

再処理施設、廃棄物管理施設、MOX燃料加工施設
標準応答スペクトルを考慮した評価について
(コメント回答)

令和4年4月25日



日本原燃株式会社

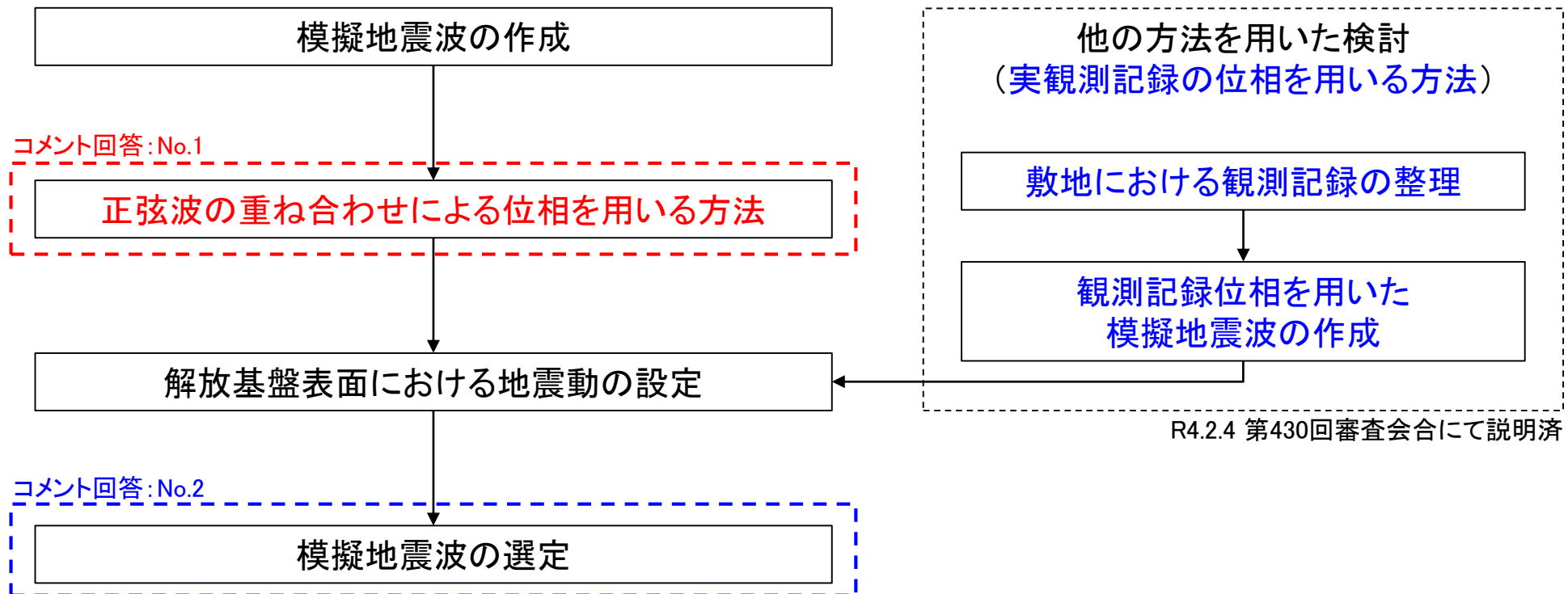
No.	コメント日	指摘事項	頁
1	令和4年2月4日 第430回審査会合	正弦波の重ね合わせによる模擬地震波の作成にあたり、振幅包絡線の設定に用いるMの値については、保守性の観点でM7.0とすること。	p.5~7
2	令和4年2月4日 第430回審査会合	正弦波の重ね合わせ及び観測記録の位相を用いる方法による地震動の大きさに有意な差が無いとした上で、正弦波の重ね合わせによる方法による模擬地震波を代表として扱っていることについて、考え方を資料に記載すること。	p.8~10

1. 模擬地震波作成の考え方	4
2. 正弦波の重ね合わせによる方法による模擬地震波の作成	5
2.1 振幅包絡線の設定条件	5
2.2 模擬地震波の作成結果	6
3. 標準応答スペクトルを考慮した地震動の選定	8
3.1 地震基盤における模擬地震波の比較	8
3.2 解放基盤表面における地震動の比較	9
4. 基準地震動の策定	11
（参考1）年超過確率の参照	13
（参考2）解放基盤表面における累積絶対速度(CAV値)の比較	14

1. 模擬地震波作成の考え方

➤ 審査ガイドでは、「震源を特定せず策定する地震動による基準地震動は、設定された応答スペクトル(地震動レベル)に対して、地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化等の特性が適切に考慮されていることを確認する。また、設定された応答スペクトルに基づいて模擬地震動を作成する場合には、複数の方法(例えば、**正弦波の重ね合わせによる位相を用いる方法**、**実観測記録の位相を用いる方法**等)により検討が行われていることを確認する。」とされている。

➤ 模擬地震波の作成及び選定のフローを以下の通りとする。



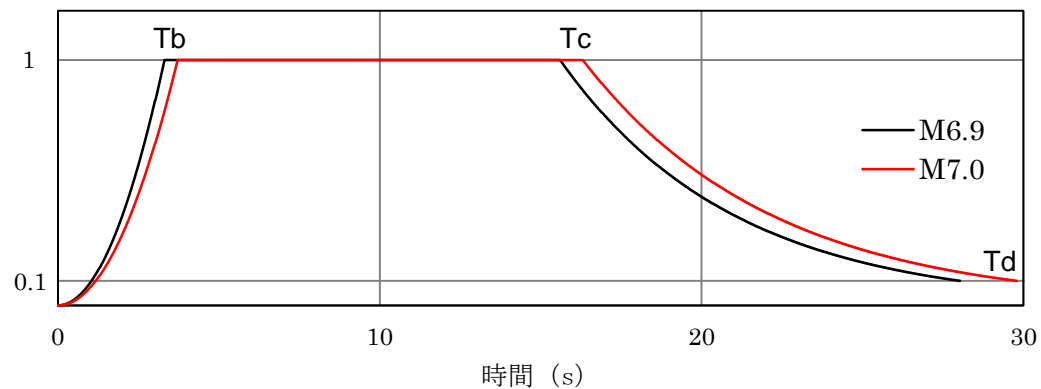
2. 正弦波の重ね合わせによる方法による模擬地震波の作成

2.1 振幅包絡線の設定条件

- Mw6.5に相当するマグニチュードをM7.0として、振幅包絡線を設定する。
- 下表に示す通り、第430回審査会合で示したM6.9とした場合とM7.0とした場合の振幅包絡線を比較すると、M7.0とした場合の方が、主要動の継続時間が約0.8秒、全体の継続時間が約1.8秒長くなる。

