

東海第二発電所 基準地震動 S_s の策定について

平成28年10月21日

日本原子力発電株式会社

余白

目次

1. 検討概要	.....	4
2. 基準地震動 S_s の策定	.....	7
3. 参考文献	.....	20
参考資料		
1 振幅包絡線の妥当性確認	.....	21
2 設置変更許可申請時との比較	.....	22

1. 検討概要 (1 / 3)

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

震源を特定せず策定する地震動

プレート間地震	海洋プレート内地震	内陸地殻内地震	既往の知見
<p>【検討用地震の選定】</p> <p>2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0)</p>	<p>【検討用地震の選定】</p> <p>中央防災会議 茨城県南部の地震 (Mw7.3)</p>	<p>【検討用地震の選定】</p> <p>F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8)</p>	<p>震源を事前に特定できない地震に関する既往の知見である加藤ほか(2004)による応答スペクトル</p>
<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>強震動予測レシピに基づく震源モデル (Mw9.0)</p>	<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>中央防災会議 (2013) 等の各種知見に基づく震源モデル (Mw7.3)</p>	<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>地質調査結果や強震動予測レシピに基づく震源モデル (M7.8)</p>	
<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既往最大である2011年東北地方太平洋沖地震と同様のMw9.0を想定している。 ・巨大プレート間地震に対して適用性を確認した強震動予測レシピに基づきパラメータを設定している。 ・基本震源モデルによる評価結果は、東北地方太平洋沖地震における敷地観測記録と良く対応していることを確認している。 	<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定の基になった中央防災会議(2013)は、フィリピン海プレートに関する最新知見を踏まえたものであり、1855年安政江戸地震の再現モデル(応力降下量 52MPa)に2割程度保守性を考慮(応力降下量 62MPa)している。 ・フィリピン海プレートの厚さが20km以上となる領域のうち、敷地に近い位置に想定している。 	<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2011年福島県浜通りの地震の知見から、地震発生層の上端深さを3kmと設定している。下端深さについては保守的に18kmとし、断層幅をより厚く想定している。 ・断層傾斜角については、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角を参考に西傾斜60度としている。 ・断層全長約58kmを南部と北部に区分けする際、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間に配置するアスペリティの地震モーメントや短周期レベルを大きくし、安全側の設定としている。 	
<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・SMGA位置の不確かさ (過去に発生した地震の位置 敷地最短) ・短周期レベルの不確かさ (宮城県沖で発生する地震の短周期励起特性を概ねカバーするレベルとして基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳 	<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断層傾斜角の不確かさ (90度 敷地に向く角度) ・アスペリティ位置の不確かさ (海洋マントル上端 海洋地殻上端) ・応力降下量の不確かさ (62MPa 77MPa) ・地震規模の不確かさ (Mw7.3 Mw7.4) 	<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・短周期レベルの不確かさ (2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・断層傾斜角の不確かさ (2011年福島県浜通りの地震の震源域での余震分布の形状を考慮し、傾斜角45度を考慮) ・アスペリティ位置の不確かさ (端部1マス離隔あり 端部1マス離隔なし) 	<p>審査ガイド例示16地震</p>
			<p>信頼性のある基盤地震動の検討結果を踏まえ2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮</p>
			<p>2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動を設定</p>

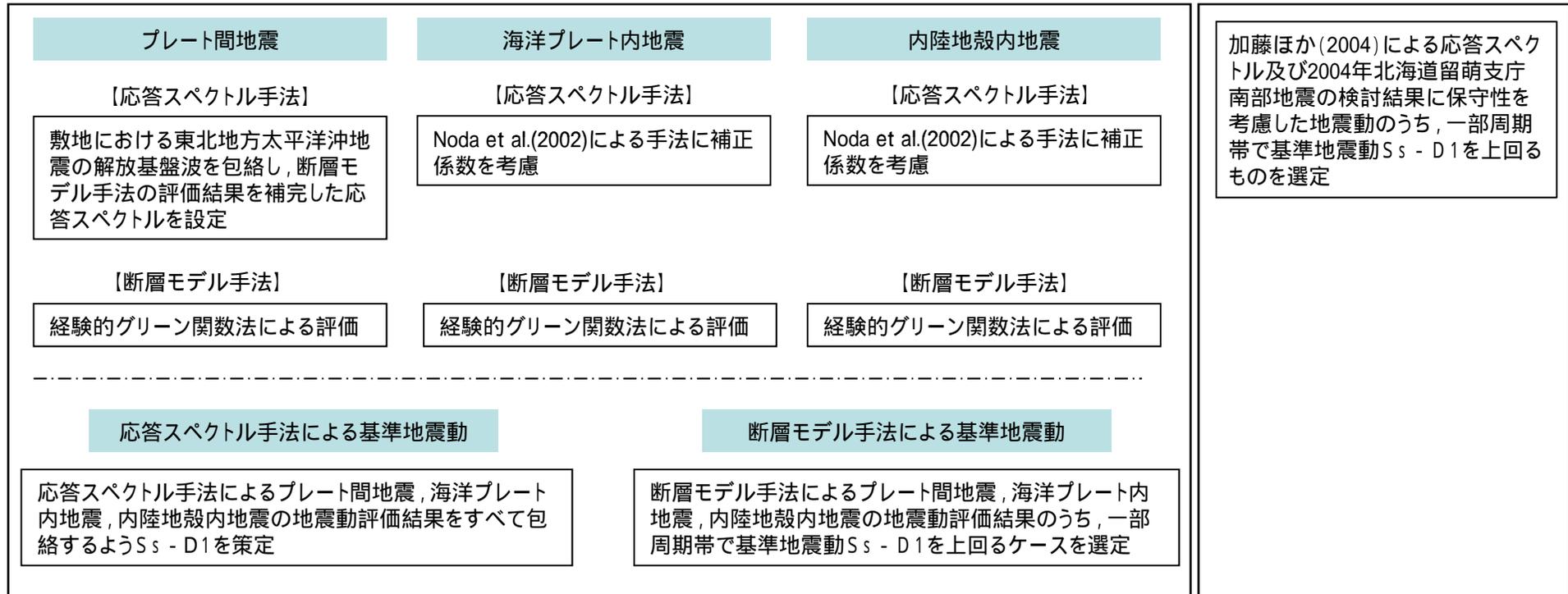
次頁へ

次頁へ

1. 検討概要 (2 / 3)

