

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-2-043-2 改1
提出年月日	2020年7月15日

V-2-10-3-1-2-1 海水貯留堰の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	8
3. 耐震評価	9
3.1 評価対象断面	9
3.2 解析方法	12
3.2.1 構造部材	12
3.2.2 地盤	13
3.2.3 減衰定数	14
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	14
3.3 荷重及び荷重の組合せ	15
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	15
3.3.2 荷重	16
3.3.3 荷重の組合せ	16
3.4 入力地震動	19
3.5 解析モデル及び諸元	46
3.5.1 解析モデル	46
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	49
3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値	50
3.5.4 地下水位	50
3.6 評価対象部位	50
3.6.1 構造部材の健全性評価	50
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	50
3.6.3 構造物の変形性評価	50
3.7 許容限界	51
3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界	51
3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	53
3.7.3 構造物の変形性に対する許容限界	53
3.8 評価方法	54
3.8.1 構造部材の健全性評価	54
3.8.2 基礎地盤の支持性能評価	70
3.8.3 構造物の変形性評価	70

4. 耐震評価結果	73
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果.....	73
4.1.1 鋼管矢板の健全性評価	73
4.1.2 止水ゴム取付部鋼材	74
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果.....	76
4.3 構造物の変形性に対する評価結果.....	77

1. 概要

本資料は、V-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、海水貯留堰が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

海水貯留堰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、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

海水貯留堰の位置図を図2-1に示す。

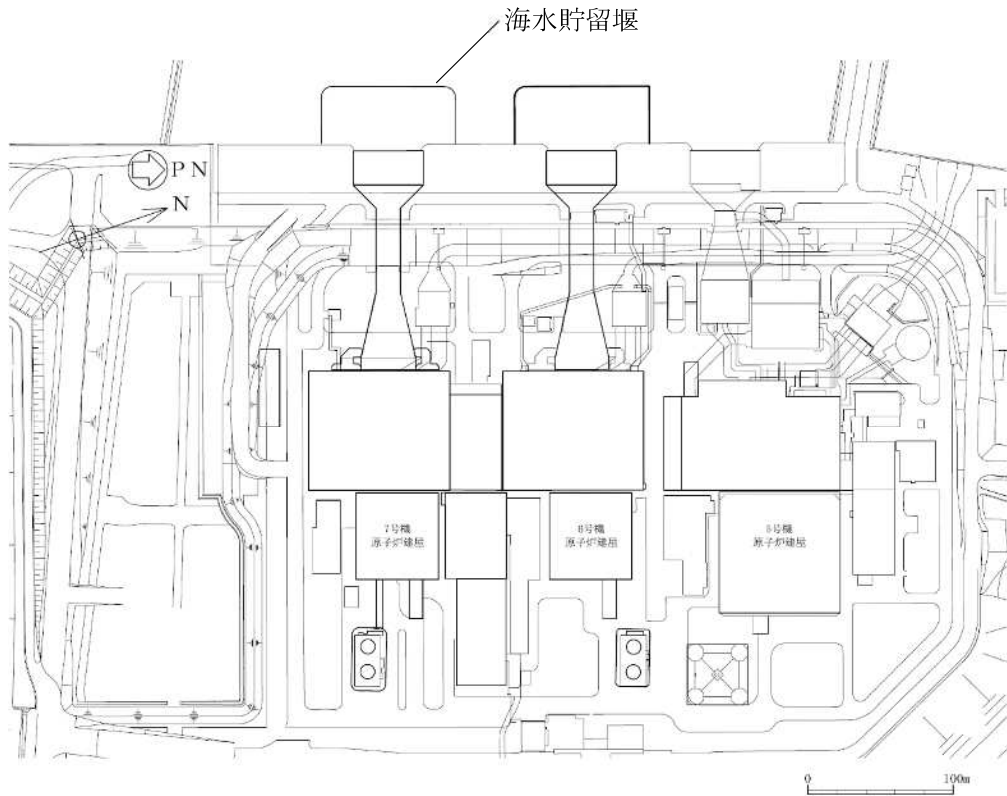


図2-1(1) 海水貯留堰の位置図 (全体平面図)

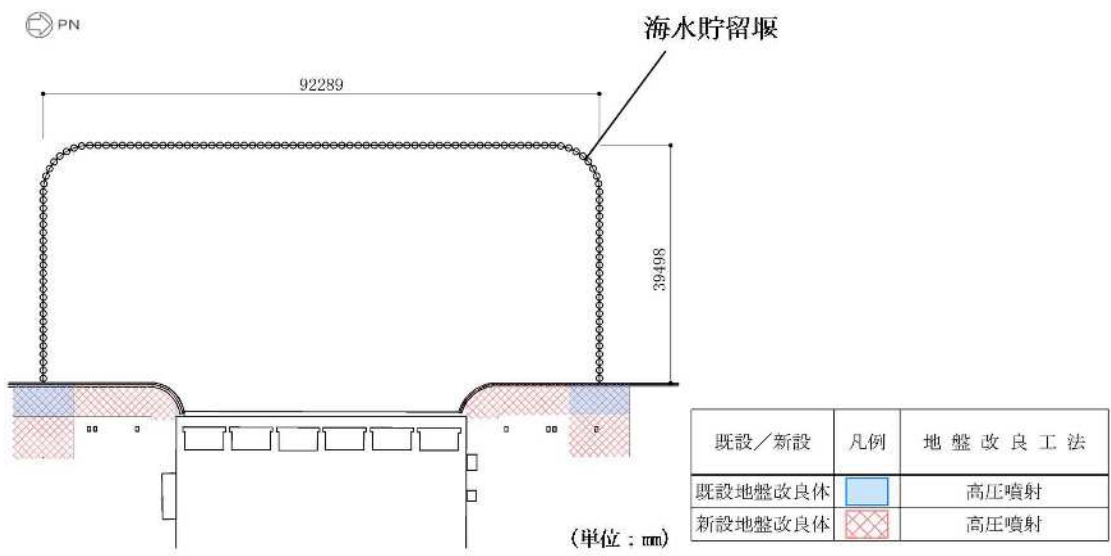


図2-1(2) 海水貯留堰の位置図 (拡大図)

2.2 構造概要

海水貯留堰の平面図を図 2-2、標準図を図 2-3 に示す。

海水貯留堰は、その機能及び目的から海水貯留堰本体及び取水護岸接続部に区分され、このうち海水貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手、取水護岸接続部は止水ゴム及び止水ゴム取付部鋼材より構成される。また、鋼管矢板には、海水による腐食防止のため、電気防食を施されている。取水護岸は、海水貯留堰の間接支持構造物であり、前面鋼矢板より構成される。また、前面鋼矢板には、海水による腐食防止のため、電気防食が施されている。

鋼管矢板は、φ1100mm の炭素鋼鋼管であり、全 122 本の鋼管矢板を連続的に打設することにより堰形状を構成する。鋼管矢板は、下端を十分な支持性能を有する古安田層もしくは西山層に支持される。天端は、原子炉補機冷却海水ポンプの取水に必要な水量を確保するため、海底地盤レベル T. M. S. L. -5.5m に対して天端高さを T. M. S. L. -3.5m としており、約 2m の堰高さを有する。海水貯留堰の寸法は、約 92m×約 40m である。

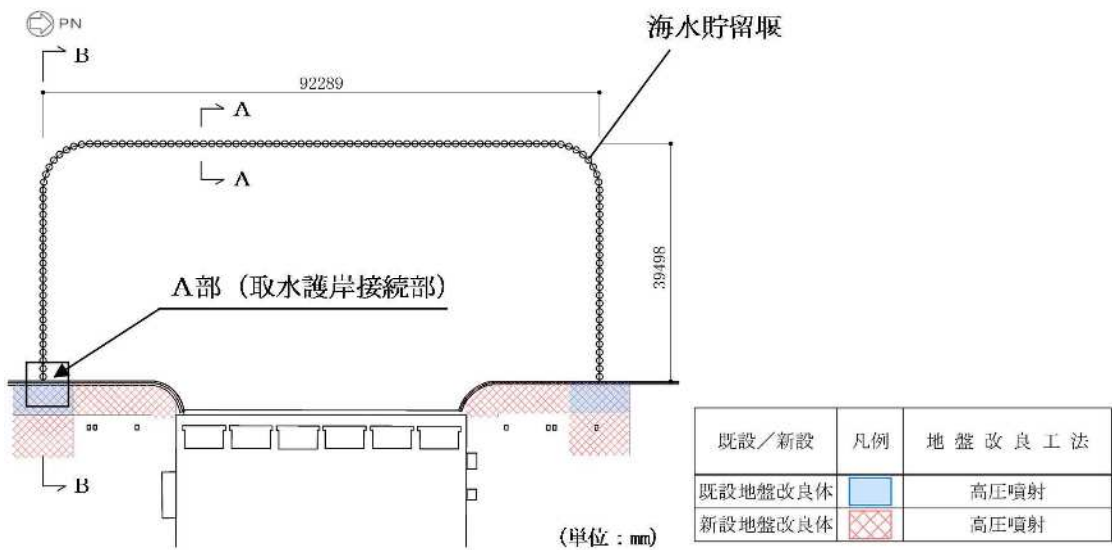


図 2-2(1) 海水貯留堰の平面図

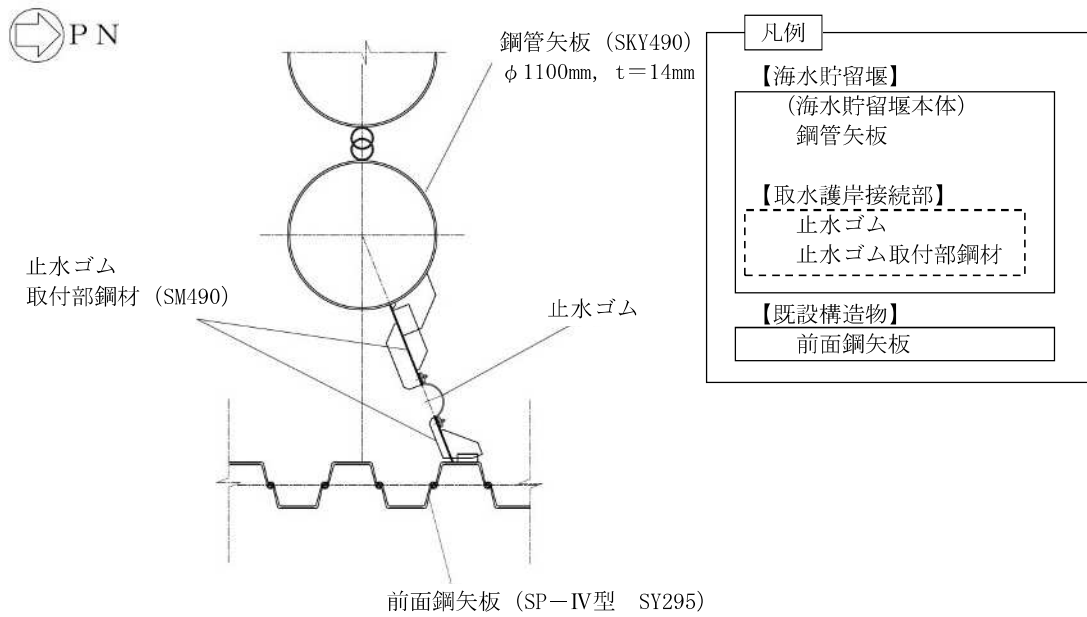
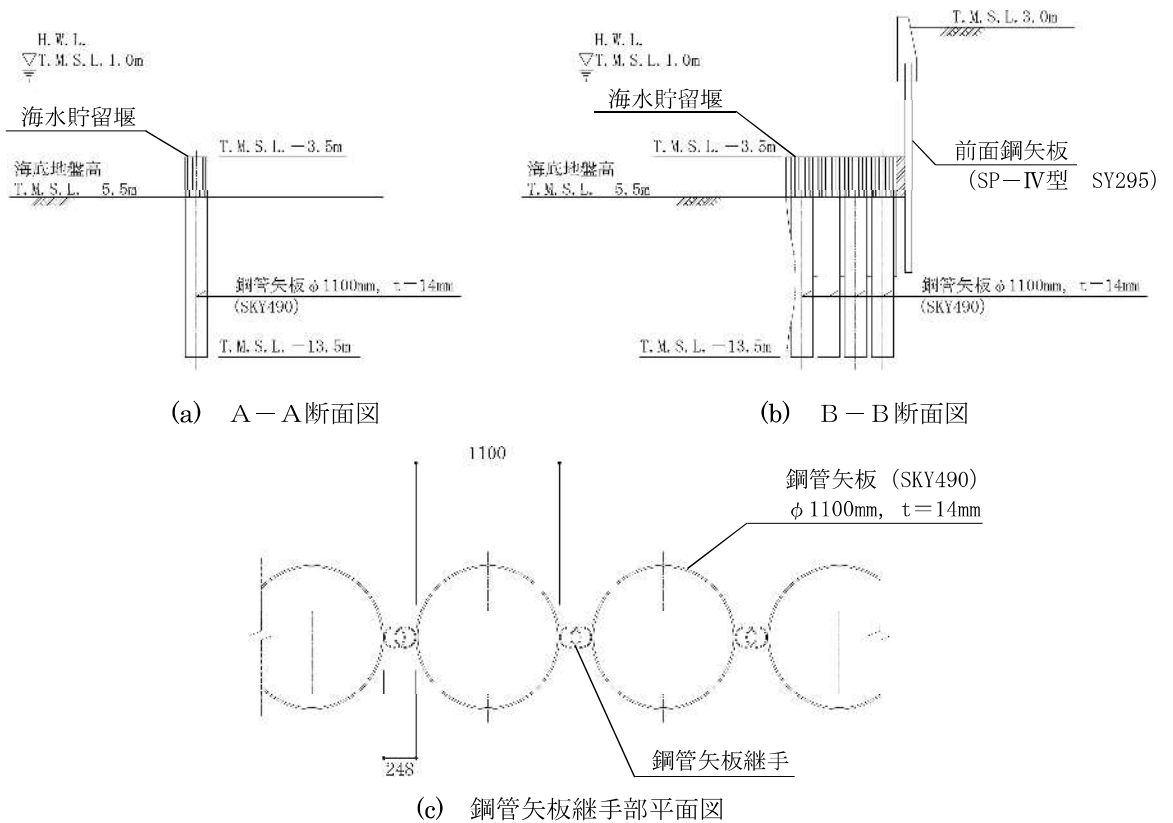


図 2-2 (2) 海水貯留堰の平面図 (A部拡大)



(単位 : mm)

図 2-3 海水貯留堰の標準図

2.3 評価方針

海水貯留堰は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設である浸水防護施設及び非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

海水貯留堰の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1の海水貯留堰の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を行う。

海水貯留堰の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰の耐震評価フローを図2-4に示す。

ここで、海水貯留堰は、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、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。

なお、海水貯留堰を構成する各鋼管矢板は、継手部を介して隣接鋼管矢板により鋼管矢板の軸方向に沿って拘束されており、軸方向の断面係数は、法線直角方向と比べて大きいことから、明確な強軸断面方向である。したがって、強軸断面方向の水平力により鋼管矢板に発生する曲げモーメントは比較的小さく、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表 2-1 海水貯留堰の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼管矢板	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

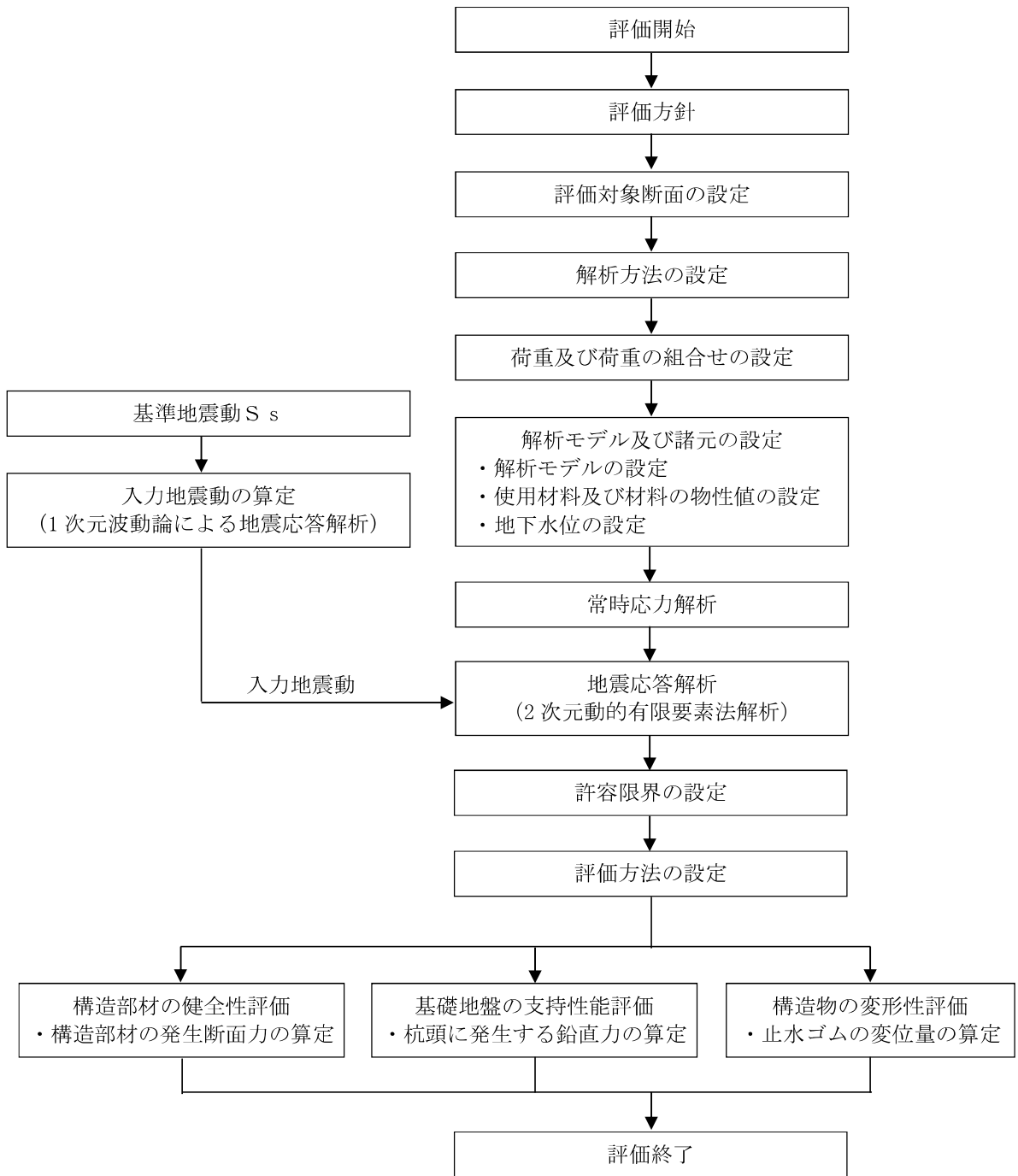


図 2-4 海水貯留堰の耐震評価フロー

2.4 適用基準

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 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 (日本電気協会)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 2007 版)
- ・乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 J E A C 4 6 1 6-2009 (日本電気協会)
- ・港湾鋼構造物防食・補修マニュアル (沿岸技術研究センター, 2009 年版)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)
- ・鋼矢板 設計から施工まで (鋼管杭協会, 平成 12 年 3 月)

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

海水貯留堰は、取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり、取水護岸に接続している。鋼管矢板の根入れは8mであり、西山層若しくは古安田層に直接設置される。

海水貯留堰の評価対象断面位置図を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は図3-1のA-A断面及びB-B断面とする。海水貯留堰の評価対象断面図を図3-2に示す。

