

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S<sub>s</sub>の評価等

まとめ資料

- ・基準地震動S<sub>s</sub>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5年2月13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、既承認の一次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

一次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

敷地は大阪堆積盆地(大阪盆地)と呼ばれる大阪平野の南部の丘陵地にあり、鮮新世～更新世の未固結の礫・砂・シルト・粘土からなる大阪層群(最下部)で構成される。基盤岩類(花崗岩)は平野下部では深度1500～2000mに、大阪湾下部の最深部では深度約3000mに存在する。ちなみに丘陵地である敷地では深度約170mに存在する。



# 地下構造評価の概要

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

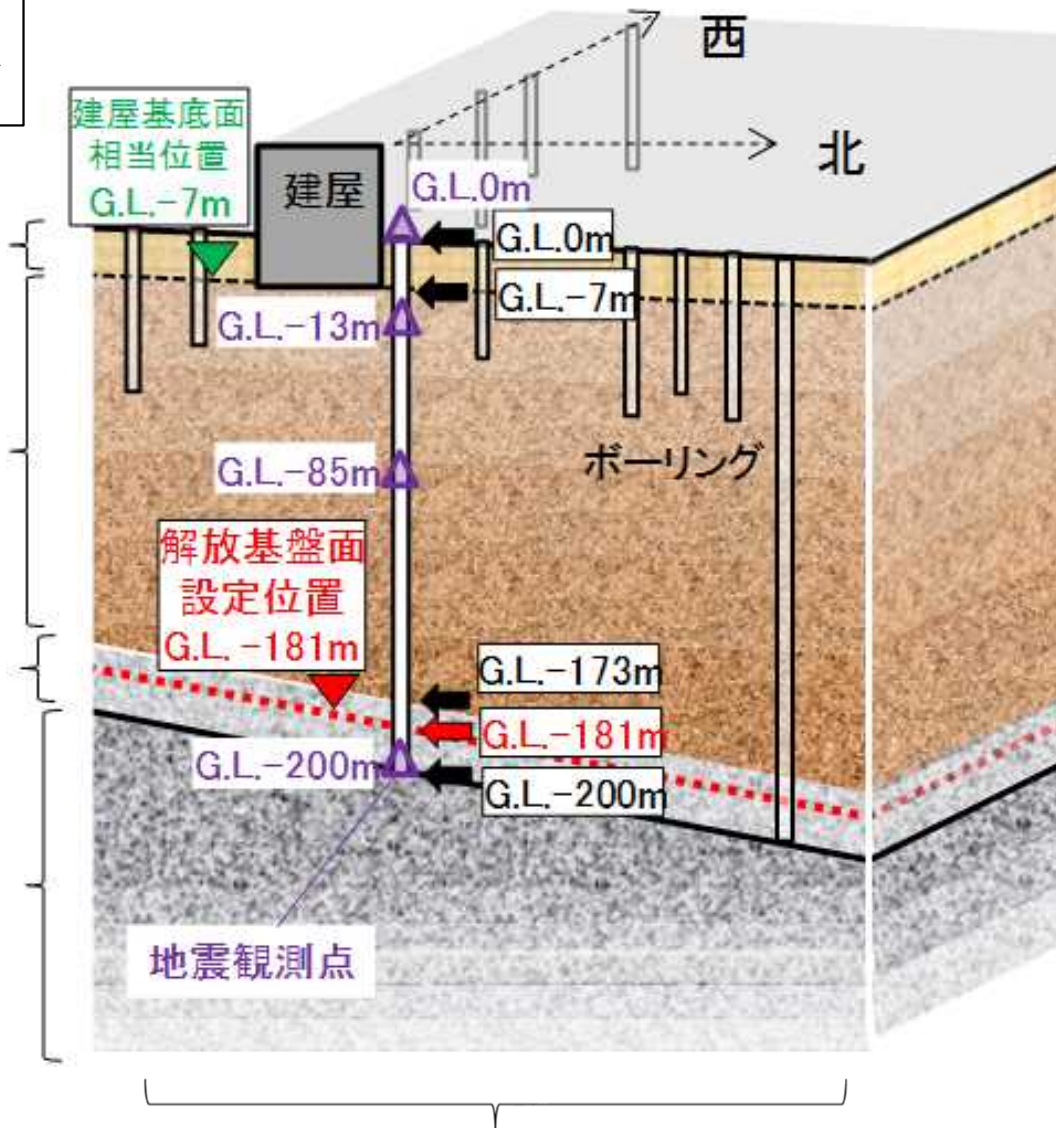
盛土  
( $V_s < \text{約} 0.2 \text{ km/s}$ )

大阪層群  
( $\text{約} 0.35 < V_s < \text{約} 0.7 \text{ km/s}$ )

花崗岩  
( $\text{約} 1.0 < V_s < \text{約} 2.5 \text{ km/s}$ )

花崗岩(地震基盤)  
( $V_s > 3.0 \text{ km/s}$ )

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

## 地下構造評価の流れ

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

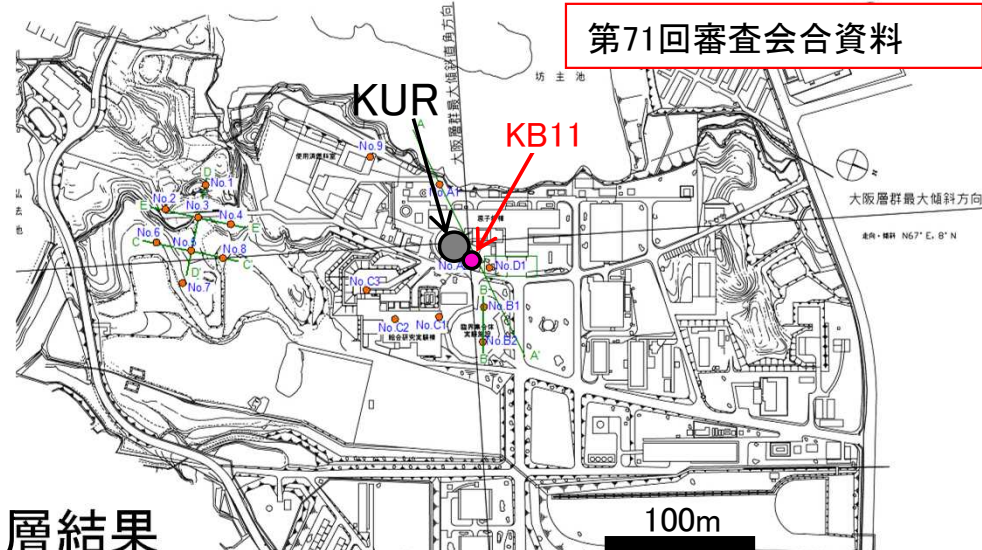
1次元地下構造モデルのS波平面波入射による理論伝達関数の計算

1次元地下構造モデルの妥当性評価

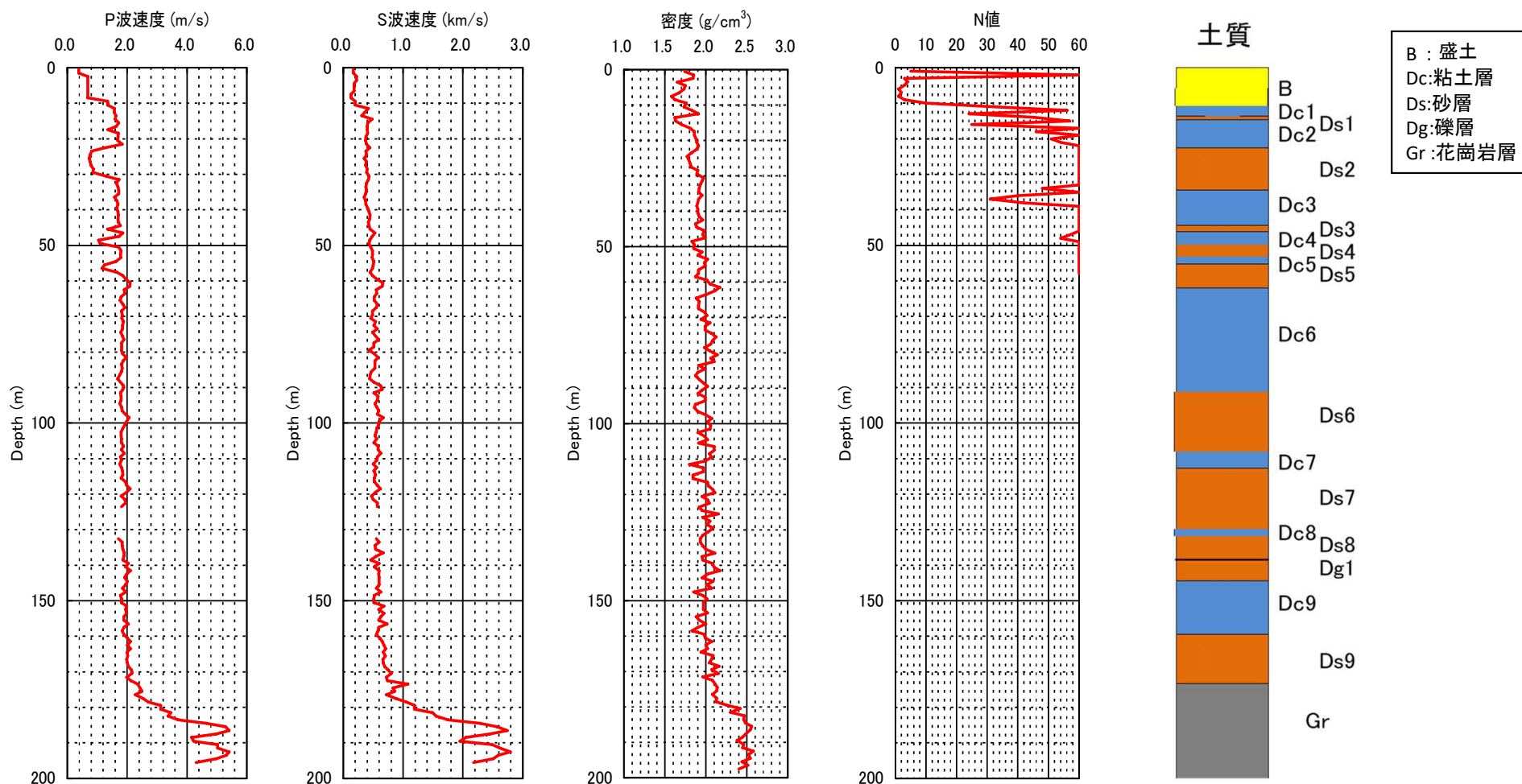
地震観測記録を用いた伝達関数の統計的な分析

# 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
大阪群	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	
花崗岩	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	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

