

本資料のうち、枠囲みの内容は防
護上の観点から公開できません。

| | |
|-----------------------|----------------------|
| 女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | 02-補-E-19-0610-20_改4 |
| 提出年月日 | 2021年2月10日 |

補足－610－20 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】

目 次

資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

1. 対象設備
2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容
3. 安全係数
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定
 - 4.1 断面選定の方針
 - 4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理
 - 4.3 解析手法選定の方針
 - 4.4 軽油タンク連絡ダクト
 - 4.5 排気筒連絡ダクト
 - 4.6 原子炉機器冷却海水配管ダクト
 - 4.7 取水路（漸拡部）
 - 4.8 軽油タンク室
 - 4.9 軽油タンク室（H）
 - 4.10 海水ポンプ室
 - 4.11 取水口，貯留堰
 - 4.12 取水路（標準部）
 - 4.13 復水貯蔵タンク基礎
 - 4.14 ガスタービン発電設備軽油タンク室
 - 4.15 第3号機海水ポンプ室
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法
6. 許容限界
7. ジョイント要素のばね設定
8. 隣接構造物のモデル化方針
9. 地震応答解析における構造物の減衰定数
10. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定
11. 等価剛性モデルの設定方針

資料 2 軽油タンク連絡ダクトの耐震安全性評価

資料 3 排気筒連絡ダクトの耐震安全性評価

資料 4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震安全性評価

資料 5 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震安全性評価

資料 6 取水路（漸拡部）の耐震安全性評価

資料 7 軽油タンク室の耐震安全性評価

資料 8 軽油タンク室（H）の耐震安全性評価

資料 9 海水ポンプ室の耐震安全性評価

資料 10 取水口，貯留堰の耐震安全性評価

資料 11 取水路（標準部）の耐震安全性評価

資料 12 復水貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価

資料 13 ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震安全性評価

資料 14 第 3 号機海水ポンプ室の耐震安全性評価



: 本日の説明範囲

資料9 海水ポンプ室の耐震安全性評価

目 次

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 9.1 | 評価方法 | 1 |
| 9.2 | 評価条件 | 1 |
| 9.2.1 | 適用規格 | 1 |
| 9.2.2 | 耐震評価フロー | 4 |
| 9.2.3 | 地震時荷重算出断面の選定 | 6 |
| 9.2.4 | 使用材料及び材料の物性値 | 13 |
| 9.2.5 | 地盤物性値 | 13 |
| 9.2.6 | 評価構造物諸元 | 14 |
| (1) | 評価構造物諸元 | 14 |
| (2) | 海水ポンプ室の要求機能の考え方 | 16 |
| 9.2.7 | 地下水位 | 20 |
| 9.3 | 地震応答解析 | 22 |
| 9.3.1 | 地震応答解析手法 | 22 |
| 9.3.2 | 地震応答解析モデルの設定 | 25 |
| (1) | 解析モデル領域 | 25 |
| (2) | 境界条件 | 29 |
| (3) | 構造物のモデル化 | 36 |
| (4) | 隣接構造物のモデル化 | 42 |
| (5) | 地盤及び MMR のモデル化 | 43 |
| (6) | ジョイント要素の設定 | 43 |
| 9.3.3 | 減衰定数 | 51 |
| 9.3.4 | 荷重の組合せ | 66 |
| (1) | 機器・配管荷重 | 67 |
| (2) | 竜巻防護ネット荷重 | 68 |
| (3) | 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）荷重 | 68 |
| (4) | 外水圧 | 70 |
| (5) | 内水圧 | 72 |
| (6) | 積載荷重 | 74 |
| (7) | 動水圧 | 77 |
| 9.3.5 | 耐震安全性評価における解析ケース | 79 |
| (1) | 耐震安全性評価における解析ケース | 79 |
| 9.3.6 | 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース | 85 |
| 9.4 | 三次元構造解析 | 88 |
| 9.4.1 | 解析手法 | 88 |
| 9.4.2 | 解析モデルの設定 | 89 |
| (1) | 構造物のモデル化 | 89 |
| (2) | 地盤ばね要素 | 92 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| (3) 材料の非線形特性 | 93 |
| 9.4.3 照査時刻の選定 | 97 |
| 9.4.4 入力荷重 | 98 |
| (1) 慣性力（機器・配管系及び躯体） | 100 |
| (2) 慣性力（竜巻防護ネット反力） | 101 |
| (3) 慣性力（原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）） | 102 |
| (4) 内水圧・動水圧 | 103 |
| (5) 土圧・水圧及び周面せん断力 | 104 |
| 9.5 評価内容 | 105 |
| 9.5.1 入力地震動の設定 | 105 |
| 9.5.2 許容限界の設定 | 163 |
| (1) 通水機能 | 163 |
| (2) 貯水機能 | 163 |
| (3) 止水機能 | 163 |
| (4) 支持機能 | 164 |
| 9.6 評価結果 | 164 |
| 9.6.1 地震応答解析結果 | 164 |
| (1) 解析ケースと照査値 | 164 |
| (2) 照査時刻選定項目の算定結果 | 164 |
| (3) 作用荷重分布図 | 164 |
| (4) 最大せん断ひずみ | 164 |
| (5) 最大接地圧分布 | 164 |
| 9.6.2 三次元構造解析結果 | 164 |
| (1) ひずみ分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査） | 164 |
| (2) 断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査） | 164 |
| 9.6.3 構造部材の健全性に対する評価結果 | 164 |
| (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 | 164 |
| (2) せん断破壊に対する評価結果 | 164 |
| (3) 水平2方向載荷による評価結果 | 164 |
| 9.6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 | 164 |
| (1) 支持地盤（狐崎部層） | 164 |
| (2) MMR（既設） | 164 |
| 9.7 まとめ | 164 |
| 参考資料1 照査値の平均化について | 164 |
| 参考資料2 漏水量評価について | 164 |
| 参考資料3 増厚部と既設コンクリートの一体化について | 164 |
| 参考資料4 静的地震力に対する耐震評価 | 164 |

: 本日の説明範囲

9.1 評価方法

海水ポンプ室は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である原子炉補機冷却海水ポンプ等を間接支持する支持機能、非常時における海水の通水機能及び貯水機能、浸水防止のための止水機能が要求される。

海水ポンプ室については、基準地震動 S_s による耐震評価として、構造部材の曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持性能に対する評価を実施する。

構造部材の健全性評価については、鉄筋及びコンクリートのひずみ、せん断力、壁部材の面内せん断変形に伴う面内せん断ひずみが要求機能に応じた許容限界を下回ること、及び構造部材の発生応力が許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に発生する応力（接地圧）が極限支持力に基づく許容限界を下回ること及び人工岩盤（以下「MMR」という。）がせん断破壊しないことを確認する。

9.2 評価条件

9.2.1 適用規格

海水ポンプ室の耐震評価に当たっては、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）（以下「コンクリート標準示方書」という。）、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会）を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の許容限界の一部については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（2005 年 6 月 土木学会 原子力土木委員会）（以下「土木学会マニュアル」という。）を適用する。

増厚補強部のせん断破壊に対する許容限界については、トンネル標準示方書 [開削工法編]・同解説（土木学会 2016 年制定）を適用する。

また、三次元静的材料非線形解析（以下「三次元構造解析」という。）に用いる材料定数については、コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会 2017 年制定）（以下「コンクリート標準示方書 2017」という。）を適用する。

表 9.2-1 に適用する規格、基準類を示す。

表 9.2-1 適用する規格, 基準類 (1/2)

| 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](土木学会 2002年制定) | <ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の材料諸元(γ, E, ν) ・コンクリートの材料諸元(γ, E, ν) |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書[設計編](土木学会 2017年制定) | <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの材料定数(三次元構造解析に用いる材料定数) |
| 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](土木学会 2002年制定) | <ul style="list-style-type: none"> ・永久荷重, 偶発荷重等の適切な組合せを検討 |
| 許容限界 | <ul style="list-style-type: none"> ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル(2005年6月 土木学会 原子力土木委員会) | <ul style="list-style-type: none"> ・曲げ・軸力系の破壊に対する照査において, 圧縮縁コンクリートひずみが1.0%(10000μ)を下回ることを確認* ・せん断破壊に対する照査において, 発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認* |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・トンネル標準示方書[開削工法編](土木学会 2016年制定) | <ul style="list-style-type: none"> ・増厚補強部における既設部材と補強部材のせん断耐力の鉄筋負担分の合成式 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・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) | <ul style="list-style-type: none"> ・曲げ・軸力系の破壊に対する照査において, 発生ひずみが部材降伏に相当する限界ひずみ(コンクリート圧縮ひずみ2000μ, 主筋ひずみ1725μ)以下であることを確認* |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987(社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会) | <ul style="list-style-type: none"> ・せん断破壊に対する照査において, 面内せん断ひずみが2/1000(2000μ)に至らないことを確認* |

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

表 9.2-1 適用する規格, 基準類 (2/2)

| 項 目 | 適用する規格, 基準類 | 備考 |
|--------|--|--|
| 地震応答解析 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 有限要素法による二次元モデルを用いた時刻歴非線形解析 |

9.2.2 耐震評価フロー

海水ポンプ室の地震応答解析フロー及び耐震評価フローを図9.2-1及び図9.2-2に示す。

海水ポンプ室は、加振方向に平行に配置される壁や隔壁を有する箱形構造物であることから、三次元非線形ソリッド要素による三次元構造解析による耐震評価を実施する。三次元構造解析に当たっては、二次元有限要素法を用いた地震応答解析により地震時荷重を算定し、その荷重を三次元構造解析モデルに作用させて耐震評価を実施する。よって、地震応答解析により抽出する応答値は、三次元構造解析モデルに作用させる地震時土圧、慣性力及び基礎地盤に発生する接地圧である。

また、機器・配管系が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

海水ポンプ室の基礎地盤の支持性能については、地震応答解析により得られた応答値を用いて耐震評価を行う。

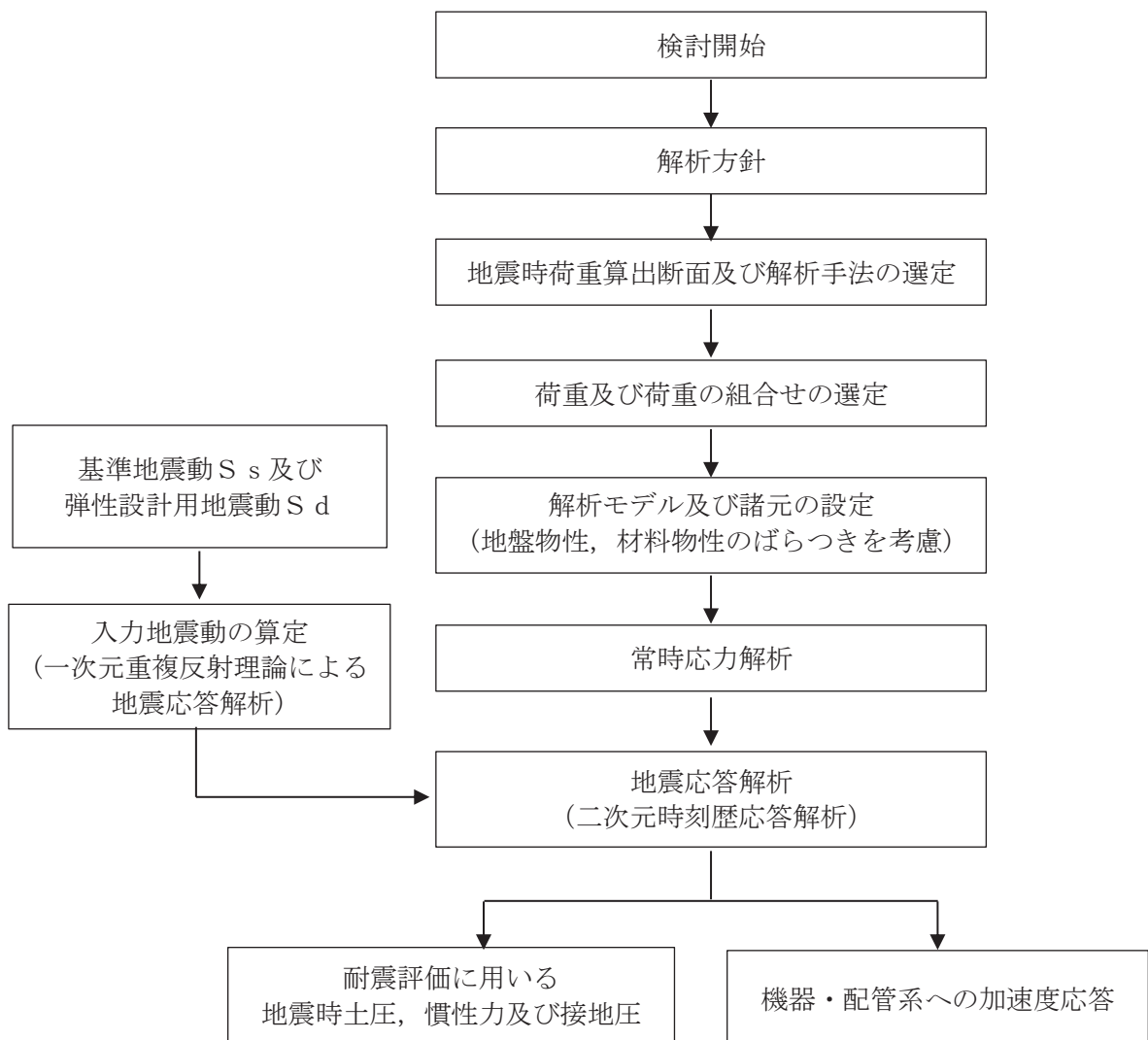


図9.2-1 海水ポンプ室の地震応答解析フロー

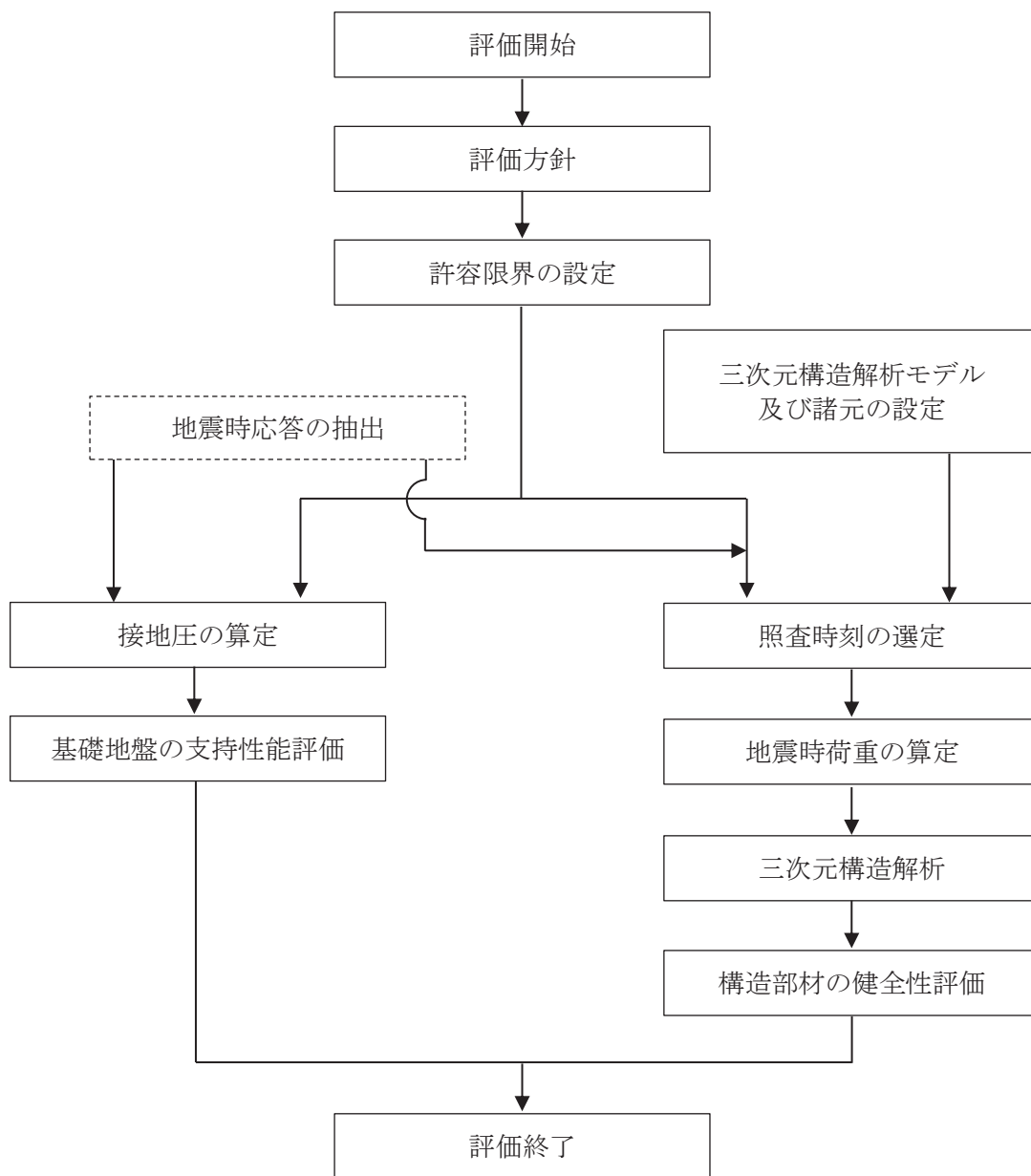


図 9.2-2 海水ポンプ室の耐震評価フロー

9.2.3 地震時荷重算出断面の選定

海水ポンプ室の平面図を図 9.2-3 に、断面図を図 9.2-4～図 9.2-8 に、概略配筋図を図 9.2-9～図 9.2-12 に示す。

海水ポンプ室は、地下 2 階構造となっており、上部はスクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアの 3 エリアに分かれている。下部は水路となっており、スクリーンエリア及び補機ポンプエリアの下部は四連のボックスカルバート構造、循環水ポンプエリアの下部は二連のボックスカルバート構造となっている。また、上部は各エリアが隔壁により仕切られ、各エリアによって開口部の存在や中床版の設置レベルが異なる等、複雑な構造となっている。

海水ポンプ室は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する箱形構造物である。

地震時荷重算出断面は、「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「4.10 海水ポンプ室」で記載したとおり、東西方向では各エリアにおける剛性の違いが地震時荷重及び床応答に及ぼす影響を考慮し、スクリーンエリア (A-A 断面)、補機ポンプエリア (B-B 断面) 及び循環水ポンプエリア (C-C 断面) の各エリアにおいて構造モデルを作用して地震時応答解析に反映するが、周辺状況は、各エリアで差異がないことから、補機ポンプエリアの中心を通る地質断面を地盤モデルとして、地震時荷重算出断面とする。

また、南北方向については、構造的特徴や周辺状況を踏まえ、構造物中心を通る断面 (D-D 断面) を地震時荷重算出断面とする。

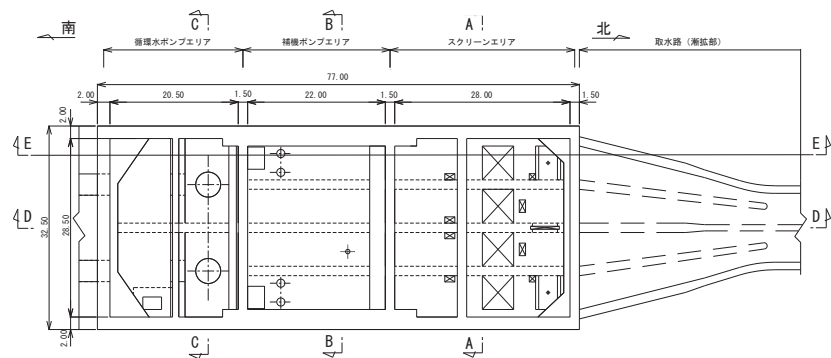


図 9.2-3 海水ポンプ室平面図

(単位：m)

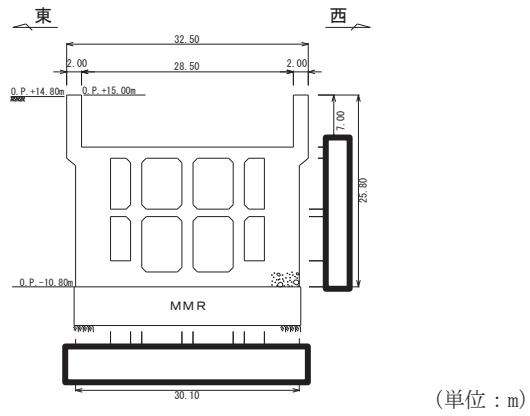


図 9.2-4 海水ポンプ室断面図 (A-A 断面, 東西)

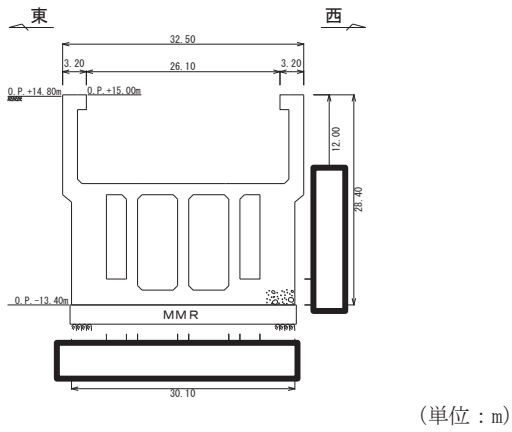


図 9.2-5 海水ポンプ室断面図 (B-B 断面, 東西)

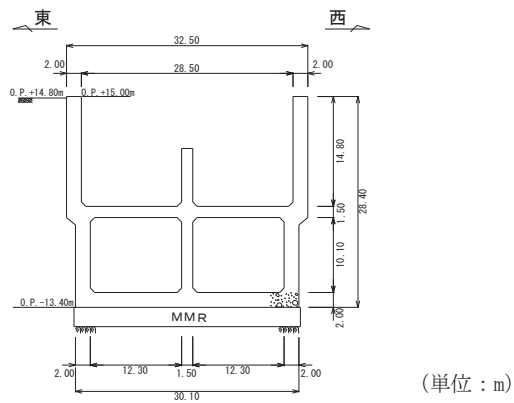
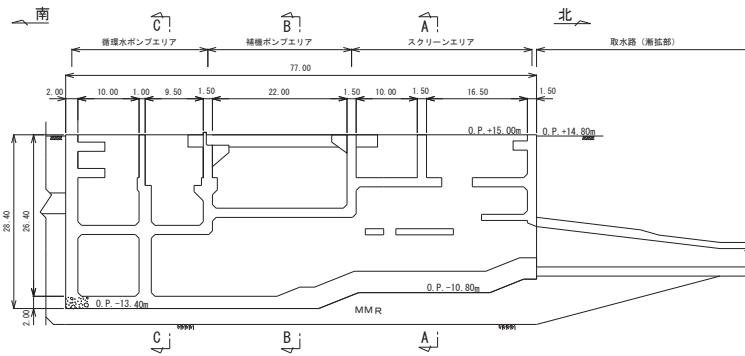


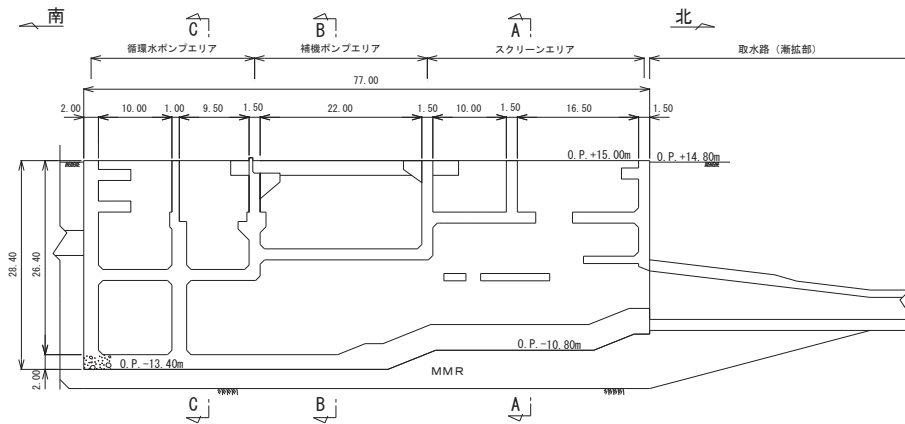
図 9.2-6 海水ポンプ室断面図 (C-C 断面, 東西)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(単位：m)

図 9.2-7 海水ポンプ室断面図 (D-D 断面, 南北)



(単位：m)

図 9.2-8 海水ポンプ室断面図 (E-E 断面, 南北)

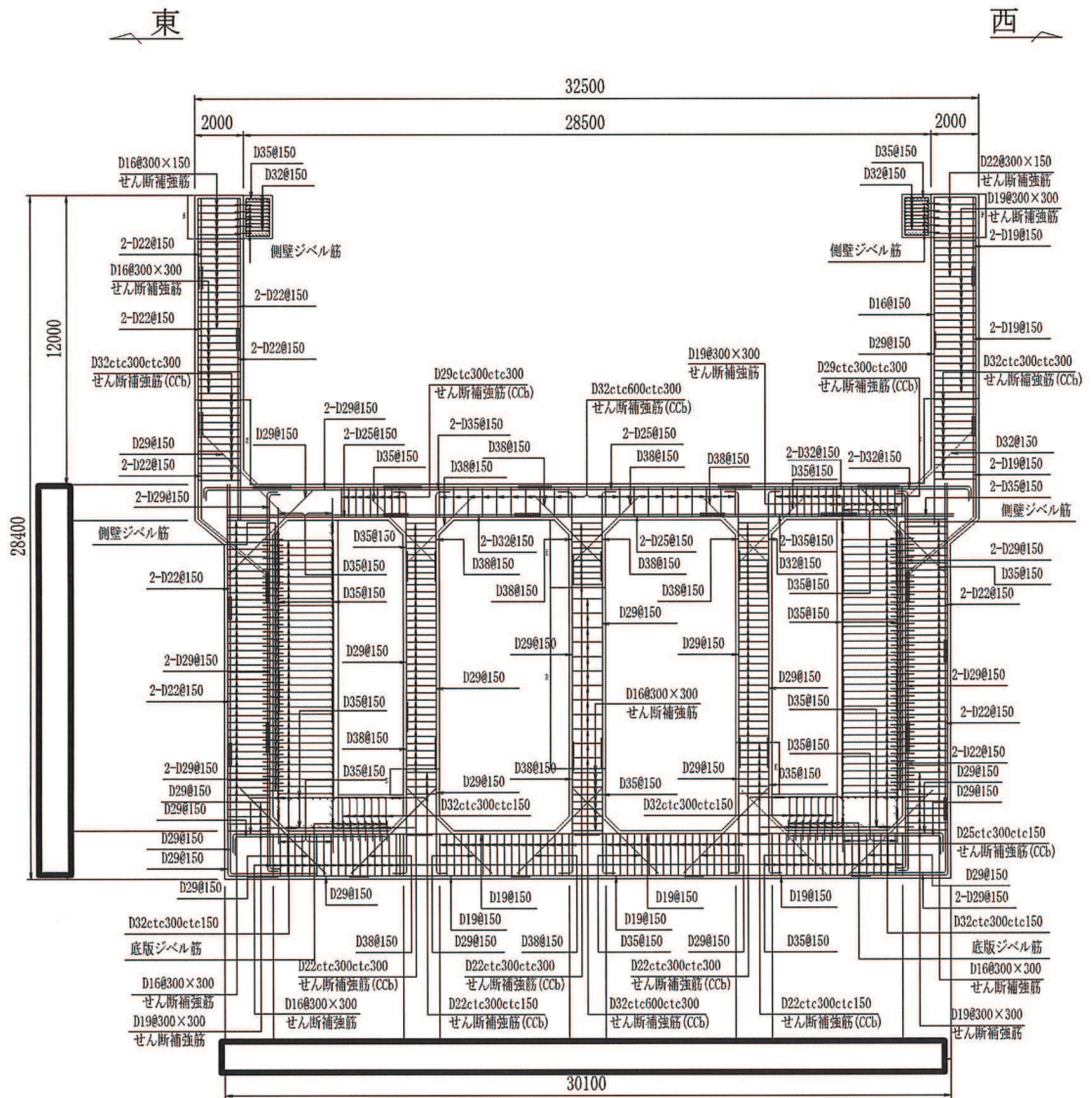


図 9.2-10 海水ポンプ室概略配筋図 (B-B 断面, 東西)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

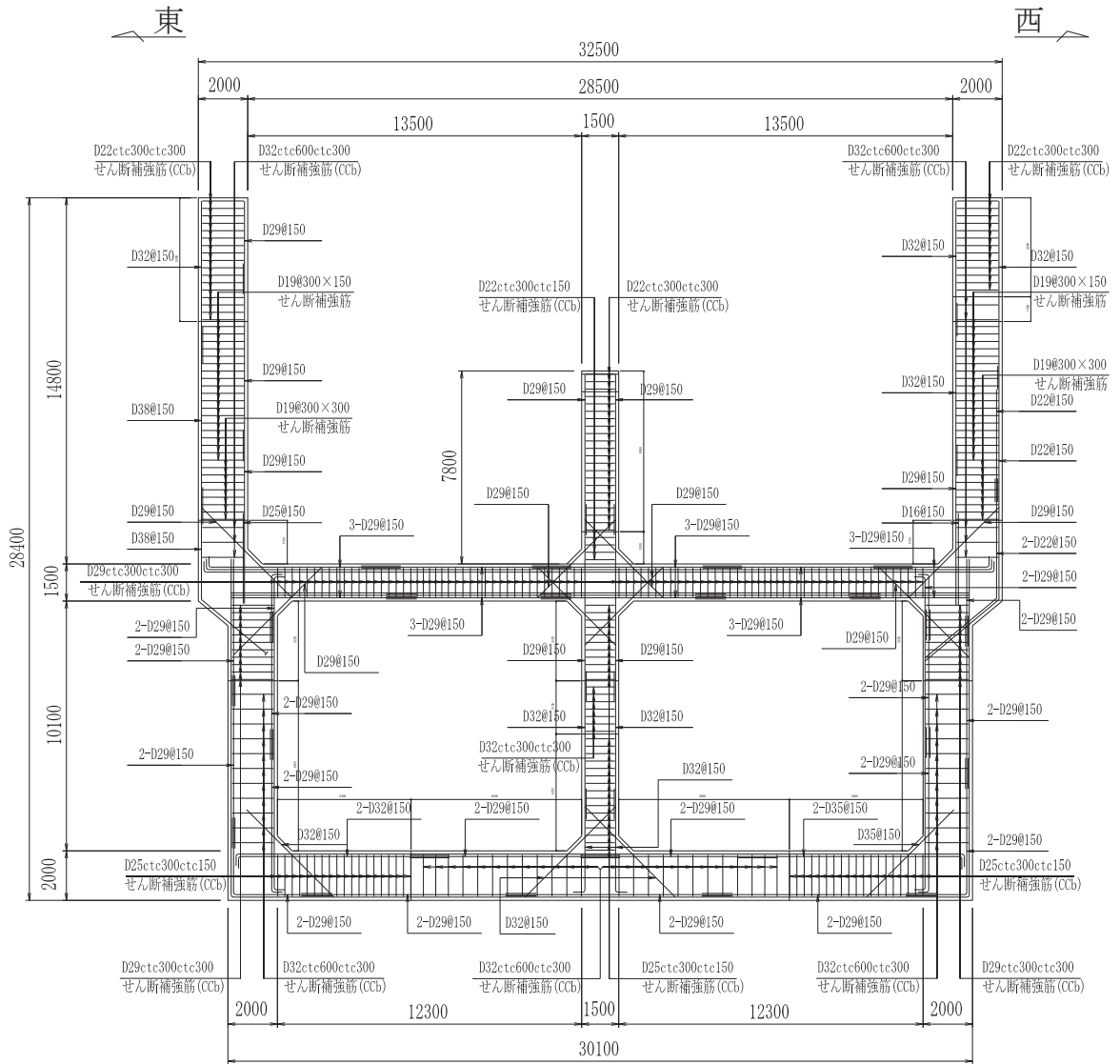
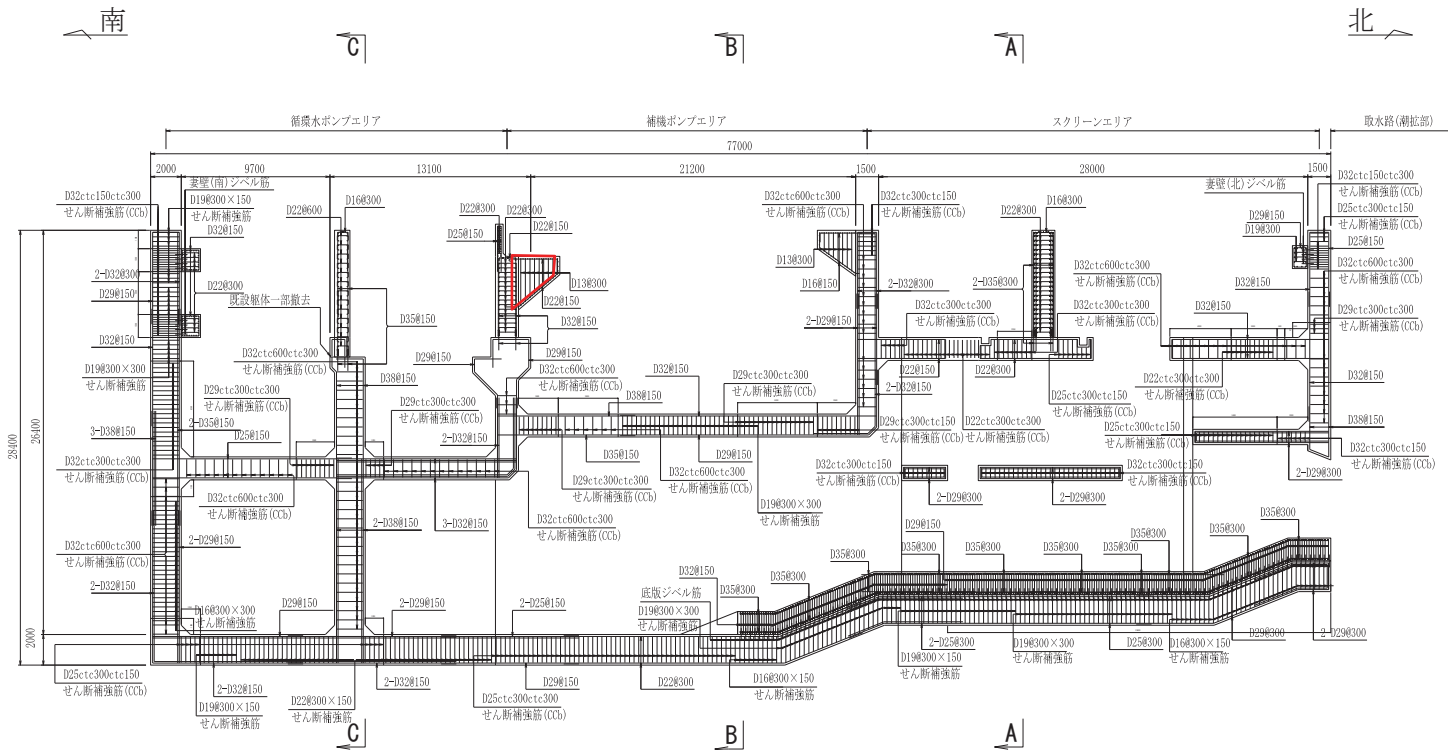


図 9.2-11 海水ポンプ室概略配筋図 (C-C 断面, 東西)



: 投影による記載箇所

図 9.2-12 海水ポンプ室概略配筋図 (D-D 断面, 南北)

9.2.4 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 9.2-2 に、材料の物性値を表 9.2-3 に示す。

表 9.2-2 使用材料

| 材料 | 仕様 |
|--------------------------------|--|
| コンクリート (N/mm ²) | 設計基準強度 20.5 (既設部材, 補強部材 (気中部)) 設計基準強度 30.0 (補強部材 (水中部)) |
| 鉄筋 | SD345 |

表 9.2-3 材料の物性値

| 材料 | 項目 | | 材料諸元 | 備考 |
|--------------|--------------------------------|--------|---|--------------------|
| 鉄筋 コンクリート | 単位体積重量 (kN/m ³) | | 24.0 | |
| コンクリート | ヤング係数 (N/mm ²) | 実強度*1 | 3.03×10 ⁴ | 解析ケース*2 ④ |
| | | 設計基準強度 | 設計基準強度 2.33×10 ⁴ (既設部材, 補強部材 (気中部)) 設計基準強度 2.80×10 ⁴ (補強部材 (水中部)) | 解析ケース*2 ①, ②, ③ |
| | ポアソン比 | | 0.2 | |

注記*1：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

*2：解析ケースは表 9.3-12 及び表 9.3-13 に示す。

9.2.5 地盤物性値

地盤については、添付書類「VI-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。

9.2.6 評価構造物諸元

(1) 評価構造物諸元

海水ポンプ室の評価部材の位置を図 9.2-13 に、諸元を表 9.2-4 に示す。

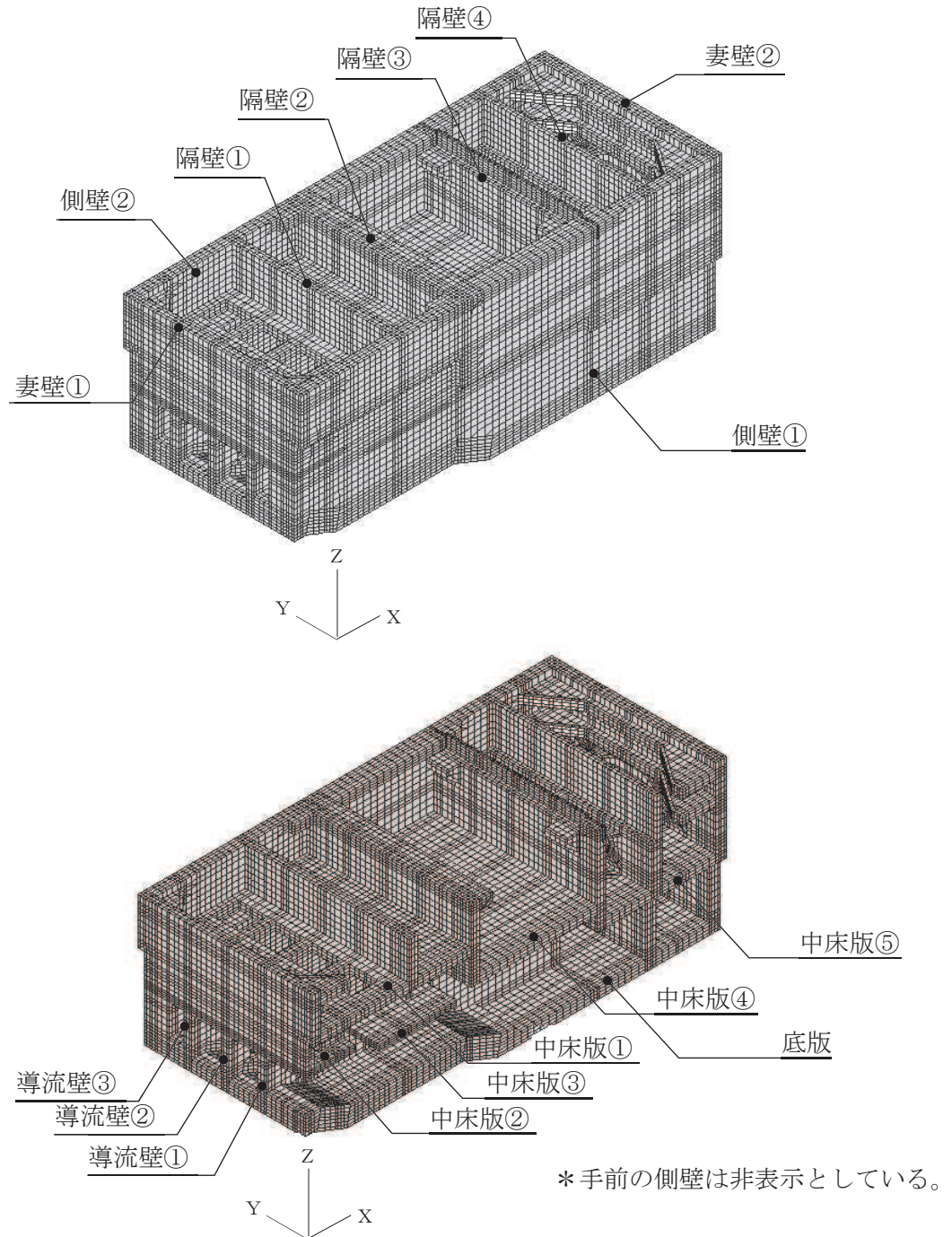


図 9.2-13 評価部材の位置

表 9.2-4 海水ポンプ室の評価部材と諸元

| 部 材 | 断 面 | 仕 様 | 材 料 | | 要求機能 | | |
|-----|--------|---|--|-------|----------------------|------------------------------|--|
| | | 部材厚 (mm) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄 筋 | | | |
| 底版 | A-A 断面 | 2000 (既設部) | 20.5 (既設部材) | SD345 | 通水機能 貯水機能 | | |
| | | 3500 (増厚部) | 30.0 (増厚部材) | | | | |
| | B-B 断面 | 2000 (既設部) | 20.5 (既設部材) | | | | |
| | | 3500 (増厚部) | 30.0 (増厚部材) | | | | |
| | C-C 断面 | 2000 | 20.5 | | | | |
| 側壁 | A-A 断面 | 2000 (既設部) | 20.5 (既設部材) | | SD345 | 通水機能 貯水機能 止水機能 支持機能 | |
| | | 4700 (増厚部) | 30.0 (増厚部材) | | | | |
| | B-B 断面 | 2000 (既設部) | 20.5 (既設部材) | | | | |
| | | 4700 (増厚部) | 30.0 (増厚部材) | | | | |
| | C-C 断面 | 2000 | 20.5 | | | | |
| 隔壁 | D-D 断面 | 1500 (隔壁①*) 1500 (隔壁②*) 500~1500 (隔壁③*) 1000~1500 (隔壁④*) | 20.5 | | | 止水機能 支持機能 | |
| 妻壁 | D-D 断面 | 1500 (妻壁①*) 2000 (妻壁②*) | 20.5 | | | 止水機能 支持機能 | |
| 導流壁 | A-A 断面 | 1500 | 20.5 | | | 通水機能 | |
| | B-B 断面 | 1500 | 20.5 | | | | |
| | C-C 断面 | 1500 | 20.5 | | | | |
| 中床版 | A-A 断面 | 1500 (中床版①*) | 20.5 | SD345 | 通水機能 止水機能 支持機能 | | |
| | | 1000 (中床版②*, 中床版③*) | | | | | |
| | B-B 断面 | 1500 (中床版④*) | 20.5 | | | | |
| | C-C 断面 | 1500 (中床版⑤*) | 20.5 | | | | |

注記* : 部材名称は図 9.2-13 に示す。

(2) 海水ポンプ室の要求機能の考え方

「(1) 評価構造物諸元」の表 9.2-4 に示した海水ポンプ室の要求機能について、その考え方を以下に記載する。

a. 通水機能

海水ポンプ室の通水断面を構成する各部材について、通水機能を要求するものとする。

図 9.2-14 に通水機能が要求される部材の範囲を示す。

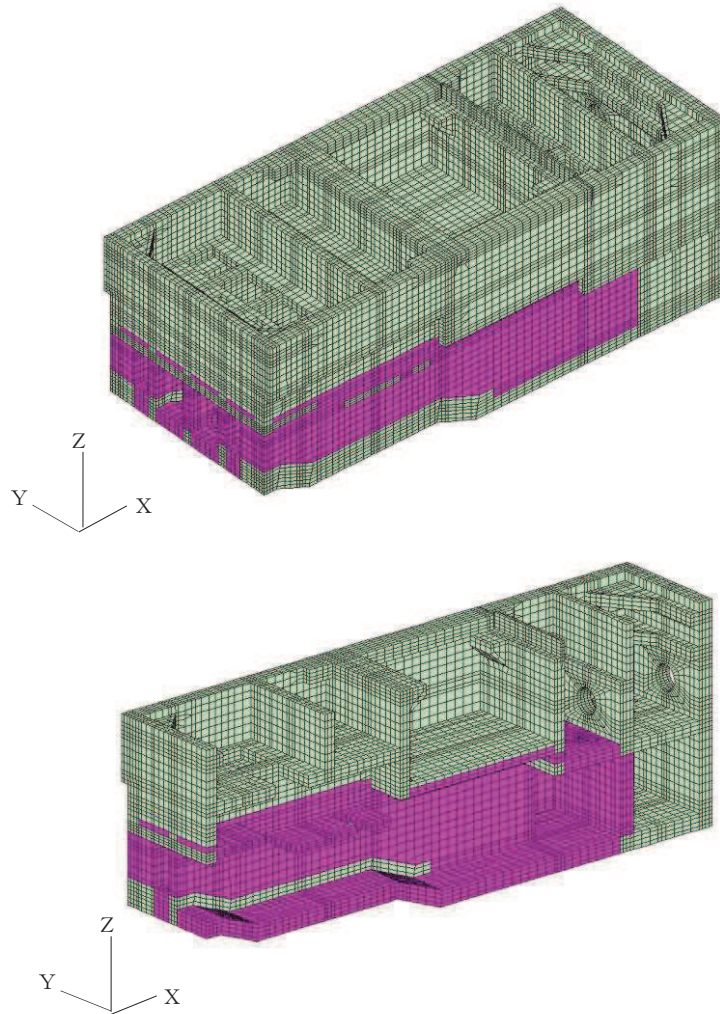


図 9.2-14 通水機能が要求される部材の範囲

b. 貯水機能

海水ポンプ室における貯水機能は、津波時の引き波を想定した要求機能であるため、貯留堰天端標高（O.P. -5.30m）以下の側壁、隔壁及び底版を対象とする。

図 9.2-15 に貯水機能が要求される部材の範囲を示す。

引き波の継続時間の詳細は、添付資料「VI-1-1-2-2 津波への配慮に関する説明書」に示す。

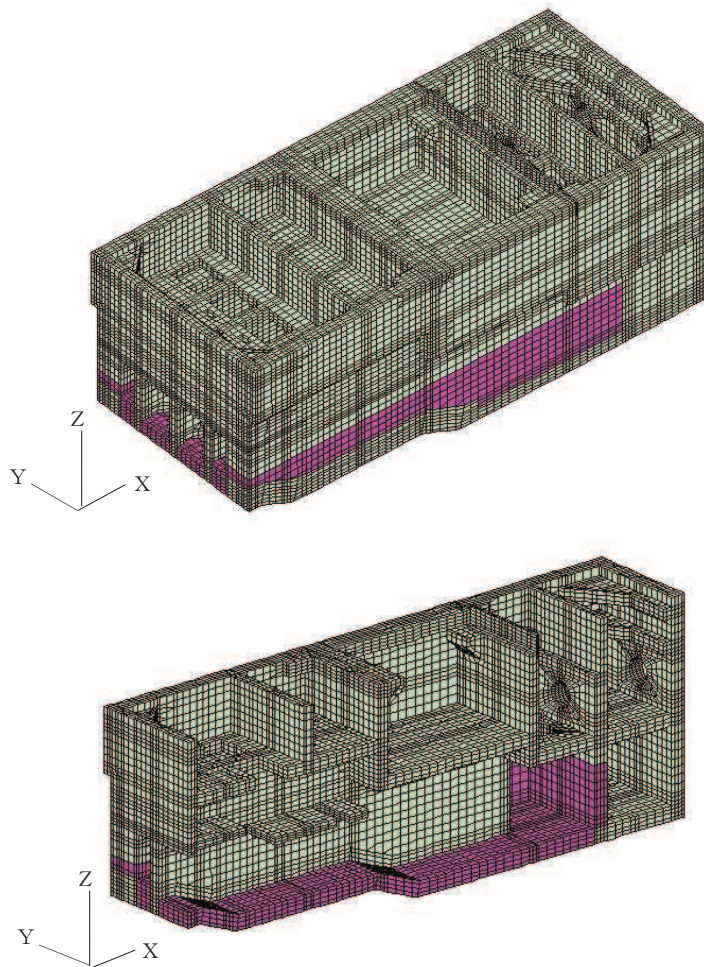


図 9.2-15 貯水機能が要求される部材の範囲

c. 止水機能

止水機能は、津波の押し波時における外郭防護、屋外タンク損傷時における内郭防護及び循環水単一破損時における内部溢水に対し、部材からの漏水によりSクラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないように要求される機能である。

図 9.2-16 に止水機能が要求される部材の範囲を示す。

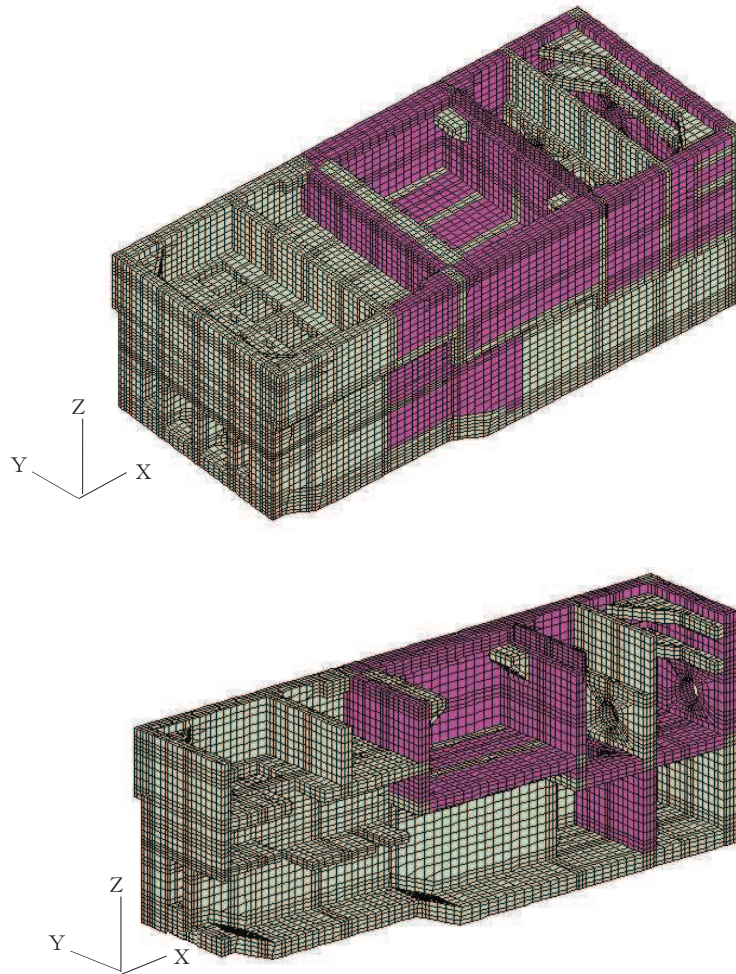


図 9.2-16 止水機能が要求される部材の範囲

d. 支持機能

耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である原子炉補機冷却海水ポンプ等を間接支持する部材を図 9.2-17 に示す。

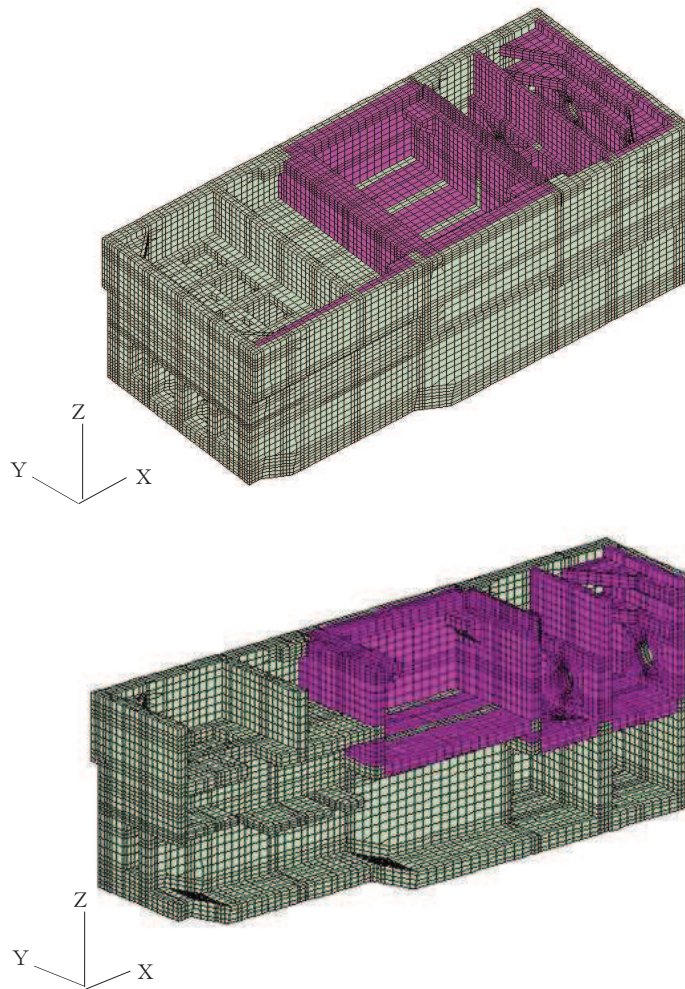


図 9.2-17 支持機能が要求される部材の範囲

9.2.7 地下水位

設計用地下水位は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位の一覧を表 9.2-5 に、設計用地下水位を図 9.2-18～図 9.2-21 に示す。

表 9.2-5 設計用地下水位の一覧

| 施設名称 | 地震時荷重算出断面 | 設計用地下水位 |
|--------|-----------------------------|----------------------------|
| 海水ポンプ室 | A-A 断面, 東西方向 (スクリーンエリア) | O. P. -8.50m～O. P. +2.43m |
| | B-B 断面, 東西方向 (補機ポンプエリア) | |
| | C-C 断面, 東西方向 (循環水ポンプエリア) | |
| | D-D 断面, 南北方向 | O. P. -8.50m～O. P. +14.00m |

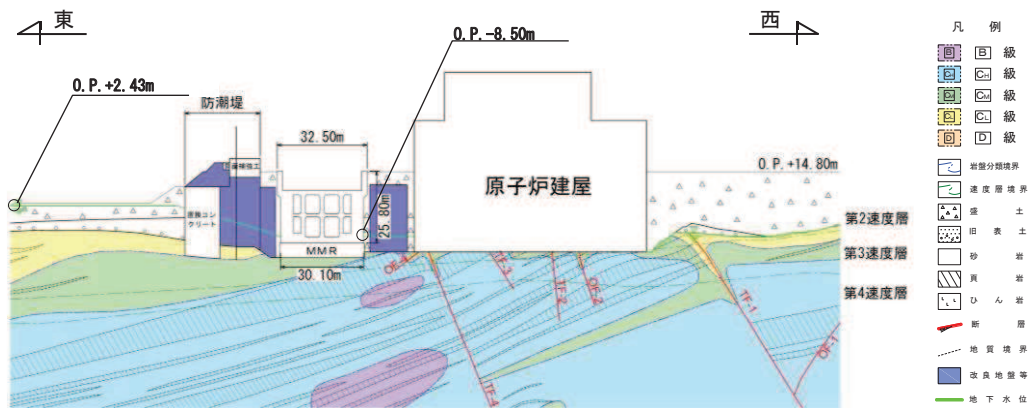


図 9.2-18 設計用地下水位 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

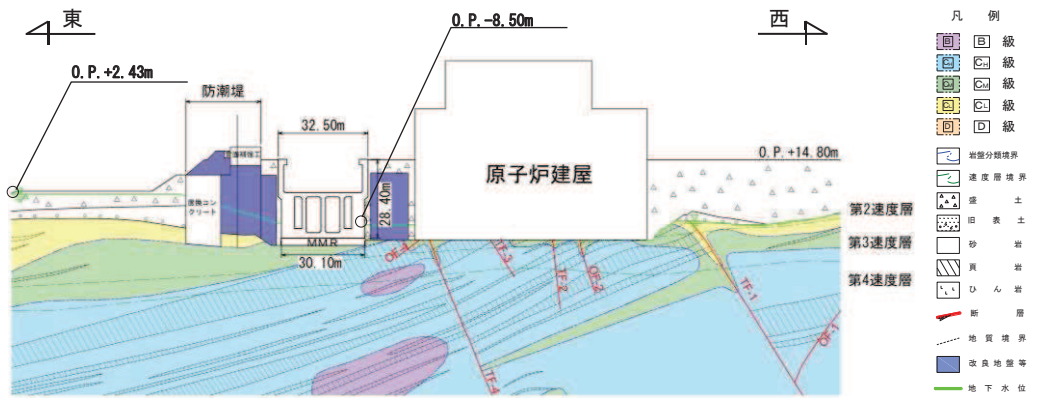


図 9.2-19 設計用地下水位東西方向 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

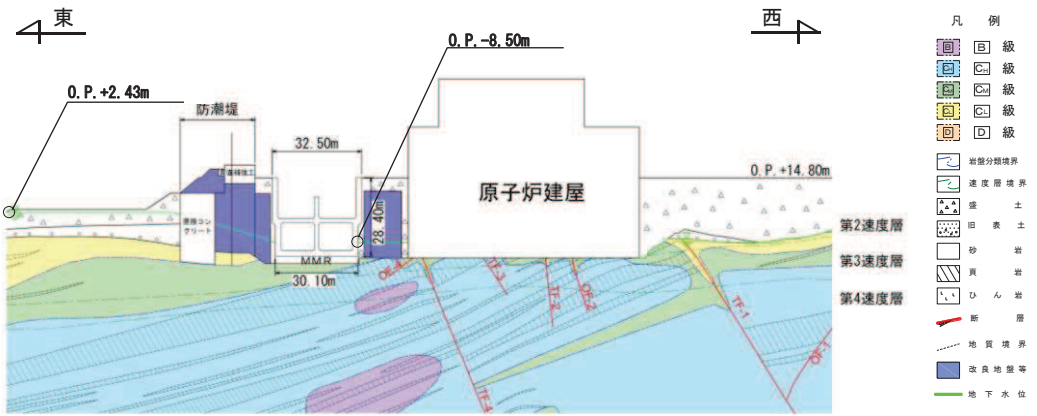


図 9.2-20 設計用地下水位東西方向 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

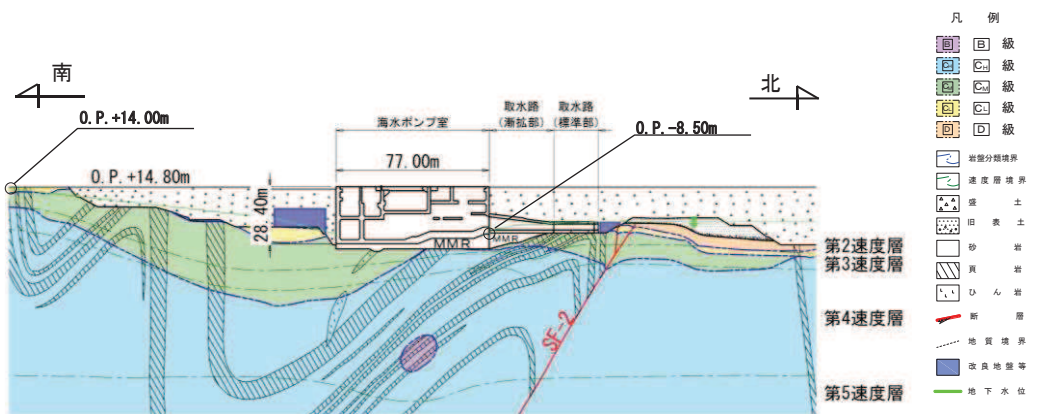


図 9.2-21 設計用地下水位 (D-D 断面, 南北)

9.3 地震応答解析

9.3.1 地震応答解析手法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動 S_s 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より行うこととし、解析手法については、図 9.3-1 に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。海水ポンプは、地下水位が盛土内に分布するものの、構造物周辺に安定した形状の改良地盤や原子炉建屋及び防潮堤といった隣接構造物があるため周辺地盤の液状化等の影響を緩和していることから解析手法は、全応力解析とする。