模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化の比較

マグニチュード	振幅包絡線の経時変化(s)			主要動継続時間(s)	継続時間(s)
	T _b	T _c	T _d		
M6.9 (前回提示)	3.31	15.06	28.03	11.75	28.03
M7.0 (今回提示)	3.72	16.31	29.80	12.59	29.80
差(M7.0-M6.9)				0.84	1.77



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

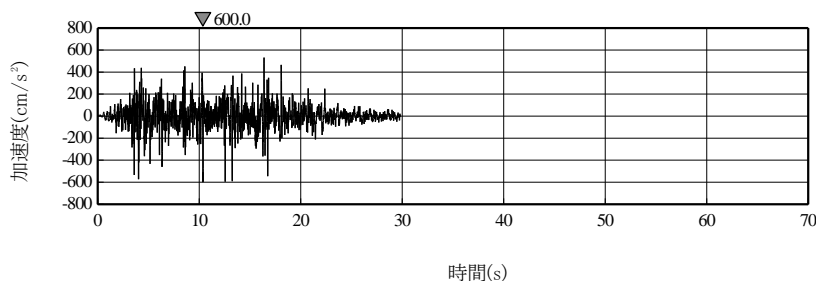
$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0}$$

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

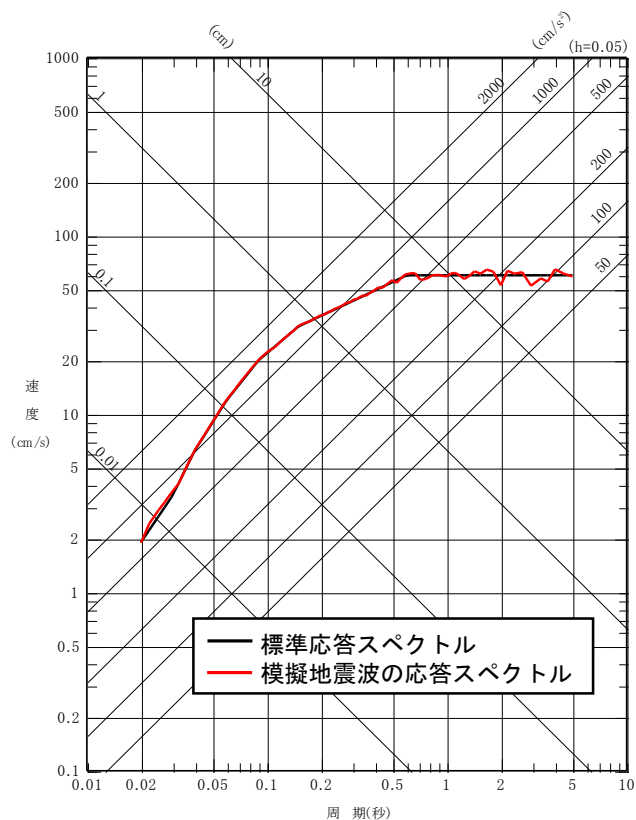
Noda et al. (2002)による

2.2 模擬地震波の作成結果(水平方向)

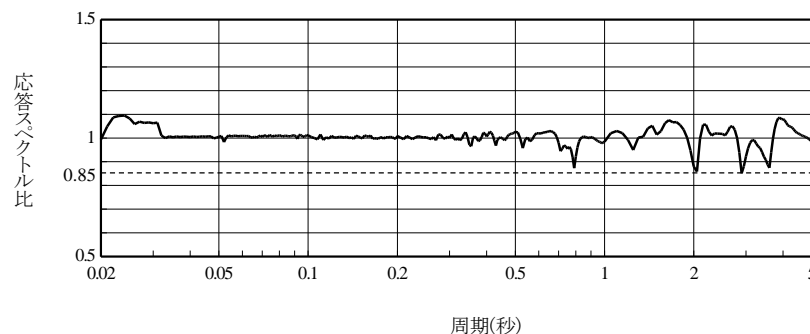
◇作成した模擬地震波



◇作成した模擬地震波の応答スペクトル



◇適合度確認



	作成結果
①応答スペクトル比	$0.85 \geq 0.85$
②SI比	$1.01 \geq 1.0$

$$\textcircled{1} R = \frac{S_{V1}(T)}{S_{V2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

$S_{V1}(T)$: 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

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

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

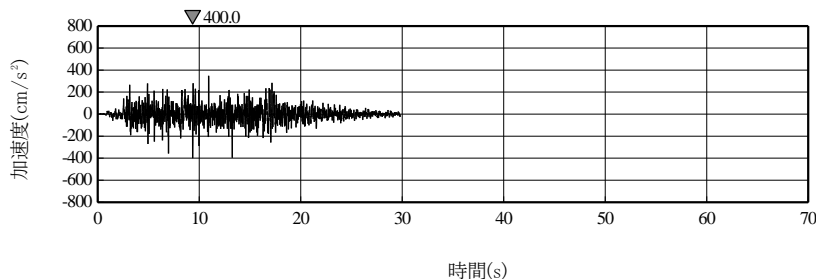
$\bar{S}_v(T)$: 目標とする応答スペクトル

T : 固有周期

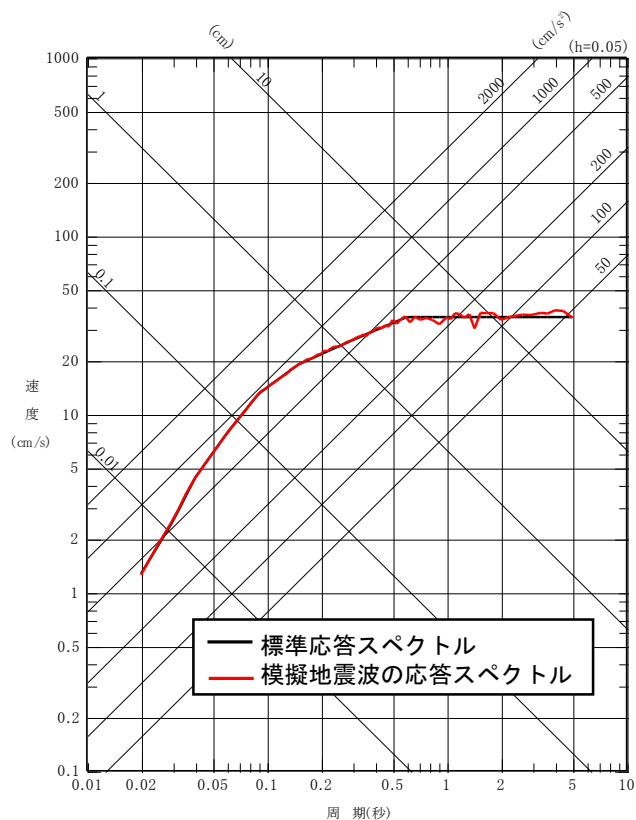
※適合度の判定条件はJEAG4601-2015に基づく

2.2 模擬地震波の作成結果(鉛直方向)