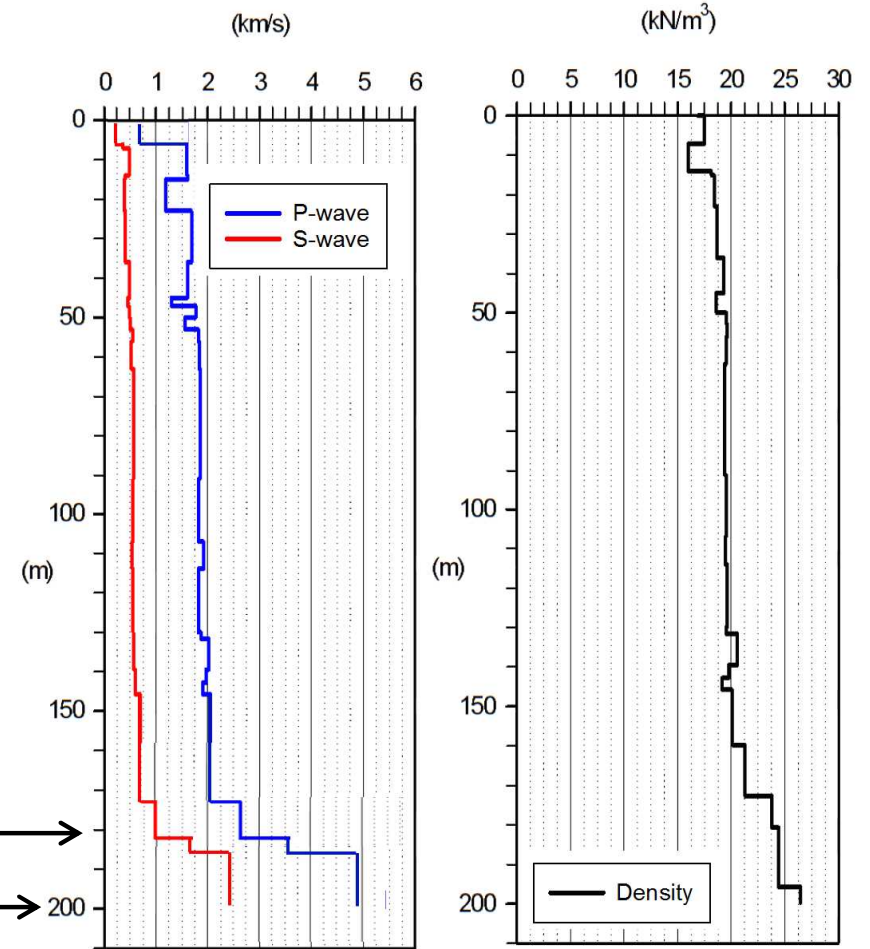
解放基盤面  
設定位置

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

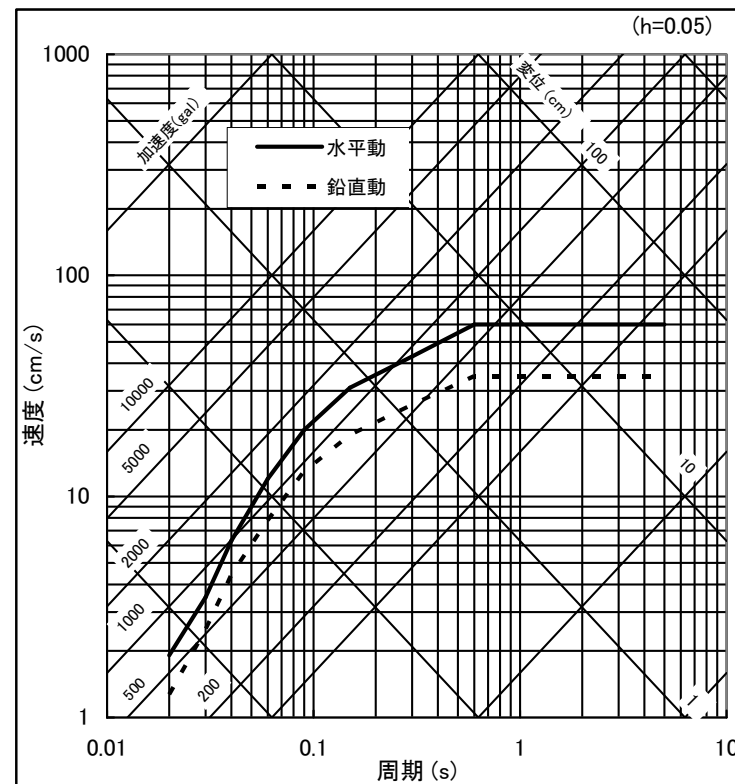
# 標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の策定

- ・乱数位相を持つ正弦波の重ね合わせによって策定。なお、模擬地震波作成手法としての観測記録の実位相を用いた方法については、地震基盤相当面と解放基盤面との深さの差は3m程度であり、地震波の増幅は小さく、位相への影響も小さいと考えられることから、乱数位相を持つ正弦波の重ね合わせ手法で代表させる。
- ・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

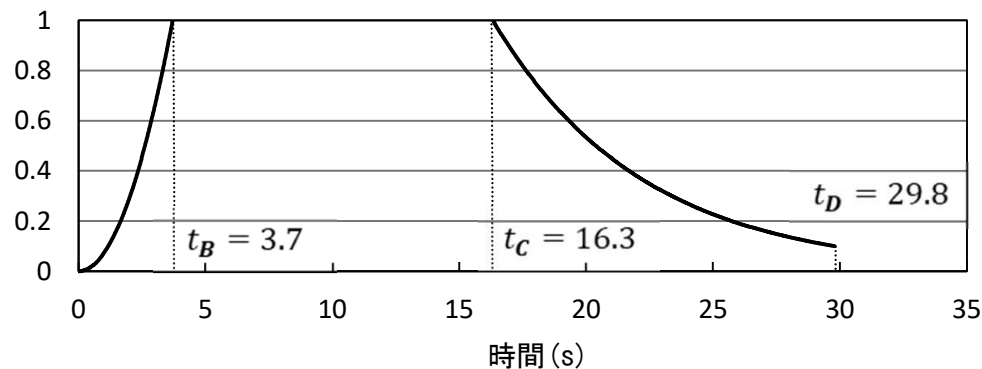
擬似速度応答スペクトル



標準応答スペクトル

# 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 (M7、Xeq10km)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	29.8	3.7	16.3	29.8
鉛直	29.8	3.7	16.3	29.8



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

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

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

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

$$M=7.0, X_{eq} = 10km$$

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

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

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

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)

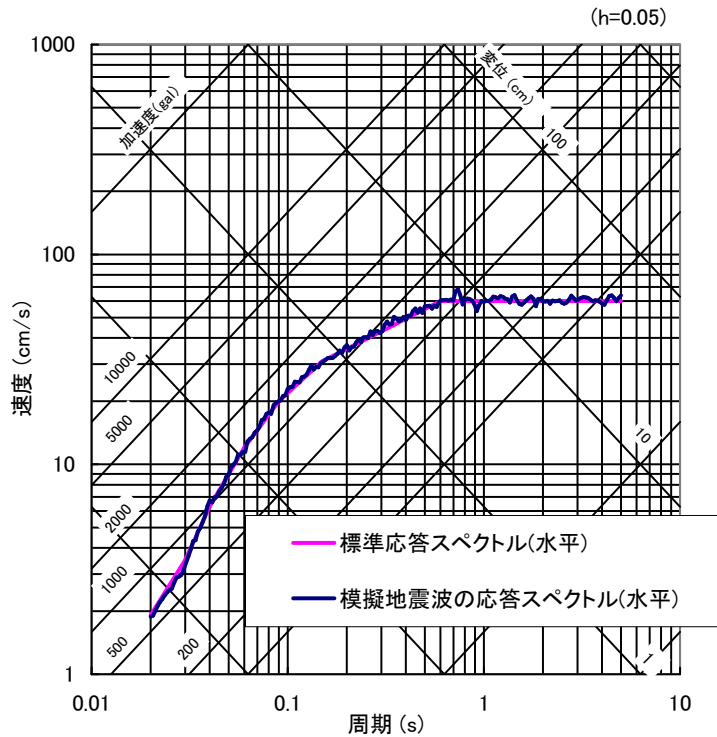
$\bar{S}_v(T)$  : 目標とする応答スペクトル (cm/s)

T : 固有周期 (s)

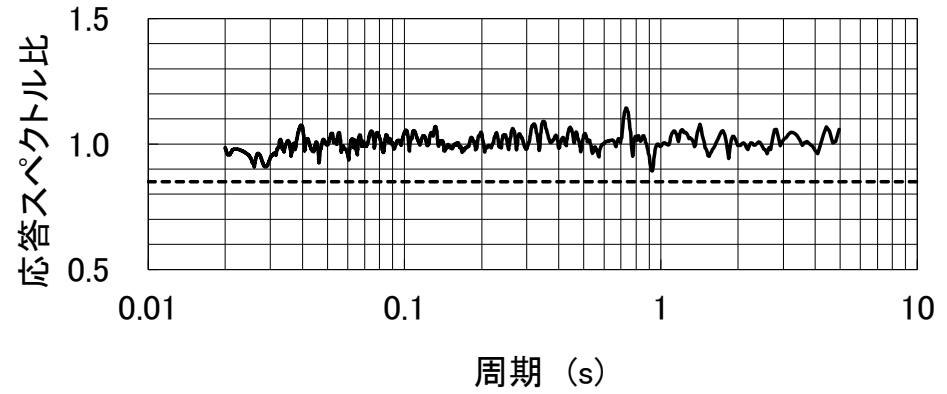
## 模擬地震波の策定のための判定基準

振幅包絡形の経時特性 (M=7.0、Xeq=10km)



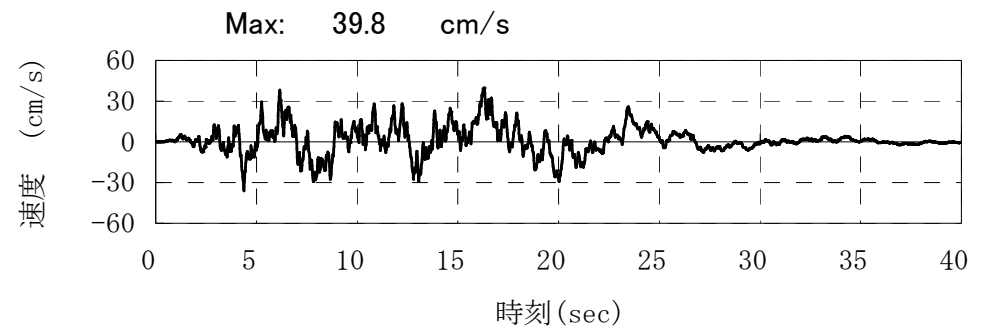
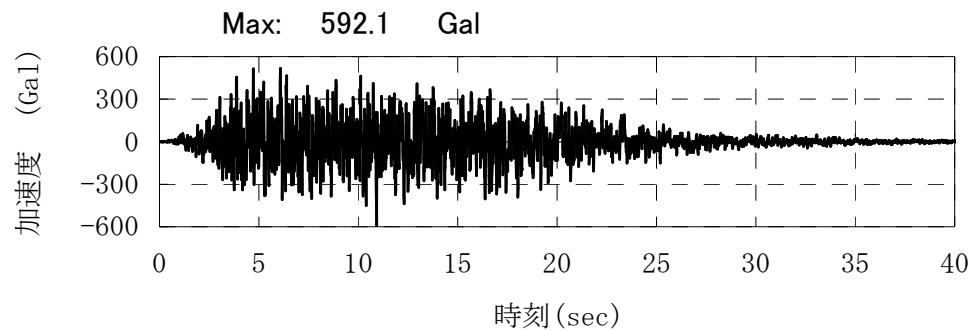


標準応答スペクトル(水平)と模擬地震波の  
応答スペクトルの比較(減衰定数 5%)



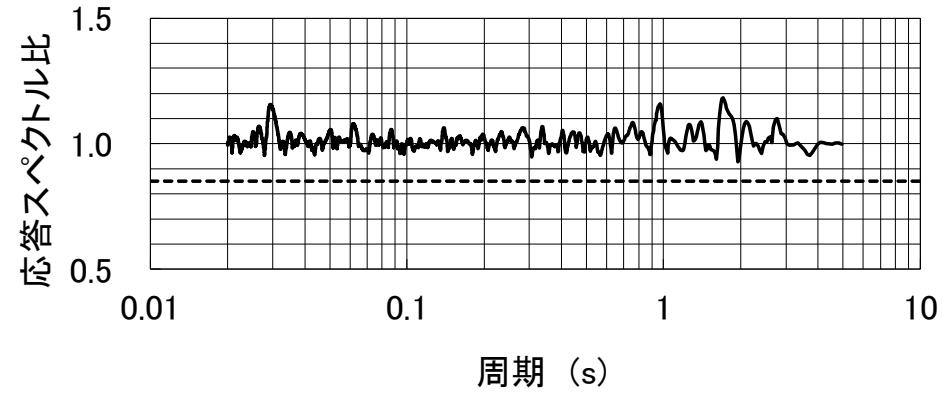
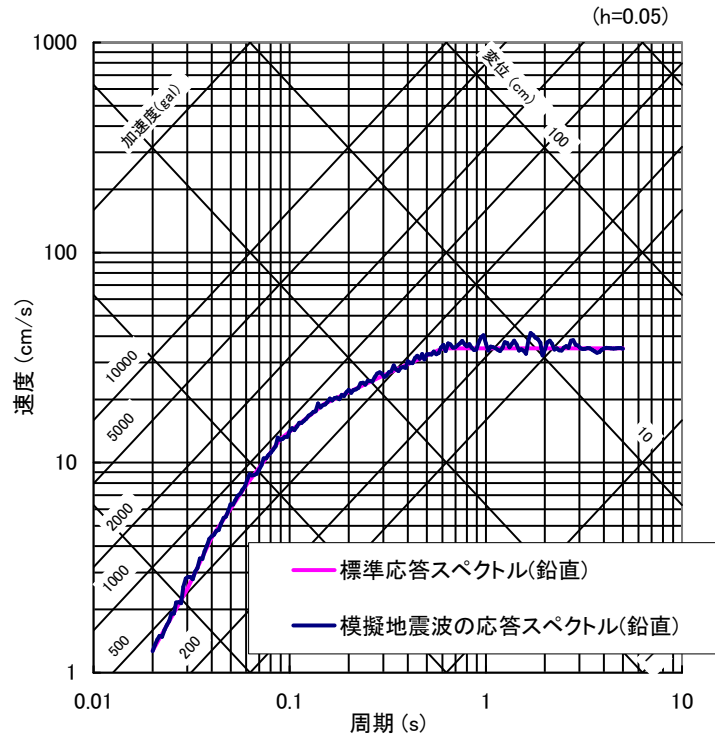
標準応答スペクトル(水平)と模擬地震波の  
応答スペクトルの比 (最低=0.89  $\geq$ 0.85)

