

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

令和4年1月24日



日本原燃株式会社

1. 震源を特定せず策定する地震動に係る地震動評価の概要	3
2. 地下構造モデルの設定	7
3. 地震基盤面における模擬地震波の作成	8
3.1 正弦波の重ね合わせ（乱数位相）による模擬地震波の作成	9
3.2 敷地における観測記録の整理	12
3.3 観測記録位相を用いた模擬地震波の作成	14
3.4 作成した模擬地震波の諸特性の分析	15
3.5 地震基盤面における模擬地震波の選定	22
4. 解放基盤表面における地震動の設定	24
5. 基準地震動の策定	25
6. 基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について	27
(参考1) 年超過確率の参照	28
(参考2) 敷地周辺の地震発生層厚さを踏まえた地震規模に関する検討	29

○「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈（別記2）」の改正
（令和3年4月21日原子力規制委員会決定）の概要

（別記2）

第7条（地震による損傷の防止） 第6項 第三号

第一号の「震源を特定せず策定する地震動」とは、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定することをいう。なお、上記の「震源を特定せず策定する地震動」については、次に示す方針により策定すること。

- ①上記の「震源を特定せず策定する地震動」の策定に当たっては、「全国共通に考慮すべき地震動」及び「地域性を考慮する地震動」の2種類を検討対象とすること。
- ②上記の「全国共通に考慮すべき地震動」の策定に当たっては、震源近傍における観測記録を基に得られた次の知見をすべて用いること。
 - ・2004年北海道留萌支庁南部の地震において、防災科学技術研究所が運用する全国強震観測網の港町観測点における観測記録から推定した基盤地震動
 - ・震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面（地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度 $V_s = 2200\text{ m/s}$ 以上の地層をいう。）における標準的な応答スペクトル（以下「標準応答スペクトル」という。）として次の図に示すもの

つづく

1. 震源を特定せず策定する地震動に係る地震動評価の概要 基準改正の概要 (2/2)

つづき

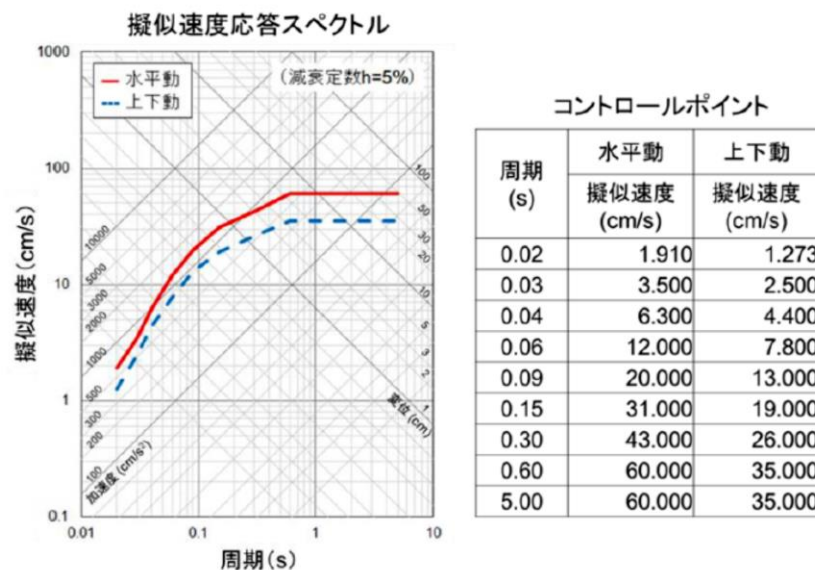


図 地震基盤相当面における標準応答スペクトル

- ③上記の「地域性を考慮する地震動」の検討の結果、この地震動を策定する場合にあっては、事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震について、震源近傍における観測記録を用いること。
- ④解放基盤表面までの地震波の伝播特性を必要に応じて応答スペクトルの設定に反映するとともに、設定された応答スペクトルに対して、地震動の継続時間及び経時的変化等の特性を適切に考慮すること。
- ⑤上記の「震源を特定せず策定する地震動」について策定された基準地震動の妥当性については、最新の科学的・技術的知見を踏まえて個別に確認すること。

現行の基準地震動の概要

○現行の基準地震動一覧

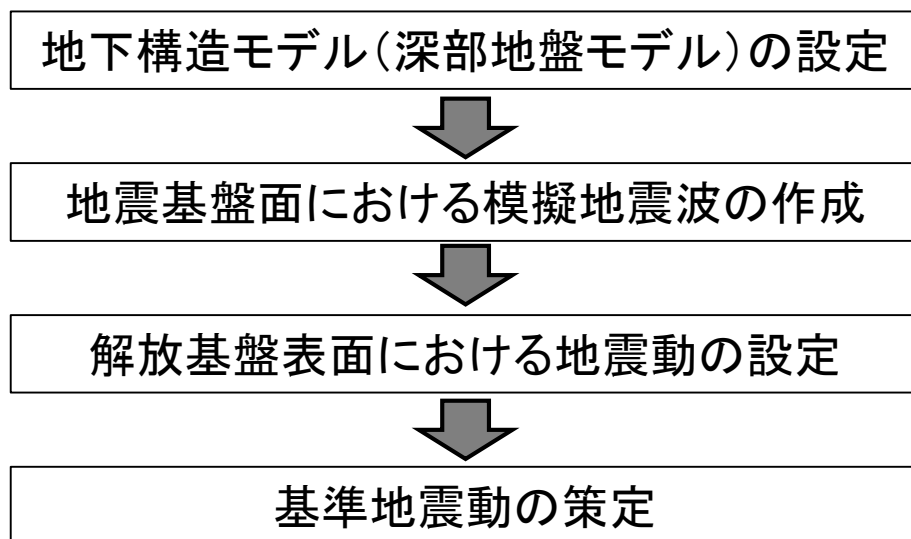
基準地震動			最大加速度 (cm/s ²)		
			NS方向	EW方向	UD方向
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動					
応答スペクトルに基づく手法	S _s -A	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	700		467
断層モデルを用いた手法	S _s -B1	出戸西方断層による地震 (短周期レベルの不確かさケース) [破壊開始点2]	410	487	341
	S _s -B2	出戸西方断層による地震 (短周期レベルと断層傾斜角の不確かさを重畳させたケース) [破壊開始点1]	429	445	350
	S _s -B3	出戸西方断層による地震 (短周期レベルと断層傾斜角の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
	標準応答スペクトルを考慮した地震動			今回検討	
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-関東)	540	500	—

※1 : ダム軸方向, ※2 : 上下流方向

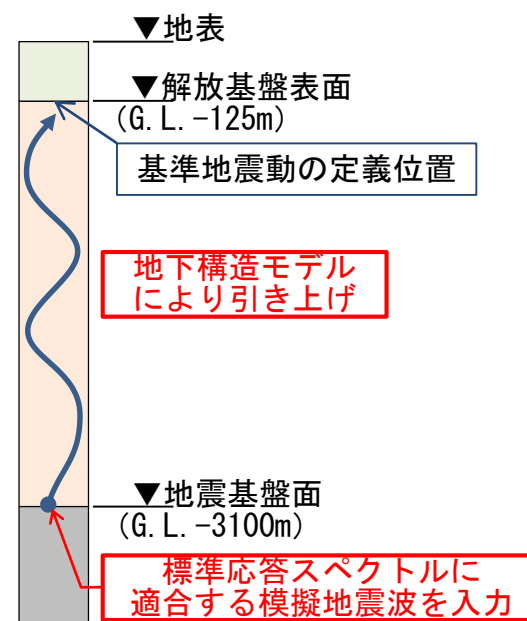
1. 震源を特定せず策定する地震動に係る地震動評価の概要

標準応答スペクトルを考慮した地震動の評価方法

- 以下の方法で、標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定し、現行の基準地震動（ $S_s - A \sim S_s - C4$ ）の応答スペクトルとの比較を実施し、基準地震動を策定する。



標準応答スペクトルを考慮した地震動評価の流れ



標準応答スペクトルを考慮した地震動評価のイメージ

2. 地下構造モデルの設定

地震動評価に用いる地下構造モデル

- 標準応答スペクトルを考慮した地震動評価に用いる解放基盤表面以深の地下構造モデルは、敷地の増幅特性を適切に反映するため、既許可の深部地盤モデルを用いる。
- 標準応答スペクトルに基づき地震動を評価する地盤面は、深部地盤モデルの「地震基盤」（せん断波速度 $V_s=3100\text{m/s}$ ）の層上面（G. L. -3100m）に設定する。

深部地盤モデル

解放基盤表面 ▽	標高 (m)	G L (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm^3)	Q値	
							Q_s	Q_p
	-70	-125						
	-145	-200	75	950	1900	1.85	35	20
	-355	-410	210	990	2570	2.07	35	20
	-1165	-1220	810	1450	2970	2.21	75	45
	-2075	-2130	910	2740	4660	2.51	85	60
地震基盤 ▽	-3045	-3100	970	2950	4950	2.55	80	70
			∞	3100	5060	2.58	$114 f^{0.92}$	$114 f^{0.92}$

