

京都大学複合原子力科学研究所 研究用原子炉(KUR)  
標準応答スペクトルに基づく基準地震動Ssの評価等  
の概要について

- ・基準地震動Ssの評価
- ・地盤の安定性評価
- ・原子炉建屋入力地震動評価
- ・その他(新知見の反映)

令和4年1月27日

京都大学複合原子力科学研究所

## 標準応答スペクトルに基づく基準地震動 $S_s$ の評価の方針

- 2021年4月21日、設置許可基準規則<sup>(※1)</sup>及び審査ガイド<sup>(※2)</sup>が改正され、「震源を特定せず策定する地震動」のうち、全国共通に考慮すべき地震動の策定に際しては、「標準応答スペクトル」を用いることが規定された。

※1: 試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈

※2: 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

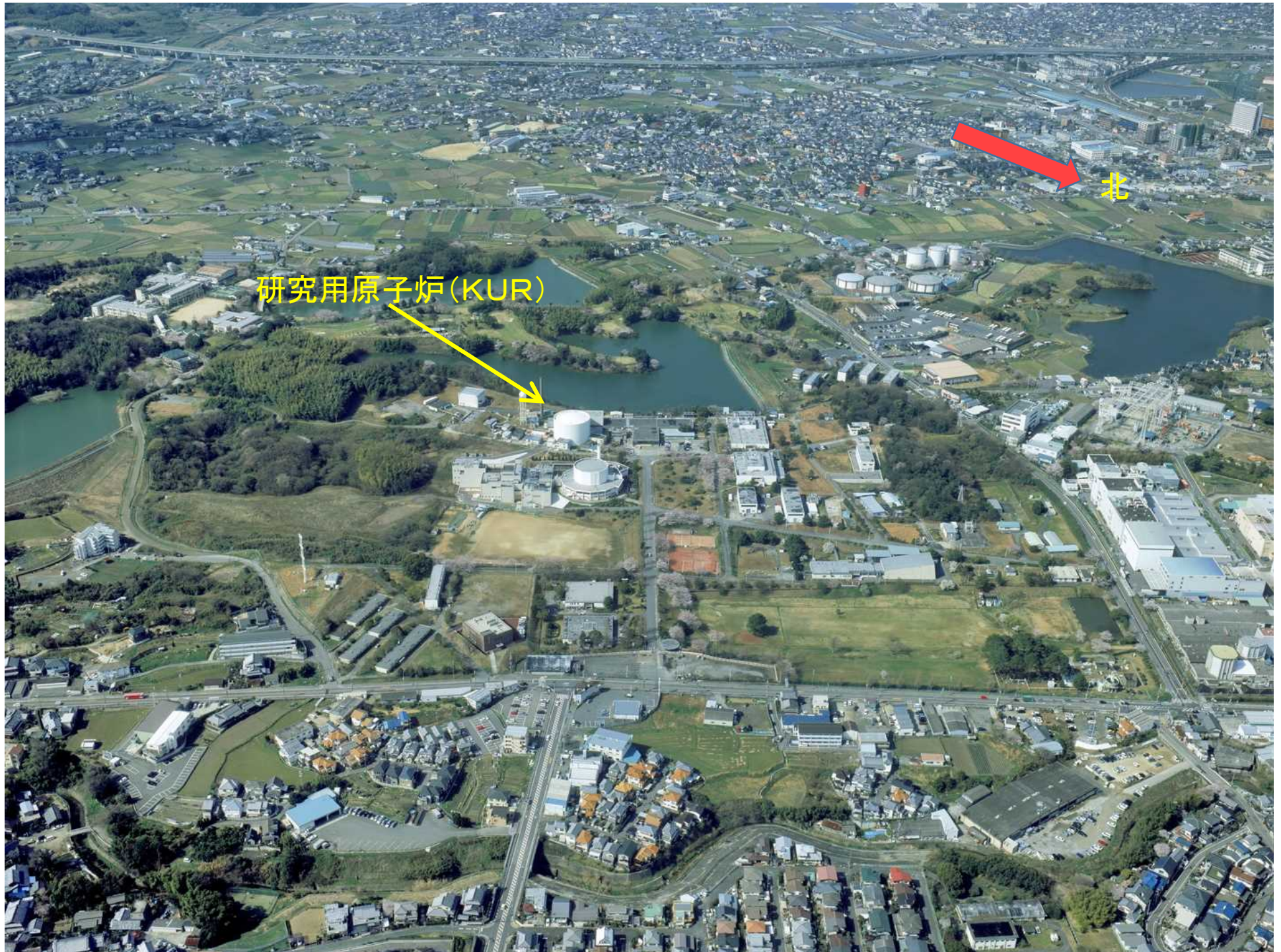
- 敷地における解放基盤表面は $V_s 1597\text{m/s}$  ( $V_s 700\text{m/s}$ 以上)の花崗岩 (GL-181m)に設定している。一方、標準応答スペクトルは地震基盤相当面 ( $V_s 2200\text{m/s}$ 以上の地層)で定義されているため、標準応答スペクトルに基づく基準地震動 $S_s$ を評価するため、地震基盤相当面から解放基盤表面までの増幅特性を考慮する。

- 増幅特性は、既承認の一元地盤モデルに基づき、解放基盤表面の下部 (GL-184m)のS波速度 $V_s 2436\text{m/s}$ 層 (花崗岩)上面を地震基盤相当面として評価する。

標準応答スペクトルに基づく地震基盤相当面での模擬地震波の策定

一元地盤モデルに基づく増幅特性を考慮

解放基盤表面での基準地震動 $S_s$ の評価



研究用原子炉 (KUR)

北

# 地下構造評価の概要

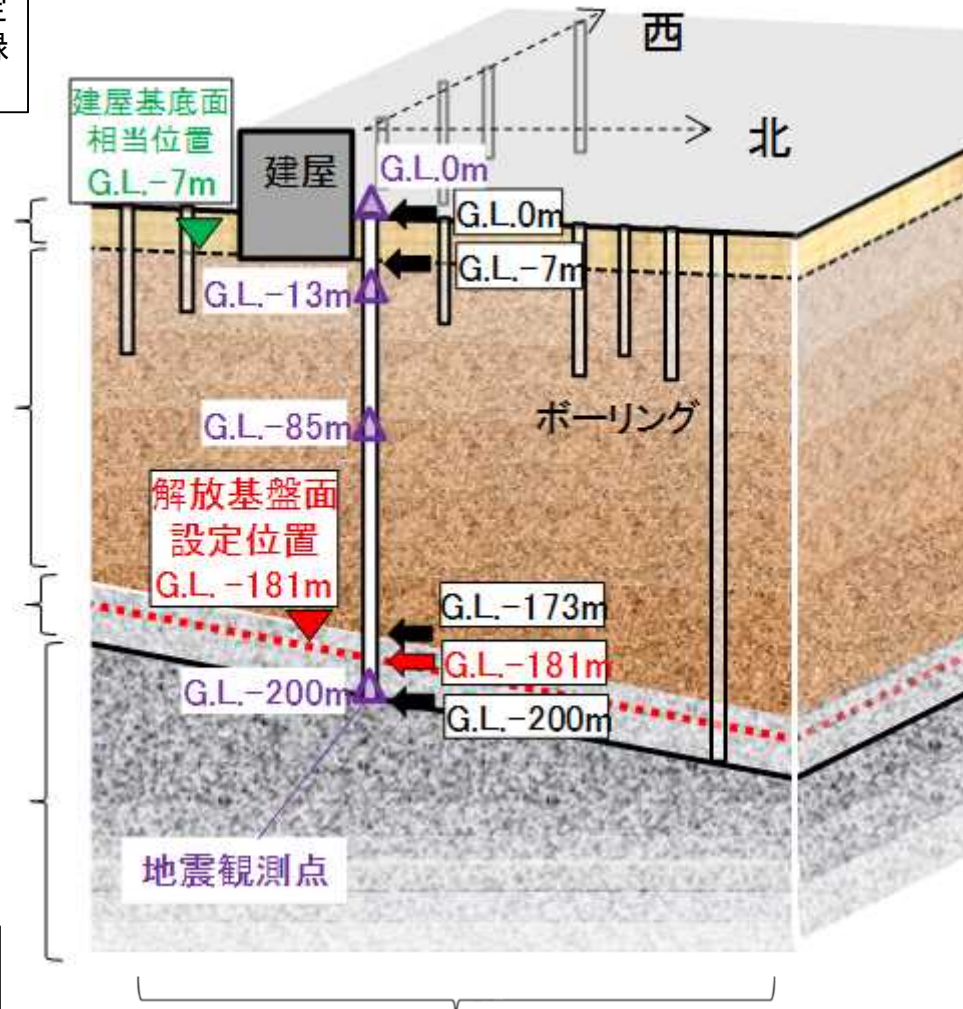
## 地下構造評価の流れ

PS検層に基づいて設定したモデルを地震記録の分析によって検証

- 盛土 (Vs<約0.2km/s)
- 大阪層群 (約0.35<Vs<約0.7km/s)
- 花崗岩 (約1.0<Vs<約2.5km/s)

花崗岩(地震基盤) (Vs>3.0km/s)

Kagawa et al.(2004)の値を微小地震記録を用いたS波走時インバージョン(Matsubara et al., 2004)に基づいて検証



敷地内でのボーリング・単点微動の両探索および敷地周辺のボーリング・反射法・単点微動・微動アレイの各探索によって、敷地内・敷地周辺の3次元的な地下構造を評価

PS検層による解放基盤面(基盤岩上面)および1次元地下構造モデルの設定

解放基盤面以深の深部地下構造の確認(文献調査)

