

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補足-027-3 改5
提出年月日	2020年 8月 31日

資料3 燃料移送系配管ダクトの耐震安全性評価について

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

1. 評価方法	1
2. 評価条件	1
2.1 評価対象断面の方向	1
2.2 評価対象断面の選定	4
2.3 使用材料及び材料定数	8
2.4 地盤, マンメイドロック及び地盤改良体の物性値	8
2.5 評価構造物諸元	12
2.6 地下水位	13
2.7 耐震評価フロー	14
2.8 適用規格	15
3. 地震応答解析	17
3.1 地震応答解析手法	17
3.2 地震応答解析モデルの設定	18
3.2.1 解析モデル領域	18
3.2.2 境界条件	23
3.2.3 解析奥行幅	27
3.2.4 構造物のモデル化	28
3.2.5 隣接構造物のモデル化	29
3.2.6 地盤及びマンメイドロックのモデル化	29
3.2.7 地盤改良体のモデル化	30
3.2.8 ジョイント要素の設定	33
3.2.9 非線形ばね要素の設定	36
3.2.10 杭-地盤相互作用ばねの設定	38
3.2.11 杭先端ばねの設定	40
3.2.12 材料特性の設定	42
3.3 減衰定数	45
3.4 荷重の組合せ	46
3.4.1 機器・配管荷重	47
3.4.2 外水圧	47
3.5 地震応答解析の解析ケース	48
3.5.1 耐震評価における解析ケース	48
3.5.2 機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位抽出のための解析ケース	51
4. 評価内容	52
4.1 入力地震動の設定	52
4.2 許容限界の設定	105

4.2.1 曲げ軸力に対する許容限界	105
4.2.2 せん断力に対する許容限界	107
4.2.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	114
5. 評価結果	117
5.1 地震応答解析結果	117
5.1.1 解析ケースと照査値	118
5.1.2 層間変形角時刻歴波形（鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査）	128
5.1.3 断面力分布（鉄筋コンクリート部材のせん断力照査）	130
5.1.4 曲率分布（鋼管杭の曲げ軸力照査）	135
5.1.5 せん断力分布（鋼管杭のせん断力照査）	138
5.1.6 最大せん断ひずみ分布	141
5.1.7 過剰間隙水圧比分布	145
5.2 鉄筋コンクリート部材の耐震評価	149
5.2.1 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する評価結果	149
5.2.2 鉄筋コンクリート部材のせん断力に対する評価結果	151
5.3 鋼管杭の耐震評価	159
5.3.1 鋼管杭の曲げ軸力に対する評価結果	159
5.3.1 鋼管杭のせん断力に対する評価結果	161
5.4 基礎地盤の支持性能に対する支持力評価	163
5.4.1 基礎地盤の押込みに対する支持性能評価	163
5.4.2 基礎地盤の引抜きに対する評価	165
6. まとめ	167

参考資料

(参考資料 1) 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について	参考 1-1
(参考資料 2) 杭頭部の耐震評価	参考 2-1
(参考資料 3) 積雪荷重の影響評価	参考 3-1
(参考資料 4) 燃料移送系配管ダクト接合部の健全性評価	参考 4-1
(参考資料 5) 杭先端の極限支持力度の設定について	参考 5-1
(参考資料 6) 静的地震力に対する耐震評価	参考 6-1
(参考資料 7) 新設地盤改良体の物性値設定が構造物の耐震評価及び機器・配管系に対する応答加速度に与える影響確認	参考 7-1

1. 評価方法

燃料移送系配管ダクトは、Sクラス設備である非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管を間接支持する機能を求められる土木構造物である。燃料移送系配管ダクトについて基準地震動 S_s による耐震評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。

燃料移送系配管ダクト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、保守性を考慮して設定する。

構造物及び機器・配管系への加速度応答に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮した解析ケースを設定する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の層間変形角、曲率及びせん断力が要求性能に応じた許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、杭頭に生じる鉛直力が極限支持力及び極限引抜き力に基づく許容限界以下であることを確認する。

2. 評価条件

2.1 評価対象断面の方向

燃料移送系配管ダクトの位置を図 2-1 に示す。

燃料移送系配管ダクトは、鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

評価対象断面の方向の選定に係る考え方を表 2-1 に示す。燃料移送系配管ダクトの縦断方向（EW 方向）は、加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができることから、強軸断面方向となる。一方、横断方向（NS 方向）は、加振方向と平行に配置される構造部材がないことから、弱軸断面方向となる。

以上のことから、燃料移送系配管ダクトの耐震評価では、構造の安定性に支配的な弱軸断面方向である横断方向（NS 方向）を評価対象断面とする。

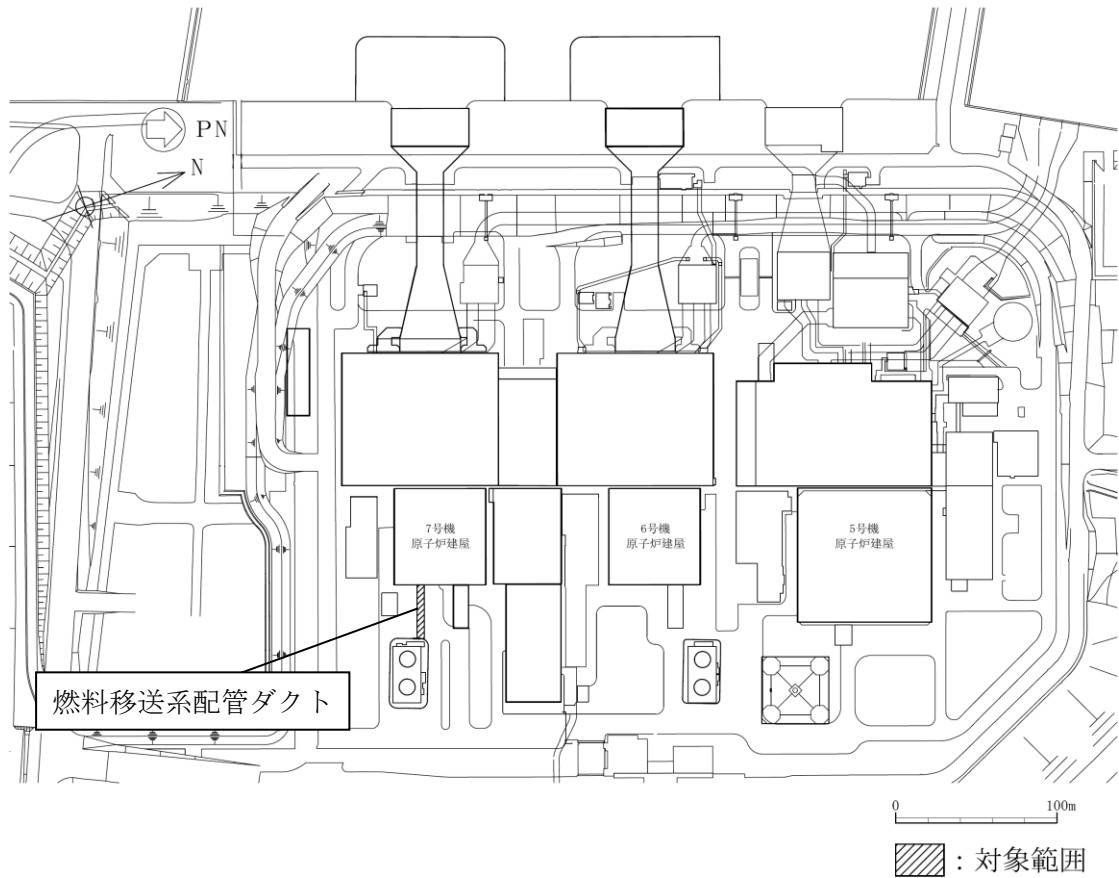
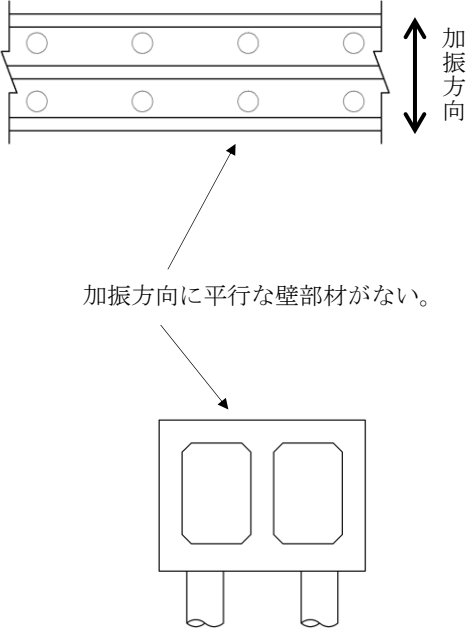
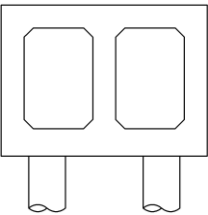


図 2-1 燃料移送系配管ダクトの位置図（平面図）

表 2-1 燃料移送系配管ダクトの評価対象断面の方向の選定

	横断方向 (NS 方向) の加振	縦断方向 (EW 方向) の加振
燃料移送系配管ダクト	 <p data-bbox="438 694 790 728">加振方向に平行な壁部材がない。</p>	 <p data-bbox="1013 694 1372 750">加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができる。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ・横断方向は、加振方向に平行な壁部材がなく、弱軸断面方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・縦断方向は、加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができ、強軸断面方向にあたる。
	<ul style="list-style-type: none"> ・弱軸断面方向を評価対象断面とする。 	

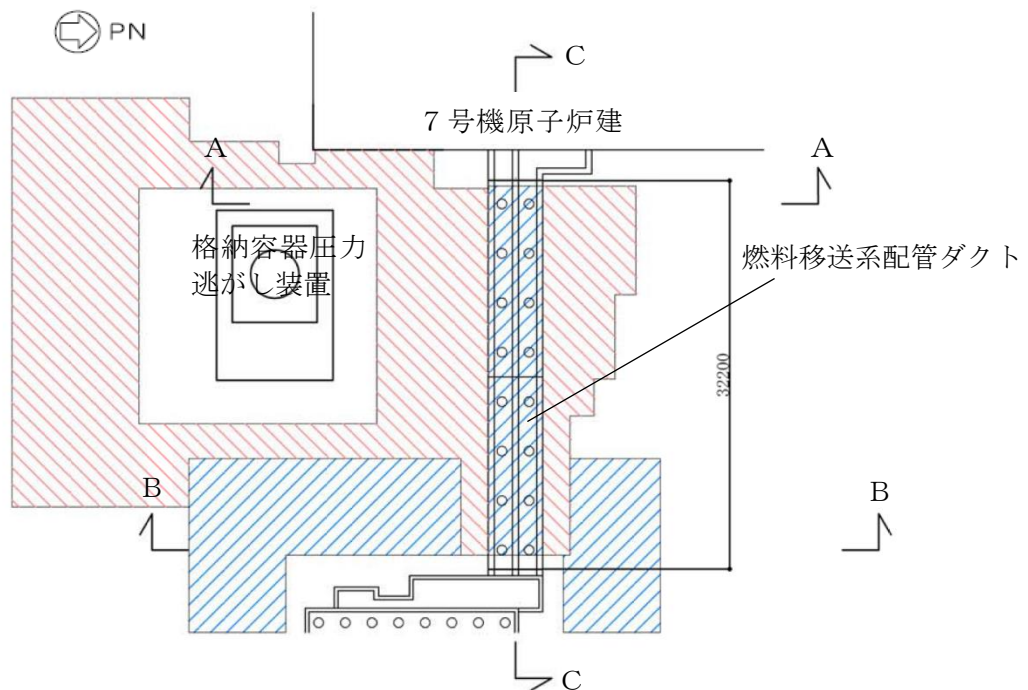
2.2 評価対象断面の選定

燃料移送系配管ダクトの平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 及び図 2-4 に、縦断面図を図 2-5 に、配筋図を図 2-6 に示す。

燃料移送系配管ダクトは延長約 32m、幅約 4.5m、高さ約 3.3m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。ダクト及び杭の周辺には、地震時における変形抑制対策として、地盤改良を実施している。

評価対象断面は、KK7 補足-027-1「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「4.6 燃料移送系配管ダクトの断面選定の考え方」で記載したとおり、構造物の弱軸断面方向である A-A 断面及び B-B 断面を代表として耐震評価を実施する。また、強軸断面方向である C-C 断面についても、機器・配管系への加速度応答の観点から、地震応答解析を実施する。

なお、A-A 断面の耐震評価においては、燃料移送系配管ダクト南側に格納容器圧力逃がし装置が位置しているが、格納容器圧力逃がし装置の周囲に地盤改良体が設置されているとともに、燃料移送系配管ダクトとの離隔も大きいことから、格納容器圧力逃がし装置はモデル化しない。また、格納容器圧力逃がし装置西側に位置する地盤改良体についても、保守的に考慮しない。

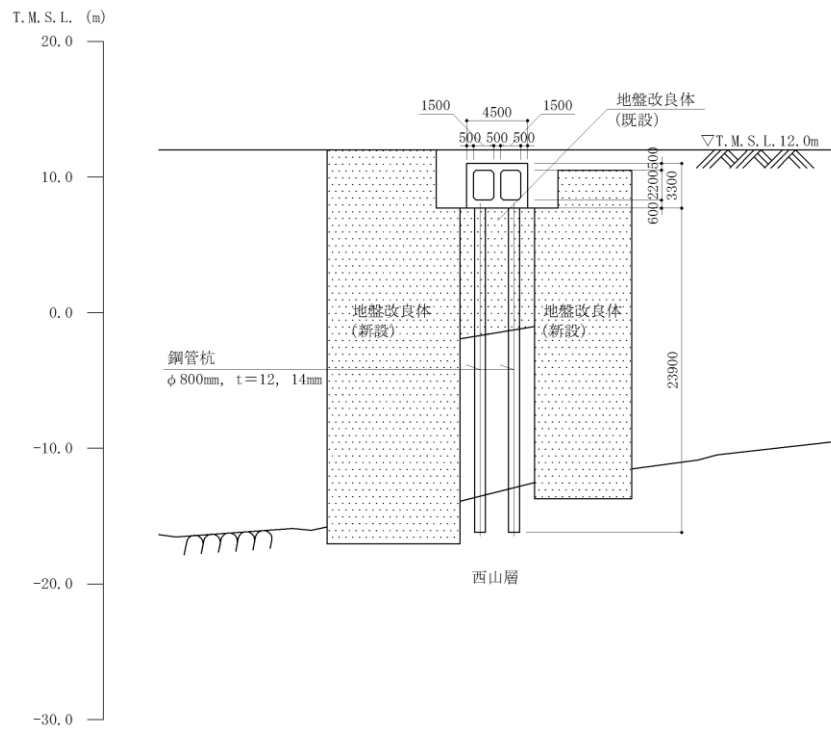


(単位：mm)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

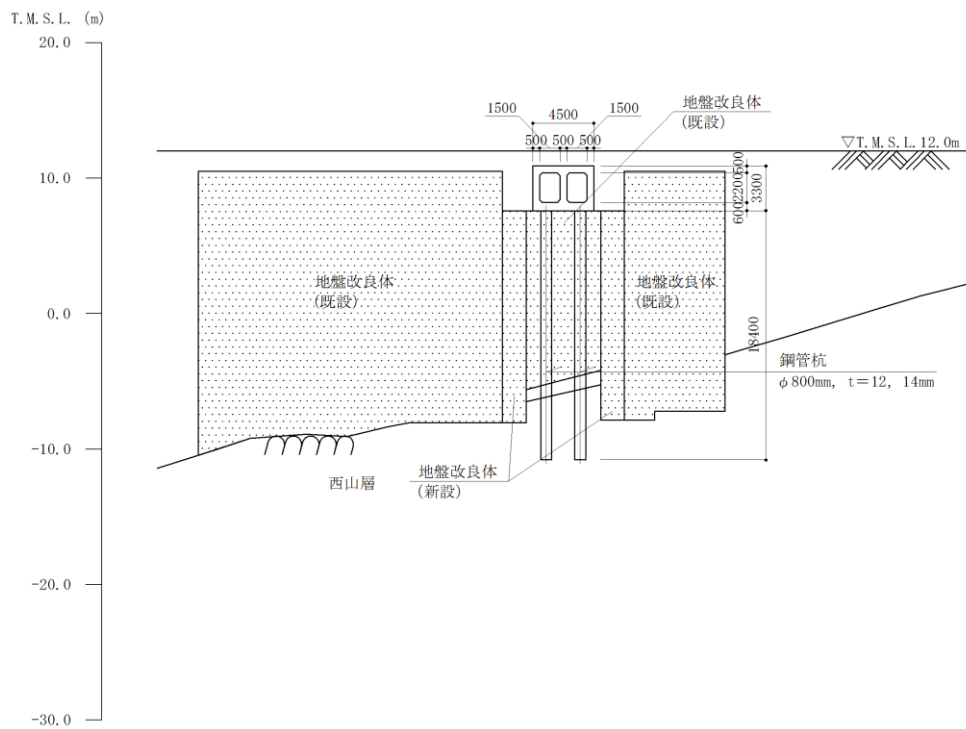
注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 2-2 燃料移送系配管ダクトの平面図



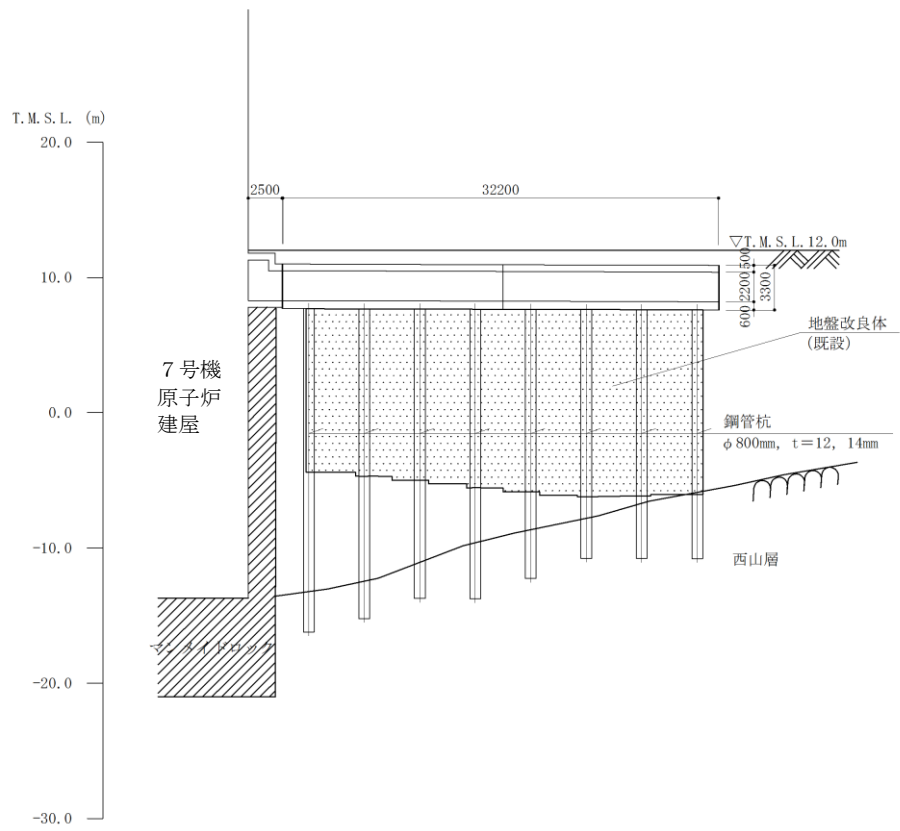
(単位：mm)

図 2-3 燃料移送系配管ダクト断面図 (A-A 断面)



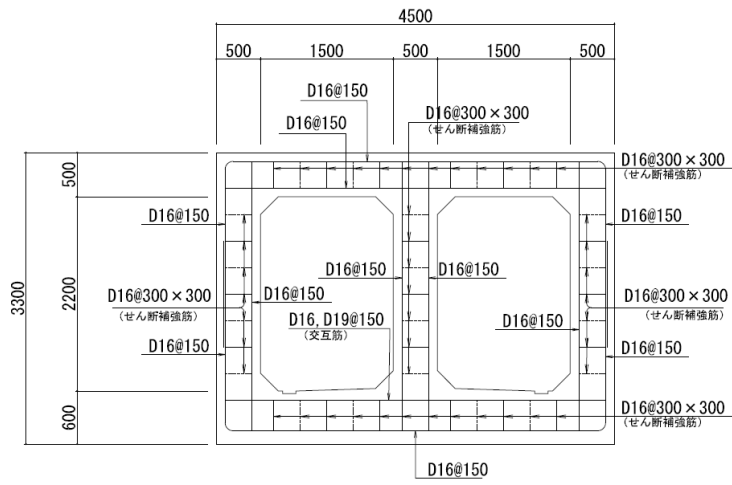
(単位：mm)

図 2-4 燃料移送系配管ダクト断面図 (B-B 断面)

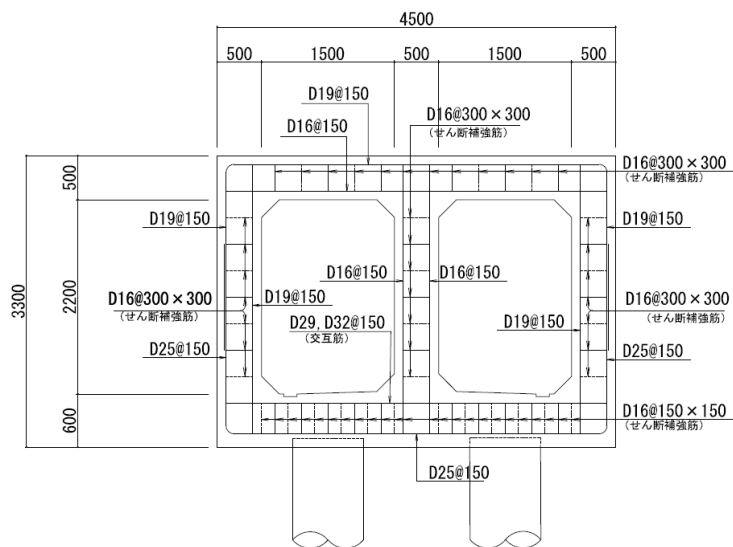


(単位：mm)

図 2-5 燃料移送系配管ダクト縦断図 (C-C 断面)



(a) 一般部



(b) 杭頭補強部

図 2-6 燃料移送系配管ダクト配筋図

2.3 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、建設時の設計値に基づき設定する。構造物の使用材料を表 2-2 に、材料物性値を表 2-3 に示す。

表 2-2 構造物の使用材料

諸元	
コンクリート	設計基準強度 23.5 N/mm ²
鉄筋	SD35 (SD345 相当)
鋼管杭	SKK400 (SKK41 相当)

表 2-3 構造物の材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5*	2.45×10 ⁴ *	0.2*
鋼管杭	77*	2.06×10 ⁵ *	0.3*

注記* : 建設時の設計値に基づく

2.4 地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の物性値

地盤、マンメイドロックの物性値は、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。地盤改良体の物性値は、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に基づき、地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤の物性値を表 2-4～表 2-6 に、マンメイドロックの物性値を表 2-7 に、地盤改良体の配置を考慮した物性値を表 2-8 に示す。

表 2-4 地盤の解析用物性値一覧（液状化検討対象層）

物性値		地質区分		新期砂層・沖積層			古安田層	
				埋戻土	新期砂層	沖積層上部 (砂質)	沖積層下部	A2s 層
		物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94	2.05	1.90	2.02	1.91
	間隙率 n	0.45	0.44	0.48	0.42	0.45	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{sa} (kN/m ²)	1.04×10^5	1.26×10^5	1.25×10^5	1.92×10^5	2.14×10^5	2.14×10^5	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	98.0	110.0	150.0	200.0	200.0	
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.225	0.234	0.247	0.211	0.157	0.157	
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	内部摩擦角 ϕ' (°)	35.9	34.6	36.7	35.6	36.6	36.6	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	32.0	31.0	33.0	32.0	32.0	32.0	
	液状化パラメータ	S_1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
		w_1	5.50	7.90	11.0	8.0	25.0	25.0
		p_1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		p_2	1.00	0.70	0.70	0.65	0.80	0.80
		c_1	1.69	2.13	2.41	2.00	8.75	8.75

表 2-5 地盤の解析用物性値一覧（非液状化層）

物性値		地質区分		古安田層			
				A3c 層	A3a1 層	A2c 層	A2a1 層
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.70	1.81	1.80	1.88	1.80	1.80
	間隙率 n	0.57	0.52	0.52	0.48	0.52	0.52
変形特性	動せん断弾性係数 G_{sa} (kN/m ²)	1.09×10^5	9.57×10^4	1.39×10^5	1.61×10^5	1.39×10^5	1.39×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	60.0	94.0	140.0	170.0	140.0	140.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.114	0.162	0.110	0.147	0.110	0.110
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	99.6	29.2	113.0	82.8	113.0	113.0
	内部摩擦角 ϕ' (°)	26.8	34.2	27.9	28.7	27.9	27.9

表 2-6 地盤の解析用物性値 (西山層)

物性値		地質区分	西山層	
			T. M. S. L. -33.0m 以浅	T. M. S. L. -33.0m~-90.0m
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)		1.73	1.69
	間隙率 n		0.56	0.56
変形特性	動せん断弾性係数 G_{sm} (kN/m ²)		4.16×10 ⁵	4.75×10 ⁵
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)		98.0	98.0
	ポアソン比 ν		0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}		0.257	0.257
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)		1370-5.04Z*	1370-5.04Z*
	内部摩擦角 ϕ (°)		0.0	0.0

注記* : Zは、標高 (m) を示す

表 2-7 マンメイドロックの解析用物性値

名称		マンメイドロック	マンメイドロック (原子炉建屋下)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.75	1.75
	間隙率 n	0.56	0.56
変形特性	動せん断弾性係数 G_{sm} (kN/m ²)	1.91×10 ⁶	2.11×10 ⁶
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.36	0.36
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.190	0.190
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	1840	1840
	内部摩擦角 ϕ (°)	0.0	0.0

表 2-8 地盤改良体（セメント改良）の配置を考慮した解析用物性値

既設／新設		既設地盤改良体		新設地盤改良体	
種別 (地盤種別)		置換	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)
物理 特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.87	1.76	1.87	2.05
	間隙率 n	0.49	0.51	0.48	0.49
変形 特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	2.87×10^6	1.20×10^6	1.19×10^6	1.32×10^6
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.060	0.100	0.050	0.050
強度 特性	粘着力 c (kN/m ²)	2117	1580	3640	3640

2.5 評価構造物諸元

照査を行う燃料移送系配管ダクトのダクト躯体に関する諸元を表 2-9, 鋼管杭に関する諸元を表 2-10 に, 評価部位を図 2-7 及び図 2-8 に示す。

表 2-9 構造物の評価部位とその仕様 (その 1: ダクト躯体 (鉄筋コンクリート部材))

部位	仕様		材料		機能要求
	部材幅 (m)	部材高 (m)	コンクリート f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋	
底版	1.000	0.600	23.5	SD35 (SD345 相当)	間接支持
北側壁	1.000	0.500	23.5	SD35 (SD345 相当)	
隔壁	1.000	0.500	23.5	SD35 (SD345 相当)	
南側壁	1.000	0.500	23.5	SD35 (SD345 相当)	
頂版	1.000	0.500	23.5	SD35 (SD345 相当)	

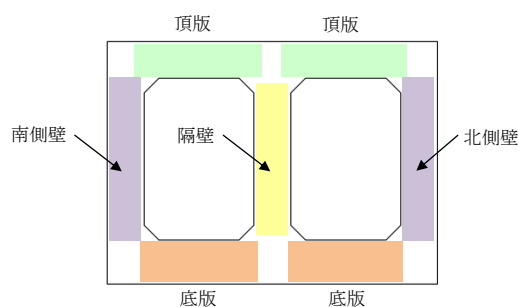
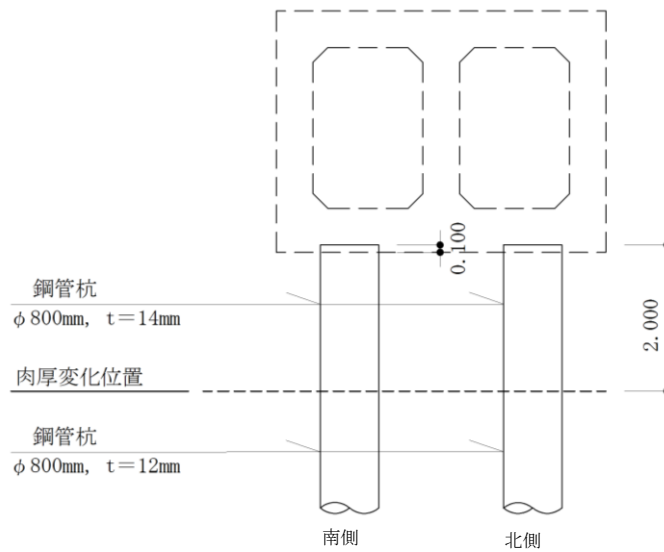


図 2-7 評価部位: 躯体 (鉄筋コンクリート部材)

表 2-10 構造物の評価部位とその仕様 (その 2: 鋼管杭)

部位	仕様		材料	機能要求
	杭径 (mm)	肉厚 (mm)		
鋼管杭 (北側, 南側)	800	12 (杭頭部 14)	SKK400 (SKK41 相当)	間接支持



(単位: m)

図 2-8 評価部位: 鋼管杭

2.6 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」より、地表面 (T. M. S. L. 12.0m) に設定する。

2.7 耐震評価フロー

図 2-9 に燃料移送系配管ダクトの耐震評価フローを示す。

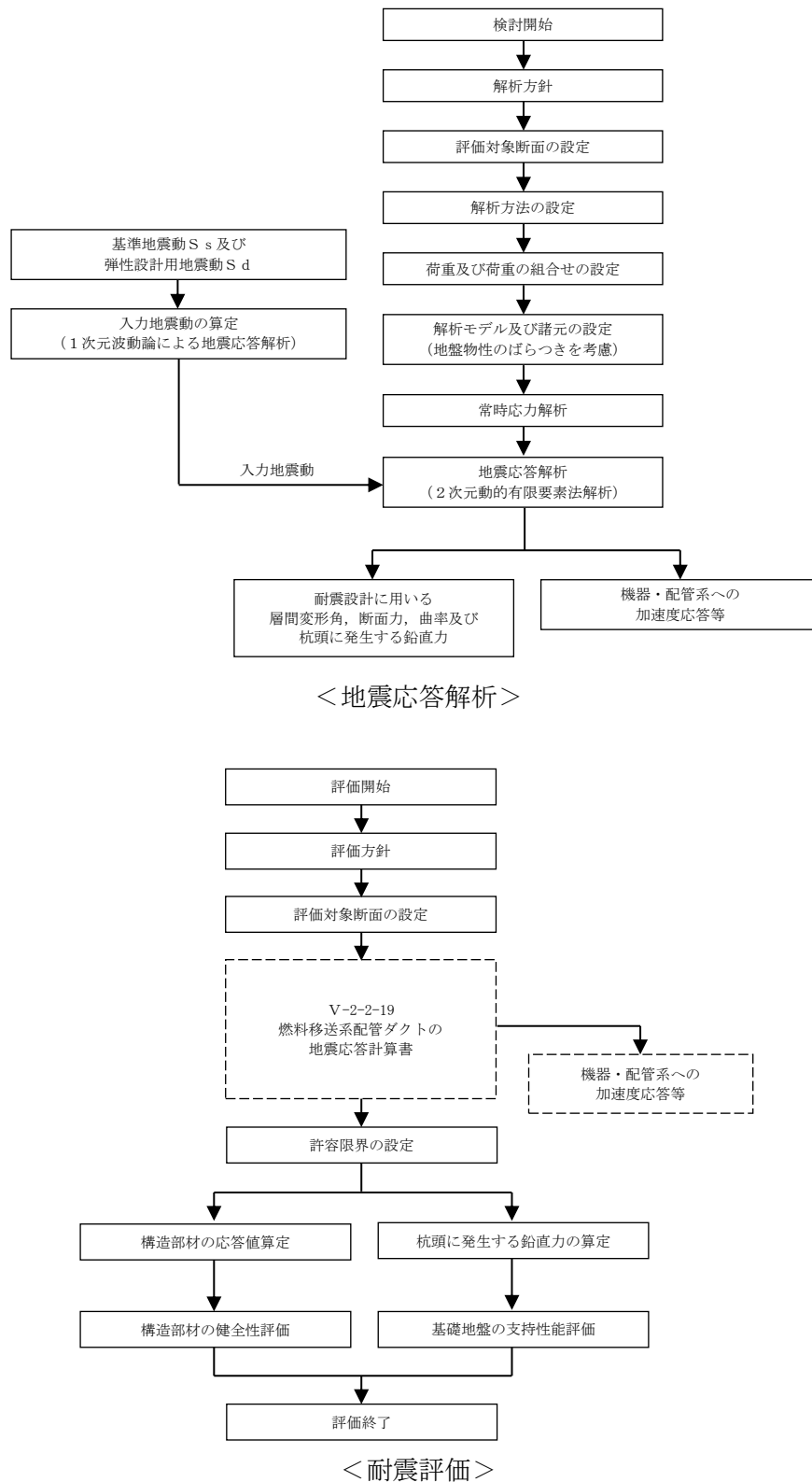


図 2-9 燃料移送系配管ダクトの耐震評価フロー

2.8 適用規格

燃料移送系配管ダクトの耐震評価に当たっては、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）（以下「コンクリート標準示方書」という。），原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）を適用するが，鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断の許容限界については，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（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）を適用する。鋼管杭の曲げ及びせん断の許容限界は，乾式キャスクを用いる使用済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）（以下「キャスク指針」という。），鋼・合成構造標準示方書〔耐震設計編〕（土木学会，2008年）（以下「鋼・合成構造標準示方書」という。）を適用する。また，基礎地盤の支持性能の許容限界は，道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）（以下「道路橋示方書」という。）を適用する。

表 2-11 に適用する規格，基準類を示す。

表 2-11 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕(2002年)	—
荷重及び荷重の組合せ	・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕(2002年)	・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容限界	【鉄筋コンクリート部材】 ・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)	・曲げに対する照査は，限界層間変形角を設定した上で，発生層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認* ・せん断に対する照査は，発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認*
	【鋼管杭】 ・乾式キャスクを用いる使用済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 ・鋼・合成構造標準示方書〔耐震設計編〕(2008年)	・曲げに対する照査は，終局曲率を設定した上で，発生曲率が終局曲率を下回ることを確認* ・せん断に対する照査は，発生せん断力が終局せん断強度を下回ることを確認*
	【基礎地盤の支持性能】 ・道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（平成 14 年 3 月）	・基礎地盤の支持性能に対する照査は，杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力及び終局引抜き力を下回ることを確認*
地震応答解析	・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987	・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

3. 地震応答解析

3.1 地震応答解析手法

燃料移送系配管ダクトの地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 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。構造部材については、A-A断面及びB-B断面では全ての部材を非線形はり要素で、C-C断面については鉄筋コンクリート部材を線形平面ひずみ要素で、鋼管杭を非線形はり要素でモデル化する。非線形はり要素の非線形特性についてはコンクリート及び鋼管杭の $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。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 ver. 7.4.1」を使用する。

地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル（H-Dモデル）を選定する。

地震応答解析手法の選定フローを図3-1に示す。

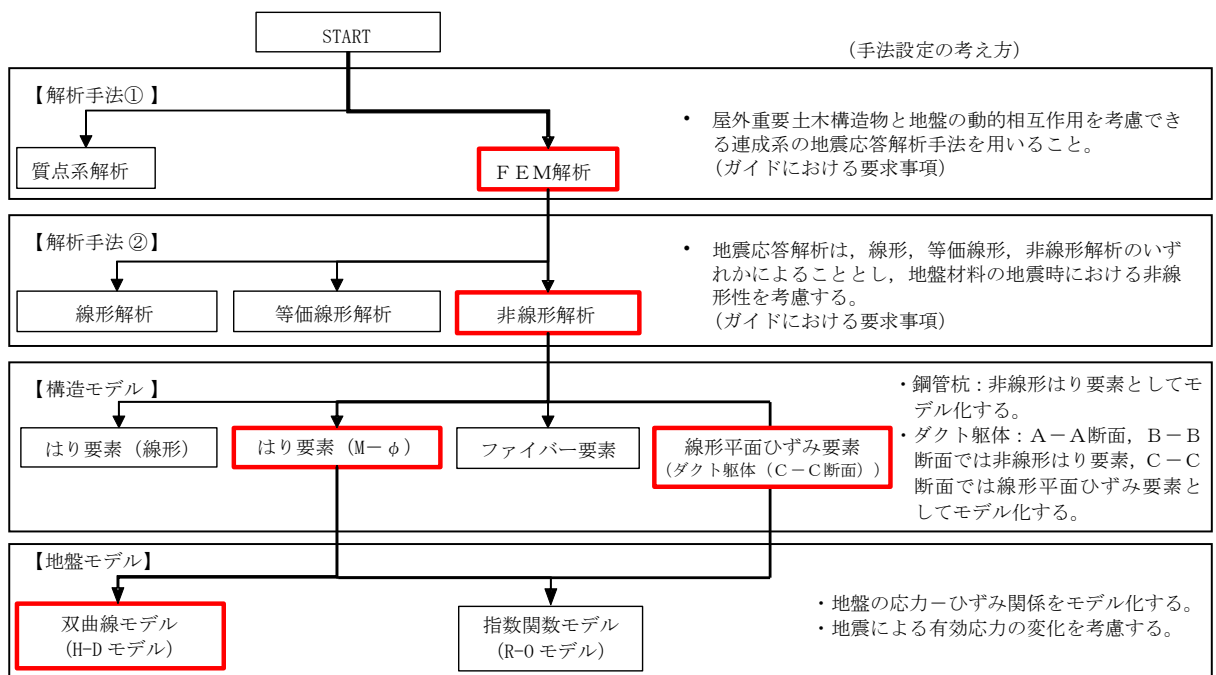


図 3-1 地震応答解析手法の選定フロー

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。具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会) を参考に、図 3-2 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍程度、モデル高さを構造物基礎幅の 2 倍程度とする。

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、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 又は 4 分割、すなわち $V_s/100$ 又は $V_s/80$ を考慮し、要素高さを 0.5m~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、線材モデルの要素分割については、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 倍程度とするのが良い旨が示されていることを考慮し、部材の断面厚さ又は有効高さの 1.0 倍程度まで細分割して設定する。なお、杭の要素分割については、杭に接する地盤の要素分割に合わせて設定する。

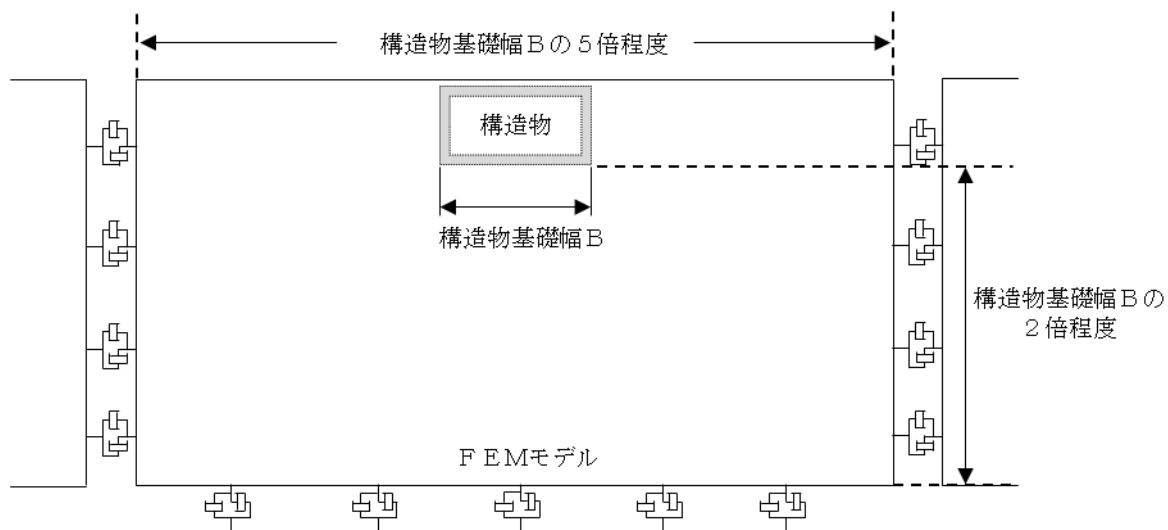


図 3-2 モデル範囲の考え方

2次元有効応力解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地層構成を有する1次元地盤モデルである。2次元有効応力解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図3-3に示す。また、燃料移送系配管ダクト周辺の地質断面図を図3-4～図3-6に示す。

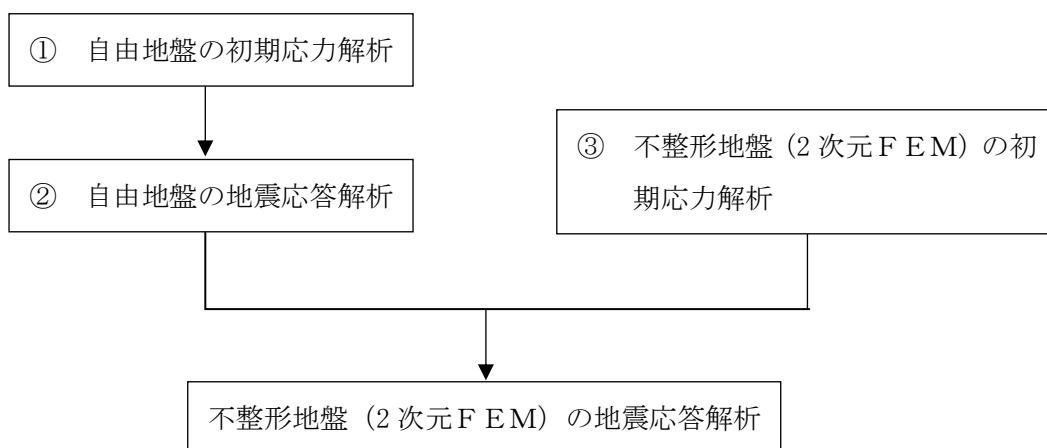
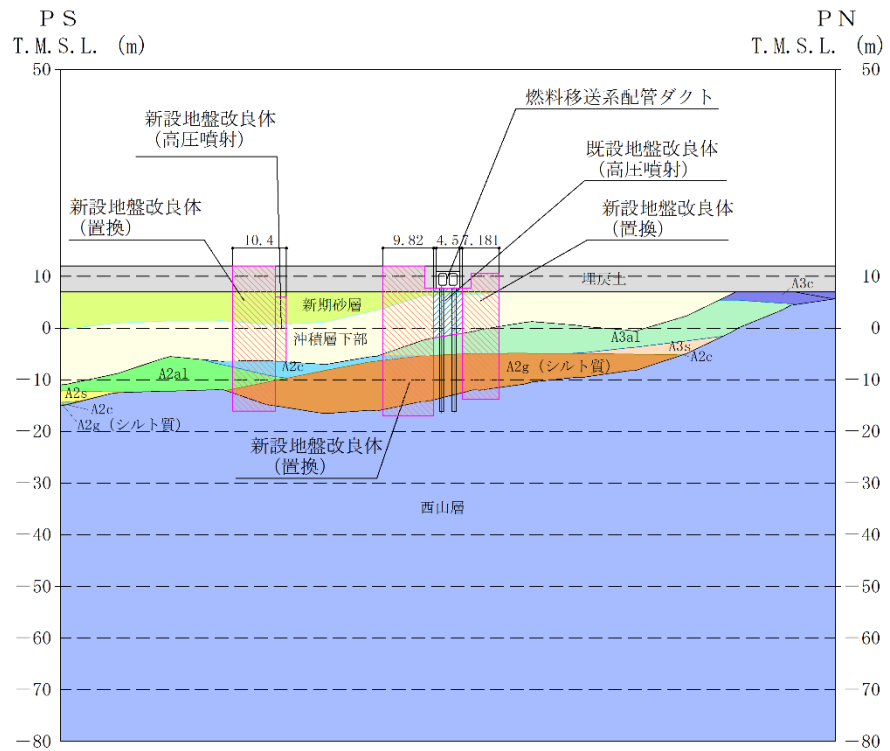


図 3-3 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤 (2次元 F E M) の地震応答解析までのフロー

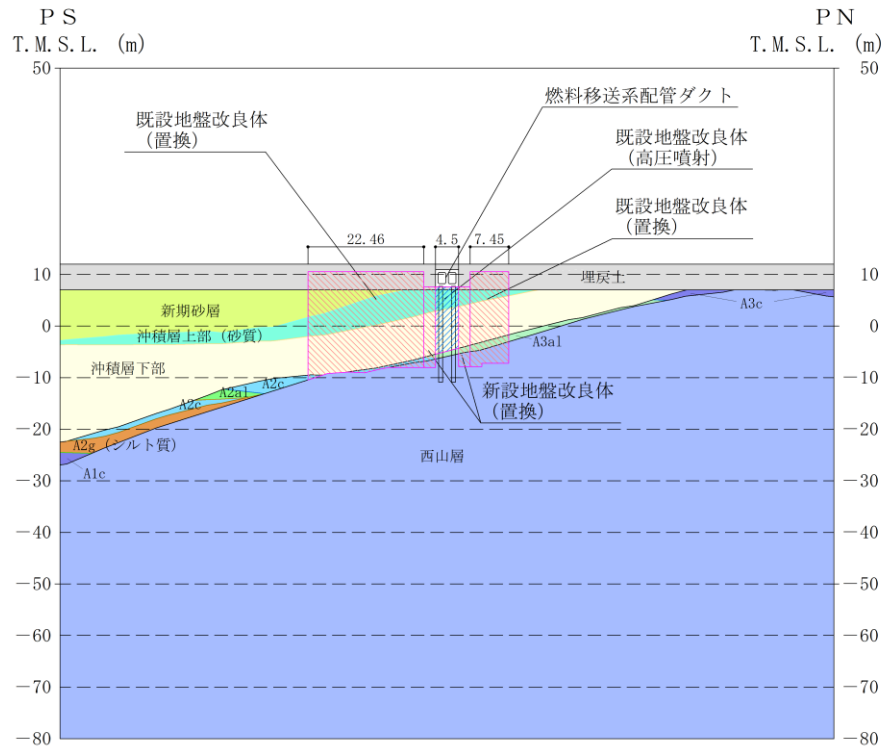


(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 3-4 燃料移送系配管ダクト周辺地質断面図 (A-A断面)

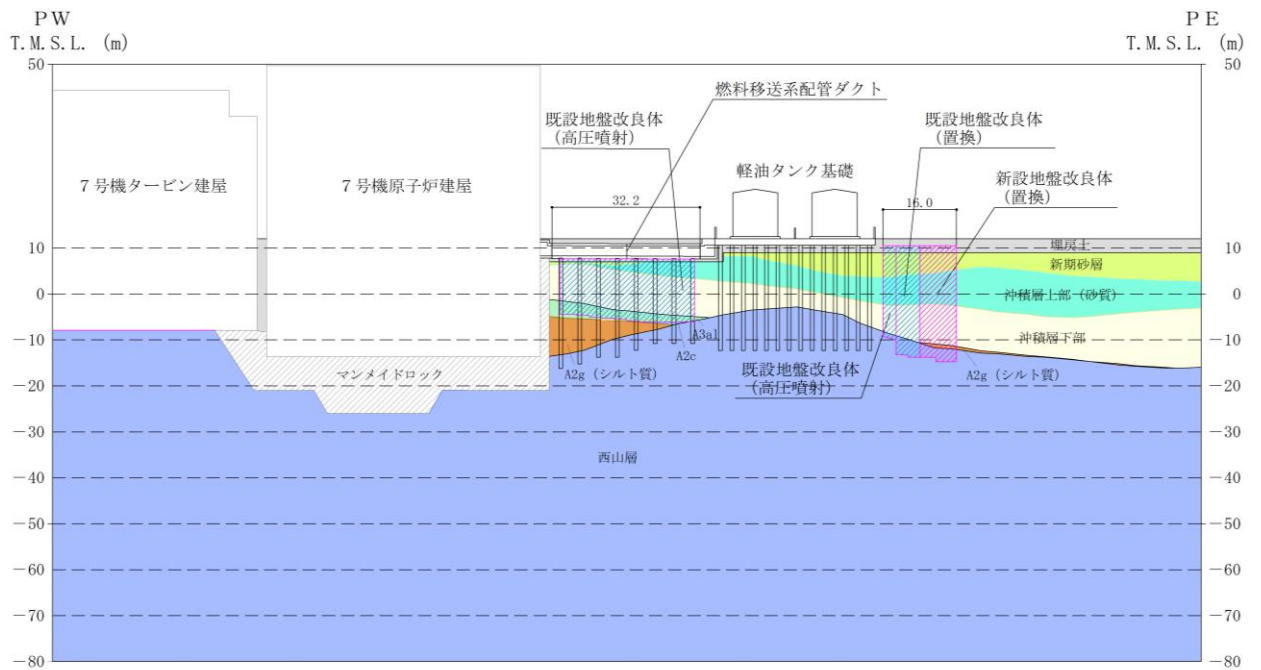


(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、
 高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 3-5 燃料移送系配管ダクト周辺地質断面図 (B-B 断面)



(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 3-6 燃料移送系配管ダクト周辺地質断面図 (C-C断面)

3.2.2 境界条件

(1) 初期応力解析時

初期応力解析は、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の初期応力を算定するために行う。初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図3-7に示す。

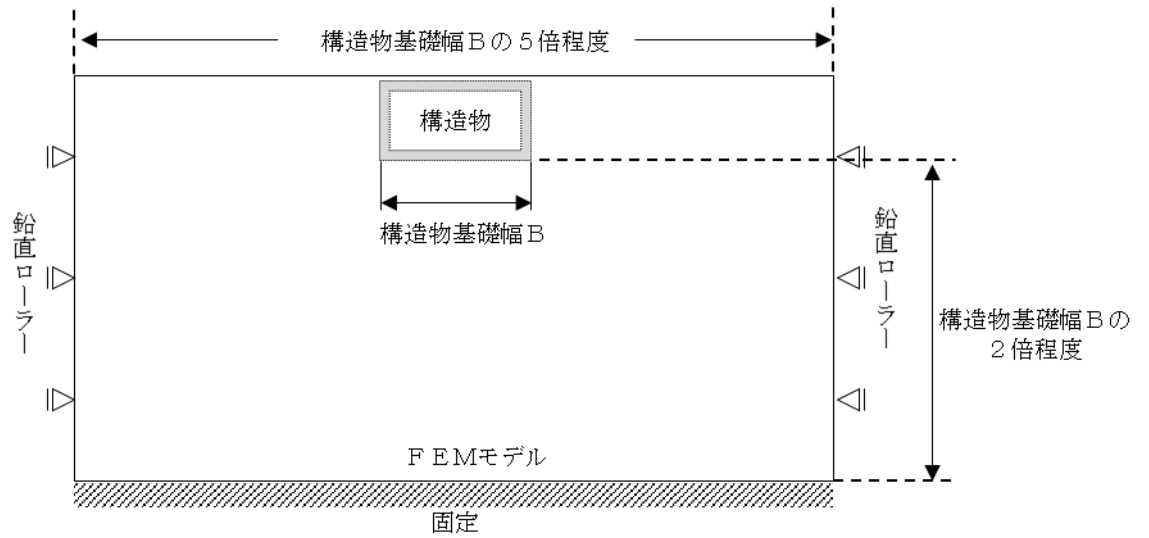


図 3-7 初期応力解析における境界条件の概念図

(2) 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。燃料移送系配管ダクトの地震応答解析モデルを図 3-8～図 3-10 に示す。

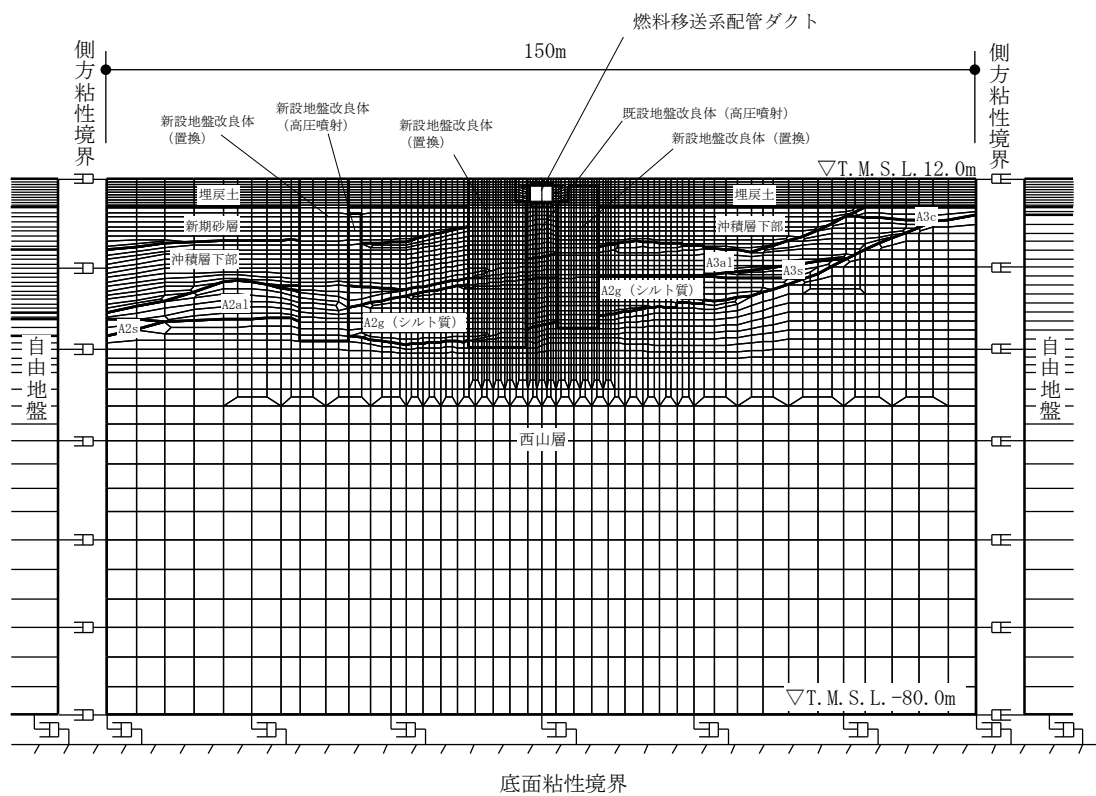


図 3-8 燃料移送系配管ダクトの地震応答解析モデル (A-A断面)

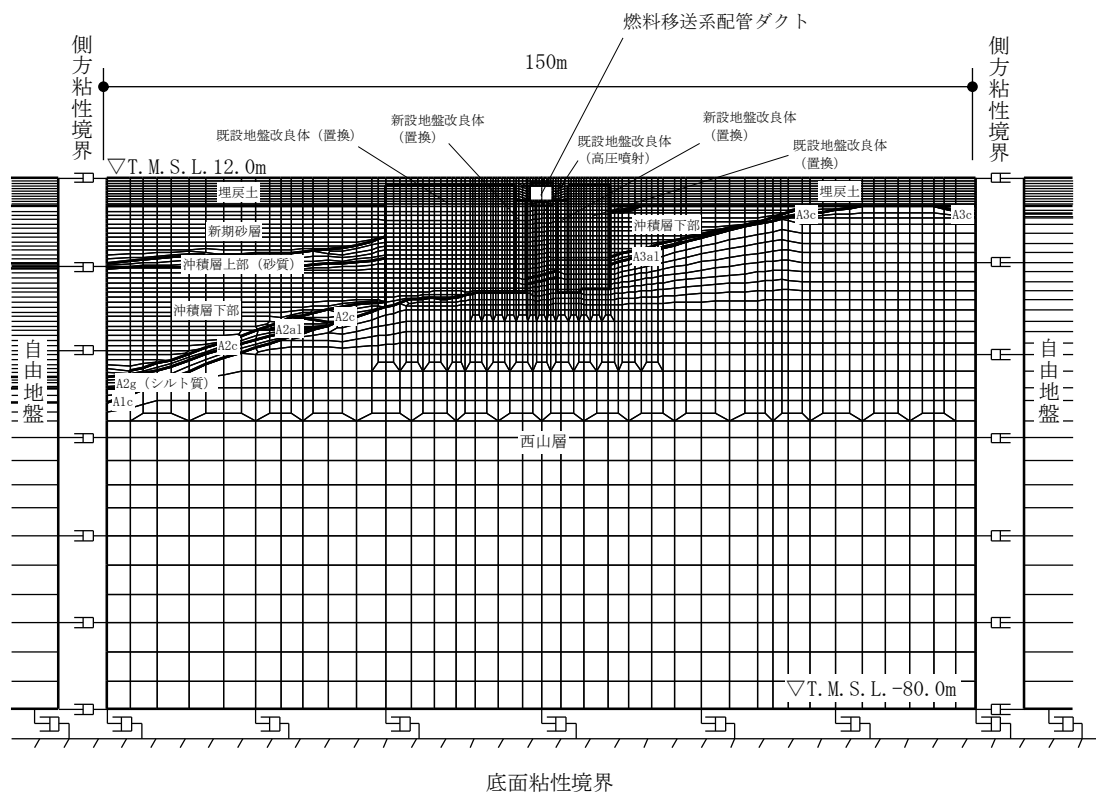


図 3-9 燃料移送系配管ダクトの地震応答解析モデル (B-B 断面)

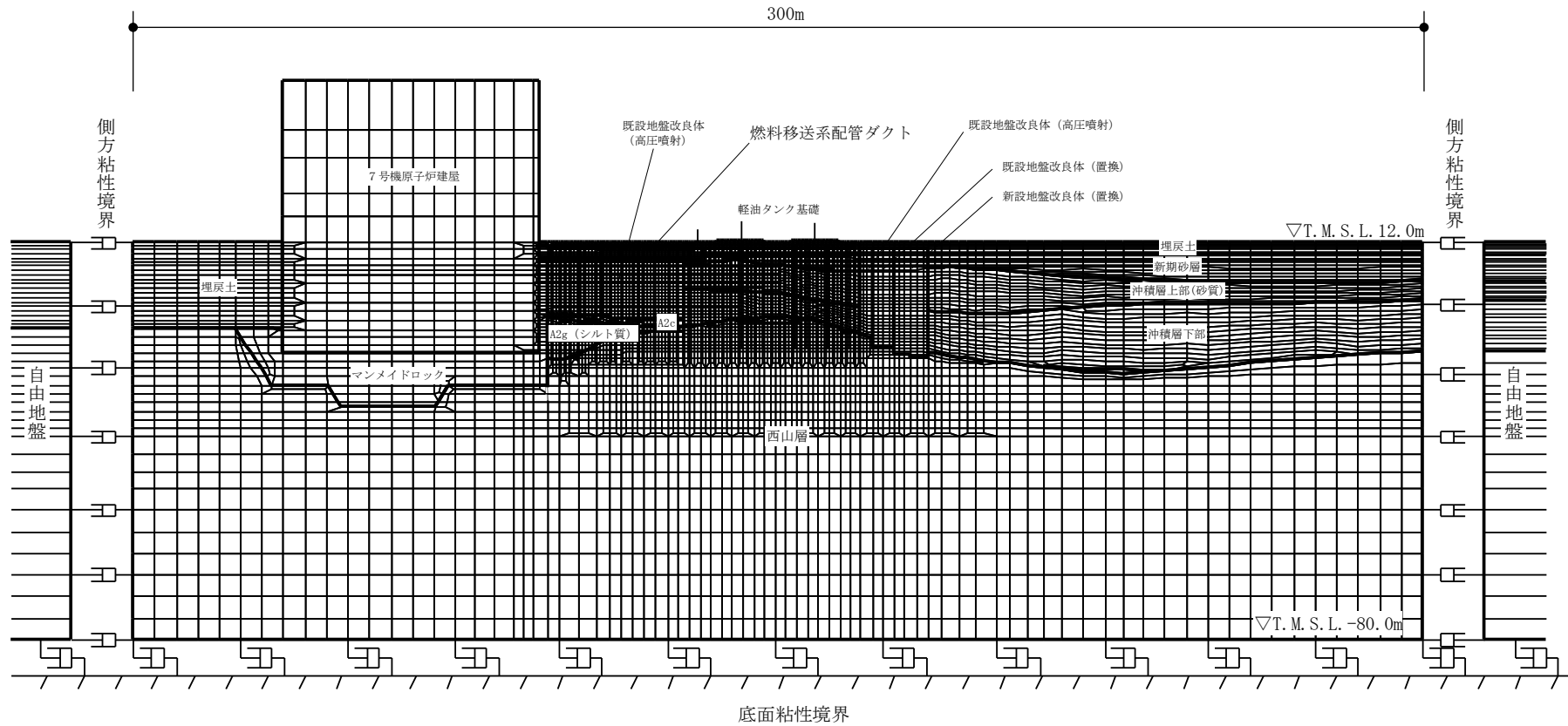


図 3-10 燃料移送系配管ダクトの地震応答解析モデル
(C-C断面 機器・配管系に対する加速度応答抽出用)

3.2.3 解析奥行幅

各断面の解析奥行幅の考え方を図 3-11 に示す。

A-A断面及びB-B断面の解析奥行幅は、単位奥行幅（1m）として設定する。

機器・配管系に対する加速度応答抽出用のC-C断面の解析奥行幅は、燃料移送系配管ダクト周辺に配置された地盤改良体の影響を適切に反映するため、燃料移送系配管ダクト東側に位置する軽油タンク基礎周囲の地盤改良幅分の解析奥行幅を設定する。なお、軽油タンク基礎東側の流動化処理土の範囲は、地盤改良体としての効果を期待せず、当該部分を空隙として評価を行う。

