

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 15
提出年月日	平成 30 年 6 月 7 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 6 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
改8	H30.4.27	・既提出分を一式取り纏めて, 再提出
改9	H30.5.2	・改6のうち, 1.6章及び5章を改定 ・改3のうち, 4章を改訂
改10	H30.5.14	・1.7章, 1.8章を新規作成し, 追加
改11	H30.5.23	・改0のうち, 1.4.10章を改定 ・改7のうち, 10章を改定 ・改9のうち, 1.6章を改定
改12	H30.5.28	・改3のうち, 1.4.2章を改定 ・改3のうち, 2章を改定
改13	H30.5.31	・改0のうち, 1.4.3章を改定
改14	H30.6.6	・1.9章を新規作成し, 追加 ・1.10章を新規作成し, 追加 ・改7のうち, 3章を改定
改15	H30.6.7	・改7のうち, 17章, 18章を改定 ・改14のうち, 3章を改定

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 12 H30. 5. 28]
 - 1.4.3 屋外二重管の断面選定の考え方[改 13 H30. 5. 31]
 - 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]
 - 1.4.6 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 11 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 11 H30. 5. 23]
 - 1.7 ジョイント要素のばね設定について[改 10 H30. 5. 14]
 - 1.8 有効応力解析モデルへの入力地震動の算定方法について[改 10 H30. 5. 14]
 - 1.9 地震応答解析における構造物の減衰定数について[改 14 H30. 6. 6]
 - 1.10 屋外重要土木構造物の地震応答解析結果及び耐震評価結果の記載方針について[改 14 H30. 6. 6]
2. 取水構造物の耐震安全性評価[改 12 H30. 5. 28]
3. 屋外二重管の耐震安全性評価[改 15 H30. 6. 7]
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 9 H30. 5. 2]
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 9 H30. 5. 2]
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 11 H30. 5. 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. S A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. S A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 15 H30. 6. 7]
18. 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価[改 15 H30. 6. 7]

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
	1.6 許容応力度法における許容限界について	共通事項
	1.7 ジョイント要素のばね設定について	共通事項
	1.8 有効応力解析モデルへの入力地震動の算定方法について	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。

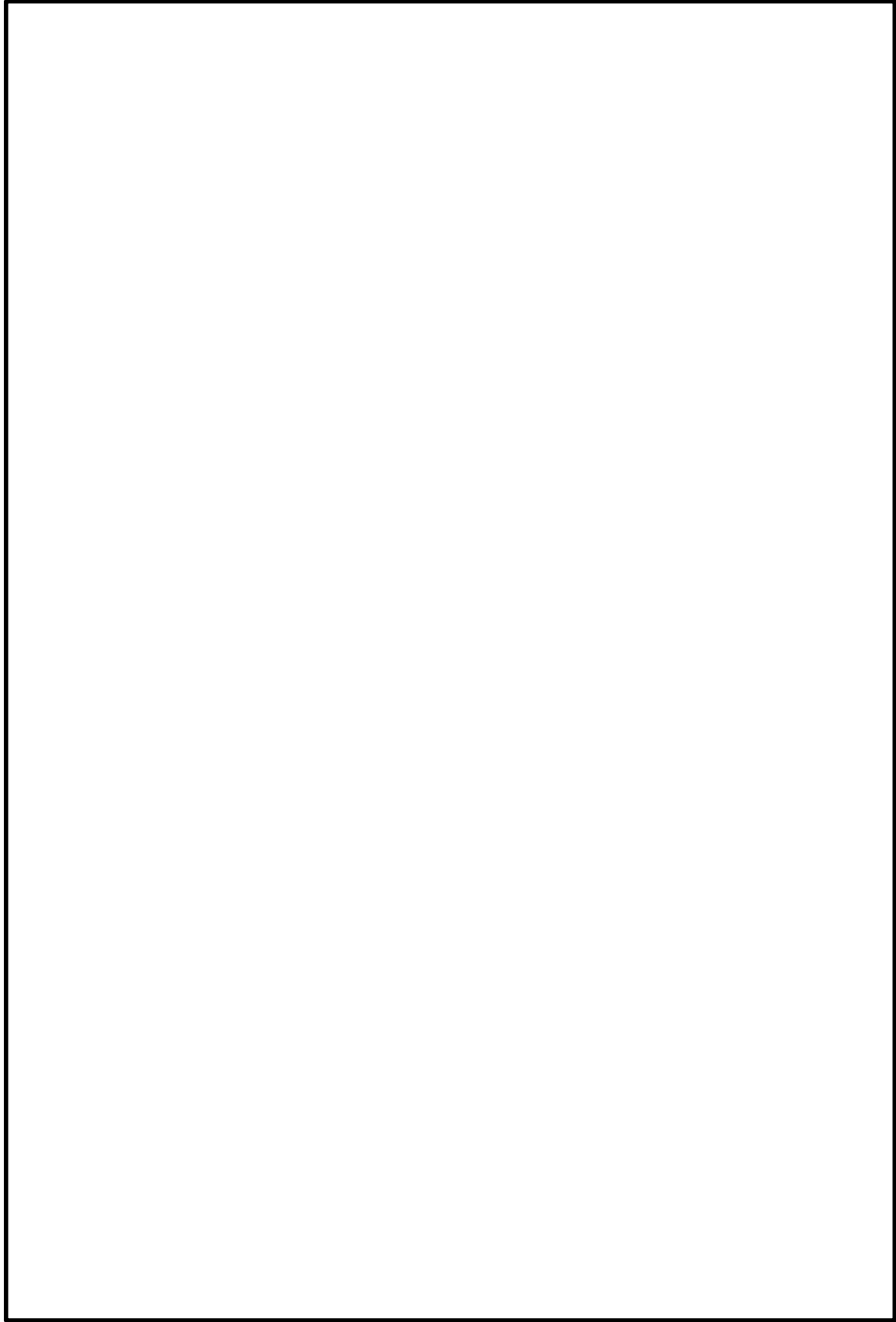


图 1.1-1 屋外重要土木构造物等位置图

3. 屋外二重管基礎の耐震安全性評価

目 次

3.1	評価方法	1
3.2	評価条件	1
3.2.1	適用基準	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	11
3.2.6	評価構造物諸元	15
3.2.7	荷重伝達	16
3.2.8	地下水位	17
3.2.9	地震応答解析手法	17
3.2.10	解析モデルの設定	19
3.2.11	減衰特性	39
3.2.12	荷重の組合せ	44
3.2.13	地震応答解析の検討ケース	46
3.3	評価内容	48
3.3.1	入力地震動の設定	48
3.3.2	許容限界の設定	81
3.4	評価結果	85
3.4.1	地震応答解析結果	85
3.4.2	耐震評価結果（追而）	108
3.5	まとめ（追而）	124

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 適用基準

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 14 年 3 月), 並びに道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説 ((社)日本道路協会, 平成 24 年 3 月) を適用する。

適用する規格, 基準類を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 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	・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)	—
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 14 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 14 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 ・道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説 (平成 24 年 3 月)	・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。

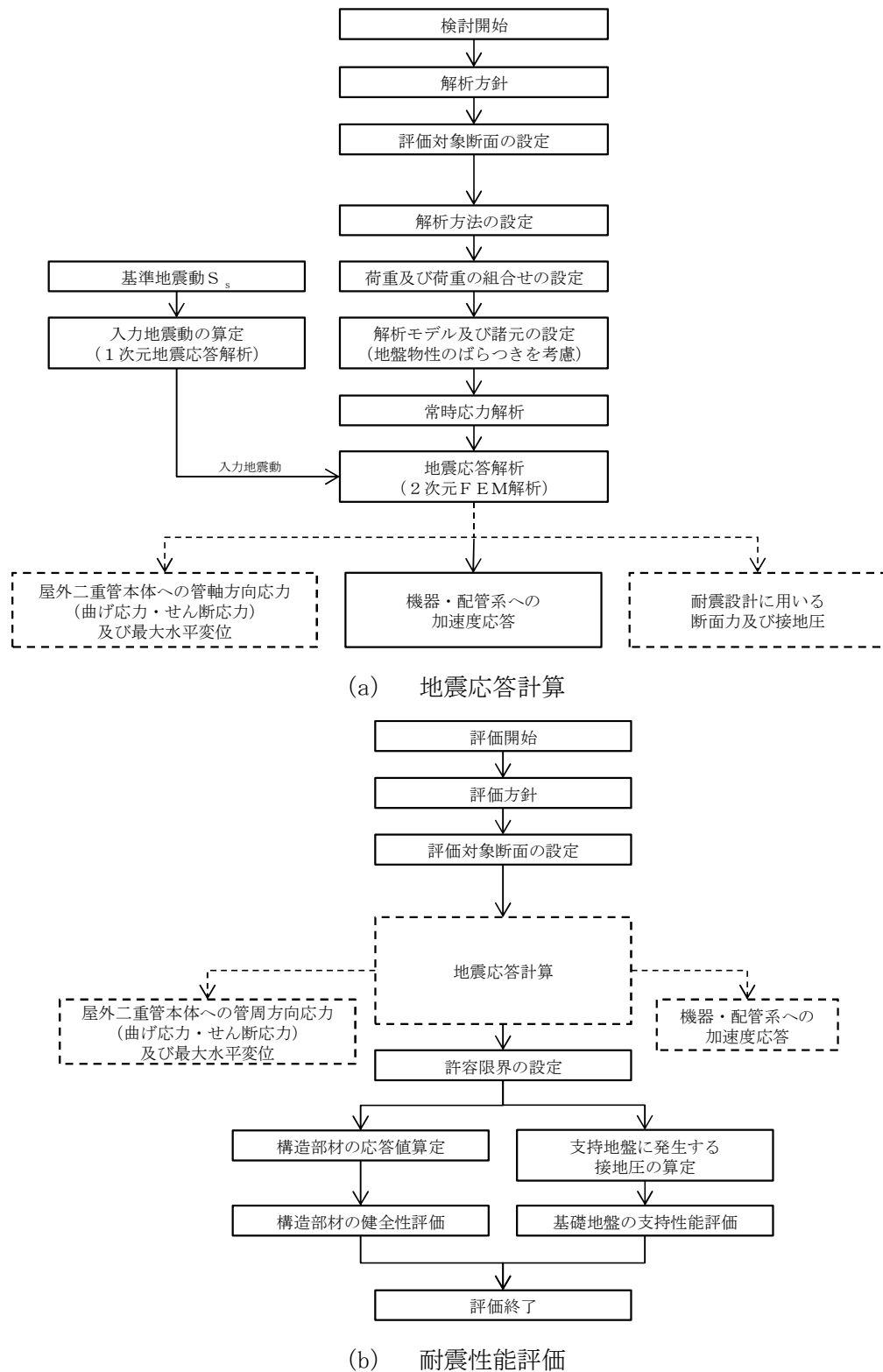


図 3.2-1 屋外二重管の地震応答計算及び屋外二重管基礎の耐震安全性評価フロー

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海水系配管(DGSW)及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系配管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り、杭基礎、又は地盤改良体を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。排気筒付近に位置する可とう管から海水ポンプ室までの区間は、水平方向の鋼製桁と鉛直方向の鋼管杭を結合したラーメン構造である杭基礎により支持する構造とする。一方、原子炉建屋から排気筒付近に位置する可とう管までは他構造物(原子炉建屋、排気筒、主排気筒ダクト基礎など)と近接していることから、杭基礎ではなく屋外二重管直下に造成した地盤改良体により支持する構造とする。

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。

地盤改良部の地盤改良体は、縦断方向に比べて横断方向の幅が狭く弱軸断面方向となることから、横断方向を評価対象断面の方向とする。

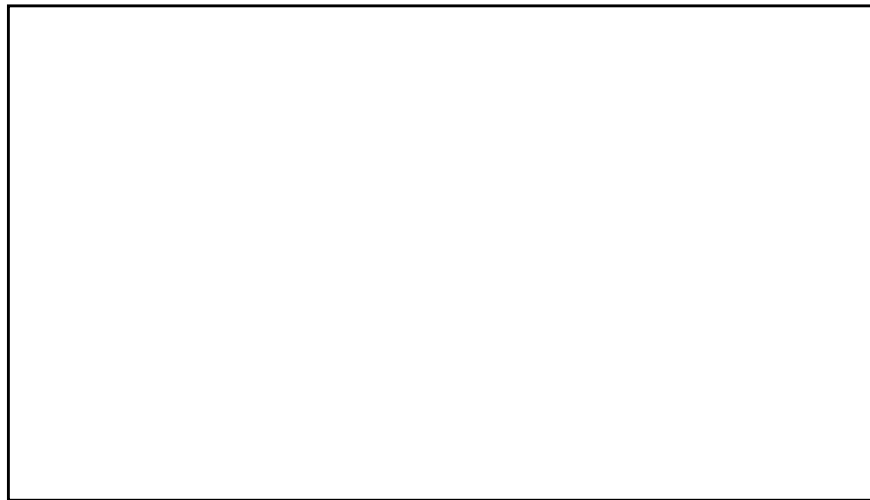


図 3.2-2 屋外二重管の位置図

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。

評価対象断面は、「1.4.3 屋外二重管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を図 3.2-6 に示す。

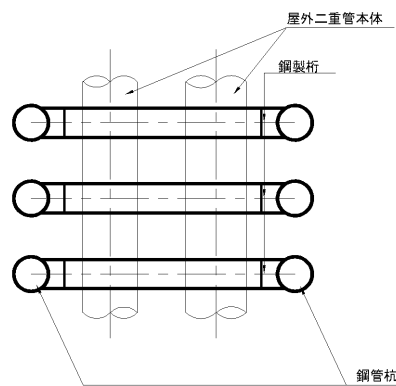
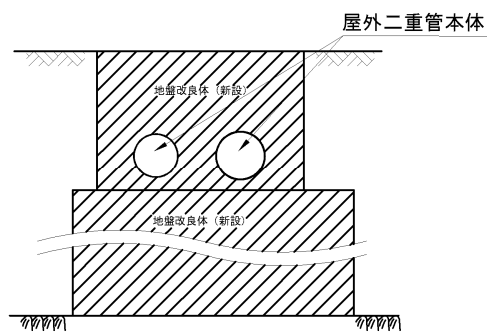
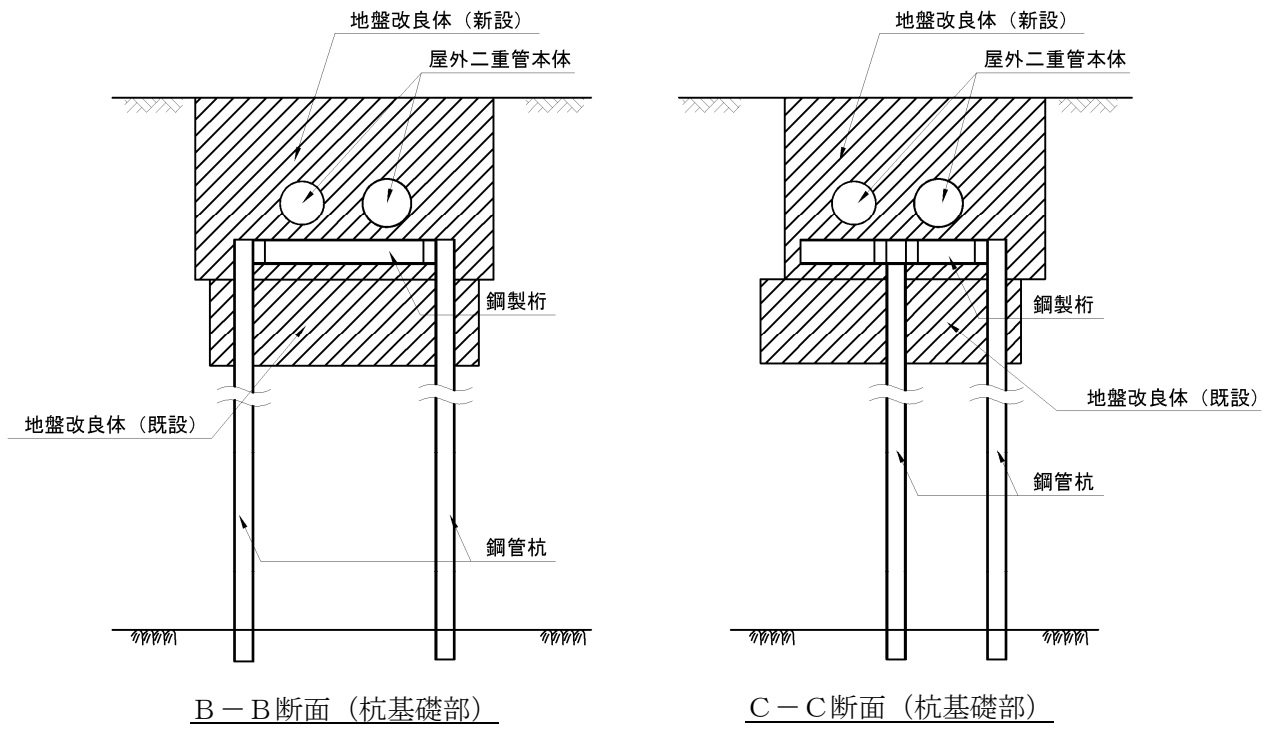


図 3.2-3 屋外二重管基礎の平面図

追而



C-C断面 (地盤改良部)

図 3.2-4 屋外二重管基礎の断面図

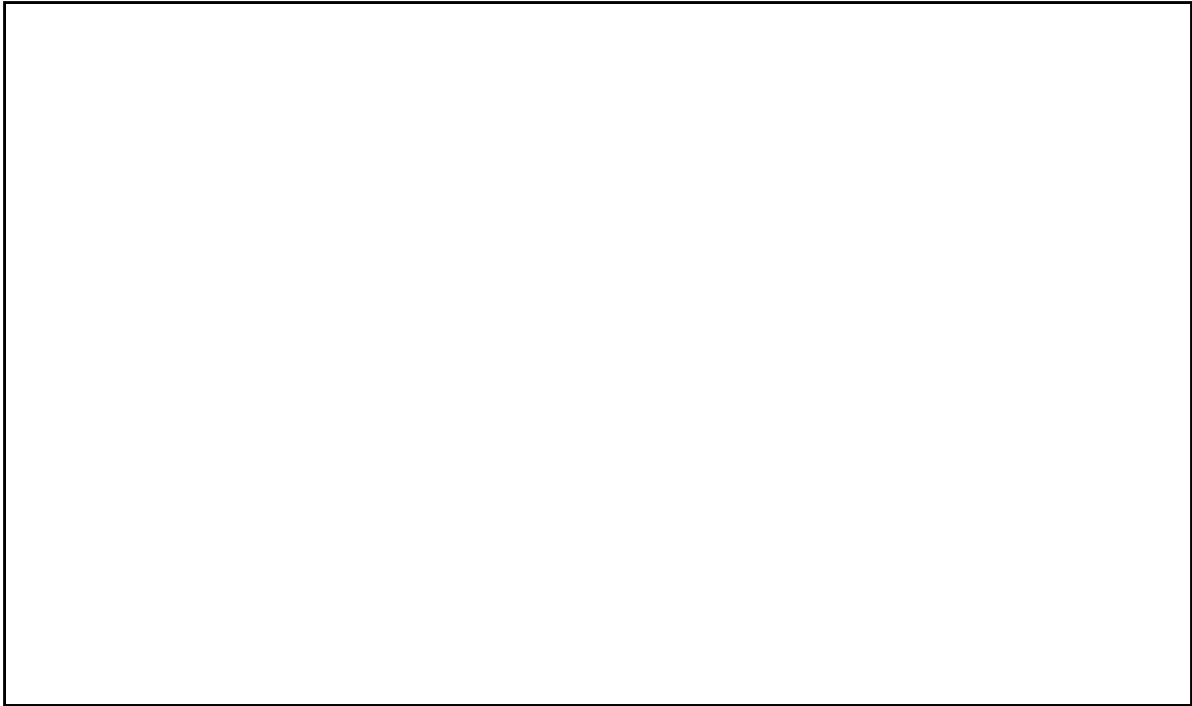


図 3.2-5 屋外二重管基礎の評価対象断面位置図

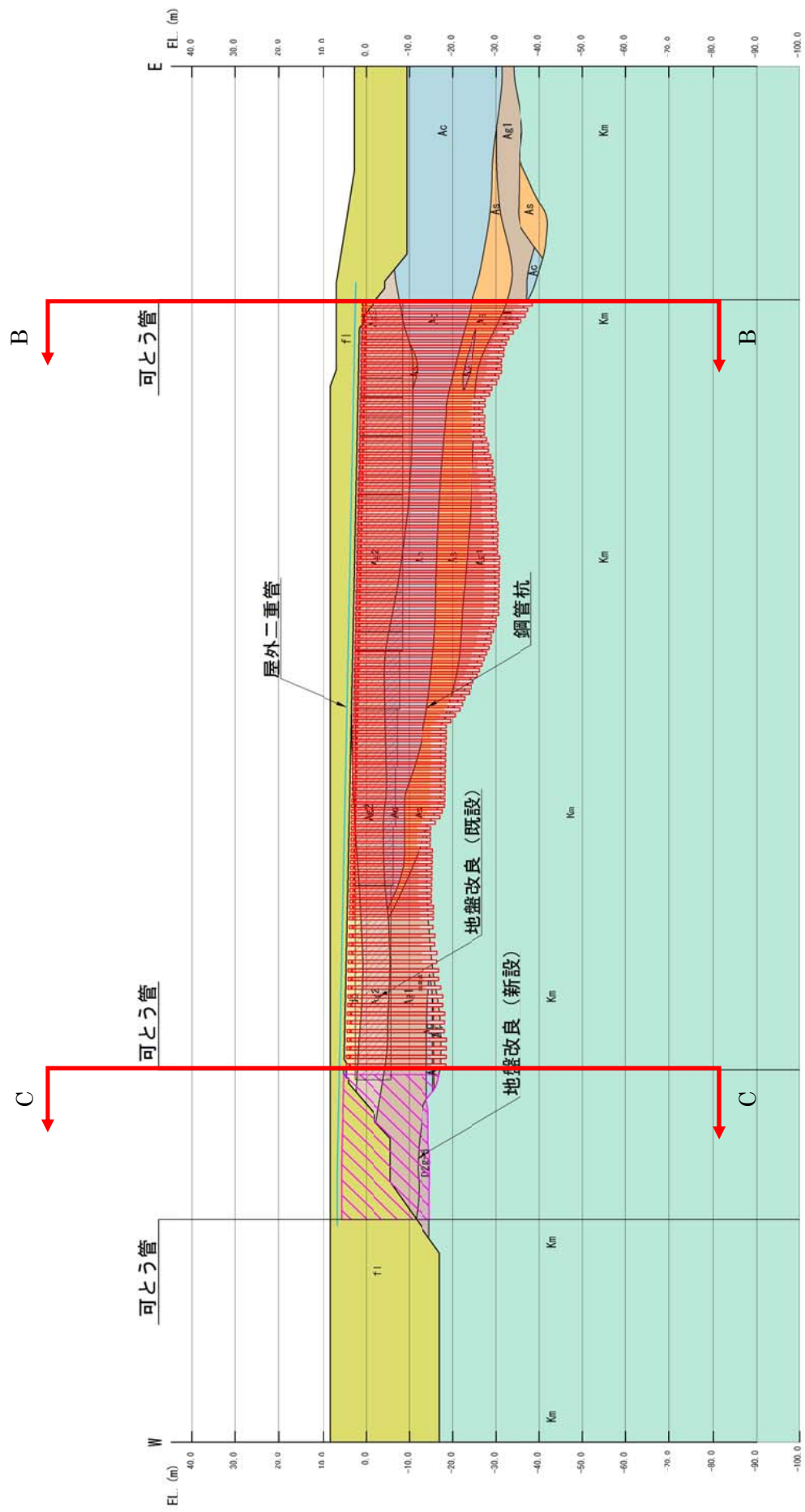


図 3.2-6 (1) 屋外二重管基礎の評価対象断面図 (A-A断面)

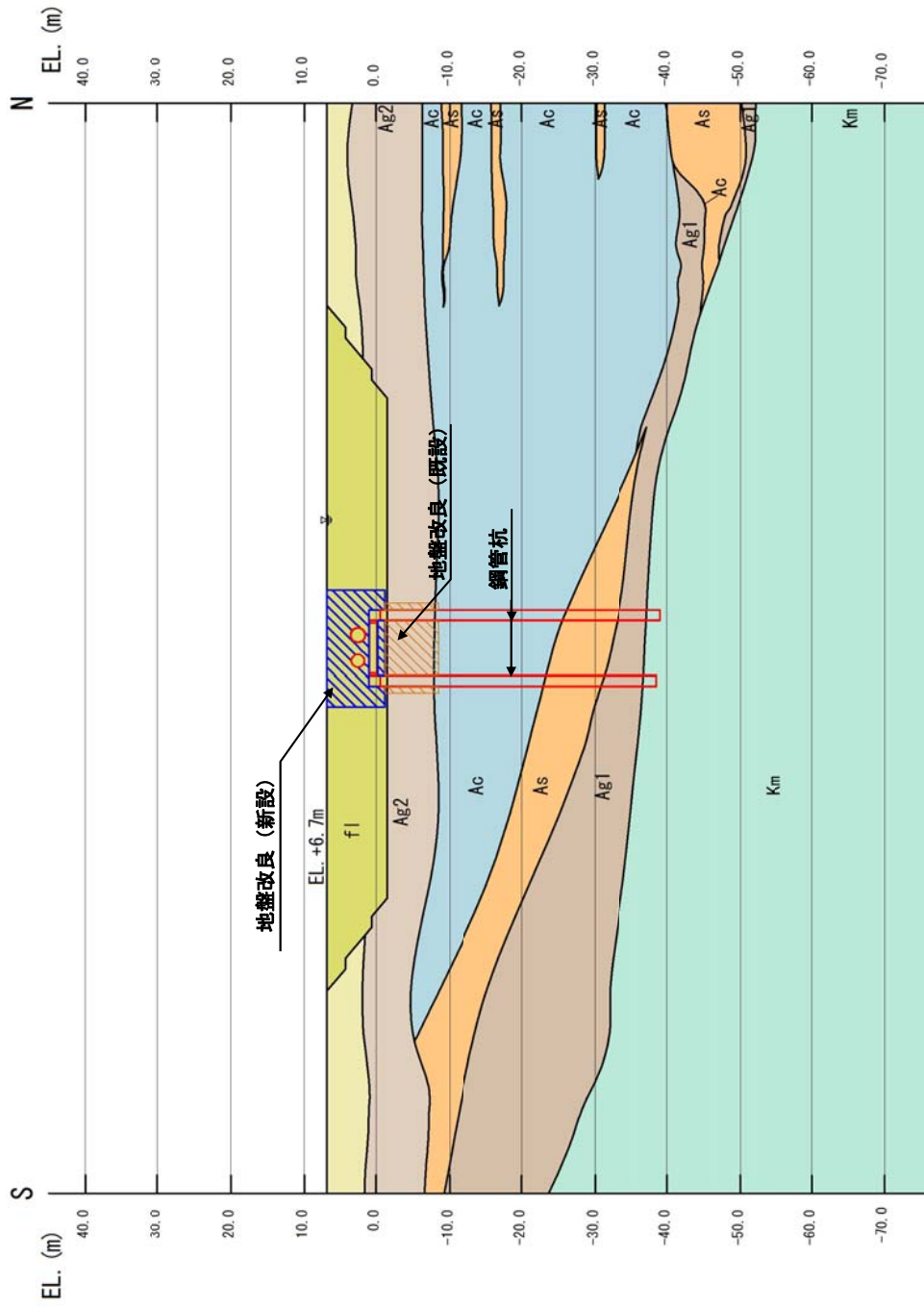


図 3.2-6 (2) 屋外二重管基礎の評価対象断面図 (B-B 断面)

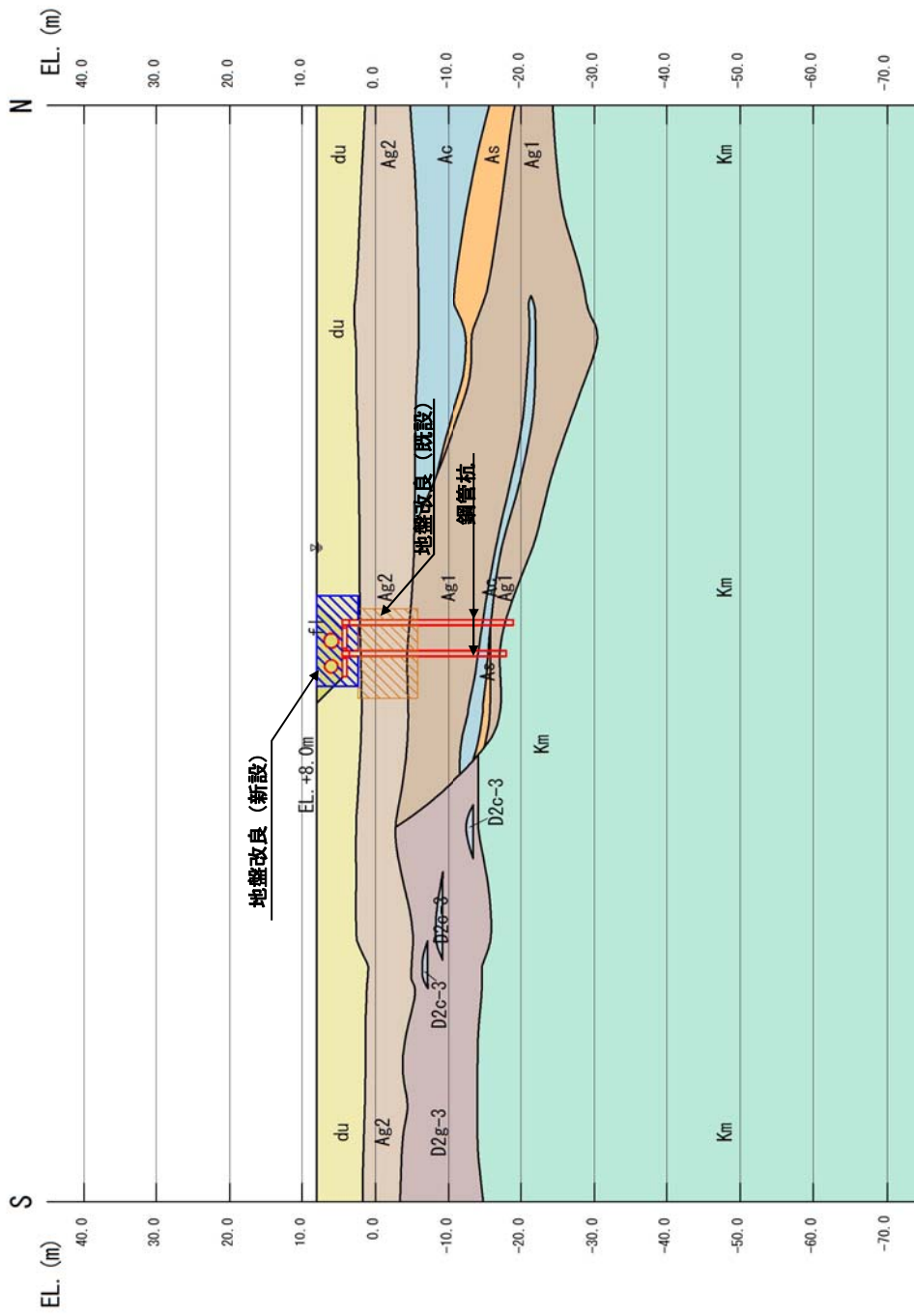


図 3.2-6 (3) 屋外二重管基礎の評価対象断面図 (C-C 断面・杭基礎部)

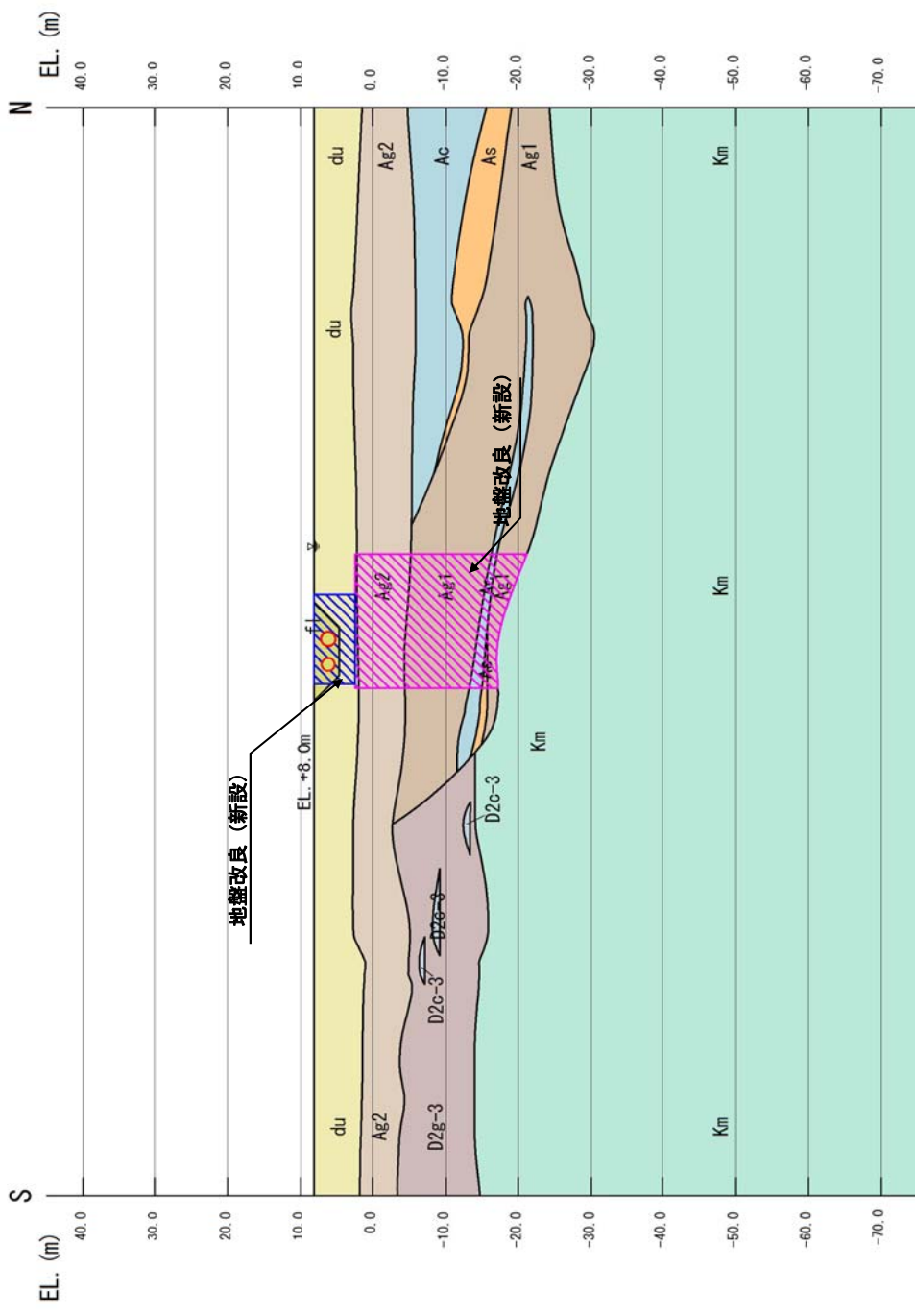


図 3.2-6 (4) 屋外二重管基礎の評価対象断面図 (C-C 断面・地盤改良部)

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14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。なお、地盤改良体の一軸圧縮強度は、新設の地盤改良体において1.5 N/mm²、既設の地盤改良体において3.0 N/mm²とし、表3.2-5に基づき動的変形特性及び強度特性を設定する。

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	減衰定数
鋼管	77.0 ^{*1}	2.00×10 ⁵ ^{*1}	0.3 ^{*1}	3 ^{*2}
鋼板				
鋼管杭				

注記 *1：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）

*2：道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）

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 ³)	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（ $\leq 8.5\text{N/mm}^2$ の場合）	一軸圧縮強度（ $> 8.5\text{N/mm}^2$ 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 $\times 1.1$	
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)	

注記：地盤改良体（新設）の一軸圧縮強度：1.5 N/mm²

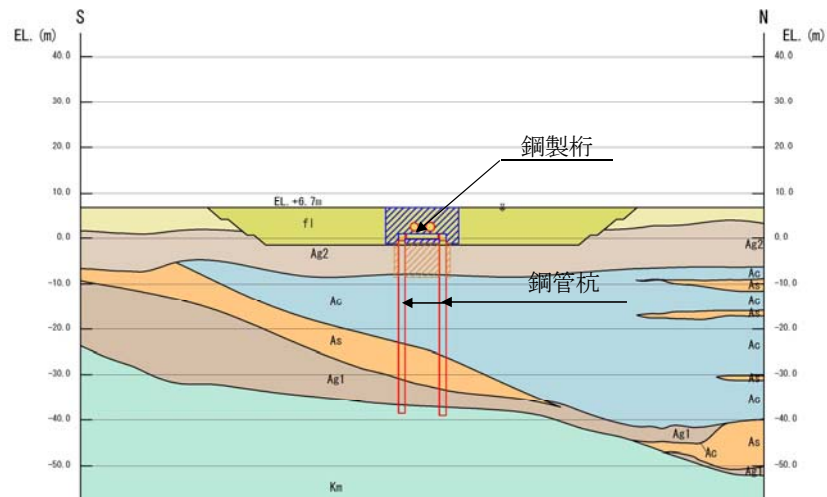
：地盤改良体（既設）の一軸圧縮強度：3.0 N/mm²

3.2.6 評価構造物諸元

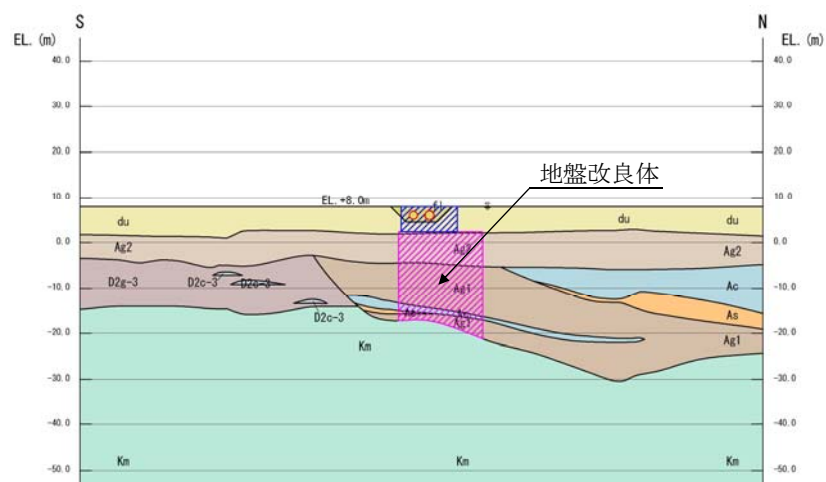
許容応力度による照査を行う屋外二重管基礎の評価部位とその仕様を表 3.2-6 に、評価部位を図 3.2-7 に示す。

表 3.2-6 評価部位とその仕様

名称	仕様		材料	機能要求 (追而)
	杭径 (mm)	板厚 (mm)		
鋼製桁	追而	追而	SM570	屋外二重管本体を支持する。
鋼管杭	追而	追而	SM570	
地盤改良体	—	—	地盤改良体 (セメント改良)	



(a) 杭基礎部



(b) 地盤改良部

図 3.2-7 評価部位

3.2.7 荷重伝達

地震時には、地震による慣性力及び地盤変形に伴う土圧によって屋外二重管本体を支持する杭基礎及び地盤改良体に水平変位が発生し、杭基礎部においては鋼製桁及び鋼管杭に曲げモーメント、軸力及びせん断力が、地盤改良部においては地盤改良体に圧縮力及びせん断力が発生する。これらの発生応力は、水平方向については地盤に、鉛直方向については岩盤に伝達され、水平方向では地盤反力が、鉛直方向では鋼管杭下端、又は地盤改良体直下の岩盤に接地圧が生じる。地震時における荷重伝達概念図を図 3.2-8 に示す。

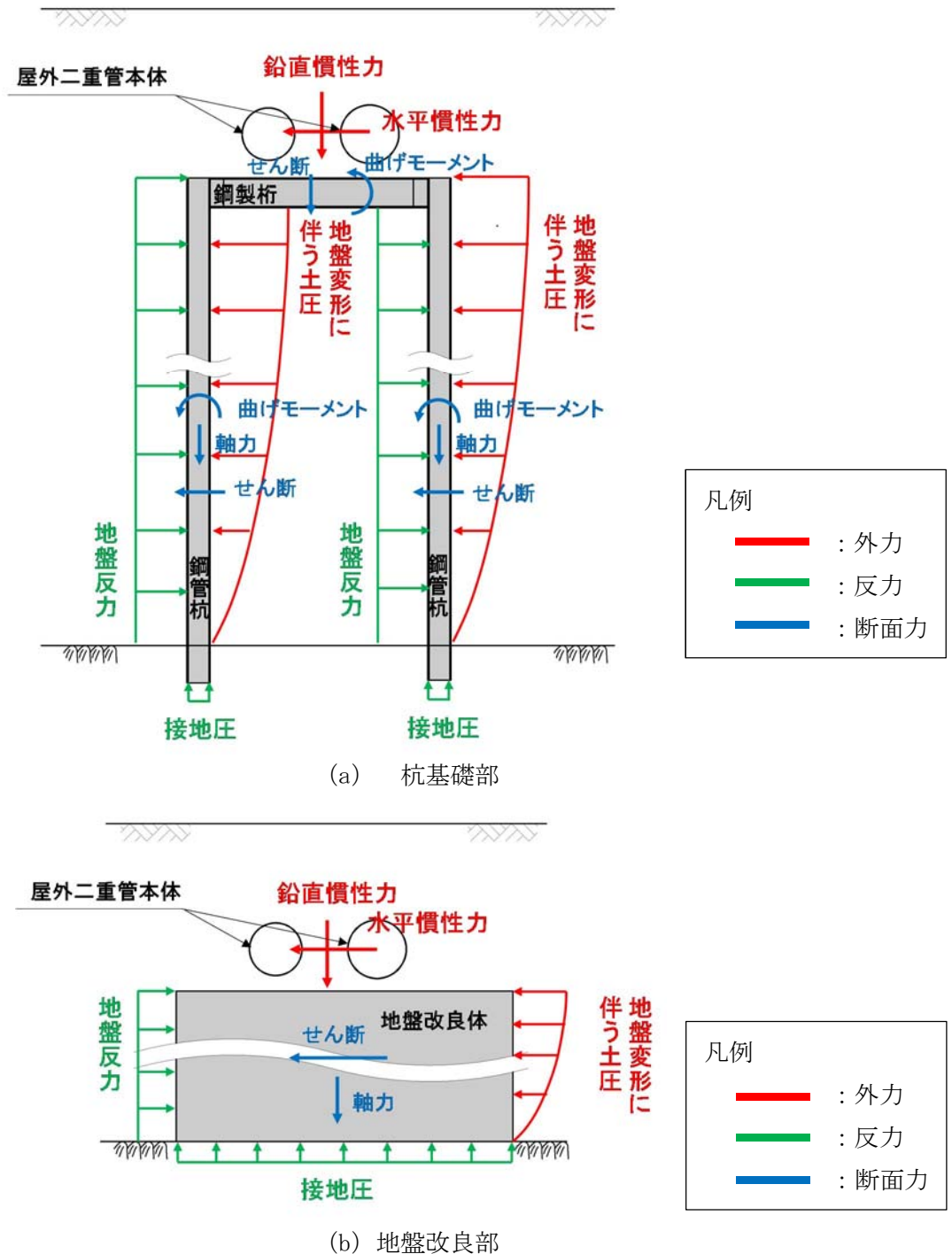


図 3.2-8 荷重伝達概念図

3.2.8 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

3.2.9 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、V-5-10「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3.2-9に示す。

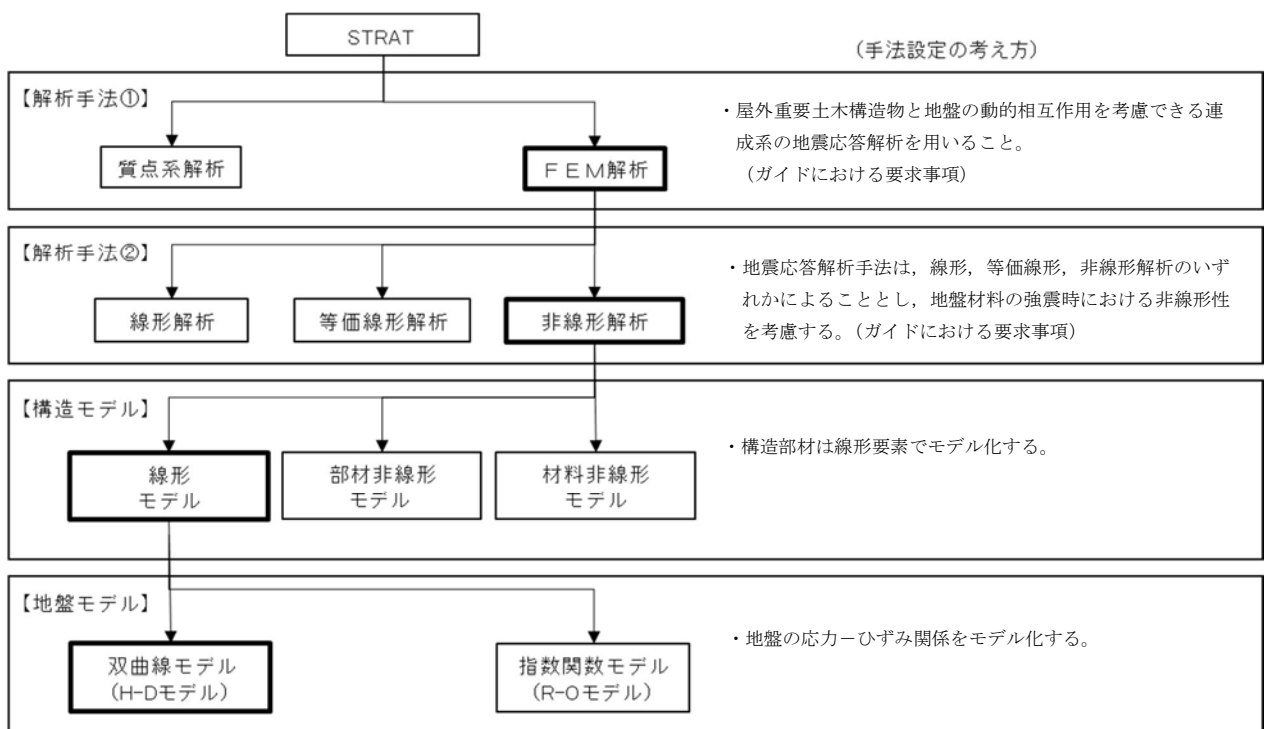


図3.2-9 地震応答解析手法の選定フロー

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。

3.2.10 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 3.2-10 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。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20 Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 または 4 分割、すなわち $V_s/100$ 又は $V_s/80$ を考慮し、要素高さを 1 m 程度まで細分割して設定する。

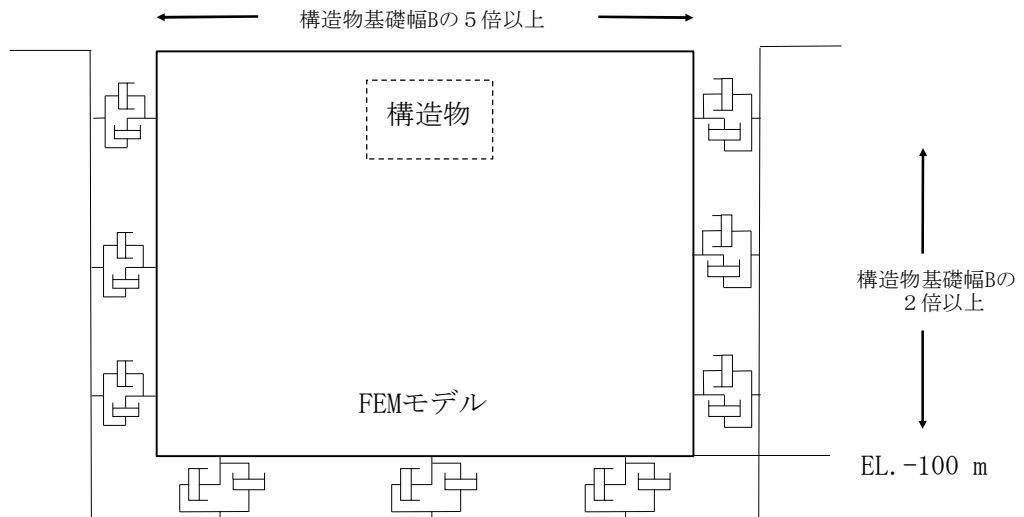


図 3.2-10 モデル範囲の考え方

2次元有効応力解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地層構成を有する1次元地盤モデル（不整形地盤左右端のそれぞれ縦1列の要素列と同じ地層構成で、水平方向に連続することを表現するために循環境界条件を設定したモデル）である。2次元有効応力解析における自由地盤の自重解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図3.2-11に示す。また、屋外二重管周辺の地質断面図を図3.2-12に示す。

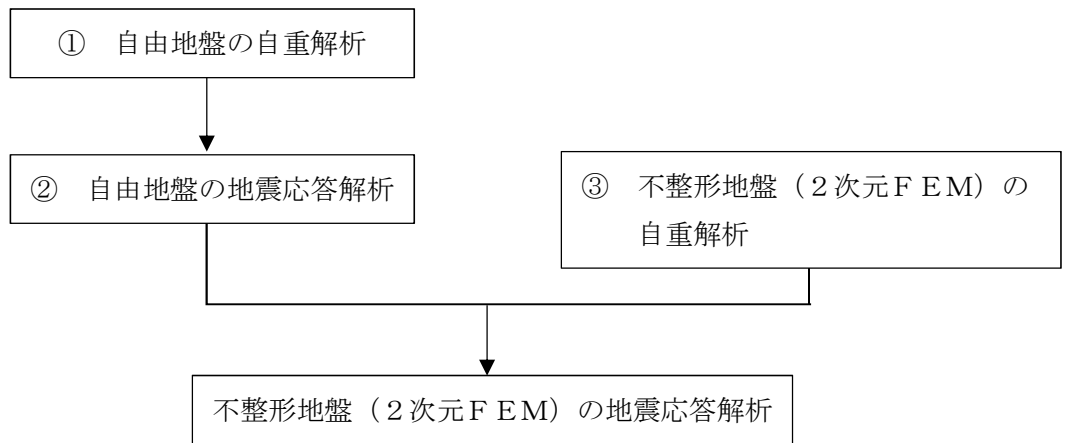


図3.2-11 自由地盤の自重解析から不整形地盤（2次元FEM）の地震応答解析までのフロー

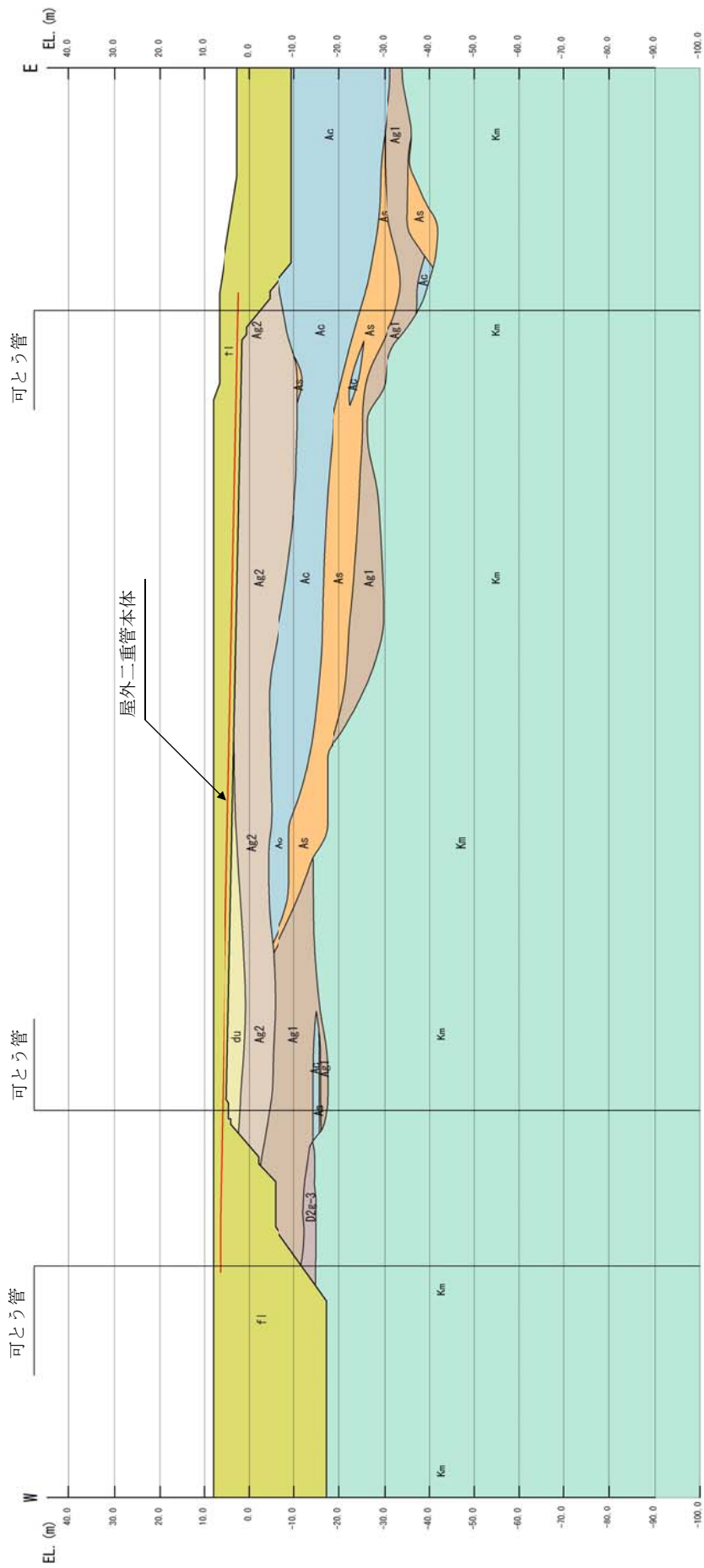


図 3.2-12 (1) 地質断面図 (A-A 断面)

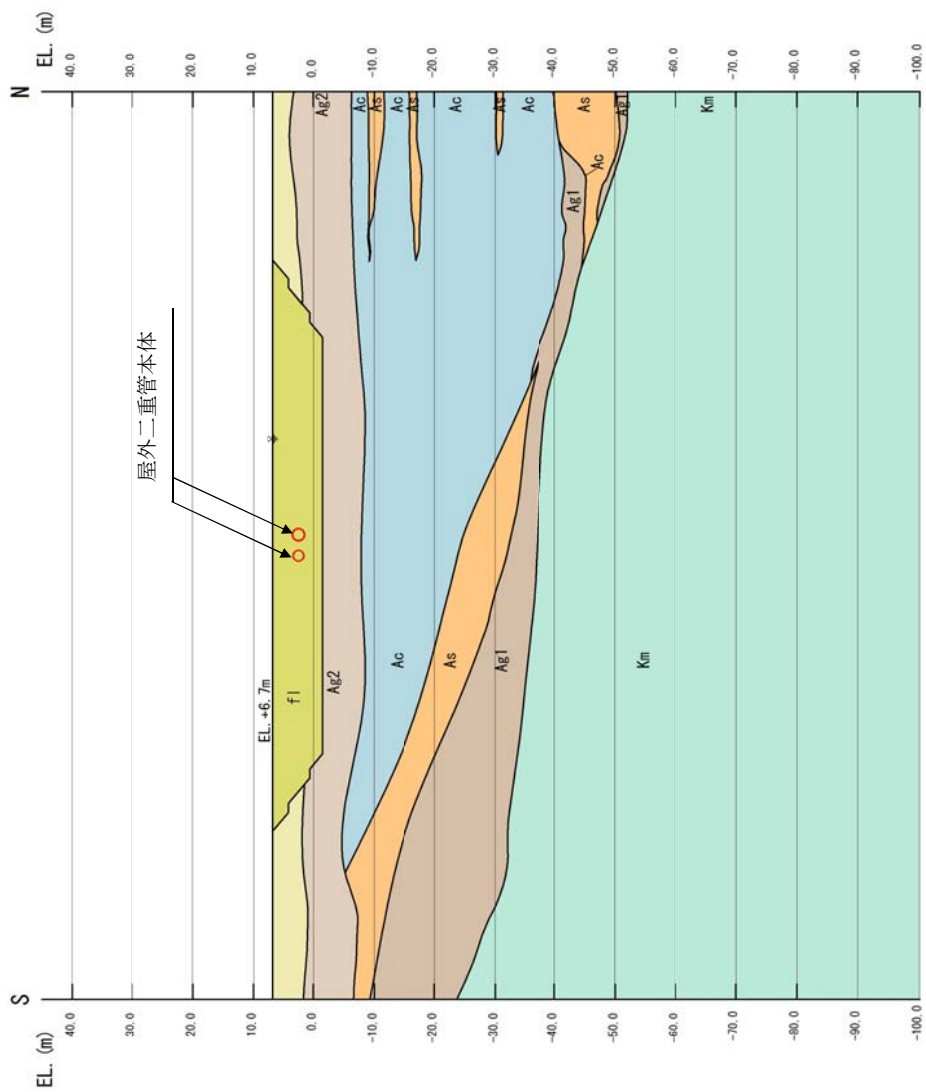


图 3.2-12 (2) 地质断面图 (B-B 断面)

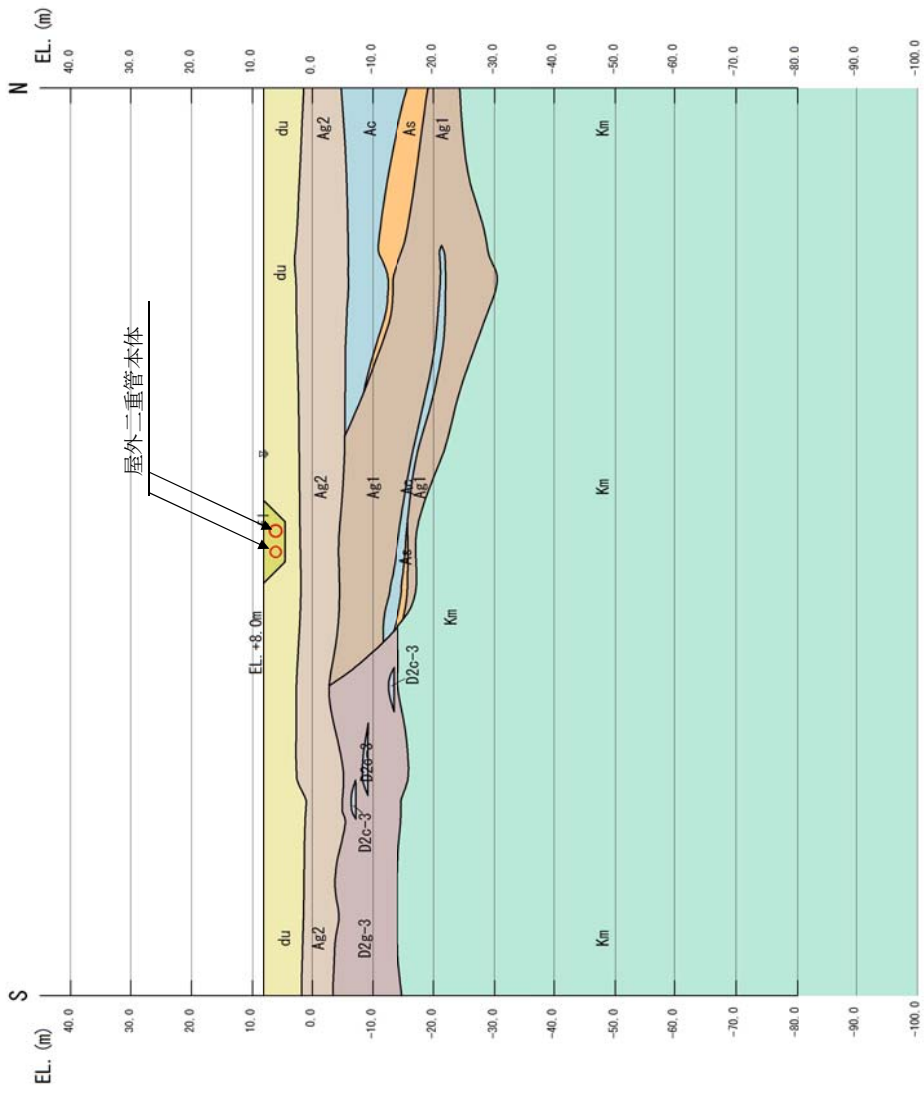


図 3.2-12 (3) 地質断面図 (C-C断面)

(2) 境界条件

a. 固有値解析時

固有値解析を実施する際の境界条件は、境界が構造物を含めた周辺地盤の振動特性に影響を与えないよう設定する。ここで、底面境界は地盤のせん断方向の卓越変形モードを把握するために固定とし、側面は実地盤が側方に連続していることを模擬するため水平ローラーとする。境界条件の概念図を図 3.2-13 に示す。

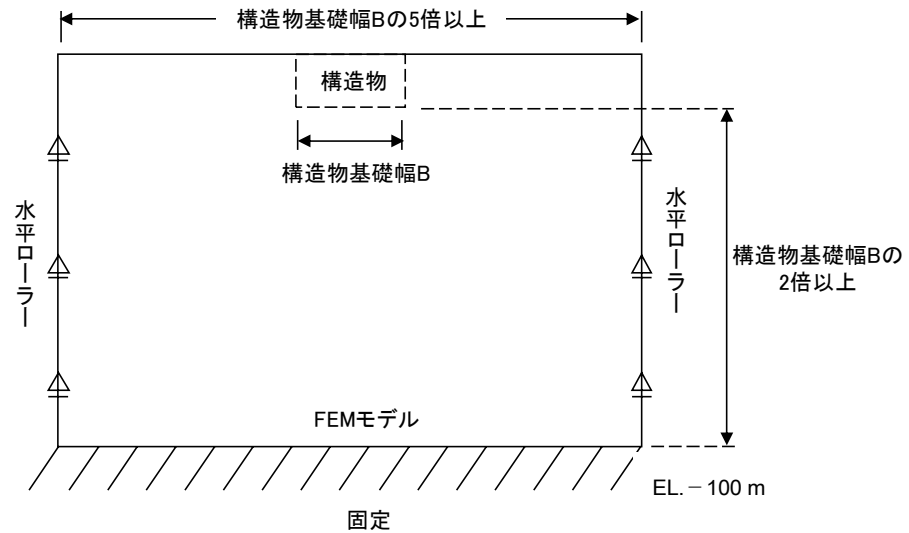


図 3.2-13 固有値解析における境界条件の概念図

b. 自重解析時

自重解析は、地盤や構造物の自重及び風荷重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、自重解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 3.2-14 に示す。

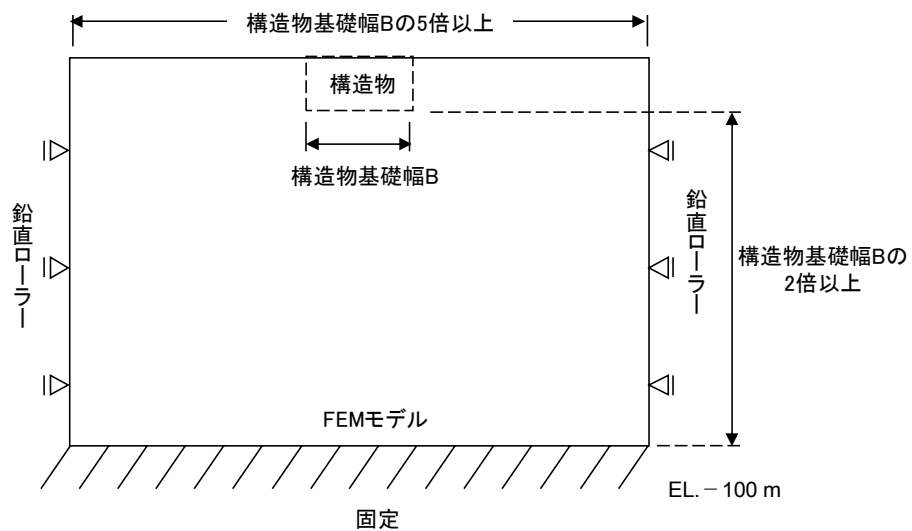


図 3.2-14 常時解析における境界条件の概念図

c. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

地震応答解析モデルを図 3.2-15 に示す。

図 3.2-15 (1) 屋外二重管基礎の地震応答解析モデル (A-A断面) (追而)

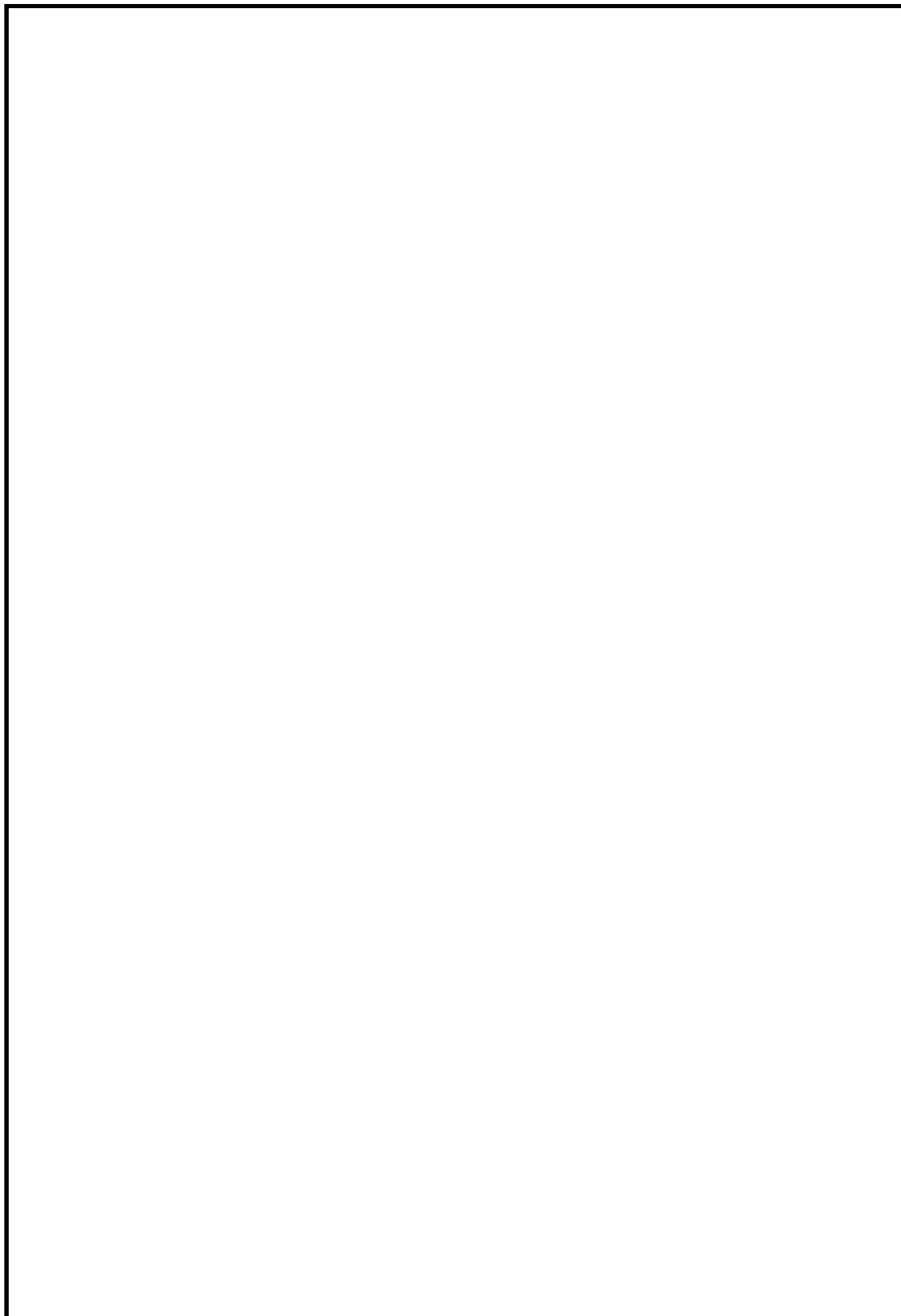


図 3.2-15 (2) 屋外二重管基礎の地震応答解析モデル (B-B断面)

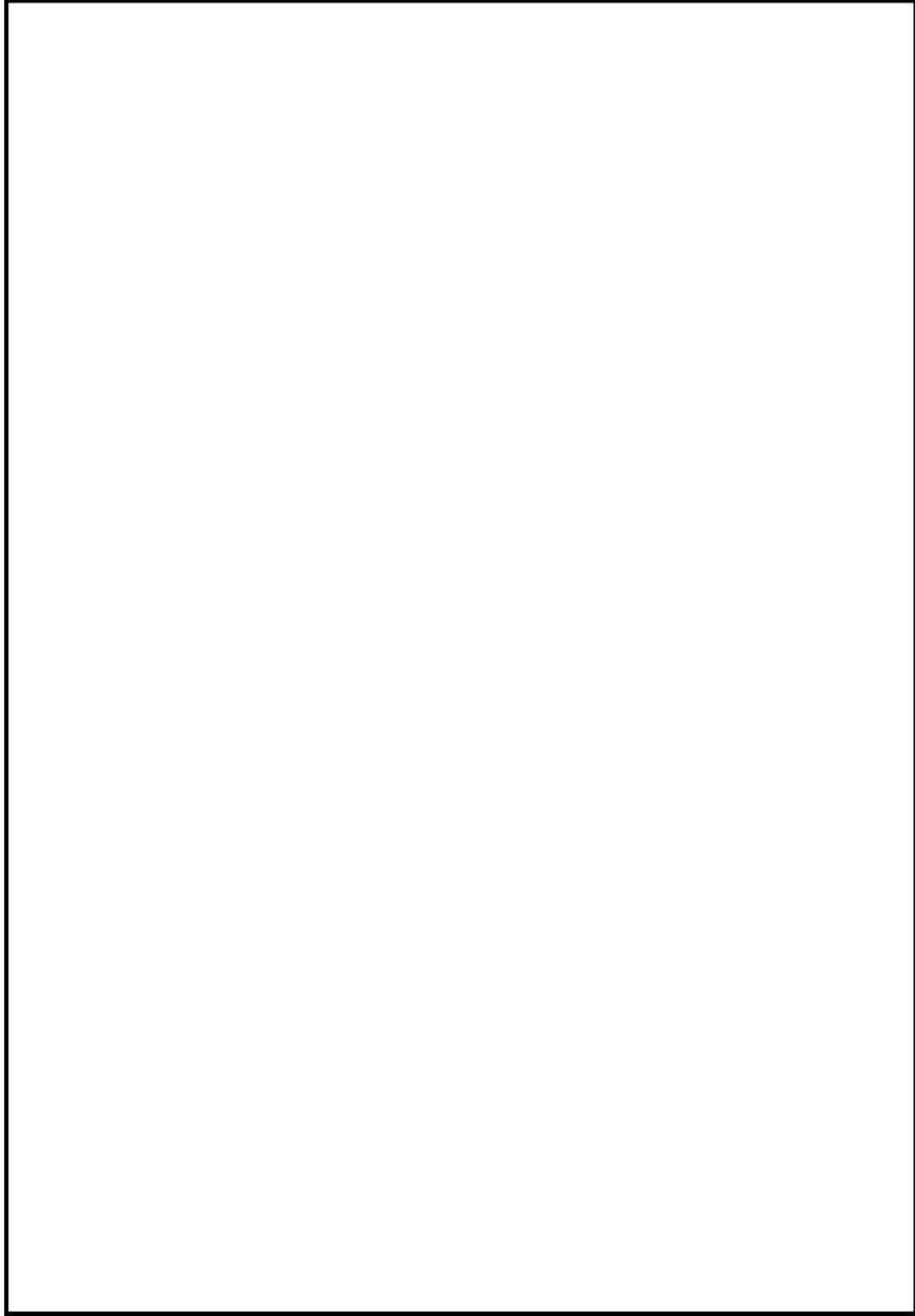


図 3.2-15 (3) 屋外二重管基礎の地震応答解析モデル (C-C 断面：杭基礎部)

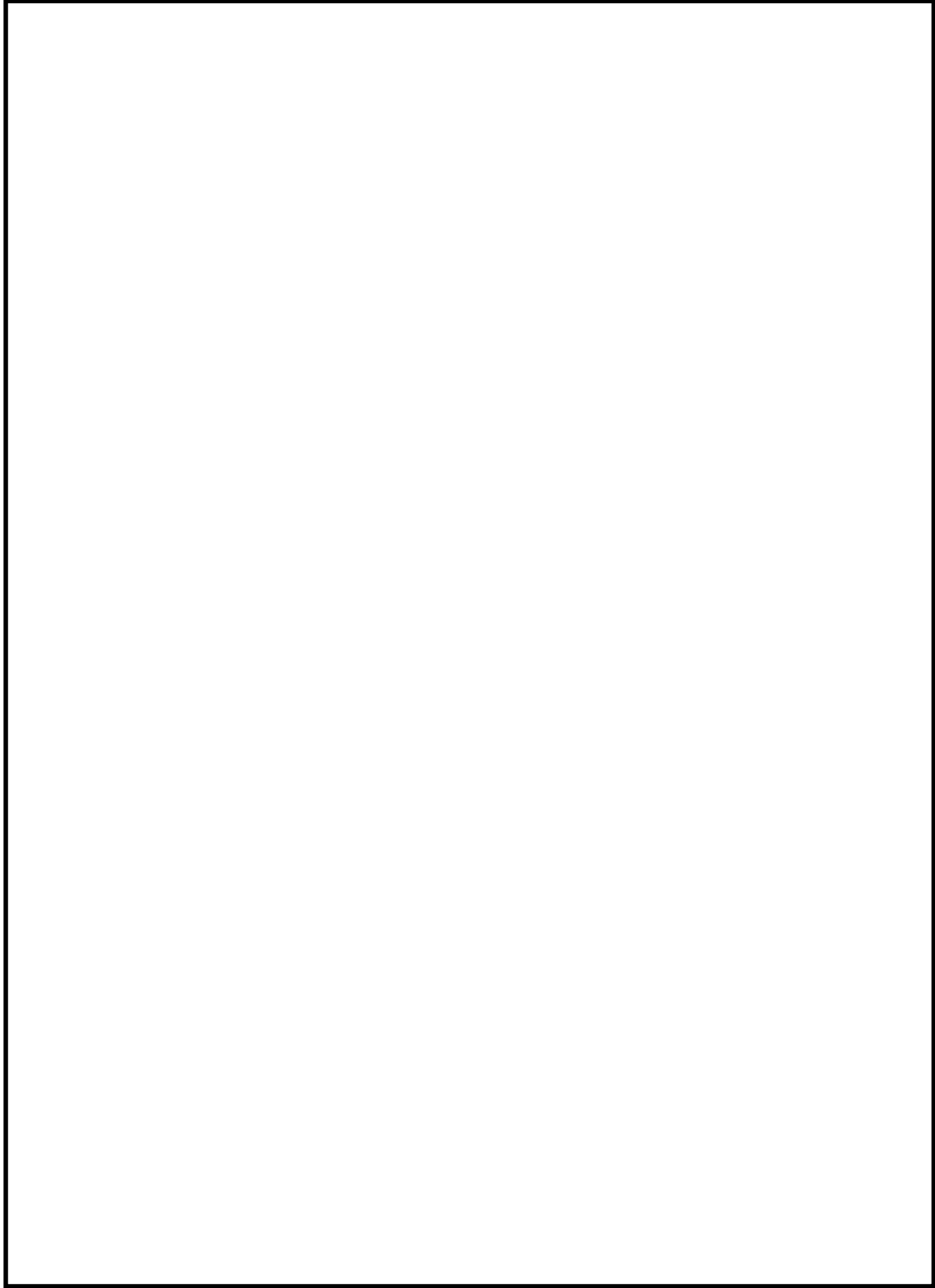


図 3.2-15 (4) 屋外二重管基礎の地震応答解析モデル (C-C 断面：地盤改良部)

(3) 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接合面にはジョイント要素を配置し、地盤と鋼管杭の間には杭－地盤相互作用ばねを設ける。また、屋外二重管本体は、地震時に発生する応力を評価するため、屋外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。

構造物のモデル化における要素分割は、「道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成24年3月）」に基づき、断面剛性の変化点や、その中間点の重心位置に節点を設け、ジョイント要素、又は杭－地盤相互作用ばねを配置している地盤と同様の分割とする。なお、地盤の要素分割では、地盤変位の変化点となる地層境界に節点を設けている。

モデル化の概要図を図 3.2-16 に示す。

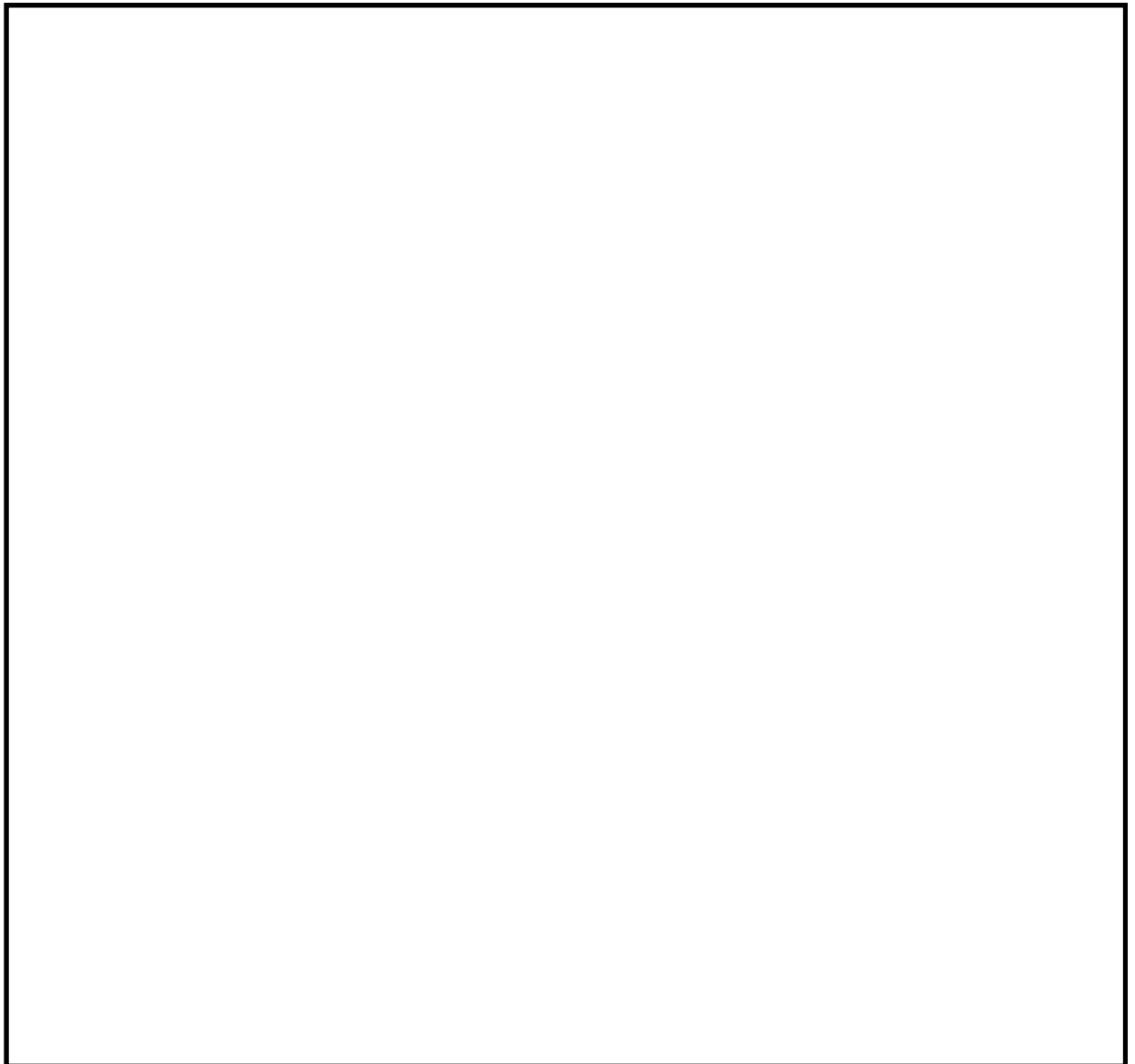


図 3.2-16 屋外二重管基礎のモデル概要図

(4) ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設けることにより、強震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

なお、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 3.2-7 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 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

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（沿岸技術研究センター）に従い、表 3.2-8 のとおり設定する。ジョイント要素の設定位置を図 3.2-17 に、ジョイント要素設定の考え方を図 3.2-18 に示す。

表 3.2-8 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

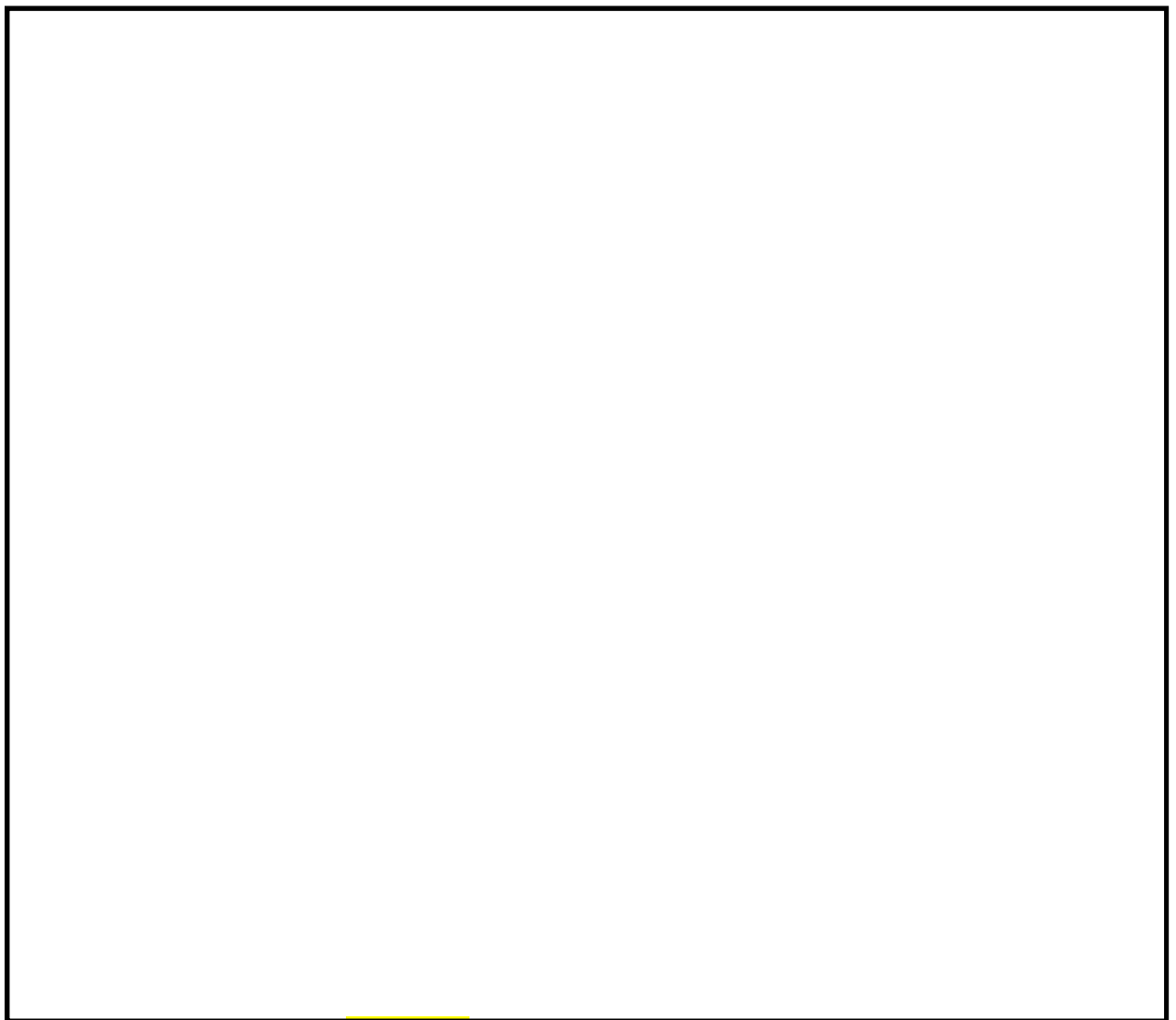


図 3.2-17 ジョイント要素の設定位置

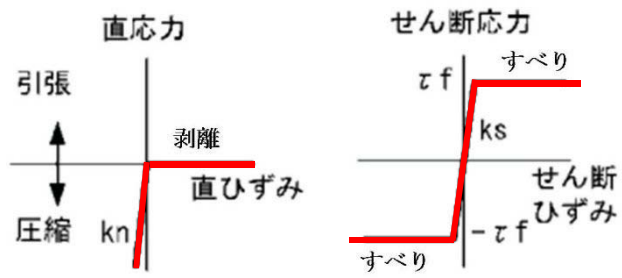


図 3.2-18 ジョイント要素設定の考え方

(5) 杭-地盤相互作用ばねの設定

地盤と杭の接合面に杭-地盤相互作用ばねを設けることにより、地盤と杭の接合面における、強震時の相互作用の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については、地盤と杭の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が発生した場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。なお、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 3.2-9 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 3.2-9 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	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)

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 3.2-10 のとおり設定する。

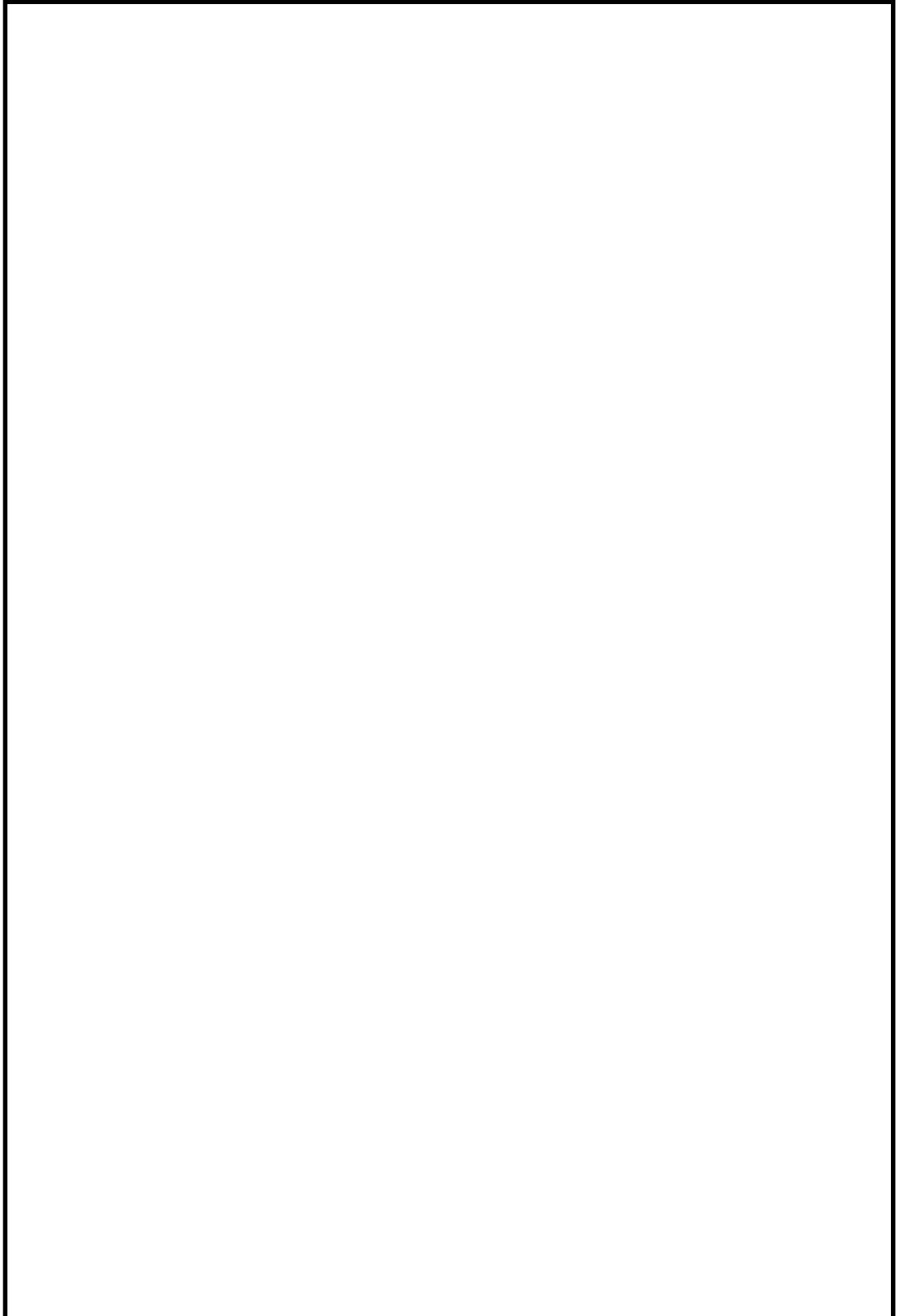
また、杭-地盤相互作用ばねの杭軸直角方向のばね定数については、杭径及び杭間隔より設定される*。

図 3.2-19 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」

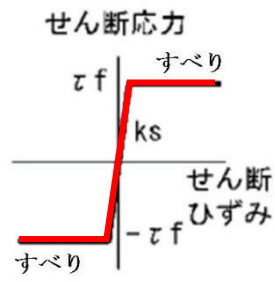
表 3.2-10 杭-地盤相互作用ばねのばね定数

	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

図 3.2-19 (1) 杭－地盤相互作用ばね設定の考え方



(b) 杭—地盤相互作用ばね（杭軸方向）の力学的特性

図 3.2-19 (2) 杭—地盤相互作用ばね設定の考え方

(6) 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荷重が生じた場合、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い値として、表 3.2-11 のとおり設定する。杭下端ジョイントばね設定の考え方を図 3.2-20 に示す。

表 3.2-11 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

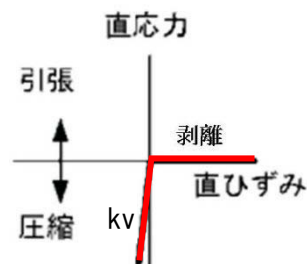


図 3.2-20 杭下端ジョイントばね設定の考え方

3.2.11 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 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。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。

Rayleigh減衰の設定フローを図3.2-21に、固有値解析結果を表3.2-12～表3.2-15に示す。なお、ここで示す検討ケースは、後述する表3.2-18で示される検討ケースである。

