

# 泊 発 電 所

## 基準地震動の策定について

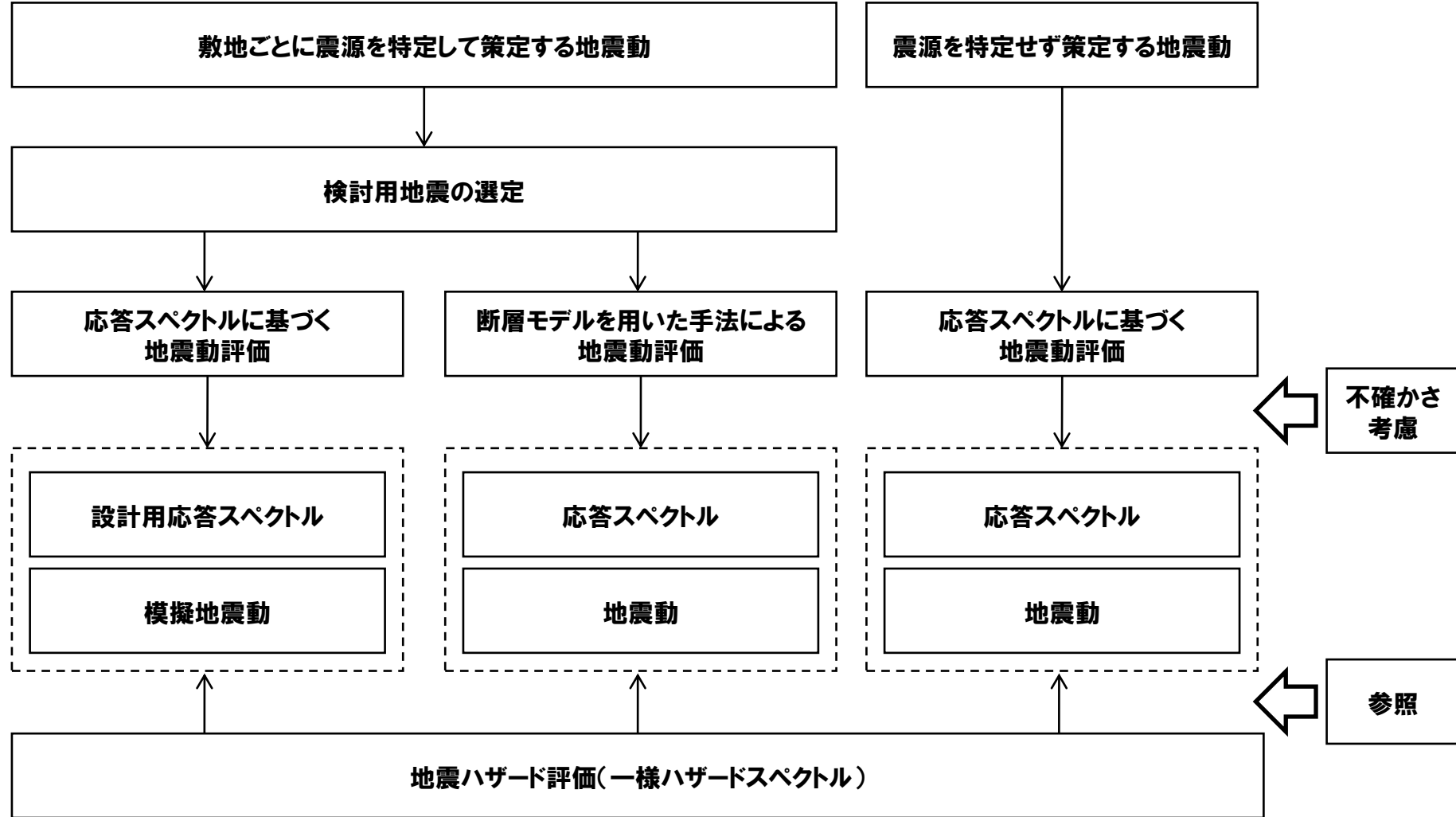
---

平成27年12月25日  
北海道電力株式会社

<b>1. 検討概要</b> .....	<b>4</b>
<b>2. 基準地震動の策定</b> .....	<b>8</b>

# 基準地震動の策定に係る検討フロー

## 基準地震動の策定に係る検討フロー



# 1. 検討概要

# 1. 検討概要(1/3)

## 【敷地周辺の地震発生状況】

- 敷地周辺で過去に発生した被害地震
  - 敷地での震度がV程度以上と推定される地震:1993年北海道南西沖地震
  - 震度Vに準ずる地震(震度IVの領域):1792年後志の地震, 1905年神威岬沖の地震, 1940年神威岬沖の地震
- 敷地周辺の地震活動
  - 気象庁で観測された地震の震央分布及び震源鉛直分布から敷地周辺の地震活動状況を整理



## 【敷地周辺の活断層の分布】

- 敷地周辺の活断層の分布
  - 文献調査等に基づき, 敷地及び敷地周辺の活断層の分布を把握



## 【敷地地盤の振動特性】

- 地下構造に関する調査結果
  - 敷地周辺の地震基盤が標高-2200m程度で大局的に平坦であること, ほぼ海岸線に平行する走向で海山方向へ傾斜する傾斜構造となっていること, 速度構造に極端なコントラストのある部分が存在しないことを確認
- 地震観測記録を用いた検討
  - 泊発電所で観測した地震記録を分析し, 到来方向や地盤構造による特異な増幅がないことを確認
- 地質構造を考慮した解析的検討
  - 地質構造を考慮した地盤モデルを作成し, 解析的な検討から地質構造の特徴, 入射方向等による振動特性への影響を検討し, 特異な増幅がないことを確認
- 深部凹構造による振動特性に関する検討
  - 深部地下構造をモデル化した2次元FEM解析により, 特異な増幅がないことを確認
- 地震動評価に用いる地下構造モデルの検討
  - 敷地全体モデルを地震動評価に用いる地下構造モデルとして採用