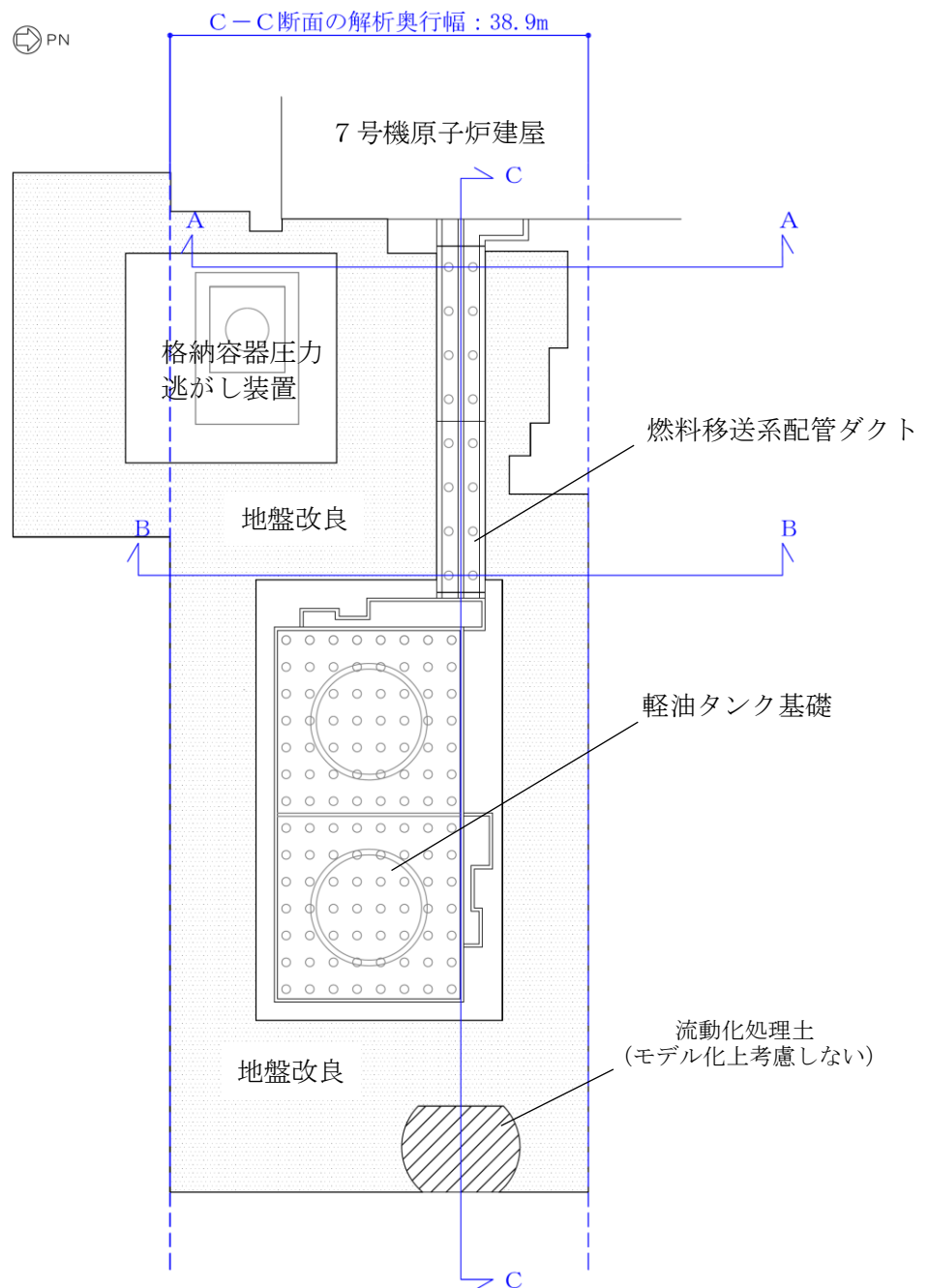


図 3-11 各断面の解析奥行幅の考え方

3.2.4 構造物のモデル化

燃料移送系配管ダクトの横断方向であるA-A断面及びB-B断面では、構造部材として考慮する側壁、隔壁、底版、頂版及び鋼管杭を非線形はり要素でモデル化する。

鉄筋コンクリート部材の非線形はり要素の交点には、コンクリート標準示方書に基づき剛域を設ける。

ダクト底版に結合する杭のはり要素は、ダクト底版に埋込まれる範囲を剛域とする。

燃料移送系配管ダクトの横断方向の解析モデルにおける構造物部分の拡大図を図 3-12 に示す。

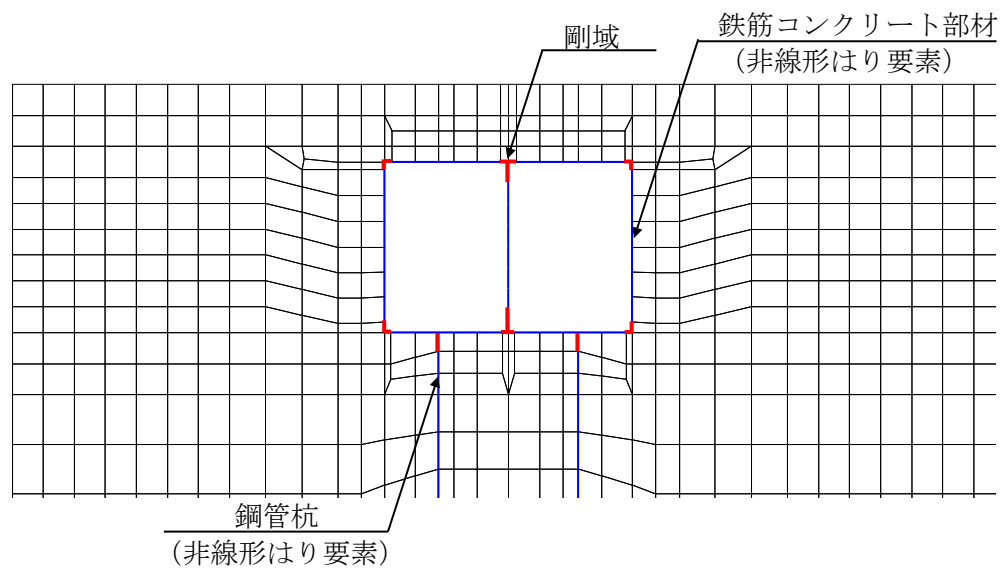


図 3-12 燃料移送系配管ダクト横断方向の解析モデル（構造物部分拡大部，A-A断面）

燃料移送系配管ダクトの縦断方向であるC-C断面は、鉄筋コンクリート部材を線形平面ひずみ要素で、鋼管杭を非線形はり要素でモデル化する。鋼管杭の杭頭部は鉄筋コンクリート部材と剛結する。

燃料移送系配管ダクトの縦断方向の解析モデルにおける構造物部分の拡大図を図 3-13 に示す。

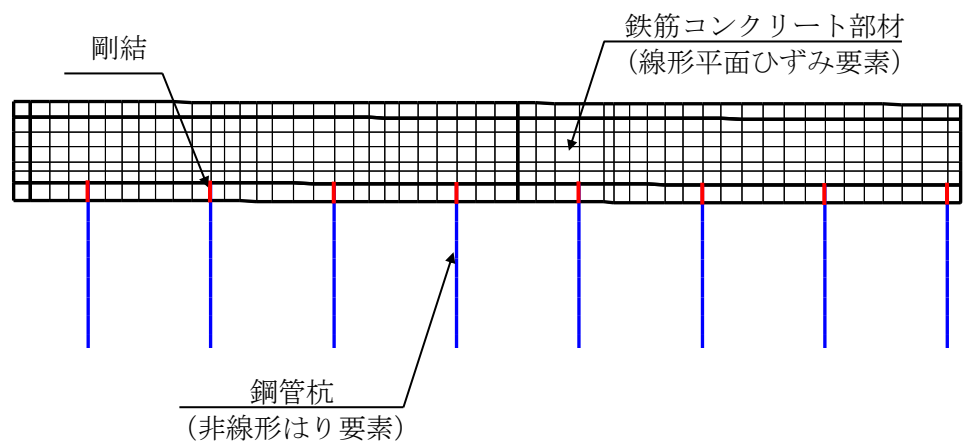


図 3-13 燃料移送系配管ダクト縦断方向の解析モデル（構造物部分拡大部，C-C断面）

3.2.5 隣接構造物のモデル化

(1) 7号機原子炉建屋

燃料移送系配管ダクトの評価対象断面のうちC-C断面には、隣接構造物である7号機原子炉建屋をモデル化している。7号機原子炉建屋のモデル化手法概念図を図3-14に示す。7号機原子炉建屋は、設置変更許可申請書の基礎地盤安定性評価におけるモデル化と同様に、質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 K_H 、鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_ϕ を用いて、せん断剛性 G_i 、ポアソン比 ν_i 及びヤング係数 E_i を求め、等価な有限要素モデルを作成する。

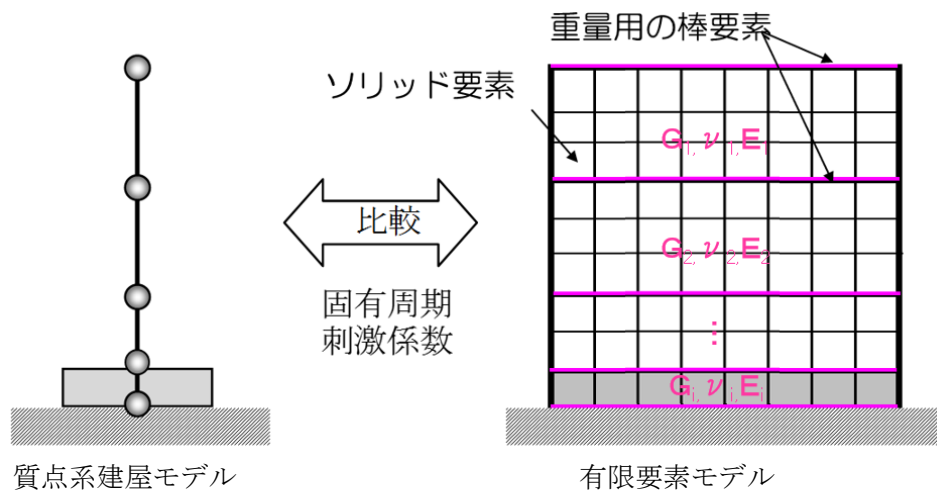


図 3-14 7号機原子炉建屋のモデル化手法概念図

3.2.6 地盤及びマンメイドロックのモデル化

地盤及びマンメイドロックはマルチスプリング要素及び間隙水要素でモデル化し、地盤については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。

3.2.7 地盤改良体のモデル化

構造物周辺の地盤改良体の効果を考慮するため、解析奥行幅の考え方に応じ、地盤改良体を適切にモデル化する。

A-A断面及びB-B断面では、評価断面に位置する地盤改良体を、改良率を考慮してモデル化する。

C-C断面では、燃料移送系配管ダクト近傍及び軽油タンク基礎東側に位置する地盤改良体については、改良率を考慮し、解析奥行幅（軽油タンク基礎周囲の改良幅）に応じた等価剛性を設定し、モデル化する。燃料移送系配管ダクト周辺に位置する地盤改良体については、改良率を考慮し、解析奥行幅に応じた等価剛性を設定し、オーバーラップでモデル化する。

オーバーラップでモデル化する範囲を図 3-15 に示す。また、オーバーラップする範囲を含めたC-C断面の断面図を図 3-16 に示す。

図 3-16 に示すとおり、オーバーラップでモデル化する範囲（以下、「オーバーラップ部」という。）と、それ以外の範囲（以下、「主体部」という。）の境界には、表 3-1 に示す境界条件を設定し、地震時の境界部における剥離、すべり及び定着を考慮する。

なお、オーバーラップ部と主体部が解析奥行方向に重なる場合は、その境界面を自由境界とする。

表 3-1 オーバーラップ部と主体部の境界条件

条件	境界条件
地盤と地盤	節点共有
地盤と地盤改良体	ジョイント要素*1
地盤改良体と地盤改良体	節点共有
構造物と地盤改良体	ジョイント要素*1

注記*1 : 「3.2.6 ジョイント要素の設定」参照。

PN

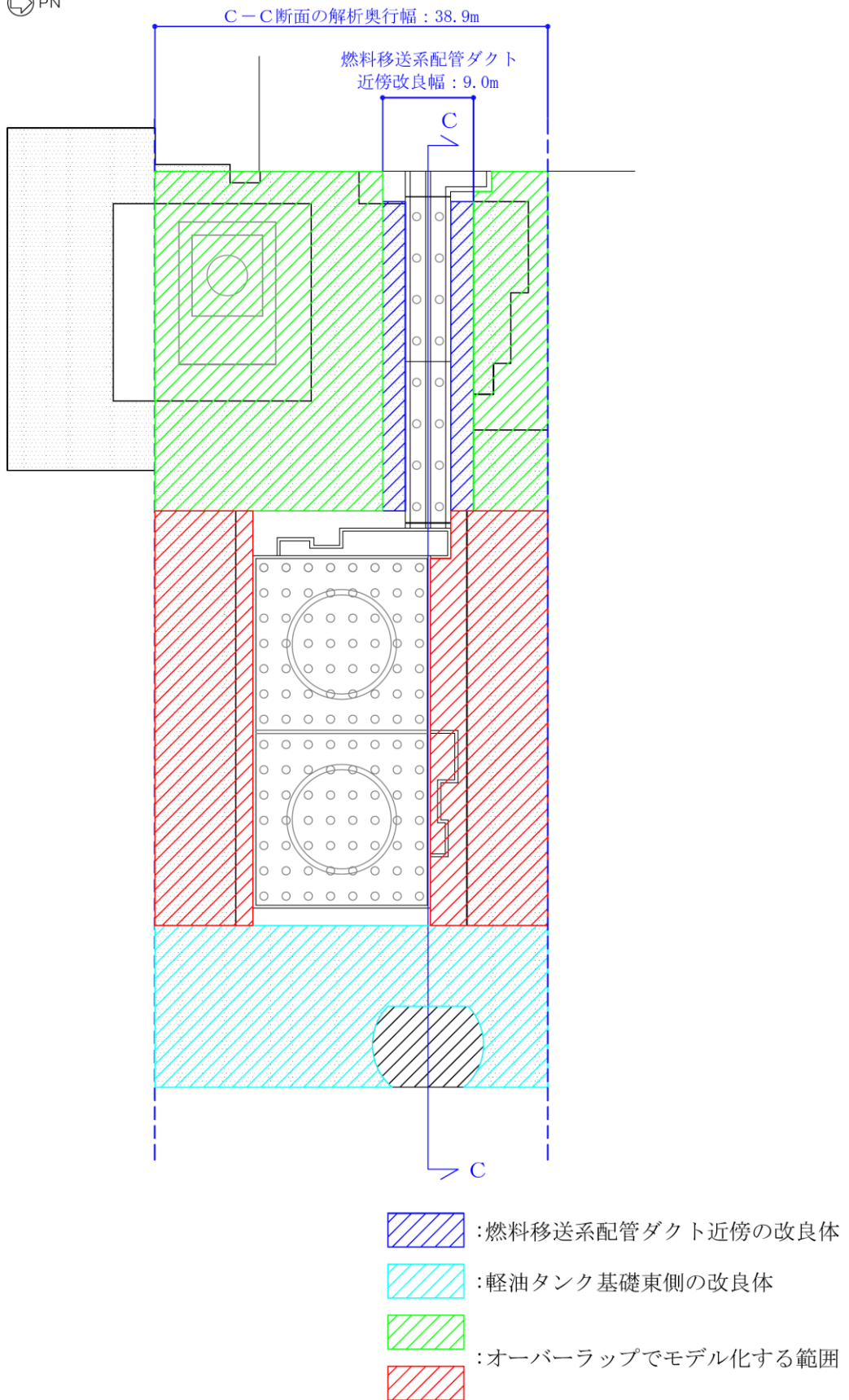


図 3-15 オーバーラップでモデル化する範囲 (C-C断面)

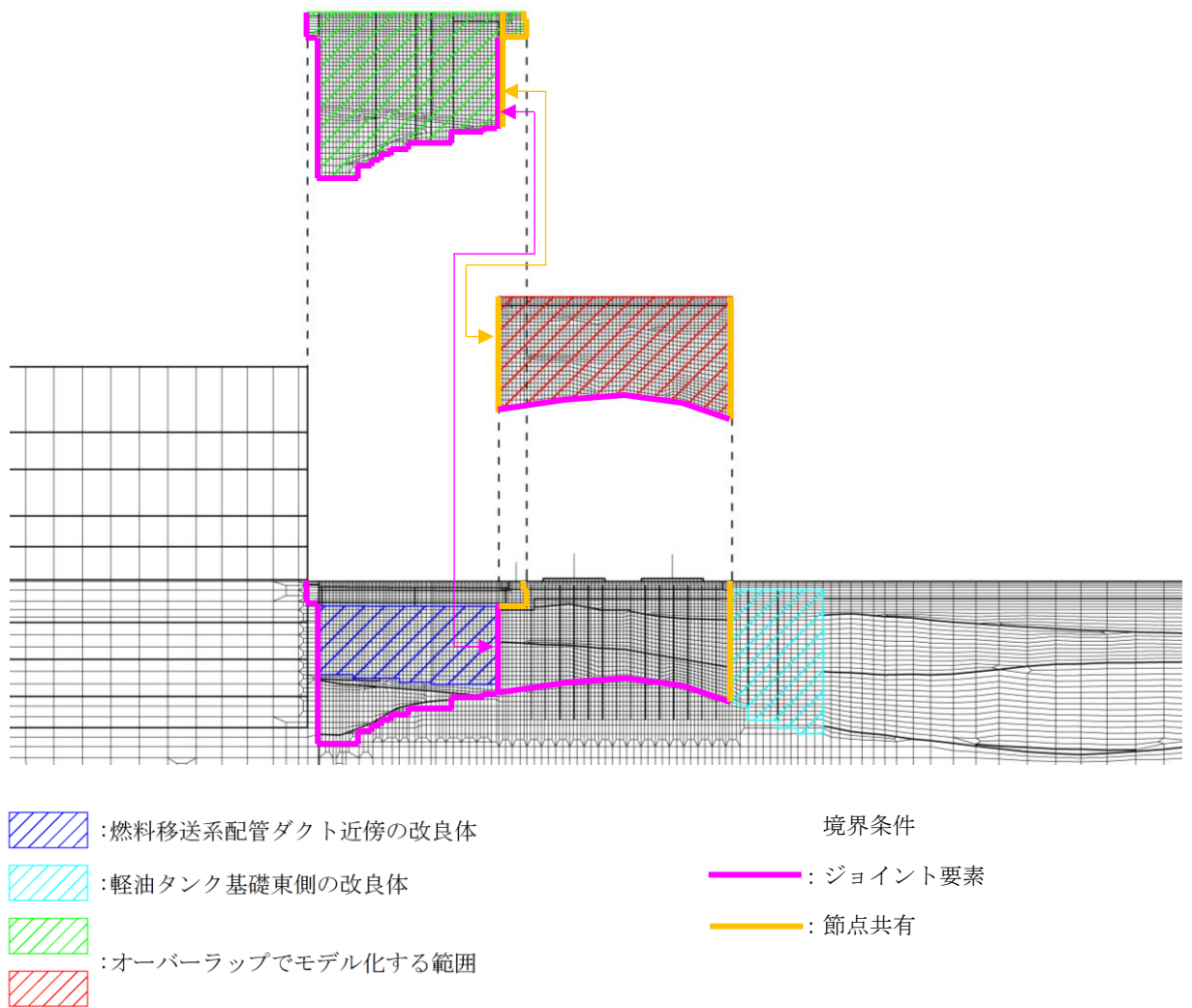


図 3-16 C-C断面における地盤改良体のモデル化

3.2.8 ジョイント要素の設定

「地盤と構造物」、「地盤改良体と構造物」及び「地盤と地盤改良体」との接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の接合面における剥離及びすべりを考慮する。なお、既設地盤改良体と新設地盤改良体との接合面については、既設地盤改良体に対し新設地盤改良体をラップさせて設置し、接合させることから、ジョイント要素は設定しない。

ジョイント要素は、隣接する要素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、常時の圧縮荷重以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力を零とし、剥離を考慮する。せん断方向については、各要素間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、せん断剛性を零とし、すべりを考慮する。

なお、せん断強度 τ_f は、次式により設定する。

$$\tau_f = c_B + \sigma' \tan \phi_B$$

ここで、

σ' : 要素間の直応力

c_B : 付着力

ϕ_B : 摩擦角

要素間の付着力 c_B 、摩擦角 ϕ_B は、表 3-2 に示す道路橋示方書の設定を参考に、表 3-3 のとおり設定する。周辺地盤の粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、表 3-4 のとおり設定する。

表 3-2 周辺地盤の粘着力 c と内部摩擦角 ϕ

条 件	摩擦角 ϕ_B (摩擦係数 $\tan \phi_B$)	付着力 c_B
土とコンクリート	$\phi_B = \frac{2}{3} \phi$	$c_B = 0$
土とコンクリートの間に栗石を敷く場合	$\left. \begin{array}{l} \tan \phi_B = 0.6 \\ \phi_B = \phi \end{array} \right\} \text{の小さい方}$	$c_B = 0$
岩とコンクリート	$\tan \phi_B = 0.6$	$c_B = 0$
土と土又は岩と岩	$\phi_B = \phi$	$c_B = c$

ただし、 ϕ : 支持地盤のせん断抵抗角 (°) c : 支持地盤の粘着力 (kN/m²)

(道路橋示方書より引用)

表 3-3 要素間の付着力 c_B と摩擦角 ϕ_B

条件	付着力 c_B	摩擦角 ϕ_B (°)
地盤と構造物	0	$2/3 \phi$
地盤改良体*1と構造物	0	31
地盤と地盤改良体*2	c	ϕ

注記*1 : 地盤改良体は、その性状から道路橋示方書における岩とみなす。

*2 : 地盤と地盤改良体の付着力と摩擦角は、地盤の c, ϕ を適用する。

表 3-4 周辺地盤の粘着力 c と内部摩擦角 ϕ

地層区分	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
埋戻土	0.0	35.9
新期砂層	0.0	34.6
沖積層上部 (砂質土)	0.0	36.7
沖積層下部	0.0	35.6
古安田層 A3a1 層	29.2	34.2
古安田層 A2c 層	113.0	27.9
古安田層 A2a1 層	82.8	28.7
古安田層 A2g 層	113.0	27.9
西山層	1370-5.04Z*	0.0

注記* : Z は、標高 (m) を示す

また、ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、港湾構造物設計事例集 (上巻) (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月) に従い、表 3-5 の通り設定する。ジョイント要素の力学特性を図 3-17 に、ジョイント要素の配置を図 3-18 に示す。

表 3-5 ジョイント要素のばね定数

せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
1.0×10^6	1.0×10^6

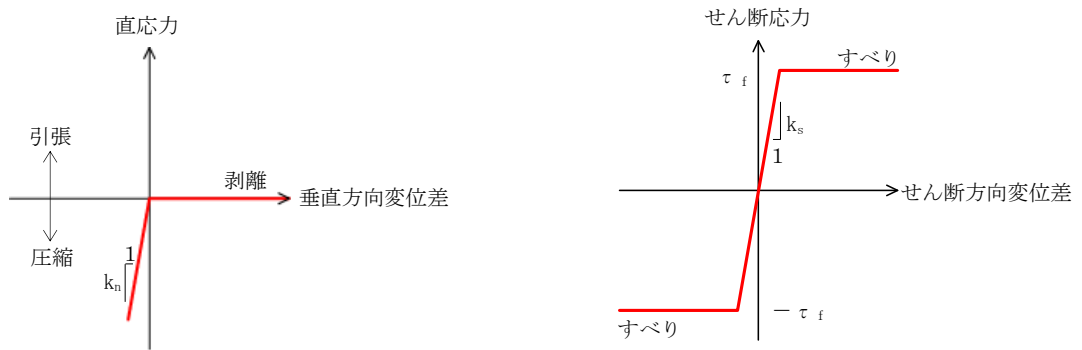


図 3-17 ジョイント要素の力学特性

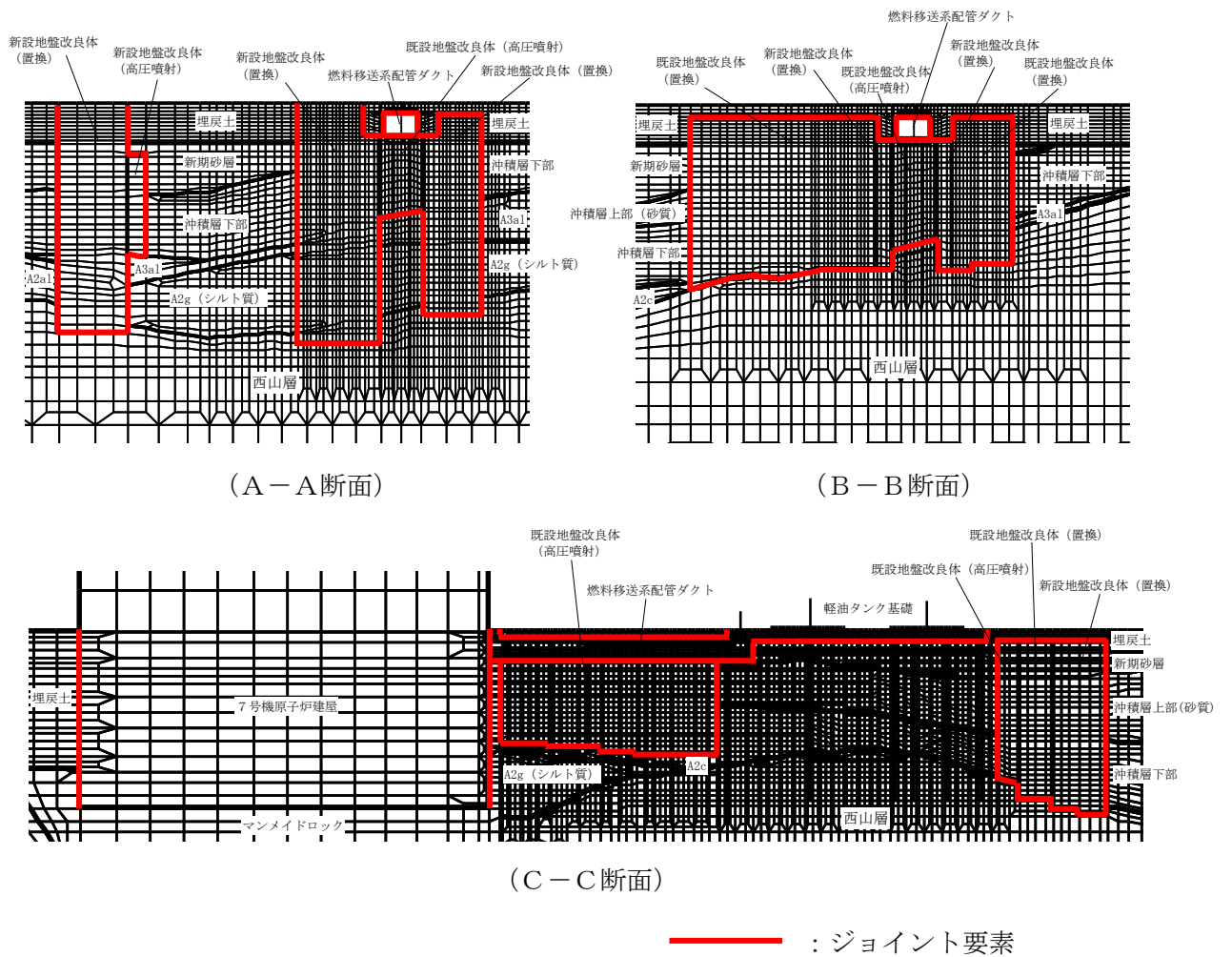


図 3-18 ジョイント要素の配置

3.2.9 非線形ばね要素の設定

燃料移送系配管ダクトの鉄筋コンクリート部は、図 3-19 に示すとおり、2つのブロックによって構成されており、各ブロックの端部及びブロック間には、耐震ジョイント及び緩衝材が設置されている。燃料移送系配管ダクト縦断方向の解析断面となるC-C断面では、この緩衝材の影響を適切に考慮するため、各ブロックの接合面に非線形ばね要素を設定し、地震時の接合面における圧縮力の伝達を考慮する。

非線形ばね要素は、各ブロックの接合面で法線方向に対して設定する。非線形ばね要素の圧縮剛性を表 3-6 に示す。圧縮剛性の第一勾配は緩衝材の剛性から設定し、緩衝材厚さ(5cm または 2cm) までの変位に対して適用する。第二勾配は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として設定し、緩衝材の厚さ以上の変位が生じた場合、衝突を考慮する。非線形ばね要素の力学特性を図 3-20 に、非線形ばね要素の配置を図 3-21 に示す。

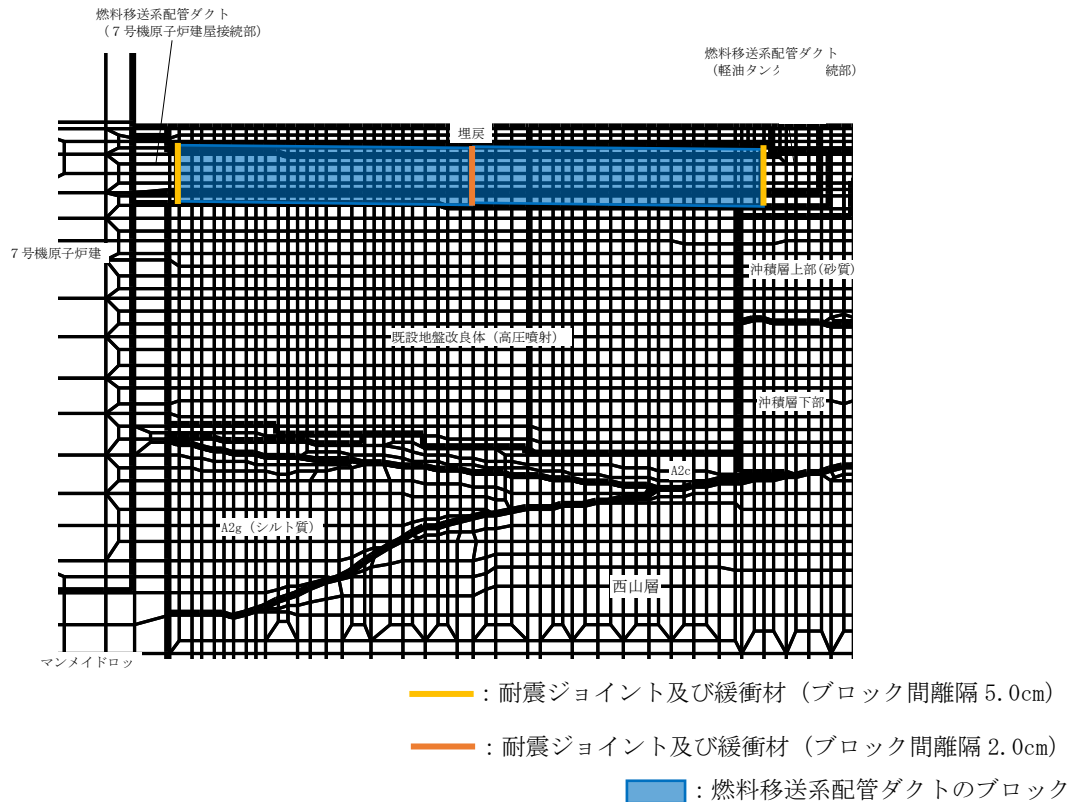


図 3-19 燃料移送系配管ダクトを構成するブロック

表 3-6 非線形ばね要素のばね定数

緩衝材	圧縮剛性 (第 1 勾配) k_{n1} (kN/m^3)	圧縮剛性 (第 2 勾配) k_{n2} (kN/m^3)
ブロック間離隔 5.0cm	$1.4 \times 10^4^*$	1.0×10^6
ブロック間離隔 2.0cm	$3.4 \times 10^4^*$	1.0×10^6

注記* : 緩衝材の剛性から設定

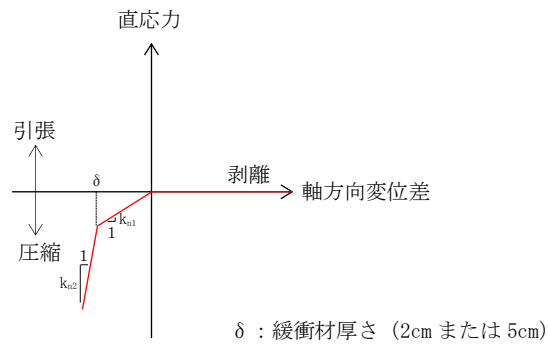
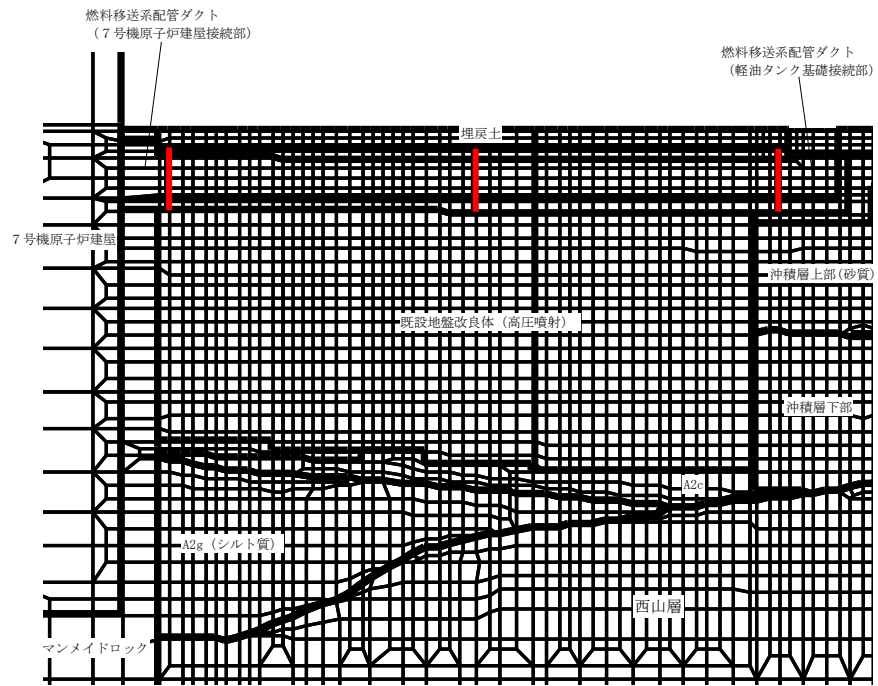


図 3-20 非線形ばね要素の力学特性



(C-C断面)

— : 非線形ばね要素

図 3-21 非線形ばね要素の配置

3.2.10 杭―地盤相互作用ばねの設定

地盤と杭の接合面に杭―地盤相互作用ばねを設けることにより、地震時の地盤と杭の接合面における相互作用の3次元効果を2次元モデルで適切に考慮する。

杭―地盤相互作用ばねの杭軸方向については、地盤と杭の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が発生した場合、せん断剛性を零とし、すべりを考慮する。図 3-22 に杭―地盤相互作用ばねの力学特性を示す。

せん断強度 τ_f は、次式により設定する。

$$\tau_f = c_B + \sigma' \tan \phi_B$$

ここで、

σ' : 要素間の直応力

c_B : 付着力

ϕ_B : 摩擦角

付着力 c_B 及び摩擦角 ϕ_B は、燃料移送系配管ダクトの杭が鋼管杭であることを踏まえ、鋼材と地盤間の条件であることを考慮し設定する。付着力 c_B は道路橋示方書に基づき、表 3-3 に示す「地盤と構造物」の条件から考慮しないものとする。摩擦角 ϕ_B は、港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会、平成 19 年 7 月）において、構造物と地盤間の壁面摩擦角を $15 \sim 20^\circ$ とする旨が記載されるとともに、港湾構造物設計事例集（上巻）（沿岸技術研究センター、平成 19 年 3 月）において、鋼材と地盤間の摩擦角を 15° と設定していることから、本解析における摩擦角 ϕ_B は 15° と設定する。

杭―地盤相互作用ばねの杭軸方向のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、港湾構造物設計事例集（上巻）（沿岸技術研究センター、平成 19 年 3 月）に従い、表 3-7 のとおり設定する。

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

杭―地盤相互作用ばねの力学特性を図 3-22 に、杭―地盤相互作用ばねの配置を図 3-23 に示す。

注記* : FLIP 研究会 14 年間の検討結果のまとめ「理論編」(FLIP コンソーシアム)

表 3-7 杭―地盤相互作用ばねのばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m^3)
杭軸方向	1.0×10^6

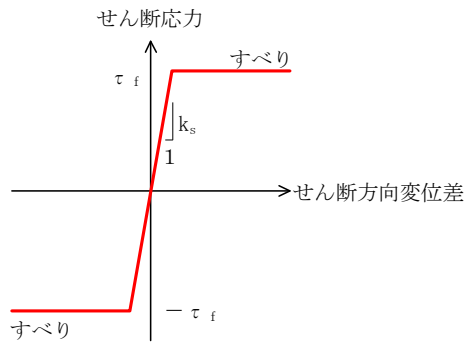
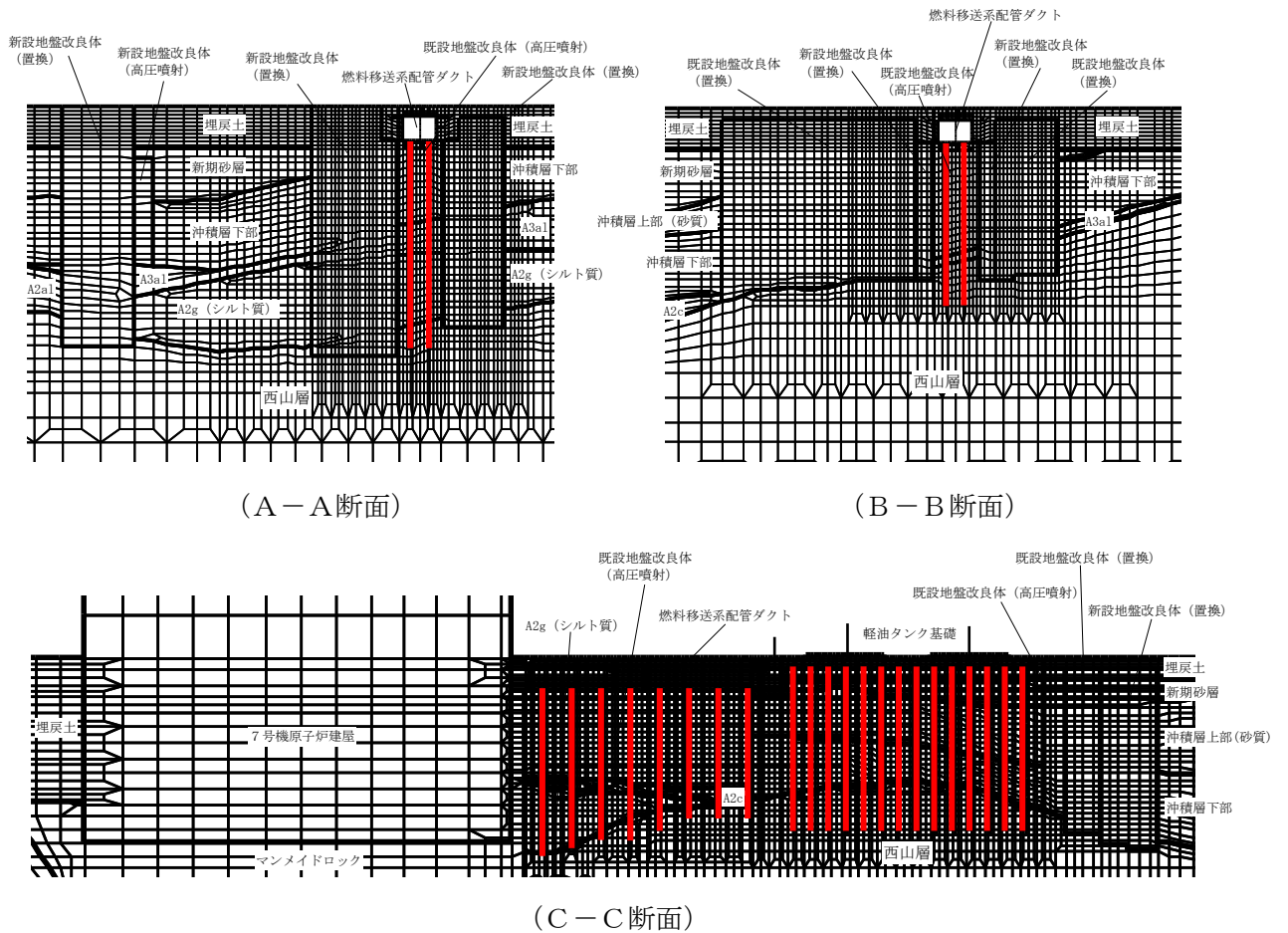


図 3-22 杭-地盤相互作用ばねの力学特性



— : 杭-地盤相互作用ばね要素

図 3-23 杭-地盤相互作用ばねの配置

3.2.11 杭先端ばねの設定

杭軸方向の荷重変位関係は、杭の鉛直載荷試験の結果等から図 3-24に示すとおり、双曲線型の関係を示すことが知られている。本解析においても実現象を精緻にモデル化する観点から、杭先端と地盤間にHirayama(1990)*による杭先端抵抗と杭先端変位の双曲線型の関係を杭軸方向のばねの抵抗力と変位差関係に置き換えたばねを設けることにより、杭先端における地盤と杭の相互作用を適切に考慮する。このばねは、圧縮側の関係を取り扱うため、杭先端と地盤間の変位差が引張り状態となった場合、剛性及び応力を零とし、剥離を考慮する。

杭先端ばねの杭軸方向のばねの抵抗力と変位差関係は、次式および図 3-25に示す双曲線型の式で設定される。

Hirayama(1990)では、N値が30または50程度の硬質な砂層地盤における橋梁建設時の杭の鉛直載荷試験結果に対して、当杭先端ばねを用いた荷重変位関係の再現解析を実施し、適用性を検証している。また、当杭先端ばねは「一般社団法人F L I Pコンソーシアム平成25年度研究成果報告書（F L I Pコンソーシアム，2013年）」にて、解析コードF L I Pに対して適用性を確認している。報告書では、砂層に対する杭の押込み実験結果の杭先端抵抗－杭先端変位関係を、当杭先端ばねが概ね再現可能であることを確認している。また、パラメータスタディとして支持層の相対密度を変化させた解析を実施し、当杭先端ばねの適用性を検証している。検証の結果、支持層に液状化等による剛性低下が生じず、所定の支持力を発揮できる場合、当杭先端ばねは解析コードF L I Pに対し適用性を有することが確認されている。

燃料移送系配管ダクトについては、杭の支持層は西山層であり、地震時においても液状化が生じず、所定の杭先端支持力が期待できる岩盤であることから、当杭先端ばねを適用できると判断した。

注記* : Load-settlement analysis for bored piles using hyperbolic transfer functions (Soils and Foundations, Vol. 30, No. 1, pp55-64, H.Hirayama, 1990)

$$q = z_e / (a_e + b_e \cdot z_e)$$

q : 杭先端抵抗

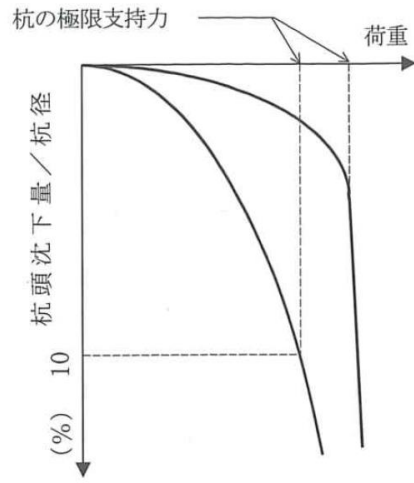
z_e : 杭先端変位

a_e : 基準変位を杭先端における極限支持力で除した値 (=0.25D_e/q_{ult})

b_e : 杭先端における極限支持力の逆数 (=1/q_{ult})

D_e : 杭径

q_{ult} : 杭先端における極限支持力



(道路橋示方書より引用)

図 3-24 杭の鉛直載荷試験における一般的な荷重-変位関係

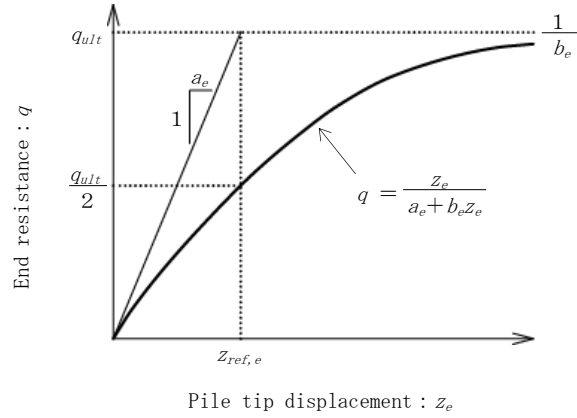


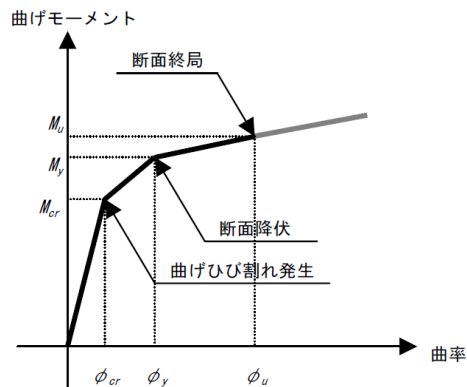
図 3-25 杭先端ばねの杭軸方向のばねの抵抗力と変位差関係 (Hirayama (1990))

3.2.12 材料特性の設定

A-A断面及びB-B断面の鉄筋コンクリート部材及び鋼管杭は、非線形はり要素を用いてモデル化する。非線形特性の設定においては、コンクリート、鉄筋及び鋼管杭について、それぞれの非線形性を考慮する。材料の非線形特性は、コンクリート標準示方書に基づき設定する。

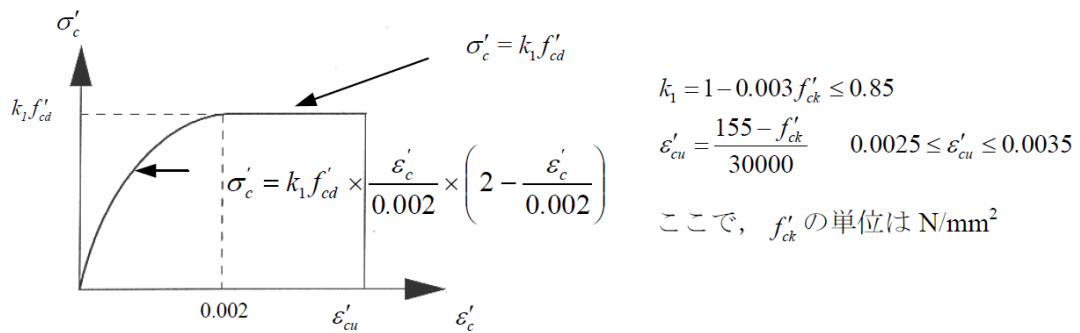
図 3-26 に鉄筋コンクリート部材におけるM- ϕ 関係のトリリニアモデルによる骨格曲線を示す。また、コンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ曲線を図 3-27 及び図 3-28 に示す。トリリニアモデルによる骨格曲線と履歴特性の関係を図 3-29 に示す。履歴特性には、修正武田モデルを適用する。

有効応力解析コード「FLIP ver.7.4.1」における当該非線形特性では、地震時における部材の軸力は一定とされることから、常時応力解析により各部材に発生する軸力にて当該非線形特性を設定する。軸力変動が部材の非線形性に及ぼす影響については、(参考資料 1) に示す。



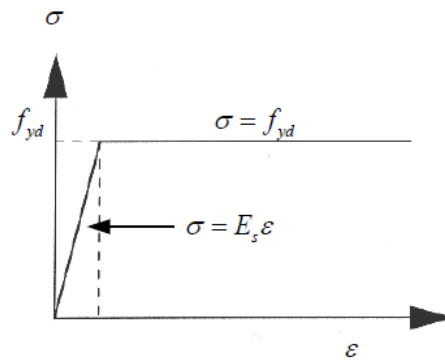
(土木学会マニュアルより引用)

図 3-26 M- ϕ 関係のトリリニアモデル (鉄筋コンクリート部材)



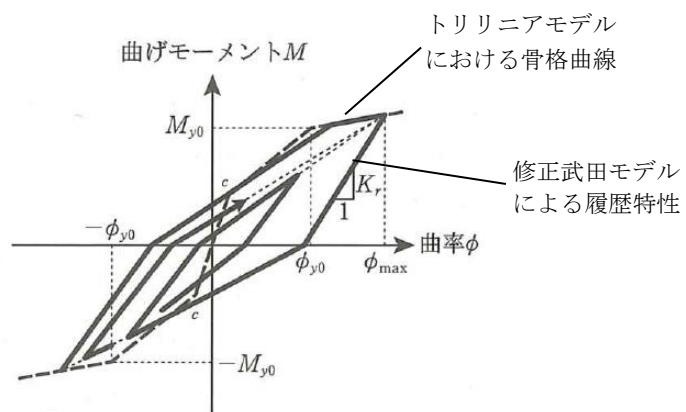
(土木学会マニュアルより引用)

図 3-27 コンクリートの応力-ひずみ曲線



(土木学会マニュアルより引用)

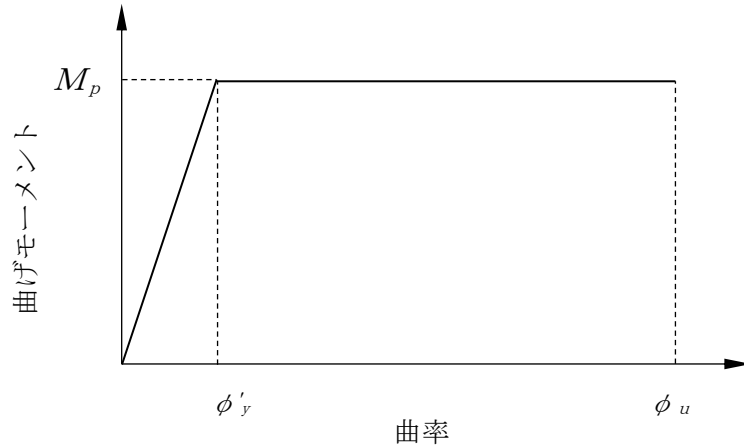
図 3-28 鉄筋の応力-ひずみ曲線



(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (平成 14 年 3 月) に一部加筆)

図 3-29 鉄筋コンクリート部材の履歴特性

図 3-30 に、鋼管杭におけるM- ϕ 関係のバイリニアモデルを示す。また、鋼管杭の応力-ひずみ関係を図 3-31 に示す。なお、解析コードFLIPにおいては、鋼管杭の軸力変動に応じて非線形特性を自動的に設定し、応答を算定している。

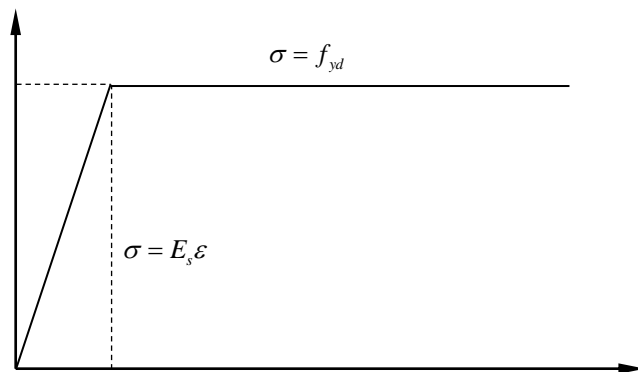


M_p : 終局曲げ強度 (全塑性モーメント)

ϕ'_y : 全塑性モーメントに至る時の曲率

ϕ_u : 局部座屈が発生する時の曲率

図 3-30 鋼管杭のM- ϕ 関係



f_{yd} : 鋼材の降伏応力

E_s : 鋼材のヤング係数

図 3-31 鋼管杭の応力-ひずみ関係

C-C断面について、鉄筋コンクリート部材は線形平面ひずみ要素を用いてモデル化する。鋼管杭は非線形はり要素を用いてモデル化し、非線形性を考慮する。

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

3.3 減衰定数

減衰定数は、KK7 補足-027-1「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に基づき設定する。

3.4 荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（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、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。

積雪荷重については、燃料移送系配管ダクトが地中に埋設された構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力と組合せる荷重としては除外した。

なお、燃料移送系配管ダクトは、地中に埋設されている構造物であることから運転時の異常な過度変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられるため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地中で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 3-8 に示す。

地震時に燃料移送系配管ダクトに作用する機器・配管系からの荷重については、機器・配管系を解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 3-8 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	固定 荷重	躯体自重	○	・設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する
		機器・配管自重	○	・機器・配管の重さに基づいて設定する
		土被り荷重	○	・常時応力解析により設定する
		永久上載荷重	—	・地盤表面に恒常的に置かれる構造物はないため考慮しない
	静止土圧		○	・常時応力解析により算定する
	外水圧		○	・地下水位に応じた静水圧として設定する ・地下水の密度を考慮する
	雪荷重		—	・埋設構造物であるため、積雪を考慮しない
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	・基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d による水平・鉛直同時加振を考慮する ・躯体、機器・配管の慣性力、動土圧を考慮する	
	鉛直地震動	○		

3.4.1 機器・配管荷重

(1) A-A, B-B断面

図 3-32 にA-A断面, B-B断面における機器・配管荷重図を示す。機器・配管荷重は解析の単位奥行き (1m) あたりの付加質量として考慮する。

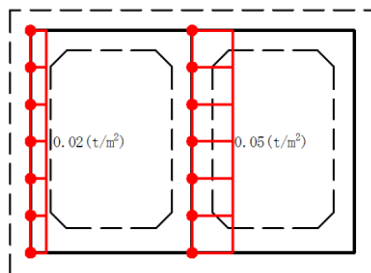


図 3-32 機器・配管荷重図 (A-A断面, B-B断面)

(2) C-C断面

図 3-33 にC-C断面における機器・配管荷重図を示す。機器・配管荷重は側壁・隔壁部材の質量に付加することで考慮する。

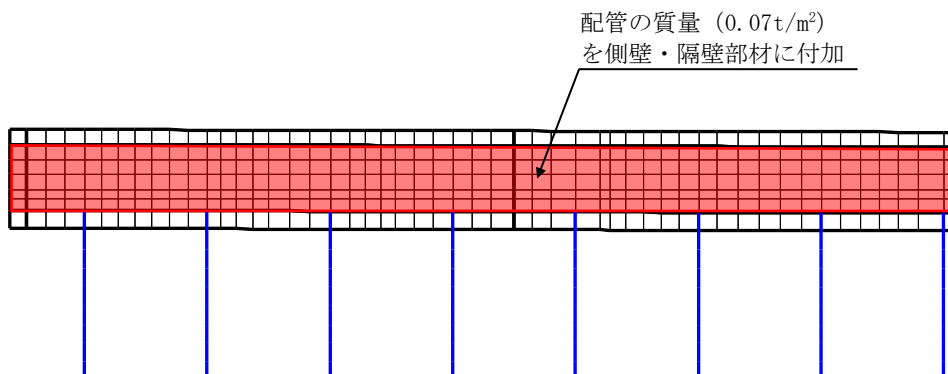


図 3-33 機器・配管荷重図 (C-C断面)

3.4.2 外水圧

地下水位は地表面 (T. M. S. L. 12.0m) として設定する。設定の際は, 地下水の密度として, $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

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

燃料移送系配管ダクトは地中埋設構造物であるため、地震時の応答は地盤の応答に大きく影響される。また、構造物の地震時の変形は、主に上載地盤から頂版に作用するせん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じ、これらの作用力は地盤のせん断弾性係数に大きく依存する。したがって、耐震評価においてばらつきを考慮する物性値は、地盤の初期せん断弾性係数 G_0 とする。

耐震評価における解析ケースを表 3-9 に示す。

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 (-1σ) にて設定する（解析ケース①, ②, ③）。

また、構造物及び機器・配管系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。

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対して解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げ軸力照査及びせん断力照査をはじめとした全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、追加解析ケースとして解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい地震動の選定は、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目安として実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

追加解析ケースを実施する地震動の選定フローを図 3-34 に示す。

表 3-9 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 (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して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 (+1σ)	地盤剛性 (-1σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1σ)	
液状化強度特性の設定		液状化強度特性 (-1σ)	液状化強度特性 (-1σ)	液状化強度特性 (-1σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用	
地震動 (位相)	Ss-1	++*	実施				
		+ -*	実施				
		- +*	実施				
		--*	実施				
	Ss-2		実施				
	Ss-3	++*	実施				
		+ -*	実施				
		- +*	実施				
		--*	実施				
	Ss-4		実施				
	Ss-5		実施				
	Ss-6		実施				
	Ss-7		実施				
Ss-8	++*	実施					
	- +*	実施					

全ての基準地震動 S_s に対して実施する①の解析ケース (基本ケース) において、せん断力照査及び曲げ軸力照査をはじめとした全ての照査項目について、各照査値が最も厳しい (許容限界に対する余裕が最も小さい) 地震動を用い、②~⑤より追加解析ケースを実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

注記* : 表中の符号+, -は地震動の位相 (水平, 鉛直) を示す。

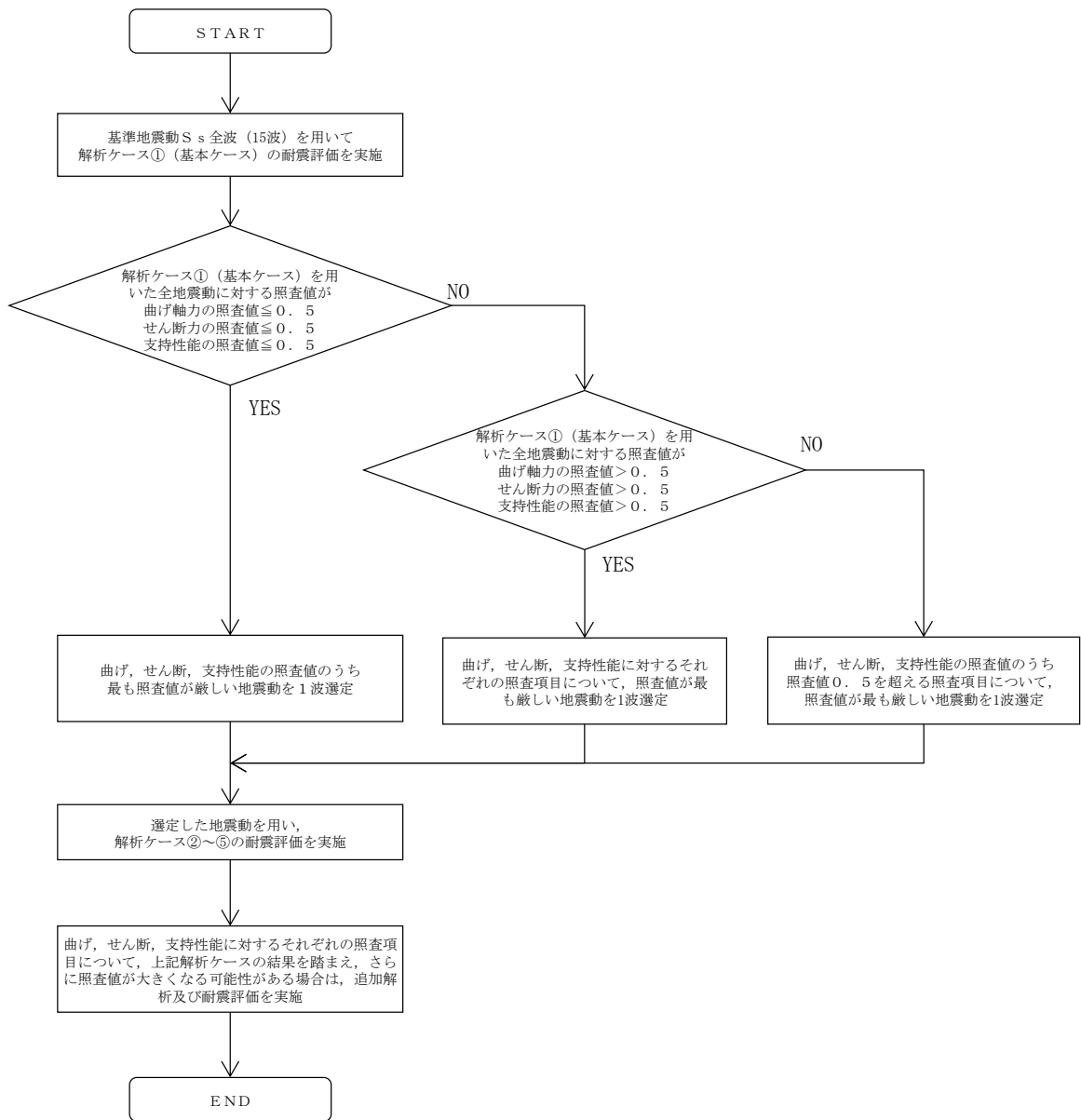


図 3-34 追加解析ケースを実施する地震動の選定フロー

3.5.2 機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位抽出のための解析ケース

機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位の抽出における解析ケースを表 3-10 に示す。

全ての基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対して、解析ケース③、④、⑤を実施する。機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位抽出の基本ケースである解析ケース④に対し、応答加速度については、最も地盤が軟らかい条件となる解析ケース③及び最も地盤が固い条件となる解析ケース⑤を実施することで、地盤剛性のばらつき及び液化化の有無を網羅的に考慮する。

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

表 3-10 機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位抽出のための解析ケース

解析ケース		③	④	⑤	
		地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	非液化化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液化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 (-1σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1σ)	
液化化強度特性の設定		液化化強度特性 (-1σ)	液化化パラメータを非適用	液化化パラメータを非適用	
地震動 (位相)	S _s -1 S _d -1	++*	実施	実施	実施
		+ - *	実施	実施	実施
		- + *	実施	実施	実施
		--*	実施	実施	実施
	S _s -2 S _d -2		実施	実施	実施
	S _s -3 S _d -3	++*	実施	実施	実施
		+ - *	実施	実施	実施
		- + *	実施	実施	実施
		--*	実施	実施	実施
	S _s -4 S _d -4		実施	実施	実施
	S _s -5 S _d -5		実施	実施	実施
	S _s -6 S _d -6		実施	実施	実施
	S _s -7 S _d -7		実施	実施	実施
	S _s -8 S _d -8	++*	実施	実施	実施
		- + *	実施	実施	実施

注記* : 表中の符号+, -は地震動の位相 (水平, 鉛直) を示す。

4. 評価内容

4.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d 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とし、原子炉建屋と同様のものを用いる。

入力地震動算定の概念図を図 4-1 に、入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図 4-2～図 4-53 に示す。入力地震動の算定には解析コード「S L O K Ver. 2.0」を使用する。

なお、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 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。