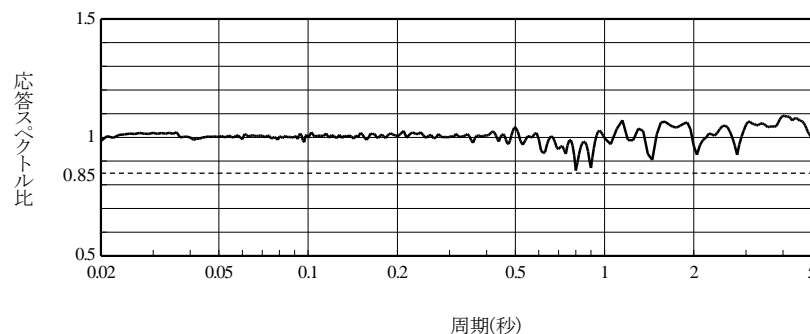
◇作成した模擬地震波



◇作成した模擬地震波の応答スペクトル



◇適合度確認



	作成結果
①応答スペクトル比	0.86 ≥ 0.85
②SI比	1.00 ≥ 1.0

$$① R = \frac{S_{V1}(T)}{S_{V2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

$S_{V1}(T)$: 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

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

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

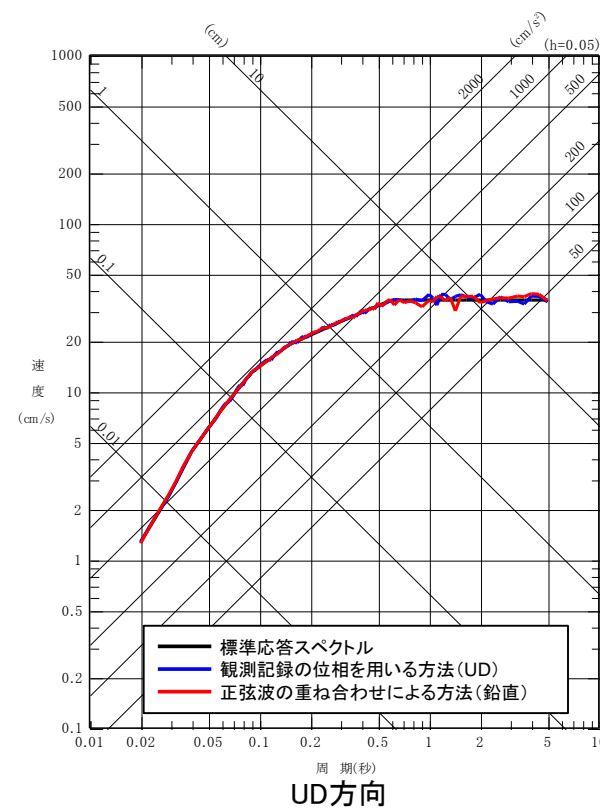
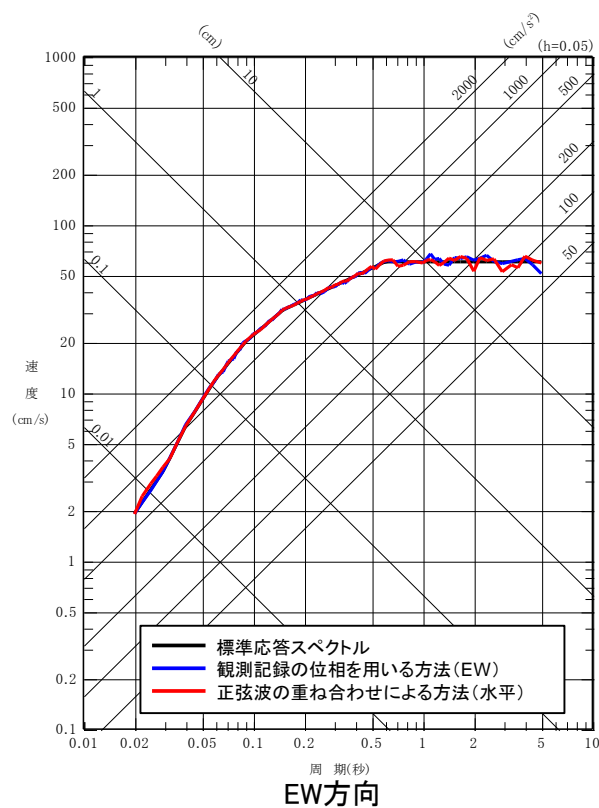
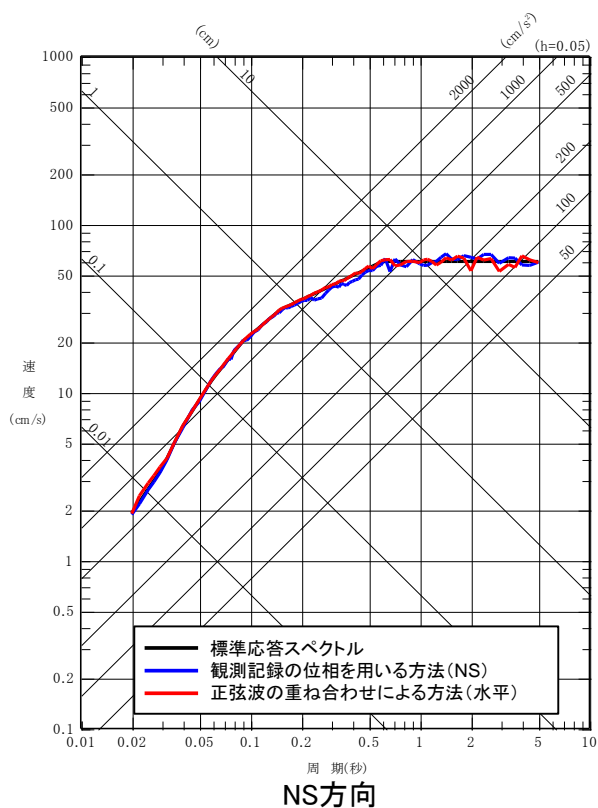
$\bar{S}_v(T)$: 目標とする応答スペクトル