構造部材については、中床版、底版及び地震時荷重算出断面に垂直な壁部材を線形はり要素、断面に平行な壁部材は平面応力要素とし、構造物の奥行方向の長さ各部材の奥行方向の長さの比率や三次元構造解析モデルとの変位を整合させるためのヤング係数の調整を行い、三次元構造モデルと等価な剛性となるようモデル化する。

地盤については、平面ひずみ要素でモデル化することとし、岩盤（D級岩盤以外）は線形でモデル化する。盛土、旧表土、改良地盤及びD級岩盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようマルチスプリングモデルを用いることとし、ばね特性は双曲線モデル（修正 GHE モデル）を用いて非線形性を考慮する。

地震応答解析については、解析コード「Soil Plus Dynamic 2015 Build3」を使用する。地震応答解析手法の選定フローを図 9.3-2 に示す。

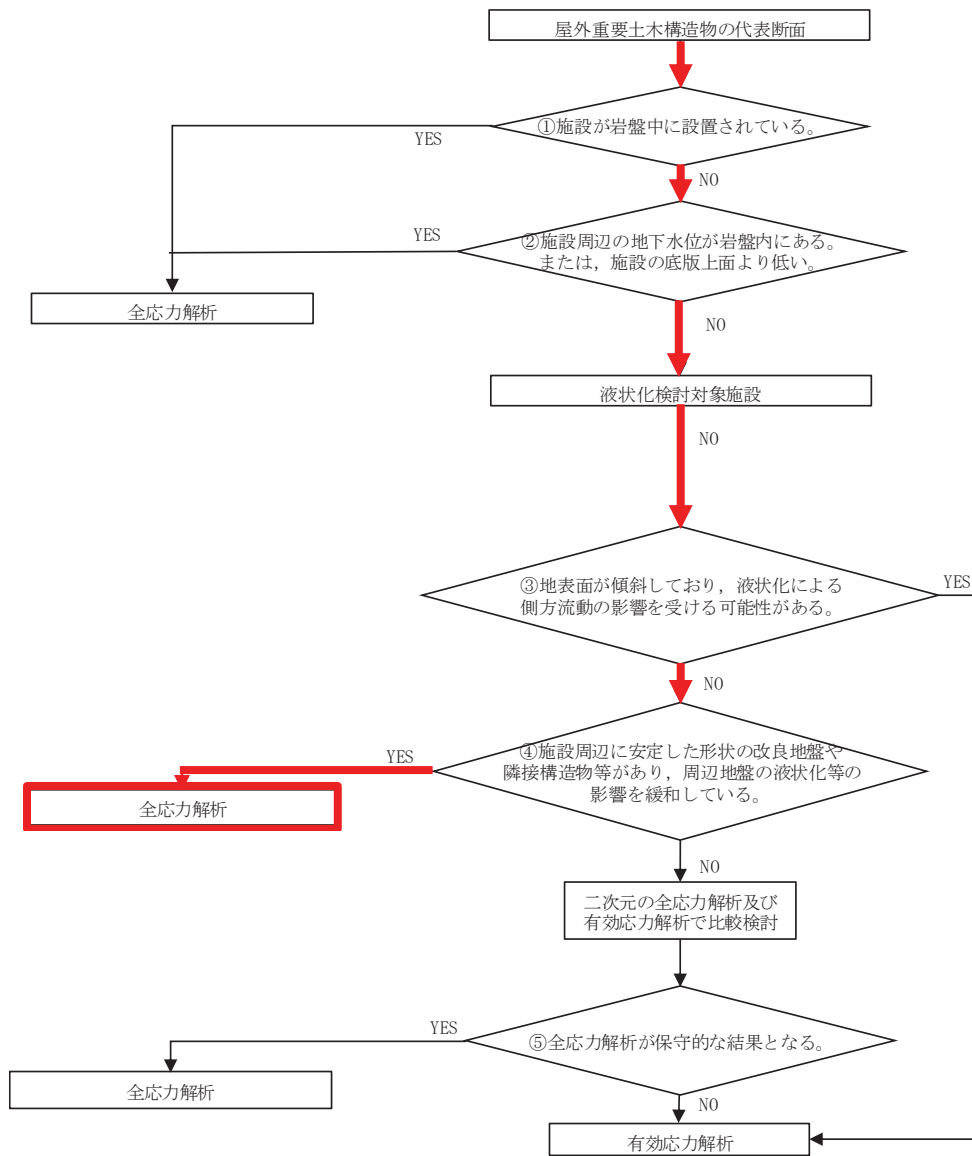


図 9.3-1 解析手法の選定フロー

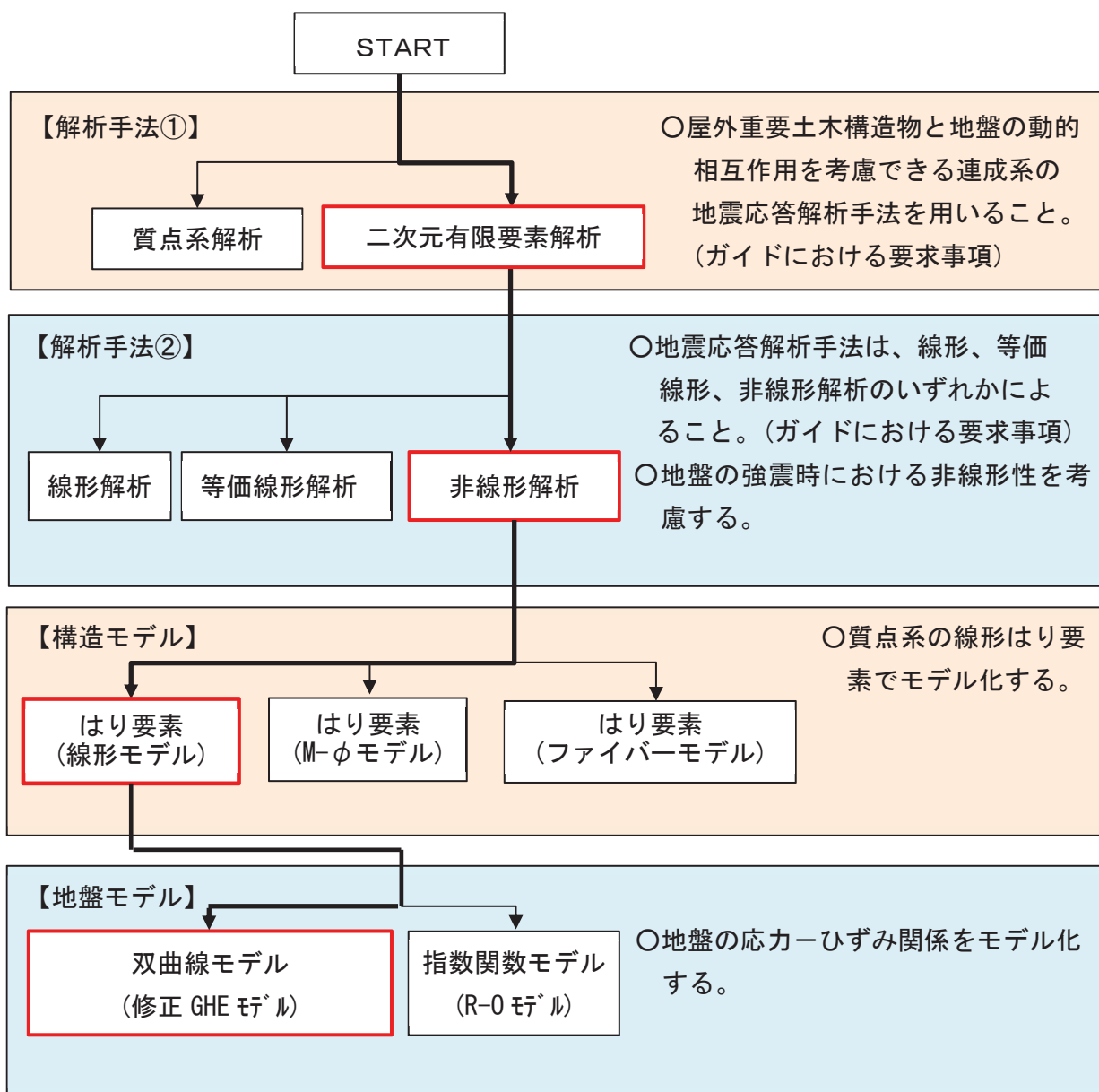


図 9.3-2 地震応答解析手法の選定フロー

9.3.2 地震応答解析モデルの設定

(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、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会) を参考に、図 9.3-3 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍程度以上、モデル高さを構造物基礎幅の 2 倍程度以上を目安とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面および底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、土木学会マニュアルに従い、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度まで細分割して設定する。

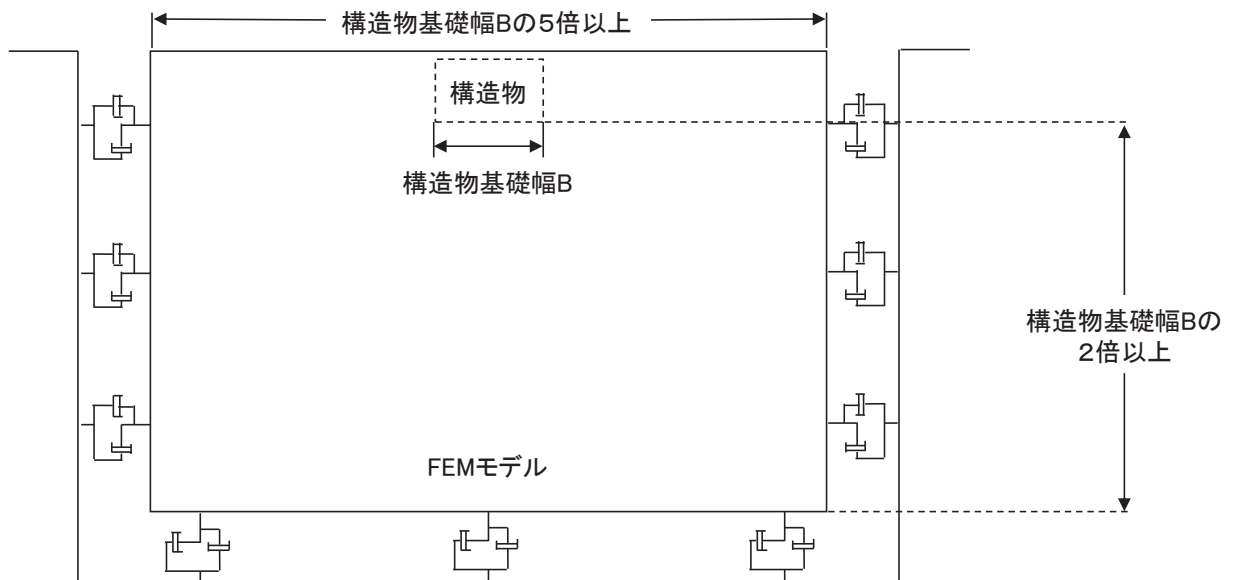


図 9.3-3 モデル化範囲の考え方

二次元全応力解析モデルは、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質構成を有する一次元地盤モデルである。二次元全応力解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 9.3-4 に示す。また、海水ポンプ室の地質断面図を図 9.3-5～図 9.3-8 に示す。

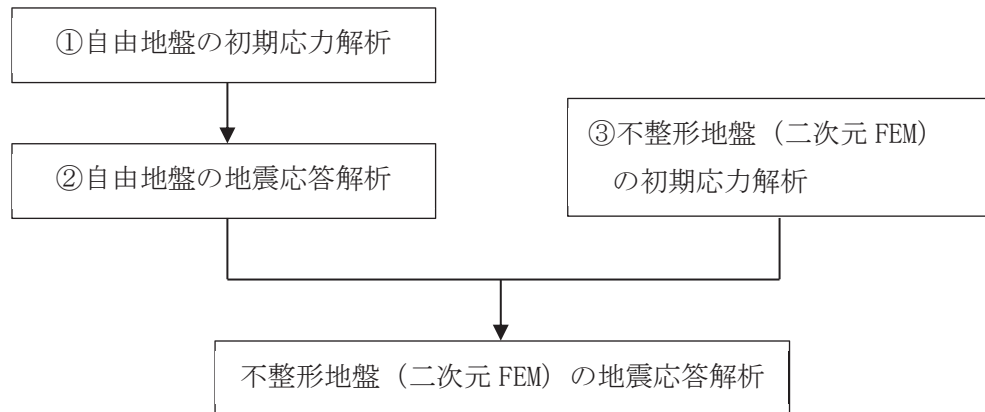


図 9.3-4 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤（二次元 FEM）の地震応答解析までのフロー

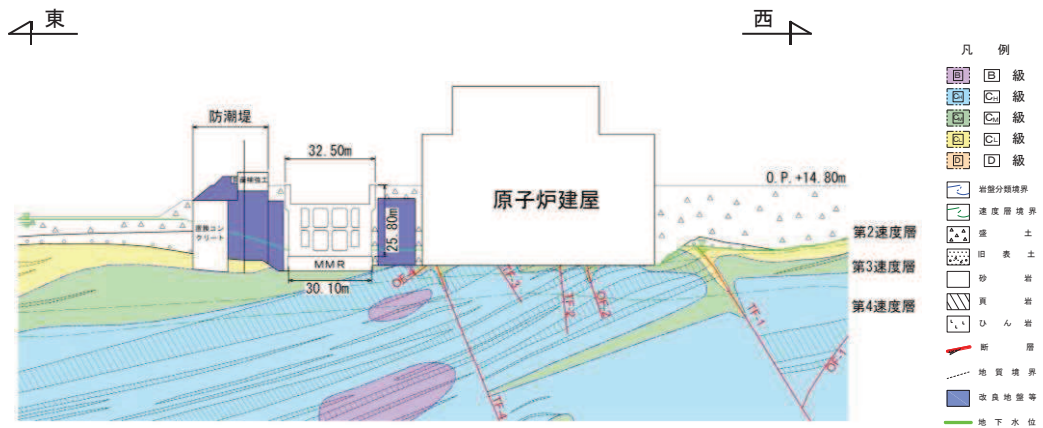


図 9.3-5 海水ポンプ室 地震時荷重算出用地質断面図
(A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

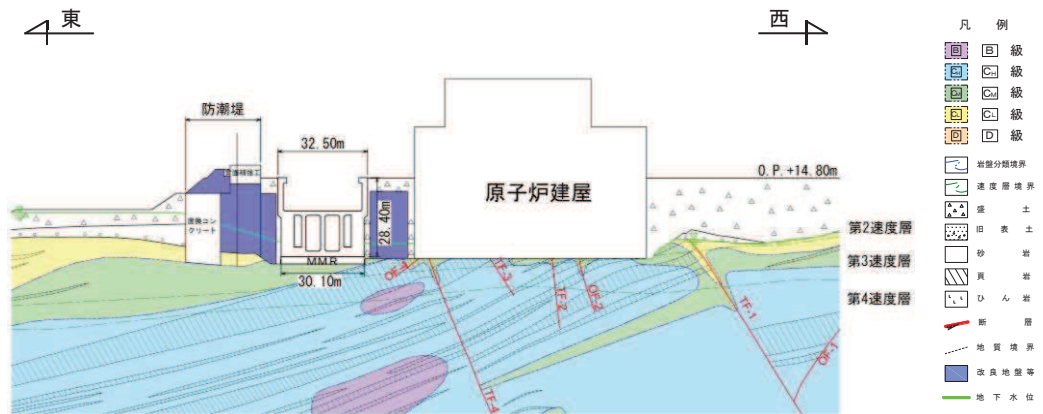


図 9.3-6 海水ポンプ室 地震時荷重算出用地質断面図
(B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

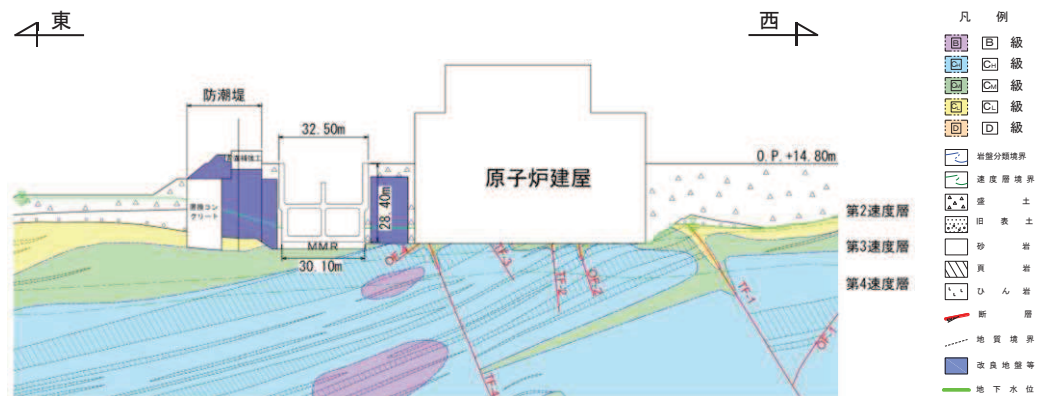


図 9.3-7 海水ポンプ室 地震時荷重算出用地質断面図
(C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

(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 9.3-9 に示す。

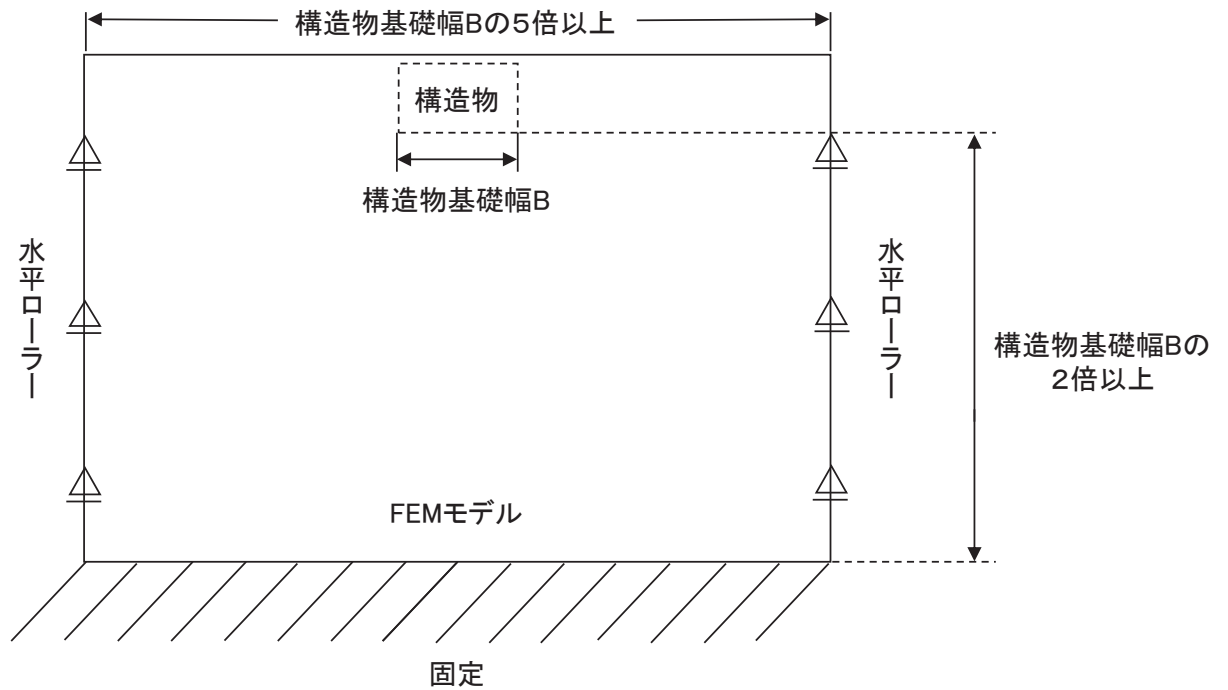


図 9.3-9 固有値解析における境界条件の概念図

b. 初期応力解析時

初期応力解析は、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、初期応力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 9.3-10 に示す。

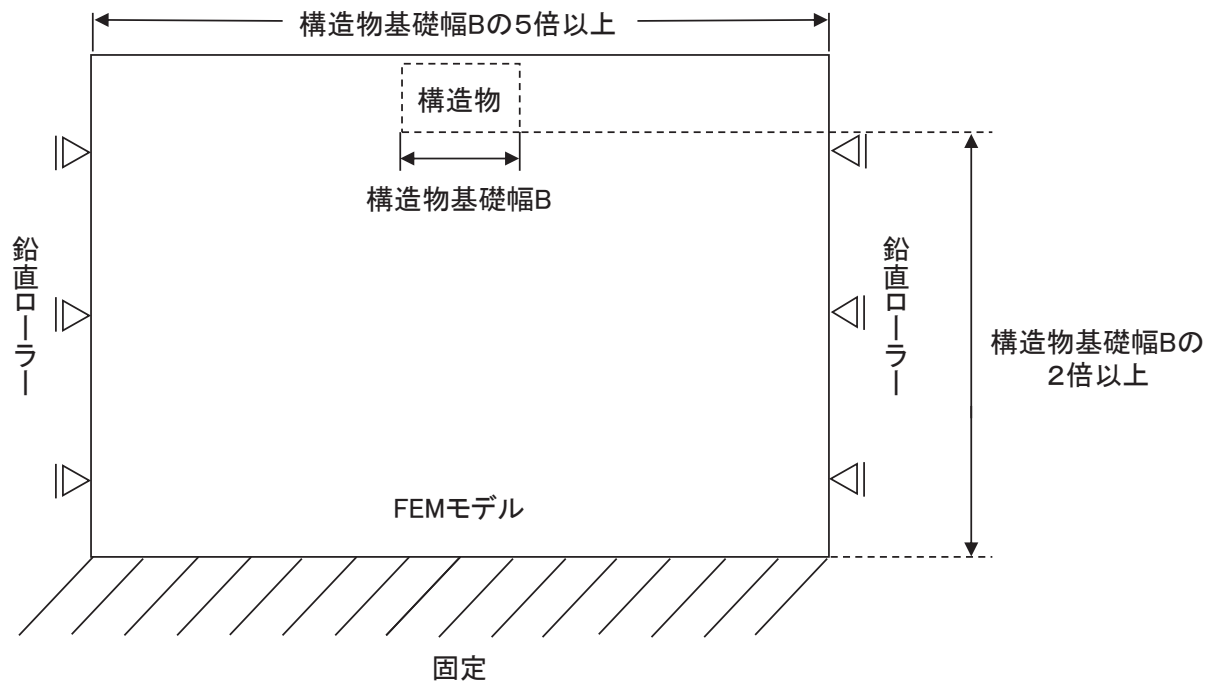


図 9.3-10 初期応力解析における境界条件の概念図

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。海水ポンプ室の地震応答解析モデルを図 9.3-11～図 9.3-14 に示す。

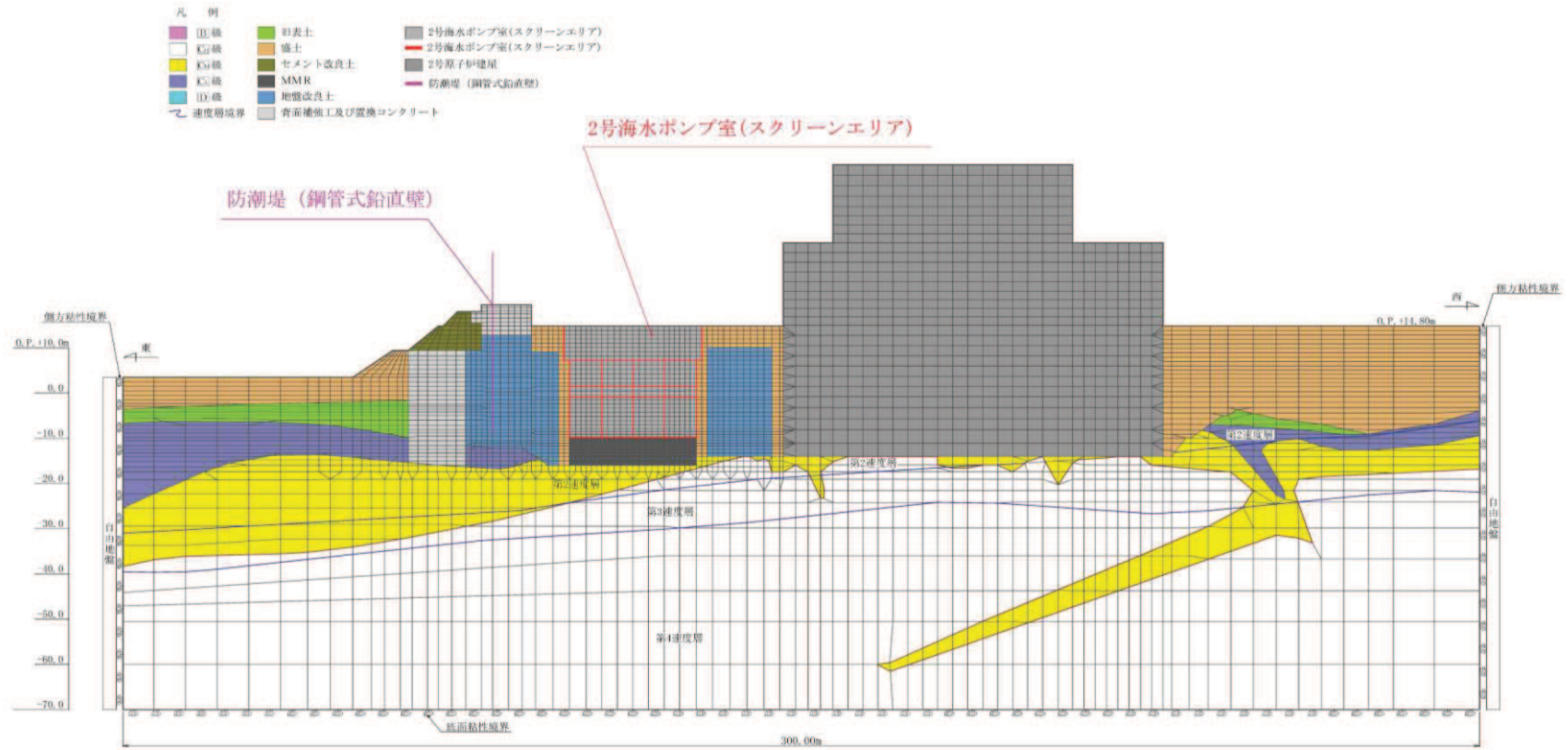


図 9.3-11 海水ポンプ室 地震応答解析モデル図 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

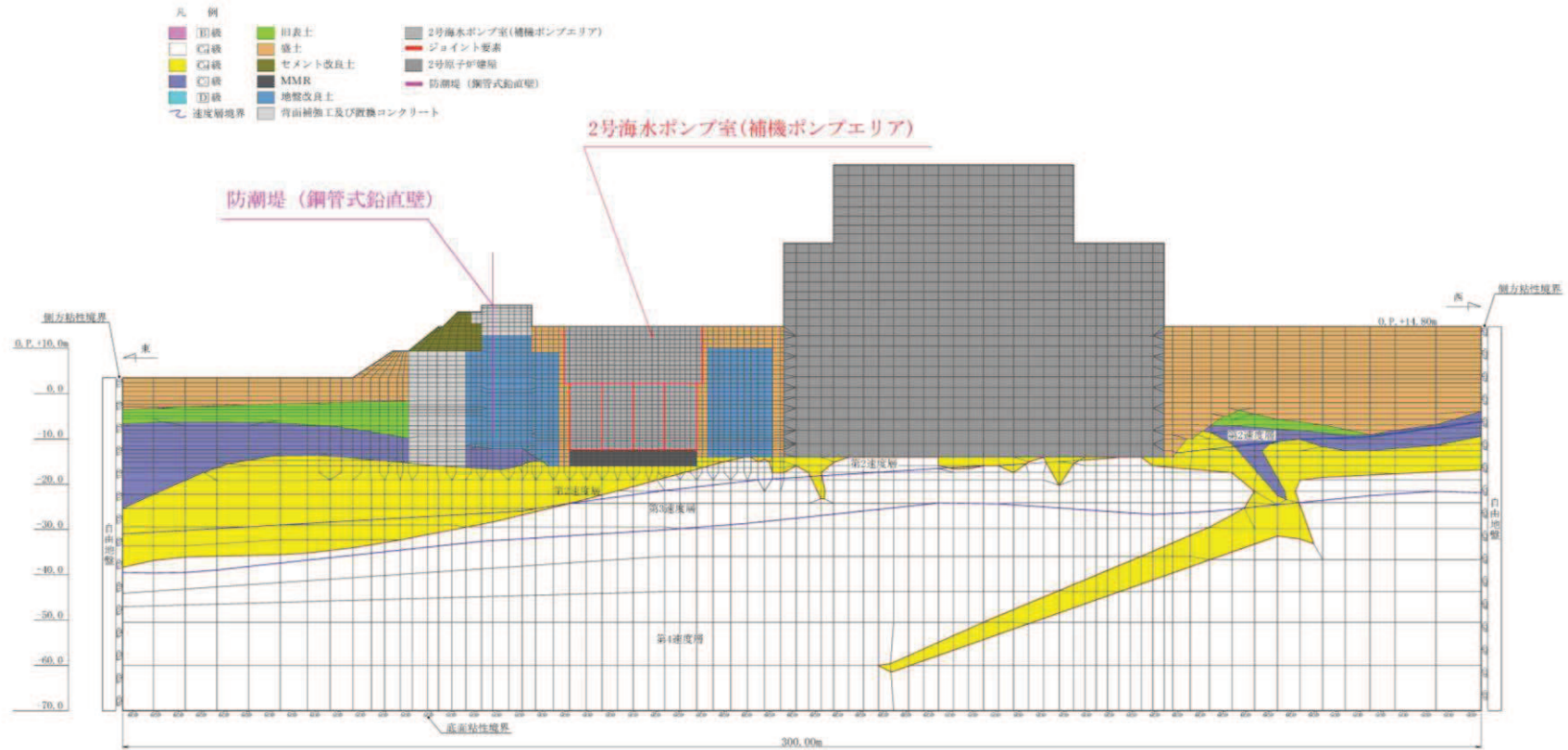


図 9.3-12 海水ポンプ室 地震応答解析モデル図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

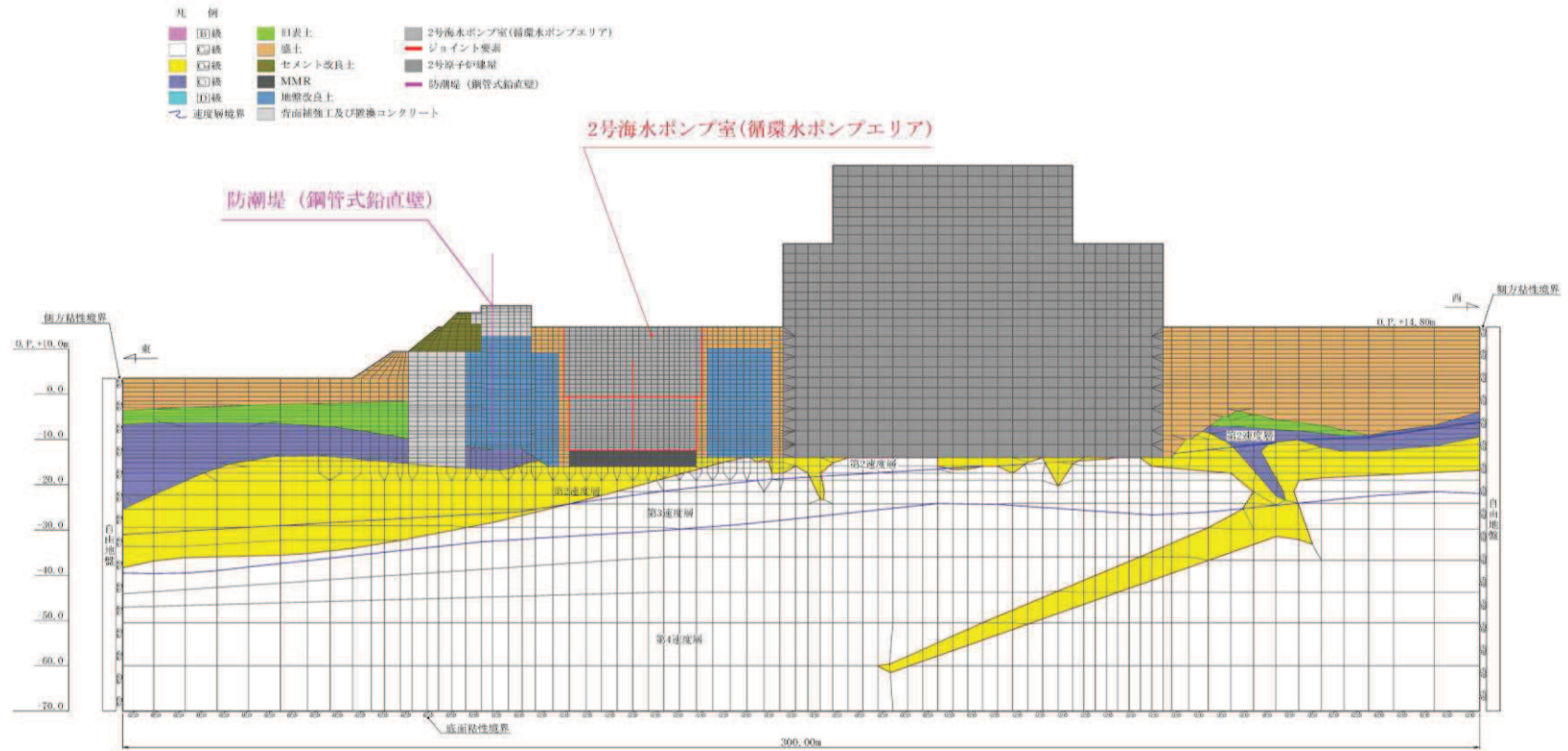


図 9.3-13 海水ポンプ室 地震応答解析モデル図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

- | | | | |
|---------|-------------------|------------|--|
| 凡例 | | | |
| ① 旧鉄 | ② 旧表土 | ③ 2号海水ポンプ室 | |
| ④ 新鉄 | ⑤ 新土 | ⑥ ジョイント壁 | |
| ⑦ 旧コン | ⑧ セメント改良土 | | |
| ⑨ 旧コン | ⑩ MMR | | |
| ⑪ 旧鉄 | ⑫ 地盤改良土 | | |
| ⑬ 連成層境界 | ⑭ 背面補修工及び調整コンクリート | | |

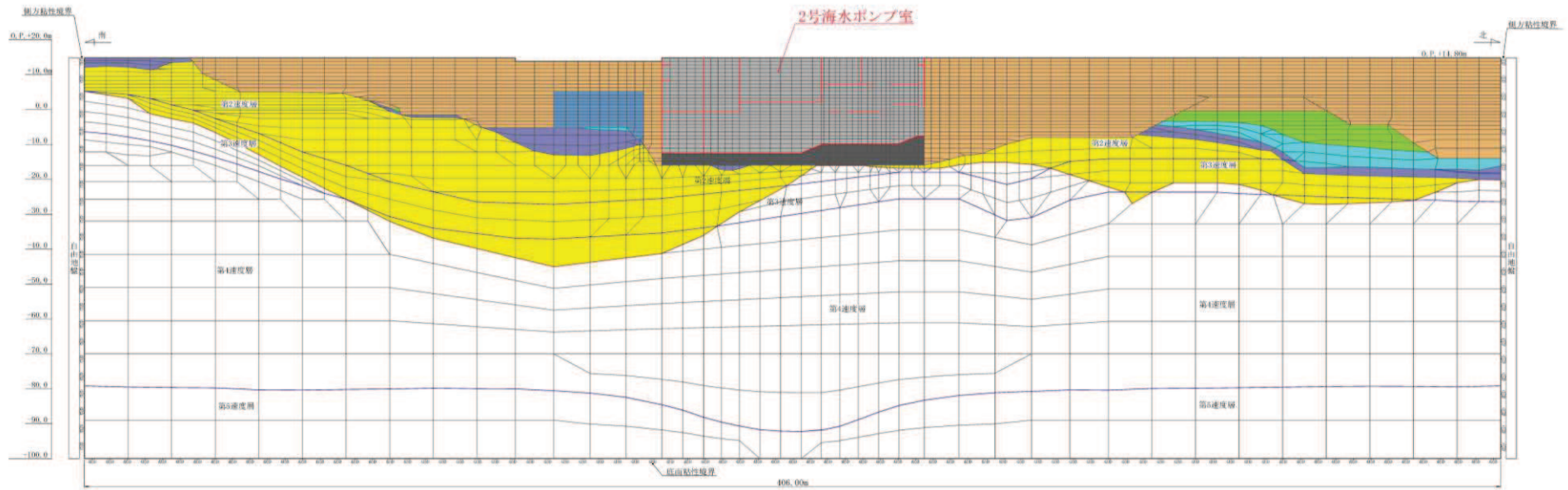


図 9.3-14 海水ポンプ室 地震応答解析モデル図 (D-D 断面, 南北)

(3) 構造物のモデル化

a. 東西方向

海水ポンプ室の東西方向は、構造的特徴や周辺地質状況を踏まえ、妻壁や隔壁の配置が異なることによる剛性差を考慮して、スクリーンエリア (A-A 断面)、補機ポンプエリア (B-B 断面) 及び循環水ポンプエリア (C-C 断面) を通る断面とし、エリアごとに等価剛性モデルを作成する。等価剛性モデルについて、側壁、底版、中床版のような加振に対して面外変形で抵抗する部材は、線形はり要素にてモデル化し、隔壁、妻壁のような加振に対して面内変形で抵抗する部材は、平面応力要素にてモデル化する。

等価剛性の設定は以下の2つの手順に基づき行う。

手順1として、エリア奥行長さに対する、部材の奥行長さの比率から補正係数 α を線形はり要素および平面応力要素それぞれに設定する。

手順2として、線形の三次元モデルに水平荷重として単位荷重(約100kN/m²)を作用させ、構造物の奥行方向の平均的な水平変位を算定する。さらに、補正係数 α を設定した二次元モデルに同じ単位荷重を作用させ変位を算定し、三次元モデルの水平変位と等しくなるように補正係数 β を算定する。コンクリートの弾性係数 E_c に補正係数 α 、 β を乗じ、等価剛性モデルの弾性係数(剛性)を設定する。また、補正係数 β は平面応力要素に対してのみ設定する。なお、単位荷重を載荷させる三次元モデル及び二次元モデルの底面の境界条件は、構造物の変位に着目するため固定境界としている。

等価剛性モデルは、地震時荷重を保守的に評価するよう線形モデルとする。

各エリアの等価剛性モデル概念図を図9.3-15に、剛性の調整方法を図9.3-16に、剛性調整結果を図9.3-17に、補正係数の計算結果を表9.3-1及び表9.3-2に示す。

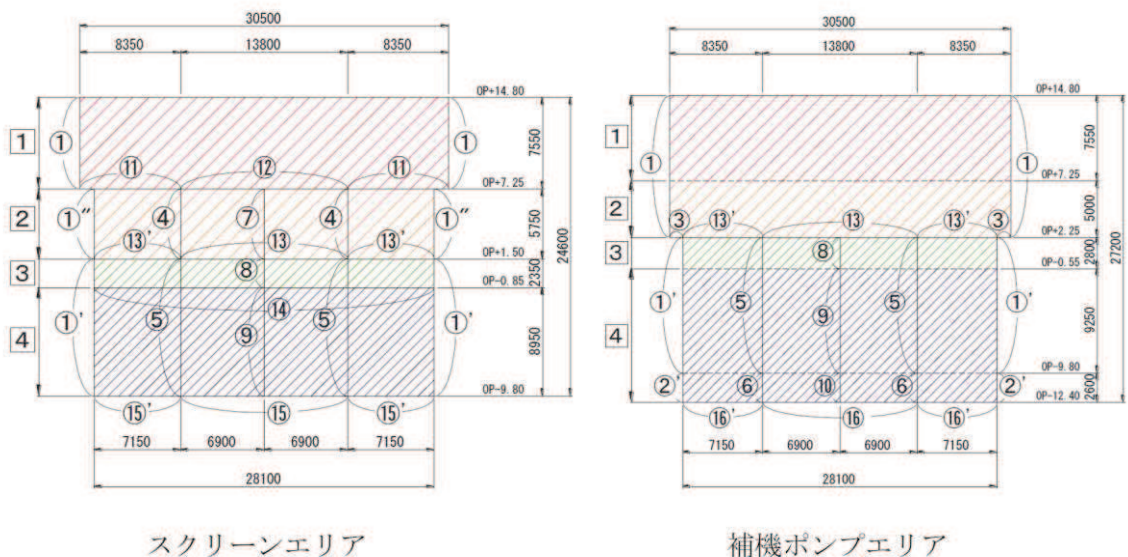
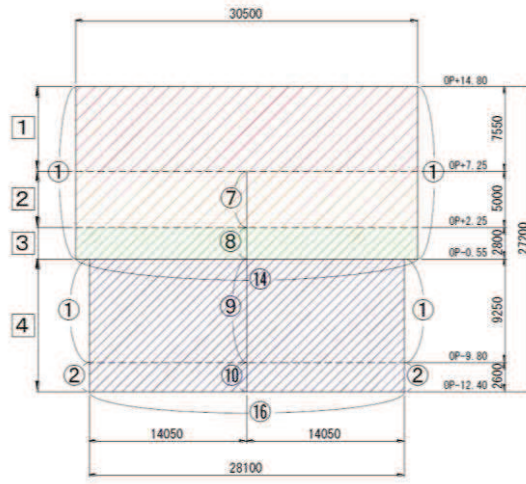


図 9.3-15 (1) 各エリアの等価剛性モデル (1/2)



循環水ポンプエリア

図 9.3-15 (2) 各エリアの等価剛性モデル (2/2)

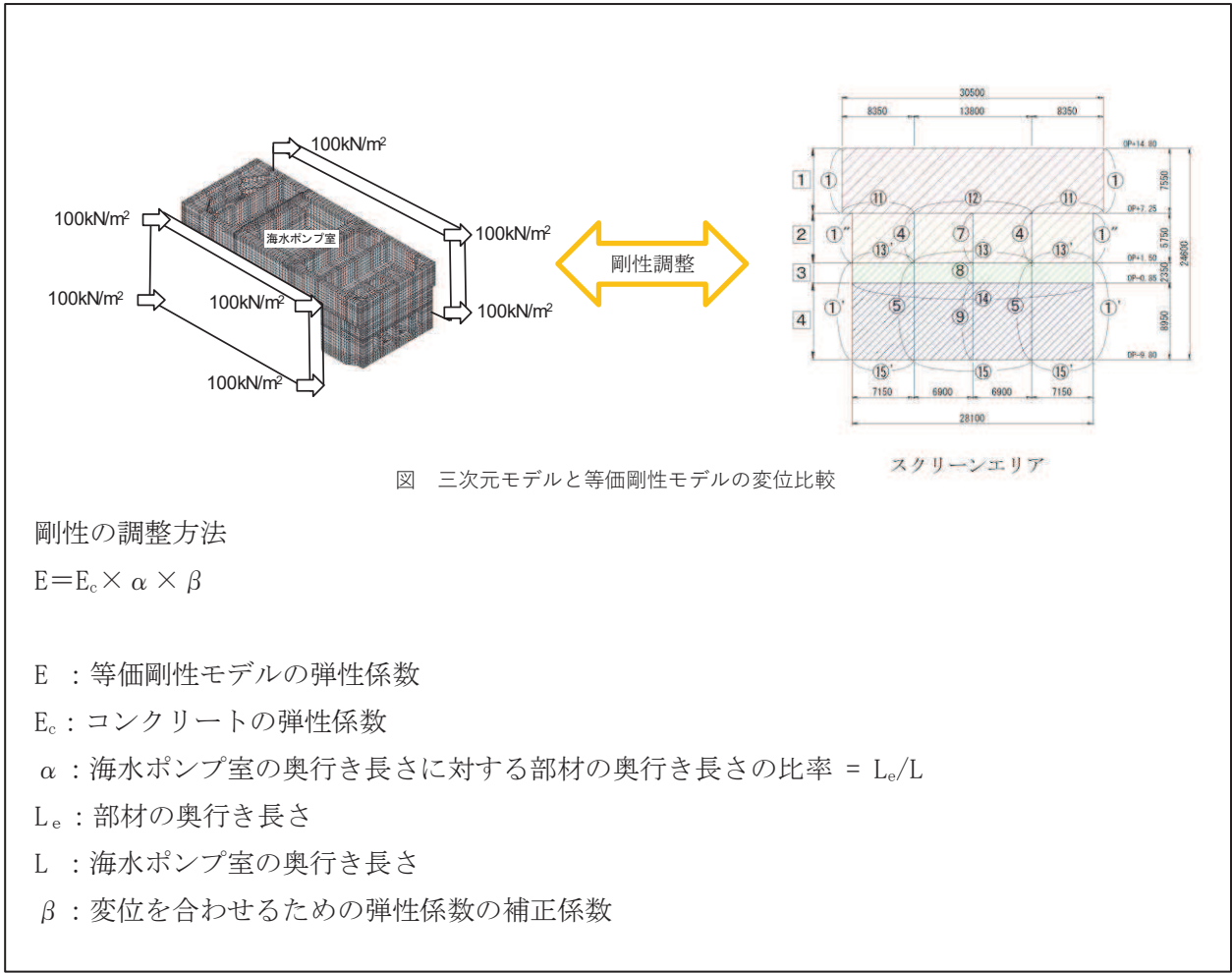


図 9.3-16 剛性の調整方法

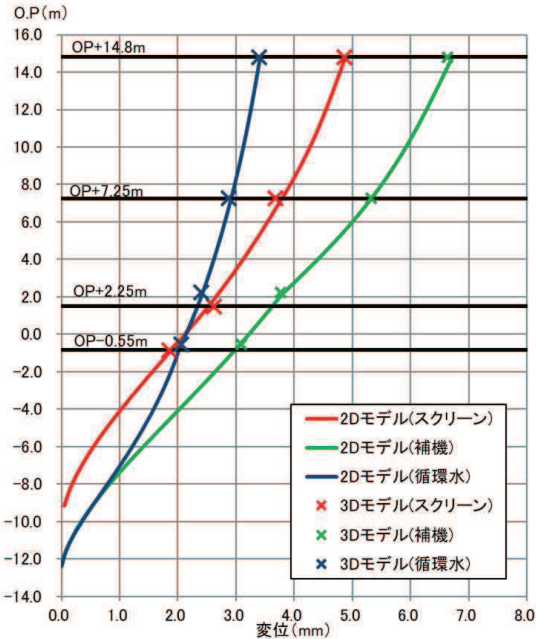


図 9.3-17 剛性調整結果

表 9.3-1(1) 補正係数の計算結果 (はり要素) (スクリーンエリア)

| 要素番号* | α |
|-------|----------|
| ① | 1.00 |
| ①' | 1.00 |
| ①'' | 1.00 |
| ④ | 1.00 |
| ⑤ | 1.00 |
| ⑦ | 0.85 |
| ⑧ | 0.85 |
| ⑨ | 0.85 |
| ⑪ | 0.83 |
| ⑫ | 0.83 |
| ⑬ | 0.33 |
| ⑬' | 0.33 |
| ⑭ | 0.42 |
| ⑮ | 1.00 |
| ⑮' | 1.00 |

注記* : 要素番号は図 9.3-15 の要素番号に対応

表 9.3-1(2) 補正係数の計算結果 (はり要素) (補機ポンプエリア)

| 要素番号* | α |
|-------|----------|
| ① | 1.00 |
| ①' | 1.00 |
| ②' | 1.00 |
| ③ | 1.00 |
| ⑤ | 1.00 |
| ⑥ | 1.00 |
| ⑧ | 1.00 |
| ⑨ | 1.00 |
| ⑩ | 1.00 |
| ⑬ | 0.87 |
| ⑬' | 0.94 |
| ⑯ | 1.00 |
| ⑯' | 1.00 |

注記* : 要素番号は図 9.3-15 の要素番号に対応

表 9.3-1(3) 補正係数の計算結果 (はり要素) (循環水ポンプエリア)

| 要素番号* | α |
|-------|----------|
| ① | 1.00 |
| ② | 1.00 |
| ⑦ | 0.46 |
| ⑧ | 0.46 |
| ⑨ | 1.00 |
| ⑩ | 1.00 |
| ⑭ | 0.82 |
| ⑯ | 1.00 |

注記* : 要素番号は図 9.3-15 の要素番号に対応

表 9.3-2(1) 補正係数の計算結果 (平面応力要素) (スクリーンエリア)

| 要素番号* | α | β |
|-------|----------|---------|
| 1 | 0.15 | 0.35 |
| 2 | 0.10 | 0.48 |
| 3 | 0.02 | 0.01 |
| 4 | 0.02 | 0.80 |

注記* : 要素番号は図 9.3-15 の要素番号に対応

表 9.3-2(2) 補正係数の計算結果 (平面応力要素) (補機ポンプエリア)

| 要素番号* | α | β |
|-------|----------|---------|
| 1 | 0.12 | 0.28 |
| 2 | 0.13 | 0.28 |
| 3 | 0.06 | 0.90 |
| 4 | 0.06 | 0.48 |

注記* : 要素番号は図 9.3-15 の要素番号に対応

表 9.3-2(3) 補正係数の計算結果 (平面応力要素) (循環水ポンプエリア)

| 要素番号* | α | β |
|-------|----------|---------|
| 1 | 0.19 | 0.58 |
| 2 | 0.22 | 0.60 |
| 3 | 0.25 | 0.60 |
| 4 | 0.18 | 0.49 |

注記* : 要素番号は図 9.3-15 の要素番号に対応

b. 南北方向

海水ポンプ室の南北方向の D-D 断面は，底版，隔壁，妻壁，中床版のような加振に対して面外変形で抵抗する部材は，線形はり要素にてモデル化し，側壁のような加振に対して面内変形で抵抗する部材は，平面応力要素にてモデル化する。

D-D 断面は，土圧を直接受ける妻壁と各エリアに配置される隔壁が上方向で拘束されず，地震時に一体として挙動しないことからエリア奥行長さに対する，部材奥行長さの比率から求める補正係数 α のみ設定する。

(4) 隣接構造物のモデル化

東西方向において隣接構造物となる原子炉建屋及び防潮堤は、海水ポンプ室との間が地盤改良されており、隣接構造物の地震応答が剛性の大きい改良地盤を介して海水ポンプ室に伝達することが考えられるため、原子炉建屋及び防潮堤をモデル化する。以下に、それぞれの構造物のモデル化方針を示す。なお、縦断方向北側には取水路が隣接するが、土圧を大きく評価するために、取水路は、盛土にてモデル化する。

a. 原子炉建屋

原子炉建屋のモデル化は、多質点系建屋モデルと同等の固有周期と重量及び外形を有するよう建屋各層の水平剛性 K_H 、鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_ϕ を用いて、せん断剛性 G 、ばね定数 K 、ポアソン比 ν を求め等価な有限要素モデルを作成する。原子炉建屋のモデル化概念図を図9.3-18に、モデル諸元を図9.3-19に、多質点系モデルと有限要素モデルの固有値(1次モード)の比較を表9.3-3示す。

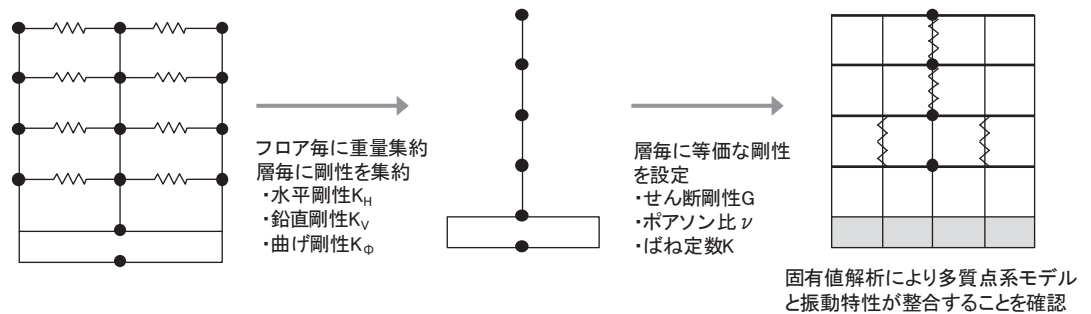
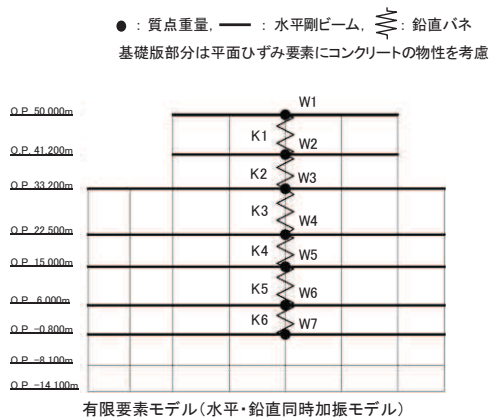


図 9.3-18 原子炉建屋のモデル化概念図



| 標高 (m) | 節点重量 ($\times 10^4 \text{ kN/m}$) | 材料番号 | 単位体積重量 (kN/m^3) | 等価せん断剛性 G_f ($\times 10^4 \text{ kN/m}^2$) | 等価ポアソン比 ν_f | 鉛直バネ K_f ($\times 10^4 \text{ kN/m}$) |
|--------|-------------------------------------|------|----------------------------|--|-----------------|---|
| 50.50 | W1=2.7 | 1 | - | 0.31 | 0.39 | K1=18.3 |
| 41.20 | W2=4.1 | | | | | |
| 33.20 | W3=37.3 | 3 | - | 2.82 | 0.13 | K3=135.6 |
| 22.50 | W4=61.4 | | | | | |
| 15.00 | W5=55.7 | 5 | - | 5.46 | 0.33 | K5=176.6 |
| 6.00 | W6=62.7 | | | | | |
| -0.80 | W7=62.3 | 8 | 23.6 | 91.01 | 0.16 | - |
| -8.10 | - | | | | | |
| -14.10 | - | | | | | |

図 9.3-19 原子炉建屋のモデル諸元

表 9.3-3 固有周期比較表

| | 固有周期 (1次モード) (s) |
|---------|-------------------------|
| 多質点系モデル | 0.21 (水平) 0.076 (鉛直) |
| 有限要素モデル | 0.21 (水平) 0.076 (鉛直) |

b. 防潮堤 (鋼管式鉛直壁)

防潮堤 (鋼管式鉛直壁) は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の耐震性について」に基づき、鋼管杭は、線形はり要素 (ビーム要素) でモデル化する。

(5) 地盤及び MMR のモデル化

D₁級を除く岩盤及び MMR は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土、旧表土、改良地盤及び D₂級岩盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

地震時の「MMR と構造物」、「盛土及び岩盤と MMR」、「盛土及び岩盤と改良地盤」及び「盛土と構造物」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

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。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 9.3-4 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、表 9.3-5 のとおり設定する。

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

ここで、 σ' : 面直圧
 τ_f : せん断強度
 c : 粘着力
 ϕ : 内部摩擦角

表 9.3-4 周辺地盤との境界に用いる強度特性（狐崎部層）

| 地盤 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|--------------------|------------------------------|------------------|
| 盛土*1 | 0.10 | 33.9 |
| 盛土*2 | 0.06 | 30.0 |
| C _M 級*3 | 0.49 | 47.0 |
| 人工岩盤 (MMR) | 3.10 | 40.0 |

注記*1：地下水位以浅

*2：地下水位以深

*3：砂岩

表 9.3-5 要素間の粘着力と内部摩擦角

| 条件 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|--|------------------------------|------------------|
| 盛土・旧表土－改良地盤 | 盛土・旧表土の c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 盛土・旧表土－MMR | 盛土・旧表土の c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 盛土・旧表土－構造物 | 盛土・旧表土 c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 改良地盤－岩盤 (D級, C _L 級, C _M 級) | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 改良地盤－岩盤 (C _H 級) | 改良地盤の c | 改良地盤の ϕ |
| 改良地盤－セメント改良土 | セメント改良土の c | セメント改良土の ϕ |
| 岩盤－構造物 | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 岩盤－MMR | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 構造物－MMR | MMR の c | MMR の ϕ |
| 背面補強工－盛土・旧表土 | 盛土・旧表土 c | 盛土・旧表土 ϕ |
| 背面補強工－セメント改良土 | セメント改良土の c | セメント改良土の ϕ |
| 置換コンクリート－盛土・旧表土 | 盛土・旧表土の c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 置換コンクリート－岩盤 | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 置換コンクリート－改良地盤 | 改良地盤の c | 改良地盤の ϕ |

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な値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp10610070, 2009）に従い、表 9.3-6 のとおり設定する。

ジョイント要素の力学特性を図 9.3-20 に、ジョイント要素の配置を図 9.3-21～図 9.3-24 に示す。

表 9.3-6 ジョイント要素のばね定数

| 地盤 | せん断剛性 k_s (kN/m^3) | 圧縮剛性 k_n (kN/m^3) |
|----|---|--|
| 盛土 | 1.0×10^6 | 1.0×10^6 |
| 岩盤 | 1.0×10^7 | 1.0×10^7 |

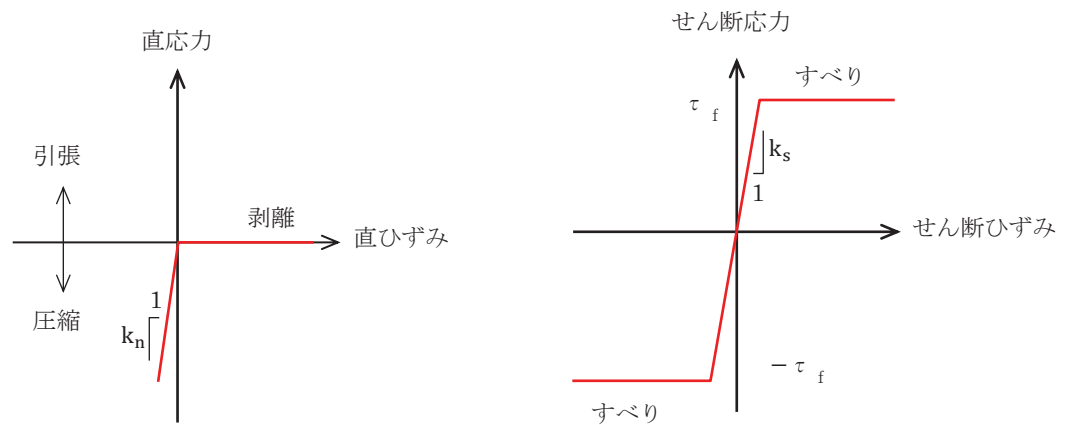


図 9.3-20 ジョイント要素の力学特性

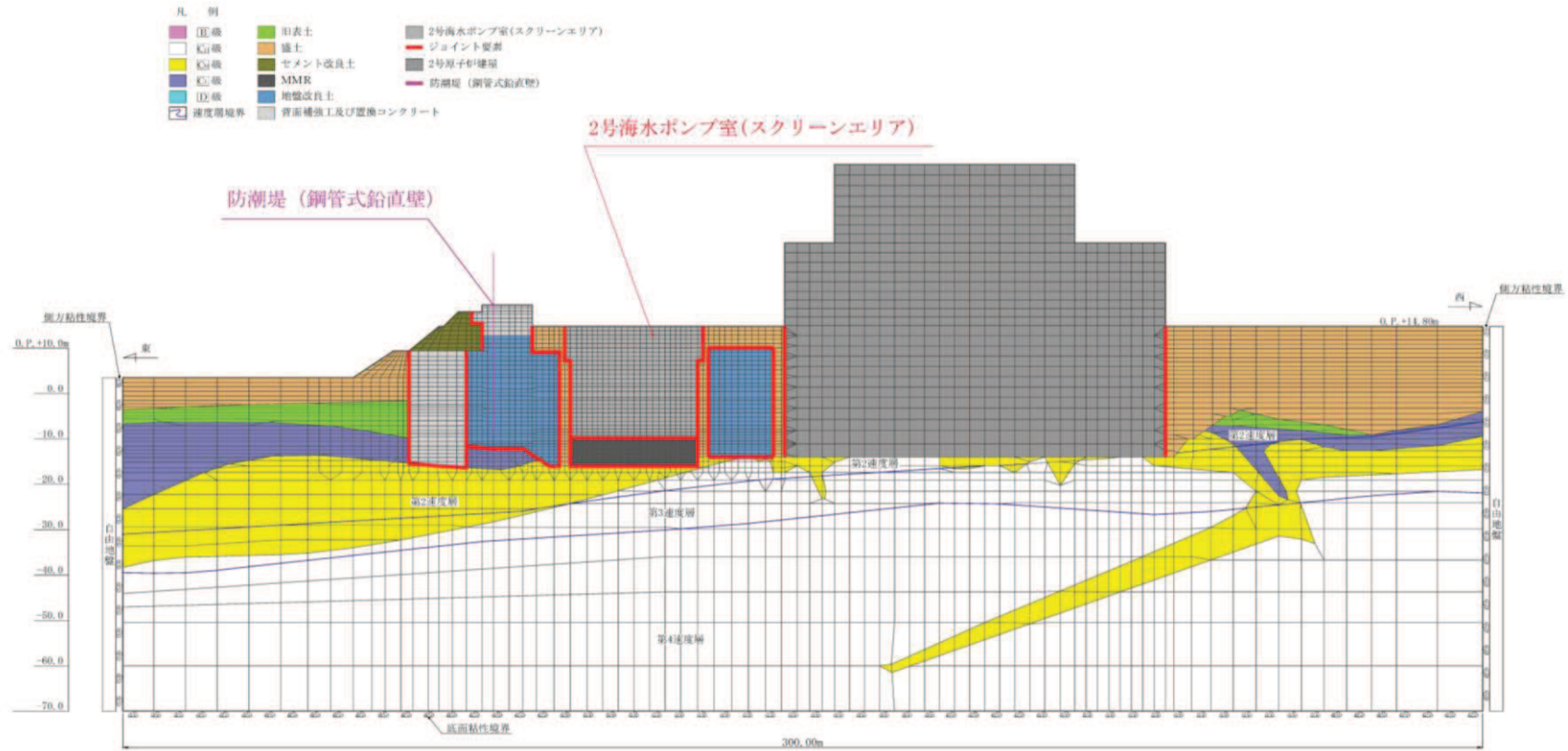


図 9.3-21 海水ポンプ室 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア)) のジョイント要素の配置

