

柏崎刈羽原子力発電所 6号炉及び7号炉

基準地震動の策定について

【ご指摘事項及び確率論的地震ハザードについて】

平成28年1月29日
東京電力株式会社



本日で説明する内容

| | | 内容 | 説明概要 | ページ |
|---|--------------|--|--|-------|
| 1 | H27 8/28 | 番神砂層・古安田層の密度の設定値について、調査結果との対応関係を示すこと。 | <ul style="list-style-type: none"> • 既往の調査結果との整合性について確認した結果をご説明。 | 8 |
| 2 | H27 12/2 | 吉田ほか(2005)を参考に、地表の影響について確認すること。 | <ul style="list-style-type: none"> • 統計的グリーン関数法による評価に併せ、はざとり解析に用いる地盤モデルを組み合わせた全体モデルを作成し、地表の影響について確認した結果をご説明。 • 全体モデル、分割モデルのいずれで評価した場合においても大きな違いがないことをご説明。 | 11～13 |
| 3 | H27 11/11 | 長岡平野西縁断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価において、大湊側のEW方向が荒浜側と比較して最大加速度値が大きくなっていることについて解説を加えること。 | <ul style="list-style-type: none"> • 極短周期側の成分については、大湊側EW方向が極短周期側で大きい要素地震を選定したため、評価結果として最大加速度値の違いが生じたものと考えられる。 • その他の要素地震では、短周期成分が同レベルのものもあり、選択した要素地震の特徴と考えられる。 | 15～18 |
| 4 | H27 12/2 | 震源を特定せず策定する地震動において、地震基盤から解放基盤表面までの伝播特性をどのように考えるかについて、考え方が明確になるよう記載方法を見直すこと。 | <ul style="list-style-type: none"> • 記載の見直し。 | 29 |
| 5 | H27 11/11 | 基準地震動の時刻歴波形について、変位波形を示すこと。 | <ul style="list-style-type: none"> • 基準地震動の時刻歴波形について、加速度・速度・変位の時刻歴波形を記載。 | 44～58 |
| 6 | H27 12/2 | 確率論的地震ハザードについて説明すること。 | <ul style="list-style-type: none"> • 確率論的地震ハザードの評価内容についてご説明。 | 60～77 |

※安田層下部層のMIS9～MIS7の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

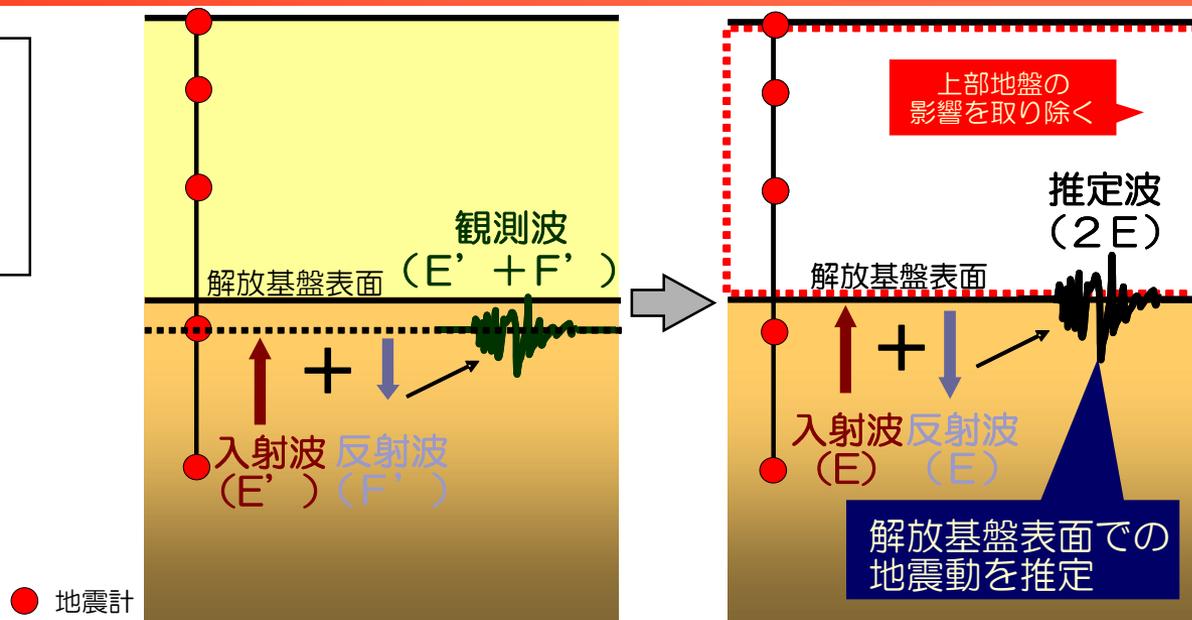
目次

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について P. 3
2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について P. 10
3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について P. 14
4. 2004年北海道留萌支庁南部地震の評価について P. 19
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について P. 32
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について P. 59

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について
2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について
3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について
4. 2004年北海道留萌支庁南部地震の評価について
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について

■ 地盤中の記録から、上部地盤の影響を取り除き、解放基盤表面の地震動を推定するために用いる地下構造モデル（以下、「はぎとり地盤モデル」）を設定。



はぎとり解析の概念図

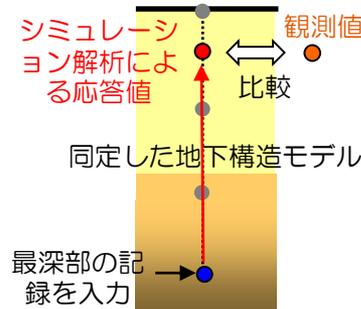
■ はぎとり解析の検討フロー

① はぎとり地盤モデルの同定

中小地震の観測記録を用いて評価した伝達関数を対象に逆解析を実施し、はぎとり地盤モデルを同定。

② 妥当性確認

最深部の記録を入力としたシミュレーション解析により同定したはぎとり地盤モデルの妥当性を確認。



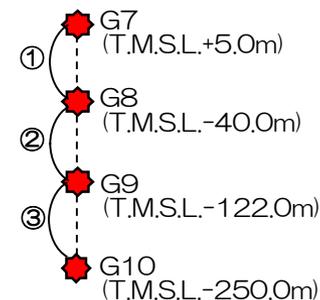
③ 解放基盤波推定

解析により解放基盤表面での地震動を推定。

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について

1号機地盤系 地下構造モデルの同定

- 観測記録による伝達関数に対し、重複反射理論に基づく逆解析により地下構造モデルを同定。
- 逆解析には遺伝的アルゴリズムを用い、S波速度及び減衰を同定。
(層厚、密度はPS検層結果で固定)



| 固定パラメータ | | | 初期モデル | 同定結果 | | |
|----------|------|----------------------|--------|-------|----------------------------------|----------|
| T.M.S.L. | 層厚※1 | 密度※2 | S波速度※1 | S波速度 | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^\alpha$ | |
| (m) | (m) | (g/cm ³) | (m/s) | (m/s) | h_0 | α |
| +5.0 | 2.0 | 2.00 | 300 | 100 | 0.2 | 0.9 |
| +3.0 | | | | 180 | | |
| -1.0 | 4.0 | 2.00 | 280 | 270 | 0.2 | 0.9 |
| -15.0 | 14.0 | 1.76 | 280 | 270 | 0.2 | 0.9 |
| -40.0 | 25.0 | 1.72 | 500 | 430 | 0.2 | 0.9 |
| -67.0 | 27.0 | | | | 0.2 | 0.9 |
| -122.0 | 55.0 | 1.72 | 540 | 520 | 0.2 | 0.9 |
| -148.0 | 26.0 | | | | 0.2 | 0.9 |
| -230.0 | 82.0 | 1.72 | 650 | 730 | 0.2 | 0.9 |
| -250.0 | 20.0 | 1.72 | 700 | 820 | 0.2 | 0.9 |
| - | - | | | | 0.2 | 0.9 |

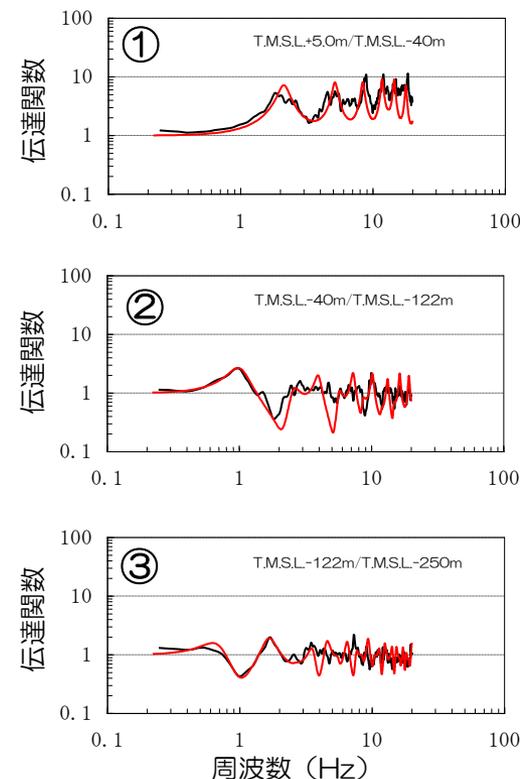
表層
(置換砂)
古安田層

西山層

● 地震計設置位置

※1：鉛直アレイ観測点のPS検層結果による。

※2：1号機の炉心周辺におけるボーリングによる設定値を参照。

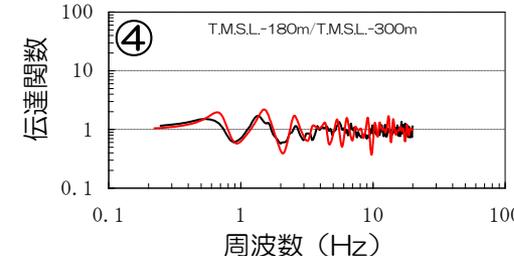
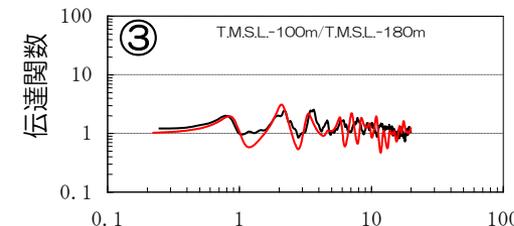
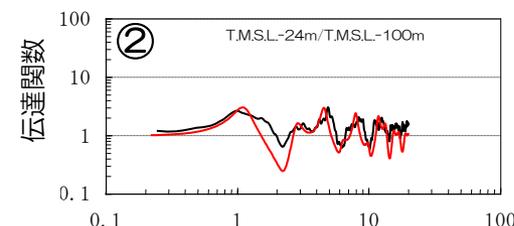
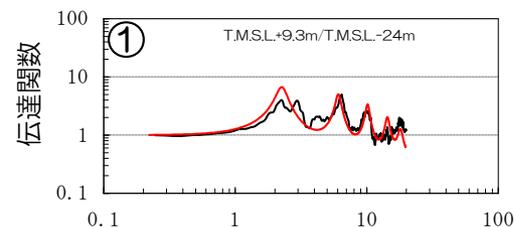
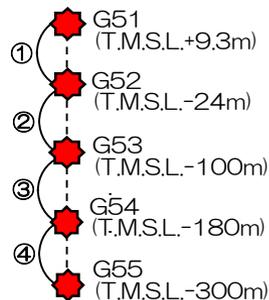


同定した地下構造モデルの理論伝達関数（赤）と観測記録による伝達関数（黒）の比較

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について

5号機地盤系 地下構造モデルの同定

- 観測記録による伝達関数に対し、重複反射理論に基づく逆解析により地下構造モデルを同定。
- 逆解析には遺伝的アルゴリズムを用い、S波速度及び減衰を同定。（層厚、密度はPS検層結果で固定）



同定した地下構造モデルの理論伝達関数（赤）と観測記録による伝達関数（黒）の比較

| | 固定パラメータ | | | 初期モデル | 同定結果 | |
|----------|-----------------|-------------|------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|
| | T.M.S.L. (m) | 層厚※1 (m) | 密度※2 (g/cm ³) | S波速度※1 (m/s) | S波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^\alpha$ |
| | | | | | | h_0 α |
| 表層 | +12.0 | | | | | |
| | +9.3 ● | 2.7 | 2.00 | 160 | 180 | 0.8 0.1 |
| | +2.0 | 7.3 | | | 210 | 0.2 0.85 |
| 古安田層 | -16.6 | 18.6 | 1.78 | 390 | 310 | 0.2 0.85 |
| | -24.0 ● | 7.4 | 1.70 | 500 | 420 | 0.2 0.85 |
| 西山層 | -33.0 | 9.0 | | | | |
| | -66.0 | 33.0 | 1.75 | 540 | 440 | 0.2 0.85 |
| | -88.0 | 22.0 | 1.75 | 550 | 550 | 0.2 0.85 |
| 椎谷層 | -100.0 ● | 12.0 | 1.84 | 660 | 640 | 0.1 0.85 |
| | -120.0 | 20.0 | | | | 0.1 0.85 |
| | -149.0 | 29.0 | 2.03 | 770 | 730 | 0.1 0.85 |
| | -180.0 ● | 31.0 | 2.03 | 840 | 890 | 0.1 0.85 |
| | -231.0 | 51.0 | | | | 0.1 0.85 |
| | -266.0 | 35.0 | 2.03 | 860 | 960 | 0.1 0.85 |
| -300.0 ● | 34.0 | 2.03 | 870 | 1000 | | 0.1 0.85 |
| | — | | | | | |

