

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

(コメント回答)

令和4年4月21日

京都大学複合原子力科学研究所

コメント回答

コメント日	コメント内容	備考
第430回審査会合 令和4年2月4日	標準応答スペクトルに適合する模擬地震波策定過程における振幅包絡形についてはMj7.0を想定して評価すること。	P2～P10
第430回審査会合 令和4年2月4日	検討用地震としての上町断層帯の新知見の反映について説明すること。	P11～P13

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^(※1)及び審査ガイド^(※2)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

一次元地盤構造モデル(線形計算モデル)

第430回審査会合資料の再掲

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 V_p (m/s)	S波速度 V_s (m/s)	密度 (kN/m^3)
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

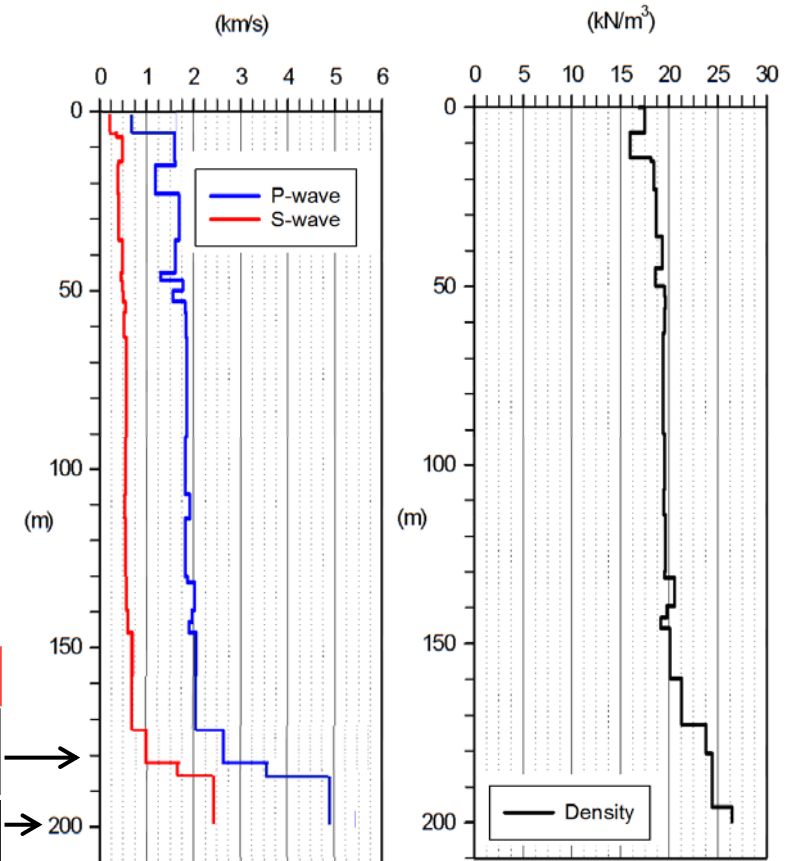
解放基盤面
設定位置

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

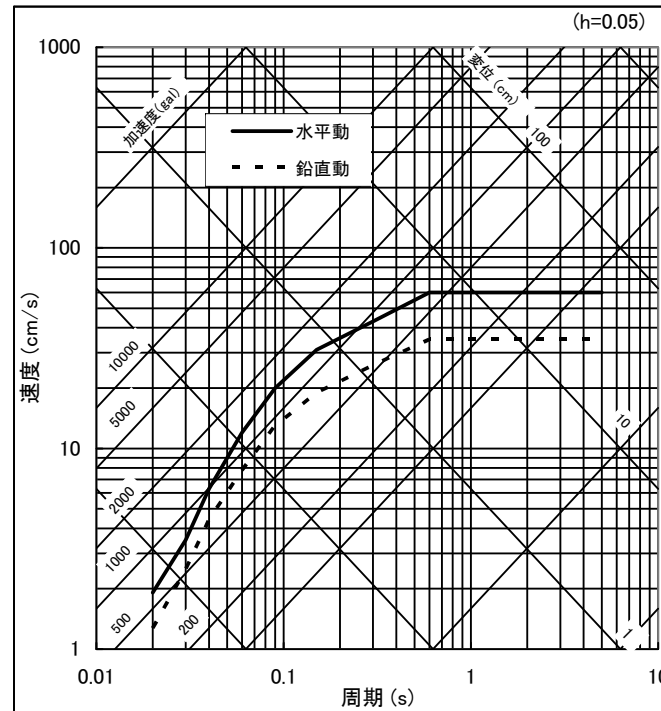
- ・乱数位相を持つ正弦波の重ね合わせによって策定。なお、模擬地震波作成手法としての観測記録の実位相を用いた方法については、地震基盤相当面と解放基盤面との深さの差は3m程度であり、地震波の増幅は小さく、位相への影響も小さいと考えられることから、乱数位相を持つ正弦波の重ね合わせ手法で代表させる。
- ・振幅包絡線の経時変化は、Noda et al.(2002)による。
- ・策定された模擬地震波の適合性は、応答スペクトル比(標準応答スペクトル/模擬地震波の応答スペクトル)が全周期帯で0.85以上、応答スペクトル強度比(SI比)が1.0以上。

