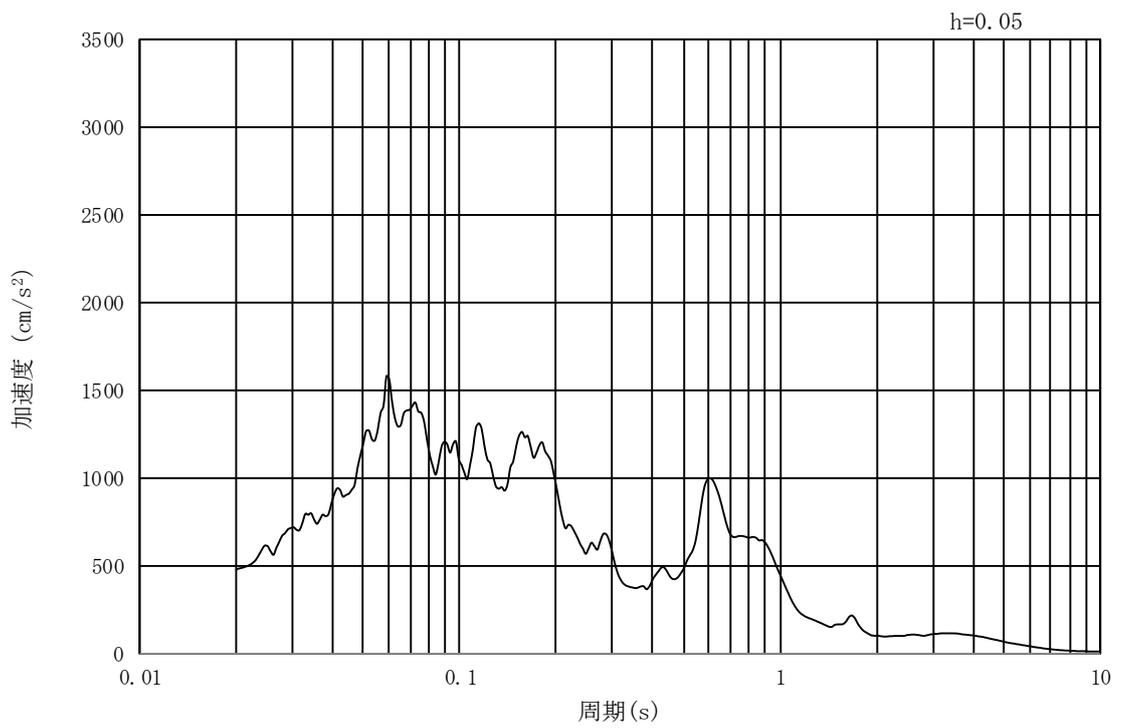


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (12) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 1.3$)

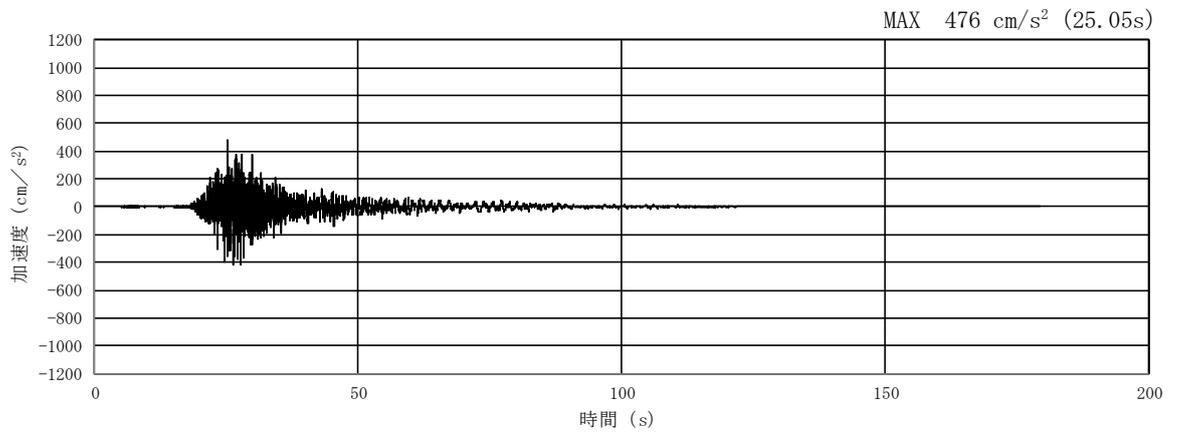


(a) 加速度時刻歴波形

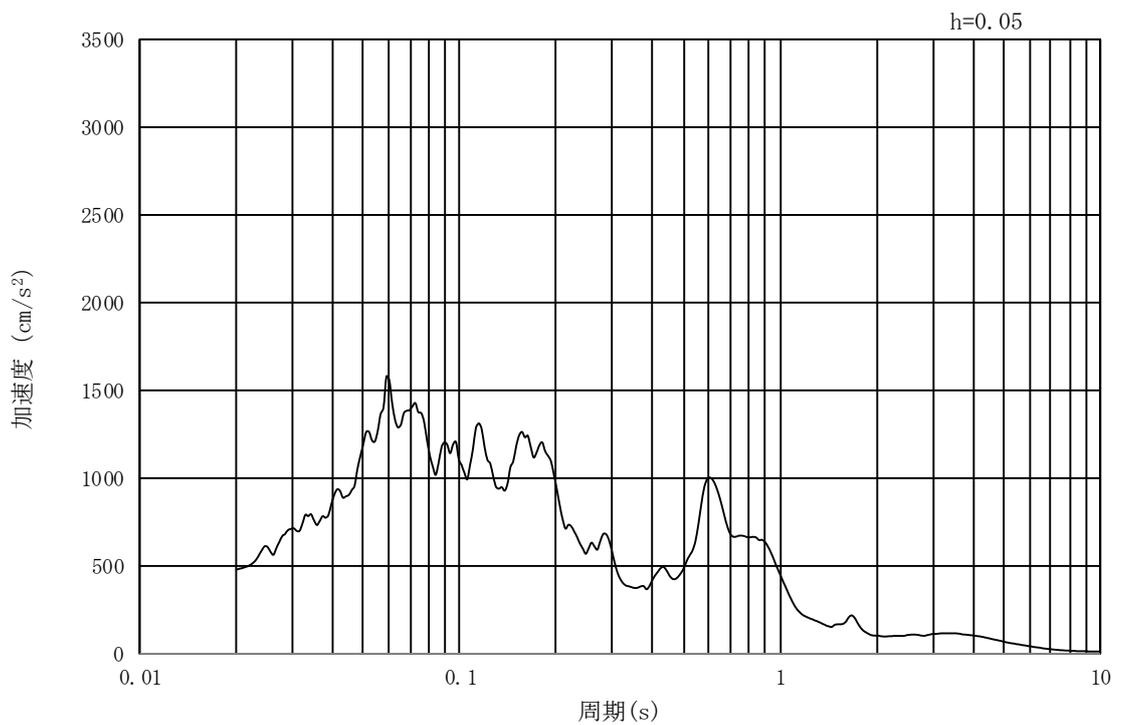


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (13) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.3$)

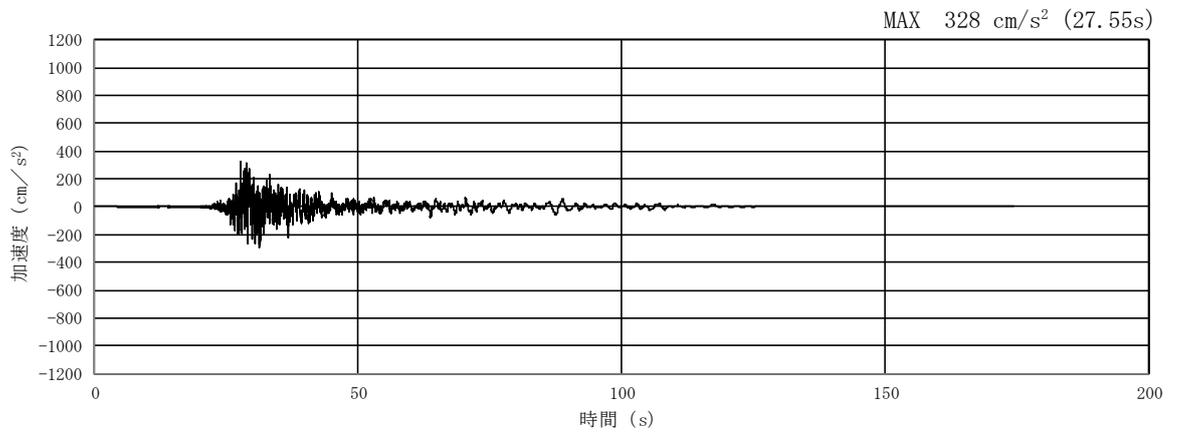


(a) 加速度時刻歴波形

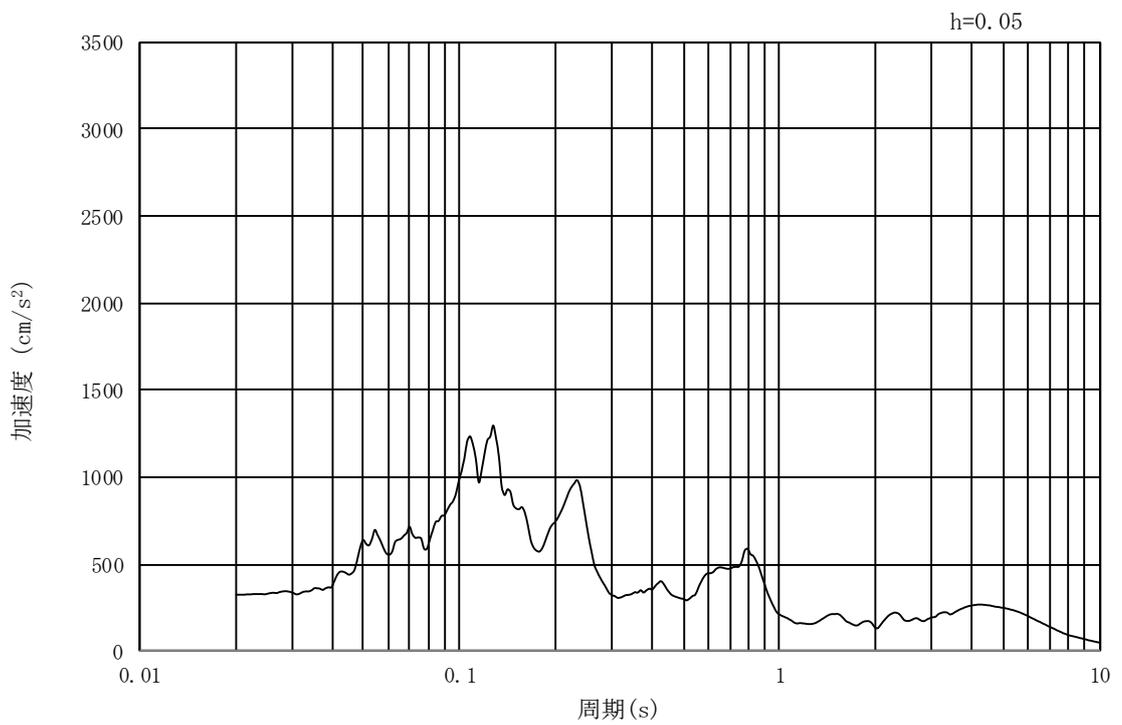


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (14) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.3$)

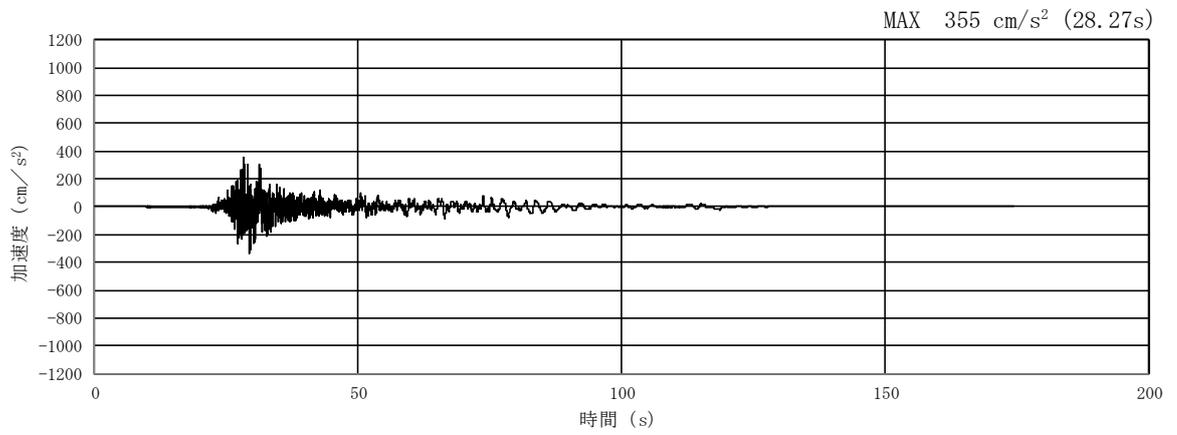


(a) 加速度時刻歴波形

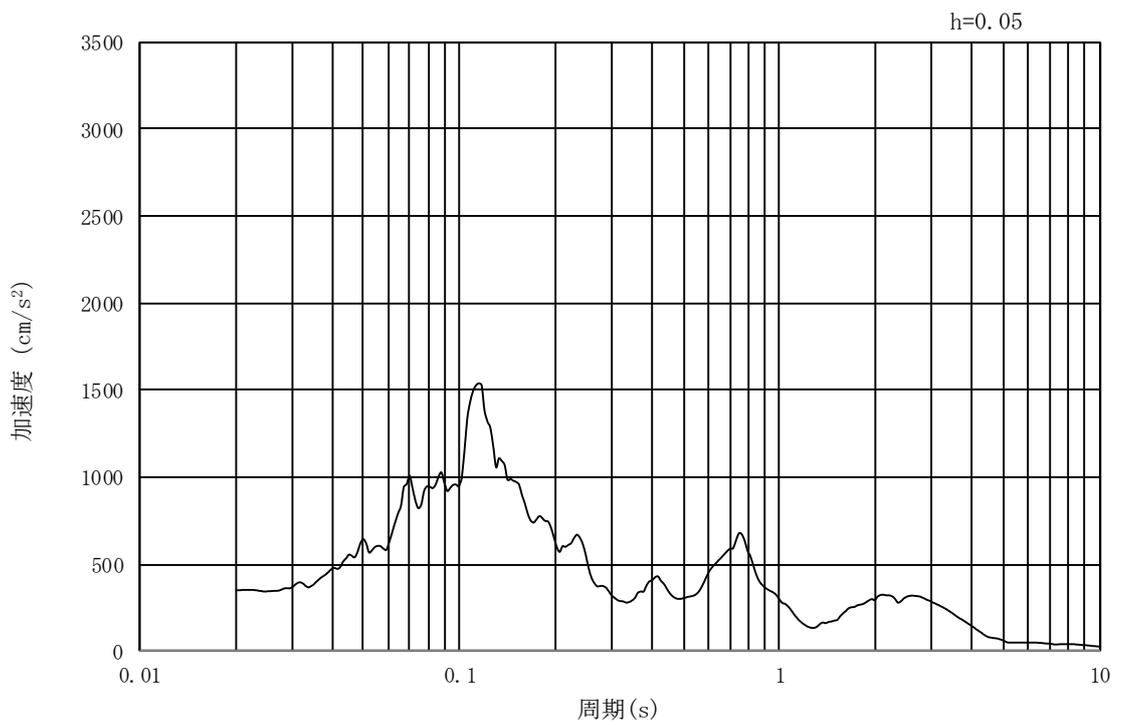


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (15) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.4$)

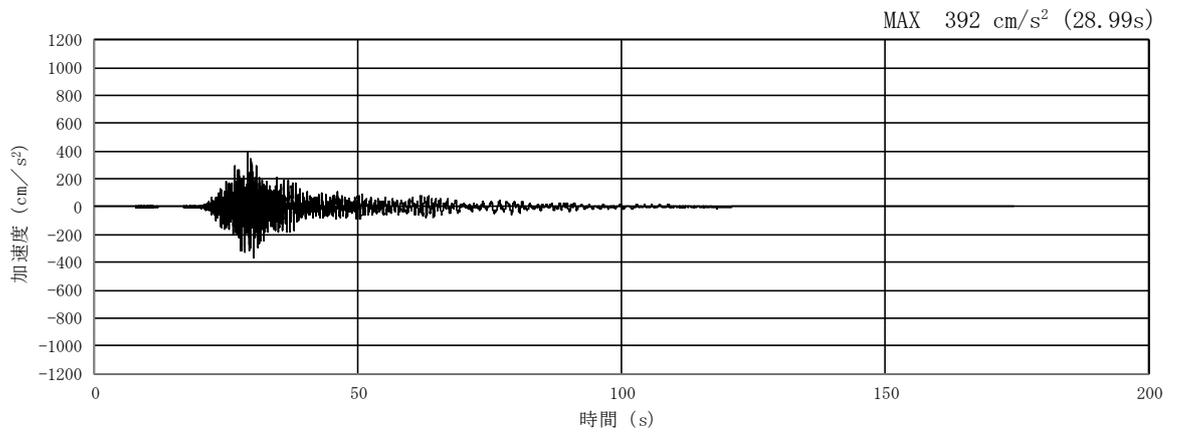


(a) 加速度時刻歴波形

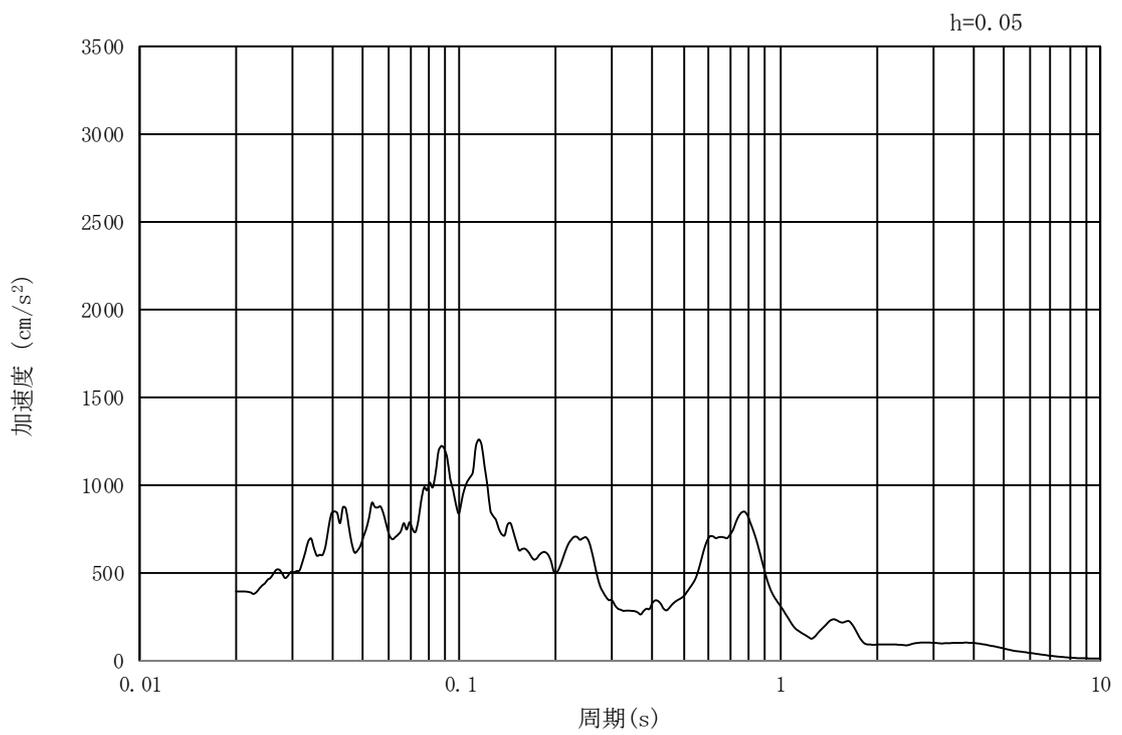


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (16) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.4$)

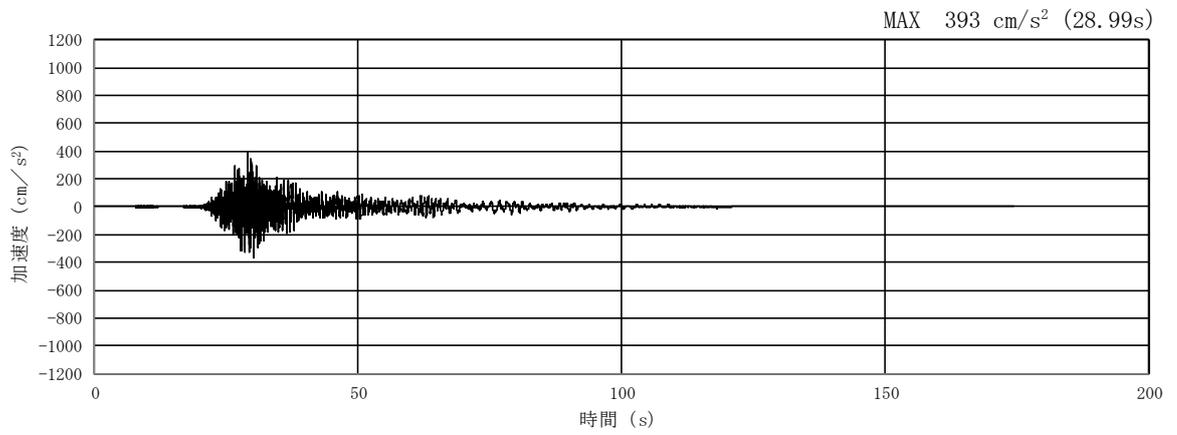


(a) 加速度時刻歴波形

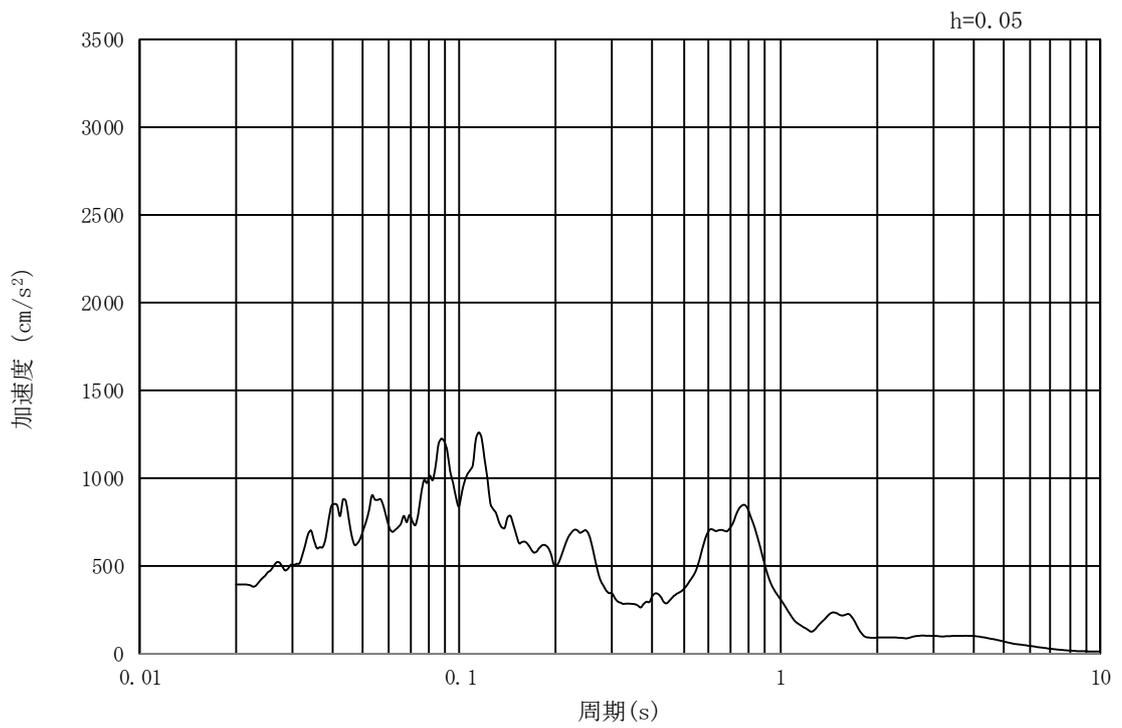


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (17) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.4$)

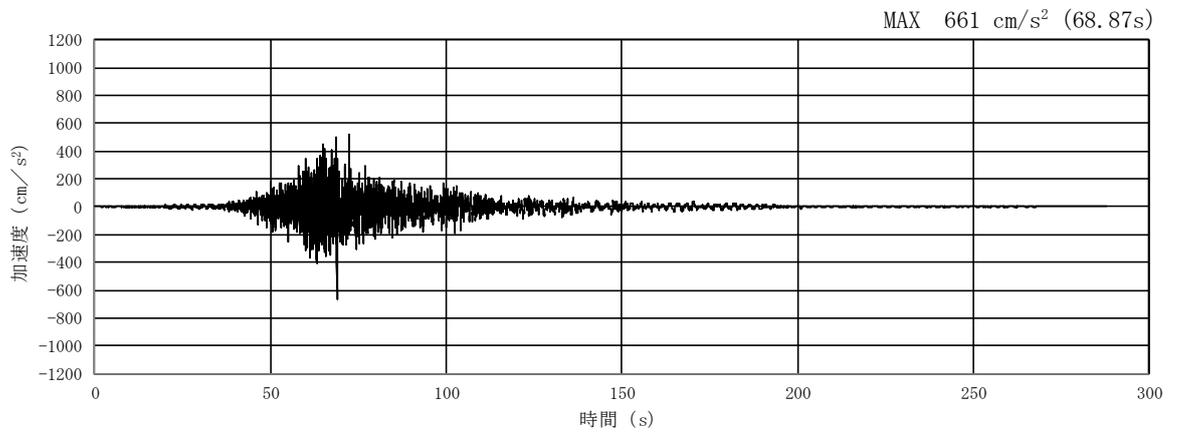


(a) 加速度時刻歴波形

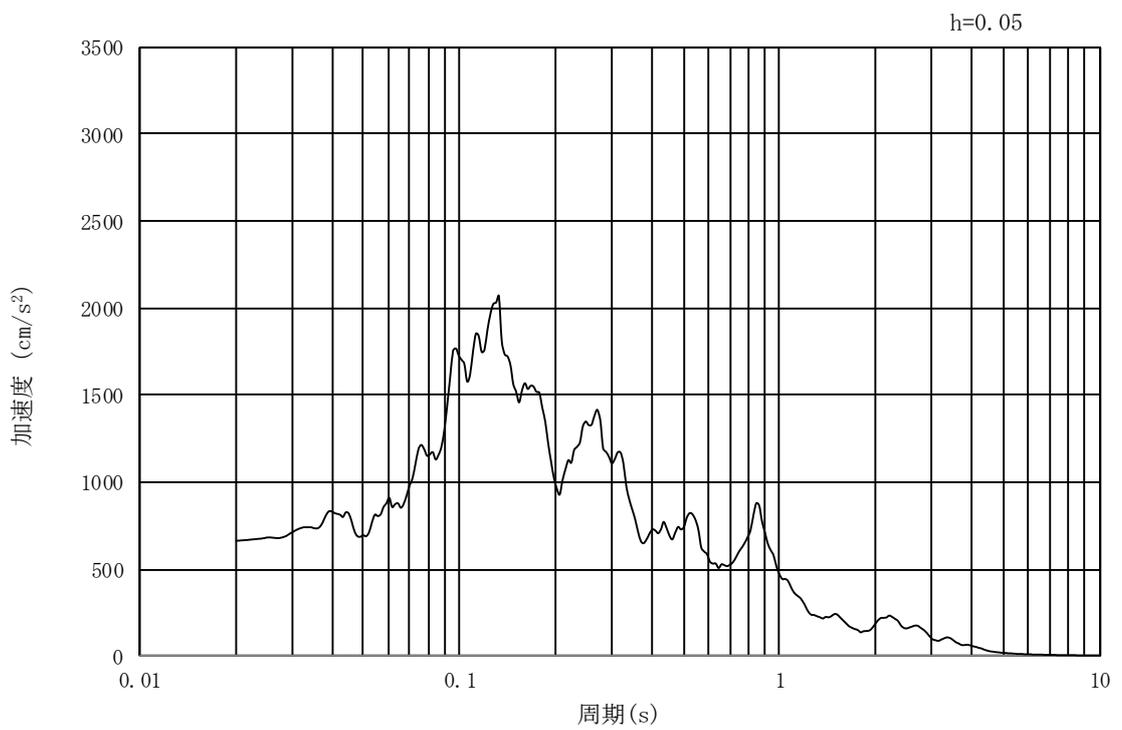


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (18) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.4$)

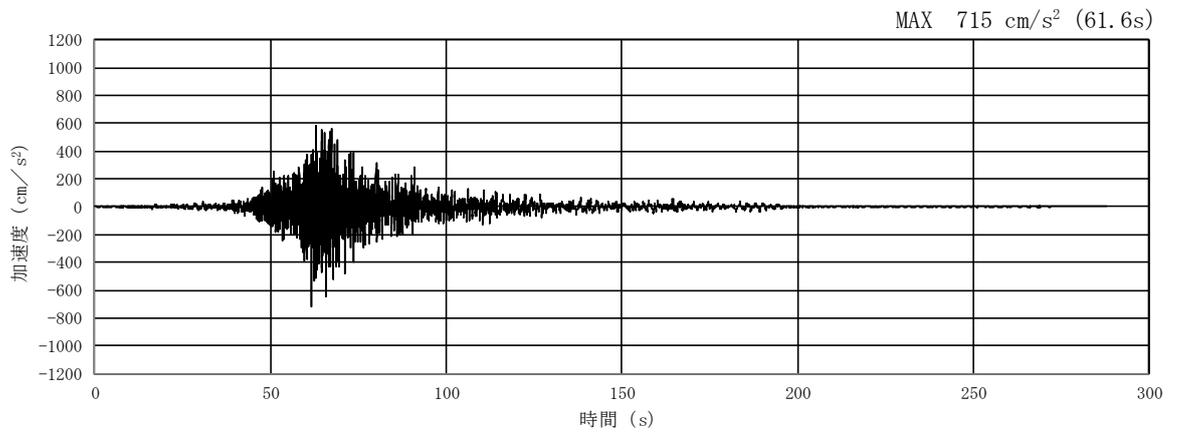


(a) 加速度時刻歴波形

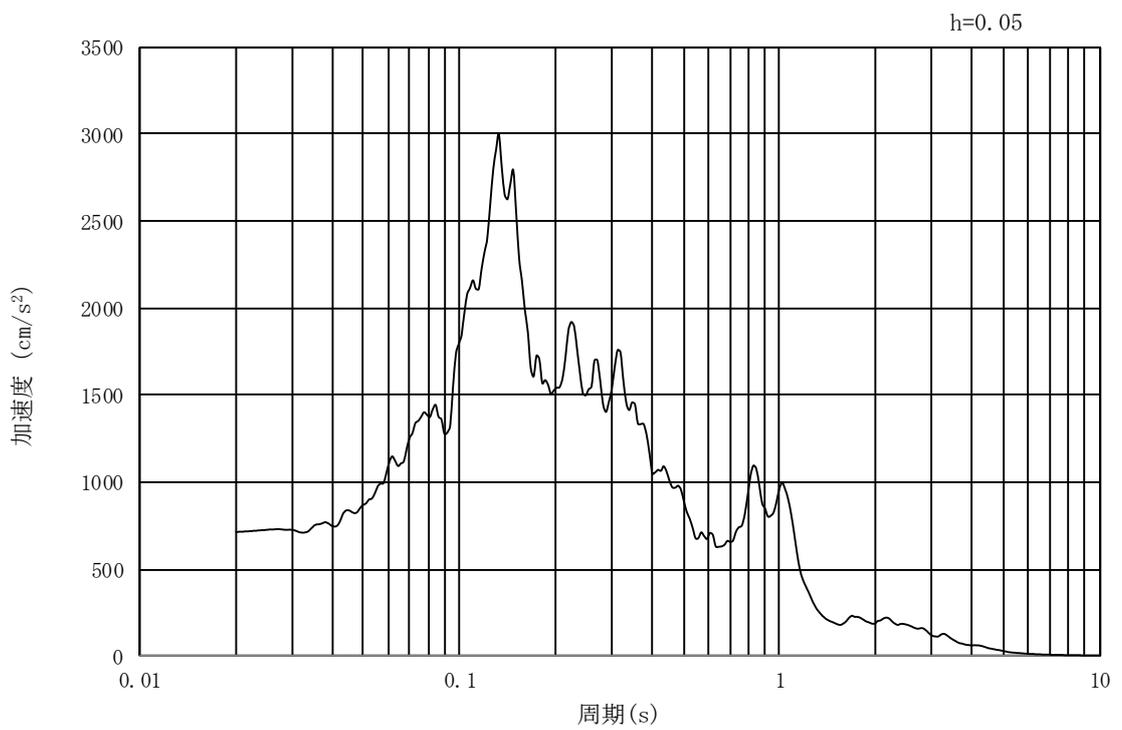


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (19) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 21$)

