

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 11
提出年月日	平成 30 年 5 月 23 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-8

【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】

平成 30 年 5 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

目次

[]内は、当該箇所を提出（最新）したときの改訂を示す。

1. 共通事項
 - 1.1 対象設備[改 7 H30. 4. 23]
 - 1.2 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容[改 4 H30. 4. 9]
 - 1.3 安全係数[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4 屋外重要土木構造部の耐震評価における断面選定の考え方
 - 1.4.1 方針[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.2 取水構造物の断面選定の考え方[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.3 屋外二重管の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.4 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.6 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.7 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.8 代替淡水貯槽の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.9 常設低圧代替注水系ポンプ室の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.10 常設低圧代替注水系配管カルバートの断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.11 格納容器圧力逃がし装置用カルバートの断面選定の考え方[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.12 緊急用海水ポンプピットの断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.13 緊急用海水取水管の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.14 SA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 SA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]
2. 取水構造物の耐震安全性評価[改 3 H30. 4. 9]
3. 屋外二重管の耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]
4. 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震安全性評価[改 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 7 H30. 4. 23]
18. 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]

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

補足説明資料と添付書類との関連

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

	1.5 地盤物性・材料物性のばらつきの考慮方法	共通事項
	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。

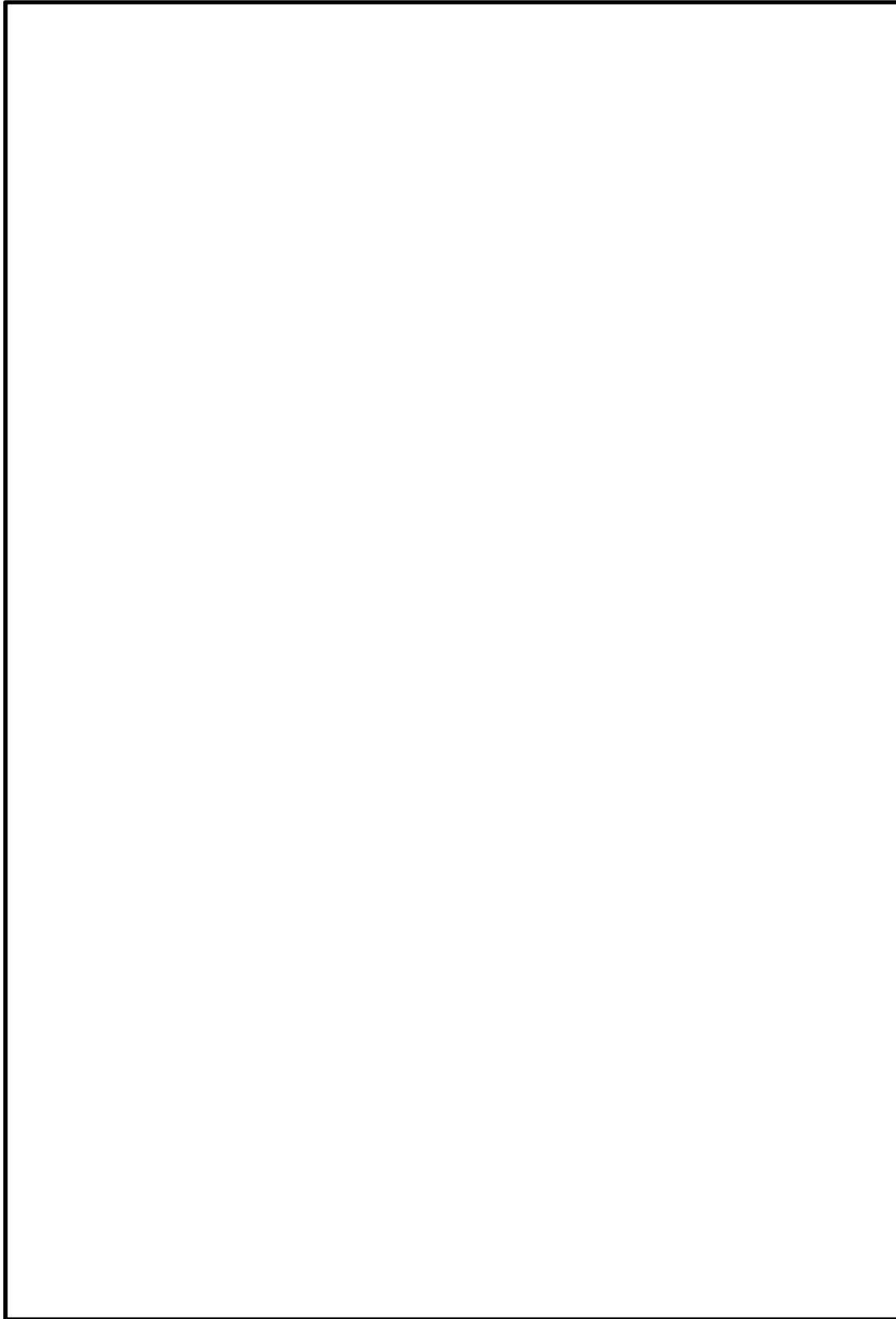


图 1.1-1 屋外重要土木构造物等位置图

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

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の形状、配置、荷重条件及び地質構造等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

評価対象断面の選定の流れについて以下に示す。

① 耐震評価候補断面の整理

以下の観点にて、耐震評価候補断面を整理する。

- ・ 間接支持される機器・配管系の有無及び設置位置
- ・ 構造的特徴（部材厚、内空断面、断面急変部、構造物間の連結部等）
- ・ 周辺状況（上載荷重、地盤条件変化部、隣接する構造物）
- ・ 地震力の特性（地質構造）
- ・ 機器・構造物への加速度応答及び変位応答算出位置（加速度応答及び変位応答特性）

② 評価対象断面の選定

①にて整理した耐震評価候補断面に対して、間接支持される機器・配管系の有無、構造的特徴、周辺状況及び地震力の特性等が耐震評価結果に及ぼす影響の観点から、耐震評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として絞込む。

また、長尺な構造物である屋外二重管、常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）、緊急用海水取水管及び海水引込み管については、地震力の特性（地質構造）を確認するため1次元地震応答解析を行い、評価対象断面の絞込みを行う。

更に、各条件（構造的特徴、周辺状況等）を組合せた断面を作成し、保守的な条件設定により評価を実施する場合がある。

なお、機器・配管系の加速度応答及び変位応答の観点から、評価対象以外の断面について地震応答解析を実施する場合がある。

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

図 1.4.10-1 に常設低圧代替注水系配管カルバート平面配置図及び地質断面図を示す。また、図 1.4.10-2 及び図 1.4.10-3 に常設低圧代替注水系配管カルバートの平面図及び断面図を示す。

常設低圧代替注水系配管カルバートは原子炉建屋の南側に設置し常設低圧代替注水ポンプ室と原子炉建屋間をつなぐ常設低圧注水系配管等の間接支持機能を有する。

常設低圧代替注水系配管カルバートは、延長 19.5 m、内空及び内空高さ 2.3 m の一連のボックスカルバート構造の鉄筋コンクリート造で、人工岩盤を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

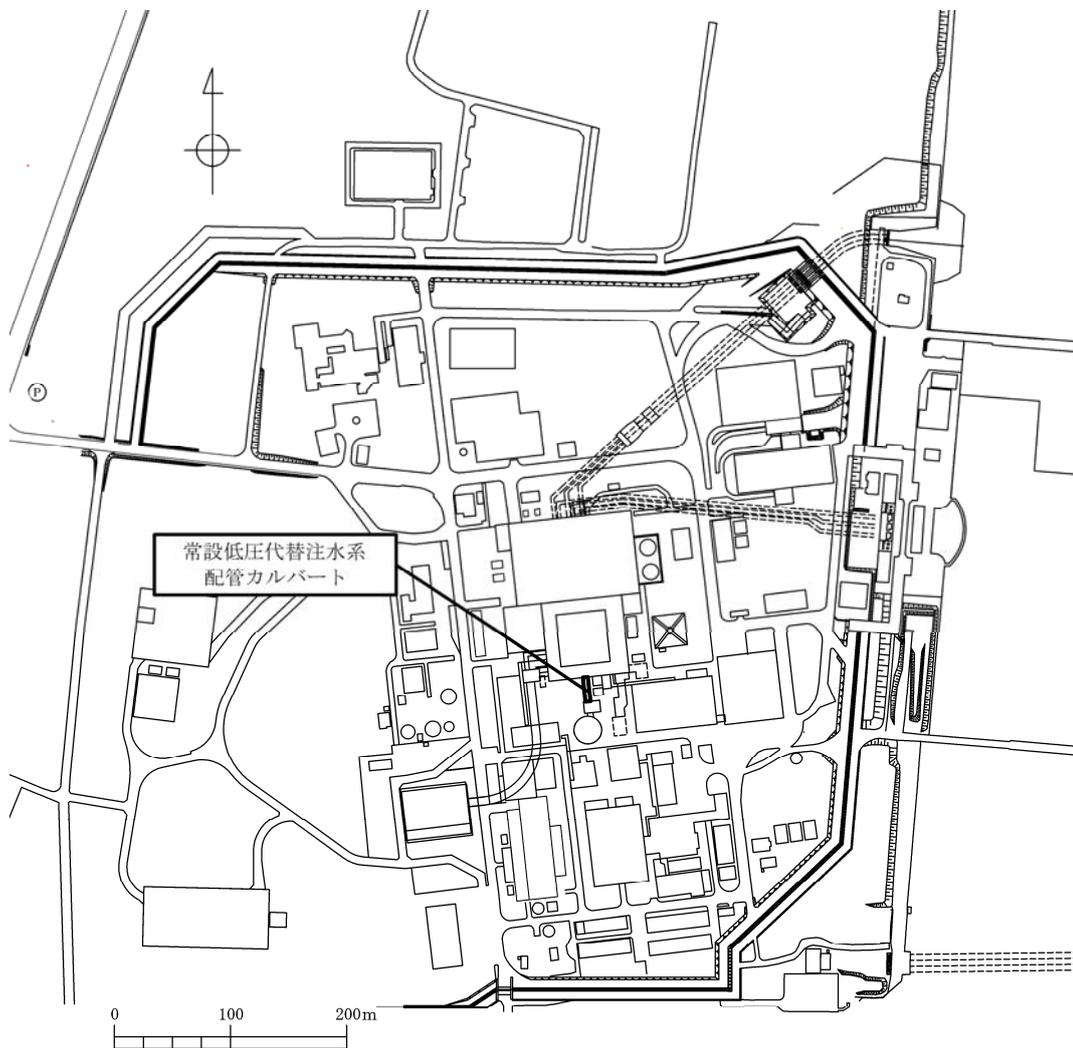


図 1.4.10-1 (1) 常設代替注水配管カルバート 平面位置図 (全体平面図)

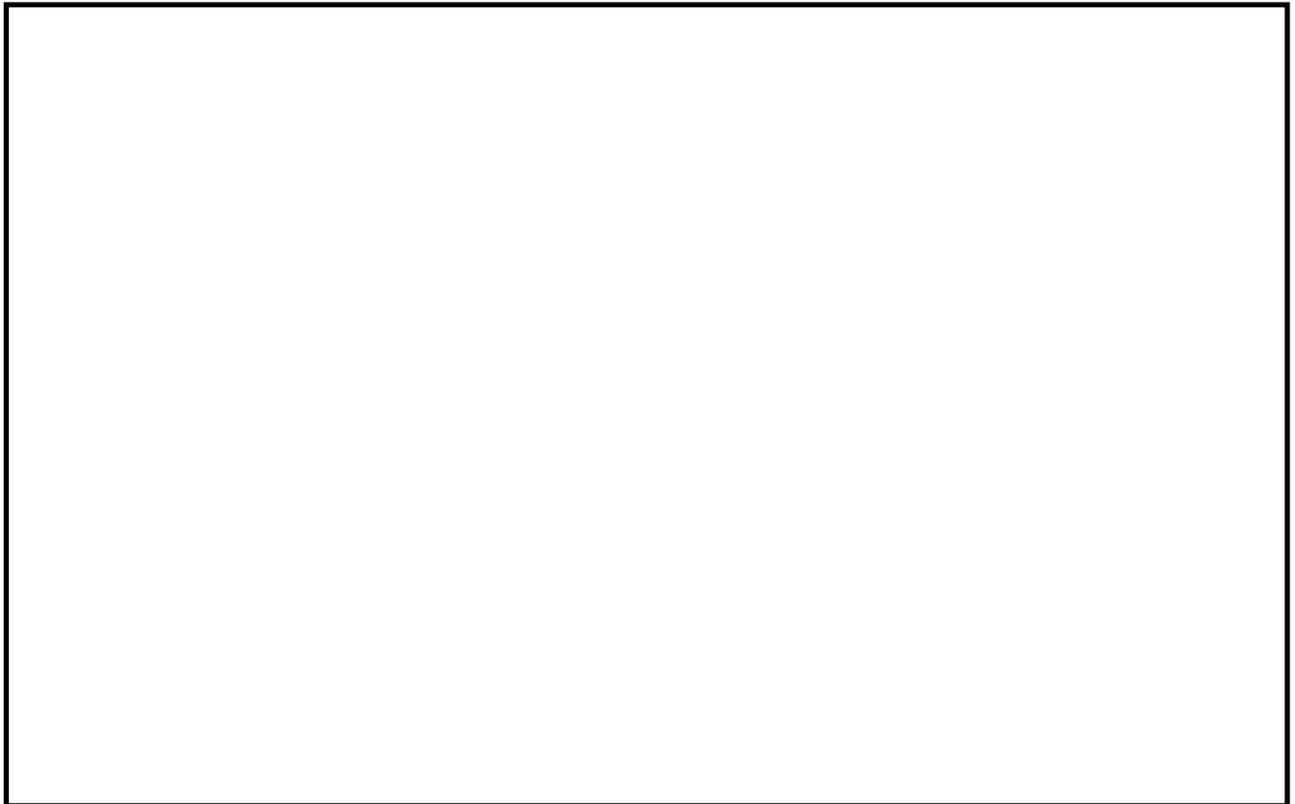


図 1. 4. 10-1 (2) 常設代替注水配管カルバート 平面位置図 (拡大図)

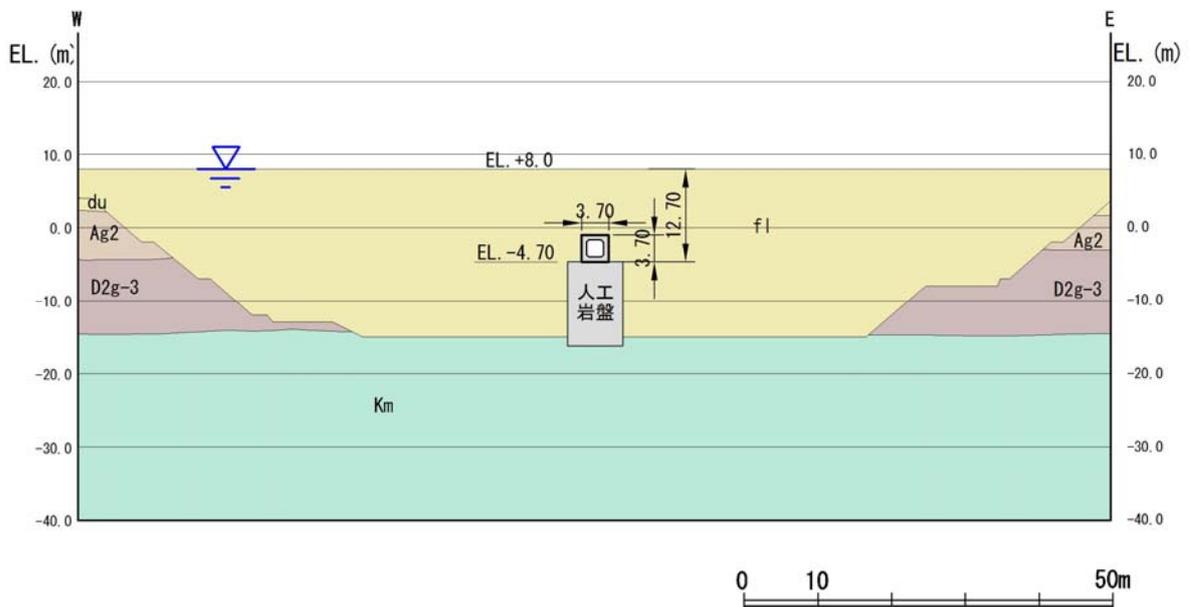


図 1. 4. 10-1 (3) 常設低圧代替注水系配管カルバート地質断面図 (A-A断面)



図 1.4.10-2 常設代替注水配管カルバート 平面図

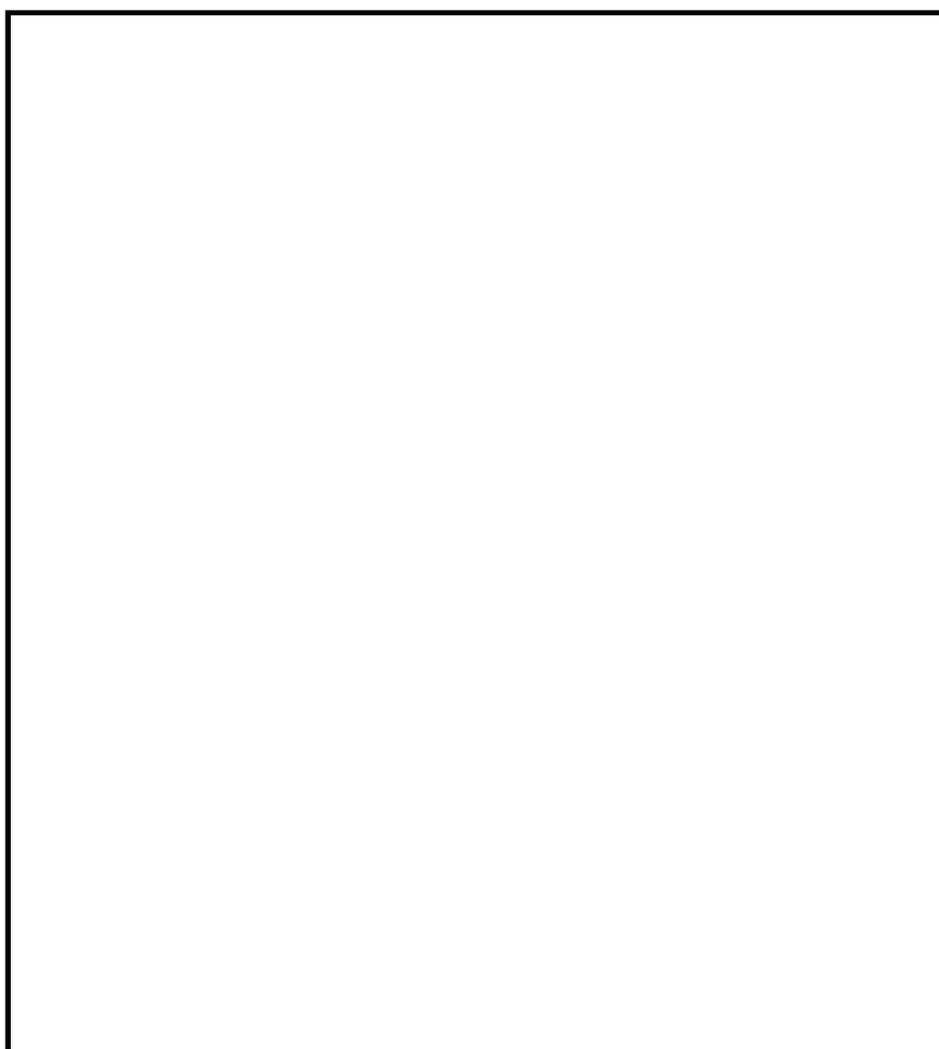


図 1.4.10-3 常設低圧代替注水系配管カルバート断面図（東西方向断面）

(1) 耐震評価対象断面の整理

1.4.1 「方針①耐震評価断面候補の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。
耐震評価断面の特徴を表 1.4.10-1 に示す。

表 1.4.10-1 常設低圧代替注水系配管カルバート耐震評価候補断面の特徴

断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備
東西方向断面	間接支持	・ボックスカルバート構造の鉄筋コンクリート構造物 ・人工岩盤を介して岩盤に設置する	岩盤上面に埋戻し土が分布する	常設低圧注水系配管

常設低圧代替注水系配管カルバートは、鉄筋コンクリート造の単純な線状構造物であるため、軸方向（南北方向）が強軸断面方向、軸直角方向（東西方向）が弱軸断面方向になる。

(2) 耐震評価対象断面の選定

常設低圧代替注水系配管カルバートは、構造物の軸直角方向が弱軸断面方向となるため、軸直角方向を評価対象断面とする。内空寸法が全て一様であり、構造物の周辺は広い範囲にわたって埋戻土であるため、軸直角方向断面の場所による相違はない。したがって、耐震評価対象断面は、軸直角方向に対して1断面を選定する。

(3) 断面選定結果

常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震評価対象断面位置の選定結果を表 1.4.10-2 に、評価対象断面を図 1.4.10-4 に示す。

表 1.4.10-2 常設低圧代替注水系配管カルルバート 耐震評価対象断面の選定結果

断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備	既工認評価断面	今回工認評価断面	選定結果
東西方向 断面	間接支持 機能	<ul style="list-style-type: none"> ボックスカルルバート構造の鉄筋コンクリート構造物 人工岩盤を介して岩盤に設置する 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面に埋戻し土が分布する 	常設低圧注水系配管	—	○	構造物の軸直角方向が弱軸断面方向になるため、軸直角方向を評価対象断面とする