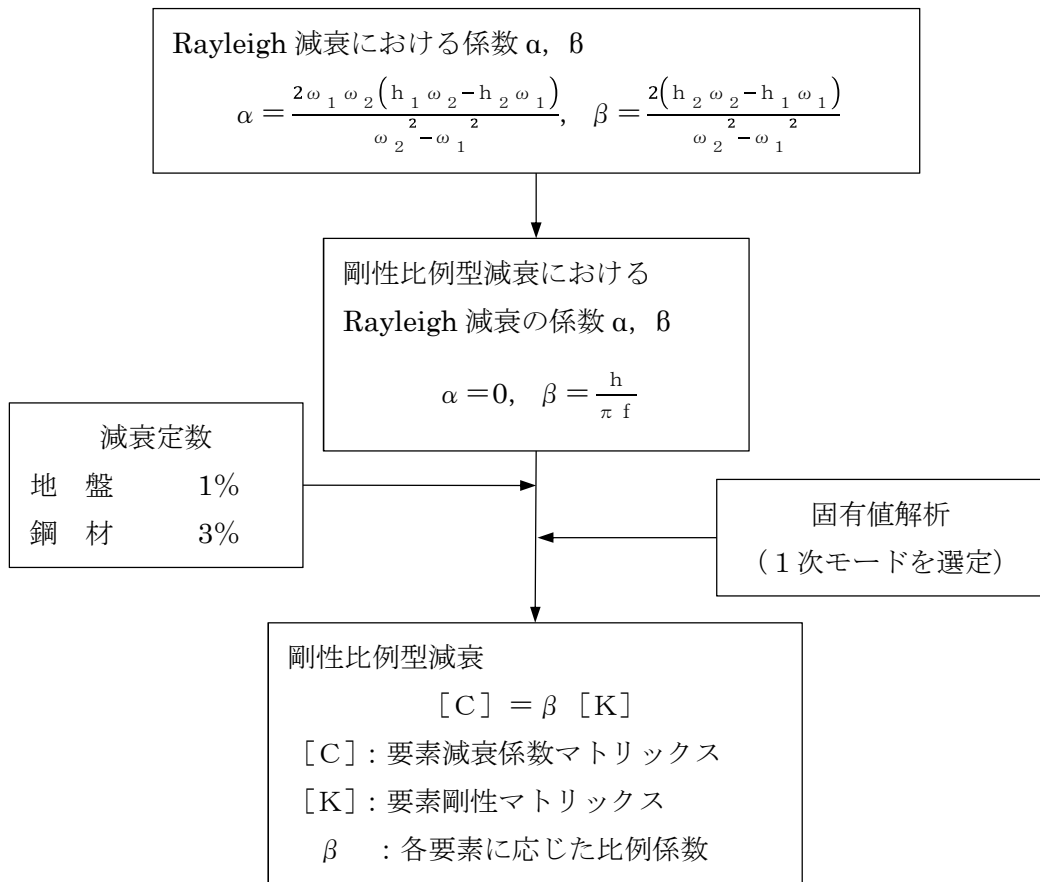


図 3.2-21 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 3.2-12 (1) 固有値解析結果

(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)

(a) B-B断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.768	148.65	1次として採用
2	1.291	49.84	—
3	1.682	51.62	—
4	1.797	19.24	—
5	1.897	61.03	—
6	2.004	11.54	—
7	2.232	8.27	—
8	2.559	4.36	—
9	2.775	-16.77	—

表 3.2-12 (2) 固有値解析結果

(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)

(b) C-C断面 (杭基礎部)

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.910	211.62	1次として採用
2	1.608	29.00	—
3	1.835	33.26	—
4	2.257	25.49	—
5	2.433	57.35	—
6	2.573	-8.45	—
7	2.947	2.33	—
8	3.288	2.58	—
9	3.356	18.98	—

(c) C-C断面 (地盤改良部)

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.872	148.96	1次として採用
2	1.535	26.16	—
3	1.717	-18.67	—
4	2.095	-19.24	—
5	2.196	4.68	—
6	2.386	-38.40	—
7	2.627	8.02	—
8	2.954	-2.05	—
9	3.064	-20.31	—

表 3.2-13 固有値解析結果

(検討ケース②：地盤物性のばらつきを考慮 (+1 σ) した解析ケース)

- (a) B-B断面
- (b) C-C断面 (杭基礎部)
- (c) D-D断面 (地盤改良部)

表 3.2-14 固有値解析結果

(検討ケース③：地盤物性のばらつきを考慮 (-1 σ) した解析ケース)

- (a) B-B断面
- (b) C-C断面 (杭基礎部)
- (c) D-D断面 (地盤改良部)

表 3.2-15 固有値解析結果

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により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)

- (a) A-A断面
- (b) B-B断面
- (c) C-C断面 (杭基礎部)
- (d) D-D断面 (地盤改良部)

3.2.12 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 3.2-16 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 3.2-16 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 3.2-17 に示す。

表 3.2-17 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。

3.2.13 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 3.2-18 に示す。

表 3.2-18 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 -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。

(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 3.2-19 に示す。

表 3.2-19 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、V-5-17「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。

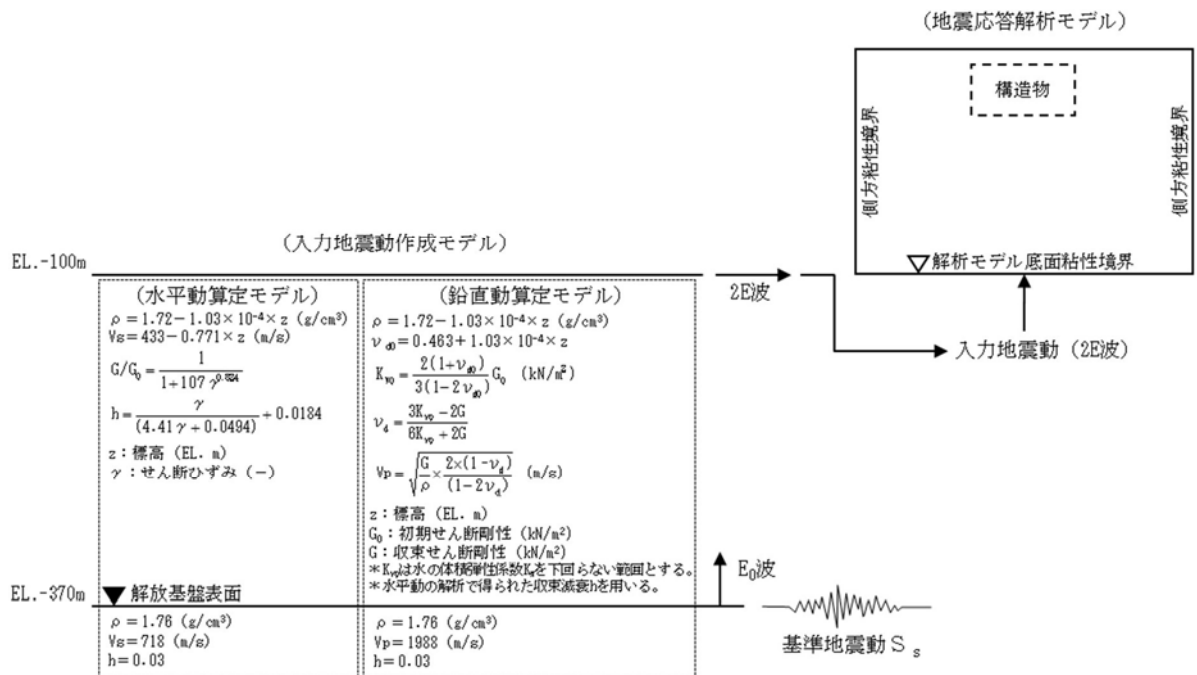
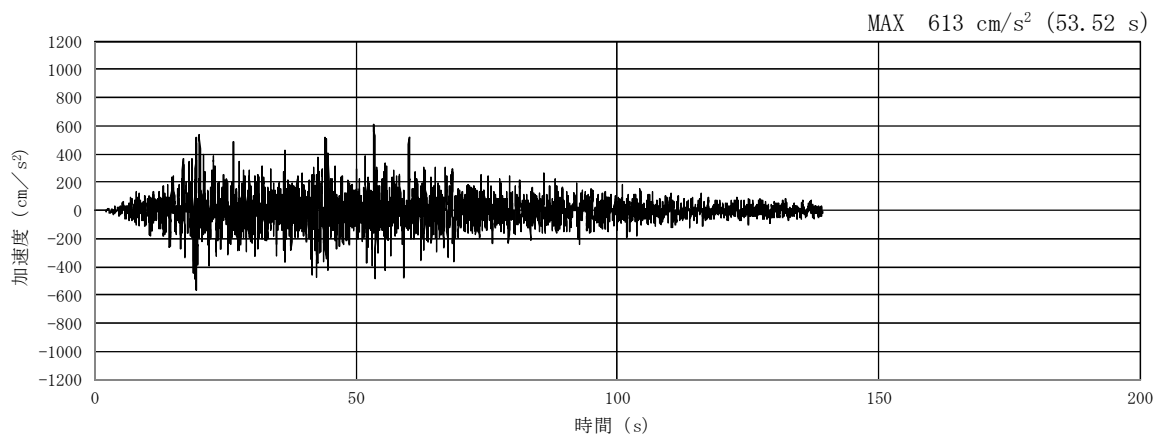
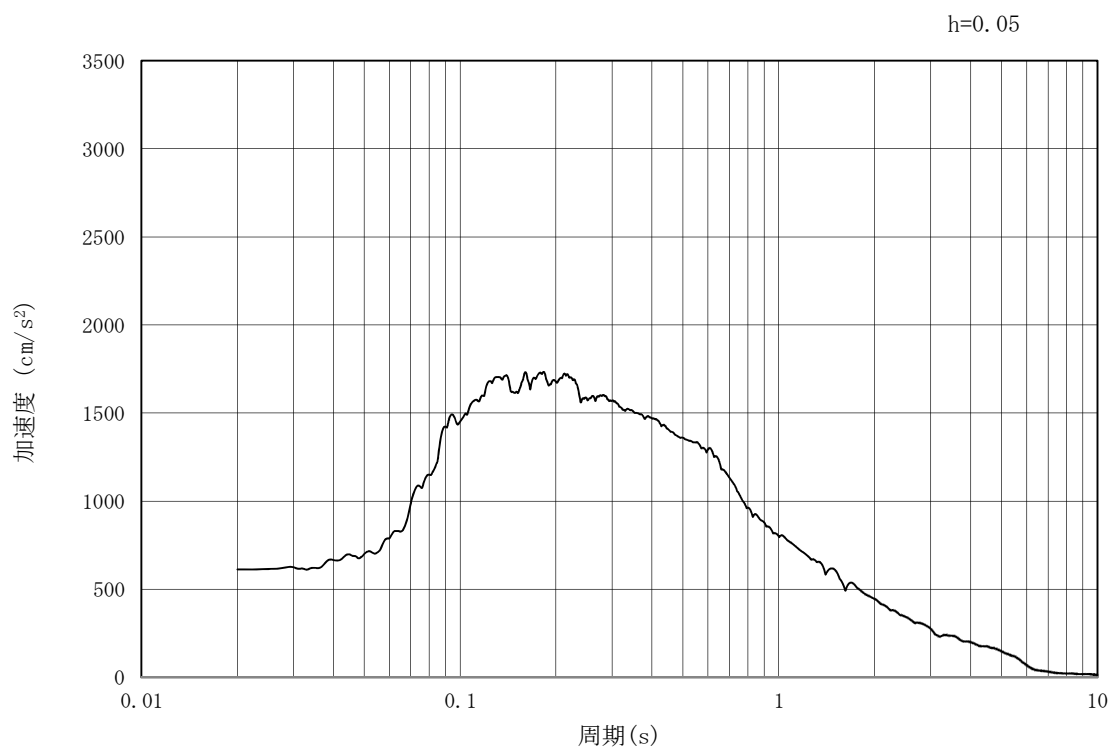


図 3.3-1 入力地震動算定の概念図

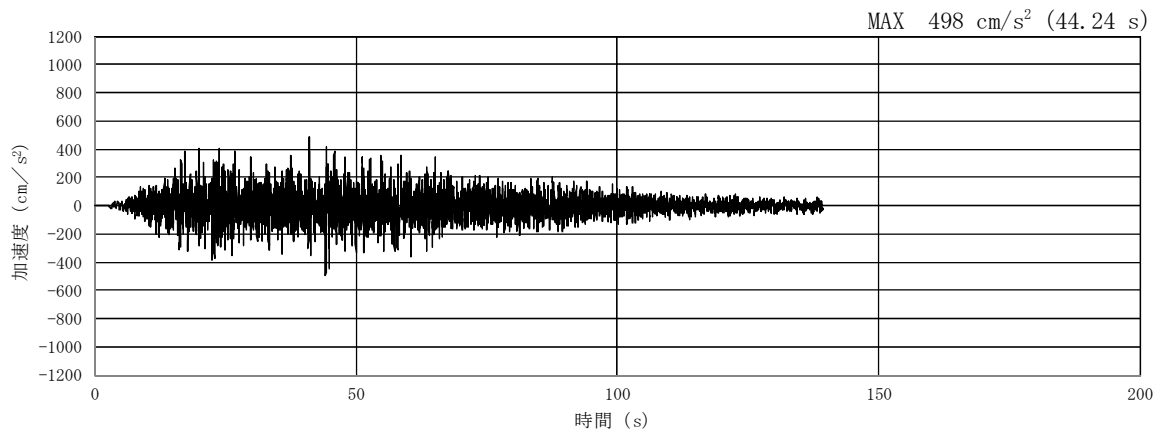


(a) 加速度時刻歴波形

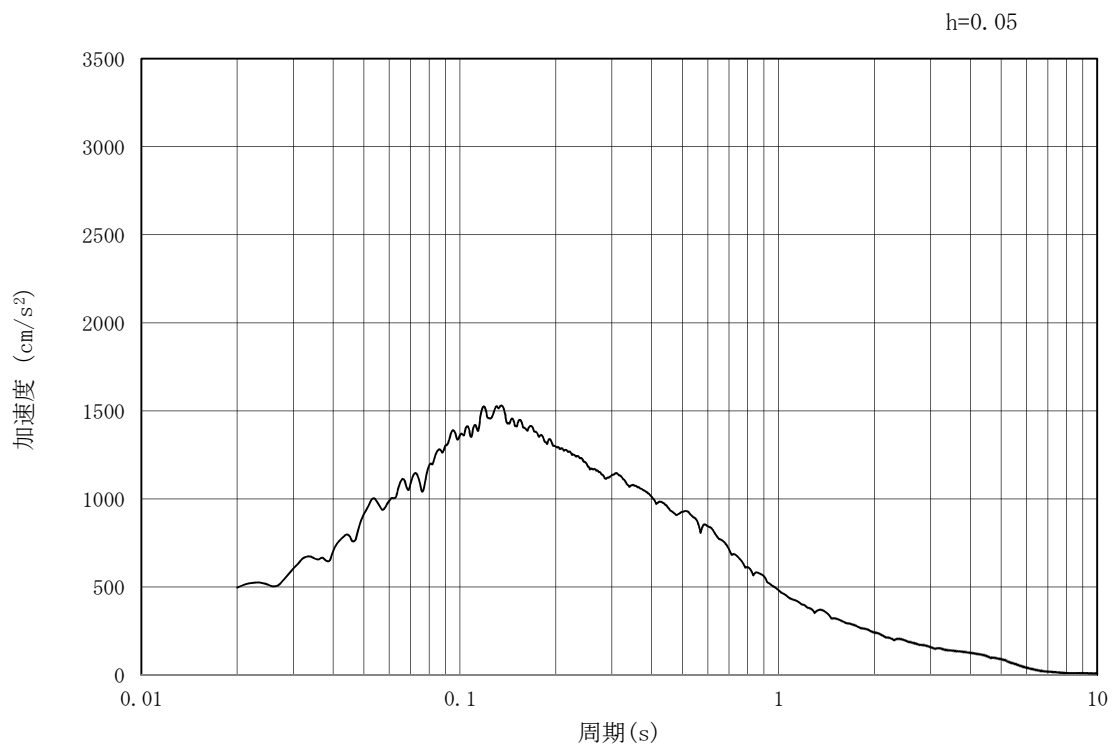


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - D 1$)

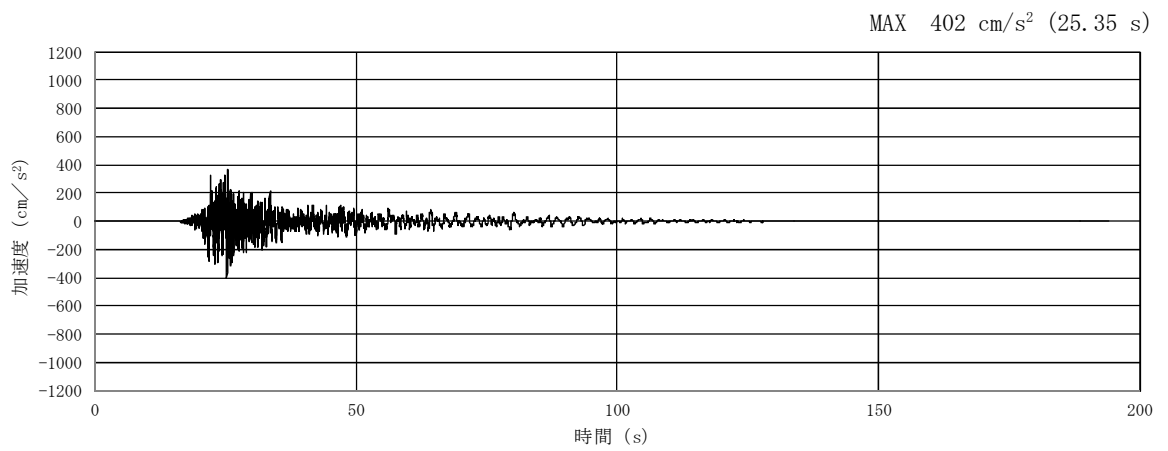


(a) 加速度時刻歴波形

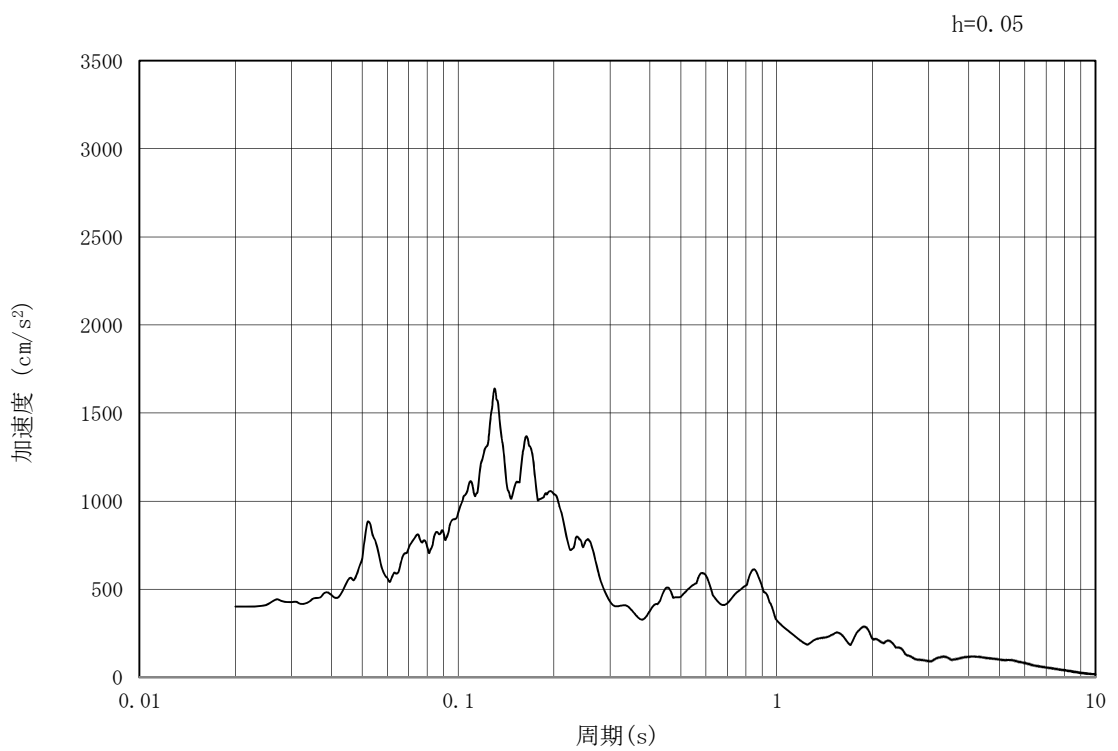


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (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-D 1)

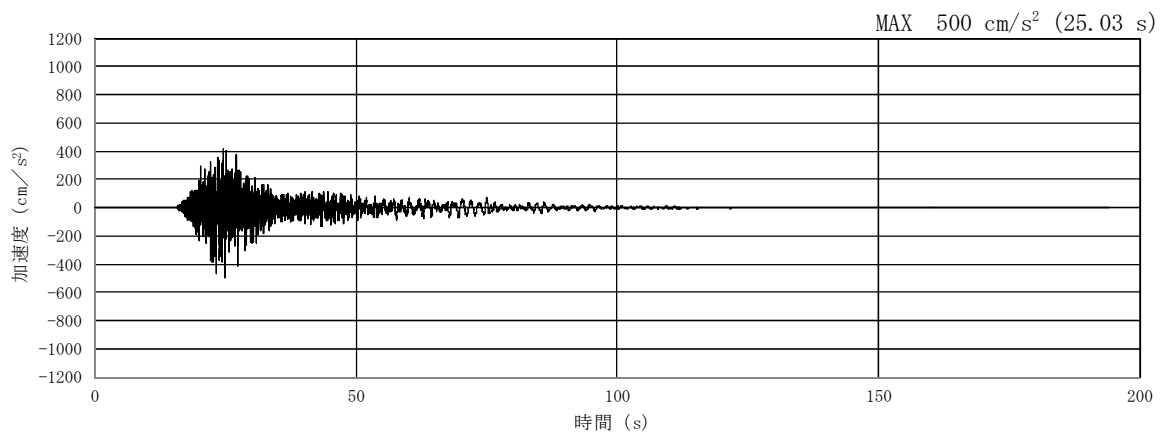


(a) 加速度時刻歴波形

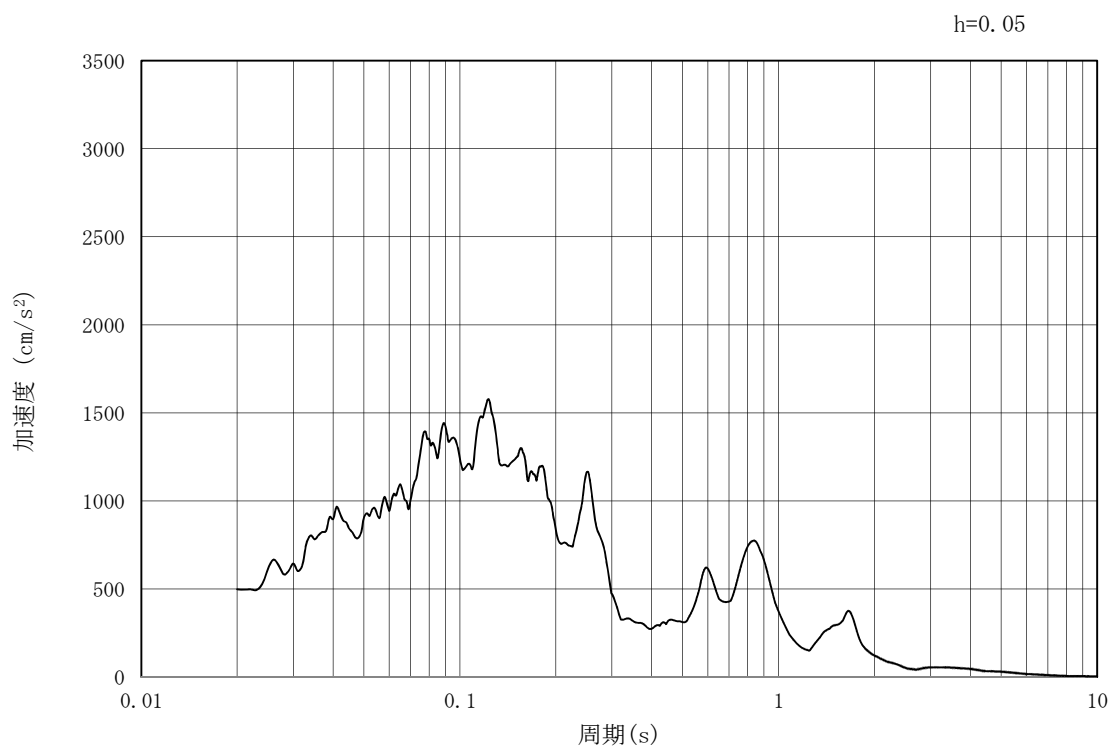


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 (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 : $S_s - 1.1$)

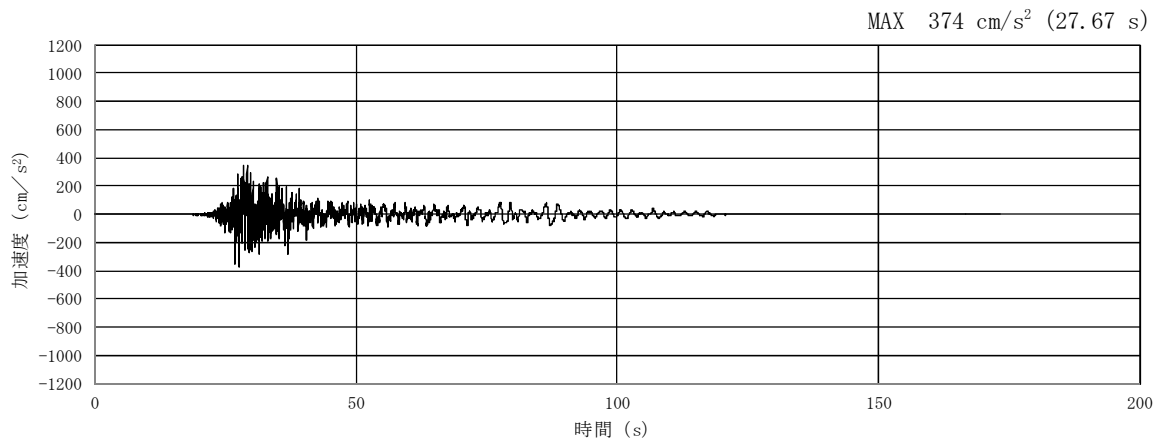


(a) 加速度時刻歴波形

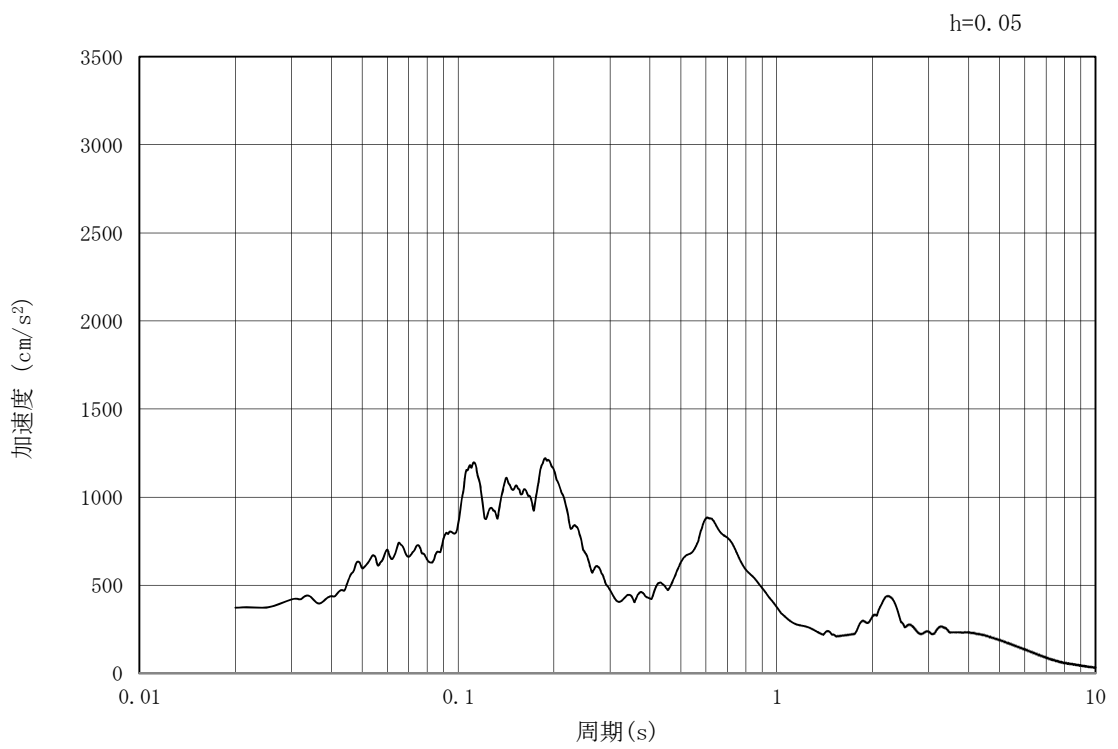


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.1$)

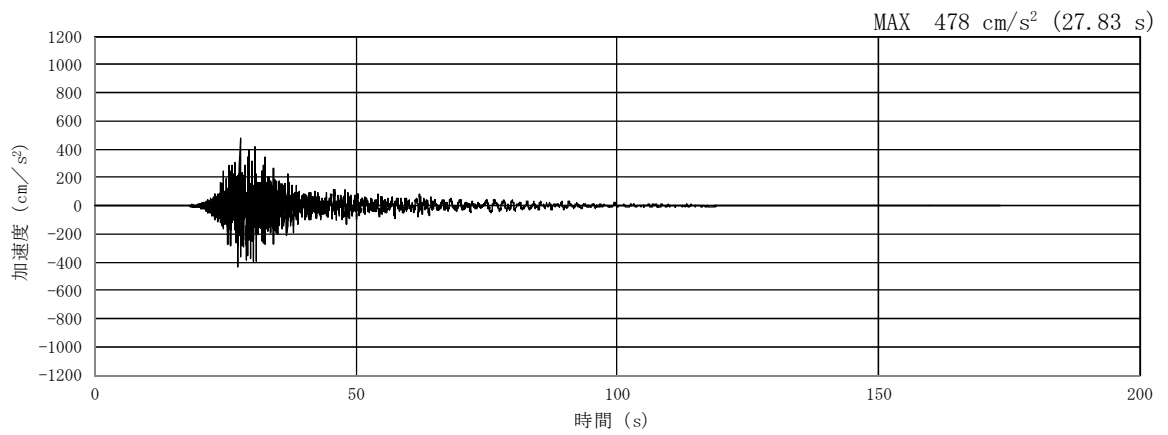


(a) 加速度時刻歴波形

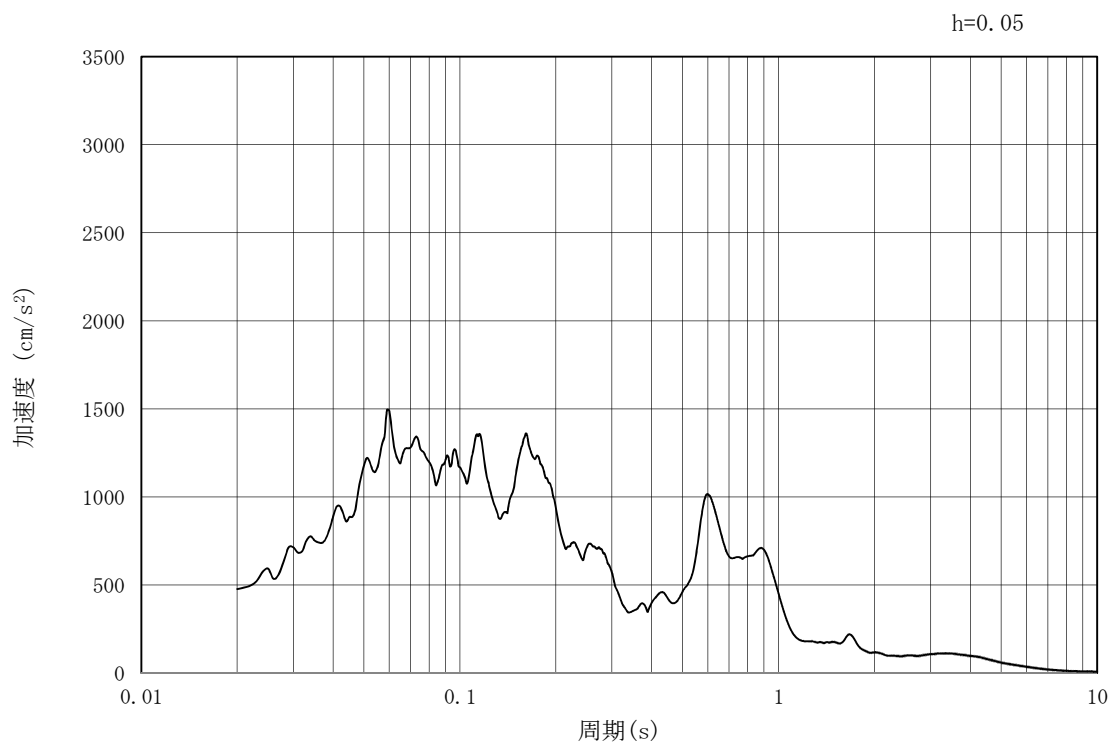


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.2$)

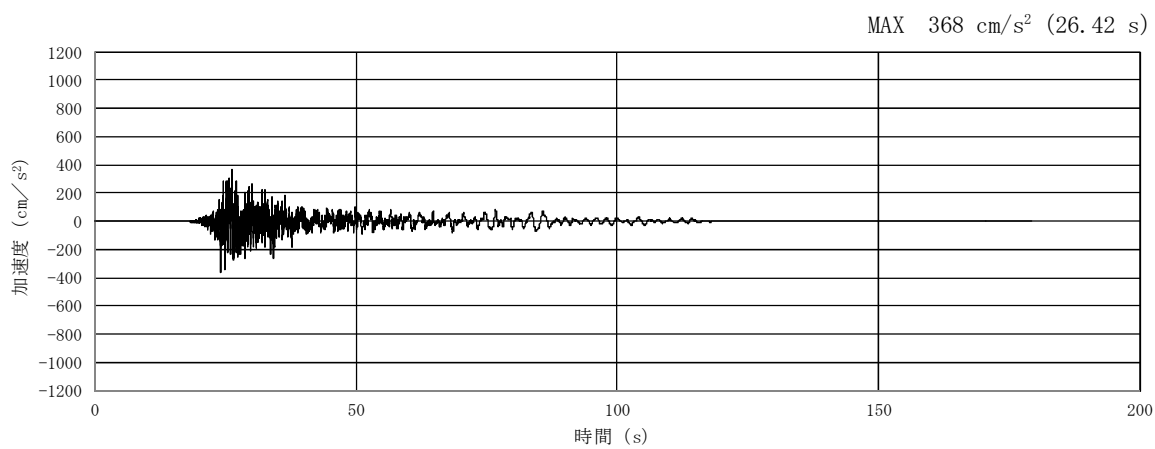


(a) 加速度時刻歴波形

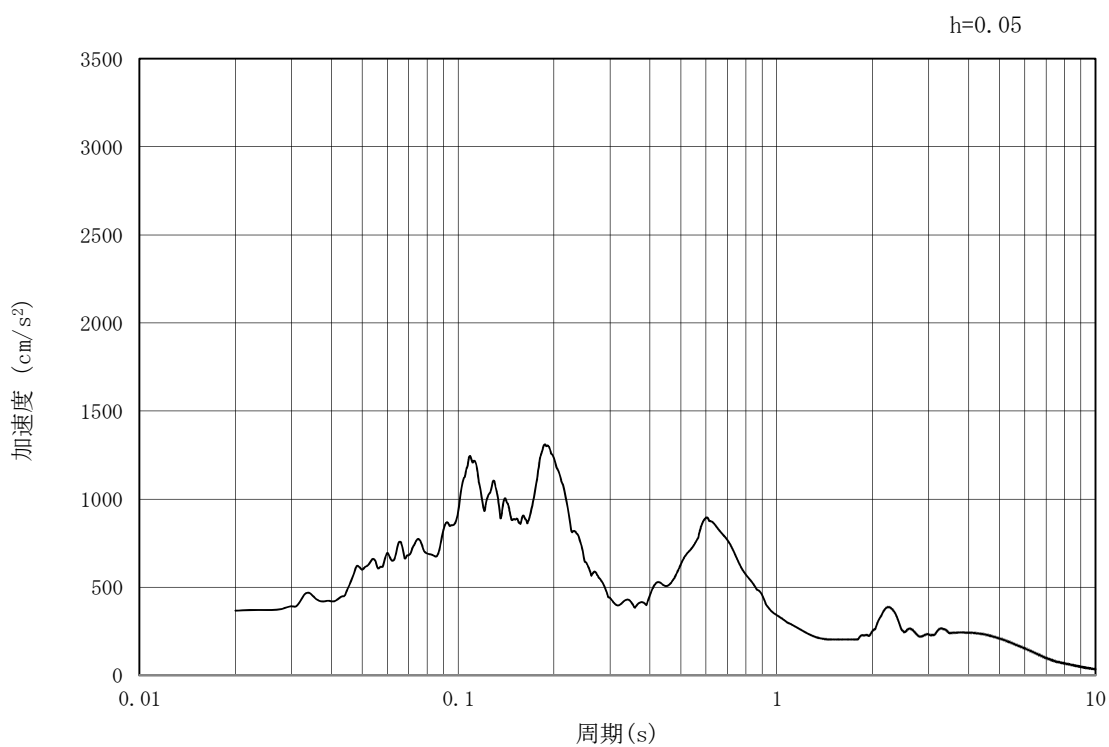


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.2$)

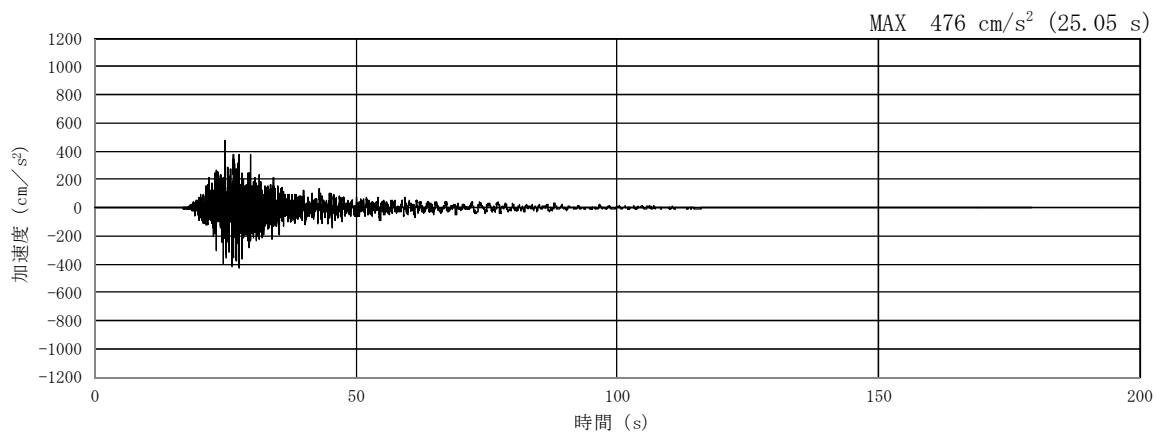


(a) 加速度時刻歴波形

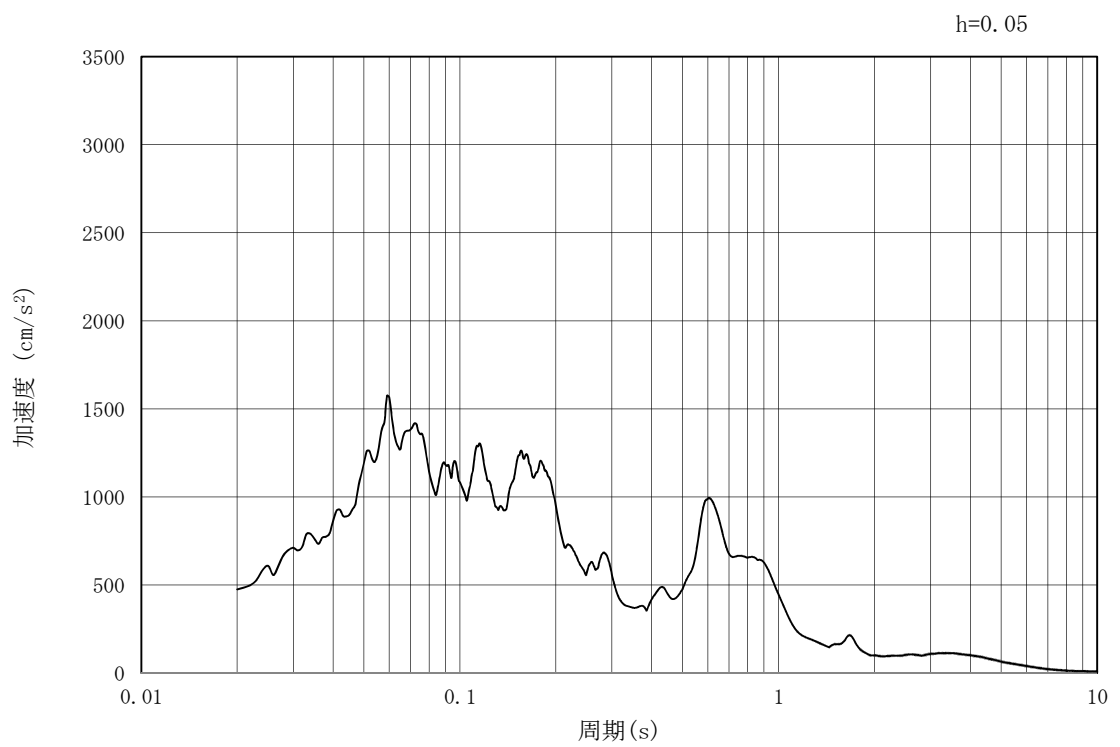


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.3$)

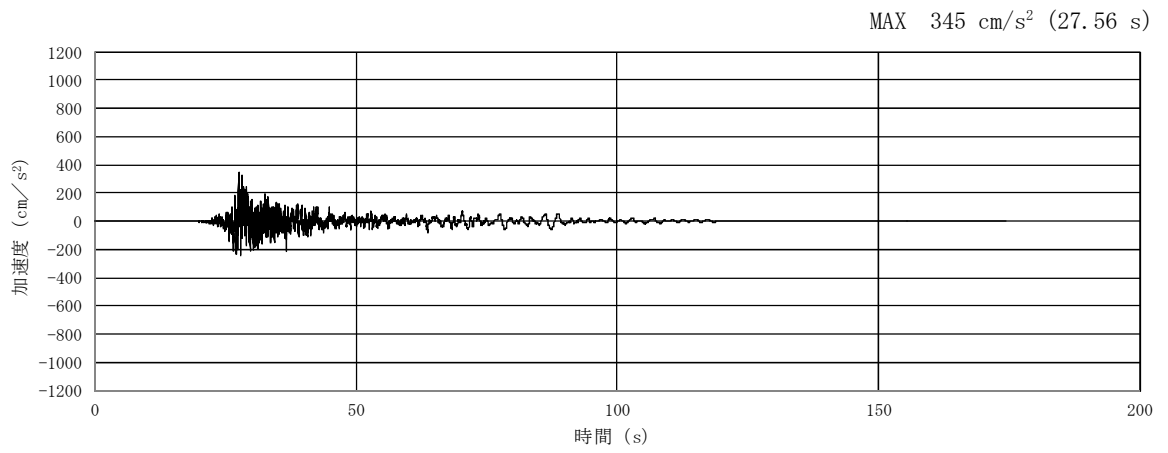


(a) 加速度時刻歴波形

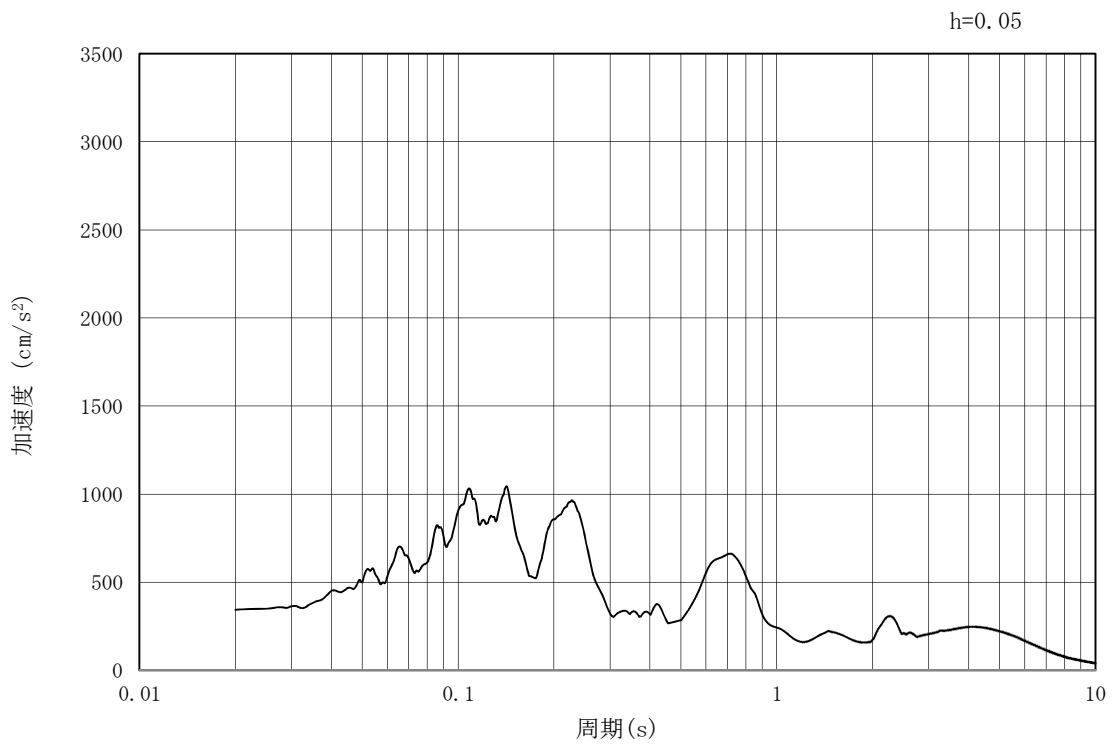


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.3$)

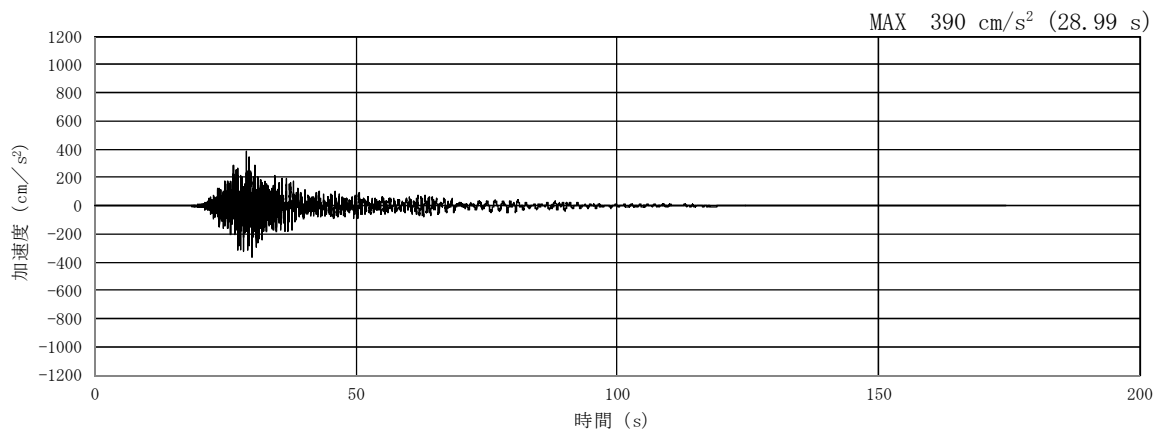


(a) 加速度時刻歴波形

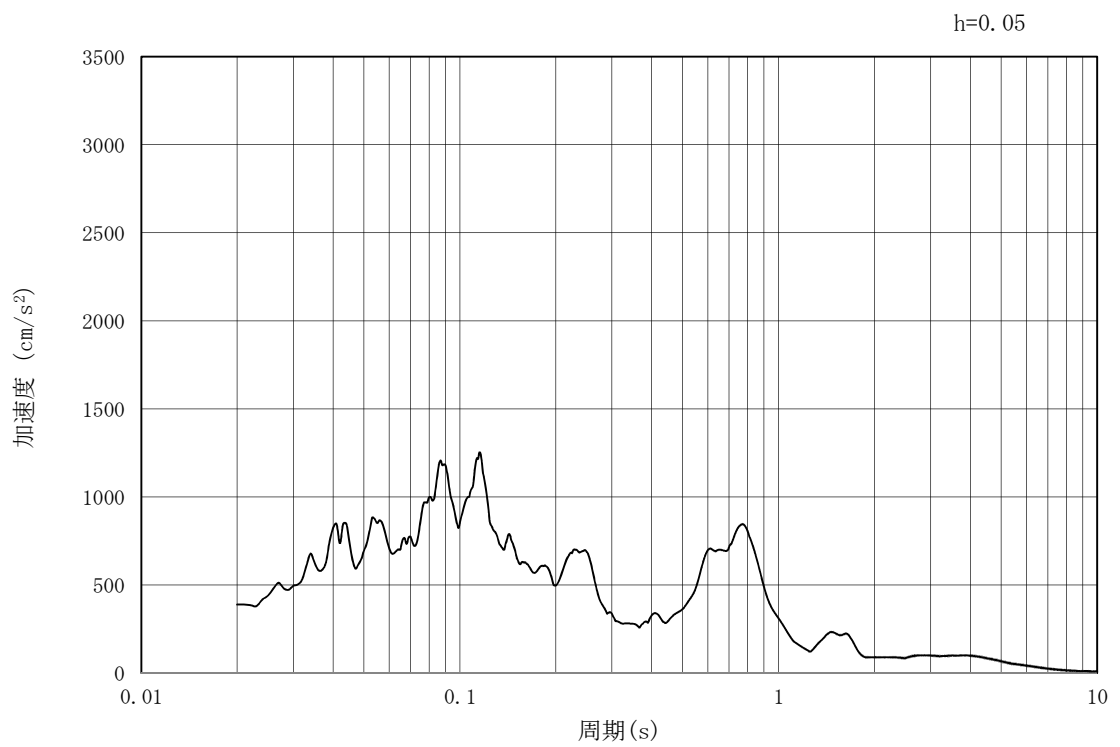


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.4$)

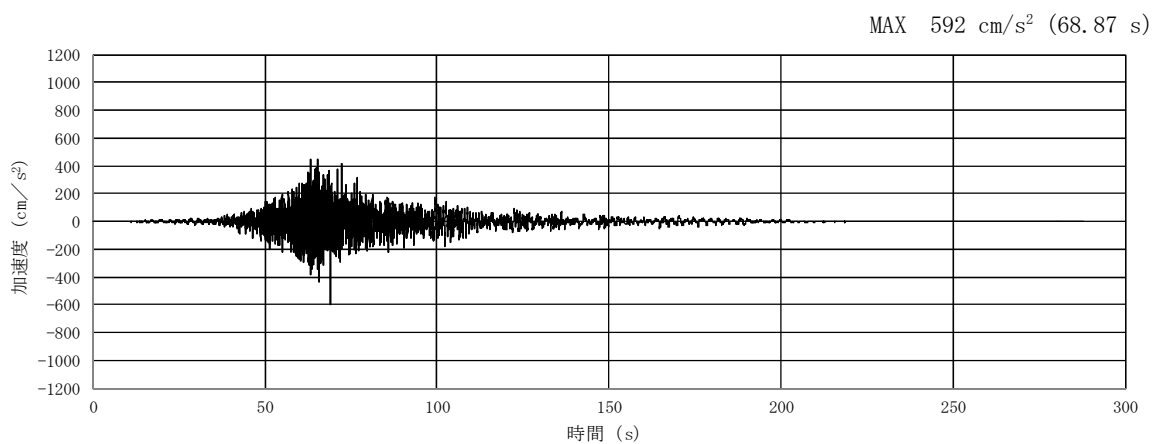


(a) 加速度時刻歴波形

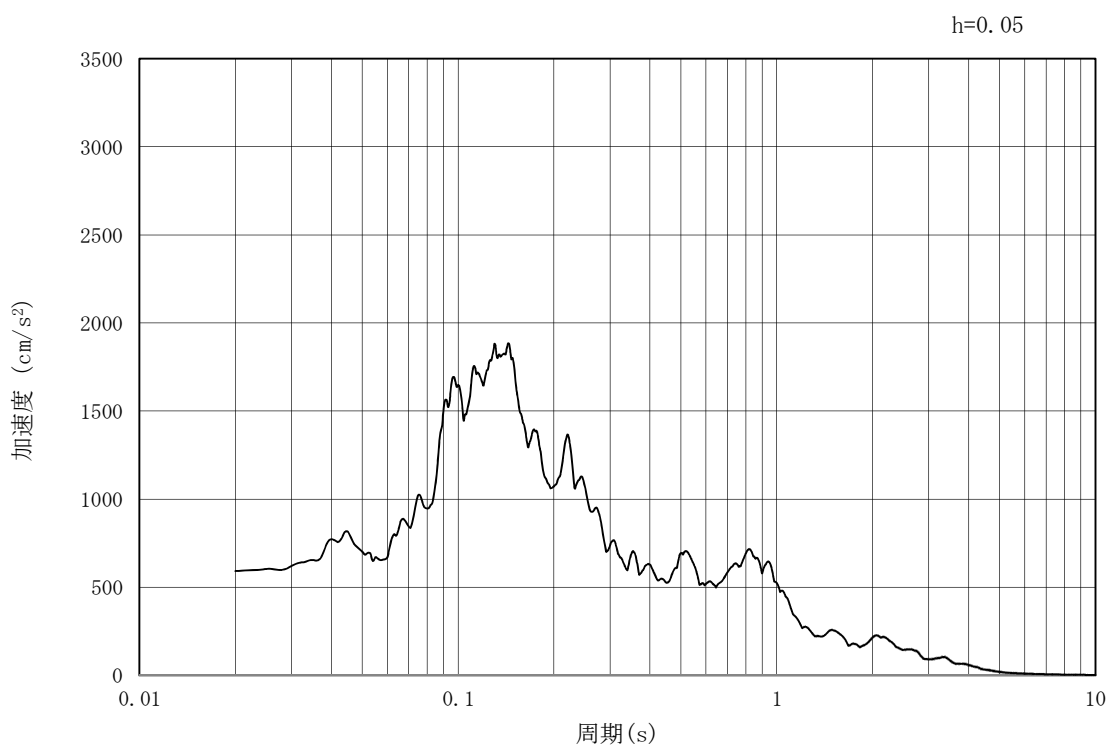


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.4$)

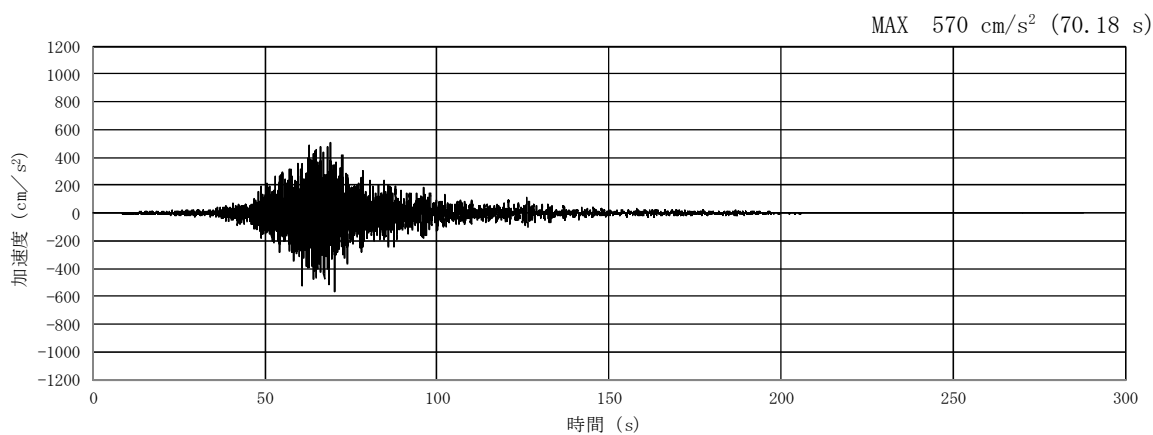


(a) 加速度時刻歴波形

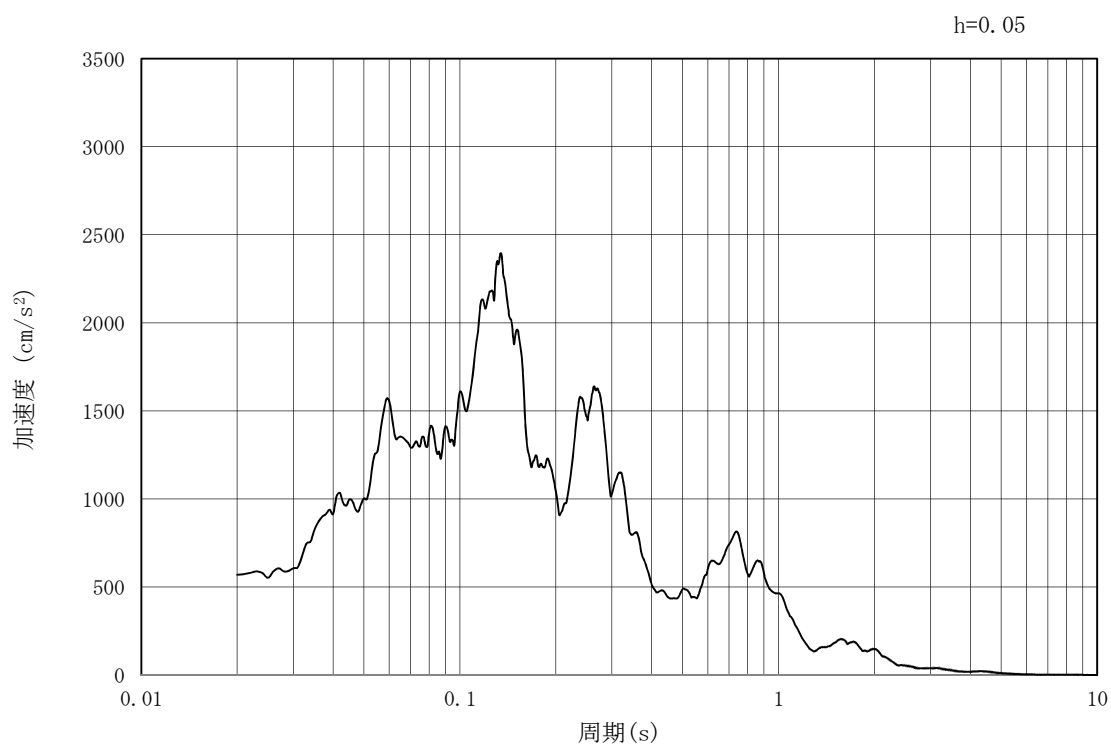


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 2.1$)

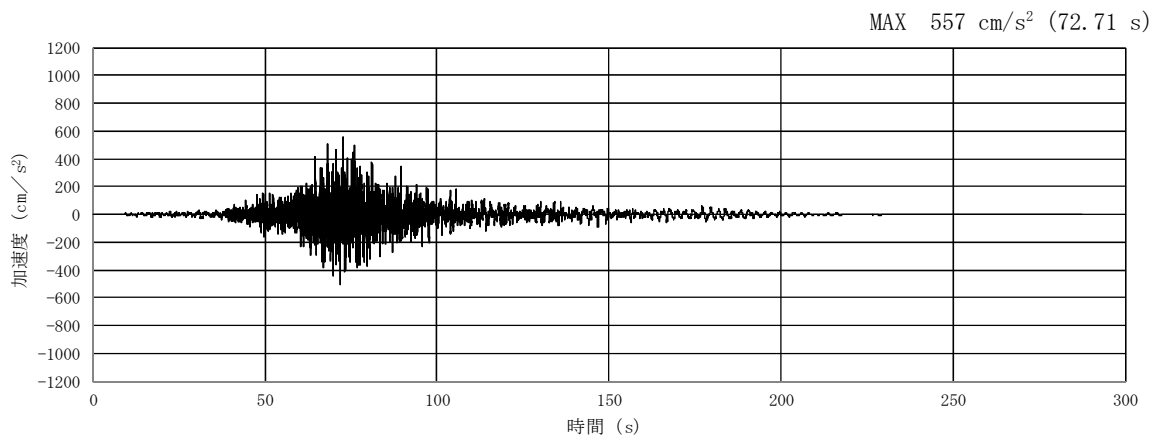


(a) 加速度時刻歴波形

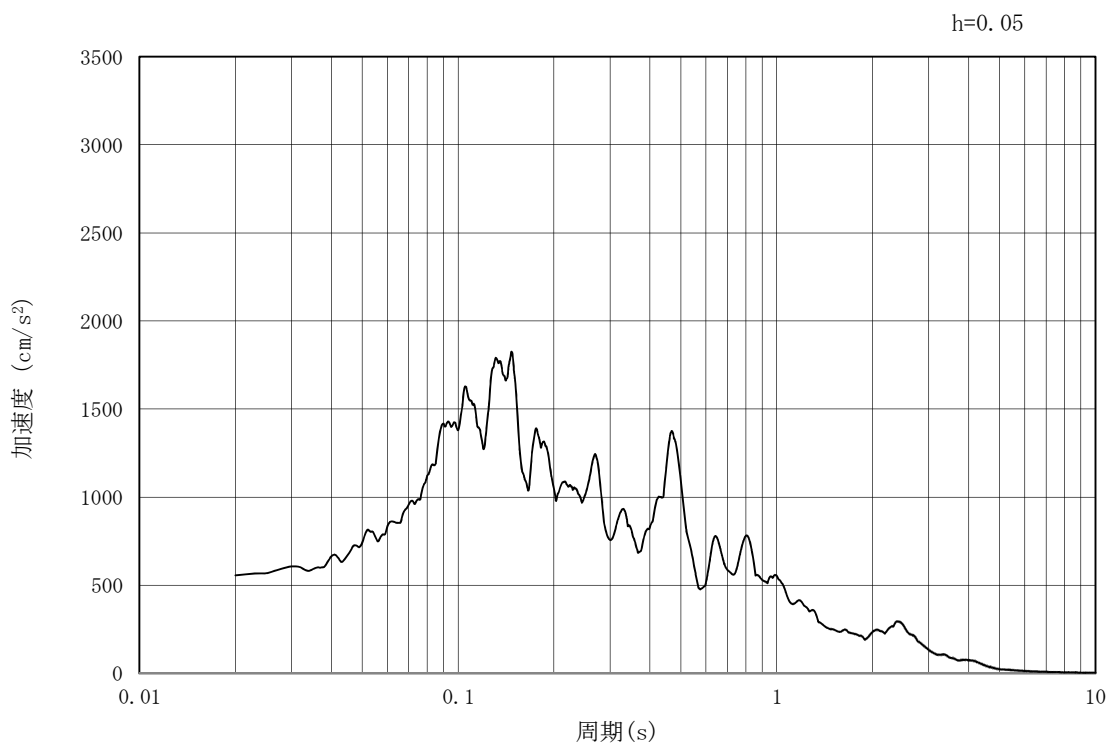


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 2.1$)

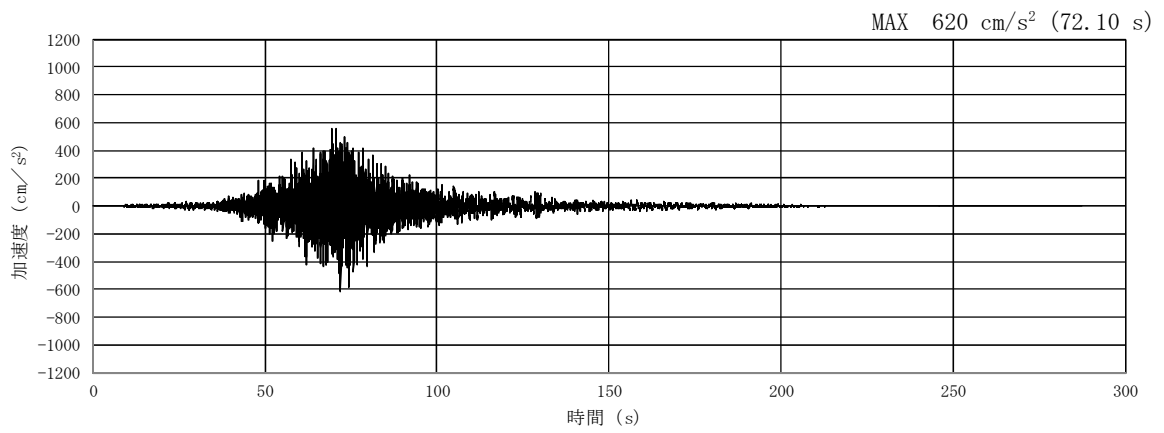


(a) 加速度時刻歴波形

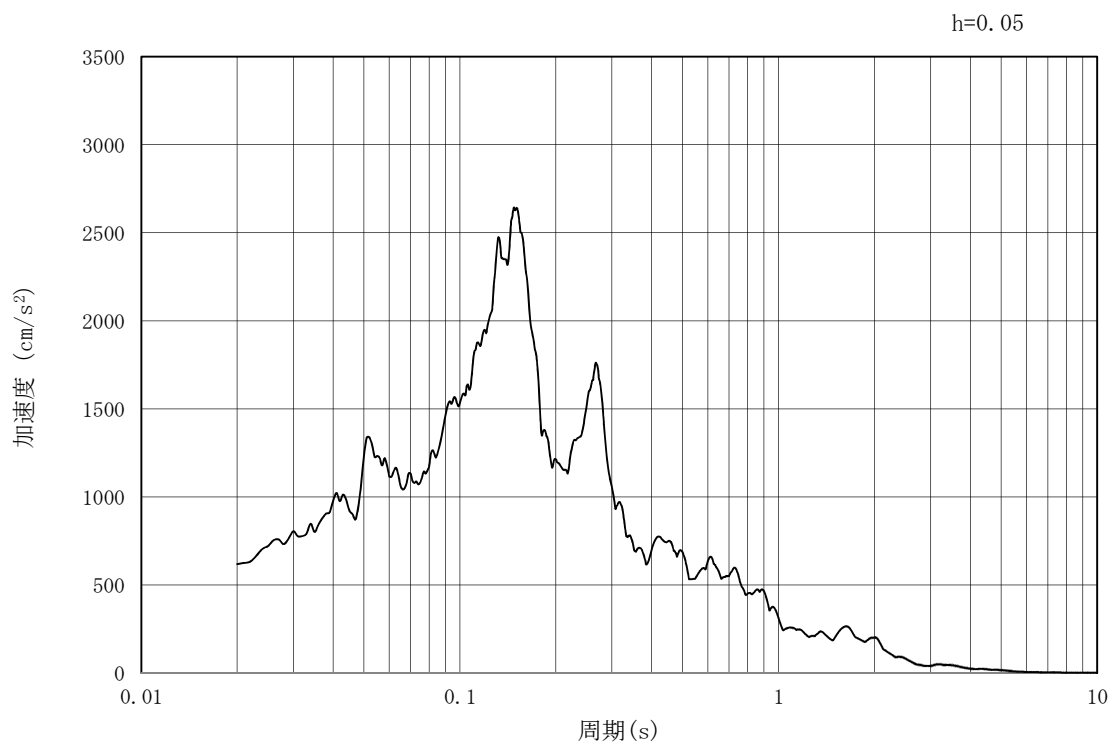


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 2.2$)

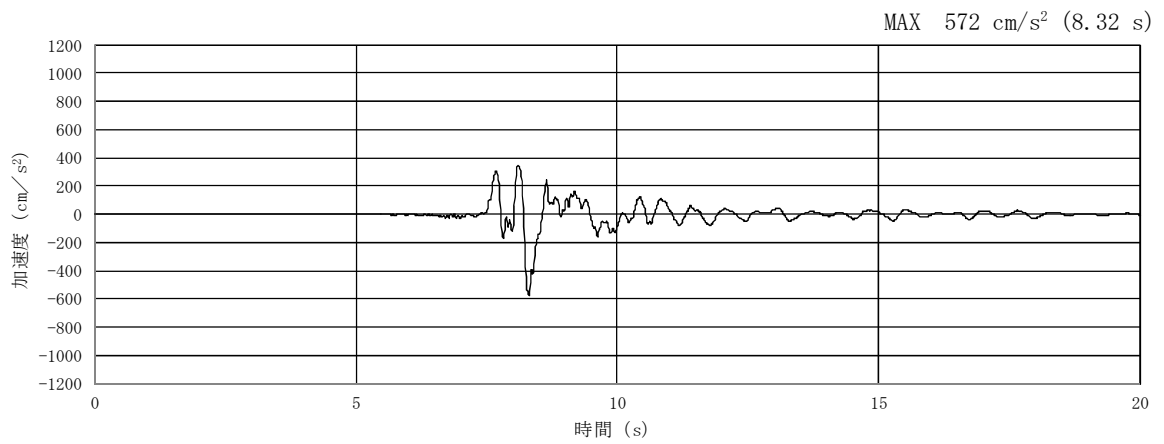


(a) 加速度時刻歴波形

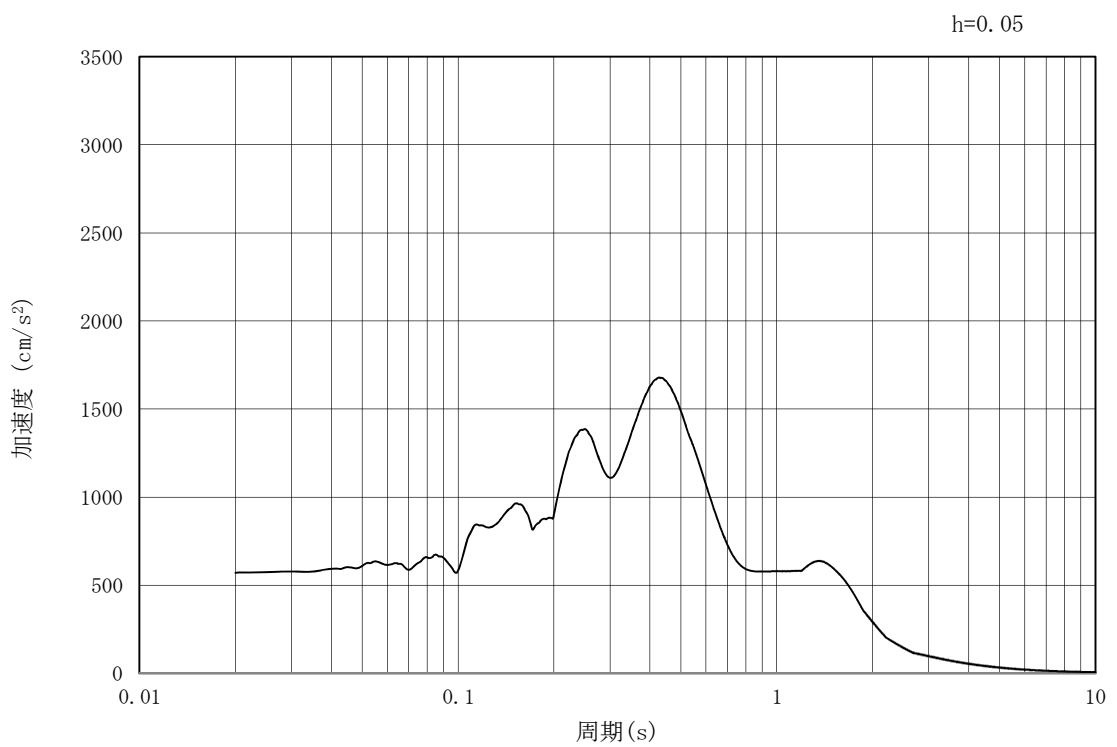


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 2.2$)

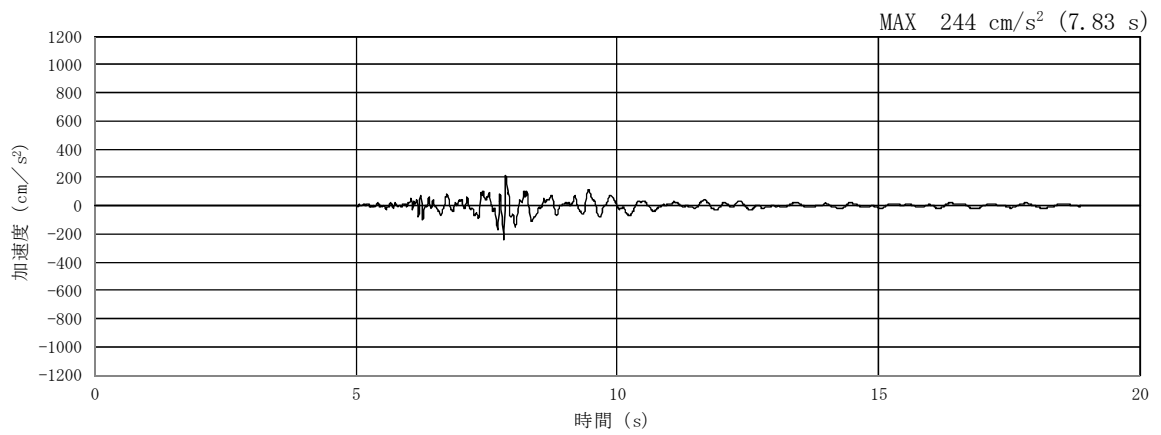


(a) 加速度時刻歴波形

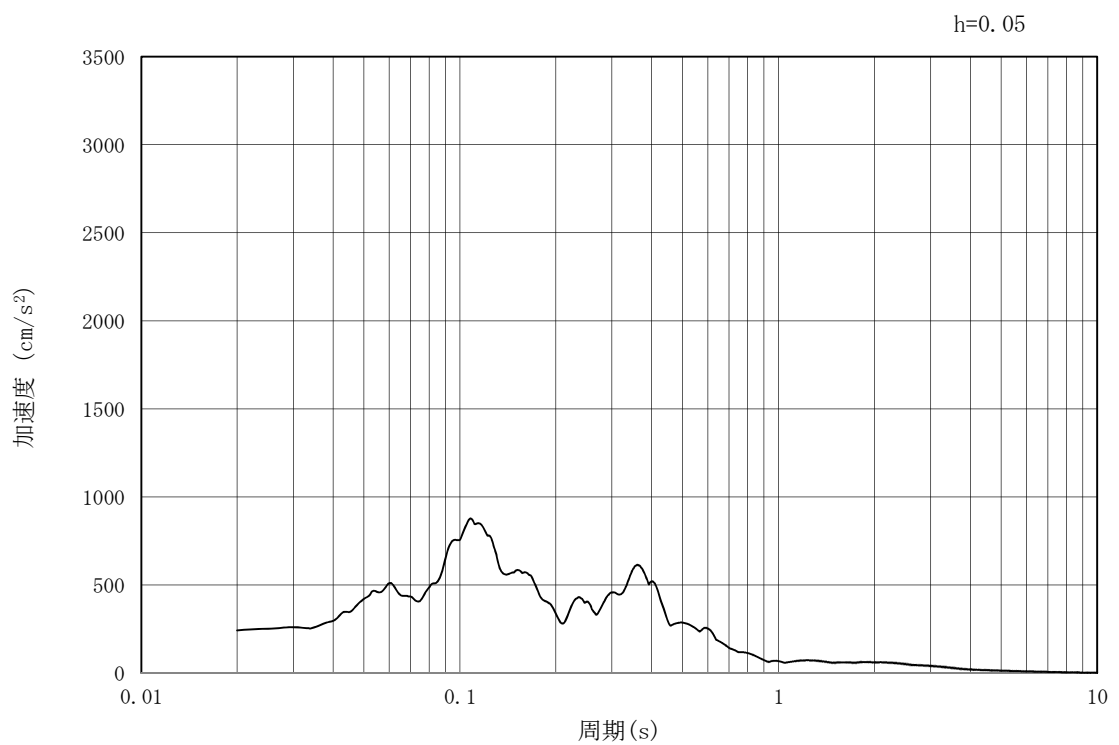


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 31$)

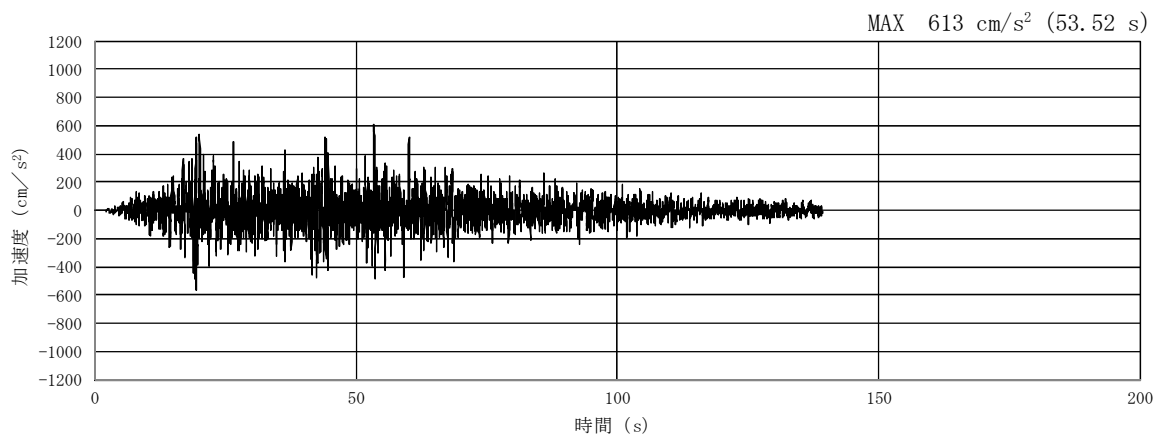


(a) 加速度時刻歴波形

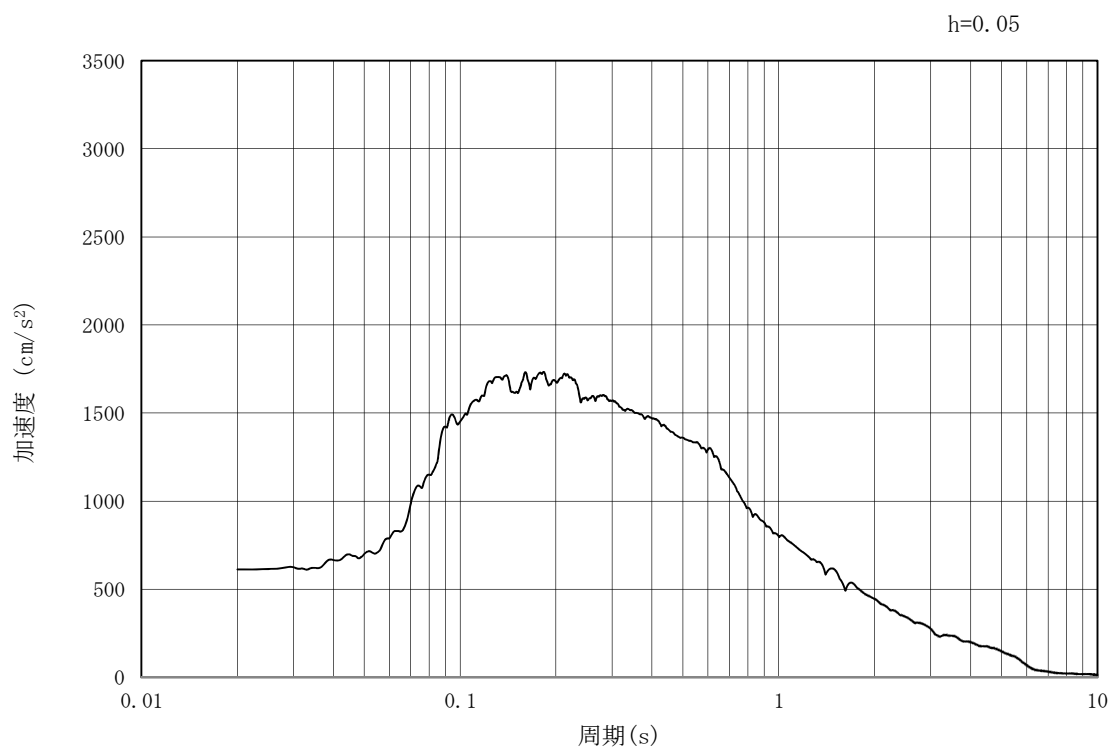


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 31$)

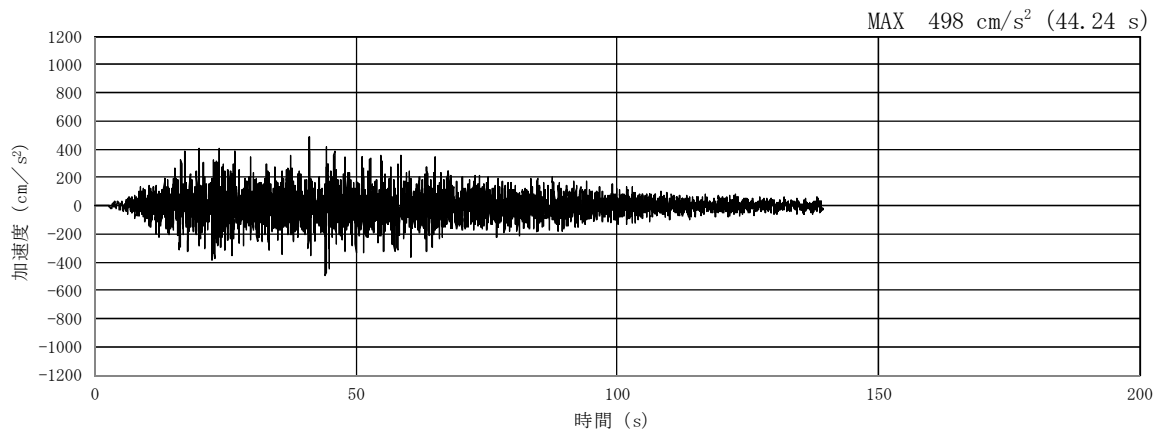


(a) 加速度時刻歴波形

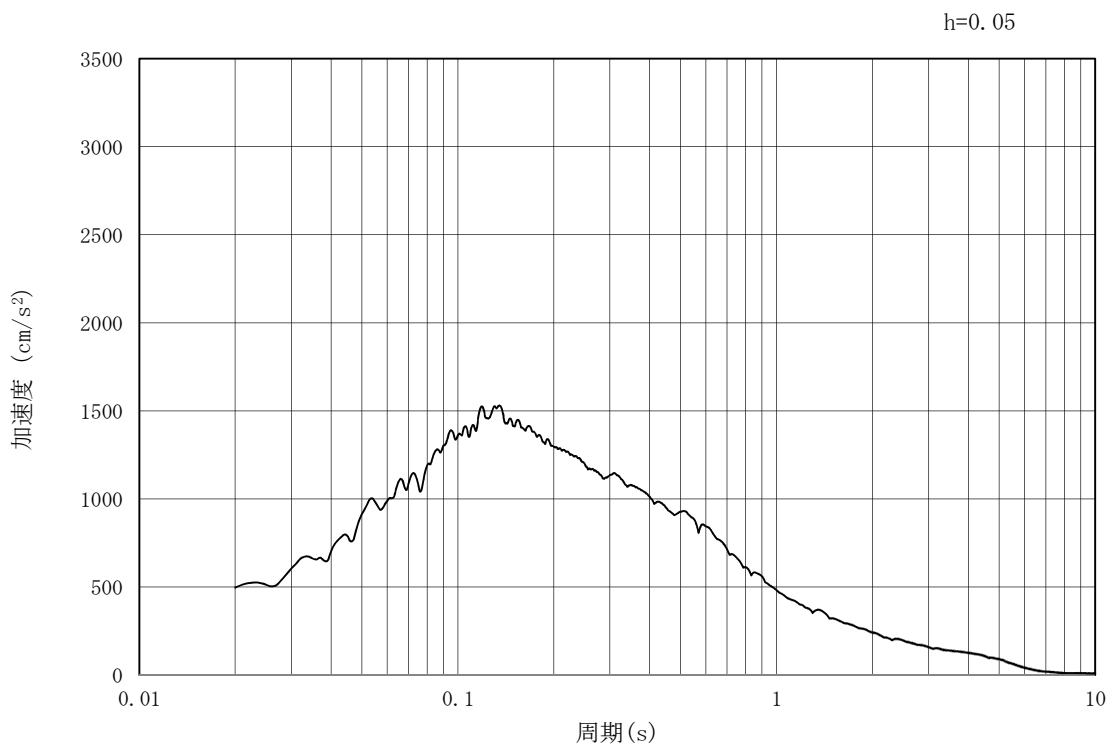


(b) 加速度応答スペクトル

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)

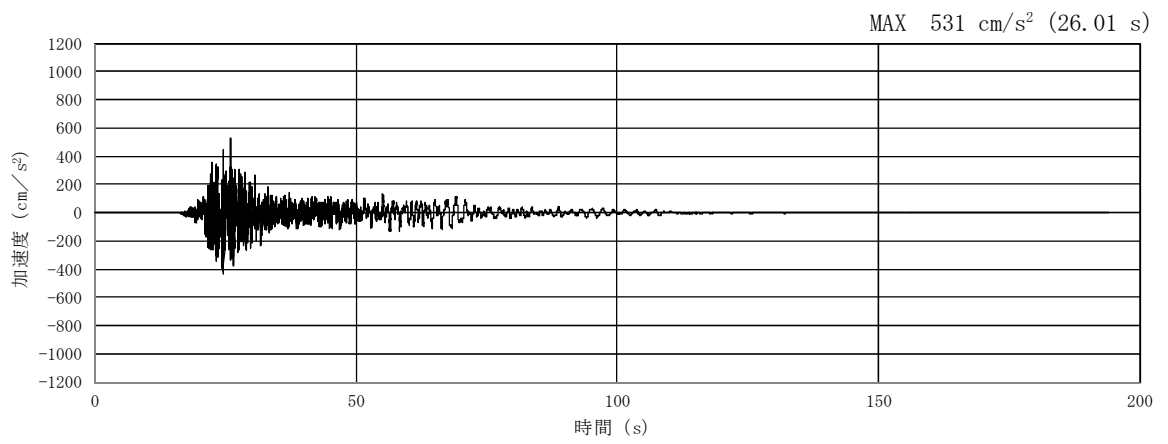


(a) 加速度時刻歴波形

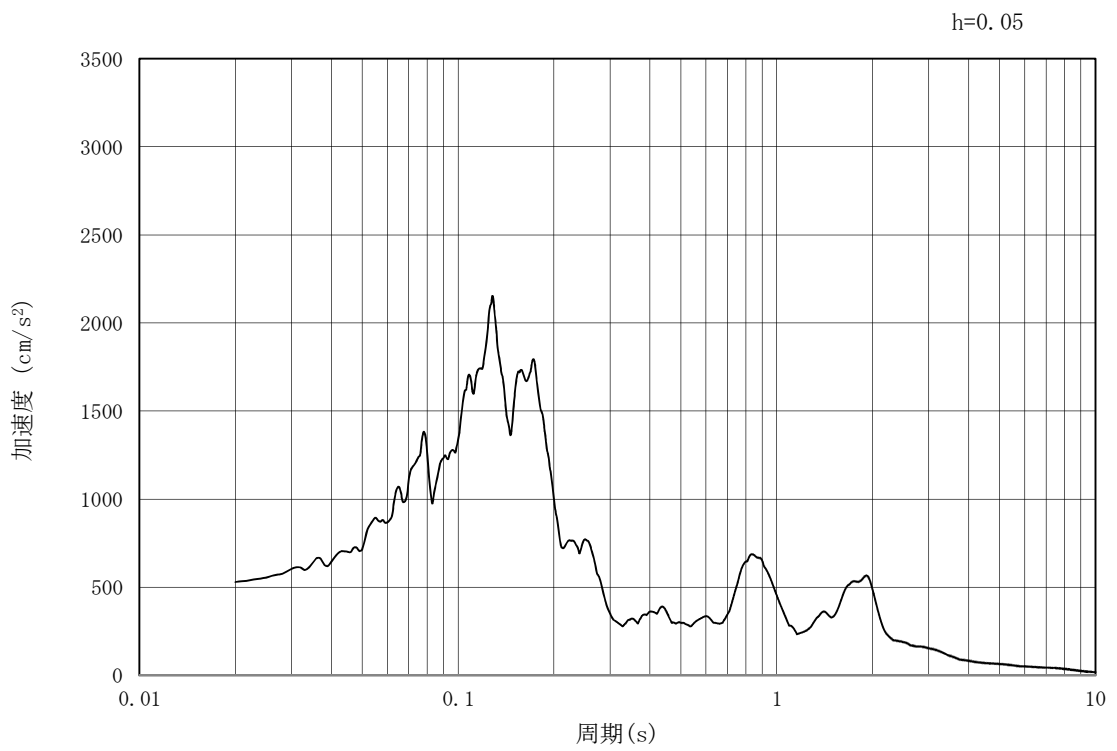


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - D 1$)

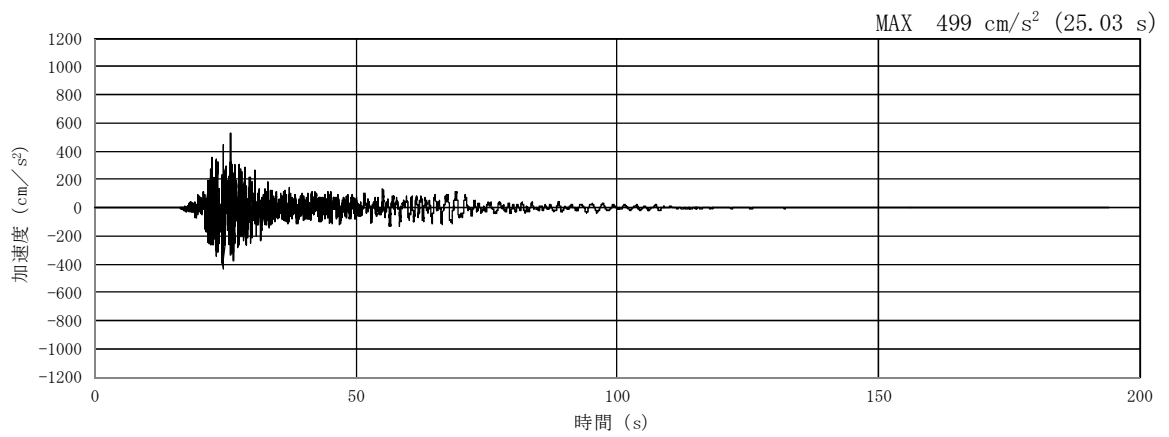


(a) 加速度時刻歴波形

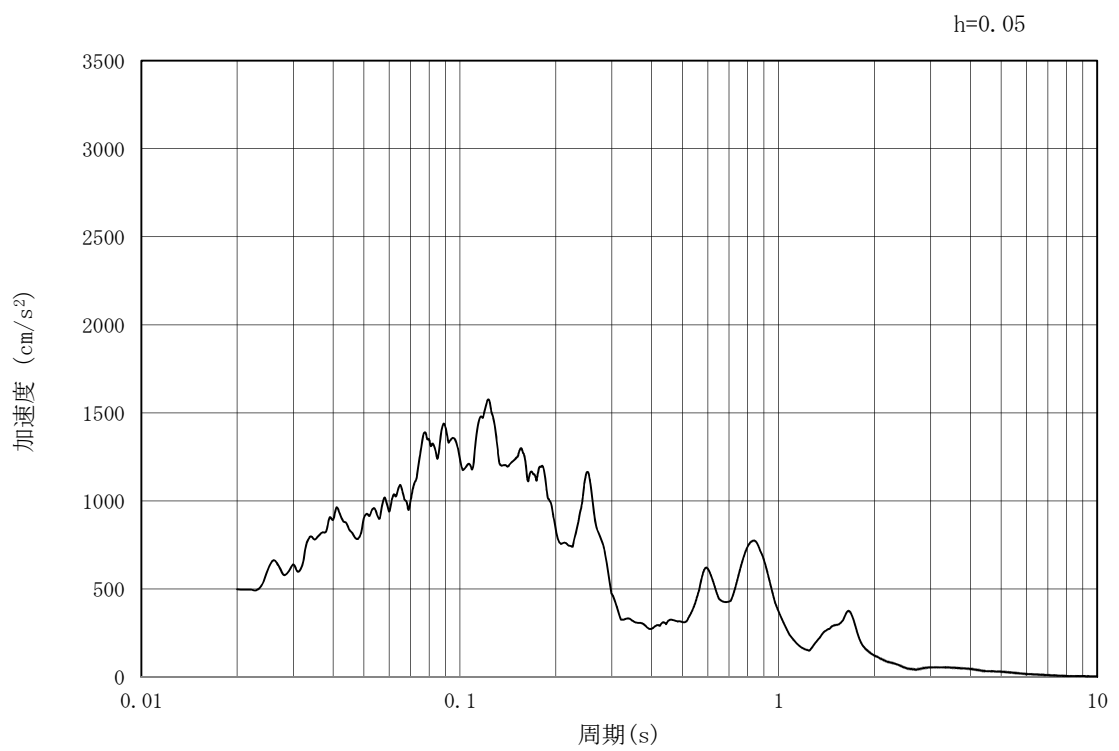


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.1$)