応答スペクトル強度 (SI)比 = 1.01  $\geq$  1.0



模擬地震波(水平)の加速度波形(左)と速度波形(右)

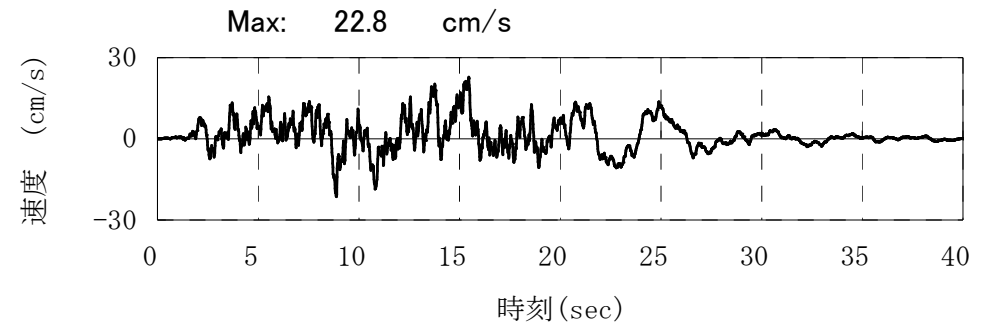
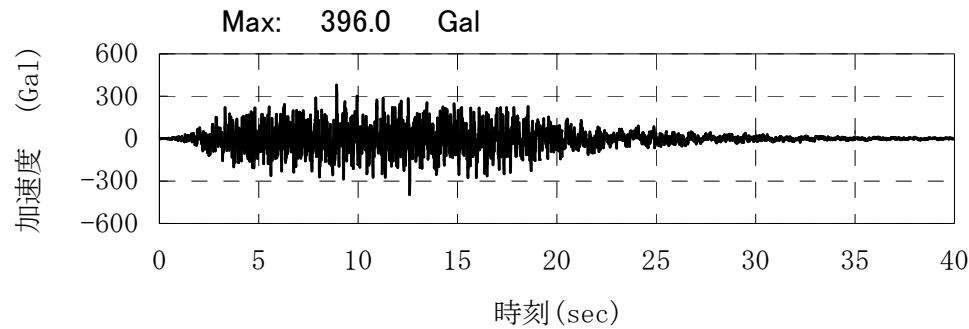
地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波(水平)



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=0.92  $\geq$ 0.85)

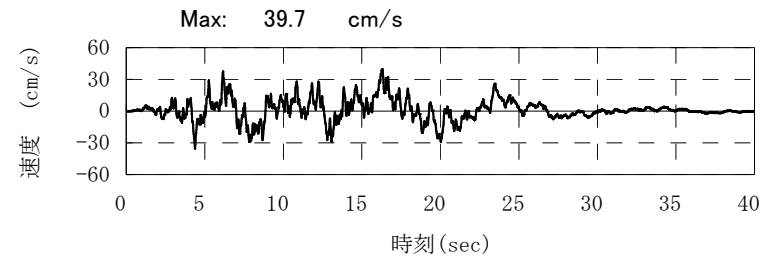
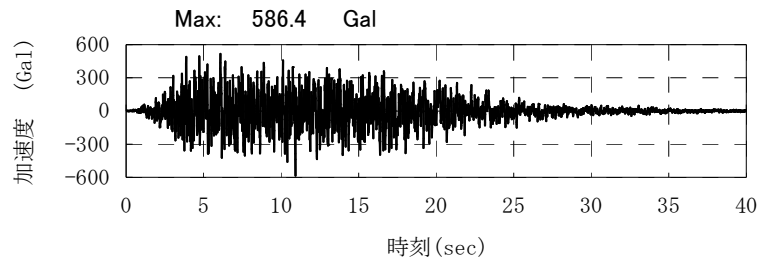
応答スペクトル強度(SI)比=1.02  $\geq$ 1.0

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%)

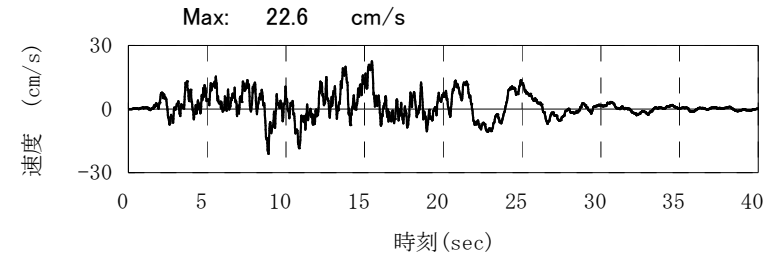
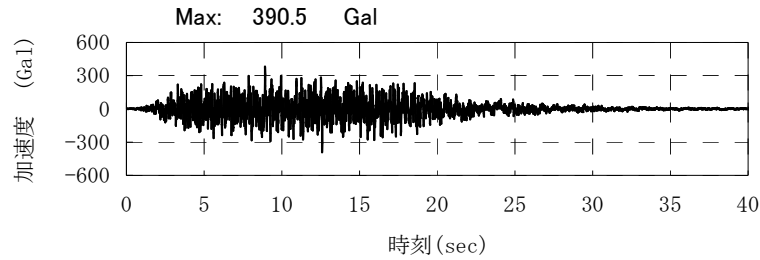


模擬地震波(鉛直)の加速度波形(左)と速度波形(右)

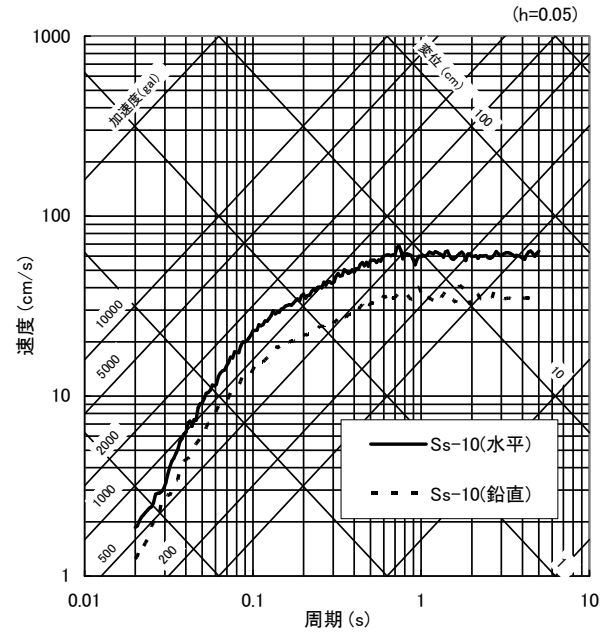
地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波(鉛直)



水平動の加速度波形(左)と速度波形(右)



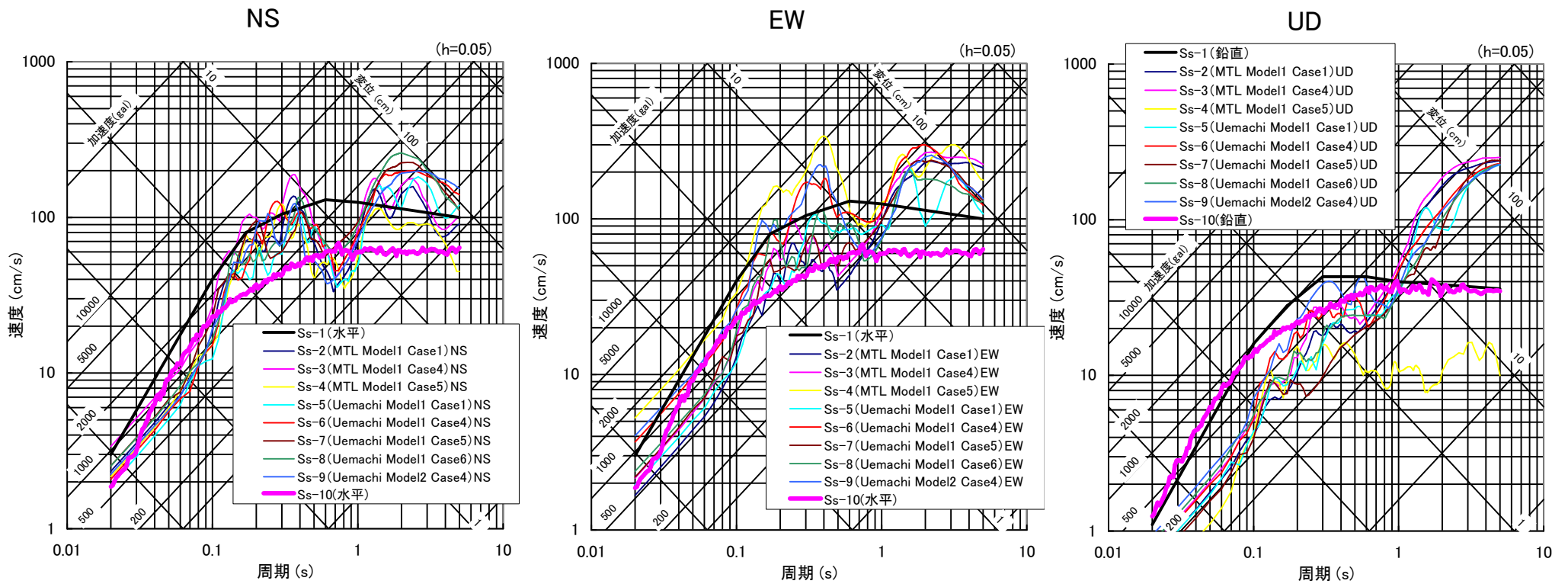
鉛直動の加速度波形(左)と速度波形(右)



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	586		391

# 支持地盤の安定性評価

支持地盤の安定性評価に用いた2次元地盤モデル(東西、南北断面)、建屋モデル、それらの各パラメータ(強度や変形特性等)及び解析手法は既承認時と同様とした。また、安定性評価は既承認時と同様に以下の方法で行った。

## 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

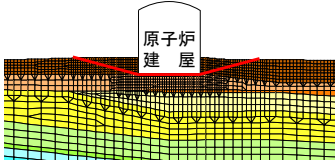
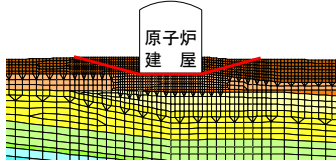
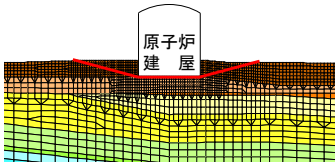
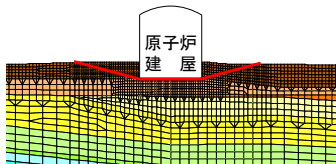
地震時における地盤の許容支持応力度が、1)による動的解析で得られた最大鉛直応力度を上回ることを確認する。

## 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。

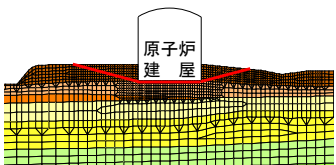
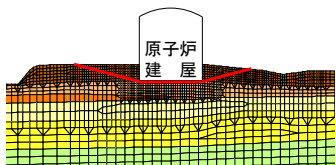
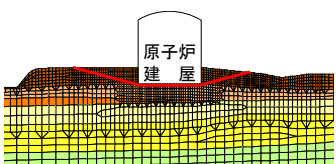
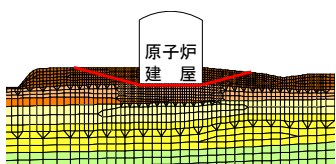


## 南北断面 評価結果 すべり安全率 — : 想定すべり面 [ ] は発生時刻(秒)

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	3.7 [14.41]		Ss-10(-, +)		⑤	3.6 [9.31]
Ss-10(+, -)		⑤	3.5 [5.78]		Ss-10(-, -)		⑤	3.7 [6.54]

※ 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 [6.55]		Ss-10(-, +)		⑤	3.0 [9.32]
Ss-10(+, -)		⑤	3.0 [9.32]		Ss-10(-, -)		⑤	3.1 [6.55]