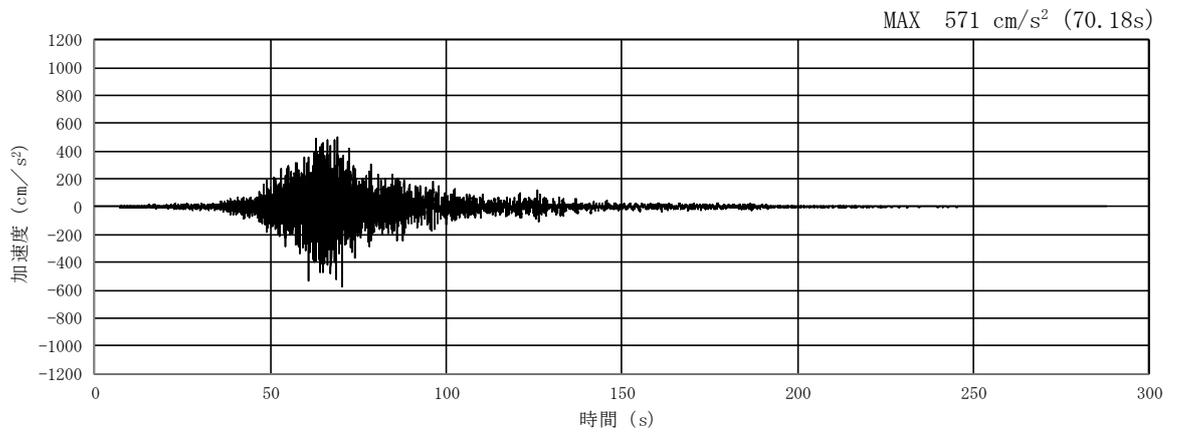


(a) 加速度時刻歴波形

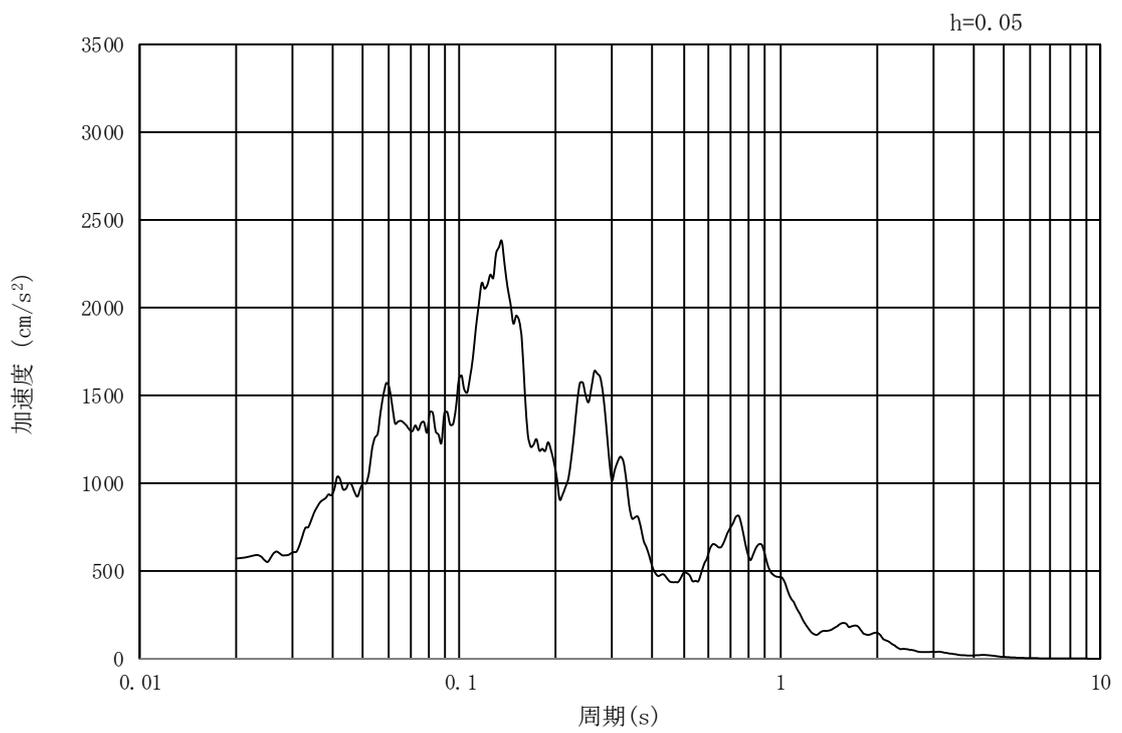


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (20) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 21$)

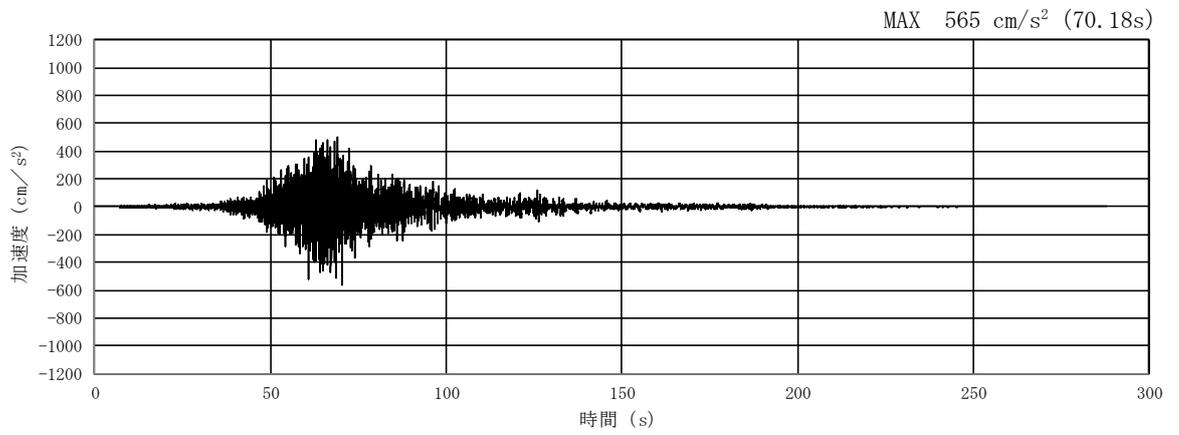


(a) 加速度時刻歴波形

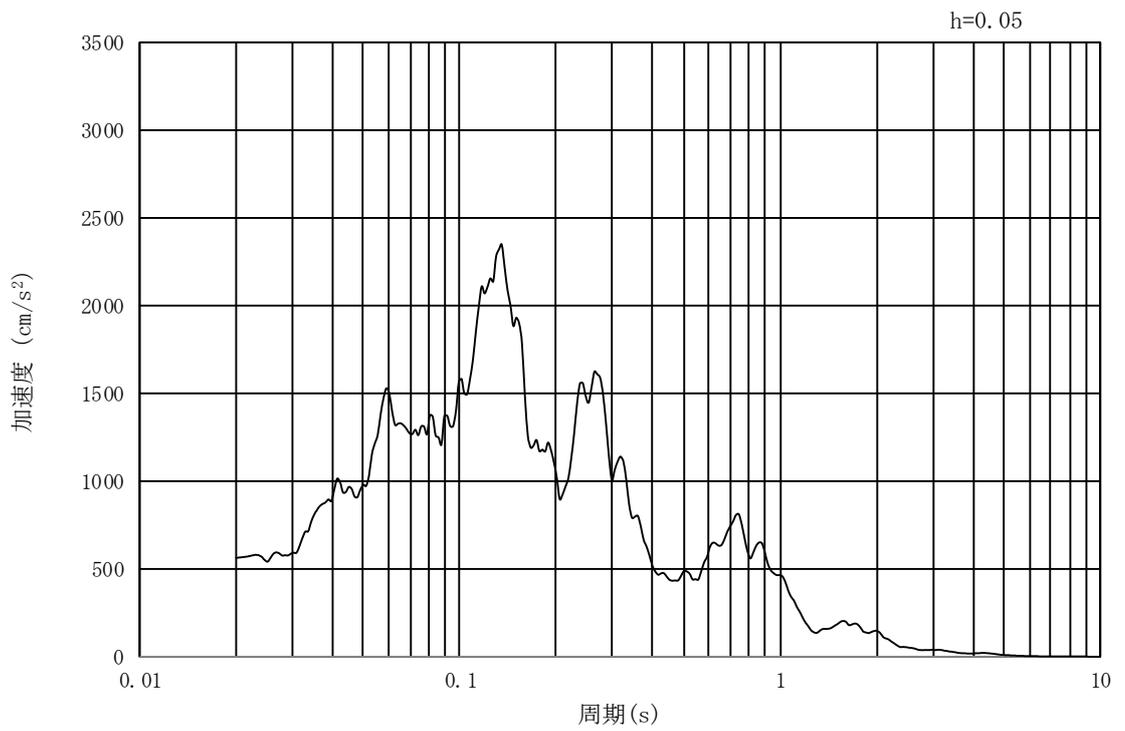


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (21) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 21$)

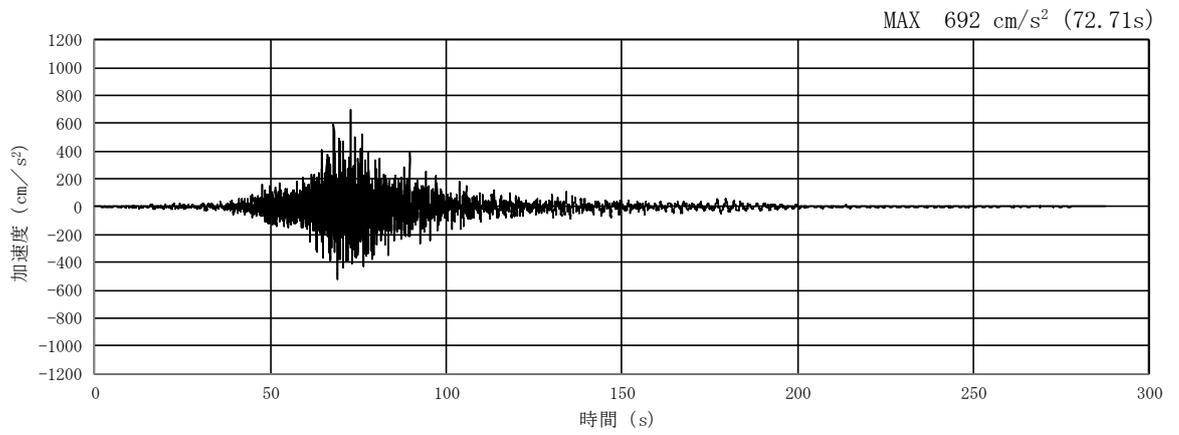


(a) 加速度時刻歴波形

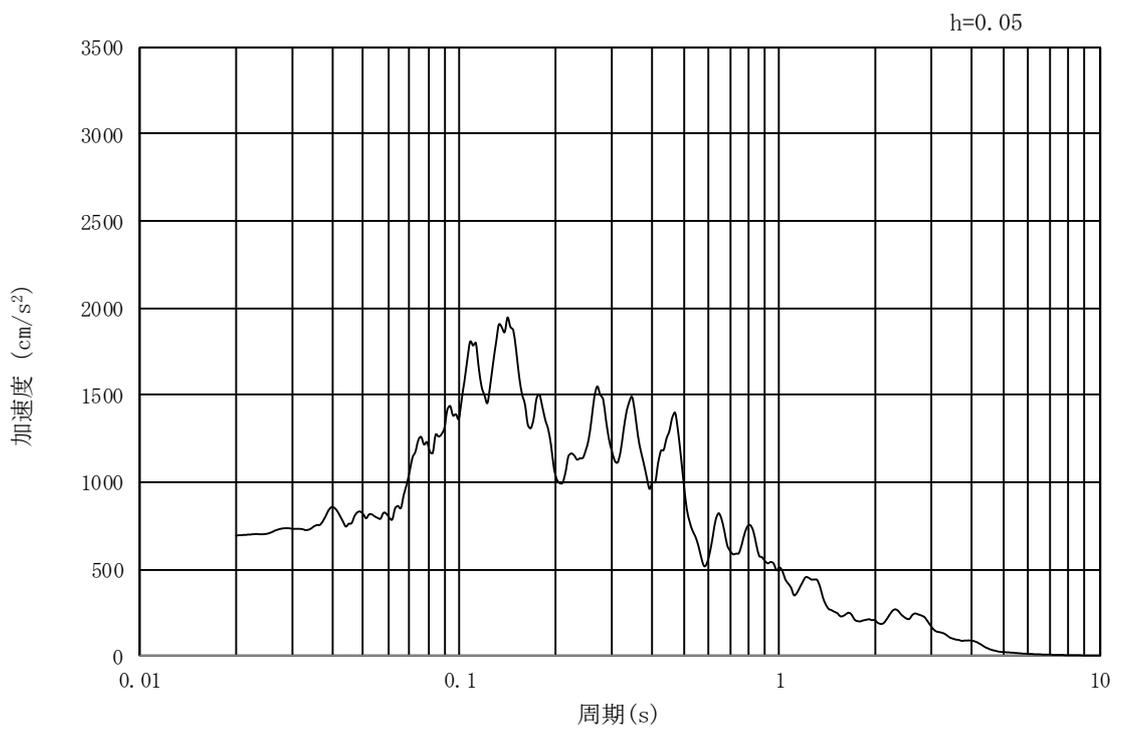


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (22) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 21$)

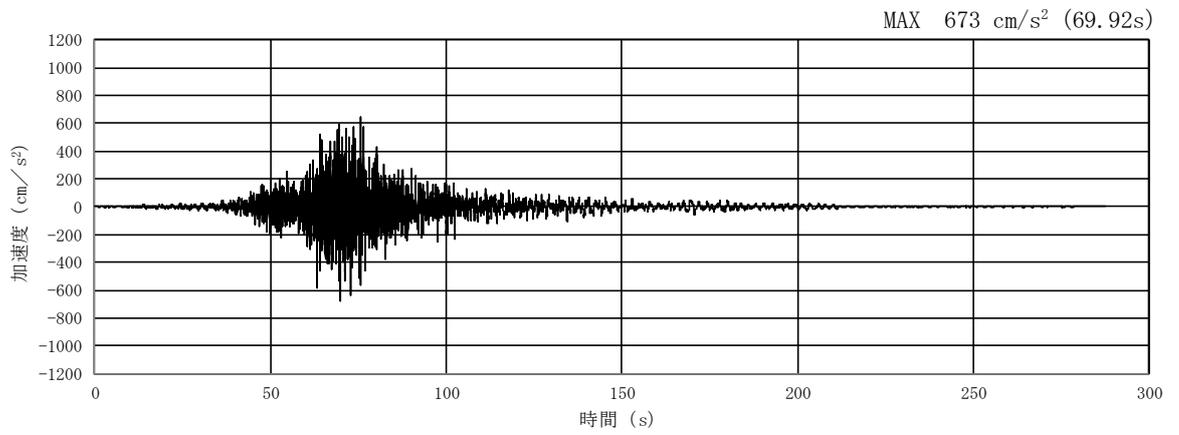


(a) 加速度時刻歴波形

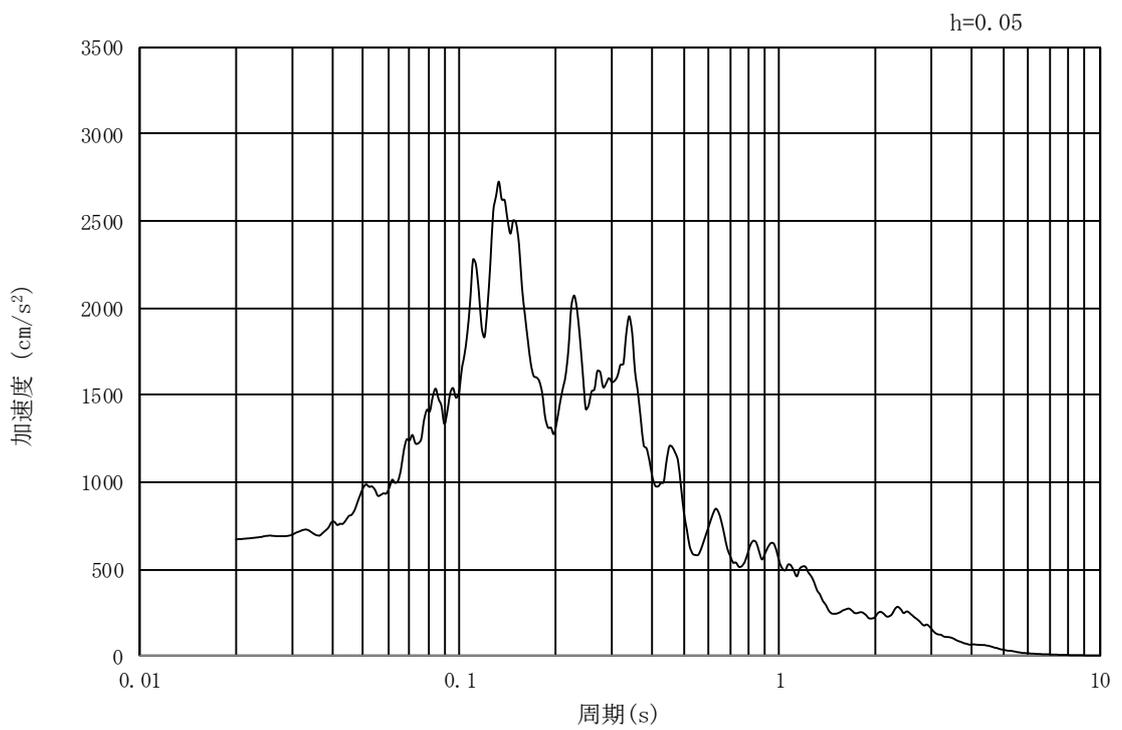


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (23) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 22$)

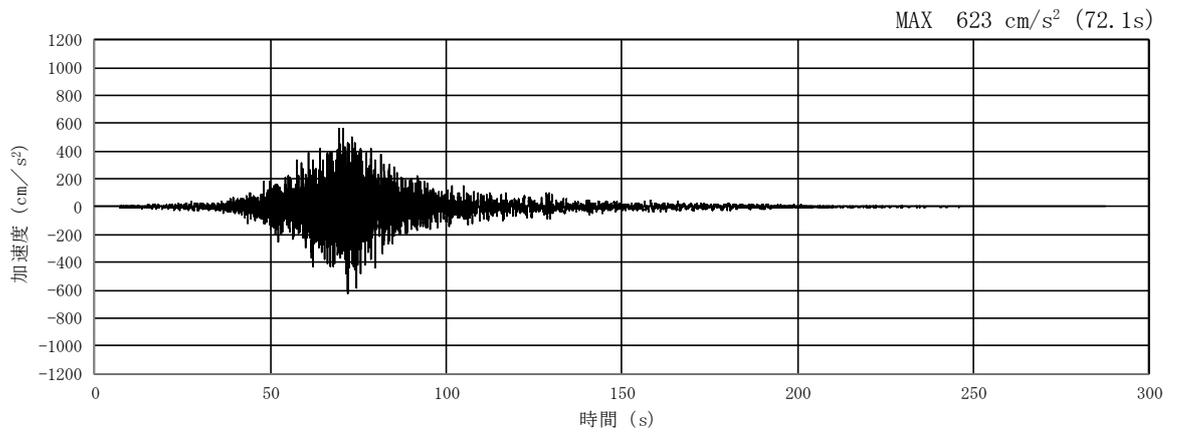


(a) 加速度時刻歴波形

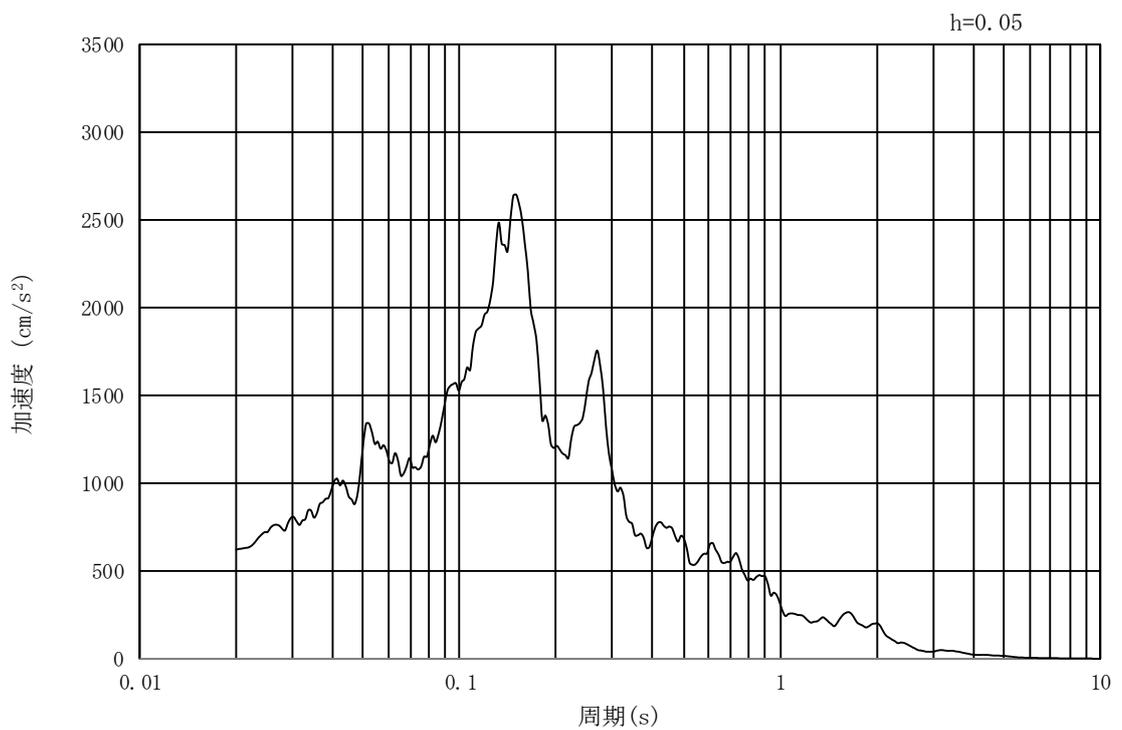


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (24) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 22$)

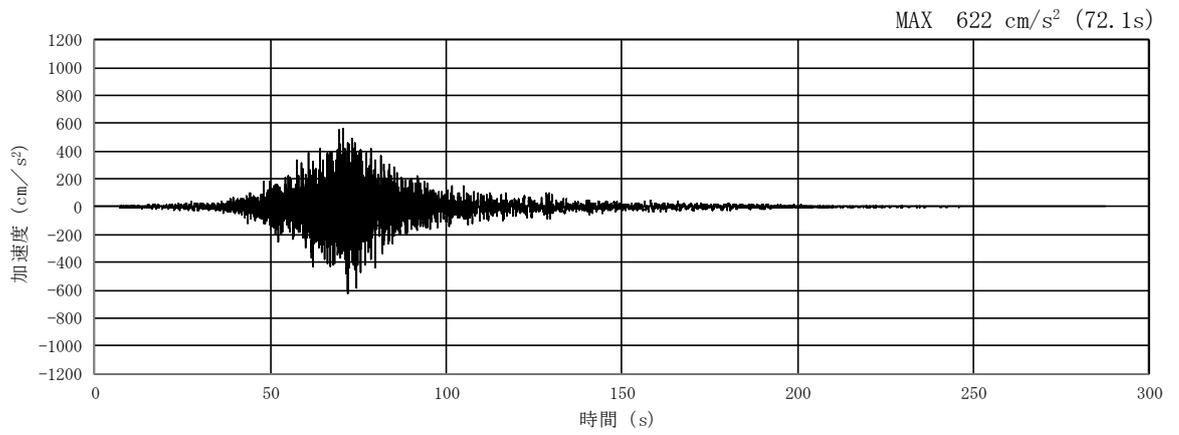


(a) 加速度時刻歴波形

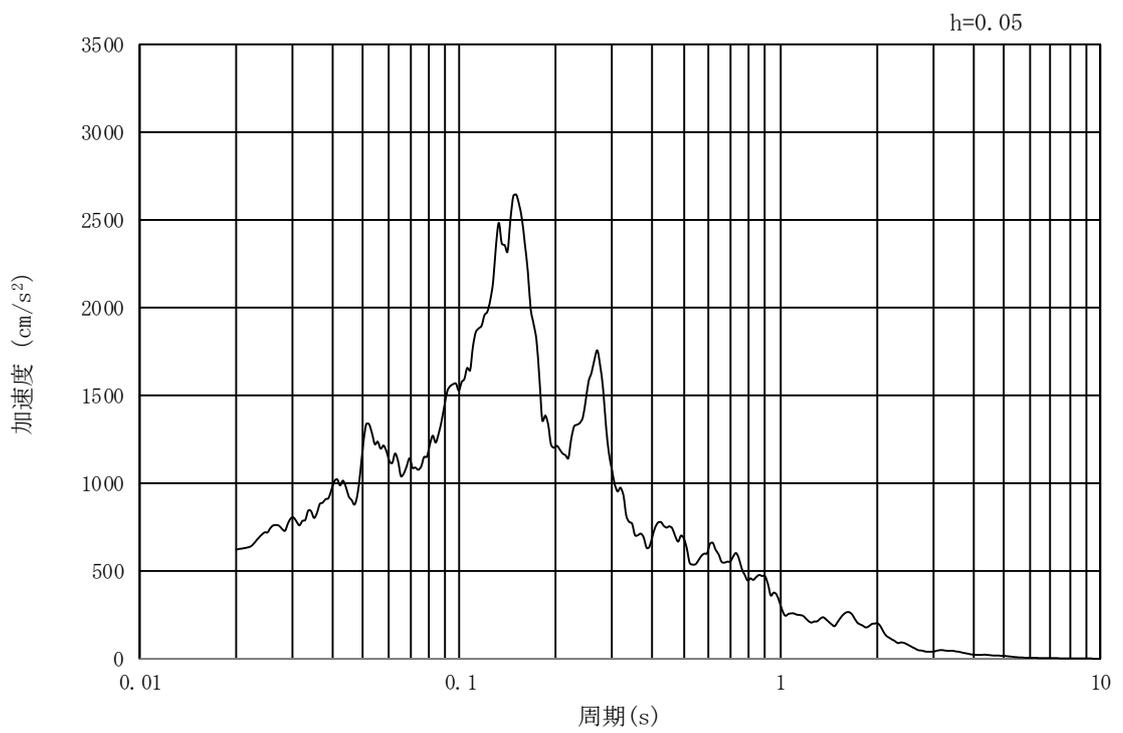


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (25) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 22$)

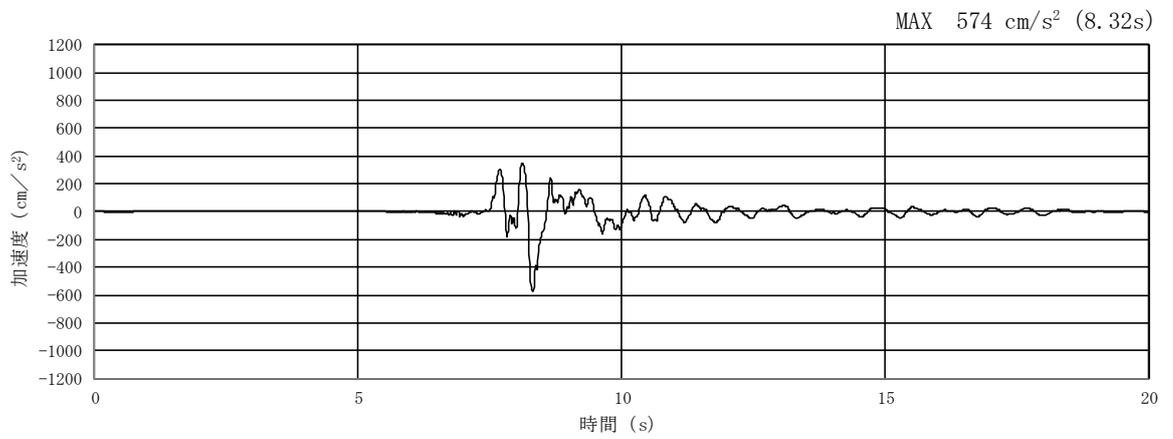


(a) 加速度時刻歴波形

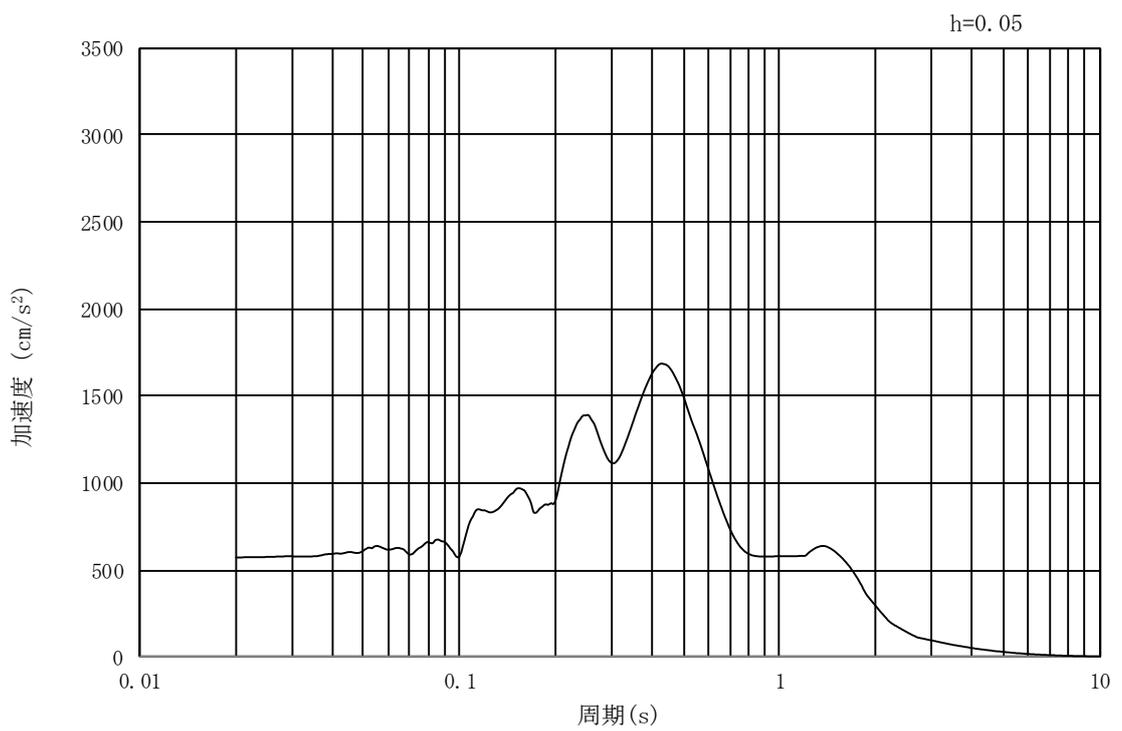


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (26) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 22$)

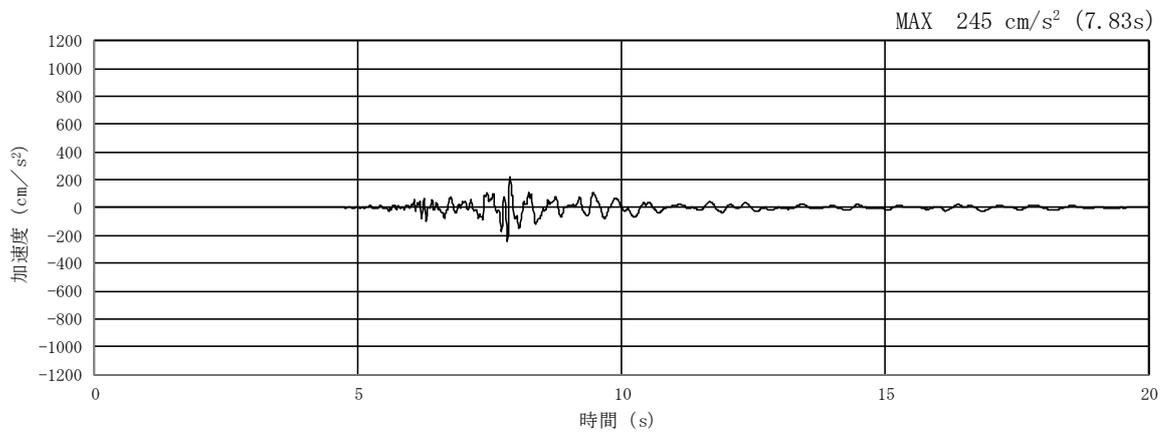


(a) 加速度時刻歴波形

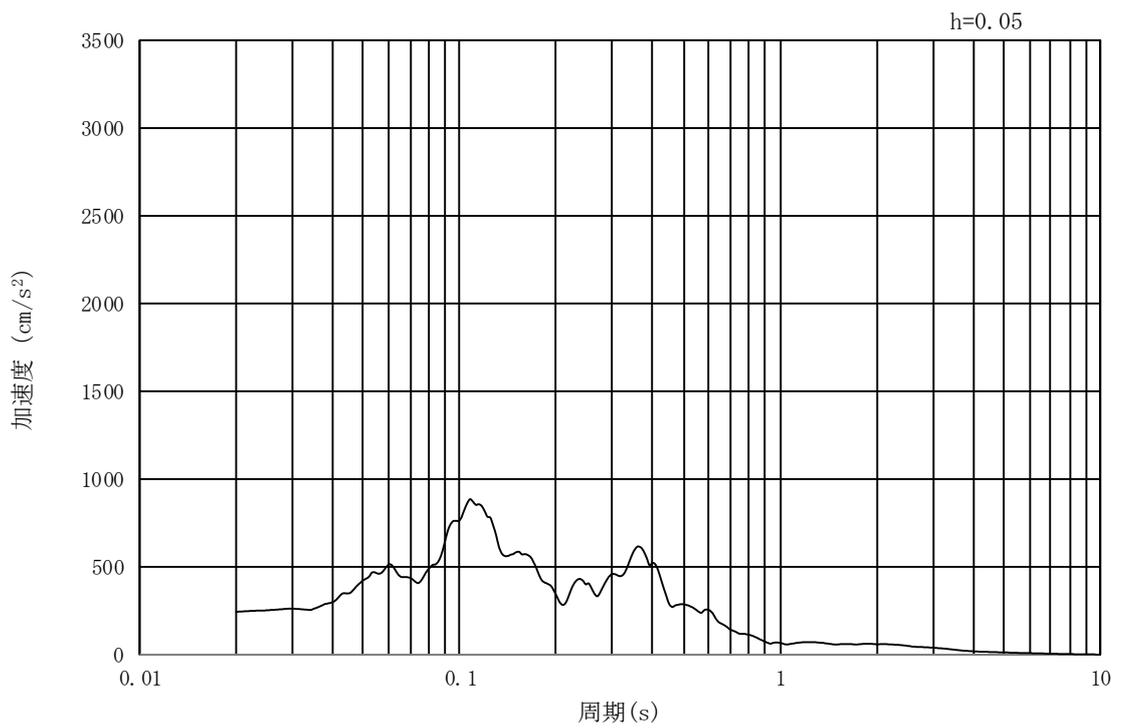


(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (27) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 31$)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 17.3-2 (28) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 31$)

17.3.2 許容限界の設定

(1) 許容応力度による許容限界

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の構造部材は、許容応力度による照査を行う。評価位置においてコンクリートの圧縮応力度、鉄筋の引張応力度、コンクリートのせん断応力度が許容応力度以下であることを確認する。

許容応力度については、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年制定）」，「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，コンクリート及び鉄筋の許容応力度に対して割増係数1.5を考慮し，表17.3-1のとおり設定する。

表 17.3-1 許容応力度

評価項目		短期許容応力度 (N/mm ²)	
コンクリート*1 (f' _{ck} =40 N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	21.0	
	許容せん断応力度 τ_{a1}	0.825*4	
鉄筋(SD490)*2	許容引張応力度 σ_{sa} (曲げ)	435	
	許容引張応力度 σ_{sa} (せん断)	300	
鋼管杭(SKK490)*3	母材部 溶接部	引張	277.5
		圧縮	277.5
		せん断	157.5

注記 *1：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）

*2：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）

*3：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）

*4：斜め引張鉄筋を考慮する場合は，「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年制定）」を適用し，次式により求められる許容せん断力 (V_a) を許容限界とする。

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで，

V_{ca} : コンクリートの許容せん断力

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

V_{sa} : 斜め引張鉄筋の許容せん断力

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa2} \cdot j \cdot d / s$$

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w : 有効幅

j : 1/1.15

- d : 有効高さ
A_w : 斜め引張鉄筋断面積
 σ_{sa2} : 鉄筋の許容引張応力度
s : 斜め引張鉄筋間隔

表 17.3-2 斜め引張鉄筋を配置する部材のせん断力に対する許容限界 (追而)

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

極限支持力は、道路橋示方書の支持力算定式等に基づき、対象施設の岩盤の室内試験結果（せん断強度）等より設定する。

道路橋示方書による杭基礎における支持力算定式を以下に示す。杭基礎構造を有する耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設について、豊浦標準砂の液化強度特性により強制的に液化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。ただし、杭を根入れした岩盤及び岩着している地盤改良体とその上方の非液化化層が連続している場合は、杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合がある。

極限支持力算定式（杭基礎 [中掘り工法]）

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

q_u : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

A : 杭先端面積 (m²)