9.3.3 減衰定数

減衰定数は、「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「9. 地震応答解析における構造物の減衰定数」に従い、構造部材の減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、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 減衰を解析モデル全体に与える。なお、構造部材を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみを設定する。Rayleigh 減衰の設定フローを図 9.3-25 に示す。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[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

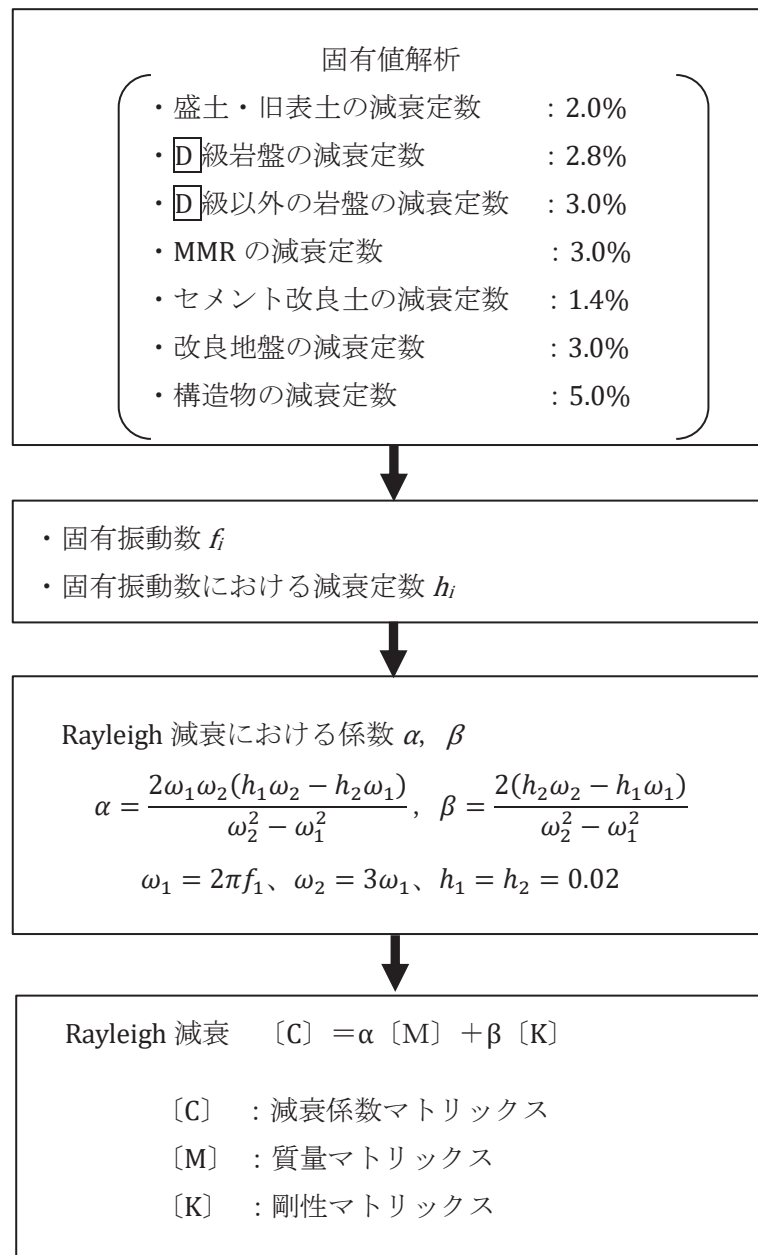


図 9.3-25 Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定にあたっては、低次のモードの変形が支配的となる地中埋設構造物に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して、1 次及び 2 次モードの固有振動数において、過大な減衰とならないよう定めている。

1 次固有振動数 (f_1) は、地震応答解析の解析モデルの固有値解析結果から算定する。2 次固有振動数 (f_2) は、図 9.3-25 に示すとおり、水平成層地盤の 2 次固有振動数が 1 次固有振動数の 3 倍であることから、固有値解析から算定した 1 次固有振動数 (f_1) の 3 倍とする。

固有値解析結果の一覧を表 9.3-7 に、固有値解析におけるモード図を図 9.3-26～図 9.3-29 に、係数 α 、 β を表 9.3-8 に、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 9.3-30～図 9.3-33 に示す。

表 9.3-7(1) 固有値解析結果 スクリーンエリア (A-A 断面, 東西)

| | 固有振動数 (Hz) | 有効質量比 (%) | | 刺激係数 | | 備考 |
|----|---------------|-----------|----|-----------|-----------|----------|
| | | Tx | Ty | β_x | β_y | |
| 1 | 2.928 | 7 | 0 | 60.56 | -4.84 | 1 次として採用 |
| 2 | 3.934 | 16 | 0 | -94.33 | -7.46 | — |
| 3 | 4.187 | 6 | 0 | -58.21 | -2.37 | — |
| 4 | 4.718 | 2 | 0 | -33.81 | 4.21 | — |
| 5 | 5.165 | 4 | 0 | 48.69 | 0.37 | — |
| 6 | 5.837 | 2 | 0 | -36.10 | 0.81 | — |
| 7 | 5.976 | 0 | 0 | -6.13 | 0.67 | — |
| 8 | 6.401 | 0 | 0 | -15.30 | 4.02 | — |
| 9 | 6.577 | 5 | 0 | 52.96 | 1.02 | — |
| 10 | 6.772 | 1 | 1 | 18.20 | -17.27 | — |

表 9.3-7(2) 固有値解析結果 補機ポンプエリア (B-B 断面, 東西)

| | 固有振動数 (Hz) | 有効質量比 (%) | | 刺激係数 | | 備考 |
|----|---------------|----------------|----------------|-----------|-----------|---------|
| | | T _x | T _y | β_x | β_y | |
| 1 | 2.928 | 7 | 0 | 60.36 | -4.82 | 1次として採用 |
| 2 | 3.934 | 15 | 0 | -92.29 | -7.33 | — |
| 3 | 4.182 | 6 | 0 | -58.70 | -2.76 | — |
| 4 | 4.721 | 2 | 0 | -33.46 | 4.15 | — |
| 5 | 5.124 | 4 | 0 | 49.00 | -0.02 | — |
| 6 | 5.841 | 2 | 0 | -34.64 | 0.92 | — |
| 7 | 5.976 | 0 | 0 | -5.88 | 0.68 | — |
| 8 | 6.401 | 0 | 0 | -14.65 | 4.03 | — |
| 9 | 6.578 | 6 | 0 | 56.25 | 0.69 | — |
| 10 | 6.765 | 1 | 1 | 17.12 | -16.52 | — |

表 9.3-7(3) 固有値解析結果 循環水ポンプエリア (C-C 断面, 東西)

| | 固有振動数 (Hz) | 有効質量比 (%) | | 刺激係数 | | 備考 |
|----|---------------|----------------|----------------|-----------|-----------|---------|
| | | T _x | T _y | β_x | β_y | |
| 1 | 2.929 | 6 | 0 | 59.65 | -4.85 | 1次として採用 |
| 2 | 3.954 | 13 | 0 | -85.73 | -7.31 | — |
| 3 | 4.218 | 7 | 0 | -62.17 | -3.36 | — |
| 4 | 4.736 | 2 | 0 | -33.89 | 3.81 | — |
| 5 | 5.238 | 5 | 0 | 52.50 | 0.80 | — |
| 6 | 5.912 | 4 | 0 | -46.03 | 0.15 | — |
| 7 | 5.976 | 0 | 0 | -7.55 | 0.67 | — |
| 8 | 6.401 | 0 | 0 | -15.20 | 4.00 | — |
| 9 | 6.604 | 6 | 0 | 58.87 | 0.64 | — |
| 10 | 6.776 | 0 | 1 | 12.82 | -17.51 | — |

表 9.3-7(4) 固有値解析結果 縦断 (D-D 断面, 南北)

| | 固有振動数 (Hz) | 有効質量比 (%) | | 刺激係数 | | 備考 |
|----|---------------|----------------|----------------|-----------|-----------|---------|
| | | T _x | T _y | β_x | β_y | |
| 1 | 2.214 | 10 | 0 | 3371.00 | -266.49 | 1次として採用 |
| 2 | 2.361 | 5 | 0 | 2354.50 | 122.91 | — |
| 3 | 2.809 | 0 | 0 | 547.54 | -63.08 | — |
| 4 | 3.117 | 2 | 0 | -1536.30 | -151.93 | — |
| 5 | 3.411 | 1 | 0 | -925.87 | 139.52 | — |
| 6 | 3.734 | 1 | 0 | -744.99 | -189.94 | — |
| 7 | 4.047 | 1 | 0 | 985.34 | -155.41 | — |
| 8 | 4.303 | 1 | 0 | -944.64 | -223.53 | — |
| 9 | 4.527 | 1 | 0 | 991.35 | -140.49 | — |
| 10 | 4.724 | 1 | 0 | -1234.60 | -180.24 | — |

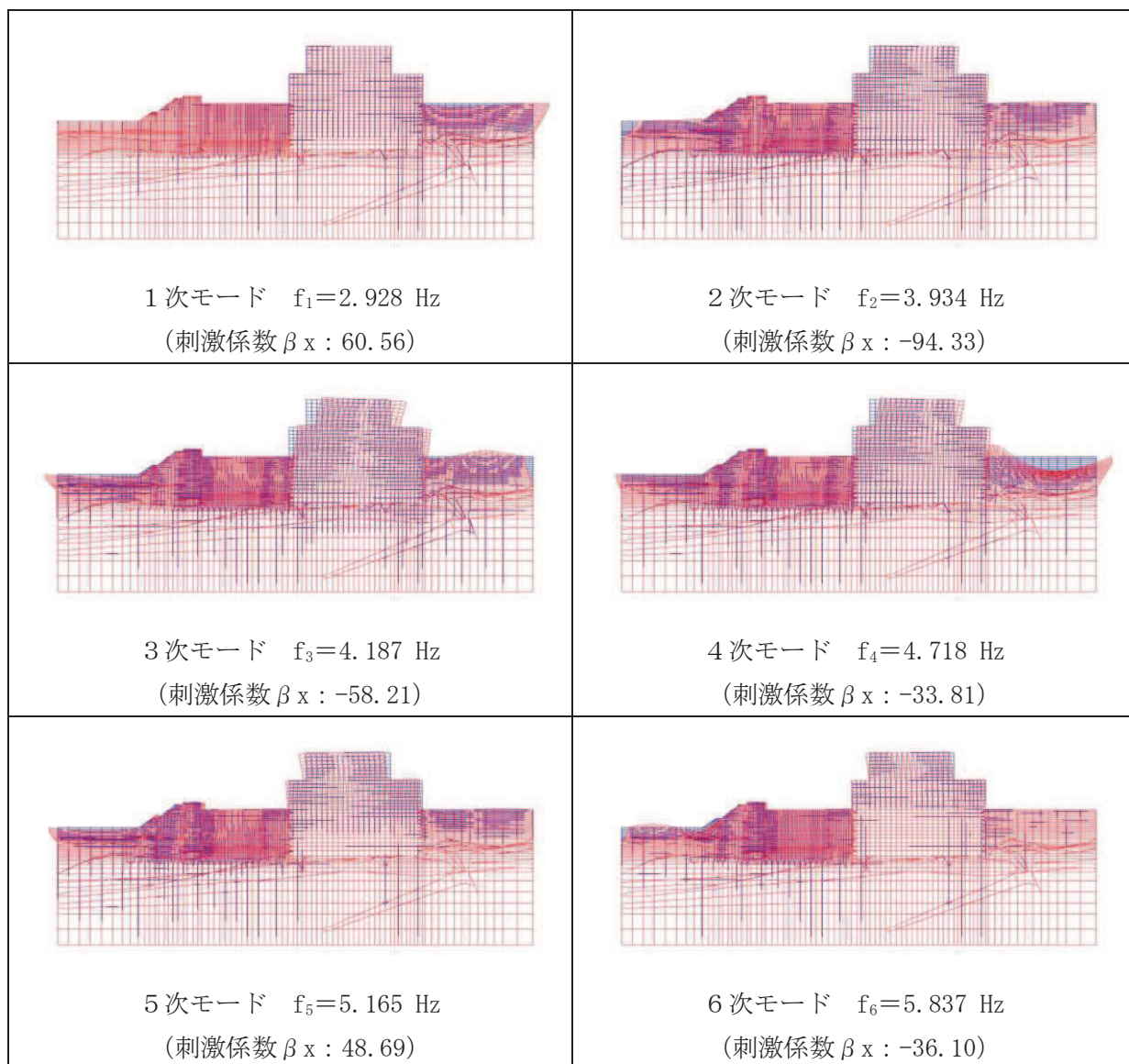


図 9.3-26 (1) 固有値解析結果 (モード図) (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア)) (1/2)

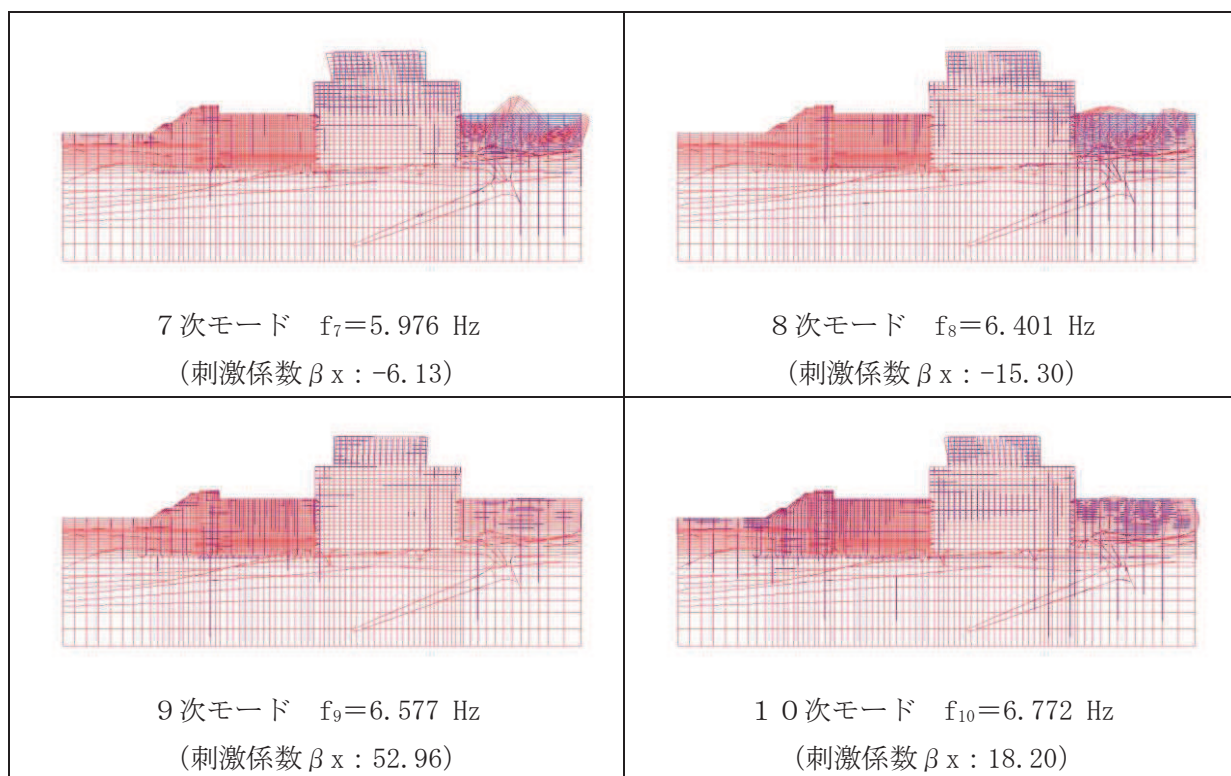


図 9.3-26 (2) 固有値解析結果 (モード図) (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア)) (2/2)

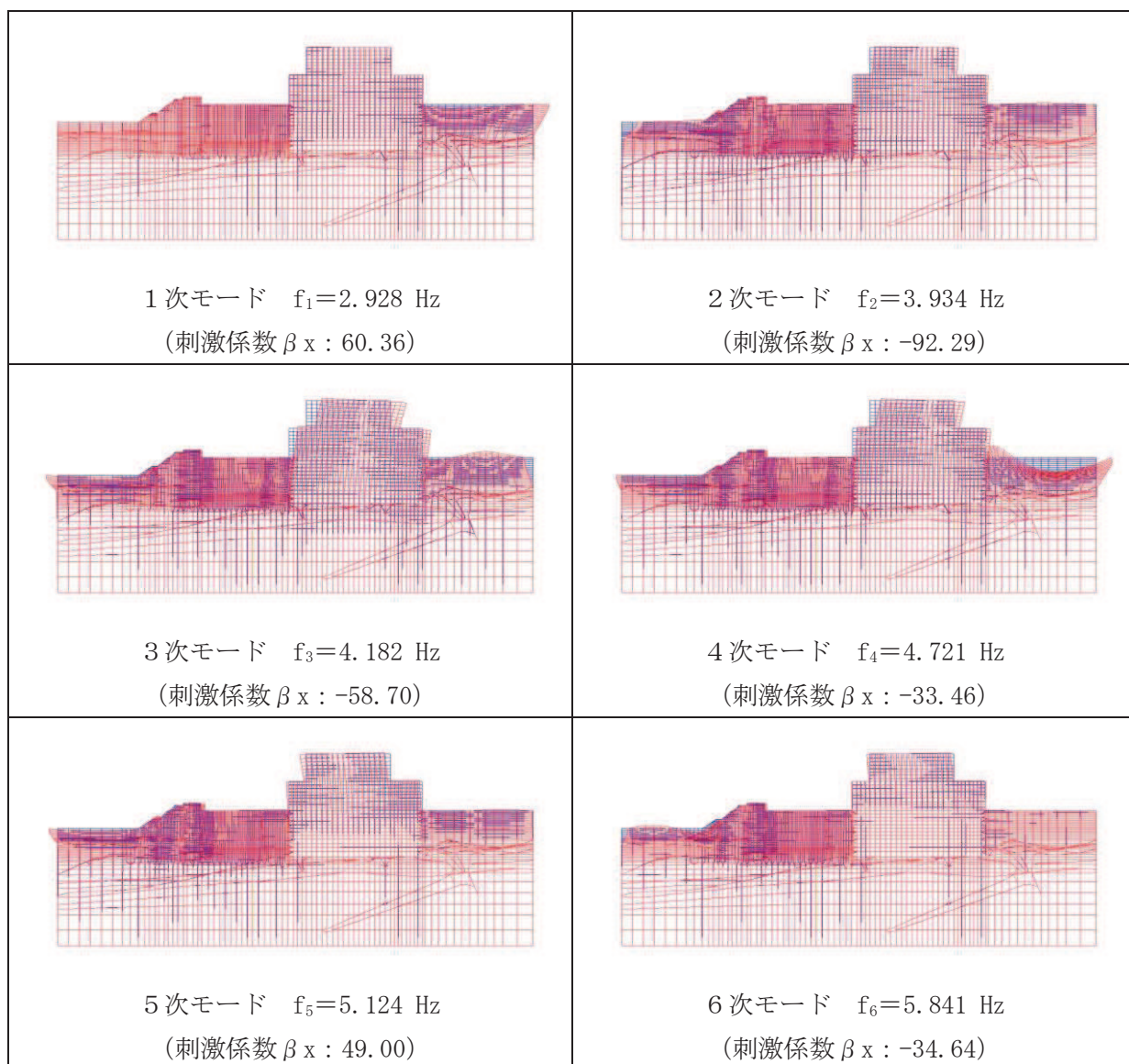


図 9.3-27 (1) 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア)) (1/2)

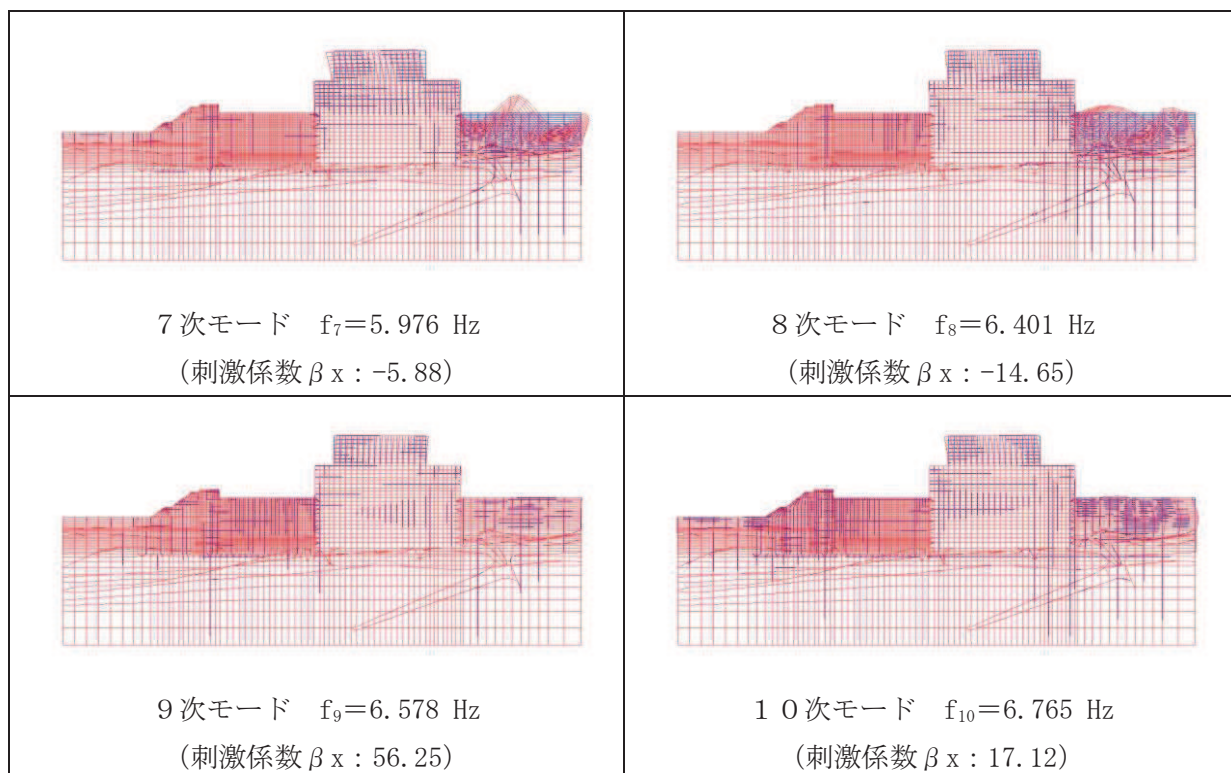


図 9.3-27 (2) 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア)) (2/2)

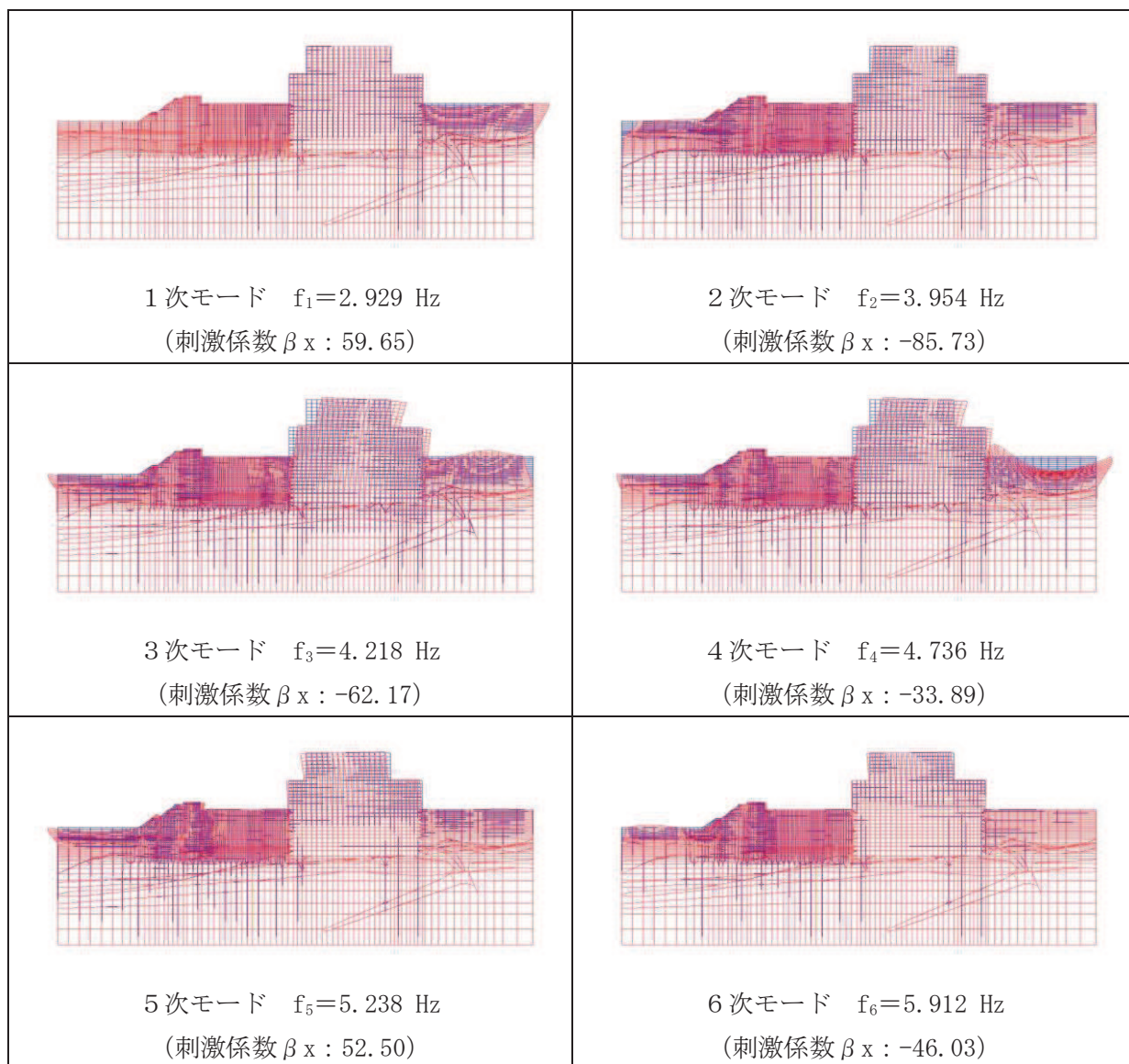


図 9.3-28 (1) 固有値解析結果 (モード図) (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア)) (1/2)

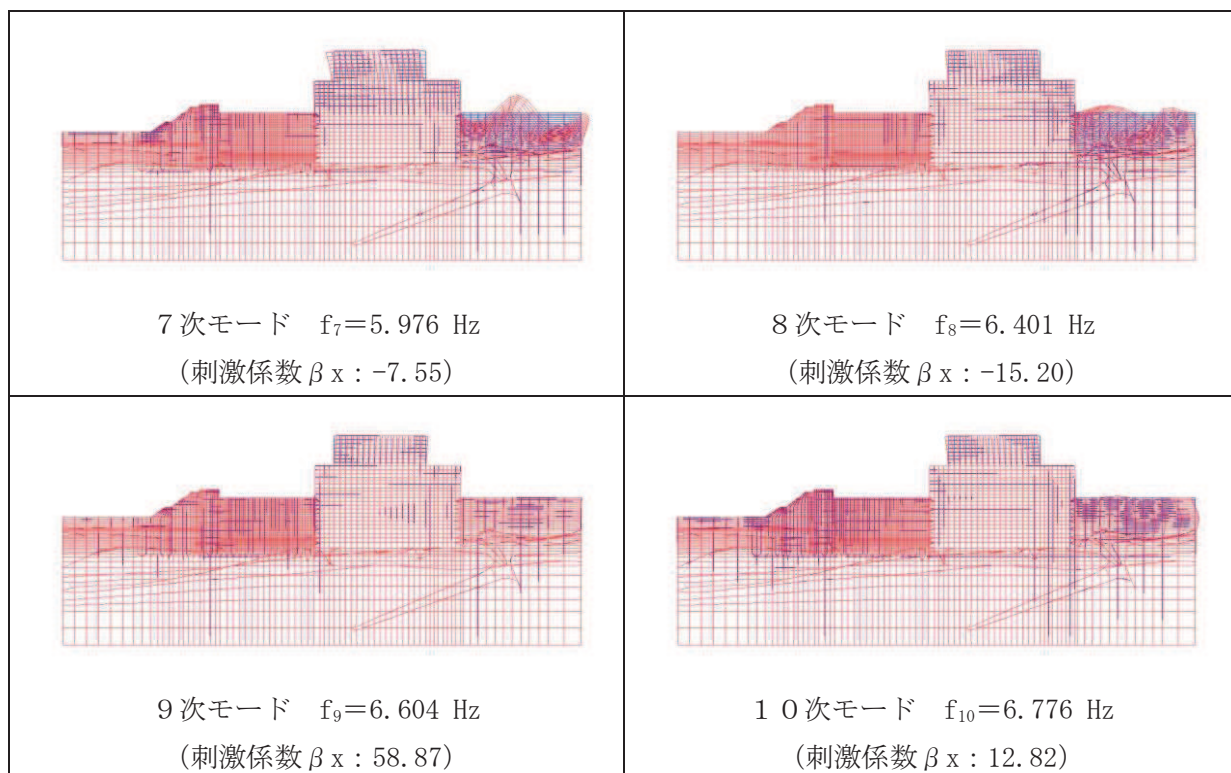


図 9.3-28 (2) 固有値解析結果 (モード図) (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア)) (2/2)

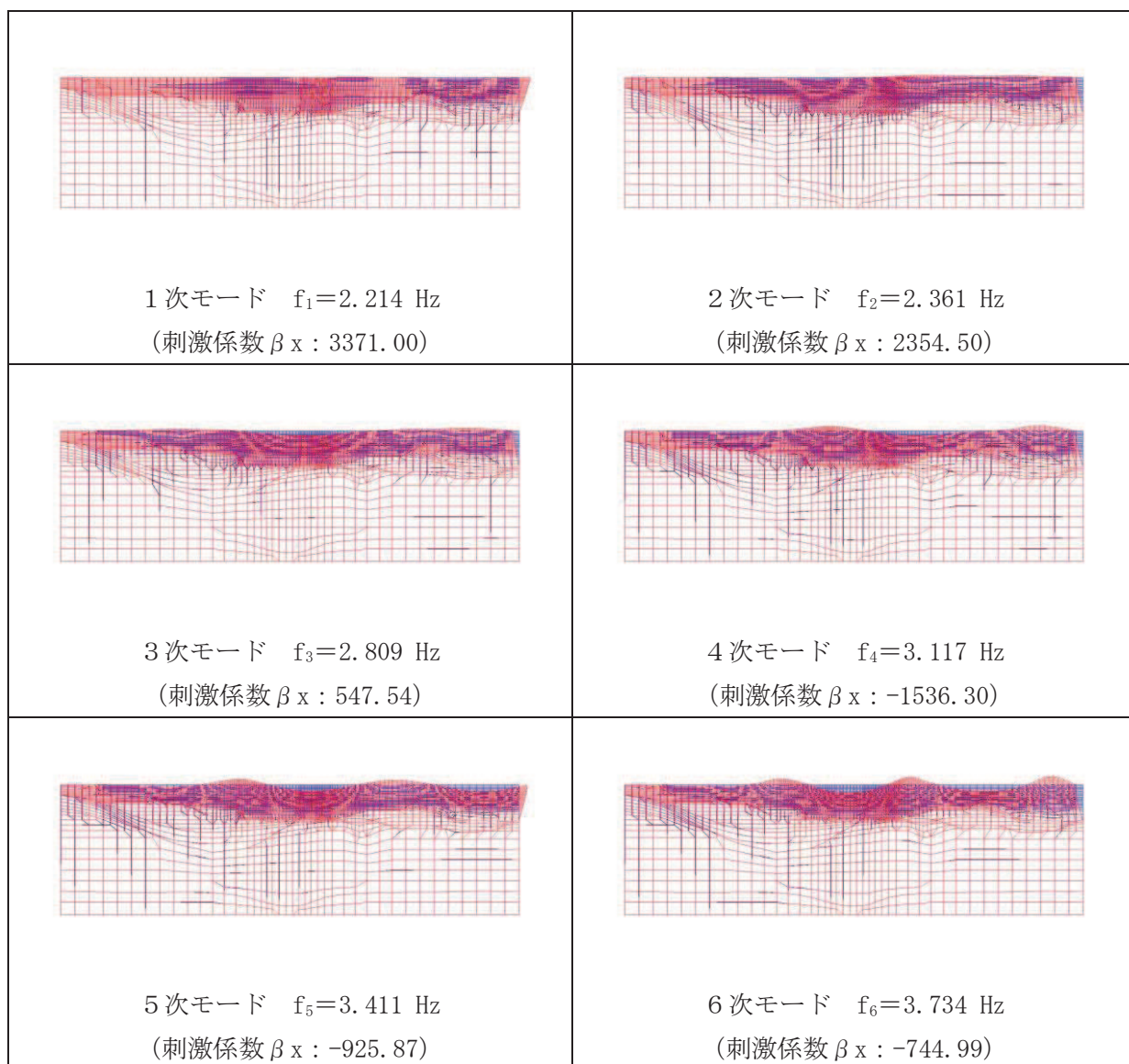


図 9.3-29 (1) 固有値解析結果 (モード図) (D-D 断面, 南北) (1/2)

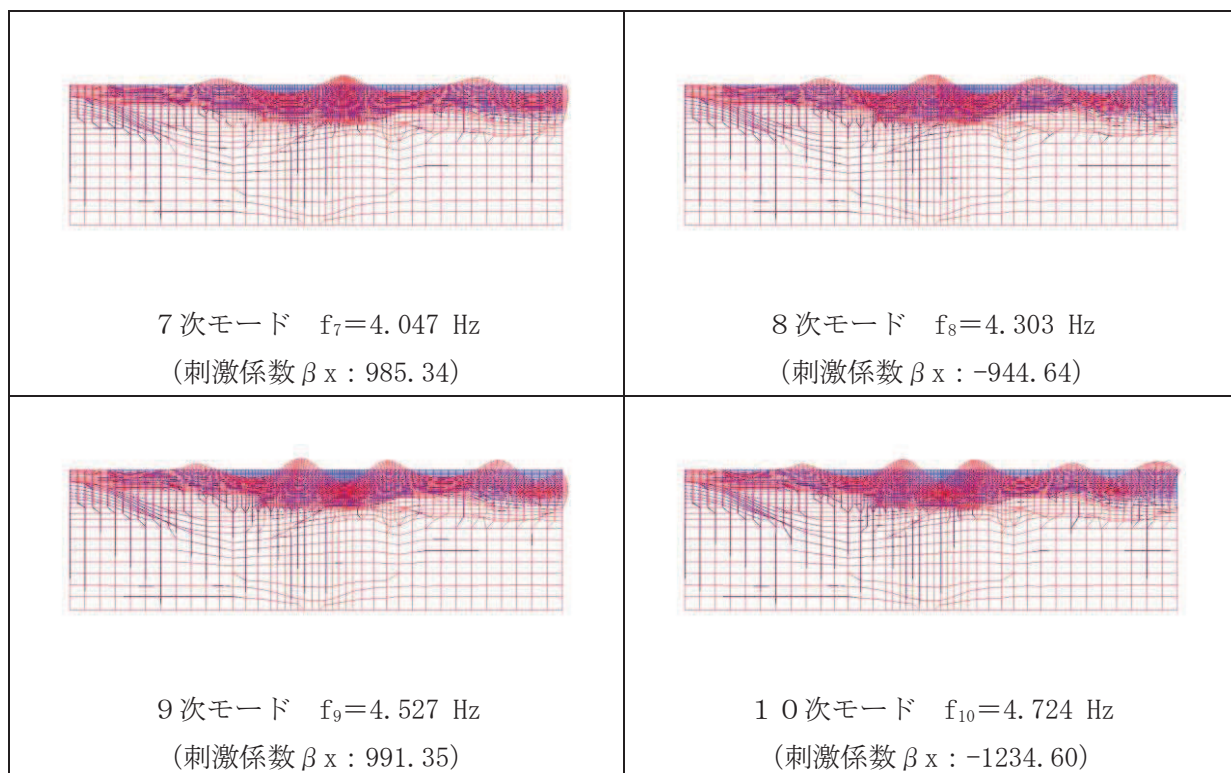


図 9.3-29 (2) 固有値解析結果 (モード図) (D-D 断面, 南北) (2/2)

表 9.3-8 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

| 地震時荷重算出断面 | α | β |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| (A-A 断面, 東西) スクリーンエリア | 5.519×10^{-1} | 5.440×10^{-4} |
| (B-B 断面, 東西) 補機ポンプエリア | 5.519×10^{-1} | 5.440×10^{-4} |
| (C-C 断面, 東西) 循環水ポンプエリア | 5.521×10^{-1} | 5.430×10^{-4} |
| (D-D 断面, 南北) | 4.174×10^{-1} | 7.190×10^{-4} |

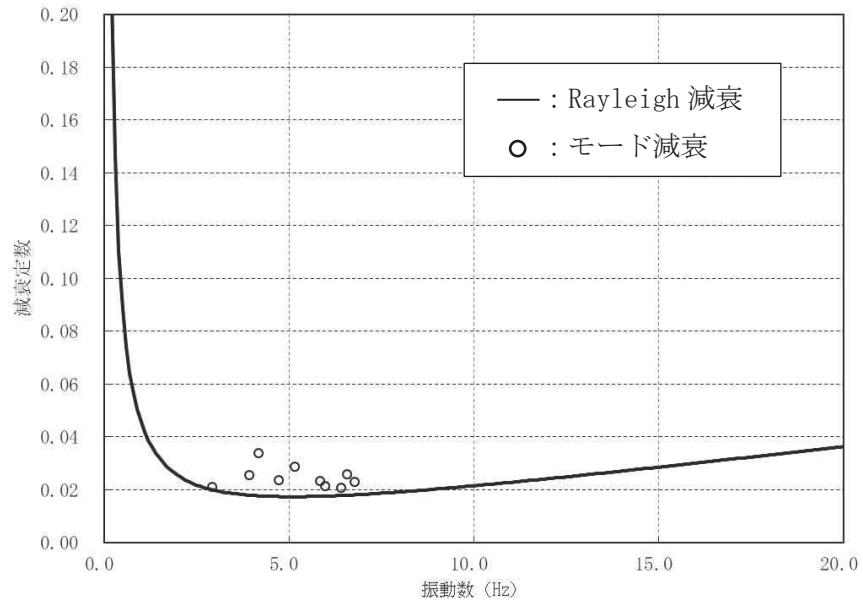


図 9.3-30 設定した Rayleigh 減衰 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

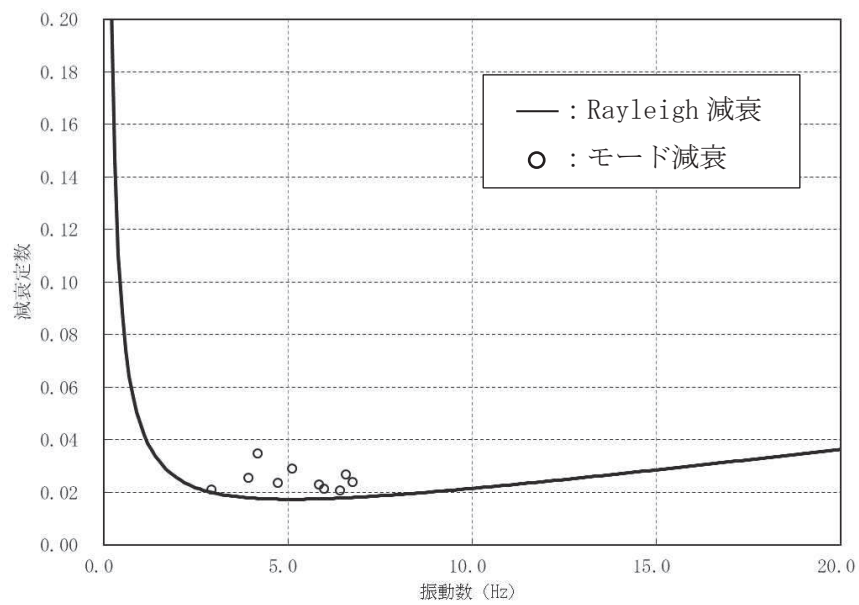


図 9.3-31 設定した Rayleigh 減衰 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

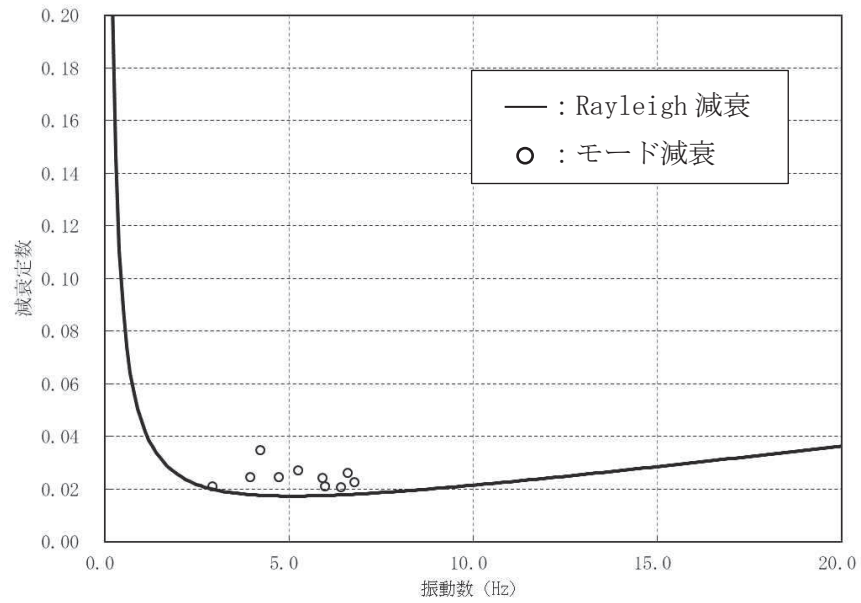


図 9.3-32 設定した Rayleigh 減衰 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

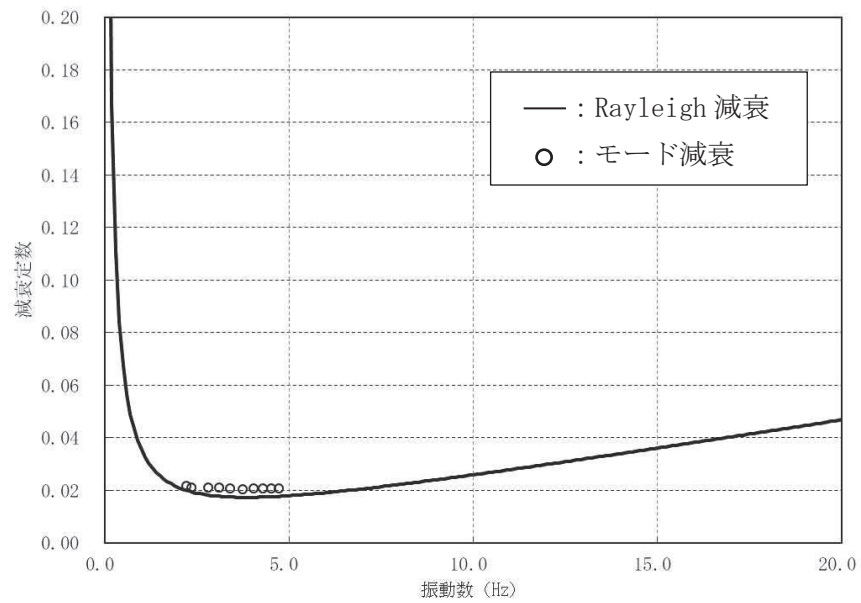


図 9.3-33 設定した Rayleigh 減衰 (D-D 断面, 南北)

9.3.4 荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時に荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせで設定する。地震荷重には、地震時土圧及び動水圧の反力による荷重が含まれるものとする。

なお、海水ポンプ室の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

荷重の組合せを 9.3-9 に示す。

表 9.3-9 荷重の組合せ

| 種別 | 荷重 | | 算定方法の概要 |
|------------|-------|-----------------------|--|
| 永久荷重 | 固定荷重 | 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する |
| | | 機器・配管荷重 | ○ ・機器・配管系の重量に基づいて設定する。 |
| | | 竜巻防護ネット荷重 | ○ ・竜巻防護ネットの重量に基づいて設定する。 |
| | | 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）荷重 | ○ ・原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の躯体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 | — ・地盤表面に恒常的に置かれる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する。 |
| | | 外水圧 | ○ ・地下水位に応じた静水圧として考慮する。 ・地下水の密度を考慮する。 |
| | | 内水圧 | ○ ・朔望平均満潮位（O.P. +2.43m）に応じた静水圧を設定する。 |
| | | 積雪荷重 | ○ ・躯体に考慮する。 |
| 偶発荷重（地震荷重） | 水平地震動 | ○ | ・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮する。 |
| | 鉛直地震動 | ○ | |
| | 動水圧 | ○ | ・地下水位および地震動に応じた動水圧を考慮する。 |

(1) 機器・配管荷重

地震時に海水ポンプ室に作用する機器・配管等の荷重図を図 9.3-34 に、荷重を考慮する主な機器の一覧を表 9.3-10 に示す。機器・配管等の荷重は、解析モデルの各質点に与えることで考慮する。

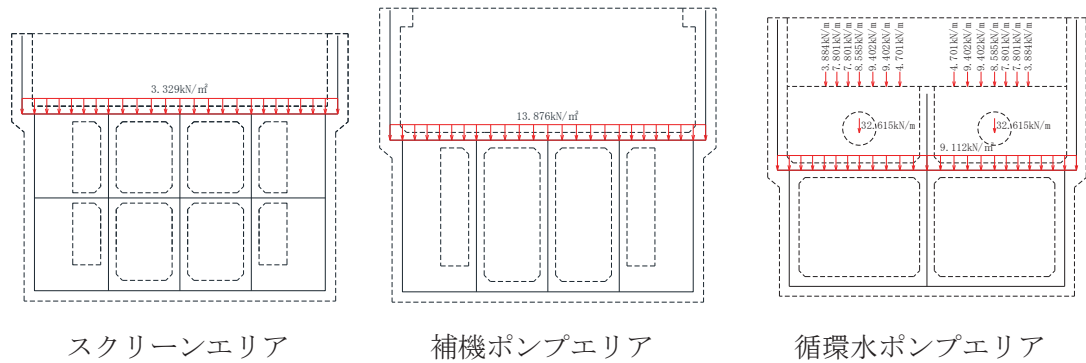


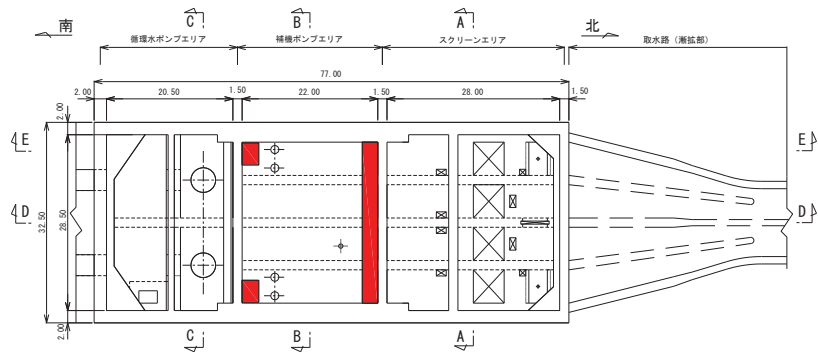
図 9.3-34 機器・配管系の荷重図

表 9.3-10 荷重を考慮する機器・配管等

| 部位 | 主な考慮する機器・配管等 |
|--------------------|--|
| 中床版 (スクリーンエリア) | バケット型スクリーン：686kN/基 洗浄ポンプ：44.1kN/基 |
| 中床版 (補機ポンプエリア) | 原子炉補機冷却海水ポンプ：227.5kN/基 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ：58.6kN/基 |
| 中床版 (循環水ポンプエリア) | 循環水ポンプ（モーター、架台等含む）：2579.3kN/基 |

(2) 竜巻防護ネット荷重

補機ポンプエリア上部に設置されている竜巻防護ネットの自重を荷重として考慮する。荷重は、各支持点の荷重を支持点間の分担距離に応じた分布荷重として作用させる。竜巻防護ネットの位置図を図 9.3-35 に、荷重図を図 9.3-36 に示す。



■ : 竜巻防護ネット位置

図 9.3-35 竜巻防護ネット位置図

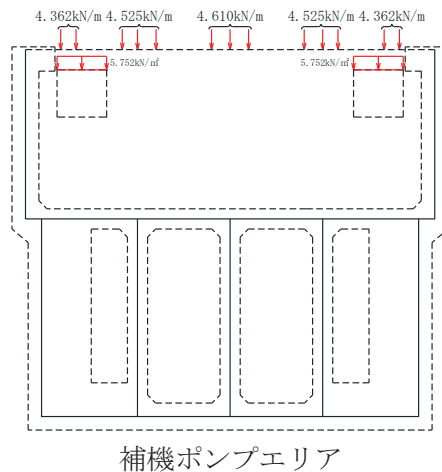


図 9.3-36 竜巻防護ネット荷重図

(3) 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）荷重

海水ポンプ室の西側の側壁には原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が懸架されている。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の幅は、海水ポンプ室の幅に対して小さく深さ方向は海水ポンプ室と同等であり、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の躯体重量は、海水ポンプ室の躯体重量と比較し 8%程度と小さく、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）による海水ポンプ室へのモーメントの影響等は小さいと考えられることから、躯体重量を付加重量として海水ポンプ室の側壁へ作用させる。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）位置図を図 9.3-37 に、荷重図を図 9.3-38 に示す。

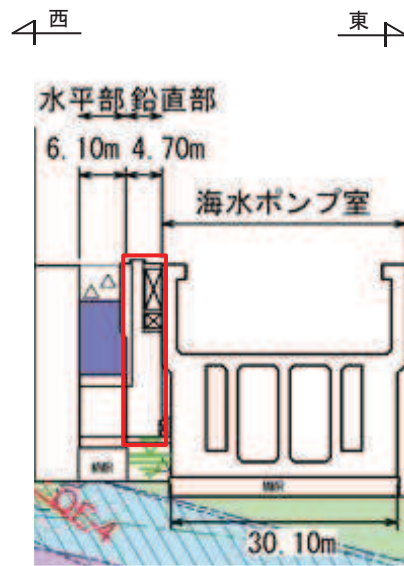


図 9.3-37 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）位置図

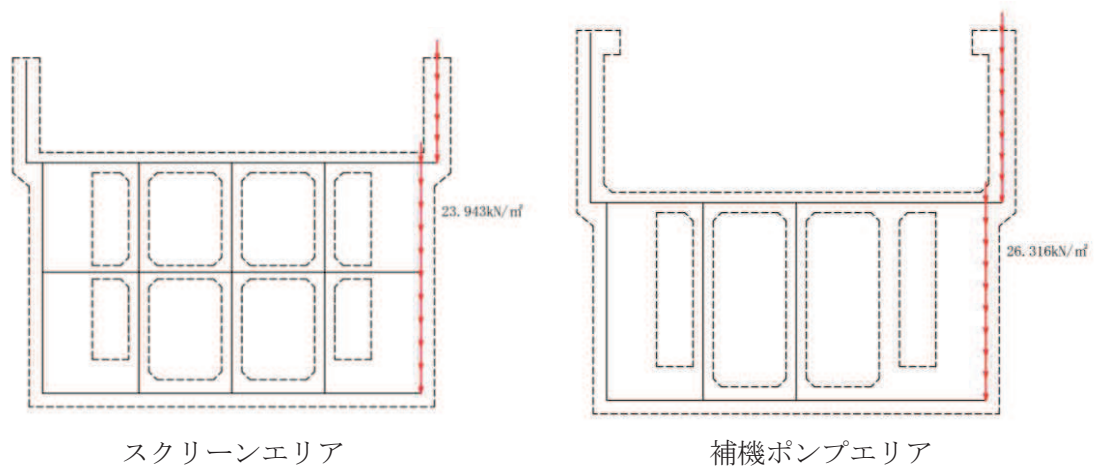


図 9.3-38 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）荷重図

(4) 外水圧

外水圧は、地下水位に応じた静水圧を設定する。地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき O.P. -8.50m に設定する。

設定の際は、地下水の密度として、 1.00g/cm^3 を考慮する。

外水圧図を図 9.3-39～図 9.3-42 に示す。

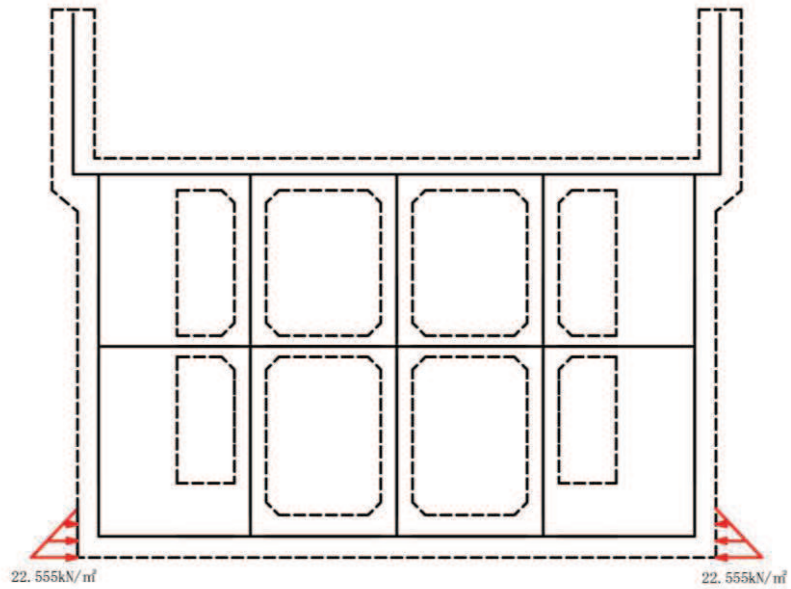


図 9.3-39 外水圧図 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

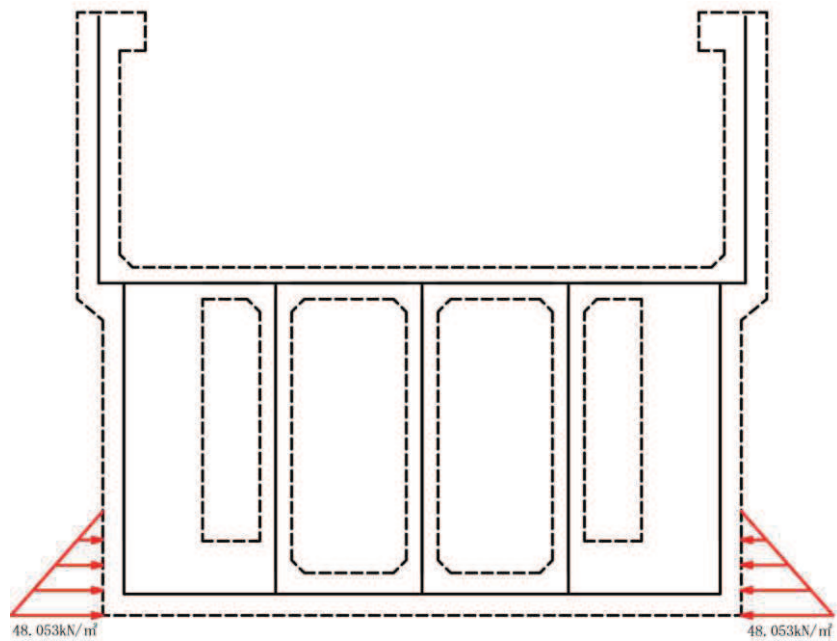


図 9.3-40 外水圧図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

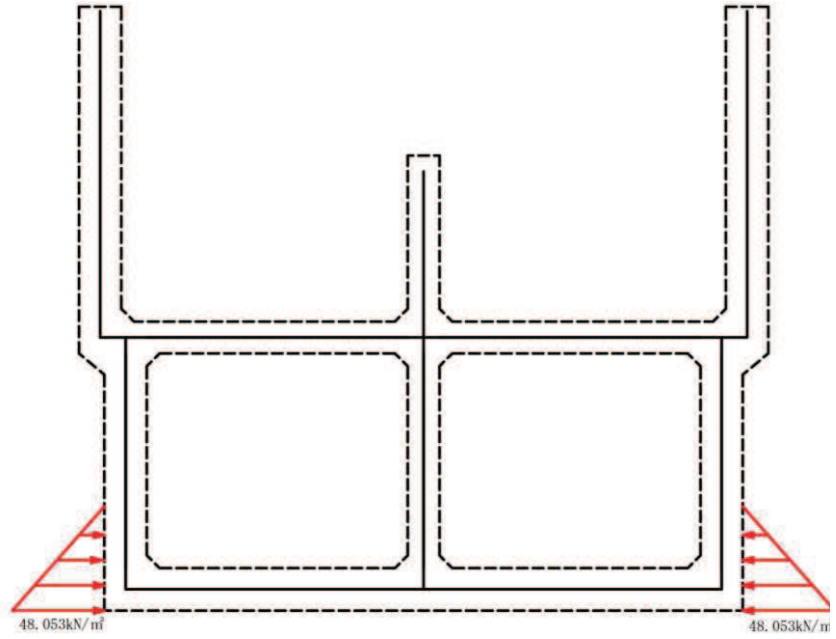


図 9.3-41 外水圧図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

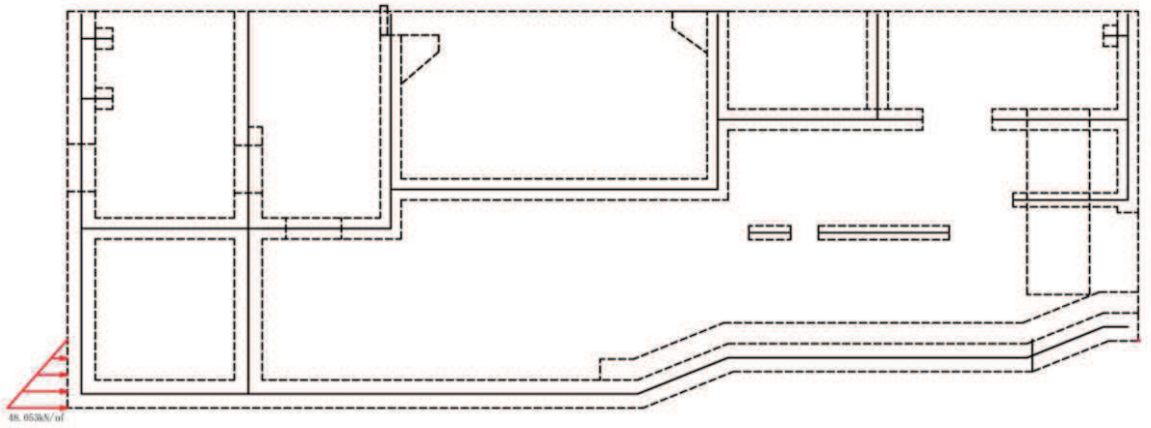


図 9.3-42 外水圧図 (D-D 断面, 南北)

