

玄海原子力発電所3号、4号炉審査資料

資料番号

TS-018

提出年月日

2020年12月22日

玄海原子力発電所3号炉及び4号炉
基礎地盤及び周辺斜面の安定性について
(補足説明資料)

2020年12月22日
九州電力株式会社

7.6 原子炉格納容器、原子炉周辺建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性

7.6.1 設計基準対象施設のうち耐震重要施設等の基礎地盤の安定性評価

7.6.1.1 評価方針

設計基準対象施設のうち、耐震設計上の重要度分類 S クラスの機器・系統及びそれらを支持する建物・構築物（以下「対象施設」という。）が設置される地盤（以下「基礎地盤」という。）について、基準地震動による地震力に対して十分な安定性を持つことの評価を行う。

基礎地盤の地震時の安定性については、想定すべり線におけるすべり安全率及び支持力並びに基礎底面の傾斜により評価する。

また、地震発生に伴う周辺地盤の変状による不等沈下、液状化、揺すり込み沈下及び地殻変動による基礎地盤の傾斜及び撓み等により対象施設の安全機能に重大な影響を及ぼさないことを確認する。

7.6.1.2 評価方法

7.6.1.2.1 解析条件

(1) 解析断面

解析の対象とする断面は、基礎地盤の地質構造及び対象施設の配置を考慮し、対象施設を包括するような以下の 3 断面とする。

- ① 3号炉心及び4号炉心を通る断面（ $X_{34}-X_{34}'$ 断面）

② 3号炉心を通る断面 ($Y_3 - Y_3'$ 断面)

③ 4号炉心を通る断面 ($Y_4 - Y_4'$ 断面)

解析断面位置図を第7.6.1.1図に示す。

(2) 解析モデル

a. 解析用地盤モデル

岩盤部の速度層区分は、PS検層結果に基づき設定する。有限要素法解析モデルは、岩盤分類図を基に作成する。速度層断面図を第7.6.1.2図に、解析用要素分割図を第7.6.1.3図に示す。

b. 解析用建屋モデル

原子炉格納容器、原子炉周辺建屋及びタービン建屋の解析用建屋モデルは、それぞれの多質点系モデルを基に作成する。

c. 境界条件

動的解析における境界条件は、モデル下端を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界とする。また、常時応力を算定する静的解析における境界条件は、モデル下端を固定境界、側方を鉛直ローラ境界とする。境界条件を第7.6.1.4図に示す。

(3) 解析用物性値

解析用物性値は、既往の試験結果等に基づき設定する。解析用物性値設定の考え方を第7.6.1.1表に、解析用物性値を第7.6.1.2表に示す。

(4) 入力地震動

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動を、1次元波動論によって解析モデルの入力位置で評価したものをを用いる。入力地震動の考え方を第7.6.1.5図に、基準地震動の時刻

歴波形と加速度応答スペクトルを第7.6.1.6図に示す。

(5) 地下水位

解析用地下水位は、地表面あるいは建屋基礎上端に設定する。
解析用地下水位を第7.6.1.7図に示す。

7.6.1.2.2 解析手法

基準地震動に対する地震応答解析を2次元有限要素法解析により行う。地震応答解析は、周波数応答解析手法を用い、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を必要に応じて考慮する。

地震時の応力は、地震応答解析による動的応力と、静的有限要素法解析による常時応力を重ね合わせることにより求める。動的応力は、水平地震動及び鉛直地震動を同時加振した場合の応答を考慮し、常時応力は基礎掘削時の地盤の自重計算により求まる初期応力及び建屋、埋戻土の荷重を考慮して求める。

なお、弱層等における応力の発生状況から、周辺への進行性破壊についての検討が必要と考えられる場合は、地震応答解析において最小すべり安全率を示す時刻の応力状態に対して、荷重伝達法による応力再配分を静的有限要素法解析により行う。

基礎地盤の安定性評価フローを第7.6.1.8図に示す。

7.6.1.2.3 評価内容

(1) すべり安全率

すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態を基に、すべり線上のせん断抵抗力の和をすべり線上のせん断力の和で除

して求める。

想定すべり線は、基礎底面沿いのすべり線、断層・シーム沿いのすべり線及び応力状態や局所安全率を考慮したすべり線について検討する。断層・シーム沿いの想定すべり線については、断層・シームの走向・傾斜を踏まえ、適切に設定する。

なお、せん断強度に達する要素では残留強度を用い、引張応力が発生する要素ではすべり線の垂直応力が圧縮の場合は残留強度、引張の場合は強度をゼロとしてすべり安全率を算定する。

(2) 支持力

全ての対象施設は強度が同程度の岩種・岩級の地盤に支持されていることから、施設の規模及び重量を踏まえ、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋で評価を代表させる。

原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎底面における地震時の最大接地圧を求める。

(3) 基礎底面の傾斜

基礎底面の傾斜についても、支持力と同様に、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋で評価を代表させる。

基礎底面の傾斜は、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎底面両端それぞれの鉛直方向の変位の差を基礎底面幅で除して求める。

(4) 地震発生に伴う周辺地盤の変状による影響

周辺地盤の変状が対象施設の安全機能に重大な影響を及ぼさないことを地質調査結果、設計図書等により確認する。

(5) 地殻変動による基礎地盤の傾斜及び撓み等による影響

敷地内及び敷地近傍には、将来活動する可能性のある断層等

が分布しないことを確認していることから、敷地において地殻の広域的な変形による著しい地盤の傾斜が生じることはないが、敷地に比較的近い城山南断層及び竹木場断層の活動に伴い生じる地盤の傾斜について評価を実施する。地殻変動量はWang et al. (2003) ⁽¹⁾の手法により算出する。

7.6.1.3 評価結果

7.6.1.3.1 すべり安全率

想定すべり線におけるすべり安全率を第7.6.1.3表に示す。最小すべり安全率は、 $X_{34}-X_{34}'$ 断面で2.6、 Y_3-Y_3' 断面で3.6、 Y_4-Y_4' 断面で2.8であり、いずれも評価基準値1.5を上回る。

また、最小すべり安全率を示すすべり線に対し、応力再配分を実施した場合のすべり安全率及びすべりに対する抵抗力に最も寄与する岩盤の強度特性のばらつきを考慮した場合（岩盤強度の代表値 $-1 \times$ 標準偏差（ σ ））のすべり安全率は、いずれも評価基準値1.5を上回る

以上のことから、基礎地盤はすべりに対して十分な安全性を有している。

7.6.1.3.2 支持力

地質調査結果によると、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎地盤は主として砂岩及び頁岩の㊸級以上の岩盤で構成されており、支持力試験結果から、極限支持力度は $13.7\text{N}/\text{mm}^2$ 以上と評価できる。原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎底面の

地震時最大接地圧は、 $X_{34} - X_{34}'$ 断面で $2.01\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $Y_3 - Y_3'$ 断面で $1.67\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $Y_4 - Y_4'$ 断面で $1.89\text{N}/\text{mm}^2$ であり、基礎地盤は十分な支持力を有している。

7.6.1.3.3 基礎底面の傾斜

原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎底面両端の鉛直方向の相対変位・傾斜を第7.6.1.4表に示す。原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎底面の傾斜は、 $X_{34} - X_{34}'$ 断面で $1/15,000$ 、 $Y_3 - Y_3'$ 断面で $1/125,000$ 、 $Y_4 - Y_4'$ 断面で $1/63,000$ であり、いずれも評価の目安である $1/2,000$ を十分に下回っていることから、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の安全機能が損なわれるものではない。

7.6.1.3.4 地震発生に伴う周辺地盤の変状による影響

対象施設は直接又はマンメイドロックを介して岩着する設計としていることから、揺すり込み沈下や液状化による不等沈下の影響を受けるおそれはない。

7.6.1.3.5 地殻変動による基礎地盤の傾斜及び撓み等による影響

地殻変動による地盤の最大傾斜は $1/31,000$ であり、地震動による傾斜との重畳を考慮した場合においても、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の基礎底面の最大傾斜は $1/18,000$ であり、評価基準値の目安である $1/2,000$ を下回っていることから、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の機能が損なわれるものではない。