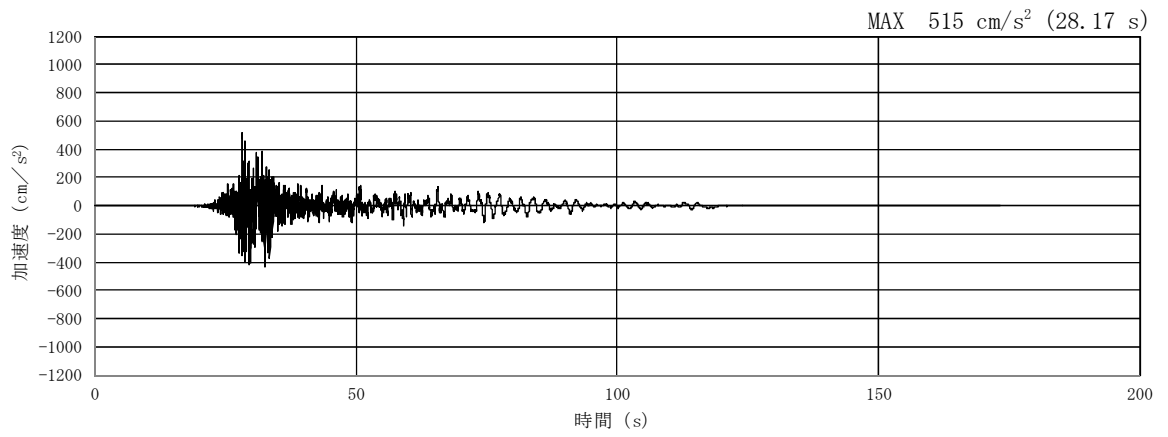


(a) 加速度時刻歴波形

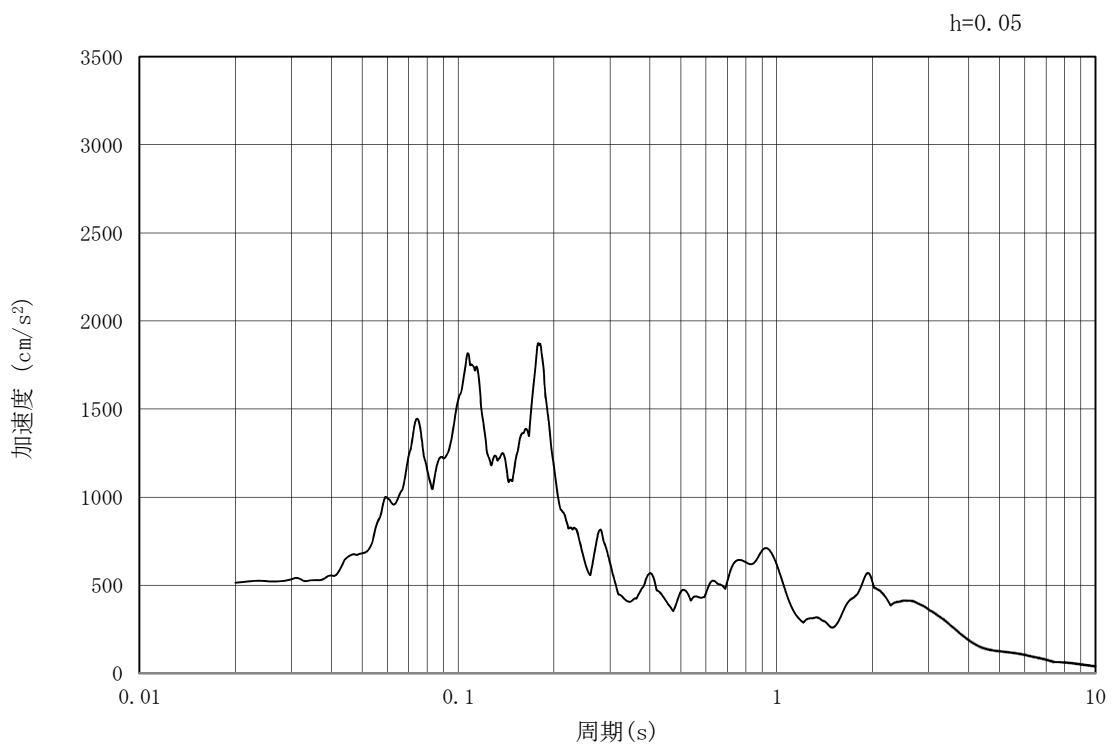


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.1$)

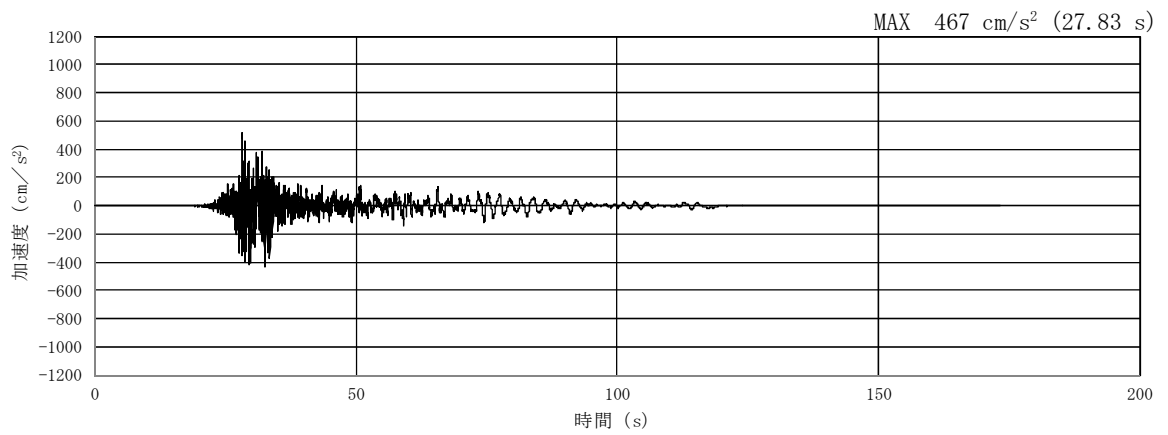


(a) 加速度時刻歴波形

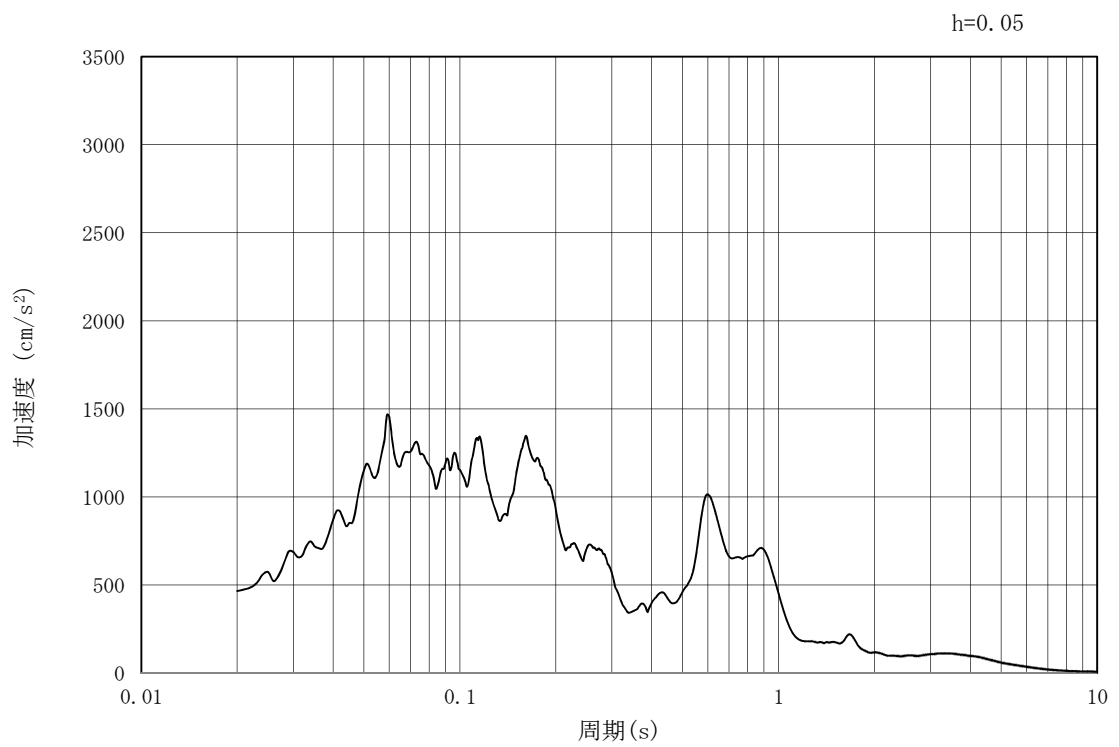


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.2$)

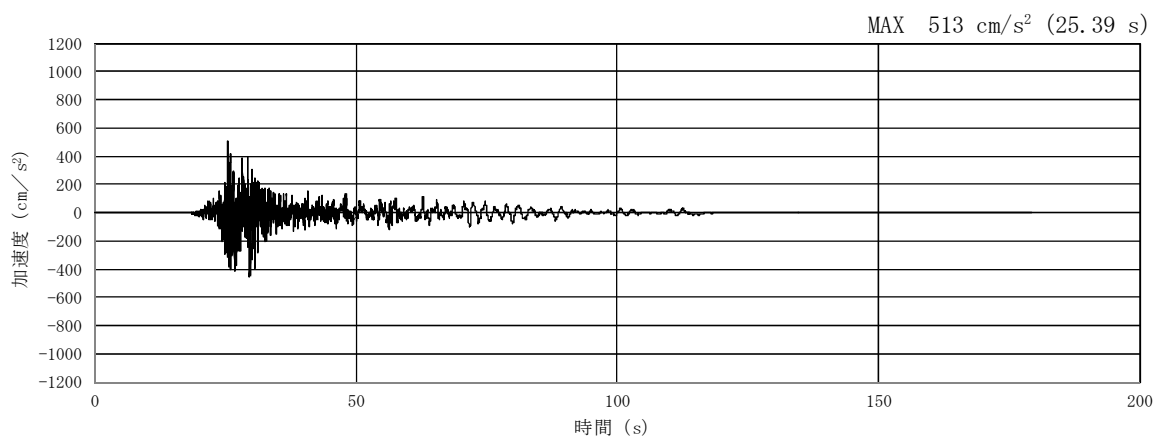


(a) 加速度時刻歴波形

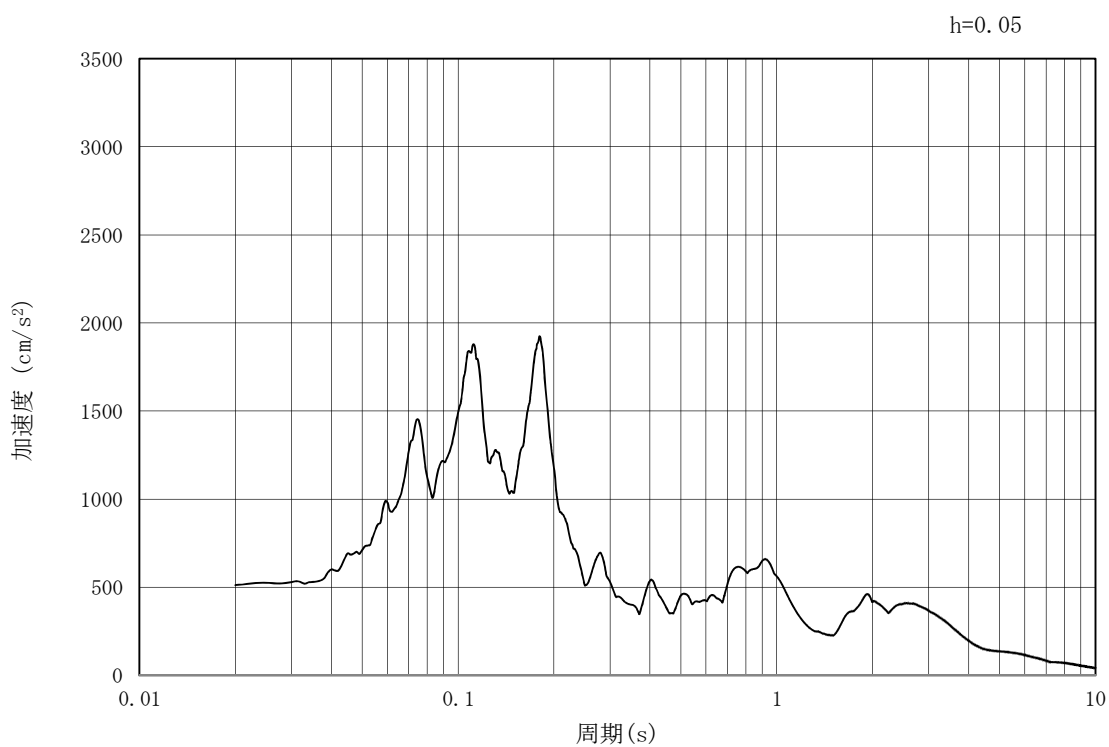


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.2$)

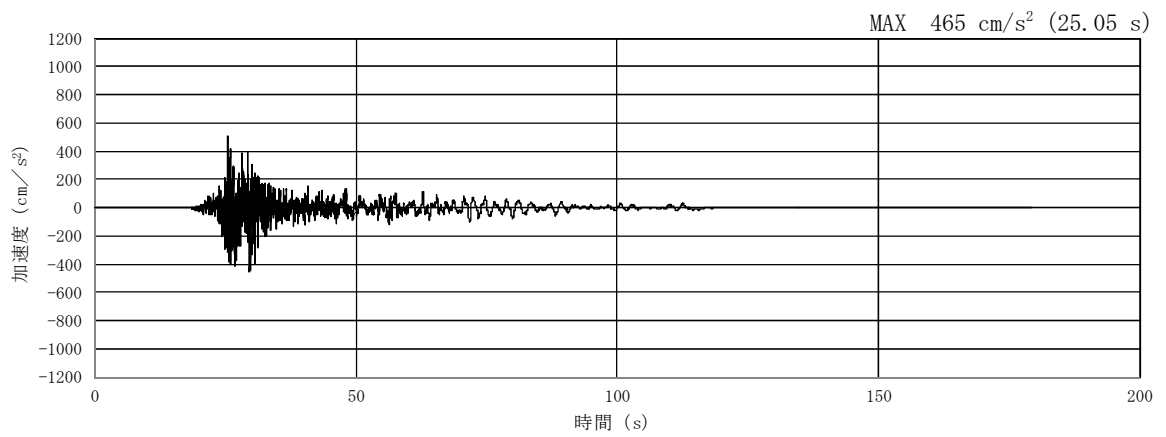


(a) 加速度時刻歴波形

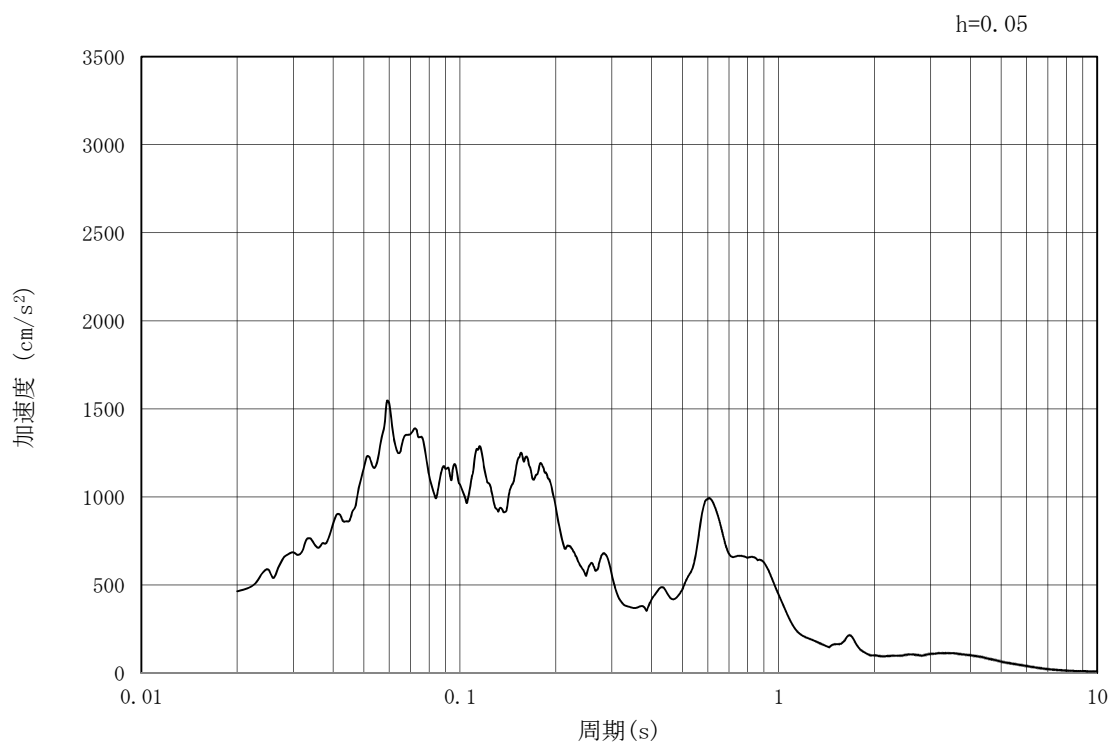


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.3$)

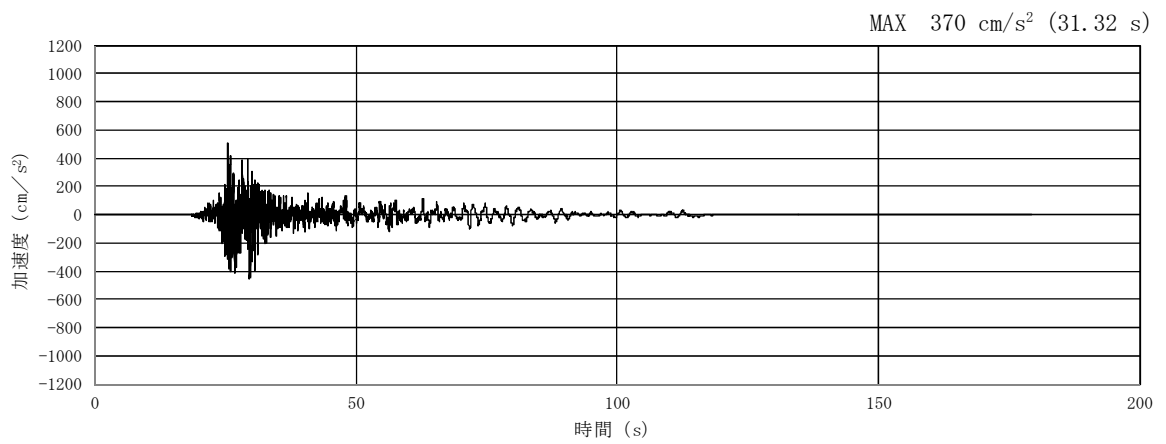


(a) 加速度時刻歴波形

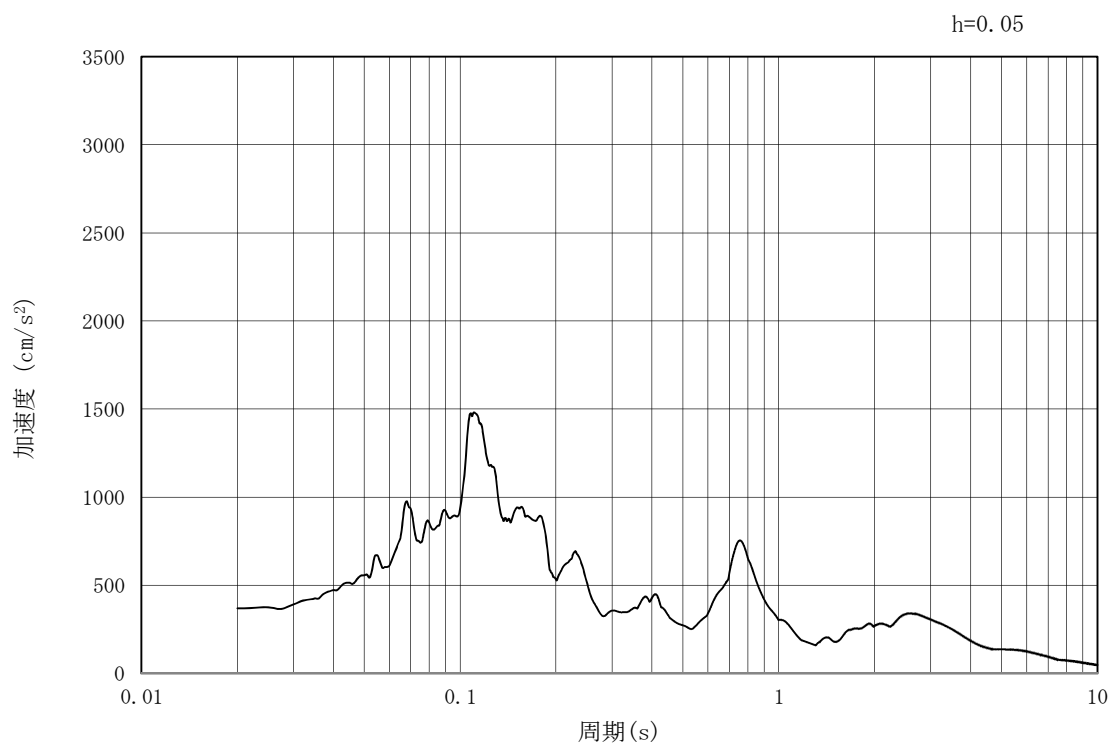


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.3$)

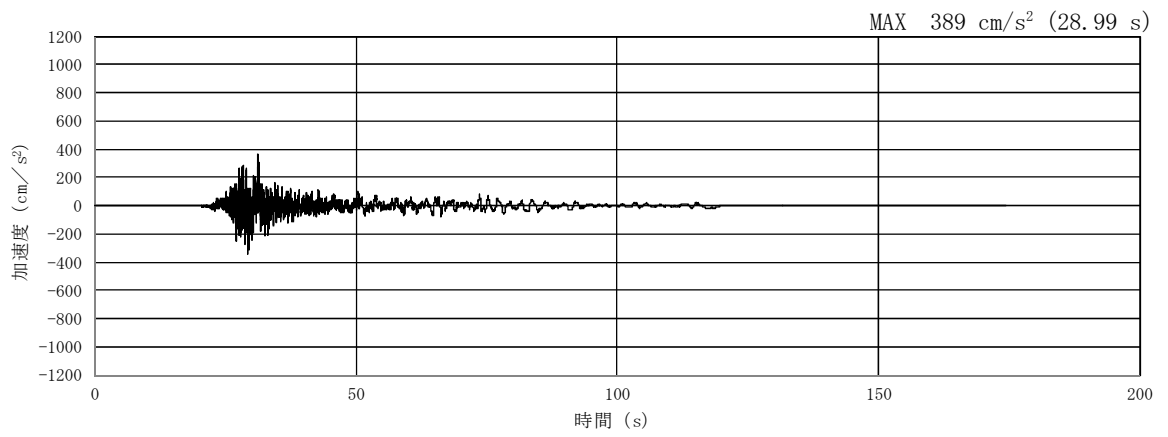


(a) 加速度時刻歴波形

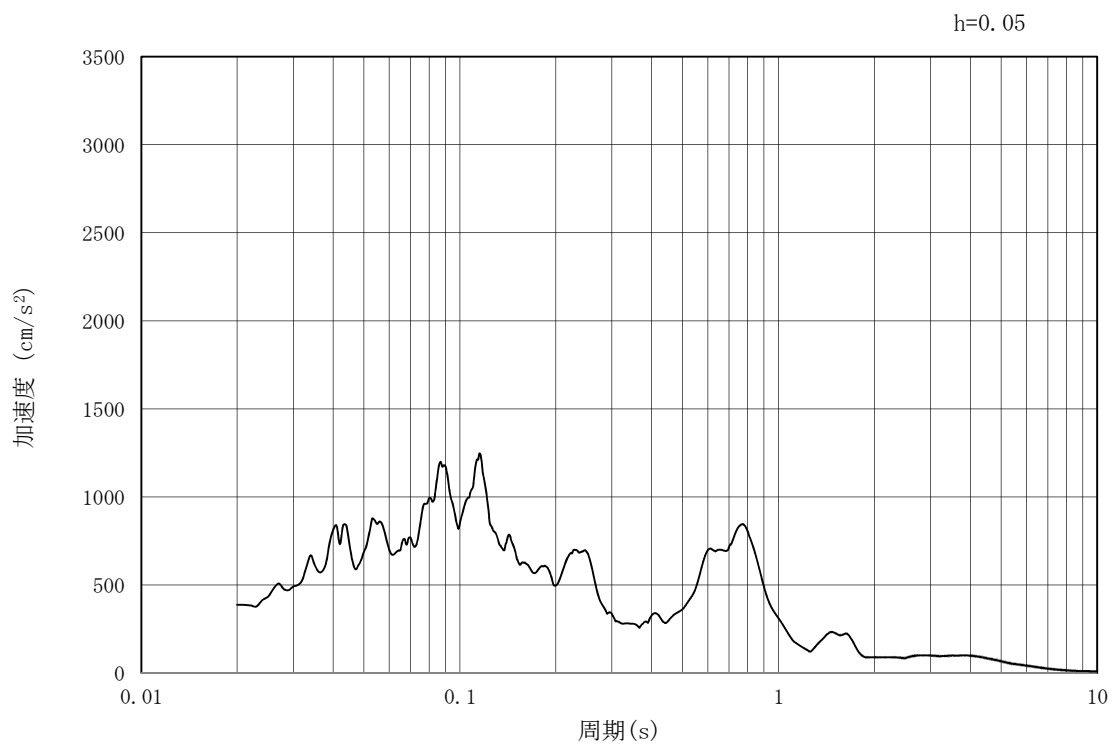


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.4$)

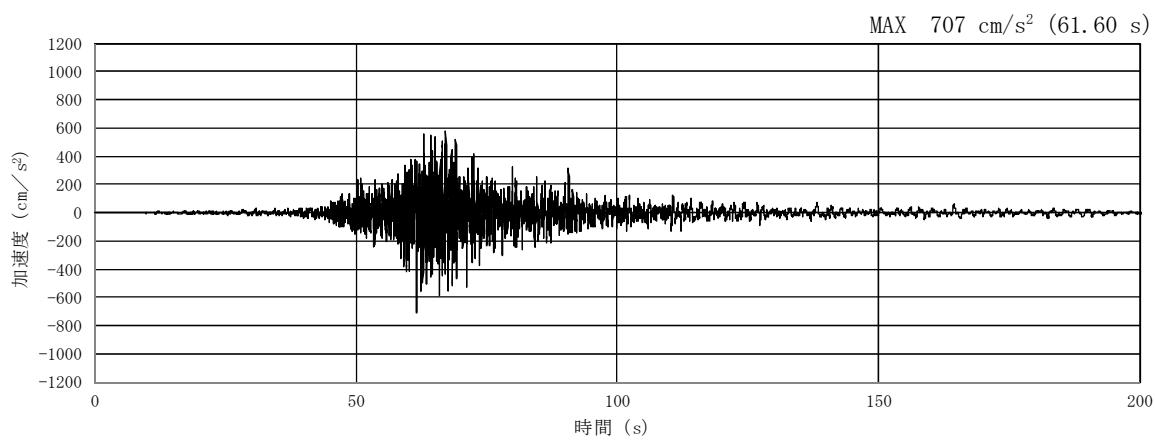


(a) 加速度時刻歴波形

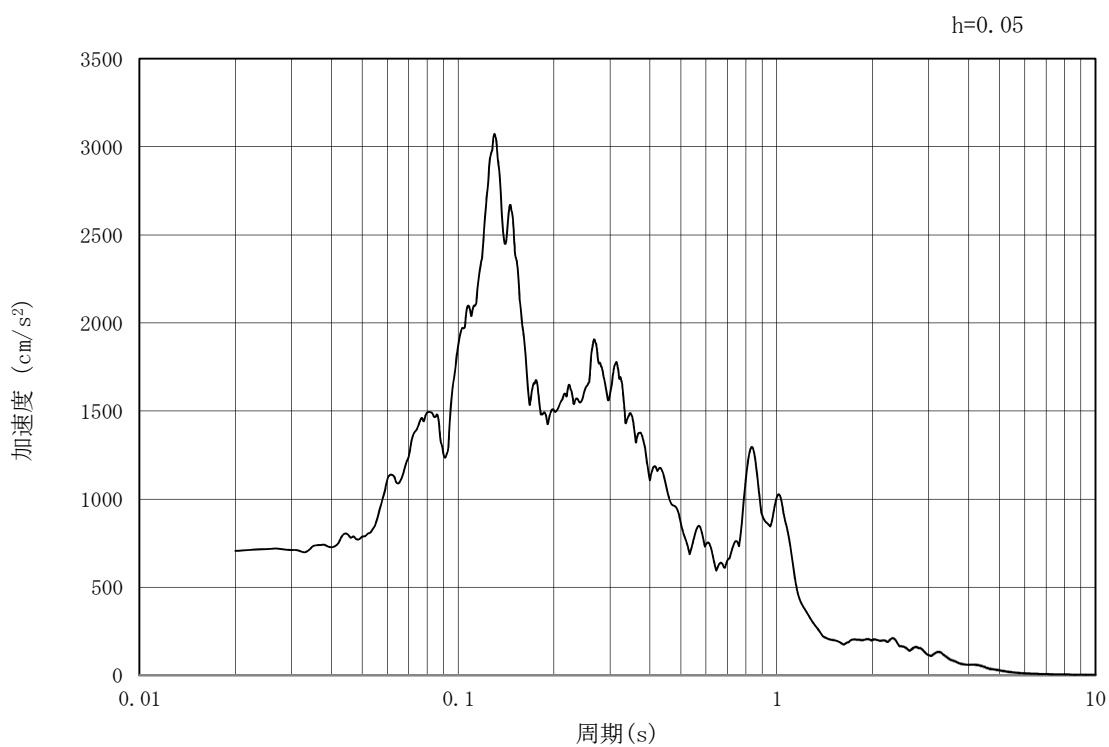


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.4$)

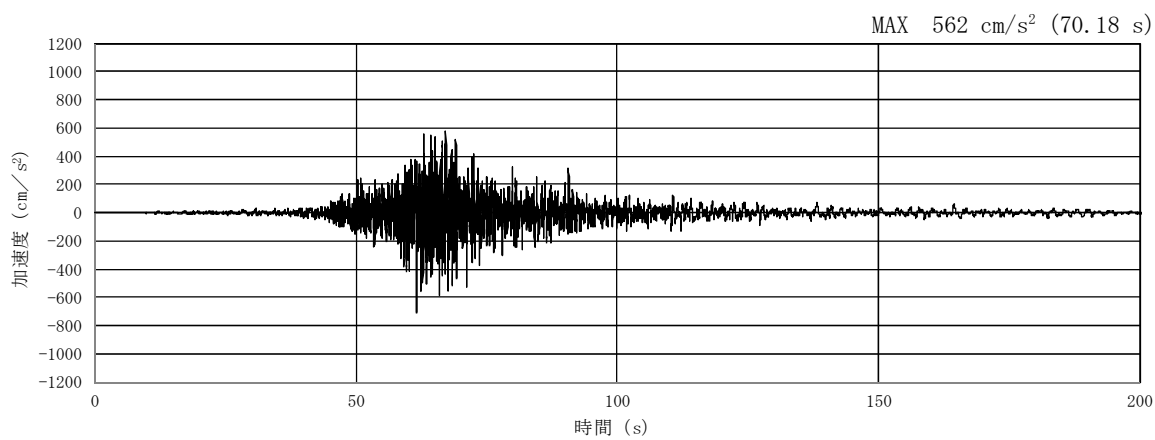


(a) 加速度時刻歴波形

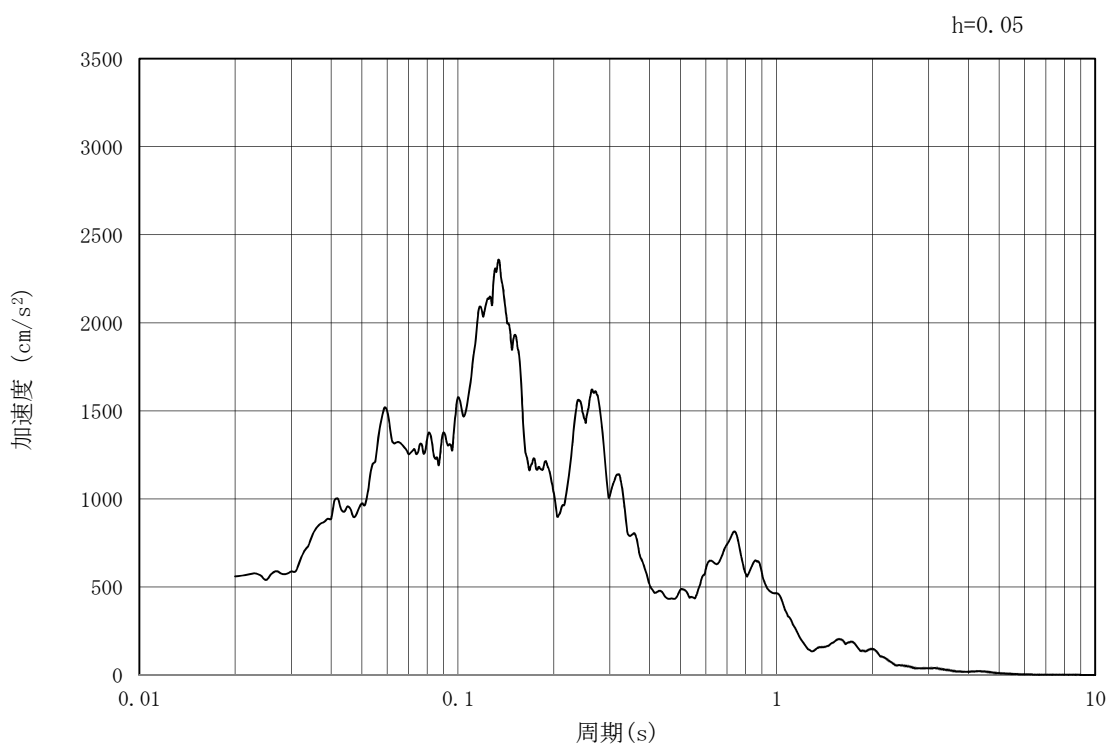


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 2.1$)

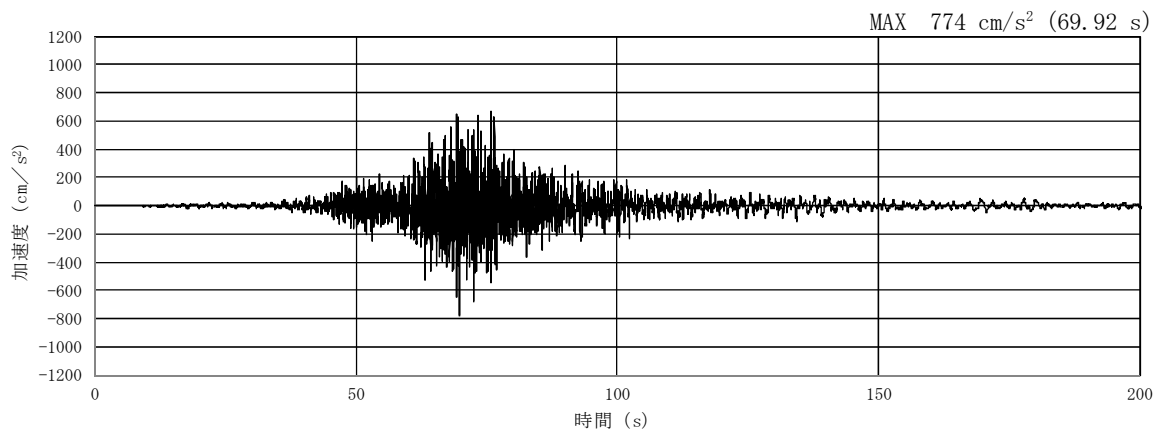


(a) 加速度時刻歴波形

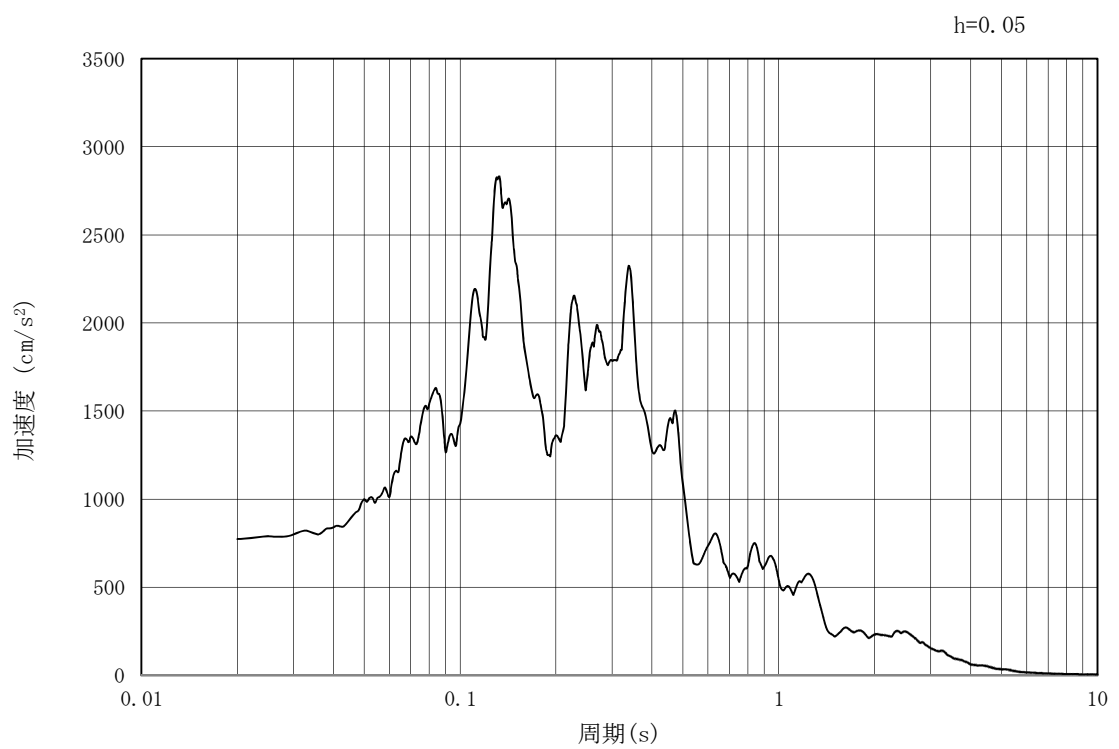


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 2.1$)

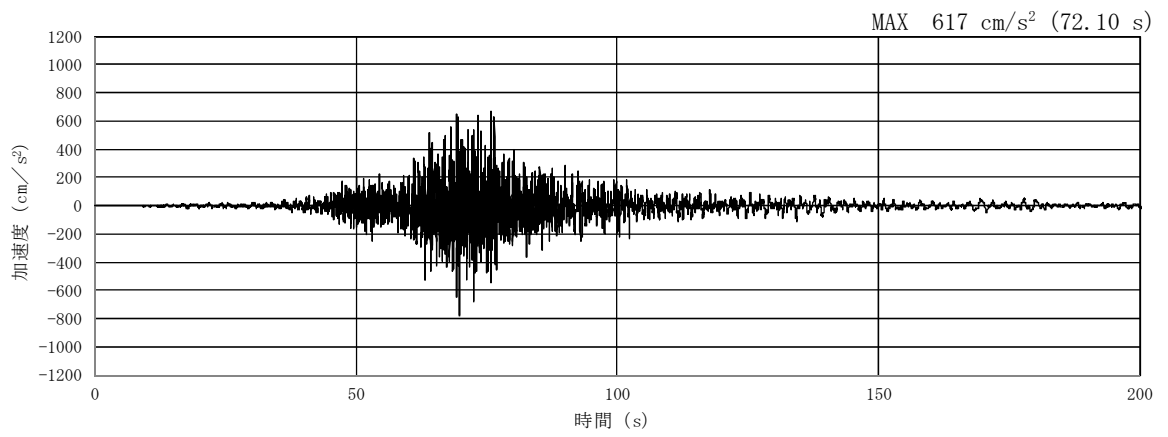


(a) 加速度時刻歴波形

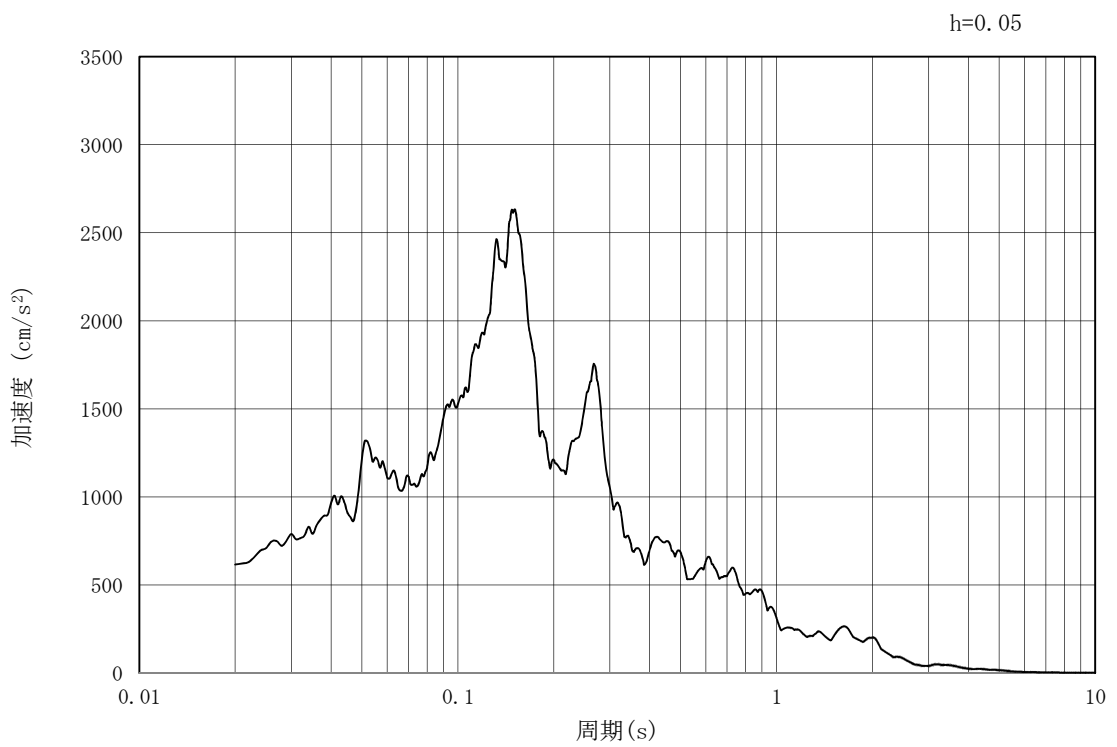


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 2.2$)

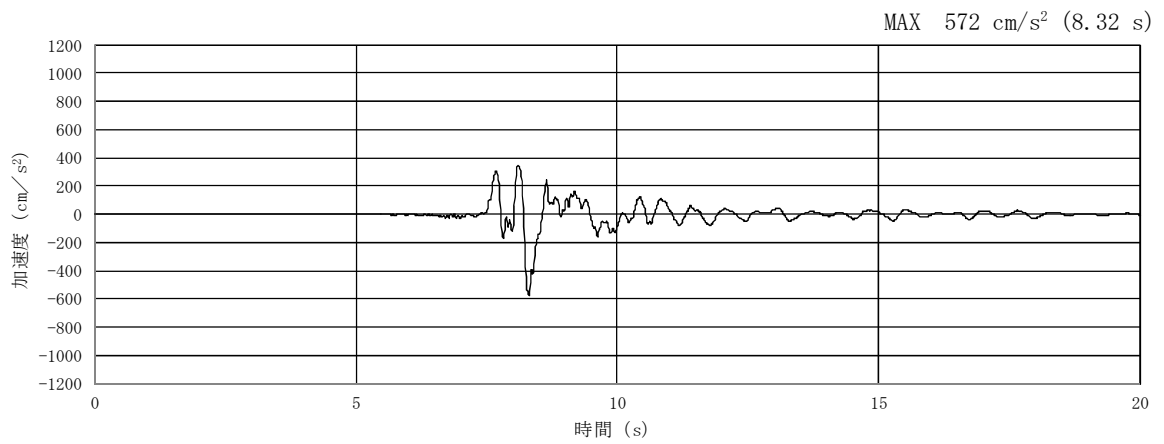


(a) 加速度時刻歴波形

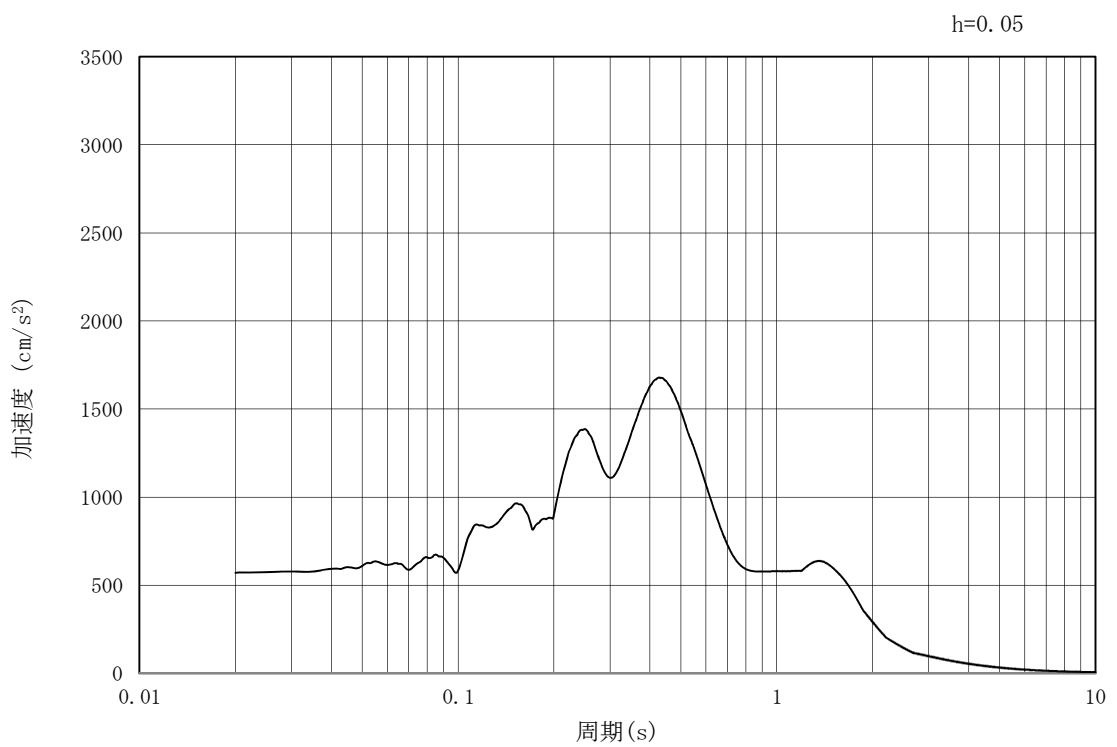


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 2.2$)

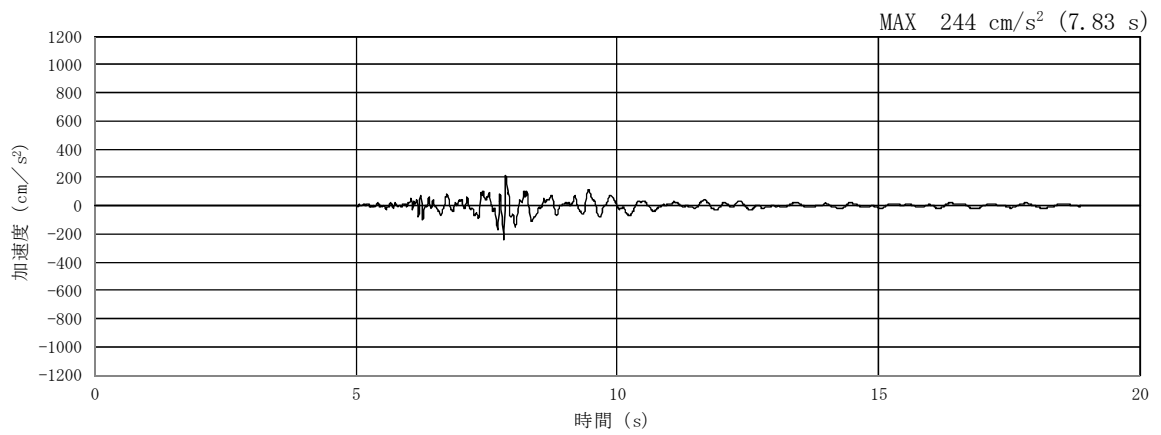


(a) 加速度時刻歴波形

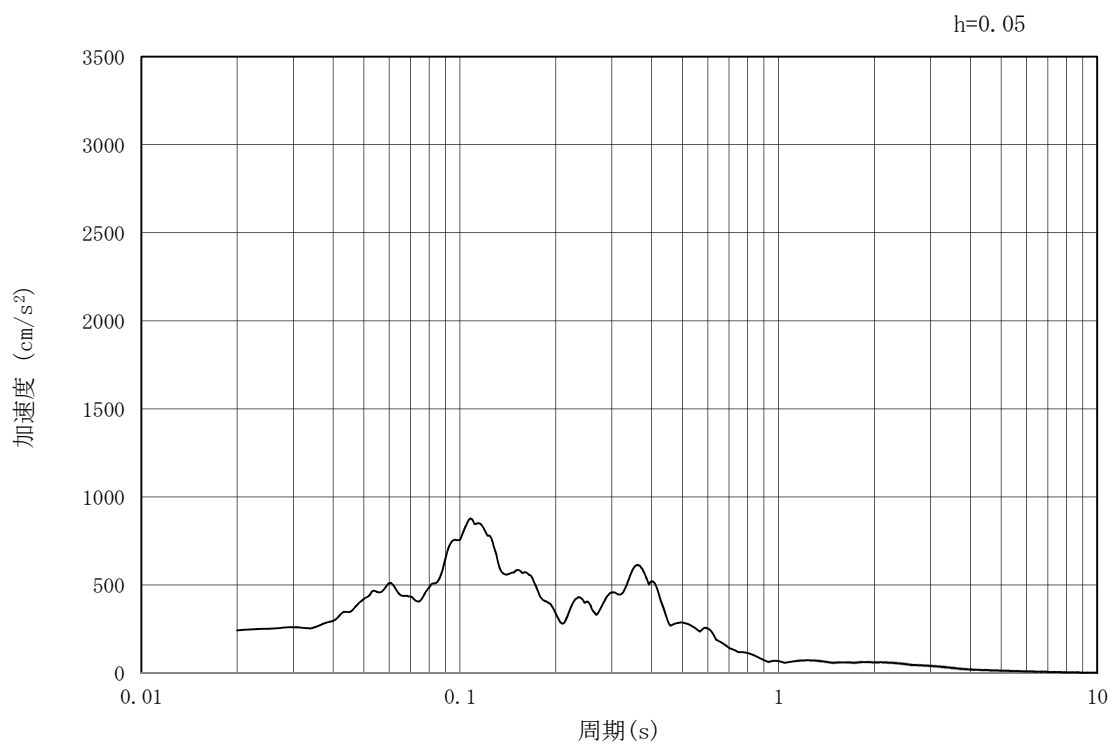


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 31$)

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の許容限界は、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）に基づき，表3.3-1に示す短期許容応力度とする。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 許容限界

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14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。

押し込み力に対する支持力評価において、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、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

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

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)

(q_u はKm層の非排水せん断強度×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)
(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

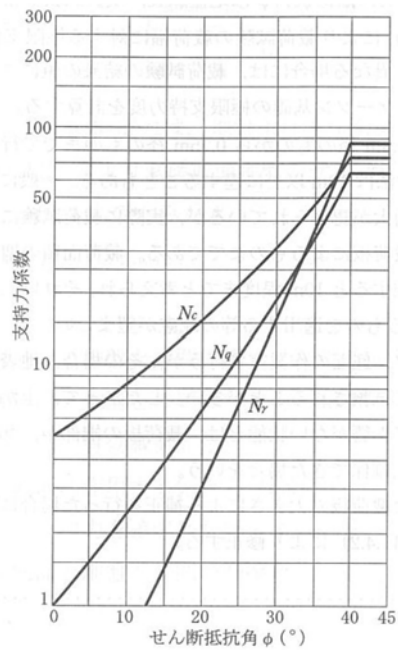
表 3.3-3 基礎底面の形状係数

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 14 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 14 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 ($t = 00.00$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

図 3.4-1 (1) A-A断面の地震時断面力 ($S_s - D 1$ [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 ($t = 〇〇.〇〇$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 〇〇.〇〇$ s)

図 3.4-1 (2) A-A断面の地震時断面力 ($S_s - D 1$ [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 ($t = 00.00$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

図 3.4-1 (3) A-A断面の地震時断面力 ($S_s - D 1$ [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 ($t = 〇〇.〇〇$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 〇〇.〇〇$ s)

図 3.4-1 (4) A-A断面の地震時断面力 ($S_s - D 1$ [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 ($t = 00.00$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

図 3.4-1 (5) A-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 ($t = 00.00$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

図 3.4-1 (6) A-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 ($t = 〇〇.〇〇$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 〇〇.〇〇$ s)

図 3.4-1 (7) A-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 ($t = 00.00$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

図 3.4-1 (8) A-A断面の地震時断面力 ($S_s - 14$)

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

図 3.4-1 (9) A-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 ($t = 00.00$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

図 3.4-1 (10) A-A断面の地震時断面力 ($S_s - 2.2$)

曲げモーメント分布図

軸力分布図

(a) 曲げ応力最大時刻 ($t = 〇〇.〇〇$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 〇〇.〇〇$ s)

図 3.4-1 (11) A-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 ($t = 00.00$ s)

(b) せん断応力最大時刻 ($t = 00.00$ s)

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

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

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

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

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

図 3.4-2 (5) B-B断面の地震時断面力 ($S_s - 1 1$)

図 3.4-2 (6) B-B断面の地震時断面力 ($S_s - 1 2$)

図 3.4-2 (7) B-B断面の地震時断面力 ($S_s - 1 3$)

図 3.4-2 (8) B-B断面の地震時断面力 ($S_s - 1 4$)

図 3.4-2 (9) B-B断面の地震時断面力 ($S_s - 2 1$)

図 3.4-2 (10) B-B断面の地震時断面力 ($S_s - 2 2$)

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

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

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

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

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

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

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

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

図 3.4-3 (11) C-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-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-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-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-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-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-A断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)

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

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

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

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

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

図 3.4-4 (11) A-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-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-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-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-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-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-B断面の最大せん断ひずみ分布 ($S_s - 1 1$)

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

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

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

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

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

図 3.4-5 (11) B-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-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-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s-D1 [H+, V+]$)

図 3.4-6 (2) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s-D1 [H+, V-]$)

図 3.4-6 (3) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s-D1 [H-, V+]$)

図 3.4-6 (4) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s-D1 [H-, V-]$)

図 3.4-6 (5) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 (S_s-11)

図 3.4-6 (6) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 (S_s-12)

図 3.4-6 (7) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 (S_s-13)

図 3.4-6 (8) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 (S_s-14)

図 3.4-6 (9) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 (S_s-21)

図 3.4-6 (10) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 (S_s-22)

図 3.4-6 (11) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s-31 [H+, V+]$)

図 3.4-6 (12) C-C断面 (杭基礎部) の最大せん断ひずみ分布 ($S_s-31 [H-, V+]$)

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

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

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

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

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

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

図 3.4-8 (11) A-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-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-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-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-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-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-B断面の過剰間隙水圧比分布 ($S_s - 1 1$)

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

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

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

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

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

図 3.4-9 (11) B-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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-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)

屋外二重管基礎の耐震安全性評価に関する参考資料

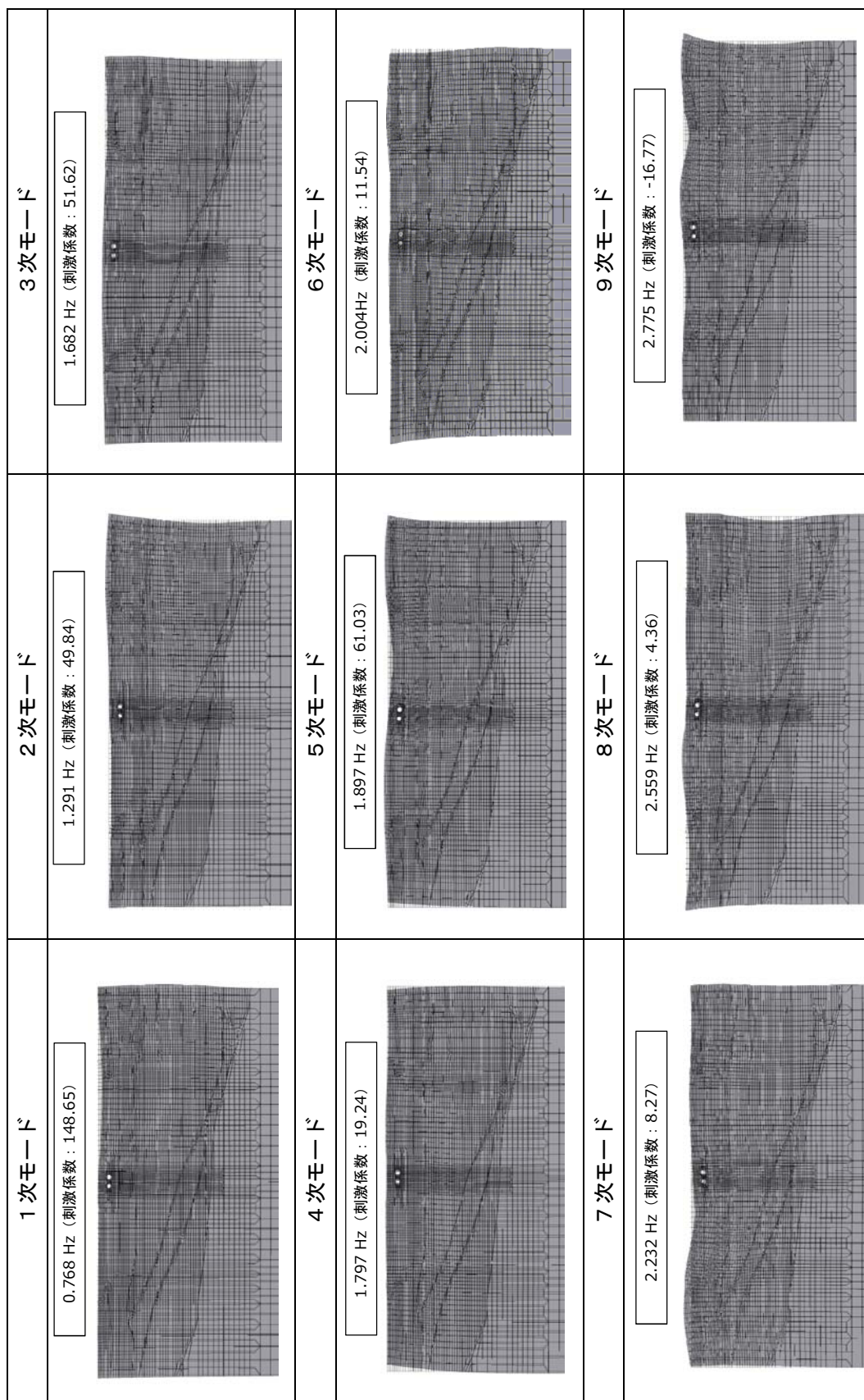
1. 減衰の設定について

地震応答解析における減衰については、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。Rayleigh 減衰の設定は、地盤の低次のモードの変形が特に支配的となる地中埋設構造物のような地盤及び構造系全体に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮し、かつ、振動モードの影響が全体系に占める割合の観点から、刺激係数に着目し行う。

固有値解析による刺激係数及びモード図を図 3.1-1～図 3-4 に示す。また、設定した Rayleigh 減衰を図 3-5～図 3-8 に示す。

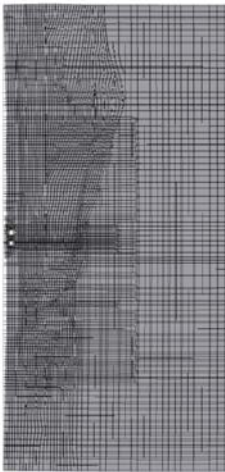
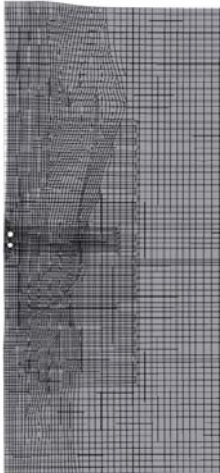
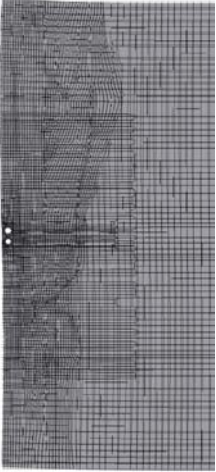
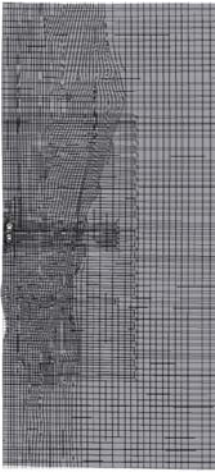
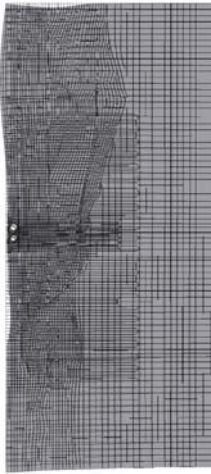
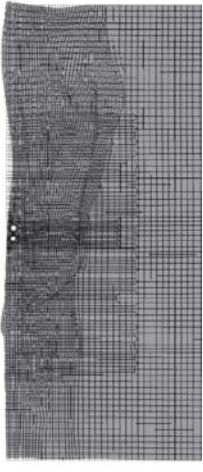
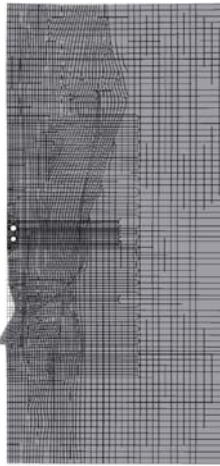
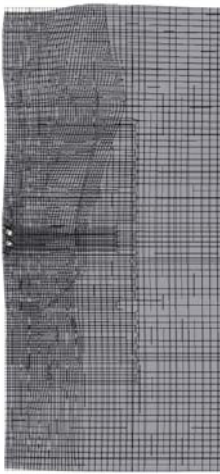
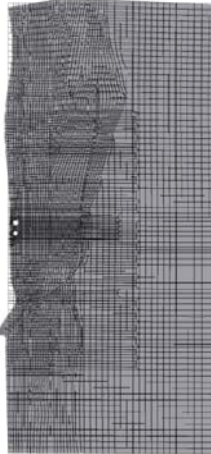
1 次の基準モードについては、地盤及び構造系全体がせん断変形しているモードを選定している。

なお、初期減衰定数は、地盤については 1 %（解析における減衰は、ひずみが多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。）とする。また、線形材料としてモデル化する鋼材については 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。



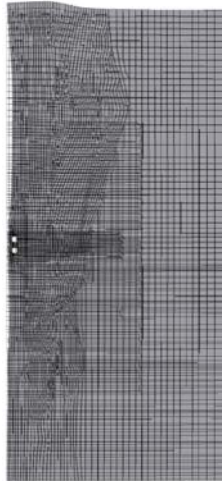
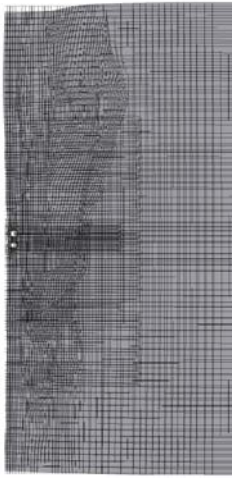
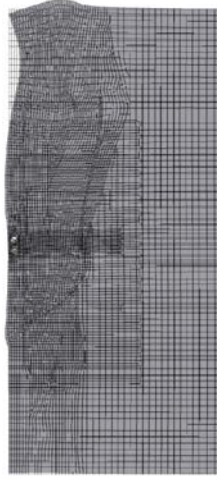
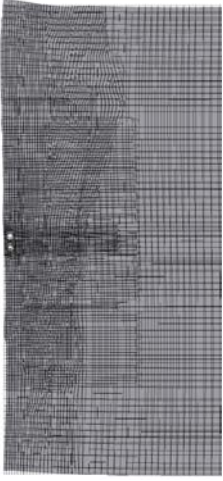
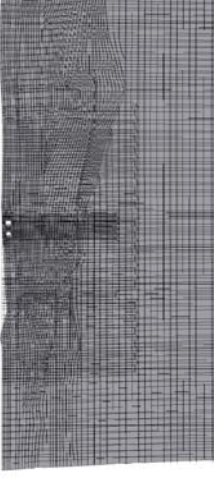
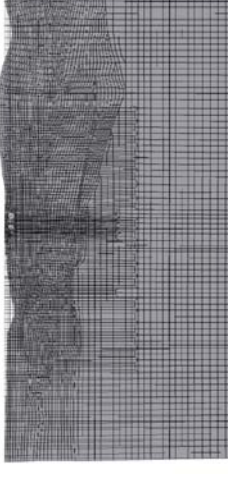
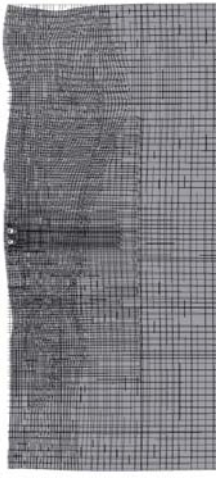
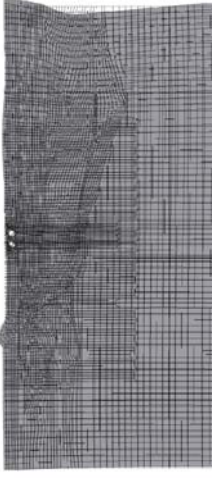
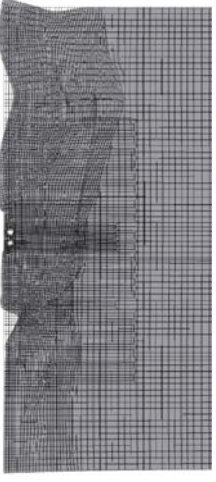
(a) B-B断面

図3-1 (1) 屋外二重管基礎の固有値解析結果 (検討ケース①: 原地盤に基づく液化化強度特性を用いた解析ケース)

<p>1次モード</p> <p>0.910 Hz (刺激係数 : 211.62)</p> 	<p>2次モード</p> <p>1.608 Hz (刺激係数 : 29.00)</p> 	<p>3次モード</p> <p>1.835 Hz (刺激係数 : 33.26)</p> 
<p>4次モード</p> <p>2.257 Hz (刺激係数 : 25.49)</p> 	<p>5次モード</p> <p>2.433 Hz (刺激係数 : 57.35)</p> 	<p>6次モード</p> <p>2.573 Hz (刺激係数 : -8.45)</p> 
<p>7次モード</p> <p>2.947 Hz (刺激係数 : 2.33)</p> 	<p>8次モード</p> <p>3.288 Hz (刺激係数 : 2.58)</p> 	<p>9次モード</p> <p>3.356 Hz (刺激係数 : 18.98)</p> 

(b) C-C断面 (杭基礎部)

図 3-1 (2) 屋外二重管基礎の固有値解析結果 (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)

<p>1次モード</p> <p>0.872 Hz (刺激係数: 148.96)</p> 	<p>2次モード</p> <p>1.535 Hz (刺激係数: 26.16)</p> 	<p>3次モード</p> <p>1.717 Hz (刺激係数: -18.67)</p> 
<p>4次モード</p> <p>2.095 Hz (刺激係数: -19.24)</p> 	<p>5次モード</p> <p>2.196 Hz (刺激係数: 4.68)</p> 	<p>6次モード</p> <p>2.386 Hz (刺激係数: -38.40)</p> 
<p>7次モード</p> <p>2.627 Hz (刺激係数: 8.02)</p> 	<p>8次モード</p> <p>2.954 Hz (刺激係数: -2.05)</p> 	<p>9次モード</p> <p>3.064 Hz (刺激係数: -20.31)</p> 

(c) C-C断面 (地盤改良部)

図 3-1 (3) 屋外二重管基礎の固有値解析結果 (検討ケース①: 原地盤に基づく液化強度特性を用いた解析ケース)

- (a) B-B断面
- (b) C-C断面 (杭基礎部)
- (c) C-C断面 (地盤改良部)

図3-2 屋外二重管基礎の固有値解析結果 (検討ケース②：地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース)

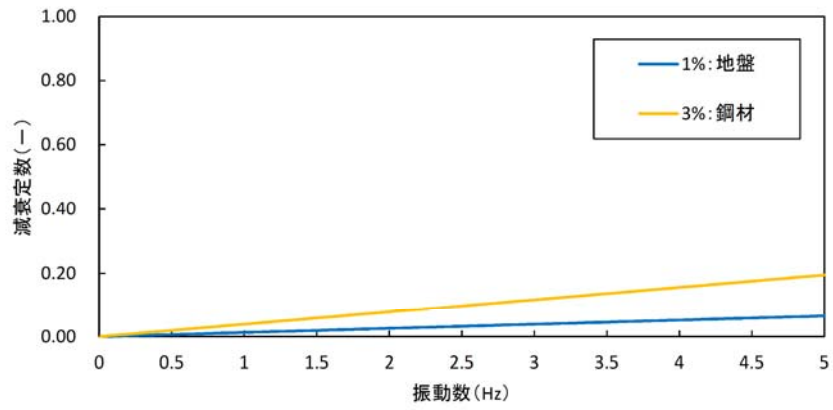
- (a) B-B断面
- (b) C-C断面 (杭基礎部)
- (c) C-C断面 (地盤改良部)

図3-3 屋外二重管基礎の固有値解析結果 (検討ケース③：地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース)

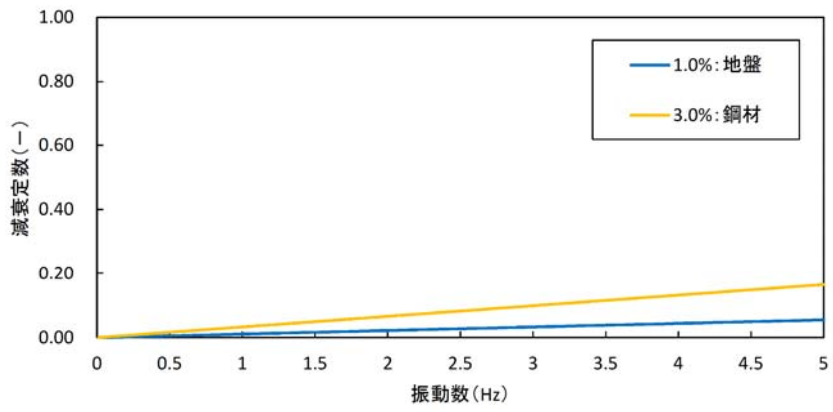
- (a) A-A断面
- (b) B-B断面
- (c) C-C断面 (杭基礎部)
- (d) C-C断面 (地盤改良部)

図3-4 屋外二重管基礎の固有値解析結果

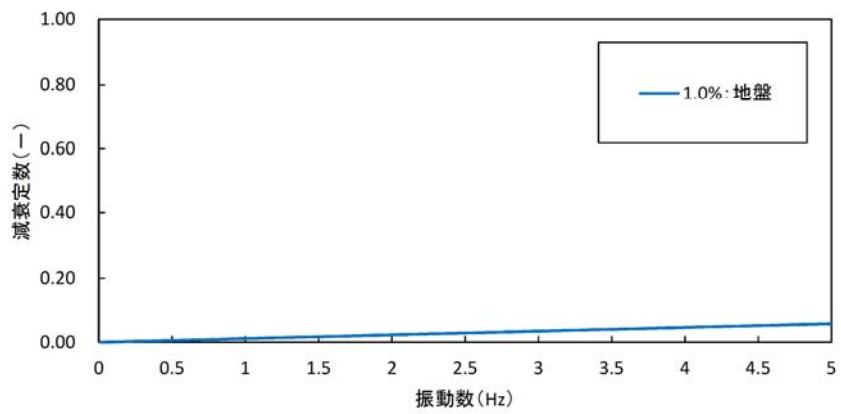
(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)



(a) B-B断面



(b) C-C断面 (杭基礎部)



(c) C-C断面 (地盤改良部)

図3-5 設定した Rayleigh 減衰

(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)

- (a) B－B断面
- (b) C－C断面（杭基礎部）
- (c) C－C断面（地盤改良部）

図3-6 設定した Rayleigh 減衰

（検討ケース②：地盤物性のばらつきを考慮（ $+1\sigma$ ）した解析ケース）

- (a) B－B断面
- (b) C－C断面（杭基礎部）
- (c) C－C断面（地盤改良部）

図3-7 設定した Rayleigh 減衰

（検討ケース③：地盤物性のばらつきを考慮（ -1σ ）した解析ケース）

- (a) A－A断面
- (b) B－B断面
- (c) C－C断面（杭基礎部）
- (d) C－C断面（地盤改良部）

図3-8 設定した Rayleigh 減衰

（検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により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）

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	12
17.2.6 評価構造物諸元	16
17.2.7 地下水位	17
17.2.8 地震応答解析手法	17
17.2.9 解析モデルの設定	18
17.2.10 減衰定数	30
17.2.11 荷重の組合せ	36
17.2.12 地震応答解析の検討ケース	38
17.3 評価内容	40
17.3.1 入力地震動の設定	40
17.3.2 許容限界の設定	69
17.4 評価結果	72
17.4.1 地震応答解析結果	72
17.4.2 耐震評価結果	72
17.5 まとめ	73

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）を適用する。また、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14年3月）を適用する。

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	<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) 	—
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) ・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	<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

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。

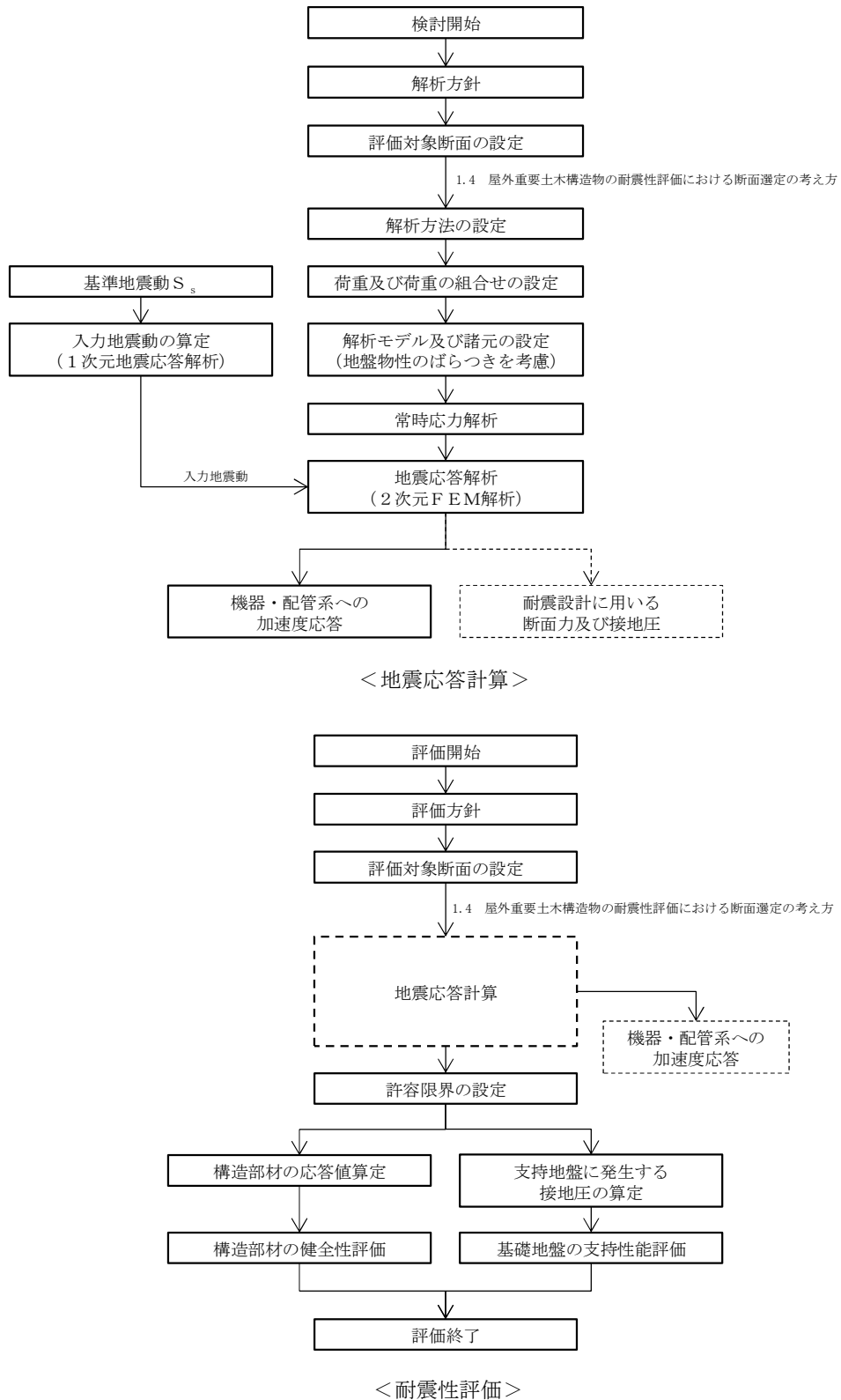


図 17.2-1 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価フロー

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。

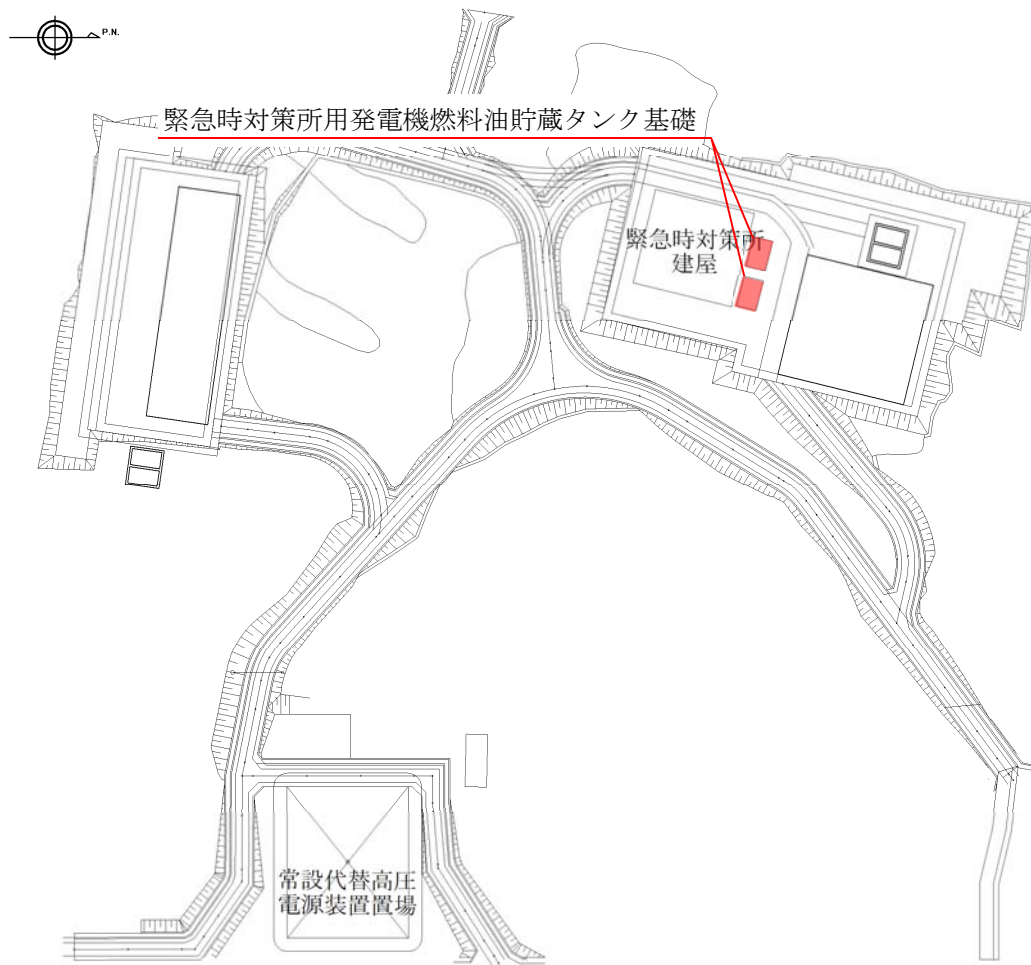


図 17.2-2 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の位置図（全体平面図）

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。構造概要を図 18.2-5 に示す。

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。

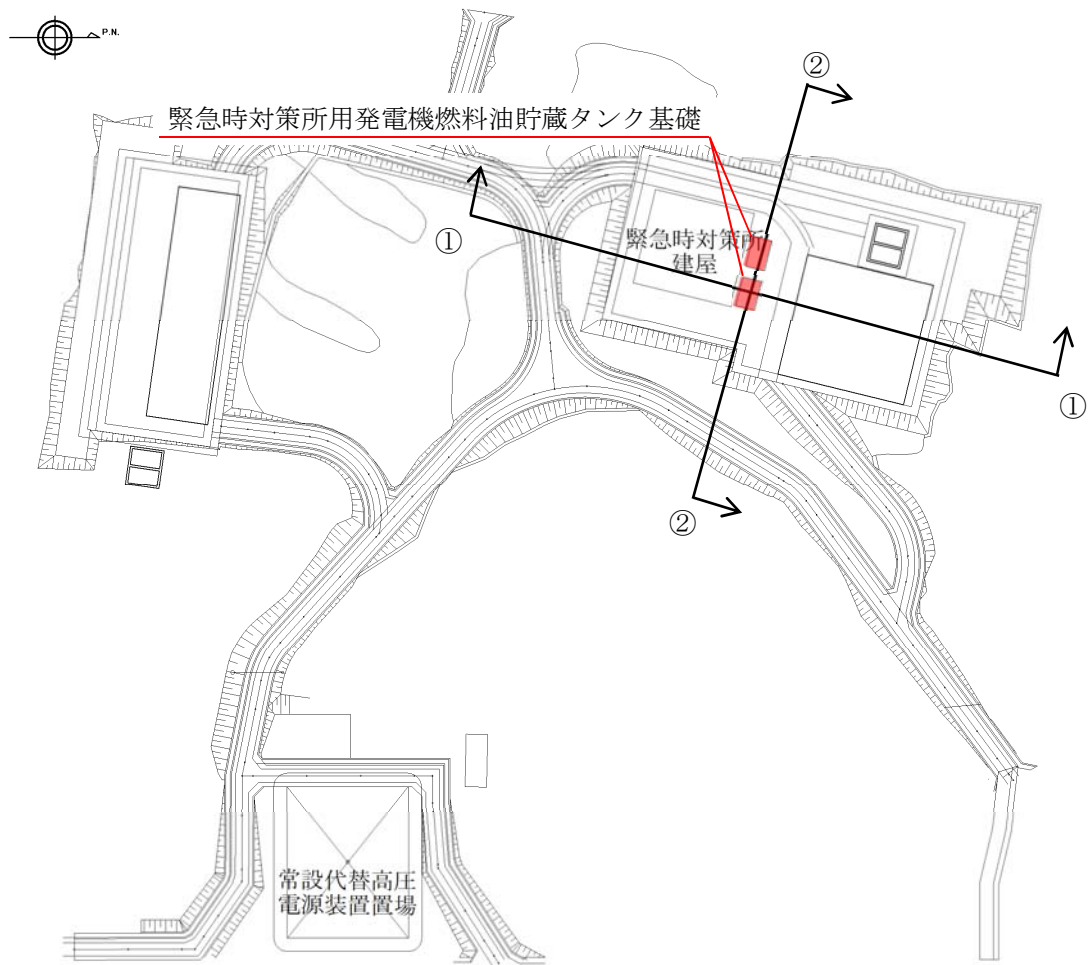
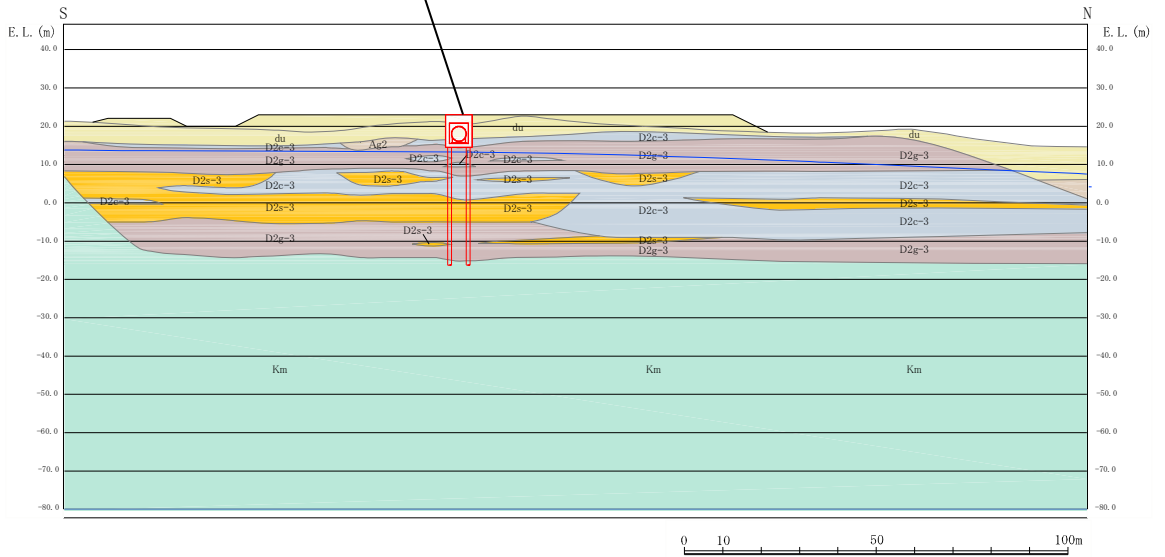


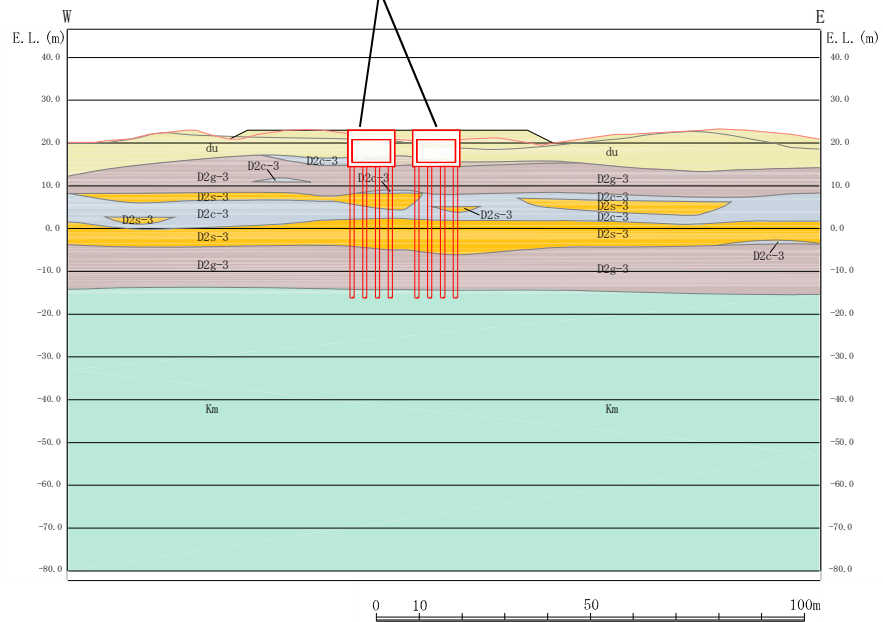
図 17.2-3 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面位置図