● 地震計設置位置

※1：鉛直アレイ観測点のPS検層結果による。

※2：5号機炉心周辺におけるボーリングによる設定値を参照。

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について

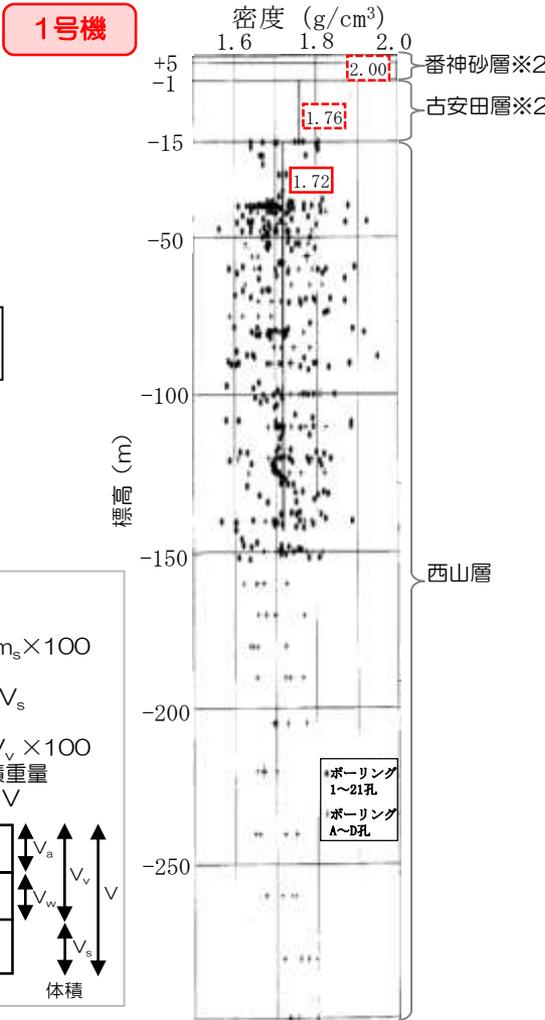
密度の設定（1号機及び5号機の炉心付近における調査結果）

■ 鉛直アレイ地点の密度は以下に示す炉心周辺のボーリング孔及び地表より採取した試料に基づく物理試験結果に基づき設定。

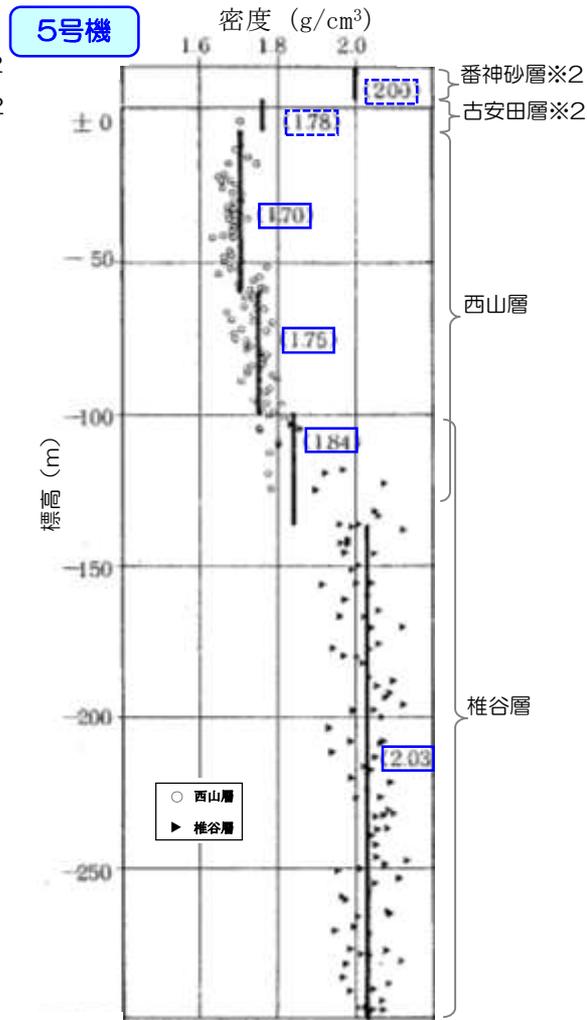
調査位置（1号機の例）



調査結果に基づく密度の設定値※1

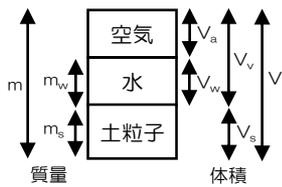


※1：各層における調査結果の平均値として設定
 ※2：番神砂層・古安田層については設定値と調査結果の深度分布が示されていないことから、次項にて対応関係を確認



各層の物性（1号機の例）

【参考】
 ・含水比
 $w = m_w / m_s \times 100$
 ・間隙比
 $e = V_w / V_s$
 ・飽和度
 $S_r = V_w / V_v \times 100$
 ・湿潤単位体積重量
 $\rho = m / V$

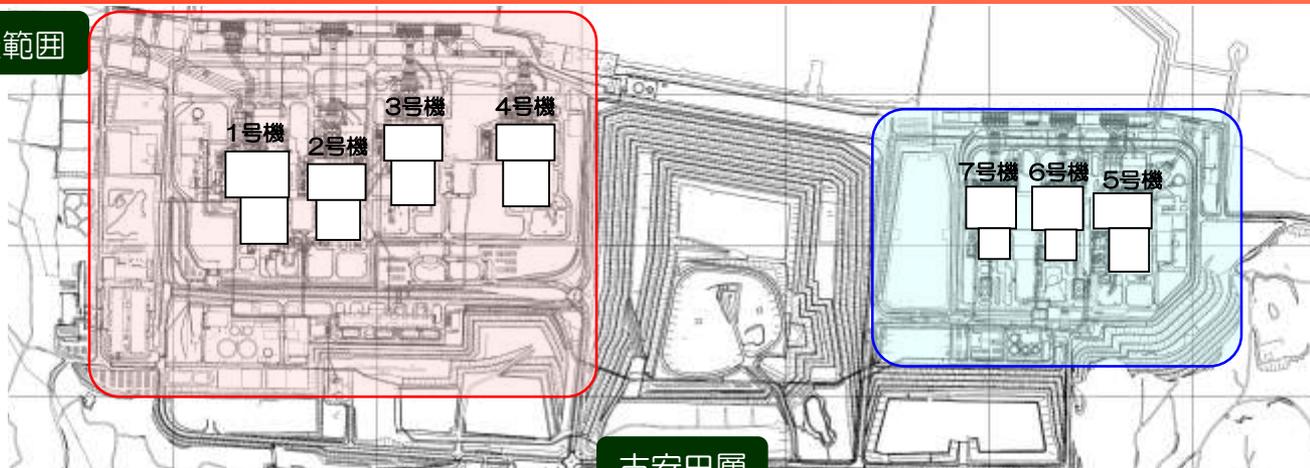


| 層名 | 掘削標 (m) | 含水率 (%) | | | | 間隙比 | 飽和度 (%) | 湿潤単位体積重量 (g/cm ³) |
|------|---------|---------|------|------|------|-----|---------|-------------------------------|
| | | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 4号機 | | | |
| 番神砂層 | ±0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | — | — | |
| 古安田層 | ±0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | — | — | |
| 西山層 | ±0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | — | — | |
| 椎谷層 | ±0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | — | — | |
| 土粒子 | — | 2.65 | 2.65 | 2.65 | 2.65 | — | — | |
| 水 | — | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | — | — | |
| 空気 | — | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | — | — | |

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について 密度の設定値の確認（番神砂層・古安田層）

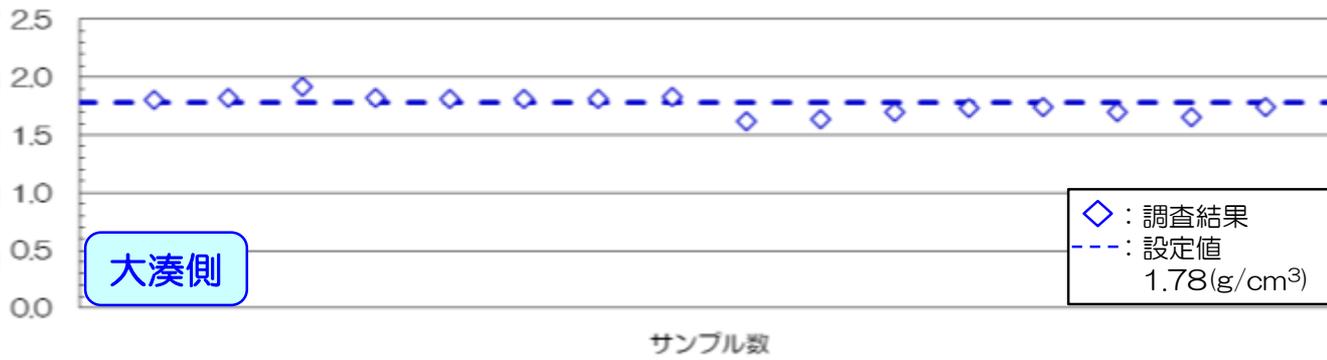
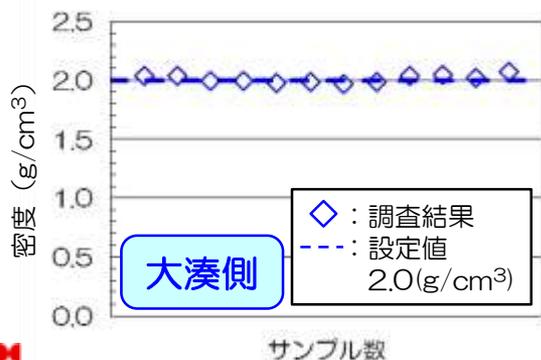
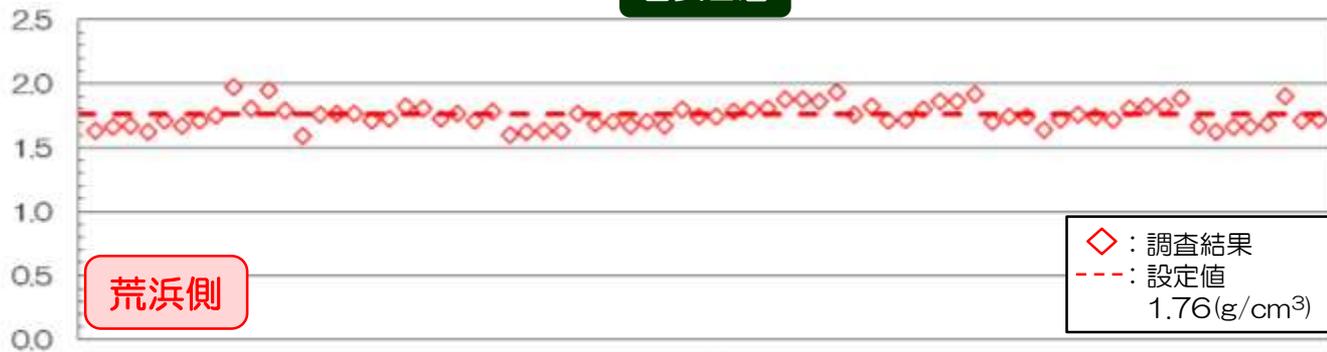
- 番神砂層・古安田層について設定値と調査結果の対応を、炉心ボーリング等での調査結果を参照し、設定値の妥当性を確認。
- 各層の密度は、適切に設定されていることを確認。

調査範囲



番神砂層

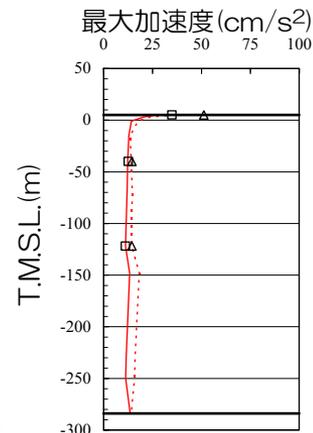
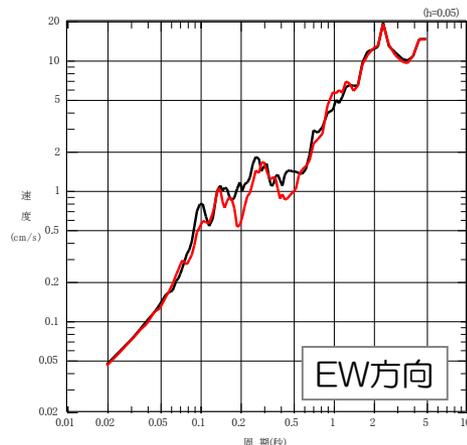
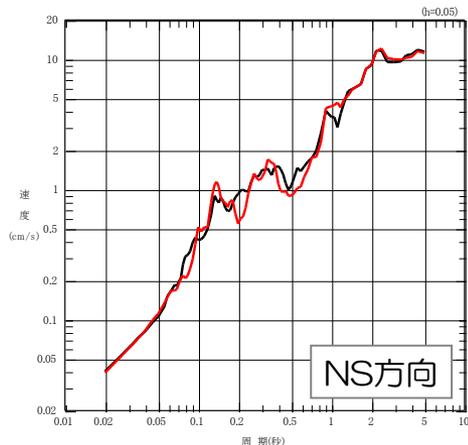
古安田層



1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について 地下構造モデルの妥当性確認

1号機 地盤系

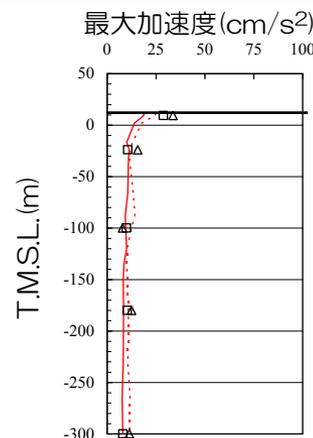
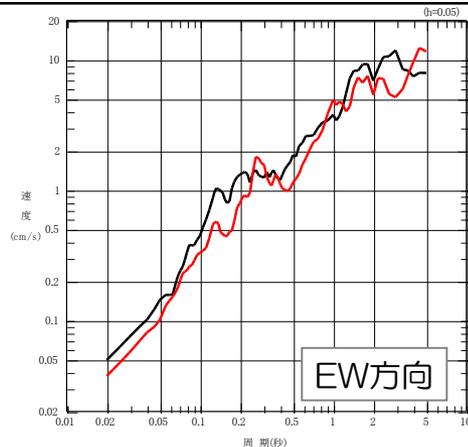
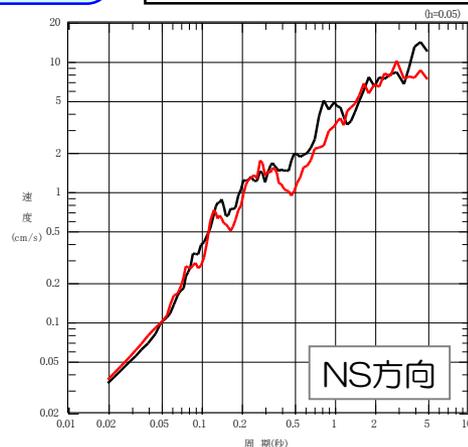
■ 同定した地下構造モデルにT.M.S.L.-122mの記録を入力し、T.M.S.L.-40.0m地点の応答値と観測記録を比較。



- 観測記録 (NS方向)
- △ 観測記録 (EW方向)
- シミュレーション (NS方向)
- - - シミュレーション (EW方向)

5号機 地盤系

■ 同定した地下構造モデルにT.M.S.L.-300mの記録を入力し、T.M.S.L.-24m地点の応答値と観測記録を比較。



■ 同定した地下構造モデルによるシミュレーション解析結果は観測記録を良好に再現できていることを確認。

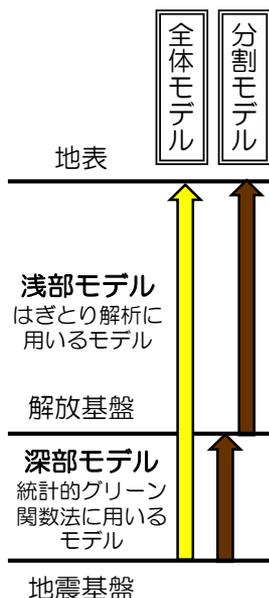
1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について
2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について
3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について
4. 2004年北海道留萌支庁南部地震の評価について
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について

