

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-026-04 改 01
提出年月日	2023年3月24日

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答計算書及び
耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2023年3月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目次

1. 評価方法	1
2. 評価条件	1
2.1 適用規格	1
2.2 構造概要	3
2.3 評価対象断面の方向	10
2.4 評価対象断面の選定	10
2.5 使用材料及び材料の物性値	13
2.6 地盤物性値	14
2.7 評価構造物諸元	16
2.8 地下水位	18
2.9 耐震評価フロー	19
3. 地震応答解析	20
3.1 地震応答解析手法	20
3.2 地震応答解析モデルの設定	23
3.2.1 解析モデル領域	23
3.2.2 境界条件	24
3.2.3 構造物のモデル化	27
3.2.4 隣接構造物のモデル化	27
3.2.5 地盤、MMR 及び埋戻コンクリートのモデル化	27
3.2.6 地震応答解析モデル	29
3.2.7 ジョイント要素の設定	33
3.2.8 材料特性の設定	38
3.3 減衰定数	40
3.4 荷重及び荷重の組合せ	52
3.4.1 機器・配管荷重	53
3.4.2 外水圧	56
3.4.3 積雪荷重	56
3.5 地震応答解析の解析ケース	57
3.5.1 耐震評価における解析ケース	57
3.5.2 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	60

4.	評価内容	63
4.1	入力地震動の設定	63
4.2	許容限界の設定	98
4.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	98
4.2.2	せん断破壊に対する許容限界	100
4.2.3	せん断破壊に対する許容限界（線形被害則による照査方法）	104
4.2.4	基礎地盤の支持機能に対する許容限界	109
5.	評価結果	110
5.1	地震応答解析結果	110
5.1.1	解析ケースと照査値	110
5.1.2	ひずみの時刻歴波形	111
5.1.3	断面力分布（せん断破壊に対する照査）	114
5.1.4	最大せん断ひずみ分布	118
5.2	構造部材の健全性に対する評価結果	122
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	122
5.2.2	せん断破壊に対する評価結果	125
5.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	133
6.	まとめ	137

参考資料 1 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース

参考資料 2 静的地震力に対する耐震評価

参考資料 3 せん断破壊に対する照査への線形被害則適用について

参考資料 4 地震応答解析結果

1. 評価方法

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク及び非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ等を間接支持しており、支持機能が要求される。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度、支持機能を有していることを確認する。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 評価条件

2.1 適用規格

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の耐震評価にあたっては、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2002」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）（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系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2005」という。）を適用する。また、基礎地盤の支持性能の許容限界については、道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（日本道路協会平成14年3月）を適用する。

表2-1に適用する規格、基準類を示す。

表 2-1 適用する規格, 基準類

項目	適用する規格, 基準値	備考
使用材料及び材料定数	コンクリート標準示方書 2002	鉄筋コンクリートの材料諸元 (γ , E , ν)
荷重及び荷重の組合せ	コンクリート標準示方書 2002	永久荷重, 偶発荷重等の適切な組み合わせを検討
許容限界	土木マニュアル 2005	曲げ・軸力系の破壊に対する照査は, 発生ひずみが限界ひずみ (圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%) 以下であることを確認 せん断破壊に対する照査は, 発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認
	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) (日本道路協会平成 14 年 3 月)	基礎地盤の支持性能に対する照査は, 基礎地盤に発生する応力が極限支持力を下回ることを確認
地震応答解析	J E A G 4 6 0 1 -1987	有限要素法による二次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

2.2 構造概要

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の位置図を図2-1に、平面図を図2-2に、断面図を図2-3及び図2-4に、概略配筋図を図2-5及び図2-6に、評価対象断面位置図及び評価対象地質断面図を図2-7及び図2-8に示す。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、延長約20.8m、幅約19.2m、高さ約10.6mの鉄筋コンクリート造の地中及び半地下構造物であり、半地下部、地中部の2つのエリアから構成されている。

周辺状況として、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽周りは埋戻コンクリートが敷設され、十分な支持性能を有するC_M級岩盤に直接支持される。

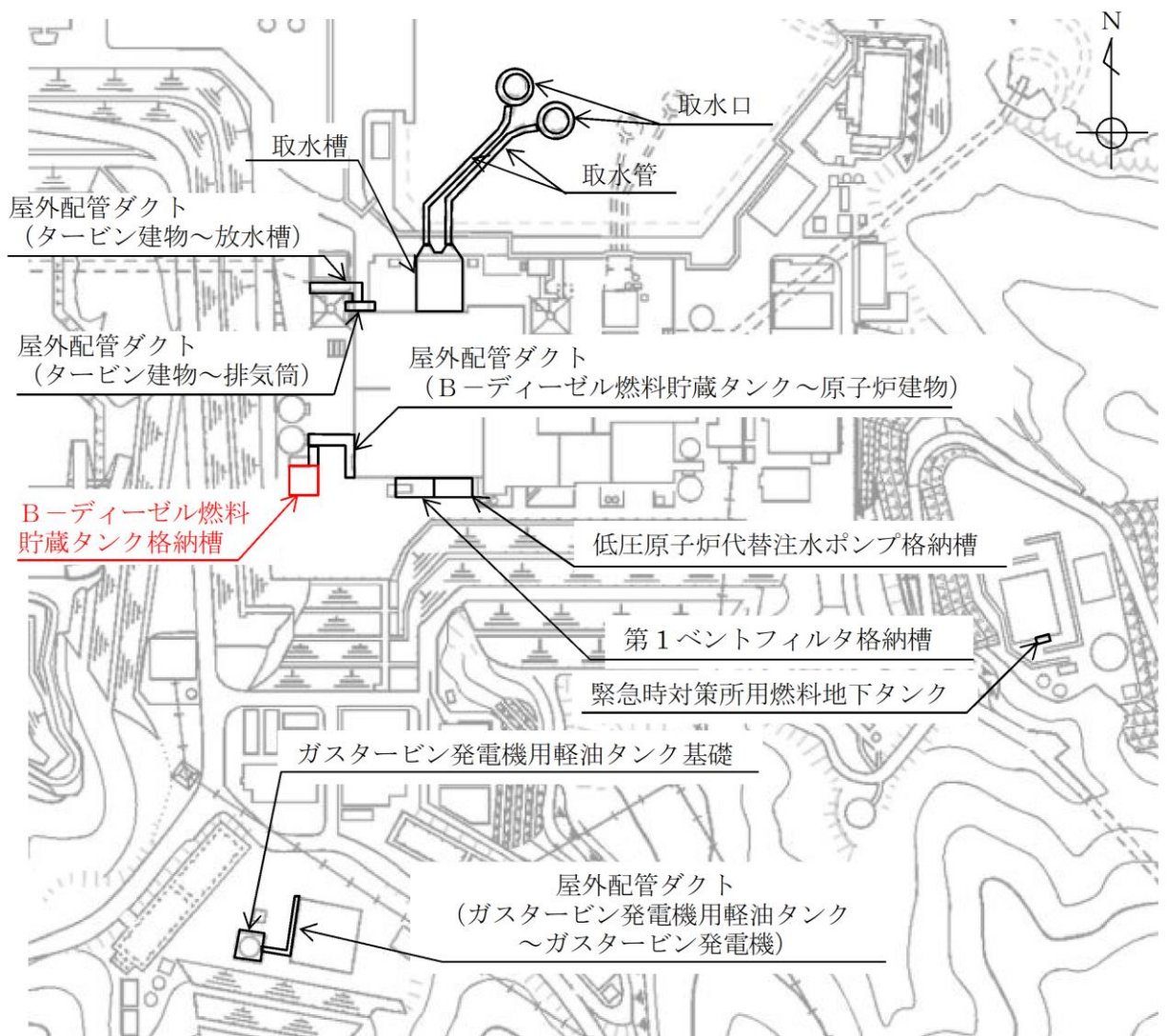


図 2-1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 位置図

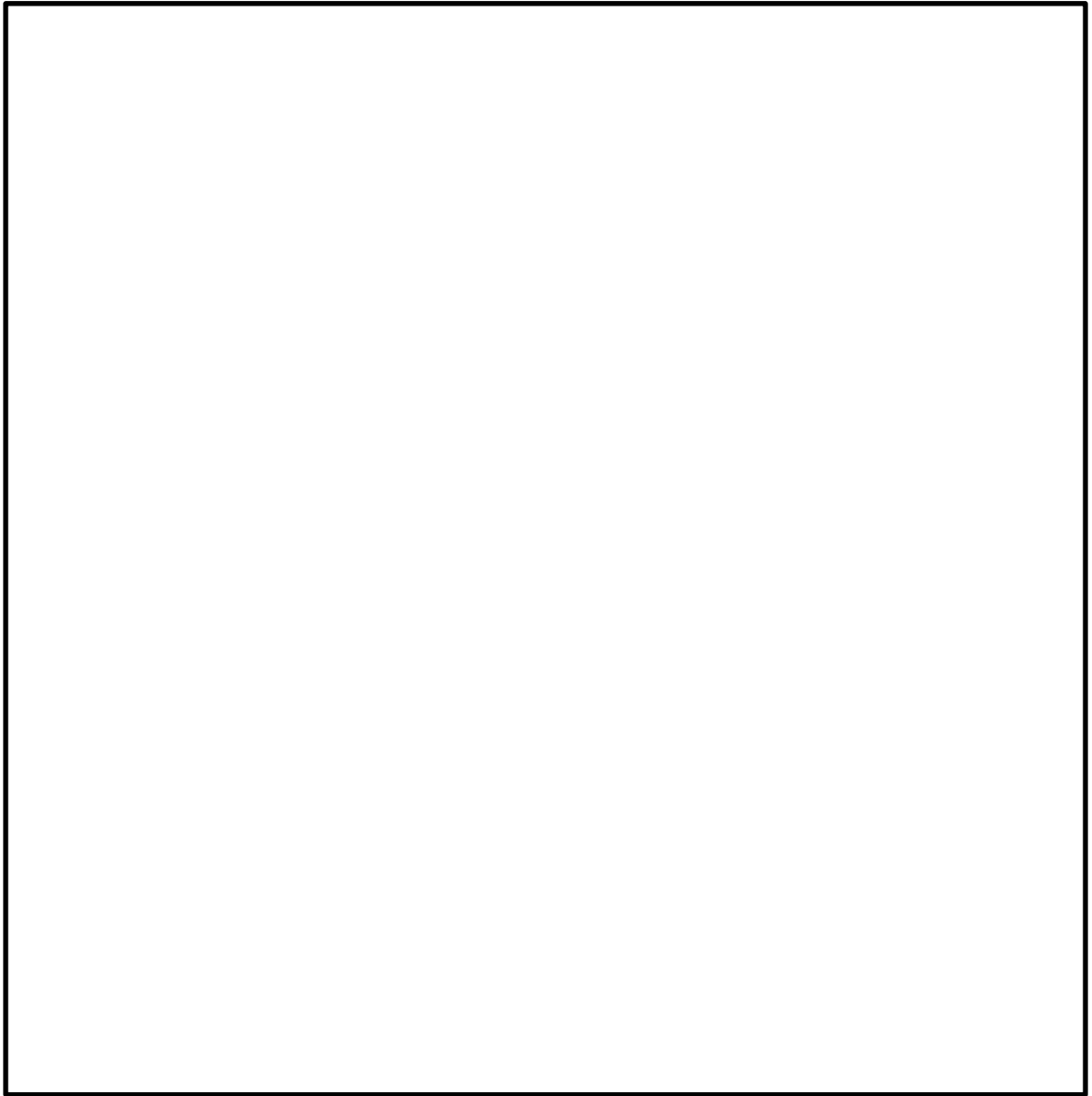


図 2-2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 平面図



図 2-3 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (A-A断面)

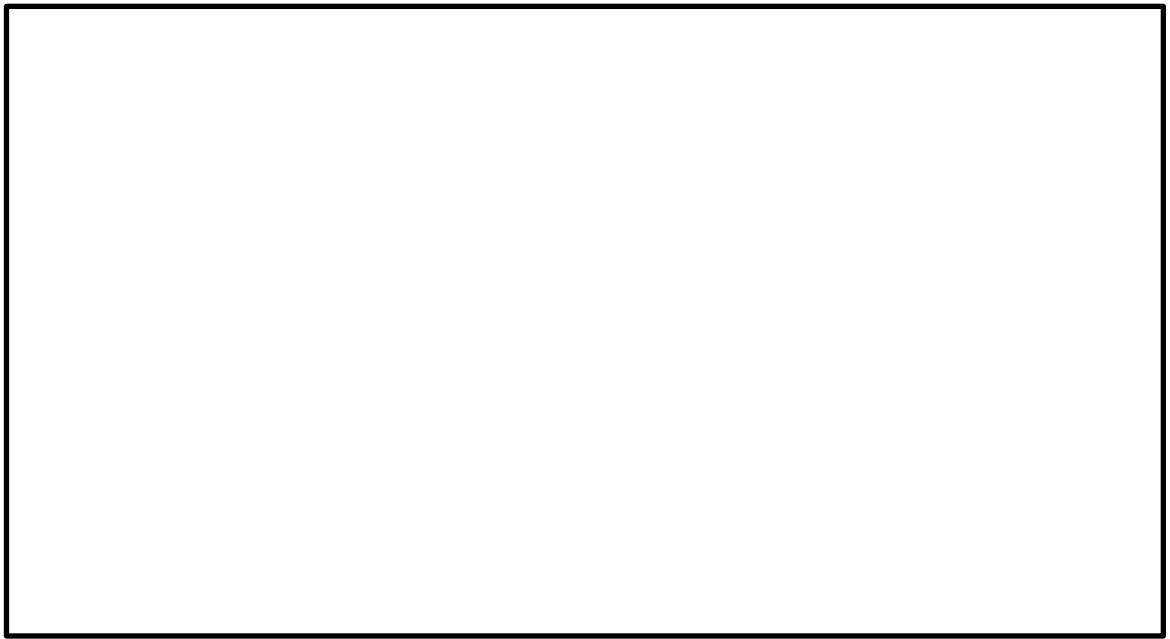


図 2-4 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (B-B断面)



図 2-5 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 概略配筋図 (A-A断面)

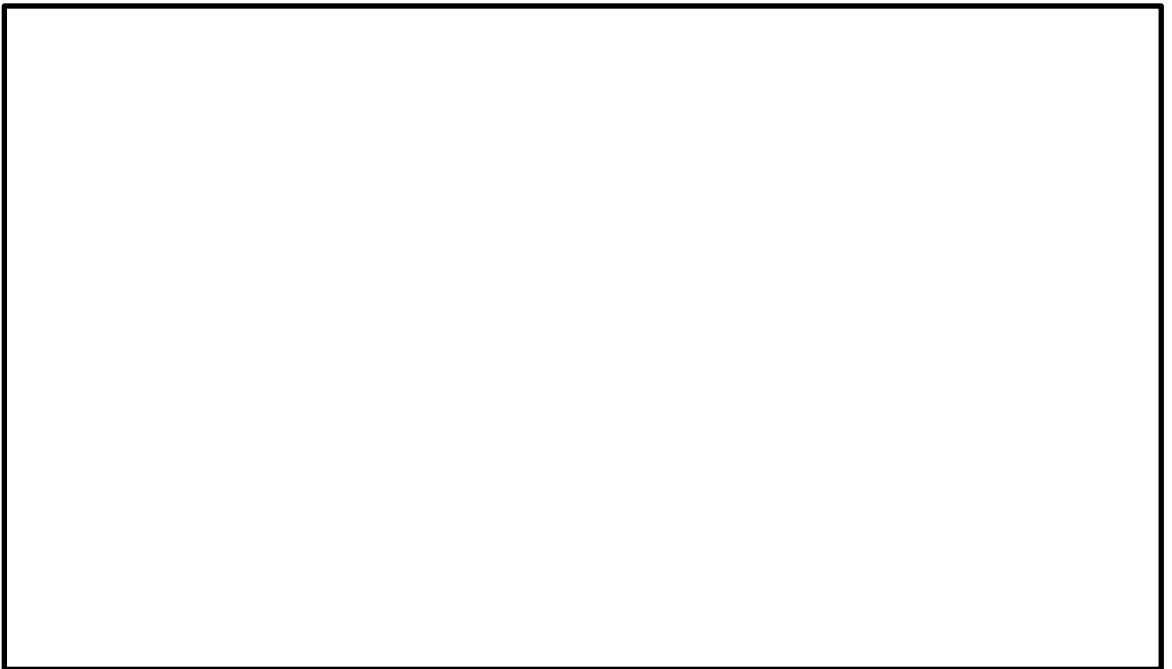


図 2-6 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 概略配筋図 (B-B断面)

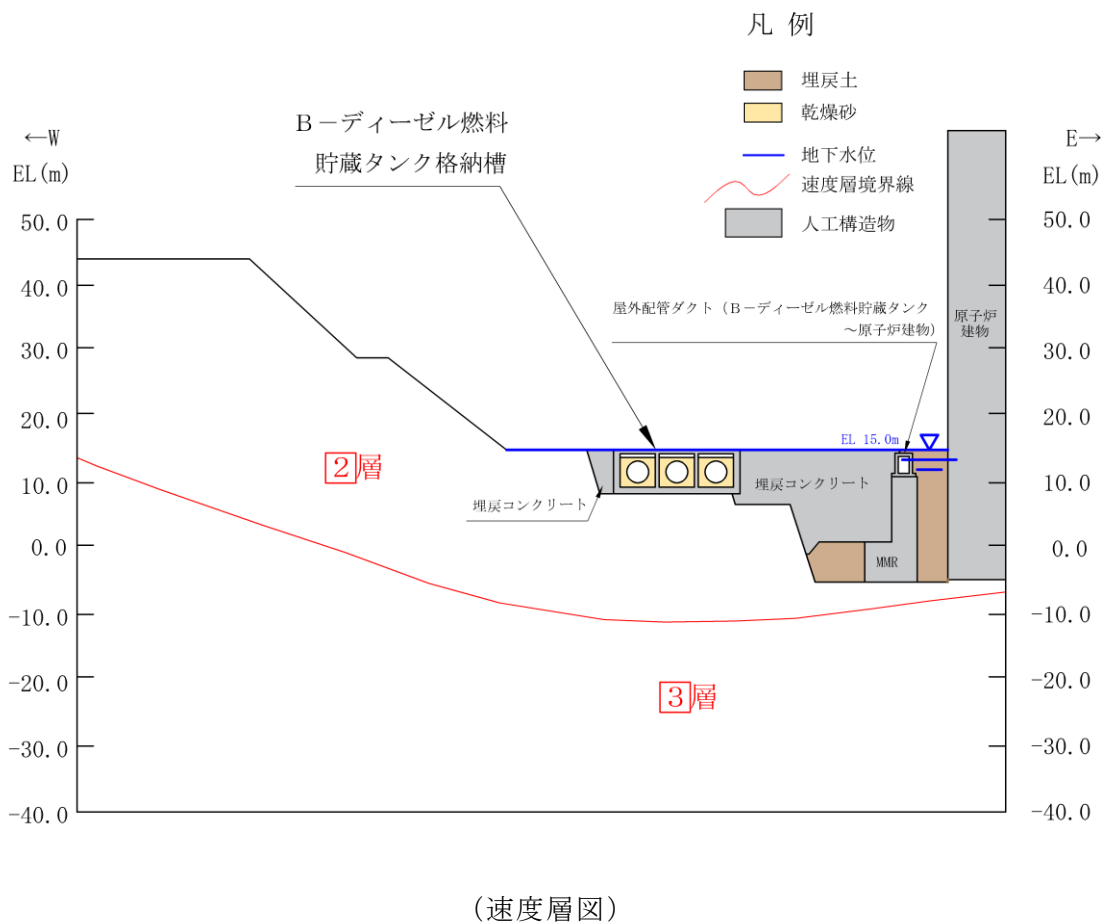
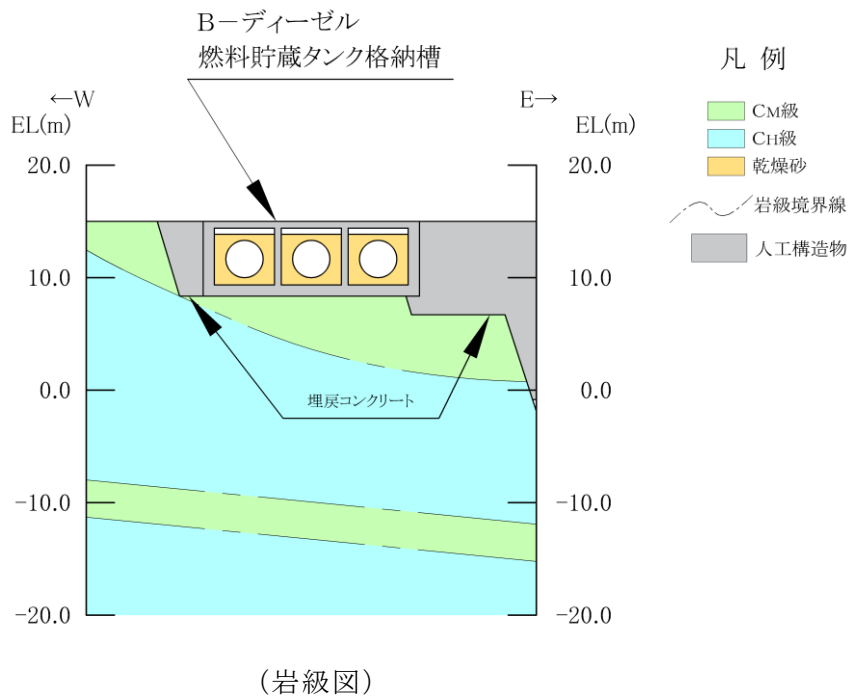
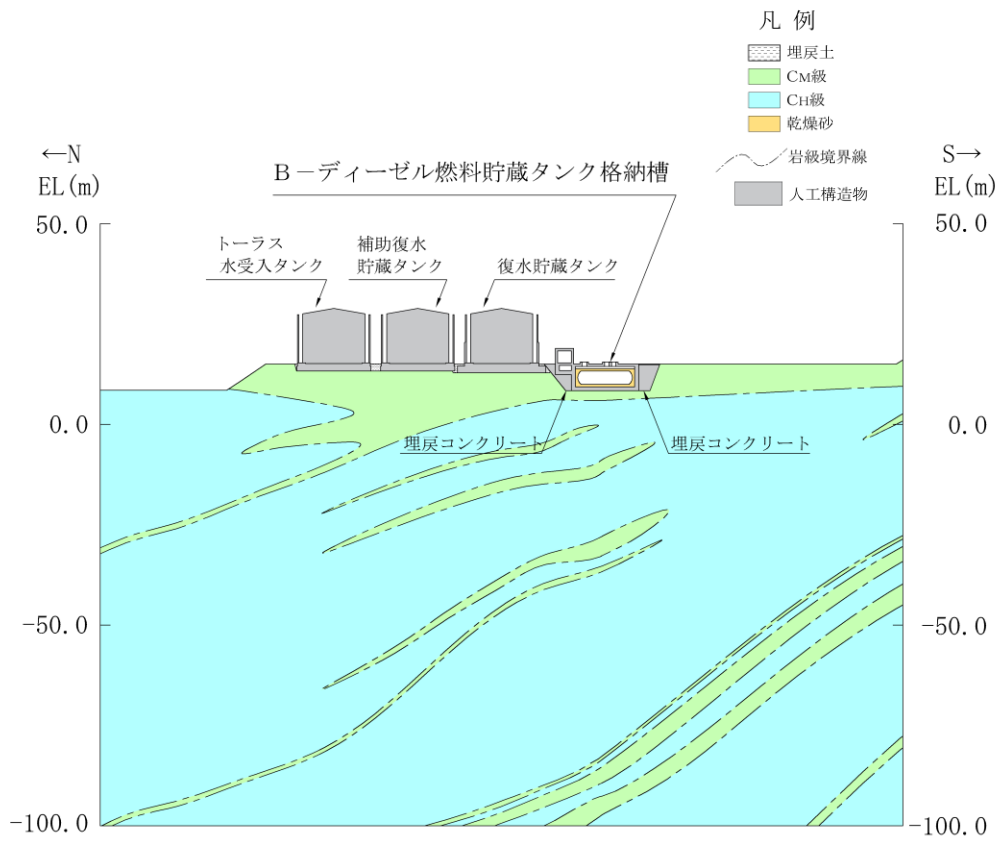
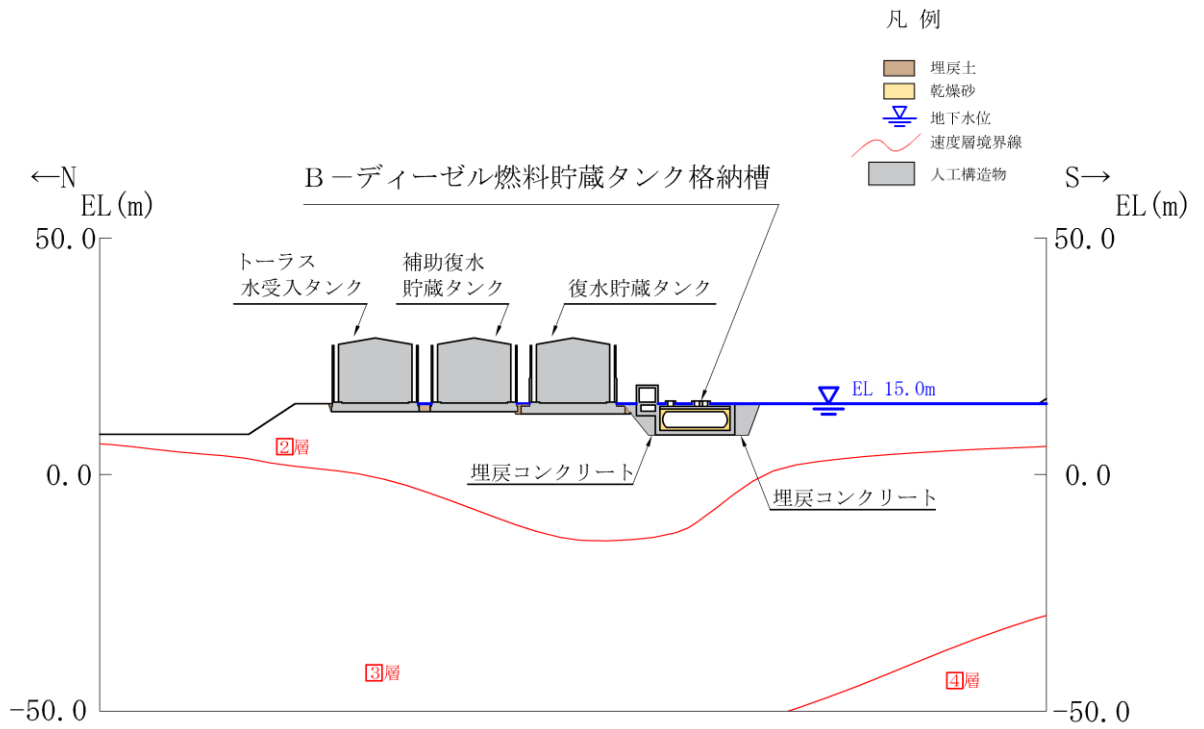


図 2-7 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 地質断面図 (A-A断面)



(岩級図)



(速度層図)

図 2-8 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 地質断面図 (B-B断面)

2.3 評価対象断面の方向

長辺方向（地中部は南北方向，半地下部は東西方向）に加振した場合は，加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される妻壁同士の離隔が小さく強軸方向となるが，短辺方向（地中部は東西方向，半地下部は南北方向）に加振した場合は，耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きく，弱軸方向となる。

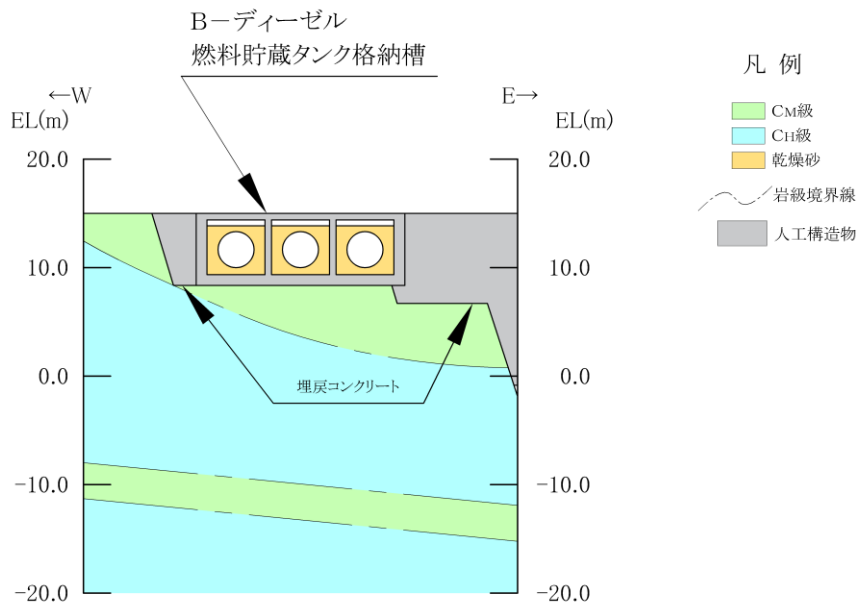
以上より，弱軸断面となる短辺方向（地中部は東西方向，半地下部は南北方向）を評価対象断面として選定する。ただし，短辺方向において評価対象外になっている長辺方向（地中部は南北方向，半地下部は東西方向）の部材を評価するために，長辺方向（地中部は南北方向，半地下部は東西方向）からも評価対象断面を選定する。

2.4 評価対象断面の選定

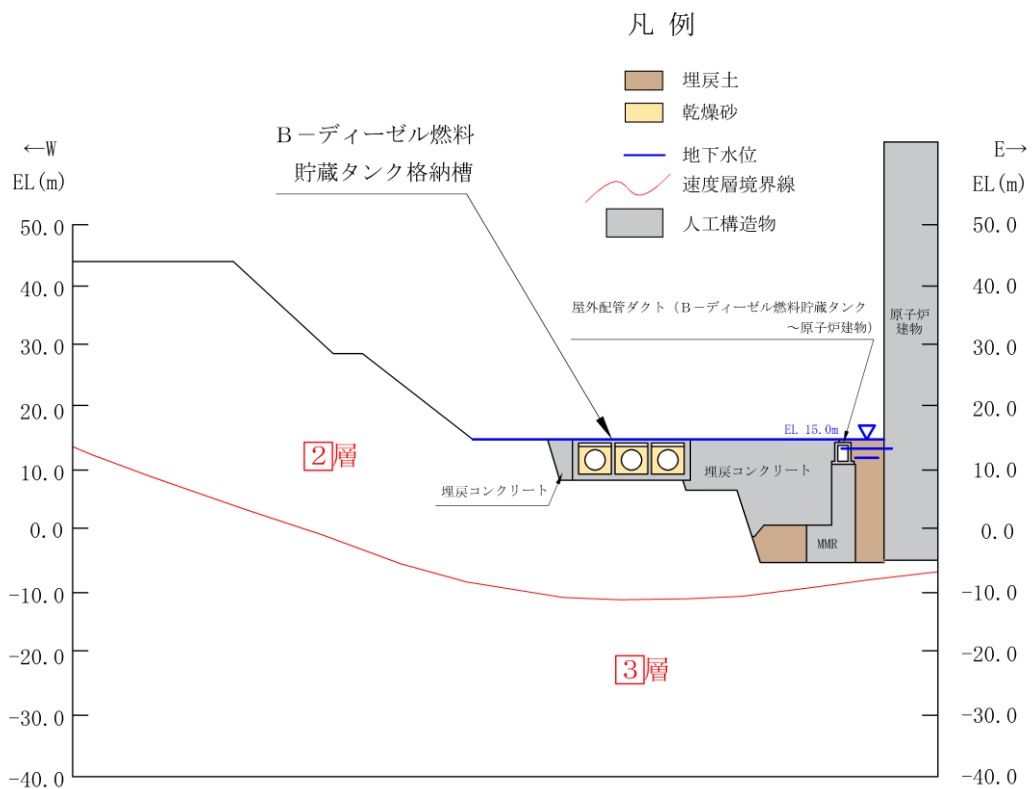
「2.3 評価対象断面の方向」に示すとおり，評価対象断面は，耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きく，弱軸方向となる短辺方向から選定する。短辺方向における各断面の奥行き方向について，部材厚や内空断面及び配筋はおおむね同一であることから，評価対象断面は，非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料貯蔵タンクを間接支持する地中部に対してはA-A断面，非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプを間接支持する半地下部に対してはB-B断面とする。

なお，地中部の短辺方向で評価できない部材（長辺方向の側壁及び隔壁）については，地中に位置し，周辺地盤の変形による影響を受けるB-B断面を用いて長辺方向の側壁及び隔壁の評価を実施する。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の評価対象断面位置図及び評価対象地質断面図を図2-9及び図2-10に示す。

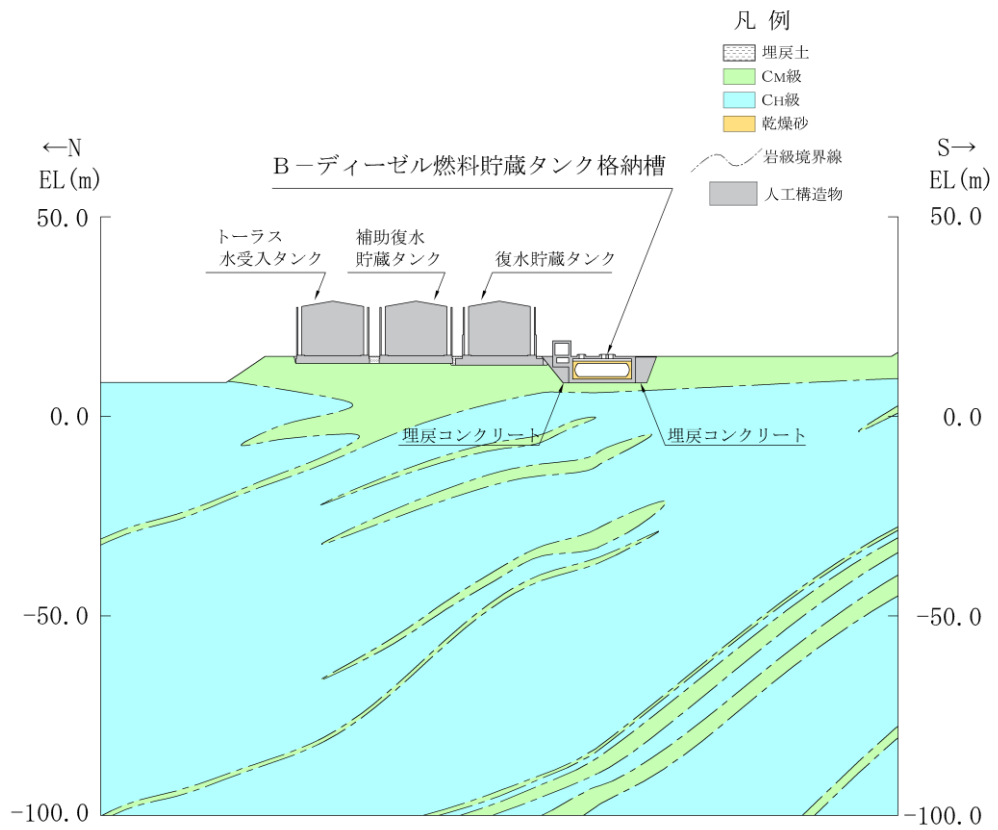


(岩級図)

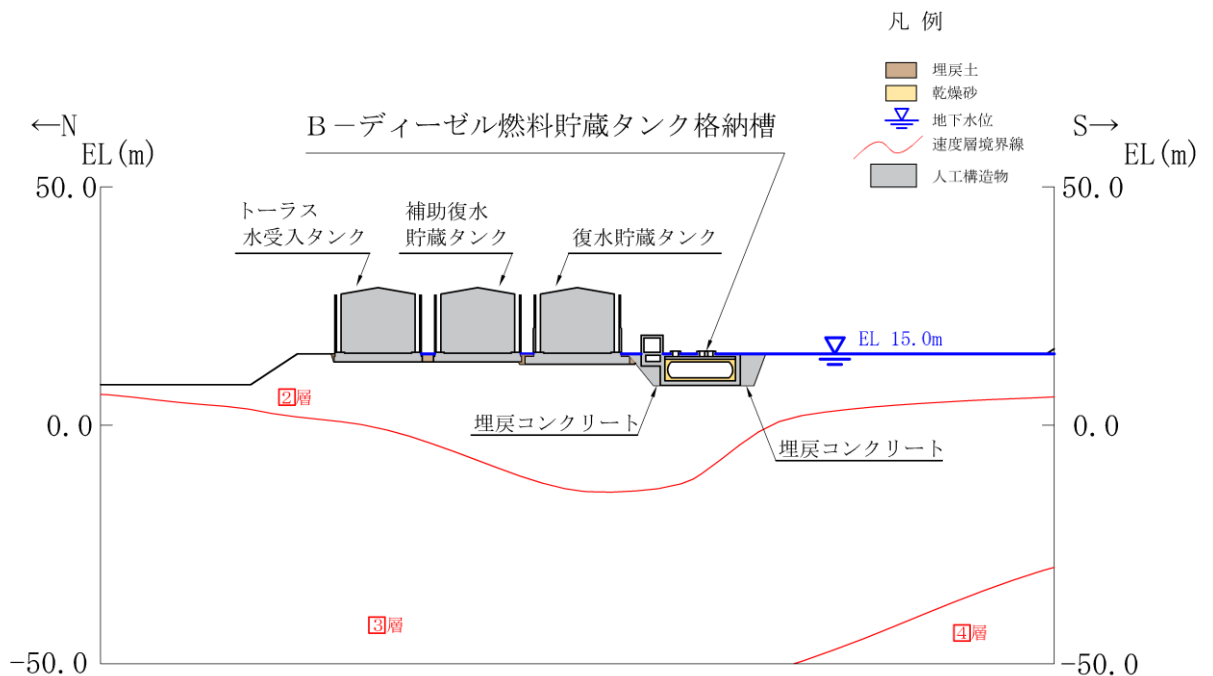


(速度層図)

図 2-9 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 評価対象断面図 (A-A断面)



(岩級図)



(速度層図)

図 2-10 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 評価対象断面図 (B-B断面)

2.5 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 2-2 に、材料の物性値を表 2-3 に示す。

表 2-2 使用材料

材料		仕様
構造物 (鉄筋コンクリート)	コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
埋戻コンクリート		設計基準強度 18.0N/mm ²
MMR		設計基準強度 15.6N/mm ²

表 2-3 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート)	2.50×10 ⁴	24.0 ^{*1}	0.2
埋戻コンクリート	2.20×10 ⁴	22.6 ^{*2}	
MMR	2.08×10 ⁴		

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

2.6 地盤物性値

地盤については、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。地盤の物性値を表2-4及び表2-5に示す。

表2-4 地盤の解析用物性値（岩盤）

層番号	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
①層	250	800	20.6	0.446	1.31	3
②層	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
③層	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
④層*	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
⑤層*	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
⑥層*	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：入力地震動の算定においてのみ用いる解析用物性値

表 2-5 地盤の解析用物性値 (埋戻土)

		解析用物性値
		埋戻土
物理特性	密度 ρ_s (g/cm ³)	2.11
強度特性	初期せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	0.22
	内部摩擦角 ϕ (°)	22
動的変形特性	初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$G_0=749 \sigma^{0.66}$ (N/mm ²) $G/G_0=1/(1+\gamma/0.00027)$
	動ポアソン比 ν_d	0.45*
減衰特性	減衰定数 h	$h=0.0958 \times (1-G/G_0)^{0.85}$

注記* : 常時応力解析においては, 土木学会マニュアル 2005 に基づき, 静止土圧 ($K_0 = \nu / (1 - \nu) = 0.5$) を作用させるため, $\nu = 0.333$ とする。

2.7 評価構造物諸元

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の諸元を表2-6～表2-8に、評価部位を図2-11～図2-13に示す。

表2-6 評価部位とその仕様(A-A断面)

部位*		仕様		材料		要求性能
		部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	
頂版	① ② ③	5340	600	24.0	SD345	支持機能
側壁	④ ⑤	5050	1000	24.0	SD345	
隔壁	⑥ ⑦	5050	600	24.0	SD345	
底版	⑧ ⑨ ⑩	5340	1000	24.0	SD345	

注記*：評価部位は図2-11に示す。

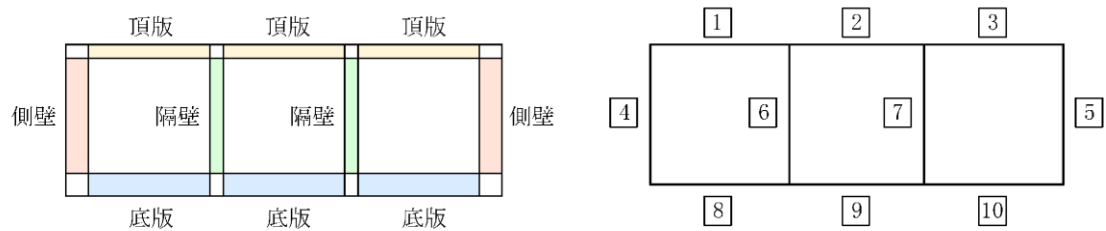
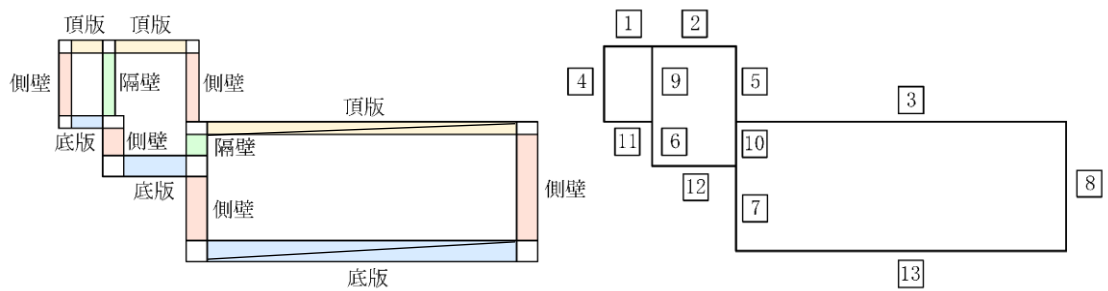


図2-11 評価部位位置図(A-A断面)

表 2-7 評価部位とその仕様 (B-B 断面)

部位*		仕様		材料		要求性能
		部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	
頂版	①	1500	600	24.0	SD345	支持機能
頂版	②	3400	600	24.0	SD345	
側壁	④ ⑤	3000	600	24.0	SD345	
側壁	⑥	1300	1000	24.0	SD345	
隔壁	⑨	3000	600	24.0	SD345	
隔壁	⑩	1300	1000	24.0	SD345	
底版	⑪	1500	600	24.0	SD345	
底版	⑫	3000	1000	24.0	SD345	

注記* : 評価部位は図 2-12 に示す。



▨ : A-A 断面にて評価する部材

図 2-12 評価部位位置図 (B-B 断面)

2.8 地下水位

設計地下水位は、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。設計地下水位の一覧を表2-8に示す。

表2-8 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (ELm)
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	A-A断面*	15.0
	B-B断面	

注記*：地表面がEL 15.0mよりも高い地点については、設計地下水位を地表面に設定する。

2.9 耐震評価フロー

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の耐震評価フローを図 2-13 に示す。

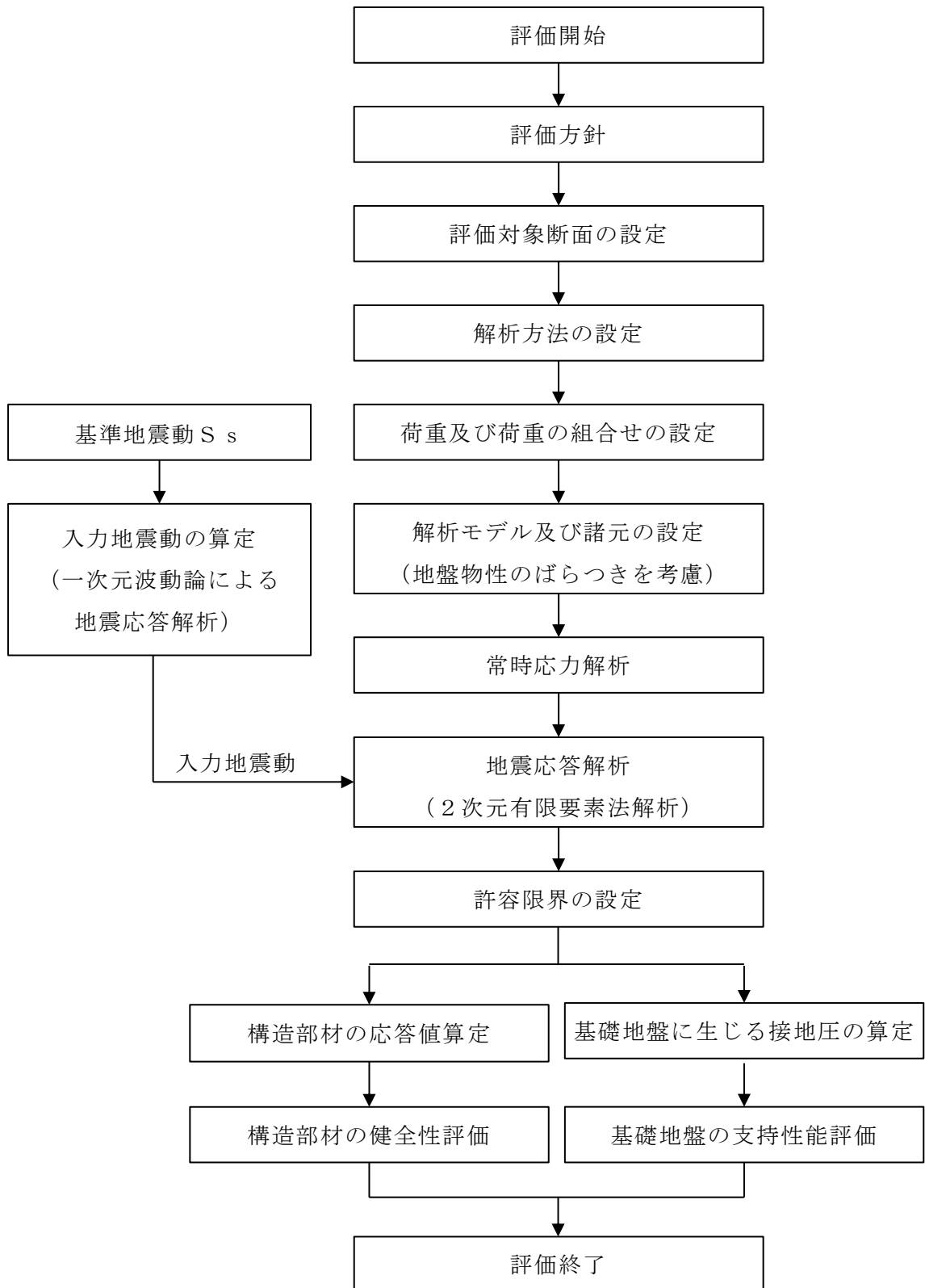


図 2-13 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の耐震評価フロー

3. 地震応答解析

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2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3-1に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。

A-A断面は、施設周辺の設計地下水位が底版より高いが、評価対象構造物の周辺に埋戻コンクリートが敷設され、液状化対象層が施設に接することなく、埋戻コンクリートの外側や局所的に分布することから、液状化の影響を受けないと判断し、解析手法のフローに基づき「④全応力解析」を選定する。

B-B断面についても、施設周辺の設計地下水位が底版より高いが、評価対象構造物の周辺に埋戻コンクリートが敷設され、埋戻コンクリートの外側には岩盤が一様に分布していることから、解析手法のフローに基づき「②全応力解析」を選定する。

構造部材は、非線形はり要素及び平面応力要素でモデル化し、構造部材の非線形性については、ファイバーモデルで考慮する。また、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、岩盤は線形でモデル化する。埋戻土については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるように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。なお、埋戻コンクリートについては線形の平面応力要素でモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「TDAPⅢ」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図3-2に示す。

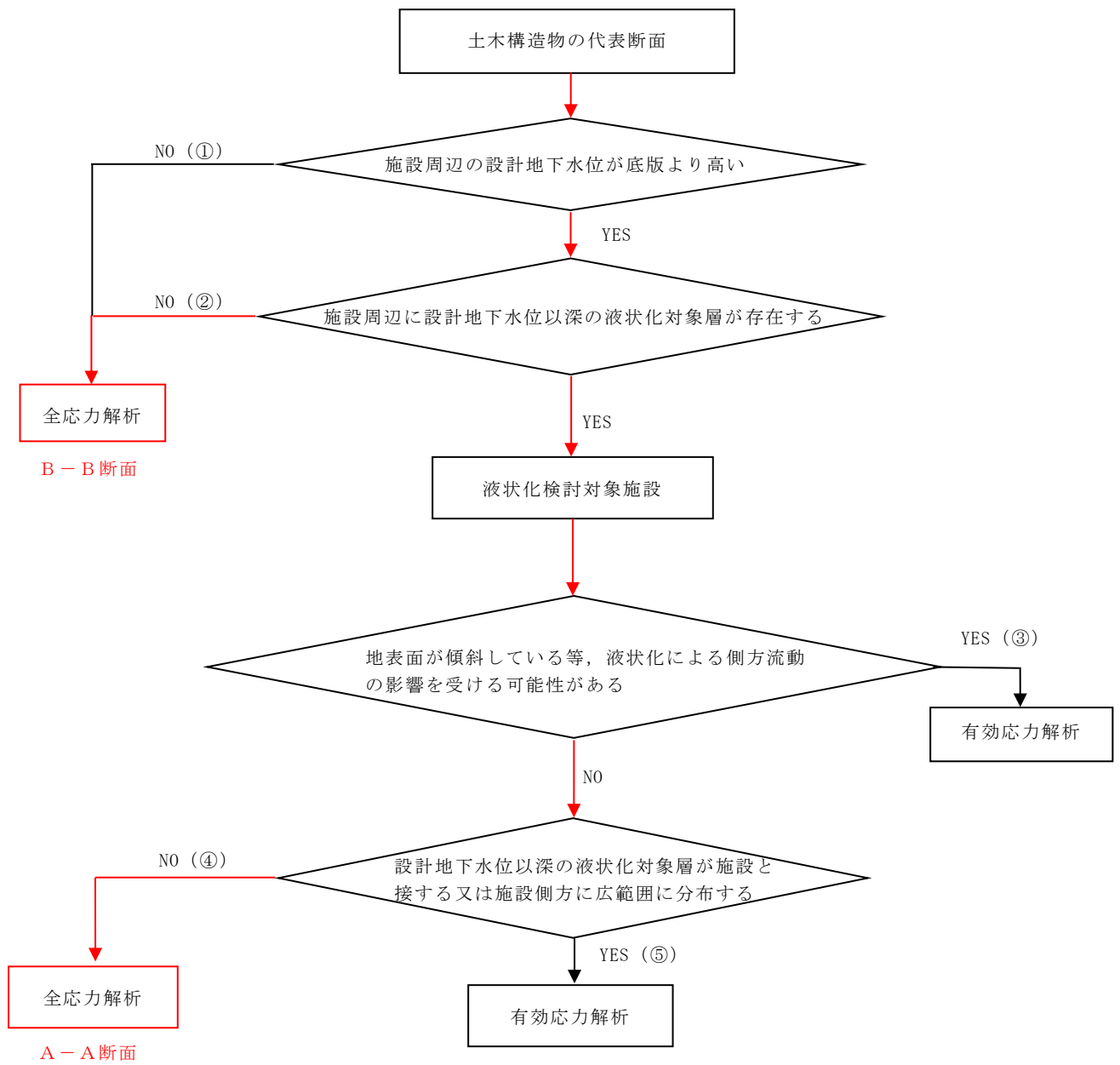


図 3-1 解析手法の選定フロー

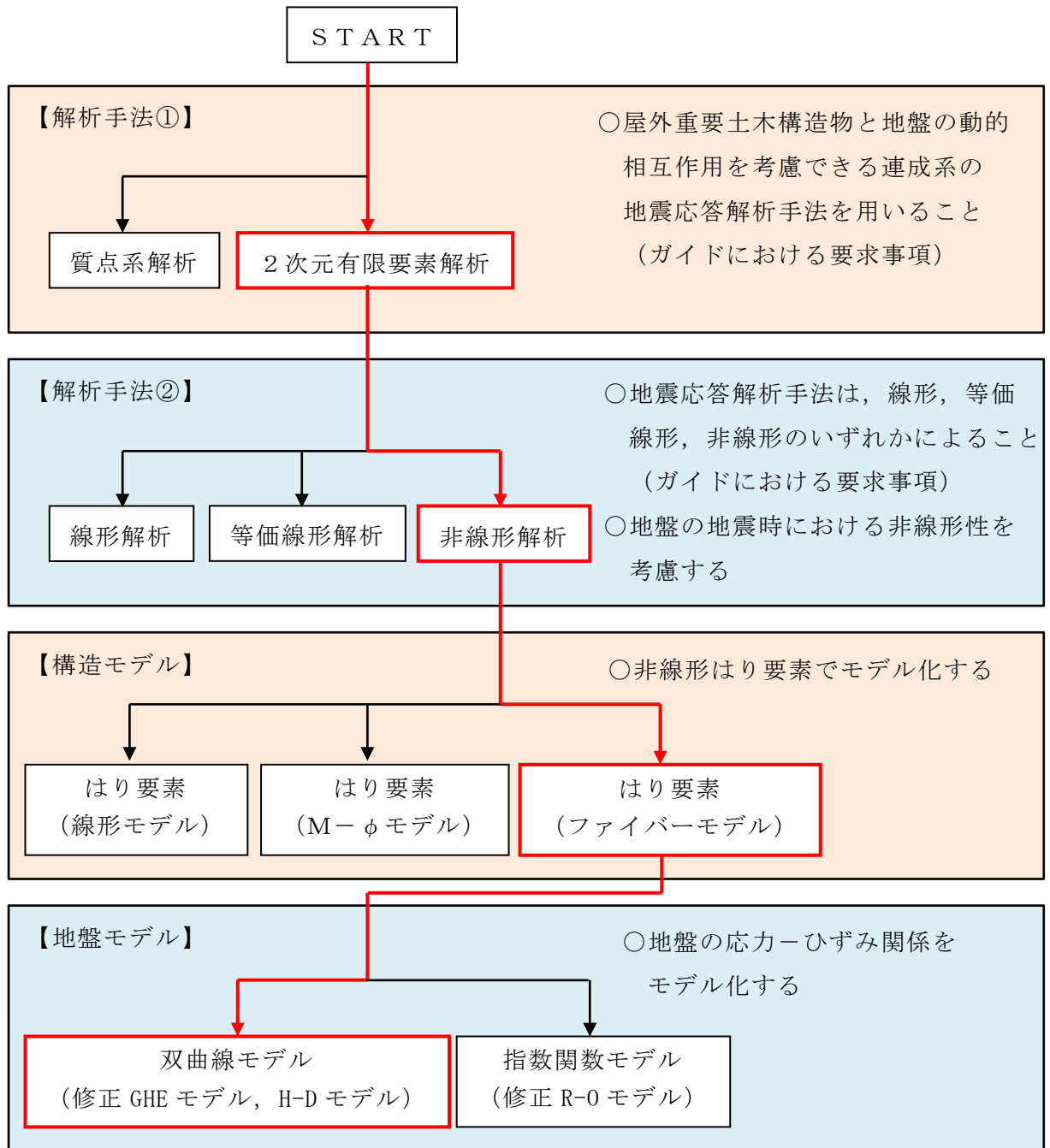


図 3-2 地震応答解析手法の選定フロー

3.2 地震応答解析モデルの設定

3.2.1 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。J E A G 4 6 0 1 -1987を参考に、図3-3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基礎幅の1.5倍～2倍以上とする。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の解析モデル領域については、西側に斜面が存在するため、上記の考え方に加えて、斜面による影響を表現できるよう法肩から水平方向にある程度拡大した範囲までをモデル化領域として設定する。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の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倍程度まで細分して設定する。

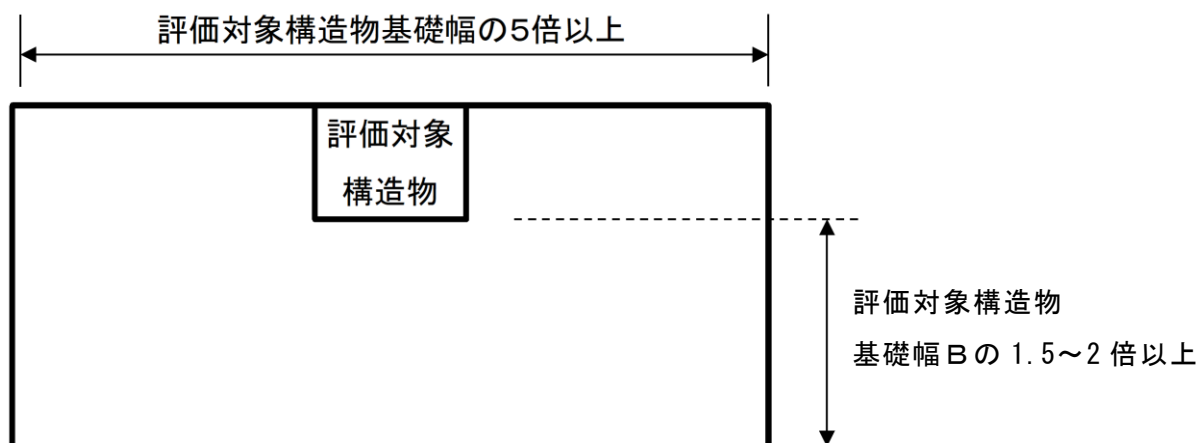


図3-3 モデル化範囲の考え方

3.2.2 境界条件

(1) 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、側方境界はフリーとする。境界条件の概念図を図 3-4 に示す。