2020年2月21日 第339回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合 資料1-4-1

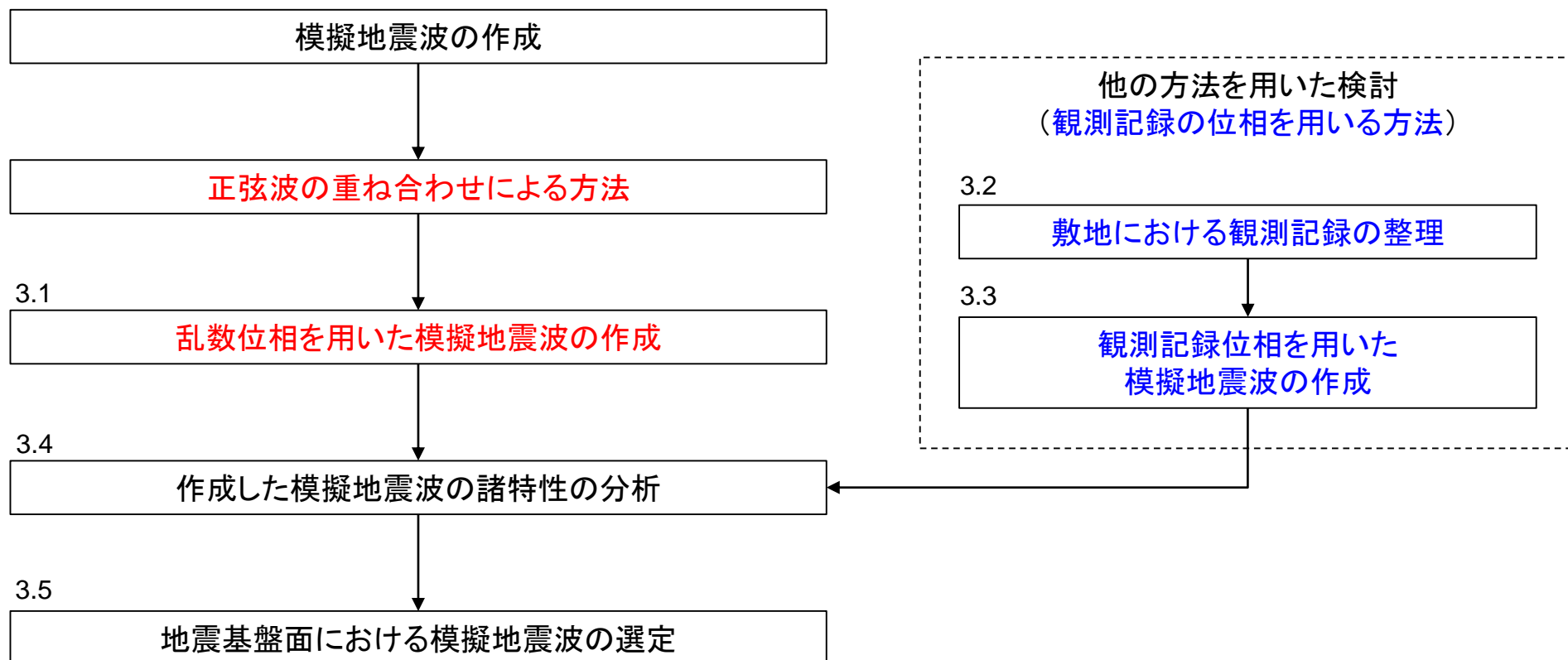
（備考）深部地盤モデル

- ・ 深部地盤モデルは、「敷地地盤の振動特性」において、敷地における代表地盤観測点の地震観測記録に基づき、解放基盤表面以深の地下構造モデルとして設定し、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」における「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において、統計的グリーン関数法による地震動評価に用いている。

3. 地震基盤面における模擬地震波の作成

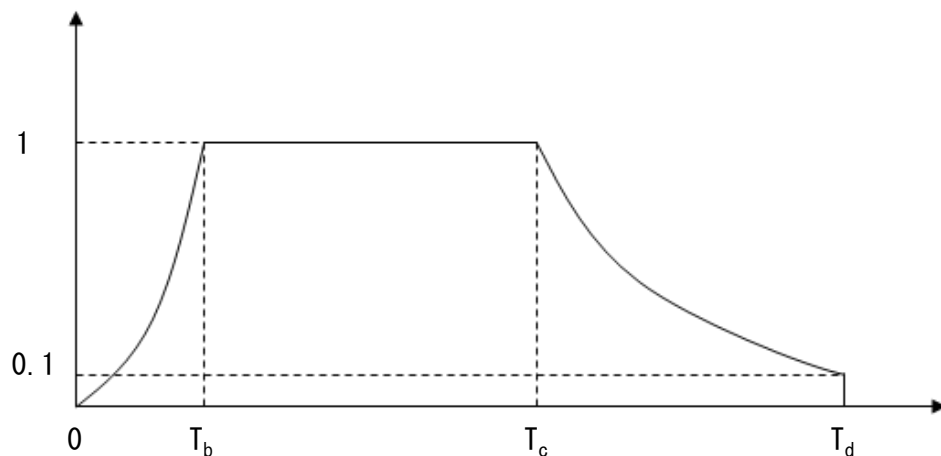
模擬地震波の作成の考え方

- 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。



模擬地震波の作成諸元

- 模擬地震波は、標準応答スペクトルに適合するよう、一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせによって作成する。
- 振幅包絡線の経時変化は、Noda et al. (2002) に基づき設定する。
- マグニチュードMは、「全国共通に考慮すべき地震動」はMw6.5程度未満とされていることから Mw6.5相当のM6.9※とし、等価震源距離 X_{eq} は、震源近傍を想定し $X_{eq}=10\text{km}$ と設定する。



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

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

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

ここで、

$$M = 6.9, \quad X_{eq} = 10\text{km}$$

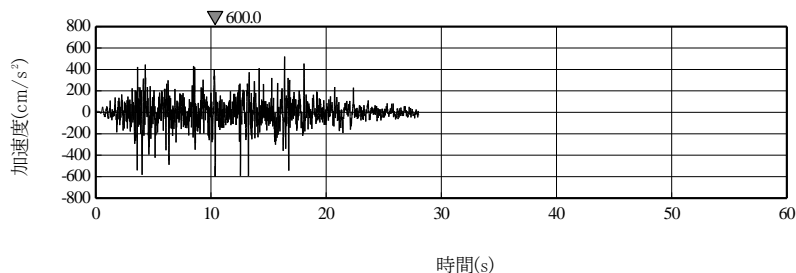
模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化

標準応答 スペクトル	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時的変化 (s)		
		T_b	T_c	T_d
水平方向	28.03	3.31	15.06	28.03
鉛直方向	28.03	3.31	15.06	28.03

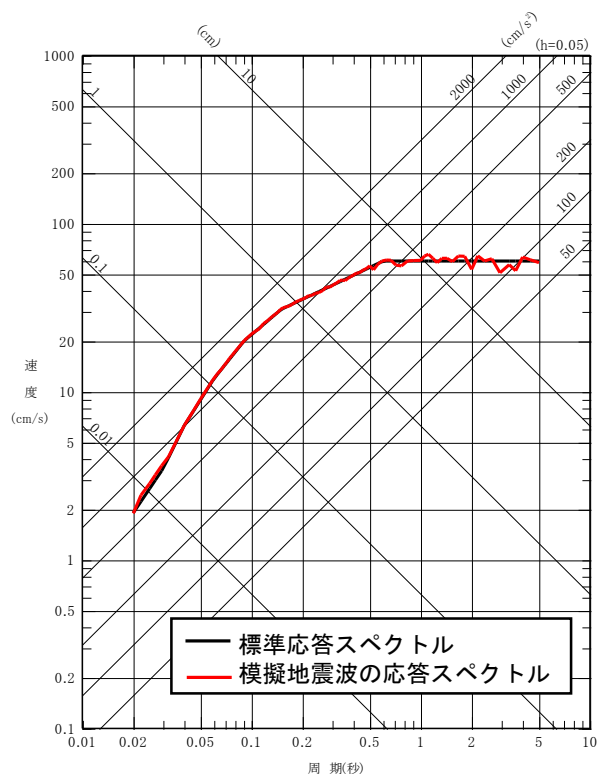
※「全国共通に考慮すべき地震動」の最大規模は、断層破壊が地震発生層の上端から下端まで拡がり、断層幅と断層長さが等しい震源断層と対応すると考えられる。敷地周辺の地震発生層厚さは12kmであり、断層傾斜角 70° の逆断層を仮定した場合、地震発生層上端から下端まで広がる断層幅及びそれに等しい断層長さを持つ震源断層として想定される地震規模はM6.5であることから、敷地周辺における「全国共通に考慮すべき地震動」の規模としては保守的な設定である。（参考2参照）

模擬地震波の作成結果（水平方向）

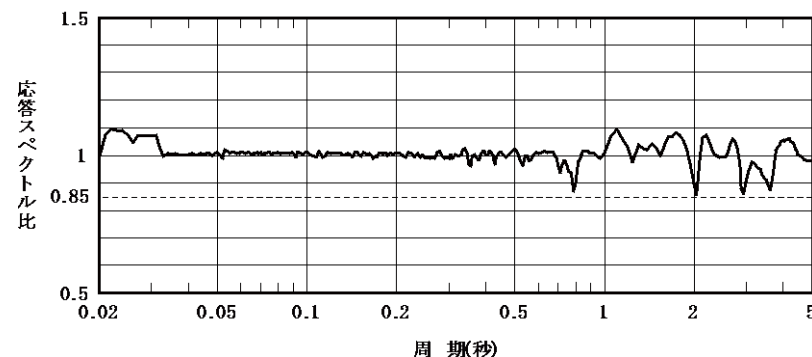
◇作成した模擬地震波



◇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	$0.86 \geq 0.85$
② SI比	$1.01 \geq 1.0$