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

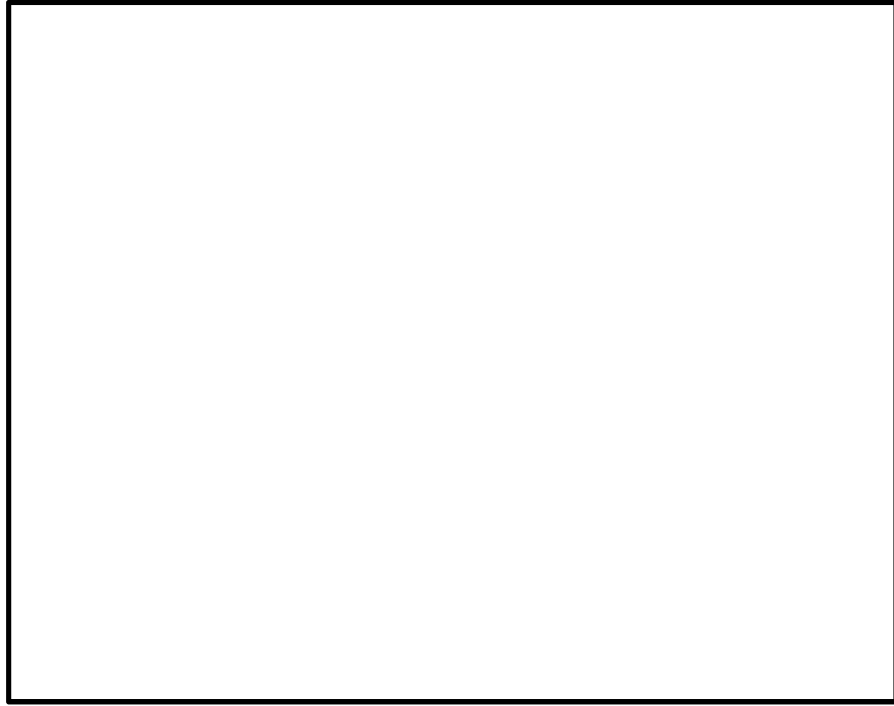


图 17.2-5 (1) 構造概要図 平面図

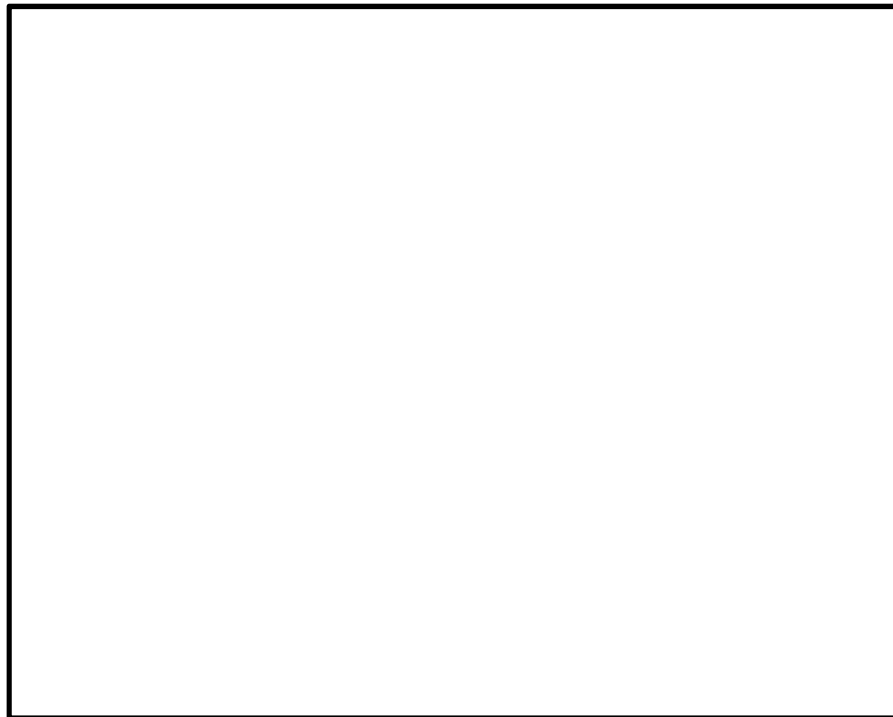


图 17.2-5 (2) 構造概要図 A-A 断面図

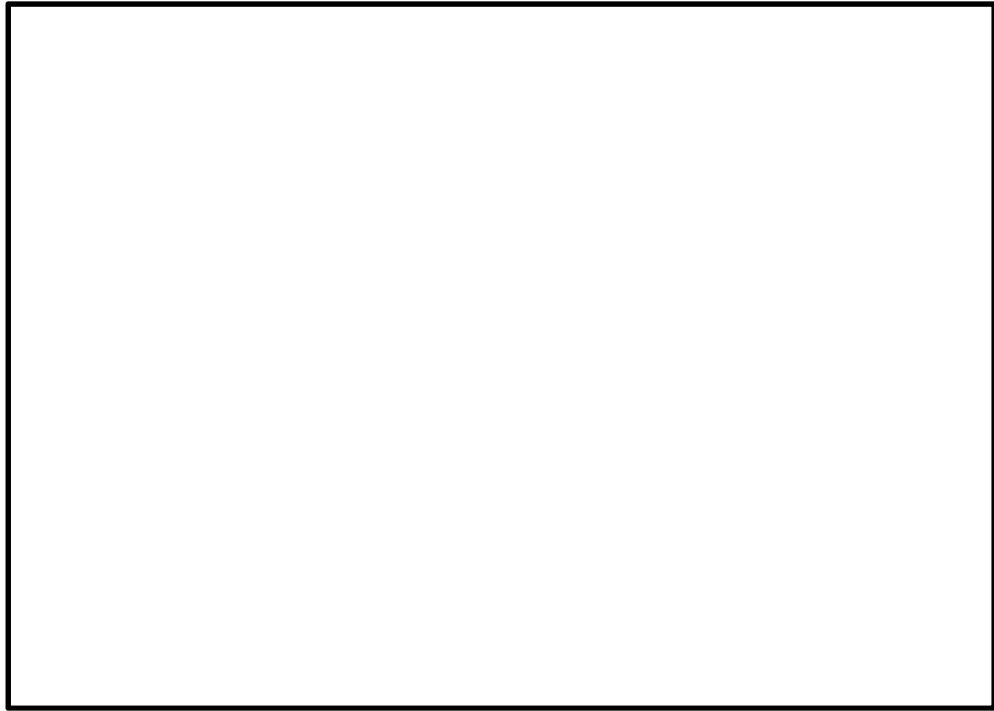


图 17.2-5 (3) 构造概要图 B-B 断面图)

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、規格、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、地盤改良体の物性値を表 17.2-5 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	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート	24.5 ^{*1}	3.1×10 ⁴ ^{*1}	0.2 ^{*1}	5 ^{*2}
鋼管杭	77 ^{*3}	2.0×10 ⁵ ^{*3}	0.3 ^{*3}	3 ^{*4}

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

*2：J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）

*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：道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

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
				第四系（液状化検討対象層）			
				du	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)	1.92	2.15 (2.11)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.79	0.43	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.19	0.26	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)	966	1167 (1167)	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)	650611	1362035 (1362035)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.192	0.130	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0.01	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	35.8	44.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	33.4	41.4	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.048	0.030	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	17.6	45.2	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	4.80	8.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.96	0.60	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	3.15	3.82	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
				D2c-3	Km
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	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	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	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.026	
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 17.2-5 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)	
	ピーク強度 C_u (N/mm ²)	$1.44 P + 1.76$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)	$1.60 P + 7.80$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)
	残留強度 τ_0 (N/mm ²)	$1.44 P + 0.808$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)	$1.60 P + 2.05$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)

17.2.6 評価構造物諸元

許容応力度による照査を行う緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の評価構造物諸元を表 17.2-6 に示す。評価部位を図 17.2-6 に示す。

表 17.2-6 (1) 評価部位とその仕様 (その 1)

部位	仕様		材料		機能要求
	部材幅 (m)	部材高 (m)	コンクリート f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	
底版	1.000	1.000	40	SD490	緊急時対策所用発電機 燃料油貯蔵タンクの間 接支持機能
側壁	1.000	1.000	40	SD490	
頂版	1.000	0.700	40	SD490	

表 17.2-6 (2) 評価部位とその仕様 (その 2)

部位	仕様		材料	機能要求
	杭径 (mm)	板厚 (mm)		
鋼管杭	1000	40	SKK490	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 を支持する。

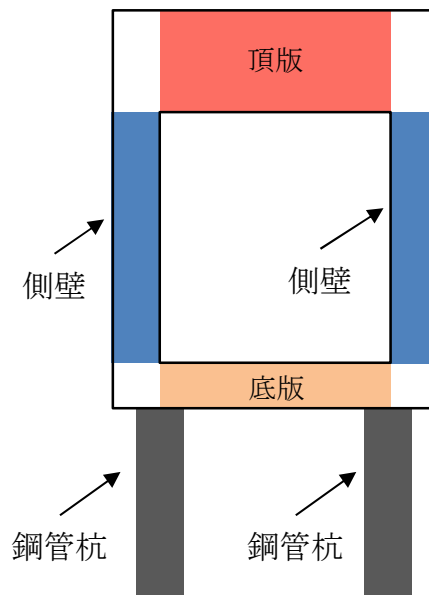


図 17.2-6 評価部位

17.2.7 地下水位

地下水位は地表面に設定する。

17.2.8 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、V-5-10「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17.2-7に示す。

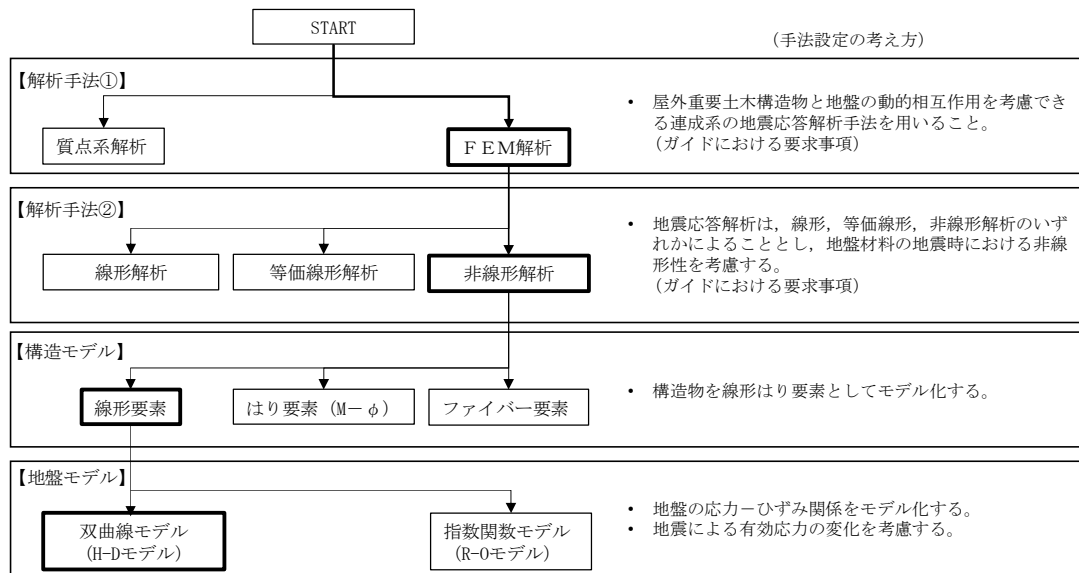


図 17.2-7 地震応答解析手法の選定フロー

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。

17.2.9 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 17.2-8 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。

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 17.2-9 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。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20 Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 または 4 分割、すなわち $V_s/100$ 又は $V_s/80$ を考慮し、要素高さを 1 m 程度まで細分割して設定する。

地震応答解析モデルを図 17.2-10 に示す。

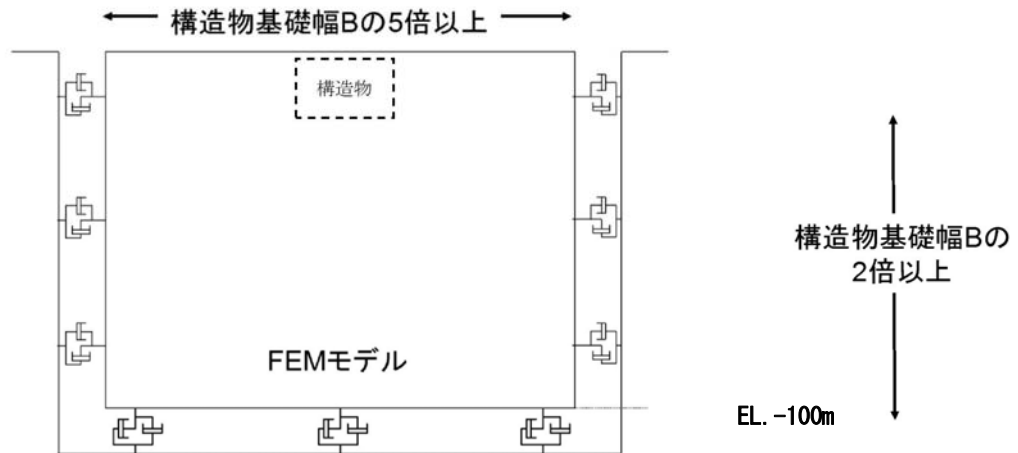


図 17.2-8 モデル範囲の考え方

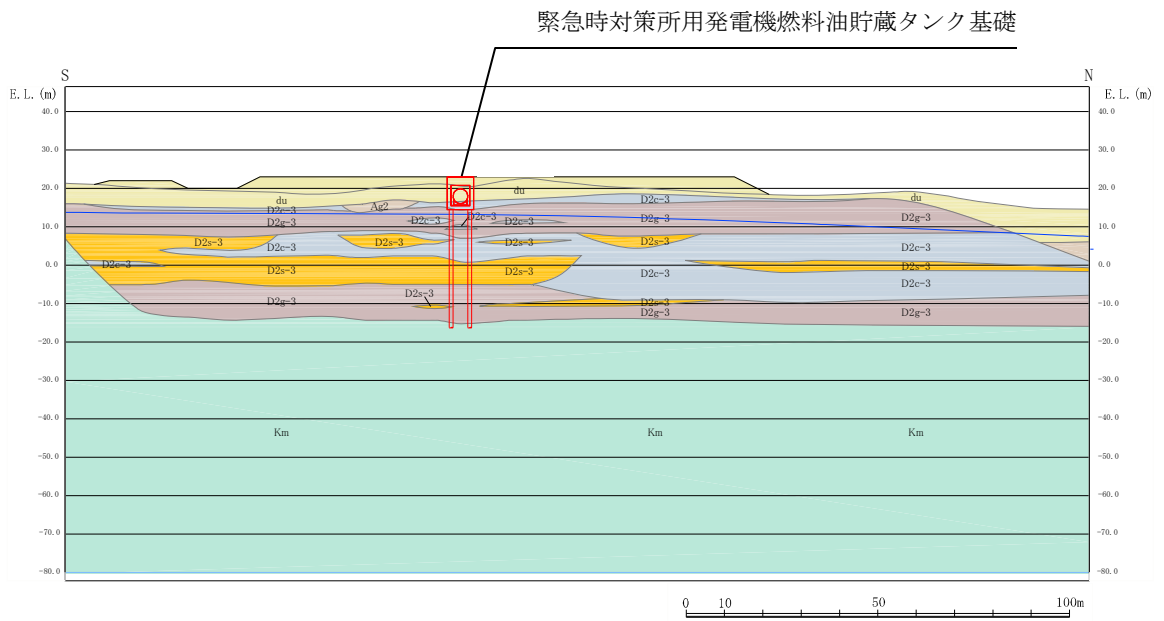


図 17.2-9 (1) 地質断面図 (①-①断面)

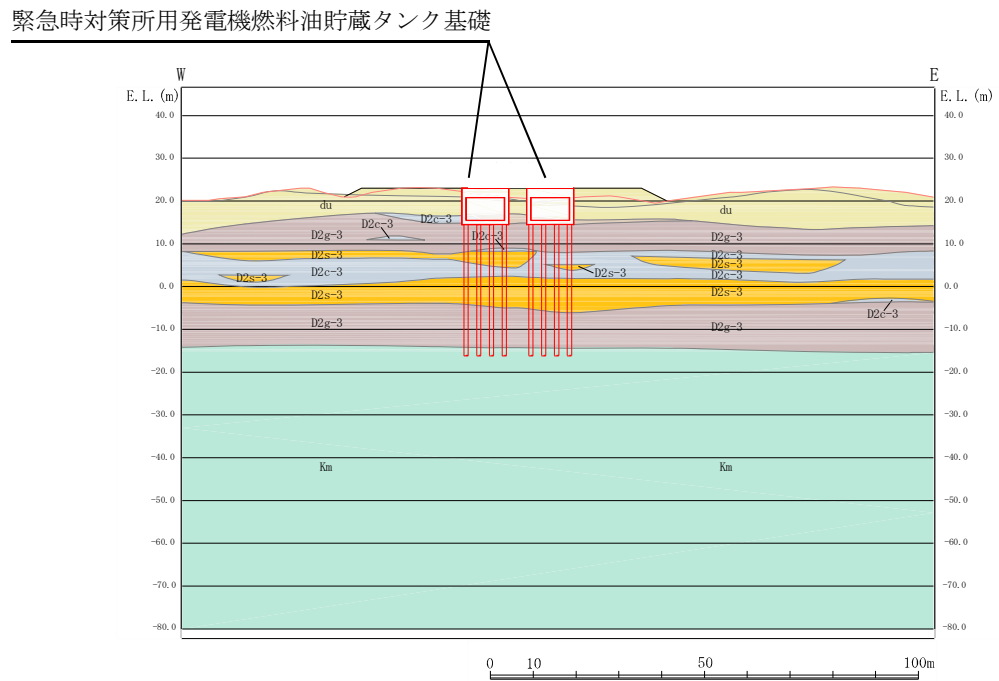


図 17.2-9 (2) 地質断面図 (②-②断面)



図 17.2-10 (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)

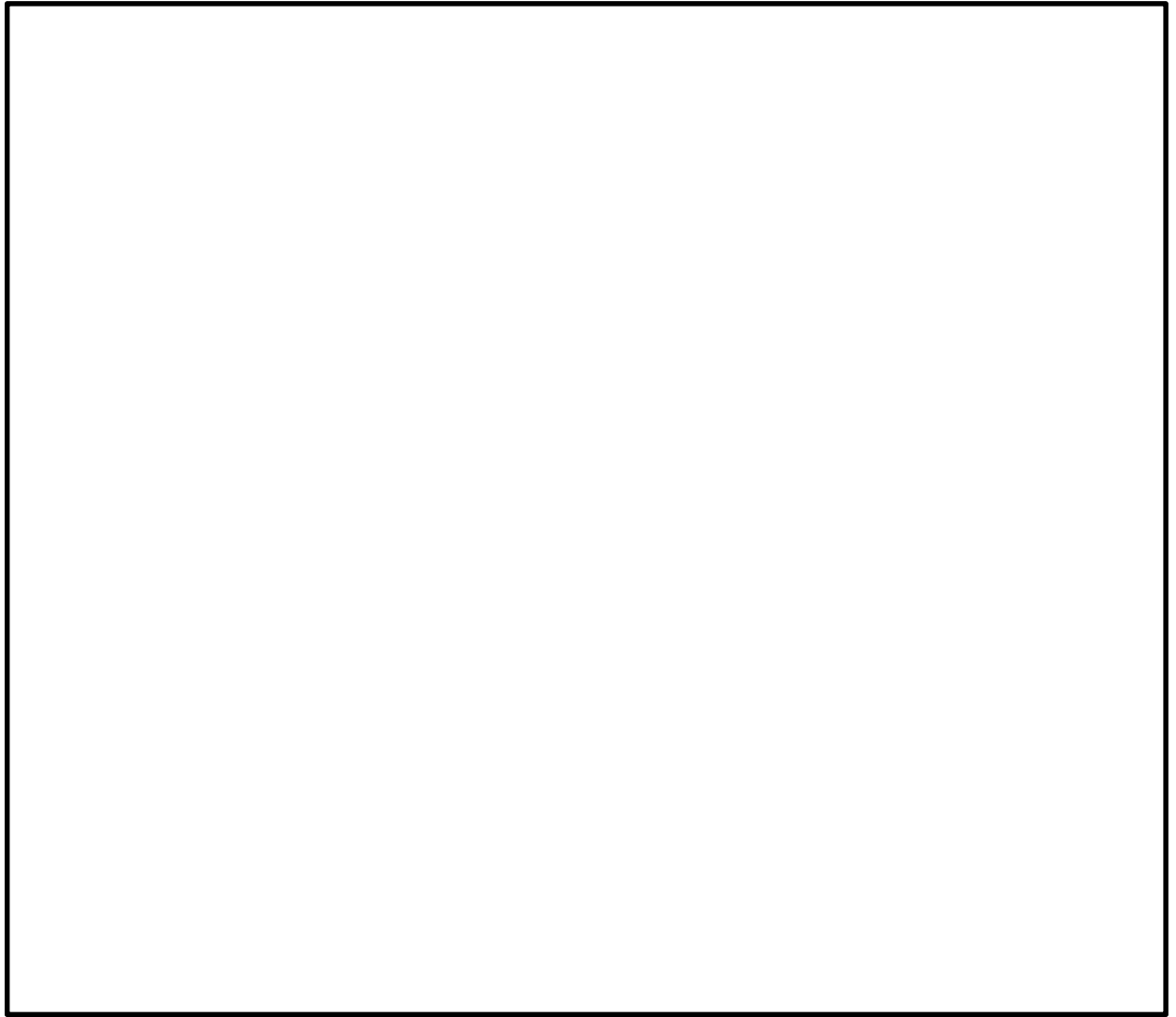


図 17.2-10 (2) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答解析モデル
(②-②断面)

(2) 構造物のモデル化

①-①断面における緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎は、底版、側壁、頂版及び鋼管杭を線形はり要素としてモデル化する。

底版、側壁及び頂版の線形はり要素の交点には、「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）」に基づき剛域を設ける。

モデル化の概要図を図 17.2-11 に示す。

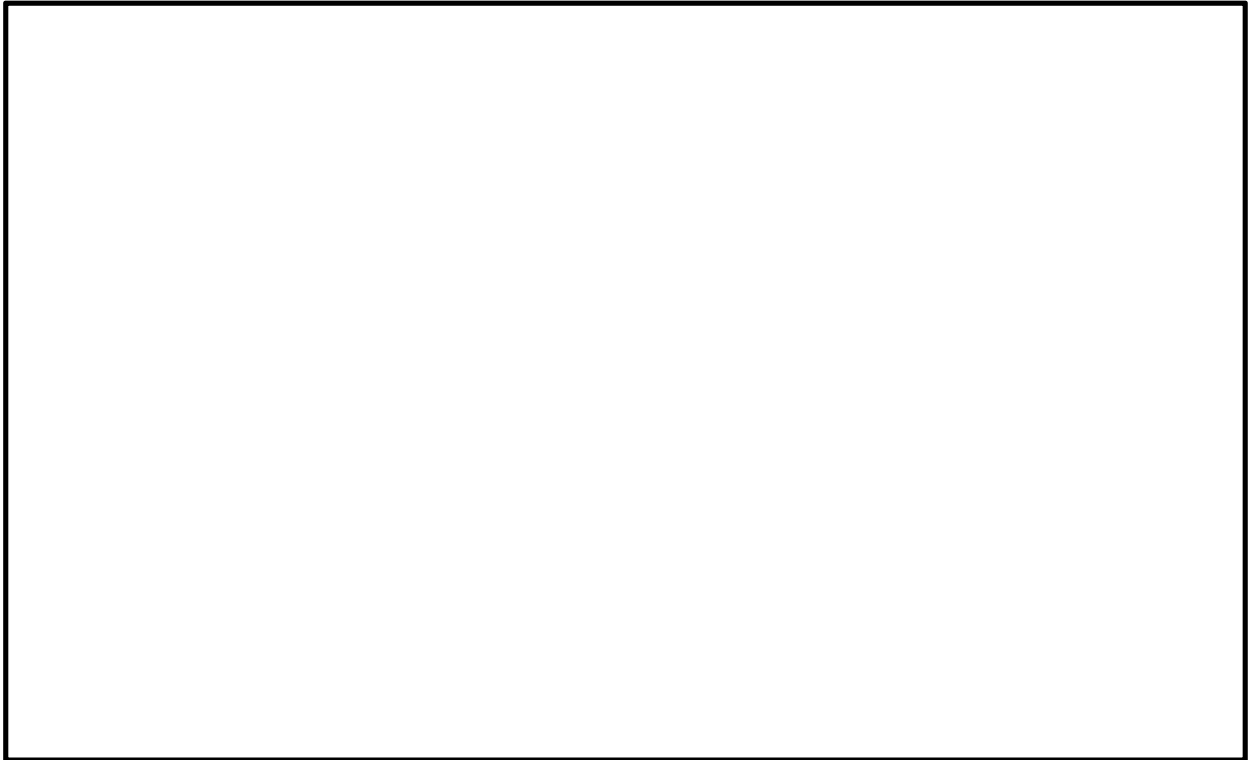


図 17.2-11 (1) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎のモデル概要 (①-①断面)

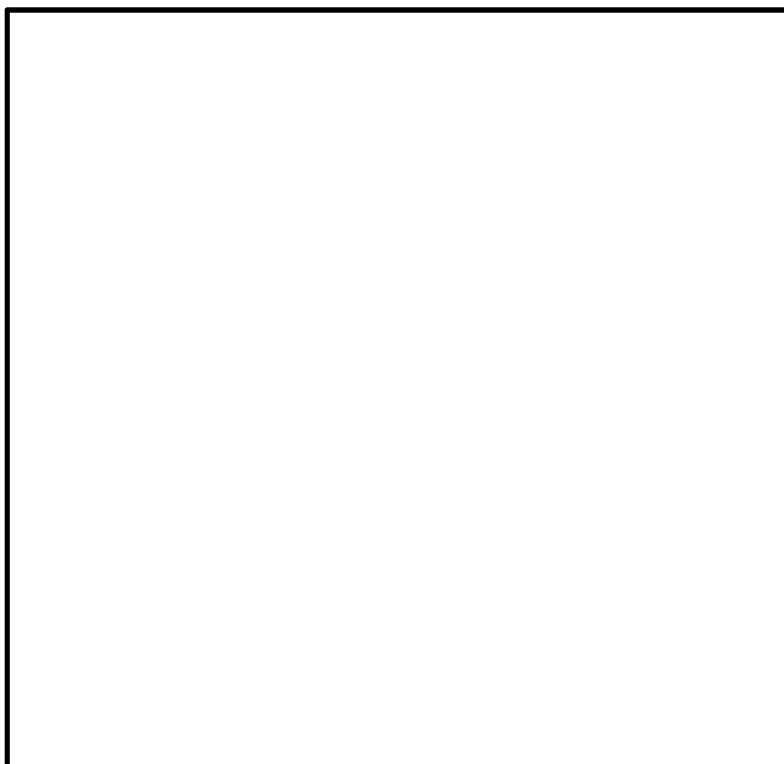


図 17.2-11 (2) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎のモデル概要 (①-①断面)
(構造物部分拡大図)

(追而)

図 17.2-11 (3) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎のモデル概要 (②-②断面)

(追而)

図 17.2-11 (4) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎のモデル概要 (②-②断面)
(構造物部分拡大図)

(3) ジョイント要素の設定

地盤と構造物の接合面にジョイント要素を設けることにより、強震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断応力が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

なお、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

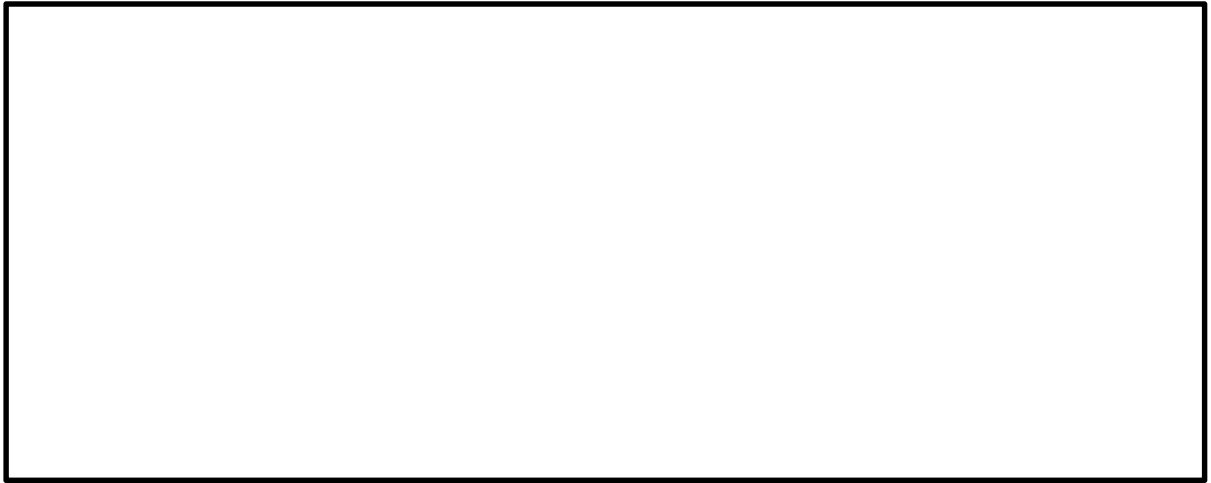
周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	du 層	0	37.3	—
	D2c-3 層	0.026	35.6	—
	D2s-3 層	0.01	35.8	—
	D2g-3 層	0	44.4	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—
地盤改良体		0.5	0	—

z : 標高 (m)

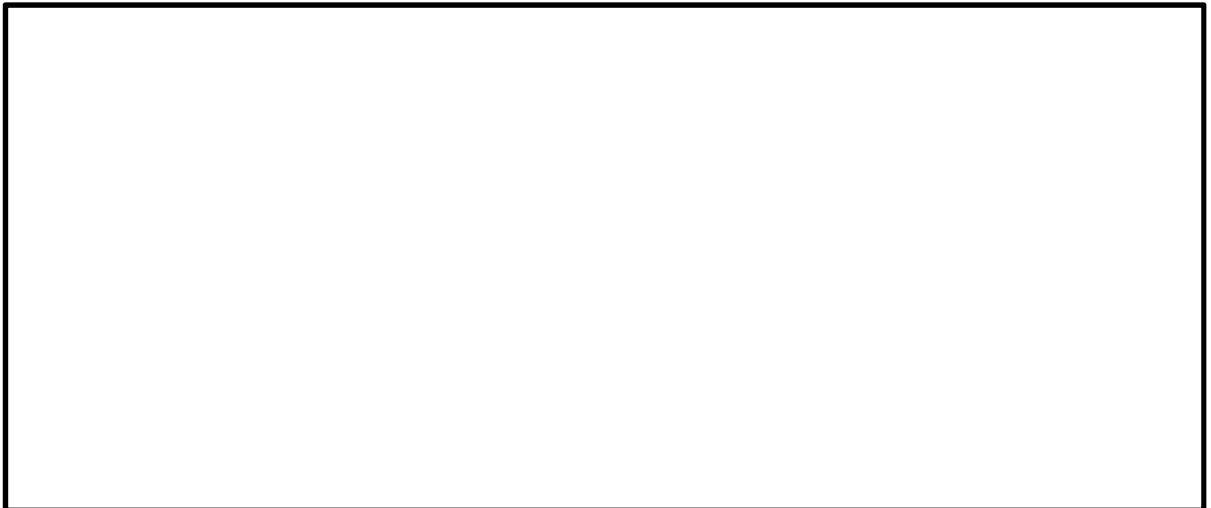
ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きい値として、港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター）に従い、表 17.2-6 のとおり設定する。ジョイント要素の設定値を図 17.2-12 に、ジョイント要素設定の考え方を図 17.2-13 に示す。

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) _____ : ジョイント要素

図 17.2-12 ジョイント要素の設定位置

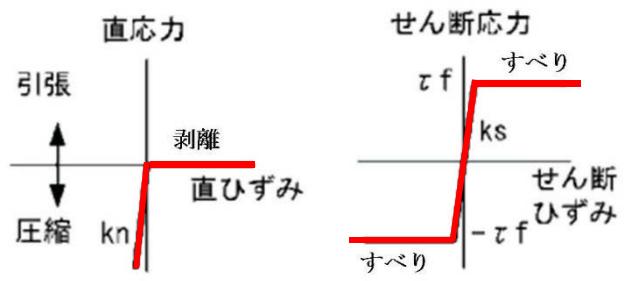


図 17.2-13 ジョイント要素の考え方

(4) 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。

(5) 杭-地盤相互作用ばねの設定

地盤と杭の接合面に杭-地盤相互作用ばねを設けることにより、地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の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については、地盤と杭の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が発生した場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 17.2-14 に杭-地盤相互作用ばねの考え方を示す。

なお、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)

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い値として、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*。

* 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



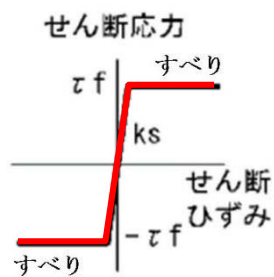
(①-①断面)



(②-②断面)

— : 杭-地盤相互作用ばね要素

(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 17.2-14 杭-地盤相互作用ばねの考え方

(6) 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荷重が生じた場合、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い値として、表 17.2-9 のとおり設定する。図 17.2-15 に杭下端ジョイントばねの考え方を示す。

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

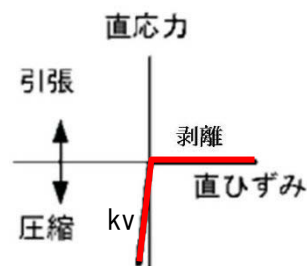


図 17.2-15 杭下端ジョイントばねの考え方

17.2.10 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。）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14年3月））とし、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17.2-16にRayleigh減衰の設定フローを、表17.2-10に固有値解析結果を示す。

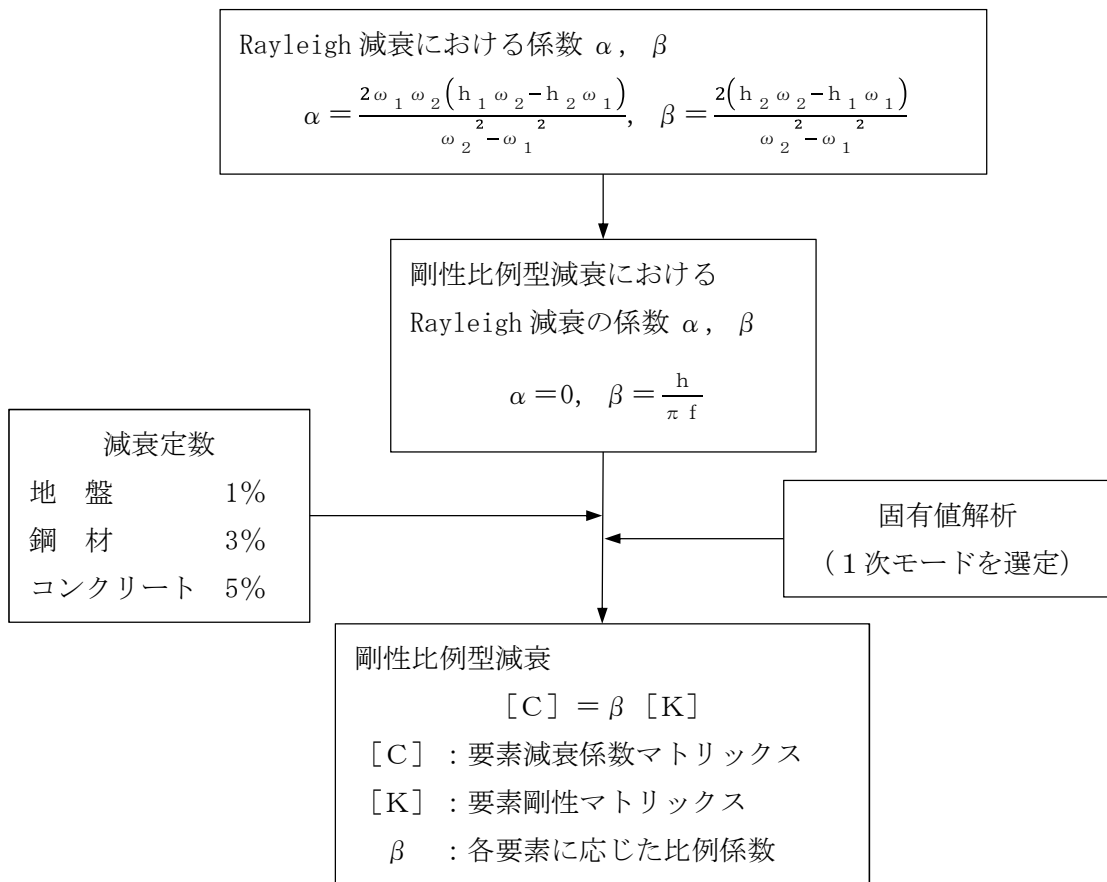


図 17.2-16 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 17.2-10 (1) 固有値解析結果

(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)

(a) ①-①断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.770	148.26	1次として採用
2	1.526	2.62	—
3	2.088	46.57	—
4	2.317	10.22	—
5	2.539	-9.17	—
6	3.148	13.12	—
7	3.357	-10.10	—
8	3.447	25.55	—
9	3.539	-12.95	—

(b) ②-②断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.760	126.84	1次として採用
2	1.843	0.21	—
3	2.137	-41.12	—
4	2.979	1.56	—
5	3.245	-16.24	—
6	3.415	-22.58	—
7	3.909	-2.87	—
8	4.087	-4.23	—
9	4.556	5.57	—

表 17.2-10 (2) 固有値解析結果

(検討ケース②:地盤物性のばらつきを考慮 (+1 σ) した解析ケース)

(a) ①-①断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.774	148.75	1次として採用
2	1.536	2.06	—
3	2.188	-47.23	—
4	2.437	6.65	—
5	2.617	-8.42	—
6	3.281	15.12	—
7	3.505	7.86	—
8	3.571	-25.38	—
9	3.707	-8.15	—

(b) ②-②断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.763	127.17	1次として採用
2	1.875	0.27	—
3	2.222	41.42	—
4	3.076	1.37	—
5	3.401	-18.47	—
6	3.517	-18.65	—
7	4.013	-1.64	—
8	4.258	-4.98	—
9	4.657	-8.96	—

表 17.2-10 (3) 固有値解析結果

(検討ケース③:地盤物性のばらつきを考慮 (-1 σ) した解析ケース)

(a) ①-①断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.764	147.49	1次として採用
2	1.515	3.66	—
3	1.965	-46.30	—
4	2.184	13.98	—
5	2.453	-9.77	—
6	3.001	9.41	—
7	3.185	-11.23	—
8	3.305	-17.45	—
9	3.366	25.72	—

表 17.2-10 (4) 固有値解析結果

(検討ケース④)：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により
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)

(a) ①-①断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.754	144.77	1次として採用
2	1.502	10.34	—
3	1.696	-31.68	—
4	1.869	40.55	—
5	2.243	-2.13	—
6	2.570	2.50	—
7	2.718	-15.53	—
8	2.818	-2.61	—
9	3.076	-24.99	—

(b) ②-②断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.742	124.29	1次として採用
2	1.699	-7.64	—
3	1.796	42.08	—
4	2.715	13.79	—
5	2.806	-13.10	—
6	3.101	-21.10	—
7	3.336	13.82	—
8	3.644	11.79	—
9	3.751	-0.86	—

17.2.11 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	—	・天端が地表面であることから、考慮しない
		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 17.2-16 に機器・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。

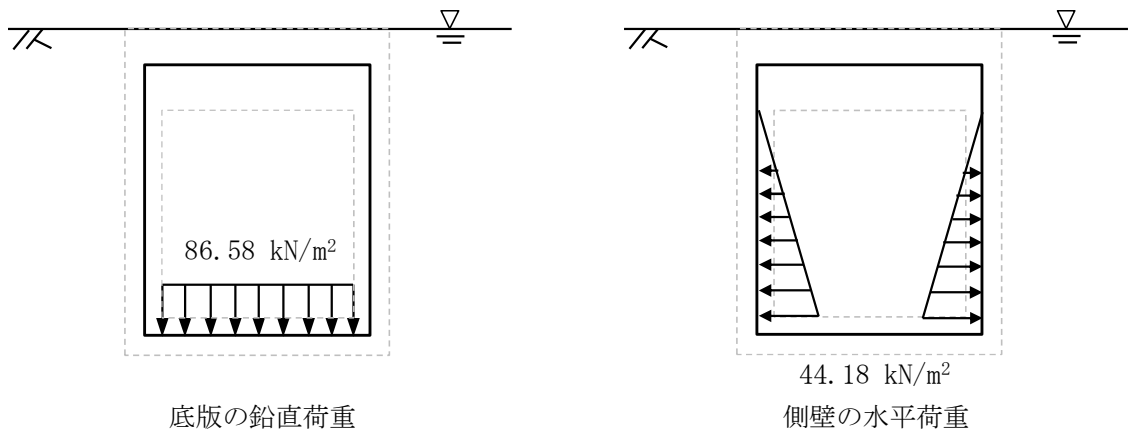


図 17.2-16 機器・配管荷重図

(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 17.2-17 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。

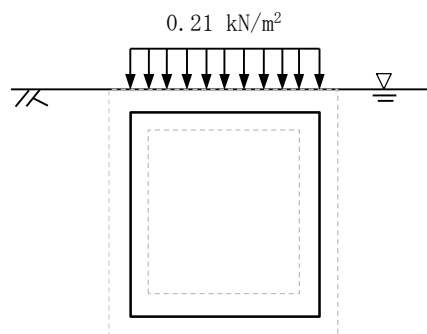


図 17.2-17 雪荷重図

17.2.12 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				
		(+-)	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。

(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 -22	(++)		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。

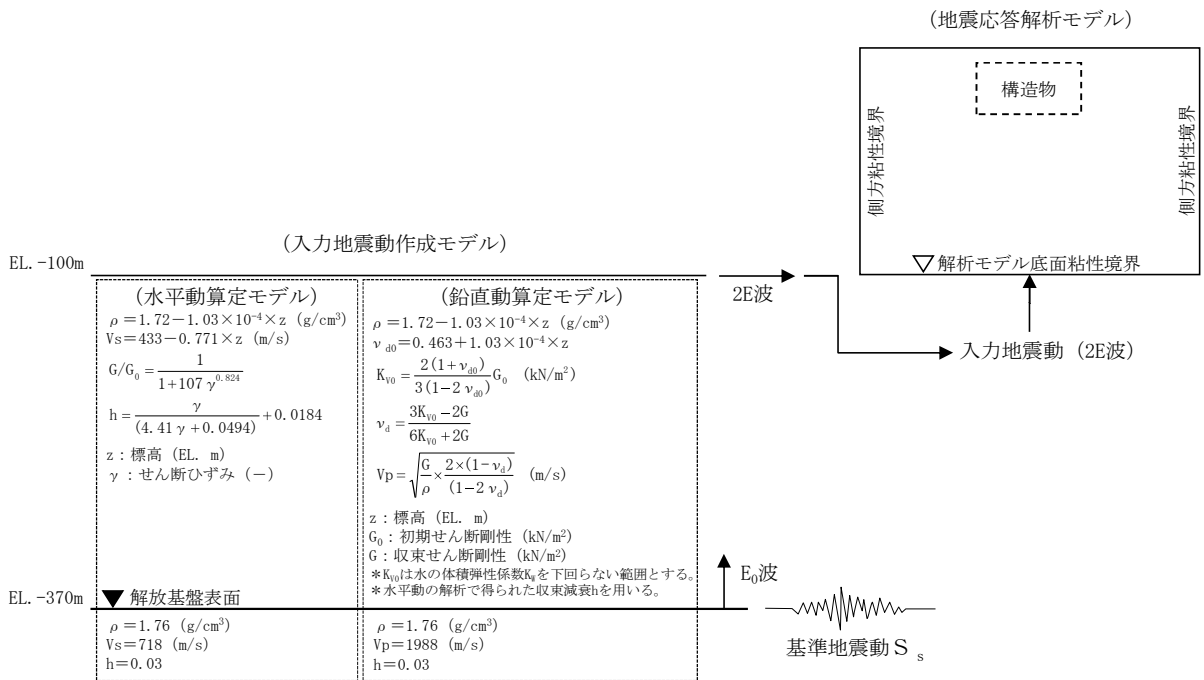
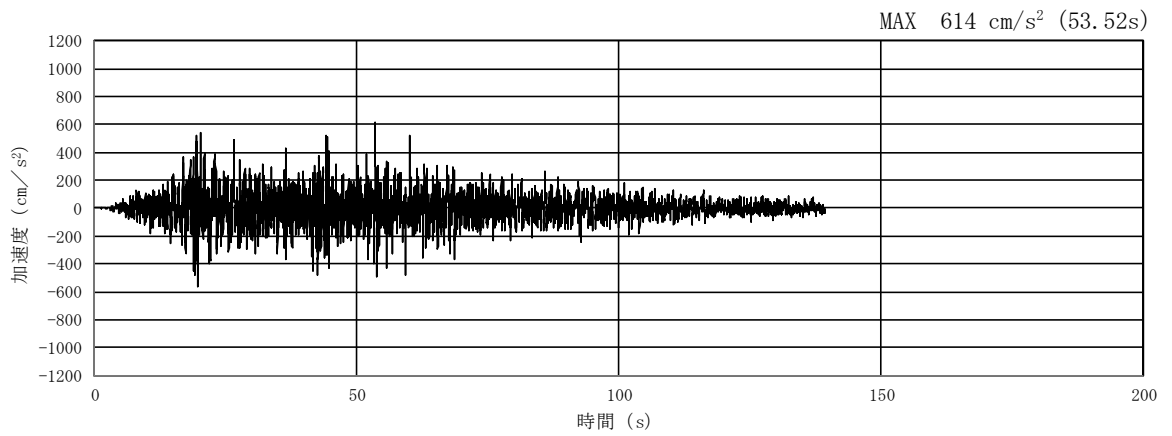
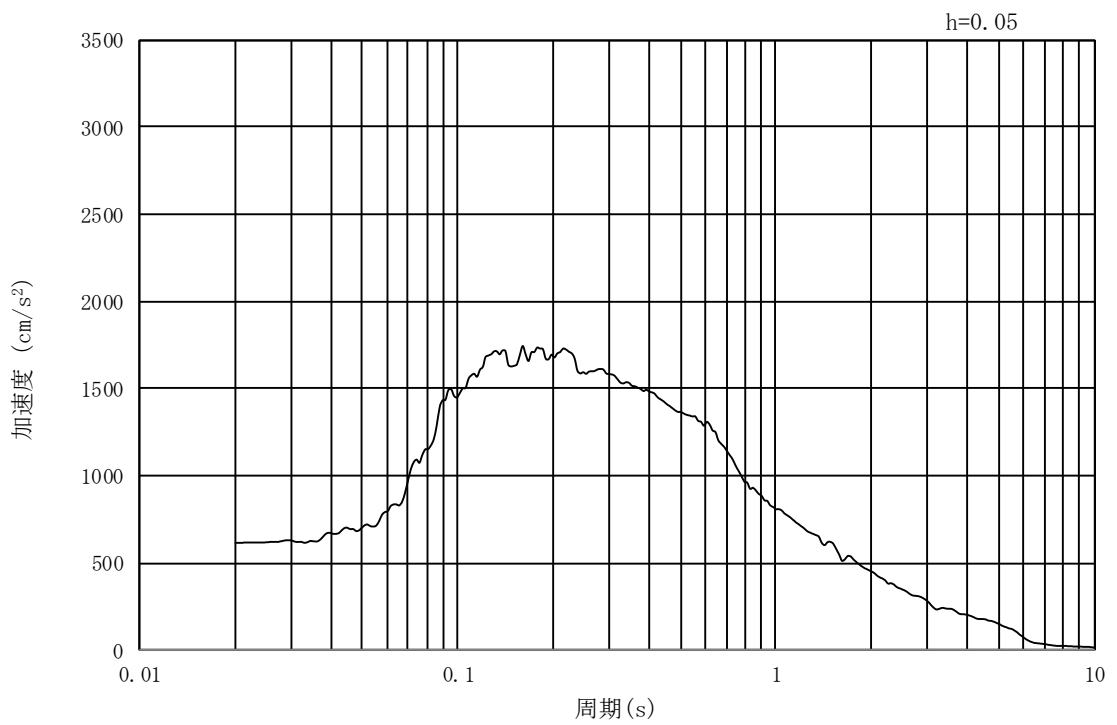


図 17.3-1 入力地震動算定の概念図

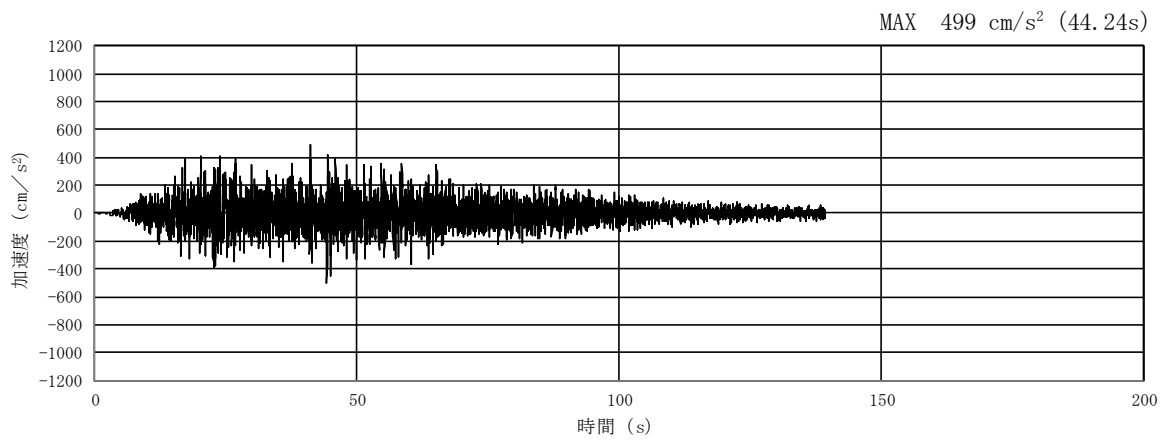


(a) 加速度時刻歴波形

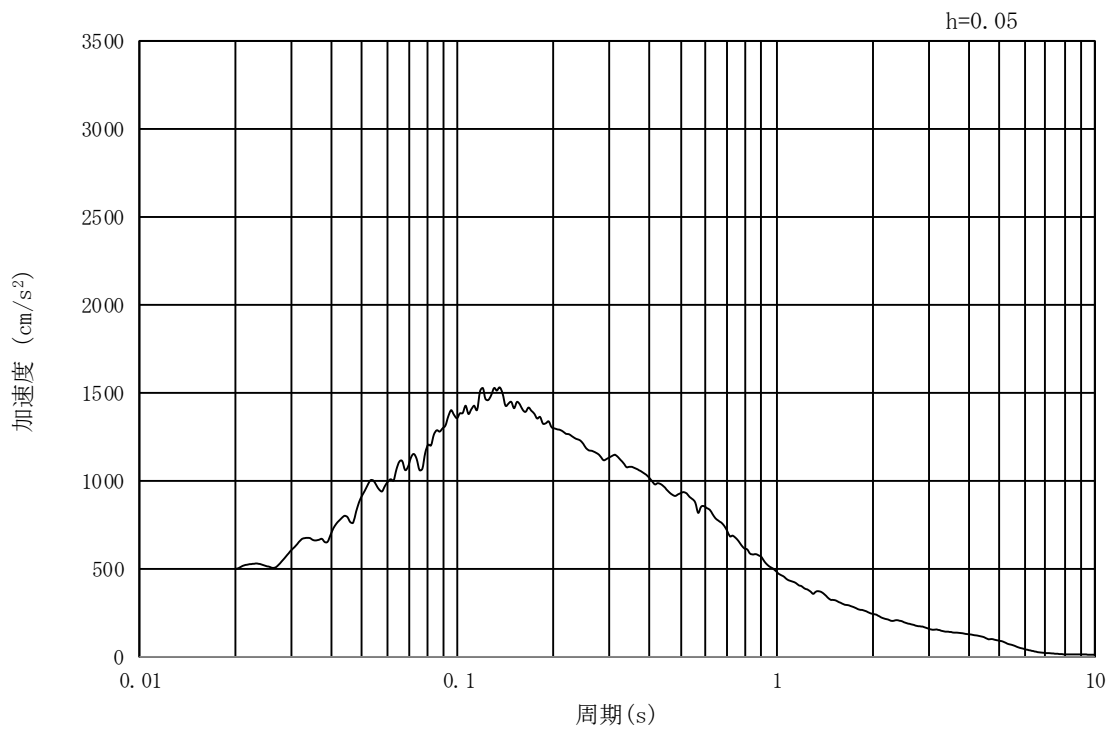


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - D 1$)

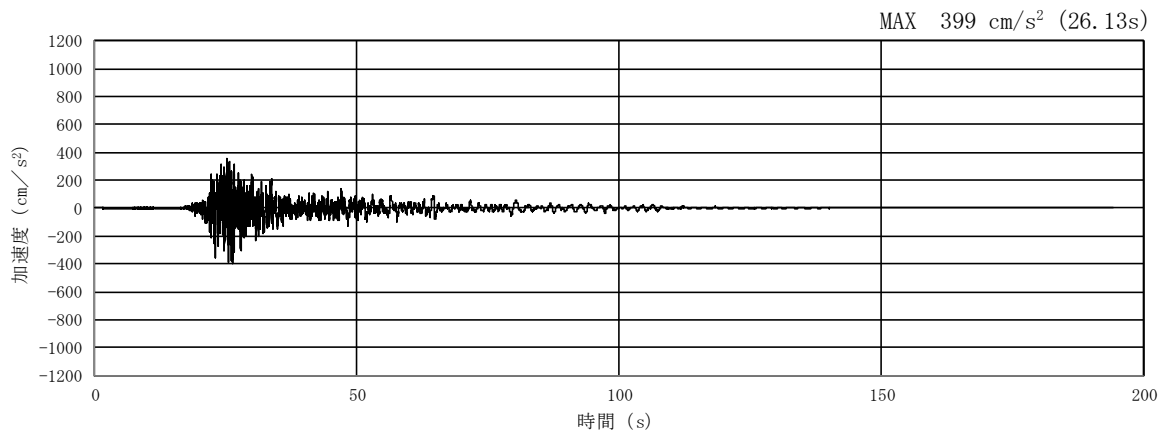


(a) 加速度時刻歴波形

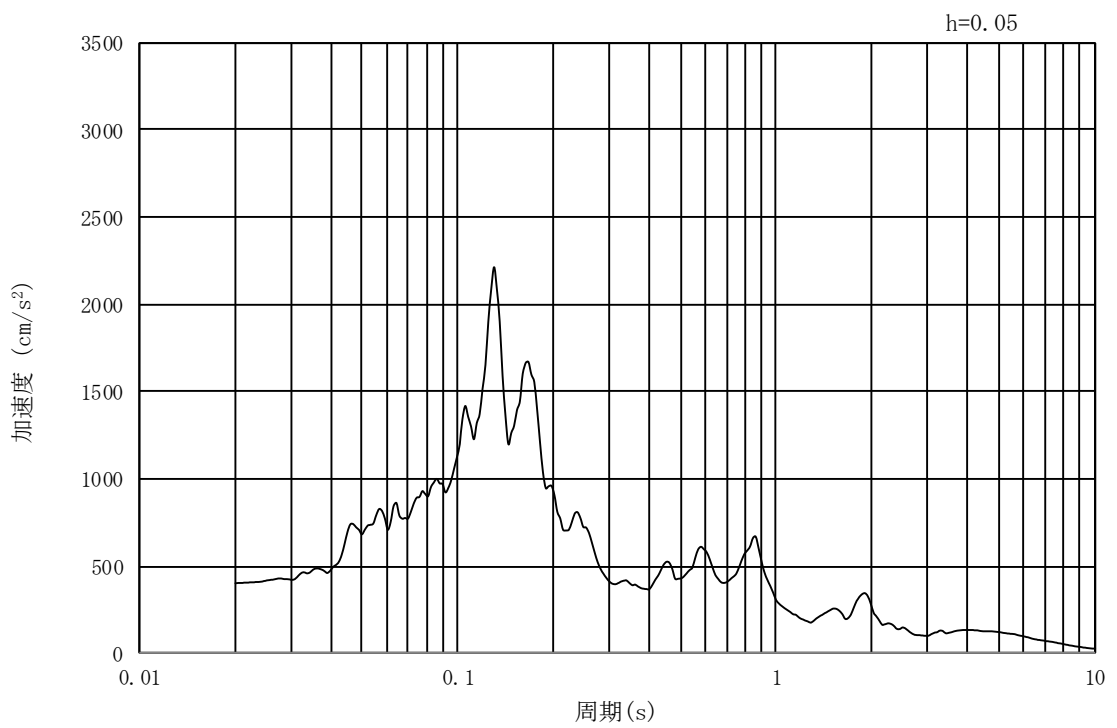


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - D 1$)

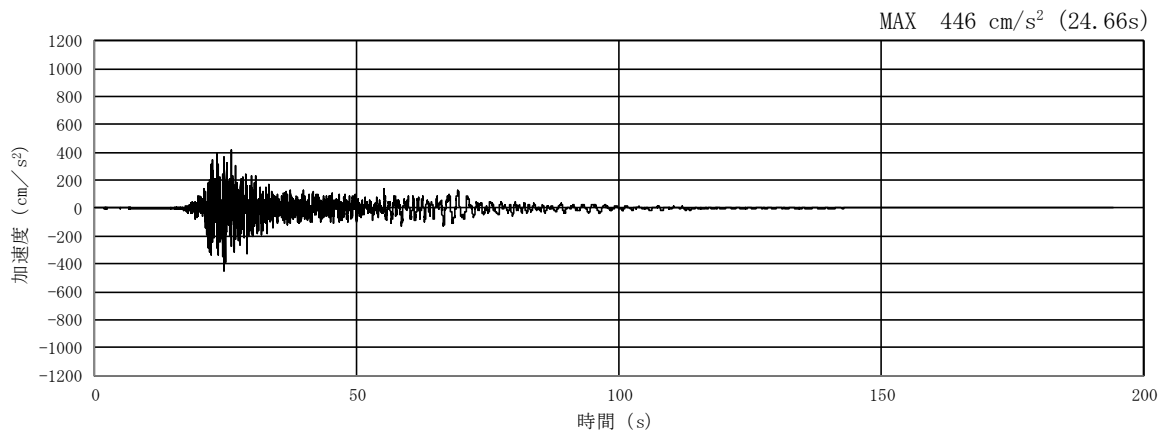


(a) 加速度時刻歴波形

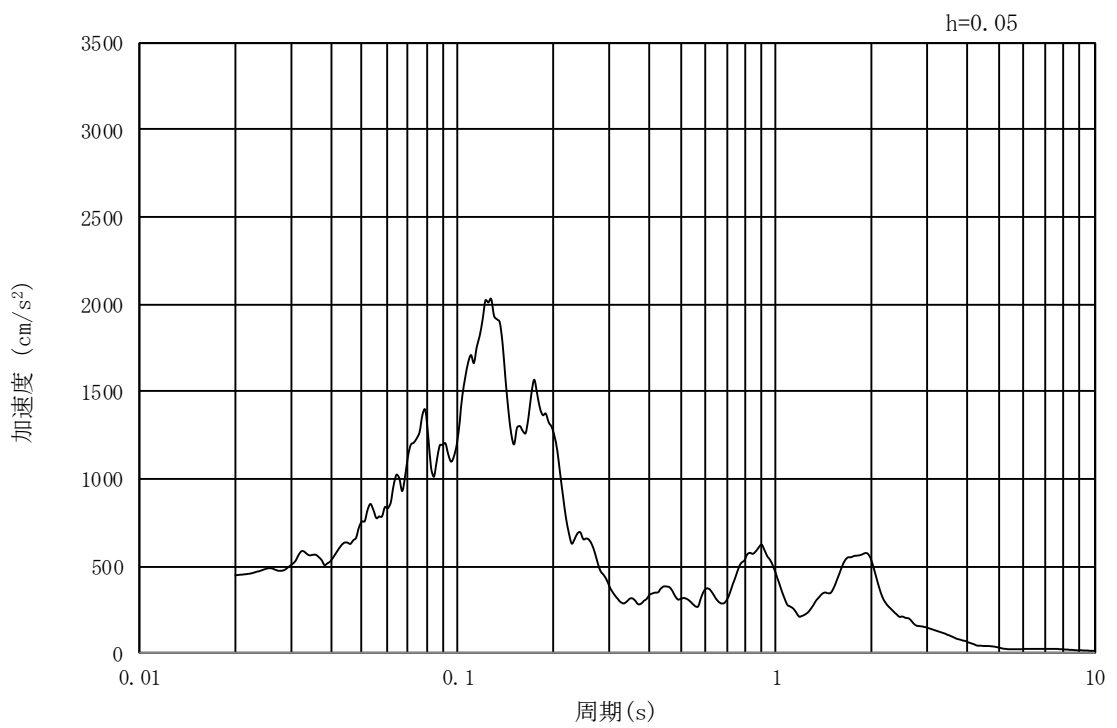


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 11$)

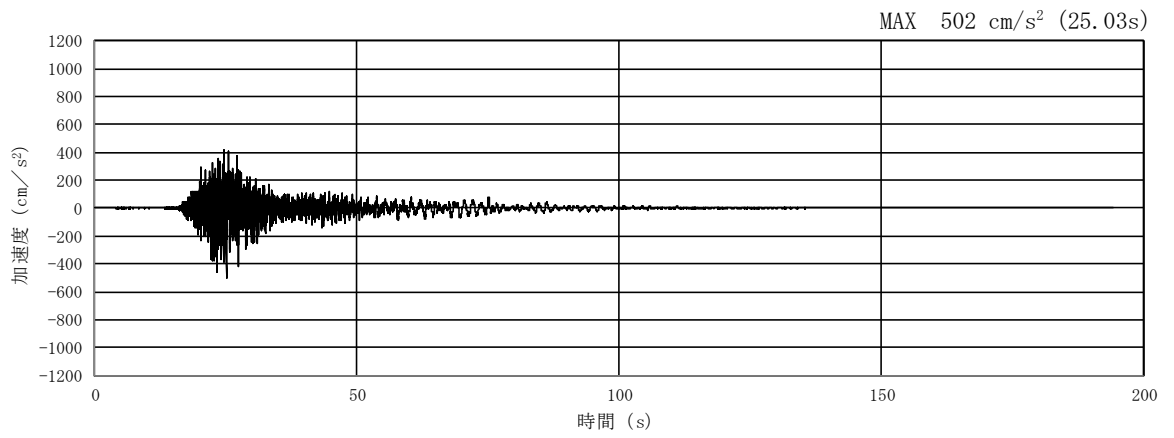


(a) 加速度時刻歴波形

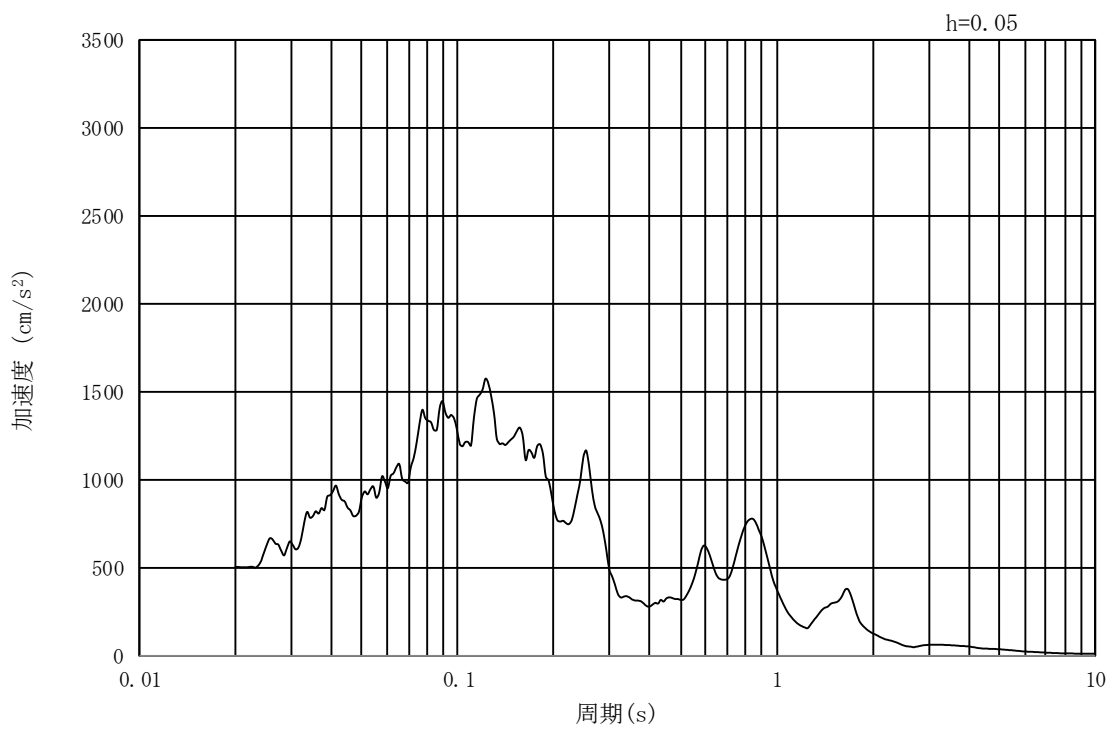


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 11$)

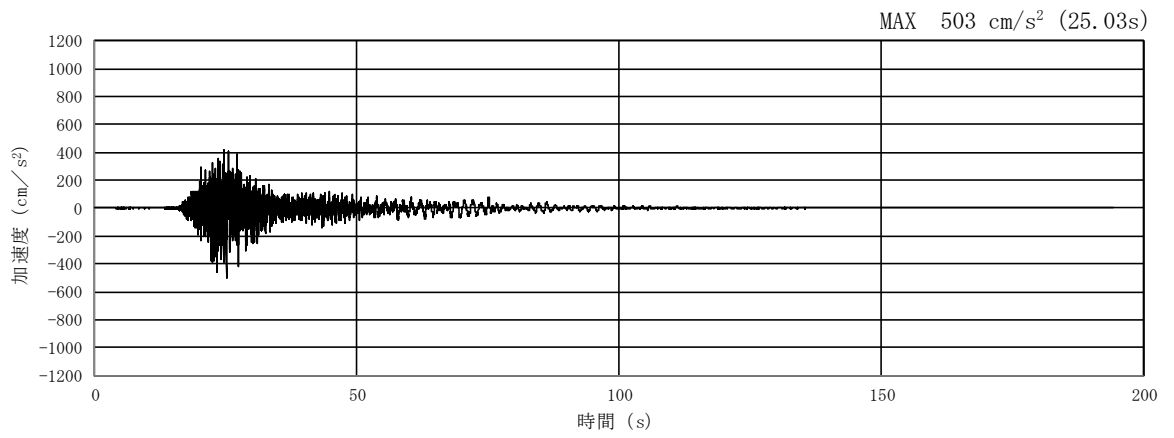


(a) 加速度時刻歴波形

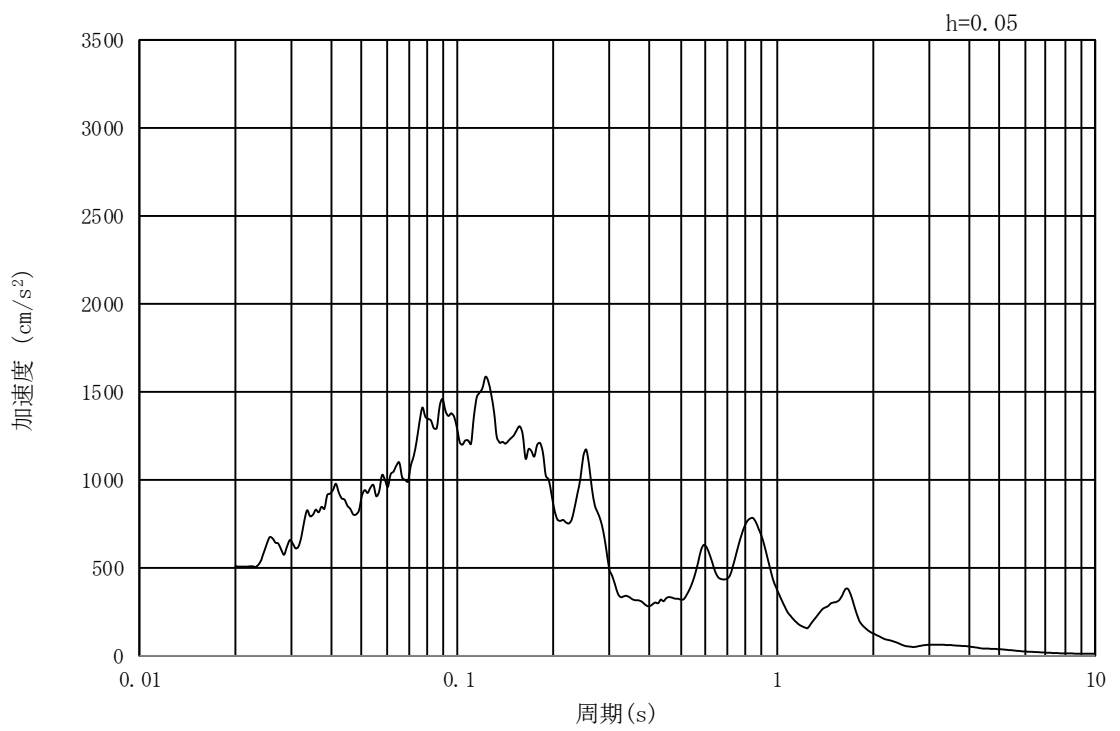


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.1$)

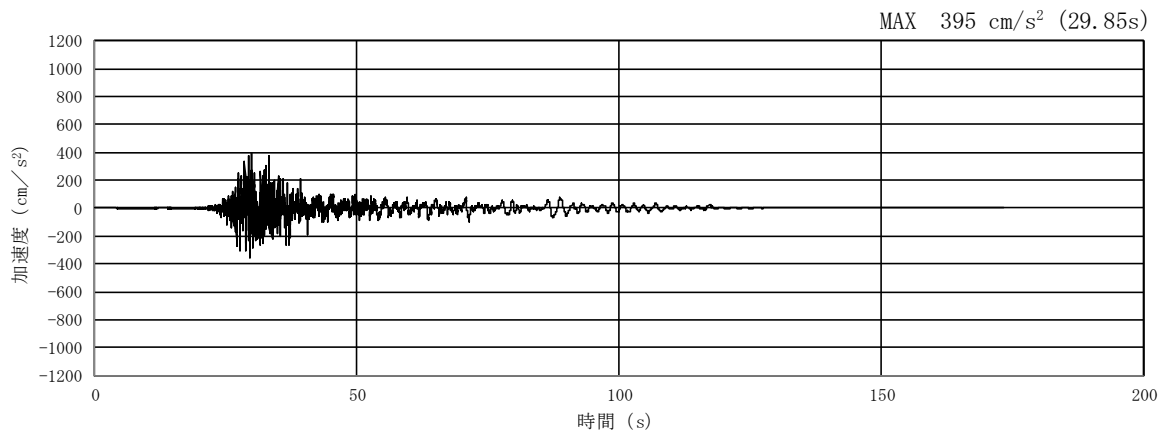


(a) 加速度時刻歴波形

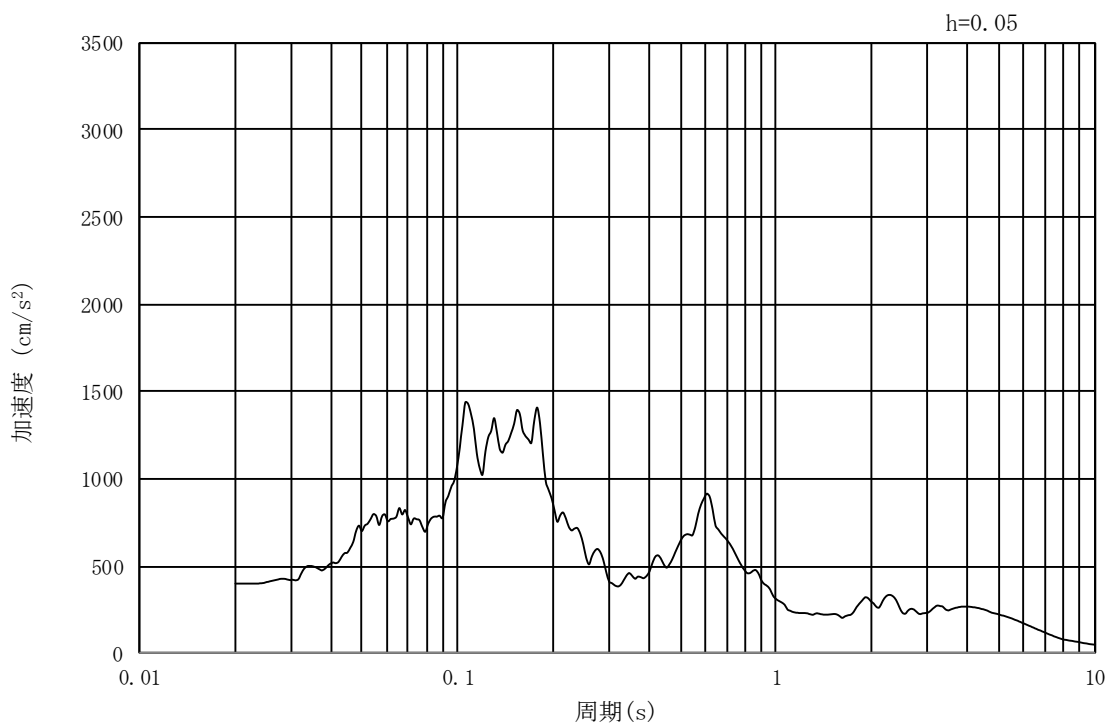


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.1$)

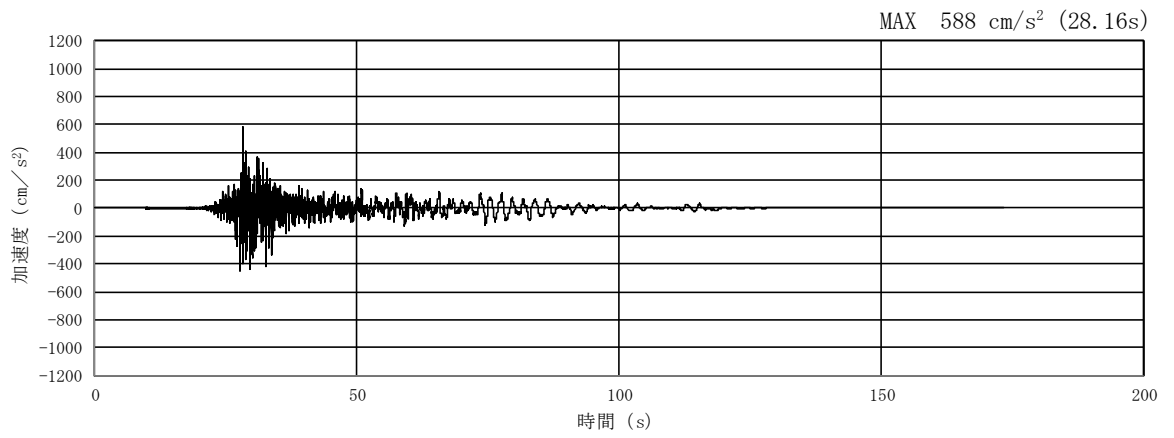


(a) 加速度時刻歴波形

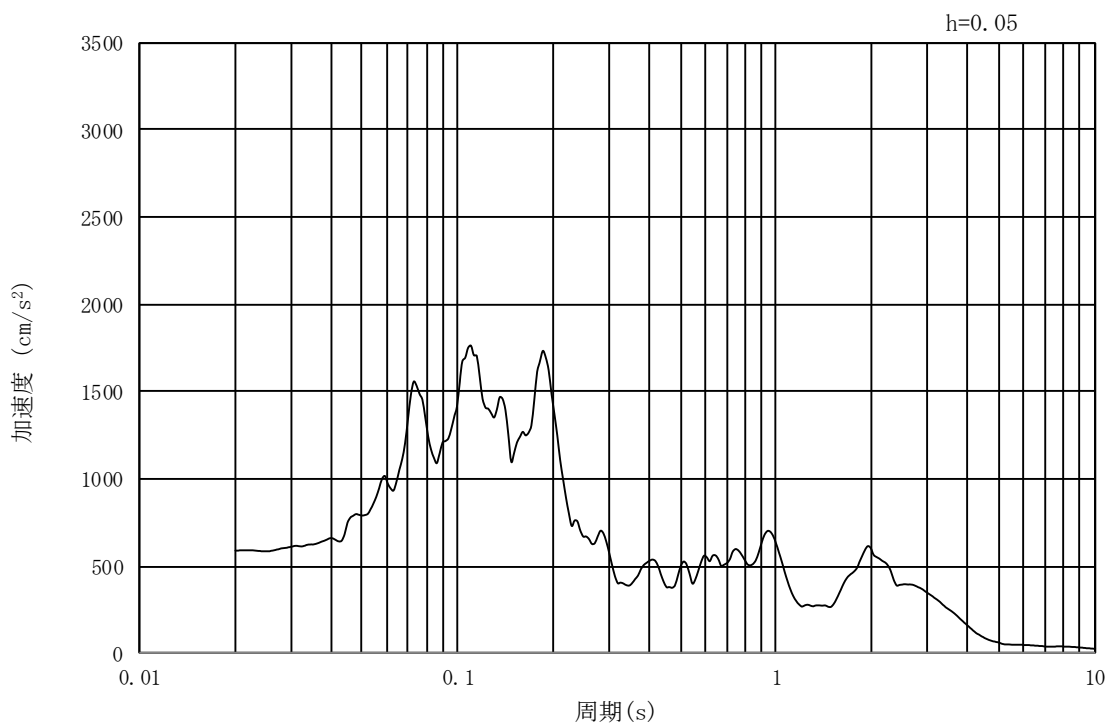


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.2$)

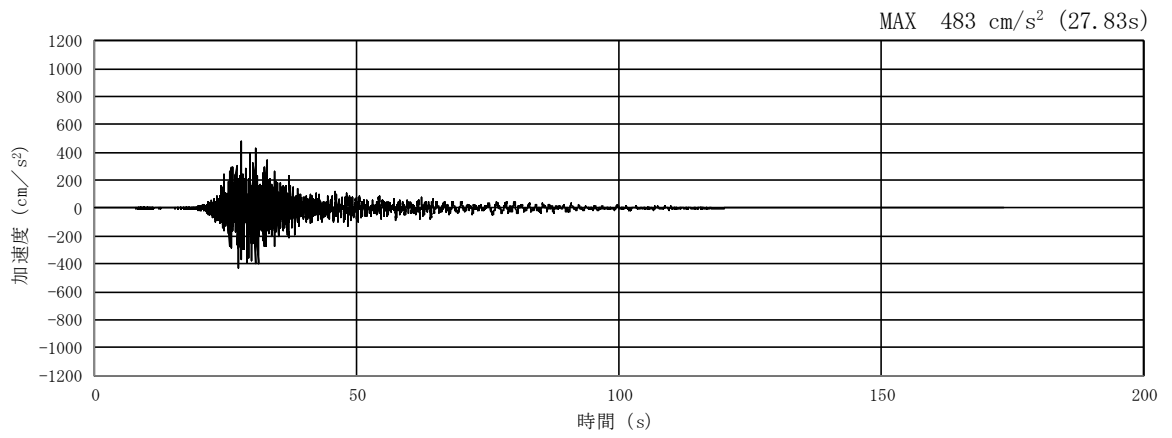


(a) 加速度時刻歴波形

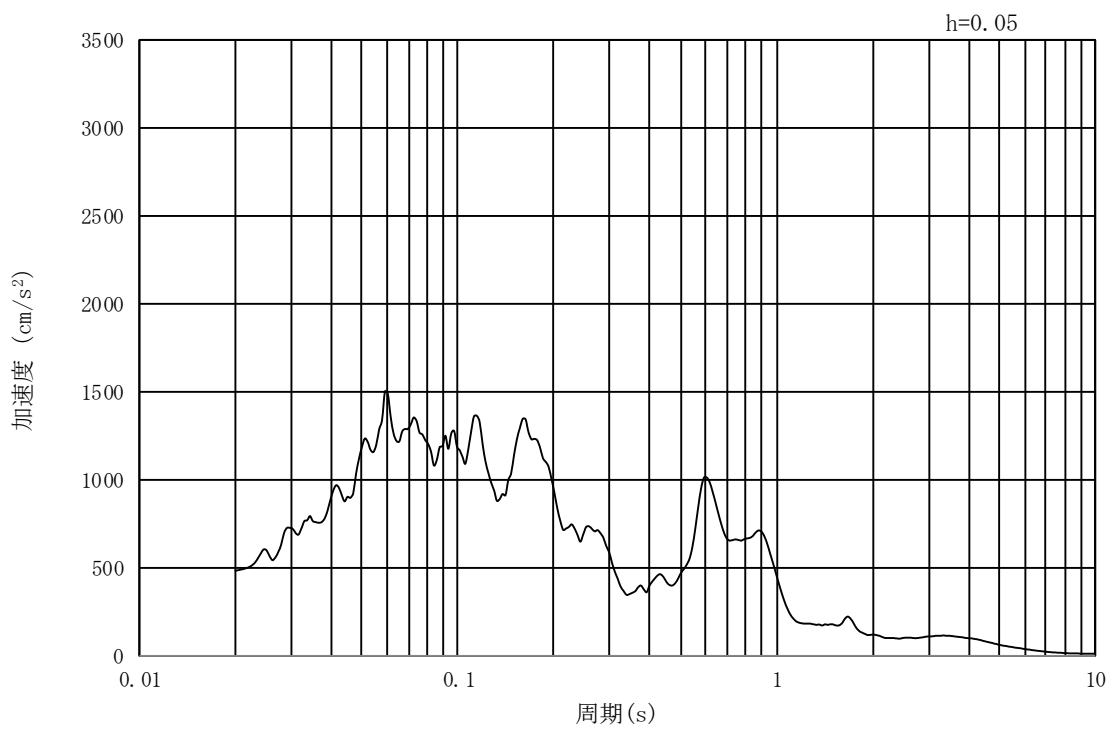


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.2$)

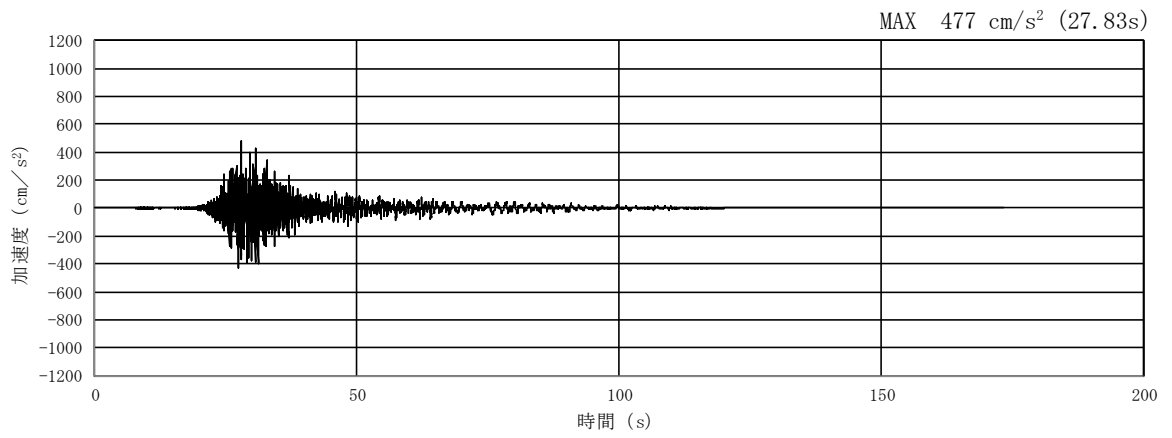


(a) 加速度時刻歴波形

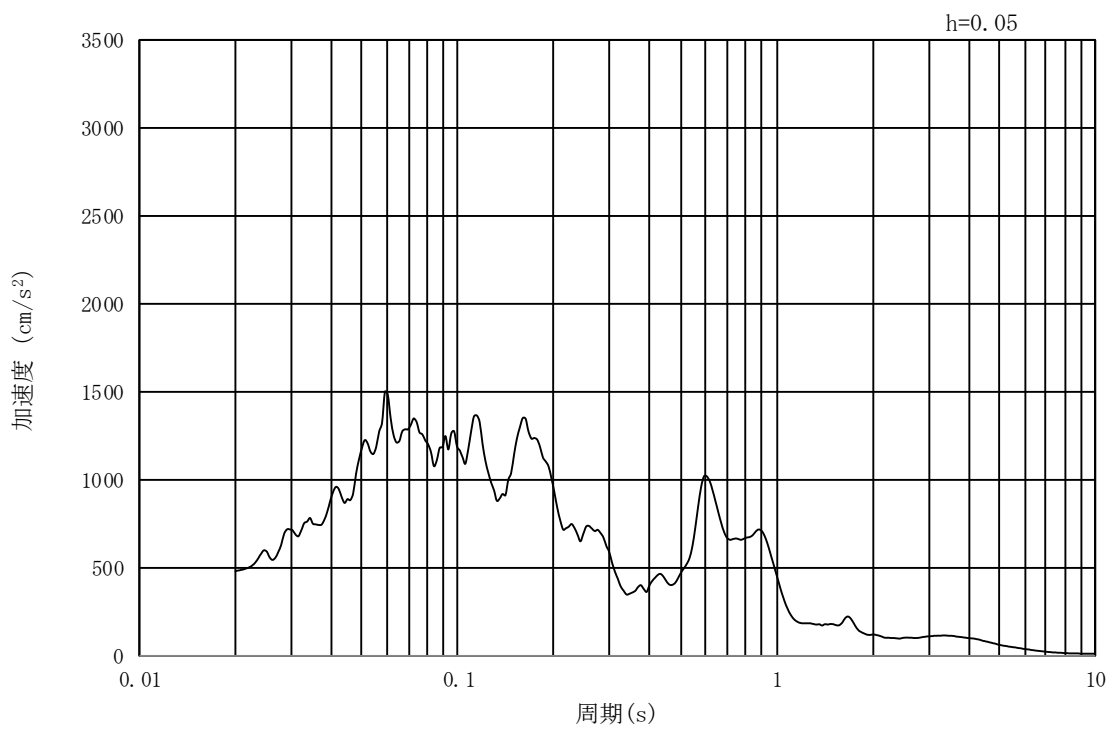


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.2$)

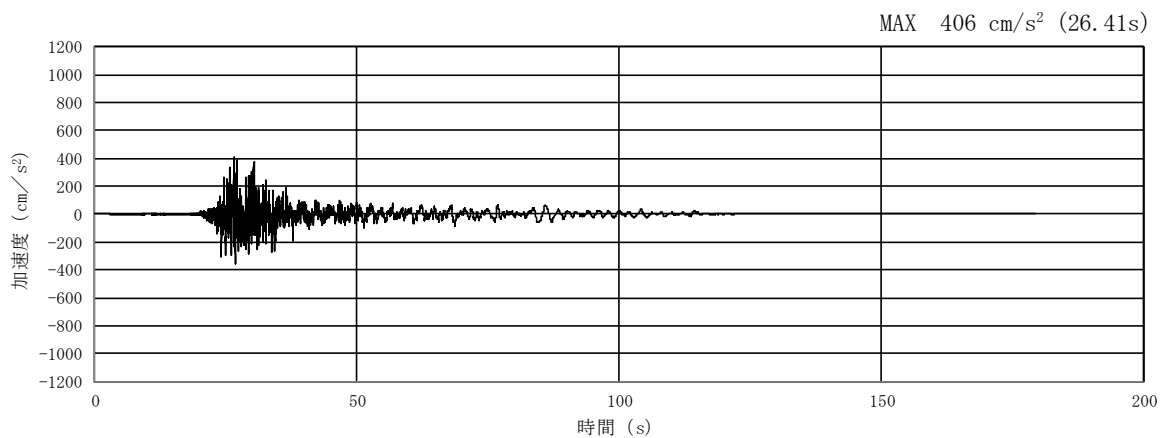


(a) 加速度時刻歴波形

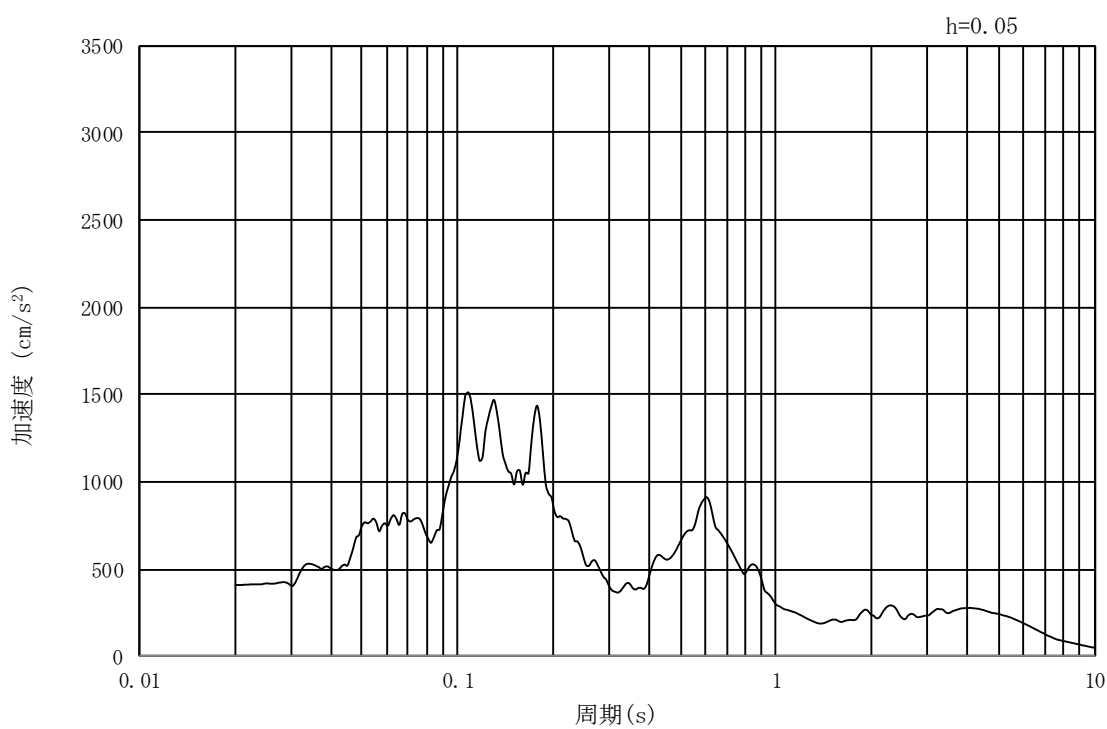


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.2$)