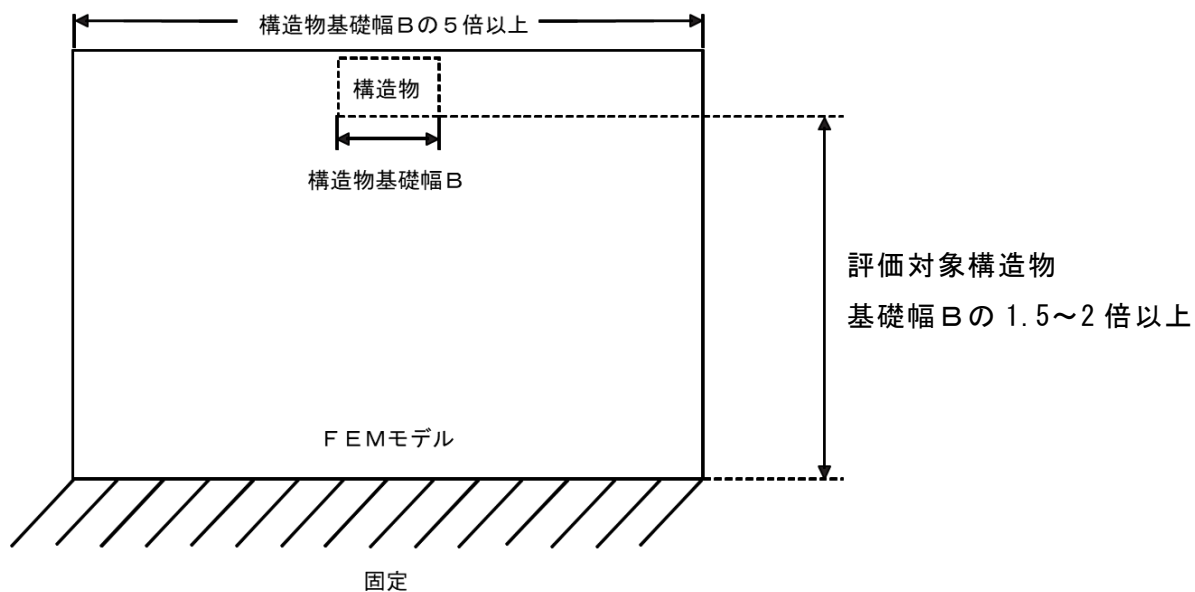


図 3-4 固有値解析における境界条件の概念図

(2) 常時応力解析時

常時応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時応力を算定するために行う。そこで、常時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3-5に示す。

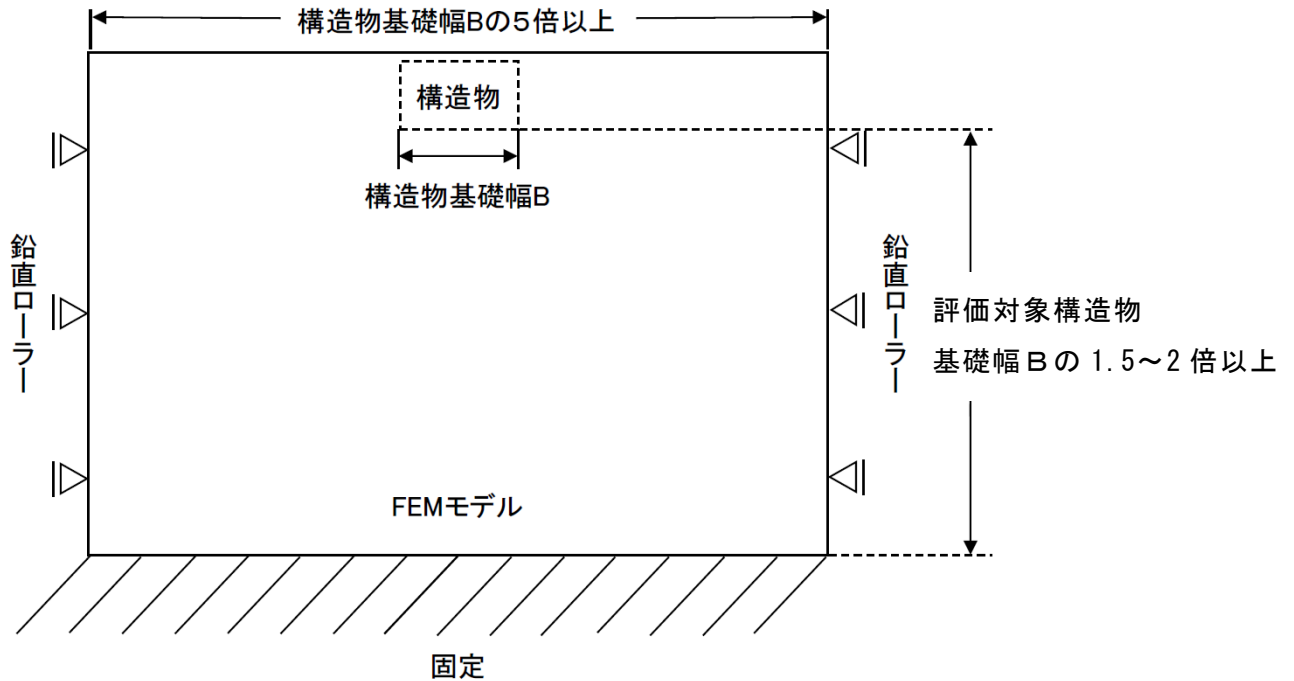


図3-5 常時応力解析における境界条件の概念図

(3) 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。

境界条件の概念図を図 3-6 に示す。

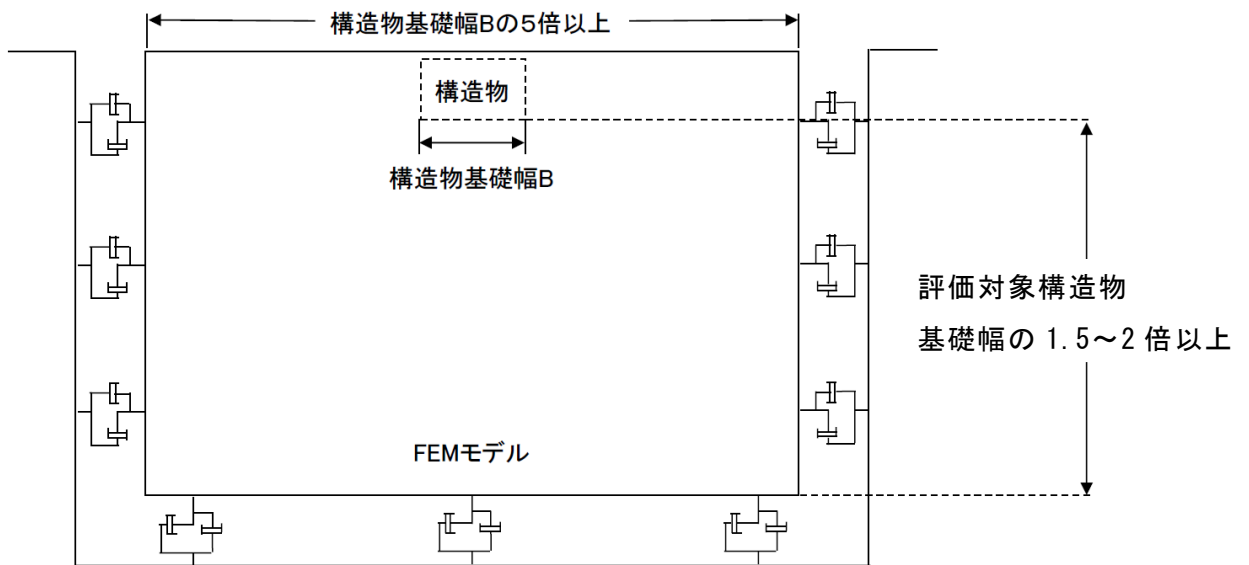


図 3-6 地震応答解析における境界条件の概念図

3.2.3 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素及び平面応力要素でモデル化する。
機器・配管荷重は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

3.2.4 隣接構造物のモデル化

A-A断面（東西方向）の解析モデル範囲にある屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は、評価対象構造物と同等以上の大きさを有しておらず、評価対象構造物の地震時応答に与える影響が小さいと考えられることから、評価対象構造物に作用する土圧を保守的に評価するために埋戻土としてモデル化する。

また、原子炉建物についても、評価対象構造物との間に幅約22mの埋戻コンクリートが敷設され、十分な離隔を有することから、原子炉建物の応答が評価対象構造物の地震時応答に与える影響は小さいと考えられるため、保守的に埋戻土としてモデル化する。埋戻土は、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。

B-B断面の解析モデル範囲にある復水貯蔵タンク、補助復水貯蔵タンク及びトラス水受入タンクについては、評価対象構造物との間に埋戻コンクリートが敷設され、基礎の埋め込みも浅いことから、評価対象構造物の地震時応答に与える影響が小さいと考えられるため、岩盤としてモデル化する。

3.2.5 地盤、MMR及び埋戻コンクリートのモデル化

岩盤、MMR及び埋戻コンクリートは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。埋戻土は、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。

地盤のモデル化に用いる地質断面図を図3-7及び図3-8に示す。

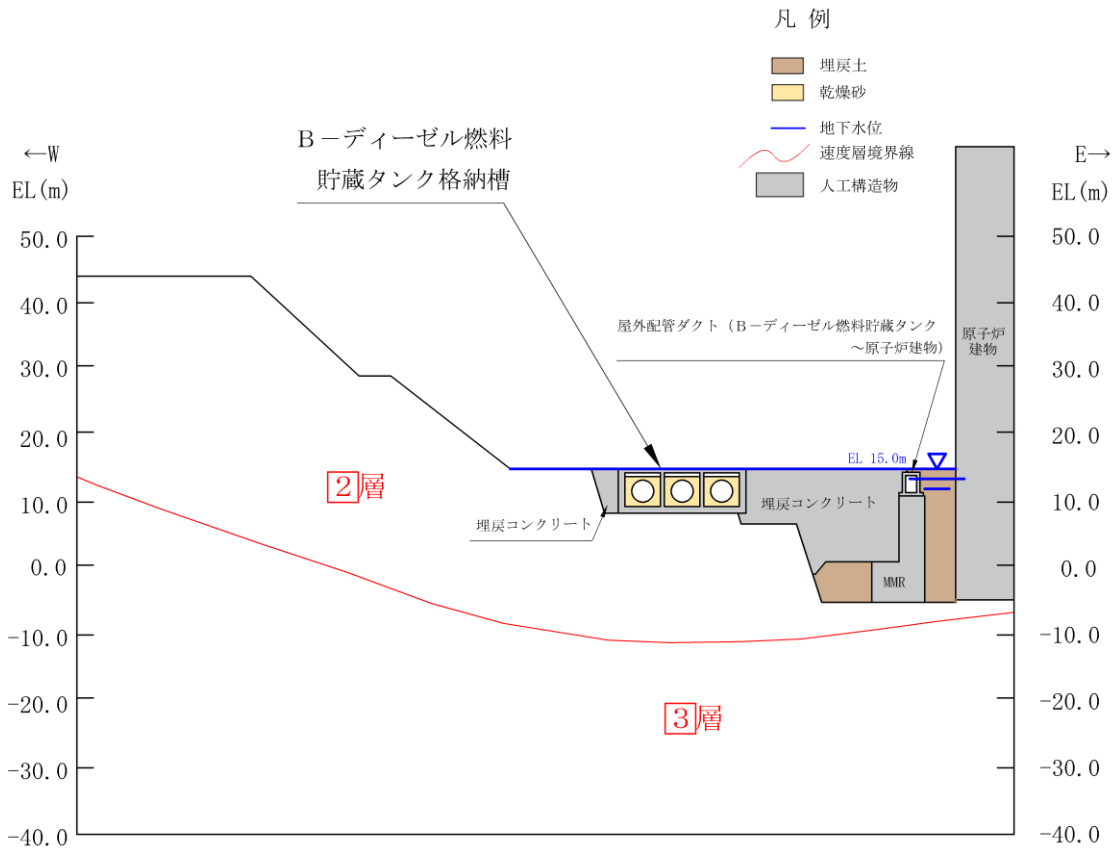


図 3-7 評価対象地質断面図 (A-A 断面)

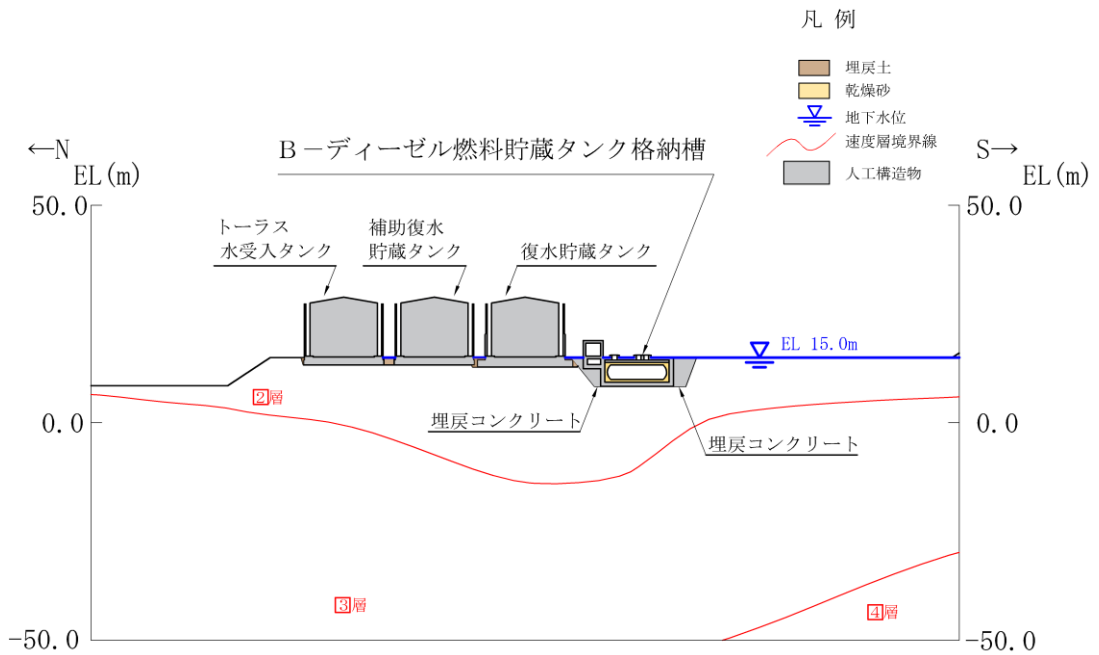


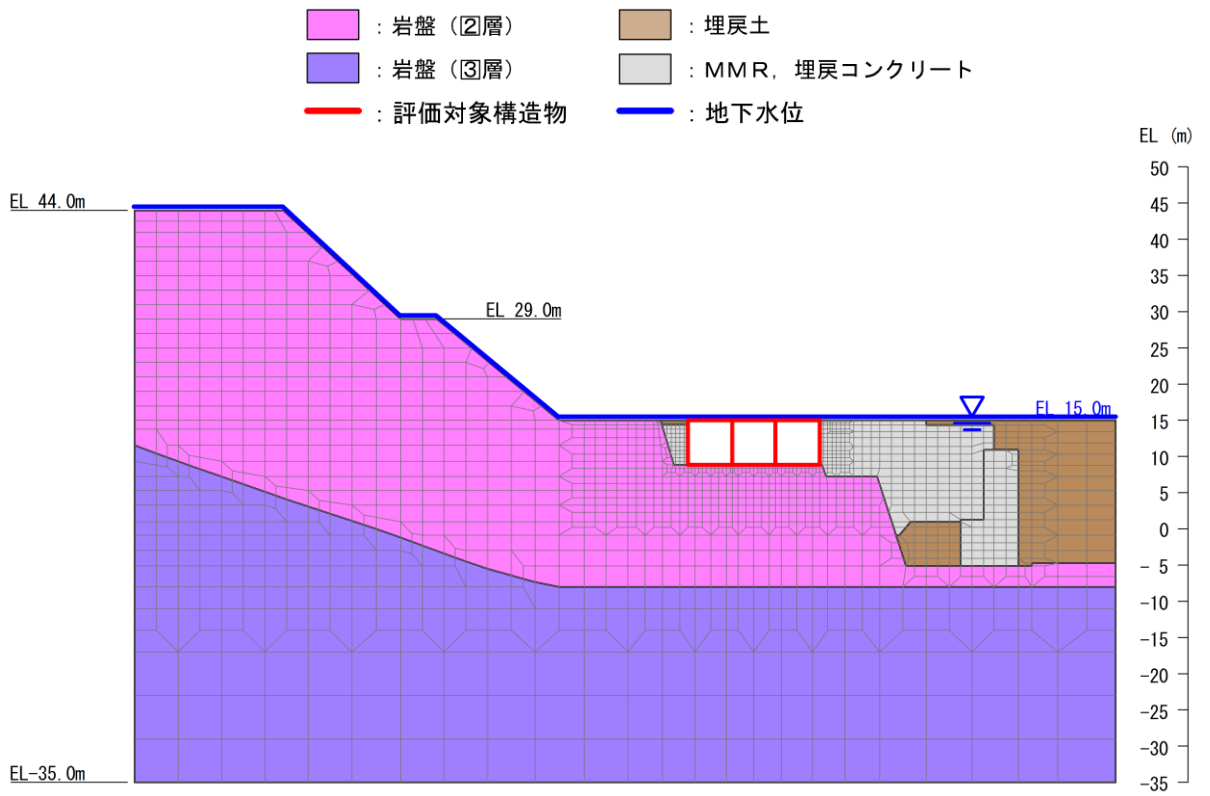
図 3-8 評価対象地質断面図 (B-B 断面)

3.2.6 地震応答解析モデル

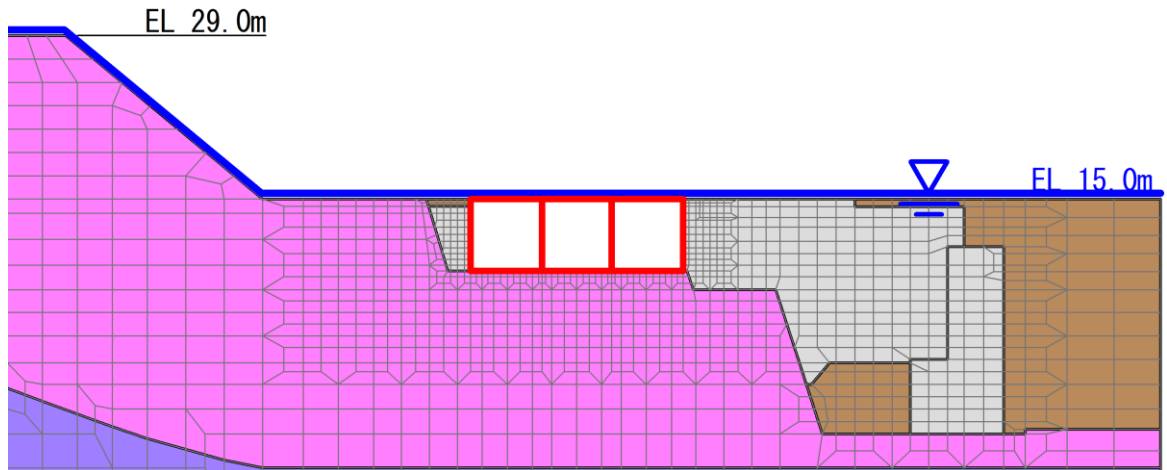
弱軸方向となる短辺方向から評価対象断面として、地中部に対してはA-A断面、半地下部に対してはB-B断面を選定しており、A-A断面は、地下部の妻壁を考慮しないモデルにおける解析を実施し、B-B断面は、半地下部の妻壁を考慮しないモデルにおける解析を実施することで、耐震評価上保守的な条件としている。

また、地中部の短辺方向で評価できない部材（長辺方向の側壁及び隔壁）についても、B-B断面を用いて長辺方向の側壁及び隔壁の評価を行い、耐震評価上保守的な条件とするため、地中部及び半地下部の妻壁を考慮しないモデルで解析を実施する。

地中部の評価に用いる地震応答解析モデル図を図3-9に、半地下部の評価に用いる地震応答解析モデル図を図3-10に、長辺方向の側壁及び隔壁の評価に用いる地震応答解析モデル図を図3-11に示す。



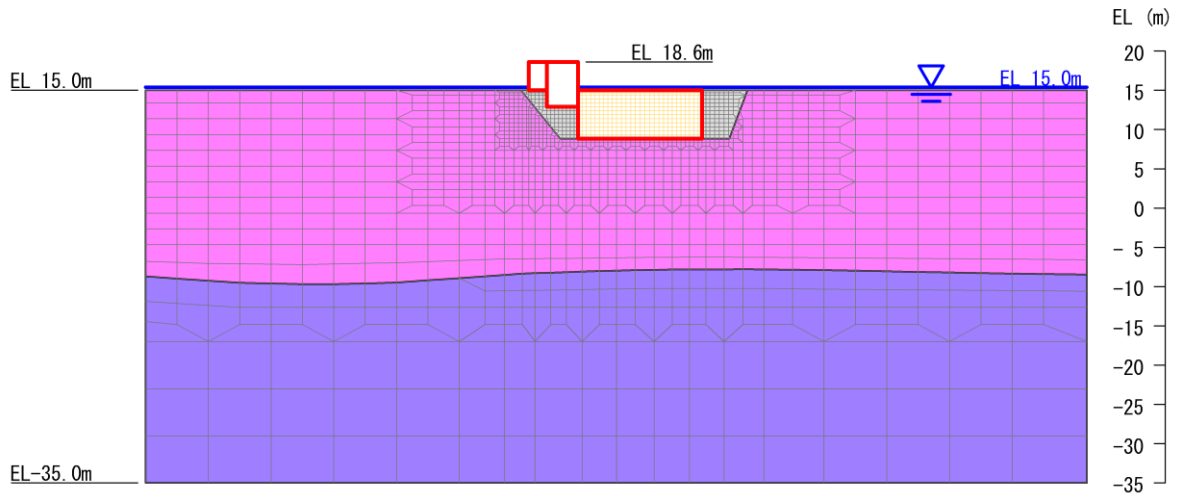
(全体図)



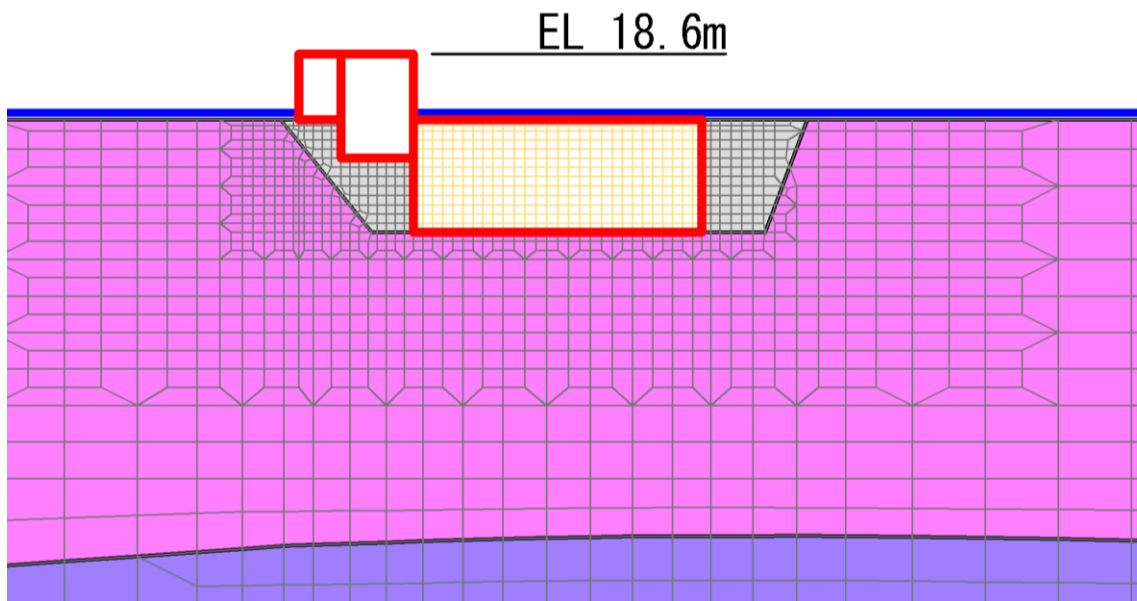
(拡大図)

図 3-9 地震応答解析モデル図 (A-A断面)

- : 岩盤 (②層)
 - : 岩盤 (③層)
 - : 評価対象構造物
- : 埋戻コンクリート
 - : 構造物 (面内壁)
 - : 地下水位



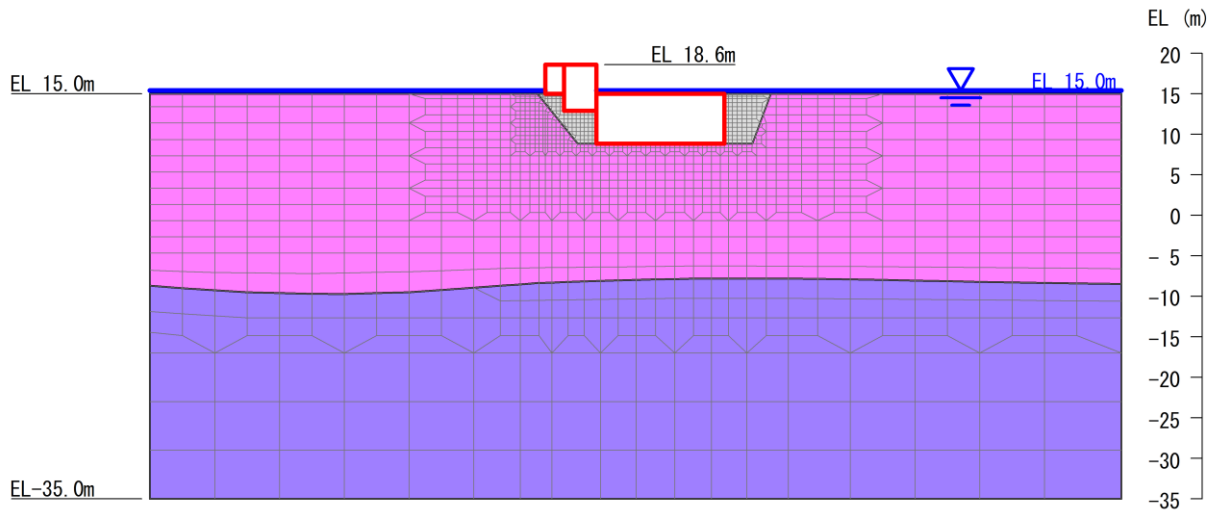
(全体図)



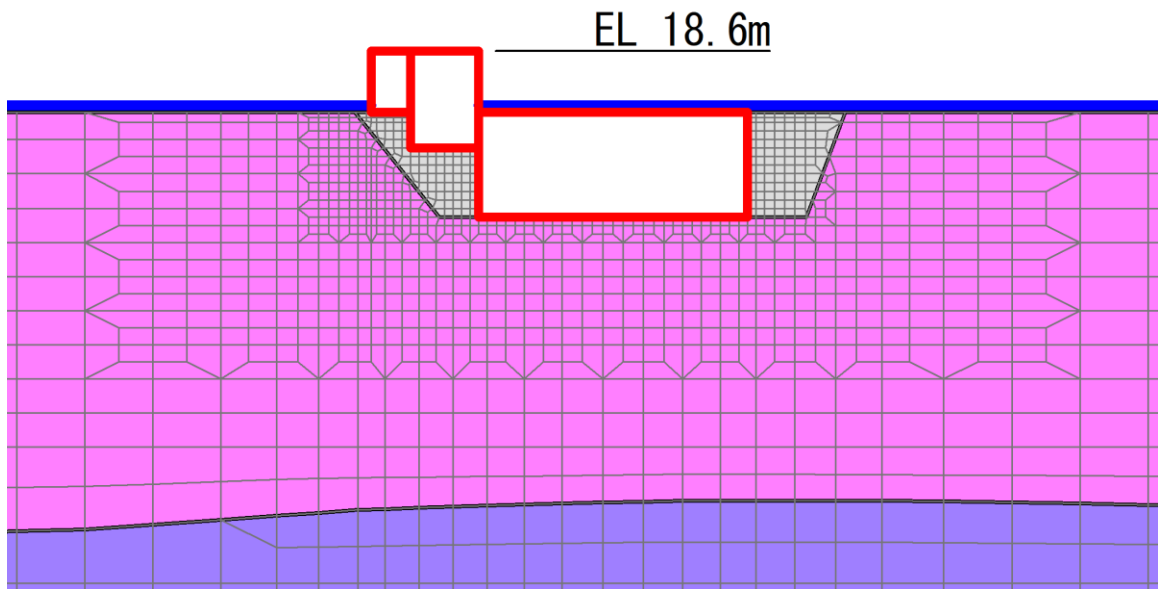
(拡大図)

図 3-10 地震応答解析モデル図 (B-B断面, 半地下部の評価)

- : 岩盤 (②層)
- : 埋戻コンクリート
- : 岩盤 (③層)
- : 地下水位
- : 評価対象構造物



(全体図)



(拡大図)

図 3-11 地震応答解析モデル図 (B-B断面, 長辺方向の側壁及び隔壁の評価)

3.2.7 ジョイント要素の設定

地盤と構造物との接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の地盤と構造物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、地盤と構造物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、地盤と構造物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、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 3-1 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 3-2 のとおり設定する。

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

ここに、 τ_f : せん断強度
 c : 粘着力 (= 初期せん断強度 τ_0)
 ϕ : 内部摩擦角

表 3-1 周辺地盤との境界に用いる強度特性

地盤	粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	備考
岩盤 (C_M 級)	1.23	52	A-A 断面 B-B 断面
埋戻コンクリート ($f'_{ck} = 18.0 \text{N}/\text{mm}^2$)	3.58	40	A-A 断面 B-B 断面
MMR ($f'_{ck} = 15.6 \text{N}/\text{mm}^2$)	3.10	40	A-A 断面

表 3-2 要素間の粘着力と内部摩擦角

接合条件		粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
材料 1	材料 2		
構造物	無筋コンクリート*1	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
	埋戻土	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
	岩盤	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
無筋コンクリート*1	埋戻土	材料 2 の c	材料 2 の ϕ
	岩盤	— *2	— *2

注記*1：MMR，置換コンクリート及び埋戻コンクリートの総称

*2：表面を露出させて打継処理が可能である箇所については，ジョイント要素を設定しない。

ジョイント要素のばね定数は，土木学会マニュアル 2005 を参考に，数値計算上，不安定な挙動を起こさない程度に周囲材料の剛性よりも十分に大きな値を設定する。表 3-3 にジョイント要素のばね定数を示す。

また，ジョイント要素の力学特性を図 3-12 に，ジョイント要素の配置を図 3-13～図 3-15 に示す。

表 3-3 ジョイント要素のばね定数

圧縮剛性 k_n (kN/m^3)	せん断剛性 k_s (kN/m^3)
1.0×10^7	1.0×10^7

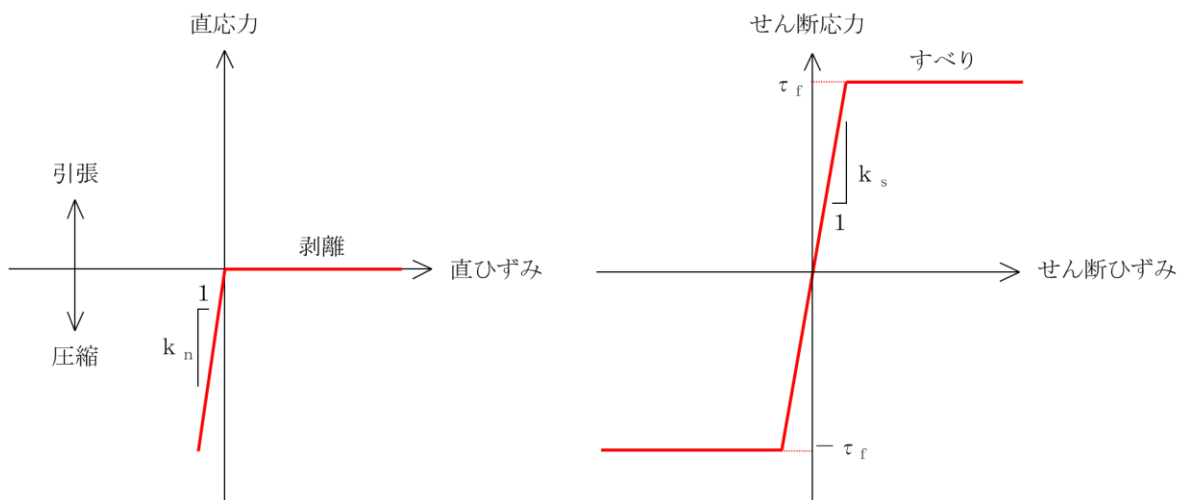
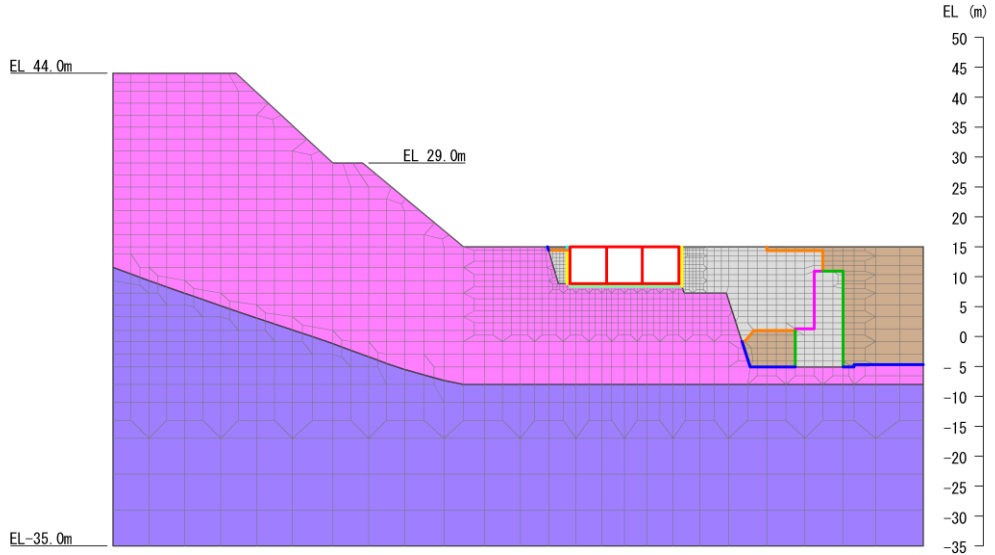


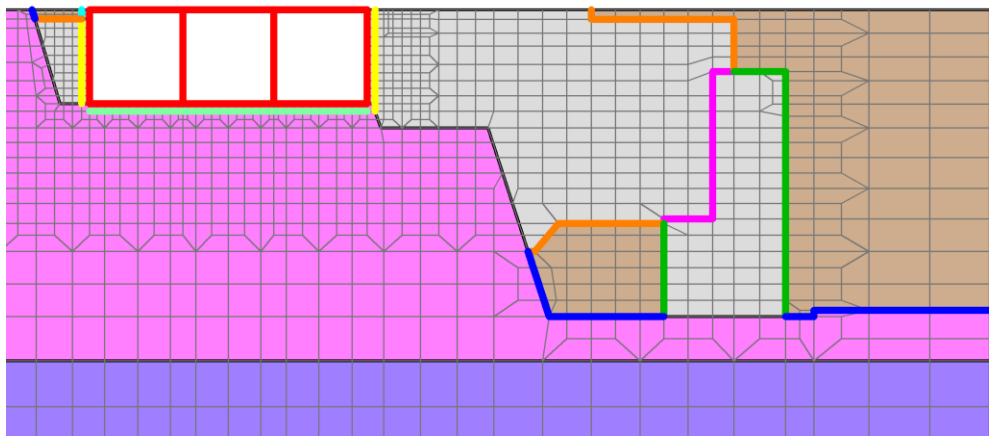
図 3-12 ジョイント要素の力学特性

- : 岩盤 (②層)
- : 岩盤 (③層)
- : 埋戻土
- : MMR, 埋戻コンクリート
- : 評価対象構造物
- : ジョイント要素



(全体図)

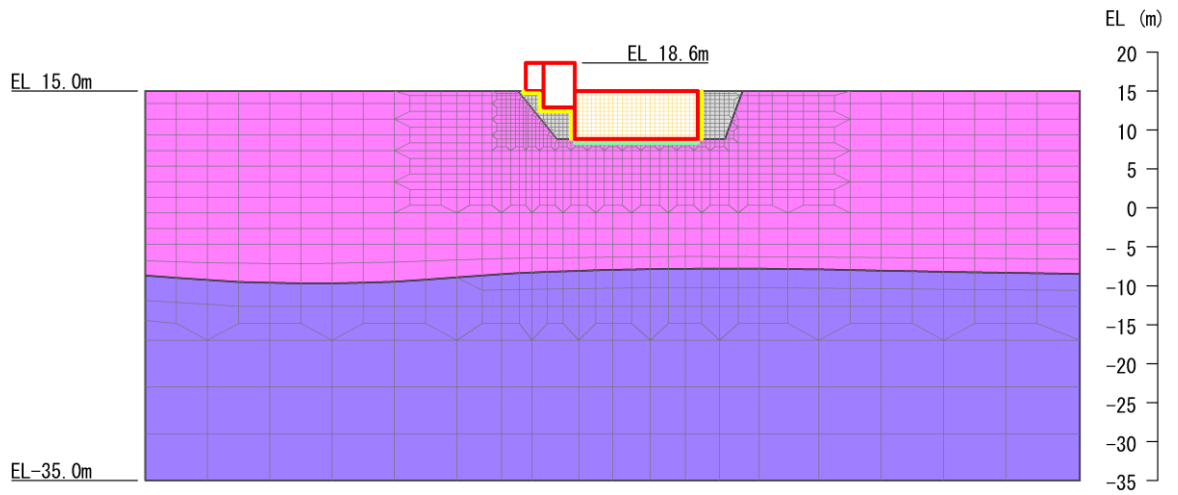
- : ジョイント要素 (構造物—埋戻コンクリート)
- : ジョイント要素 (構造物—埋戻土)
- : ジョイント要素 (構造物—岩盤)
- : ジョイント要素 (埋戻土—埋戻コンクリート)
- : ジョイント要素 (埋戻土—MMR)
- : ジョイント要素 (埋戻土—岩盤)
- : ジョイント要素 (埋戻コンクリート—MMR)



(拡大図)

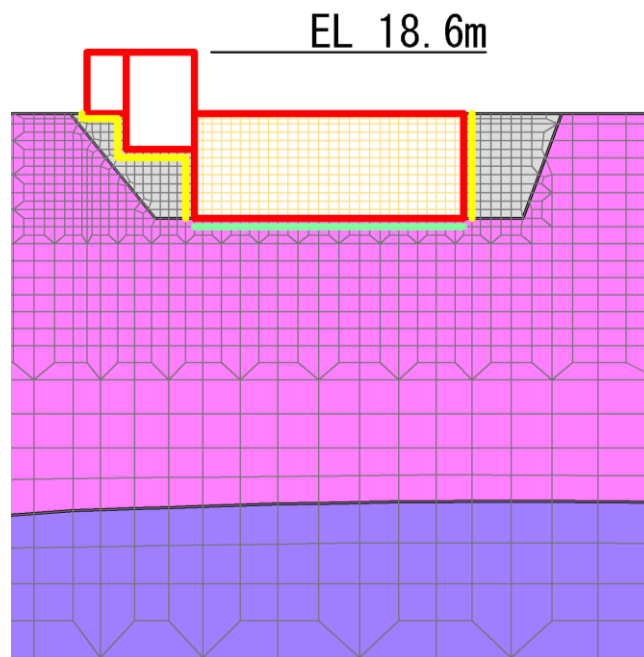
図 3-13 ジョイント要素の配置 (A-A断面)

- : 岩盤 (2層)
- : 岩盤 (3層)
- : 埋戻コンクリート
- : 構造物 (面内壁)
- : 評価対象構造物
- : ジョイント要素



(全体図)

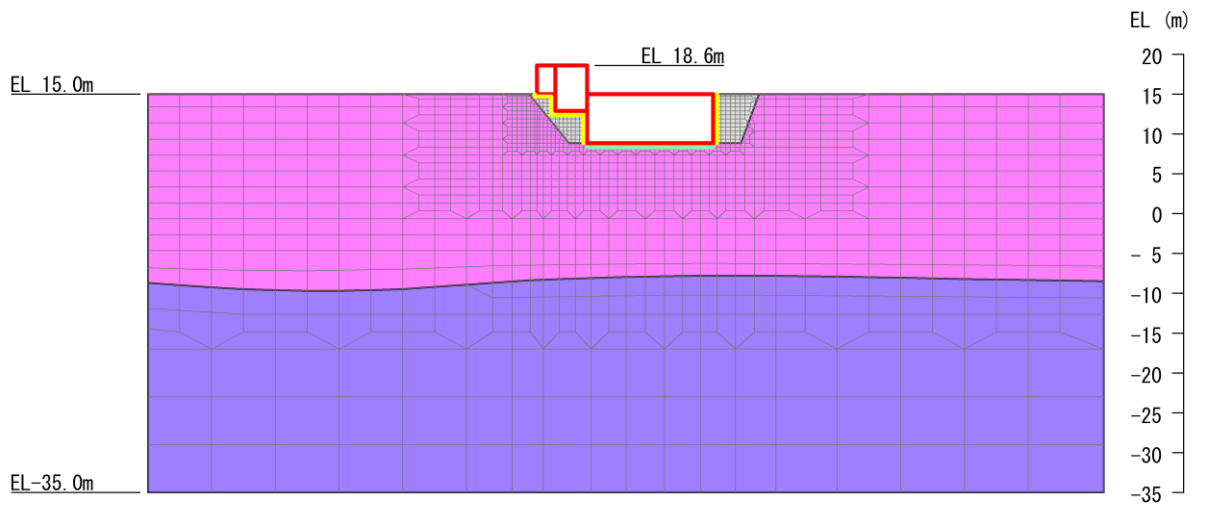
- : ジョイント要素 (構造物-埋戻コンクリート)
- : ジョイント要素 (構造物-岩盤)



(拡大図)

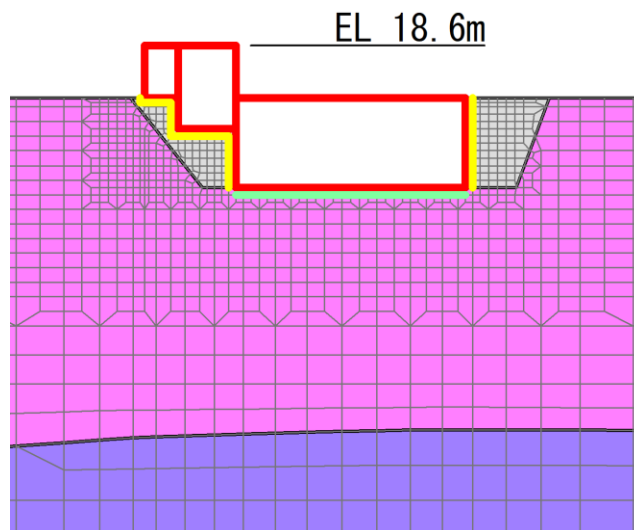
図 3-14 ジョイント要素の配置 (B-B断面, 半地下部の評価)

- : 岩盤 (②層)
- : 岩盤 (③層)
- : 埋戻コンクリート
- : ジョイント要素
- : 評価対象構造物



(全体図)

- : ジョイント要素 (構造物—埋戻コンクリート)
- : ジョイント要素 (構造物—岩盤)



(拡大図)

図 3-15 ジョイント要素の配置 (B-B断面, 長辺方向の側壁の評価)

3.2.8 材料特性の設定

鉄筋コンクリート部材は、ファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、はり要素の断面を層状に分割し各層に材料の非線形特性を考慮する材料非線形モデルであり（図3-16参照）、図3-17に示すコンクリートの応力-ひずみ関係を考慮する。

また、図3-18に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。

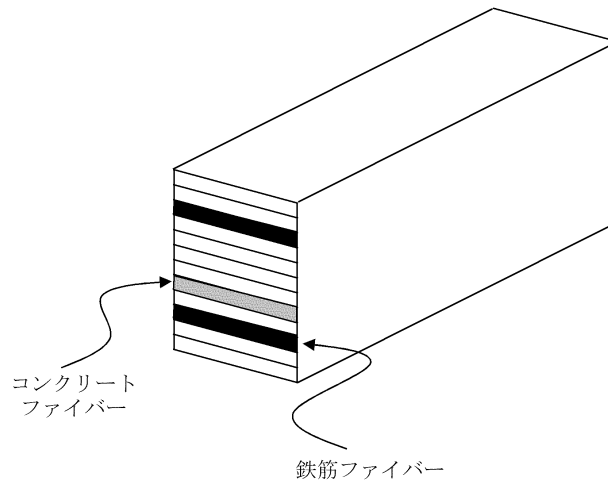
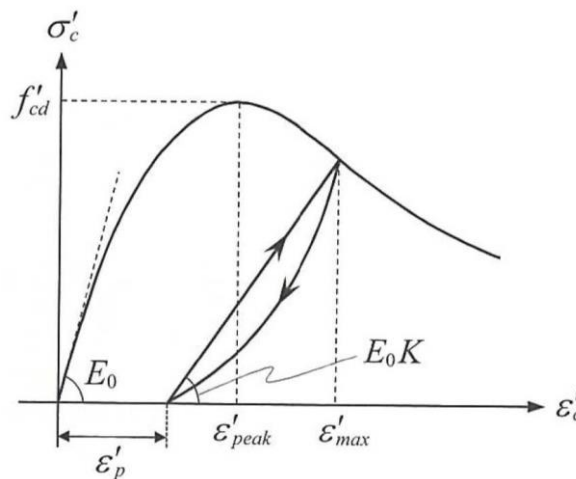
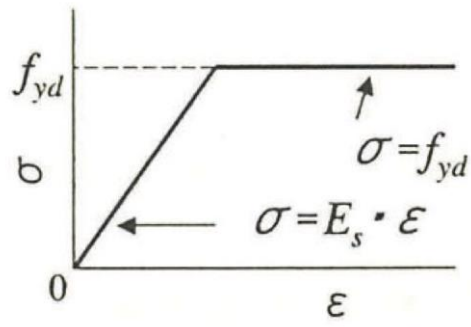


図3-16 ファイバーモデルの概念図



（コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2017年制定）より引用）

図3-17 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）



(コンクリート標準示方書 2002 より引用)

図 3-18 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)

3.3 減衰定数

減衰定数は、「補足-026-01 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減衰定数」に基づき、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

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。

Rayleigh 減衰の設定フローを図 3-19 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

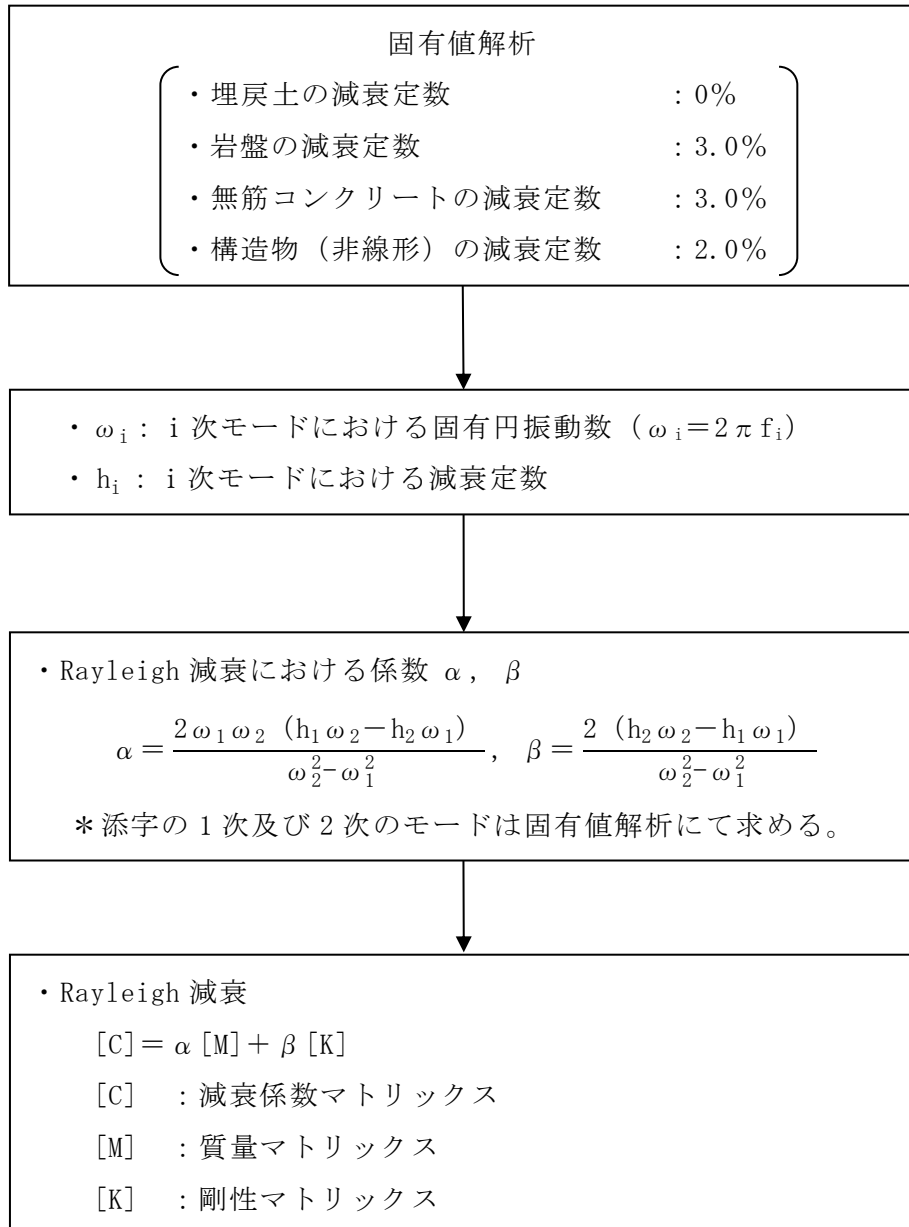


図 3-19 Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数 α 、 β 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、固有値解析結果より得られる卓越するモードの減衰と Rayleigh 減衰が一致するように設定する。なお、卓越するモードは全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図にて決定するが、係数 α 、 β が負値となる場合は当該モードを選定しない。

固有値解析結果の一覧を表 3-4～表 3-6 に、固有値解析におけるモード図を図 3-20～図 3-25 に、係数 α 、 β を表 3-7 に、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 3-26～図 3-28 に示す。

表 3-4 固有値解析結果 (A-A 断面)

	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	4.282	43	1	87.39	10.70	1次として採用
2	5.435	2	1	16.07	-18.01	
3	7.766	30	3	72.91	-23.12	2次として採用
4	8.697	0	3	5.84	-22.36	
5	9.133	2	23	-19.68	-63.73	
6	9.528	0	2	-7.13	15.87	
7	11.183	2	0	16.60	1.32	
8	13.320	1	9	-16.64	-41.24	
9	14.024	0	0	-0.37	-3.89	
10	14.688	1	0	-10.57	3.54	

表 3-5 固有値解析結果（B-B断面，半地下部の評価）

	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	6.194	69	0	96.29	0.54	1次として採用
2	8.961	0	8	2.44	-33.13	—
3	12.514	6	0	-27.16	2.92	—
4	13.624	0	8	-1.84	-31.54	—
5	14.450	1	8	10.89	34.00	—
6	14.552	0	33	2.47	-66.67	—
7	15.004	7	1	32.13	-3.53	2次として採用
8	16.783	0	0	2.90	-1.26	—
9	17.056	4	3	23.06	-23.01	—
10	17.469	4	5	22.87	23.87	—

表 3-6 固有値解析結果（B-B断面，長辺方向の側壁及び隔壁の評価）

	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	6.216	69	0	95.73	0.24	1次として採用
2	6.436	0	0	-3.30	-7.44	—
3	8.792	0	8	-2.02	30.84	—
4	12.529	6	0	-27.87	4.21	—
5	13.777	0	7	-4.36	-31.47	—
6	13.880	1	0	-11.43	6.69	—
7	14.493	0	41	-5.89	-73.84	—
8	14.664	6	1	-28.56	10.58	2次として採用
9	16.788	3	1	18.83	-8.22	—
10	17.084	3	0	-20.65	2.94	—

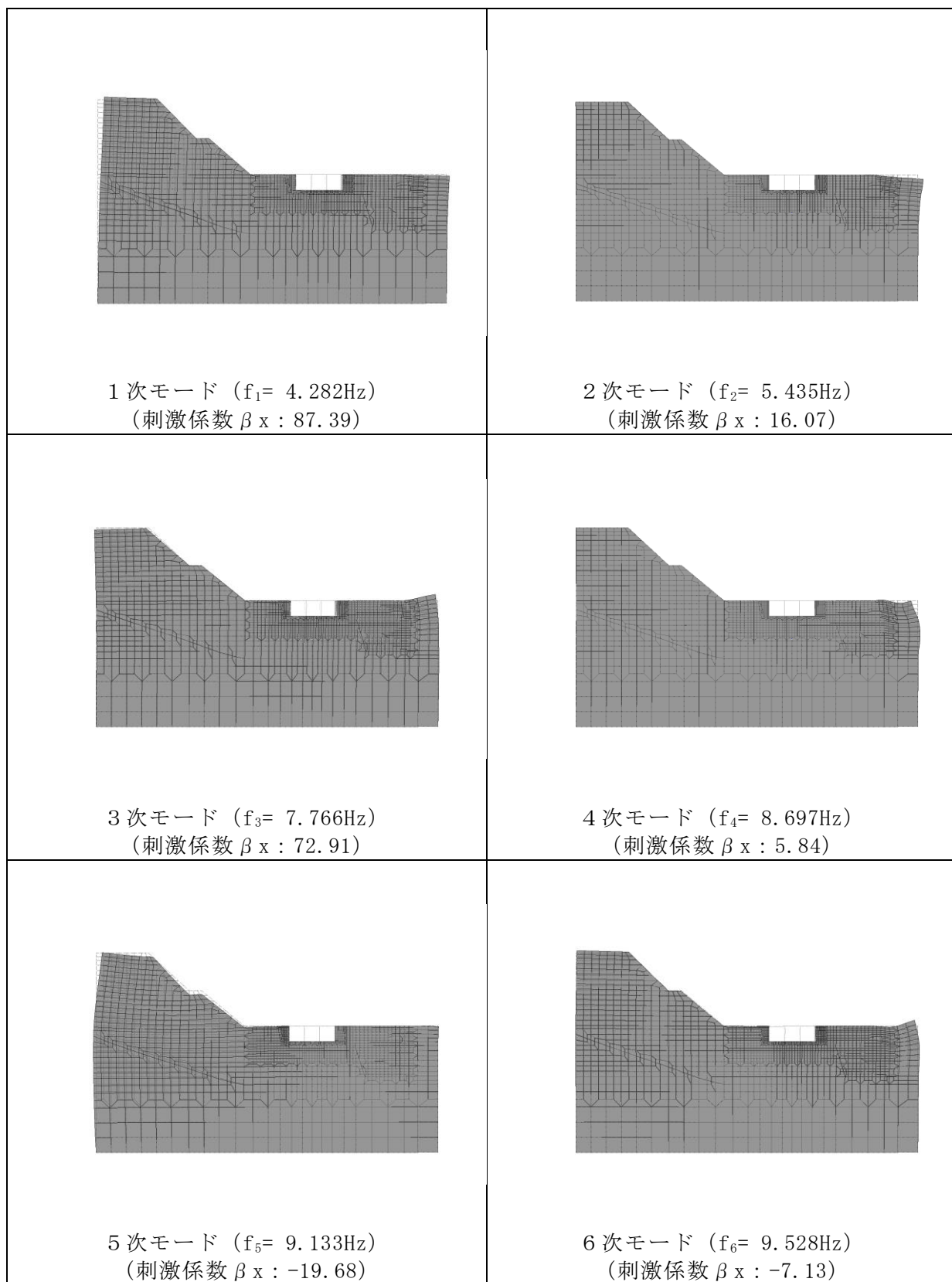


図 3-20 固有値解析結果 (モード図) (A-A断面)

