

泊発電所3号炉 基準地震動の策定について

令和4年10月21日
北海道電力株式会社

1. 検討概要	4
2. 基準地震動の策定	10
2.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	11
2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動	15
2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動	25
2.4 基準地震動の策定 まとめ	30
2.5 一関東評価用地震動の設定	34
参考文献	36

余白

1. 検討概要

1. 検討概要(1/4)

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動】

【検討用地震の選定】

【内陸地殻内地震】

- ▶ 尻別川断層による地震
- ▶ F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震
- ▶ 積丹半島北西沖の断層による地震

【内陸地殻内地震(日本海東縁部の地震)】

- ▶ F_B-2 断層による地震

【断層モデルの設定】

【尻別川断層による地震】

- 地震規模
 - ・M7.2(武村(1990))
- 断層モデルの設定
 - ・地震調査委員会(2009, 2020)に基づき設定
- 不確かさの考慮
 - ・傾斜角, 応力降下量, アスペリティ位置, 破壊開始点

【積丹半島北西沖の断層による地震】

- 地震規模
 - ・M7.2(武村(1990))
- 断層モデルの設定
 - ・地震調査委員会(2009, 2020)に基づき設定
- 不確かさの考慮
 - ・傾斜角, 応力降下量, アスペリティ位置, 破壊開始点

【 F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～ 岩内堆南方背斜による地震】

- 地震規模
 - ・M8.2(松田(1975)および武村(1990))
- 断層モデルの設定
 - ・地震調査委員会(2009), Starr(1928), Somerville et al.(1999)に基づき設定
- 不確かさの考慮
 - ・傾斜角, 応力降下量, 破壊伝播速度, アスペリティ位置, 破壊開始点

【 F_B-2 断層による地震】

- 地震規模
 - ・M8.2(松田(1975))
- 断層モデルの設定
 - ・地震調査委員会(2020), Murotani et al.(2015), Fujii and Matsu'ura(2000), Somerville et al.(1999)に基づき設定
- 不確かさの考慮
 - ・傾斜角, 応力降下量, 破壊伝播速度, アスペリティ位置, 破壊開始点

【地震動評価】

○応答スペクトルに基づく地震動評価

- ▶ Noda et al.(2002)により評価

○断層モデルを用いた手法による地震動評価

- ▶ 短周期領域は統計的グリーン関数法, 長周期領域は理論的手法(波数積分法)を用いて評価し, それぞれを組み合わせることによって評価するハイブリッド合成法により評価
- ▶ 経験的グリーン関数法による評価も実施(F_B-2 断層による地震)

【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程度未満の地震)

- ・2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020(港町)の観測記録に基づく基盤波の検討結果を踏まえ, 震源を特定せず策定する地震動に設定
- ・標準応答スペクトルを考慮した地震動の検討結果を踏まえ, 震源を特定せず策定する地震動に設定

【地域性を考慮する地震動】 (Mw6.5程度以上の地震)

- ・2000年鳥取県西部地震の震源域と敷地周辺は, 地域差が認められることから, 観測記録収集対象外
- ・2008年岩手・宮城内陸地震における栗駒ダム, KiK-net金ヶ崎, KiK-net関東(水平)の観測記録に基づく検討結果を震源を特定せず策定する地震動に設定

■ 基準地震動策定の基本的な考え方

「実用発電所原子炉及びその附属施設の位置、構造設備の基準に関する規則の解釈」

➤ 基準地震動は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定すること。

「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」

- 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動は、検討用地震ごとに評価した応答スペクトルを下回らないように作成する必要があり、その際の振幅包絡線は、地震動の継続時間に留意して設定されていることを確認する。
- 断層モデルを用いた手法による基準地震動は、施設に与える影響の観点から地震動の諸特性(周波数特性, 継続時間, 位相特性等)を考慮して、別途評価した応答スペクトルとの関係を踏まえつつ複数の地震動評価結果から策定されていることを確認する。なお、応答スペクトルに基づく基準地震動が全周期帯にわたって断層モデルを用いた基準地震動を有意に上回る場合には、応答スペクトルに基づく基準地震動で代表させることができる。
- 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。



【泊発電所の基準地震動策定にあたっての基本的な考え方】

- 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動は、検討用地震ごとに評価した応答スペクトルを上回るように設定し、断層モデルを用いた手法による基準地震動および震源を特定せず策定する地震動による基準地震動は、応答スペクトルに基づく手法による基準地震動を超過するものを個別波として考慮することを基本とする。
- 断層モデルを用いた手法による基準地震動は、施設に与える影響を考慮し、応答スペクトルに基づく手法による基準地震動を超過する周期で地震動レベルが最も大きいケースを基準地震動の候補として選定する。ただし、地震動レベルが同程度であり、応答スペクトルが同様の傾向となっているケースについては、代表ケースを基準地震動の候補として選定する。
- 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動は、施設に与える影響を考慮し、応答スペクトルに基づく手法による基準地震動を超過する周期で地震動レベルが最も大きいケースを基準地震動の候補として選定する。ただし、地震動レベルが同程度であり、応答スペクトルが同様の傾向となっているケースについては、代表ケースを基準地震動の候補として選定する。
- 選定した断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補および震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補を比較検討し、施設に与える影響が大きいと考えられるケースを基準地震動として設定する。

1. 検討概要(3/4)

■ 基準地震動の設定フロー

2.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動

- 検討用地震について評価した応答スペクトルに基づく地震動評価結果を上回るように基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルを設定

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果において、基準地震動Ss1を上回るケースから、いずれかの方向、周期で基準地震動Ss1を上回る部分が最も大きいケースを基準地震動の候補として選定

- 断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補と震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補との比較結果を踏まえ、断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補から5ケースを基準地震動Ss2-1～Ss2-5として設定

【比較検討】

2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

- 震源を特定せず策定する地震動において、基準地震動Ss1を上回るケースから、いずれかの方向、周期で基準地震動Ss1を上回る部分が最も大きいケースを基準地震動の候補として選定

- 断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補と震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補との比較結果を踏まえ、震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補から5ケースを基準地震動Ss3-1～Ss3-5として設定

2.4 基準地震動の策定

- 基準地震動Ss1: 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動
- 基準地震動Ss2-1: 尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル 断層傾斜角 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss2-2: F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル 断層傾斜角 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss2-3: F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル 破壊伝播速度 破壊開始点1)
- 基準地震動Ss2-4: F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル 断層傾斜角 破壊開始点5)
- 基準地震動Ss2-5: 積丹半島北西沖の断層による地震(走向 0° ケース 不確かさ考慮モデル 断層の傾斜角 破壊開始点2)
- 基準地震動Ss3-1: 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム〔右岸地山〕)
- 基準地震動Ss3-2: 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- 基準地震動Ss3-3: 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net一関東)
- 基準地震動Ss3-4: 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
- 基準地震動Ss3-5: 標準応答スペクトルを考慮した地震動

1. 検討概要(4/4)

■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

項目		設置変更許可申請時(H25.7)	審査結果を反映
地震発生層(内陸地殻内地震)		上端深さ2.2km、下端深さ18km	上端深さ2km、下端深さ18km
尻別川断層による地震	地震規模	M6.9	M7.2
	断層モデル設定	断層の傾斜角60°の孤立した短い活断層として、地震発生層上端から下端まで拵がっているものと仮定し、断層幅と同じ長さに設定	断層の傾斜角45°の孤立した短い活断層として、地震発生層上端から下端まで拵がっているものと仮定し、断層幅と同じ長さに設定
	不確かさの考慮	断層の傾斜角 応力降下量 アスペリティ位置 破壊開始点	断層の傾斜角 応力降下量 アスペリティ位置 破壊開始点
F ₉ -10断層～岩内堆東撓曲～ 岩内堆南方背斜による地震	地震規模	M8.2	M8.2
	断層モデル設定	地質調査結果に基づき矩形断層として、長さ100.6kmに設定	地質調査結果に基づき矩形断層として、長さ100.4kmに設定
	不確かさの考慮	断層の傾斜角 応力降下量 アスペリティ位置 破壊開始点	断層の傾斜角 応力降下量 破壊伝播速度 アスペリティ位置 破壊開始点
積丹半島北西沖の断層による地震	地震規模	—	M7.2
	断層モデル設定	—	断層の傾斜角45°の孤立した短い活断層として、地震発生層上端から下端まで拵がっているものと仮定し、断層幅と同じ長さに設定
	不確かさの考慮	—	断層の傾斜角 応力降下量 アスペリティ位置 破壊開始点
地震発生層(内陸地殻内地震(日本海東縁部))		上端深さ5km、下端深さ40km	上端深さ5km、下端深さ40km
F _B -2断層による地震	地震規模	M8.2	M8.2
	断層モデル設定	地質調査結果に基づき矩形断層として、長さ96kmに設定	地質調査結果に基づき矩形断層として、長さ98.7kmに設定
	不確かさの考慮	断層の傾斜角 応力降下量 アスペリティ位置 破壊開始点	断層の傾斜角 応力降下量 破壊伝播速度 アスペリティ位置 破壊開始点
震源を特定せず策定する地震動		加藤ほか(2004)	2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020(港町)の観測記録に基づく基盤波の検討結果を踏まえた地震動 標準応答スペクトルを考慮した地震動の検討結果を踏まえた地震動 2008年岩手・宮城内陸地震における栗駒ダム、KiK-net金ヶ崎、KiK-net一関東(水平)の観測記録に基づく地震動

一:海上音波探査等の結果、積丹半島西岸近傍海域には活構造が認められないことから、地震動評価は実施していない。

余白

2. 基準地震動の策定

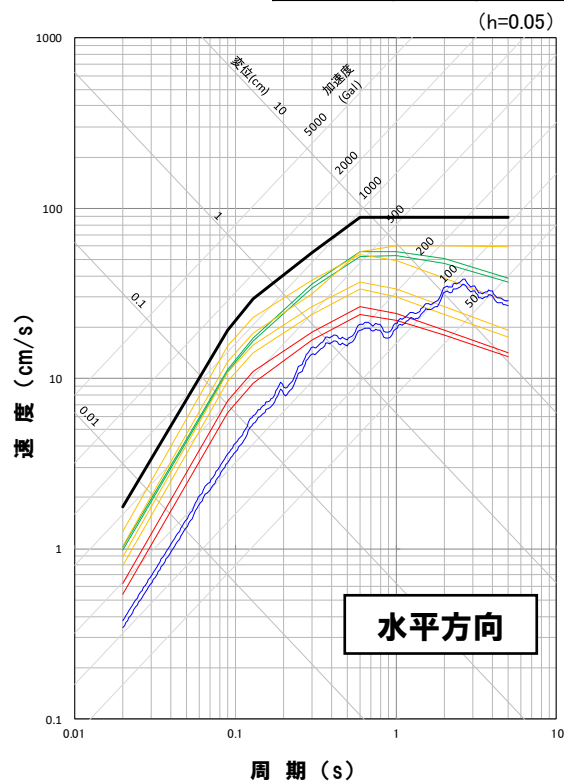
2. 基準地震動の策定

2.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動

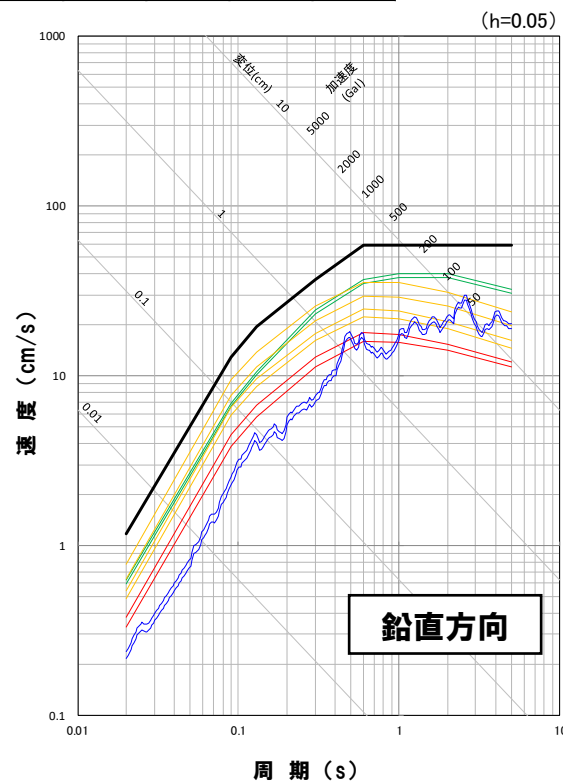
応答スペクトルに基づく手法による基準地震動

○敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動のうち応答スペクトルに基づく手法による基準地震動として、検討用地震の応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果を上回るように基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルを設定する。