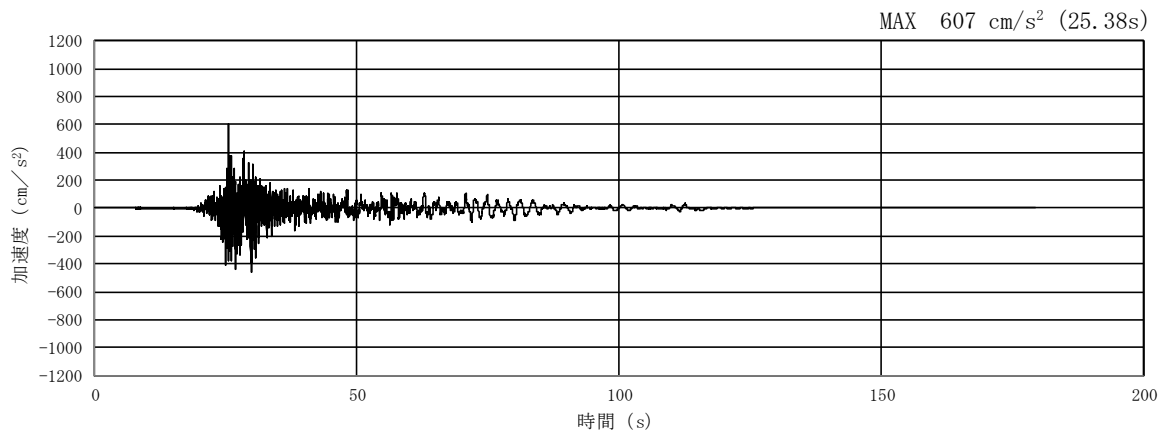


(a) 加速度時刻歴波形

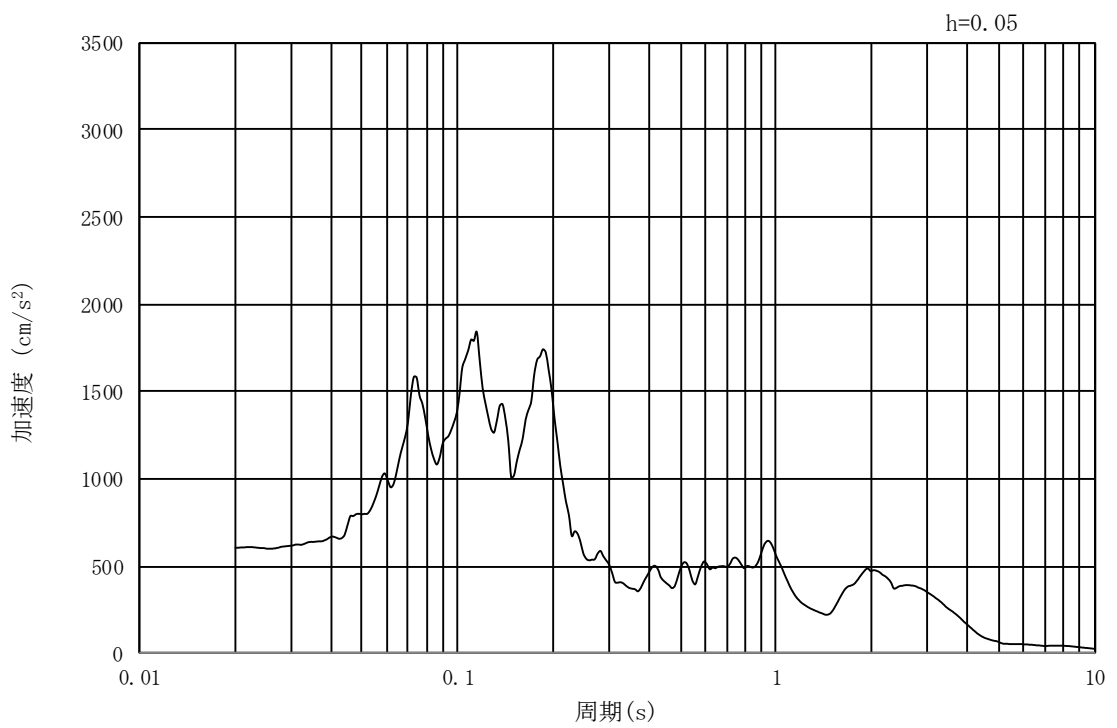


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.3$)

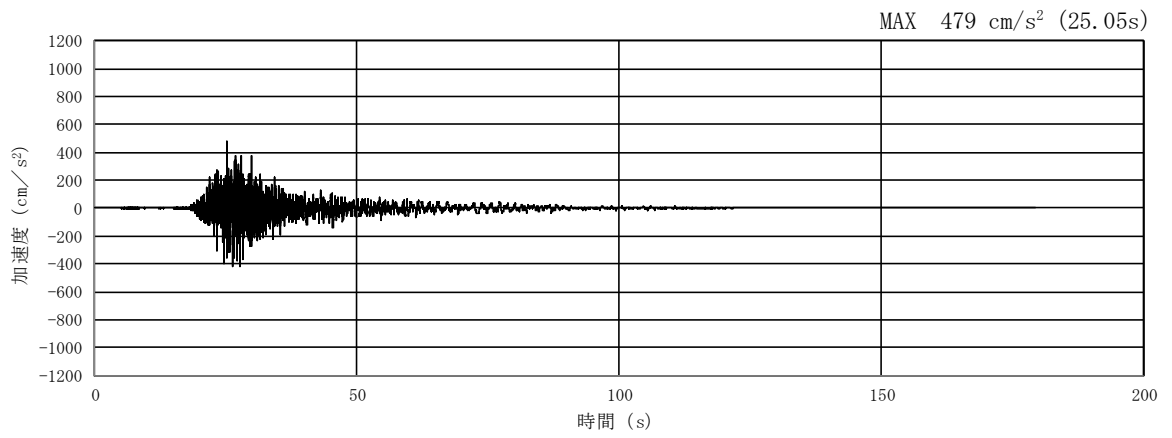


(a) 加速度時刻歴波形

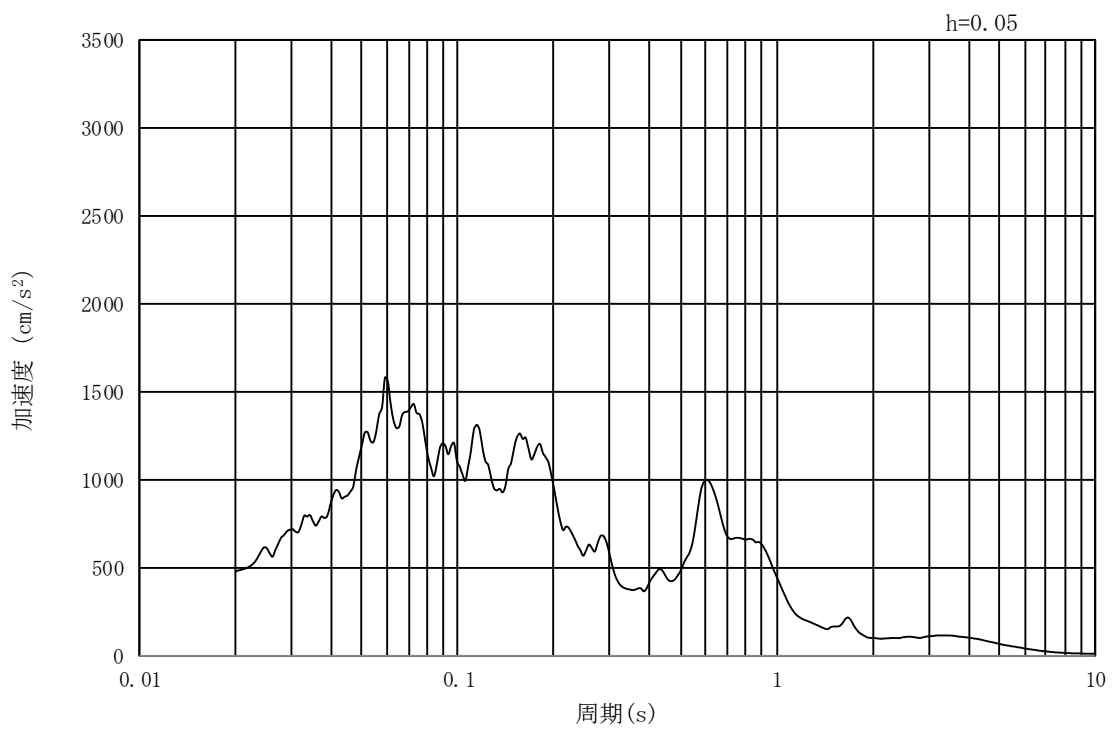


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.3$)

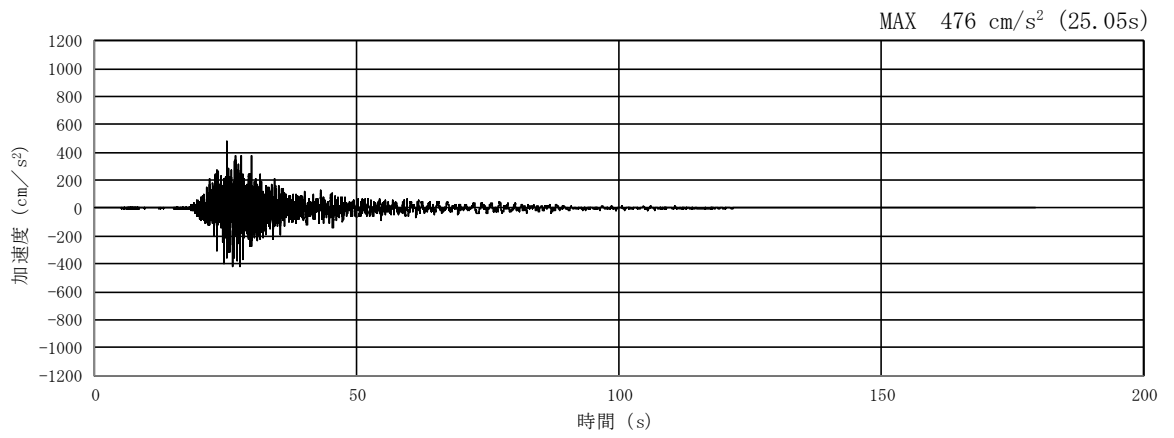


(a) 加速度時刻歴波形

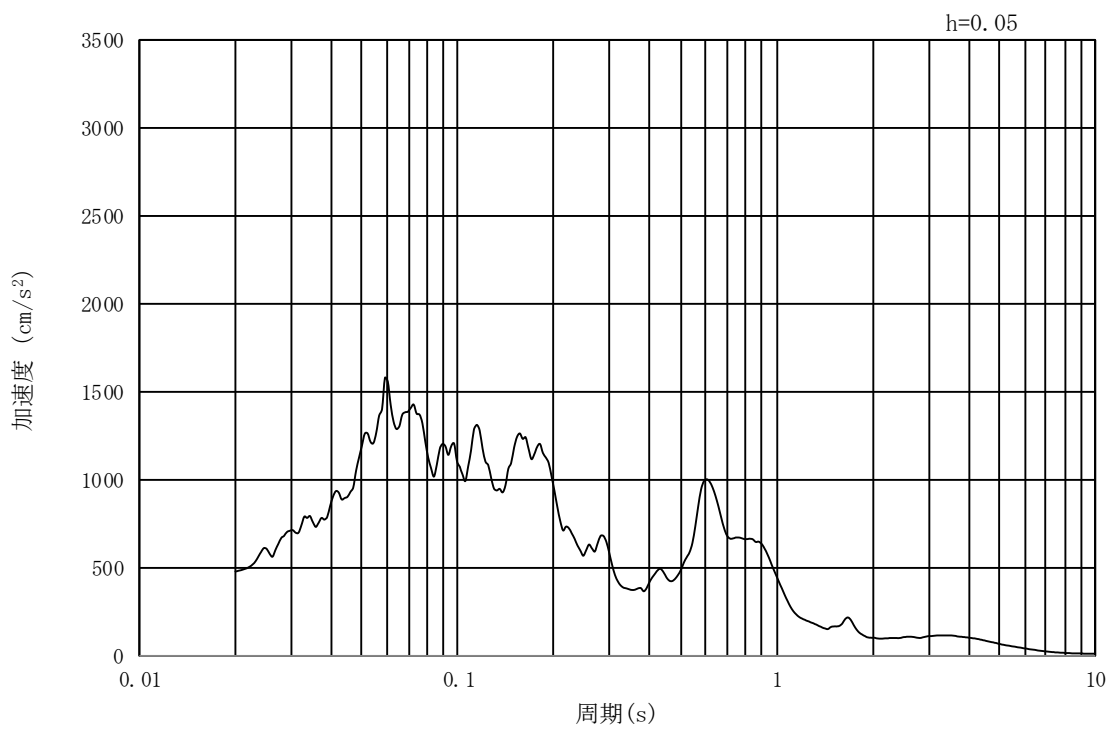


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.3$)

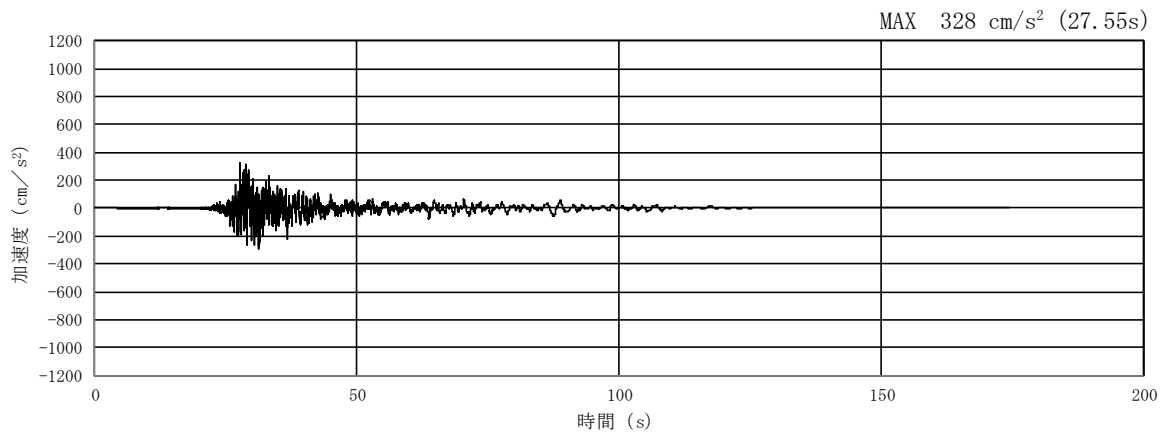


(a) 加速度時刻歴波形

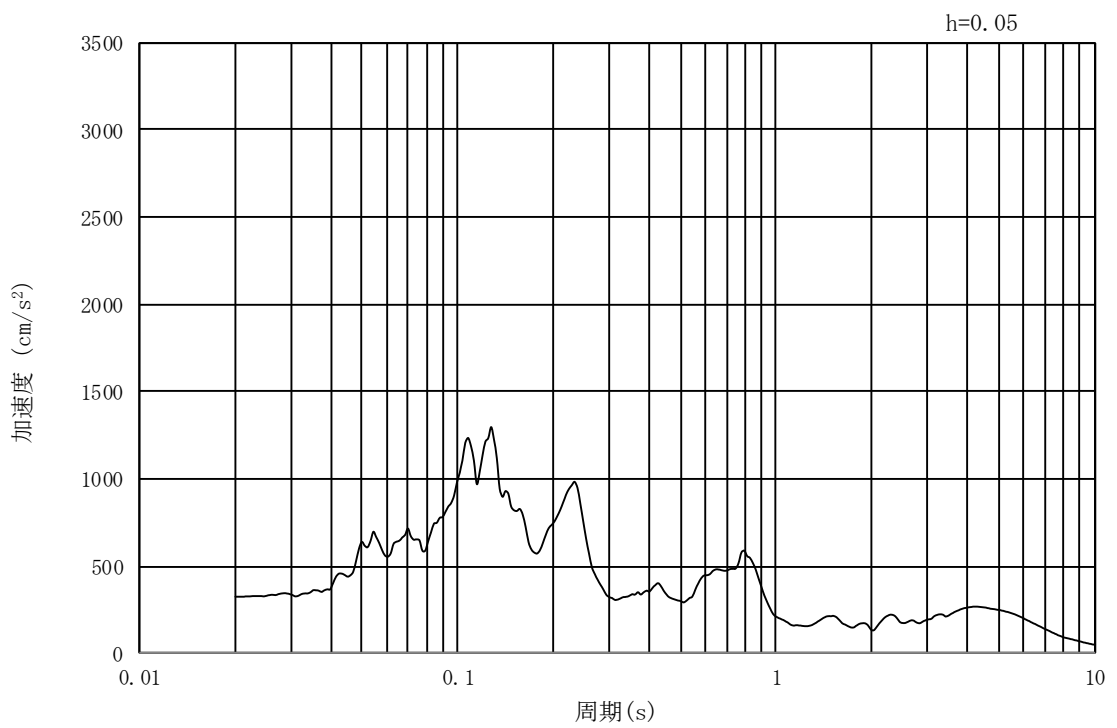


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.3$)

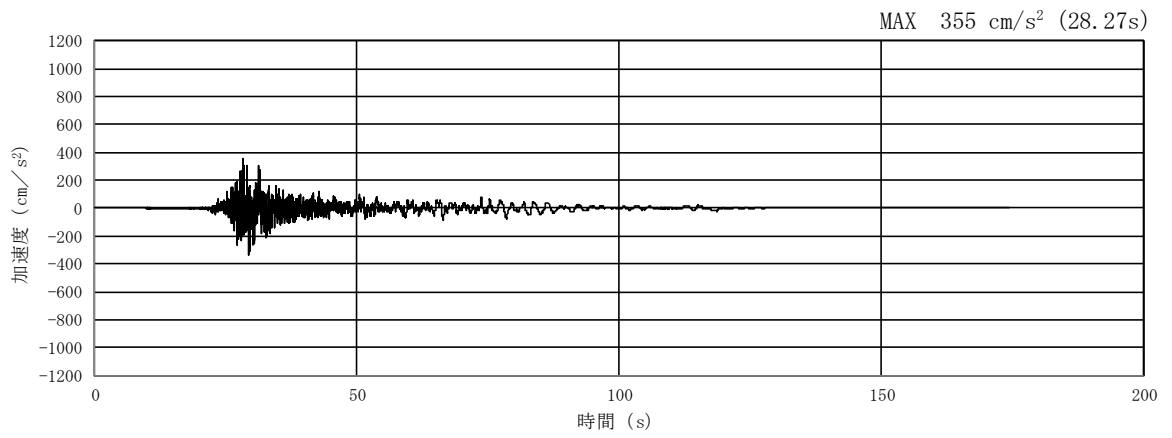


(a) 加速度時刻歴波形

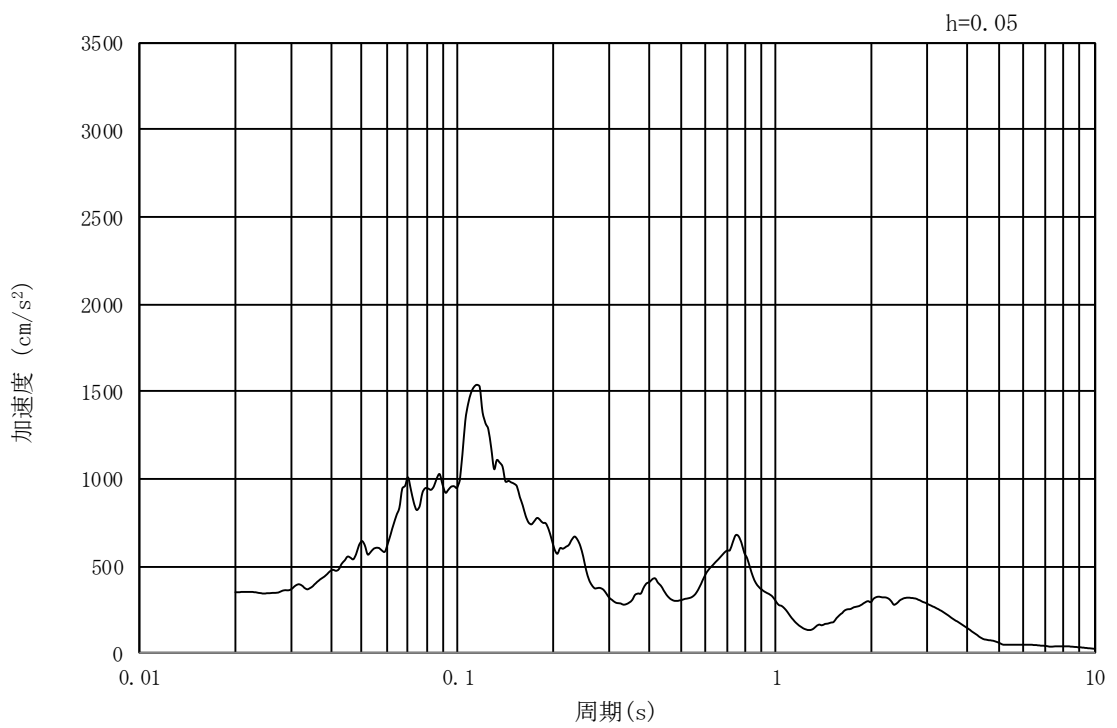


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.4$)

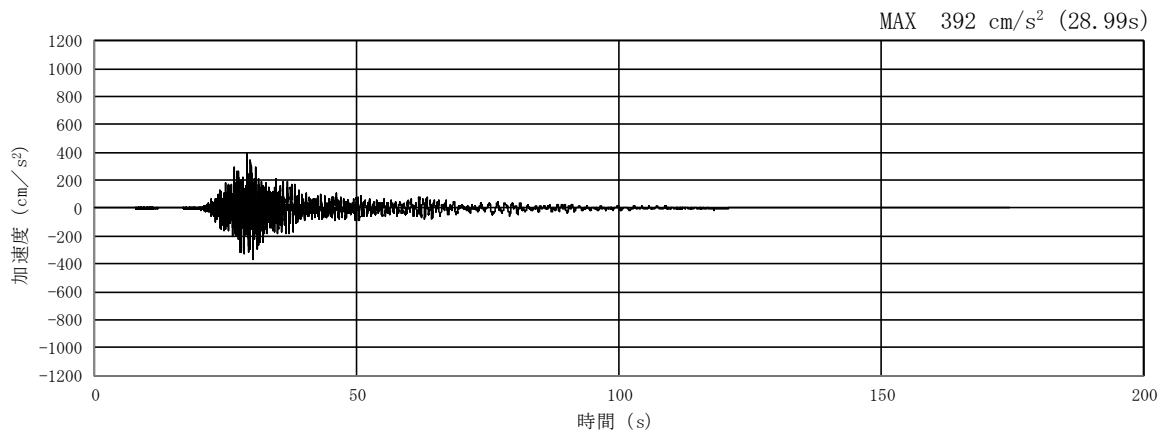


(a) 加速度時刻歴波形

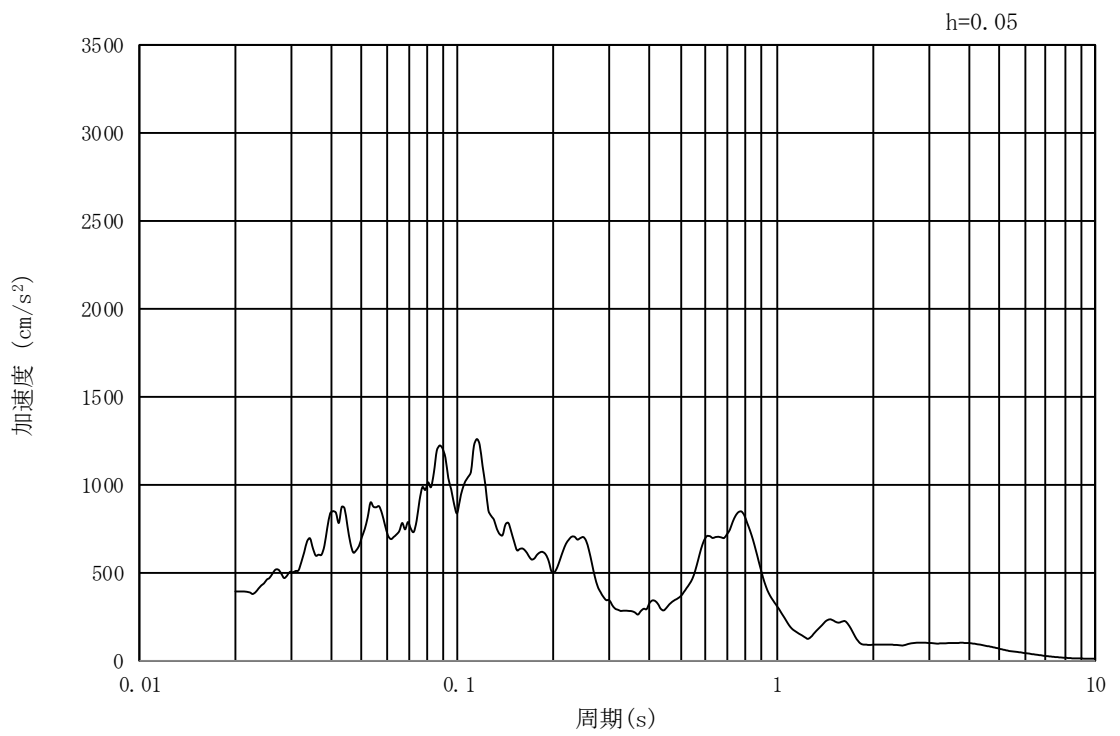


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.4$)

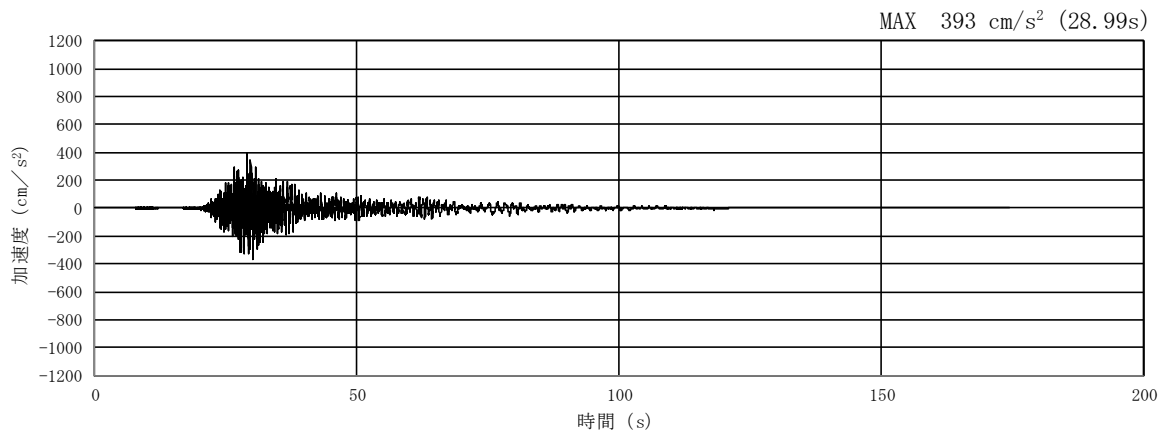


(a) 加速度時刻歴波形

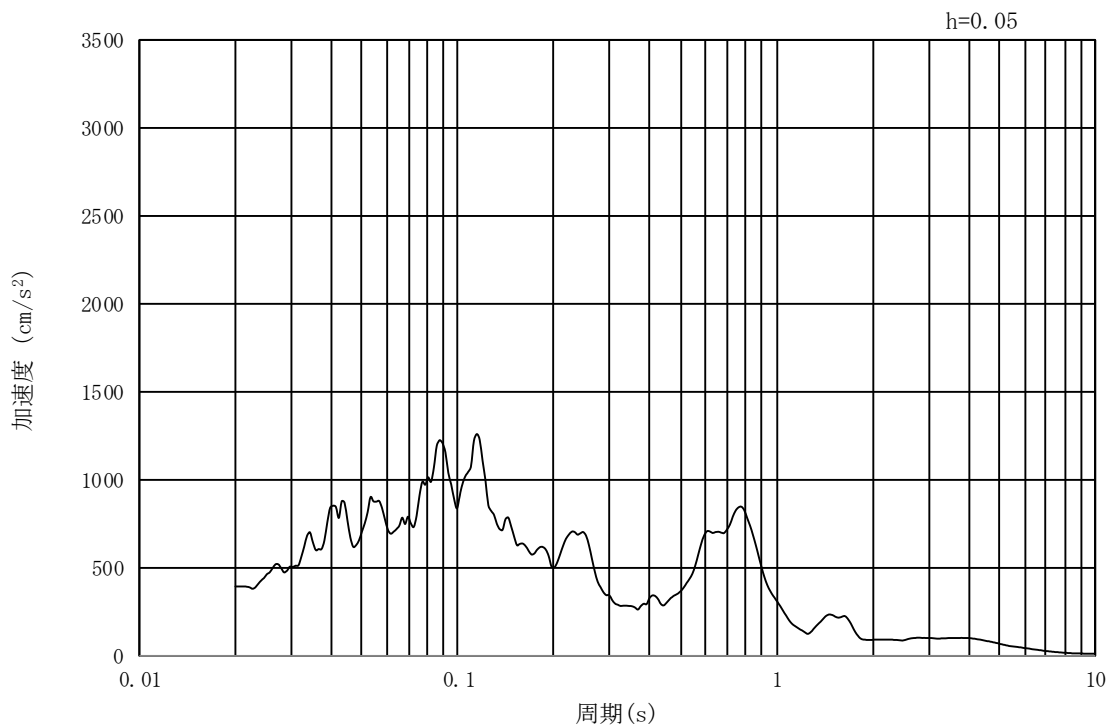


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.4$)

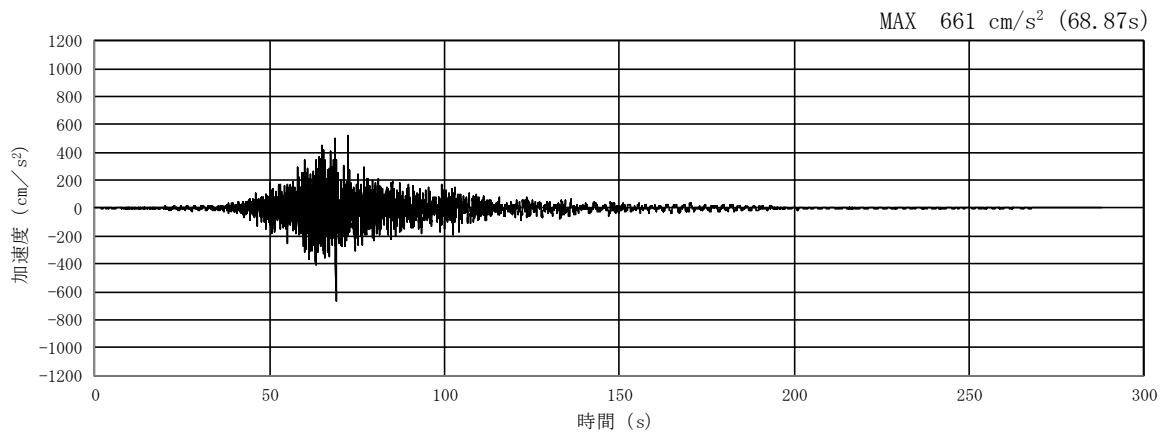


(a) 加速度時刻歴波形

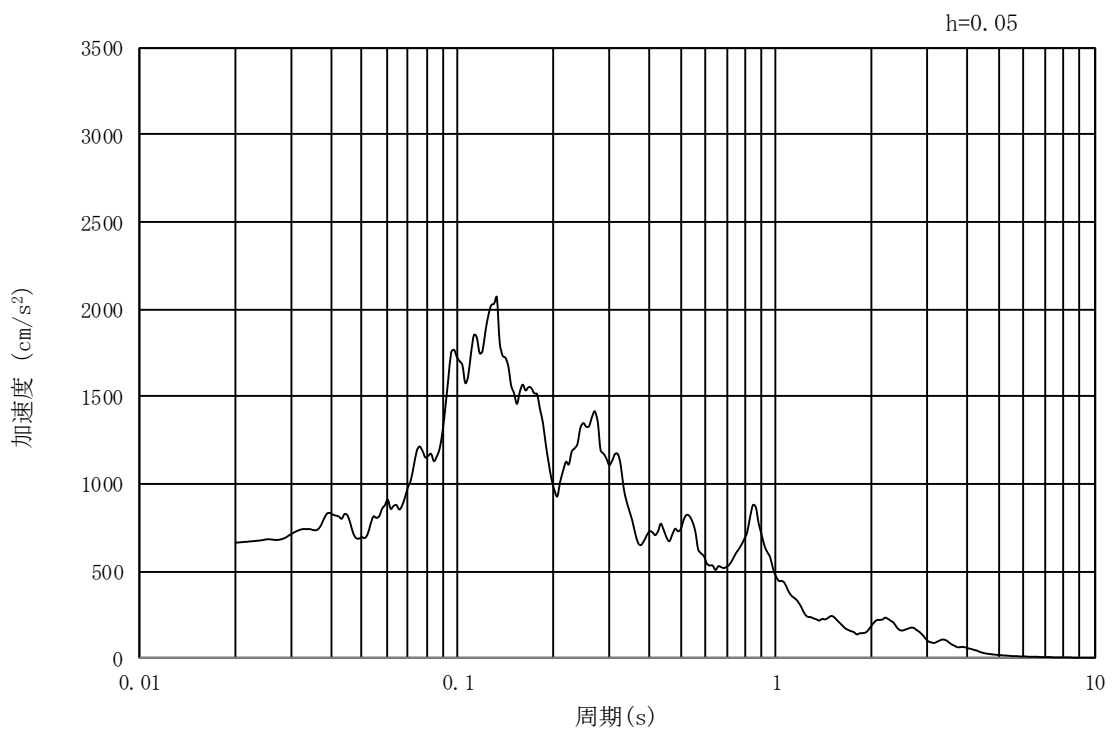


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.4$)

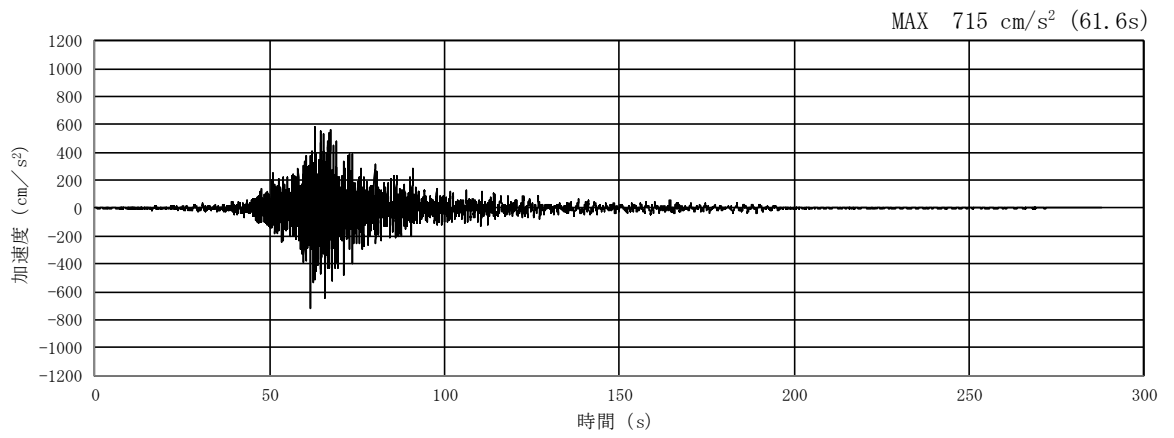


(a) 加速度時刻歴波形

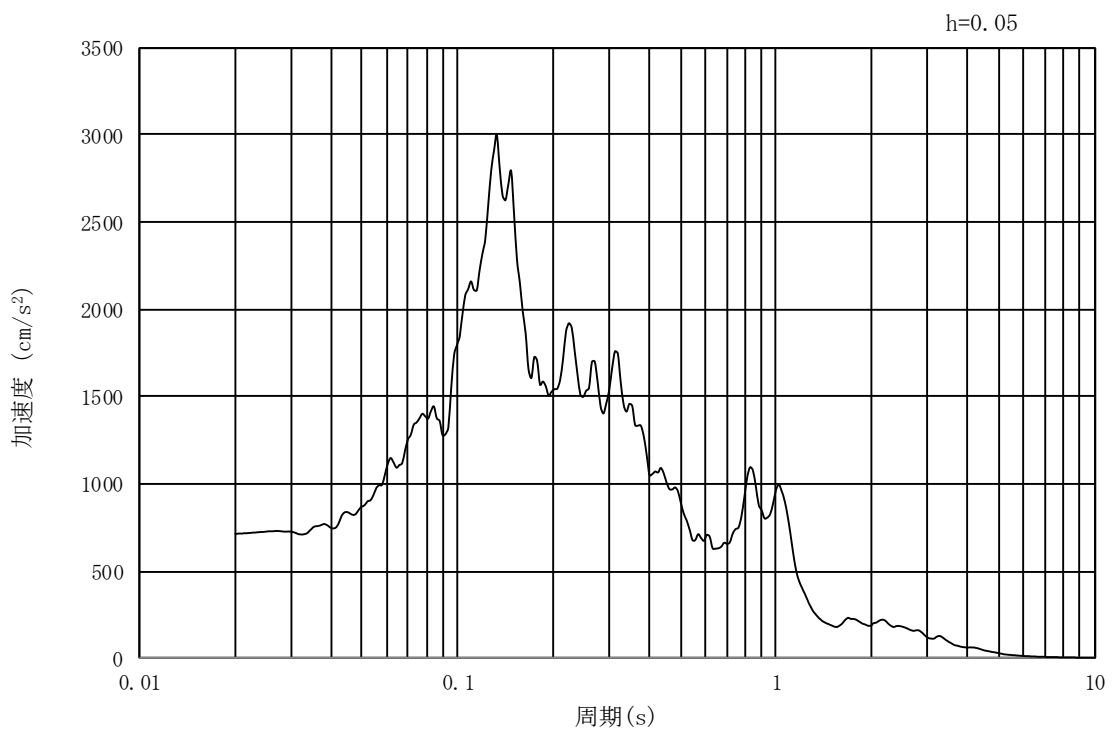


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 21$)

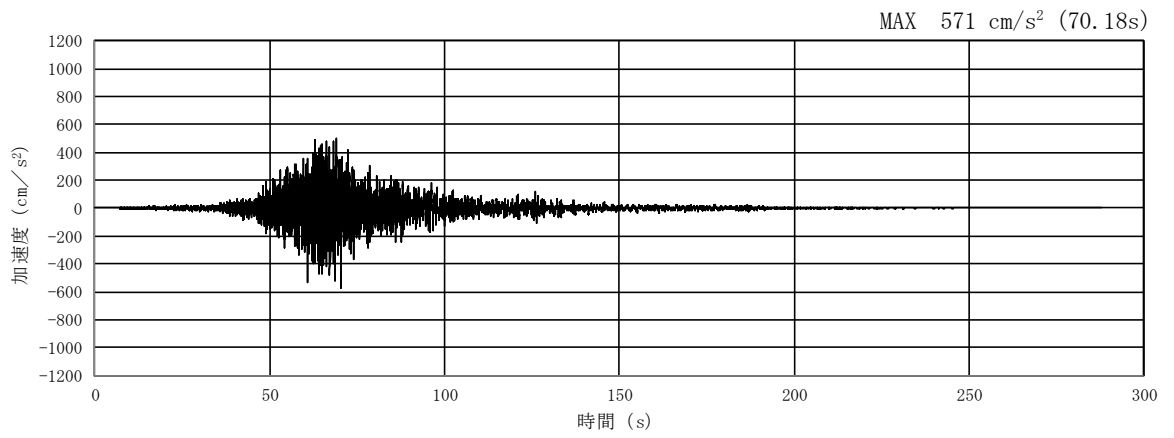


(a) 加速度時刻歴波形

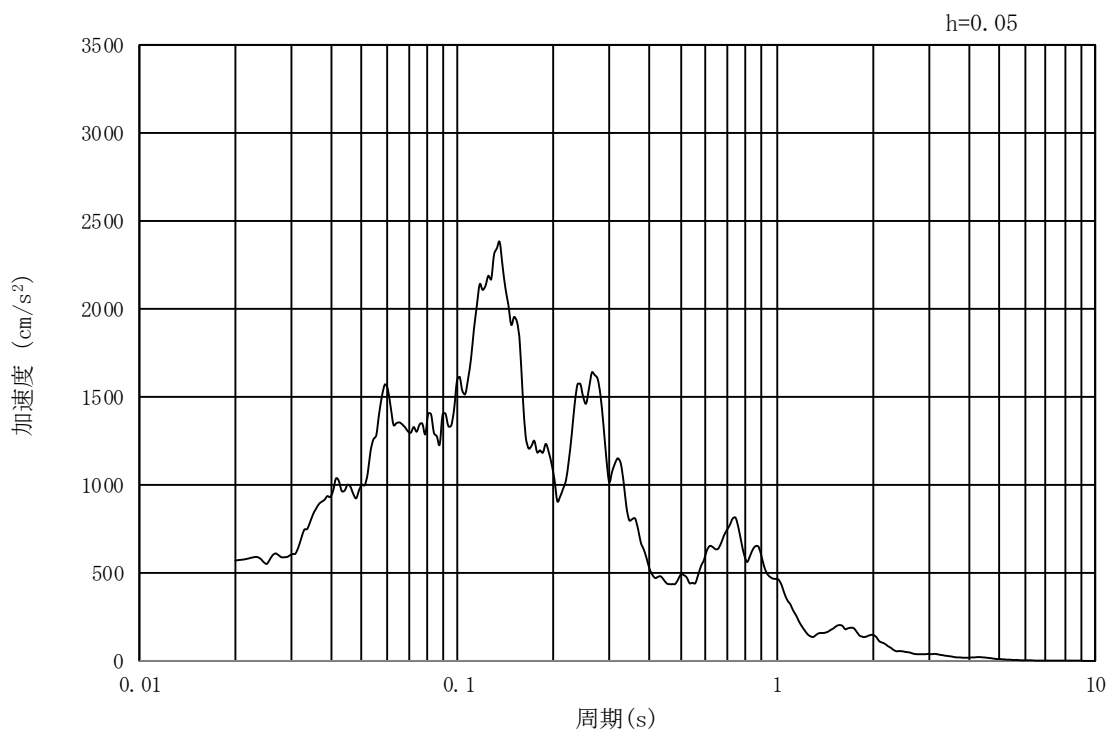


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 21$)

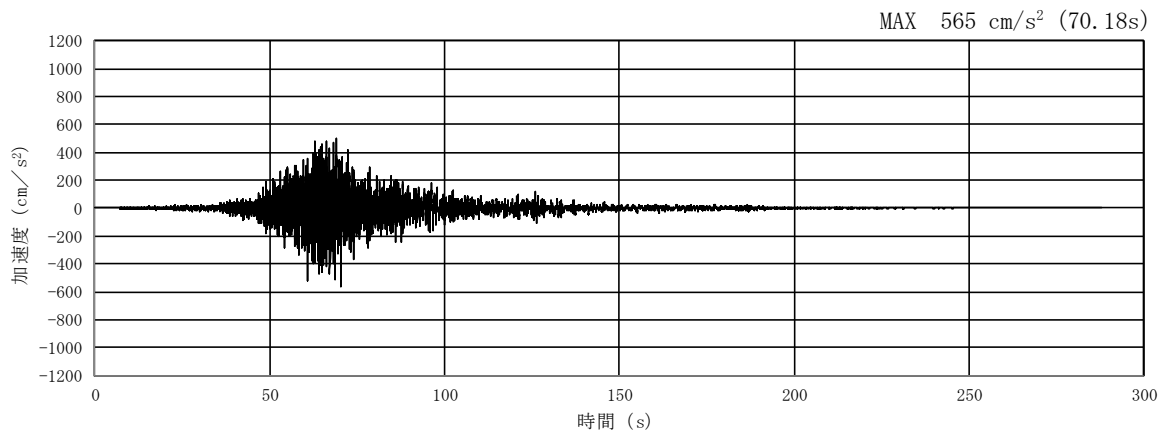


(a) 加速度時刻歴波形

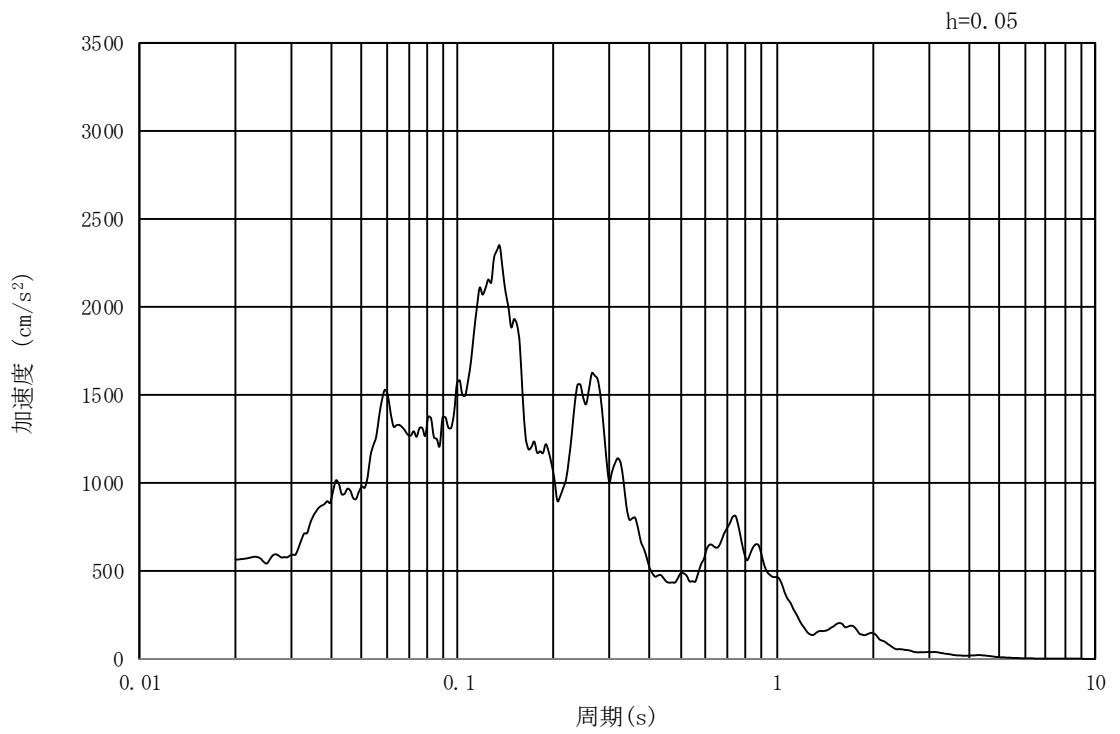


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 21$)

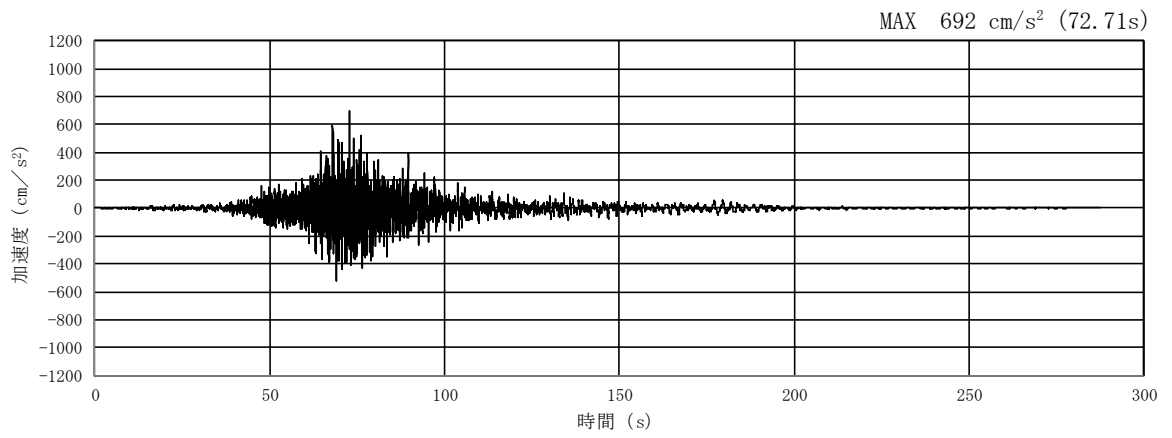


(a) 加速度時刻歴波形

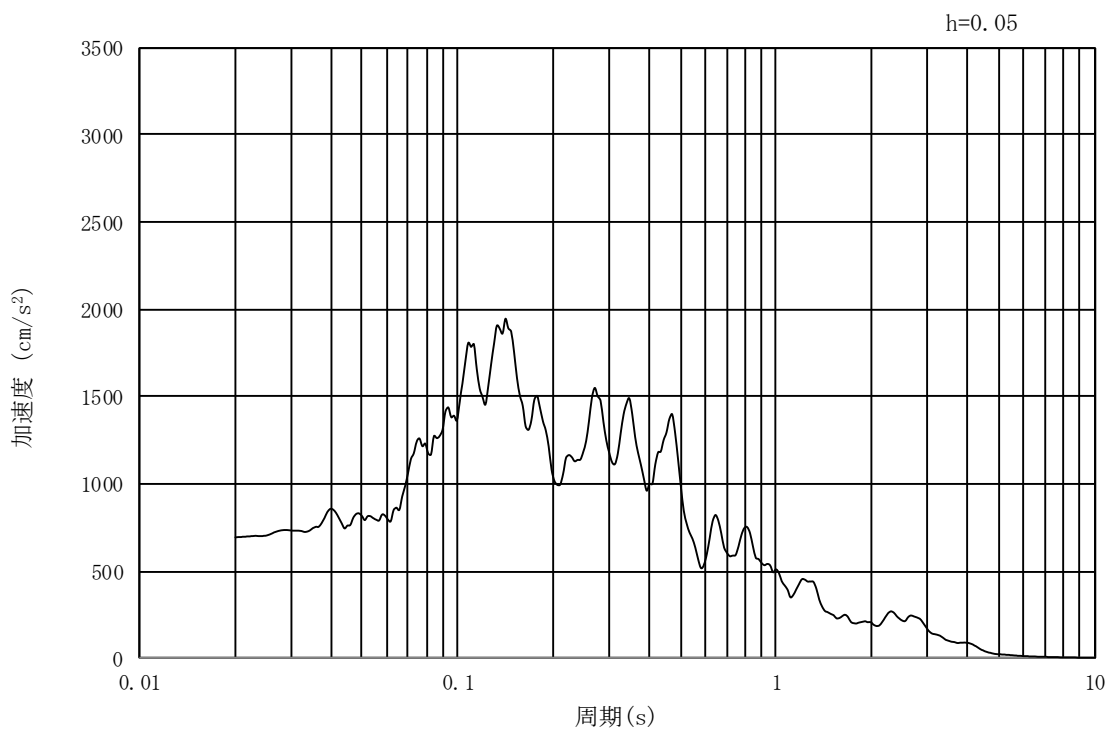


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 21$)

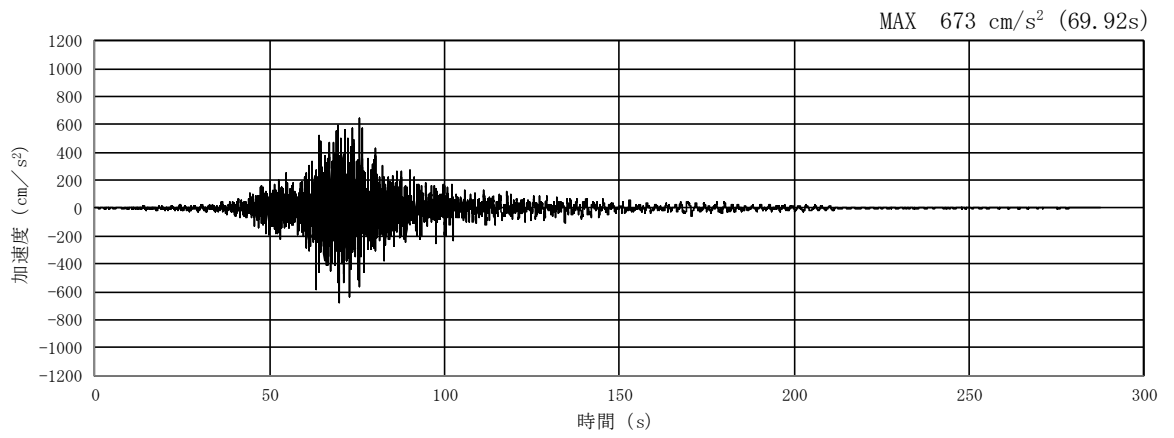


(a) 加速度時刻歴波形

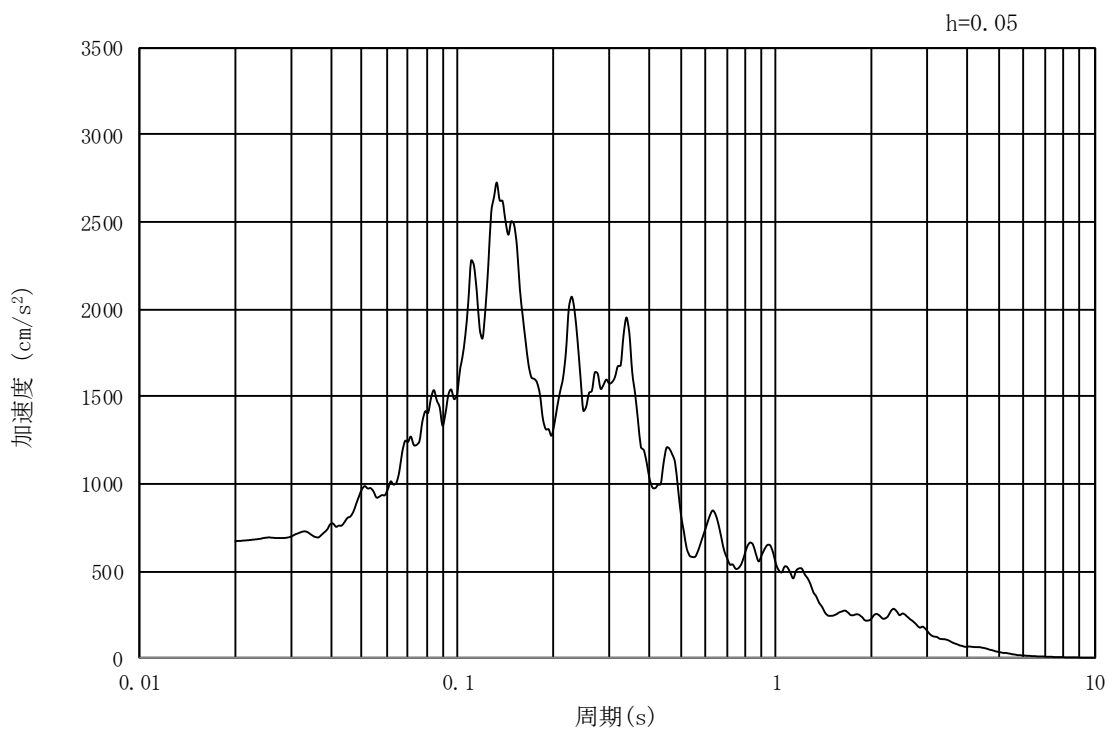


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 22$)

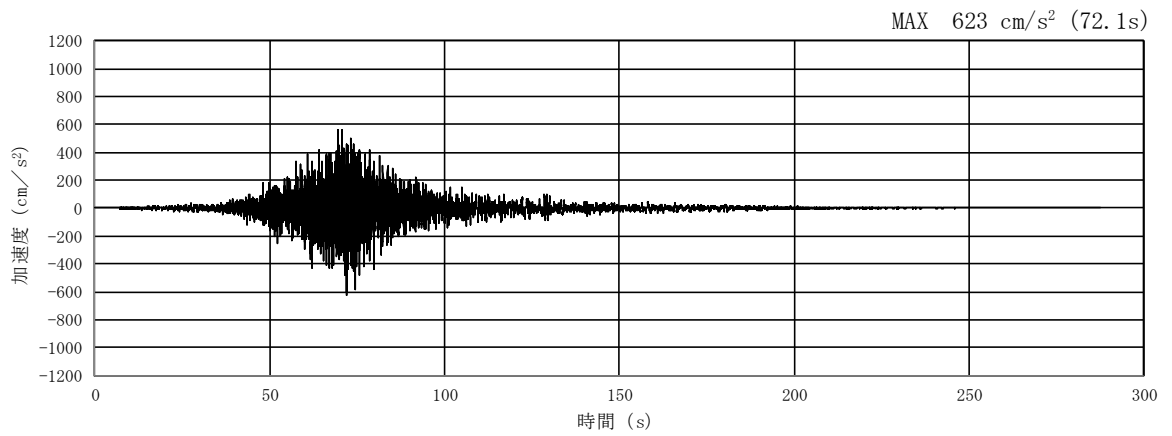


(a) 加速度時刻歴波形

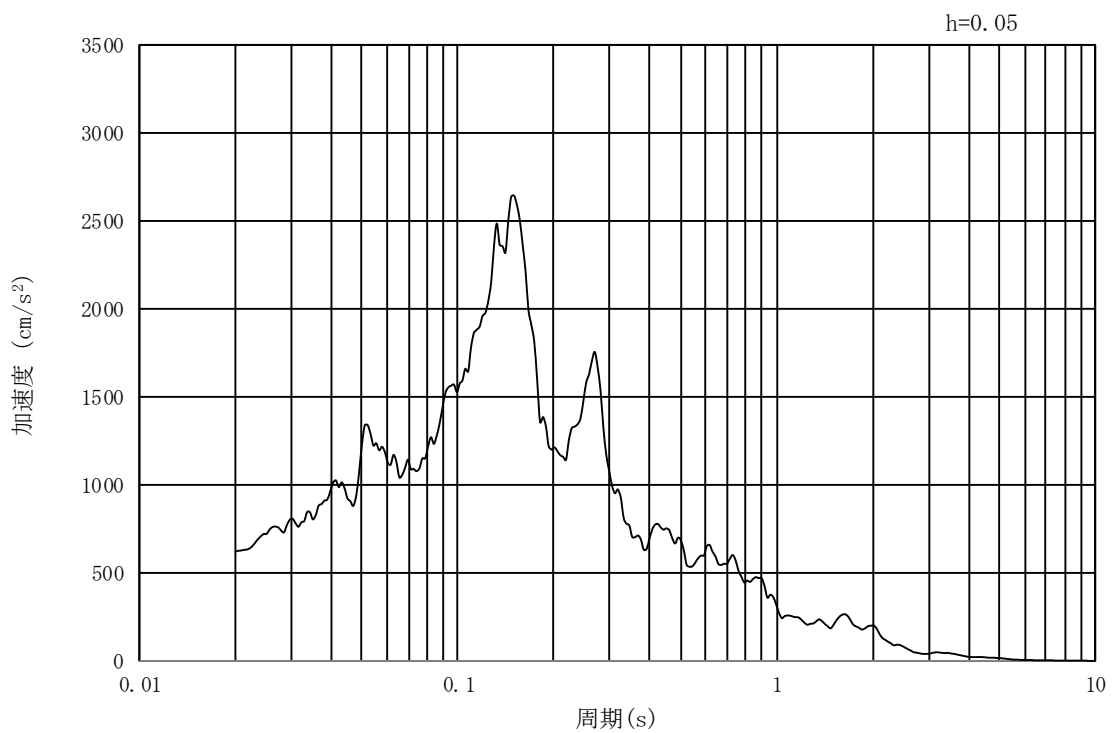


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 22$)

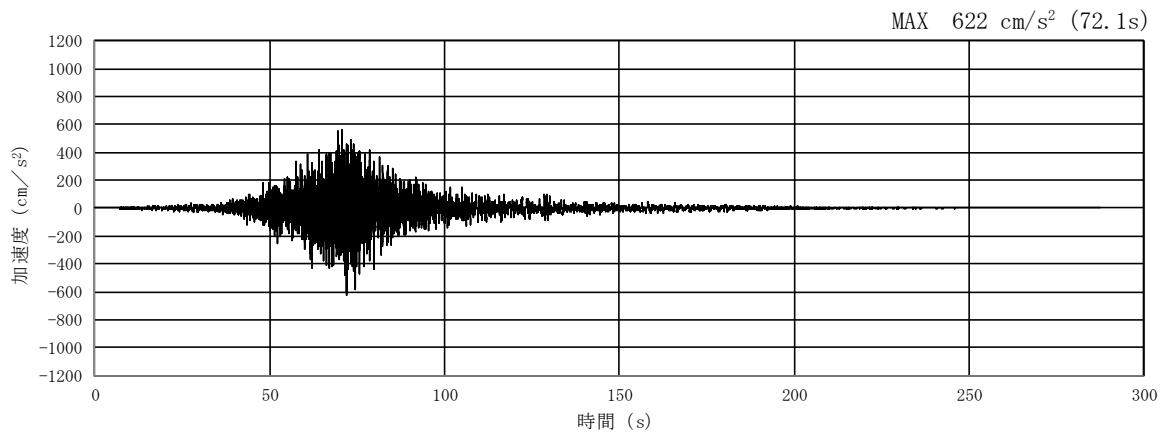


(a) 加速度時刻歴波形

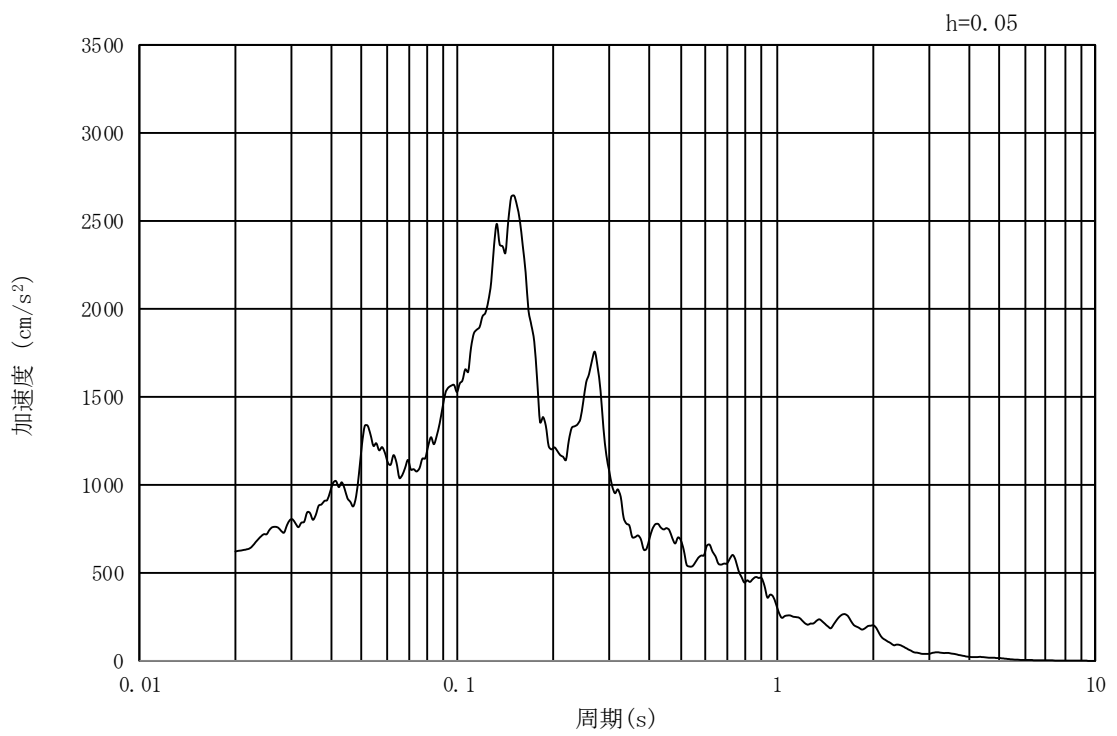


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 22$)

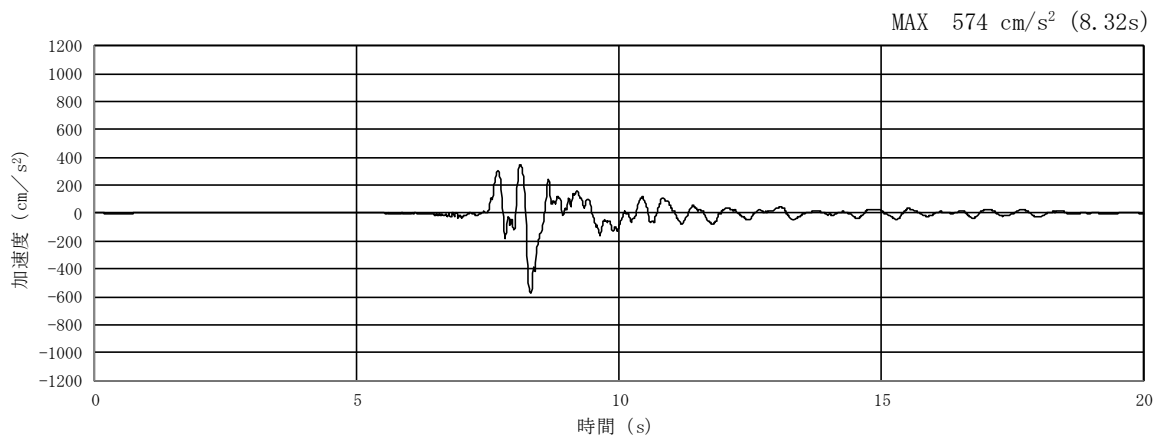


(a) 加速度時刻歴波形

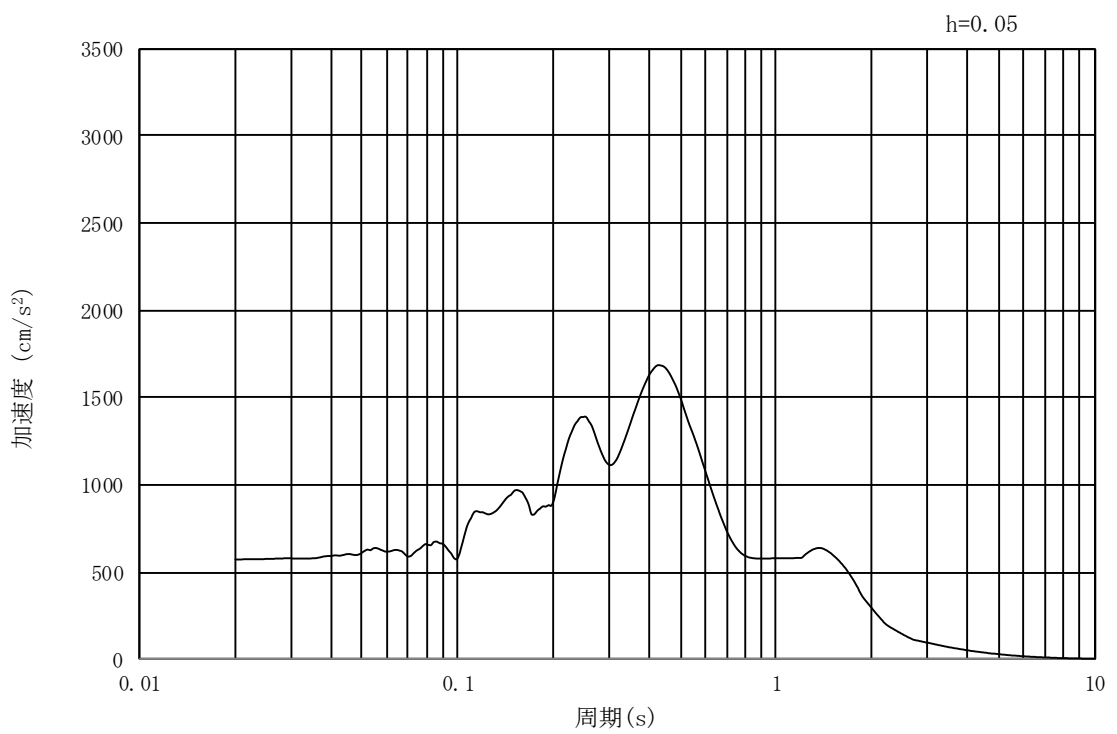


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 22$)

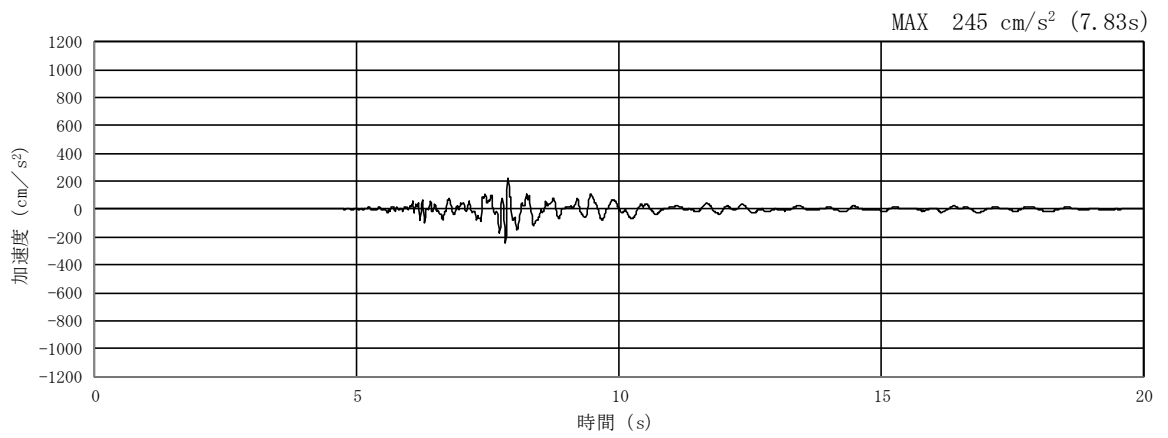


(a) 加速度時刻歴波形

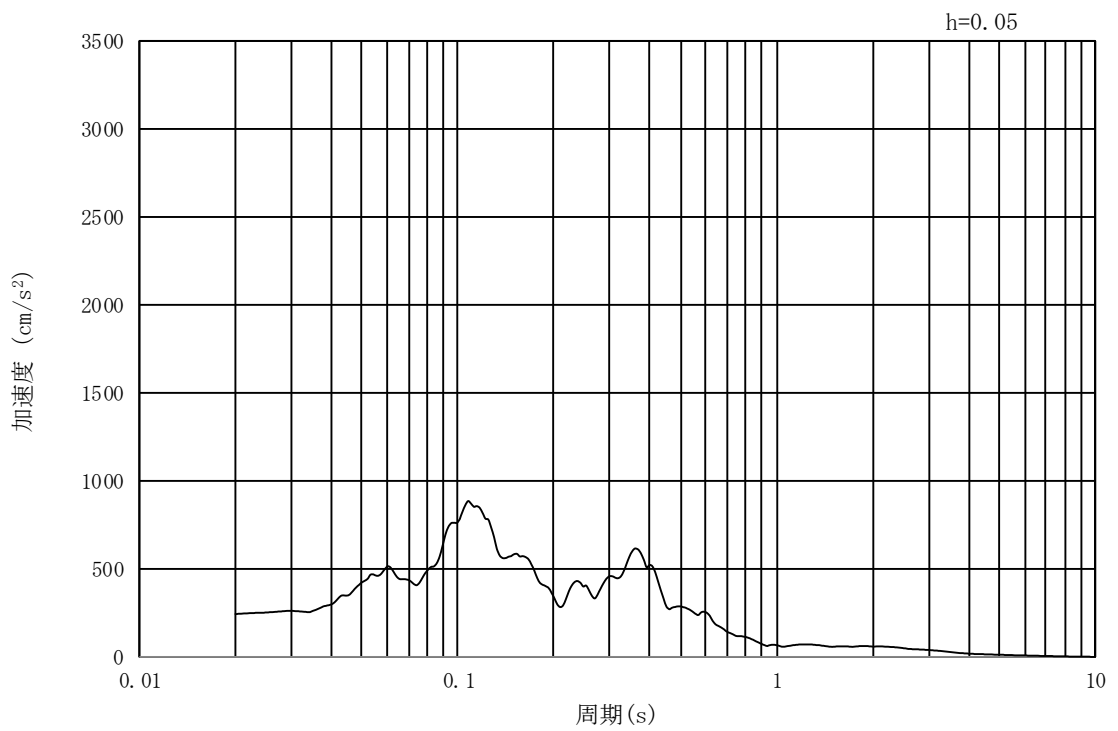


(b) 加速度応答スペクトル

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、鉄筋及び鋼管杭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



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に関する参考資料

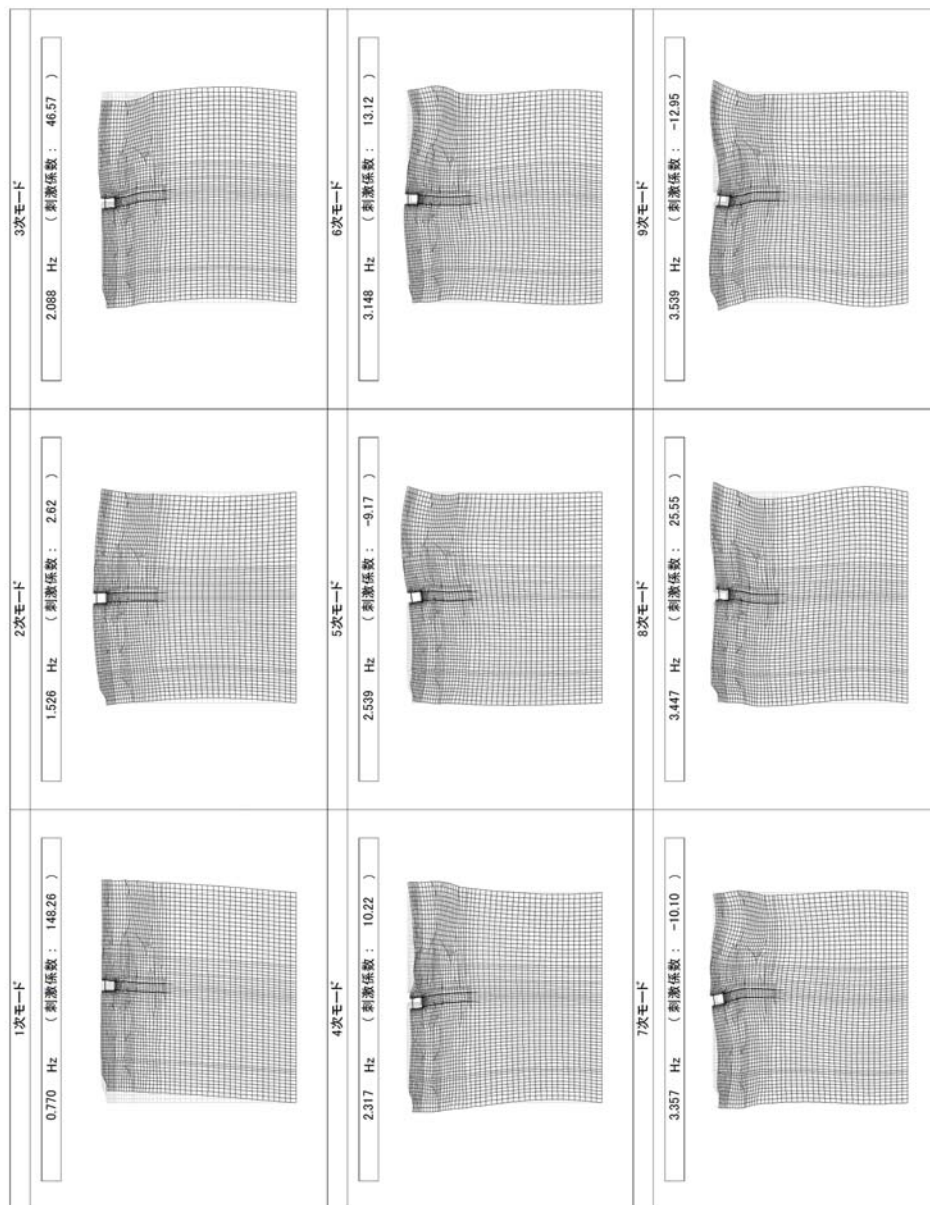
1 減衰の設定について

地震応答解析における減衰については、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。Rayleigh 減衰の設定は、地盤の低次のモードの変形が特に支配的となる地中埋設構造物のような地盤及び構造系全体に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮し、かつ、振動モードの影響が全体系に占める割合の観点から、刺激係数に着目し行う。

固有値解析による刺激係数及びモード図を図 17-1 に示す。また、設定した Rayleigh 減衰を図 17-2 に示す。

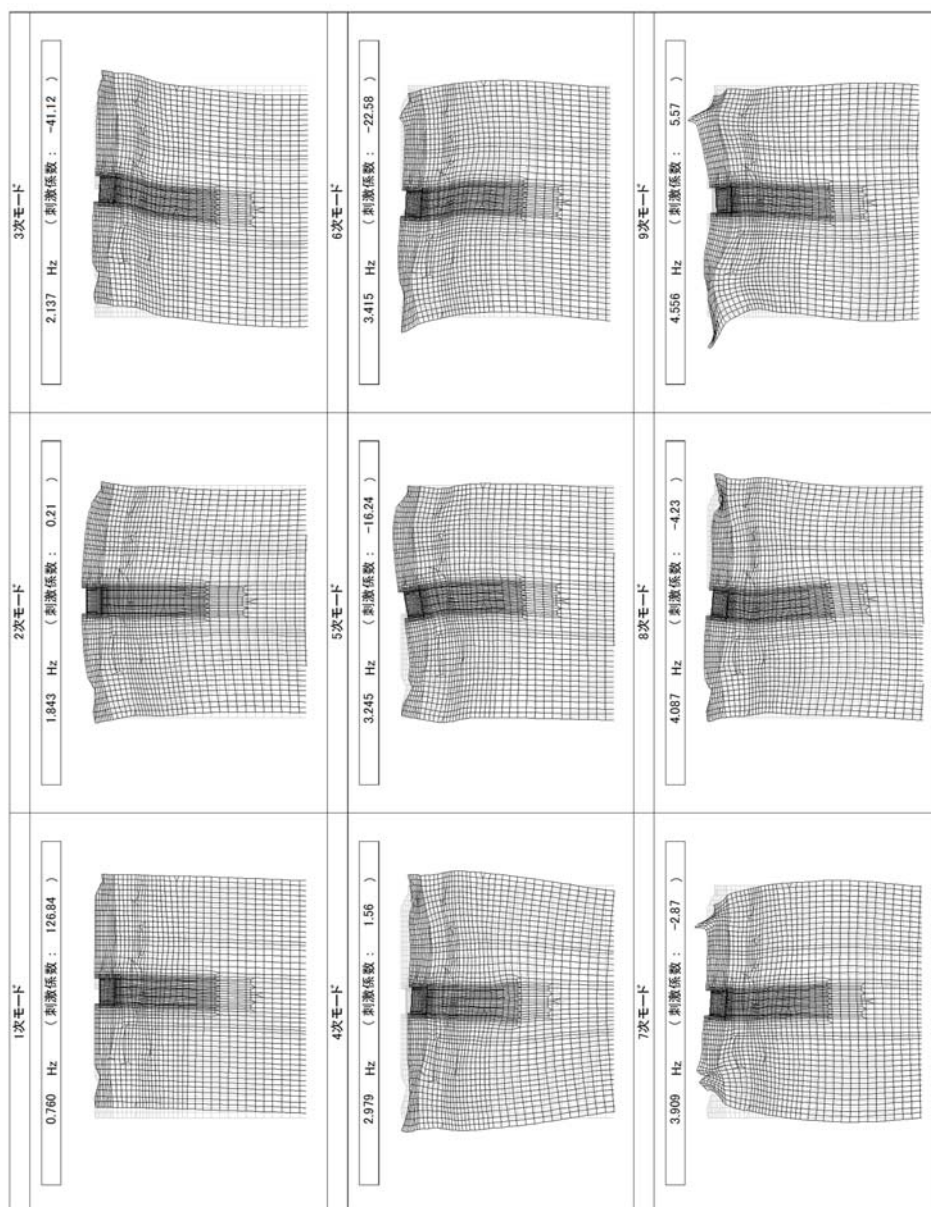
1 次の基準モードについては、地盤及び構造系全体がせん断変形しているモードを選定している。

なお、初期減衰定数は、地盤については 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。）とする。また、鋼材については 3%（道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（(社)日本道路協会，平成 14 年 3 月））、コンクリートについては 5%（J E A G 4 6 0 1 -1987）とする。



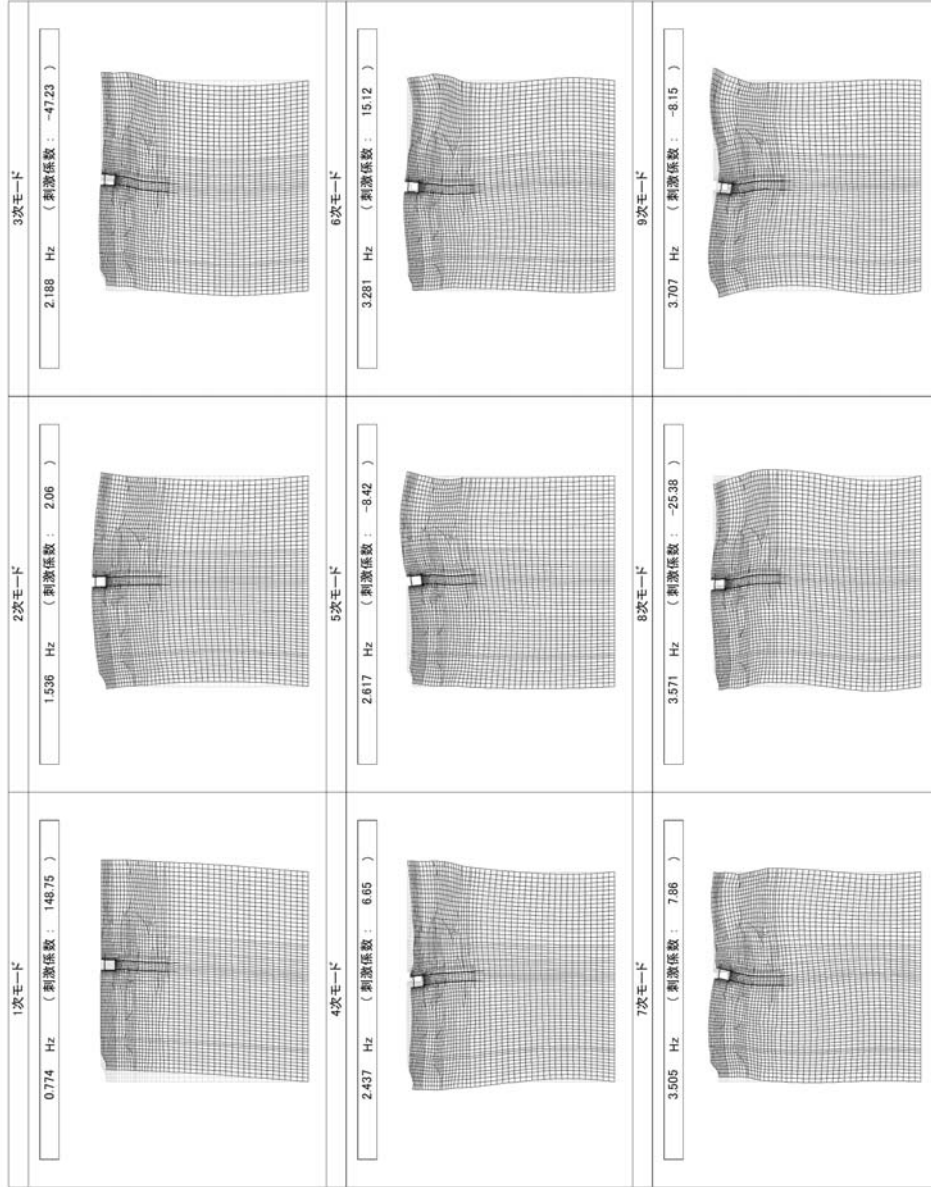
①-①断面

図 17-1 (1) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の固有値解析結果
(検討ケース①: 原地盤に基づく液化化強度特性を用いた解析ケース)



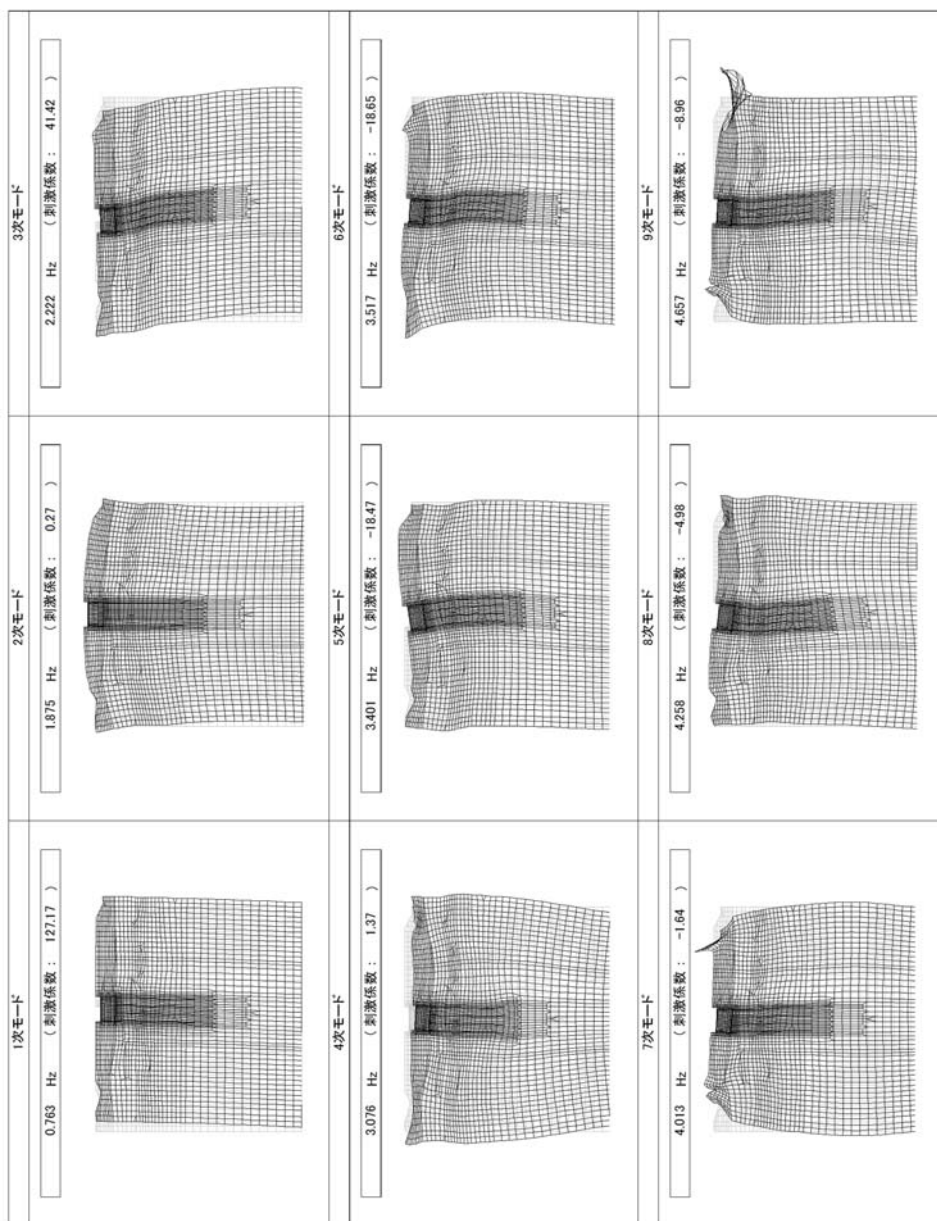
②-②断面

図 17-1 (2) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の固有値解析結果
(検討ケース①: 原地盤に基づく液化化強度特性を用いた解析ケース)



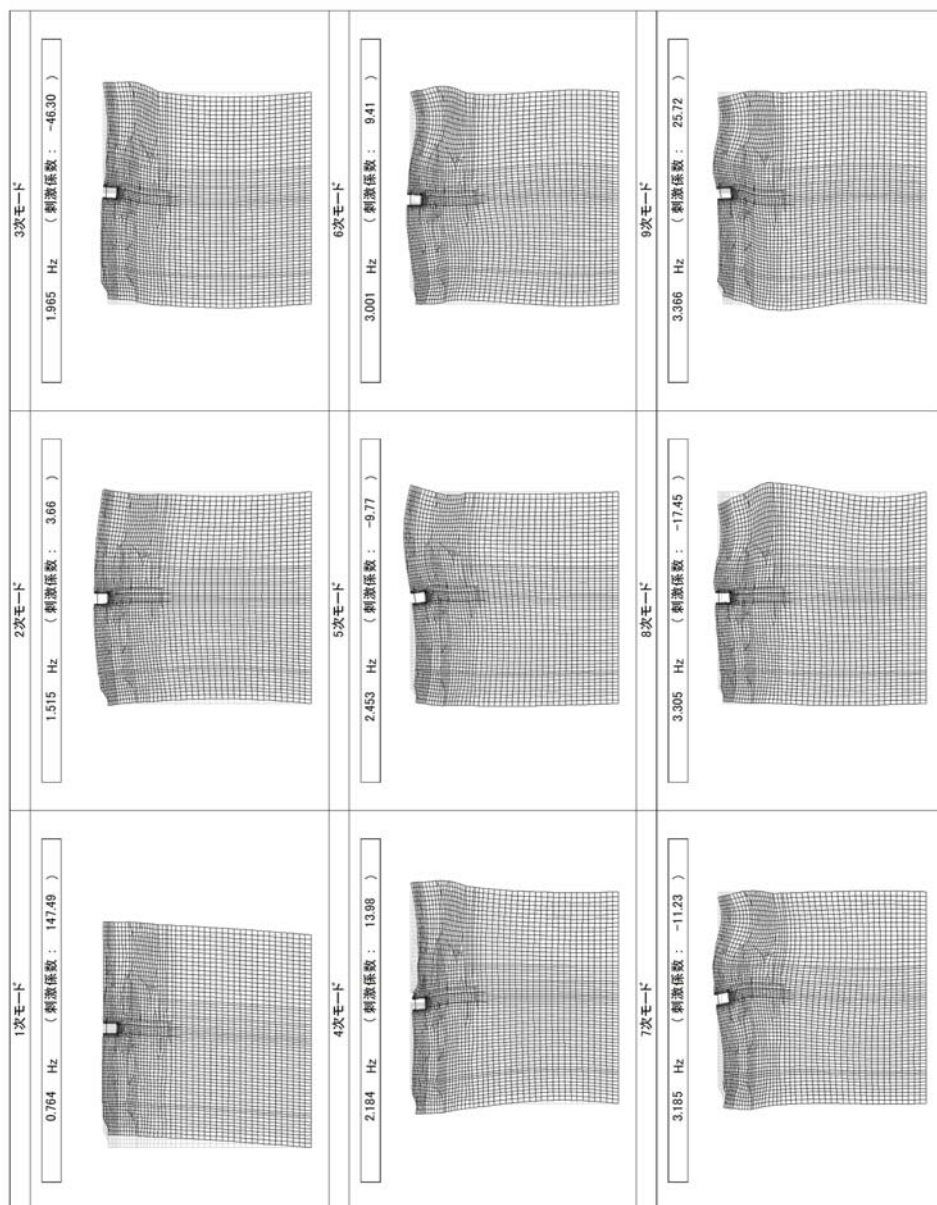
①-①断面

図 17-1 (3) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の固有値解析結果
(検討ケース②：地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース)