敷地近傍における解放基盤面の深度分布評価

敷地内における解放基盤面の深度分布評価

敷地内における堆積層(大阪層群)の地下構造評価

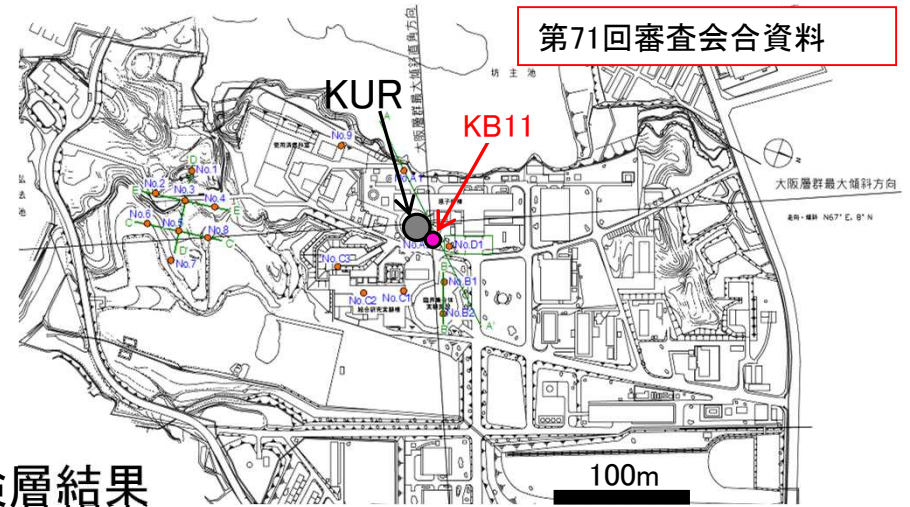
1次元地下構造モデルのS波平面波入射による理論伝達関数の計算

1次元地下構造モデルの妥当性評価

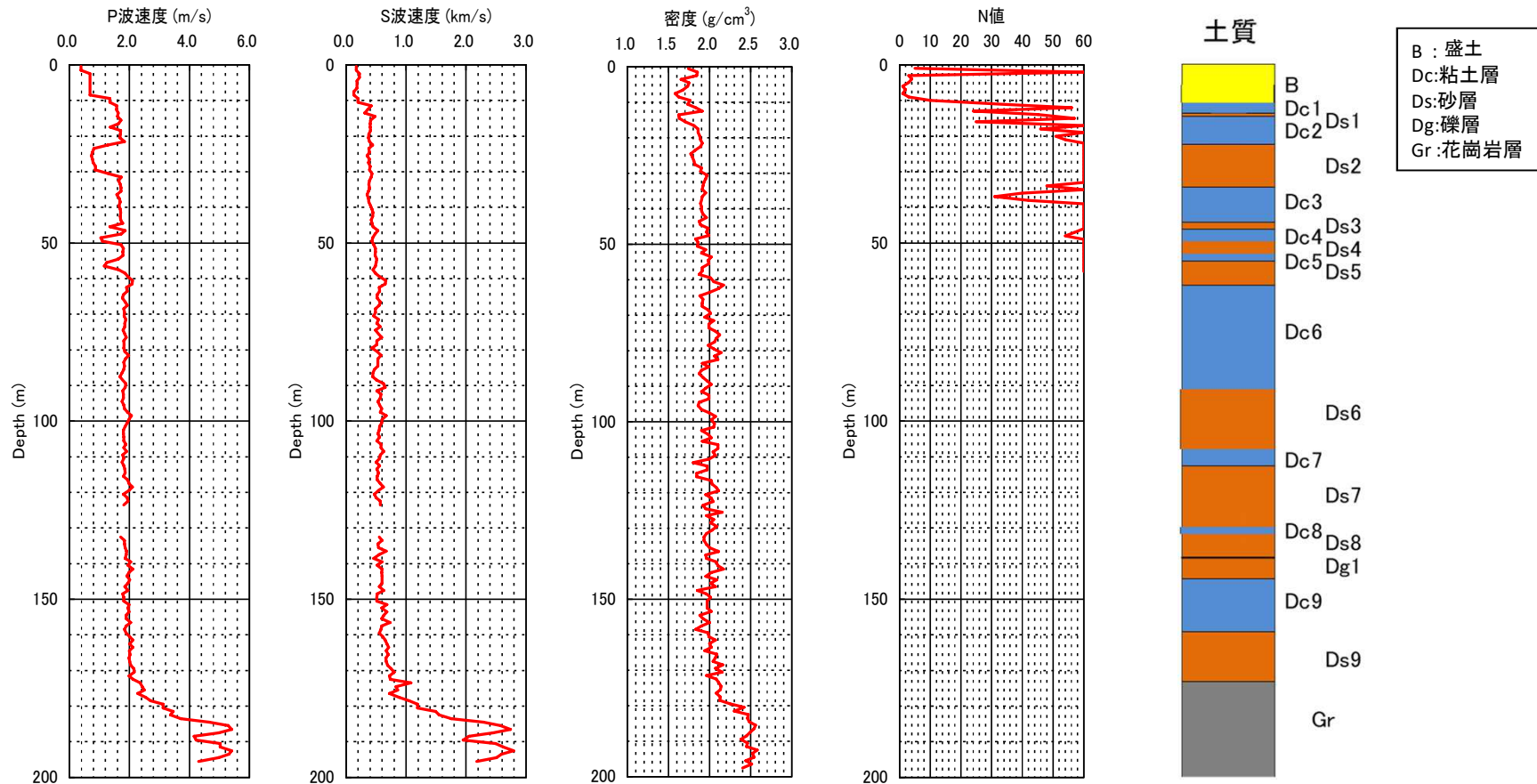
地震観測記録を用いた伝達関数の統計的な分析

# 解放基盤面の設定

盛り土より深い位置に存在する(GL-10m程度以深)堆積層(大阪層群、GL-10~-170m程度)のS波速度は約350~700m/sとなっており、深さと共に漸増する。GL-170m程度以深には花崗岩が確認されている。



## KUR極近傍(KB11)地点のボーリングによる検層結果



# 一次元地盤構造モデル(線形計算モデル)

## 1次元地下構造モデル(線形モデル)

地層名	土質	地層記号	層厚 (m)	深度 (GL-m)	P波速度 Vp (m/s)	S波速度 Vs (m/s)	密度 (kN/m <sup>3</sup> )
盛土	盛土	B	7	0-7	747	180	16.9
大阪層群	第1粘性土層	Dc1	7	7-14	1593	363	17.5
	第1砂質土層	Ds1	1	14-15	1600	480	16.0
	第2粘性土層	Dc2	8	15-23	1615	400	18.1
	第2砂質土層	Ds2	13	23-36	1185	388	18.4
	第3粘性土層	Dc3	9	36-45	1686	409	18.7
	第3砂質土層	Ds3	2	45-47	1605	490	19.3
	第4粘性土層	Dc4	3	47-50	1293	450	18.6
	第4砂質土層	Ds4	3	50-53	1767	480	18.6
	第5粘性土層	Dc5	3	53-56	1553	497	19.6
	第5砂質土層	Ds5	7	56-63	1816	550	19.6
	第6粘性土層	Dc6	28	63-91	1835	524	19.5
	第6砂質土層	Ds6	16	91-107	1853	566	19.4
	第7粘性土層	Dc7	7	107-114	1816	559	19.5
	第7砂質土層	Ds7	16	114-130	1916	542	19.5
第8粘性土層	Dc8	2	130-132	1816	559	19.6	
第8砂質土層	Ds8	8	132-140	1865	563	19.5	
第1礫質土層	Dg1	3	140-143	2017	570	20.5	
第9砂質土層		3	143-146	1960	600	19.8	
第9粘性土層	Dc9	14	146-160	1896	596	19.1	
第10砂質土層	Ds9	13	160-173	2054	696	20.1	
花崗岩	花崗岩	Gr	8	173-181	2629	975	21.3
			3	181-184	3517	1597	23.6
			16	184-200	4898	2436	24.4
			200<	5400	3200	26.5	

入力地震動設定位置

注) 地層記号および地層の深さ方向区間の取り方を、3月4日の審査会合以降、一部見直した。そのため、申請書時とは地層記号と媒質パラメーターが一部変更されている。

P,S波検層が欠測であったため、当該層と同じ粘性土層であるDc7層の値を用いた。

地震基盤相当面

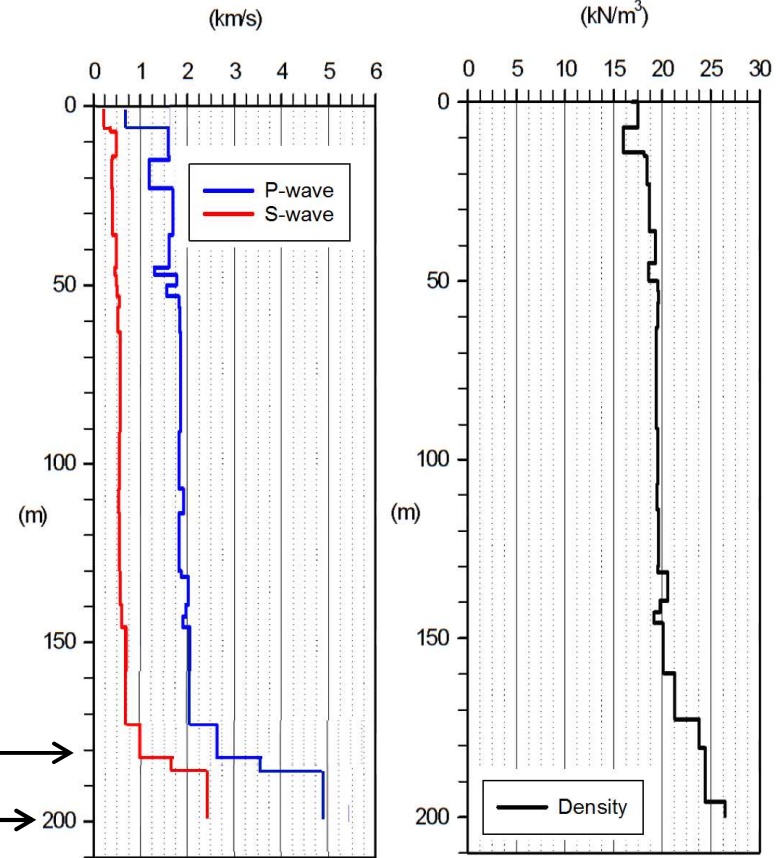
解放基盤面設定位置

地震基盤上面設定位置

Kagawa et al.(2004)による基盤の物性値

ボーリングデータによる土質分布に基づいて、地下構造モデル作成のための地層分割を行い、地層ごとにP波、S波および密度の区間平均値を算出し、それらの値を各層のモデル物性値とした。なお、Q値はP波及びS波速度(m/s)に、それぞれ1/10を乗じた値とした。

解放基盤面は風化花崗岩(S波速度約1.0km/s)とその下に存在するS波速度約1.6km/sの地層の境界とした



検層結果から求めた1次元地下構造モデルのS波・P波・密度分布

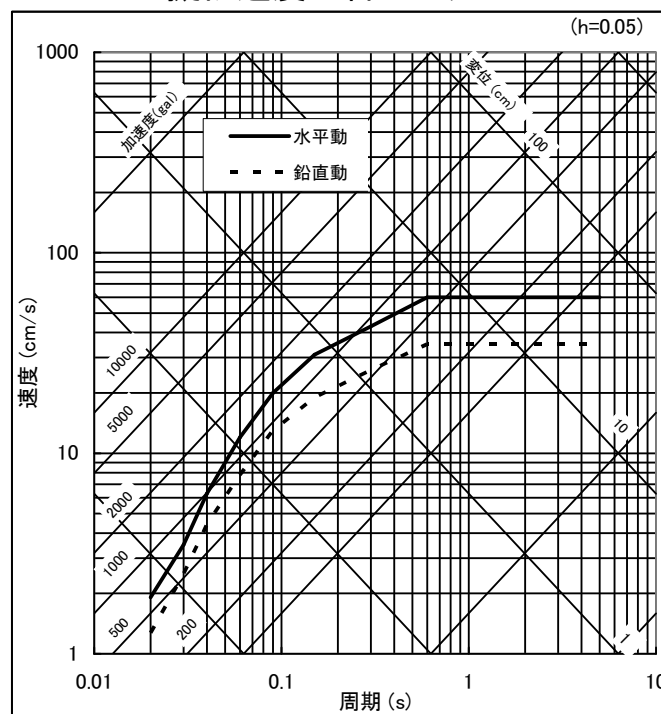
# 標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の策定