T : 固有周期

※適合度の判定条件はJEAG4601-2015に基づく

3.1 地震基盤における模擬地震波の比較

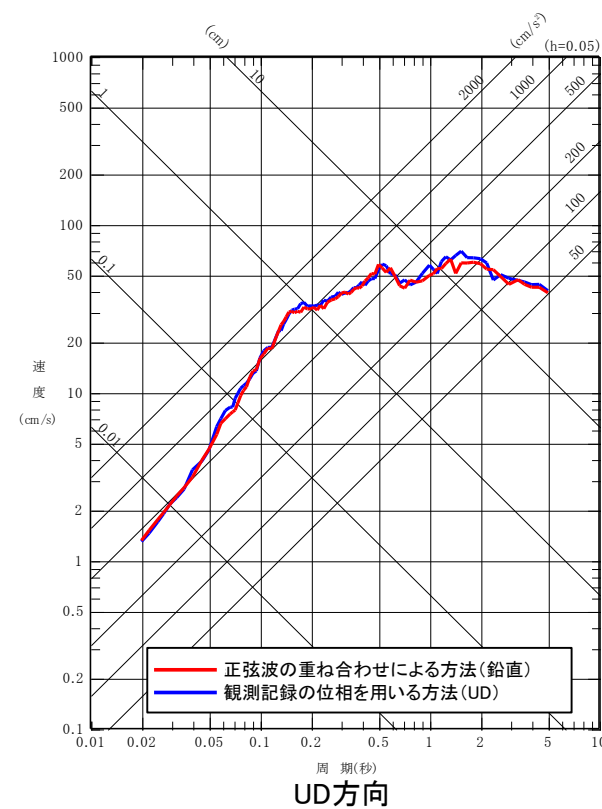
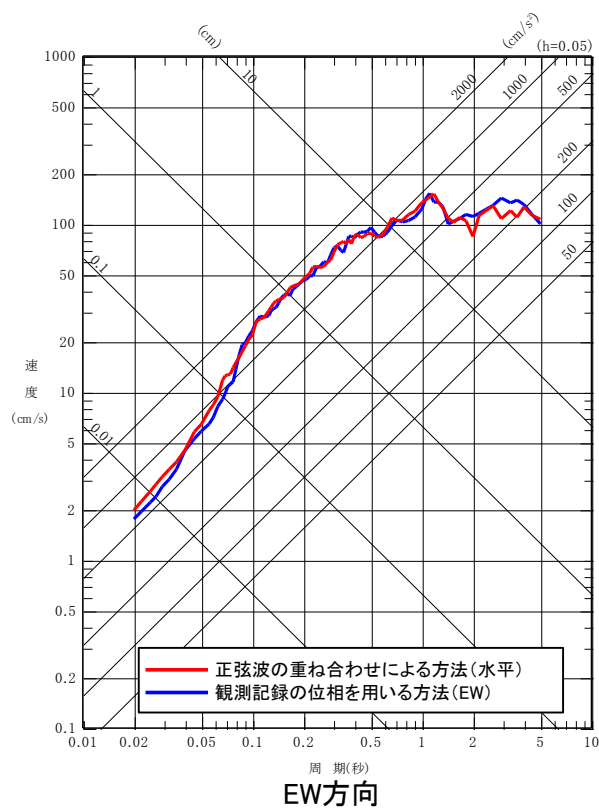
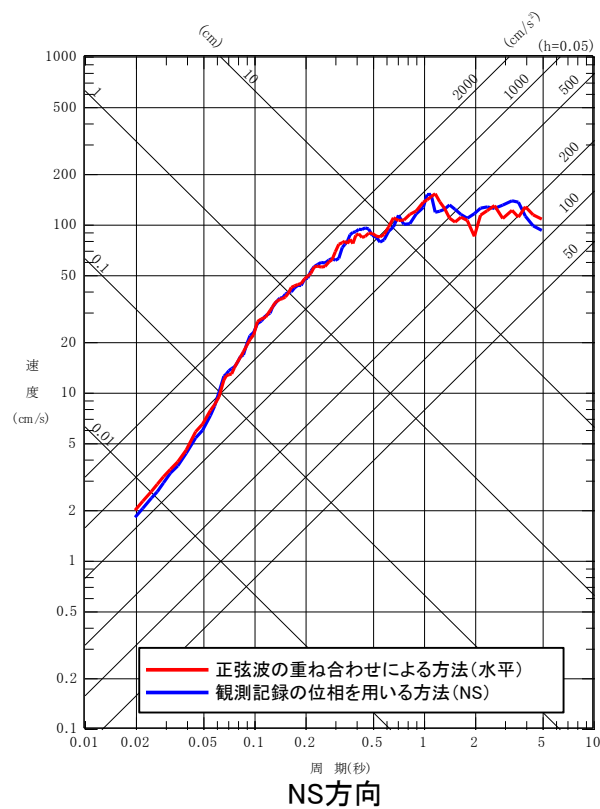
- 正弦波の重ね合わせによる方法及び観測記録の位相を用いる方法に基づき作成した模擬地震波の応答スペクトルの比較を以下に示す。
- 正弦波の重ね合わせによる方法及び観測記録の位相を用いる方法に基づく模擬地震波の地震基盤における応答スペクトルは、標準応答スペクトルに適合するように作成していることから、有意な差は見られない。



地震基盤における両方法に基づく模擬地震波の応答スペクトル

3.2 解放基盤表面における地震動の比較【①応答スペクトル】

- 地震基盤における模擬地震波に対して、一次元波動論により、深部地盤モデルを用いて解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映し、解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定した。
- 正弦波の重ね合わせによる方法及び観測記録の位相を用いる方法に基づく模擬地震波の解放基盤表面における応答スペクトルを比較した結果、両方法による地震動には有意な差は見られない。