【敷地周辺の地震発生状況】、【敷地周辺の活断層の分布】の整理を踏まえ、地震動評価に用いる検討用地震を選定する。

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動評価】においては、【敷地地盤の振動特性】の検討結果を反映した地下構造モデルを用いる。

# 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】

### ●検討用地震の選定

「敷地周辺の地震発生状況」、「敷地周辺の活断層の分布」を踏まえ、敷地に大きな影響を及ぼすと考えられる地震を選定する。

#### 【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

#### 【日本海東縁部の地震】

- $F_B-2$ 断層による地震

### ●基本震源モデルの設定

#### 【尻別川断層による地震】

震源断層が地震発生層の上端から下端まで広がっており、断層幅と同じ断層長さを持つと仮定し、長さ22.6kmを基本震源モデルの長さとする。

#### 【 $F_S-10$ 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震】

地質調査結果を踏まえ、基本震源モデルの断層長さとして100.4kmと設定する。

#### 【 $F_B-2$ 断層による地震】

地質調査結果を踏まえ、基本震源モデルの断層長さとして96kmと設定する。

### ●地震動評価(審査ガイドに従い、種々の不確かさを考慮して評価)

#### 【尻別川断層による地震】

- ・応答スペクトルに基づく評価  
Noda et al. (2002) により評価を実施
- ・断層モデルを用いた手法による評価  
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を用いて実施

#### 【 $F_S-10$ 断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震】

- ・応答スペクトルに基づく評価  
Noda et al. (2002) により評価を実施
- ・断層モデルを用いた手法による評価  
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を用いて実施

#### 【 $F_B-2$ 断層による地震】

- ・応答スペクトルに基づく評価  
Noda et al. (2002) により評価を実施
- ・断層モデルを用いた手法による評価  
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を用いて実施  
また、経験的グリーン関数法による評価も実施

# 1. 検討概要(3/3)

## 【震源を特定せず策定する地震動】

### ●Mw6.5以上の地震について

#### 【審査ガイドの例示2地震】

2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震について、泊発電所との地域差について検討する。



2008年岩手・宮城内陸地震を観測記録収集対象とし、KiK-net金ヶ崎、KiK-net一関東、栗駒ダム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

### ●Mw6.5未満の地震について

#### 【審査ガイドの例示14地震】

震源近傍の観測記録を適切に収集し、加藤ほか(2004)の地震動レベルとの対比から敷地に及ぼす影響が大きいと考えられるものを抽出したうえで、基盤波の算定を実施する。



2004年北海道留萌支庁南部地震におけるK-NET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

### ●その他の知見

#### 【既往の知見】

震源を事前に特定できない地震に関する既往の知見を整理する。



加藤ほか(2004)の地震動レベルを震源を特定せず策定する地震動に設定



## 【基準地震動の策定】

### 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評価】

応答スペクトルに基づく地震動評価結果を踏まえて、基準地震動Ss1を設定

#### 【断層モデルを用いた手法による地震動評価】

基準地震動Ss1を上回る4波を基準地震動Ss1-1～Ss1-4に設定

### 震源を特定せず策定する地震動

2004年北海道留萌支庁南部地震におけるK-NET港町の観測記録に基づく基盤波の検討結果がSs1を上回るため、基準地震動Ss2に設定

2008年岩手・宮城内陸地震におけるKiK-net金ヶ崎、KiK-net一関東、栗駒ダムの観測記録に基づく基盤波の検討結果がSs1を上回るため、それぞれ基準地震動Ss3-1、Ss3-2、Ss3-3に設定