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

$S_{V1}(T)$: 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

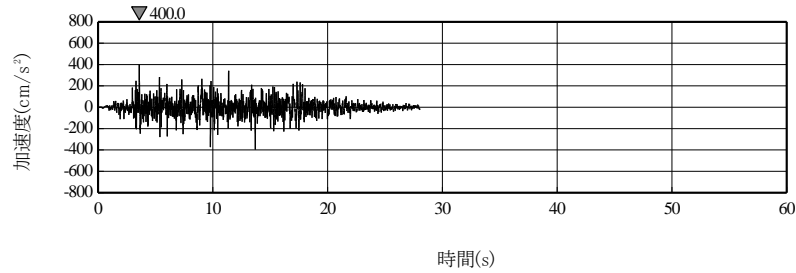
$\bar{S}_v(T)$: 模擬地震波の応答スペクトル

$S_v(T)$: 目標とする応答スペクトル

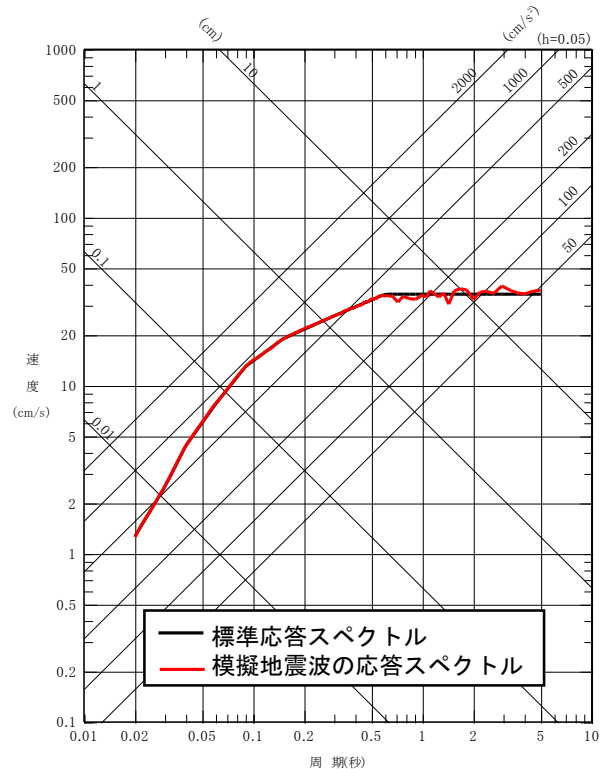
T : 固有周期

模擬地震波の作成結果（鉛直方向）

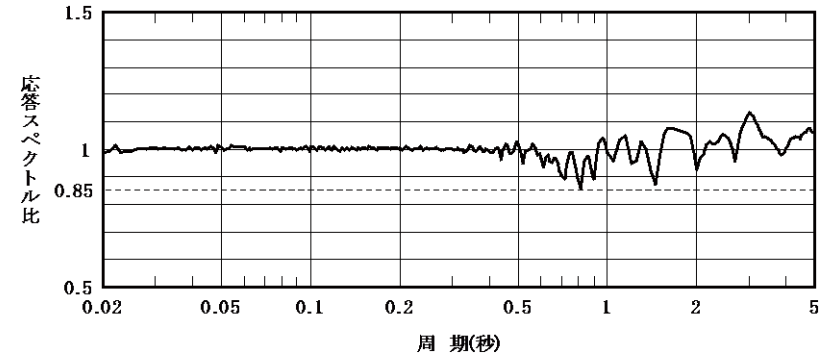
◇作成した模擬地震波



◇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	$0.86 \geq 0.85$
② SI比	$1.00 \geq 1.0$

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

$S_{V1}(T)$: 模擬地震波の応答スペクトル
 $S_{V2}(T)$: 目標とする応答スペクトル

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

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

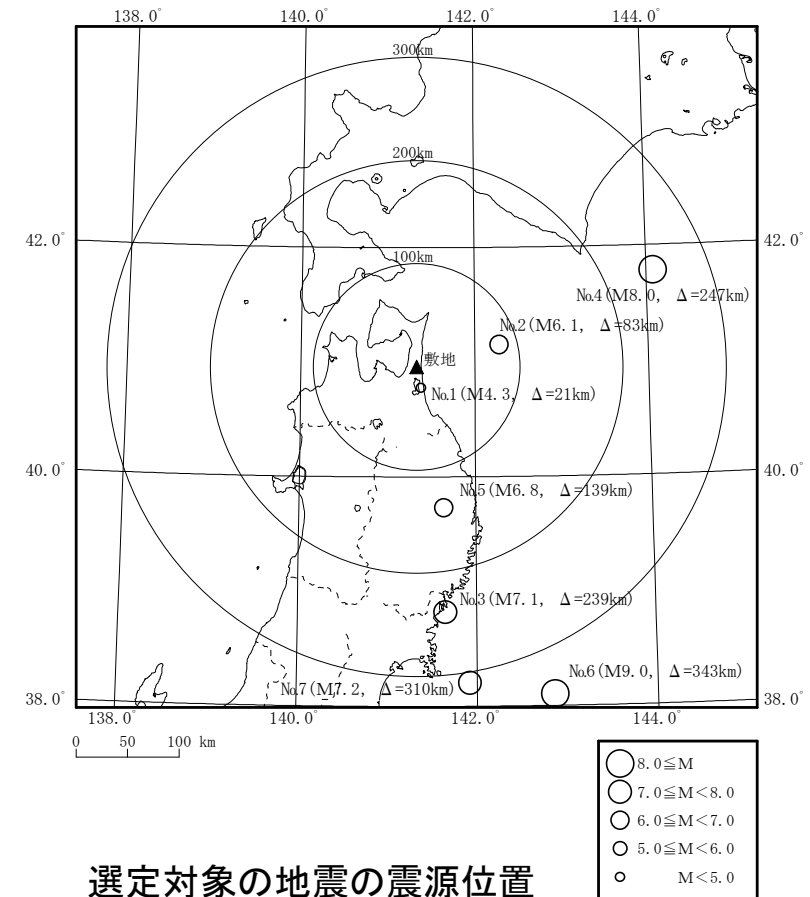
敷地における観測地震の諸元

➤ 代表地盤観測点（中央）の解放基盤表面相当位置（G. L. -125m）で、最大加速度 10cm/s^2 以上の地震観測記録が得られた地震を下表に示す。

➤ 内陸地殻内地震は、1996. 02. 17青森県三八上北地方の地震のみであり、これを標準応答スペクトルに適合する模擬地震波作成に用いる実観測記録位相の対象に選定する。

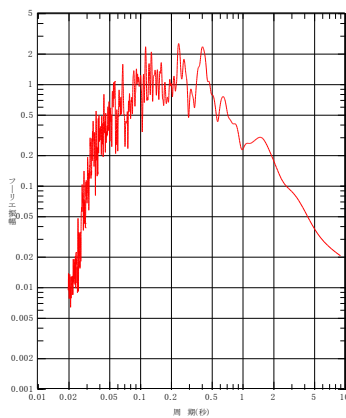
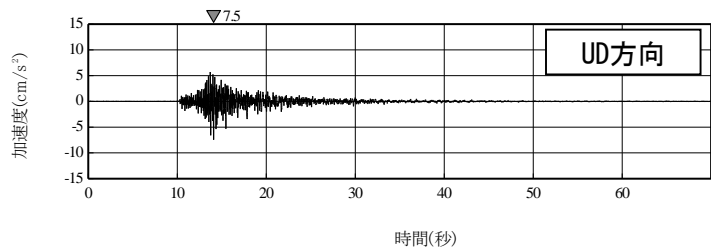
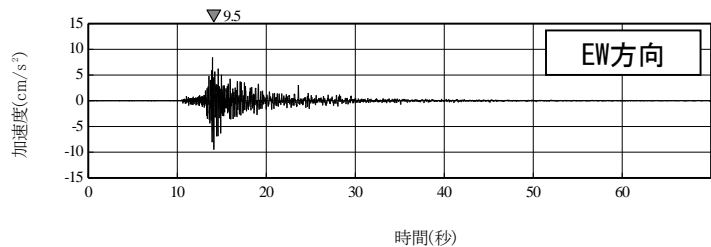
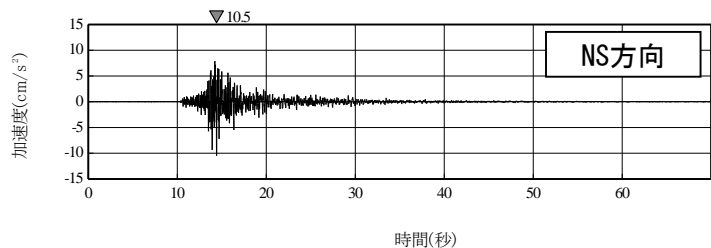
選定対象の地震の諸元

No	地震発生様式	発震日時 震源地又は地震名	震央位置 北緯 東経	マグニチュード (M)	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)
1	内陸地殻内地震	1996. 2. 17 23:35 青森県三八上北地方	40° 46.7′ 141° 22.8′	4.3	15	21
2	プレート間地震	2002. 10. 14 23:12 青森県東方沖	41° 9.1′ 142° 16.9′	6.1	53	83
3	海洋プレート内地震	2003. 5. 26 18:24 宮城県沖	38° 49.3′ 141° 39.0′	7.1	72	239
4	プレート間地震	2003. 9. 26 4:50 2003年十勝沖地震	41° 46.7′ 144° 4.7′	8.0	45	247
5	海洋プレート内地震	2008. 7. 24 00:26 岩手県沿岸北部	39° 43.9′ 141° 38.1′	6.8	108	139
6	プレート間地震	2011. 3. 11 14:46 2011年東北地方太平洋沖地震	38° 6.2′ 142° 51.7′	Mw 9.0	24	343
7	海洋プレート内地震	2011. 4. 7 23:32 宮城県沖	38° 12.3′ 141° 55.2′	7.2	66	310

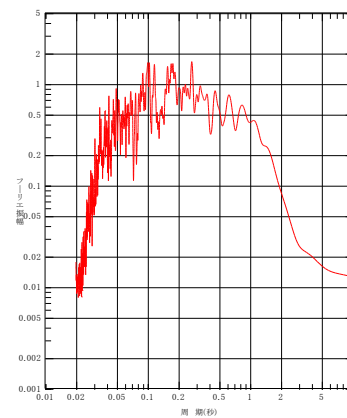


実観測記録位相の対象地震の概要

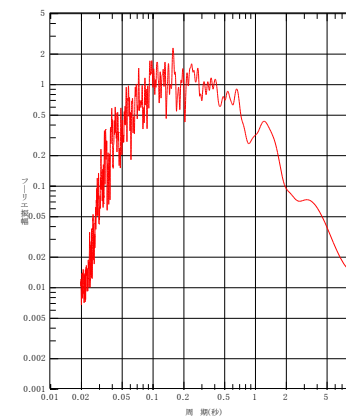
➤ 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波作成に用いる実観測記録位相の対象に選定した1996.02.17青森県三八上北地方の地震の観測記録を以下に示す。