※ 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度

対象断面	基準地震動	地震時最大鉛直応力度 (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(+, +)	527 [T=11.38秒]
	Ss-10(+, -)	536 [T=13.31秒]
Ss-10(-, +)	532 [T=12.63秒]	
Ss-10(-, -)	508 [T=14.06秒]	

対象断面	基準地震動	地震時最大鉛直応力度 (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(+, +)	493 [T= 9.49秒]
	Ss-10(+, -)	498 [T=17.21秒]
Ss-10(-, +)	488 [T= 9.06秒]	
Ss-10(-, -)	491 [T=13.31秒]	

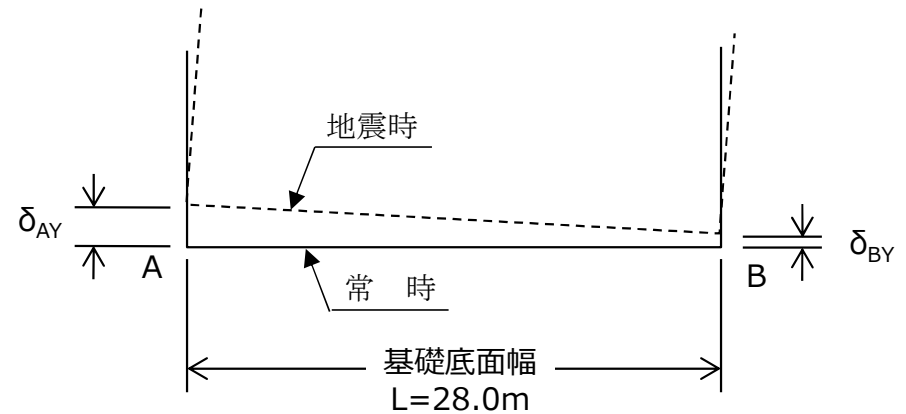
※ 基準地震動Ss-10の(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す

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

T=発生時刻

# 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 $ \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(+, +)	0.61cm [T= 6.89秒]	1/4600
	Ss-10(+, -)	0.61cm [T= 6.89秒]	1/4500
Ss-10(-, +)	0.61cm [T= 6.89秒]	1/4500	
Ss-10(-, -)	0.61cm [T= 6.89秒]	1/4600	



※ 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} $	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]	1/7500
	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]	1/6500
	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]	1/5100
	Ss-10(+, +)	0.59cm [T=12.81秒]	1/4700
	Ss-10(+, -)	0.62cm [T= 7.50秒]	1/4500
Ss-10(-, +)	0.62cm [T= 7.50秒]	1/4500	
Ss-10(-, -)	0.59cm [T=12.81秒]	1/4700	

現申請書

1/3100

1/3100

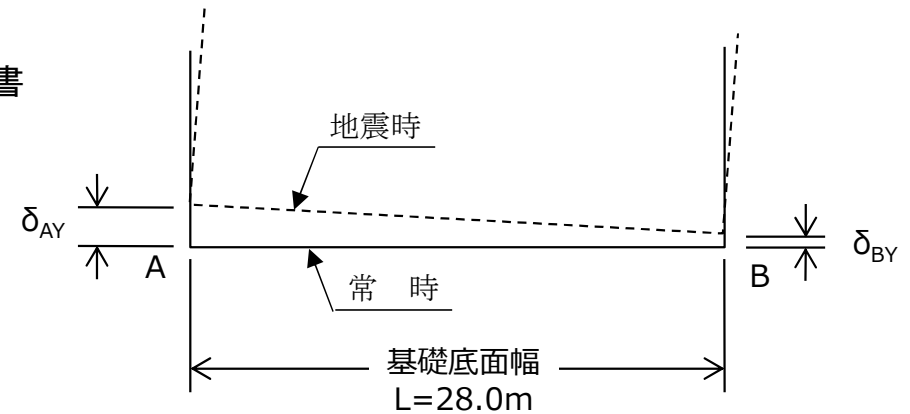
1/7600

1/6600

1/8200

1/11000

1/5200



※ 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

朱書き数字は訂正箇所(まるめ方の間違い)

# 地盤の安定性評価における地盤物性値の不確かさ(ばらつき)の影響評価について

支持地盤の安定性評価における地盤物性値(強度特性)の不確かさ(ばらつき)の影響評価については、次頁及び次々頁に示す通り、既承認時において検討されており、それに従えば今回の $S_s-10$ を用いた評価結果はすべり安全率が3.0~3.7と大きく、地盤物性値の不確かさ(ばらつき)の影響はなく、また地震時鉛直応力度は地盤強度の不確かさ(ばらつき)を考慮した短期許容応力度を十分下回っていることを確認している。

#### (4) 地盤の安定性検討における地盤物性値(強度特性)の不確かさ(ばらつき)の影響評価

地盤の安定性評価として実施した基礎地盤のすべり安全率及び基礎地盤の支持力の評価では、原子炉建屋の支持地盤である粘性土(Dc1層)の平均的な強度特性を用いた。ここでは、Dc1層の強度特性の不確かさ(ばらつき)を考慮しても地盤の安定性が評価基準値内に収まることを確認した。

三軸圧縮試験から得られたDc1層のピーク強度の中央値は $C=456.5\text{kN/m}^2$ 、残留強度の中央値は $C=325.0\text{kN/m}^2$ であり、最小値(最小モール円)は本資料35頁から中央値の1割減程度である(ピーク強度 $C=411.6\text{kN/m}^2$ 、残留強度 $C=285.0\text{kN/m}^2$ )。

また、Dc1層を含む地層の強度特性(三軸圧縮試験結果)は原子炉建屋極近傍の基盤まで達するボーリング調査(KB11)によって得られている。本資料34頁に各層の強度特性を含む物性値を示したが、粘性土に着目した場合、最小のピーク強度はDc5層の $C=357.0\text{kN/m}^2$ であり、Dc1層より約2割小さい。

上記本資料34頁及び35頁についてはそれぞれ、参考資料1及び2として末尾に掲載

以上から、Dc1層の粘着力Cを2割減(ピーク強度:  $C=365.2\text{kN/m}^2$ 、残留強度:  $=260.0\text{kN/m}^2$ )としてすべり安全率や支持力を評価した。

最も小さなすべり安全率(1.9)であったケース(南北断面、Ss-1(+))についてすべり安全率を評価した結果、1.6となり、評価基準値である1.5を上回ることを確認した。

一方支持力は、告示式による短期許容応力度を粘着力Cを2割減で再計算した結果、 $q_a=1270\text{kN/m}^2$ となり、地震時最大接地圧 $774\text{kN/m}^2$ を上回ることを確認した。



第106回資料では $772\text{kN/m}^2$  となっているが訂正

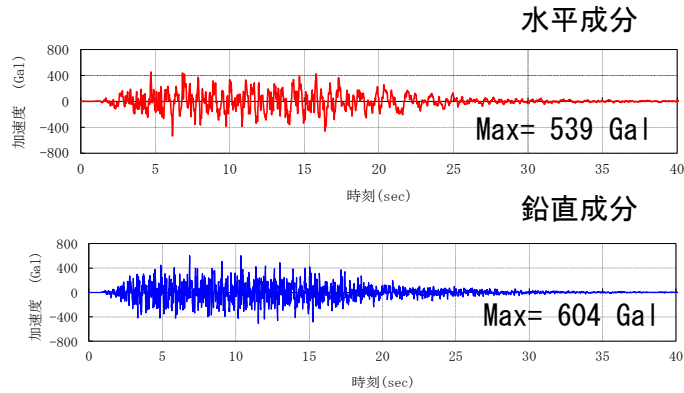


# 原子炉建屋入力地震動評価

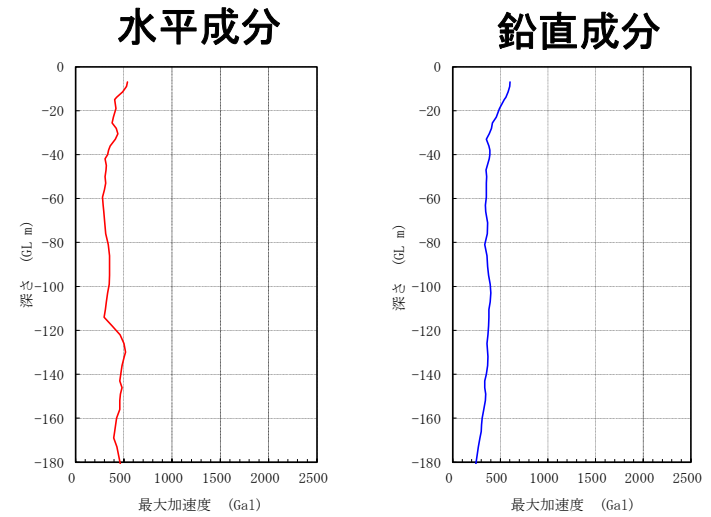
- 1) 解放基盤表面(GL-181m)で設定された基準地震動Ss-10を一元地盤構造モデルを用いて原子炉建屋基礎盤位置(GL-7.3m)での入力地震動を評価する。
- 2) 解析方法としては、水平動に対しては地盤の非線形特性を考慮した非線形地震応答解析(等価線形解析と時刻歴非線形解析)を用い、鉛直動については線形地震応答解析を用いた。
- 3) 入力地震動としては、Ss-10については歪みレベルや結果の保守性から等価線形解析による結果を採用した。

# Ss-10 入力地震動

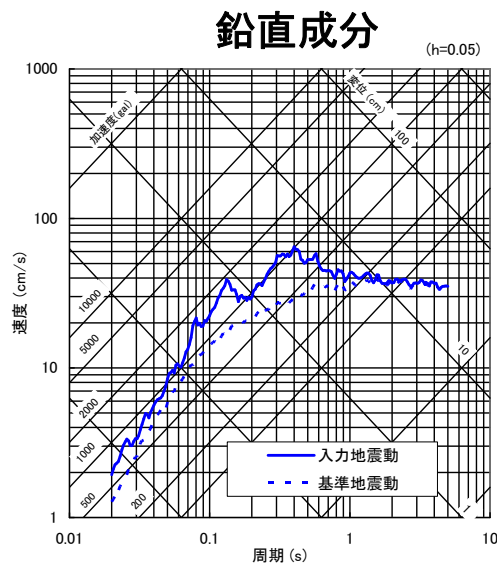
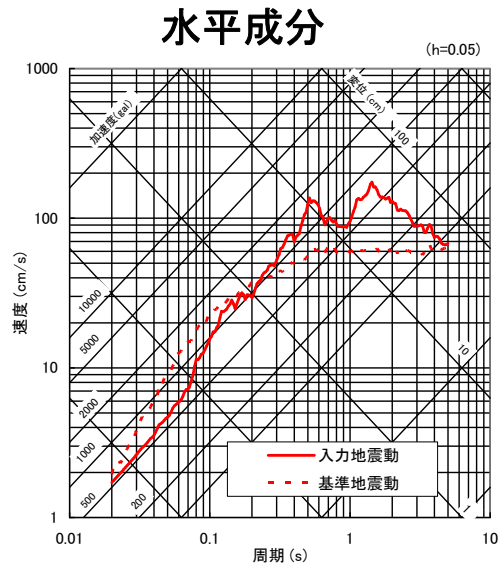
(基礎底GL-7m;自由表面)



加速度波形

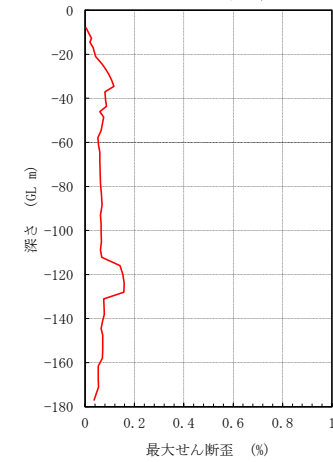


最大加速度分布

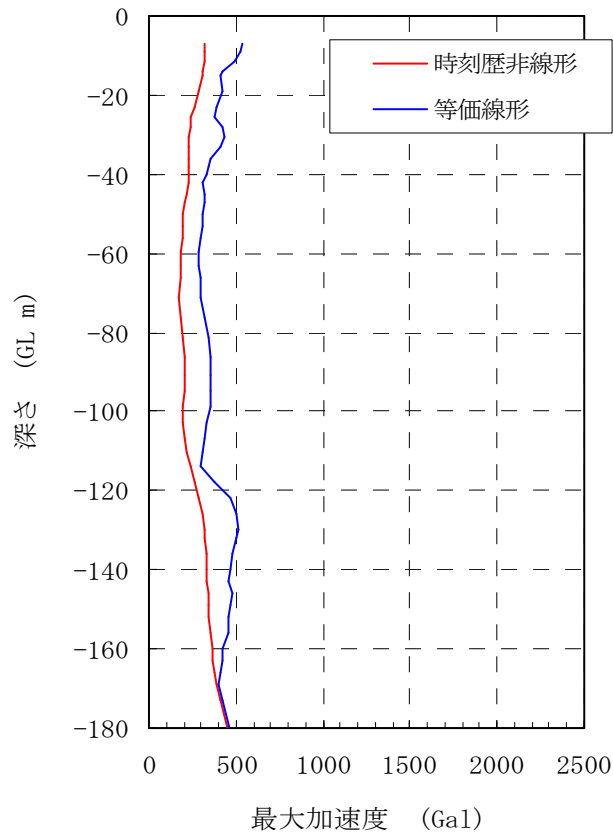


応答スペクトル(減衰5%)