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

震源を特定せず策定する地震動



基準地震動 S_s の策定

- $S_s - D1$ 応答スペクトル手法による基準地震動
- $S_s - 11$ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- $S_s - 12$ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- $S_s - 13$ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- $S_s - 14$ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- $S_s - 21$ 2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) (短周期レベルの不確かさ)
- $S_s - 22$ 2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- $S_s - 31$ 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

1. 検討概要 (3 / 3)

設置変更許可申請時からの地震動評価に関する主な変更点は下表のとおり。

:考慮, - :未考慮

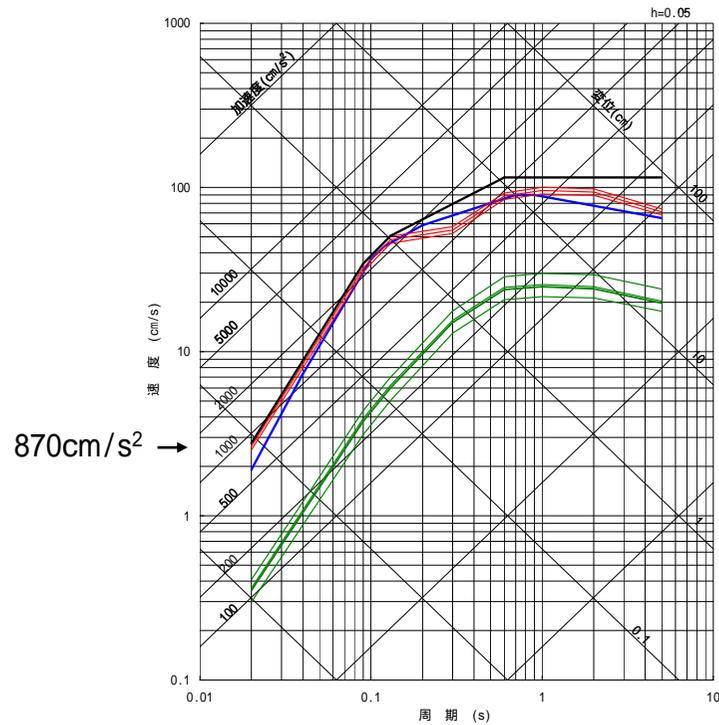
発生様式	検討ケース	申請時	審査結果を反映
プレート間地震	基本震源モデル	2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0)	2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0)
	SMGA位置の不確かさ		
	短周期レベルの不確かさ		
	SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳	-	
海洋プレート内地震	基本震源モデル	茨城県南部の地震 (Mw7.3) ・中央防災会議 (2004) を参考に設定 ・アスペリティの応力降下量21MPa	茨城県南部の地震 (Mw7.3) ・中央防災会議 (2013) を参考に設定 ・アスペリティの応力降下量62MPa
	断層傾斜角の不確かさ	-	
	アスペリティ位置の不確かさ		
	応力降下量の不確かさ	-	
	地震規模の不確かさ	-	
内陸地殻内地震	基本震源モデル	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震 (M7.6) ・破壊開始点2箇所 ・断層上端深さ5km	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) ・破壊開始点7箇所のうち影響の大きい3箇所を選定 ・断層上端深さ3km
	短周期レベルの不確かさ		
	断層傾斜角の不確かさ	-	
	アスペリティ位置の不確かさ	-	
震源を特定せず策定する地震動		加藤ほか (2004) による応答スペクトル	・加藤ほか (2004) による応答スペクトル ・2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

1. 検討概要	.....	4
2. 基準地震動S _s の策定	.....	7
3. 参考文献	.....	20
参考資料		
1 振幅包絡線の妥当性確認	.....	21
2 設置変更許可申請時との比較	.....	22

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 応答スペクトル手法

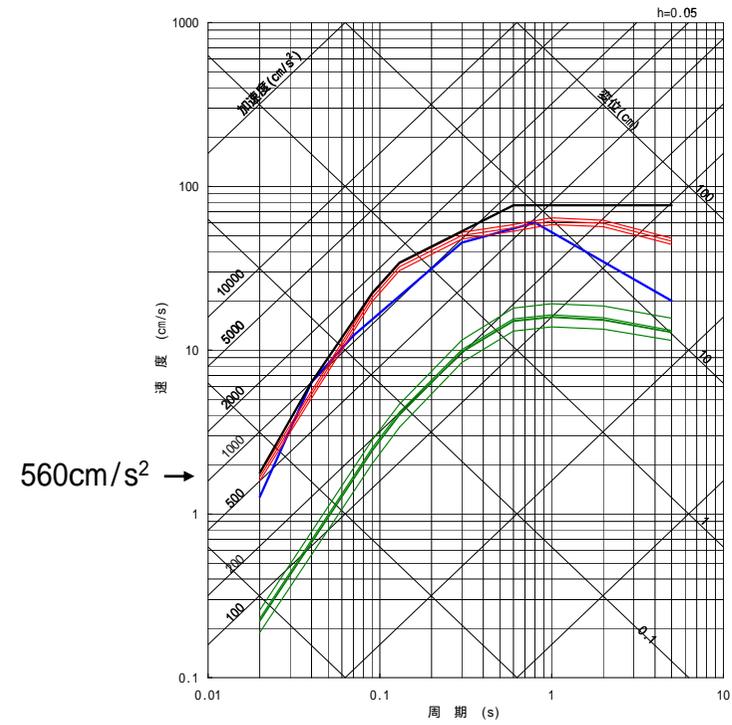
応答スペクトル手法による地震動評価結果をすべて包絡するよう基準地震動 S_s - D1 のコントロールポイントを設定する。

- 基準地震動 S_s-D1
- プレート間地震による評価
- 海洋プレート内地震による評価
- 内陸地殻内地震による評価



水平成分

応答スペクトル		コントロールポイント				
		A	B	C	D	E
S _s -D1H	周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	2.77	34.38	50.69	115.00	115.00