コントロールポイント

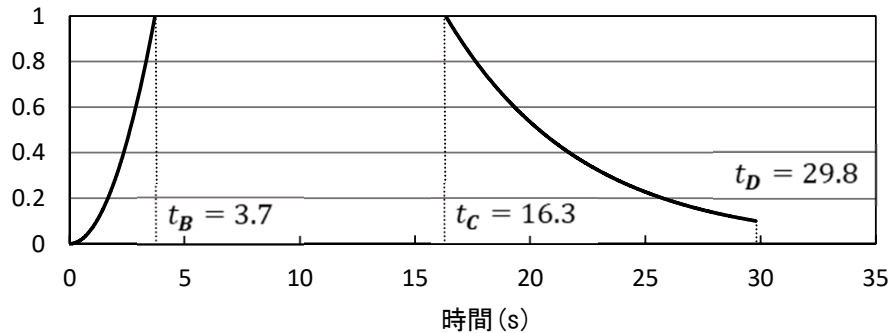
周期 (s)	水平動	鉛直動
	擬似速度 (cm/s)	擬似速度 (cm/s)
0.02	1.910	1.273
0.03	3.500	2.500
0.04	6.300	4.400
0.06	12.000	7.800
0.09	20.000	13.000
0.15	31.000	19.000
0.30	43.000	26.000
0.60	60.000	35.000
5.00	60.000	35.000

標準応答スペクトル

擬似速度応答スペクトル



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



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

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

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

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

M=7.0、Xeq = 10km

	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

振幅包絡形の経時特性 (M=7.0、Xeq=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

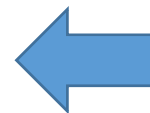
$$\textcircled{2} \text{SI比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} \geq 1.0$$

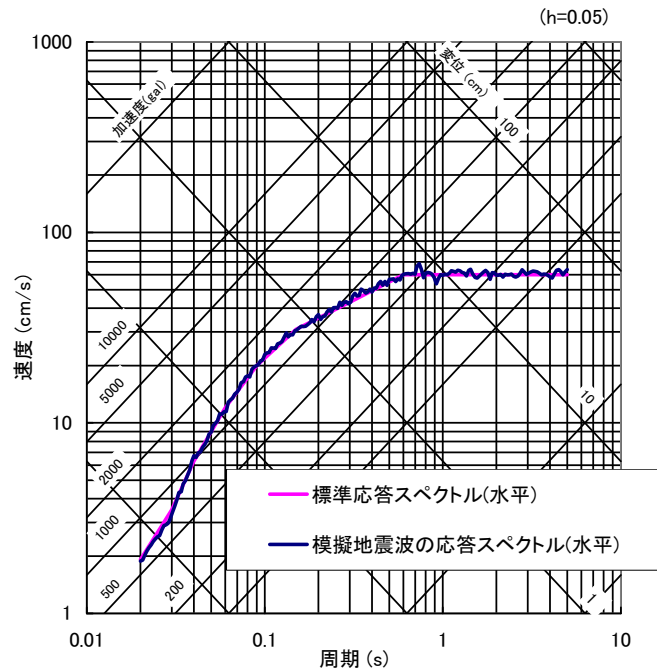
SI : 応答スペクトル強さ
 S_v(T) : 模擬地震波の応答スペクトル (cm/s)
 $\bar{S}_v(T)$: 目標とする応答スペクトル (cm/s)
 T : 固有周期 (s)