- 吉田ほか(2005)では、表層の地震応答解析用の入力地震動を設定する方法として、表層の存在を無視し、工学的基盤を解放基盤として地震動を設定する方法の妥当性を検証。結論として、地震動を設定する場合には、表層の存在を意識しておく必要があると指摘している。
- 現状の地震動評価では、解放基盤表面において基準地震動を策定し、浅部モデルに入力し、施設への入力地震動を算定。(深部と浅部を分けた「分割モデル」による分割解析)
- 吉田ほか(2005)を踏まえ、地震基盤～地表までの「全体モデル」を用いた一体解析と、現状の地震動評価で実施する分割モデルを用いた分割解析の結果を比較する。
- 浅部モデルは、はぎとり解析に用いるモデル、深部モデルは統計的グリーン関数法に用いるモデルとし、解放基盤表面位置で接続して全体モデルを設定。
- 地震基盤への入力波は、シミュレーション解析結果の地震基盤波とする。

荒浜側

| TMSL (m) | 層厚 (m) | 密度 (g/cm ³) | S波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$ | |
|-------------|-----------|----------------------------|---------------|-------------------------------------|----------|
| | | | | h_0 | α |
| +5.0 | | | | | |
| +3.0 | 2.0 | 2.00 | 100 | 0.2 | 0.9 |
| -1.0 | 4.0 | 2.00 | 180 | 0.2 | 0.9 |
| -15.0 | 14.0 | 1.76 | 270 | 0.2 | 0.9 |
| -40.0 | 25.0 | 1.72 | 430 | 0.2 | 0.9 |
| -67.0 | 27.0 | 1.72 | 430 | 0.2 | 0.9 |
| -122.0 | 55.0 | 1.72 | 520 | 0.2 | 0.9 |
| -148.0 | 26.0 | 1.72 | 520 | 0.2 | 0.9 |
| -230.0 | 82.0 | 1.72 | 730 | 0.2 | 0.9 |
| -250.0 | 20.0 | 1.72 | 820 | 0.2 | 0.9 |
| -284.0 | 34.0 | 1.72 | 820 | 0.2 | 0.9 |
| -300.0 | 16.0 | 2.11 | 1110 | 0.01 | 1.0 |
| -1360.0 | 1060 | 2.12 | 1160 | 0.01 | 1.0 |
| -2410.0 | 1050 | 2.25 | 1620 | 0.01 | 1.0 |
| -3700.0 | 1290 | 2.36 | 2050 | 0.01 | 1.0 |
| -5880.0 | 2180 | 2.51 | 2760 | 0.01 | 1.0 |
| | - | 2.59 | 3170 | - | - |



大湊側

| TMSL (m) | 層厚 (m) | 密度 (g/cm ³) | S波速度 (m/s) | 減衰 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$ | |
|-------------|-----------|----------------------------|---------------|-------------------------------------|----------|
| | | | | h_0 | α |
| +12.0 | | | | | |
| +9.3 | 2.7 | 2.00 | 180 | 0.8 | 0.1 |
| +2.0 | 7.3 | 2.00 | 210 | 0.2 | 0.85 |
| -16.6 | 18.6 | 1.78 | 310 | 0.2 | 0.85 |
| -24.0 | 7.4 | 1.70 | 420 | 0.2 | 0.85 |
| -33.0 | 9.0 | 1.70 | 420 | 0.2 | 0.85 |
| -66.0 | 33.0 | 1.75 | 440 | 0.2 | 0.85 |
| -88.0 | 22.0 | 1.75 | 550 | 0.2 | 0.85 |
| -100.0 | 12.0 | 1.84 | 640 | 0.1 | 0.85 |
| -120.0 | 20.0 | 1.84 | 640 | 0.1 | 0.85 |
| -134.0 | 14.0 | 2.03 | 730 | 0.1 | 0.85 |
| -149.0 | 15.0 | 2.03 | 730 | 0.01 | 1.0 |
| -180.0 | 31.0 | 2.03 | 890 | 0.01 | 1.0 |
| -231.0 | 51.0 | 2.03 | 890 | 0.01 | 1.0 |
| -266.0 | 35.0 | 2.03 | 960 | 0.01 | 1.0 |
| -300.0 | 34.0 | 2.03 | 1000 | 0.01 | 1.0 |
| -1360.0 | 1060 | 2.12 | 1160 | 0.01 | 1.0 |
| -2410.0 | 1050 | 2.25 | 1620 | 0.01 | 1.0 |
| -3700.0 | 1290 | 2.36 | 2050 | 0.01 | 1.0 |
| -5880.0 | 2180 | 2.51 | 2760 | 0.01 | 1.0 |
| | - | 2.59 | 3170 | - | - |



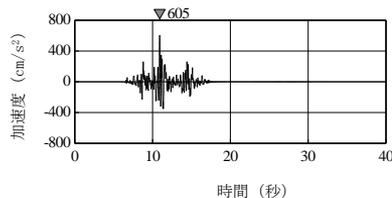
※「統計的グリーン関数に用いるモデル」については、第279回審査会合資料1参照

2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について

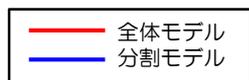
2.1 2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析結果を用いた検討

- 2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析結果の地震基盤波（EW方向）を入力とし、「全体モデル」と「分割モデル」の地表応答と地震基盤～地表の増幅率を比較して示す。
- 長周期側において「分割モデル」の卓越周期が若干短周期側にシフトするものの、主要周期帯における両者の違いは小さいことが確認できる。
- この要因は、吉田ほか(2005)に指摘される通り、敷地の地震基盤が約6kmと深いのに対して、解放基盤深さが荒浜側はT.M.S.L.-284m、大湊側はT.M.S.L.-134mと浅いことが考えられる。

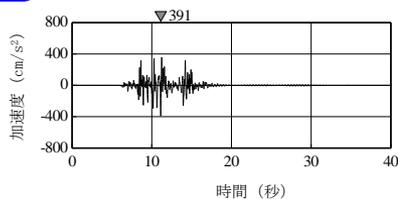
荒浜側



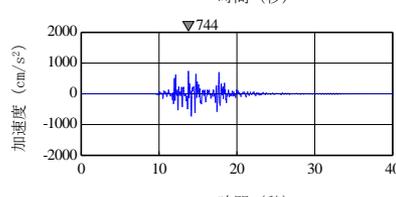
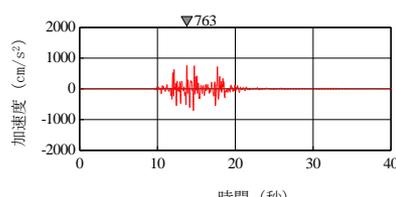
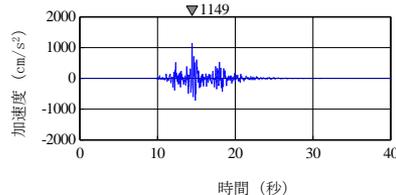
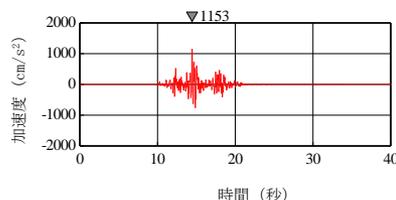
入力波：2007年新潟県中越沖地震の統計的グリーン関数法による評価（地震基盤，EW方向）



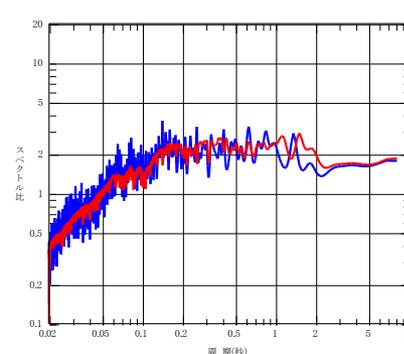
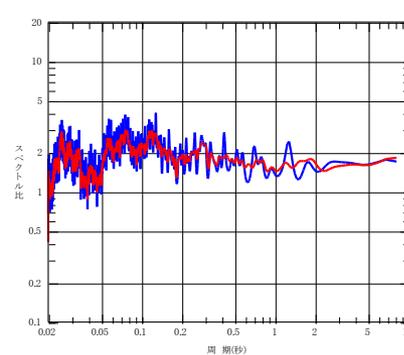
大湊側



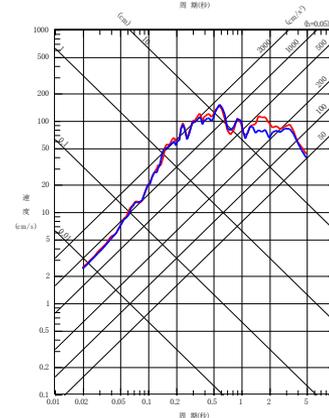
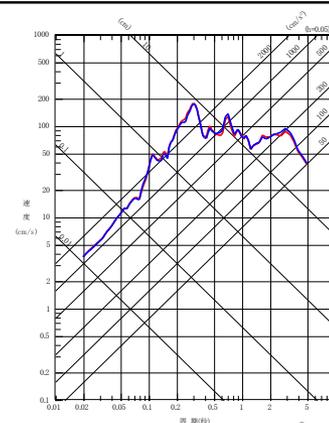
入力波：2007年新潟県中越沖地震の統計的グリーン関数法による評価（地震基盤，EW方向）



加速度時刻歴波形（地表）



増幅率（地震基盤～地表）



擬似速度応答スペクトル（地表）

※2007年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析の詳細は、第279回審査会合資料1参照

2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について

2.2 2004年新潟県中越地震のシミュレーション解析結果を用いた検討

- 吉田ほか(2005)を踏まえ、地表の影響を確認する検討を、2004年新潟県中越地震の統計的グリーン関数法によるシミュレーション解析結果についても実施。
- 2004年新潟県中越地震の観測記録は、大湊側のみで取得できているため、大湊側を対象に評価を実施。
- 地震基盤への入力波は、シミュレーション解析結果の地震基盤波とし、全体モデル・分割モデルでの地表応答を比較する。

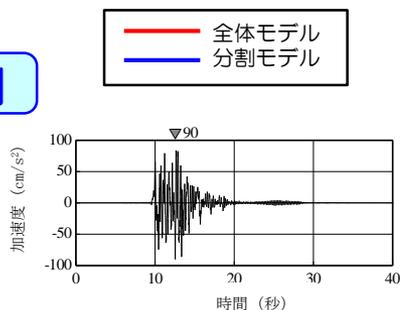
- 長周期側において「分割モデル」の卓越周期が若干短周期側にシフトするものの、主要周期帯における両者の違いは小さいことが確認できる。
- この要因は、吉田ほか(2005)に指摘される通り、敷地の地震基盤が約6kmと深いのに対して、解放基盤深さが大湊側でT.M.S.L.-134mと浅いことが考えられる。

大湊側

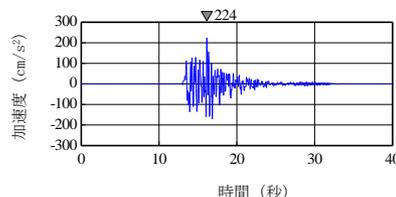
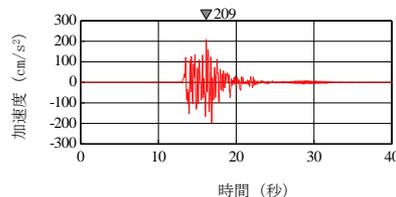
| TMSL (m) | 層厚 (m) | 密度 (g/cm ³) | S波速度 (m/s) | 減衰 | |
|-------------|-----------|----------------------------|---------------|-------|----------|
| | | | | h_0 | α |
| +12.0 | 2.7 | 2.00 | 180 | 0.8 | 0.1 |
| +9.3 | 7.3 | 2.00 | 210 | 0.2 | 0.85 |
| +2.0 | 18.6 | 1.78 | 310 | 0.2 | 0.85 |
| -16.6 | 7.4 | 1.70 | 420 | 0.2 | 0.85 |
| -24.0 | 9.0 | 1.70 | 420 | 0.2 | 0.85 |
| -33.0 | 33.0 | 1.75 | 440 | 0.2 | 0.85 |
| -66.0 | 22.0 | 1.75 | 550 | 0.2 | 0.85 |
| -88.0 | 12.0 | 1.84 | 640 | 0.1 | 0.85 |
| -100.0 | 20.0 | 1.84 | 640 | 0.1 | 0.85 |
| -120.0 | 14.0 | 2.03 | 730 | 0.1 | 0.85 |
| -134.0 | 15.0 | 2.03 | 730 | 0.01 | 1.0 |
| -149.0 | 31.0 | 2.03 | 890 | 0.01 | 1.0 |
| -180.0 | 51.0 | 2.03 | 890 | 0.01 | 1.0 |
| -231.0 | 35.0 | 2.03 | 960 | 0.01 | 1.0 |
| -266.0 | 34.0 | 2.03 | 1000 | 0.01 | 1.0 |
| -300.0 | 1060 | 2.12 | 1160 | 0.01 | 1.0 |
| -1360.0 | 1050 | 2.25 | 1620 | 0.01 | 1.0 |
| -2410.0 | 1290 | 2.36 | 2050 | 0.01 | 1.0 |
| -3700.0 | 2180 | 2.51 | 2760 | 0.01 | 1.0 |
| -5880.0 | — | 2.59 | 3170 | — | — |



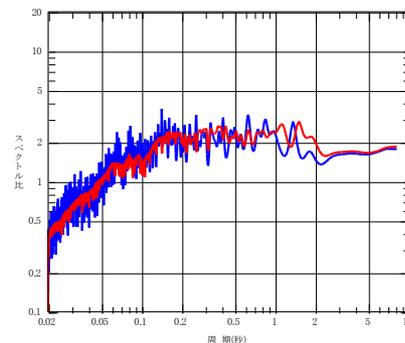
大湊側



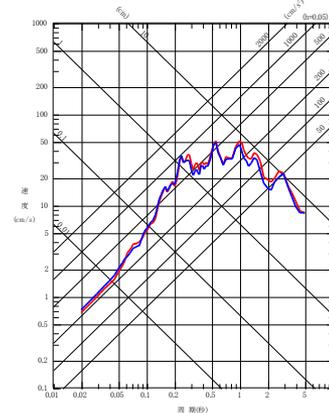
入力波：2004年新潟県中越地震の統計的グリーン関数法による評価
(地震基盤，EW方向)



加速度時刻歴波形 (地表)



増幅率 (地震基盤～地表)



擬似速度応答スペクトル
(地表)

※2004年新潟県中越地震のシミュレーション解析の詳細は、第279回審査会合資料1参照

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について
2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について
3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について
4. 2004年北海道留萌支庁南部地震の評価について
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