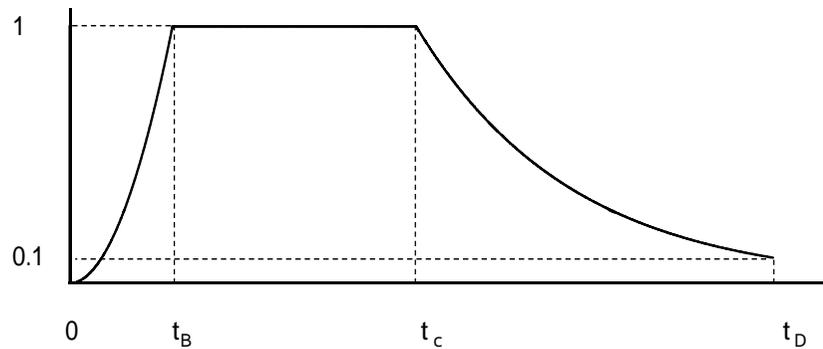
鉛直成分

応答スペクトル		コントロールポイント					
		A	B	C	D	E	F
S _s -D1V	周期(s)	0.02	0.04	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	1.78	6.37	22.20	34.14	76.67	76.67

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 応答スペクトル手法

基準地震動 $S_s - D1H$ 及び $S_s - D1V$ の応答スペクトルに適合する模擬地震波は、乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成するものとし、振幅包絡線の経時変化については、Noda et al.(2002)の方法に基づき、下記に示す形状とする。

模擬地震波	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時変化 (s)		
		t_B	t_C	t_D
$S_s - D1H$	63.38	9.33	31.21	63.38
$S_s - D1V$	63.38	9.33	31.21	63.38



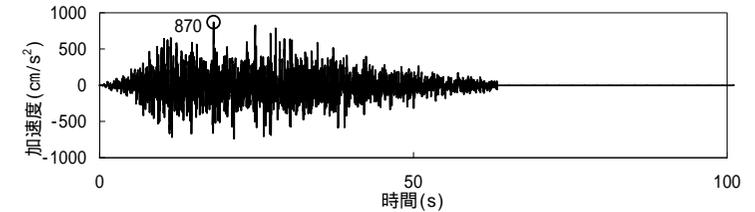
$$t_B = 10^{0.5M - 2.93}$$

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

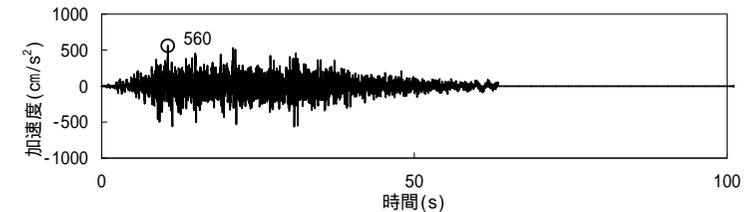
$$t_D - t_C = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

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

地震規模 M 、等価震源距離 X_{eq} については、基準地震動 $S_s - D1$ に対して概ね全周期帯で支配的な震源となる $F1$ 断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震を考慮し、 $M7.8$ 、 $X_{eq}=28\text{km}$ とする。設定した振幅包絡線について、敷地で観測された地震記録のうち地震規模が大きく継続時間の長い2011年東北地方太平洋沖地震 ($Mw9.0$) の観測記録と比較し、妥当性を確認する(参考資料1)。



$S_s - D1H$ (水平成分)



$S_s - D1V$ (鉛直成分)

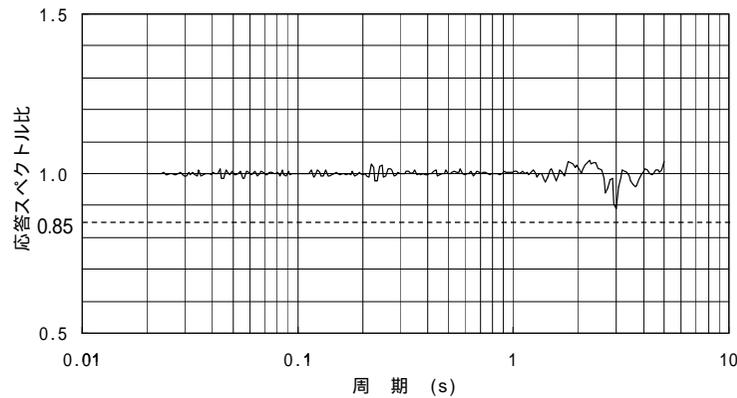
模擬地震波の加速度時刻歴波形

模擬地震波	最大加速度 (cm/s^2)
$S_s - D1H$	870
$S_s - D1V$	560

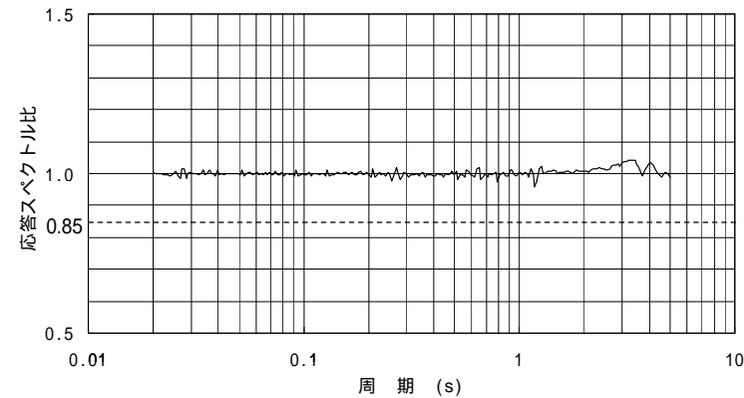
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 応答スペクトル手法

作成した模擬地震波が、日本電気協会(2008)に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認する。

- ・目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比(応答スペクトル比)が全周期帯で0.85以上
- ・応答スペクトルの強度値の比(SI比)が1.0以上



$S_s - D1H$ (水平成分)



$S_s - D1V$ (鉛直成分)

応答スペクトル比

応答スペクトルの強度値の比(SI比)

模擬地震波	SI比 (周期0.1~2.5秒)
$S_s - D1H$	1.009
$S_s - D1V$	1.004

$$\text{スペクトル強度値} = \int_{T_1}^{T_2} S_v(T, h) dT$$

ここで、
 S_v : 擬似速度応答スペクトル
 T : 周期
 h : 減衰定数(5%)