- ・乱数位相を持つ正弦波の重ね合わせによって策定。
- ・振幅包絡線の経時変化は、Noda et al.(2002)による。
- ・策定された模擬地震波の適合性は、応答スペクトル比(標準応答スペクトル/模擬地震波の応答スペクトル)が全周期帯で0.85以上、応答スペクトル強度比(SI比)が1.0以上。

コントロールポイント

周期 (s)	水平動	鉛直動
	擬似速度 (cm/s)	擬似速度 (cm/s)
0.02	1.910	1.273
0.03	3.500	2.500
0.04	6.300	4.400
0.06	12.000	7.800
0.09	20.000	13.000
0.15	31.000	19.000
0.30	43.000	26.000
0.60	60.000	35.000
5.00	60.000	35.000

擬似速度応答スペクトル

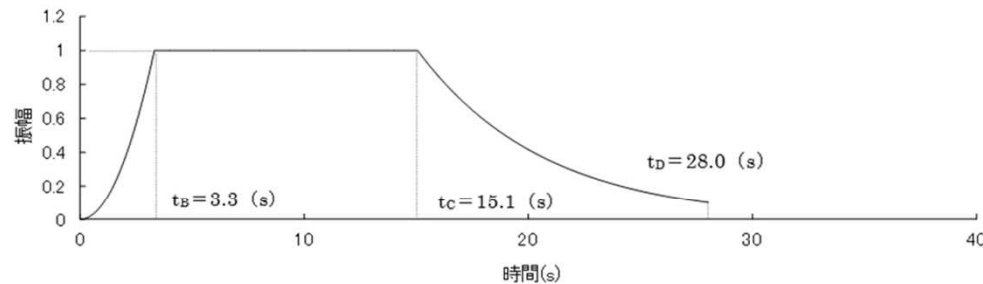


## 標準応答スペクトル

原子力規制委員会(2021)より抜粋

# 模擬地震波策定のためのNoda et al.(2002)の振幅包絡線の経時特性と模擬地震波の適合性の判定基準

	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時変化 (s)		
		$t_B$	$t_C$	$t_D$
水平	28.0	3.3	15.1	28.0
鉛直	28.0	3.3	15.1	28.0



$$t_B = 10^{0.5M - 2.93}$$

$$t_C - t_B = 10^{0.3M - 1.0}$$

$$t_D - t_C = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & 0 \leq t < t_B \\ 1 & t_B \leq t < t_C \\ \exp[(\ln 0.1)(t - t_C)/(t_D - t_C)] & t_C \leq t \leq t_D \end{cases}$$

振幅包絡形の経時特性 (M6.9、 $X_{eq}10\text{km}$ )

$$\textcircled{1} R(T) = \frac{S_{v1}(T)}{S_{v2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

T : 周期 (s)

$S_{v1}(T)$  : 模擬地震波の応答スペクトル値

$S_{v2}(T)$  : 目標とする応答スペクトル値

$$\textcircled{2} \text{SI比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} \geq 1.0$$

SI : 応答スペクトル強さ

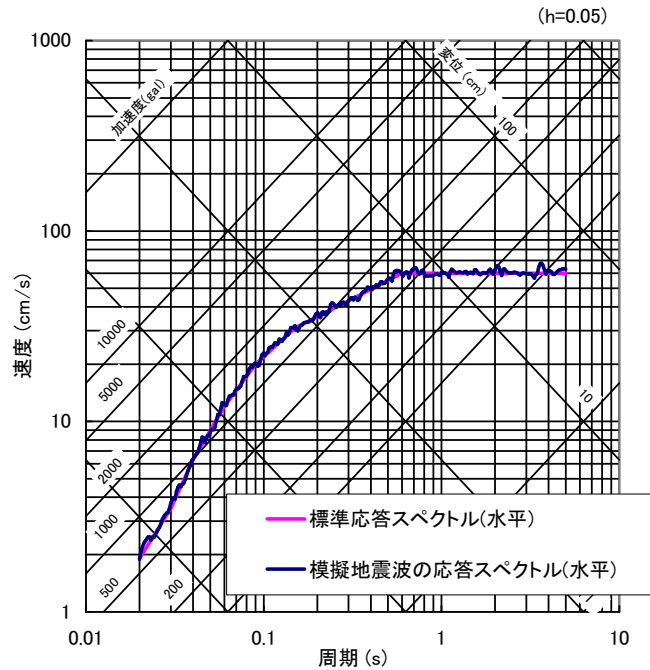
$S_v(T)$  : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)

$\bar{S}_v(T)$  : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

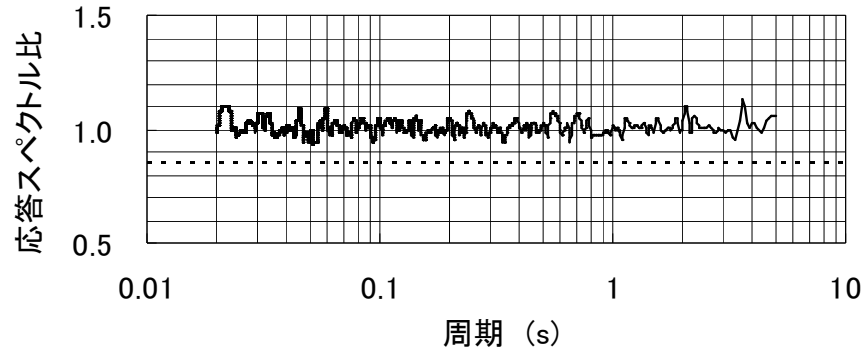
T : 固有周期 (s)

模擬地震波の策定のための判定基準



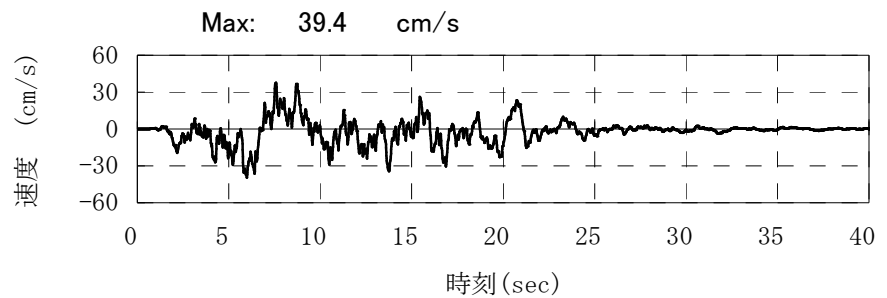
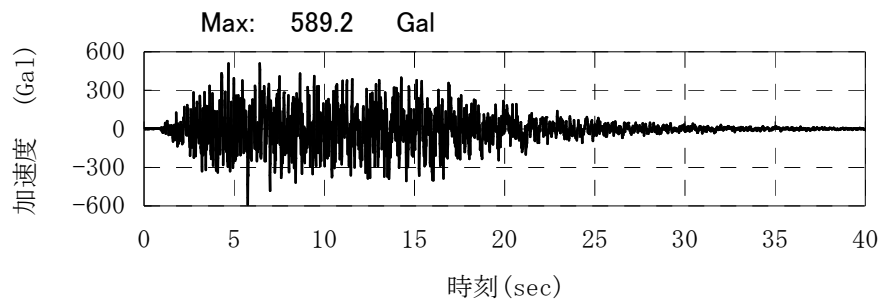


標準応答スペクトル(水平)と模擬地震波の  
 応答スペクトルの比較(減衰定数5%)



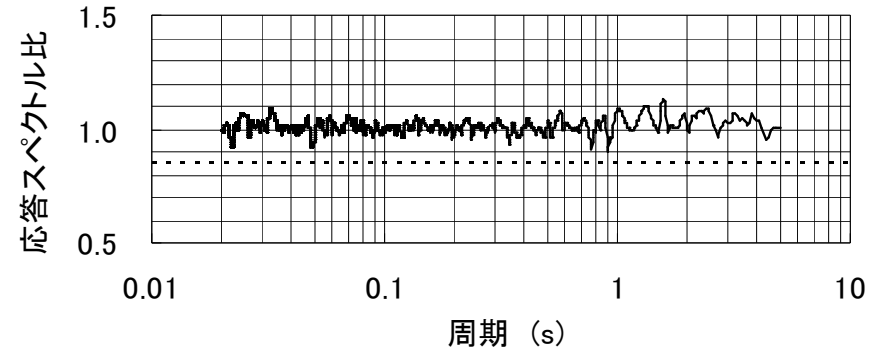
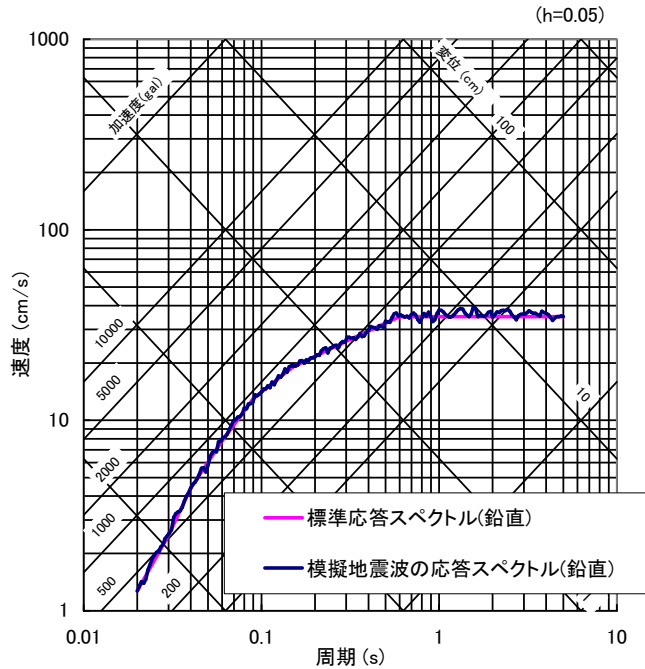
標準応答スペクトル(水平)と模擬地震波の  
 応答スペクトルの比 (最低=0.93  $\geq$ 0.85)

応答スペクトル強度(SI)比=1.12  $\geq$ 1.0



模擬地震波(水平)の加速度波形(左)と速度波形(右)