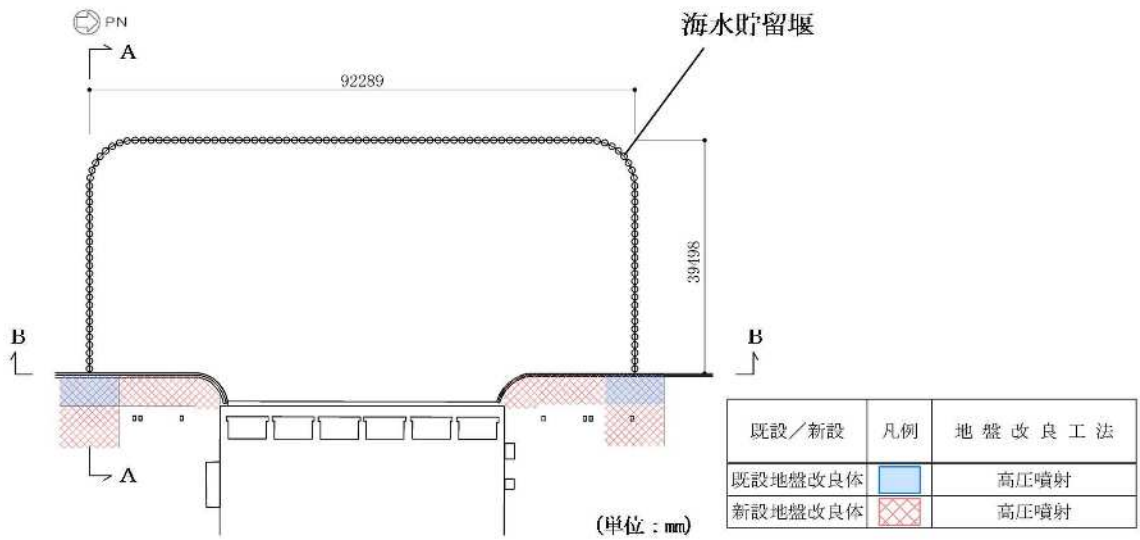


図3-1 海水貯留堰の評価対象断面位置図

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

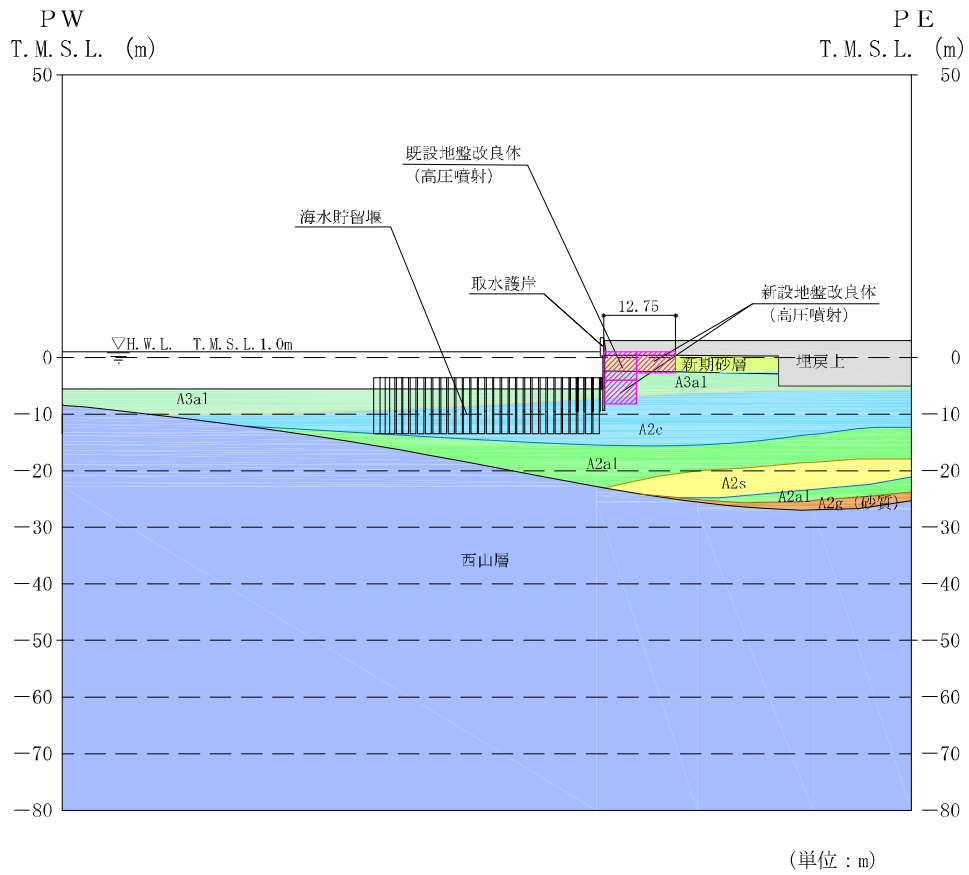
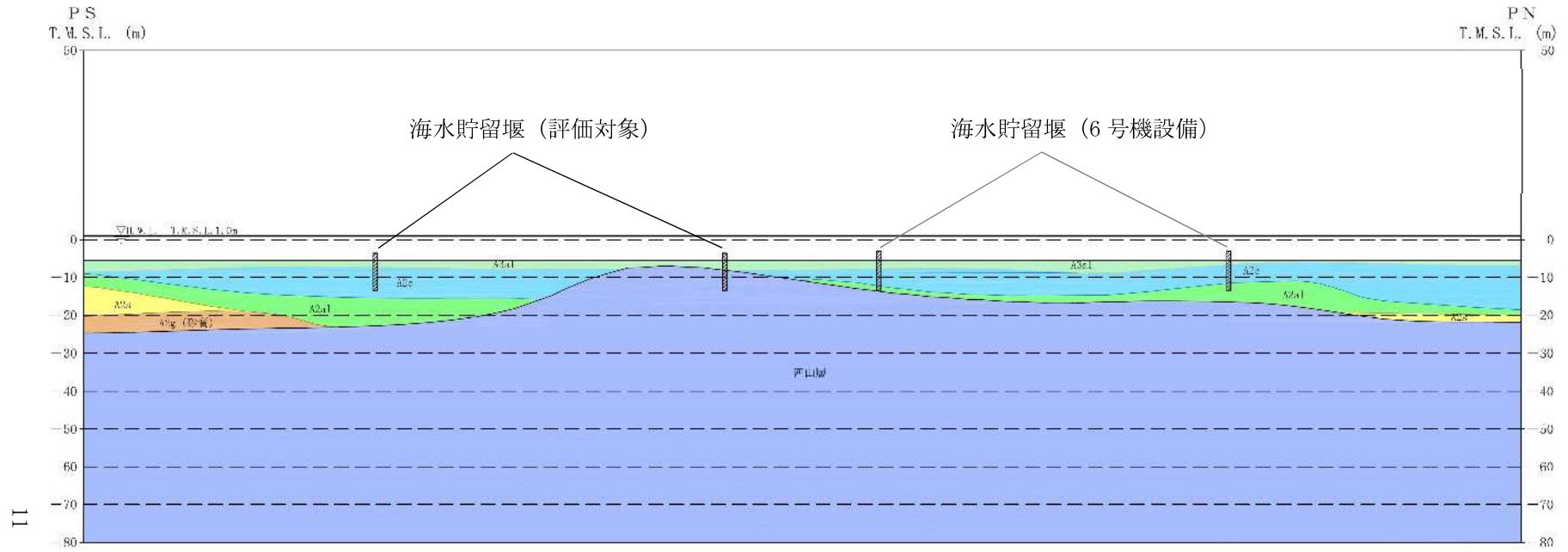


図 3-2 (1) 海水貯留堰の評価対象断面図 (A-A断面)



(単位 : m)

図 3-2 (2) 海水貯留堰の評価対象断面図 (B-B断面)

3.2 解析方法

海水貯留堰の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

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 次元動的有限要素法解析を用いて、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て行う。海水貯留堰を構成する鋼管矢板は、線形はり要素でモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

3.2.2 地盤

地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケース (①～⑤) を設定する。

表 3-1 耐震評価における解析ケース

解析ケース	①	②	③	④	⑤
	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	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)	地盤剛性 (-1 σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層 (埋戻土及び新期砂層) のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いてせん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層 (沖積層及び古安田層) のばらつきは、各地層の PS 検層の結果から得られるせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する (解析ケース②, ③, ⑤)。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を (-1 σ) にて設定する (解析ケース①, ②, ③)。

また、構造物への加速度応答に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する (解析ケース④, ⑤)。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース (①～⑤) を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

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

3.2.3 減衰定数

減衰特性は、柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析等を踏まえ、Rayleigh 減衰として、 $\alpha=0$ 、 $\beta=0.005$ を設定する。

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、全ての基準地震動 S_s に対し基本として実施した解析ケース①において、曲げ軸力、せん断力及び基礎地盤の支持性能の全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい照査値の選定は、照査値 1.0 に対して 2 倍の余裕となる照査値 0.5 以上を相対的に厳しい地震動の選定の日安として実施する。なお、解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

海水貯留堰の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

海中構造物であるため、積雪及び風による影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

海水貯留堰の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

- (1) 固定荷重 (G)
固定荷重として、躯体自重を考慮する。
- (2) 地震荷重 (S_s)
基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

- (1) 鋼管矢板
鋼管矢板の耐震評価に用いる荷重の組合せを表 3-2 に、荷重作用図を図 3-3 及び図 3-4 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

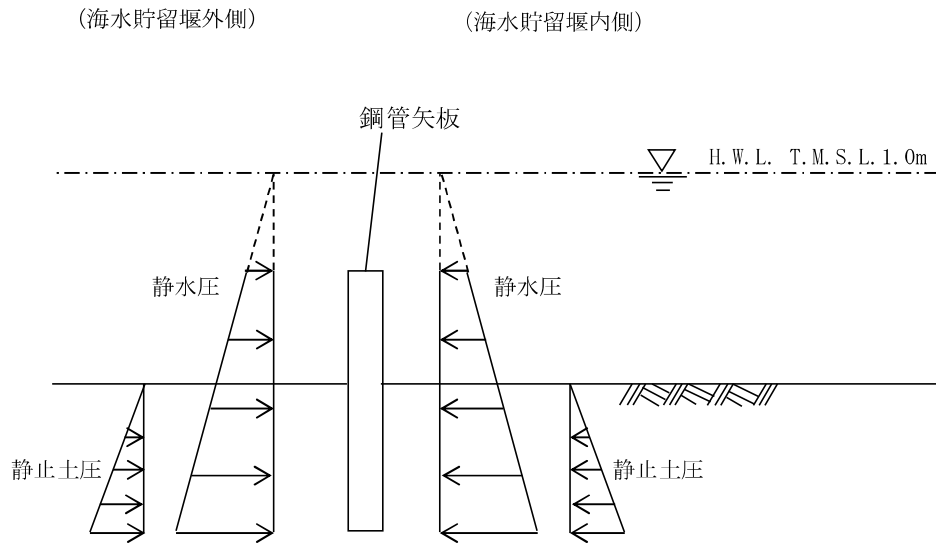


图 3-3 荷重作用図 (鋼管矢板 常時)

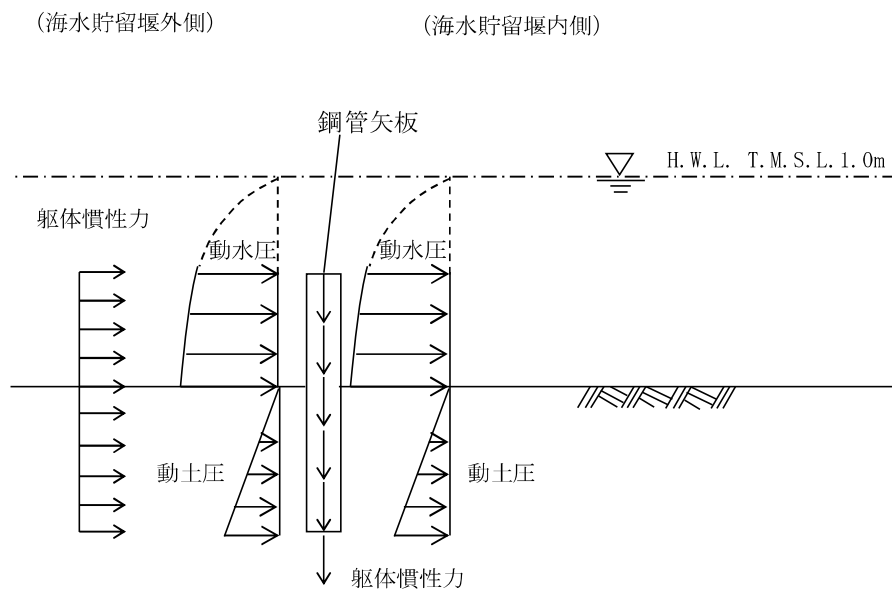


图 3-4 荷重作用図 (鋼管矢板 地震時)

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

(2) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の耐震評価に用いる荷重の組合せを表 3-3 に、荷重作用図を図 3-5 に示す。

止水ゴムからの作用荷重を保守的に評価するために、止水ゴム作用力を作用荷重として考慮する。

慣性力及び動水圧については、「3.2.2 地盤」に示す解析ケース及び「3.4 入力地震動」に示す基準地震動 S_s を考慮した 2 次元有効応力解析から得られる最大加速度より、海水貯留堰（南側）は、水平震度 $k_h=0.95$ ($S_s=1-+$ ，解析ケース①：基本ケース)，海水貯留堰（北側）は、水平震度 $k_h=1.28$ ($S_s=1--$ ，解析ケース③（地盤物性のばらつき (-1σ)) を考慮した解析ケース) を用いて算出する。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + S_s$

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

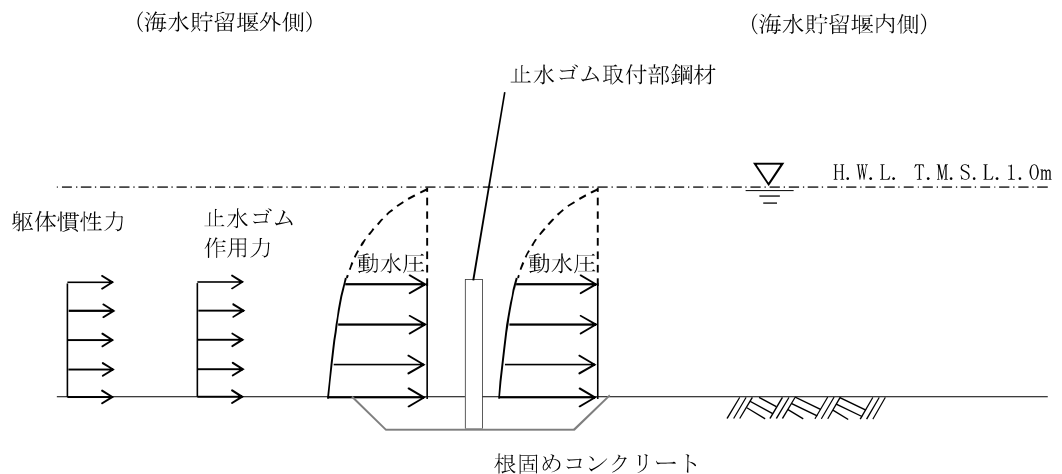


図 3-5 荷重作用図 (止水ゴム取付部鋼材 地震時)

3.4 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を 1 次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動の設定においては、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデル（入力地震動作成モデル）とし、原子炉建屋と同様のものをを用いる。

入力地震動算定の概念図を図 3-6 に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-7 に示す。入力地震動の算定には解析コード「SLOK」を使用する。

なお、基準地震動 S_s のうち特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。

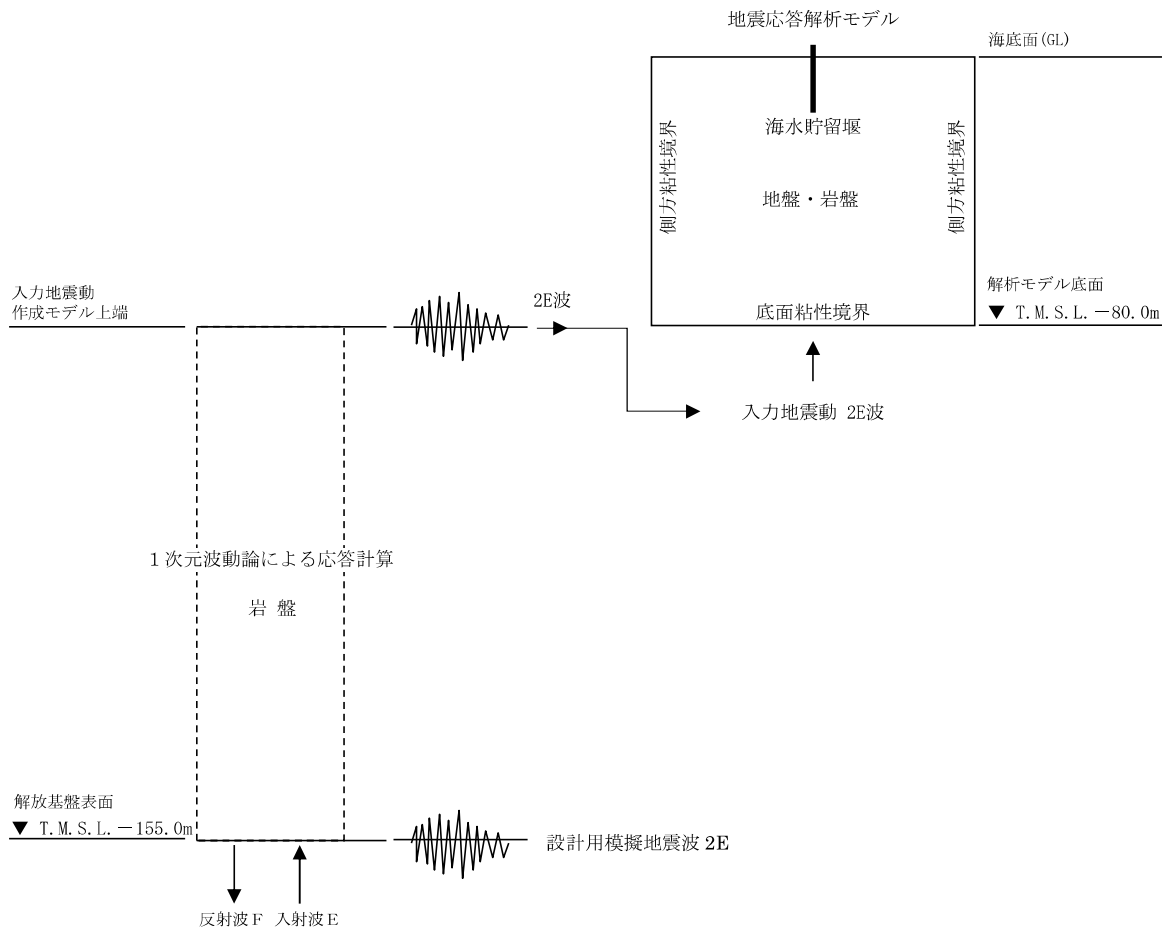
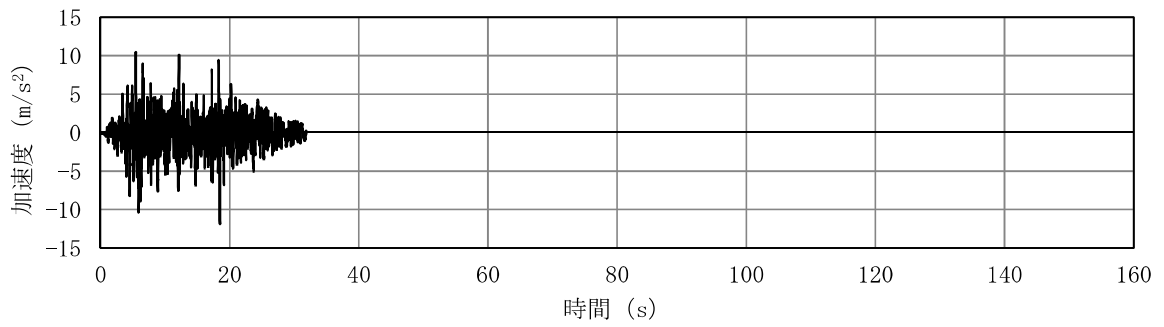
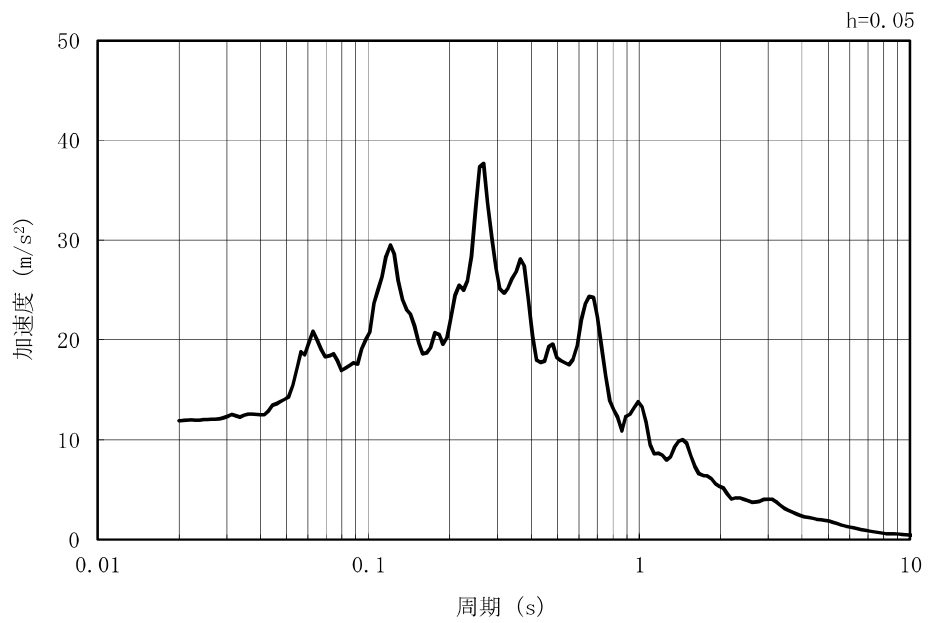


図 3-6 入力地震動算定の概念図

MAX 11.9m/s² (18.51s)



(a) 加速度時刻歴波形

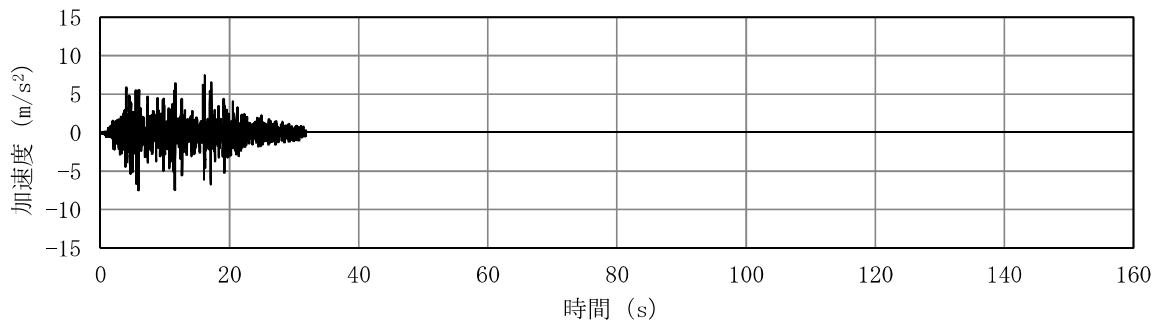


(b) 加速度応答スペクトル

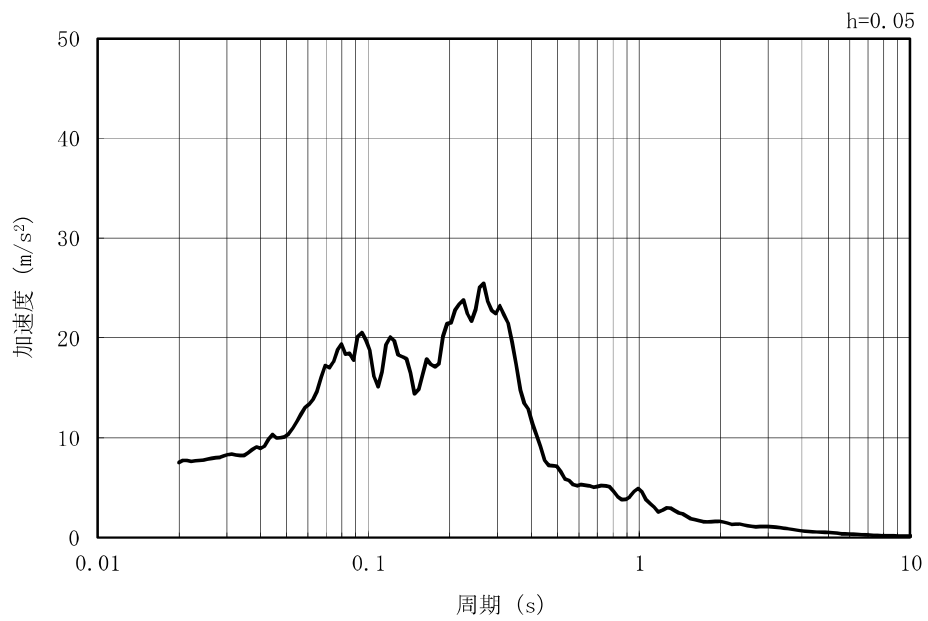
図3-7 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-1)