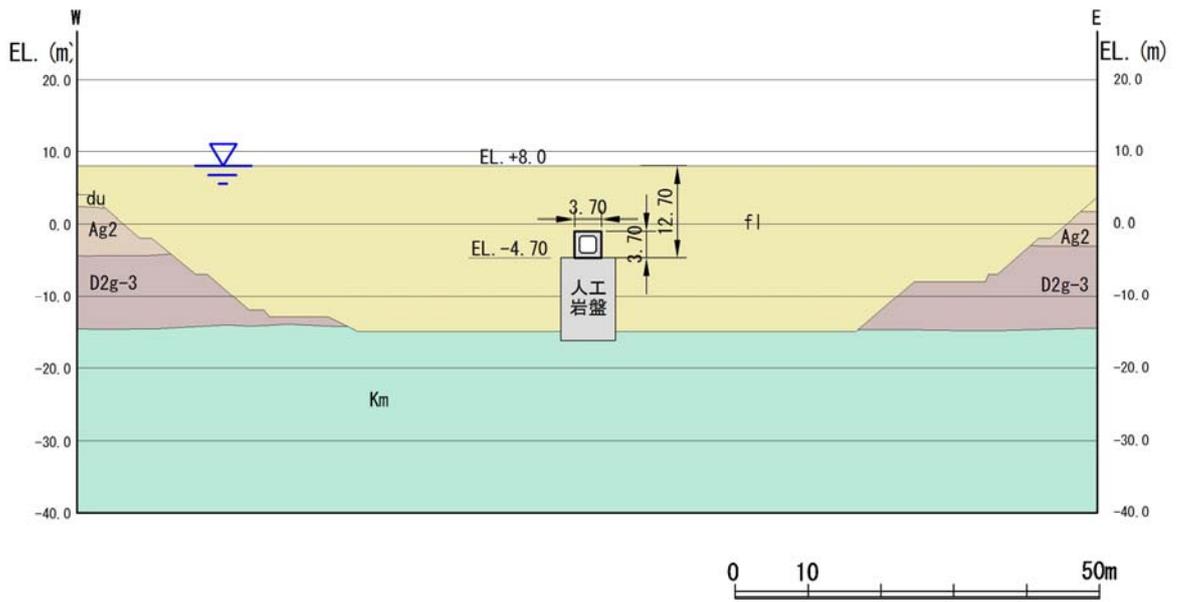


図 1. 4. 10-4 常設低圧代替注水系配管カルバート断面図 (東西方向断面)

(4) 軸方向（南北方向）の地質分布について

常設低圧代替注水系配管カルバート付近の軸方向（南北方向）の地質断面を図 1.4.10-5 に示す。図 1.4.10-5 の通り、カルバート周辺の軸方向（南北方向）の地質分布で岩盤（久米層）上面の標高は概ね水平であるが、第四紀層は不整形地盤である。

常設低圧代替注水系配管カルバート周辺の第四紀層の地層構成は耐震評価対象断面位置により少し異なるものと想定されるものの、屋外重要土木構造物の耐震評価においては、「1.5.2 耐震評価における検討ケースの組合せについて」にも示す通り、多角的な評価が可能となる以下の解析ケースを考慮した検討を行う。

- ① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース
- ② 地盤物性のばらつきを考慮（+1 σ ）した解析ケース
- ③ 地盤物性のばらつきを考慮（-1 σ ）した解析ケース
- 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（+1 σ ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース

以上により、第四紀層の地層構成、地盤物性及び液状化強度特性の違いによる影響を含めた包括的な解析ケースでの検討を実施する。

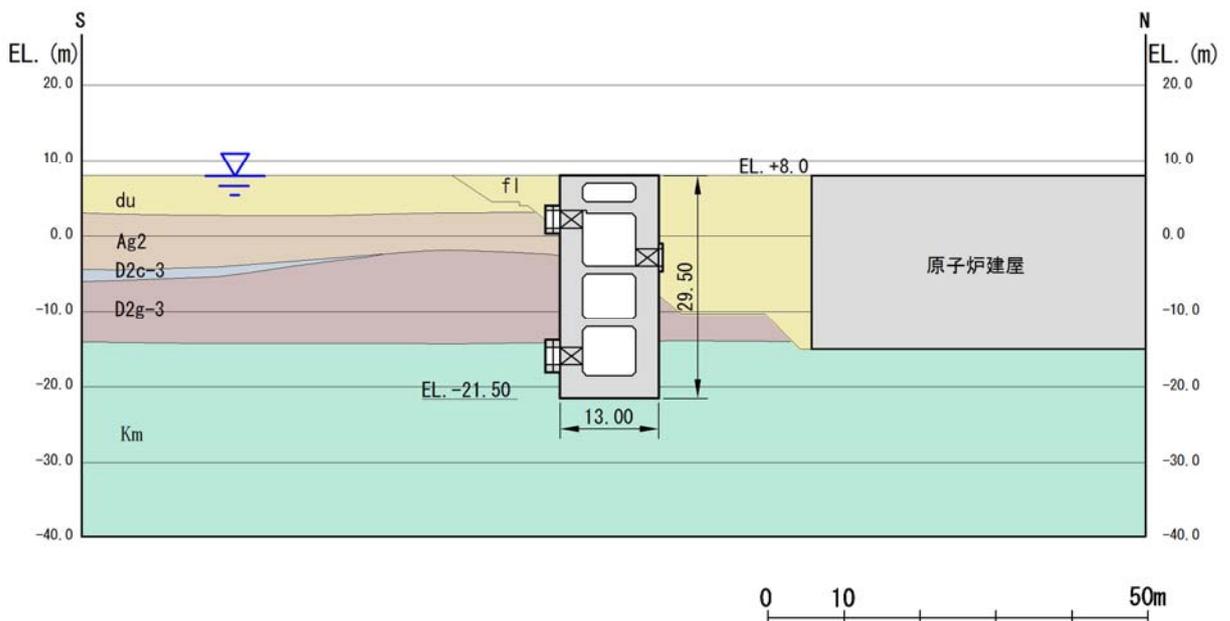


図 1.4.10-5 常設低圧代替注水系配管カルバート地質断面図（B-B 断面）

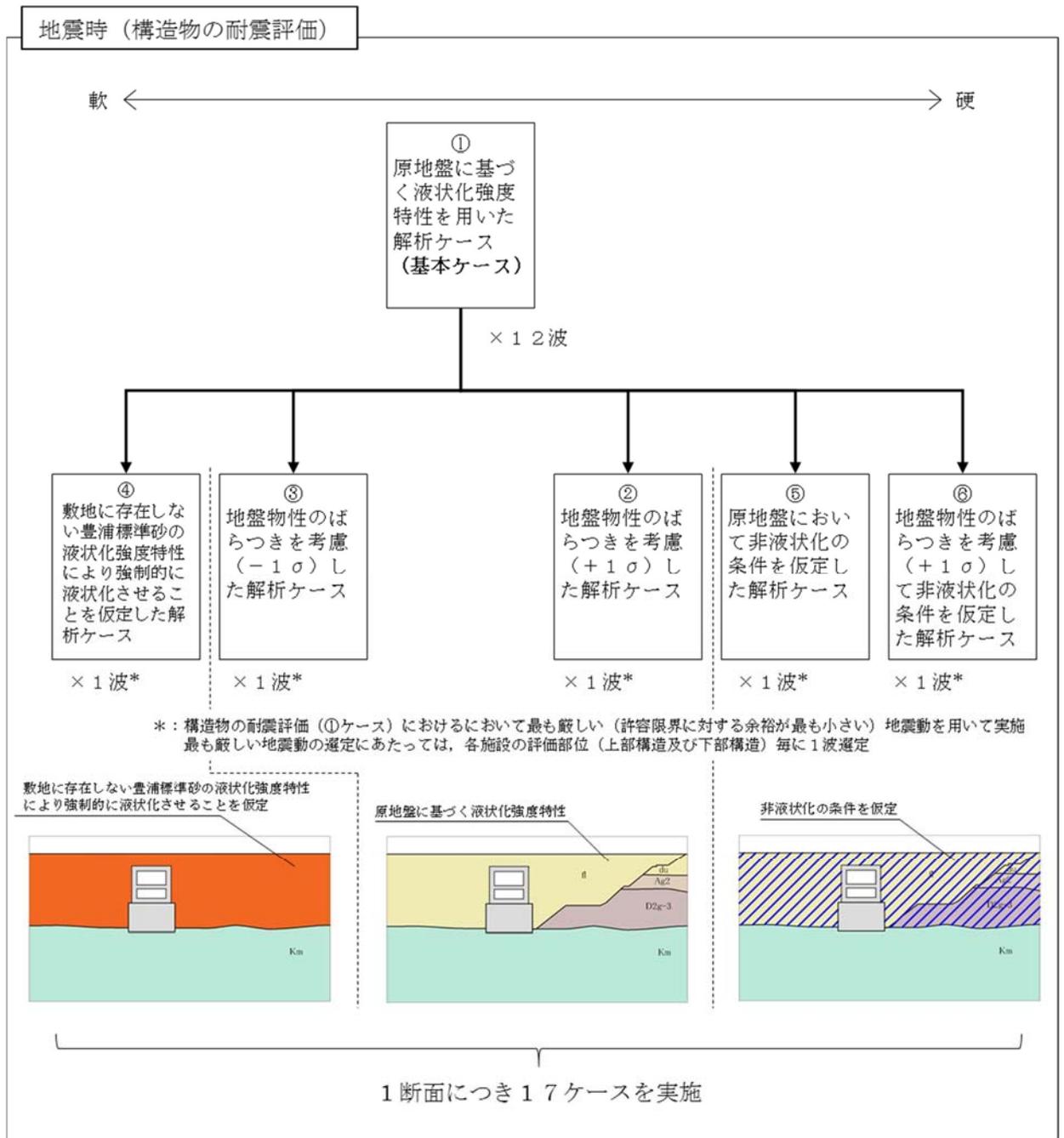


図 1. 4. 10-6 屋外重要土木構造物の耐震評価における検討ケース

1.6 許容応力度法における許容限界について

屋外重要土木構造物の許容応力度法による耐震設計にあたり、部材に適用する許容応力度及び短期許容応力度は、「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）」に基づき設定することを基本とする。「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）」において対象部材に直接適用できる値が無い場合は、「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）」に基づき設定する。また、「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）」においても対象部材に直接適用できる値が無い場合は、その他の規格・基準等を検討し、適切に設定する。

表 1.6-1 に各部材の許容応力度，短期許容応力度及び適用する規格・基準類を，表 1.6-2 に各屋外重要土木構造物に適用する規格，基準類を示す。

表 1.6-1 各部位の許容応力度、短期許容応力度及び適用する規格、基準類

部材(材料)	規格	項目	許容応力度 (N/mm ²)	割増し係数*2	短期許容応力度 (N/mm ²)	適用する規格、基準類
コンクリート	設計基準強度 f'ck=40 N/mm ²	許容曲げ圧縮応力度	14	1.5	21	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)
		許容せん断応力度*1	0.55	1.5	0.825	
		許容押抜きせん断応力度	1.1	1.5	1.65	
	設計基準強度 f'ck=30 N/mm ²	許容支圧応力度	12	1.5	18	
		許容曲げ圧縮応力度	11	1.5	16.5	
		許容せん断応力度	0.5	1.5	0.75	
鉄筋	SD490	許容引張応力度	290	1.5	435	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)
		許容引張応力度(せん断補強筋)	200	1.5	300	
	SD390	許容引張応力度	206	1.5	309	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)
		許容引張応力度(せん断補強筋)	206	1.5	309	
	SD345	許容引張応力度	196	1.5	294	
		許容引張応力度(せん断補強筋)	196	1.5	294	
	SM570	許容引張応力度	255	1.5	382.5	
		許容せん断応力度	145	1.5	217.5	
	SM490Y	許容引張応力度	210	1.5	315	
		許容せん断応力度	120	1.5	180	
	SM490	許容引張応力度	185	1.5	277.5	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)
		許容せん断応力度	105	1.5	157.5	
SS400	許容引張応力度	140	1.5	210		
	許容せん断応力度	80	1.5	120		

注記 *1:耐震壁に対する短期許容せん断応力度は1.35 N/mm²(=許容応力度0.9 N/mm²×1.5(割増し係数))を適用する。

許容応力度0.9 N/mm²は「Fc×(1/30)かつ0.5+Fc×(1/100)以下」より算出(Fc:コンクリートの設計基準強度(N/mm²))
(鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説—許容応力度設計法—(日本建築学会、1999年))

*2:設計に用いる許容応力度は地震の影響を考慮した荷重の組み合せに対して割増し係数を乗じた値とすることが上記の規格、基準類に記載されている。

表 1.6-2 各屋外重要土木構造物に適用する規格、基準類

規格、基準類	コンクリート f' c k (N/mm ²)		鉄筋				鋼材			
	40	30	SD490	SD390	SD345	SM570	SM490Y	SM490	SS400	
	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14年3月)		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14年3月)			
屋外二重管	-	-	-	-	-	○	-	-	○	
常設代替高圧電源装置場及び西側淡水貯水設備	○	-	○	○	-	-	-	-	-	
常設代替高圧電源装置用カルバート(トンネル部)	-	○	○	-	○	-	-	-	-	
常設代替高圧電源装置用カルバート(立坑部)	○	-	○	-	○	-	-	-	-	
常設代替高圧電源装置用カルバート(カルバート部)	○	-	○	-	○	○	-	-	-	
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	○	-	○	-	-	-	-	-	-	
緊急用海水ポンプビット	○	-	○	-	○	-	-	-	-	
緊急用海水取水管	-	-	-	-	-	○	-	-	-	
SA用海水ビット	○	-	○	○	○	-	-	-	-	
海水引込み管	-	-	-	-	-	○	-	-	-	
SA用海水ビット取水塔	○	-	○	○	○	-	○	-	-	
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	○	-	○	-	-	-	-	○	-	

建築学会基準における耐震壁の許容せん断応力度の適用範囲について

鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説—許容応力度法—（日本建築学会，1999年）において，以下の通りコンクリートの設計基準強度 $F_c=60\text{N/mm}^2$ まで同基準に基づきコンクリートの許容応力度を設定できる記述になっていることを確認した。

鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説—許容応力度法—（日本建築学会，1999年）

P. 41

6条 許容応力度

	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
普通コンクリート	$\frac{1}{3}F_c$	—	$\frac{1}{30}F_c$ かつ $(0.5 + \frac{1}{100}F_c)$ 以下	長期に対する値の2倍	—	長期に対する値の1.5倍
軽量コンクリート 1種および2種			普通コンクリートに対する値の0.9倍			

[注] F_c は，コンクリートの設計基準強度 (N/mm²) を表す。

P. 43

(4) コンクリートの許容せん断応力度

曲げとせん断の組合せ応力によって生じる引張主応力（すなわち斜張力）がある値に達すると，材軸に斜めにせん断ひび割れが生じる。

せん断ひび割れ発生後は，部材のせん断剛性が低下し，特にせん断補強筋量が少ない場合には靱性に乏しく，破壊を起こしやすいので，長期設計荷重時にはせん断ひび割れの発生はできるだけ避けたい。

また，せん断ひび割れが発生しても，ひび割れ幅が拡大しないようにせん断補強筋を配置すべきである。この補強計算の要否を判定する目安として，許容せん断応力度が定められている。梁に関する実験によれば，せん断ひび割れ強度 (τ_c) には，コンクリート強度 (σ_b) のほか，曲げモーメントとせん断力の比を有効せいで除した値 ($M/(Qd)$) および断面寸法が関係する。すなわち，長期に対しては，せん断ひび割れを発生させないことを前提として， $M/(Qd)=3$ における τ_c のほぼ下限として $(0.5 + F_c/100)$ (N/mm²) をとった。この値によれば，従来値 $F_c/30$ は， F_c が 21.4 N/mm² 以下では，十分に安全なので， $F_c/30$ はそのまま残すことにした。

また，短期に対しては，せん断ひび割れは予期するが，せん断補強筋比が 0.1% の場合では破壊しないことを条件に $M/(Qd)=3$ における τ_c の下限値をとった。また，ここに定めた短期許容せん断応力度は，耐震壁のせん断ひび割れ強度（実験値）のほぼ下限値にも相当する。

以上の記述は $F_c \leq 36 \text{ N/mm}^2$ の場合のものであるが， $36 \text{ N/mm}^2 < F_c \leq 60 \text{ N/mm}^2$ の範囲においても本許容応力度で安全側の評価を与えることが確認されている¹⁾。

軽量コンクリートの許容せん断応力度は，普通コンクリートに比べて 0.9 倍と低減させているが，

1) 例えば 香田伸次・黒瀬行信・山野辺宏治・金本清臣：超高強度鉄筋コンクリート造架構の構造特性(その2 柱実験)，日本建築学会大会学術講演梗概集 (1994)。

10. 常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震安全性評価

目次

10.1	評価方法	2
10.2	評価条件	3
10.2.1	適用基準	3
10.2.2	耐震安全性評価フロー	4
10.2.3	評価対象断面の方向	5
10.2.4	評価対象断面の選定	7
10.2.5	使用材料及び材料定数	11
10.2.6	評価構造物諸元	14
10.2.7	地下水位	15
10.2.8	地震応答解析手法	15
10.2.9	解析モデルの設定	16
10.2.10	減衰特性	23
10.2.11	荷重の組合せ	27
10.2.12	地震応答解析の検討ケース	29
10.3	評価内容	31
10.3.1	入力地震動の設定	31
10.3.2	許容限界の設定	48
10.4	評価結果	51
10.4.1	地震応答解析結果	51
10.4.2	耐震評価結果	55
10.5	まとめ（追而）	60

10.1 評価方法

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

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

10.2 評価条件

10.2.1 適用基準

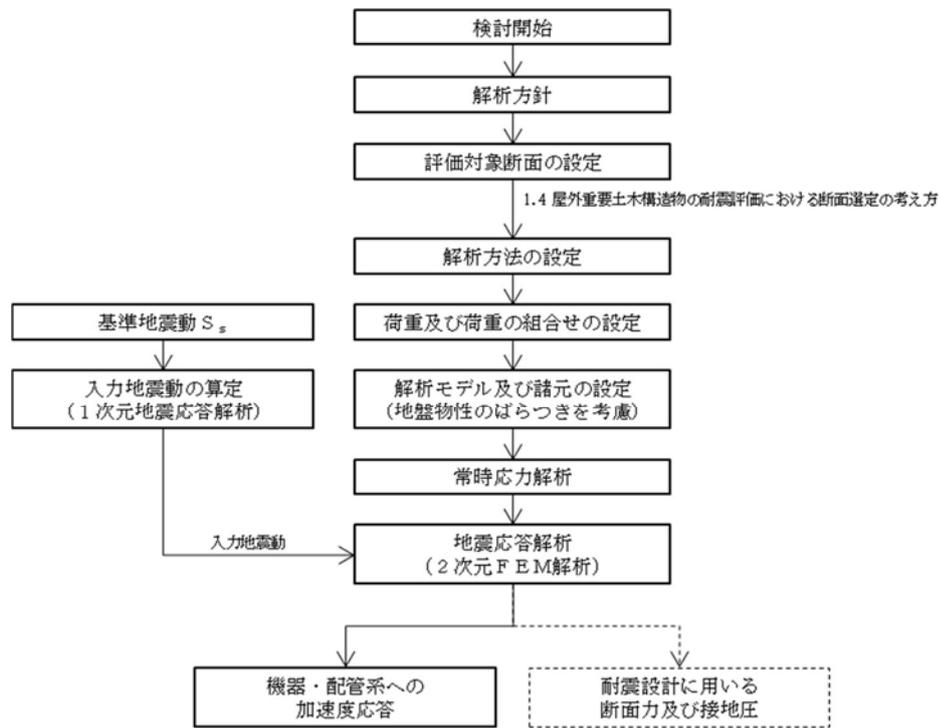
常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震評価にあたっては、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 年) を適用するが、鉄筋コンクリートの曲げ及びせん断の許容限界については、道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月) を適用する。

表 10.2-1 に適用する規格, 基準類を示す。

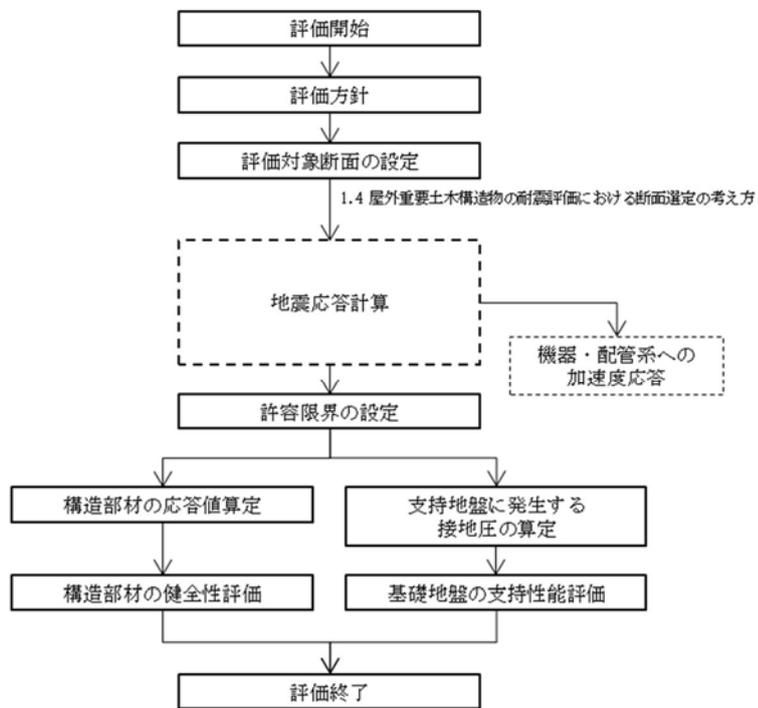
表 10.2-1 適用する規格, 基準類

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

10.2.2 耐震安全性評価フロー



<地震応答計算>



<耐震性評価>

図 10.2-1 耐震安全性評価フロー

10.2.3 評価対象断面の方向

常設低圧代替注水系配管カルバートの位置を図 10.2-2 に示す。

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

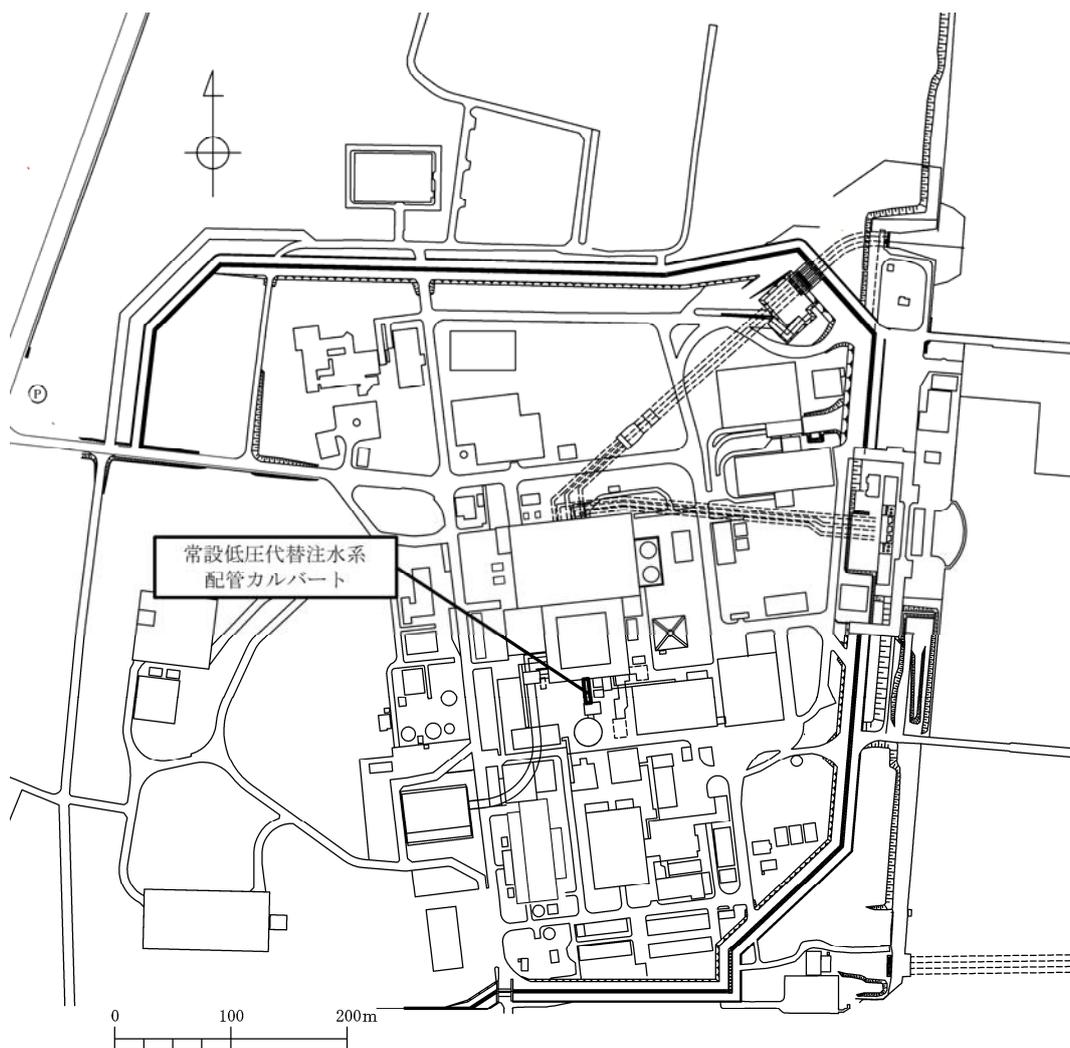


図 10.2-2 (1) 常設低圧代替注水系配管カルバート位置図



図 10.2-2 (2) 常設低圧代替注水系配管カルバート位置図

10.2.4 評価対象断面の選定

図 10.2-3 に常設低圧代替注水系配管カルバートの断面図を示す。

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

評価対象断面は、「1.4.10 常設低圧代替注水系配管カルバートの断面算定の考え方」で記載したとおり、常設低圧代替注水系カルバートは、内空寸法が一様なボックスカルバート構造の鉄筋コンクリート構造物であるため、軸直角方向 1 断面を選定し、耐震評価では基準地震動 S_a に対する耐震評価を実施する。