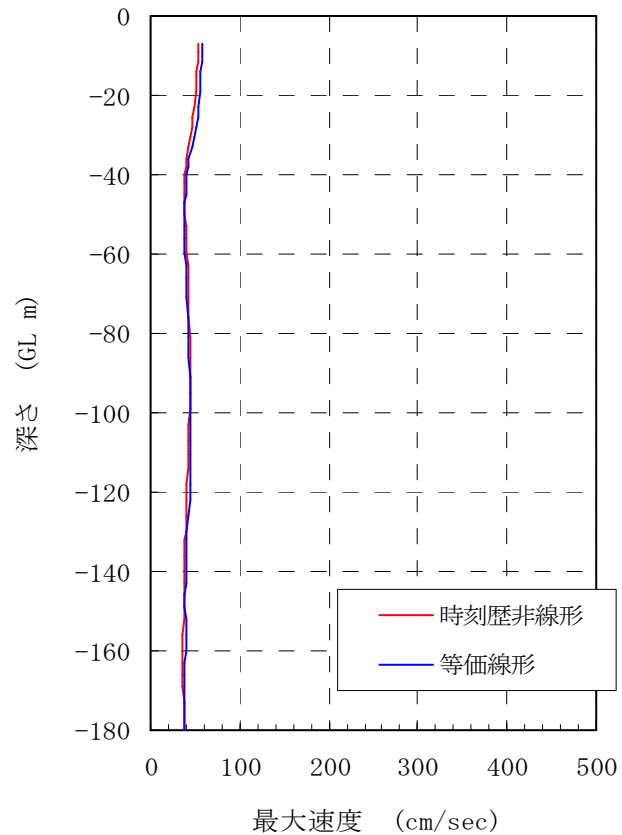
最大せん断歪み分布



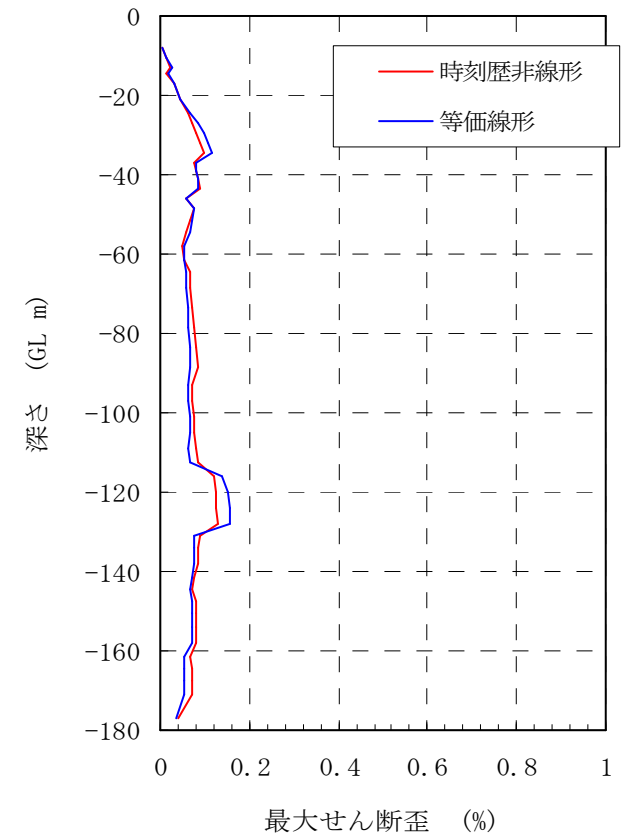
最大せん断歪み分布



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)

# 中央構造線断層帯に係る新知見の反映による影響



# 新知見(中央構造線断層帯の長期評価の改訂(地震本部, 2017))の反映

- KURの基準地震動の策定においては、地震調査研究推進本部地震調査委員会(以下、「地震本部」という。)の 中央構造線断層帯の長期評価(平成23年2月)(「第一版」という。)を活用しているが、その改訂版として、「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)」が平成29年12月に公表された。
- 地震本部によると、第二版の改訂のポイントは、「区間の追加(断層全長の変更)」、「区間の再整理(断層の活動区分の変更)」、「活断層帯の全体像(断層傾斜角)」である。

## 1) 断層全長と断層区分の再整理

	断層全長	断層区分
改訂前(第一版)	約360km	6区間 (敷地前面(断層帯東部)としては、和泉山脈南縁断層帯)
改訂後(第二版)	約444km	10区間 (和泉山脈南縁断層帯が五条谷断層と根来断層に再区分)

## 2) 活断層帯の全体像(断層傾斜角)

	断層傾斜角 (五条谷断層、根来断層)
改訂前(第一版)	北傾斜(15度~45度)、43度*
改訂後(第二版)	北傾斜(中角度) 鉛直

※: 長期評価を踏まえた強震動評価

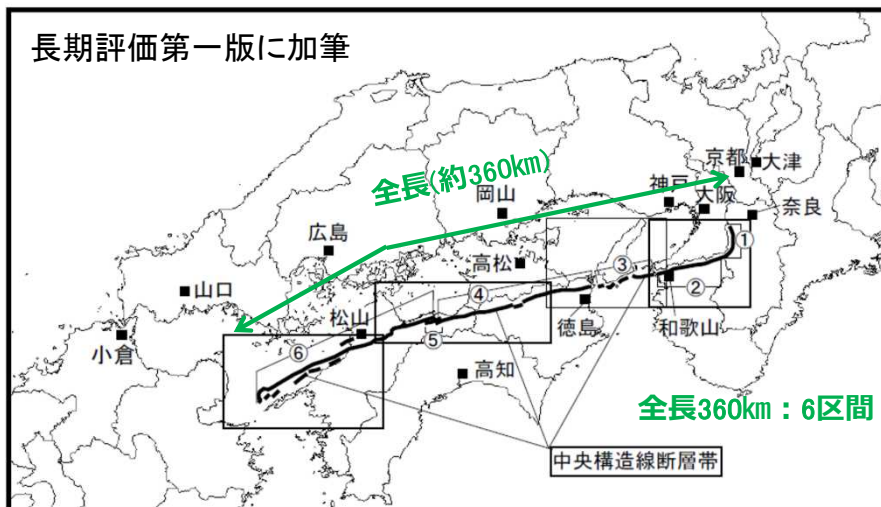
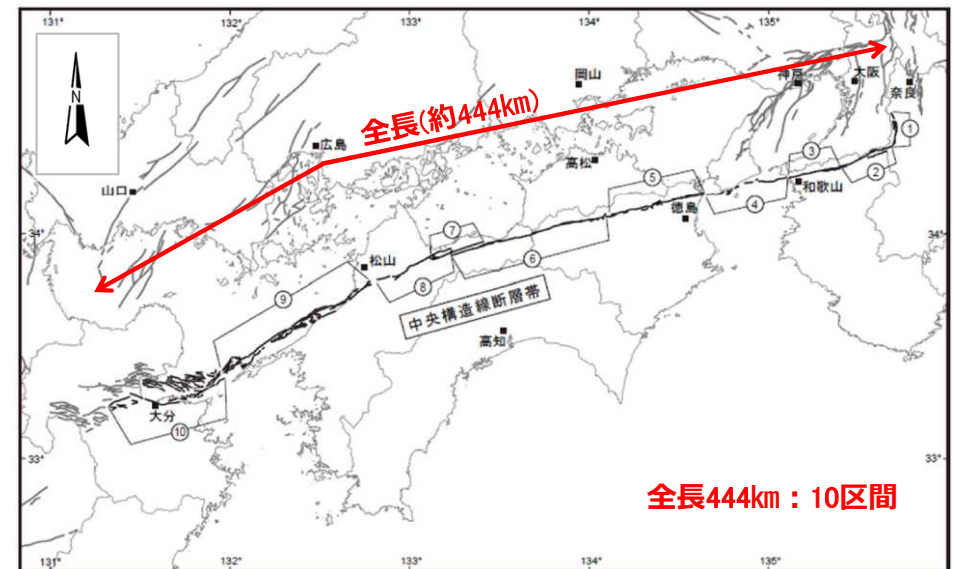


図 1-1 中央構造線断層帯の概略位置図  
(長方形は図 2-1~図 2-4 の範囲)  
①: 金剛山地東縁 ②: 和泉山脈南縁 ③: 紀淡海峡-鳴門海峡  
④: 讃岐山脈南縁-石鎚山脈北縁東部 ⑤: 石鎚山脈北縁  
⑥: 石鎚山脈北縁西部-伊予灘



長期評価(第二版)に一部加筆

# 中央構造線断層帯(広域が連動するケース)の地震動評価(1)

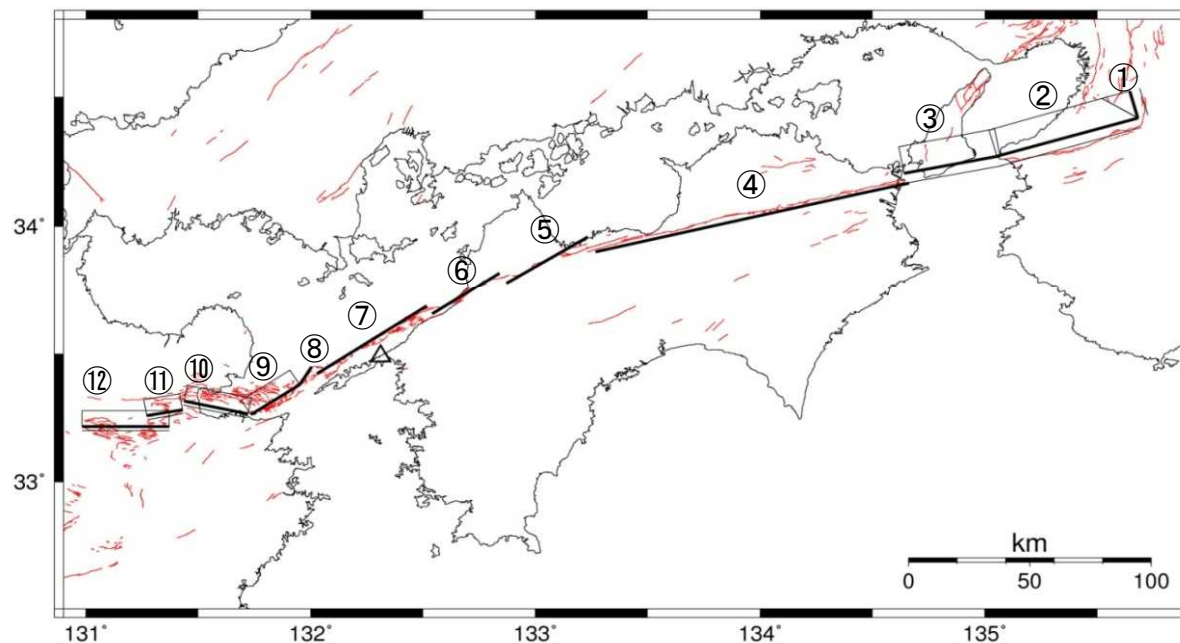
## 広域が連動するケース(全長約480km)に対するモデル化の考え方

まず、中央構造線断層帯による地震に対し、敷地で想定される地震動を保守的に評価する上で、敷地への影響の大きい敷地近傍の金剛山地東縁断層、和泉山脈南縁断層に友ヶ島水道断層を加えた全長86kmを一つの活動区間として考えた。さらに、地震本部等によるその他の活動区間も考えた全長約480kmのケース(以下に示すモデル)についても、敷地への影響を確認するため地震動評価を実施する。