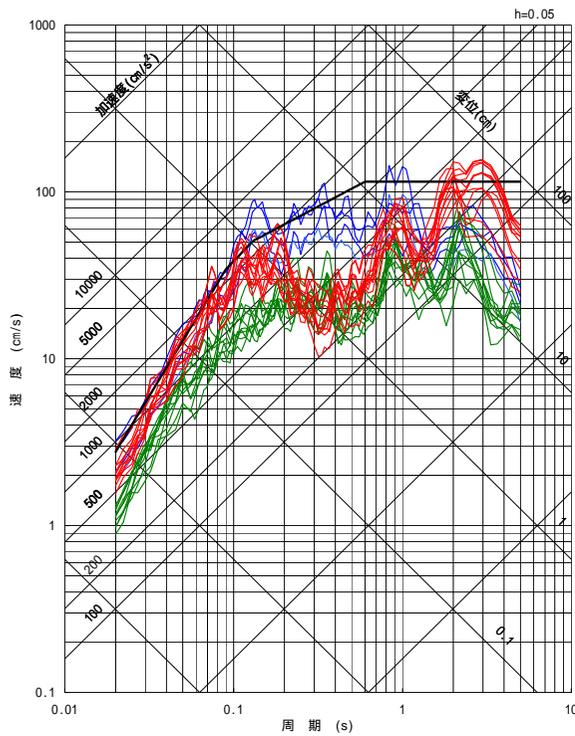
作成した模擬地震波は、日本電気協会(2008)に示される適合度の条件を満足していることを確認した。

余白

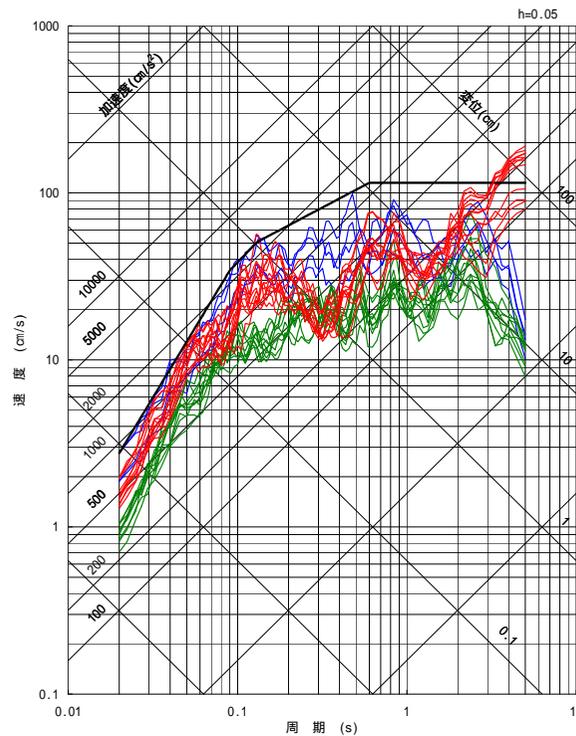
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法

各地震発生様式における断層モデル手法の地震動評価結果(全ケース)と基準地震動 $S_s - D1$ を比較する。

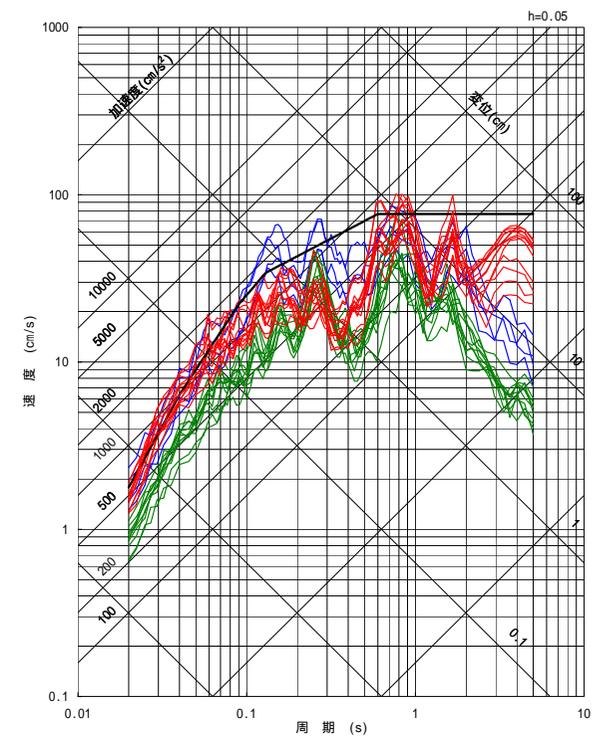
- 基準地震動 $S_s - D1$
- プレート間地震の評価結果
- 海洋プレート内地震の評価結果
- 内陸地殻内地震の評価結果



NS成分



EW成分



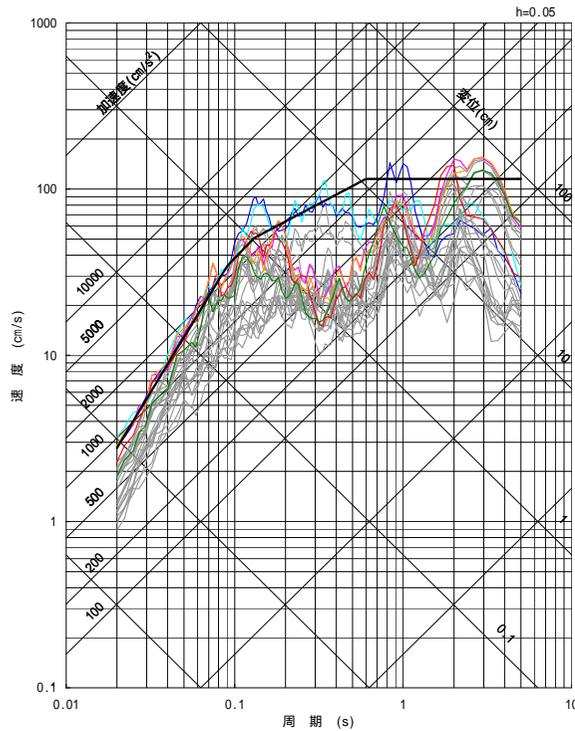
UD成分

断層モデル手法による各地震動評価結果のうち、プレート間地震及び内陸地殻内地震の評価結果が基準地震動 $S_s - D1$ を一部の周期帯で上回る。なお、海洋プレート内地震の地震動評価結果は、基準地震動 $S_s - D1$ に包絡されている。