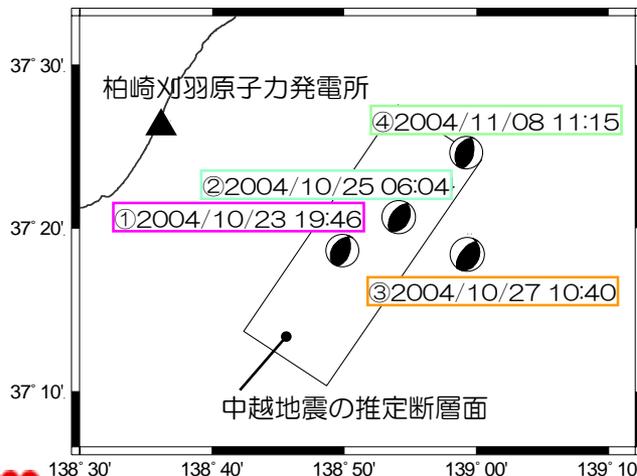
3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について

■ 長岡平野西縁断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果から策定した基準地震動Ss-4~7において、EW方向の最大加速度値が荒浜側と比較して大湊側が大きい傾向にあったことを踏まえ、要素地震の特徴を確認。

【長岡平野西縁断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果】

| 基準地震動 | 検討用地震 | 最大加速度値 (cm/s ²) | | | | | | |
|-------|----------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|-----|
| | | 荒浜側 | | | 大湊側 | | | |
| | | NS方向 | EW方向 | UD方向 | NS方向 | EW方向 | UD方向 | |
| Ss-4 | 長岡平野西縁断層帯による地震 | 応力降下量1.5倍 | 589 | 574 | 314 | 428 | 826 | 332 |
| Ss-5 | | 断層傾斜角35° | 553 | 554 | 266 | 426 | 664 | 346 |
| Ss-6 | | 連動+応力降下量1.5倍 | 510 | 583 | 313 | 434 | 864 | 361 |
| Ss-7 | | 連動+断層傾斜角35° | 570 | 557 | 319 | 389 | 780 | 349 |

■ 中越地震の余震のうち、要素地震の候補として抽出した4地震の観測記録により特徴を整理。



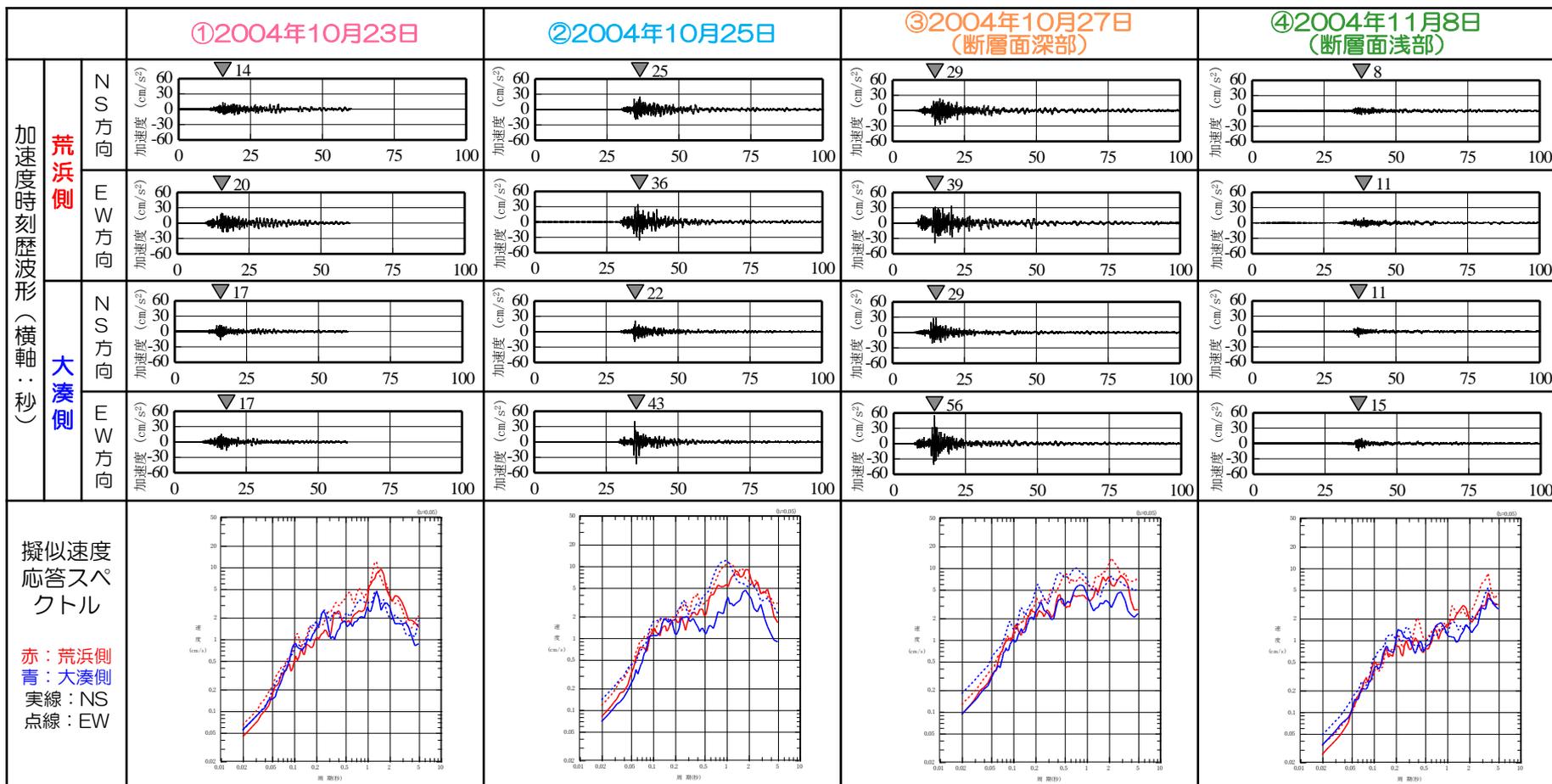
抽出した要素地震の候補

| No. | ① | ② | ③ | ④ | 備考 | |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|-------------|
| 発生日時 | 2004/10/23 19:46 | 2004/10/25 06:04 | 2004/10/27 10:40 | 2004/11/8 11:15 | 気象庁 | |
| マグニチュード | M _i | 5.7 | 5.8 | 6.1 | 5.9 | 気象庁 |
| | M _w | 5.5 | 5.6 | 5.8 | 5.5 | F-net |
| 震源位置 | 東経(°) | 138.83 | 138.90 | 138.99 | 138.99 | 神原ほか(2006)* |
| | 北緯(°) | 37.31 | 37.34 | 37.31 | 37.41 | 神原ほか(2006)* |
| 震源深さ(km) | | 12.35 | 15.20 | 11.60 | 0 | 気象庁 |
| | | 8 | 14 | 11 | 5 | F-net |
| 走向(°) | 16 ; 217 | 215 ; 29 | 218 ; 18 | 13 ; 209 | F-net | |
| 傾斜(°) | 52 ; 40 | 53 ; 37 | 60 ; 32 | 53 ; 38 | F-net | |
| すべり角(°) | 76 ; 107 | 94 ; 85 | 100 ; 73 | 80 ; 103 | F-net | |
| 地震モーメント(N·m) | 1.8×10 ¹⁷ | 2.5×10 ¹⁷ | 6.3×10 ¹⁷ | 2.2×10 ¹⁷ | F-net | |
| コーナー周波数(Hz) | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.6 | 神原ほか(2006) | |
| 実効応力(MPa) | 8.2 | 11.4 | 8.7 | 10.4 | 神原ほか(2006) | |

※ただし、日本測地系の座標を世界測地系に変換

3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について 選定した要素地震の特徴（要素地震の他候補との比較）

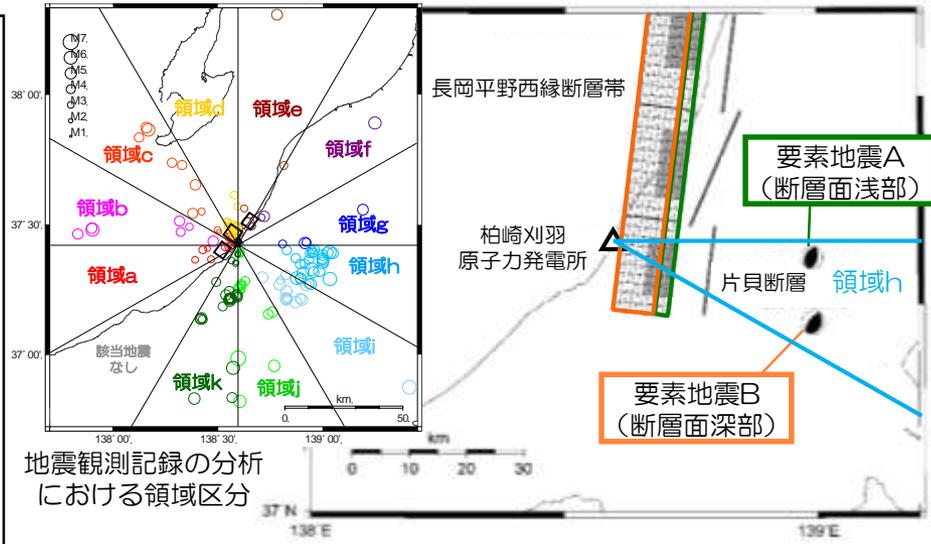
■ 要素地震の候補として抽出した地震観測記録の加速度時刻歴波形及び擬似速度応答スペクトルを比較。



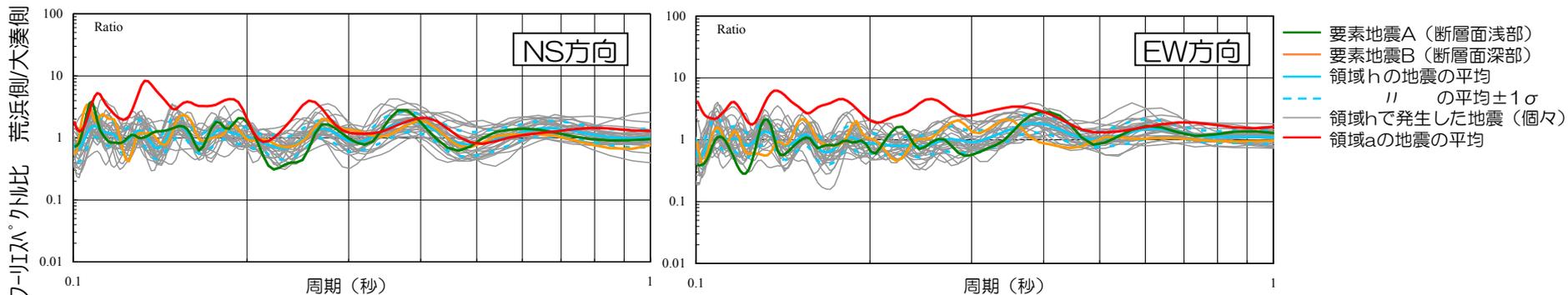
■ 要素地震として選定した③、④のEW方向については、短周期側で大湊側>荒浜側の傾向にあり、経験的グリーン関数の結果に影響を与えたものと考えられる。ただし、その他の記録では、このような傾向は認められない。

3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について 選定した要素地震の特徴（他の鉛直アレイ観測記録との比較）

- 選定した要素地震の特徴について、鉛直アレイ観測記録の分析で整理した他の記録と比較。
- 比較対象とする領域は、要素地震と同じ到来方向となる領域hとする。なお、領域hの平均値は概ね1であり、領域aなどの敷地の南西側の領域のような特異性は認められていない。
- 選定した要素地震による解放基盤波の荒浜側と大湊側のフーリエスペクトルの比は領域hのばらつきの範囲にあることから、EW方向の荒浜側と大湊側の差異については、特異なものではないと考えられる。



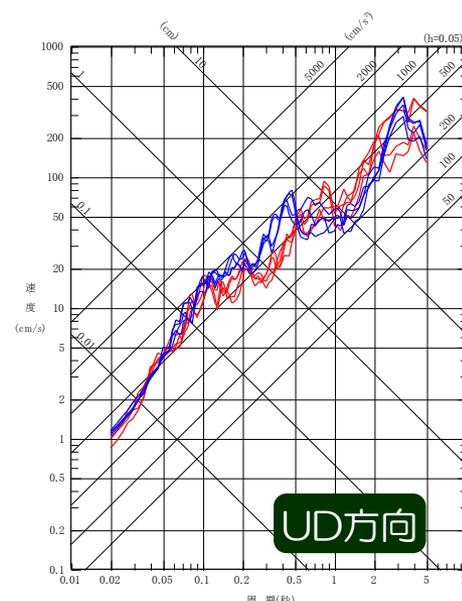
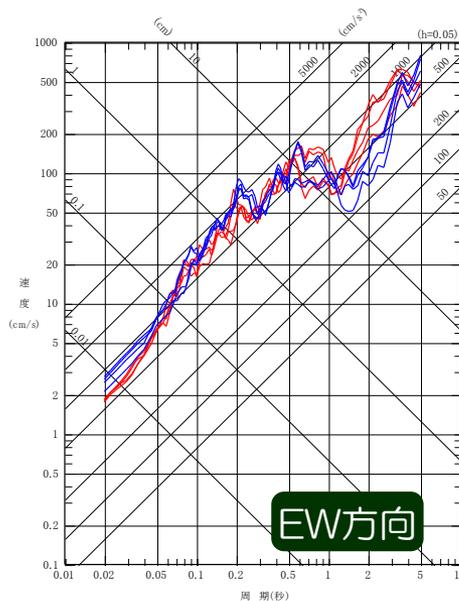
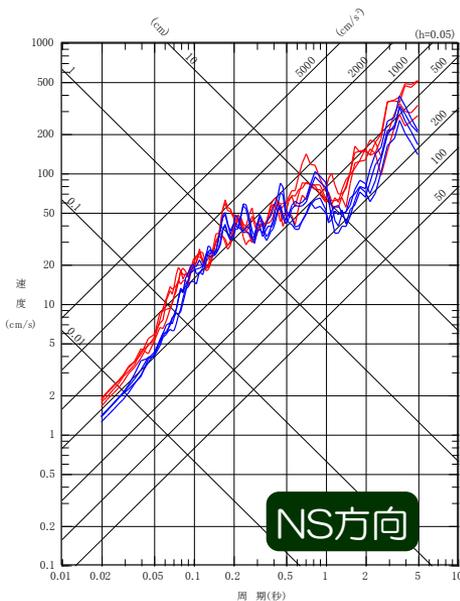
要素地震の震央位置と領域hの位置関係