NS方向



EW方向



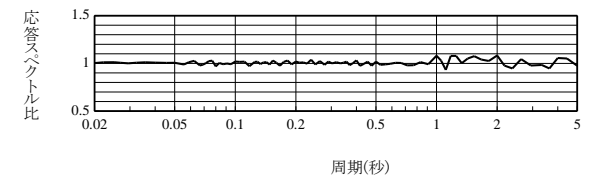
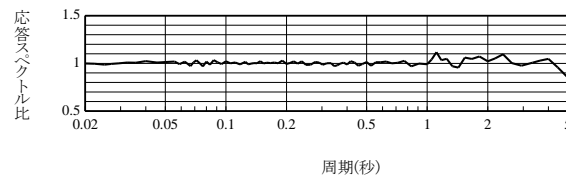
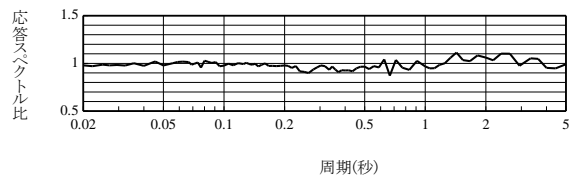
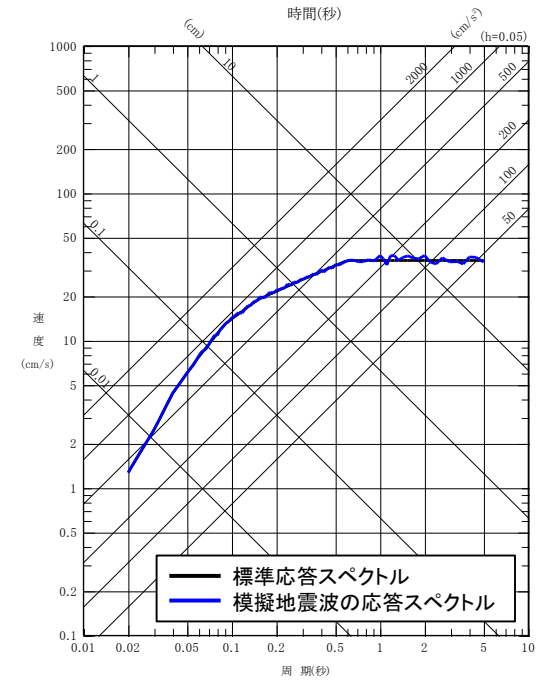
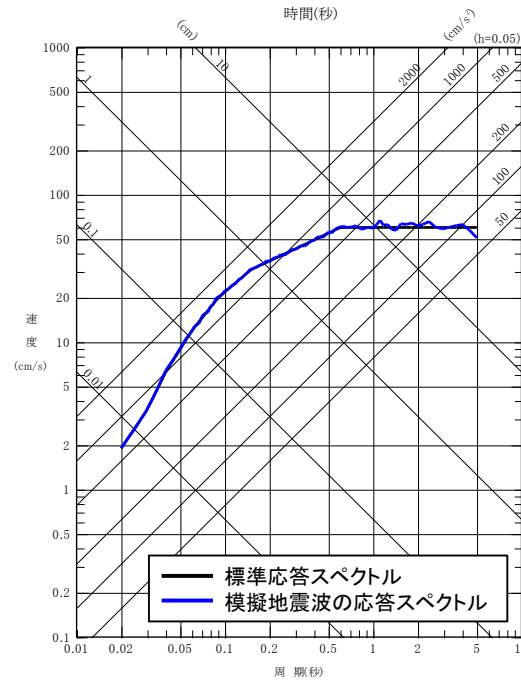
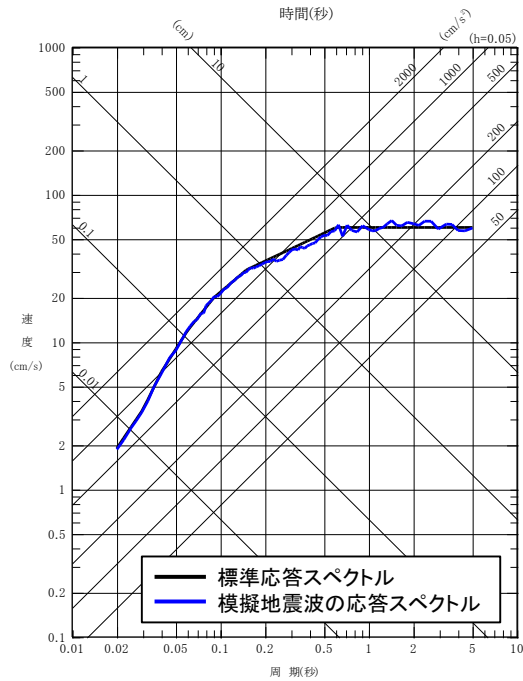
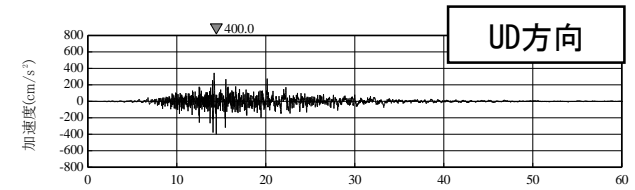
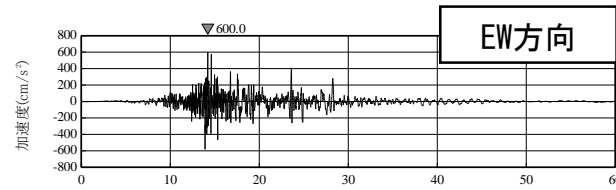
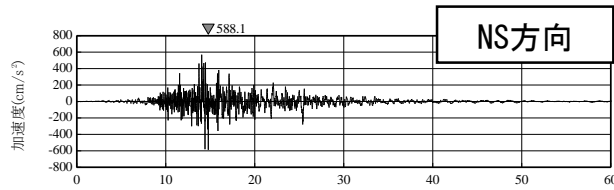
UD方向

GL-200m地点における観測波形

GL-200m地点における観測波形のフーリエスペクトル

3.3 観測記録位相を用いた模擬地震波の作成

模擬地震波の作成結果

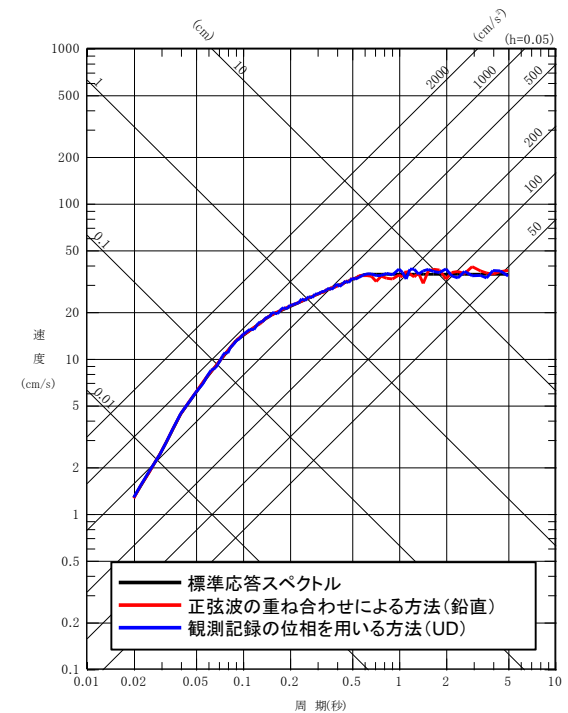
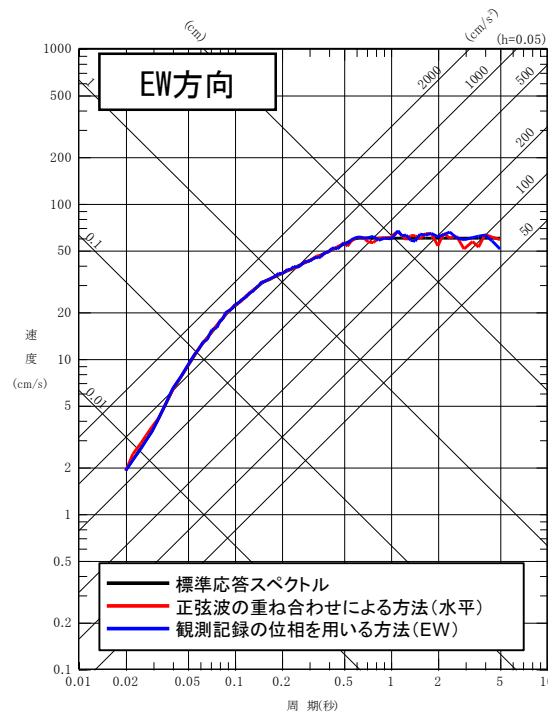
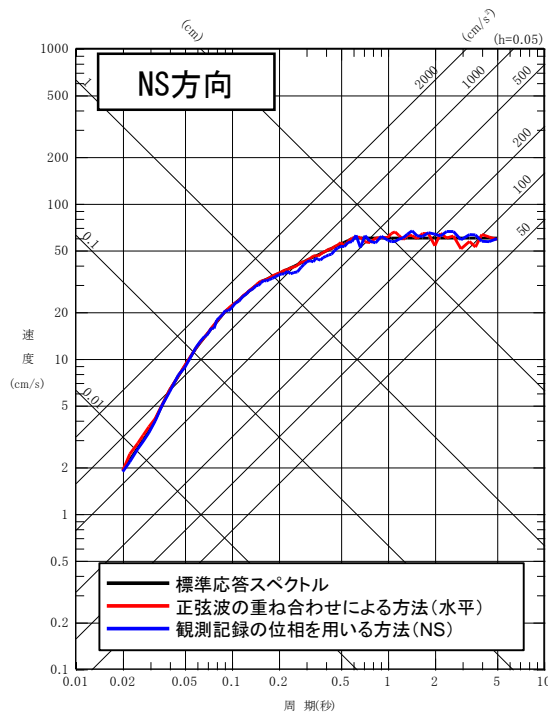


作成結果	NS方向	EW方向	UD方向
①応答スペクトル比	0.86 ≥ 0.85	0.85 ≥ 0.85	0.85 ≥ 0.85
②SI比	1.02 ≥ 1.0	1.00 ≥ 1.0	1.00 ≥ 1.0

模擬地震波の諸特性の比較 (1/7)

- 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は、標準応答スペクトルに適合するよう作成していることから、応答スペクトルでは大きな差異は見られない。
- 応答スペクトル以外の以下に示す指標を用いて、構造物への影響の観点から比較・検討を実施。

- ① 累積絶対速度 (CAV値)
- ② 地震入力エネルギースペクトル
- ③ 弾塑性応答スペクトル



水平方向

鉛直方向

両手法に基づく模擬地震波の応答スペクトル

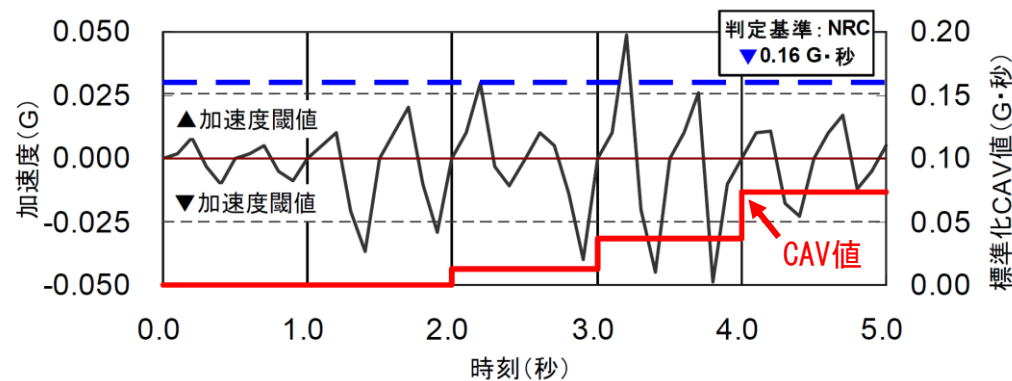
模擬地震波の諸特性の比較 (2/7)