(5) 内水圧

海水ポンプ室の内部には、遡望平均満潮位 O.P.+2.43m を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

内水圧図を図 9.3-43～図 9.3-46 に示す。

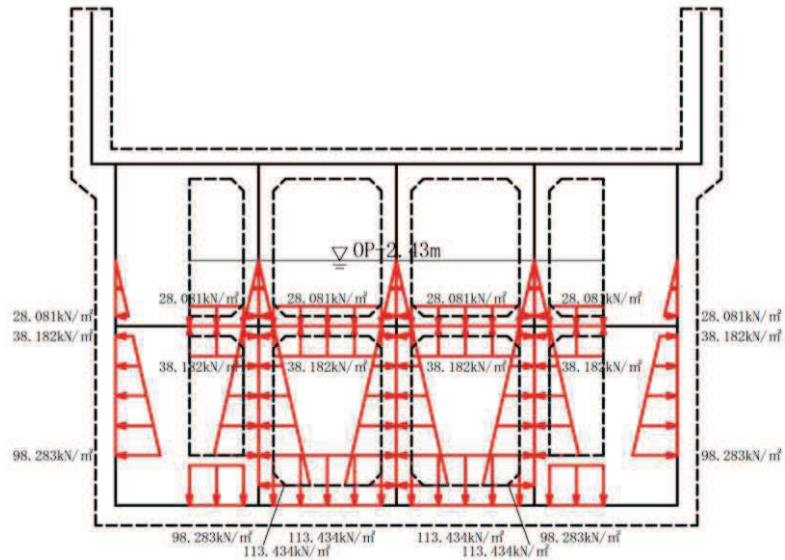


図 9.3-43 内水圧図 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

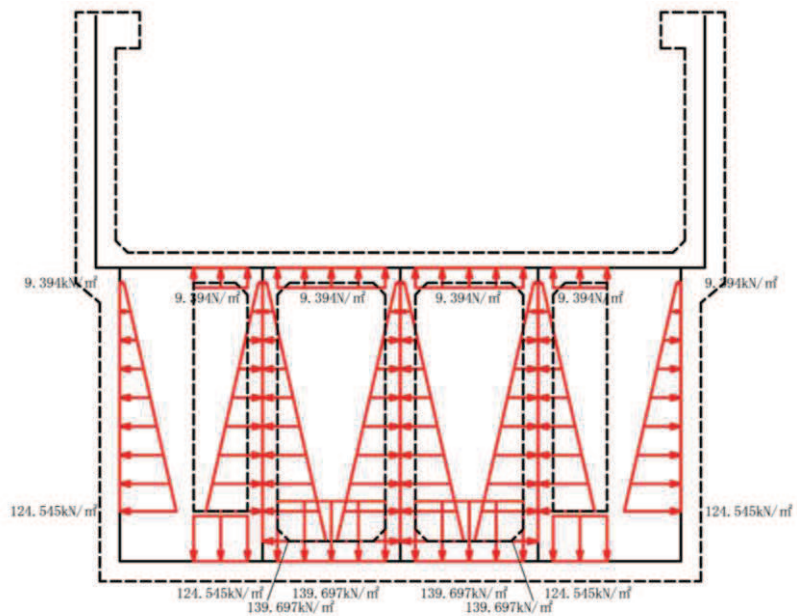


図 9.3-44 内水圧図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

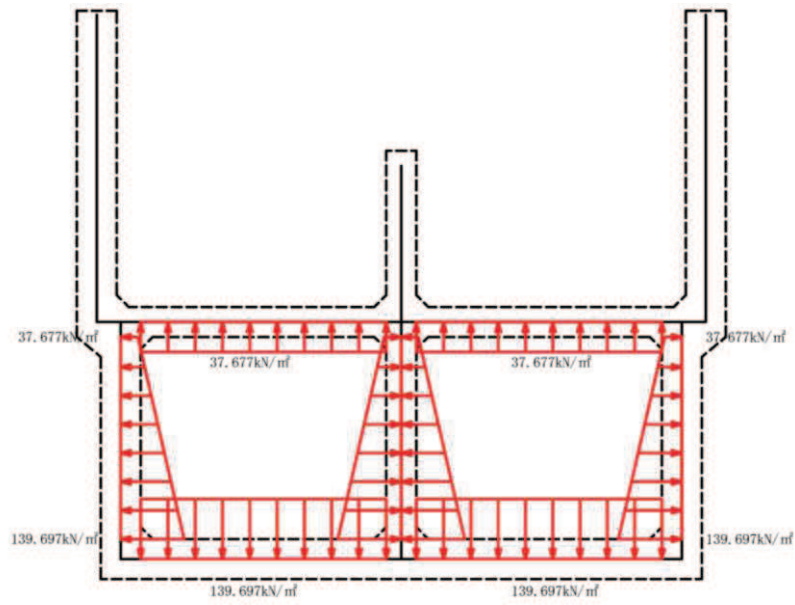


図 9.3-45 内水圧図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

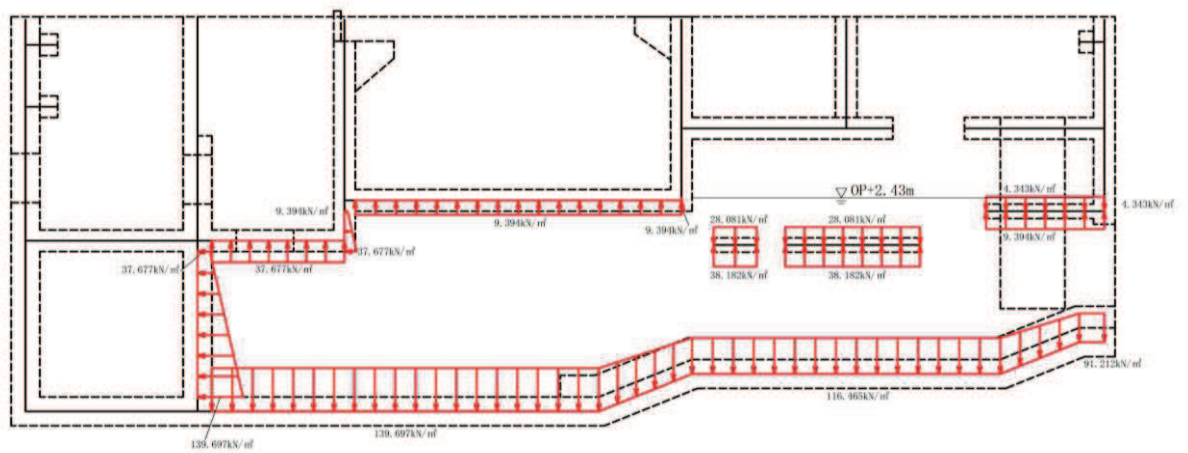


図 9.3-46 内水圧図 (D-D 断面, 南北)

(6) 積載荷重

海水ポンプ室に作用する積載荷重図を図 9.3-47～図 9.3-50 に示す。

地震時に海水ポンプ室に作用する積載荷重は、積雪荷重以外は想定されないが、保守的な配慮として中小版及び側壁に 4.9kN/m^2 を考慮する。なお、積雪荷重は、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し、 0.301kN/m^2 としている。

中床版への積載荷重は、開口面積分を抜いた、単位奥行幅 (1m) あたりの付加重量として考慮する。

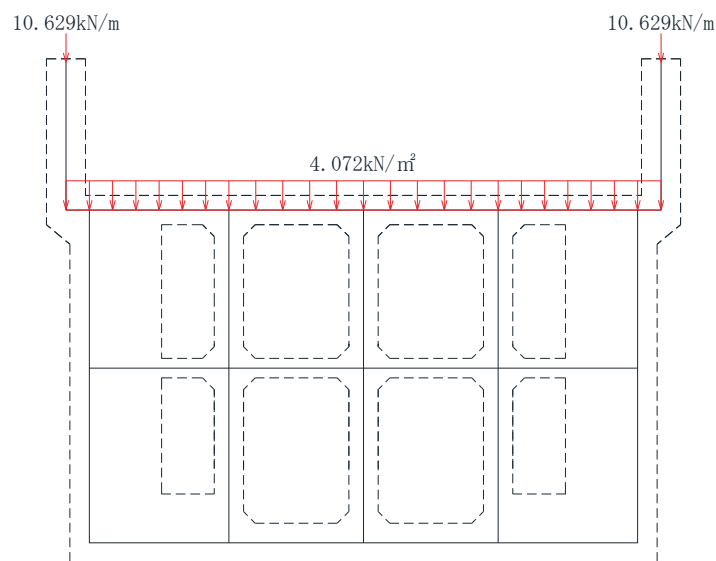


図 9.3-47 積載荷重図 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

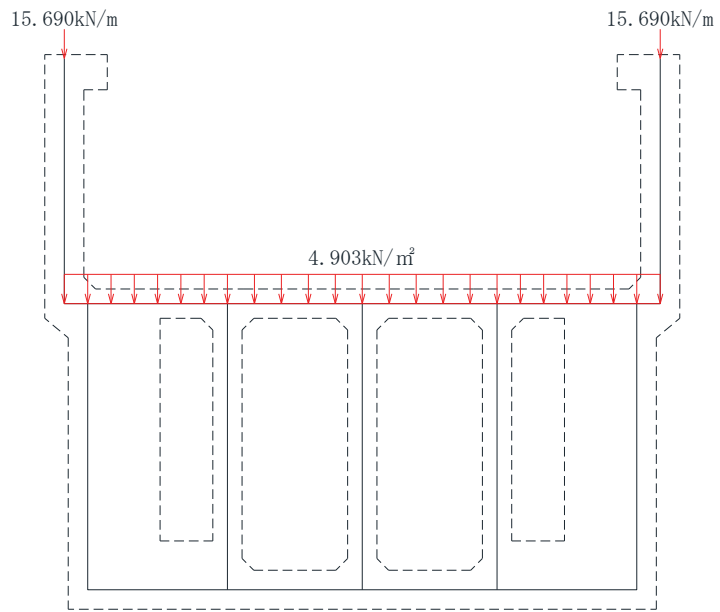


図 9.3-48 積載荷重図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

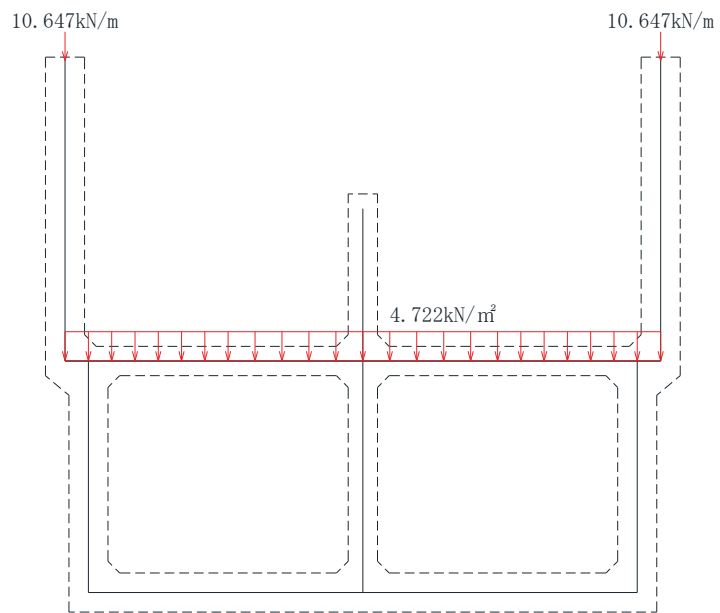


図 9.3-49 積載荷重図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

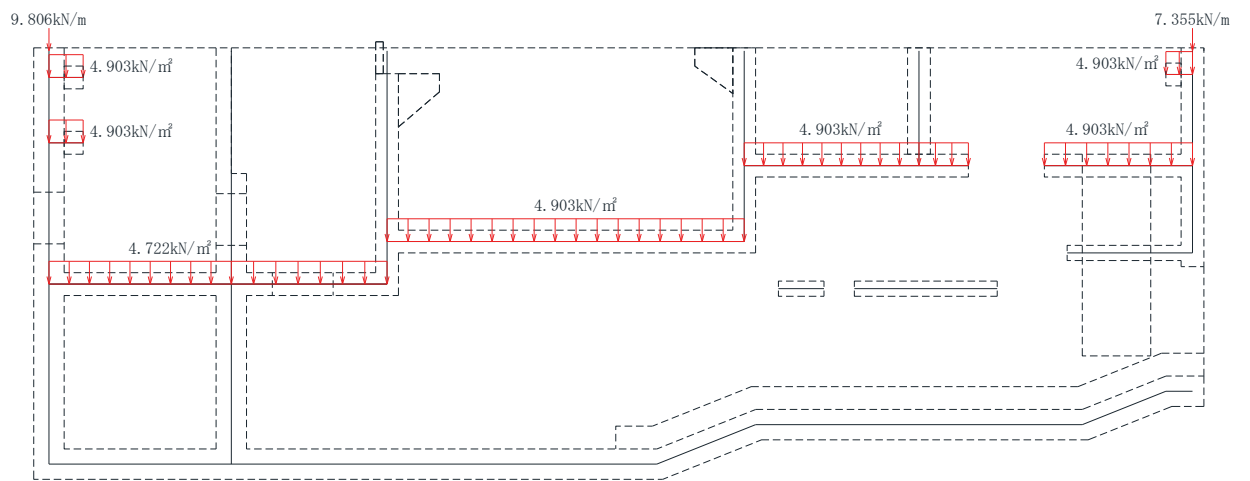


图 9.3—50 積載荷重図 (D-D 断面, 南北)

(7) 動水圧

動水圧は、自由水面の無い閉水路部分については固定水として算出し、自由水面のある開水路部分については Westergaard 式から算定する。

a. 自由水面のない場合

(a) 水平方向の動水圧

固定水として扱い、次式で算定する。水平方向動水圧の概要図を図 9.3-51 に示す。

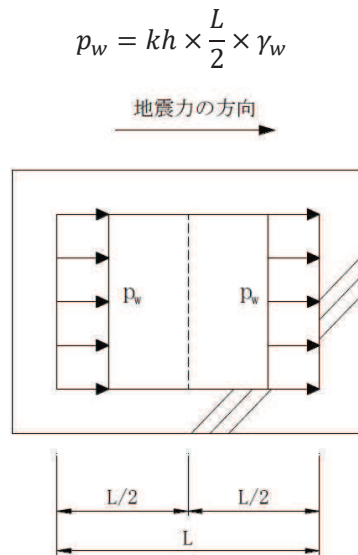


図 9.3-51 水平方向の動水圧分布図（自由水面なし）

(b) 鉛直方向の動水圧

固定水として扱い、次式で算定する。鉛直方向動水圧の概要図を図 9.3-52 に示す。

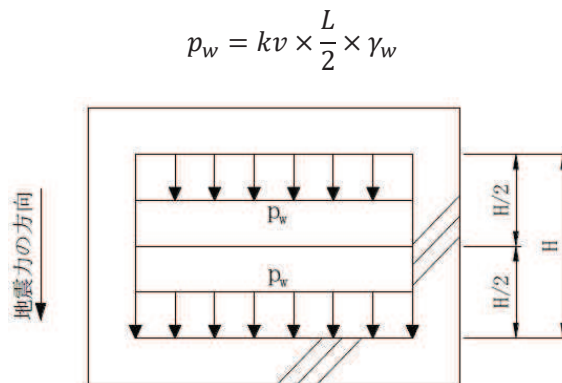


図 9.3-52 鉛直方向の動水圧分布図（自由水面なし）

b. 自由水面のある場合

(a) 水平方向の動水圧

固定水として扱い、次式で算定する。水平方向動水圧の概要図を図 9.3-53 に示す。

$$p_w = \frac{7}{8} \times c \times \gamma_w \times \sqrt{(h \times y)} \times kh$$

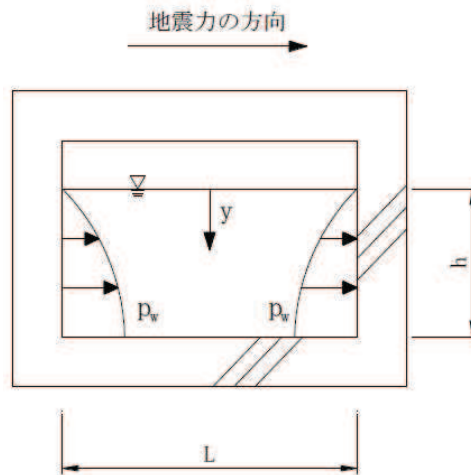


図 9.3-53 水平方向の動水圧分布図 (自由水面あり)

(b) 鉛直方向の動水圧

固定水として扱い、次式で算定する。鉛直方向動水圧の概要図を図 9.3-54 に示す。

$$p_w = kv \times \gamma_w \times h$$

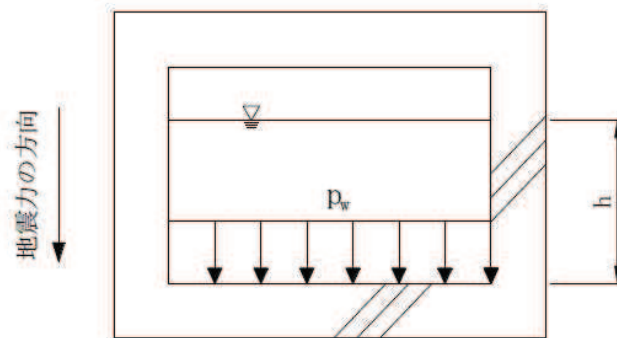


図 9.3-54 鉛直方向の動水圧分布図 (自由水面あり)

9.3.5 耐震安全性評価における解析ケース

(1) 耐震安全性評価における解析ケース

a. 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

海水ポンプ室は、構造物の大部分が地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物であり、構造物の耐震性に支配的な損傷モードは地盤のせん断変形を伴う構造部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊となる。そのため、ばらつきを考慮する物性値は、評価対象構造物周辺に主として盛土、旧表土、D級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布し、これらの地盤が地震時に構造物への応答に大きく影響を与えると判断される場合は、これらの物性のばらつきについて影響を確認する。地盤のせん断変形を定義するせん断弾性係数とし、平均値を基本ケース（表 9.3-13 に示すケース①）とした場合に加えて、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差(σ)のケース（表 9.3-13 に示すケース②, ③）について確認を行う。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示す。

b. 材料物性のばらつきを考慮した解析ケース

材料物性のばらつきについては、剛性を定義するコンクリートのヤング係数が、コンクリートの設計基準強度に対応して定まることを踏まえ、コンクリートの設計基準強度を基本ケースとし、ヤング係数をコンクリートの実強度に対応して定めたケースについて確認を行う（表 9.3-13 に示すケース④）。

屋外重要土木構造物等の耐震性に支配的な要因である土圧は、構造物と周囲の地盤の剛性差により生じることから、構造物の剛性が低下し、地盤との剛性差が小さくなることは、耐震裕度が向上することとなる。したがって、屋外重要土木構造物等のコンクリートは設計基準強度に対応する剛性を基本とし、ばらつきの考慮としては、土圧が大きく評価されるようコンクリートの実強度に対応する剛性について確認を行う。なお、屋外重要土木構造物等は、屋外かつ湿潤した地盤に接して地中に埋設されていることから、建物と異なり乾燥する環境にはなく、点検においても乾燥収縮による有害なひび割れは確認されておらず、コンクリートの剛性低下は顕在化していない。

一方、機器・配管系の耐震評価においては、建物・構築物で考慮しているコンクリートの初期剛性低下を考慮したケースについて影響を確認する（表 9.3-13 に示すケース⑤）。

海水ポンプ室における実強度は、構造物ごとのコア抜き強度 f'_{ck} の平均値とし、ヤング係数は実強度の平均値からコンクリート標準示方書 2017 に基づき算出する。海水ポンプ室の実強度およびヤング係数を表 9.3-11 及び表 9.3-12 に示す。

また、耐震安全性評価における解析ケースの一覧を表 9.3-13 に示す。

表 9.3-11 海水ポンプ室の実強度およびヤング係数

| | |
|-----------------------|------------------------|
| 実強度* | ヤング係数 |
| 37.6N/mm ² | 30.3kN/mm ² |

注記*：海水ポンプ室のコア採取による圧縮強度試験結果を表 9.3-12 に示す。

表 9.3-12 海水ポンプ室のコア採取による圧縮強度試験結果

| 採取位置 | 供試体数 (本) | 実強度 (N/mm ²) | | ヤング係数 (kN/mm ²) | |
|------|-------------|--------------------------|------|-----------------------------|------|
| | | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 |
| 妻壁①* | 13 | 34.5 | 29.8 | 32.3 | 30.0 |
| 妻壁②* | | 38.4 | 27.4 | 27.4 | 22.6 |
| 隔壁①* | | 40.4 | 36.8 | 33.5 | 31.3 |
| 隔壁②* | | 52.6 | 52.6 | 35.4 | 35.4 |
| 側壁* | | 51.6 | 37.3 | 35.7 | 31.2 |

注記*：採取位置の名称は図 9.2-13 に示す。

表 9.3-13 耐震安全性評価における解析ケース

| 解析ケース | 材料物性 (コンクリート) (E ₀ ：ヤング係数) | 地盤物性 | |
|-----------------|---|--|---|
| | | 盛土, 旧表土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G ₀ ：初期せん断弾性係数) | C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G _d ：動せん断弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 |
| ケース② | 設計基準強度 | 平均値 + 1σ | 平均値 |
| ケース③ | 設計基準強度 | 平均値 - 1σ | 平均値 |
| ケース④ | 実強度に基づく 圧縮強度* ¹ | 平均値 | 平均値 |
| ケース⑤ | 初期剛性低下考慮* ² | 平均値 | 平均値 |

注記*¹：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験に基づき表 9.3-11 に示すとおりとする。

*²：機器・配管系の耐震安全性評価に適用する。剛性を 0.75 倍することにより初期剛性低下を考慮する。

c. 耐震安全性評価における解析ケースの組合せ

海水ポンプ室の耐震安全性評価においては、基準地震動 S_s (7 波) 及びこれらに水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波を用いてケース① (基本ケース) を実施する。

上記のケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動*を用いて、図 9.3-55 に示すケース②～④を実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

耐震安全性評価に対する解析ケースの組合せを表 9.3-14 に示す。また、追加解析ケースを実施する地震動の選定フローを図 9.3-56 に示す。

注記*：各要求機能 (支持機能、通水機能、貯水機能、止水機能) により許容限界は異なるが、各照査項目に対する許容限界のうち、余裕が最も小さくなる地震動を選定する。

d. 従方向荷重の選定

海水ポンプ室は、弱軸方向が明確であることから、弱軸方向を評価対象として耐震評価を行って、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁は主たる荷重としては面内の荷重に抵抗しているが、従方向 (強軸方向) の地震力に対しては、面外荷重の影響を受けることになる。よって、海水ポンプ室は弱軸方向の耐震評価に加えて加振方向に平行に配置された壁部材への影響を確認するため、従方向の荷重を作用させる。評価用地震動及び時刻は、基準地震動 S_s (7 波)、水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) 及びばらつきケースの中で最も照査値が厳しい地震動、時刻に対し実施する。弱軸方向に直交する断面の地震時荷重は、基準地震動による弱軸方向での地震時荷重算出時刻と同時刻の荷重を、位相を変えた地震動にて算出して用いる。 $S_s - N1$ は観測波に基づいており地震動の方向に偏りがあり、基準地震動 S_s と直交する地震動が基準地震動 S_s に比べ小さいことから、 $S_s - N1$ が選定された場合は、2 番目に照査値が厳しい地震動においても水平 2 方向評価を実施する。

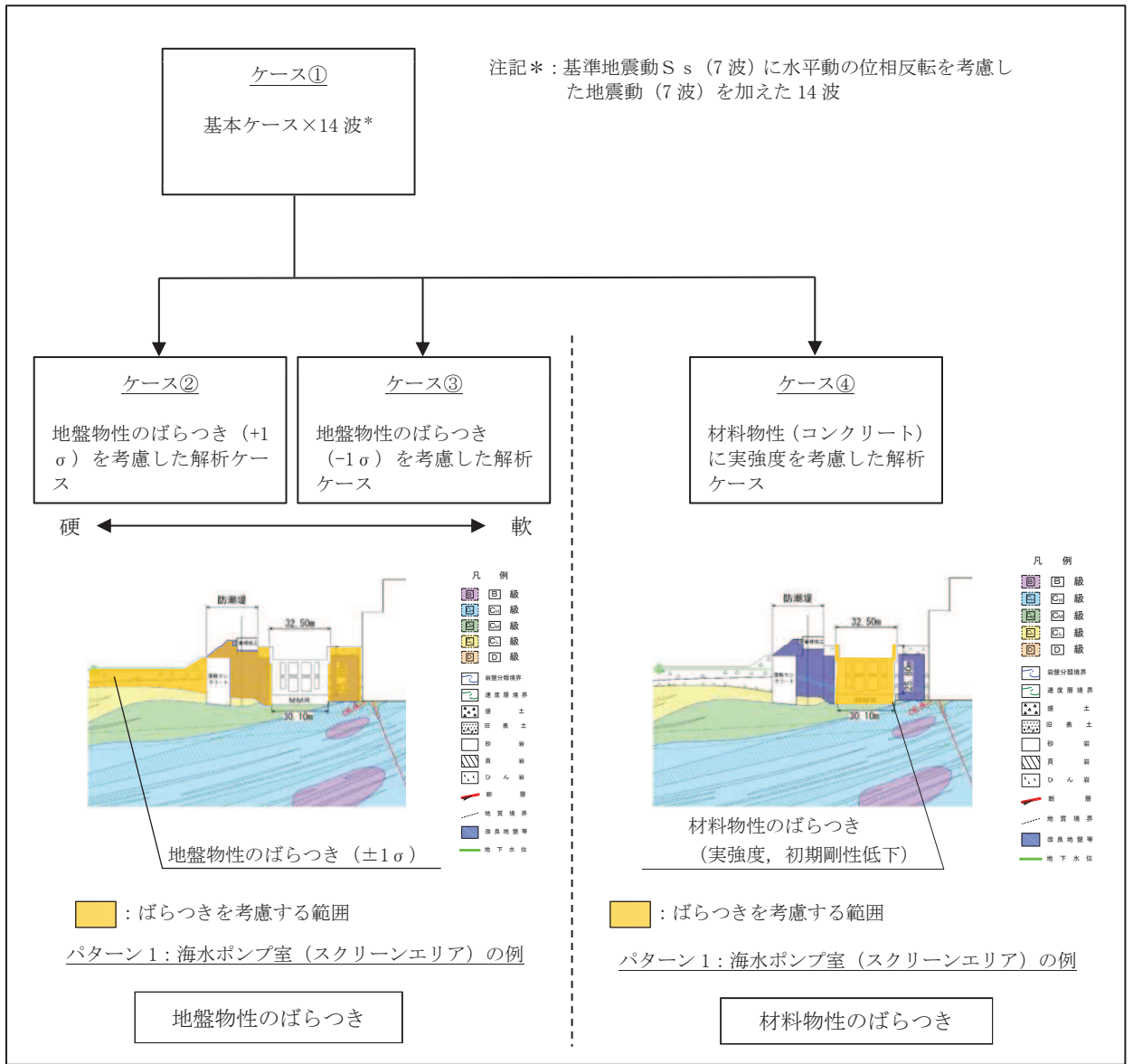


図 9.3-55 屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケース

表 9.3-14 海水ポンプ室の耐震安全性評価における解析ケース

| 解析ケース | | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ | |
|----------|--------------------|--------|-------------------------------------|---|------------------------------|--|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース | 材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース | |
| 地盤物性 | | 平均値 | 平均値+1 σ | 平均値-1 σ | 平均値 | |
| 材料物性 | | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 実強度に基づく圧縮強度*2 | |
| 地震動 (位相) | S _s -D1 | ++*1 | ○ | 基準地震動 S _s (7 波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②~④を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②~④を実施する。 | | |
| | | -+*1 | ○ | | | |
| | S _s -D2 | ++*1 | ○ | | | |
| | | -+*1 | ○ | | | |
| | S _s -D3 | ++*1 | ○ | | | |
| | | -+*1 | ○ | | | |
| | S _s -F1 | ++*1 | ○ | | | |
| | | -+*1 | ○ | | | |
| | S _s -F2 | ++*1 | ○ | | | |
| | | -+*1 | ○ | | | |
| | S _s -F3 | ++*1 | ○ | | | |
| | | -+*1 | ○ | | | |
| | S _s -N1 | ++*1 | ○ | | | |
| | | -+*1 | ○ | | | |

注記*1：耐震評価にあたっては、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会 原子力土木委員会, 2005 年 6 月) (以下「土木学会マニュアル」という。) に従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。なお、新設構造物については、文献を参照し推定した圧縮強度とする。

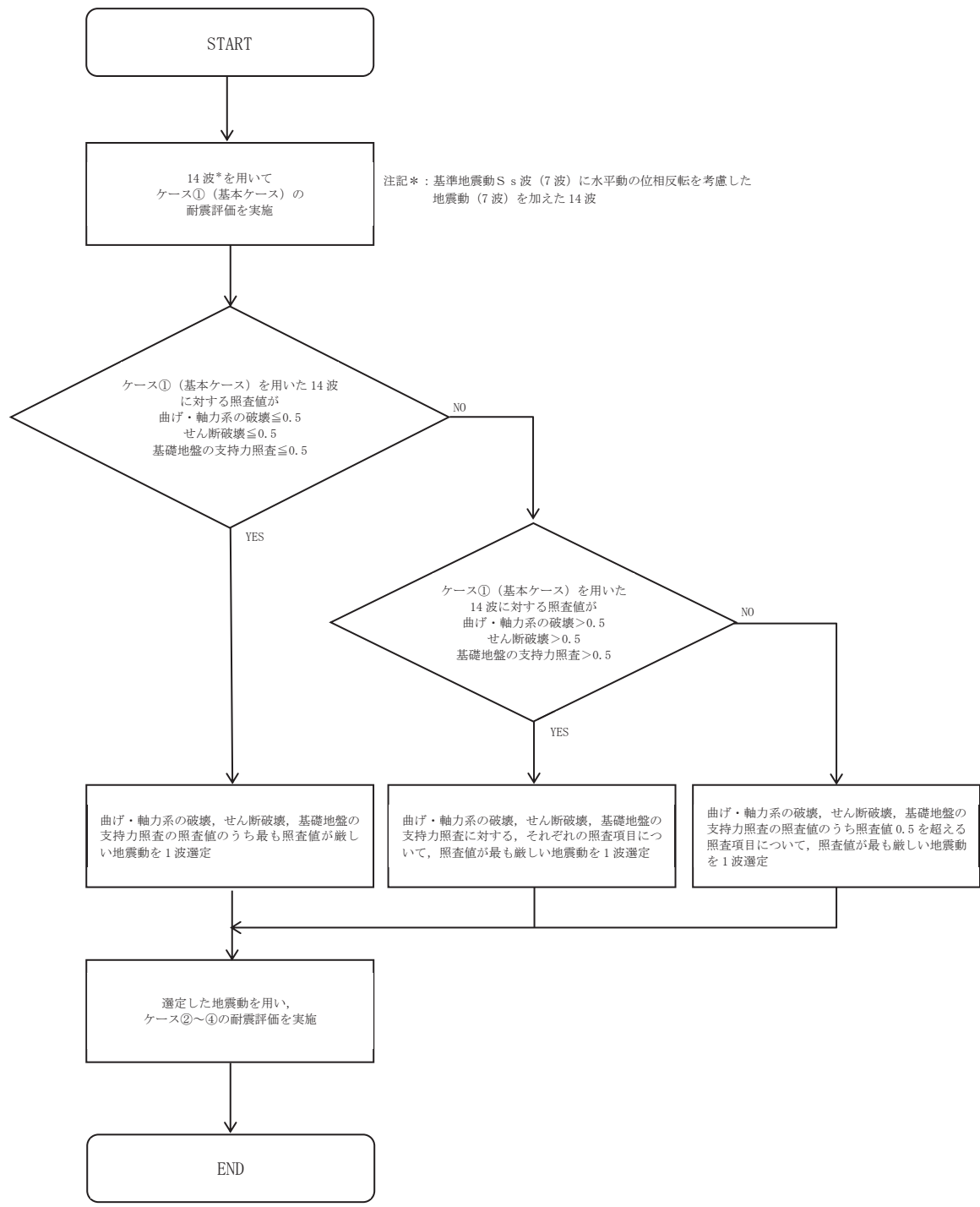


図 9.3-56 追加解析を実施する地震動の選定フロー

9.3.6 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

海水ポンプ室に支持される機器・配管系の耐震安全性評価に適用する床応答への保守的な配慮として、基準地震動 S_s （7波）及び弾性設計用地震動 S_d を用いて、ケース①に加え、図9.3-46に示すケース②～④の解析を実施する。

なお、基準地震動 S_s （7波）についてはケース⑤の影響を確認する。

また、女川原子力発電所の基礎地盤の速度構造はおおむね水平成層であることから、設計用床応答曲線を用いる機器・配管系の評価においては、水平動の位相反転を考慮した地震動の影響は少ないと考えるが、水平動の位相反転を考慮したケースについても影響を確認する。

機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位抽出の基本ケースであるケース①に対して、最も地盤が固い条件となるケース②及び最も地盤が軟らかいケース③、最も材料特性が固い条件のケース④を実施することで地盤剛性等のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

応答変位については、最も地盤が軟らかいケース③を含んでいることから、変位を保守的に見込むことができる。

機器・配管系の応答加速度及び応答変位抽出のための解析ケースを表9.3-15に示す。

表 9.3-15 (1) 機器・配管系の応答加速度及び応答変位抽出のための解析ケース
(基準地震動 S s)

| 解析ケース | | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ | ケース⑤ |
|-------------|-----------|-------------|--|--|--|--|
| | | 基本 ケース*2 | 地盤物性の ばらつき (+1σ)を 考慮した解 析ケース | 地盤物性の ばらつき (-1σ)を 考慮した解 析ケース | 材料物性 (コンクリ ート)に実 強度を考慮 した解析ケ ース | 材料物性 (コ ンクリート) に初期剛性低 下を考慮した 解析ケース*4 |
| 地盤物性 | | 平均値 | 平均値+1σ | 平均値-1σ | 平均値 | 平均値 |
| 材料物性 | | 設計基準 強度 | 設計基準 強度 | 設計基準 強度 | 実強度に 基づく圧縮 強度*3 | 初期剛性 低下考慮 |
| 地震動 (位相) | S s - D 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | S s - D 2 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | S s - D 3 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | S s - F 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | S s - F 2 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | S s - F 3 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | S s - N 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |

注記*1：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：基本ケースにおいて，水平動の位相を反転させたケースについても影響を確認する。

*3：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。なお，新設構造物については，文献を参照し推定した圧縮強度とする。

*4：コンクリートに初期剛性低下を考慮したケースについても影響を確認する。

表 9.3-15 (2) 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース
(弾性設計用地震動 S d)

| 解析ケース | | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ |
|-------------|---------|------------|---|--|---|
| | | 基本 ケース | 地盤物性のば らつき (+1 σ)を考 慮した解析ケ ース | 地盤物性のば らつき (- 1 σ)を考慮し た解析ケース | 材料物性 (コン クリート)に実 強度を考慮した 解析ケース |
| 地盤物性 | | 平均値 | 平均値+1 σ | 平均値-1 σ | 平均値 |
| 材料物性 | | 設計基準 強度 | 設計基準 強度 | 設計基準 強度 | 実強度に 基づく圧縮強度 *2 |
| 地震動 (位相) | S d-D 1 | ++ *1 | ○ | ○ | ○ |
| | S d-D 2 | ++ *1 | ○ | ○ | ○ |
| | S d-D 3 | ++ *1 | ○ | ○ | ○ |
| | S d-F 1 | ++ *1 | ○ | ○ | ○ |
| | S d-F 2 | ++ *1 | ○ | ○ | ○ |
| | S d-F 3 | ++ *1 | ○ | ○ | ○ |
| | S d-N 1 | ++ *1 | ○ | ○ | ○ |

注記*1：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。なお，新設構造物については，文献を参照し推定した圧縮強度とする。

9.4 三次元構造解析

9.4.1 解析手法

海水ポンプ室は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁を有する箱形構造物であることから、構造部材の応答値は、三次元構造解析により耐震評価を行う。

海水ポンプ室に要求される機能は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備を支持する機能（間接支持機能）、非常時における海水の通水機能及び貯水機能、浸水防止のための止水機能が要求されることから、構造部材（鉄筋コンクリート）は、ひび割れ状態を評価できる非線形ソリッド要素を用いる。

海水ポンプ室に作用する荷重は、二次元の地震応答解析において構造物の評価に支配的な荷重が作用する時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から設定する。三次元構造解析には、解析コード「COM3 Ver.9.15」を用いる。

本解析コードは、前川モデルに基づく非線形性を考慮しており、前川モデルは新規制基準適合性審査において使用実績のある解析コード「WCOMD」に適用されている構成則であり、コンクリート標準示方書 2017 にも規定されている。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

9.4.2 解析モデルの設定

(1) 構造物のモデル化

材料の非線形特性を考慮した非線形ソリッド要素でモデル化する。モデル概念図を図9.4-1に、要素分割図を図9.4-2に示す。

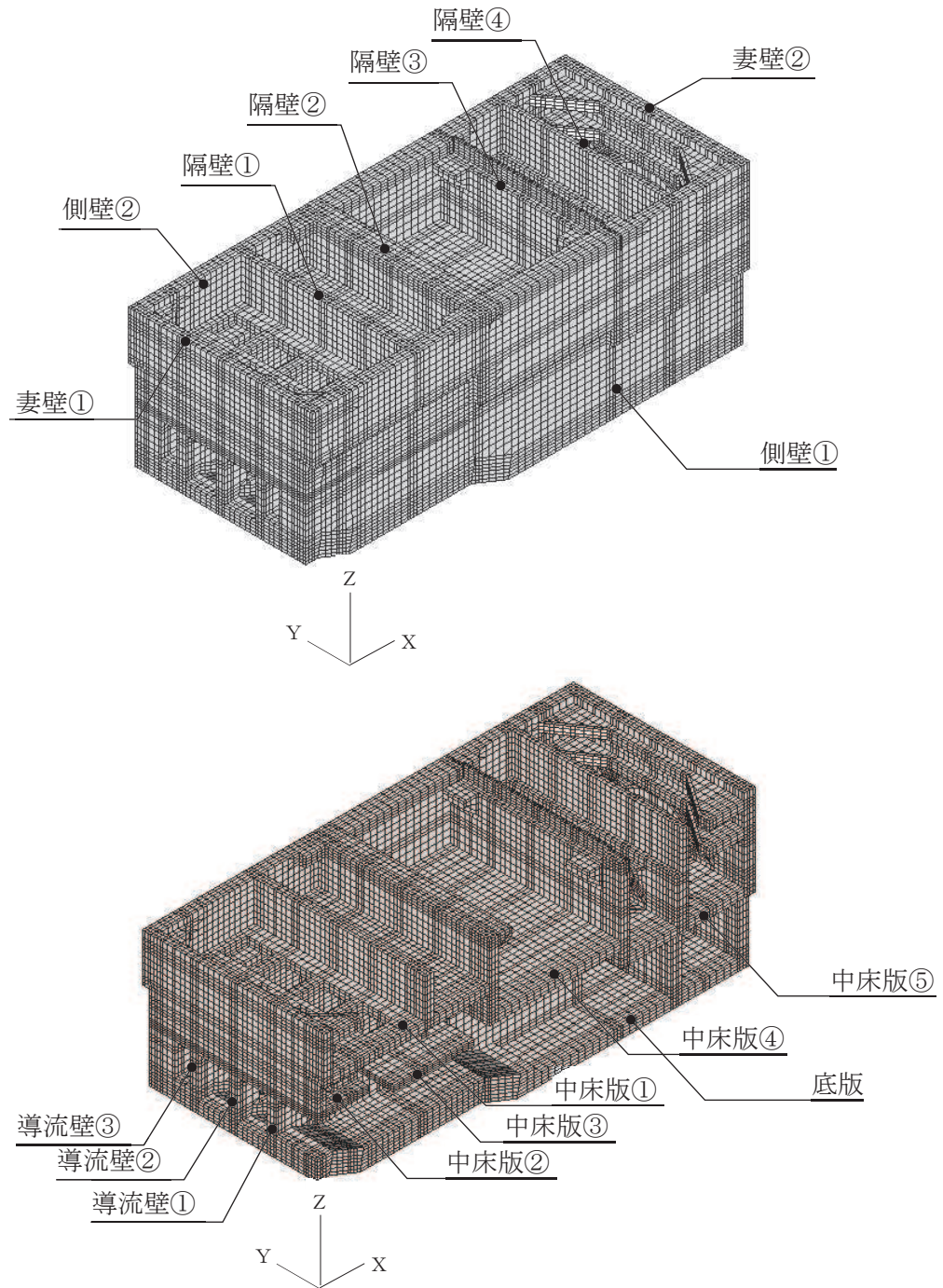
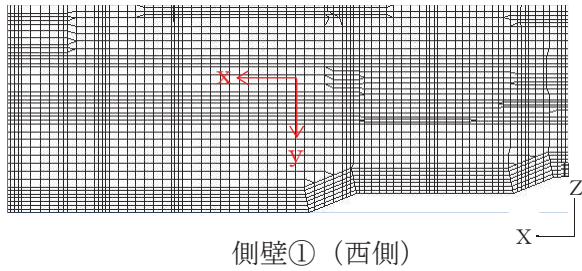
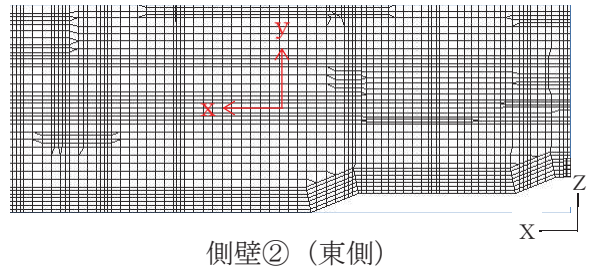


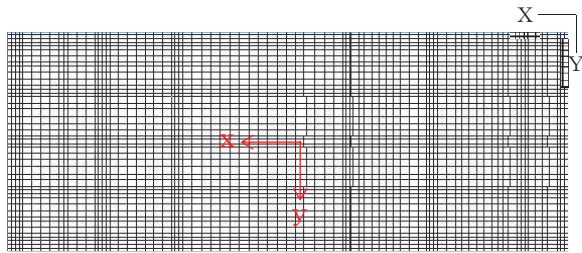
図 9.4-1 三次元構造解析モデルの概念図



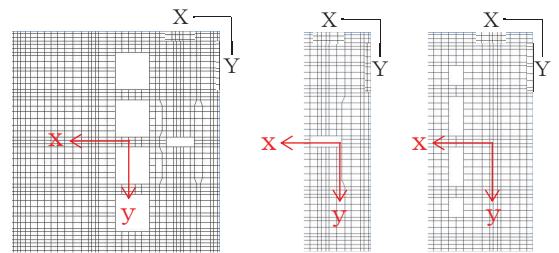
側壁① (西側)



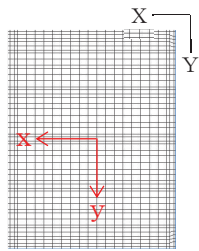
側壁② (東側)



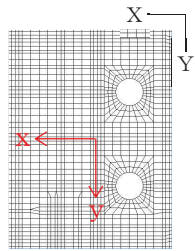
底板



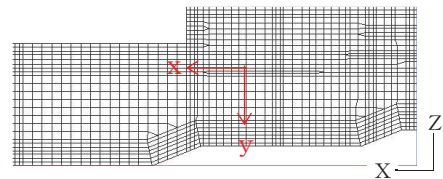
中床版① (スクリーン上) 中床版②・③ (スクリーン下)



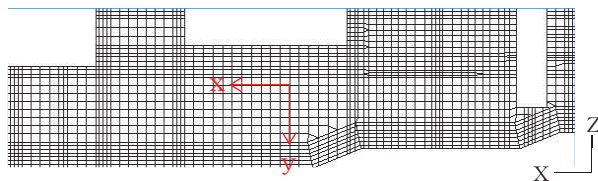
中床版④ (補機)



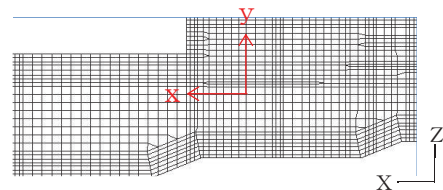
中床版⑤ (循環水)



導流壁① (西側)



導流壁② (中央)

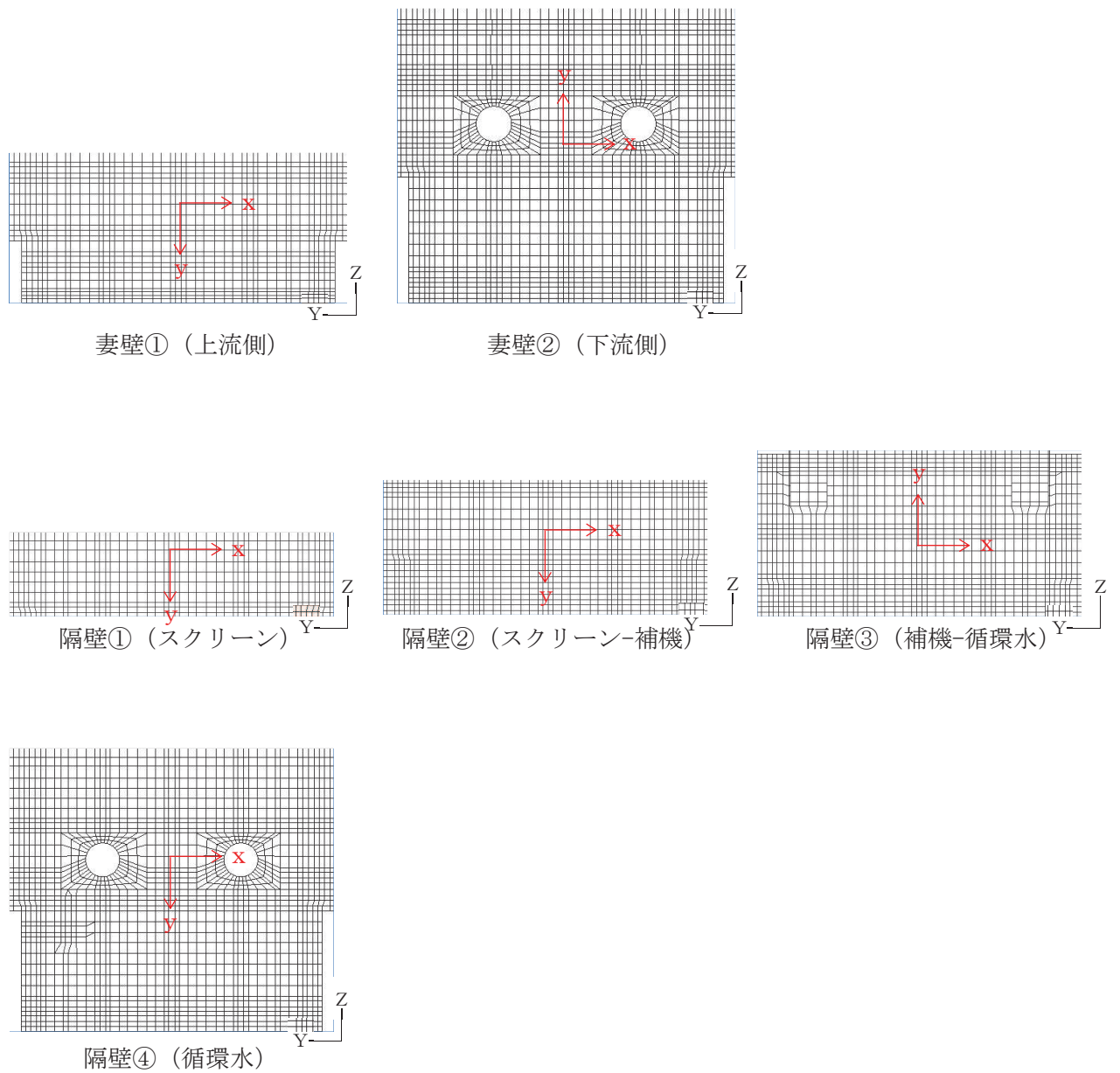


導流壁③ (東側)

黒：全体座標系を示す

赤：要素座標系を示す

図 9.4-2 要素分割図 (1/2)



黒：全体座標系を示す

赤：要素座標系を示す

図 9.4-2 要素分割図 (2/2)

(2) 地盤ばね要素

地盤ばねは、常時解析においては「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」に基づき設定する。

地震時解析においては、支持地盤は、地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。側方地盤は、弾性ばねでモデル化し、妻壁の法線方向に取り付け、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に基づき設定する。

(3) 材料の非線形特性

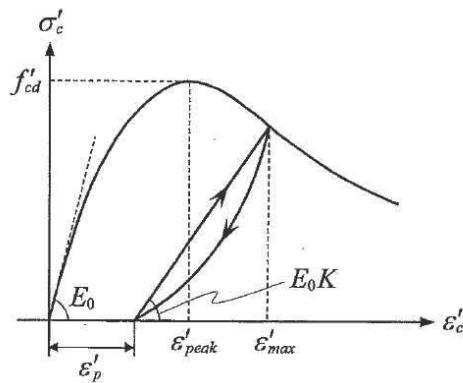
a. コンクリート

(a) 圧縮応力下における応力-ひずみ関係

図 9.4-3 に一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。

圧縮応力下の応力-ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を越えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、図 9.4-4 に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。



$$\sigma'_c = E_0 K (\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\varepsilon'_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \left(1 - \exp \left(-1.25 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$$

$$\varepsilon'_p = \varepsilon'_{max} - 2.86 \cdot \varepsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left(-0.35 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right\}$$

$$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$$

ここに、

ε'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい)

ε'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

ε'_p : 塑性ひずみ

K : 弾性剛性残存率

図 9.4-3 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性

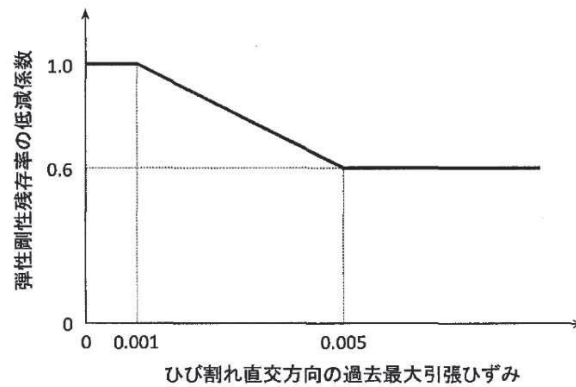
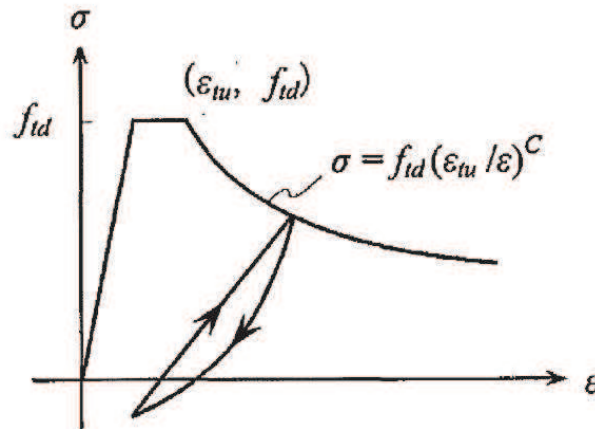


図 9.4-4 弾性剛性残存率の低減係数

(b) 引張応力下における応力-ひずみ関係

引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、図 9.4-5 に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では、引張軟化挙動は、破壊エネルギー (G_f) によって定義する。引張軟化挙動の考慮に当たっては、図 9.4-6 に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が G_f/Le (要素寸法) に一致するように、軟化特性を表す係数 C を用いる。



- f_{td} : 設計引張強度
- ϵ_{tu} : 引張軟化開始ひずみ
- C : 引張軟化特性を表す係数

図 9.4-5 引張対応力下における鉄筋とコンクリートの付着効果を考慮した応力-ひずみ関係

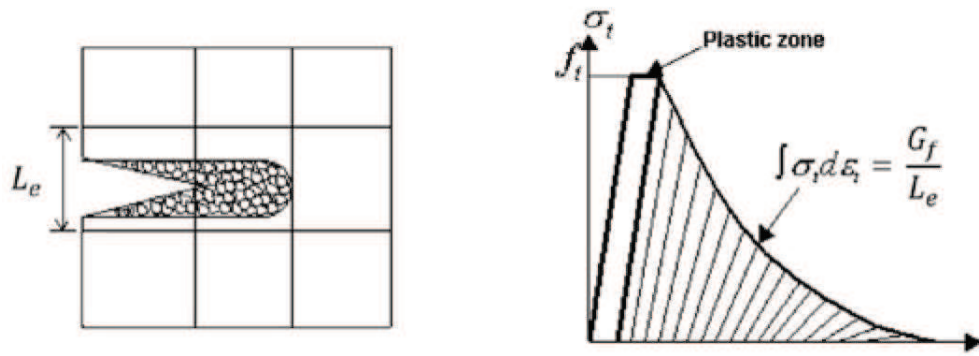
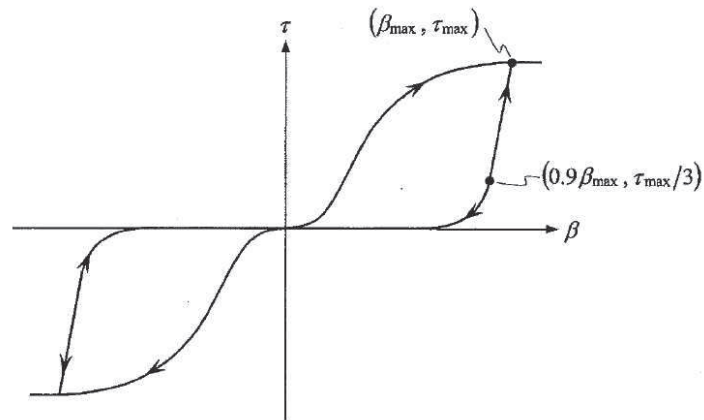


図 9.4-6 応力—ひずみ曲線と破壊エネルギー G_f の関係

(c) ひび割れ面でのせん断伝達関係

コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは、ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、図 9.4-7 に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。



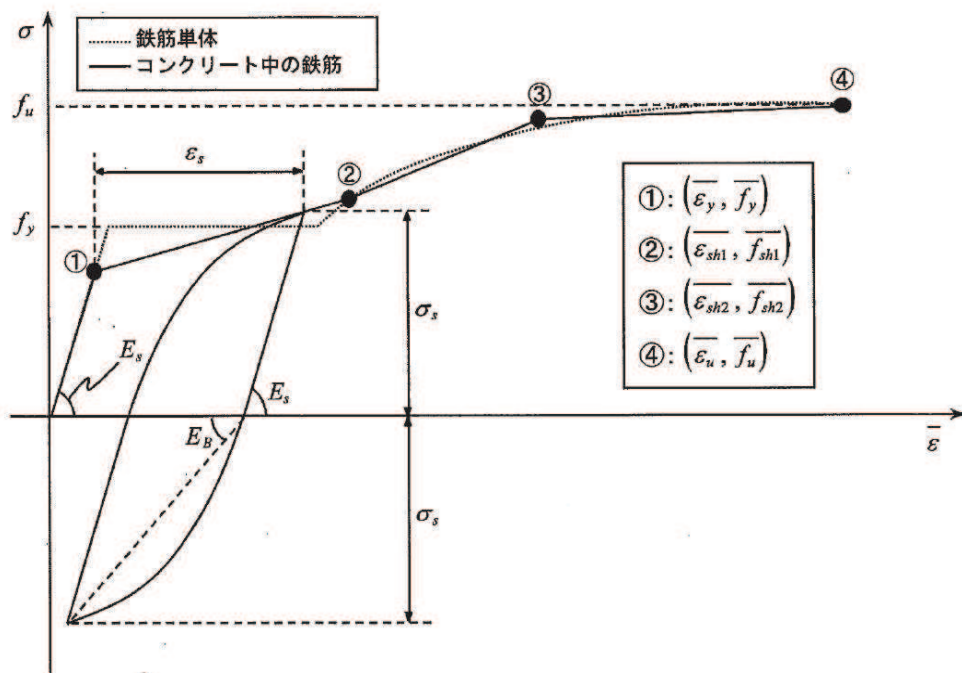
- β : ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比 (γ / ε)
- τ : ひび割れ面でのせん断応力
- τ_{max} : 除荷開始時せん断応力
- β_{max} : 除荷開始時せん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

図 9.4-7 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

b. 鉄筋

(a) 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力—平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力—ひずみ関係と異なり、図 9.4-8 に示すひずみ硬化特性を考慮する。



- f_y : 鉄筋単体の降伏強度 (N/mm²)
- f_u : 鉄筋単体の引張強度 (N/mm²)
- E_s : 鉄筋単体のヤング率 (N/mm²)
- ϵ_y : 鉄筋単体の降伏ひずみ
- ϵ_{sh} : 鉄筋単体のひずみ硬化開始ひずみ
- p : 鉄筋比
- f_1 : コンクリートの引張強度 (N/mm²)

図 9.4-8 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係

c. 鉄筋コンクリート

(a) 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果（引張特性が硬化する現象）として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_S}{A_{RC}} \bar{\sigma}_S + \frac{A_C}{A_{RC}} \bar{\sigma}_C$$

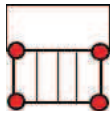
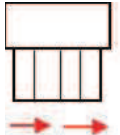
ここに、 $\bar{\sigma}_S$, $\bar{\sigma}_C$: それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

A_S , A_C : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積, $A_{RC} = A_S + A_C$

9.4.3 照査時刻の選定

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モードごと及び部材ごとに評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。表 9.4-1 に照査時刻の選定の考え方を示す。

表 9.4-1 照査時刻の考え方

| 照査時刻 | 損傷モード | 着目部位 | | 荷重抽出時刻 |
|---------|----------------------------------|-----------|--|---------------------------------------|
| 時刻 1 | 曲げ・軸力系の破壊 | 壁 (面外) |  | 下部構造（水路）における 頂底板間の層間変位が 最大となる時刻 |
| 時刻 2, 3 | 曲げ・軸力系の破壊 | 壁 (面外) |  | 上部構造における 各側壁の転倒曲げモーメントが最大となる時刻 |
| 時刻 4 | せん断破壊 (面外) | 壁 (面外) |  | 総水平荷重が 最大となる時刻 |
| 時刻 5, 6 | せん断破壊 (面外) | 壁 (面外) |  | 上部構造における 各側壁の水平荷重が 最大となる時刻 |
| 時刻 7 | せん断破壊 (面内) | 壁 (面内) |  | 面部材の層間変位が 最大となる時刻 |
| 時刻 8, 9 | 曲げ・軸力系の破壊 及び せん断破壊 (面外) | 壁 (面外) |  | 上部構造における 各側壁の上部荷重が 最大となる時刻 |