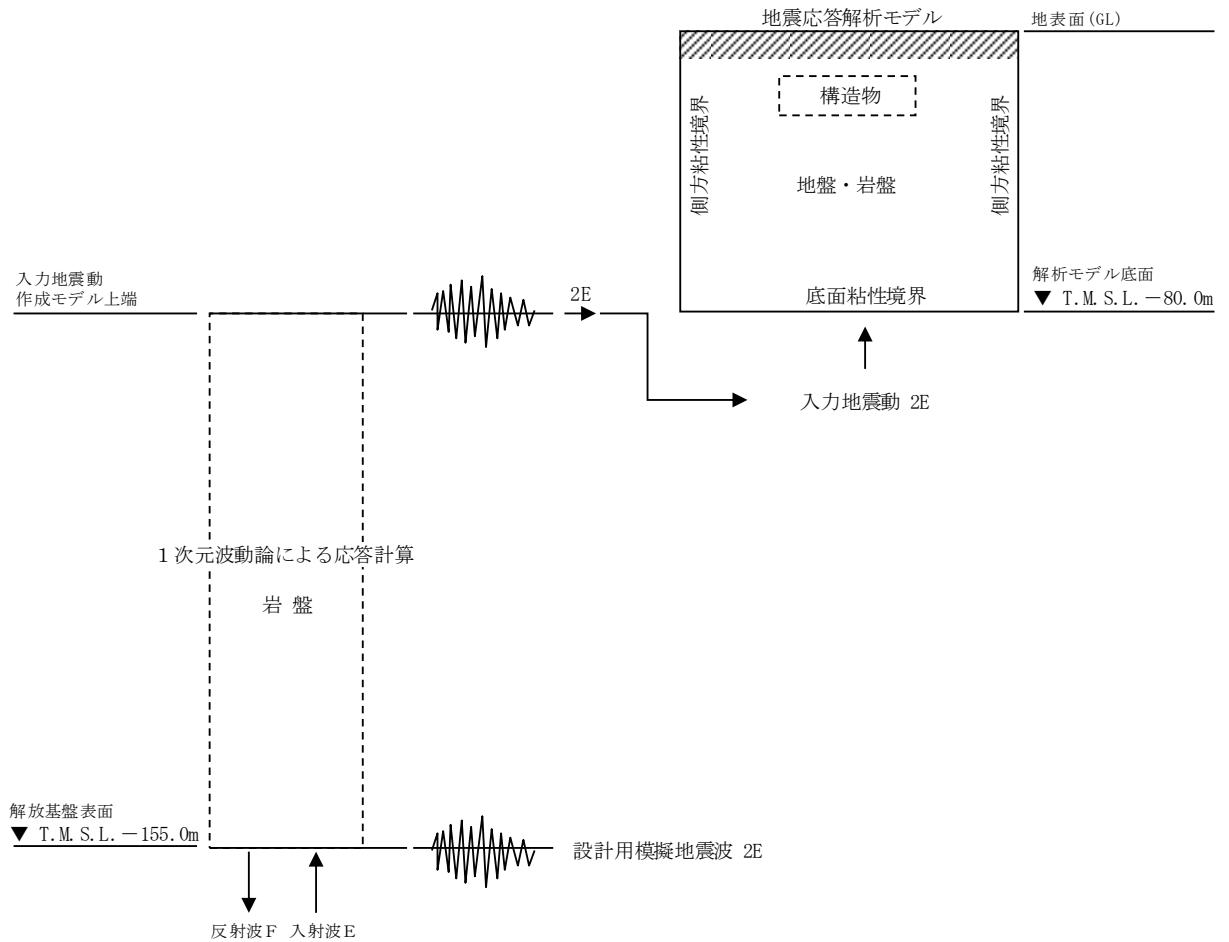
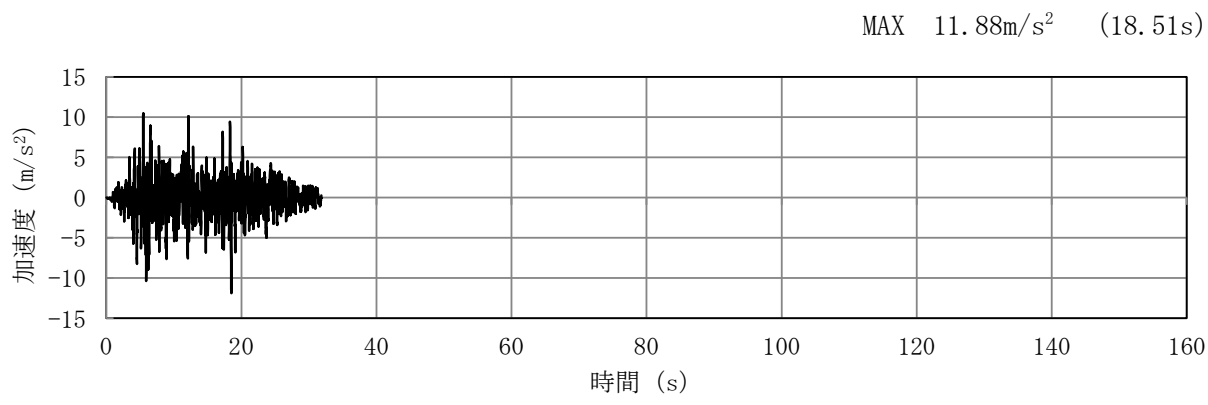
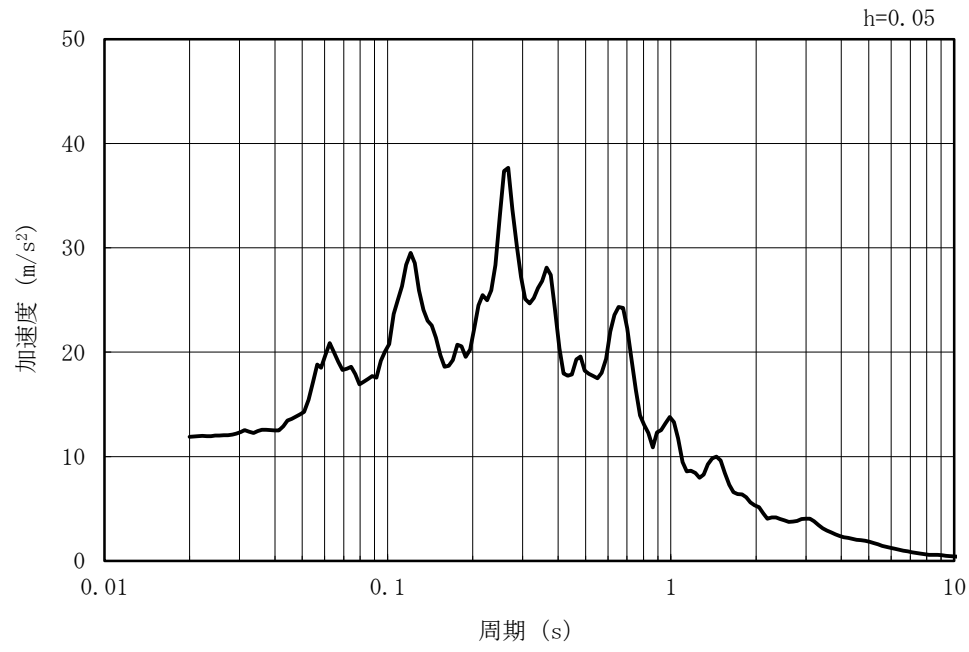


図 4-1 入力地震動算定の概念図



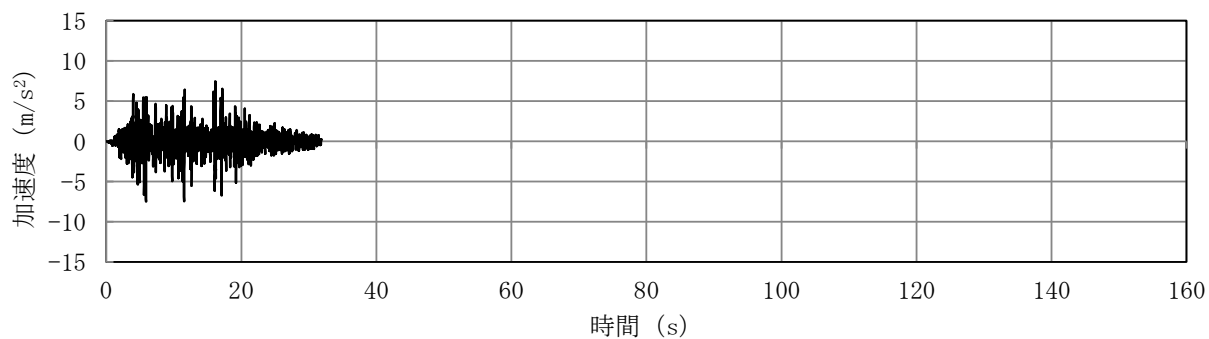
(a) 加速度時刻歴波形



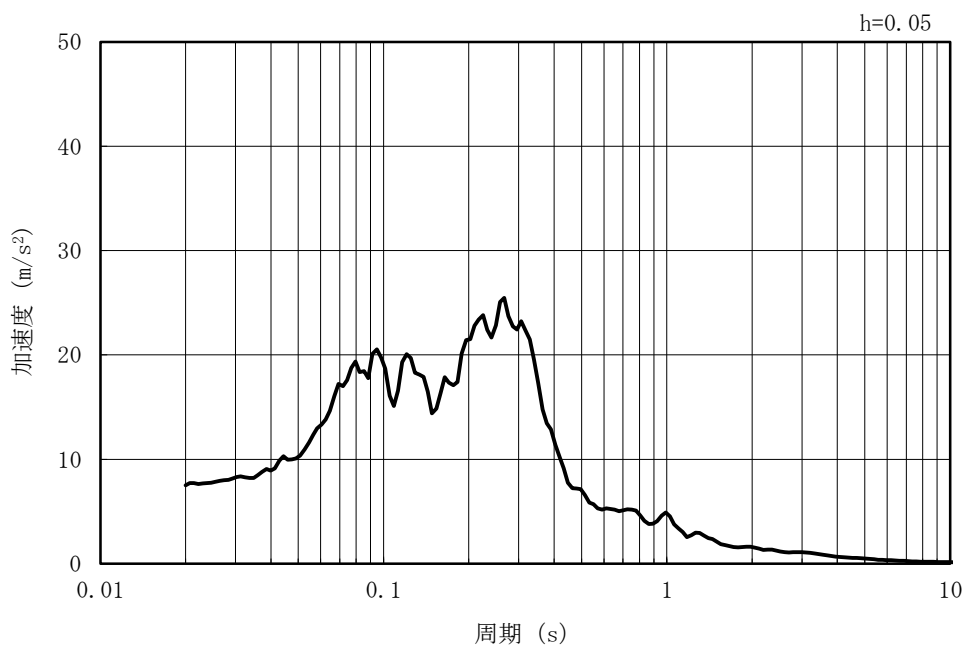
(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平方向 : Ss-1)

MAX 7.49m/s² (5.88s)

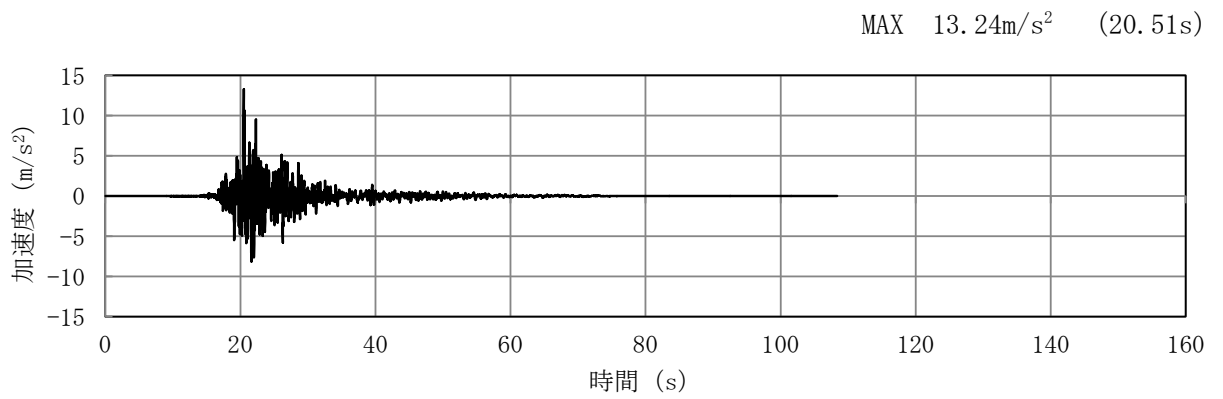


(a) 加速度時刻歴波形

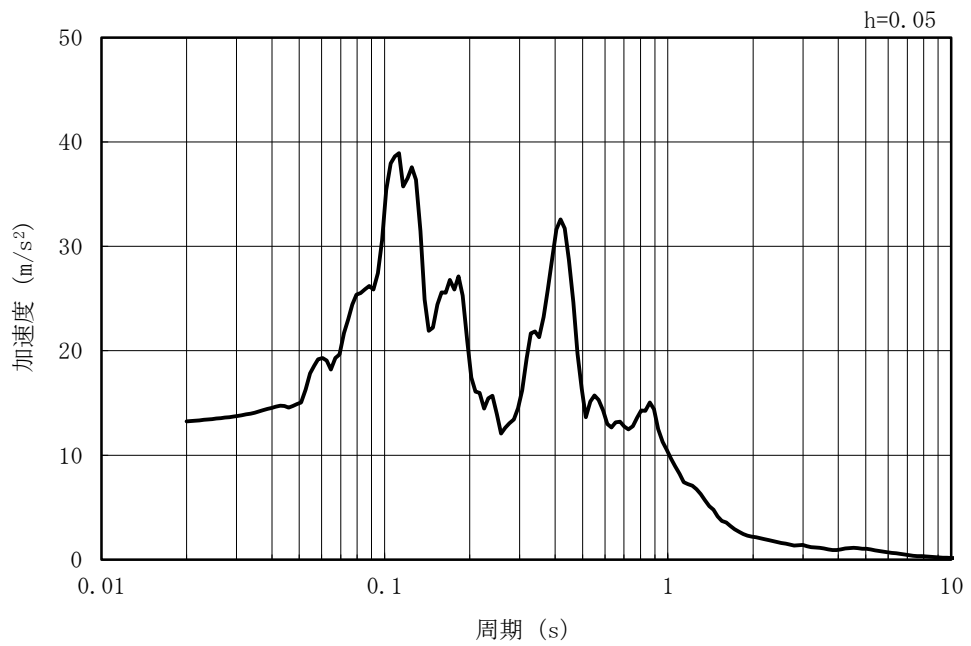


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

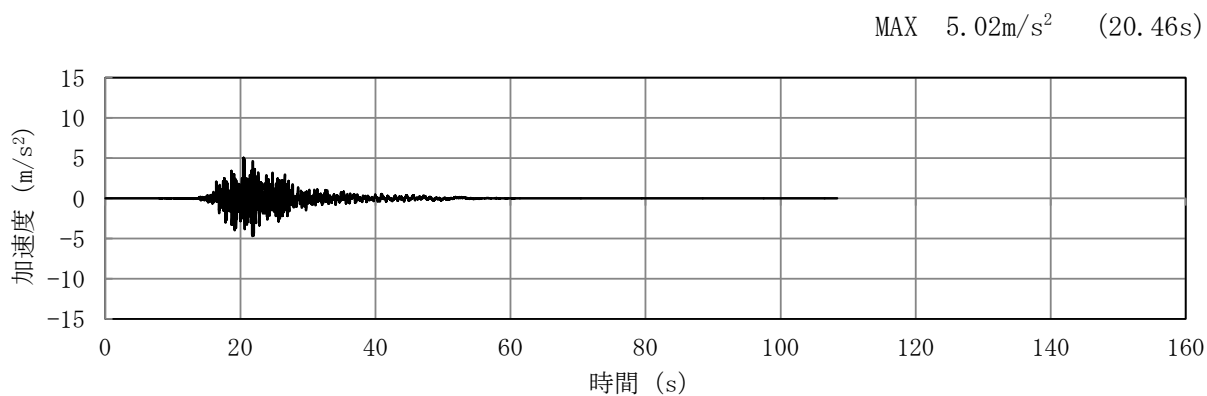


(a) 加速度時刻歴波形

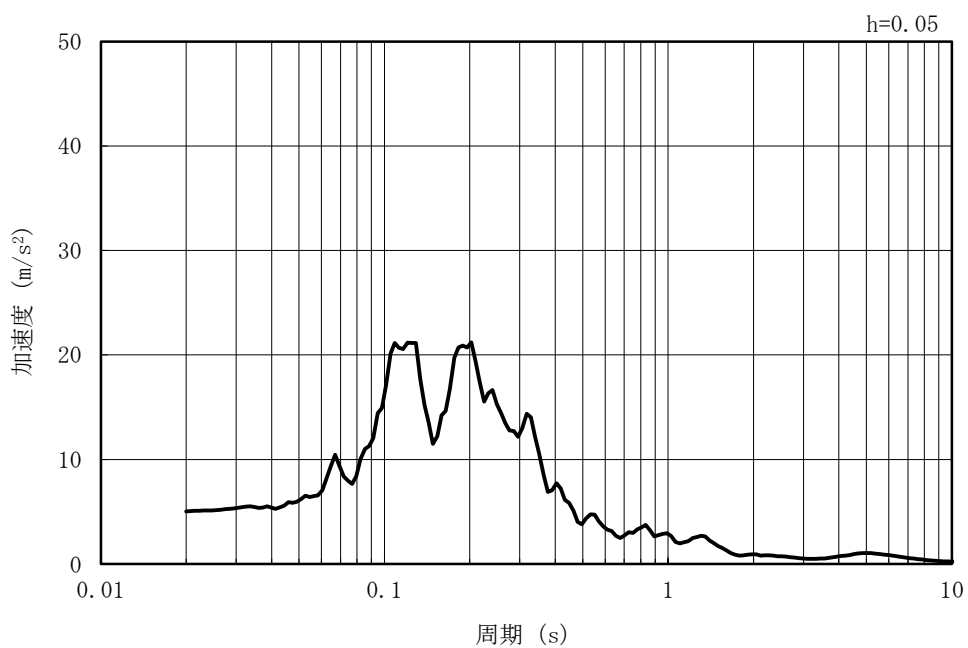


(b) 加速度応答スペクトル

図 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
(水平方向 : Ss-2EW)

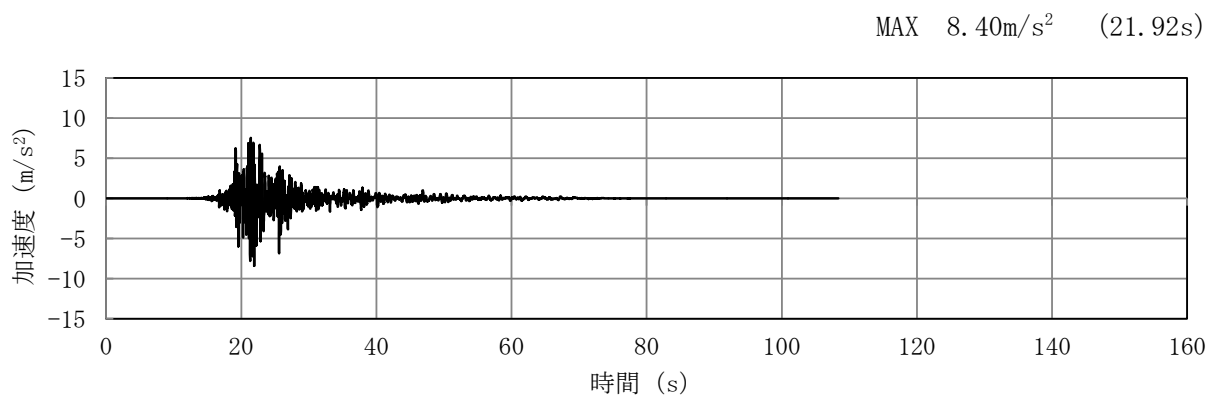


(a) 加速度時刻歴波形

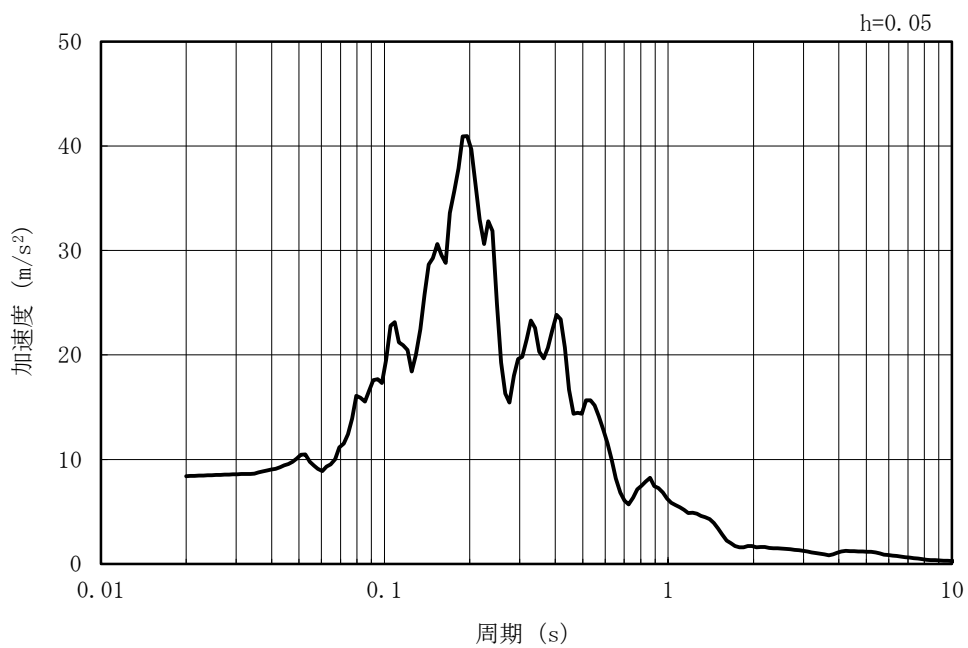


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直方向 : Ss-2EW)

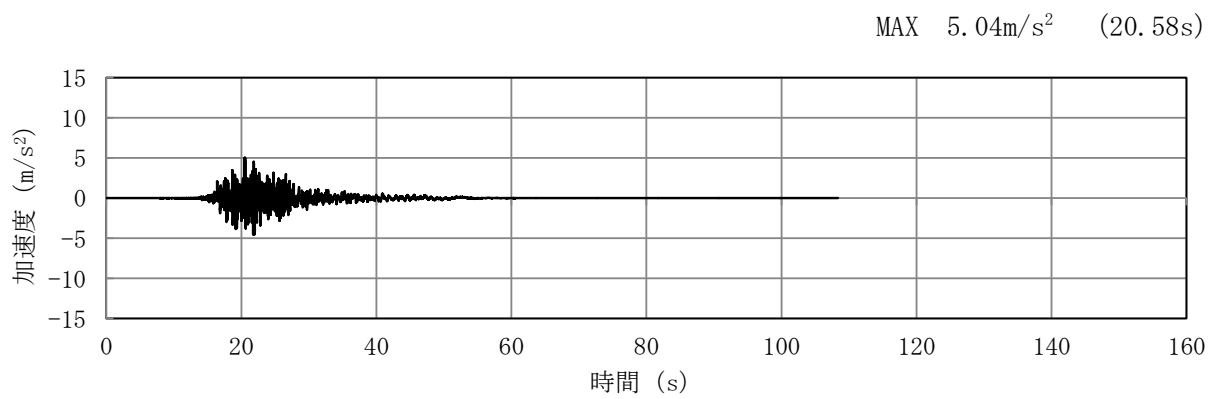


(a) 加速度時刻歴波形

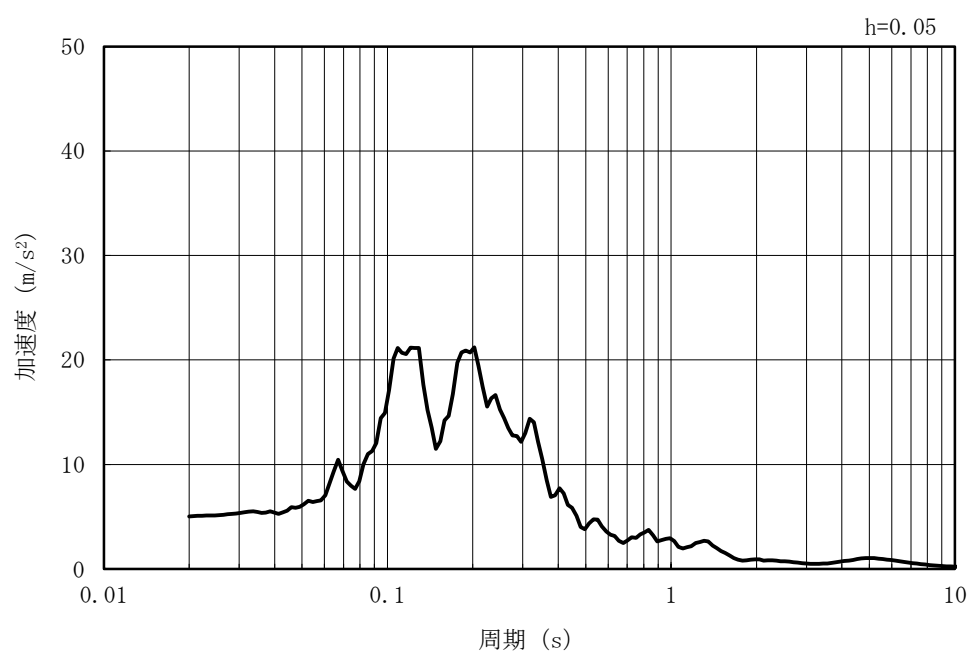


(b) 加速度応答スペクトル

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)



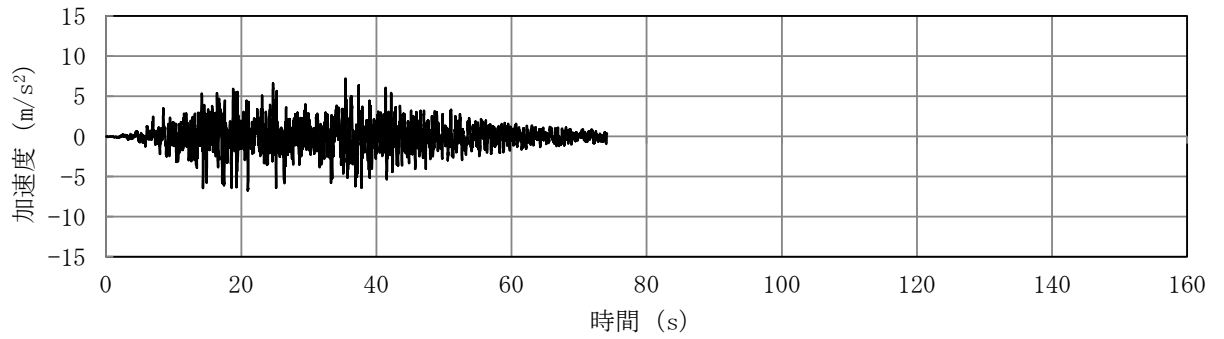
(a) 加速度時刻歴波形



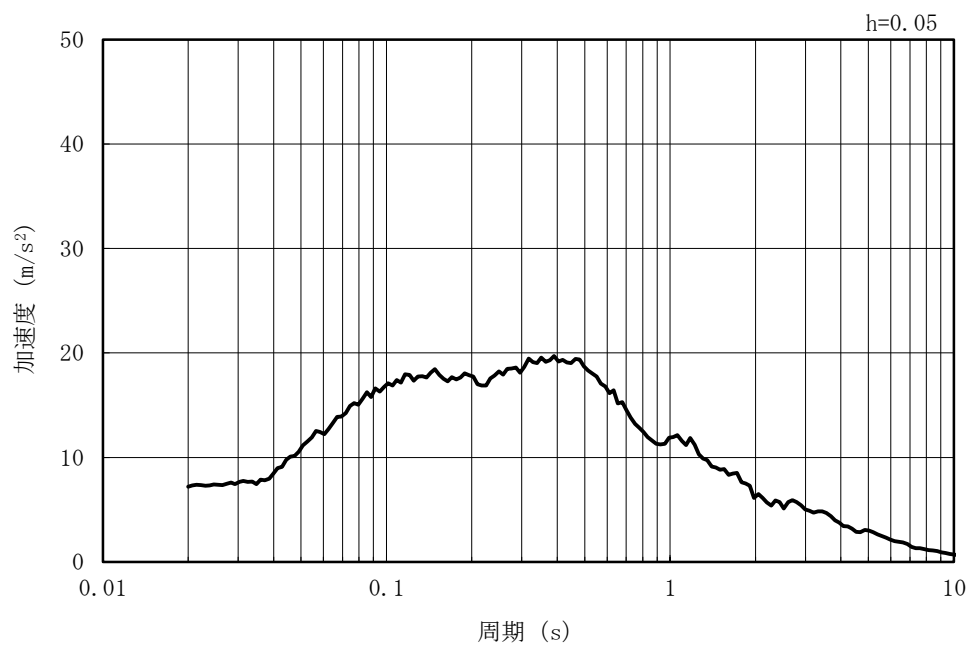
(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

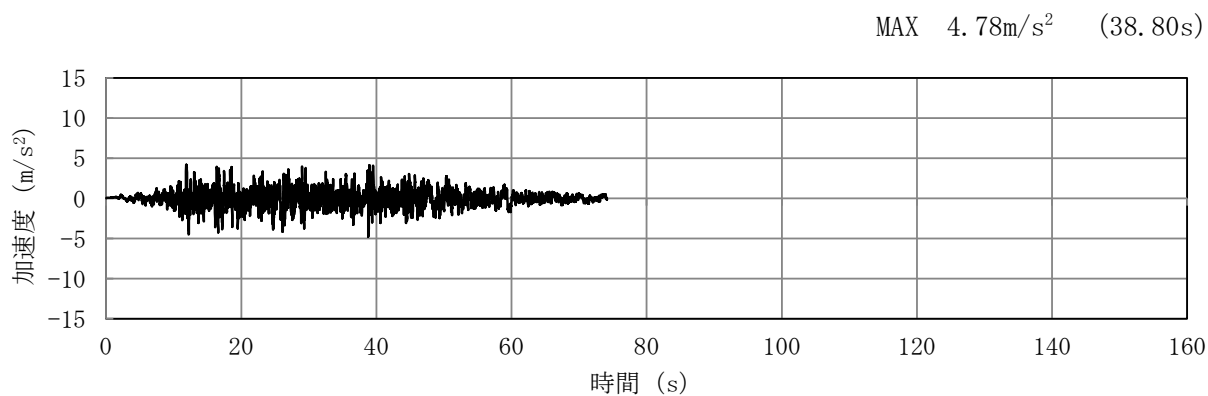


(a) 加速度時刻歴波形

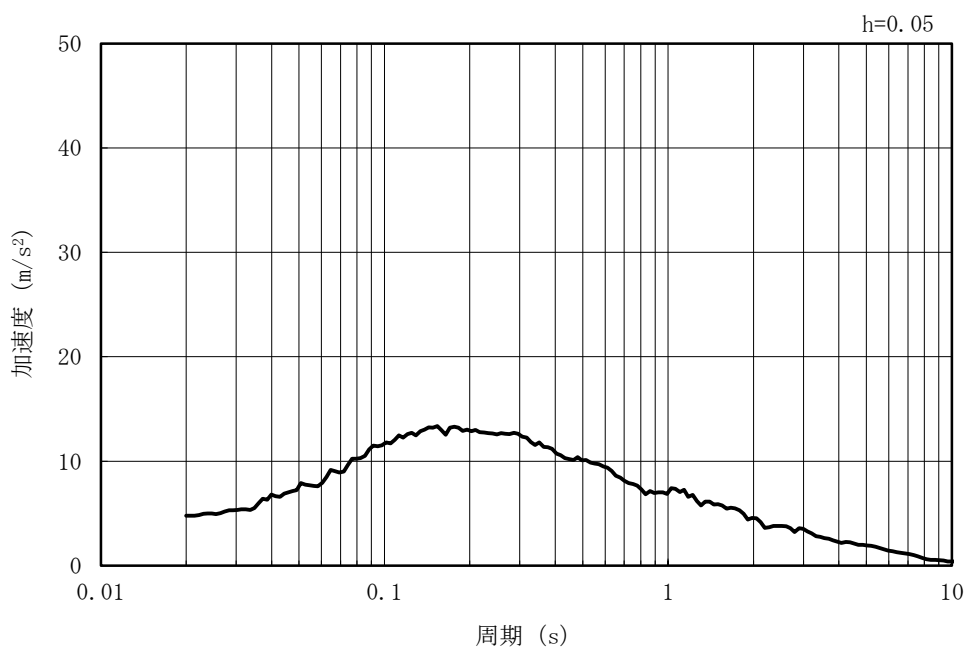


(b) 加速度応答スペクトル

図 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
(水平方向 : Ss-3)

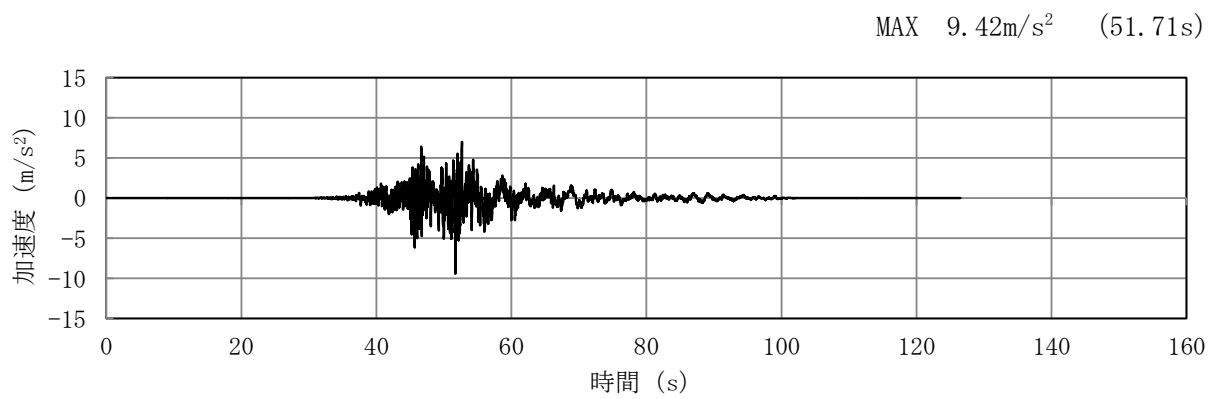


(a) 加速度時刻歴波形

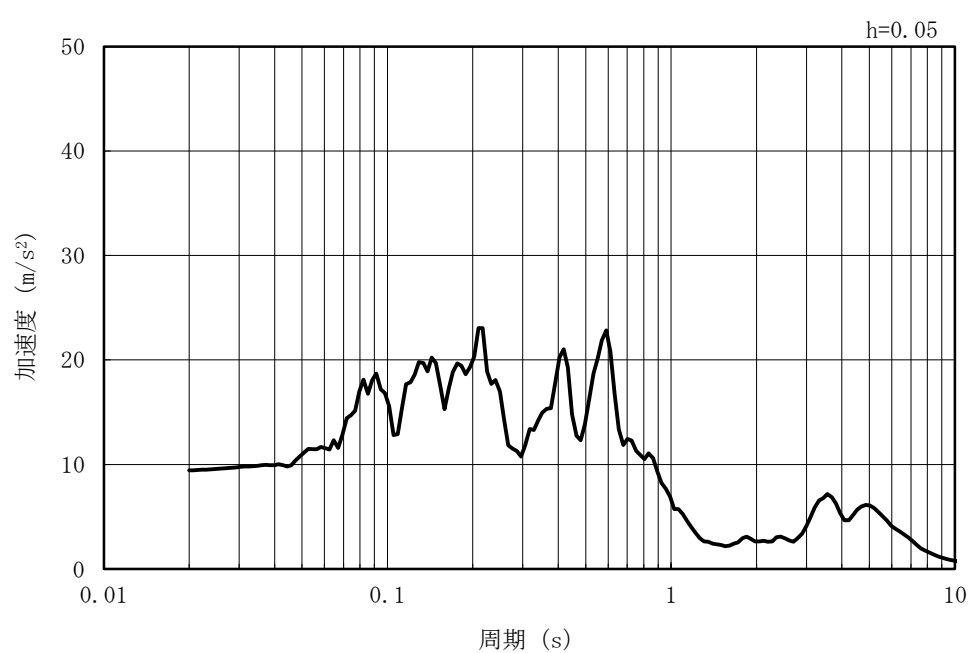


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直方向 : Ss-3)

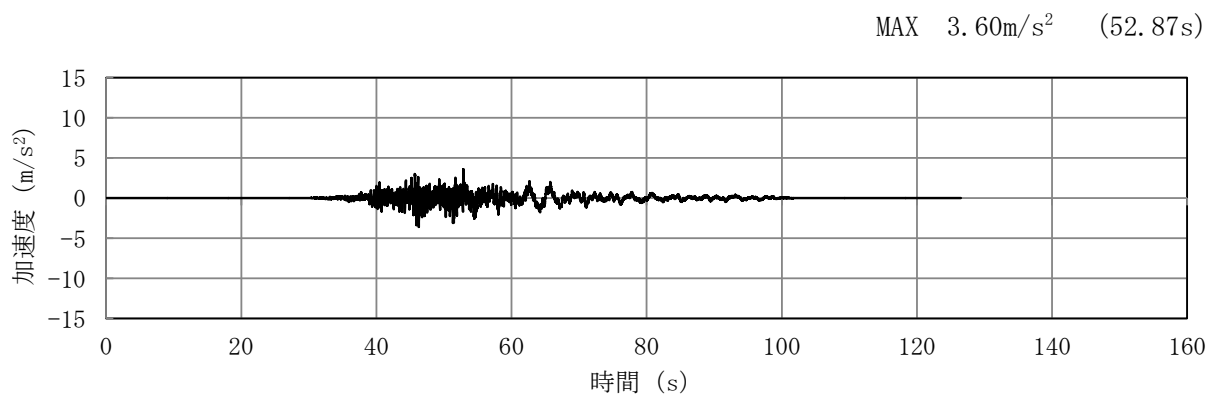


(a) 加速度時刻歴波形

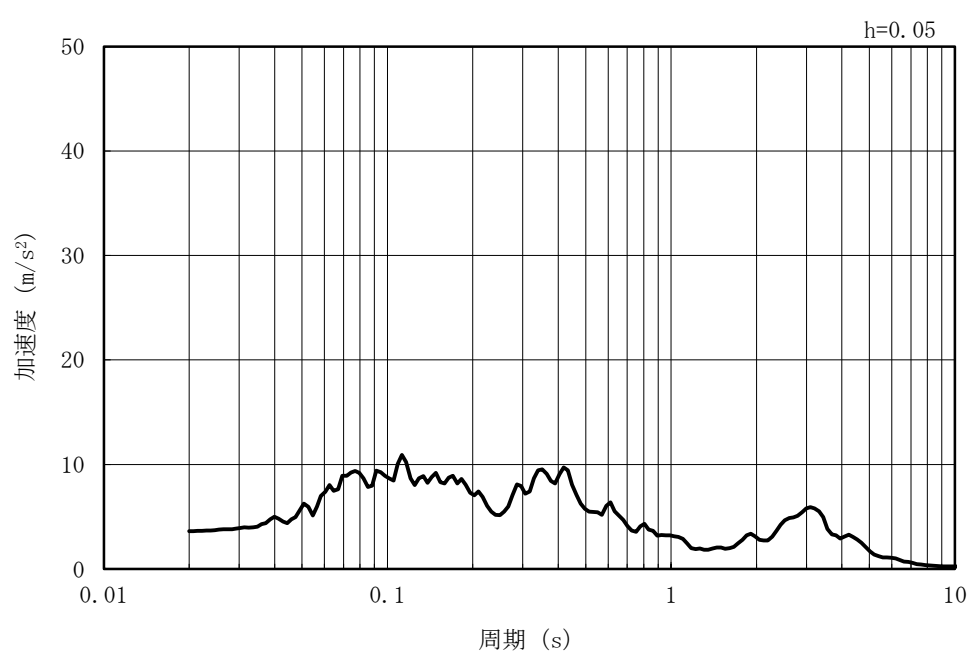


(b) 加速度応答スペクトル

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)

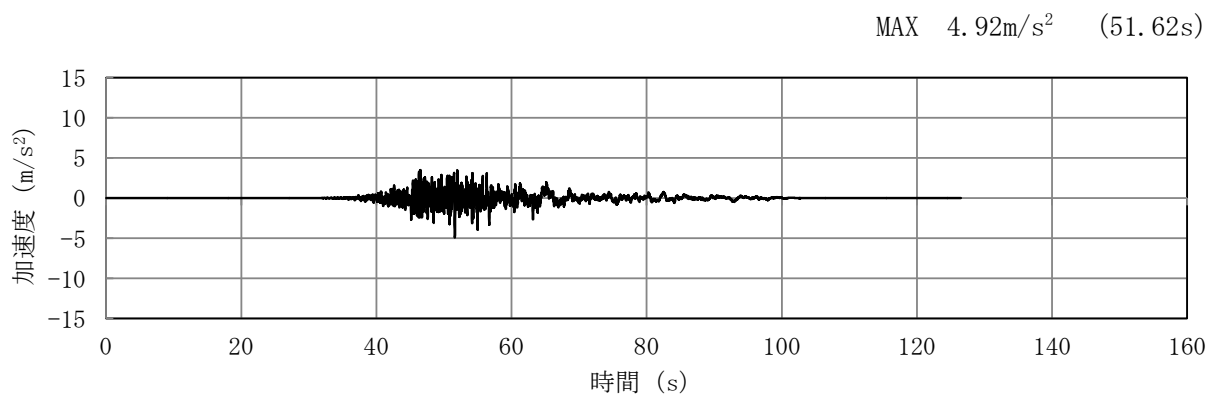


(a) 加速度時刻歴波形

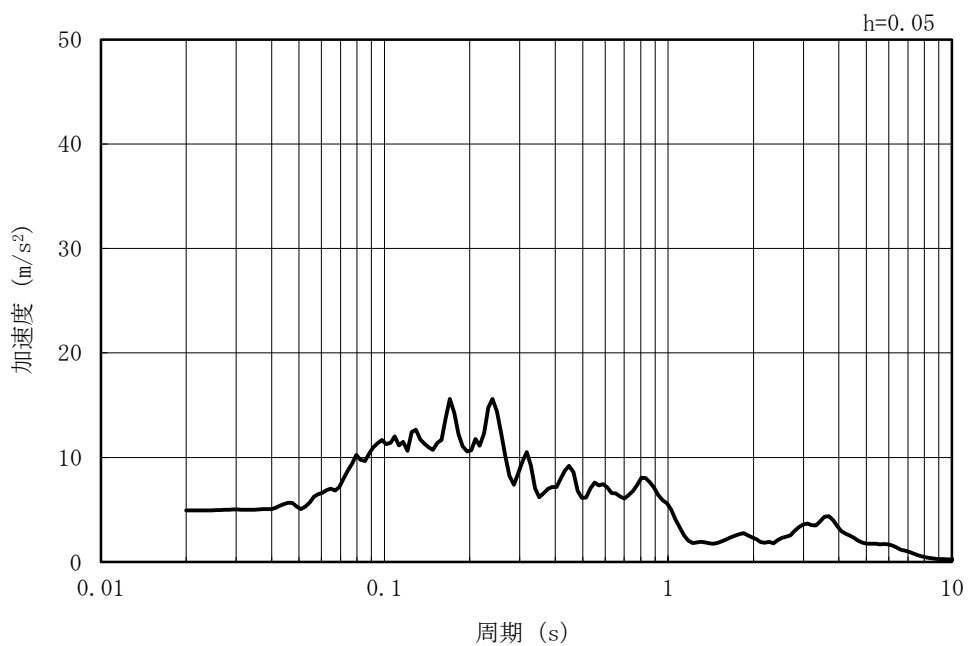


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

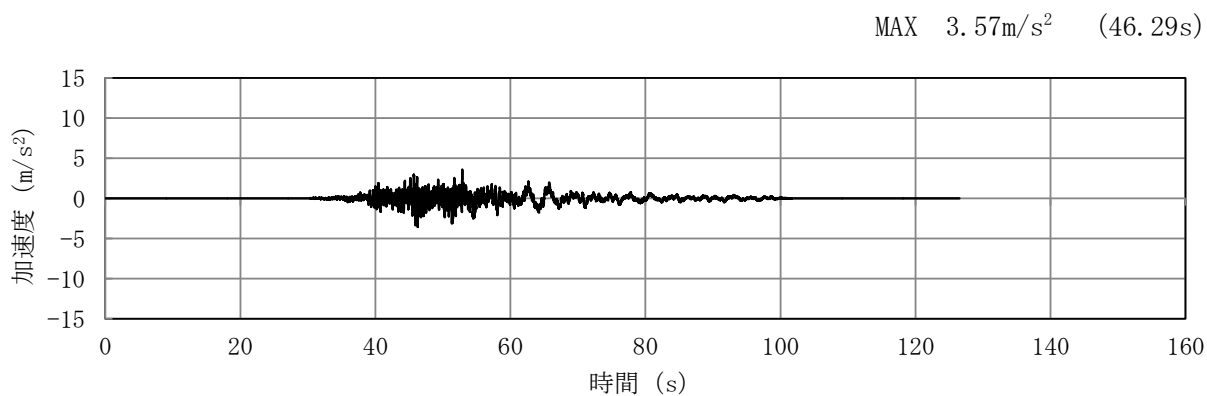


(a) 加速度時刻歴波形

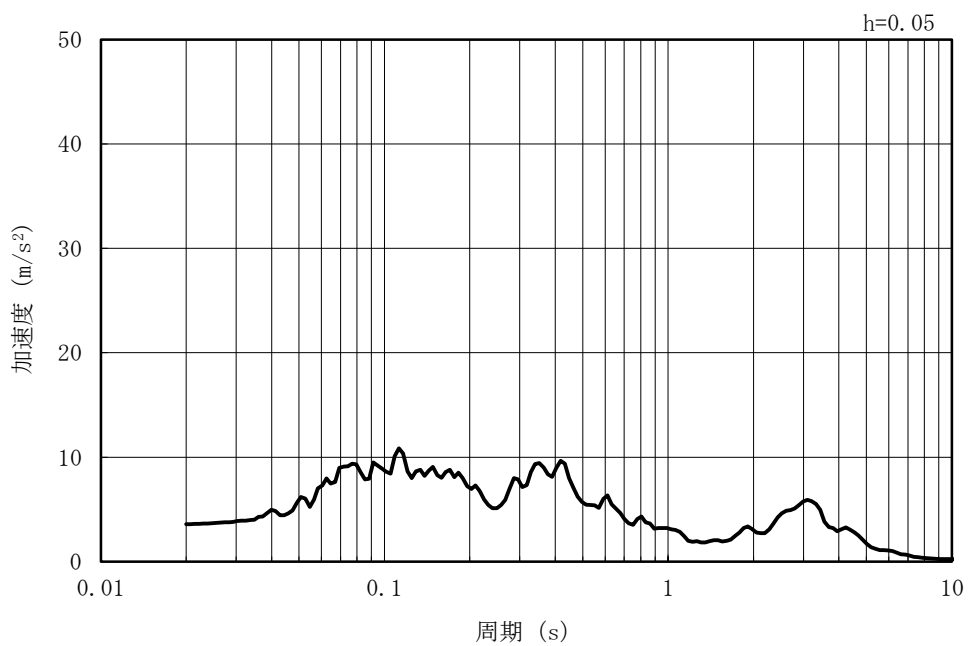


(b) 加速度応答スペクトル

図 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
(水平方向 : Ss=4NS)

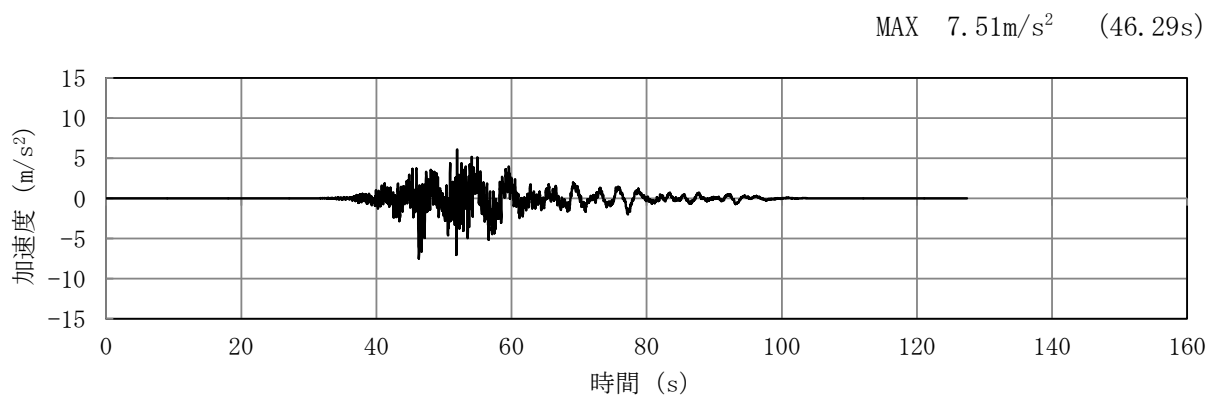


(a) 加速度時刻歴波形

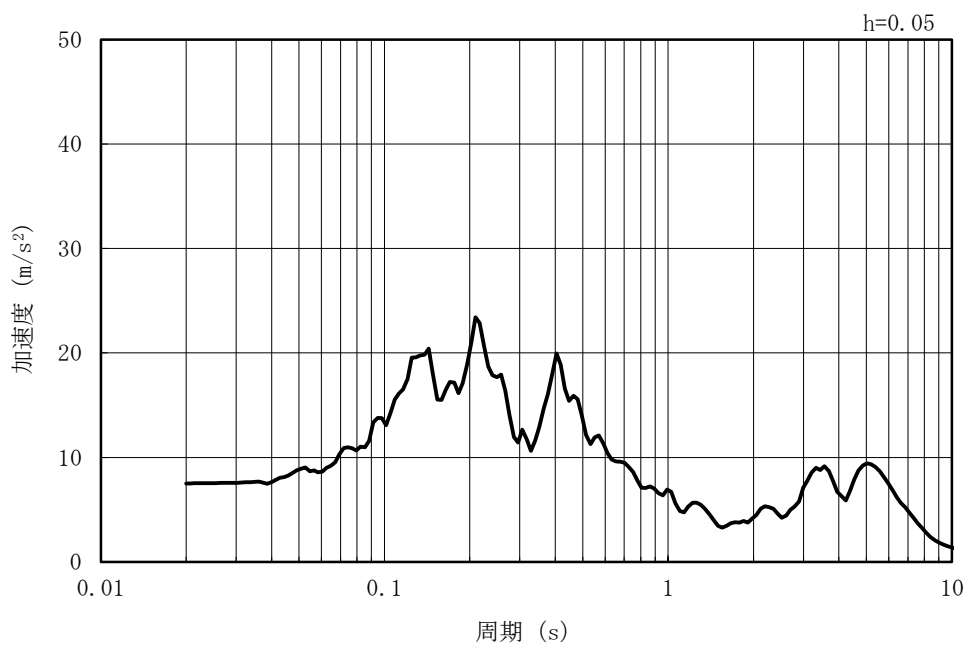


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直方向 : Ss-4NS)

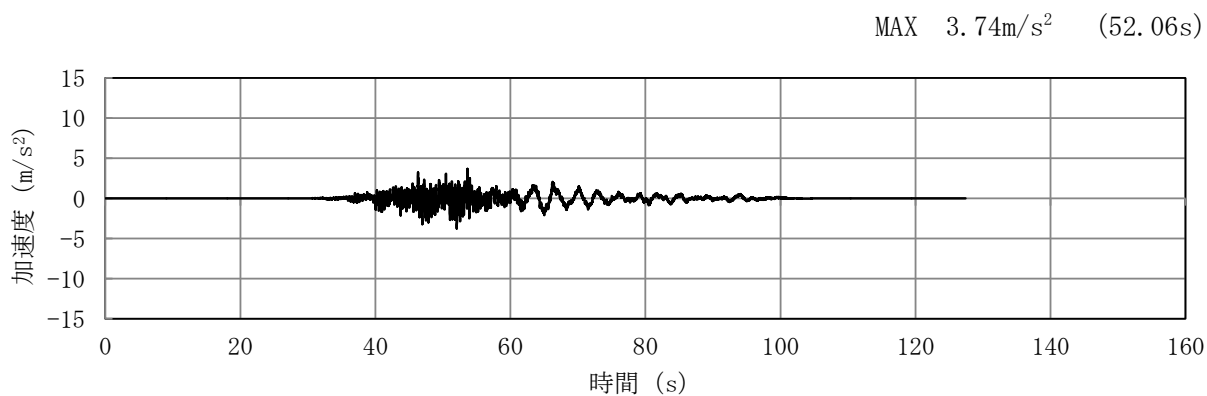


(a) 加速度時刻歴波形

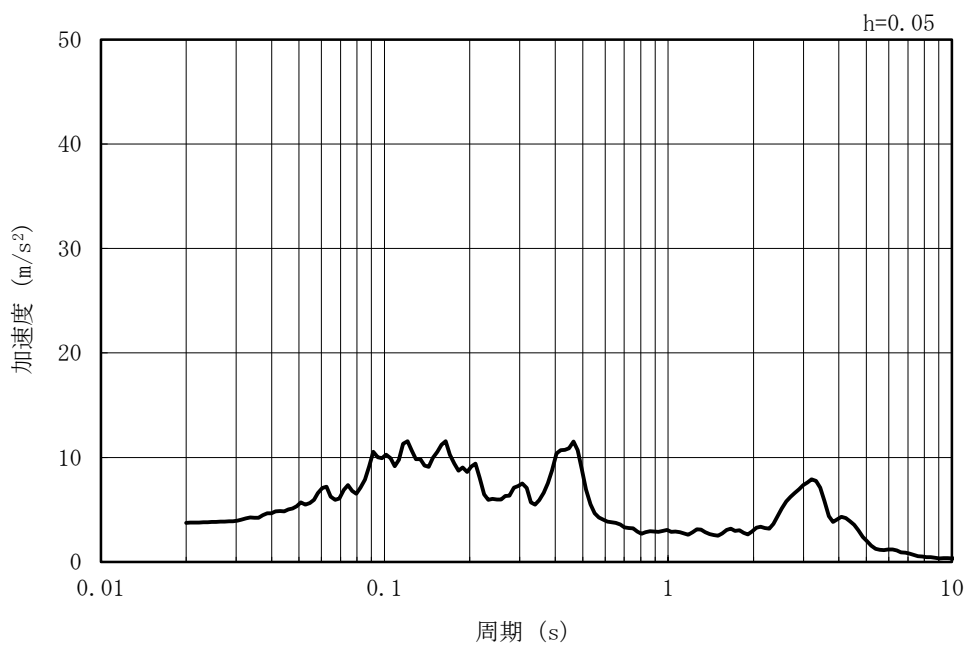


(b) 加速度応答スペクトル

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)