① 累積絶対速度 (CAV値)

- 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の一つとして、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ために開発したもの。
- 米国では、岩盤露頭の観測記録を地震後に確認し、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おり、立地地域の地震動特性を分析し、CAV値とプラント設備の損傷との関係を求め、敷地の最適な加速度閾値と炉停止判断基準を設けている。
- CAV値（標準化CAV値）自体は、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（NRC:24.5Gal）を超過した場合にそのCAV_i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。

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

- 本検討では、閾値を300Galとし、検討を実施。



水谷ほか(2008)
に一部加筆

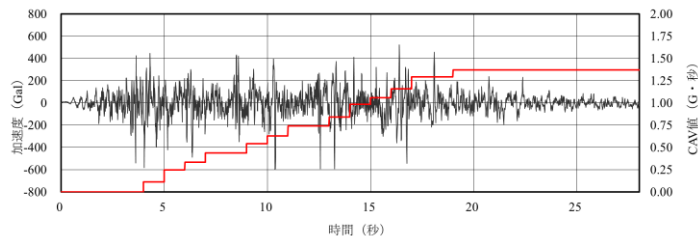
標準化CAV値の概念図

模擬地震波の諸特性の比較 (3/7)

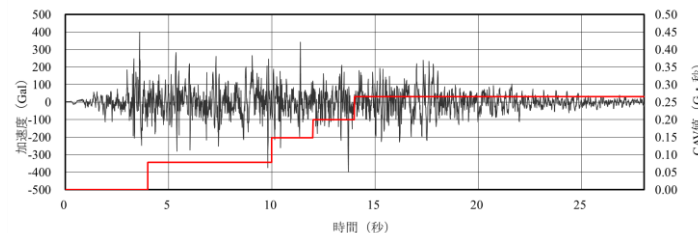
➤ 算出したCAV値は、正弦波の重ね合わせによる方法が、観測記録の位相を用いる方法より大きい。

	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	1.37		0.27
観測記録の位相を用いる方法	0.60	0.61	0.16

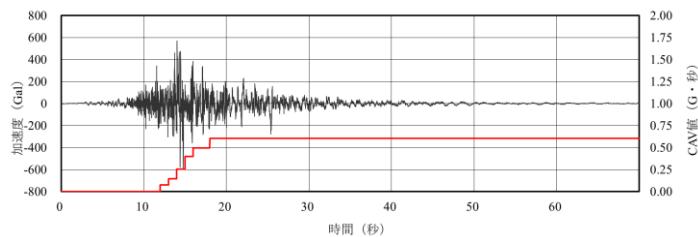
正弦波の重ね合わせによる方法 (水平方向)



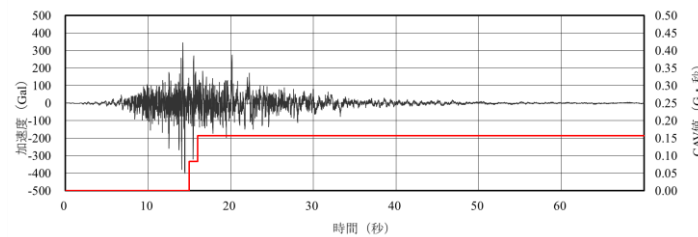
正弦波の重ね合わせによる方法 (鉛直方向)



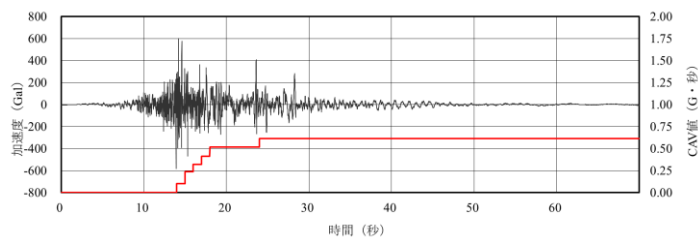
観測記録の位相を用いる方法 (NS方向)



観測記録の位相を用いる方法 (UD方向)



観測記録の位相を用いる方法 (EW方向)



模擬地震波の諸特性の比較 (4/7)

②地震入力エネルギースペクトル

- 地震入力エネルギースペクトルは、地震動の全継続時間において構造物に入力される総エネルギー量を等価速度 V_E に換算し、構造物の固有周期との関係を表したものの。

運動方程式

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + kx = -M\ddot{x}_0$$



運動方程式の両辺に $\dot{x}dt$ ($= dx$) を乗じて全継続時間 t_n で時間積分

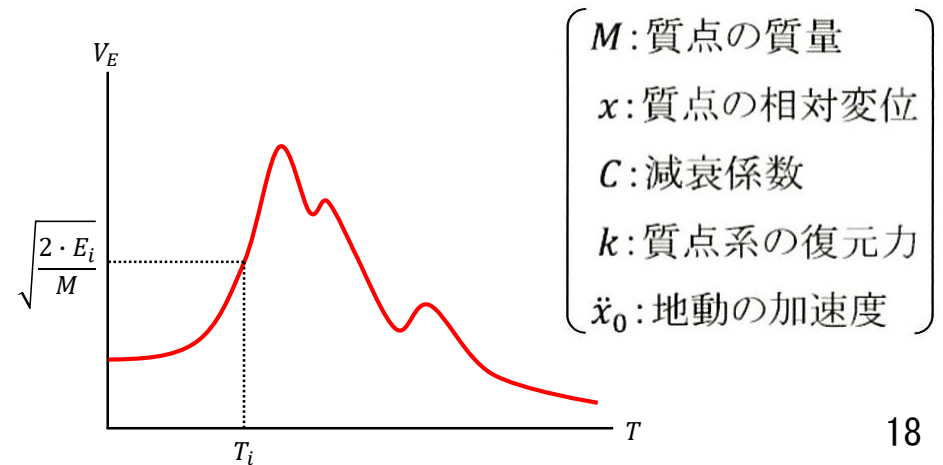
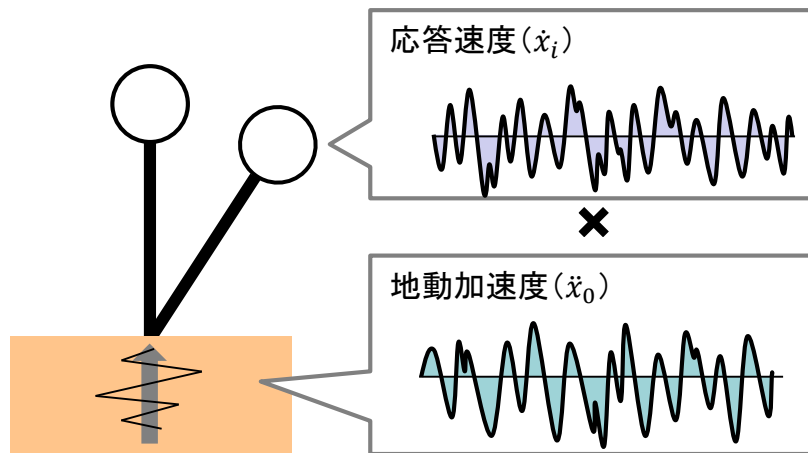
エネルギー方程式

$$\int_0^{t_n} M\ddot{x}\dot{x}dt + \int_0^{t_n} C\dot{x}^2dt + \int_0^{t_n} kx\dot{x}dt = -\int_0^{t_n} M\ddot{x}_0\dot{x}dt$$

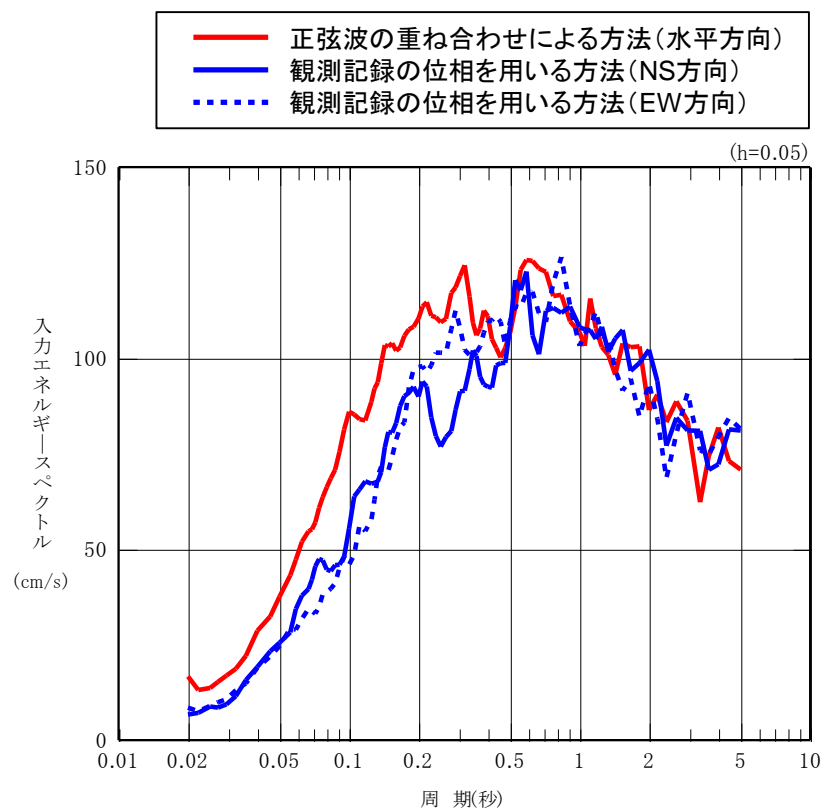
運動エネルギー
減衰エネルギー
歪エネルギー
地震入力エネルギー

地震入力エネルギー

$$E = -\int_0^{t_n} M\ddot{x}_0\dot{x}dt = \frac{1}{2}MV_E^2$$



- 算出した地震入力エネルギースペクトルは、短周期側（1秒程度以下）において、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概ね大きい。