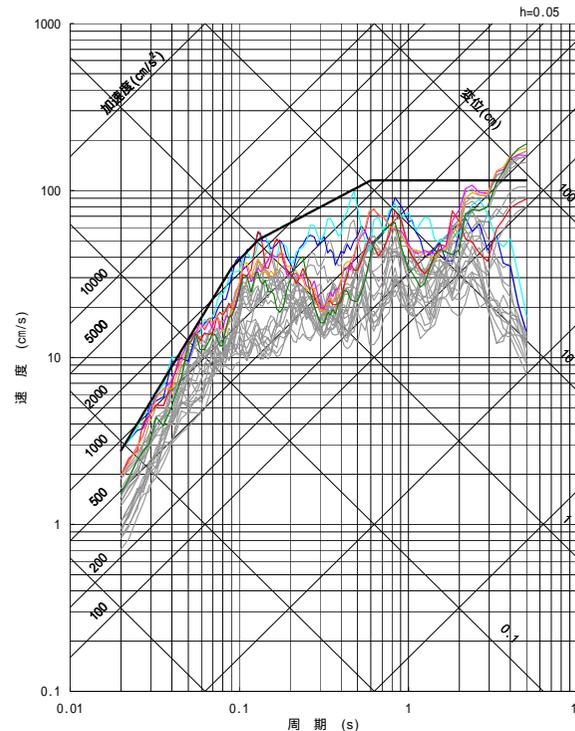
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法

各地震発生様式における断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動 $S_s - D1$ を上回るケースを示す。

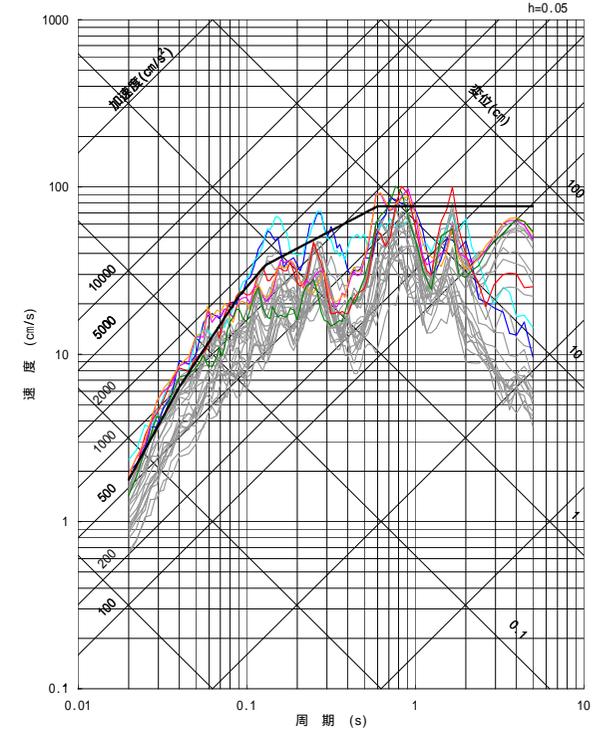
- $S_s - D1$ 応答スペクトル手法による基準地震動
- $S_s - 11$ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- $S_s - 12$ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- $S_s - 13$ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- $S_s - 14$ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- $S_s - 21$ 2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさ)
- $S_s - 22$ 2011年東北地方太平洋沖地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- 断層モデル手法の各評価結果



NS成分



EW成分



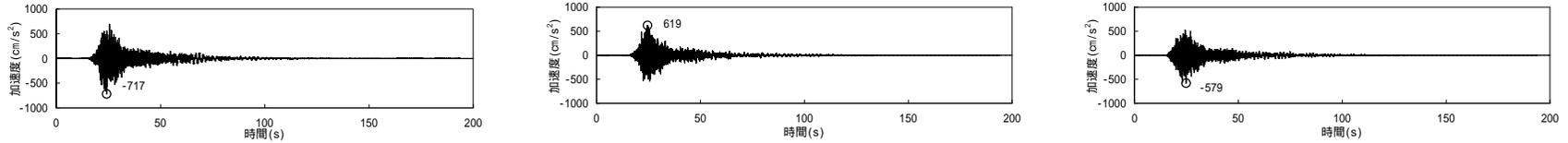
UD成分

各地震発生様式の断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動 $S_s - D1$ を上回る6ケースを断層モデル手法による基準地震動に選定し、それぞれ $S_s - 11$, $S_s - 12$, $S_s - 13$, $S_s - 14$, $S_s - 21$, $S_s - 22$ とする。

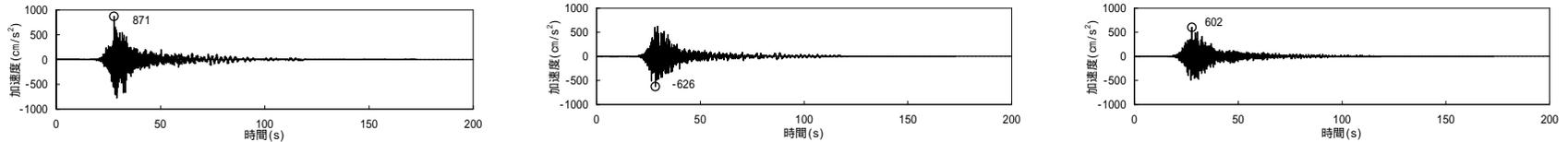
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法

基準地震動 Ss の加速度時刻歴波形 (1 / 2)

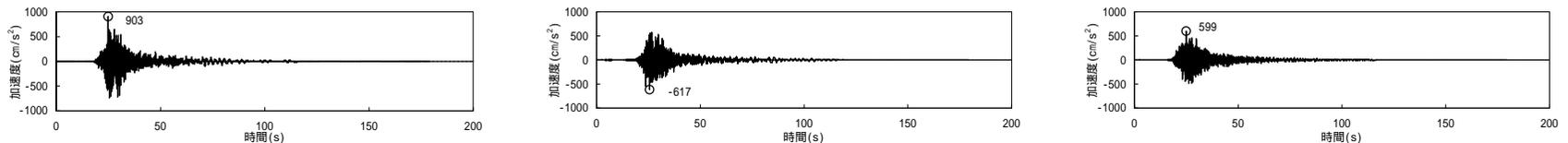
Ss - 11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)