選定した要素地震と領域hで発生した地震のフーリエスペクトル比の比較

3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について 荒浜側・大湊側の評価結果の比較

- 長岡平野西縁断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果から策定した基準地震動Ss-4~7について、荒浜側と大湊側の地震動レベルについて確認。
- EW方向の極短周期側では、要素地震の特徴を反映し、大湊側がやや大きく、最大加速度値が大きくなっている傾向が認められる。



基準地震動Ss-4~Ss-7の設計用応答スペクトルの比較 (赤線：荒浜側，青線：大湊側)

- EW方向の極短周期側では、要素地震の特徴を反映し、大湊側がやや大きく、最大加速度値が大きくなっている傾向が認められる。
- しかしながら、要素地震の特徴に関しては、その他の地震の観測記録と比較しても概ねばらつきの範囲にあり、特異なものではないと考えられる。

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について
2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について
3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について
4. 2004年北海道留萌支庁南部地震の評価について
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

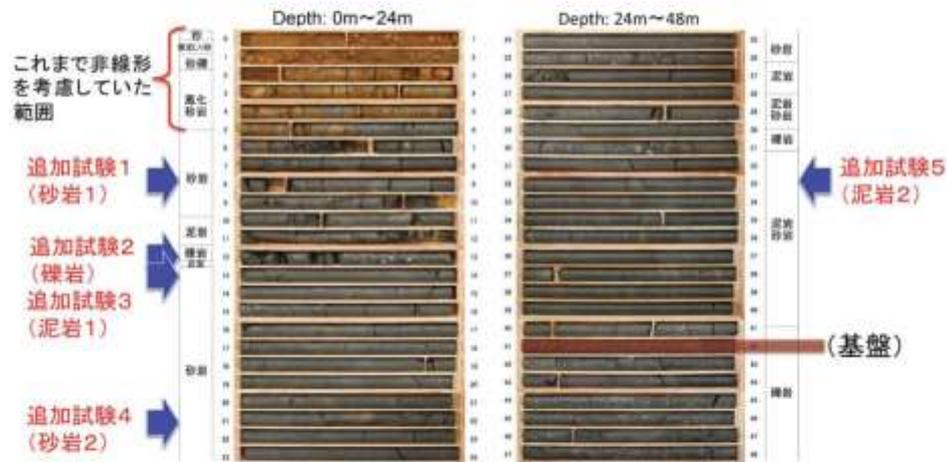
4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について 基盤地震動の検討

- 佐藤ほか(2013)では、K-NET観測点のHKDO20 港町について、GL-6mまでの室内試験結果を考慮した非線形解析を行い、GL-41mの基盤面における基盤地震動を評価している（GL-6m以深は線形解析を仮定、減衰定数は1%に設定）。
- 上記の基盤地震動の評価結果について検証するため、以下の検討を実施する。
 - ① 佐藤ほか(2013)の報告時点以降に得られた、GL-6mからGL-41mまでの室内試験結果を用い、GL-41mまで非線形性を考慮して基盤地震動（水平方向）を評価。
 - ② 不確かさを考慮した基盤地震動の評価として、GL-6mまで非線形、GL-6m以深は減衰定数を3%として基盤地震動（水平方向）を評価。
 - ③ 佐藤ほか(2013)の報告時点以降に得られたPS検層の再測定結果から、地盤モデルを変更して基盤地震動（鉛直方向）を評価（解析方法は佐藤ほか(2013)と同様）。
 - ④ HKDO20 港町における地下水位の状況を踏まえ、GL-6mまではポアソン比一定、GL-6m以深は体積弾性率一定として基盤地震動（鉛直方向）を評価。
 - ⑤ 柏崎刈羽原子力発電所における地盤物性の影響を考慮し基盤地震動（水平方向・鉛直方向）を評価。

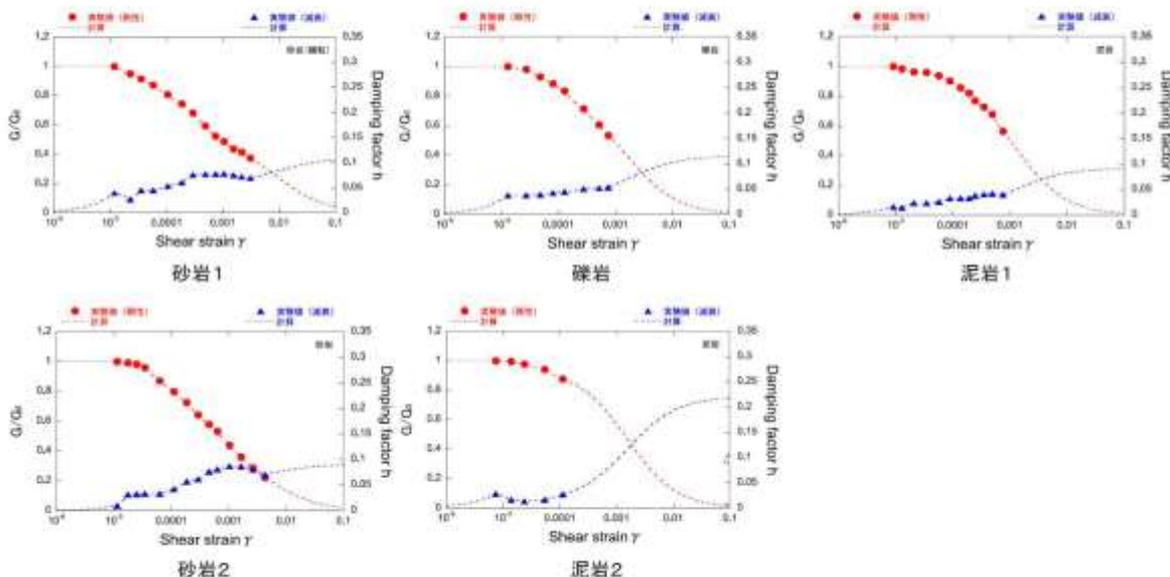
4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について 基盤地震動の検討 検討①

検討①：GL-41mまで非線形性を考慮

- GL-6mからGL-41mまでの5か所において、室内試験を追加実施。



追加の室内試験の実施位置



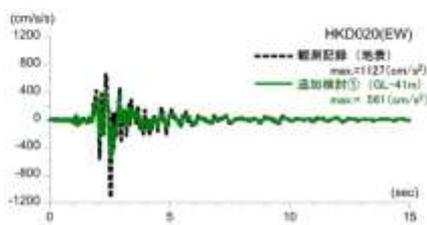
追加の室内試験による地盤の非線形特性

- 追加の室内試験結果により非線形性を設定。

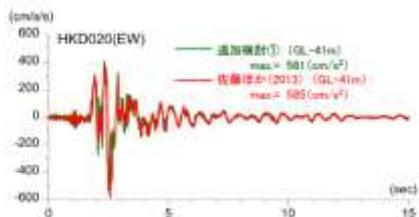
4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について

基盤地震動の検討 検討①

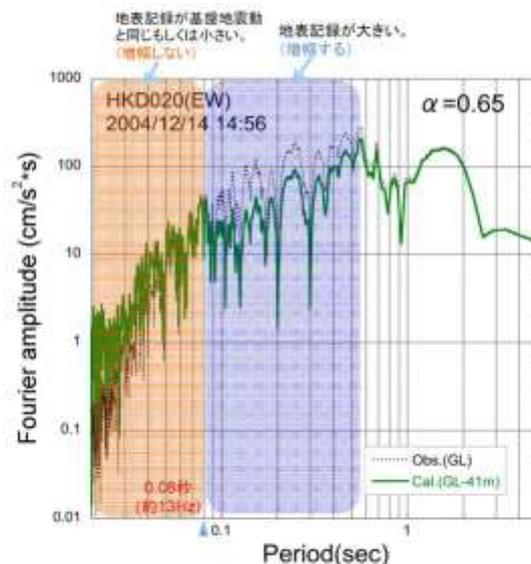
- GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動の最大加速度は 561cm/s^2 となっており、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s^2)と比較すると、やや小さい。
- GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動の応答スペクトルは、佐藤ほか(2013)による応答スペクトルとほぼ同程度となっている。



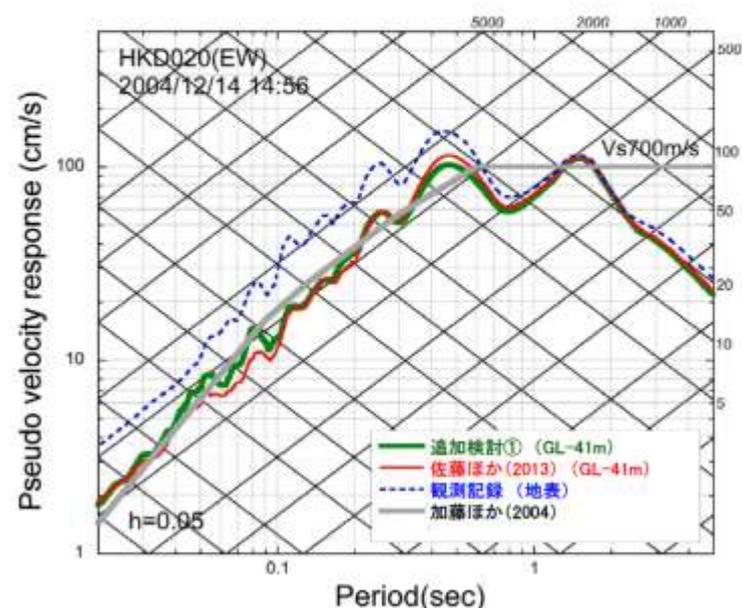
地表観測記録と基盤地震動の比較



非線形性を考慮した検討と佐藤ほか(2013)の比較



基盤地震動と地表観測記録の加速度フーリエスペクトルの比較

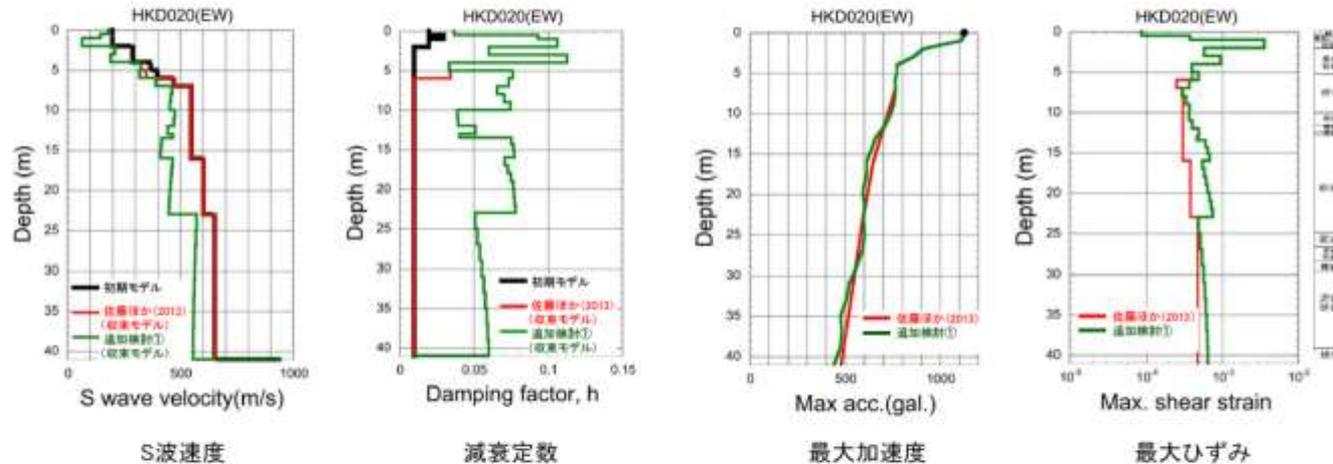


擬似速度応答スペクトルの比較

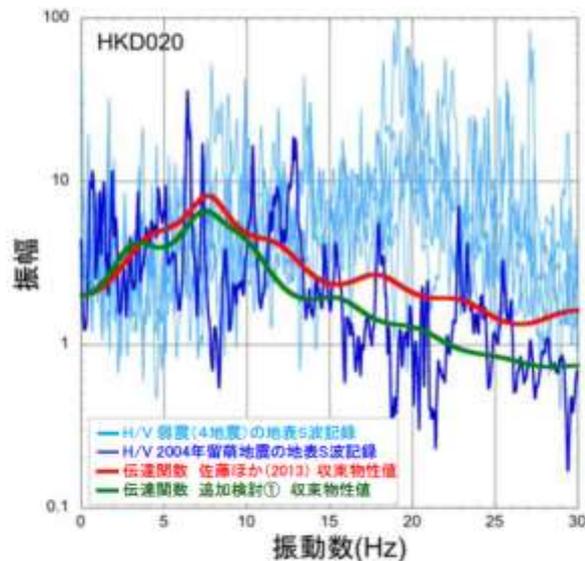
4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について

基盤地震動の検討 検討①

■ 収束物性値の深さ分布によると、GL-6m以深における減衰定数の収束物性値は、概ね5%程度となっている。



収束物性値、最大加速度及び最大ひずみの深さ分布



収束物性値による伝達関数とH/Vスペクトルの比較

■ GL-41mまで非線形性を考慮した基盤地震動評価に用いた収束物性値による伝達関数は、佐藤ほか(2013)の物性値による伝達関数と比較して、GL-6mよりも深部の減衰定数が1%から5%程度になったことにより、10Hzより高振動数側で小さくなっている。

検討①のまとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020 港町の観測記録について、追加の室内試験結果を用い、GL-41mまで非線形性を考慮して基盤地震動を評価。
- 基盤地震動の最大加速度は561cm/s²となっており、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s²)と比較してやや小さく評価されている。また、基盤地震動の応答スペクトルは、佐藤ほか(2013)による応答スペクトルとほぼ同程度となっている。

4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について 基盤地震動の検討 検討②

検討②：減衰定数の不確かさ考慮

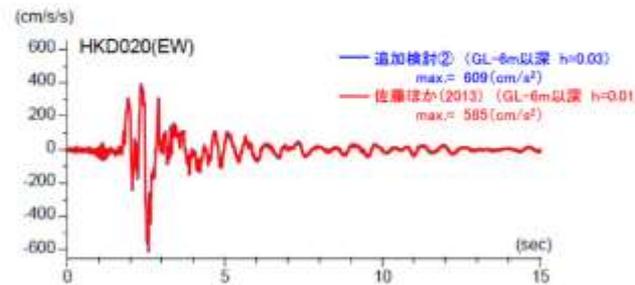
■ 佐藤ほか(2013)の地盤モデルに基づき、GL-6mまで非線形、GL-6m以深を減衰定数3%として基盤地震動を評価し、佐藤ほか(2013)の評価結果と比較。

■ 佐藤ほか(2013)の地盤モデルに基づき、GL-6m以深を減衰定数3%とした基盤地震動の最大加速度は609cm/s²となっており、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(585cm/s²)と比較すると、やや大きく評価されている。また、その応答スペクトルは、佐藤ほか(2013)による応答スペクトルとほぼ同程度となっている。