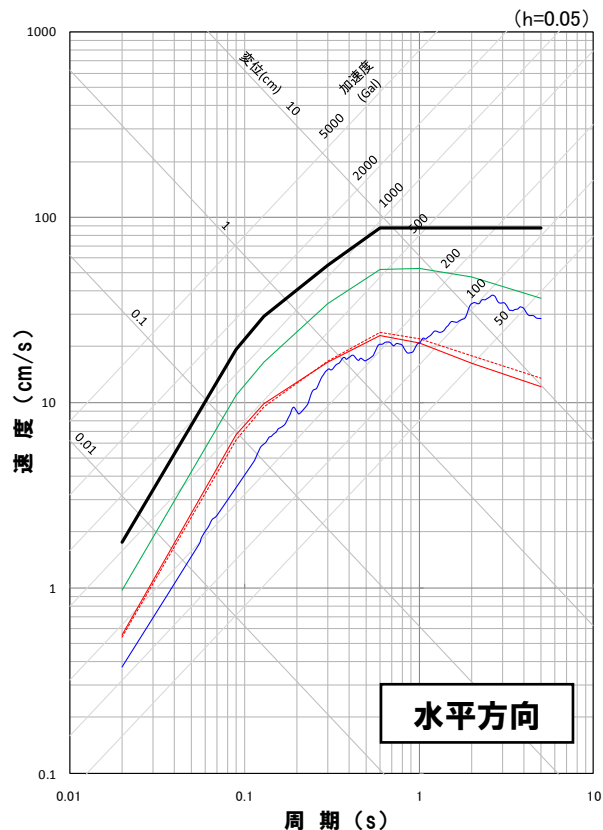
## 2. 基準地震動の策定



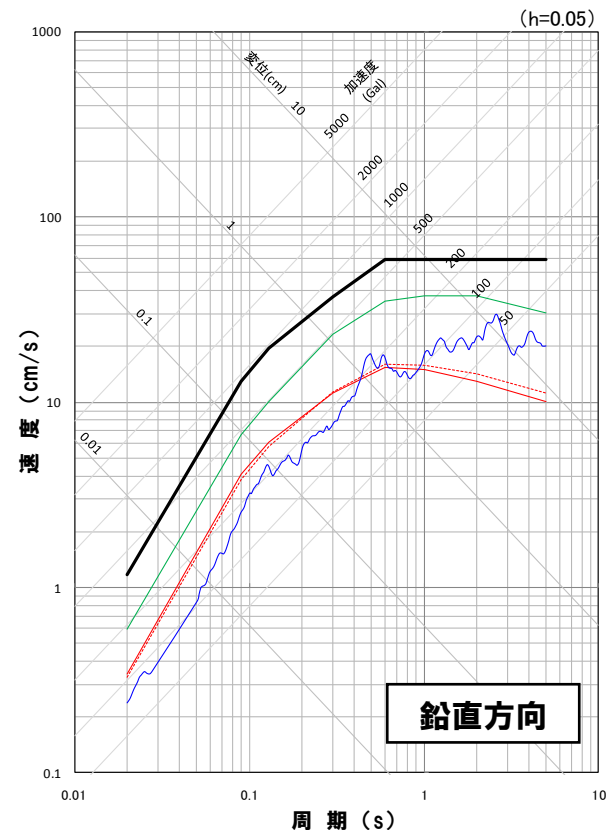
## 2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## 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地震動評価結果を踏まえて、基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルを設定する。



- 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(基本震源モデル)
- ⋯ 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))
- $F_B$ -2断層による地震(基本震源モデル)
- $F_S$ -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(基本震源モデル)

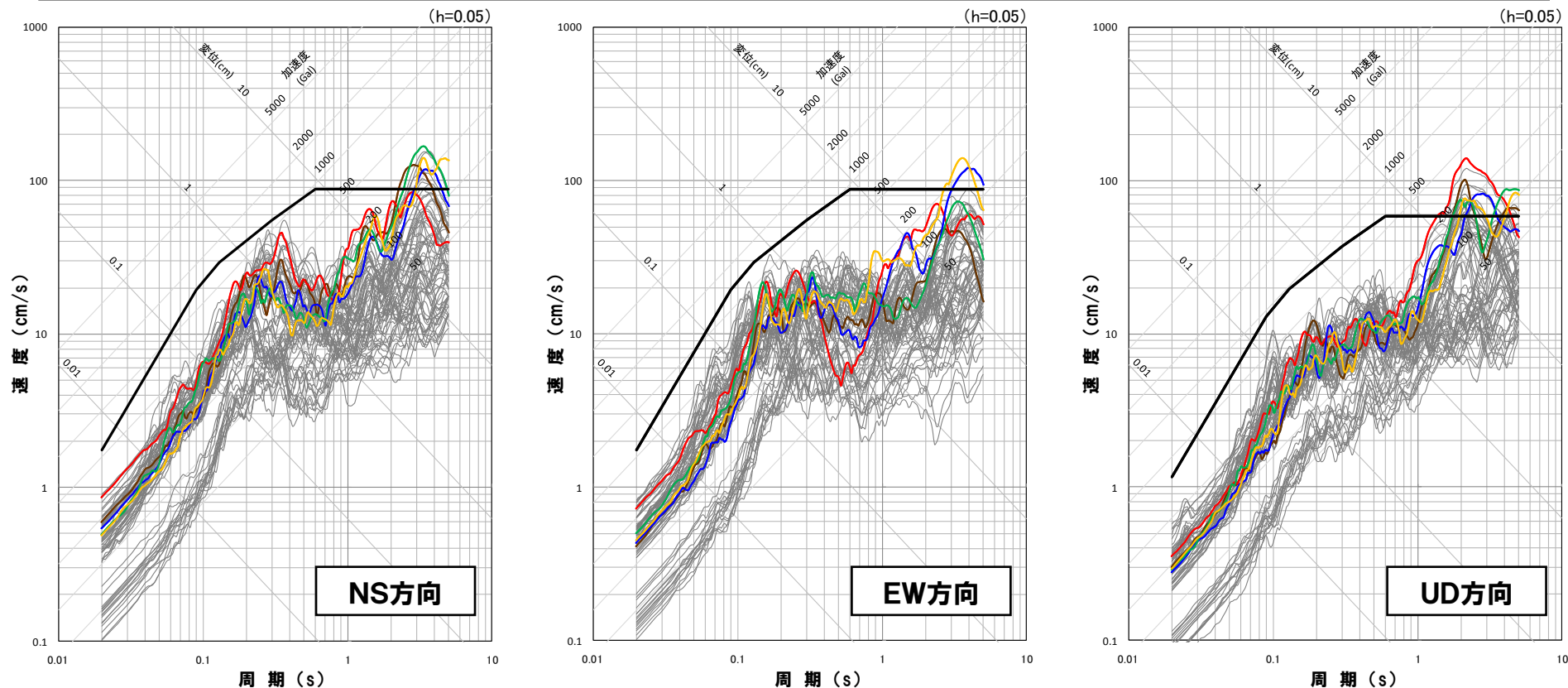


- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1-V)
- 尻別川断層による地震(基本震源モデル)
- ⋯ 尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角))
- $F_B$ -2断層による地震(基本震源モデル)
- $F_S$ -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(基本震源モデル)