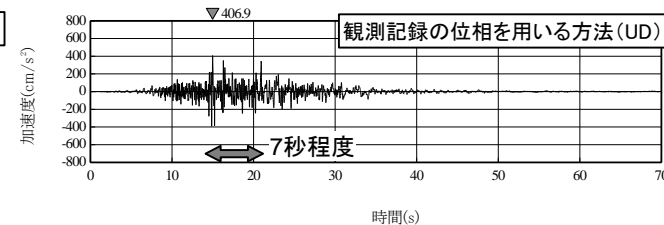
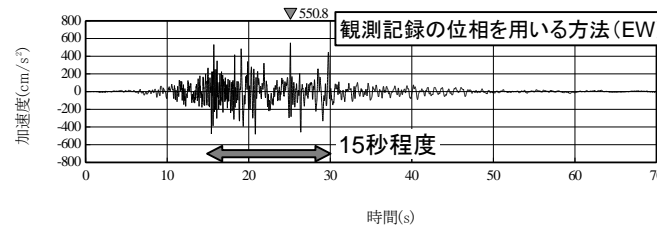
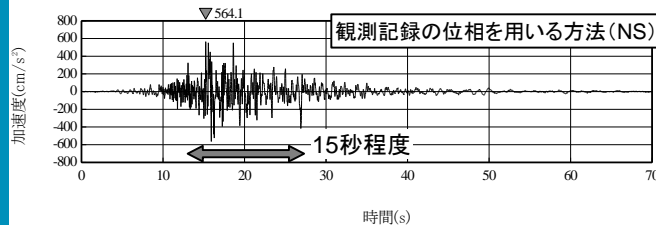
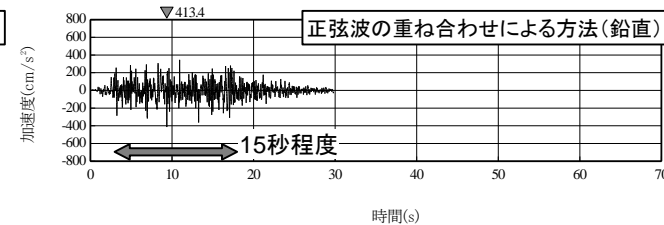
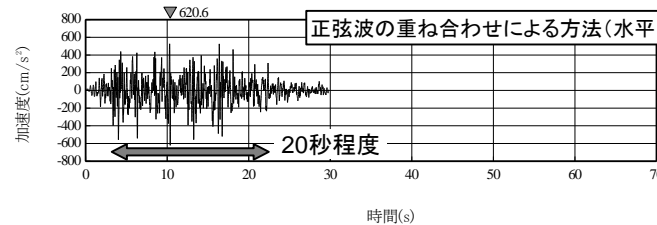
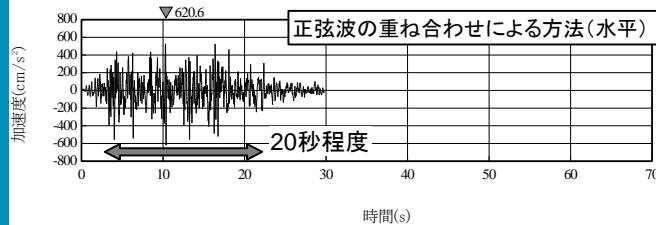


解放基盤表面における両方法に基づく模擬地震波の応答スペクトル

3. 標準応答スペクトルを考慮した地震動の選定

3.2 解放基盤表面における地震動の比較【②加速度時刻歴波形】

- 正弦波の重ね合わせによる方法に基づく模擬地震波は、観測記録の位相を用いる方法に基づく模擬地震波より、比較的大振幅の波が現れる時間が長い。
 - 正弦波の重ね合わせによる方法に基づく模擬地震波は、観測記録の位相を用いる方法に基づく模擬地震波より、上記の時間内における大振幅の波の繰り返し回数が多い。
 - 最大加速度は、水平方向・鉛直方向ともに正弦波の重ね合わせによる方法に基づく模擬地震波の方が大きい。
- 前頁に示した応答スペクトルの比較では両方法による地震動に差はないが、加速度時刻歴波形の比較では、上記のとおり正弦波の重ね合わせによる方法に基づく模擬地震波が保守性を有していることを確認した。
- したがって、標準応答スペクトルを考慮した地震動は、正弦波の重ね合わせによる方法に基づく模擬地震波を用いる。



加速度時刻歴波形の比較

↔ : 大振幅の波の現れる時間

最大加速度の比較

	最大加速度 (cm/s ²)		
	NS方向	EW方向	UD方向
正弦波の重ね合わせによる方法	621		413
観測記録の位相を用いる方法	564	551	407