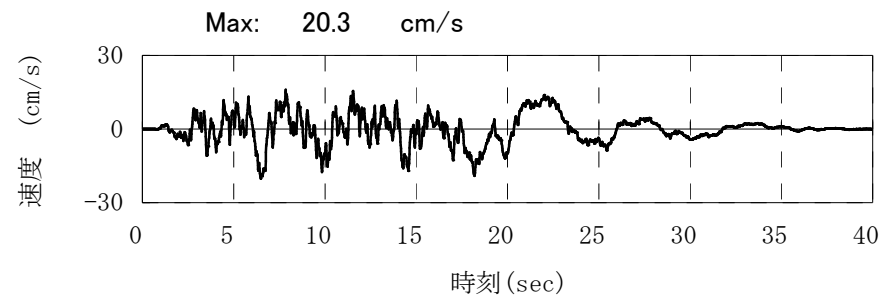
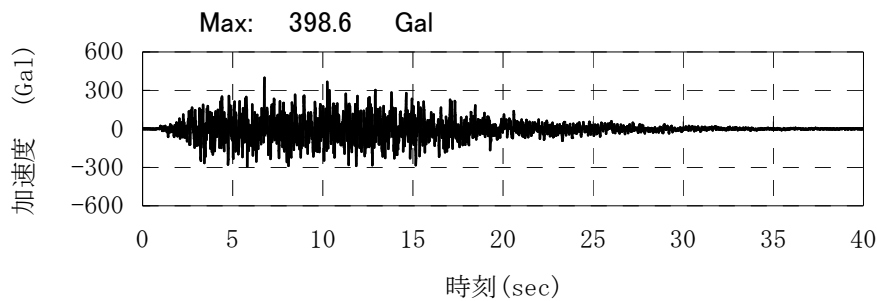
地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波(水平)



標準応答スペクトル(鉛直)と模擬地震波の  
 応答スペクトルの比 (最低=0.90  $\geq$ 0.85)

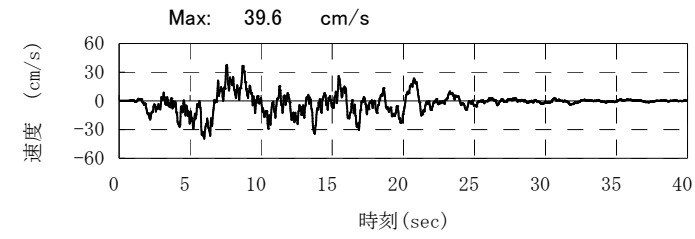
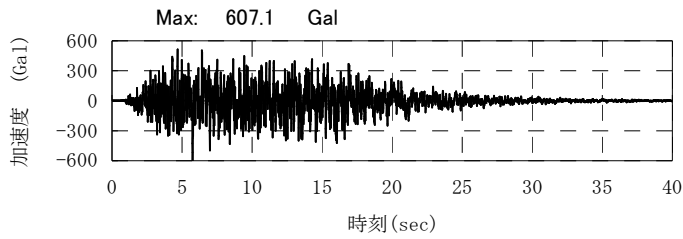
応答スペクトル強度(SI)比=1.11  $\geq$ 1.0

標準応答スペクトル(鉛直)と模擬地震波の  
 応答スペクトルの比較(減衰定数5%)

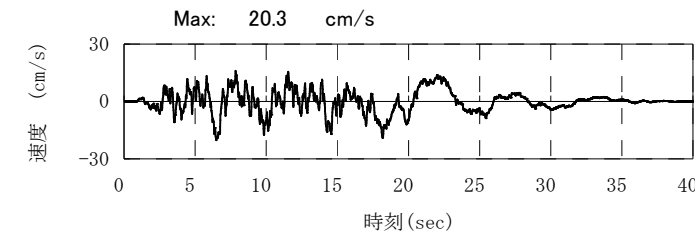
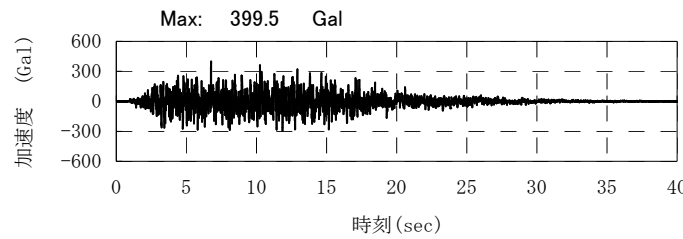


模擬地震波(鉛直)の加速度波形(左)と速度波形(右)

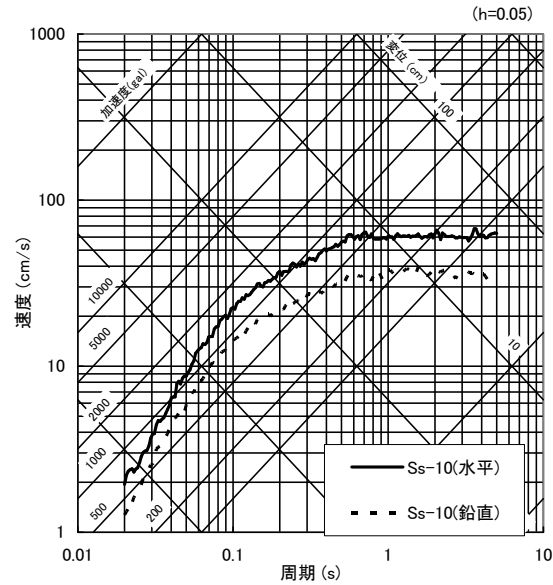
地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波(鉛直)



水平動の加速度波形(左)と速度波形(右)

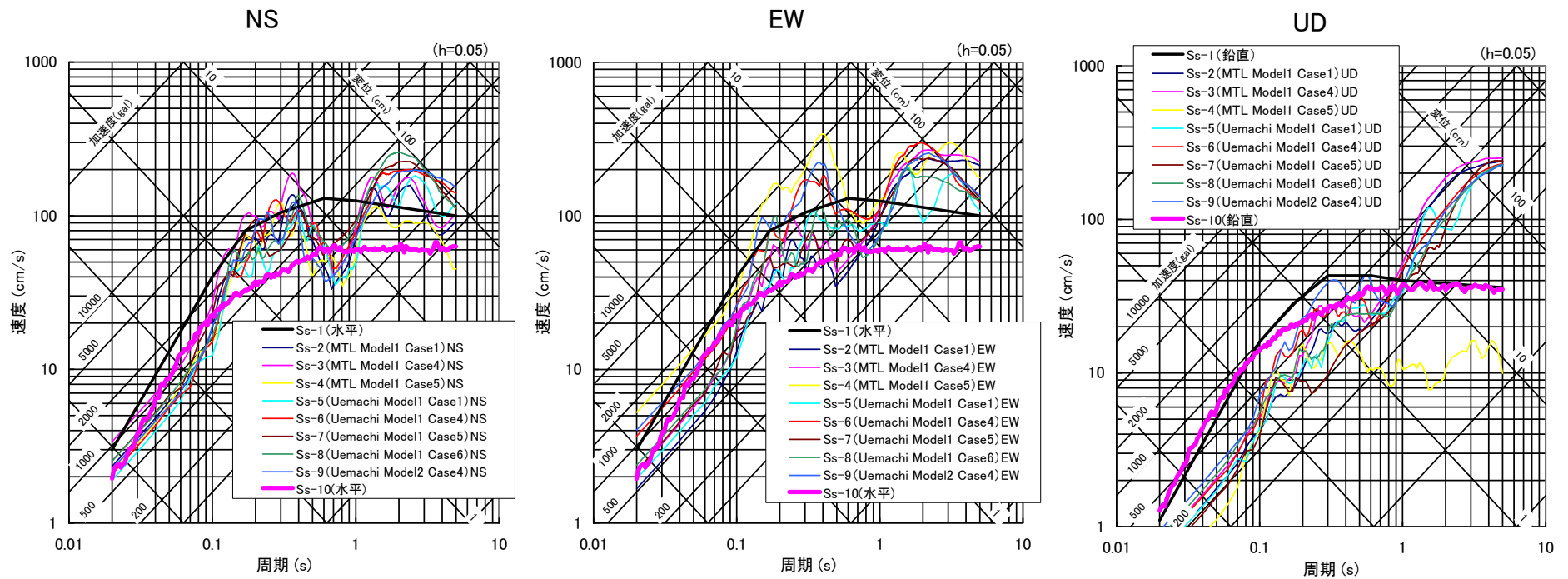


鉛直動の加速度波形(左)と速度波形(右)



応答スペクトル(減衰定数5%)

解放基盤表面における基準地震動Ss-10の時刻歴波形と応答スペクトル



## 基準地震動 (Ss-1 ~ Ss-10) の応答スペクトル

# 基準地震動Ssの最大加速度

(cm/s<sup>2</sup>)

基準地震動				NS方向	EW方向	UD方向
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトル法	Ss-1	模擬地震波	944		358
	断層モデルを用いた手法	Ss-2	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース1)	729	520	215
		Ss-3	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース4)	1053	672	252
		Ss-4	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース5)	673	1644	133
		Ss-5	上町断層帯 (モデル1、ケース1)	767	756	194
		Ss-6	上町断層帯 (モデル1、ケース4)	709	1184	213
		Ss-7	上町断層帯 (モデル1、ケース5)	649	674	170
		Ss-8	上町断層帯 (モデル1、ケース6)	566	683	196
		Ss-9	上町断層帯 (モデル2、ケース4)	699	1260	293
震源を特定せず策定する地震動(標準応答スペクトルによる)	応答スペクトル法	Ss-10	模擬地震波	607		400

# 支持地盤の安定性評価

## 1) 支持地盤のすべり

基準地震動 $S_s-10$ を用いた動的解析の結果に基づき、基礎地盤の想定すべり線上のせん断抵抗力の和を想定すべり線上のせん断力の和で除して求めたすべり安全率が、評価基準値1.5を上回ることを確認する。