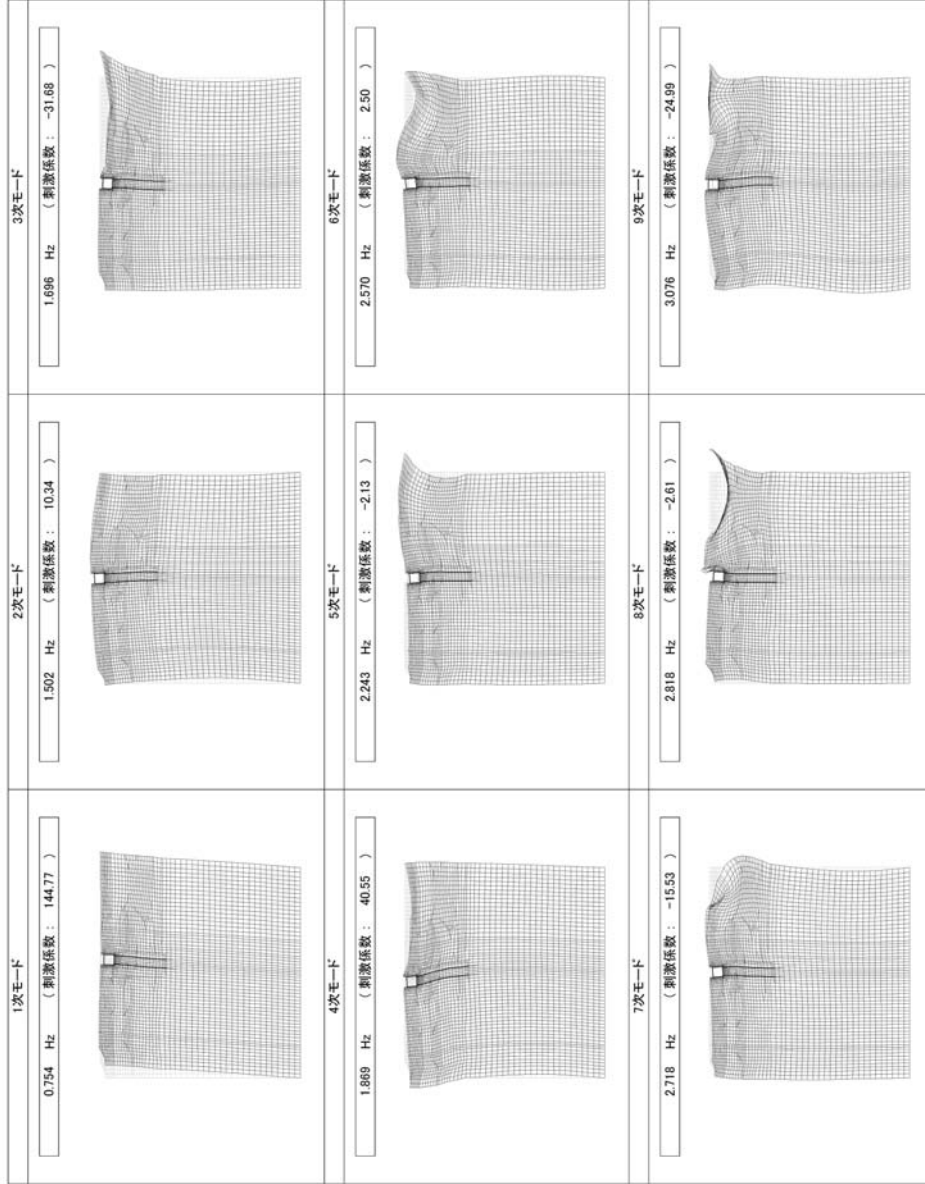
②-②断面

図 17-1 (4) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の固有値解析結果
(検討ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮 (+1 σ) した解析ケース)



①—①断面

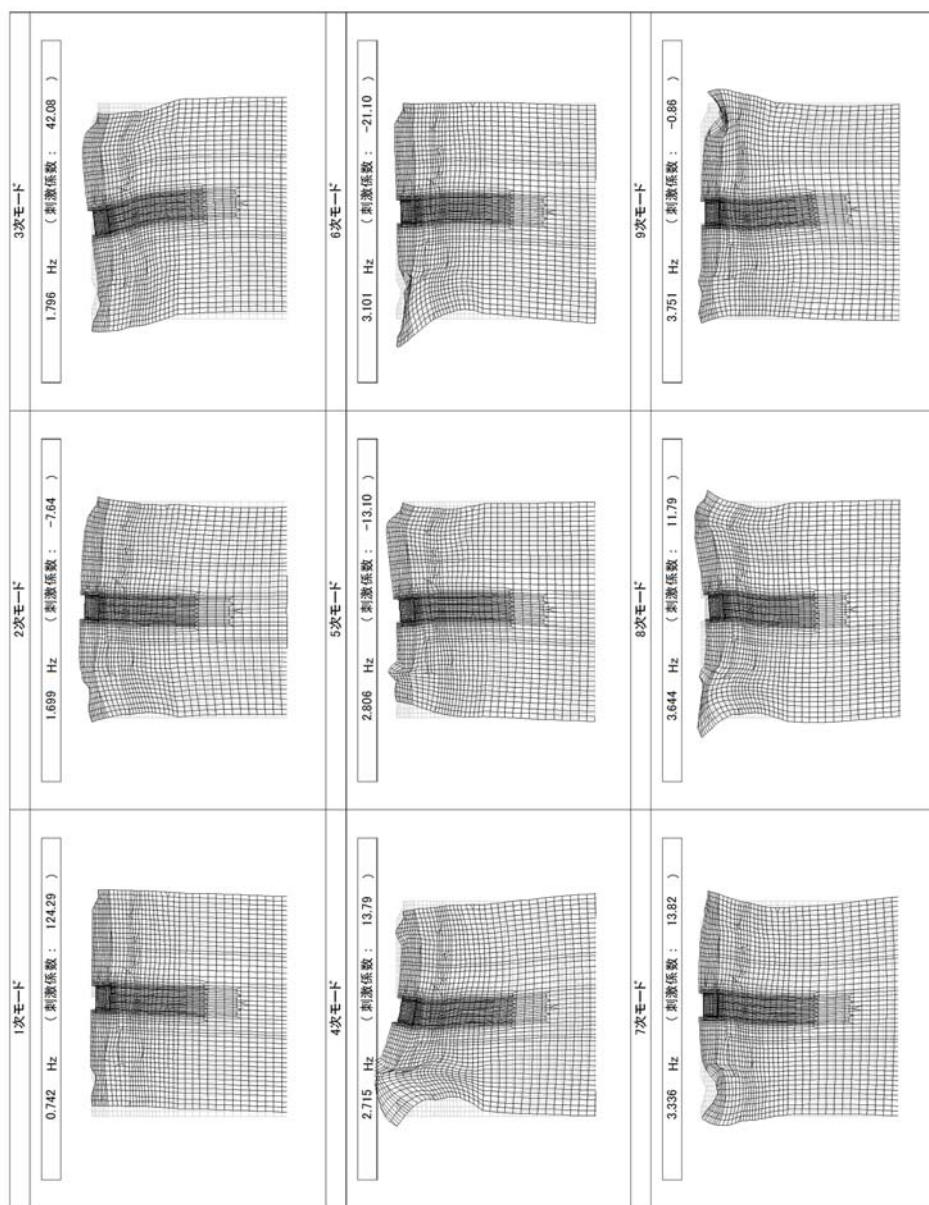
図 17-1 (5) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の固有値解析結果
(検討ケース③：地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース)



①—①断面

図 17-1 (6) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の固有値解析結果

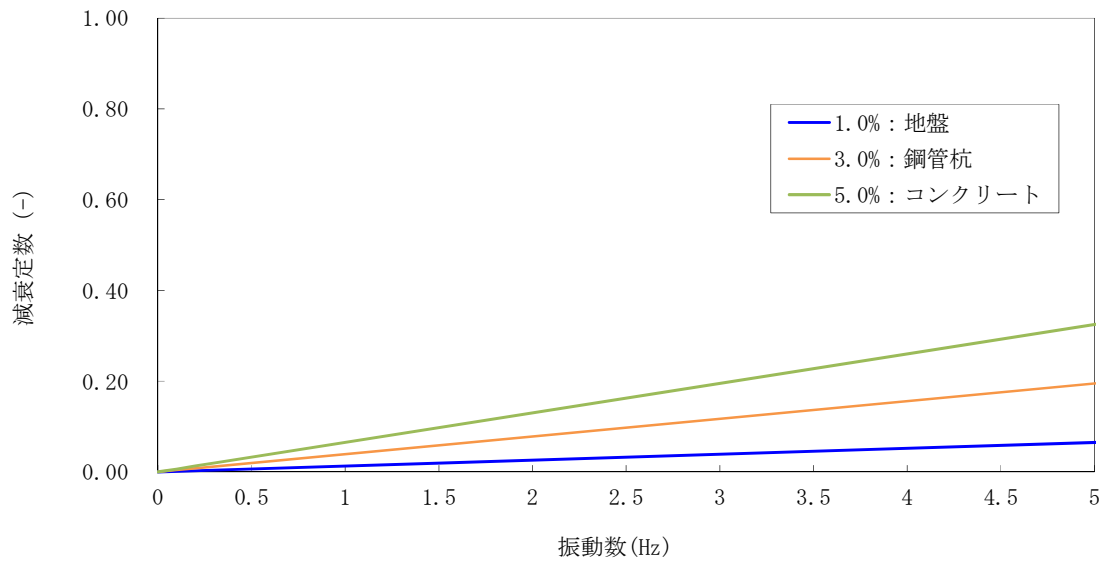
(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)



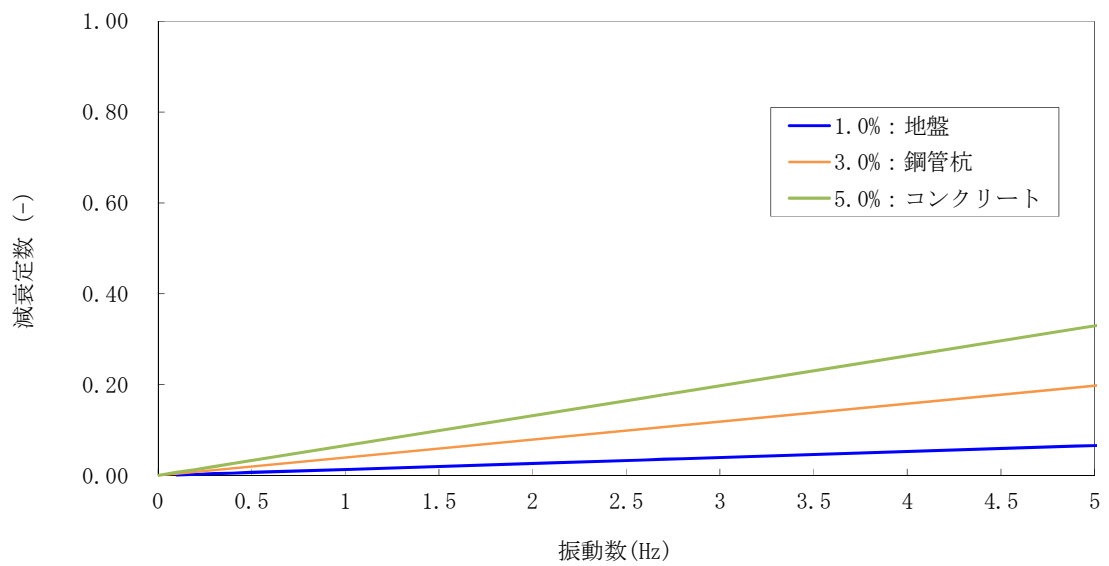
②-②断面

図 17-1 (7) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の固有値解析結果

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により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)

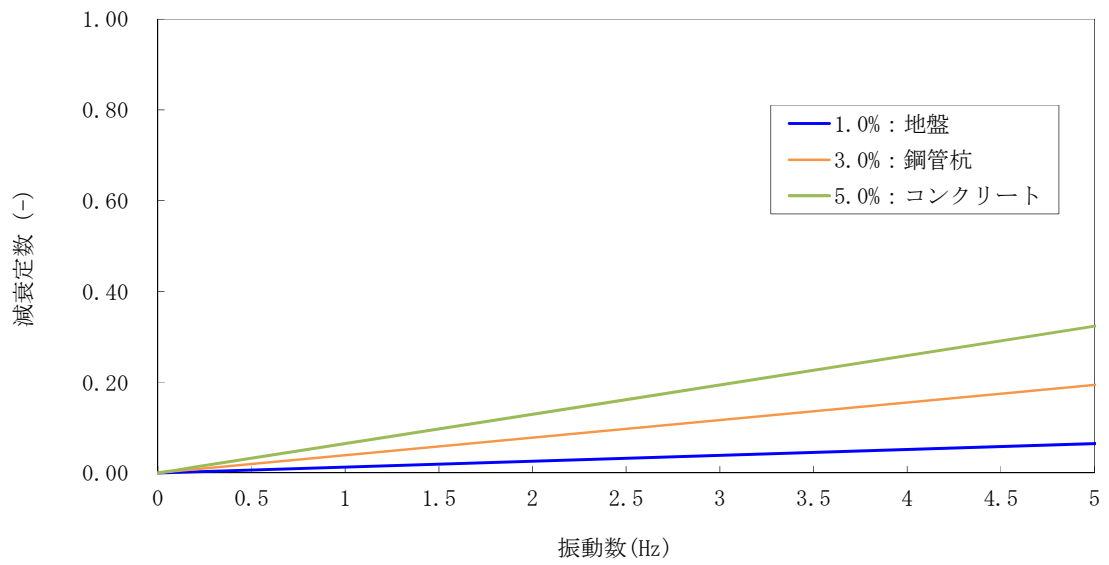


(a) ①-①断面

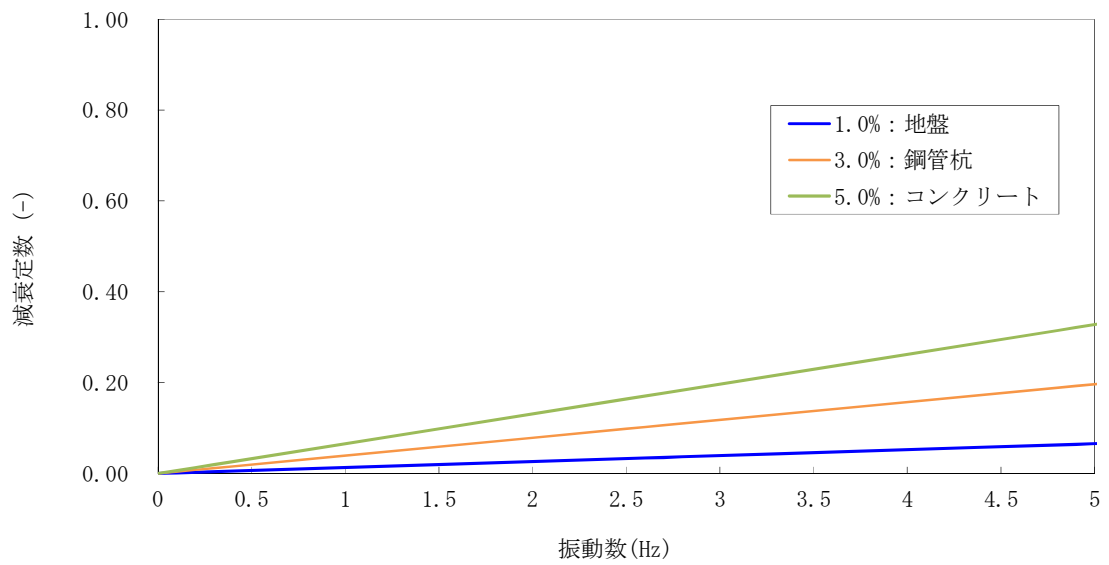


(b) ②-②断面

図 17-2 (1) 設定した Rayleigh 減衰
 (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)

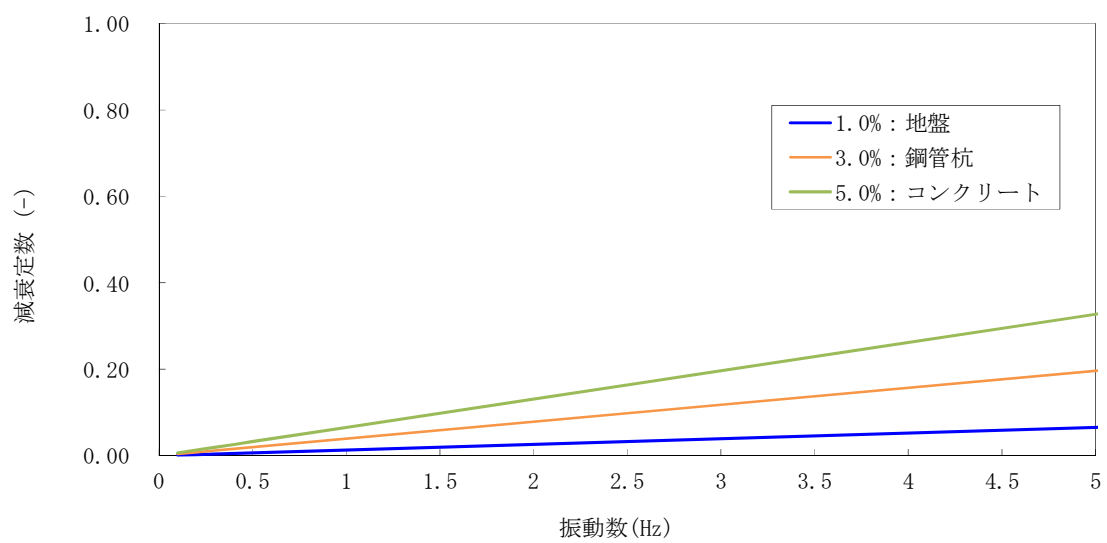


(a) ①-①断面



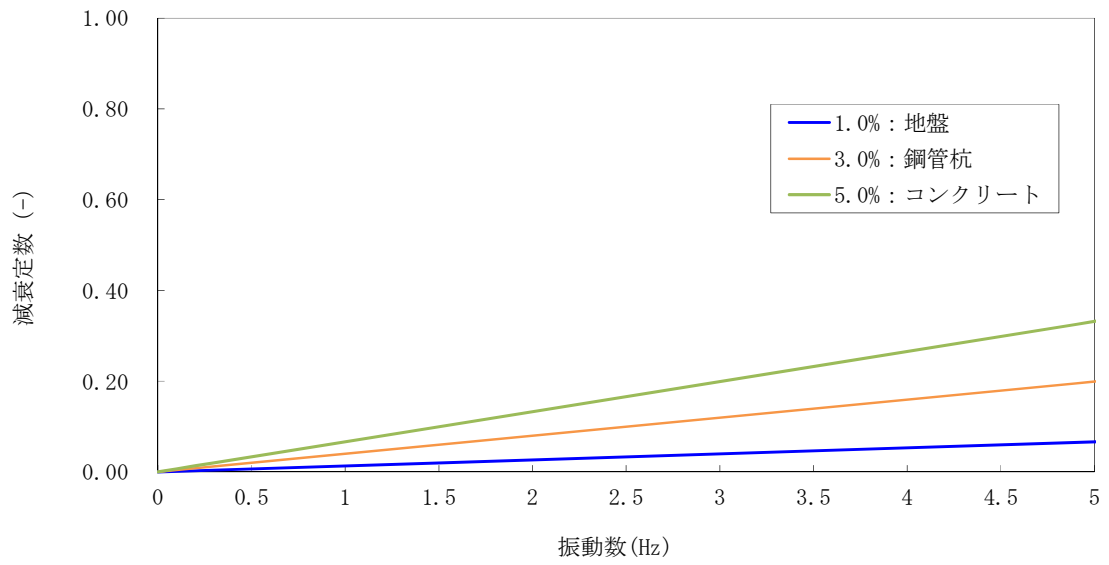
(b) ②-②断面

図 17-2 (2) 設定した Rayleigh 減衰
 (検討ケース②：地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース)

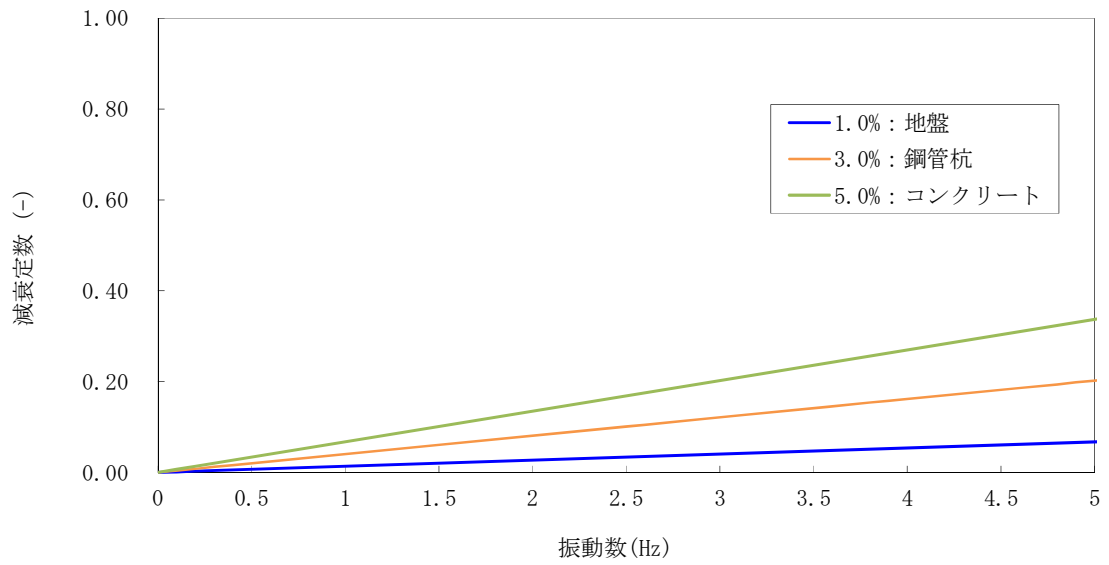


(a) ①-①断面

図 17-2 (3) 設定した Rayleigh 減衰
 (検討ケース③：地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース)



(a) ①-①断面



(b) ②-②断面

図 17-2 (4) 設定した Rayleigh 減衰

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により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)

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	12
18.2.6 評価構造物諸元	16
18.2.7 地下水位	17
18.2.8 地震応答解析手法	17
18.2.9 解析モデルの設定	18
18.2.10 減衰定数	32
18.2.11 荷重の組合せ	38
18.2.12 地震応答解析の検討ケース	41
18.3 評価内容	43
18.3.1 入力地震動の設定	43
18.3.2 許容限界の設定	76
18.4 評価結果	79
18.4.1 地震応答解析結果	79
18.4.2 耐震評価結果	79
18.5 まとめ	82

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）を適用する。また、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 14 年 3 月）を適用する。

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	<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) 	—
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) ・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	<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

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。

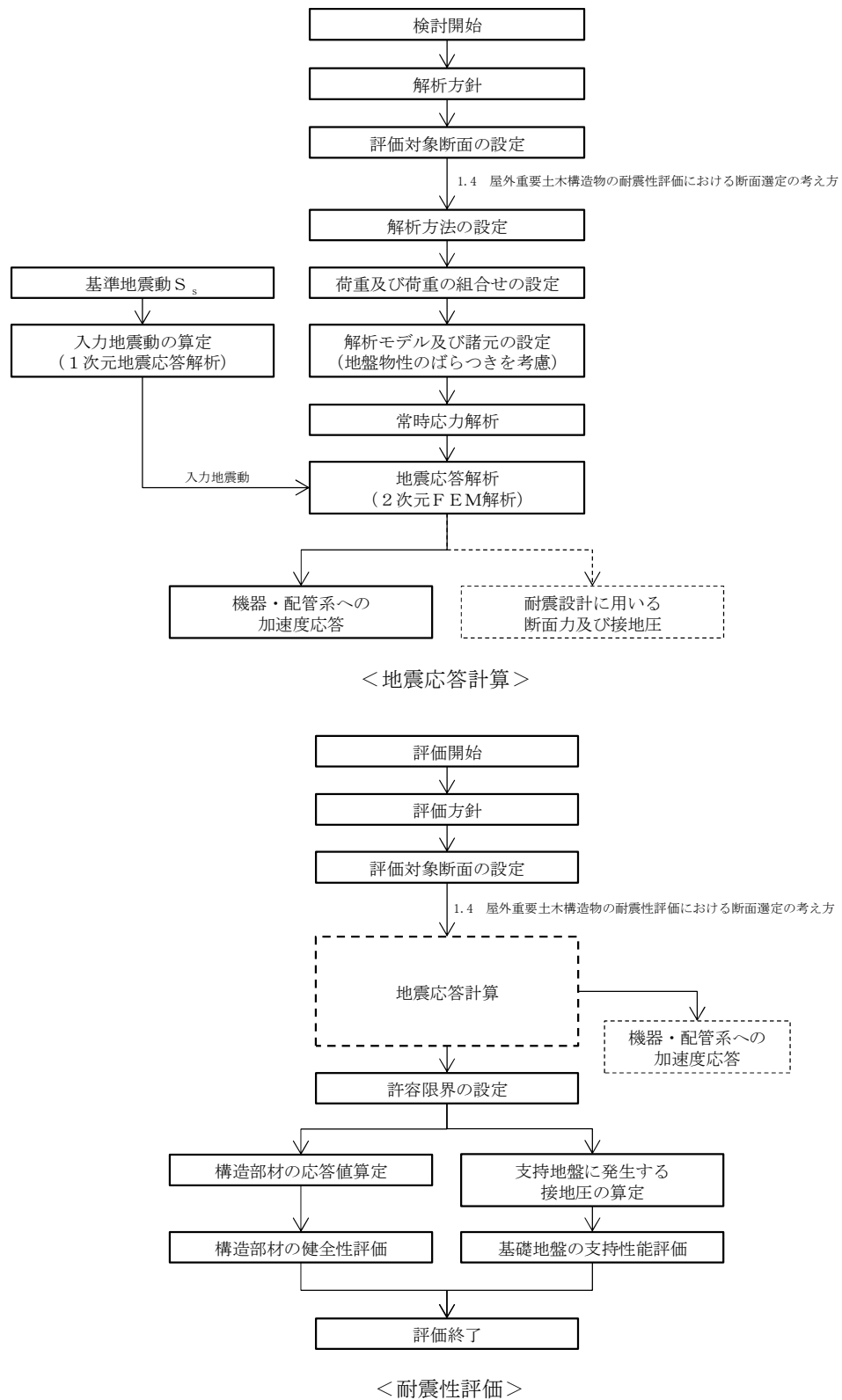


図 18.2-1 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価フロー

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。構造概要を図 18.2-5 に示す。

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。

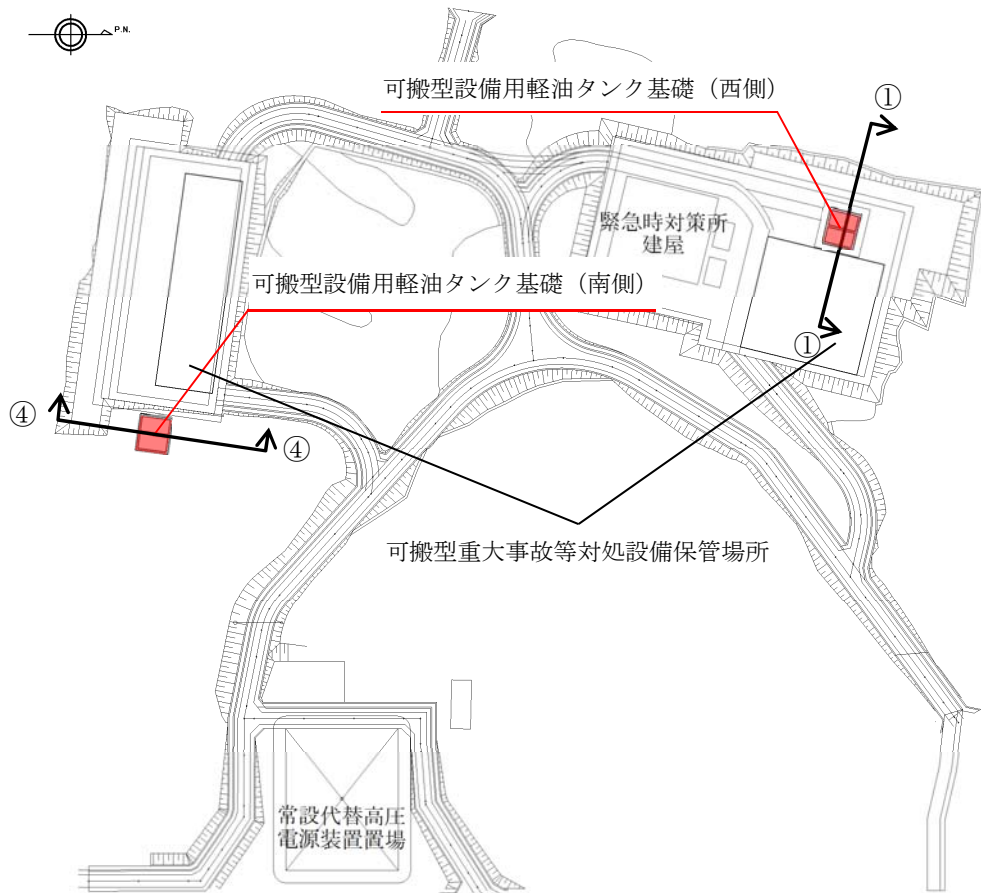
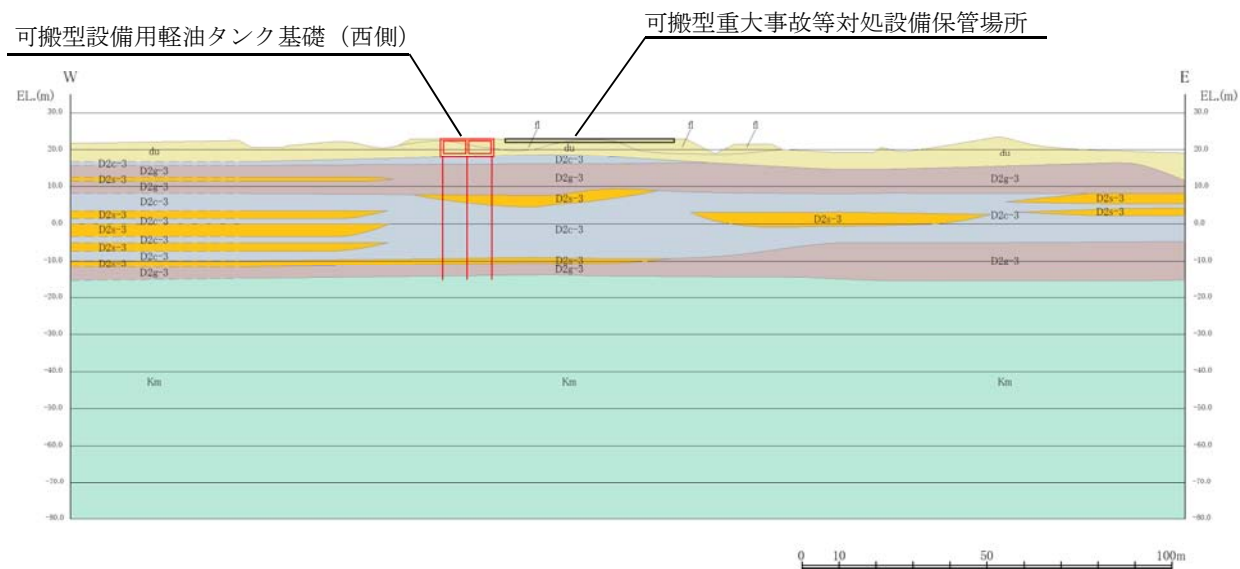
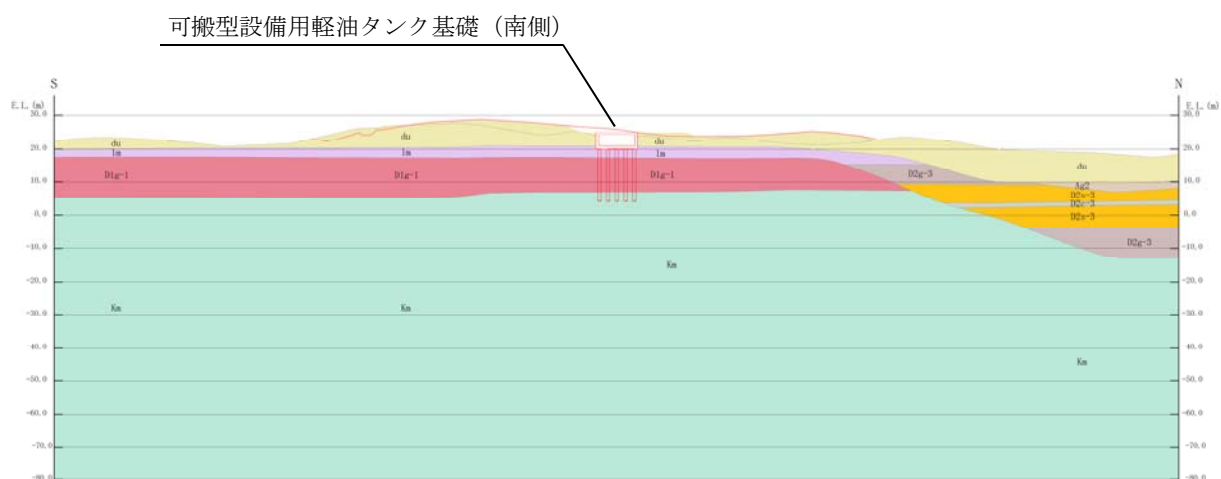


図 18.2-3 可搬型設備用軽油タンク基礎の断面位置図



(①—①断面)



(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

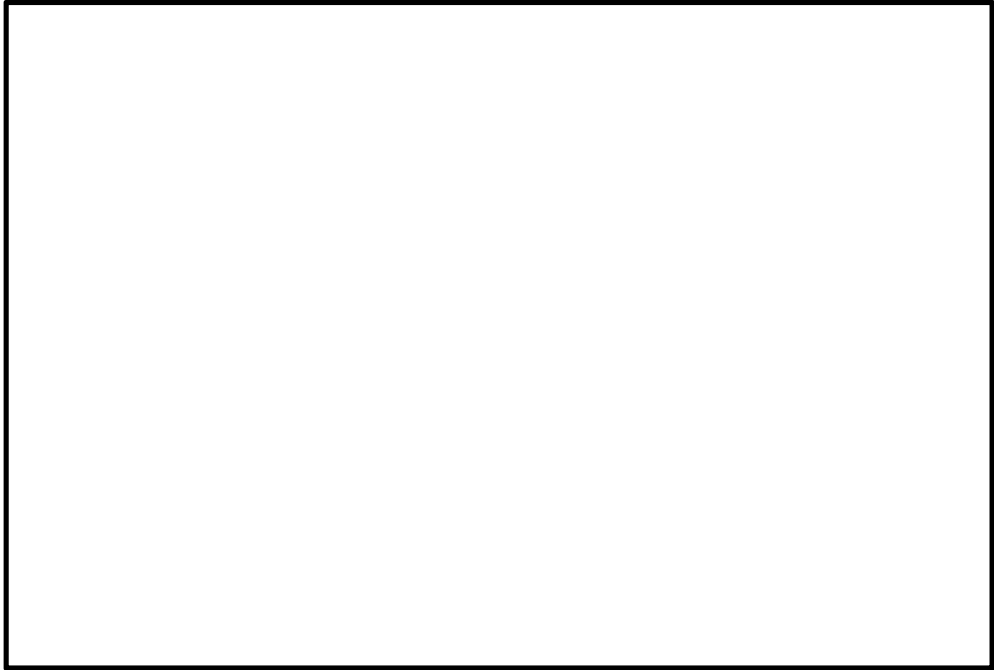


图 18.2-5 (1) 構造概要図 (平面図)

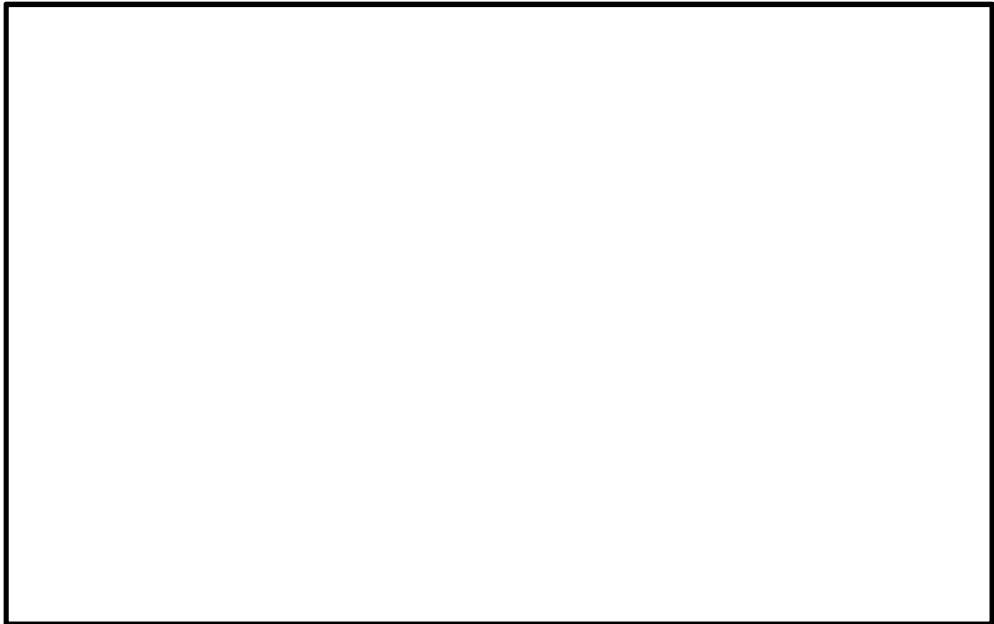


图 18.2-5 (2) 構造概要図 (A-A 断面)

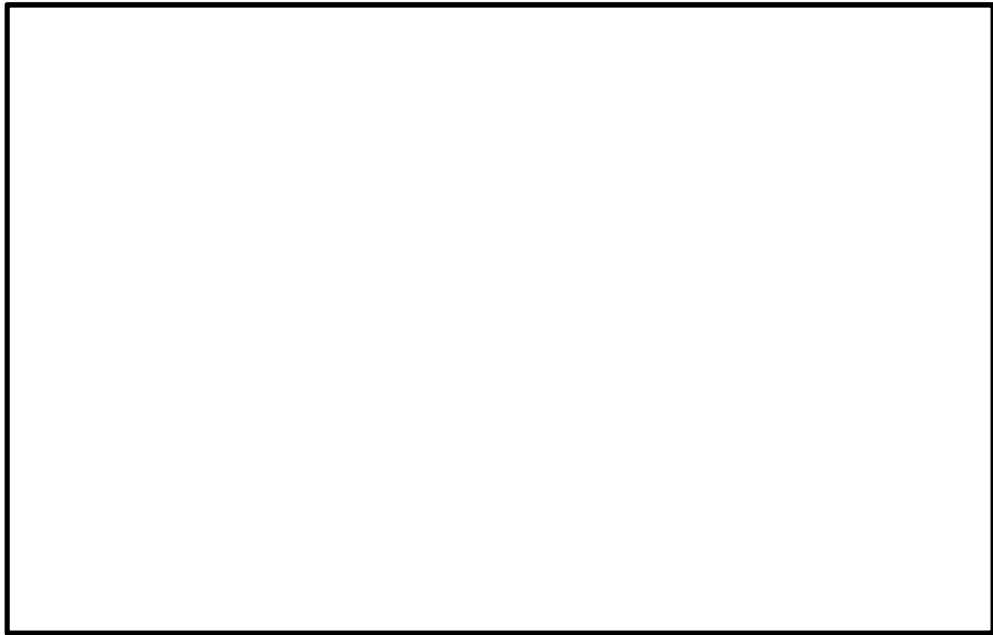


図 18.2-5 (3) 構造概要図 (B-B 断面)

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、規格、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、地盤改良体の物性値を表 18.2-5 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	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート	24.5 ^{*1}	3.1×10 ⁴ ^{*1}	0.2 ^{*1}	5 ^{*2}
鋼管杭	77 ^{*3}	2.0×10 ⁵ ^{*3}	0.3 ^{*3}	3 ^{*4}

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

*2：J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）

*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：道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

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	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)	1.92	2.15 (2.11)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.79	0.43	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.19	0.26	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)	966	1167 (1167)	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)	650611	1362035 (1362035)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.192	0.130	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0.01	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	35.8	44.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	33.4	41.4	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.048	0.030	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	17.6	45.2	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	4.80	8.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.96	0.60	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.15	3.82	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
				D2c-3	1m	Km
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.77	1.47 (1.43)	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.09	2.8	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.22	0.14	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	696	249 (223)	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	285223	38926 (35783)	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.186	0.151	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.026	0.042	
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	35.6	27.3	$23.2+0.0990 \cdot z$

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	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 ³)	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 $b_{max}(-)$	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	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	371,843	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	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644	1,644,000
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648	1,648,000
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	331,481	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652	1,652,000
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	332,992	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656	1,656,000
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659	1,659,000
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663	1,663,000
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	337,549	383,874	504	0.0	0.111	0.462	1,671	1,671,000
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,678	1,678,000
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654	1,654,000
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	342,139	389,096	498	0.0	0.112	0.461	1,662	1,662,000
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	498	0.0	0.113	0.461	1,680	1,680,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	498	0.0	0.113	0.460	1,664	1,664,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	346,754	394,349	498	0.0	0.114	0.460	1,672	1,672,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	348,300	396,107	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	350,851	397,869	498	0.0	0.115	0.460	1,683	1,683,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	352,407	399,636	498	0.0	0.115	0.459	1,667	1,667,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	353,967	401,407	498	0.0	0.115	0.459	1,675	1,675,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	355,531	403,181	498	0.0	0.116	0.459	1,683	1,683,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	357,100	404,959	498	0.0	0.116	0.459	1,691	1,691,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	358,674	406,741	498	0.0	0.116	0.459	1,699	1,699,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	360,254	408,527	498	0.0	0.117	0.458	1,707	1,707,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	361,839	410,317	498	0.0	0.117	0.458	1,715	1,715,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	363,429	412,111	498	0.0	0.118	0.458	1,723	1,723,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	365,024	413,909	498	0.0	0.118	0.458	1,731	1,731,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	366,624	415,711	498	0.0	0.119	0.457	1,739	1,739,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	368,229	417,517	498	0.0	0.119	0.457	1,747	1,747,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	369,839	419,327	498	0.0	0.120	0.457	1,755	1,755,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	371,454	421,141	498	0.0	0.120	0.457	1,763	1,763,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	373,074	422,959	498	0.0	0.121	0.456	1,771	1,771,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	374,699	424,781	498	0.0	0.121	0.456	1,779	1,779,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	376,329	426,607	498	0.0	0.122	0.455	1,787	1,787,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	377,964	428,437	498	0.0	0.122	0.455	1,795	1,795,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	379,604	430,271	492	0.0	0.123	0.455	1,803	1,803,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	381,249	432,109	492	0.0	0.123	0.455	1,811	1,811,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	382,899	433,951	492	0.0	0.124	0.454	1,819	1,819,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	384,554	435,797	492	0.0	0.124	0.454	1,827	1,827,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	386,214	437,647	492	0.0	0.125	0.454	1,835	1,835,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	387,879	439,499	492	0.0	0.125	0.454	1,843	1,843,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	389,549	441,355	492	0.0	0.126	0.453	1,851	1,851,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	391,224	443,215	492	0.0	0.126	0.453	1,859	1,859,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	393,099	445,079	492	0.0	0.127	0.453	1,867	1,867,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	394,979	446,947	492	0.0	0.127	0.453	1,875	1,875,000
57	-82	-83 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	396,864	448,819	492	0.0	0.128	0.453	1,883	1,883,000
58	-84	-85 ~ -83	1.73	0.14	864	14.9	498	398,754	450,695	492	0.0	0.128	0.453	1,891	1,891,000
59	-86	-87 ~ -85	1.73	0.14	876	14.7	499	400,649	452,575	492	0.0	0.129	0.453	1,899	1,899,000
60	-88	-89 ~ -87	1.73	0.14	888	14.5	501	402,549	454,459	492	0.0	0.129	0.453	1,907	1,907,000
61	-90	-91 ~ -89	1.73	0.14	900	14.3	502	404,454	456,347	492	0.0	0.130	0.453	1,915	1,915,000
62	-92	-93 ~ -91	1.73	0.14	912	14.1	504	406,364	458,239	492	0.0	0.130	0.453	1,923	1,923,000
63	-94	-95 ~ -93	1.73	0.14	924	13.9	505	408,279	460,135	492	0.0	0.131	0.453	1,931	1,931,000
64	-96	-97 ~ -95	1.73	0.14	936	13.7	506	410,199	462,035	492	0.0	0.131	0.453	1,939	1,939,000
65	-98	-99 ~ -97	1.73	0.14	948	13.5	508	412,124	463,939	492	0.0	0.132	0.453	1,947	1,947,000
66	-100	-101 ~ -99	1.73	0.13	960	13.3	510	414,054	465,847	486	0.0	0.132	0.452	1,955	1,955,000
67	-102	-103 ~ -101	1.73	0.13	972	13.1	512	415,989	467,759	486	0.0	0.133	0.452	1,963	1,963,000
68	-104	-105 ~ -103	1.73	0.13	984	12.9	514	417,929	469,675	486	0.0	0.133	0.452	1,971	1,971,000
69	-106	-107 ~ -105	1.73	0.13	996	12.7	516	419,874	471,595	486	0.0	0.134	0.452	1,979	1,979,000
70	-108	-109 ~ -107	1.73	0.13	1,008	12.5	518	421,824	473,519	486	0.0	0.134	0.452	1,987	1,987,000
71	-110	-111 ~ -109	1.73	0.13	1,020	12.3	520	423,779	475,447	486	0.0	0.135	0.452	1,995	1,995,000
72	-112	-113 ~ -111	1.73	0.13	1,032	12.1	522	425,739	477,379	486	0.0	0.135	0.452	2,003	2,003,000
73	-114	-115 ~ -113	1.73	0.13	1,044	11.9	524	427,699	479,315	486	0.0	0.136	0.452	2,011	2,011,000
74	-116	-117 ~ -115	1.73	0.13	1,056	11.7	526	429,659	481,255	486	0.0	0.136	0.452	2,019	2,019,000
75	-118	-119 ~ -117	1.73	0.13	1,068	11.5	528	431,624	483,199	486	0.0	0.137	0.452	2,027	2,027,000
76	-120	-121 ~ -119	1.73	0.13	1,080	11.3	530	433,594	485,147</						

表 18.2-5 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)	
	ピーク強度 C_u (N/mm ²)	$1.44 P + 1.76$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)	$1.60 P + 7.80$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)
	残留強度 τ_0 (N/mm ²)	$1.44 P + 0.808$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)	$1.60 P + 2.05$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)

18.2.6 評価構造物諸元

許容応力度による照査を行う可搬型設備用軽油タンク基礎の評価構造物諸元を表 18.2-6 に示す。評価部位を図 18.2-6 に示す。

表 18.2-6 (1) 評価部位とその仕様 (その1)

部位	仕様		材料		機能要求
	部材幅 (m)	部材高 (m)	コンクリート f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	
底版	1.000	1.000	40	SD490	可搬型設備用軽油タンク の間接支持機能
側壁	1.000	0.800	40	SD490	
隔壁	1.000	0.800	40	SD490	
頂版	1.000	0.500	40	SD490	

表 18.2-6 (2) 評価部位とその仕様 (その2)

部位	仕様		材料	機能要求
	杭径 (mm)	板厚 (mm)		
鋼管杭	1000	40	SKK490	可搬型設備用軽油タンク基礎を支持する。

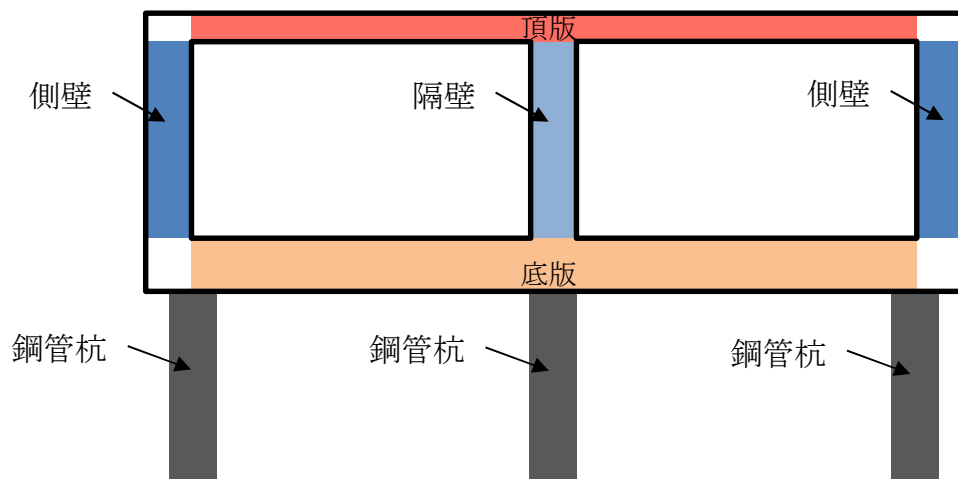


図 18.2-6 評価部位

18.2.7 地下水位

地下水位は地表面に設定する。

18.2.8 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、V-5-10「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 18.2-7 に示す。

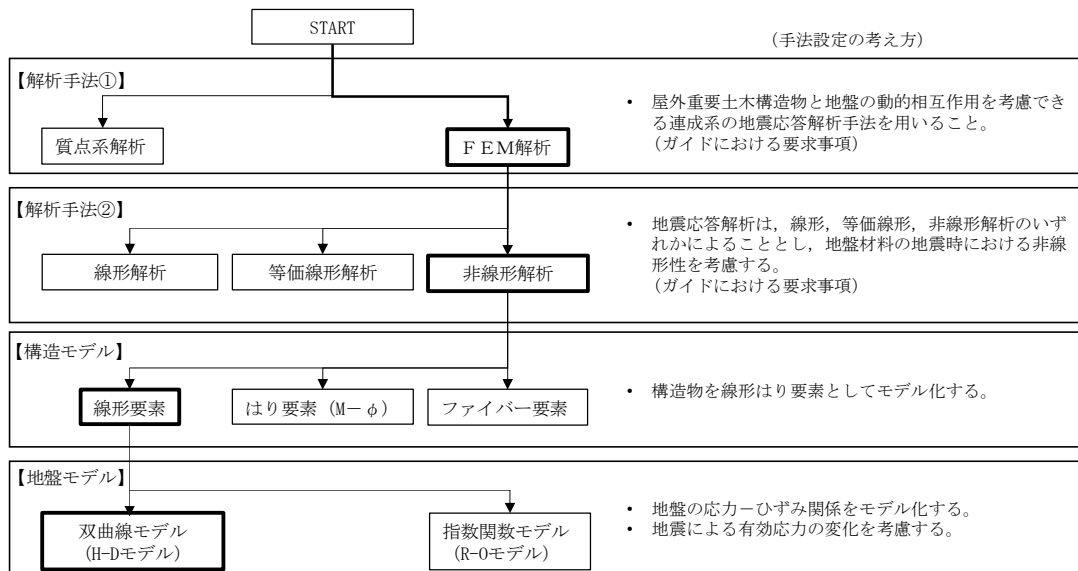


図 18.2-7 地震応答解析手法の選定フロー

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。

18.2.9 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 18.2-8 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。

可搬型設備用軽油タンク基礎周辺の地質断面図を図 18.2-9 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。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20 Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 または 4 分割、すなわち $V_s/100$ 又は $V_s/80$ を考慮し、要素高さを 1 m 程度まで細分割して設定する。

地震応答解析モデルを図 18.2-10 に示す。

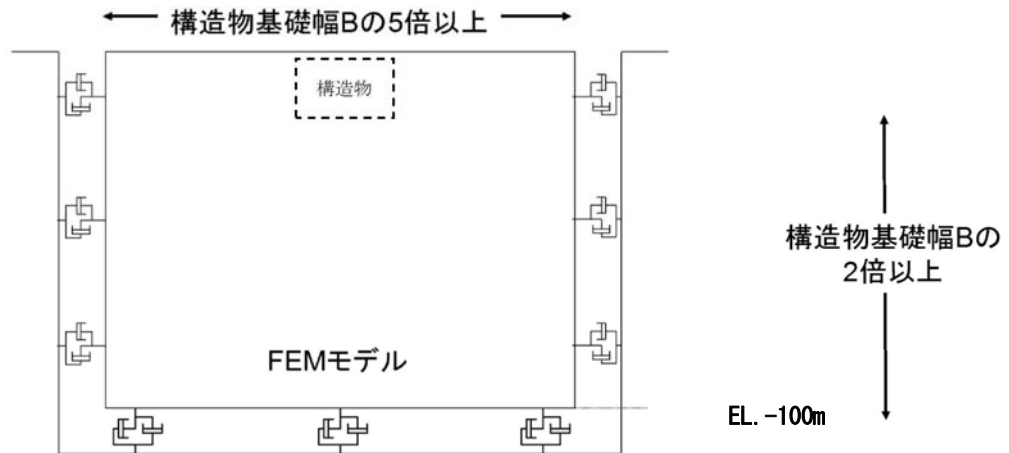


図 18.2-8 モデル範囲の考え方

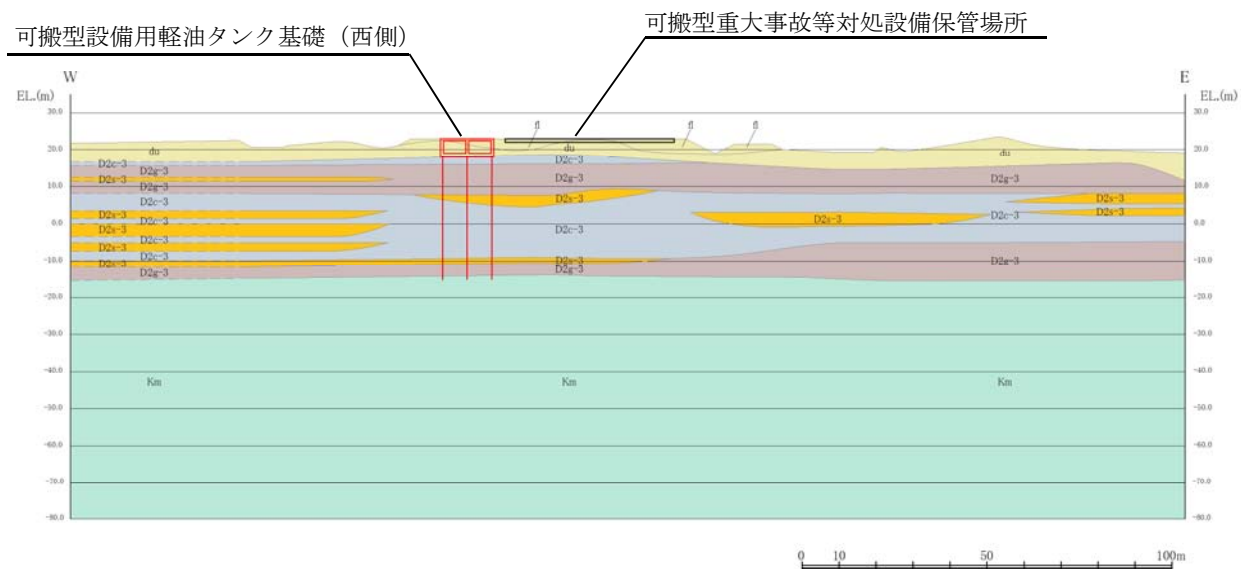


図 18.2-9 (1) 地質断面図 (①-①断面)

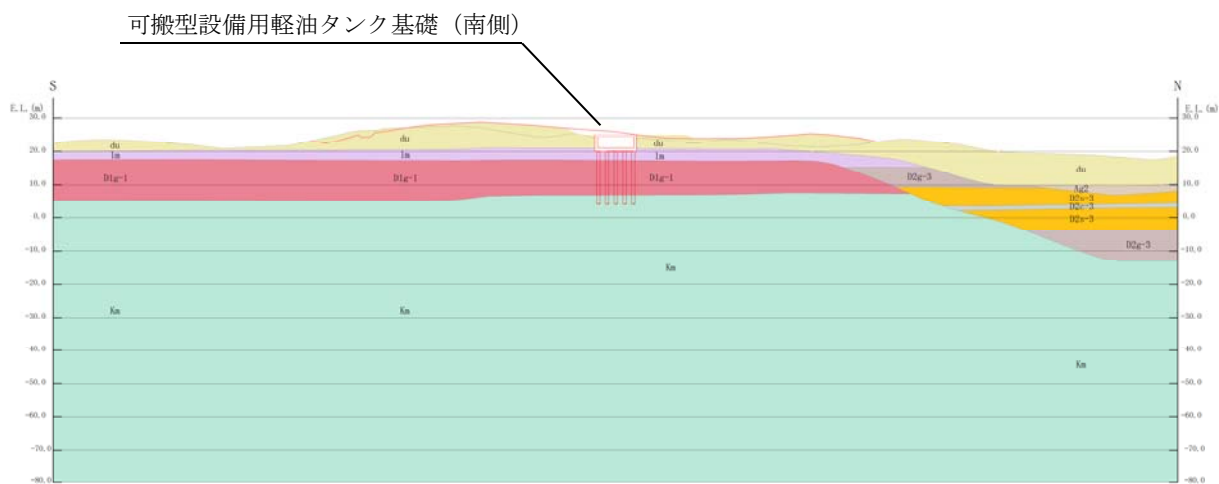


図 18.2-9 (2) 地質断面図 (④-④断面)

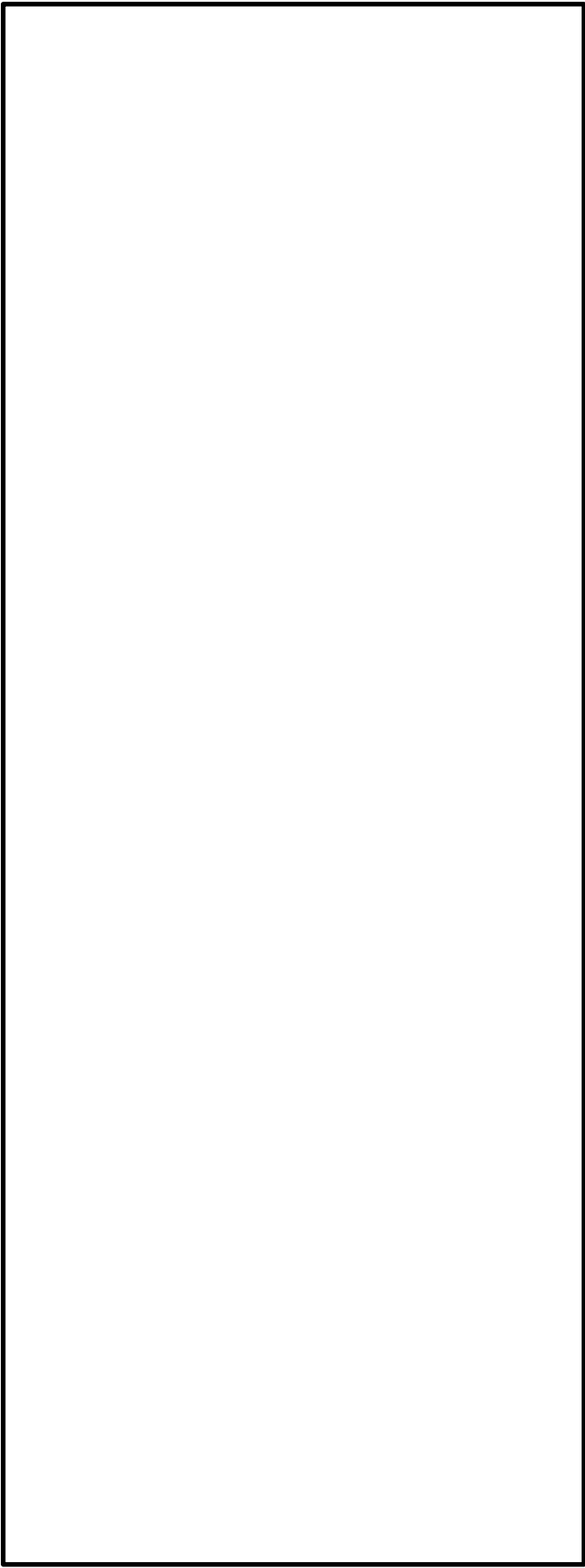


図 18.2-10 (1) 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析モデル

(①-①断面 モデル全体)

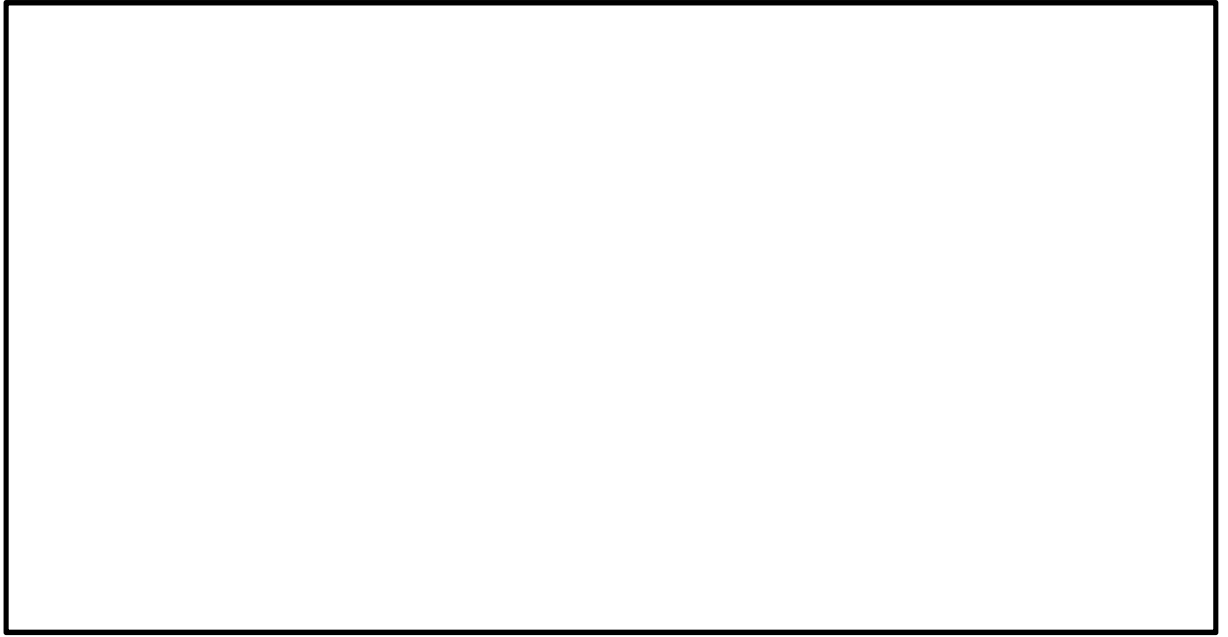


図 18.2-10 (2) 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析モデル
(①-①断面 モデル位置拡大)

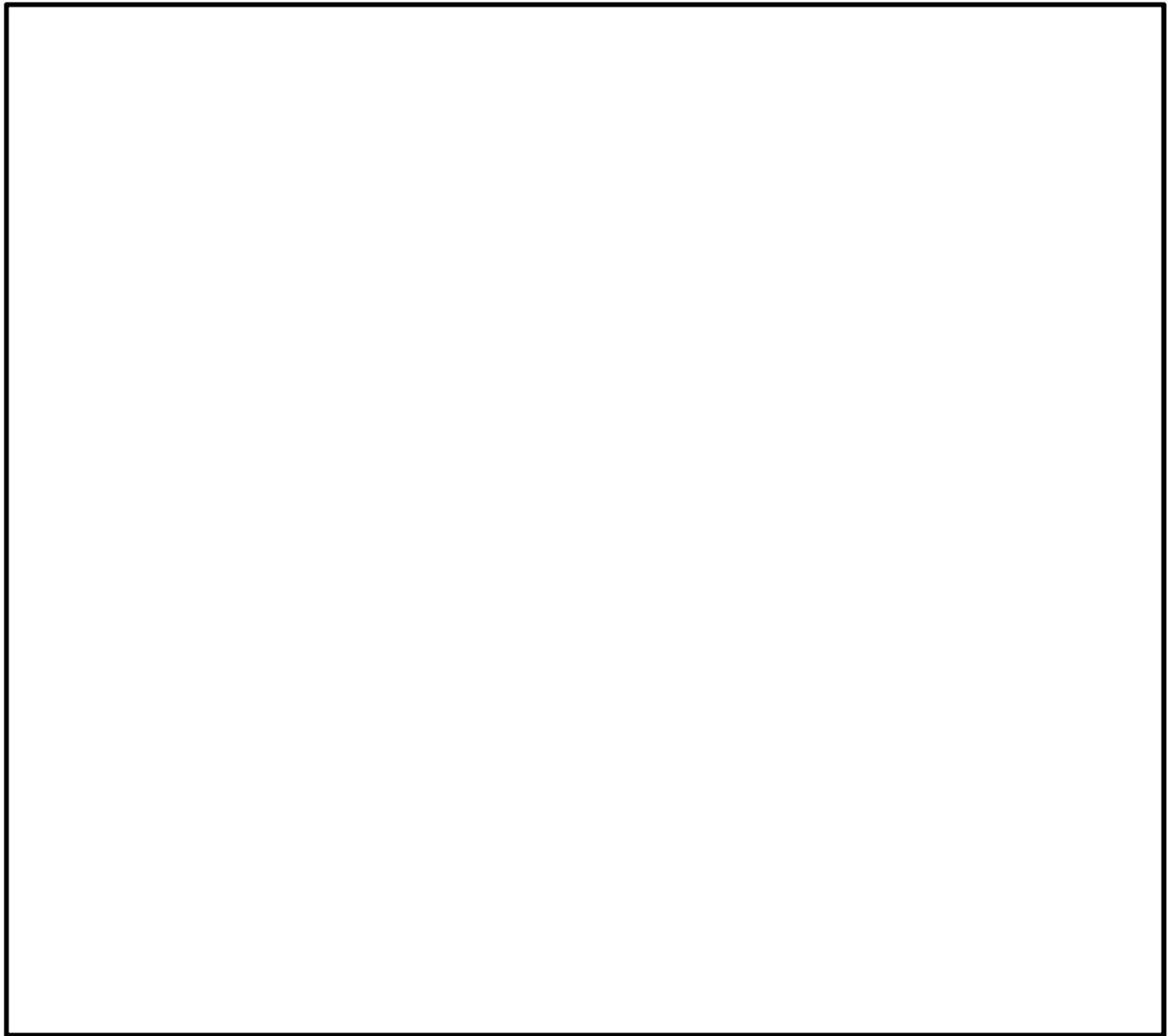


図 18.2-10 (3) 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析モデル
(④-④断面 モデル全体)

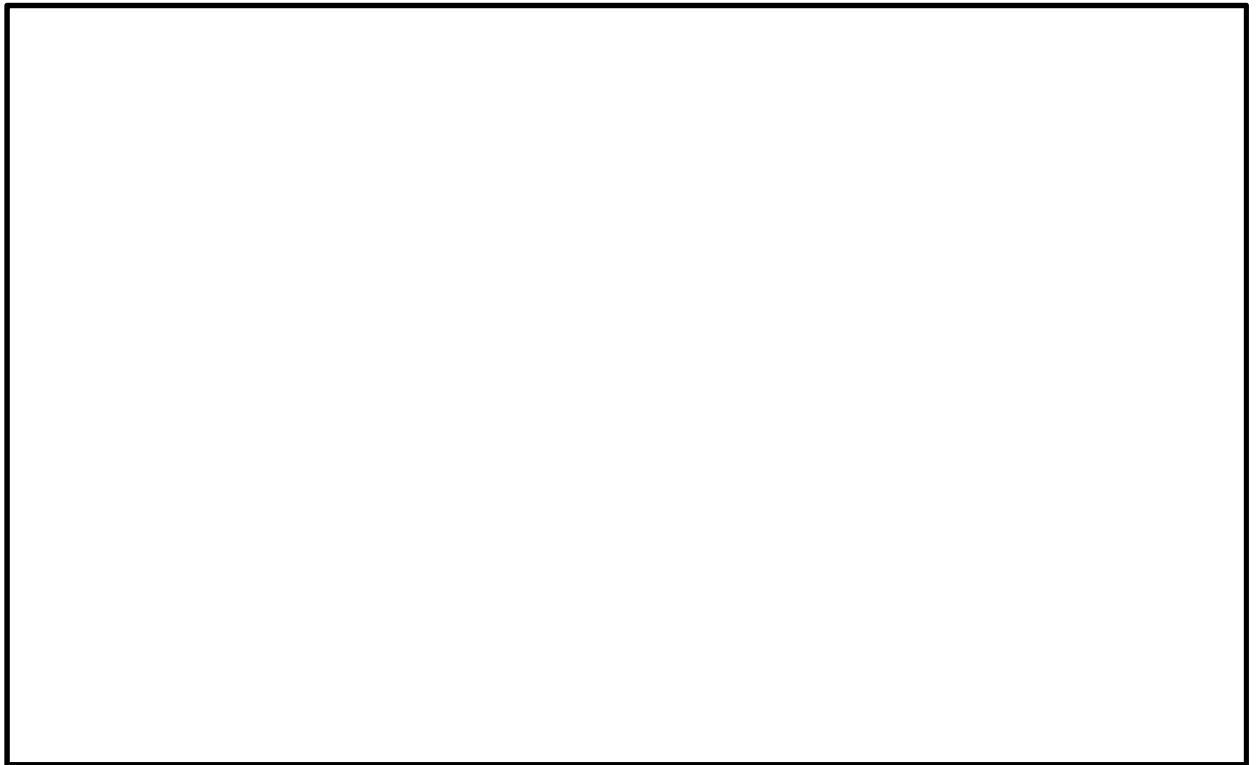


図 18.2-10 (4) 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答解析モデル
(④-④断面 モデル位置拡大)

(2) 構造物のモデル化

①-①断面における可搬型設備用軽油タンク基礎は、底版、側壁、隔壁、頂版及び鋼管杭を線形はり要素としてモデル化する。

底版、側壁、隔壁及び頂版の線形はり要素の交点には、「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）」に基づき剛域を設ける。

可搬型設備用軽油タンク基礎の解析モデル図を図 18.2-11 に示す。

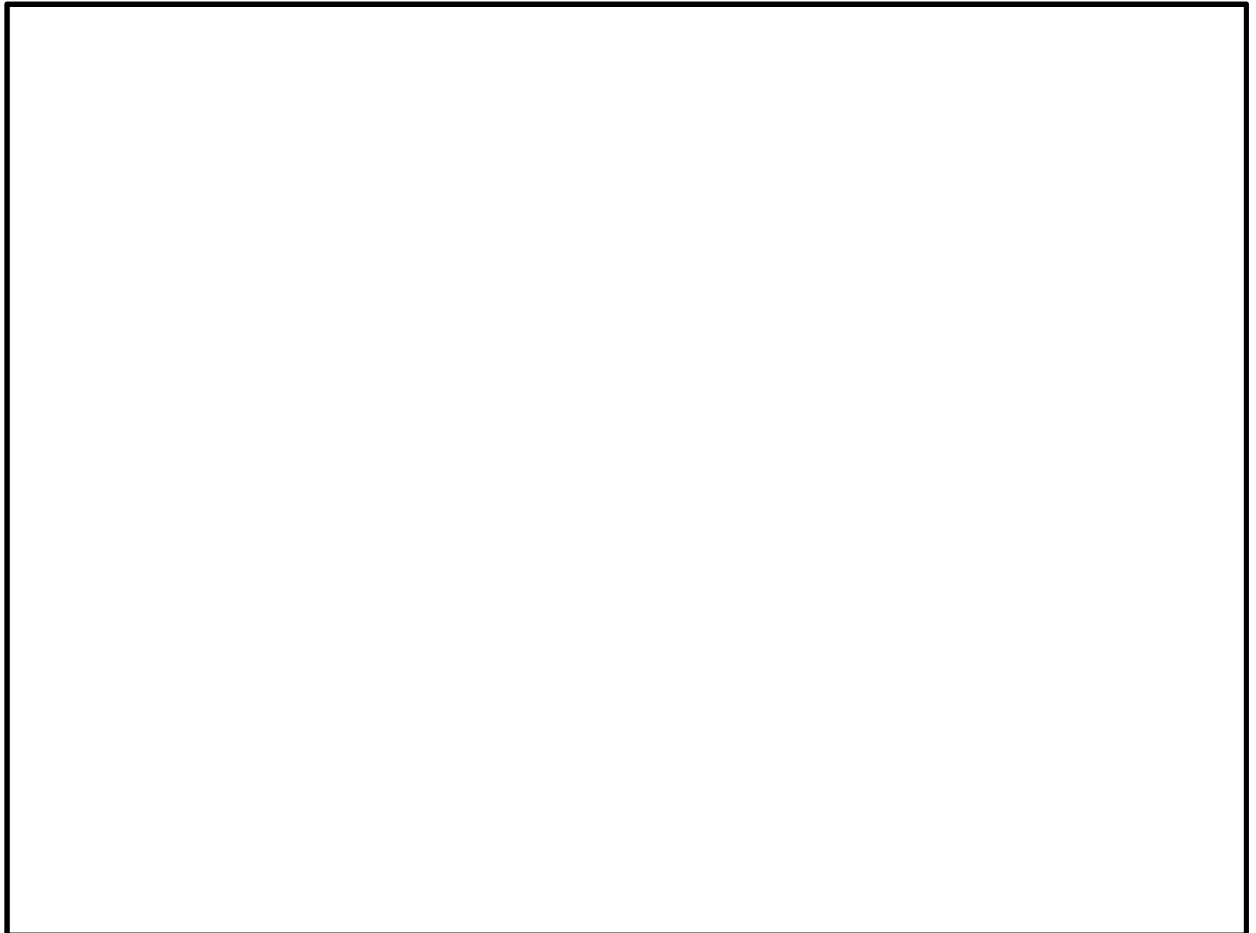


図 18.2-11 (1) 可搬型設備用軽油タンク基礎の解析モデル (①-①断面)

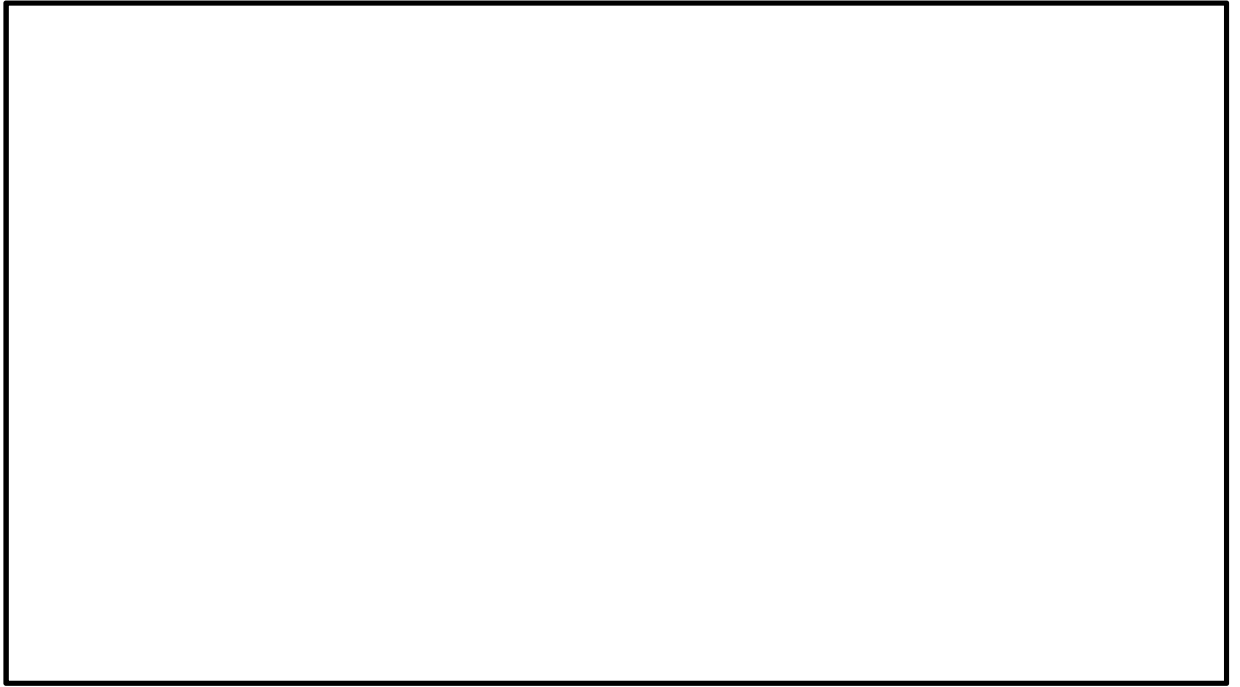


図 18.2-11 (2) 可搬型設備用軽油タンク基礎のモデル概要 (①-①断面)
(構造物部分拡大図)

(追而)

図 18.2-11 (3) 可搬型設備用軽油タンク基礎のモデル概要 (④-④断面)

(追而)

図 18.2-11 (4) 可搬型設備用軽油タンク基礎のモデル概要 (④-④断面)
(構造物部分拡大図)

(3) 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、強震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断応力が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

なお、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	f 1 層	0	37.3	du 層で代用
	du 層	0	37.3	—
	lm 層	0.042	27.3	—
	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)

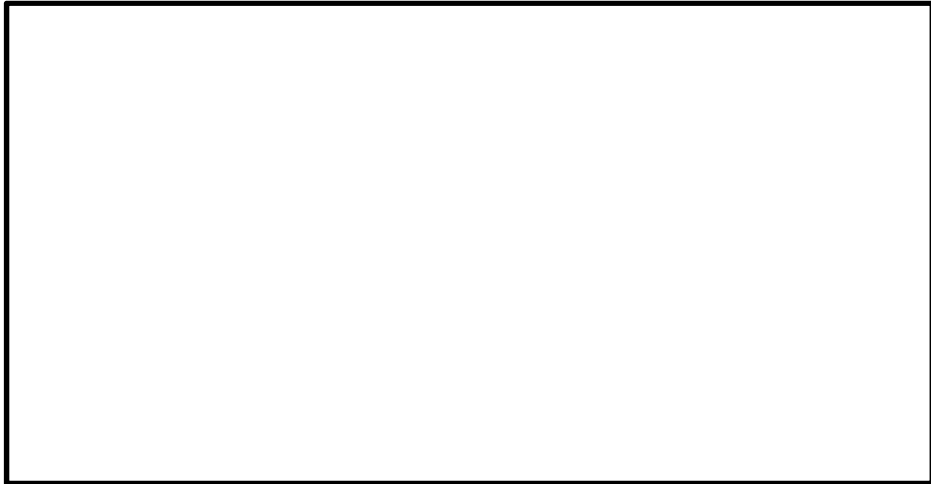
ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きい値として、港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター）に従い、表 18.2-6 のとおり設定する。ジョイント要素の設定値を図 18.2-12 に、ジョイント要素設定の考え方を図 18.2-13 に示す。

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)

— : ジョイント要素

図 17.2-12 ジョイント要素の設定位置

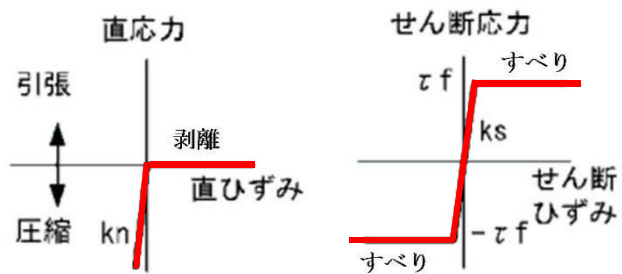


図 18.2-13 ジョイント要素の考え方

(4) 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。

(5) 杭－地盤相互作用ばねの設定

地盤と杭の接合面に杭－地盤相互作用ばねを設けることにより、地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の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については、地盤と杭の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が発生した場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 18.2-14 に杭－地盤相互作用ばねの考え方を示す。

なお、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	f 1 層	0	37.3	du 層で代用
	du 層	0	37.3	—
	1m 層	0.042	27.3	—
	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い値として、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*。

* 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



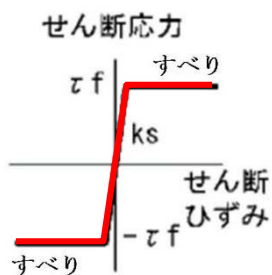
(①-①断面)



(④-④断面)

— : 杭-地盤相互作用ばね要素

(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 18.2-14 杭-地盤相互作用ばね設定の考え方

(6) 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荷重が生じた場合、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い値として、表 18.2-9 のとおり設定する。図 18.2-15 に杭下端ジョイントばねの考え方を示す。

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

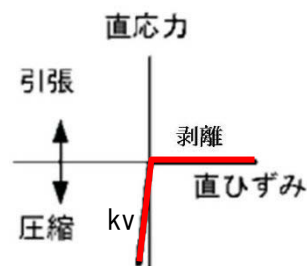


図 18.2-15 杭下端ジョイントばねの考え方

18.2.10 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。）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14年3月））とし、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 18.2-16 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。

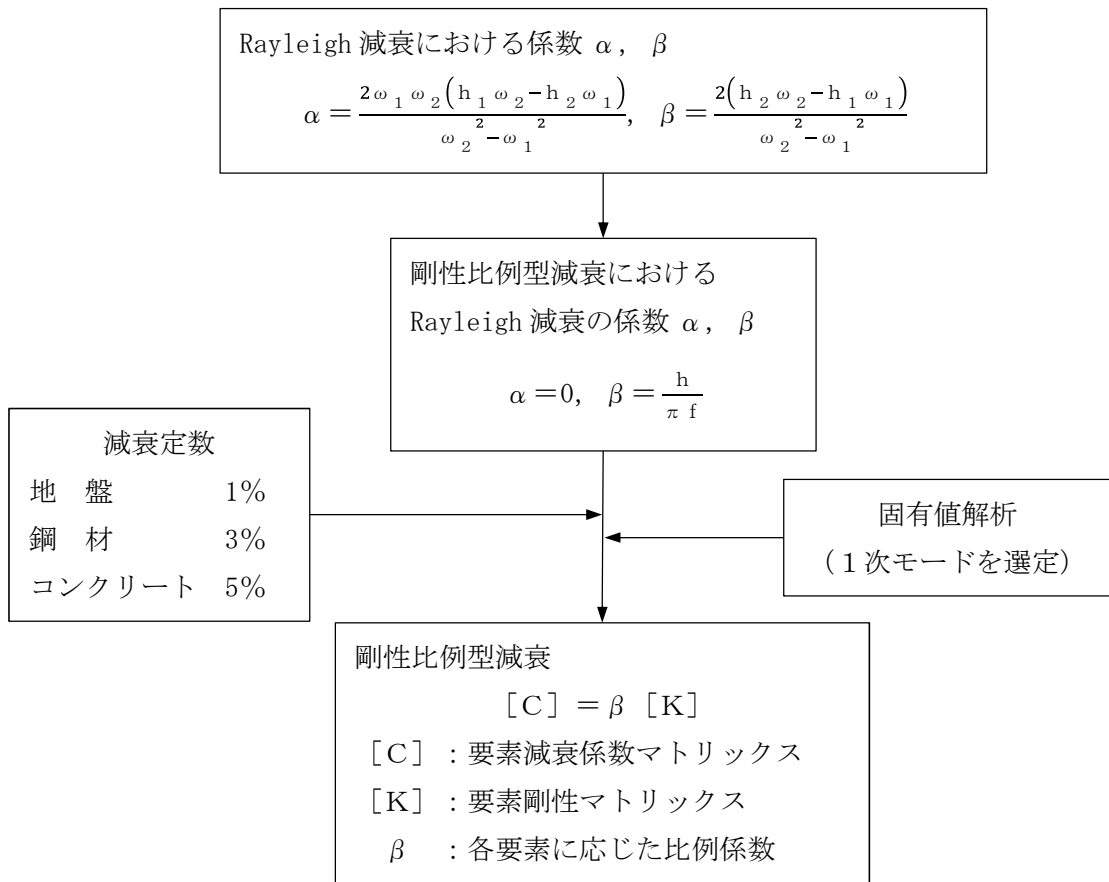


図 18.2-16 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 18.2-10 (1) 固有値解析結果

(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)

(a) ①-①断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.831	278.73	1次として採用
2	1.026	30.00	—
3	1.386	-14.67	—
4	1.624	3.63	—
5	1.745	20.25	—
6	1.865	-9.72	—
7	1.907	19.03	—
8	2.012	-59.46	—
9	2.066	-39.45	—

(b) ④-④断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.780	151.61	1次として採用
2	1.536	2.40	—
3	2.022	20.33	—
4	2.136	-39.47	—
5	2.459	-14.95	—
6	2.776	19.24	—
7	2.896	5.96	—
8	3.208	-20.68	—
9	3.225	-8.36	—

表 18.2-10 (2) 固有値解析結果

(検討ケース②:地盤物性のばらつきを考慮 (+1 σ) した解析ケース)

(a) ①-①断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.838	280.55	1次として採用
2	1.053	25.81	—
3	1.444	-9.78	—
4	1.654	4.22	—
5	1.789	13.77	—
6	1.915	-16.48	—
7	2.037	2.32	—
8	2.102	-47.27	—
9	2.153	55.90	—

(b) ④-④断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.780	151.67	1次として採用
2	1.536	2.31	—
3	2.052	20.77	—
4	2.155	39.97	—
5	2.470	-13.85	—
6	2.812	-19.32	—
7	2.925	5.45	—
8	3.249	20.76	—
9	3.286	-6.26	—

表 18.2-10 (3) 固有値解析結果

(検討ケース③:地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース)

(a) ①-①断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.819	275.55	1次として採用
2	1.003	35.14	—
3	1.331	-20.53	—
4	1.587	3.47	—
5	1.696	25.41	—
6	1.784	26.23	—
7	1.825	-1.17	—
8	1.908	-67.05	—
9	1.948	30.37	—

表 18.2-10 (4) 固有値解析結果

(検討ケース④)：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により
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)

(a) ①-①断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.780	260.79	1次として採用
2	0.928	52.72	—
3	1.179	-17.70	—
4	1.338	-16.81	—
5	1.442	-42.30	—
6	1.603	18.23	—
7	1.626	42.95	—
8	1.692	-63.01	—
9	1.707	-43.65	—

(b) ④-④断面

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.770	149.31	1次として採用
2	1.410	22.27	—
3	1.551	7.29	—
4	1.795	32.66	—
5	1.951	18.06	—
6	2.244	-18.30	—
7	2.471	-1.94	—
8	2.543	2.40	—
9	2.624	20.60	—

18.2.11 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、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。

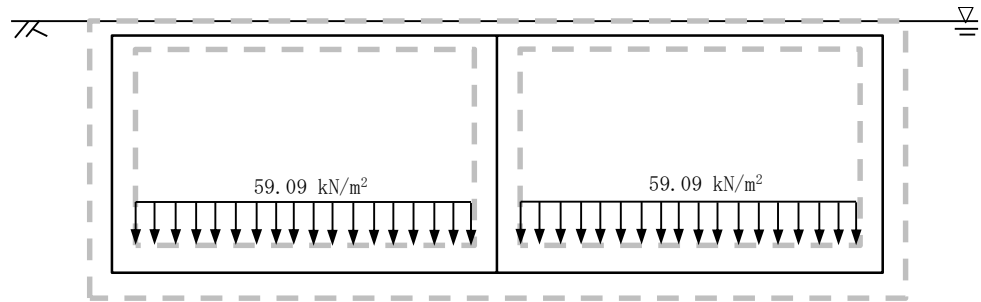
表 18.2-11 荷重の組合せ

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	— ・天端が地表面であることから、考慮しない
		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	

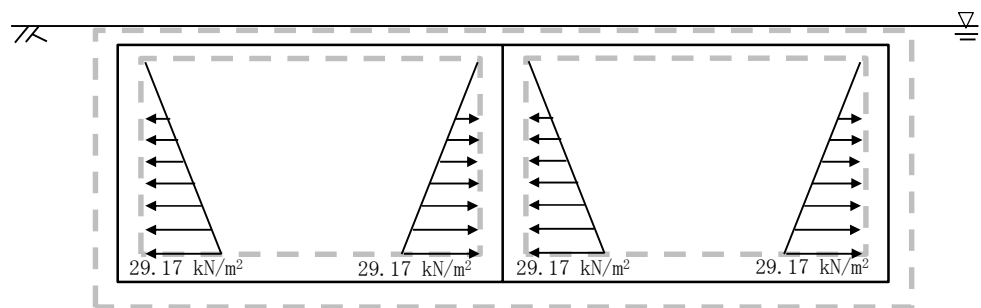
(1) 機器・配管荷重

図 18.2-16 に機器・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。



底版の鉛直荷重



側壁の水平荷重

図 18.2-16 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 18.2-17 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。

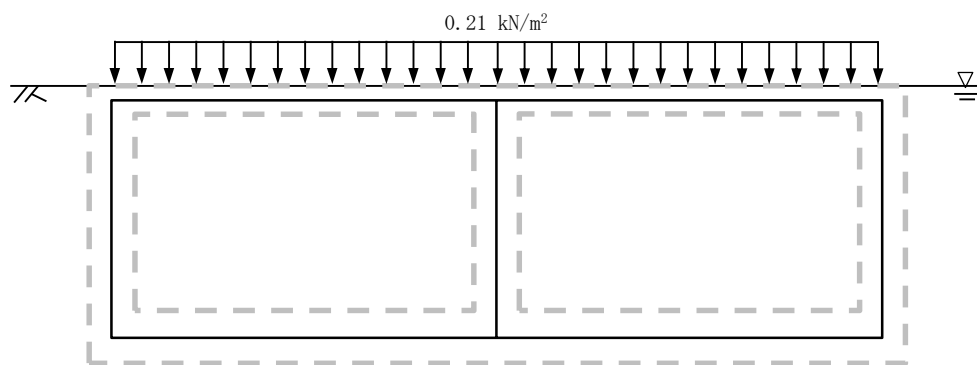


図 18.2-17 雪荷重図

18.2.12 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 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 -D1	(++)	1	1	1	1	1
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(--)	1				
	S _s -11	(++)	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		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 18.2-13 に示す。

表 18.2-13 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

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 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 -11	(++)		
	S _s -12	(++)		
	S _s -13	(++)		
	S _s -14	(++)		
	S _s -21	(++)		
	S _s -22	(++)		
S _s -31	(++)			
	(-+)			
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 $S_s-1.1 \sim S_s-2.2$ 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。