9.4.4 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は「9.4.3 照査時刻の選定」にて選定した照査時刻に対し、地震応答解析から同時刻における水平荷重及び鉛直荷重の応答値を抽出し、算定する。入力荷重の一覧を表9.4-2に、各入力荷重の算定フローを図9.4-9に示す。

表9.4-2 入力荷重一覧

| 入力荷重 | | 地震応答解析から抽出する応答値 | 載荷位置 |
|---------|------------------------|-----------------|------|
| 慣性力 | 機器・配管の慣性力 | 応答加速度 | 設置位置 |
| | 竜巻防護ネットの反力 | 応答加速度 | 設置位置 |
| | 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の反力 | 応答加速度 | 設置位置 |
| | 躯体の慣性力 | 応答加速度 | 躯体全体 |
| 内水圧・動水圧 | | 応答加速度* | 作用位置 |
| 土圧・水圧 | | 土圧・水圧 | 作用位置 |
| 周面せん断力 | | 土圧・水圧 | 作用位置 |

注記*：動水圧は、地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

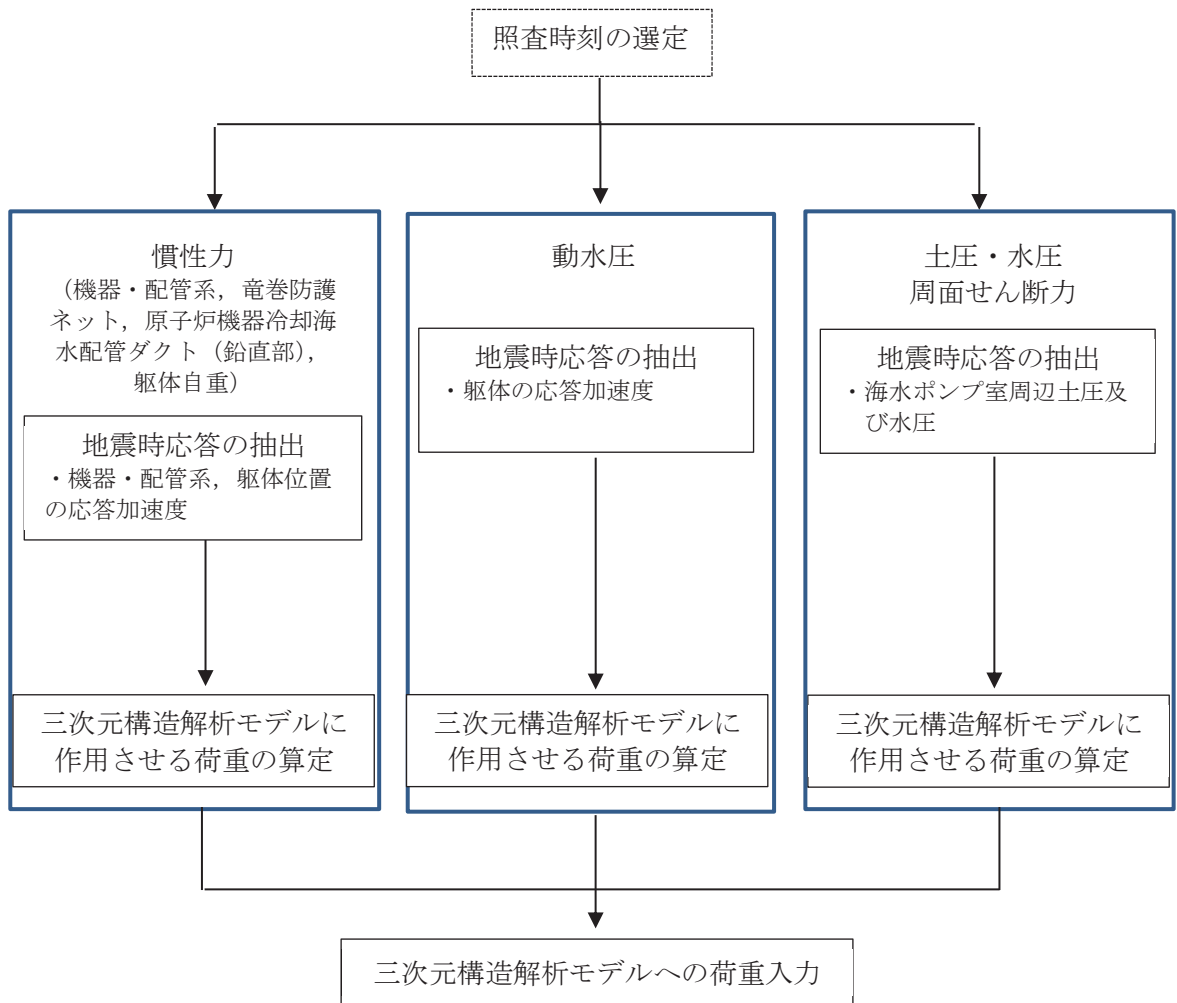


図9.4-9 各入力荷重の算定フロー

(1) 慣性力（機器・配管系及び躯体）

機器・配管系及び躯体の慣性力は、地震応答解析モデルにおける平面応力要素の応答加速度分布から算定する。応答加速度の抽出位置を図 9.4-10 に示す。

算定した慣性力は、図 9.4-11 に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

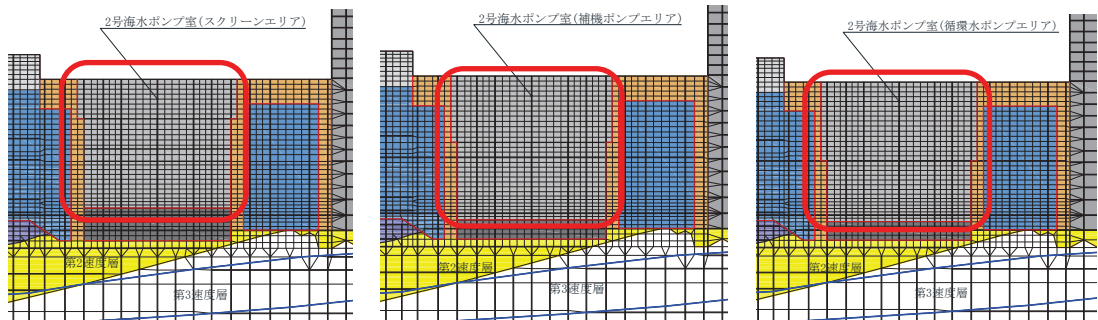


図 9.4-10 応答加速度の抽出位置

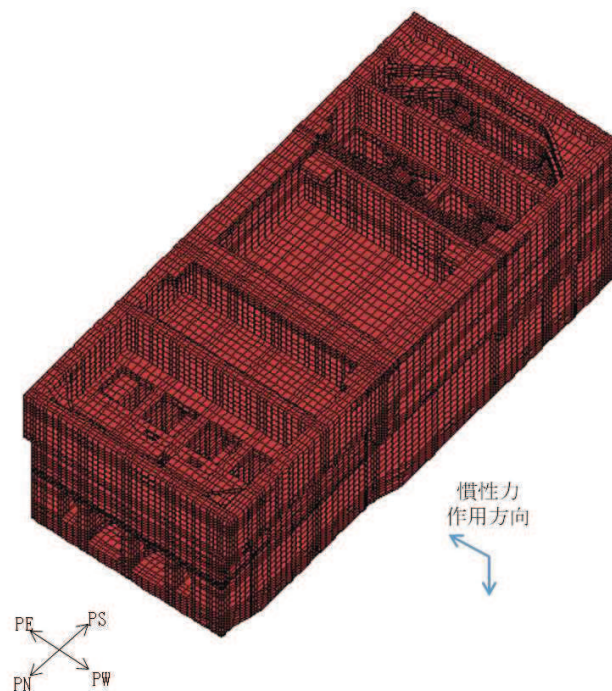


図 9.4-11 三次元構造解析モデルに入力する慣性力（機器・配管系及び躯体）の概念図

(2) 慣性力（竜巻防護ネット反力）

竜巻防護ネットの反力は、荷重載荷位置での応答加速度に竜巻防護ネット重量を考慮した慣性力として載荷する。応答加速度の抽出位置を図 9.4-12 に示す。

算定した反力は、図 9.4-13 に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

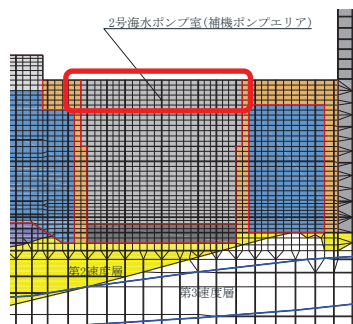


図 9.4-12 応答加速度の抽出位置

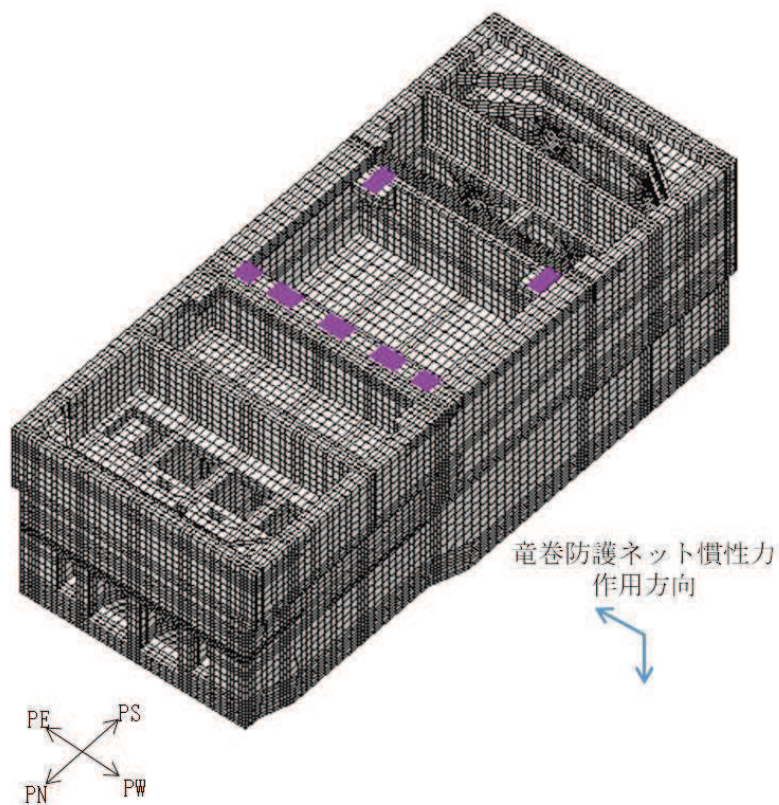


図 9.4-13 三次元構造解析モデルに入力する慣性力（竜巻防護ネット反力）の概念図

(3) 慣性力（原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部））

海水ポンプ室の西側の側壁には原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が懸架されている。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が海水ポンプ室に接続している位置における応答加速度を抽出し、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の自重分を考慮した慣性力を入力する。応答加速度の抽出位置を図 9.4-14 に示す。

算定した反力は、図 9.4-15 に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

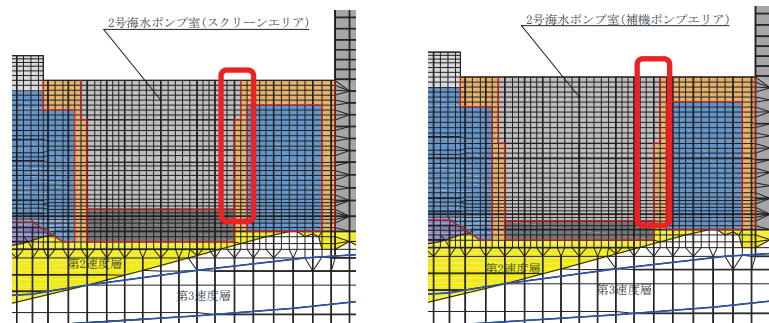


図 9.4-14 応答加速度の抽出位置

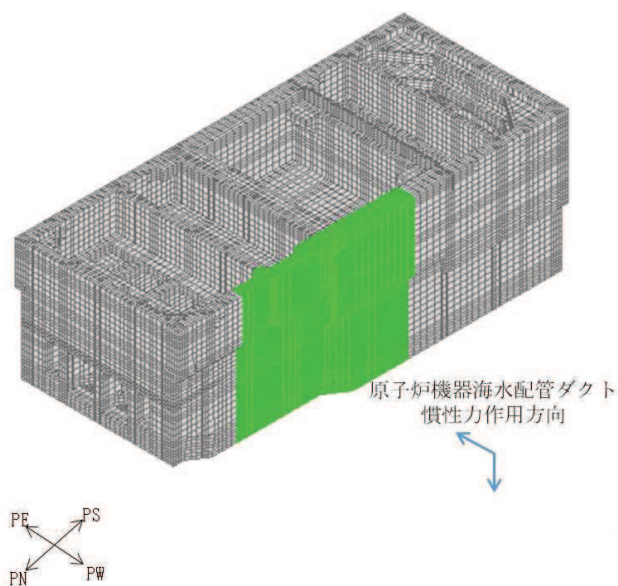


図 9.4-15 三次元構造解析モデルに入力する慣性力（原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部））の概念図

(4) 内水圧・動水圧

海水ポンプ室の内部には、朔望平均満潮位（O.P. +2.43m）を静水面とした内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{kg}/\text{cm}^3$ を考慮する。

動水圧については、満水状態と開水状態の箇所に分けて荷重を作用させる。算定した動水圧は図9.4-16の概略図に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

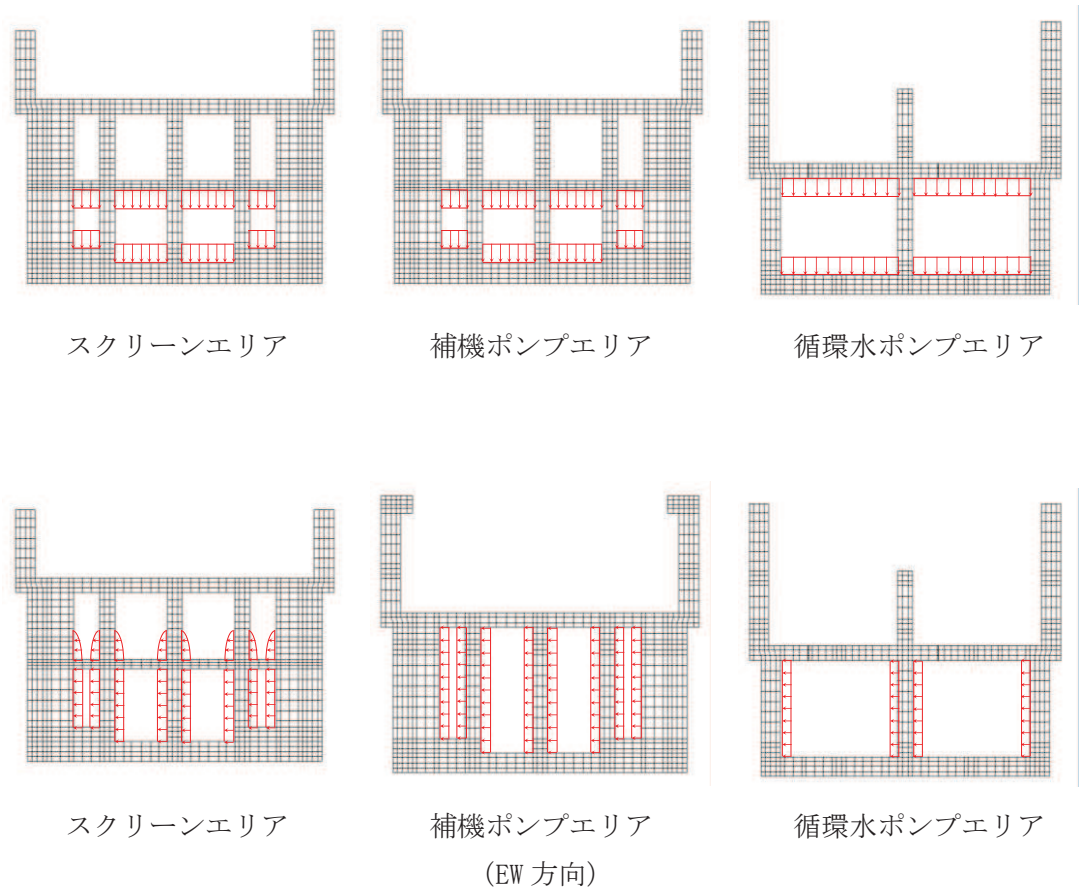


図 9.4-16 動水圧の概念図

(5) 土圧・水圧及び周面せん断力

躯体側面に作用する土圧・水圧及び周面せん断力は、地震応答解析モデルにおいて各部位に接するジョイント要素の、照査時刻における要素応力から算定する。土圧・水圧及び周面せん断力の抽出位置を図9.4-17に示す。また、算定した土圧・水圧及び周面せん断力は、図9.4-18に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

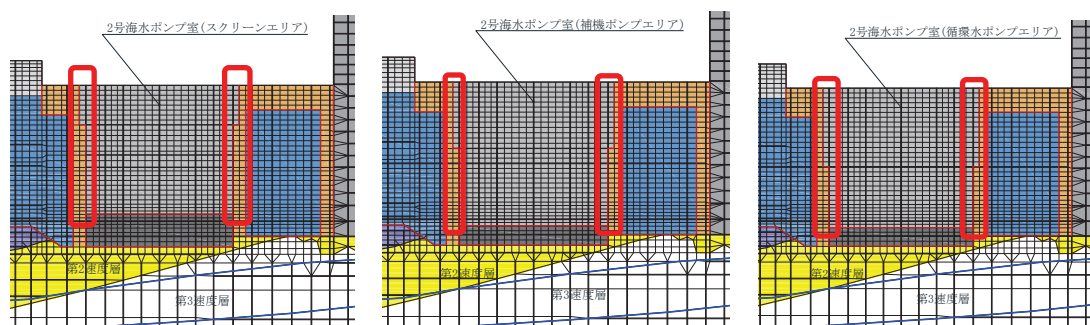


図 9.4-17 土圧抽出位置

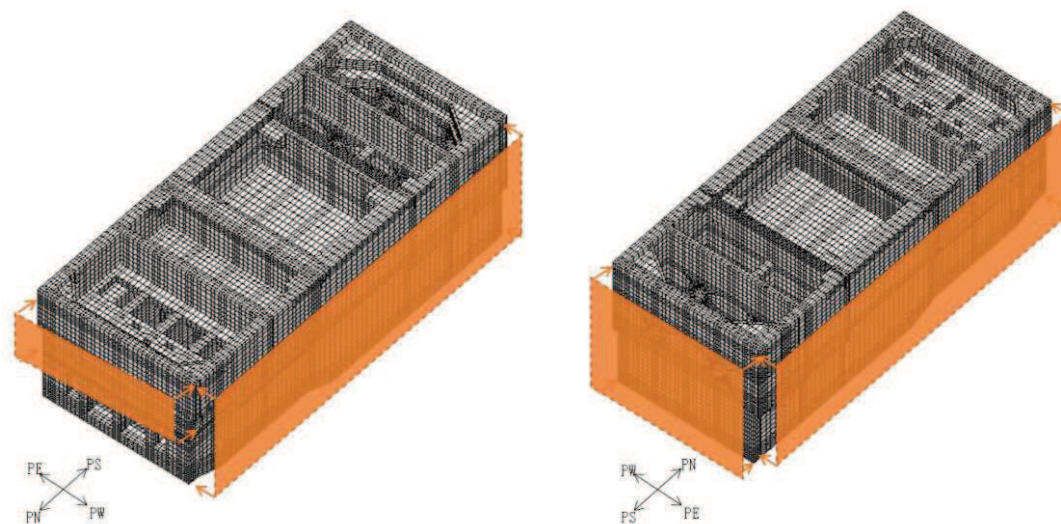


図 9.4-18 土圧の概念図

9.5 評価内容

9.5.1 入力地震動の設定

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

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図9.5-1に入力地震動算定の概念図を、図9.5-2～図9.5-29に東西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、図9.5-30～図9.5-57に南北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示す。入力地震動の算定には、解析コード「Ark Quake Ver. 3.10」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

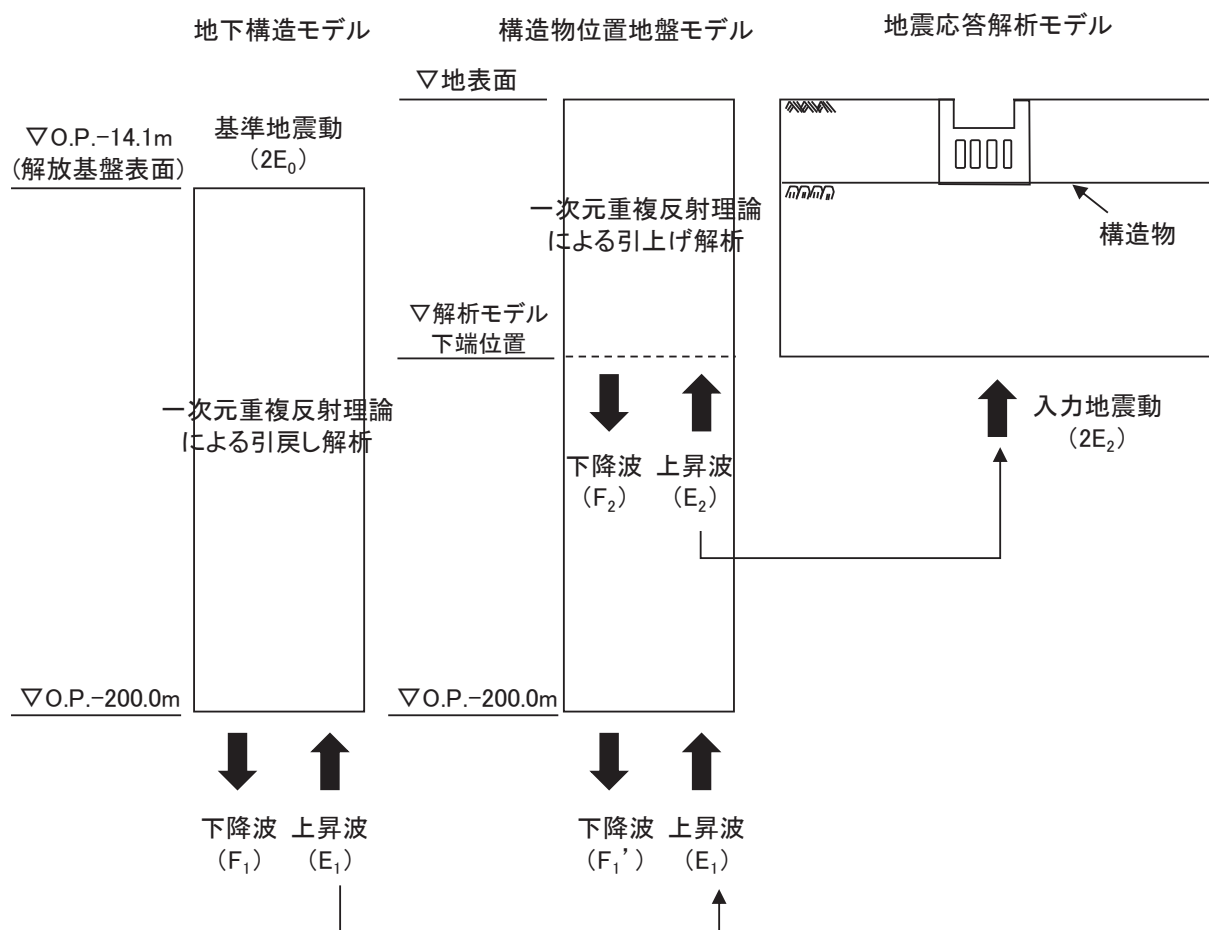


図 9.5-1 (1) 入力地震動算定の概念図 (基準地震動 S_s)

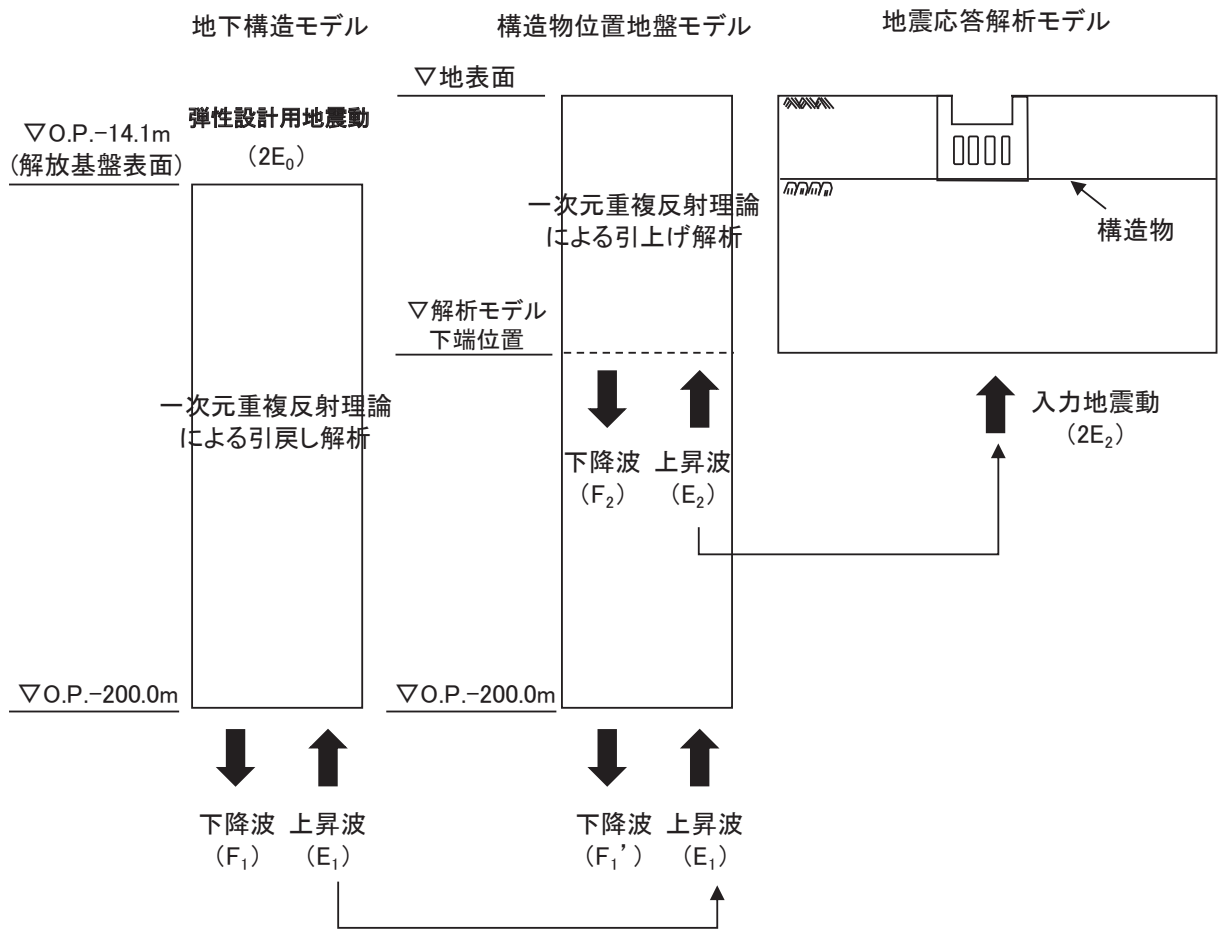
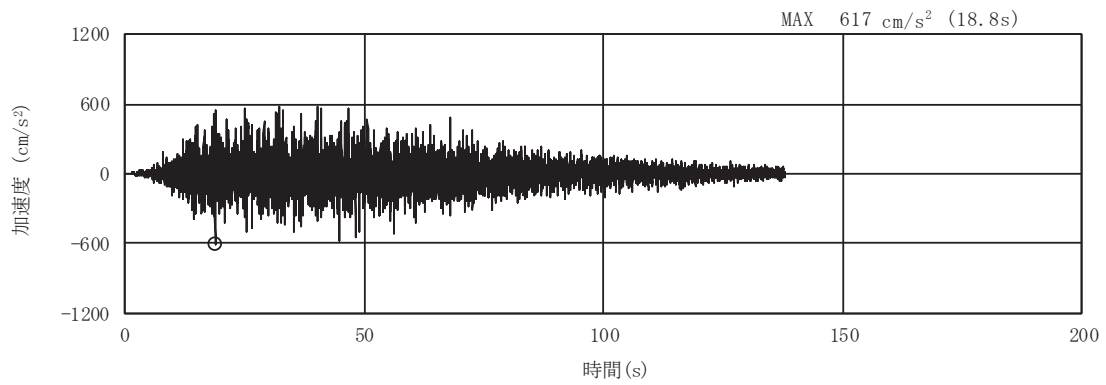
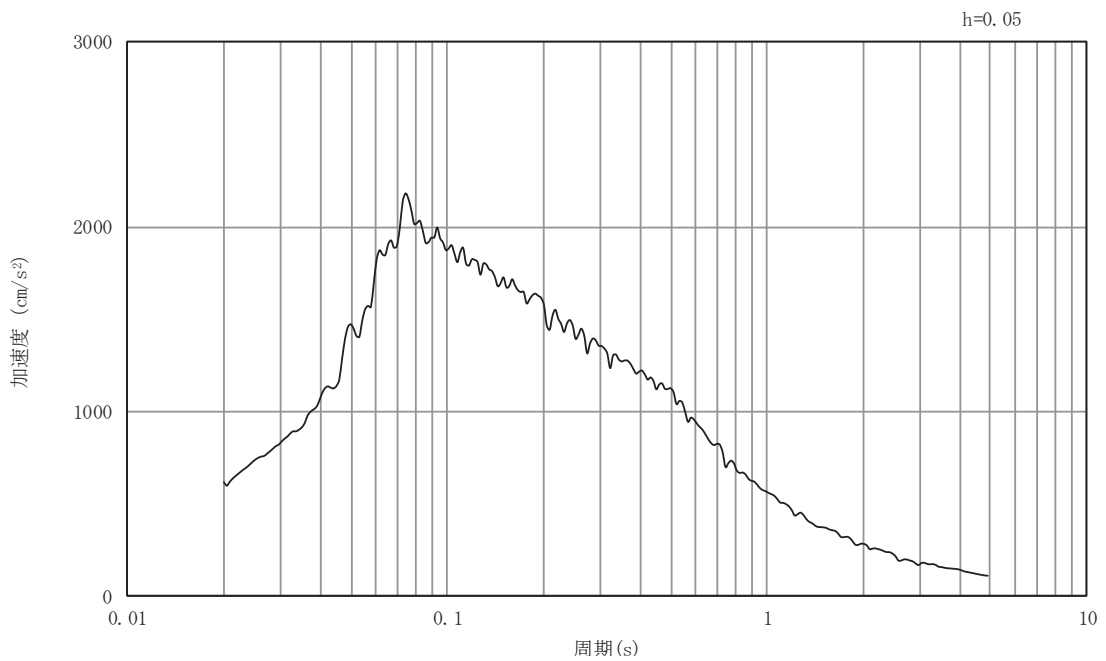


図9.5-1 (2) 入力地震動算定の概念図 (弾性設計用地震動 S d)

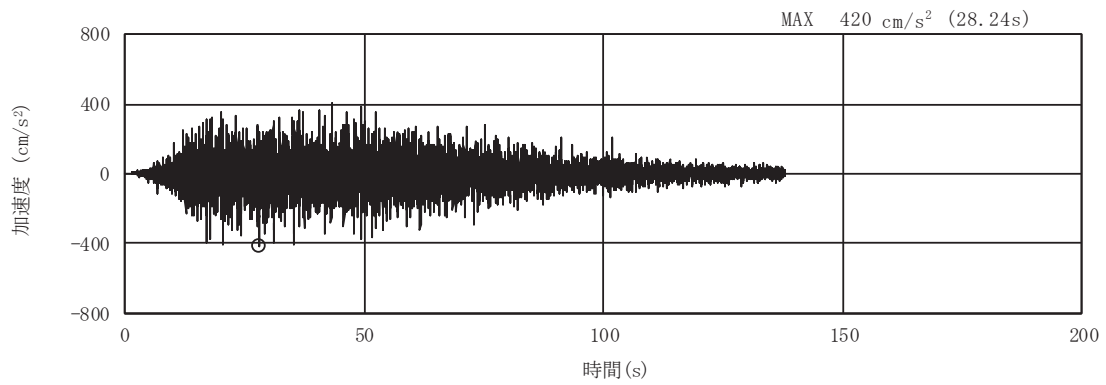


(a) 加速度時刻歴波形

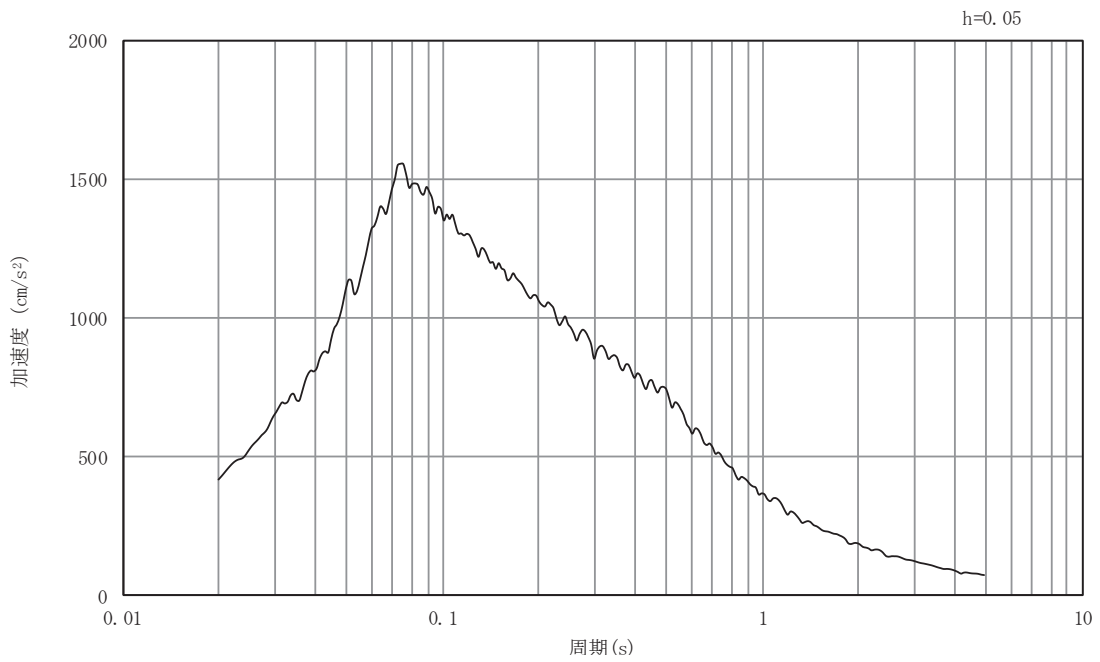


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-2 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
(東西方向, 水平成分: S s - D 1)

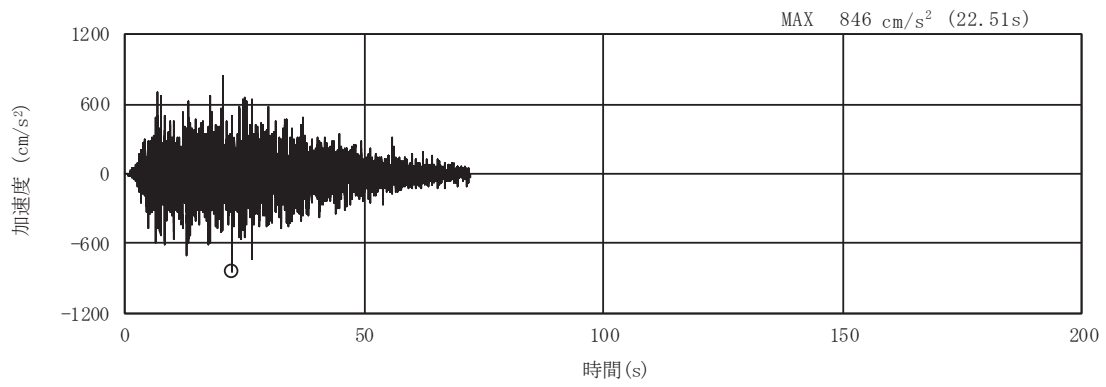


(a) 加速度時刻歴波形

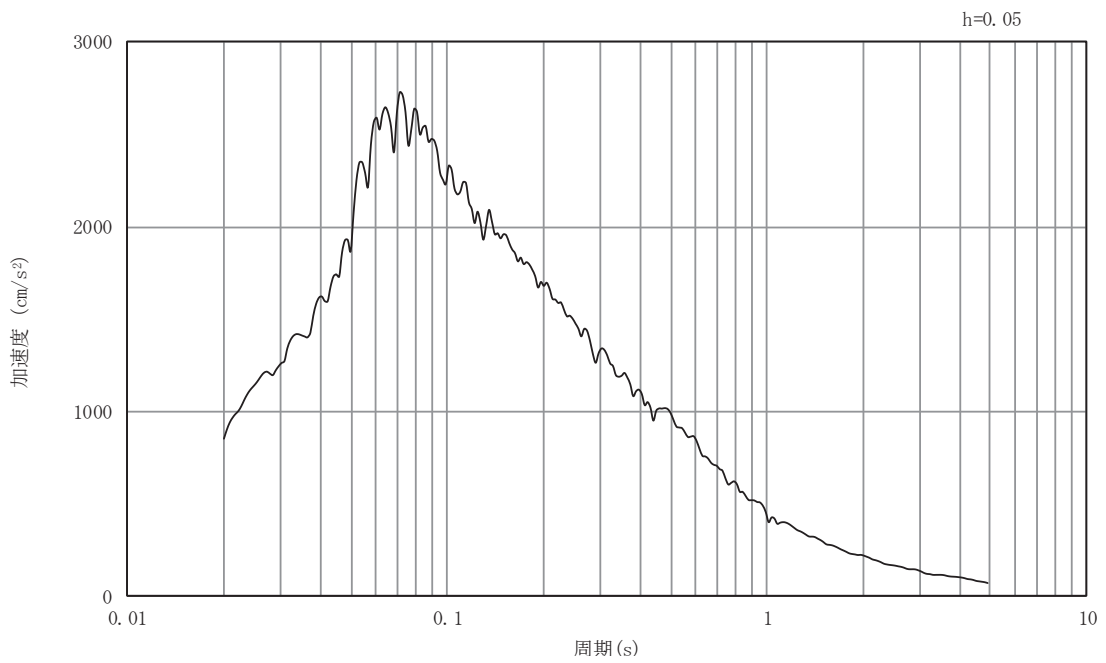


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-3 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S s - D 1)

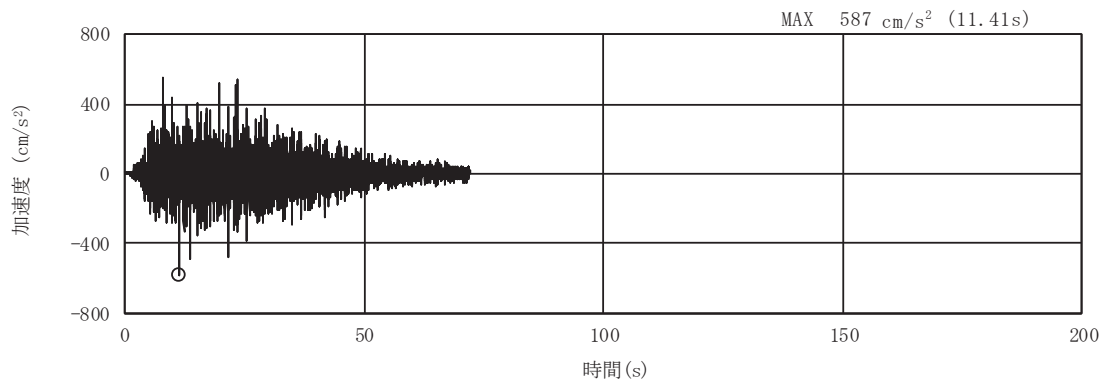


(a) 加速度時刻歴波形

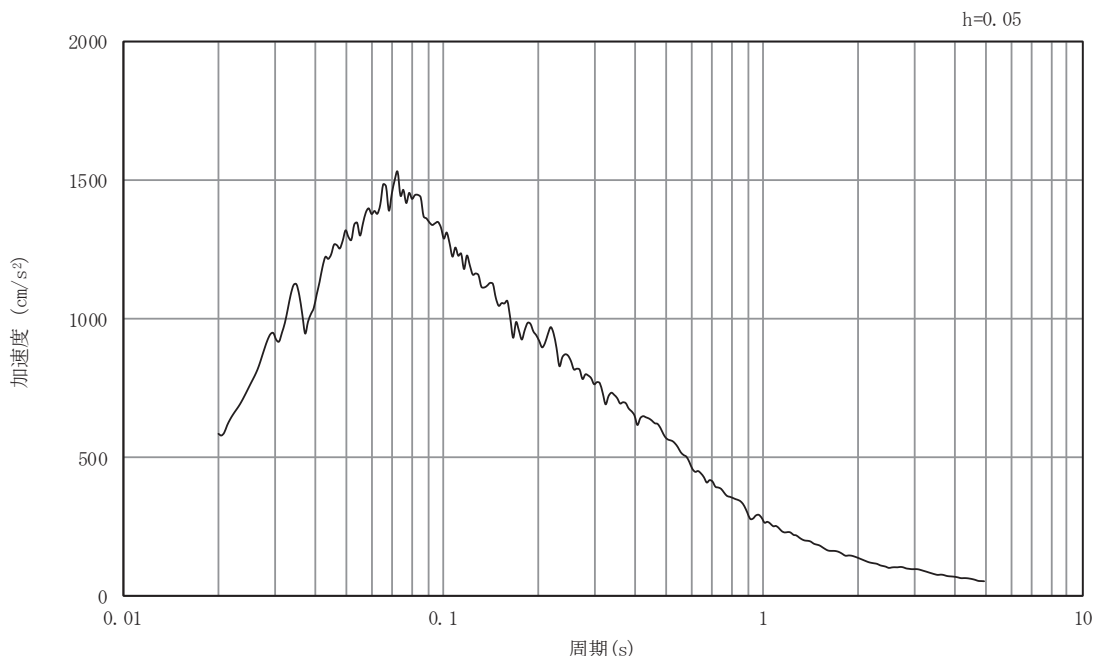


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S s - D 2)

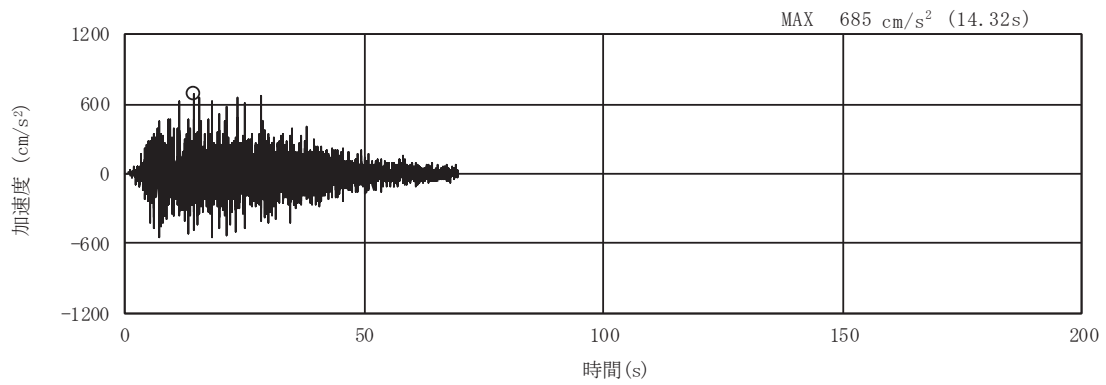


(a) 加速度時刻歴波形

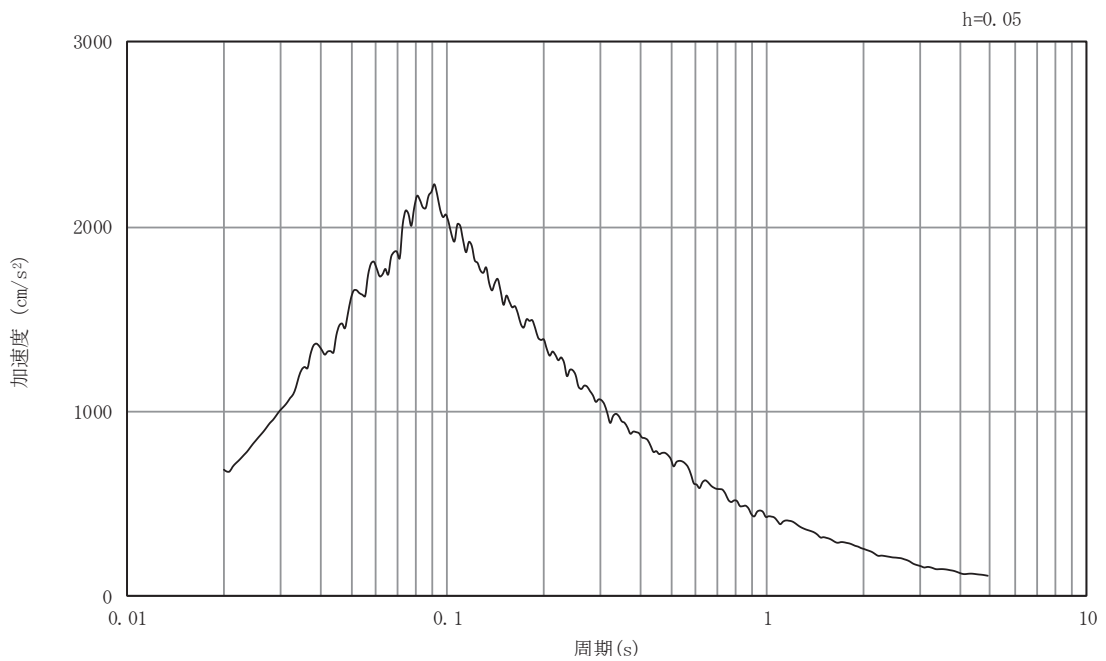


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S s - D 2)

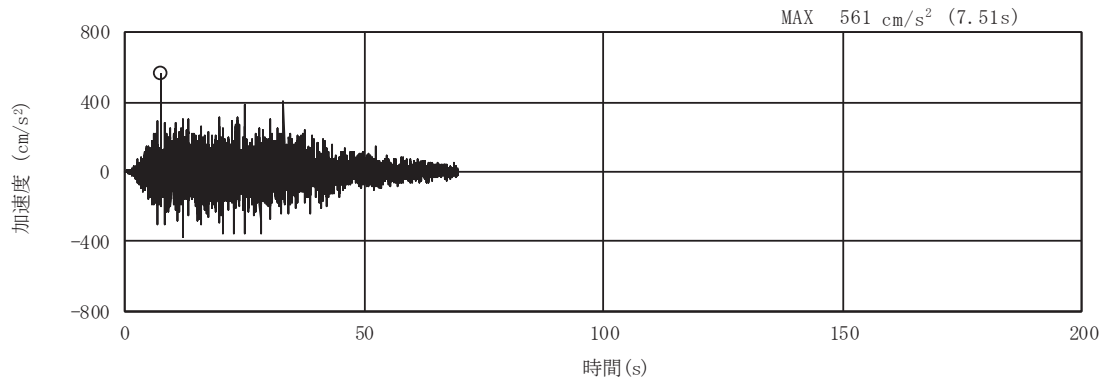


(a) 加速度時刻歴波形

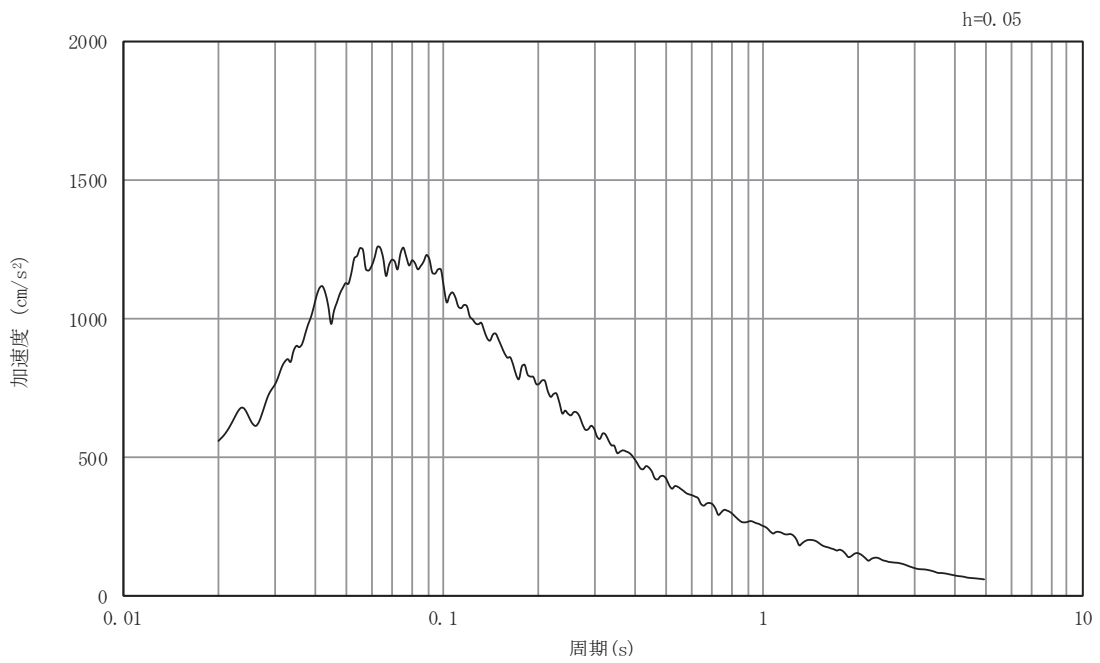


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S s - D 3)

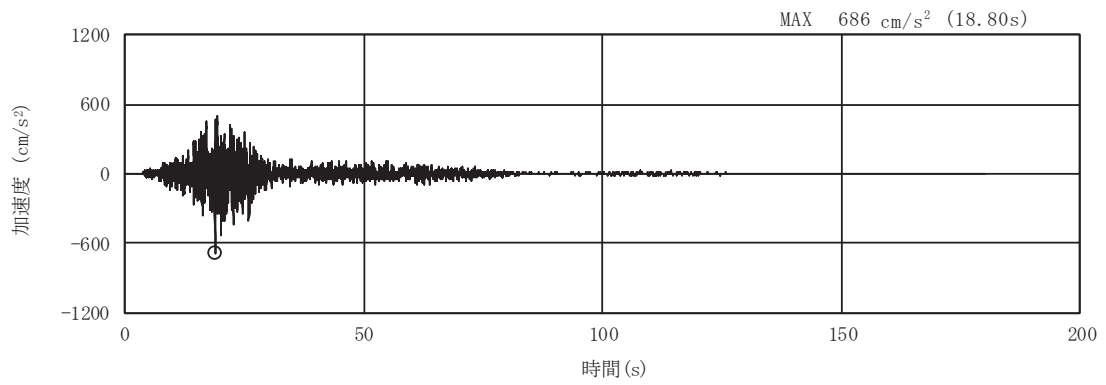


(a) 加速度時刻歴波形

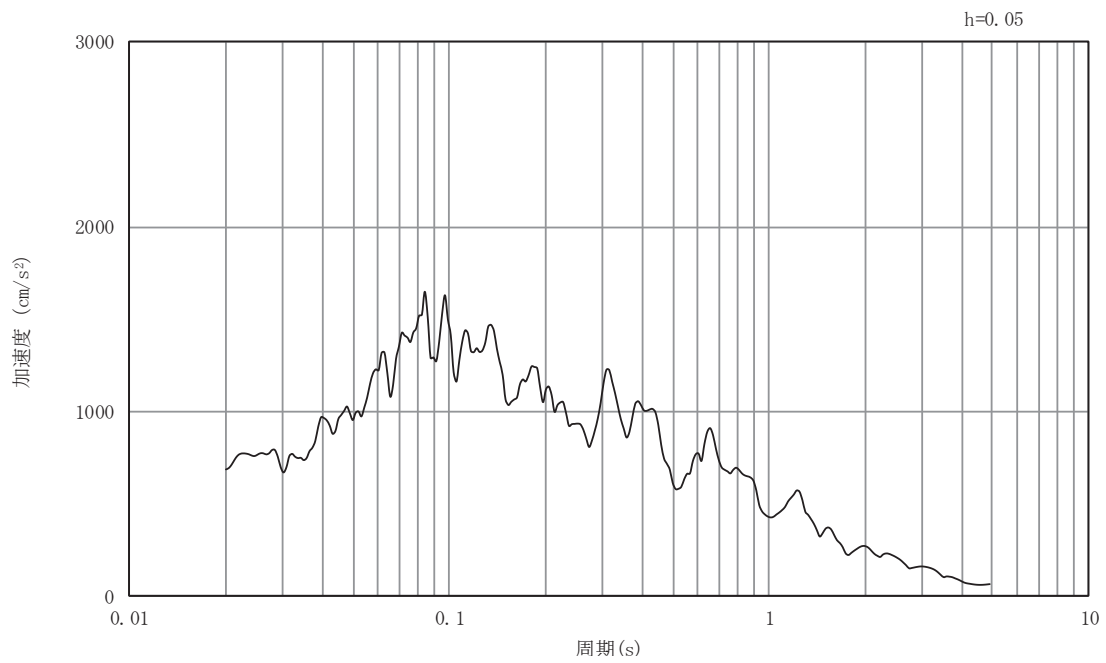


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S s - D 3)

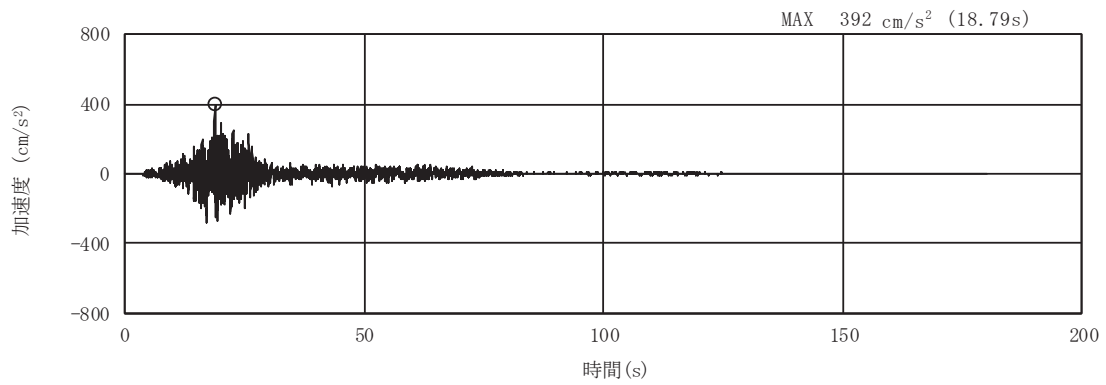


(a) 加速度時刻歴波形

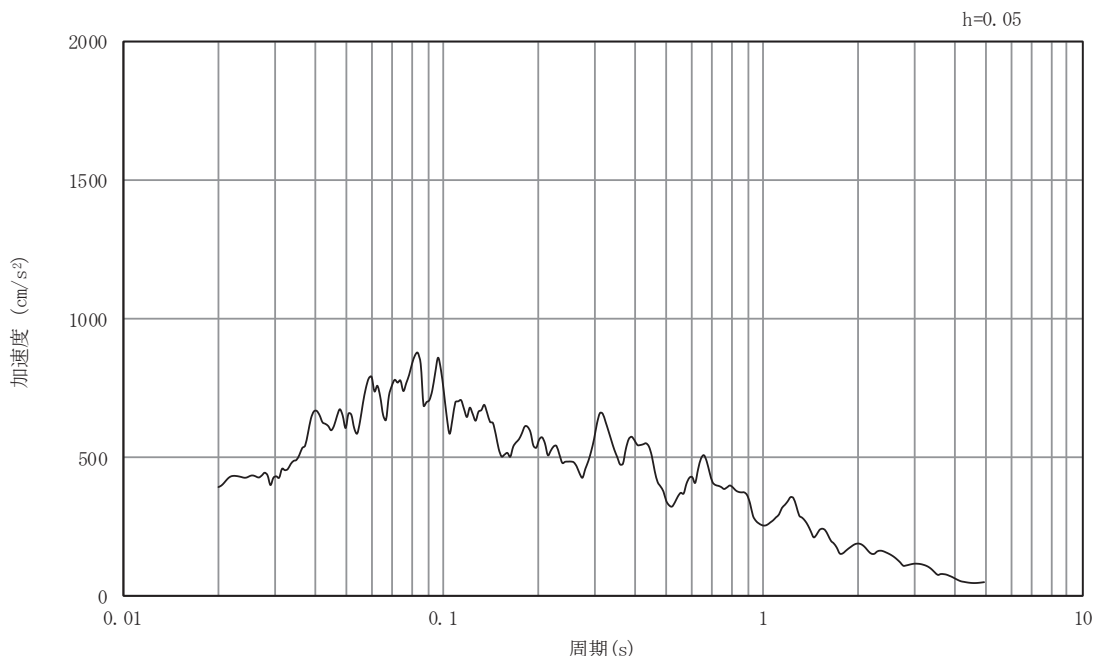


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S s - F 1)

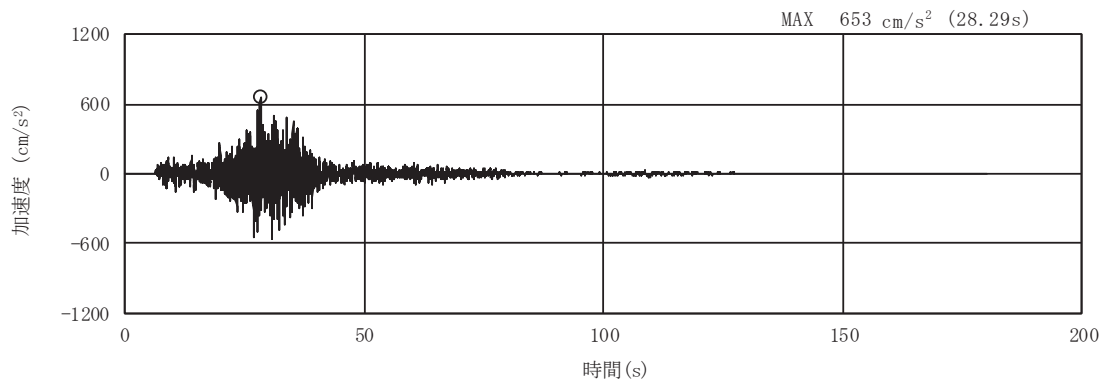


(a) 加速度時刻歴波形

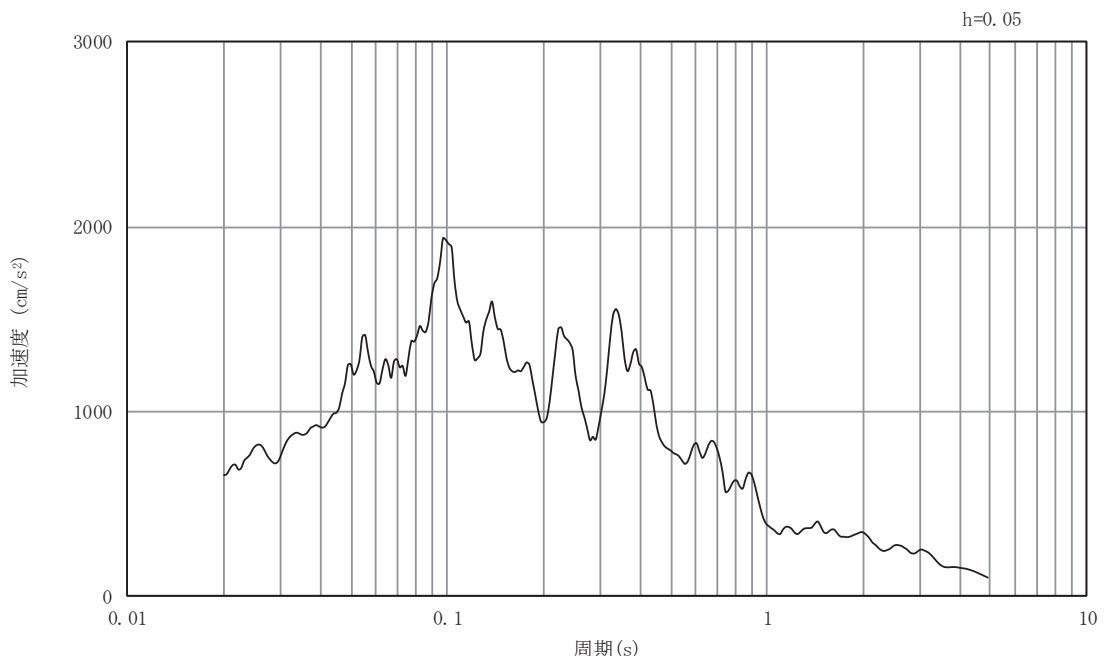


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S s - F 1)