## 2) 支持地盤の支持力

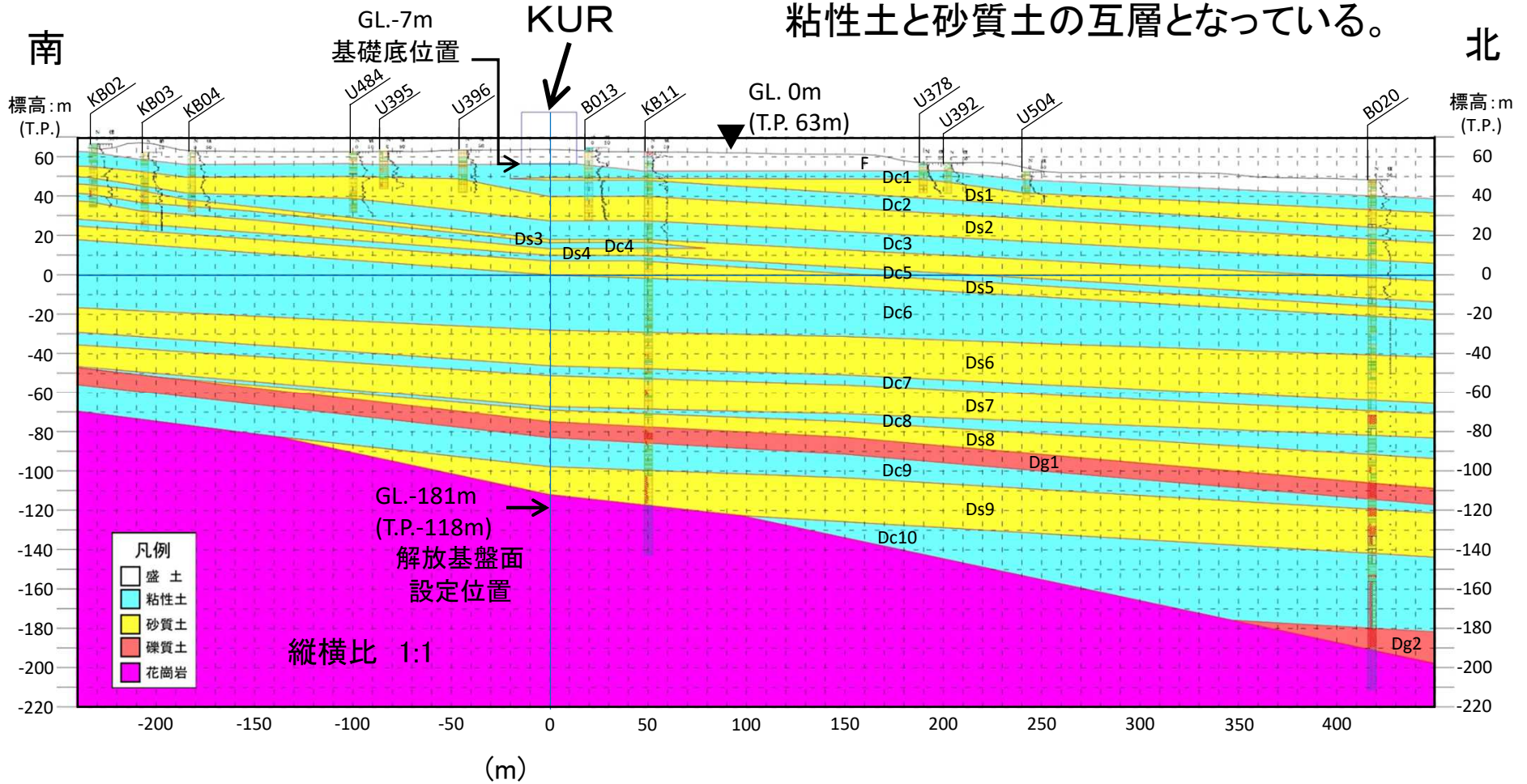
地震時における地盤の許容支持応力度が、1)による動的解析で得られた最大鉛直応力を上回ることを確認する。

## 3) 基礎底面の傾斜

基準地震動 $S_s-10$ を用いた動的解析の結果に基づき基礎底面両端それぞれの鉛直方向の変位の差を底面幅で除して求めた原子炉建屋基礎底面の傾斜が評価の目安である $1/2,000$ 以下であることを確認する。

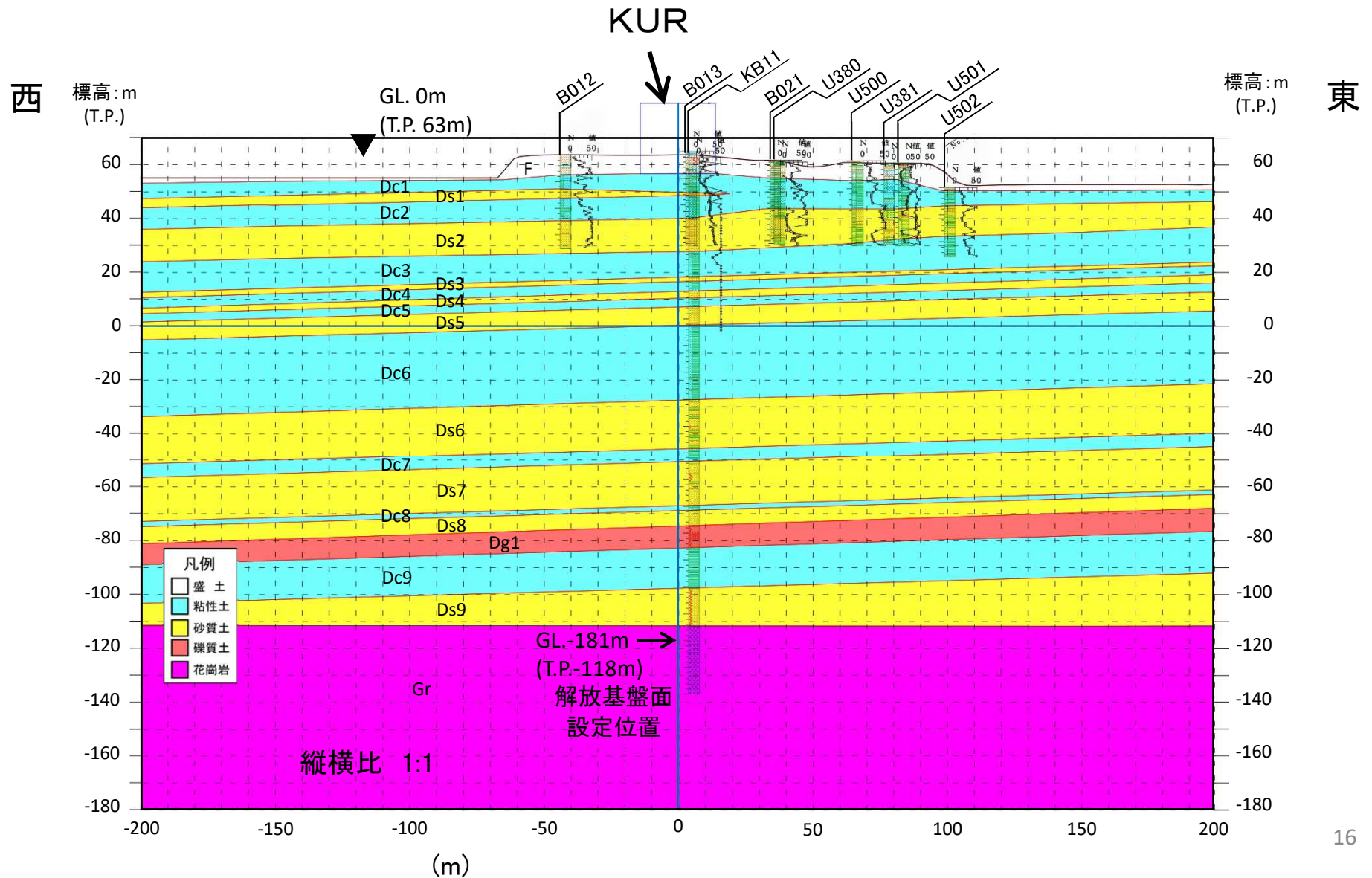
# 地質断面図(南北断面)

KUR支持地盤は解放基盤を設定した花崗岩層まで、大阪層群を構成する粘性土と砂質土の互層となっている。



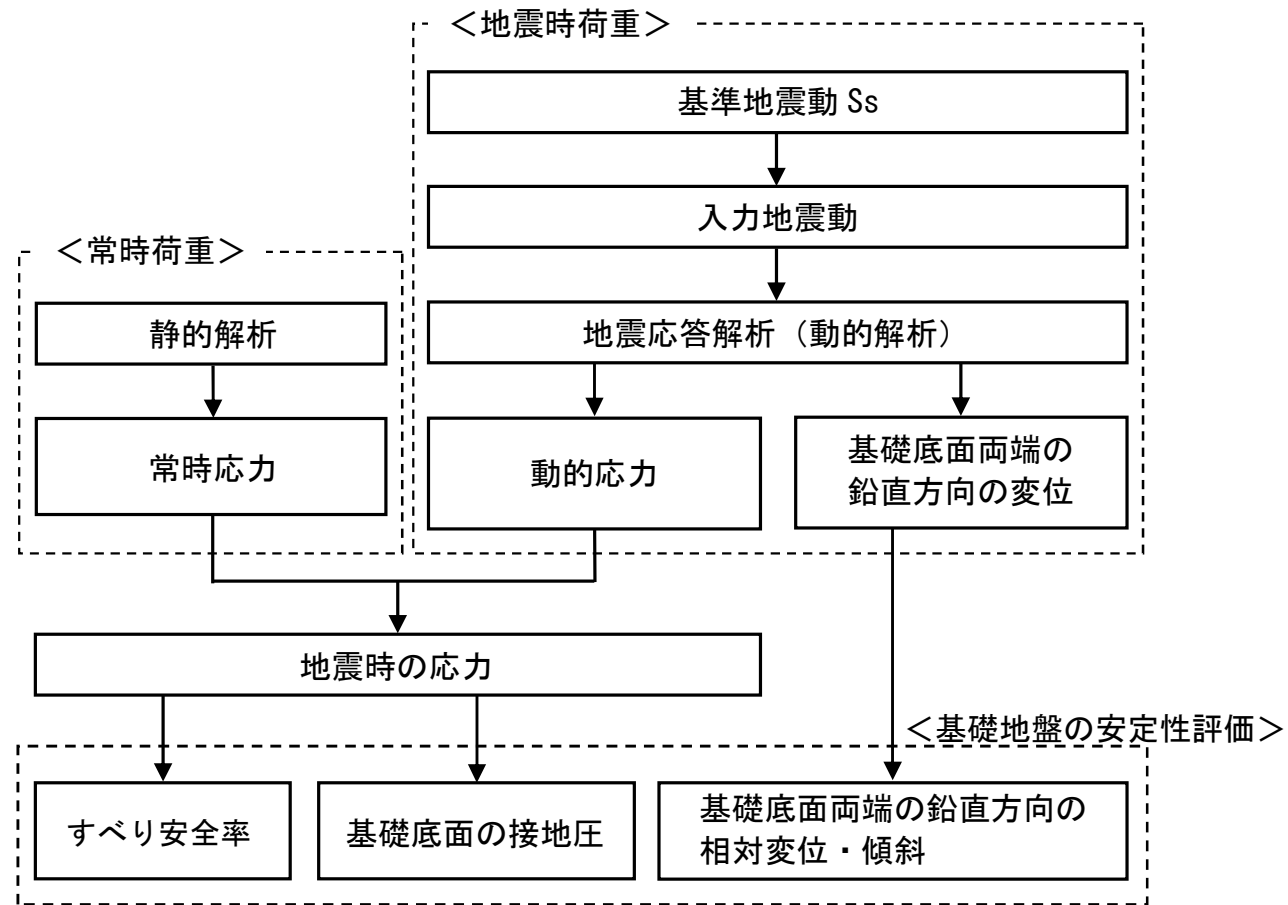
ボーリングによる土質柱状図から推定した地質断面図

# 地質断面図(東西断面)





# 基礎地盤安定性評価方法のフロー



- 1) すべり安全率、基礎底面の接地圧及び傾斜については、2次元有限要素法による地震応答解析によって評価。
- 2) 地震応答解析は、周波数応答解析とし、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考慮。