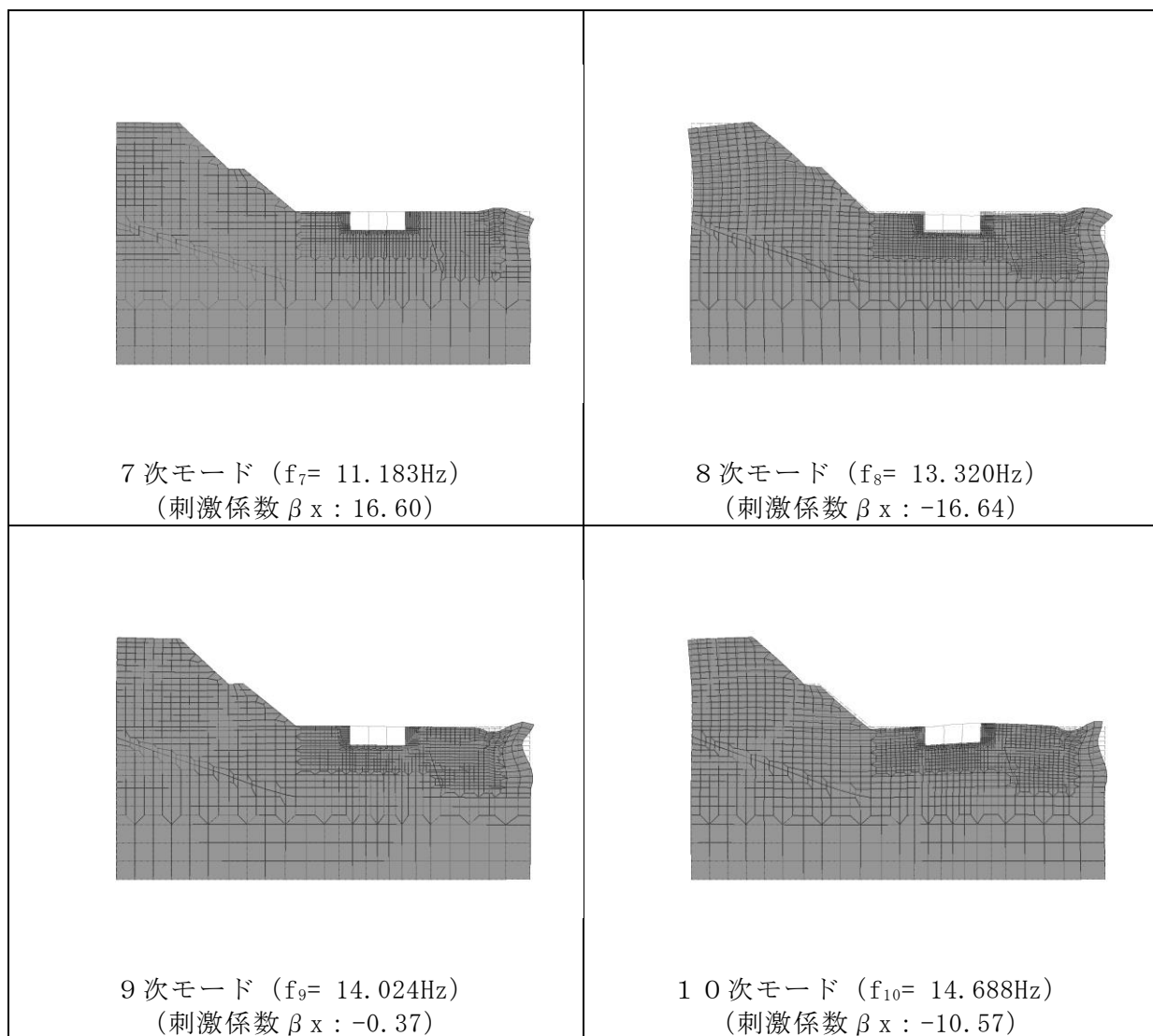


図 3-21 固有値解析結果 (モード図) (A-A断面)

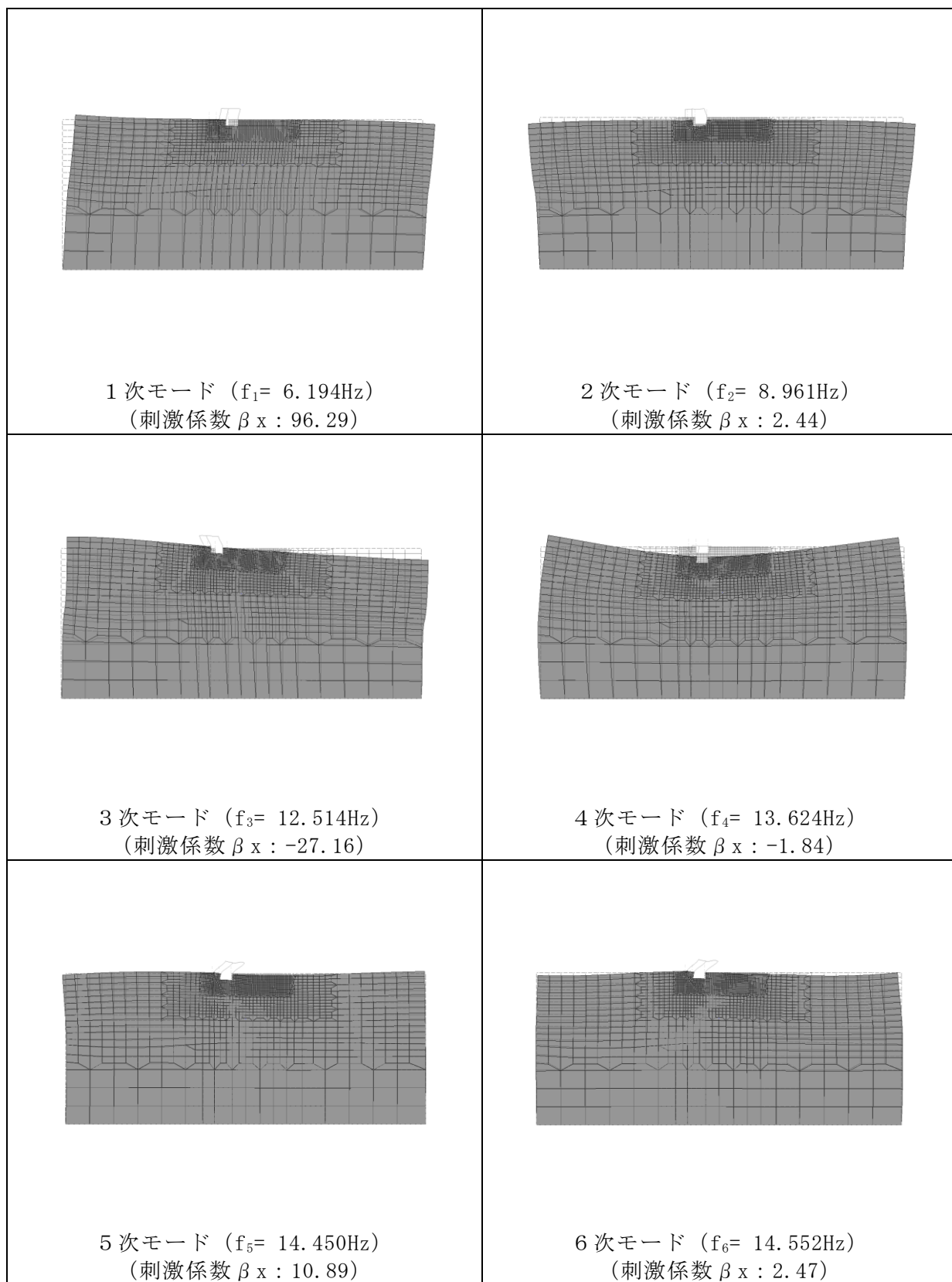


図 3-22 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 半地下部の評価)

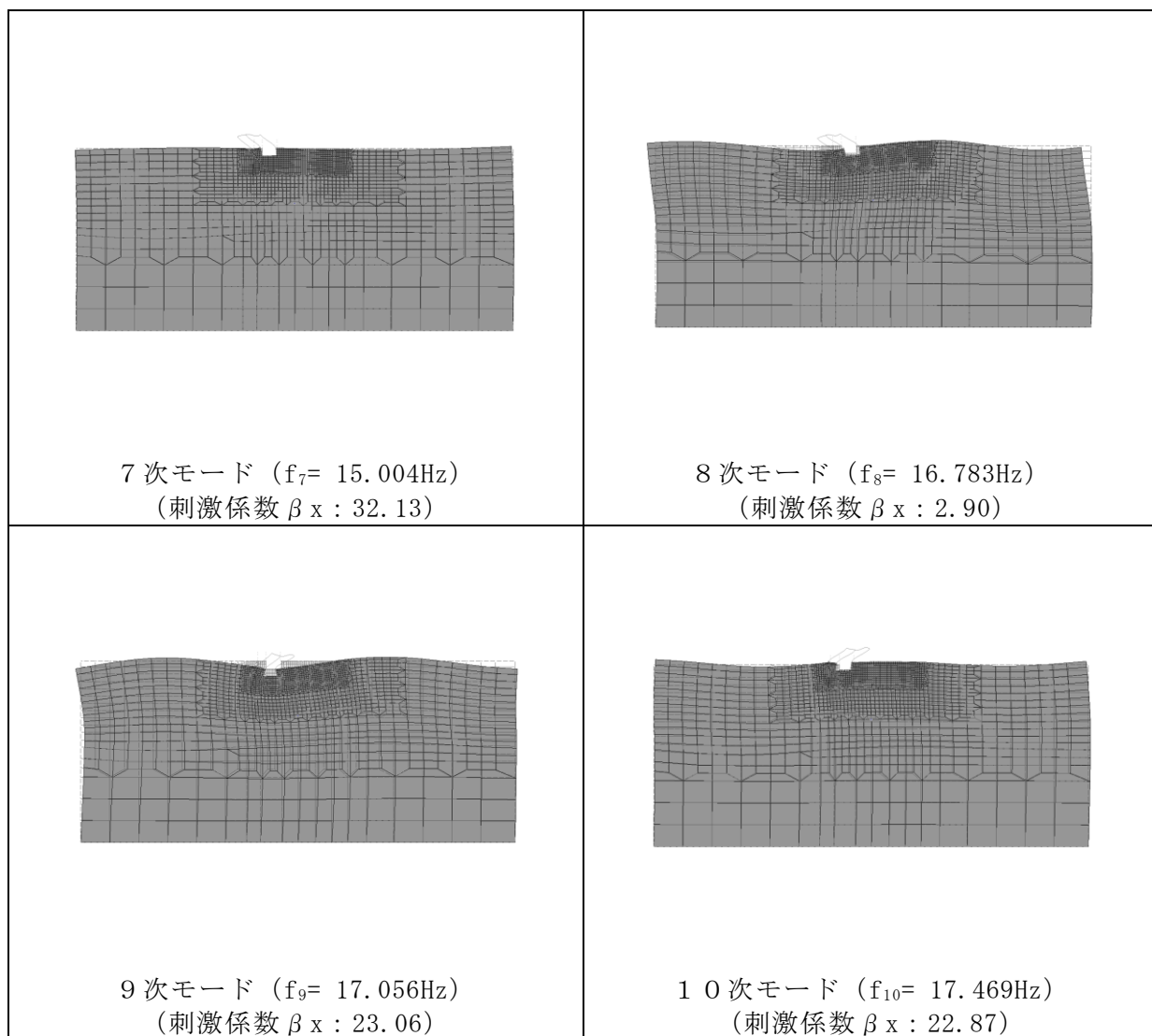


図 3-23 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面, 半地下部の評価)

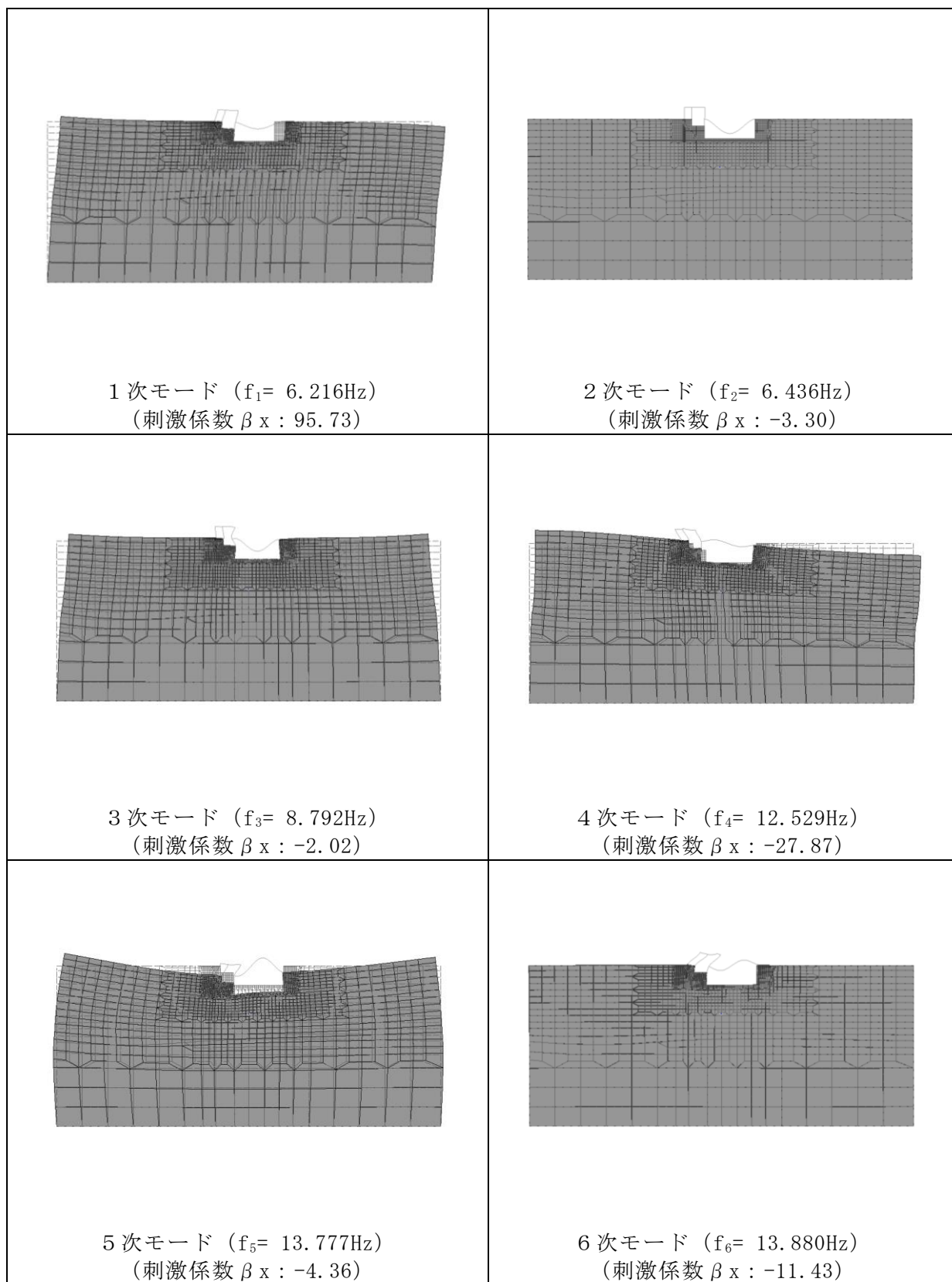


図 3-24 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面, 長辺方向の側壁及び隔壁の評価)

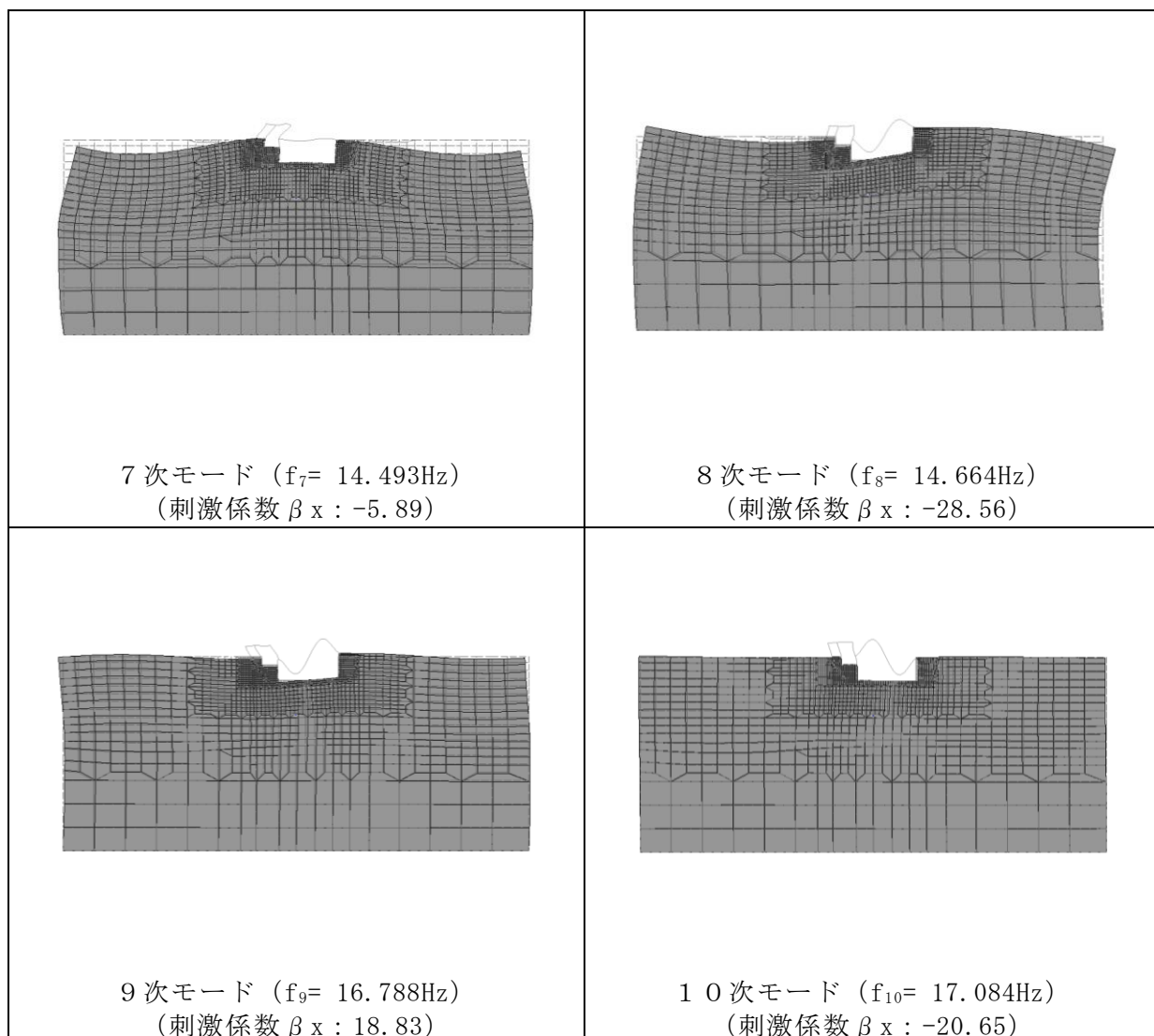


図 3-25 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面, 長辺方向の側壁及び隔壁の評価)

表 3-7 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

評価対象断面	α	β
A-A 断面	1.197	5.501×10^{-4}
B-B 断面 (半地下部の評価)	1.787	3.621×10^{-4}
B-B 断面 (長辺方向の側壁及び隔壁の評価)	1.648	4.538×10^{-4}

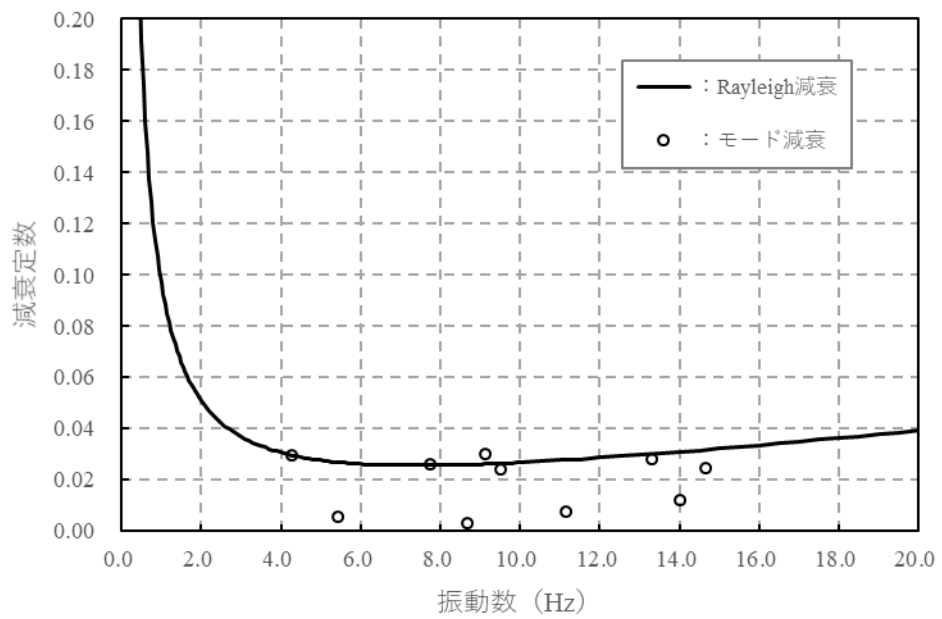


図 3-26 設定した Rayleigh 減衰 (A-A 断面)

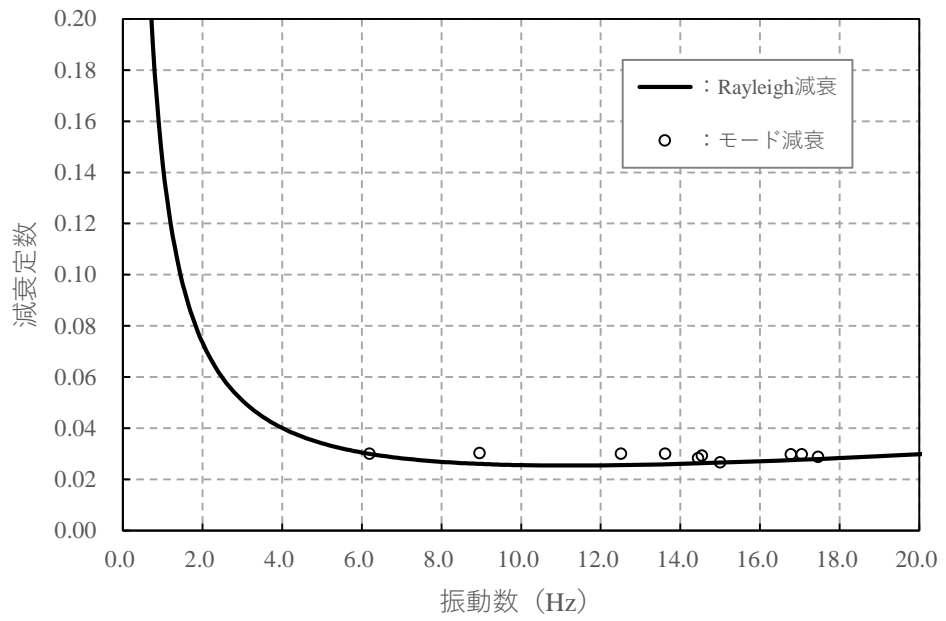


図 3-27 設定した Rayleigh 減衰 (B-B 断面, 半地下部の評価)

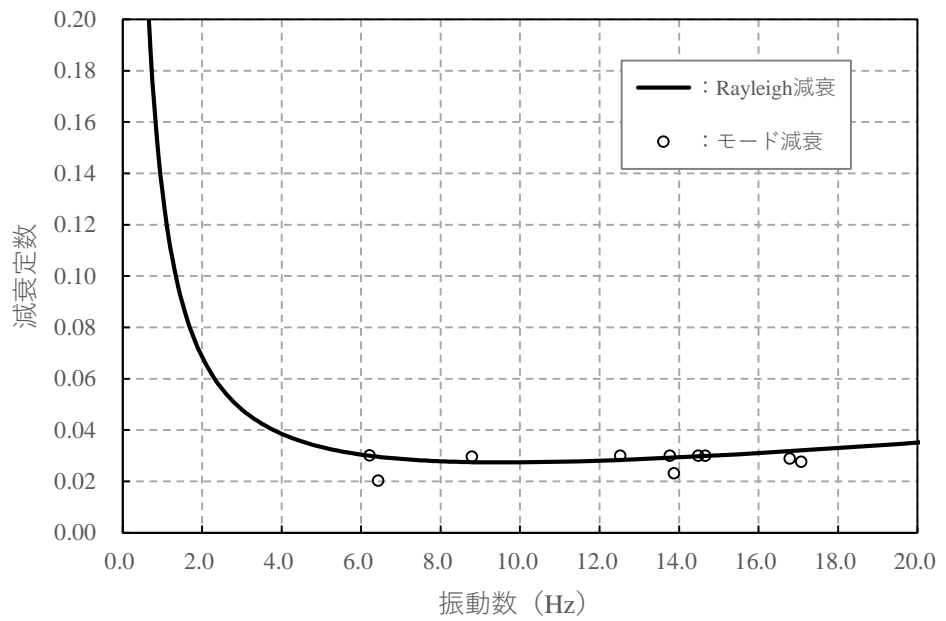


図 3-28 設定した Rayleigh 減衰 (B-B 断面, 長辺方向の側壁及び隔壁の評価)

3.4 荷重及び荷重の組合せ

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

地震時にB-ディーゼル燃料タンク格納槽に作用する機器・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。

なお、B-ディーゼル燃料タンク格納槽の運転時、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。

荷重の組合せを表3-8に示す。

表3-8 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法の概要
永久荷重 (常時荷重)	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*	○ 構造物内に充填された乾燥砂及び機器・配管系の重量に基づいて設定する。
	積載荷重	静止土圧	○ 常時応力解析により設定する。
		外水圧	○ 地下水位に応じた静水圧として考慮する。 地下水の密度を考慮する。
		積雪荷重	○ 地表面及び構造物天端に考慮する。
永久上載荷重	— 地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。		
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	○	

注記*：構造物内に充填された乾燥砂の重量は、機器・配管系荷重と同様の扱いとし、自重解析及び地震応答解析において付加質量として考慮する。

3.4.1 機器・配管荷重

地震時にB-ディーゼル燃料タンク格納槽に作用する機器・配管系荷重の荷重図を図3-29に、乾燥砂の荷重図を図3-30に、機器・配管系及び乾燥砂の荷重図を図3-31に、構造物内に充填された乾燥砂の諸元を図3-32に示す。機器・配管荷重は、常時・地震時ともに付加質量でモデル化する。

なお、機器・配管系及び乾燥砂の荷重は、小数点以下を切り上げた値を設定するが、 5kN/m^2 を下回る箇所については、保守的に 5kN/m^2 を考慮する。

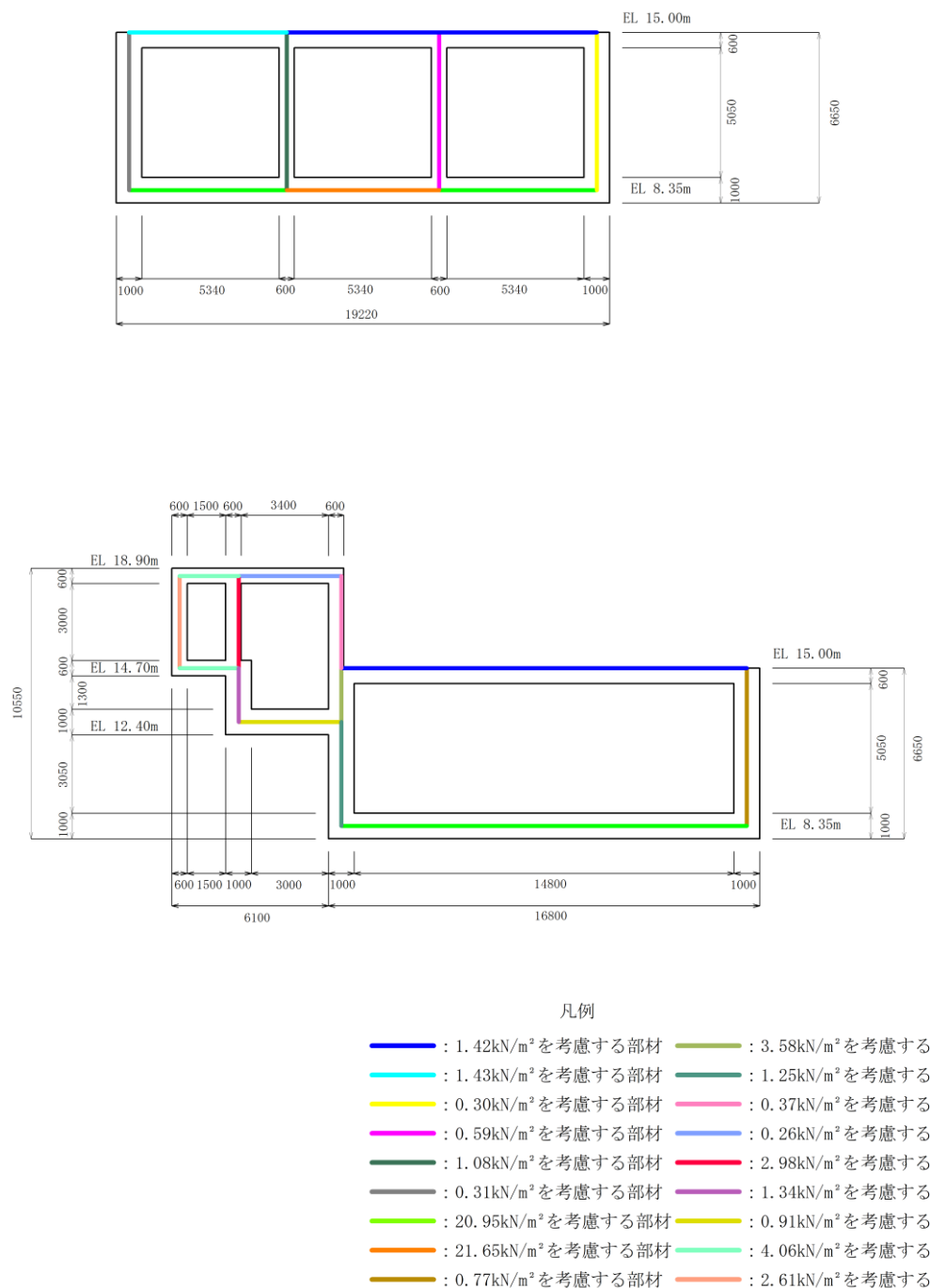
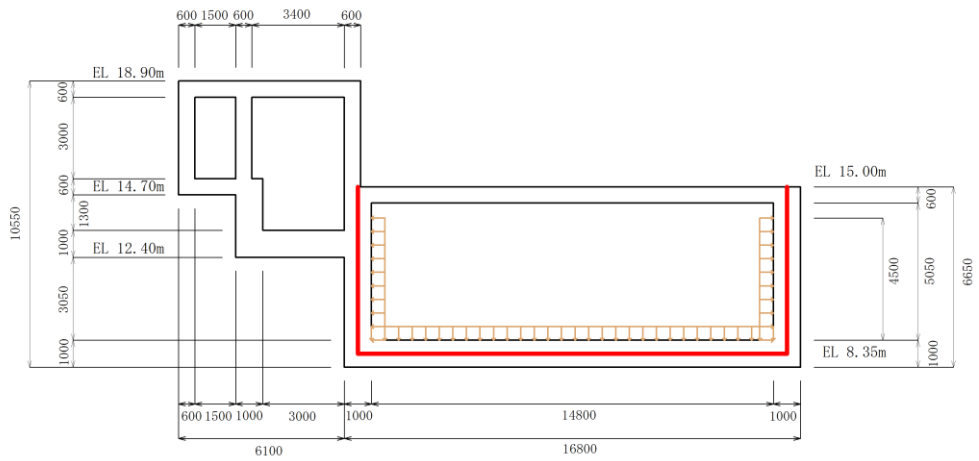
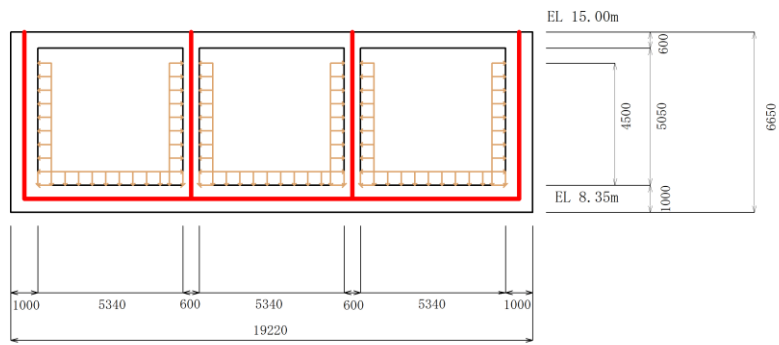


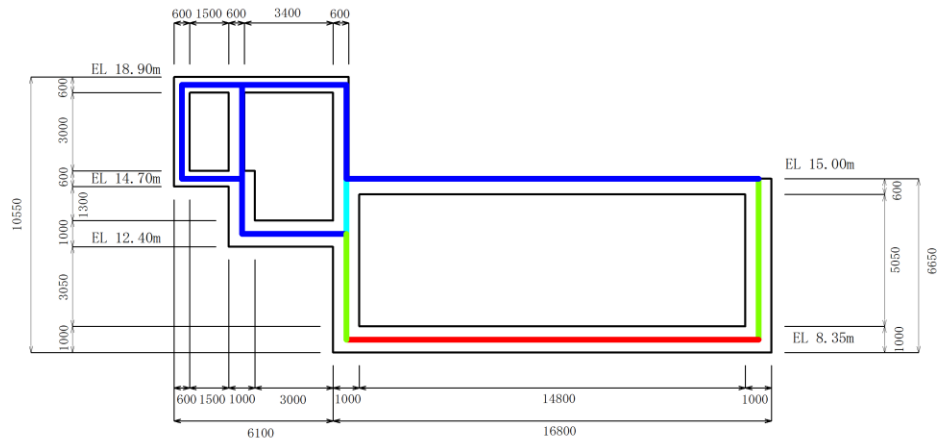
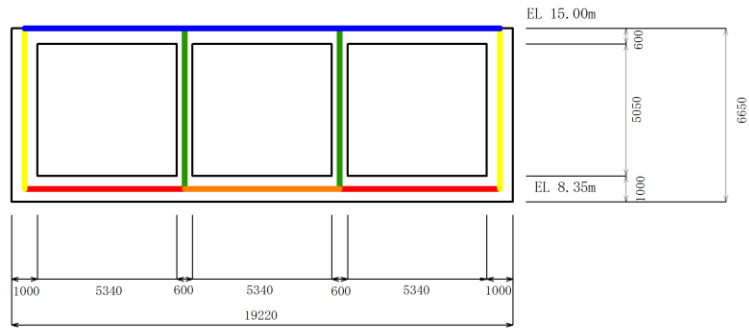
図3-29 解析用機器・配管系荷重図



凡例

- : 乾燥砂の重量より 9.59kN/m^2 を考慮する部材
- ⇩ : 乾燥砂の重量より算定した荷重が作用する範囲

図 3-30 解析用乾燥砂の荷重図



凡例

- : 5kN/m² (最低値) を考慮する部材
- : 10kN/m² を考慮する部材
- : 11kN/m² を考慮する部材
- : 14kN/m² を考慮する部材
- : 20kN/m² を考慮する部材
- : 31kN/m² を考慮する部材
- : 32kN/m² を考慮する部材

図 3-31 解析用機器・配管系及び乾燥砂荷重図

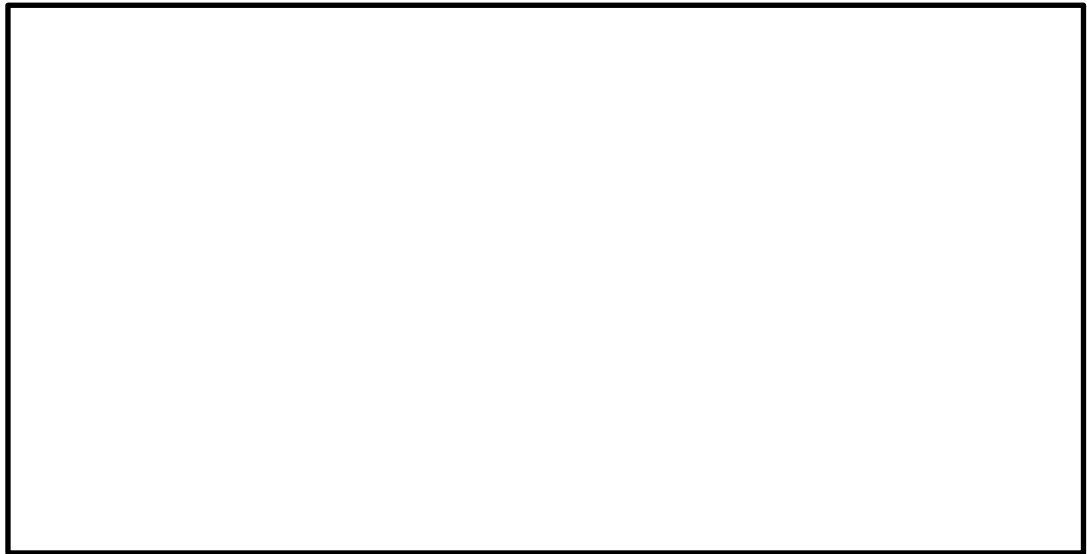


図 3-32 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に充填される乾燥砂の諸元

3.4.2 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、「2.7 地下水位」のとおりとし、地下水の密度として 1.00g/cm^3 を考慮する。

3.4.3 積雪荷重

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等における損傷の防止に関する基本方針」に基づき、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、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設定する。

3.5 地震応答解析の解析ケース

3.5.1 耐震評価における解析ケース

(1) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は地中に埋設された鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，周辺には埋戻土のような動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しておらず，主にC_M級が分布していることから，これらの地盤が地震時の構造物への応答に大きく影響を与えると判断し，岩盤の動せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースを表3-9に示す。解析ケースについては，せん断変形を定義するせん断弾性係数の平均値を基本ケース（表3-9に示すケース①）とした場合に加えて，平均値±1.0×標準偏差（ σ ）のケース（表3-9に示すケース②及び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-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

表3-9 B-ディーゼル燃料タンク格納槽における解析ケース

解析ケース	解析手法	地盤物性	
		埋戻土 (G_0 : 初期せん断 弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断 弾性係数)
ケース① (基本ケース)	全応力解析	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	平均値	平均値 + 1 σ
ケース③	全応力解析	平均値	平均値 - 1 σ

(2) 耐震評価における解析ケースの組合せ

耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、基本ケース（ケース①）を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-10に示す。基本ケースにおいて、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表3-10に示す解析ケース（ケース②及び③）を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。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3-33に示す。

表3-10 耐震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
			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
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全12波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、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を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する余裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。	
		-+*	○		
		+ - *	○		
		--*	○		
	$S_s - F1$	++*	○		
	$S_s - F2$	++*	○		
	$S_s - N1$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - N2$ (NS)	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - N2$ (EW)	++*	○		
		-+*	○		

注記*：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。

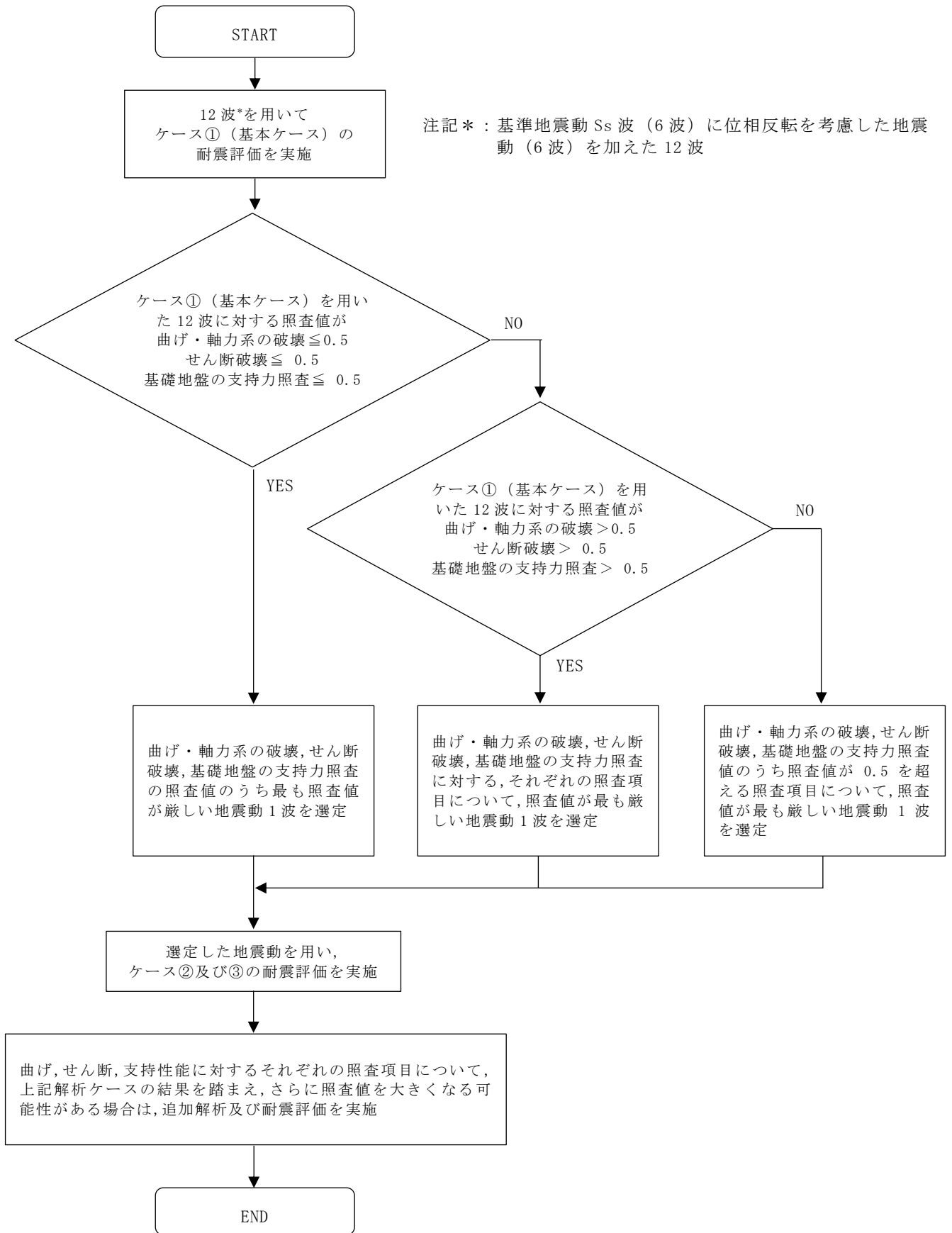


図 3-33 追加解析を実施する地震動の選定フロー

3.5.2 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

(1) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

「3.5.1 耐震評価における解析ケース」と同様に、地盤物性のばらつきを考慮する（表 3-11 示すケース②及び③）。

表 3-11 機器・配管系の耐震評価における解析ケース（A-A断面及びB-B断面）

解析ケース	解析手法	地盤物性		備考
		埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)	
ケース① (基本ケース)	全応力解析	平均値	平均値	
ケース②	全応力解析	平均値	平均値 + 1σ	
ケース③	全応力解析	平均値	平均値 - 1σ	
ケース④	全応力解析	平均値	平均値	材料物性のばらつき
ケース⑤	全応力解析	平均値	平均値	地下水位低下*

注記* : 解析モデル内に地下水位を設定しない状態における検討とする。

(2) 材料物性の影響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する。また、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 3-11 に示すケース④）。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽におけるコンクリート実強度は、建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所における鉄筋コンクリート工事（日本建築学会，2013）（以下「JASS 5N」という。）及び日本原子力学会標準 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準（日本原子力学会，2015）（以下「日本原子力学会標準」という。）より算定される圧縮強度のうち最大となるものを選択する。ヤング係数は実強度に対応するコンクリート標準示方書に基づき算出する。設定した圧縮強度及びヤング係数を表 3-12 に示す。

表 3-12 コンクリート実強度を考慮した物性値

圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
36.1	29.8

(3) 地下水位低下の影響を考慮した解析ケース

地下水位については、地下水位低下設備に期待せず、保守的に高く設計地下水位を設定していることから、機器・配管系の床応答への影響を確認するため、地下水位が低下している状態での影響検討を実施する（表 3-11 に示すケース⑤）。

(4) 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の組合せ

機器・配管系に対する応答加速度抽出においては、基準地震動 S s 全波（6 波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6 波）を加えた全 12 波を用いて解析ケース（表 3-13 におけるケース①～⑤）を実施する。

表 3-13 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース*2	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 平均値	地盤物性のばらつき (+1σ)を考 慮した解析ケース 平均値+1σ	地盤物性のばらつき (-1σ)を考 慮した解析ケース 平均値-1σ	材料物性(コンクリ ート)の実強度を考 慮した解析ケース 平均値	地下水が低い場 合を仮定した解 析ケース 平均値		
地震動(位相)	地盤物性	平均値	平均値+1σ	平均値-1σ	平均値	平均値	
	S s - D	++*1	○	○	○	△	△
		-+*1	○	○	○	-	-
		+ -*1	○	○	○	-	-
	S s - F 1	++*1	○	○	○	-	-
		-+*1	○	○	○	-	-
		+ -*1	○	○	○	-	-
	S s - N 1	++*1	○	○	○	-	-
		-+*1	○	○	○	-	-
		+ -*1	○	○	○	-	-
	S s - N 2 (NS)	++*1	○	○	○	-	-
		-+*1	○	○	○	-	-
+ -*1		○	○	○	-	-	
S s - N 2 (EW)	++*1	○	○	○	-	-	
	-+*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：○は設計に用いる解析ケースを示し，△は影響検討ケースを示す。影響検討ケースについては，S s - D (++)により影響の程度を確認する。

4. 評価内容

4.1 入力地震動の設定

入力地震動は、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 を一次元波動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、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4-1に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「microSHAKE/3D」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

図4-2～図4-35に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。

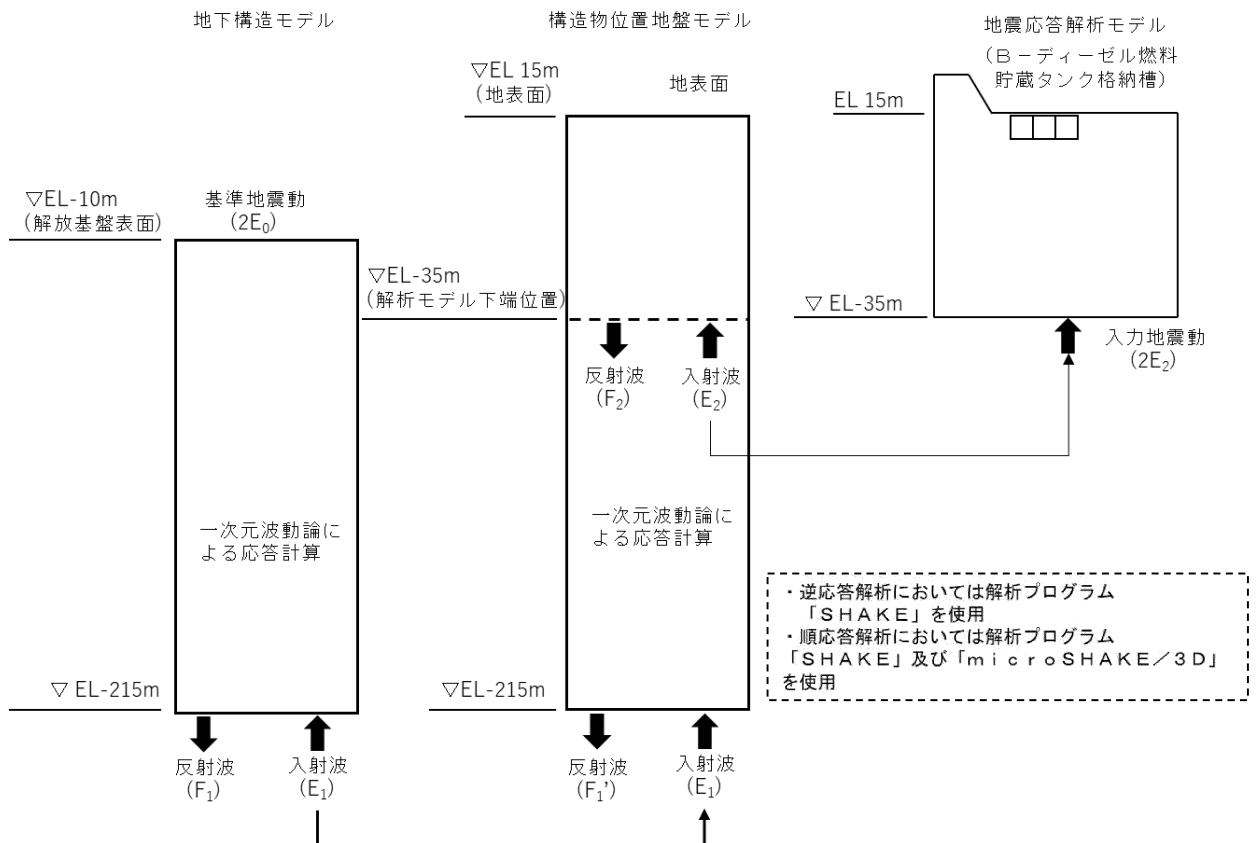
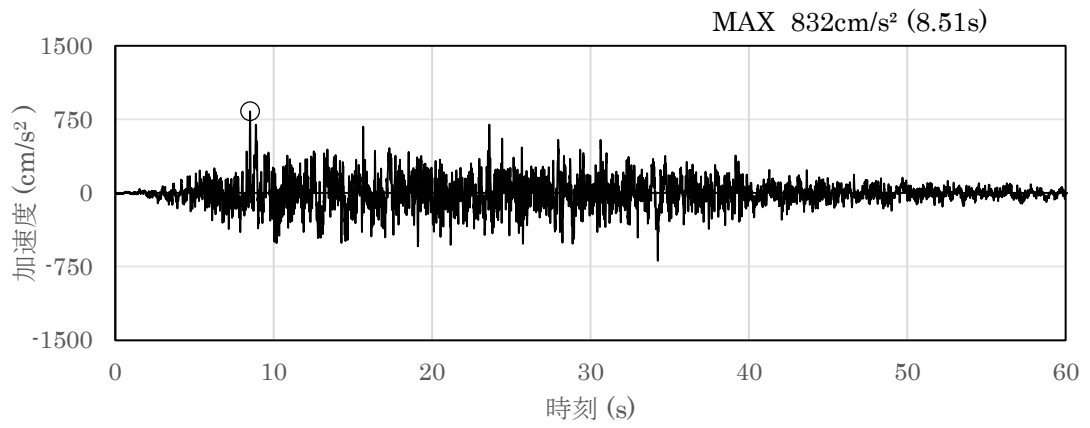
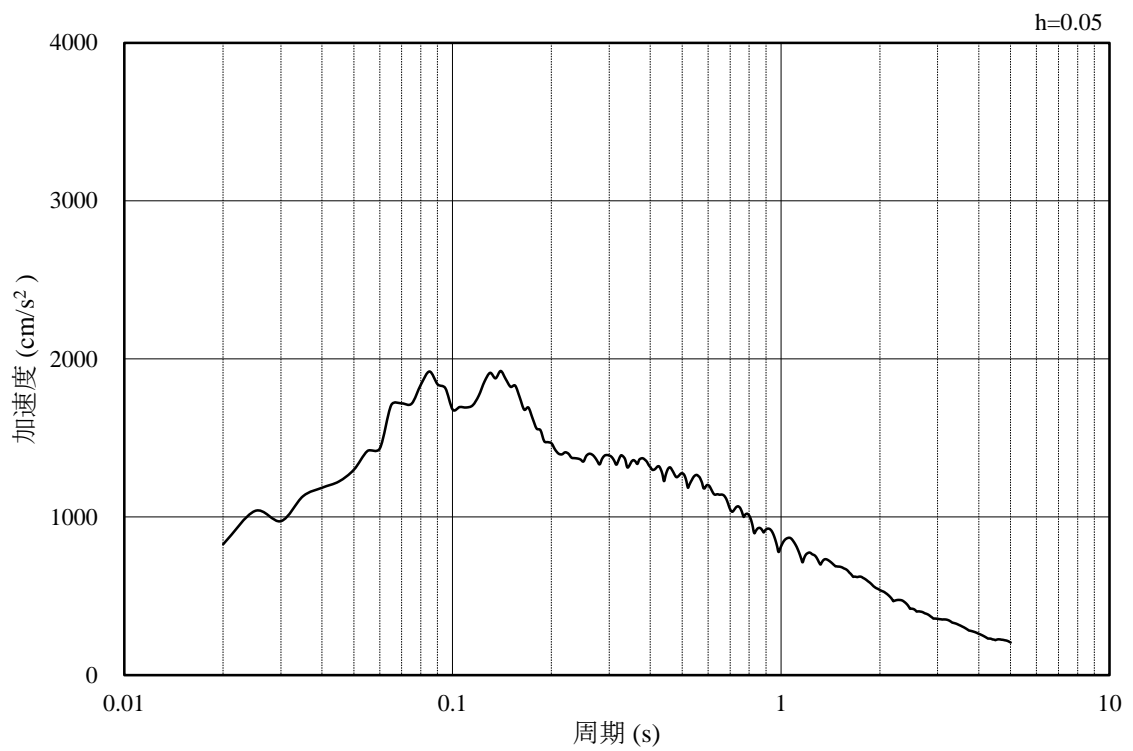


図4-1 入力地震動算定の概念図

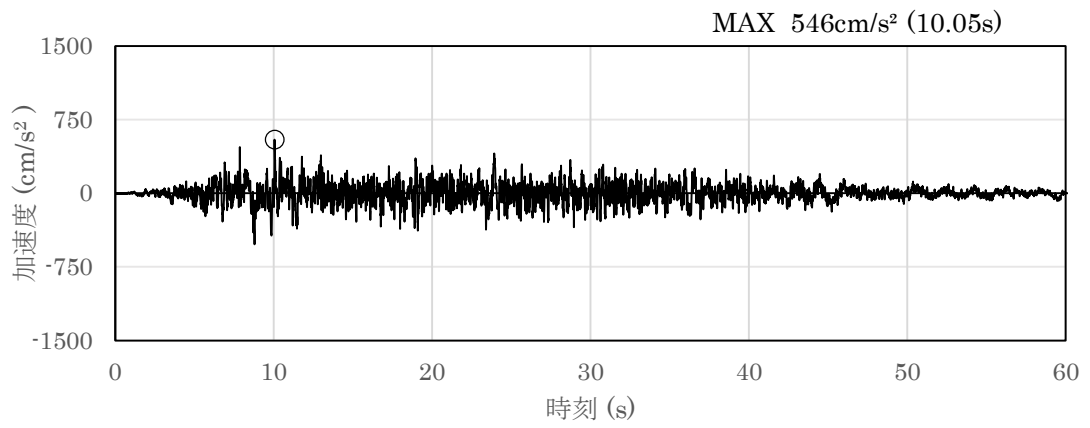


(a) 加速度時刻歴波形

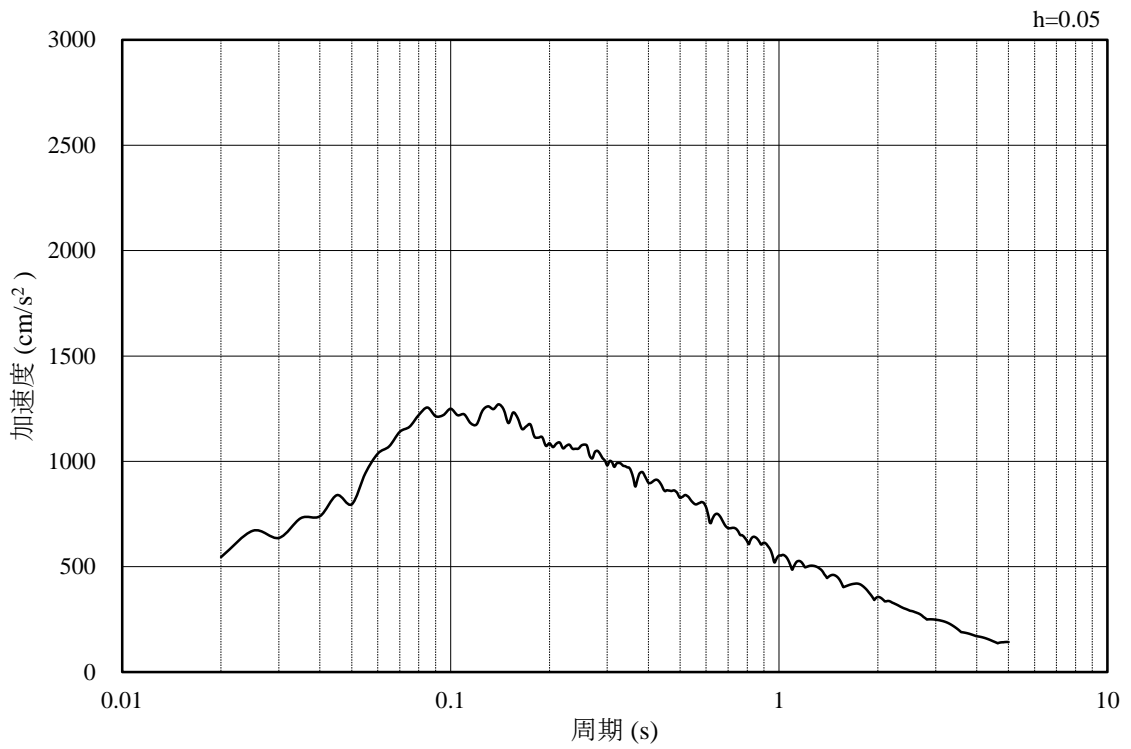


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2 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
(水平成分：S s - D)