U : 杭の周長 (m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎における許容限界を表 17.3-3 に示す。

表 17.3-3 基礎地盤の支持力に対する許容限界（追而）

17.4 評価結果

17.4.1 地震応答解析結果

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の基準地震動 S_s による断面力（曲げモーメント，軸力，せん断力）を図17.4-1及に示す。本図は構造部材の曲げ，せん断照査結果が最も厳しくなる部材の評価時刻における断面力を示したものである。

また，最大せん断ひずみ分布図を図17.4-2に示し，過剰間隙水圧比の分布図を図17.4-3に示す。これらの図は，各要素に発生したせん断ひずみ及び過剰間隙水圧比の全時刻における最大値の分布を示したものである。

17.4.2 耐震評価結果

(1) 構造部材の曲げに対する評価結果

表17.4-1及び表17.4-2に曲げに対する照査結果を示す。

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。なお，発生応力は各地震動，各部材において最大となる値を示している。

以上より，緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の構造部材の発生応力は，許容限界以下であることを確認した。

概略配筋図を図17.4-4に，断面計算に用いた断面諸元の一覧を表17.4-3に示す。

(2) 構造部材のせん断に対する評価結果

表17.4-4にせん断に対する照査結果を示す。

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてせん断応力度が許容せん断応力度以下又は発生せん断力がコンクリートの許容せん断力($V_{c,a}$)と，斜め引張鉄筋の許容せん断力($V_{s,a}$)を合わせた許容せん断力(V_a)以下であることを確認した。なお，発生応力は各地震動，各部材において最大となる値を示している。

以上より，緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の構造部材の発生応力は，許容限界以下であることを確認した。

図17.4-5に概略配筋図を，表17.4-4に断面計算に用いた断面諸元の一覧を示す。

(3) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

表17.4-6に基礎地盤の支持性能評価結果を，図17.4-5に接地圧分布図を示す。

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の最大接地圧は S_s-D1 〔H+，V+〕で $\bigcirc\bigcirc$ kN/m²であり，基礎地盤の極限支持力度 $\Delta\Delta$ kN/m²以下である。

以上のことから，緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の基礎地盤は，基準地震動 S_s に対し，支持性能を有する。

17.5 まとめ



18. 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価

目次

18.1 評価方法	2
18.2 評価条件	2
18.2.1 適用基準	2
18.2.2 耐震安全性評価フロー	4
18.2.3 評価対象断面の方向	5
18.2.4 評価対象断面の選定	7
18.2.5 使用材料及び材料定数	10
18.2.6 地下水位	13
18.2.7 地震応答解析手法	13
18.2.8 解析モデルの設定	14
18.2.9 減衰定数	25
18.2.10 荷重の組合せ	27
18.2.11 地震応答解析の検討ケース	30
18.3 評価内容	32
18.3.1 入力地震動の設定	32
18.3.2 許容限界の設定	40
18.4 評価結果	68
18.5 まとめ	69

18.1 評価方法

可搬型設備用軽油タンク基礎は、西側と南側に分散配置され、可搬型設備用軽油タンクを間接支持する鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、内空幅約 11 m（タンク軸方向）×約 13 m（タンク横断方向）、内空高さ約 4 m である。また、杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。可搬型設備用軽油タンク基礎について基準地震動 S_s による耐震安全性評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び地盤の支持性能評価を実施する。

構造部材の曲げ、せん断評価については地震応答解析に基づく発生応力又は発生せん断力が許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく接地圧が許容限界以下であることを確認する。

18.2 評価条件

18.2.1 適用基準

可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震評価に当たっては、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会、2002 年制定）を適応するが、鉄筋コンクリートの曲げ及びせん断の許容限界については、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）、鋼管杭は道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 14 年 3 月）を適応する。

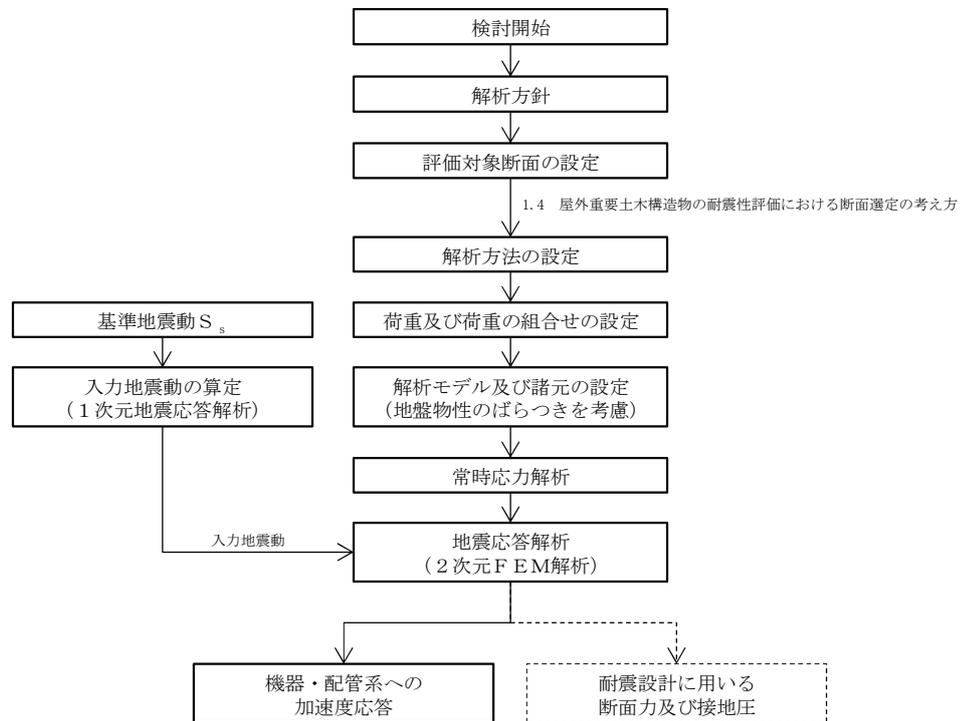
表 18.2-1 に適用する規格、基準類を示す。

表 18.2-1 適用する規格，基準類

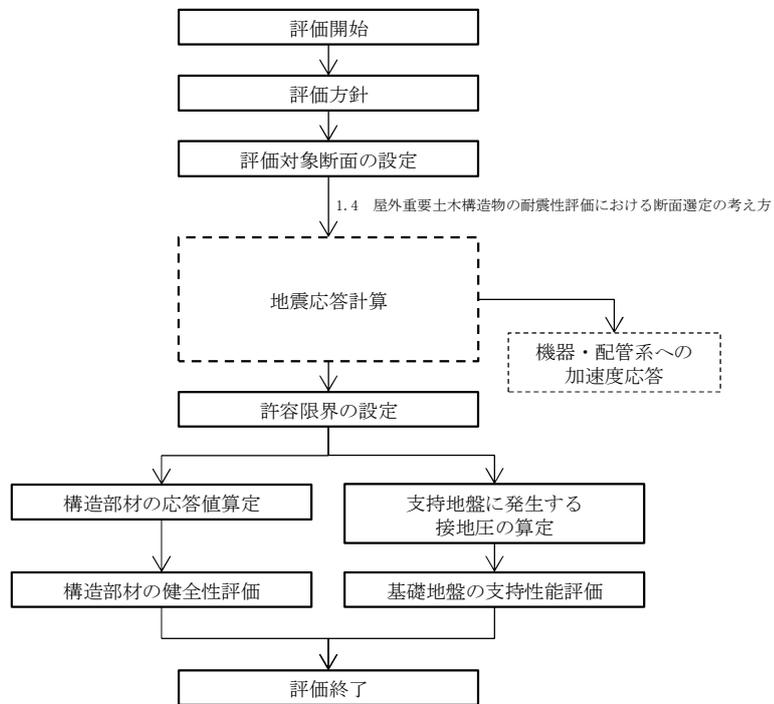
項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定）	—
荷重及び荷重の組合せ	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定）	・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定） ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（平成24年3月） ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（平成14年3月） ・J E A G 4 6 0 1 -1987 	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げに対する照査は，発生応力が，許容応力以下であることを確認 ・せん断に対する照査は，発生応力又は発生せん断力が，許容限界以下であることを確認
地震応答解析	・J E A G 4 6 0 1 -1987	・有限要素法による2次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

18.2.2 耐震安全性評価フロー

図 18.2-1 に可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価フローを示す。



<地震応答計算>



<耐震性評価>

図 18.2-1 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価フロー

18.2.3 評価対象断面の方向

可搬型設備用軽油タンク基礎の位置を図 18.2-2 に示す。

可搬型設備用軽油タンク基礎は、内空幅約 11 m (タンク軸方向) × 約 13 m (タンク横断方向)、内空高さ約 4 m の鉄筋コンクリート造である。可搬型設備用軽油タンク基礎の縦断方向 (南北方向) は加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができることから、強軸断面方向となる。一方、横断断面方向 (東西方向) は、タンクを格納するため側壁の離隔が大きく耐震設計上見込めないことから、弱軸断面方向となる。

以上のことから、可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震評価では、構造の安定性に支配的な東西方向を評価対象断面の方向とする。

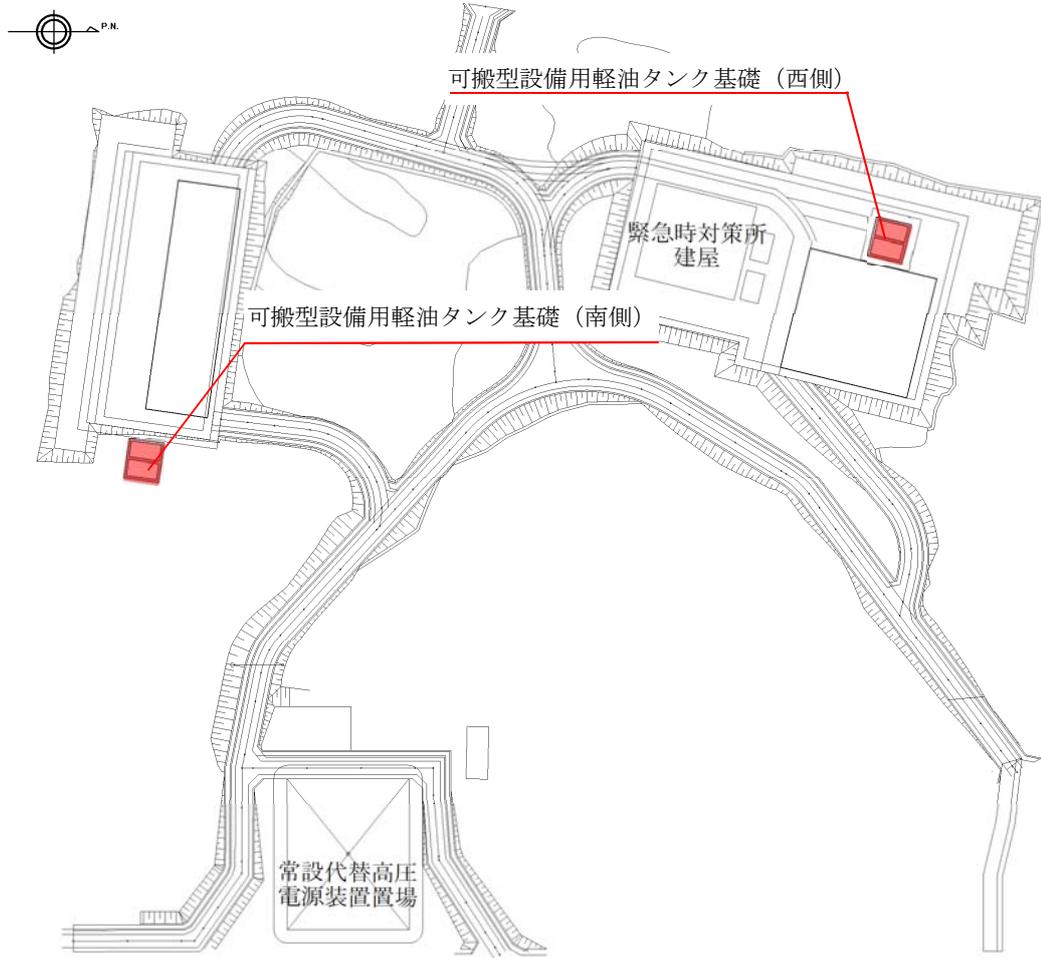


図 18.2-2 可搬型設備用軽油タンク基礎の位置図 (全体平面図)

18.2.4 評価対象断面の選定

図 18.2-3 及び図 18.2-4 に可搬型設備用軽油タンク基礎の断面位置図及び断面図を示す。

可搬型設備用軽油タンク基礎は、内空幅約 11 m (タンク軸方向) × 約 13 m (タンク横断方向)、内空高さ約 4 m の鉄筋コンクリート造である。

評価対象断面は、「1.4.18 可搬型設備用軽油タンク基礎の断面選定の考え方」で記載したとおり、第四紀層が厚く (約 40 m) 堆積し、構造物の弱軸断面方向である①-①断面を代表として耐震評価を実施する。なお、④-④断面についても、設備の床応答算出の観点から地震応答解析を実施する。

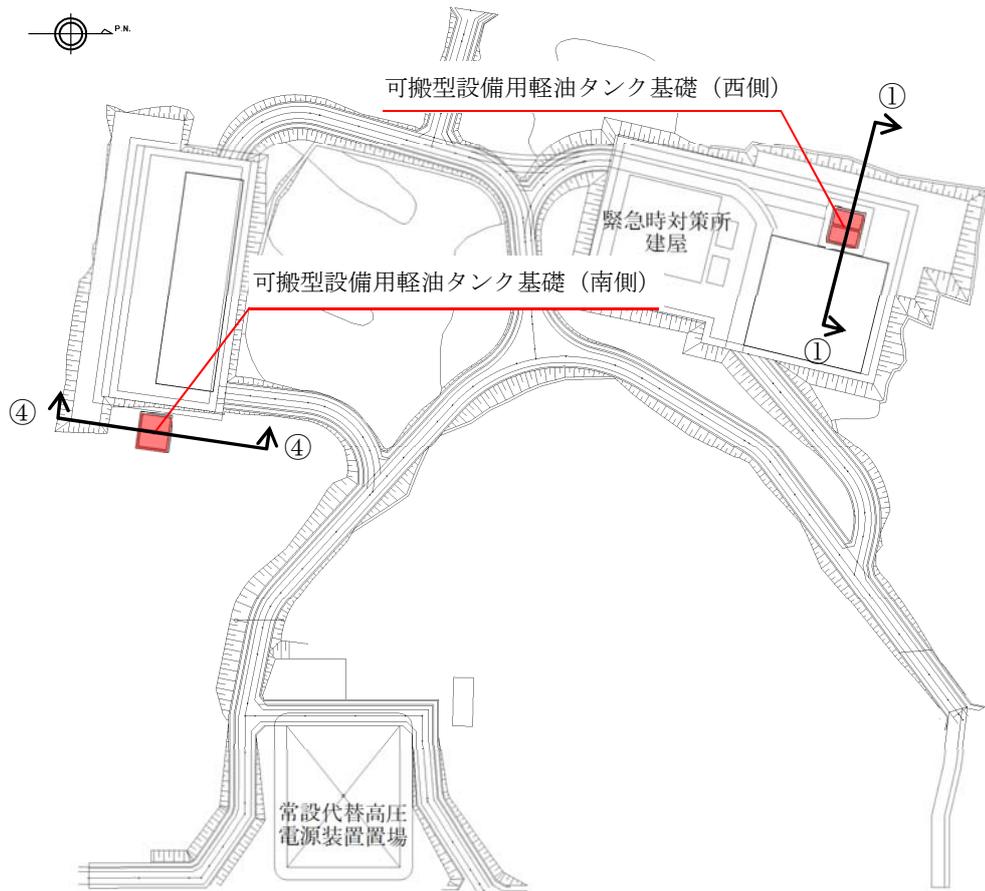
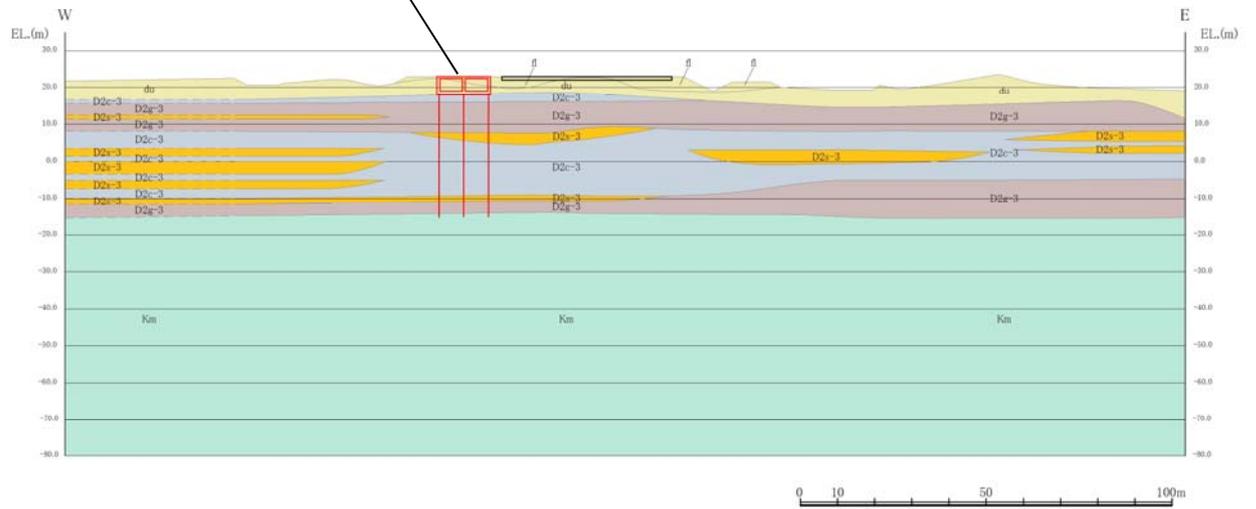


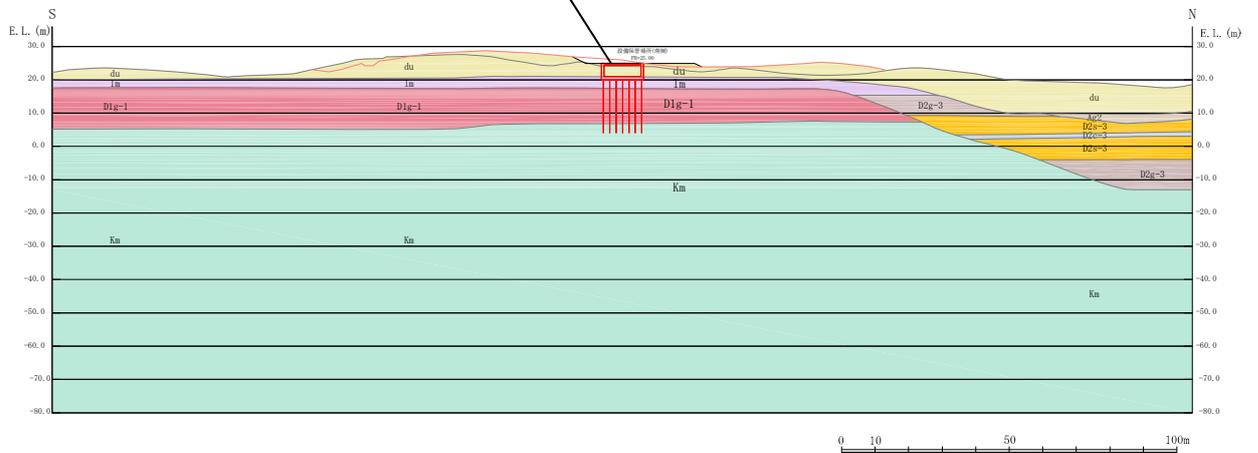
図 18.2-3 可搬型設備用軽油タンク基礎の断面位置図

可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）



(①-①断面)

可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）



(④-④断面)

図 18.2-4 可搬型設備用軽油タンク基礎の断面図

18.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 18.2-2 に、材料物性値を表 18.2-3 に示す。

地盤の諸元は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切にモデル化する。地盤の物性値を表 18.2-4 に示す。

表 18.2-2 使用材料

諸元	
コンクリート	設計基準強度 40 N/mm ²
鉄筋	SD490
鋼管杭	SKK490

表 18.2-3 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.5	3.1×10^4	0.2
鋼管杭	77	2.0×10^5	0.3

表 18.2-4(1) 地盤の解析用物性値一覧（液状化検討対象層）

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系（液状化検討対象層）							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 ()は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 ()は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 ()は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

表 18.2-4 (2) 地盤の解析用物性値一覧（非液状化層）

パラメータ				原地盤				
				第四系（非液状化層）				新第三系
				Ac	D2c-3	1m	D1c-1	Km
物理特性	密度 ()は地下水位以浅	ρ	g/cm ²	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 ()は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z（標高）毎に物性値を 設定
	基準初期せん断剛性 ()は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026	
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 18.2-4 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP(m) Z	適用深度 TP(m)	密度 ρ (g/cm ³)	静ポアソン比 ν^{CD}	粘着力 C_{co} (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ_{co} (°)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G _{ma} (kN/m ²)	基準体積 弾性係数 K _{ma} (kN/m ²)	基準平均有効 主応力 σ'_{ma} (kN/m ²)	拘束圧 依存係数 m ₆ , m ₆	最大履歴 減衰率 h _{max} (-)	動ポアソン比 ν^d	確密波 速度V _p (m/s)	1000*V _p
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326,965	371,843	504	0.0	0.108	0.463	1,661	1,661,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644	1,644,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331,480	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652	1,652,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332,992	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656	1,656,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659	1,659,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663	1,663,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,671	1,671,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654	1,654,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	504	0.0	0.112	0.461	1,662	1,662,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,665	1,665,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348,300	381,471	498	0.0	0.112	0.461	1,673	1,673,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351,403	384,870	498	0.0	0.113	0.461	1,680	1,680,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352,959	386,574	498	0.0	0.113	0.460	1,664	1,664,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356,083	389,996	498	0.0	0.114	0.460	1,672	1,672,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357,650	391,712	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	360,794	395,155	498	0.0	0.115	0.460	1,683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362,371	396,883	498	0.0	0.115	0.459	1,667	1,667,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365,536	400,349	498	0.0	0.115	0.459	1,675	1,675,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367,124	402,088	498	0.0	0.116	0.459	1,678	1,678,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370,309	405,577	498	0.0	0.116	0.459	1,685	1,685,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371,907	407,327	498	0.0	0.117	0.459	1,689	1,689,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375,113	410,838	498	0.0	0.117	0.458	1,678	1,678,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376,721	412,599	498	0.0	0.117	0.458	1,681	1,681,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379,948	416,134	498	0.0	0.118	0.458	1,688	1,688,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385,416	422,122	498	0.0	0.118	0.458	1,696	1,696,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387,051	423,913	498	0.0	0.118	0.458	1,699	1,699,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390,331	427,505	498	0.0	0.118	0.457	1,688	1,688,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391,976	429,307	498	0.0	0.119	0.457	1,692	1,692,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395,277	432,922	498	0.0	0.119	0.457	1,699	1,699,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396,933	434,736	498	0.0	0.120	0.457	1,702	1,702,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400,255	422,491	492	0.0	0.120	0.457	1,709	1,709,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401,921	424,250	492	0.0	0.120	0.456	1,695	1,695,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405,263	427,778	492	0.0	0.120	0.456	1,702	1,702,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406,939	429,547	492	0.0	0.121	0.456	1,705	1,705,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410,302	433,097	492	0.0	0.121	0.456	1,712	1,712,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413,679	436,661	492	0.0	0.121	0.456	1,719	1,719,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415,373	438,449	492	0.0	0.122	0.455	1,705	1,705,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418,771	442,036	492	0.0	0.122	0.455	1,712	1,712,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420,475	443,835	492	0.0	0.122	0.455	1,716	1,716,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423,893	447,443	492	0.0	0.122	0.455	1,723	1,723,000
57	-82	-83 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425,608	449,253	492	0.0	0.123	0.455	1,726	1,726,000
58	-88	-90 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434,232	458,356	492	0.0	0.124	0.454	1,726	1,726,000
59	-92	-95 ~ -90	1.73	0.14	913	14.1	504	439,448	463,862	492	0.0	0.124	0.454	1,736	1,736,000
60	-98	-101 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	448,210	473,111	492	0.0	0.125	0.453	1,736	1,736,000
61	-104	-108 ~ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	455,282	463,485	486	0.0	0.126	0.452	1,733	1,733,000
62	-112	-115 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465,995	474,391	486	0.0	0.127	0.451	1,737	1,737,000
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475,016	483,575	486	0.0	0.127	0.451	1,754	1,754,000
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485,957	494,713	486	0.0	0.128	0.450	1,758	1,758,000

18.2.6 地下水位

地下水位は地表面に設定する。

18.2.7 地震応答解析手法

可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。部材については、線形はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデル化とする。地震応答解析については、解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、付録24「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図18.2-5に示す。

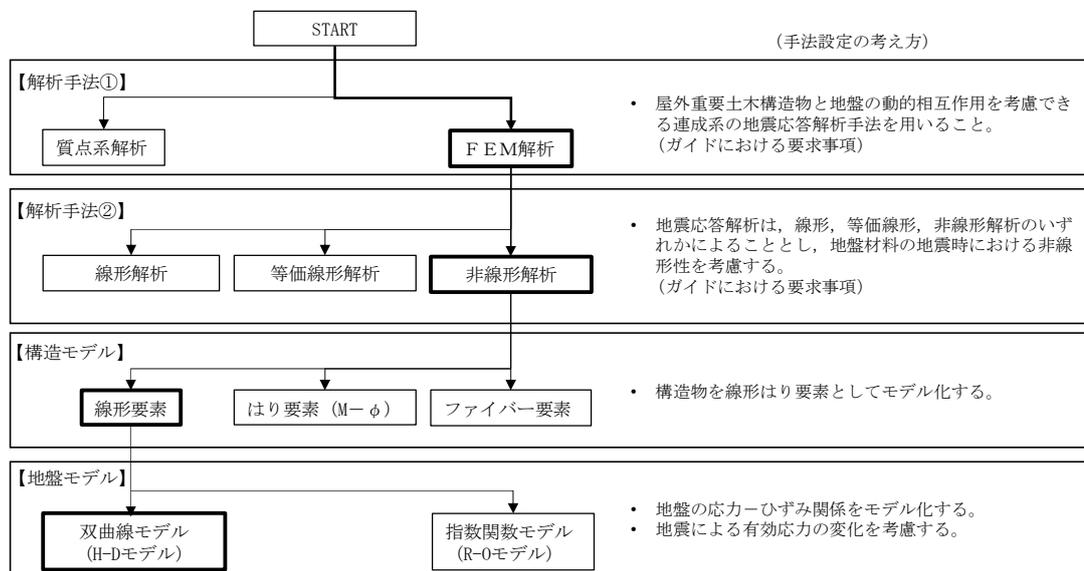


図 18.2-5 地震応答解析手法の選定フロー

H-D モデルの選定理由は次の通りである。すなわち、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた上記の2つの特徴を適切に表現できる双曲線モデル (H-D モデル) を選定する。

18.2.8 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 -1987 を適応し、図 18.2-6 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、モデル高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。

可搬型設備用軽油タンク基礎周辺の地質断面図を図 18.2-7 に示す。

なお、解析モデルの境界条件は、側方及び底面ともに粘性境界とする。

要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長に対して 5 または 4 分割以上になるように要素高さを設定している。

地震応答解析モデルを図 18.2-8 に示す。

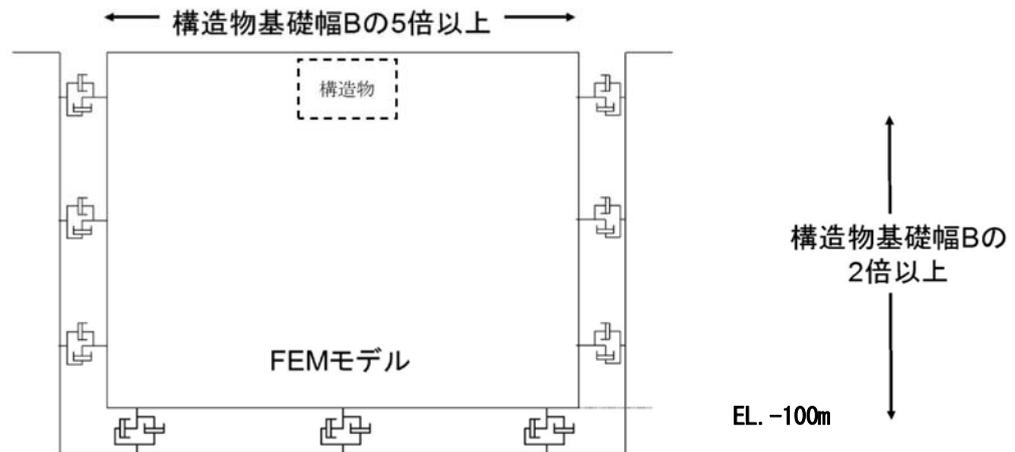


図 18.2-6 モデル範囲の考え方

可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）

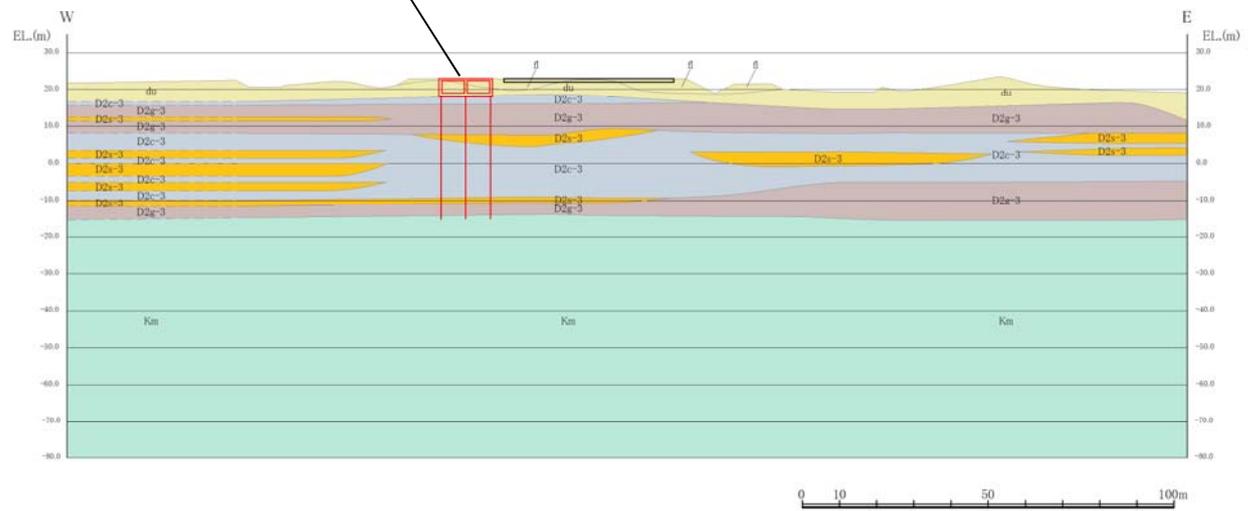


図 18.2-7 (1) 地質断面図 (①-①断面)

可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）

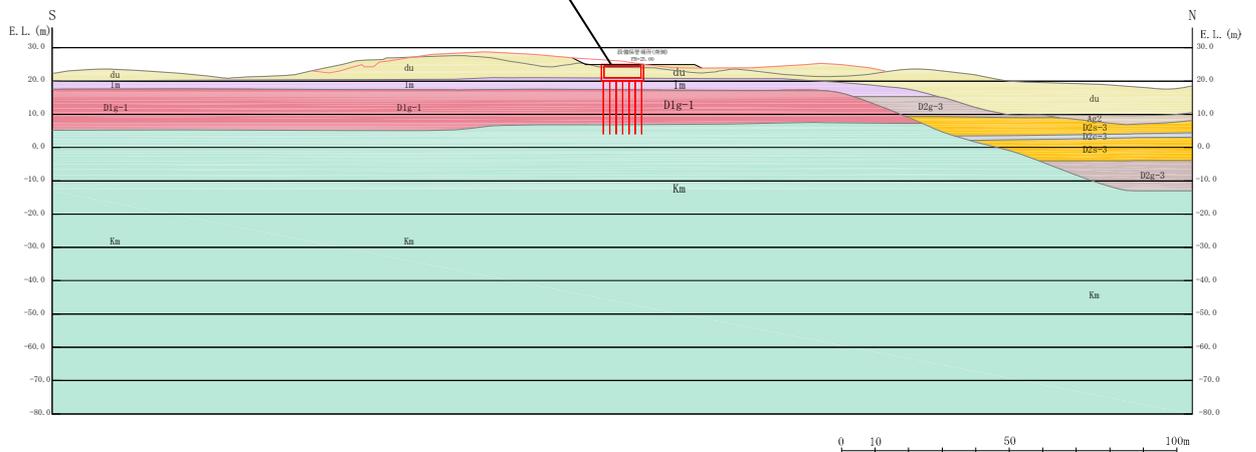


図 18.2-7 (2) 地質断面図 (④-④断面)

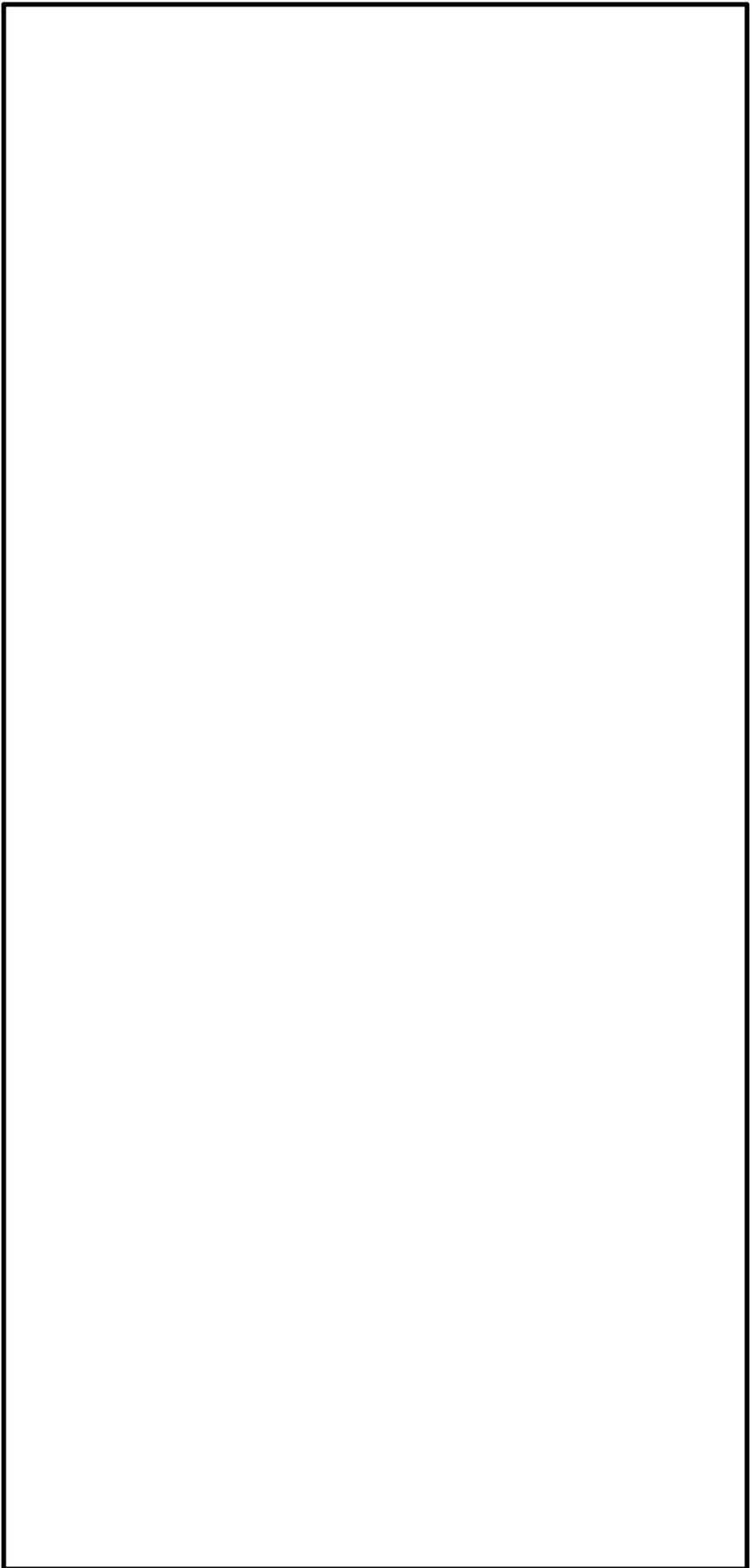


図 18.2-8 (1) 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析モデル
(①-①断面 モデル全体)