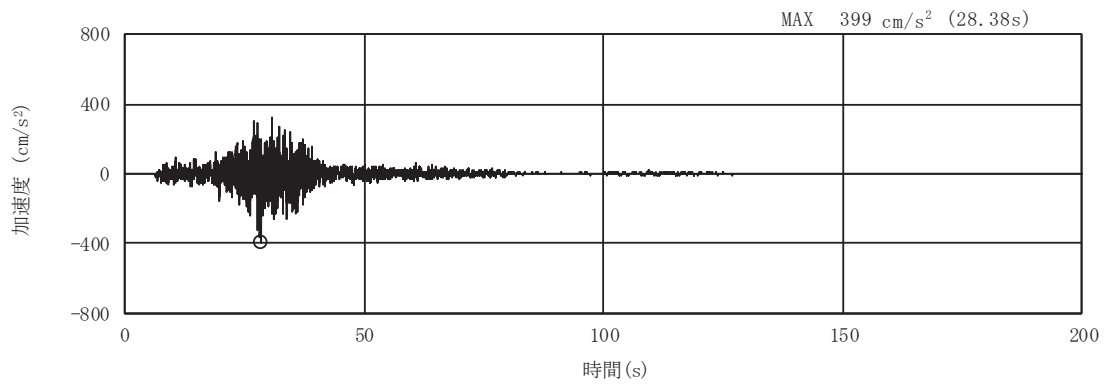


(a) 加速度時刻歴波形

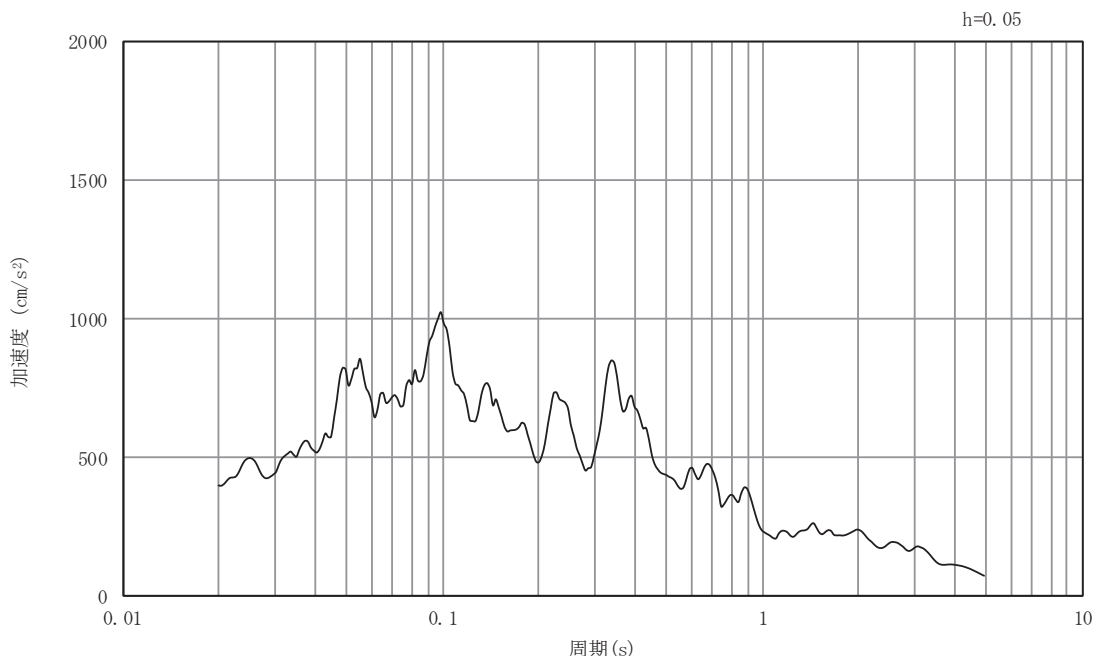


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S s - F 2)

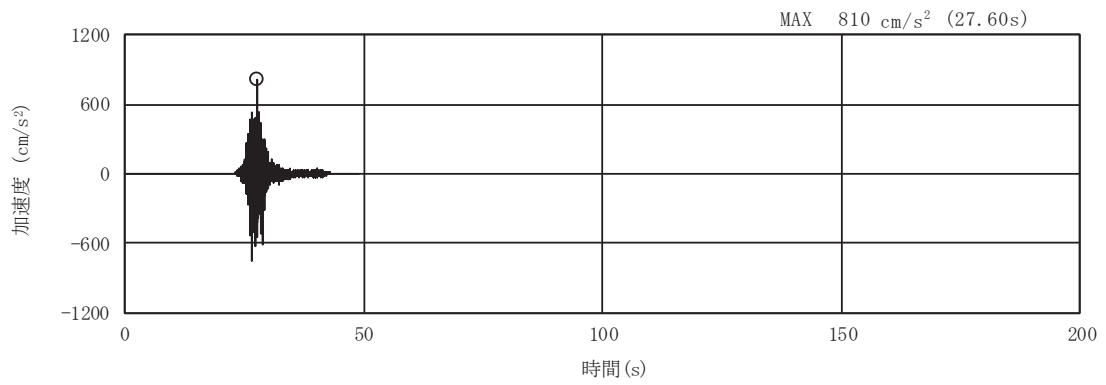


(a) 加速度時刻歴波形

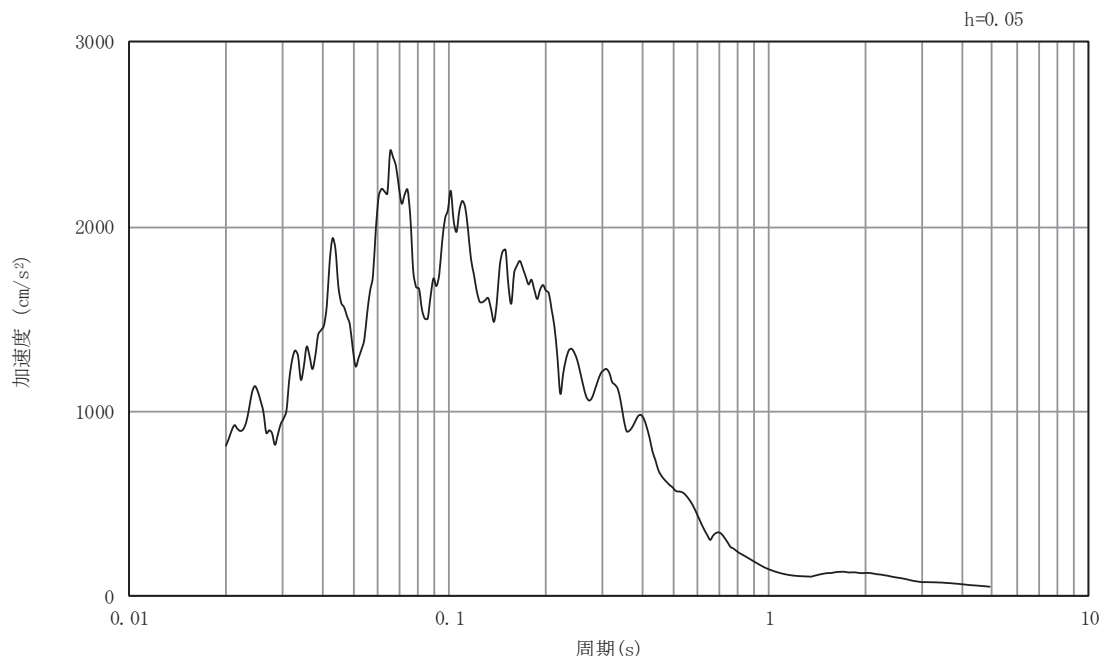


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S s - F 2)

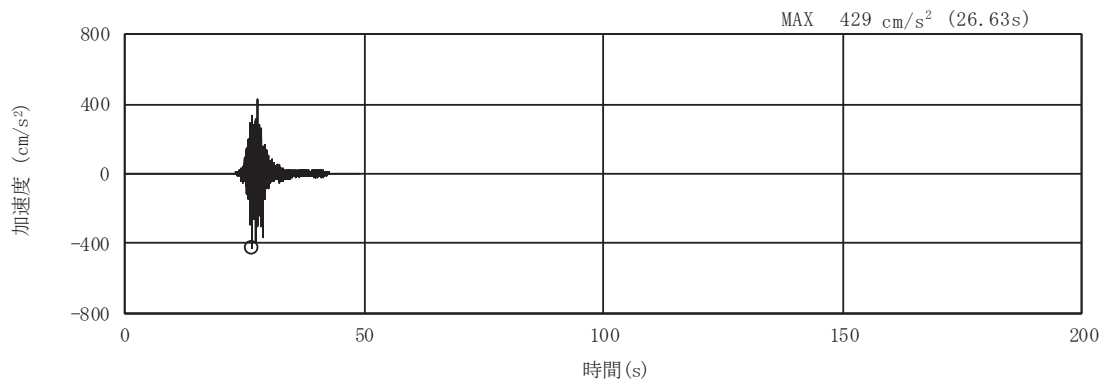


(a) 加速度時刻歴波形

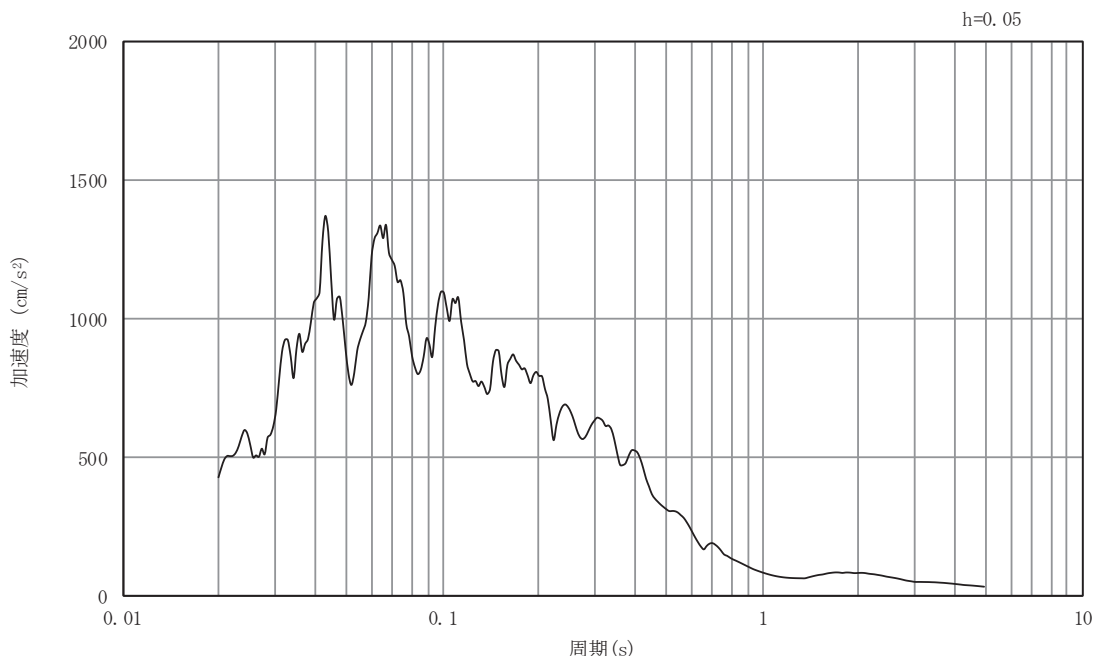


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S s - F 3)

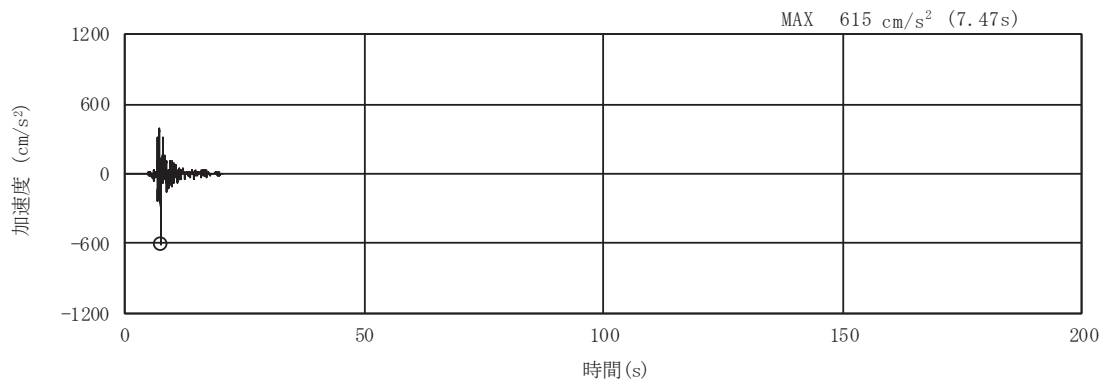


(a) 加速度時刻歴波形

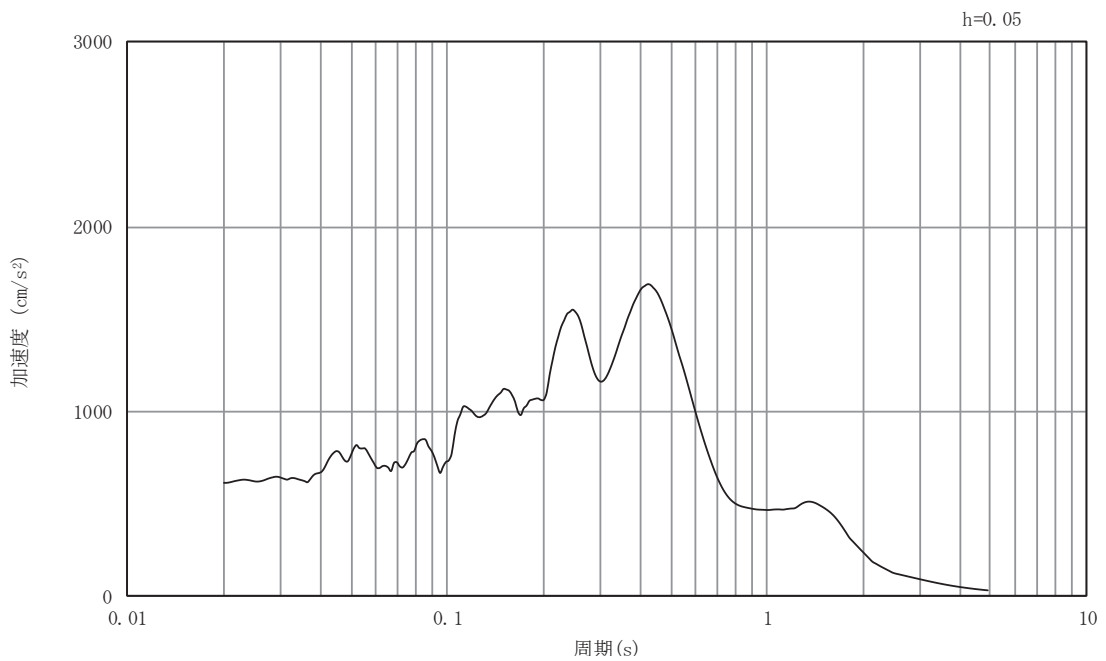


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S s - F 3)

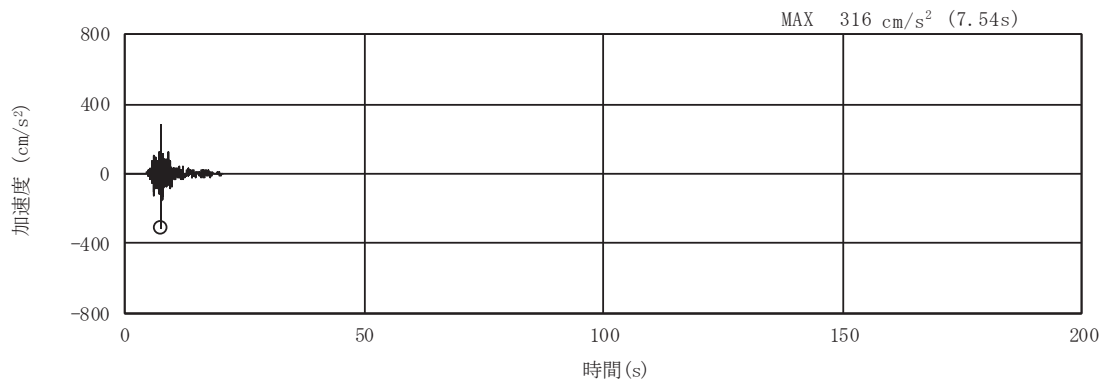


(a) 加速度時刻歴波形

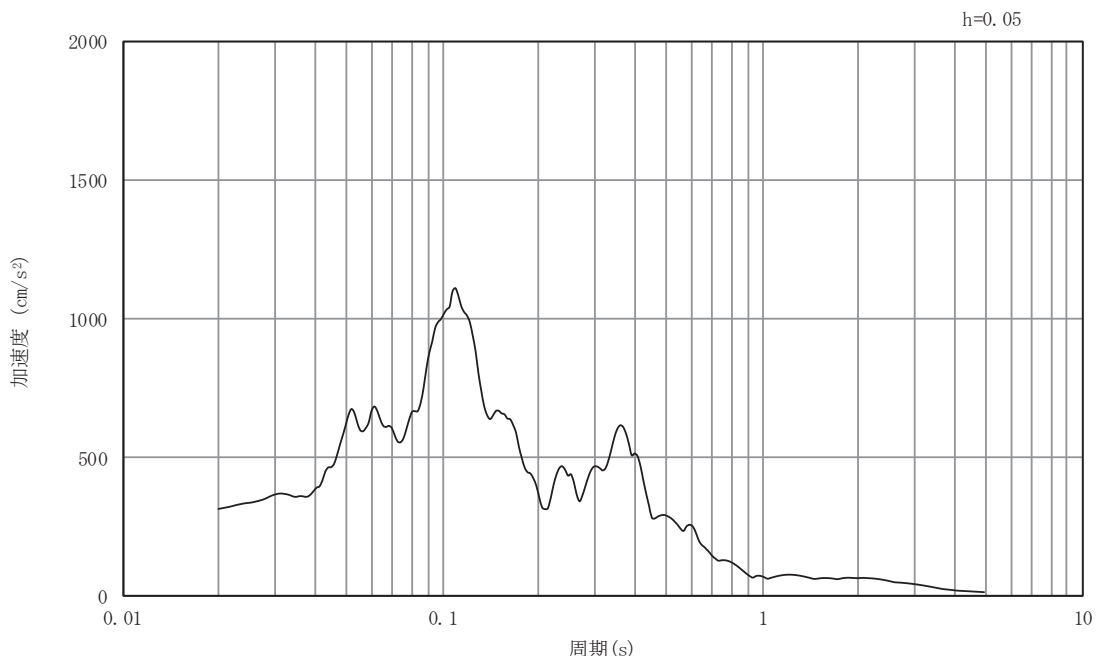


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S s - N 1)

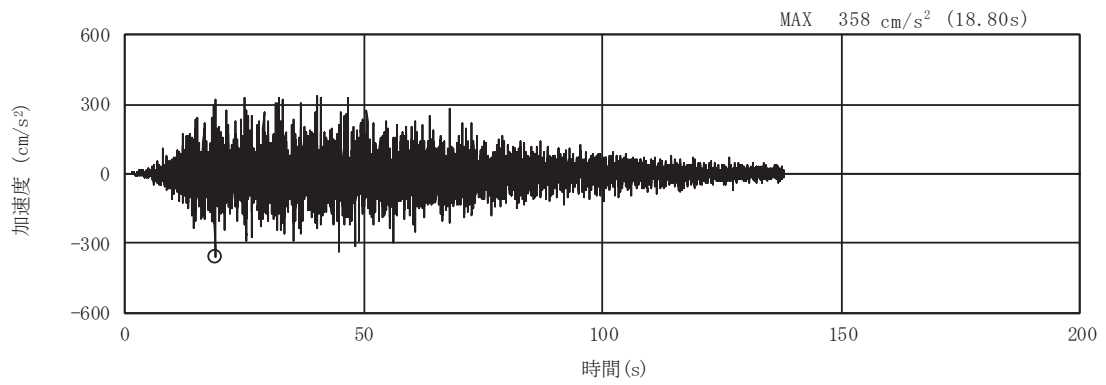


(a) 加速度時刻歴波形

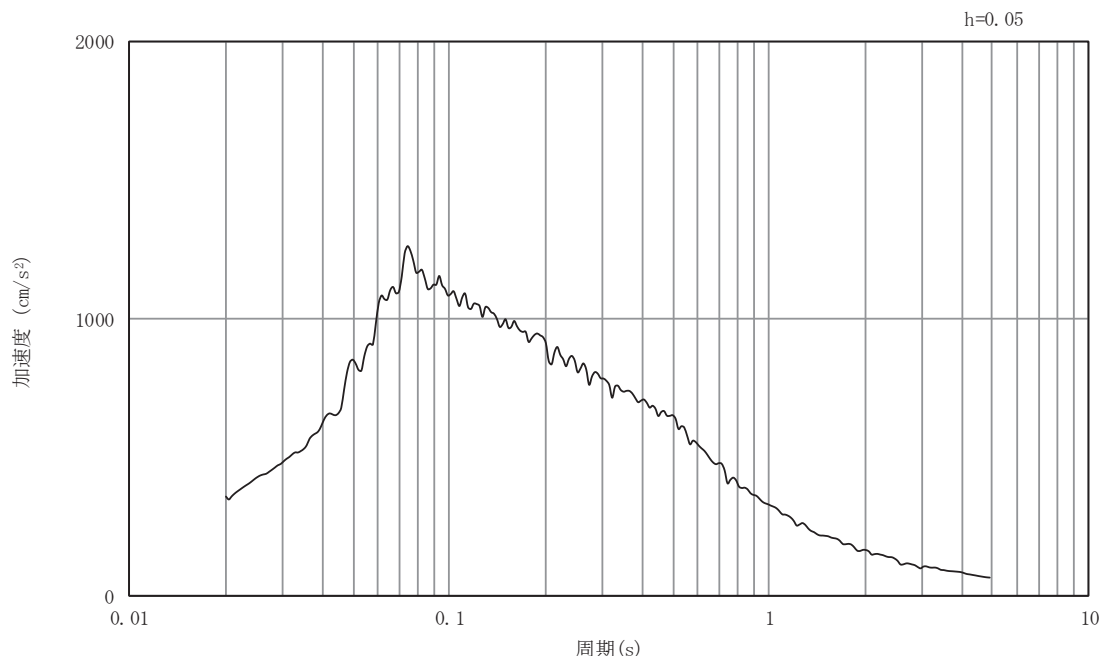


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S s - N 1)

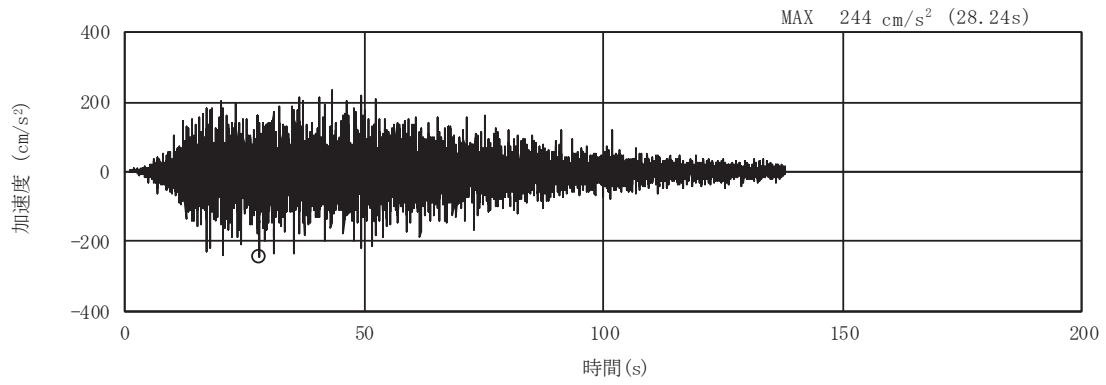


(a) 加速度時刻歴波形

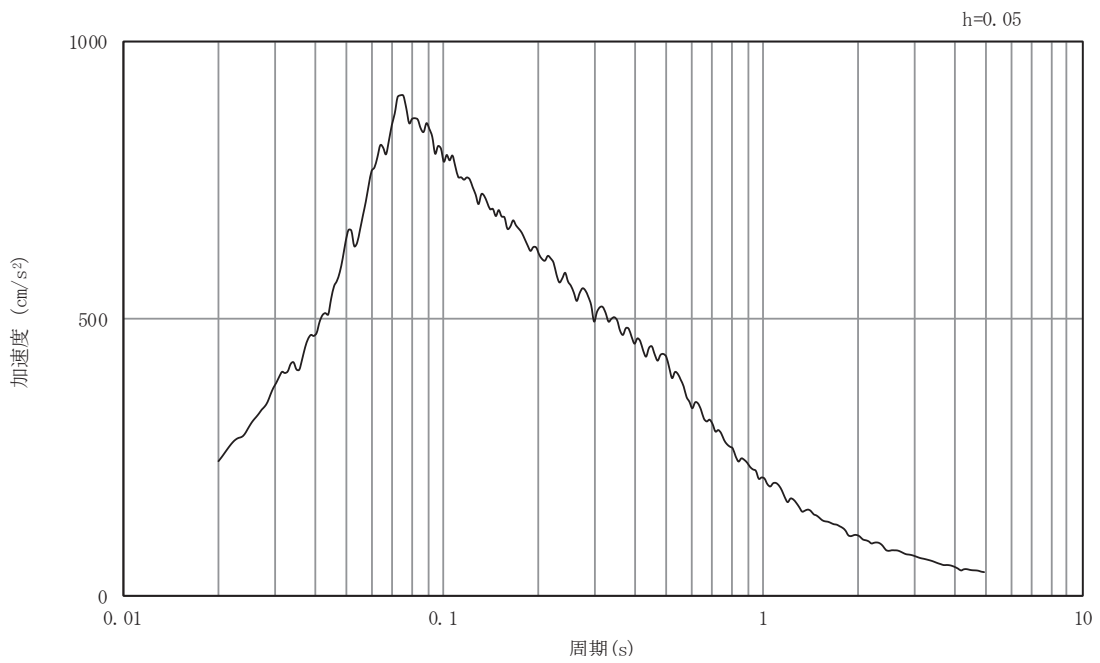


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S d - D 1)

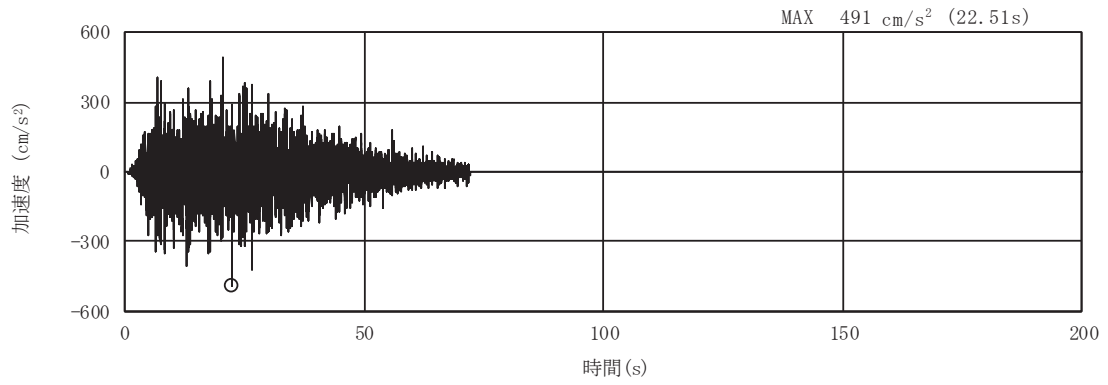


(a) 加速度時刻歴波形

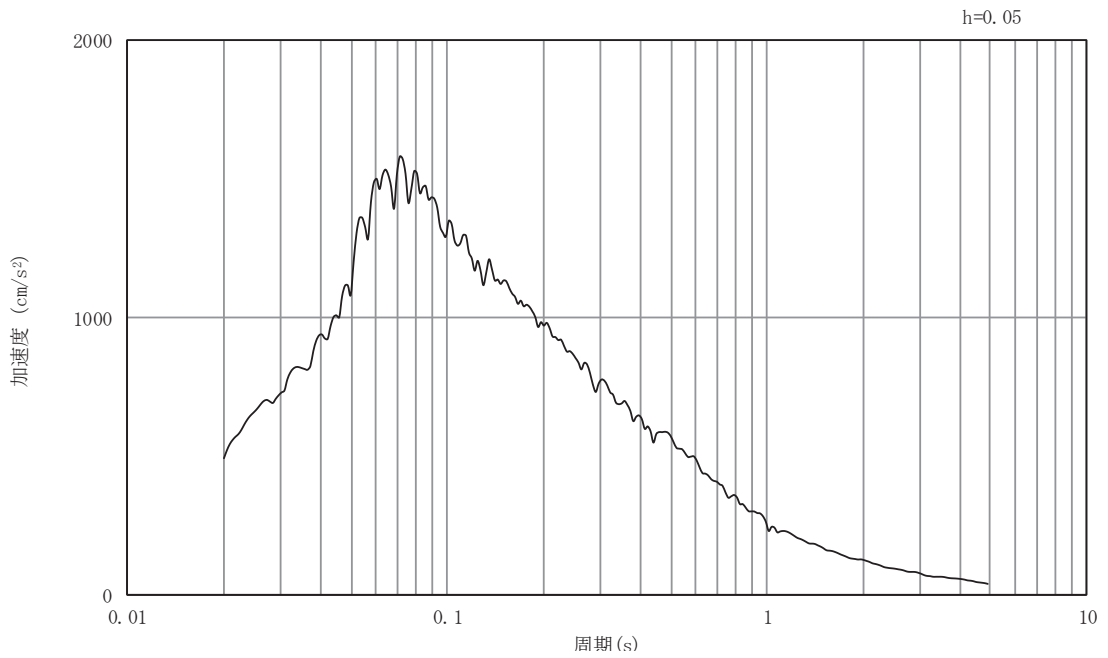


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S d - D 1)

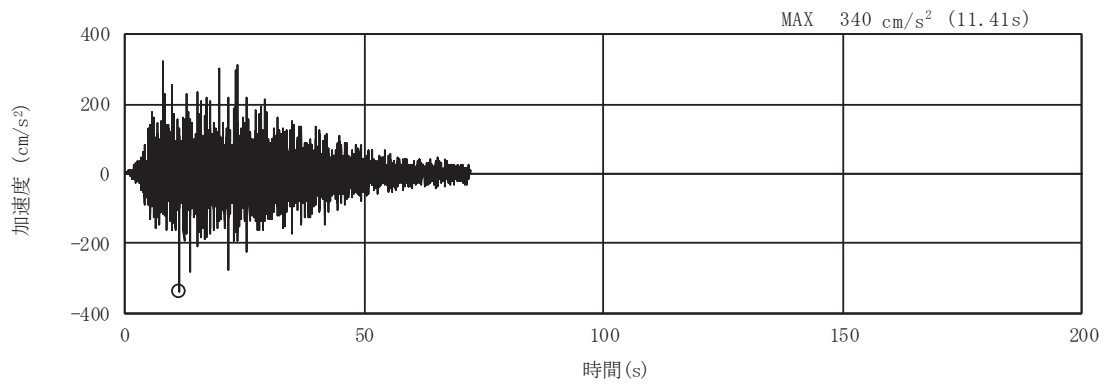


(a) 加速度時刻歴波形

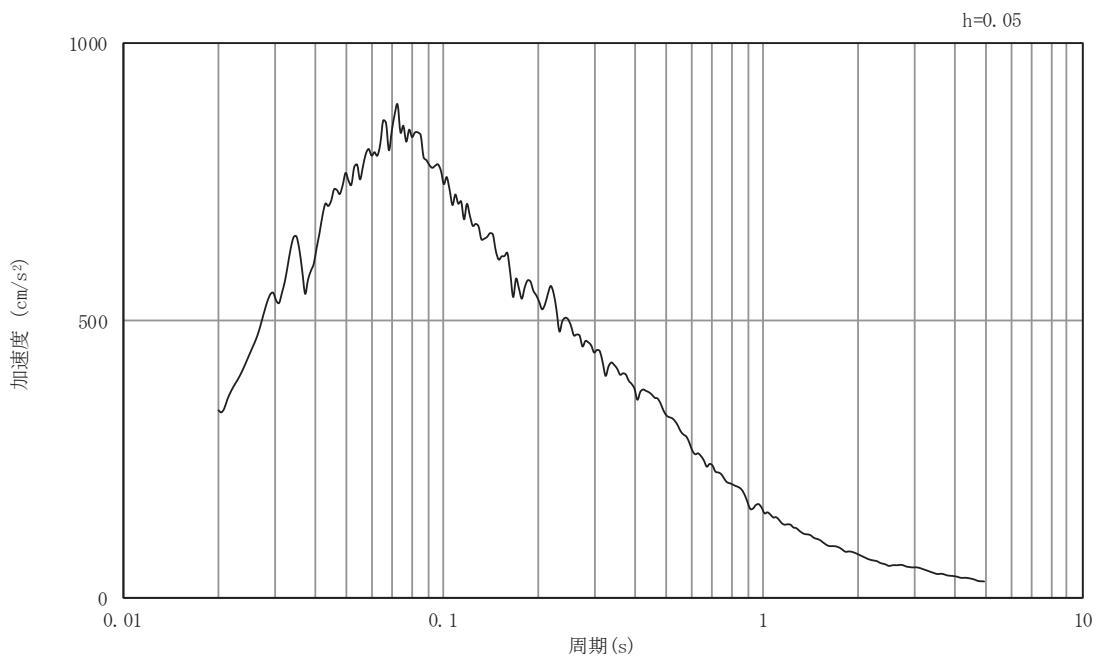


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S d - D 2)

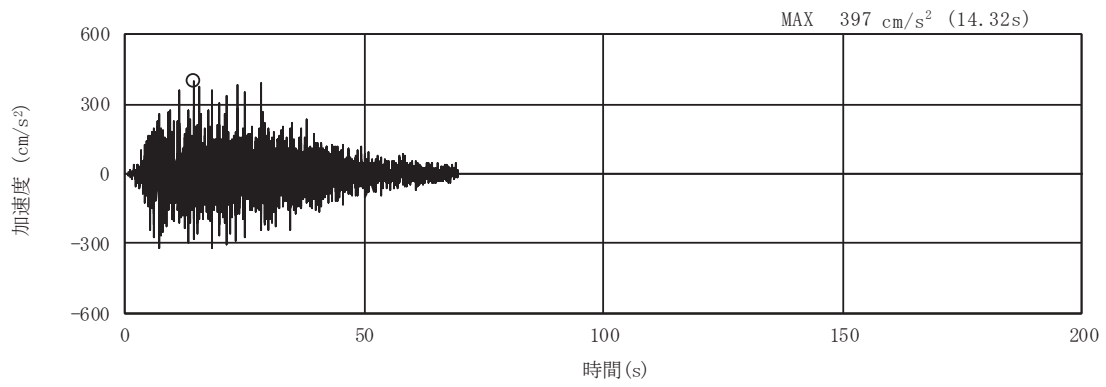


(a) 加速度時刻歴波形

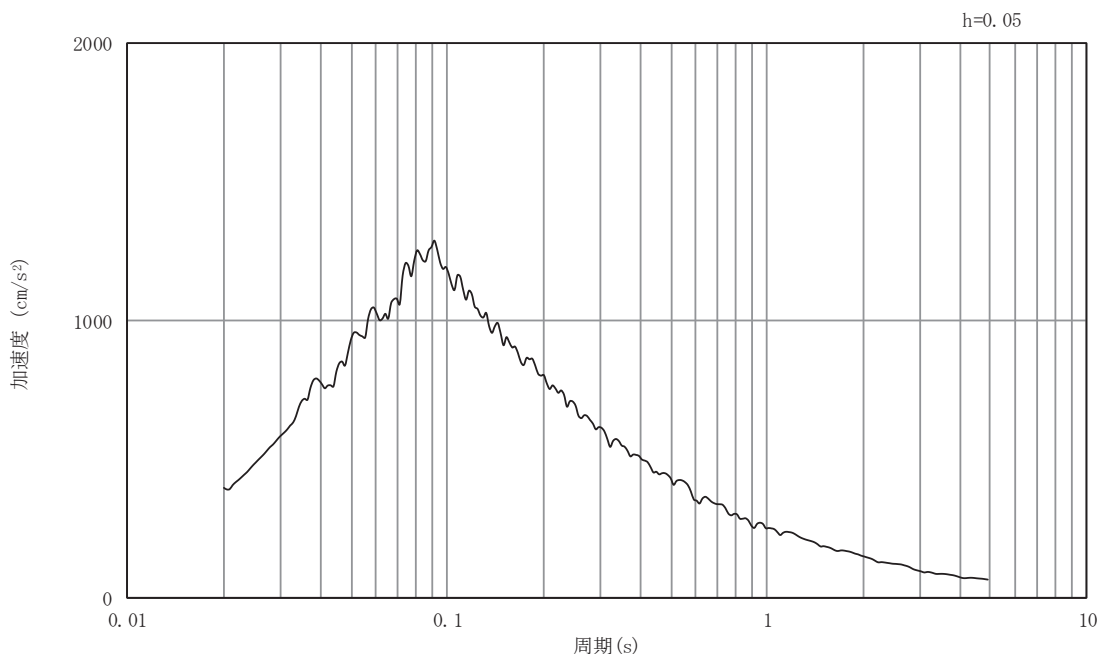


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S d - D 2)

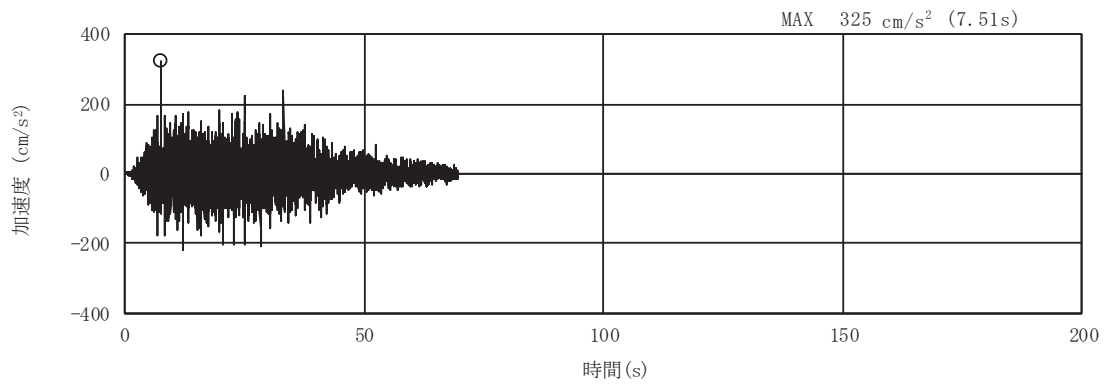


(a) 加速度時刻歴波形

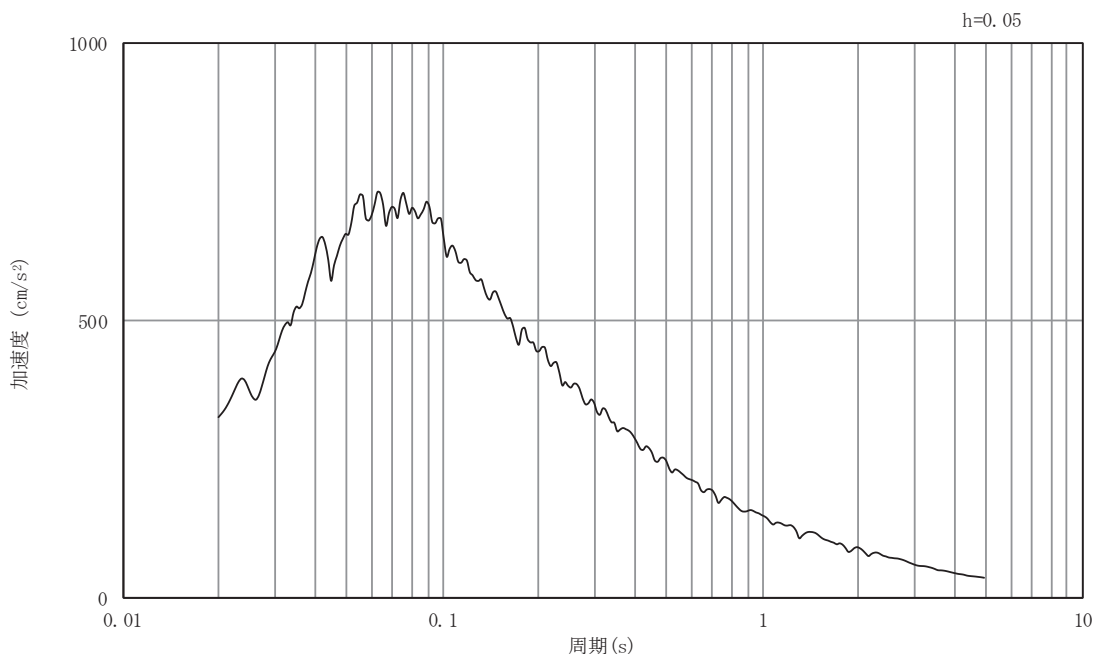


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S d - D 3)

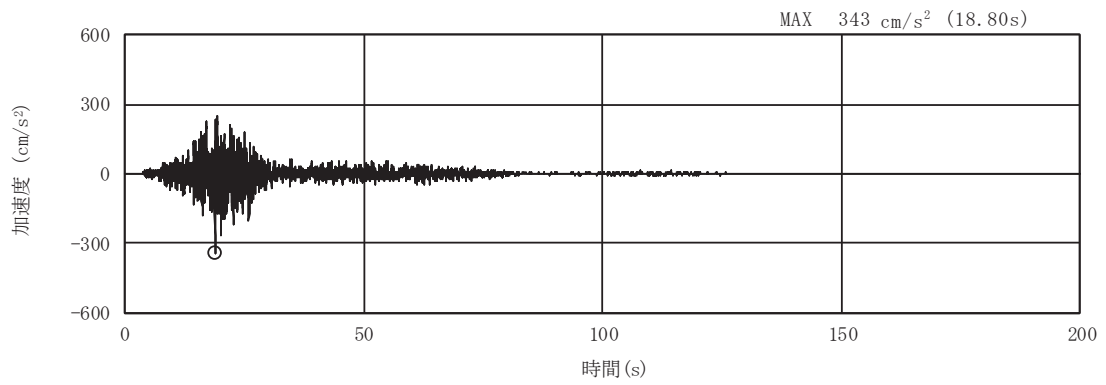


(a) 加速度時刻歴波形

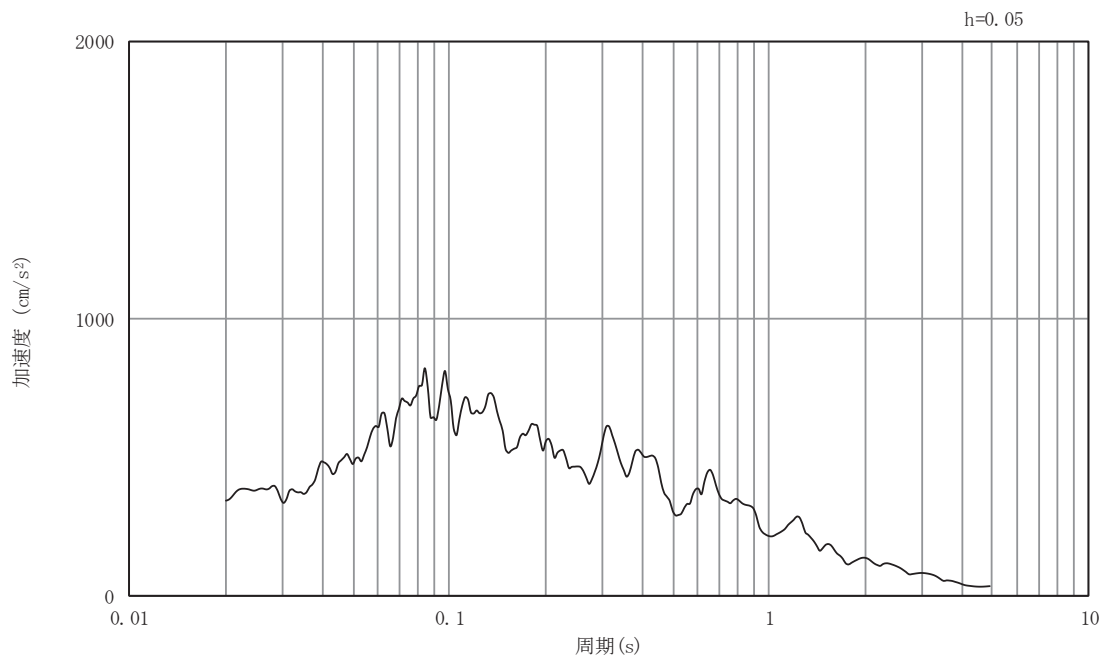


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S d - D 3)

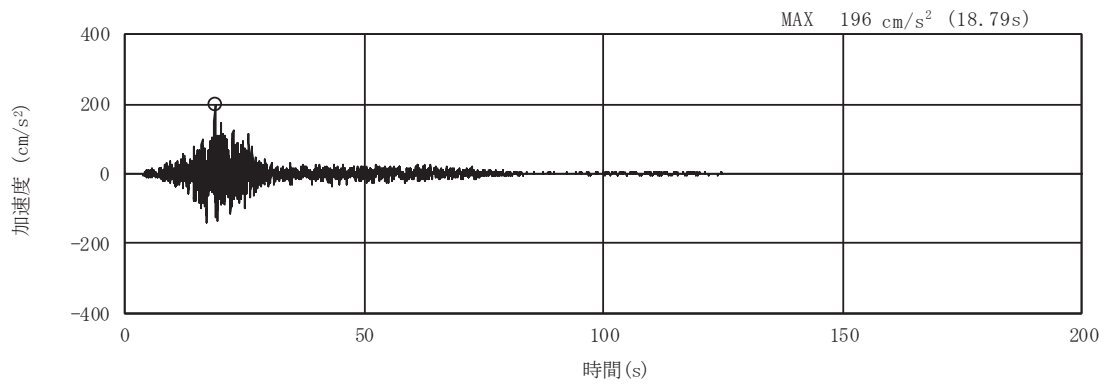


(a) 加速度時刻歴波形

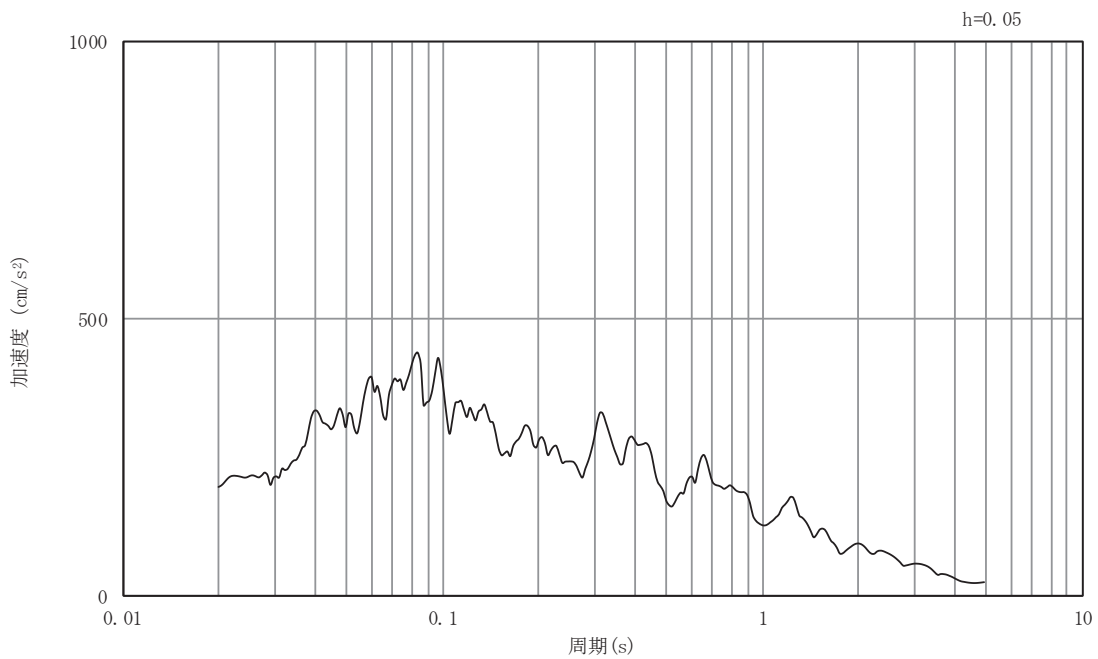


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S d - F 1)

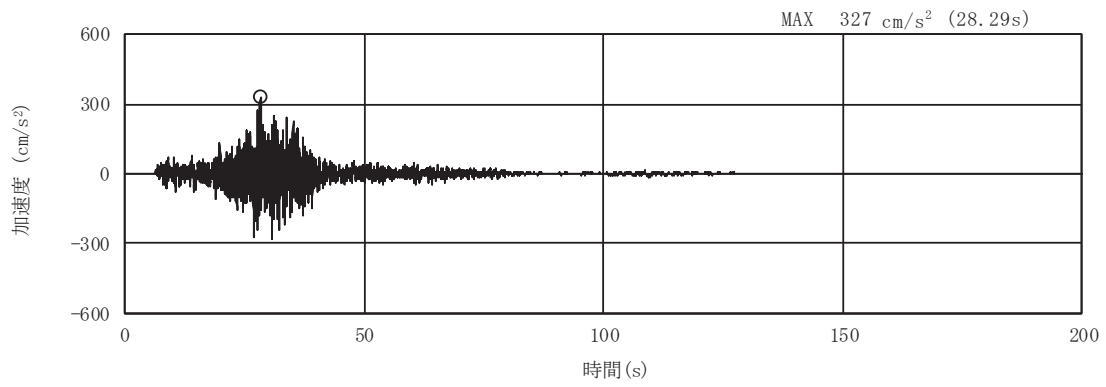


(a) 加速度時刻歴波形

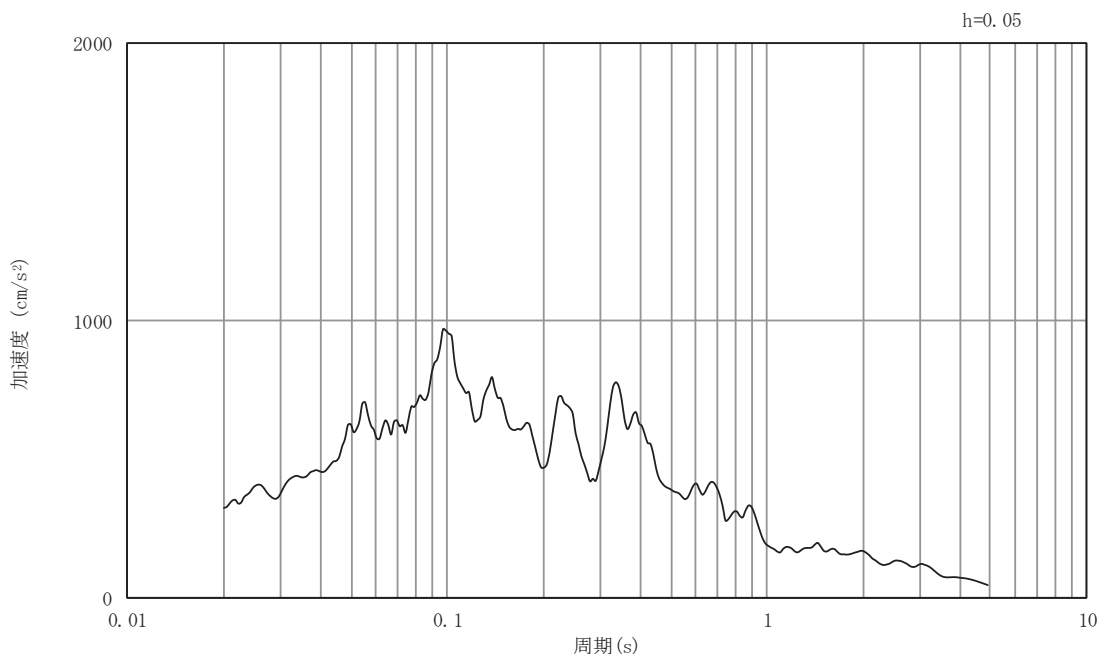


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S d - F 1)

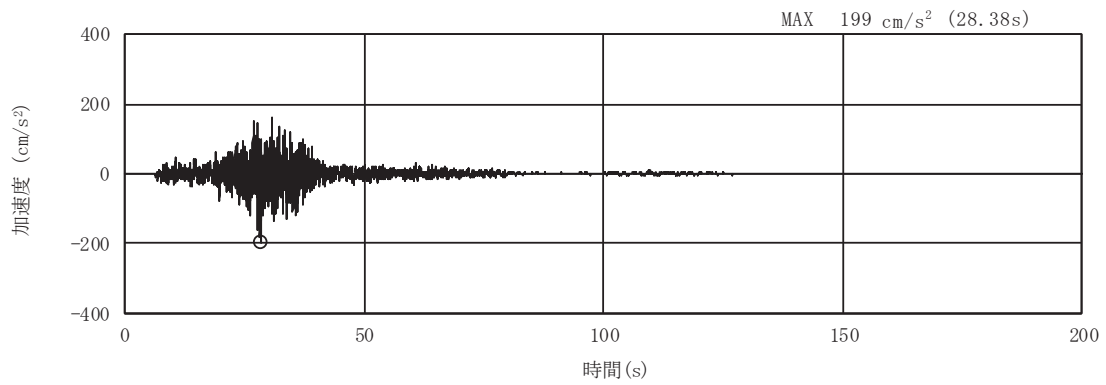


(a) 加速度時刻歴波形

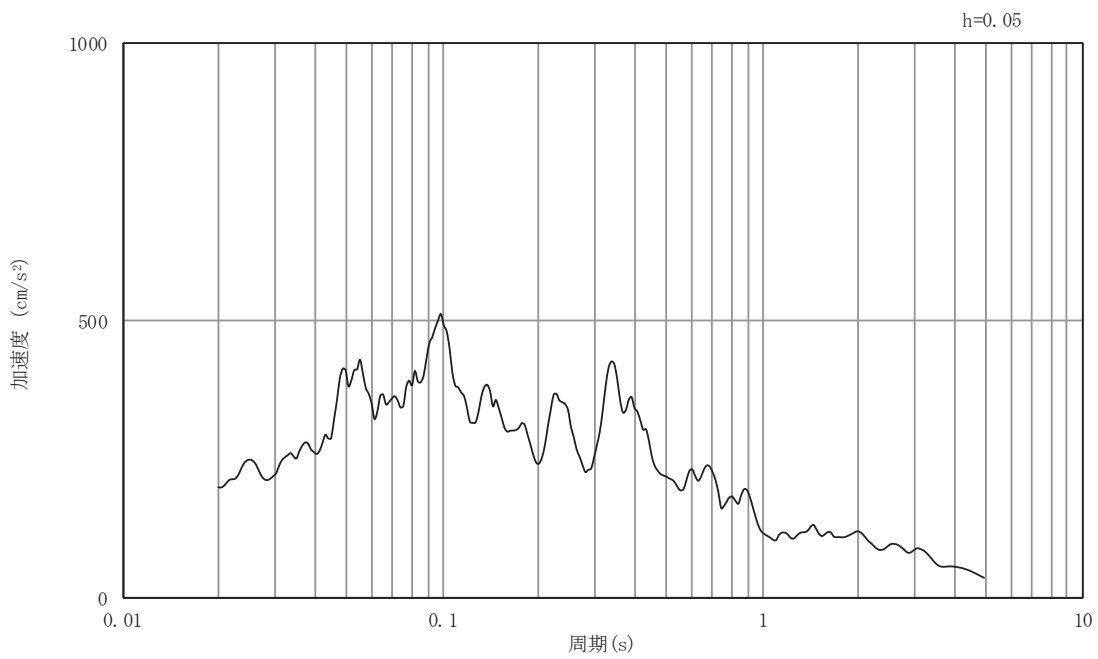


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S d - F 2)

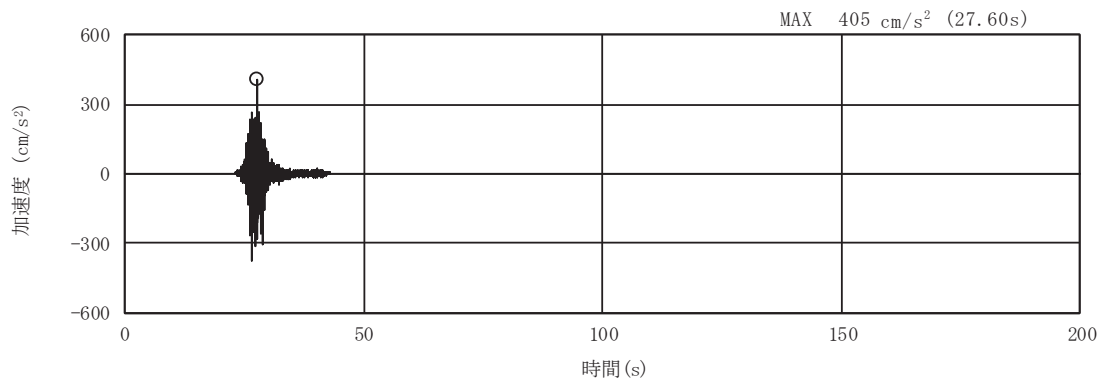


(a) 加速度時刻歴波形

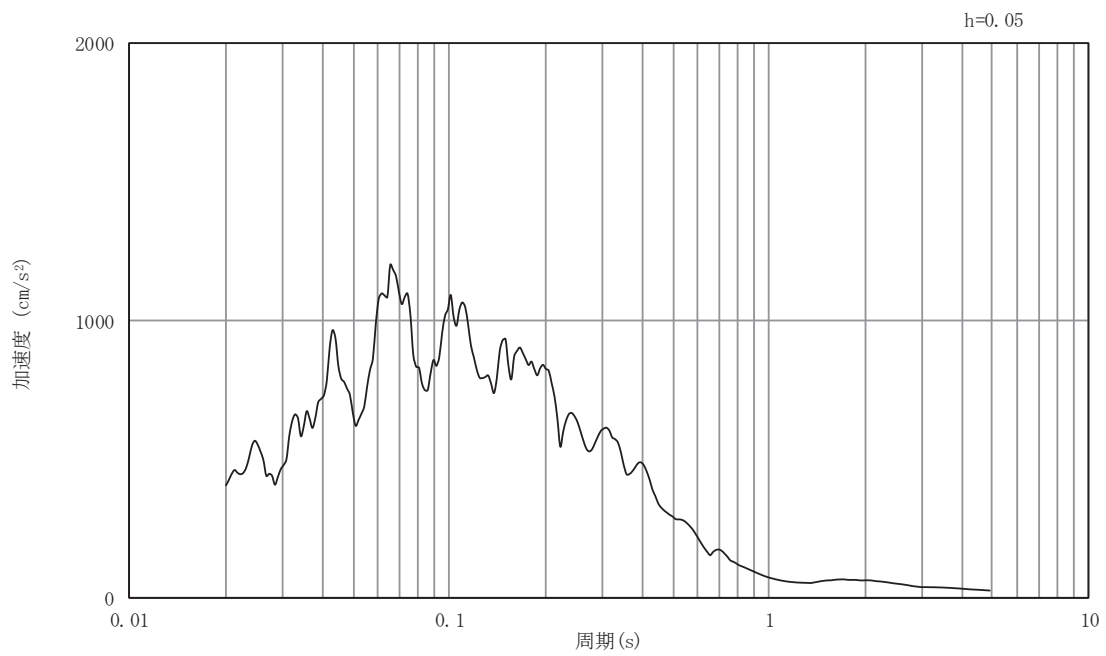


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S d - F 2)