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

MAX 7.49m/s² (5.88s)

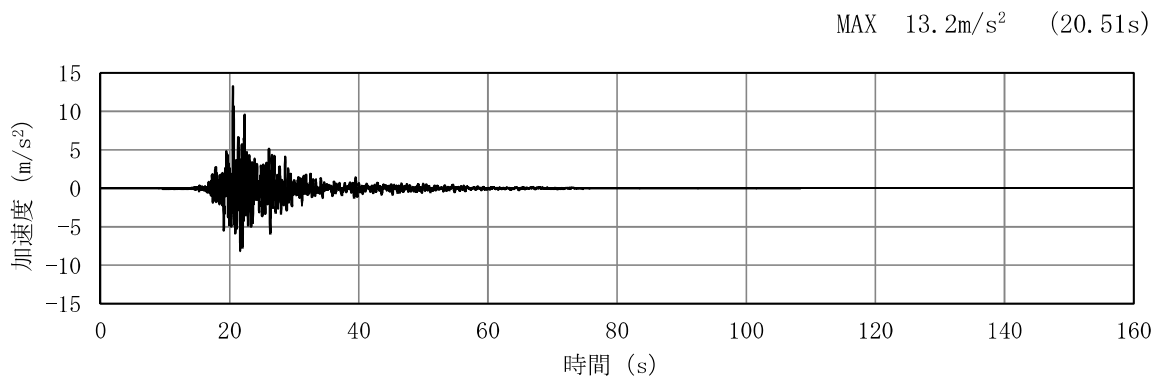


(a) 加速度時刻歴波形

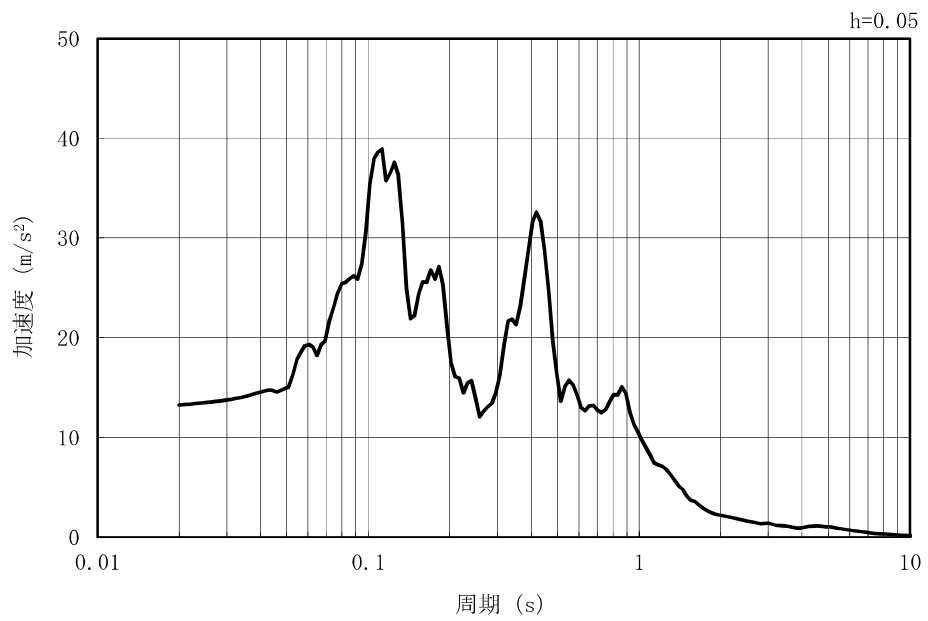


(b) 加速度応答スペクトル

図3-7 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-1)



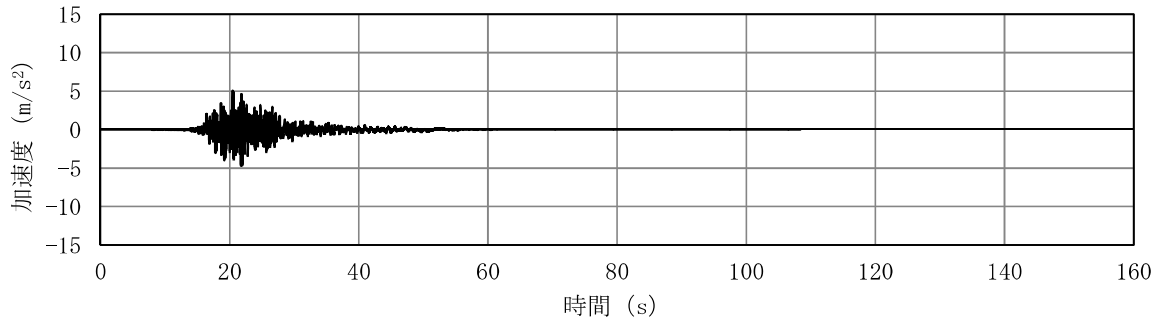
(a) 加速度時刻歴波形



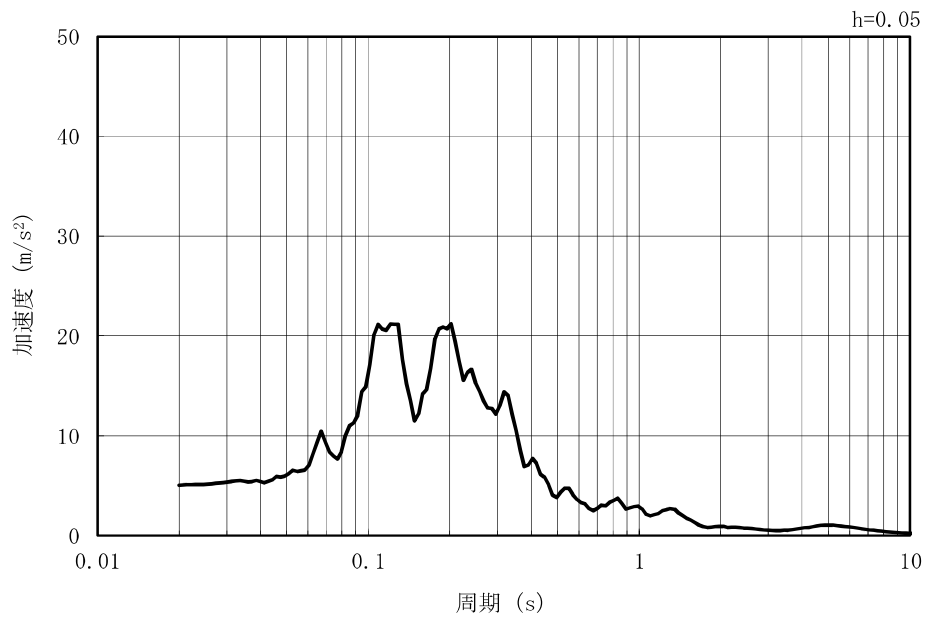
(b) 加速度応答スペクトル

図3-7 (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
(水平方向 : Ss-2EW)

MAX 5.02m/s² (20.46s)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図3-7 (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
(鉛直方向：Ss-2EW)

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

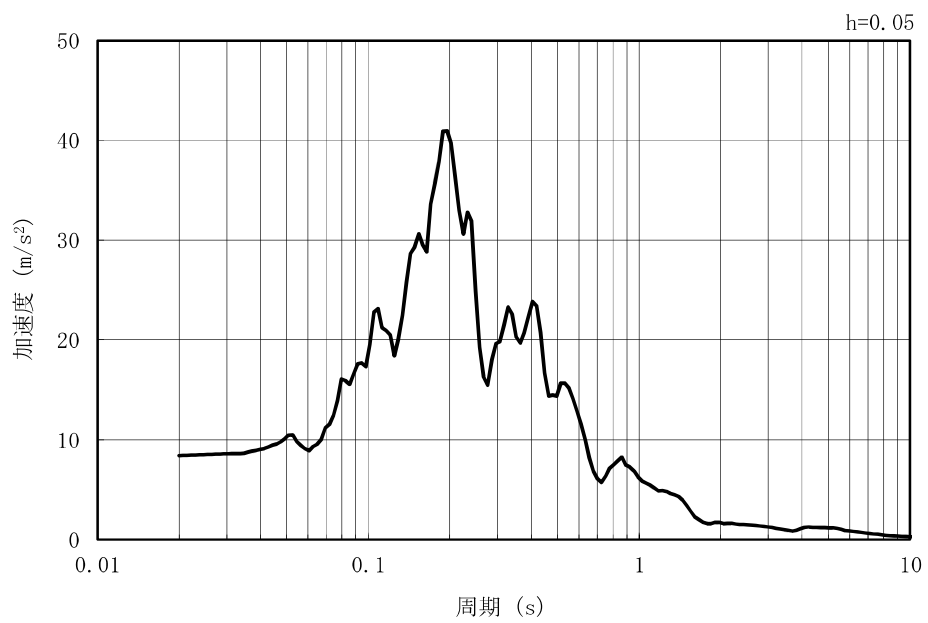
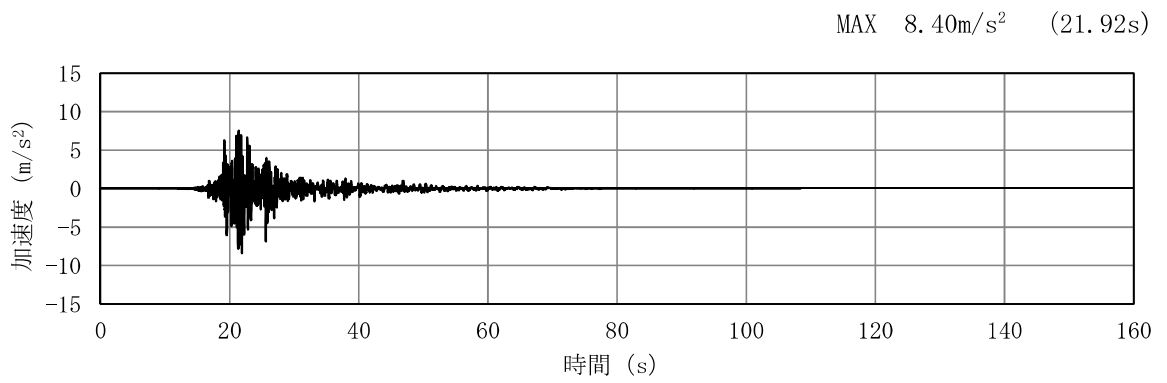
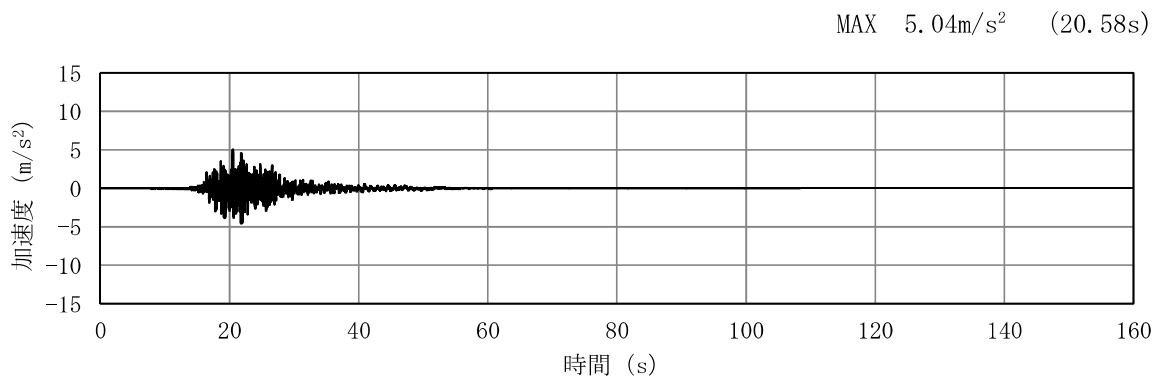
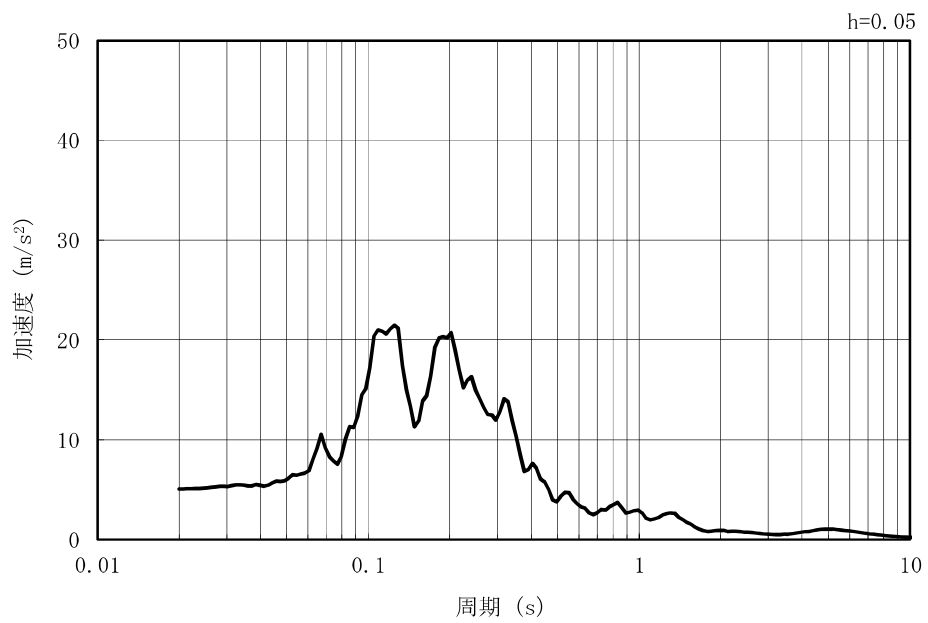


図3-7 (5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-2NS)



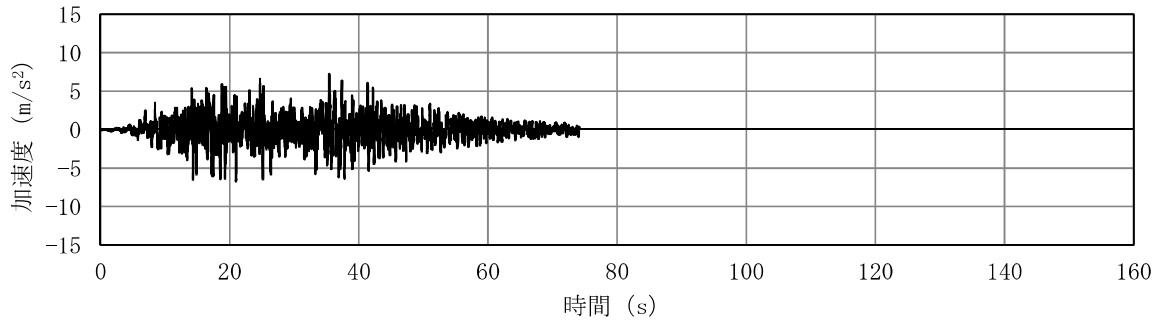
(a) 加速度時刻歴波形



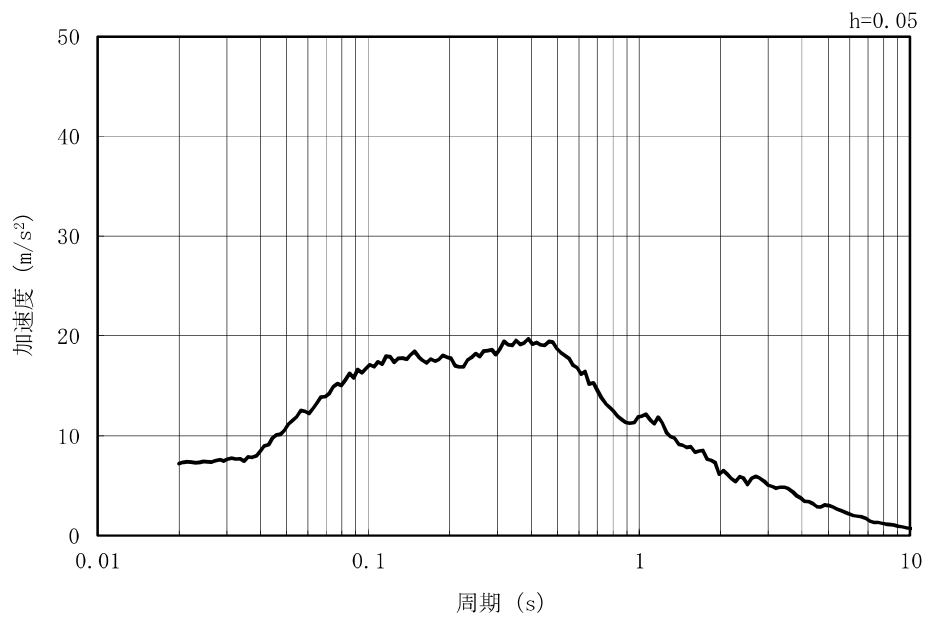
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(鉛直方向 : Ss-2NS)

MAX 7.18m/s² (35.43s)



(a) 加速度時刻歴波形

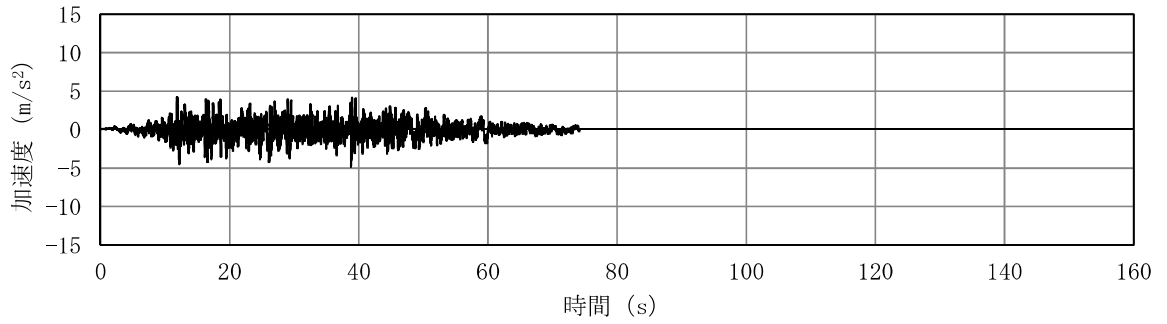


(b) 加速度応答スペクトル

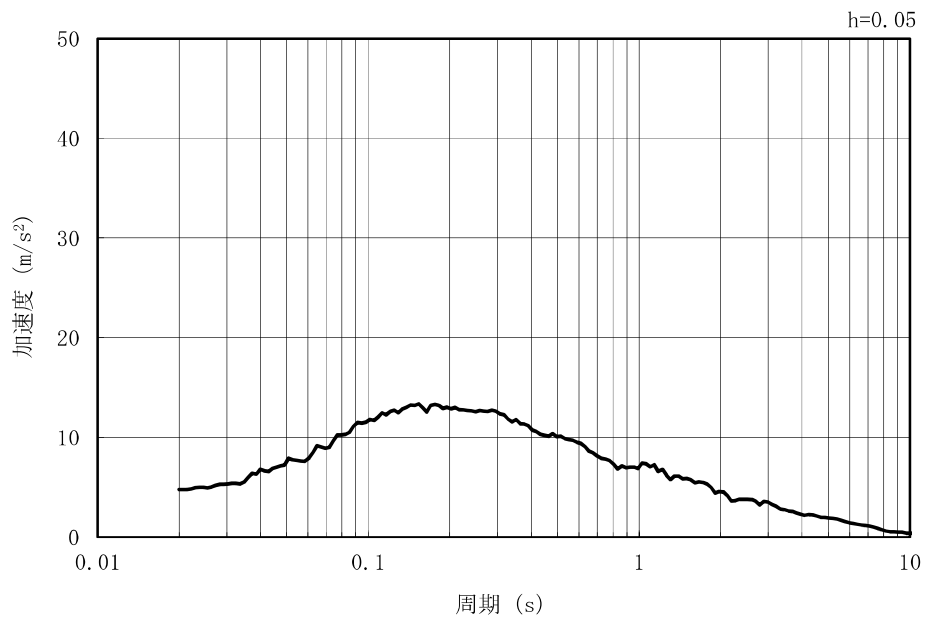
図3-7 (7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-3)

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

MAX 4.78m/s² (38.80s)



(a) 加速度時刻歴波形

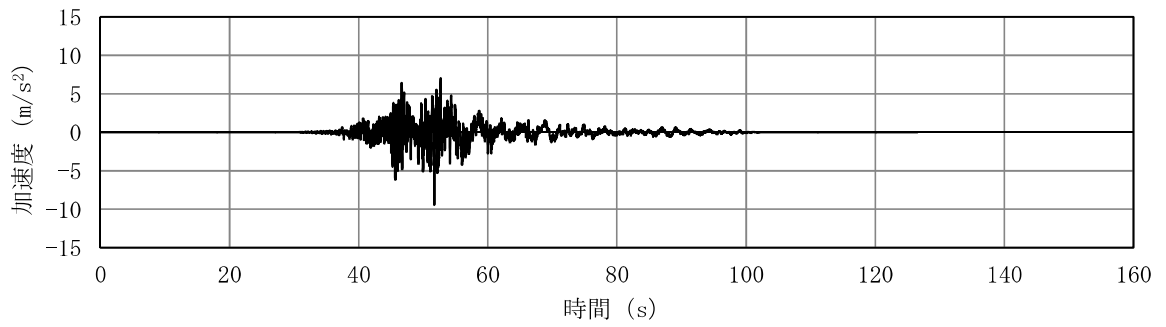


(b) 加速度応答スペクトル

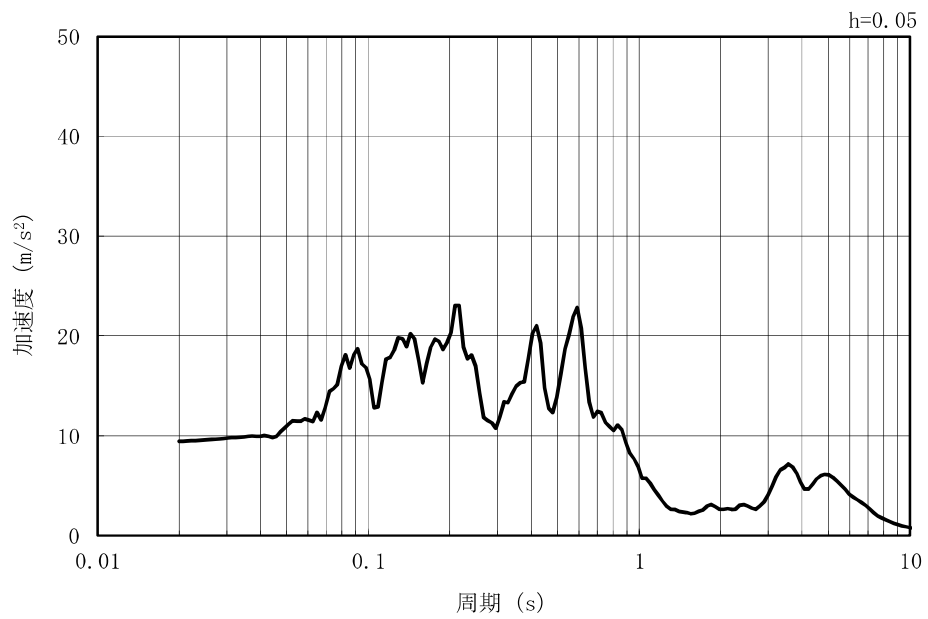
図 3-7 (8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-3)