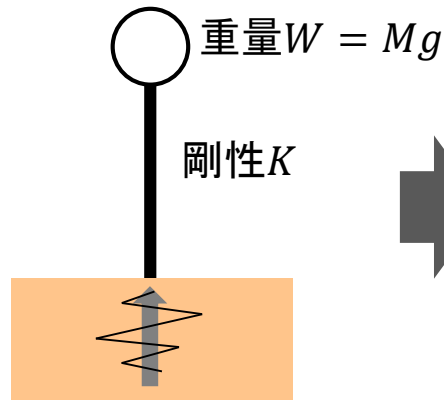


両手法に基づく地震入力エネルギースペクトルの比較

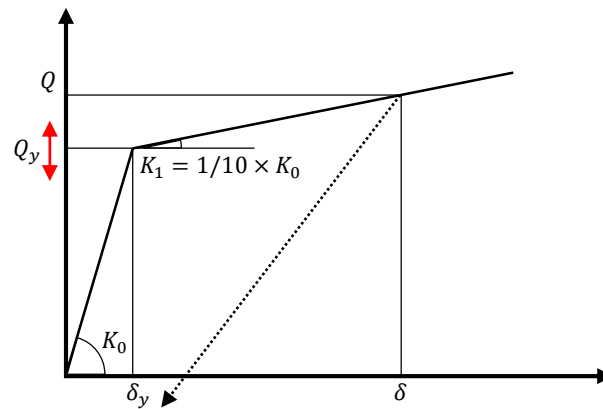
模擬地震波の諸特性の比較 (6/7)

③弾塑性応答スペクトル

- 弾塑性1質点系モデルを用いて、塑性率 μ が所定の値 ($\mu = 1 \sim 4$) になるように、降伏せん断力 Q_y を算出。
- 算出した Q_y を重量 W で除して降伏せん断力係数 C を算出。
- これを周期 T ごとに繰り返し、周期 T と降伏せん断力係数 C の関係を示したものが弾塑性応答スペクトル。



弾塑性1質点系モデル



バイリニア型(最大点指向型)

固有周期

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{Kg}}$$

降伏せん断力係数

$$C = \frac{Q_y}{W}$$

塑性率

$$\mu = \frac{\delta_{max}}{\delta_y}$$

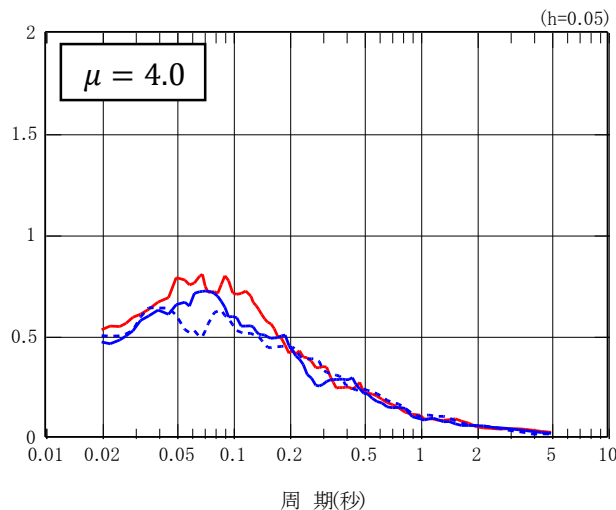
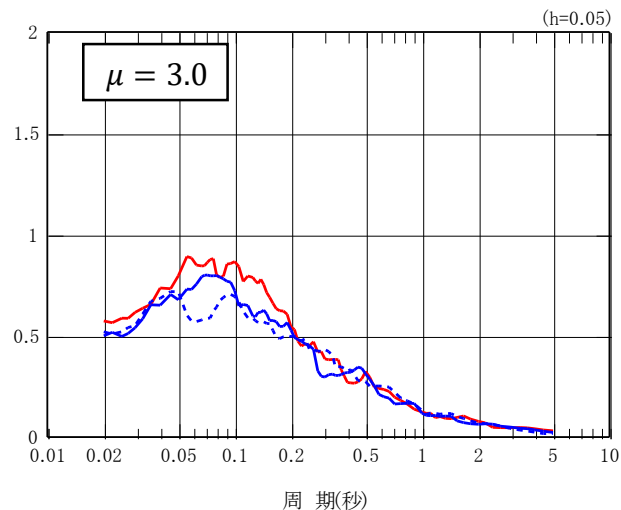
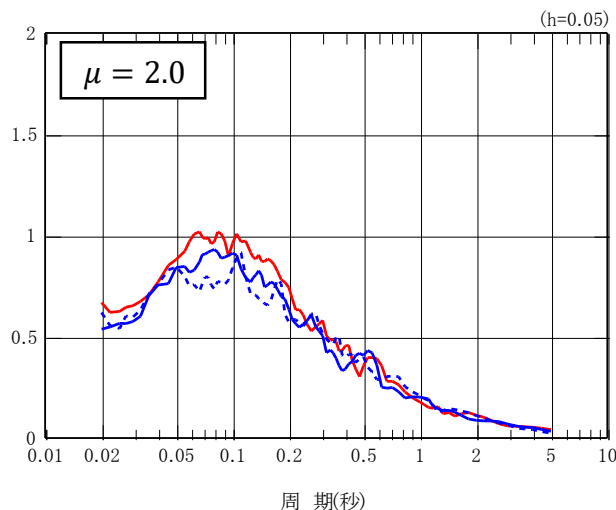
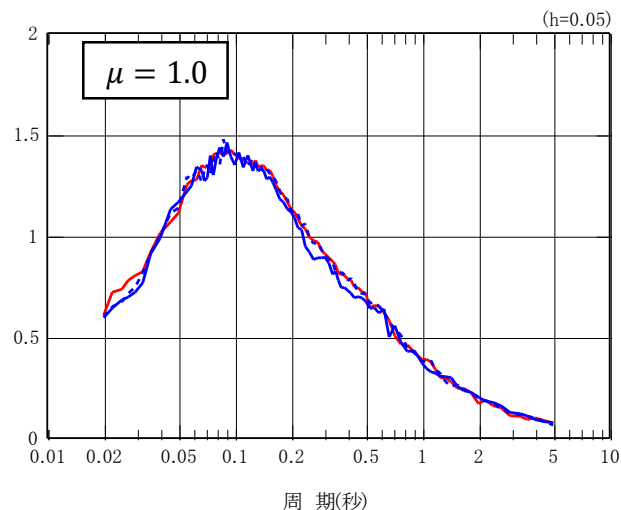
塑性率 μ が所定の値となるような
降伏せん断力 Q_y を算出

降伏せん断力 Q_y を重量 W で除して
降伏せん断力係数 C を算出

周期 T に応じて算出

模擬地震波の諸特性の比較 (7/7)

➤ 算出した弾塑性応答スペクトルは、塑性率が大きくなるにつれて、短周期側において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なる傾向。



— 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)

両手法に基づく弾塑性応答スペクトルの比較 (水平方向)

3.5 地震基盤面における模擬地震波の選定

- 前頁までの検討によると、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に比べ、正弦波の重ね合わせによる方法に基づき作成した模擬地震波の優位性が確認できる。
- 以上を踏まえ、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を採用した。

4. 解放基盤表面における地震動の設定

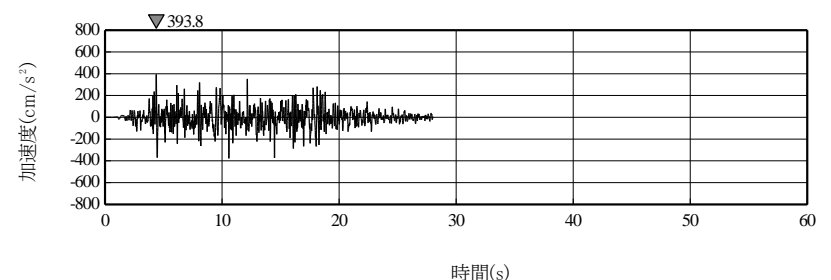
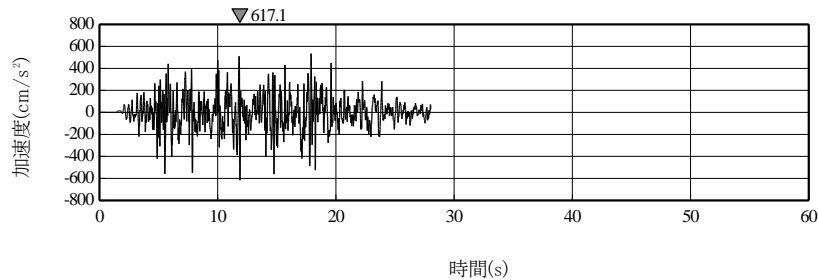
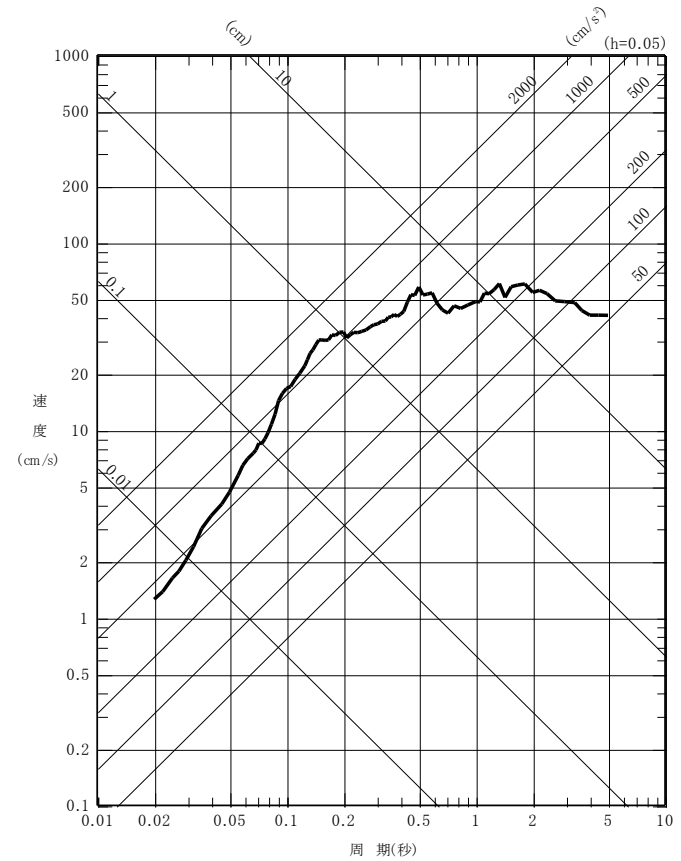
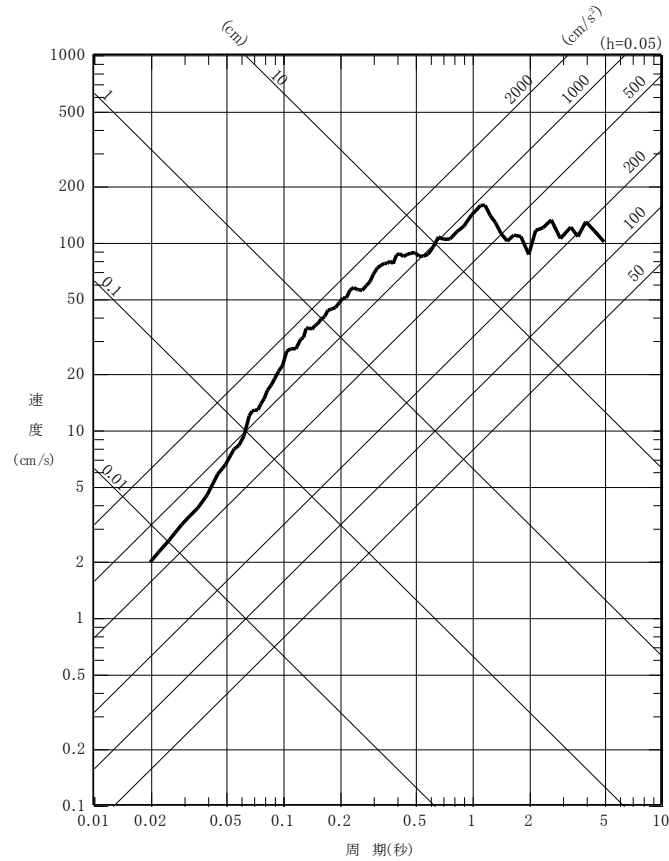
- 地震基盤における模擬地震波に対して、一次元波動論により、深部地盤モデルを用いて解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映し、解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定する。