## 2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

## 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結果のうち、Ss1の設計用応答スペクトルを上回るケースから、以下のケースを基準地震動(Ss1-1~Ss1-4)として採用する。
- なお、「F<sub>S</sub>-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、次頁以降に示す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も踏まえ、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)

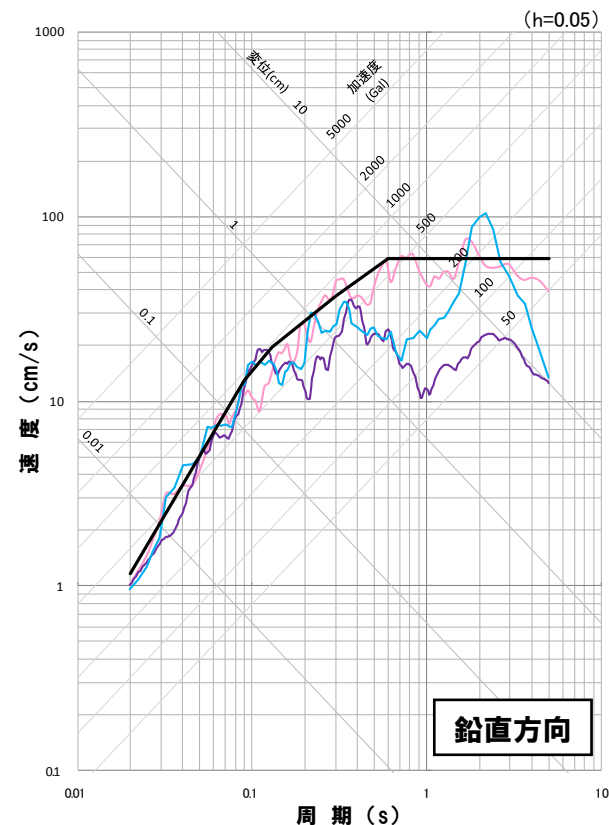
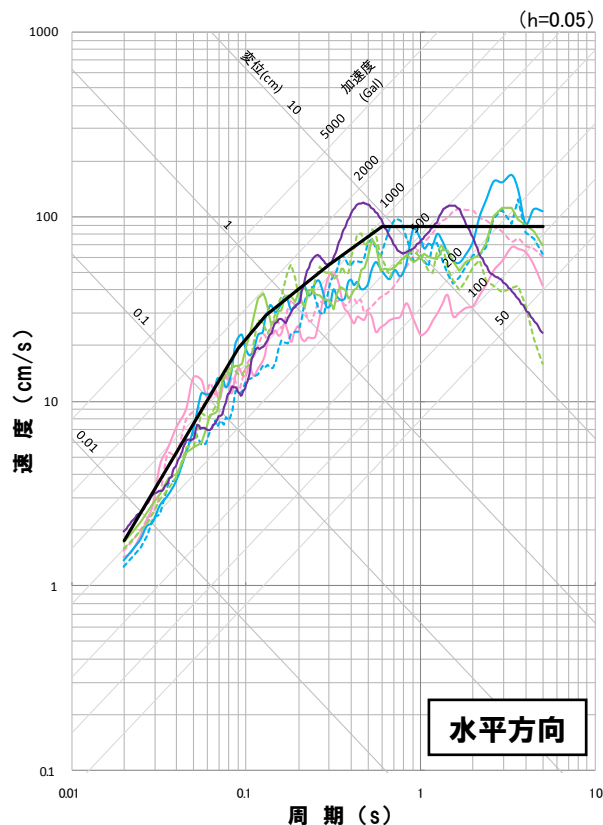
- 基準地震動Ss1-1 尻別川断層による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- F<sub>S</sub>-10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点1)
- 基準地震動Ss1-2 F<sub>S</sub>-10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4)
- 基準地震動Ss1-3 F<sub>S</sub>-10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1)
- 基準地震動Ss1-4 F<sub>S</sub>-10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. 基準地震動の策定

## 2.2 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

- 震源を特定せず策定する地震動として設定した地震動のうち、基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルを上回る地震動を基準地震動(Ss2, Ss3-1~3)として採用する。