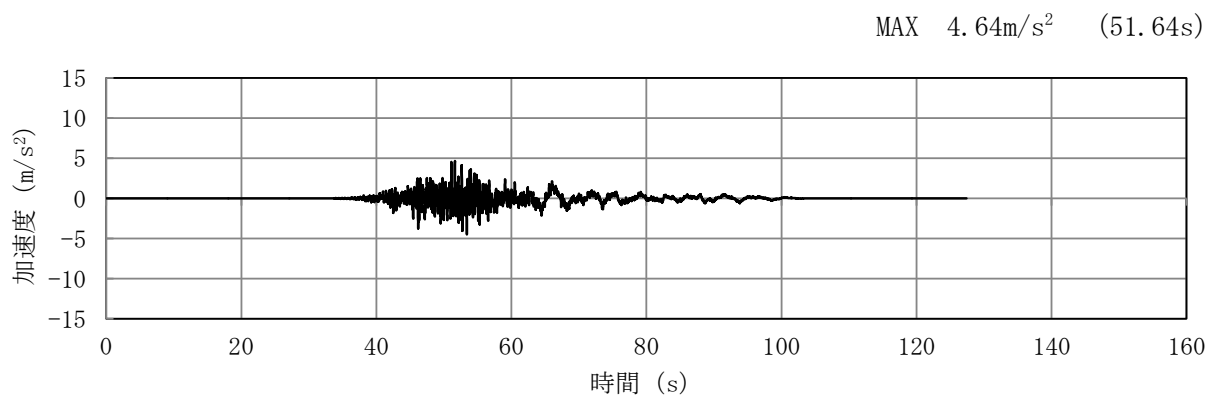


(a) 加速度時刻歴波形

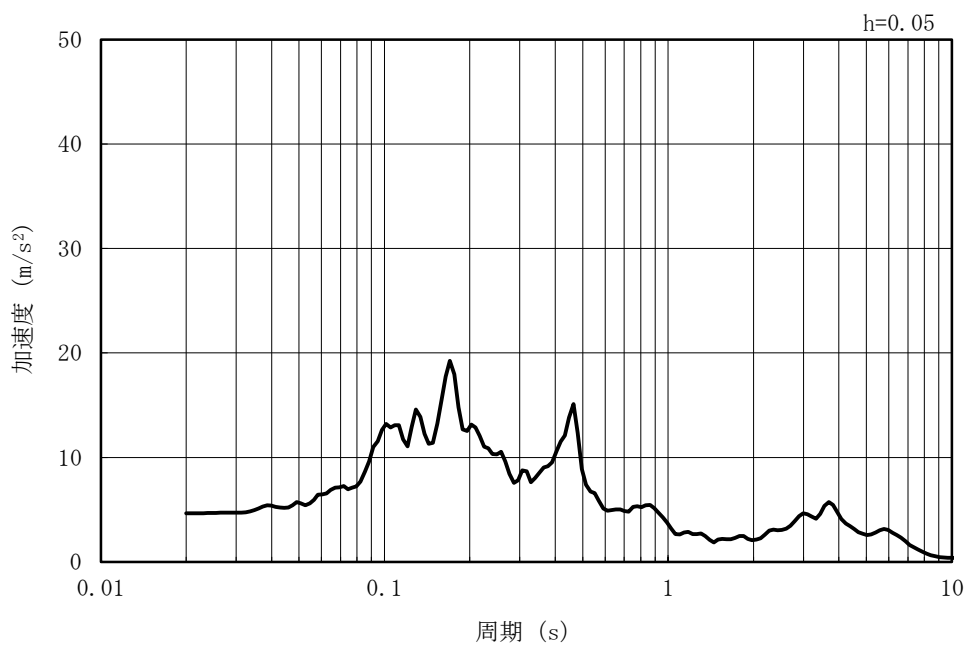


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

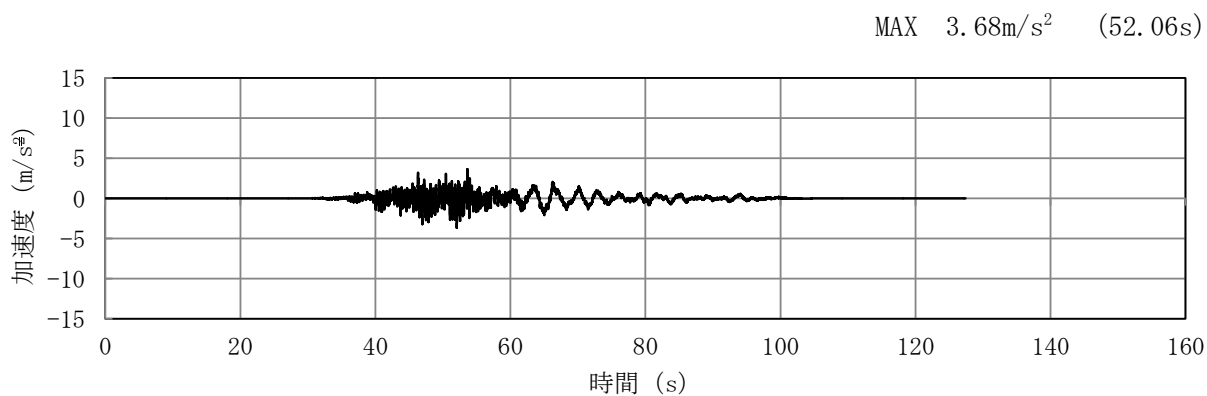


(a) 加速度時刻歴波形

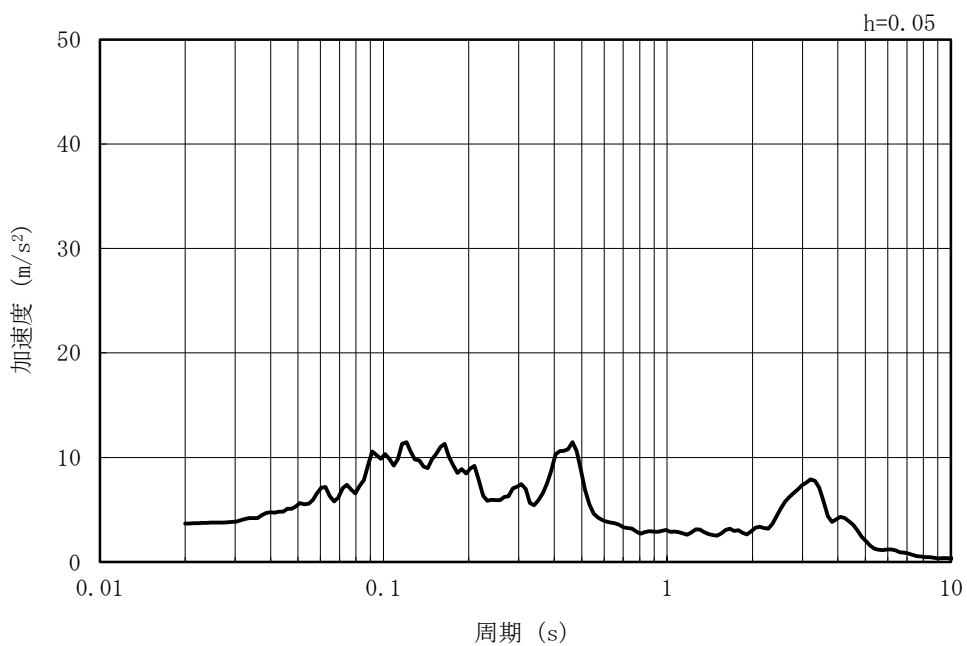


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

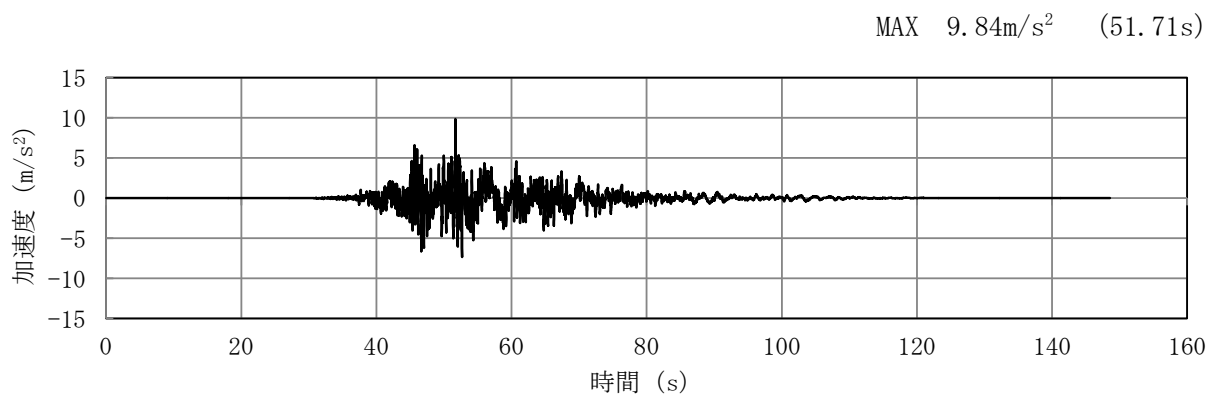


(a) 加速度時刻歴波形

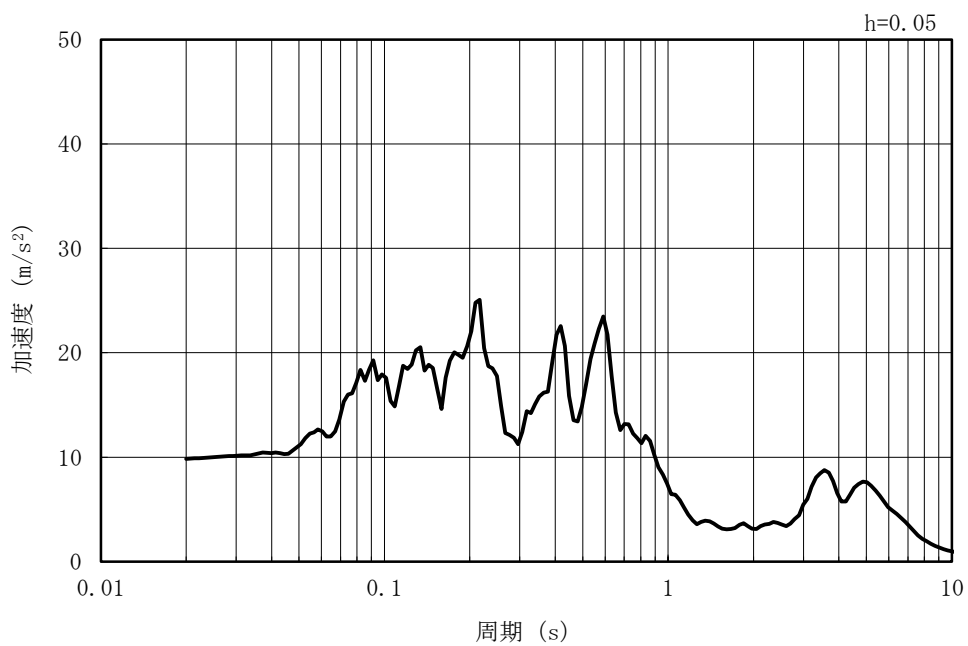


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

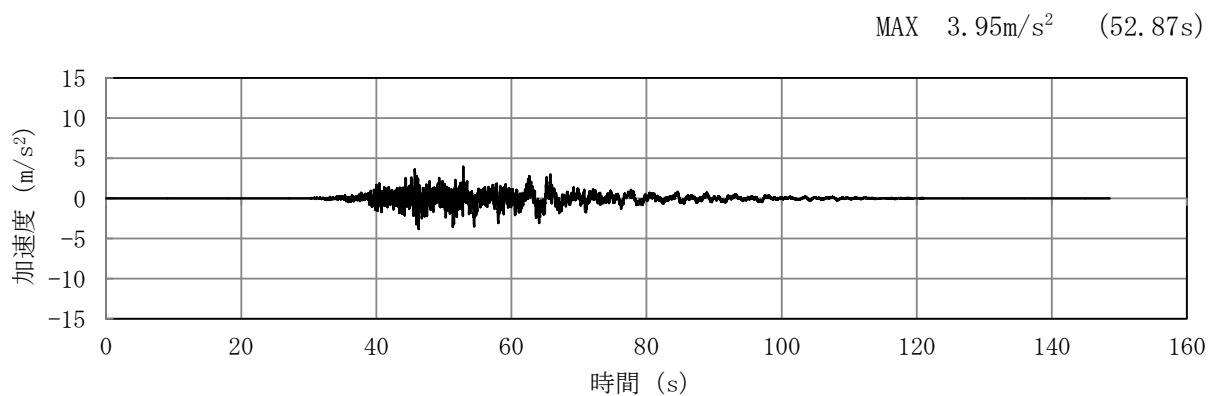


(a) 加速度時刻歴波形

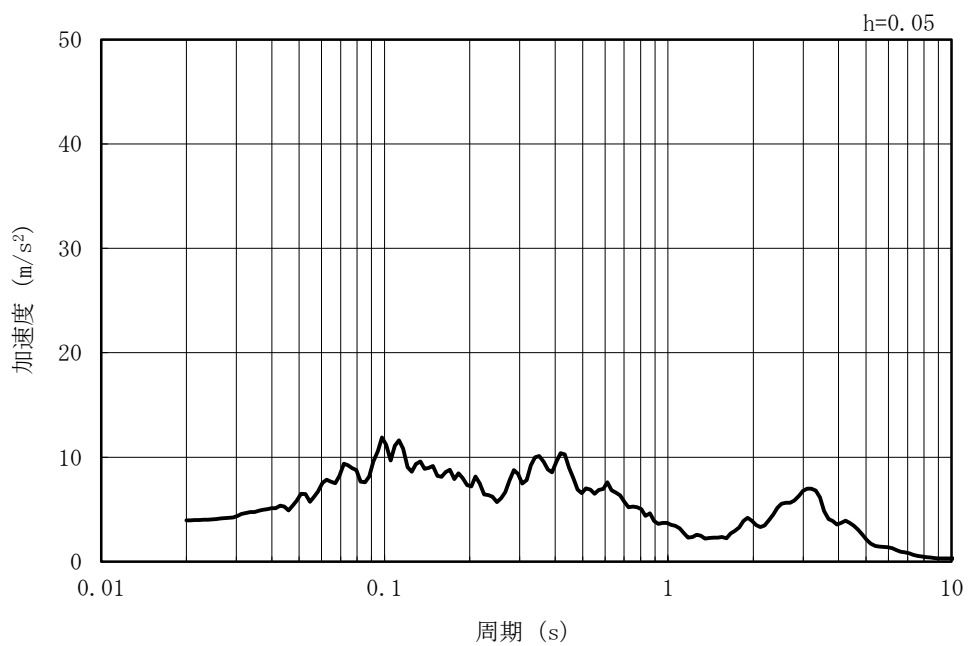


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

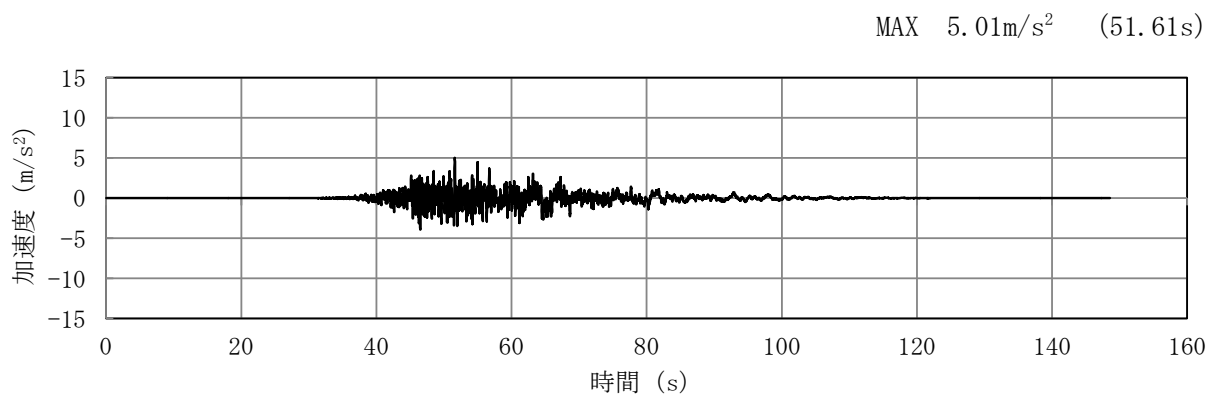


(a) 加速度時刻歴波形

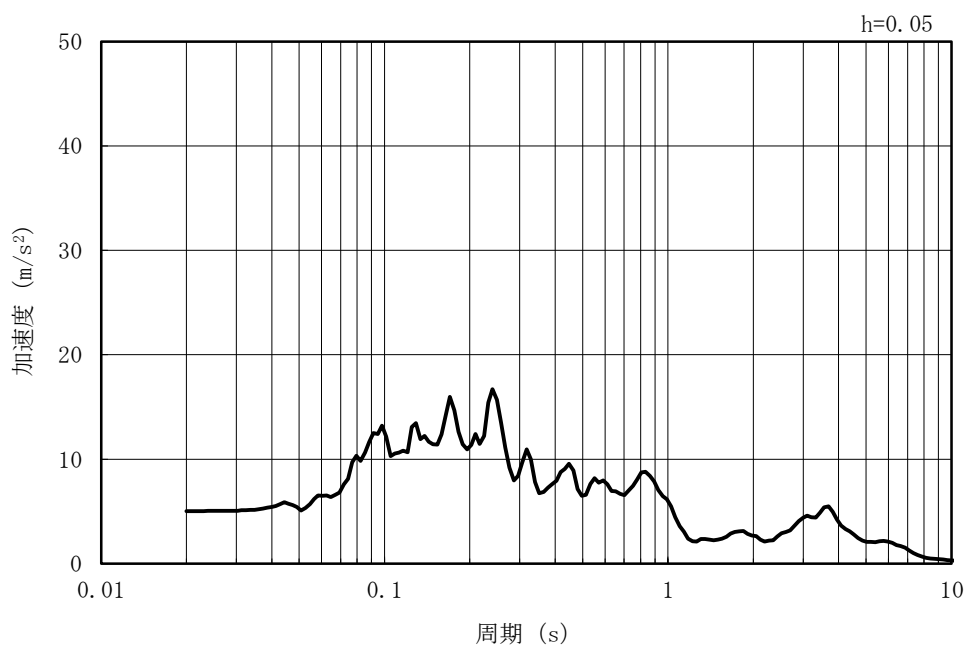


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

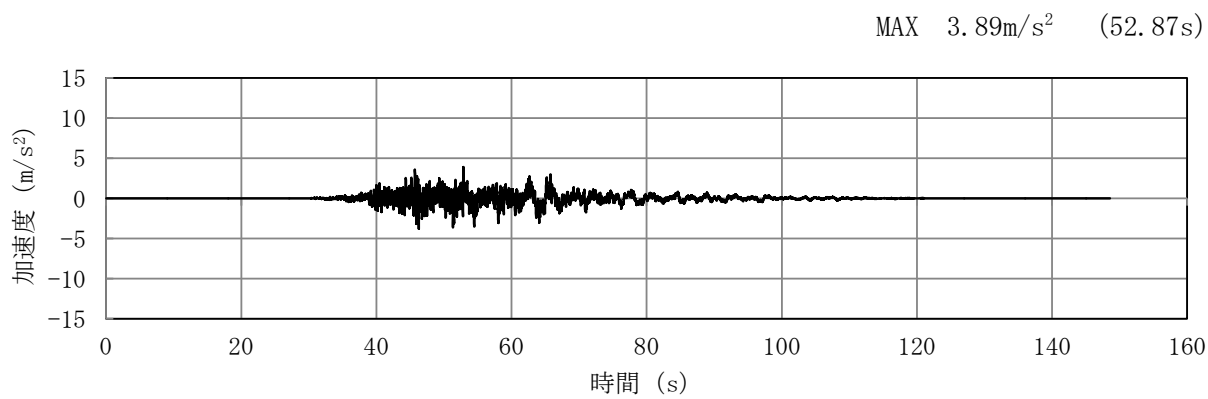


(a) 加速度時刻歴波形

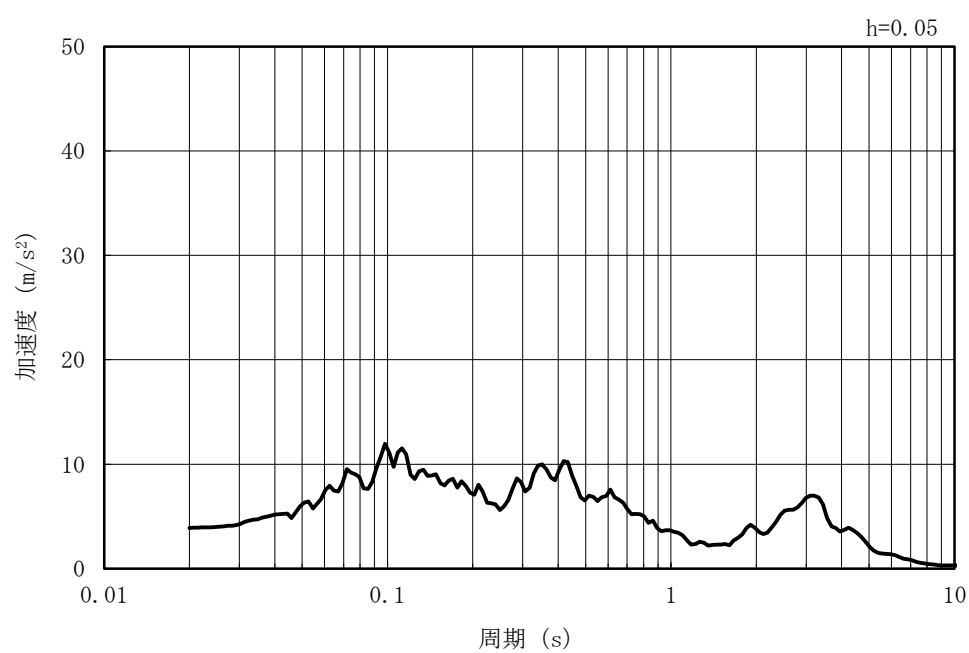


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

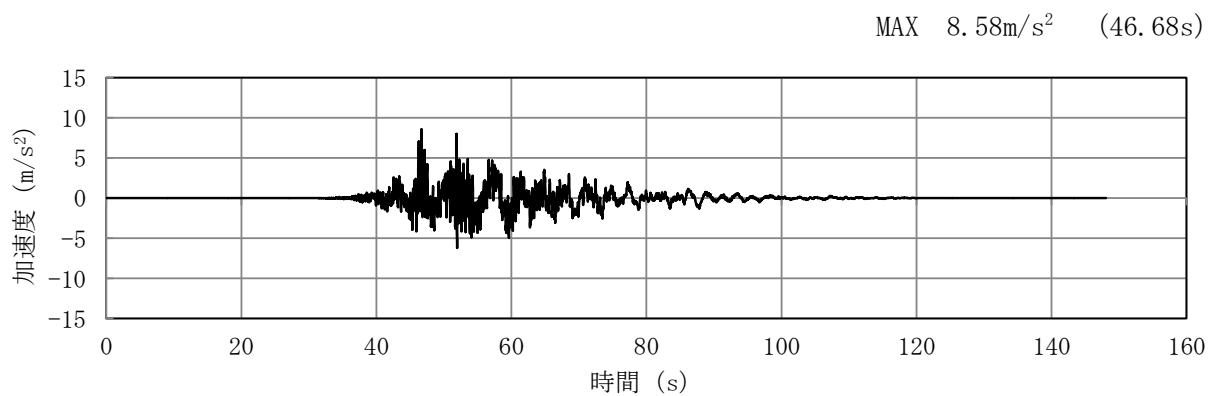


(a) 加速度時刻歴波形

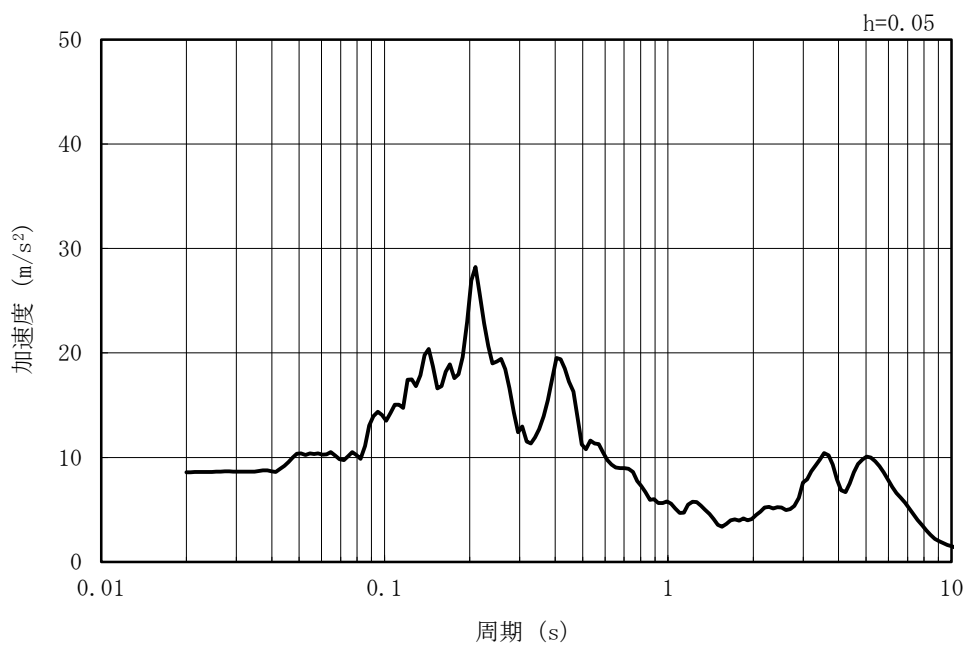


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

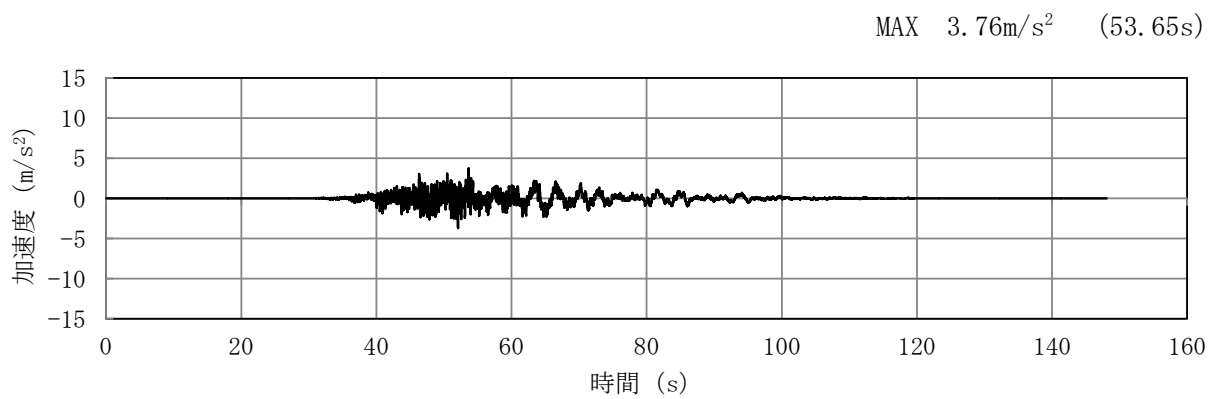


(a) 加速度時刻歴波形

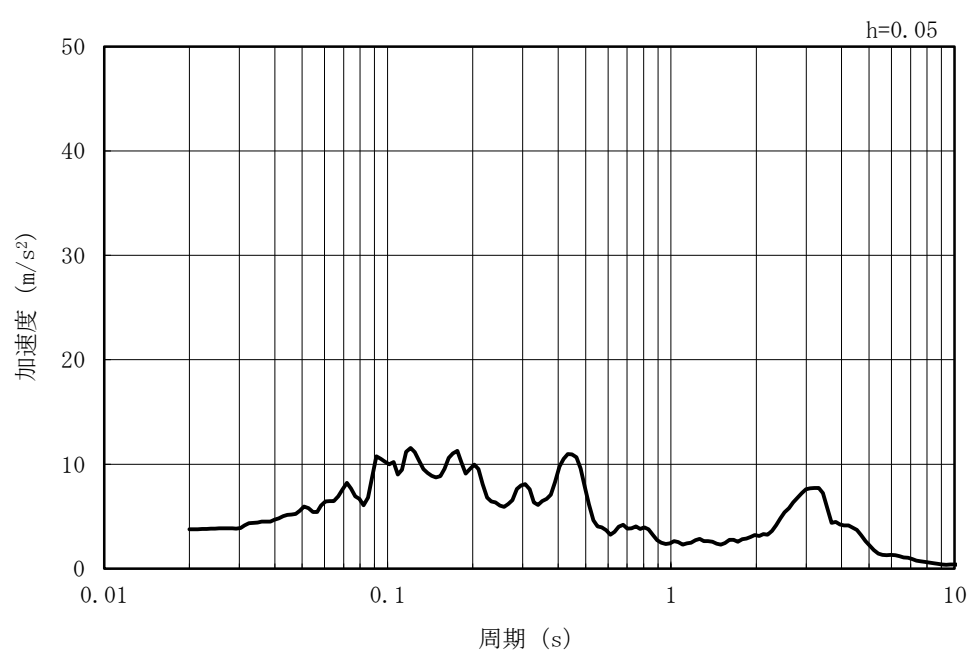


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

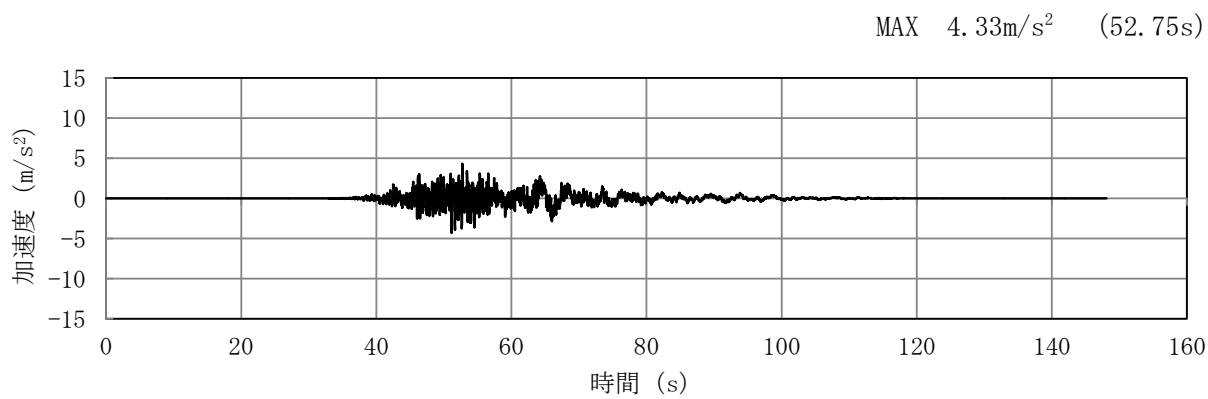


(a) 加速度時刻歴波形

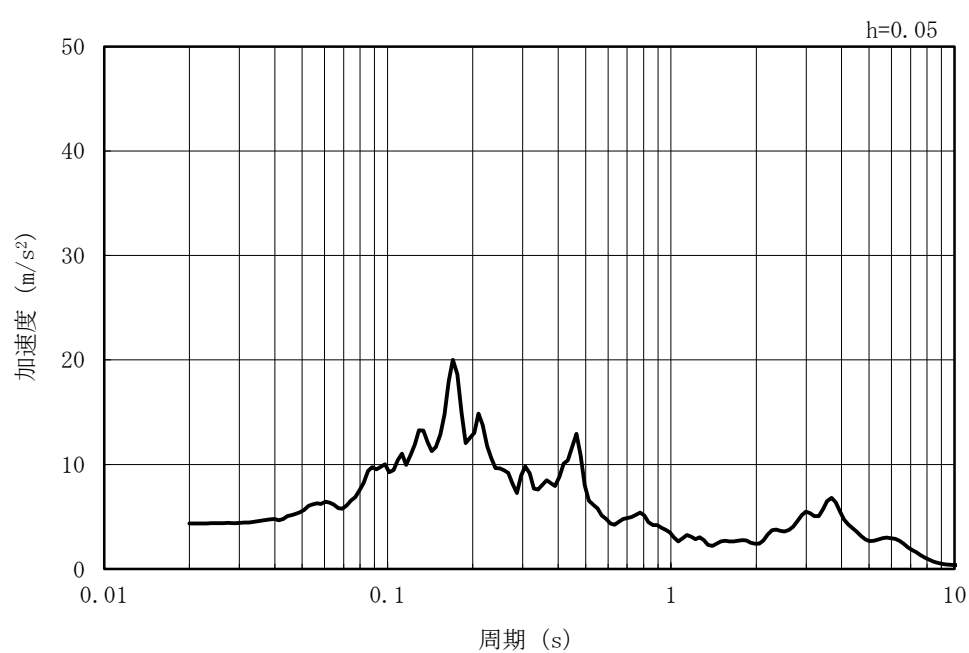


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

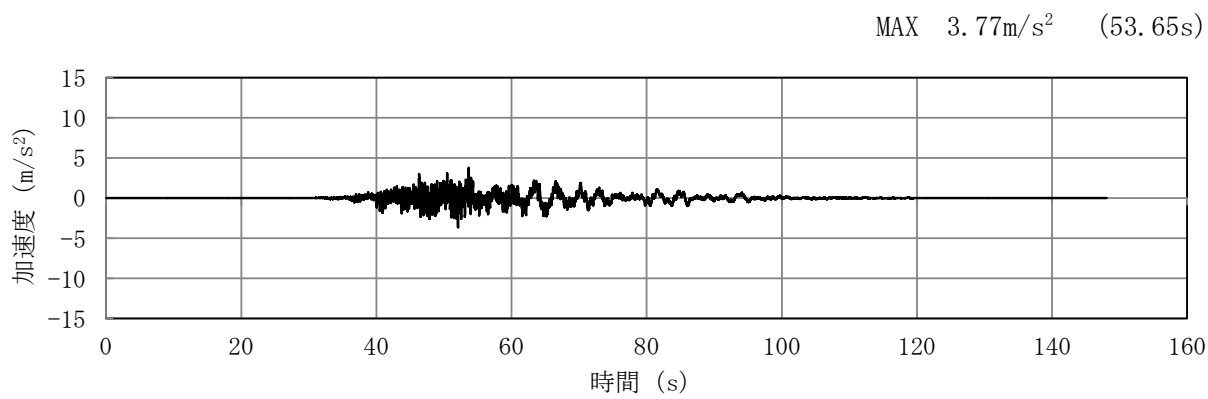


(a) 加速度時刻歴波形

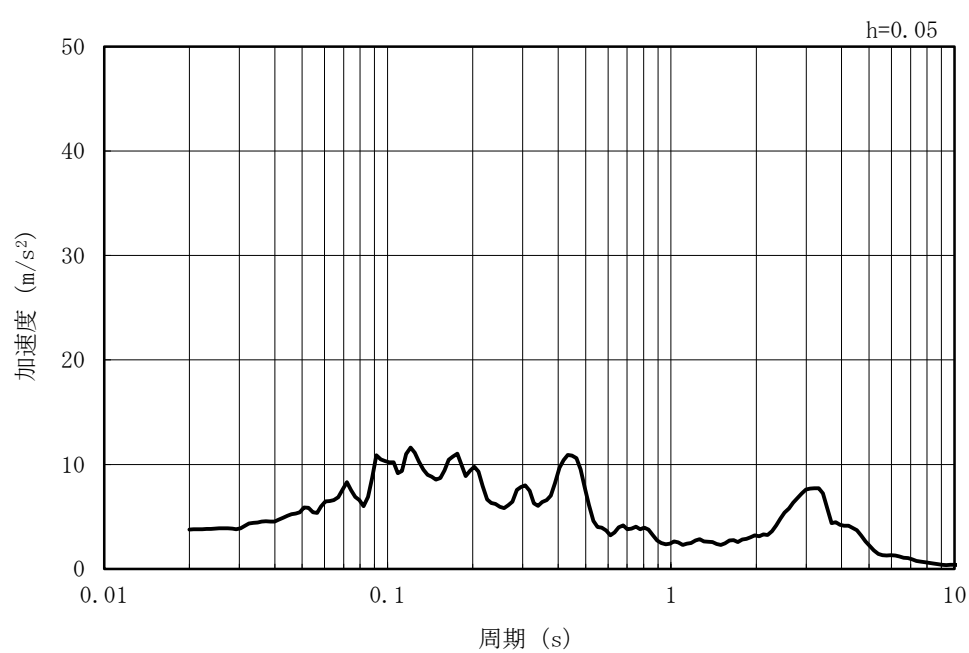


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

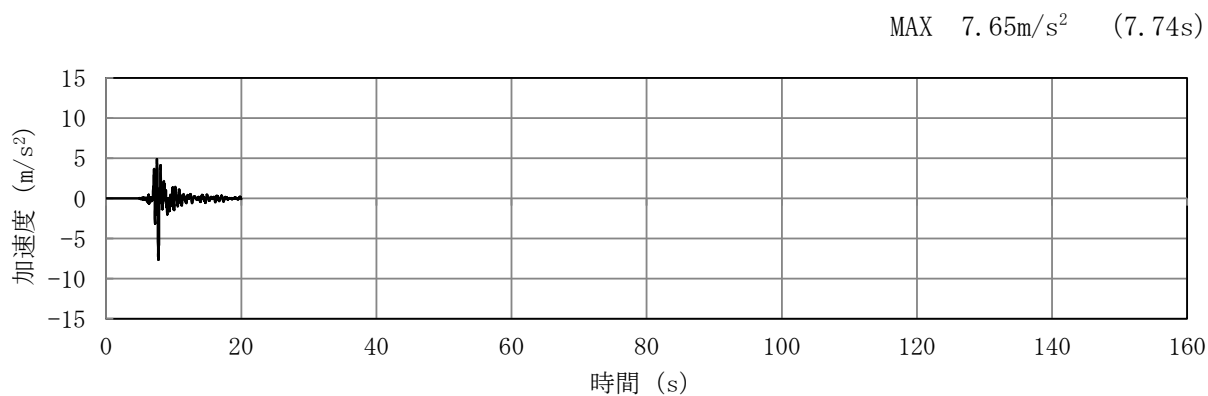


(a) 加速度時刻歴波形

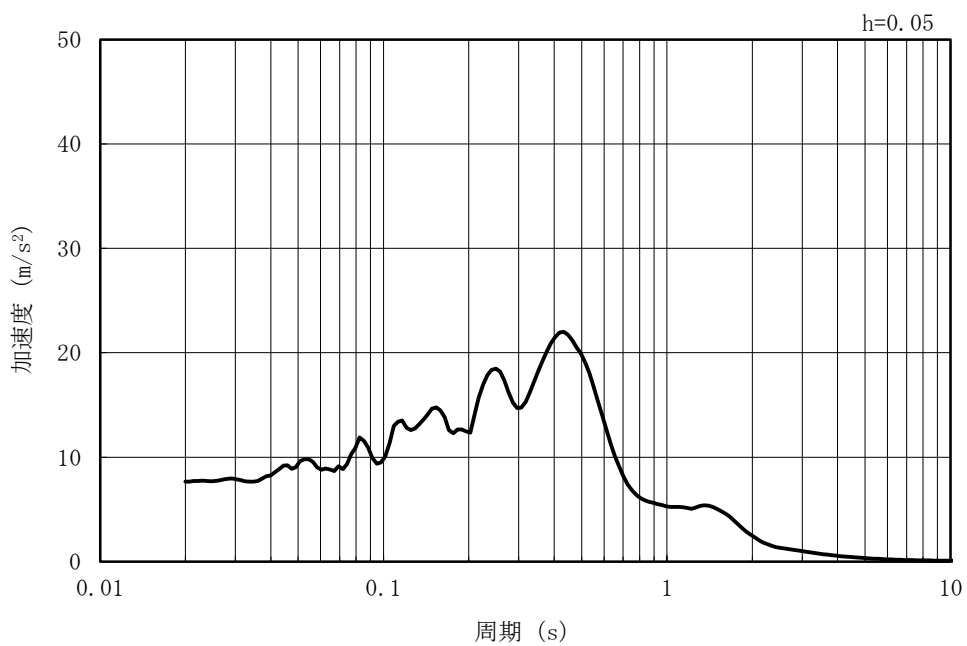


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

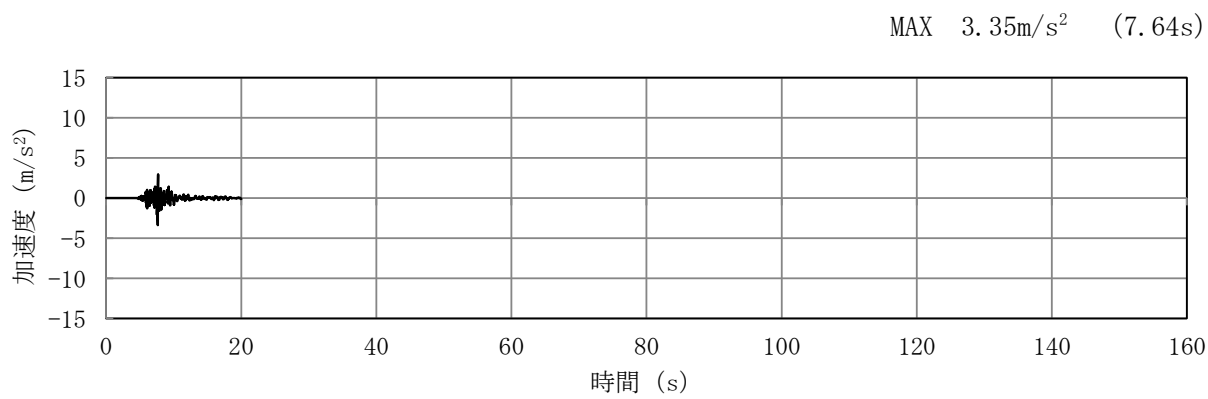


(a) 加速度時刻歴波形

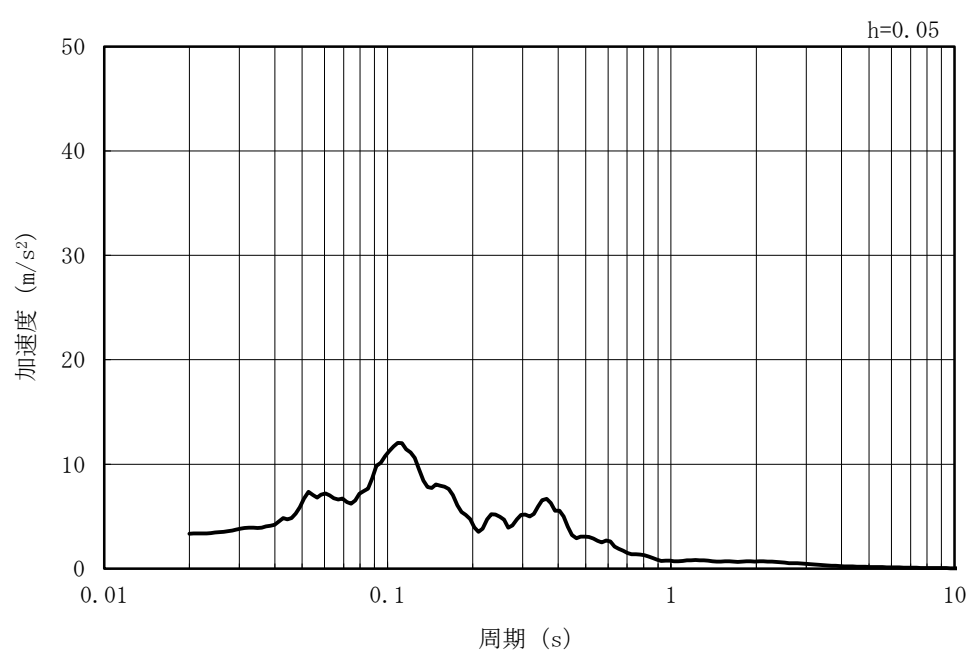


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

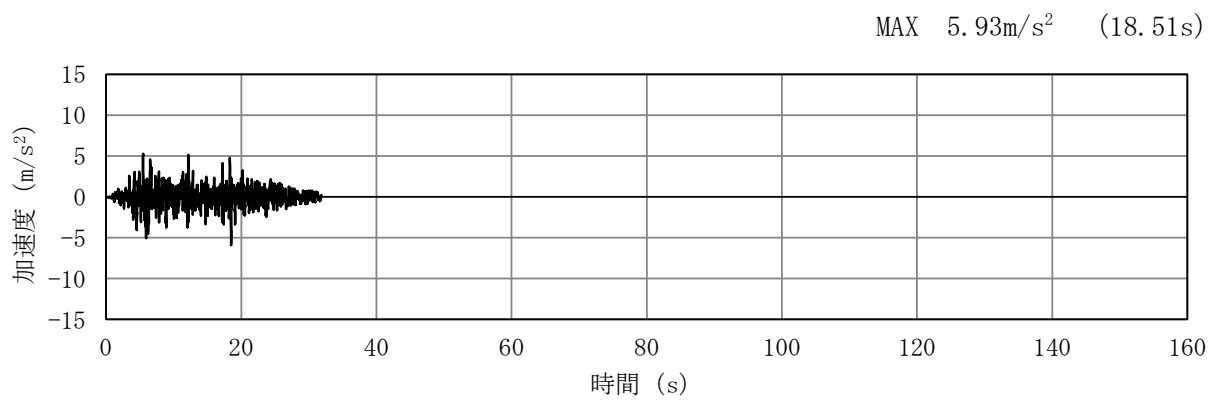


(a) 加速度時刻歴波形

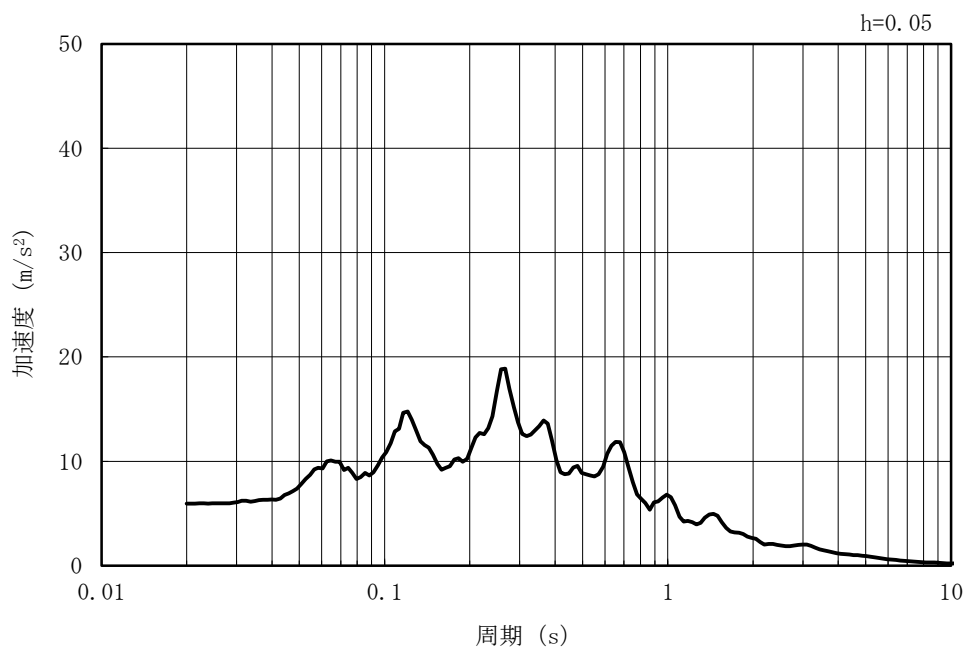


(b) 加速度応答スペクトル

図 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)

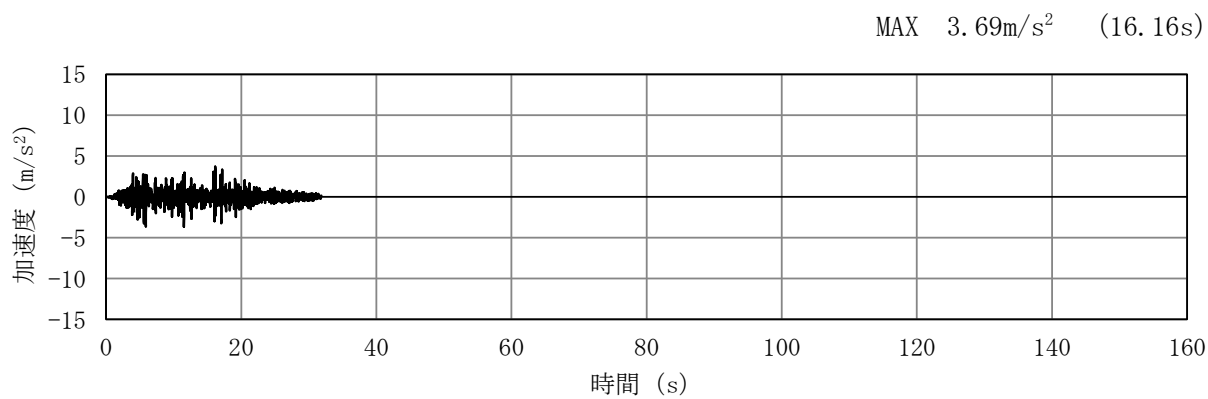


(a) 加速度時刻歴波形

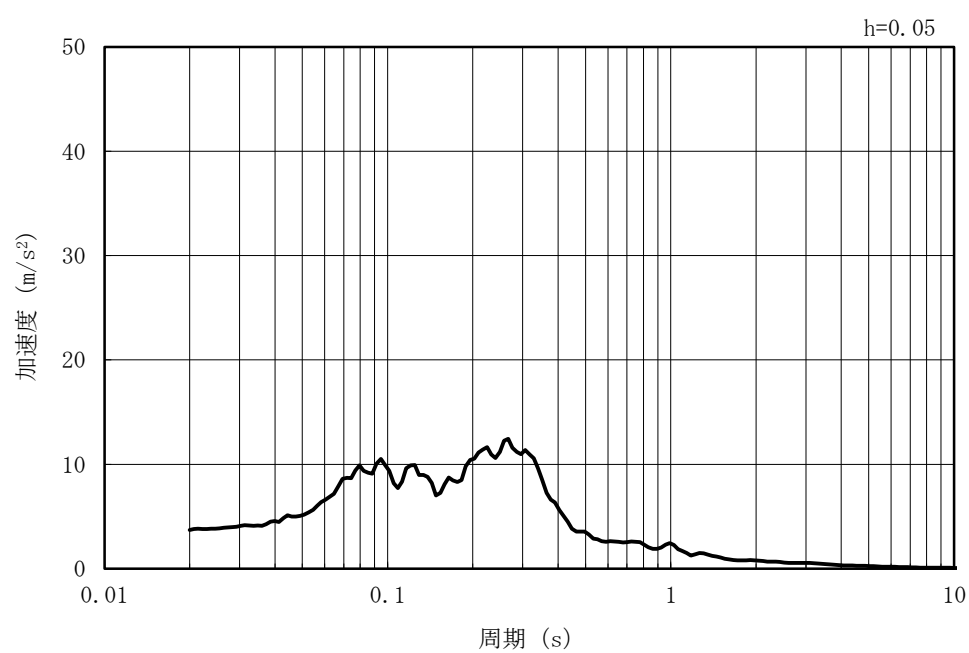


(b) 加速度応答スペクトル

図 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
(水平方向 : Sd-1)

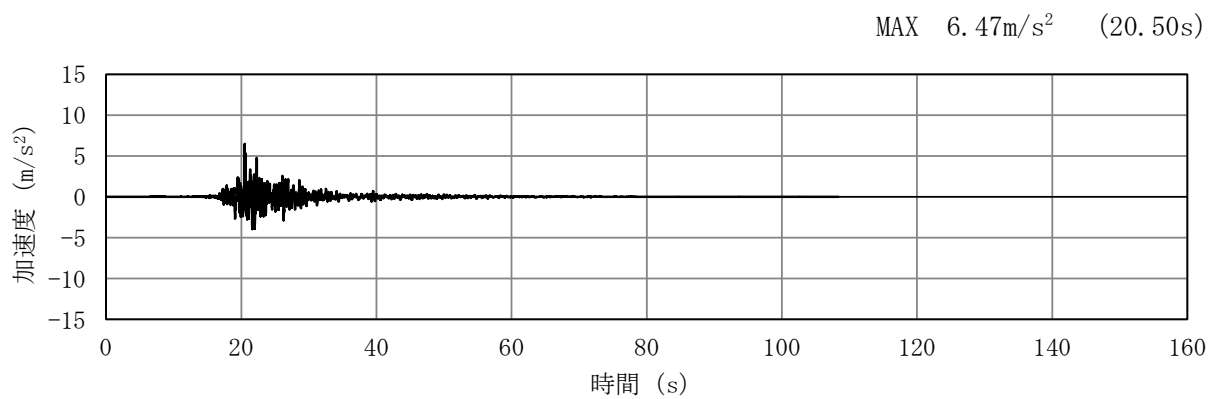


(a) 加速度時刻歴波形

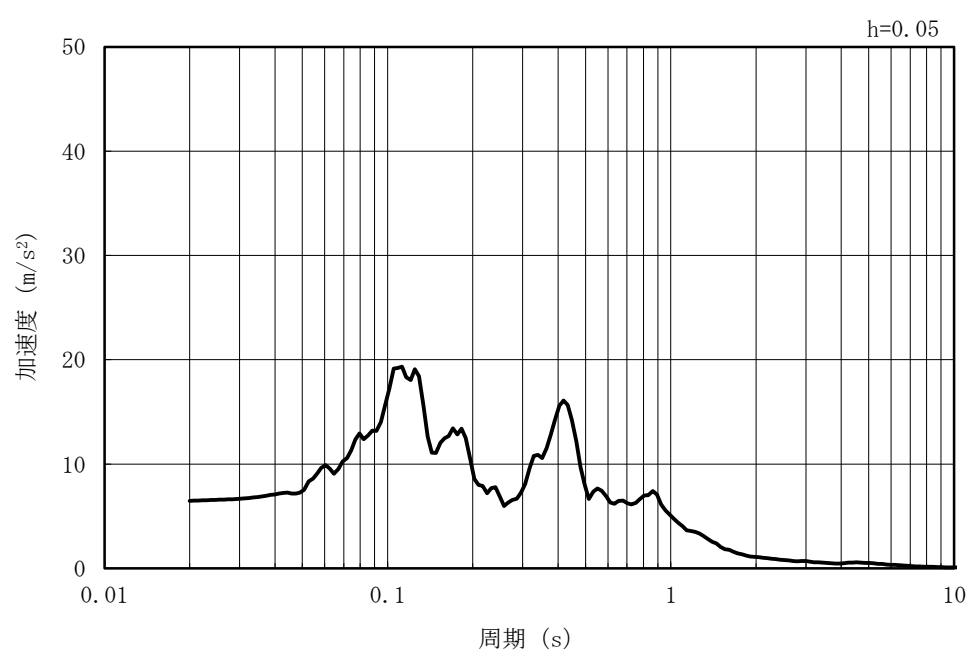


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直方向 : Sd-1)

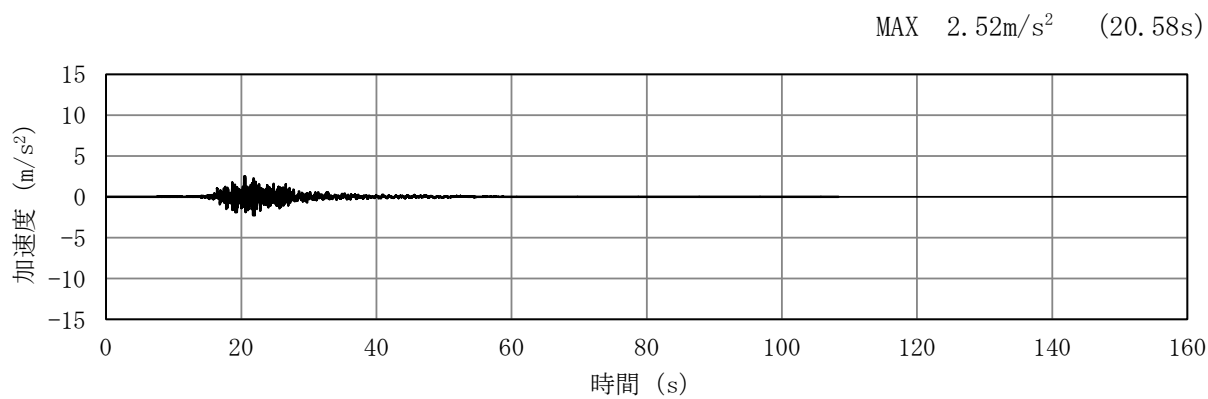


(a) 加速度時刻歴波形

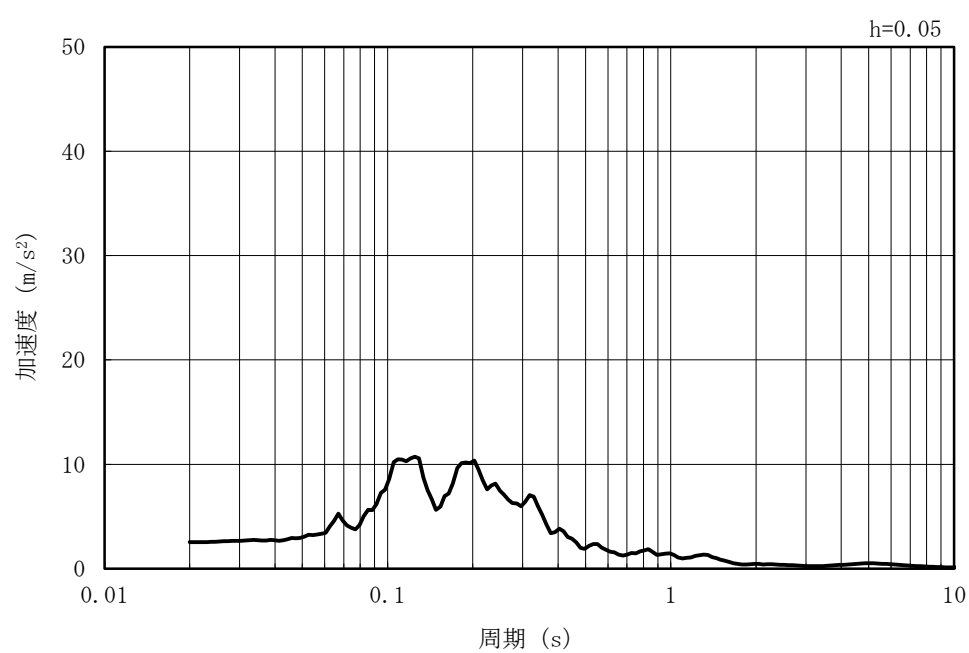


(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平方向 : Sd-2EW)

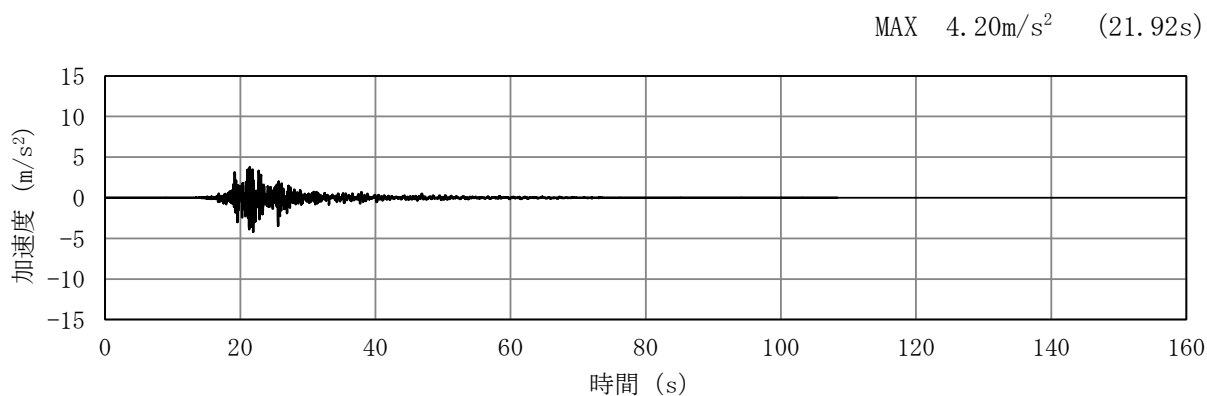


(a) 加速度時刻歴波形

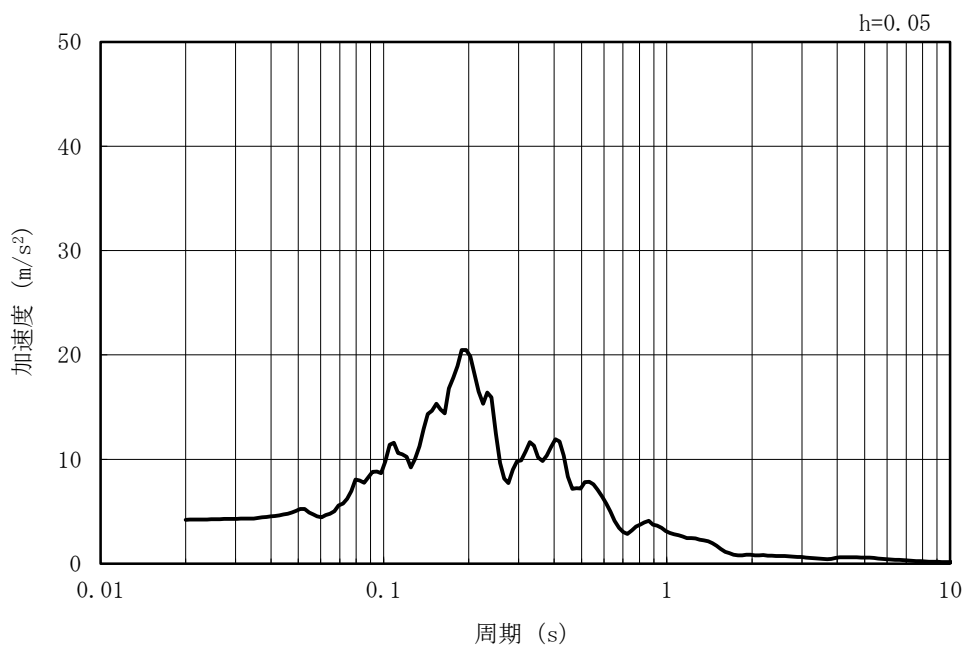


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直方向 : Sd-2EW)

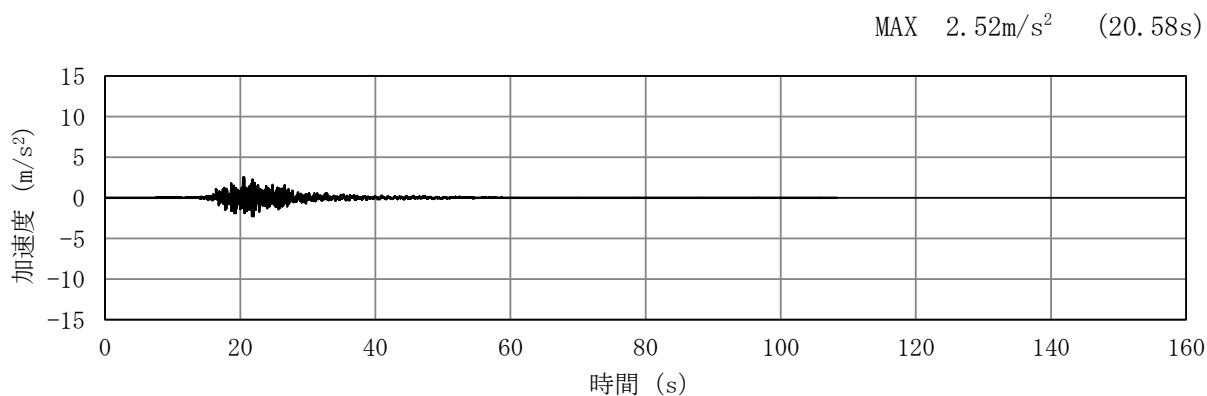


(a) 加速度時刻歴波形

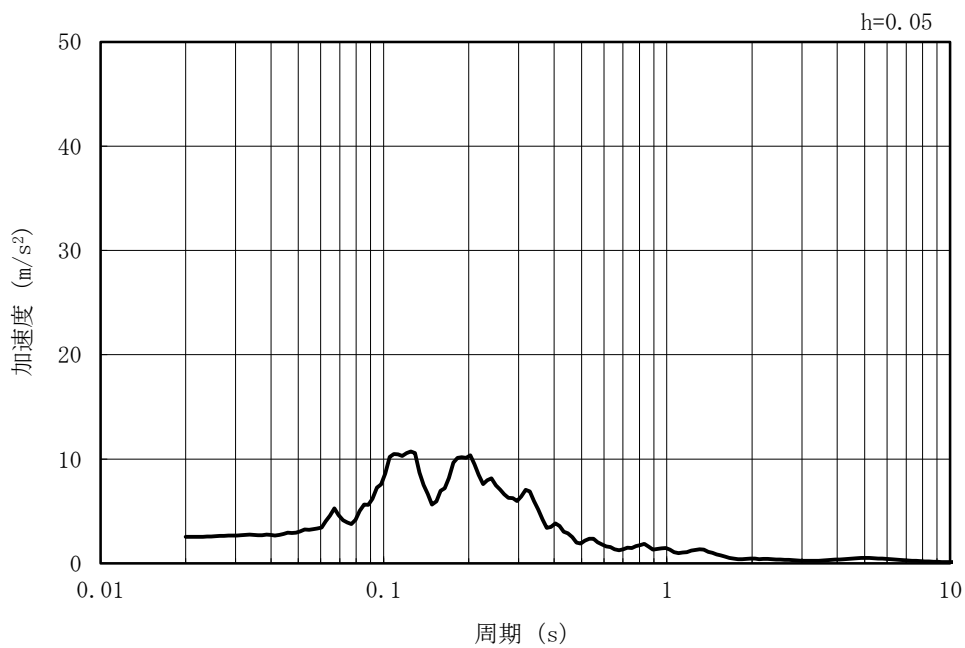


(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平方向 : Sd-2NS)

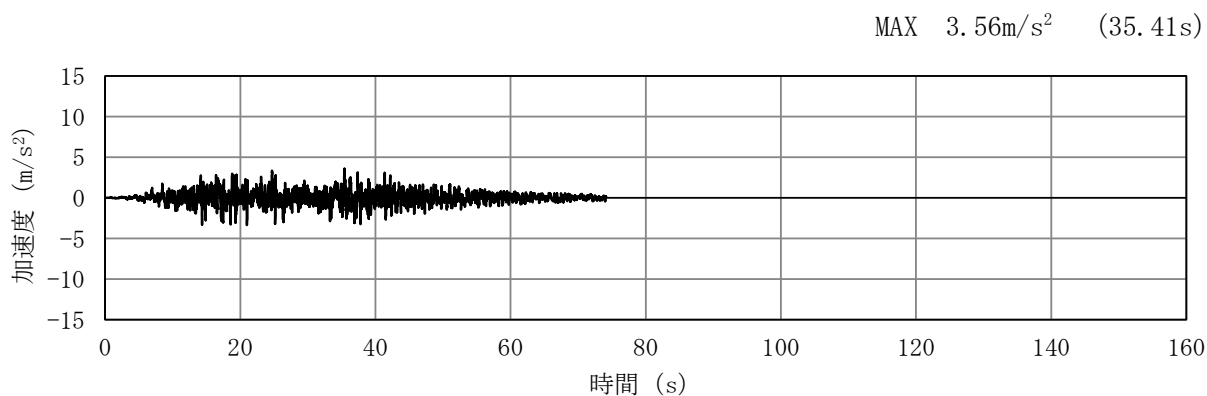


(a) 加速度時刻歴波形

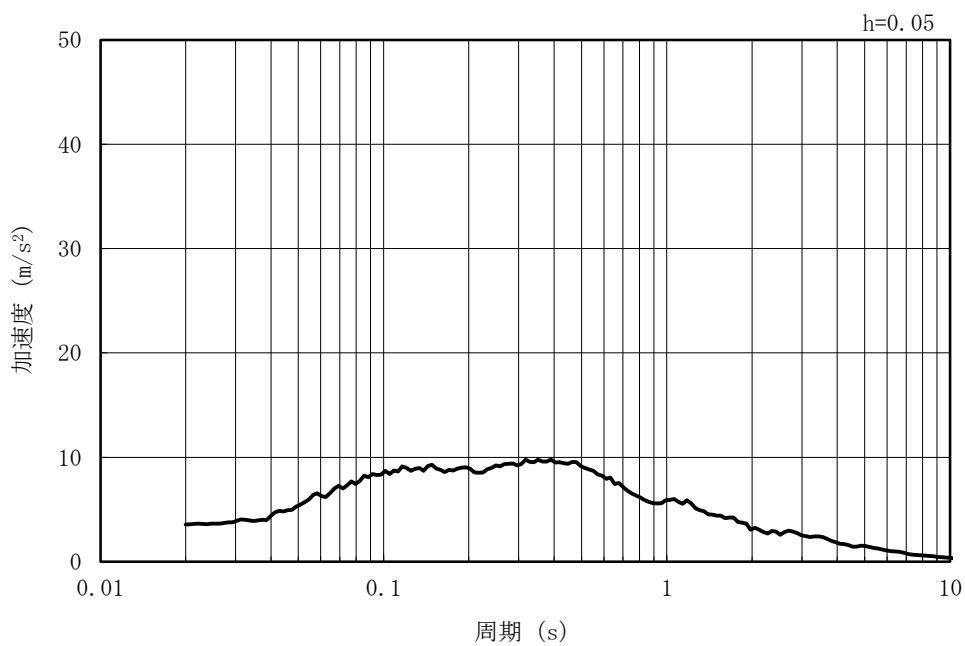


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直方向 : Sd-2NS)

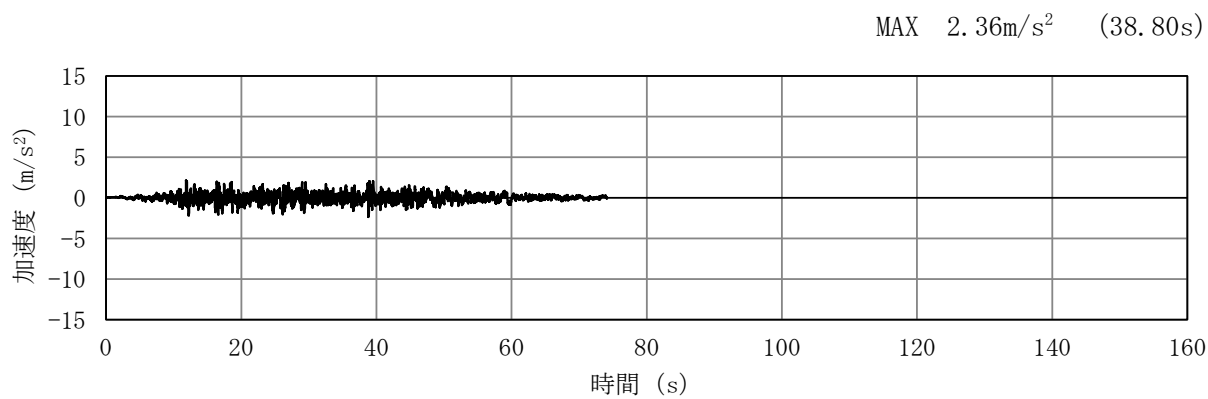


(a) 加速度時刻歴波形

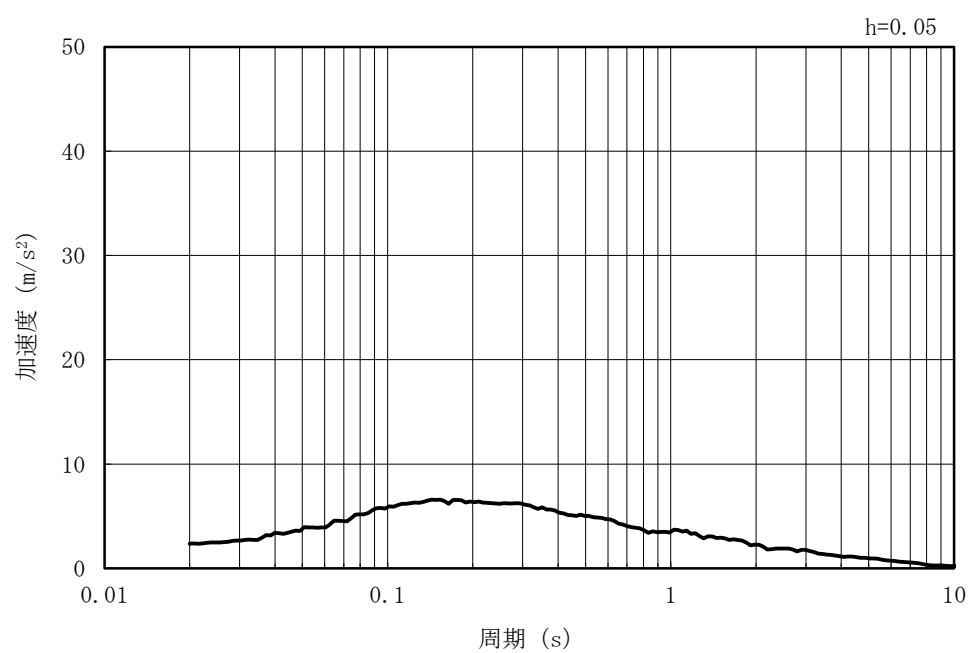


(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平方向 : Sd-3)