7.6.2 設計基準対象施設のうち耐震重要施設等の周辺斜面の安定性評価

安定性評価の対象とする斜面は、対象施設と周辺斜面の離間距離、斜面規模及び斜面の性状に基づき抽出する。

周辺斜面の安定性評価においては、基準地震動による地震力に対して、対象施設の安全機能に重大な影響を与えるような崩壊を起こさないことを確認するため、すべりに対する安定性を評価する。

7.6.2.1 評価方針

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」⁽²⁾では、斜面崩壊事例の到達距離に関する分析結果に基づき、安定性評価の対象とすべき斜面は、斜面法尻と対象施設の離間距離が約50m以内あるいは斜面高さの約1.4倍以内の斜面としている。また、土砂災害防止法⁽³⁾では、急傾斜地の崩壊等が発生した場合の土砂災害警戒区域は、急傾斜地下端からの水平距離が急傾斜地の高さの2.0倍以内又は当該急傾斜地の高さの2.0倍が50mを超える場合は50m以内としている。

第7.6.2.1図に斜面法尻から50mの範囲及び斜面高さの1.4倍の範囲を示す。同図より、対象施設の周辺には、安定性評価の対象とすべき斜面がないことを確認した。

第 7.6.1.1 表 解析用物性値設定の考え方

物性値 岩種・岩級		物理特性	強度特性			変形特性				
			密度 ρ (g/cm ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	動的変形特性		静的変形特性	
		動せん断弾性係数 G_d (×10 ³ N/mm ²)					動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h (%)	静弾性係数 E_s (×10 ³ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s
砂岩	①② 級	密度試験結果	岩盤せん断試験結果			PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		慣用値 ^{※1}	岩盤変形試験結果	一軸圧縮試験結果
	③ 級	密度試験結果	岩盤せん断試験結果					慣用値 ^{※1}	岩盤変形試験結果	慣用値 ^{※1}
頁岩	①② 級	密度試験結果	岩盤せん断試験結果			PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		慣用値 ^{※1}	岩盤変形試験結果	慣用値 ^{※1}
	③ 級	密度試験結果	岩盤せん断試験結果					慣用値 ^{※1}	岩盤変形試験結果	慣用値 ^{※1}
玄武岩	① 級	密度試験結果	玢岩①級を使用			PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		慣用値 ^{※1}	砂岩①②級に基づき算定	一軸圧縮試験結果
	② 級	密度試験結果	玢岩②級を使用					慣用値 ^{※1}	砂岩①②級に基づき算定	一軸圧縮試験結果
	③ 級	密度試験結果	玢岩③級を使用					慣用値 ^{※1}	砂岩①②級に基づき算定	一軸圧縮試験結果
玢岩	① 級	密度試験結果	砂岩①②級に基づき算定			PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		慣用値 ^{※1}	砂岩①②級に基づき算定	一軸圧縮試験結果
	② 級	密度試験結果	砂岩①②級に基づき算定					慣用値 ^{※1}	砂岩①②級に基づき算定	一軸圧縮試験結果
	③ 級	密度試験結果	岩盤せん断試験結果					慣用値 ^{※1}	岩盤変形試験結果	一軸圧縮試験結果
凝灰岩	③ 級	密度試験結果	玄武岩③級を使用			PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		慣用値 ^{※1}	玄武岩③級を使用	玄武岩③級を使用
八ノ久保砂礫層		密度試験結果	静的三軸圧縮試験結果			PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		慣用値 ^{※1}	砂岩①②級に基づき算定	慣用値 ^{※1}
シーム		密度試験結果	静的三軸圧縮試験結果			繰返し三軸試験結果	慣用値 ^{※1}	繰返し三軸試験結果	静的三軸圧縮試験結果	慣用値 ^{※1}
断層		密度試験結果	静的三軸圧縮試験結果			繰返し三軸試験結果	慣用値 ^{※1}	繰返し三軸試験結果	静的三軸圧縮試験結果	慣用値 ^{※1}
埋戻土 ^{※2}		密度試験結果	静的三軸圧縮試験結果			繰返し三軸試験結果	慣用値 ^{※1}	繰返し三軸試験結果	静的三軸圧縮試験結果	慣用値 ^{※1}
マンメイドロック		慣用値 ^{※1}	—	—	—	E_s 及び ν_d より算定	慣用値 ^{※1}	慣用値 ^{※1}	設計基準強度より算定	慣用値 ^{※1}

※1 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料> (土木学会原子力土木委員会、2009年2月)、岩盤斜面の安定解析と計測 ((社) 土木学会、平成6年12月)、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会、2005制定) 等を参考に設定。

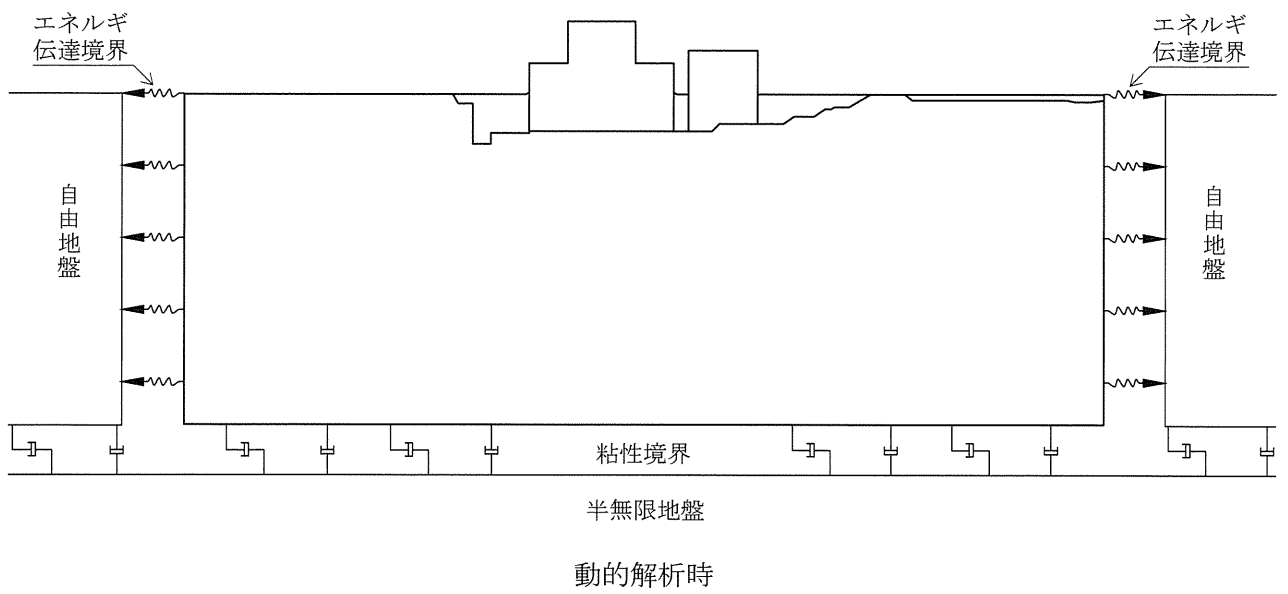
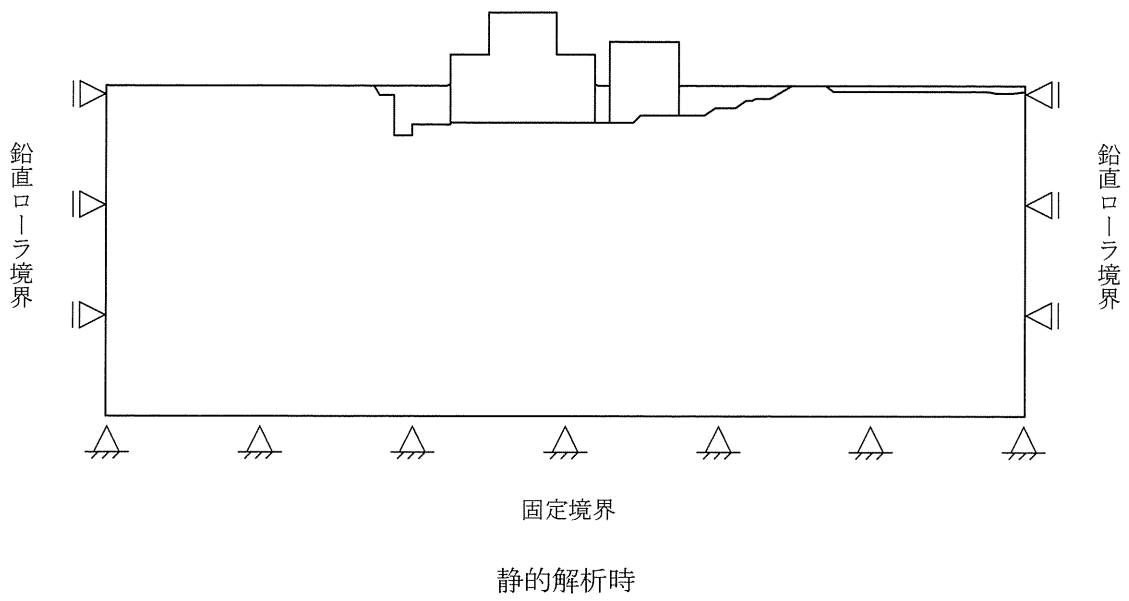
※2 埋戻土については、原子炉周辺でサンプリングした試料による試験値を基に物性値を設定。新設の建物・構築物周辺においても、同等以上の強度特性を有する材料にて埋戻すこととしている。