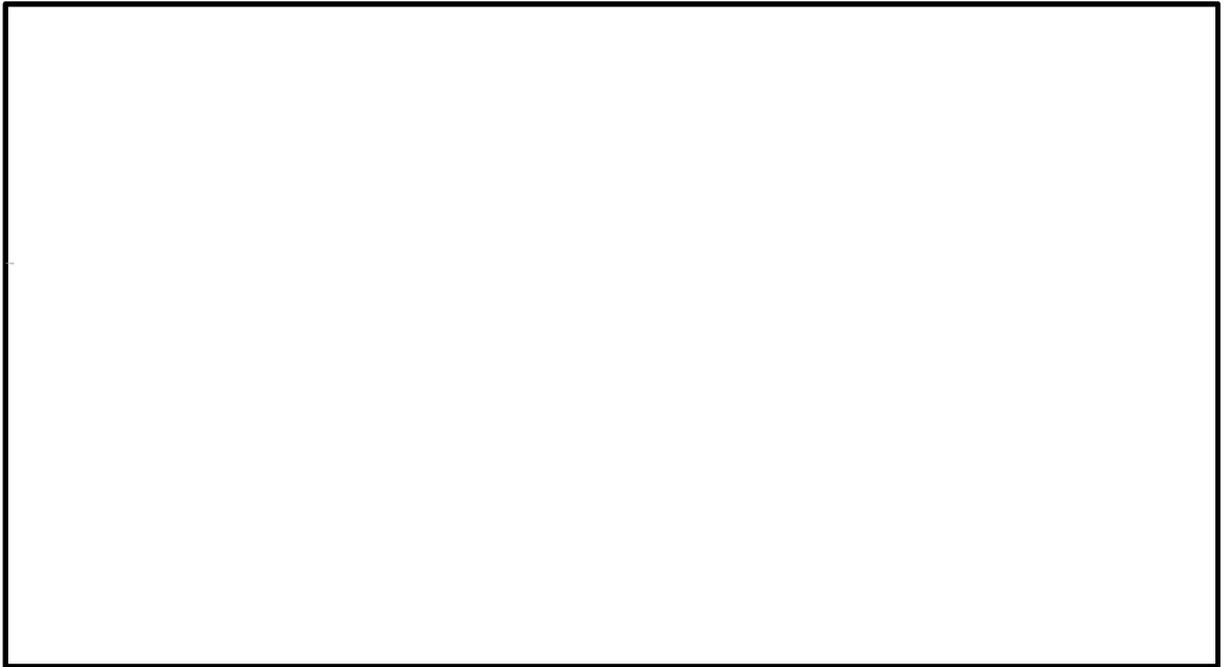


図 18.2-8 (2) 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析モデル
(①-①断面 モデル位置拡大)

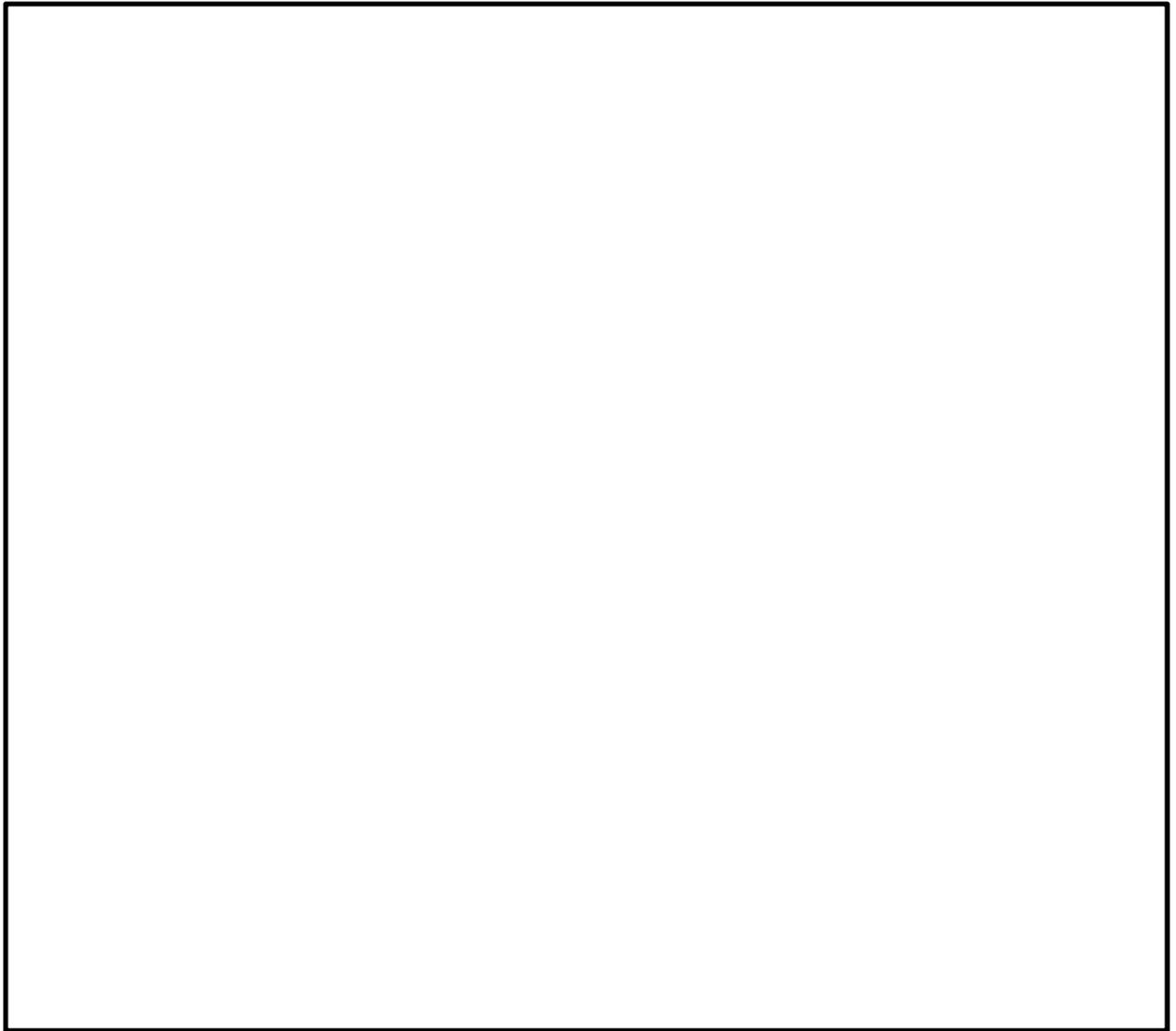


図 18.2-8 (3) 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析モデル
(④-④断面 モデル全体)

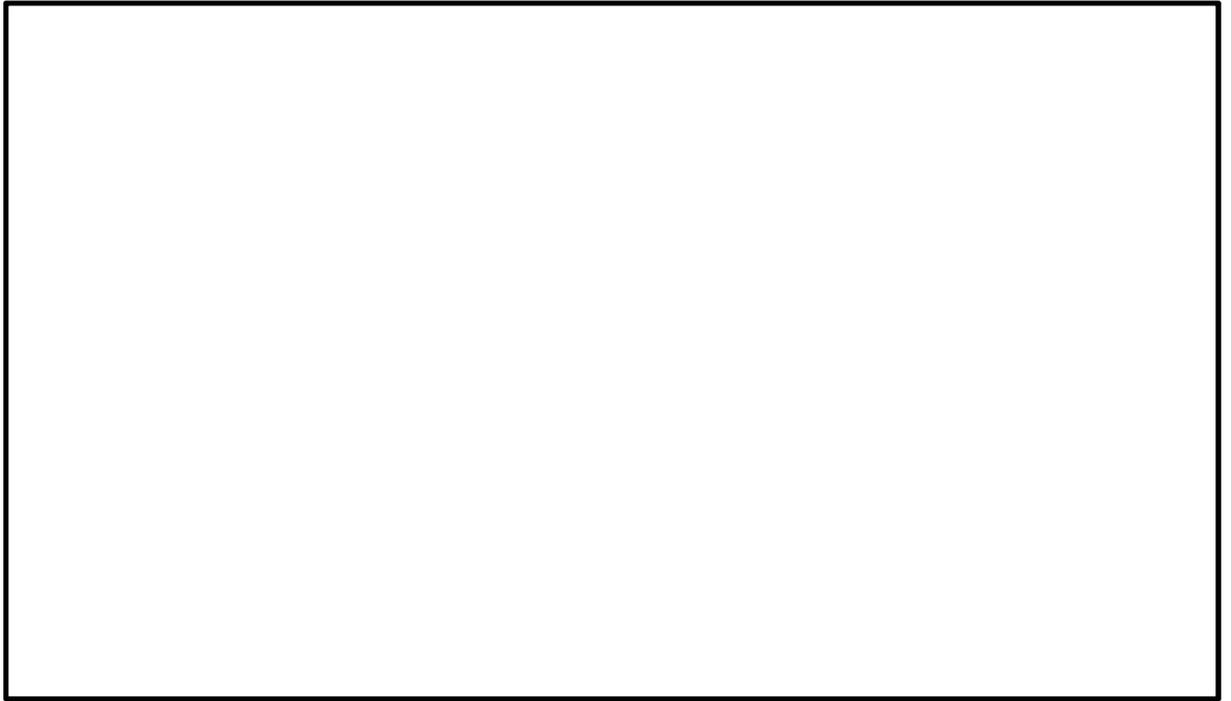


図 18.2-8 (4) 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析モデル
(④-④断面 モデル位置拡大)

(2) ジョイント要素の設定

地盤と構造物の境界部にジョイント要素を設けることにより、地盤と構造物の剥離・すべりを考慮する。

ジョイント要素は法線方向、接線方向に分けて二重節点として設定する。法線方向では、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。接線方向では、地盤と構造物のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。c、 ϕ は周辺地盤の c、 ϕ とする。（表 18.2-5 参照）

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 18.2-5 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	f1層	0	37.3	du層で代用
	du層	0	37.3	—
	D2c-3層	0.026	35.6	—
	D2s-3層	0.01	35.8	—
	D2g-3層	0	44.4	—
新第三系	Km層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—
地盤改良体		0.5	0	—

z : 標高 (m)

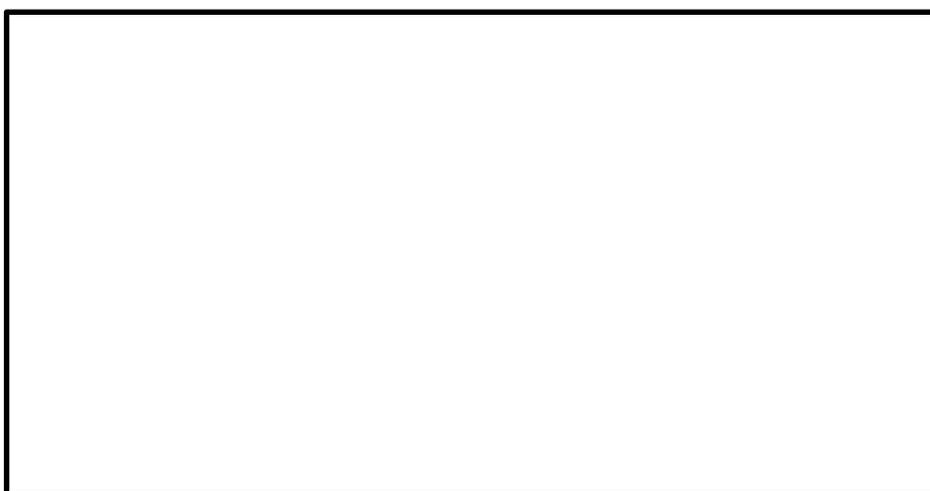
ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、表 18.2-6 のとおり設定する。図 18.2-9 にジョイント要素設定の考え方を示す。

表 18.2-6 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6



(①-①断面)



(④-④断面)

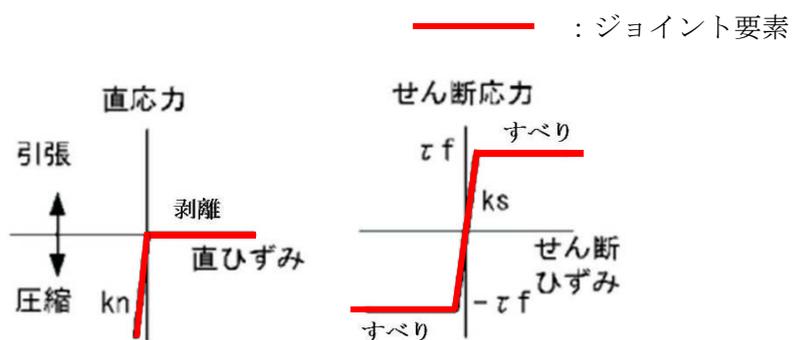


図 18.2-9 ジョイント要素の考え方

(3) 材料特性の設定

地震応答解析における鉄筋コンクリート部材は、線形のはり要素としてモデル化する。
 地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(4) 杭—地盤相互ばねの設定

地盤と杭が接している箇所の側方境界部に杭—地盤相互作用ばねを設けることにより、地盤と杭の相互作用における3次元効果を2次元モデルで適切に考慮する。

杭—地盤相互作用ばねの杭軸方向では、地盤と杭のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。 c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とする。(表 18.2-7 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 付着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 18.2-7 周辺地盤及び杭との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	f1層	0	37.3	du層で代用
	du層	0	37.3	—
	D2c-3層	0.026	35.6	—
	D2s-3層	0.01	35.8	—
	D2g-3層	0	44.4	—
新第三系	Km層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—
地盤改良体		0.5	0	—

z : 標高 (m)

杭—地盤相互作用ばねの杭軸方向のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値として、表 18.2-8 のとおり設定する。

また、杭—地盤相互作用ばねの杭軸直角方向のばね定数については、杭径及び杭間隔より設定される*。

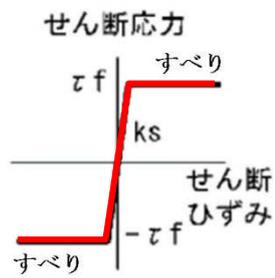
図 3.2-3 に杭—地盤相互作用ばね設定の考え方を示す。

※ FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」

表 18.2-8 杭—地盤相互作用ばねのばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)
杭軸方向	1.0×10^6

(a) 杭-地盤相互作用ばね配置図 (追而)



(b) 杭-地盤相互作用ばね (杭軸方向) の力学的特性

図 18.2-10 杭-地盤相互作用ばね設定の考え方

(5) 杭下端ジョイントばねの設定

杭下端境界部に圧縮応力の上限值を有さないジョイントばねを設けることにより、杭下端における地盤と杭の相互作用を適切に考慮する。

杭下端の杭軸方向について設定するジョイントばねは、常時状態以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。

杭下端ジョイントばねのばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値として、表 18.2-9 のとおり設定する。図 18.2-11 に杭下端ジョイントばね設定の考え方を示す。

表 18.2-9 杭下端ジョイントばねのばね定数

	圧縮剛性 k_v (kN/m)
杭軸方向	1.0×10^6

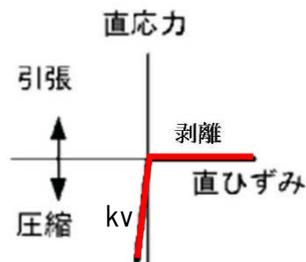


図 18.2-11 杭下端ジョイントばね設定の考え方

18.2.9 減衰定数

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトして行くことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 α [M]の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように、低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

ここで、

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

係数 α 、 β は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

地盤の減衰定数は1%（解析における減衰は、ひずみが大きい領域では履歴減衰が支配的となる。そのため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している。）また、線形材料としてモデル化する鋼材の減衰定数は3%（道路橋示方書（V耐震設計編）同解説（平成24年3月））、コンクリートの減衰定数は5%（J E A G 4 6 0 1 -1987）とする。

図 18.2-12 に Rayleigh 減衰の設定フローを、表 18.2-10 に固有値解析結果を示す。

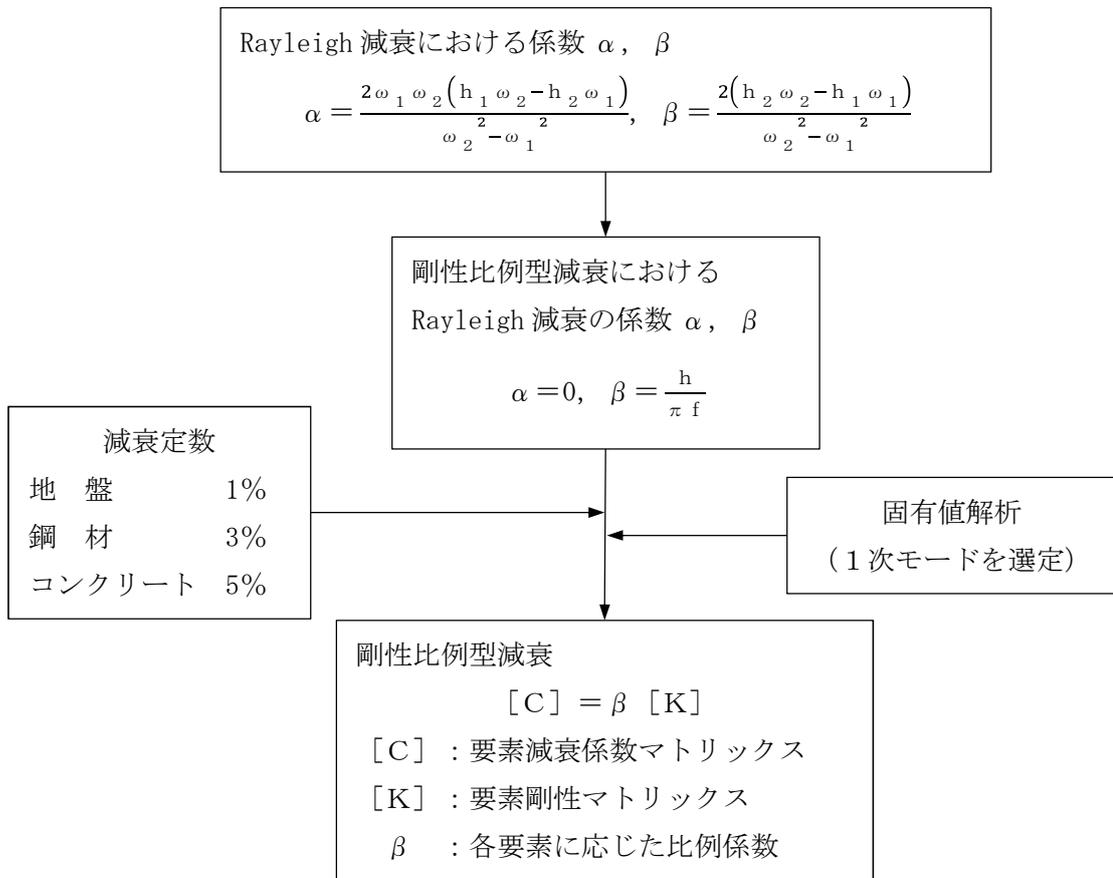


図 18.2-12 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 18.2-10 固有値解析結果 (追而)

18.2.10 荷重の組合せ

耐震性能照査にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重には、地震時土圧、動水圧、機器・配管からの反力による荷重が含まれるものとする。

なお、可搬型設備用軽油タンク基礎は、地盤内に埋設されている構造物であることから運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられるため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また重大事故等対処時においても、地盤内で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 18.2-11 に示す。地震時に可搬型設備用軽油タンク基礎に作用する機器・配管からの反力については、機器・配管を、解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 18.2-11 荷重の組合せ

種別		荷重	算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○ ・設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定
		機器・配管自重	○ ・機器・配管の重さに基づいて設定 ・内包される砂の荷重を考慮
		土被り荷重	○ ・常時応力解析により設定
		永久上載荷重	— ・恒常的に配置された設備等はないことから、考慮しない
	静止土圧		○ ・常時応力解析により設定
	外水圧		○ ・地下水位に応じた静水圧として設定 ・地下水の密度を考慮
	内水圧		— ・水を保有しない設備であることから、考慮しない
変動荷重		雪荷重	○ ・雪荷重を考慮
		風荷重	— ・地中に埋設された構造物であるため、考慮しない
偶発荷重 (地震荷重)		水平地震動	○ ・基準地震動 S_d による水平・鉛直同時加振
		鉛直地震動	○ ・躯体の慣性力、動土圧を考慮
		動水圧	○ ・水位条件、密度は、永久荷重と同様

(1) 機器・配管荷重

図 18.2-13 に①-①断面における機器・配管荷重図を示す。

機器・配管荷重は解析の単位奥行き(1 m)あたりの付加質量として考慮する。可搬型設備用軽油タンクの内空には砂が充填されているため、内空容積から可搬型設備用軽油タンクの容積を除いた部分をすべて砂(比重1.7)として考慮する。

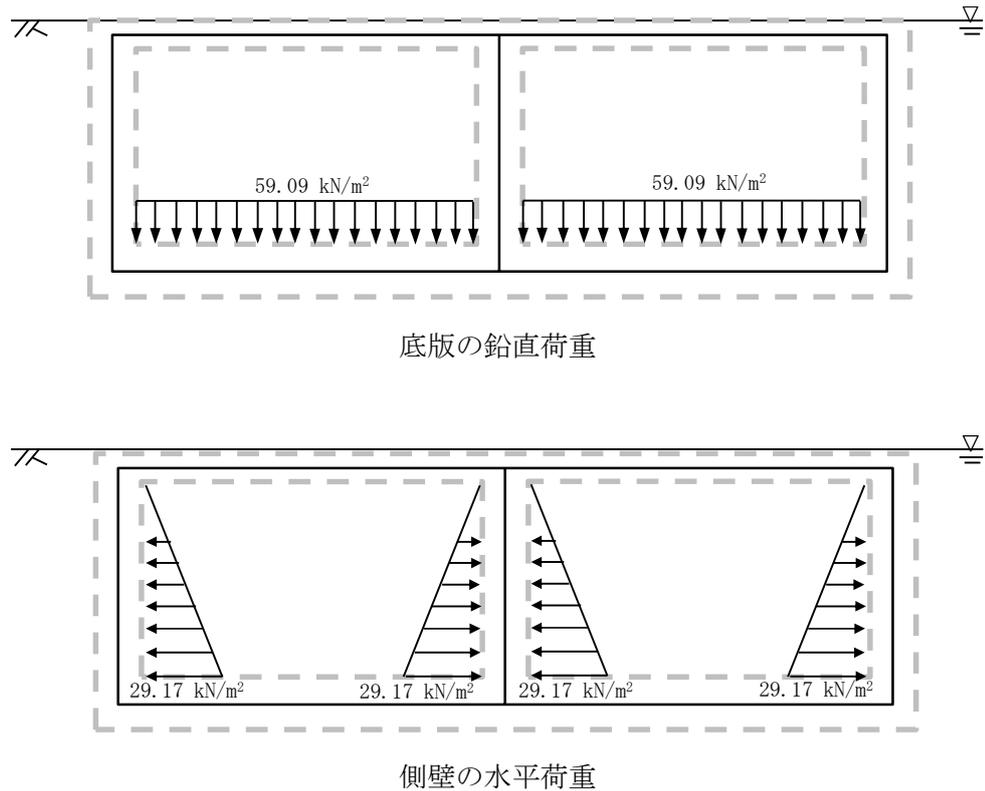


図 18.2-13 機器・配管荷重図

(2) 外水圧

地下水位は地表面として設定する。設定の際は、地下水の密度として、 1.00 g/cm^3 を考慮する。

(3) 雪荷重

図 18.2-14 に①-①断面における雪荷重図を示す。

雪荷重については、「建築基準法施行令第 86 条」及び「茨城県建築基準法施行細則 第 16 条の 4」に従って設定する。積雪の厚さ 1 cm あたりの荷重を $20 \text{ N/m}^2/\text{cm}$ として、積雪量は 30 cm としていることから積雪荷重は 600 N/m^2 であるが、地震時短期荷重として積雪荷重の 0.35 倍である 0.21 kN/m^2 を考慮する。

積雪荷重は構造物上面に付加質量として考慮する。

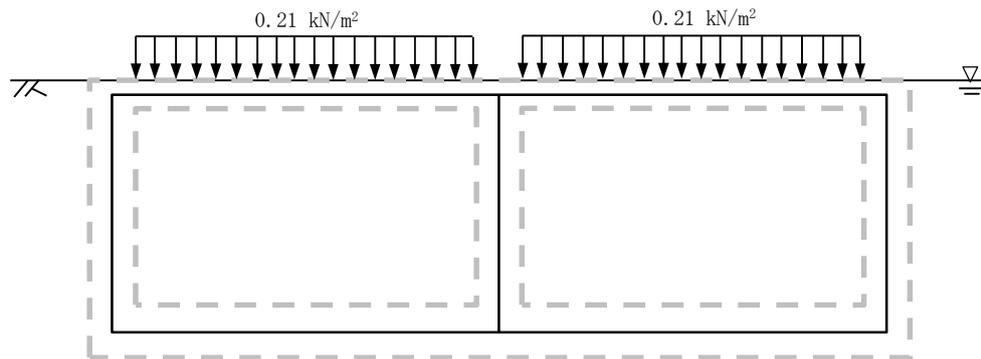


図 18.2-14 雪荷重図

18.2.11 地震応答解析の検討ケース

(1) 耐震設計における検討ケース

可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震設計における検討ケースを表 18.2-12 に示す。

表 18.2-12 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震設計における検討ケース

検討ケース		①	②	③	④	⑤	⑥
		原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース (基本ケース)	地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース	地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波 (位相)	S _s -D 1	(++)	1	1	1	1	1
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(---)	1				
	S _s -1 1	(++)	1				
	S _s -1 2	(++)	1				
	S _s -1 3	(++)	1				
	S _s -1 4	(++)	1				
	S _s -2 1	(++)	1				
	S _s -2 2	(++)	1				
	S _s -3 1	(++)	1				
(-+)		1					
計		12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用いて実施する。
最も厳しい地震動の選定にあたっては、各施設の評価部位毎に1波選定する。

(2) 機器・配管に対する加速度応答抽出のための検討ケース

機器・配管に対する加速度応答の抽出における検討ケースを表 18.2-13 に示す。

表 18.2-13 機器・配管に対する加速度応答抽出のための検討ケース

検討ケース		④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース			
液状化強度特性の設定		敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用			
地震波(位相)	S _s -D1	(++)	1	1	1		
		(+-)		1			
		(-+)		1			
		(--)		1			
	S _s -11	(++)		⑤において、上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。		1	⑤において、上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。
	S _s -12	(++)		1			
	S _s -13	(++)		1			
	S _s -14	(++)		1			
	S _s -21	(++)		1			
	S _s -22	(++)		1			
S _s -31	(++)	1					
	(-+)	1					
計		1	12	1			

18.3 評価内容

18.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1次元波動論によって、地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

図 18.3-1 に入力地震動算定の概念図を、図 18.3-2 に入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。

なお、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。断層モデル波である $S_s-11 \sim S_s-22$ については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向を考慮し、方位補正を行う。具体的には NS 方向及び EW 方向の地震動について構造物の評価断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した地震動を設定する。

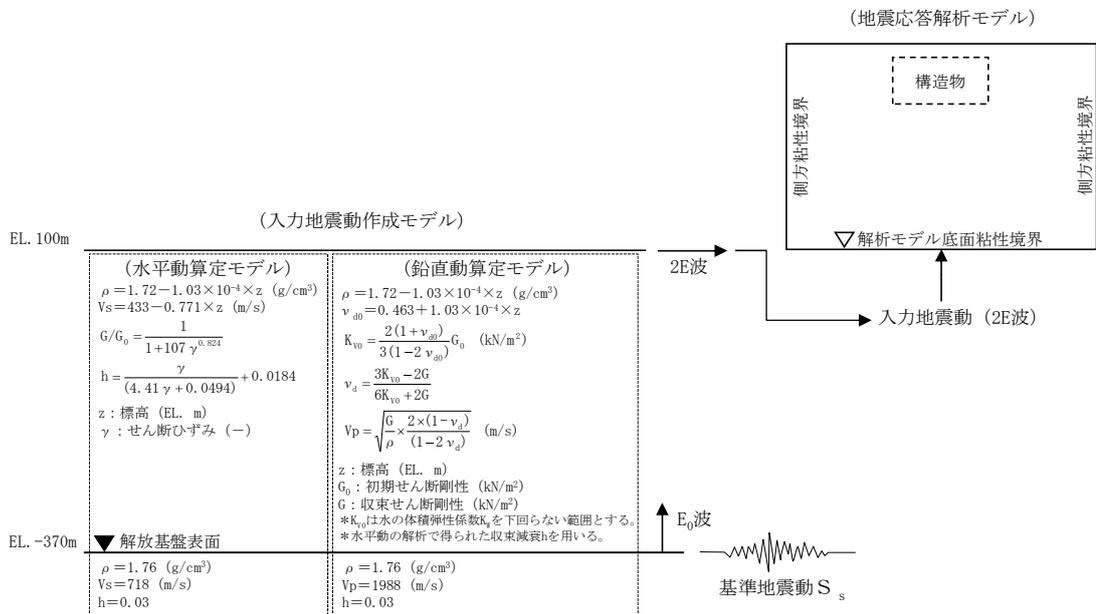
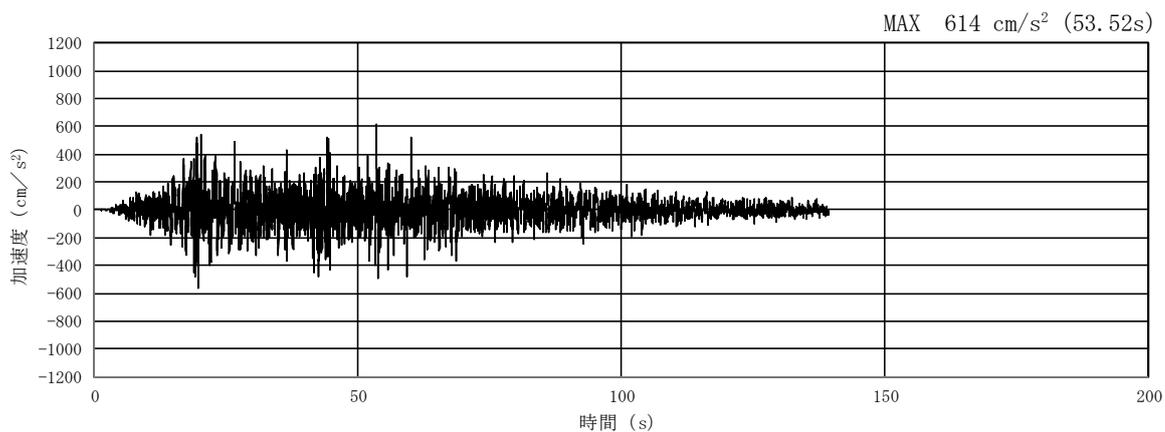
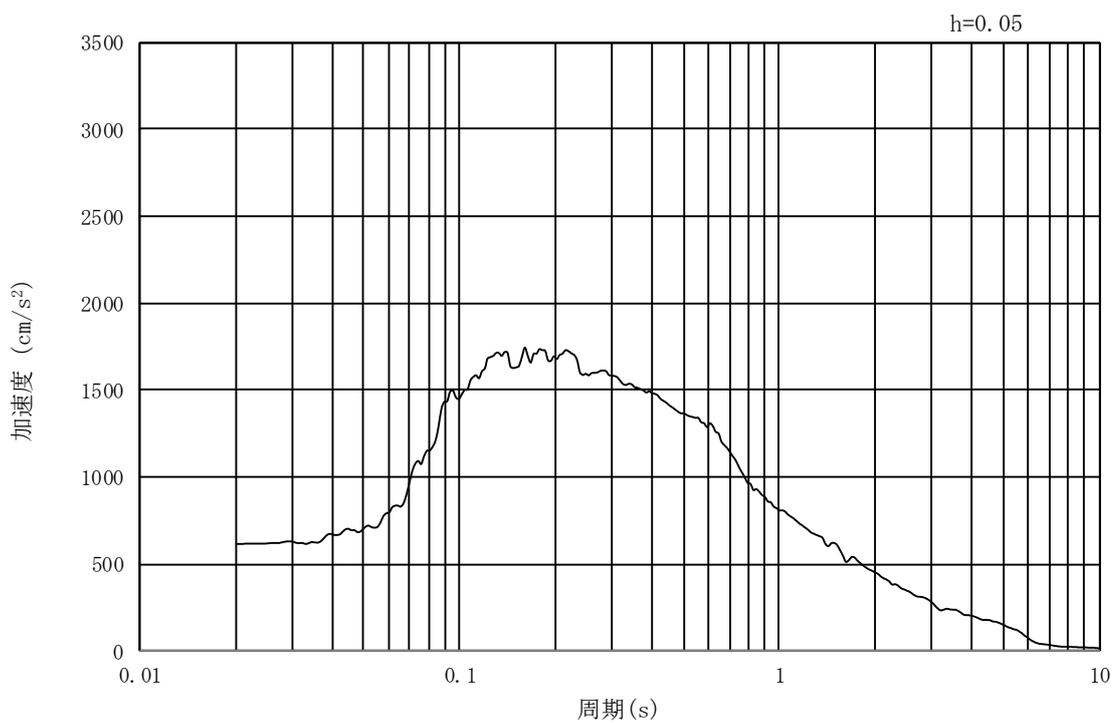