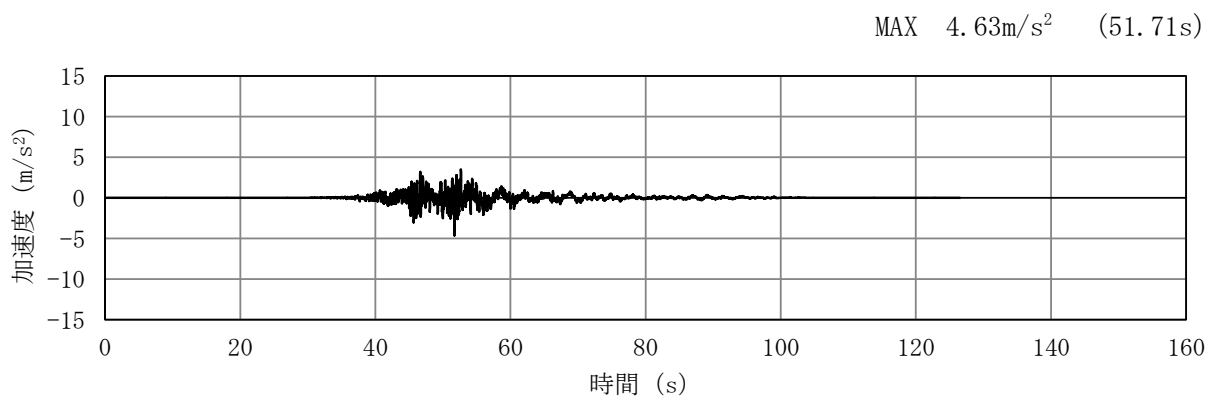


(a) 加速度時刻歴波形

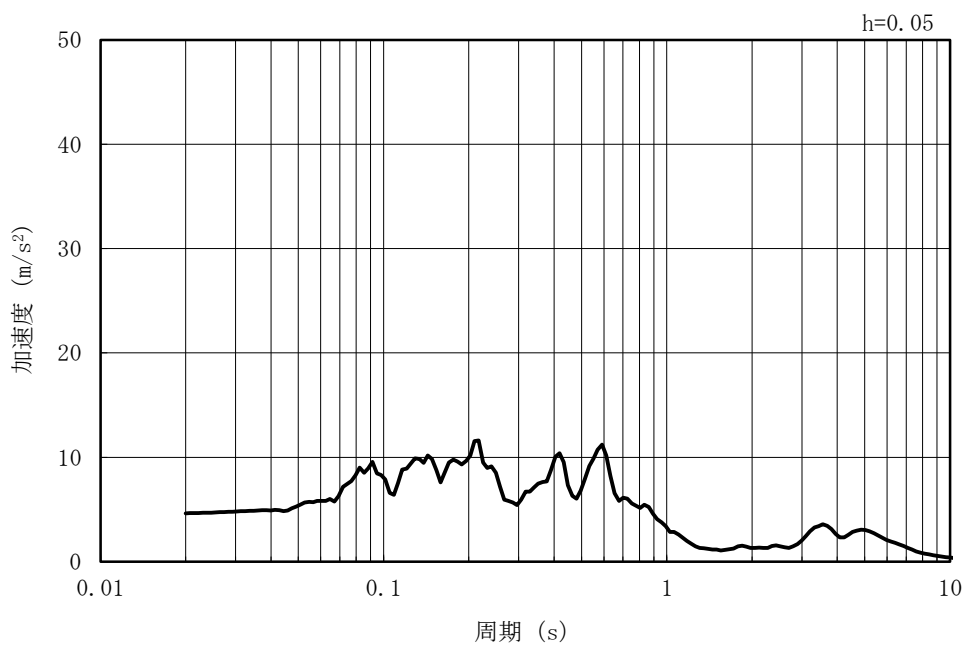


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直方向 : Sd-3)

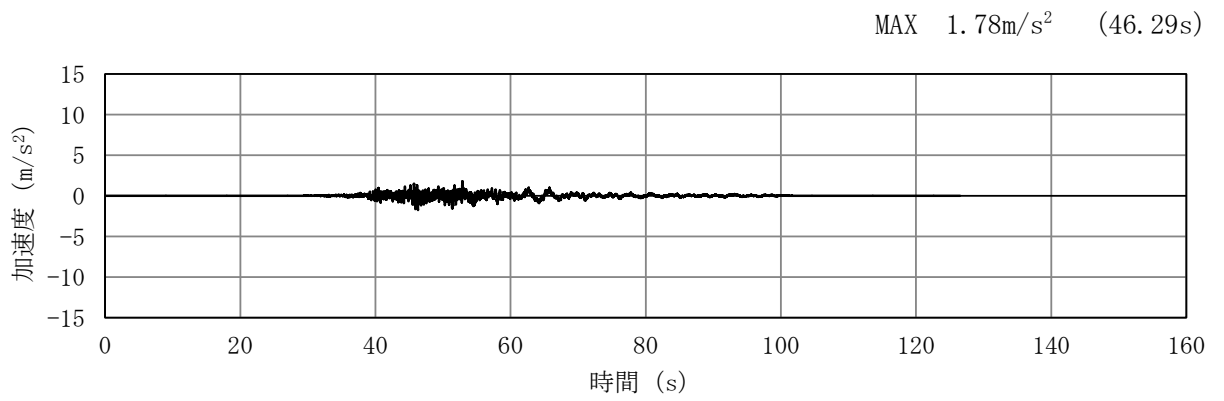


(a) 加加速度時刻歴波形

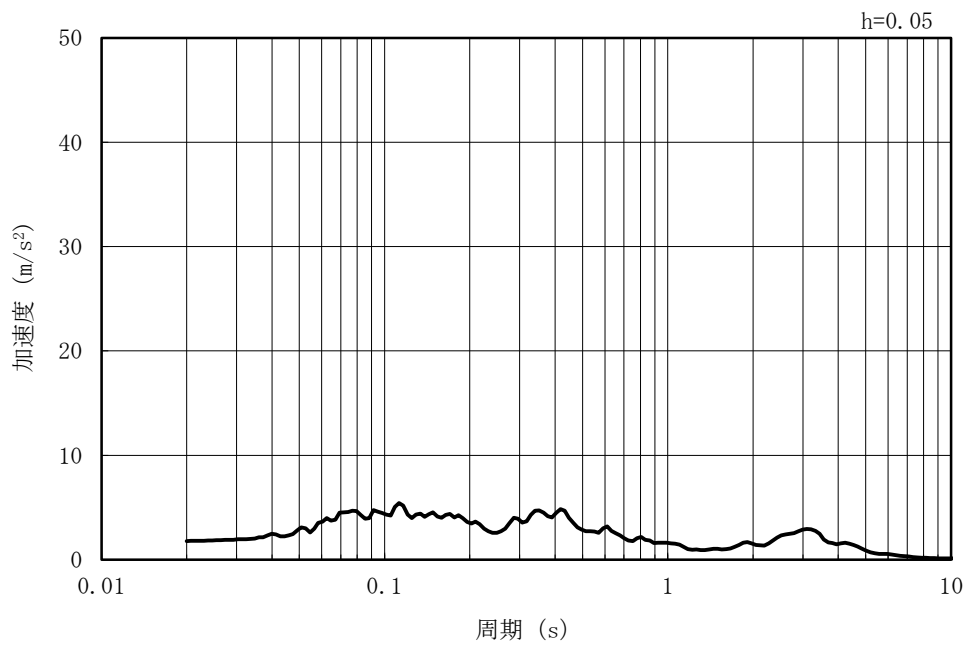


(b) 加加速度応答スペクトル

図 4-36 入力地震動の加加速度時刻歴波形及び加加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd=4EW)

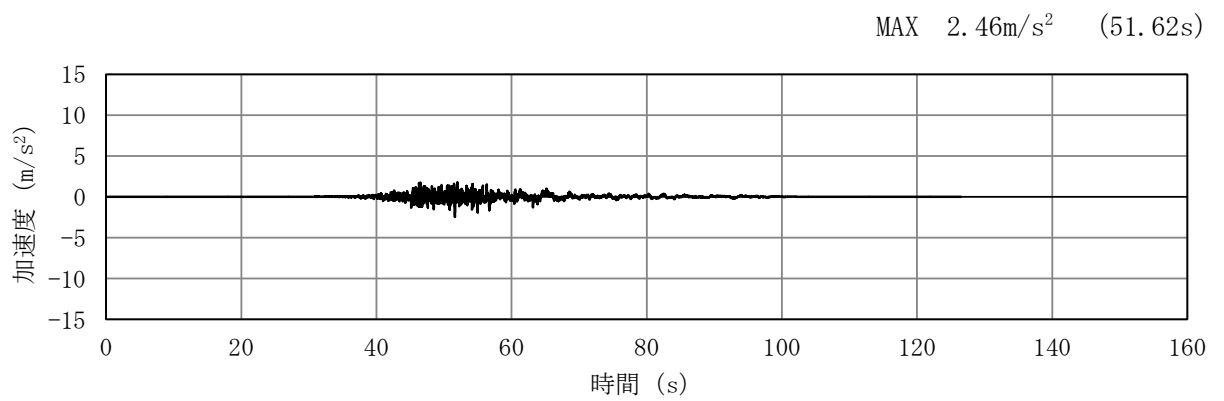


(a) 加加速度時刻歴波形

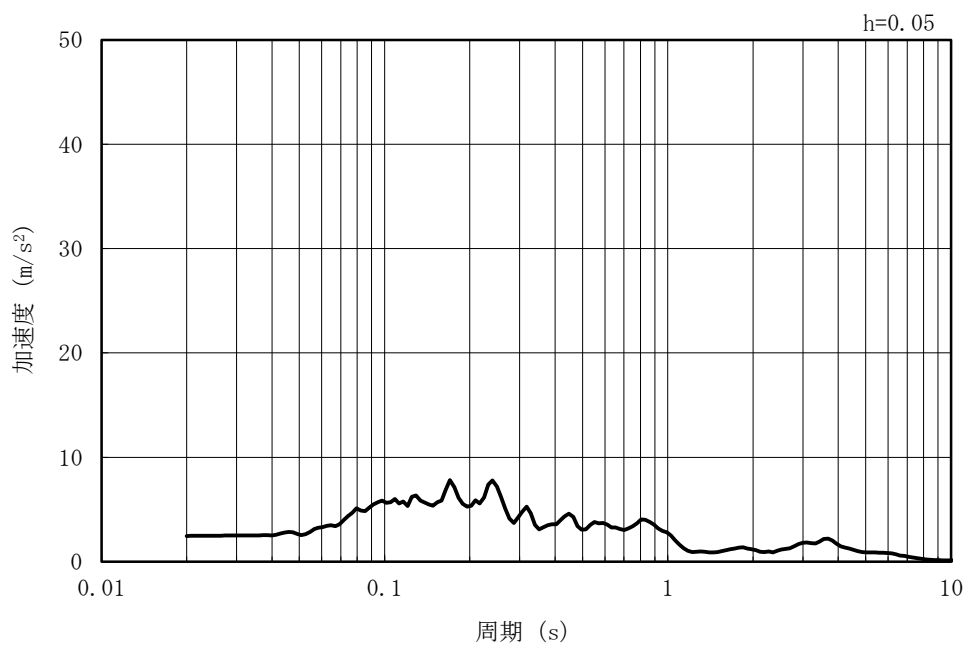


(b) 加加速度応答スペクトル

図 4-37 入力地震動の加加速度時刻歴波形及び加加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd=4EW)

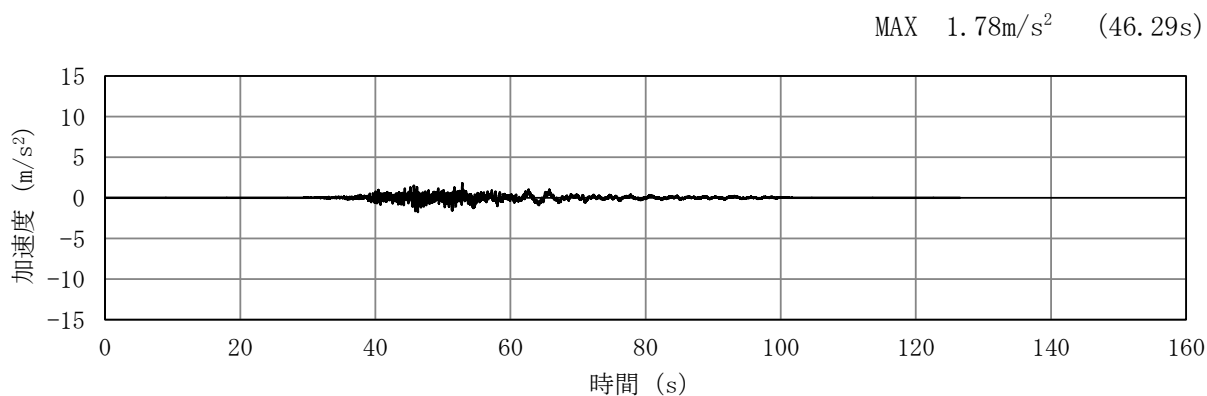


(a) 加速度時刻歴波形

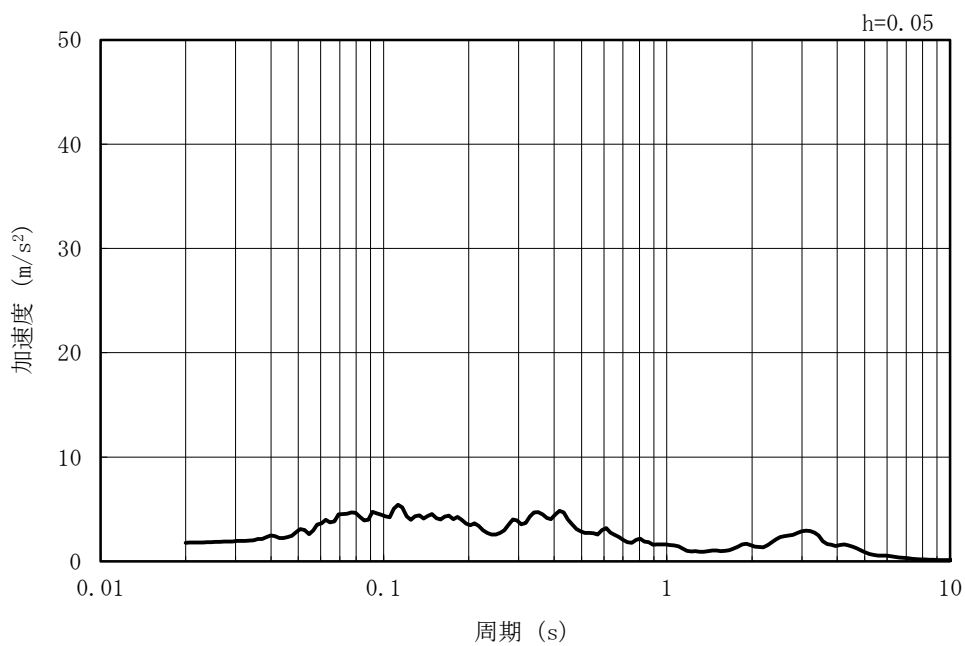


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-38 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd=4NS)

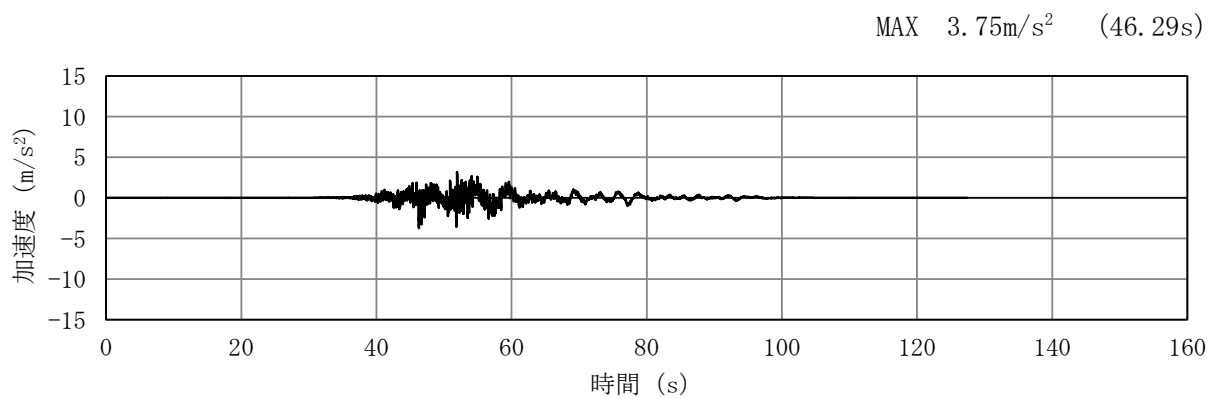


(a) 加速度時刻歴波形

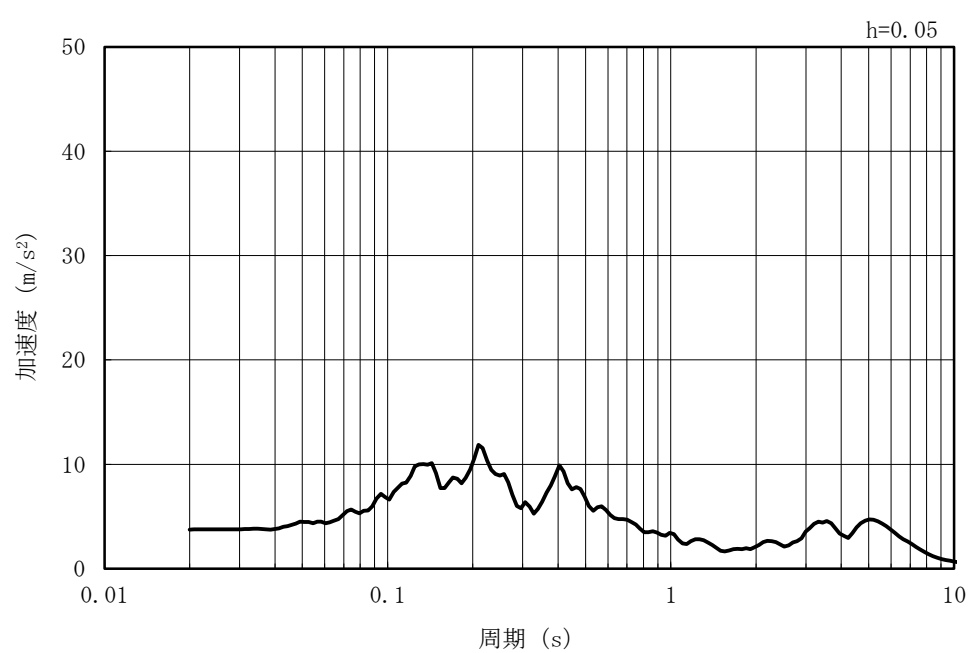


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-39 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd=4NS)

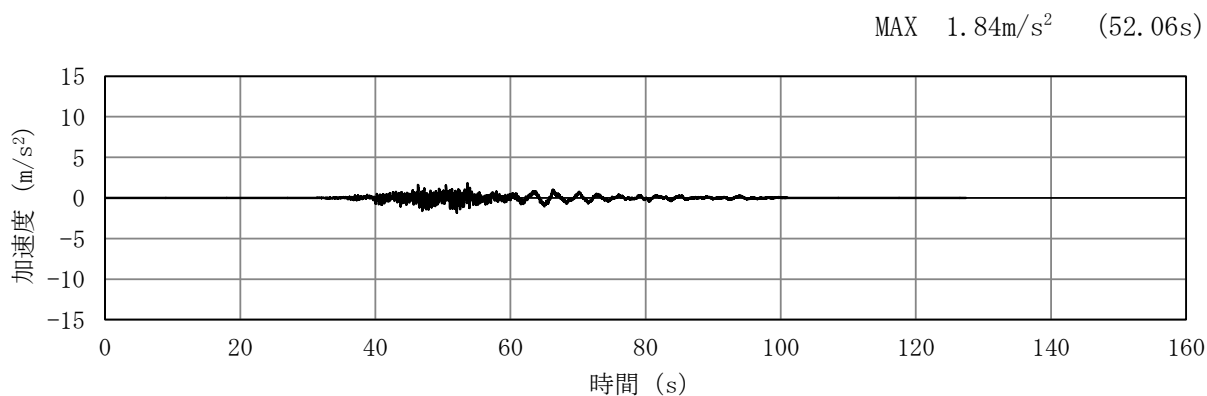


(a) 加速度時刻歴波形

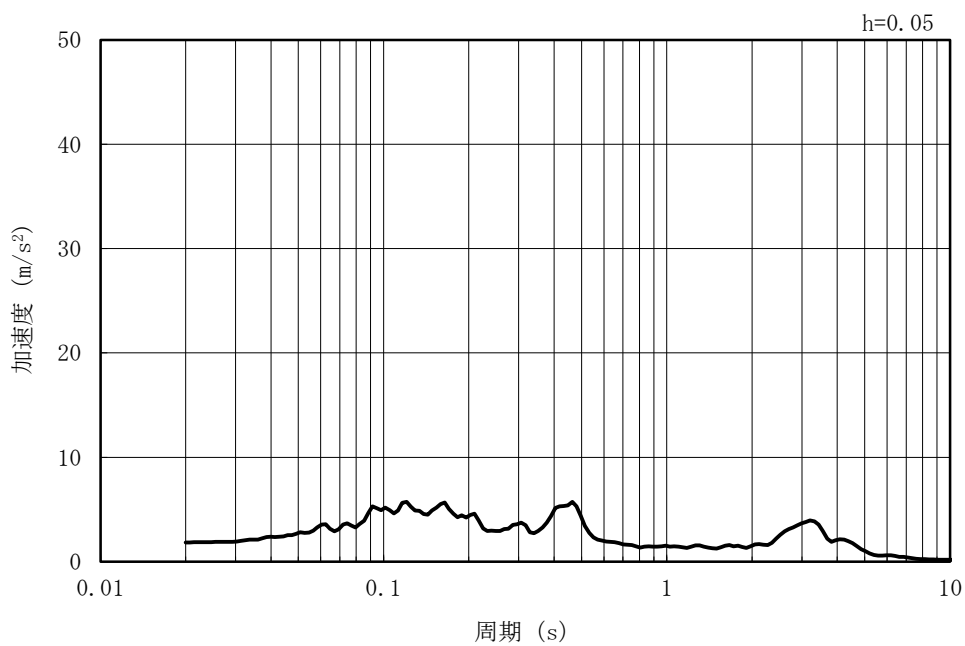


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-40 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-5EW)

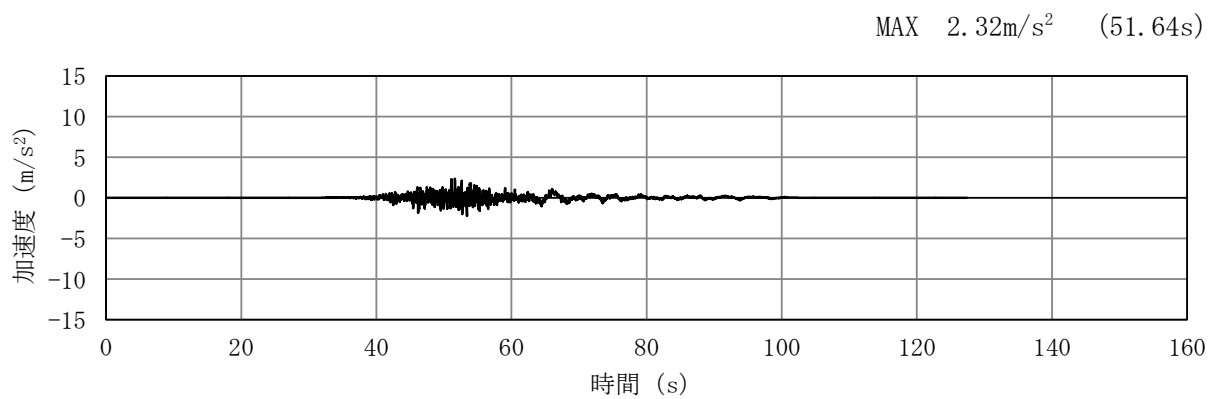


(a) 加速度時刻歴波形

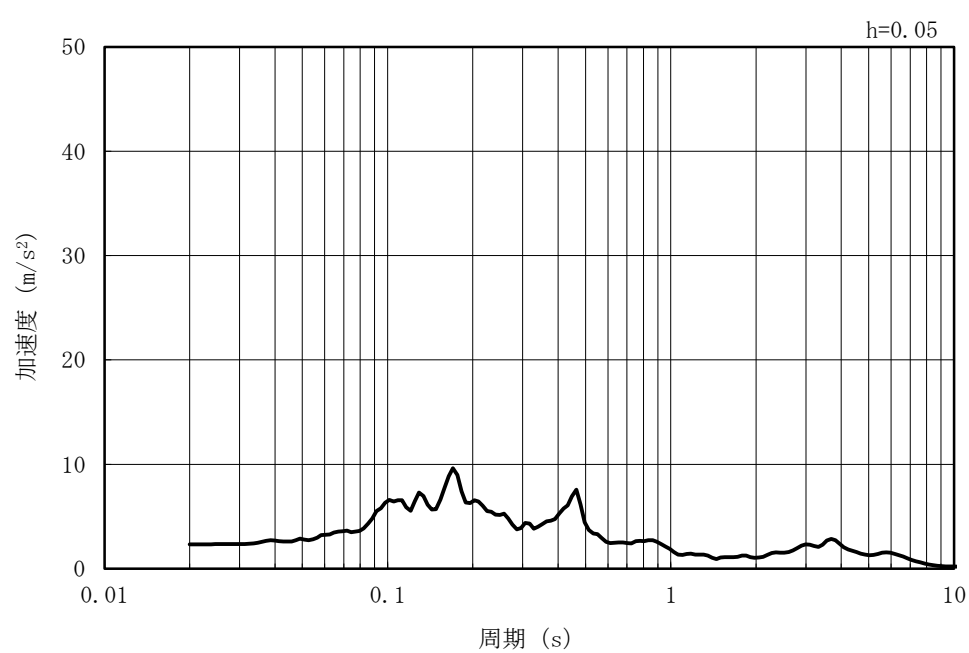


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-41 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-5EW)

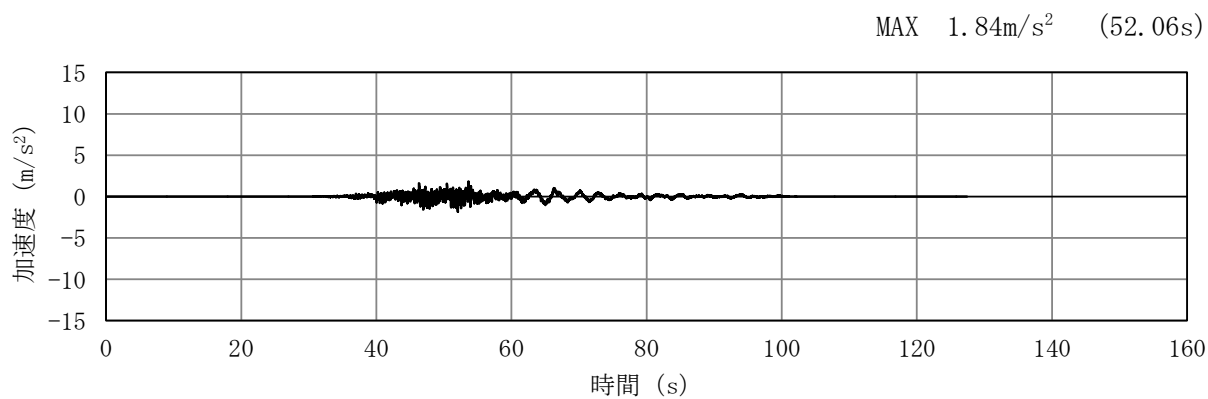


(a) 加速度時刻歴波形

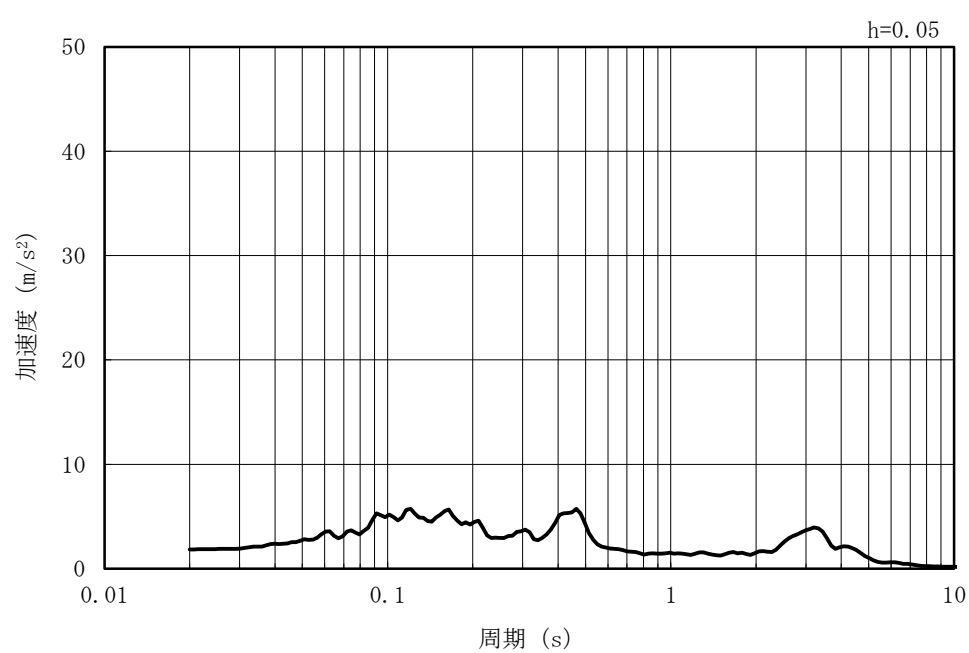


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-42 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-5NS)

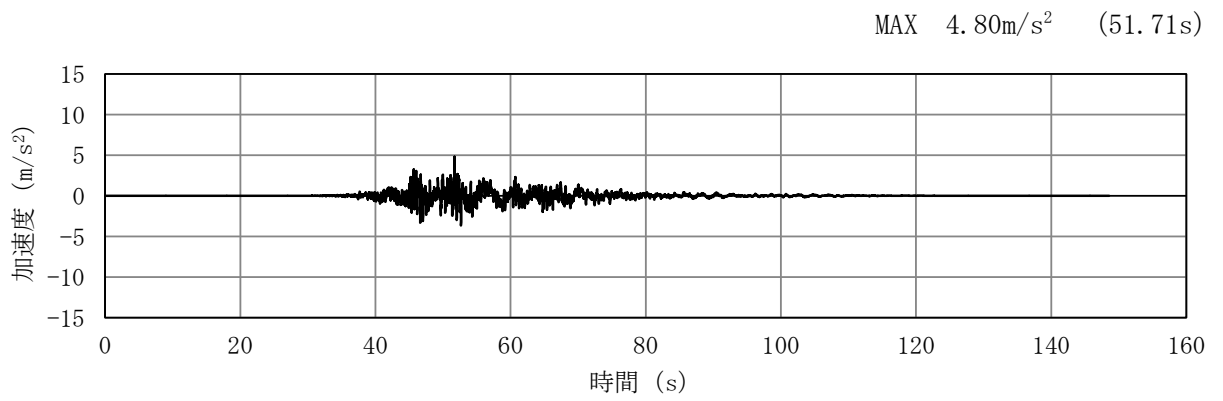


(a) 加速度時刻歴波形

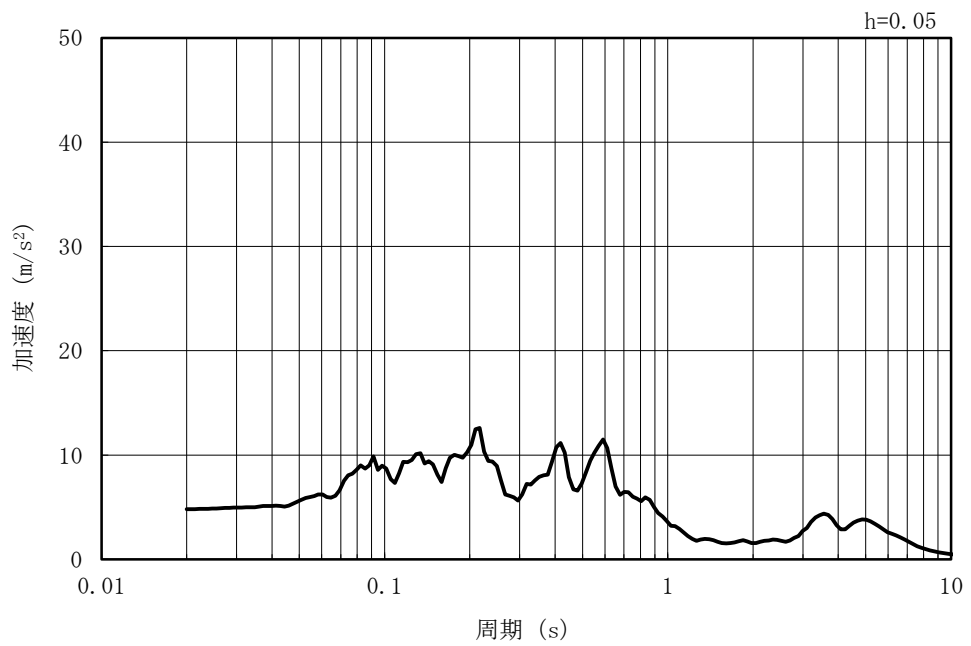


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-43 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd=5NS)

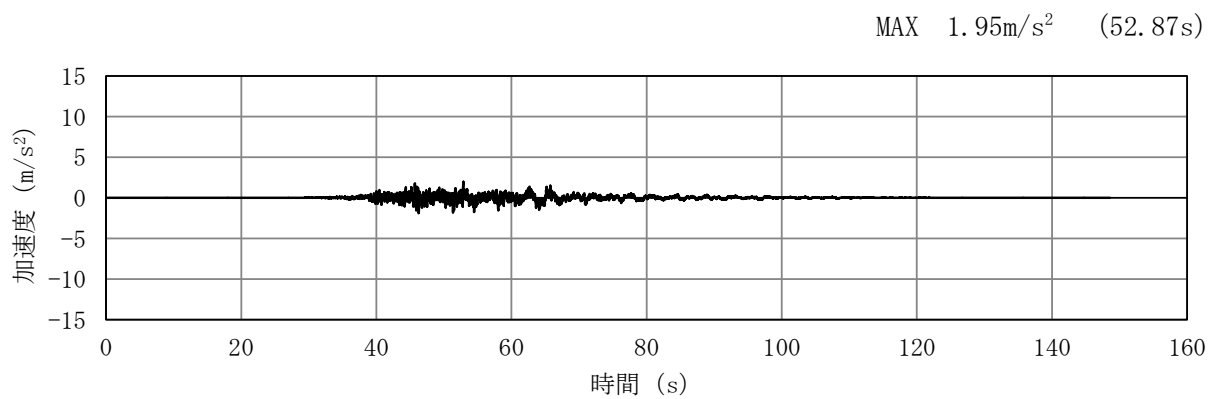


(a) 加速度時刻歴波形

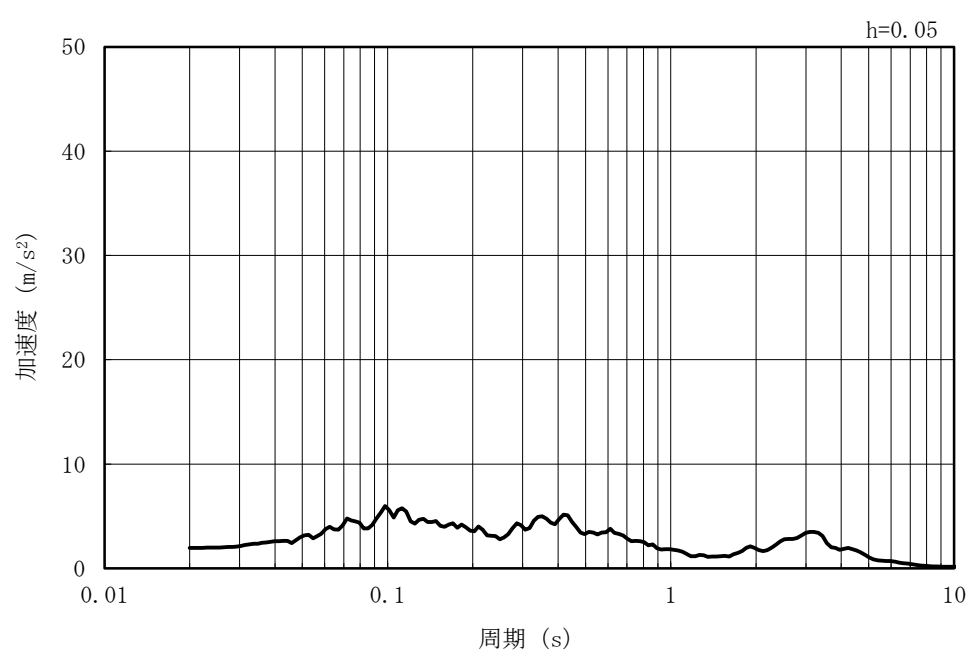


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-44 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-6EW)

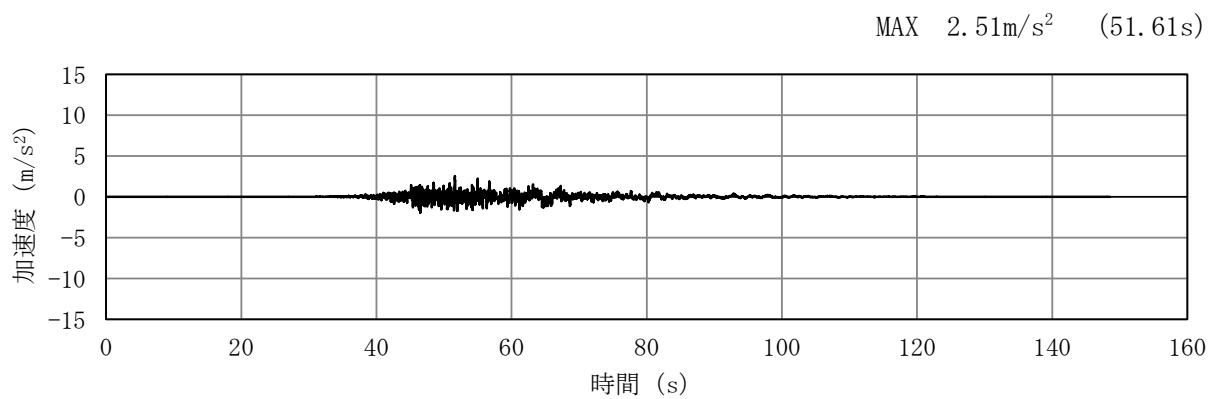


(a) 加速度時刻歴波形

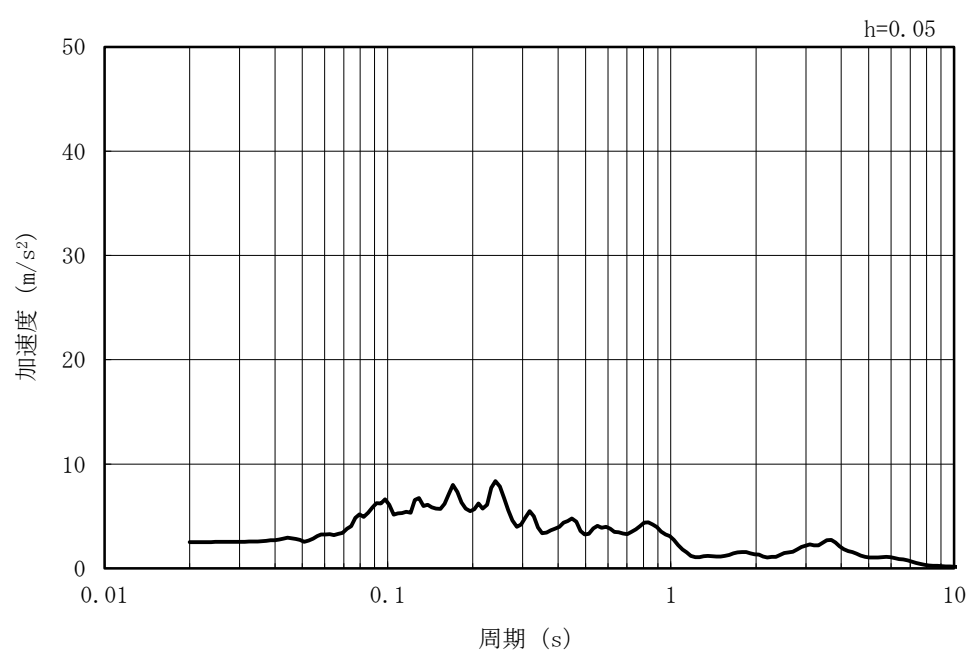


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-45 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-6EW)

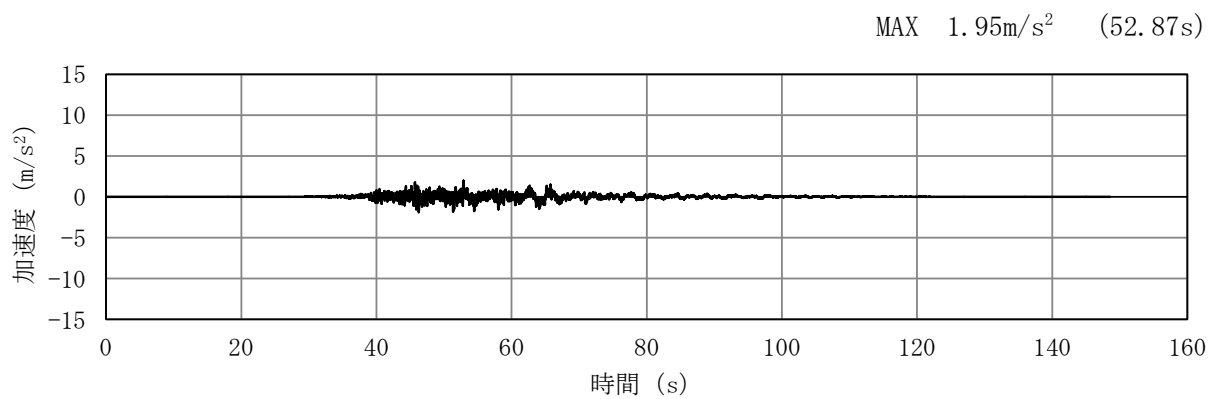


(a) 加速度時刻歴波形

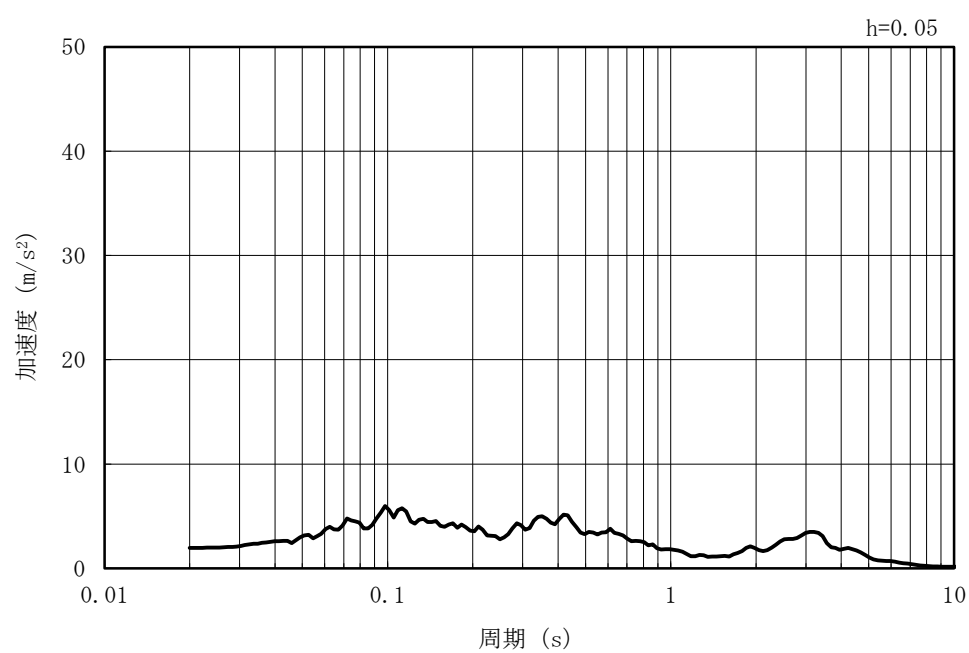


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-46 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-6NS)

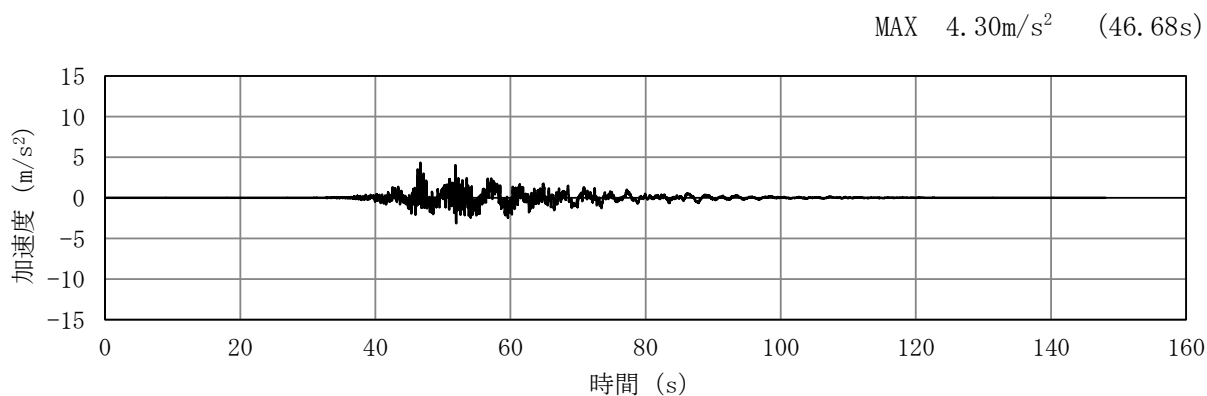


(a) 加速度時刻歴波形

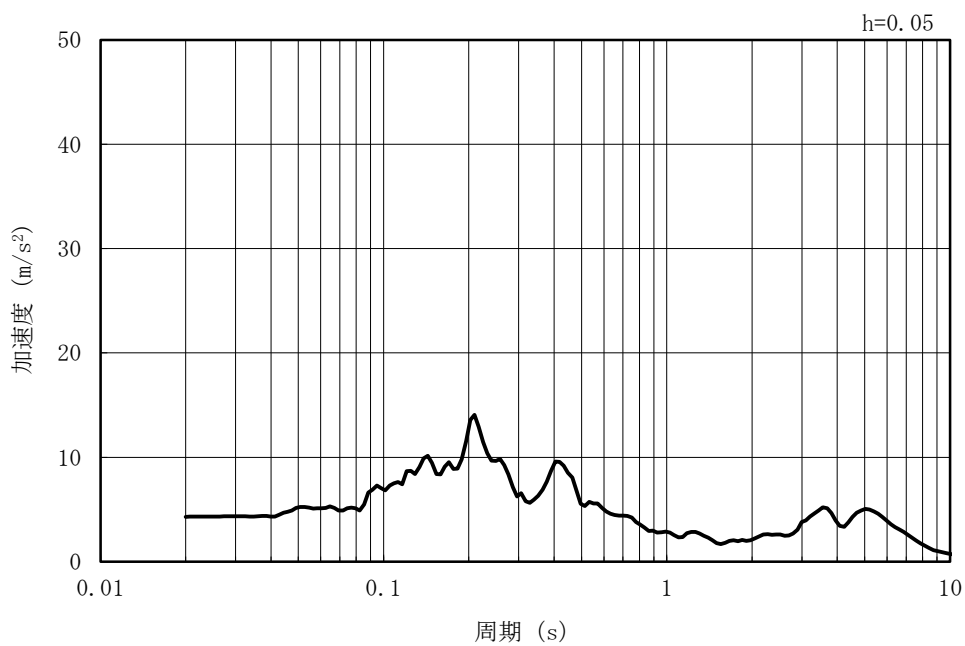


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-47 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-6NS)

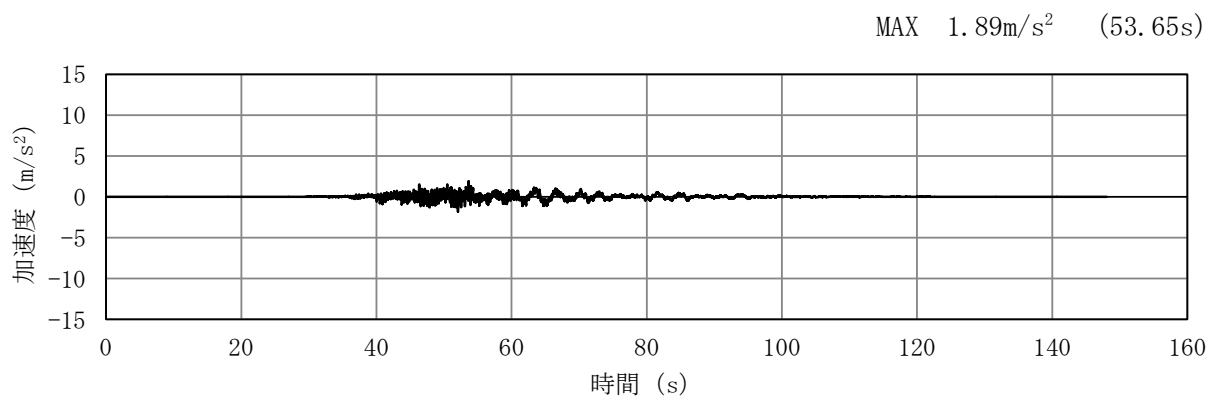


(a) 加速度時刻歴波形

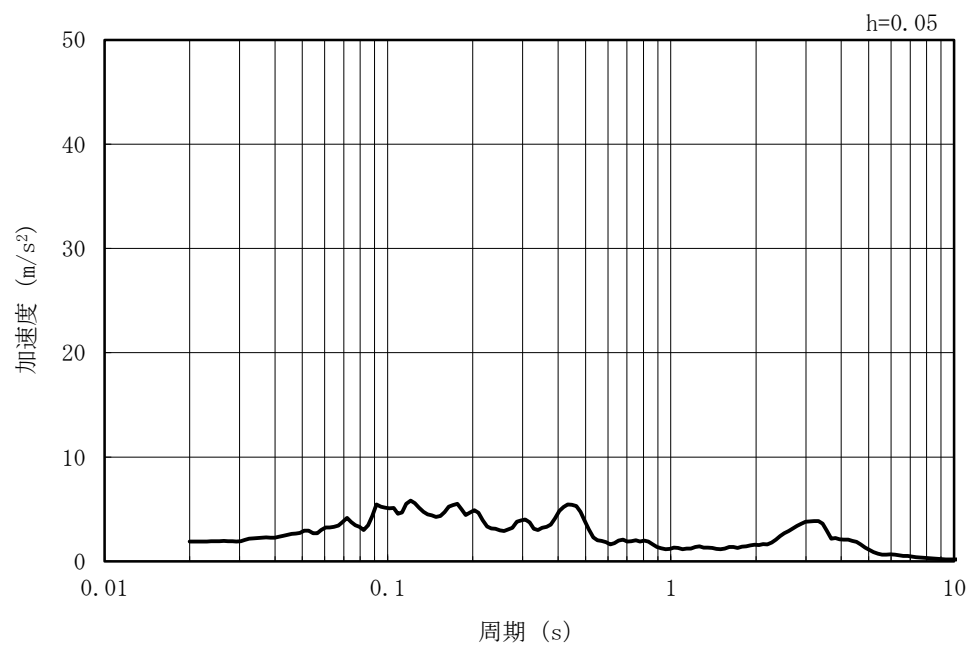


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-48 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-7EW)

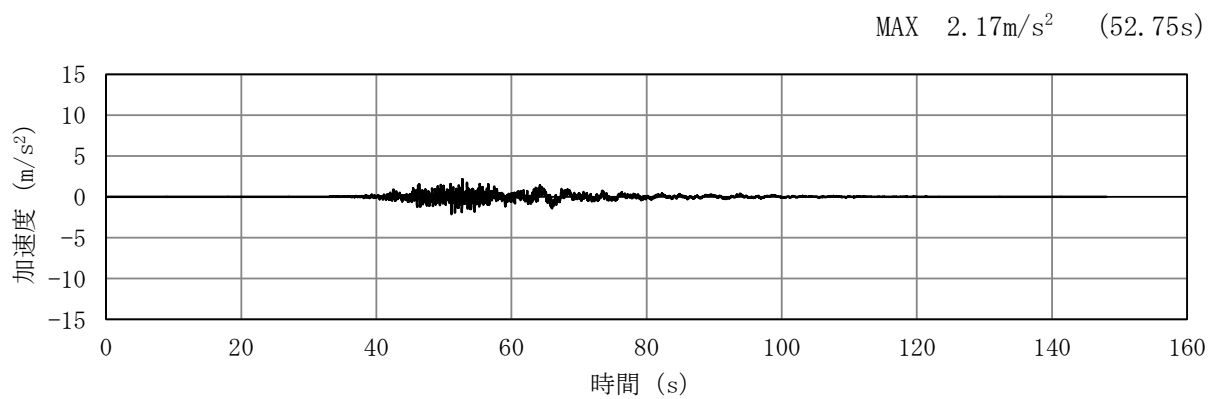


(a) 加速度時刻歴波形

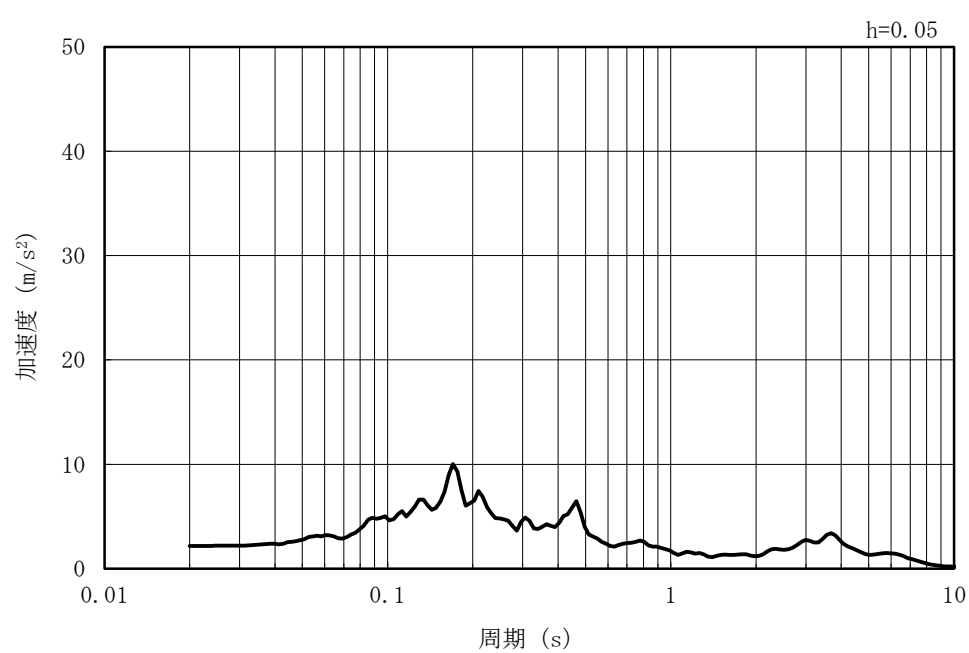


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-49 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-7EW)

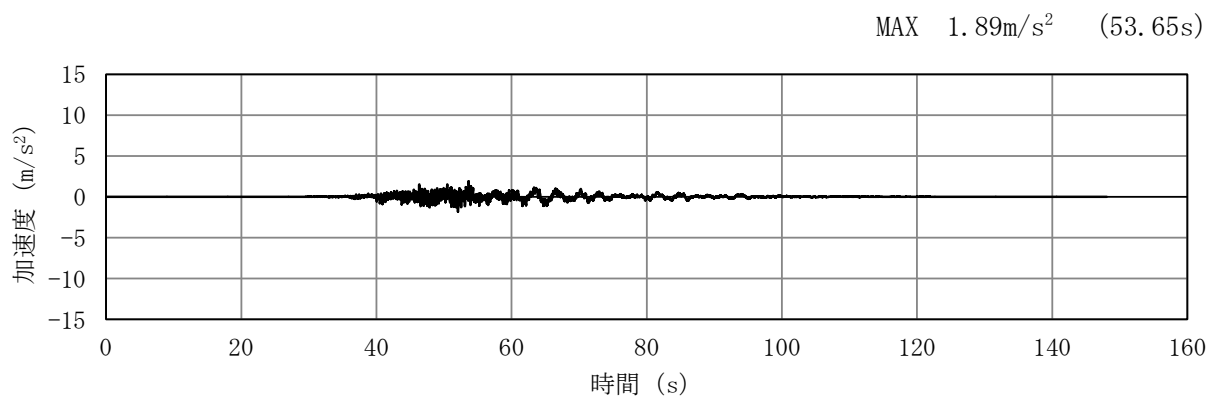


(a) 加速度時刻歴波形

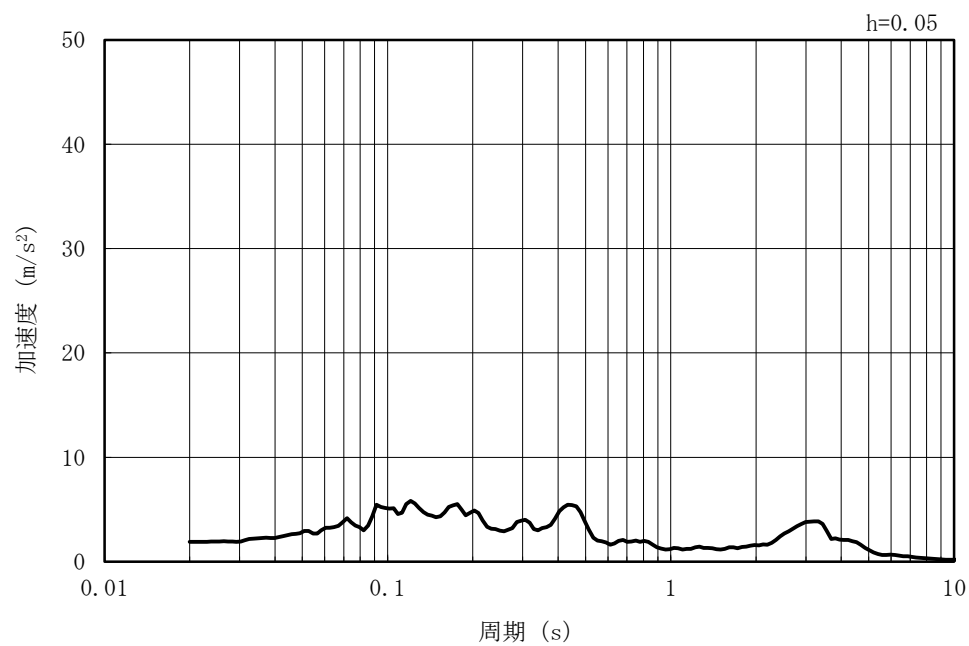


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-50 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-7NS)

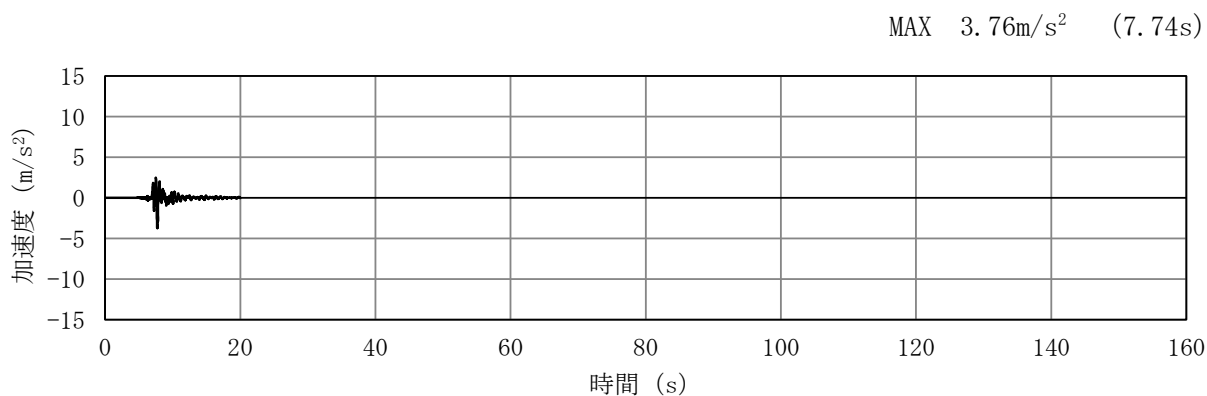


(a) 加速度時刻歴波形

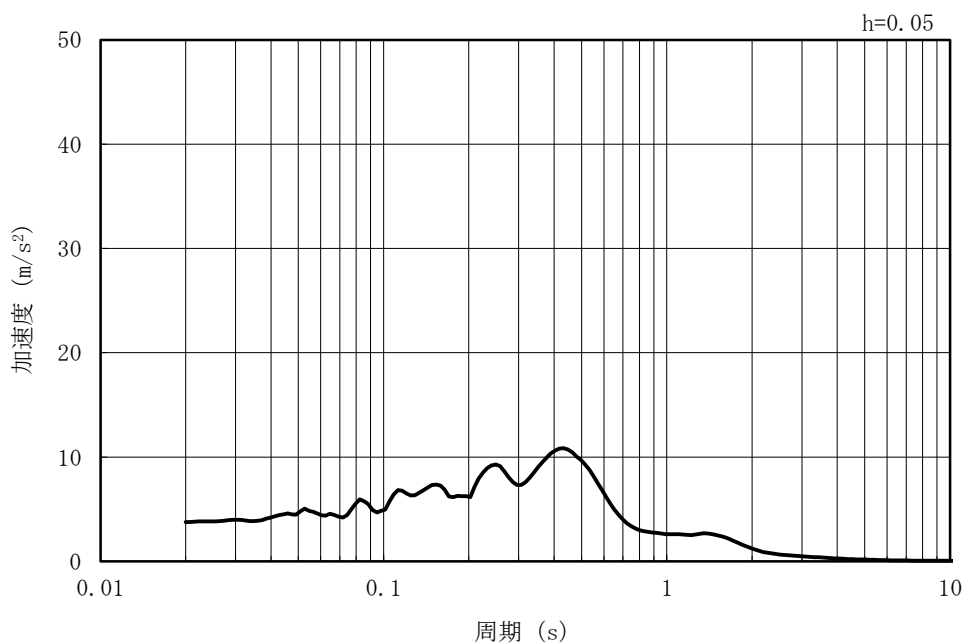


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-51 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-7NS)