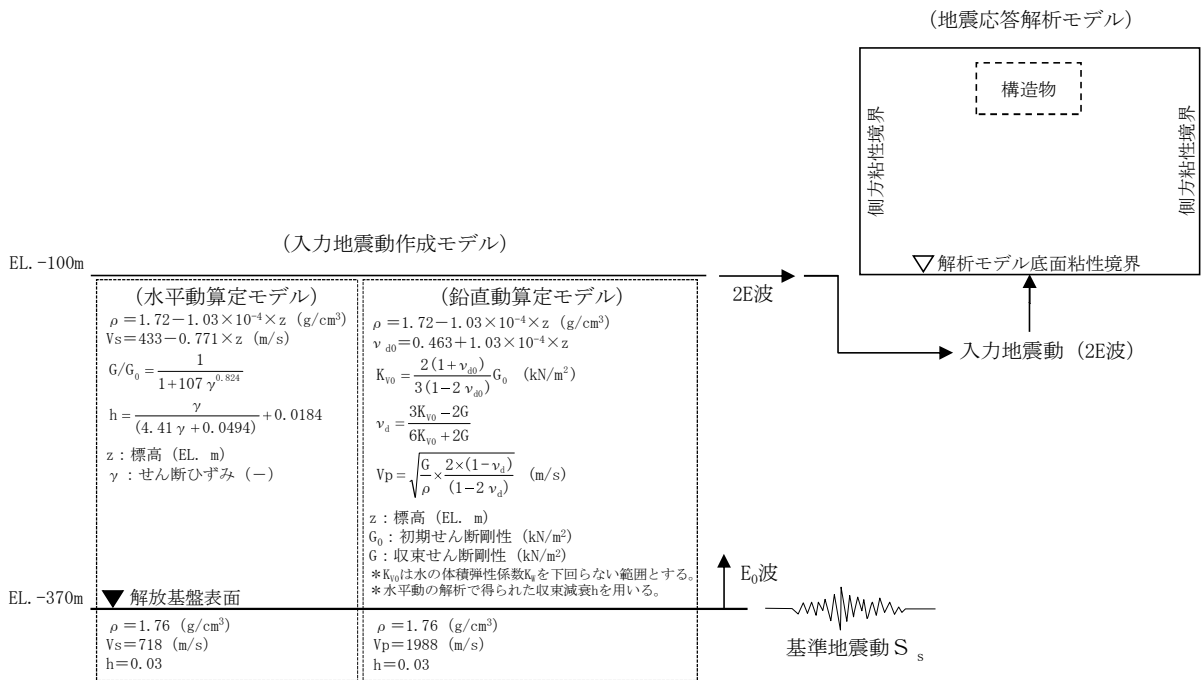
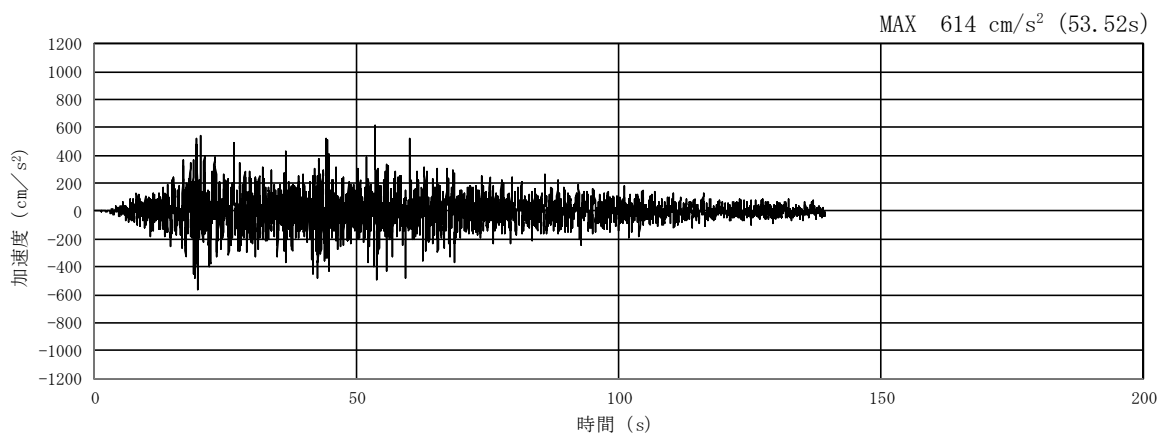
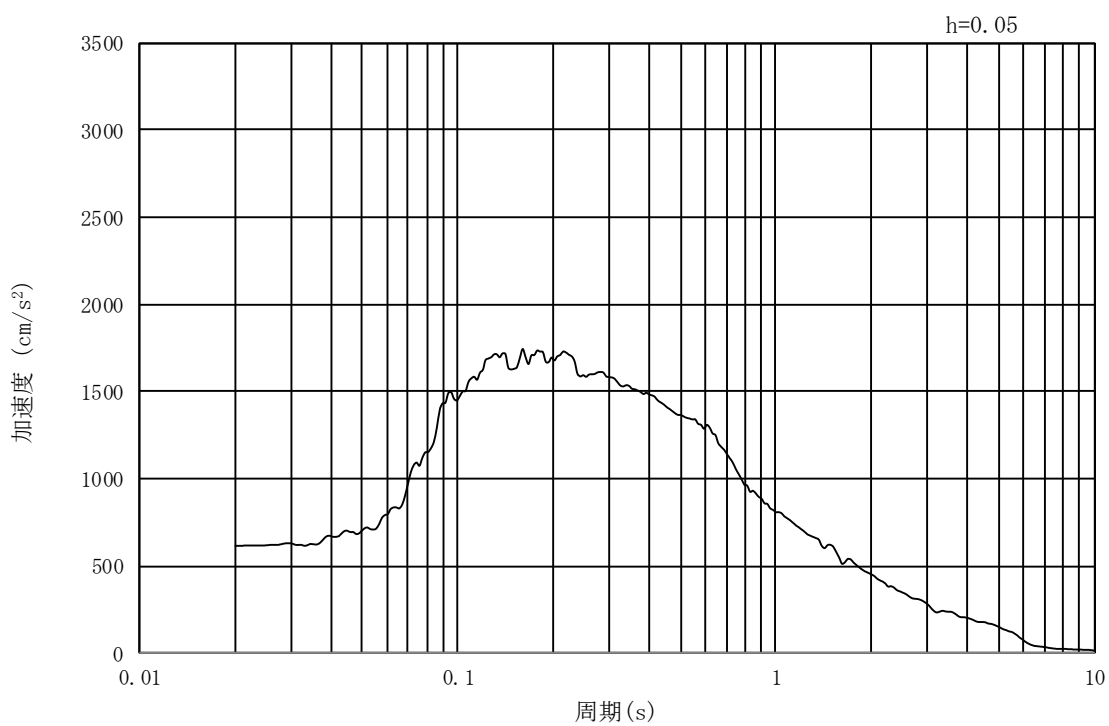


図 18.3-1 入力地震動算定の概念図

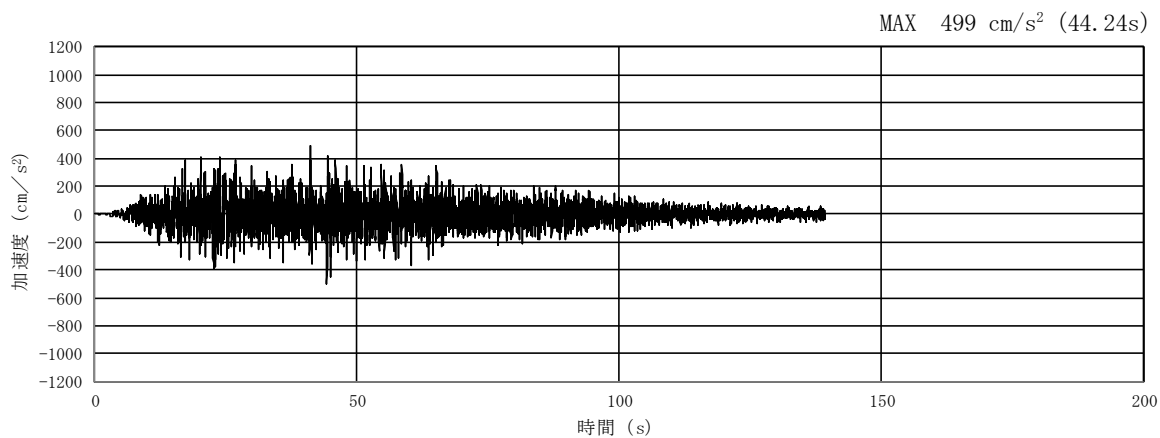


(a) 加速度時刻歴波形

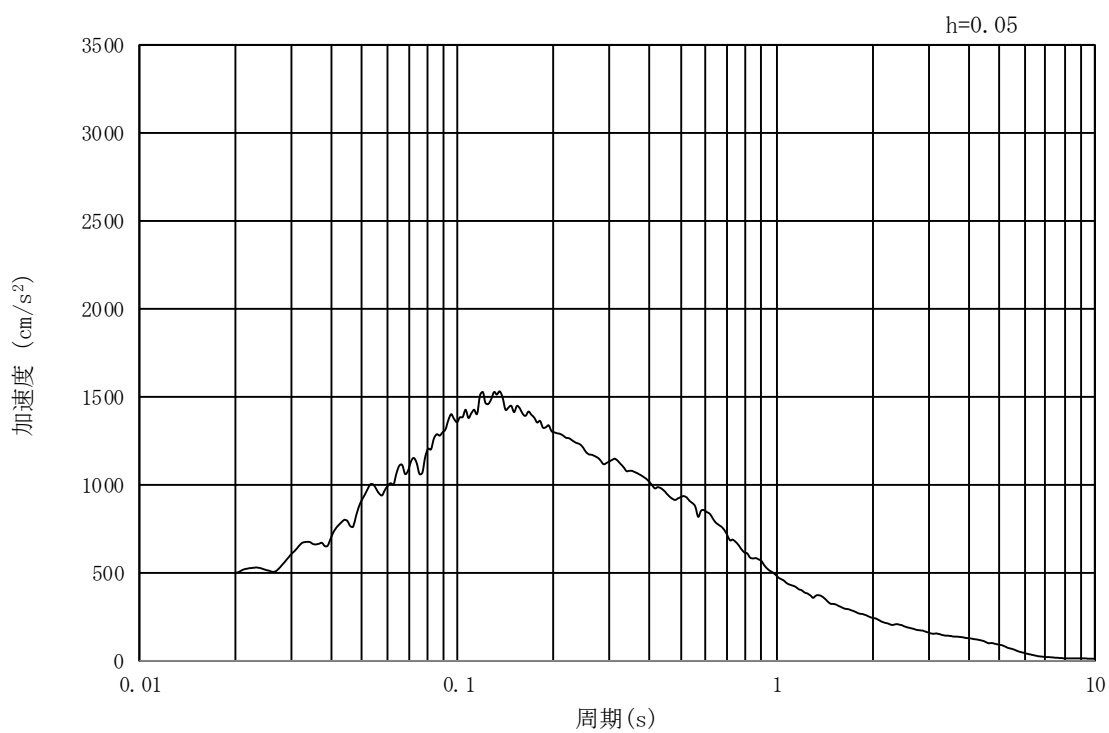


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - D1$)

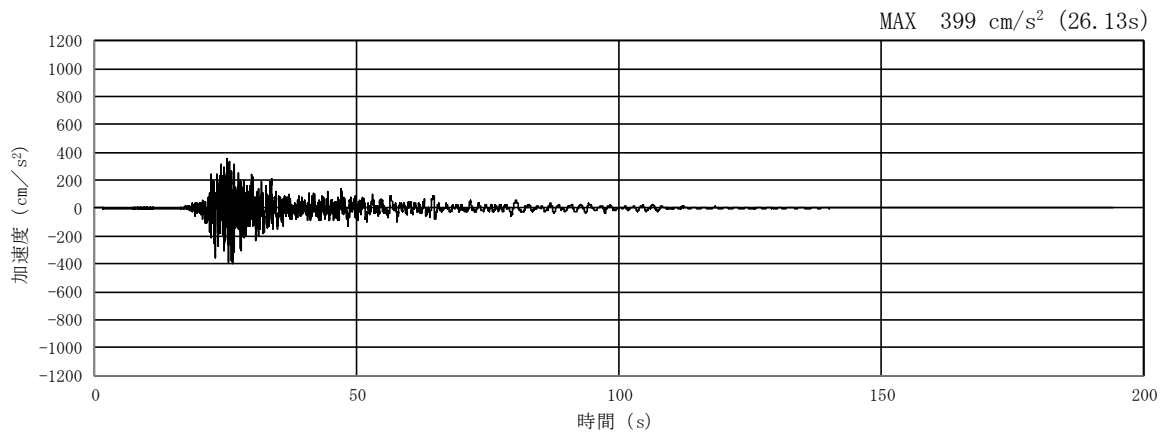


(a) 加速度時刻歴波形

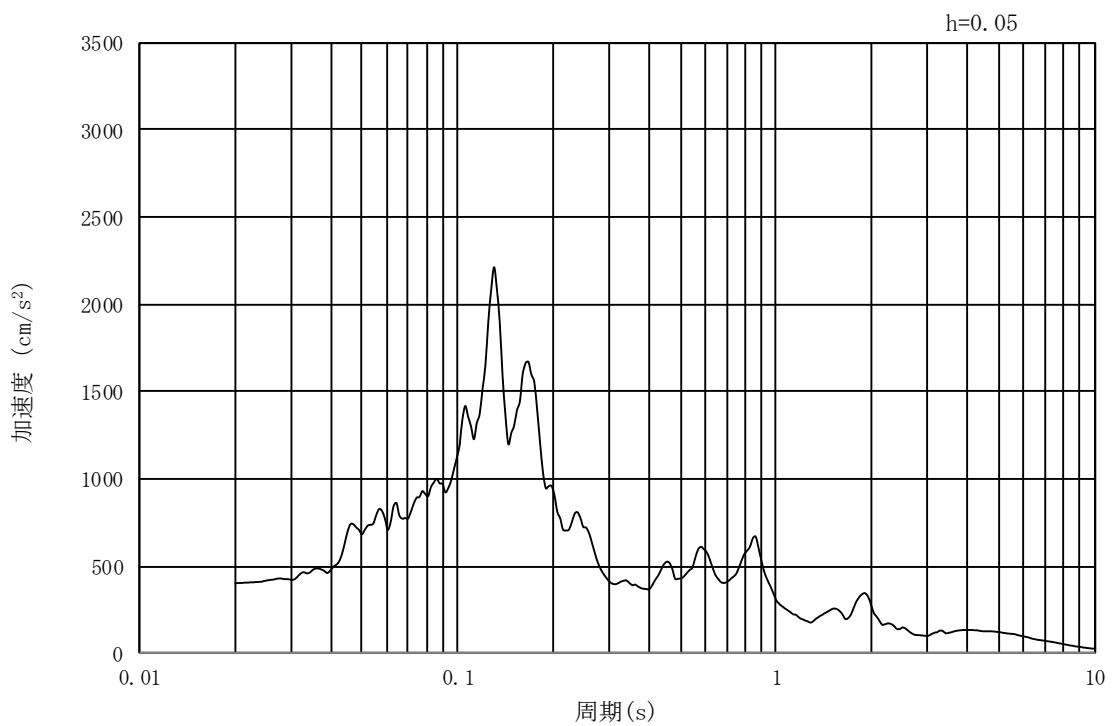


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - D 1$)

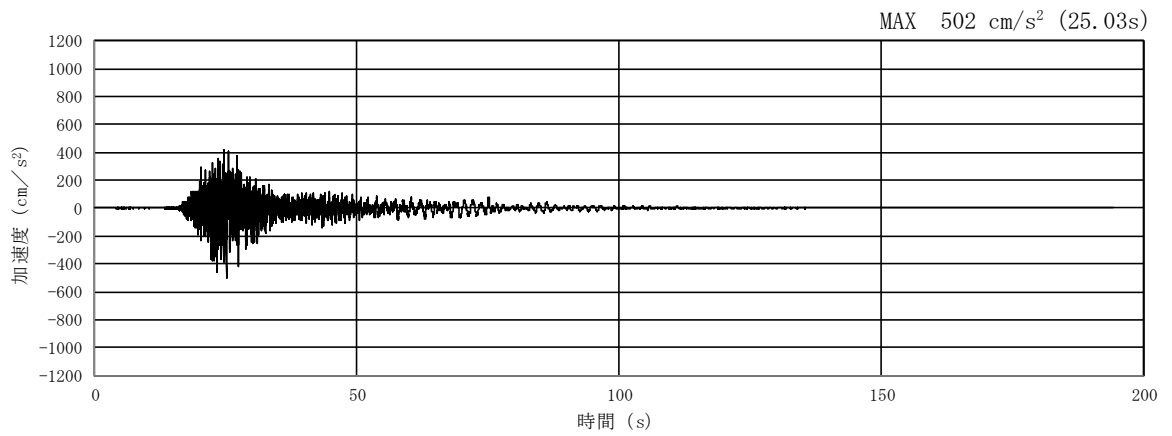


(a) 加速度時刻歴波形

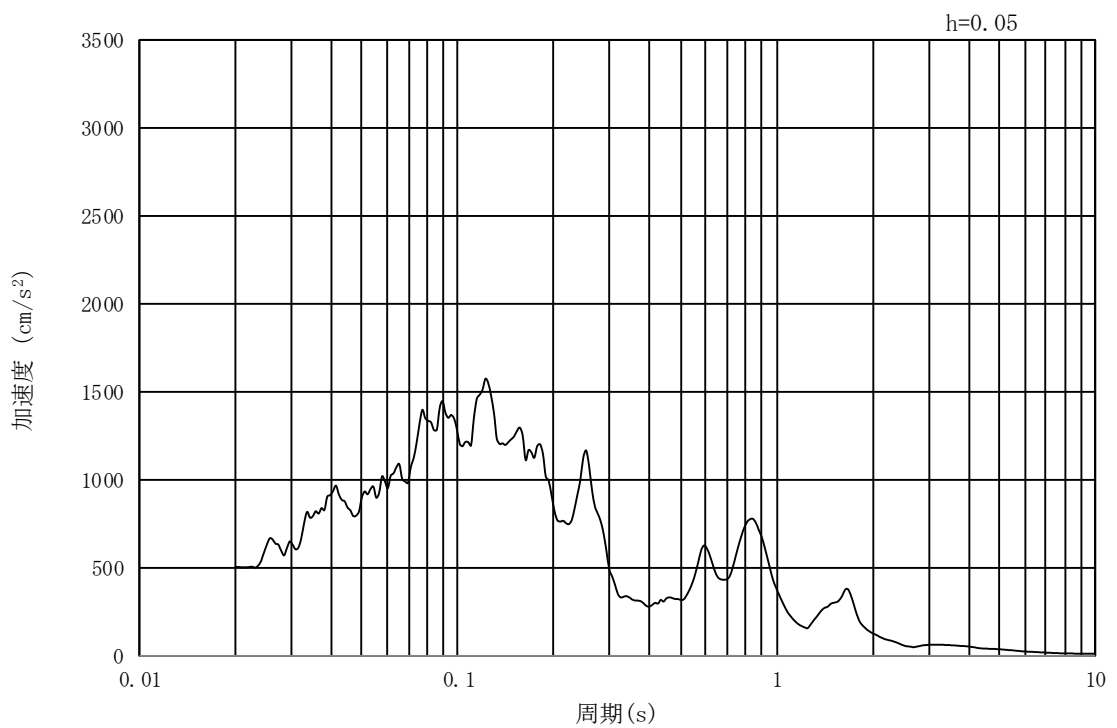


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.1$)

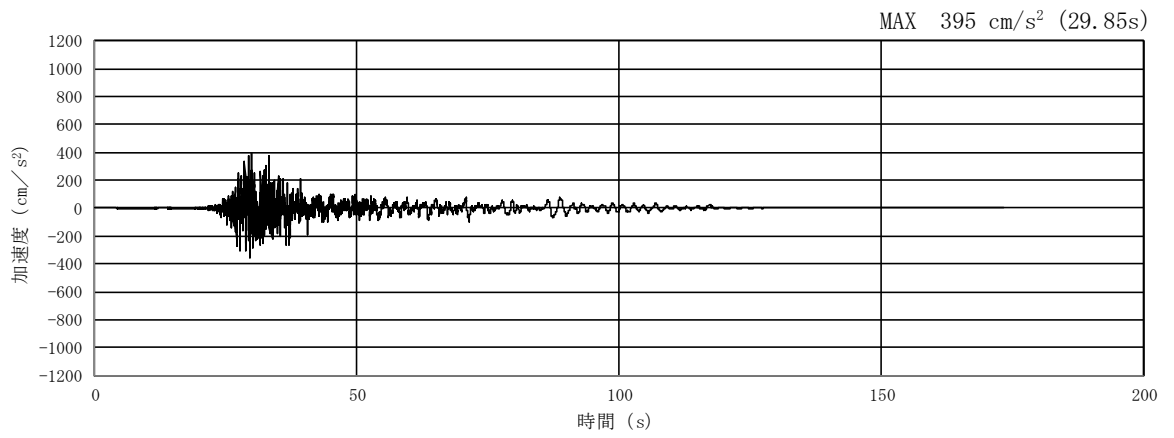


(a) 加速度時刻歴波形

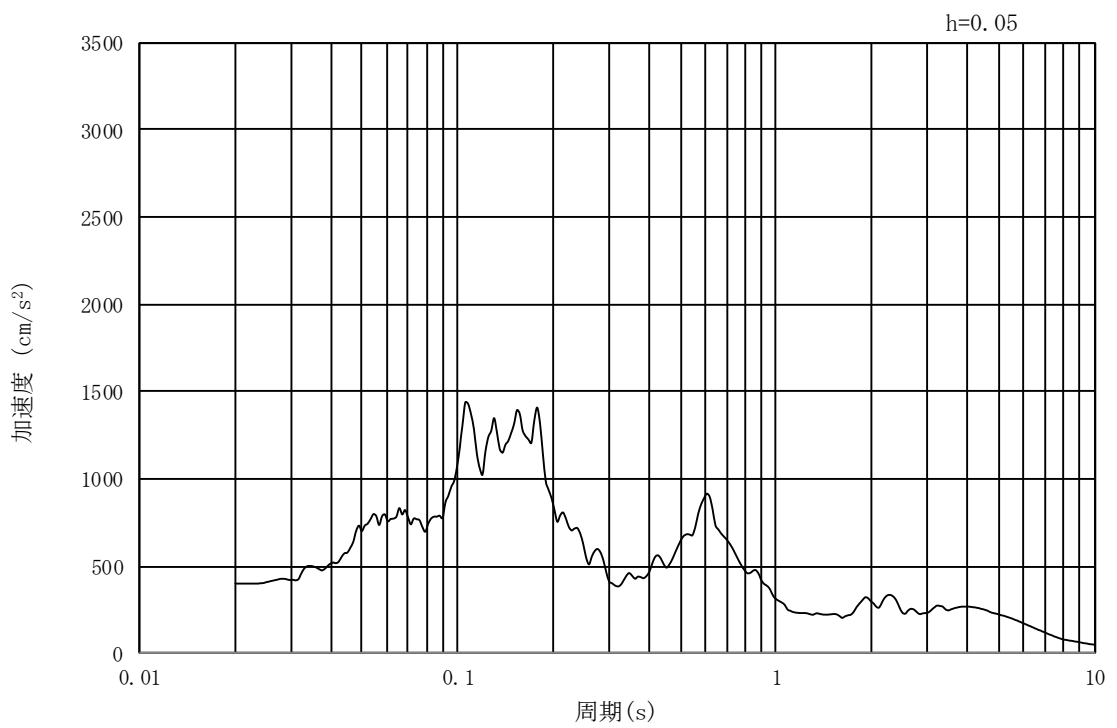


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.1$)

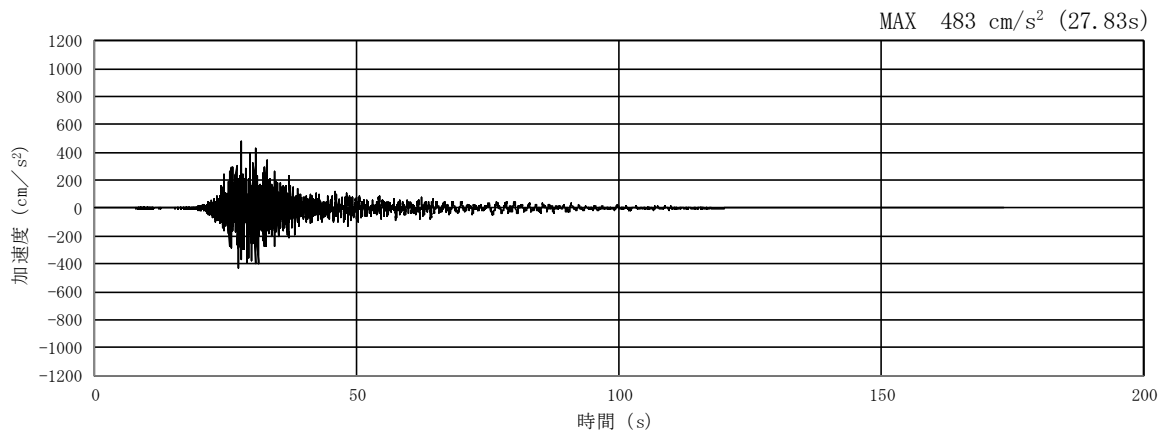


(a) 加速度時刻歴波形

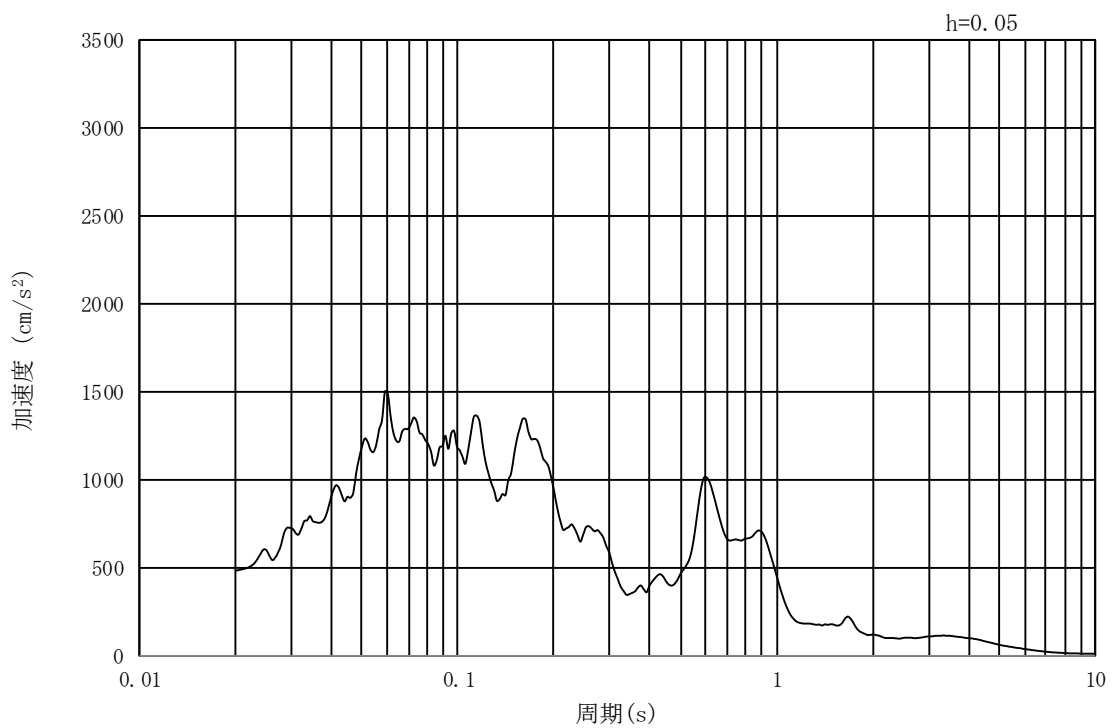


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.2$)

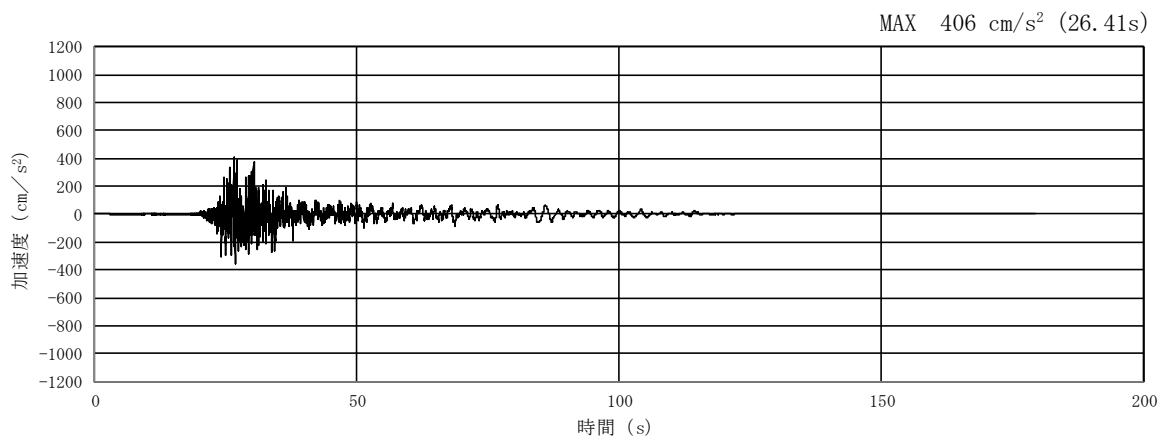


(a) 加速度時刻歴波形

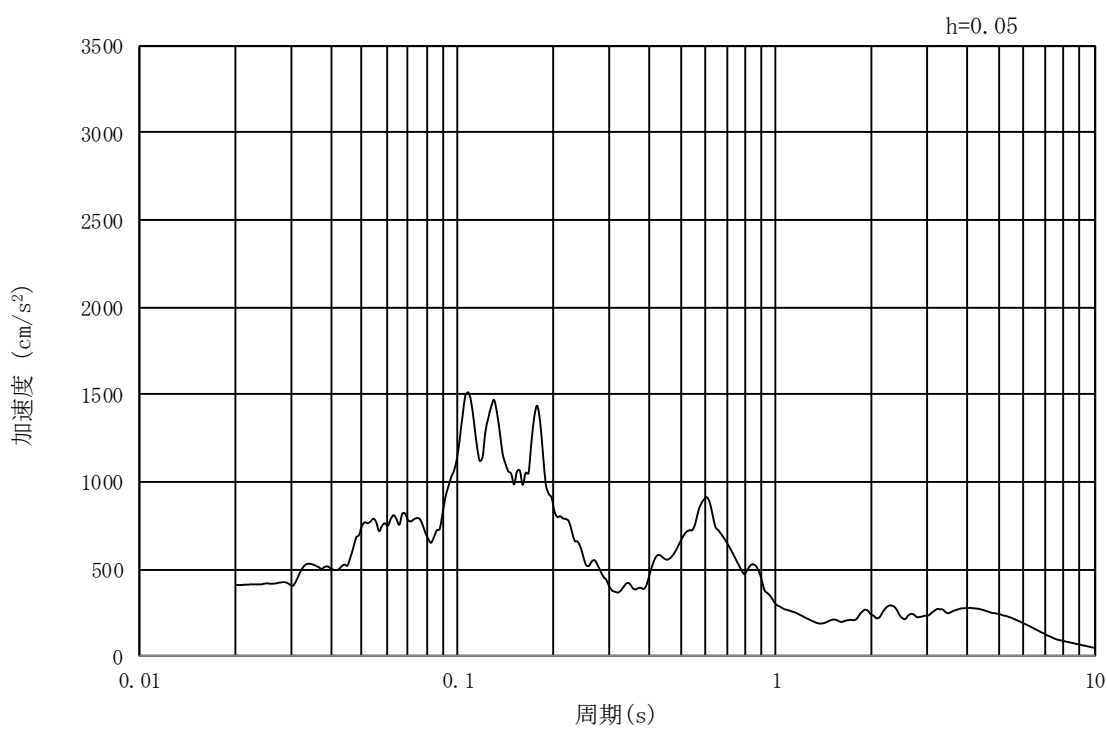


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.2$)

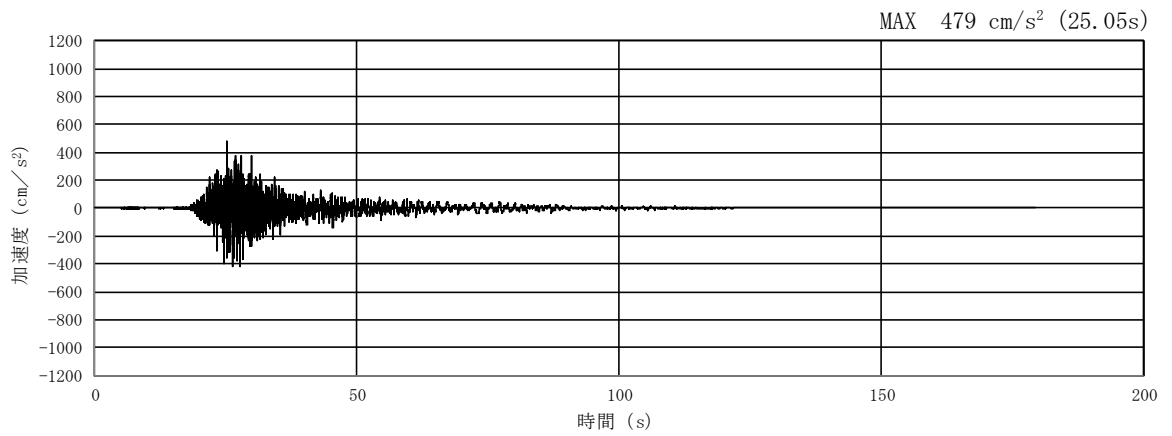


(a) 加速度時刻歴波形

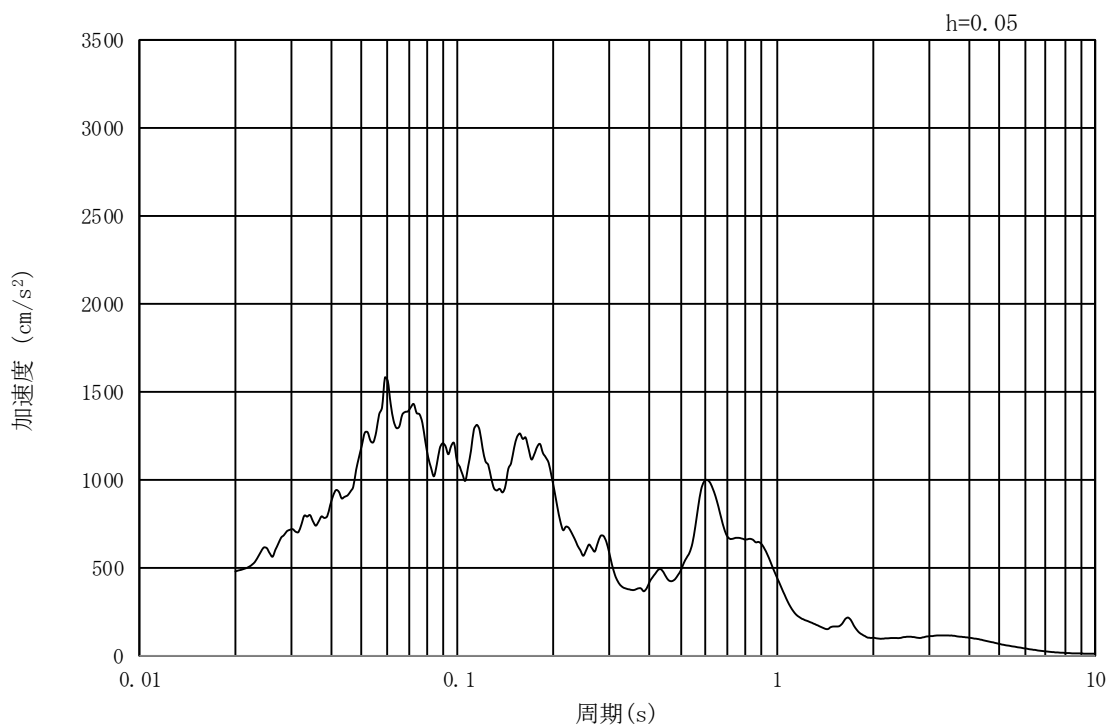


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.3$)

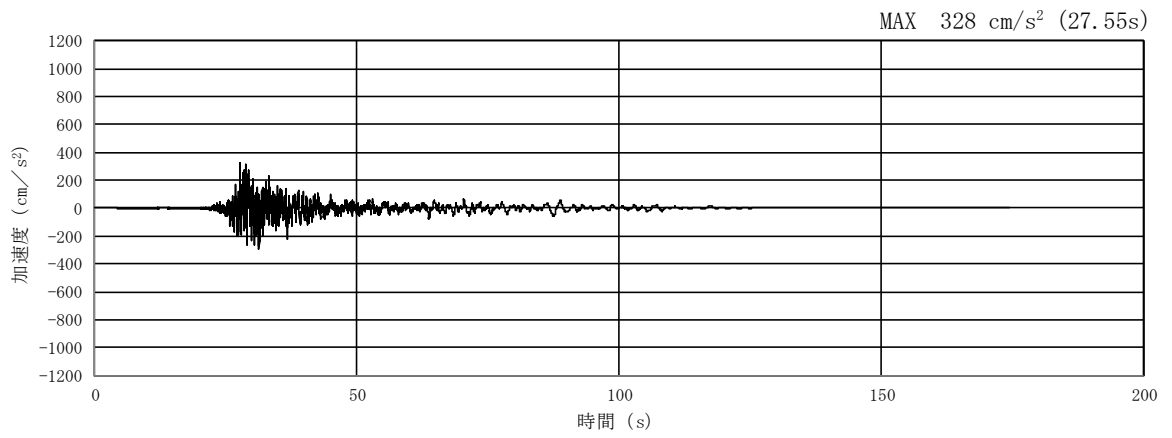


(a) 加速度時刻歴波形

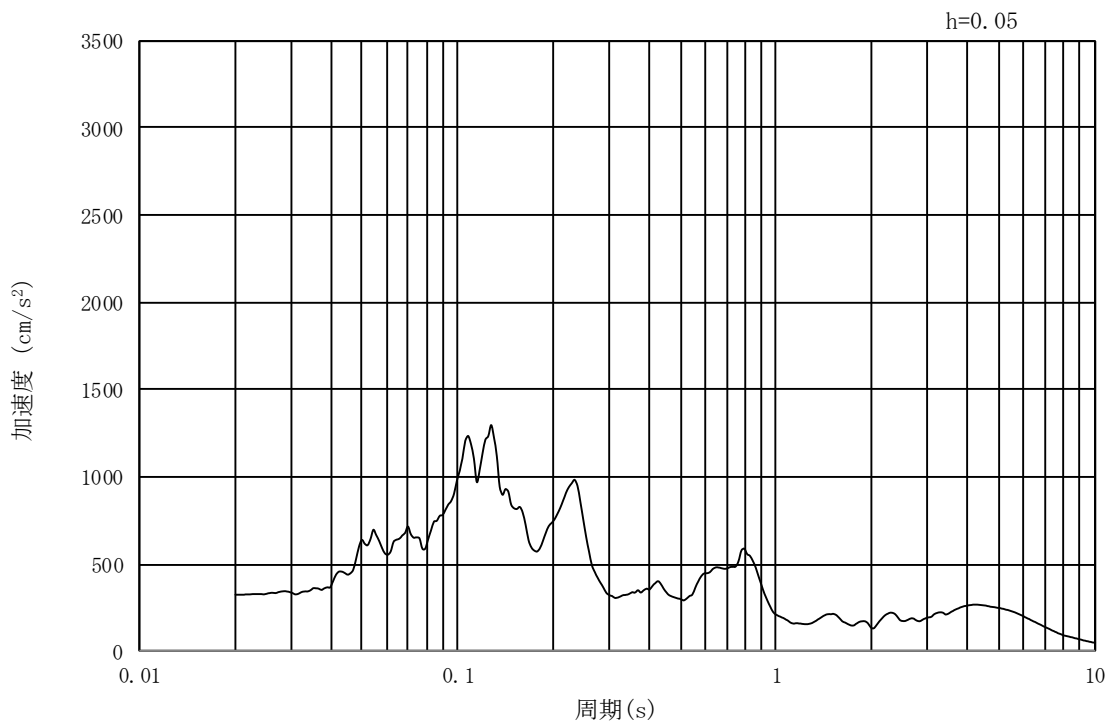


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.3$)

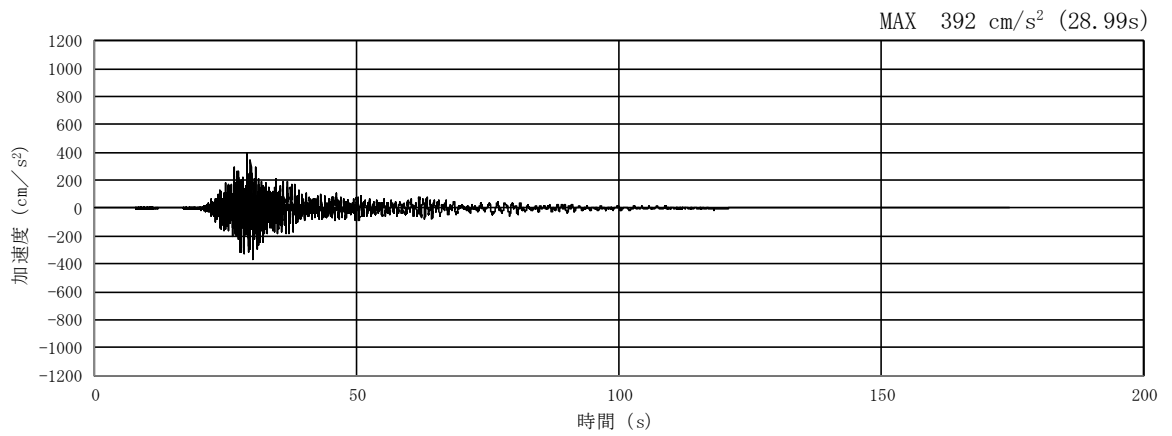


(a) 加速度時刻歴波形

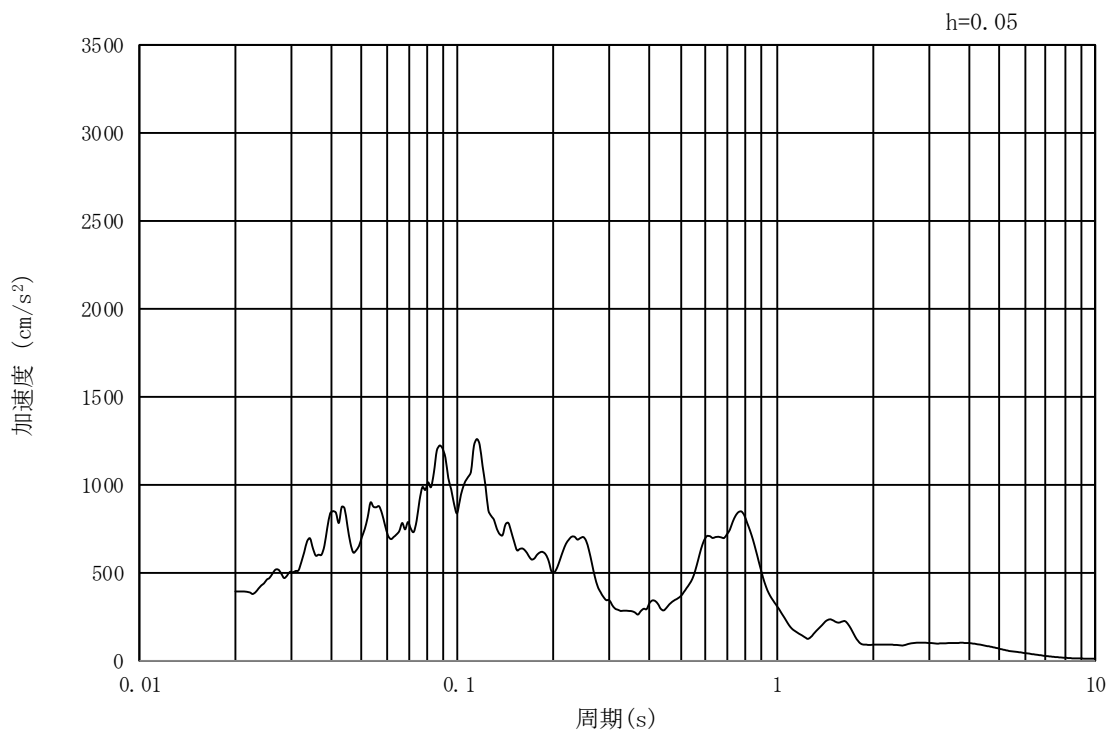


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.4$)

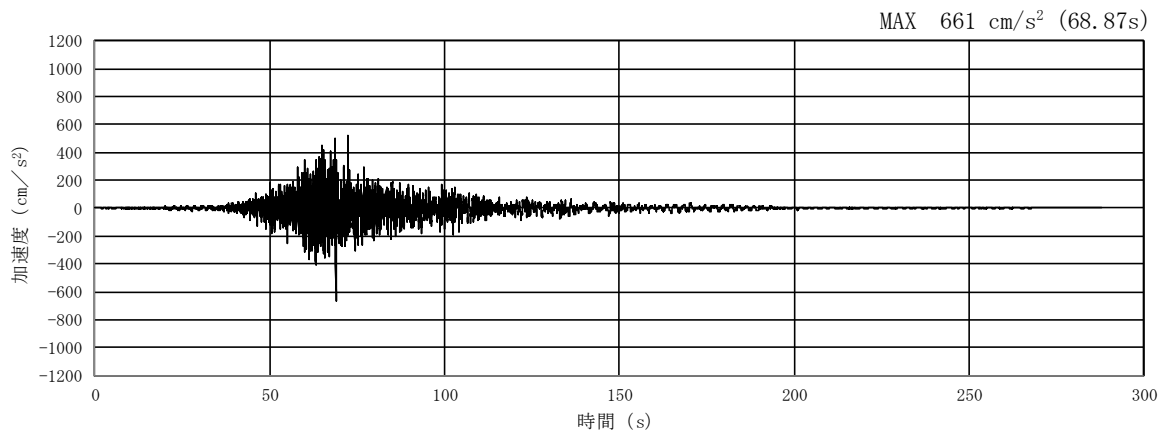


(a) 加速度時刻歴波形

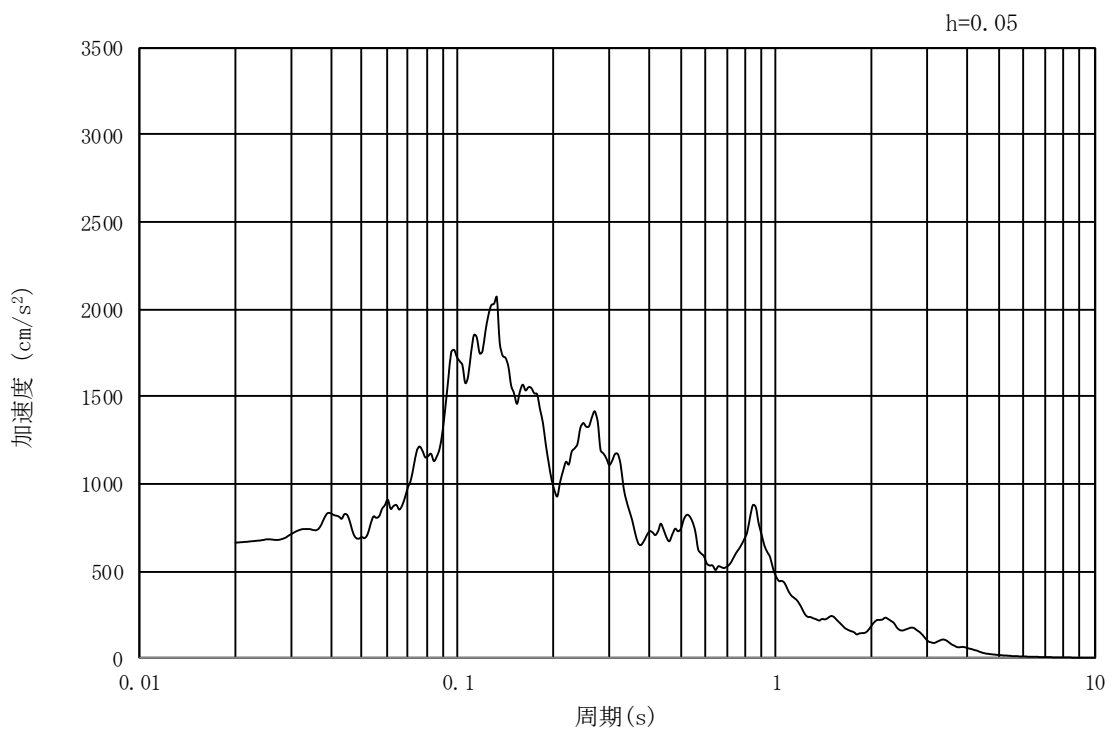


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.4$)

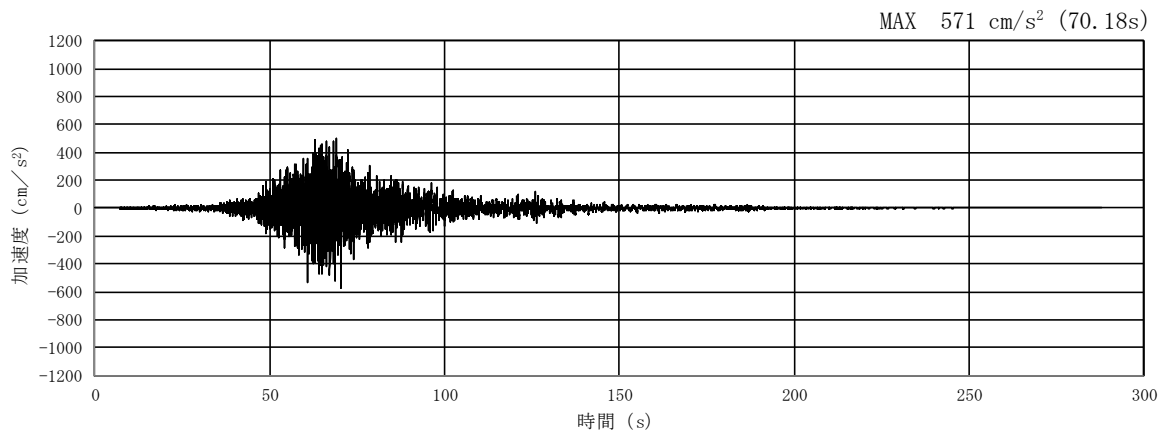


(a) 加速度時刻歴波形

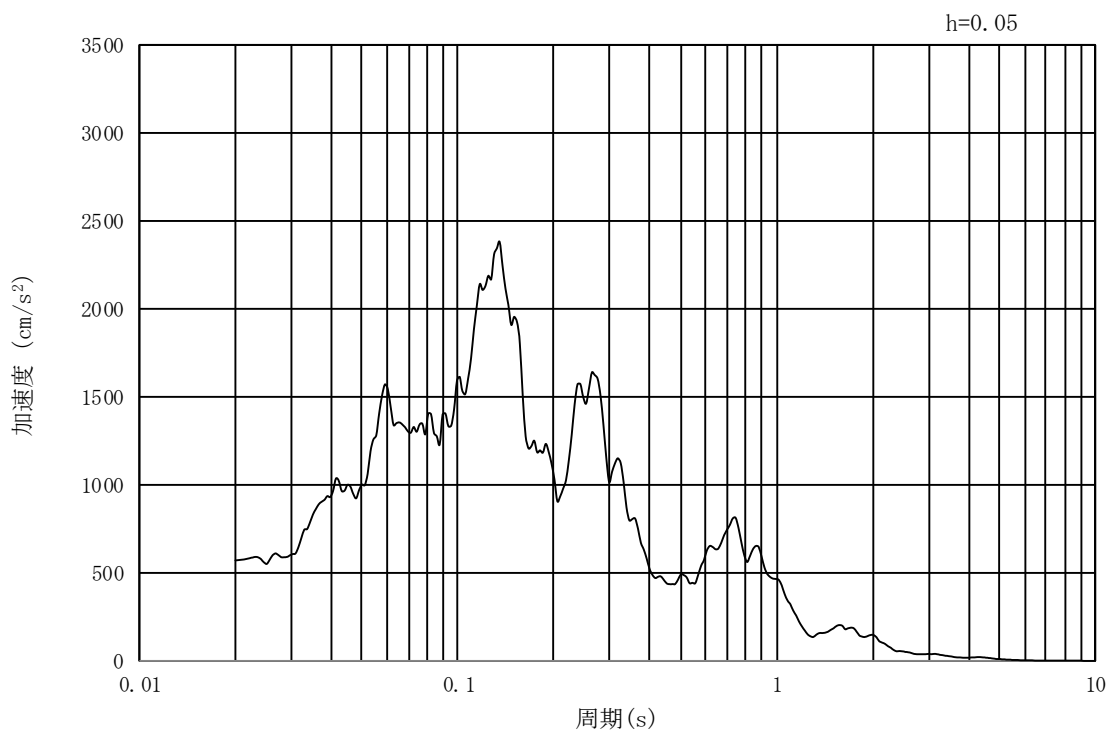


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 21$)

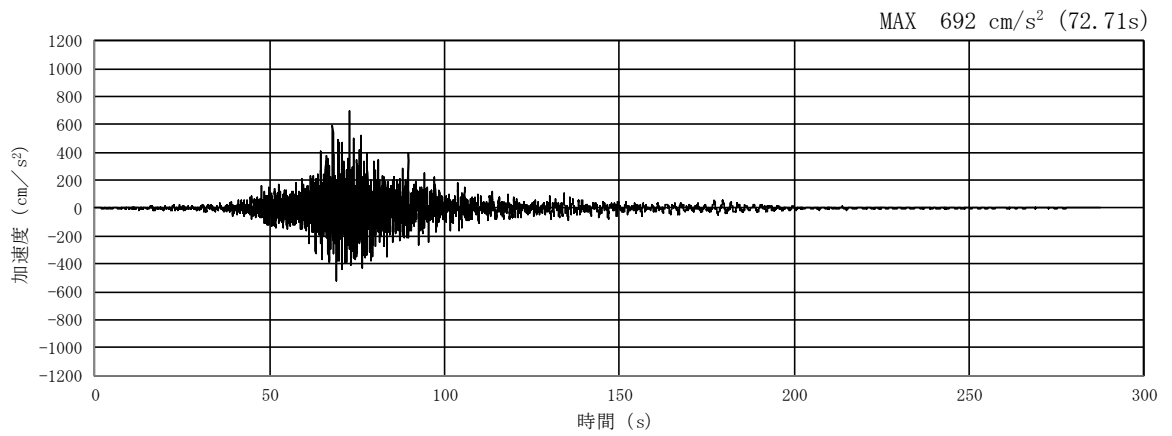


(a) 加速度時刻歴波形

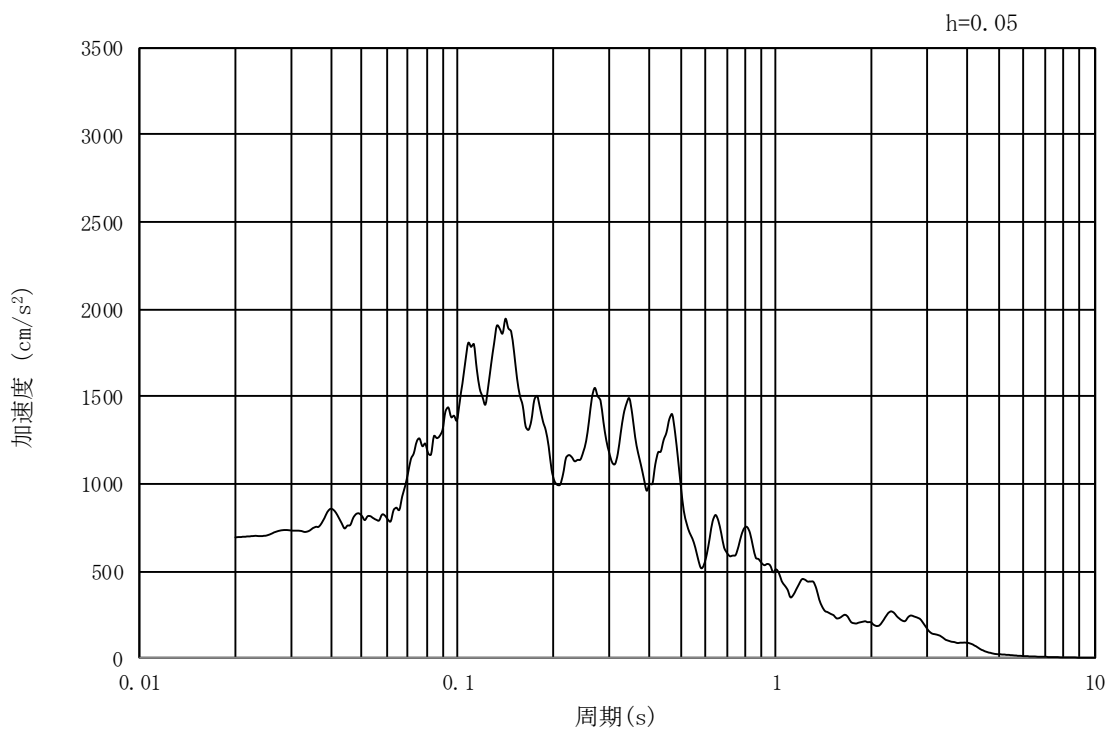


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 21$)

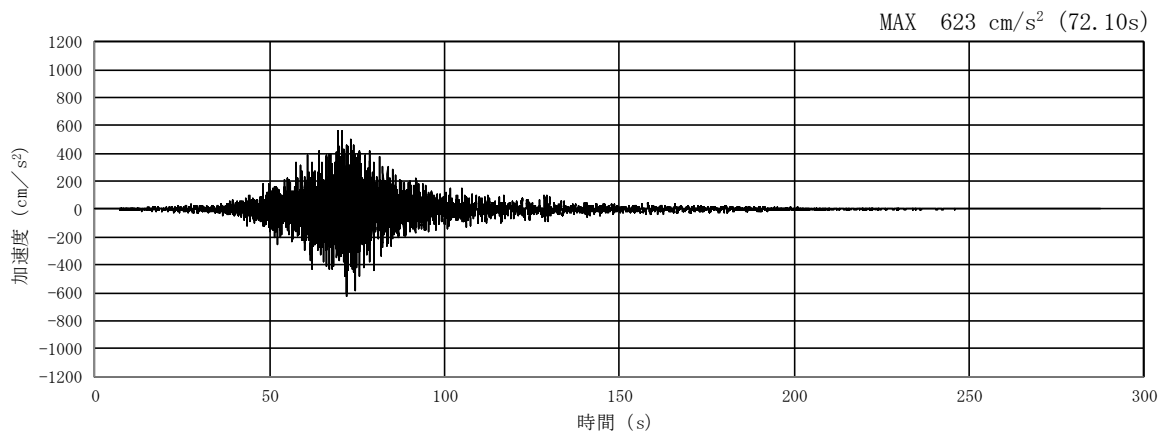


(a) 加速度時刻歴波形

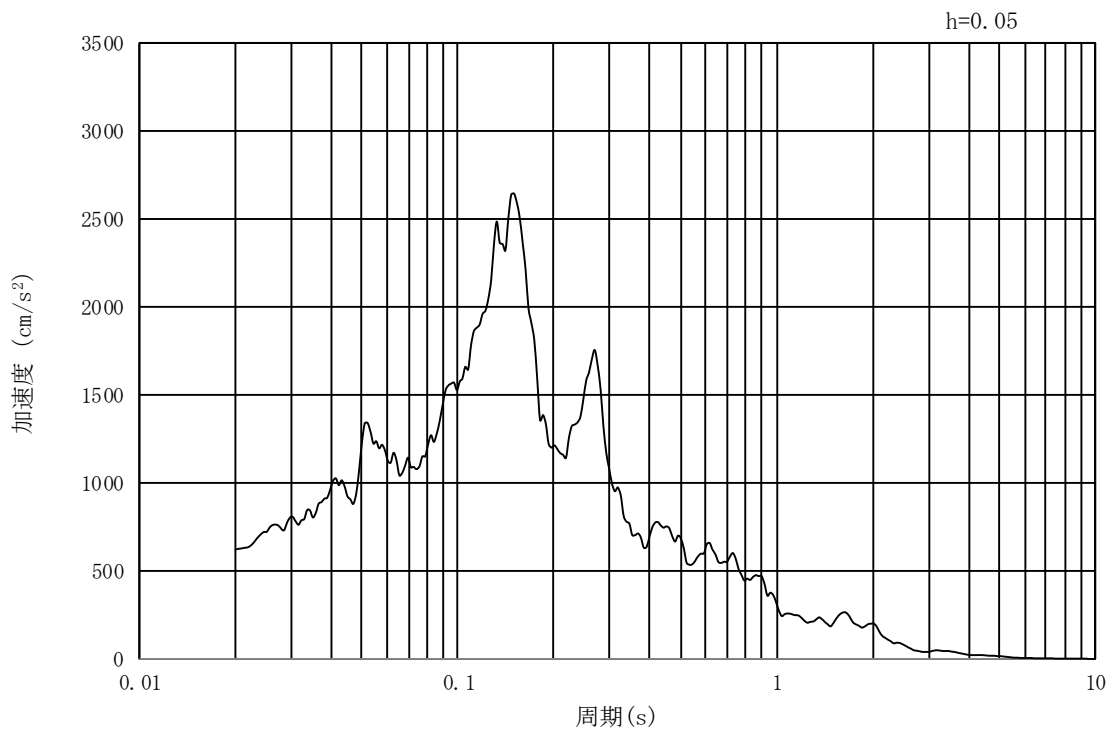


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 2.2$)

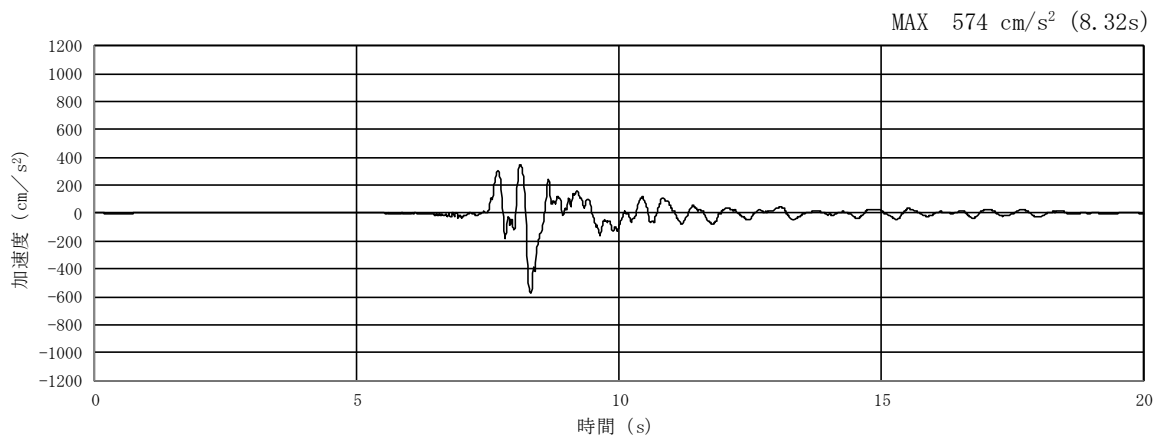


(a) 加速度時刻歴波形

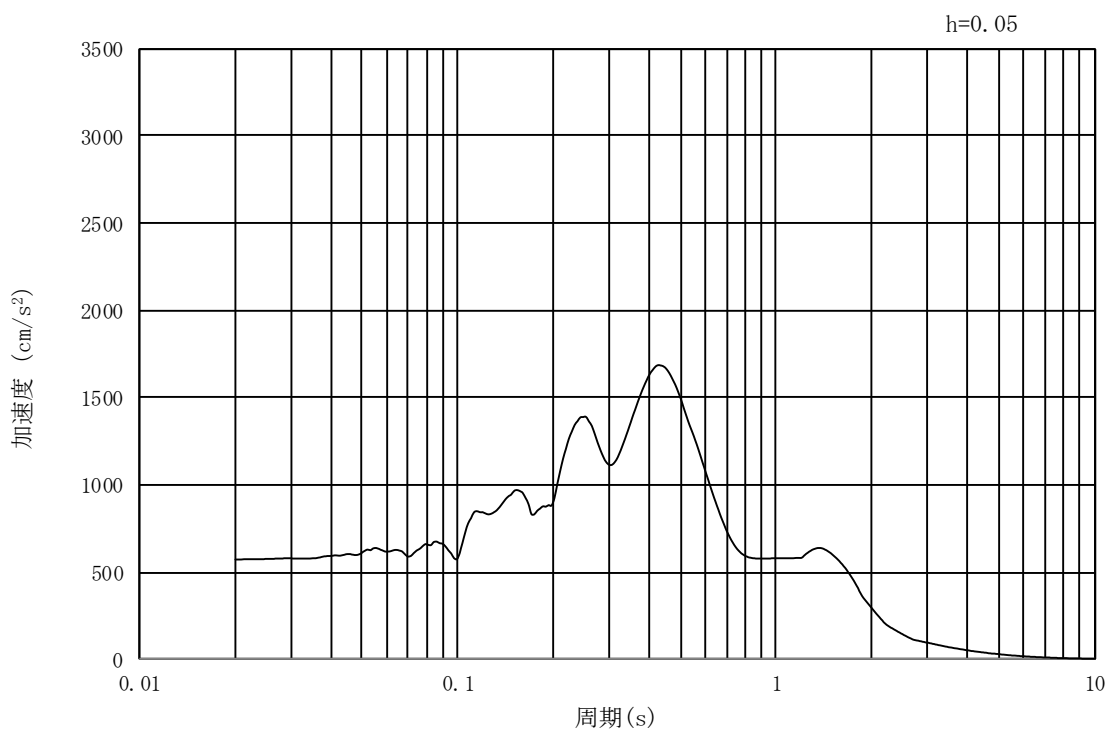


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (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 : $S_s - 2.2$)

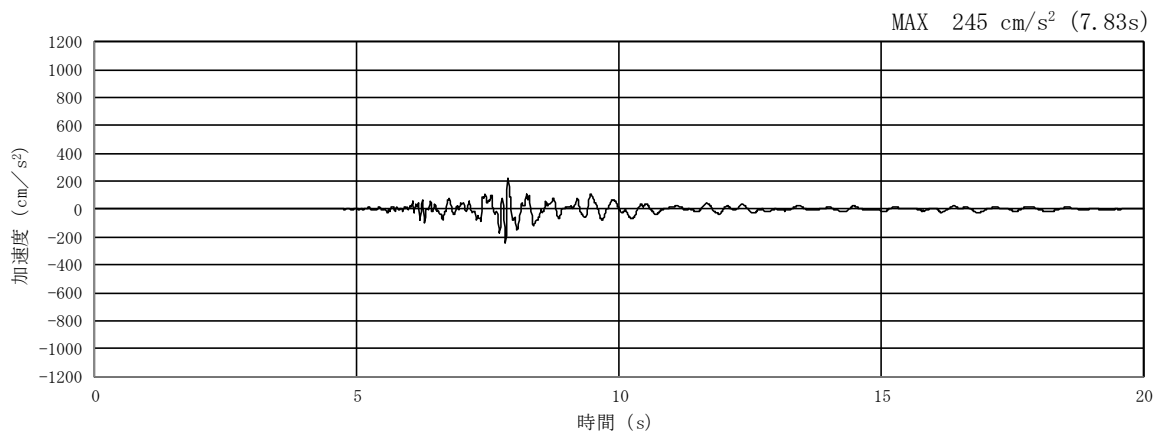


(a) 加速度時刻歴波形

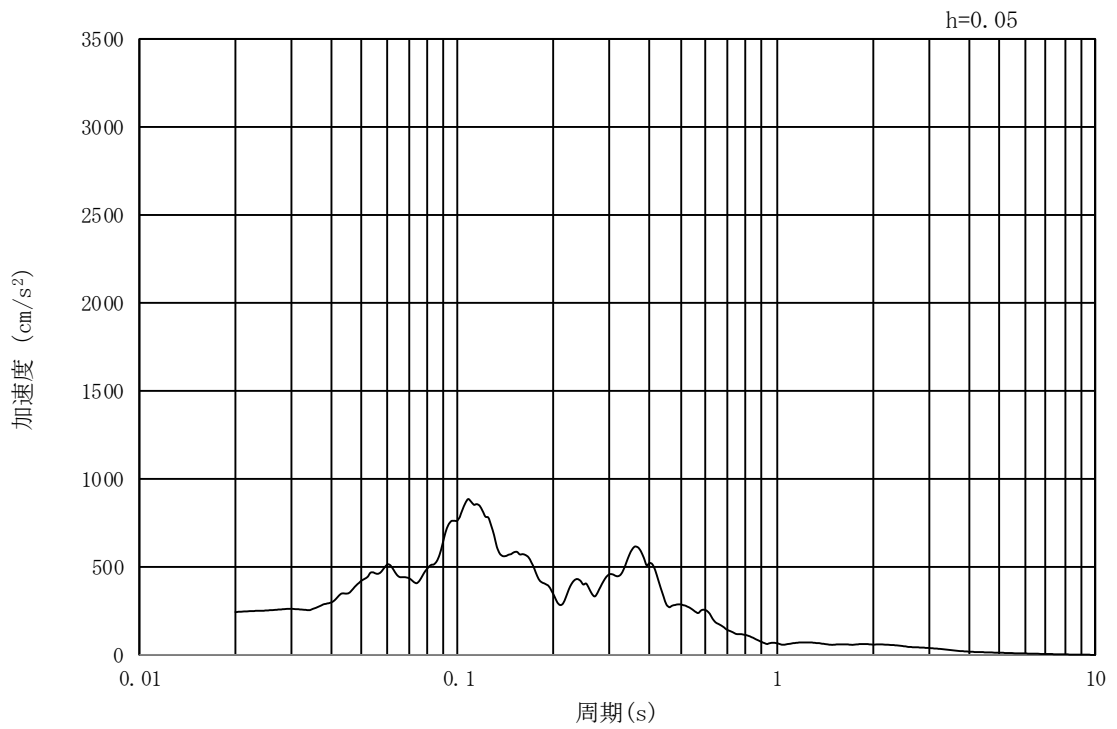


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 31$)

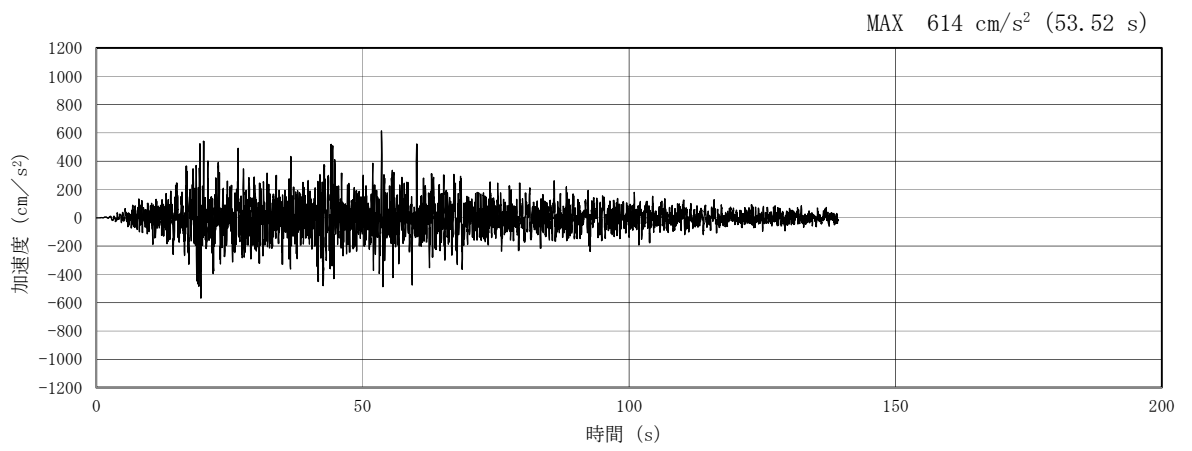


(a) 加速度時刻歴波形

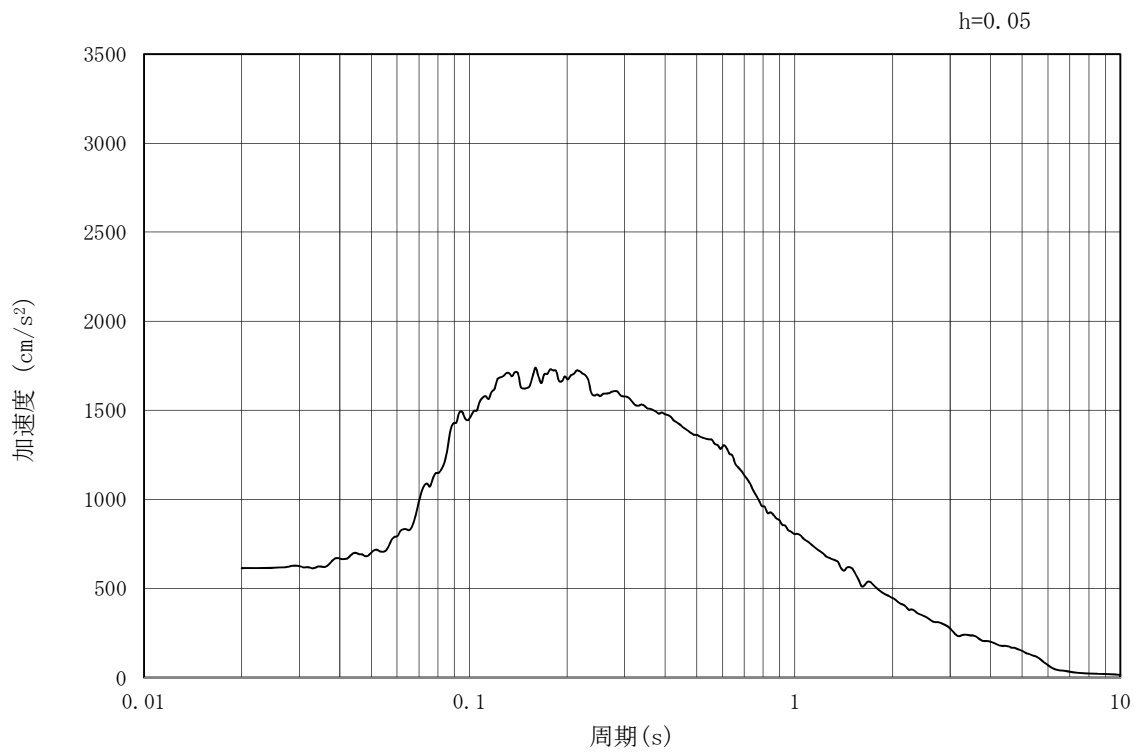


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 31$)

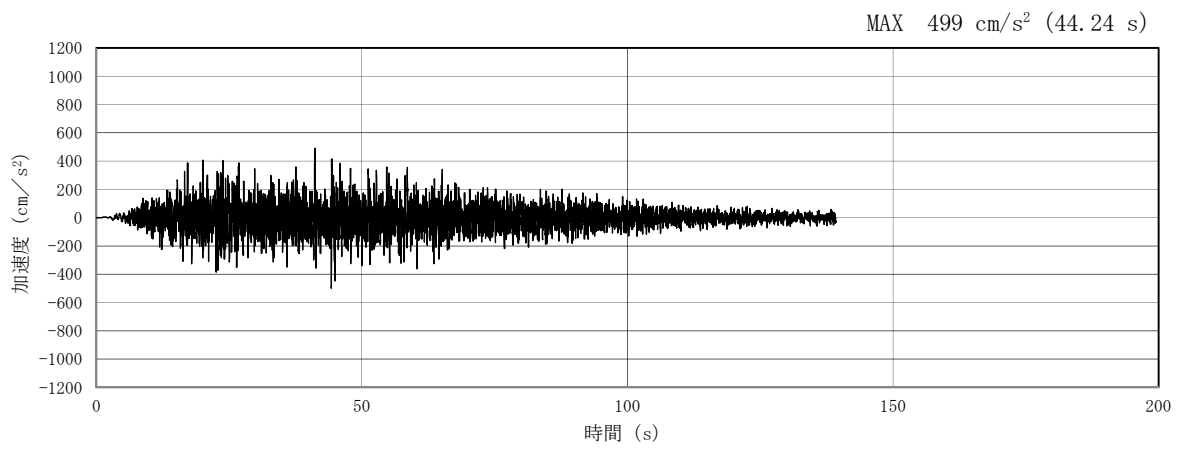


(a) 加速度時刻歴波形

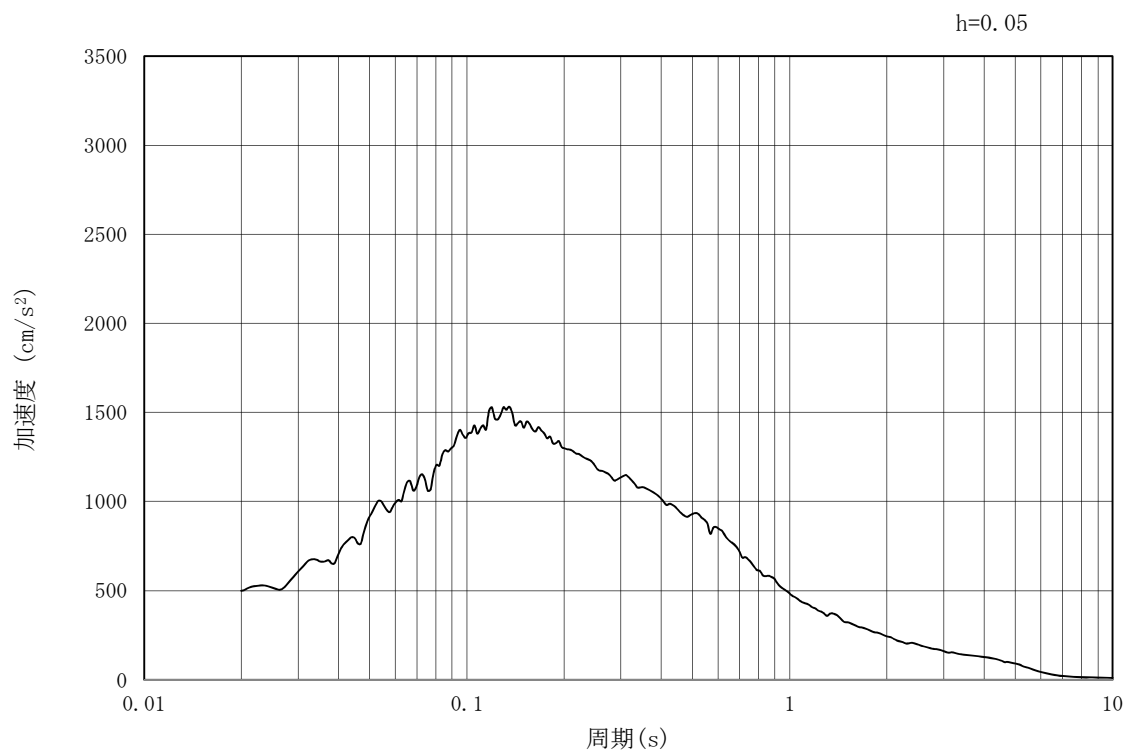


(b) 加速度応答スペクトル

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)

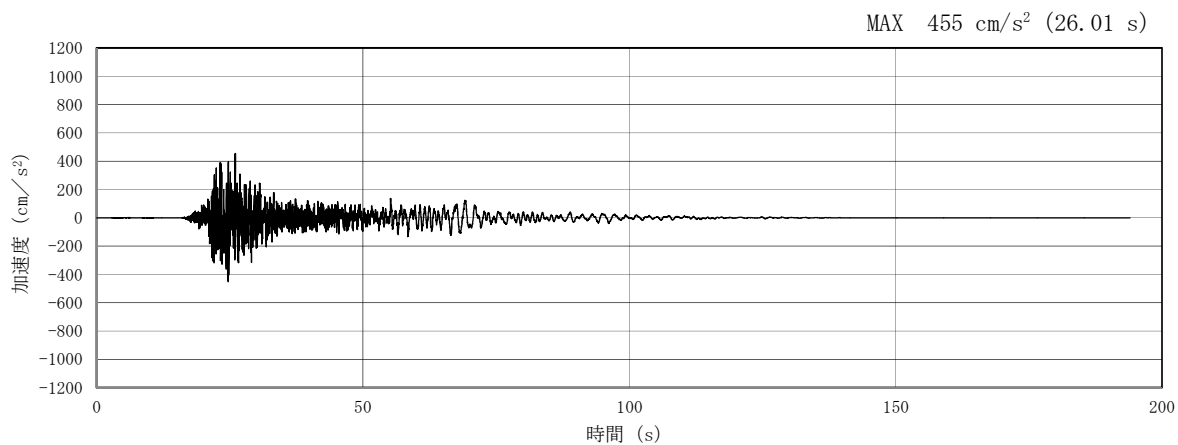


(a) 加速度時刻歴波形

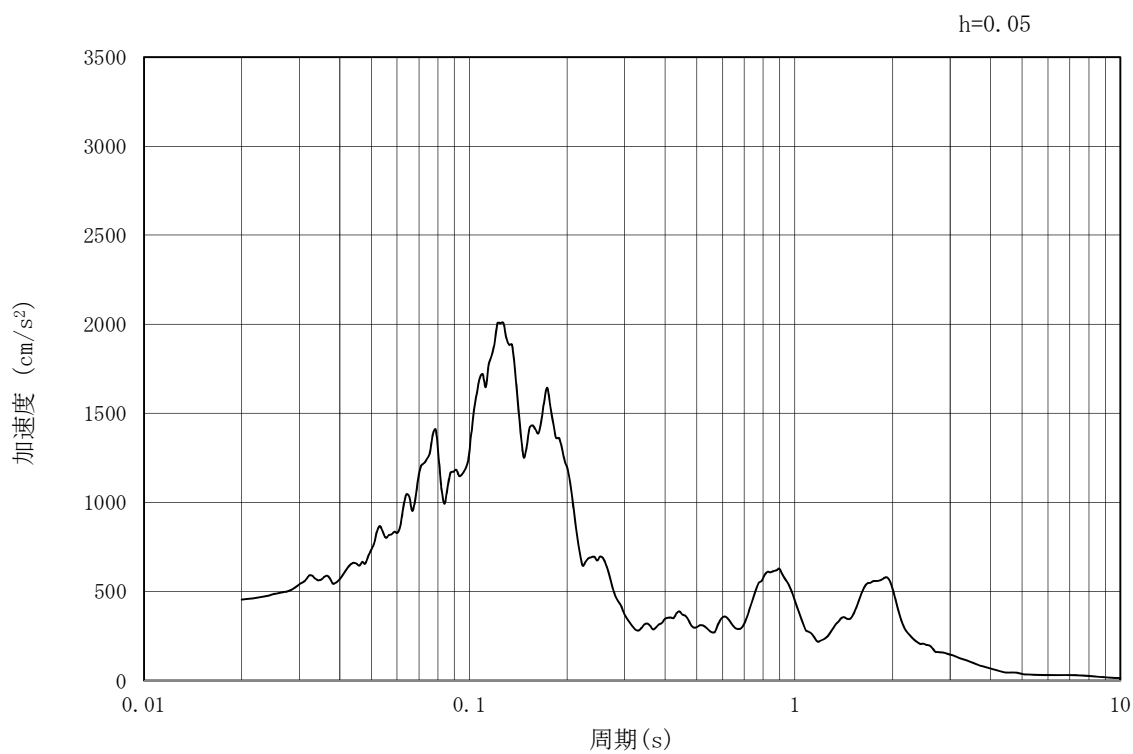


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - D1$)

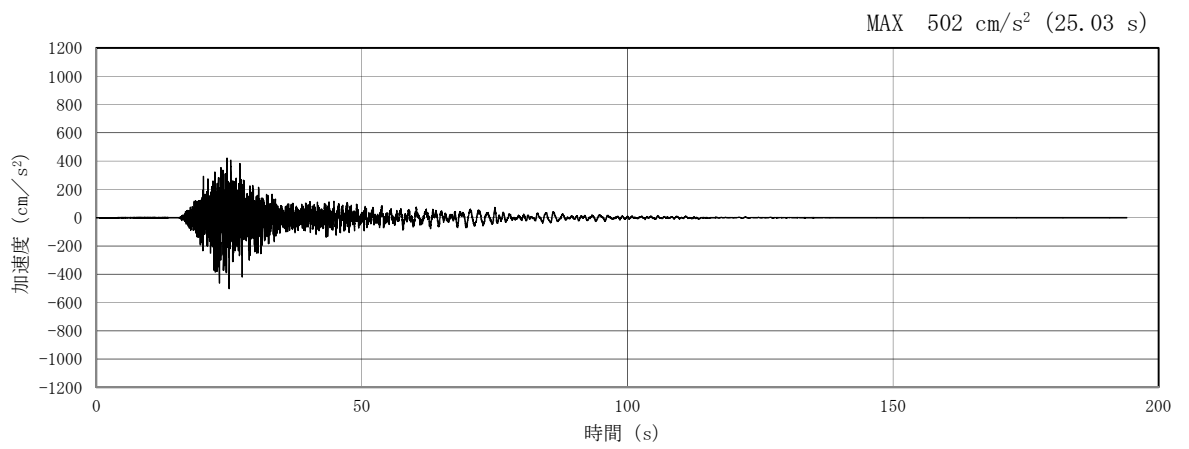


(a) 加速度時刻歴波形

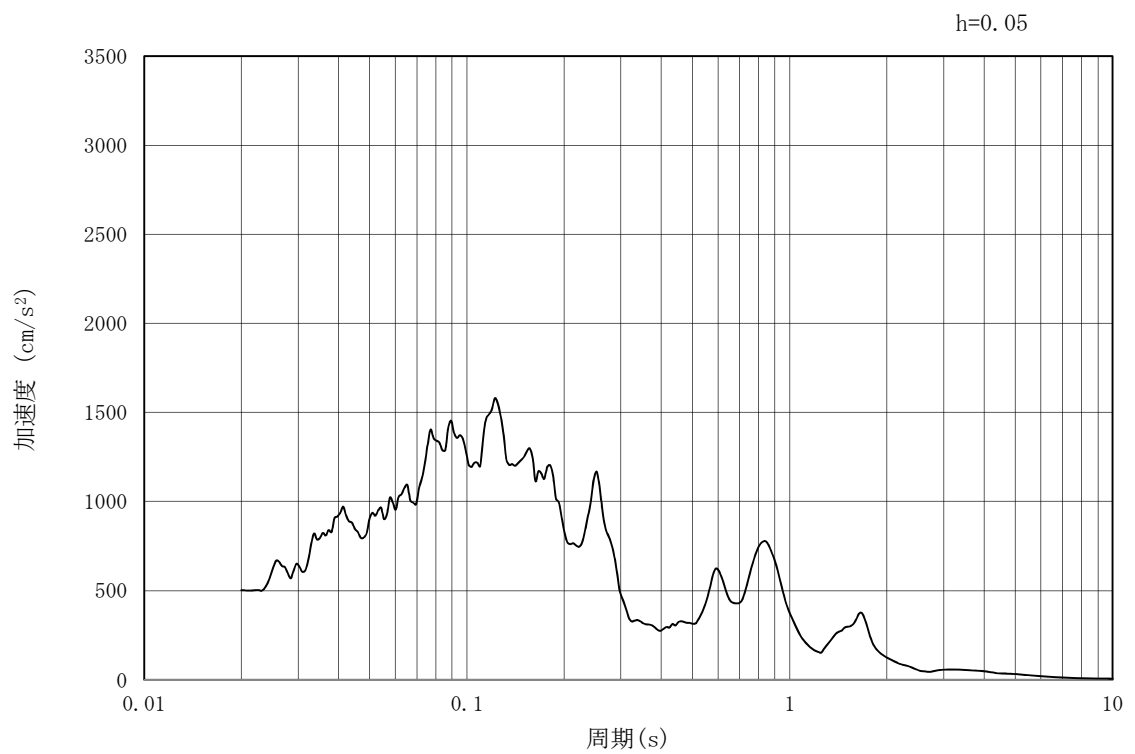


(b) 加速度応答スペクトル

図 18.3-2 (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: $S_s - 11$)

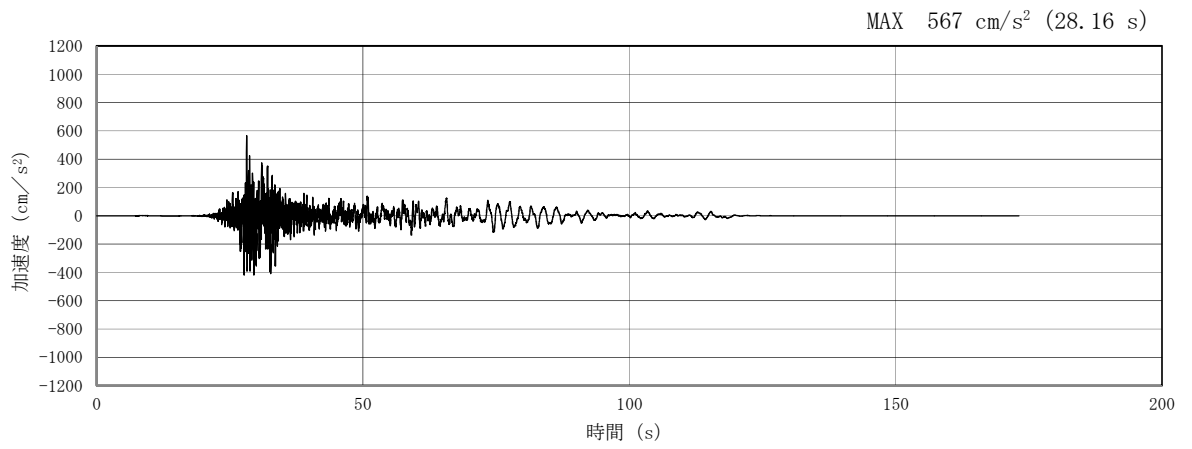


(a) 加速度時刻歴波形

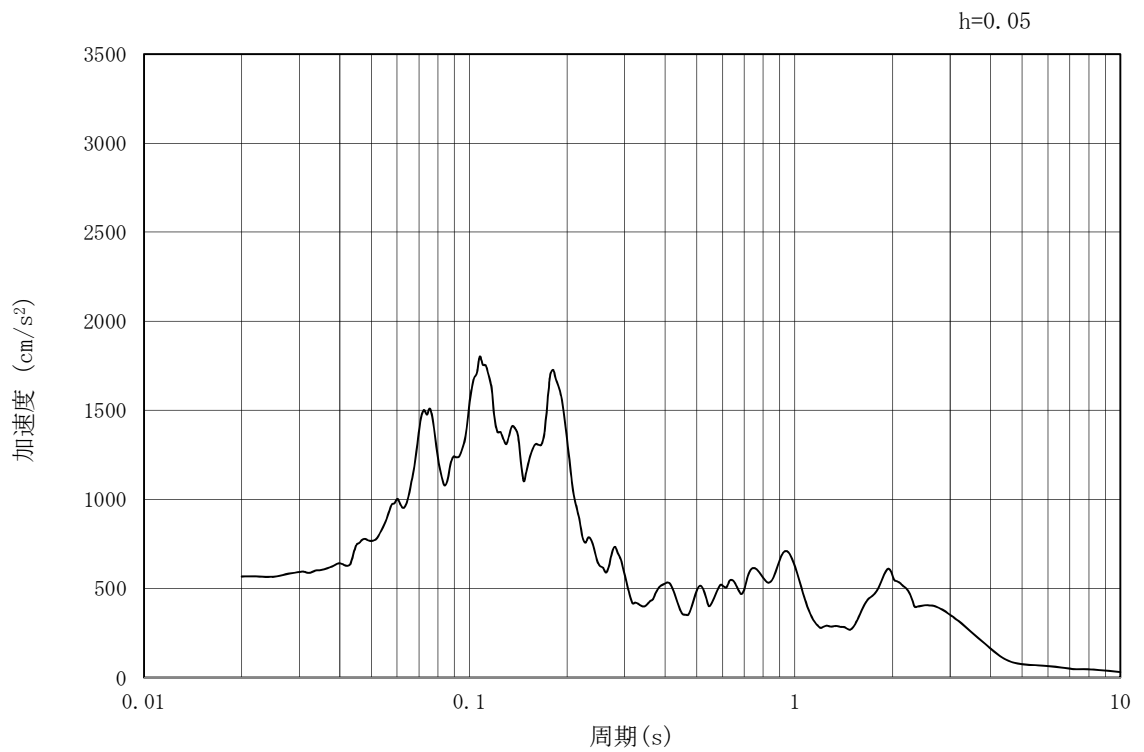


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 1.1$)