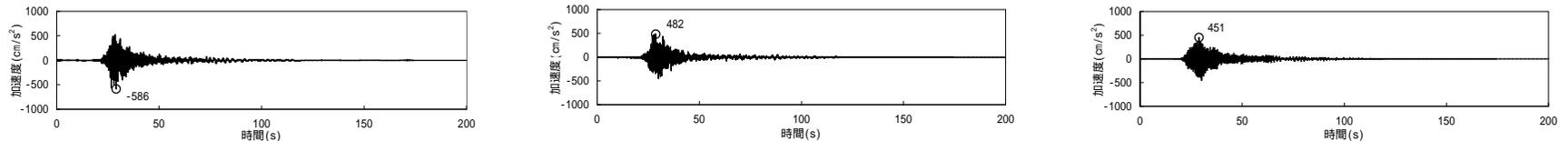
Ss - 12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)



Ss - 13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)



Ss - 14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)



NS成分

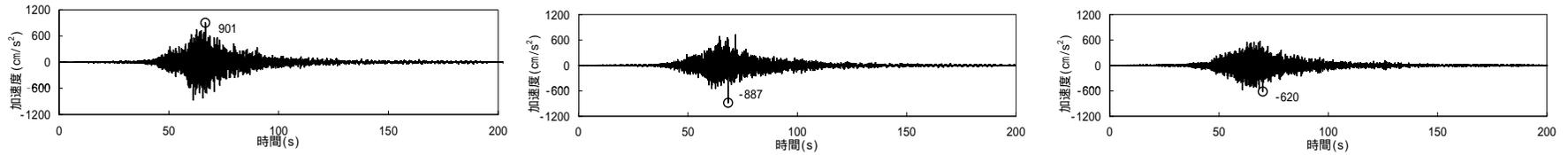
EW成分

UD成分

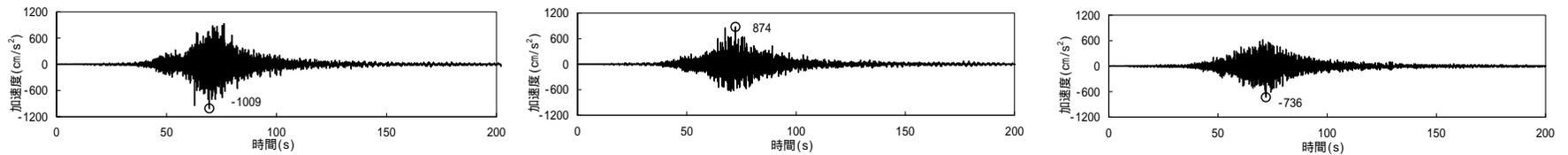
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法

基準地震動 Ss の加速度時刻歴波形 (2 / 2)

Ss - 2.1 2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさ)



Ss - 2.2 2011年東北地方太平洋沖地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)