第 7.6.1.2 表 解析用物性値

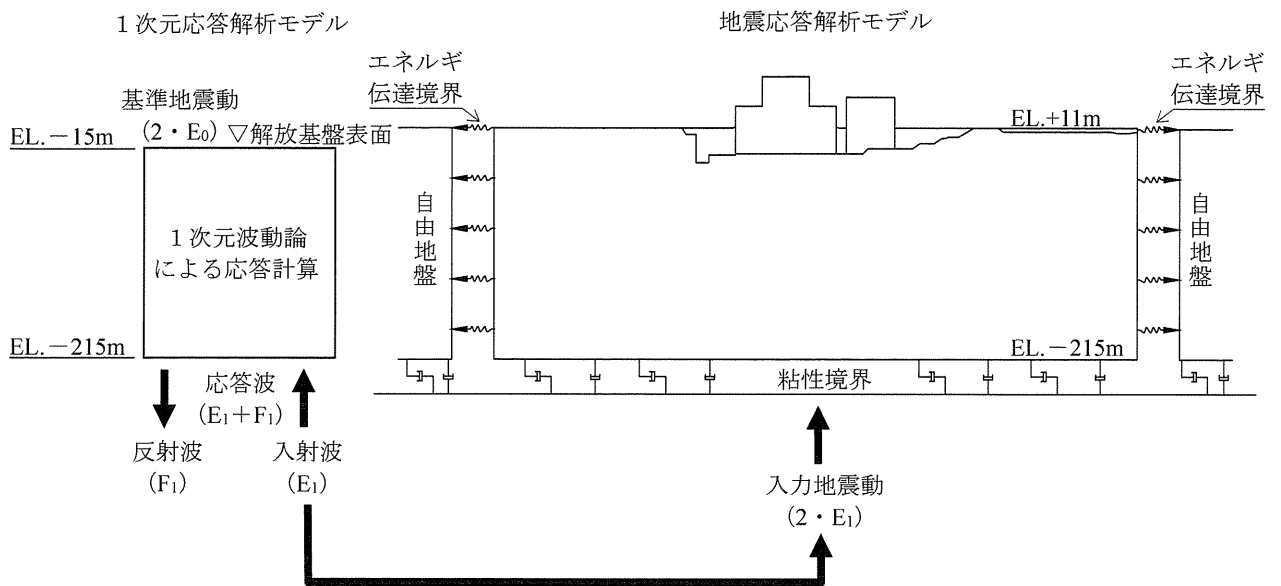
物性値 岩種・岩級		物理特性			強度特性			変形特性		
		密度 ρ (g/cm ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	動的変形特性		静的変形特性		
						動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^3$ N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h (%)	静弾性係数 E_s ($\times 10^3$ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s
砂岩	①② 級	2.39	0.84	56.4	$1.71 \sigma^{0.82}$	PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		3	1.88	0.25
	③ 級	2.27	0.30	22.6	$0.51 \sigma^{0.35}$			3	0.45	0.30
頁岩	①② 級	2.55	0.67	52.6	$1.50 \sigma^{0.78}$	PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		3	(層理に直角) 0.89 (層理に平行) 3.03	(層理に直角) 0.10 (層理に平行) 0.30
	③ 級	2.06	0.17	35.5	$0.73 \sigma^{0.70}$			3	(層理に直角) 0.10 (層理に平行) 0.33	(層理に直角) 0.10 (層理に平行) 0.30
玄武岩	① 級	2.82	2.51	56.4	$2.75 \sigma^{0.80}$	PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		3	3.73	0.22
	② 級	2.45	1.86	56.4	$2.53 \sigma^{0.78}$			3	2.64	0.26
	③ 級	2.01	0.42	41.5	$1.09 \sigma^{0.50}$			3	0.22	0.33
玢岩	① 級	2.70	2.51	56.4	$2.75 \sigma^{0.80}$	PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		3	4.79	0.27
	② 級	2.68	1.86	56.4	$2.53 \sigma^{0.78}$			3	1.82	0.29
	③ 級	2.12	0.42	41.5	$1.09 \sigma^{0.50}$			3	0.28	0.36
凝灰岩	③ 級	1.90	0.42	41.5	$1.09 \sigma^{0.50}$	PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		3	0.22	0.33
八ノ久保砂礫層		2.00	0.27	21.4	$\sigma \tan 21.4^\circ$	PS検層による速度層毎のVs、Vp及び密度により算定		3	0.16	0.30
シーム		2.10	0.06	19.6	$\sigma \tan 19.6^\circ$	$G_0=0.308 \sigma_m^{0.45}$ $G/G_0=1/(1+457 \gamma^{0.76})$	0.45	$h=[\gamma/(1.803 \gamma$ $+0.006)+0.061] \times 100$	$0.051 \sigma_3^{0.49}$	0.40
断層		2.04	0.03	16.1	$\sigma \tan 16.1^\circ$	$G_0=0.287 \sigma_m^{0.70}$ $G/G_0=1/(1+447 \gamma^{0.82})$	0.45	$h=[\gamma/(4.609 \gamma$ $+0.007)+0.052] \times 100$	$0.076 \sigma_3^{0.64}$	0.40
埋戻土 ^{※1}		1.99	0.02	28.3	$\sigma \tan 28.3^\circ$	$G_0=0.298 \sigma_m^{0.86}$ $G/G_0=1/(1+114 \gamma^{0.67})$	0.45	$h=[\gamma/(7.700 \gamma$ $+0.006)+0.026] \times 100$	$0.037 \sigma_3^{0.65}$	0.40
マンメイドロック		2.35	—	—	—	8.6	0.20	5	20.6	0.20