図 18.3-1 入力地震動算定の概念図

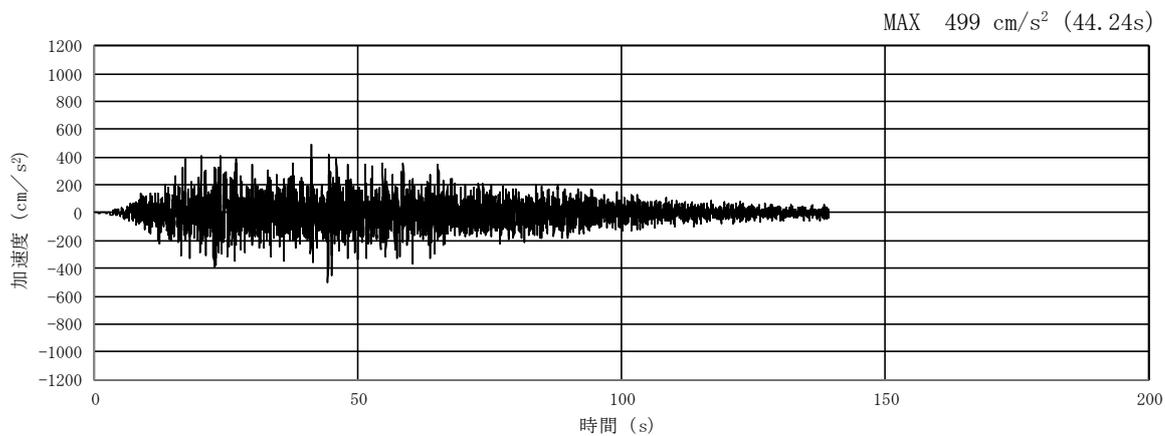


(a) 加速度時刻歴波形

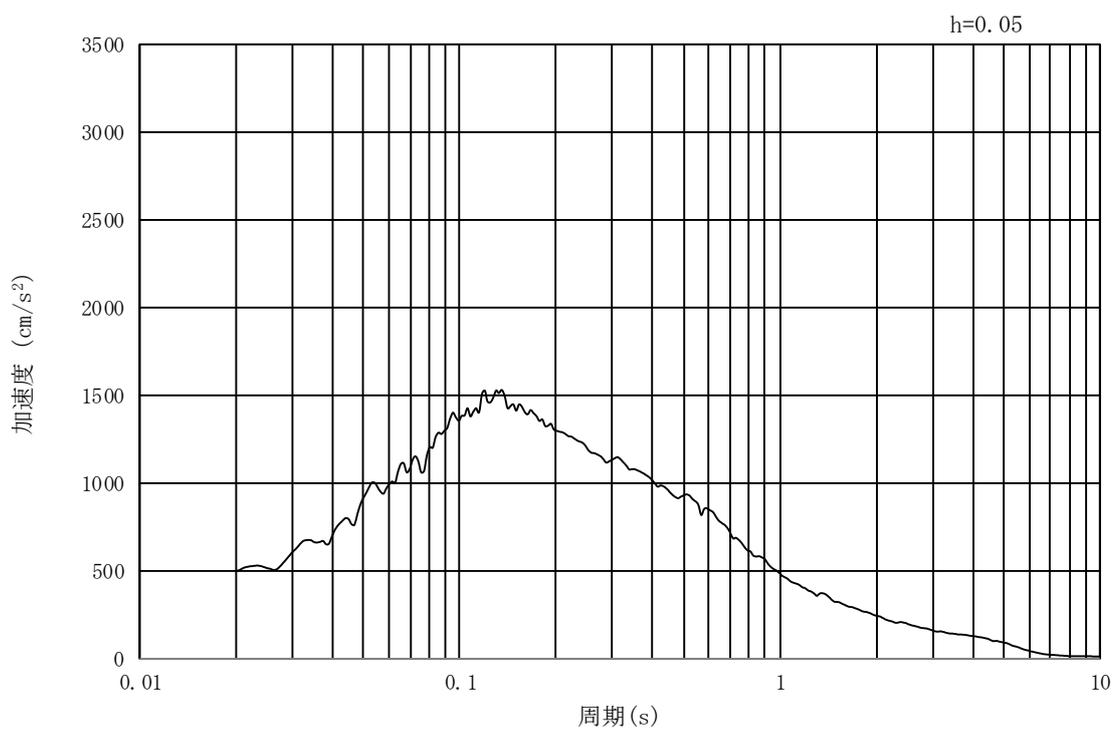


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (1) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - D1$)

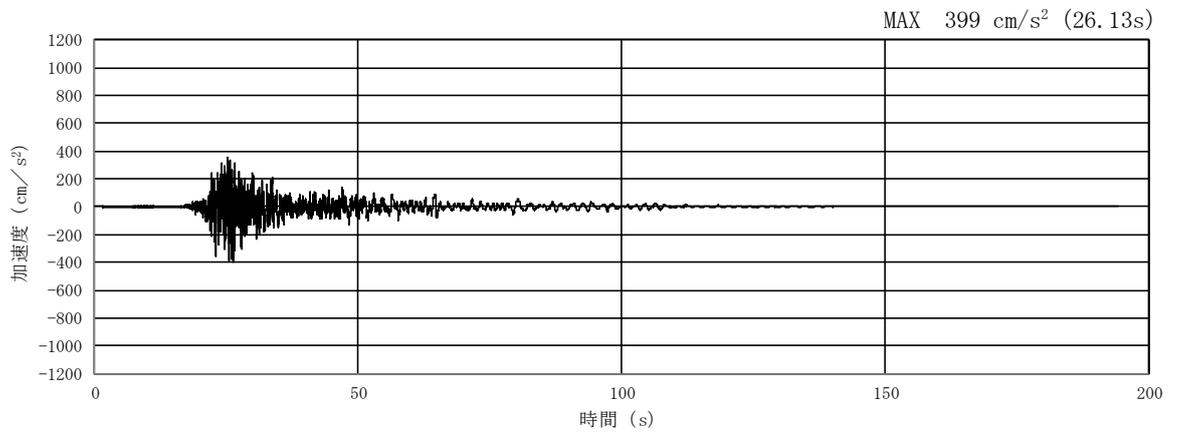


(a) 加速度時刻歴波形

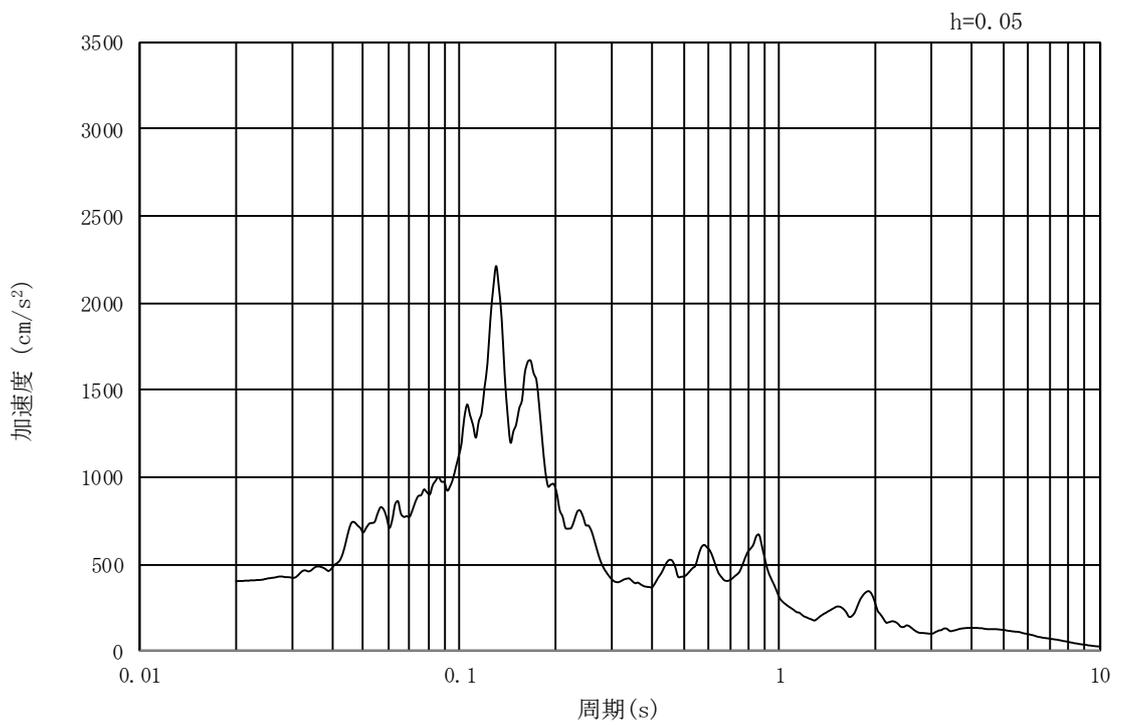


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (2) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - D 1$)

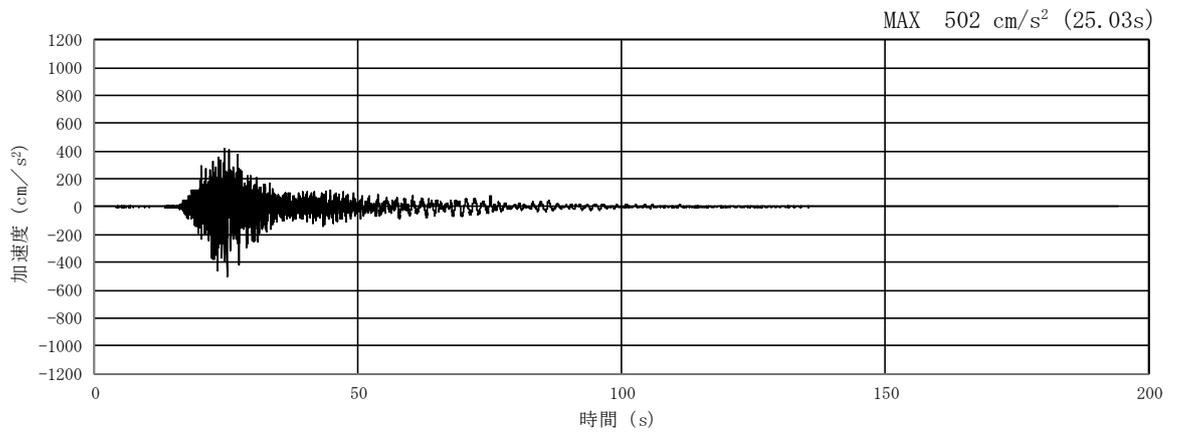


(a) 加速度時刻歴波形

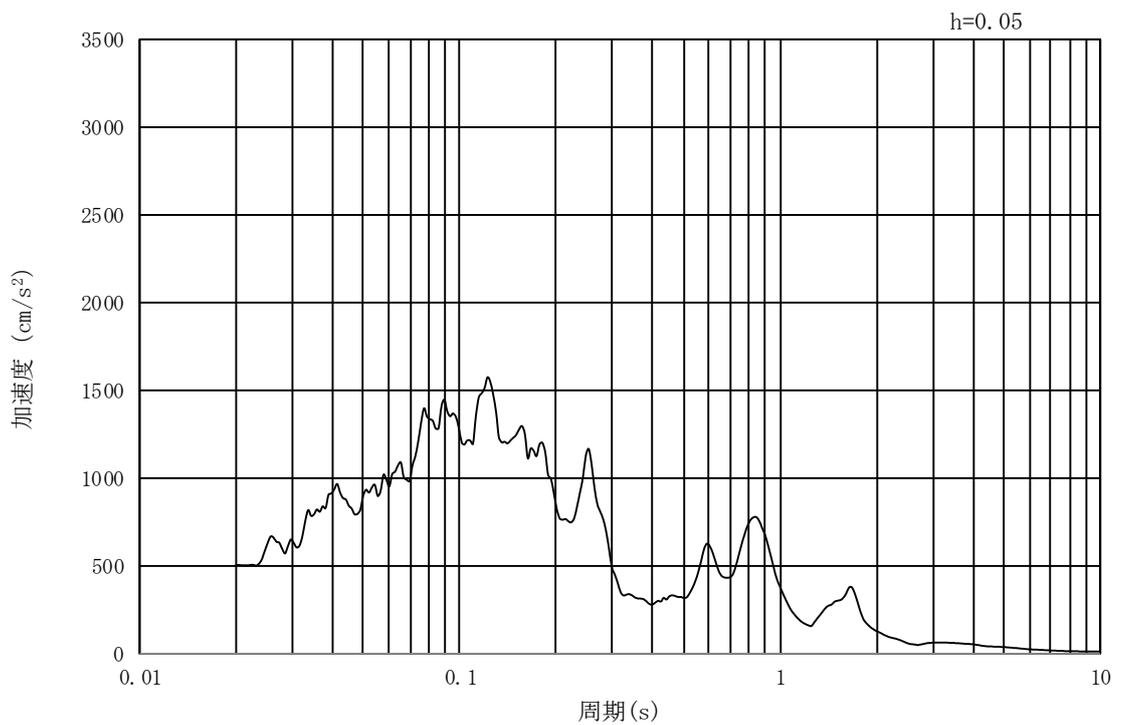


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (3) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.1$)

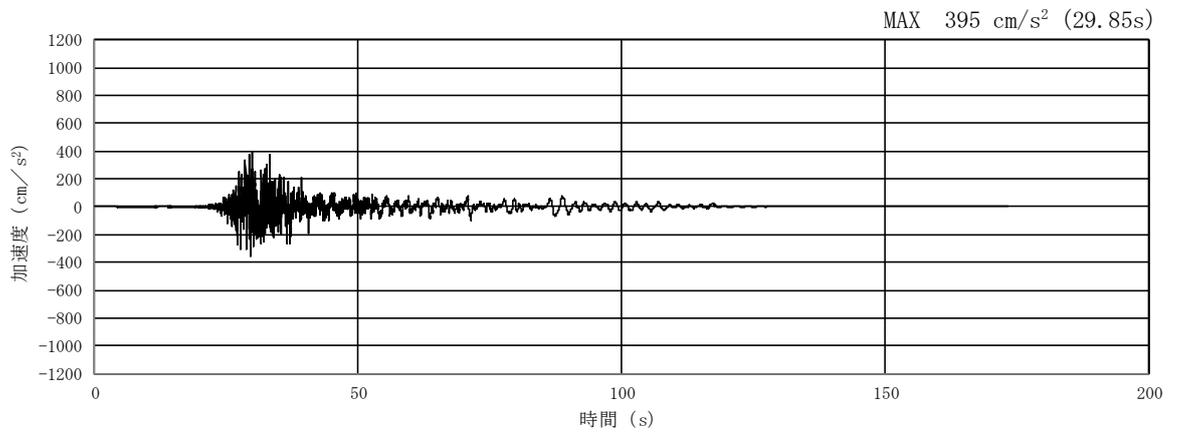


(a) 加速度時刻歴波形

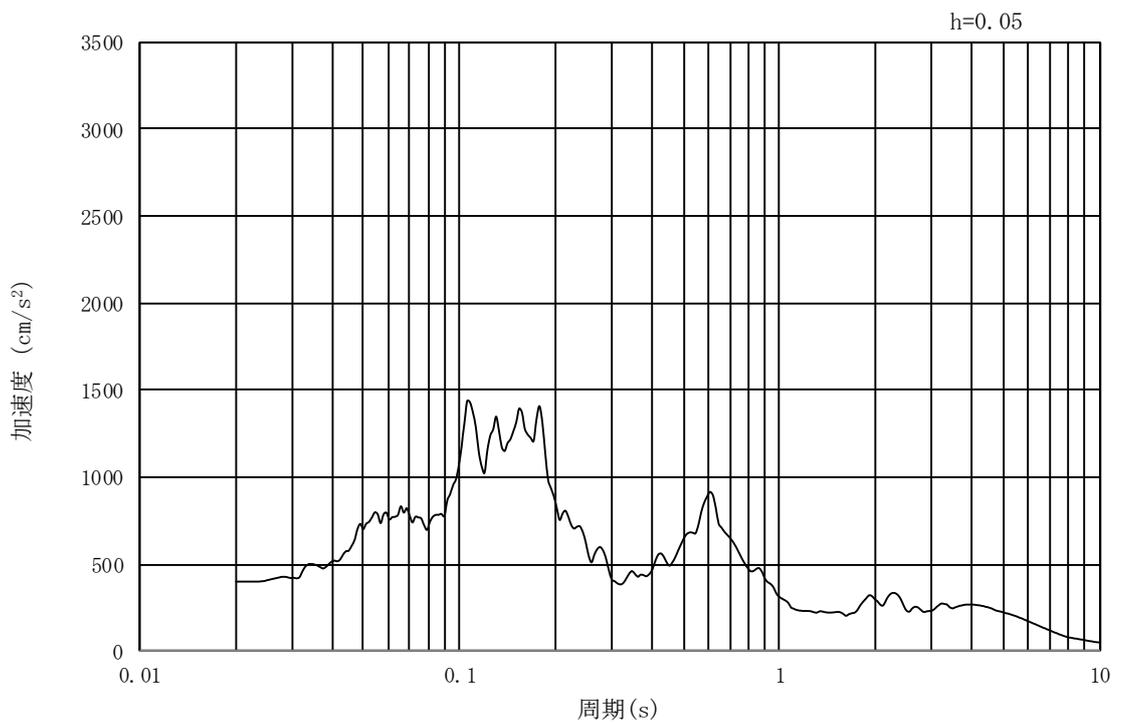


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (4) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.1$)

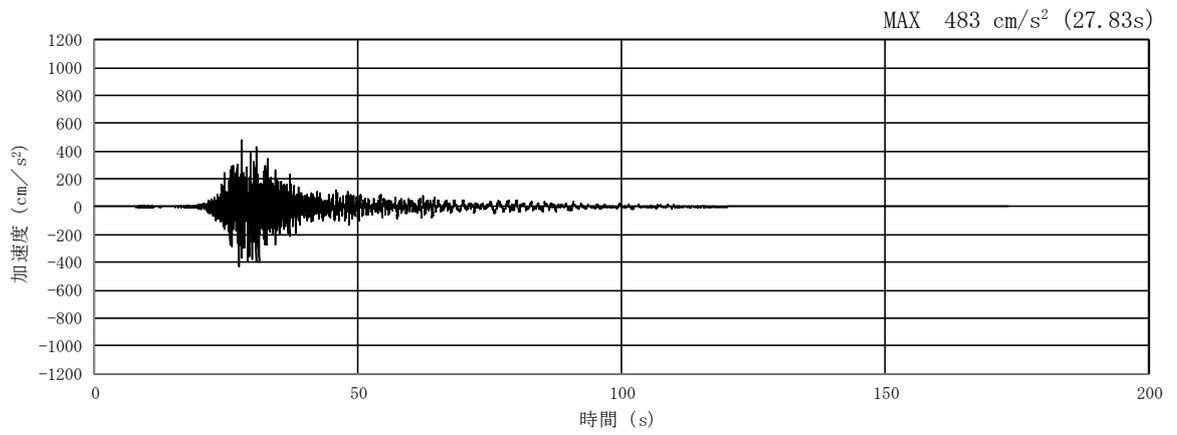


(a) 加速度時刻歴波形

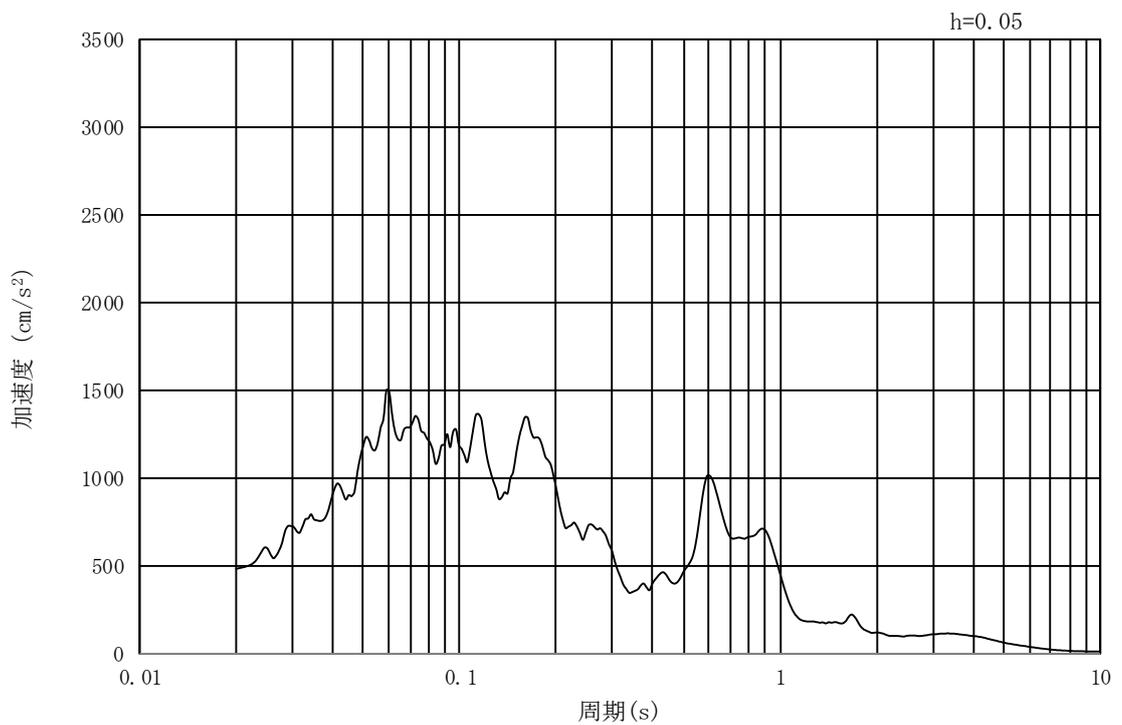


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (5) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.2$)

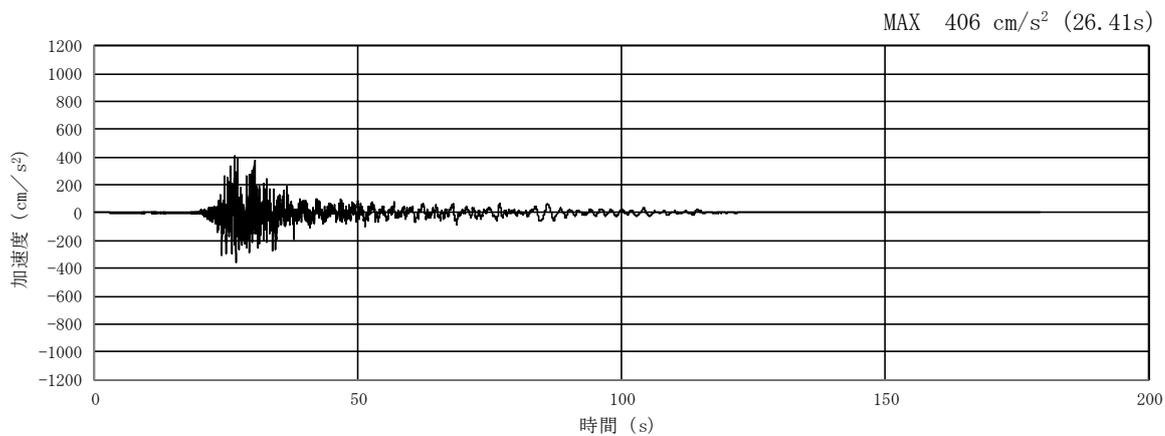


(a) 加速度時刻歴波形

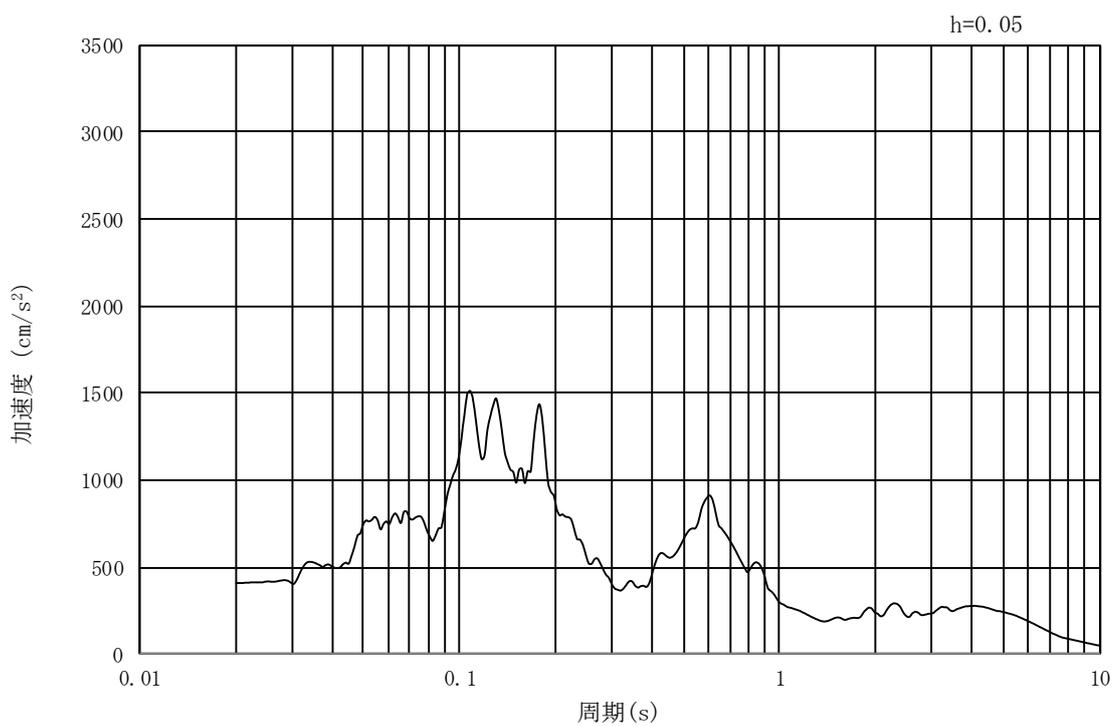


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (6) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.2$)

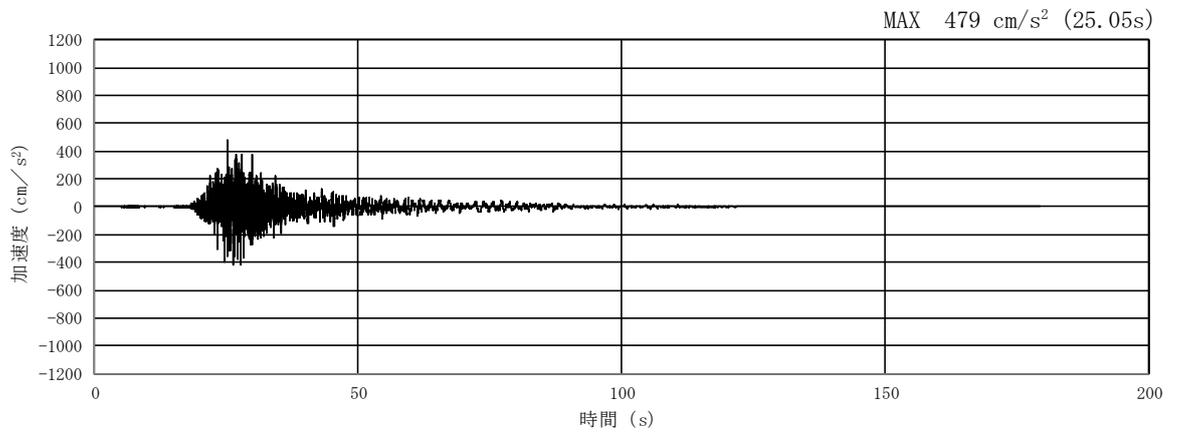


(a) 加速度時刻歴波形

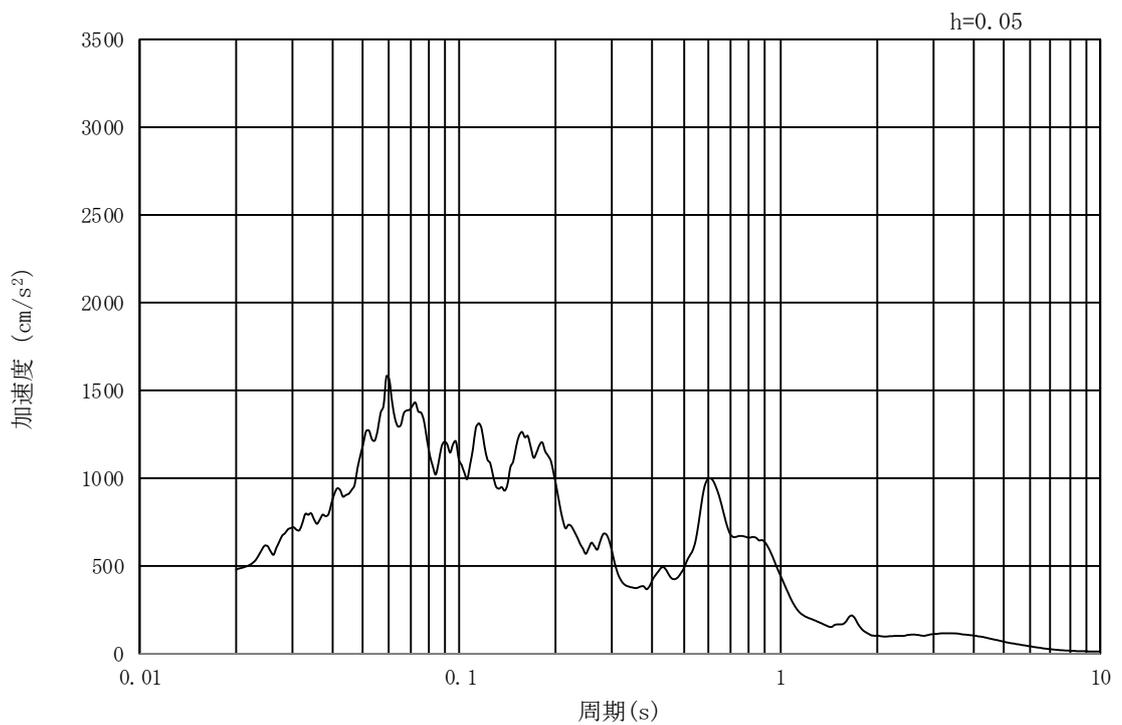


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (7) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.3$)

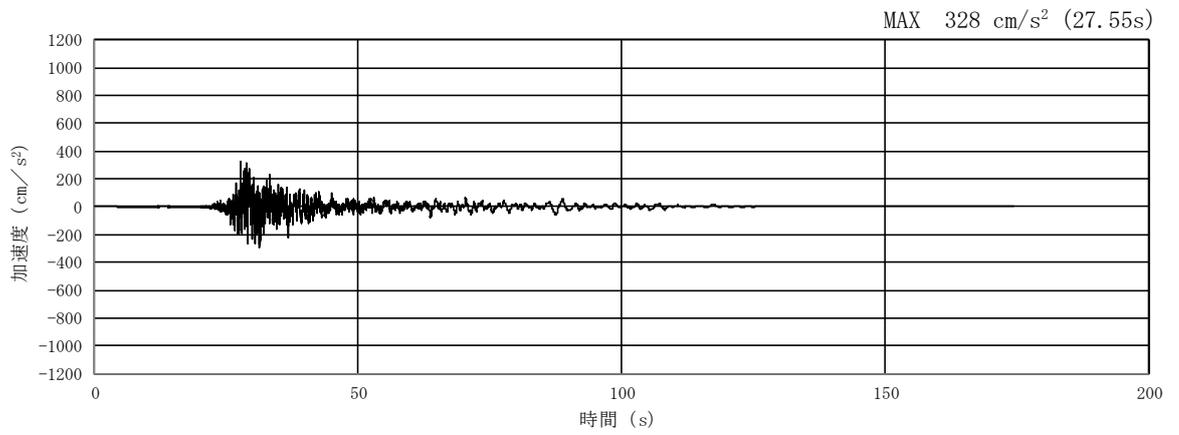


(a) 加速度時刻歴波形

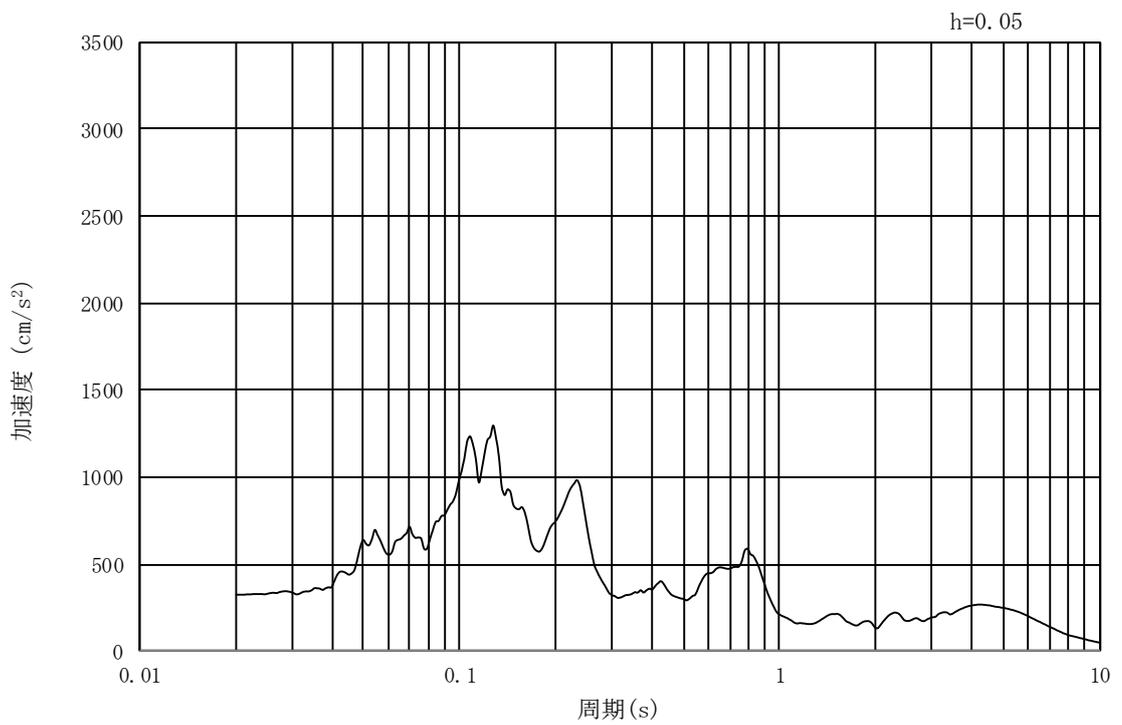


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (8) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.3$)