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

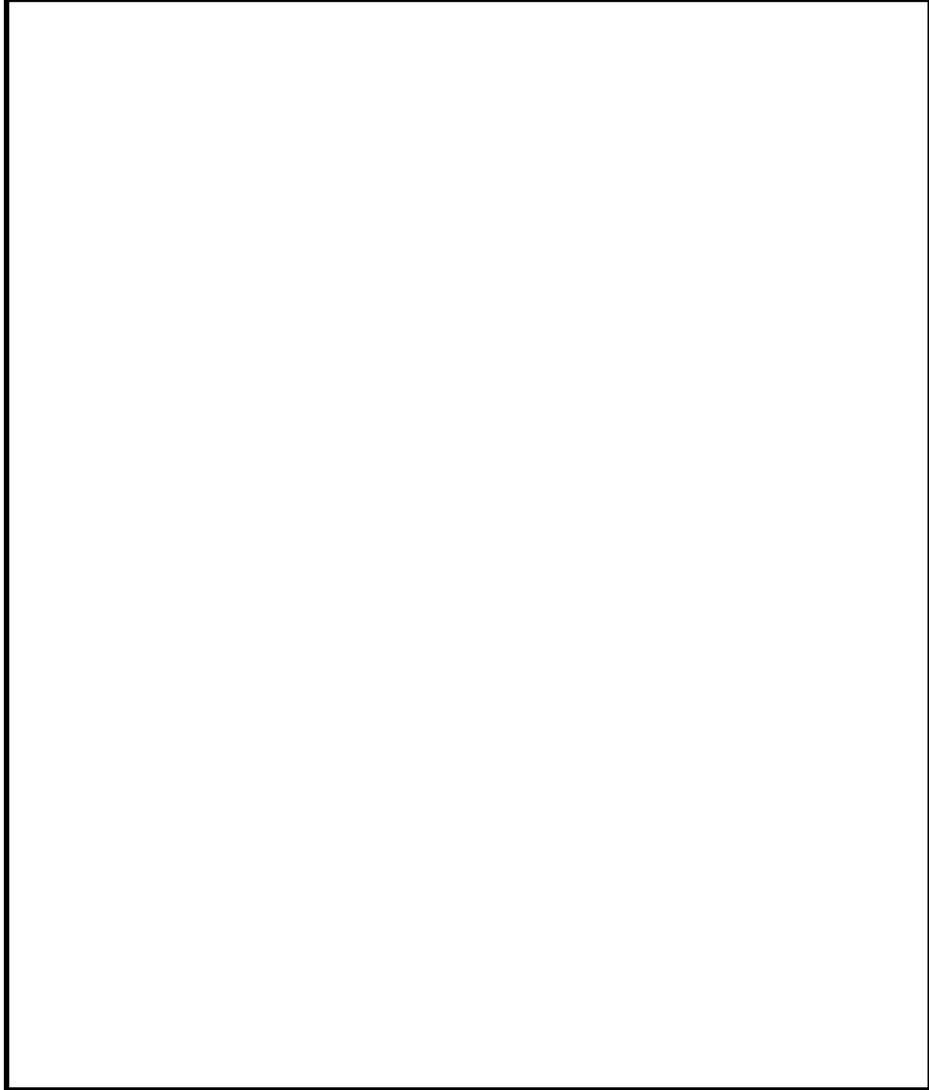


図 10.2-3 常設低圧代替注水系配管カルバート断面図

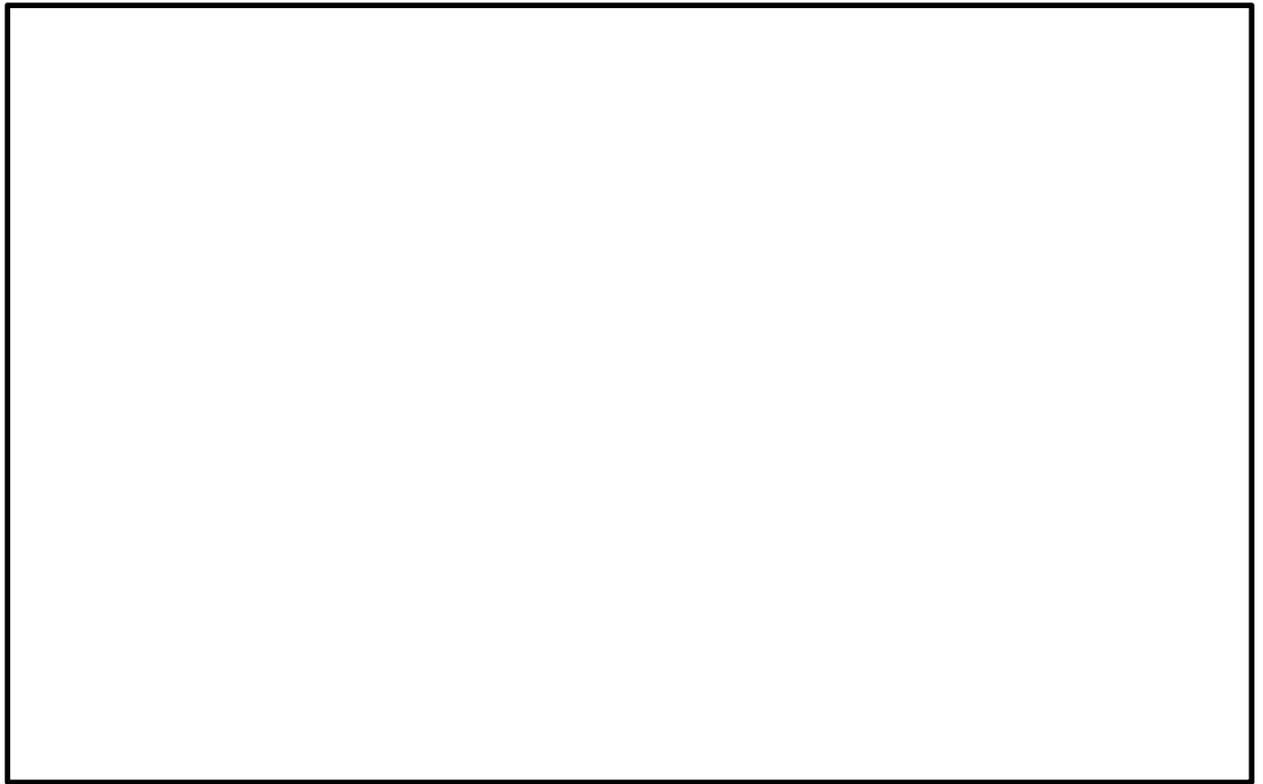


図 10.2-4 常設低圧代替注水系配管カルバート 耐震評価対象断面選定位置

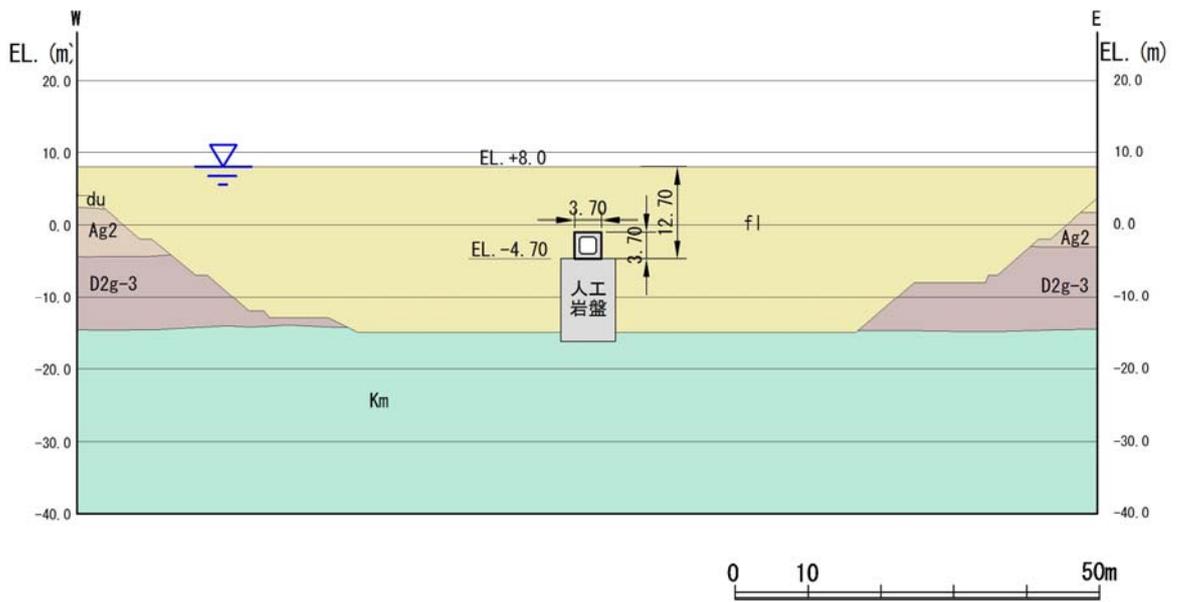


図 10.2-5 常設低圧代替注水系配管カルバート評価対象断面図

10.2.5 使用材料及び材料定数

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

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

表 10.2-2 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 40 N/mm ²
鉄筋	SD345, SD390
人工岩盤 (新設)	設計基準強度 18 N/mm ²

表 10.2-3 材料物性値

材料		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン 比	減衰定数 (%)
鉄筋コン クリート	設計基準強度 40 N/mm ² *1	24.5 *1	3.1 × 10 ⁴ *1	0.2 *1	5 *2
人工岩盤	設計基準強度 18 N/mm ² *3	23.0 *3	2.06 × 10 ⁴ *3	0.2 *3	5 *2

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: 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2005 年)

表 10.2-4 (1) 地盤の解析用物性値一覧 (液状化検討対象層)

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

表 10.2-4 (2) 地盤の解析用物性値一覧 (非液状化層)

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

z : 標高 (m)

表 10.2-4 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km 層)

区分 番号	設定深度 TP (m) Z	通用深度 TP (m)	密度 ρ (g/cm ³)	静ポアソン比 ν_{cp}	粘着力 C_{cp} (kN/mf)	内部摩擦角 ϕ_{cp} (°)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G_{ma} (kN/mf)	基準体積 弾性係数 K_{ma} (kN/mf)	基準平均有効 主応力 σ'_{ma} (kN/mf)	拘束圧 依存係数 mg, mk	最大履歴 減衰率 hmax(-)	動ポアソン比 ν_d	硬密波 速度Vp (m/s)	1000* ν_p
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640	1,640,000
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644	1,644,000
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648	1,648,000
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651	1,651,000
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651	1,651,000
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655	1,655,000
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638	1,638,000
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642	1,642,000
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646	1,646,000
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650	1,650,000
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653	1,653,000
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657	1,657,000
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	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	331,480	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	337,544	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	389,092	504	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	504	0.0	0.112	0.461	1,665	1,665,000
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,673	1,673,000
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	346,754	394,347	498	0.0	0.112	0.461	1,680	1,680,000
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	348,300	396,103	498	0.0	0.113	0.461	1,683	1,683,000
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	349,851	397,860	498	0.0	0.113	0.460	1,667	1,667,000
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	351,403	399,619	498	0.0	0.114	0.460	1,675	1,675,000
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	352,959	401,380	498	0.0	0.114	0.460	1,683	1,683,000
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	354,519	403,143	498	0.0	0.115	0.460	1,691	1,691,000
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	356,083	404,909	498	0.0	0.115	0.459	1,699	1,699,000
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	357,651	406,677	498	0.0	0.115	0.459	1,707	1,707,000
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	359,221	408,447	498	0.0	0.116	0.459	1,715	1,715,000
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	360,794	410,219	498	0.0	0.116	0.459	1,723	1,723,000
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	362,369	411,993	498	0.0	0.117	0.459	1,731	1,731,000
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	363,946	413,769	498	0.0	0.117	0.458	1,739	1,739,000
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	365,526	415,543	498	0.0	0.117	0.458	1,747	1,747,000
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	367,109	417,319	498	0.0	0.118	0.458	1,755	1,755,000
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	368,694	419,097	498	0.0	0.118	0.458	1,763	1,763,000
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	370,281	420,877	498	0.0	0.118	0.458	1,771	1,771,000
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	371,871	422,659	498	0.0	0.118	0.457	1,779	1,779,000
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	373,463	424,443	498	0.0	0.119	0.457	1,787	1,787,000
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	375,057	426,229	498	0.0	0.119	0.457	1,795	1,795,000
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	376,653	428,017	498	0.0	0.120	0.457	1,803	1,803,000
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	378,251	429,807	492	0.0	0.120	0.457	1,811	1,811,000
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	379,851	431,599	492	0.0	0.120	0.456	1,819	1,819,000
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	381,453	433,393	492	0.0	0.120	0.456	1,827	1,827,000
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	383,057	435,189	492	0.0	0.121	0.456	1,835	1,835,000
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	384,663	436,987	492	0.0	0.121	0.456	1,843	1,843,000
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	386,271	438,787	492	0.0	0.121	0.455	1,851	1,851,000
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	387,881	440,589	492	0.0	0.122	0.455	1,859	1,859,000
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	389,493	442,393	492	0.0	0.122	0.455	1,867	1,867,000
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	391,107	444,199	492	0.0	0.122	0.455	1,875	1,875,000
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	392,723	446,007	492	0.0	0.122	0.455	1,883	1,883,000
57	-82	-83 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	394,341	447,817	492	0.0	0.123	0.455	1,891	1,891,000
58	-84	-85 ~ -83	1.73	0.14	864	14.9	498	395,961	449,629	492	0.0	0.123	0.455	1,899	1,899,000
59	-86	-87 ~ -85	1.73	0.14	876	14.7	499	397,583	451,443	492	0.0	0.124	0.454	1,907	1,907,000
60	-88	-89 ~ -87	1.73	0.14	888	14.5	501	399,207	453,259	492	0.0	0.124	0.454	1,915	1,915,000
61	-90	-91 ~ -89	1.73	0.14	900	14.3	502	400,833	455,077	492	0.0	0.124	0.454	1,923	1,923,000
62	-92	-93 ~ -91	1.73	0.14	912	14.1	504	402,461	456,897	492	0.0	0.124	0.454	1,931	1,931,000
63	-94	-95 ~ -93	1.73	0.14	924	13.9	505	404,091	458,719	492	0.0	0.125	0.453	1,939	1,939,000
64	-96	-97 ~ -95	1.73	0.14	936	13.7	506	405,723	460,543	492	0.0	0.125	0.453	1,947	1,947,000
65	-98	-99 ~ -97	1.73	0.14	948	13.5	507	407,357	462,369	492	0.0	0.125	0.453	1,955	1,955,000
66	-100	-101 ~ -99	1.73	0.14	960	13.3	508	408,993	464,197	492	0.0	0.126	0.452	1,963	1,963,000
67	-102	-103 ~ -101	1.73	0.13	972	13.1	509	410,631	466,027	492	0.0	0.126	0.452	1,971	1,971,000
68	-104	-105 ~ -103	1.73	0.13	984	12.9	510	412,271	467,859	492	0.0	0.127	0.451	1,979	1,979,000
69	-106	-107 ~ -105	1.73	0.13	996	12.7	511	413,913	469,693	492	0.0	0.127	0.451	1,987	1,987,000
70	-108	-109 ~ -107	1.73	0.13	1,008	12.5	512	415,557	471,529	492	0.0	0.127	0.451	1,995	1,995,000
71	-110	-111 ~ -109	1.73	0.13	1,020	12.3	513	417,203	473,367	492	0.0	0.128	0.450	2,003	2,003,000
72	-112	-113 ~ -111	1.73	0.13	1,032	12.1	514	418,849	475,207	492	0.0	0.128	0.450	2,011	2,011,000
73	-114	-115 ~ -113	1.73	0.13	1,044	11.9	515	420,497	477,049	492	0.0	0.128	0.450	2,019	2,019,000
74	-116	-117 ~ -115	1.73	0.13	1,056	11.7	516	422,147	478,893	492	0.0	0.128	0.450	2,027	2,027,000
75	-118	-119 ~ -117	1.73	0.13	1,068	11.5	517	423,799	480,739	492	0.0	0.128	0.450	2,035	2,035,000
76	-120	-121 ~ -119	1.73	0.13	1,080	11.3	518	425,453	482,587	4					

10.2.6 評価構造物諸元

許容応力度による照査を行う常設低圧代替注水系配管カルバートの評価構造物諸元を表 10.2-5 に示す。

表 10.2-5 評価部位とその仕様

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	0.700	40	SD390 SD490	常設低圧注水系配管等の間接支持機能
側壁	1.000	0.700	40	SD390 SD490	
頂版	1.000	0.700	40	SD390 SD490	

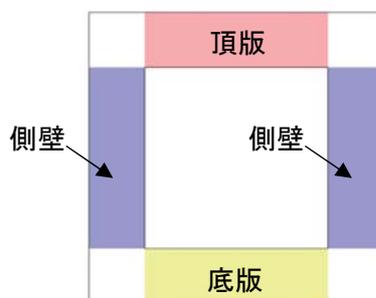


図 10.2-6 評価部位

10.2.7 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

10.2.8 地震応答解析手法

常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴非線形解析にて行う。部材については、はり要素を用いることとする。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデル化とする。地震応答解析については、解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、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10.2-7に示す。

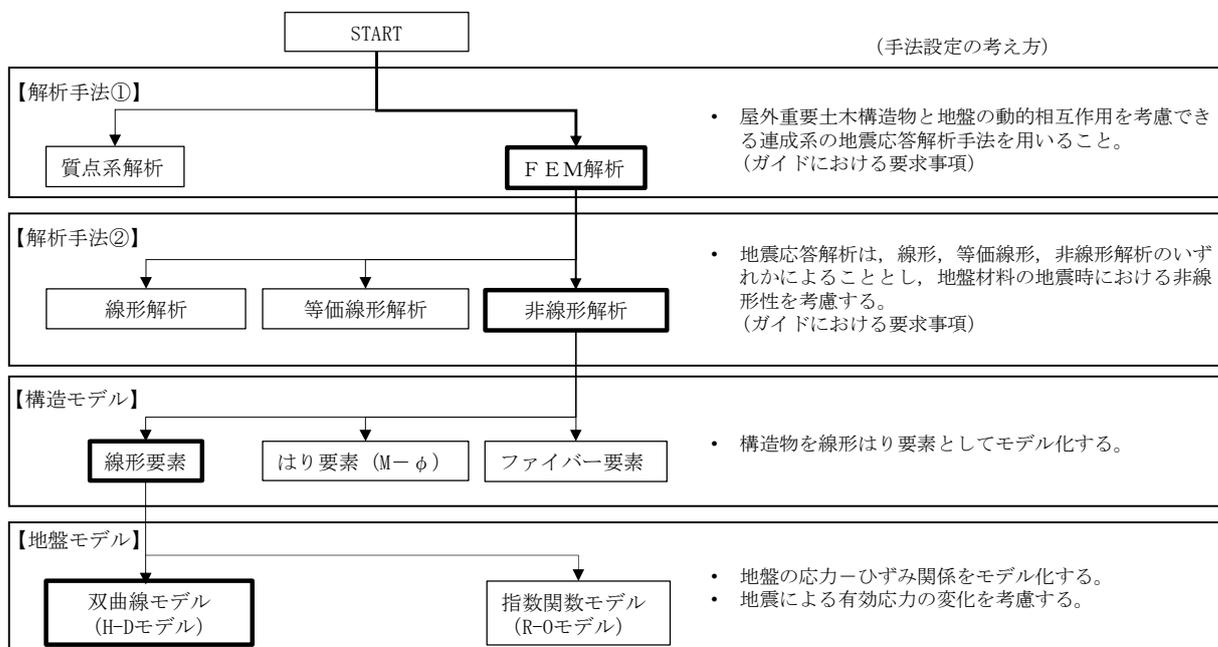


図 10.2-7 地震応答解析手法の選定フロー

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これら2つの特徴を表現できる双曲線モデル (H-Dモデル) を選定する。

10.2.9 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を参考に、図 10.2-8 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倍以上を確保する。

常設低圧代替注水系配管カルバート周辺の地質断面図を図 10.2-9 に示す。なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20Hz で算定される波長の5または4分割を考慮し、要素高さを1m程度まで細分割して設定する。