※1 表土（盛土等を含む）の物性値については、埋戻土の物性値を用いる。

G_0 : 初期動せん断弾性係数 γ : せん断ひずみ σ : 垂直応力 σ_m : 平均主応力 σ_3 : 最小主応力

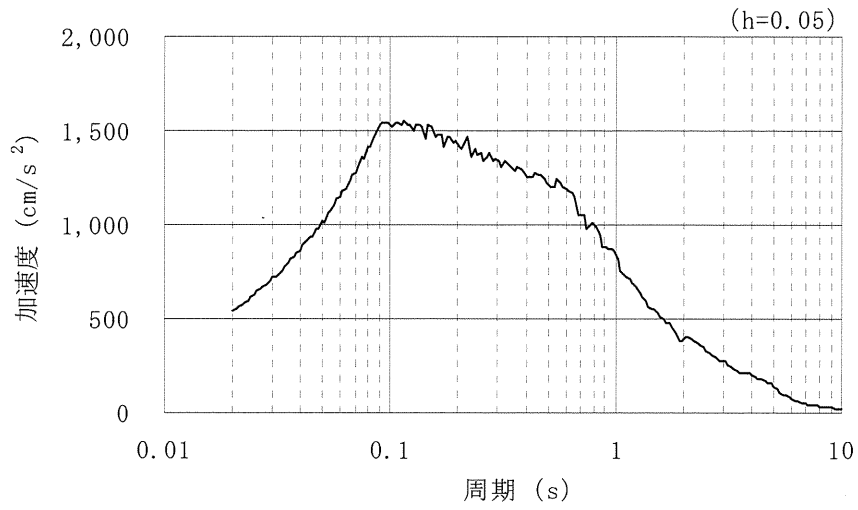
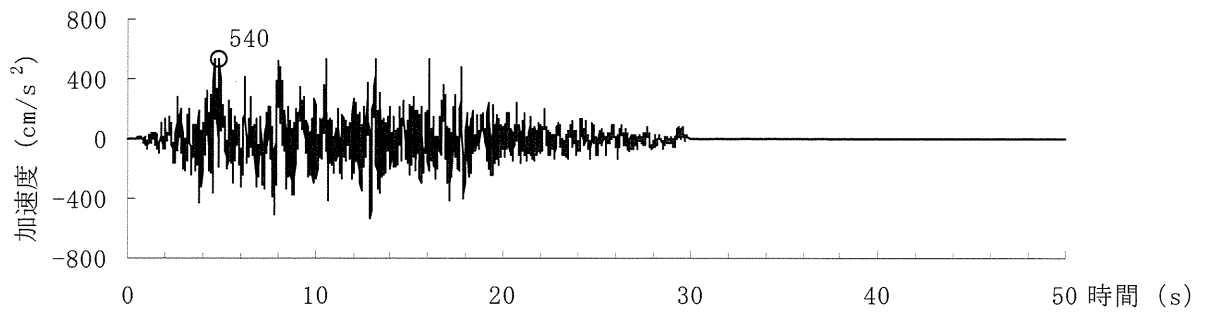


第 7.6.1.4 図 境界条件 ($Y_3 - Y_3'$ 断面の例)

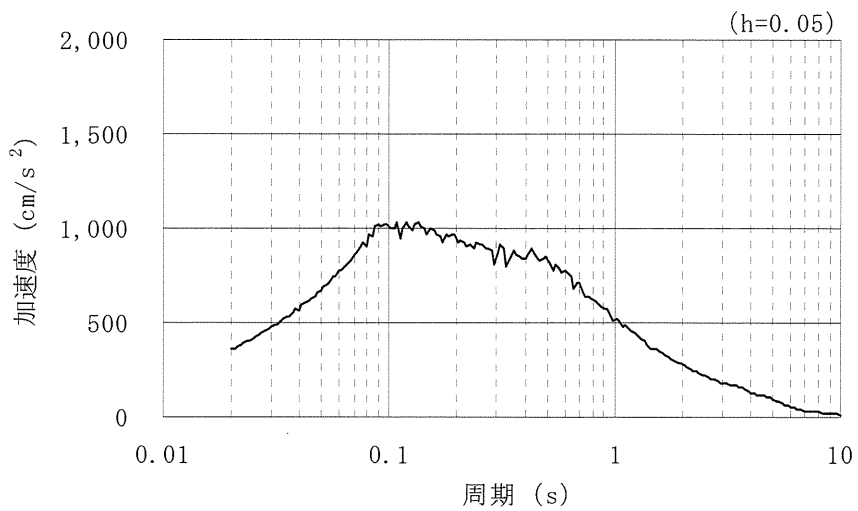
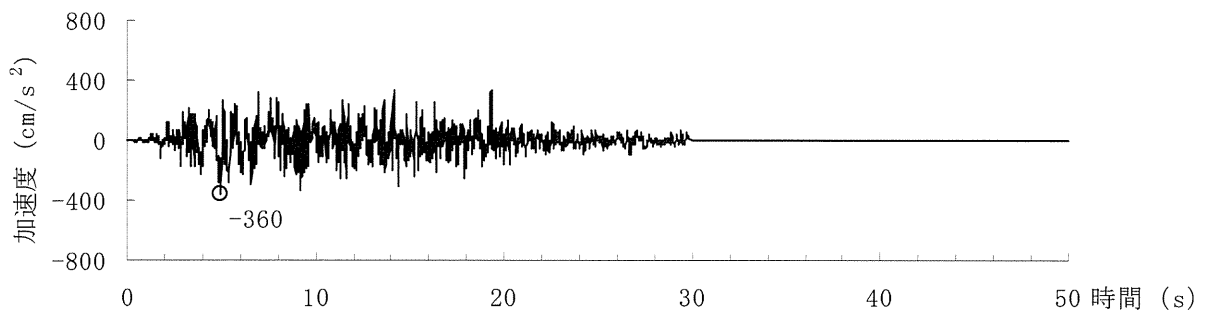


第 7. 6. 1. 5 図 入力地震動の考え方 (Y₃-Y₃' 断面の例)

(水平動 : $Ss-1_H$)

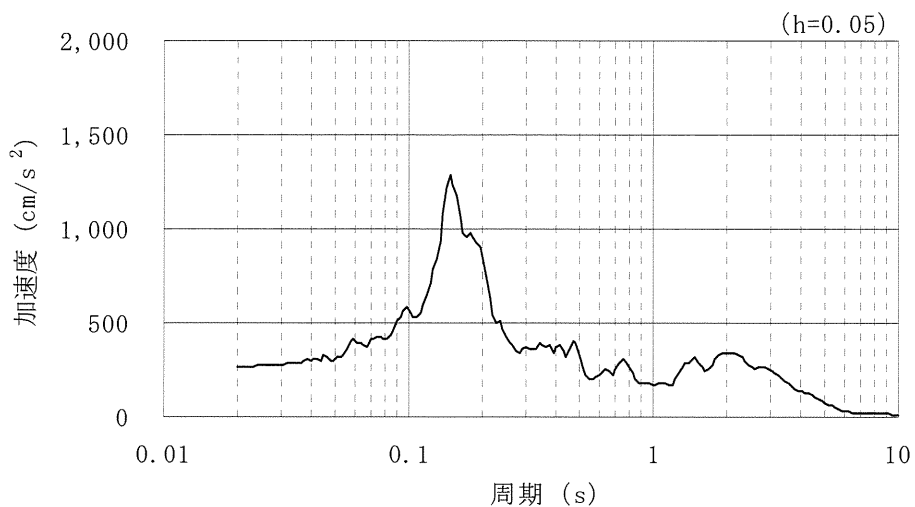
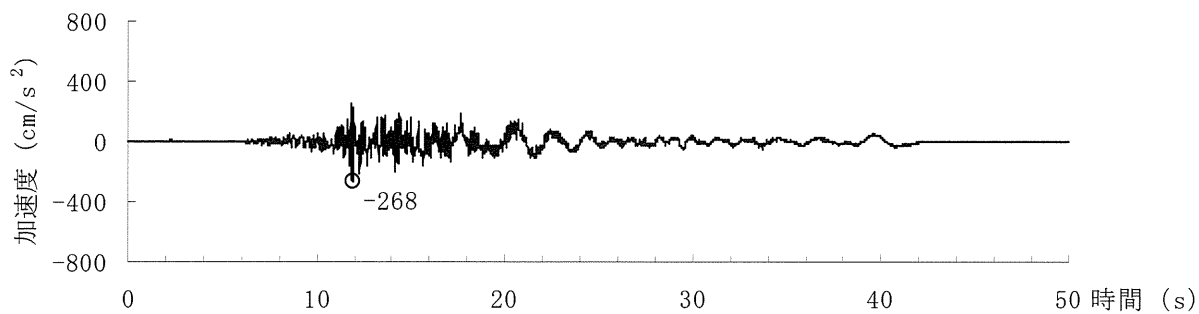


(鉛直動 : $Ss-1_V$)