NS成分

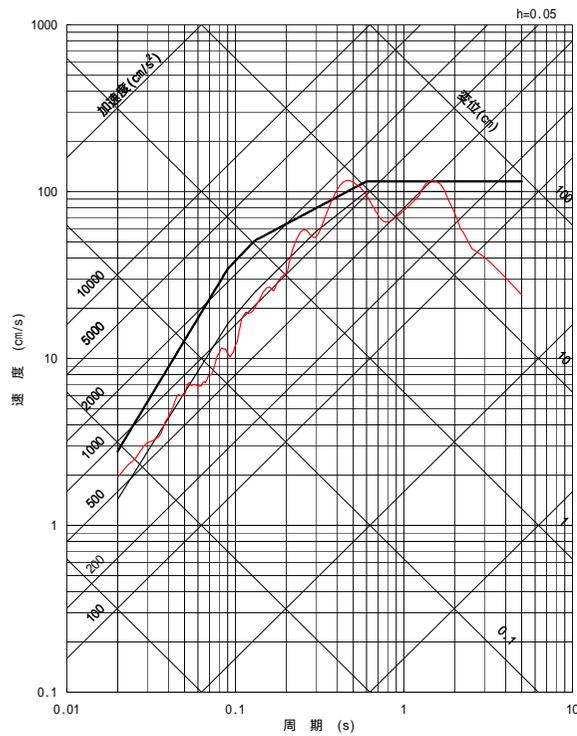
EW成分

UD成分

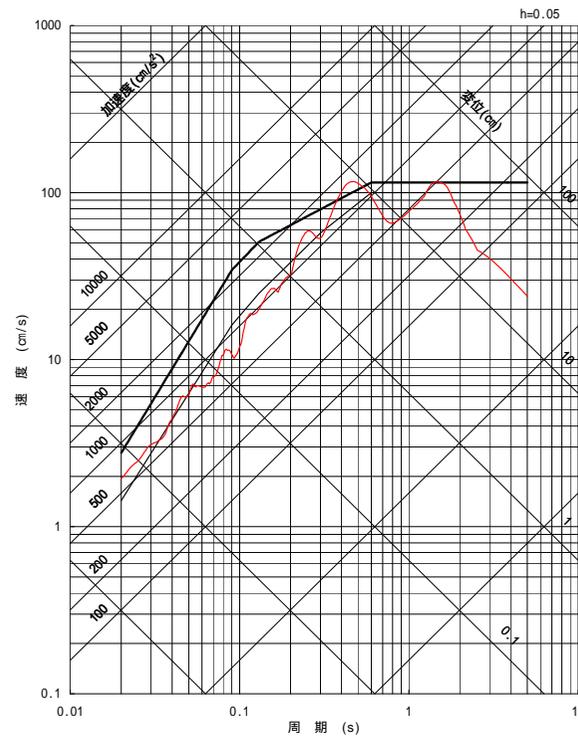
震源を特定せず策定する地震動

震源を特定せず策定する地震動と基準地震動 $S_s - D1$ を比較する。

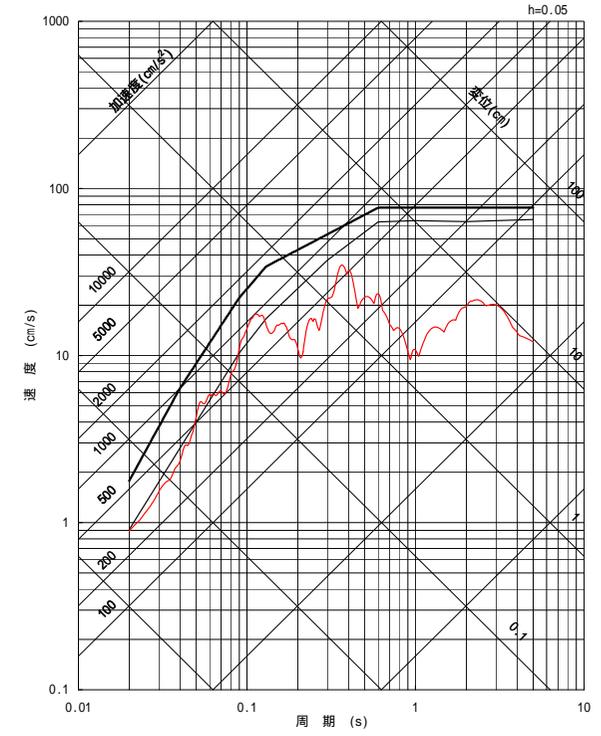
- $S_s - D1$ 応答スペクトル手法による基準地震動
- $S_s - 31$ 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル



NS成分



EW成分



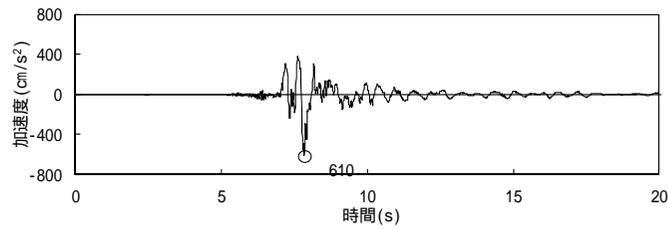
UD成分

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動は、一部周期帯で基準地震動 $S_s - D1$ を上回るため、基準地震動に選定する。