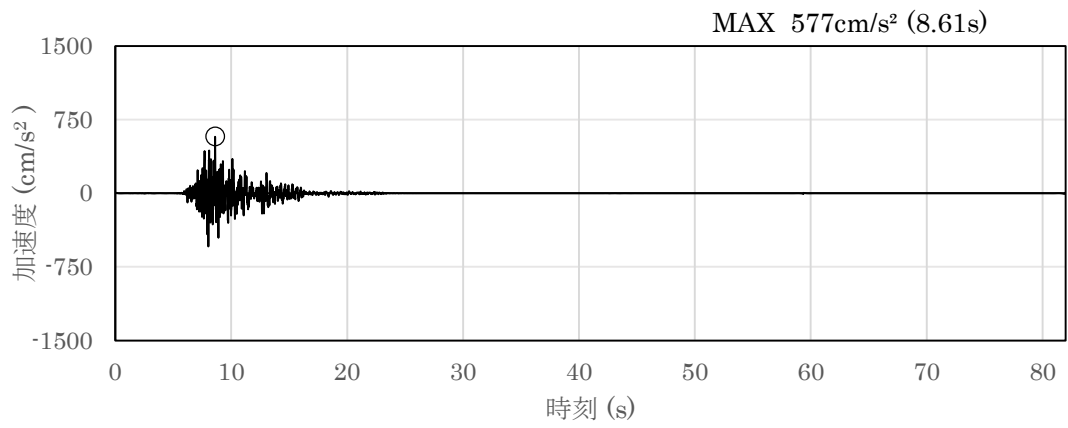


(a) 加速度時刻歴波形

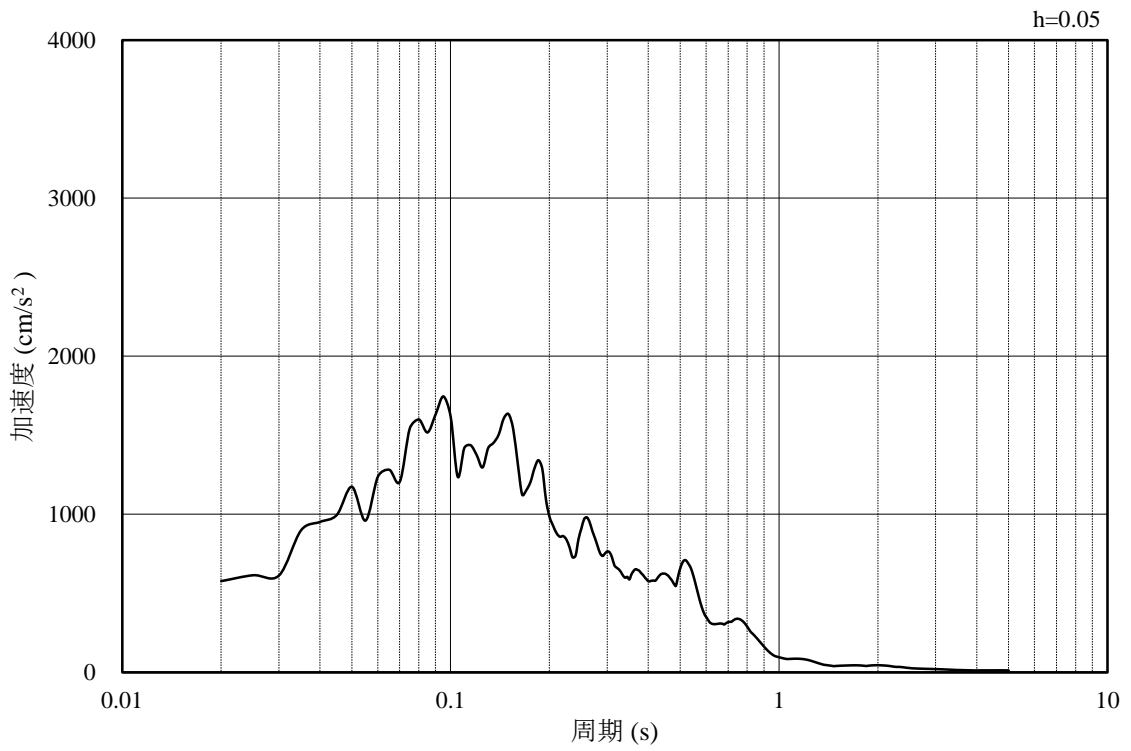


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3 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
(鉛直成分：S s - D)

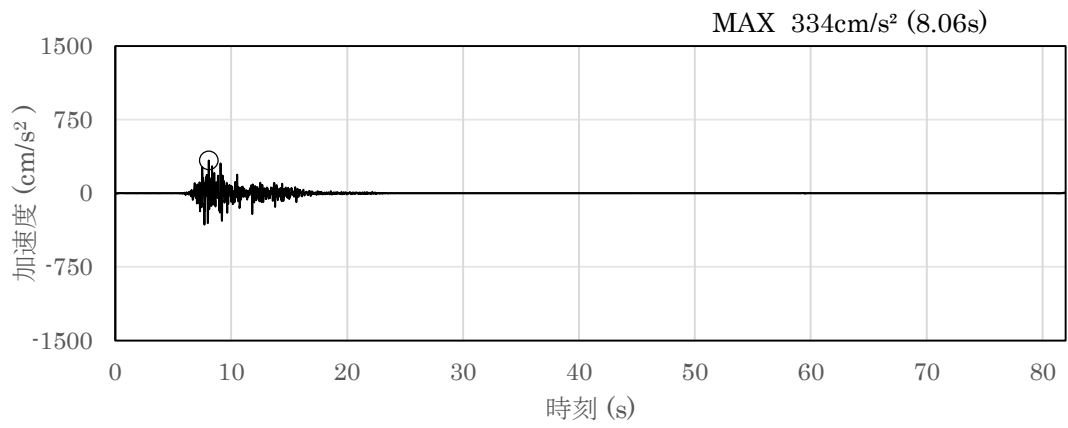


(a) 加速度時刻歴波形

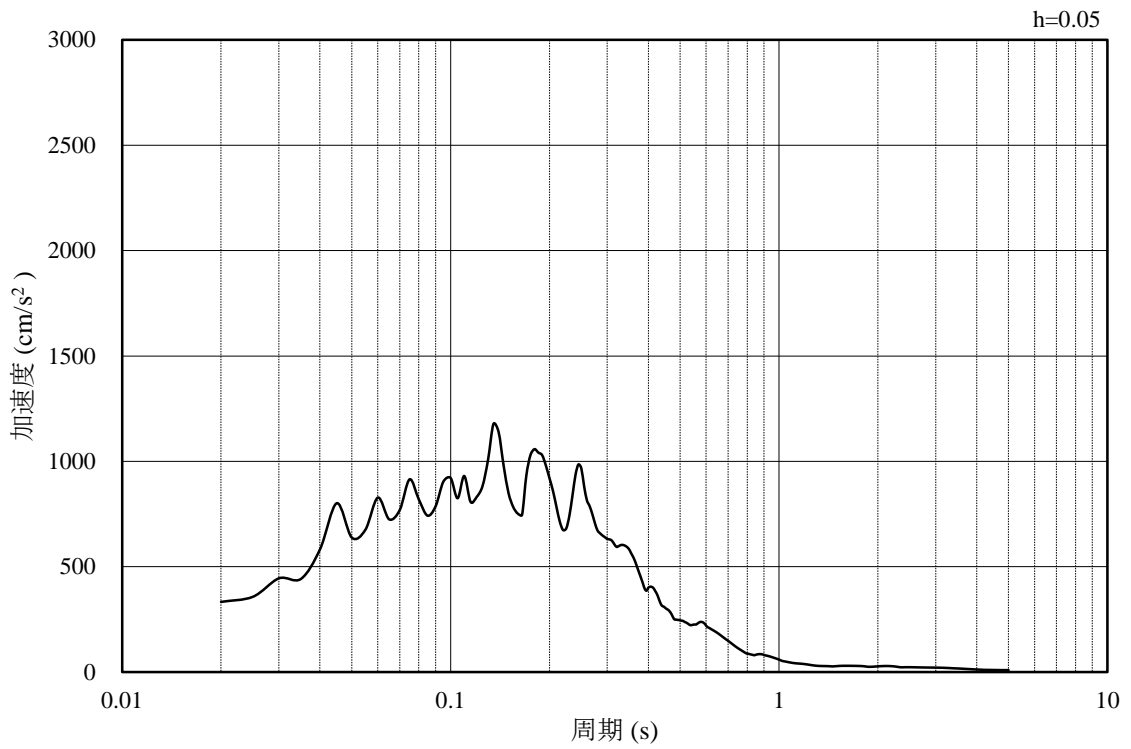


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-4 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
(水平成分 : S s - F 1 (N S))



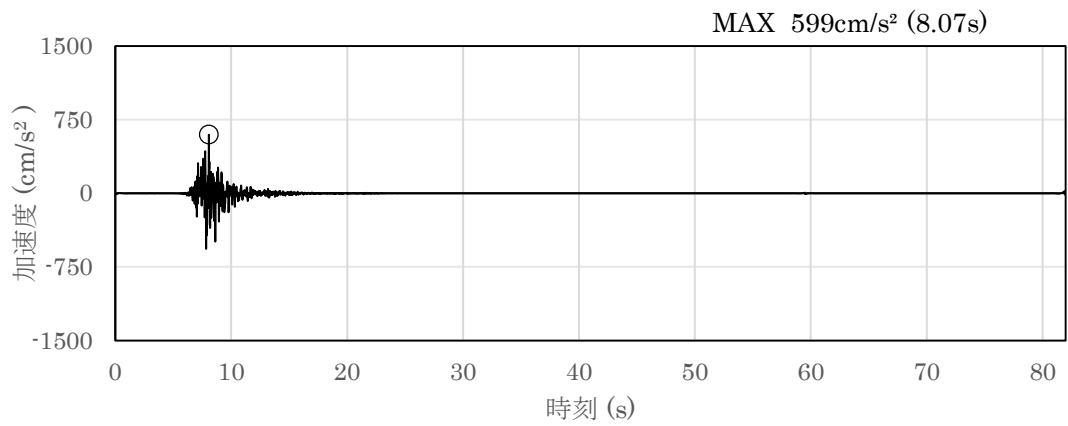
(a) 加速度時刻歴波形



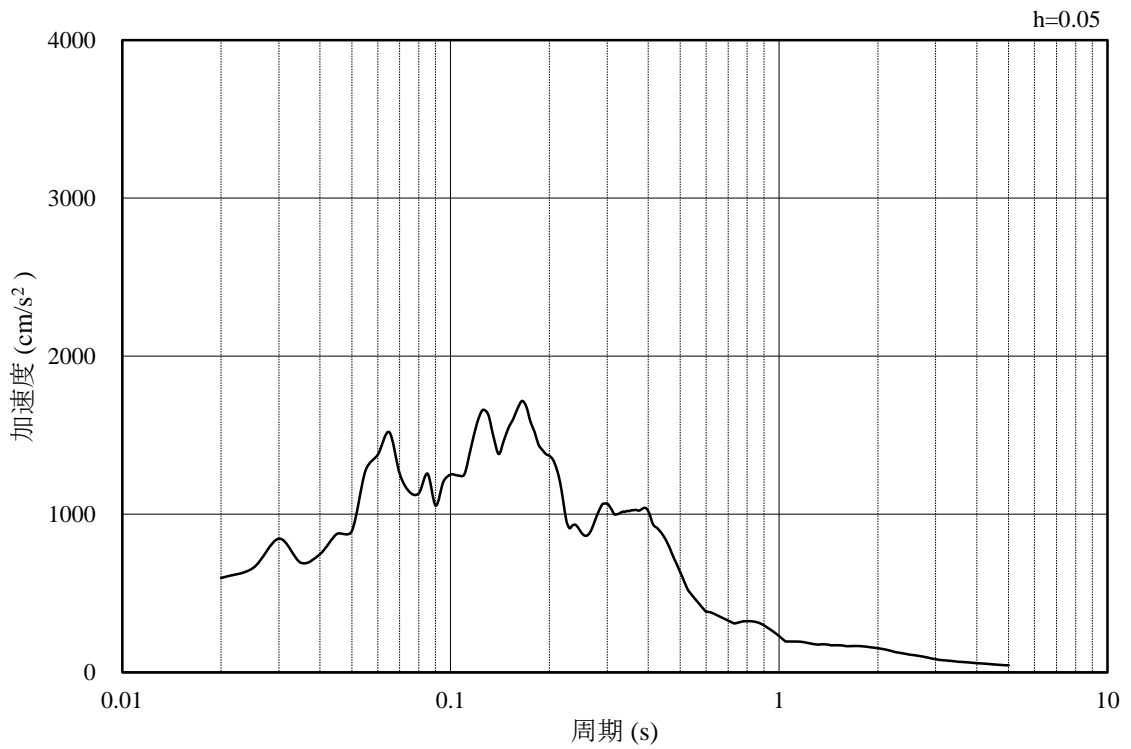
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-5 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

(鉛直成分：S s - F 1 (N S))

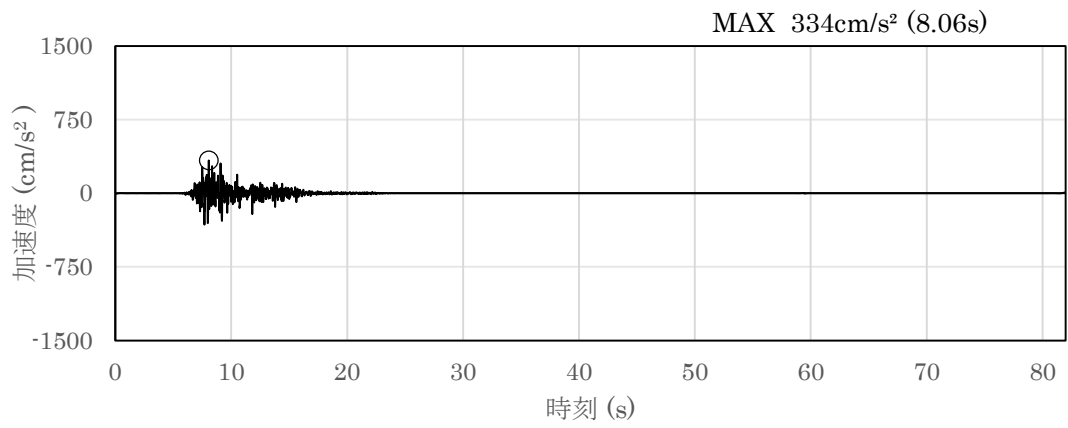


(a) 加速度時刻歴波形

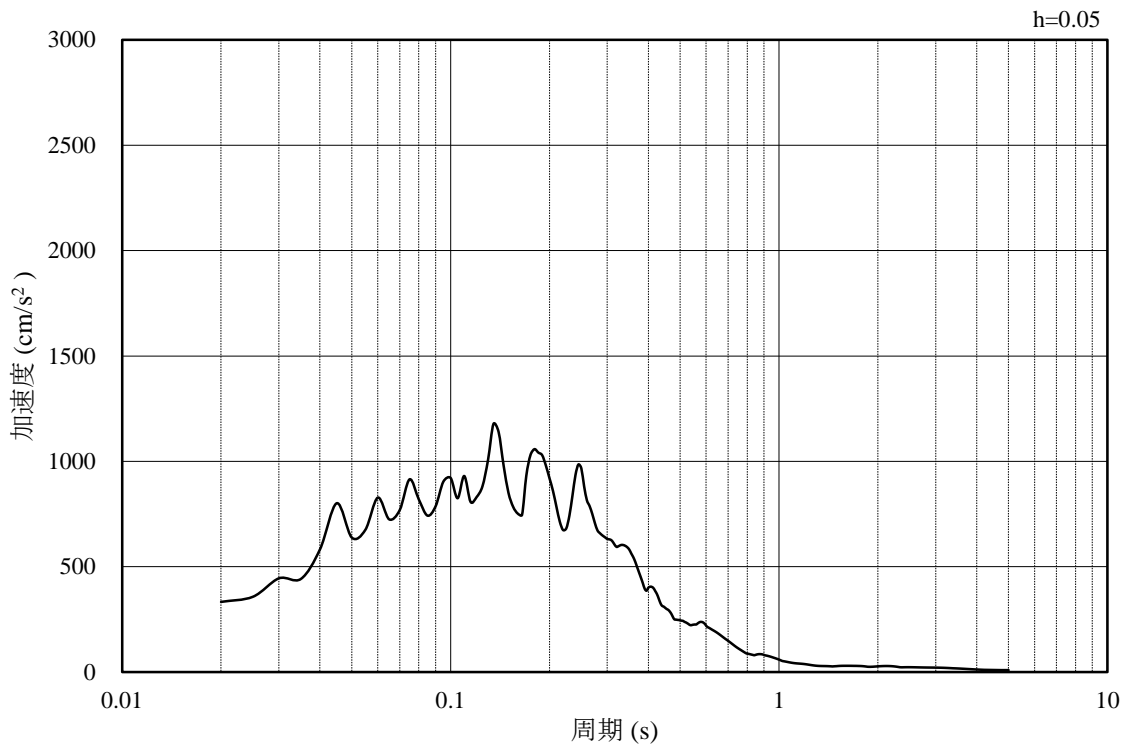


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-6 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
(水平成分：S s - F 1 (EW))

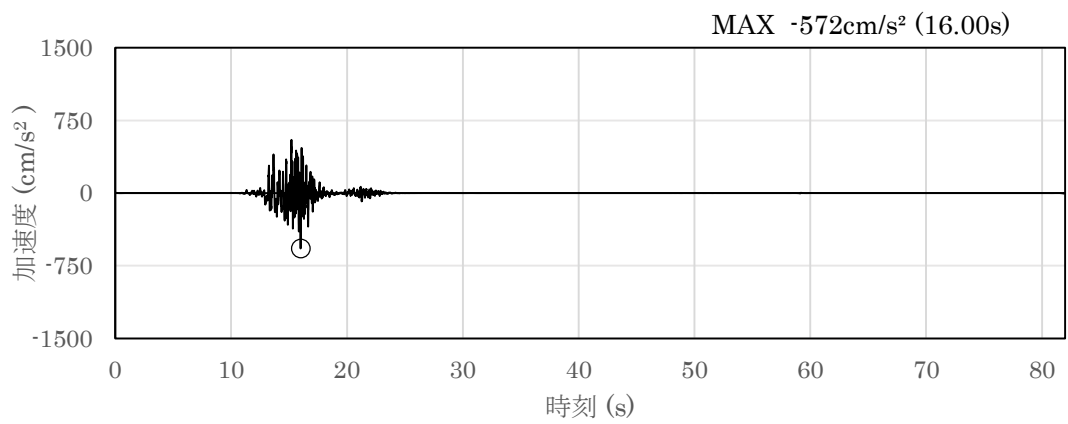


(a) 加速度時刻歴波形

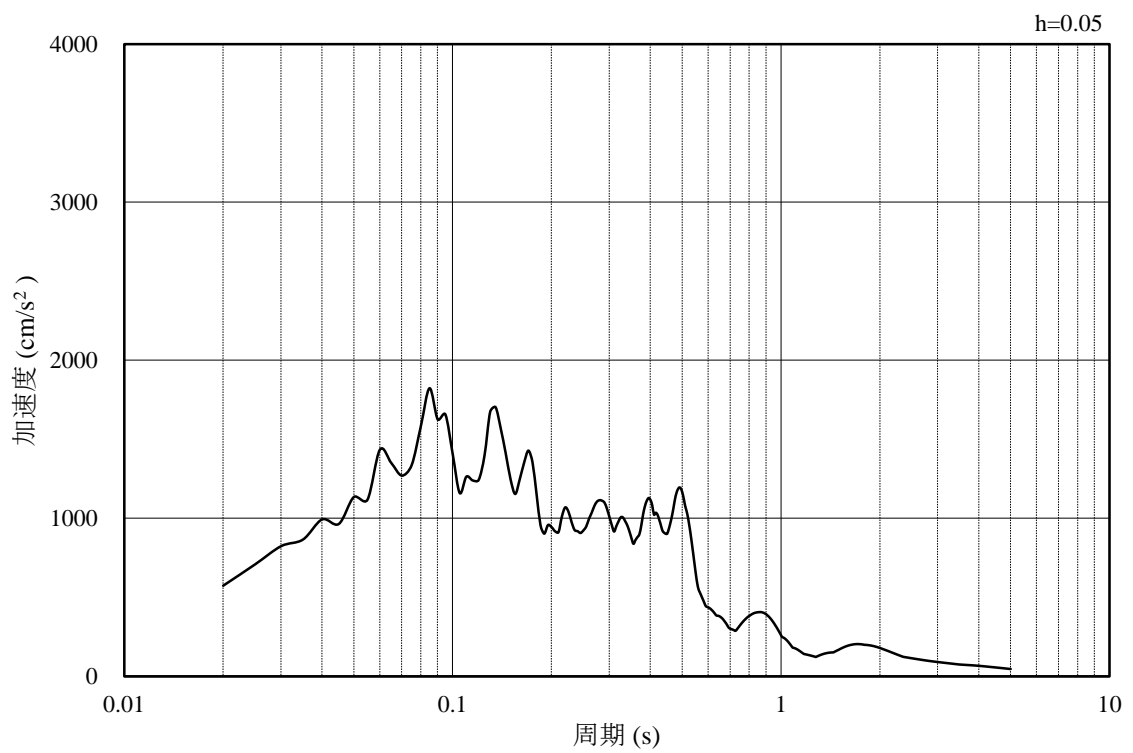


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-7 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
 (鉛直成分：S s - F 1 (EW))

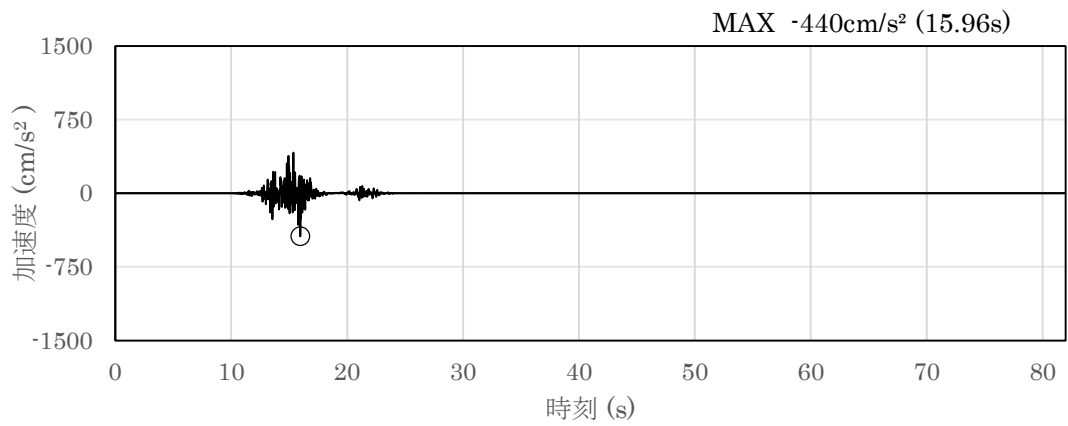


(a) 加速度時刻歴波形

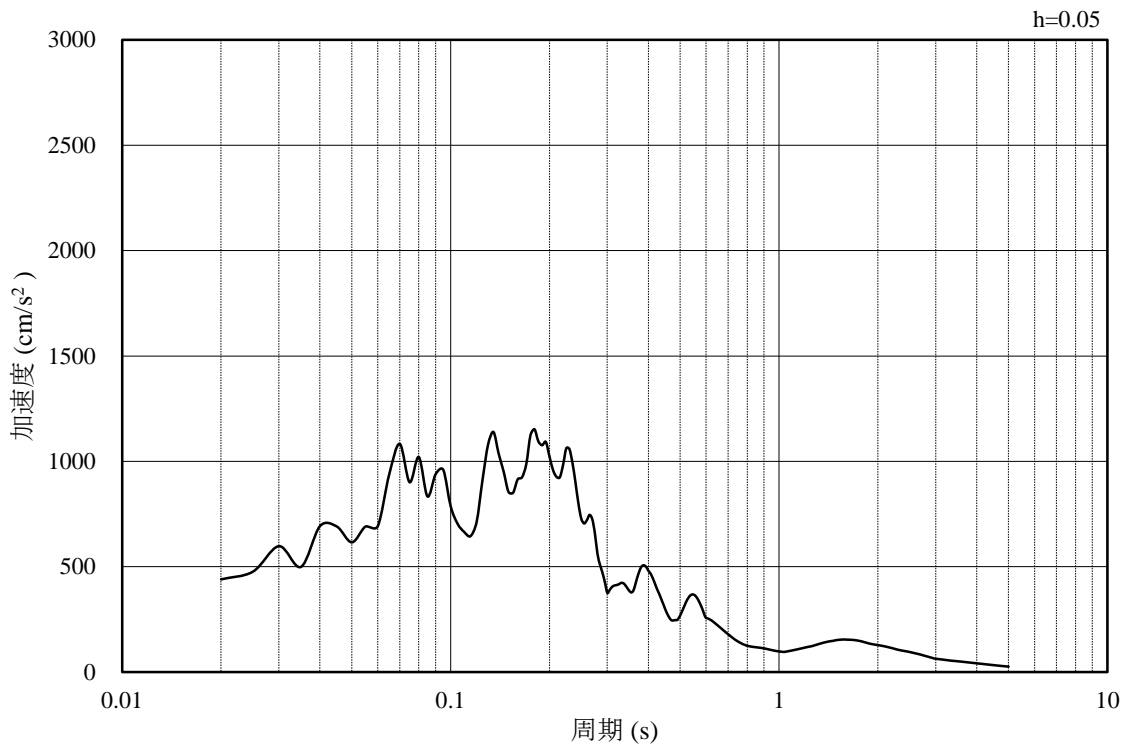


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-8 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
 (水平成分 : S s - F 2 (N S))

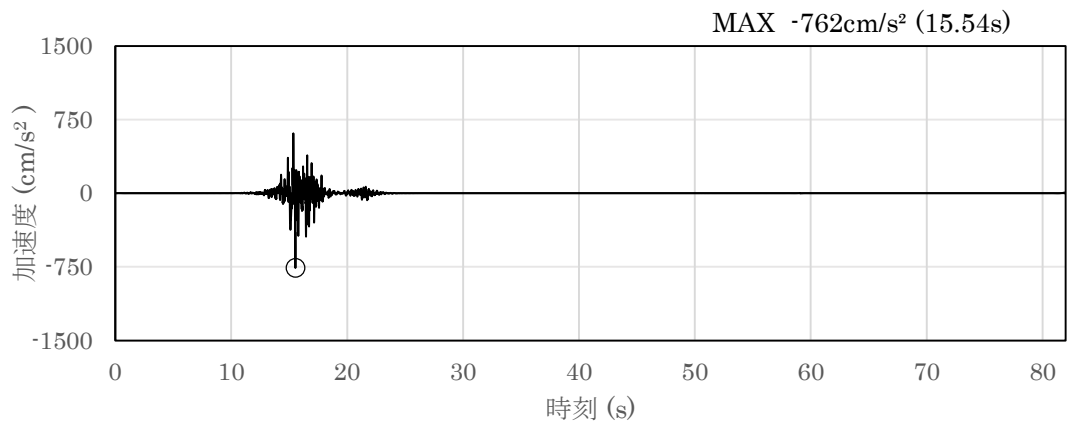


(a) 加速度時刻歴波形

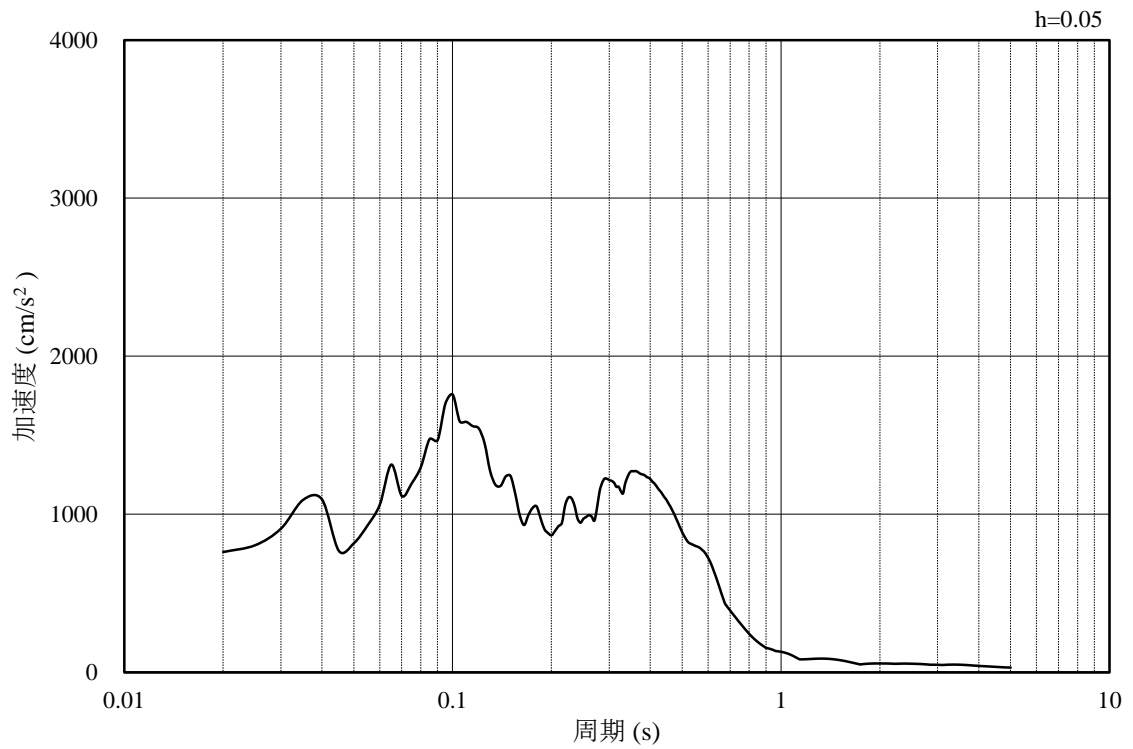


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-9 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
 (鉛直成分 : S s - F 2 (N S))

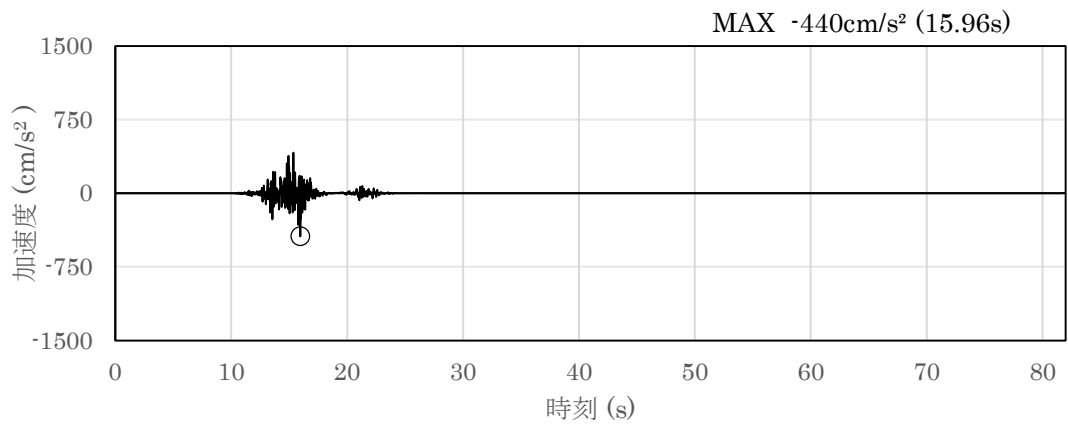


(a) 加速度時刻歴波形

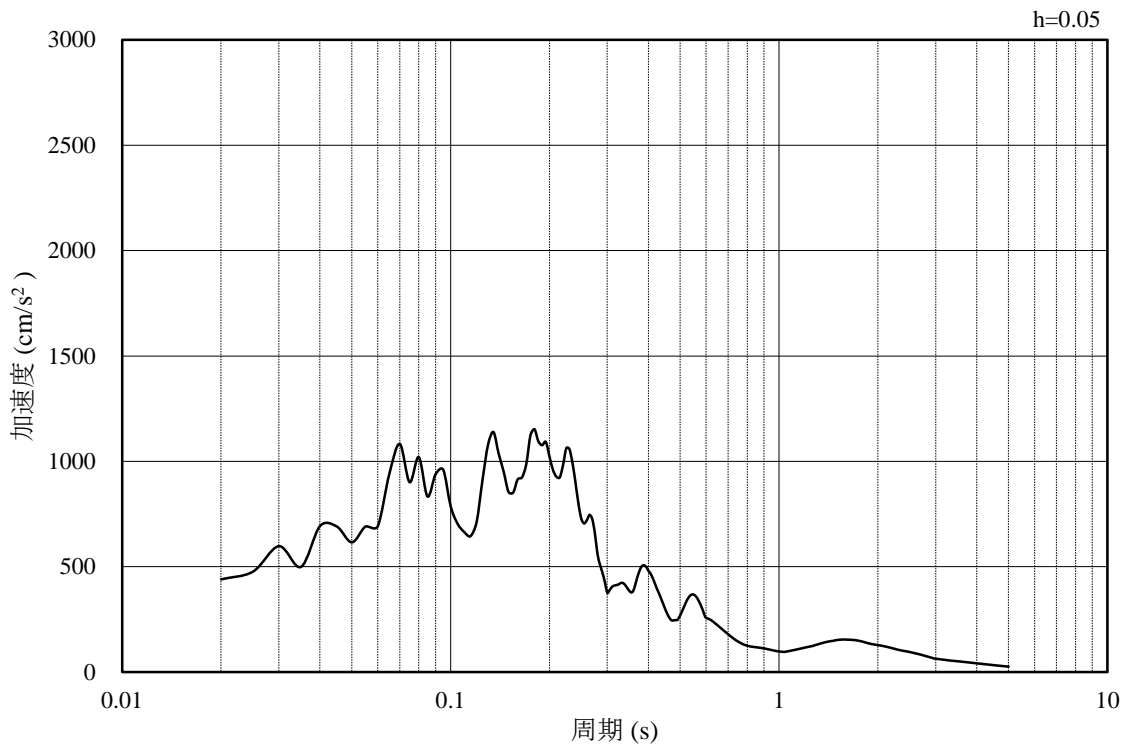


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-10 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
(水平成分：S s - F 2 (EW))

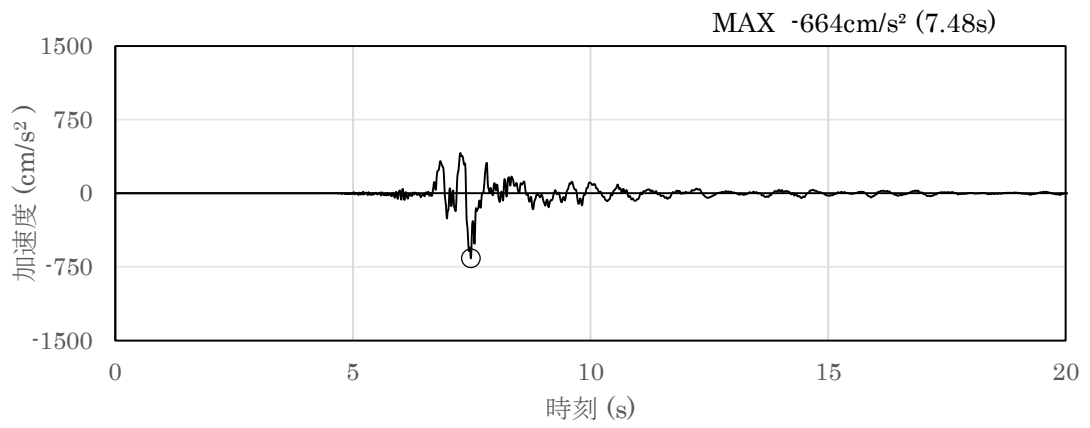


(a) 加速度時刻歴波形

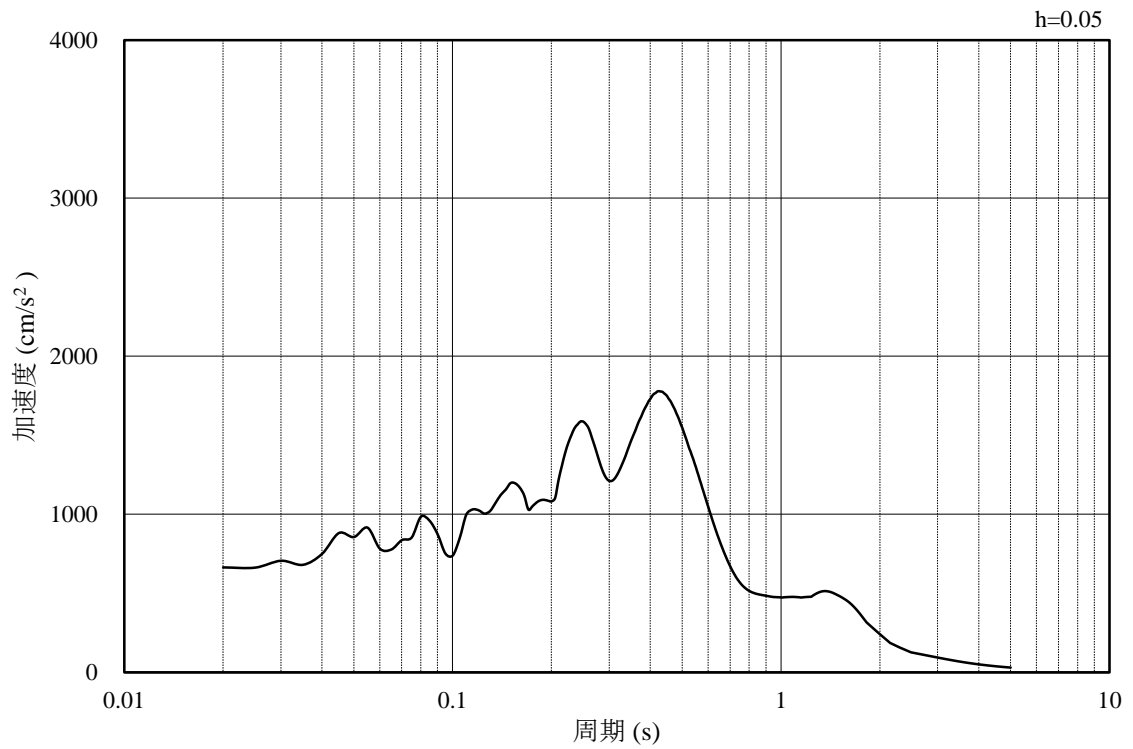


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-11 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
(鉛直成分：S s - F 2 (EW))

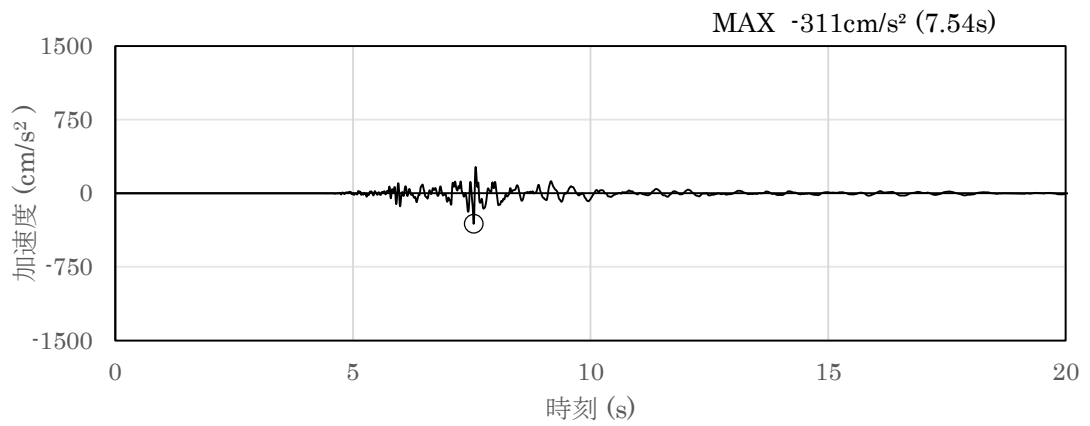


(a) 加速度時刻歴波形

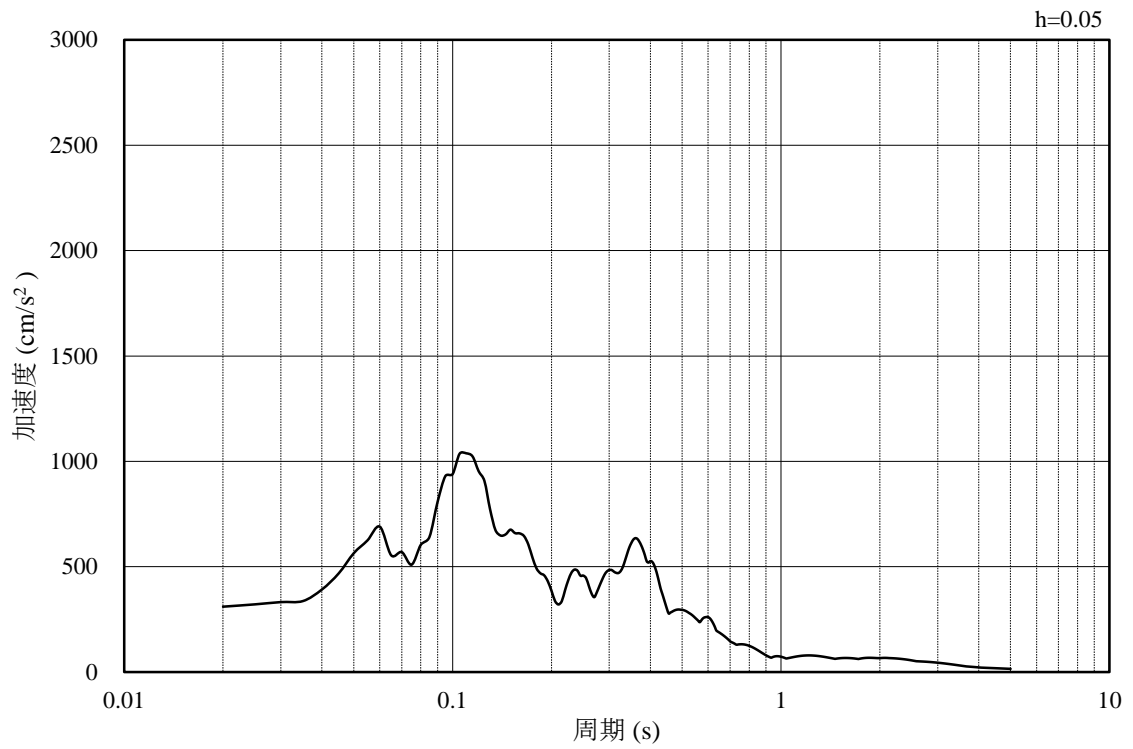


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-12 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
(水平成分 : S s - N 1)

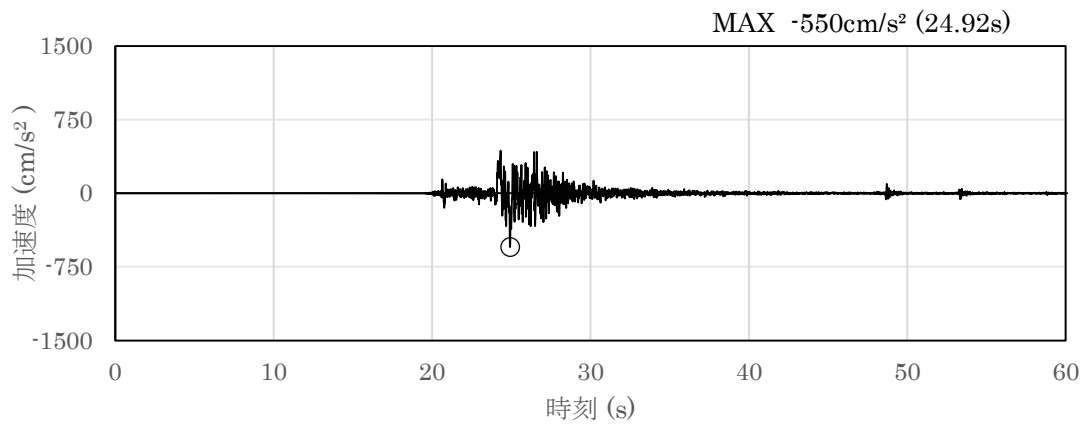


(a) 加速度時刻歴波形

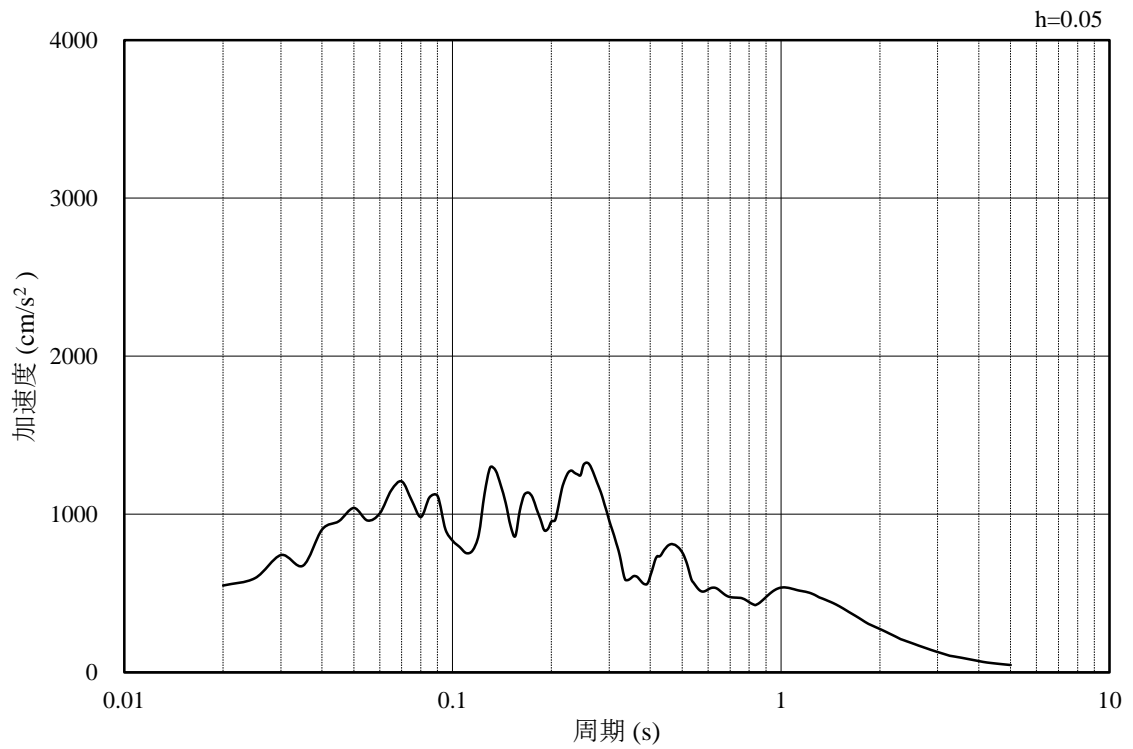


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-13 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
(鉛直成分 : S s - N 1)

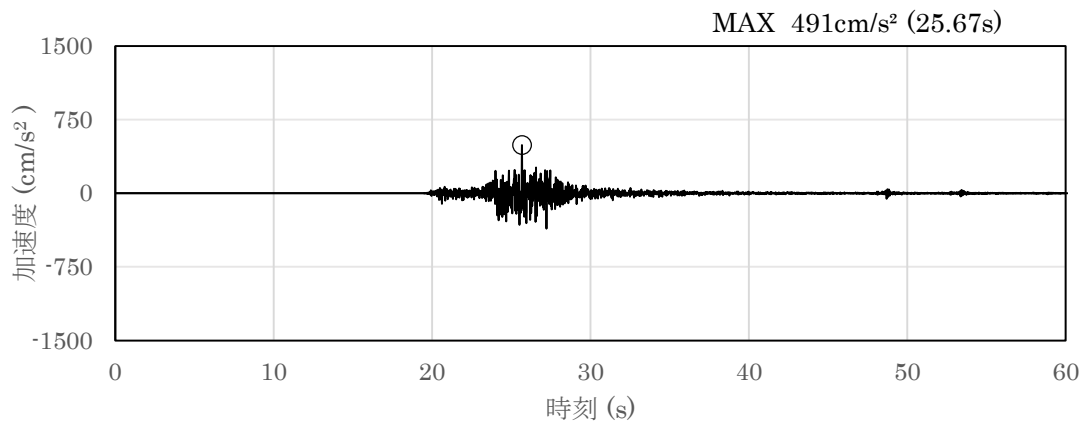


(a) 加速度時刻歴波形

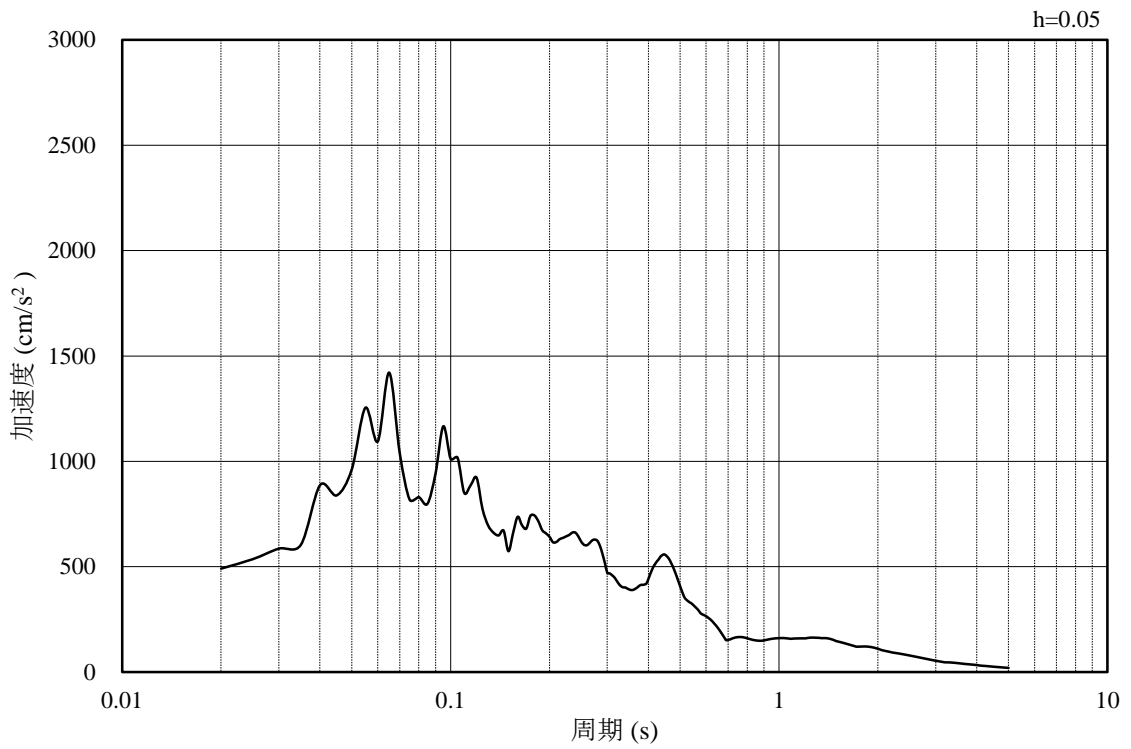


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-14 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
 (水平成分 : S s - N 2 (N S))

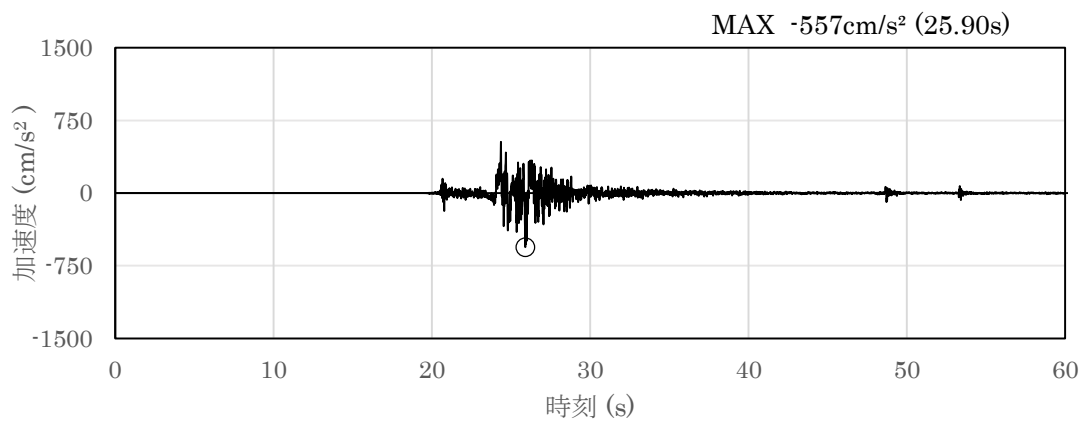


(a) 加速度時刻歴波形

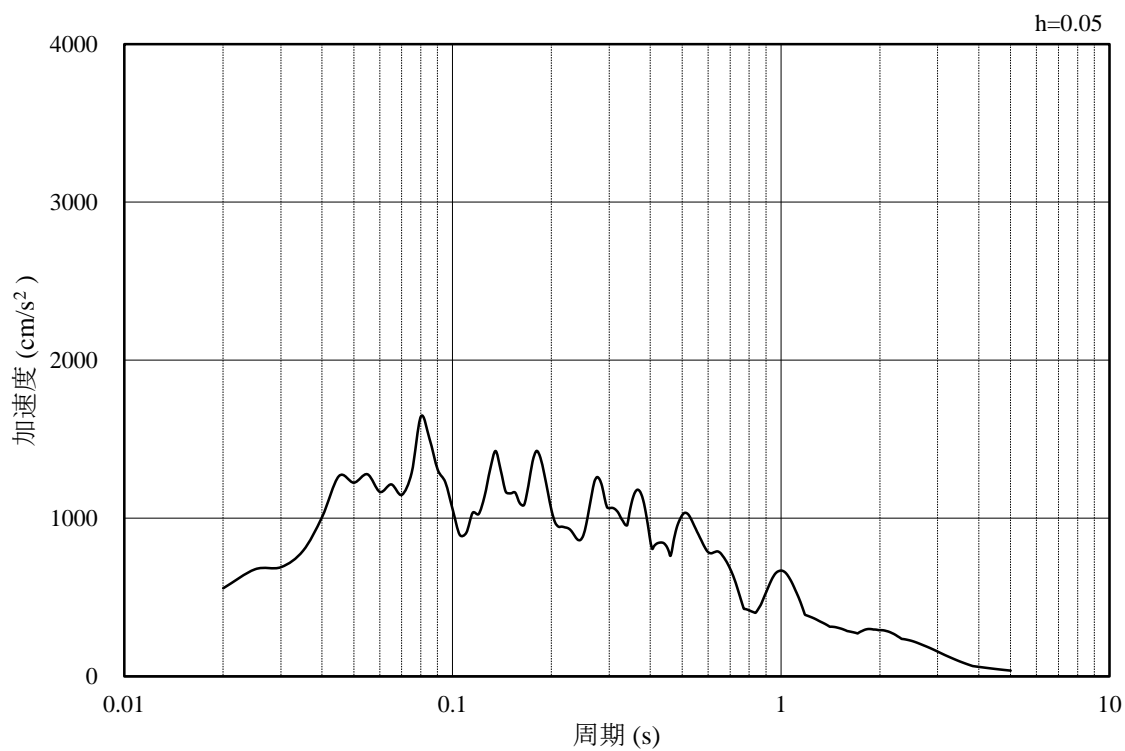


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-15 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
 (鉛直成分：S s - N 2 (N S))

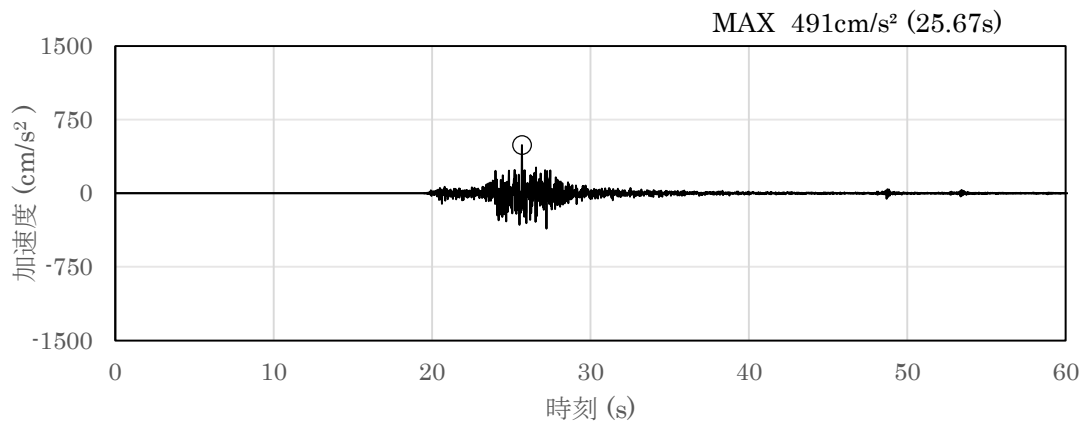


(a) 加速度時刻歴波形

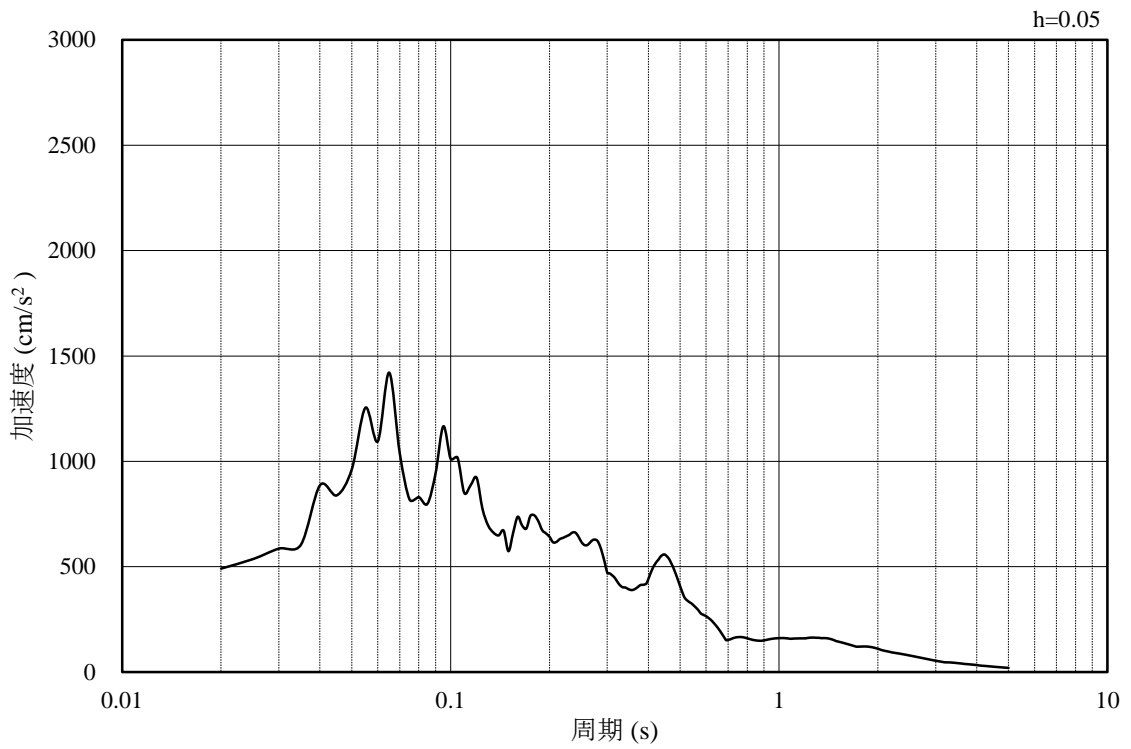


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-16 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
 (水平成分 : S s - N 2 (EW))