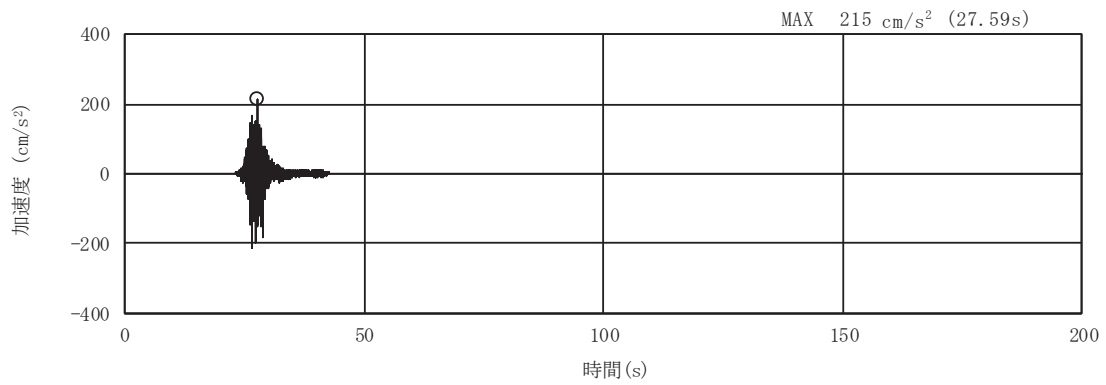


(a) 加速度時刻歴波形

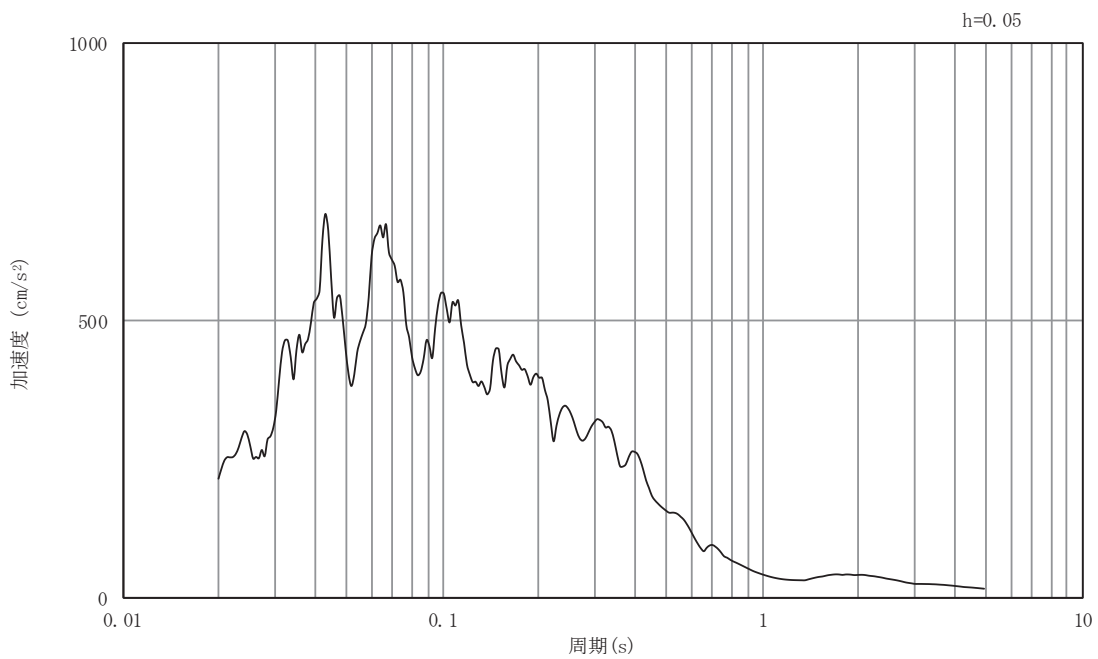


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S d - F 3)

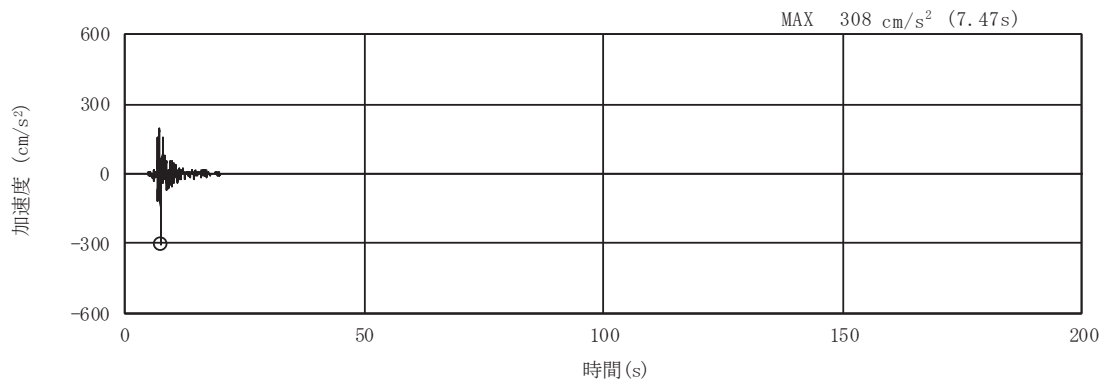


(a) 加速度時刻歴波形

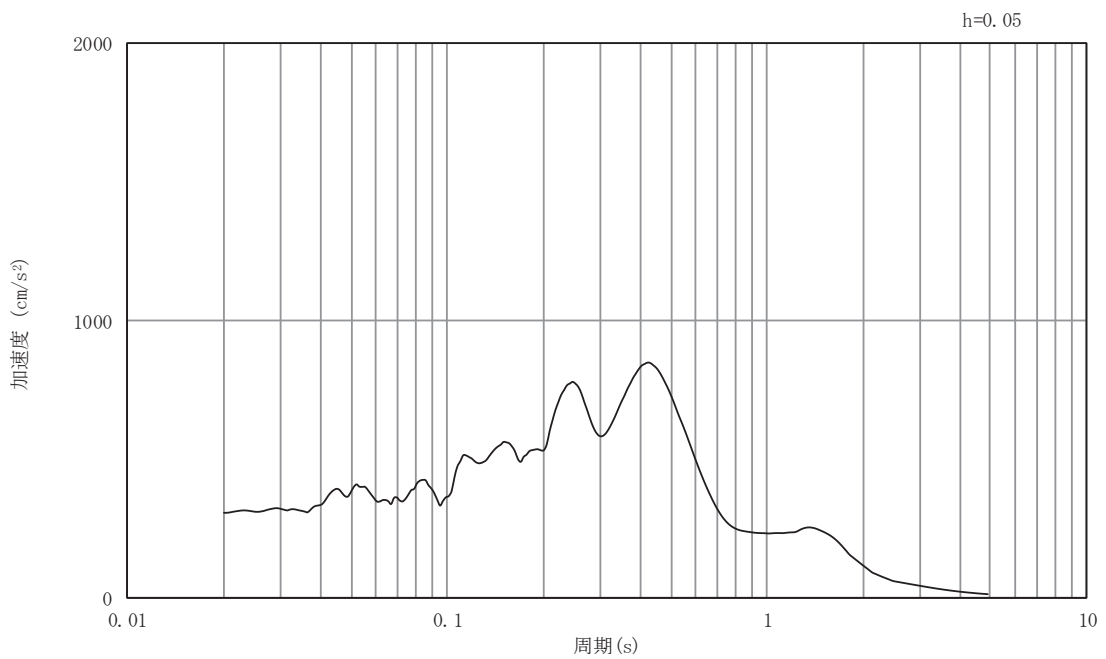


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-27 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
(東西方向, 鉛直成分: S d - F 3)

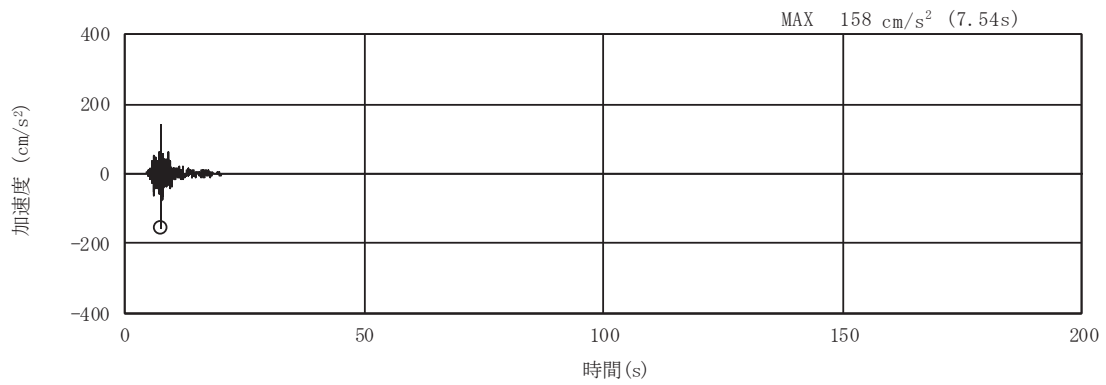


(a) 加速度時刻歴波形

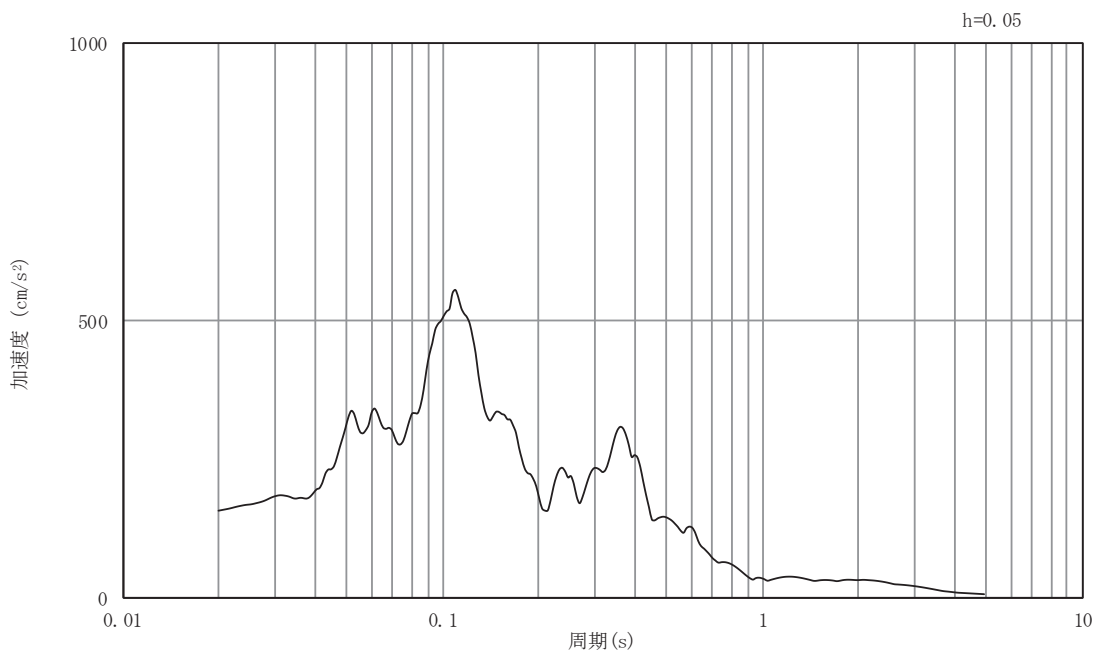


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-28 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
(東西方向, 水平成分: S d - N 1)

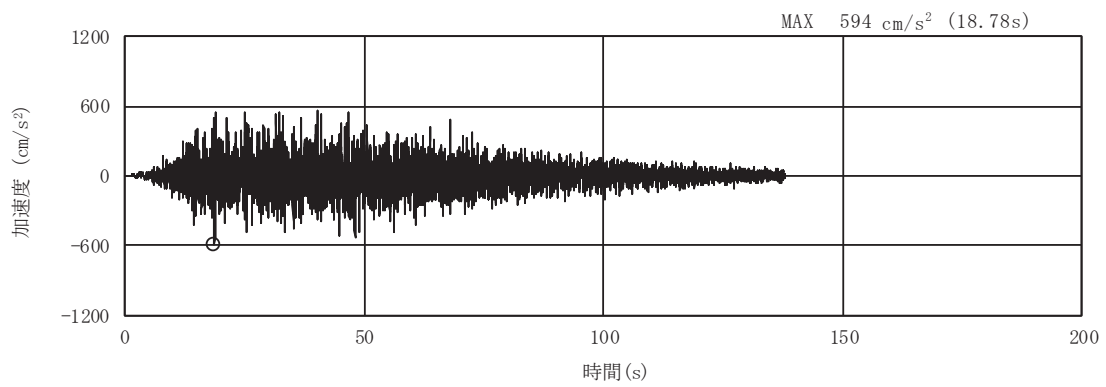


(a) 加速度時刻歴波形

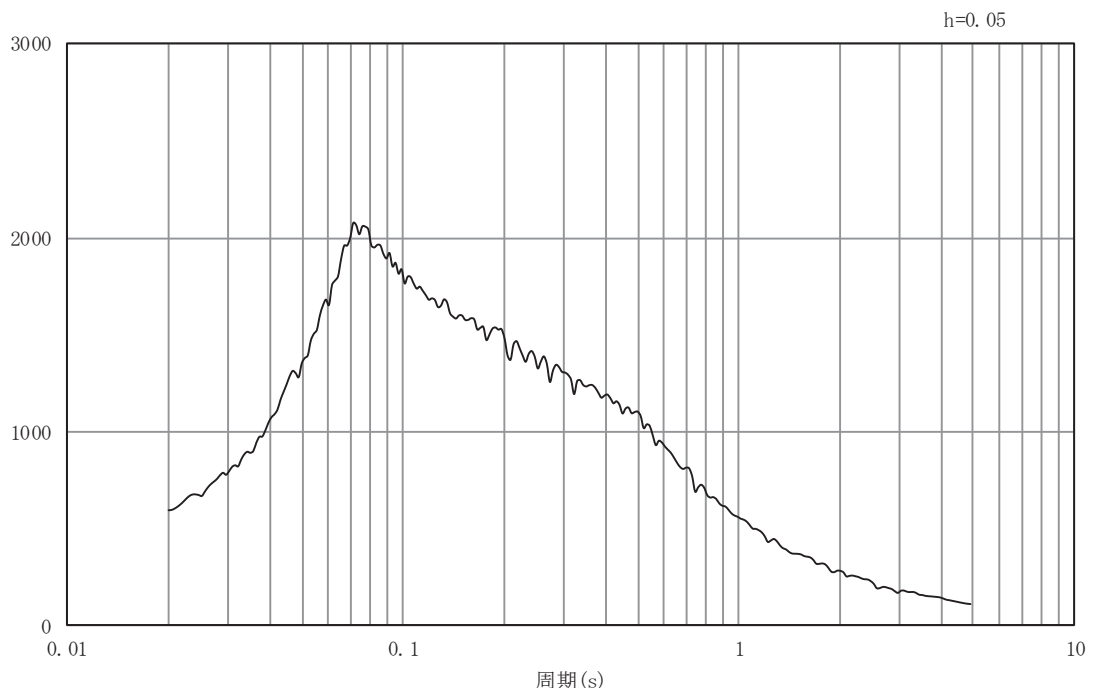


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 鉛直成分: S d - N 1)

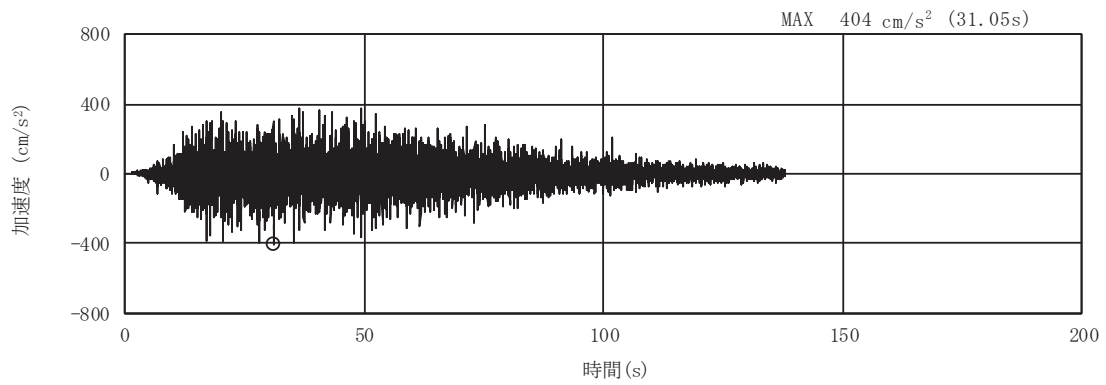


(a) 加速度時刻歴波形

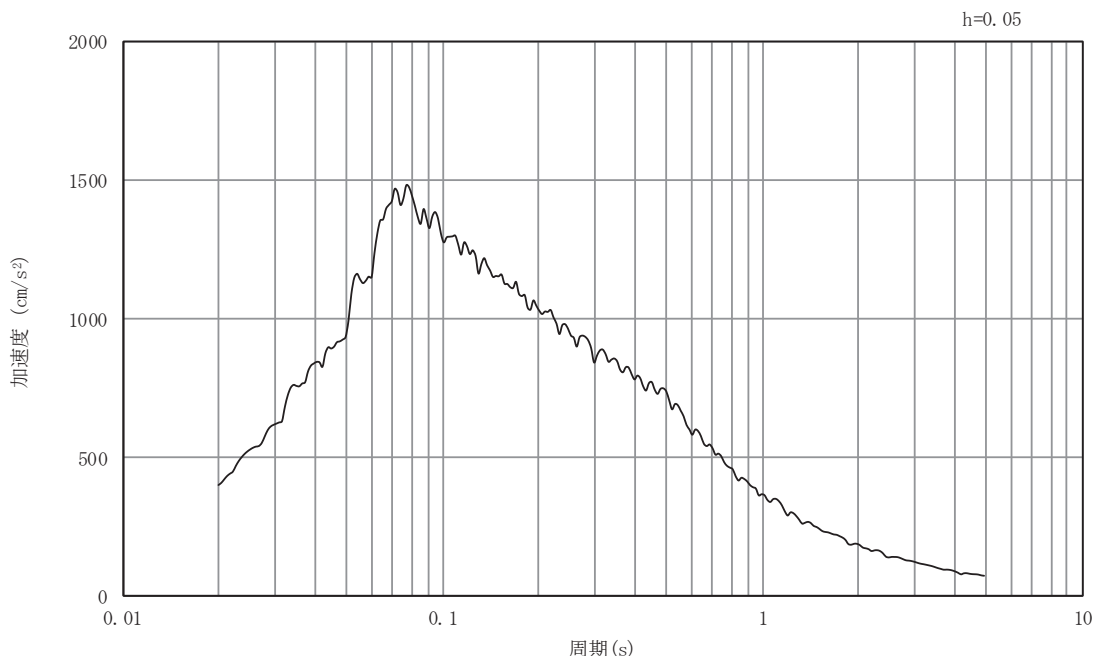


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - D 1)

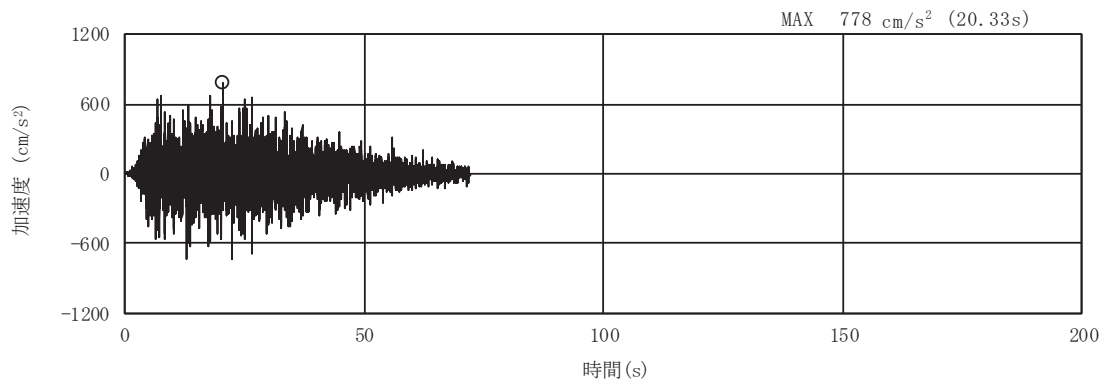


(a) 加速度時刻歴波形

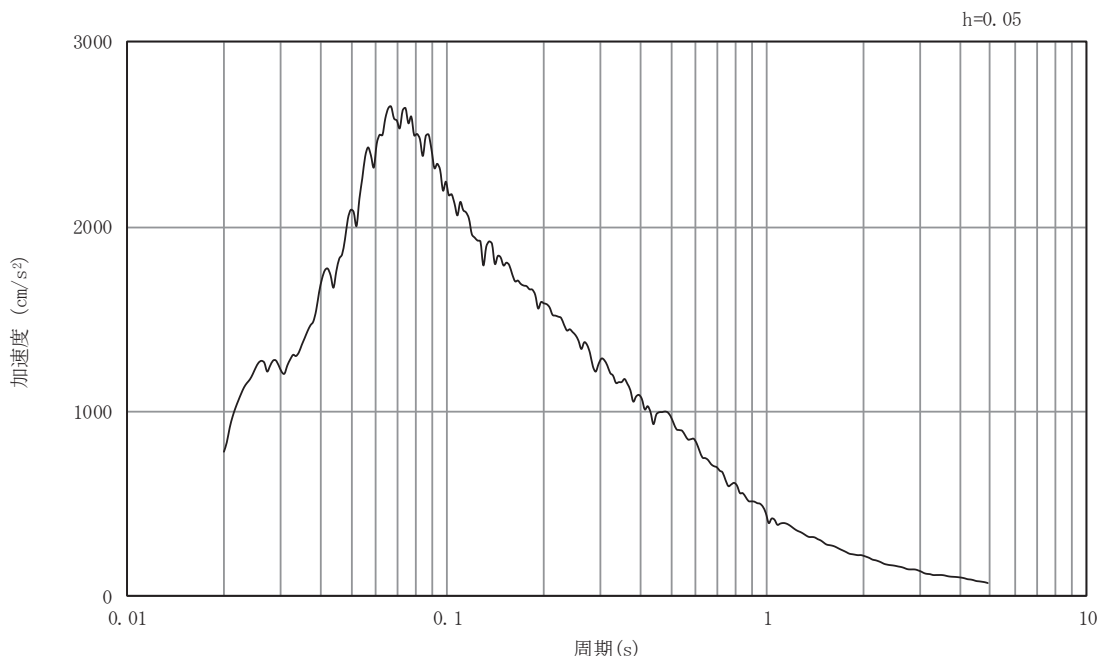


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S s - D 1)

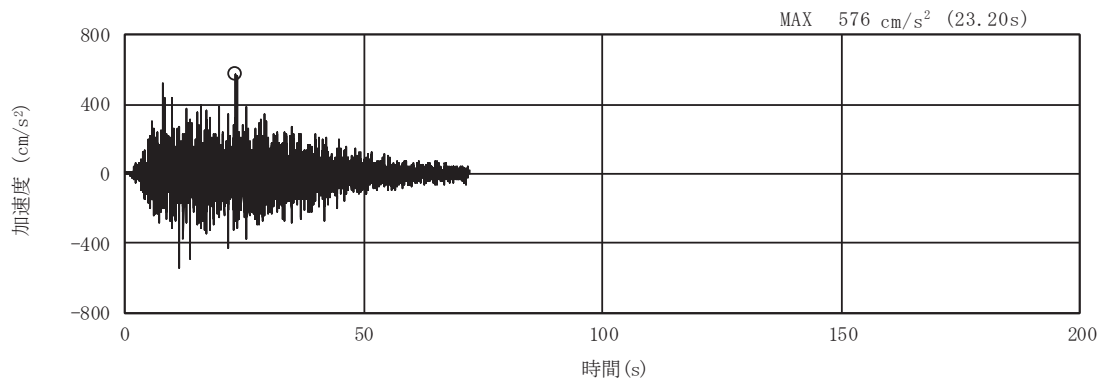


(a) 加速度時刻歴波形

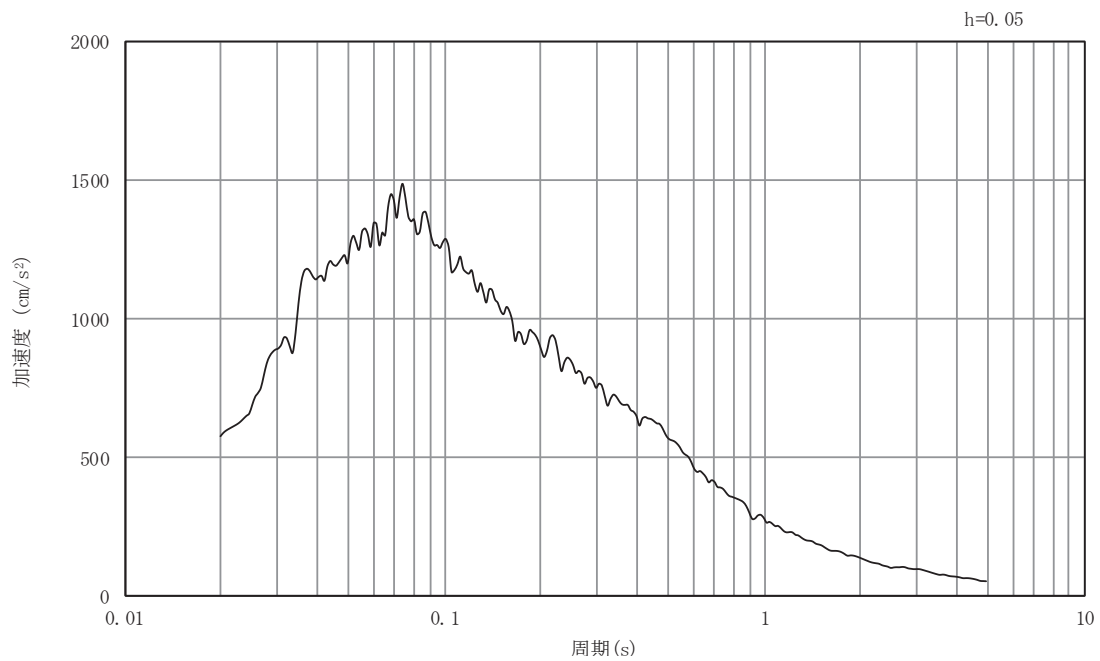


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - D 2)

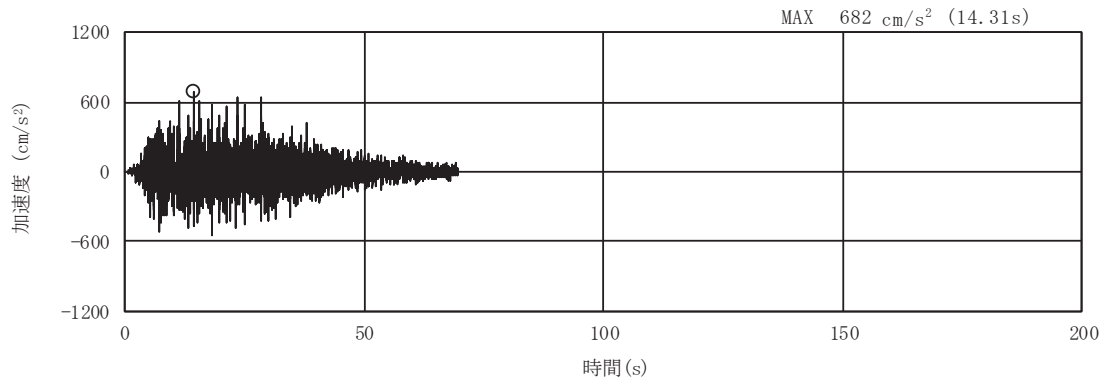


(a) 加速度時刻歴波形

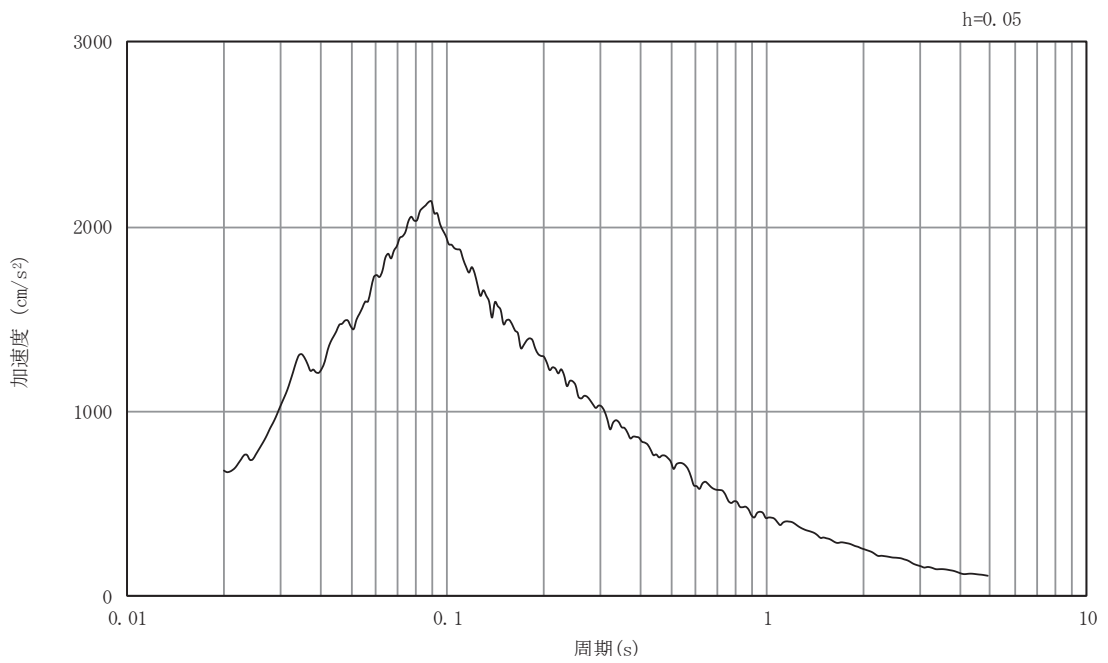


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-33 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S s - D 2)

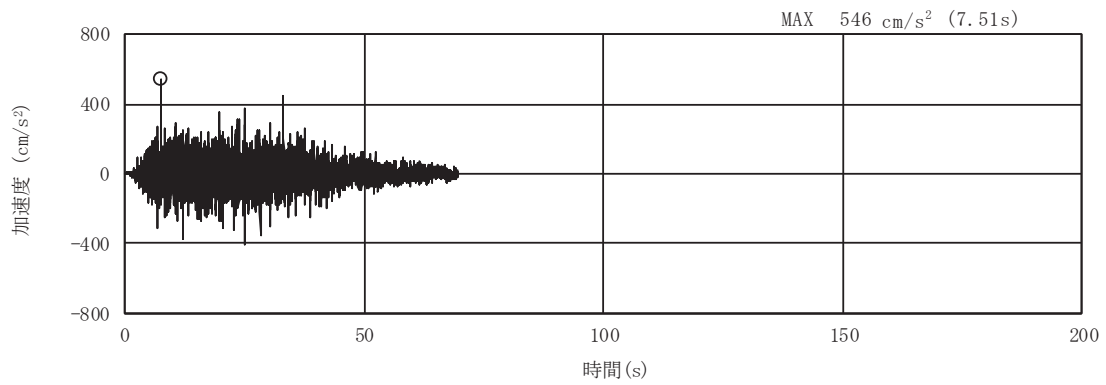


(a) 加速度時刻歴波形

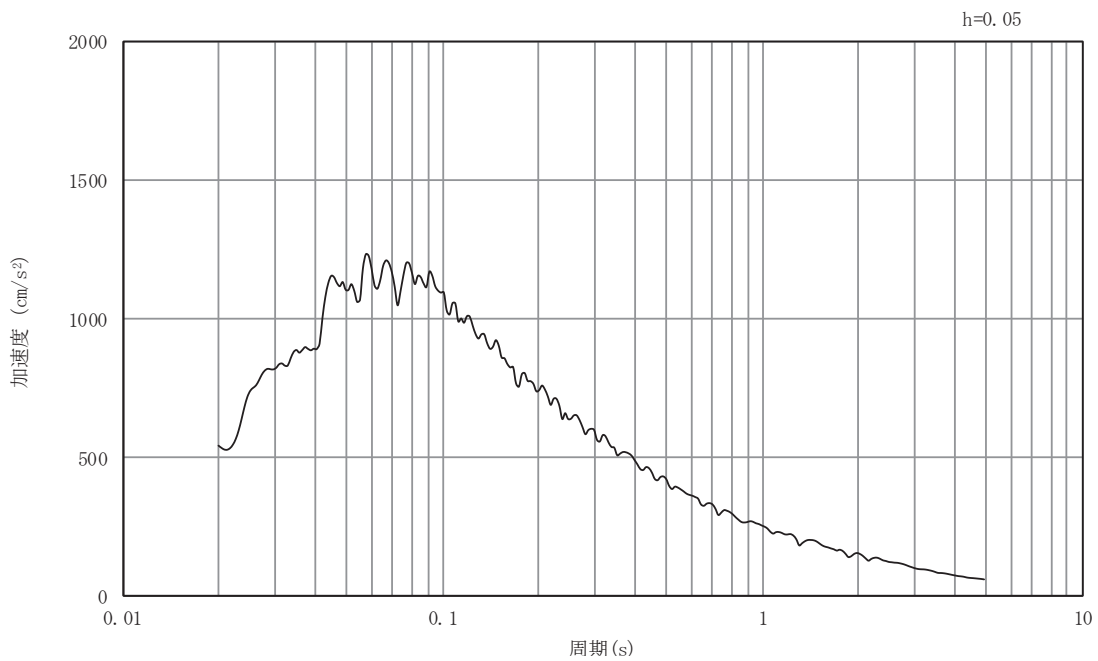


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - D 3)

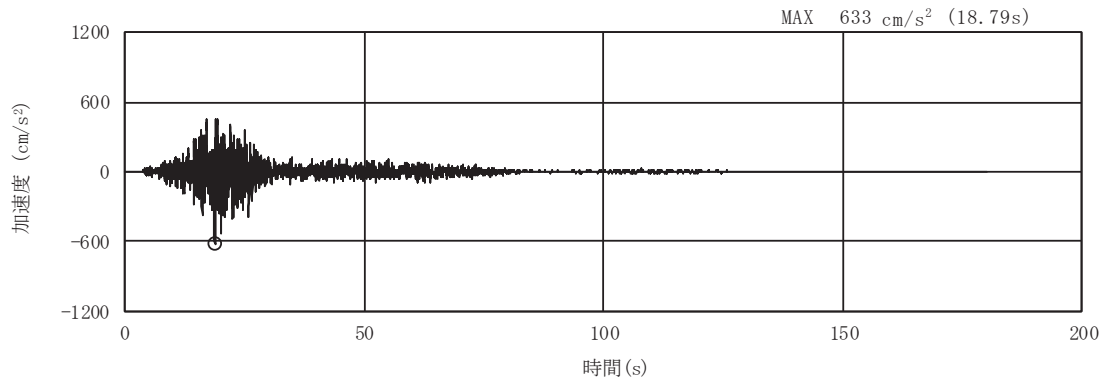


(a) 加速度時刻歴波形

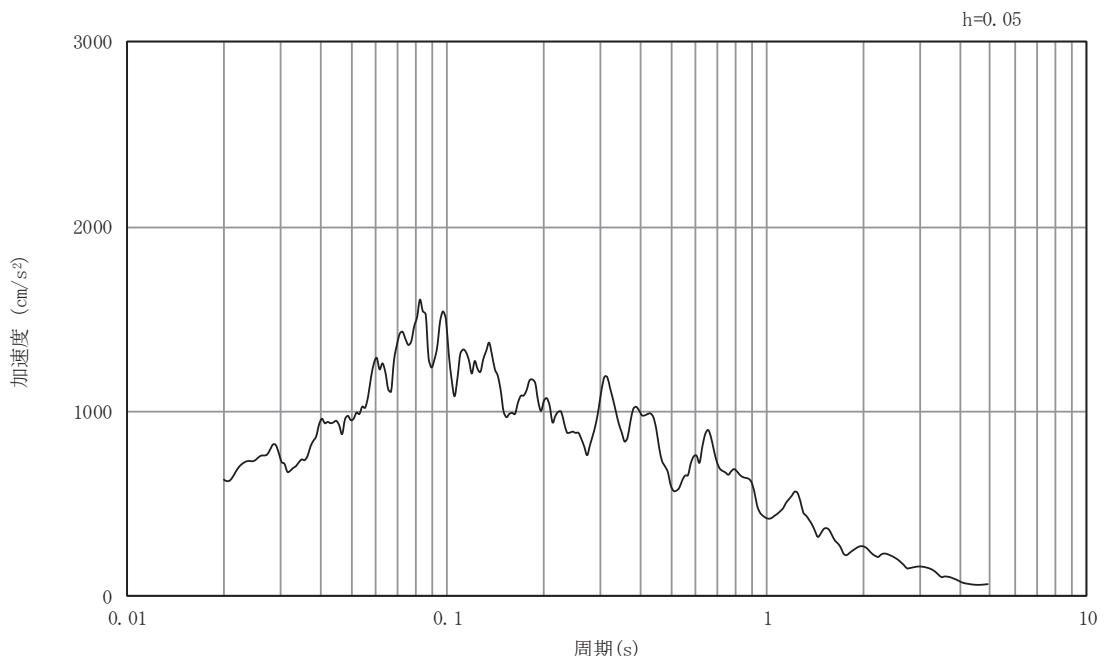


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-35 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S s - D 3)

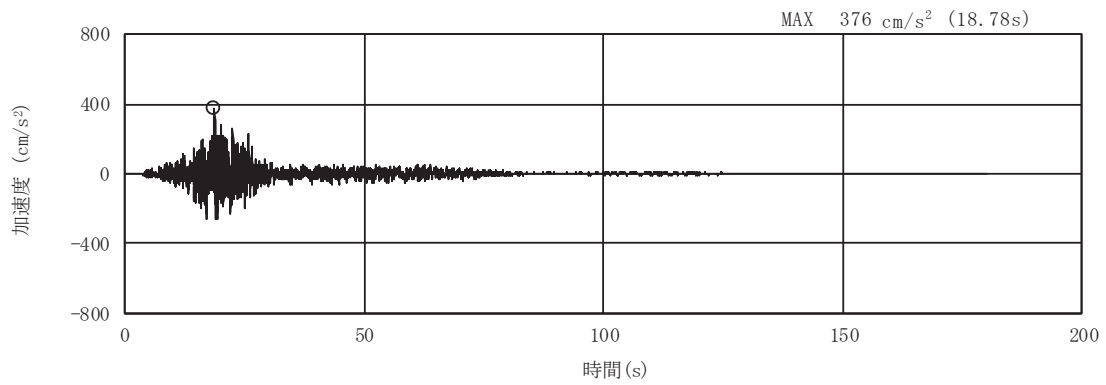


(a) 加速度時刻歴波形

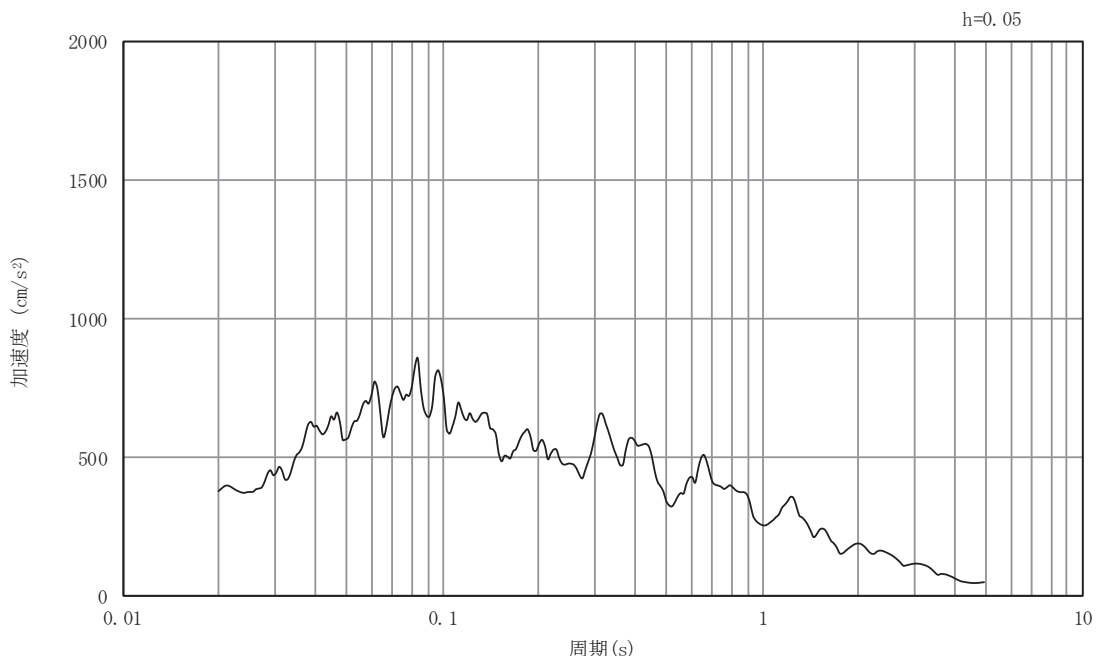


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-36 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - F 1)

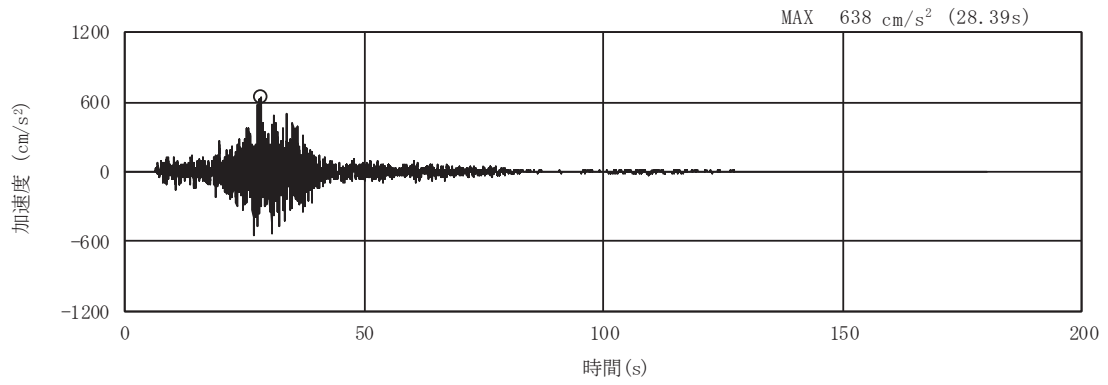


(a) 加速度時刻歴波形

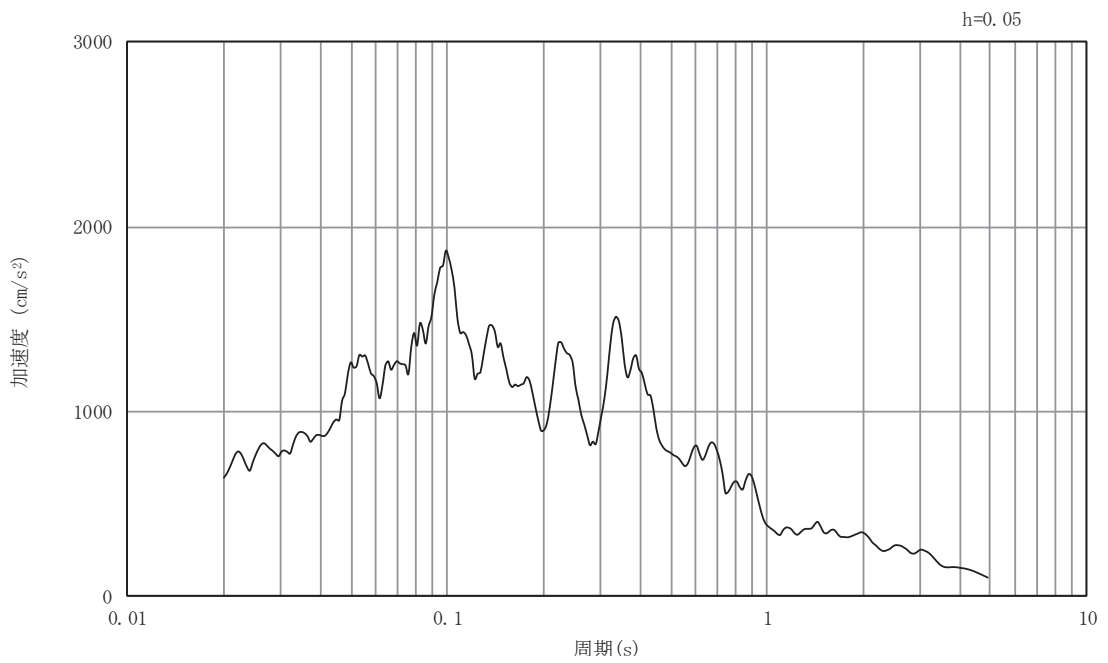


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-37 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S s - F 1)

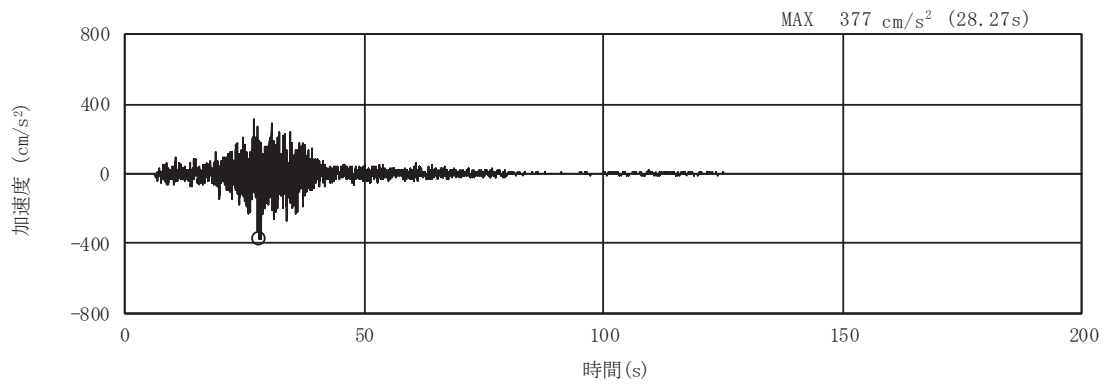


(a) 加速度時刻歴波形

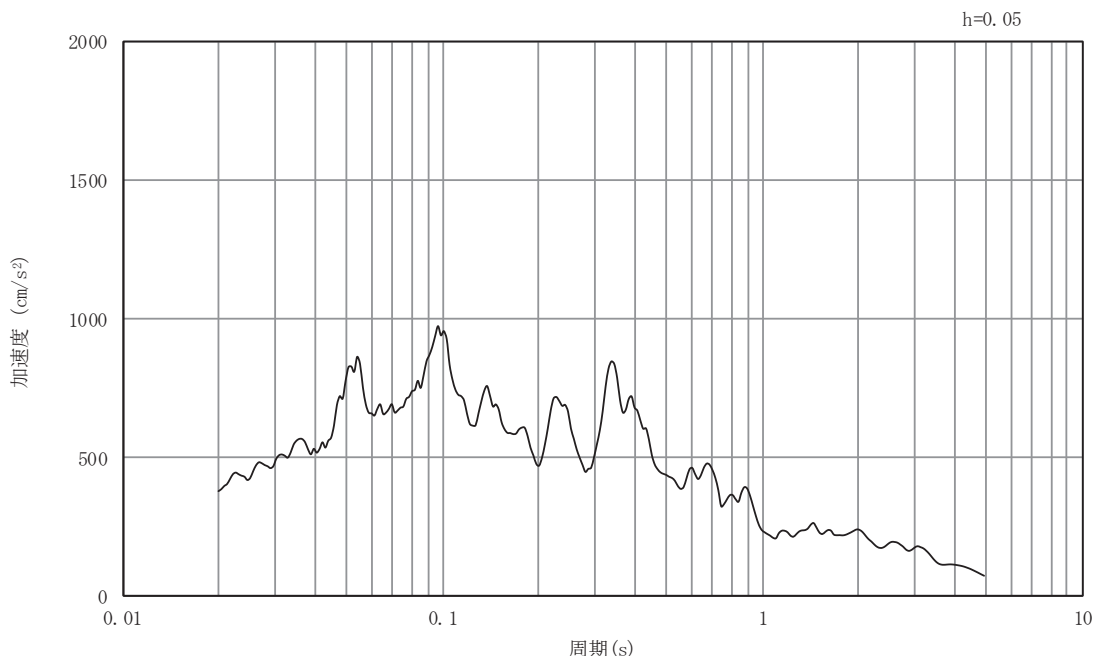


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-38 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - F 2)

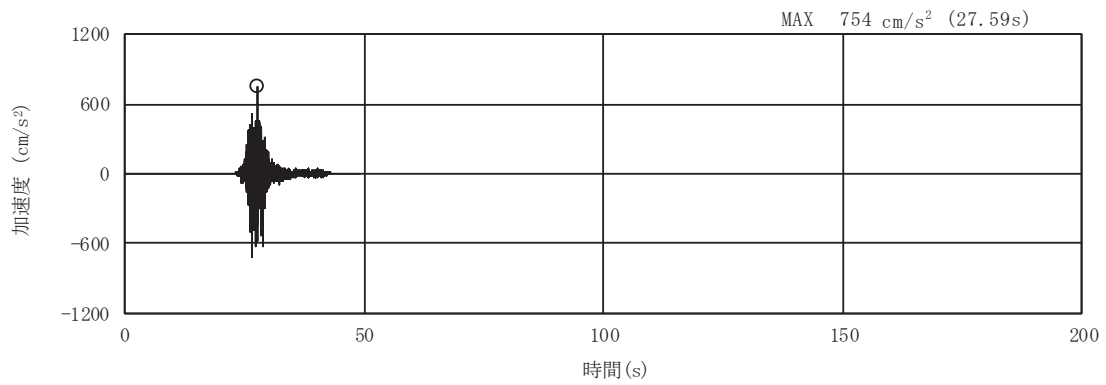


(a) 加速度時刻歴波形

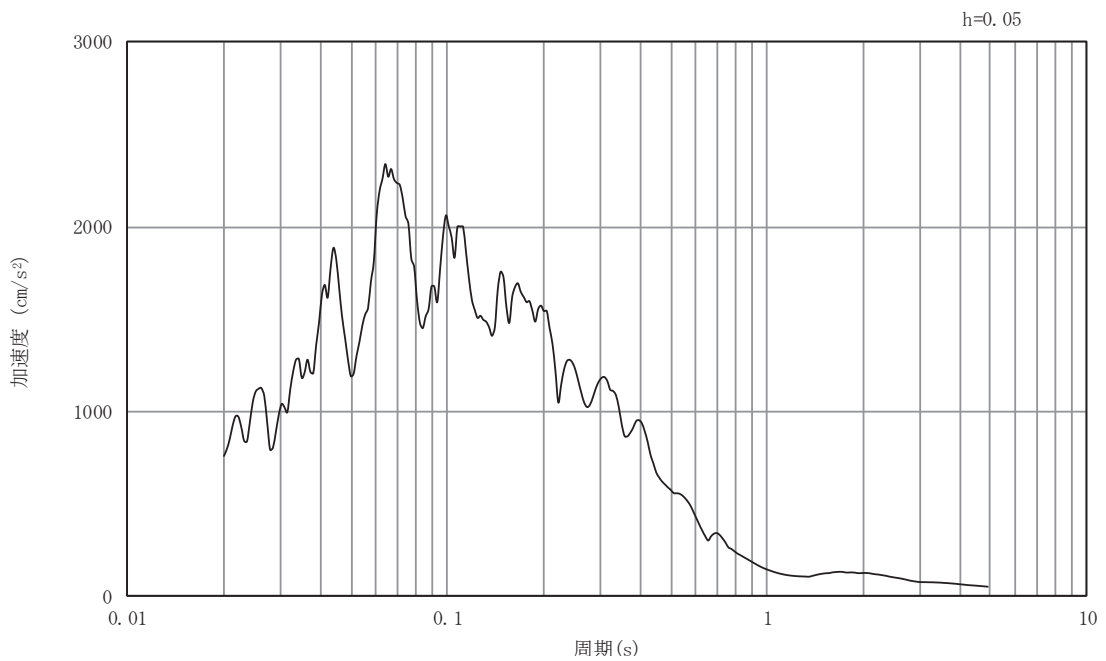


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-39 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S s - F 2)

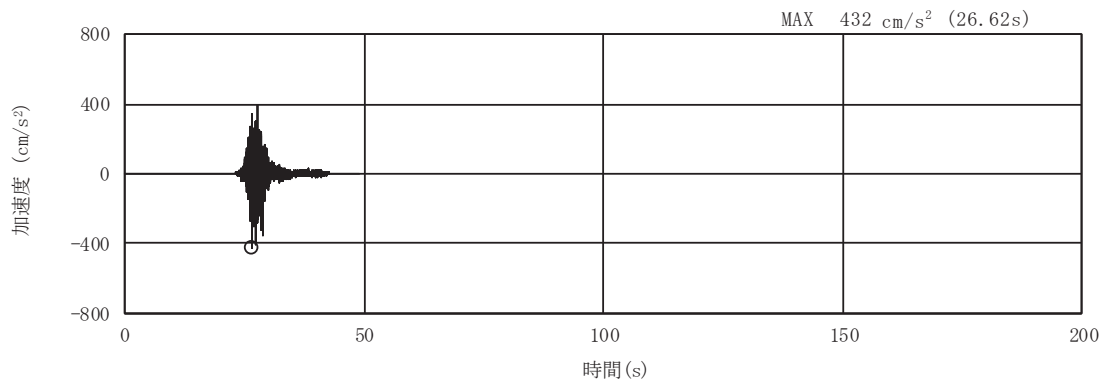


(a) 加速度時刻歴波形

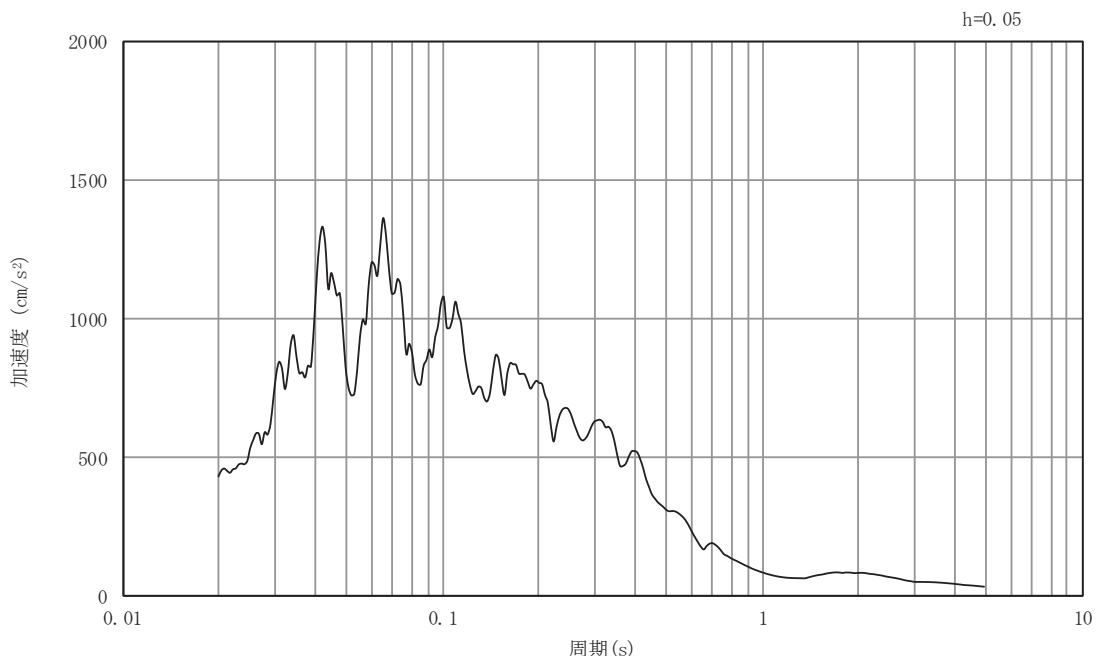


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-40 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - F 3)

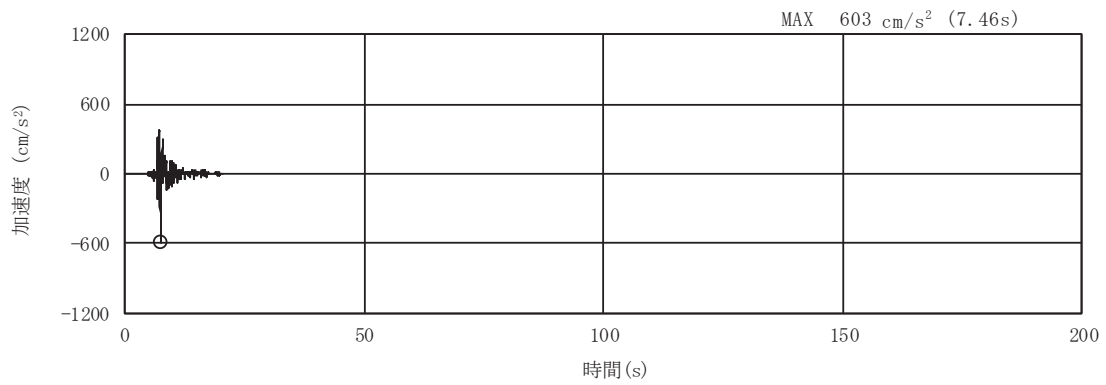


(a) 加速度時刻歴波形

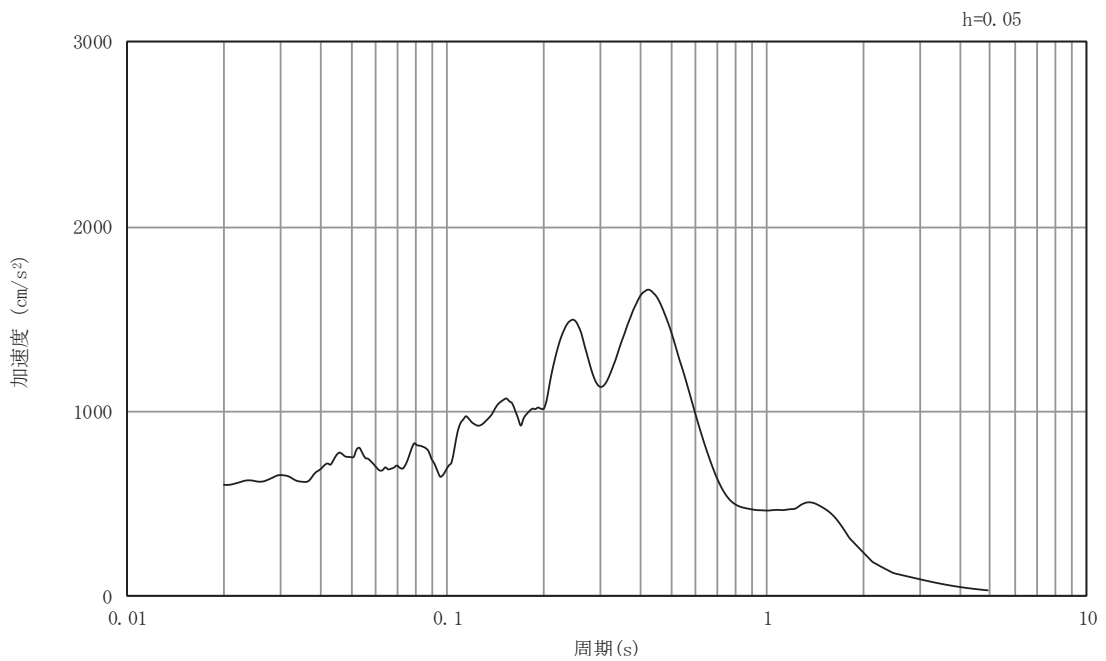


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-41 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S s - F 3)