Ss1	周期 (s)		0.02	0.09	0.13	0.30	0.60	1.00	2.00	5.00
コントロール	Ss1-H	速度 (cm/s)	1.75	19.3	29.3	55.0	88.0	88.0	88.0	88.0
ポイント	Ss1-V	速度 (cm/s)	1.17	12.9	19.6	37.2	58.8	58.8	58.8	58.8



- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1-H)
- 尻別川断層による地震
- F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震
- 積丹半島北西沖の断層による地震
- F_B-2断層による地震



- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1-V)
- 尻別川断層による地震
- F_S-10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震
- 積丹半島北西沖の断層による地震
- F_B-2断層による地震

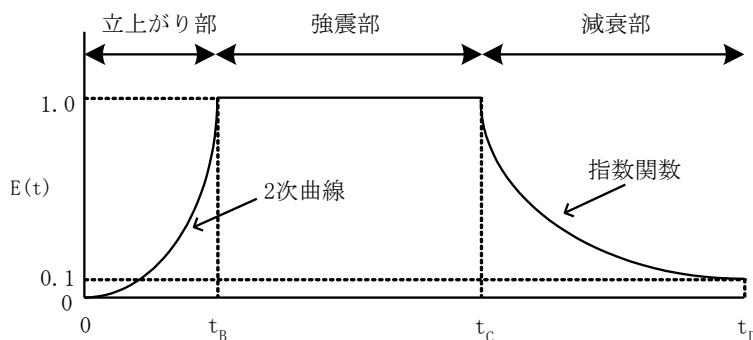
2. 基準地震動の策定

2.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動

設計用応答スペクトル「基準地震動Ss1」の模擬地震波

- 基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルに適合する模擬地震波は、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については、Noda et al.(2002)に基づき、継続時間が最も長くなるように「F_B-2断層による地震の不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角)」の諸元を参考に設定する。

設計用 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
Ss1-H	121.2	14.79	43.63	121.2
Ss1-V	121.2	14.79	43.63	121.2



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

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

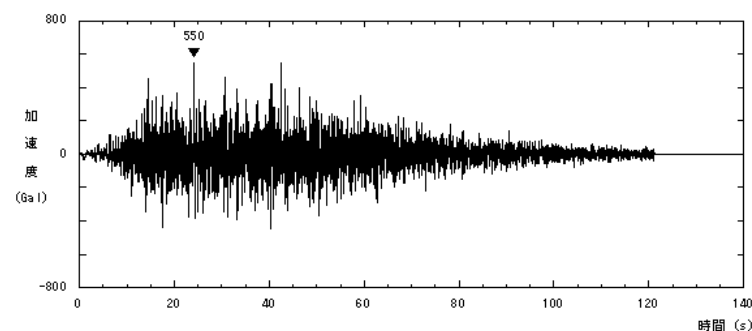
$$t_D - t_C = 10^{0.17M+0.54\log(Xe q)-0.6}$$

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

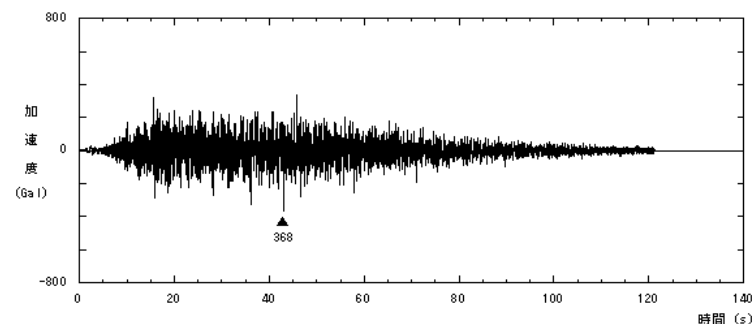
M8.2, Xeq = 107km

※検討用地震のうち、継続時間が最も長くなるF_B-2断層による地震の不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角)を参考に設定

設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形(Ss1-H)



設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形(Ss1-V)



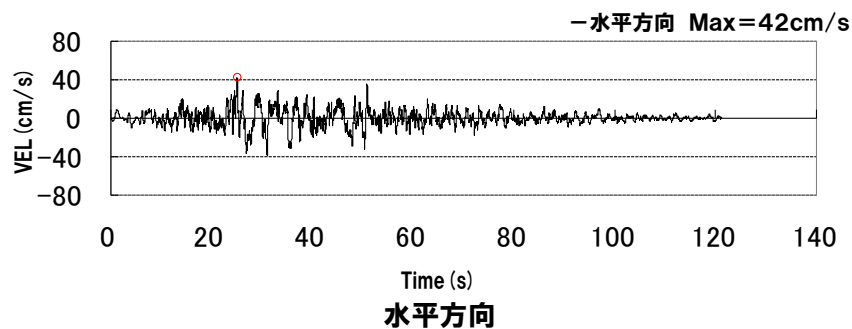
設計用模擬地震波	最大加速度(Gal)
Ss1-H	550
Ss1-V	368

2. 基準地震動の策定

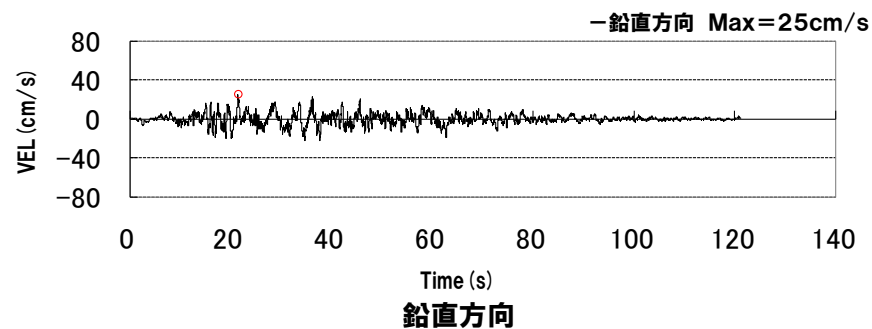
2.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動

設計用応答スペクトル「基準地震動Ss1」の模擬地震波

設計用模擬地震波の速度時刻歴波形(Ss1-H)



設計用模擬地震波の速度時刻歴波形(Ss1-V)



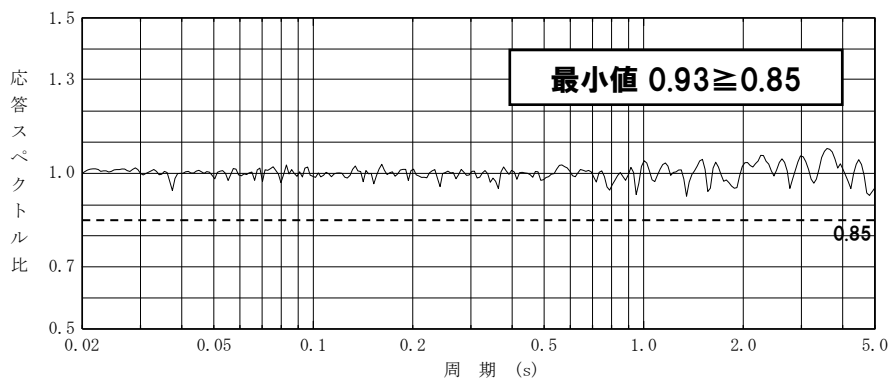
2. 基準地震動の策定

2.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動

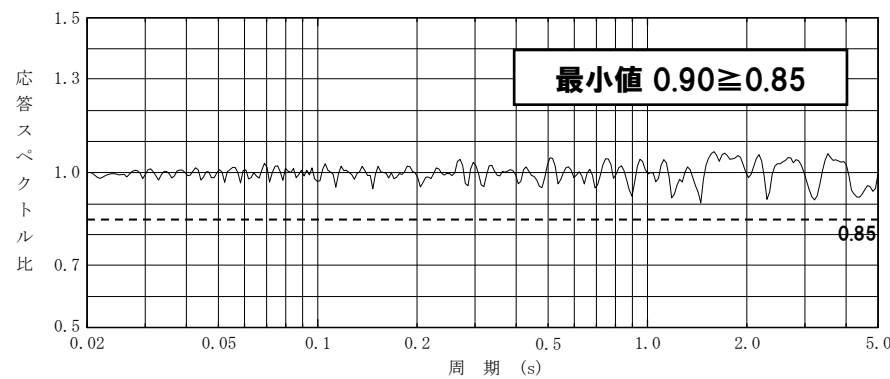
○作成した模擬地震波は、日本電気協会(2015)に記載された以下の判定基準を満足していることを確認した。

- ・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が0.85以上
- ・応答スペクトル強さの比(SI比が1.0以上)

設計用応答スペクトル「基準地震動Ss1」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(Ss1-H)



応答スペクトル比(Ss1-V)

応答スペクトル強さの比(SI比)

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

ここで、

SI : 応答スペクトル強さ

S_V : 設計用模擬地震波の応答スペクトル(cm/s)

\bar{S}_V : 目標とする設計用応答スペクトル(cm/s)

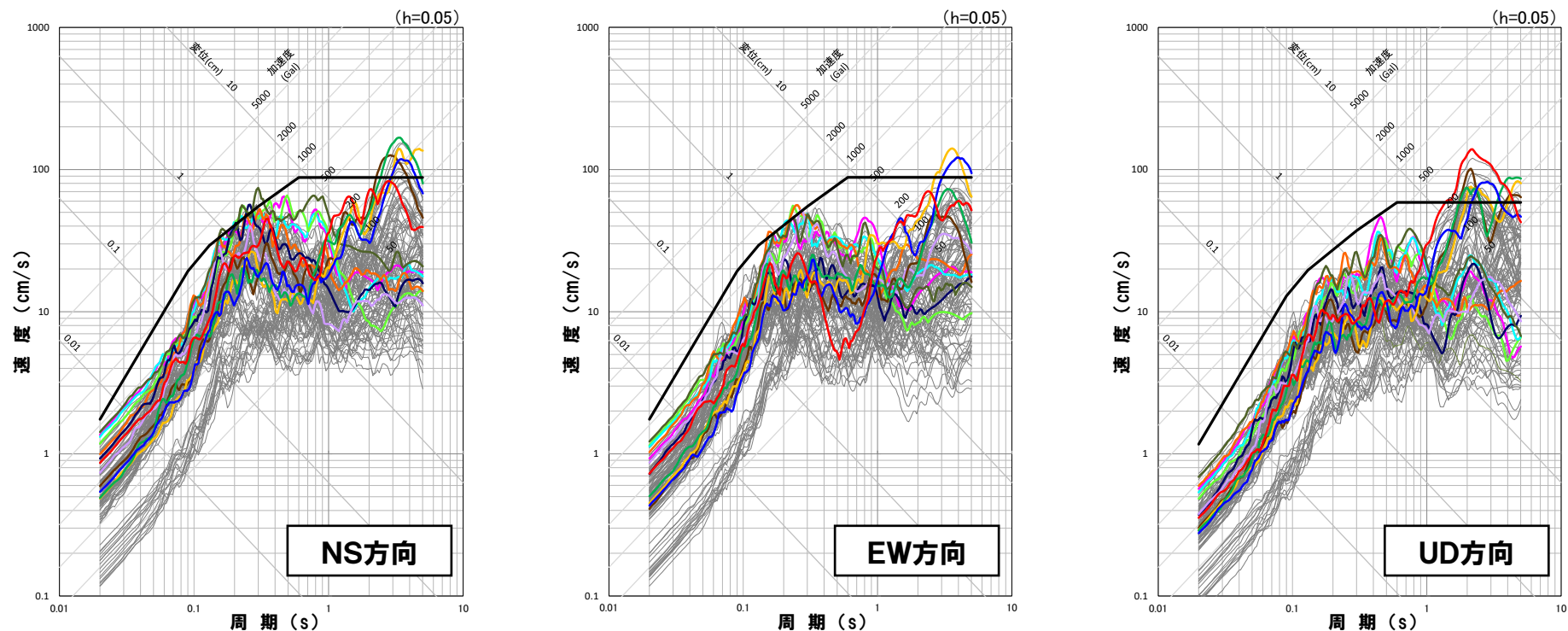
T : 固有周期(s)