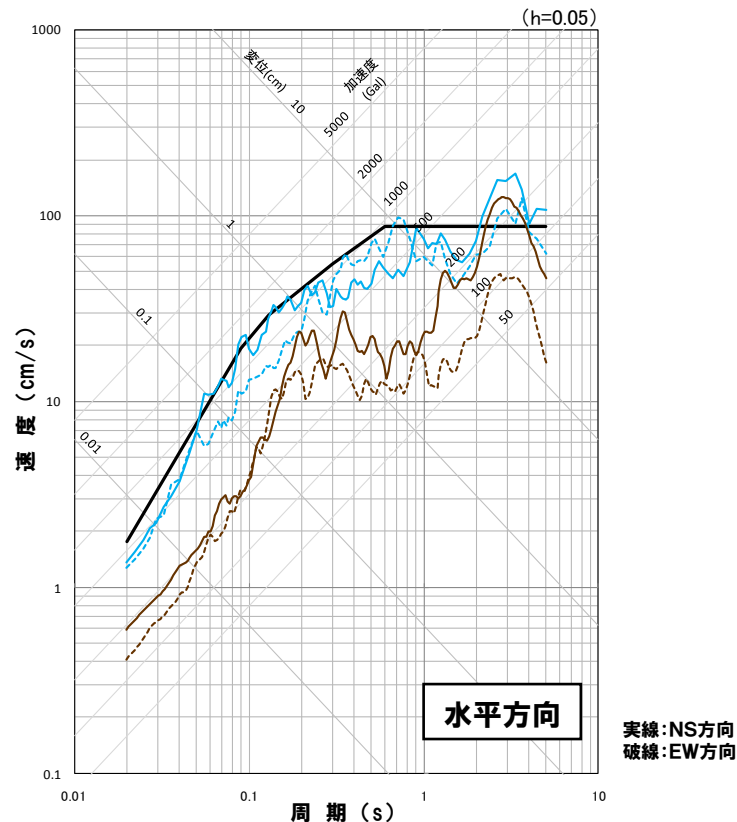
- 基準地震動Ss1-H
- 基準地震動Ss2 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
- 基準地震動Ss3-1 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])
- 基準地震動Ss3-2 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- 基準地震動Ss3-3 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net一関東)

- 基準地震動Ss1-V
- 基準地震動Ss2 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)(鉛直方向)
- 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])(鉛直方向)
- 基準地震動Ss3-2 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)(UD方向)

## 2.3 地震動評価結果の比較

## 地震動評価結果の比較

- 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(断層の傾斜角, 破壊開始点1))」については, 一部の周期帯で基準地震動Ss1の設計用応答スペクトルを上回るものの, 基準地震動Ss3-2に包絡されることから, 基準地震動に採用しない。

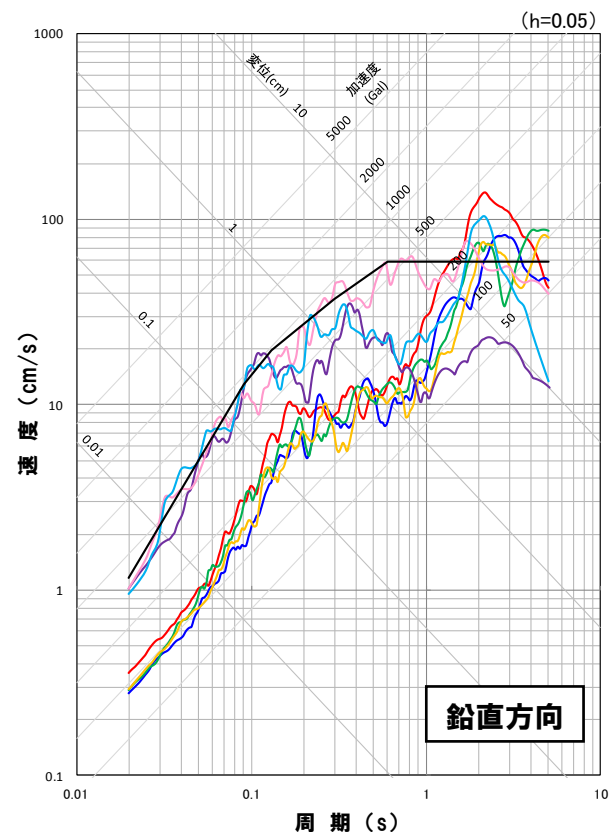
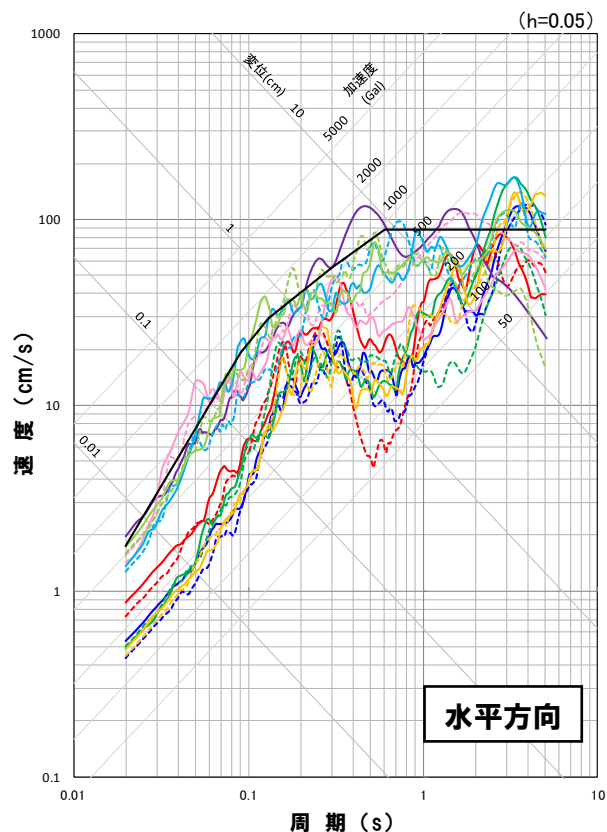


- 基準地震動Ss1(設計用応答スペクトルSs1-H)
- 基準地震動Ss3-2 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- $F_S$ -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点1)

## 2.4 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及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, Ss1-1~4, Ss2, Ss3-1~3)を設定した。



- 基準地震動Ss1
- 基準地震動Ss1-1 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Ss1-2  $F_S$ -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Ss1-3  $F_S$ -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Ss1-4  $F_S$ -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 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
- 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)