模擬地震波の策定のための判定基準

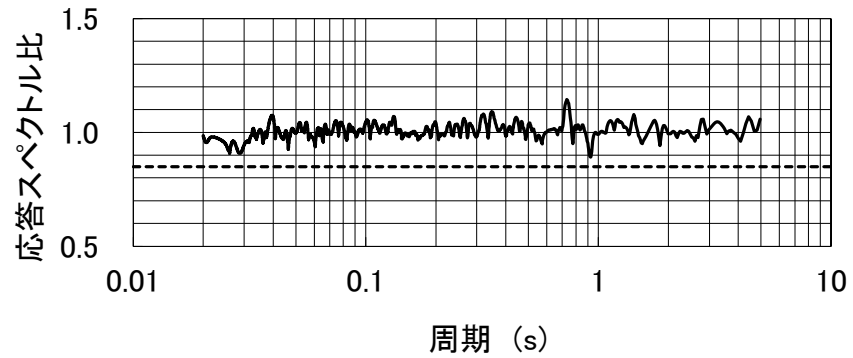
	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時変化 (s)		
		t _B	t _C	t _D
水平	28.0	3.3	15.1	28.0
鉛直	28.0	3.3	15.1	28.0

振幅包絡形の経時特性 (M=6.9、Xeq=10km)



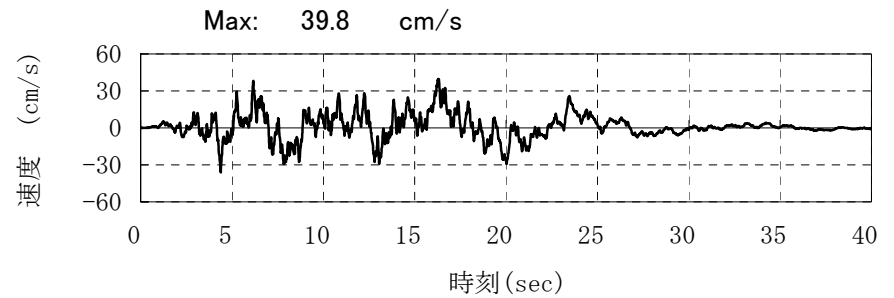
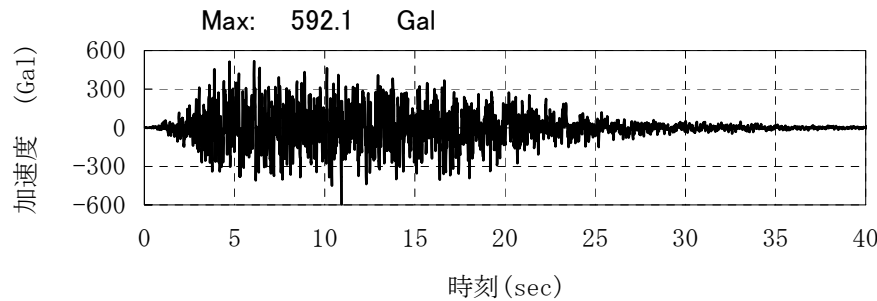


標準応答スペクトル(水平)と模擬地震波の
応答スペクトルの比較(減衰定数5%)