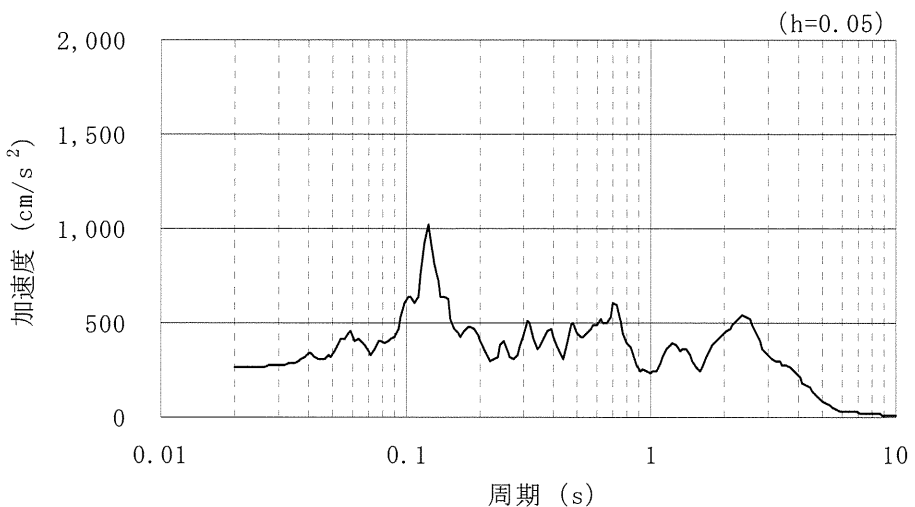
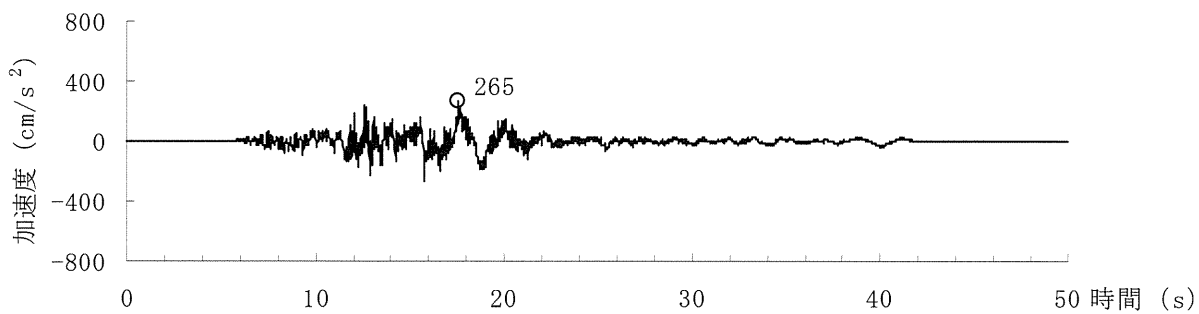


第 7.6.1.6 図 (1) 基準地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトル ($Ss-1$)

(水平動 : Ss-2_{NS})

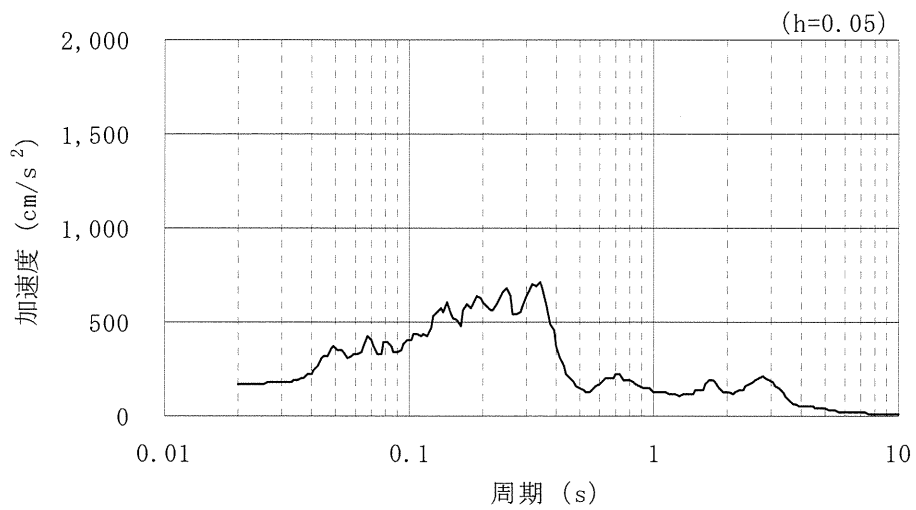
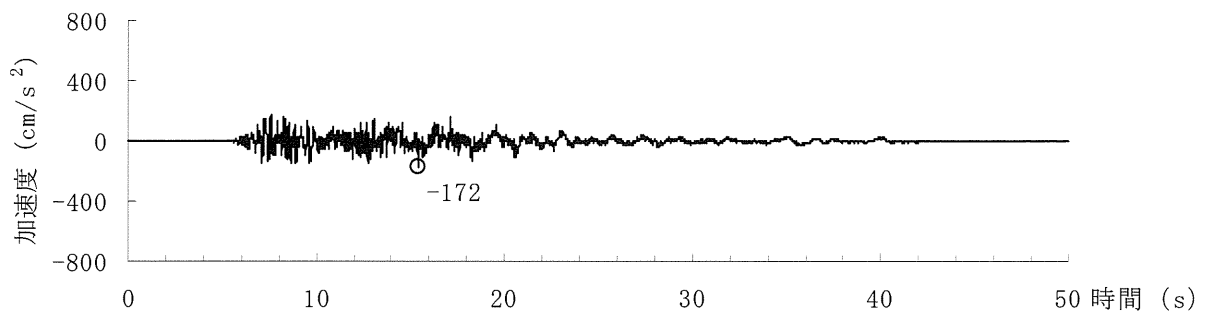


(水平動 : Ss-2_{EW})



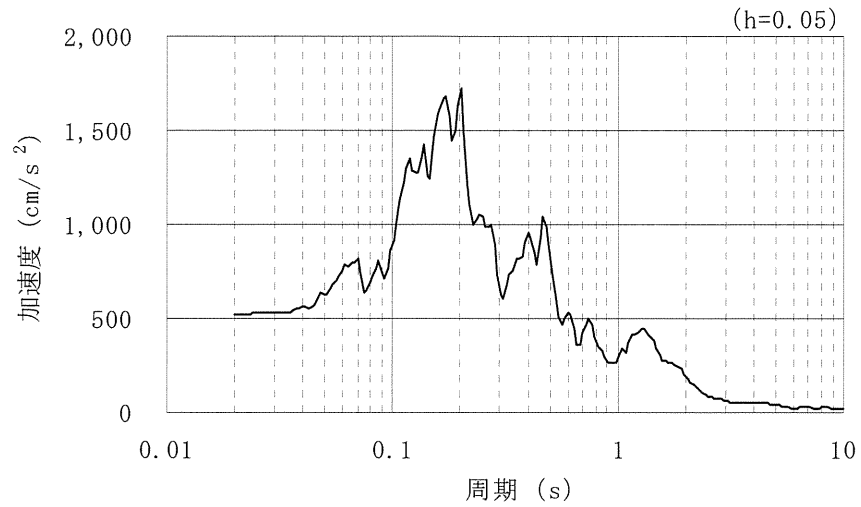
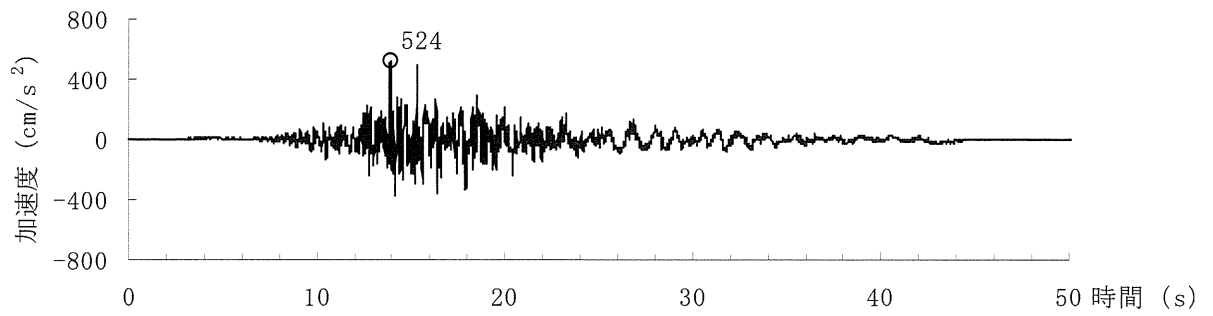
第 7.6.1.6 図 (2) 基準地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトル (Ss-2、水平動)