応答スペクトル	SI比
Ss1-H	1.00
Ss1-V	1.01

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補選定

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果において、施設に与える影響を考慮し、基準地震動Ss1を上回るケース(39ケース)のうち、いずれかの方向、周期で基準地震動Ss1を上回る部分が最も大きくなるケースは、13ケースとなる。
- 13ケースのうち、次頁に示す1ケースについては、応答スペクトルが他の地震動と同じ傾向となっており、また、地震動レベルが同程度であることから、他の地震動を用いることとして基準地震動の候補とせず、断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補として、以下の12ケースを選定する。

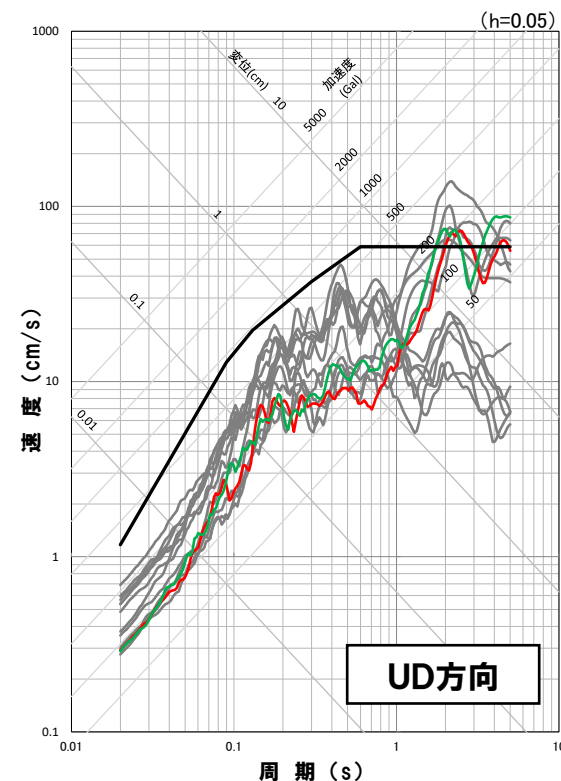
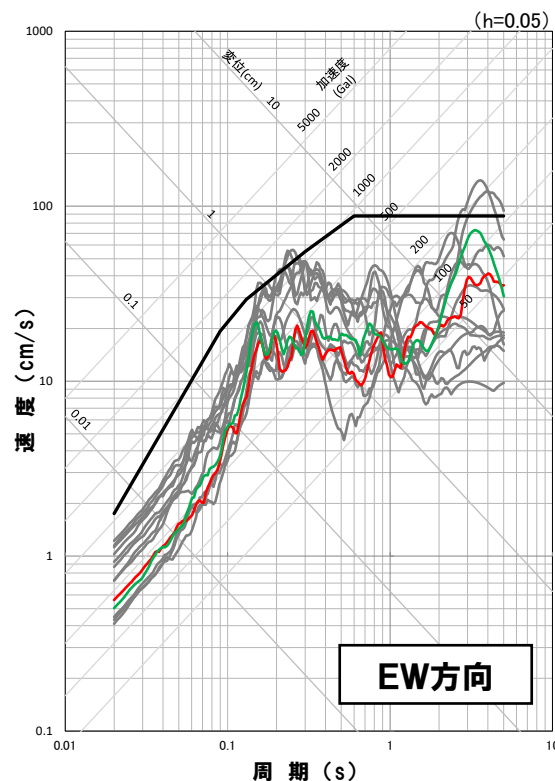
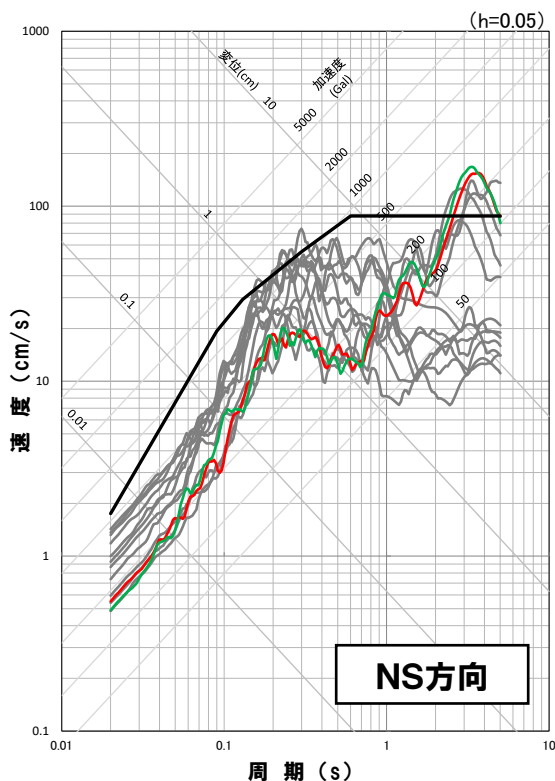


- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1)
- 尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4)
- F_s-10 断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点1)
- F_s-10 断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4)
- F_s-10 断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点1)
- F_s-10 断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度),破壊開始点5)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点1)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点2)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点3)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向20° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点4)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向20° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角),破壊開始点5)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向20° ケース(不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点2)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向40° ケース(不確かさ考慮モデル(応力降下量),破壊開始点2)

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補選定

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、「 F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度, 破壊開始点6))」については、NS方向の周期4秒程度において最も大きいケースとなるが、 F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度, 破壊開始点1))と応答スペクトルが同様の傾向であり、地震動レベルも同程度であることから、「 F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度, 破壊開始点1))」を用いることとし、基準地震動の候補として選定しない。
- なお、EW方向およびUD方向については、基準地震動Ss1を上回る部分が最も大きいケースではないものの、NS方向と同様に応答スペクトルが同様の傾向にあり、地震動レベルも概ね同程度となっている。



- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1)
- F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点6)
- F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1)
- 断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補との比較

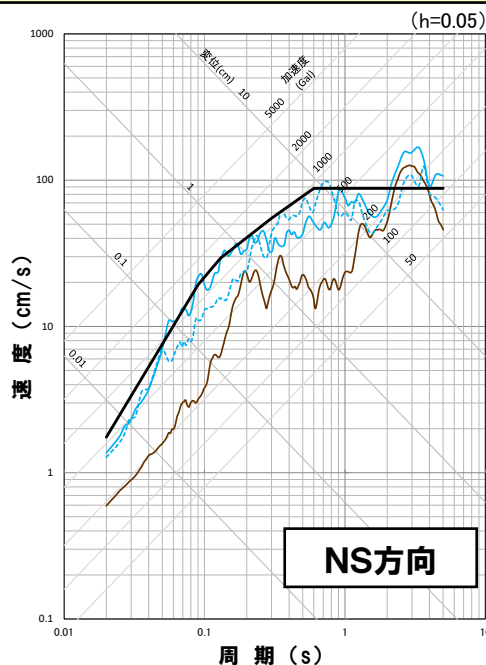
- 断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補として選定した12ケースについては、後段に示す「2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動」との比較を踏まえ、基準地震動として選定するケースを判断する。
- 比較検討にあたっては、断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補として選定した12ケースと後段に示す「2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動」において基準地震動の候補とした5ケースを比較し、施設に与える影響が大きいと考えられるケースを基準地震動として設定する。

2. 基準地震動の策定

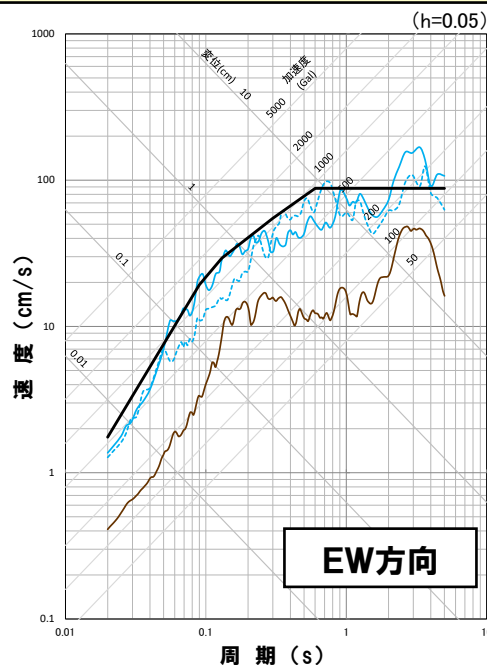
2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補との比較

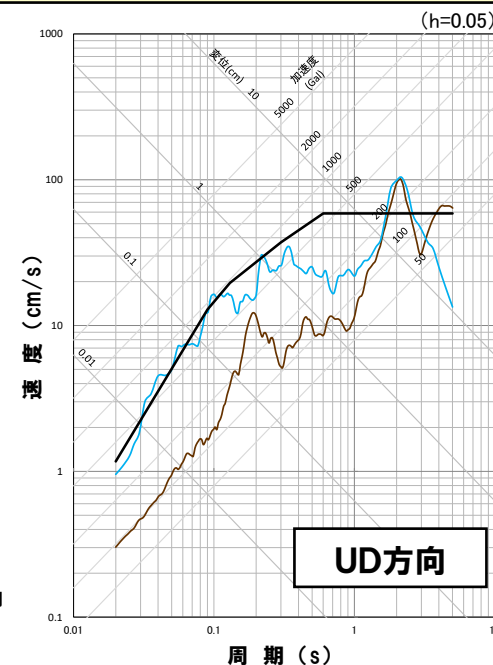
- 基準地震動の候補として選定した「 F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角, 破壊開始点1))」について, NS方向の周期2秒～4秒程度で基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルを上回るものの, 基準地震動Ss1を上回る周期帯で2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)に包絡される。
- EW方向は, 基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルに包絡される。
- UD方向は, 周期1秒～3秒程度で基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルを上回るものの, 基準地震動Ss1を上回る周期帯で2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)に包絡される。また, 周期4秒～5秒程度で2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)を上回るものの, 基準地震動Ss1と同程度となっている。なお, 「 F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角, 破壊開始点1))」が最も大きい地震動レベルとなる周期帯は, 主要設備の固有周期がない長周期側となっており, 施設影響は小さいものと考えている。
- 以上を踏まえ, 「 F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角, 破壊開始点1))」については, 基準地震動に採用しない。