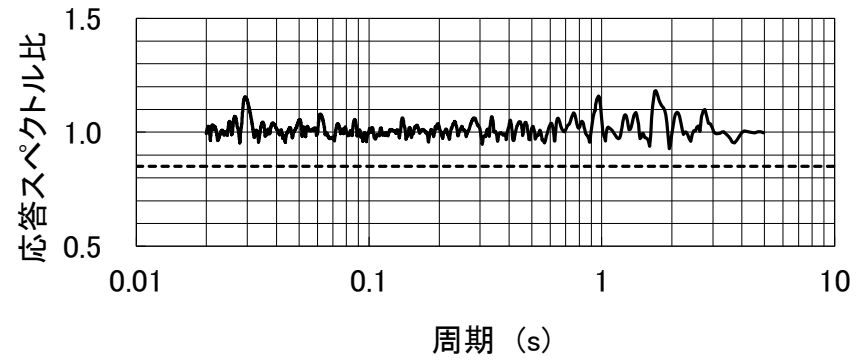
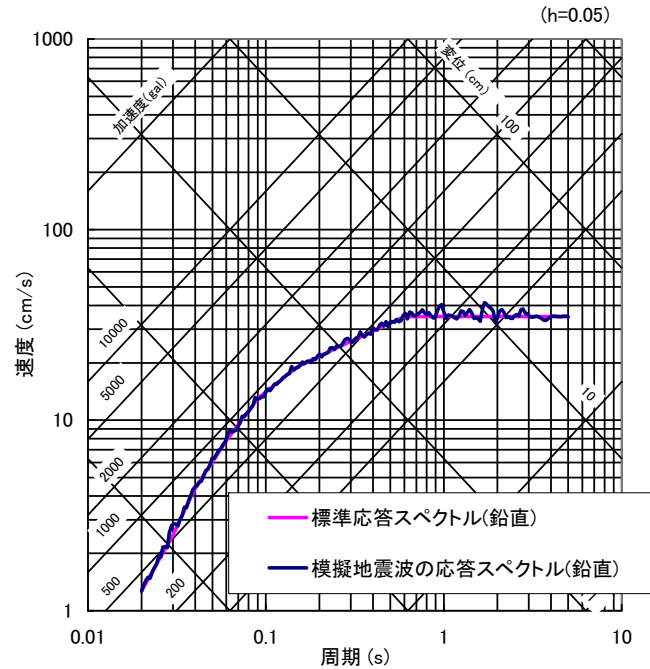
標準応答スペクトル(水平)と模擬地震波の
応答スペクトルの比 (最低=0.89 \geq 0.85)

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)

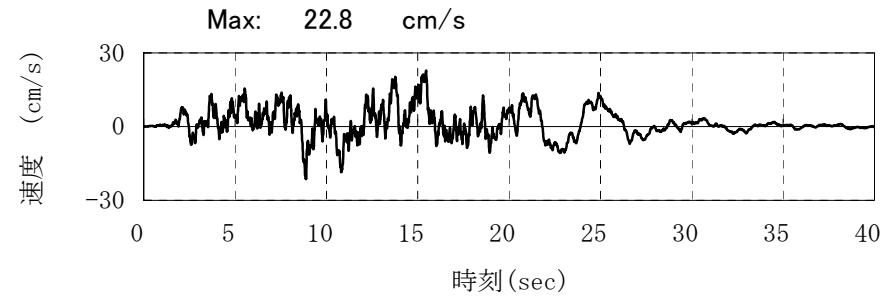
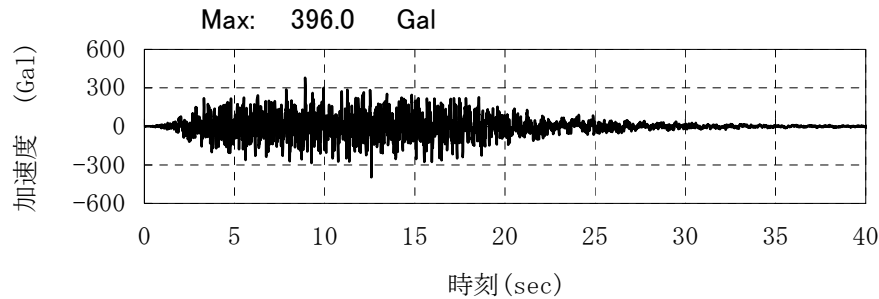
地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波(水平)



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)