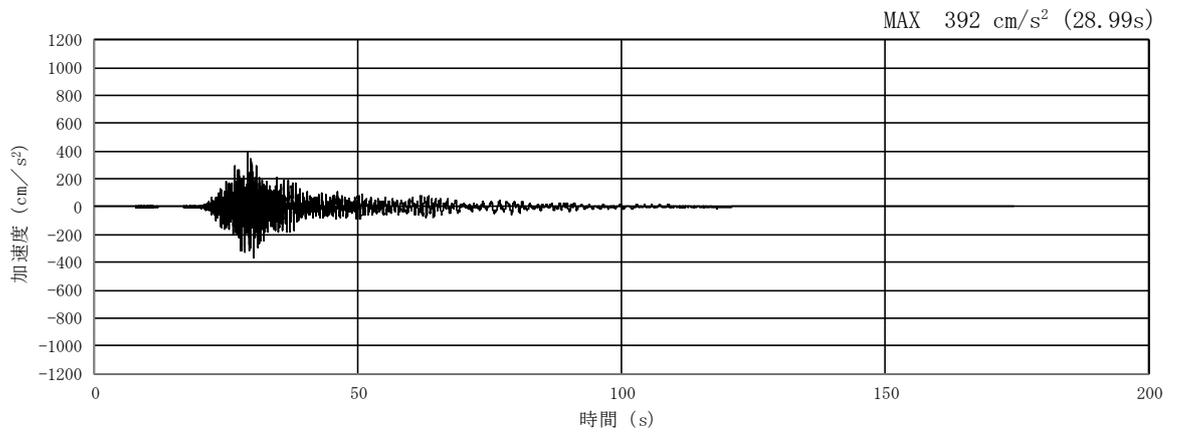


(a) 加速度時刻歴波形

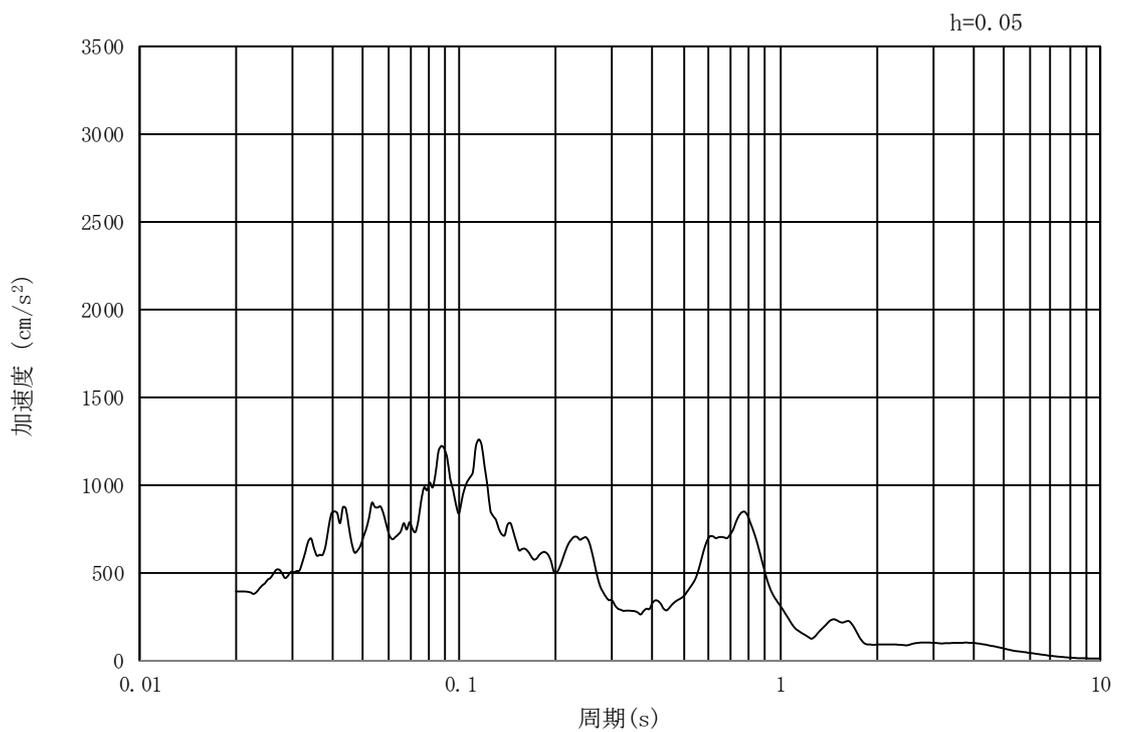


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (9) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.4$)

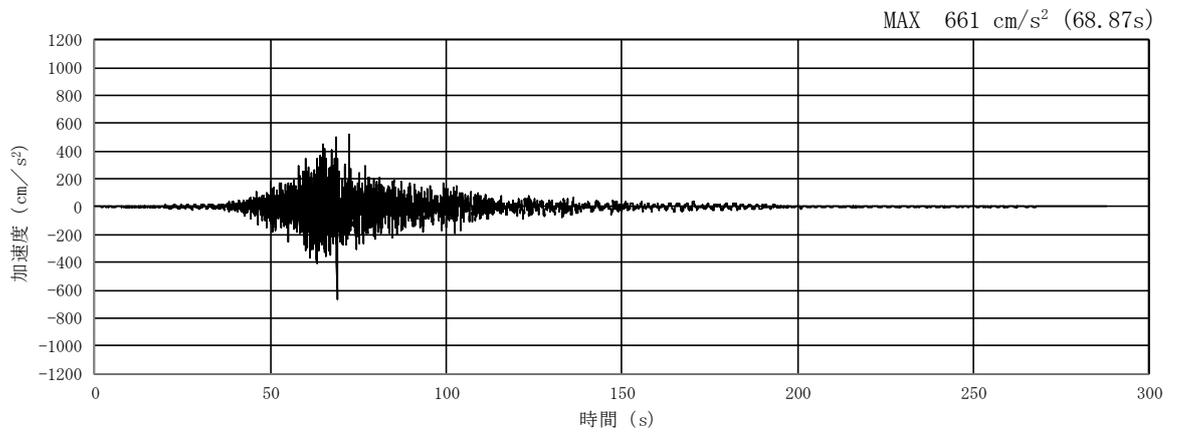


(a) 加速度時刻歴波形

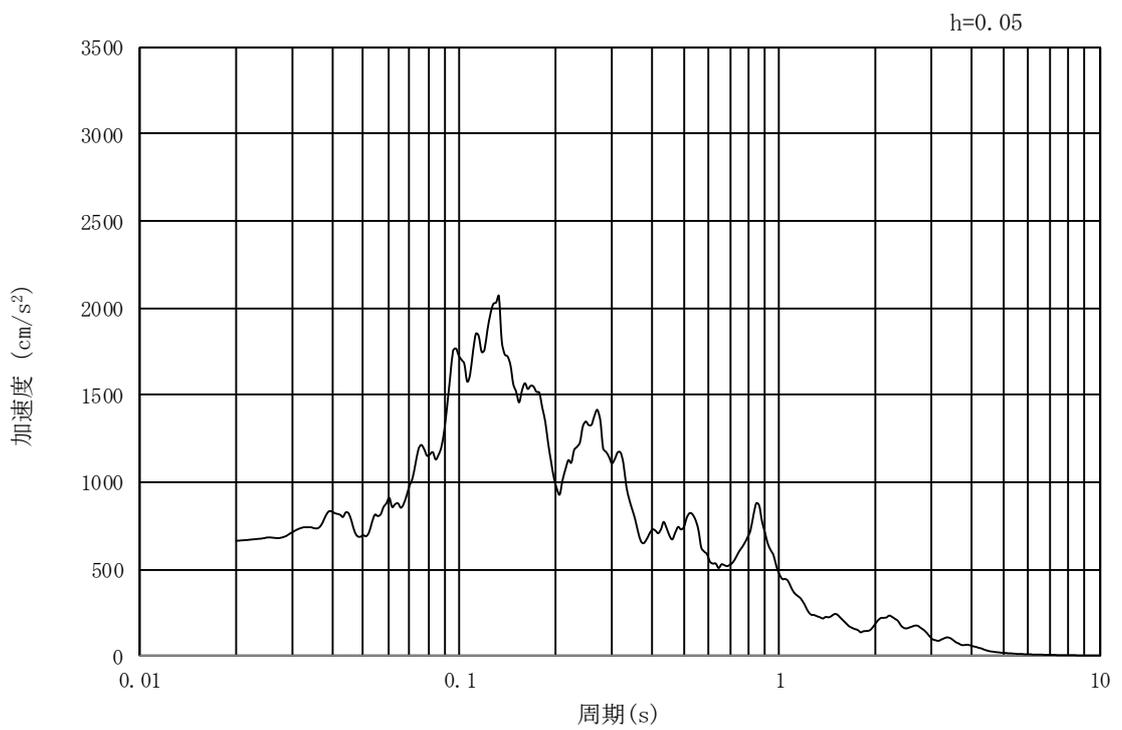


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (10) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.4$)

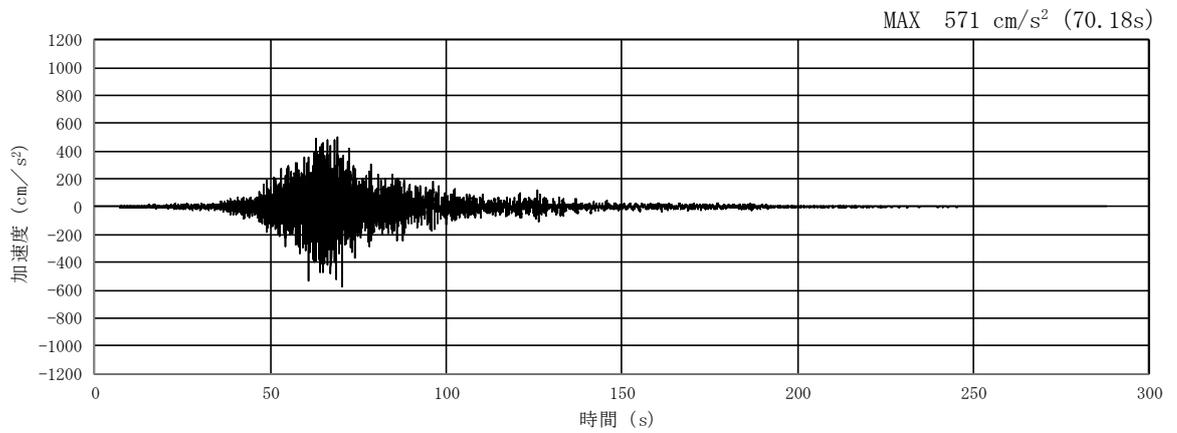


(a) 加速度時刻歴波形

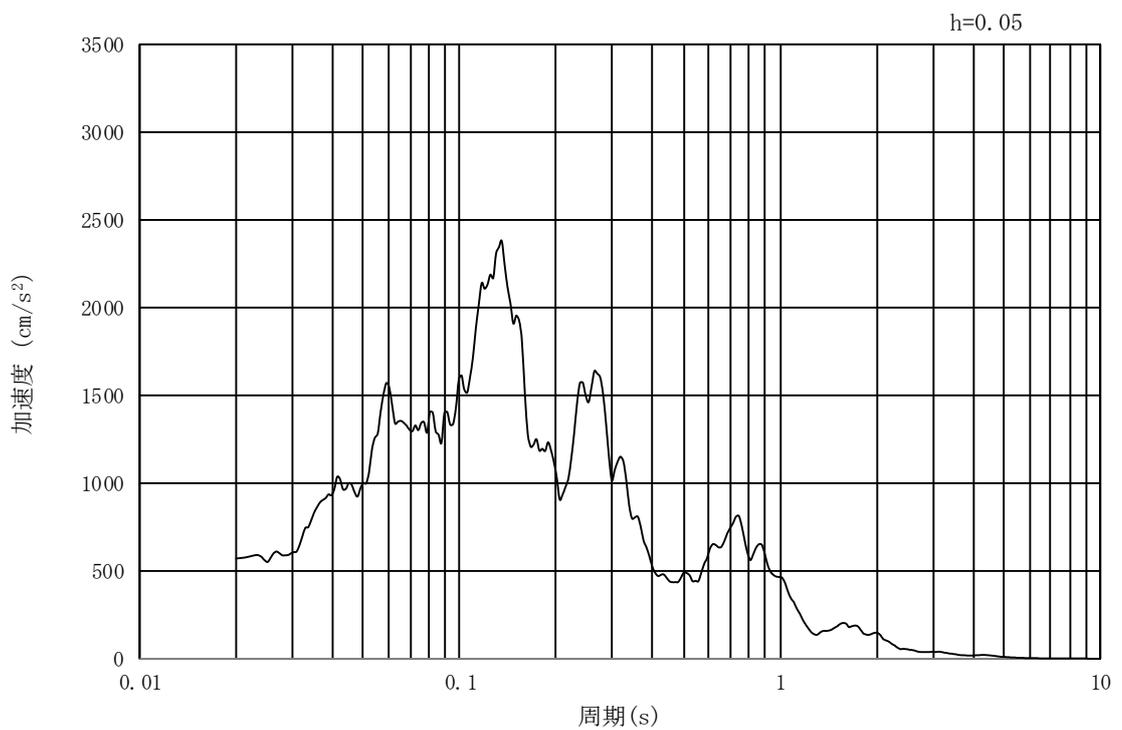


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (11) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 21$)

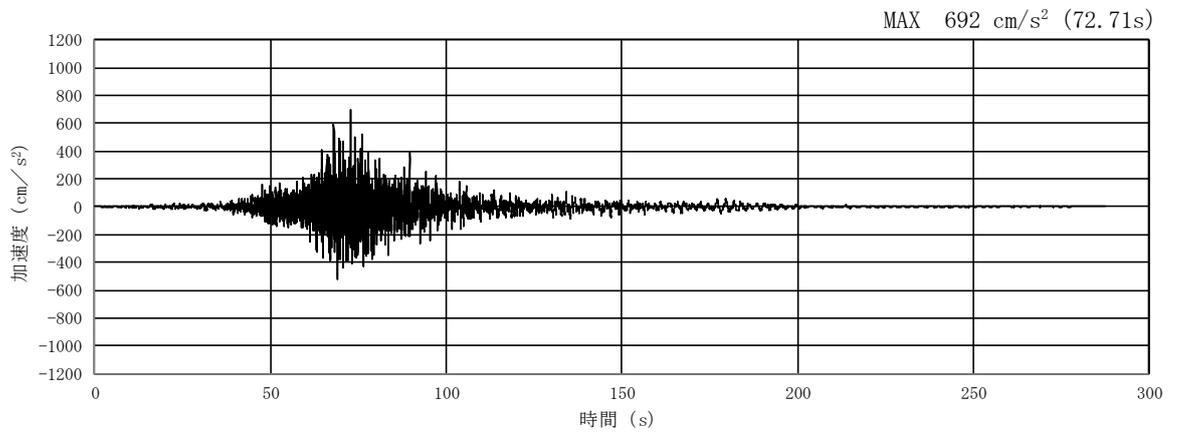


(a) 加速度時刻歴波形

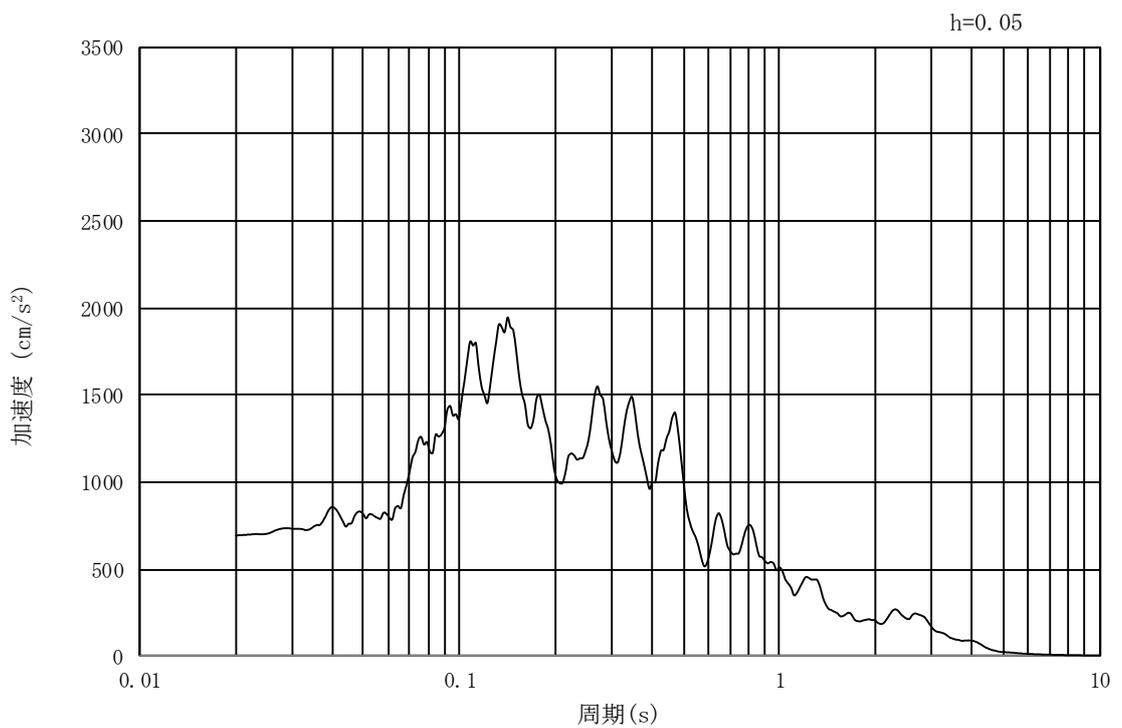


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (12) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 21$)

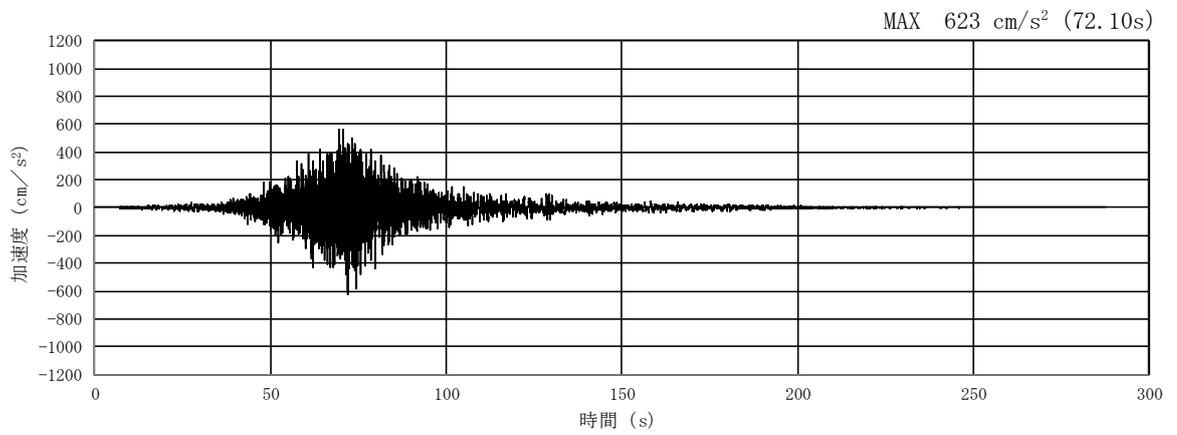


(a) 加速度時刻歴波形

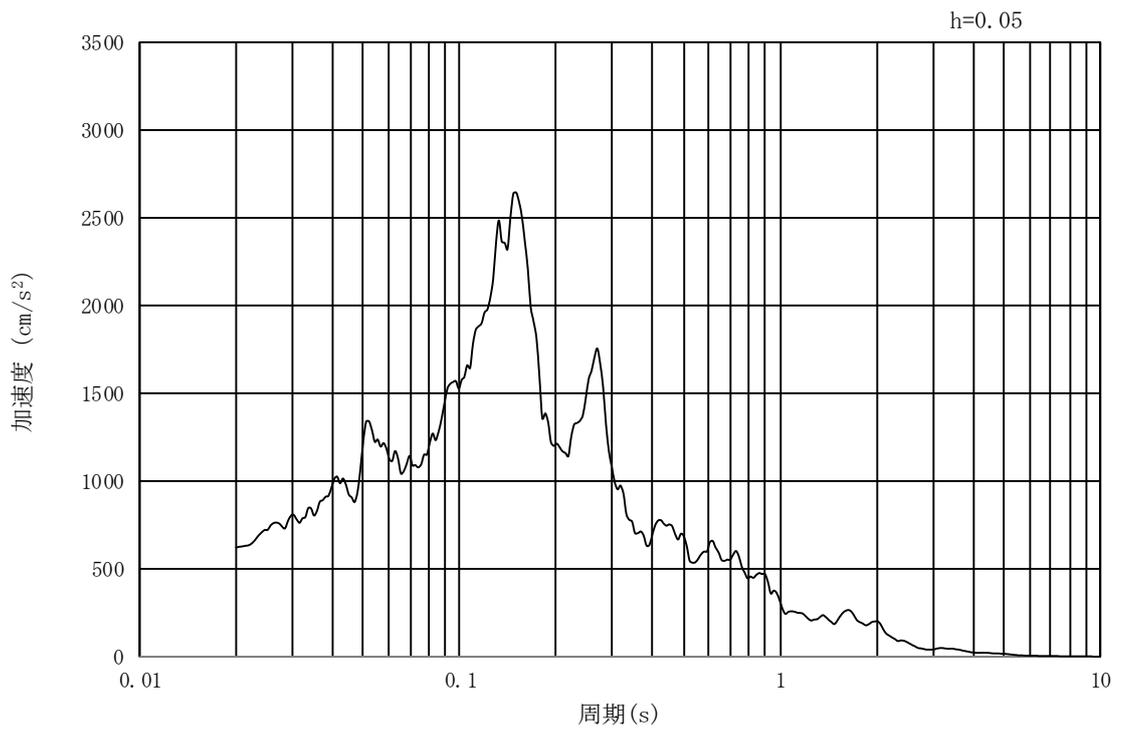


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (13) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 22$)

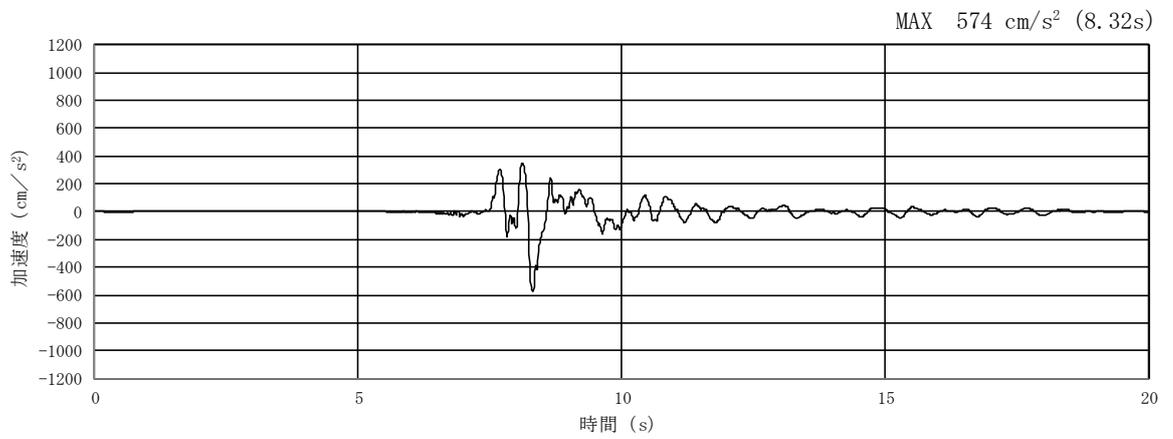


(a) 加速度時刻歴波形

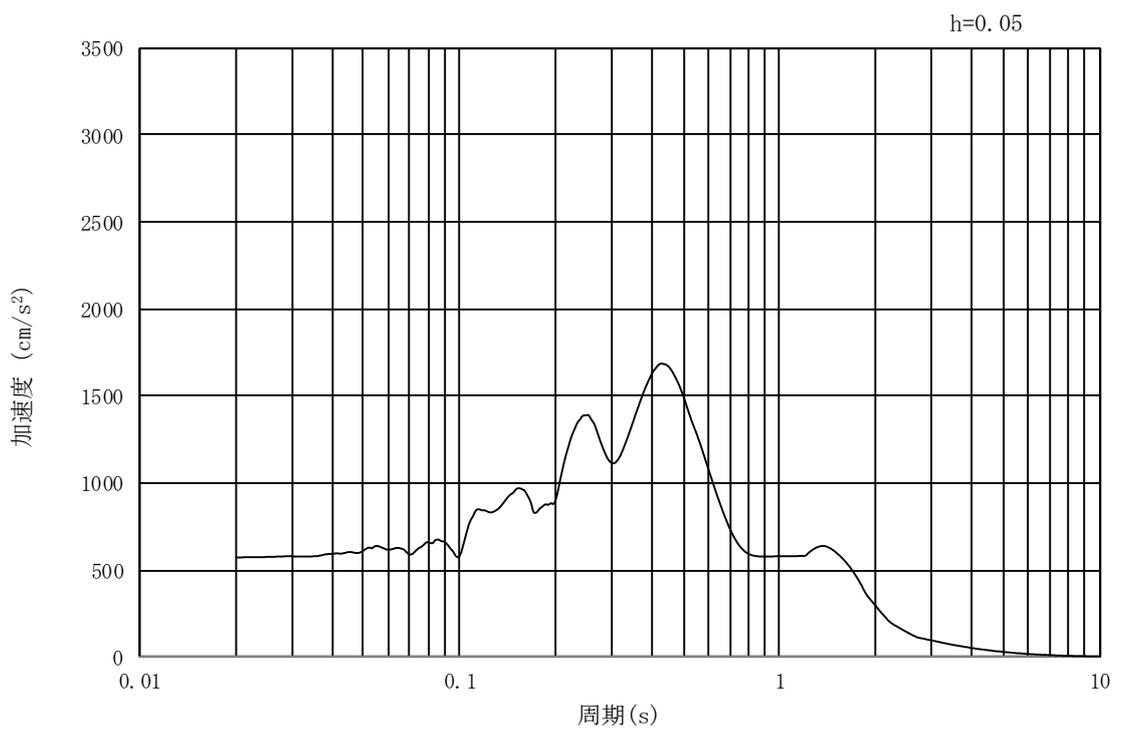


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (14) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 2.2$)

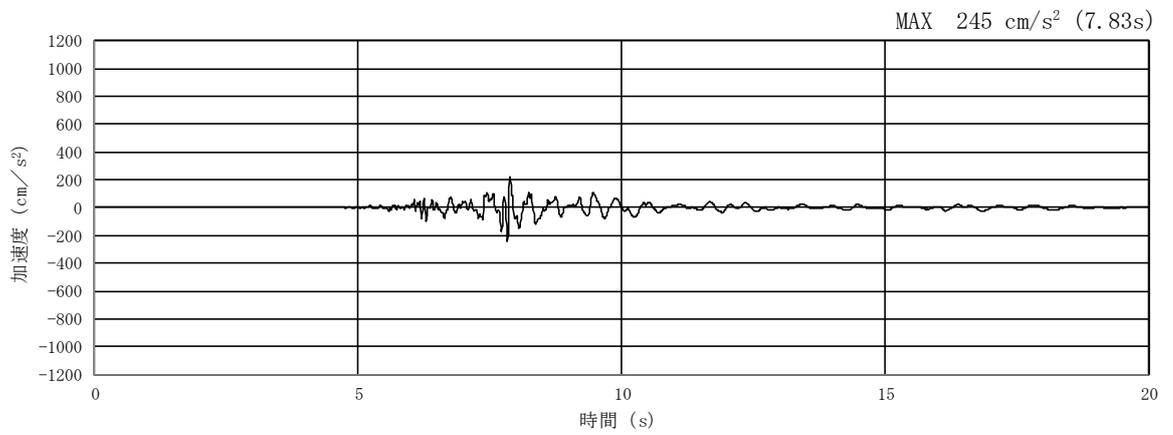


(a) 加速度時刻歴波形

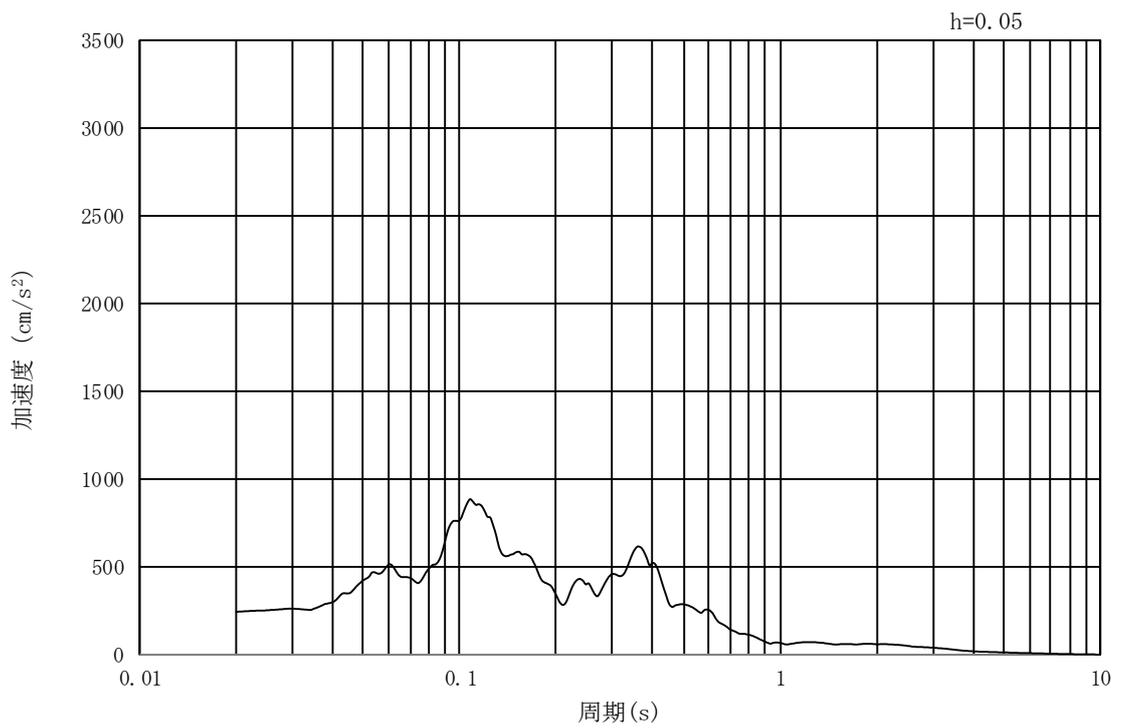


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (15) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 31$)

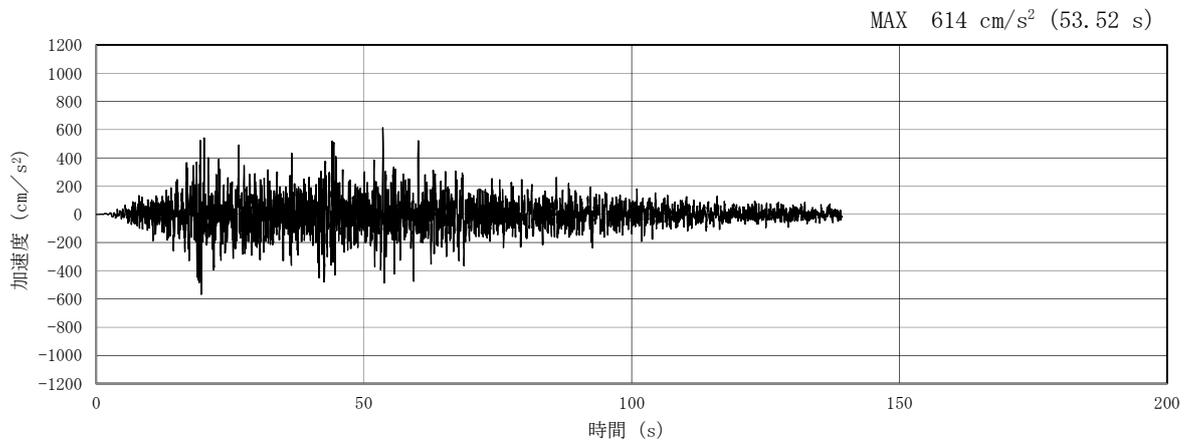


(a) 加速度時刻歴波形

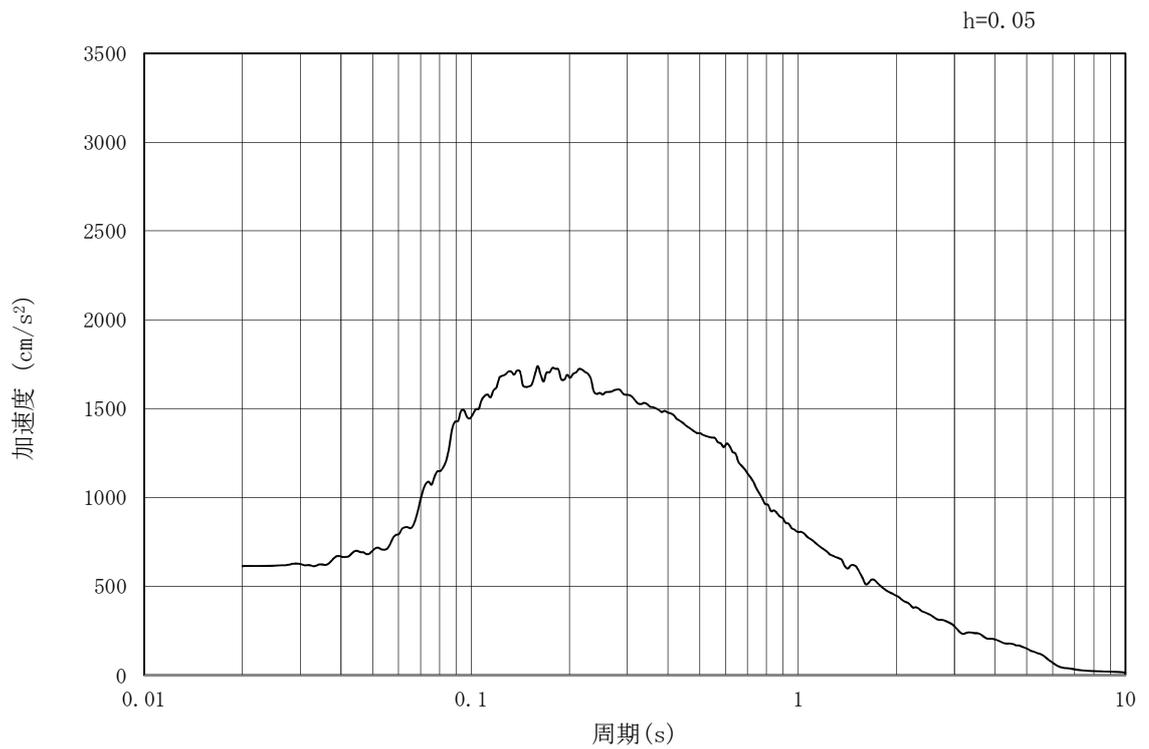


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (16) 東西方向断面 (①-①断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 31$)