実線: NS方向
破線: EW方向



実線: NS方向
破線: EW方向

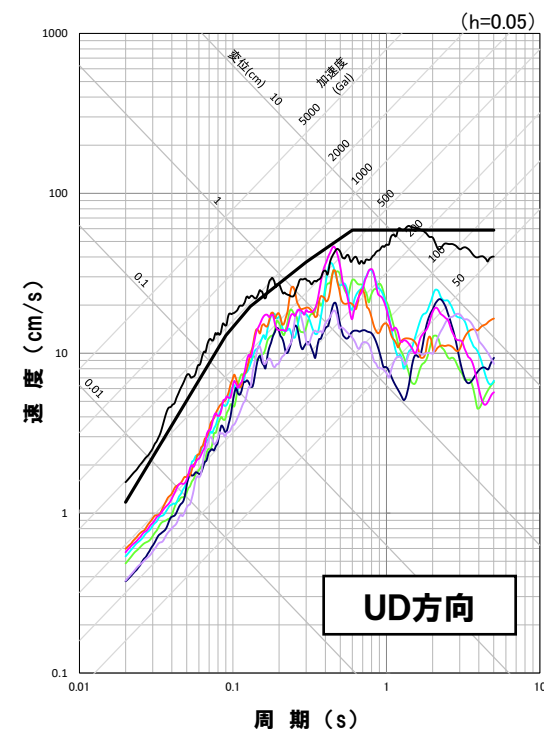
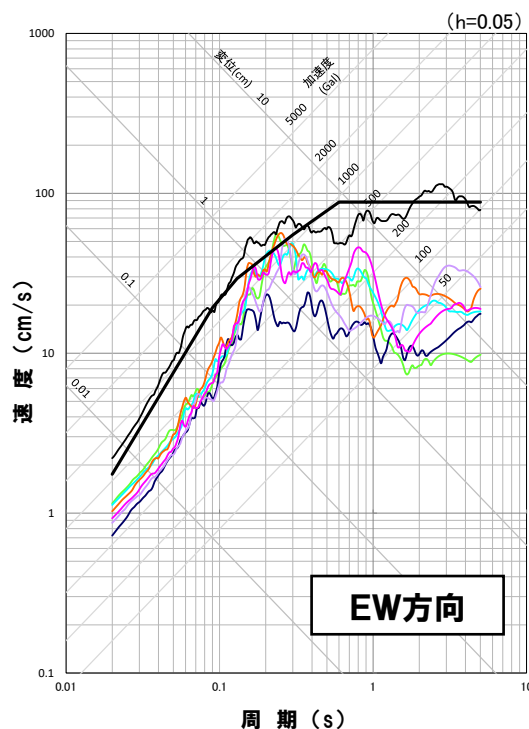
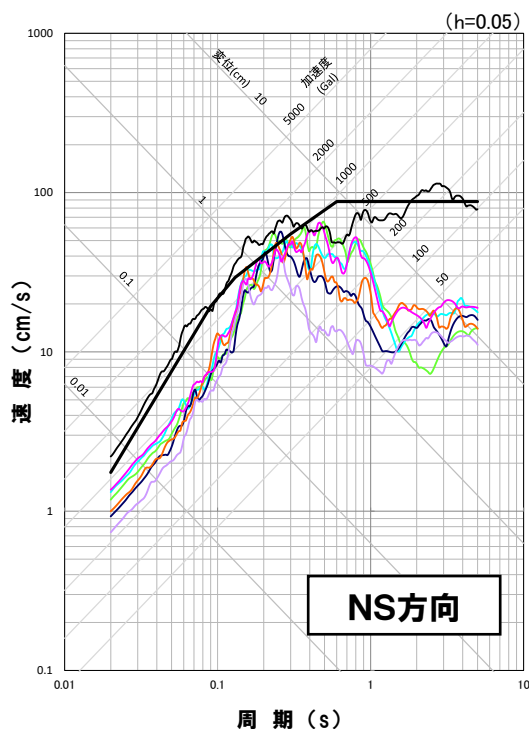


- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1)
- 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- F_S-10 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点1)

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補との比較

- 基準地震動の候補として選定した「積丹半島北西沖の断層による地震」の7ケースのうち、6ケースについては、NS方向の周期0.1秒～0.3秒程度、EW方向の周期0.1秒～0.3秒程度で基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルを上回るものの、基準地震動Ss1を上回る周期帯で標準応答スペクトルを考慮した地震動に包絡される。
- UD方向は、基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルに包絡される。
- 以上を踏まえ、「積丹半島北西沖の断層による地震」の6ケースについては、基準地震動に採用しない。

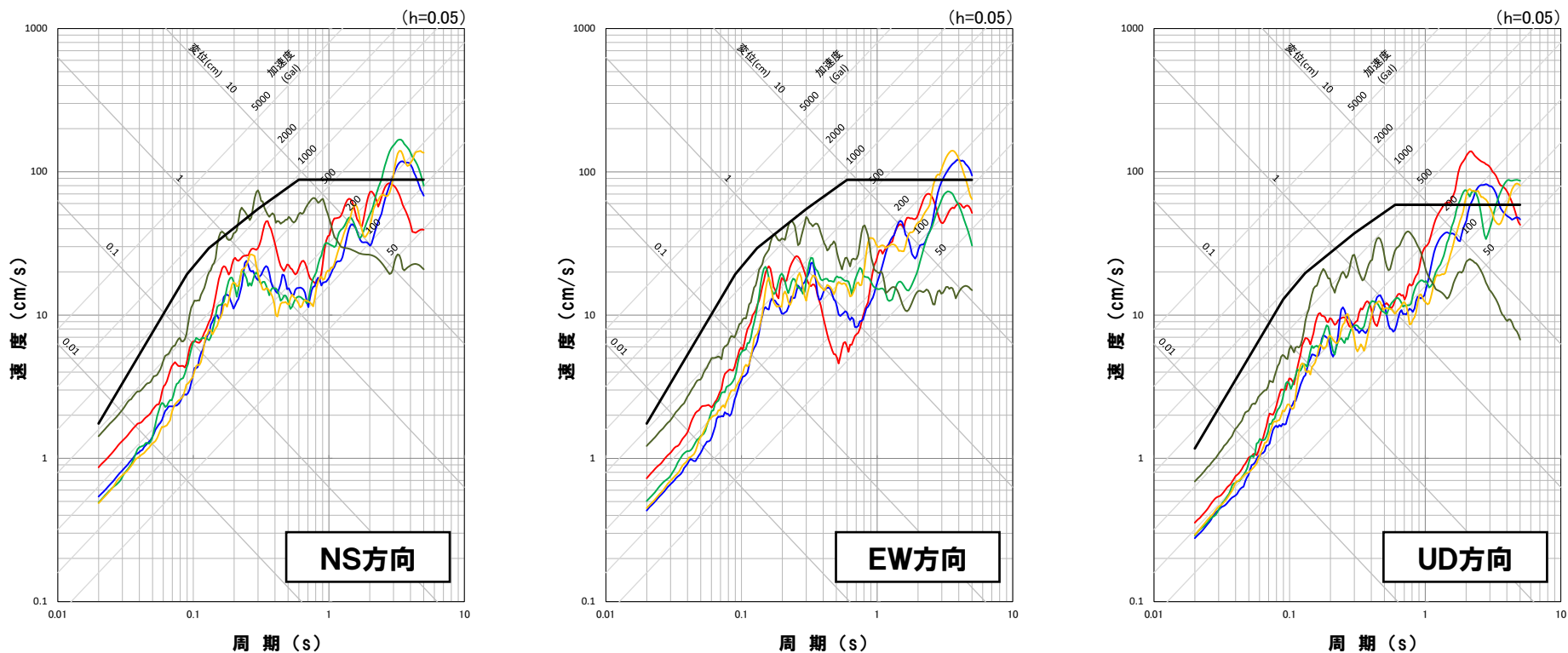


- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1)
- 標準応答スペクトルを考慮した地震動
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース (不確かさ考慮モデル (断層の傾斜角), 破壊開始点1)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース (不確かさ考慮モデル (断層の傾斜角), 破壊開始点3)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース (不確かさ考慮モデル (断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向20° ケース (不確かさ考慮モデル (断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向20° ケース (不確かさ考慮モデル (応力降下量), 破壊開始点2)
- 積丹半島北西沖の断層による地震 走向40° ケース (不確かさ考慮モデル (応力降下量), 破壊開始点2)

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

断層モデルを用いた手法による基準地震動

○断層モデルを用いた手法による基準地震動の候補とした12ケースのうち、2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)との比較より1ケース、標準応答スペクトルを考慮した地震動との比較より6ケースを基準地震動に採用しないこととし、以下の5ケースを断層モデルを用いた手法による基準地震動(Ss2-1～Ss2-5)として設定する。

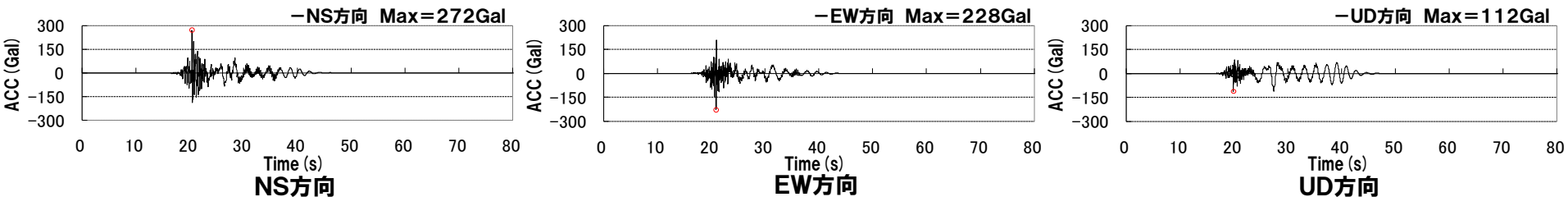
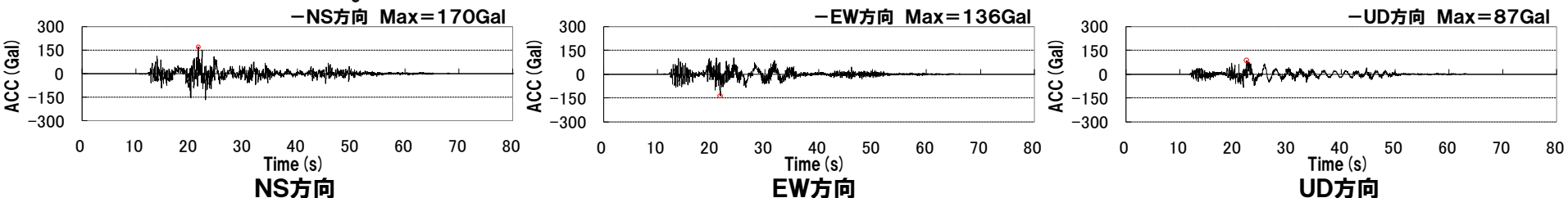
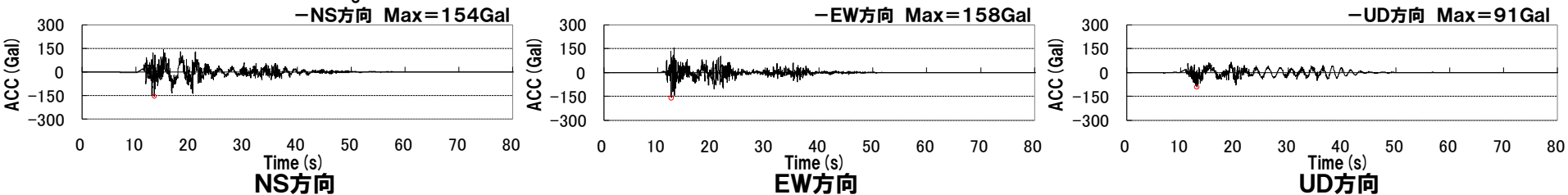
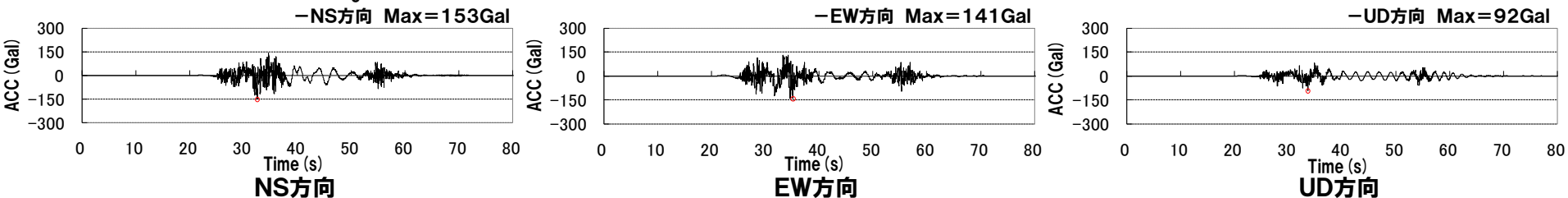


- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1)
- 基準地震動Ss2-1 尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss2-2 F_5 -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss2-3 F_5 -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1)
- 基準地震動Ss2-4 F_5 -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5)
- 基準地震動Ss2-5 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0°ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点2)

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

「基準地震動Ss2-1~4」の加速度時刻歴波形

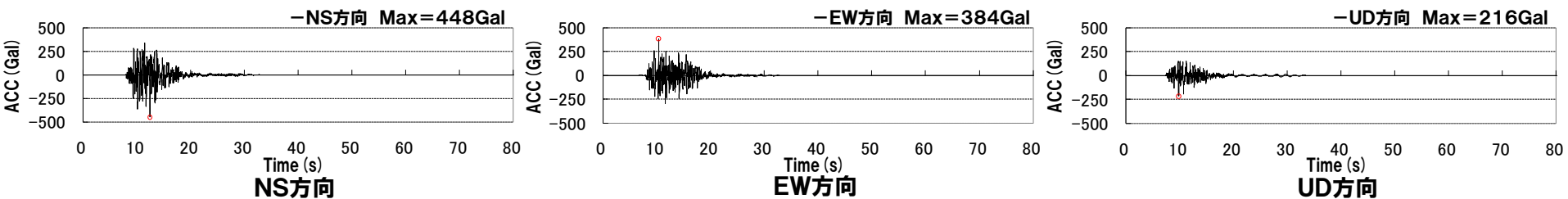
基準地震動Ss2-1(尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4))

基準地震動Ss2-2(F_S -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4))基準地震動Ss2-3(F_S -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1))基準地震動Ss2-4(F_S -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5))

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

「基準地震動Ss2-5」の加速度時刻歴波形

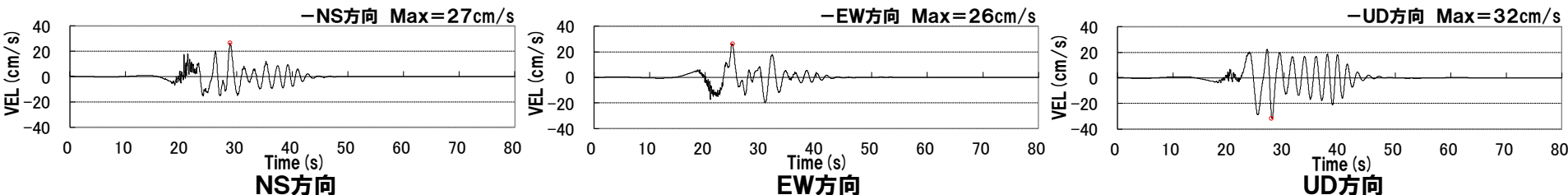
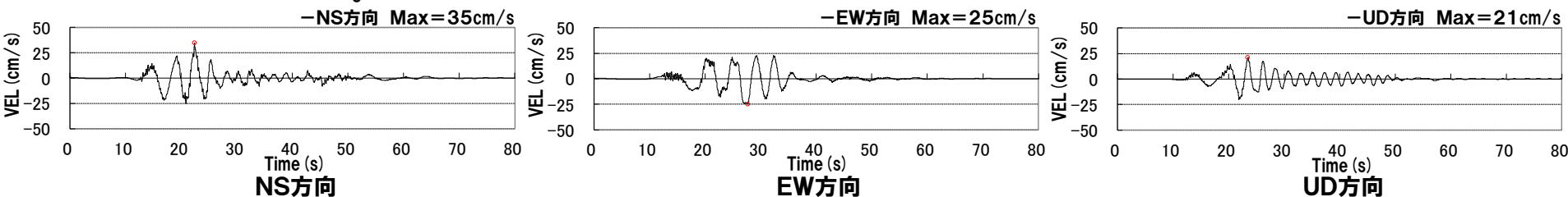
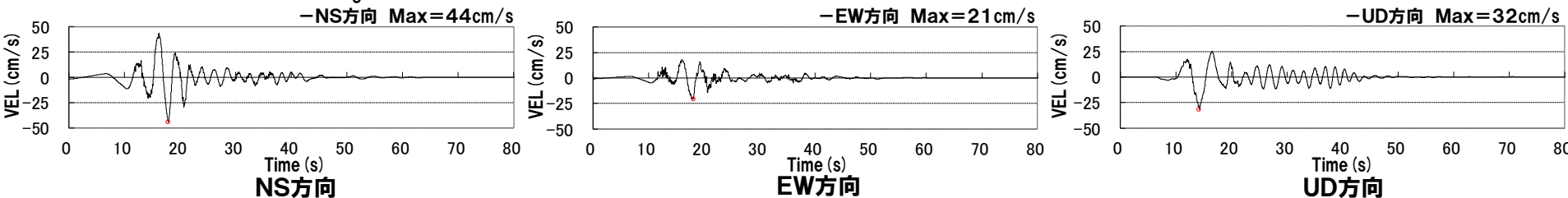
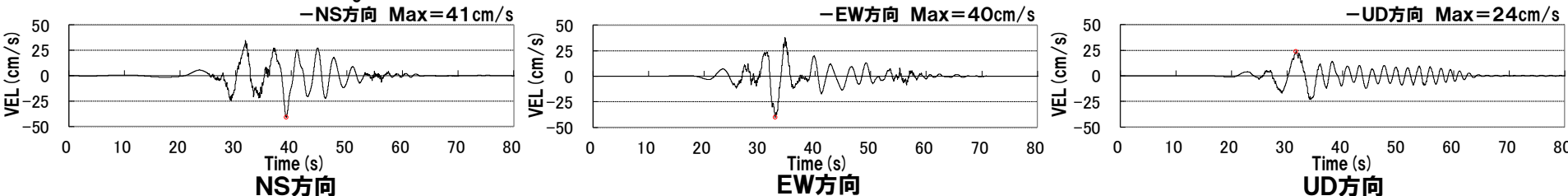
基準地震動Ss2-5(積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点2))



2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

「基準地震動Ss2-1~4」の速度時刻歴波形

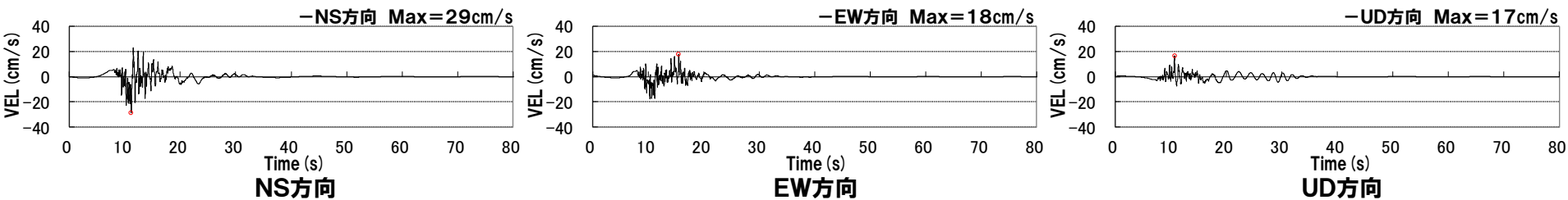
基準地震動Ss2-1(尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4))

基準地震動Ss2-2(F_S -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4))基準地震動Ss2-3(F_S -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1))基準地震動Ss2-4(F_S -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5))

2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動

「基準地震動Ss2-5」の速度時刻歴波形

基準地震動Ss2-5(積丹半島北西沖の断層による地震 走向0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点2))



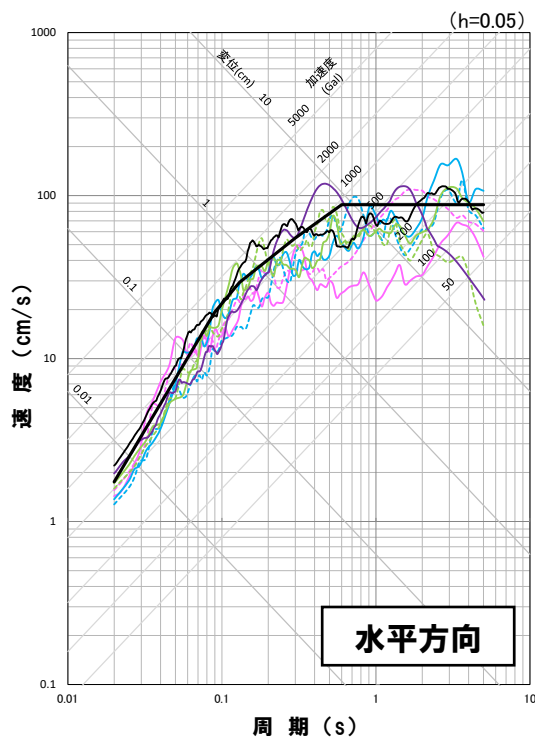
2. 基準地震動の策定

2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

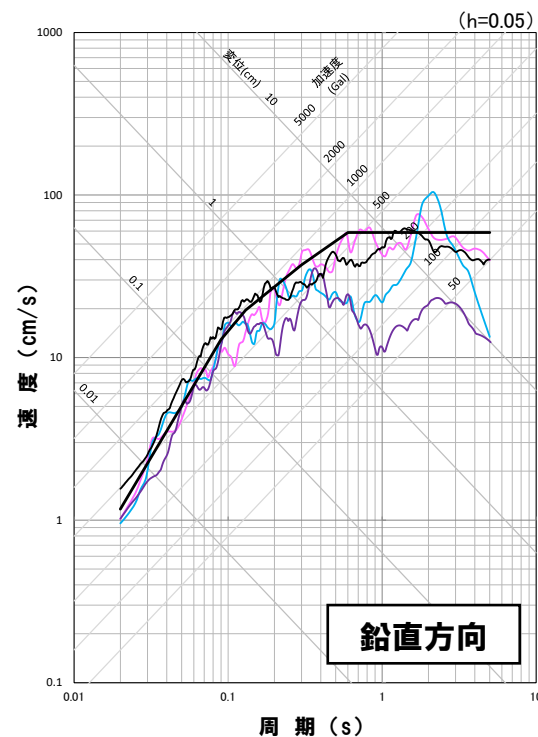
震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

- 震源を特定せず策定する地震動として設定した地震動において、施設に与える影響を考慮し、基準地震動Ss1を上回るケースのうち、地震動レベルが最も大きいケース(5ケース)を基準地震動の候補として選定する。*
- なお、選定にあたっては、いずれかの方向、周期で基準地震動Ss1を上回る部分が最も大きくなるケースを基準地震動の候補として選定するが、震源を特定せず策定する地震動の全ての評価結果を基準地震動の候補として選定している。
- 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補と「2.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動」を比較した結果、基準地震動の候補の全てがいずれかの方向、周期で地震動レベルが最も大きくなることから、全てのケースを震源を特定せず策定する地震動による基準地震動(Ss3-1~Ss3-5)として設定する。