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

MAX 9.42m/s² (51.71s)



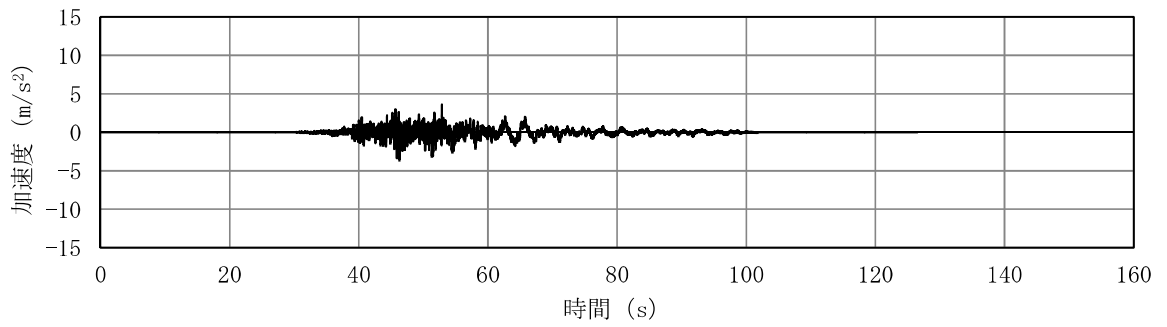
(a) 加速度時刻歴波形



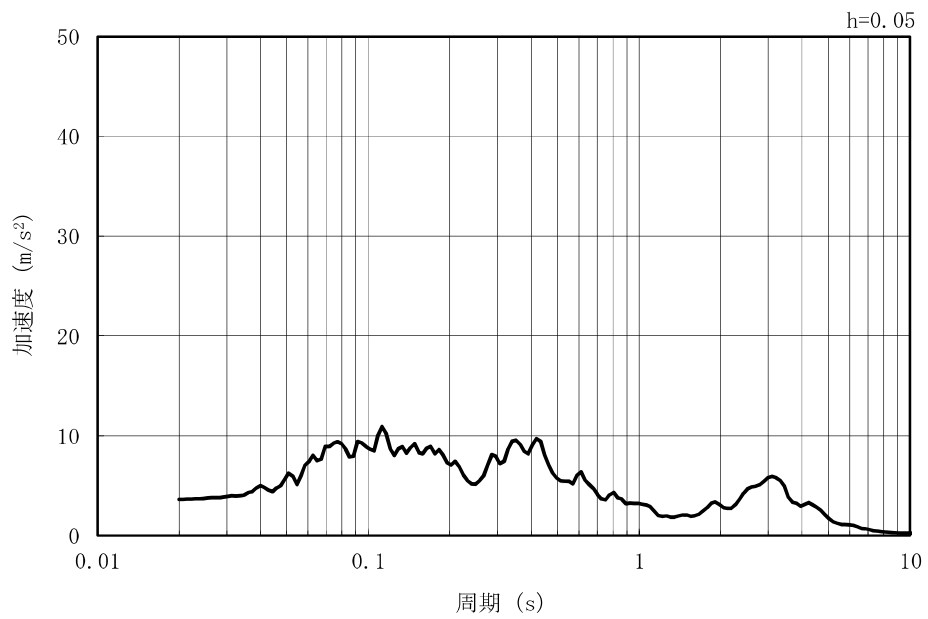
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(水平方向 : Ss-4EW)

MAX 3.60m/s² (52.87s)

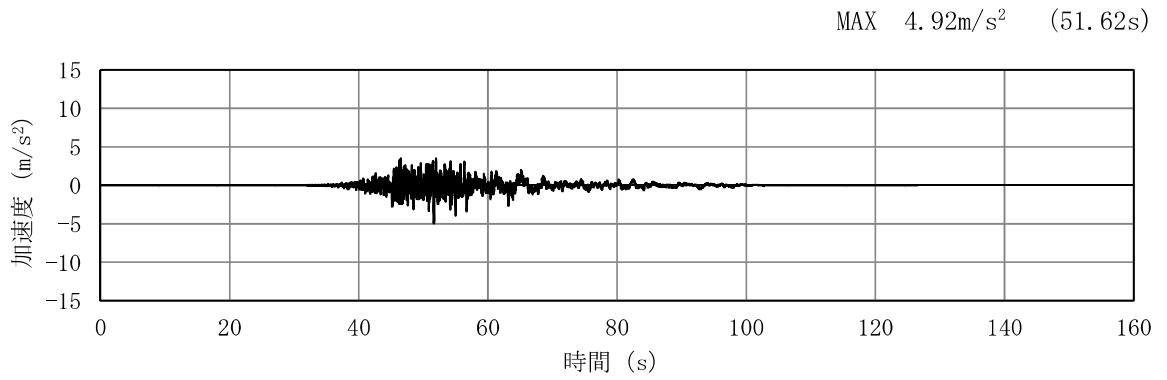


(a) 加速度時刻歴波形

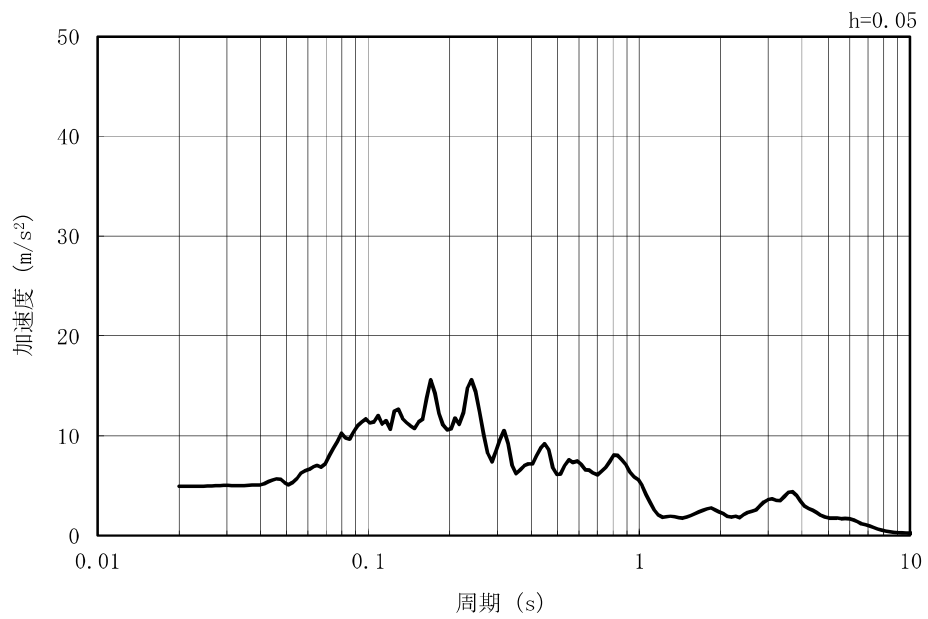


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(鉛直方向 : Ss-4EW)



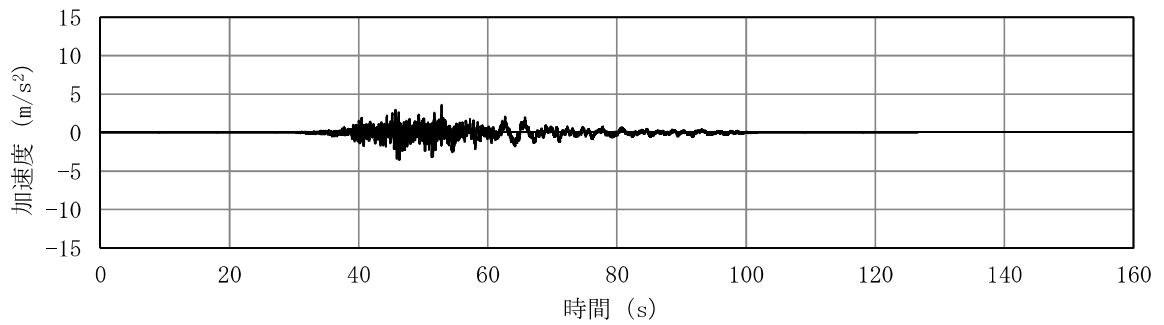
(a) 加速度時刻歴波形



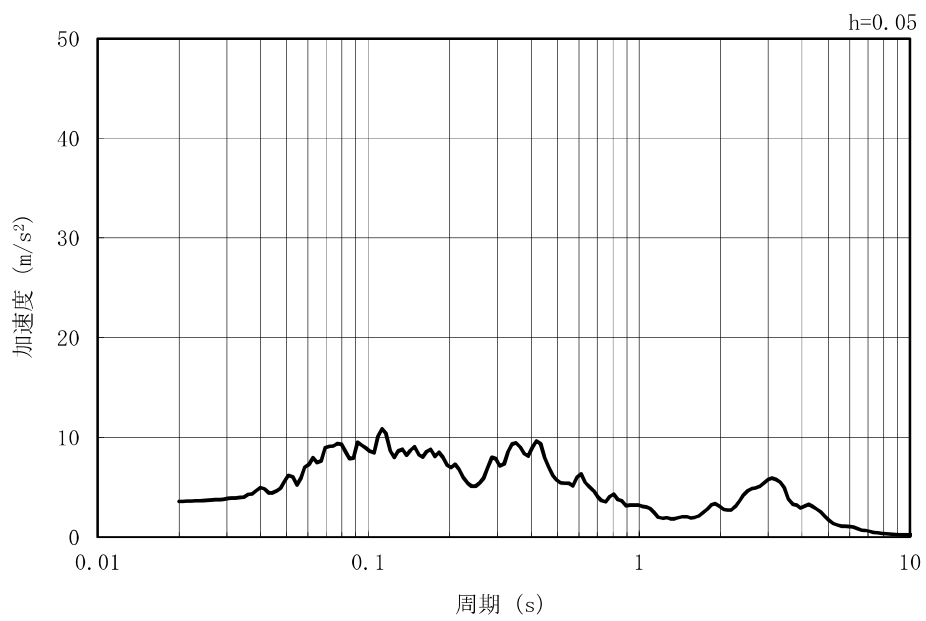
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(水平方向 : Ss-4NS)

MAX 3.57m/s² (46.29s)



(a) 加速度時刻歴波形

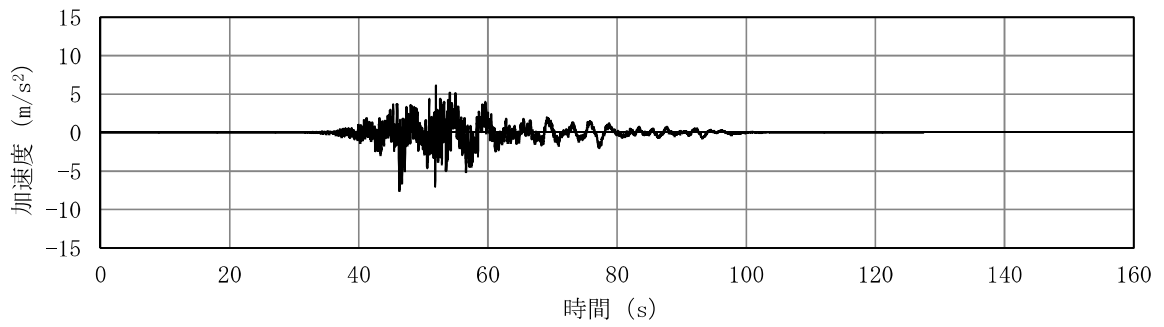


(b) 加速度応答スペクトル

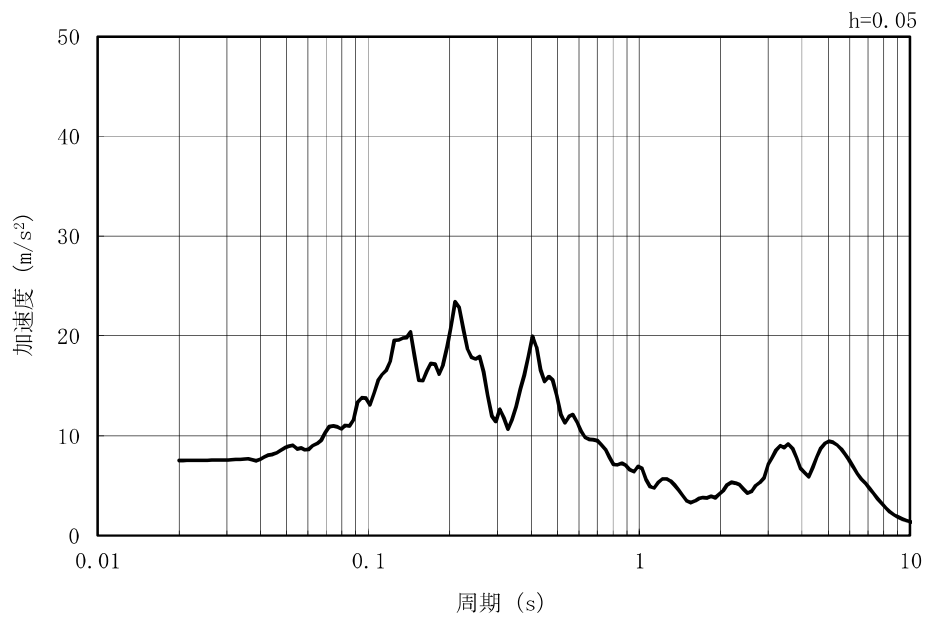
図 3-7 (12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4NS)

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

MAX 7.51m/s² (46.29s)



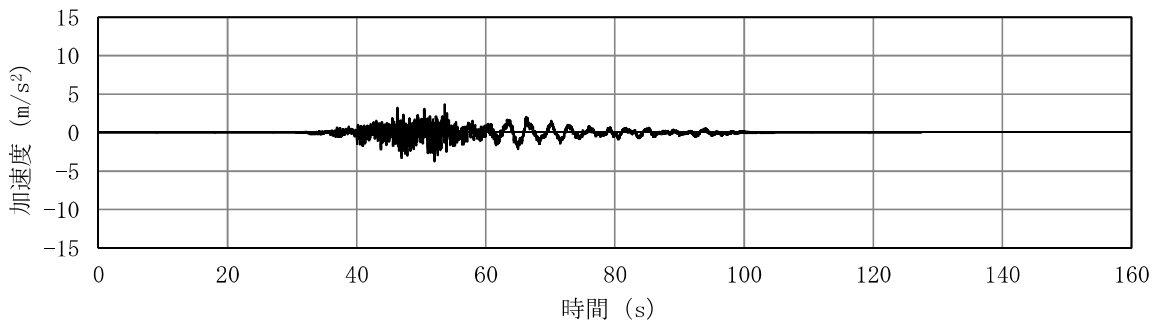
(a) 加速度時刻歴波形



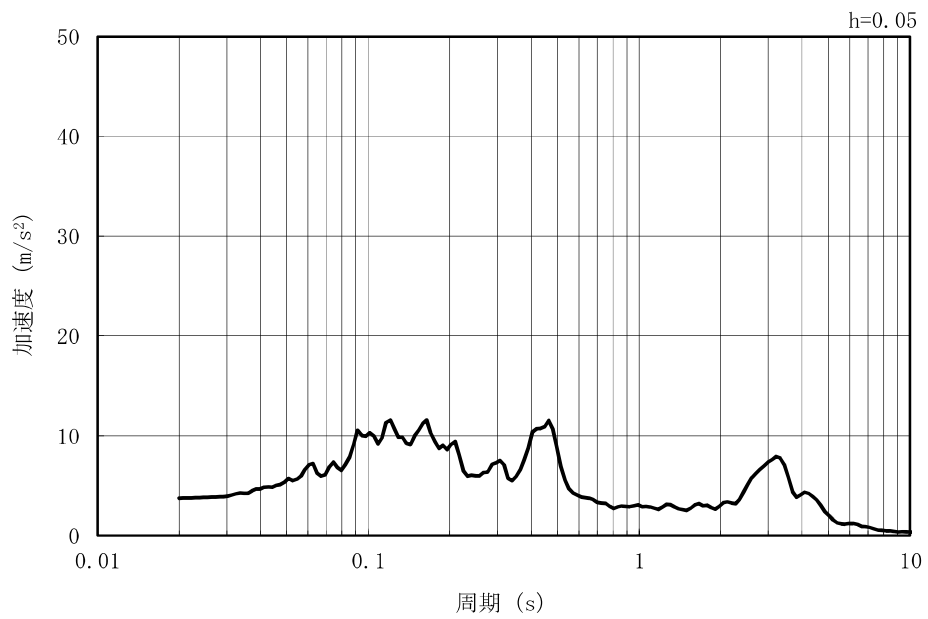
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(水平方向 : Ss-5EW)

MAX 3.74m/s² (52.06s)

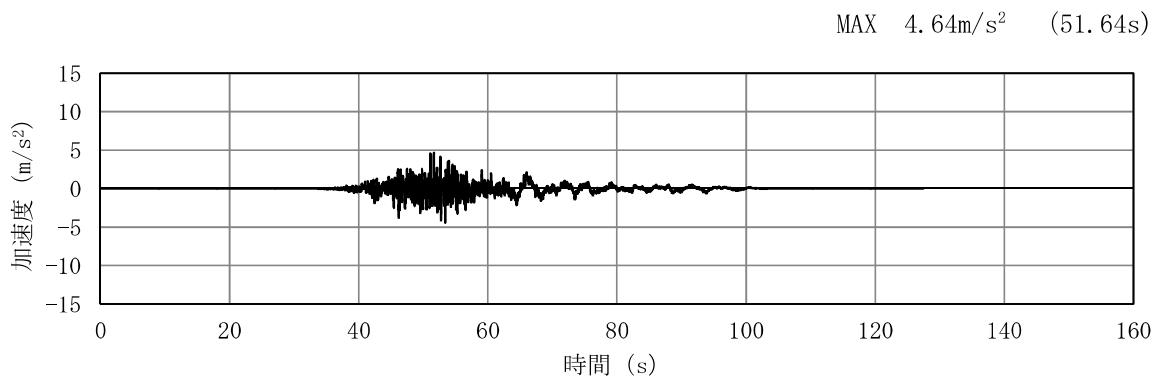


(a) 加速度時刻歴波形

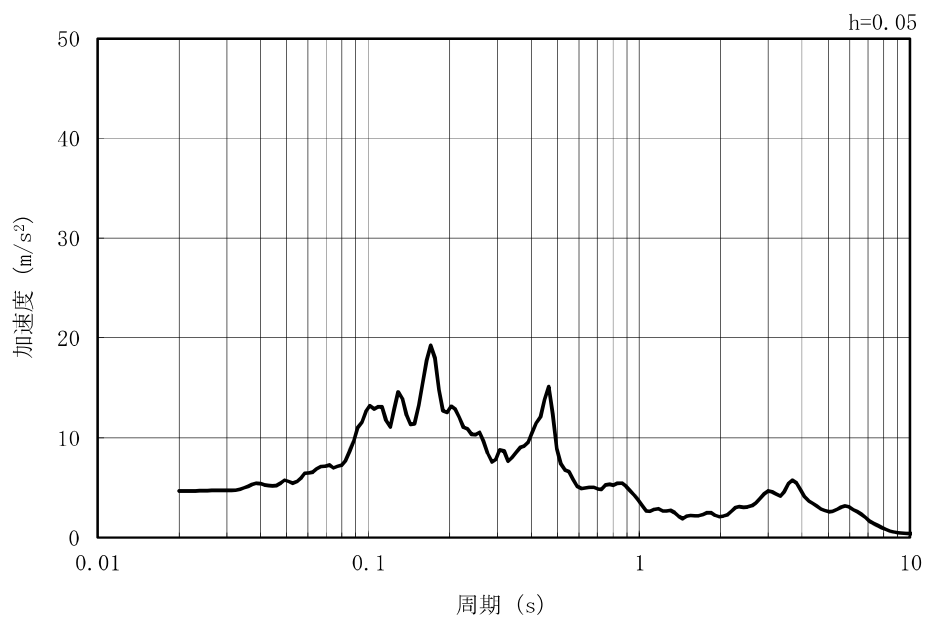


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(鉛直方向 : Ss-5EW)