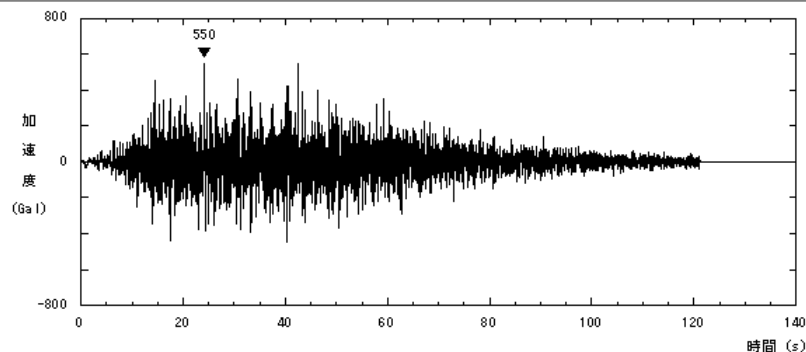
## 2.5 基準地震動Ss1の模擬地震波

## 設計用応答スペクトル「基準地震動Ss1」の模擬地震波

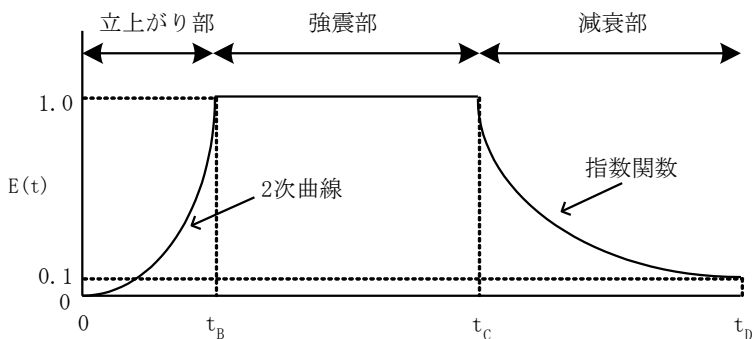
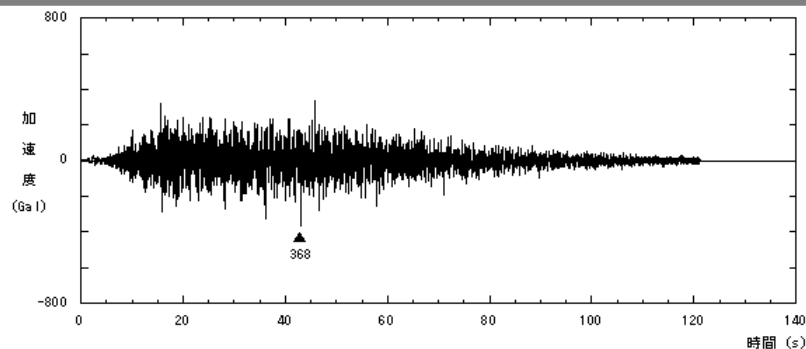
- 模擬地震波は、設計用応答スペクトルに適合するよう、一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせによって作成
- 振幅包絡線の経時変化については、Noda et al.(2002)に基づき設定

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

## 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)



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

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

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

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

M8.2,  $Xeq = 107km$

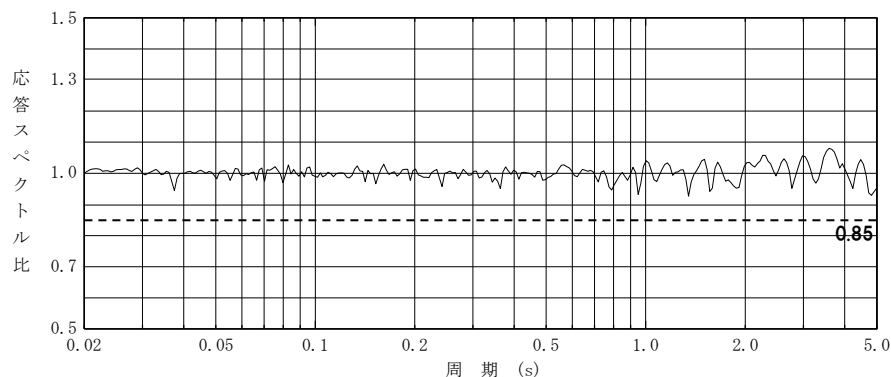
※ 検討用地震のうち、継続時間が最も長くなるF<sub>B</sub>-2断層による地震の不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角)を参考に設定

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

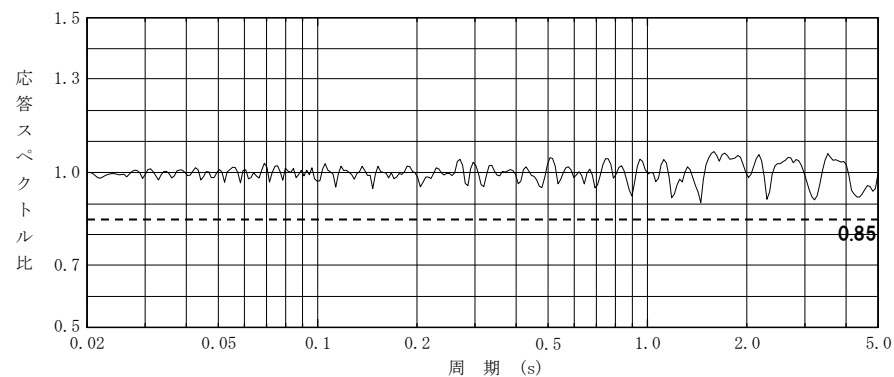
## 2.5 基準地震動Ss1の模擬地震波

- 作成した模擬地震波は、以下の適合度の条件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)