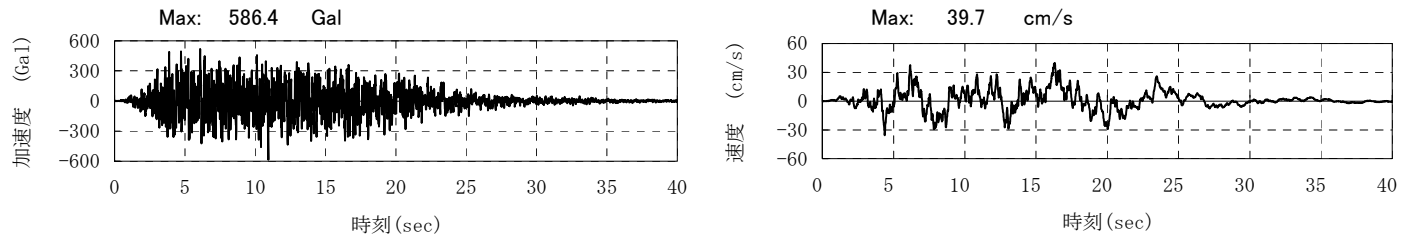
応答スペクトル強度(SI)比=1.02 \geq 1.0

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%)

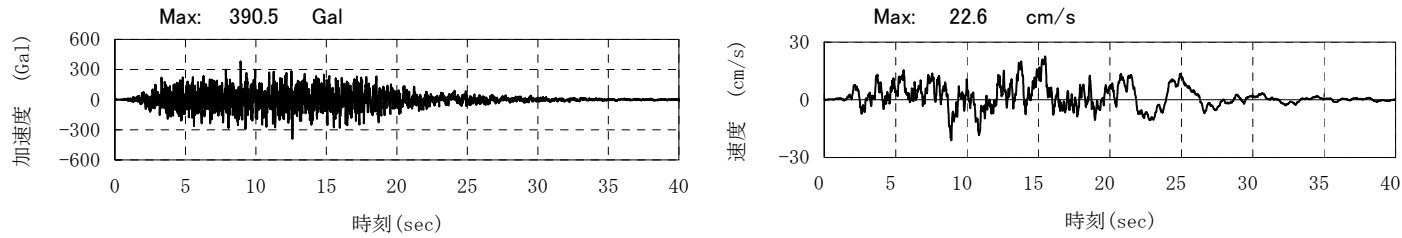


模擬地震波(鉛直)の加速度波形(左)と速度波形(右)

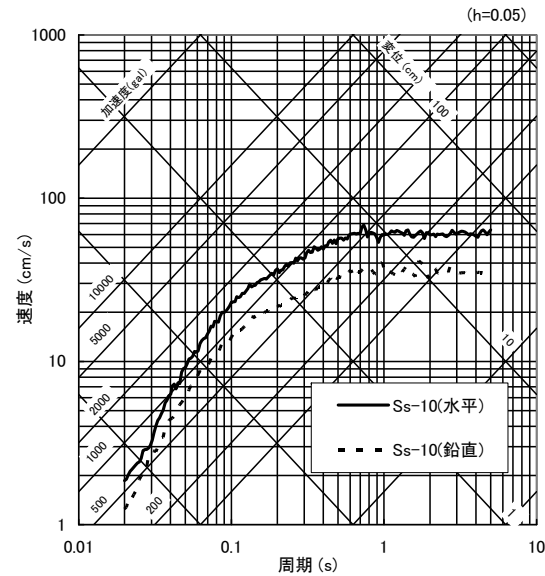
地震基盤相当面における標準応答スペクトルに基づく模擬地震波(鉛直)



水平動の加速度波形(左)と速度波形(右)