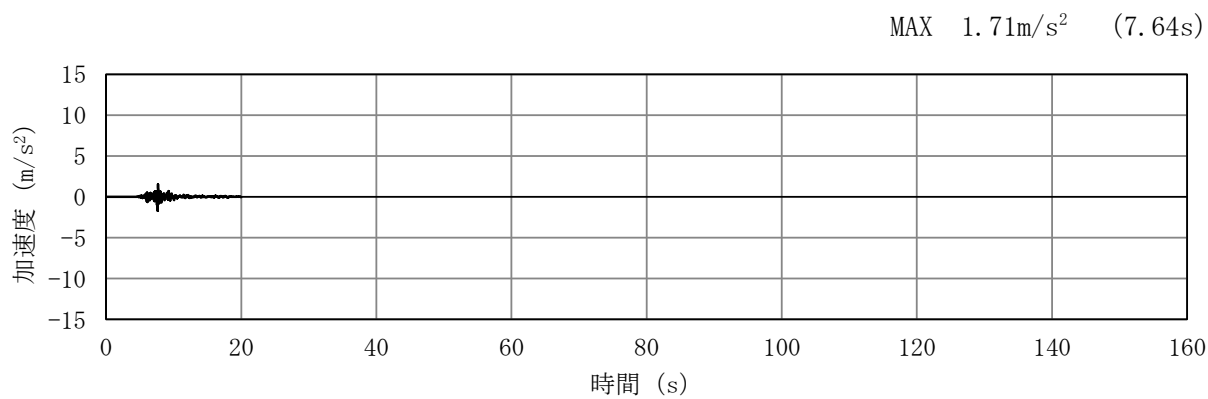


(a) 加速度時刻歴波形

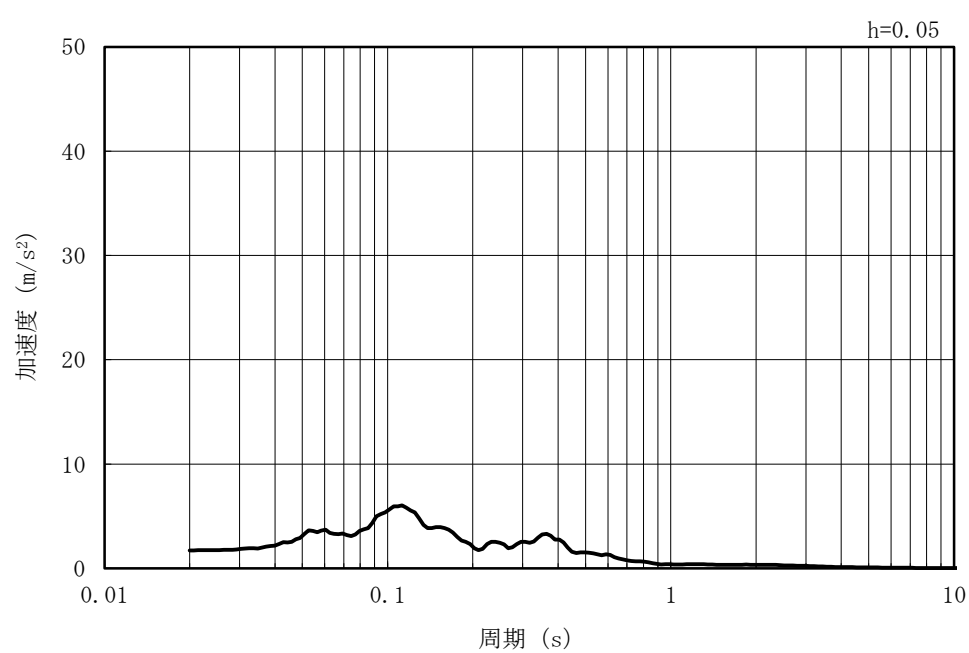


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-52 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Sd-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-53 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Sd-8)

4.2 許容限界の設定

4.2.1 曲げ軸力に対する許容限界

(1) 鉄筋コンクリート部材

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）を許容限界とし、照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査に用いる照査用層間変形角は、地震応答解析により得られた層間変形角に安全係数（構造解析係数）1.2 を乗じることにより、曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{R_d}{R_u} < 1.0$$

ここで、 γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

R_u : 鉄筋コンクリート部材の層間変形角

R_d : 照査用層間変形角 $R_d = \gamma_a \cdot R$

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

R : 応答計算による層間変形角

(2) 鋼管杭

鋼管杭の曲げ軸力に対する照査は、キャスク指針及び鋼・合成構造標準示方書に基づき、鋼管杭の終局曲率を許容限界とし、照査用曲率が終局曲率を下回ることを確認する。

鋼管杭の曲げ軸力照査に用いる照査用曲率は、地震応答解析により得られた曲率に安全係数（構造解析係数）1.05 を乗じることにより、曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{\phi_d}{\phi_u} < 1.0$$

ここで、 γ_i : 構造物係数 (=1.0)

$$\phi_d = \gamma_a \cdot \phi$$

γ_a : 構造解析係数 (=1.05)

ϕ : 応答計算による最大曲率

ϕ_u : 鋼管杭の終局曲率

$$\phi_u(N) = \varepsilon_{\max} / [r \cdot \{1 + \sin(\pi N / 2N_y)\}] / \gamma_b \quad (N < 0 : \text{引張}, N > 0 : \text{圧縮})$$

N : 発生軸力

$\varepsilon_{\max} = 0.22 t / r$: 局部座屈発生時ひずみ

r : 杭の半径

t : 腐食しろを除いた鋼材の厚さ

$N_y = 2\pi \cdot r \cdot t \cdot \sigma_y$: 鋼材降伏時の軸力

σ_y : 鋼材の降伏点応力

γ_b : 部材係数 (=1.1)

4.2.2 せん断力に対する許容限界

(1) 鉄筋コンクリート部材

鉄筋コンクリート部材のせん断力に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、
a. 棒部材式又は b. ディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方を許容
限界とし、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材のせん断力照査に用いる照査用せん断力は、地震応答解析により
得られたせん断力に安全係数（構造解析係数）1.05 を乗じることにより、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。

$$\gamma_i \frac{V_d}{V_{y d}} < 1.0$$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

$V_{y d}$: 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 : 応答計算によるせん断力

a. 棒部材式

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

ここで,

$V_{c d}$: 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

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

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

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

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

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

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

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

$f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm²) で設計基準強度 $f_{c k}$ を材料係数 $\gamma_{m c}$ (=1.3) で除したもの

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$: 引張鉄筋比

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

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

$M_0 = N'_d \cdot D / 6$: 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)

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

$\gamma_{b c}$: 部材係数 (=1.3)

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

ここで,

A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

$f_{w y d}$: せん断補強筋の降伏強度を材料係数 $\gamma_{m s}$ (1.0) で除したもので, 400N/mm²以下とする。ただし, コンクリートの圧縮強度の特性値 f'

c_k が 60N/mm^2 以上の時は, 800N/mm^2 以下とする。

α : せん断補強筋と部材軸のなす角

s : せん断補強筋の配置間隔

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。

γ_{bs} : 部材係数 (=1.1)

b. デイープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで,

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

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

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

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし, $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし, $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

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

γ_{bc} : 部材係数 (=1.3)

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

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

p_{wb} : せん断補強鉄筋比 (%)

また、分布荷重を受ける部材のせん断耐力については、図 4-54 に示す等価せん断スパンの考え方にに基づき、せん断耐力を算定する。

c. 等価せん断スパンの設定

時刻歴地震応答解析で得られる断面力分布に基づいて、支承前面あるいははり・柱前面から曲げモーメントが発生する位置（あるいはせん断力が零となる点）までを照査対象区間と考える。この区間において、等価せん断スパンを以下のように設定する。

- ① 区間内に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が存在する場合は、以下の2種類の等価せん断スパンを設定する。

第1等価せん断スパン(a1)：支承前面あるいははり・柱前面から反曲点までの距離

第2等価せん断スパン(a2)：反曲点から最大曲げモーメント点までの距離

- ② 区間内に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が無い場合は、以下のように等価せん断スパンを設定する。

等価せん断スパン(a)：支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメント点までの距離

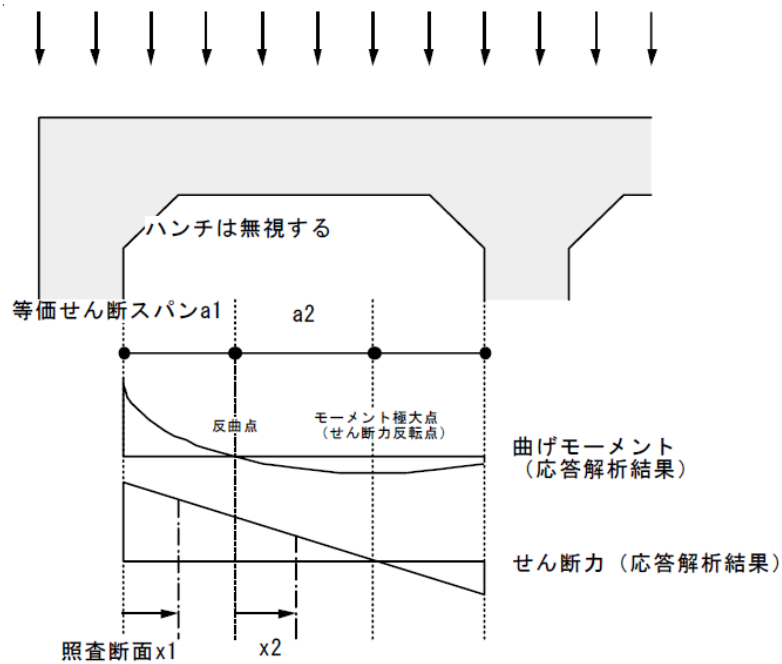


図 4-54 等価せん断スパンの設定方法

(土木学会マニュアルより引用)

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において等価せん断スパンにより設定可能な係数 β_a を考慮している。これは、地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に曲げモーメントの反曲点が存在する等の載荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。

土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式による評価においては、表 4-1 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 4-1 せん断耐力式において考慮している安全係数

安全係数			値	内容
材料係数	コンクリート	γ_{mc}	1.30	コンクリートの特性値（圧縮強度）を低減
部材係数	コンクリート	γ_{bc}	1.30	コンクリートが負担するせん断力を低減
	鉄筋	γ_{bs}	1.10	せん断補強筋が負担するせん断力を低減
構造解析係数		γ_a	1.05	応答値（断面力）を割り増し

注記* : 土木学会マニュアルでは、部材係数 $\gamma_b = \gamma_{b1} \times \gamma_{b2}$

$$\gamma_{b1} = \begin{cases} 1.3 & (\text{コンクリート}) \\ 1.1 & (\text{鉄筋}) \end{cases}$$

$$\gamma_{b2} = \begin{cases} 1.0 & (R \leq 0.01) \\ \frac{100R+2}{3} & (0.01 < R \leq 0.025) \\ 1.5 & (R > 0.025) \end{cases}$$

ここで、R: 層間変形角

とされている。

燃料移送系配管ダクトは層間変形角 1/100 を鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査の許容限界としていることから、 $\gamma_{b2}=1.0$ とする。

(2) 鋼管杭

鋼管杭のせん断力に対する許容限界は、キャスク指針及び鋼・合成構造標準示方書に基づき、以下の式で求まる終局せん断強度とする。

鋼管杭のせん断力照査に用いる照査用せん断力は、地震応答解析により得られたせん断力に安全係数（構造解析係数）1.05 を乗じることにより、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。

$$\gamma_i \frac{Q_d}{Q_u} < 1.0$$

ここで、 γ_i : 構造物係数 (=1.0)

$$Q_d = \gamma_a \cdot Q$$

γ_a : 構造解析係数 (=1.05)

Q : 応答計算による最大せん断力

Q_u : 鋼管杭の終局せん断強度

$$Q_u = A_e \cdot f_s / \kappa / \gamma_b$$

A_e : 腐食代を除いた杭の断面積

f_s : 鋼材の短期許容せん断応力度

κ : せん断応力度の分布係数で 2.0 とする。

γ_b : 部材係数 (=1.1)

4.2.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤の押し込みに対する支持性能評価

基礎地盤の押し込み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、道路橋示方書の杭基礎（中掘り杭工法）より設定する極限支持力に、キャスク指針に基づく安全率 1.2 を考慮した終局鉛直支持力とする。杭周面の地盤が液状化層である場合、有効応力解析により過剰間隙水圧比が 95%以上と判定された地盤については液状化するものとし、周面摩擦力を考慮しないものとする。地盤改良体や非液状化層については、周面摩擦力を支持力として考慮する。

終局鉛直支持力の算定条件を表 4-2 に示す。

$$R_{ua} = \frac{\gamma}{n} R_u$$

ここで、 R_{ua} : 終局鉛直支持力

γ : 極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数

(極限支持力を支持力推定式で算定するため、 $\gamma = 1.0$ とする)

n : 安全率 (キャスク指針に基づき、 $n = 1.2$ とする)

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

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

q_d : 杭先端における単位面積当たりの極限支持力度 (kN/m²)

適用する杭工法及び杭先端の地盤種別に応じて設定

$q_d = 200 \cdot N$ (≤ 10000) (セメントミルク噴出攪拌方式)

A : 杭先端面積 (m²)

N : 杭先端地盤における標準貫入試験の N 値

U : 杭の周長 (m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

表 4-2 地盤の支持性能に対する許容限界の算定条件 (押込み)

項目	算定結果				備考
	A-A断面		B-B断面		
	南側	北側	南側	北側	
$q_d A$ (kN)	5001	5001	5001	5001	
杭先端の極限支持力度 q_d (kN/m ²)	10000	10000	10000	10000	
杭先端面積 A (m ²)	0.500	0.500	0.500	0.500	腐食代 1mm 考慮
杭の周長 U (m)	2.507	2.507	2.507	2.507	腐食代 1mm 考慮

(2) 基礎地盤の引抜きに対する評価

基礎地盤の引抜きに対する許容限界は、道路橋示方書の杭基礎（中掘り杭工法）より設定する極限引抜き力に、キャスク指針に基づく安全率 1.2 を考慮した終局引抜き力とする。杭周面の地盤が液状化層である場合、有効応力解析により過剰間隙水圧比が 95%以上と判定された地盤については液状化するものとし、周面摩擦力を考慮しないものとする。地盤改良体や非液状化層については、周面摩擦力を支持力として考慮する。

$$P_a = \frac{1}{n} P_u$$

ここで、 P_a : 終局引抜き力

n : 安全率（キャスク指針に基づき、 $n=1.2$ とする）

P_u : 地盤から決まる杭の極限引抜き力 (kN)

$$P_u = U \cdot \sum L_i \cdot f_i$$

U : 杭の周長 (m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

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、「層間変形角時刻歴波形」,「断面力分布」,「曲率分布」,「最大せん断ひずみ分布」及び「過剰間隙水圧比分布」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。

耐震評価においては, KK7 補足-027-1「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「9. 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定について」に基づき,全ての基準地震動 S_s に対して実施する解析ケース①(基本ケース)において曲げ軸力照査,せん断力照査及び基礎地盤の支持性能照査の各評価項目について,照査値が最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用い,追加解析ケース(②~⑤)を実施する。また,上記解析ケースの結果を踏まえ,さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は,追加解析を実施する。

5.1.1 解析ケースと照査値

(1) A-A断面

a. 曲げ軸力照査

表 5-1 に、鉄筋コンクリート部材及び鋼管杭の曲げ軸力照査の実施ケースと照査値を示す。

表 5-1 A-A断面の曲げ軸力照査の実施ケースと照査値
鉄筋コンクリート部材

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.03				
	-+	0.03				
	+-	0.03				
	--	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Ss-2		0.02				
Ss-3	++	0.03				
	-+	0.03				
	+-	0.03				
	--	0.02				
Ss-4		0.02				
Ss-5		0.02				
Ss-6		0.02				
Ss-7		0.01				
Ss-8	++	0.03				
	-+	0.03				

鋼管杭

解析ケース 地震動		鋼管杭の曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.07				
	-+	0.07				
	+-	0.07				
	--	0.06	0.05	0.10	0.07	0.06
Ss-2		0.03				
Ss-3	++	0.07				
	-+	0.06				
	+-	0.06				
	--	0.06				
Ss-4		0.02				
Ss-5		0.02				
Ss-6		0.02				
Ss-7		0.02				
Ss-8	++	0.06				
	-+	0.06				

b. せん断力照査

表 5-2 に鉄筋コンクリート部材及び鋼管杭のせん断力照査の実施ケースと、照査値を示す。

表 5-2 A-A断面のせん断力照査の実施ケースと照査値 (1/3)

鉄筋コンクリート部材 (側壁)

地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.22				
	-+	0.21				
	+-	0.22				
	--	0.21	0.21	0.18	0.23	0.22
Ss-2		0.16				
Ss-3	++	0.19				
	-+	0.18				
	+-	0.18				
	--	0.17				
Ss-4		0.15				
Ss-5		0.14				
Ss-6		0.15				
Ss-7		0.12				
Ss-8	++	0.19				
	-+	0.19				

鉄筋コンクリート部材 (頂版)

地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.24				
	-+	0.21				
	+-	0.23				
	--	0.21	0.20	0.20	0.21	0.20
Ss-2		0.15				
Ss-3	++	0.18				
	-+	0.20				
	+-	0.18				
	--	0.18				
Ss-4		0.13				
Ss-5		0.13				
Ss-6		0.14				
Ss-7		0.11				
Ss-8	++	0.18				
	-+	0.19				

表 5-2 A-A断面のせん断力照査の実施ケースと照査値 (2/3)

鉄筋コンクリート部材 (底版)

地震動 \ 解析ケース		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.50				
	-+	0.50				
	+-	0.51		0.54		
	--	0.52	0.44	0.54	0.47	0.35
Ss-2		0.33				
Ss-3	++	0.40				
	-+	0.45				
	+-	0.45				
	--	0.41				
Ss-4		0.28				
Ss-5		0.22				
Ss-6		0.26				
Ss-7		0.21				
Ss-8	++	0.42				
	-+	0.41				

注： □は、前述 3.5.1 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

鉄筋コンクリート部材 (隔壁)

地震動 \ 解析ケース		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.33				
	-+	0.34				
	+-	0.34				
	--	0.34	0.33	0.33	0.34	0.32
Ss-2		0.26				
Ss-3	++	0.30				
	-+	0.30				
	+-	0.30				
	--	0.29				
Ss-4		0.22				
Ss-5		0.19				
Ss-6		0.22				
Ss-7		0.17				
Ss-8	++	0.31				
	-+	0.31				

表 5-2 A-A断面のせん断力照査の実施ケースと照査値 (3/3)

鋼管杭

地震動		解析ケース		鋼管杭のせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤		
Ss-1	++	0.31						
	-+	0.30						
	+-	0.31						
	--	0.30	0.27	0.35	0.29	0.26		
Ss-2		0.12						
Ss-3	++	0.31						
	-+	0.33						
	+-	0.29						
	--	0.29						
Ss-4		0.08						
Ss-5		0.10						
Ss-6		0.08						
Ss-7		0.08						
Ss-8	++	0.29						
	-+	0.23						

c. 基礎地盤の支持性能照査

表 5-3, 表 5-4 に基礎地盤の押込み及び引抜きに対する支持性能照査の実施ケースと照査値を示す。

表 5-3 A-A断面の基礎地盤の押込みに対する支持性能照査の実施ケースと照査値

地震動		基礎地盤の押込みに対する支持性能照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.07				
	-+	0.07				
	+-	0.07				
	--	0.07	0.06	0.09	0.06	0.06
Ss-2		0.06				
Ss-3	++	0.06				
	-+	0.06				
	+-	0.07				
	--	0.07				
Ss-4		0.05				
Ss-5		0.05				
Ss-6		0.06				
Ss-7		0.05				
Ss-8	++	0.06				
	-+	0.07				

表 5-4 A-A断面の基礎地盤の引抜きに対する支持性能照査の実施ケースと照査値

地震動		鋼管杭の引抜きに対する支持性能照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.18				
	-+	0.18				
	+-	0.19				
	--	0.20	0.17	0.19	0.17	0.13
Ss-2		0.10				
Ss-3	++	0.15				
	-+	0.17				
	+-	0.17				
	--	0.15				
Ss-4		0.06				
Ss-5		0.06				
Ss-6		0.06				
Ss-7		0.05				
Ss-8	++	0.16				
	-+	0.13				

(2) B-B断面

a. 曲げ軸力照査

表 5-5 に鉄筋コンクリート部材及び鋼管杭の曲げ軸力照査の実施ケースと、照査値を示す。

表 5-5 B-B断面の曲げ軸力照査の実施ケースと照査値
鉄筋コンクリート部材

地震動 \ 解析ケース		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03
	-+	0.04				
	+-	0.03				
	--	0.03				
Ss-2		0.03				
Ss-3	++	0.03				
	-+	0.03				
	+-	0.03				
	--	0.03				
Ss-4		0.02				
Ss-5		0.02				
Ss-6		0.02				
Ss-7		0.02				
Ss-8	++	0.03				
	-+	0.03				

鋼管杭

地震動 \ 解析ケース		鋼管杭の曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
	-+	0.04				
	+-	0.03				
	--	0.04				
Ss-2		0.02				
Ss-3	++	0.03				
	-+	0.03				
	+-	0.03				
	--	0.03				
Ss-4		0.01				
Ss-5		0.01				
Ss-6		0.01				
Ss-7		0.01				
Ss-8	++	0.02				
	-+	0.03				

b. せん断力照査

表 5-6 に鉄筋コンクリート部材及び鋼管杭のせん断力照査の実施ケースと、照査値を示す。

表 5-6 B-B断面のせん断力照査の実施ケースと照査値 (1/3)

鉄筋コンクリート部材 (側壁)

地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.25	0.24	0.26	0.23	0.21
	-+	0.25				
	+-	0.25				
	--	0.24				
Ss-2		0.20				
Ss-3	++	0.23				
	-+	0.23				
	+-	0.22				
	--	0.21				
Ss-4		0.15				
Ss-5		0.15				
Ss-6		0.15				
Ss-7		0.13				
Ss-8	++	0.22				
	-+	0.22				

鉄筋コンクリート部材 (頂版)

地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.24	0.23	0.25	0.21	0.20
	-+	0.25				
	+-	0.25				
	--	0.24				
Ss-2		0.19				
Ss-3	++	0.22				
	-+	0.23				
	+-	0.22				
	--	0.21				
Ss-4		0.13				
Ss-5		0.12				
Ss-6		0.13				
Ss-7		0.12				
Ss-8	++	0.22				
	-+	0.22				

表 5-6 B-B断面のせん断力照査の実施ケースと照査値 (2/3)

鉄筋コンクリート部材 (底版)

地震動		解析ケース	鉄筋コンクリートのせん断力照査				
			①	②	③	④	⑤
Ss-1	++		0.50	0.46	0.54	0.41	0.33
	-+		0.47				
	+-		0.47				
	--		0.43				
Ss-2			0.36				
Ss-3	++		0.45				
	-+		0.42				
	+-		0.40				
	--		0.42				
Ss-4			0.23				
Ss-5			0.21				
Ss-6			0.25				
Ss-7			0.19				
Ss-8	++		0.36				
	-+		0.39				

注： □は、前述 3.5.1 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

鉄筋コンクリート部材 (隔壁)

地震動		解析ケース	鉄筋コンクリートのせん断力照査				
			①	②	③	④	⑤
Ss-1	++		0.35	0.34	0.36	0.32	0.30
	-+		0.35				
	+-		0.34				
	--		0.34				
Ss-2			0.30				
Ss-3	++		0.33				
	-+		0.33				
	+-		0.33				
	--		0.33				
Ss-4			0.20				
Ss-5			0.18				
Ss-6			0.20				
Ss-7			0.17				
Ss-8	++		0.33				
	-+		0.33				

表 5-6 B-B断面のせん断力照査の実施ケースと照査値 (3/3)

鋼管杭

地震動		解析ケース		鋼管杭のせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤		
Ss-1	++	0.25	0.19	0.33	0.19	0.13		
	-+	0.22						
	+-	0.24						
	--	0.19						
Ss-2		0.17						
Ss-3	++	0.17						
	-+	0.19						
	+-	0.19						
	--	0.22						
Ss-4		0.07						
Ss-5		0.10						
Ss-6		0.10						
Ss-7		0.10						
Ss-8	++	0.14						
	-+	0.17						

c. 基礎地盤の支持性能照査

表 5-7, 表 5-8 に基礎地盤の押込み及び引抜きに対する支持性能照査の実施ケースと照査値を示す。

表 5-7 B-B断面の基礎地盤の押込みに対する支持性能照査の実施ケースと照査値

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の押込みに対する支持性能照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.11	0.11	0.11	0.09	0.08
	-+	0.09				
	+-	0.11				
	--	0.09				
Ss-2		0.07				
Ss-3	++	0.11				
	-+	0.11				
	+-	0.10				
	--	0.11				
Ss-4		0.05				
Ss-5		0.05				
Ss-6		0.06				
Ss-7		0.06				
Ss-8	++	0.07				
	-+	0.06				

表 5-8 B-B断面の基礎地盤の引抜きに対する支持性能照査の実施ケースと照査値

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の引抜きに対する支持性能照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.19	0.18	0.22	0.13	0.11
	-+	0.19				
	+-	0.20				
	--	0.19				
Ss-2		0.13				
Ss-3	++	0.15				
	-+	0.17				
	+-	0.19				
	--	0.17				
Ss-4		0.04				
Ss-5		0.07				
Ss-6		0.05				
Ss-7		0.05				
Ss-8	++	0.16				
	-+	0.17				

5.1.2 層間変形角時刻歴波形（鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査）

燃料移送系配管ダクトの鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-9 に示す。また、該当する解析ケースの層間変形角時刻歴波形を図 5-1 及び図 5-2 に示す。

表 5-9 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果
(最も厳しい照査値とその地震動)

評価断面	解析ケース	地震動	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
A-A断面	①	Ss-1+-	2.73×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.03
B-B断面	③	Ss-1++	3.28×10^{-4}		0.04

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

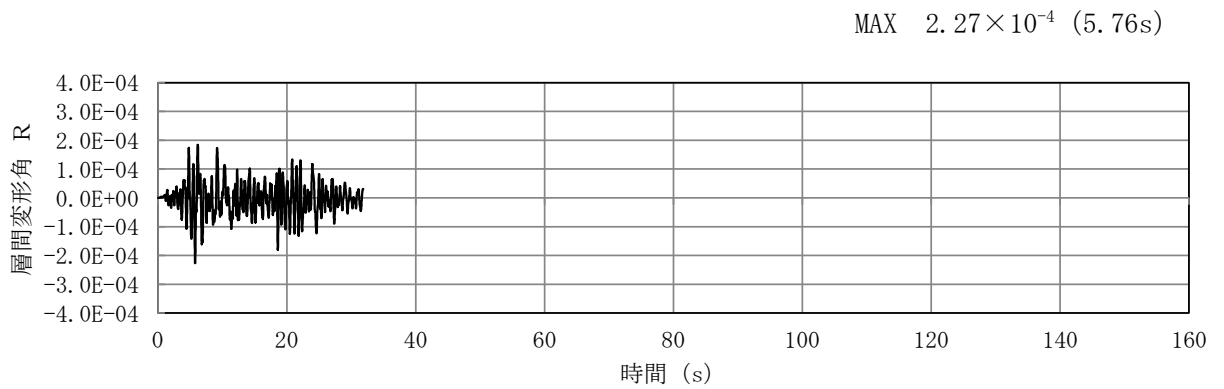


図 5-1 A-A断面における鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケースでの
層間変形角時刻歴波形
(解析ケース①, 地震動 Ss-1+-)

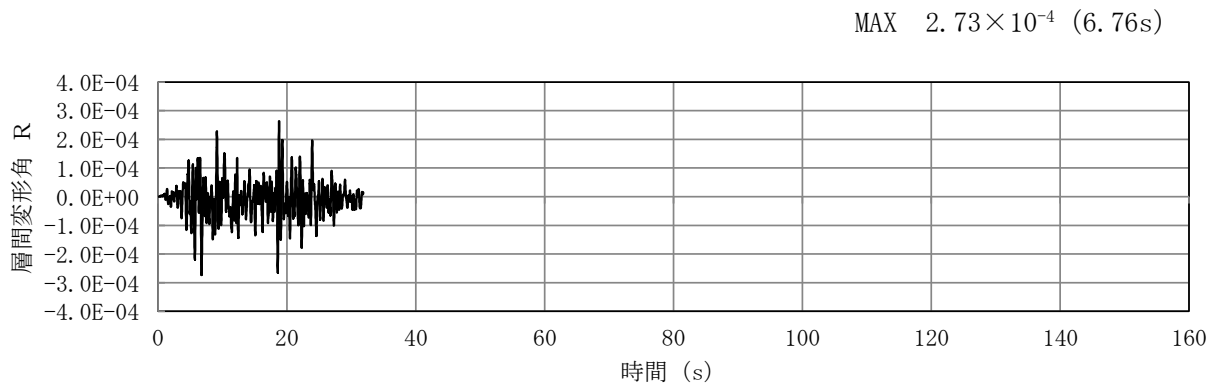


図 5-2 B-B断面における鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケースでの
層間変形角時刻歴波形
(解析ケース③, 地震動 Ss-1++)

5.1.3 断面力分布（鉄筋コンクリート部材のせん断力照査）

燃料移送系配管ダクトの鉄筋コンクリート部材のせん断力照査において、各部材の解析ケースのうち、最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 5-10 及び表 5-11 に示す。また、各断面で最も厳しい照査値となる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 5-3 及び図 5-4 に示す。

表 5-10 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果 (A-A断面)
 (各部材において最も厳しい照査値とその地震動)

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	4	①	Ss-1++	118	509	0.24
側壁	1	④	Ss-1--	134	584	0.23
隔壁	2	①	Ss-1+-	132	394	0.34
底版	7	③	Ss-1--	228	425	0.54

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

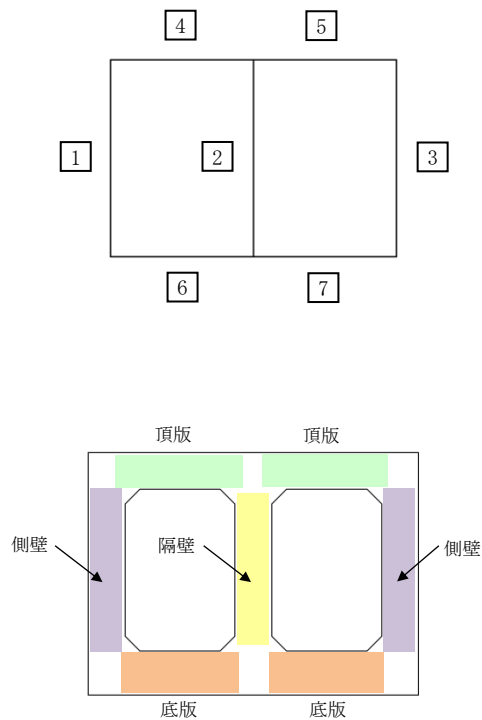
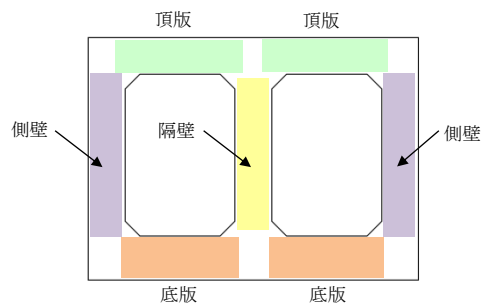
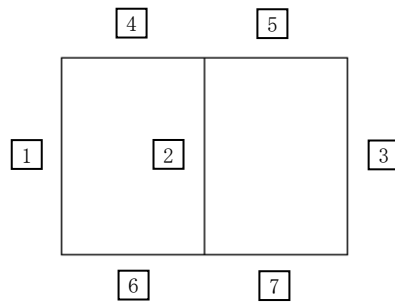


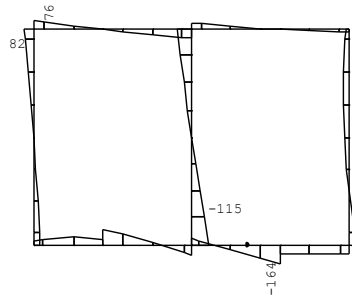
表 5-11 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果 (B-B断面)
(各部材において最も厳しい照査値とその地震動)

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	5	①	Ss-1-+	123	500	0.25
側壁	3	③	Ss-1++	146	567	0.26
隔壁	2	③	Ss-1++	140	395	0.36
底版	6	③	Ss-1++	265	496	0.54

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

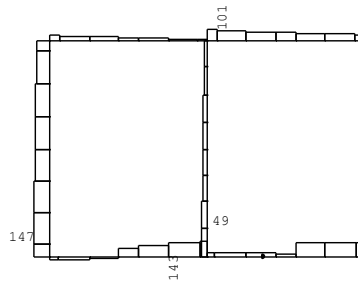




● : せん断照査最大位置 = -82

数値 : 各部材の最大断面力

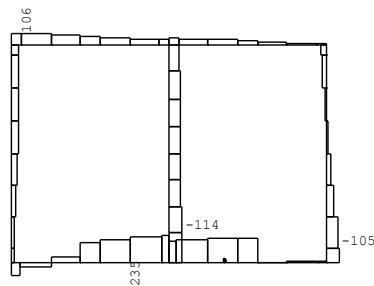
(a) 曲げモーメント (kN・m)



● : せん断照査最大位置 = 39

数値 : 各部材の最大断面力

(b) 軸力(kN) (+ : 圧縮, - : 引張)

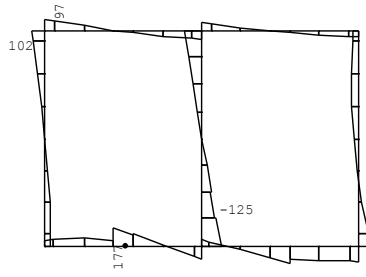


● : せん断照査最大位置 = 216

数値 : 各評価位置の最大断面力

(c) せん断力 (kN)

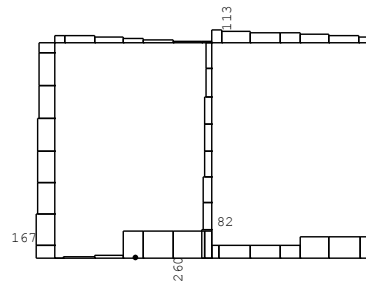
図 5-3 A-A断面において最も厳しい照査値の地震時断面力
(底版, 解析ケース③, 地震動 Ss-1-1, t=6.21s)



● : せん断照査最大位置 = 136

数値 : 各部材の最大断面力

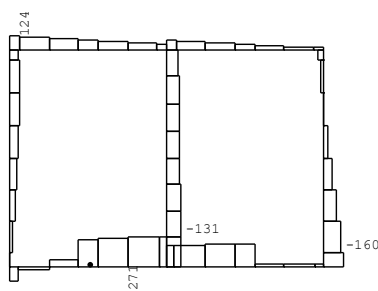
(a) 曲げモーメント (kN・m)



● : せん断照査最大位置 = 258

数値 : 各部材の最大断面力

(b) 軸力(kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



● : せん断照査最大位置 = 252

数値 : 各評価位置の最大断面力

(c) せん断力 (kN)

図 5-4 B-B断面において最も厳しい照査値の地震時断面力
(底版, 解析ケース③, 地震動 Ss-1++, t=6.76s)

5.1.4 曲率分布（鋼管杭の曲げ軸力照査）

鋼管杭の曲げ軸力照査について、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる解析ケースを表 5-12 及び表 5-13 に示す。また、該当する解析ケースにおいて最も厳しい照査値となる時刻における曲率分布図を図 5-5 及び図 5-6 に示す。

表 5-12 鋼管杭の曲げ軸力照査結果（A-A断面）
（最も厳しい照査値とその地震動）

評価位置*1	解析ケース	地震動	照査用曲率*2 ϕ_d (1/m)	終局曲率 ϕ_u (1/m)	照査値 ϕ_d / ϕ_u
北側	③	Ss-1--	1.22×10^{-3}	1.35×10^{-2}	0.10

注記*1：評価位置は下図に示す。

*2：照査用曲率 ϕ_d = 発生曲率 × 構造解析係数 γ_a

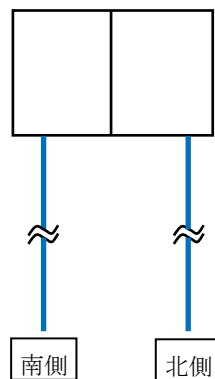
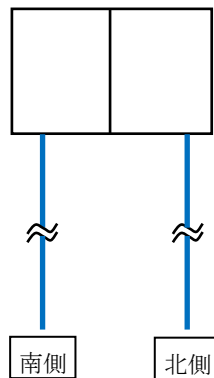


表 5-13 鋼管杭の曲げ軸力照査結果 (B-B断面)
(最も厳しい照査値とその地震動)

評価位置*1	解析ケース	地震動	照査用曲率*2 ϕ_d (1/m)	終局曲率 ϕ_u (1/m)	照査値 ϕ_d / ϕ_u
南側	③	Ss-1++	4.80×10^{-4}	1.32×10^{-2}	0.04

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用曲率 $\phi_d =$ 発生曲率 \times 構造解析係数 γ_a



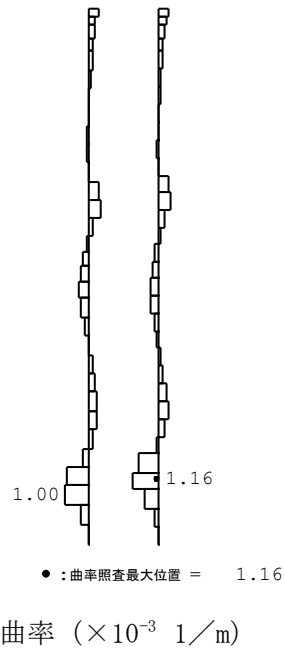


図 5-5 鋼管杭において最も厳しい照査値の曲率分布 (A-A断面)
(解析ケース③, 地震動 Ss-1--, t=6.90s)

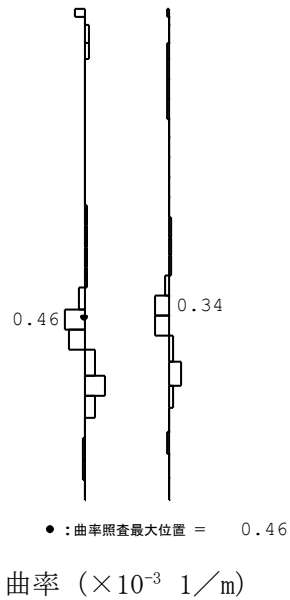


図 5-6 鋼管杭において最も厳しい照査値の曲率分布 (B-B断面)
(解析ケース③, 地震動 Ss-1++, t=6.76s)

5.1.5 せん断力分布（鋼管杭のせん断力照査）

鋼管杭のせん断力照査について、解析ケースのうち最も厳しい照査値となる解析ケースを表 5-14 及び表 5-15 に示す。また、該当する解析ケースにおいて最も厳しい照査値となる時刻におけるせん断力分布図を図 5-7 及び図 5-8 に示す。

表 5-14 鋼管杭のせん断力照査結果（A-A断面）
（最も厳しい照査値とその地震動）

評価位置*1	解析ケース	地震動	照査用せん断力*2 Q_d (kN)	終局せん断強度 Q_u (kN)	照査値 Q_d/Q_u
北側	③	Ss-1---	581	1677	0.35

注記*1：評価位置は下図に示す。

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

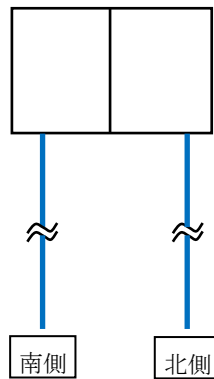
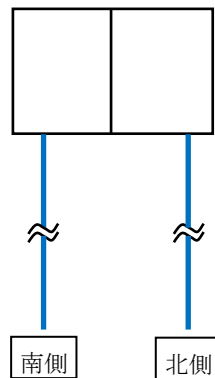


表 5-15 鋼管杭のせん断力照査結果 (B-B断面)
(最も厳しい照査値とその地震動)

評価位置*1	解析ケース	地震動	照査用せん断力*2 Q_d (kN)	終局せん断強度 Q_u (kN)	照査値 Q_d / Q_u
南側	③	Ss-1++	635	1977	0.33

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用せん断力 $Q_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a



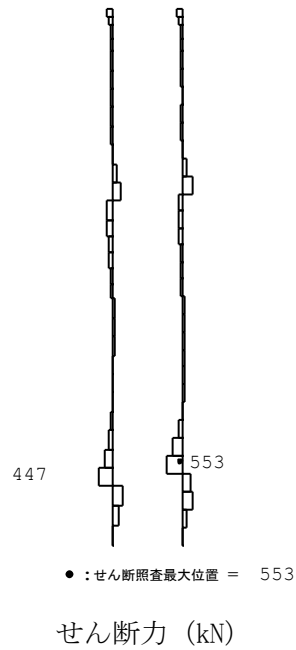


図 5-7 鋼管杭において最も厳しい照査値の地震時せん断力分布 (A-A断面)
(解析ケース③, 地震動 Ss-1--, t=5.24s)

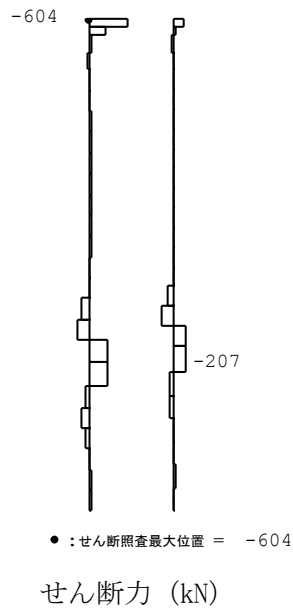


図 5-8 鋼管杭において最も厳しい照査値の地震時せん断力分布 (B-B断面)
(解析ケース③, 地震動 Ss-1++, t=6.77s)

5.1.6 最大せん断ひずみ分布

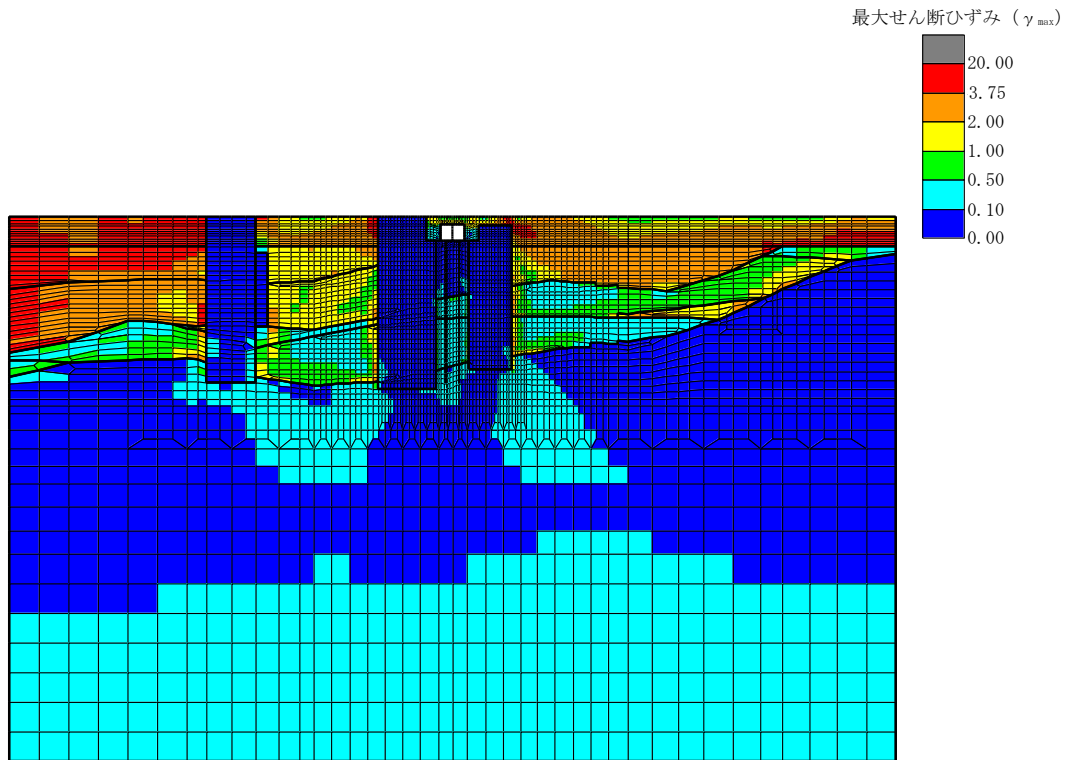
地盤に発生した最大せん断ひずみを確認するため、曲げ軸力照査及びせん断力照査において最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻における各地盤要素の最大せん断ひずみの分布を示す。表 5-16 に最大照査値を示す解析ケース一覧を示す。A-A断面における最大せん断ひずみ分布図を図 5-9 及び図 5-10 に、B-B断面における最大せん断ひずみ分布図を図 5-11 に示す。

表 5-16 最大照査値を示す解析ケース一覧

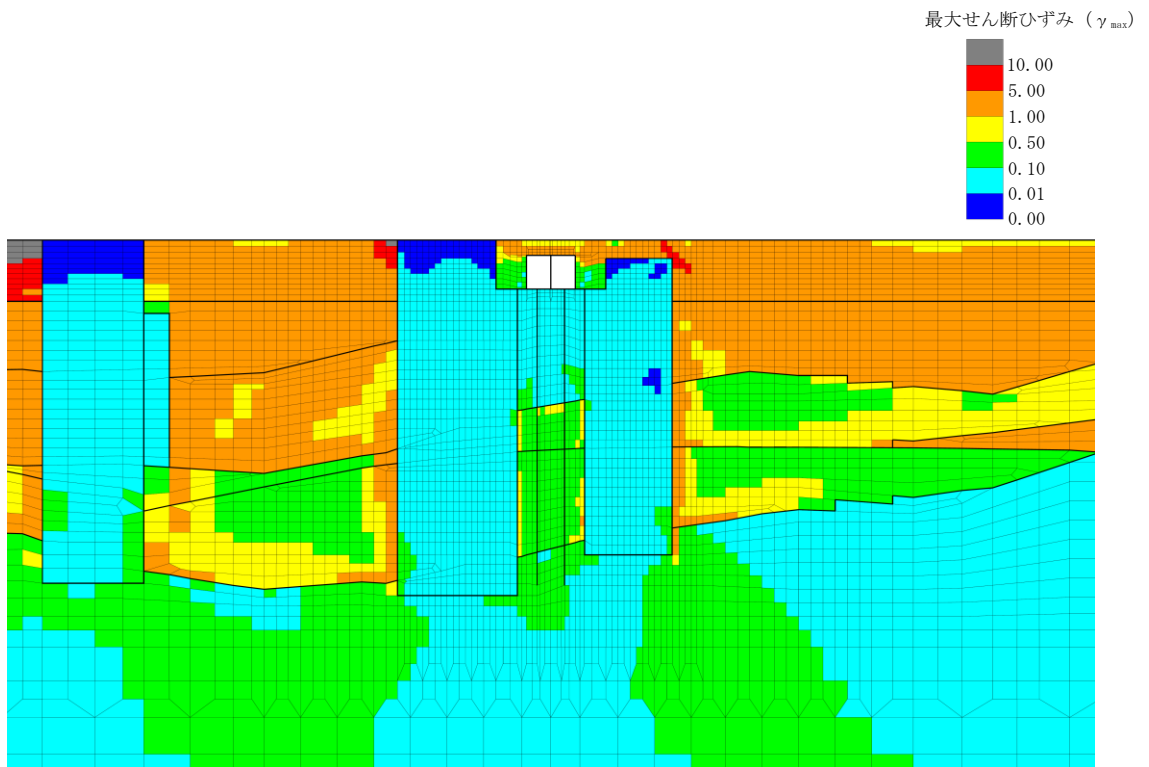
断面	評価部位	評価項目	
		曲げ軸力照査	せん断力照査
A-A断面	鉄筋コンクリート部材	Ss-1+- (解析ケース①)	Ss-1-- (解析ケース③)
	鋼管杭	Ss-1-- (解析ケース③)	Ss-1-- (解析ケース③)
B-B断面	鉄筋コンクリート部材	Ss-1++ (解析ケース③)	Ss-1++ (解析ケース③)
	鋼管杭	Ss-1++ (解析ケース③)	Ss-1++ (解析ケース③)

注：耐震評価における解析ケース一覧

	①	②	③	④	⑤
解析ケース	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	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき(+1 σ)を考慮して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



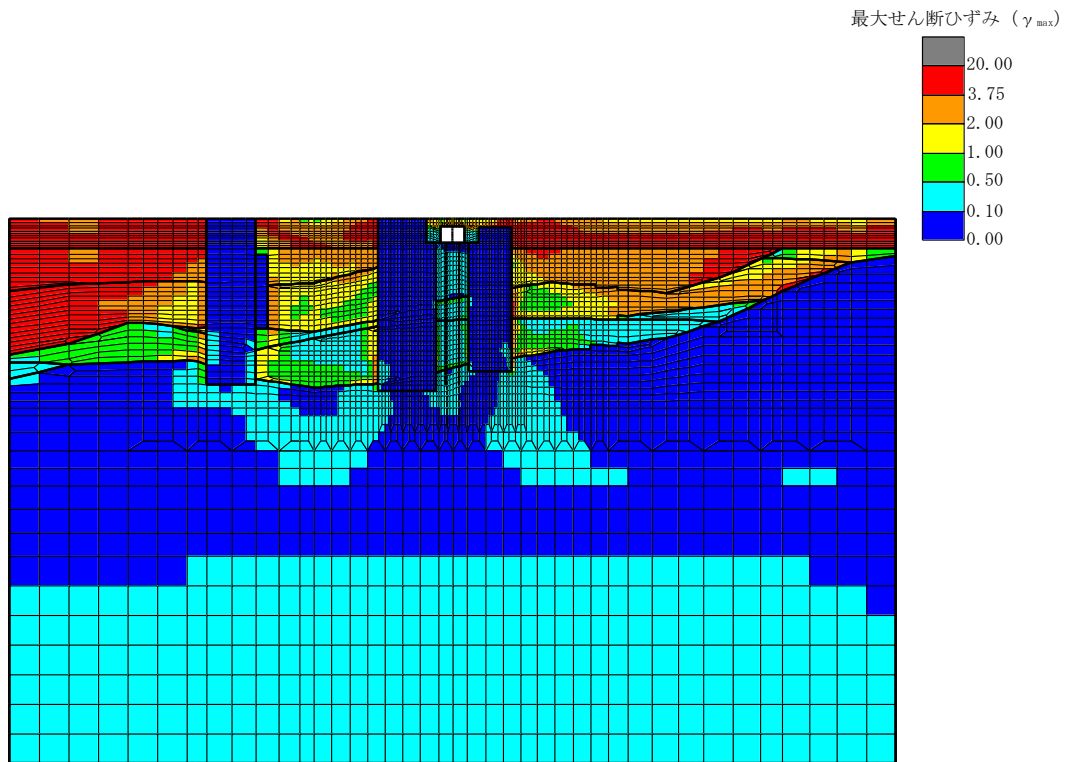
全体図



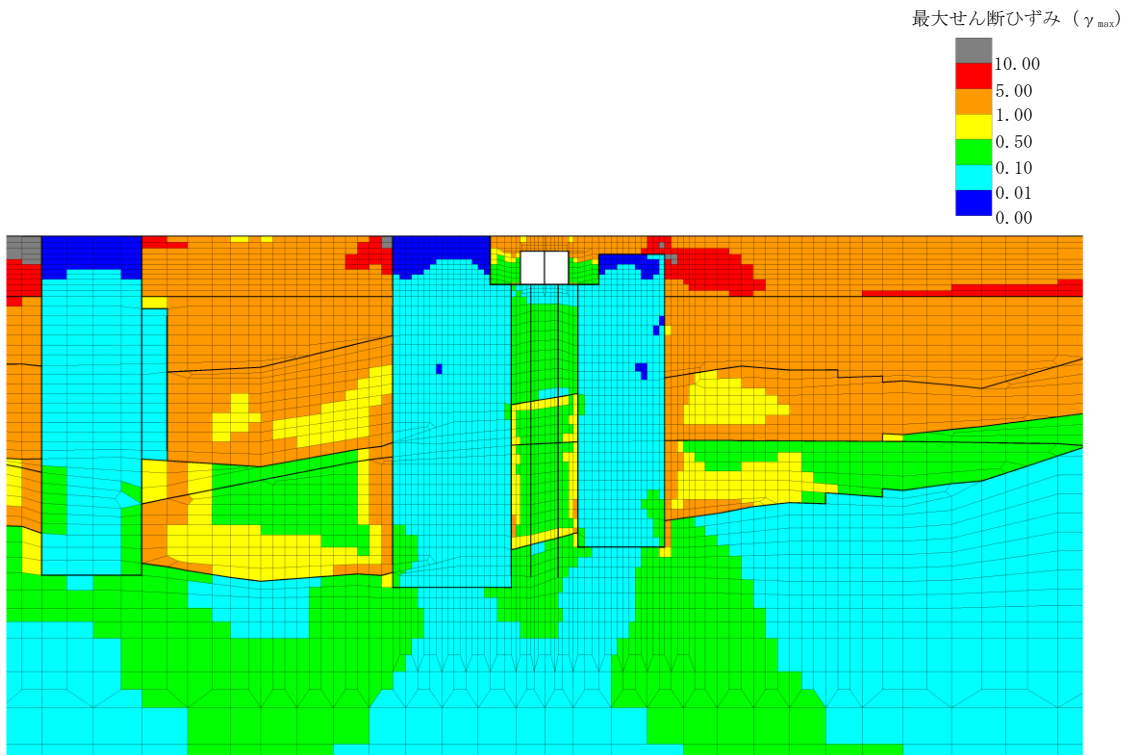
構造物周辺拡大図

図 5-9 A-A断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース①, 地震動 Ss-1+-)

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース



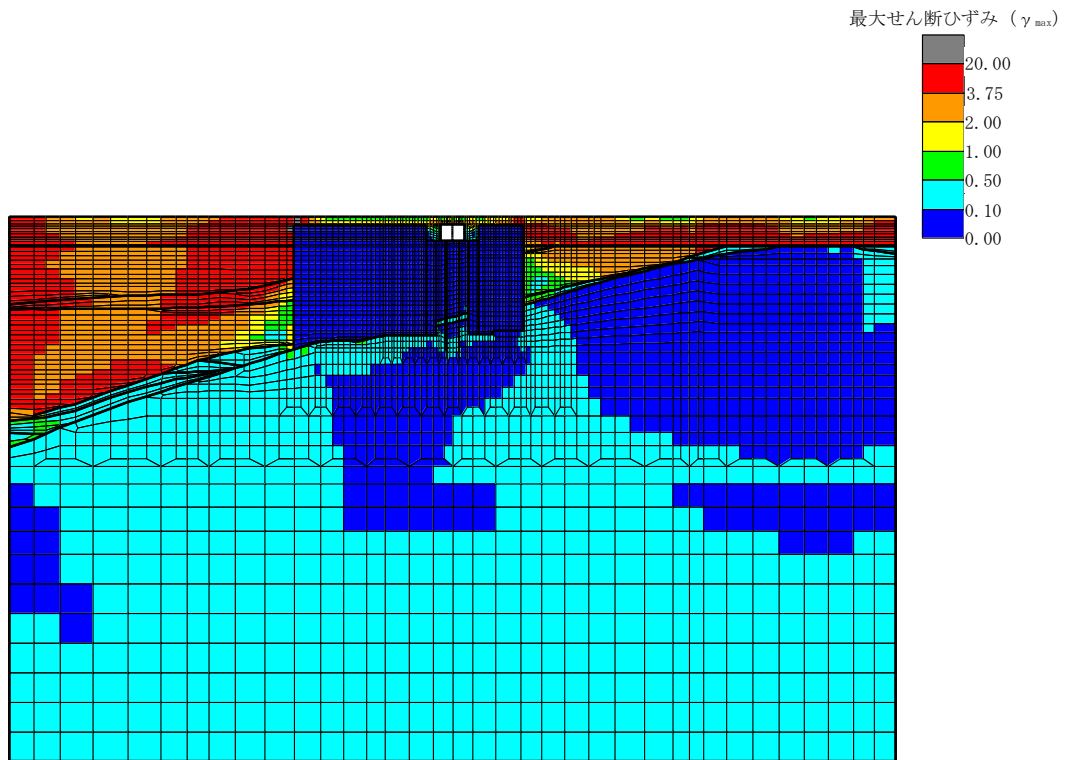
全体図



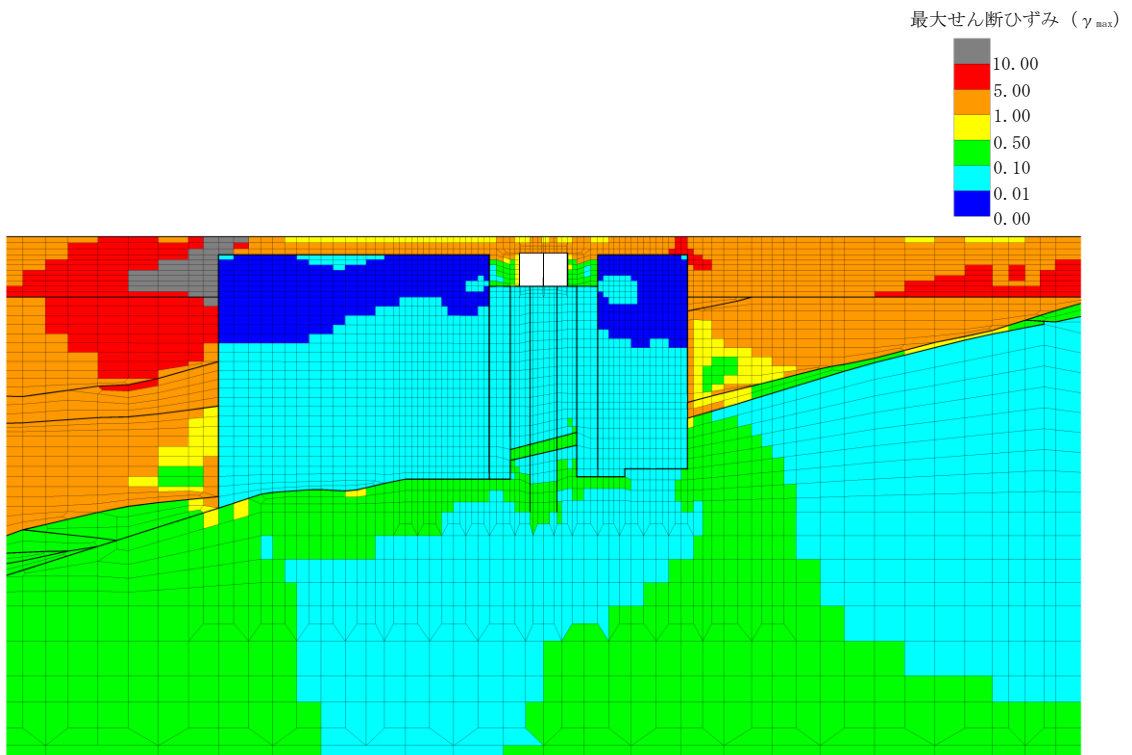
構造物周辺拡大図

図 5-10 A-A断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース③, 地震動 Ss-1--)

鉄筋コンクリート部材のせん断力照査, 鋼管杭の曲げ軸力照査及びせん断力照査で
照査値が最も厳しい解析ケース



全体図



構造物周辺拡大図

図 5-11 B-B断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース③, 地震動 Ss-1++)

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査, 鋼管杭の曲げ軸力照査及びせん断力照査
で照査値が最も厳しい解析ケース

5.1.7 過剰間隙水圧比分布

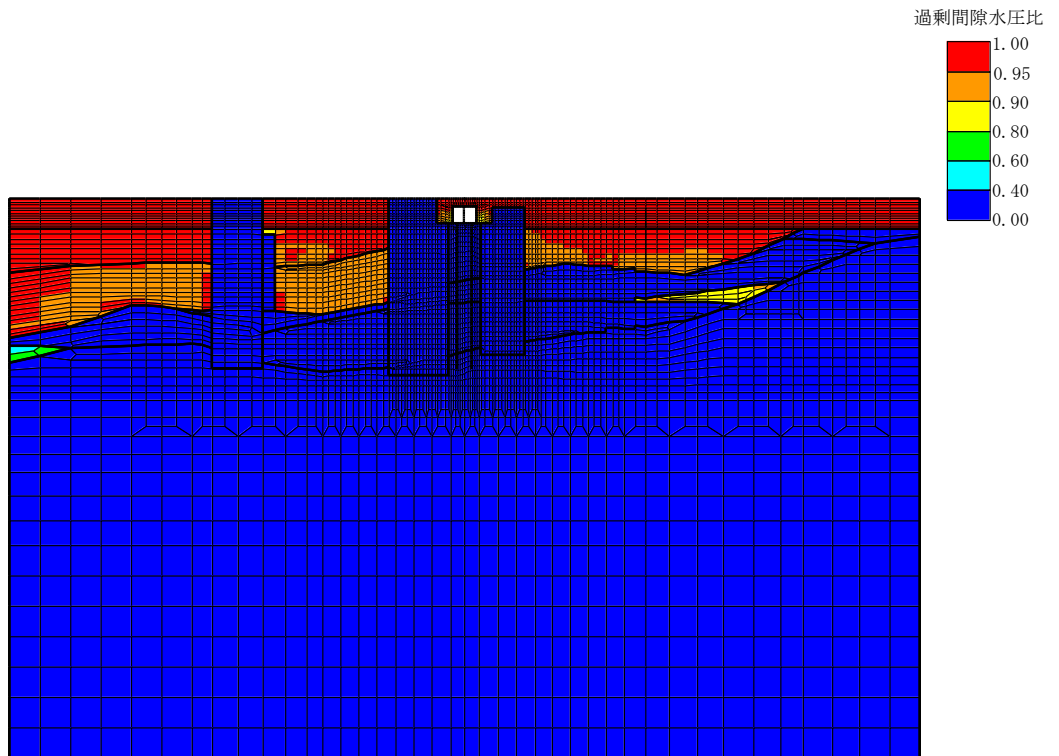
地盤に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、曲げ軸力照査及びせん断力照査において最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻における各地盤要素の過剰間隙水圧比の最大値分布を示す。表 5-17 に最大照査値を示す解析ケース一覧を示す。A-A断面における過剰間隙水圧比分布図を図 5-12 及び図 5-13 に、B-B断面における過剰間隙水圧比分布図を図 5-14 に示す。なお、周辺地盤に液状化が生じた場合でも、燃料移送系配管ダクトは鋼管杭によって西山層に支持される杭基礎構造物であることから、浮き上りは生じない。