## 震源断層モデル

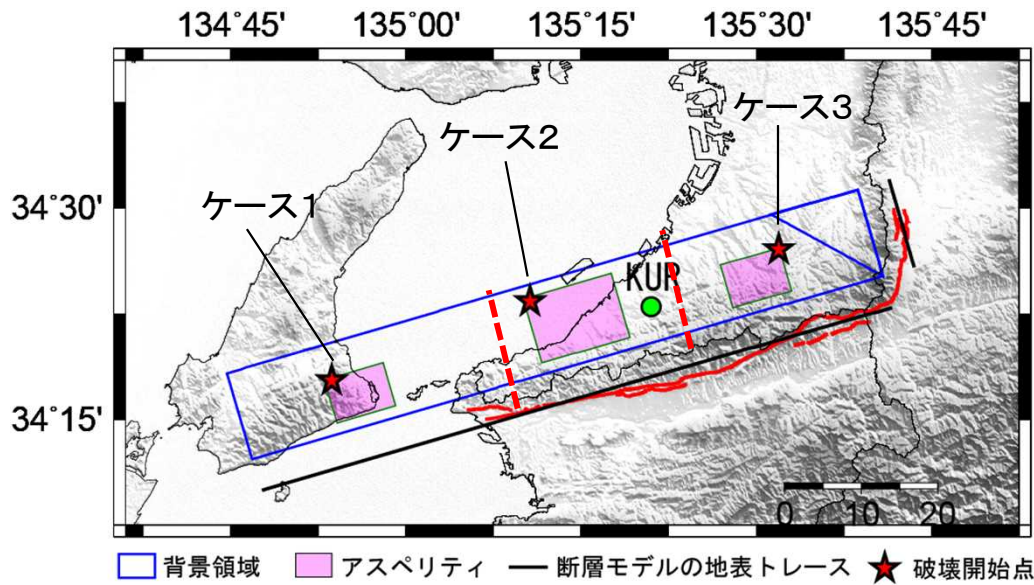
金剛山地東縁断層から別府一万年山断層帯までの約480kmの区間を想定する。

東部(①、②、③)については地震本部(2011)による活動区間に基づき、中部から西部(④～⑫)については四国電力(2015)による評価(基本モデル)に基づき設定する。

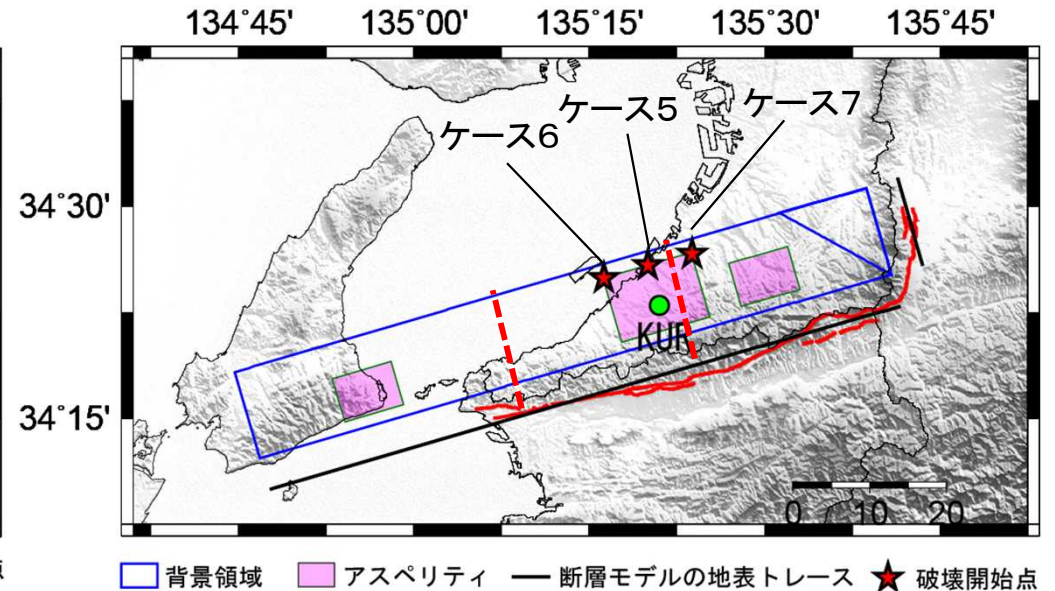


①: 金剛山地東縁断層区間(43° 西傾斜の逆断層)、②: 和泉山脈南縁断層区間(43° 北西傾斜の右横ずれ断層)、③: 紀淡海峡—鳴門海峡区間(43° 北西傾斜の右横ずれ断層)、④: 讃岐山脈南縁—石鎚山脈北縁東部(90° 右横ずれ断層)、⑤～⑧: 90° 右横ずれ断層、⑨～⑫: 60° 北傾斜の正断層。

# 中央構造線断層帯の震源断層モデル



モデル1(ケース1～3)



モデル1(ケース5～7)

中央構造線断層帯(東部)の震源断層モデルの構築に際しては、第1版等を参考に断層傾斜角を北傾斜の43度としている。第二版では北傾斜(中角度)と高角度が併記されているが、傾斜角については未だ研究途上にあることから、傾斜角(北傾斜43度)は推定値としては妥当なものとする。

また、基本モデルとしては和泉山脈南縁断層帯(五条谷断層と根来断層)のそれぞれの断層を個別に考え(左図)、不確かさの考慮として、右図のように敷地直下にアスペリティを配置(両断層を跨ぐ位置)しているため、地震動評価への影響はない。

# 上町断層帯に係る新知見の反映による影響



# 上町断層帯に係る新知見

上町断層帯に関しては、平成22年～24年度に行われた重点的な調査観測(文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所,2013)が行われ、その結果が公表(近藤・他, 2015)されるなど、知見が蓄積された結果、国土地理院は1:25,000 活断層図を改訂し、公表している(上町断層帯とその周辺「岸和田改定版」、令和2年11月)。

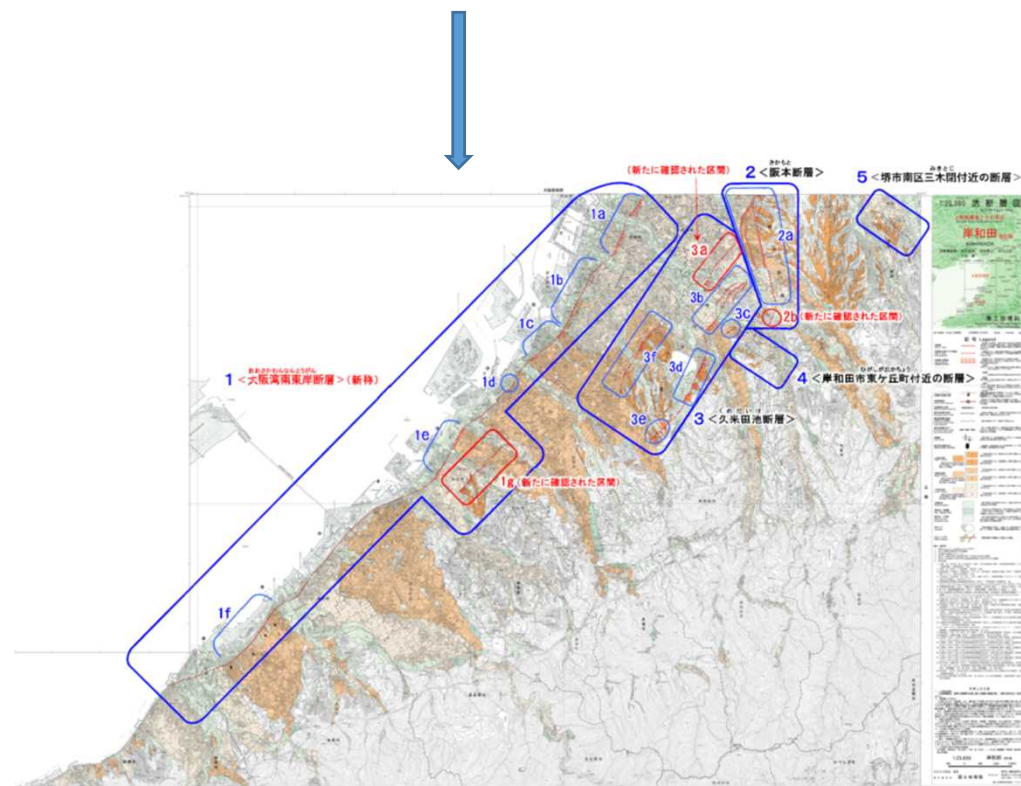
それによれば、上町断層帯主部とは別に、大阪湾南東岸断層として、泉大津市本町付近から阪南市尾崎町付近まで、大阪湾の沿岸部に延びる長さ21kmを逆断層の活断層として認定している。

↓ 既許可評価時の知見の反映

研究用原子炉(KUR)の検討用地震の選定作業では、当時の上町断層帯に関する新知見として、上述の平成22年～24年度に行われた重点的な調査観測(文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所,2013)に基づき、大津川河口付近から国土地理院による活断層図の端点である阪南市尾崎町より南西にある阪南市箱作までの長さ約26kmの活断層も考慮して、上町断層帯主部とともに検討用地震として選定していた。



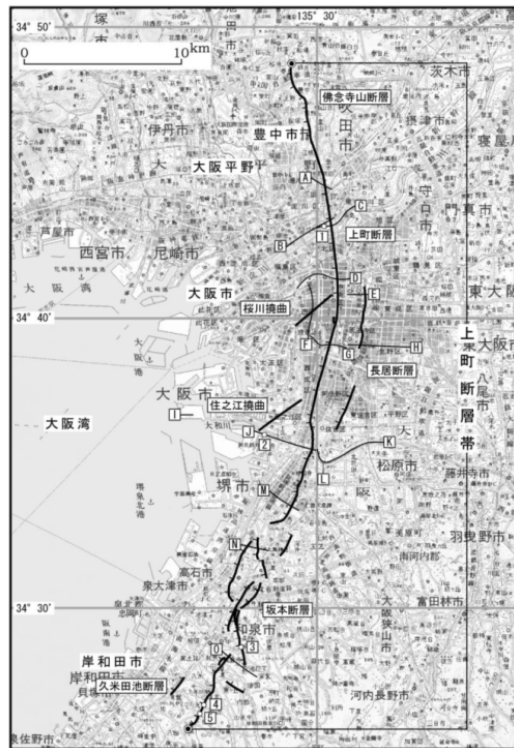
以上から、新知見を踏まえても既許可評価時の結果に影響はない。



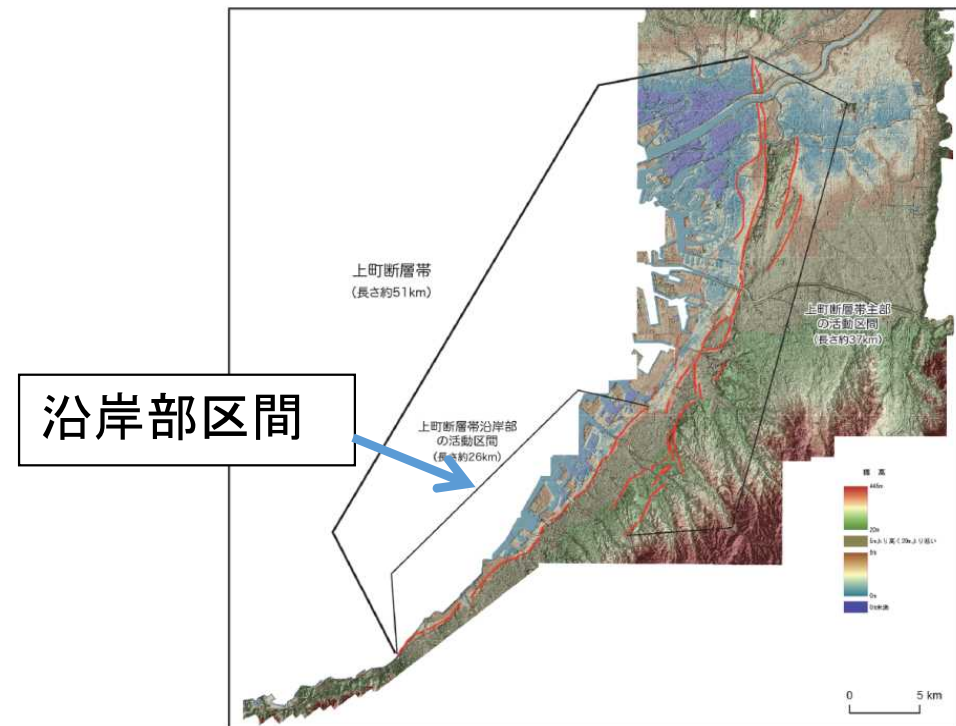
国土地理院(2020)