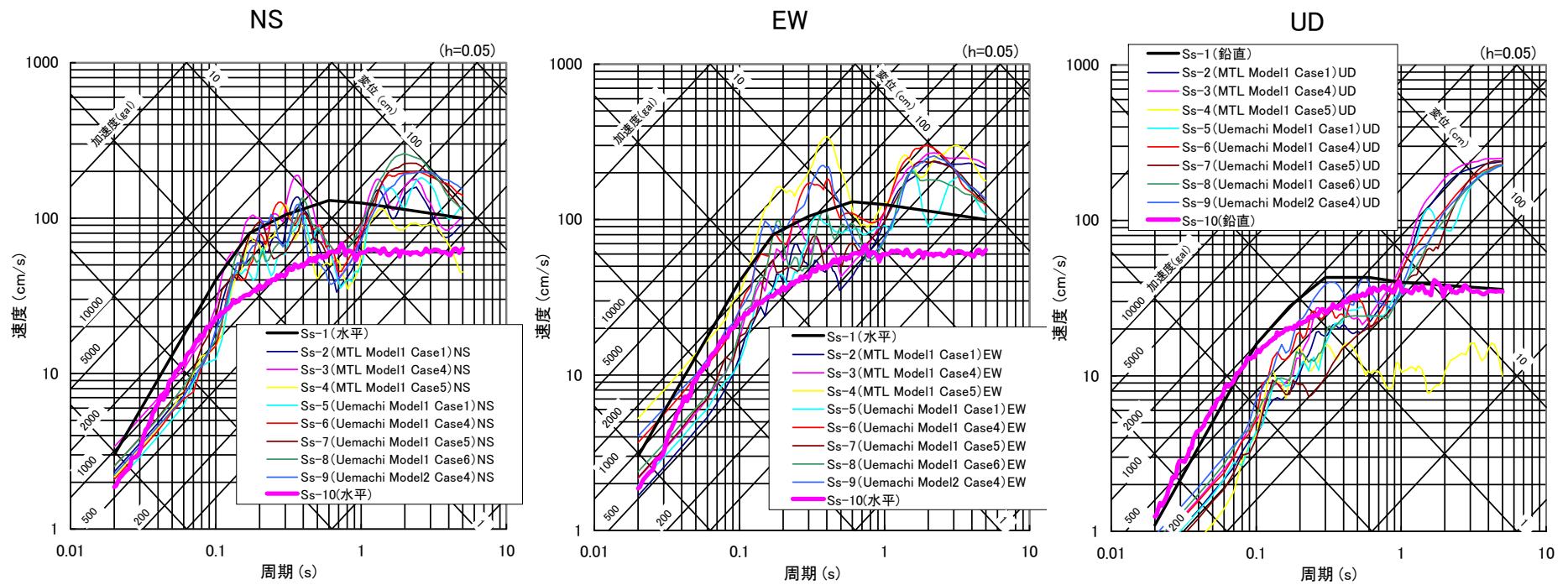


鉛直動の加速度波形(左)と速度波形(右)



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/s²)

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

上町断層帯に係る新知見の反映について

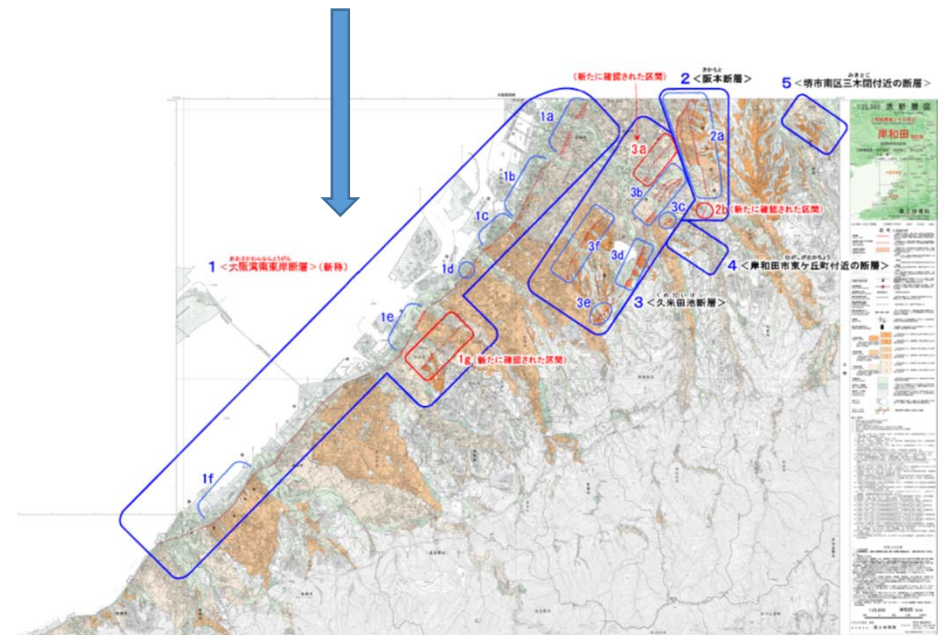
上町断層帯に関しては、平成22年～24年度に行われた重点的な調査観測(文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所,2013)が行われ、その結果が公表(近藤・他, 2015)されるなど、知見が蓄積された結果、国土地理院は1:25,000 活断層図を改訂し、公表している(上町断層帯とその周辺「岸和田改定版」、令和2年11月)。