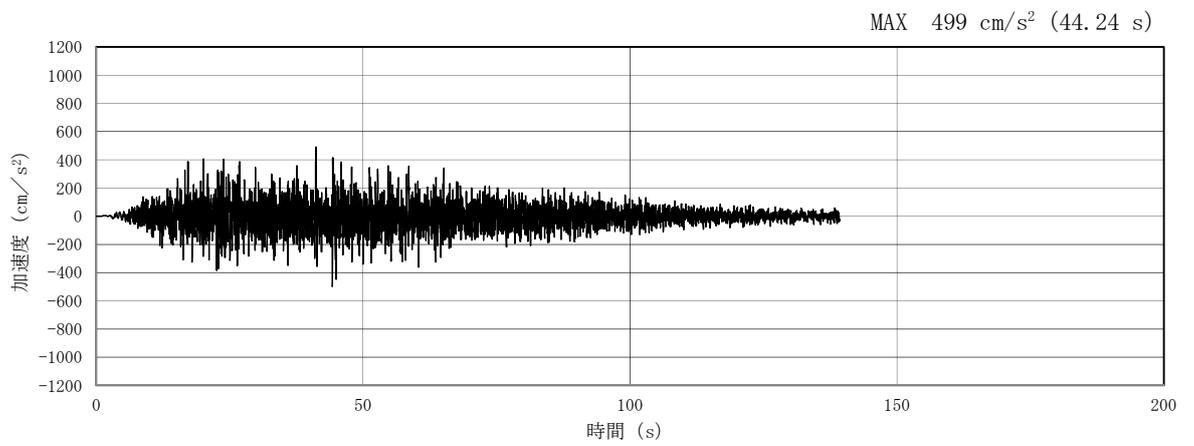


(a) 加速度時刻歴波形

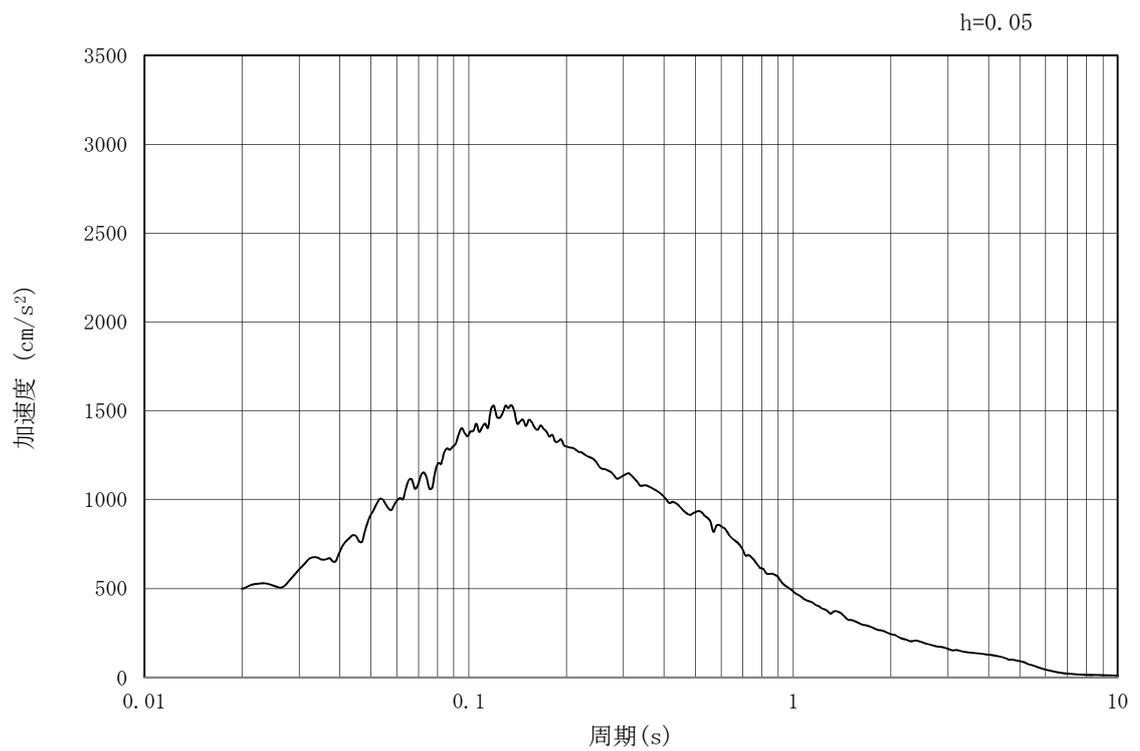


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (17) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S_s-D1)

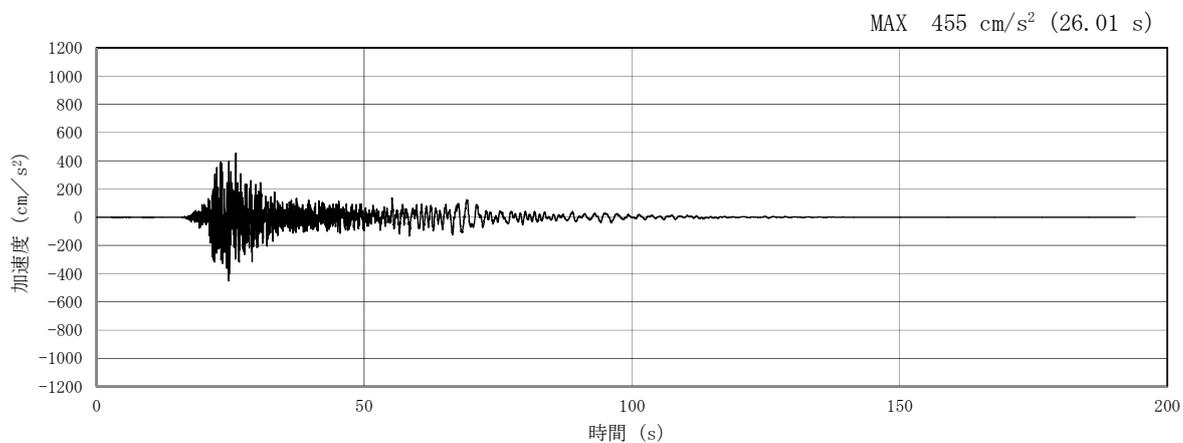


(a) 加速度時刻歴波形

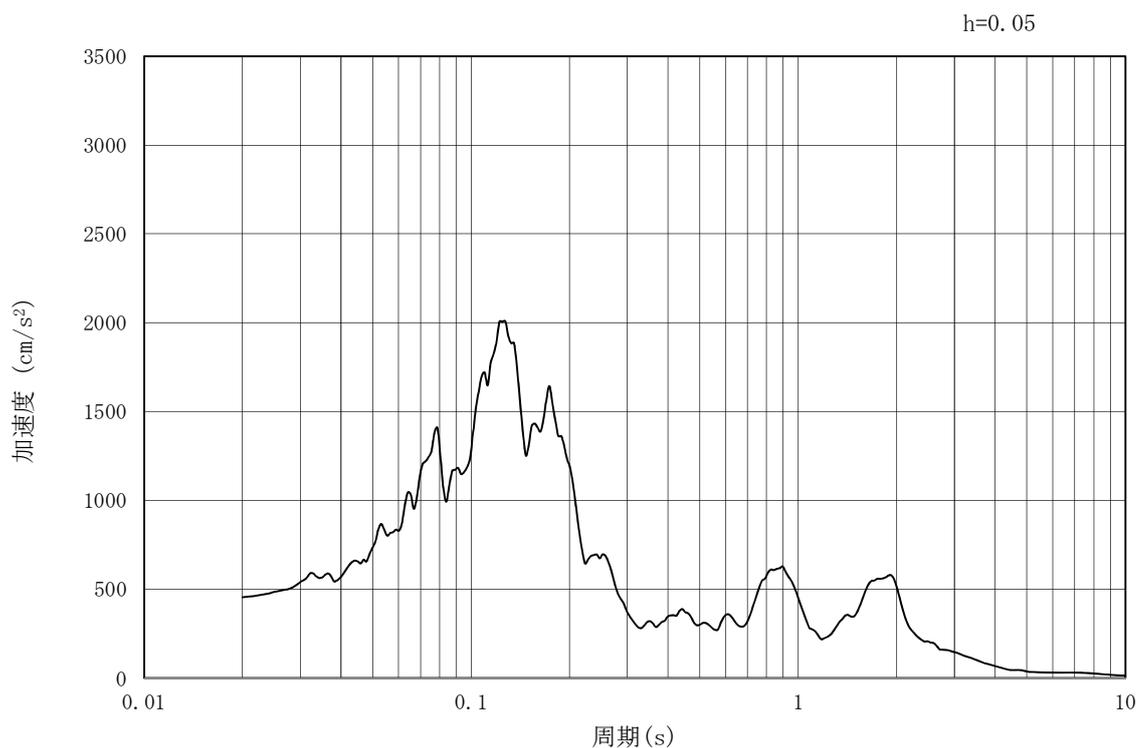


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (18) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - D 1$)

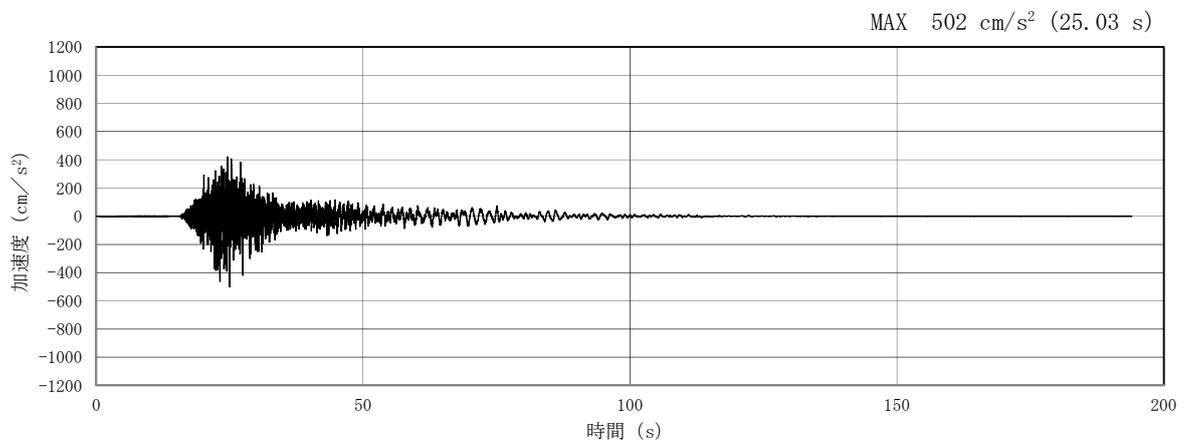


(a) 加速度時刻歴波形

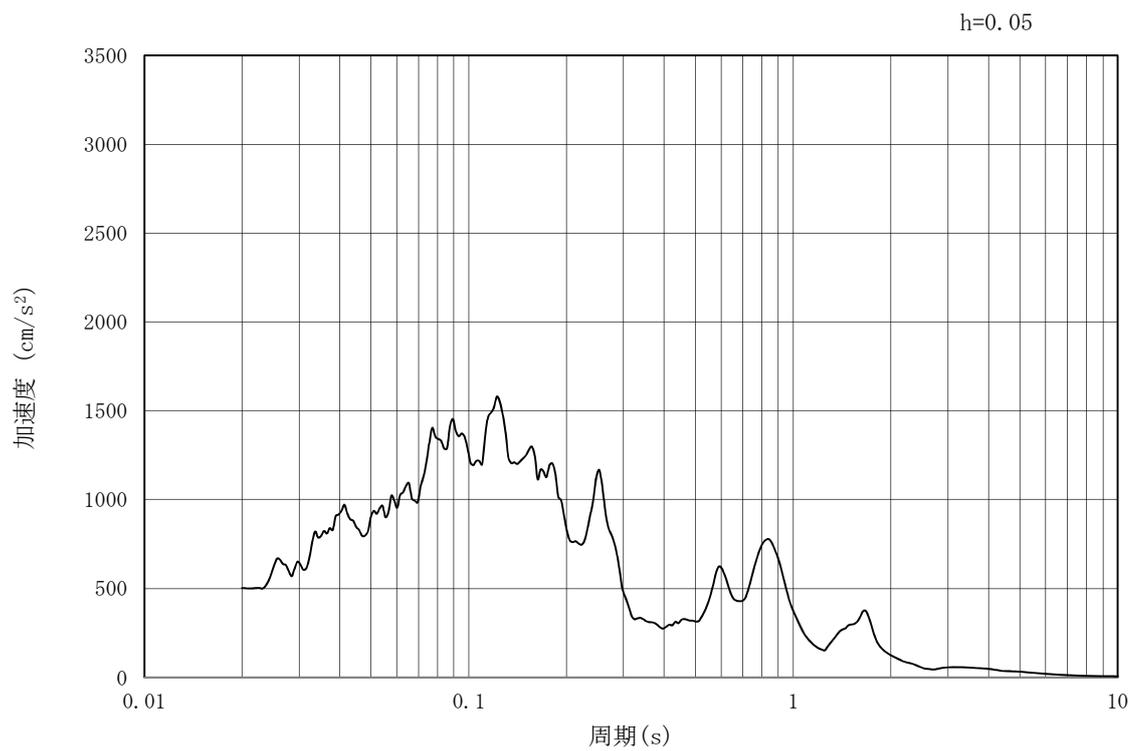


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (19) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 11$)

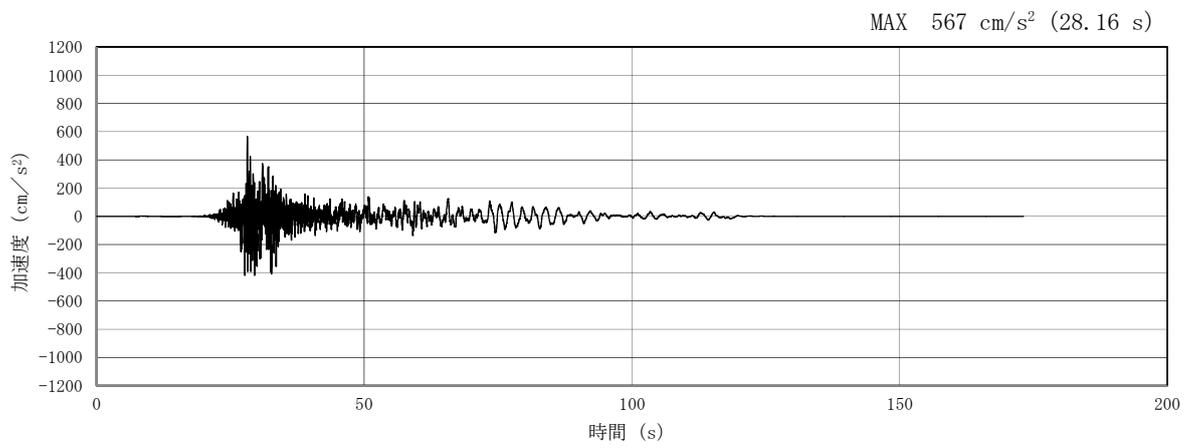


(a) 加速度時刻歴波形

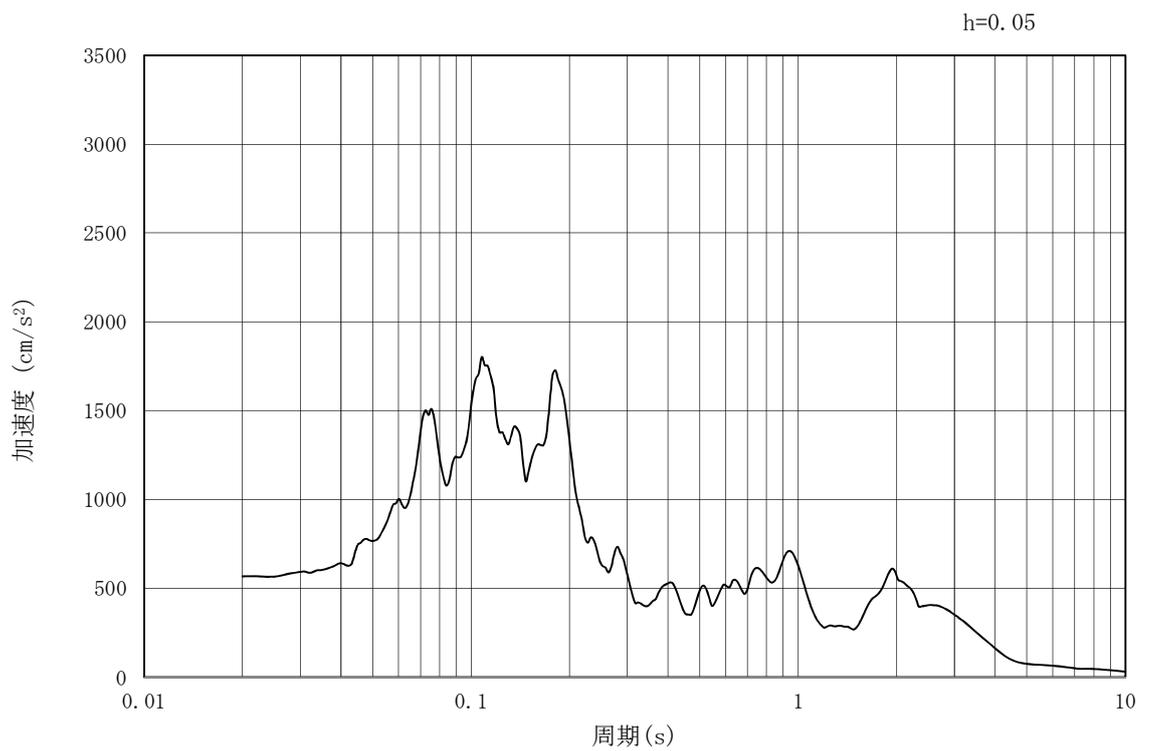


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (20) 南北方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.1$)

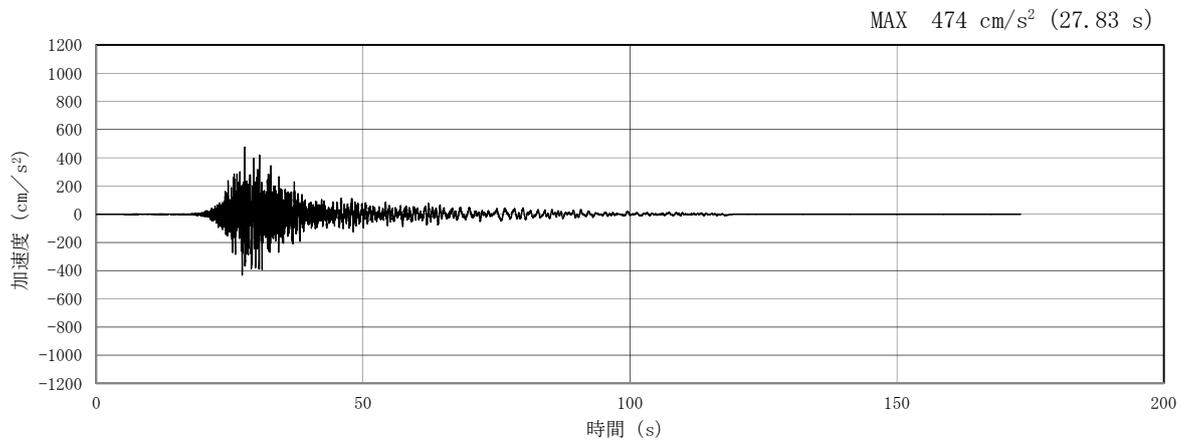


(a) 加速度時刻歴波形

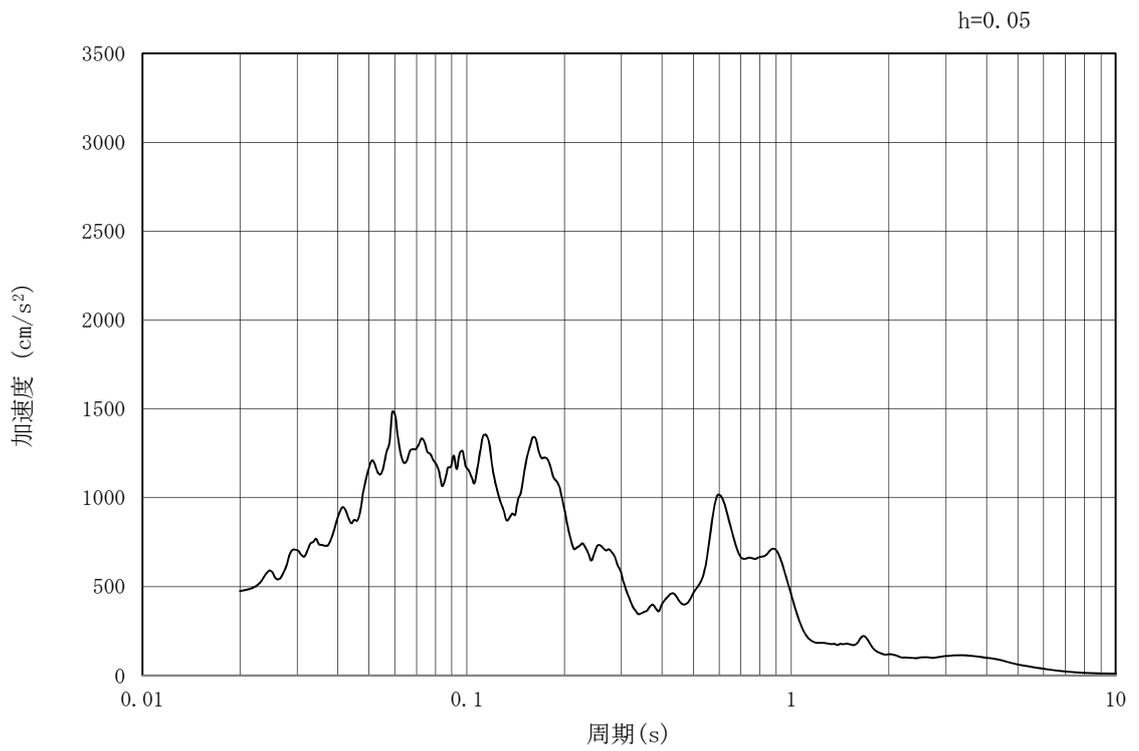


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (21) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.2$)

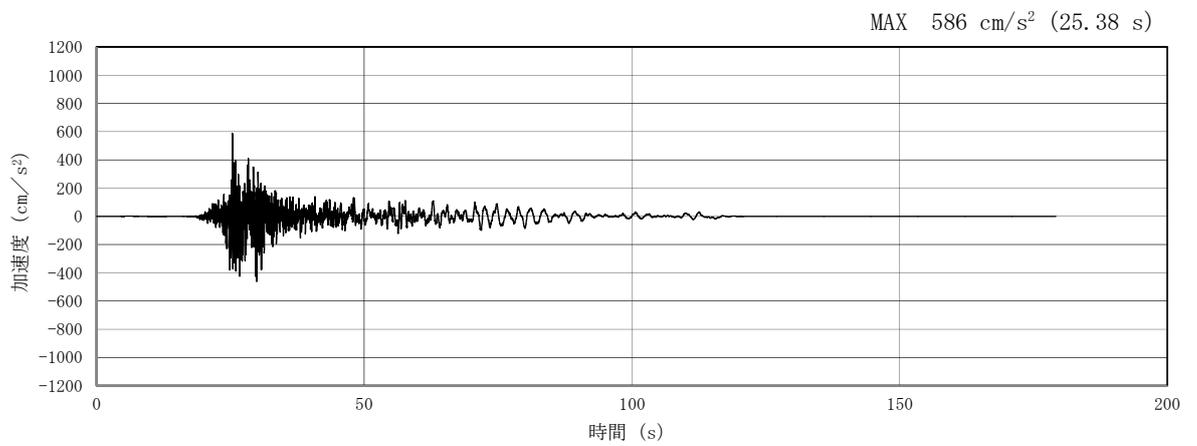


(a) 加速度時刻歴波形

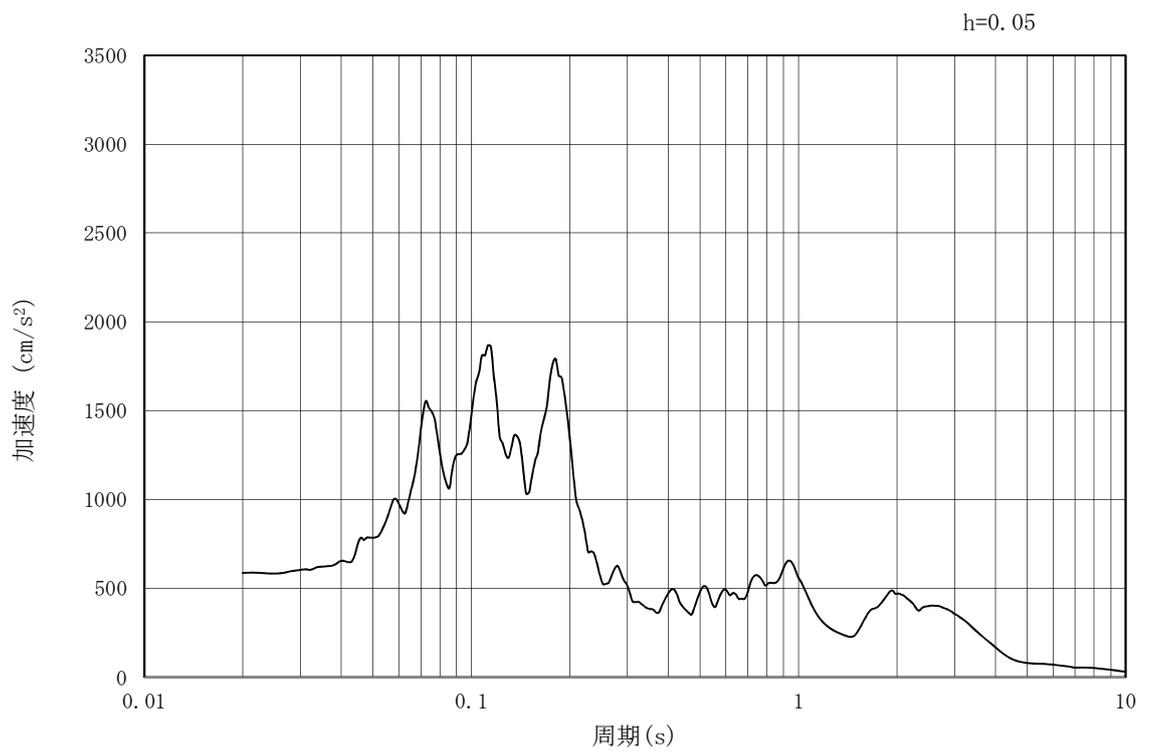


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (22) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.2$)

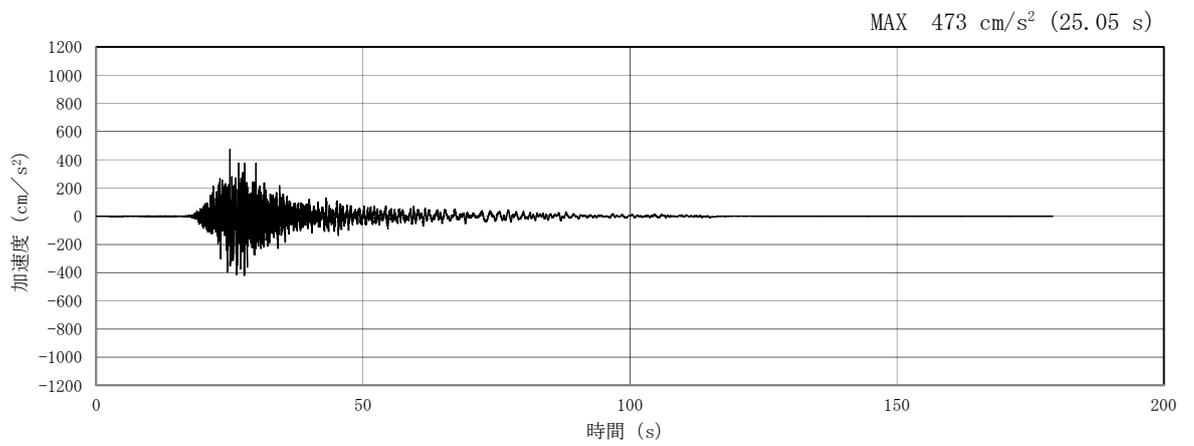


(a) 加速度時刻歴波形

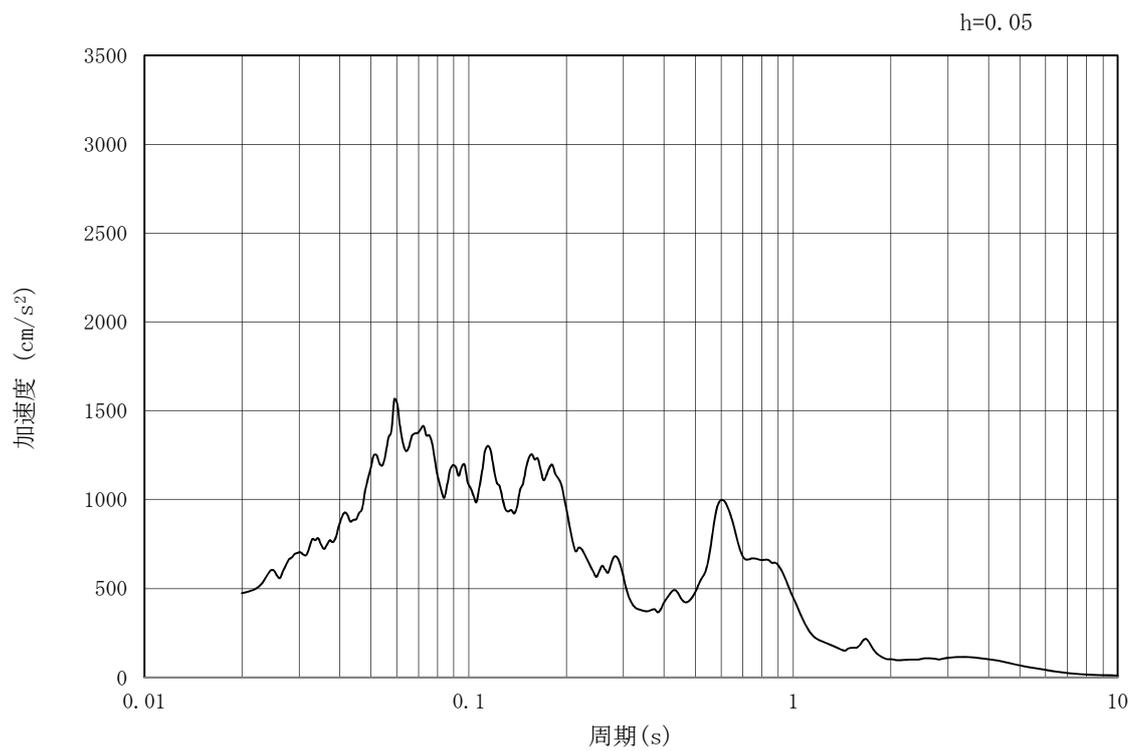


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (23) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 1.3$)

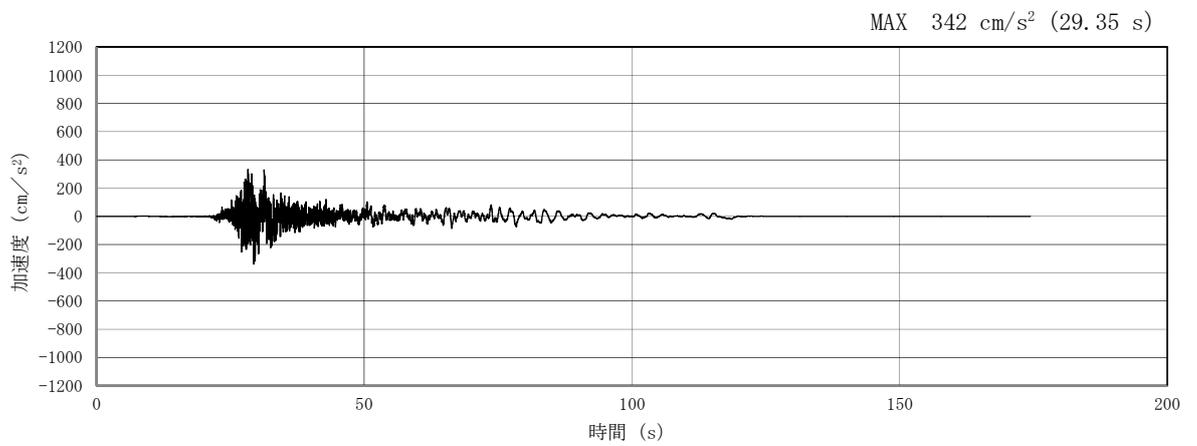


(a) 加速度時刻歴波形

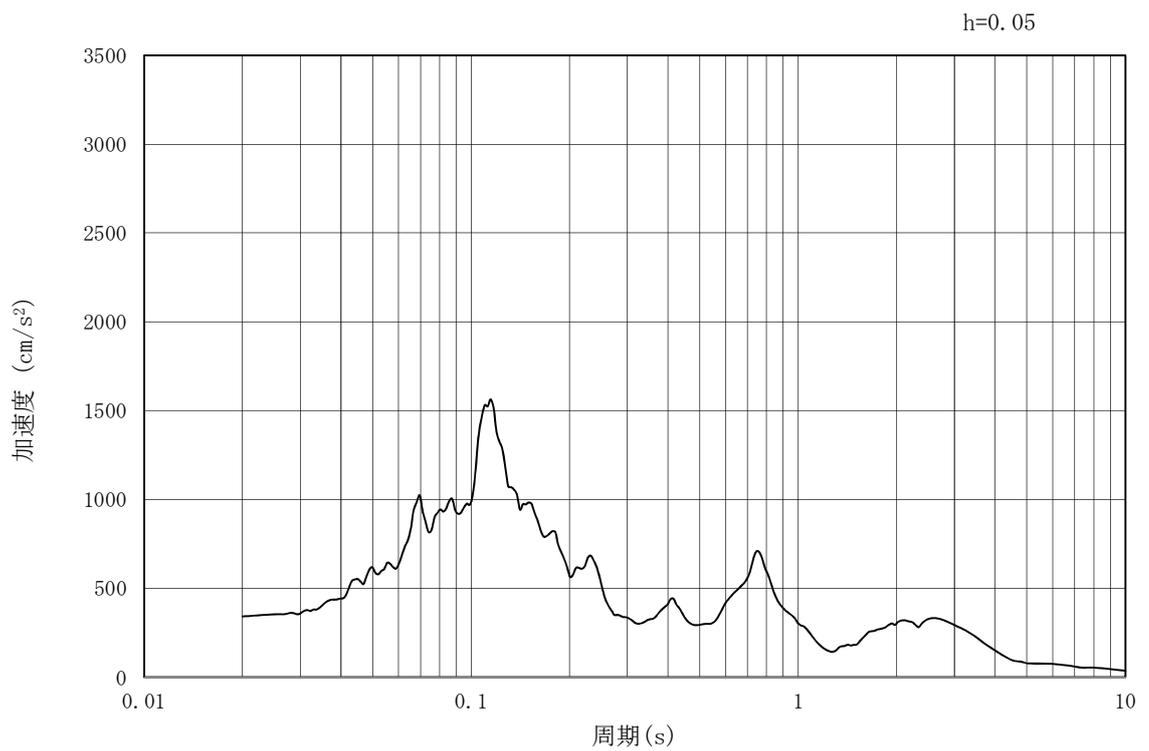


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (24) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.3$)