地震応答解析モデルを図 10.2-10 に示す。

なお、解析モデル側方端部付近において、d u 層及びA g 2 層の傾斜した地層境界が位置することを考慮し、これら d u 層及びA g 2 層については、液状化強度特性が d u 層及びA g 2 層と同等以下である f 1 層に置き換えることで、f 1 層と概ね同標高の常設低圧代替注水系カルバートに対する水平変位を比較的厳しく評価できる解析モデルとする。

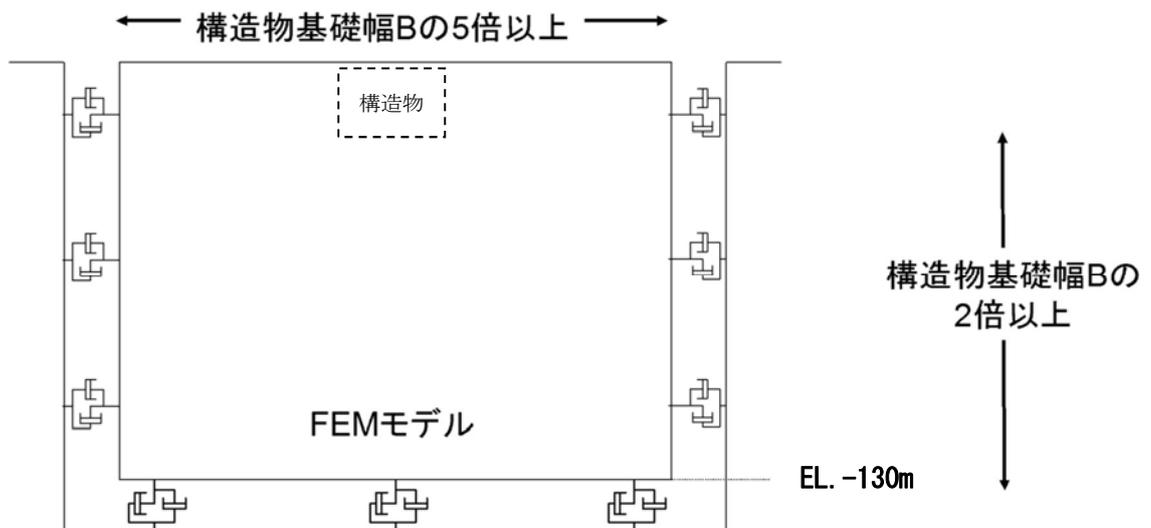


図 10.2-8 モデル範囲の考え方

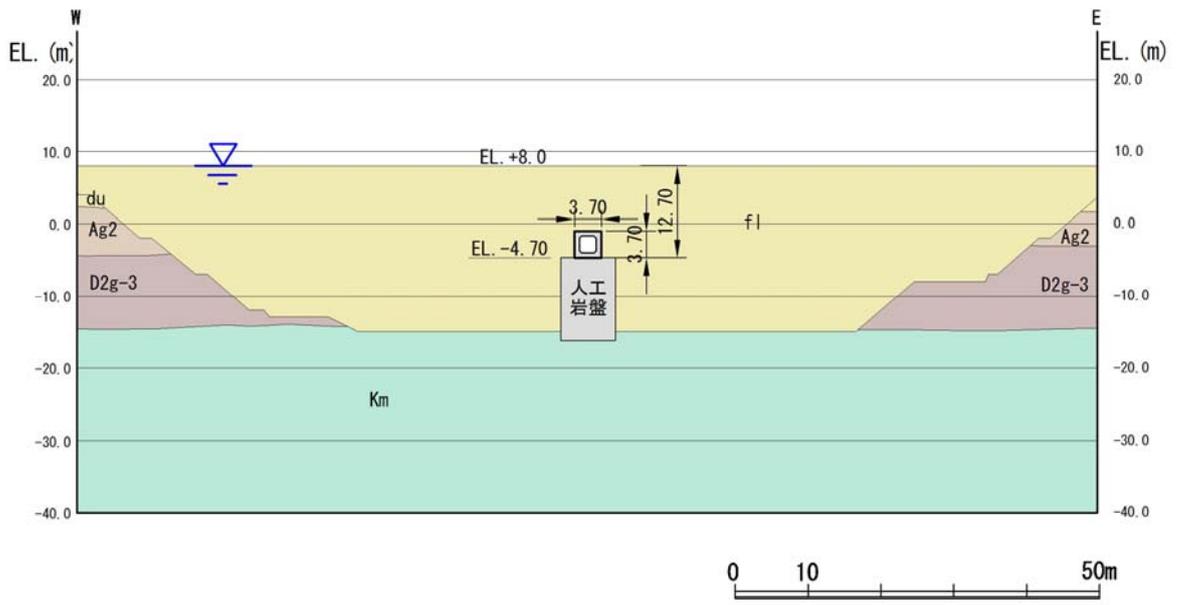


图 10.2-9 地質断面图

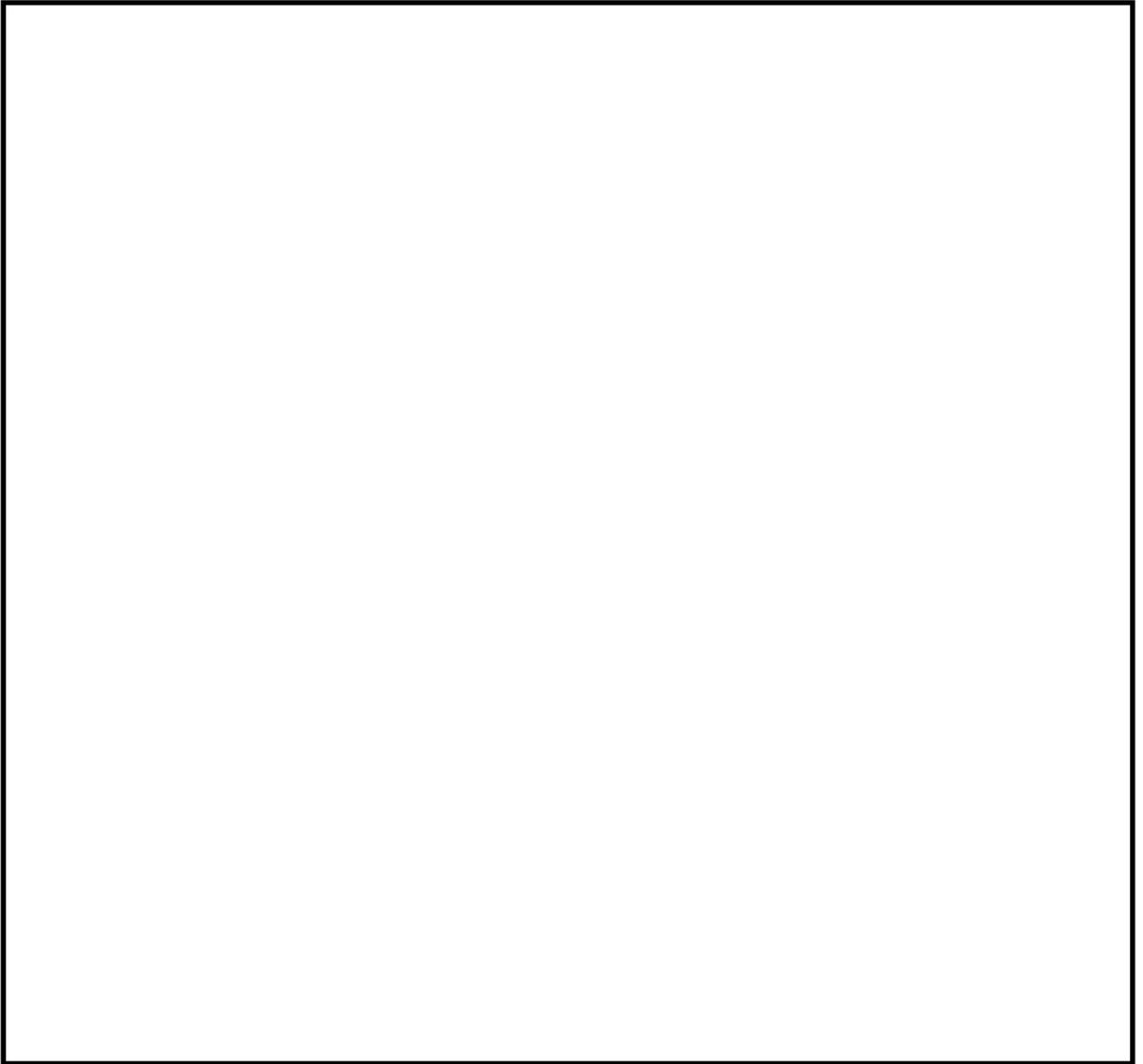


図 10.2-10 常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答解析モデル

(2) 構造物のモデル化

常設低圧代替注水系配管カルバートの東西断面は、構造物本体は、構造部材としての側壁、底版及び頂版を線形はり要素でモデル化する。

それぞれ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、剛性を設ける。

常設低圧代替注水系配管カルバートを支持する人工岩盤は、線形平面要素としてモデル化する。

常設低圧代替注水系配管カルバートの解析モデルにおける、解析モデル図を図 10.2-11 に示す。

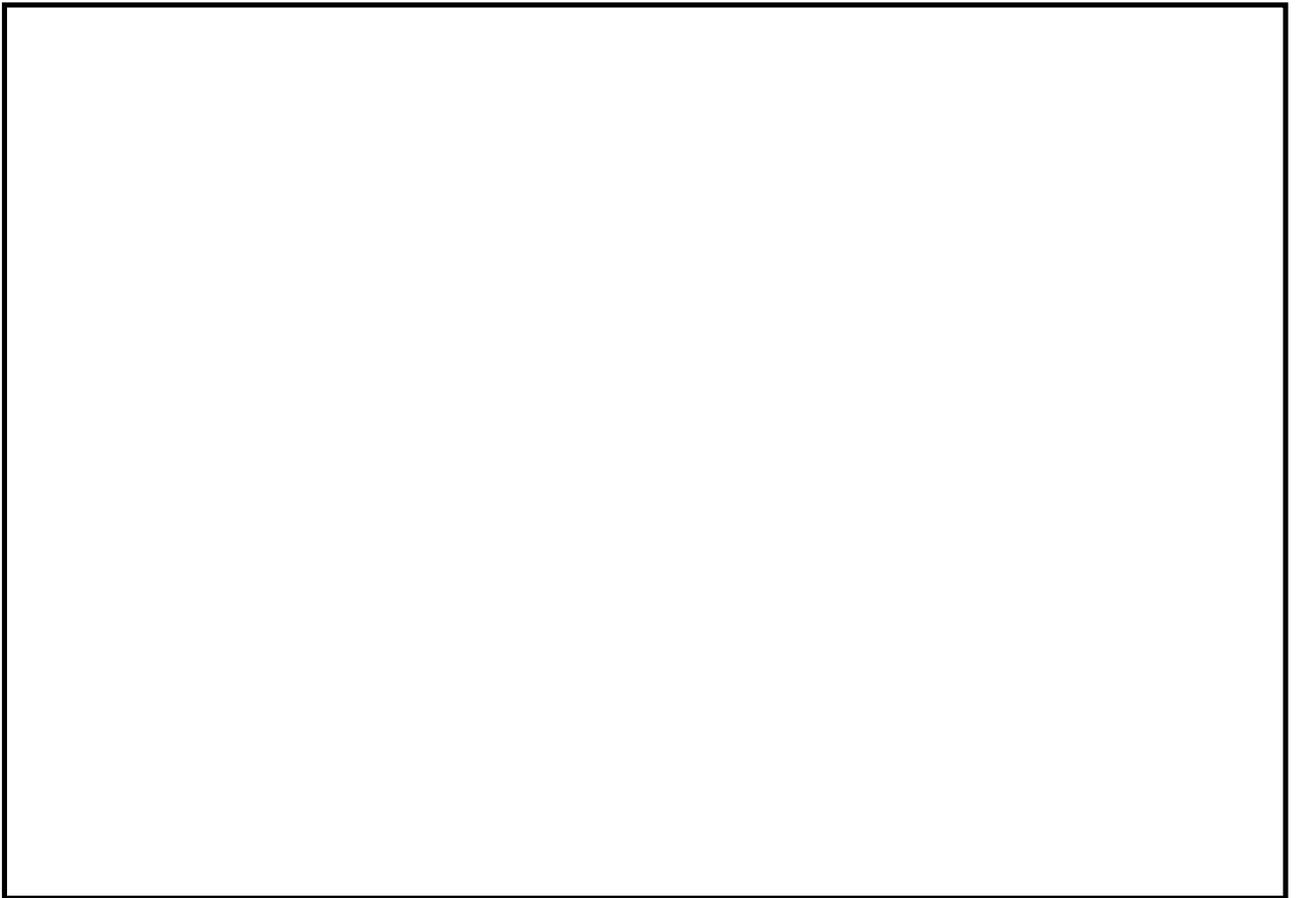


図 10.2-11 (1) 常設低圧代替注水系配管カルバートの解析モデル

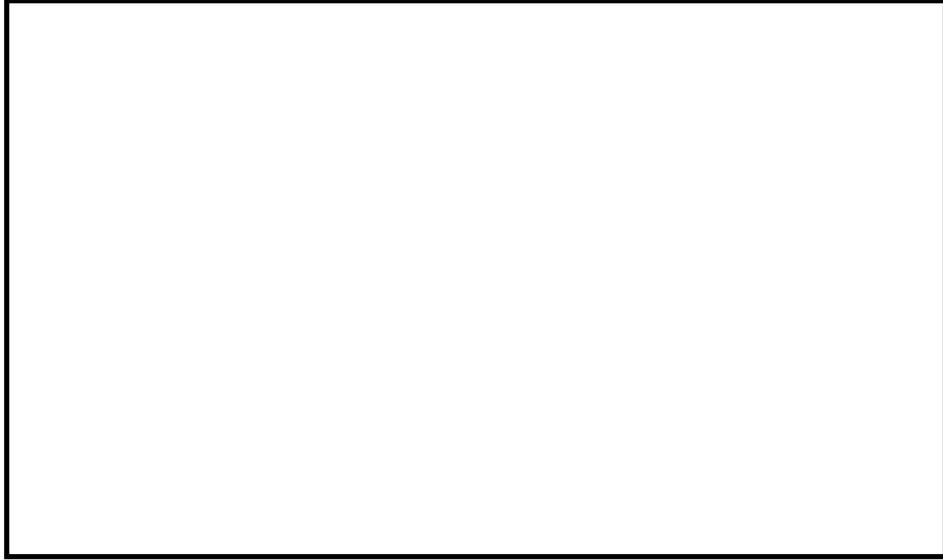


図 10.2-11 (2) 常設低圧代替注水系配管カルバートの解析モデル (構造物部分拡大図)

(3) 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。図 10.2-12 に、ジョイント要素の考え方を示す。

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 10.2-6 参照)

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

ここで、 τ_f : せん断強度
 c : 粘着力
 ϕ : 内部摩擦角

表 10.2-6 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	f1 層	0	37.3	—
	du 層	0	37.3	—
	Ag2 層	0	37.4	—
	D2c-3 層	0.026	35.6	—
	D2g-3 層	0	44.4	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—
カルバート—人工岩盤間		0	26.6 ^{*1}	—

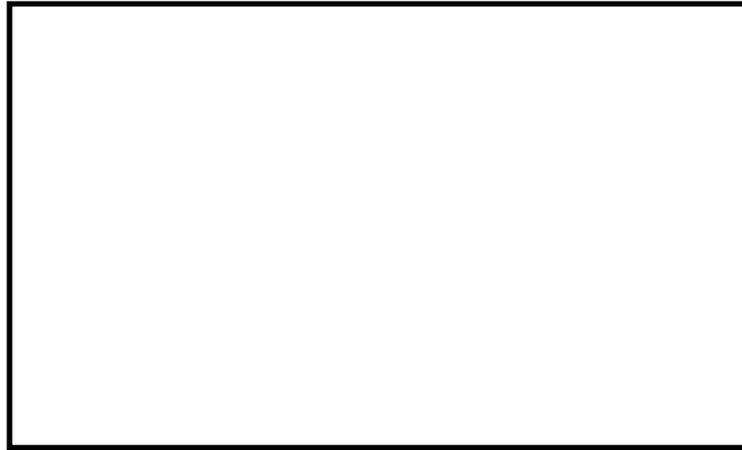
z : 標高 (m)

注記 *1 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説__上巻 (H19.7 社団法人 日本港湾協会)」コンクリートとコンクリート間の静止摩擦係数に基づく

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 10.2-7 のとおり設定する。

表 10.2-7 ジョイント要素のばね定数

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



(東西方向断面)

— : ジョイント要素

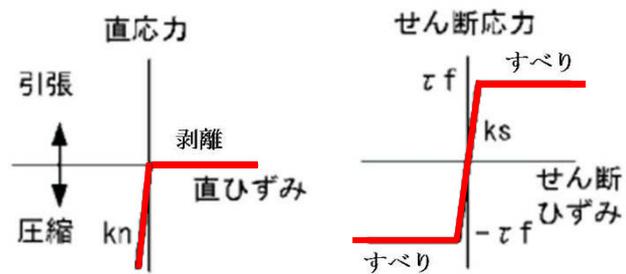


図 10.2-12 ジョイント要素の考え方

(4) 材料特性の設定

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

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

10.2.10 減衰特性

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

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトして行くことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 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、ひずみ大きい領域では履歴減衰が支配的となる。このため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している）とする。また、線形材料としてモデル化するコンクリートの減衰定数は5%（J E A G 4 6 0 1 - 1987）とする。

図 10.2-13 に Rayleigh 減衰の設定フローを、表 10.2-8 に固有値解析結果を示す。

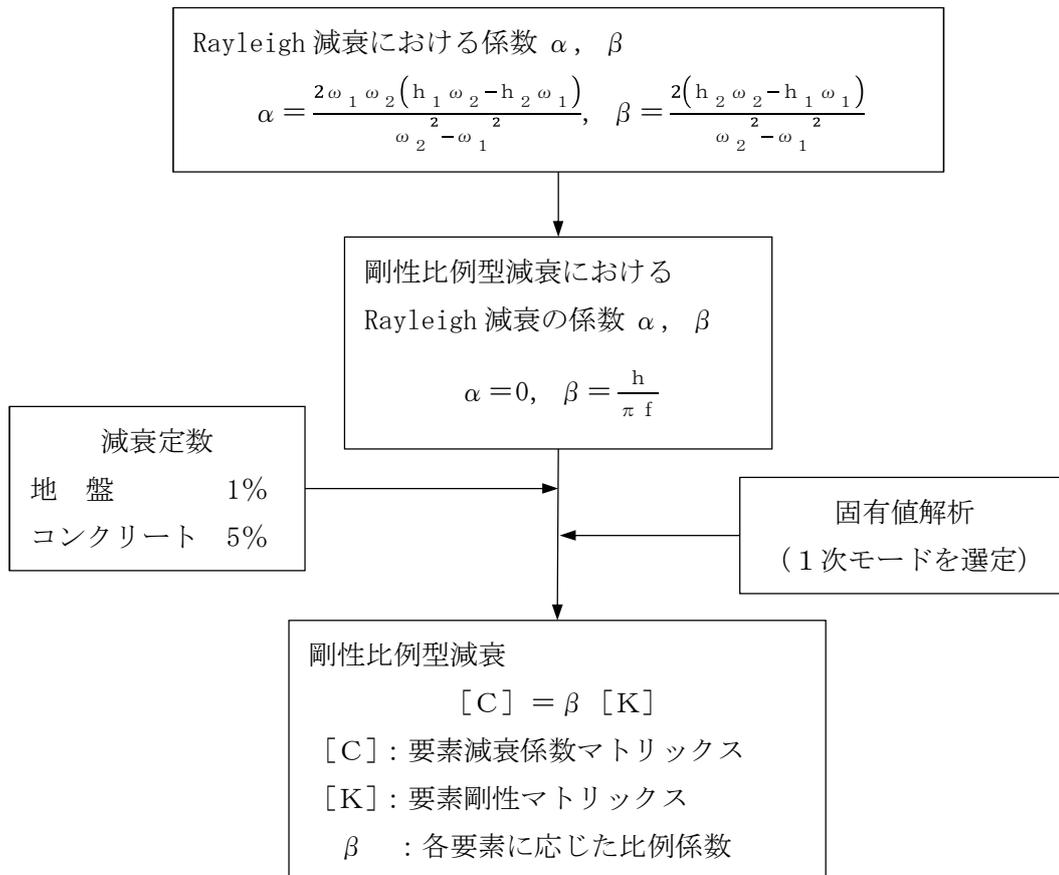


図 10.2-13 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 10.2-8 (1) 固有値解析結果 (東西方向断面 ケース①)

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.729	164.940	1次として採用
2	1.464	0.001	—
3	1.934	-0.819	—
4	2.039	-55.120	—
5	2.332	4.091	—
6	2.809	-0.025	—
7	2.979	0.776	—
8	3.137	-32.158	—
9	3.177	-7.842	—

表 10.2-8 (2) 固有値解析結果 (東西方向断面 ケース②)

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.729	164.980	1次として採用
2	1.464	0.003	—
3	1.947	0.270	—
4	2.046	-55.181	—
5	2.334	4.073	—
6	2.831	-1.727	—
7	2.992	-0.780	—
8	3.150	-32.200	—
9	3.183	-6.323	—

表 10.2-8 (3) 固有値解析結果 (東西方向断面 ケース③) (追而)

表 10.2-8 (4) 固有値解析結果 (東西方向断面 ケース④)

モード次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.720	162.580	1次として採用
2	1.442	1.983	—
3	1.553	-6.784	—
4	1.705	51.243	—
5	2.091	7.983	—
6	2.349	-3.917	—
7	2.403	-1.287	—
8	2.599	-0.498	—
9	2.699	39.761	—

10.2.11 荷重の組合せ

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

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

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

荷重の組合せを表 10.2-9 に示す。地震時に常設低圧代替注水系配管カルバートに作用する機器・配管系からの反力については、機器・配管系を、解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 10.2-9 荷重の組合せ