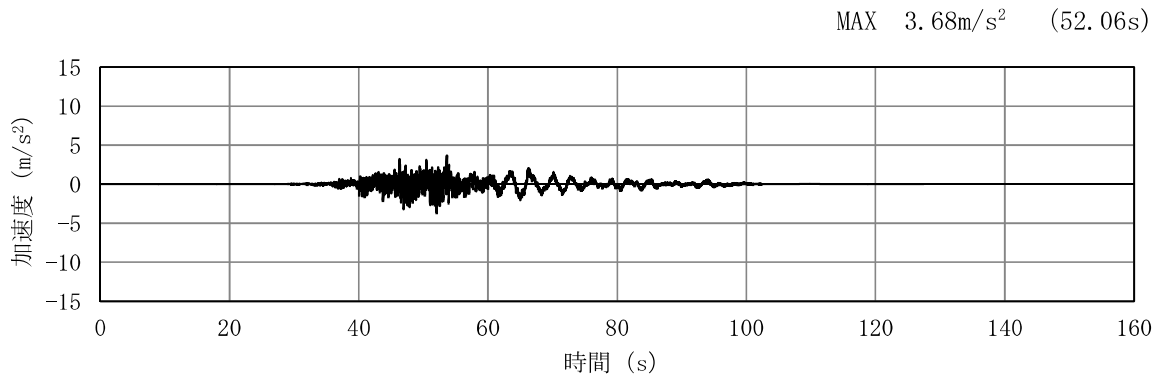


(a) 加速度時刻歴波形

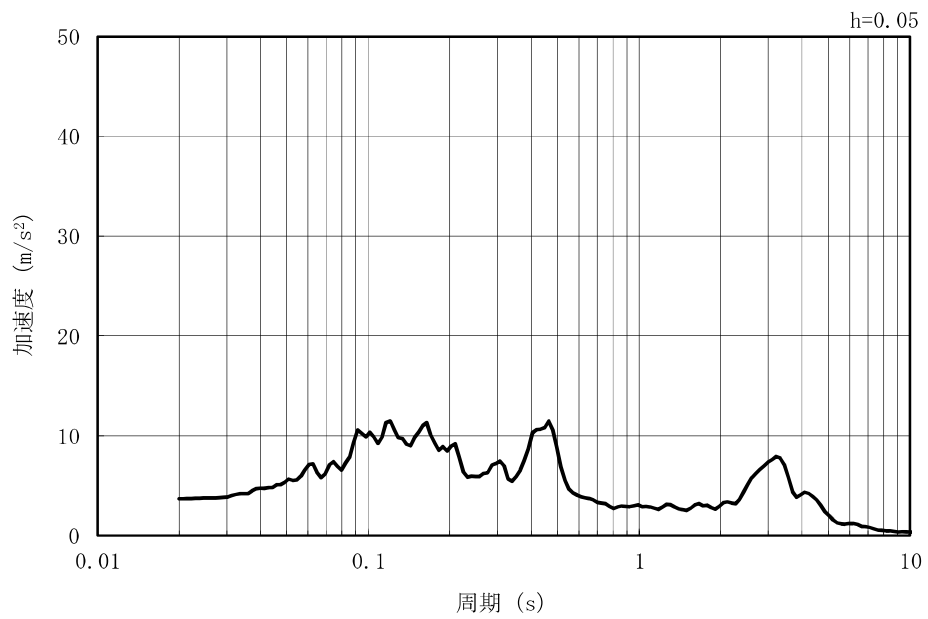


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(水平方向 : Ss-5NS)



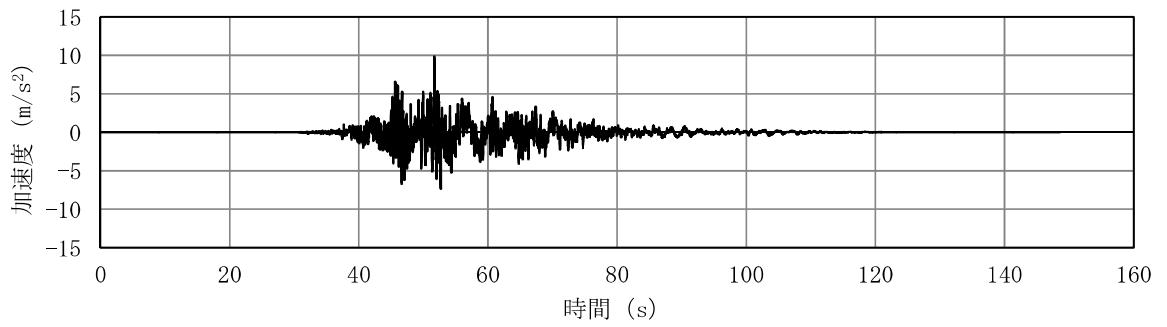
(a) 加速度時刻歴波形



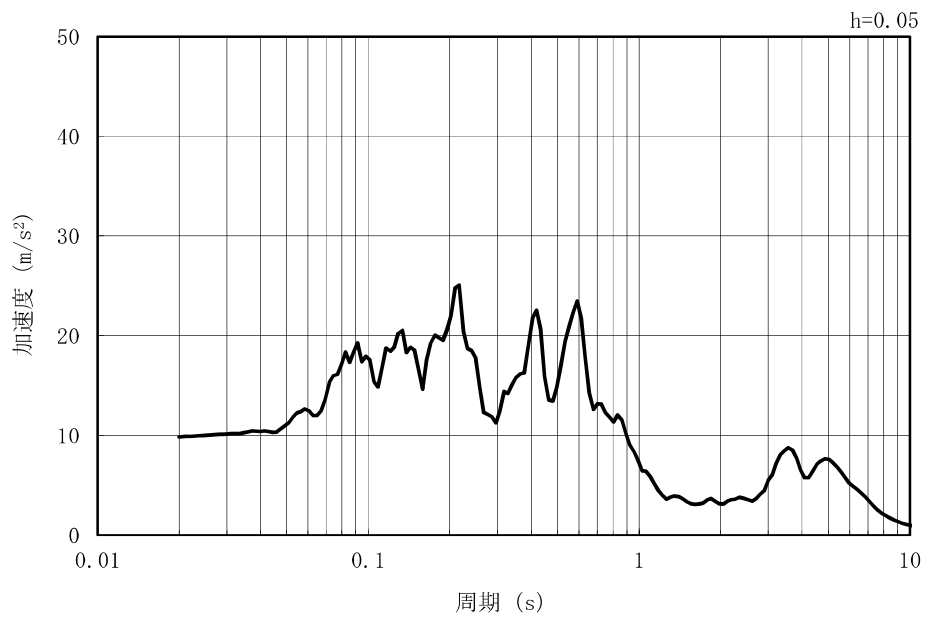
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(鉛直方向 : Ss-5NS)

MAX 9.84m/s² (51.71s)

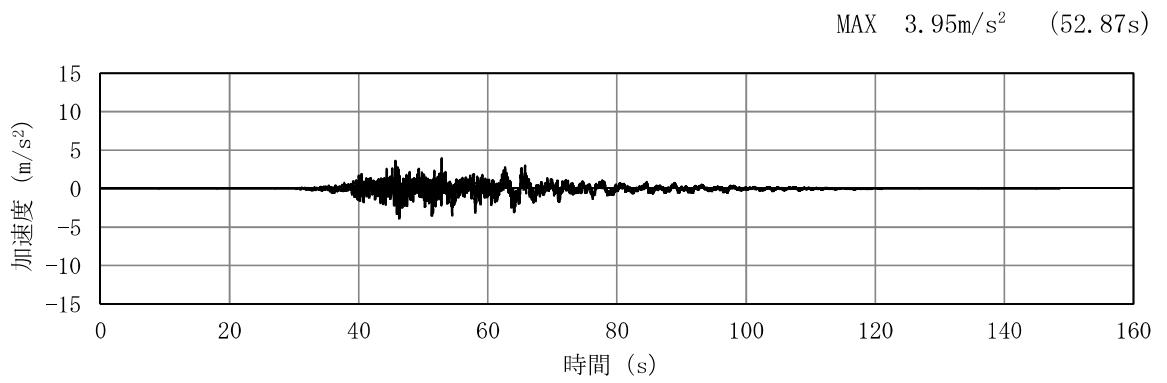


(a) 加速度時刻歴波形

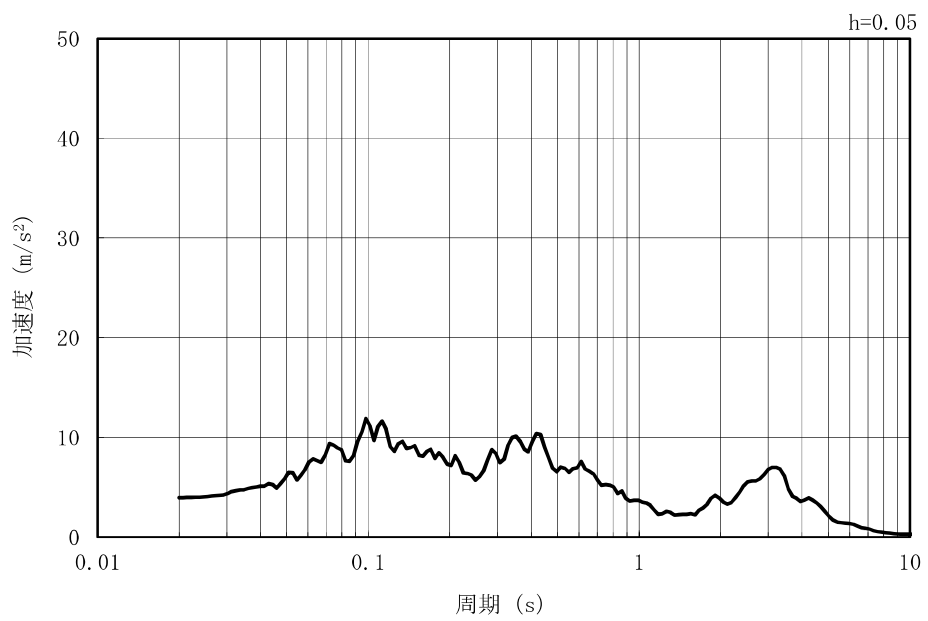


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(水平方向 : Ss-6EW)

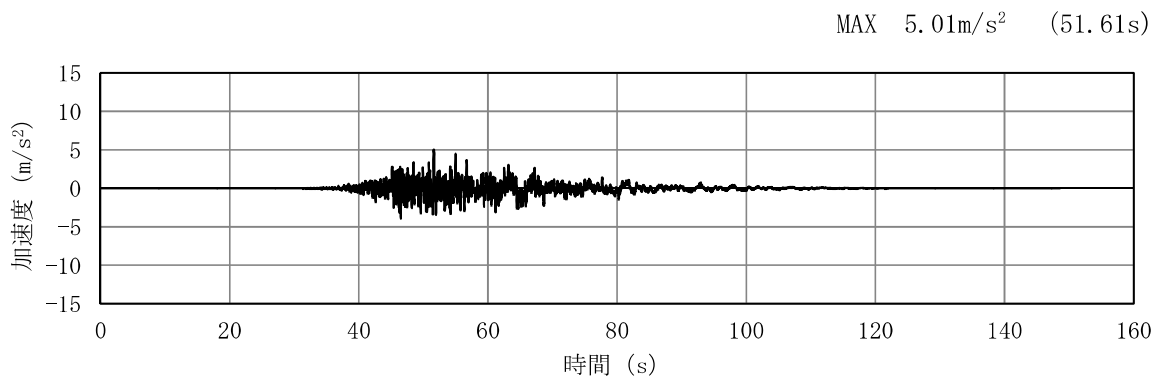


(a) 加速度時刻歴波形

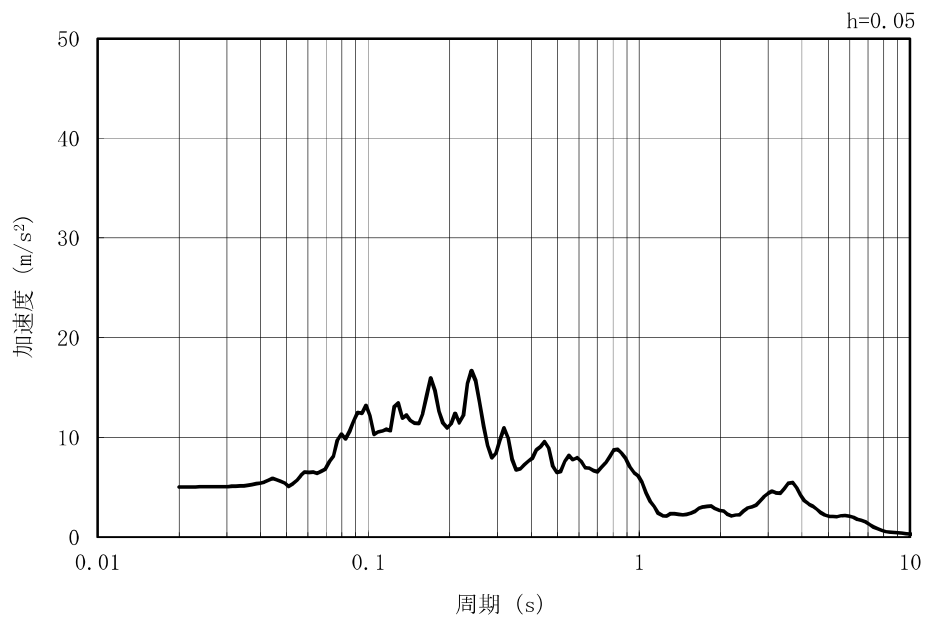


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(鉛直方向 : Ss-6EW)

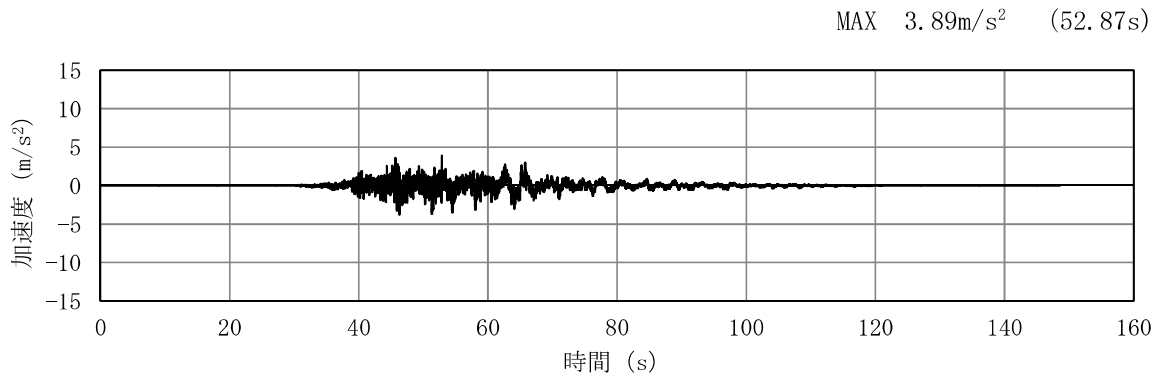


(a) 加速度時刻歴波形

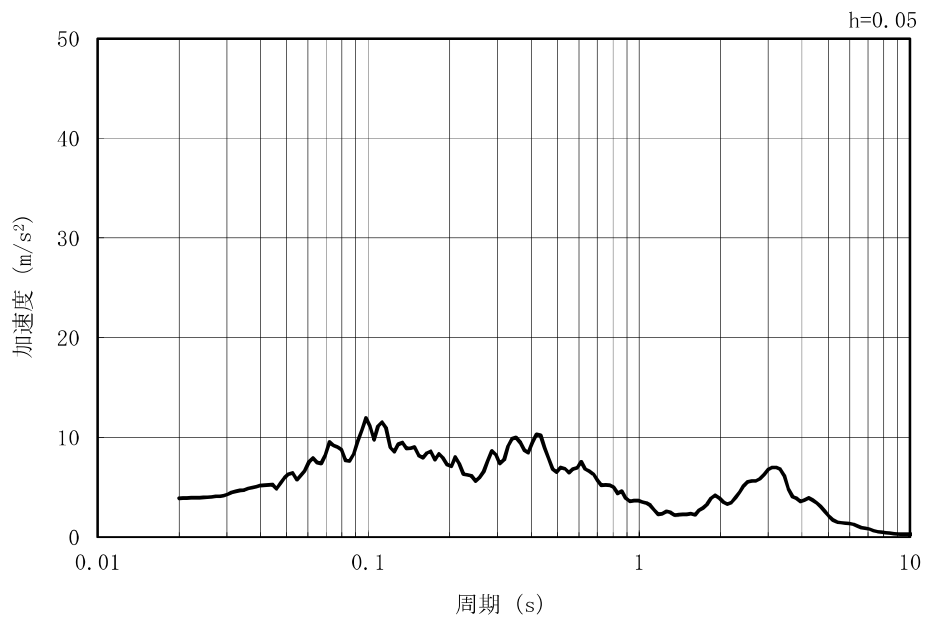


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(水平方向 : Ss-6NS)



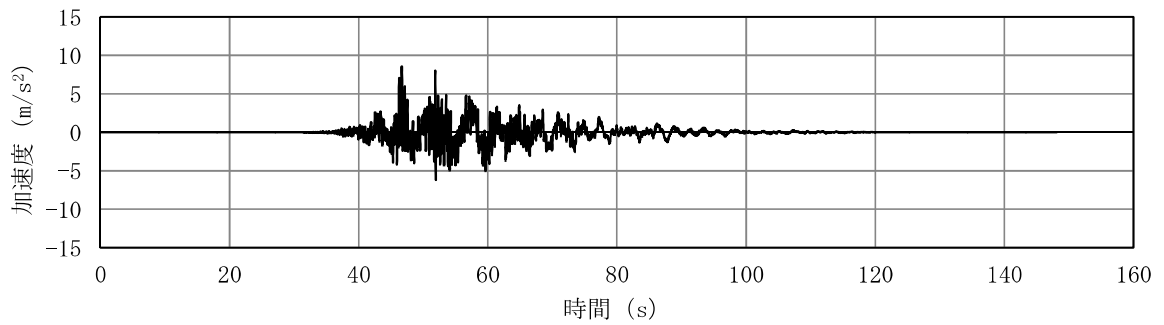
(a) 加速度時刻歴波形



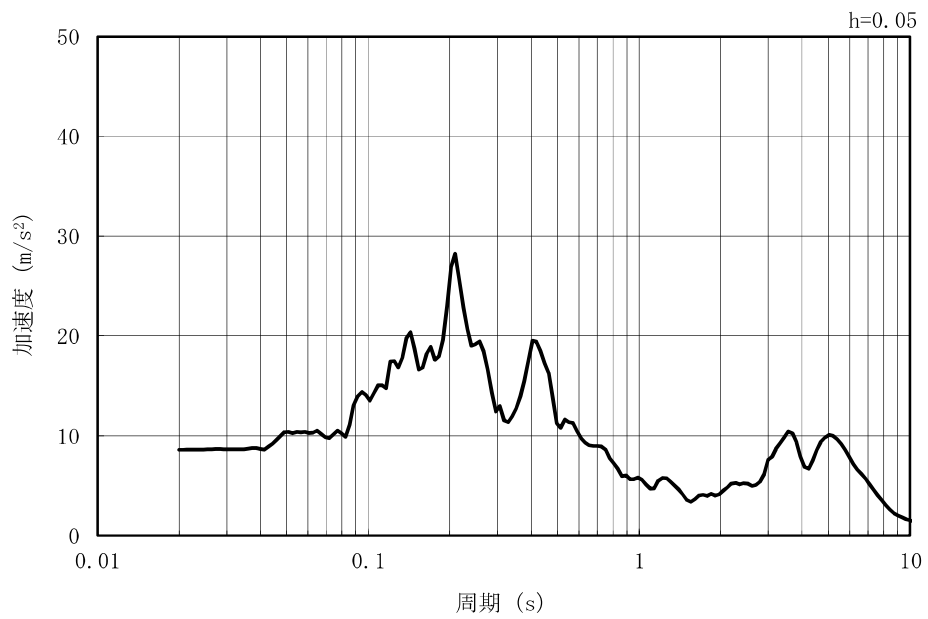
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(鉛直方向 : Ss-6NS)

MAX 8.58m/s² (46.68s)



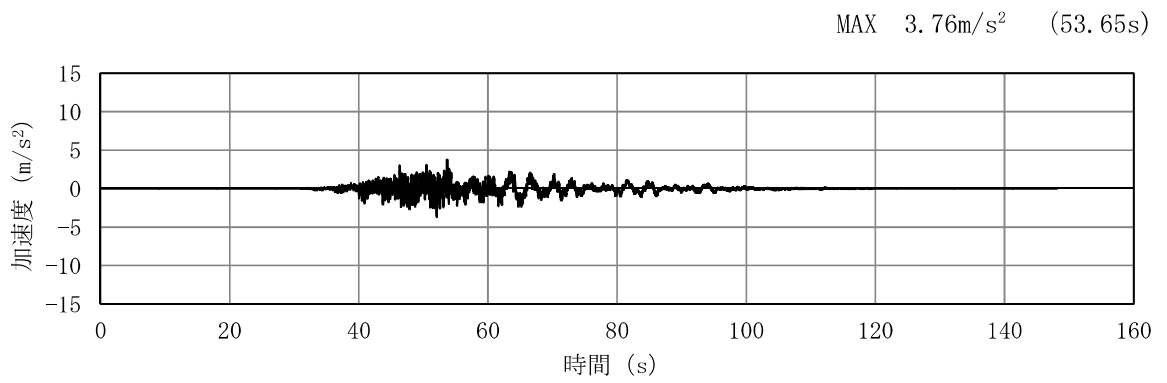
(a) 加速度時刻歴波形



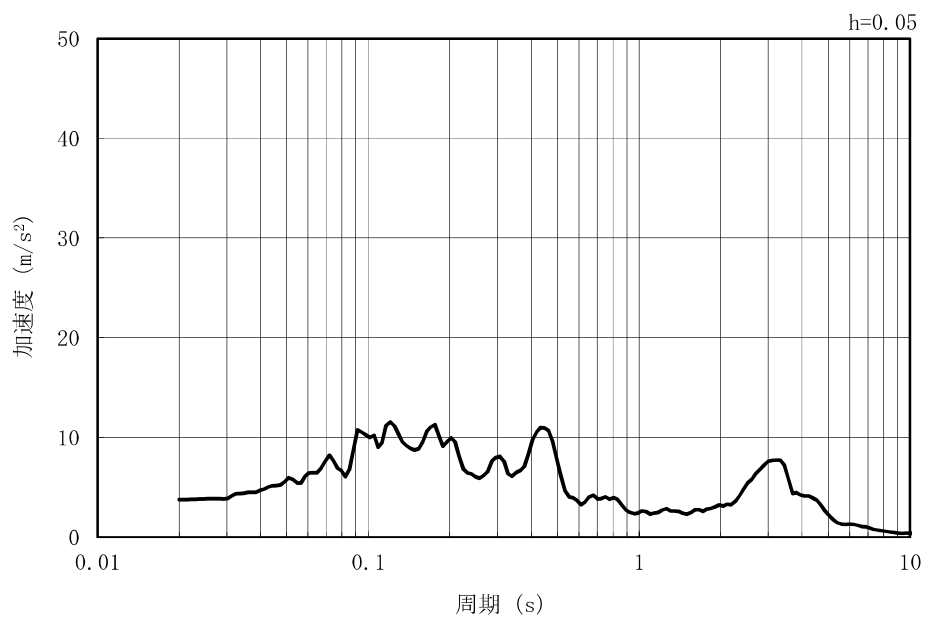
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (21) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-7EW)