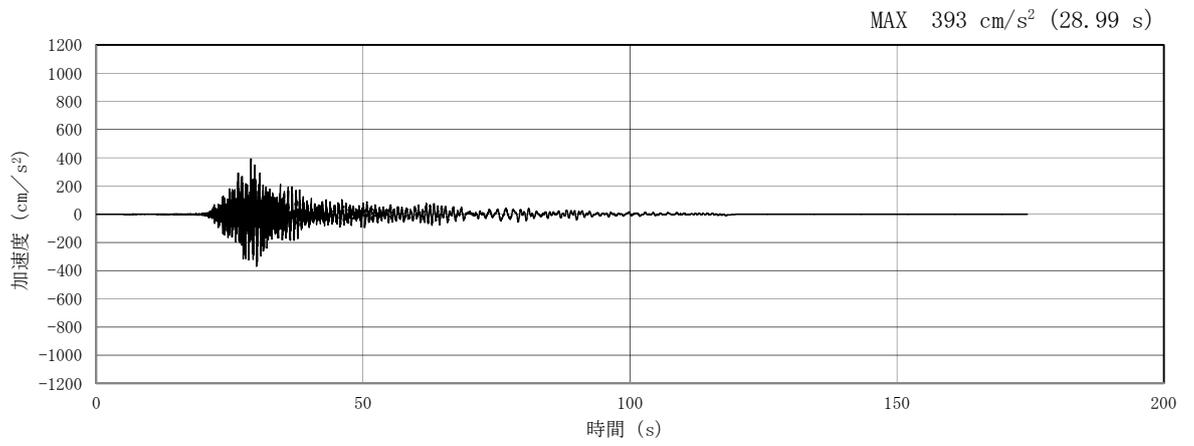


(a) 加速度時刻歴波形

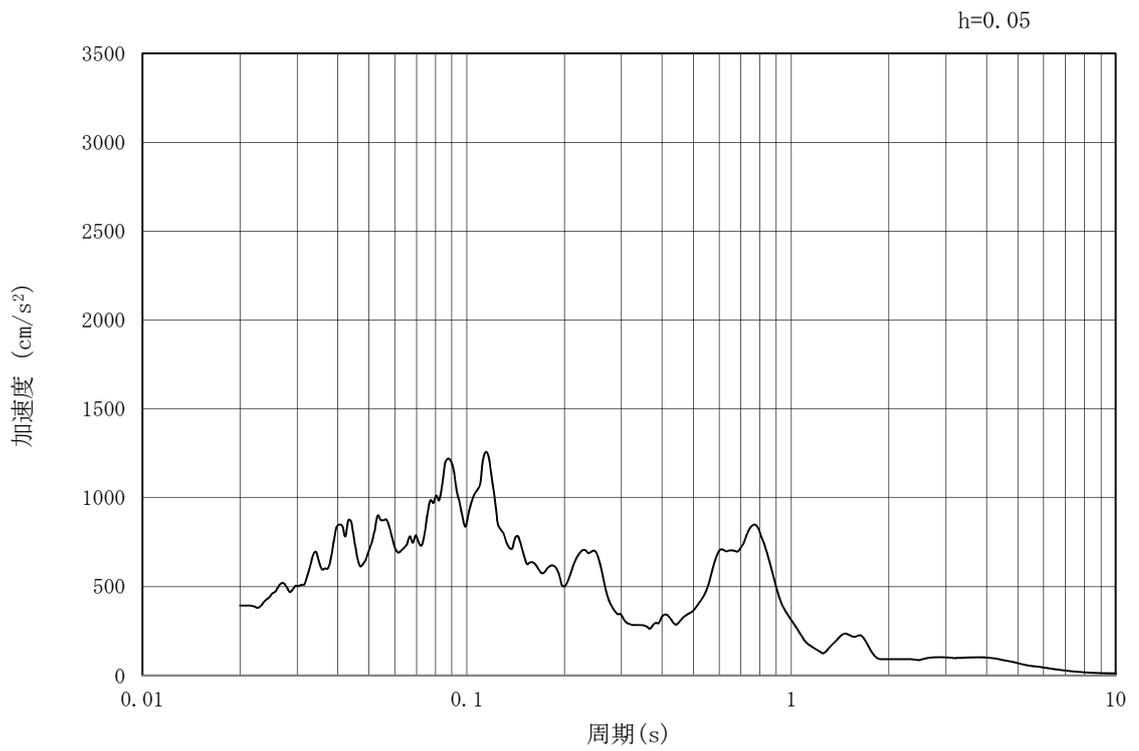


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (25) 南北方向断面 (④-④断面) のの入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S_s-14)

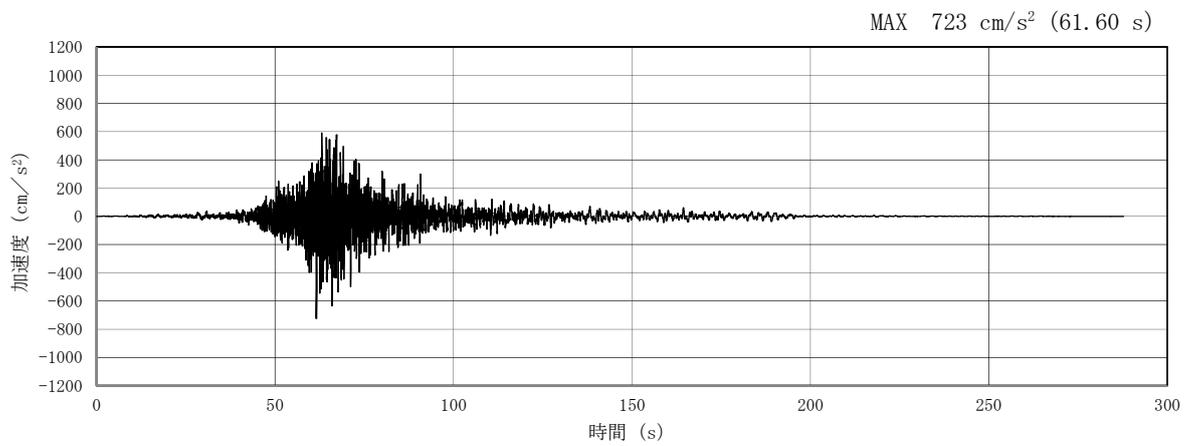


(a) 加速度時刻歴波形

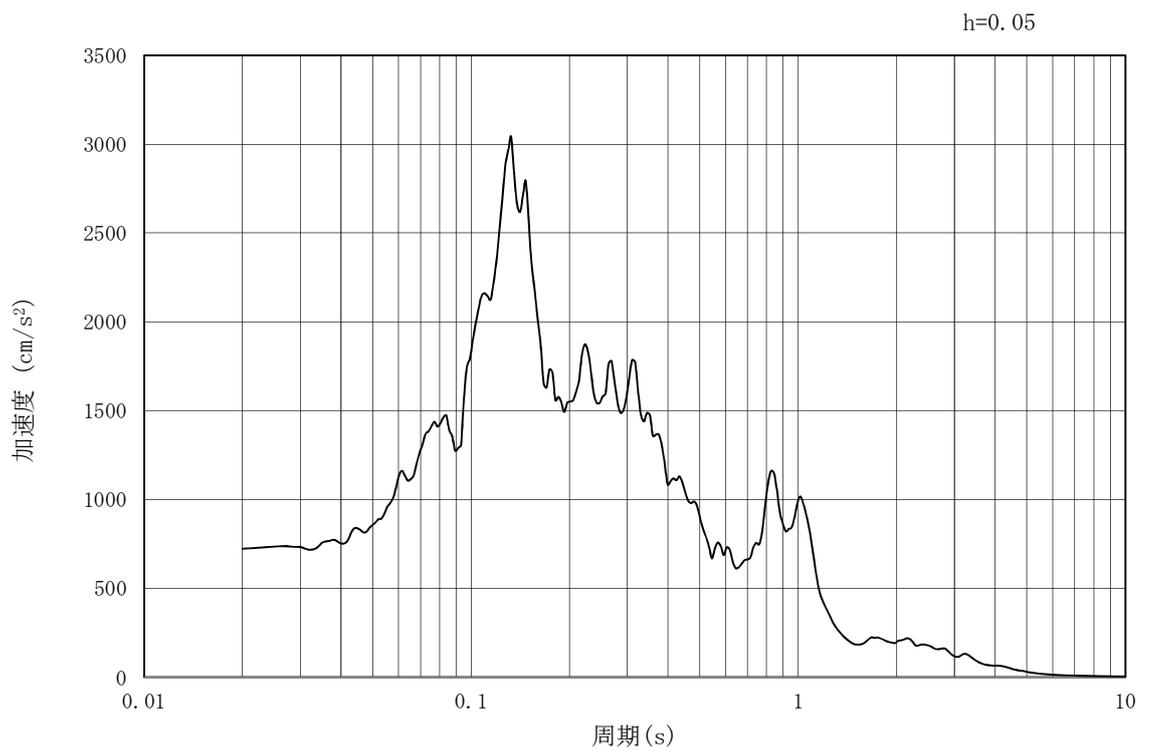


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (26) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 1.4$)

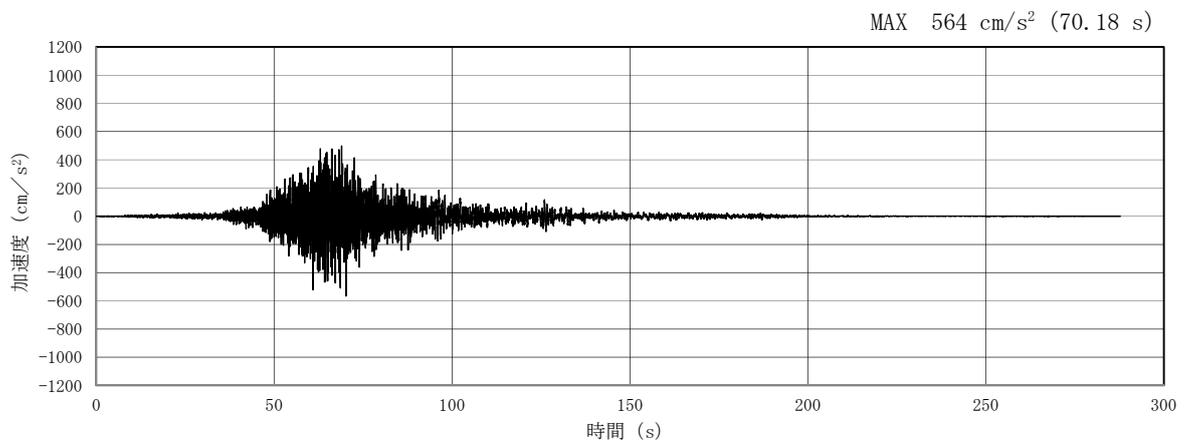


(a) 加速度時刻歴波形

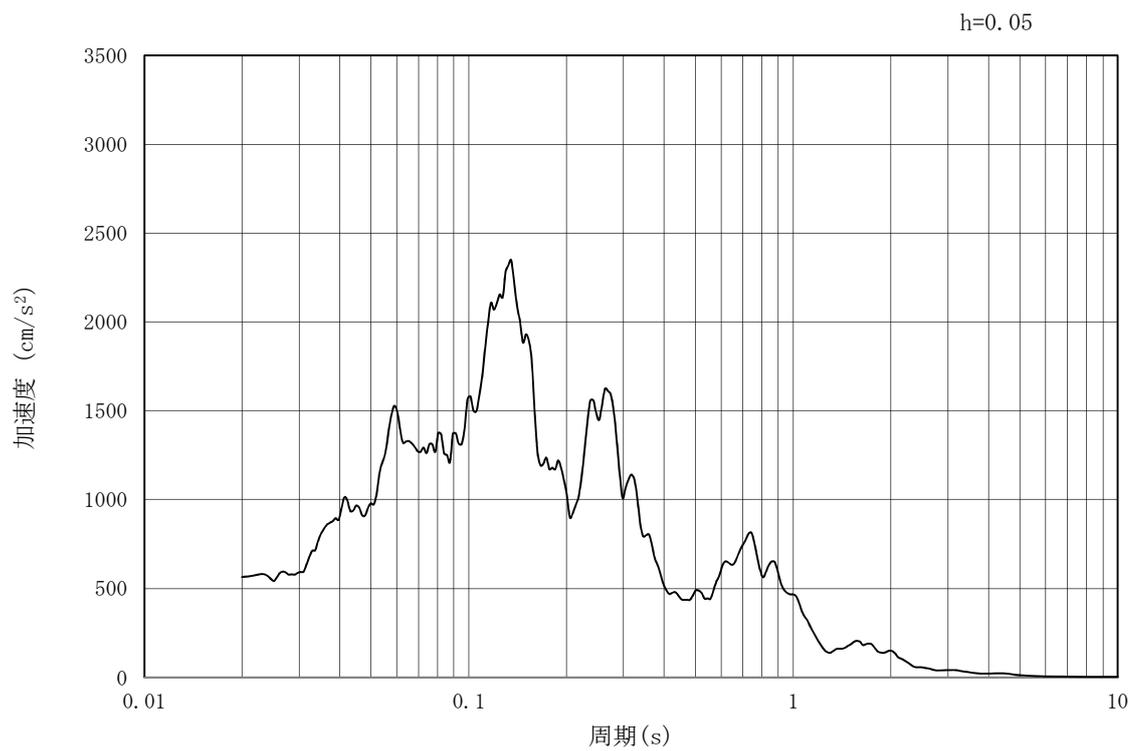


(b) 加速度応答スペクトル

第 11.3-4 図 (27) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向: $S_s - 21$)

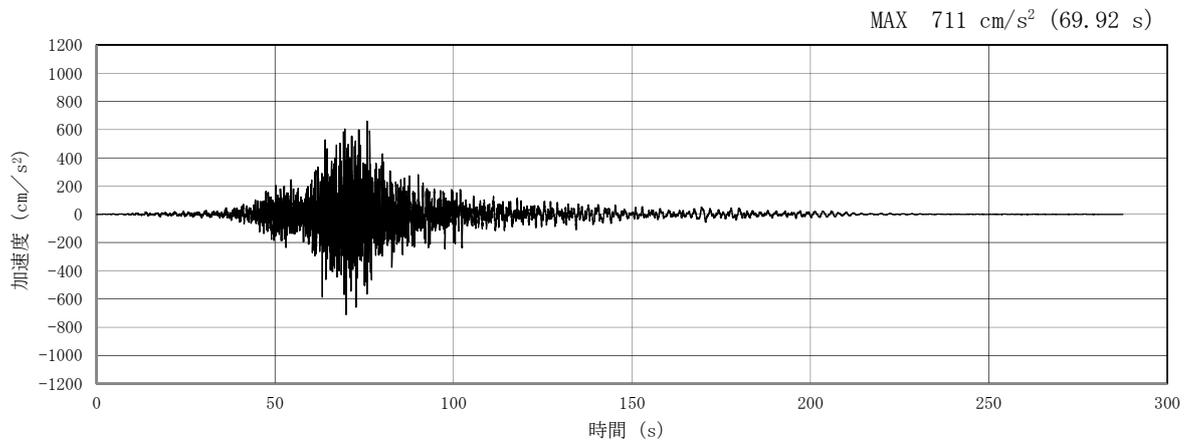


(a) 加速度時刻歴波形

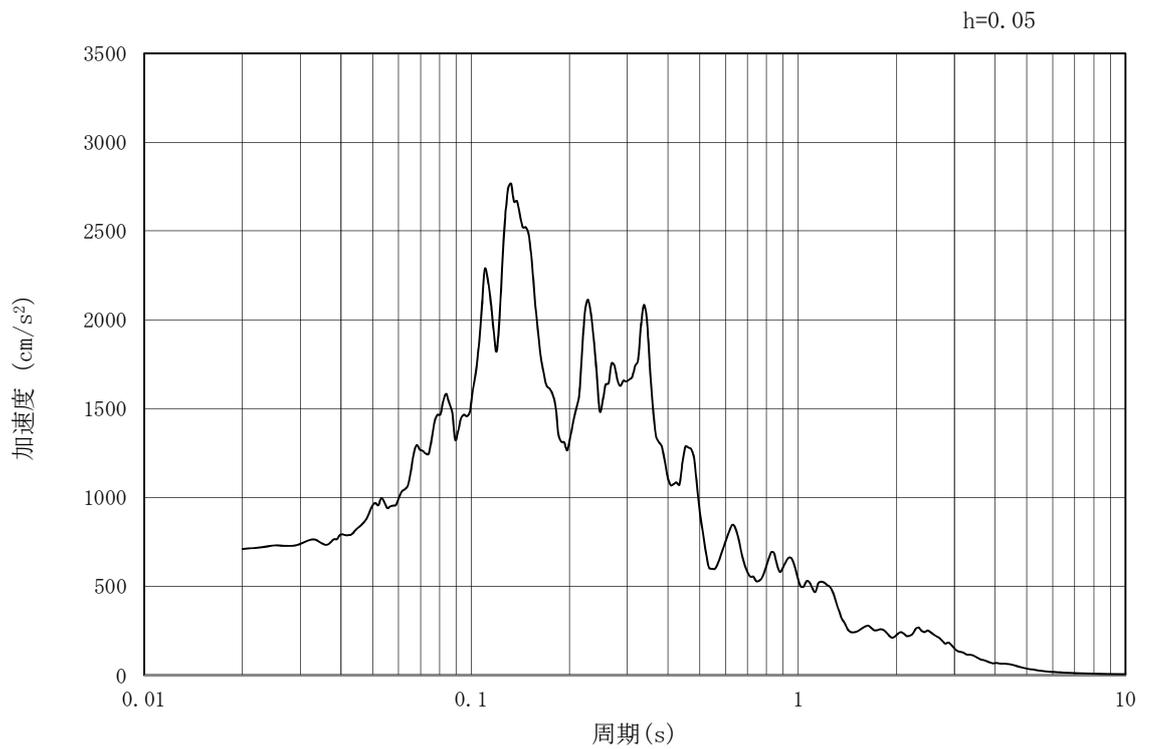


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (28) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 21$)

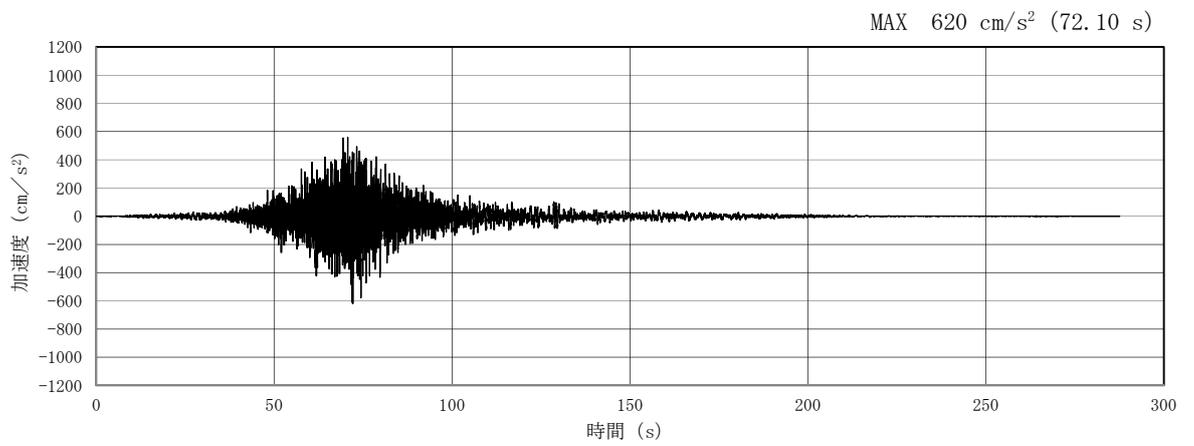


(a) 加速度時刻歴波形

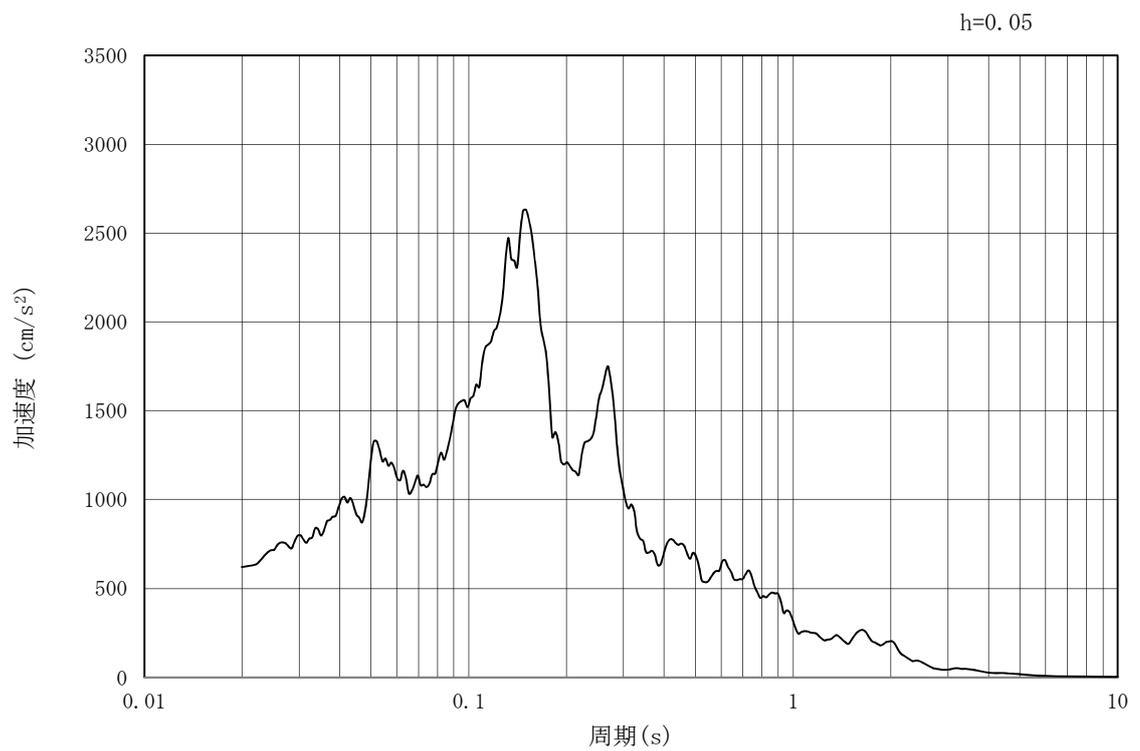


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (29) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 22$)

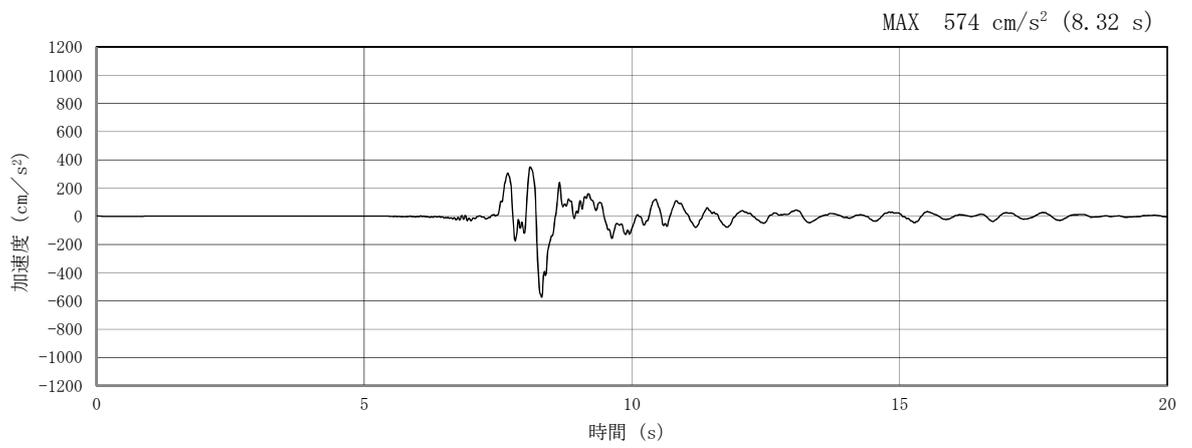


(a) 加速度時刻歴波形

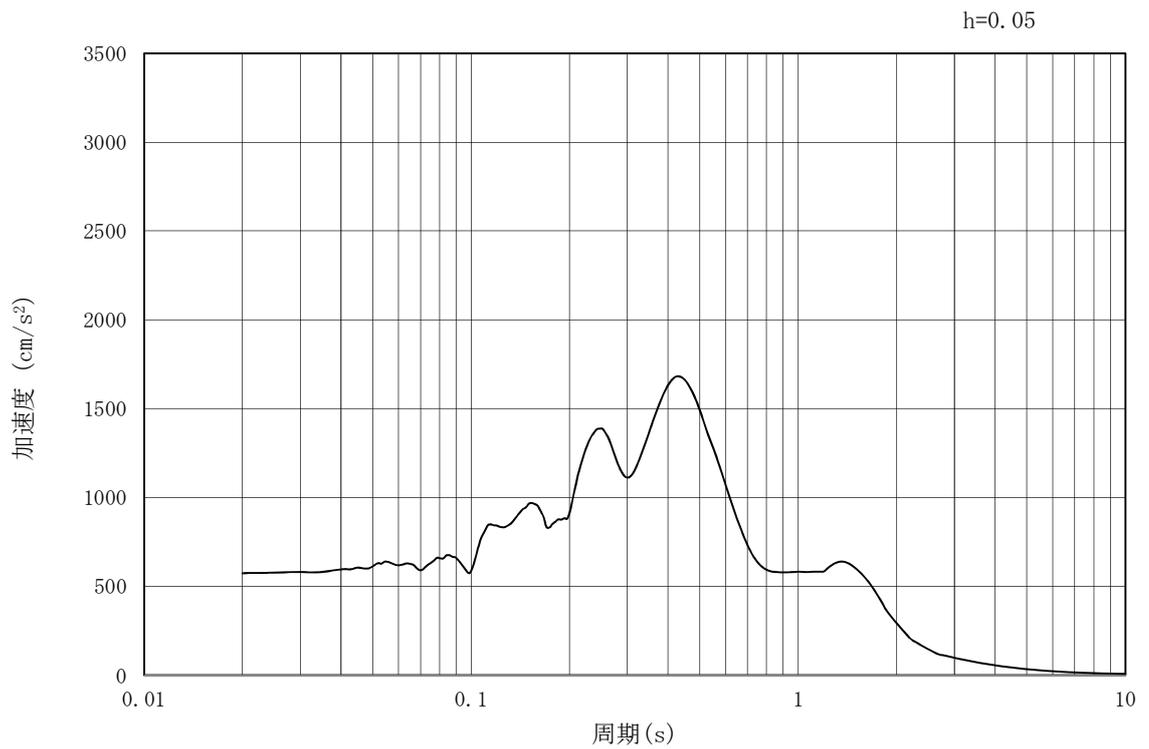


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (30) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: $S_s - 22$)

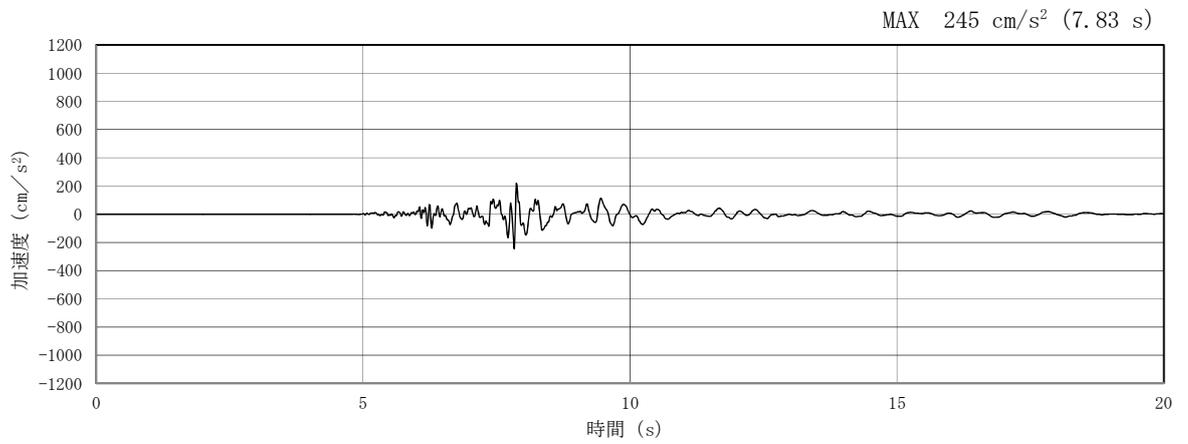


(a) 加速度時刻歴波形

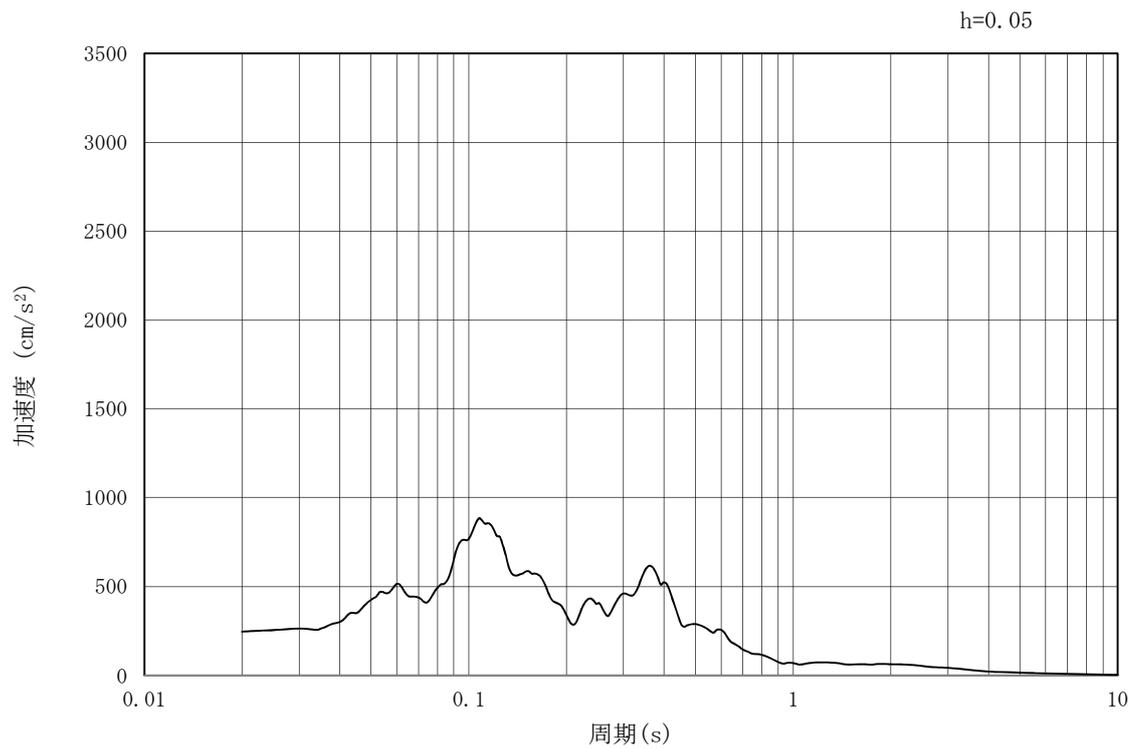


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (31) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 31$)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (32) 南北方向断面 (④-④断面) の入力地震動の加速度時刻歴波形
及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 31$)

18.3.2 許容限界の設定

(1) 許容応力度による許容限界

可搬型設備用軽油タンク基礎の構造部材は、許容応力度による照査を行う。評価位置においてコンクリートの圧縮応力度、鉄筋の引張応力度、コンクリートのせん断応力度が許容応力度以下であることを確認する。

許容応力度については、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年制定）」，「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，コンクリート及び鉄筋の許容応力度に対して割増係数1.5を考慮し，表18.3-1のとおり設定する。

表 18.3-1 許容応力度

評価項目		短期許容応力度 (N/mm ²)	
コンクリート*1 (f'ck=40 N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	21.0	
	許容せん断応力度 τ_{a1}	0.825*4	
鉄筋(SD490)*2	許容引張応力度 σ_{sa} (曲げ)	435	
	許容引張応力度 σ_{sa} (せん断)	300	
鋼管杭(SKK490)*3	母材部 溶接部	引張	277.5
		圧縮	277.5
		せん断	157.5

注記 *1：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）

*2：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）

*3：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）

*4：斜め引張鉄筋を考慮する場合は，「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年制定）」を適用し，次式により求められる許容せん断力 (V_a) を許容限界とする。

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで，

V_{ca} : コンクリートの許容せん断力

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

V_{sa} : 斜め引張鉄筋の許容せん断力

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa2} \cdot j \cdot d / s$$

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w : 有効幅

j : 1/1.15

- d : 有効高さ
A_w : 斜め引張鉄筋断面積
 σ_{sa2} : 鉄筋の許容引張応力度
s : 斜め引張鉄筋間隔

表 18.3-2 斜め引張鉄筋を配置する部材のせん断力に対する許容限界 (追而)

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

極限支持力は、道路橋示方書の支持力算定式等に基づき、対象施設の岩盤の室内試験結果（せん断強度）等より設定する。

道路橋示方書による杭基礎における支持力算定式を以下に示す。杭基礎構造を有する耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設について、豊浦標準砂の液化強度特性により強制的に液化化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。ただし、杭を根入れした岩盤及び岩着している地盤改良体とその上方の非液化化層が連続している場合は、杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合がある。

極限支持力算定式（杭基礎 [中掘り工法]）

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

q_u : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

A : 杭先端面積 (m²)

U : 杭の周長 (m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

可搬型設備用軽油タンク基礎における許容限界を表 18.3-3 に示す。

表 18.3-3 基礎地盤の支持力に対する許容限界 (追而)

18.4 評価結果

18.4.1 地震応答解析結果

可搬型設備用軽油タンク基礎の基準地震動 S_s による断面力（曲げモーメント，軸力，せん断力）を図18.4-1に示す。本図は構造部材の曲げ，せん断照査結果が最も厳しくなる部材の評価時刻における断面力を示したものである。

また，最大せん断ひずみ分布図を図18.4-2に示し，過剰間隙水圧比の分布図を図18.4-3に示す。これらの図は，各要素に発生したせん断ひずみ及び過剰間隙水圧比の全時刻における最大値の分布を示したものである。

18.4.2 耐震評価結果

(1) 構造部材の曲げに対する評価結果

表18.4-1及び表18.4-2に曲げに対する照査結果を示す。

可搬型設備用軽油タンク基礎における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。なお，発生応力は各地震動，各部材において最大となる値を示している。

以上より，可搬型設備用軽油タンク基礎の構造部材の発生応力は，許容限界以下であることを確認した。

図18.4-4に概略配筋図を，表18.4-3に断面計算に用いた断面諸元の一覧を示す。

(2) 構造部材のせん断に対する評価結果

表18.4-1にせん断に対する照査結果を示す。

可搬型設備用軽油タンク基礎における許容応力度法による照査を行った結果，評価位置においてせん断応力度が許容せん断応力度以下又は発生せん断力がコンクリートの許容せん断力（ $V_{c,a}$ ）と，斜め引張鉄筋の許容せん断力（ $V_{s,a}$ ）を合わせた許容せん断力（ V_a ）以下であることを確認した。なお，発生応力は各地震動，各部材において最大となる値を示している。

以上より，可搬型設備用軽油タンク基礎の構造部材の発生応力は，許容限界以下であることを確認した。

図18.4-5に概略配筋図を，表18.4-4に断面計算に用いた断面諸元の一覧を示す。

(3) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

表18.4-6に基礎地盤の支持性能評価結果を，図18.4-5に接地圧分布図を示す。

可搬型設備用軽油タンク基礎の最大接地圧は S_s-D1 〔H+，V+〕で $\bigcirc\bigcirc$ kN/m²であり，基礎地盤の極限支持力度 $\Delta\Delta$ kN/m²以下である。

以上のことから，可搬型設備用軽油タンク基礎の基礎地盤は，基準地震動 S_s に対し，支持性能を有する。

18.5 まとめ