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

(1) 機器・配管荷重

底版には図 10.2-14 に示すとおり配管の荷重を考慮する。配管の荷重は、全荷重を内空幅で除した単位奥行き当たりの荷重として考慮する。

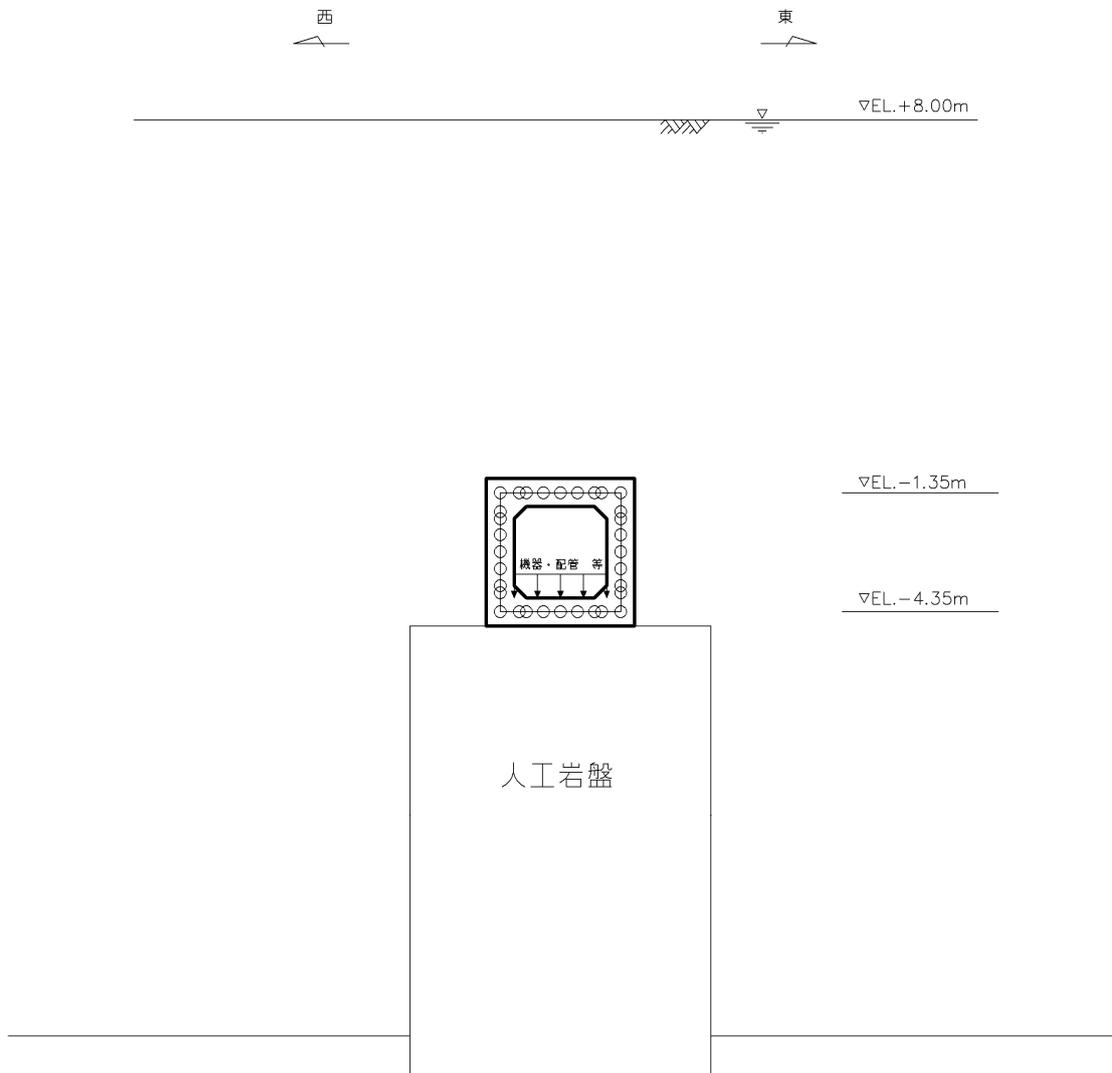


図 10.2-14 作用荷重図

(2) 外水圧

水の密度として 1.00 g/cm^3 を考慮する。

10.2.12 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

常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震設計における検討ケースを表 10.2-10 に示す。

表 10.2-10 常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震設計における検討ケース

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

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

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

(2) 機器・配管系に対する加速度応答抽出のための検討ケース

機器・配管系に対する加速度応答抽出における検討ケースを表 10.2-11 に示す。

表 10.2-11 機器・配管系への加速度応答の抽出における検討ケース

検討ケース		④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース			
液状化強度特性の設定		敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用			
地震波(位相)	S _s -D1	(++)	1	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			

10.3 評価内容

10.3.1 入力地震動の設定

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

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

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

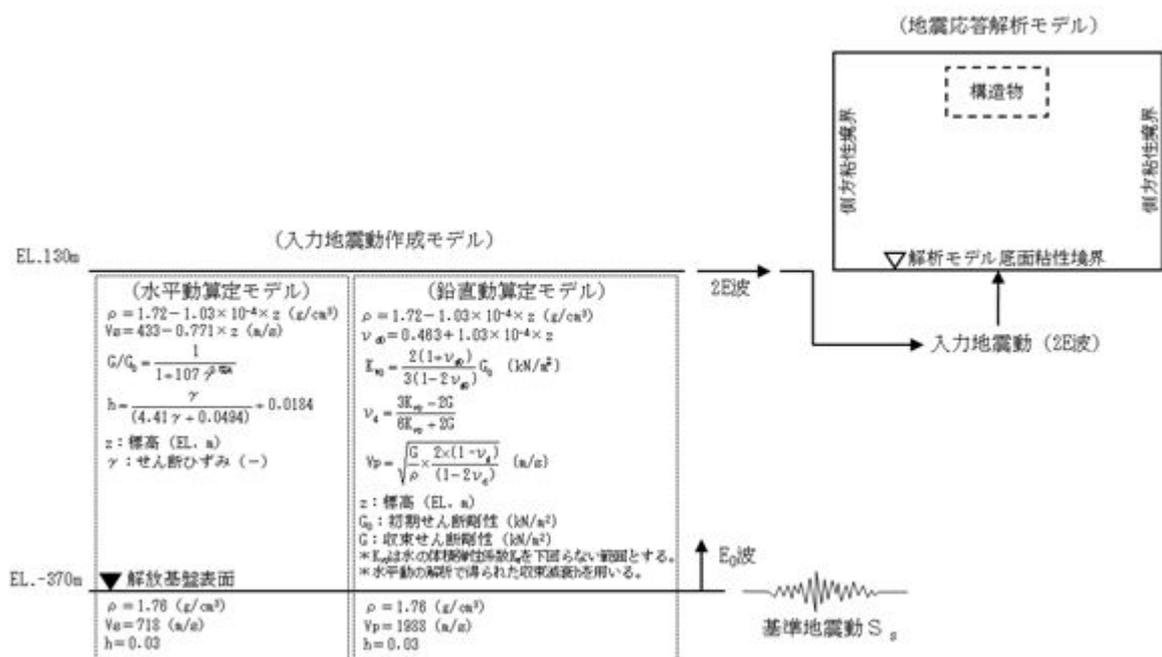
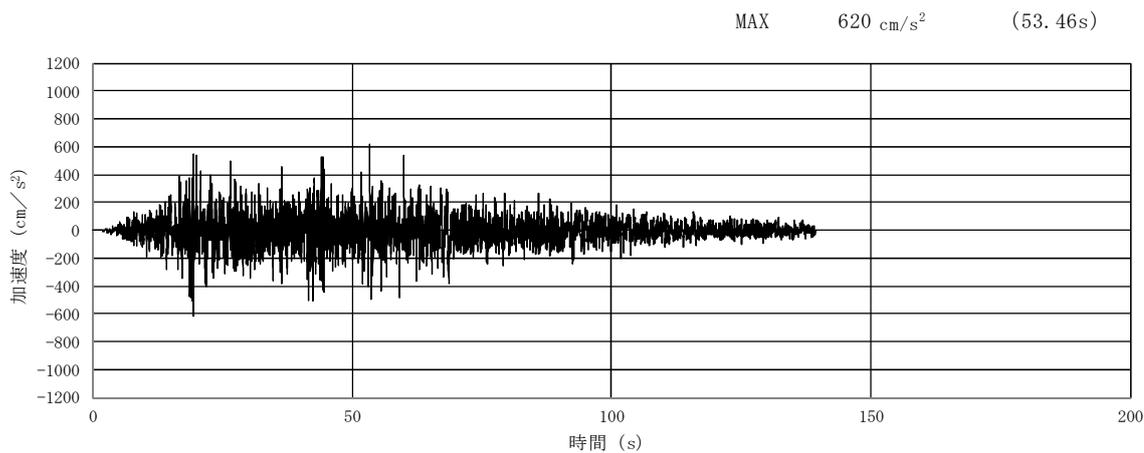
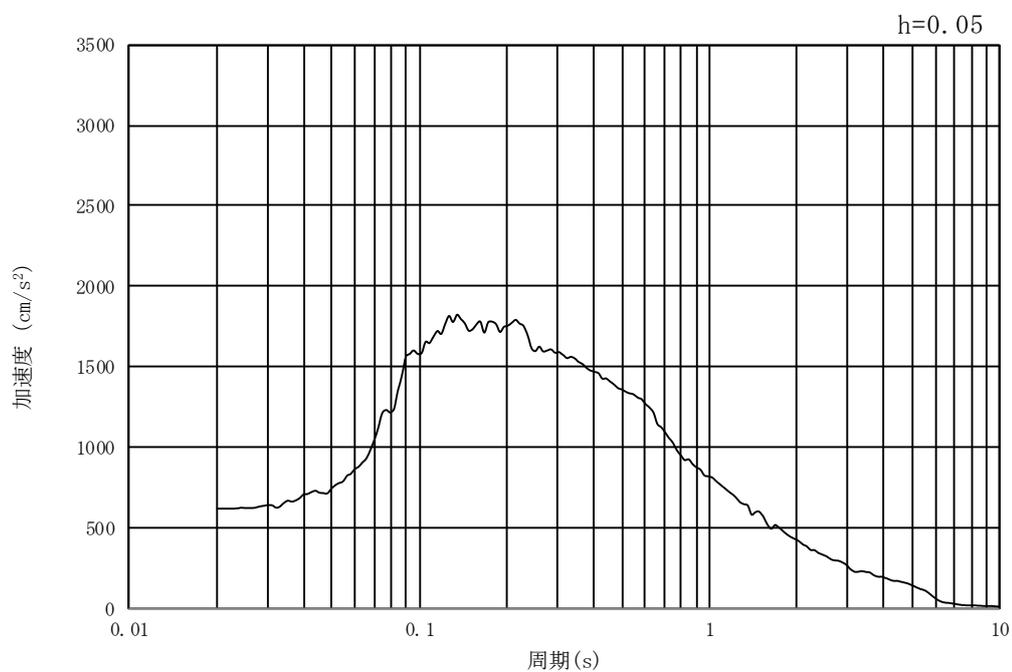


図 10.3-1 入力地震動算定の概念図

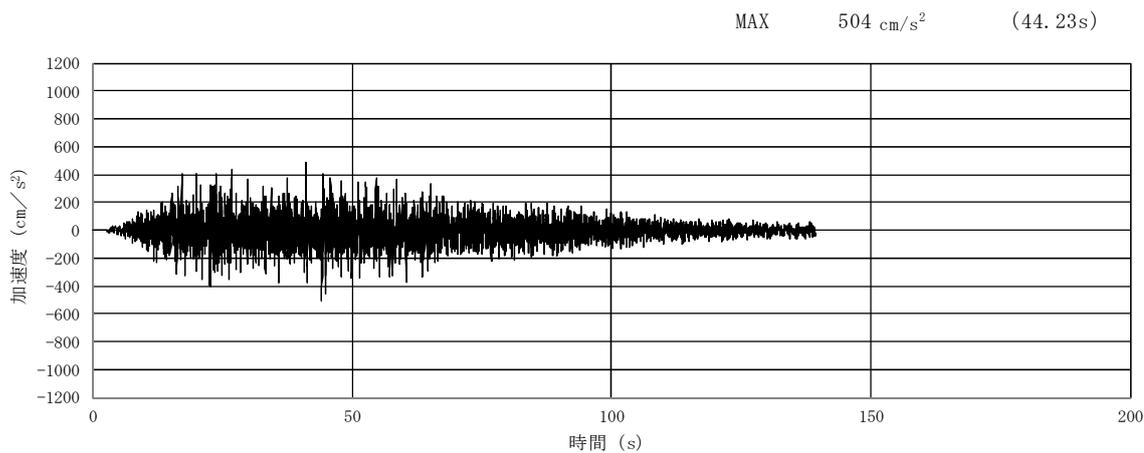


(a) 加速度時刻歴波形

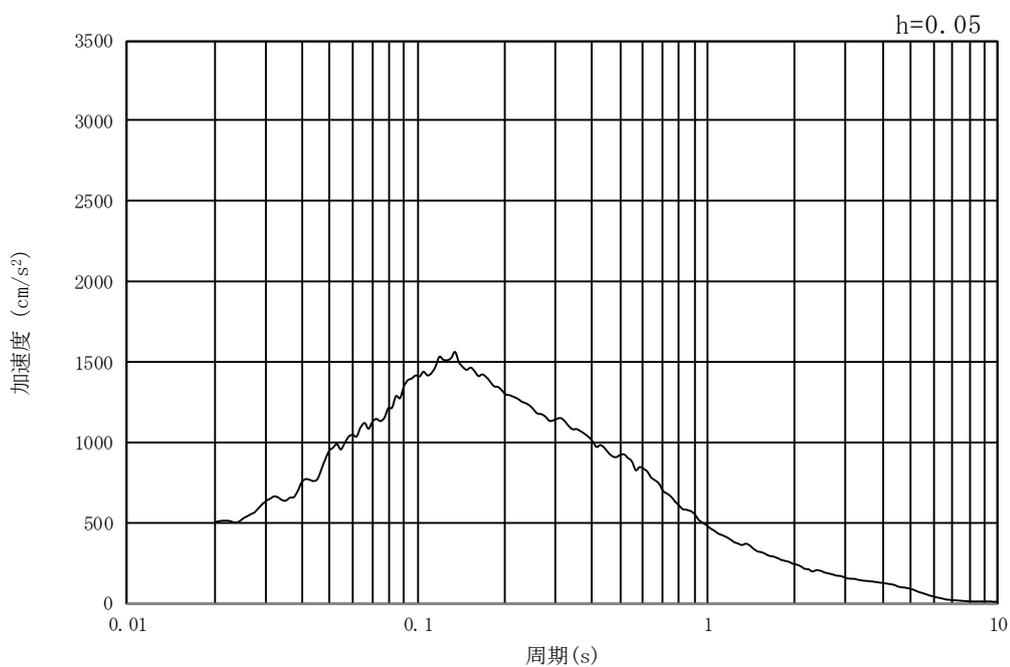


(b) 加速度応答スペクトル

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

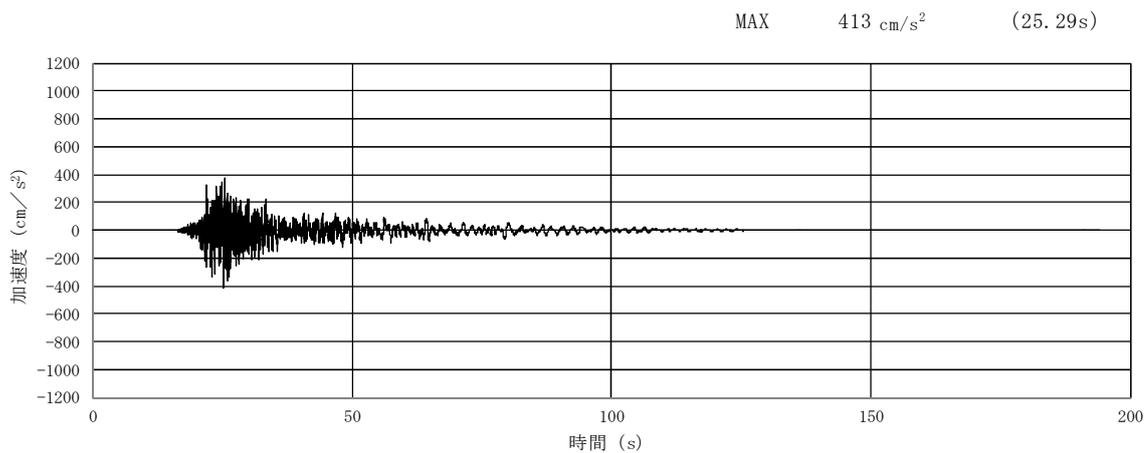


(a) 加速度時刻歴波形

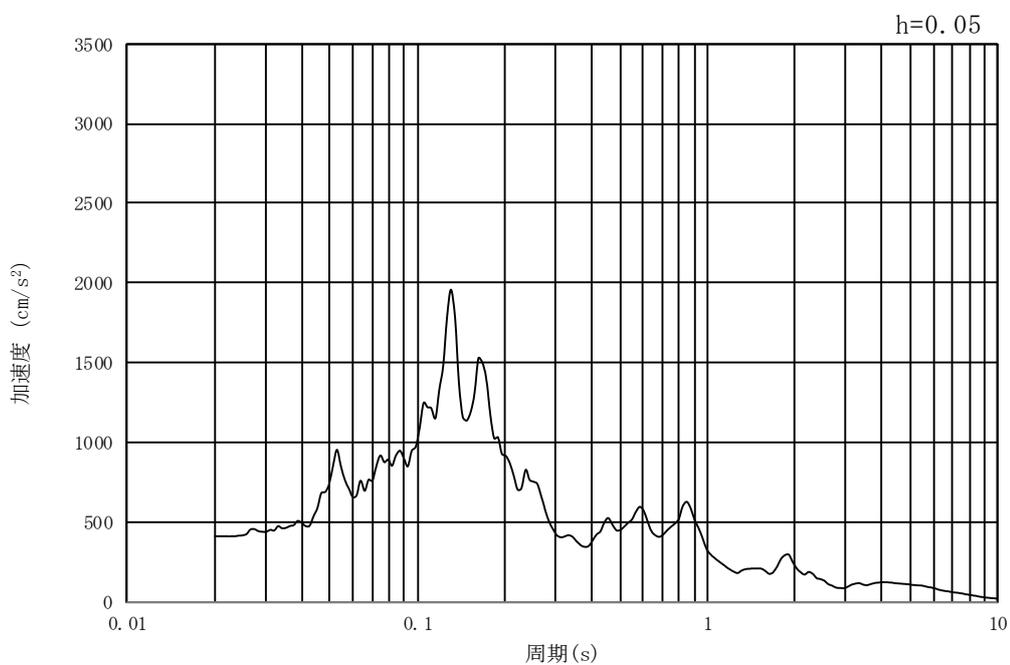


(b) 加速度応答スペクトル

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

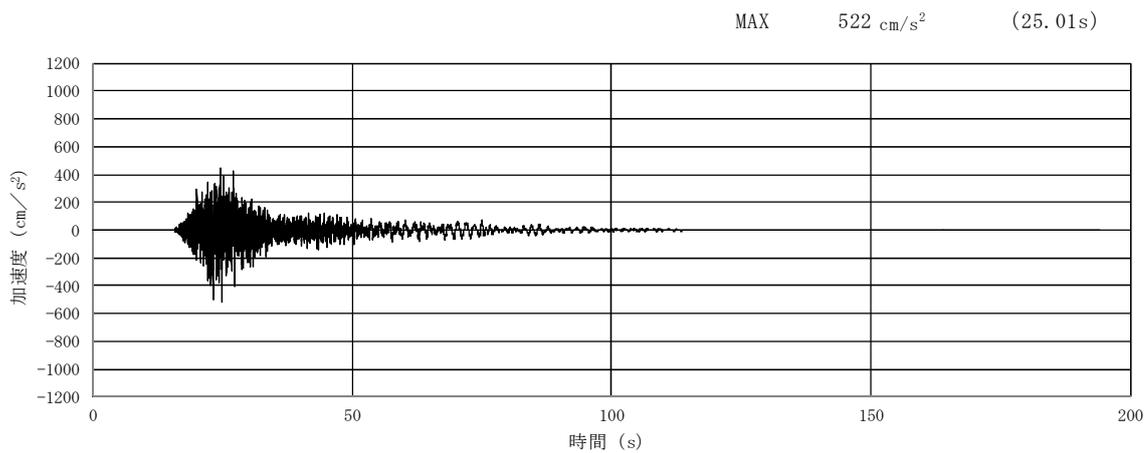


(a) 加速度時刻歴波形

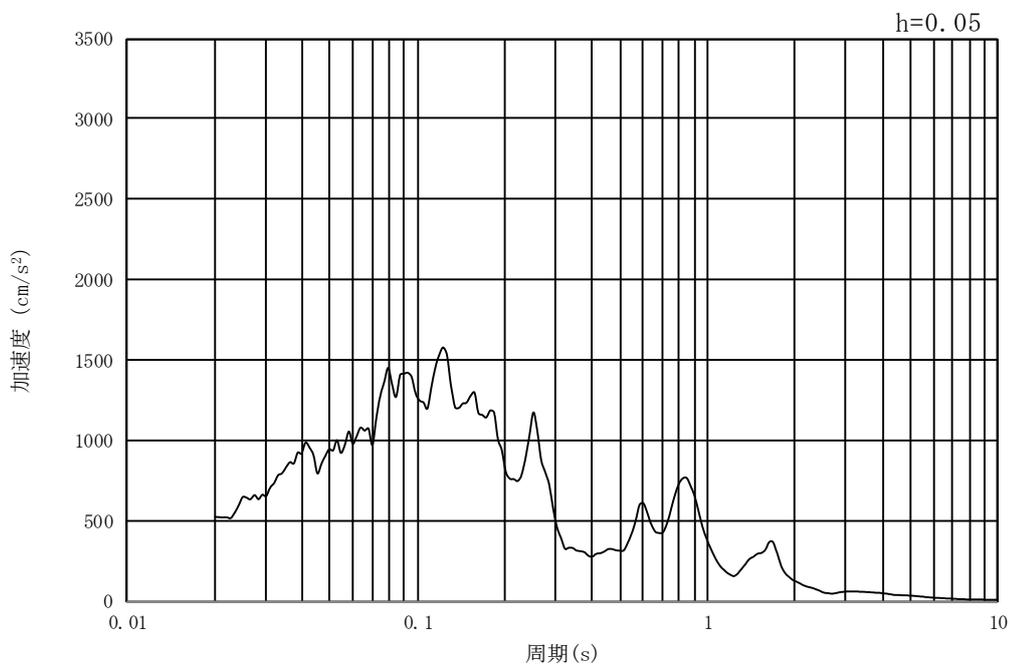


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (3) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : $S_s - 11$)