# 上町断層帯の活動区間の設定

上町断層帯における重点的な調査観測(平成22年～平成24年度:文部科学省研究開発局、京都大学防災研究所)によって、上町断層帯の詳細な調査研究が実施され、その結果、活動区間として神崎川付近の上町断層から久米田池断層に至る約37km(佛念寺山断層は活断層ではないと評価)を評価。さらに、大津川河口付近から沿岸部を南西へ阪南市箱作周辺までの約26kmを新たに活動区間として評価。全体の活動区間としては約51km。以上の結果から、上町断層帯主部(約46km)に加え、沿岸部に推定された活動区間(約26km)なども考慮した地震(断層長さ:84km、規模M8.0)を検討用地震として選定した。



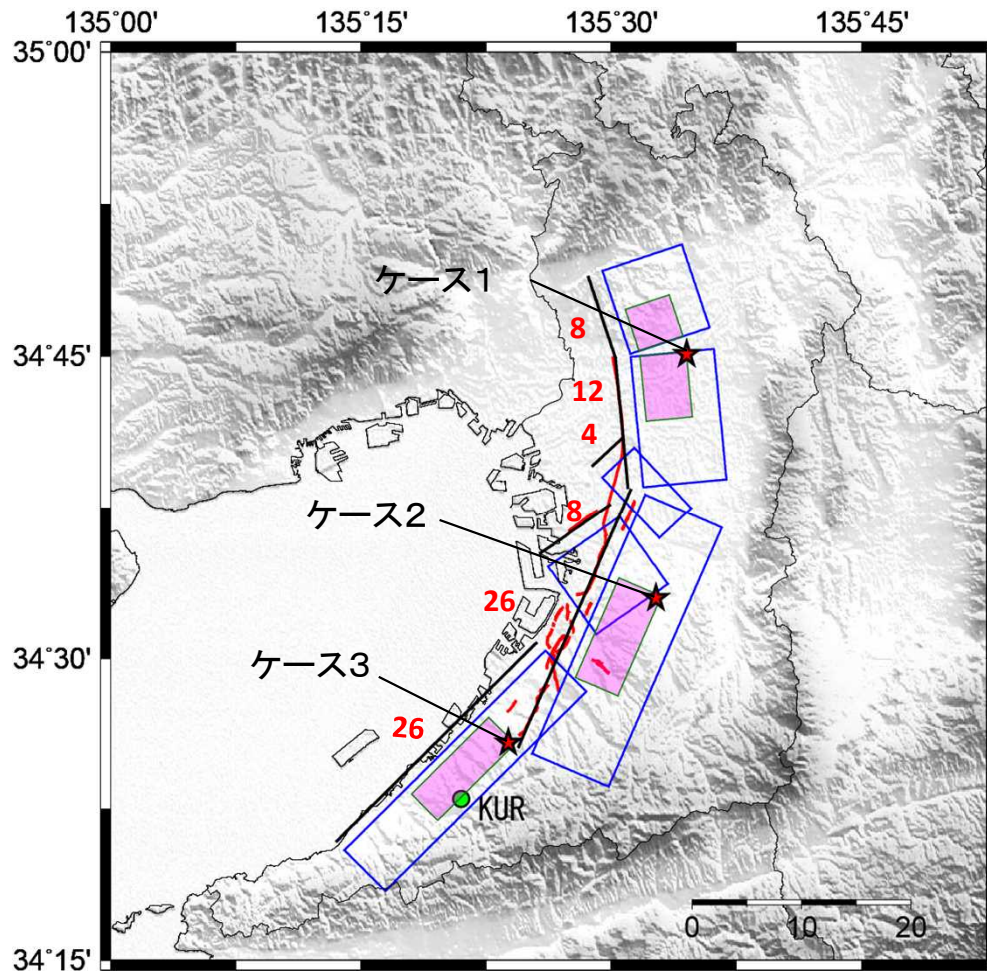
地震本部(2004)による佛念寺山断層から久米田池断層までの区間



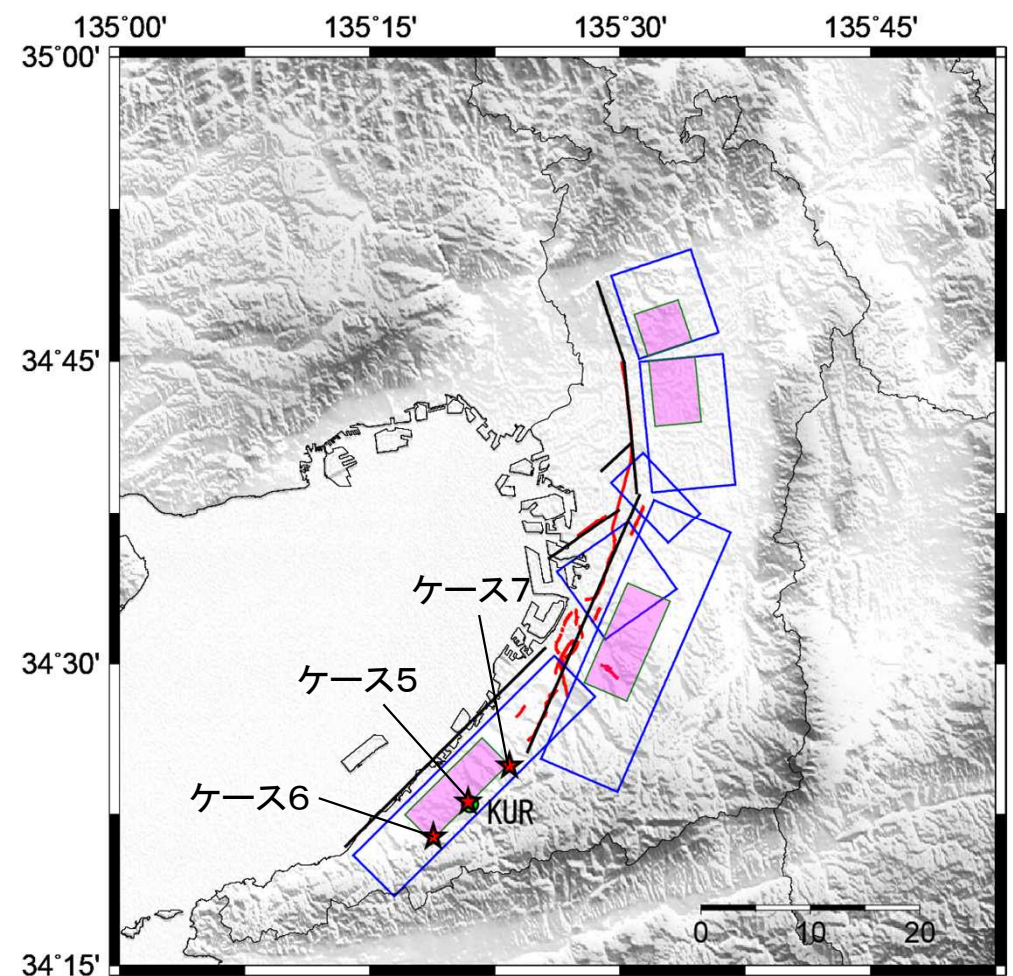
重点調査による上町断層帯の活動区間



# 上町断層帯の震源断層モデル(モデル2)



□ 背景領域    □ アスペリティ    — 断層モデルの地表トレース    ★ 破壊開始点



□ 背景領域    □ アスペリティ    — 断層モデルの地表トレース    ★ 破壊開始点

図中の**数字**はそれぞれのセグメントの断層長さ(km)

モデル2(ケース1~3)

モデル2(ケース5~7)

ケース4はケース1~3の結果から設定

## 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.

四国電力株式会社(2015):伊方発電所3号機 原子炉設置変更許可申請書 (平成27年6月30日)

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

国土地理院(2020) : 1:25,000 活断層図 上町断層帯とその周辺 「岸和田 改訂版」解説書.

文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所(2013) : 上町断層帯における重点的な調査観測 平成22～24年度成果報告書.

近藤・他(2015) : 数値標高モデルを用いた上町断層帯の詳細位置および分布形状の再検討, 活断層研究, 42号, pp.1–34.



第106回審査会合資料(まとめ資料)の再掲

原子炉建屋基礎地盤安定性評価における解析用物性値は以下のとおりである。

	物理特性	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	代表N値	静的変形特性		動的変形特性					ピーク強度(※2)		残留強度(※2)		
				静弾性係数 (※3) (kN/m <sup>2</sup> )	静ポアソン比	ひずみ依存特性	初期せん断剛性 (kN/m <sup>2</sup> )	G/G <sub>0</sub> ~γ	h~γ	動ポアソン比	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 (度)	
1	表土(一部産錐・盛土含む)	F	16.9	2	1400	0.495	S-1	55835.58	$G/G_0=1/(1+5.77\gamma^{0.791})$	$h=\gamma/(0.0679\gamma+0.00529)+1.99$	0.451	21.5	24.2	20.4	24.1
2	第1粘性土層	Dc1	17.5	40	28000	0.495	D-1	235142.22	$G/G_0=1/(1+3.58\gamma^{0.809})$	$h=\gamma/(0.144\gamma+0.00724)+1.03$	0.472	456.5	0.0	325.0	0.0
3	第1砂質土層	Ds1	16.0	44	30800	0.495	S-5	375908.18	$G/G_0=1/(1+4.92\gamma^{0.902})$	$h=\gamma/(0.061\gamma+0.0123)+0.0225$	0.451	143.5	35.7	0.0	36.5
4	第2粘性土層	Dc2	18.1	53	37100	0.495	D-2	295309.82	$G/G_0=1/(1+3.23\gamma^{0.802})$	$h=\gamma/(0.206\gamma+0.0136)+2.19$	0.465	743.7	0.0	504.2	0.0
5	第2砂質土層	Ds2	18.4	69	48300	0.495	S-2	282462.37	$G/G_0=1/(1+18.315\gamma^{1.126})$	$h=\gamma/(0.0561\gamma+0.0125)+1.03$	0.405	38.7	33.3	1.3	29.3
6	第3粘性土層	Dc3	18.7	55	38500	0.495	D-3	318983.01	$G/G_0=1/(1+5.23\gamma^{0.794})$	$h=\gamma/(0.0974\gamma+0.0077)+1.42$	0.469	817.0	0.0	711.7	0.0
7	第3砂質土層	Ds3	19.3	106	74200	0.495	S-2	472529.36	$G/G_0=1/(1+18.315\gamma^{1.126})$	$h=\gamma/(0.0561\gamma+0.0125)+1.03$	0.447	(38.7)	(33.3)	(1.3)	(29.3)
8	第4粘性土層	Dc4	18.6	83	58100	0.495	D-4	384076.11	$G/G_0=1/(1+3.29\gamma^{0.666})$	$h=\gamma/(0.173\gamma+0.0210)+4.48$	0.420	459.7	0.0	333.3	0.0
9	第4砂質土層	Ds4	18.6	129	90300	0.495	S-3	436993.26	$G/G_0=1/(1+6.10\gamma^{0.895})$	$h=\gamma/(0.0747\gamma+0.0138)+1.70$	0.460	43.9	32.7	0.0	28.6
10	第5粘性土層	Dc5	19.6	93	65100	0.495	D-5	493683.00	$G/G_0=1/(1+3.99\gamma^{0.740})$	$h=\gamma/(0.0759\gamma+0.0305)+3.50$	0.437	357.0	0.0	216.7	0.0
11	第5砂質土層	Ds5	19.6	176	123200	0.495	S-4	604589.74	$G/G_0=1/(1+5.87\gamma^{0.895})$	$h=\gamma/(0.0595\gamma+0.00761)+1.01$	0.445	48.2	34.5	0.0	33.3
12	第6粘性土層	Dc6	19.5	129	90300	0.495	D-6	545979.72	$G/G_0=1/(1+2.83\gamma^{0.743})$	$h=\gamma/(0.176\gamma+0.0121)+2.55$	0.455	708.8	0.0	402.2	0.0
13	第6砂質土層	Ds6	19.4	—	35000	0.495	S-4	633744.08	$G/G_0=1/(1+5.87\gamma^{0.895})$	$h=\gamma/(0.0595\gamma+0.00761)+1.01$	0.448	(48.2)	(34.5)	(0.0)	(33.3)
14	第7粘性土層	Dc7	19.5	—	35000	0.495	D-6	621351.79	$G/G_0=1/(1+2.83\gamma^{0.743})$	$h=\gamma/(0.176\gamma+0.0121)+2.55$	0.448	(708.8)	(0.0)	(402.2)	(0.0)
15	第7砂質土層	Ds7	19.5	—	35000	0.495	S-6	584134.03	$G/G_0=1/(1+18.762\gamma^{1.0856})$	$h=\gamma/(0.0646\gamma+0.0051)+1.65$	0.456	108.7	29.9	0.0	29.9
16	第8粘性土層	Dc8	19.6	—	35000	0.495	D-6	624538.21	$G/G_0=1/(1+2.83\gamma^{0.743})$	$h=\gamma/(0.176\gamma+0.0121)+2.55$	0.448	(708.8)	(0.0)	(402.2)	(0.0)
17	第8砂質土層	Ds8	19.5	—	35000	0.495	S-7	630275.94	$G/G_0=1/(1+5.42\gamma^{0.946})$	$h=\gamma/(0.0607\gamma+0.0125)+1.73$	0.449	(108.7)	(29.9)	(0.0)	(29.9)
18	第1礫質土層(※1)	Dg1	20.5	—	35000	0.495	S-7	679176.89	$G/G_0=1/(1+5.42\gamma^{0.946})$	$h=\gamma/(0.0607\gamma+0.0125)+1.73$	0.457	(108.7)	(29.9)	(0.0)	(29.9)
19	第9粘性土層	Dc9	19.1	—	35000	0.495	D-9	691839.27	$G/G_0=1/(1+3.76\gamma^{0.800})$	$h=\gamma/(0.0809\gamma+0.0170)+1.97$	0.445	602.0	0.0	353.0	0.0
20	第10砂質土層	Ds9	20.1	—	35000	0.495	S-8	992873.37	$G/G_0=1/(1+19.342\gamma^{1.086})$	$h=\gamma/(0.0703\gamma+0.00783)+4.28$	0.435	5.1	32.5	0.0	26.8
21	第10粘性土層	Dc10	19.1	—	35000	0.495	D-9	691839.27	$G/G_0=1/(1+3.76\gamma^{0.800})$	$h=\gamma/(0.0809\gamma+0.0170)+1.97$	(0.445)	(602.0)	(0.0)	(353.0)	(0.0)
22	花崗岩(DH級)	Gr	21.3	—	35000	0.495	S-9	2064753.25	$G/G_0=1/(1+20.40\gamma^{0.813})$	$h=\gamma/(0.0838\gamma+0.00313)+3.11$	0.419	642.9	36.4	91.2	35.2
23	花崗岩	Gr	23.6	—	35000	0.495	線形	6137636.44	線形	3.00%	0.370	—	—	—	—