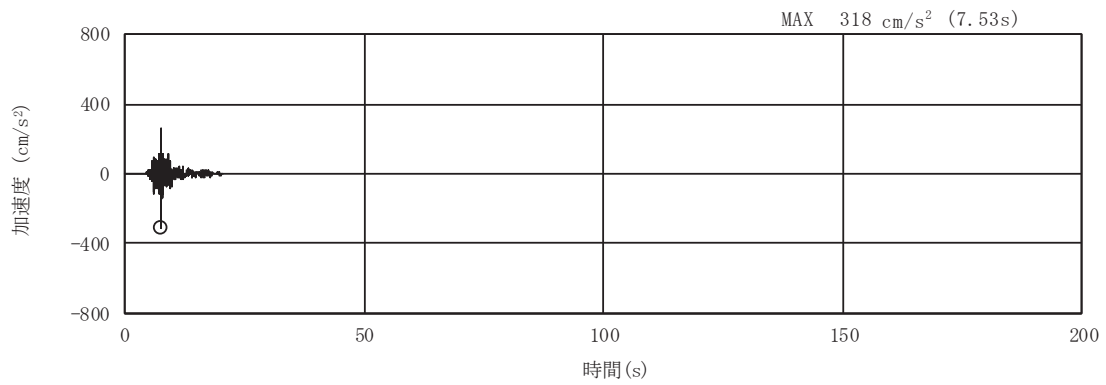


(a) 加速度時刻歴波形

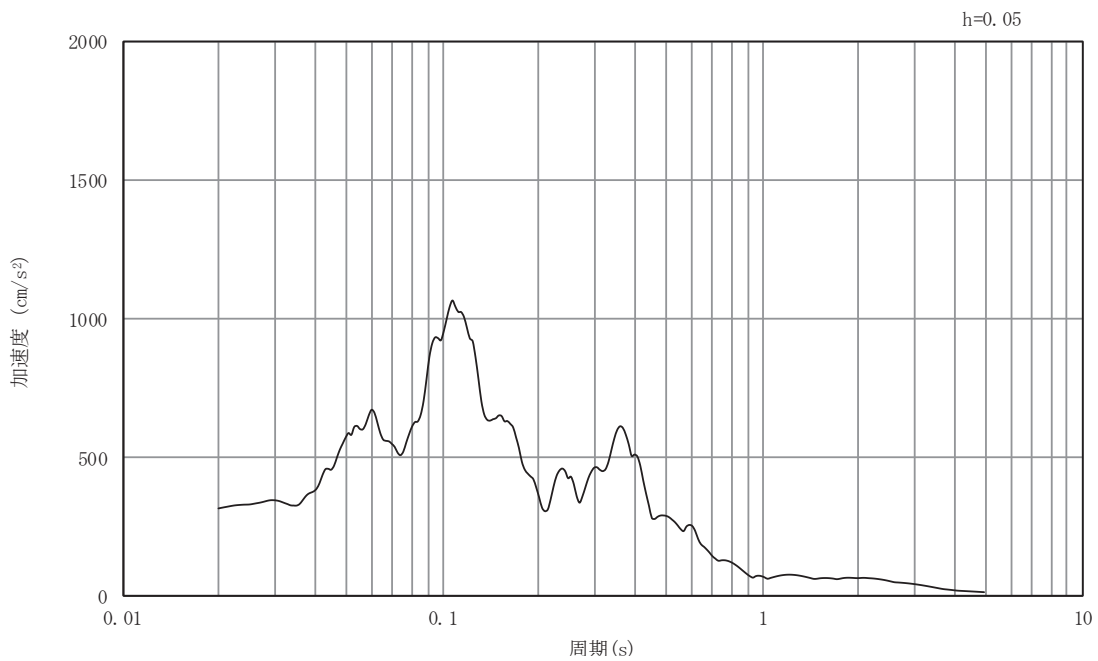


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-42 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - N 1)

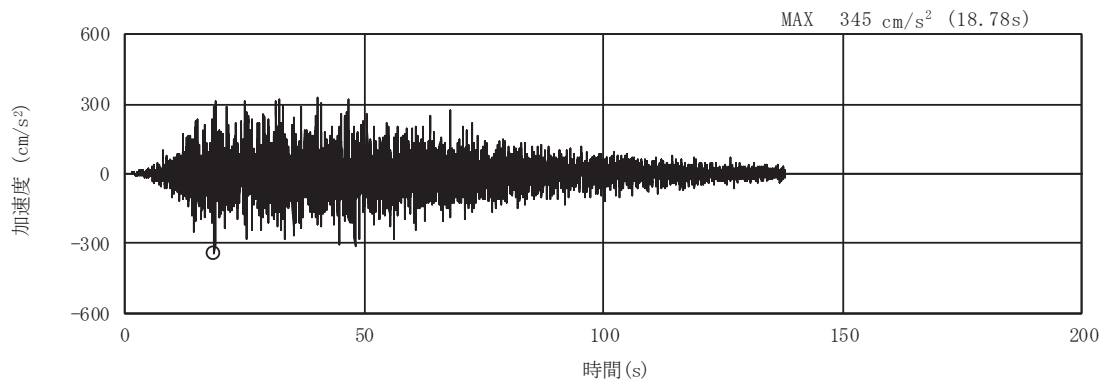


(a) 加速度時刻歴波形

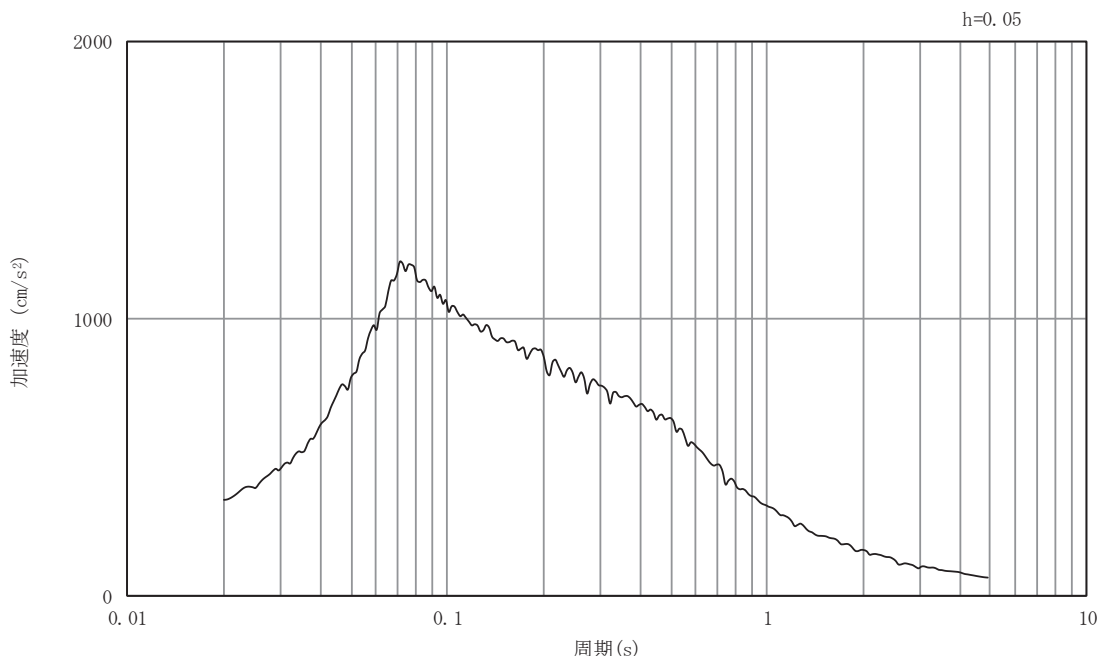


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-43 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S s - N 1)

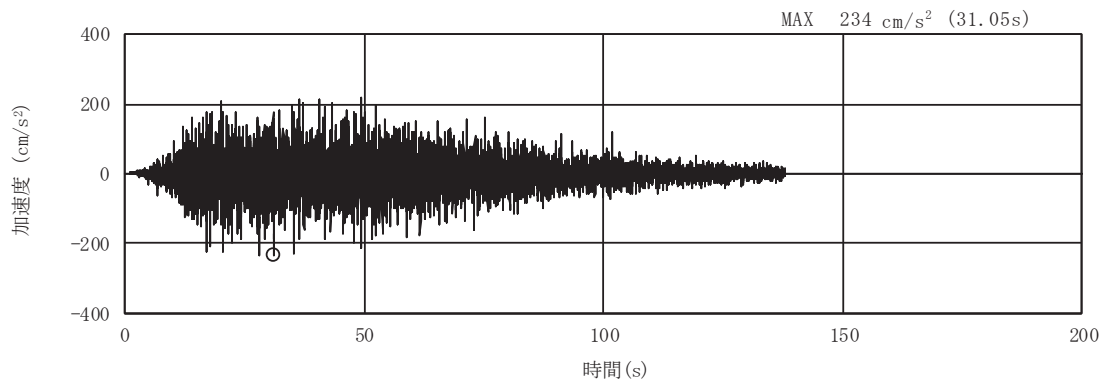


(a) 加速度時刻歴波形

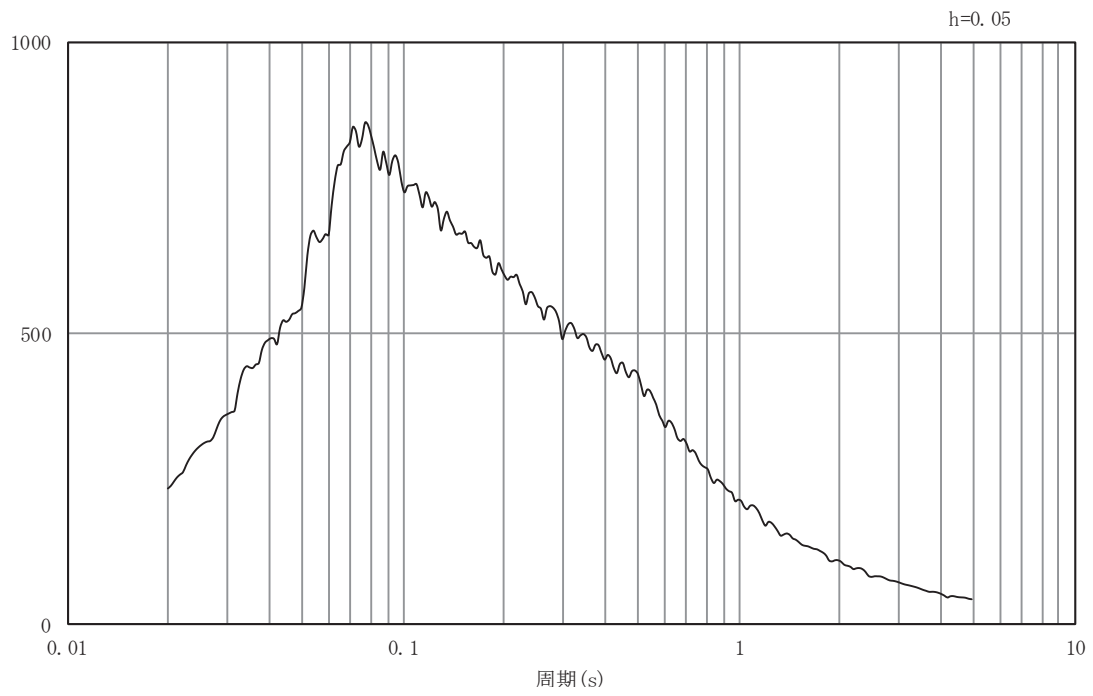


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-44 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S d - D 1)

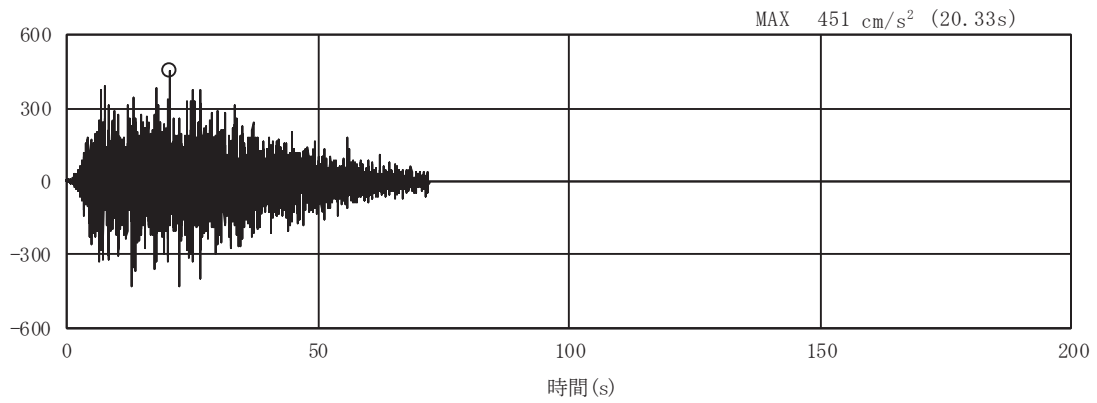


(a) 加速度時刻歴波形

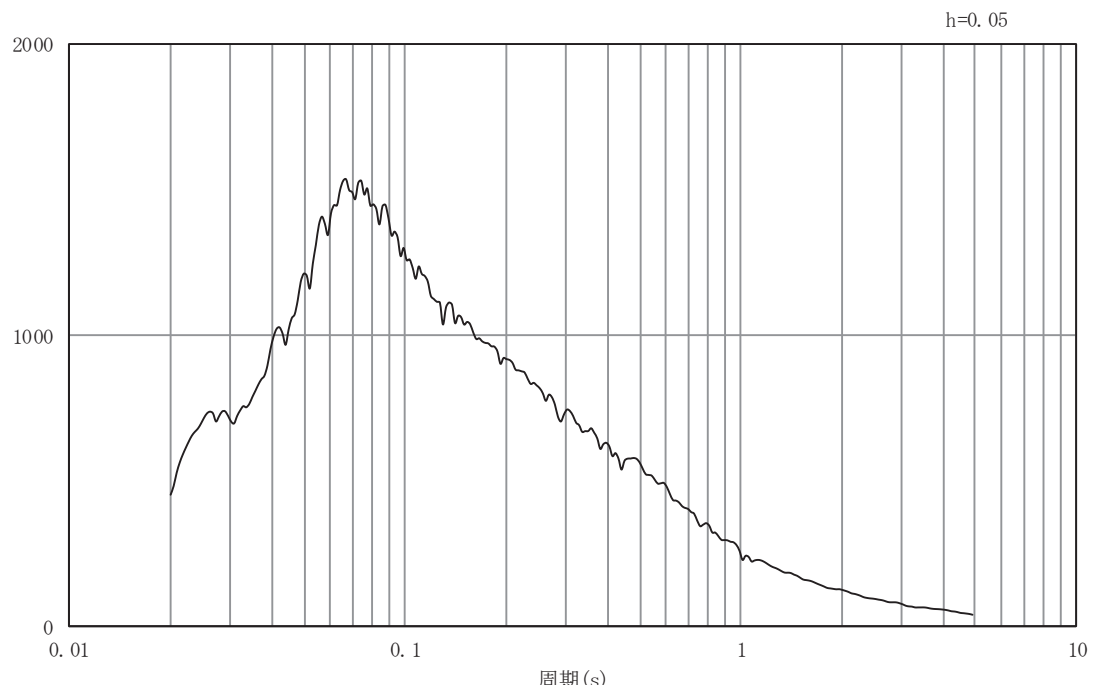


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-45 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S d - D 1)

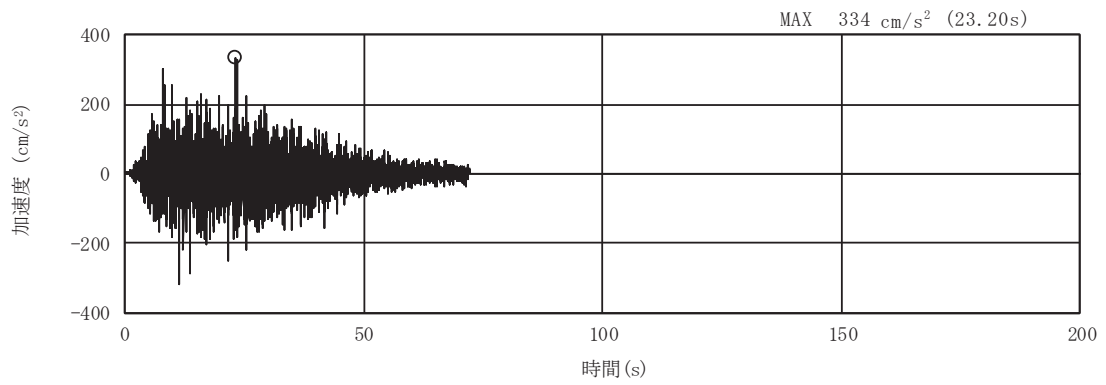


(a) 加速度時刻歴波形

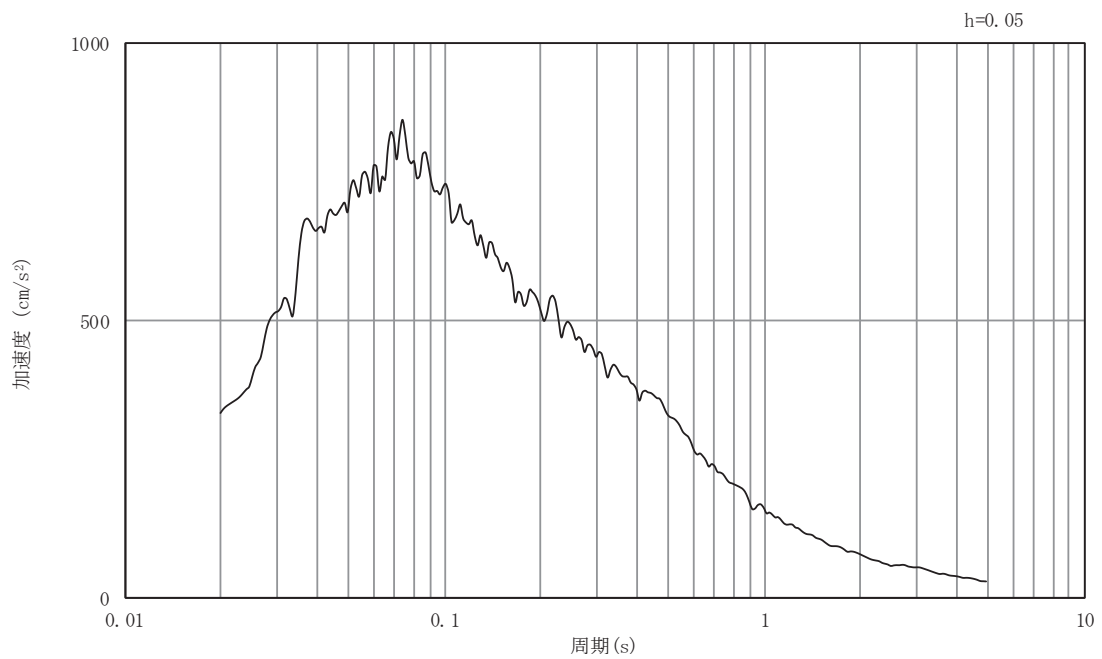


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-46 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S d - D 2)

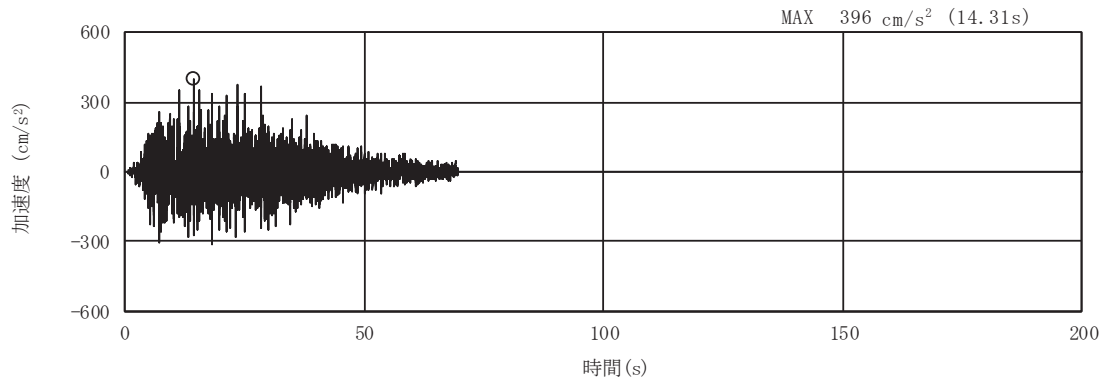


(a) 加速度時刻歴波形

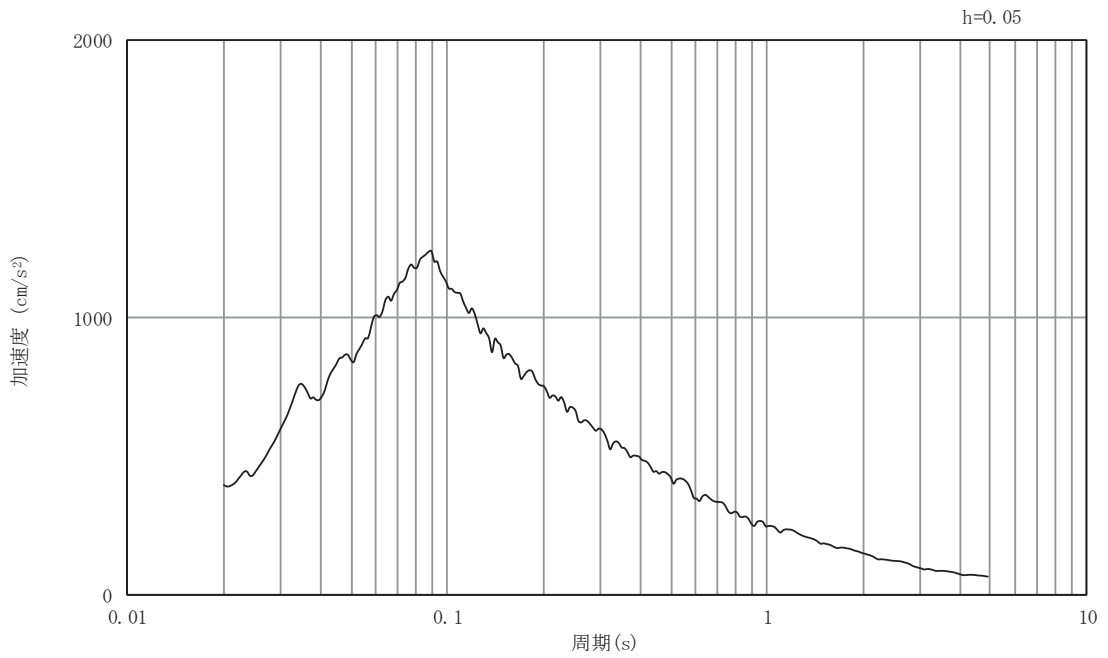


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-47 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S d - D 2)

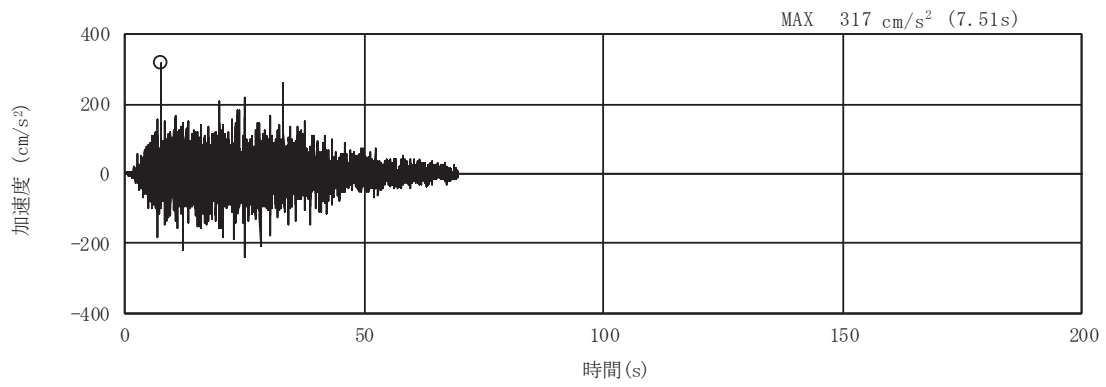


(a) 加速度時刻歴波形

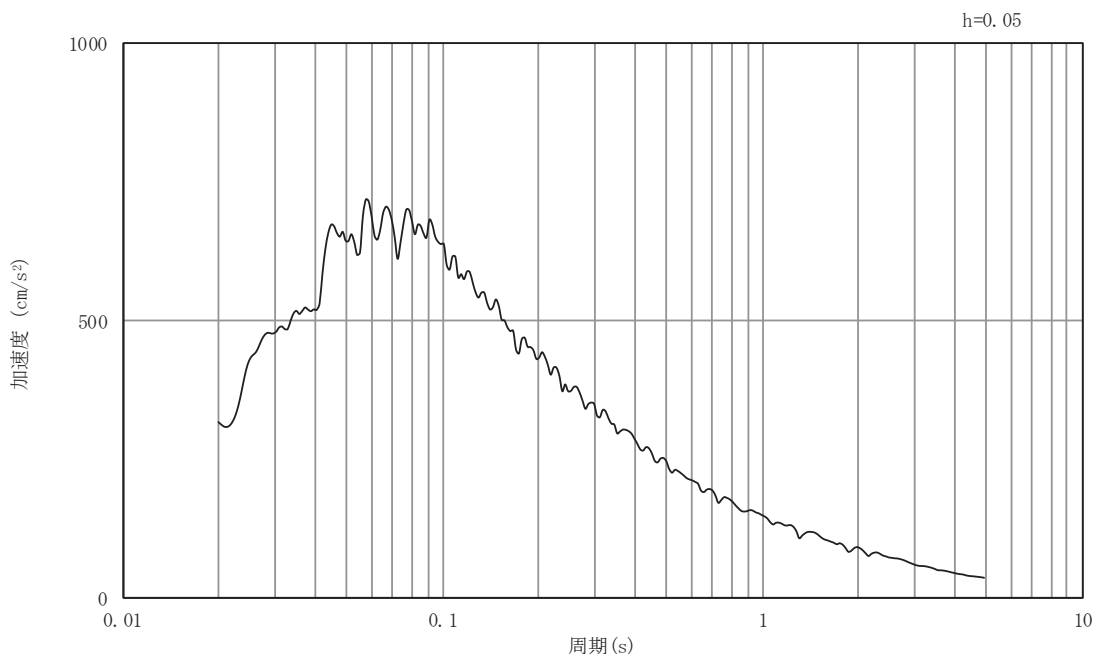


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-48 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S d - D 3)

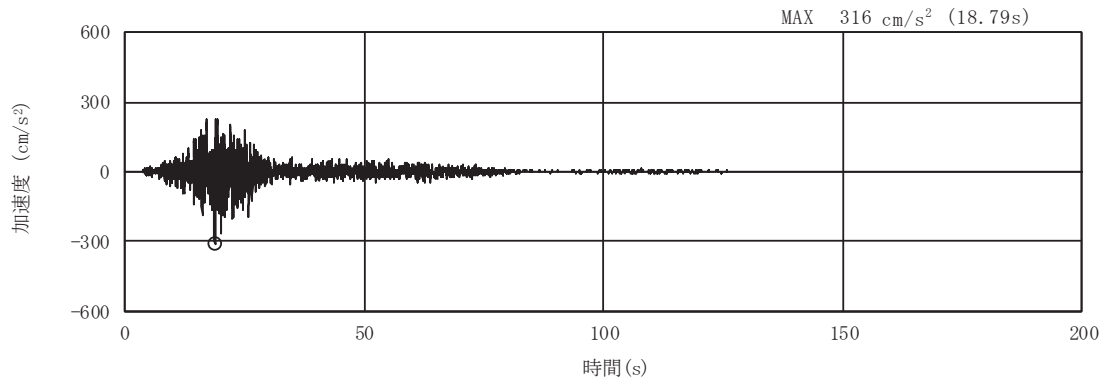


(a) 加速度時刻歴波形

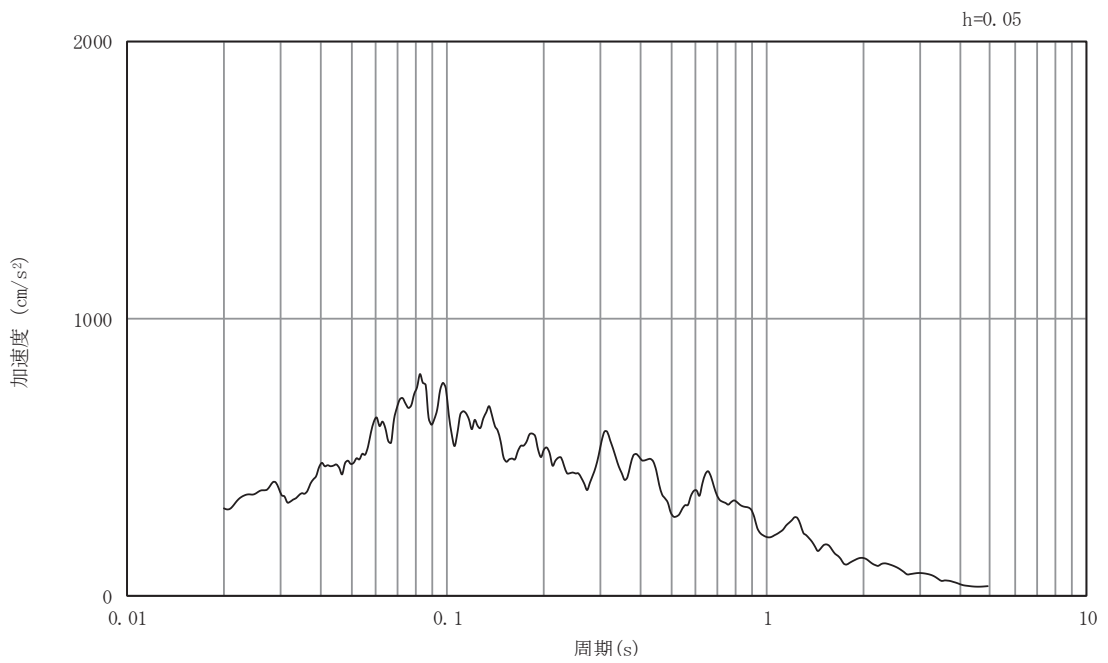


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-49 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S d - D 3)

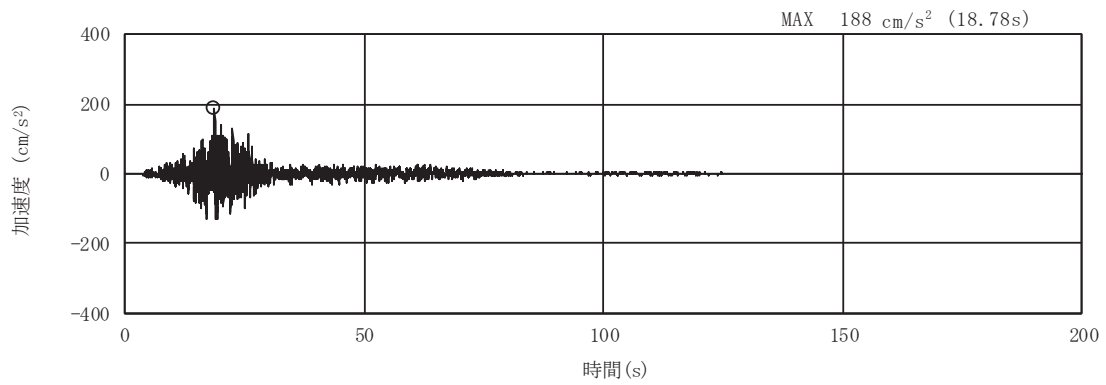


(a) 加速度時刻歴波形

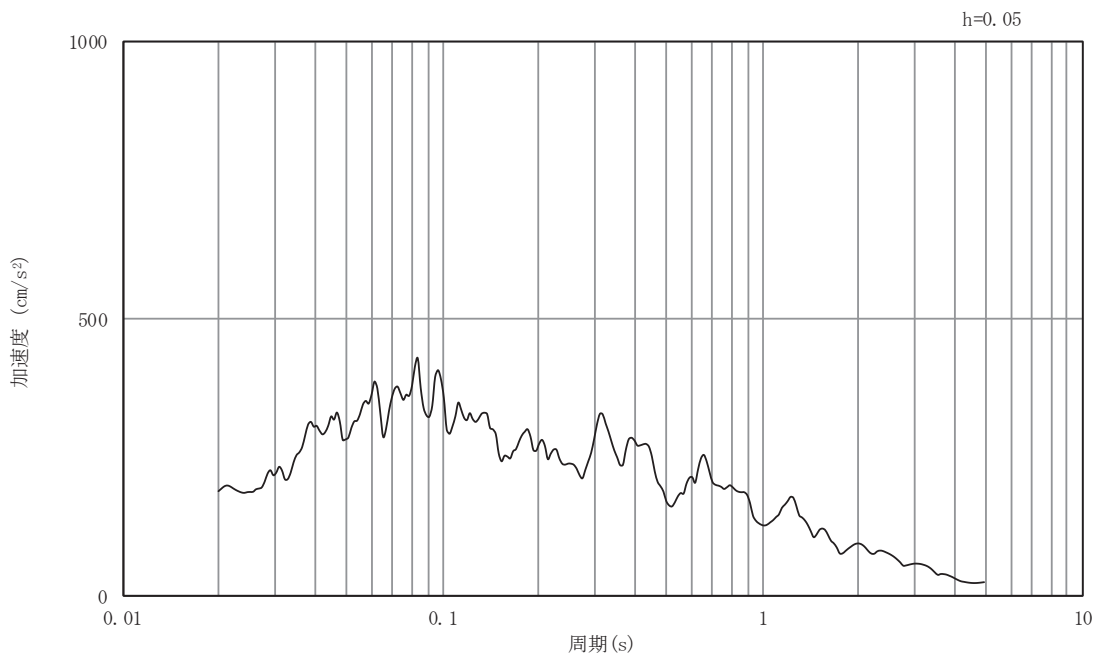


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-50 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S d - F 1)

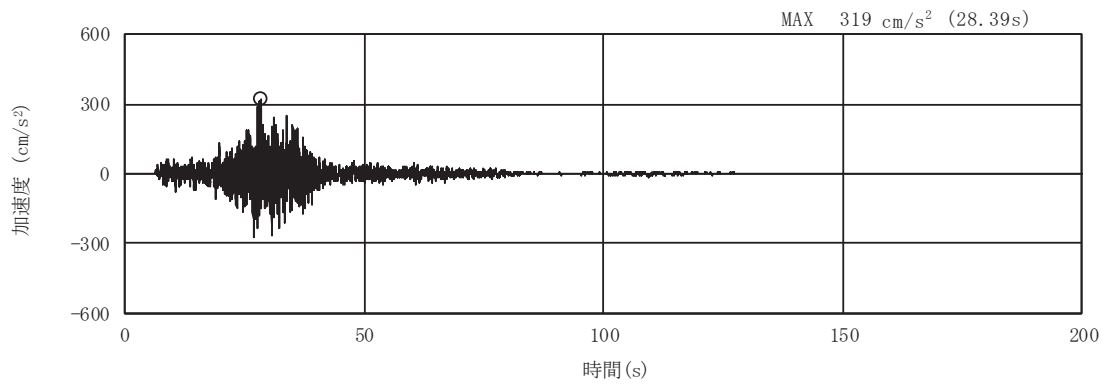


(a) 加速度時刻歴波形

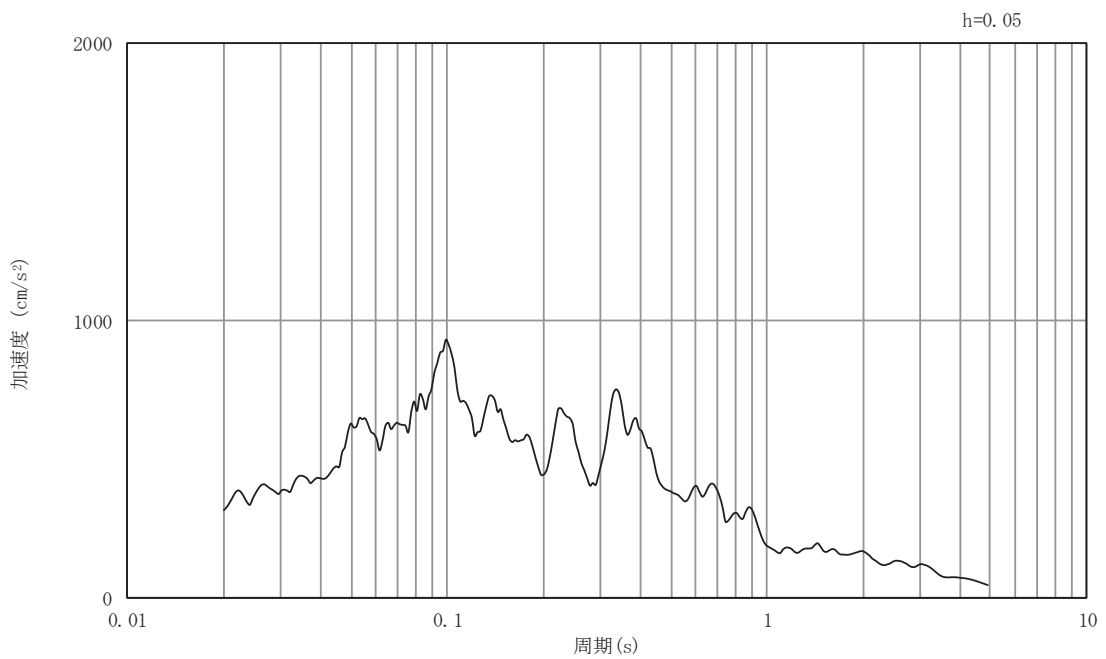


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-51 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S d - F 1)

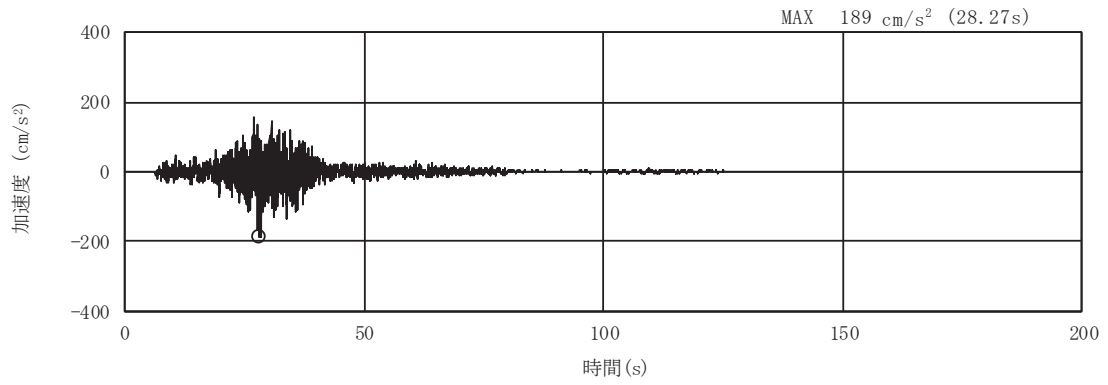


(a) 加速度時刻歴波形

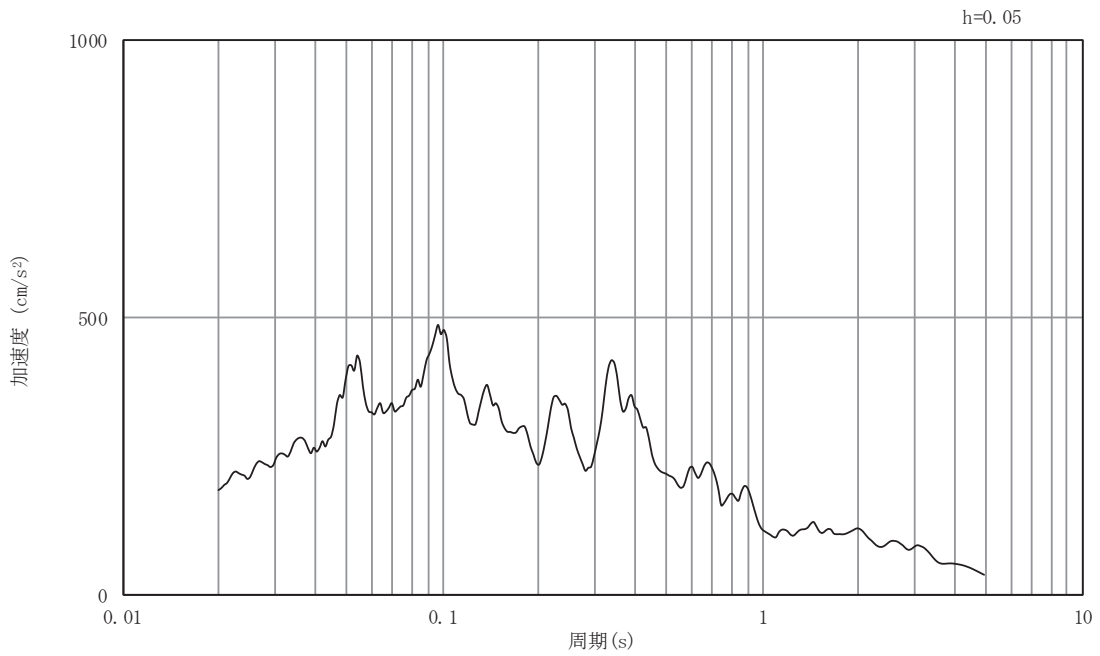


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-52 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S d - F 2)

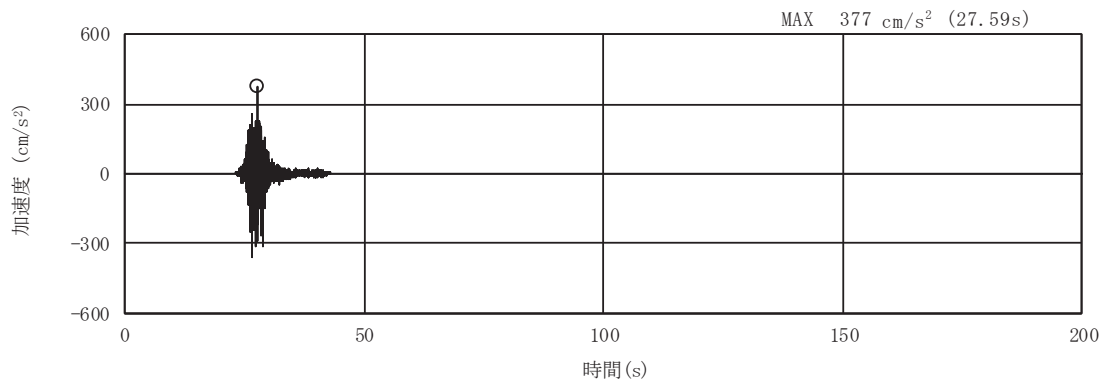


(a) 加速度時刻歴波形

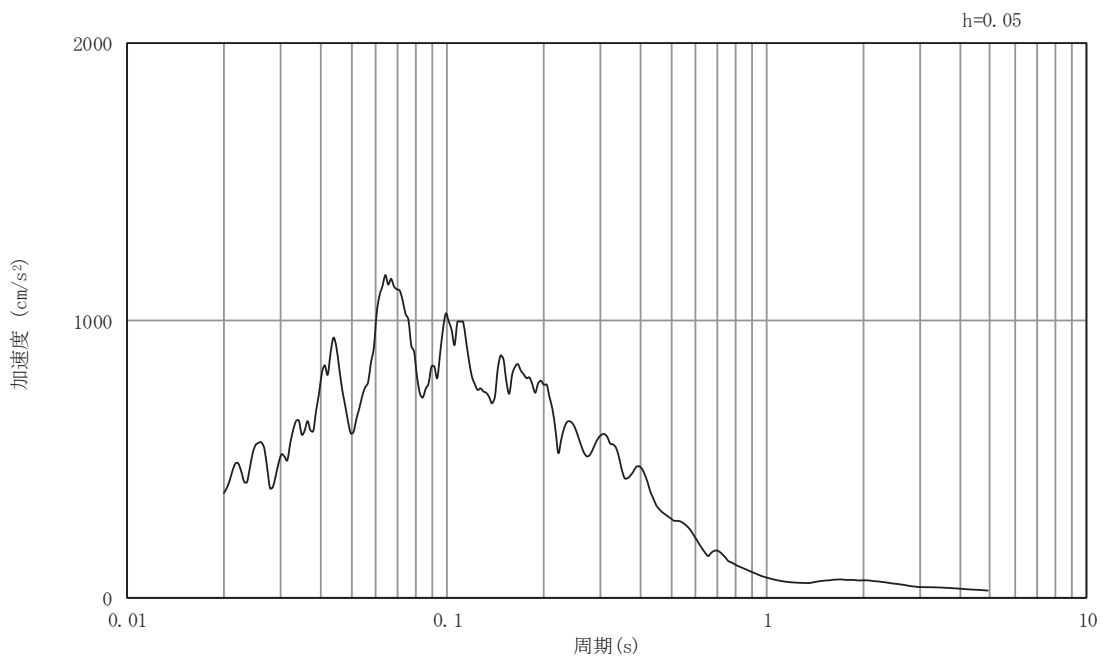


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-53 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S d - F 2)

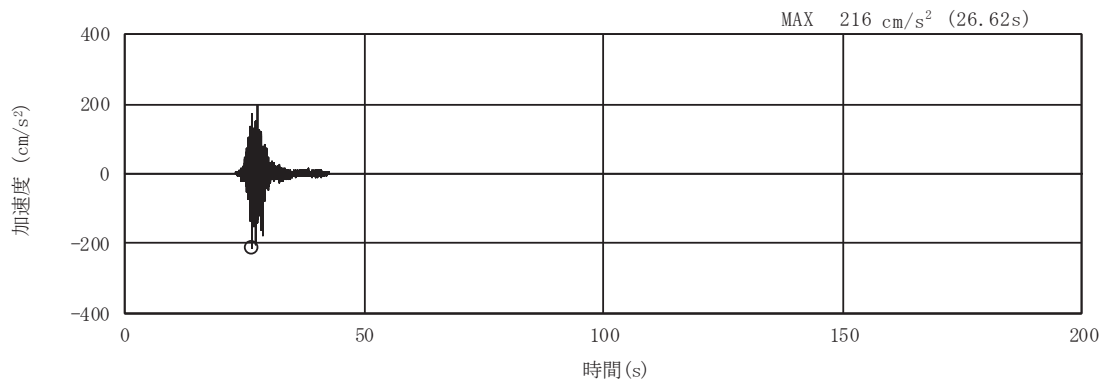


(a) 加速度時刻歴波形

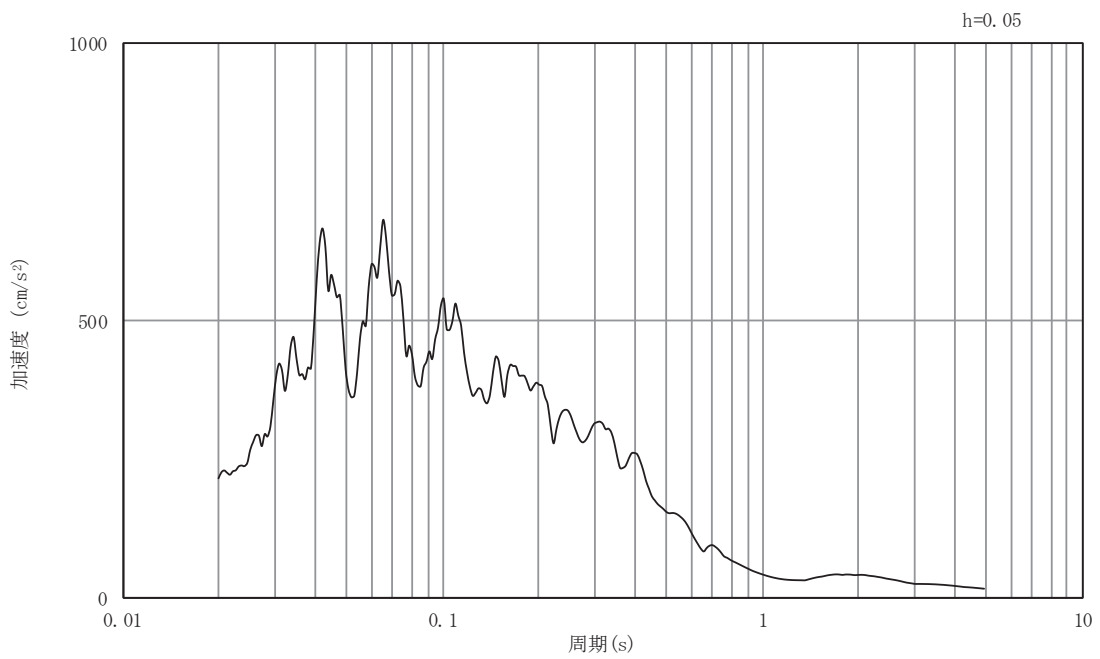


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-54 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S d - F 3)

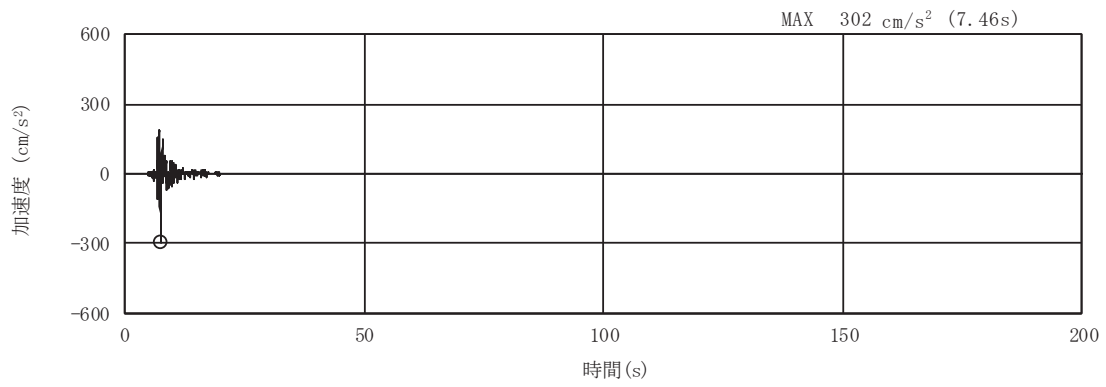


(a) 加速度時刻歴波形

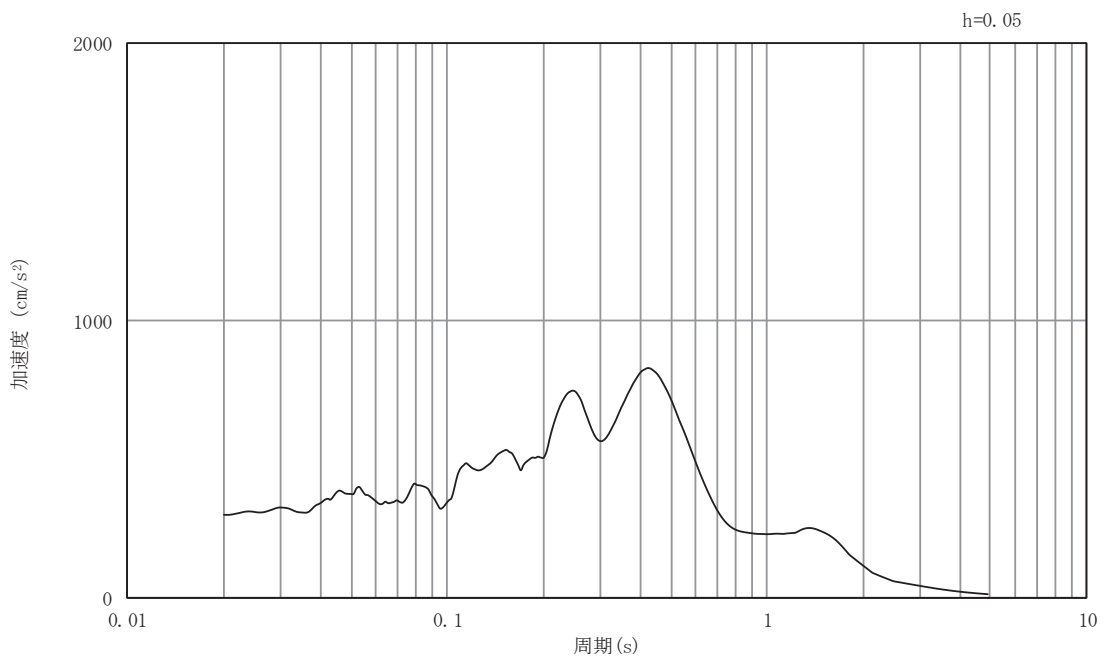


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-55 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S d - F 3)

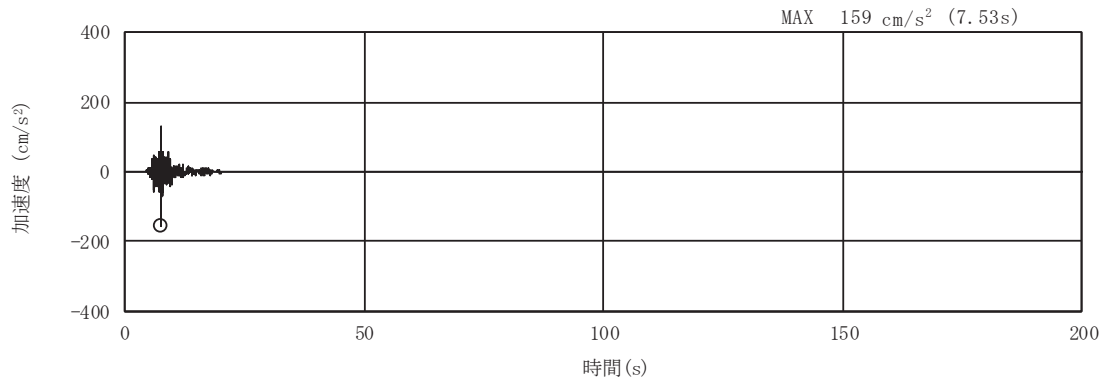


(a) 加速度時刻歴波形

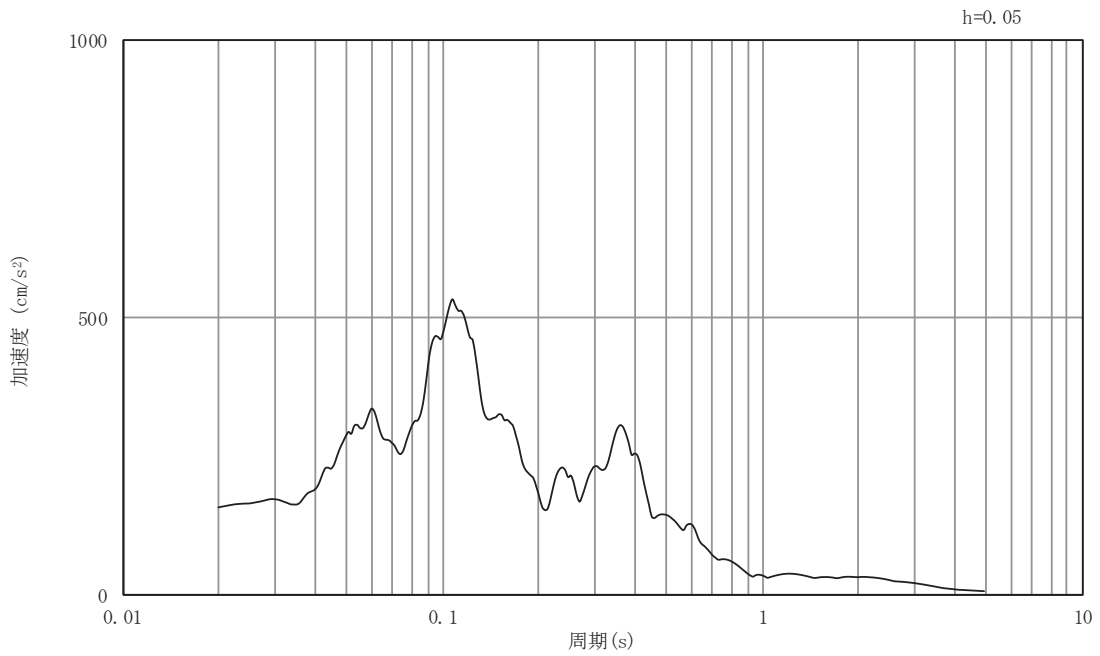


(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-56 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S d - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図9.5-57 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 鉛直成分: S d - N 1)

9.5.2 許容限界の設定

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 通水機能

一つの部材が終局状態に至った場合でも、直ちに通水断面の閉塞に繋がる事象には至らないが、保守的に部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。許容限界として、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）については終局状態に対する限界ひずみ*¹、せん断破壊についてはせん断耐力を設定し、面内変形に対しては、部材の面内せん断ひずみが J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されている支持機能の許容限界*²に至らないことを確認する。

注記*1：圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 μ)

*2：限界せん断ひずみ 2/1000 (2000 μ)

(2) 貯水機能

構造物の周辺環境を考慮すると、周囲の盛土の透水性は十分に小さく、ひび割れが生じたとしても、漏れ量は貯水機能に影響を及ぼさないが、躯体のみで貯水機能を満足できるように、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しないと考えられる、鉄筋が降伏しないことを目標性能とする。また、せん断破壊については、せん断破壊が脆性的な破壊形態を示すことから、せん断耐力に至るまでは部材を貫通するような顕著なひび割れは発生しないと判断し、終局状態に至らないことを目標性能とする。

したがって、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）については、部材のモデル化方法に応じて、部材降伏に対する限界ひずみ*³、又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメント*⁴を下回ることを確認し、せん断破壊についてはせん断耐力を下回ることを確認する。

また、面内変形に対しては、面内せん断ひずみが J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されているスケルトンカーブの第一折点 (γ_1) を下回れば面内せん断ひび割れは発生せず、水密性はあると考えられ、 γ_1 を超過する場合については、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。

注記*3：部材降伏に対する限界ひずみ

圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000 μ

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725 μ

*4：鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント

(3) 止水機能

断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力を下回れば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れは発生しないことから、鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力を下回ることを目標性能とし、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）については部材降伏に対する限界ひずみ*⁵、せん断破壊についてはせん断耐力を下回ることを確認する。そのうえで、顕著なひび割れが発生していないことを解析等により確認又は妥当な裕度を持たせることとする。

また、面内変形に対しては、面内せん断ひずみが J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されて

いるスケルトンカーブの第一折点 (γ_1) を下回れば面内せん断ひび割れは発生せず、水密性はあると考えられ、 γ_1 を超過する場合については、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。

注記*5：部材降伏に対する限界ひずみ

圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000 μ

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725 μ

(4) 支持機能

S クラスの機器及び配管等を安全に支持することは、耐荷性能を維持することと同義であることから、部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。

したがって、目標性能に対応した許容限界として、曲げ・軸力系の破壊（面外変形）については、終局状態に対する限界ひずみ*6、せん断破壊についてはせん断耐力を設定する。

（限界ひずみ及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。）

また、面内変形に対しては、部材の面内せん断ひずみが J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されている支持機能の許容限界（限界せん断ひずみ）*7 に至らないことを確認する。（限界せん断ひずみの許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。）

加えて、アンカー定着部周辺においては、損傷が部材降伏程度であれば、定着性能に影響を及ぼさないことから、鉄筋が降伏しないことを目標性能とし、部材のモデル化方法に応じて、部材降伏に対する限界ひずみ*8 を下回ることを確認する。（限界ひずみの許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。）

注記*6：圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 μ)

*7：限界せん断ひずみ 2/1000 (2000 μ)

*8：部材降伏に対する限界ひずみ

圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000 μ

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725 μ