※2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net-関東)については、鉛直方向の信頼性の高い基盤波を評価することが困難なことから、基準地震動として設定することができないと考えられるが、可能な限り知見を反映させることとし、水平方向のみ震源を特定せず策定する地震動による基準地震動の候補として選定する。



実線: NS方向, ダム軸方向
破線: EW方向, 上下流方向



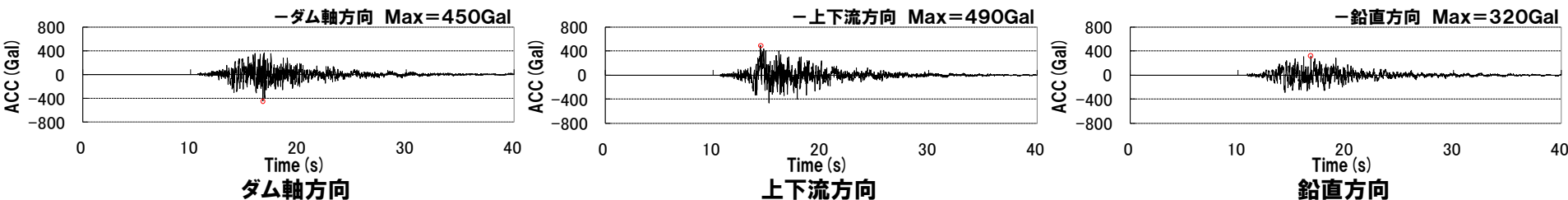
— 基準地震動Ss1
— 基準地震動Ss3-1 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])
— 基準地震動Ss3-2 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)

— 基準地震動Ss3-3 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net-関東)
— 基準地震動Ss3-4 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
— 基準地震動Ss3-5 標準応答スペクトルを考慮した地震動

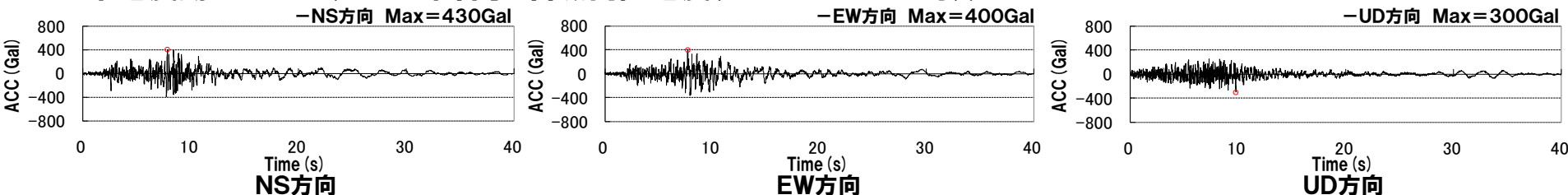
2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

「基準地震動Ss3-1~4」の加速度時刻歴波形

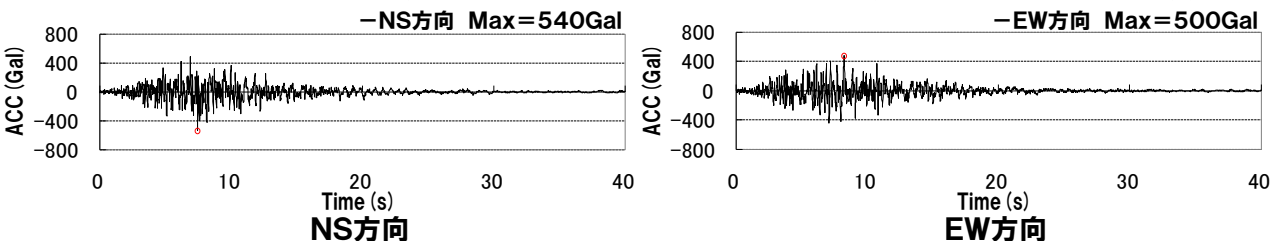
基準地震動Ss3-1(2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山]))



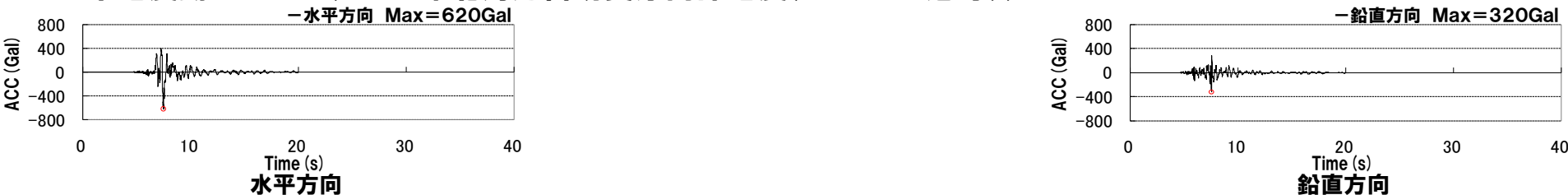
基準地震動Ss3-2(2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎))



基準地震動Ss3-3(2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net一関東))



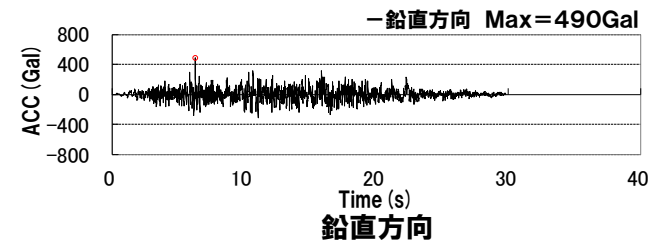
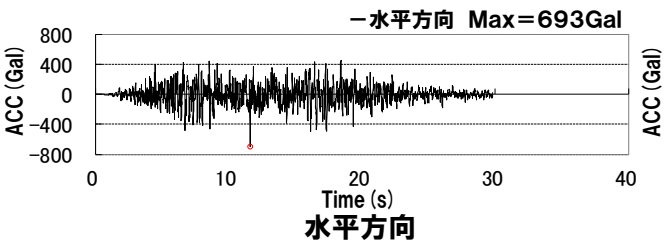
基準地震動Ss3-4(2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町))



2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

「基準地震動Ss3-5」の加速度時刻歴波形

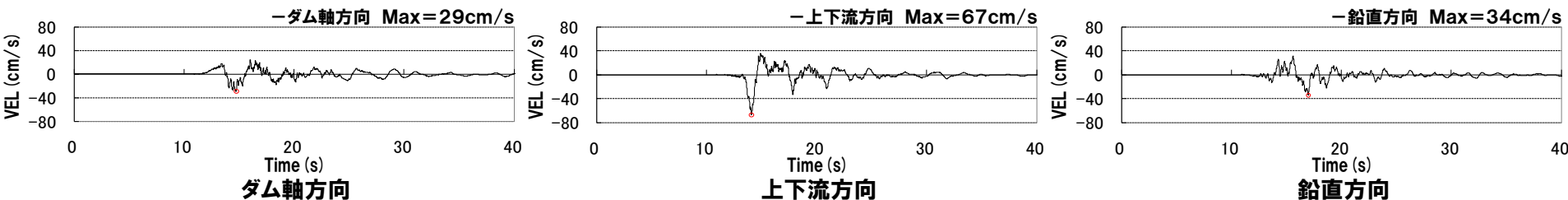
基準地震動Ss3-5(標準応答スペクトルを考慮した地震動)



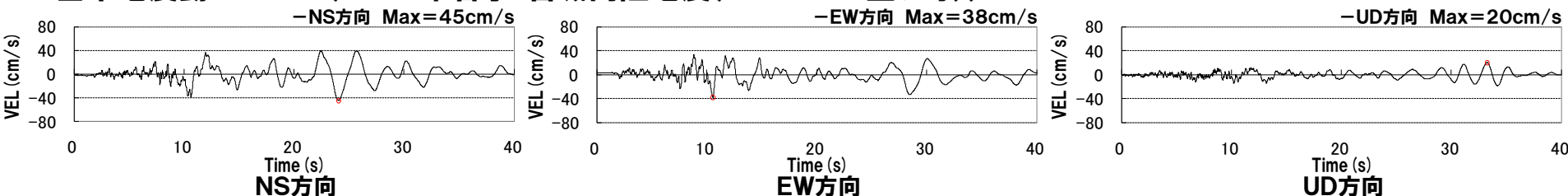
2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

「基準地震動Ss3-1~4」の速度時刻歴波形

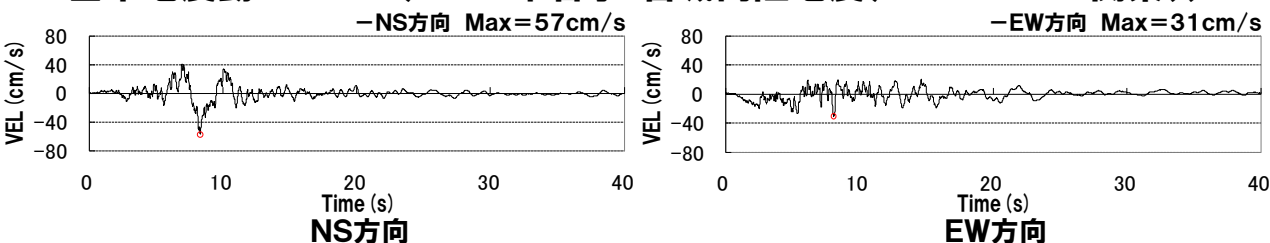
基準地震動Ss3-1(2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山]))



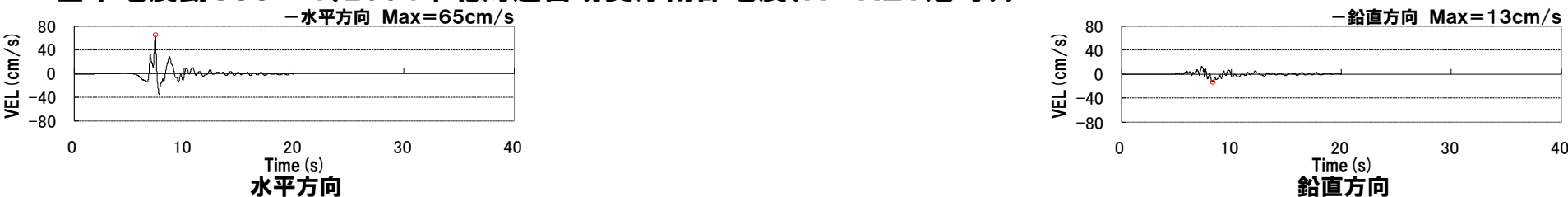
基準地震動Ss3-2(2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎))



基準地震動Ss3-3(2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net一関東))



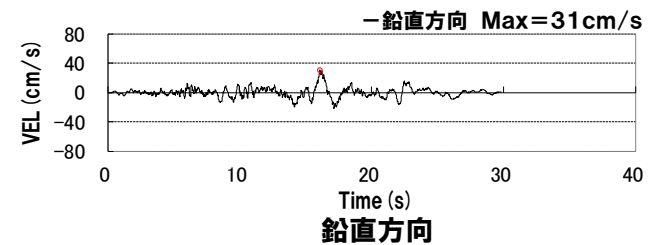
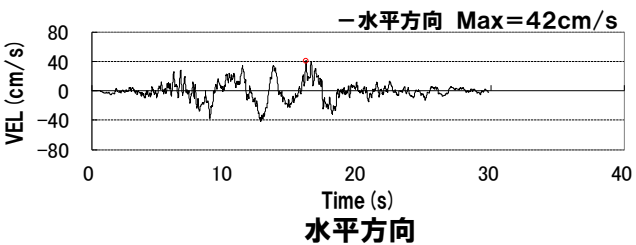
基準地震動Ss3-4(2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町))