(鉛直動 : Ss-2_{UD})

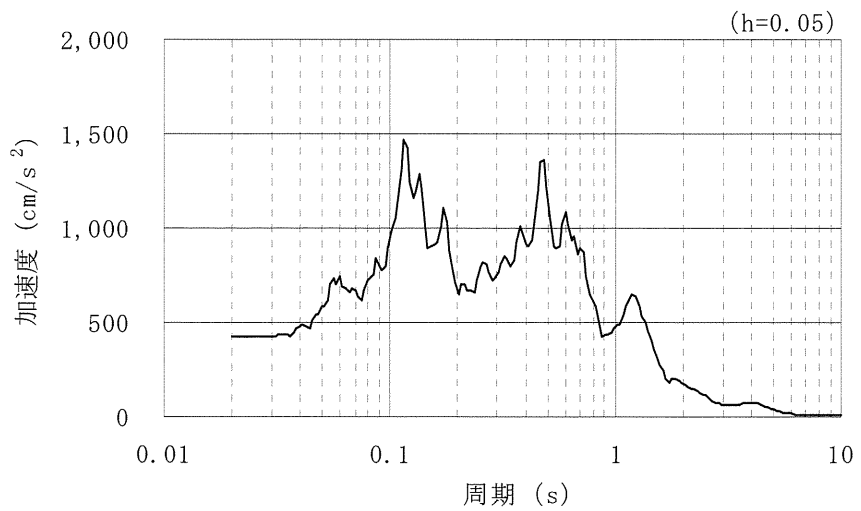
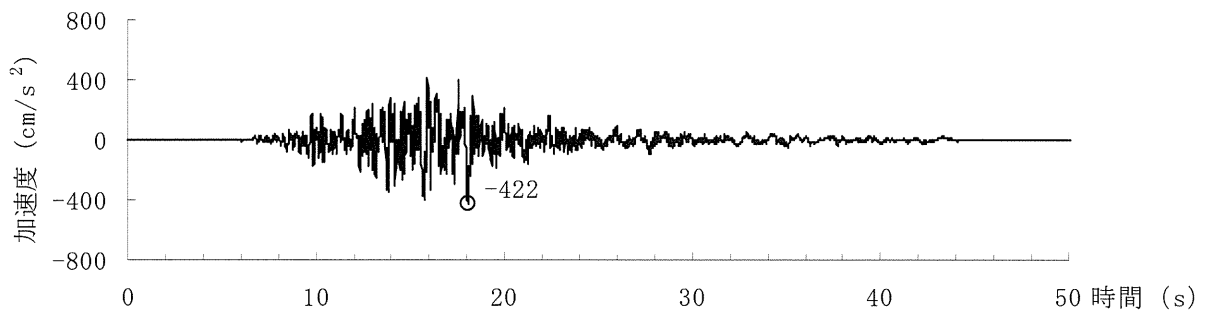


第 7.6.1.6 図 (3) 基準地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトル (Ss-2、鉛直動)

(水平動 : Ss-3_{NS})

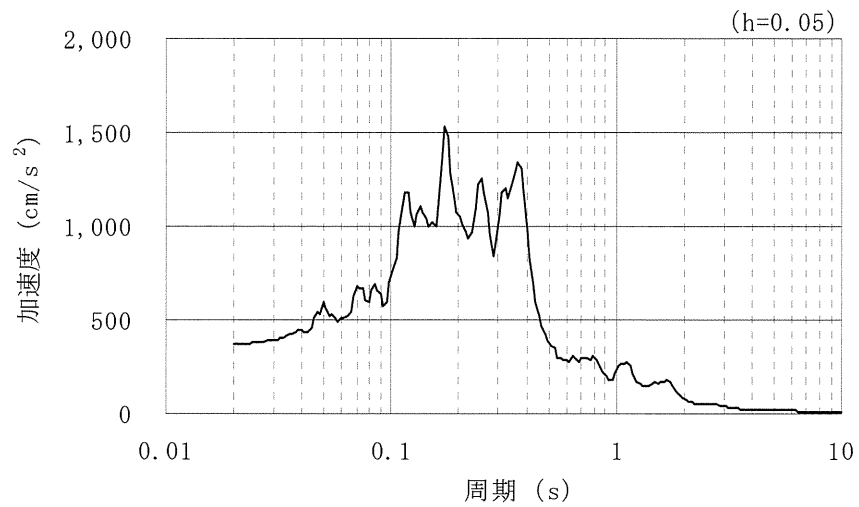
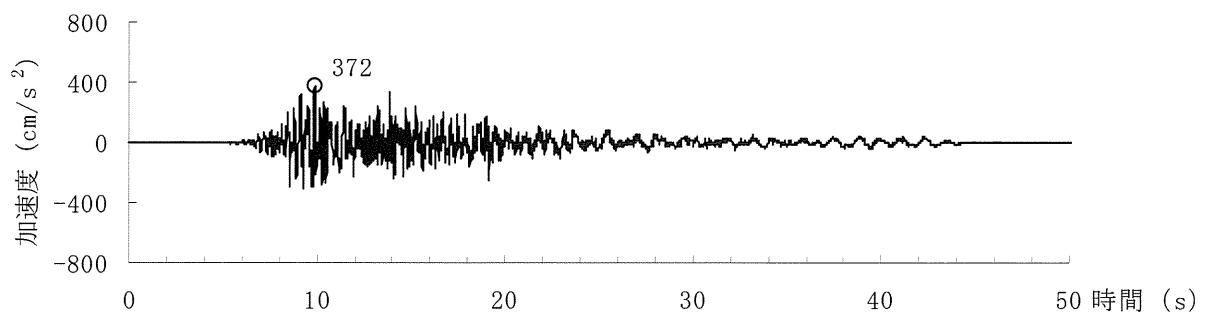


(水平動 : Ss-3_{EW})



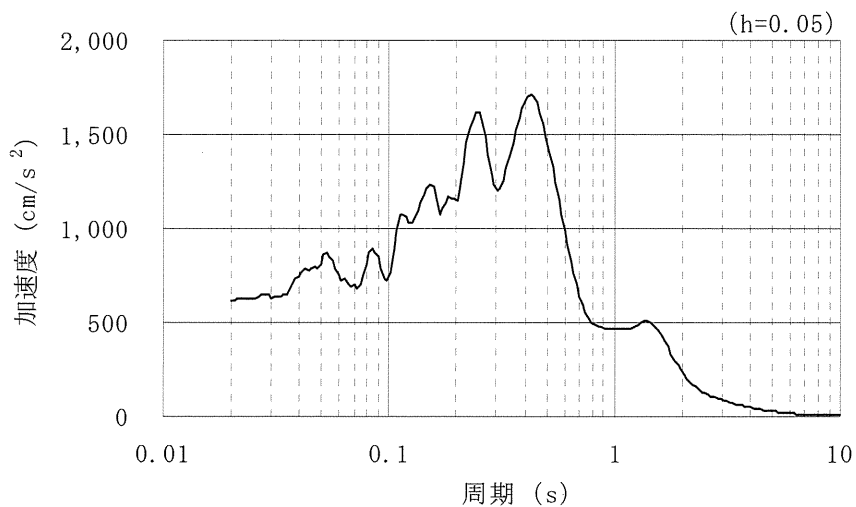
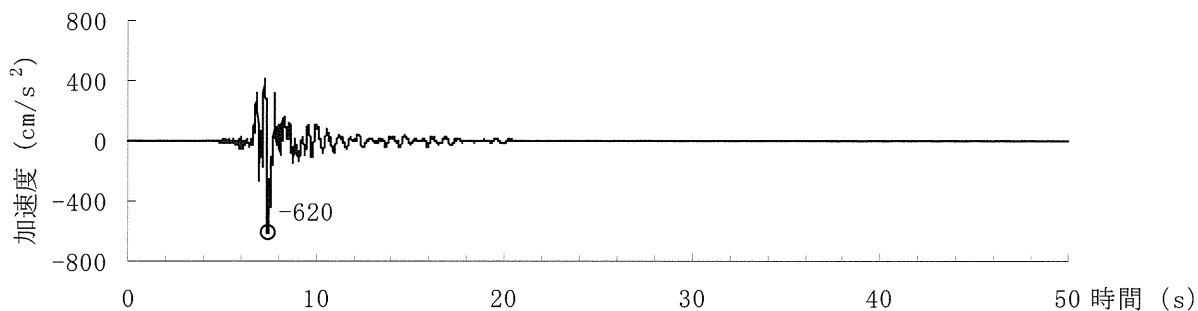
第 7.6.1.6 図 (4) 基準地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトル (Ss-3、水平動)