深部地盤モデル

	標高 (m)	G L (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	Q値	
							Q _s	Q _p
解放基盤表面 ▽	-70	-125	75	950	1900	1.85	35	20
	-145	-200						
	-355	-410	210	990	2570	2.07	35	20
	-1165	-1220	810	1450	2970	2.21	75	45
	-2075	-2130	910	2740	4660	2.51	85	60
地震基盤 ▽	-3045	-3100	970	2950	4950	2.55	80	70
			∞	3100	5060	2.58	114 f ^{0.92}	114 f ^{0.92}

一次元波動論による地震波の伝播特性の反映

4. 解放基盤表面における地震動の設定

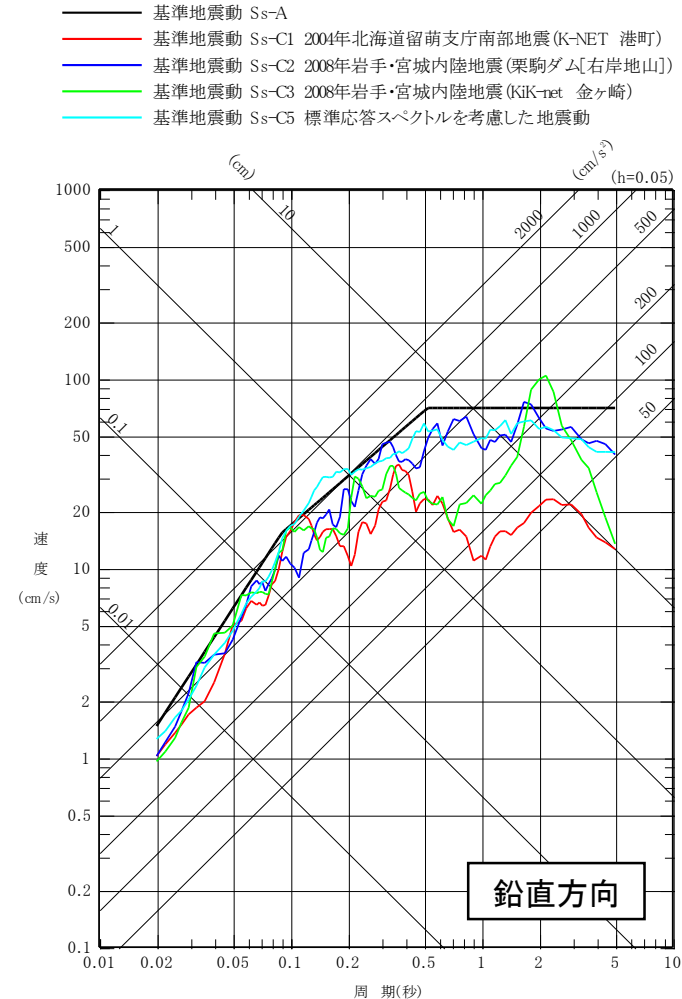
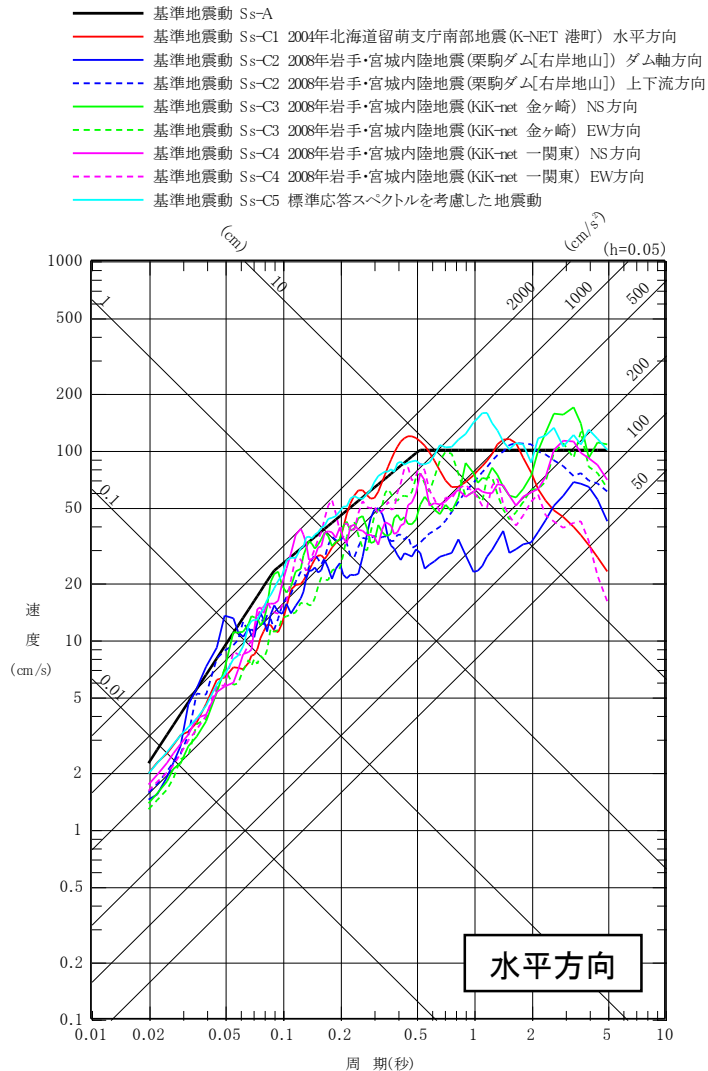


水平方向

鉛直方向

5. 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と基準地震動 $S_s - A$ の応答スペクトルを比較する。
- ▶ 標準応答スペクトルを考慮した地震動は、基準地震動 $S_s - A$ を一部の周期帯で上回ることから、基準地震動 $S_s - C5$ として採用する。



5. 基準地震動の策定

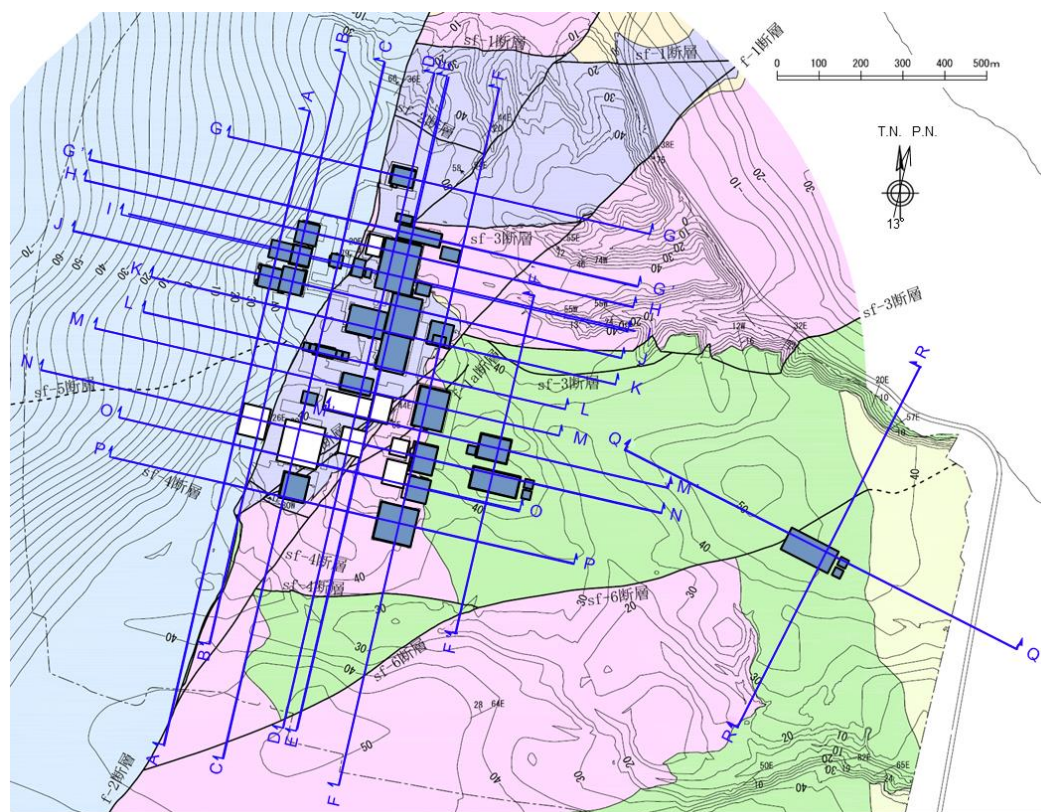
基準地震動の最大加速度

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	617		394
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-関東)	540	500	—