※1:この層には第9砂質土層も含まれる。

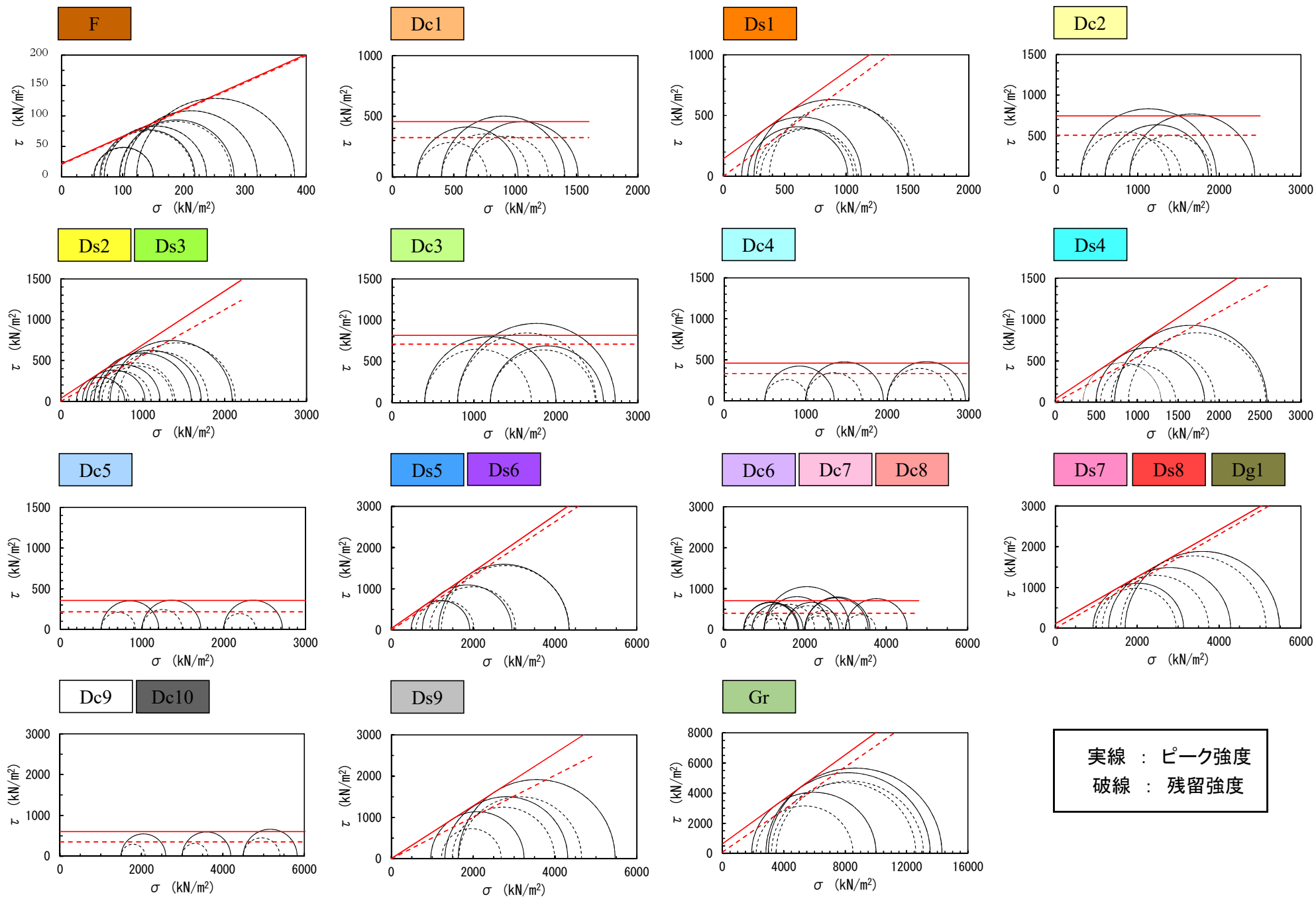
※2:( )は上位の類似層の値を採用。

※3: E=700N(kN/m<sup>2</sup>)より算出。N値のない材料については、N値=50を適用。

# 参考資料2 各地層の強度特性

平成28年2月5日  
審査会合資料再掲

第106回審査会合資料(まとめ資料)の再掲



## 参考資料3

### Ss-10による最小すべり安全率(南北断面)の一覧表

すべり面	Ss-10 (+, +)		Ss-10 (+, -)		Ss-10 (-, +)		Ss-10 (-, -)	
	最小すべり安全率	発生時刻 (sec)	最小すべり安全率	発生時刻 (sec)	最小すべり安全率	発生時刻 (sec)	最小すべり安全率	発生時刻 (sec)
1	4.04975	7.45	4.11547	14.41	4.00033	9.31	4.25348	7.45
2	4.08806	7.45	4.07994	14.41	4.01797	9.31	4.27925	7.45
3	4.06753	7.45	3.99414	14.41	3.97226	9.31	4.21985	6.54
4	3.97765	7.45	3.83876	14.41	3.87351	9.31	4.04511	6.54
5	3.75816	14.41	3.59254	5.78	3.68218	9.31	3.74944	6.54
6	4.67238	7.44	4.68286	9.30	4.48905	9.30	4.89532	7.44
7	4.71489	7.44	4.67100	9.30	4.49316	9.30	4.92230	7.44
8	4.68977	7.44	4.56347	14.40	4.42422	9.30	4.76802	6.54
9	4.54781	14.41	4.34903	14.41	4.29183	9.30	4.52656	6.54
10	4.17697	14.41	3.91656	5.78	4.06021	9.30	4.12447	6.54
11	5.06787	7.44	5.04434	9.30	4.83500	9.30	5.29396	6.54
12	5.11636	7.44	5.02939	9.30	4.83779	9.30	5.24335	6.54
13	5.08222	7.44	4.88038	14.40	4.75409	9.30	5.06259	6.54
14	4.85502	14.41	4.57721	5.77	4.59270	9.30	4.78247	6.54
15	4.41688	14.41	4.09065	5.78	4.25447	5.78	4.32011	6.54
16	5.39270	7.44	5.32158	9.30	5.13537	9.30	5.49253	6.54
17	5.44597	7.44	5.25383	14.40	5.13677	9.30	5.43189	6.53
18	5.35897	6.53	5.05803	5.77	5.03960	9.30	5.23044	6.53
19	5.07134	14.41	4.68709	5.77	4.79926	5.77	4.91908	6.53
20	4.58390	14.41	4.18674	5.77	4.32135	5.77	4.43599	6.54
21	5.62036	7.44	5.48386	14.40	5.41868	9.30	5.61788	6.54
22	5.53309	6.53	5.37821	5.77	5.33064	5.76	5.50042	6.53
23	5.33445	6.53	5.10368	5.77	5.07247	5.76	5.29275	6.53
24	5.07289	6.53	4.72460	5.77	4.76627	5.77	4.97238	6.53
25	4.64698	6.53	4.21394	5.77	4.29290	5.77	4.50279	6.53
26	5.92178	7.43	6.08806	16.82	5.51585	9.30	6.10691	6.53
27	4.76870	7.44	4.60543	5.78	4.64741	9.30	4.78054	6.54

## 参考資料4

### Ss-10による最小すべり安全率(東西断面)の一覧表

すべり面	Ss-10 (+, +)		Ss-10 (+, -)		Ss-10 (-, +)		Ss-10 (-, -)	
	最小すべり安全率	発生時刻 (sec)	最小すべり安全率	発生時刻 (sec)	最小すべり安全率	発生時刻 (sec)	最小すべり安全率	発生時刻 (sec)
1	3.79968	6.55	3.69767	9.31	3.74281	9.31	3.74580	6.55
2	3.71450	6.55	3.55864	9.31	3.64114	9.31	3.69384	6.55
3	3.59448	6.55	3.40784	9.31	3.50047	9.31	3.58938	6.55
4	3.43442	6.55	3.26206	9.32	3.32395	9.32	3.41542	6.55
5	3.21147	6.55	3.08673	9.32	3.09031	9.32	3.14281	6.55
6	4.26119	6.54	4.01806	9.31	4.11789	9.31	4.25491	6.54
7	4.15385	6.55	3.84387	9.31	3.98824	9.31	4.18963	6.54
8	3.99304	6.55	3.65638	9.31	3.81001	9.31	4.04117	6.54
9	3.78082	6.55	3.47732	9.31	3.59013	9.31	3.81241	6.55
10	3.48878	6.55	3.26941	9.32	3.30646	9.32	3.44886	6.55
11	4.54670	6.54	4.29120	9.31	4.42203	9.31	4.56218	6.54
12	4.42187	6.54	4.08878	9.31	4.26976	9.31	4.48524	6.54
13	4.23639	6.54	3.87193	9.31	4.06136	9.31	4.31146	6.54
14	3.99720	6.54	3.66478	9.31	3.80556	9.31	4.05093	6.54
15	3.66498	6.55	3.43215	9.32	3.48383	9.32	3.63757	6.55
16	4.71788	6.54	4.48234	9.31	4.64343	9.31	4.76774	6.54
17	4.58146	6.54	4.25970	9.31	4.47405	9.31	4.68267	6.54
18	4.37974	6.54	4.02196	9.31	4.24296	9.31	4.49129	6.54
19	4.12051	6.54	3.79487	9.31	3.96036	9.31	4.20474	6.54
20	3.77252	6.54	3.54514	9.32	3.61066	9.32	3.75982	6.54
21	4.81410	6.54	4.59159	9.31	4.78357	9.31	4.89198	6.54
22	4.67121	6.54	4.35715	9.31	4.60305	9.31	4.80185	6.54
23	4.46045	6.54	4.10725	9.31	4.35724	9.31	4.59961	6.54
24	4.19008	6.54	3.86861	9.31	4.05738	9.31	4.29703	6.54
25	3.82786	6.54	3.61273	9.32	3.69339	9.31	3.82937	6.54
26	4.82958	6.54	4.44683	9.31	4.92913	9.31	4.52896	6.54
27	4.05220	6.55	3.82621	9.32	3.96079	9.31	3.81633	6.54