# (1) 基礎地盤のすべり

## すべり面の設定

- 1) 原子炉建屋基礎底面を通り、地表面に5ケースの角度(15°, 30°, 45°, 60°, 75)で達するすべり面(5ケース×5ケース=25ケース: 図1)を設定する。
- 2) 原子炉建屋直下で浅い位置に存在する砂質土層であるDs1層を通り、地表面に2ケースの角度(30°, 45°)で達するすべり面(図2)を設定する。

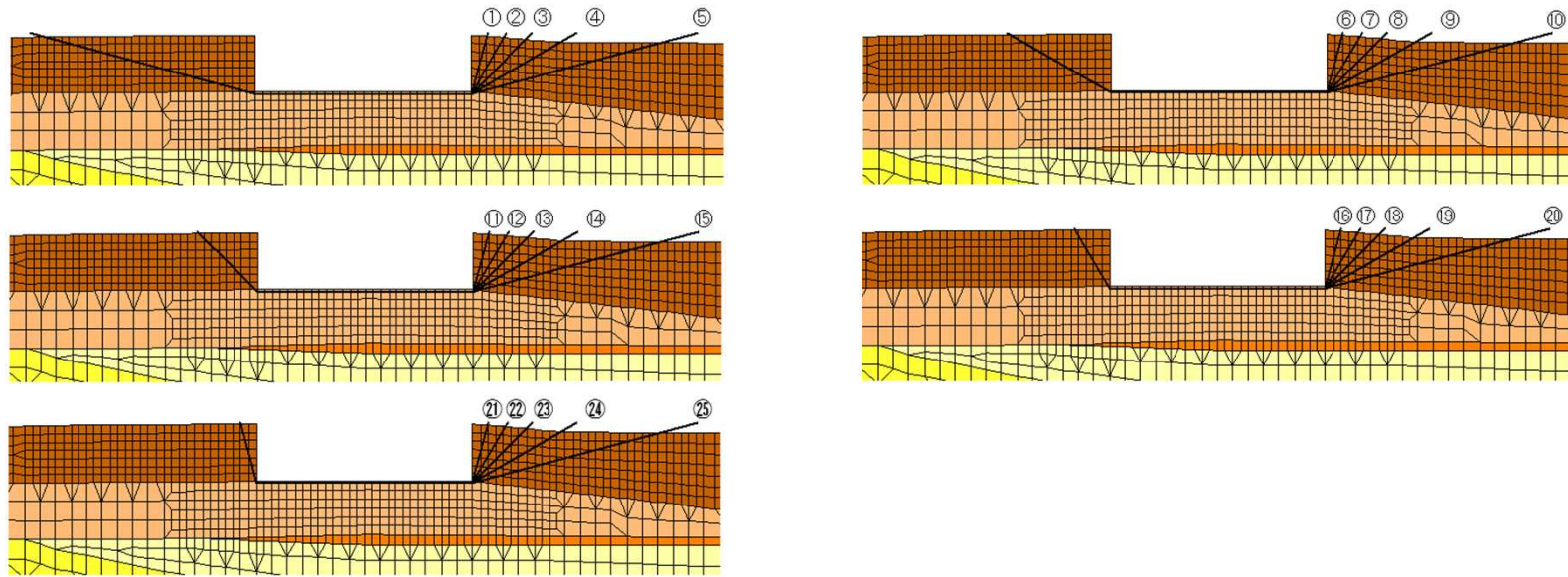


図1 原子炉建屋基礎底面のすべり面

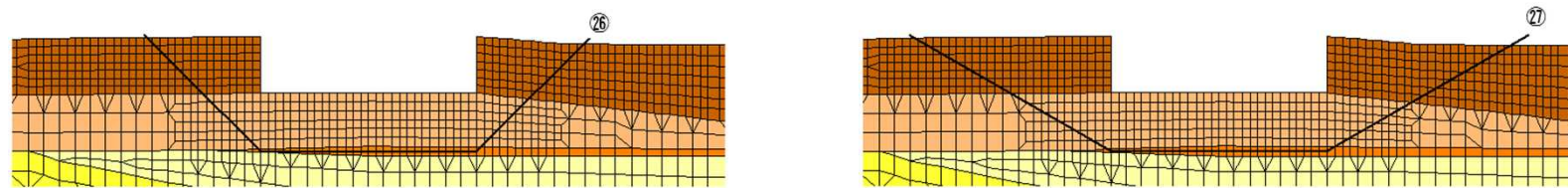
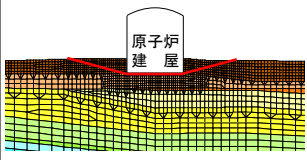
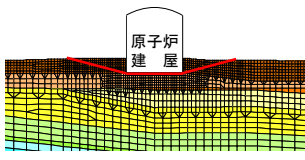
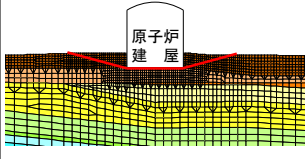
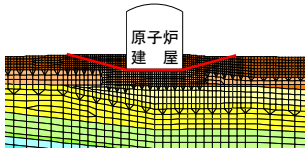


図2 第1砂質土層(Ds1)を通るすべり面

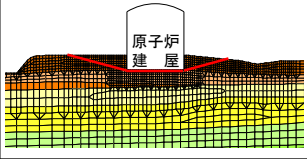
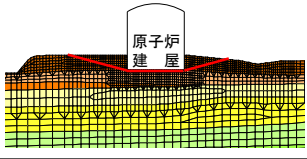
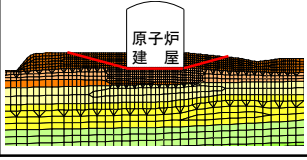
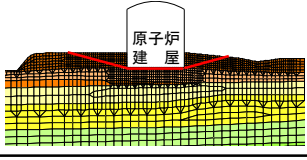
## 第6-2-70図の追加

### 南北断面 評価結果 すべり安全率 — : 想定すべり面 [ ]は発生時刻(秒)

基準地震動	すべり面形状	すべり面 番号	最小すべり 安全率	基準地震動	すべり面形状	すべり面 番号	最小すべり 安全率
Ss-10(+, +)		⑤	2.9 [6.20]	Ss-10(-, +)		⑤	3.4 [6.20]
Ss-10(+, -)		⑤	3.2 [6.20]	Ss-10(-, -)		⑤	3.0 [6.20]

※ 基準地震動Ss-10の(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す

### 東西断面 評価結果 すべり安全率 — : 想定すべり面 [ ]は発生時刻(秒)

基準地震動	すべり面形状	すべり面 番号	最小すべり 安全率	基準地震動	すべり面形状	すべり面 番号	最小すべり 安全率
Ss-10(+, +)		⑤	3.2 [6.21]	Ss-10(-, +)		⑤	3.1 [6.21]
Ss-10(+, -)		⑤	3.1 [6.21]	Ss-10(-, -)		⑤	3.2 [6.21]

※ 基準地震動Ss-10の(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す

## 評価結果 原子炉建屋基礎地盤の地震時最大鉛直応力

対象断面	基準地震動	地震時最大鉛直応力 (kN/m <sup>2</sup> )
南北断面	Ss-1(+, +)	657 [T=13.69秒]
	Ss-1(+, -)	606 [T=13.57秒]
	Ss-1(-, +)	774 [T=18.67秒]
	Ss-1(-, -)	624 [T=18.01秒]
	Ss-2	429 [T=19.40秒]
	Ss-3	505 [T=19.41秒]
	Ss-4	536 [T= 7.98秒]
	Ss-5	596 [T=22.08秒]
	Ss-6	551 [T= 8.08秒]
	Ss-7	409 [T= 8.00秒]
	Ss-8	436 [T= 8.44秒]
	Ss-9	454 [T= 7.00秒]
	Ss-10(+, +)	513 [T= 6.89秒]
	Ss-10(+, -)	564 [T= 8.11秒]
Ss-10(-, +)	589 [T=14.75秒]	
Ss-10(-, -)	566 [T= 7.10秒]	

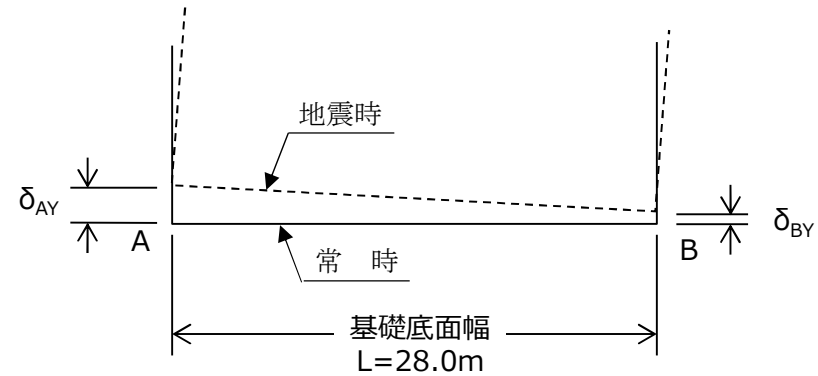
対象断面	基準地震動	地震時最大鉛直応力 (kN/m <sup>2</sup> )
東西断面	Ss-1(+, +)	573 [T=14.79秒]
	Ss-1(+, -)	535 [T=22.08秒]
	Ss-1(-, +)	543 [T=22.45秒]
	Ss-1(-, -)	579 [T=13.57秒]
	Ss-2	396 [T=16.84秒]
	Ss-3	407 [T=16.82秒]
	Ss-4	481 [T= 7.95秒]
	Ss-5	414 [T=24.88秒]
	Ss-6	471 [T= 7.03秒]
	Ss-7	379 [T= 7.98秒]
	Ss-8	402 [T= 8.00秒]
	Ss-9	458 [T= 7.03秒]
	Ss-10(+, +)	527 [T=14.75秒]
	Ss-10(+, -)	509 [T= 8.11秒]
Ss-10(-, +)	515 [T=14.75秒]	
Ss-10(-, -)	478 [T= 8.12秒]	