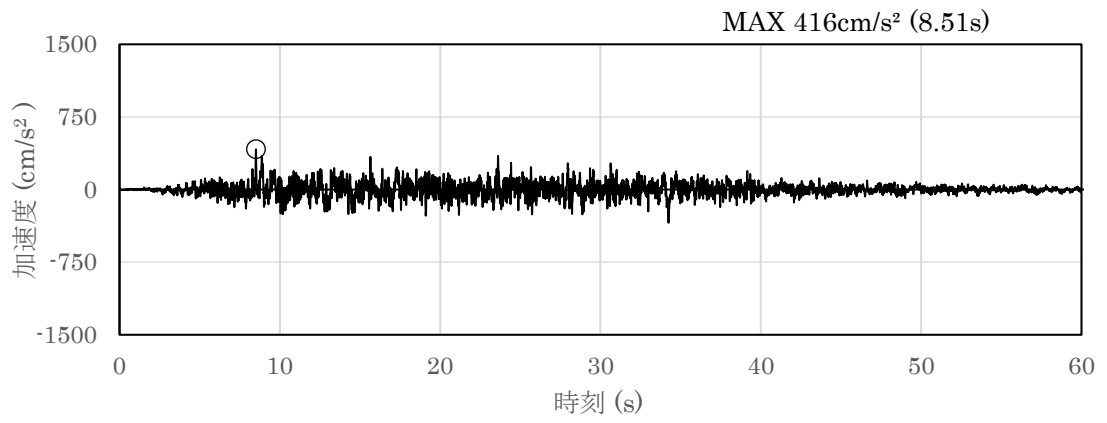


(a) 加速度時刻歴波形

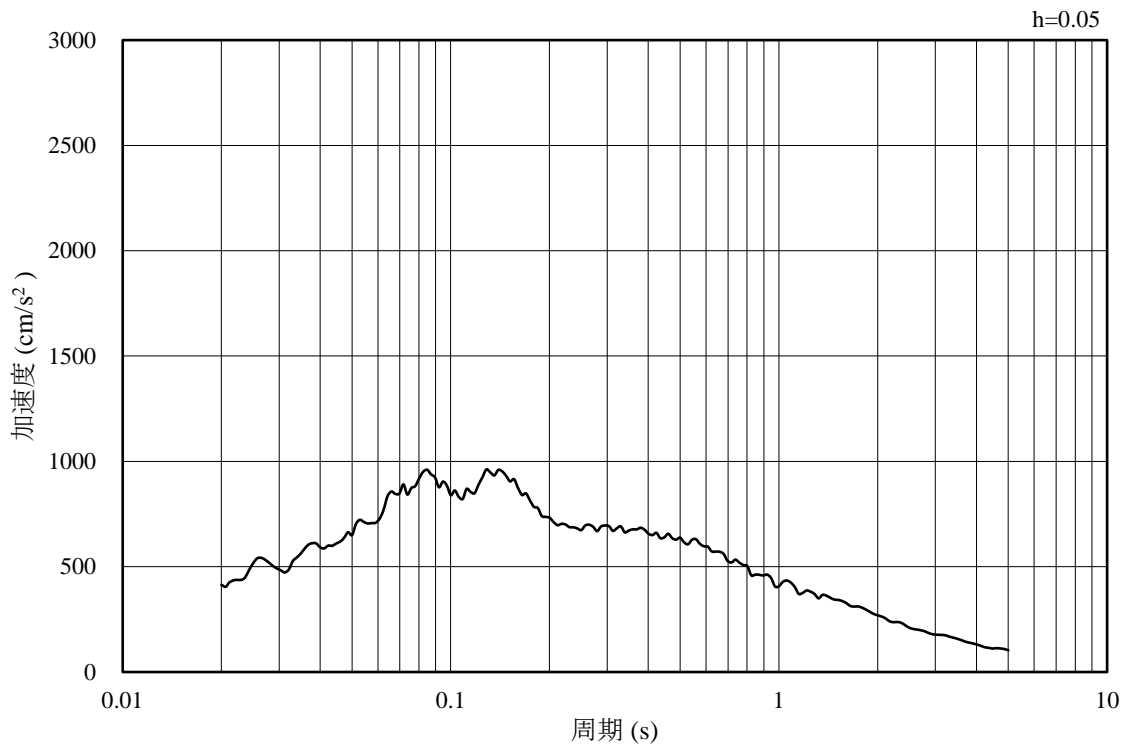


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-17 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
 (鉛直成分：S s - N 2 (EW))

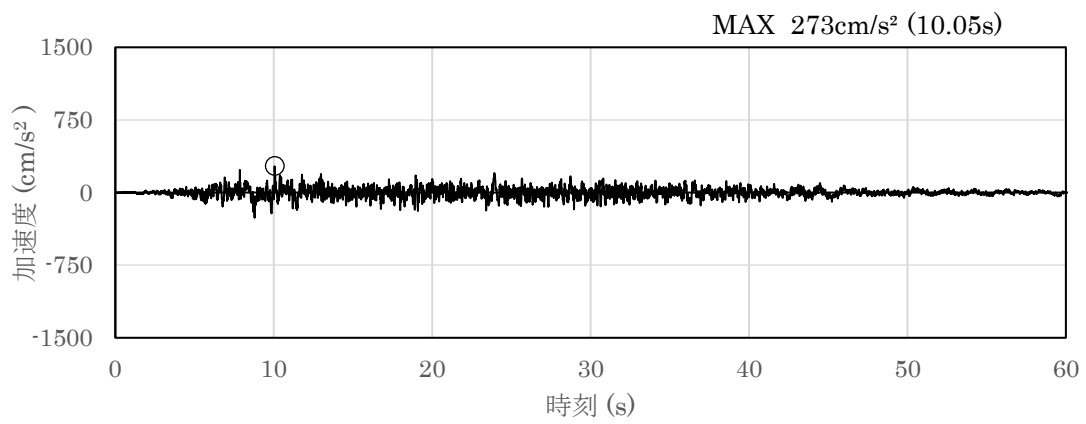


(a) 加速度時刻歴波形

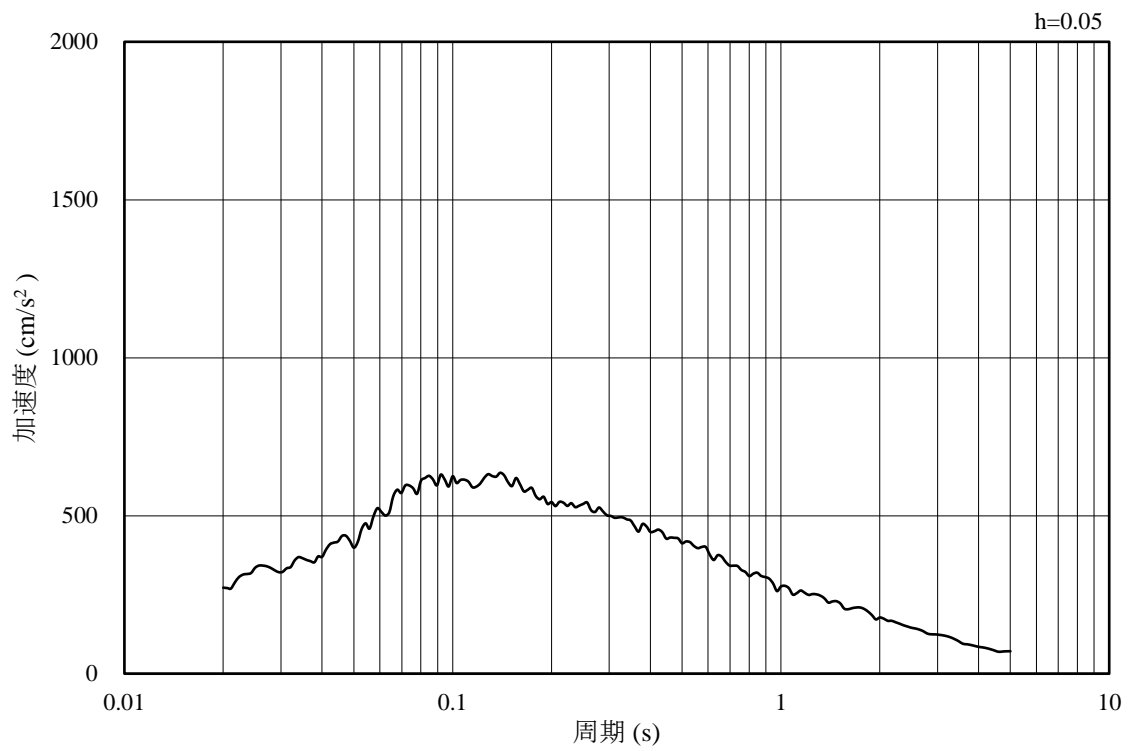


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-18 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
(水平成分：S d - D)

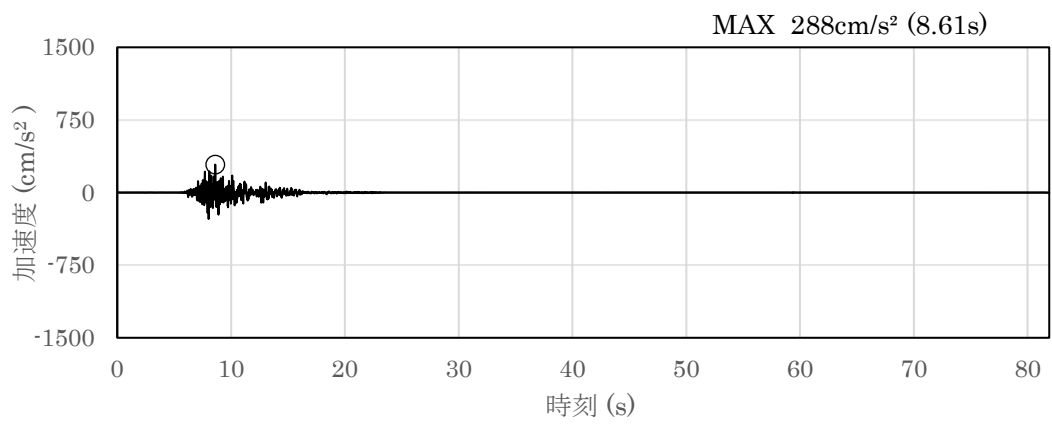


(a) 加速度時刻歴波形

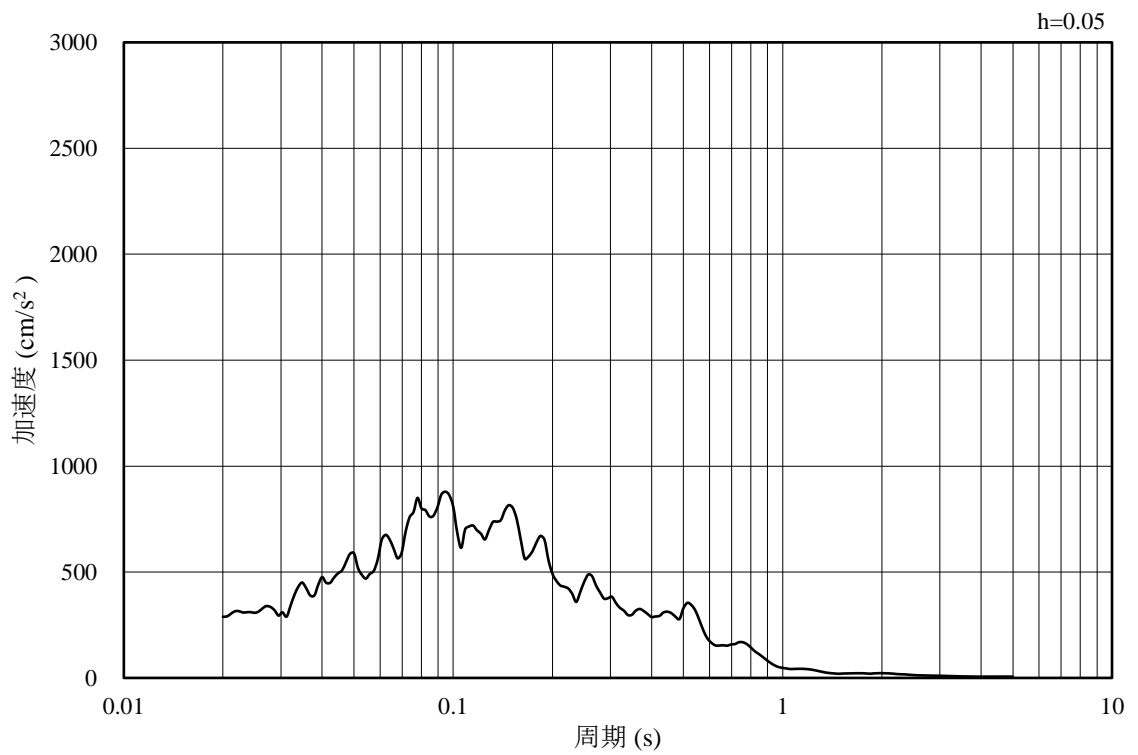


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-19 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
(鉛直成分：S d - D)

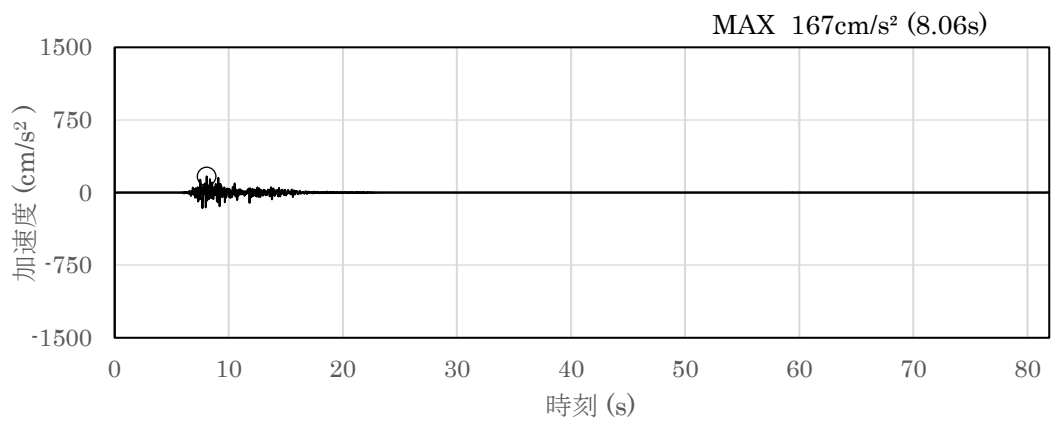


(a) 加速度時刻歴波形

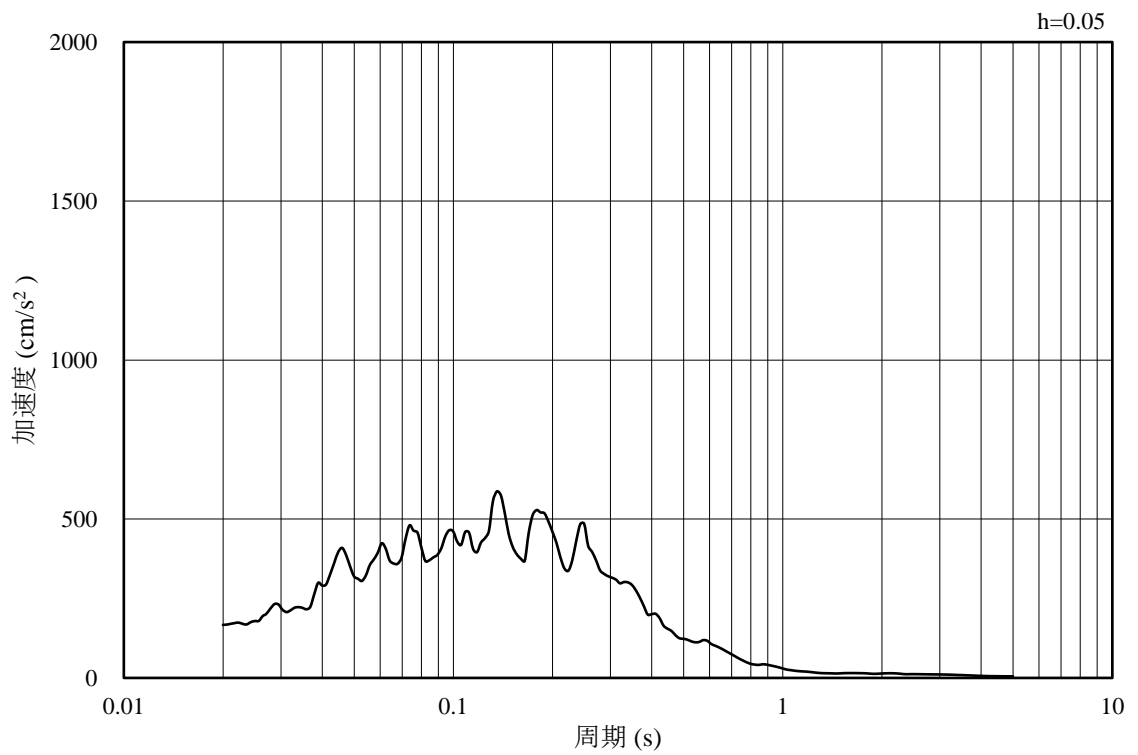


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-20 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
(水平成分 : S d - F 1 (N S))

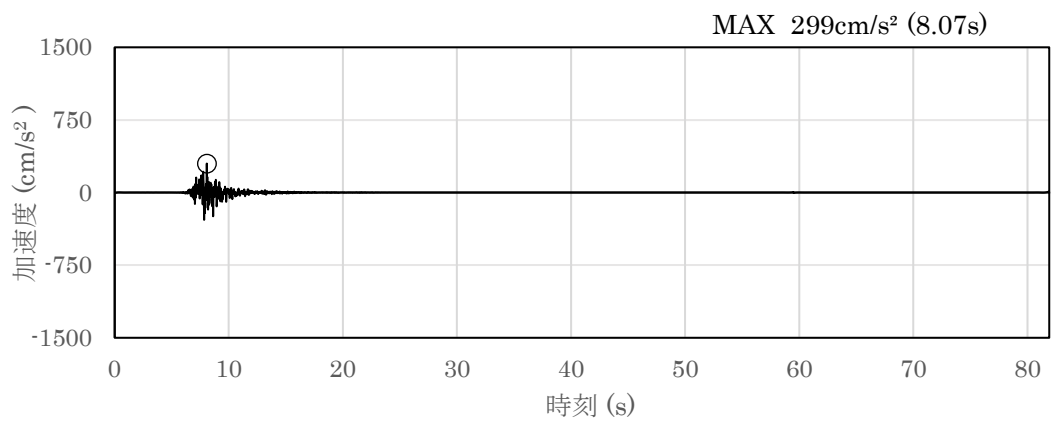


(a) 加速度時刻歴波形

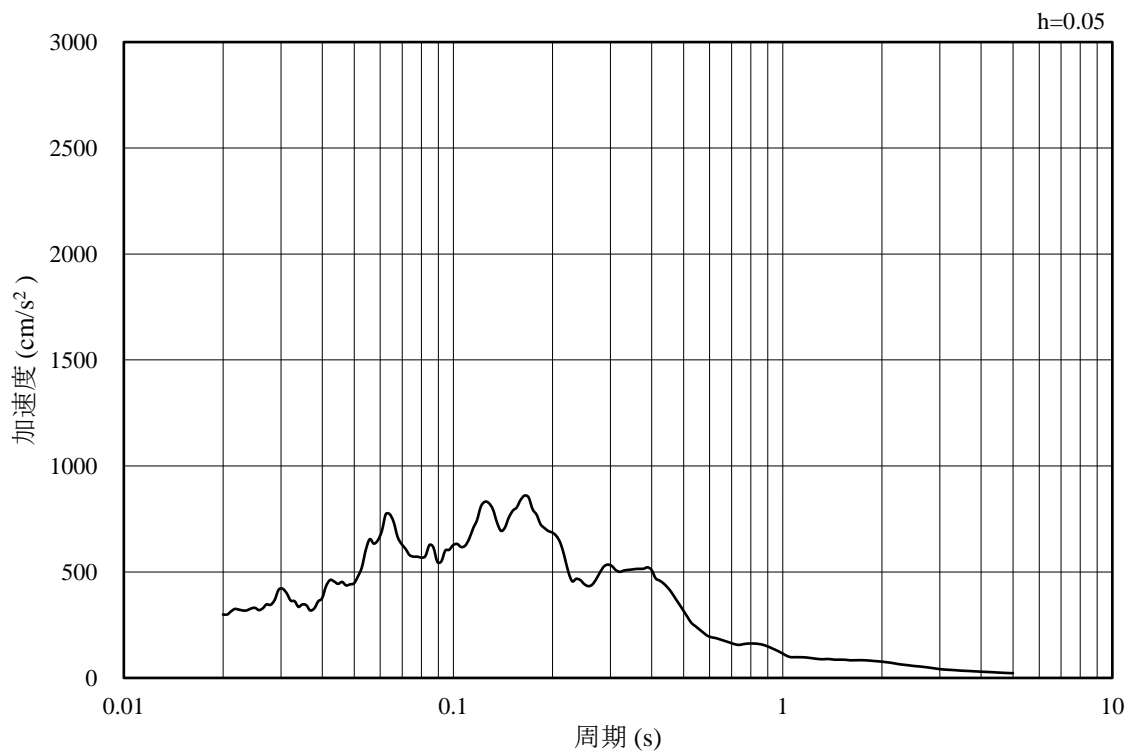


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-21 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
(鉛直成分：S d - F 1 (NS))

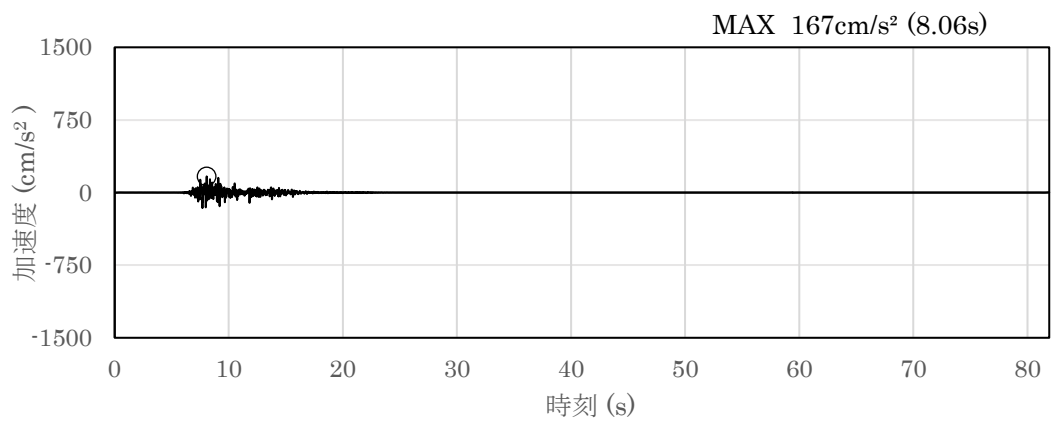


(a) 加速度時刻歴波形

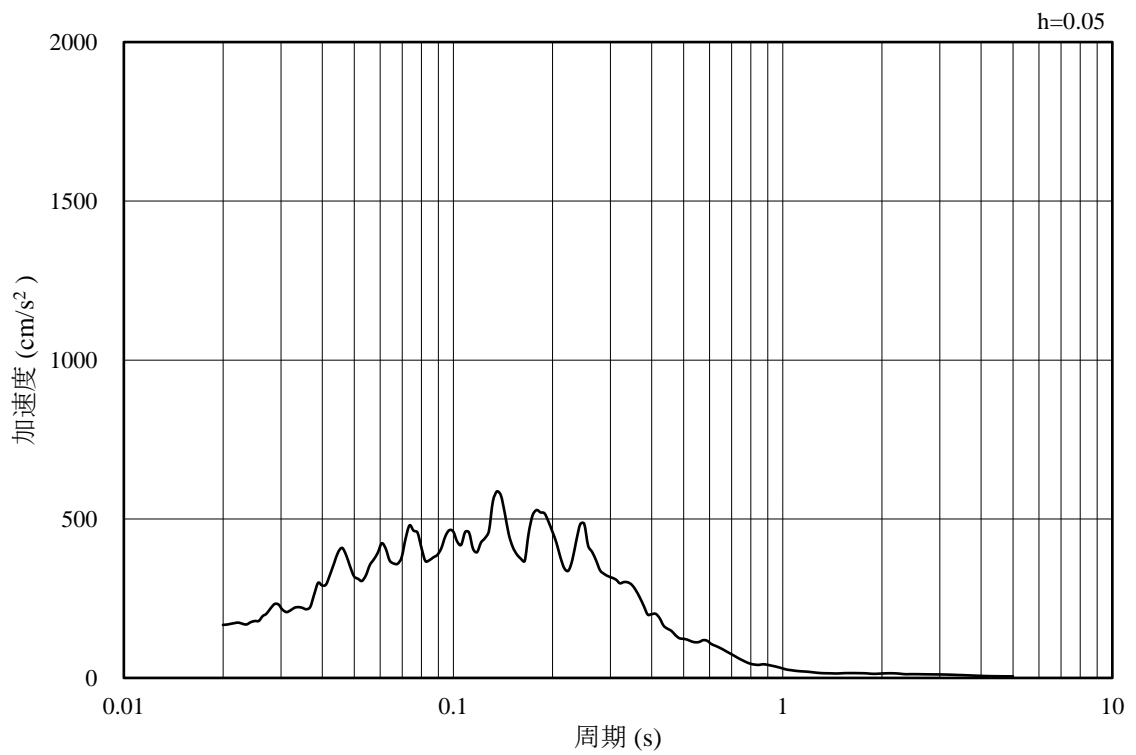


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-22 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
(水平成分 : S d - F 1 (EW))

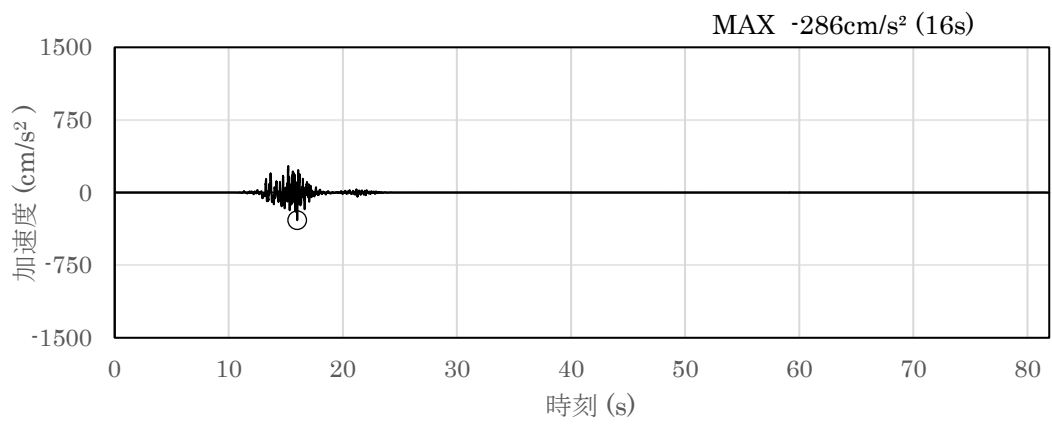


(a) 加速度時刻歴波形

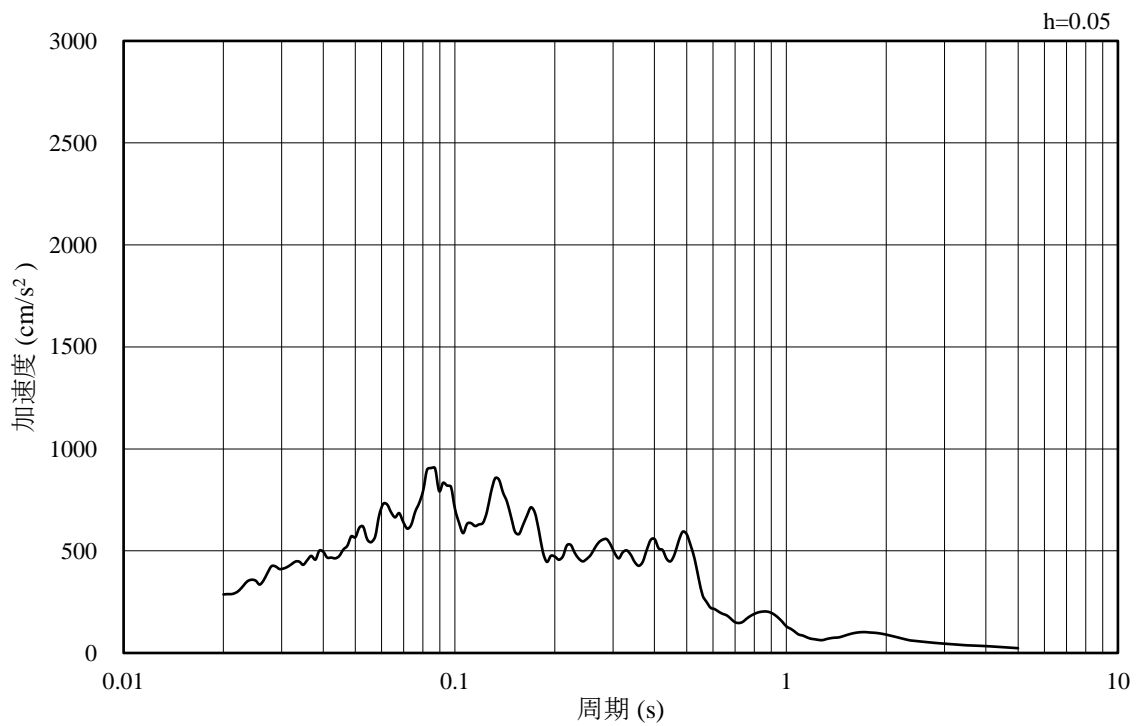


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-23 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
 (鉛直成分：S d - F 1 (EW))

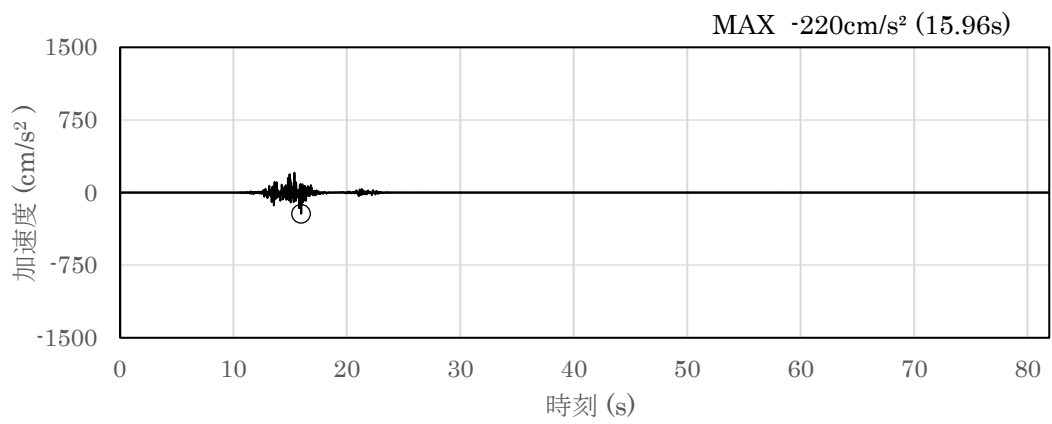


(a) 加速度時刻歴波形

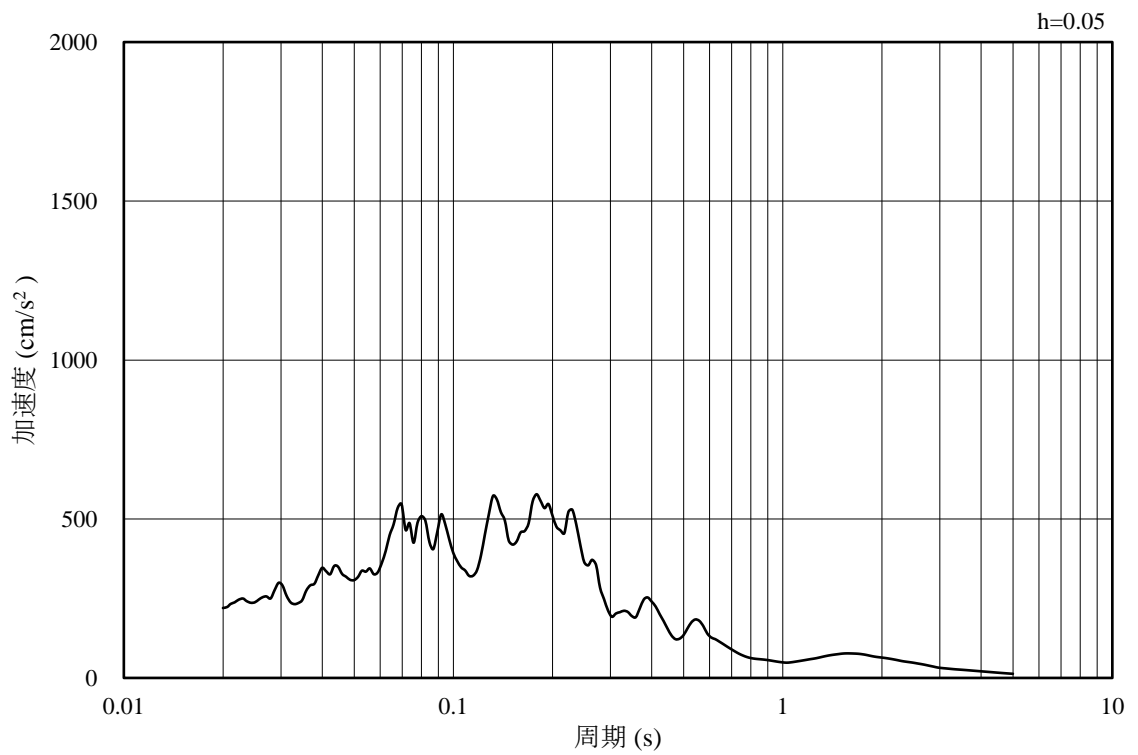


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-24 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
(水平成分：S d - F 2 (NS))

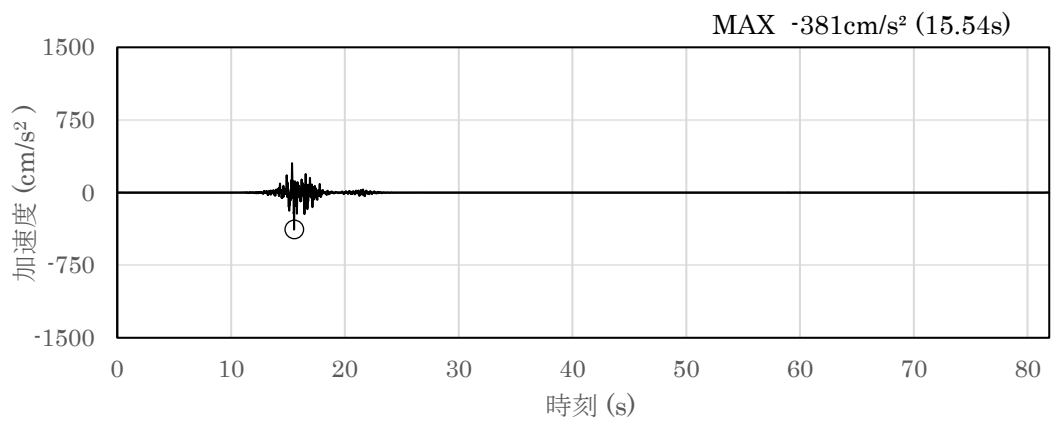


(a) 加速度時刻歴波形

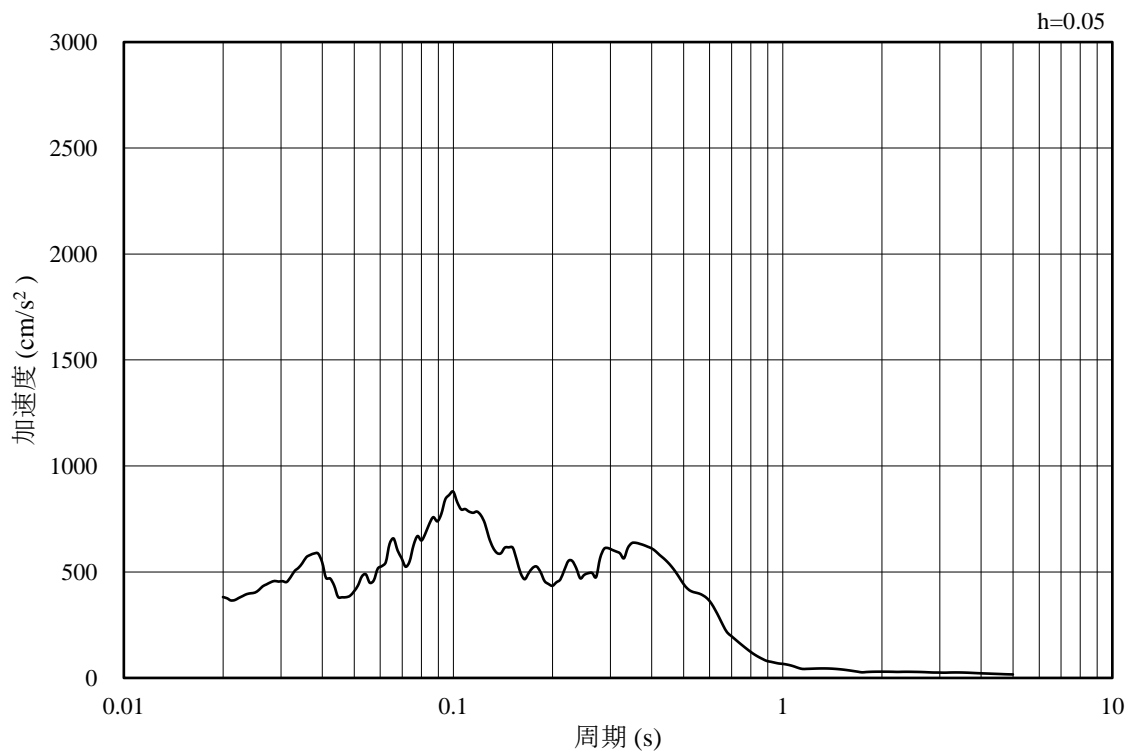


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-25 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
(鉛直成分：S d - F 2 (NS))

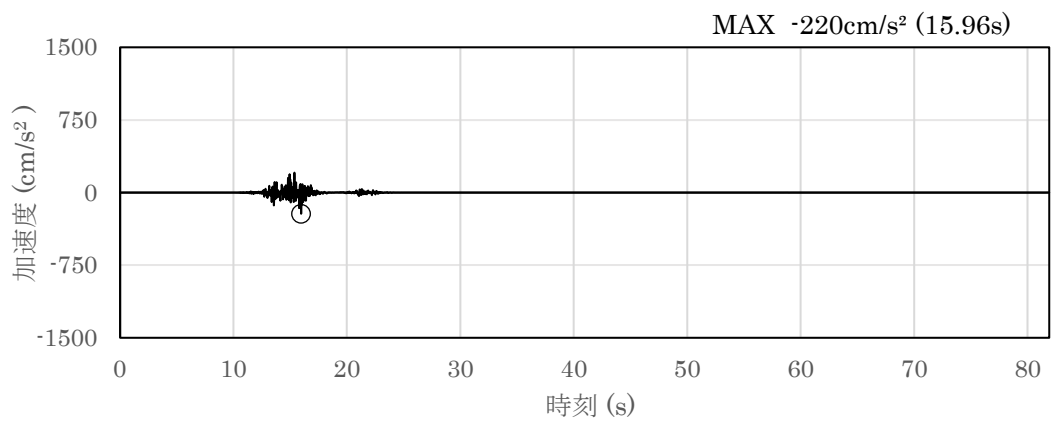


(a) 加速度時刻歴波形

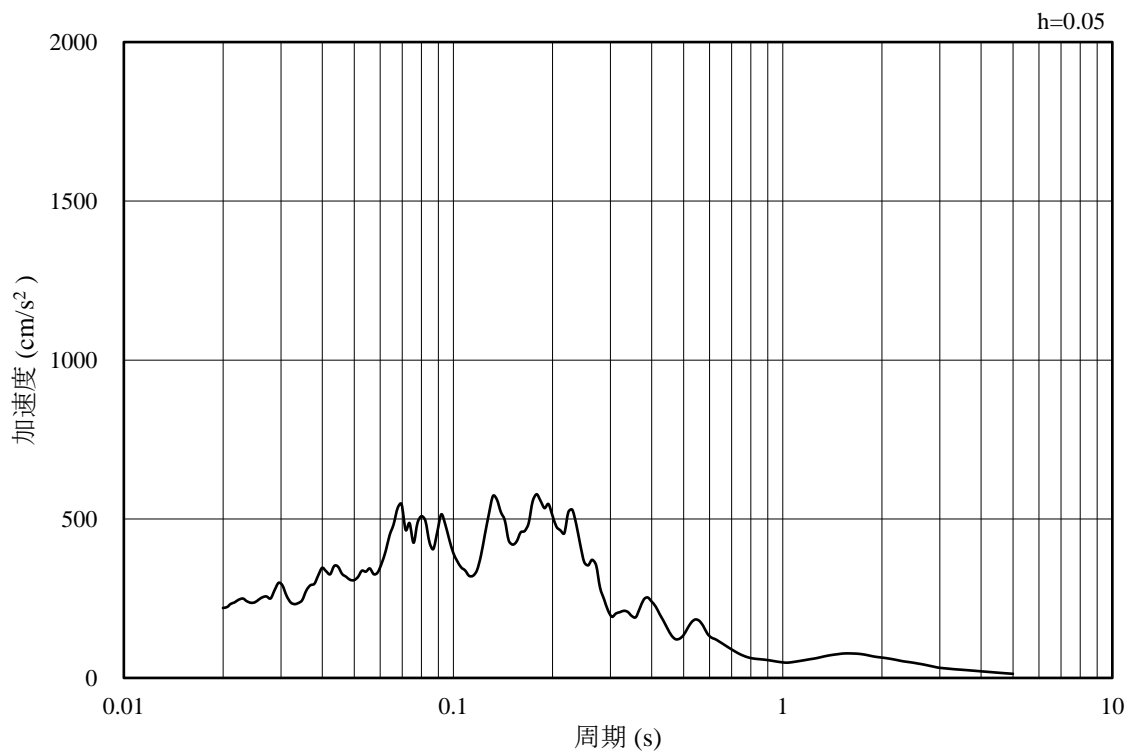


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-26 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
(水平成分 : S d - F 2 (EW))

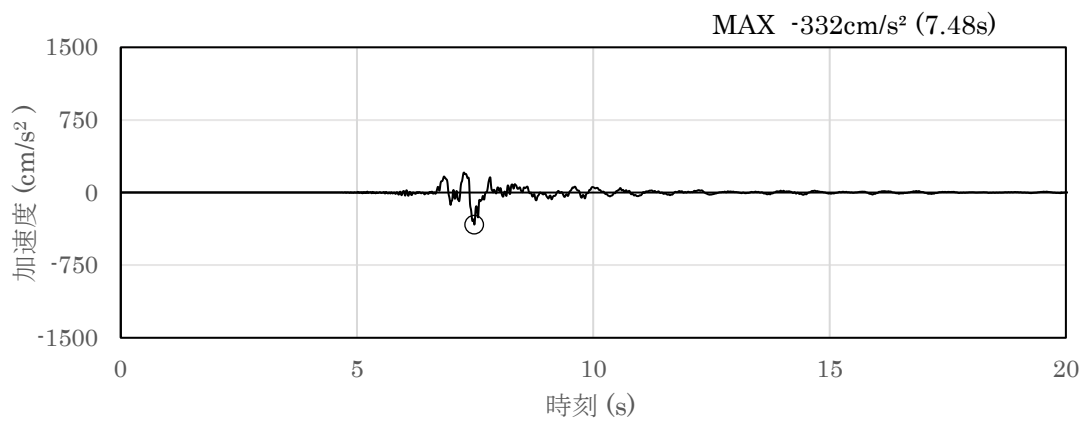


(a) 加速度時刻歴波形

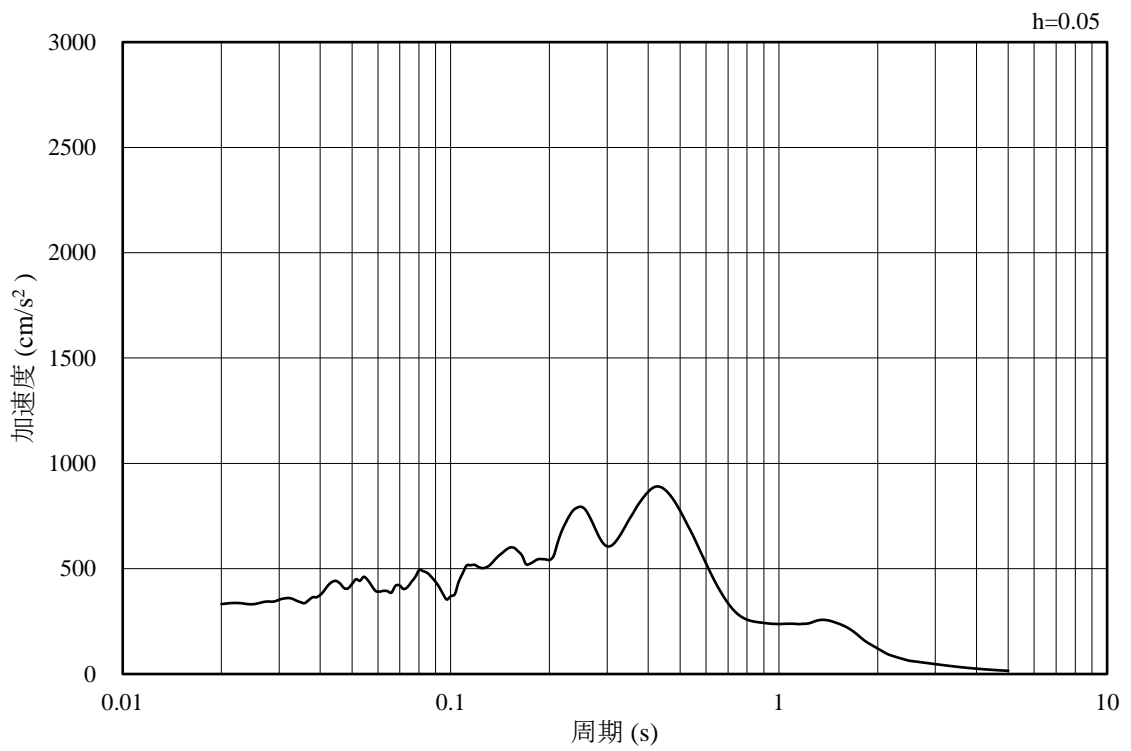


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-27 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
 (鉛直成分：S d - F 2 (EW))

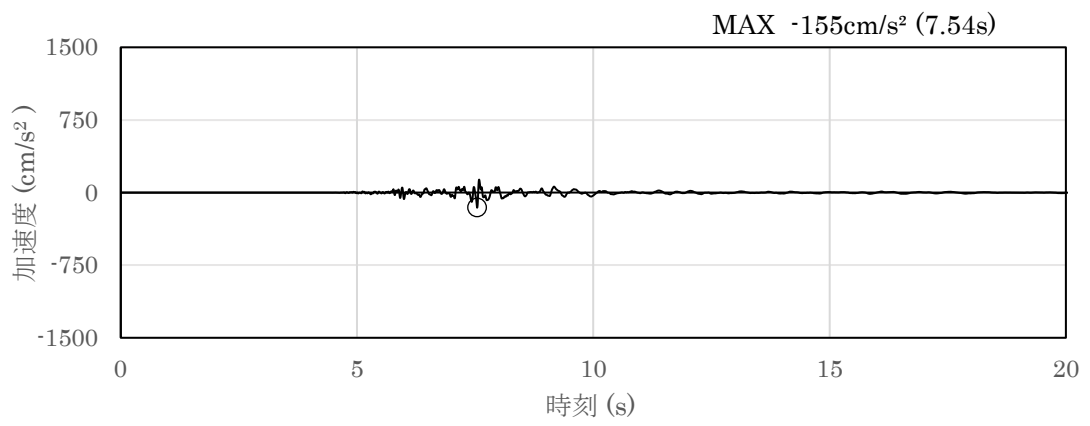


(a) 加速度時刻歴波形

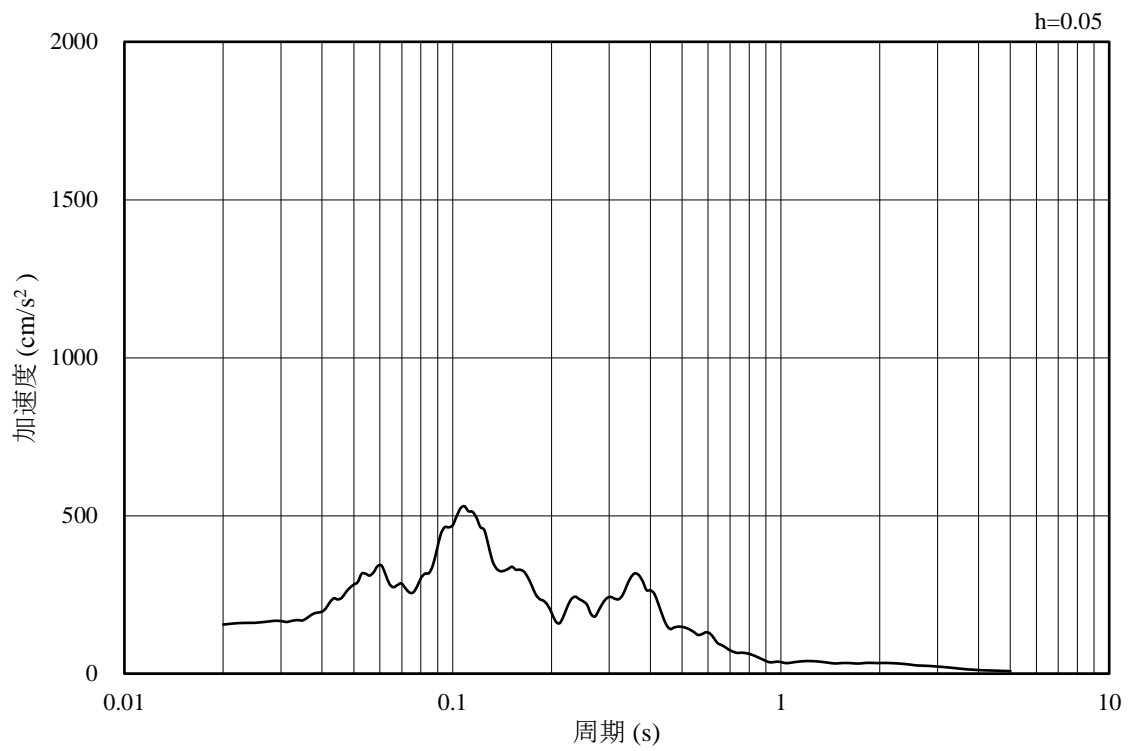


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-28 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
(水平成分 : S d - N 1)

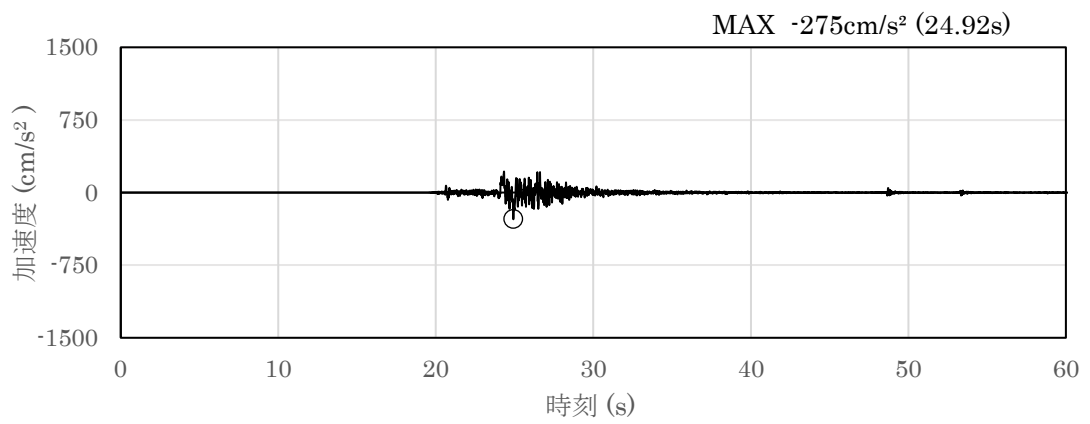


(a) 加速度時刻歴波形

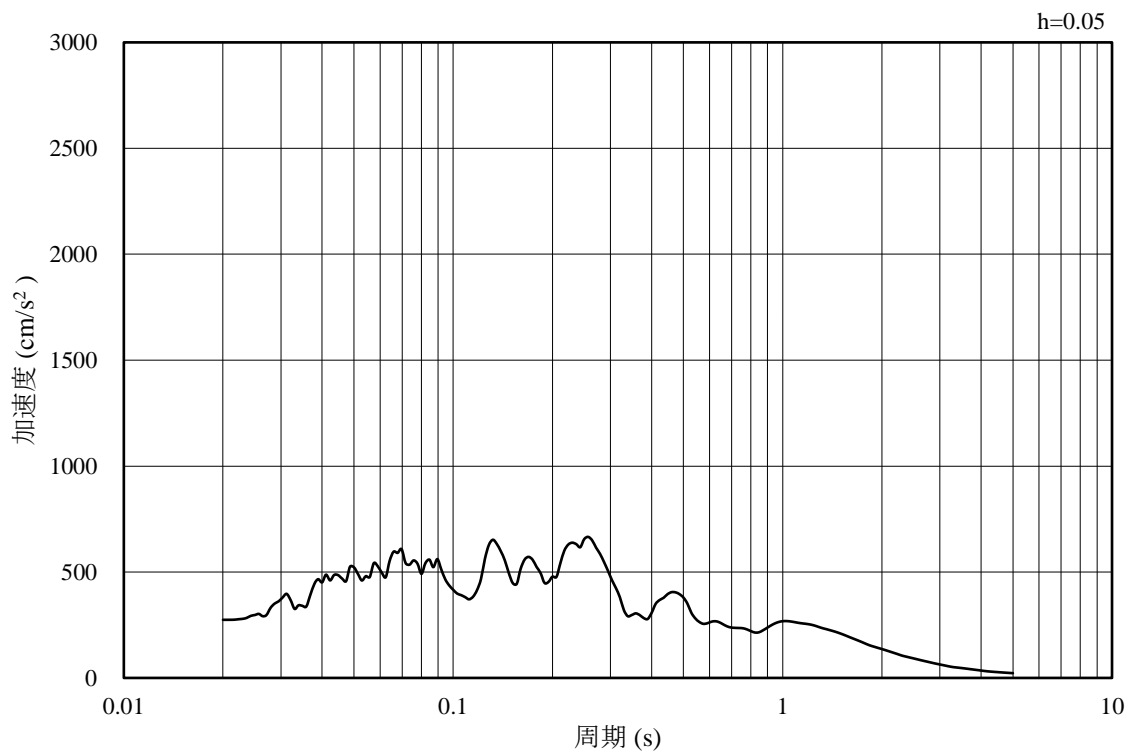


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-29 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
(鉛直成分：S d - N 1)