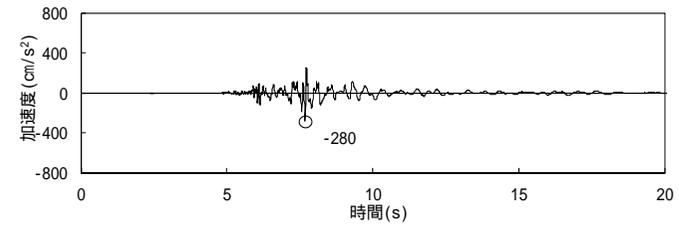
震源を特定せず策定する地震動

基準地震動 S_s の加速度時刻歴波形

S_s - 31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動



水平成分

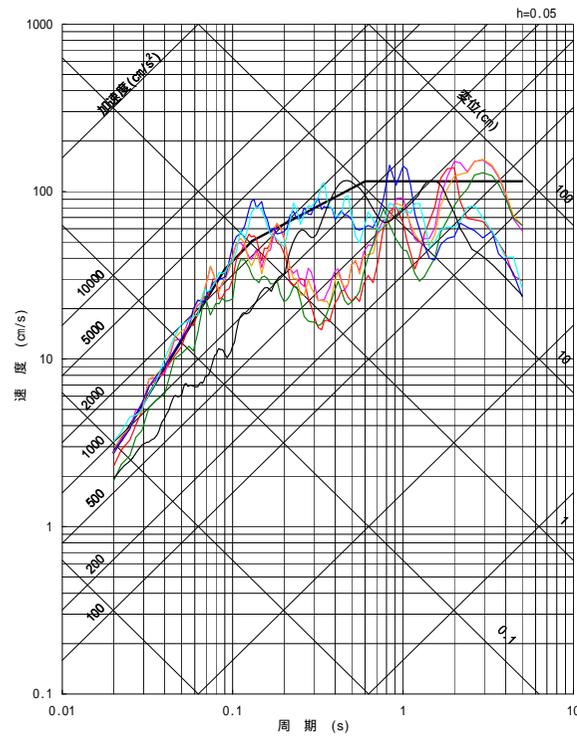


鉛直成分

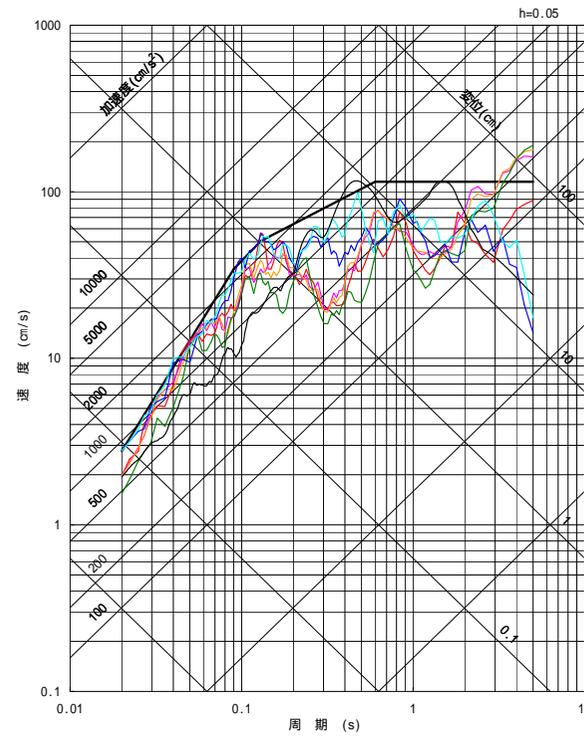
基準地震動 Ss

基準地震動 Ss を示す。

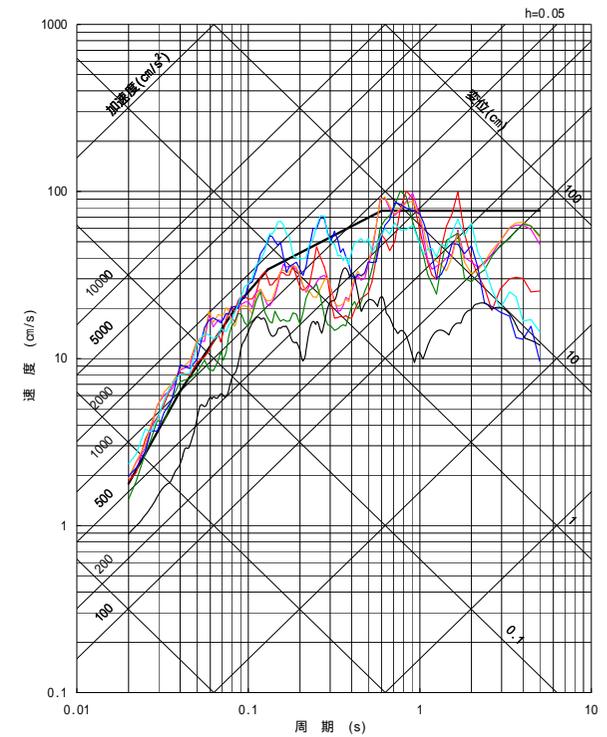
- Ss - D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss - 11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss - 12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss - 13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss - 14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss - 21 2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさ)
- Ss - 22 2011年東北地方太平洋沖地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss - 31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動



NS成分



EW成分



UD成分

基準地震動S_sの一覧

基準地震動S_sの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分
S _s -D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
S _s -11	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	717	619	579
S _s -12	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	871	626	602
S _s -13	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	903	617	599
S _s -14	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	586	482	451
S _s -21	2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
S _s -22	2011年東北地方太平洋沖地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736
S _s -31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280

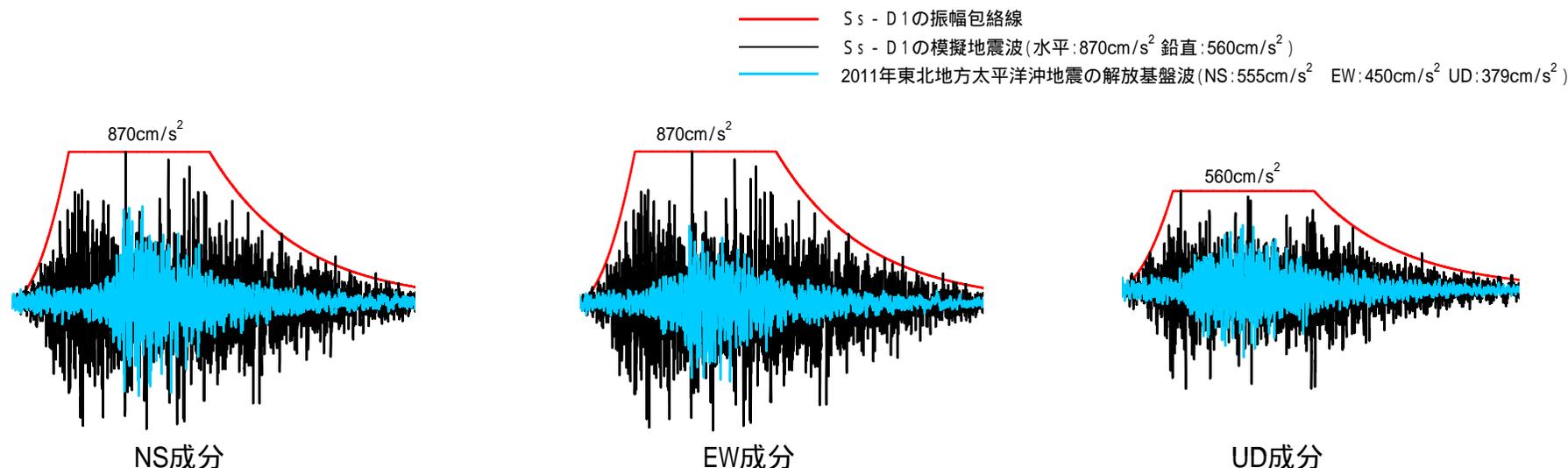
3. 参考文献

- 原子力規制委員会(2013): 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
- 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大栄・上田圭一・壇一男(2004): 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル - 地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討 - , 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, pp.46-86.
- 日本電気協会(2008): 原子力発電所耐震設計技術指針
- Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, 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, Oct. 16-18, Istanbul.

振幅包絡線の妥当性確認

模擬地震波の振幅包絡線と2011年東北地方太平洋沖地震における敷地観測記録との比較

基準地震動 $S_s - D1$ の応答スペクトルに適合する模擬地震波作成に関し、振幅包絡線の設定に必要な地震規模 M 、等価震源距離 X_{eq} については、基準地震動 $S_s - D1$ に対して概ね全周期帯で支配的な震源となる $F1$ 断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震を考慮し、 $M7.8$, $X_{eq}=28\text{km}$ としている。設定した振幅包絡線について、敷地で観測された地震記録のうち地震規模が大きく継続時間の長い2011年東北地方太平洋沖地震 ($Mw9.0$) の観測記録と比較し、妥当性を確認する。



東北地方太平洋沖地震の観測記録については、強震部とその前後区間を切り取り重ね合わせた。

基準地震動 $S_s - D1$ の振幅包絡線と東北地方太平洋沖地震の解放基盤波 (加速度時刻歴波形) との比較

F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震を参考に設定した模擬地震波の振幅包絡形状は、2011年東北地方太平洋沖地震 ($Mw9.0$) における敷地での解放基盤波の振幅形状をカバーしていることを確認した。

設置変更許可申請時との比較

設置変更許可申請時					審査結果を反映				
基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)			基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分			NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D	応答スペクトル手法による基準地震動	700		420	Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
Ss-1	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震 (M7.6) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	788	728	563	Ss-11	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	717	619	579
					Ss-12	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	871	626	602
					Ss-13	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	903	617	599
					Ss-14	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	586	482	451
Ss-2	2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620	Ss-21	2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
-	-	-	-	-	Ss-22	2011年東北地方太平洋沖地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736
-	-	-	-	-	Ss-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280