2.3 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動

「基準地震動Ss3-5」の速度時刻歴波形

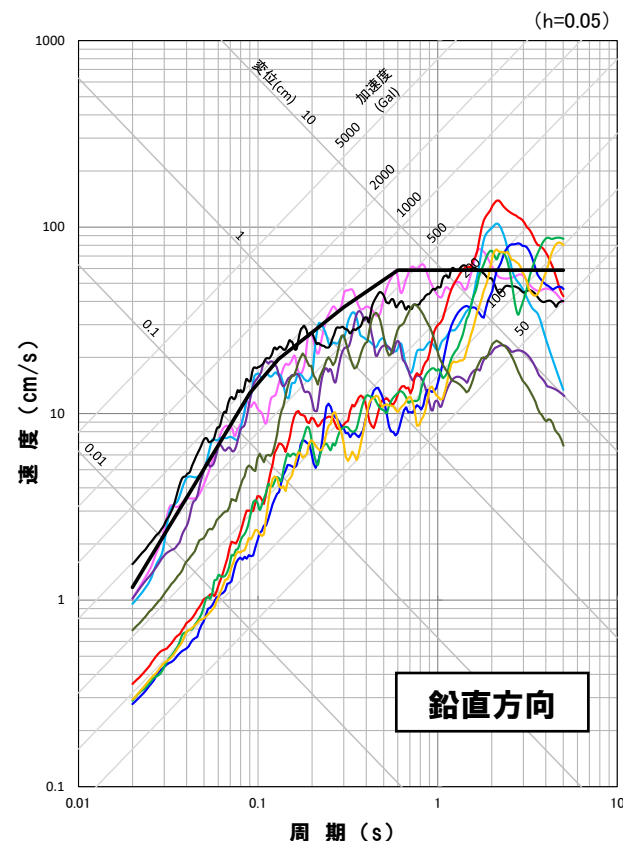
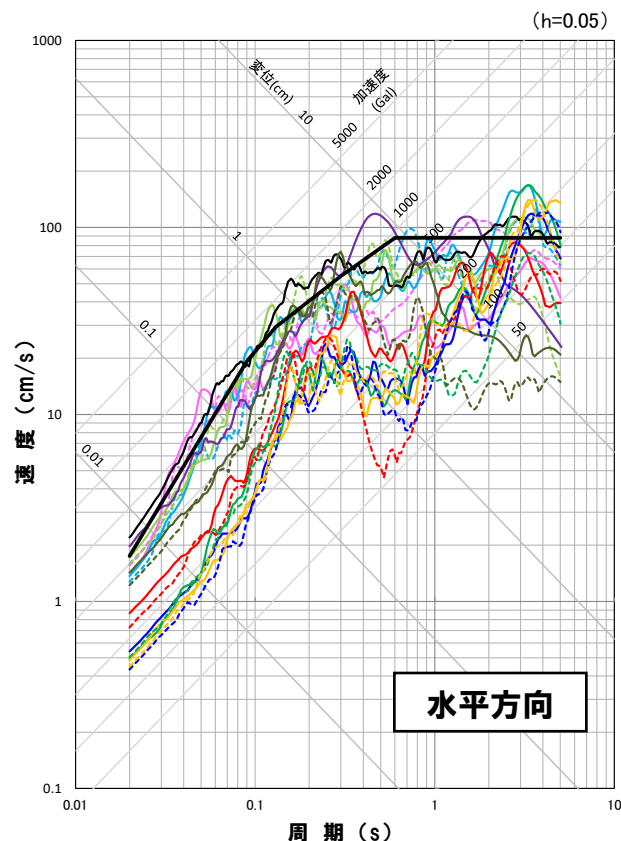
基準地震動Ss3-5(標準応答スペクトルを考慮した地震動)



2.4 基準地震動の策定 まとめ

基準地震動の策定 まとめ

○敷地ごとに震源を特定して策定する地震動および震源を特定せず策定する地震動の評価結果を踏まえて、基準地震動(Ss1, Ss2-1~Ss2-5, Ss3-1~Ss3-5)を設定した。



【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による地震動評価)】

— 基準地震動Ss1

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(断層モデルを用いた手法による地震動評価)】

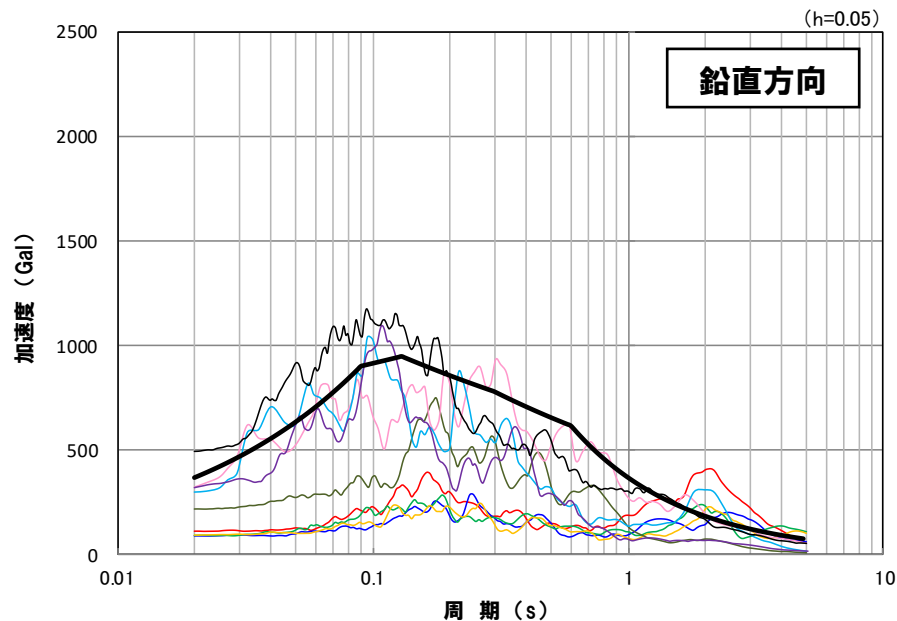
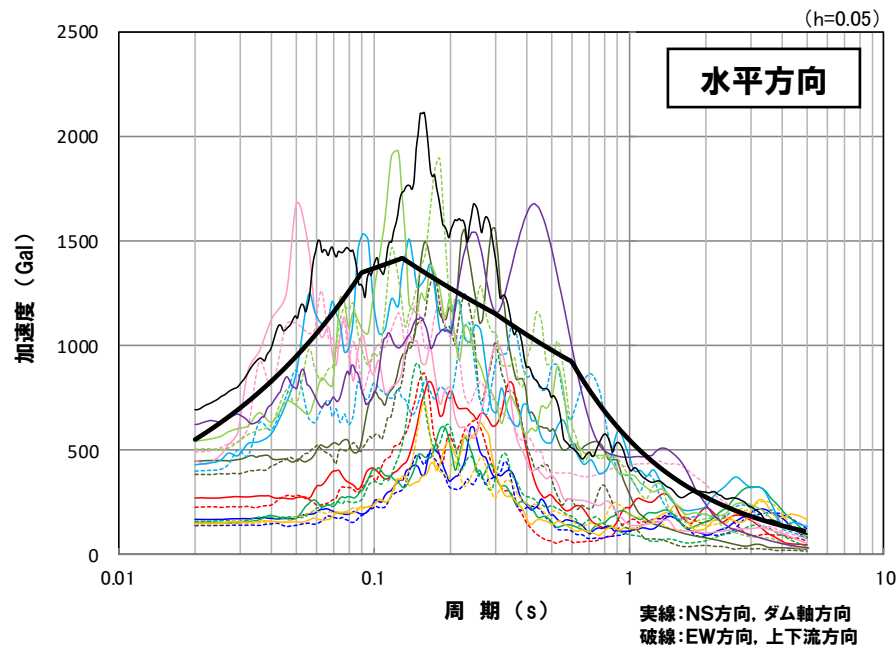
- 基準地震動Ss2-1 尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss2-2 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss2-3 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1)
- 基準地震動Ss2-4 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5)
- 基準地震動Ss2-5 積丹半島北西沖の断層による地震 走向 0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点2)

【震源を特定せず策定する地震動】

- 基準地震動Ss3-1 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])
- 基準地震動Ss3-2 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- 基準地震動Ss3-3 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net一関東)
- 基準地震動Ss3-4 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
- 基準地震動Ss3-5 標準応答スペクトルを考慮した地震動

2.4 基準地震動の策定 まとめ

基準地震動の策定 まとめ



【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による地震動評価)】

— 基準地震動Ss1

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(断層モデルを用いた手法による地震動評価)】

— 基準地震動Ss2-1 尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)

— 基準地震動Ss2-2 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)

— 基準地震動Ss2-3 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1)

— 基準地震動Ss2-4 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5)

— 基準地震動Ss2-5 積丹半島北西沖の断層による地震 走向 0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点2)

【震源を特定せず策定する地震動】

— 基準地震動Ss3-1 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])

— 基準地震動Ss3-2 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)

— 基準地震動Ss3-3 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net一関東)

— 基準地震動Ss3-4 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)

— 基準地震動Ss3-5 標準応答スペクトルを考慮した地震動

2.4 基準地震動の策定 まとめ

基準地震動の最大加速度

基準地震動		最大加速度(Gal)		
		NS方向 (ダム軸方向)	EW方向 (上下流方向)	UD方向 (鉛直方向)
Ss1	(応答スペクトルに基づく手法による基準地震動) 設計用模擬地震波	550		368
Ss2-1	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) 尻別川断層による地震 (不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)	272	228	112
Ss2-2	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) F _s -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震 (不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)	170	136	87
Ss2-3	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) F _s -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震 (不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1)	154	158	91
Ss2-4	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) F _s -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震 (不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5)	153	141	92
Ss2-5	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0°ケース (不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点2)	448	384	216
Ss3-1	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])	450	490	320
Ss3-2	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)	430	400	300
Ss3-3	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net関東)	540	500	-
Ss3-4	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)	620		320
Ss3-5	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 標準応答スペクトルを考慮した地震動	693		490

2.4 基準地震動の策定 まとめ

設置変更許可申請時との比較

設置変更許可申請時(H25.7)					審査結果を反映				
基準地震動		最大加速度(Gal)			基準地震動		最大加速度(Gal)		
		NS方向 (ダム軸方向)	EW方向 (上下流方向)	UD方向 (鉛直方向)			NS方向 (ダム軸方向)	EW方向 (上下流方向)	UD方向 (鉛直方向)
Ss	設計用模擬地震波	550		368	Ss1	(応答スペクトルに基づく手法による基準地震動) 設計用模擬地震波	550		368
—	—	—	—	—	Ss2-1	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) 尻別川断層による地震 (不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)	272	228	112
—	—	—	—	—	Ss2-2	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) F ₅ -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震 (不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)	170	136	87
—	—	—	—	—	Ss2-3	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) F ₅ -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震 (不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1)	154	158	91
—	—	—	—	—	Ss2-4	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) F ₅ -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震 (不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5)	153	141	92
—	—	—	—	—	Ss2-5	(断層モデルを用いた手法による基準地震動) 積丹半島北西沖の断層による地震 走向0°ケース (不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点2)	448	384	216
—	—	—	—	—	Ss3-1	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])	450	490	320
—	—	—	—	—	Ss3-2	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 2008年岩手・宮城内陸地震(KIK-net金ヶ崎)	430	400	300
—	—	—	—	—	Ss3-3	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 2008年岩手・宮城内陸地震(KIK-net-関東)	540	500	-
—	—	—	—	—	Ss3-4	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)	620		320
—	—	—	—	—	Ss3-5	(震源を特定せず策定する地震動による基準地震動) 標準応答スペクトルを考慮した地震動	693		490