表 5-17 最大照査値を示す解析ケース一覧

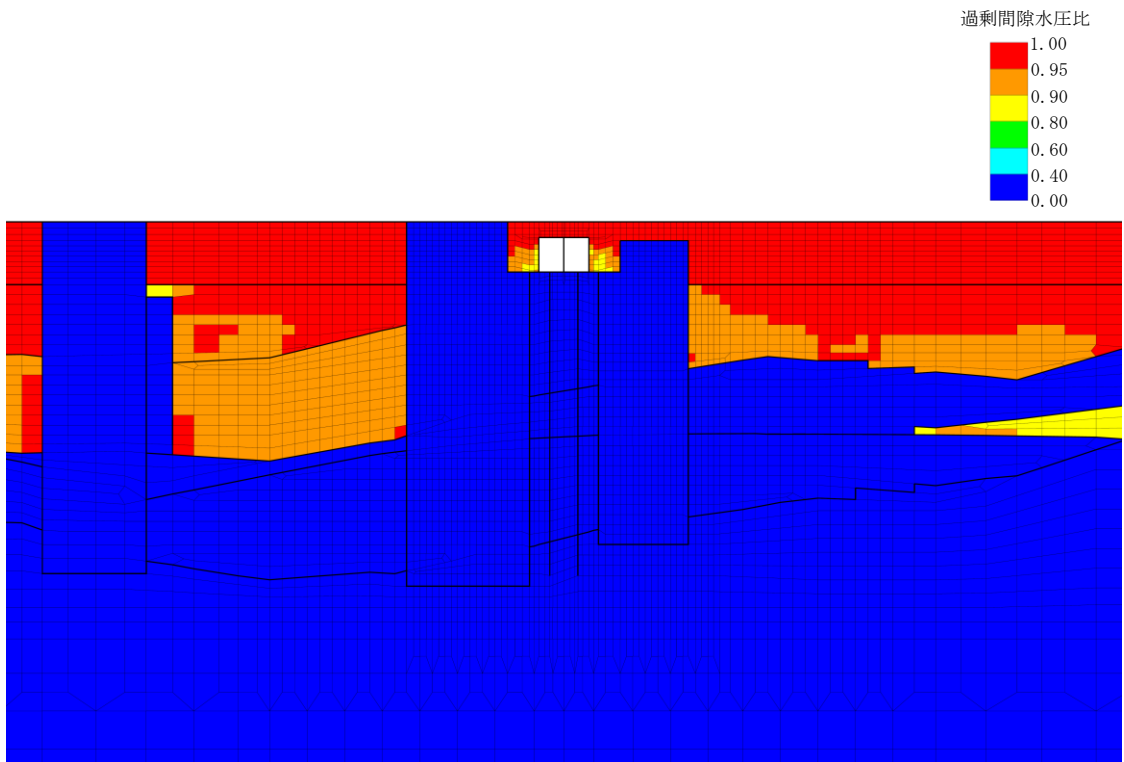
断面	評価部位	評価項目	
		曲げ軸力照査	せん断力照査
A-A断面	鉄筋コンクリート部材	Ss-1++ (解析ケース①)	Ss-1-- (解析ケース③)
	鋼管杭	Ss-1-- (解析ケース③)	Ss-1-- (解析ケース③)
B-B断面	鉄筋コンクリート部材	Ss-1++ (解析ケース③)	Ss-1++ (解析ケース③)
	鋼管杭	Ss-1++ (解析ケース③)	Ss-1++ (解析ケース③)

注：耐震評価における解析ケース一覧

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



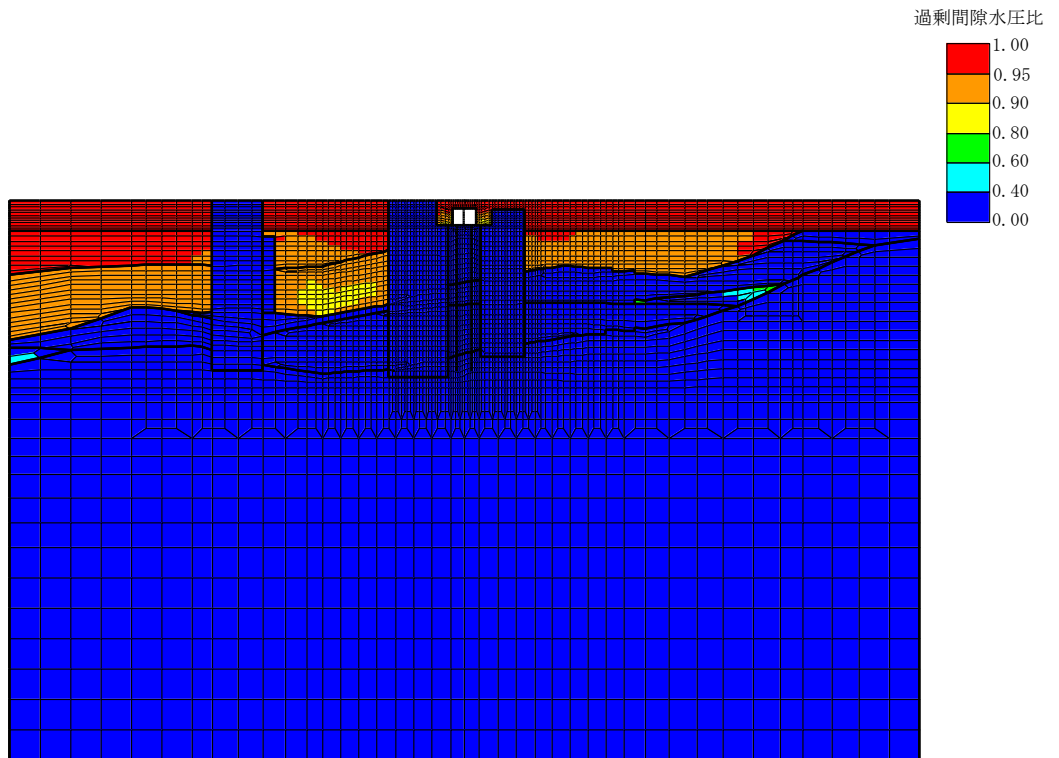
全体図



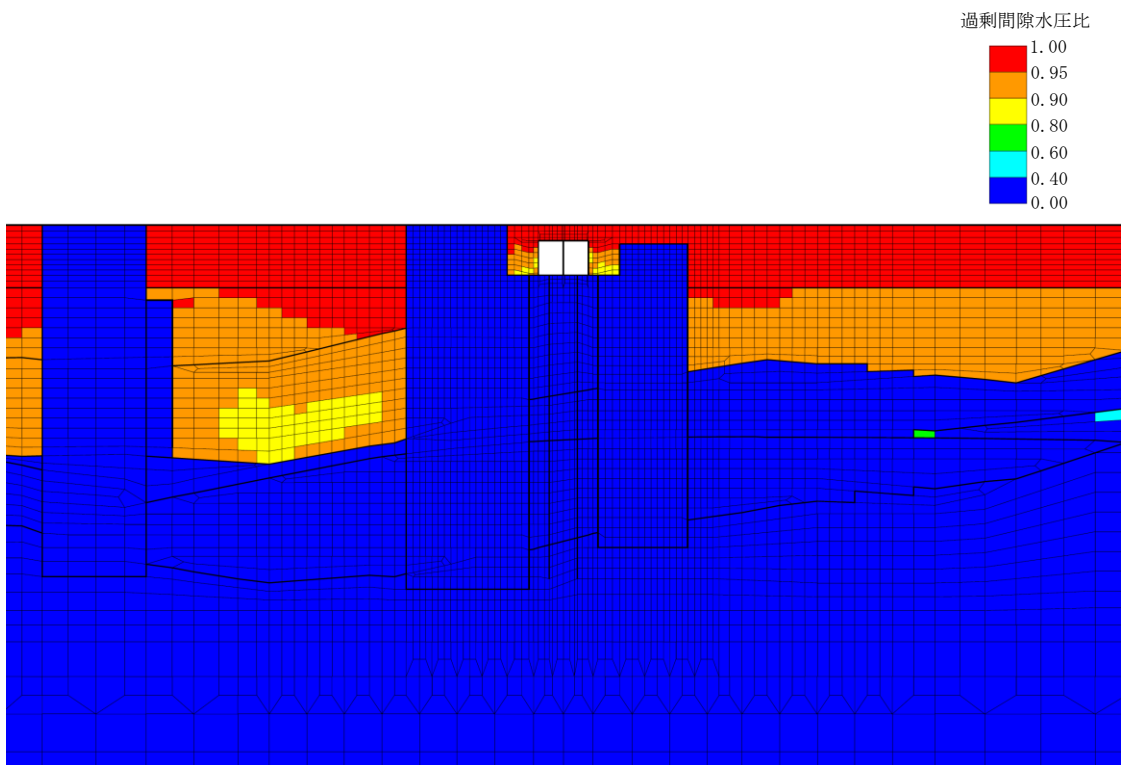
構造物周辺拡大図

図 5-12 A-A断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(解析ケース①, 地震動 Ss-1+-)

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース



全体図

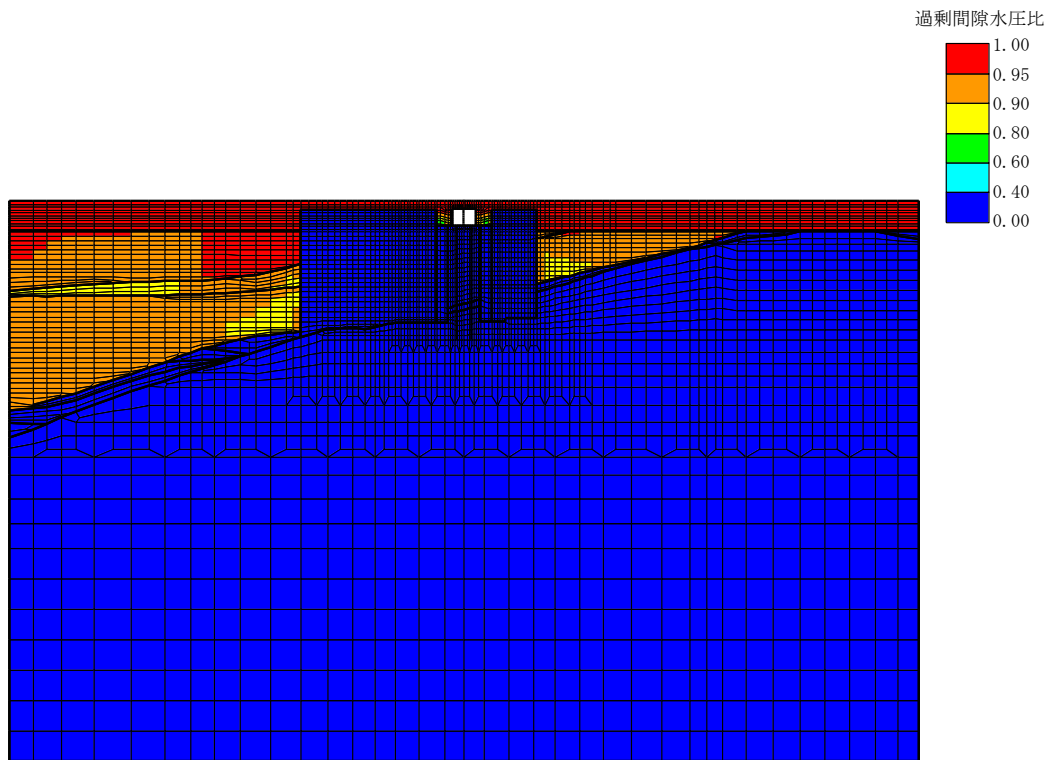


構造物周辺拡大図

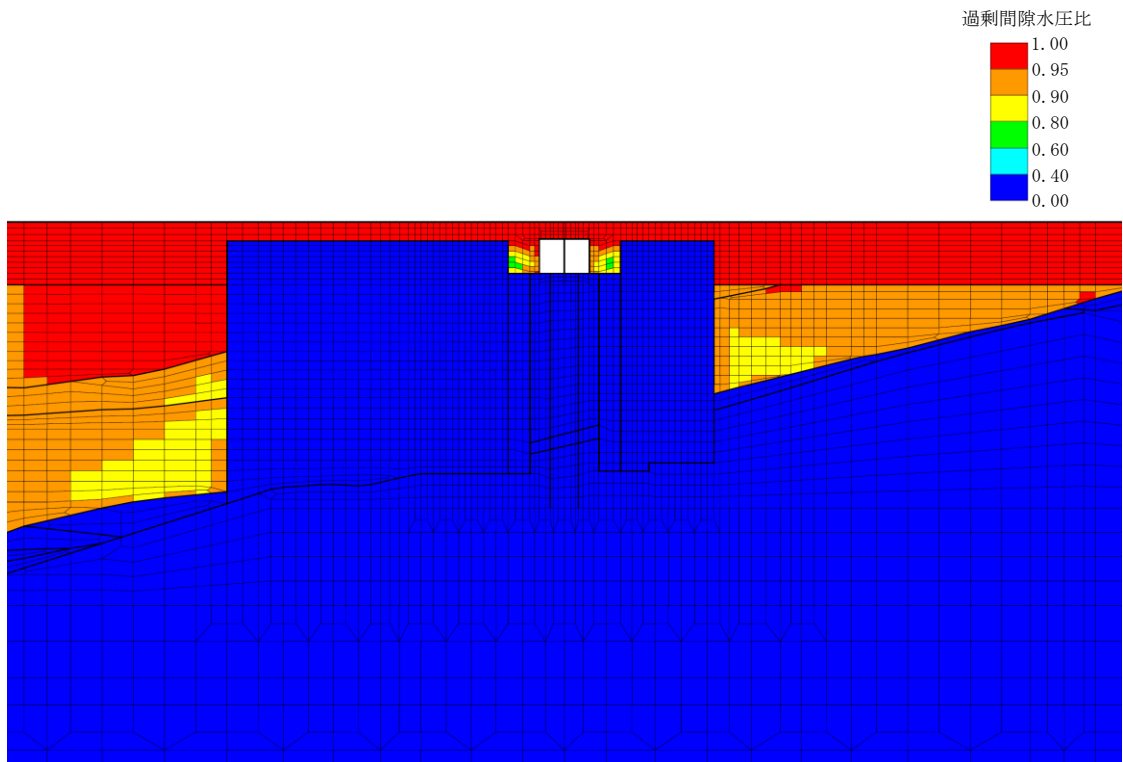
図 5-13 A-A断面の最大過剰間隙水圧比分布図

(解析ケース③, 地震動 Ss-1--)

鉄筋コンクリート部材のせん断力照査, 鋼管杭の曲げ軸力照査及びせん断力照査で照査値が最も厳しい解析ケース



全体図



構造物周辺拡大図

図 5-14 B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布図

(解析ケース③, 地震動 Ss-1++)

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査, 鋼管杭の曲げ軸力照査及びせん断力照査
で照査値が最も厳しい解析ケース

5.2 鉄筋コンクリート部材の耐震評価

5.2.1 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果を表 5-18 及び表 5-19 示す。

照査結果より、照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認した。

表 5-18 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
①	Ss-1++	2.68×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.03
	Ss-1-+	2.68×10^{-4}		0.03
	Ss-1+-	2.73×10^{-4}		0.03
	Ss-1--	2.68×10^{-4}		0.03
	Ss-2	1.60×10^{-4}		0.02
	Ss-3++	2.08×10^{-4}		0.03
	Ss-3-+	2.04×10^{-4}		0.03
	Ss-3+-	2.03×10^{-4}		0.03
	Ss-3--	1.97×10^{-4}		0.02
	Ss-4	1.30×10^{-4}		0.02
	Ss-5	1.13×10^{-4}		0.02
	Ss-6	1.31×10^{-4}		0.02
	Ss-7	0.96×10^{-4}		0.01
	Ss-8++	2.20×10^{-4}		0.03
Ss-8-+	2.13×10^{-4}	0.03		
②	Ss-1--	2.47×10^{-4}	0.03	
③	Ss-1--	2.36×10^{-4}	0.03	
④	Ss-1--	2.71×10^{-4}	0.03	
⑤	Ss-1--	2.39×10^{-4}	0.03	

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

表 5-19 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
①	Ss-1++	3.02×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.04
	Ss-1-+	3.07×10^{-4}		0.04
	Ss-1+-	2.95×10^{-4}		0.03
	Ss-1--	2.98×10^{-4}		0.03
	Ss-2	2.05×10^{-4}		0.03
	Ss-3++	2.56×10^{-4}		0.03
	Ss-3-+	2.62×10^{-4}		0.03
	Ss-3+-	2.56×10^{-4}		0.03
	Ss-3--	2.49×10^{-4}		0.03
	Ss-4	1.22×10^{-4}		0.02
	Ss-5	1.07×10^{-4}		0.02
	Ss-6	1.20×10^{-4}		0.02
	Ss-7	1.01×10^{-4}		0.02
	Ss-8++	2.65×10^{-4}		0.03
	Ss-8-+	2.60×10^{-4}		0.03
	②	Ss-1++		2.78×10^{-4}
③	Ss-1++	3.28×10^{-4}	0.04	
④	Ss-1++	2.40×10^{-4}	0.03	
⑤	Ss-1++	2.09×10^{-4}	0.03	

注記* : 照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

5.2.2 鉄筋コンクリート部材のせん断力に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果を表 5-20 及び表 5-21 に示す。

照査結果より，照査用せん断耐力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表 5-20 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果（A-A断面）（1/3）

解析 ケース	地震動	評価位置		照査用	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
				せん断力* V_d (kN)		
①	Ss-1++	頂版	4	118	509	0.24
		側壁	3	128	607	0.22
		隔壁	2	129	391	0.33
		底版	6	216	436	0.50
	Ss-1-+	頂版	5	107	513	0.21
		側壁	1	125	597	0.21
		隔壁	2	130	393	0.34
		底版	6	215	433	0.50
	Ss-1+-	頂版	4	115	508	0.23
		側壁	3	131	598	0.22
		隔壁	2	132	394	0.34
		底版	6	220	436	0.51
	Ss-1--	頂版	4	108	529	0.21
		側壁	1	124	597	0.21
		隔壁	2	131	394	0.34
		底版	6	223	435	0.52
	Ss-2	頂版	5	81	564	0.15
		側壁	1	98	629	0.16
		隔壁	2	102	396	0.26
		底版	7	168	515	0.33
Ss-3++	頂版	5	97	552	0.18	
	側壁	1	117	644	0.19	
	隔壁	2	118	396	0.30	
	底版	6	173	438	0.40	

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

表 5-20 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果 (A-A断面) (2/3)

解析 ケース	地震動	評価位置		照査用	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
				せん断力*		
				V_d (kN)		
①	Ss-3-+	頂版	4	108	545	0.20
		側壁	3	118	673	0.18
		隔壁	2	116	394	0.30
		底版	6	193	435	0.45
	Ss-3+-	頂版	4	97	551	0.18
		側壁	1	113	655	0.18
		隔壁	2	115	392	0.30
		底版	6	194	433	0.45
	Ss-3--	頂版	4	96	544	0.18
		側壁	1	110	651	0.17
		隔壁	2	113	390	0.29
		底版	6	176	438	0.41
	Ss-4	頂版	5	71	568	0.13
		側壁	1	92	642	0.15
		隔壁	2	86	397	0.22
		底版	7	143	523	0.28
	Ss-5	頂版	4	70	552	0.13
		側壁	3	86	659	0.14
		隔壁	2	72	398	0.19
		底版	6	115	528	0.22
	Ss-6	頂版	4	77	556	0.14
		側壁	3	95	642	0.15
		隔壁	2	85	397	0.22
		底版	6	135	533	0.26
	Ss-7	頂版	5	58	563	0.11
		側壁	1	78	665	0.12
		隔壁	2	64	399	0.17
		底版	7	110	528	0.21

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

表 5-20 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果 (A-A断面) (3/3)

解析 ケース	地震動	評価位置		照査用	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
				せん断力*		
				V_d (kN)		
①	Ss-8++	頂版	5	95	549	0.18
		側壁	1	114	623	0.19
		隔壁	2	120	394	0.31
		底版	6	179	429	0.42
	Ss-8-+	頂版	4	101	548	0.19
		側壁	3	112	620	0.19
		隔壁	2	118	393	0.31
		底版	7	171	423	0.41
②	Ss-1--	頂版	5	103	527	0.20
		側壁	1	123	599	0.21
		隔壁	2	127	395	0.33
		底版	6	189	436	0.44
③	Ss-1--	頂版	4	104	545	0.20
		側壁	3	114	655	0.18
		隔壁	2	126	391	0.33
		底版	7	228	425	0.54
④	Ss-1--	頂版	5	107	521	0.21
		側壁	1	134	584	0.23
		隔壁	2	131	395	0.34
		底版	6	201	434	0.47
⑤	Ss-1--	頂版	5	103	535	0.20
		側壁	1	126	578	0.22
		隔壁	2	125	396	0.32
		底版	6	149	432	0.35

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

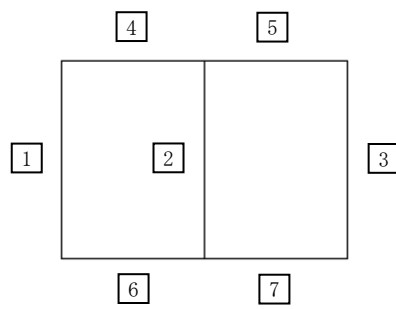
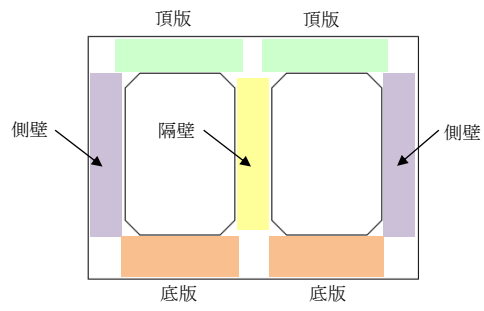


図 5-15 A-A断面の評価位置

表 5-21 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果 (B-B断面) (1/3)

解析 ケース	地震動	評価位置		照査用	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
				せん断力*		
				V_d (kN)		
①	Ss-1++	頂版	4	116	495	0.24
		側壁	3	140	560	0.25
		隔壁	2	135	395	0.35
		底版	6	245	497	0.50
	Ss-1-+	頂版	5	123	500	0.25
		側壁	3	139	565	0.25
		隔壁	2	134	392	0.35
		底版	6	230	498	0.47
	Ss-1+-	頂版	4	121	503	0.25
		側壁	3	145	582	0.25
		隔壁	2	134	398	0.34
		底版	6	230	494	0.47
	Ss-1--	頂版	5	116	491	0.24
		側壁	1	130	564	0.24
		隔壁	2	131	389	0.34
		底版	6	211	496	0.43
	Ss-2	頂版	5	98	536	0.19
		側壁	3	117	612	0.20
		隔壁	2	115	392	0.30
		底版	6	177	502	0.36
	Ss-3++	頂版	4	113	519	0.22
		側壁	3	135	592	0.23
		隔壁	2	128	396	0.33
		底版	6	222	498	0.45
	Ss-3-+	頂版	5	114	506	0.23
		側壁	1	123	557	0.23
		隔壁	2	128	394	0.33
		底版	6	204	497	0.42

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

表 5-21 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果 (B-B断面) (2/3)

解析 ケース	地震動	評価位置		照査用 せん断力*	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
				V_d (kN)		
①	Ss-3+-	頂版	5	109	518	0.22
		側壁	3	117	557	0.22
		隔壁	2	128	392	0.33
		底版	6	197	497	0.40
	Ss-3--	頂版	5	106	511	0.21
		側壁	3	120	578	0.21
		隔壁	2	126	390	0.33
		底版	6	216	518	0.42
	Ss-4	頂版	5	71	550	0.13
		側壁	1	89	612	0.15
		隔壁	2	78	399	0.20
		底版	7	120	542	0.23
	Ss-5	頂版	5	65	557	0.12
		側壁	1	85	601	0.15
		隔壁	2	69	398	0.18
		底版	6	111	532	0.21
	Ss-6	頂版	4	70	549	0.13
		側壁	3	95	640	0.15
		隔壁	2	78	400	0.20
		底版	6	131	532	0.25
	Ss-7	頂版	5	61	549	0.12
		側壁	3	80	634	0.13
		隔壁	2	65	400	0.17
		底版	7	101	534	0.19
	Ss-8++	頂版	5	109	501	0.22
		側壁	1	113	536	0.22
		隔壁	2	127	392	0.33
		底版	7	176	496	0.36

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

表 5-21 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果 (B-B断面) (3/3)

解析 ケース	地震動	評価位置		照査用 せん断力*	せん断耐力	照査値
				V_d (kN)	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
①	Ss-8-+	頂版	4	108	502	0.22
		側壁	3	117	543	0.22
		隔壁	2	126	393	0.33
		底版	6	191	500	0.39
②	Ss-1++	頂版	4	113	504	0.23
		側壁	3	134	565	0.24
		隔壁	2	131	395	0.34
		底版	6	228	497	0.46
③	Ss-1++	頂版	5	121	494	0.25
		側壁	3	146	567	0.26
		隔壁	2	140	395	0.36
		底版	6	265	496	0.54
④	Ss-1++	頂版	4	107	512	0.21
		側壁	3	122	548	0.23
		隔壁	2	126	396	0.32
		底版	6	203	500	0.41
⑤	Ss-1++	頂版	4	101	523	0.20
		側壁	3	112	548	0.21
		隔壁	2	118	396	0.30
		底版	6	166	504	0.33

注記* : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

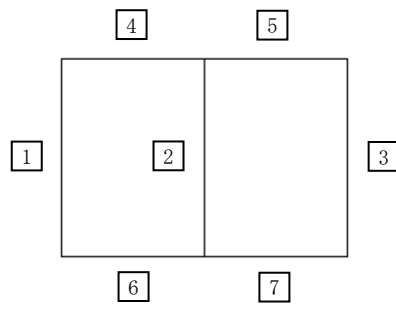
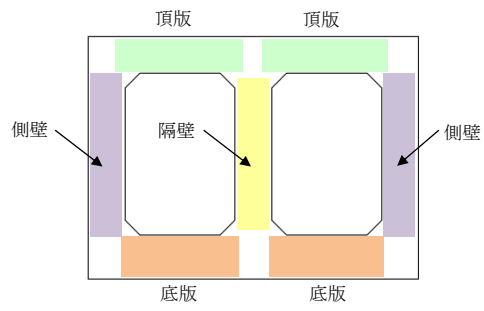


図 5-16 B-B断面の評価位置

5.3 鋼管杭の耐震評価

5.3.1 鋼管杭の曲げ軸力に対する評価結果

鋼管杭の曲げ軸力照査結果を表 5-22 及び表 5-23 に示す。

照査結果より，照査用曲率が終局曲率を下回ることを確認した。

表 5-22 鋼管杭の曲げ軸力照査結果 (A-A断面)

解析 ケース	評価位置*1	地震動	照査用曲率*2 ϕ_d (1/m)	終局曲率 ϕ_u (1/m)	照査値 ϕ_d / ϕ_u
①	北側	Ss-1++	7.94×10^{-4}	1.24×10^{-2}	0.07
	北側	Ss-1-+	9.43×10^{-4}	1.42×10^{-2}	0.07
	北側	Ss-1+-	8.19×10^{-4}	1.28×10^{-2}	0.07
	北側	Ss-1--	8.31×10^{-4}	1.39×10^{-2}	0.06
	北側	Ss-2	3.12×10^{-4}	1.32×10^{-2}	0.03
	北側	Ss-3++	7.92×10^{-4}	1.31×10^{-2}	0.07
	北側	Ss-3-+	8.64×10^{-4}	1.44×10^{-2}	0.06
	南側	Ss-3+-	7.62×10^{-4}	1.36×10^{-2}	0.06
	北側	Ss-3--	7.43×10^{-4}	1.26×10^{-2}	0.06
	北側	Ss-4	2.16×10^{-4}	1.32×10^{-2}	0.02
	北側	Ss-5	2.54×10^{-4}	1.39×10^{-2}	0.02
	北側	Ss-6	2.32×10^{-4}	1.34×10^{-2}	0.02
	北側	Ss-7	2.00×10^{-4}	1.28×10^{-2}	0.02
	北側	Ss-8++	8.36×10^{-4}	1.48×10^{-2}	0.06
	南側	Ss-8-+	7.09×10^{-4}	1.40×10^{-2}	0.06
②	北側	Ss-1--	6.83×10^{-4}	1.38×10^{-2}	0.05
③	北側	Ss-1--	1.22×10^{-3}	1.35×10^{-2}	0.10
④	北側	Ss-1--	7.79×10^{-4}	1.28×10^{-2}	0.07
⑤	北側	Ss-1--	6.81×10^{-4}	1.27×10^{-2}	0.06

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用曲率 $\phi_d =$ 発生曲率 \times 構造解析係数 γ_a

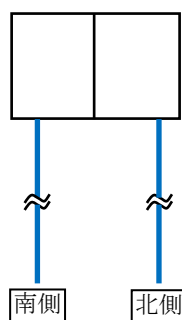
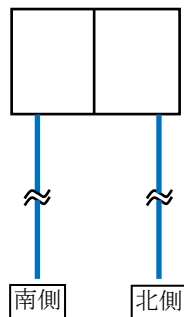


表 5-23 鋼管杭の曲げ軸力照査結果 (B-B断面)

解析 ケース	評価位置*1	地震動	照査用曲率*2 ϕ_d (1/m)	終局曲率 ϕ_u (1/m)	照査値 ϕ_d / ϕ_u
①	南側	Ss-1++	3.78×10^{-4}	1.31×10^{-2}	0.03
	南側	Ss-1-+	4.79×10^{-4}	1.39×10^{-2}	0.04
	南側	Ss-1+-	3.46×10^{-4}	1.34×10^{-2}	0.03
	南側	Ss-1--	4.24×10^{-4}	1.36×10^{-2}	0.04
	南側	Ss-2	2.45×10^{-4}	1.45×10^{-2}	0.02
	北側	Ss-3++	3.01×10^{-4}	1.28×10^{-2}	0.03
	南側	Ss-3-+	3.36×10^{-4}	1.37×10^{-2}	0.03
	南側	Ss-3+-	4.00×10^{-4}	1.42×10^{-2}	0.03
	南側	Ss-3--	3.78×10^{-4}	1.45×10^{-2}	0.03
	南側	Ss-4	1.15×10^{-4}	1.35×10^{-2}	0.01
	南側	Ss-5	1.21×10^{-4}	1.38×10^{-2}	0.01
	南側	Ss-6	1.11×10^{-4}	1.67×10^{-2}	0.01
	北側	Ss-7	1.10×10^{-4}	1.68×10^{-2}	0.01
	南側	Ss-8++	2.73×10^{-4}	1.38×10^{-2}	0.02
	南側	Ss-8-+	3.51×10^{-4}	1.44×10^{-2}	0.03
②	南側	Ss-1++	3.82×10^{-4}	1.49×10^{-2}	0.03
③	南側	Ss-1++	4.80×10^{-4}	1.32×10^{-2}	0.04
④	南側	Ss-1++	3.93×10^{-4}	1.49×10^{-2}	0.03
⑤	南側	Ss-1++	3.55×10^{-4}	1.46×10^{-2}	0.03

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用曲率 $\phi_d =$ 発生曲率 \times 構造解析係数 γ_a



5.3.1 鋼管杭のせん断力に対する評価結果

鋼管杭のせん断力照査結果を表 5-24 及び表 5-25 に示す。

照査結果より，照査用せん断力が終局せん断強度を下回ることを確認した。

表 5-24 鋼管杭のせん断力照査結果 (A-A断面)

解析 ケース	評価位置*1	地震動	照査用 せん断力*2 Q_d (kN)	終局 せん断強度 Q_u (kN)	照査値 Q_d/Q_u
①	北側	Ss-1++	516	1677	0.31
	北側	Ss-1-+	489	1677	0.30
	北側	Ss-1+-	510	1677	0.31
	北側	Ss-1--	496	1677	0.30
	北側	Ss-2	191	1677	0.12
	北側	Ss-3++	505	1677	0.31
	北側	Ss-3-+	542	1677	0.33
	北側	Ss-3+-	473	1677	0.29
	北側	Ss-3--	471	1677	0.29
	北側	Ss-4	132	1677	0.08
	北側	Ss-5	153	1677	0.10
	北側	Ss-6	132	1677	0.08
	北側	Ss-7	129	1677	0.08
	北側	Ss-8++	476	1677	0.29
	北側	Ss-8-+	375	1677	0.23
②	北側	Ss-1--	438	1677	0.27
③	北側	Ss-1--	581	1677	0.35
④	北側	Ss-1--	474	1677	0.29
⑤	北側	Ss-1--	430	1677	0.26

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用せん断力 $Q_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

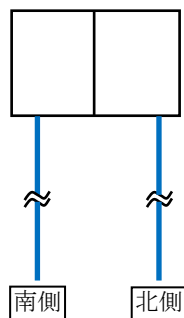
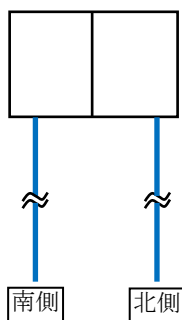


表 5-25 鋼管杭のせん断力照査結果 (B-B断面)

解析 ケース	評価位置*1	地震動	照査用 せん断力*2 Q_d (kN)	終局 せん断強度 Q_u (kN)	照査値 Q_d / Q_u
①	南側	Ss-1++	487	1977	0.25
	南側	Ss-1-+	424	1977	0.22
	南側	Ss-1+-	457	1977	0.24
	南側	Ss-1--	374	1977	0.19
	南側	Ss-2	334	1977	0.17
	南側	Ss-3++	336	1977	0.17
	南側	Ss-3-+	367	1977	0.19
	南側	Ss-3+-	365	1977	0.19
	南側	Ss-3--	427	1977	0.22
	北側	Ss-4	136	1977	0.07
	北側	Ss-5	186	1977	0.10
	南側	Ss-6	184	1977	0.10
	北側	Ss-7	186	1977	0.10
	南側	Ss-8++	273	1977	0.14
	南側	Ss-8-+	328	1977	0.17
②	南側	Ss-1++	336	1977	0.19
③	南側	Ss-1++	635	1977	0.33
④	南側	Ss-1++	361	1977	0.19
⑤	南側	Ss-1++	206	1677	0.13

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用せん断力 Q_d = 発生せん断力 × 構造解析係数 γ_a



5.4 基礎地盤の支持性能に対する支持力評価

5.4.1 基礎地盤の押し込みに対する支持性能評価

基礎地盤の押し込みに対する支持性能照査結果を表 5-26 及び表 5-27 に示す。

照査結果より、全時刻歴において発生した杭頭の鉛直力が終局鉛直支持力を下回ることを確認した。

表 5-26 基礎地盤の押し込みに対する支持性能照査結果 (A-A断面)

解析 ケース	評価位置*1	地震動	鉛直力 R_a (kN)	終局 鉛直支持力*2 R_{ua} (kN)	照査値 R_a/R_{ua}
①	南側	Ss-1++	581	9160	0.07
	南側	Ss-1-+	579	9160	0.07
	北側	Ss-1+-	562	9160	0.07
	南側	Ss-1--	563	9160	0.07
	北側	Ss-2	497	9160	0.06
	南側	Ss-3++	526	9160	0.06
	南側	Ss-3-+	520	9160	0.06
	南側	Ss-3+-	572	9160	0.07
	南側	Ss-3--	577	9160	0.07
	北側	Ss-4	452	9160	0.05
	南側	Ss-5	447	9160	0.05
	南側	Ss-6	475	9160	0.06
	北側	Ss-7	400	9160	0.05
	北側	Ss-8++	545	9160	0.06
	南側	Ss-8-+	607	9160	0.07
②	南側	Ss-1--	501	9160	0.06
③	北側	Ss-1--	770	9160	0.09
④	南側	Ss-1--	542	9160	0.06
⑤	南側	Ss-1--	481	9160	0.06

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 終局鉛直支持力 R_{ua} = 極限支持力 R_u ÷ 安全率

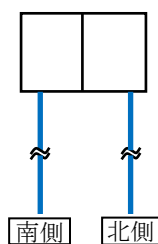
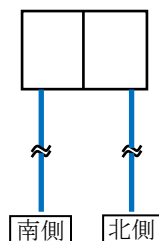


表 5-27 基礎地盤の押込みに対する支持性能照査結果（B-B断面）

解析 ケース	評価位置*1	地震動	鉛直力 R_a (kN)	終局 鉛直支持力*2 R_{ua} (kN)	照査値 R_a/R_{ua}
①	南側	Ss-1++	826	8011	0.11
	南側	Ss-1-+	655	8011	0.09
	南側	Ss-1+-	847	8011	0.11
	南側	Ss-1--	682	8011	0.09
	南側	Ss-2	538	8011	0.07
	南側	Ss-3++	811	8011	0.11
	南側	Ss-3-+	809	8011	0.11
	南側	Ss-3+-	797	8011	0.10
	南側	Ss-3--	809	8011	0.11
	北側	Ss-4	397	8011	0.05
	南側	Ss-5	397	8011	0.05
	南側	Ss-6	456	8011	0.06
	南側	Ss-7	445	8011	0.06
	南側	Ss-8++	505	8011	0.07
南側	Ss-8-+	422	8011	0.06	
②	南側	Ss-1++	818	8011	0.11
③	南側	Ss-1++	806	8011	0.11
④	南側	Ss-1++	661	8011	0.09
⑤	南側	Ss-1++	609	8011	0.08

注記*1：評価位置は下図に示す。

*2：照査用せん断力 Q_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a



5.4.2 基礎地盤の引抜きに対する評価

基礎地盤の引抜きに対する支持性能照査結果を表 5-28 及び表 5-29 に示す。

照査結果より、全時刻歴において発生した引抜き力が終局引抜き力を下回ることを確認した。

表 5-28 基礎地盤の引抜きに対する支持性能照査結果 (A-A断面)

解析 ケース	評価位置*1	地震動	引抜き力 P_a (kN)	終局 引抜き力*2 P_{ua} (kN)	照査値 P_a / P_{ua}
①	南側	Ss-1++	887	4993	0.18
	南側	Ss-1-+	884	4993	0.18
	南側	Ss-1+-	935	4993	0.19
	南側	Ss-1--	974	4993	0.20
	南側	Ss-2	459	4993	0.10
	南側	Ss-3++	717	4993	0.15
	南側	Ss-3-+	815	4993	0.17
	南側	Ss-3+-	848	4993	0.17
	南側	Ss-3--	742	4993	0.15
	南側	Ss-4	295	4993	0.06
	南側	Ss-5	256	4993	0.06
	南側	Ss-6	267	4993	0.06
	南側	Ss-7	237	4993	0.05
	南側	Ss-8++	771	4993	0.16
	北側	Ss-8-+	633	4993	0.13
②	南側	Ss-1--	823	4993	0.17
③	北側	Ss-1--	948	4993	0.19
④	南側	Ss-1--	818	4993	0.17
⑤	南側	Ss-1--	628	4993	0.13

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 終局引抜き力 P_{ua} = 極限引抜き力 P_u ÷ 安全率

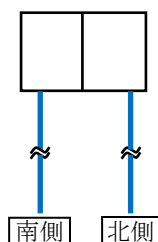
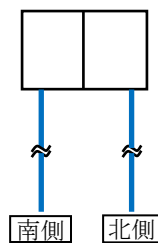


表 5-29 基礎地盤の引抜きに対する支持性能照査結果（B-B断面）

解析 ケース	評価位置*1	地震動	引抜き力 P_a (kN)	終局 引抜き力*2 P_{ua} (kN)	照査値 P_a / P_{ua}
①	北側	Ss-1++	725	3844	0.19
	北側	Ss-1-+	706	3844	0.19
	北側	Ss-1+-	740	3844	0.20
	北側	Ss-1--	724	3844	0.19
	北側	Ss-2	493	3844	0.13
	北側	Ss-3++	557	3844	0.15
	北側	Ss-3-+	621	3844	0.17
	北側	Ss-3+-	707	3844	0.19
	南側	Ss-3--	618	3844	0.17
	南側	Ss-4	131	3844	0.04
	北側	Ss-5	241	3844	0.07
	北側	Ss-6	183	3844	0.05
	南側	Ss-7	180	3844	0.05
	南側	Ss-8++	612	3844	0.16
	北側	Ss-8-+	626	3844	0.17
②	北側	Ss-1++	663	3844	0.18
③	北側	Ss-1++	832	3844	0.22
④	北側	Ss-1++	484	3844	0.13
⑤	北側	Ss-1++	394	3844	0.11

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 終局引抜き力 P_{ua} = 極限引抜き力 P_u ÷ 安全率



6. まとめ

燃料移送系配管ダクトは，基準地震動 S_s に対して，構造物の地震応答解析に基づく曲げ軸力に伴う層間変形角，曲率及びせん断力が各部材の要求性能に応じた許容限界以下であることを確認した。基礎地盤の支持性能評価については，地震応答解析に基づく杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力及び終局引抜き力を下回ることを確認した。

以上のことから，燃料移送系配管ダクトは，基準地震動 S_s による地震力に対して，間接支持機能を維持できる。

燃料移送系配管ダクトの耐震安全性評価に関する参考資料

目 次

(参考資料 1) 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について	参考 1-1
(参考資料 2) 杭頭部の耐震評価	参考 2-1
(参考資料 3) 積雪荷重の影響評価	参考 3-1
(参考資料 4) 燃料移送系配管ダクト接合部の健全性評価	参考 4-1
(参考資料 5) 杭先端の極限支持力度の設定について	参考 5-1
(参考資料 6) 静的地震力に対する耐震評価	参考 6-1
(参考資料 7) 新設地盤改良体の物性値設定が構造物の耐震評価及び機器・配管系に対する応答加速度に与える影響確認	参考 7-1

(参考資料 1) 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について

1. 概要

燃料移送系配管ダクトの地震応答解析では、鉄筋コンクリート部材を非線形はり要素にてモデル化しており、鉄筋コンクリート部材の非線形特性（ $M-\phi$ 関係）にはトリリニアモデルを適用している。一方、有効応力解析コード F L I P（Ver. 7.4.1）では、地震時における鉄筋コンクリート部材の軸力は一定として扱われる。

本項では、基準地震動 S_s を入力とした地震応答解析による鉄筋コンクリート部材の各部材の軸力及び曲げモーメントの変動範囲を踏まえた上で、部材の非線形特性に与える影響を検討し、耐震評価において軸力が一定とされる有効応力解析コード F L I P（Ver. 7.4.1）の非線形特性を用いることの妥当性を検討する。

2. 検討内容

2.1 検討ケース

本検討では、鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する照査値が最も厳しい解析ケース、地震動及び解析断面を代表ケースとして選定する。部材の軸力変動範囲を確認するための検討ケースを表 2-1 に示す。

対象部材は、土被り荷重を分担する鉛直部材である側壁及び隔壁とし、それぞれの部材において曲げ損傷が大きい部位に着目する。検討ケースにおける対象部材・部位を図 2-1 に示す。

表 2-1 部材の軸力変動範囲を確認するための検討ケース

項目	条件
解析ケース	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)
入力地震動	$S_s - 1$ (++)
解析断面	B-B断面
確認対象部材	図 2-1 に示すとおり

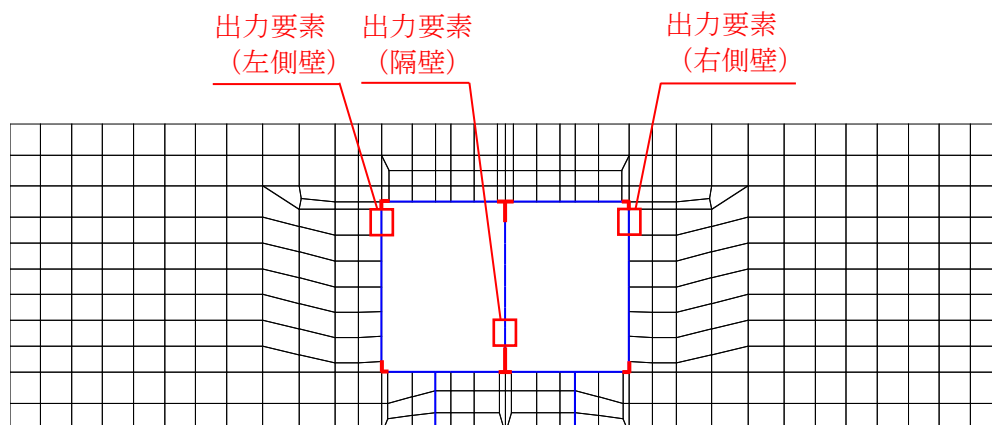


図 2-1 検討ケースにおける対象部材・部位 (B-B断面)

2.2 検討方法

地震応答解析により鉄筋コンクリート部材における軸力及び曲げモーメントの変動範囲を抽出し、当該部材の M_u (終局モーメント) - N (軸力) 関係及び M_y (降伏モーメント) - N (軸力) 関係と比較することにより、軸力変動の影響を検討する。

3. 検討結果

図 3-1～図 3-3 に、検討ケースにおける鉄筋コンクリート部材の軸力及び曲げモーメントの変動範囲と、当該部材の M_u - N 関係及び M_y - N 関係を示す。また、同図には、FLIPにて非線形特性として用いられている M_u 及び M_y の設定根拠である常時応力解析による当該部材の軸力をプロットしている。

これより、地震時の鉄筋コンクリート部材における軸力の変動範囲は、概ね常時応力解析における軸力と同程度であることがわかる。また、本検討での評価対象部位に発生する曲げモーメントは M_y (降伏モーメント) 以下であり、弾性範囲内に収まっている。

以上より、鉄筋コンクリート部材において、軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響は軽微であり、耐震評価において軸力が一定とされる有効応力解析コード「FLIP Ver. 7.4.1」の当該非線形特性を用いることは妥当である。

○ 側壁

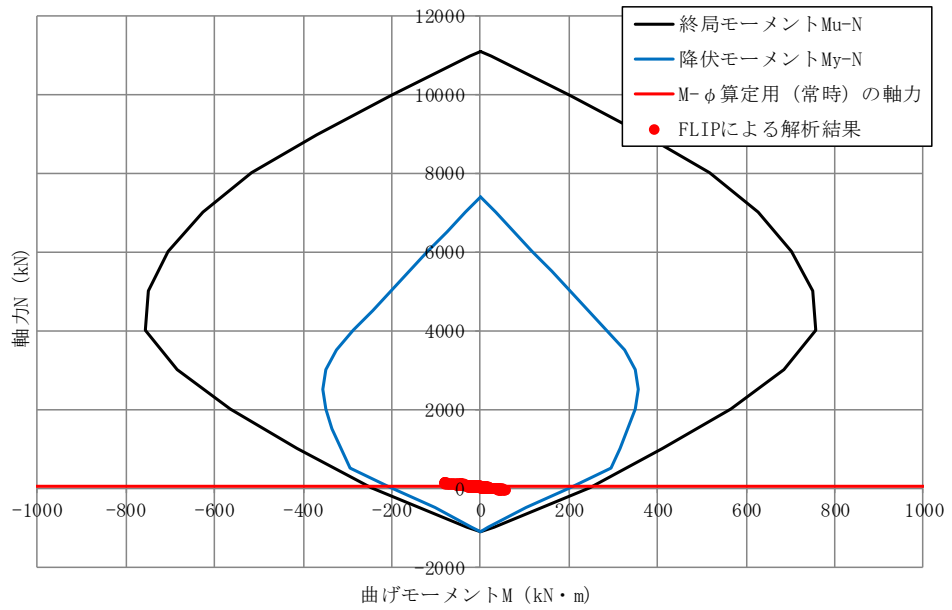


図 3-1 基準地震動 S_s による燃料移送系配管ダクトの部材の応答範囲 (左側壁)

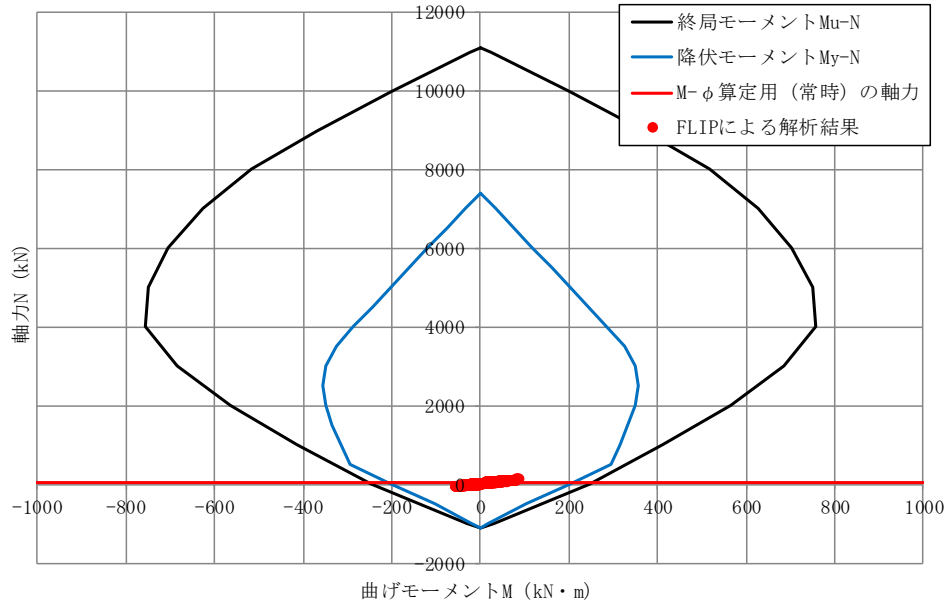


図 3-2 基準地震動 S_s による燃料移送系配管ダクトの部材の応答範囲 (右側壁)

○ 隔壁

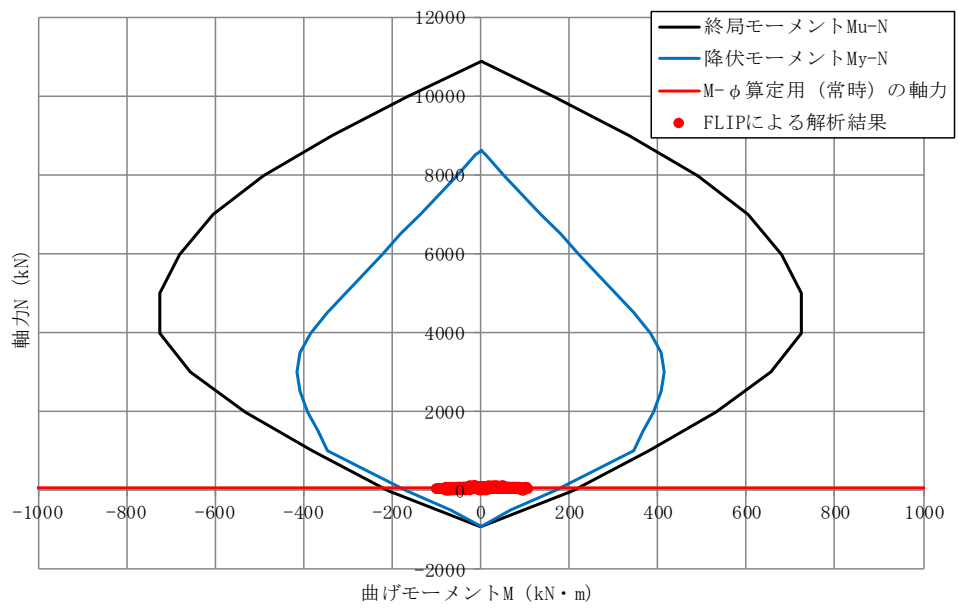


図 3-3 基準地震動 S_s による燃料移送系配管ダクトの部材の応答範囲 (隔壁)

(参考資料 2) 杭頭部の耐震評価

1. 概要

燃料移送系配管ダクトの杭と鉄筋コンクリート部材は、「道路橋示方書・同解説(IV下部構造編)(日本道路協会,平成14年3月)」(以下「道路橋示方書」という。)に示される方法Bにより結合している。燃料移送系配管ダクトの杭頭部の耐震評価として, KK7 補足-027-2「軽油タンク基礎の耐震安全性評価 参考資料1-2」に示す方法Bに対する照査項目に則り, 押抜きせん断応力度照査及び仮想鉄筋コンクリート断面による杭頭部の曲げ軸力照査を実施する。

2. 押抜きせん断応力度照査

2.1 照査方法

押抜きせん断応力度照査は, 「道路橋示方書・同解説(IV下部構造編)(日本道路協会,平成14年3月)」に基づき, ダクト底版に生じる押抜きせん断応力度が, 許容押抜きせん断応力度以下であることを確認する。ダクト底版の押抜きせん断応力度は, 道路橋示方書・同解説(I共通編・IIIコンクリート橋編)(日本道路協会,平成14年3月)」に基づき下式により算定し, 許容押抜きせん断応力度以下となることを確認する。

$$\tau_p = \frac{P}{\pi(D+h)h} \leq \tau_a$$

τ_p : 押抜きせん断応力度(N/mm²)

P : 荷重(N)

D : 杭径(mm)

h : 押し抜きせん断に抵抗する底版の有効高さ(mm)

τ_a : 許容押抜きせん断応力度(N/mm²)

2.2 照査結果

照査結果を表 2-1 及び表 2-2 に示す。各解析ケースにおいて生じるダクト底版の押し抜きせん断応力度が、許容限界以下であることを確認した。

表 2-1 押し抜きせん断応力度照査結果 (A-A 断面)

検討 ケース	地震動	照査位置	圧縮 軸力 (kN)	押し抜き せん断応力度* (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	Ss-1++	南側	580	0.30	0.89	0.34
	Ss-1-+	南側	580	0.30	0.89	0.34
	Ss-1+-	北側	562	0.29	0.89	0.33
	Ss-1--	南側	562	0.29	0.89	0.33
	Ss-2	北側	496	0.26	0.89	0.30
	Ss-3++	南側	526	0.28	0.89	0.32
	Ss-3-+	南側	519	0.27	0.89	0.31
	Ss-3+-	南側	571	0.30	0.89	0.34
	Ss-3--	南側	576	0.30	0.89	0.34
	Ss-4	北側	452	0.24	0.89	0.27
	Ss-5	南側	447	0.24	0.89	0.27
	Ss-6	南側	474	0.25	0.89	0.29
	Ss-7	北側	401	0.21	0.89	0.24
	Ss-8++	北側	545	0.29	0.89	0.33
	Ss-8-+	南側	607	0.32	0.89	0.36
②	Ss-8-+	南側	532	0.28	0.89	0.32
③	Ss-8-+	南側	633	0.33	0.89	0.38
④	Ss-8-+	南側	572	0.30	0.89	0.34
⑤	Ss-8-+	南側	391	0.21	0.89	0.24

注記* : 押し抜きせん断応力度 = 発生押し抜きせん断応力度 × 構造解析係数 γ_a

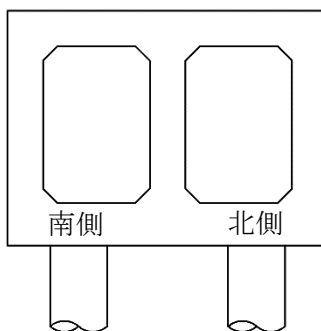


図 2-1 照査位置

表 2-2 押し抜きせん断応力度照査結果 (B-B断面)

検討 ケース	地震動	照査位置	圧縮 軸力 (kN)	押し抜き せん断応力度* (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	Ss-1++	南側	827	0.43	0.89	0.49
	Ss-1-+	北側	658	0.34	0.89	0.39
	Ss-1+-	南側	846	0.44	0.89	0.50
	Ss-1--	南側	681	0.36	0.89	0.41
	Ss-2	南側	538	0.28	0.89	0.32
	Ss-3++	南側	811	0.42	0.89	0.48
	Ss-3-+	南側	809	0.42	0.89	0.48
	Ss-3+-	南側	797	0.42	0.89	0.48
	Ss-3--	南側	809	0.42	0.89	0.48
	Ss-4	北側	396	0.21	0.89	0.24
	Ss-5	南側	397	0.21	0.89	0.24
	Ss-6	南側	456	0.24	0.89	0.27
	Ss-7	南側	445	0.23	0.89	0.26
	Ss-8++	南側	505	0.26	0.89	0.30
	Ss-8-+	南側	423	0.22	0.89	0.25
②	Ss-1+-	南側	828	0.43	0.89	0.49
③	Ss-1+-	南側	811	0.42	0.89	0.48
④	Ss-1+-	南側	704	0.37	0.89	0.42
⑤	Ss-1+-	南側	634	0.33	0.89	0.38

注記* : 押し抜きせん断応力度 = 発生押し抜きせん断応力度 × 構造解析係数 γ_a

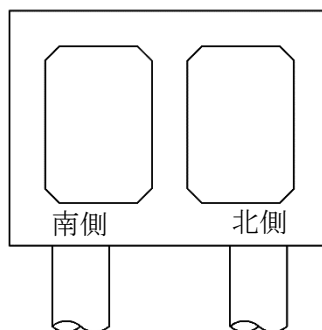


図 2-2 照査位置

3. 仮想鉄筋コンクリート断面による曲げ軸力照査

3.1 照査方法

仮想鉄筋コンクリート断面による曲げ軸力照査は「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（平成 29 年 11 月）」に基づき、表 3-1 及び図 3-1 に示す仮想鉄筋コンクリート断面を設定し、杭頭の曲げモーメント及び軸力に対し、仮想鉄筋コンクリート断面の曲げ圧縮応力度及び杭頭補強鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。

表 3-1 仮想鉄筋コンクリート断面諸元*

項目		諸元
仮想 RC 断面	杭径 D(mm)	798
	仮想 RC 断面の径(mm)	1098
コンクリート	設計基準強度(N/mm ²)	23.5
	短期許容応力度(N/mm ²)	11.7
杭頭補強鉄筋	材質	SD35 (SD345 相当)
	鉄筋径	D22
	鉄筋の本数(本)	23
	配置半径(mm)	348
	短期許容応力度(N/mm ²)	300

注記* : 「道路橋示方書・同解説（IV 下部構造編）（日本道路協会，平成 29 年 3 月）」に基づき設定

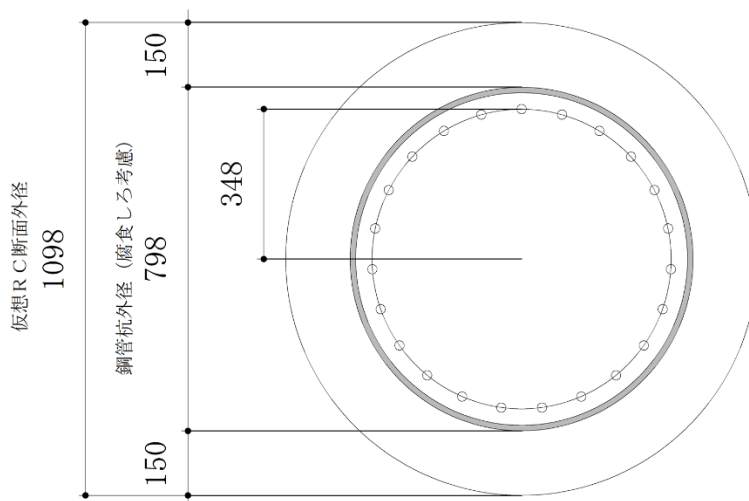


図 3-1 概略補強配筋図（杭頭補強鉄筋）*

注記* : 「道路橋示方書・同解説（IV 下部構造編）（日本道路協会，平成 29 年 3 月）」に基づき設定

3.2 照査結果

照査結果を表 3-2 及び表 3-3 に示す。各解析ケースにおいて生じる仮想鉄筋コンクリート断面の曲げ圧縮応力度及び杭頭補強鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

表 3-2 杭頭補強鉄筋の照査結果 (A-A断面) (1/3)

解析ケース	地震動	照査項目	照査位置	照査用 応力度* (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	Ss-1++	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.4	11.7	0.12
		鉄筋の 引張応力度	南側	175	300	0.59
	Ss-1-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.3	11.7	0.12
		鉄筋の 引張応力度	南側	164	300	0.55
	Ss-1+-	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.4	11.7	0.12
		鉄筋の 引張応力度	南側	179	300	0.60
	Ss-1--	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.3	11.7	0.12
		鉄筋の 引張応力度	南側	176	300	0.59
	Ss-2	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	0.9	11.7	0.08
		鉄筋の 引張応力度	北側	85	300	0.29
	Ss-3++	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.6	11.7	0.14
		鉄筋の 引張応力度	南側	147	300	0.49
	Ss-3-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.8	11.7	0.16
		鉄筋の 引張応力度	南側	165	300	0.55

注記* : 照査用応力度 = 発生応力度 × 構造解析係数 γ_a

表 3-2 杭頭補強鉄筋の照査結果 (A-A断面) (2/3)

解析 ケース	地震動	照査項目	照査 位置	照査用 応力度* (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	Ss-3+-	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.6	11.7	0.14
		鉄筋の 引張応力度	南側	160	300	0.54
	Ss-3--	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.5	11.7	0.13
		鉄筋の 引張応力度	南側	155	300	0.52
	Ss-4	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	0.7	11.7	0.06
		鉄筋の 引張応力度	南側	50	300	0.17
	Ss-5	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	0.7	11.7	0.06
		鉄筋の 引張応力度	南側	46	300	0.16
	Ss-6	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	0.7	11.7	0.06
		鉄筋の 引張応力度	南側	49	300	0.17
	Ss-7	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	0.7	11.7	0.06
		鉄筋の 引張応力度	南側	45	300	0.15
	Ss-8++	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.7	11.7	0.15
		鉄筋の 引張応力度	南側	137	300	0.46
	Ss-8-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.0	11.7	0.09
		鉄筋の 引張応力度	北側	112	300	0.38

注記* : 照査用応力度 = 発生応力度 × 構造解析係数 γ_a

表 3-2 杭頭補強鉄筋の照査結果 (A-A断面) (3/3)

解析 ケース	地震動	照査項目	照査 位置	照査用 応力度* (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
②	Ss-1+-	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.0	11.7	0.09
		鉄筋の 引張応力度	北側	121	300	0.41
③	Ss-1+-	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	4.1	11.7	0.36
		鉄筋の 引張応力度	南側	257	300	0.86
④	Ss-1+-	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	北側	1.2	11.7	0.11
		鉄筋の 引張応力度	南側	147	300	0.49
⑤	Ss-1+-	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	0.8	11.7	0.07
		鉄筋の 引張応力度	南側	93	300	0.31

注記* : 照査用応力度 = 発生応力度 × 構造解析係数 γ_a

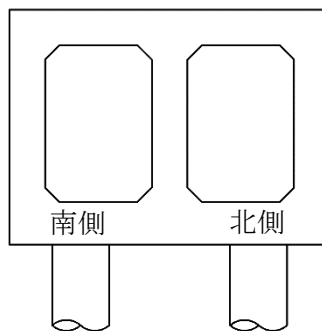


図 3-2 照査位置

表 3-3 杭頭補強鉄筋の照査結果 (B-B断面) (1/3)