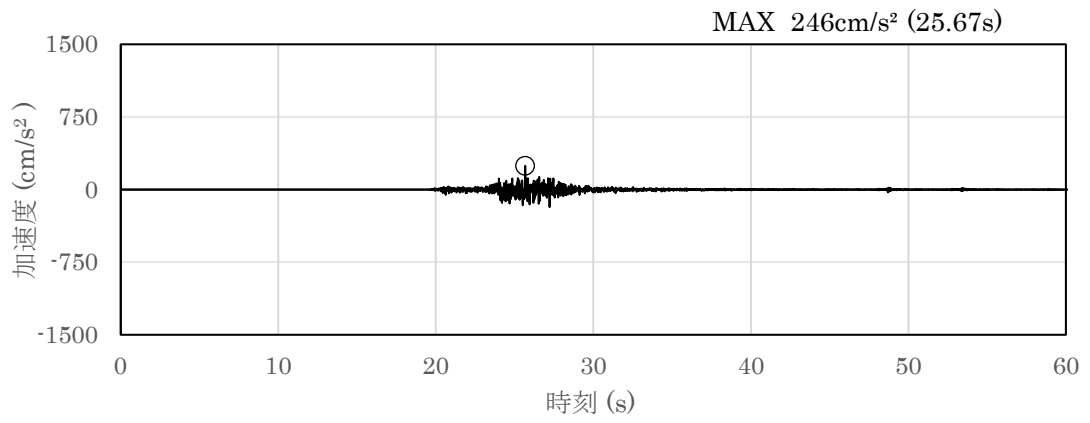


(a) 加速度時刻歴波形

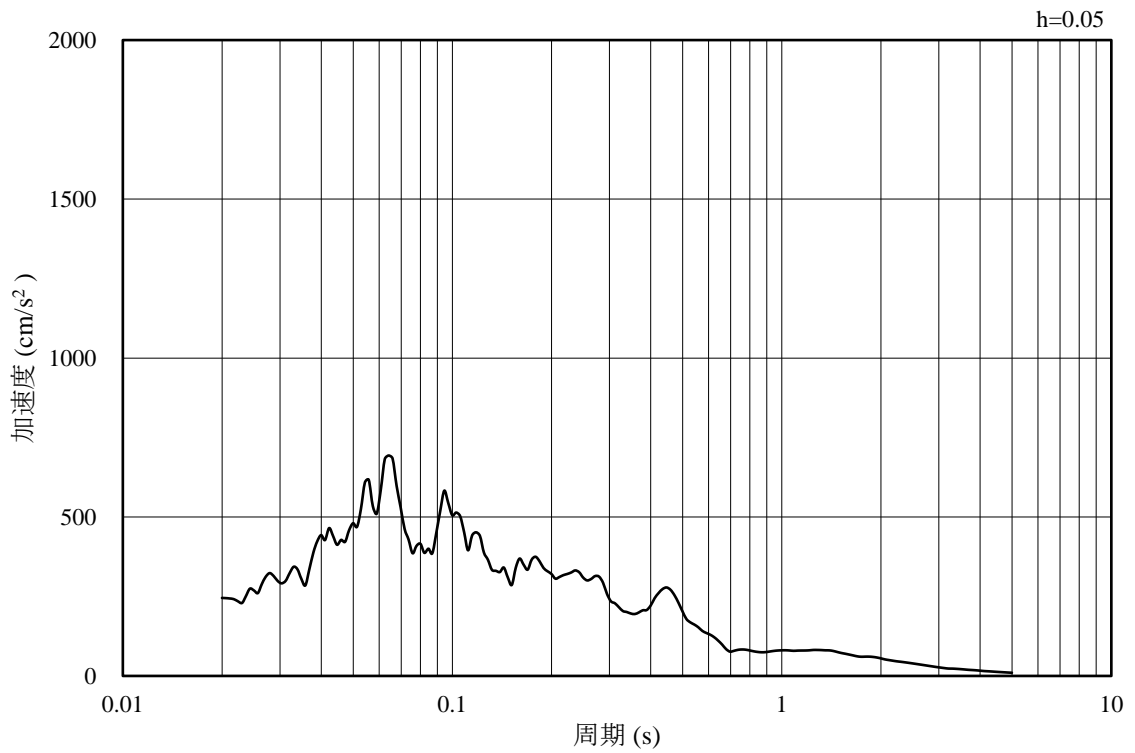


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-30 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
 (水平成分 : S d - N 2 (N S))

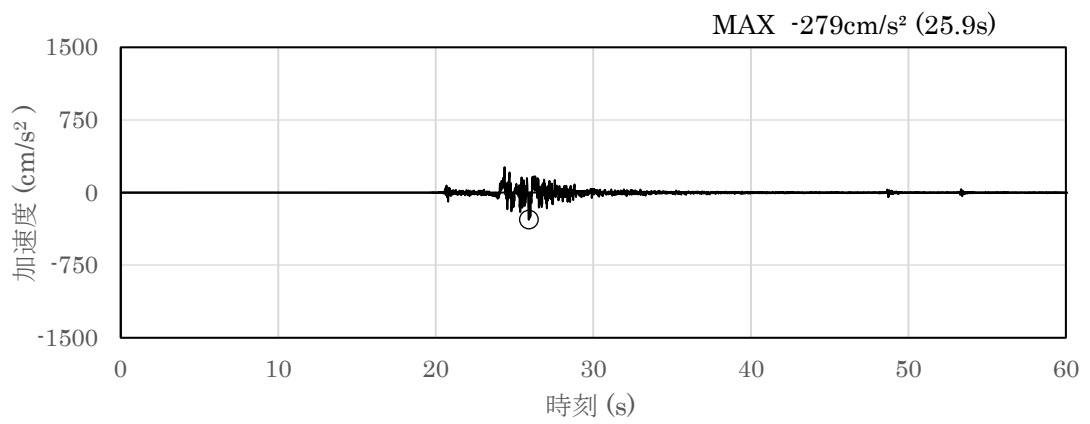


(a) 加速度時刻歴波形

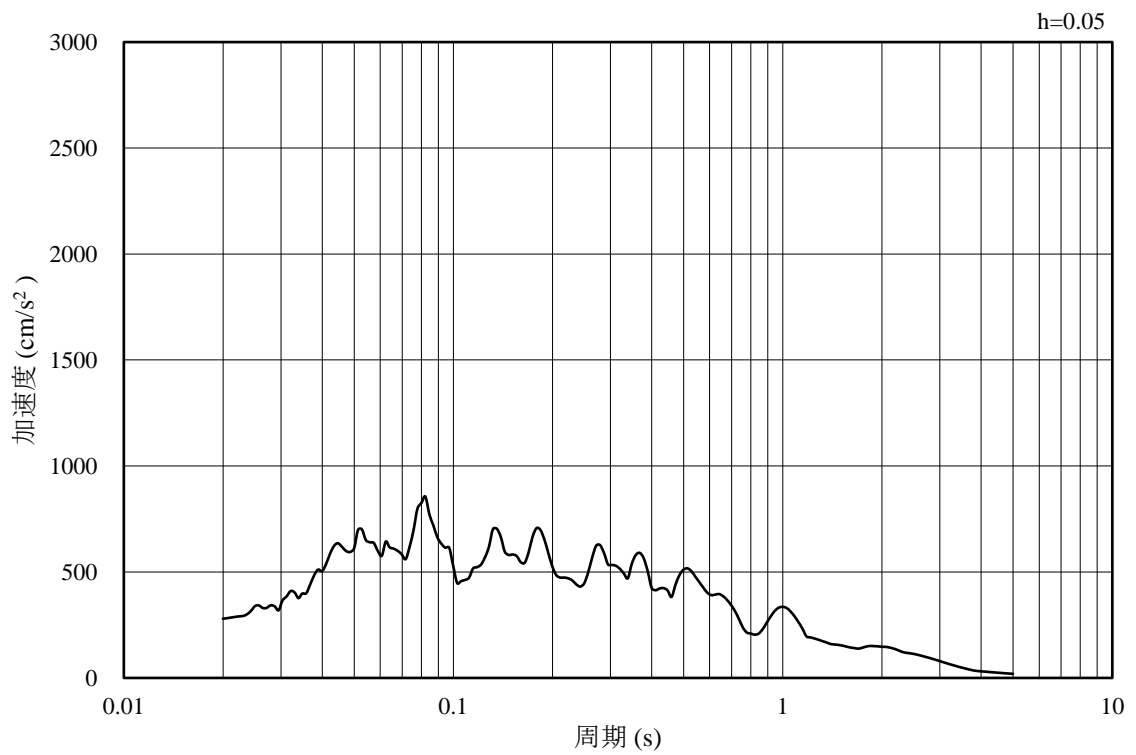


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-31 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
(鉛直成分：S d - N 2 (N S))

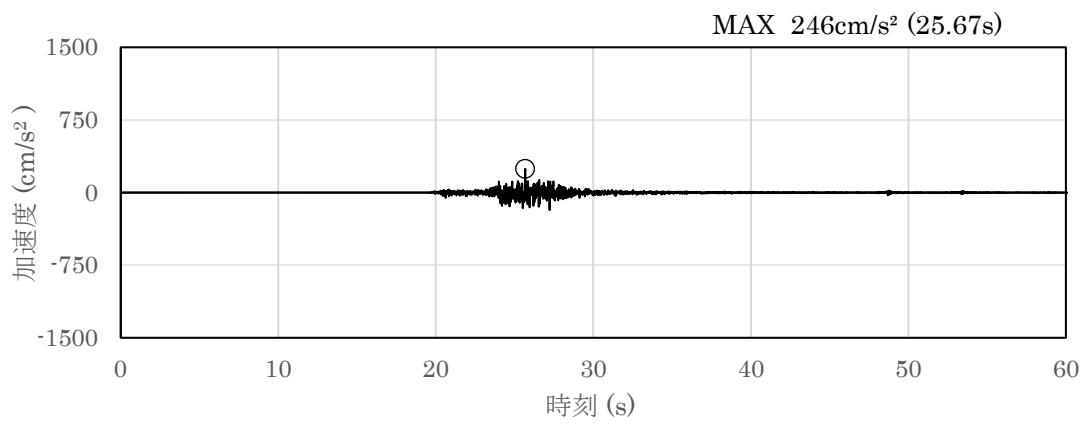


(a) 加速度時刻歴波形

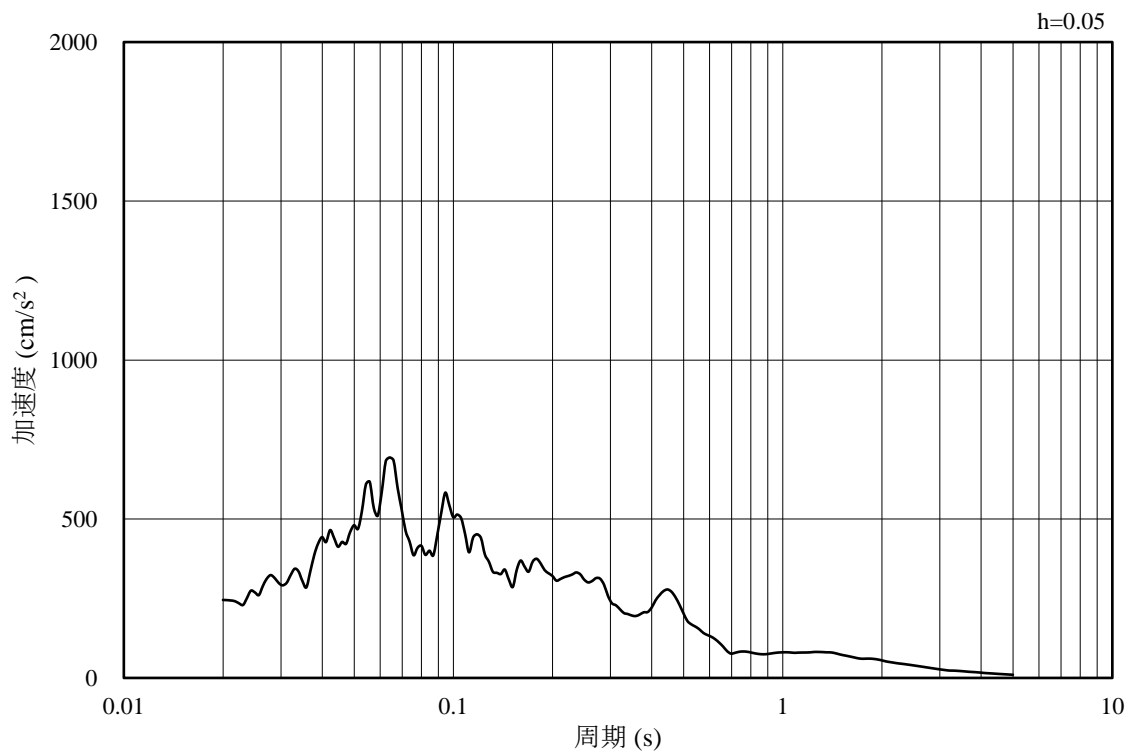


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-32 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
 (水平成分 : S d - N 2 (EW))

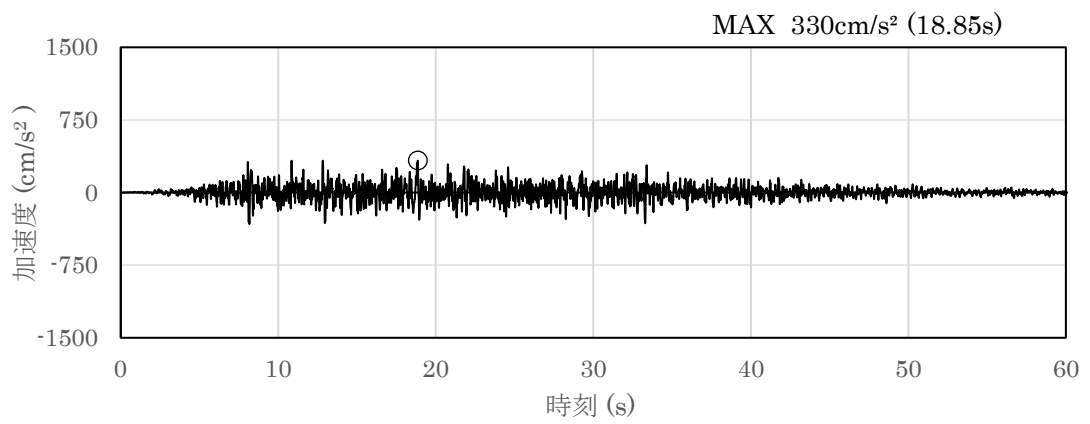


(a) 加速度時刻歴波形

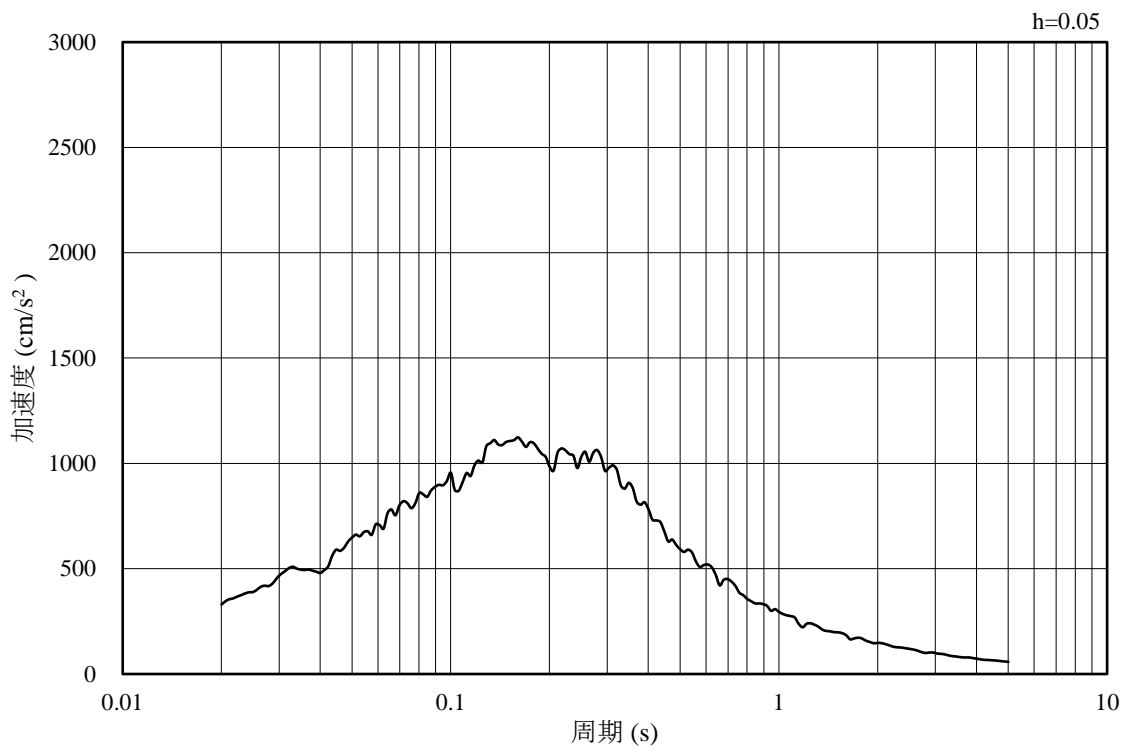


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-33 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
(鉛直成分：S d - N 2 (EW))

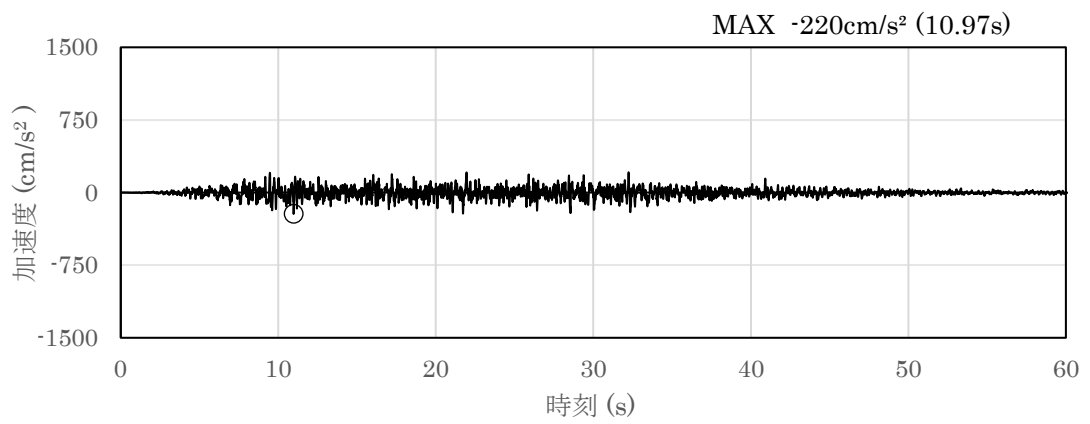


(a) 加速度時刻歴波形

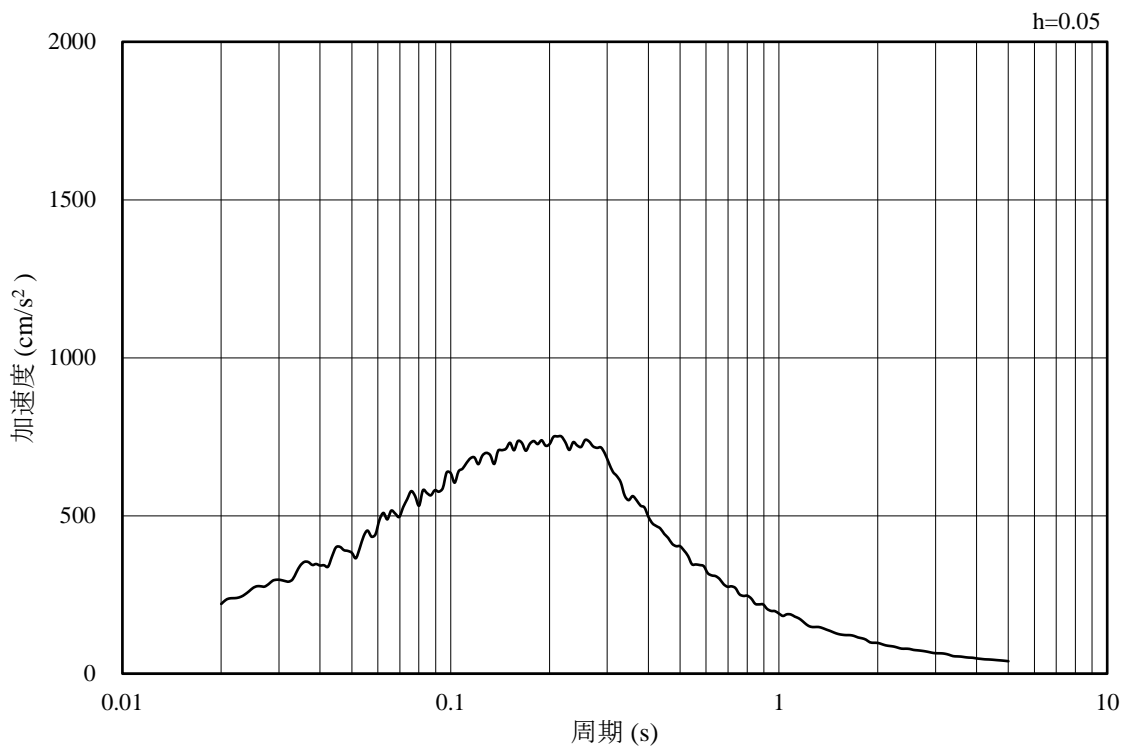


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-34 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
(水平成分: S d - 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-35 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
(鉛直成分: S d - 1)

4.2 許容限界の設定

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価は、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「2. 屋外重要土木構造物の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容」に示すとおり、各構造物の要求機能と要求機能に応じた許容限界を設定し照査を行う。

耐震安全性評価は、限界状態設計法を用いることとし、限界状態設計法については以下に詳述する。

4.2.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアル 2005 に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%）とする。

土木学会マニュアル 2005 では、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる照査用ひずみは、地震応答解析により得られた応答値に安全係数（構造解析係数）1.2 を乗じることにより、曲げ・軸力系の破壊に対する安全余裕を見込むこととする。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 4-1 に示す。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 μ) *

注記* : $\gamma_i \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_R} < 1.0$

ここで, γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

ε_R : 限界ひずみ (圧縮縁コンクリートひずみ 10000 μ)

ε_d : 照査用ひずみ ($\varepsilon_d = \gamma_a \cdot \varepsilon$)

γ_a : 構造物解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

ε : 圧縮縁の発生ひずみ

4.2.2 せん断破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

また、せん断耐力式による照査において照査用せん断力が上記のせん断耐力を上回る場合、線形被害による照査を実施する。

$$\gamma_i \cdot \frac{V_d}{V_{yd}} < 1.0$$

ここで、 γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

V_{yd} : せん断耐力

V_d : 照査用せん断力 ($V_d = \gamma_a \cdot V$)

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.05$)

V : 発生せん断力

棒部材式

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$$

ここで、 $V_{y d}$: せん断耐力

$V_{c d}$: コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$: せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c}$$

$$f_{v c d} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{c d}} \quad \text{ただし、} f_{v c d} > 0.72 (\text{N/mm}^2) \quad \text{となる場合は}$$

$$f_{v c d} = 0.72 (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d [\text{m}]) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \quad \text{となる場合は} \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \quad \text{となる場合は} \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_o / M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \quad \text{となる場合は} \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2M_o / M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \quad \text{となる場合は} \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし、} \beta_a < 1.0 \quad \text{となる場合は} \beta_a = 1.0$$

ここで、 $f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm^2) で設計基準強度 $f'_{c k}$ を材料係数 $\gamma_{m c}$ 除したもの

$$p_v : \text{引張鉄筋比} \quad p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_d : 設計曲げモーメント

M_o : M_d に対する引張縁において、軸力方向によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント) $M_o = N'_d \cdot D / 6$

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

$\gamma_{b c}$: 部材係数

$\gamma_{m c}$: 材料係数

$$V_{s d} = \left\{ A_w f_{w y d} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z / \gamma_{b s}$$

- ここで、 A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積
 $f_{w y d}$: せん断補強鉄筋の降伏強度を $\gamma_{m s}$ で除したもので、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm^2 以上のときは 800N/mm^2 以下とする。
 α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度
 s : せん断補強鉄筋の配置間隔
 z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$ とする。
 $\gamma_{b s}$: 部材係数
 $\gamma_{m s}$: 材料係数

また、土木学会マニュアル 2005 におけるせん断耐力式による評価においては、表 4-2 に示すとおり、複数の安全係数が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

表 4-2 せん断耐力式による評価において考慮している安全係数

安全係数			せん断照査		内容
			応答値算定	限界値算定	
材料係数	コンクリート	$\gamma_{m c}$	1.0	1.3	コンクリートの特性値を低減
	鉄筋	$\gamma_{m s}$	1.0	1.0	—
部材係数*	コンクリート	$\gamma_{b c}$	—	1.3	せん断耐力（コンクリート負担分）を低減
	鉄筋	$\gamma_{b s}$	—	1.1	せん断耐力（鉄筋負担分）を低減
構造解析係数		γ_a	1.05	—	応答値（断面力）の割り増し

注記*：土木学会マニュアル 2005 では、部材係数 $\gamma_b = \gamma_{b 1} \cdot \gamma_{b 2}$

$$\gamma_{b 1} = \begin{cases} 1.3 & (\text{コンクリート}) \\ 1.1 & (\text{鉄筋}) \end{cases}$$

$$\gamma_{b 2} = \begin{cases} 1.0 & (R \leq 0.01) \\ \frac{100R + 2}{3} & (0.01 < R \leq 0.025) \\ 1.5 & (R > 0.025) \end{cases}$$

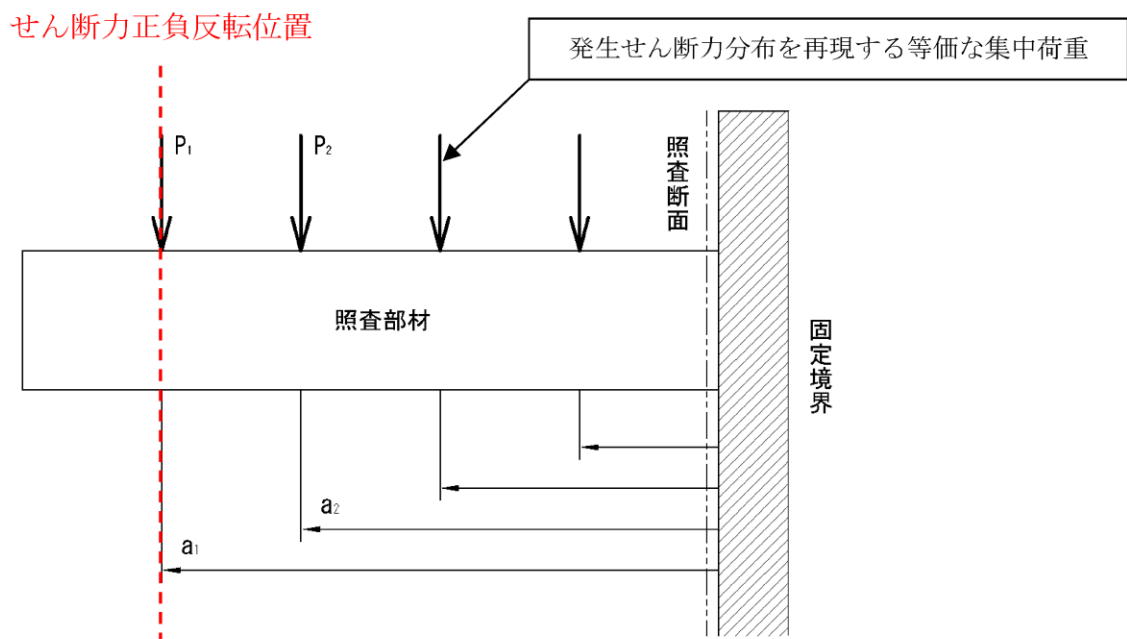
ここで、R：層間変形角とされている。

$\gamma_{b 2}$ は層間変形角の値によらず、部材が降伏していない状態であれば、 $\gamma_{b 2} = 1.0$ としてよいとされている。

4.2.3 せん断破壊に対する許容限界（線形被害則による照査方法）

「4.2.2 せん断破壊に対する許容限界」に示したせん断耐力式による照査において照査用せん断力がせん断耐力を上回る場合、分布荷重下にある部材のせん断耐力照査を合理的に行う手法として、土木学会マニュアル 2005 に基づき、線形被害則による照査を行う。照査手順を以下に記載し、線形被害則による照査方法を図 4-36 に示す。また、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽における線形被害則を適用した部材における照査結果を参考資料 3 に示す。

- ①ある照査対象時刻の地震応答解析結果より、着目する部材の発生せん断力が正負反転する節点までを照査対象範囲として設定し、発生せん断力分布を再現する等価な集中荷重を算定する。
- ②各集中荷重の作用位置に基づいて、せん断スパンを設定し、せん断スパン比から算定式を選定する。
- ③照査断面を設定し、各集中荷重に対する照査断面のせん断耐力を算定する。
- ④各集中荷重とせん断耐力の比（＝被害度）の総和をとり、構造物係数 γ_i を乗じた値が評価基準値 1.0 以下になることを確認する。



$$\gamma_i \cdot \left(\frac{P_1 \cdot \gamma_a}{V_1} + \frac{P_2 \cdot \gamma_a}{V_2} + \dots \right) \leq 1.0$$

γ_i : 構造物係数

γ_a : 構造解析係数

V_1 : 照査断面における P_1 に対するせん断耐力

V_2 : 照査断面における P_2 に対するせん断耐力

⋮

V_n : 照査断面における P_n に対するせん断耐力

図 4-36 線形被害則による照査方法

(1) 発生せん断力分布を再現する等価な集中荷重及びせん断スパンの算定

地震応答解析より得られた、分布荷重下にある部材に発生するせん断力分布を再現する等価な集中荷重の算定方法を図 4-37 に、土木学会マニュアル 2005 におけるせん断スパン比の取り方を図 4-38 に示す。

等価な集中荷重は、隣り合う要素に発生するせん断力の差であり、当該要素間の節点位置に作用させる。また、せん断スパンは、各集中荷重の作用位置と支承前面間の距離とする。なお、土木学会マニュアル 2005 では、せん断スパン比にハンチを考慮することができるが、ハンチは考慮しないものとする。

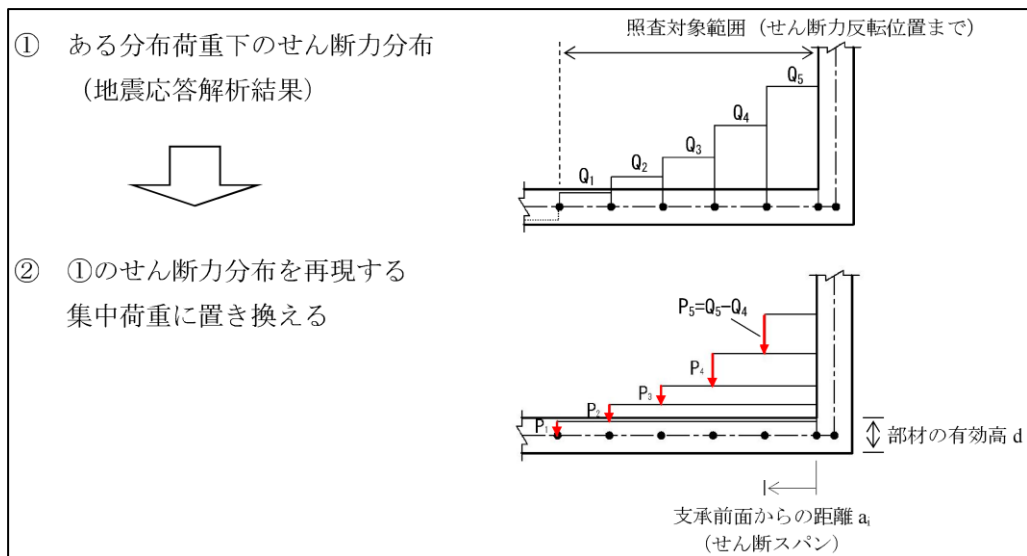


図 4-37 集中荷重の算定方法

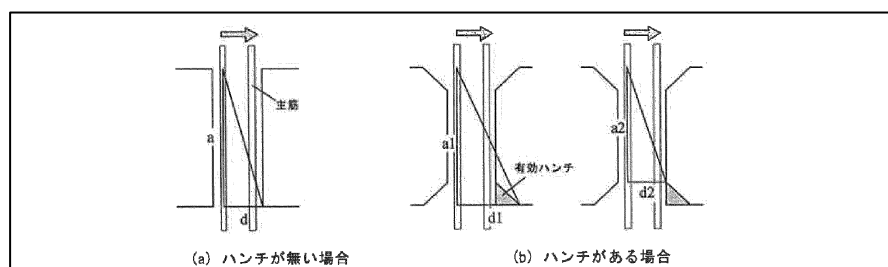


図 6.3-2 せん断スパン比 a/d の取り方

(3) せん断スパン比 a/d の取り方 (図 6.3-2 参照)

(a) ハンチが無い場合

部材の内法長さを a とし、有効部材厚を d とする。

(b) ハンチがある場合

ハンチの効果を以下の要領で考慮することができる。

- ① 荷重を受ける側にあり、なおかつ曲げ圧縮を受けているハンチを有効とする。
- ② 部材の内法長さを a_1 とし、引張鉄筋位置から、直交部材前面とハンチの交点までの距離を d_1 とする。
- ③ 部材の一端から、部材主要部とハンチの交点までの距離を a_2 とし、部材主要部の有効部材厚を d_2 とする。
- ④ a_1/d_1 と a_2/d_2 の大きい方を a/d として採用する。

図 4-38 せん断スパン比の取り方

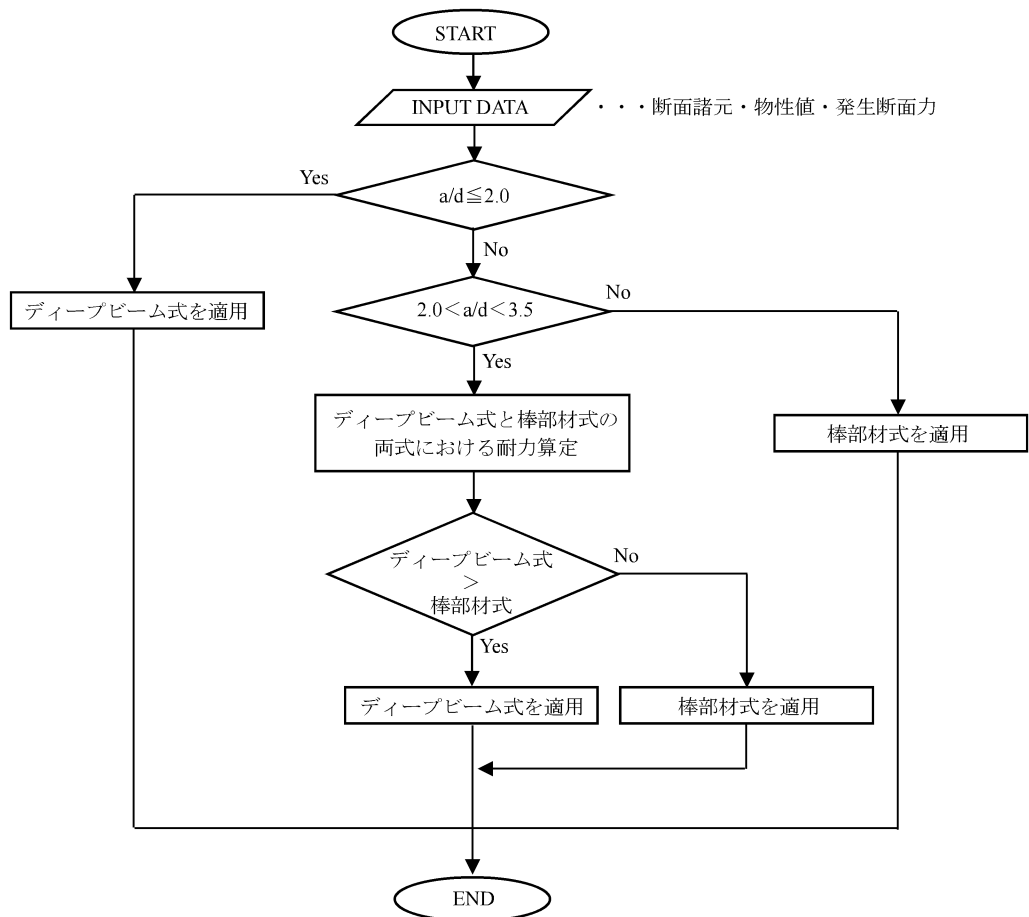
(2) 照査断面の設定

照査断面は、照査対象範囲の中でせん断応力度（応答せん断力を断面積で除した値）が最大となる断面とする。また、照査断面よりも支点寄りにある作用点の影響は考慮しない。

(3) 各集中荷重に対するせん断耐力の算定

各集中荷重に対する照査断面のせん断耐力は、土木学会マニュアル 2005 に基づくせん断耐力評価式により、棒部材式あるいはディープビーム式を用いて算定する。

棒部材式及びディープビーム式の適用フローを図 4-39 に、棒部材式とディープビーム式の適用区分を図 4-40 に示す。



せん断スパン比 (a/d) の一般的な判定目安 (『土木学会指針 2005 (マニュアル)』より)
0 < $a/d \leq 2.0$ ディープビーム式の適用範囲
2.0 < $a/d < 3.5$ ディープビーム式 or 棒部材式の耐力が大きい方 (遷移領域)
3.5 $\leq a/d$ 棒部材式の適用範囲

図 4-39 棒部材式及びディープビーム式の適用フロー

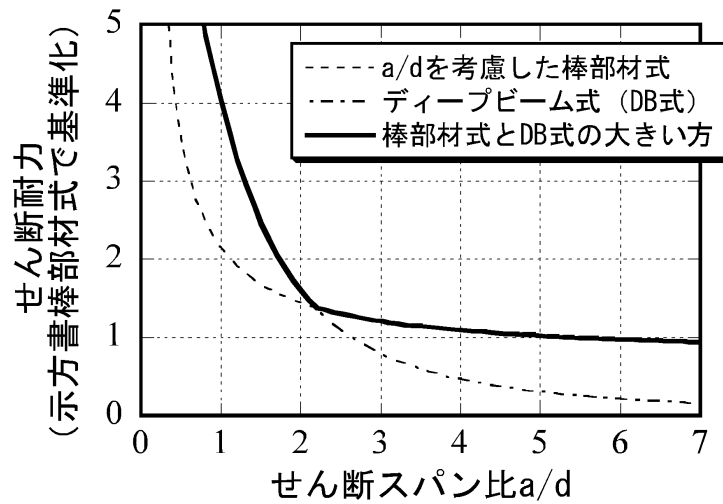


図 4-40 棒部材式とディープビーム式の適用区分
(土木学会マニュアル 2005, p. 126 より抜粋)

b. ディープビーム式

$$V_{yddl} = V_{cdd} + V_{sdd} \quad (6.3-6)$$

ここに、 V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc} \quad (6.3-7)$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d[\text{m}]) \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_a = \frac{5}{1 + (a/d)^2}$$

γ_{bc} : 部材係数 (表 6.1-1 参照, コンクリート寄与分用の値)

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd} \quad (6.3-8)$$

$$\phi = -0.17 + 0.3 a/d + 0.33 / p_{wb} \quad \text{ただし, } 0 \leq \phi \leq 1$$

V_{sd} : (6.3-5)式による

p_{wb} : せん断補強鉄筋比[%]

4.2.4 基礎地盤の支持機能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表4-3に示す。

なお、一部埋戻コンクリートに支持される箇所が存在するが、保守的にC_M級岩盤の支持機能に対する許容限界を設定する。

表4-3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

5. 評価結果

5.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「ひずみの時刻歴波形」，断面力に対し照査を行っている項目のうち最も厳しい照査値に対する「断面力分布」，曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースの地盤の「最大せん断ひずみ分布」を記載する。なお，断面力分布は単位奥行きあたりの断面力を図示する。

5.1.1 解析ケースと照査値

耐震評価における解析ケースについては、「補足 026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「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」に基づき設定する。

耐震評価においては，基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し，基本ケース（ケース①）を実施する。基本ケースにおいて，曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して，最も厳しい地震動を用いて，解析ケース②及び③を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合，照査値が最も厳しくなる地震動を用いて，解析ケース②及び③を実施する。

A-A断面及びB-B断面の解析ケース②及び③を実施する地震動を表5-1に示す。

上記実施ケースの結果を踏まえ，照査値に十分な裕度を有することから，追加解析を実施しない。

表 5-1 解析ケース②及び③を実施する地震動

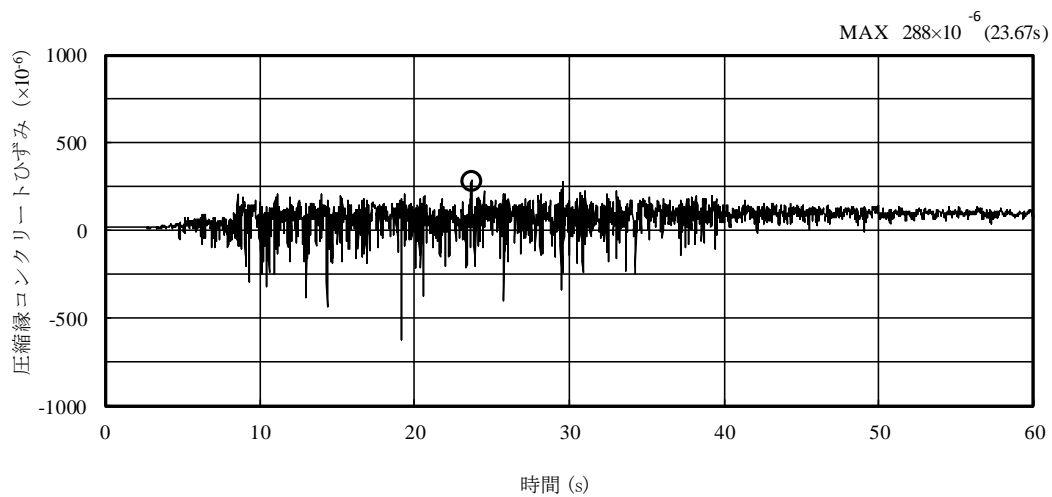
断面	解析ケース②及び③を実施する地震動	備考
A-A断面	$S_s - D (+ -)$	せん断破壊から選定
B-B断面（半地下部の評価）	$S_s - D (+ +)$ *1	せん断破壊から選定
B-B断面 （長辺方向の側壁及び隔壁の評価）	$S_s - D (+ +)$ *2	せん断破壊から選定

注記*1：半地下部の評価において厳しい地震動を示す。

*2：地中部における長辺方向の側壁及び隔壁の評価において厳しい地震動を示す。

5.1.2 ひずみの時刻歴波形

曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、最も厳しい照査となる解析ケースにおける時刻歴波形を図 5-1～図 5-3 に示す。



(圧縮を正で示す。)

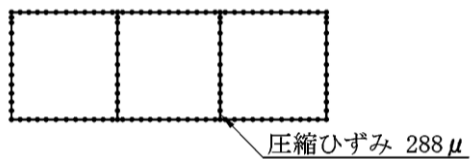
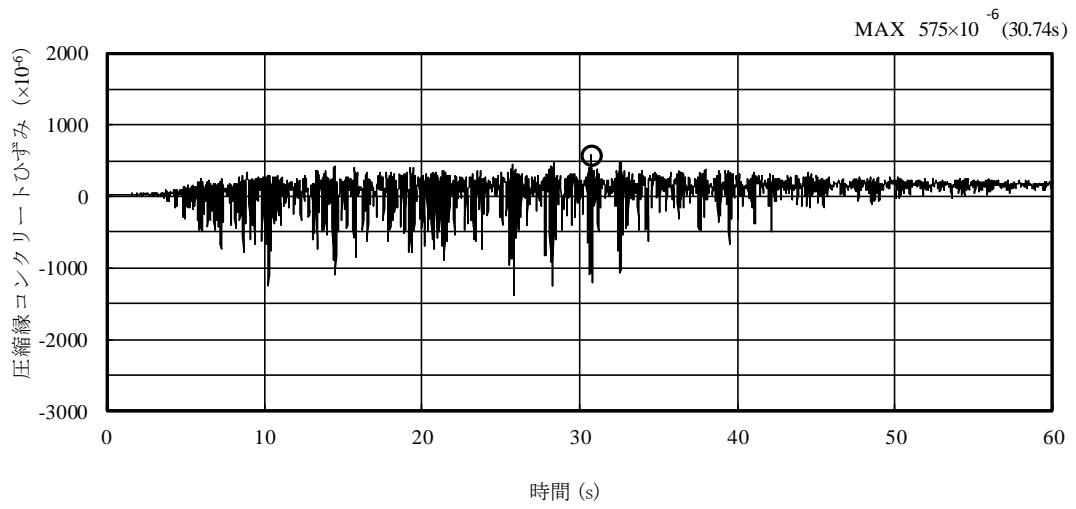


図 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなるケースの時刻歴波形
(A-A断面, 解析ケース②, S s -D (+))



(圧縮を正で示す。)

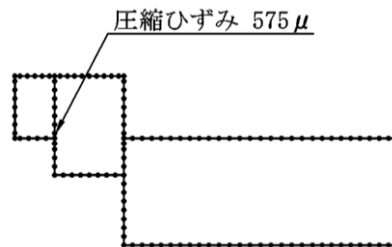
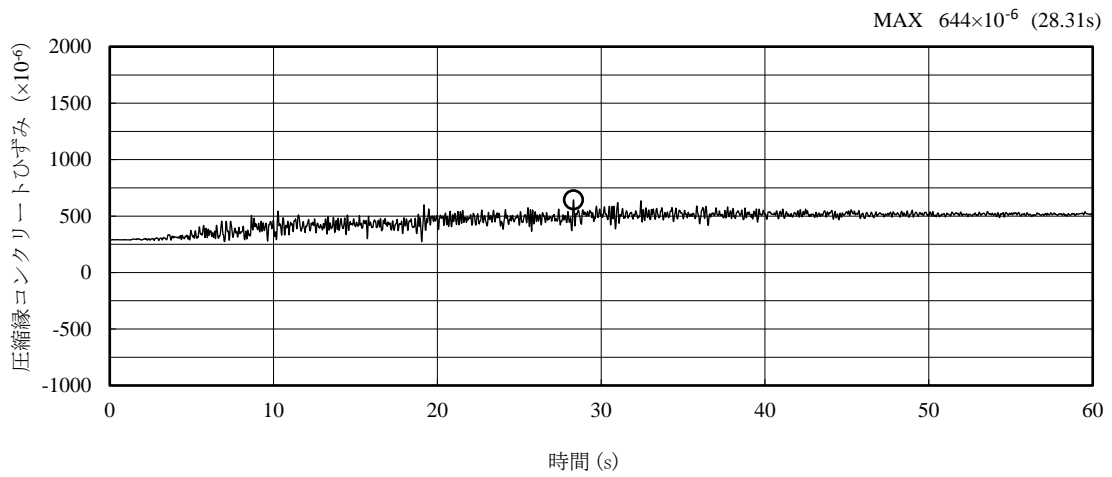


図 5-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなるケースの時刻歴波形
(B-B断面, 半地下部の評価, 解析ケース③, S s - D (++))



(圧縮を正で示す。)

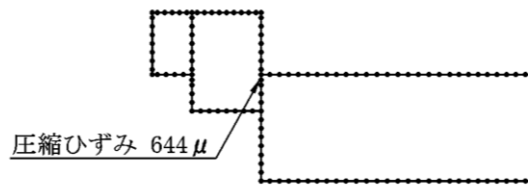
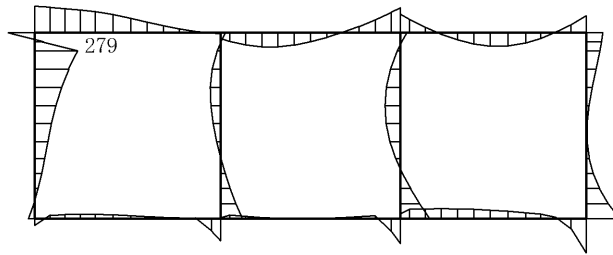


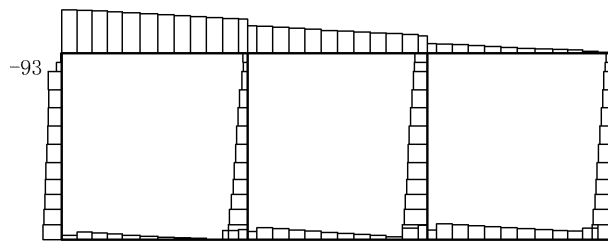
図 5-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなるケースの時刻歴波形 (B-B断面, 長辺方向の側壁及び隔壁の評価, 解析ケース①, S s - D (+))

5.1.3 断面力分布（せん断破壊に対する照査）

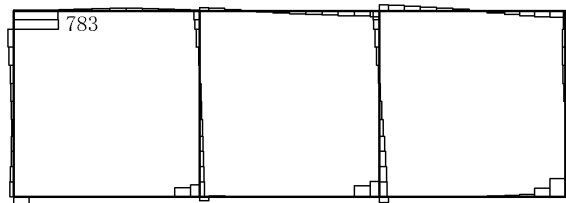
せん断破壊に対する照査において、最も厳しい照査値となる解析ケースの照査時刻における断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を図5-4～図5-6に示す。



数值：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)

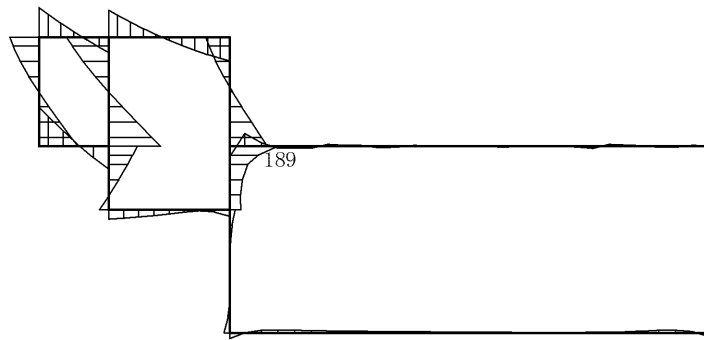


数值：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



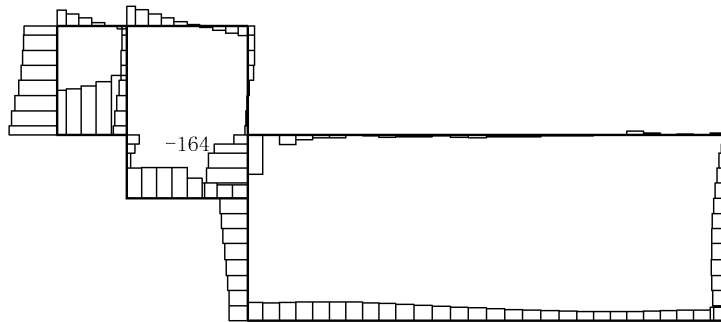
数值：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 5-4 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (A-A断面, 解析ケース②, S_s-D (+-))



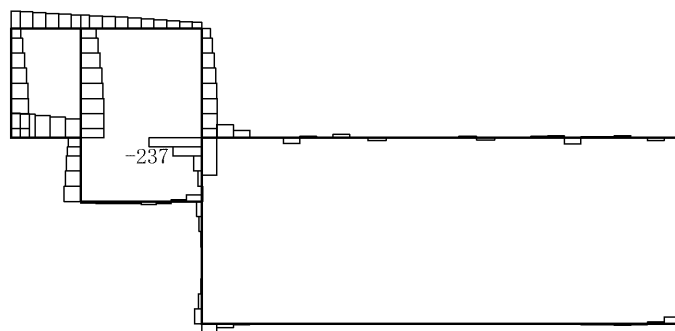
数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力

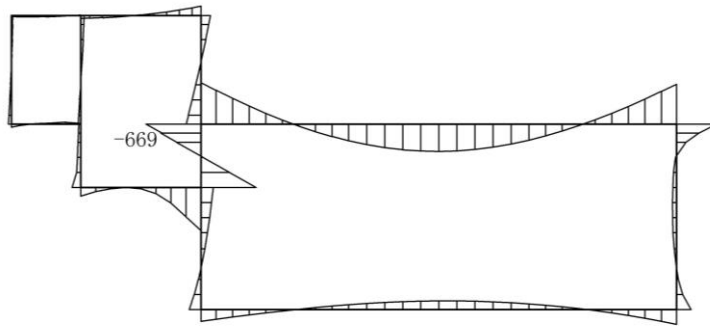
(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



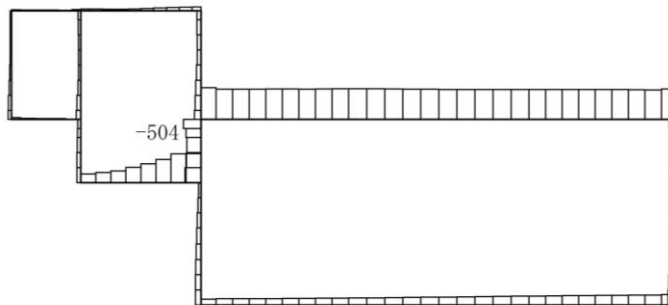
数値：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

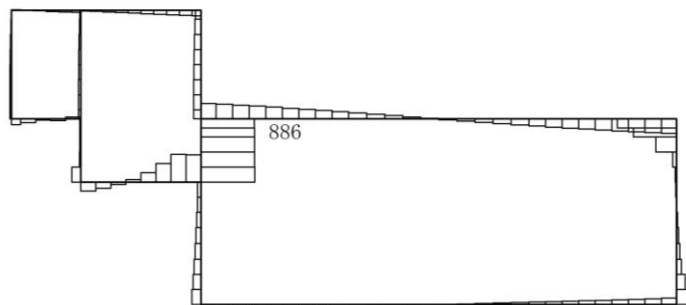
図 5-5 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(B-B断面, 半地下部の評価, 解析ケース③, S s - D (++))



数値：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数値：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 5-6 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (B-B 断面, 長辺方向の側壁の評価, 解析ケース①, S s - D (++))

5.1.4 最大せん断ひずみ分布

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースについて、地盤に発生した最大せん断ひずみを確認する。

最大照査値を示す解析ケースの一覧を表 5-2 に、最大せん断ひずみ分布図を図 5-7～図 5-9 に示す。

構造物周辺の岩盤に発生するせん断ひずみは最大でも 0.05% 以下である。

表 5-2 最大照査値を示すケースの一覧

対象断面	解析ケース	地震動	照査項目
A-A 断面	②	S _s -D (+-)	せん断に対する照査
B-B 断面 (半地下部の評価)	③	S _s -D (++) *1	せん断に対する照査
B-B 断面 (長辺方向の側壁及び隔壁の評価)	①	S _s -D (++) *2	せん断に対する照査

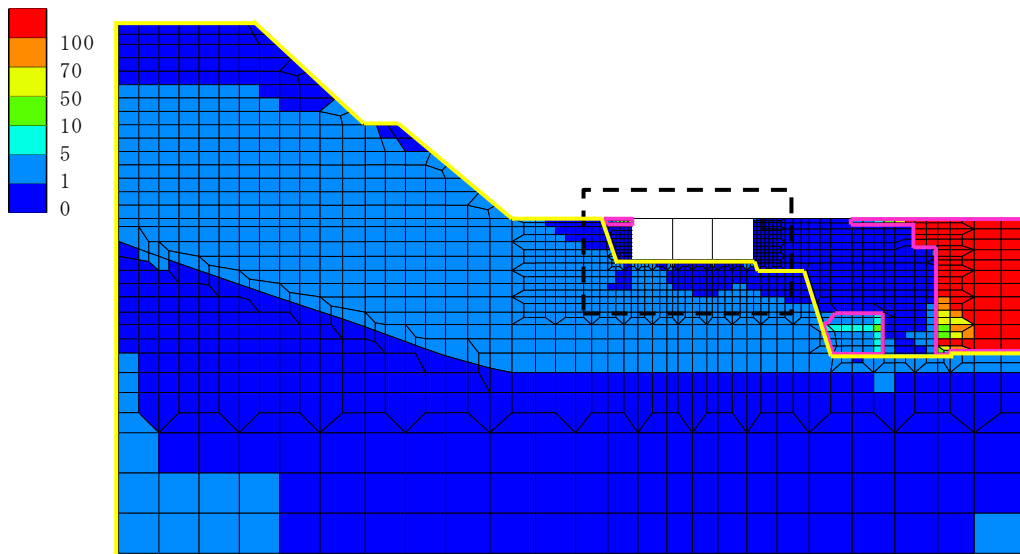
注記*1：半地下部の評価において最大照査値となる地震動を示す。

*2：地中部における長辺方向の側壁及び隔壁の評価において最大照査値となる地震動を示す。

最大せん断ひずみ ($\times 10^{-2}\%$)

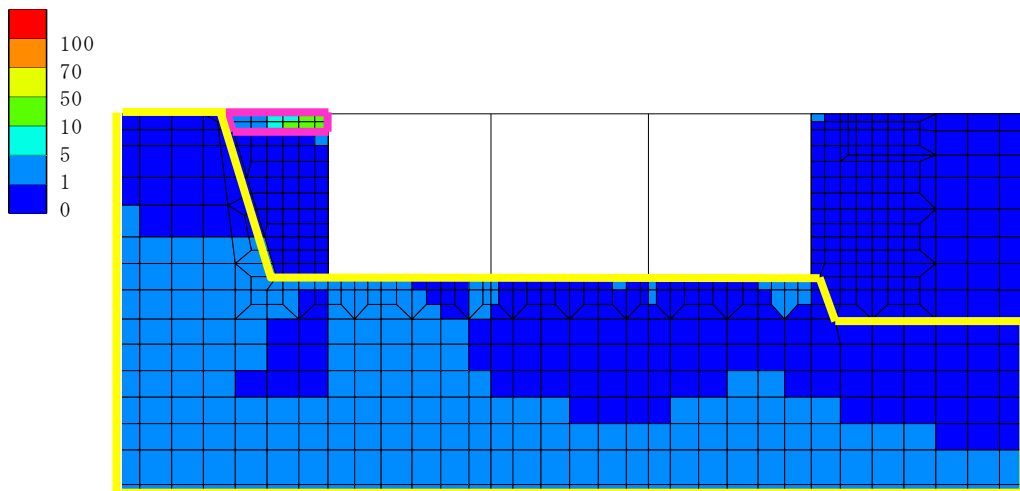
□ : 埋戻土の範囲

□ : 岩盤の範囲



(a) 全体図

最大せん断ひずみ ($\times 10^{-2}\%$)