(鉛直動 : S_S-3_{UD})

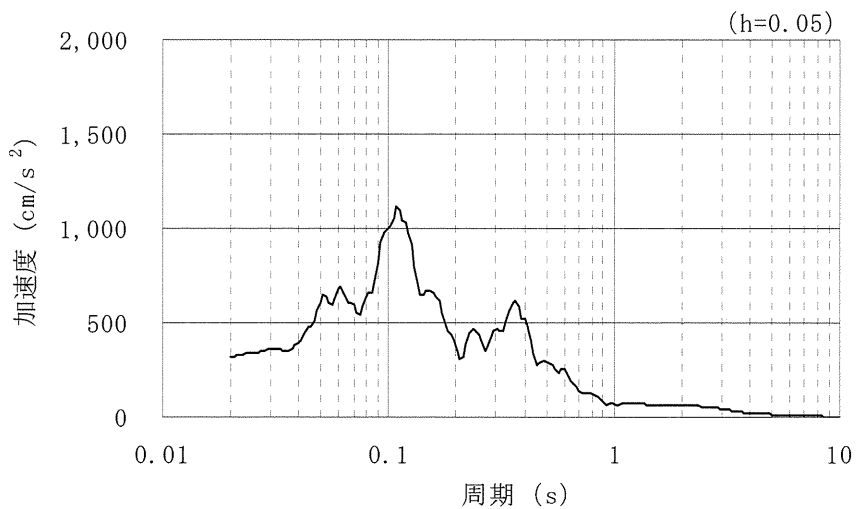
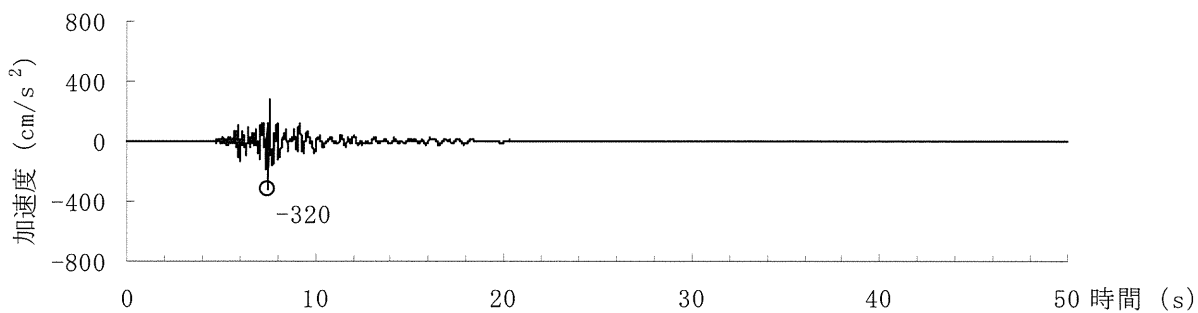


第 7.6.1.6 図 (5) 基準地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトル (S_S-3、鉛直動)

(水平動 : S_s-4_H)

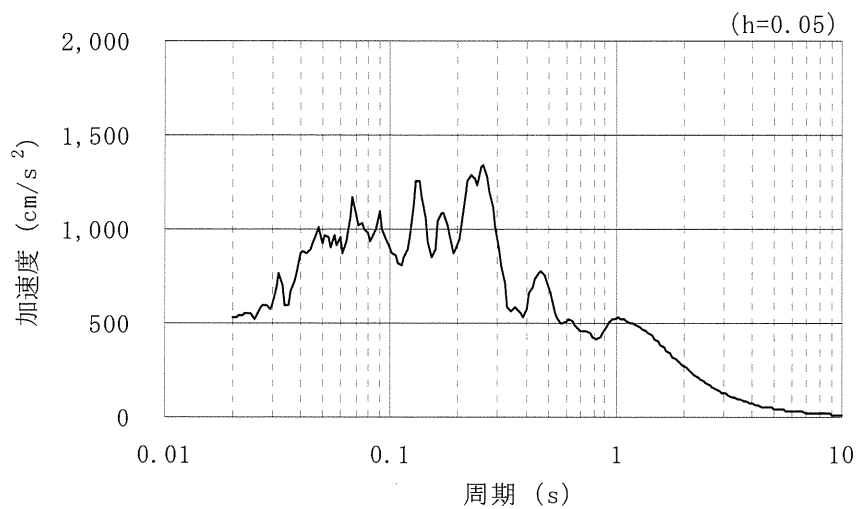
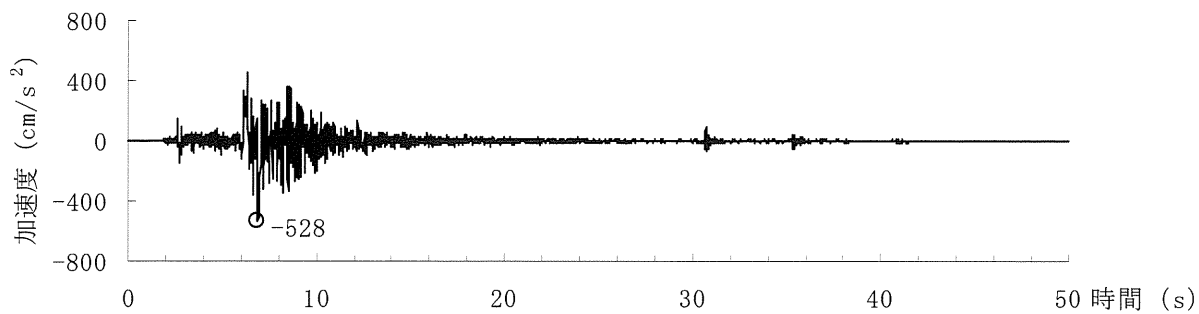


(鉛直動 : S_s-4_V)

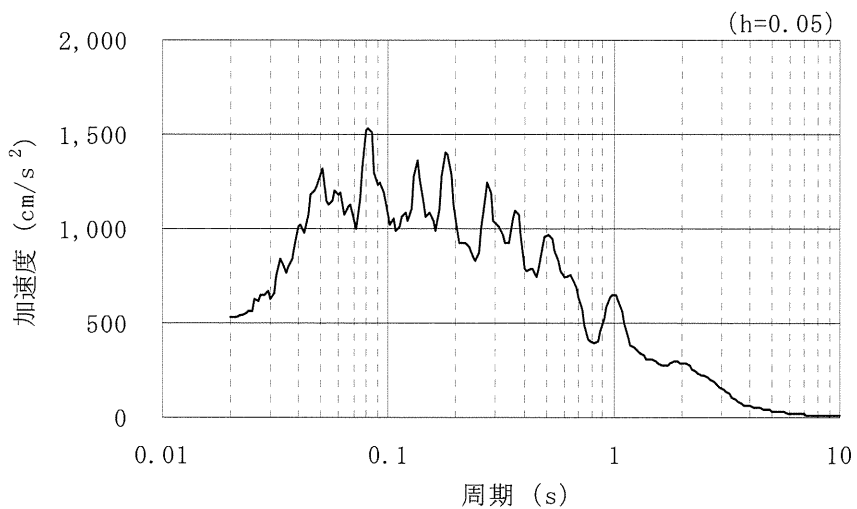
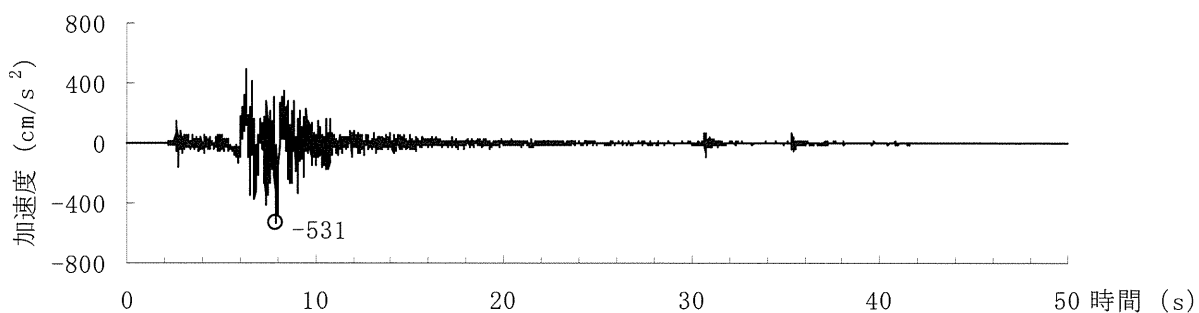