解析 ケース	地震動	照査項目	照査 位置	照査用 応力度* (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	Ss-1++	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	2.4	11.7	0.21
		鉄筋の 引張応力度	北側	161	300	0.54
	Ss-1-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	2.0	11.7	0.18
		鉄筋の 引張応力度	南側	164	300	0.55
	Ss-1+-	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	2.4	11.7	0.21
		鉄筋の 引張応力度	北側	164	300	0.55
	Ss-1--	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	2.1	11.7	0.18
		鉄筋の 引張応力度	北側	161	300	0.54
	Ss-2	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.2	11.7	0.11
		鉄筋の 引張応力度	南側	105	300	0.35
	Ss-3++	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	2.1	11.7	0.18
		鉄筋の 引張応力度	北側	139	300	0.47
	Ss-3-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.9	11.7	0.17
		鉄筋の 引張応力度	北側	140	300	0.47

注記* : 照査用応力度 = 発生応力度 × 構造解析係数 γ_a

表 3-3 杭頭補強鉄筋の照査結果 (B-B断面) (2/3)

解析 ケース	地震動	照査項目	照査 位置	照査用 応力度* (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
①	Ss-3+-	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.9	11.7	0.17
		鉄筋の 引張応力度	北側	153	300	0.51
	Ss-3--	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	2.0	11.7	0.18
		鉄筋の 引張応力度	南側	149	300	0.50
	Ss-4	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	0.6	11.7	0.06
		鉄筋の 引張応力度	南側	33	300	0.11
	Ss-5	コンクリートの曲 げ圧縮応力度	南側	0.7	11.7	0.06
		鉄筋の 引張応力度	北側	52	300	0.18
	Ss-6	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	0.9	11.7	0.08
		鉄筋の 引張応力度	北側	48	300	0.16
	Ss-7	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	0.9	11.7	0.08
		鉄筋の 引張応力度	南側	49	300	0.17
	Ss-8++	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.1	11.7	0.10
		鉄筋の 引張応力度	南側	125	300	0.42
	Ss-8-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	0.9	11.7	0.08
		鉄筋の 引張応力度	北側	113	300	0.38

注記* : 照査用応力度=発生応力度×構造解析係数 γ_a

表 3-3 杭頭補強鉄筋の照査結果 (B-B断面) (3/3)

解析 ケース	地震動	照査項目	照査 位置	照査用 応力度* (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
②	Ss-1-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	2.8	11.7	0.24
		鉄筋の 引張応力度	南側	169	300	0.57
③	Ss-1-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.5	11.7	0.13
		鉄筋の 引張応力度	南側	167	300	0.56
④	Ss-1-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.3	11.7	0.12
		鉄筋の 引張応力度	南側	115	300	0.39
⑤	Ss-1-+	コンクリートの 曲げ圧縮応力度	南側	1.6	11.7	0.14
		鉄筋の 引張応力度	南側	111	300	0.37

注記* : 照査用応力度 = 発生応力度 × 構造解析係数 γ_a

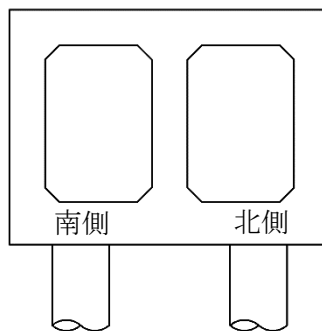


図 3-3 照査位置

(参考資料 3) 積雪荷重の影響評価

1. 概要

屋外重要土木構造物のうち土被りを有する構造物については、積雪荷重が構造物に与える影響は軽微であると判断し、耐震評価における地震力と組み合わせる荷重として積雪荷重を考慮していない。

ここで、燃料移送系配管ダクトは土被りが約 1.0m と、土被りを有する屋外重要土木構造物の中で、最も土被りの小さい構造物である。そこで本項では、燃料移送系配管ダクトに対する積雪荷重の影響検討を行い、上記積雪荷重の方針に対する妥当性を確認する。

2. 検討方針

積雪荷重を考慮しない解析（以下「基本ケース」という。）の耐震評価結果と、積雪荷重を考慮した解析（以下「積雪荷重考慮ケース」という。）の耐震評価結果を比較し、積雪荷重による影響を確認する。

積雪荷重考慮ケースの検討は、基本ケースの耐震評価において照査値が卓越する鉄筋コンクリート部材のせん断力照査の結果に着目し、頂版、側壁、隔壁、底版の各照査値が最も厳しいB-B断面の「解析ケース③、基準地震動 S_s-1++ 」とする。

3. 積雪荷重の設定

積雪荷重の概念図を図 3-1 に示す。積雪荷重は、屋外重要土木構造物のうち積雪荷重を考慮している軽油タンク基礎や常設代替交流電源設備基礎と同一の条件として、積雪厚さ 115.4cm、積雪厚さ 1cm あたりの荷重を $29.4\text{N/cm} \cdot \text{m}^2$ とし、ダクト躯体のモデル幅で地表面に分布荷重として設定する。

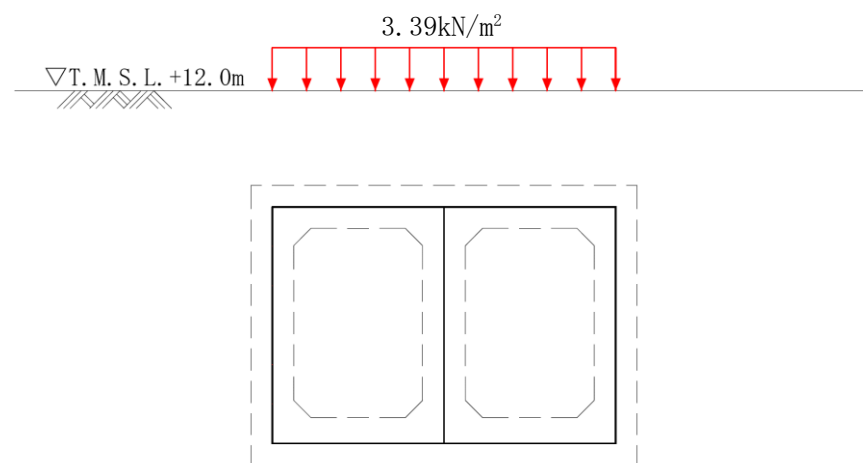


図 3-1 積雪荷重設定の概念図*

注記* : 水平方向にも同位置に載荷する

4. 耐震評価結果の比較

基本ケースと積雪荷重考慮ケースのせん断力照査の比較結果を表 4-1～表 4-4 に示す。積雪荷重考慮ケースの照査値は基本ケースを若干上回るものの、せん断耐力に対して十分余裕があることを確認した。

表 4-1 頂版のせん断照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
基本ケース	121	494	0.25
積雪荷重考慮ケース	124	497	0.25

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

表 4-2 側壁のせん断照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
基本ケース	146	567	0.26
積雪荷重考慮ケース	148	561	0.27

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

表 4-3 隔壁のせん断照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
基本ケース	140	395	0.36
積雪荷重考慮ケース	143	396	0.37

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

表 4-4 底版のせん断照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
基本ケース	265	496	0.54
積雪荷重考慮ケース	275	496	0.56

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

5. まとめ

土被りを有する屋外重要土木構造物の耐震評価において、積雪荷重を考慮しない方針の妥当性確認として、燃料移送系配管ダクトに対する積雪荷重の影響評価を実施した。積雪荷重未考慮の基本ケースと積雪荷重を考慮したケースの耐震評価結果を比較した結果、発生力に若干の変化はあるものの、照査値の差は最大で 0.02 程度であり、許容限界に対して十分な余裕があることを確認した。

(参考資料 4) 燃料移送系配管ダクトの接合部の健全性評価

1. 概要

燃料移送系配管ダクトの平面図を図 1-1 に示す。燃料移送系配管ダクトは、耐震ジョイント及び緩衝材を介して、西側の原子炉建屋及び東側の軽油タンク基礎と接続している。また、燃料移送系配管ダクト中央付近で耐震ジョイント及び緩衝材を介して2つのブロックに構造分離している。

本項では、これら燃料移送系配管ダクトの接合部の地震時における健全性について検討する。

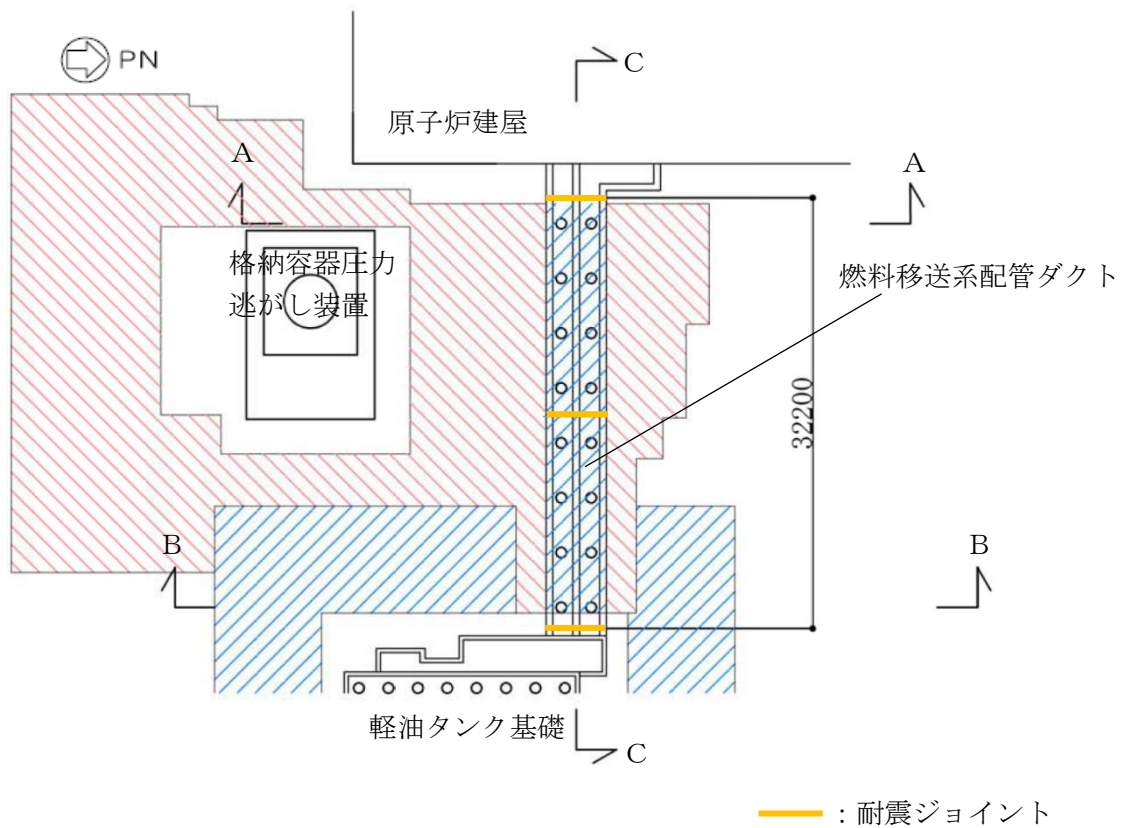


図 1-1 燃料移送系配管ダクトの平面図

2. 検討方針

C-C断面の地震応答解析モデルのダクト周辺拡大図を図 2-1 に示す。燃料移送系配管ダクトと原子炉建屋及び軽油タンク基礎との間には厚さ 5cm の耐震ジョイント及び緩衝材が、燃料移送系配管ダクトのブロック間には厚さ 2cm の耐震ジョイント及び緩衝材が配置されている。

解析モデルでは緩衝材の剛性に基づき、緩衝材を非線形ばね要素としてモデル化しており、接合部における構造物間の軸方向変位に応じ、圧縮力が伝達する設定とすることで、構造物に発生する応力状態を模擬している（本文「3.2.7 非線形ばねの設定」参照）。そのため、C-C断面の地震応答解析における燃料移送系配管ダクトの応答から損傷状態を確認し、接合部における健全性を評価する。

具体的には、燃料移送系配管ダクトの鉄筋コンクリート部材をモデル化した線形平面要素に生じるひずみが、コンクリートのピーク強度に対応する圧縮ひずみ及び鉄筋の降伏ひずみを下回ることを確認することで、構造物の健全性を確認する。

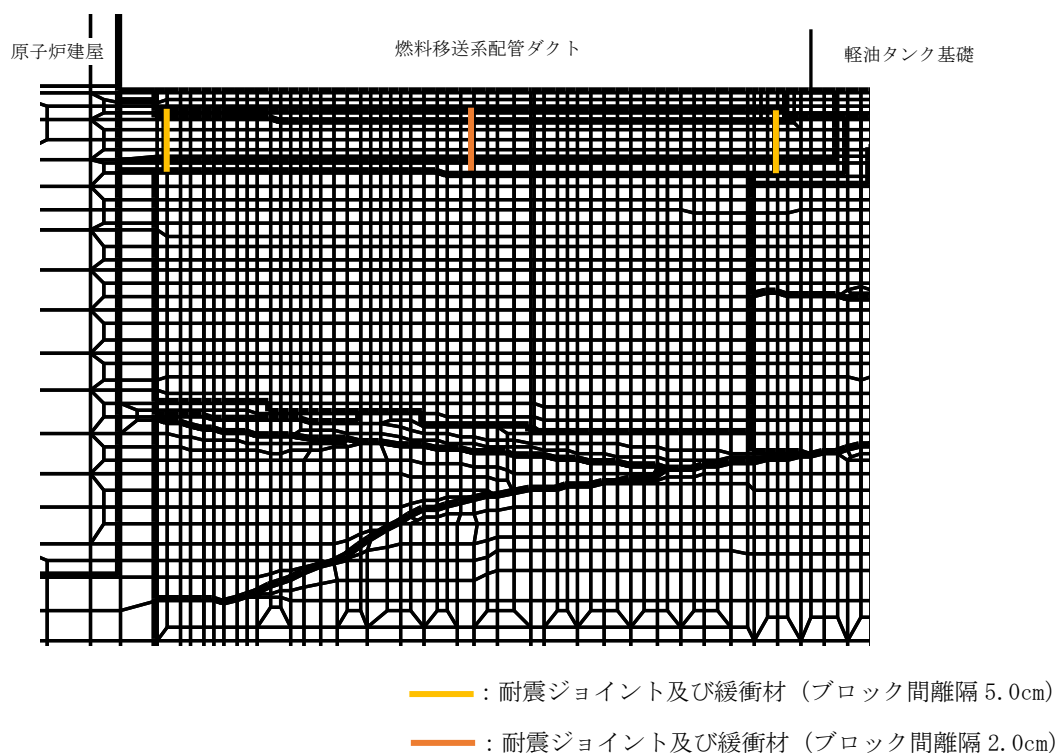


図 2-1 C-C断面の地震応答解析モデル 構造物周辺拡大図

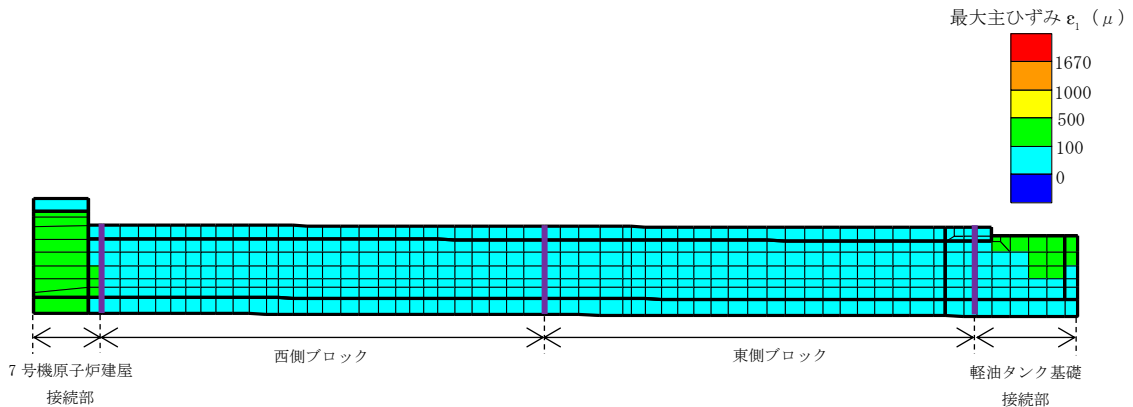
3. 検討結果

ダクトに作用する荷重が大きくなると想定される解析ケースとして、燃料移送系配管ダクトの加速度が最大となるケース（解析ケース③，地震動 Ss-1+-）における最大ひずみ分布図を図 3-1 に示す。燃料移送系配管ダクトに生じるひずみはコンクリートのピーク強度に対応する圧縮ひずみ（ 2000μ ）及び鉄筋の降伏ひずみ（ 1670μ ）を下回ることを確認した。

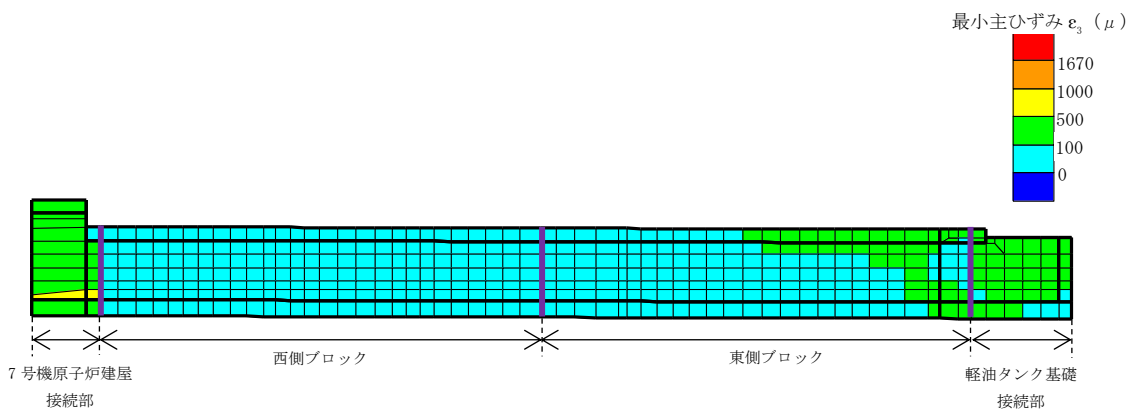
また、同様の確認を C-C 断面で地震応答解析を実施した全ケースに対して実施した結果、全ケースにおいて燃料移送系配管ダクトに生じるひずみはコンクリートのピーク強度に対応する圧縮ひずみ及び鉄筋の降伏ひずみを下回ることを確認した。

注記*：鉄筋降伏時のひずみ（図 3-1 にて ■ で表示）は以下のとおり算定される。

$$f_y/E_s = 345\text{N/mm}^2 \div (2.06 \times 10^5\text{N/mm}^2) = 1.675 \times 10^{-3} \approx 1670\mu$$



最大主ひずみ分布図



最小主ひずみ分布図

図 3-1 C-C 断面の最大ひずみ分布図
(解析ケース③，地震動 Ss-1+-)

4. まとめ

燃料移送系配管ダクトと、原子炉建屋及び軽油タンク基礎との接合部における荷重伝達及び応力状態を模擬できるC-C断面の地震応答解析について、燃料移送系配管ダクト接合部の健全性確認を実施した。C-C断面の鉄筋コンクリート部材の最大ひずみ分布図を確認した結果、解析を実施した全ケースでコンクリートのピーク強度に対応する圧縮ひずみ及び鉄筋の降伏ひずみを下回った。以上より、地震時の燃料移送系配管ダクトの接合部における健全性が確保されることを確認した。

(参考資料 5) 杭先端の極限支持力度の設定について

1. 概要

燃料移送系配管ダクトの杭先端の極限支持力度は、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）（以下「道路橋示方書」と言う。）の杭基礎（中掘り杭工法）に基づき設定している。

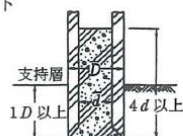
本項では，上記極限支持力度の設定の詳細について説明する。

2. 極限支持力度の設定

道路橋示方書には，中掘り杭工法による杭先端の極限支持力度の設定について表 2-1 の通り示されている。表 2-1 のうち，燃料移送系配管ダクトの先端処理方法は，「セメントミルク噴出攪拌方式」である。

また，表 2-2 に杭の支持層である西山層の標準貫入試験結果を示す。

表 2-1 中掘り杭工法による杭先端の極限支持力度

先端処理方法	杭先端の極限支持力度の算定法
最終打撃方式	打込み杭の算定法を適用する。
セメントミルク 噴出攪拌方式	極限支持力度 (kN/m ²) $q_d = \begin{cases} 150N (\leq 7,500) & \text{砂層} \\ 200N (\leq 10,000) & \text{砂れき層} \end{cases}$ ここに， N ：杭先端地盤の N 値
コンクリート 打設方式 	場所打ち杭の極限支持力度を適用する。

(道路橋示方書より引用)

表 2-2 西山層の標準貫入試験結果

地層	N 値
西山層	62

西山層に対しては砂れき層の極限支持力度を適用し， $q_d = 200N (\leq 10000)$ (kN/m²) より，杭先端の極限支持力度は， $q_d = 10000$ (kN/m²) となる。

3. 西山層の平板載荷試験

図 3-1 に 7 号機原子炉建屋直下の西山層に対する平板載荷試験結果を示す。最大荷重は $63 \text{ (kg/cm}^2\text{)} (=6.17 \times 10^3 \text{ (kN/m}^2\text{)})$ であり、道路橋示方書に基づき N 値から設定している極限支持力度を下回る。

ここで、基礎地盤の押し込みに対する支持性能照査の全解析ケースのうち、照査値が最大となる解析ケース（B-B断面、解析ケース①、地震動 S_s-1+- ）について、極限支持力度を平板載荷試験結果に基づき $6.17 \times 10^3 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ として照査を行った結果を表 3-1 に示す。表 3-1 に示すとおり、平板載荷試験結果に基づき基礎地盤の押し込みに対する支持性能照査を行なった場合においても、十分な裕度があることを確認した。

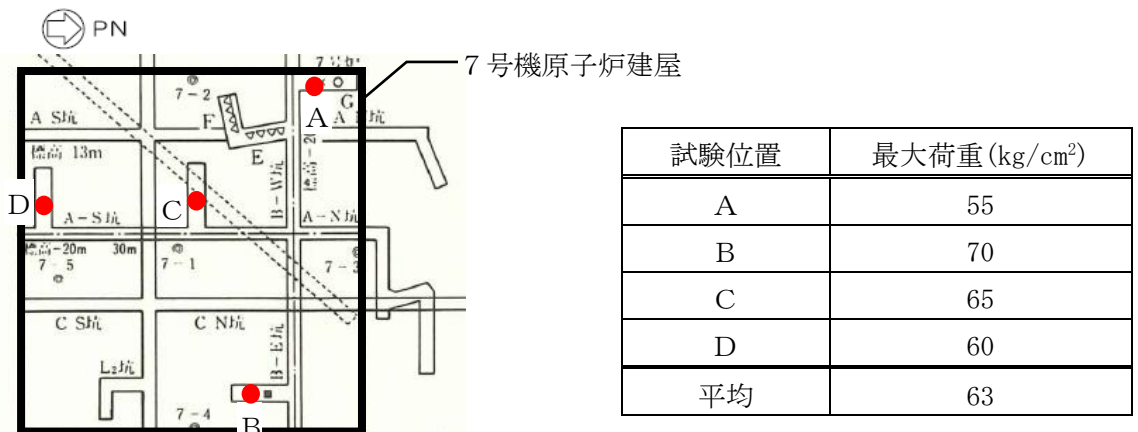


図 3-1 7 号機原子炉建屋直下の平板載荷試験結果

表 3-1 基礎地盤の押し込みに対する支持性能照査の比較

(B-B断面、解析ケース①、地震動 S_s-1+-)

	最大鉛直力 R_a (kN)	終局鉛直支持力* R_{ua} (kN)	照査値 R_a/R_{ua}
道路橋示方書に基づく 極限支持力度	847	8011	0.11
平板載荷試験結果に基づく 極限支持力度	847	6415	0.14

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

4. まとめ

本項では、燃料移送系配管ダクトにおける杭先端の極限支持力度の設定方法の詳細を示した。「2. 極限支持力度の設定」に示したとおり、杭先端の極限支持力度は道路橋示方書に基づき、支持力算定式に西山層の標準貫入試験結果を適用して設定している。

「3. 西山層の平板載荷試験」では、西山層の平板載荷試験の結果と、その結果に基づき極限支持力度を設定した基礎地盤の押し込みに対する支持性能照査を行い、評価結果は十分な裕度があることを確認した。

(参考資料 6) 静的地震力に対する耐震評価

燃料移送系配管ダクトについては、既工認にて評価を実施している同系統の軽油タンク基礎と同様に、Cクラス施設に求められる静的地震力 ($kh=0.16$) を上回る、Asクラス用設計地震 (最大水平加速度 450cm/s^2) による地震力に対して、許容応力度法による耐震評価を実施していることから、今回工認では、静的地震力による評価は省略する。

(参考資料 7) 新設地盤改良体の物性値設定が構造物の耐震評価及び機器・配管系に対する応答加速度に与える影響確認

1. 概要

屋外重要土木構造物の周囲には、構造物の変形抑制対策として、地盤改良体を設置している。このうち 2018 年 12 月時点で施工中もしくは計画中の地盤改良体は「新設地盤改良体」と称し、その解析用物性値は設計値又は文献等に基づき設定している*。実施工における地盤改良体は設計値を上回るように施工されるため、ばらつきを考慮した解析ケースにおいても構造物評価の観点では地盤剛性を低く評価する方が地盤のせん断変形が生じやすいことから、設計値に基づき下限値相当の G_0 を設定している。

本項では、解析用物性値を設計値に基づき設定している新設地盤改良体について、現時点で得られている実施工の事後調査結果に基づく物性値設定が、構造物の耐震評価及び機器・配管系に対する応答加速度に与える影響を確認する。

注記* : KK7 補足-024-1「地盤の支持性能について」参照。

2. 影響確認の方針

既往解析ケース（以下「基本ケース」という。）における構造物の耐震評価結果と、新設地盤改良体の解析用物性値を実施工の事後調査結果に基づき設定した解析ケース（以下「追加ケース」という。）における構造物の耐震評価結果を比較し、構造物の耐震評価に与える影響を確認する。

また、追加ケースの加速度応答スペクトルについて、基本ケースの加速度応答スペクトル及び機器・配管系の設計用床応答曲線と比較し、機器・配管系に対する応答加速度に与える影響を確認する。

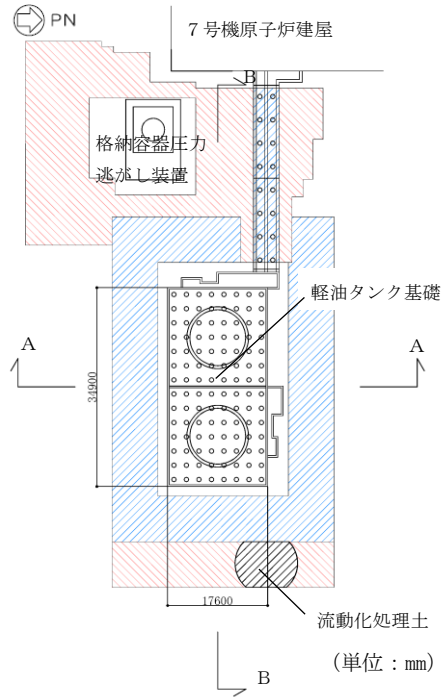
2.1 代表構造物の選定

屋外重要土木構造物のうち、機器・配管系を間接支持する機能が要求される構造物の地盤改良体配置図を図 2-1～図 2-5 に示す。各構造物に対し、新設地盤改良体の物性値設定が構造物の耐震評価及び機器・配管系に対する応答加速度に与える影響の大きさの観点から、構造物と新設地盤改良体の位置関係について表 2-1 のとおり整理した。

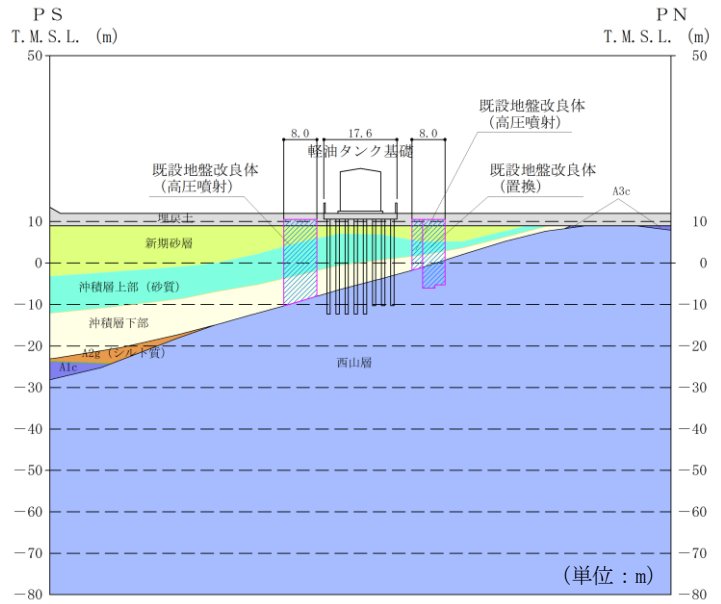
表 2-1 より、本検討は、解析断面中に新設地盤改良体の占める割合が大きく、かつ構造物近傍に新設地盤改良体が位置している燃料移送系配管ダクトを代表として実施する。

表 2-1 代表構造物の選定

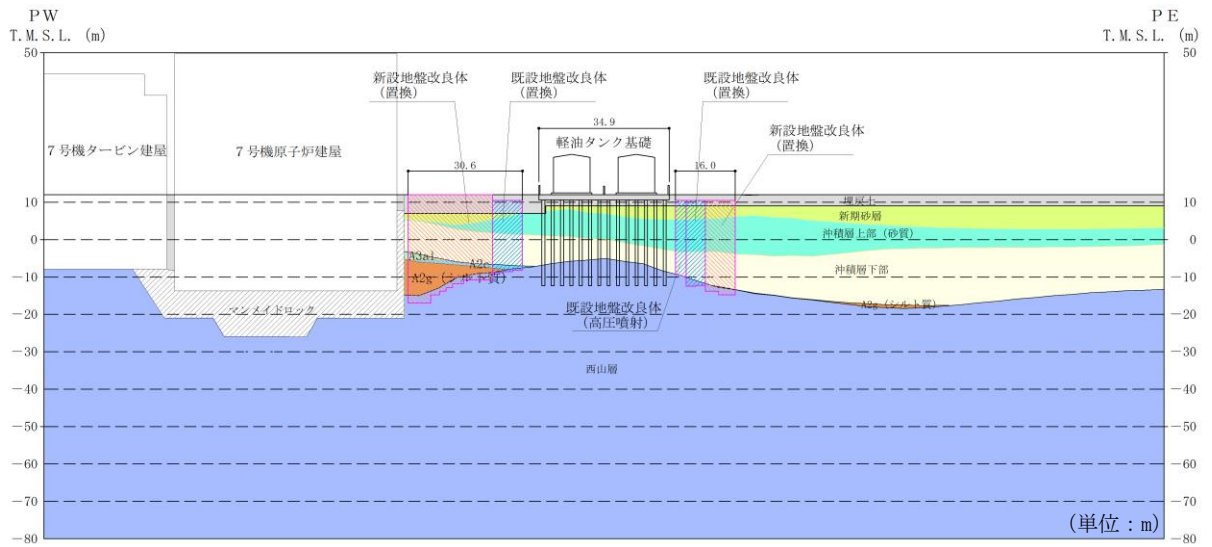
構造物名称	構造物と新設地盤改良体の位置関係	選定結果
軽油タンク基礎	解析断面中に地盤改良体が存在するが、構造物近傍に位置するのは既設地盤改良体のみである。	
燃料移送系配管ダクト	解析断面中に新設地盤改良体が占める割合が大きく、構造物近傍に新設地盤改良体が位置している。	○
常設代替交流電源装置基礎	解析断面中の一部に新設地盤改良体が存在するが、その地盤条件、施工方法及び設計強度が既設地盤改良体と同一であることから、既設地盤改良体の解析用物性値を用い、ばらつきを考慮している。また、大部分は既設地盤改良体である。	
軽油タンク基礎（6号機設備）	<p>解析断面中の一部に新設地盤改良体が存在するが、大部分は既設地盤改良体である。</p> <p>基礎版直下に構造物と接する新設地盤改良体が存在するが、新設地盤改良体と西山層間の約10mの深さには埋戻土Ⅱが分布している。A-A断面には構造物位置から西山層までの間に新設地盤改良体が存在するが、その平面的な設置範囲は基礎北東の一部の範囲のみである。</p> <p>また、既設地盤改良体が構造物を取り囲むように位置しているため、構造物の地震時の挙動は既設地盤改良体による影響が大きい。</p>	



(a) 平面図



(b) A-A断面図

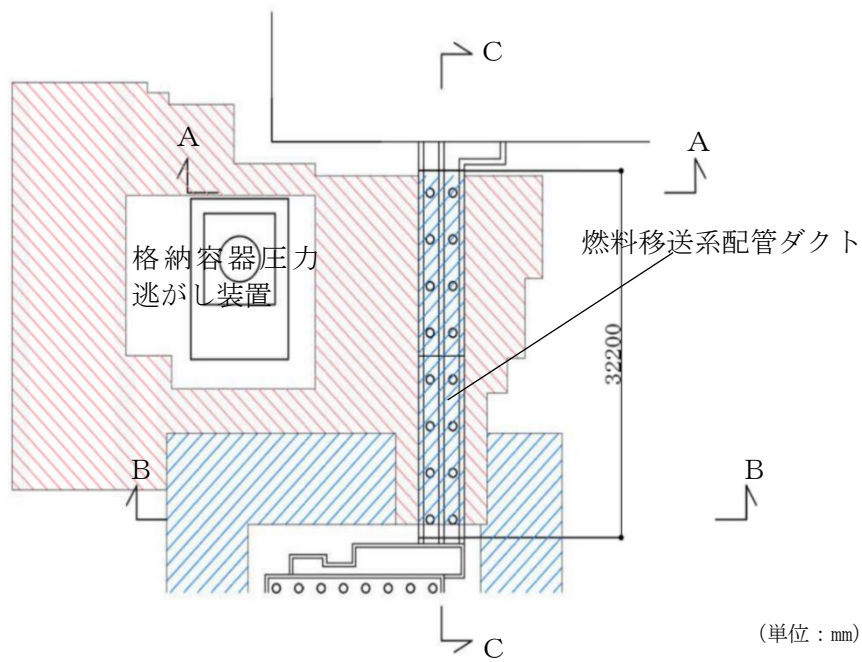


(c) B-B断面図

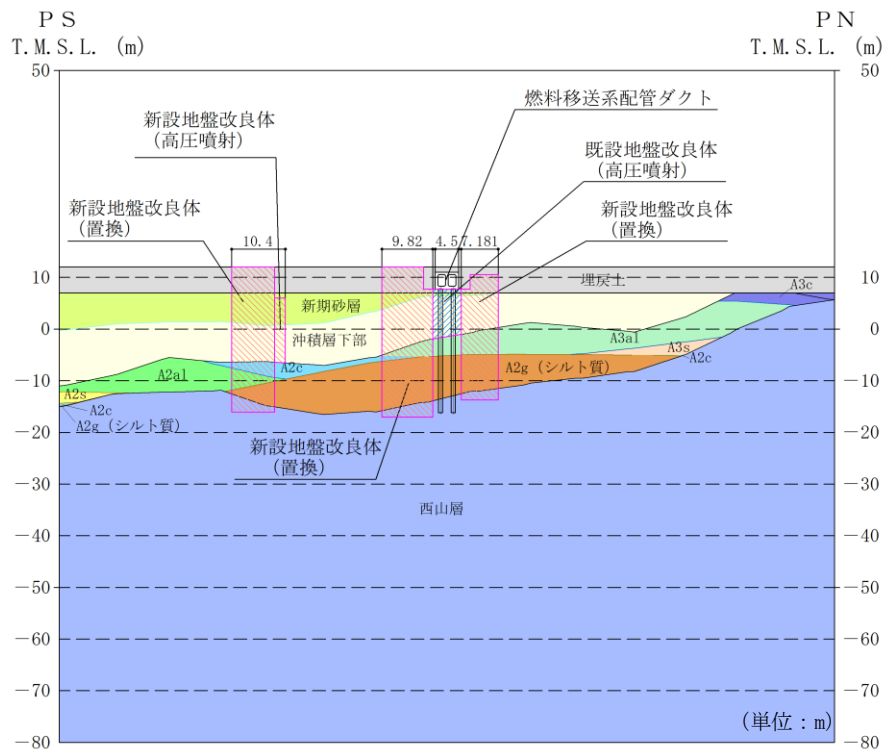
既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 2-1 軽油タンク基礎の地盤改良体配置図



(a) 平面図

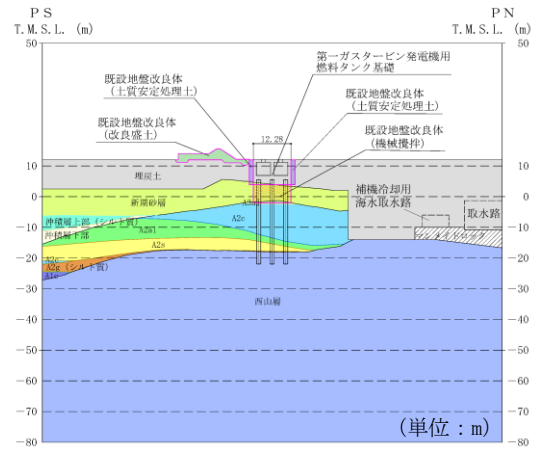
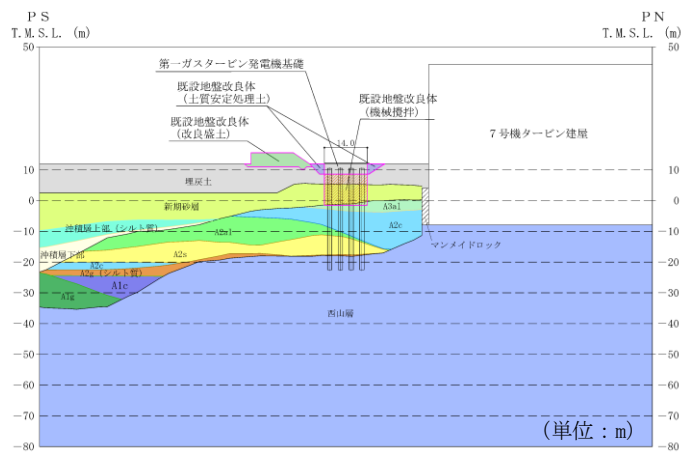
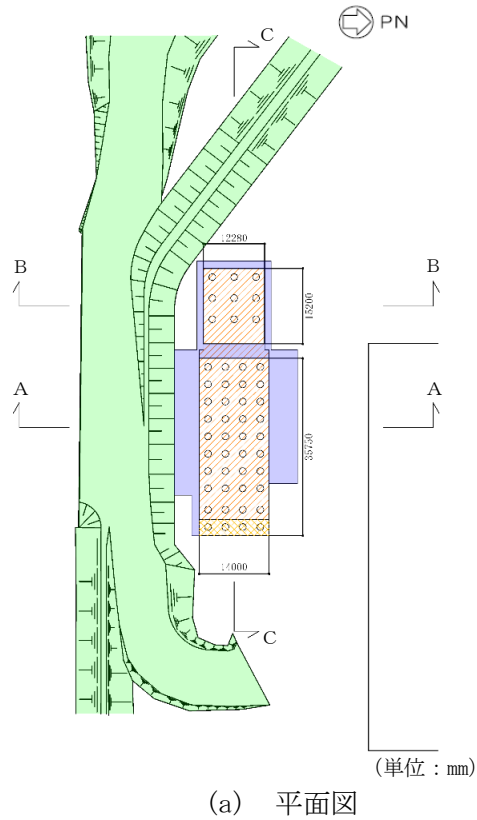


(b) A-A断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 2-2 燃料移送系配管ダクトの地盤改良体配置図



既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		機械攪拌
		土質安定処理土
		改良盛土
新設地盤改良体		機械攪拌

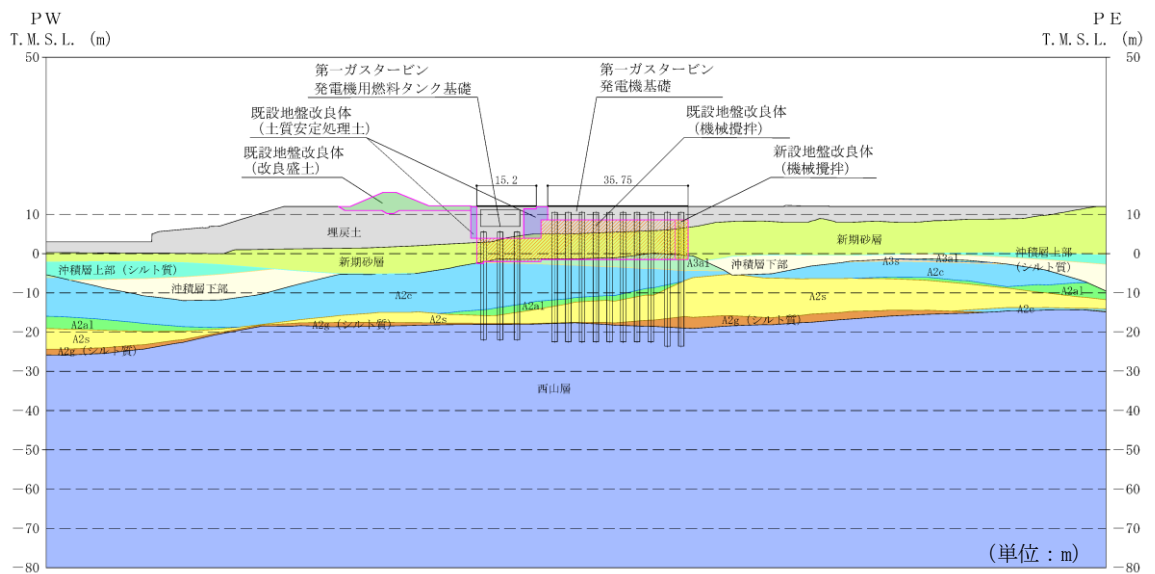
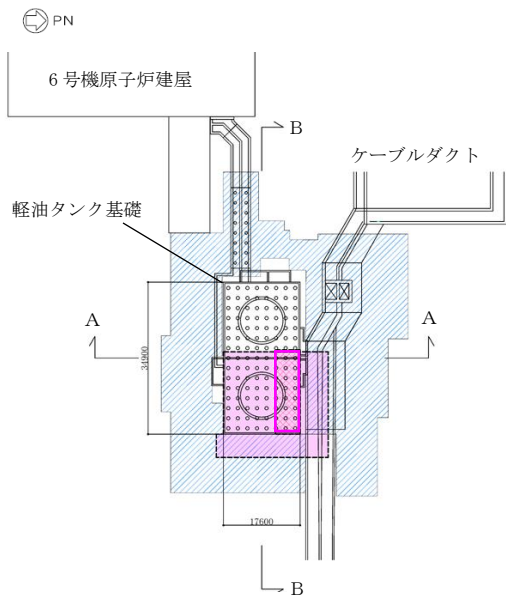
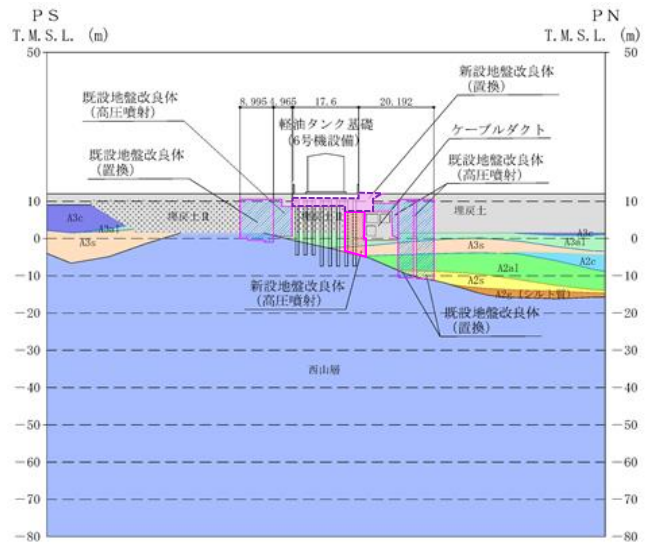


図 2-3 常設代替交流電源設備基礎の地盤改良体配置図



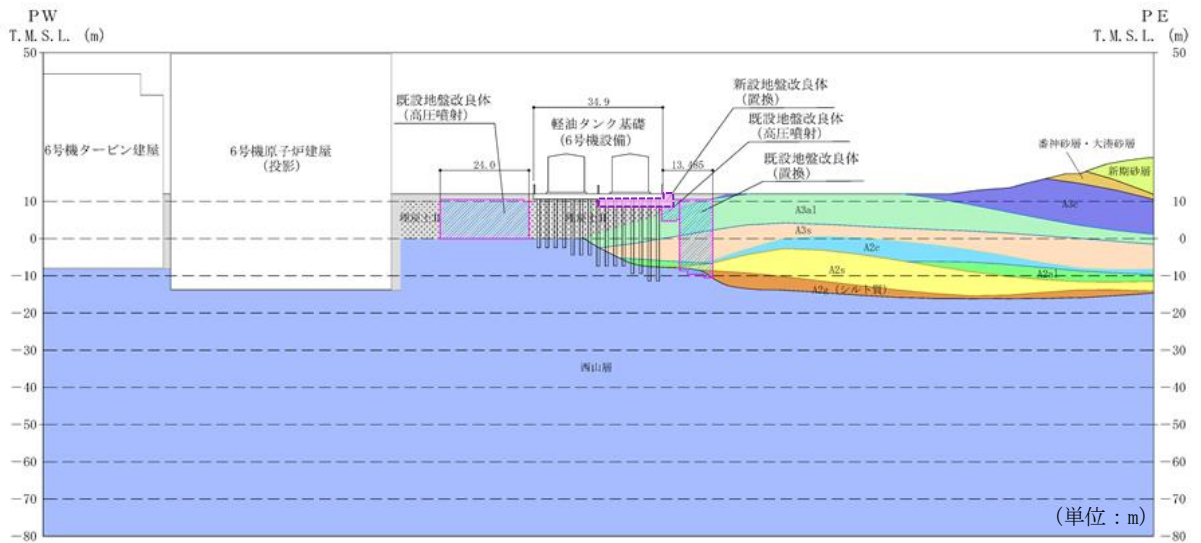
(a) 平面図

(単位：mm)



(b) A-A断面図

(単位：m)

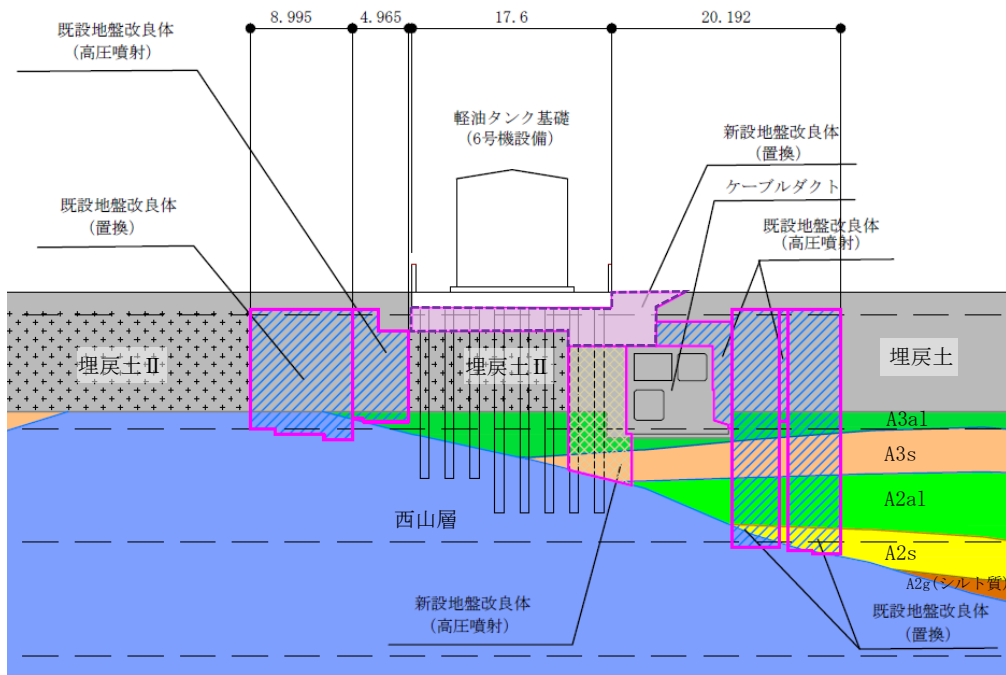


(c) B-B断面図

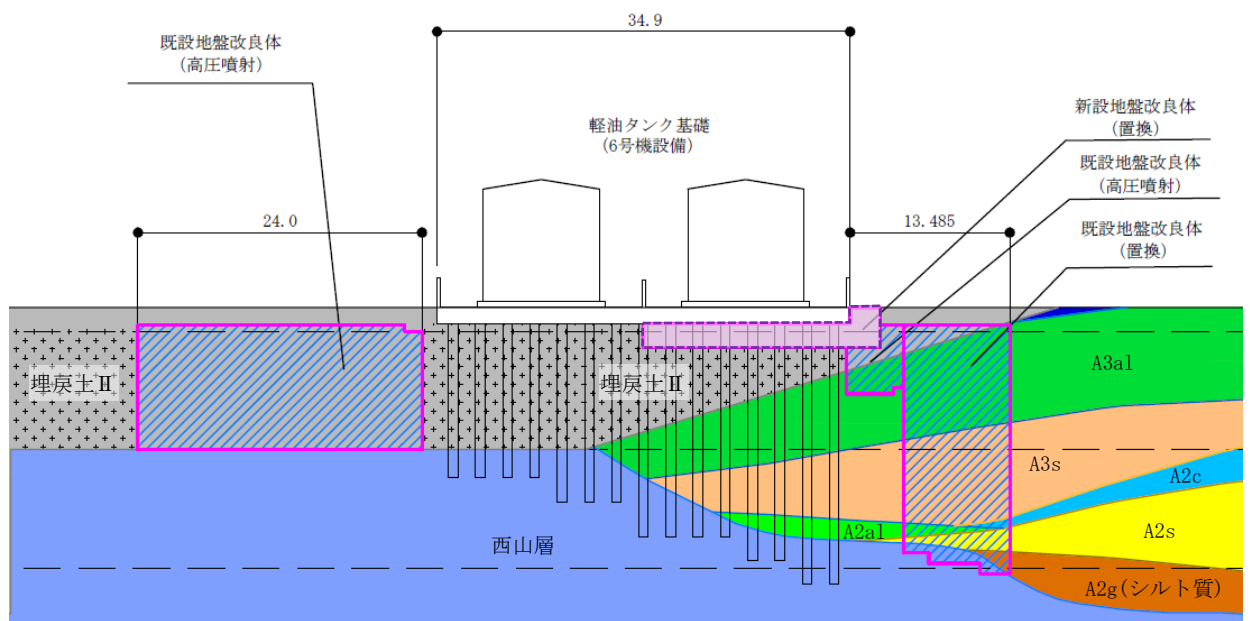
既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (開削)
		高圧噴射

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射を適用

図 2-4 軽油タンク基礎 (6号機設備) の地盤改良体配置図



A-A断面 構造物拡大図



B-B断面 構造物拡大図

- : 新設地盤改良体 (置換) の範囲
- : 新設地盤改良体 (高圧噴射) の範囲

図 2-5 軽油タンク基礎 (6号機設備) の地盤改良体配置図 (構造物拡大図)

3. 検討条件

3.1 評価対象断面及び解析ケースの設定

評価対象断面は、燃料移送系配管ダクトの解析断面のうち、新設地盤改良体が占める割合が大きいA-A断面とする。A-A断面の断面図を図3-1に示す。

解析ケースは、構造物の耐震評価及び設計用床応答曲線作成に用いている解析ケースのうち、最も地盤剛性の高い設定である解析ケース⑤（地盤剛性+1 σ 、液状化パラメータを非適用）とする。また、検討に用いる地震動は、燃料移送系配管ダクトの耐震評価結果が最も厳しく、かつ応答加速度も大きい基準地震動Ss-1++、Ss-1-+、Ss-1+-及びSs-1--の4波とする。

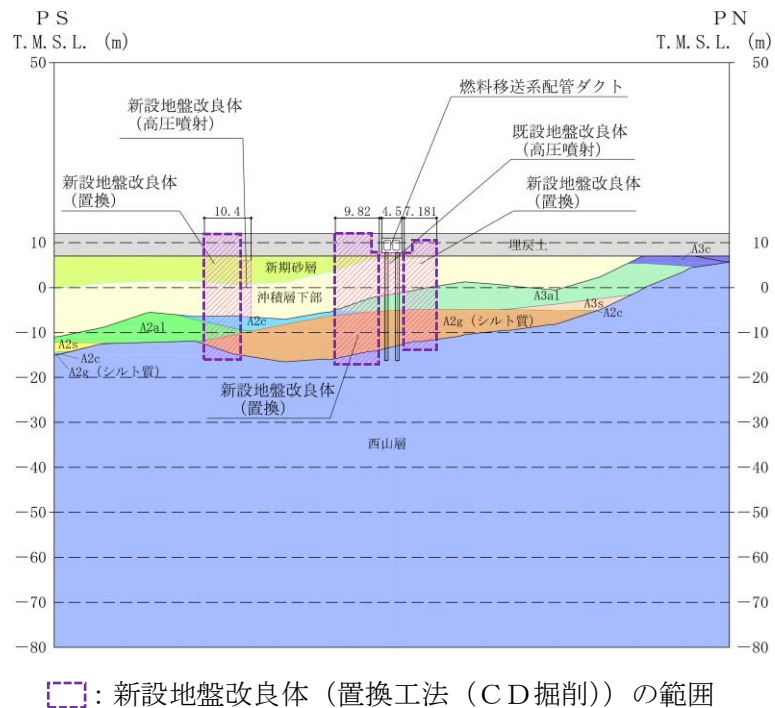


図3-1 評価対象断面図（A-A断面）

3.2 解析用物性値の設定

燃料移送系配管ダクトの新設地盤改良体は、置換工法（CD掘削）の施工済みの箇所に対し事後調査を実施しており、当調査結果を用いて追加ケースの解析用物性値を設定する。表3-1に効果確認試験から得られたS波速度及び一軸圧縮強度の実測値について、設計値との比較を示す。

追加ケースの解析用物性値は、事後調査結果の平均値から、KK7 補足-024-1「地盤の支持性能について」の既設地盤改良体の解析用物性値の設定方法に基づき、表3-2に示すとおり設定する。

表 3-1 設計値と実測値の比較

試験項目	単位	設計値	実測値*			
			平均値	最大値	最小値	標準偏差
S 波速度	m/s	840	1643	1873	1508	83
一軸圧縮強度	kN/m ²	8000	12750	15664	9729	1959

注記* : S 波速度の試料数は 22, 一軸圧縮強度の試料数は 18 である。

表 3-2 解析用物性値の設定「新設地盤改良体（置換工法（CD掘削）」

パラメータ		基本ケース		追加ケース	
		設定根拠	物性値	設定根拠	物性値
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	既設地盤改良体の物理試験	1.85	物理試験	1.98
	間隙率 n	既設地盤改良体の物理試験	0.48	既設地盤改良体の物理試験	0.48
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	設計 S 波速度, 密度に基づき設定	1.31×10^6	PS 検層による S 波速度, 密度に基づき設定	5.34×10^6
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	慣用値* ¹	98.0	慣用値* ¹	98.0
	ポアソン比 ν	慣用値* ¹	0.33	慣用値* ¹	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	文献に基づき設定* ²	0.050	動的変形特性に基づき設定	0.030
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	設計一軸圧縮強度 q_{ud} と粘着力 c との関係に基づき設定	4000.0	一軸圧縮強度 q_u と粘着力 c との関係に基づき設定	6375.0

注記*1: 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメータの簡易設定方法 (港湾技研資料 No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成 9 年 6 月)

*2: 第 2 版 流動化処理土利用技術マニュアル (平成 19 年, 独立行政法人 土木研究所 編)

4. 検討結果

4.1 曲げ照査値の比較

A-A断面，解析ケース⑤，基準地震動 Ss-1++による鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果の比較を表 4-1 に，鋼管杭の曲げ軸力照査結果の比較を表 4-2 に示す。

表 4-1 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果の比較

検討ケース	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
基本ケース	2.20×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.03
追加ケース	2.16×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.03

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

表 4-2 鋼管杭の曲げ軸力照査結果の比較

検討ケース	照査用曲率* ϕ_d	終局曲率 ϕ_u	照査値 ϕ_d/ϕ_u
基本ケース	7.10×10^{-4}	1.30×10^{-2}	0.06
追加ケース	4.69×10^{-4}	1.43×10^{-2}	0.04

注記* : 照査用曲率 ϕ_d = 発生曲率 × 構造解析係数 γ_a

4.2 せん断力照査値の比較

A-A断面，解析ケース⑤，基準地震動Ss-1++による鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果の比較を表4-3～表4-6に，鋼管杭のせん断力照査結果の比較を表4-7に示す。

表4-3 頂版のせん断力照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
基本ケース	99	548	0.19
追加ケース	98	547	0.18

注記* : 照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表4-4 側壁のせん断力照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
基本ケース	115	580	0.20
追加ケース	109	573	0.20

注記* : 照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表4-5 隔壁のせん断力照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
基本ケース	119	393	0.31
追加ケース	118	392	0.31

注記* : 照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表4-6 底版のせん断力照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
基本ケース	168	513	0.33
追加ケース	146	421	0.35

注記* : 照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表4-7 鋼管杭のせん断力照査結果の比較

検討ケース	照査用せん断力* Q_d (kN)	終局せん断強度 Q_u (kN)	照査値 Q_d / Q_u
基本ケース	436	1677	0.26
追加ケース	260	1677	0.16

注記* : 照査用せん断力 Q_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

4.3 加速度応答スペクトルの比較

基本ケースと追加ケースの加速度応答スペクトル及び燃料移送系配管ダクトの設計用床応答曲線Ⅱの比較を図 4-1 に示す。なお、燃料移送系配管ダクトに間接支持される設備は全て設計用床応答曲線Ⅱを用いて耐震評価を実施している。

基本ケースと追加ケースの加速度応答スペクトルは、基準地震動 S_s-1++ 、 S_s-1-+ 、 S_s-1+- 、 S_s-1-- の 4 波の各解析において、図 4-2 に示す 6 節点の各加速度応答スペクトル（減衰定数 2%）を包絡したものである。また、図中に基本ケースの全ての基準地震動 S_s の加速度応答スペクトル（上記 6 節点包絡）を参考として示す。基本ケースと追加ケースの加速度応答スペクトルを比較した結果、水平方向については基本ケースと追加ケースで概ね一致していることを確認した。鉛直方向については、短周期側で追加ケースが基本ケースを下回る傾向があることを確認した。

また、追加ケースの加速度応答スペクトルと設計用床応答曲線Ⅱを比較すると、全周期帯で追加ケースの加速度応答スペクトルが設計用床応答曲線Ⅱを下回っており、燃料移送系配管ダクトが間接支持する設備の耐震評価に影響がないことを確認した。

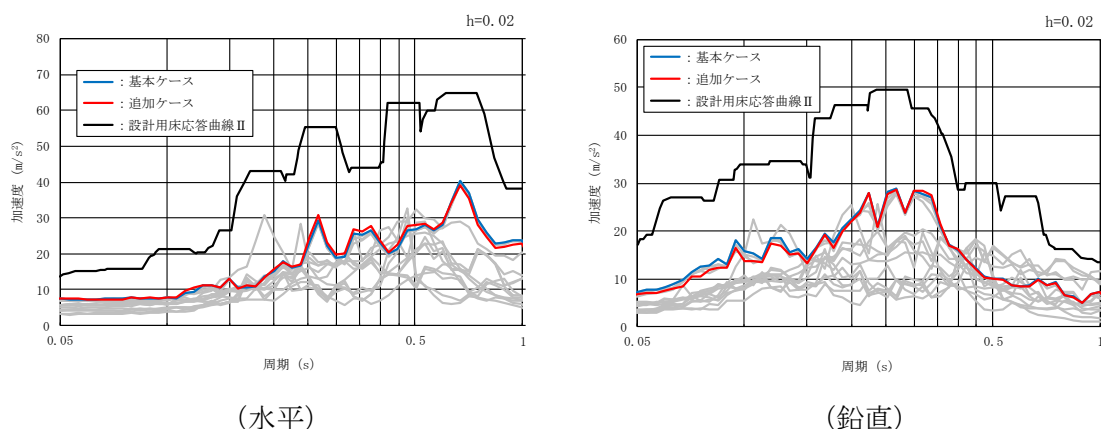


図 4-1 加速度応答スペクトルと設計用床応答曲線Ⅱの比較

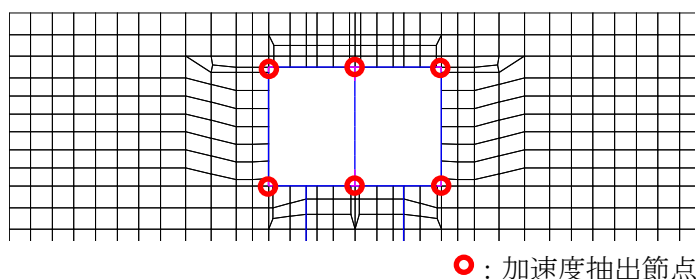


図 4-2 加速度抽出節点

5. まとめ

本項では、新設地盤改良体の解析用物性値を事後調査結果に基づき設定し、構造物の耐震評価、及び機器・配管系に対する応答加速度に与える影響を確認した。

構造物の耐震評価の観点では、基本ケースと追加ケースの耐震評価結果を比較した結果、追加ケースでは地盤改良体の強度が増したことから構造物の変形抑制効果が高まり、照査値が小さくなる傾向にあることを確認した。鉄筋コンクリート部材の底版については照査値が大きくなる結果となったが、基本ケースとの差は 0.02 であり、許容限界に対し十分余裕があることを確認した。

機器・配管系に対する応答加速度の観点では、基本ケースと追加ケースの加速度応答スペクトルを比較した結果、水平方向については基本ケースと追加ケースで概ね一致していることを確認した。鉛直方向については、短周期側で追加ケースが基本ケースを下回る傾向があることを確認した。さらに、追加ケースの加速度応答スペクトルと燃料移送系配管ダクトの設計用床応答曲線Ⅱを比較した結果、全周期帯で追加ケースの加速度応答スペクトルが設計用床応答曲線Ⅱを下回っていることから、燃料移送系配管ダクトが間接支持する設備の耐震評価に影響がないことを確認した。

なお、追加ケースの解析用物性値は、現時点で得られている事後調査結果の平均値から設定している。表 3-1 に示すとおり、事後調査結果は設計値に対し S 波速度で約 2 倍、一軸圧縮強度で約 1.6 倍に増大しているが、耐震評価については照査値が小さくなる傾向にあり、加速度応答スペクトルについては基本ケースと追加ケースの加速度応答スペクトルが同等であり、設計用床応答曲線Ⅱに対しても十分余裕があることから、これらのパラメータにばらつきを見込んだとしても、構造物及び機器・配管系の耐震安全性に影響を与える変動はないと判断した。