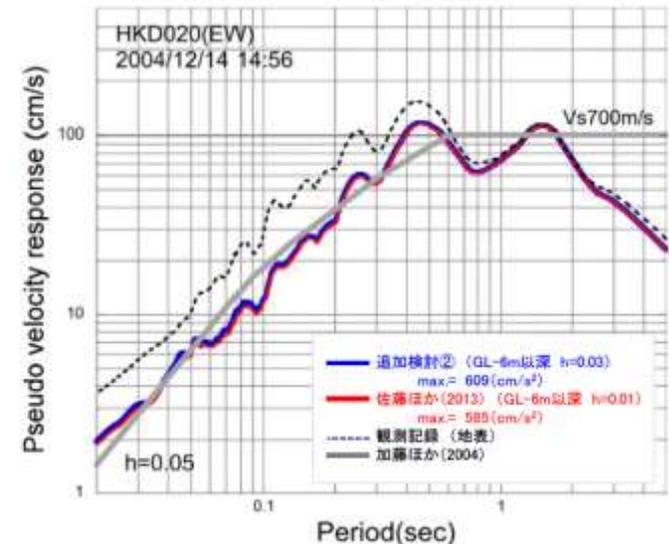
等価線形解析に用いる地盤モデル

| S波速度 Vs(m/s) | 密度 ρ (100kg/m ³) | 層厚 H(m) | 減衰定数h (初期値) | 非線形特性 |
|--------------|------------------------------|---------|-------------|-------|
| 200 | 1.9 | 0.5 | 0.02 | 砂 |
| 200 | 2.0 | 0.5 | 0.03 | 礫混じり砂 |
| 200 | 2.0 | 1 | 0.02 | 礫1 |
| 290 | 2.0 | 1 | 0.01 | 礫2 |
| 290 | 2.0 | 1 | 0.01 | 風化砂岩1 |
| 370 | 2.0 | 1 | 0.01 | 風化砂岩2 |
| 400 | 2.0 | 1 | 0.01 | 風化砂岩2 |
| 473 | 2.0 | 1 | 0.03 | — |
| 549 | 2.0 | 3 | 0.03 | — |
| 549 | 2.0 | 2 | 0.03 | — |
| 549 | 2.0 | 1 | 0.03 | — |
| 549 | 2.0 | 0.5 | 0.03 | — |
| 549 | 2.0 | 2.5 | 0.03 | — |
| 604 | 2.06 | 7 | 0.03 | — |
| 653 | 2.06 | 18 | 0.03 | — |
| 938 | 2.13 | 17 | 0.03 | — |

減衰定数3%として評価する。



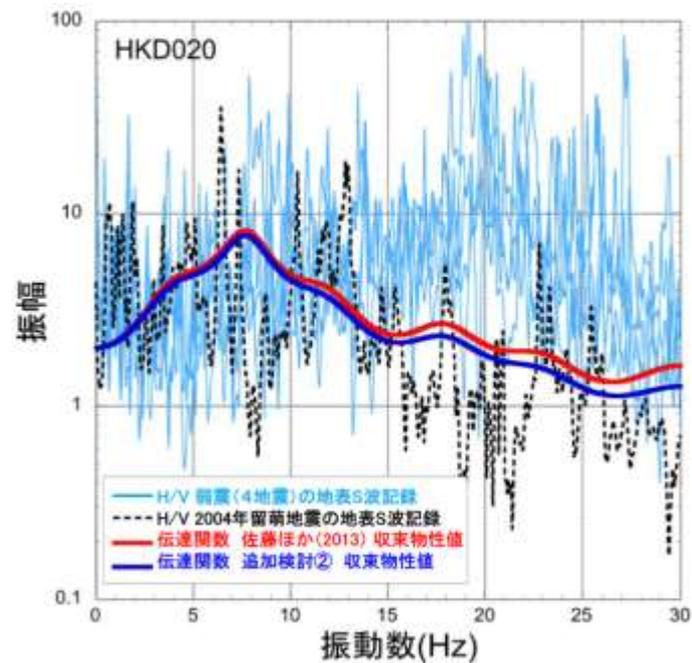
加速度時刻歴波形の比較



擬似速度応答スペクトルの比較

4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について 基盤地震動の検討 検討②

- 収束物性値による伝達関数は、佐藤ほか(2013)の物性値による伝達関数と同様に、本震時のH/Vスペクトルの特徴をよく再現していると考えられる。



収束物性値による伝達関数とH/Vスペクトルの比較

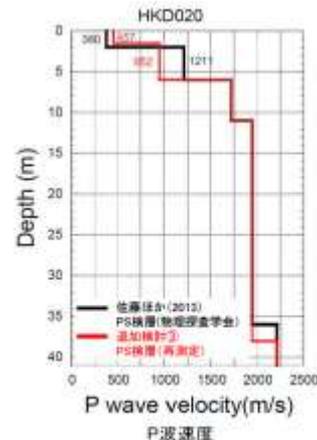
検討②のまとめ

- 2004年北海道留萌支庁南部地震におけるHKD020 港町の観測記録について、佐藤ほか(2013)の地盤モデルに基づき、GL-6mまで非線形、GL-6m以深を減衰定数3%として基盤地震動を評価。
- 基盤地震動の最大加速度は 609cm/s^2 となっており、佐藤ほか(2013)による基盤地震動 (585cm/s^2) と比較してやや大きく評価されている。また、基盤地震動の応答スペクトルは、佐藤ほか(2013)による応答スペクトルとほぼ同程度となっている。
- 収束物性値による伝達関数は、佐藤ほか(2013)の物性値による伝達関数と同様に、本震時のH/Vスペクトルの特徴をよく再現する結果となっている。

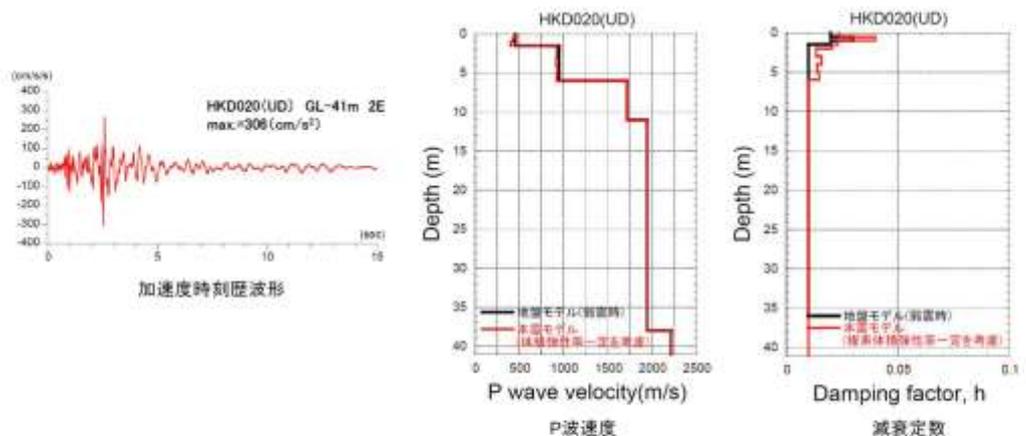
4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について 基盤地震動の検討 検討③

検討③：地盤モデル変更による基盤地震動（鉛直方向）評価

- 佐藤ほか(2013)における鉛直方向の基盤地震動の評価結果は、物理探査学会(2013.10)時点での地盤モデルに基づいていたが、笹谷ほか(2008)による位相速度を説明できないことから、佐藤ほか(2013)の報告時点以降に、表層部分のPS検層を再測定している。
 - 再測定結果によるGL-6mまでのP波速度は、佐藤ほか(2013)の地盤モデルと異なるため、再測定結果を反映した地盤モデルにより、鉛直方向の基盤地震動を再評価。
- ※再測定結果によるS波速度は、佐藤ほか(2013)の地盤モデルとほぼ同様のため変更していない。



- PS検層の再測定結果を反映した地盤モデルを用い、体積弾性率一定としてGL-41mの鉛直方向の基盤地震動を評価した結果、その最大加速度は 306cm/s^2 となり、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(296cm/s^2)と比較すると、やや大きい。



検討③のまとめ

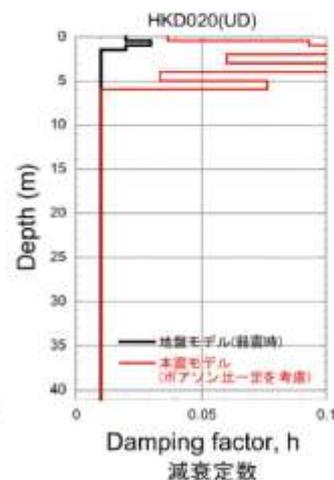
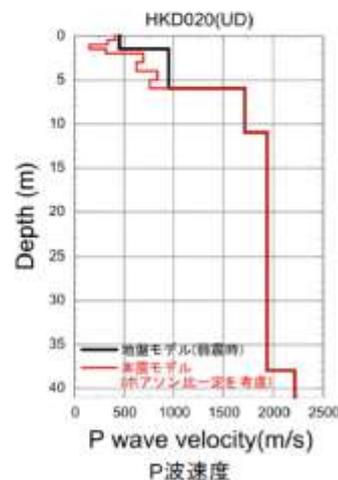
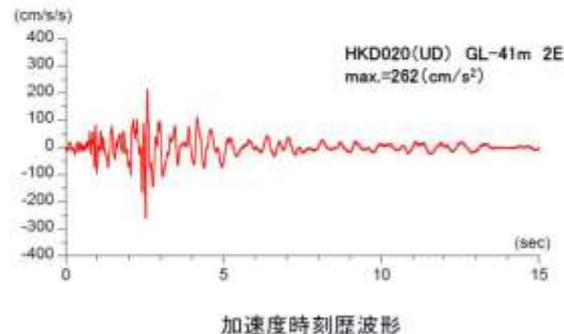
- 佐藤ほか(2013)のHKD020 港町のP波速度モデルは、笹谷ほか(2008)による位相速度を説明できないことから、表層部分のPS検層を再測定し、再測定結果を反映した地盤モデルを設定。
- 上記地盤モデルを用い、体積弾性率一定としてGL-41mの鉛直方向の基盤地震動を評価した結果、その最大加速度は 306cm/s^2 となり、佐藤ほか(2013)による基盤地震動(296cm/s^2)と比較すると、やや大きい。

4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について 基盤地震動の検討 検討④

検討④：GL-6mまでポアソン比一定とした基盤地震動（鉛直方向）評価

- 佐藤ほか(2013)及び追加検討③における鉛直方向の基盤地震動は、体積弾性率一定として評価しているが、地下水位の状況を踏まえ、GL-6mまでポアソン比一定、GL-6m以深を体積弾性率一定とした場合の鉛直方向の基盤地震動を評価。

- 体積弾性率一定とした場合と比較して、ポアソン比一定とした場合、S波速度の低下に伴ってP波速度も低下するため、最大加速度は小さくなっている。
- その結果、最大加速度は 262cm/s^2 となり、体積弾性率一定と仮定した結果（ 306cm/s^2 ）は保守的な結果となっている。



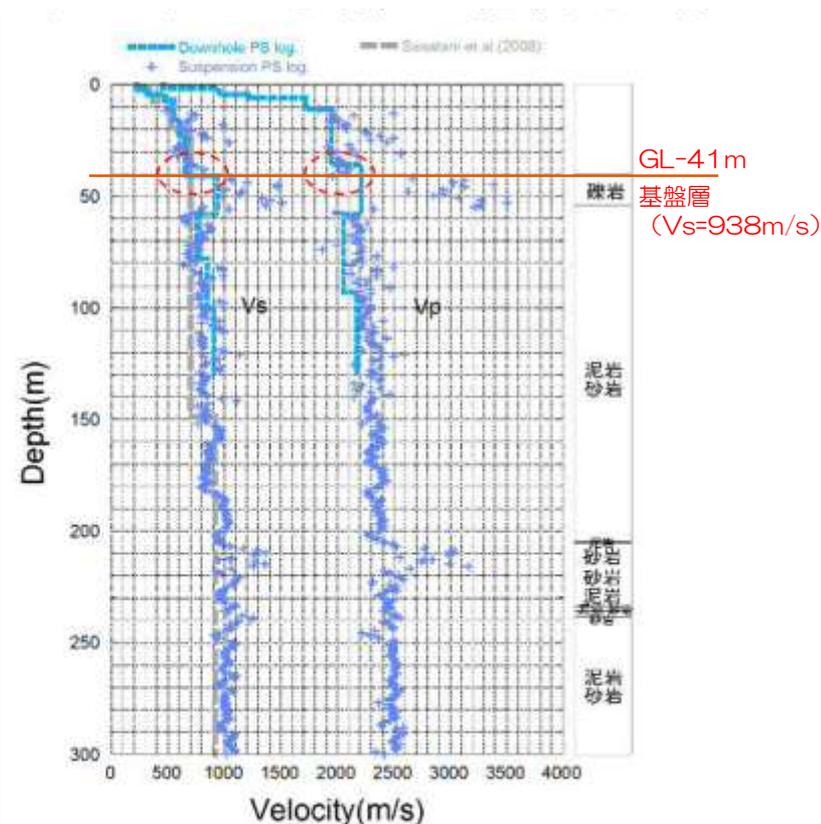
検討④のまとめ

- 地下水位の状況を踏まえ、GL-6mまでポアソン比一定、GL-6m以深を体積弾性率一定とした場合の鉛直方向の基盤地震動を評価。
- GL-41mの基盤地震動を評価した結果、その最大加速度は 262cm/s^2 となり、体積弾性率一定と仮定した結果（ 306cm/s^2 ）は保守的な結果となっている。

4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について 基盤地震動の検討 検討⑤

- 柏崎刈羽原子力発電所における地盤物性の影響を評価。
- 佐藤ほか(2013)によるHKD020港町観測点の基盤地震動は、地表観測記録に基づきGL-41mの $V_s=938\text{m/s}$ の基盤層において評価されている。柏崎刈羽原子力発電所における解放基盤表面のS波速度は荒浜側・大湊側ともに $V_s=700\text{m/s}$ と設定しているため、これらの地盤物性の影響を評価する。

- 一方、地震基盤から解放基盤表面までの伝播特性に関しては、柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺及び敷地内の地下構造の影響により地震波の到来方向により異なることが明らかとなっている。しかし、HKD020港町観測点のやや深部の伝播特性に関しては十分に明らかとなっていないものと考えられる。
- そこで「震源を特定せず策定する地震動」の候補としては、HKD020港町観測点の伝播特性が含まれたままの佐藤ほか(2013)による基盤地震動を重視し、これに対する不確かさ等を考慮した検討結果を参照して設定することとする。
- さらには、はぎとり解析の不確かさ等を考慮して最大加速度値を示すケースを考慮することにより保守的に設定することとする。
- なお、柏崎刈羽原子力発電所の敷地周辺及び敷地内の地下構造の影響については、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価において適切に反映している。