※ 基準地震動Ss-1の(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す

最大鉛直応力はすべて短期許容応力度(1500kN/m<sup>2</sup>)以下

# 評価結果 原子炉建屋基礎の傾斜(1)

対象断面	基準地震動	最大相対変位量 $ \delta_{AY}-\delta_{BY} $	最大傾斜 $\frac{ \delta_{AY}-\delta_{BY} }{L}$
南北断面	Ss-1(+, +)	1.09cm [T=18.68秒]	1/2500
	Ss-1(+, -)	1.34cm [T=18.68秒]	1/2000
	Ss-1(-, +)	1.34cm [T=18.68秒]	1/2000
	Ss-1(-, -)	1.09cm [T=18.68秒]	1/2500
	Ss-2	0.64cm [T=19.90秒]	1/4300
	Ss-3	0.89cm [T=19.92秒]	1/3100
	Ss-4	0.82cm [T= 8.01秒]	1/3400
	Ss-5	0.63cm [T=25.32秒]	1/4400
	Ss-6	0.63cm [T=8.58秒]	1/4400
	Ss-7	0.61cm [T= 6.40秒]	1/4500
	Ss-8	0.60cm [T=5.43秒]	1/4600
	Ss-9	0.80cm [T= 7.31秒]	1/3400
	Ss-10(+, +)	0.73cm [T= 8.11秒]	1/3800
	Ss-10(+, -)	0.72cm [T= 8.12秒]	1/3800
Ss-10(-, +)	0.72cm [T= 8.12秒]	1/3800	
Ss-10(-, -)	0.73cm [T= 8.11秒]	1/3800	



※ 基準地震動Ss-1の(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

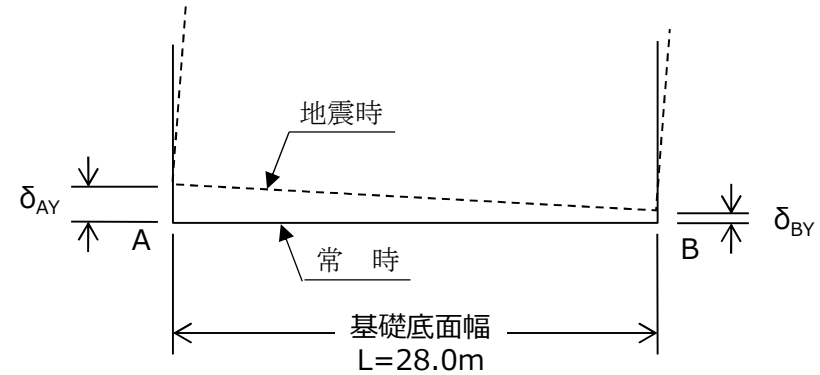
※ 最大相対変位量、最大傾斜は各基準地震動における最大値で、[ ]はその発生時刻を示す。

傾斜はすべて目安である1/2000以下

# 評価結果 原子炉建屋基礎の傾斜(2)

対象断面	基準地震動	最大相対変位量 $ \delta_{AY}-\delta_{BY} $ [T=発生時刻]	最大傾斜 $ \delta_{AY}-\delta_{BY} $ L
東西断面	Ss-1(+, +)	0.89cm [T=18.67秒]	1/3100
	Ss-1(+, -)	0.91cm [T=17.14秒]	1/3000
	Ss-1(-, +)	0.91cm [T=17.14秒]	1/3000
	Ss-1(-, -)	0.89cm [T=18.67秒]	1/3100
	Ss-2	0.37cm [T=18.53秒]	1/7600
	Ss-3	0.10cm [T=18.38秒]	1/26700
	Ss-4	0.40cm [T= 7.94秒]	1/7000
	Ss-5	0.43cm [T=24.90秒]	1/6600
	Ss-6	0.63cm [T=7.07秒]	1/4400
	Ss-7	0.34cm [T= 7.30秒]	1/8100
	Ss-8	0.26cm [T=7.33秒]	1/10900
	Ss-9	0.54cm [T= 7.46秒]	1/5200
	Ss-10(+, +)	0.59cm [T=15.88秒]	1/4700
	Ss-10(+, -)	0.56cm [T= 8.11秒]	1/5000
	Ss-10(-, +)	0.56cm [T= 8.11秒]	1/5000
Ss-10(-, -)	0.59cm [T=15.88秒]	1/4700	

現申請書



※ 基準地震動Ss-1の(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ 最大相対変位量、最大傾斜は各基準地震動における最大値で、[ ]はその発生時刻を示す。

傾斜はすべて目安である1/2000以下

朱書きは訂正箇所(まるめ方の間違い) 22

# 原子炉建屋入力地震動評価

- 1) 解放基盤表面(GL-181m)で設定された基準地震動Ss-10を一元地盤構造モデルを用いて原子炉建屋基礎盤位置(GL-7.3m)での入力地震動を評価する。
- 2) 解析方法としては、水平動に対しては地盤の非線形特性を考慮した非線形地震応答解析(等価線形解析と時刻歴非線形解析)を用い、鉛直動については線形地震応答解析を用いた。
- 3) 入力地震動としては、Ss-10については歪みレベルや結果の保守性から等価線形解析による結果を採用した。

# 一次元地盤構造モデル(線形計算モデル)

## 1次元地下構造モデル(線形モデル)

地層名	土質	地層記号	層厚 (m)	深度 (GL-m)	P波速度 Vp (m/s)	S波速度 Vs (m/s)	密度 (kN/m <sup>3</sup> )
盛土	盛土	B	7	0-7	747	180	16.9
大阪層群	第1粘性土層	Dc1	7	7-14	1593	363	17.5
	第1砂質土層	Ds1	1	14-15	1600	480	16.0
	第2粘性土層	Dc2	8	15-23	1615	400	18.1
	第2砂質土層	Ds2	13	23-36	1185	388	18.4
	第3粘性土層	Dc3	9	36-45	1686	409	18.7
	第3砂質土層	Ds3	2	45-47	1605	490	19.3
	第4粘性土層	Dc4	3	47-50	1293	450	18.6
	第4砂質土層	Ds4	3	50-53	1767	480	18.6
	第5粘性土層	Dc5	3	53-56	1553	497	19.6
	第5砂質土層	Ds5	7	56-63	1816	550	19.6
	第6粘性土層	Dc6	28	63-91	1835	524	19.5
	第6砂質土層	Ds6	16	91-107	1853	566	19.4
	第7粘性土層	Dc7	7	107-114	1816	559	19.5
	第7砂質土層	Ds7	16	114-130	1916	542	19.5
第8粘性土層	Dc8	2	130-132	1816	559	19.6	
第8砂質土層	Ds8	8	132-140	1865	563	19.5	
第1礫質土層	Dg1	3	140-143	2017	570	20.5	
第9砂質土層		3	143-146	1960	600	19.8	
第9粘性土層	Dc9	14	146-160	1896	596	19.1	
第10砂質土層	Ds9	13	160-173	2054	696	20.1	
花崗岩	花崗岩	Gr	8	173-181	2629	975	21.3
			3	181-184	3517	1597	23.6
			16	184-200	4898	2436	24.4
			200<	5400	3200	26.5	

入力地震動設定位置

注) 地層記号および地層の深さ方向区間の取り方を、3月4日の審査会合以降、一部見直した。そのため、申請書時とは地層記号と媒質パラメーターが一部変更されている。

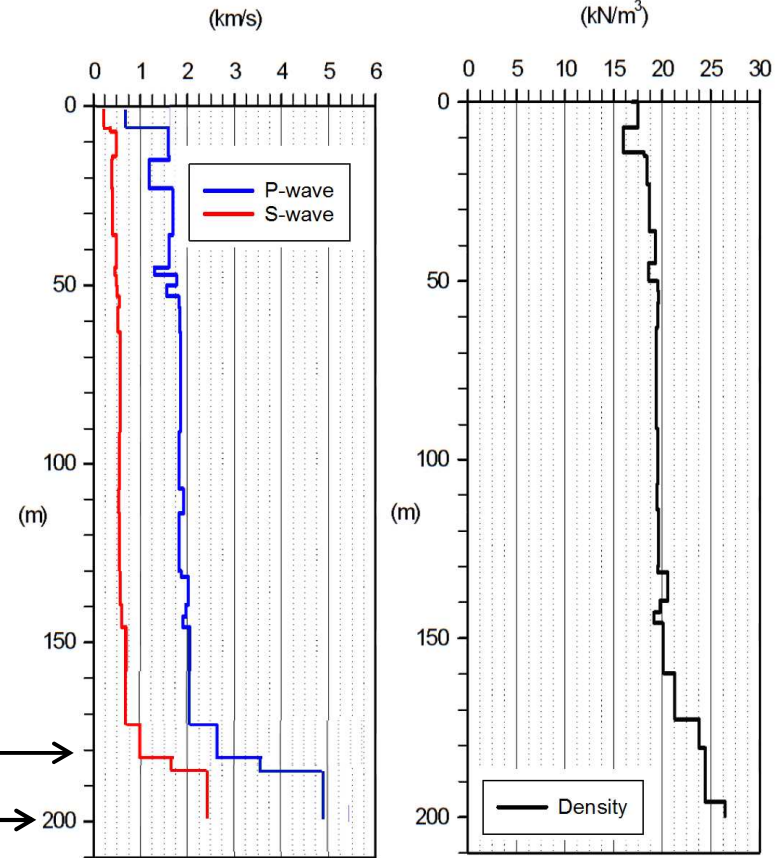
P,S波検層が欠測であったため、当該層と同じ粘性土層であるDc7層の値を用いた。

解放基盤面設定位置  
地震基盤上面設定位置

Kagawa et al.(2004)による基盤の物性値

ボーリングデータによる土質分布に基づいて、地下構造モデル作成のための地層分割を行い、地層ごとにP波、S波および密度の区間平均値を算出し、それらの値を各層のモデル物性値とした。なお、Q値はP波及びS波速度(m/s)に、それぞれ1/10を乗じた値とした。

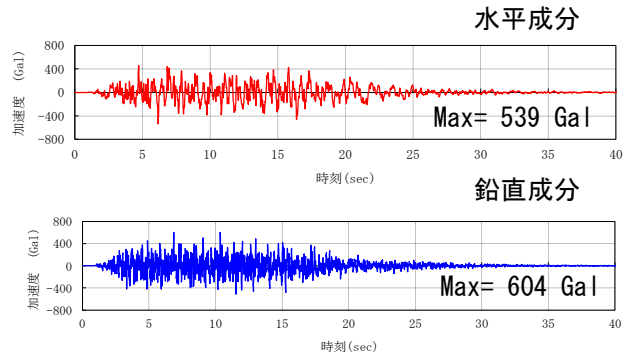
解放基盤面は風化花崗岩(S波速度約1.0km/s)とその下に存在するS波速度約1.6km/sの地層の境界とした