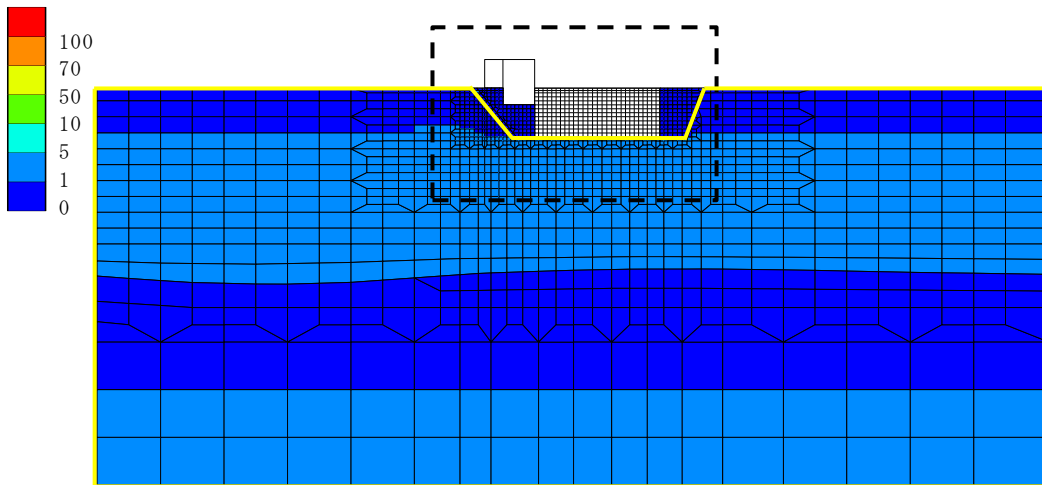


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-7 最大せん断ひずみ分布図 (A-A断面)
(解析ケース②, S_s-D (+-))

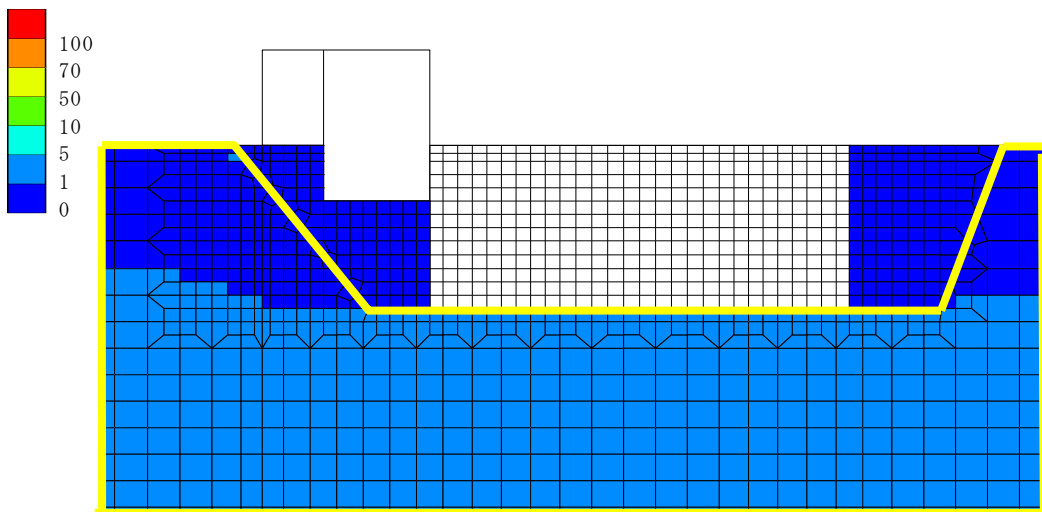
最大せん断ひずみ ($\times 10^{-2}\%$)

□ : 岩盤の範囲



(a) 全体図

最大せん断ひずみ ($\times 10^{-2}\%$)



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-8 最大せん断ひずみ分布図 (B-B断面, 半地下部の評価)
(解析ケース③, S s - D (++))

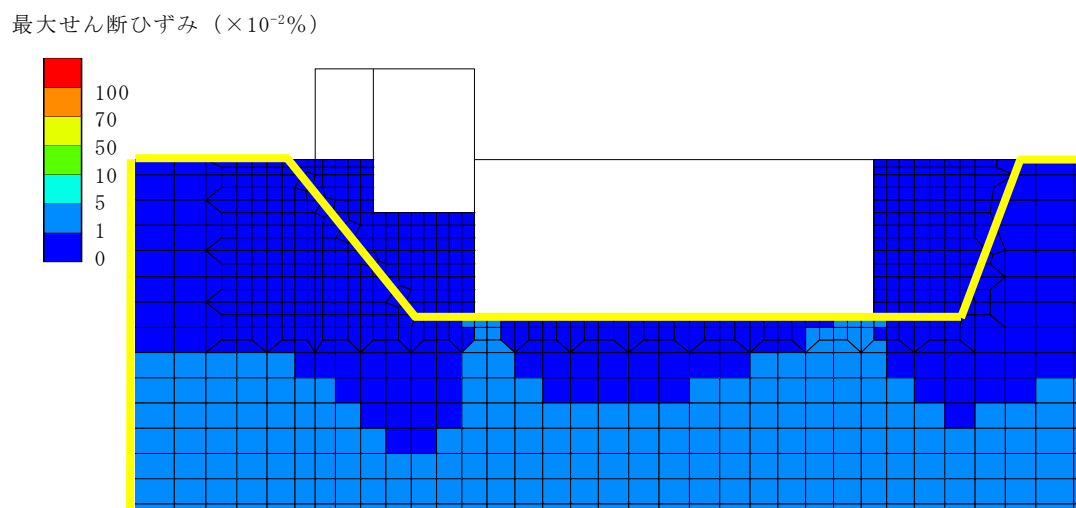
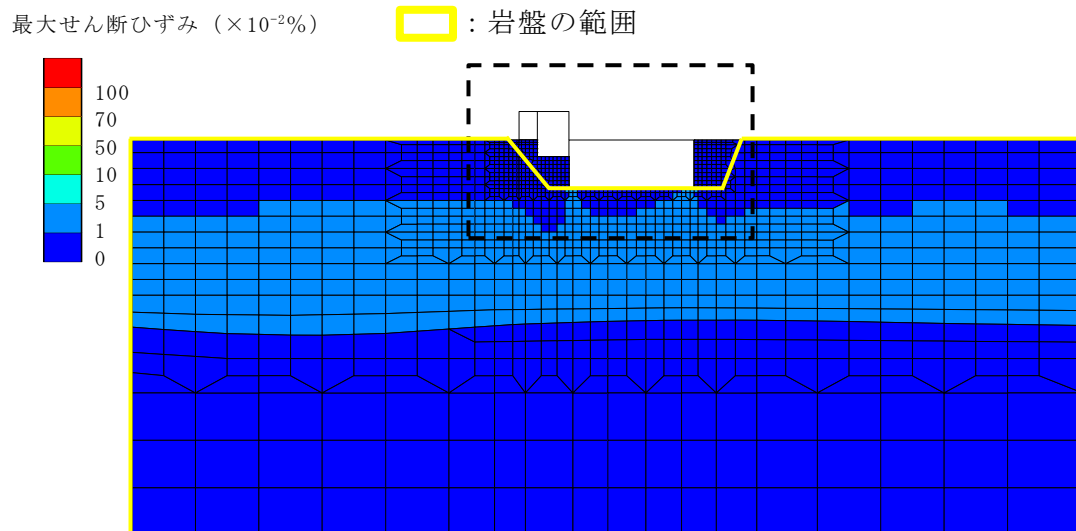


図 5-9 最大せん断ひずみ分布図 (B-B断面, 長辺方向の側壁及び隔壁の評価)
(解析ケース①, S_s-D (++))

5.2 構造部材の健全性に対する評価結果

5.2.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

(1) A-A断面

構造強度を有することの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表5-3に示す。照査値は、ひずみを許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。同表のとおり、コンクリートの照査用ひずみが全ケースにおいて許容限界（10000 μ ）を下回ることを確認した。

表5-3 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果
(構造強度を有することの確認)

解析ケース	地震動		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ε_d^*	ε_R	$\varepsilon_d / \varepsilon_R$
①	S s - D	++	241 μ	10000 μ	0.03
		-+	255 μ	10000 μ	0.03
		+-	246 μ	10000 μ	0.03
		--	237 μ	10000 μ	0.03
	S s - F 1	++	204 μ	10000 μ	0.03
	S s - F 2	++	263 μ	10000 μ	0.03
	S s - N 1	++	236 μ	10000 μ	0.03
		-+	216 μ	10000 μ	0.03
	S s - N 2 (N S)	++	199 μ	10000 μ	0.02
		-+	195 μ	10000 μ	0.02
	S s - N 2 (E W)	++	225 μ	10000 μ	0.03
		-+	188 μ	10000 μ	0.02
②	S s - D	+-	346 μ	10000 μ	0.04
③	S s - D	+-	256 μ	10000 μ	0.03

注記*：照査用ひずみ $\varepsilon_d =$ 発生ひずみ $\varepsilon_R \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.2)$

(2) B-B断面（半地下部の評価）

半地下部において構造強度を有することの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表5-4に示す。照査値は、ひずみを許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。同表のとおり、コンクリートの照査用ひずみが全ケースにおいて許容限界（10000 μ ）を下回ることを確認した。

表5-4 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果
(構造強度を有することの確認)

解析ケース	地震動		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ϵ_d	ϵ_R	ϵ_d / ϵ_R
①	S _s -D	++	641 μ	10000 μ	0.07
		-+	667 μ	10000 μ	0.07
		+-	653 μ	10000 μ	0.07
		--	687 μ	10000 μ	0.07
	S _s -F1	++	413 μ	10000 μ	0.05
	S _s -F2	++	491 μ	10000 μ	0.05
	S _s -N1	++	413 μ	10000 μ	0.05
		-+	415 μ	10000 μ	0.05
	S _s -N2 (NS)	++	377 μ	10000 μ	0.04
		-+	375 μ	10000 μ	0.04
	S _s -N2 (EW)	++	379 μ	10000 μ	0.04
		-+	387 μ	10000 μ	0.04
②	S _s -D	++	563 μ	10000 μ	0.06
③	S _s -D	++	690 μ	10000 μ	0.07

注記*：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ $\epsilon_R \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.2)$

(3) B-B断面（長辺方向の側壁及び隔壁の評価）

長辺方向の側壁及び隔壁において構造強度を有することの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表5-5に示す。照査値は、ひずみを許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。同表のとおり、コンクリートの照査用ひずみが全ケースにおいて許容限界（10000 μ ）を下回ることを確認した。

表5-5 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果
(構造強度を有することの確認)

解析ケース	地震動		照査用ひずみ ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
①	S s - D	++	746 μ	10000 μ	0.08
		-+	638 μ	10000 μ	0.07
		+-	773 μ	10000 μ	0.08
		--	756 μ	10000 μ	0.08
	S s - F 1	++	625 μ	10000 μ	0.07
	S s - F 2	++	595 μ	10000 μ	0.06
	S s - N 1	++	520 μ	10000 μ	0.06
		-+	459 μ	10000 μ	0.05
	S s - N 2 (NS)	++	543 μ	10000 μ	0.06
		-+	519 μ	10000 μ	0.06
	S s - N 2 (EW)	++	568 μ	10000 μ	0.06
		-+	544 μ	10000 μ	0.06
②	S s - D	++	747 μ	10000 μ	0.08
③	S s - D	++	747 μ	10000 μ	0.08

注記*：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ $\epsilon_R \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.2)$

5.2.2 せん断破壊に対する評価結果

(1) A-A断面

構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する評価結果を表5-6～表5-8に示す。照査値は、せん断力を許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。

同表より、全部材で照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表5-6 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動	評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$	
				せん断力 V_d^{*2} (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)		
①	S s - D	++	頂版	2	113	846	0.14
			側壁	4	570	799	0.72
			隔壁	7	101	816	0.13
			底版	9	297	890	0.34
		-+	頂版	1	103	827	0.13
			側壁	4	541	809	0.67
			隔壁	7	114	821	0.14
			底版	8	369	1118	0.34
		+-	頂版	1	80	609	0.14
			側壁	4	587	805	0.73
			隔壁	7	105	840	0.13
			底版	8	401	1186	0.34
		--	頂版	1	100	818	0.13
			側壁	4	571	811	0.71
			隔壁	6	103	839	0.13
			底版	8	415	1187	0.35
	S s - F 1	++	頂版	3	88	806	0.11
			側壁	4	428	810	0.53
			隔壁	7	83	843	0.10
			底版	8	350	1198	0.30

注記*1：評価位置は図5-4に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a (=1.05)$

表 5-7 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 V_d *2 (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - F 2	++	頂版	1	95	821	0.12
			側壁	4	406	800	0.51
			隔壁	6	114	824	0.14
			底版	8	316	1200	0.27
	S s - N 1	++	頂版	1	79	847	0.10
			側壁	4	308	811	0.39
			隔壁	6	88	846	0.11
			底版	8	408	1188	0.35
		-+	頂版	1	89	856	0.11
			側壁	4	426	810	0.53
			隔壁	7	69	861	0.09
			底版	8	367	1195	0.31
	S s - N 2 (N S)	++	頂版	3	79	674	0.12
			側壁	4	408	819	0.50
			隔壁	7	74	897	0.09
			底版	8	339	1187	0.29
		-+	頂版	1	100	828	0.13
			側壁	4	351	811	0.44
			隔壁	7	68	853	0.09
			底版	8	344	1190	0.29
S s - N 2 (E W)	++	頂版	1	110	820	0.14	
		側壁	4	364	810	0.45	
		隔壁	6	76	850	0.09	
		底版	8	351	1203	0.30	
	-+	頂版	3	92	837	0.11	
		側壁	4	416	804	0.52	
		隔壁	6	66	855	0.08	
		底版	8	303	1178	0.26	

注記*1：評価位置は図 5-4 に示す。

*2：照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a (=1.05)

表 5-8 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用 せん断力 V_d *2 (kN)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
②	S s - D	+ -	頂版	2	149	836	0.18
			側壁	4	822 [-] *3	793 [-] *3	1.04 [0.40] *3
			隔壁	7	144	839	0.18
			底版	9	277	940	0.30
③	S s - D	+ -	頂版	1	85	642	0.14
			側壁	4	677	801	0.85
			隔壁	7	105	834	0.13
			底版	8	451	1168	0.39

注記*1：評価位置は図 5-4 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.05)$

*3：線形被害則による照査結果であり，詳細については参考資料 3 に示す。

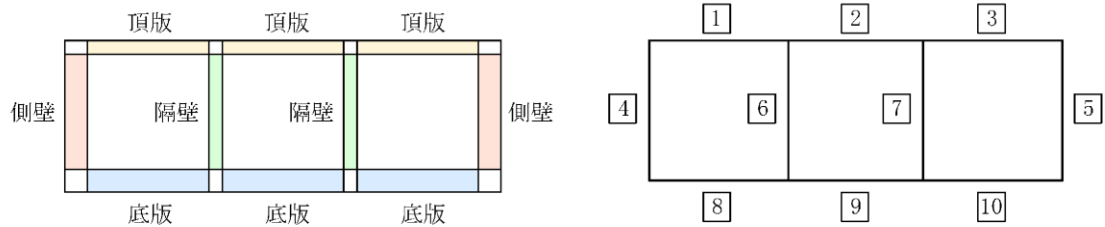


図 5-4 評価位置図 (A-A 断面)

(2) B-B断面（半地下部の評価）

半地下部において構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する評価結果を表5-9～表5-11に示す。照査値は、せん断力を許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。

同表より、全部材で照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表5-9 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動	評価位置*1	照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$	
			せん断力 V_d *2(kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)		
①	S s - D	++	頂版 [1]	133	805	0.17
			側壁 [6]	111	561	0.20
			隔壁 [10]	214	813	0.27
			底版 [11]	188	817	0.24
		-+	頂版 [1]	118	801	0.15
			側壁 [5]	184	806	0.23
			隔壁 [9]	173	806	0.22
			底版 [12]	191	869	0.22
		+-	頂版 [1]	135	804	0.17
			側壁 [6]	180	879	0.21
			隔壁 [9]	198	801	0.25
			底版 [12]	214	869	0.25
		--	頂版 [2]	117	803	0.15
			側壁 [5]	189	807	0.24
			隔壁 [9]	173	806	0.22
			底版 [12]	221	865	0.26
	S s - F 1	++	頂版 [1]	90	804	0.12
			側壁 [6]	142	899	0.16
			隔壁 [9]	125	808	0.16
			底版 [12]	148	906	0.17

注記*1：評価位置は図5-5に示す。

*2：照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a (=1.05)

表 5-10 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 V_d *2 (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - F 2	++	頂版	1	90	803	0.12
			側壁	5	144	809	0.18
			隔壁	10	153	813	0.19
			底版	12	145	889	0.17
	S s - N 1	++	頂版	1	87	802	0.11
			側壁	6	189	890	0.22
			隔壁	10	129	829	0.16
			底版	12	182	882	0.21
		-+	頂版	1	91	801	0.12
			側壁	4	101	819	0.13
			隔壁	9	135	806	0.17
			底版	11	133	817	0.17
	S s - N 2 (N S)	++	頂版	2	87	804	0.11
			側壁	6	128	890	0.15
			隔壁	9	122	807	0.16
			底版	12	156	901	0.18
		-+	頂版	2	91	804	0.12
			側壁	6	135	883	0.16
			隔壁	9	115	809	0.15
			底版	12	152	900	0.17
S s - N 2 (E W)	++	頂版	2	94	823	0.12	
		側壁	6	137	917	0.15	
		隔壁	9	119	808	0.15	
		底版	12	145	901	0.17	
	-+	頂版	2	95	817	0.12	
		側壁	6	165	918	0.19	
		隔壁	9	116	804	0.15	
		底版	12	135	915	0.15	

注記*1：評価位置は図 5-5 に示す。

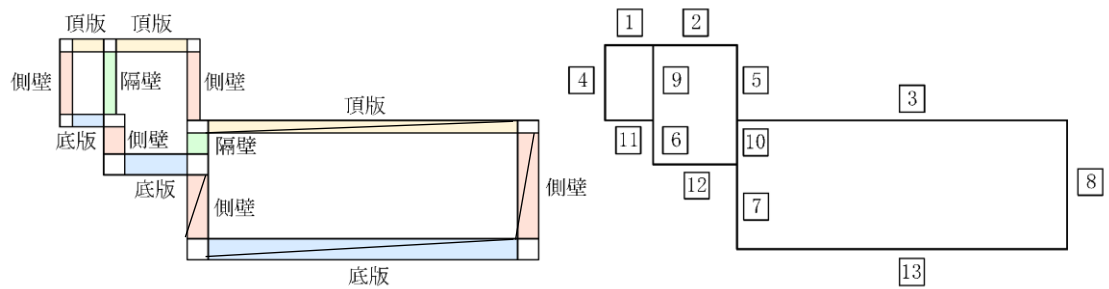
*2：照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a (=1.05)

表 5-11 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 V_d *2 (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
②	S s - D	++	頂版	1	121	801	0.16
			側壁	5	139	808	0.18
			隔壁	10	184	818	0.23
			底版	11	171	816	0.21
③	S s - D	++	頂版	1	147	801	0.19
			側壁	6	120	561	0.22
			隔壁	10	249	812	0.31
			底版	11	204	815	0.26

注記*1：評価位置は図 5-5 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力 } V \times \text{構造解析係数 } \gamma_a (=1.05)$



: A-A断面及び長辺方向の側壁の評価において照査を行う部材

図 5-5 評価位置図 (B-B断面, 半地下部の評価)

(3) B-B断面（長辺方向の側壁及び隔壁の評価）

長辺方向の側壁及び隔壁において構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する評価結果を表5-12及び表5-13に示す。照査値は、せん断力を許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。

同表より、全部材で照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表5-12 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$	
					せん断力 V_d^{*2} (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)		
①	S s - D	++	側壁	8	786	803	0.98	
			隔壁	10	930 [-]*3	808 [-]*3	1.16 [0.88]*3	
		-+	側壁	8	699	799	0.88	
			隔壁	10	857 [-]*3	813 [-]*3	1.06 [0.80]*3	
		+-	側壁	8	788	807	0.98	
			隔壁	10	882 [-]*3	808 [-]*3	1.10 [0.83]*3	
		--	側壁	8	759	805	0.95	
			隔壁	10	851 [-]*3	805 [-]*3	1.06 [0.80]*3	
		S s - F 1	++	側壁	8	688	804	0.86
				隔壁	10	804 [-]*3	807 [-]*3	1.00 [0.76]*3
		S s - F 2	++	側壁	8	657	803	0.82
				隔壁	10	756	808	0.94
	S s - N 1	++	側壁	8	608	803	0.76	
			隔壁	10	721	808	0.90	
		-+	側壁	8	578	804	0.72	
			隔壁	10	635	809	0.79	

注記*1：評価位置は図5-15示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.05)$

*3：線形被害則による照査結果

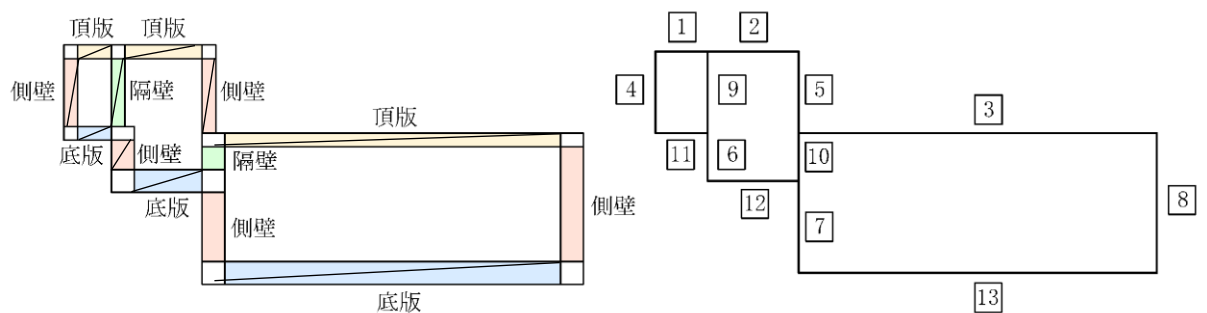
表 5-13 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 V_d *2 (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - N 2 (N S)	++	側壁	8	672	806	0.84
			隔壁	10	739	810	0.92
		-+	側壁	8	640	800	0.81
			隔壁	10	707	810	0.88
	S s - N 2 (E W)	++	側壁	8	652	808	0.81
			隔壁	10	734	807	0.91
		-+	側壁	8	661	802	0.83
			隔壁	10	738	809	0.92
②	S s - D	++	側壁	8	778	804	0.97
			隔壁	10	929 [-]*3	809 [-]*3	1.15 [0.87]*3
③	S s - D	++	側壁	8	796 [-]*3	800 [-]*3	1.00 [0.48]*3
			隔壁	10	918 [-]*3	809 [-]*3	1.14 [0.87]*3

注記*1：評価位置は図 5-6 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数 } \gamma_a (=1.05)$

*3：線形被害則による照査結果であり，詳細については参考資料 3 に示す。



▨：A-A断面及び半地下部の評価において照査を行う部材

図 5-6 評価位置図 (B-B 断面，長辺方向の側壁及び隔壁の評価)

5.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 5-14～表 5-15 に示す。また、最大接地圧分布図を図 5-7～図 5-8 に示す。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力度を下回ることを確認した。

表 5-14 基礎地盤の支持性能に対する照査結果 (A-A断面)

解析ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
①	S _s -D	++	0.86	9.8	0.09
		-+	0.83	9.8	0.09
		+ -	0.75	9.8	0.08
		--	0.84	9.8	0.09
	S _s -F 1	++	0.70	9.8	0.08
	S _s -F 2	++	0.59	9.8	0.07
	S _s -N 1	++	0.83	9.8	0.09
		-+	0.70	9.8	0.08
	S _s -N 2 (NS)	++	0.66	9.8	0.07
		-+	0.67	9.8	0.07
	S _s -N 2 (EW)	++	0.69	9.8	0.07
		-+	0.61	9.8	0.07
②	S _s -D	+ -	1.01	9.8	0.11
③	S _s -D	+ -	0.68	9.8	0.07

表 5-15 基礎地盤の支持性能に対する照査結果 (B-B 断面)

解析ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S _s -D	++	0.69	9.8	0.07
		-+	0.53	9.8	0.06
		+ -	0.60	9.8	0.07
		--	0.54	9.8	0.06
	S _s -F 1	++	0.50	9.8	0.06
	S _s -F 2	++	0.44	9.8	0.05
	S _s -N 1	++	0.37	9.8	0.04
		-+	0.47	9.8	0.05
	S _s -N 2 (NS)	++	0.43	9.8	0.05
		-+	0.47	9.8	0.05
	S _s -N 2 (EW)	++	0.45	9.8	0.05
		-+	0.44	9.8	0.05
②	S _s -D	++	0.55	9.8	0.06
③	S _s -D	++	0.62	9.8	0.07

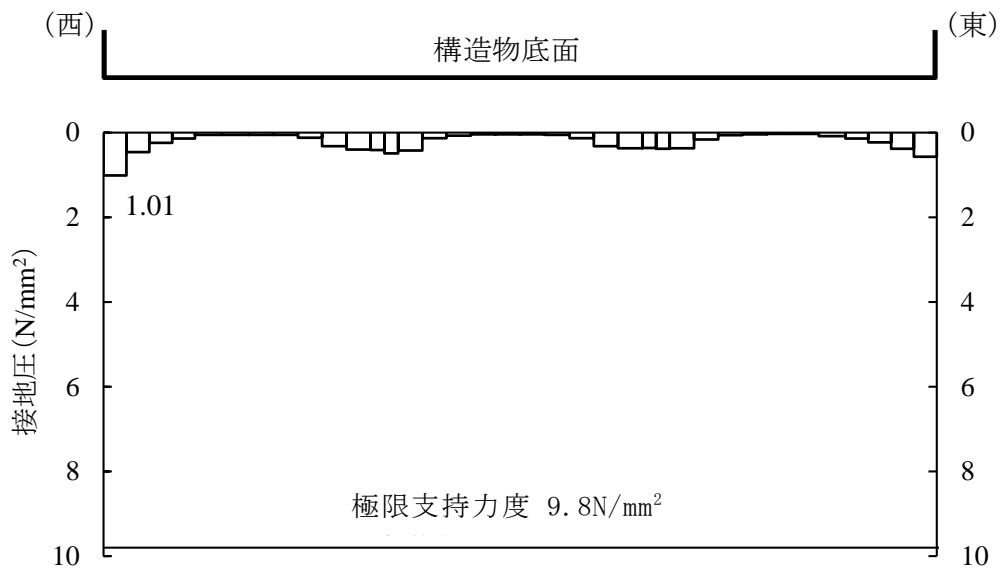


図 5-7 基礎地盤の最大接地圧分布図

(A-A断面, 解析ケース②, S_s-D(+))

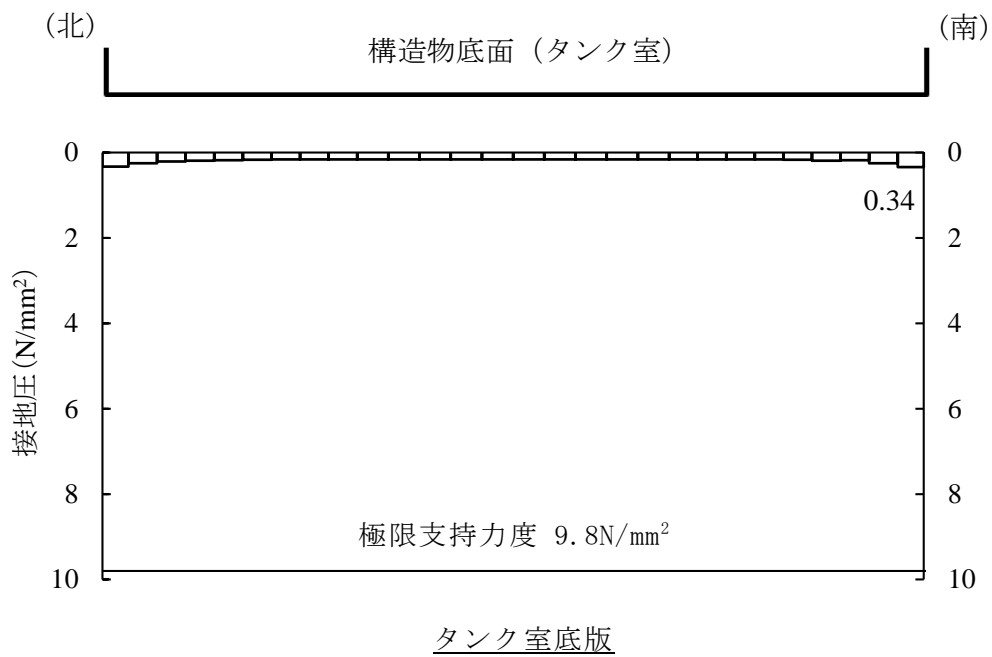
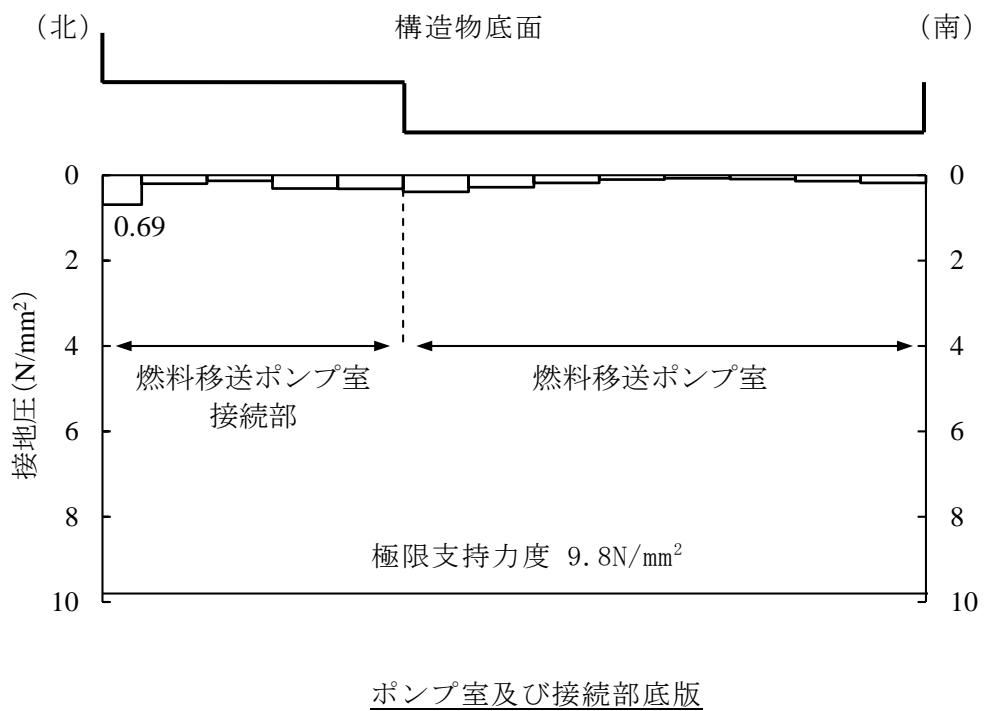


図 5-8 基礎地盤の最大接地圧分布図
(B-B断面, 解析ケース①, $S_s - D(++)$)

6. まとめ

B-ディーゼル燃料タンク格納槽については、基準地震動 S_s による耐震評価として、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した。

構造部材の健全性評価については、曲げモーメント及びせん断力が要求性能に応じた許容限界を下回ることを確認した。

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）が極限支持力度に基づく許容限界を下回ることを確認した。

以上から、B-ディーゼル燃料タンク格納槽が基準地震動 S_s による地震力に対して、構造強度を有すること、支持機能を損なわないことを確認した。

参考資料 1 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース

1. コンクリート実強度を反映した解析ケース

1.1 はじめに

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽について、機器・配管系の耐震評価に適用する床応答への保守的な配慮として、コンクリートの物性値を実強度に変更した解析を実施した。

コンクリートの実強度の設定方法は「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に示す。

1.2 解析方針

耐震評価は、本文における評価条件に基づき実施する。変更した材料の物性値を表 1-1 に示す。影響検討ケースは位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 $S_s - D$ に対して実施することとする。

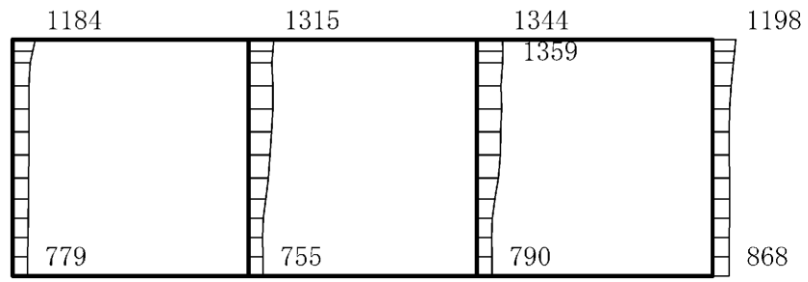
影響検討に用いる地震動は、本文で使用した基準地震動 $S_s - D$ (++) を使用する。

表 1-1 材料の物性値

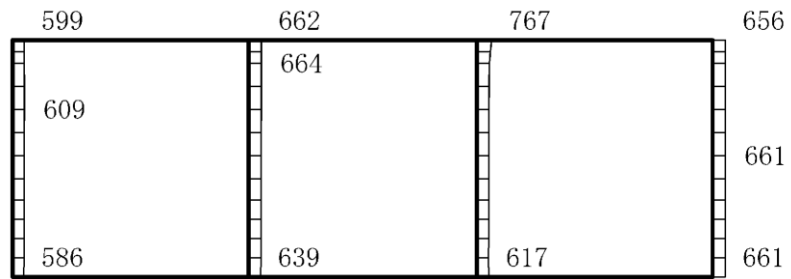
材料		仕様	ヤング係数 (N/mm^2)
構造物	コンクリート	実強度 $36.1N/mm^2$	2.98×10^4

1.3 解析結果

ケース①に係る地震応答解析結果として、基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。



(a) S s - D (++) 水平

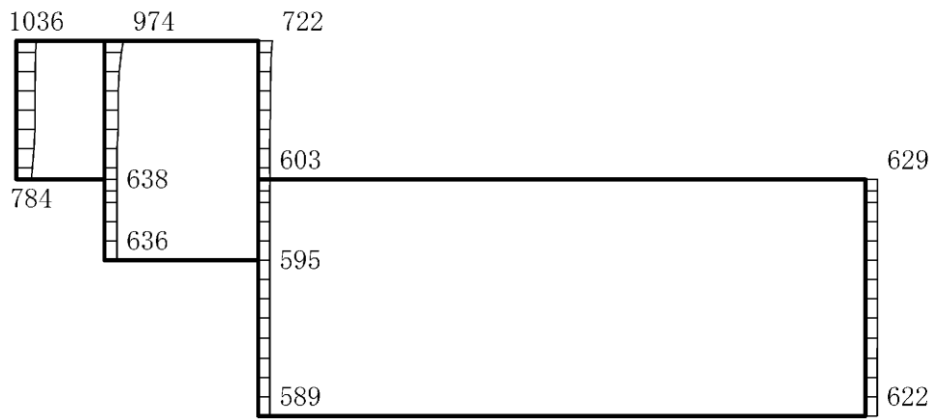


(b) S s - D (++) 鉛直

図 1-1 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (解析ケース①)



(a) $S_s - D$ (++) 水平



(b) $S_s - D$ (++) 鉛直

図 1-2 最大応答加速度分布図 (B-B断面) (解析ケース①)

2. 地下水位低下を反映した解析ケース

2.1 はじめに

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽について、構造物の機器・配管系の耐震評価に適用する床応答への保守的な配慮として、地下水位が構造物基礎下端より十分低い状態を仮定した、解析を実施した。

2.2 解析方針

耐震評価は、本文における評価条件に基づき実施する。変更した地下水位の条件を表 2-1 に示す。

影響検討ケースは位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 $S_s - D$ に対して実施することとする。

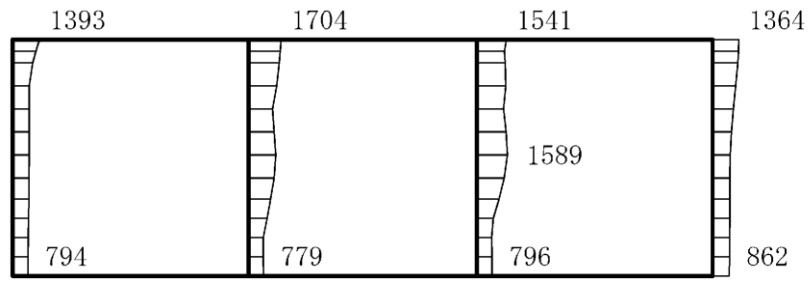
影響検討に用いる地震動は、本文で使用した基準地震動 $S_s - D$ (++) を使用する。

表 2-1 地下水位の条件

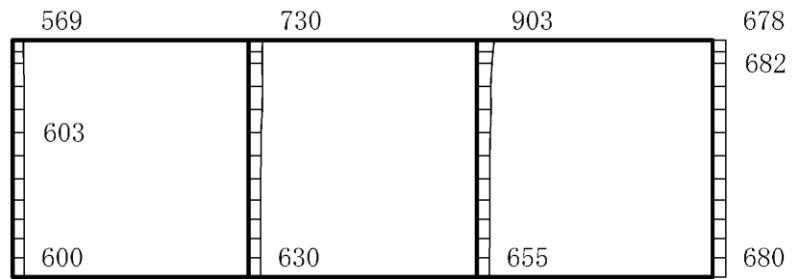
施設名称	解析断面	設計地下水位 (ELm)
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	A-A断面	解析モデル中に地下水位を 考慮しない
	B-B断面	

2.3 解析結果

ケース①に係る地震応答解析結果として、基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

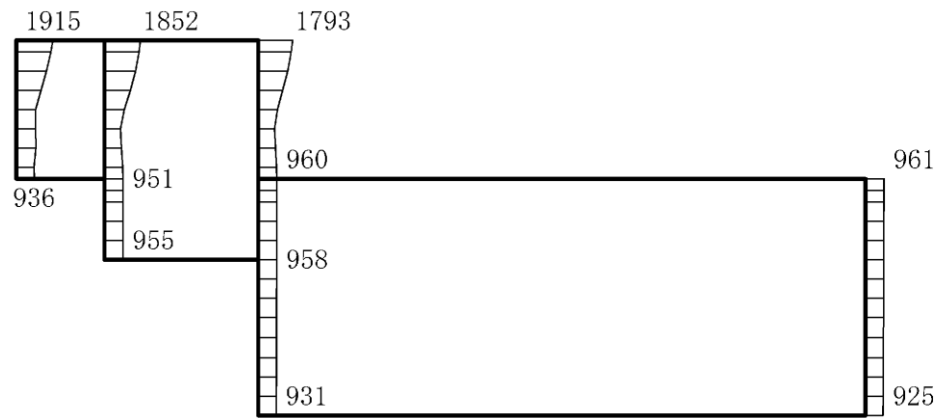


(a) S s - D (++) 水平

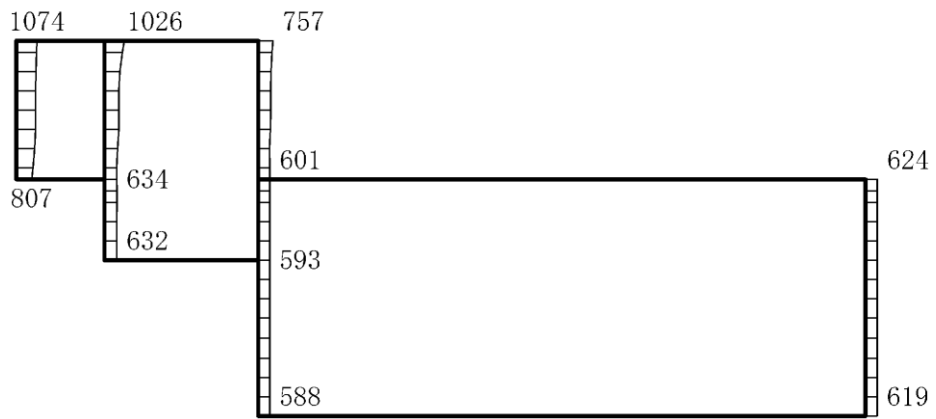


(b) S s - D (++) 鉛直

図 2-1 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (解析ケース①)



(a) $S_s - D$ (++) 水平



(b) $S_s - D$ (++) 鉛直

図 2-2 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (解析ケース①)

3. 妻壁の剛性を考慮した解析ケース

3.1 はじめに

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽のA-A断面及びB-B断面では、それぞれ地中部及び半地下部の妻壁を考慮しない評価を実施することで、耐震評価上保守的な条件としており、機器・配管系に適用する床応答についても同様の解析モデルを用いて算定している。本章では、機器・配管系の耐震評価に適用する床応答への保守的な配慮として、妻壁を考慮したモデルにおける解析を実施した。

A-A断面については、地下部の妻壁を考慮したモデルにおける解析を実施し、B-B断面については、半地下部の妻壁を考慮したモデルにおける解析を実施した。

A-A断面及びB-B断面の解析モデル図を図3-1及び図3-2に示す。

3.2 解析方針

耐震評価は、本文における評価条件に基づき実施する。ただし、本検討においては妻壁の剛性及び重量を等価剛性及び等価重量として考慮することとする。

影響検討ケースは位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_{s-D} に対して実施することとする。

影響検討に用いる地震動は、本文で使用した基準地震動 $S_{s-D}(++)$ を使用する。

3.3 解析結果

基準地震動 $S_{s-D}(++)$ に対する最大加速度分布図を図3-3及び図3-4に示す。

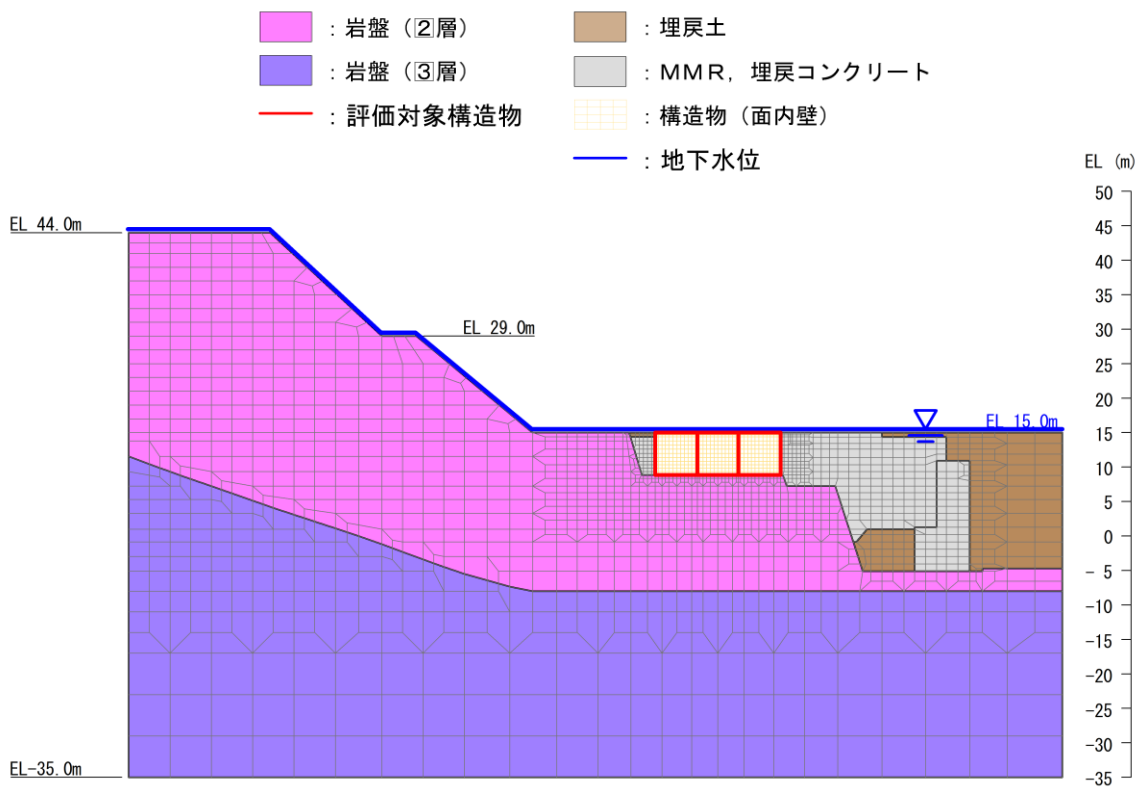


図 3-1 解析モデル図 (A-A 断面)

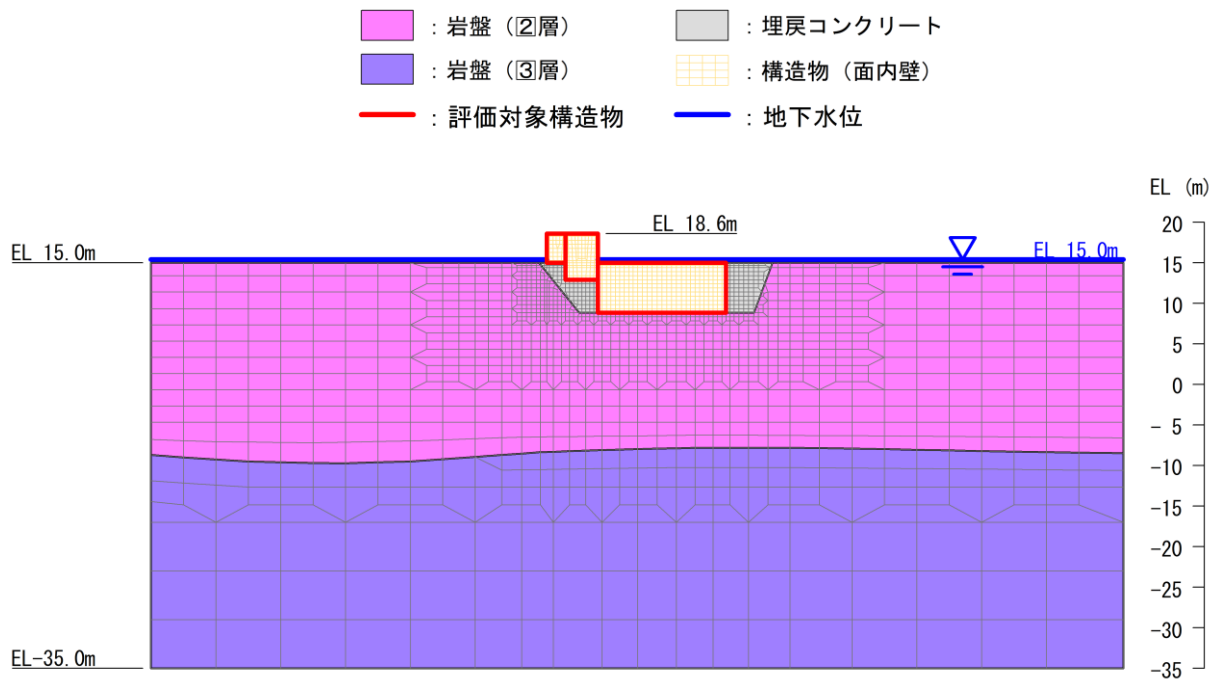
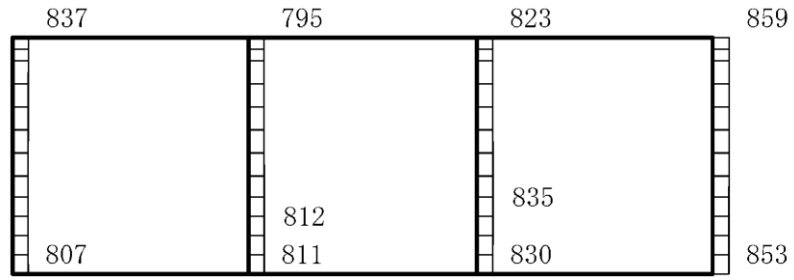
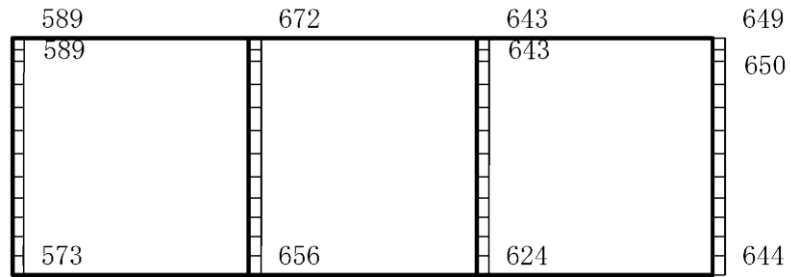


図 3-2 解析モデル図 (B-B 断面)

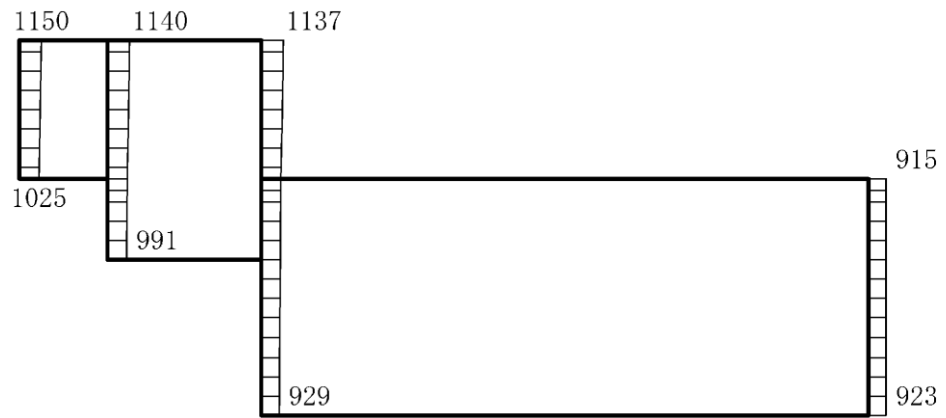


(a) S s - D (++) 水平

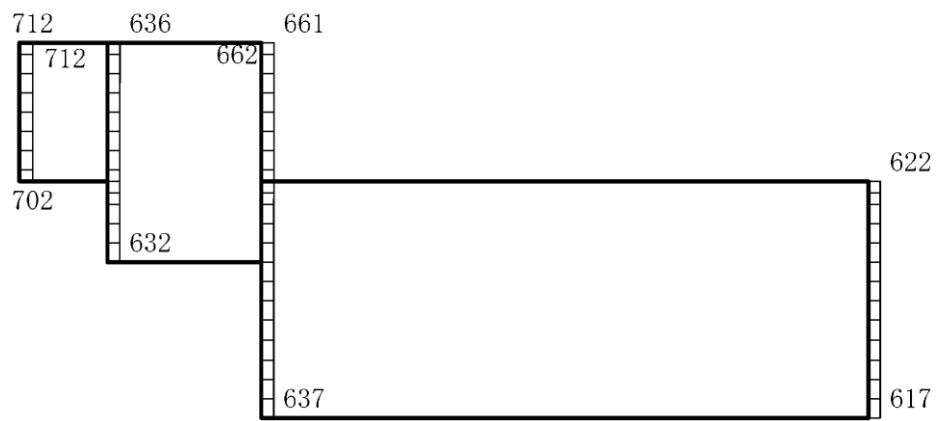


(b) S s - D (++) 鉛直

图 3-3 最大応答加速度分布図 (A-A断面)



(a) $S_s - D$ (++) 水平



(b) $S_s - D$ (++) 鉛直

图 3-4 最大応答加速度分布図 (B-B断面)

参考資料 2 静的地震力に対する耐震評価

目 次

1. 評価方針	1
2. 適用規格	2
3. 評価対象断面	2
4. 荷重及び荷重の組合せ	2
4.1 荷重	2
4.2 荷重の組合せ	3
5. 使用材料及び材料の物性値	3
6. 静的解析	3
7. 解析モデル	3
8. ジョイント要素の設定	5
9. 許容限界	5
9.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	5
9.2 せん断破壊に対する許容限界	5
9.3 基礎地盤の支持力に対する許容限界	6
9.3.1 基礎地盤	6
10. 評価結果	7
11. 基礎地盤の支持性能	16
12. まとめ	19

1. 評価方針

Cクラス施設に求められる静的地震力に対して，B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽が耐震性を有することの確認を行う。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の静的地震力に対する耐震評価は，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，構造部材の発生応力度が短期許容応力度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）が短期許容支持力度を下回ることを確認する。

静的地震力に対する耐震評価フローを図1-1に示す。

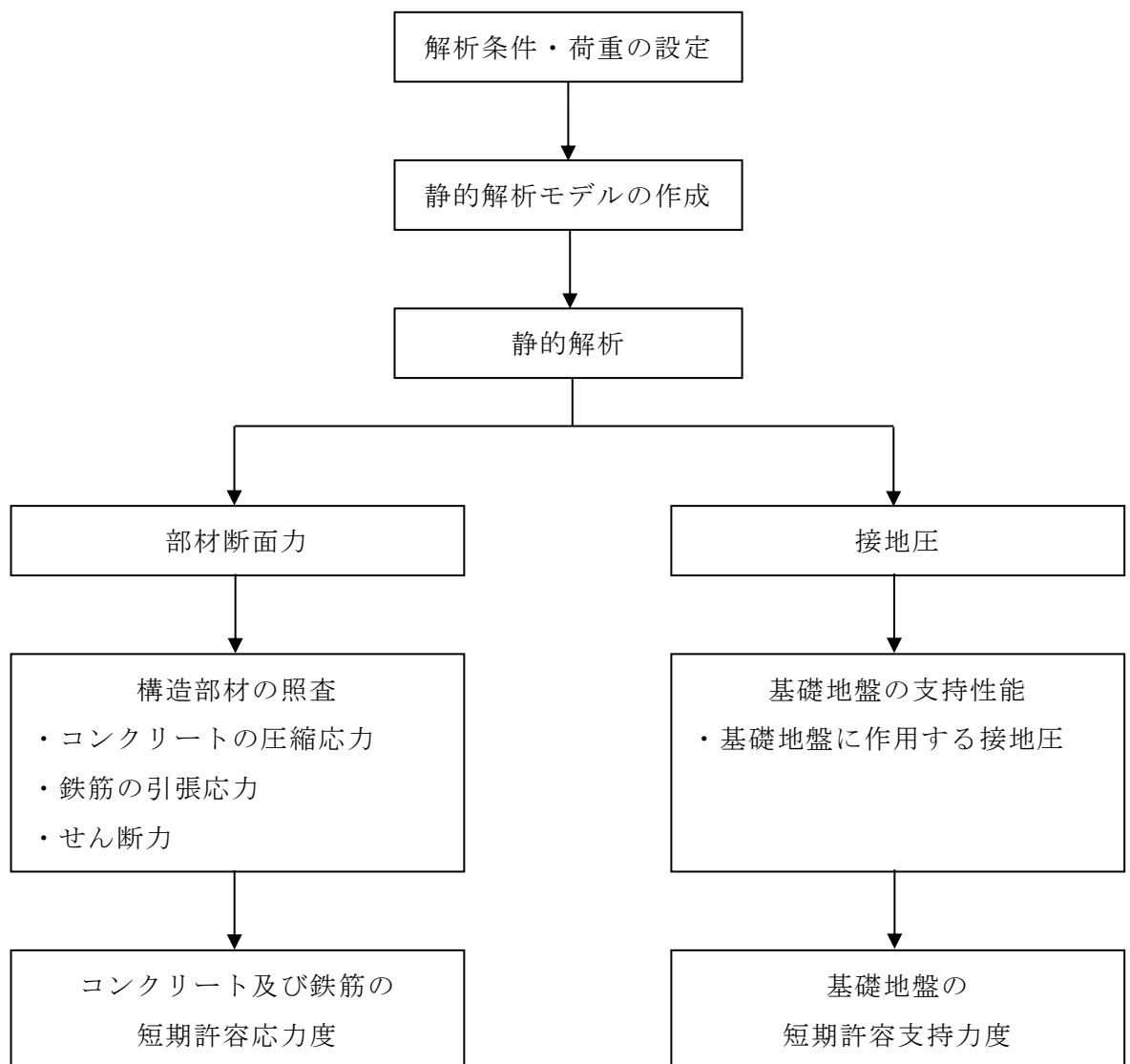


図1-1 静的地震力に対する耐震評価フロー

2. 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 2002
- ・J E A G 4 6 0 1 -1987
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（一般社団法人）日本電気協会 電気技術基準調査委員会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -2015 （（一般社団法人）日本電気協会 原子力規格委員会）

3. 評価対象断面

本文のうち「2.4 評価対象断面の選定」と同様とする。

4. 荷重及び荷重の組合せ

4.1 荷重

通常運転時の荷重（永久荷重）は本文「3.4 荷重及び荷重の組合せ」と同様とする。

静的地震力に対する耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。

(1) 地震荷重（ S_c ）

地震荷重は，Cクラス施設に求められる静的地震力（ $kh=0.16$ ）を考慮する。

なお，Cクラス施設に求められる静的地震力（ $kh=0.16$ ）は，以下の式に基づき算出する。

$$Q_i = n \cdot Z \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで，

- ・ Q_i : 第 i 層に生じる水平地震力
- ・ n : 施設の重要度分類に応じた係数 (1.0)
- ・ Z : 地震地域係数 (1.0)
- ・ C_i : 第 i 層の地震層せん断力係数
- ・ W_i : 第 i 層が支える重量
- ・ R_t : 振動特性係数 (0.8)
- ・ A_i : 第 i 層の地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数
- ・ C_0 : 標準せん断力係数 (0.2)

4.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S c)	G + P + S c

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S c : 静的地震力

5. 使用材料及び材料の物性値

本文のうち「2.5 使用材料及び材料の物性値」と同様とする。

6. 静的解析

静的解析は、本文のうち「3. 地震応答解析」で設定した解析モデルを用い、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽を線形はり要素でモデル化した静的非線形解析により応答値を算定する。また、耐震評価上の保守的な条件として半地下部及び地下部の妻壁を考慮しないモデルにおける解析を実施した。