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

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)

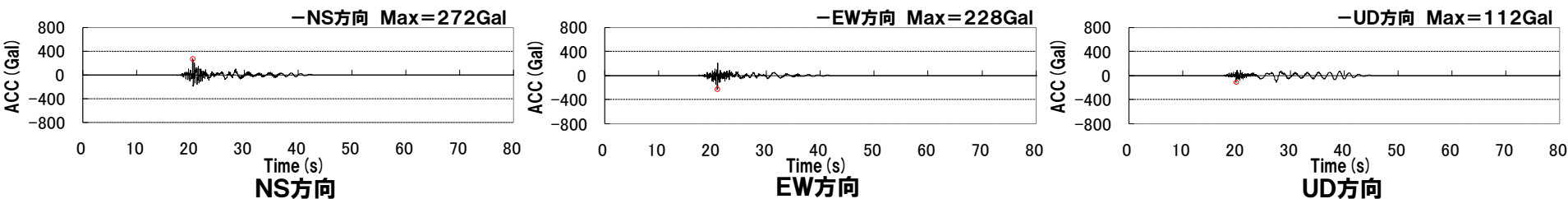
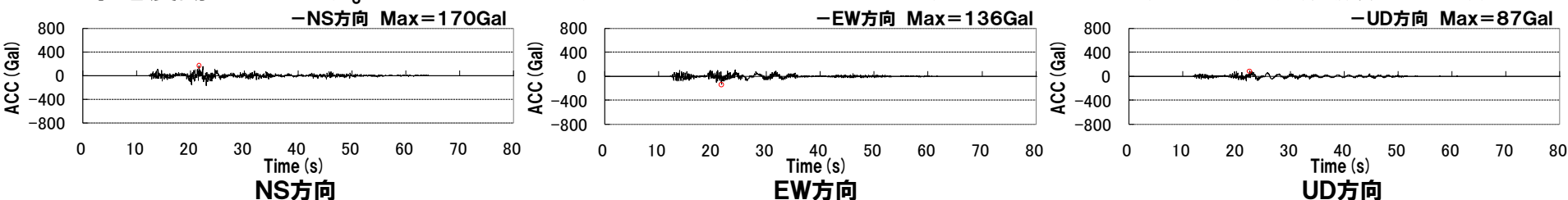
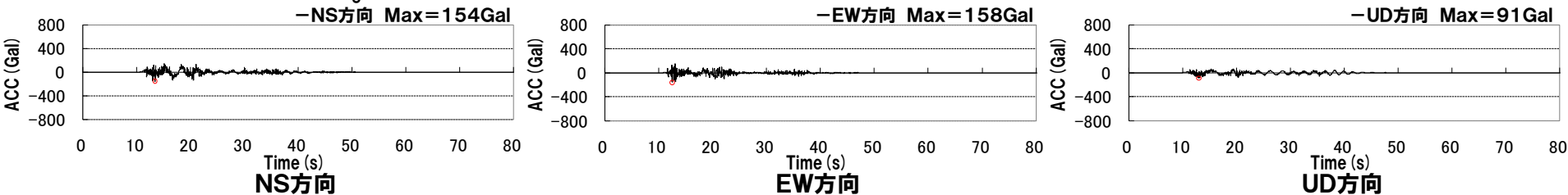
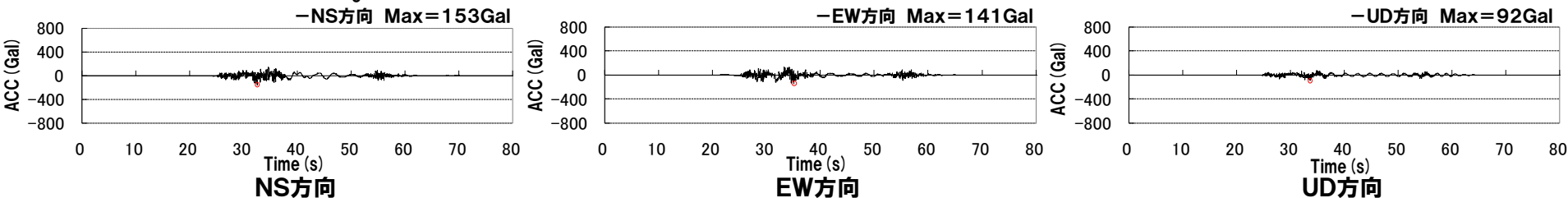
$T$  : 固有周期(s)