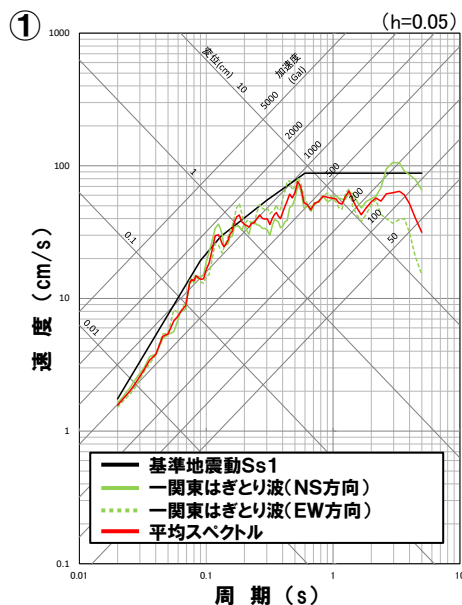
2.5 一関東評価用地震動の設定

一関東評価用地震動(鉛直方向)の設定

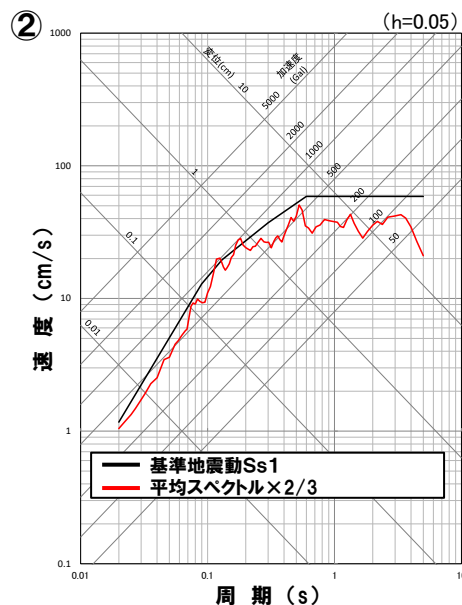
- 基準地震動Ss3-3は、鉛直方向の信頼性の高い基盤波を評価することが困難なことから、水平方向の地震動のみ設定しているものであり、鉛直方向の地震動については、基準地震動を設定していない。
- 基準地震動Ss3-3は、水平方向の地震動のみであることから、水平方向および鉛直方向の同時入力評価が必要となる基礎地盤および周辺斜面の安定性評価並びに施設評価において、以降に示す地震動(以下、「一関東評価用地震動(鉛直方向)」という)を用いる。

一関東評価用地震動(鉛直方向)の設定方法

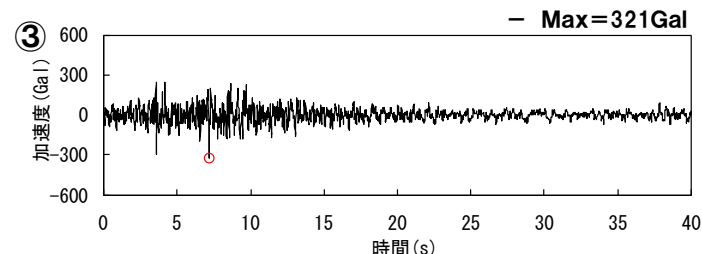
- ①一関東観測点のNS方向及びEW方向のはぎとり解析により算定した基盤地震動の応答スペクトルを平均し、平均スペクトルを作成する。
- ②水平方向の地震動に対する鉛直方向の地震動の比2/3を考慮し、平均スペクトルを2/3倍した応答スペクトルを作成する。
- ③一関東観測点における岩手・宮城内陸地震の鉛直方向地中記録の位相を用いて、設定した応答スペクトルに適合する模擬地震波を作成する。
- ④基準地震動Ss3-3の最大加速度は、NS方向540Gal, EW方向500Galであり、これらの2/3がそれぞれ360Gal, 333Galとなることから、作成した模擬地震波の最大加速度を360Galとした地震動を一関東評価用地震動(鉛直方向)とする。



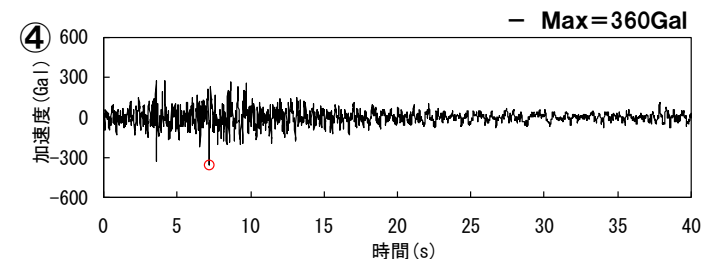
応答スペクトル図(水平方向)



応答スペクトル図(鉛直方向)



模擬地震波の時刻歴波形

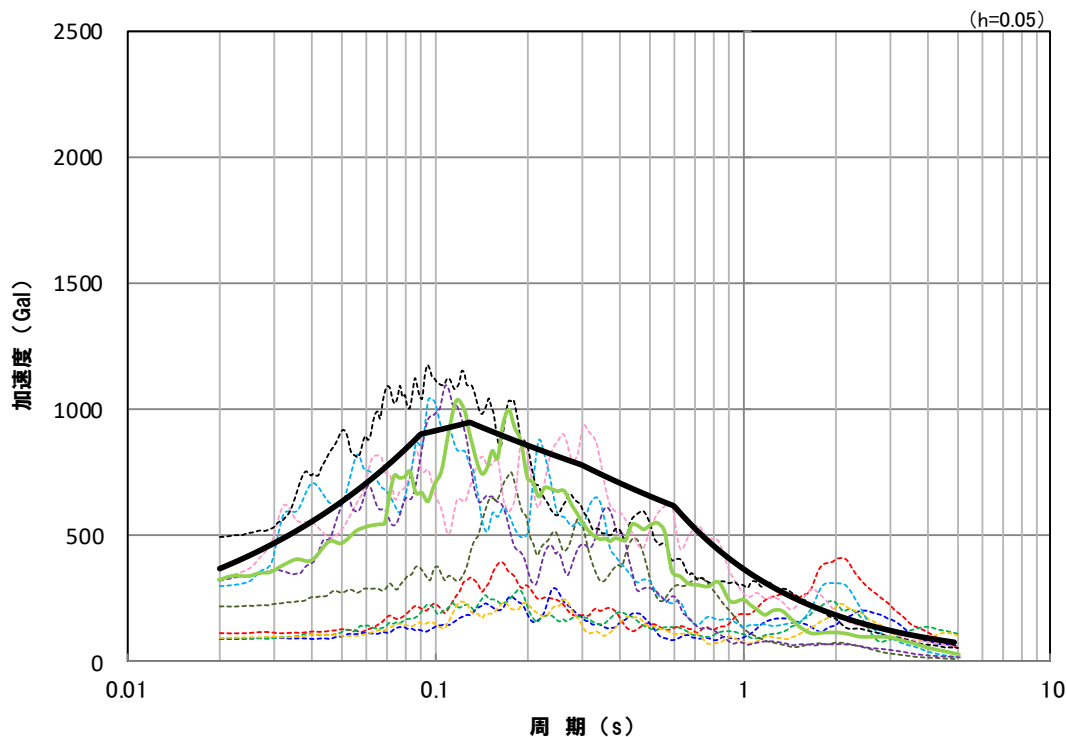
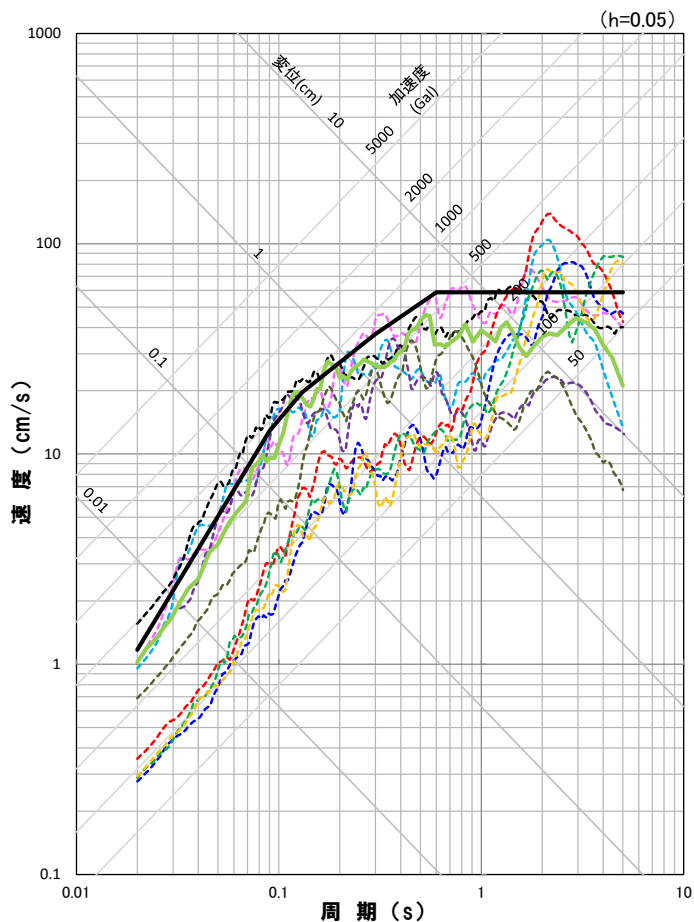


一関東評価用地震動(鉛直方向)の時刻歴波形

2. 基準地震動の策定

2.5 一関東評価用地震動の設定

【参考】一関東評価用地震動（鉛直方向）と基準地震動（鉛直方向）との比較



【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による地震動評価)】

— 基準地震動Ss1

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動(断層モデルを用いた手法による地震動評価)】

- 基準地震動Ss2-1 尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss2-2 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss2-3 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1)
- 基準地震動Ss2-4 F_s -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5)
- 基準地震動Ss2-5 積丹半島北西沖の断層による地震 走向 0° ケース(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点2)

【震源を特定せず策定する地震動】

- 基準地震動Ss3-1 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])
- 基準地震動Ss3-2 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- 基準地震動Ss3-4 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
- 基準地震動Ss3-5 標準応答スペクトルを考慮した地震動
- 一関東評価用地震動(鉛直方向)

応答スペクトル図(鉛直方向)

参考文献

- 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震, 第2報, 第43巻,257-265
- 地震調査委員会(2009):「全国地震動予測地図」技術報告書, 地震調査研究推進本部
- 地震調査委員会(2020):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシビ」)(令和2年3月6日), 地震調査研究推進本部
- 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第2輯, 第28巻, 269-283
- Starr,A.T.(1928):Slip in a crystal and rupture in a solid due to shear, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol.24, 489-501
- Paul Somerville, Kojiro Irikura, Robert Graves, Sumio Sawada, David Wald, Norman Abrahamson, Yoshinori Iwasaki, Takao Kagawa, Nancy Smith, and Akira Kowada(1999):Characterizing Crustal Earthquake Slip Model for the Prediction of Strong Ground Motion. Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, pp.59-80
- Murotani,S., S.Matsushima, T.Azuma, K.Irikura, and S.Kitagawa (2015):Scaling relations of source parameters of earthquakes occurring on inland crustal mega-fault systems, Pure and Applied Geophysics, 172, 1371-1381
- Fujii,Y. and M.Matsu'ura, (2000):Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, 157, 2283-2302
- S.Noda , 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 Workshop on the Relations Between Seismological DATA and Seismic Engineering,Oct.16-18,Istanbul.399-408
- 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大榮・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, 46-86.
- 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015:一般社団法人日本電気協会