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。



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。**



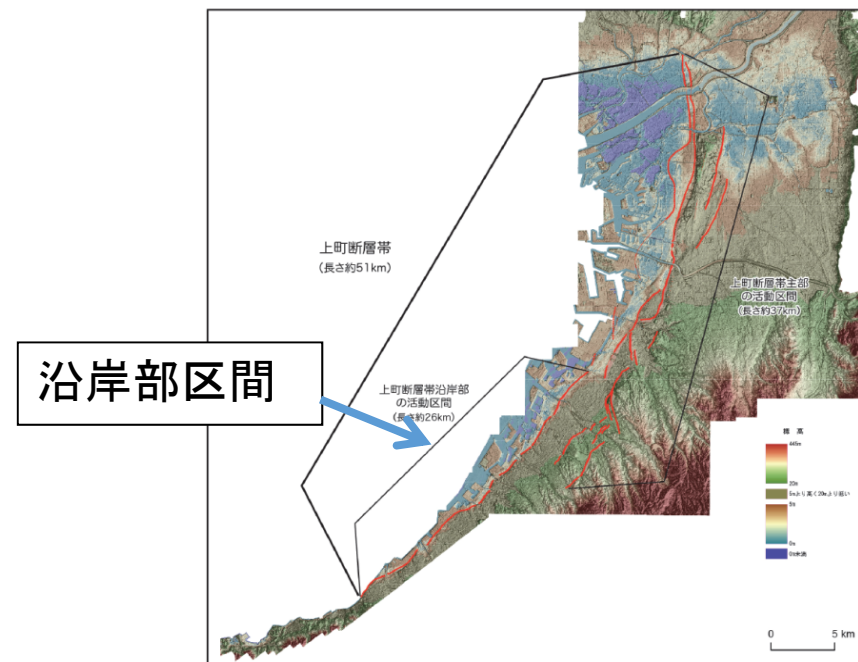
国土地理院(2020)

上町断層帯の活動区間の設定(見直し後)

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、上町断層帯本体(約46km)に加え、沿岸部に推定された活動区間(約26km)も考慮した地震(断層長さ:72km、規模M7.9)を検討用地震として選定した。