応答スペクトル	SI比
Ss1-H	1.00
Ss1-V	1.01

## 2.6 基準地震動Ss1, Ss2及びSs3の時刻歴波形

## 「基準地震動Ss1-1~4」の時刻歴波形

## 基準地震動Ss1-1(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))

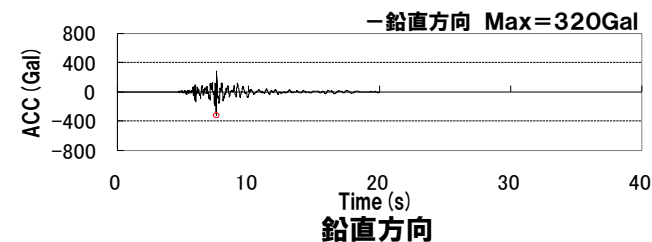
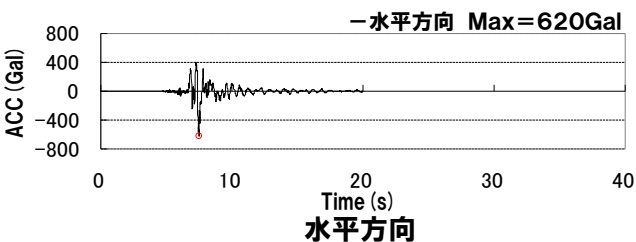
基準地震動Ss1-2( $F_S$ -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(断層の傾斜角), 破壊開始点4))基準地震動Ss1-3( $F_S$ -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点1))基準地震動Ss1-4( $F_S$ -10断層~岩内堆東撓曲~岩内堆南方背斜による地震(不確かさ考慮モデル(破壊伝播速度), 破壊開始点5))



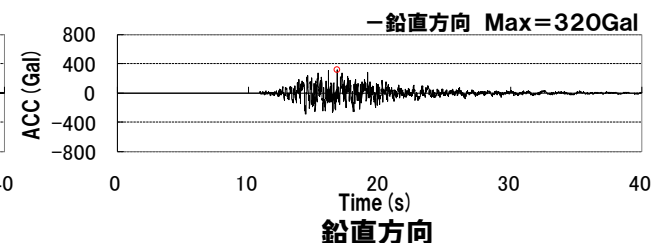
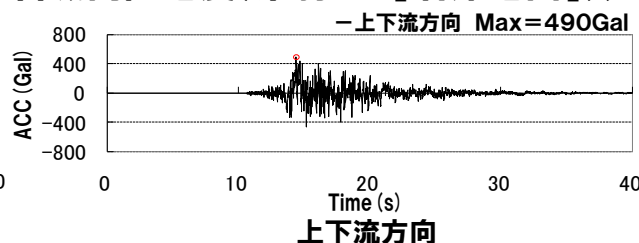
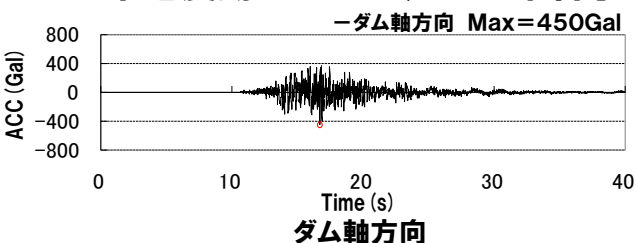
## 2.6 基準地震動Ss1, Ss2及びSs3の時刻歴波形

## 「基準地震動Ss2及び基準地震動Ss3-1~3」の時刻歴波形

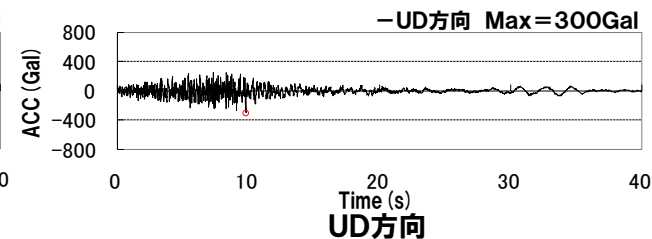
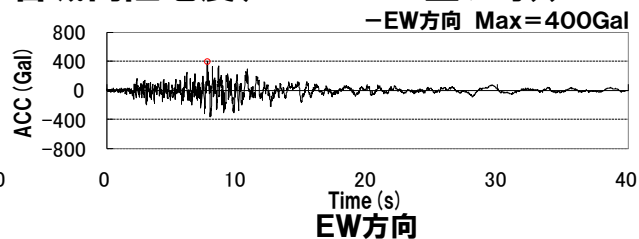
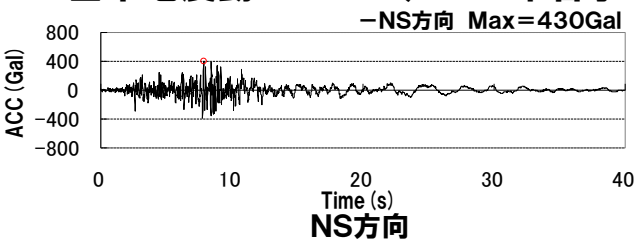
## 基準地震動Ss2(2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町))



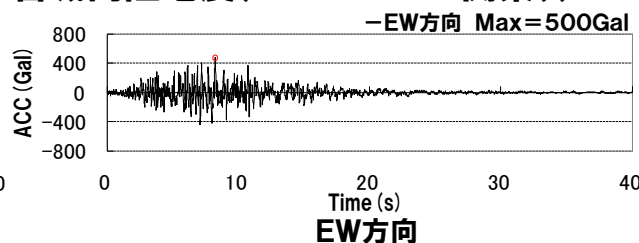
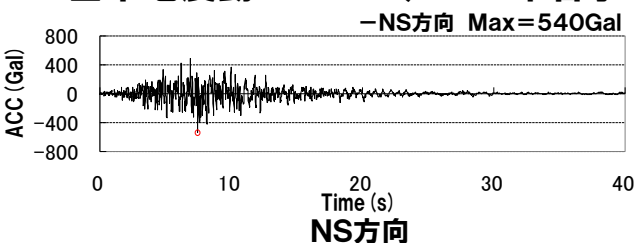
## 基準地震動Ss3-1(2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山]))



## 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))



- 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