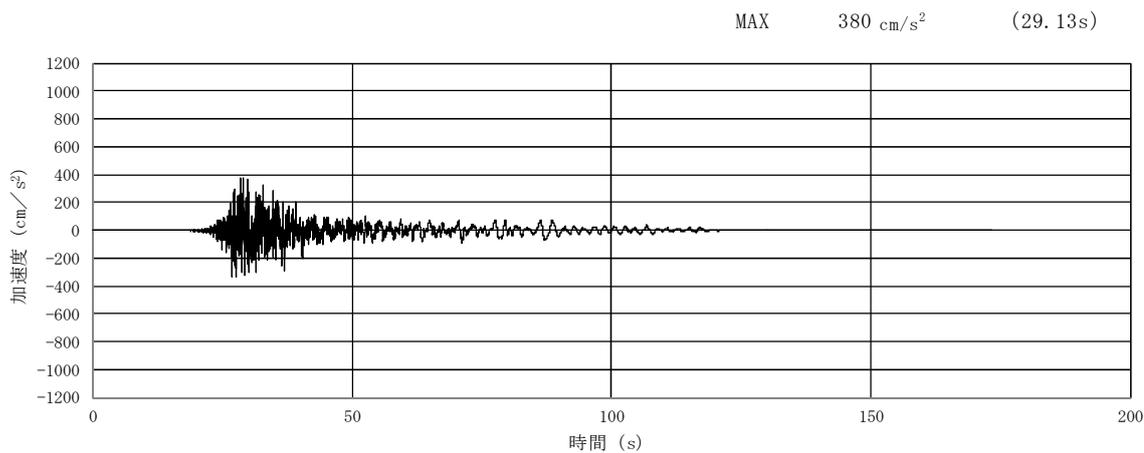


(a) 加速度時刻歴波形

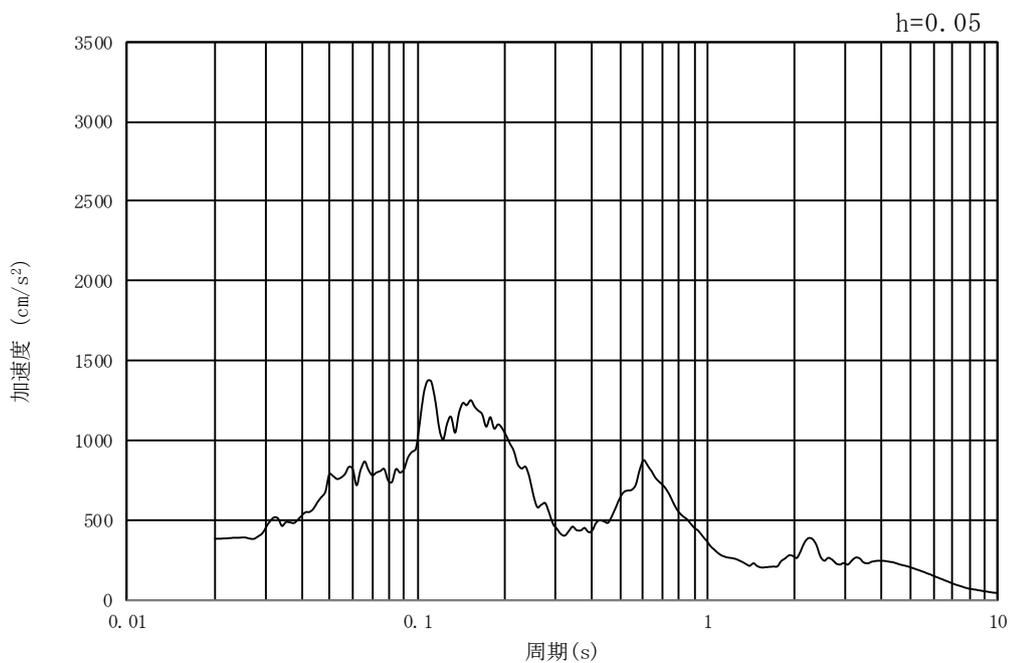


(b) 加速度応答スペクトル

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

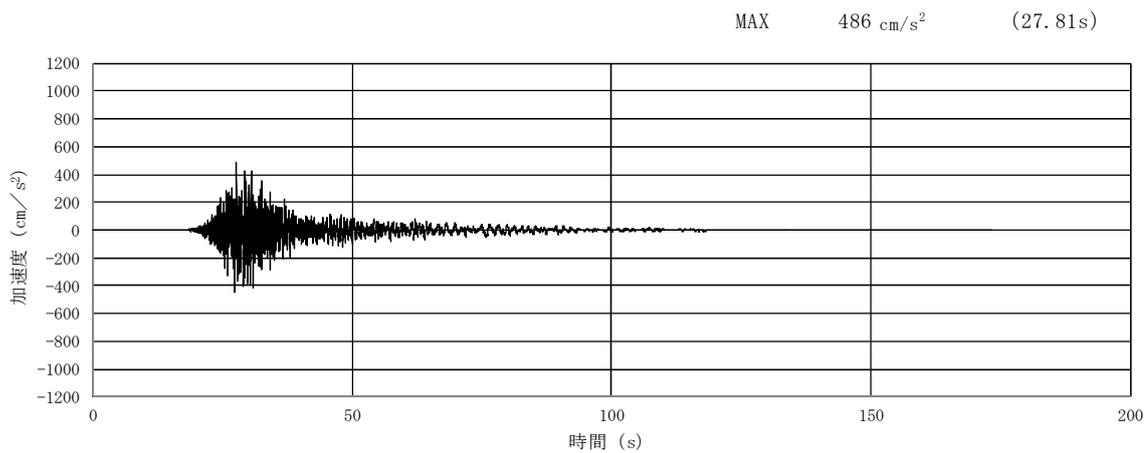


(a) 加速度時刻歴波形

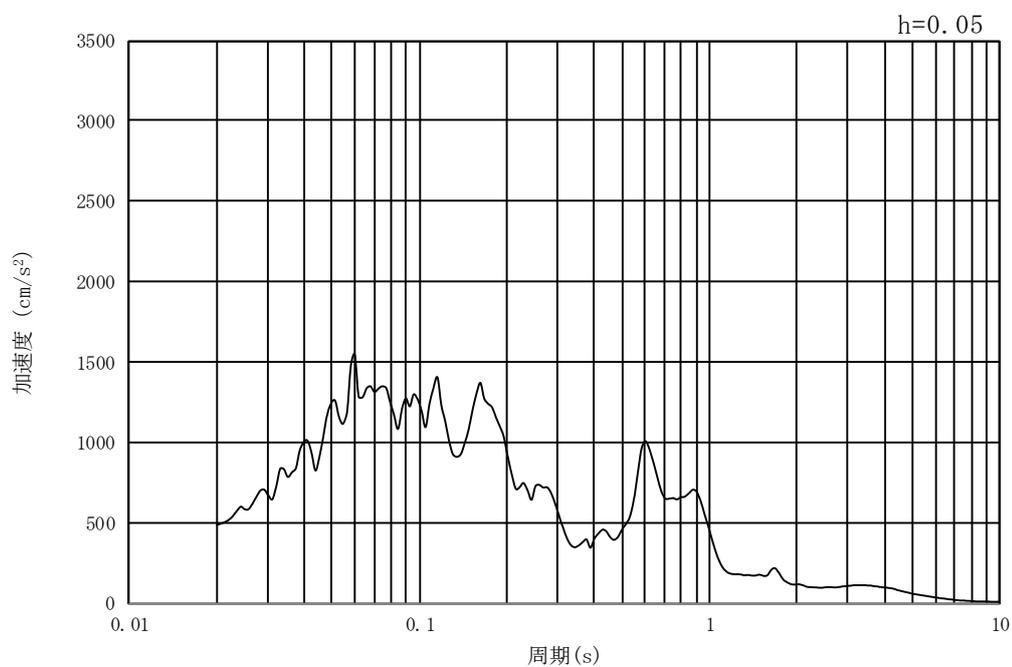


(b) 加速度応答スペクトル

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

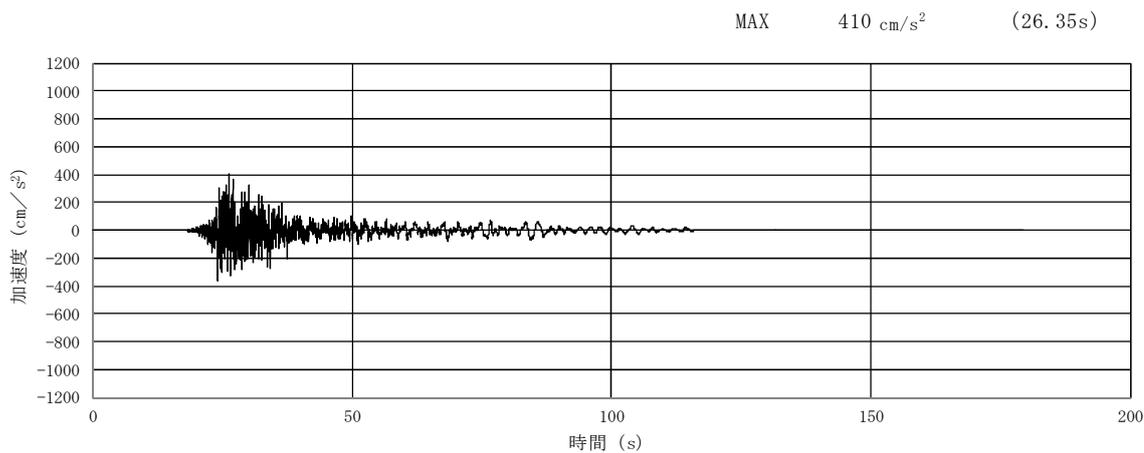


(a) 加速度時刻歴波形

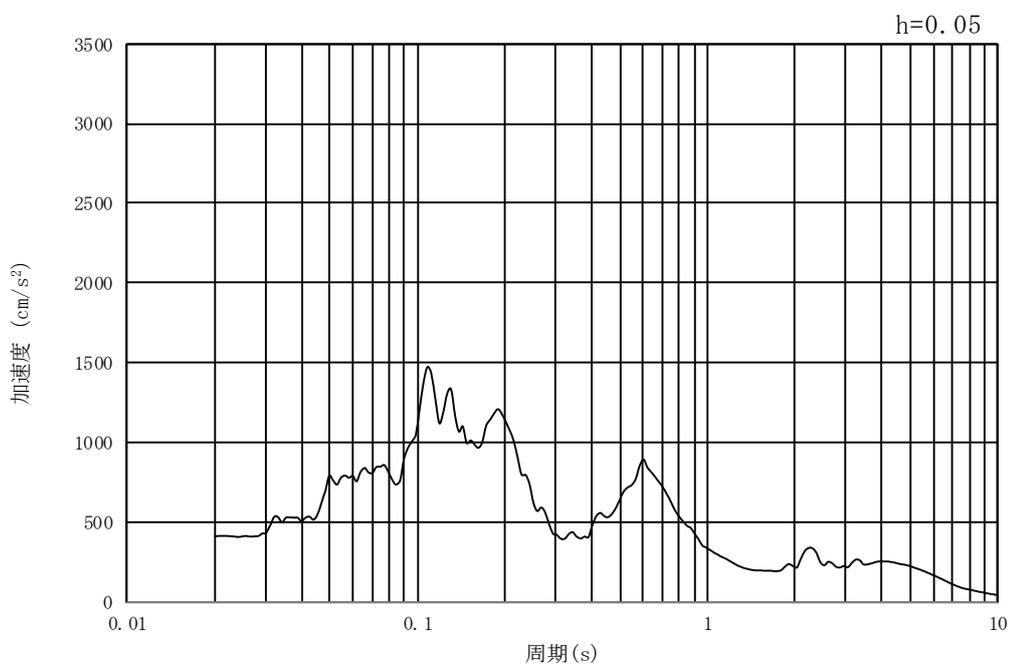


(b) 加速度応答スペクトル

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

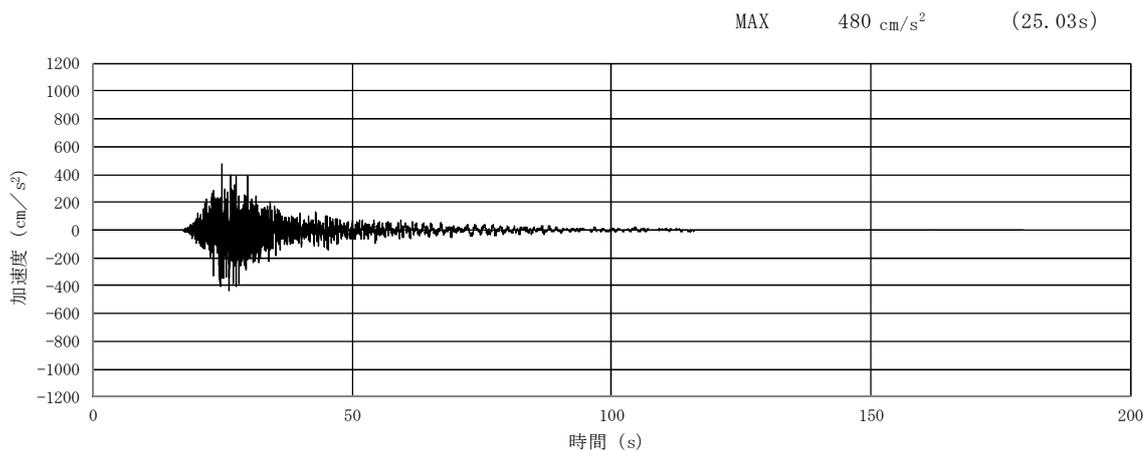


(a) 加速度時刻歴波形

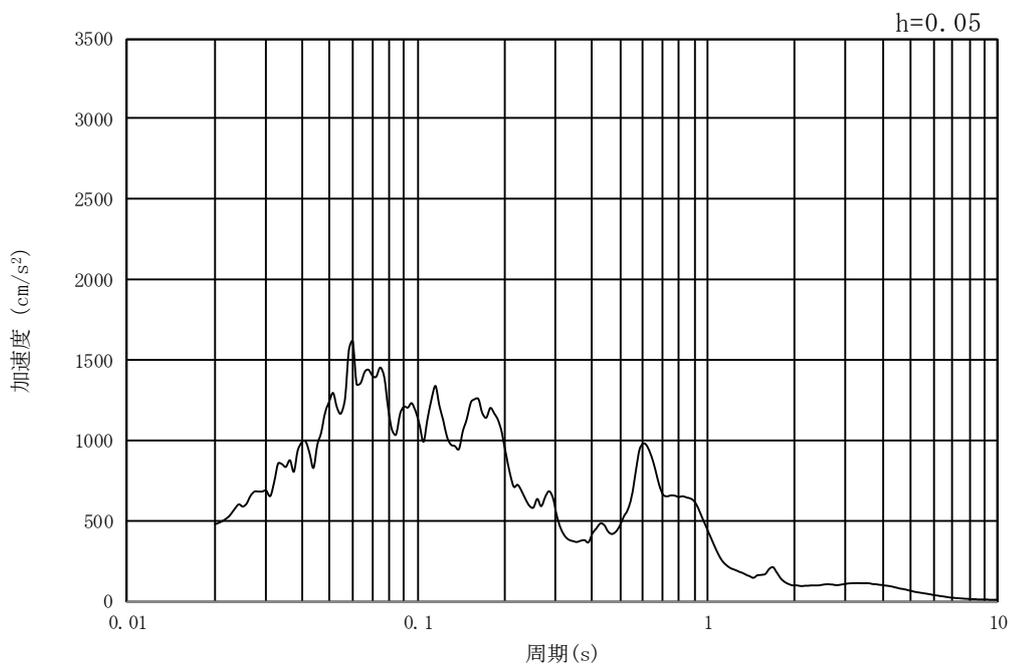


(b) 加速度応答スペクトル

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

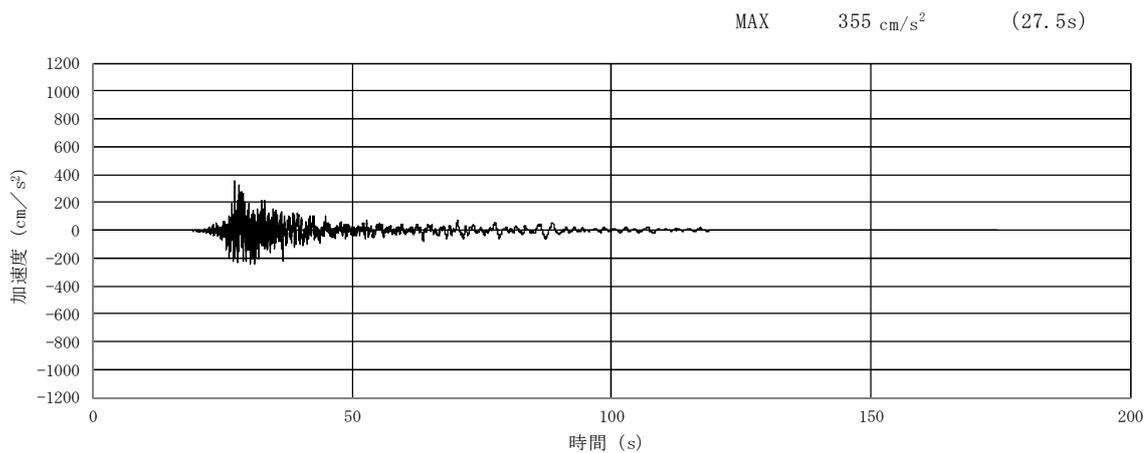


(a) 加速度時刻歴波形

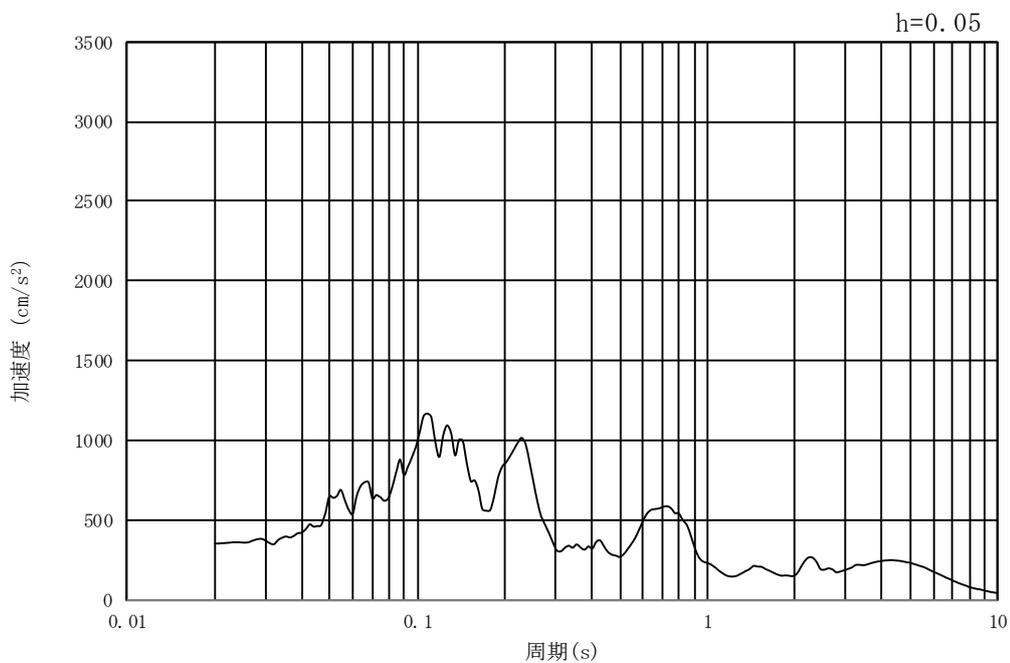


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (8) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 1.3$)