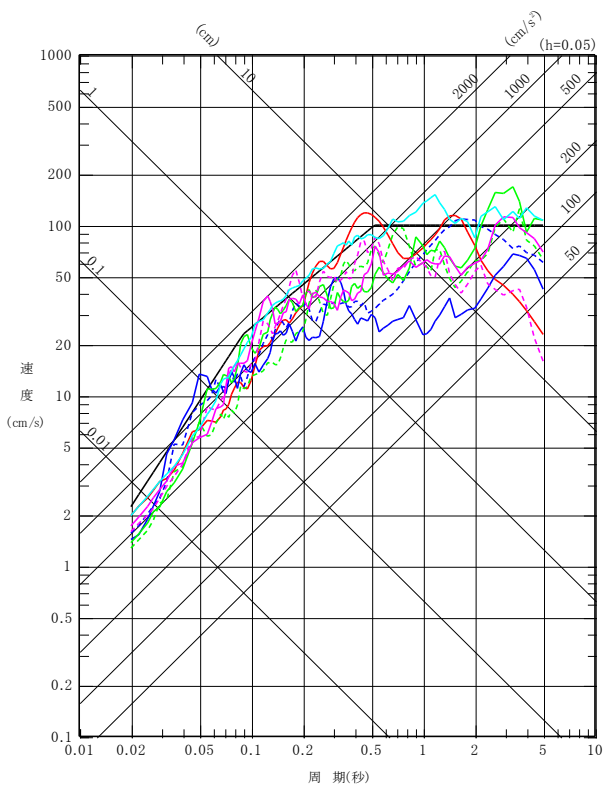
4. 基準地震動の策定

➤ 標準応答スペクトルを考慮した地震動(正弦波の重ね合わせによる方法に基づく模擬地震波)は、基準地震動Ss-Aを一部の周期帯で上回る。

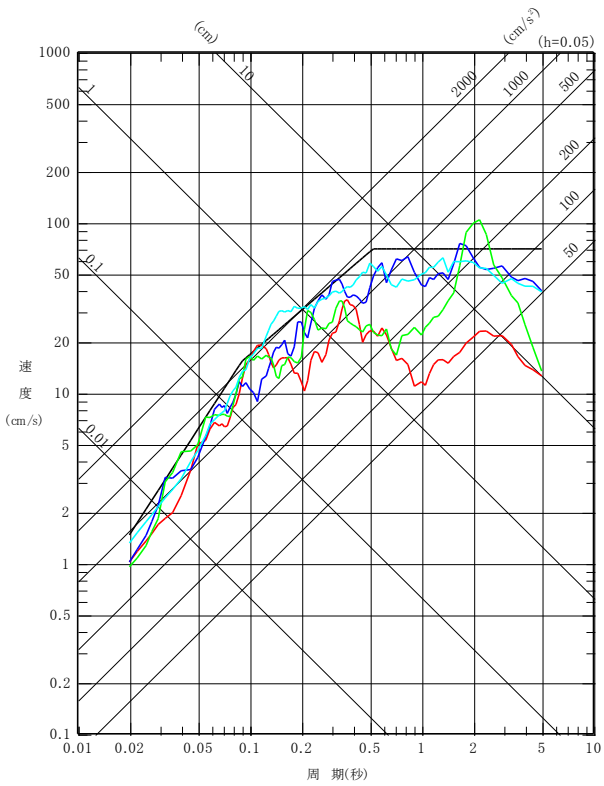
➤ 標準応答スペクトルを考慮した地震動を、基準地震動Ss-C5として採用する。

- 基準地震動Ss-A
- 基準地震動Ss-C1 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
- 基準地震動Ss-C2 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])
- 基準地震動Ss-C3 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- 基準地震動Ss-C4 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net一関東)
- 基準地震動Ss-C5 標準応答スペクトルを考慮した地震動

- 基準地震動Ss-A
- 基準地震動Ss-C1 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
- 基準地震動Ss-C2 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])
- 基準地震動Ss-C3 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- 基準地震動Ss-C5 標準応答スペクトルを考慮した地震動



水平方向



鉛直方向

実線: NS方向
ダム軸方向 (Ss-C2のみ)
破線: EW方向
上下流方向 (Ss-C2のみ)

標準応答スペクトルを考慮した地震動と基準地震動Ss-A, C1~C4の応答スペクトルの比較

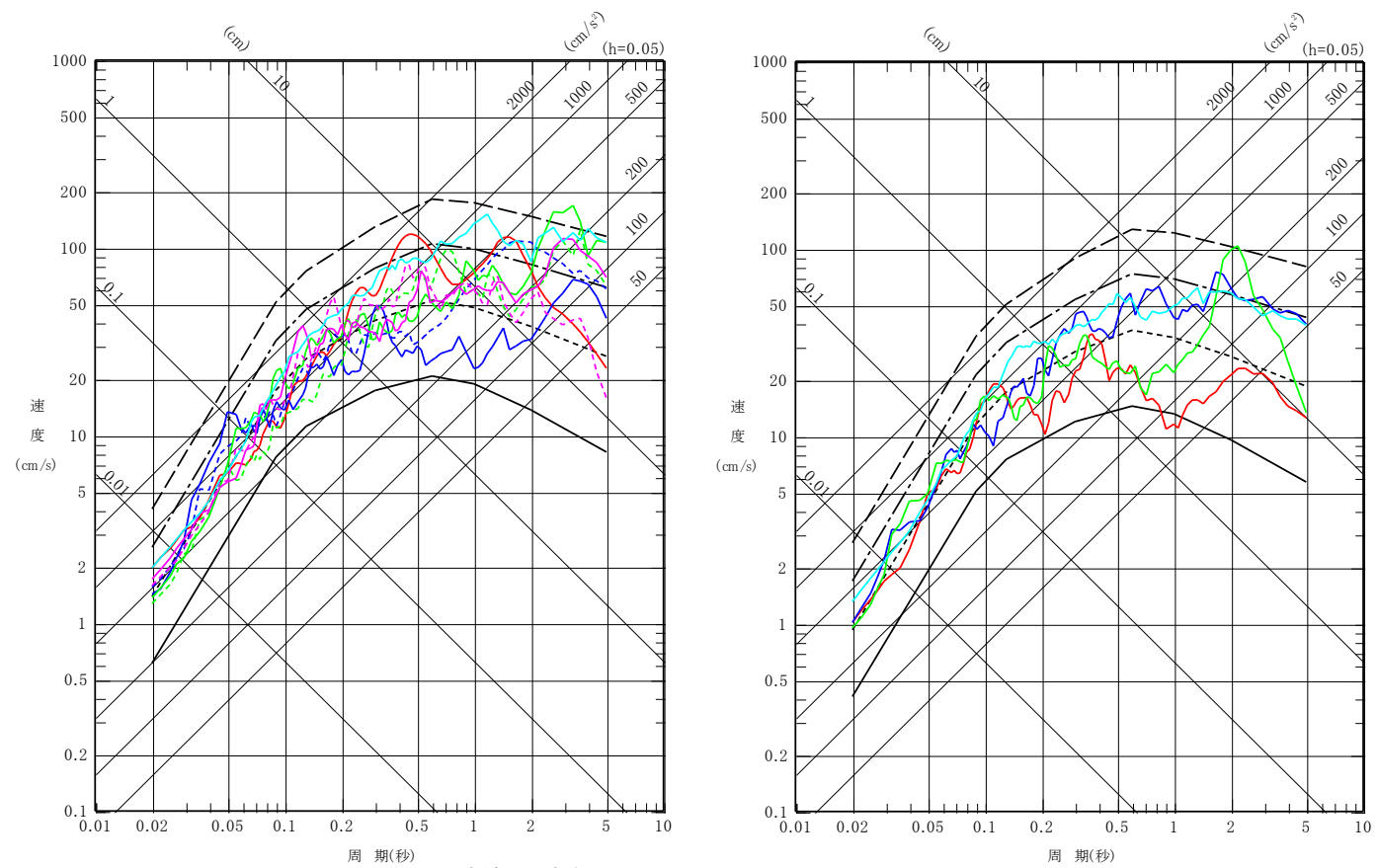
4. 基準地震動の策定

基準地震動の最大加速度

基準地震動			最大加速度 (cm/s ²)		
			NS方向	EW方向	UD方向
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動					
応答スペクトルに基づく手法	S _s -A	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	700		467
断層モデルを用いた手法	S _s -B1	出戸西方断層による地震 (短周期レベルの不確かさケース) [破壊開始点2]	410	487	341
	S _s -B2	出戸西方断層による地震 (短周期レベルと断層傾斜角の不確かさを重畳させたケース) [破壊開始点1]	429	445	350
	S _s -B3	出戸西方断層による地震 (短周期レベルと断層傾斜角の不確かさを重畳させたケース) [破壊開始点2]	443	449	406
	S _s -B4	出戸西方断層による地震 (短周期レベルと断層傾斜角の不確かさを重畳させたケース) [破壊開始点3]	538	433	325
	S _s -B5	出戸西方断層による地震 (短周期レベルと断層傾斜角の不確かさを重畳させたケース) [破壊開始点4]	457	482	370
震源を特定せず策定する地震動					
全国共通に考慮すべき地震動 (Mw6.5程度未満)	S _s -C1	2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町)	620		320
	S_s-C5	標準応答スペクトルを考慮した地震動	621		413
地域性を考慮する地震動 (Mw6.5程度以上)	S _s -C2	2008年岩手・宮城内陸地震 (栗駒ダム[右岸地山])	450 ^{※1}	490 ^{※2}	320
	S _s -C3	2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎)	430	400	300
	S _s -C4	2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net一関東)	540	500	—