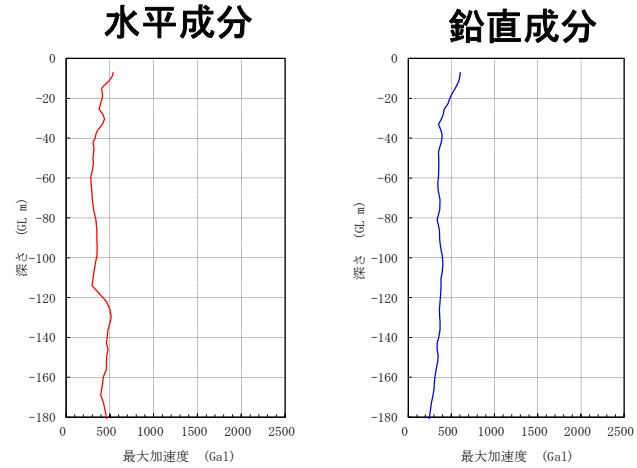
検層結果から求めた1次元地下構造モデルのS波・P波・密度分布



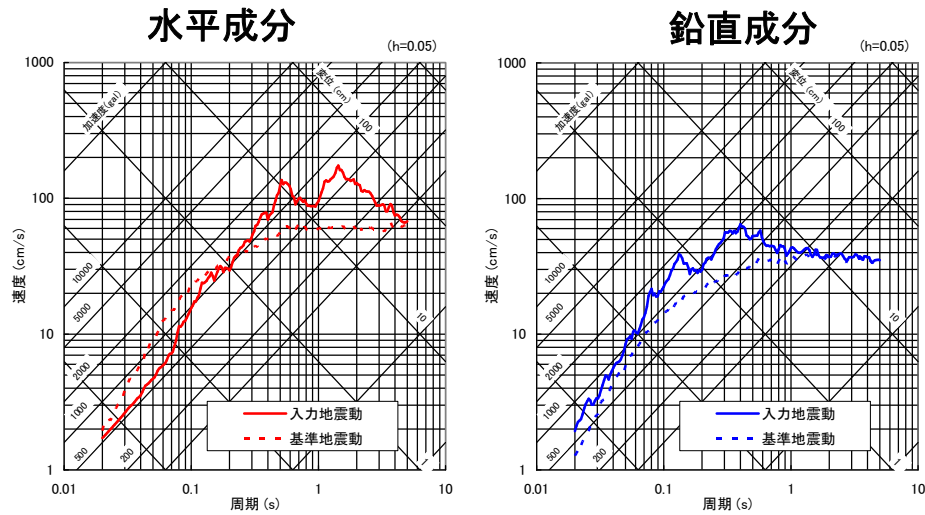
# Ss-10 入力地震動 (基礎底GL-7m;自由表面)



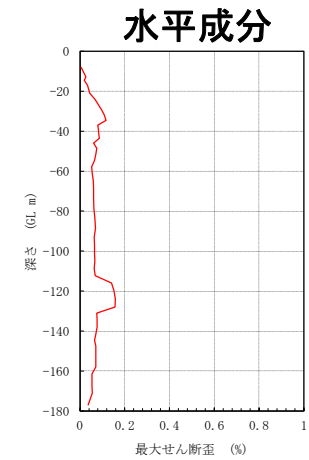
加速度波形



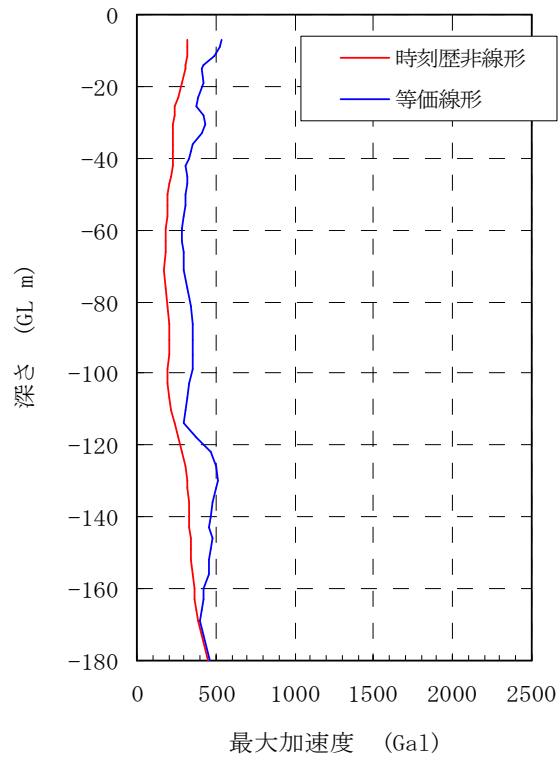
最大加速度分布



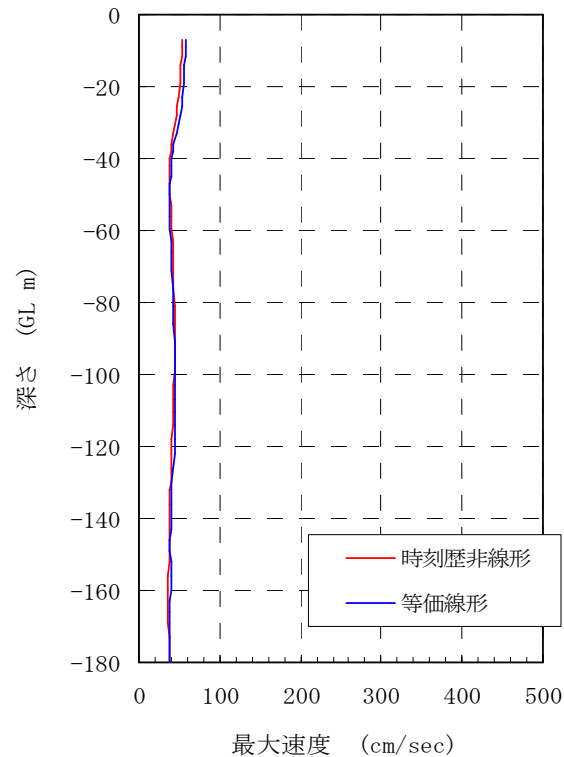
応答スペクトル(減衰5%)



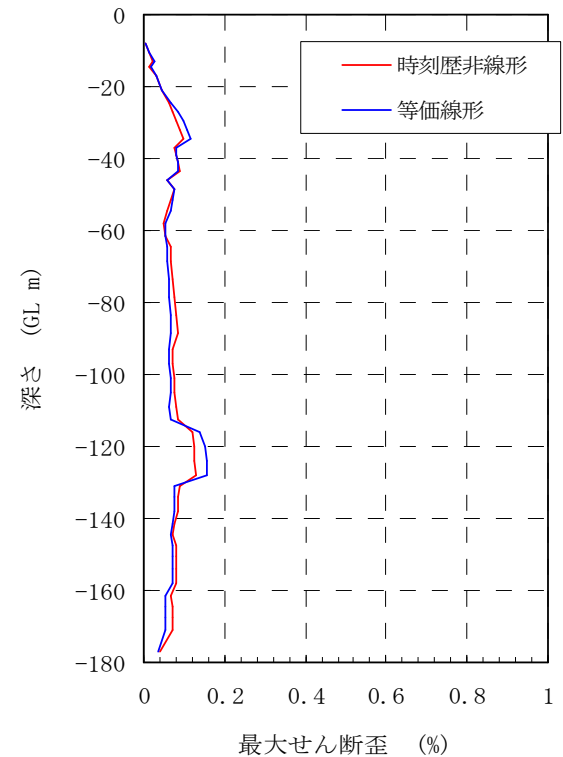
最大せん断歪み分布



最大加速度分布



最大速度分布



最大せん断歪分布

## 等価線形解析と時刻歴非線形解析結果の比較(水平動)

# 新知見の反映

## 1) 中央構造線断層帯の長期評価の改訂(地震本部, 2017)

地震本部による「中央構造線断層帯(金剛山地東縁－伊予灘)の長期評価(一部改訂)について」(2011)(第一版)は、2017年に改訂され、「中央構造線断層帯(金剛山地東縁－由布院)の長期評価(第二版)」として公表された。この改訂の骨子は、区間の追加、区間の再整理、活断層帯の全体像である。

区間の追加としては、第二版では金剛山地東縁から伊予灘に至る全長約360kmの区間に加え、豊予海峡から大分平野を通り、由布岳付近に至る豊予海峡－由布院区間まで西端を延長し、全長約444kmと評価している。

区間の再整理としては、断層の活動区分が見直され、6つの区間に分割されていたものが、第二版では、10区間に再区分された。敷地への影響が大きい断層帯東部としては、和泉山脈南縁断層帯が五条谷断層と根来断層に区分されている。

活断層の形状の再整理としては、傾斜角が主なものである。第二版では、根来断層の深部、地下6kmまでの傾斜角を、三波川帯とその北方の領家帯の地質境界のデータを参照して北傾斜 $35^{\circ}$ と推定している。ただし、活断層としての中央構造線の深部傾斜角については、五条谷区間から伊予灘区間にかけて、この中角度(約40度)の推定だけでなく、地表の断層分布の形態から推定した高角度の推定も併記され、それぞれの主な主張が記載されるにとどまっている。

# 新知見の反映

## 1) 中央構造線断層帯の長期評価の改訂による影響

第一版の中央構造線断層帯(長さ360km)に別府一万年山断層帯の連動の可能性を考慮し、全長約480kmの断層を基本モデルとして考慮し、地震動を評価していることから、第二版による断層全長が約444kmに変更された影響は、より長い全長を考慮した基本震源モデルを設定し、地震動評価を行っていることから第二版による地震動評価への影響はない。

活動区分の変更による影響としては、第二版では6区分から10区分に変更となり、和泉山脈南縁断層帯が五条谷区間と根来区間に分割されているが、震源モデルの不確かさの考慮によって、強震動の生成に大きく貢献するアスペリティの位置を敷地直下(五条谷断層と根来断層を跨ぐ)に配置しており、強震動評価への影響はない。

第二版では、五条谷区間から伊予灘区間にかけて中角度(40度)と高角度の両論が併記され、さらなる調査実施の必要性とその結果に基づく断層深部の傾斜角の見直しの可能性が示されている。これに関して、傾斜角について、岡田(2020)は、地震本部とは異なる見解を述べるとともに、地質境界や活断層の深部の傾斜角の推定は未だ研究の途上にあり、今後の調査の進展を引き続き注視する必要があると述べている。こうした最近の議論を踏まえても、震源モデルとして用いた傾斜角43度という既評価は、強震動予測に重要な地震規模の推定の不確かさを考慮する中で、大きな断層面積の評価や敷地への影響の観点から、活断層としての中央構造線の傾斜角の推定値として妥当なものとする。

## 引用文献

Kagawa, T., Zhao, B., Miyakoshi, K. & Irikura, K., (2004) : Modeling of 3D basin structures for seismic wave simulations based on available information on the target area: case study of the Osaka basin, Bull. Seism. Soc. Am., 94, 1353–1368.

Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takenura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002), RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD–NEA Workshop on the Relations between Seismological DATA and Seismic Engineering, Istanbul, 399–408, Oct. 16–18.

地震調査研究推進本部 (2011) : 中央構造線断層帯(金剛山地東縁－伊予灘)の長期評価(一部改訂)について.

地震調査研究推進本部 (2017) : 中央構造線断層帯(金剛山地東縁－由布院)の長期評価(第二版).

岡田(2020) : 中央構造線断層帯－最長活断層帯(四国)の諸性質－, 古今書院