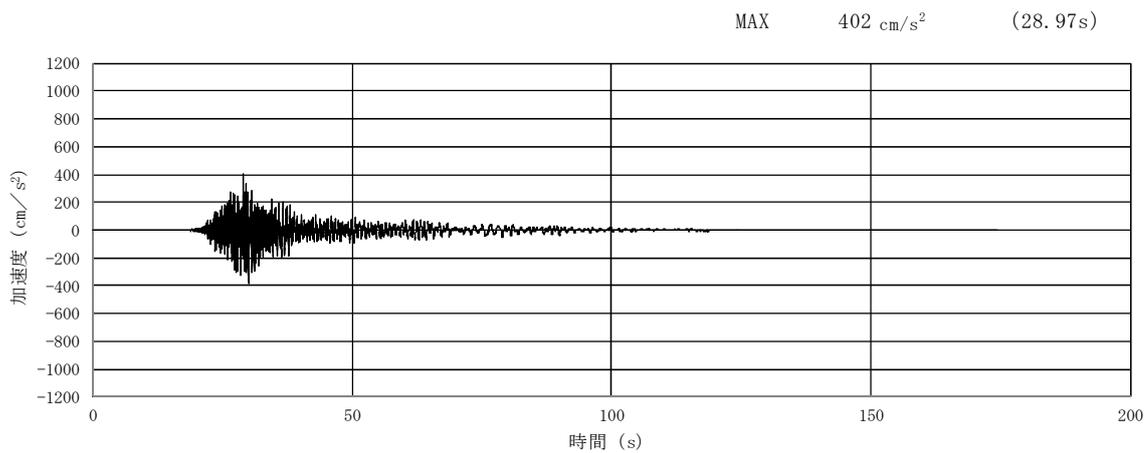


(a) 加速度時刻歴波形

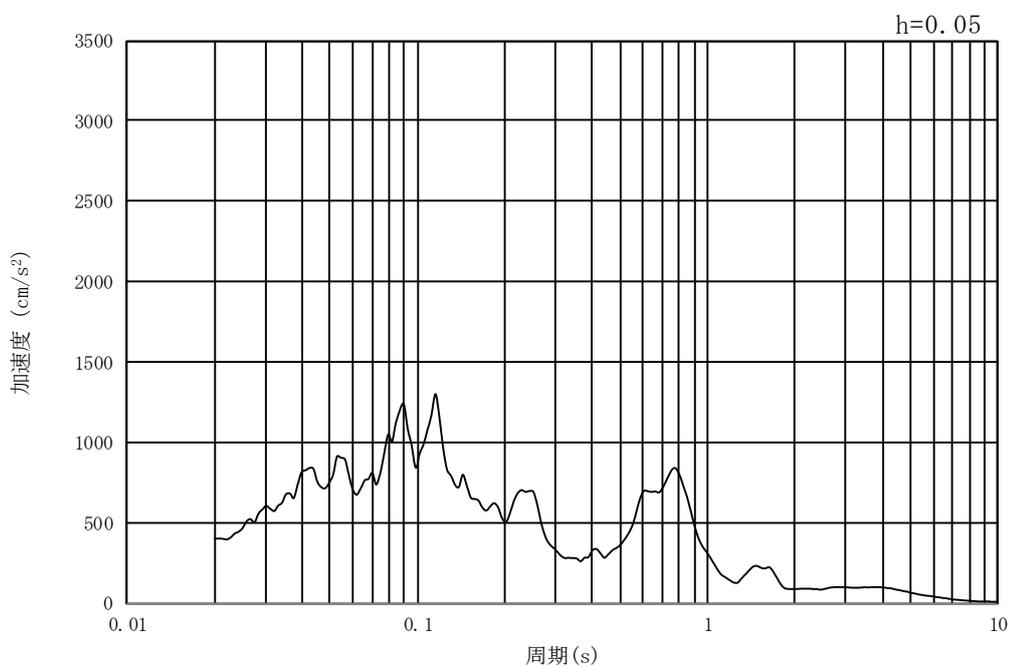


(b) 加速度応答スペクトル

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

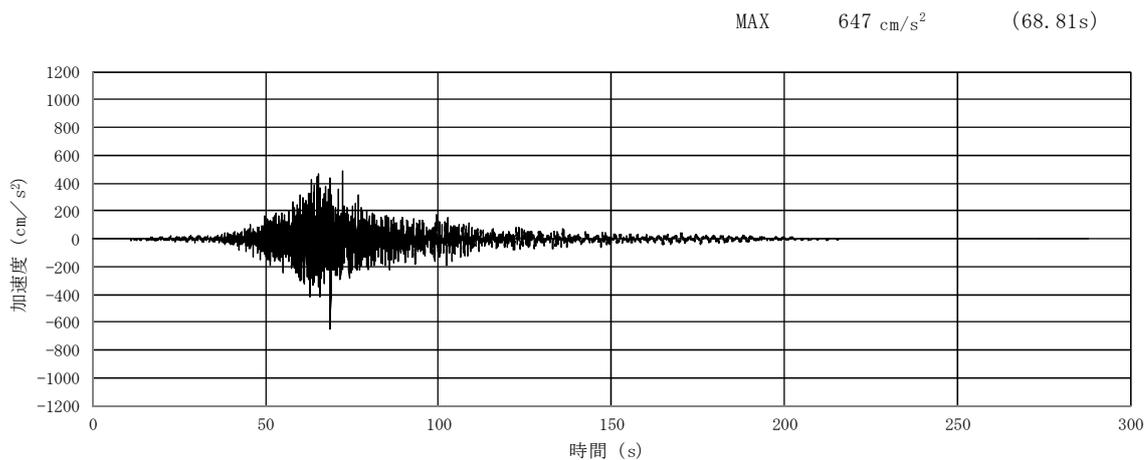


(a) 加速度時刻歴波形

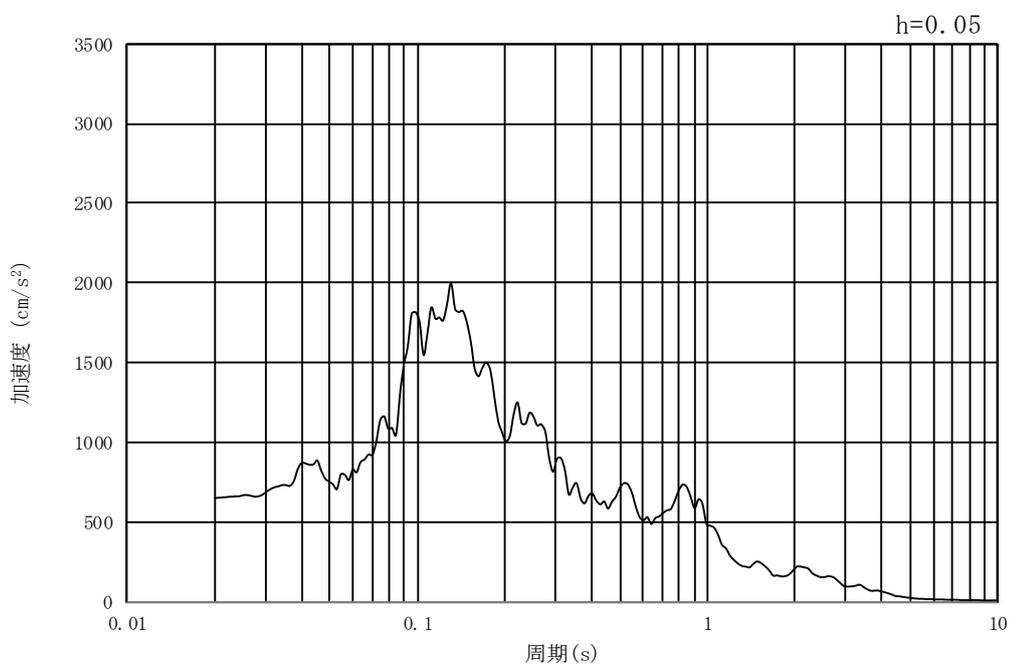


(b) 加速度応答スペクトル

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

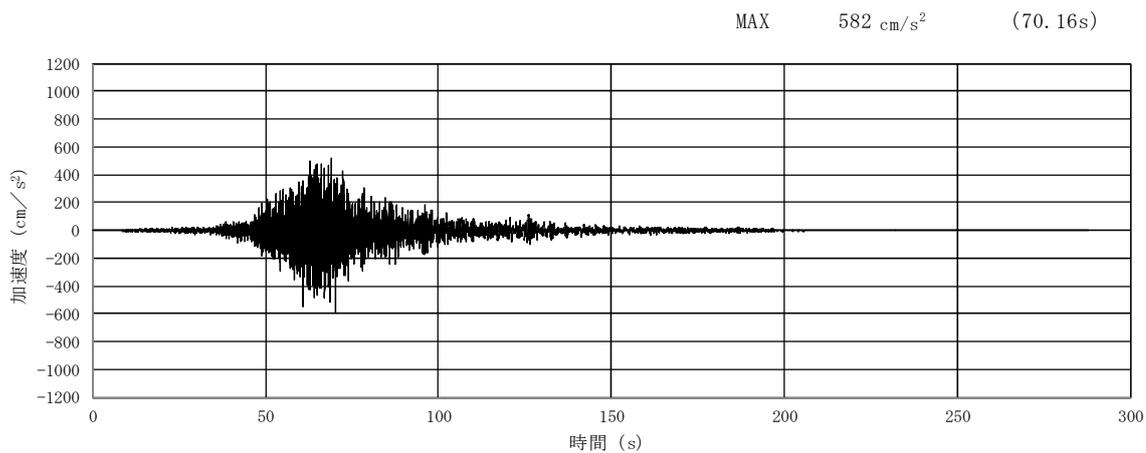


(a) 加速度時刻歴波形

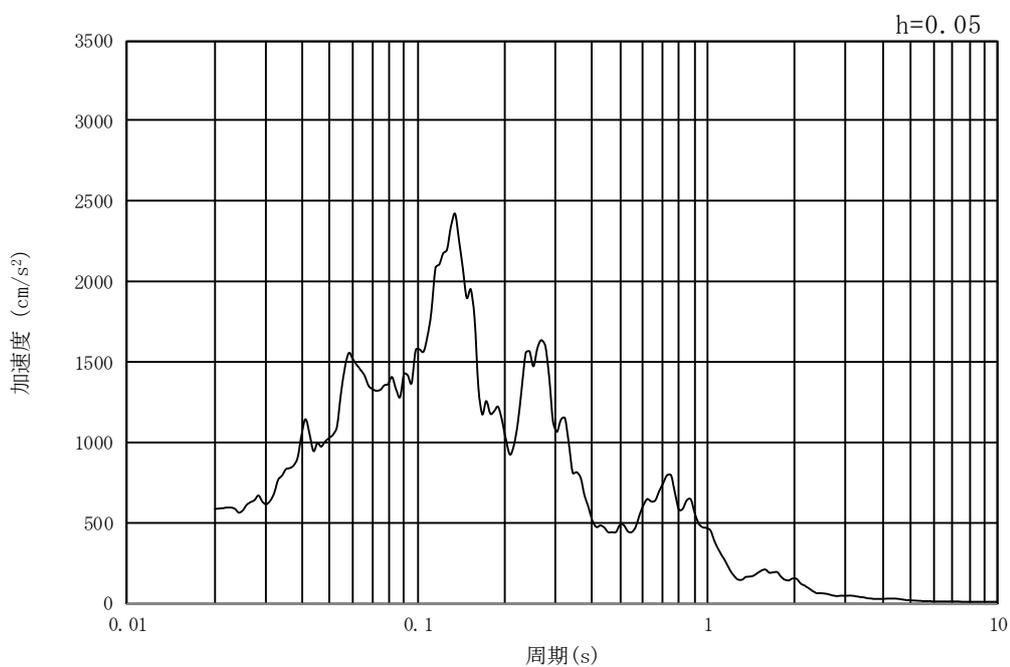


(b) 加速度応答スペクトル

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

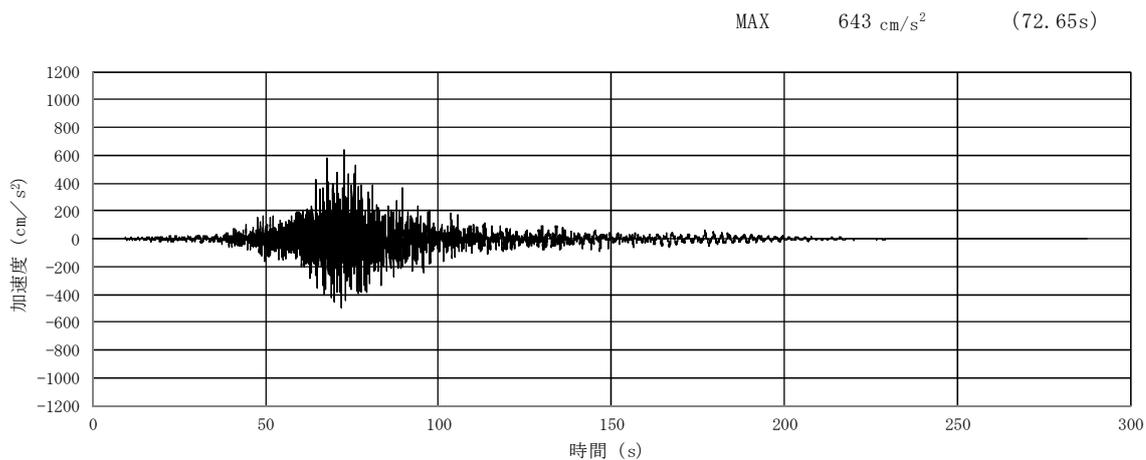


(a) 加速度時刻歴波形

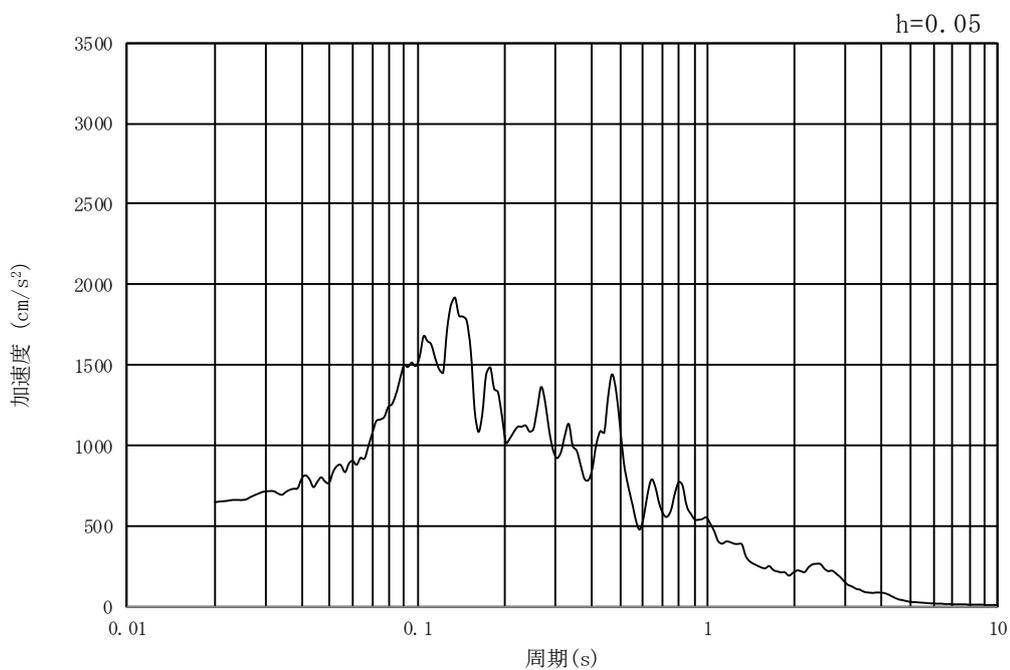


(b) 加速度応答スペクトル

図 10.3-2 (12) 東西方向断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : $S_s - 21$)