※1：ダム軸方向， ※2：上下流方向

- 基準地震動Ss-C1~C5の応答スペクトルを、既許可で評価した内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルと比較する。
- 震源を特定せず策定する地震動Ss-C1~C5の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。



水平方向
 実線：NS方向
 ダム軸方向 (Ss-C2のみ)
 破線：EW方向
 上下流方向 (Ss-C2のみ)

鉛直方向

- 一様ハザードスペクトル(年超過確率 10^{-3})
- ⋯ 一様ハザードスペクトル(年超過確率 10^{-4})
- - 一様ハザードスペクトル(年超過確率 10^{-5})
- - - 一様ハザードスペクトル(年超過確率 10^{-6})
- 基準地震動Ss-C1
- 基準地震動Ss-C2
- 基準地震動Ss-C3
- 基準地震動Ss-C4
- 基準地震動Ss-C5

※鉛直方向の一様ハザードスペクトルについては、水平成分の評価結果に対し、基準地震動Ss-Aの水平成分と鉛直成分の比を考慮して設定している。

一様ハザードスペクトル(領域震源(内陸地殻内地震))と基準地震動Ss-C1~C5の比較

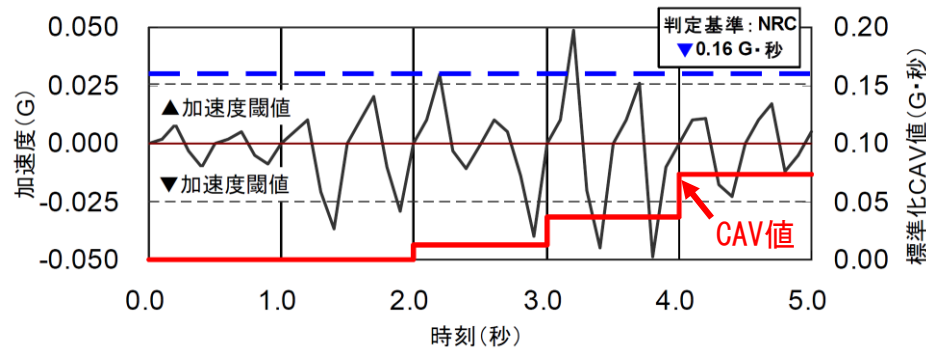
(参考2) 解放基盤表面における累積絶対速度(CAV値)の比較(1/3)

- 参考に、P10で示した時刻歴波形における大振幅な波の繰り返しについて定量的に確認するため、累積絶対速度(Cumulative Absolute Velocity: CAV値)による比較を行う。
- CAV値は、設定した閾値を超える振幅の大きい波を多く含む地震波ほど大きくなる。

【水谷ほか(2008)によるCAV値の概要】

- CAV値は、米国EPRI(電力中央研究所)が、地震の揺れの強さを計る指標として、設備の損傷にはほとんど影響しないと考えられるパルス的な加速度振幅による不要な炉停止を回避する目的で開発したもの。
- 米国では、プラントの地震後停止を判断する補助指標として運用されている。
- CAV値(標準化CAV値)は、加速度時刻歴の時々刻々の変化を1秒区間ごとに確認し、その区間内の最大値がある閾値を超過した場合にそのCAVi値(=[1秒区間内の加速度振幅の絶対値×時間刻み])の和、単位:G・秒)を累積していくもの。

$$CAV = CAV_i + \int_i^{i+1} ABS[a(t)]dt$$



標準化CAV値の概念図

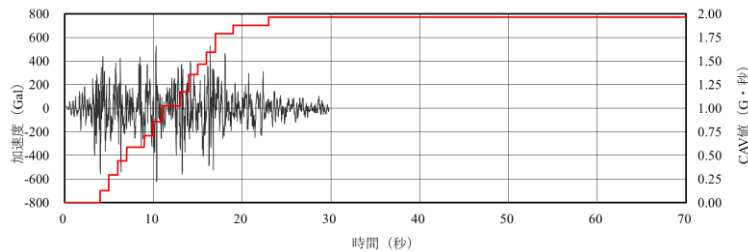
水谷ほか(2008)
に一部加筆

- 本検討に用いる閾値は、P10の時刻歴波形の比較的大振幅な波に着目した値として、最大加速度の50%程度の水平方向: 300Gal、鉛直方向200Galと設定。
- また、閾値の違いによる差の把握のため、NRCの定める閾値(24.5Gal)を用いた場合についても検討を実施。

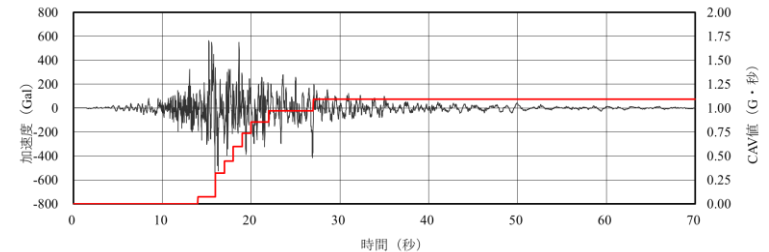
(参考2) 解放基盤表面における累積絶対速度(CAV値)の比較(2/3)