7. 解析モデル

図 7-1 及び図 7-2 に解析モデルを示す。

静的解析は底面固定とし、側方は水平震度による地盤の水平方向の変形を拘束しないよう水平ローラーとする。

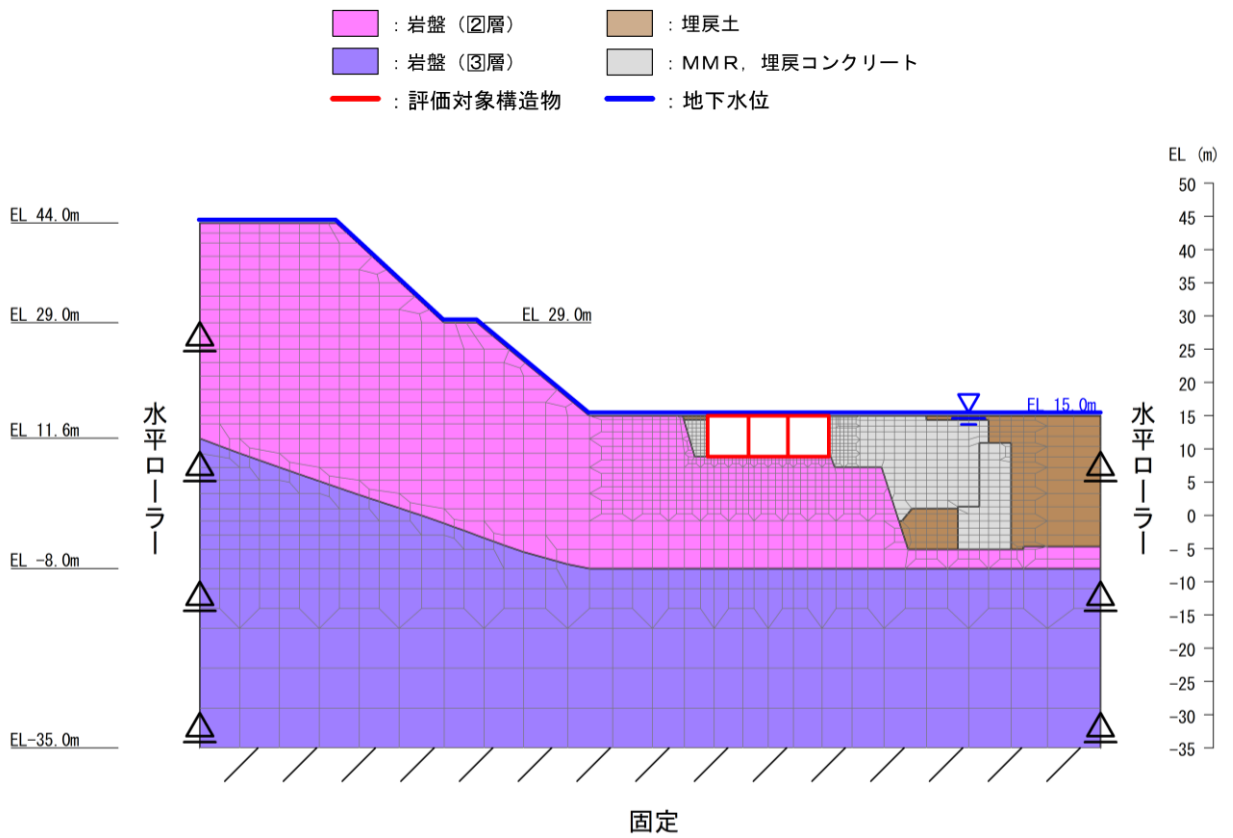


図 7-1 解析モデル図 (A-A 断面)

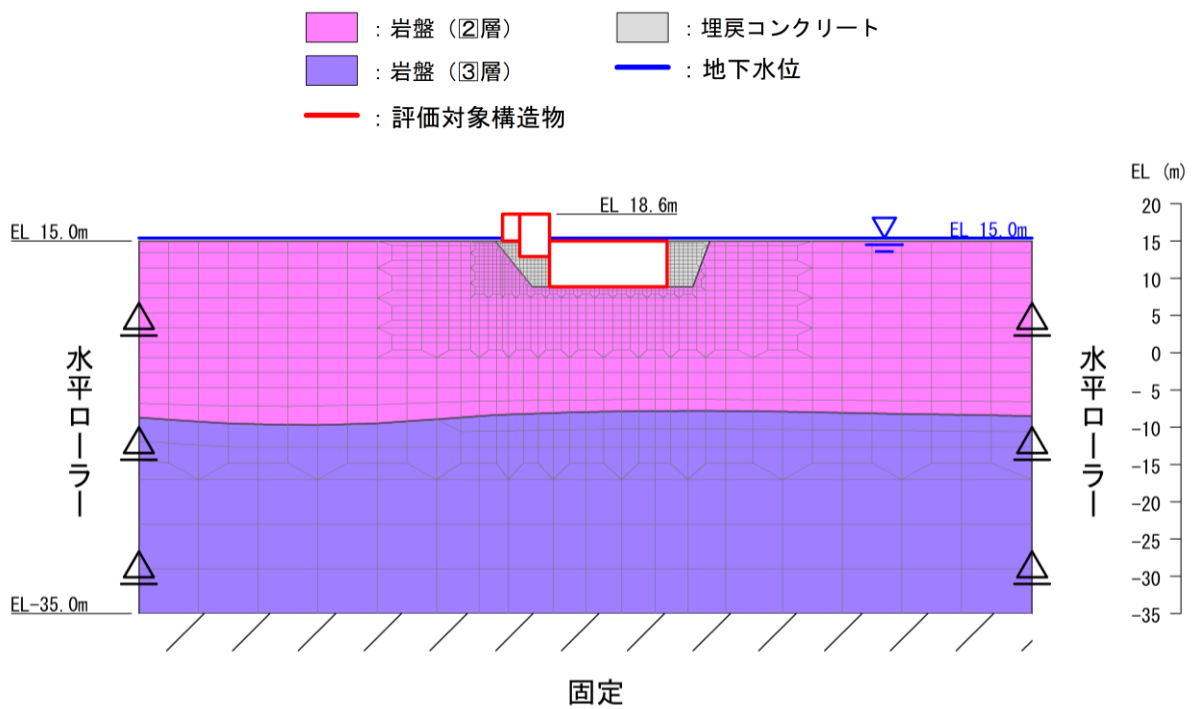


図 7-2 解析モデル図 (B-B 断面)

8. ジョイント要素の設定

ジョイント要素の設定は本文のうち「3.2.7 ジョイント要素の設定」と同様とする。

9. 許容限界

9.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 9-1 及び表 9-2 に示す。

表 9-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度（A-A断面，B-B断面）

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f' _{ck} = 24.0 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ' _{ca}	9.00
許容せん断応力度 τ _{a1}		0.45	0.68

注記*：コンクリート標準示方書 2002 により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 9-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度（A-A断面，B-B断面）

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD345	許容引張応力度 σ _{sa}	196

注記*：コンクリート標準示方書 2002 により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

9.2 せん断破壊に対する許容限界

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の静的地震力に対する耐震性を有することの確認におけるせん断破壊に対する許容限界は、表 9-1 に示す短期許容応力度とする。

なお、せん断補強鉄筋が配置される部材の許容限界は、表 9-1 及び表 9-2 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。

$$V_a = V_c + V_s$$

ここに、V _a：短期許容せん断力

V _c：コンクリートが分担するせん断力

V _s：せん断補強鉄筋が分担するせん断力

$$V_c = \frac{1}{2} \tau_{a1} \cdot b_w \cdot z$$

ここに、 τ_{a1} : コンクリートの短期許容せん断応力度

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で
 $d/1.15$ とする。

$$V_s = \left\{ A_w \sigma'_{sa} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z$$

ここに、 A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

σ'_{sa} : 鉄筋の短期許容引張応力度

α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強鉄筋の配置間隔

9.3 基礎地盤の支持力に対する許容限界

9.3.1 基礎地盤

基礎地盤に作用する設置圧に対する許容限界は、短期許容支持力度とし、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -2008（（一般社団法人）日本電気協会 原子力規格委員会）に基づき極限支持力度の 2/3 とする。

基礎地盤の許容限界を表 9-3 に示す。

表 9-3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
短期許容支持力度	C _M 級岩盤	6.5

10. 評価結果

(1) A-A断面

静的地震力に対する評価結果を表 10-1～表 10-3 に示す。また、最も厳しい照査値の地震時断面力を図 10-2 に示す。

表 10-1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (A-A断面, コンクリート)

評価位置*		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
頂版	1	75.3	144	2.36	13.5	0.18
側壁	4	-235	330	2.49	13.5	0.19
隔壁	6	-36.6	331	1.07	13.5	0.08
底版	8	-236	408	2.44	13.5	0.19

注記* : 評価位置は図 10-1 に示す。

表 10-2 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (A-A断面, 鉄筋)

評価位置*		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
頂版	3	63.5	78.5	46.3	294	0.16
側壁	4	-235	330	44.7	294	0.16
底版	10	-151	116	40.7	294	0.14

注記* : 評価位置は図 10-1 に示す。

表 10-3 せん断破壊に対する評価結果 (A-A断面)

評価位置*		発生 せん断力 Q (kN)	短期許容 せん断力 Va (kN)	照査値 Q/Va
頂版	3	61.7	703	0.09
側壁	4	143	670	0.22
隔壁	6	22.5	703	0.04
底版	8	291	739	0.40

注記* : 評価位置は図 10-1 に示す。

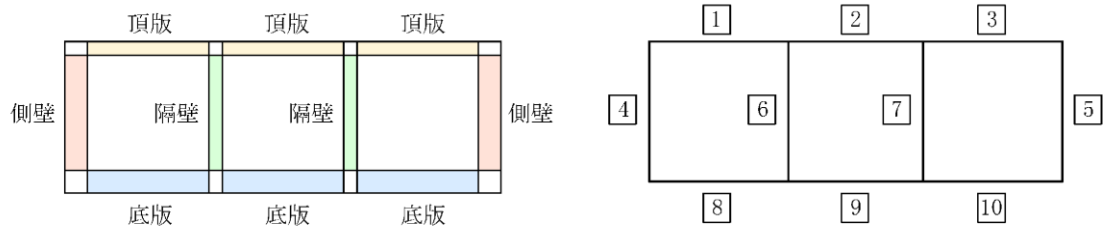
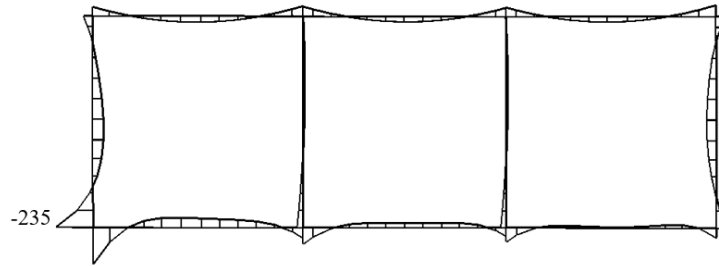
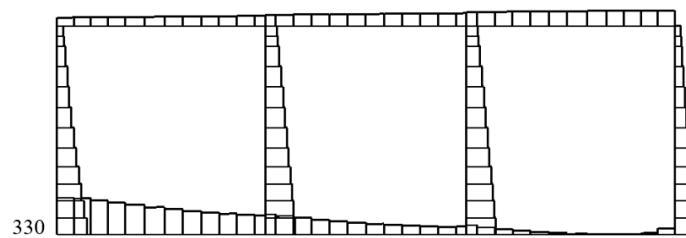


図 10-1 評価位置図 (A-A断面)



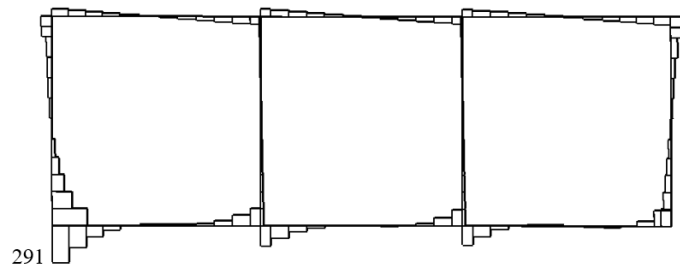
数值：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数值：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数值：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 10-2 最も厳しい照査値の断面力 (A-A 断面)

(2) B-B断面

静的地震力に対する評価結果を表 10-4～表 10-9 に示す。また、最も厳しい照査値の地震時断面力を図 10-5 及び図 10-6 に示す。

表 10-4 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果
(B-B断面, タンク室, コンクリート)

評価位置*		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
側壁	8	409	164	5.17	13.5	0.39
隔壁	10	551	352	6.91	13.5	0.52

注記*：評価位置は図 10-3 に示す。

表 10-5 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果
(B-B断面, ポンプ室, コンクリート)

評価位置*		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
頂版	2	67.3	41.4	2.20	13.5	0.17
側壁	5	-102	127	3.29	13.5	0.25
隔壁	9	84.1	93.5	2.72	13.5	0.21
底版	12	-427	525	4.66	13.5	0.35

注記*：評価位置は図 10-4 に示す。

表 10-6 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果
(B-B断面, タンク室, 鉄筋)

評価位置*		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
側壁	8	409	164	227	294	0.78
隔壁	10	551	352	273	294	0.93

注記* : 評価位置は図 10-3 に示す。

表 10-7 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果
(B-B断面, ポンプ室, 鉄筋)

評価位置*		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
頂版	2	67.3	41.4	57.7	294	0.20
側壁	5	-102	127	74.6	294	0.26
隔壁	9	84.1	93.5	63.5	294	0.22
底版	12	-427	525	119	294	0.41

注記* : 評価位置は図 10-4 に示す。

表 10-8 せん断破壊に対する評価結果（B-B断面，タンク室）

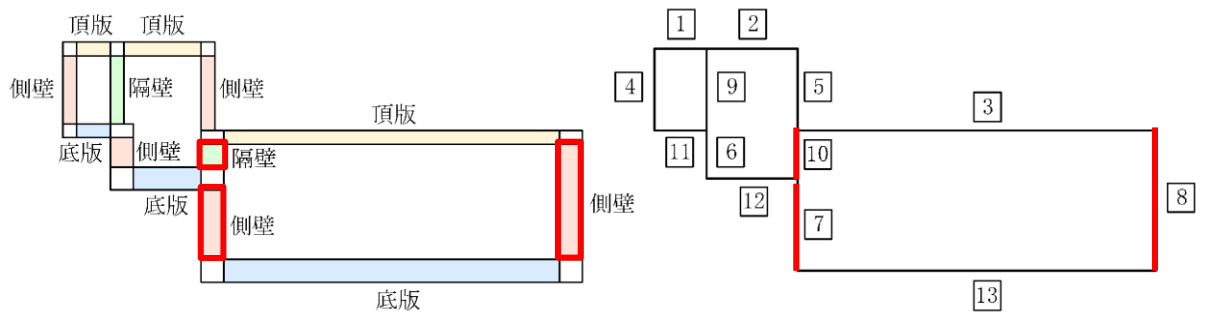
評価位置*		発生 せん断力 Q (kN)	短期許容 せん断力 Va (kN)	照査値 Q/Va
側壁	8	575	670	0.86
隔壁	10	510	670	0.77

注記*：評価位置は図 10-3 に示す。

表 10-9 せん断破壊に対する評価結果（B-B断面，ポンプ室）

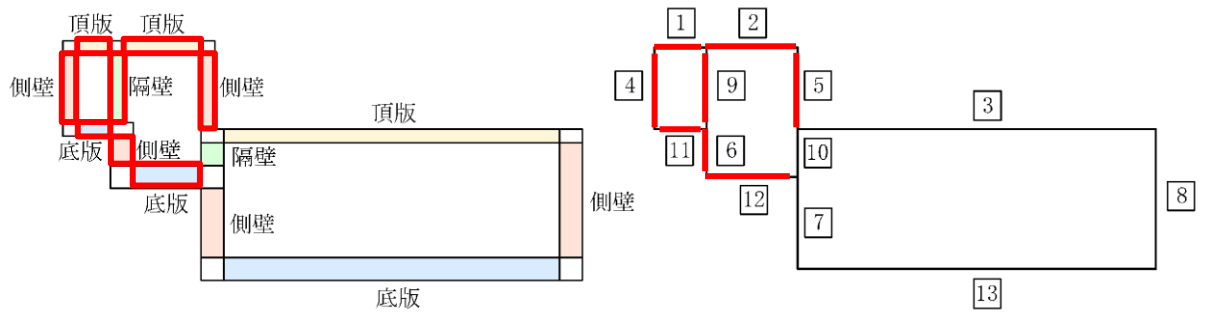
評価位置*		発生 せん断力 Q (kN)	短期許容 せん断力 Va (kN)	照査値 Q/Va
頂版	1	56.1	703	0.08
側壁	6	129	670	0.20
隔壁	9	44.9	703	0.07
底版	12	296	670	0.45

注記*：評価位置は図 10-4 に示す。



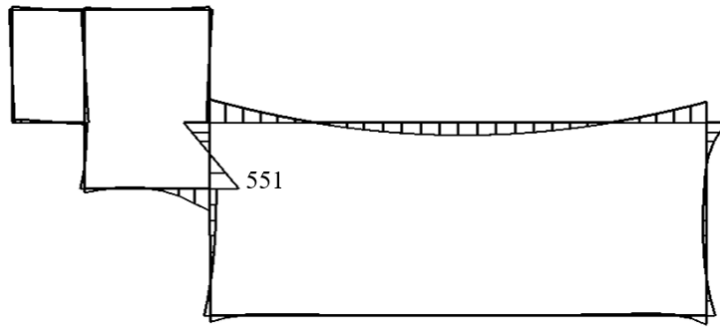
対象部材：7, 8, 10

図 10-3 評価位置図 (B-B 断面, タンク室)



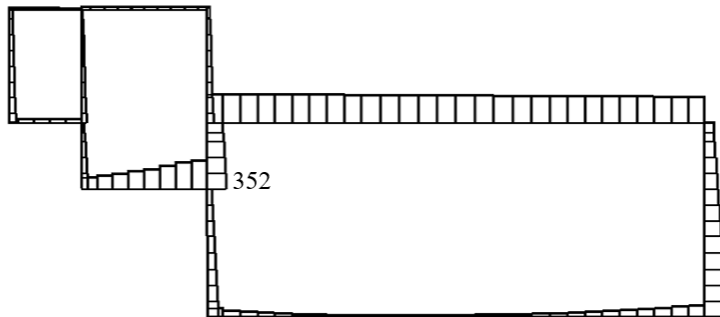
対象部材：1, 2, 4, 5, 6, 9, 11, 12

図 10-4 評価位置図 (B-B 断面, ポンプ室)



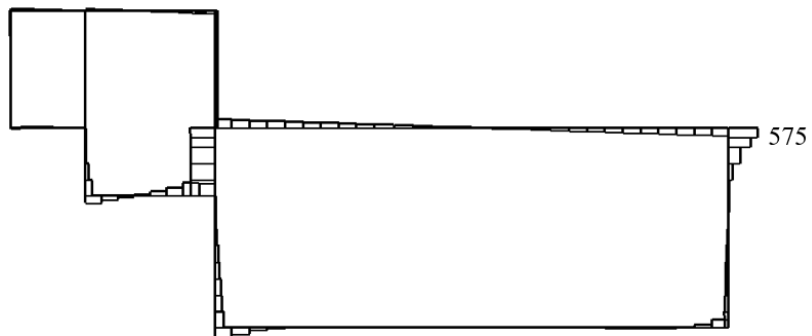
数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力

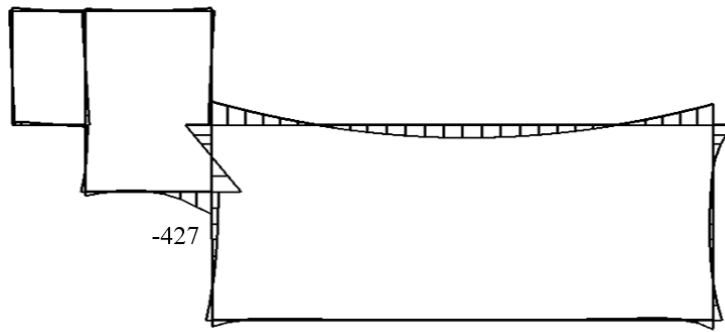
(b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)



数値：評価位置における断面力

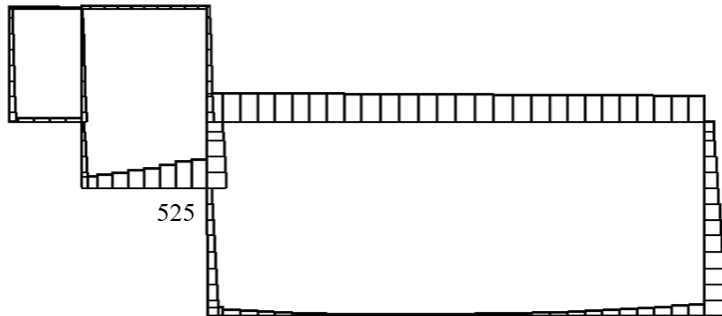
(c) せん断力 (kN)

図 10-5 最も厳しい照査値の断面力 (B-B 断面, タンク室)



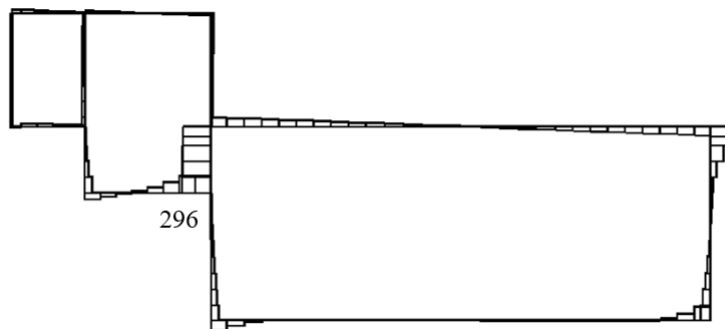
数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)



数値：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 10-6 最も厳しい照査値の断面力 (B-B 断面, ポンプ室)

11. 基礎地盤の支持性能

(1) A-A断面

基礎地盤の支持性能に対する評価結果を表 11-1 に示す。また、最大接地圧分布図を図 11-1 に示す。

基礎地盤に作用する接地圧が短期許容支持力度を下回ることを確認した。

表 11-1 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 (A-A断面)

地震荷重	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	短期許容 支持力度 R_a (N/mm ²)	照査値 R_d/R_a
静的地震力	0.35	6.5	0.06

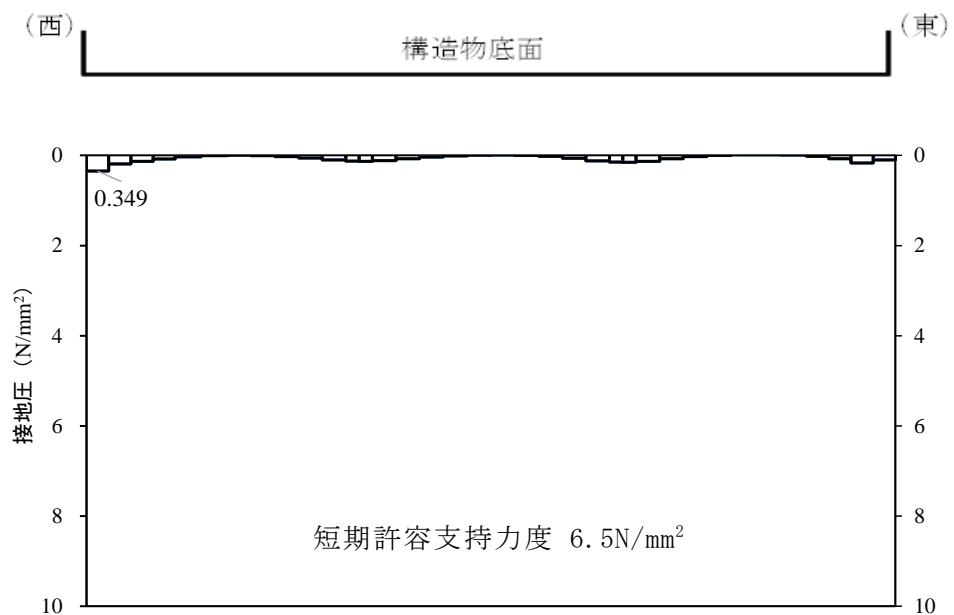


図 11-1 基礎地盤の最大接地圧分布図

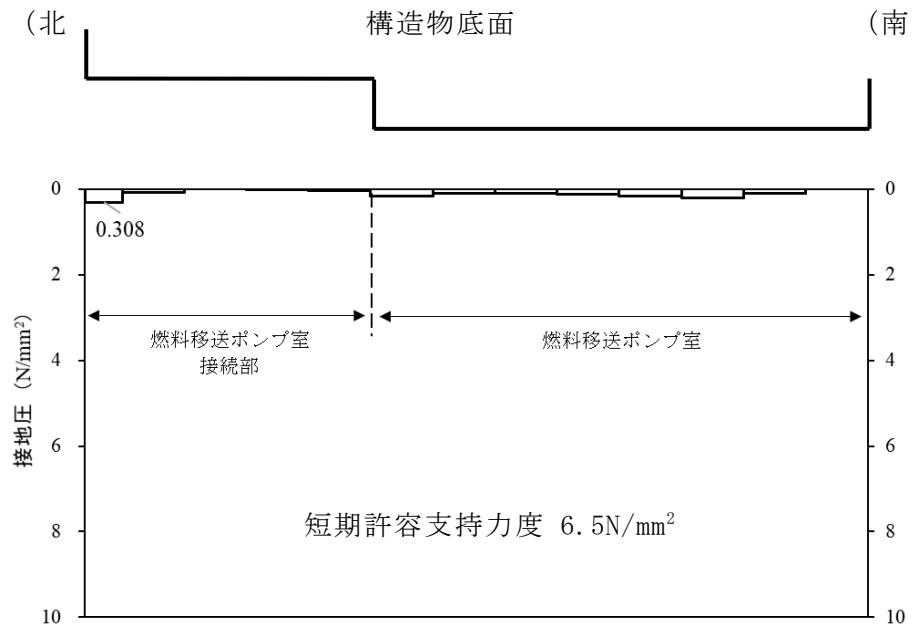
(2) B-B断面

基礎地盤の支持性能に対する評価結果を表 11-2 に示す。また、最大接地圧分布図を図 11-2 に示す。

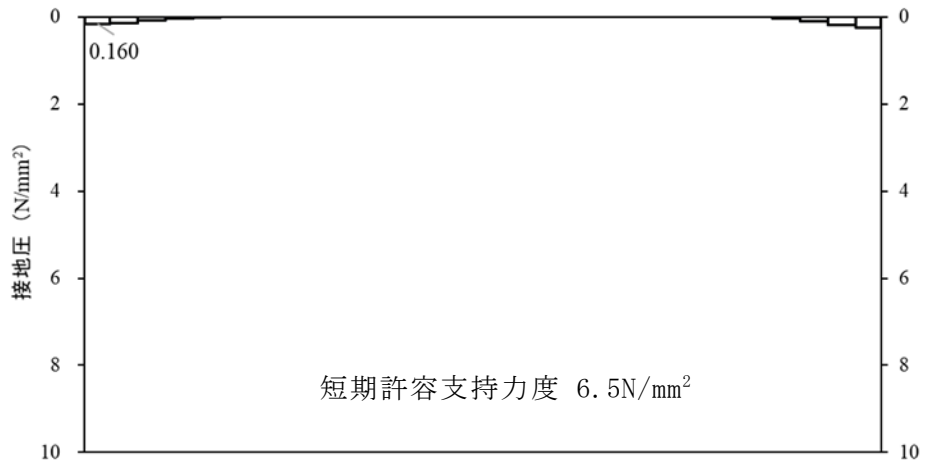
基礎地盤に作用する接地圧が短期許容支持力度を下回ることを確認した。

表 11-2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 (B-B断面)

地震荷重	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	短期許容 支持力度 R_a (N/mm ²)	照査値 R_d/R_a
静的地震力	0.31	6.5	0.05



ポンプ室及び接続部底版



タンク室底版

図 11-2 基礎地盤の最大接地圧分布図

12. まとめ

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽について、静的地震力に対して耐震性を有することの確認を行った。

その結果、構造部材（コンクリート及び鉄筋）の発生応力度が短期許容応力度を下回ることを確認した。また、基礎地盤に作用する接地圧が短期許容支持力度を下回ることを確認した。

以上のことからB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は設計上求められる静的地震力に対して十分な耐震性を有することを確認した。

参考資料 3 せん断破壊に対する照査への線形被害則適用について

目 次

1. はじめに	1
2. 許容限界を超える部材	1
3. 線形被害則によるせん断破壊に対する照査	4
3.1 線形被害則の概要	4
3.2 線形被害則によるせん断破壊に対する照査方法	6
4. 線形被害則による照査	14
5. まとめ	16

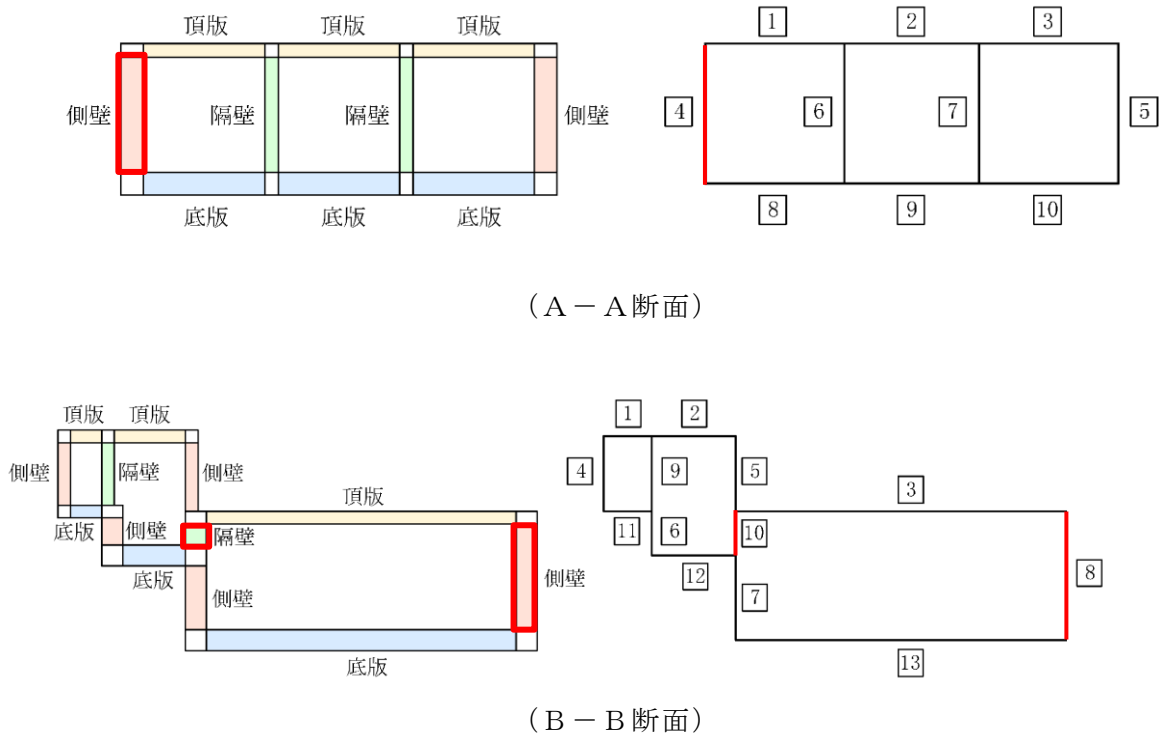
参考資料 3 セン断破壊に対する照査への線形被害則適用について

1. はじめに

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽のせん断破壊に対する照査については、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認することとしている。せん断照査の結果、照査用せん断力がせん断耐力を超える部材については、線形被害則を適用し、再照査を実施したことから、線形被害則適用による照査結果について示す。

2. 許容限界を超える部材

基準地震動 S_s に対する耐震評価の結果、せん断破壊に対する照査値が 1.0 を超える要素が存在することが確認された。当該部材の位置を図 2-1 に、当該位置におけるの最大照査値の一覧を表 2-1～表 2-3 に示す。



— : せん断耐力式による照査において、照査値が 1.0 を超える要素が存在する部材

図 2-1 セン断破壊に対する照査値が 1.0 を超える要素が存在する部材

表 2-1 照査用せん断力が許容限界を超える部材の最大照査値一覧
(A-A断面, 側壁, 解析ケース②, S_s-D (+-))

部位		側壁
断面高さ (mm)		1000
使用 鉄筋	外側	D22@200
	内側	D22@200
せん断補強筋		D22@400×400
かぶり厚 (mm)		150
照査用せん断力* (kN)		822
せん断耐力 (kN)		793
照査値		1.04
要求性能		構造強度

注記* : 照査用せん断力 = 発生せん断力 × 構造解析係数 γ_a (=1.05)

表 2-2 照査用せん断力が許容限界を超える部材の最大照査値一覧
(B-B断面, 長辺方向の側壁, 解析ケース③, S_s-D (++)

部位		長辺方向の側壁
断面高さ (mm)		1000
使用 鉄筋	外側	D22@200
	内側	D22@200
せん断補強筋		D22@400×400
かぶり厚 (mm)		150
照査用せん断力* (kN)		796
せん断耐力 (kN)		800
照査値		1.00
要求性能		構造強度

注記* : 照査用せん断力 = 発生せん断力 × 構造解析係数 γ_a (=1.05)

表 2-3 照査用せん断力が許容限界を超える部材の最大照査値一覧
 (B-B断面, 長辺方向の隔壁, 解析ケース①, S_s-D(++))

部位		長辺方向の隔壁
断面高さ (mm)		1000
使用 鉄筋	外側	D22@200
	内側	D22@200
せん断補強筋		D22@400×400
かぶり厚 (mm)		150
照査用せん断力* (kN)		930
せん断耐力 (kN)		808
照査値		1.16
要求性能		構造強度

注記* : 照査用せん断力 = 発生せん断力 × 構造解析係数 γ_a (=1.05)

3. 線形被害則によるせん断破壊に対する照査

3.1 線形被害則の概要

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽のせん断破壊に対する照査は、土木学会マニュアル 2005 に準拠し実施している。せん断破壊に対する照査について、土木学会マニュアル 2005 では、以下の 3 つの選択肢のいずれかを用いて評価すると記載がある。

- ① せん断耐力評価式
- ② 分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法
(等価せん断スパン比を用いた方法又は線形被害則を用いた方法)
- ③ 材料非線形解析を用いる方法

①→②→③の順でより合理的な結果が得られる反面、計算労力が増大することから、本解析では「①せん断耐力評価式」を基本とし、許容限界を満足しないと判定される部材だけを取り出し、「②分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法」のうち「線形被害則」を用いた方法により再照査を行うこととする。

線形被害則による評価方法を図 3-1 に示す。線形被害則による評価は、地震応答解析の結果から得られた断面力分布をもとに耐力を算定する。

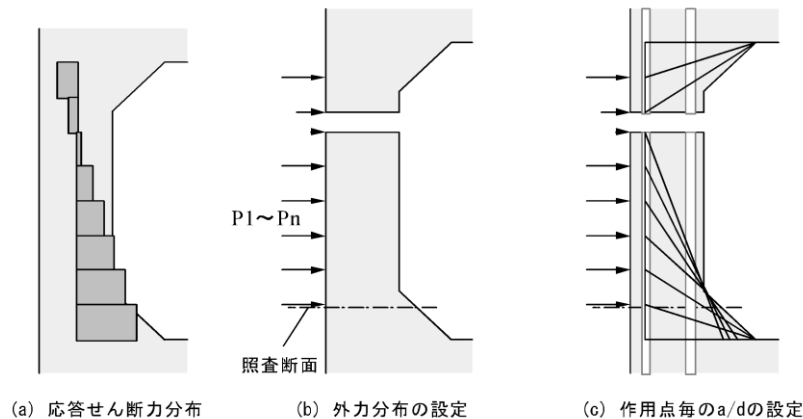


図 6.3-5 線形被害則を用いたせん断耐力評価法

(2) 線形被害則を用いた方法

このせん断耐力評価法では、応答解析の結果得られた断面力分布を基に耐力を算定する (図 6.3-5 参照)。

a. 部材の分割

応答せん断力分布を見て、部材中にせん断力の反転する点がある場合は、その点で領域分割する。照査は双方の領域に対して行う。

b. 荷重分布の設定

応答せん断力分布から、それと同じ状況を再現できる荷重分布を求める。部材非線形解析で応答を求めると、節点位置で階段状にせん断力が変化する。この変化分を着目節点位置に作用する荷重とすればよい。a. の操作による分割点における変化分は両側の領域に配分する。

c. 照査断面の設定

照査断面は、せん断応力度 (応答せん断力を断面積で除した値) が最大となる断面とする。

d. 線形被害則の適用

個々の作用 P_j (応答値側の安全係数を含む) に対するせん断耐力 V_j (限界値側の安全係数を含む) を評価し、作用力とせん断耐力の比の総和に構造物係数を乗じた値が 1.0 以内であることを確認を行う。

$$\gamma_i \cdot \sum_j \frac{P_j}{V_j} \leq 1.0 \quad (6.3-9)$$

せん断耐力は、6.3.2 項(2)で記したせん断耐力の基本式により求める。各作用に対して、作用点—支承前面間の距離を a 、有効部材厚を d として a/d を設定することを基本とする。ただし、6.3.2 項(3)と同じ要領でハンチを考慮することができる。照査断面よりも支点よりにある作用点の影響は考慮しなくてよい。なお、線形被害則を用いたこの手法は、部材外面からの作用を想定しているのに対し、断面力の中には作用点が部材外面でない慣性力の成分も含まれている。しかし、これらの部材においては土圧が支配的であると見え、すべて外面から作用しているものとして扱う。

図 3-1 線形被害則を用いたせん断耐力評価法

(土木学会マニュアル 2005, p. 129~130 から抜粋)

3.2 線形被害則によるせん断破壊に対する照査方法

「2. 許容限界を超える部材」で示した部材について、線形被害則を適用する。

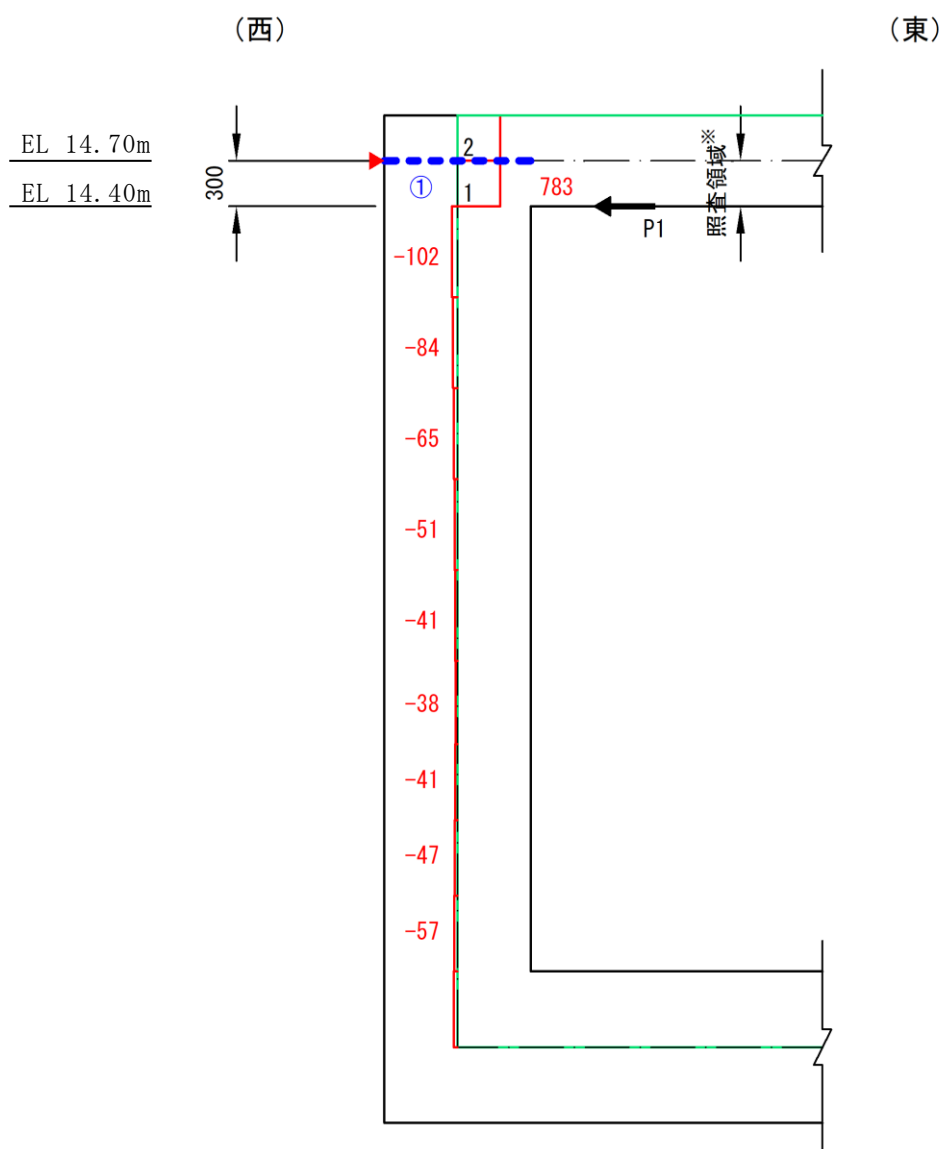
当該部材におけるせん断耐力は、土木学会マニュアル 2005 に基づき、せん断耐力の基本式（棒部材式もしくはディープビーム式）により算出し、せん断スパン比によって、棒部材式とディープビーム式のどちらのせん断耐力を使用するか決定する。

個々の作用 P_j （応答側の安全係数を含む）に対するせん断耐力 V_j （限界値側の安全係数を含む）を評価し、作用力とせん断耐力の比の総和に構造解析係数 γ_α を乗じた値が 1.0 以内であることの確認を行う。

図 3-2～図 3-4 に、各部材におけるせん断力分布図を示し、表 3-1～表 3-3 にせん断力分布及び照査荷重を示す。

また、土木学会マニュアル 2005 に記載のあるせん断耐力の基本式（棒部材式とディープビーム式）を図 3-5 に示す。

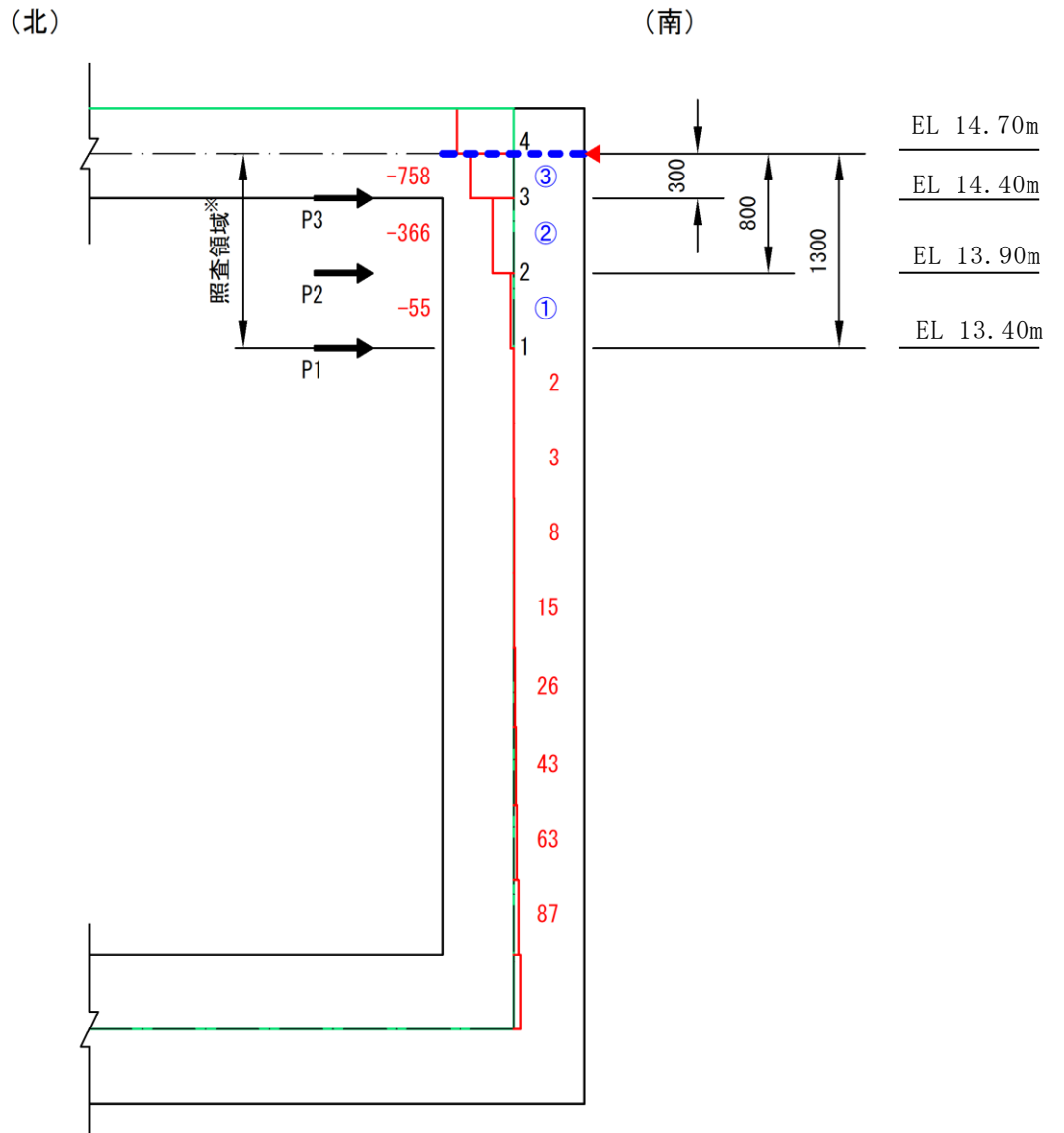
$$\gamma_\alpha \cdot \sum_j \frac{P_j}{V_j} \leq 1.0$$



※ 対象部材であるタンク室西側壁の照査領域は、タンク室頂版を地表面標高に合わせて頂版上面位置でモデル化していることから、安全側にタンク室頂版軸心位置からとしている。

黒数字	: 節点番号
青数字	: 要素番号
赤数字	: 要素中央断面力 (kN)
---	: 照査断面位置
▲	: 支点位置
---	: 構造物軸心
—	: 解析モデル形状

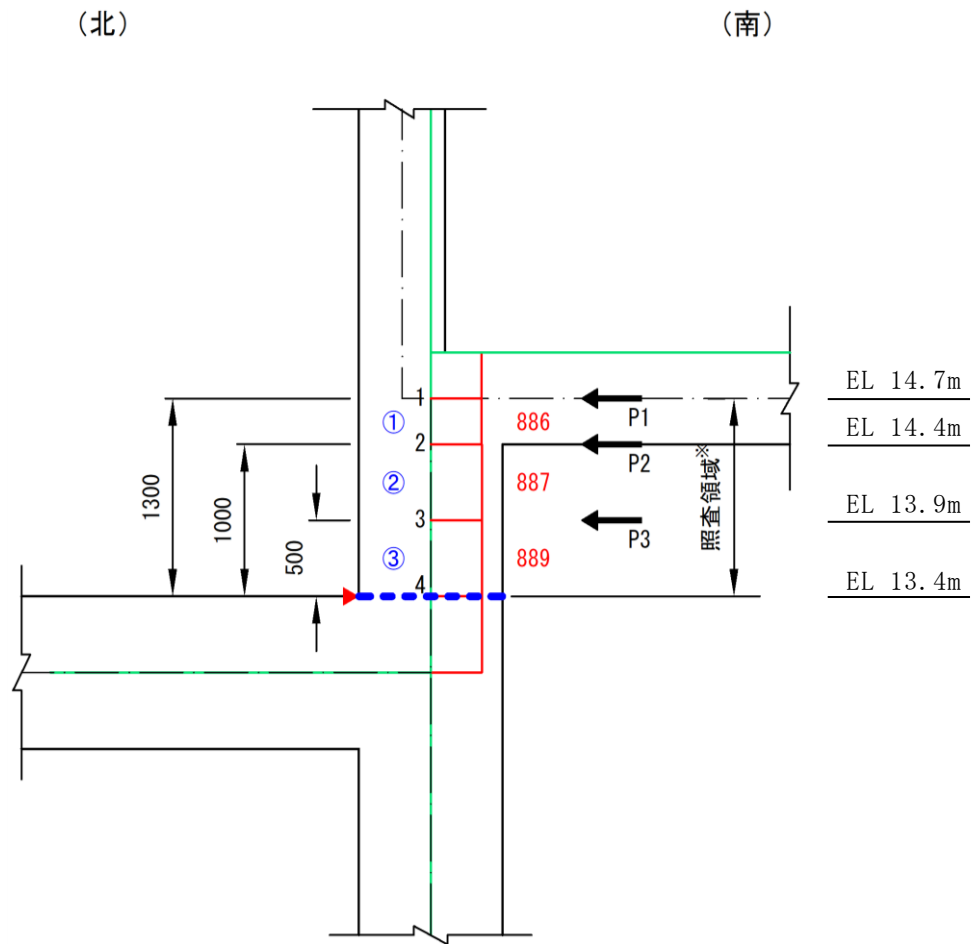
図 3-2 せん断力分布図 (A-A 断面, 側壁)



※ 対象部材であるタンク室南側壁の調査領域は、タンク室頂版を地表面標高に合わせて頂版上面位置でモデル化していることから、安全側にタンク室頂版軸心位置からとしている。

黒数字	： 節点番号
青数字	： 要素番号
赤数字	： 要素中央断面力 (kN)
---	： 調査断面位置
▲	： 支点位置
---	： 構造物軸心
—	： 解析モデル形状

図 3-3 セン断力分布図 (B-B 断面, 長辺方向の側壁)



※ 対象部材であるポンプ室～タンク室間の隔壁の照査領域は、タンク室頂版を地表面標高に合わせて頂版上面位置でモデル化していることから、安全側にタンク室頂版軸心位置までとしている。

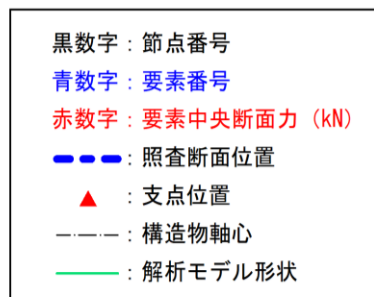


図 3-4 せん断力分布図 (B-B 断面, 長辺方向の隔壁)

表 3-1 せん断力分布及び照査荷重 (A-A断面, 側壁)

要素番号	要素長さ (m)	要素中央座標 (m)	せん断力 S (kN)
①	0.300	14.550	783

節点番号	節点座標 (m)	せん断力増分 ΔS (m)	照査荷重 P (kN)
1	14.400	783	822
2	14.700	—	—

表 3-2 せん断力分布及び照査荷重 (B-B断面, 長辺方向の側壁)

要素番号	要素長さ (m)	要素中央座標 (m)	せん断力 S (kN)
①	0.500	13.650	-55
②	0.500	14.150	-366
③	0.300	14.550	-758

節点番号	節点座標 (m)	せん断力増分 ΔS (m)	照査荷重 P (kN)
1	13.400	55	58
2	13.900	310	326
3	14.400	392	412
4	14.700	—	—

表 3-3 せん断力分布及び照査荷重 (B-B断面, 長辺方向の隔壁)

要素番号	要素長さ (m)	要素中央座標 (m)	せん断力 S (kN)
①	0.300	14.550	886
②	0.500	14.150	887
③	0.500	13.650	889

節点番号	節点座標 (m)	せん断力増分 ΔS (m)	照査荷重 P (kN)
1	14.700	886	930
2	14.400	1	1
3	13.900	2	2
4	13.400	—	—

(2) 棒部材式とディープビーム式

せん断耐力は、棒部材式(6.3-3)とディープビーム式(6.3-6)の大きい方として算出する。これを以降では「せん断耐力の基本式」と称する。

a. 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} \quad (6.3-3)$$

ここに、 V_{cd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc} \quad (6.3-4)$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_c} \quad \text{ただし, } f_{vcd} > 0.72 \text{ [N/mm}^2\text{]} \text{ となる場合は } f_{vcd} = 0.72 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_0 / M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし, } \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2M_0 / M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし, } \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし, } \beta_a < 1.0 \text{ となる場合は } \beta_a = 1.0$$

($a/d = 5.6$ で $\beta_a = 1.0$ となって示方書棒部材式に一致)

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$: 引張鉄筋比

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

N'_d : 設計軸圧縮力

M_d : 設計曲げモーメント

$M_0 = N'_d \cdot D / 6$: M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

D : 断面高さ

a : 後述の(3)で定めるスパン

γ_{bc} : 部材係数 (表 6.1-1 参照, コンクリート寄与分用の値)

$$V_{sd} = \{ A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \} z / \gamma_{bs} \quad (6.3-5)$$

図 3-5 (1) せん断耐力の基本式 (棒部材式とディープビーム式)

(土木学会マニュアル 2005, p. 125~p. 126 より抜粋)

A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積
 f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度で、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性が 60N/mm^2 以上のときは、 800N/mm^2 以下としてよい。(特性値を材料係数で除したもの)
 α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度
 s : せん断補強鉄筋の配置間隔
 z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、一般に $d/1.15$ としてよい。
 γ_{bs} : 部材係数 (表 6.1-1 参照, せん断補強筋寄与分用の値)

b. ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd} \quad (6.3-6)$$

ここに、 V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力
 V_{sdd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc} \quad (6.3-7)$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d[\text{m}]) \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_a = \frac{5}{1+(a/d)^2}$$

γ_{bc} : 部材係数 (表 6.1-1 参照, コンクリート寄与分用の値)

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd} \quad (6.3-8)$$

$$\phi = -0.17 + 0.3a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし, } 0 \leq \phi \leq 1$$

V_{sd} : (6.3-5)式による

p_{wb} : せん断補強鉄筋比[%]

図 3-5 (2) せん断耐力の基本式 (棒部材式とディープビーム式)
(土木学会マニュアル 2005, p. 125~p. 126 より抜粋)

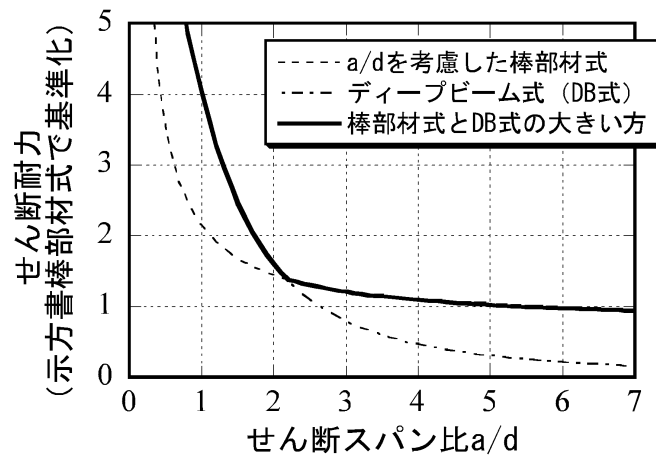


図 3-5 (3) せん断耐力の基本式 (棒部材式とディープビーム式の適用区分)
 (土木学会マニュアル 2005, p. 126 より抜粋)

4. 線形被害則による照査

「3.3 線形被害則によるせん断破壊に対する照査」に基づき、表 2-1～表 2-3 に示す部材について、照査値を満足することを確認した。最大照査値となる評価結果を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 線形被害則による照査結果（A-A断面，側壁）

要素 番号	節点 番号	照査用 荷重 P_j (kN)	せん断 スパン比 a/d	せん断耐力 V_{yd} (kN)		せん断照査	
				棒部材式	ディープビーム式	V_{yd} (kN) *	P_j/V_j
①	1	822	0.3529	1963	2070	2070	0.40
$\gamma_i \Sigma P_j/V_j$							0.40

注記*： $a/d \leq 2$ の場合はディープビーム式， $a/d \geq 3.5$ の場合は棒部材式によるせん断耐力を採用し， $2 < a/d < 3.5$ の場合は棒部材式とディープビーム式のうちせん断耐力が大きい値を採用する。

表 4-2 線形被害則による照査結果（B-B断面，長辺方向の側壁）

要素 番号	節点 番号	照査用 荷重 P_j (kN)	せん断 スパン比 a/d	せん断耐力 V_{yd} (kN)		せん断照査	
				棒部材式	ディープビーム式	V_{yd} (kN) *	P_j/V_j
①	1	58	1.5294	959	1069	1069	0.05
②	2	326	0.9412	1095	1461	1461	0.22
③	3	412	0.3529	1688	2070	2070	0.20
$\gamma_i \Sigma P_j/V_j$							0.48

注記*： $a/d \leq 2$ の場合はディープビーム式， $a/d \geq 3.5$ の場合は棒部材式によるせん断耐力を採用し， $2 < a/d < 3.5$ の場合は棒部材式とディープビーム式のうちせん断耐力が大きい値を採用する。

表 4-3 線形被害則による照査結果（B-B断面，長辺方向の隔壁）

要素 番号	節点 番号	照査用 荷重 P_j (kN)	せん断 スパン比 a/d	せん断耐力		せん断照査	
				$V_{y d}$ (kN)		$V_{y d}$ (kN) *	P_j/V_j
				棒部材式	ディープビーム式		
①	1	930	1.5294	990	1069	1069	0.87
②	2	1	1.1765	1061	1273	1273	0.00
③	3	2	0.5882	1367	1822	1822	0.00
$\gamma_i \Sigma P_j/V_j$							0.88

注記* : $a/d \leq 2$ の場合はディープビーム式， $a/d \geq 3.5$ の場合は棒部材式によるせん断耐力を採用し， $2 < a/d < 3.5$ の場合は棒部材式とディープビーム式のうちせん断耐力が大きい値を採用する。

5. まとめ

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽において、一部部材で照査用せん断力がせん断耐力を越えることから、線形被害則によるせん断耐力評価を実施し、照査用せん断力がせん断耐力を満足することを確認した。