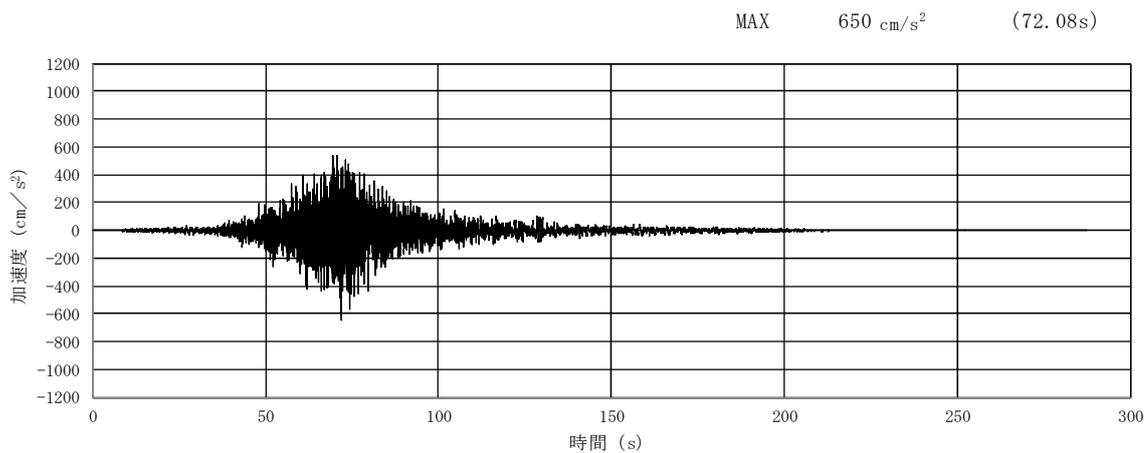


(a) 加速度時刻歴波形

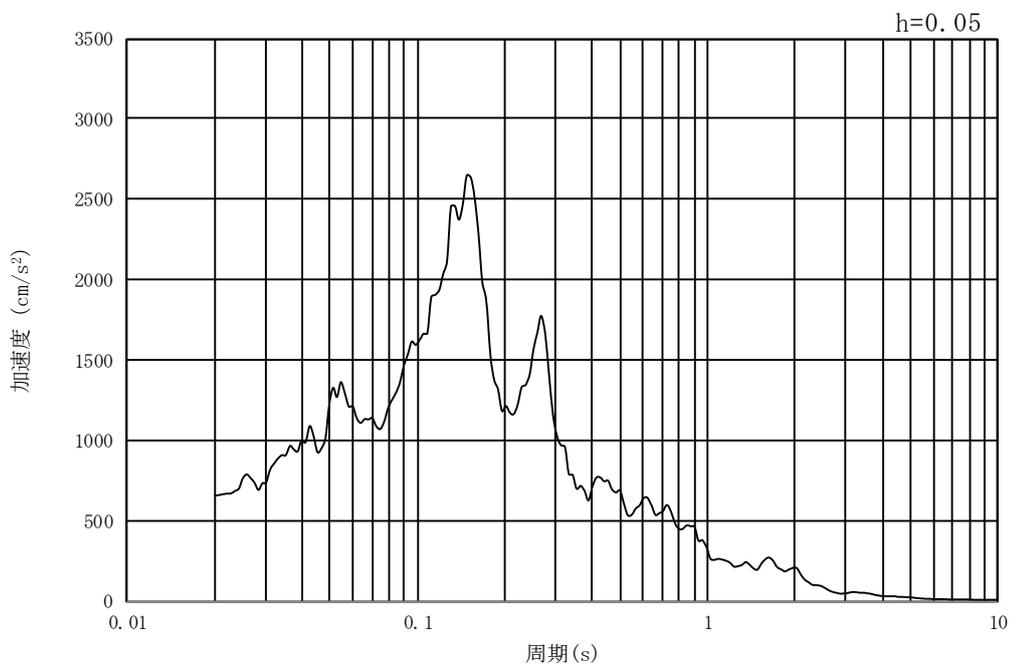


(b) 加速度応答スペクトル

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

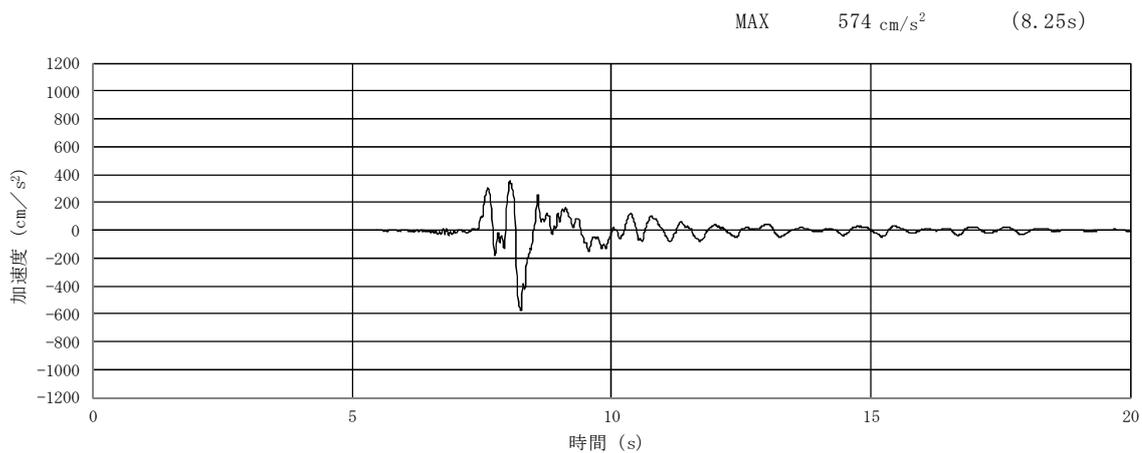


(a) 加速度時刻歴波形

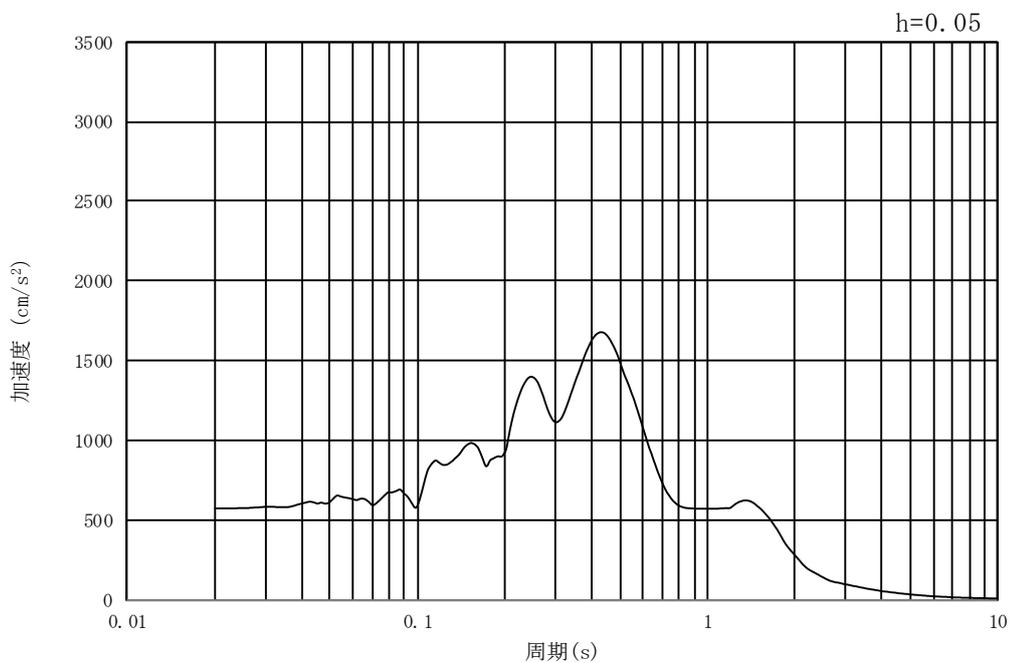


(b) 加速度応答スペクトル

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

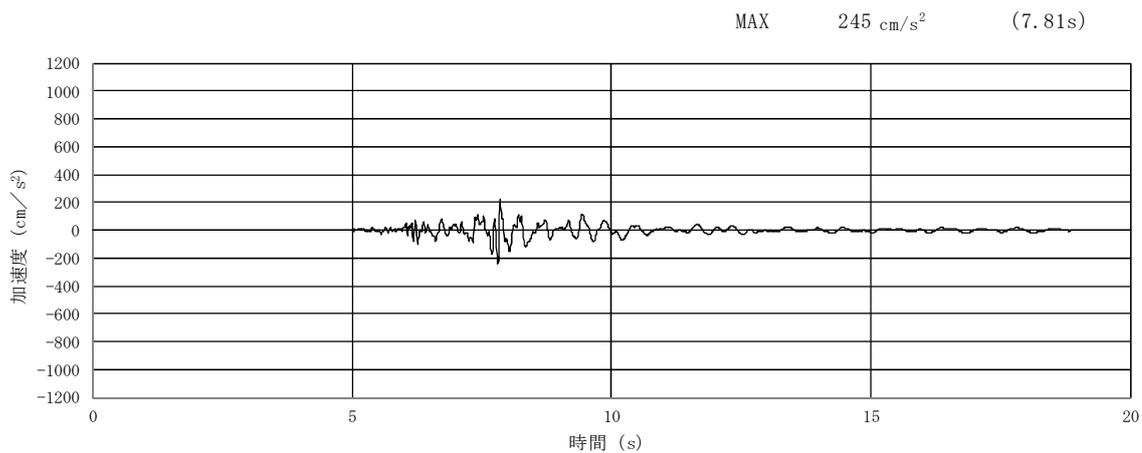


(a) 加速度時刻歴波形

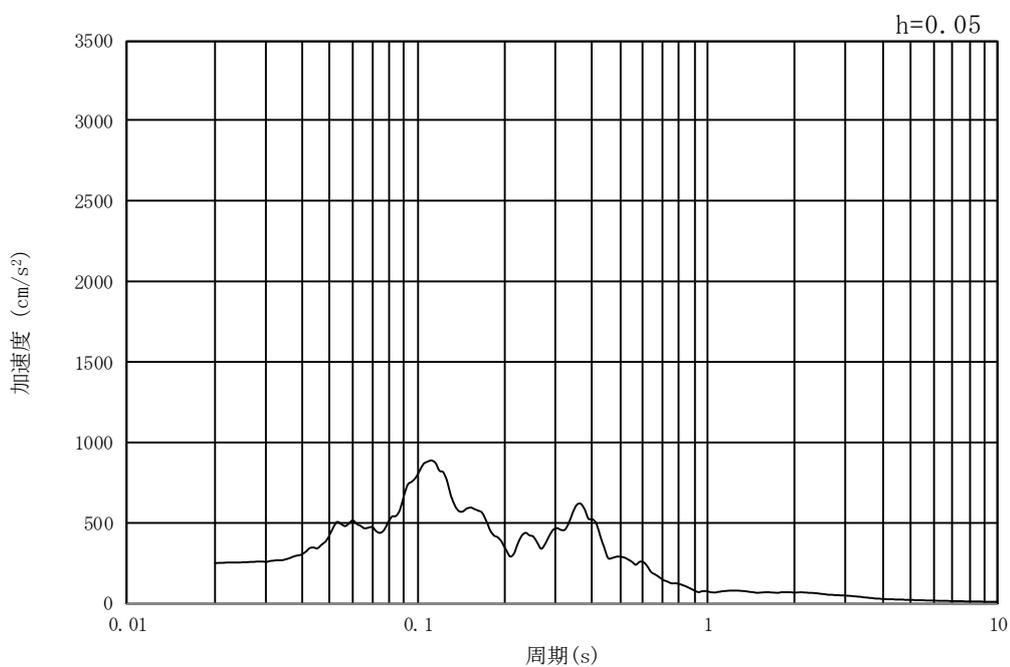


(b) 加速度応答スペクトル

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



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

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

10.3.2 許容限界の設定

(1) 許容応力度による許容限界

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

表 10.3-1 短期許容応力度

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

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

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

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

ここで、 V_{ca} : コンクリートの負担するせん断力

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

V_{sa} : 斜め引張鉄筋の負担するせん断力

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

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w : 有効幅

j : 1/1.15

d : 有効高さ

A_w : 斜め引張鉄筋断面積

σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度

s : 斜め引張鉄筋間隔

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

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

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

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

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

ここで、

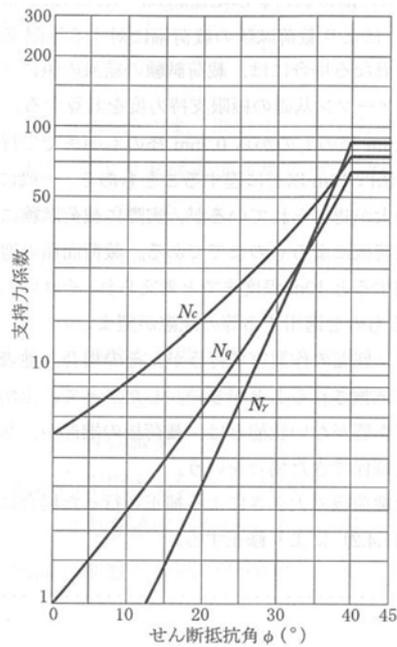
- q_d : 基礎底面地盤の極限支持力度
- c : 基礎底面より下にある地盤の粘着力
- γ_1 : 基礎底面より下にある地盤の単位体積重量。ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする
- γ_2 : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位体積重量。ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする
- α, β : 表 10.3-3 に示す基礎底面の形状係数
- D : 基礎幅
- D_f : 基礎の有効根入れ深さ
- N_c, N_q, N_γ : 図 10.3-3 に示す支持力係数

表 10.3-3 基礎底面の形状係数

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

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

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



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

図 10.3-3 支持力係数を求めるグラフ

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

表 10.3-4 基礎地盤の支持力に対する許容限界 (追而)

10.4 評価結果

10.4.1 地震応答解析結果

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

10.4.2 耐震評価結果

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

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

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

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

表 10.4-1 (1) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (2) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (3) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (4) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (5) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-1 (6) コンクリートの曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (1) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (2) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (3) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (4) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (5) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-2 (6) 鉄筋の曲げ照査結果 (東西断面方向)

図 10.4-4 概略配筋図 (東西断面方向)

表 10.4-3 断面諸元一覧表 (東西断面方向)

(2) 構造部材のせん断に対する評価結果

表 10.4-4 にせん断に対する照査結果を示す。

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

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

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

表 10.4-4 (1) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (2) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (3) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (4) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (5) せん断照査結果 (東西断面方向)

表 10.4-4 (6) せん断照査結果 (東西断面方向)

図 10.4-5 概略配筋図 (東西断面方向)

表 10.4-5 断面諸元一覧表 (東西断面方向)

(3) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

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

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

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

表 10.4-6 基礎地盤の支持性能評価結果

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

10.5 まとめ（追而）

常設低圧代替注水系配管カルバート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

(参考) 10-2

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 10-1 に示す。また、設定した Rayleigh 減衰を図 10-2 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、コンクリートについては 5%（J E A G 4 6 0 1 -1987）とする。

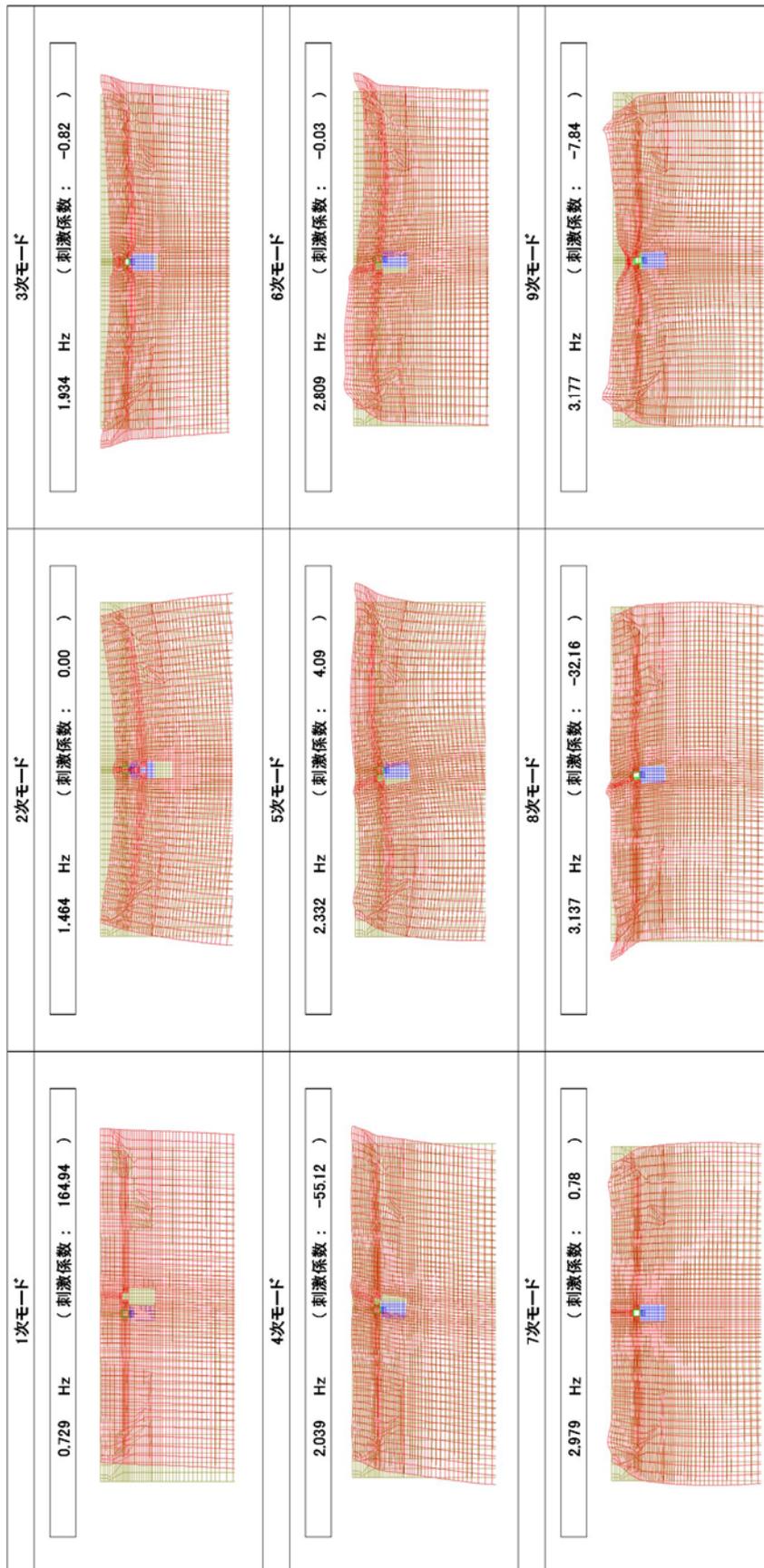


図 10-1 (1) 常設低圧代替淡カルバートの固有値解析結果
(東西方向断面 検討ケース①)

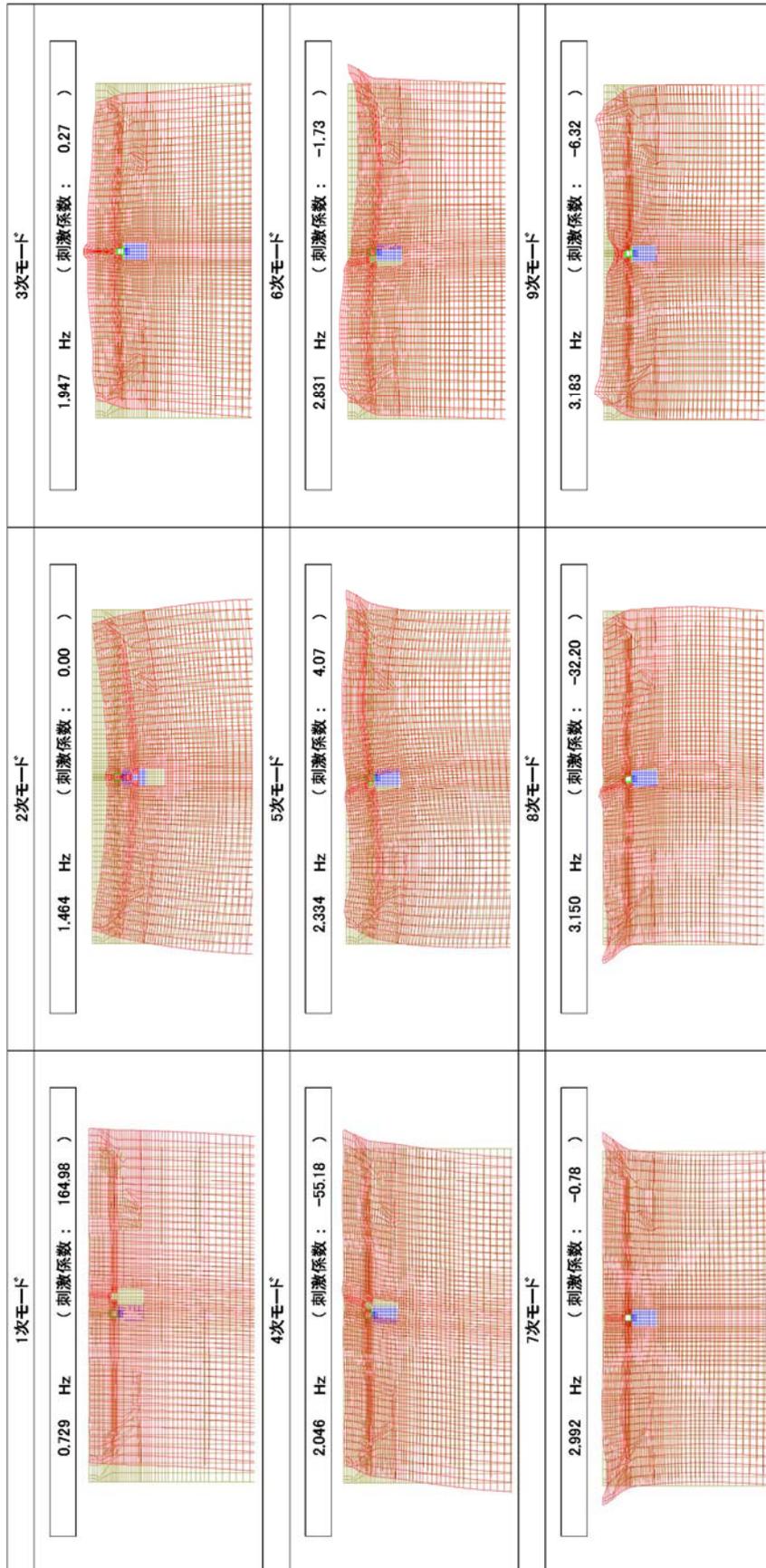


図 10-1 (2) 常設低圧代替淡カルバートの固有値解析結果
(東西方向断面 検討ケース②)

1次モード Hz (刺激係数 :)	2次モード Hz (刺激係数 :)	3次モード Hz (刺激係数 :)
4次モード Hz (刺激係数 :)	5次モード Hz (刺激係数 :)	6次モード Hz (刺激係数 :)
7次モード Hz (刺激係数 :)	8次モード Hz (刺激係数 :)	9次モード Hz (刺激係数 :)

図 10-1 (3) 常設低圧代替淡カルバートの固有値解析結果
(東西方向断面 検討ケース③)

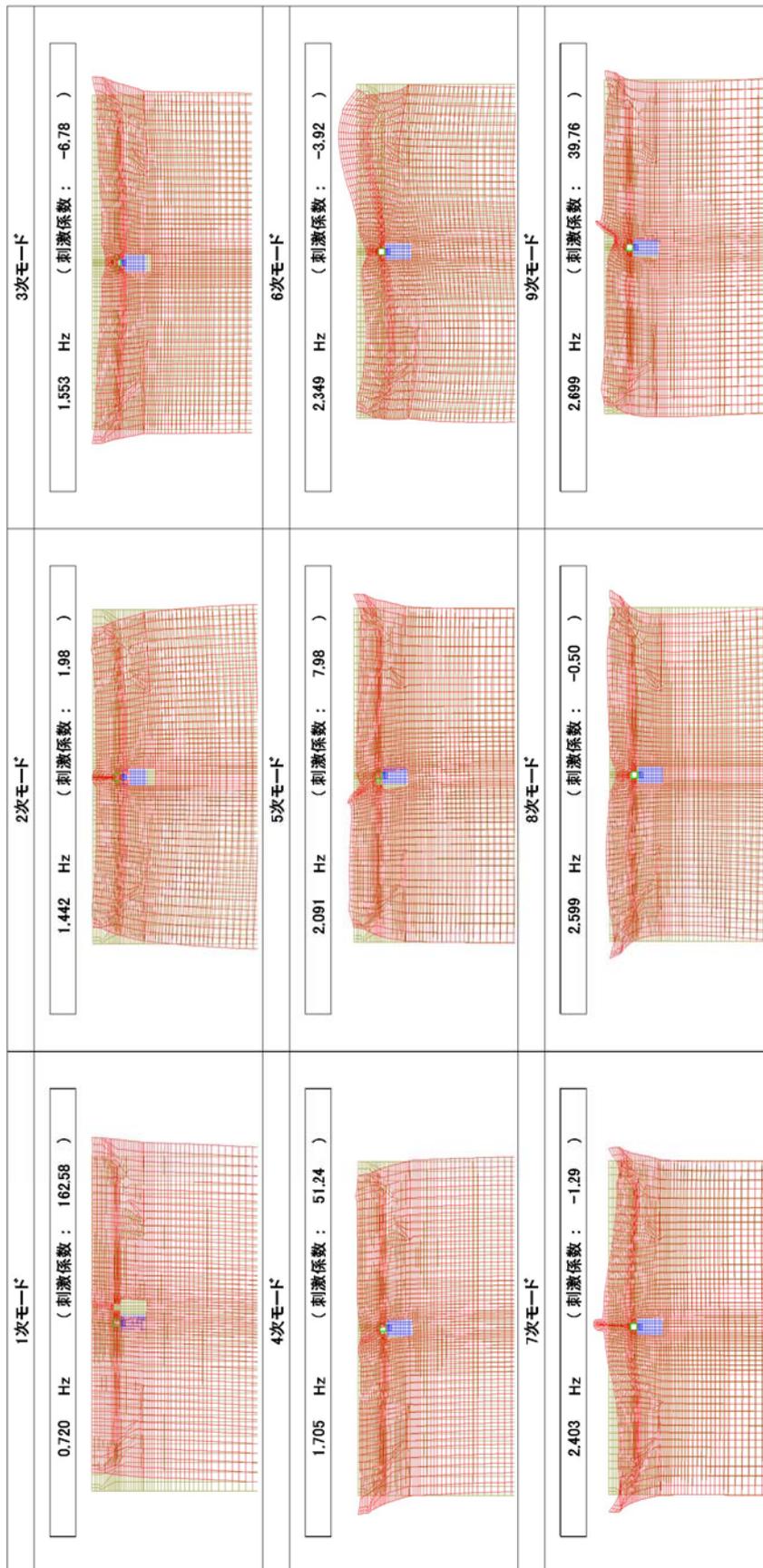


図 10-1 (4) 常設低圧代替淡カルバートの固有値解析結果
(東西方向断面 検討ケース④)

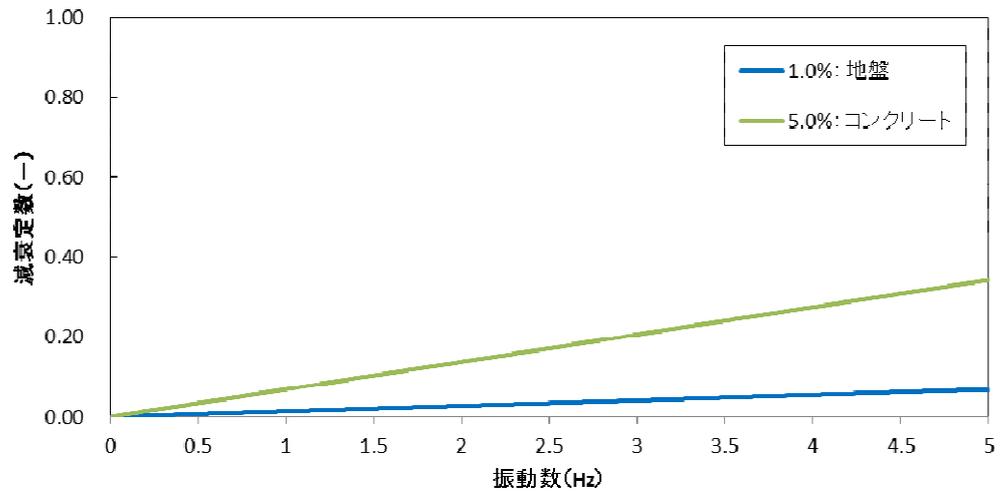


図 10-2 (1) 設定した Rayleigh 減衰 (東西方向断面 検討ケース①)

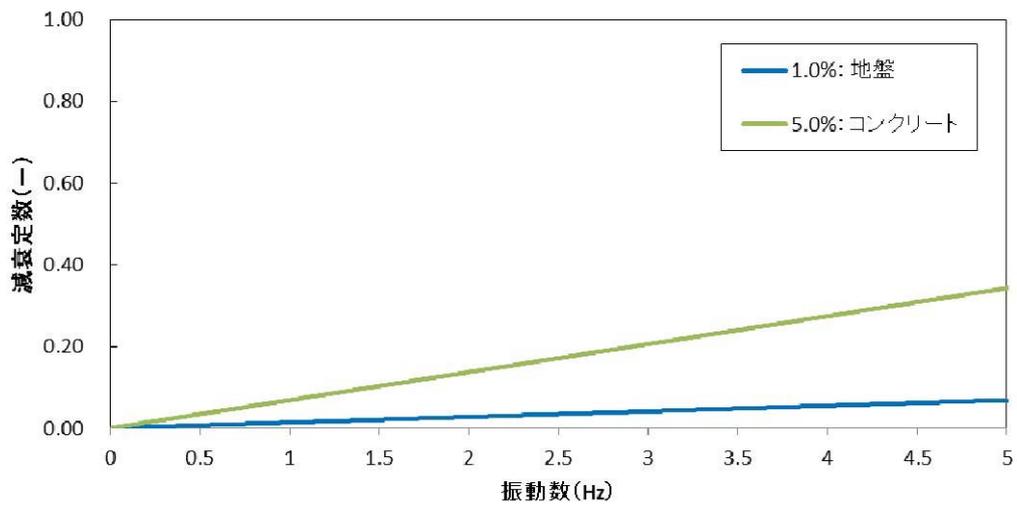


図 10-2 (2) 設定した Rayleigh 減衰 (東西方向断面 検討ケース②)

追而

図 10-2 (3) 設定した Rayleigh 減衰 (東西方向断面 検討ケース③)

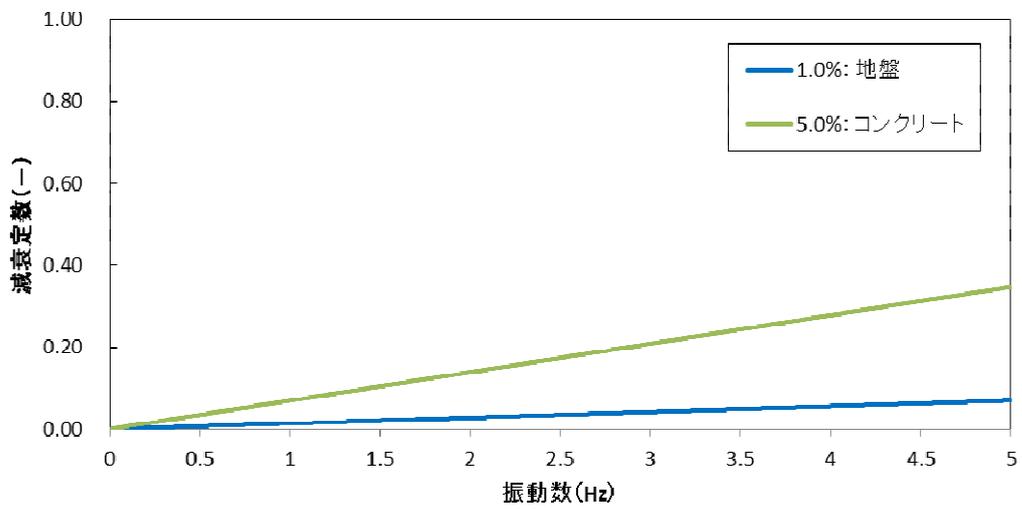


図 10-2 (4) 設定した Rayleigh 減衰 (東西方向断面 検討ケース④)

(参考) 10-9