➤ 閾値を水平方向300Gal、鉛直方向200Galとして算出したCAV値は、正弦波の重ね合わせによる方法が、観測記録の位相を用いる方法より大きい。

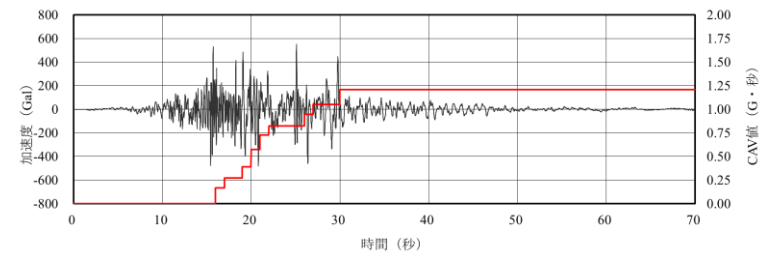
	CAV値(G・秒)		
	NS方向	EW方向	UD方向
正弦波の重ね合わせによる方法	1.97		
観測記録の位相を用いる方法	1.09	1.21	0.58



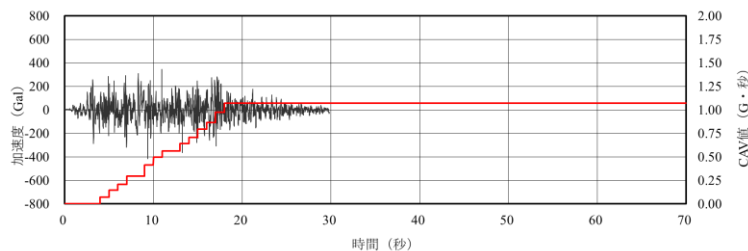
正弦波の重ね合わせによる方法(水平方向)



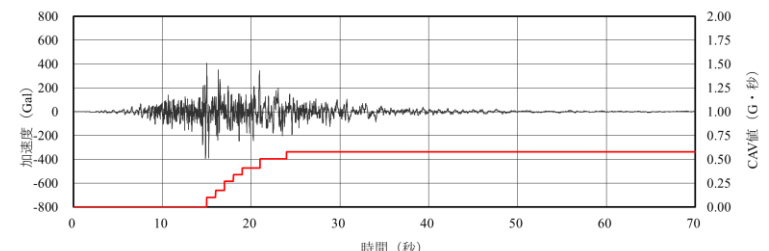
観測記録の位相を用いる方法(NS方向)



観測記録の位相を用いる方法(EW方向)



正弦波の重ね合わせによる方法(鉛直方向)

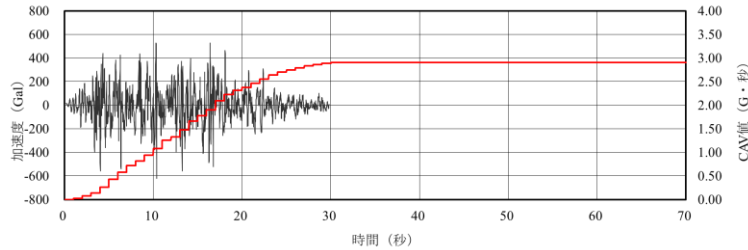


観測記録の位相を用いる方法(UD方向)

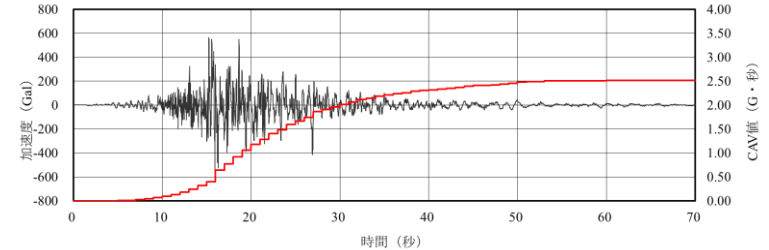
(参考2) 解放基盤表面における累積絶対速度(CAV値)の比較(3/3)

➤ NRCの定める閾値(24.5Gal)を用いて算出したCAV値は、正弦波の重ね合わせによる方法が、観測記録の位相を用いる方法より大きく、閾値を変えても、CAV値の大小関係は変わらない。

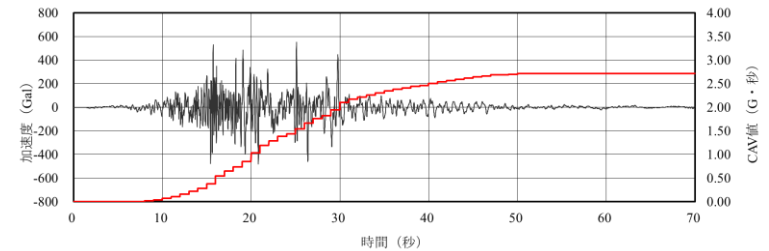
	CAV値(G・秒)		
	NS方向	EW方向	UD方向
正弦波の重ね合わせによる方法	2.91		
観測記録の位相を用いる方法	2.51	2.71	1.51



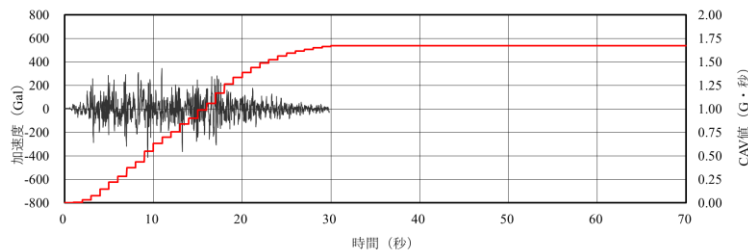
正弦波の重ね合わせによる方法(水平方向)



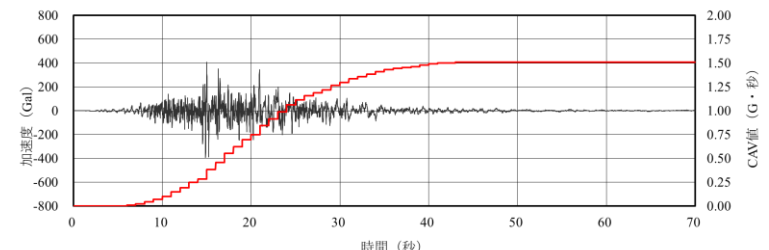
観測記録の位相を用いる方法(NS方向)



観測記録の位相を用いる方法(EW方向)



正弦波の重ね合わせによる方法(鉛直方向)



観測記録の位相を用いる方法(UD方向)

- Noda,S., K.Takahashi, M.Takemura, S.Ohno, M.Tohdo and T.Watanabe (2002) : OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Istanbul, Oct.16-18.
- 一般社団法人日本電気協会 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-2015.
- 水谷浩之, 西村功, 敦賀隆史, 荻原実, 柏崎琢也, 真下貢 (2008) : 平成19年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の観測記録に基づく揺れの強さ指標の比較(最大加速度振幅, SI値及び累積絶対速度CAV値), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21508, 2008年9月.