※1：ダム軸方向，※2：上下流方向

6. 基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について

- 再処理施設，廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設における評価対象施設及び解析対象断面を下図に示す。
- 基準地震動 $S_s - C5$ について，解析対象断面の動的解析を行い，評価対象施設の基礎地盤の安定性評価を実施した結果，基礎地盤のすべり・基礎の支持力・基礎底面の傾斜について，いずれも評価基準値を満足することを確認した。
- 評価対象施設の周辺には，地震力により評価対象施設に重大な影響を与える周辺斜面は存在しない。



基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果

評価項目	評価結果 ($S_s - C5$)
基礎地盤の安定性	評価基準値を満足
周辺斜面の安定性	評価対象斜面なし

凡 例

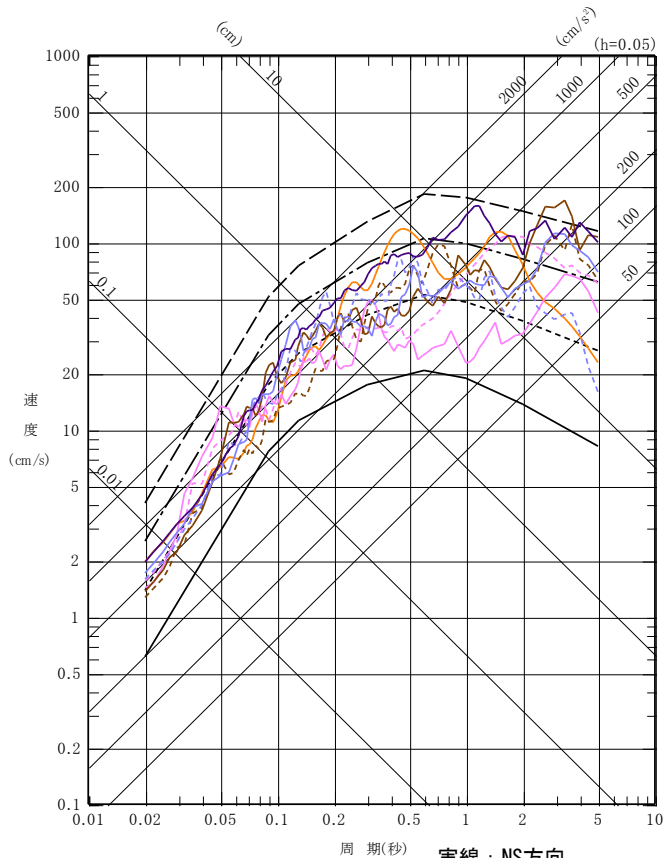
- T3ms 鷹架層上部層泥岩層
- T2ss 鷹架層中部層礫混り砂岩層
- T2ps 鷹架層中部層軽石混り砂岩層
- T2pt 鷹架層中部層軽石凝灰岩層
- T2cs 鷹架層中部層粗粒砂岩層
- T1fs 鷹架層下部層細粒砂岩層
- 評価対象施設
- その他建屋
- 解析対象断面

注) コンターは、鷹架層上限面等高線を示す。

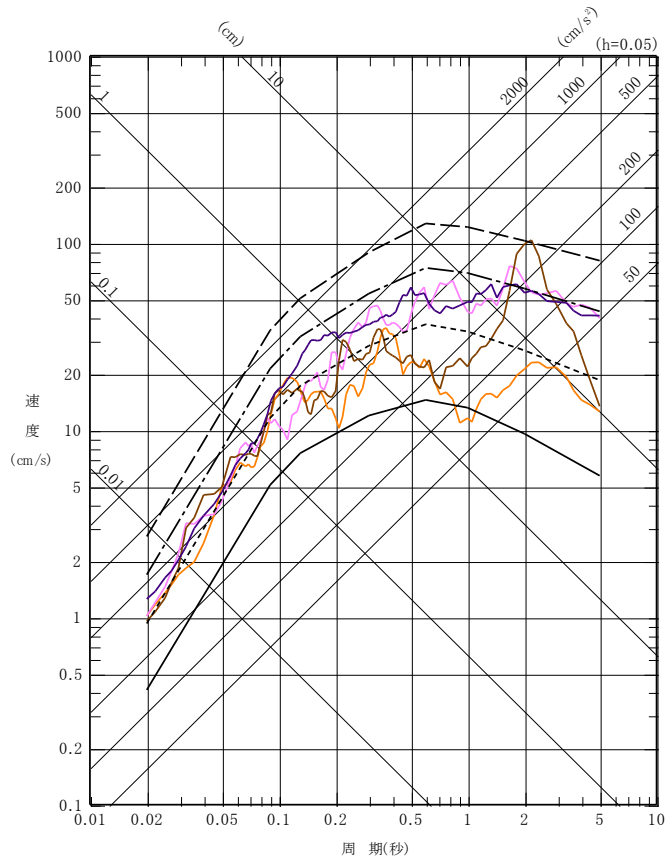
評価対象施設及び解析対象断面

(参考1) 年超過確率の参照

- 基準地震動S_s-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S_s-C1~C5の年超過確率は10⁻⁴~10⁻⁶程度である。



水平方向
 実線：NS方向
 ダム軸方向 (S_s-C2のみ)
 破線：EW方向
 上下流方向 (S_s-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S_s-C1
- 基準地震動S_s-C2
- 基準地震動S_s-C3
- 基準地震動S_s-C4
- 基準地震動S_s-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S_s-Aの水平成分と鉛直成分の比を考慮して設定している。

➤ 敷地周辺の地震発生層厚さは12kmと設定している。

4.3 内陸地殻内地震 / 4.3.3 地震発生層の設定 地震発生層の設定



原子力安全基盤機構(2004)による 東北北部の地震発生層上下限深さ	
D10%(上限深さに相当)	6.2km
D90%(下限深さに相当)	13.8km

敷地周辺の微小地震による地震発生層上下限深さ	
D10%(上限深さに相当)	8.2km
D90%(下限深さに相当)	15.3km

敷地周辺のP波速度分布と地震発生層上限深さの関係

3次元地下構造モデルによれば、P波速度6km/sの層は、敷地地下で3kmよりも深い。

敷地周辺の地震波トモグラフィ解析等による地下構造

①トモグラフィ解析により震源位置の下限は概ね深さ15km程度であることを確認
②敷地周辺のキュリー点深さは約15km程度

↑

入倉・三宅(2001)
吉井・伊藤(2001)
廣瀬・伊藤(2006)
地震発生層の上限深さは、概ねP波速度6km/sと対応している。

↑

長谷川ほか(2004)
「東北日本の内陸地殻内地震が発生する深さについておよそ15km程度以浅であり、それより深部では温度が高くなり、急激な断層運動である地震としては変形せず、流動変形が卓越する」

➤ 以上を踏まえ、敷地周辺の地震発生層の上限及び下限深さについては、以下の通り設定する。

- 地震動評価で考慮する地震発生層上限深さ
微小地震分布等に基づけば、深さ3kmよりも深い位置が考えられるが、保守的に深さ3kmの位置に設定
- 地震動評価で考慮する地震発生層下限深さ
微小地震分布、地震波トモグラフィ解析による地下構造等に基づき、深さ15kmの位置に設定

(参考2) 敷地周辺の地震発生層厚さを踏まえた地震規模に関する検討

- 全国共通に考慮すべき地震の最大規模は、断層破壊が地震発生層の上限から下限まで拡がり、地震発生層厚さから想定される断層幅及びそれと等しい断層長さの震源断層と対応すると考えられる。
 - 敷地周辺の地震発生層厚さは12kmであり、断層傾斜角を70° とすると、上記を想定した地震規模は、Somerville et al. (1999) より、 $M_0 = \left(\frac{S}{2.23} \times 10^{15}\right)^{\frac{3}{2}} \times 10^{-7} \approx 1.99 \times 10^{18}$ (Nm) であり、Mw6.1、M6.5程度である。
 - また、断層傾斜角の不確かさを考慮し、断層傾斜角を45° とした場合は、Mw6.4、M6.8程度となる。
- これを踏まえれば、標準応答スペクトルに基づく模擬地震波の振幅包絡線の設定にあたってM6.9の地震規模を設定していることは、保守性を有する。

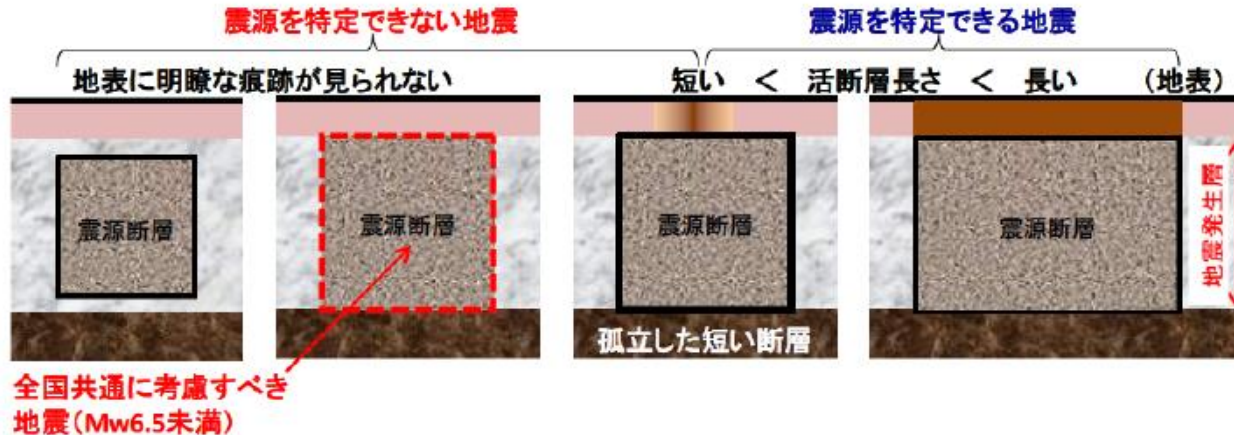


図3 震源を特定できる地震及び特定できない地震の概念図

「震源を特定せず策定する地震動に係る評価手引き(2014)」抜粋

- 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
- 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