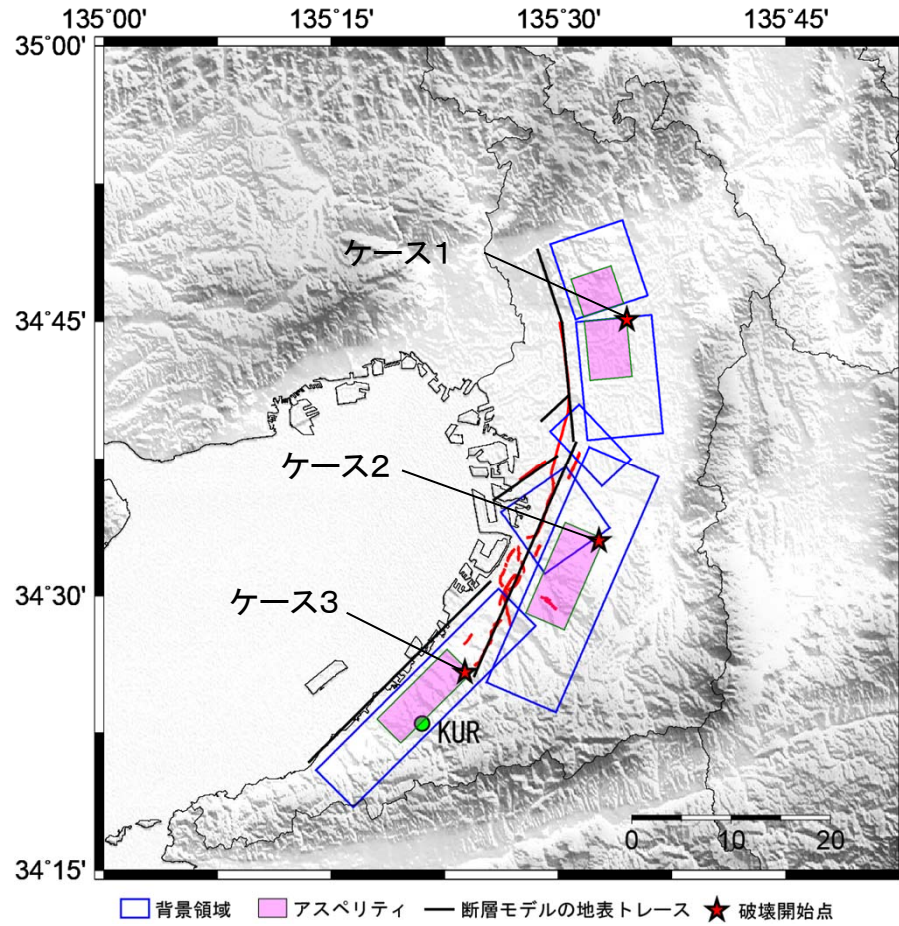


地震本部(2004)による佛念寺山断層から久米田池断層までの区間

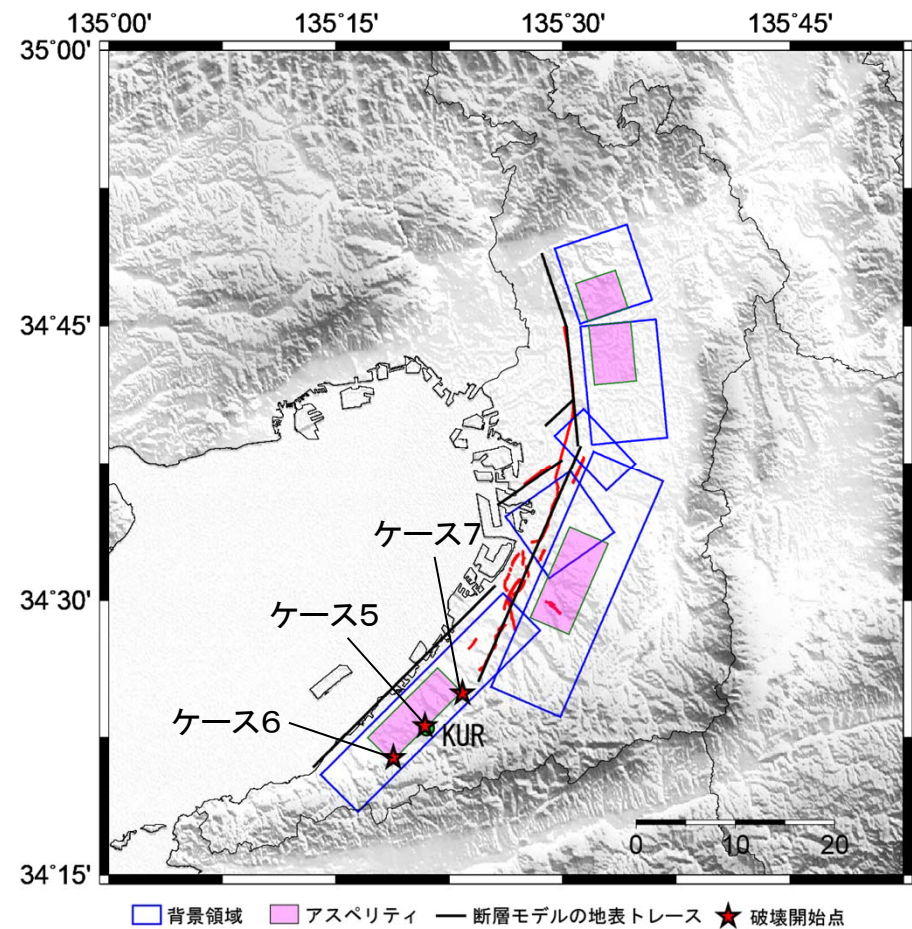


重点調査による上町断層帯の活動区間

上町断層帯の震源断層モデル(モデル2)



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.

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.