第 7.6.1.6 図 (6) 基準地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトル (S_s-4)

(水平動 : Ss-5_{NS})

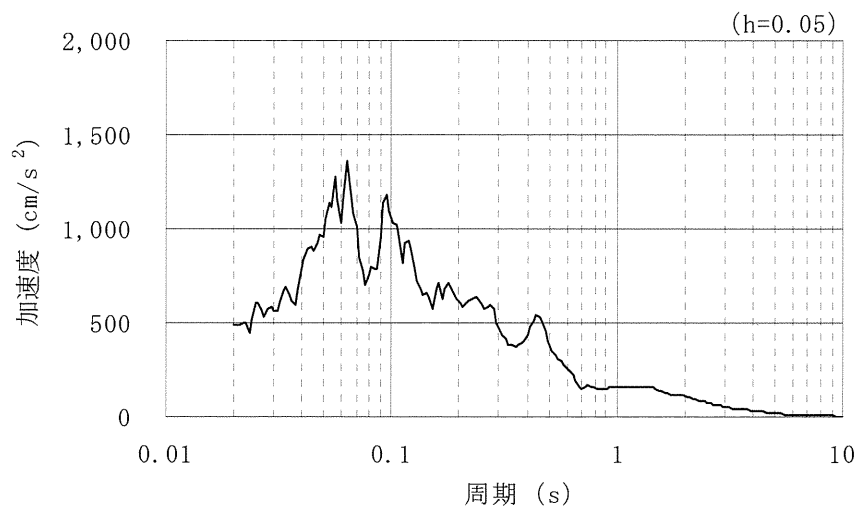
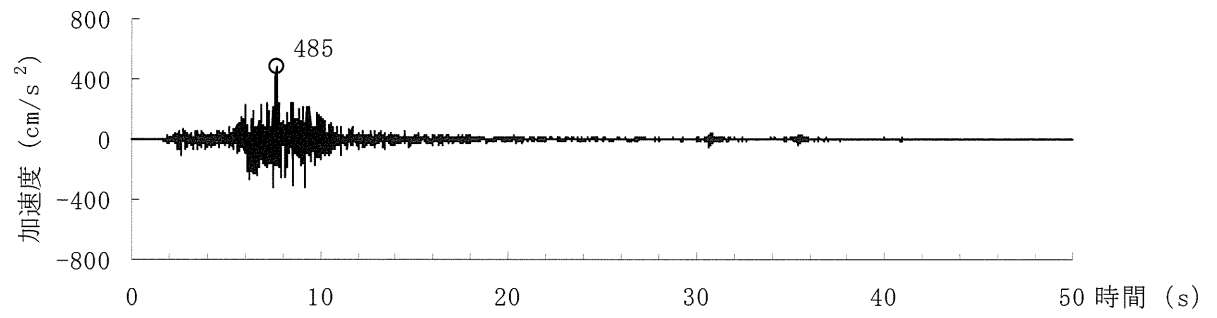


(水平動 : Ss-5_{EW})

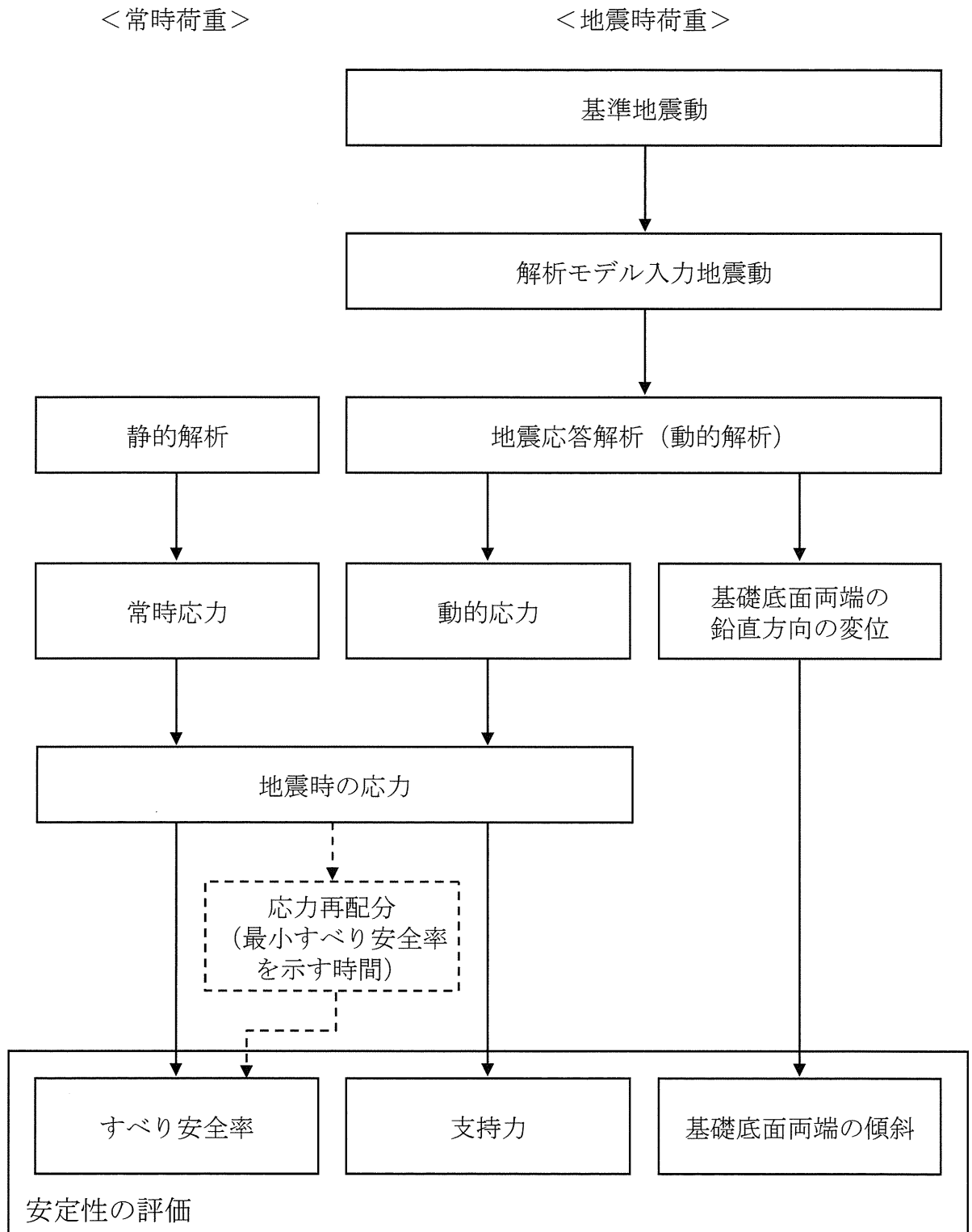


第 7.6.1.6 図 (7) 基準地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトル (Ss-5、水平動)

(鉛直動 : S_S-5_{UD})



第 7.6.1.6 図 (8) 基準地震動の時刻歴波形と加速度応答スペクトル (S_S-5、鉛直動)



第 7.6.1.8 図 基礎地盤の安定性評価フロー