K7 ① V-2-10-3-1-2-1 R0

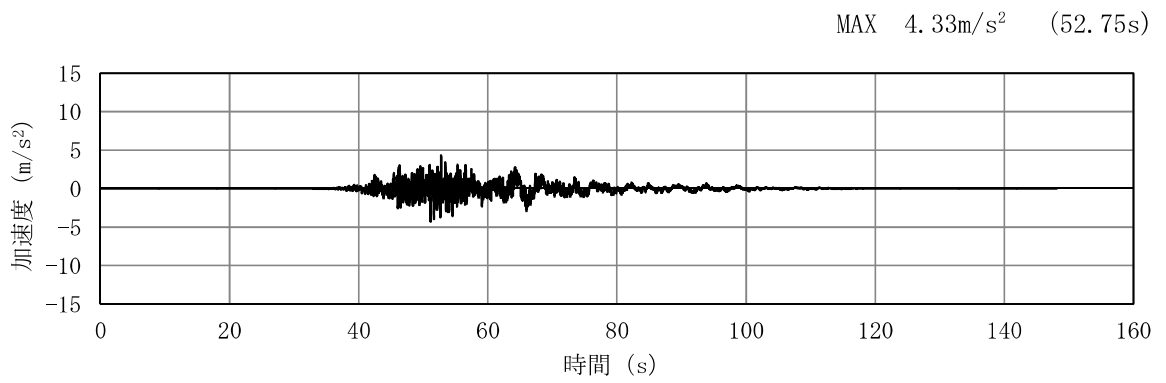


(a) 加速度時刻歴波形

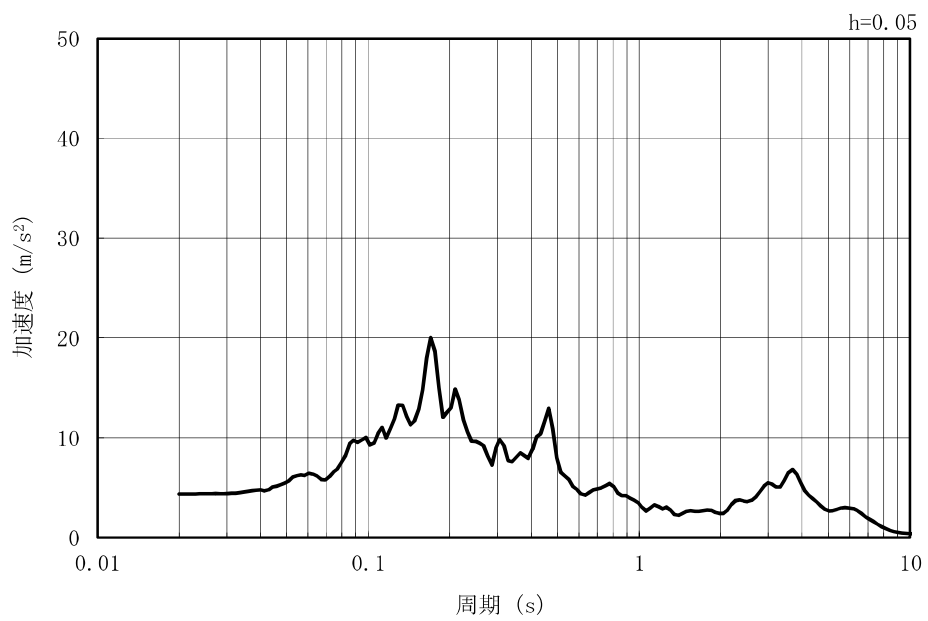


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (22) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-7EW)

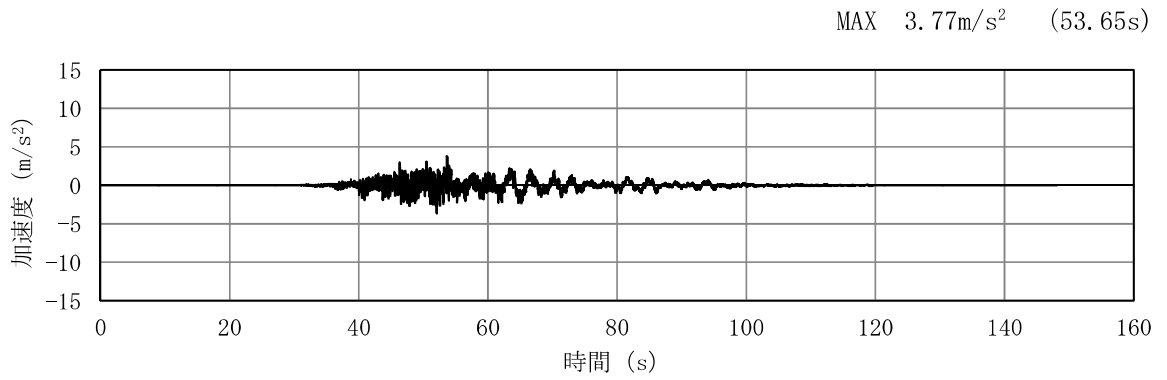


(a) 加速度時刻歴波形

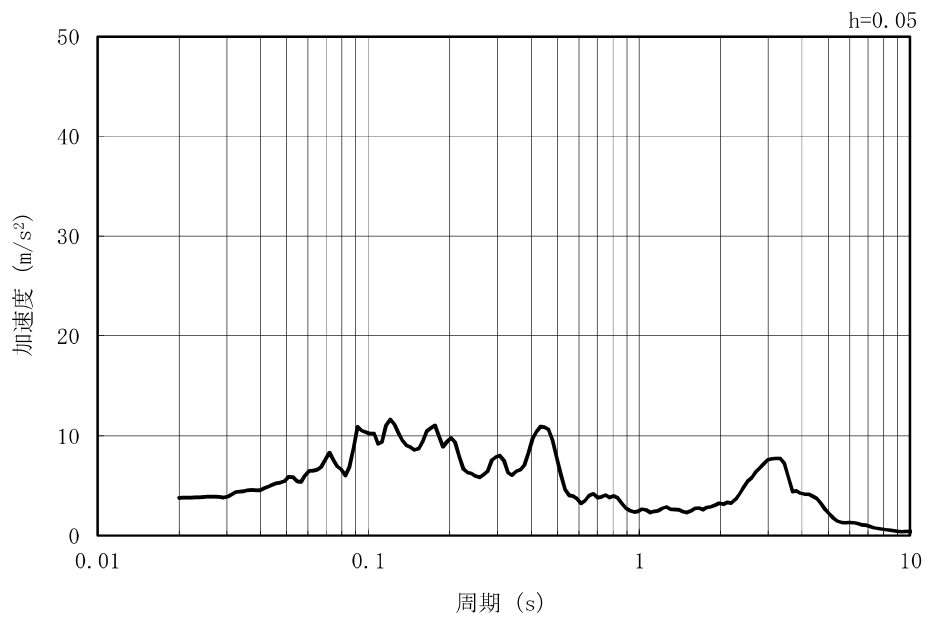


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(水平方向 : Ss-7NS)

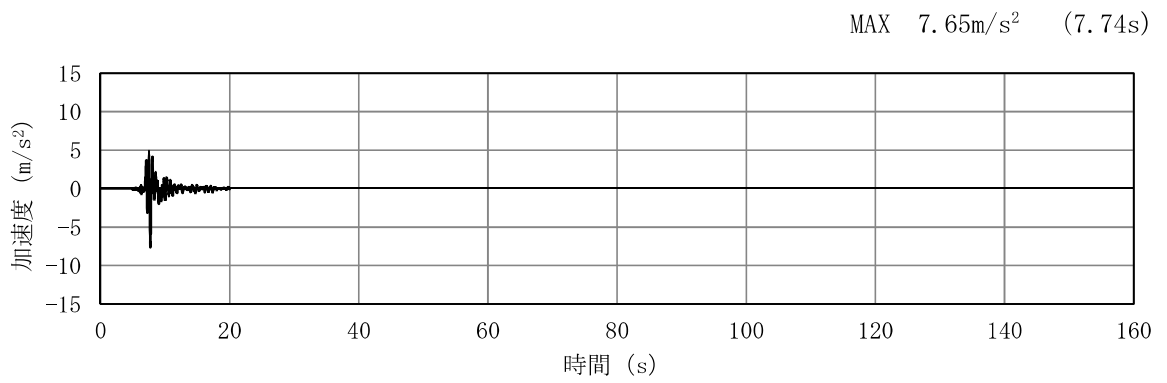


(a) 加速度時刻歴波形

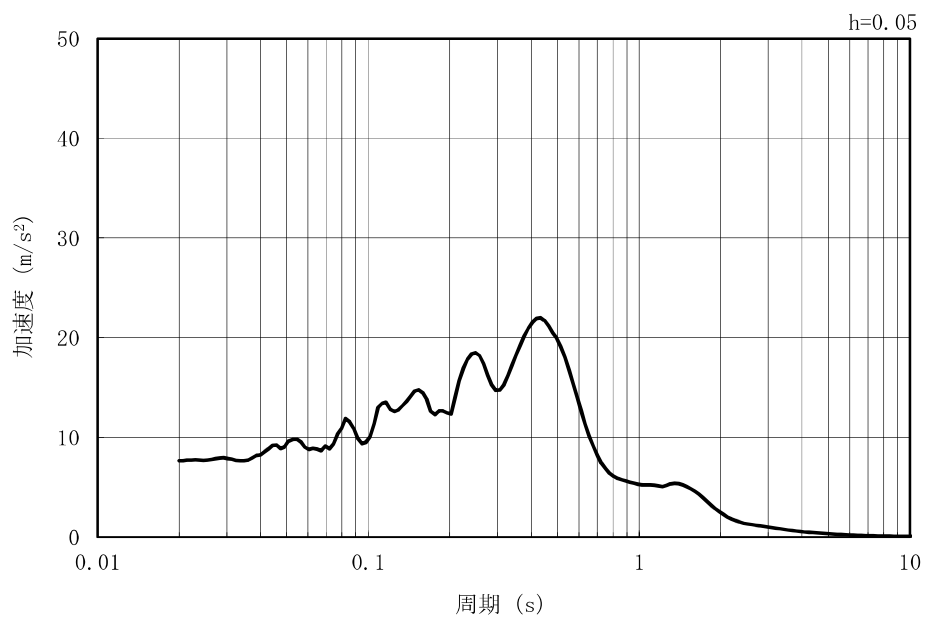


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(鉛直方向 : Ss-7NS)

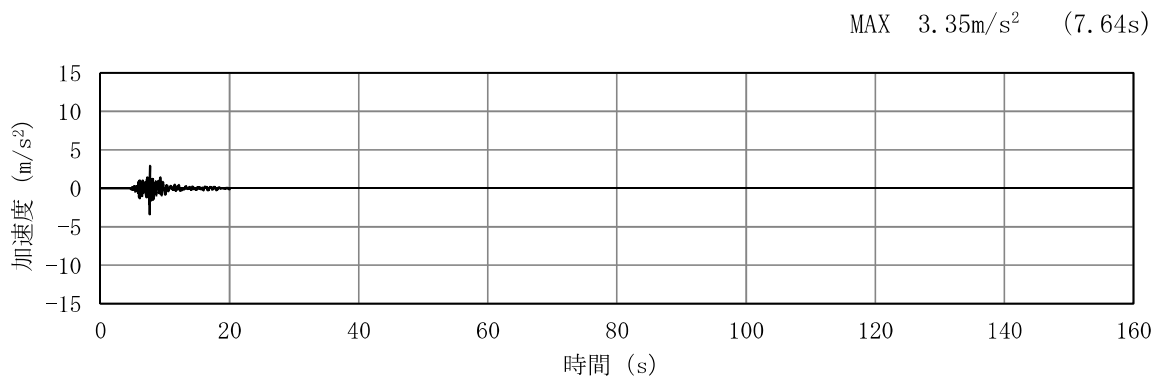


(a) 加速度時刻歴波形

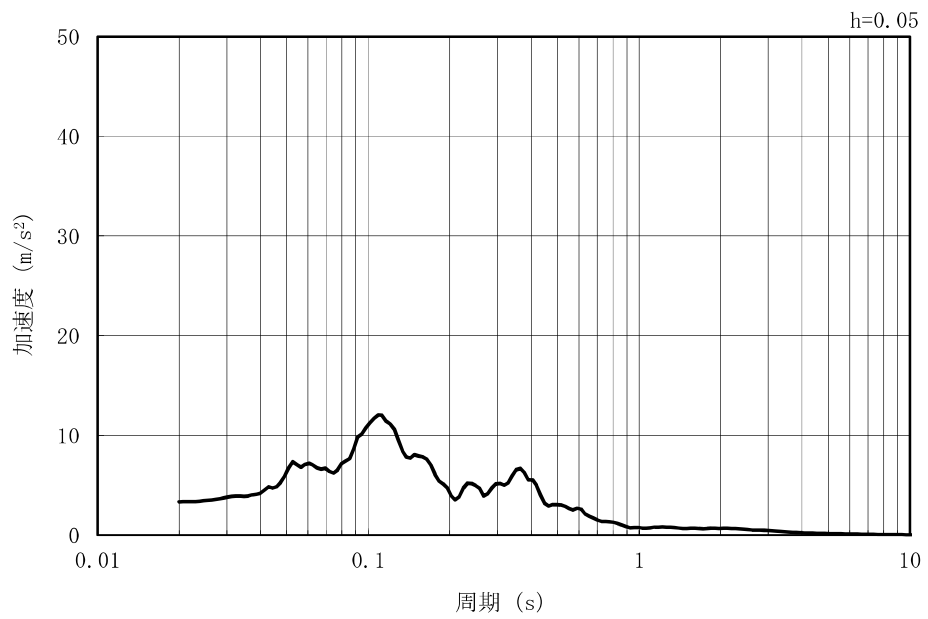


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(水平方向 : Ss-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (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
(鉛直方向 : Ss-8)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

海水貯留堰の地震応答解析モデルを図 3-8 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

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

(5) 地盤改良体のモデル化

構造物周辺の地盤改良体は、マルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

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

(7) 杭-地盤相互作用ばねの設定

地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の 3 次元効果を 2 次元モデルで考慮するため、地盤と杭の接合面に杭-地盤相互作用ばねを設定する。

(8) 杭先端ばねの設定

地震時の杭先端における地盤と杭の相互作用を考慮するため、杭先端と地盤間に杭先端ばねを設定する。

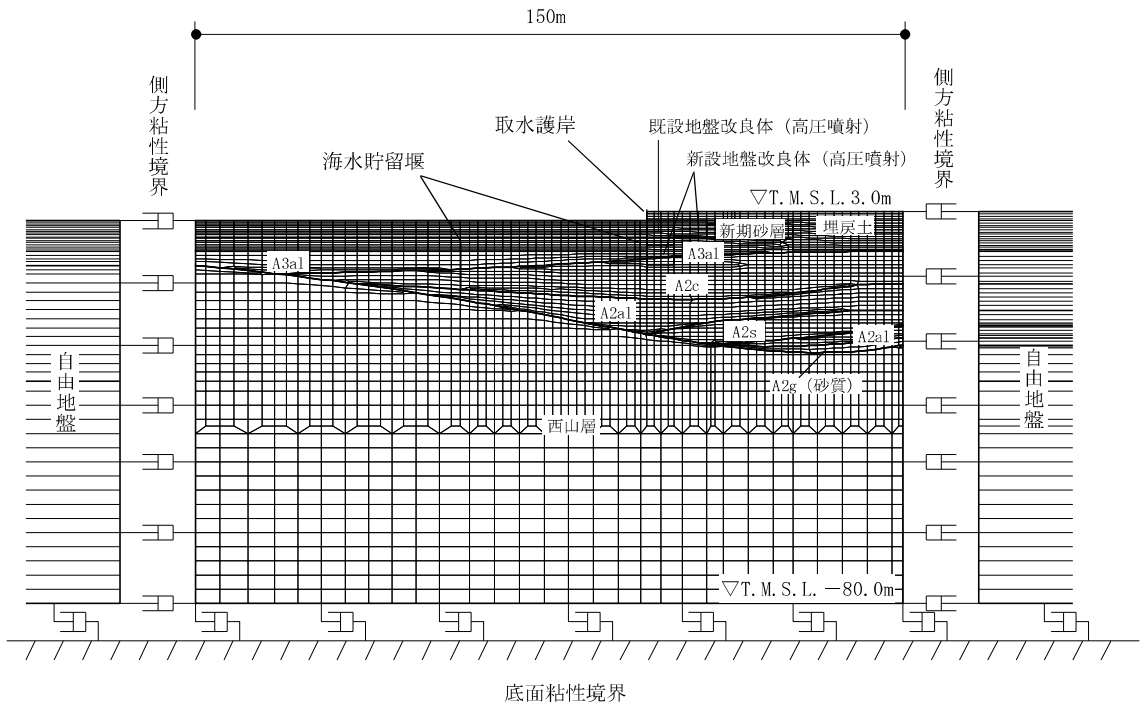


図 3-8 (1) 海水貯留堰の地震応答解析モデル (A-A断面)

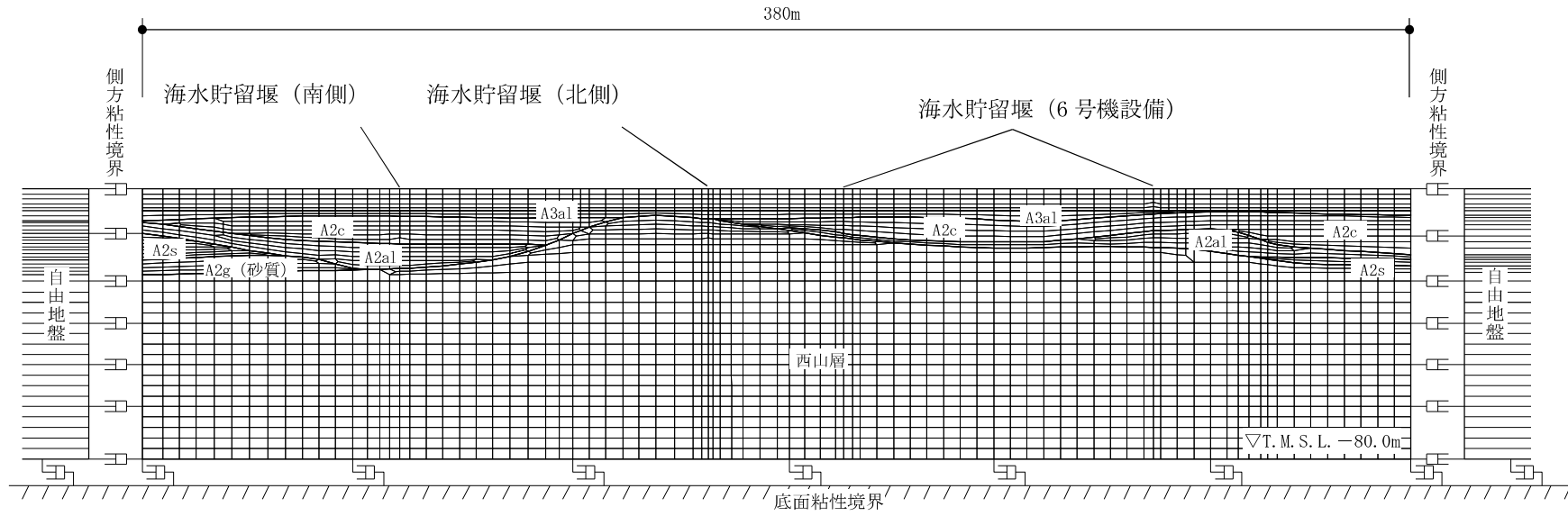


図 3-8 (2) 海水貯留堰の地震応答解析モデル (B-B 断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料	諸元	腐食代	
鋼管矢板	$\phi 1100\text{mm}$ (SKY490), $t=14\text{mm}$	1.0mm	
前面鋼矢板	S P-IV型 (SY295), $t=15.5\text{mm}$	海側 (海底面以浅)	2.0mm
		海側 (海底面以深)	0.2mm
		陸側	0.2mm

表 3-5 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
鋼管矢板	77.0	2.0×10^5	0.3
前面鋼矢板	77.0	2.0×10^5	0.3

3.5.3 地盤及び地盤改良体の物性値

地盤の解析用物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤改良体については、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に基づき、地盤改良体の配置に応じた未改良部（原地盤）を含めた物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表3-6に示す。

表3-6 地盤改良体の配置を考慮した物性値

既設／新設 種別 (地盤種別)		既設 地盤改良体	新設地盤改良体	
			高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
物理 特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.77	1.94~1.96*	1.81
	間隙率 n	0.49	0.49	0.64
変形 特性	動せん断弾性係数 G_m (kN/m ²)	1.78×10^6	5.54×10^5	5.18×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.05	0.05	0.05
強度 特性	粘着力 c (kN/m ²)	815	397	397

注記*：地盤改良体の配置に応じて設定。

3.5.4 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地表面(T. M. S. L. 3.0m)として設定する。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、海水貯留堰の構造上の特徴を踏まえて設定する。

3.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、鋼管矢板、止水ゴム取付部鋼材とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、鋼管矢板を支持する基礎地盤とする。

3.6.3 構造物の変形性評価

構造物の変形性評価に係る評価対象部位は、止水ゴムとする。

3.7 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板に対する許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき設定する。

鋼管矢板の許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 鋼管矢板の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
鋼管矢板 φ 1100	SKY490	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度 τ_a	157

(2) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材に対する許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき設定する。

止水ゴム取付部鋼材の許容限界を表 3-8 に示す。

また，止水ゴム取付部鋼材は，鋼管矢板及び前面鋼矢板に水中溶接にて設置する。止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）に対する許容限界は，「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）」、「鋼矢板 設計から施工まで（鋼管杭協会，平成 12 年 3 月）」及び「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版）」に基づき設定する。

止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-8 止水ゴム取付部鋼材の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	SM490	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度 τ_a	157

表 3-9 (1) 止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：鋼管矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材（SM490） ／鋼管矢板（SKY490）	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a （水中溶接部）	110

表 3-9 (2) 止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：前面鋼矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材（SM490） ／前面鋼矢板（SY295）	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a （水中溶接部）	105

3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する鉛直力に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）」より設定する極限支持力に、「乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 J E A C 4 6 1 6-2009（日本電気協会）」に基づく安全率を考慮した終局鉛直支持力とする。

基礎地盤の許容限界を表3-10に示す。

表3-10 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

項目	許容限界 (kN)		
	A-A断面	B-B断面	
終局鉛直支持力	3280	南側	北側
		3960	18500

3.7.3 構造物の変形性に対する許容限界

止水ゴムに対する許容限界は、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

止水ゴム変形量の許容限界を表3-11に示す。

表3-11 止水ゴム変形量の許容限界

項目	許容限界	
変形量	δ_x	9.5cm以上*
	δ_y	11.3cm以上*
	δ_z	12.2cm以上*

注記* :



3.8 評価方法

海水貯留堰の耐震評価は、地震応答解析により算定した全時刻歴の照査用応答値が、「3.7 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 構造部材の健全性評価

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図 3-9 に、せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力を図 3-10 に示す。