HKD020(港町)におけるPS検層結果と
既往の研究によるS波速度構造モデル

4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について

基盤地震動の検討 検討⑤

- 敷地において解放基盤表面までモデル化された1次元地下構造モデルにより地盤物性の影響を評価する。
- 荒浜側の1次元地下構造モデルは、褶曲構造の影響により評価精度が低いと考えられるため、大湊側の1次元地下構造モデルを参照する。なお、荒浜側の1次元地下構造モデルにおいては解放基盤表面のVsは1,100m/sであるため、これによると地盤物性による補正の必要はないものと考えられる。
- 補正にあたり、HKD020港町観測点の基盤層のVs=938m/sに近いVs=960m/s層の上面に、はざとり解析の不確かさを考慮した基盤地震動（水平：609cm/s²，鉛直：306cm/s²）を入力し、Vs=730m/sの解放基盤表面の応答を評価した。

地下構造モデル

※SGFによる評価に用いた地下構造モデル

荒浜側

| 層No. | T. M. S. L. (m) | 層厚 (m) | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) | Vp (m/s) | Q (-) |
|------|--------------------|-----------|---------------------------|-------------|-------------|----------|
| | -284 | | | | | |
| 1 | -300 | 16 | 2.11 | 1110 | 2280 | 50f |
| 2 | -1360 | 1060 | 2.12 | 1160 | 2390 | 50f |
| 3 | -2410 | 1050 | 2.25 | 1620 | 3220 | 50f |
| 4 | -3700 | 1290 | 2.36 | 2050 | 4150 | 50f |
| 5 | -5880 | 2180 | 2.51 | 2760 | 4820 | 50f |
| 6 | - | - | 2.59 | 3170 | 5230 | - |

地震基盤

大湊側

| 層No. | T. M. S. L. (m) | 層厚 (m) | 密度 (t/m ³) | Vs (m/s) | Vp (m/s) | Q (-) |
|------|--------------------|-----------|---------------------------|-------------|-------------|----------|
| | -134 | | | | | |
| 1 | -149 | 15 | 2.03 | 730 | 1800 | 50f |
| 2 | -180 | 31 | 2.03 | 890 | 1900 | 50f |
| 3 | -231 | 51 | 2.03 | 890 | 1900 | 50f |
| 4 | -266 | 35 | 2.03 | 960 | 1900 | 50f |
| 5 | -300 | 34 | 2.03 | 1000 | 2100 | 50f |
| 6 | -1360 | 1060 | 2.12 | 1160 | 2390 | 50f |
| 7 | -2410 | 1050 | 2.25 | 1620 | 3220 | 50f |
| 8 | -3700 | 1290 | 2.36 | 2050 | 4150 | 50f |
| 9 | -5880 | 2180 | 2.51 | 2760 | 4820 | 50f |
| 10 | - | - | 2.59 | 3170 | 5230 | - |

入力位置

地震基盤

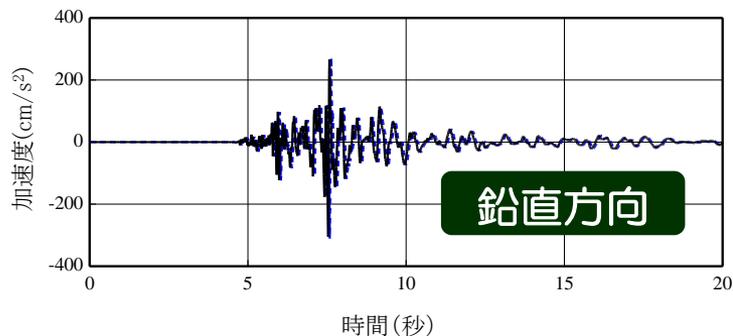
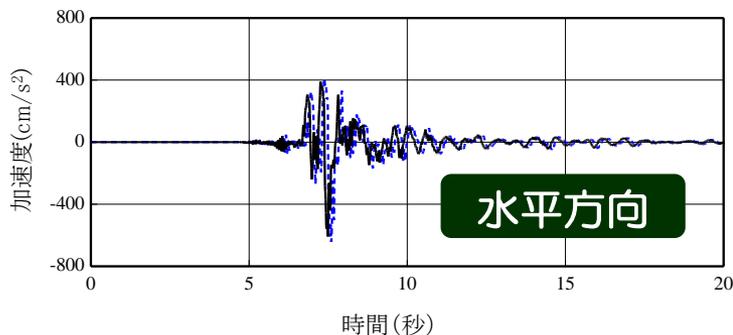
4. 2004北海道留萌支庁南部地震の評価について

基盤地震動の検討 検討⑤

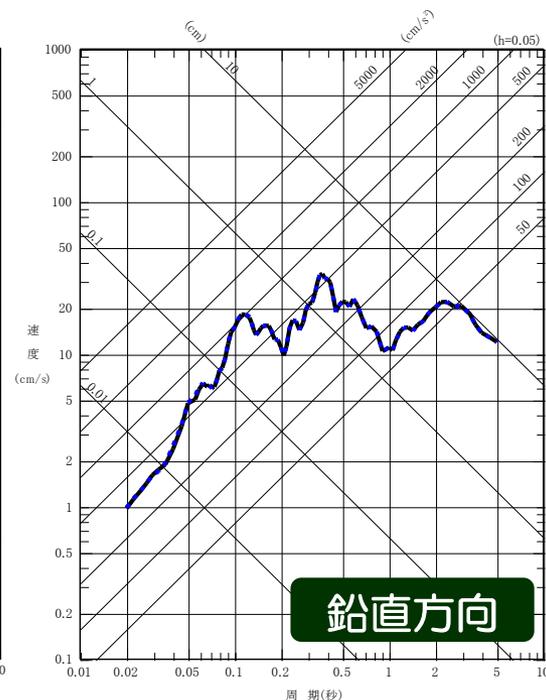
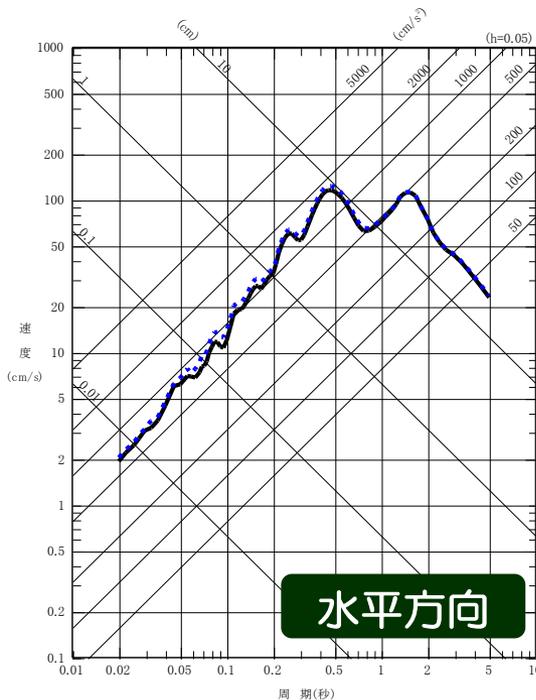
■ 敷地における地盤物性を考慮したところ、解放基盤表面の地震動は、水平方向：643cm/s²、鉛直方向310cm/s²と評価された。

— 佐藤ほか(2013)の検証結果の最大ケース
(水平方向:609cm/s², 鉛直方向:306cm/s²)
 - - - 敷地の地盤物性を考慮
(水平方向:643cm/s², 鉛直方向:310cm/s²)

加速度時刻歴波形



擬似速度応答スペクトル



1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について
2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について
3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について
4. 2004年北海道留萌支庁南部地震の評価について
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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

- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動として「F-B断層による地震」, 「長岡平野西縁断層帯による地震」の応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果を踏まえて基準地震動Ss-1~7を策定。
- 設計用応答スペクトル, 模擬地震波を設定。

【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最大加速度値】

| 基準 地震動 | 検討用地震 | | 最大加速度値 (cm/s ²) | | | | | | | |
|-----------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | | 荒浜側 | | | 大湊側 | | | | |
| | | | NS方向 | EW方向 | UD方向 | NS方向 | EW方向 | UD方向 | | |
| Ss-1 | F-B断層 による地震 | 応答スペクトルに 基づく地震動評価 | | 2300 | | 1050 | 1050 | | 650 | |
| Ss-2 | | 断層モデルを用いた手法 による地震動評価 | | 1240 | 1703 | 711 | 848 | 1209 | 466 | |
| Ss-3 | 長岡平野西 縁断層帯に よる地震 | 応答スペクトル に基づく地震動 評価 | 応力降下量1.5倍及び断層傾 斜角35° ケースを包絡 | | 600 | | 400 | 600 | | 400 |
| Ss-4 | | 断層モデルを用 いた手法による 地震動評価 | 応力降下量1.5倍 | | 589 | 574 | 314 | 428 | 826 | 332 |
| Ss-5 | | | 断層傾斜角35° | | 553 | 554 | 266 | 426 | 664 | 346 |
| Ss-6 | | | 連動+応力降下量1.5倍 | | 510 | 583 | 313 | 434 | 864 | 361 |
| Ss-7 | | | 連動+断層傾斜角35° | | 570 | 557 | 319 | 389 | 780 | 349 |

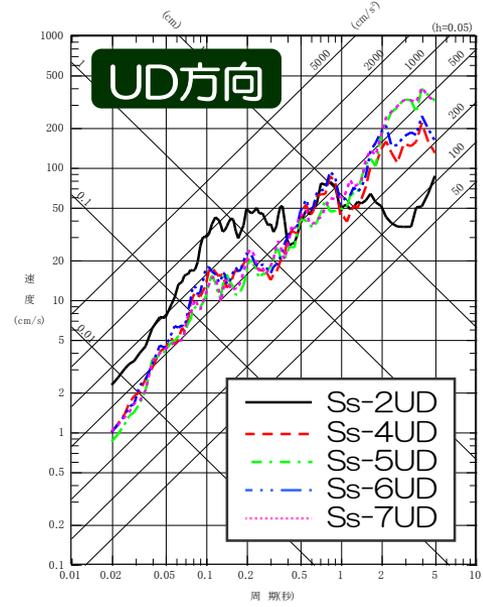
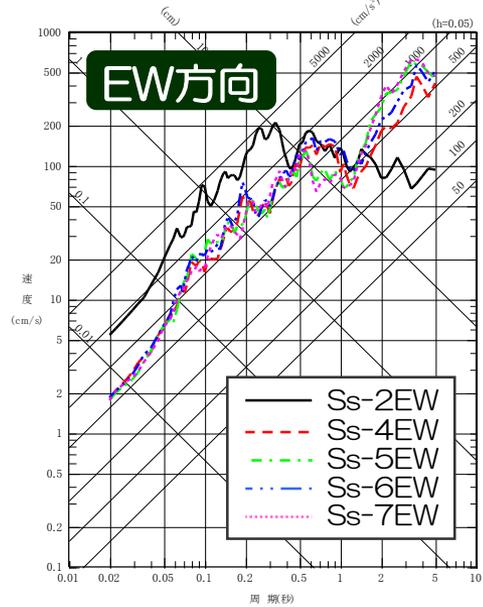
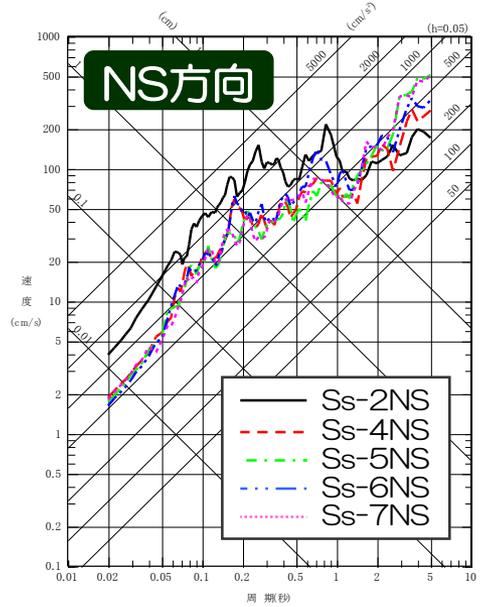
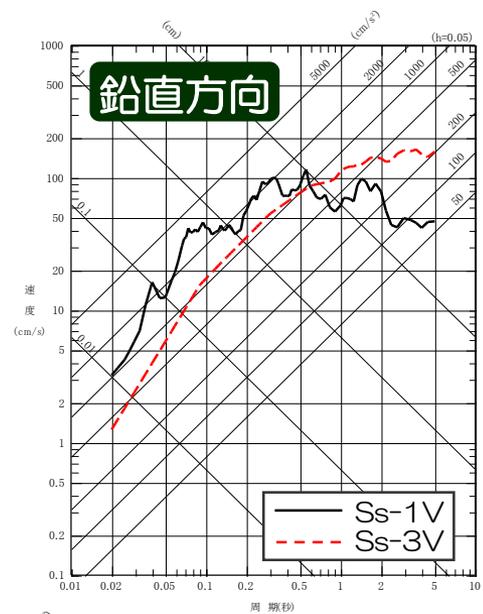
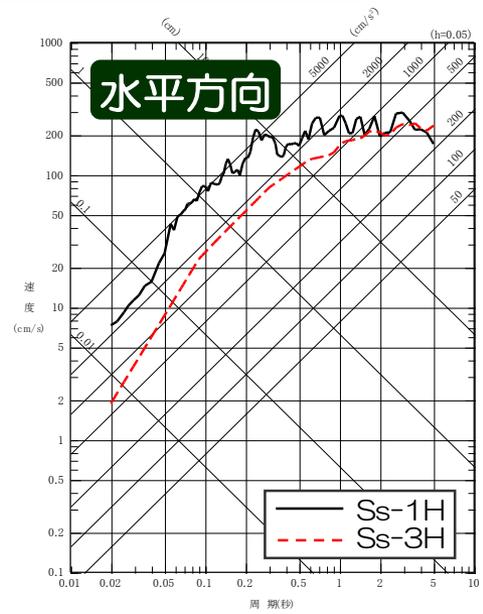
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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 荒浜側