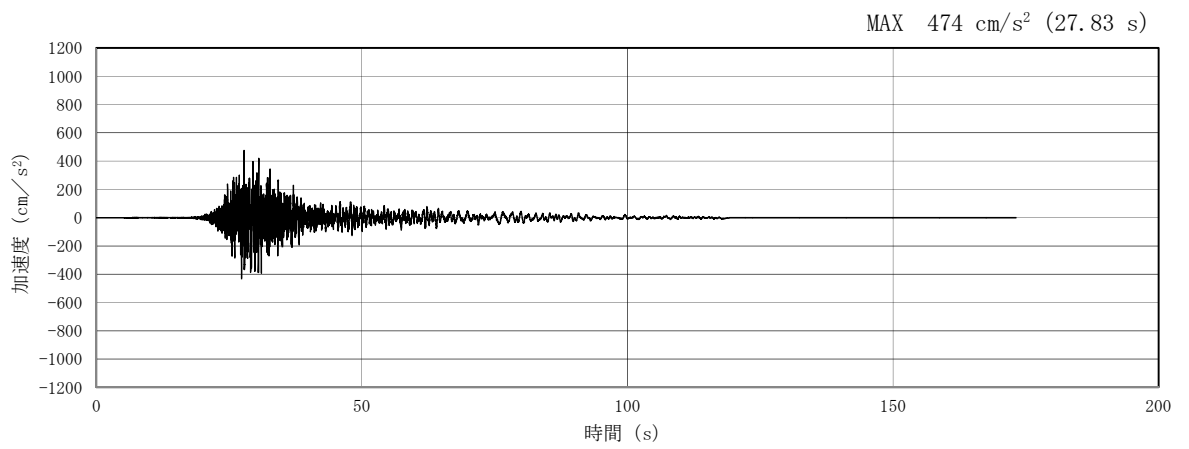


(a) 加速度時刻歴波形

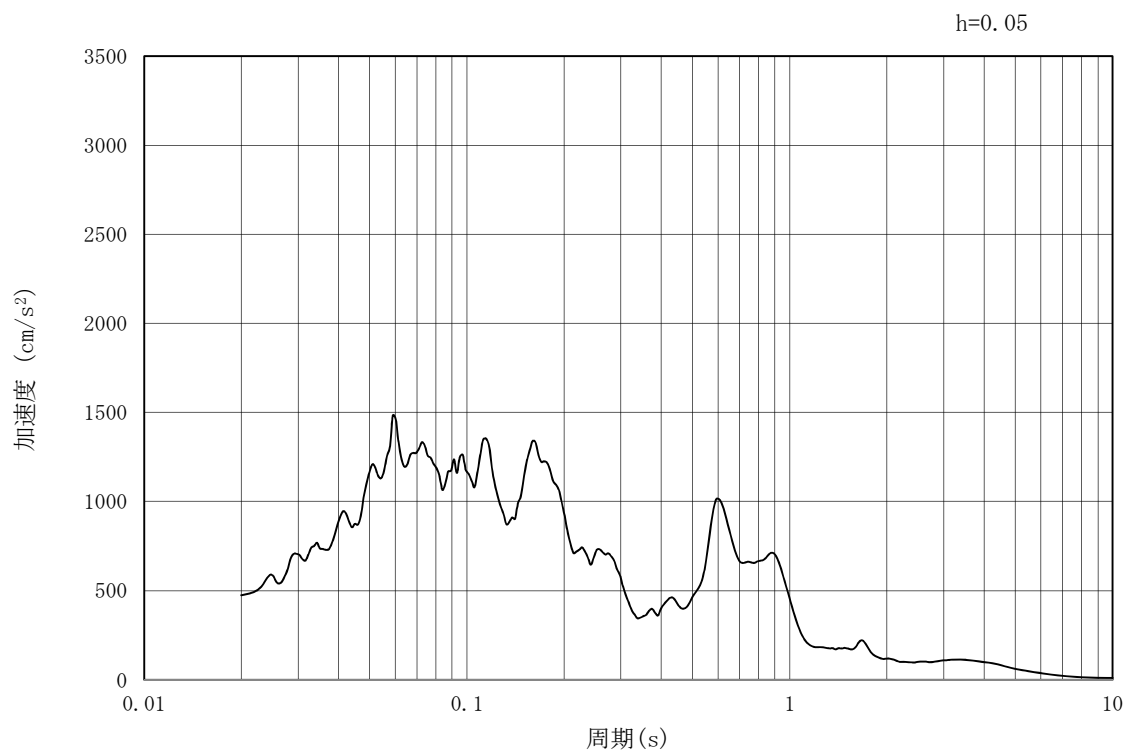


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.2$)

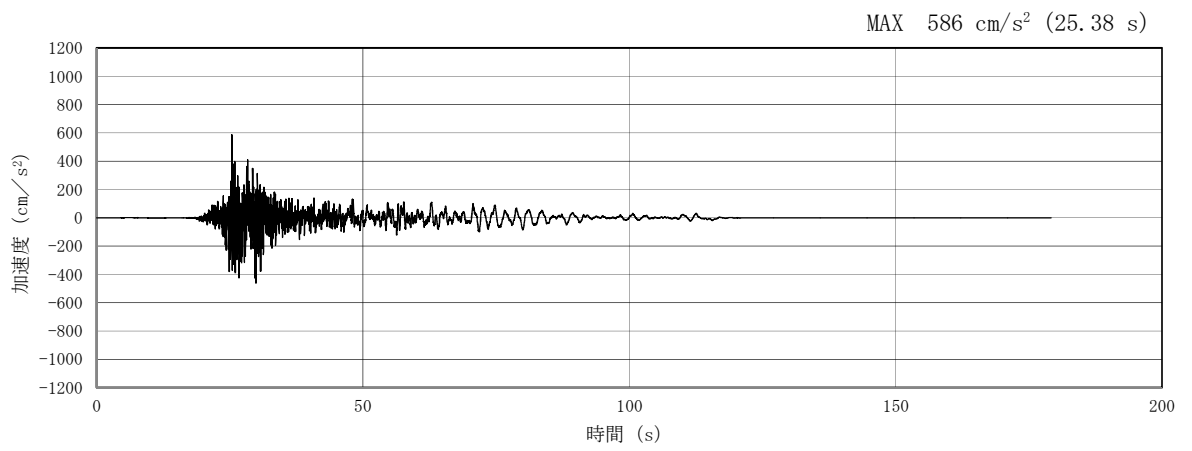


(a) 加速度時刻歴波形

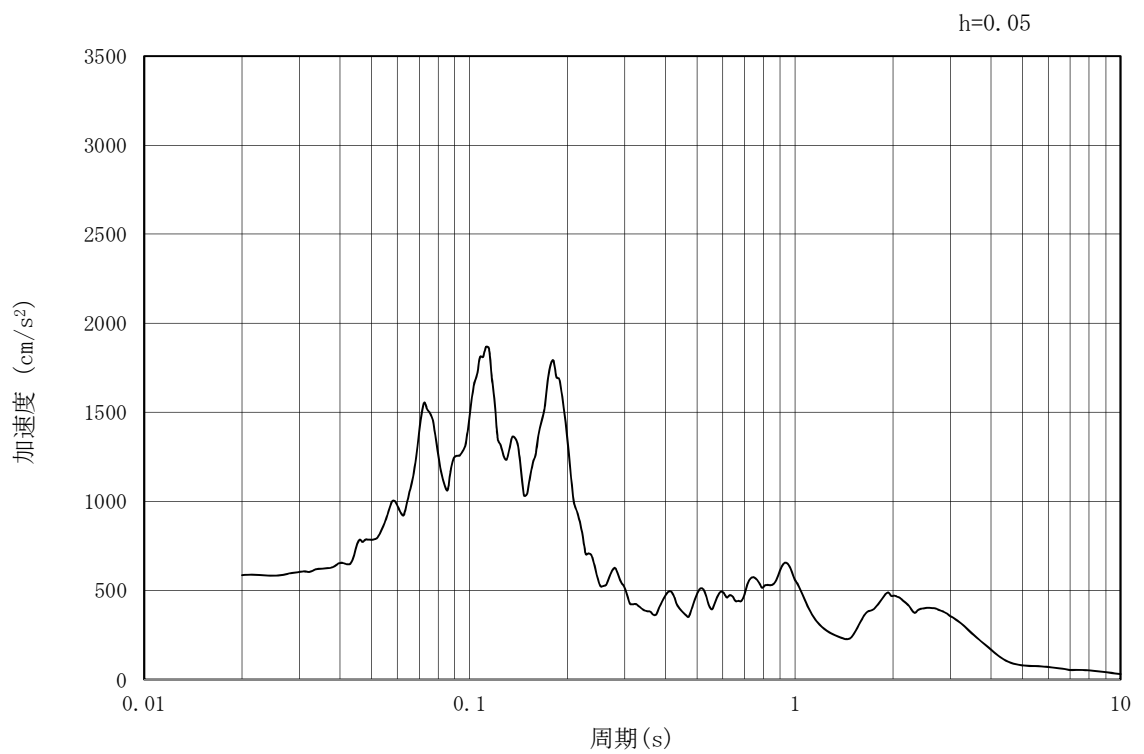


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.2$)

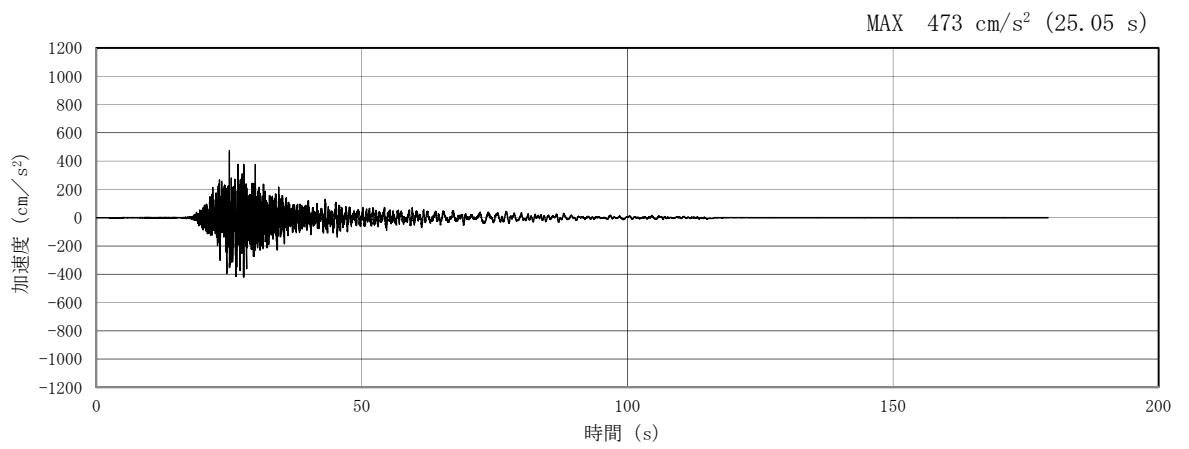


(a) 加速度時刻歴波形

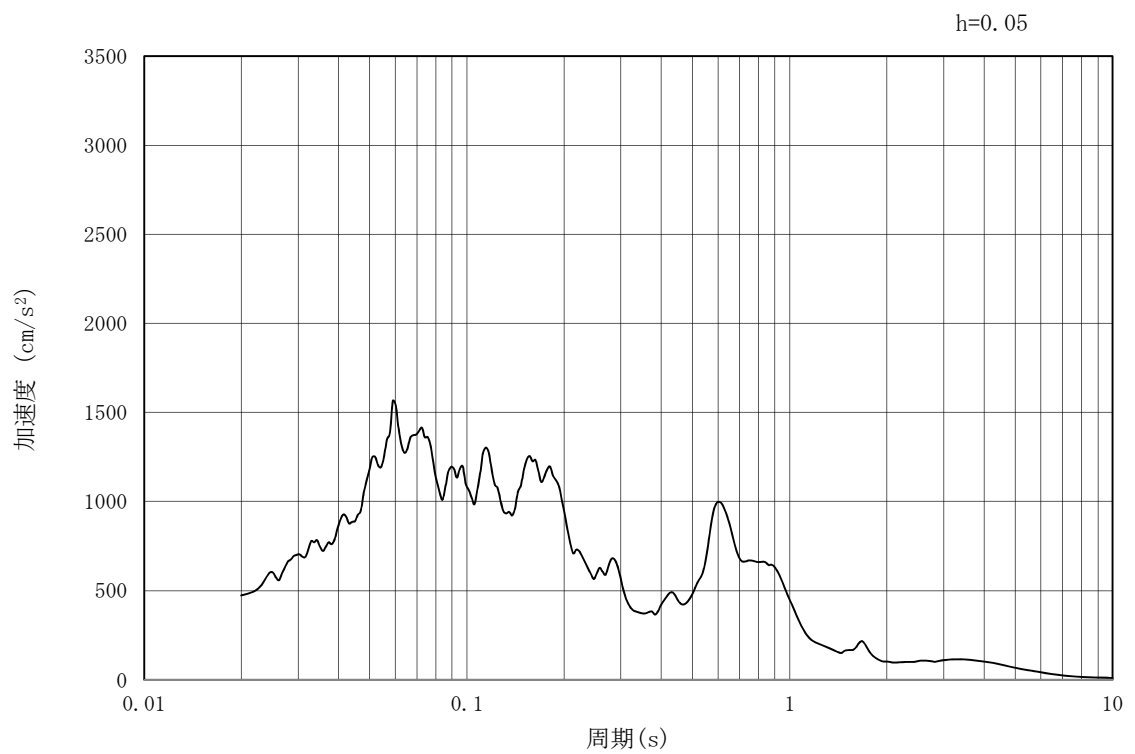


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.3$)

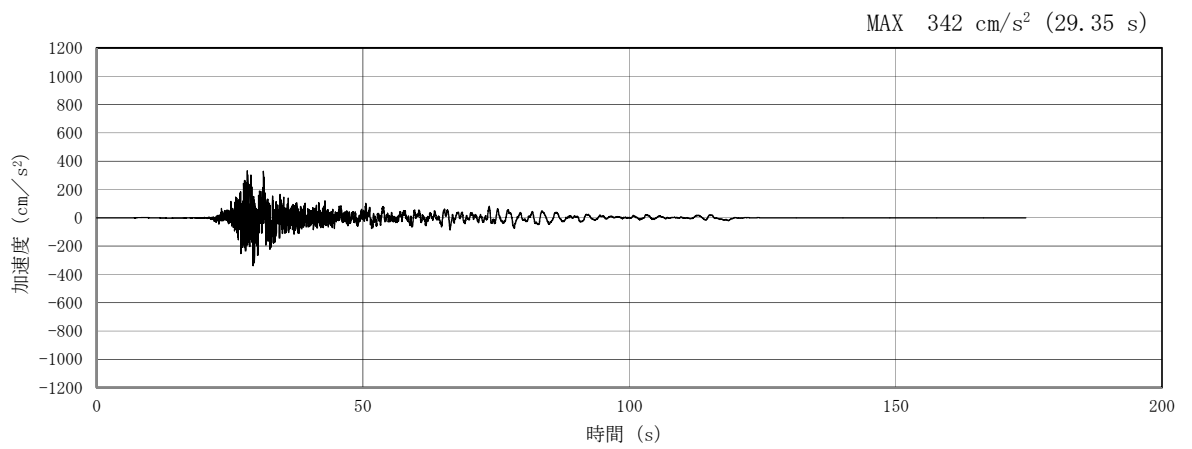


(a) 加速度時刻歴波形

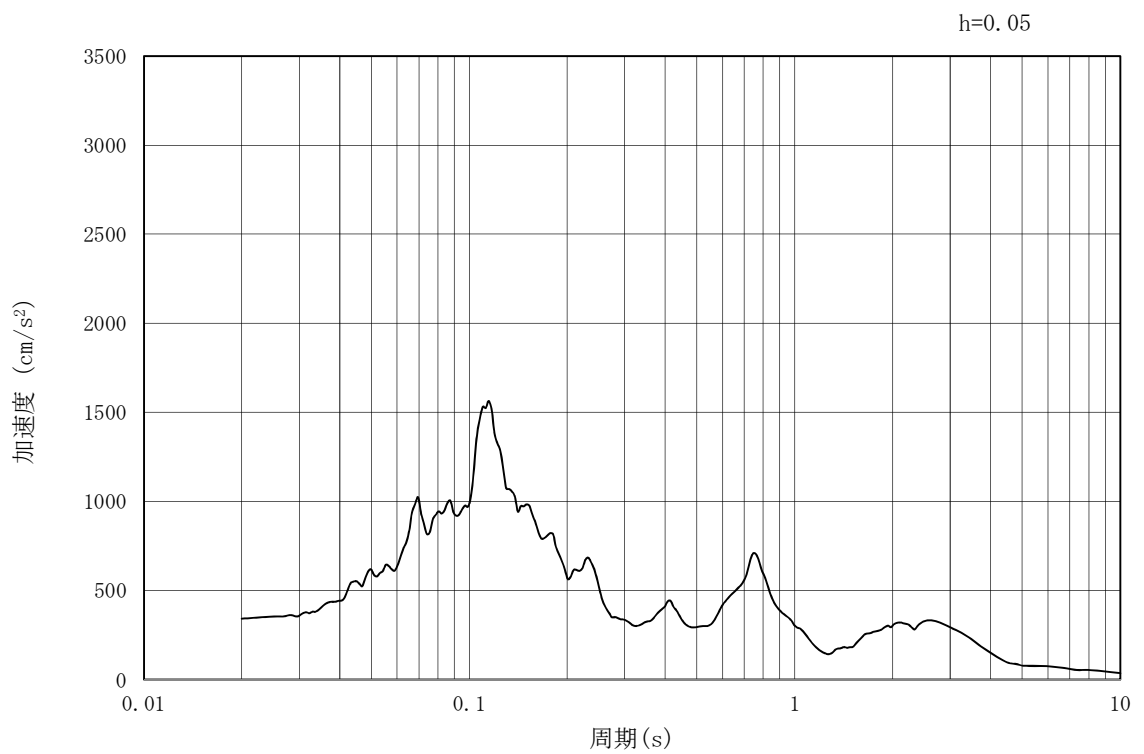


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.3$)

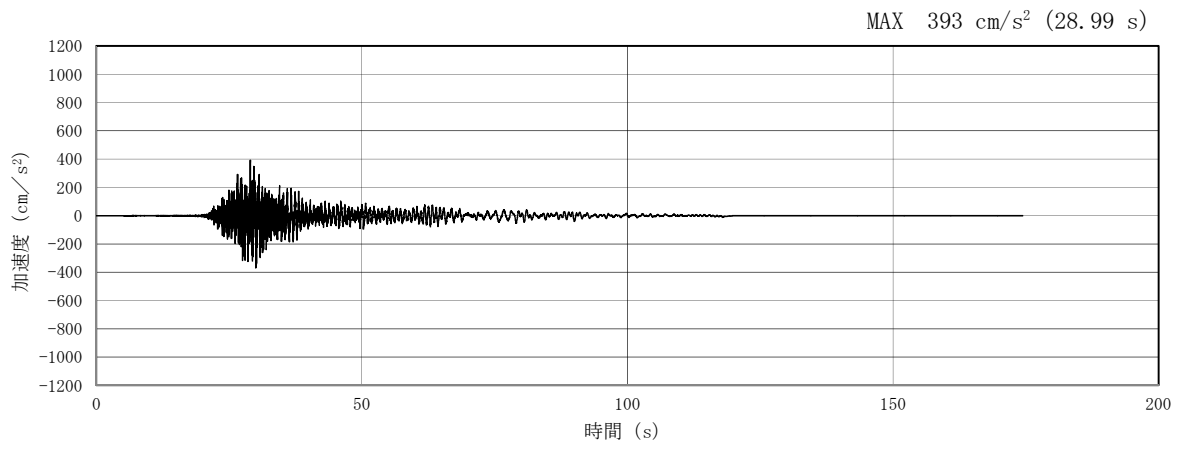


(a) 加速度時刻歴波形

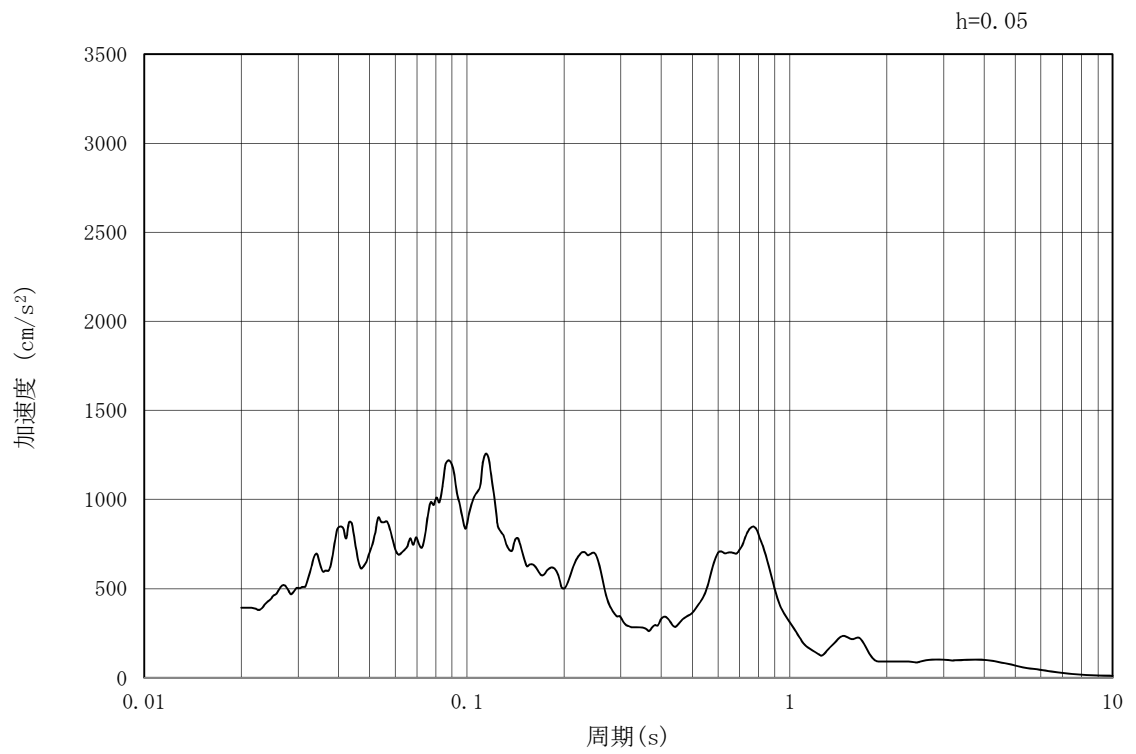


(b) 加速度応答スペクトル

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)

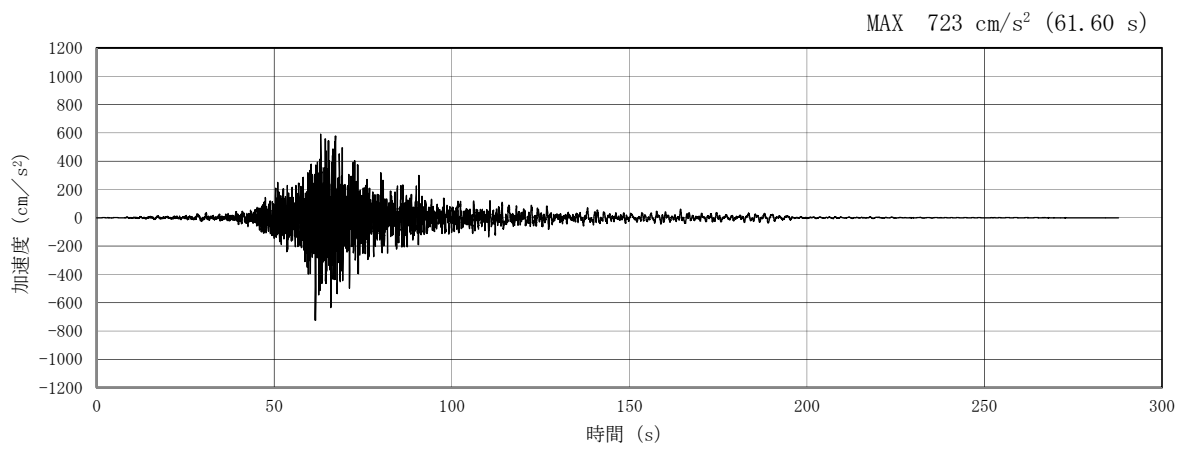


(a) 加速度時刻歴波形

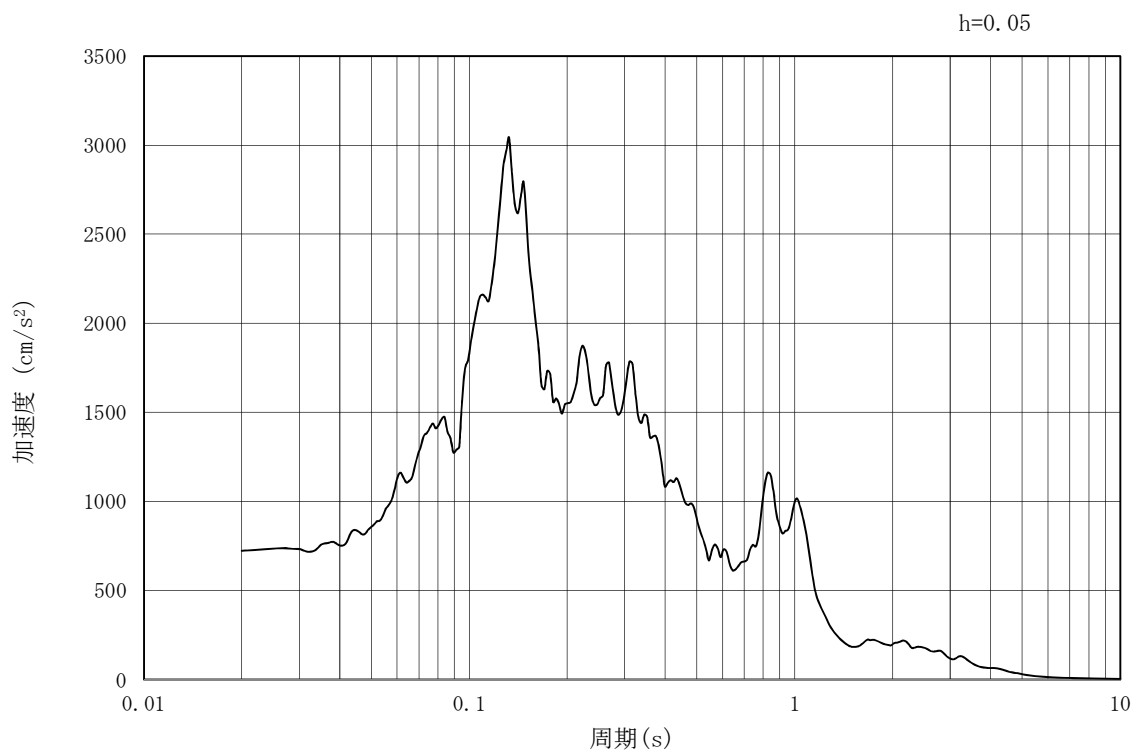


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 1.4$)

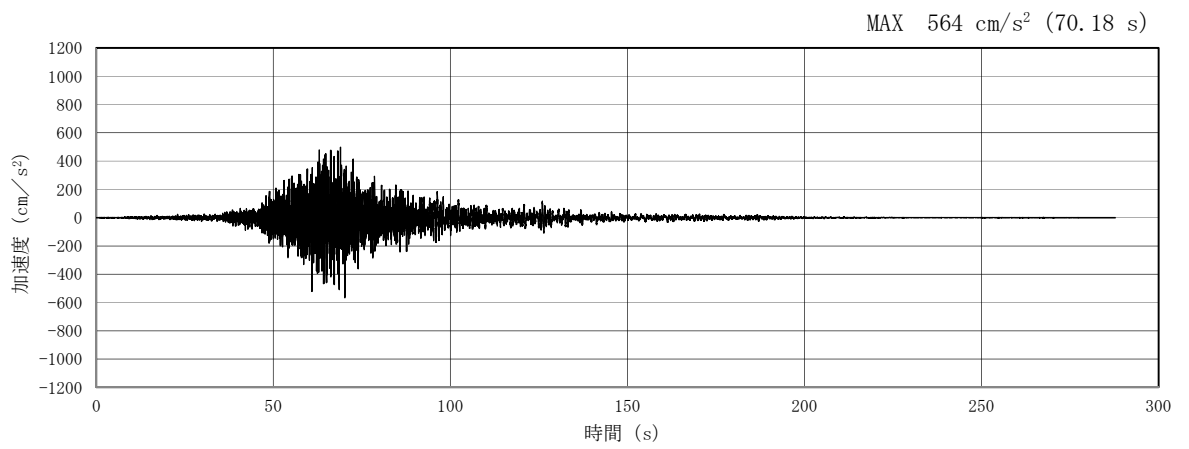


(a) 加速度時刻歴波形

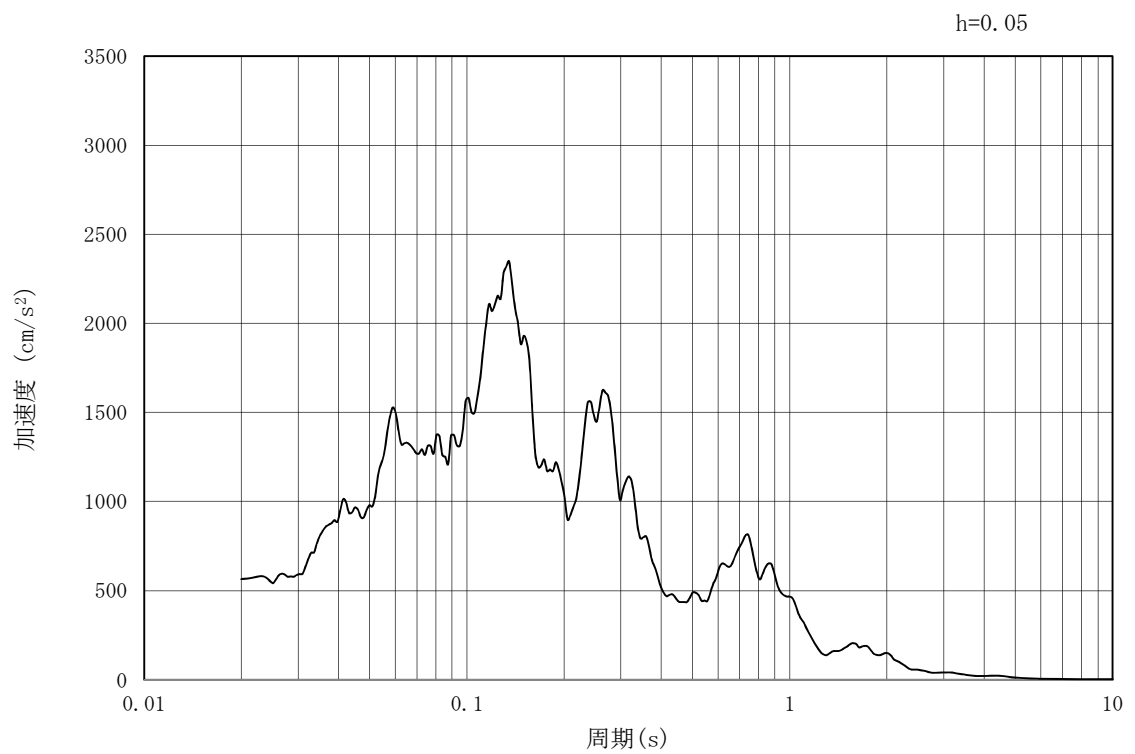


(b) 加速度応答スペクトル

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)

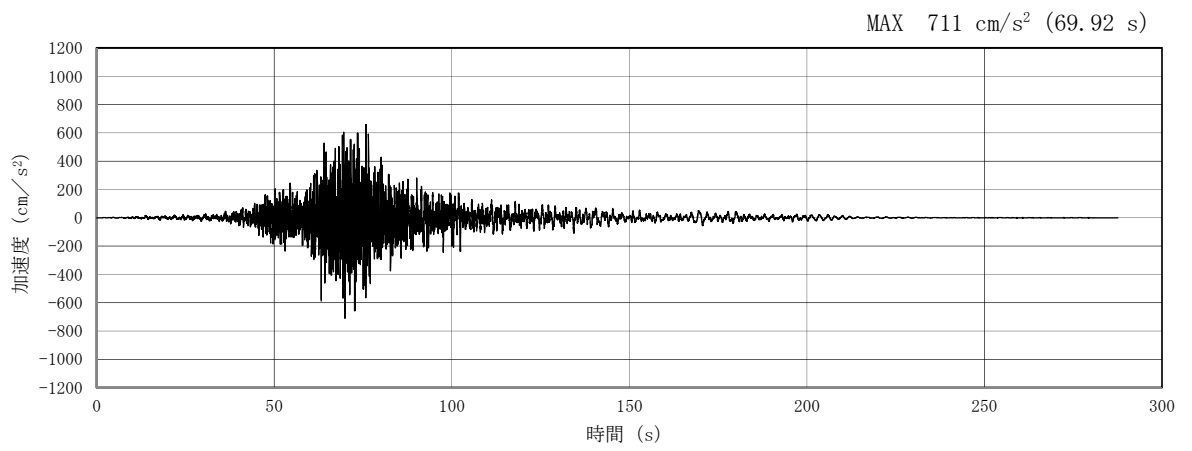


(a) 加速度時刻歴波形

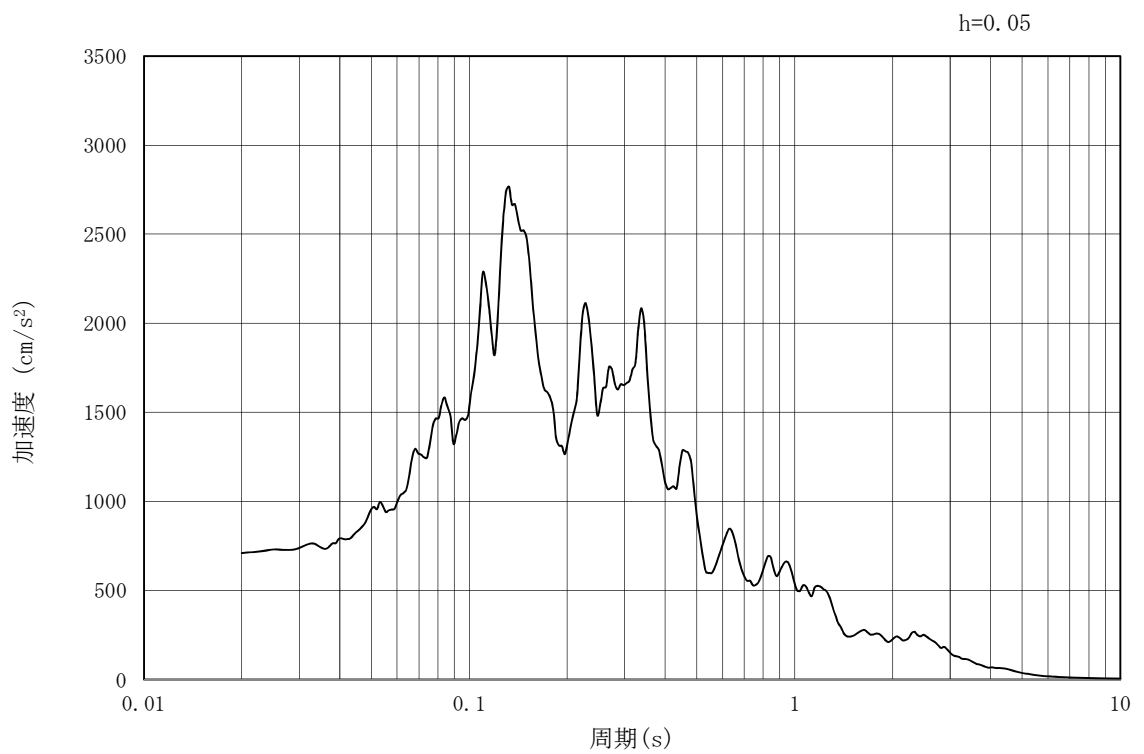


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 21$)

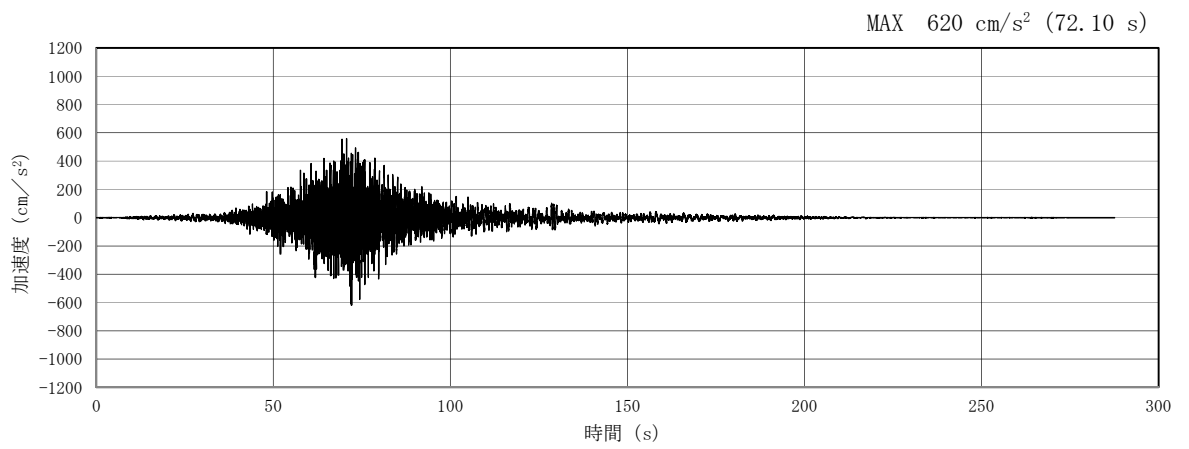


(a) 加速度時刻歴波形

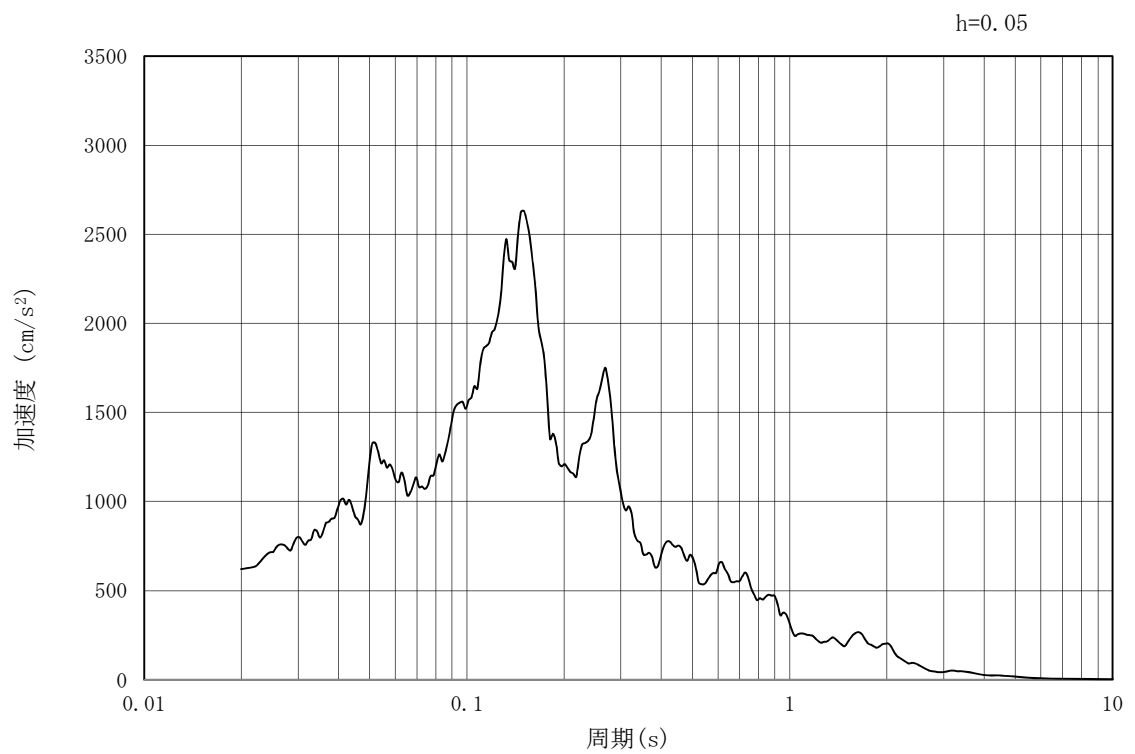


(b) 加速度応答スペクトル

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 : $S_s - 22$)

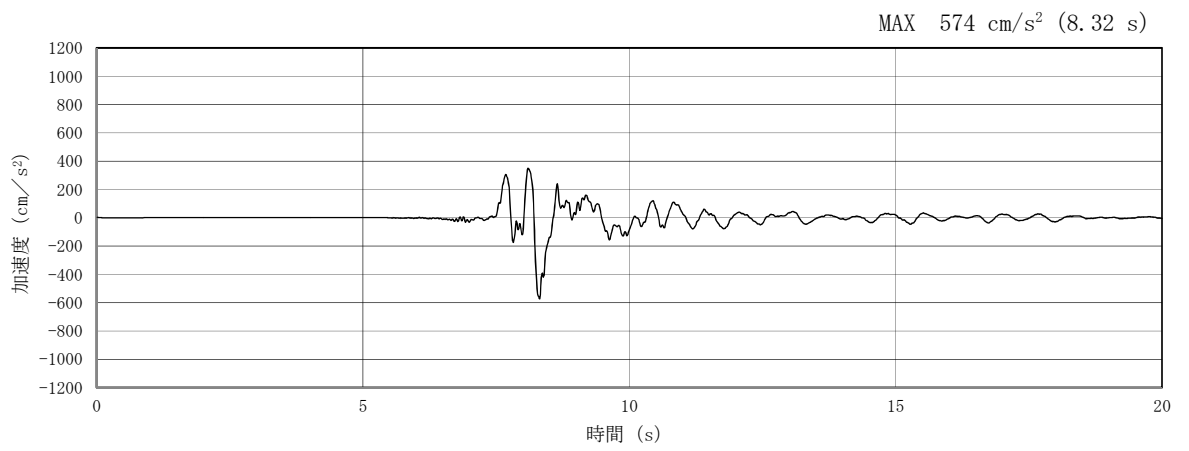


(a) 加速度時刻歴波形

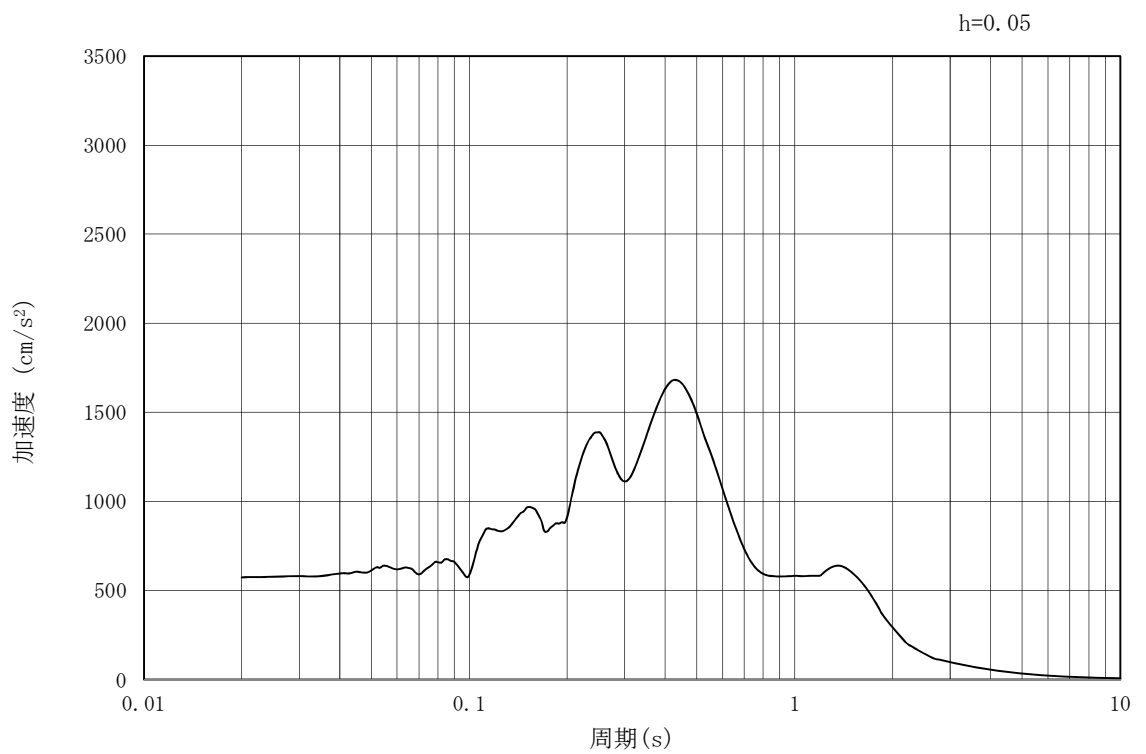


(b) 加速度応答スペクトル

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: $S_s - 22$)

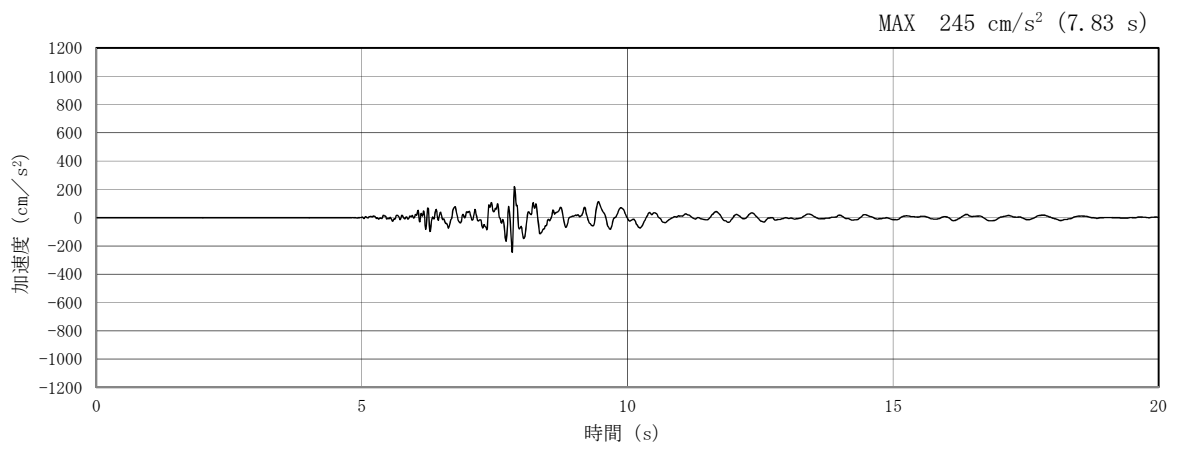


(a) 加速度時刻歴波形

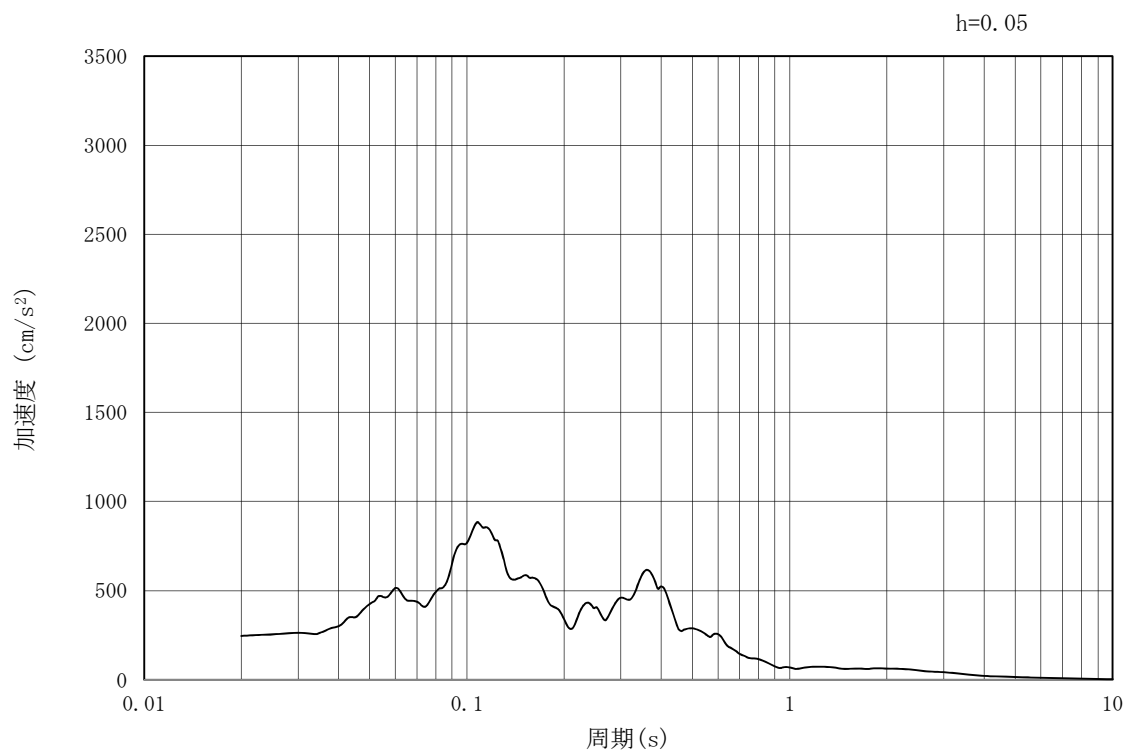


(b) 加速度応答スペクトル

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、鉄筋及び鋼管杭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/m^2 であり、基礎地盤の極限支持力度 $\Delta\Delta$ kN/m^2 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



可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価に関する参考資料

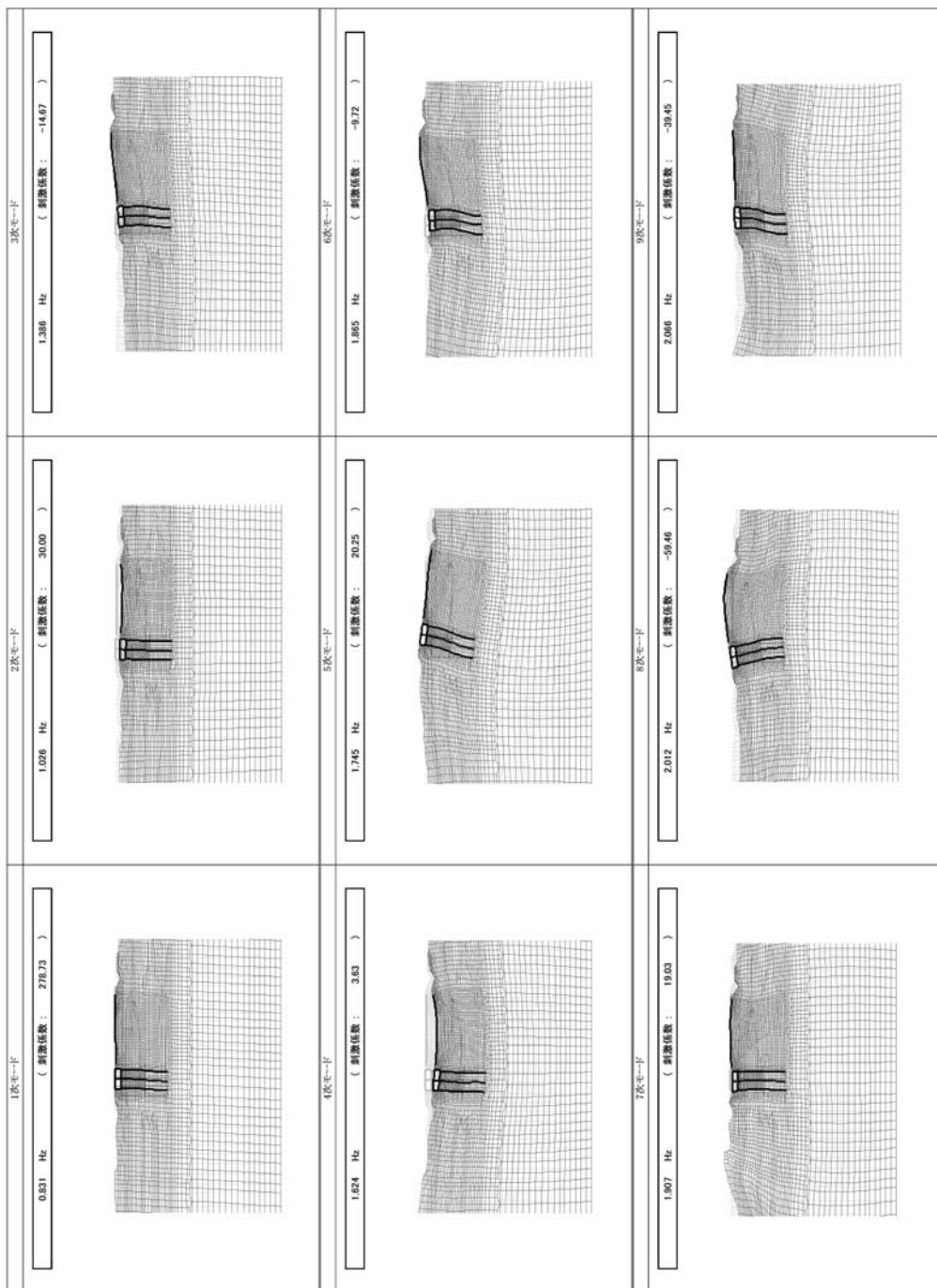
1 減衰の設定について

地震応答解析における減衰については、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。Rayleigh 減衰の設定は、地盤の低次のモードの変形が特に支配的となる地中埋設構造物のような地盤及び構造系全体に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮し、かつ、振動モードの影響が全体系に占める割合の観点から、刺激係数に着目し行う。

固有値解析による刺激係数及びモード図を図 18-1 に示す。また、設定した Rayleigh 減衰を図 18-2 に示す。

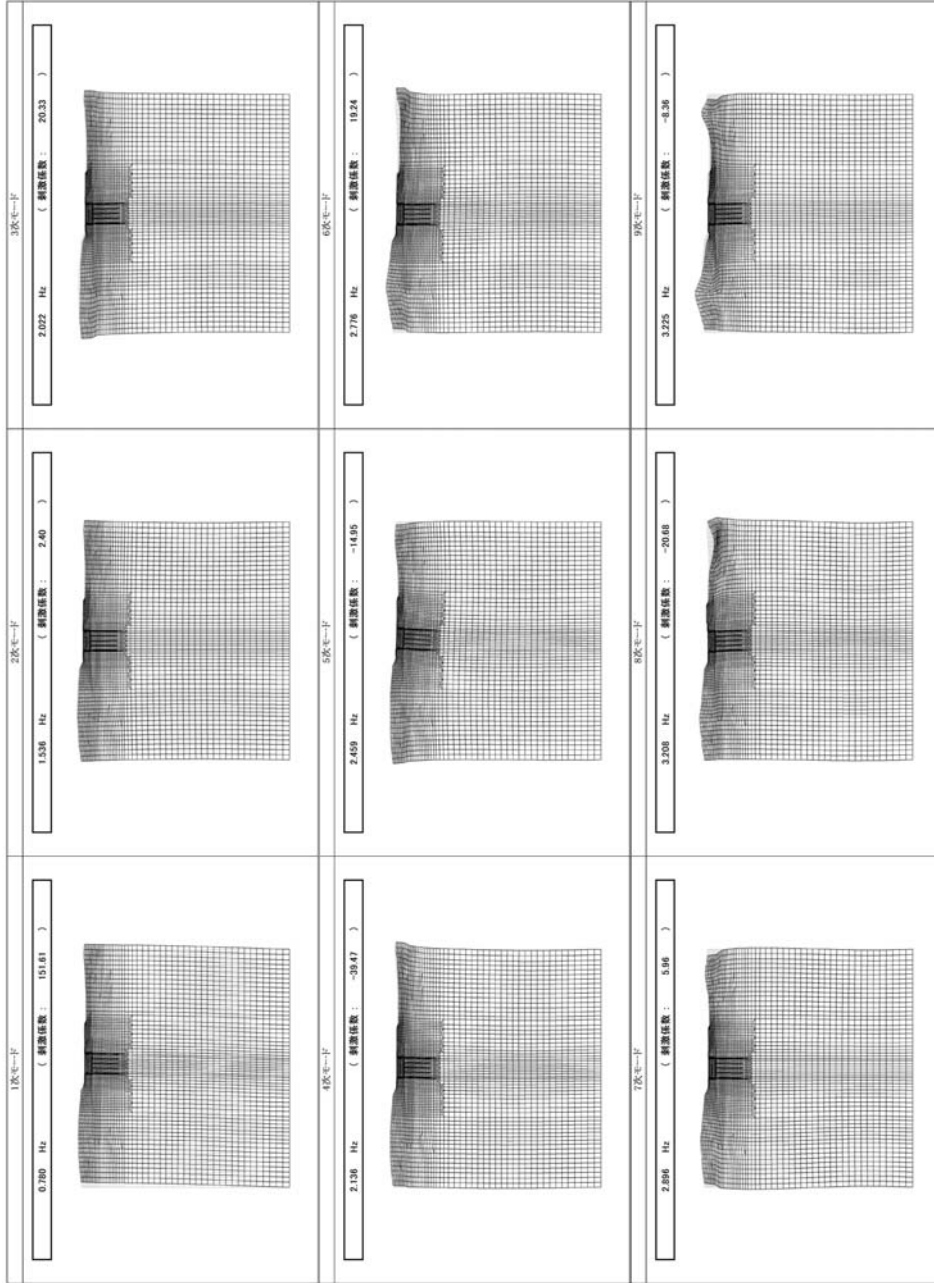
1 次の基準モードについては、地盤及び構造系全体がせん断変形しているモードを選定している。

なお、初期減衰定数は、地盤については 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。）とする。また、鋼材については 3%（道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（(社)日本道路協会，平成 14 年 3 月））、コンクリートについては 5%（J E A G 4 6 0 1 -1987）とする。



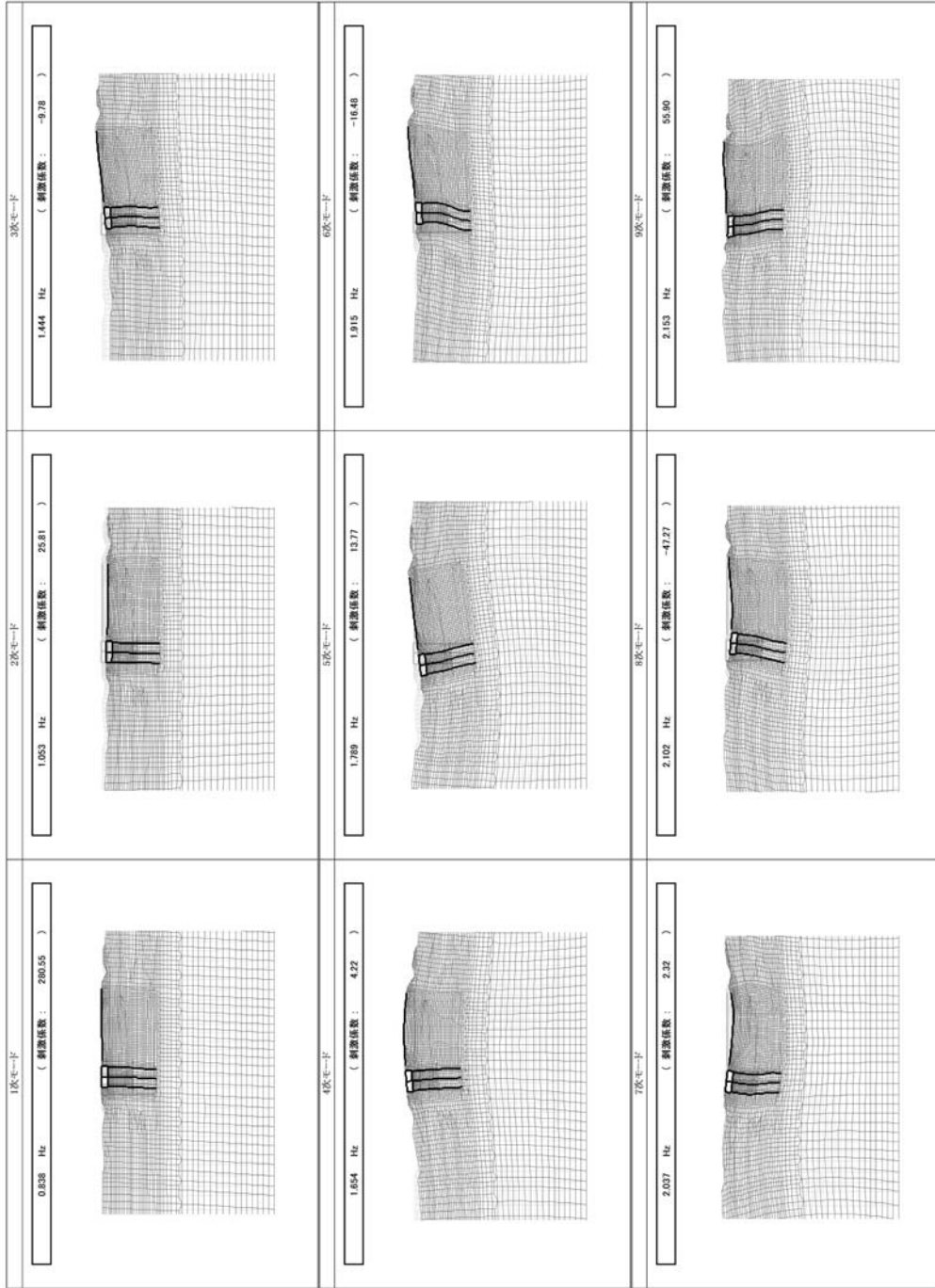
①-①断面

図 18-1 (1) 可搬型設備用軽油タンク基礎の固有値解析結果
(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)



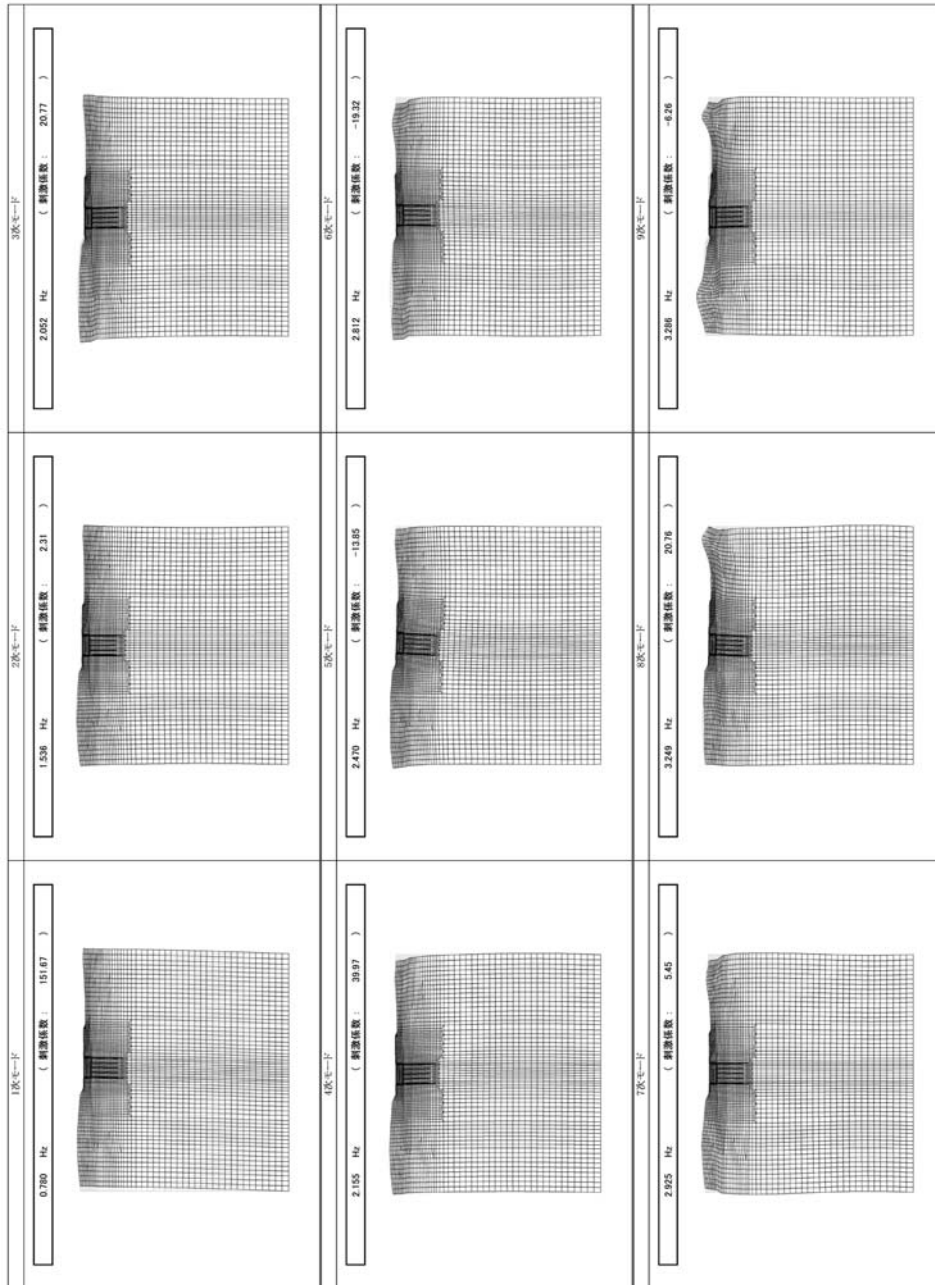
④-④断面

図 18-1 (2) 可搬型設備用軽油タンク基礎の固有値解析結果
(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)



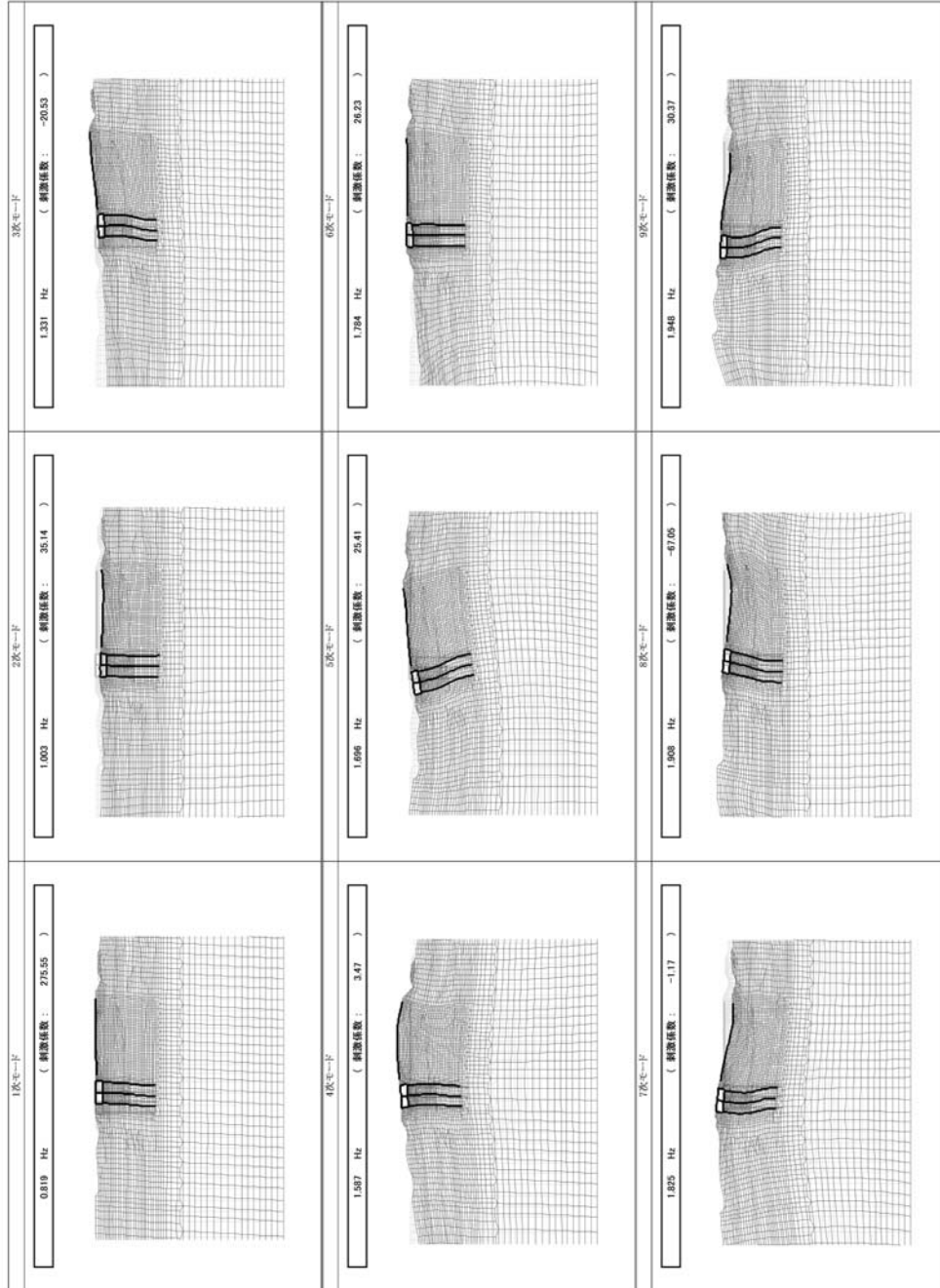
①-①断面

図 18-1 (3) 可搬型設備用軽油タンク基礎の固有値解析結果
(検討ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース)



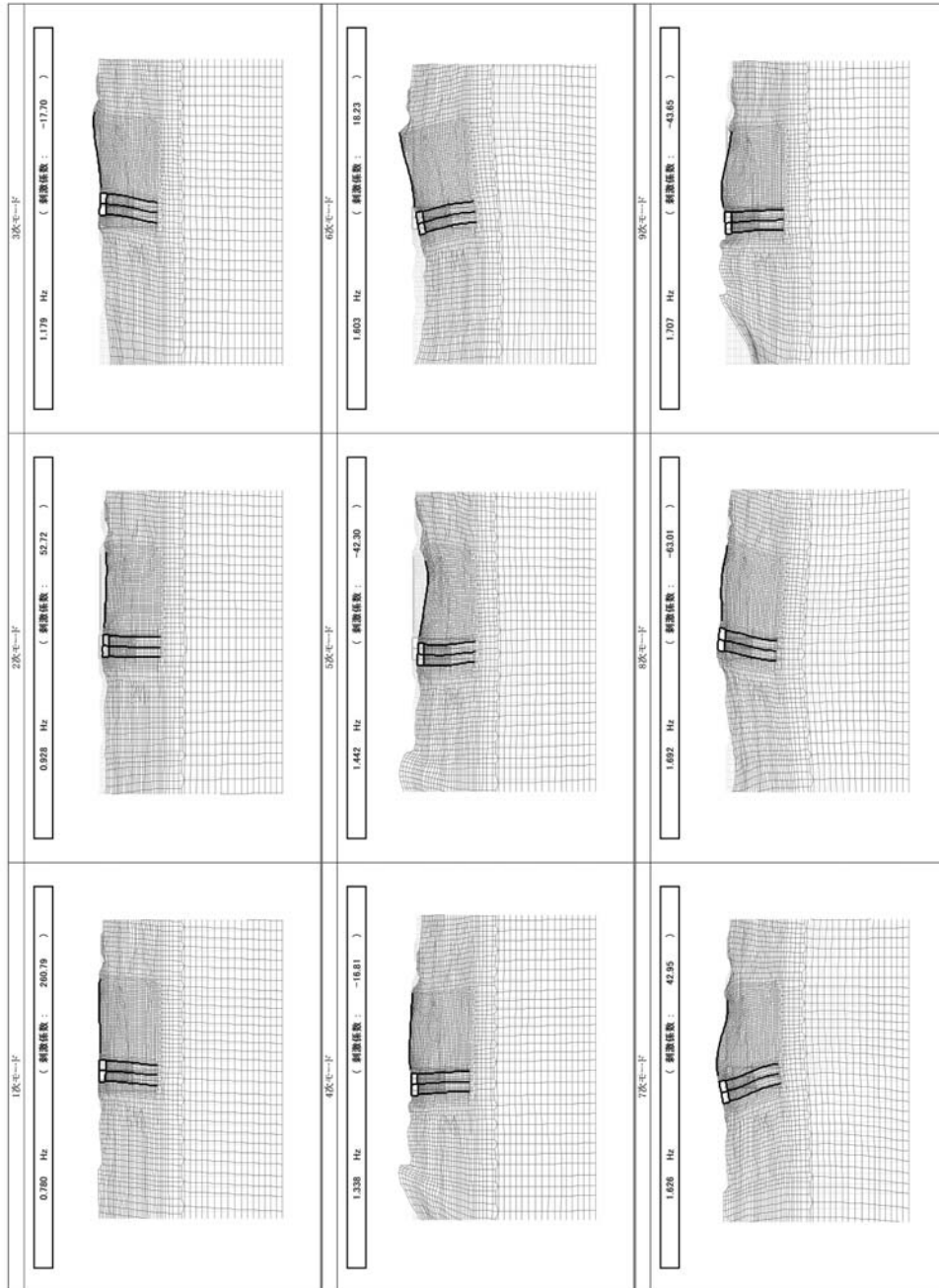
④-④断面

図 18-1 (4) 可搬型設備用軽油タンク基礎の固有値解析結果
(検討ケース②：地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース)



①-①断面

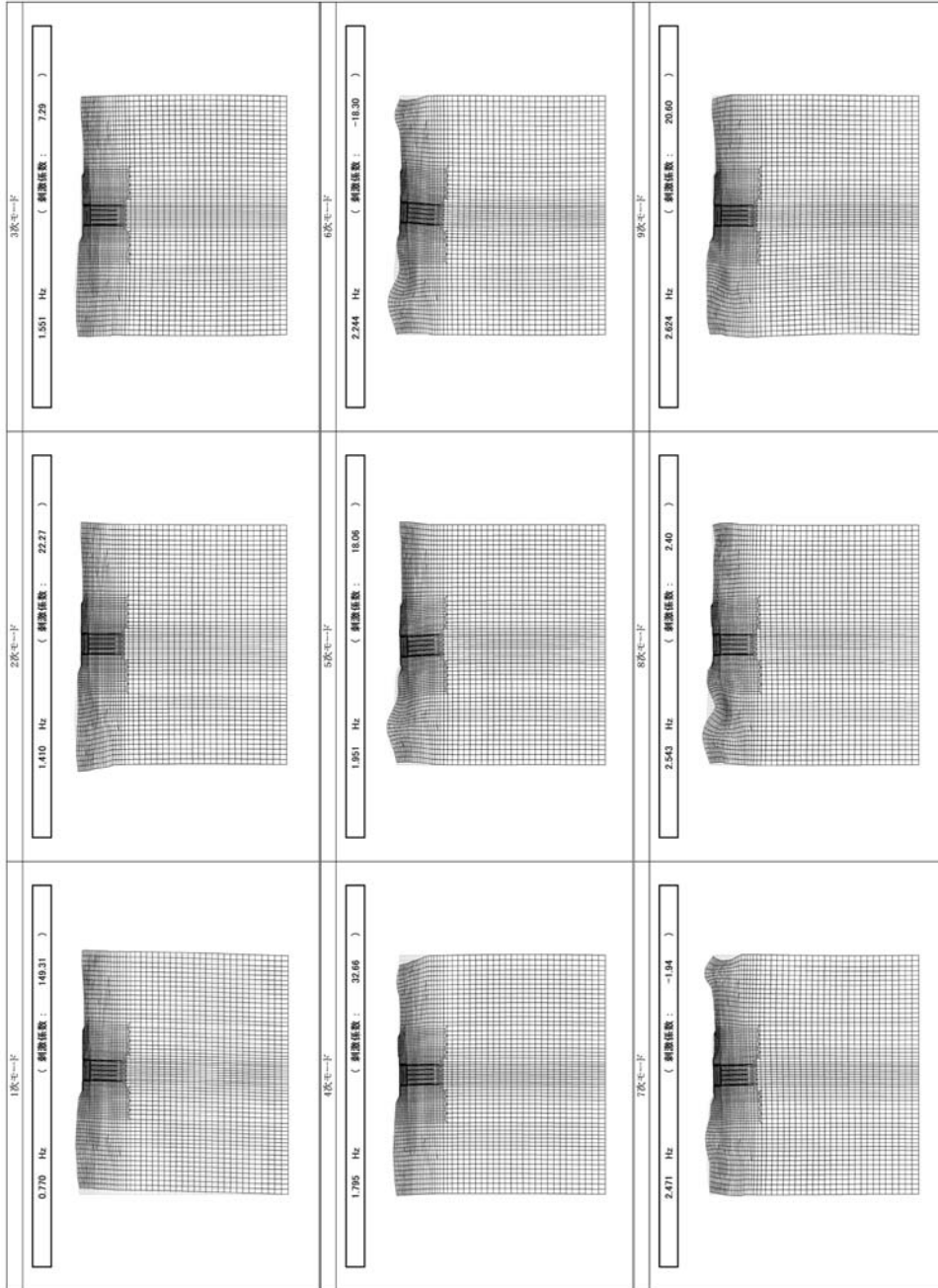
図 18-1 (5) 可搬型設備用軽油タンク基礎の固有値解析結果
(検討ケース③：地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース)



①-①断面

図 18-1 (6) 可搬型設備用軽油タンク基礎の固有値解析結果

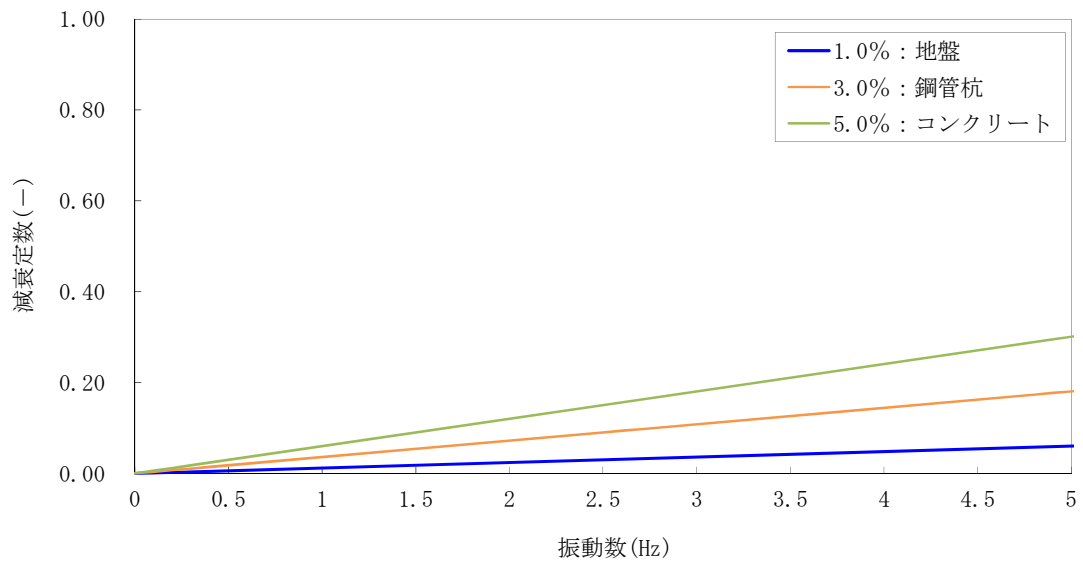
(検討ケース④: 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)



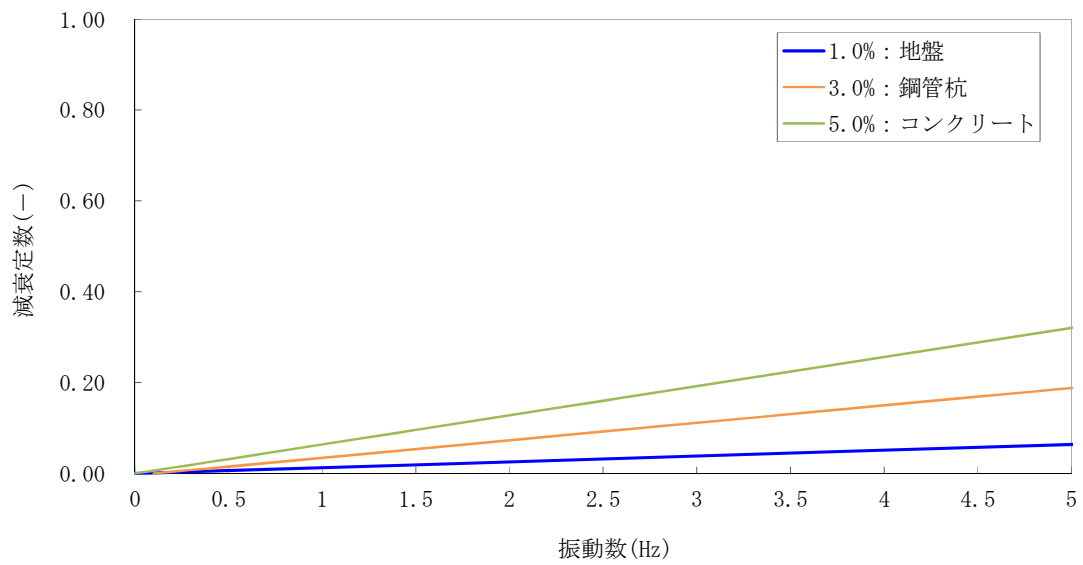
④一④断面

図 18-1 (7) 可搬型設備用軽油タンク基礎の固有値解析結果

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により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)

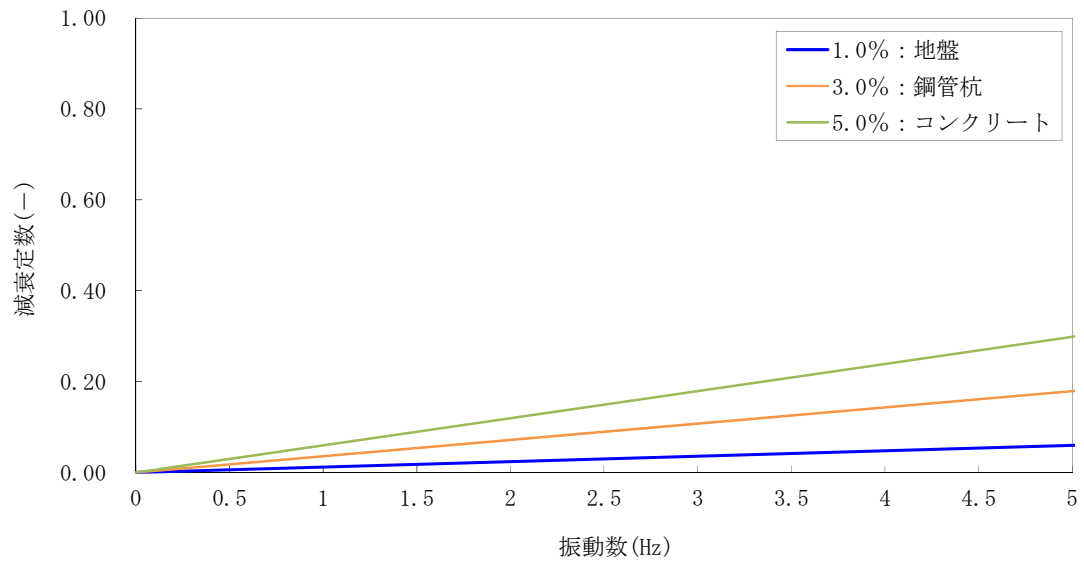


(a) ①-①断面

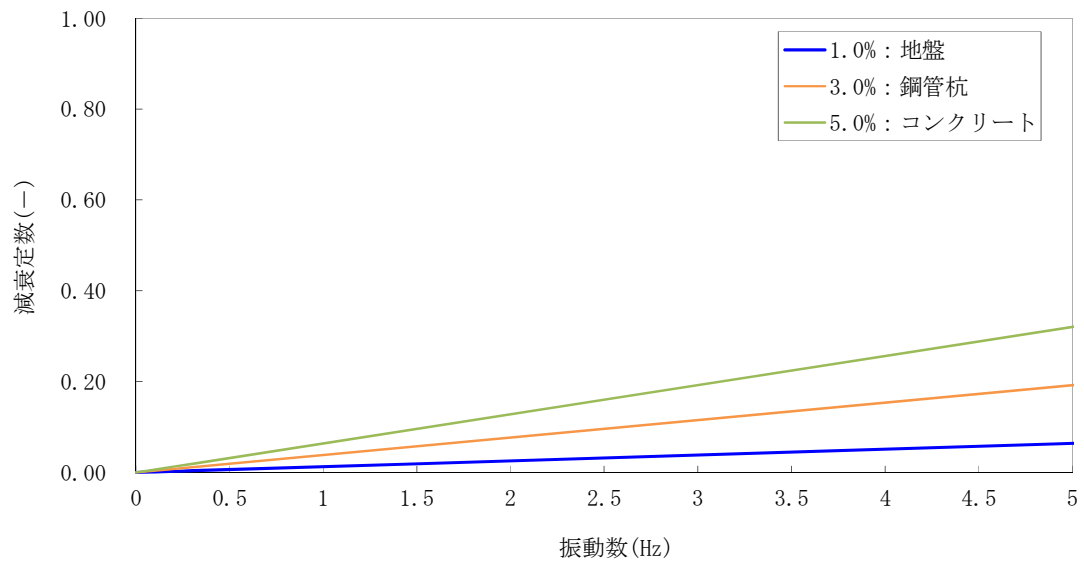


(b) ④-④断面

図 18-2 (1) 設定した Rayleigh 減衰
 (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)

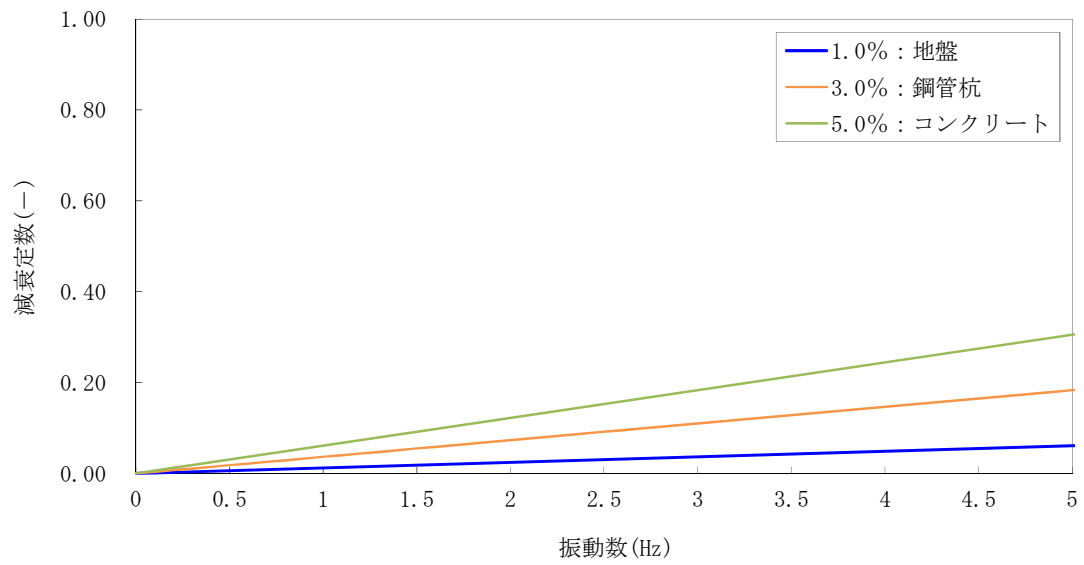


(a) ①-①断面



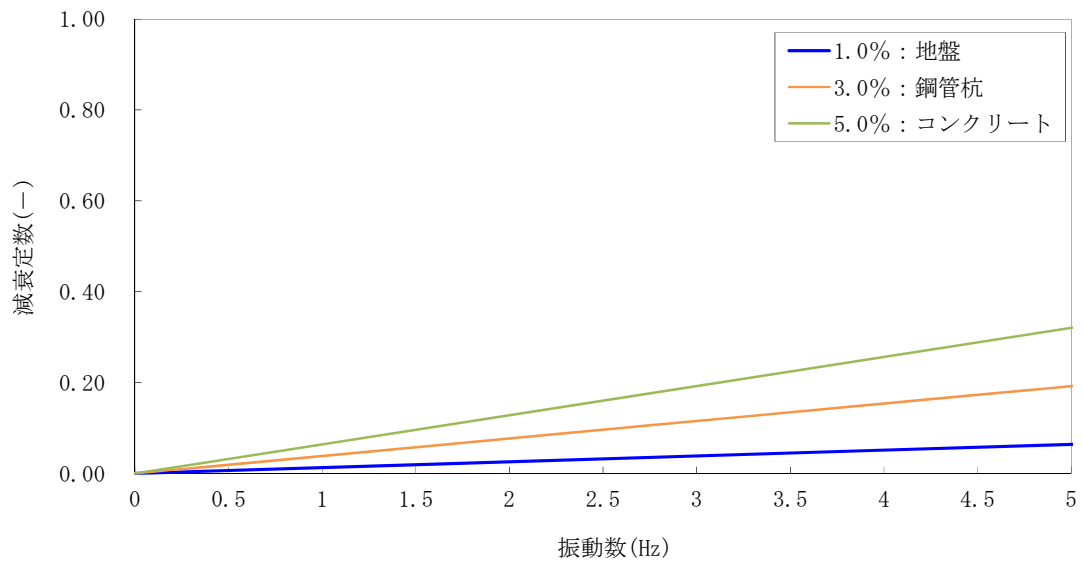
(b) ④-④断面

図 18-2 (2) 設定した Rayleigh 減衰
 (検討ケース② : 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース)

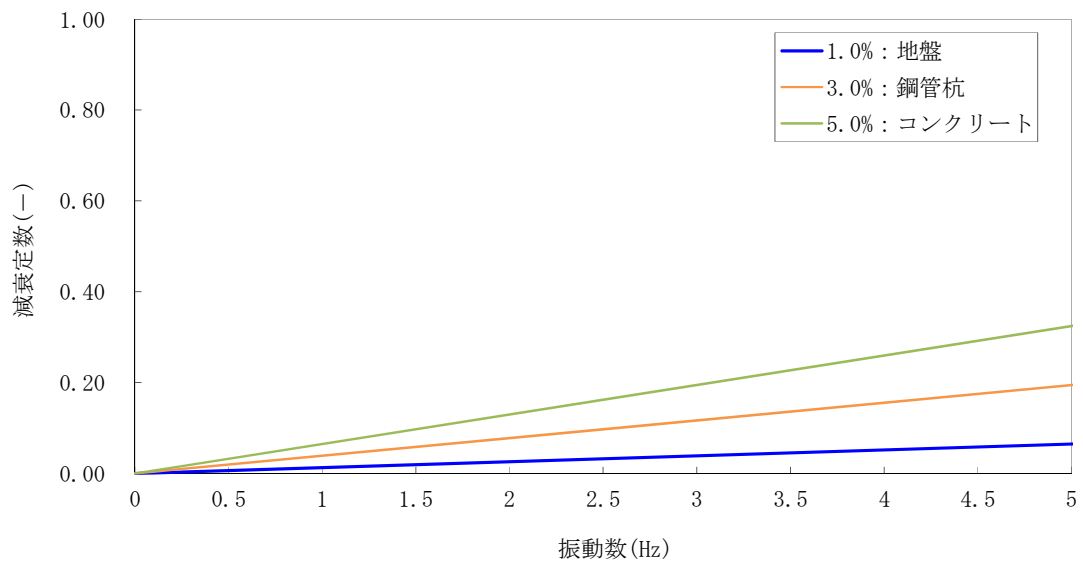


(a) ①-①断面

図 18-2 (3) 設定した Rayleigh 減衰
 (検討ケース③：地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース)



(a) ①-①断面



(b) ④-④断面

図 18-2 (3) 設定した Rayleigh 減衰

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により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)