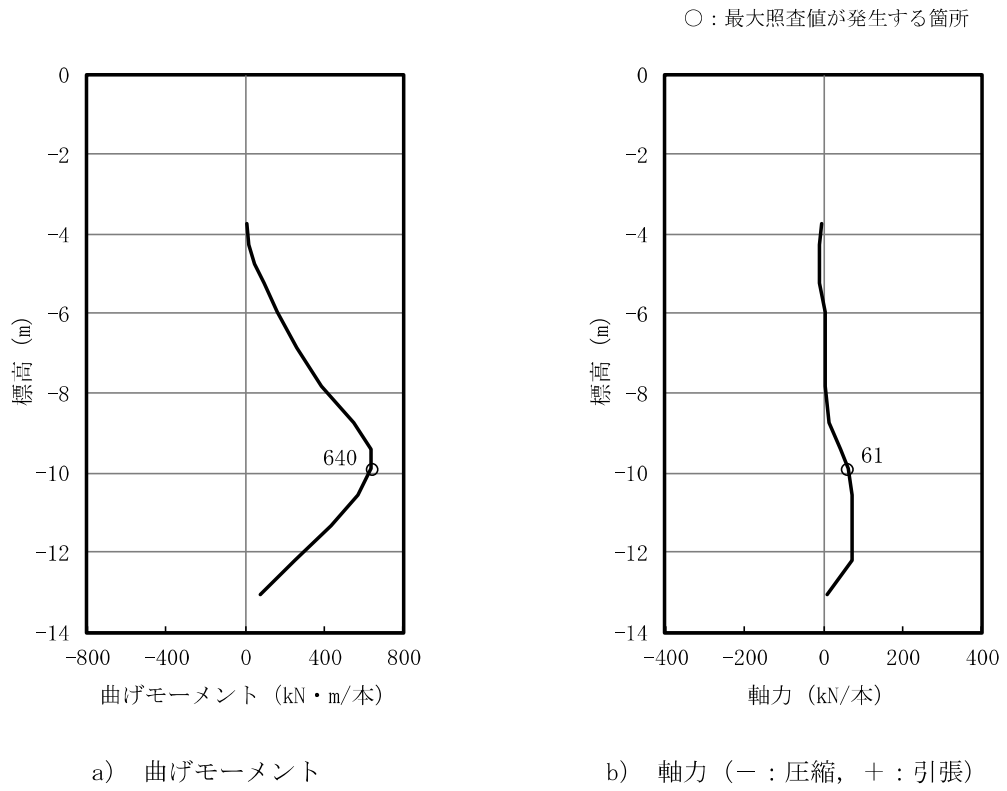


図 3-9 (1) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (A-A断面 Ss-1++, t=18.66s)
 (検討ケース③：地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

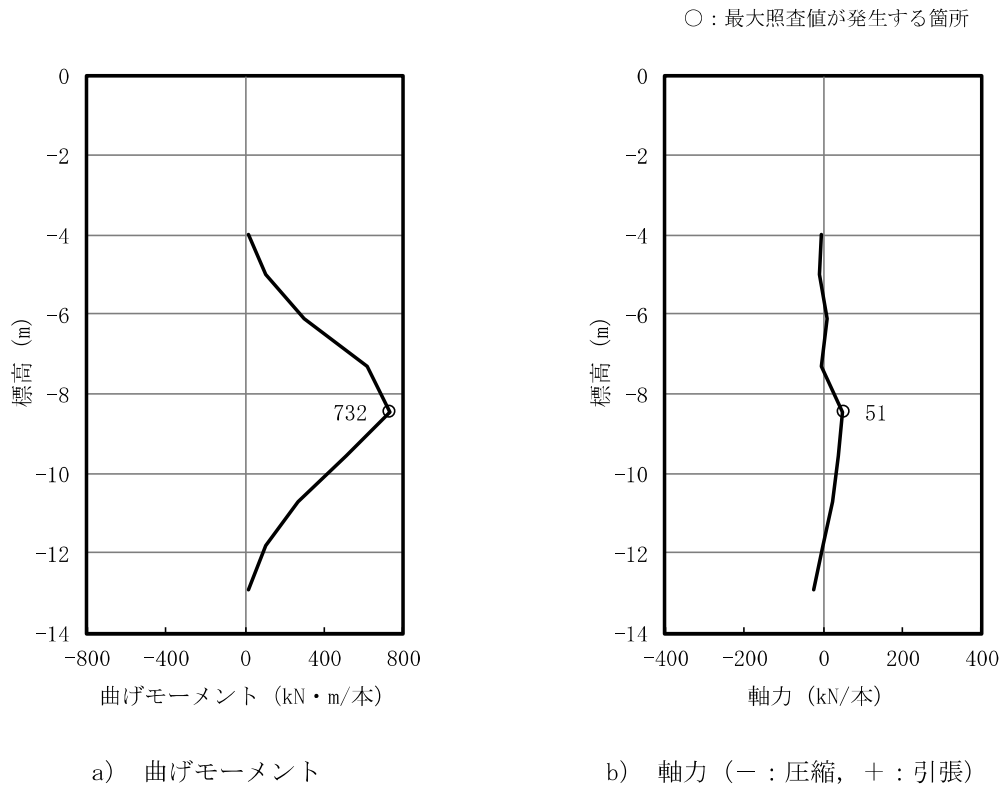


図3-9 (2) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (B-B断面 Ss-1-+, t=18.68s)
 (検討ケース③: 地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

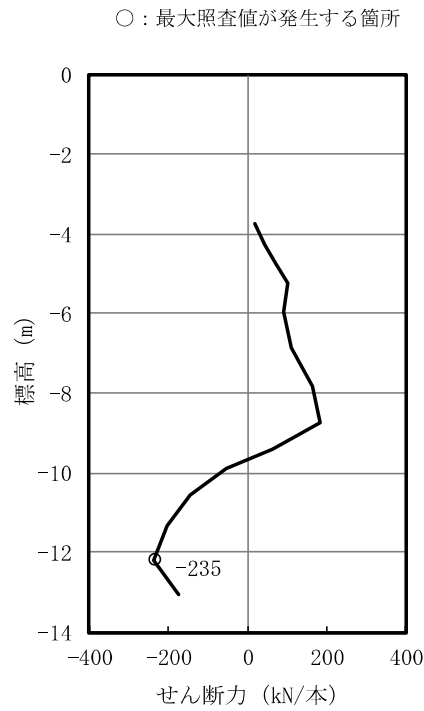


図 3-10 (1) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力

(A-A断面 Ss-1++ , t=18.66s)

(検討ケース③ : 地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

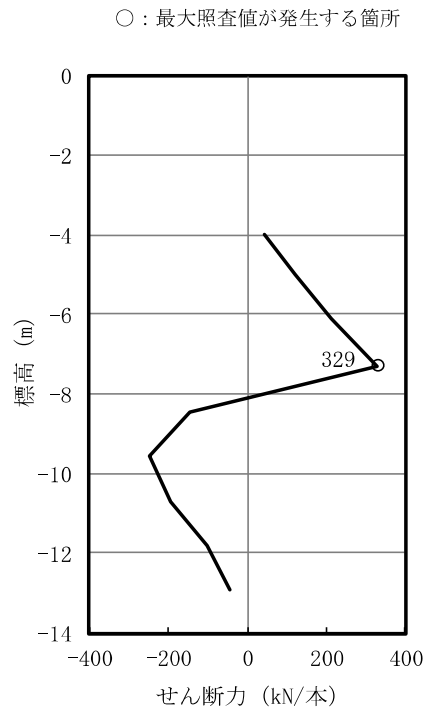


図 3-10 (2) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (B-B断面 Ss-1-+, t=18.68s)
 (検討ケース③: 地盤物性値のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

(2) 止水ゴム取付部鋼材

a. 構造概要

止水ゴム取付部鋼材の照査対象は、構成部材であるスキンプレートとリブプレートに加えて、発生荷重を負担する鋼矢板及び鋼管矢板との接合部とする。

止水ゴム取付部鋼材に関する使用材料を表 3-12 に、海水貯留堰接続部の鳥瞰図を図 3-11 に示す。また、止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図を図 3-12 に、止水ゴムの仕様を表 3-13 に、止水ゴムの構造図を図 3-13 に示す。

表 3-12 使用材料

部位	材料	諸元
止水ゴム取付部鋼材	スキンプレート	t=9 mm* (SM490)
	リブプレート	t=14 mm* (SM490)

注記*：断面照査においては海水と接する面に対して1 mmの腐食代を考慮する。

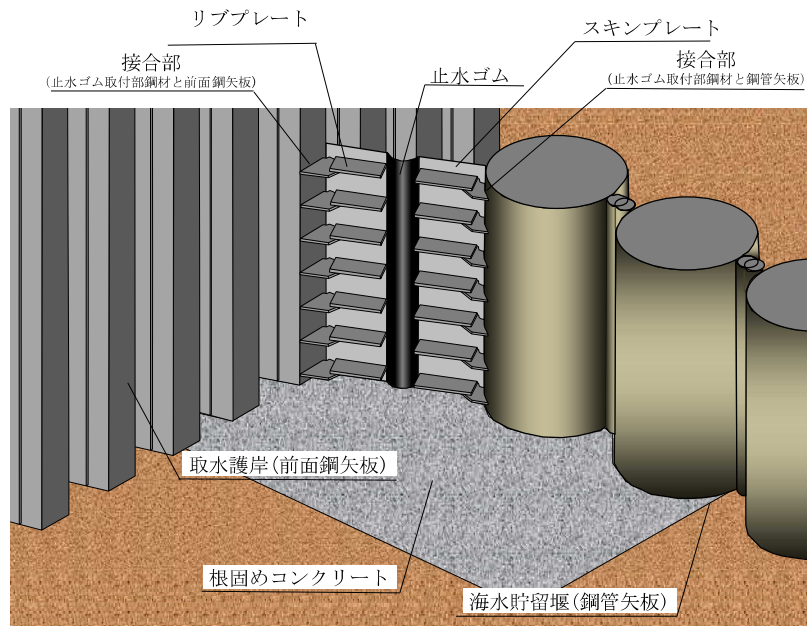


図 3-11 海水貯留堰接続部の鳥瞰図

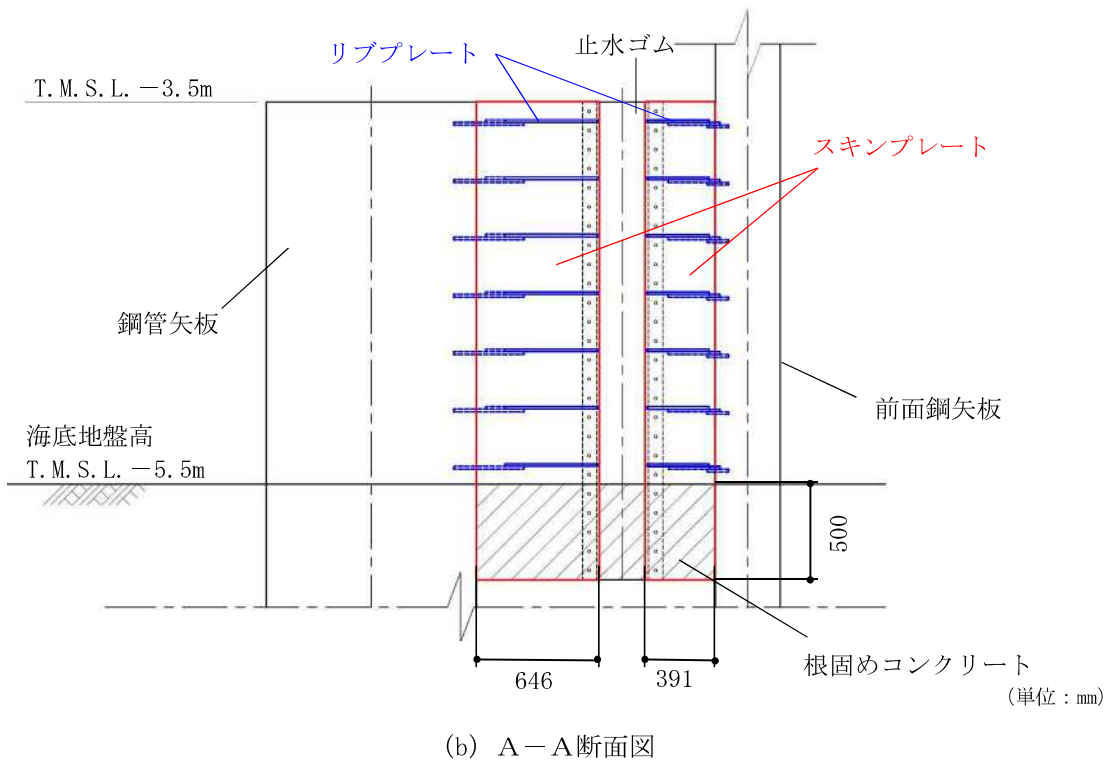
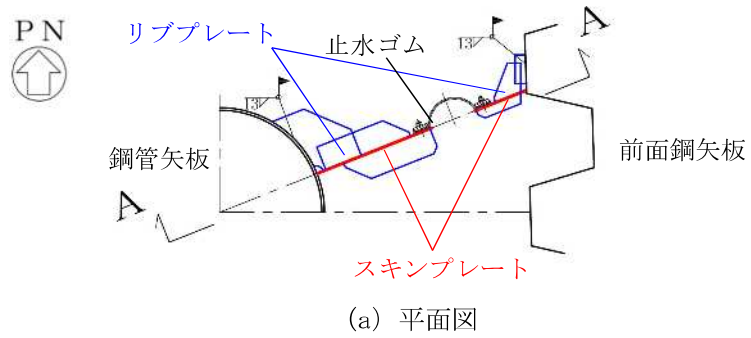
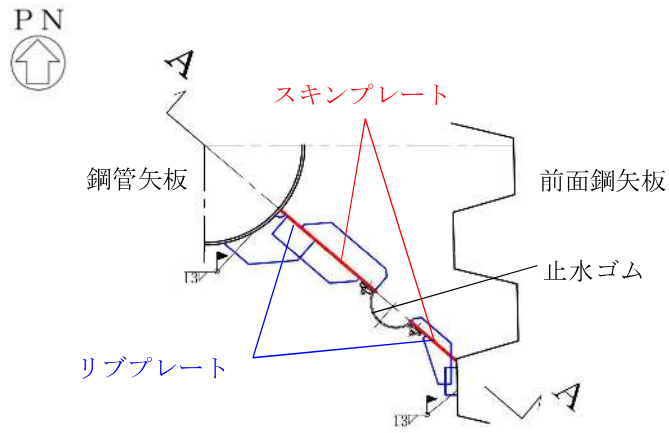
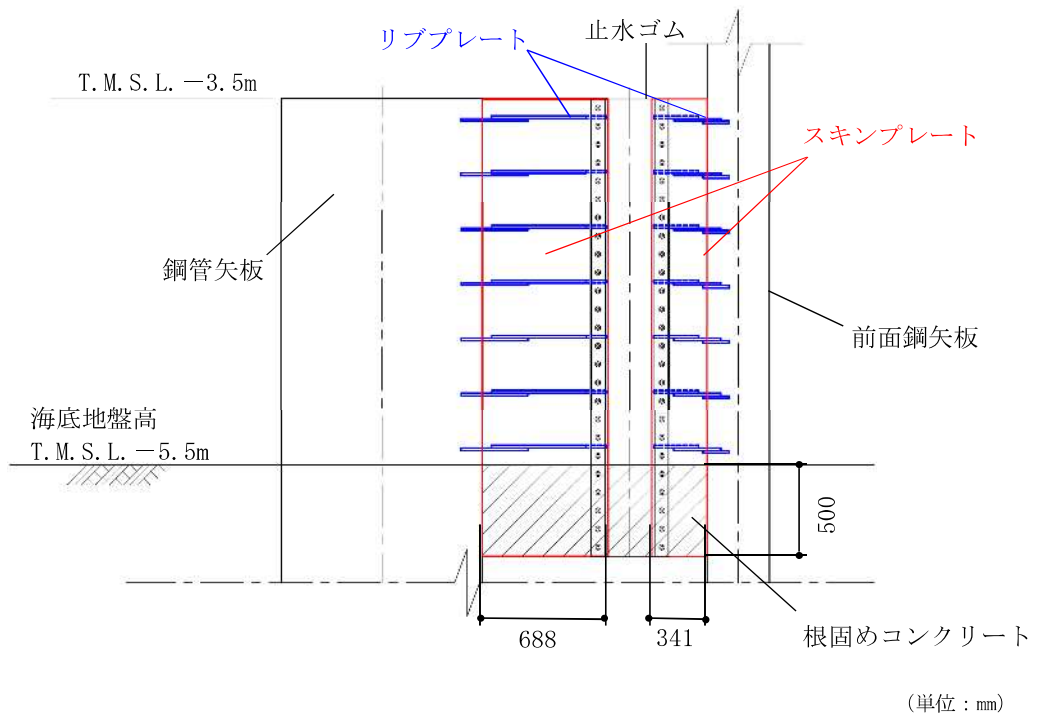


図 3-12 (1) 止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図 (南側)



(a) 平面図



(単位: mm)

(b) A-A断面図

図3-12 (2) 止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図 (北側)

表 3-13 止水ゴムの仕様

部位	材料	諸元
止水ゴム	クロロプレンゴム	t=10mm

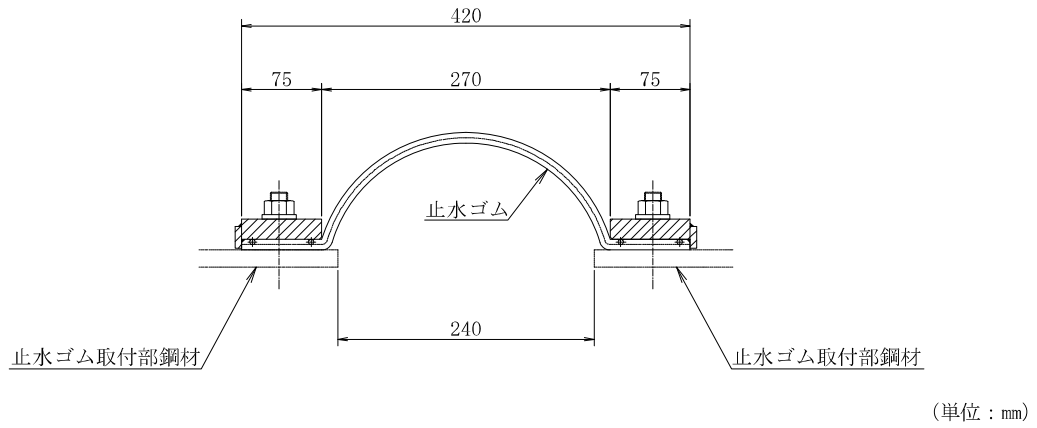


図 3-13 止水ゴムの構造図

b. 解析概要

地震時に発生する応答値は、ゴム作用力、基準地震動 S_s による慣性力及び動水圧を作用させた線形はり構造として解析を行う。

c. 止水ゴム取付部鋼材の解析方法

(a). スキンプレート

スキンプレートは、取水護岸前面鋼矢板側と海水貯留堰鋼管矢板側に設置する。スキンプレートの照査については、設置間隔 300mm のリブプレートで支持された両端固定梁として行う。

イ. モデル化

スキンプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3-14、照査断面を図 3-15 に示す。

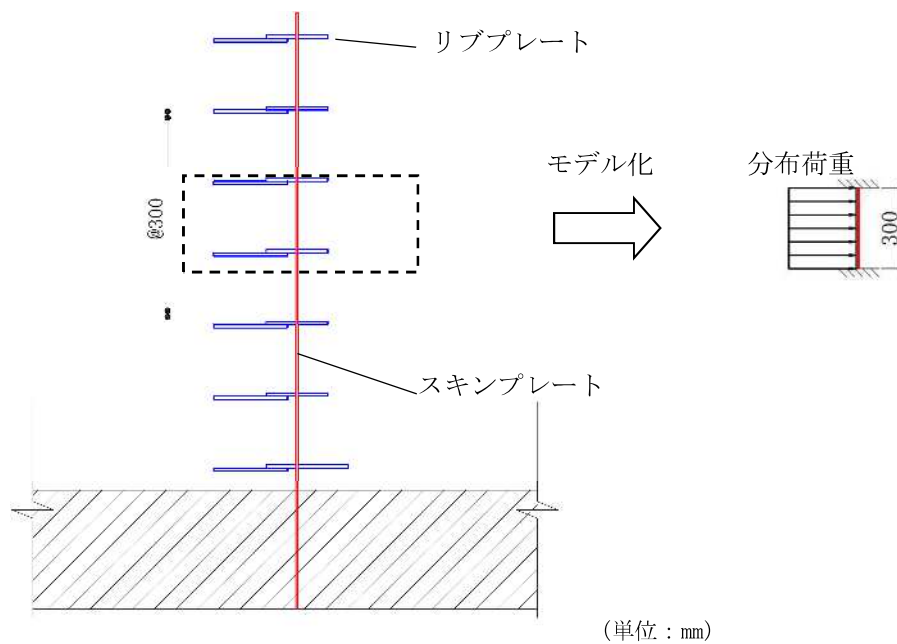


図 3-14 スキンプレート照査モデル図

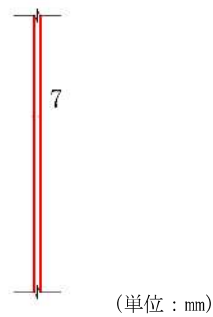


図 3-15 スキンプレート照査断面
(照査断面寸法は腐食代を考慮)

ロ. 断面照査方法

スキンプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot l \cdot L^2}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{q \cdot l \cdot L}{2}$$

ここに，

M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅＝リブプレート間隔 (m)

l : スキンプレート奥行き (m)

S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

(b). リブプレート

リブプレートは、取水護岸前面鋼矢板側と海水貯留堰鋼管矢板側に設置する。リブプレートの照査については、止水ゴム取付部鋼材のリブプレート断面変化箇所に対して行う。

イ. モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデルを図 3-16 に示す。また、照査断面を図 3-17 に示す。

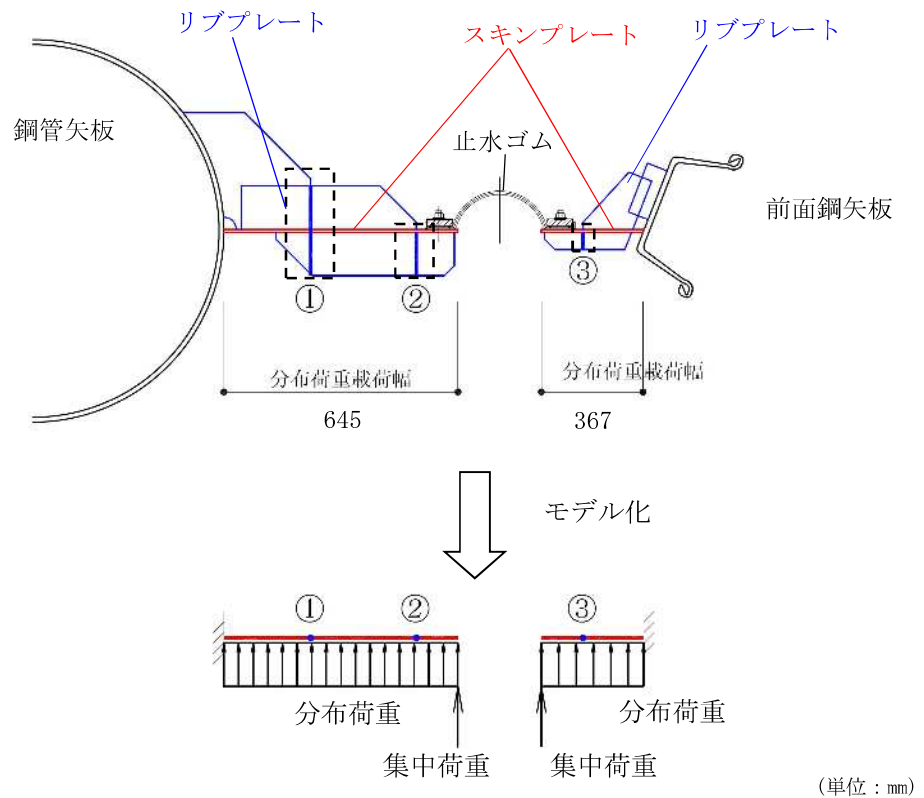


図 3-16 照査モデル図 (リブプレートと鋼管矢板又は前面鋼矢板)

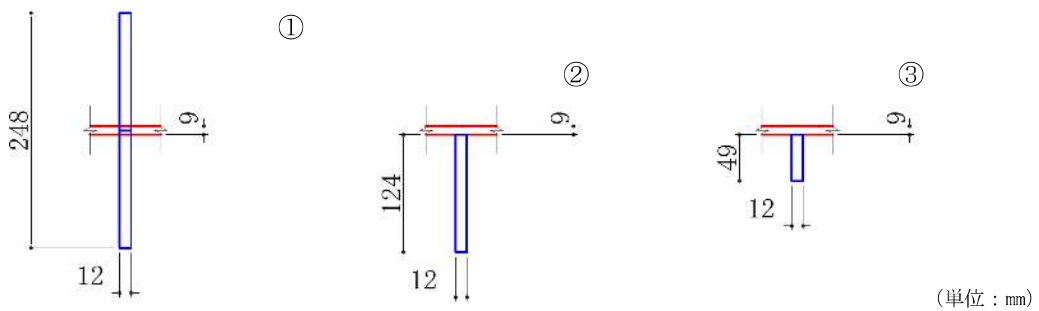


図 3-17 リブプレートの照査断面
(照査断面寸法は腐食代を考慮)

ロ. 断面照査方法

リブプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot L^2 \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$
$$S_{\text{max}} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

ここに，

- M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)
q : 分布荷重 (kN/m²)
L : 分布荷重載荷幅＝検討箇所でのリブプレート張り出し長 (m)
l : リブプレート間隔 (m)
P : 集中荷重 (kN/m)
 S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

(c). 前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

止水ゴム取付部鋼材では、リブプレート部材と取水護岸前面鋼矢板及び海水貯留堰鋼管矢板との接合部において発生荷重を負担している。当該接合部は水中溶接により接合されるが、水中溶接部の許容限界については、「3.7 許容限界」にまとめる。

イ. モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデルを図 3-18 に示す。また、照査断面を図 3-19 に示す。

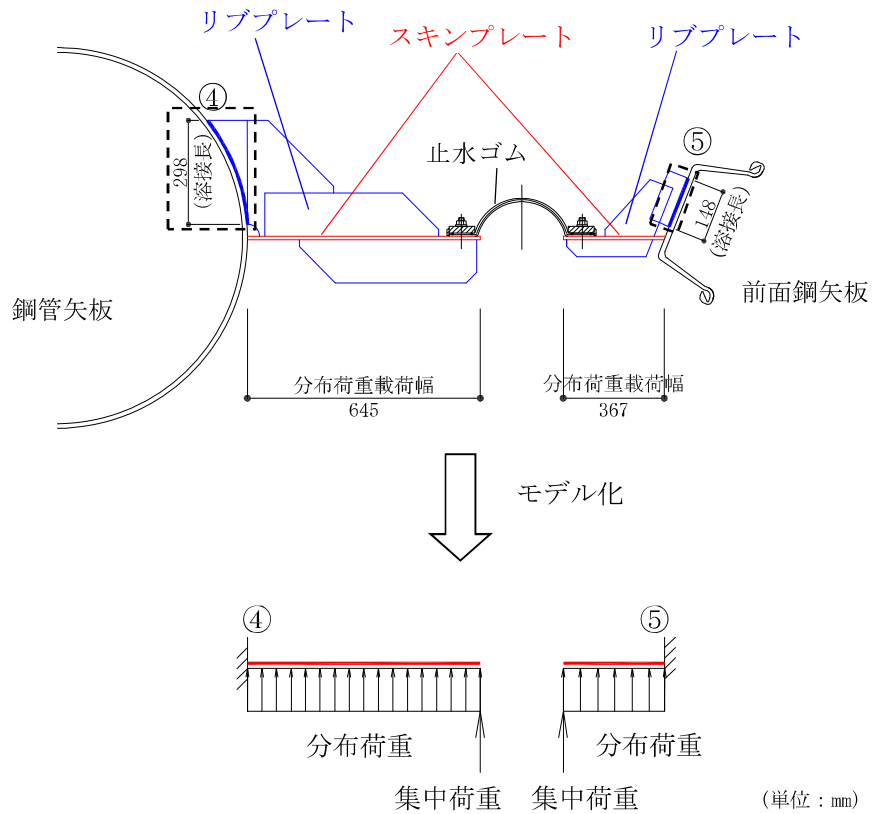


図 3-18 照査モデル図

(リブプレートと鋼管矢板又は前面鋼矢板接合部)

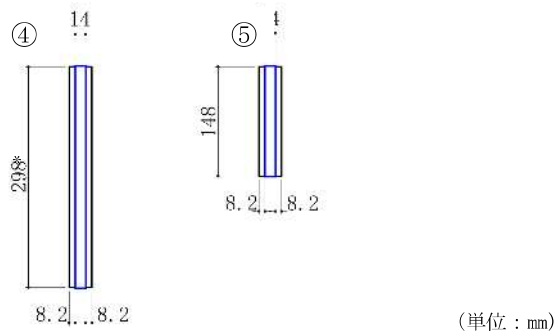


図 3-19 接合部の照査断面 (照査断面寸法 (溶接長) は腐食代を考慮)

注記* : ④部は鋼管矢板の外表面形状に沿って溶接しているが、保守的に溶接長さをプレート幅とし扱う。

ロ. 断面照査方法

リブプレートと取水護岸前面鋼矢板の接合部及びリブプレートと海水貯留堰鋼管矢板の接合部に発生する断面力算定式，部材の断面性能算出式を以下に記す。また，リブプレートと取水護岸前面鋼矢板の接合部は，発生せん断力に対して角度を有していることから，図3-20に示すように角度補正を行う。

$$M_{\max} = \frac{q \cdot L^2 \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$

$$S_{\max} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

リブプレートと前面鋼矢板接合部

$$S = S_{\max} \cdot \cos \theta$$

$$N = S_{\max} \cdot \sin \theta$$

ここに，

M_{\max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅＝リブプレート張り出し長 (m)

l : リブプレート間隔 (m)

P : 集中荷重 (kN/m)

S_{\max} : 最大発生せん断力 (kN)

S : 最大発生せん断力に対する分力 (せん断力) (kN)

N : 最大発生せん断力に対する分力 (引張力) (kN)

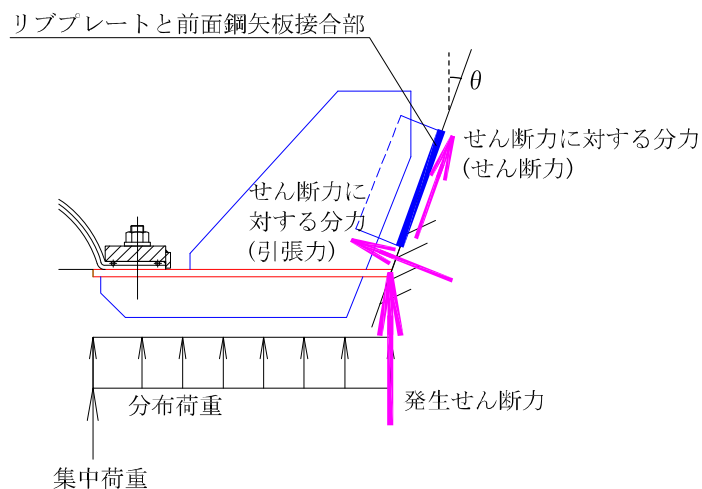


図3-20 リブプレートと前面鋼矢板接合部におけるせん断力の補正について

d. 評価方法

止水ゴム取付部鋼材の耐震評価は、曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(a). 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで、

- σ : 曲げモーメント及び軸力より算定した応力 (N/mm²)
- M : 最大曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- N : 軸力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)

(b). せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \cdot \frac{S}{A}$$

ここで、

- τ : せん断力より算定したせん断応力 (N/mm²)
- S : せん断力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)
- κ : せん断応力の分布係数 ($\kappa = 1.5$)

3.8.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

3.8.3 構造物の変形性評価

(1) 相対変位の考え方

止水ゴムの変形性評価に用いる地震時の構造物間の相対変位は、地震時の解析ケースで求められる最大変位の最大値とする。

なお、津波時及び重畳時の構造物間の相対変位に対する止水ゴムの変形性評価は、V-3-別添 3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」において実施するものとする。

(2) 評価方法

止水ゴムの変位量は、海水貯留堰（護岸近傍）と取水護岸間の水平（ δ_x ）及び鉛直方向（ δ_y ）と、海水貯留堰下端と海水貯留堰天端間の水平方向（ δ_z ）の相対変位とする。地震応答解析モデル（A-A断面）を図3-21に、変位方向の定義を図3-22から図3-24に示す。これら3方向の変位量が許容限界以下であることを確認する。地震時における変位量の評価は、各変位方向の最大値を用いて評価する。

δ_x : X方向の水平変位 (cm)

δ_y : Y方向の鉛直変位 (cm)

δ_z : Z方向の水平変位 (cm)

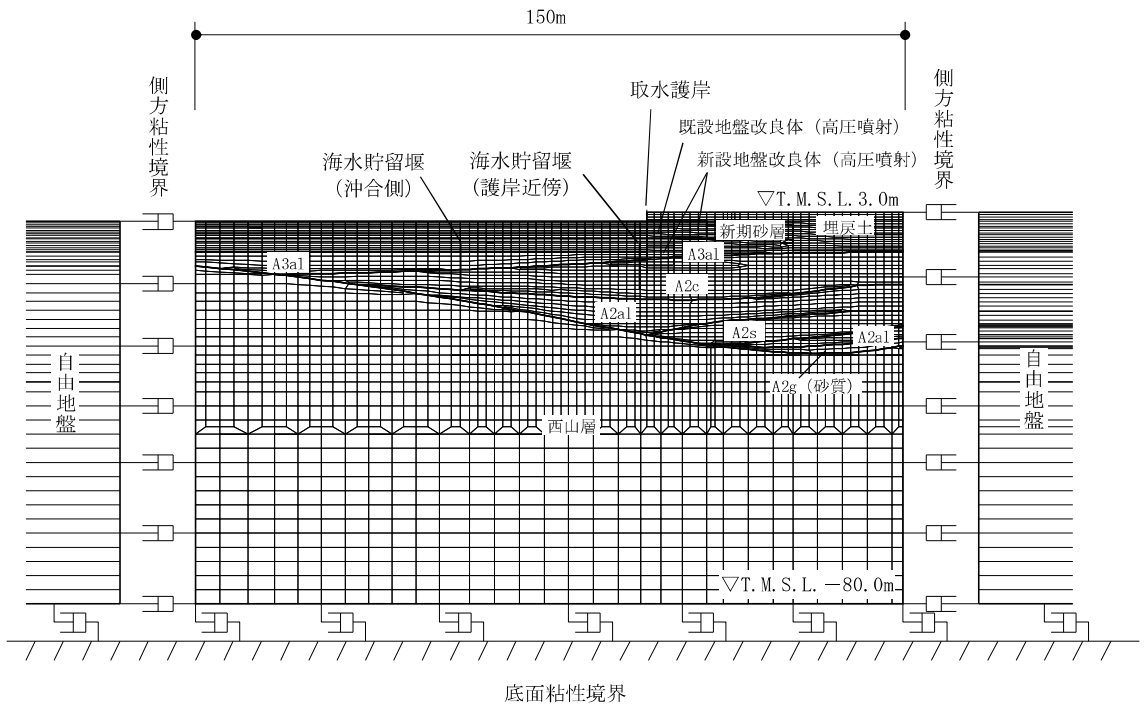


図 3-21 海水貯留堰の地震応答解析モデル (A-A 断面)

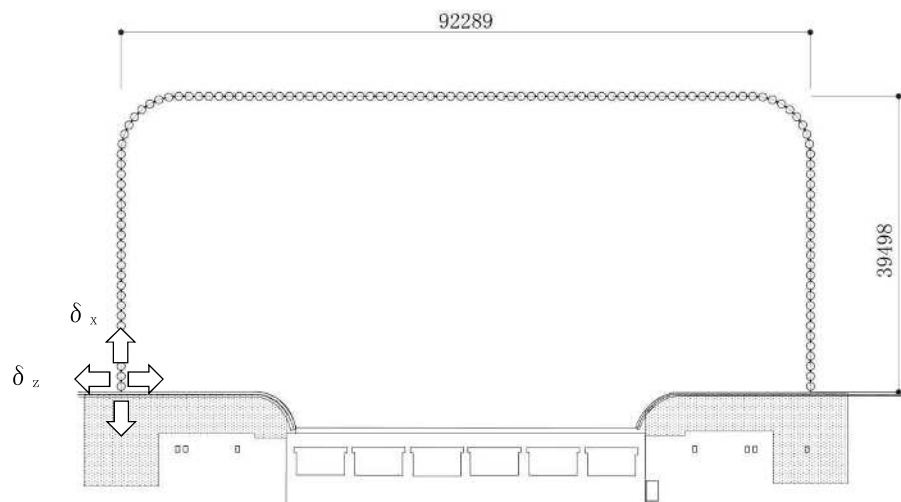


図 3-22 変位方向の定義 (δ_x , δ_z 平面図)

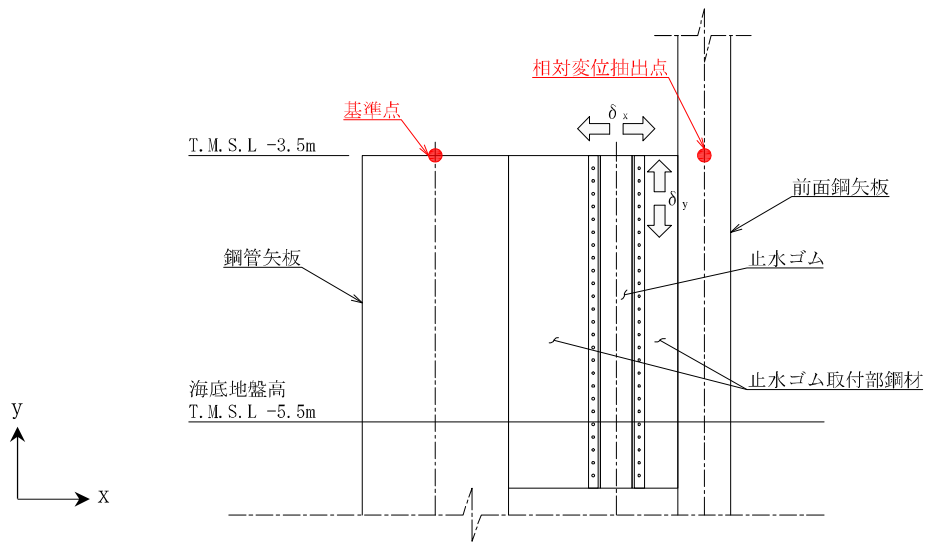


図 3-23 変位方向の定義 (δ_x , δ_y 断面図)

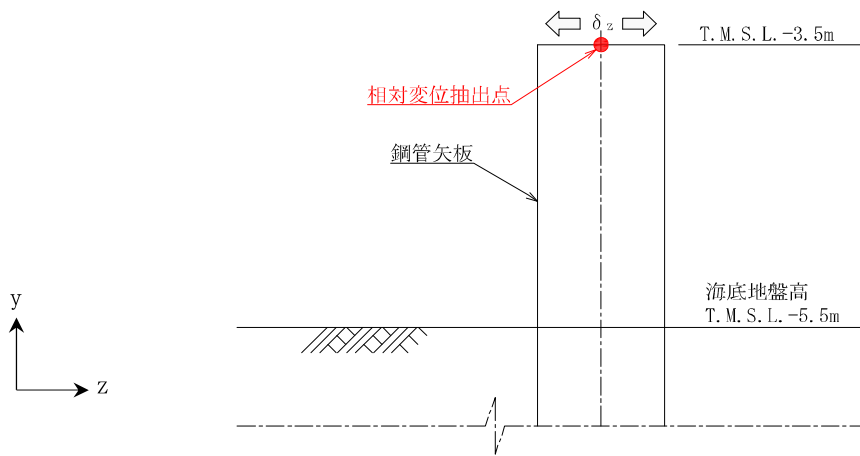


図 3-24 変位方向の定義 (δ_z 断面図)

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

4.1.1 鋼管矢板の健全性評価

鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値を表 4-1 に、せん断力照査における最大照査値を表 4-2 にそれぞれ示す。鋼管矢板の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 (1) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1++	640	61	55.2	277	0.20

表 4-1 (2) 鋼管矢板の曲げ軸力照査における最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1-+	732	51	62.7	277	0.23

表 4-2 (1) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1++	235	11	157	0.08

表 4-2 (2) 鋼管矢板のせん断力照査における最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
③	Ss-1-+	329	15	157	0.10

4.1.2 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の作用断面力、断面性能及び照査結果を表 4-3 から表 4-8 に示す。止水ゴム取付部鋼材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

(1) スキンプレート

表 4-3 作用する断面力

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
1.13	—	23

表 4-4 断面照査結果

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	139	277	0.51
せん断力	5	157	0.04

(2) リブプレート（海水貯留堰（北側） 検討箇所③）

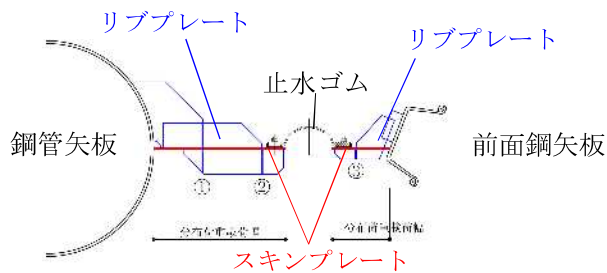
リブプレートの最大照査箇所は、海水貯留堰（北側）の検討箇所③である。

表 4-5 作用する断面力

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
1.06	—	12

表 4-6 断面照査結果

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	221	277	0.80
せん断力	31	157	0.20



照査位置図

(3) 前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

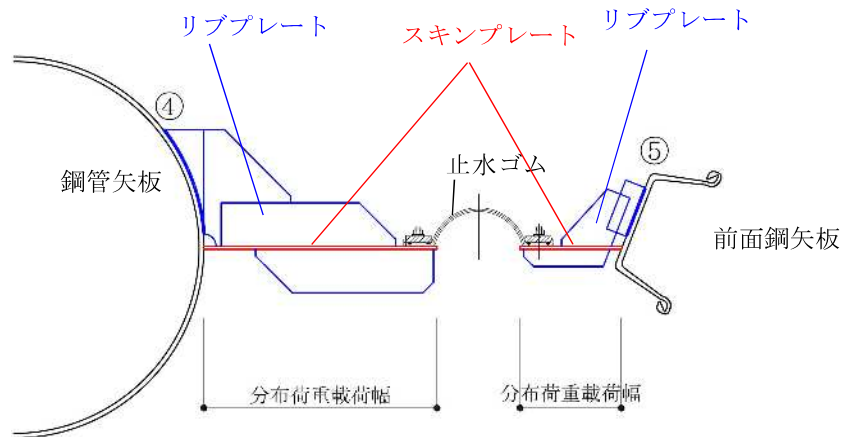
接合部における最大照査箇所は、海水貯留堰（北側）の⑤リブプレートと取水護岸前面鋼矢板接合部である。

表 4-7 作用する断面力

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
3.85	14	15

表 4-8 断面照査結果

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント, 軸力	70.3	105	0.67
せん断力	10	105	0.10



照査位置図

4.2 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 4-9 に示す。

海水貯留堰の杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力以下であることを確認した。

表 4-9 (1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	最大鉛直力 R_a (kN)	終局鉛直支持力* Q_a (kN)	照査値 R_a / Q_a
①	Ss-1+-	21	3280	0.01

注記* : 終局鉛直支持力 $Q_a = \text{極限支持力 } R_u \div \text{安全率}$

表 4-9 (2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (B-B断面)

評価対象	解析 ケース	地震動	最大鉛直力 R_a (kN)	終局鉛直支持力* Q_a (kN)	照査値 R_a / Q_a
南側	①	Ss-1+-	20	3960	0.01
北側	①	Ss-1+-	19	18500	0.01

注記* : 終局鉛直支持力 $Q_a = \text{極限支持力 } R_u \div \text{安全率}$

4.3 構造物の変形性に対する評価結果

止水ゴムに対する照査結果を表 4-10 に示す。

止水ゴムの発生変形量が許容限界以下であることを確認した。

表 4-10 止水ゴムの最大相対変位と許容限界の比較結果

変位	解析 ケース	地震動	変位 (cm)	許容限界* (cm)
δ_x	①	Ss-7EW	3.6	9.5 以上
δ_y	①	Ss-6EW	4.1	11.3 以上
δ_z	③	Ss-1-+	4.2	12.2 以上

注記* :