設計用応答スペクトル

応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動

断層モデルを用いた手法による地震動評価による基準地震動

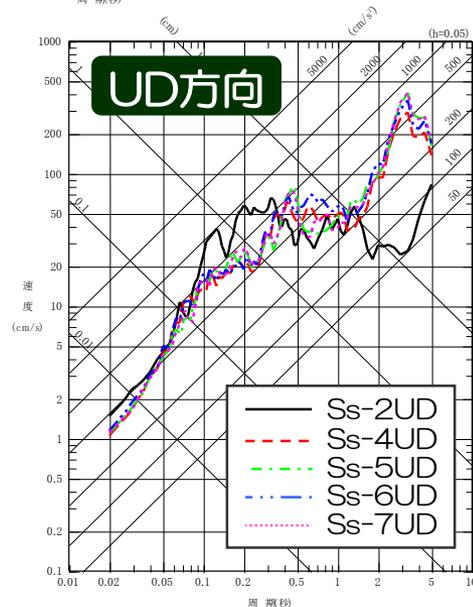
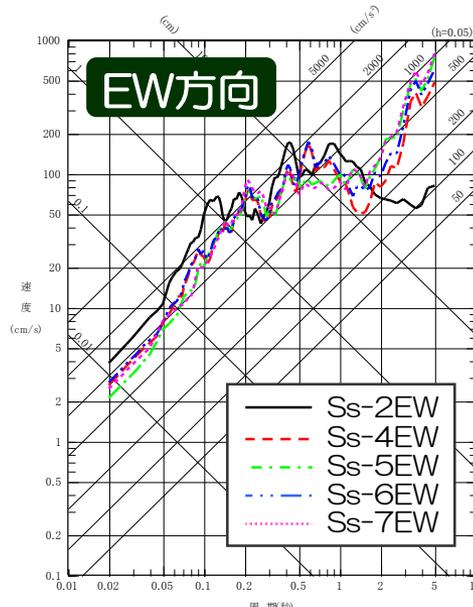
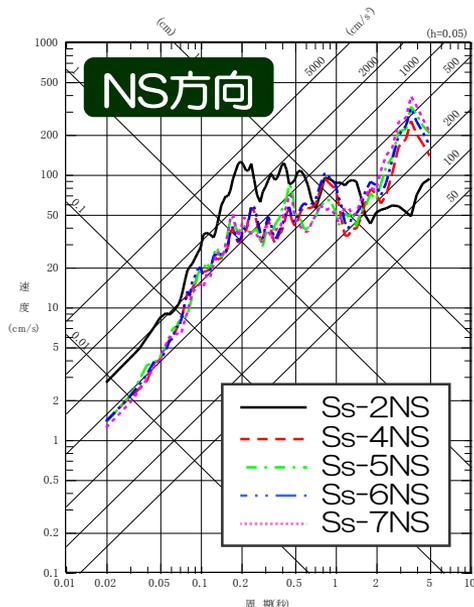
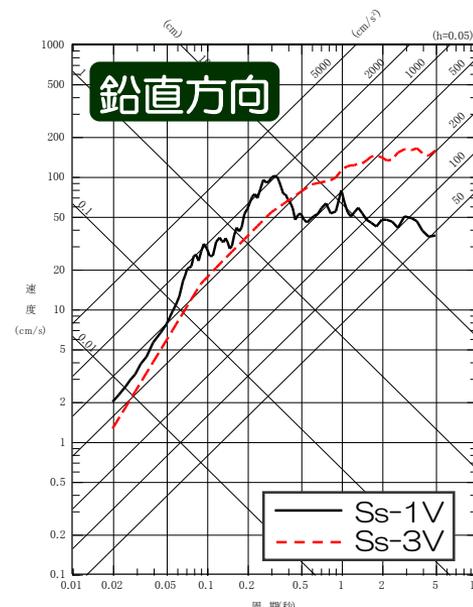
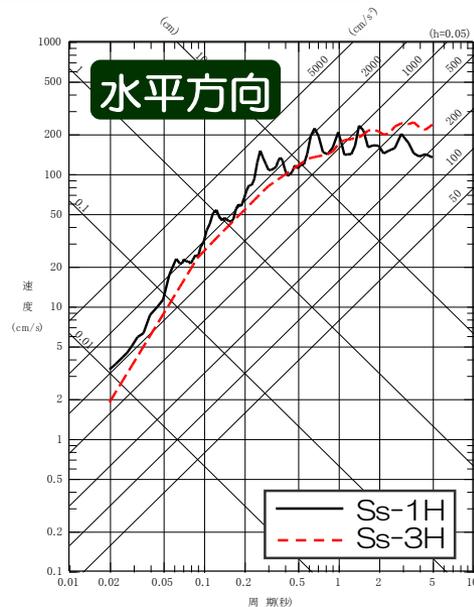


5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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 大湊側

設計用応答スペクトル

応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動



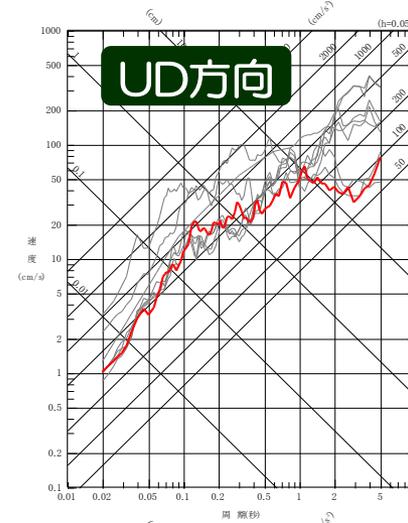
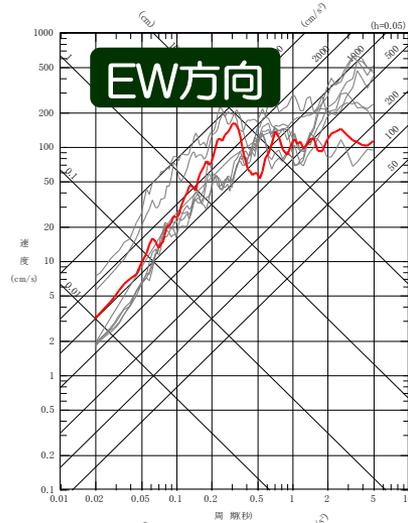
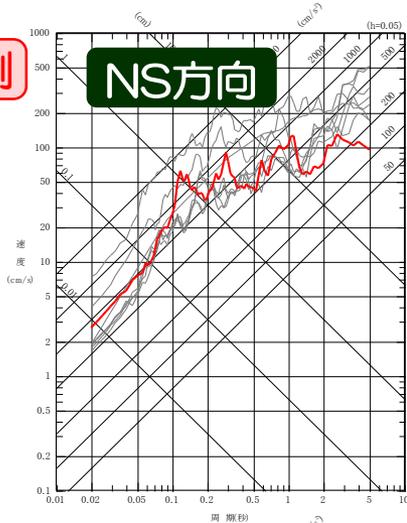
断層モデルを用いた手法による地震動評価による基準地震動

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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 海域の連動

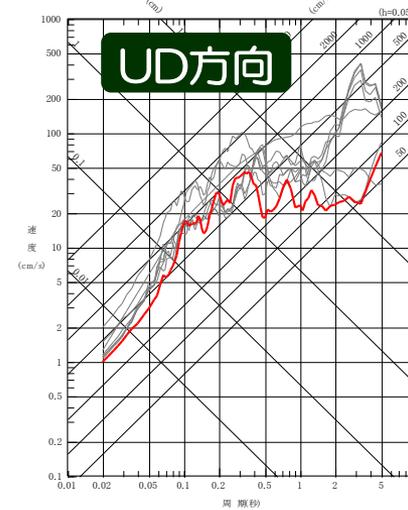
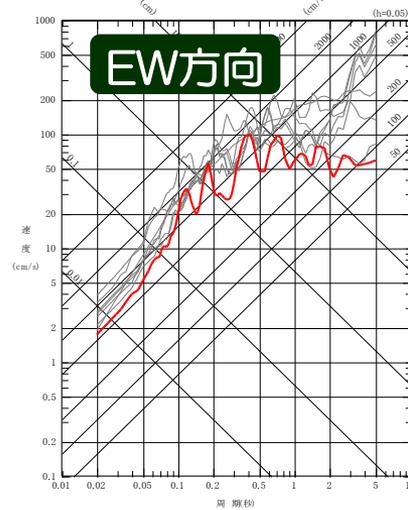
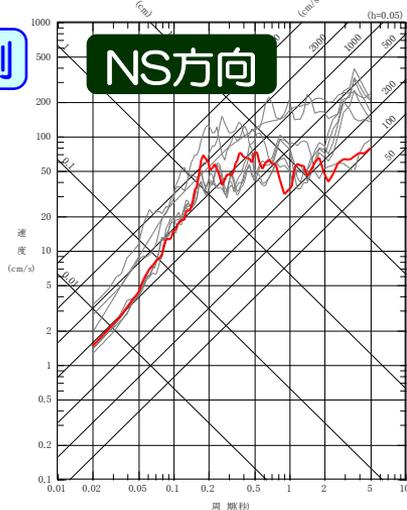
■ 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯による地震の地震動評価結果は、基準地震動Ss-1～Ss-7を著しく超過する地震動レベルではなく、敷地における基準地震動の策定に大きな影響を与えるものではないと考えられる。

荒浜側



— 佐渡島南方～F-D～高田沖～親不知海脚西縁～魚津断層帯による地震の地震動評価結果
— 基準地震動Ss-1～7

大湊側



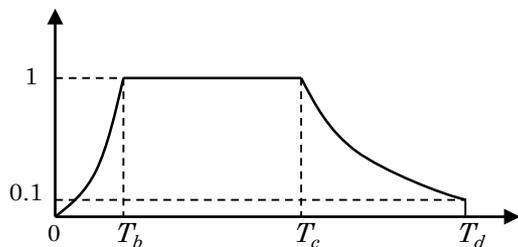
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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 模擬地震波

- 応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動（Ss-1及びSs-3）の模擬地震波は、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせて、目標とする応答スペクトルに適合するように補正して作成する。
- 振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al.(2002)に基づくものとする。
- 作成した模擬地震波は、日本電気協会(2008)による、以下の適合度の条件を満足していることを確認。
 - ① 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
 - ② 応答スペクトル強さの比（SI比）が1.0以上

模擬地震波の振幅包絡線の経時的変化

| 基準地震動 | 地震規模 (M) | 等価震源距離 (Xeq) (km) | 振幅包絡線の経時的変化 (秒) | | |
|-------|----------|-------------------|-----------------|-------|-------|
| | | | Tb | Tc | Td |
| Ss-1 | 7.0 | 13 | 3.72 | 16.30 | 31.85 |
| Ss-3 | 8.1 | 25 | 13.18 | 40.10 | 74.13 |

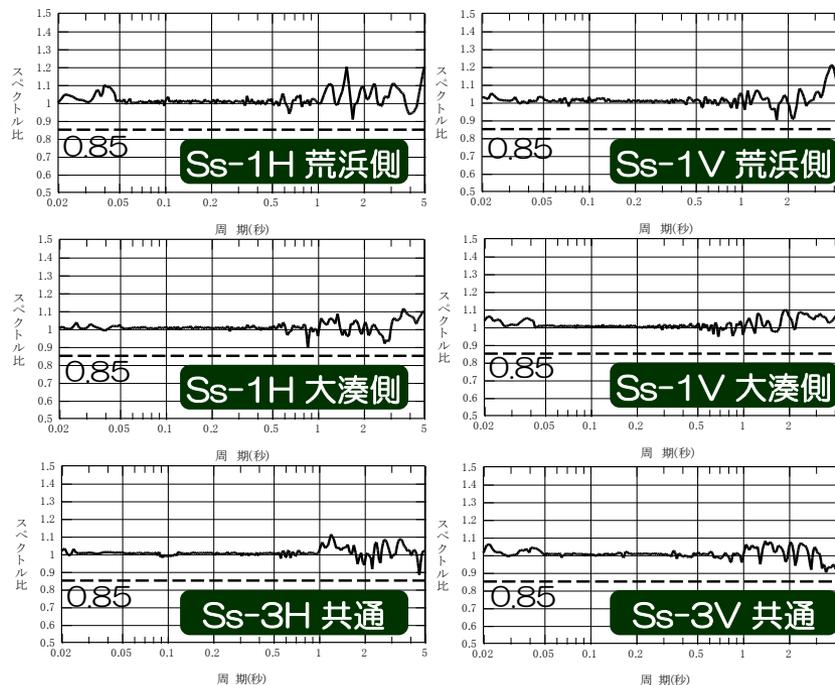


$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

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

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

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



応答スペクトル強さの比 (SI比)

| 模擬地震波 | 作成結果 | |
|-----------|----------------------------|------|
| | 最大加速度 (cm/s ²) | SI比 |
| Ss-1H 荒浜側 | 2300 | 1.03 |
| Ss-1V 荒浜側 | 1050 | 1.00 |
| Ss-1H 大湊側 | 1050 | 1.01 |
| Ss-1V 大湊側 | 650 | 1.02 |
| Ss-3H 共通 | 600 | 1.01 |
| Ss-3V 共通 | 400 | 1.02 |

$$SI比 = \frac{\int_{0.1}^{2.5} Sv(T)dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}v(T)dt} : \text{応答スペクトル強さの比}$$

Sv(T) : 模擬地震波の応答スペクトル(cm/s)

$\bar{S}v(T)$: 目標とする応答スペクトル(cm/s)

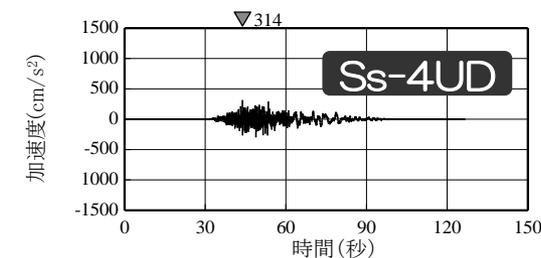
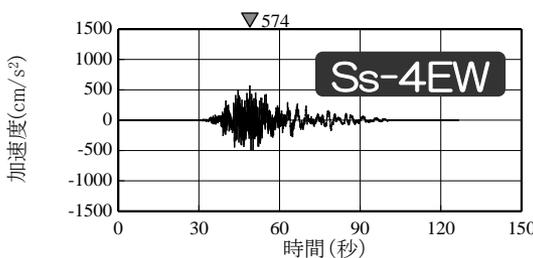
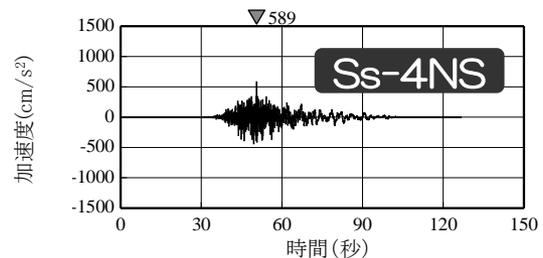
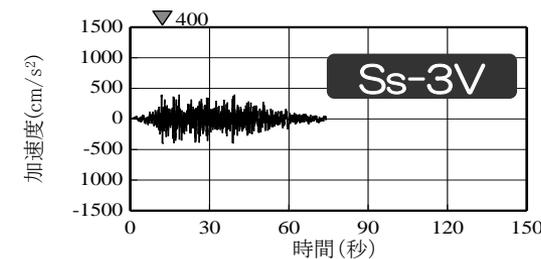
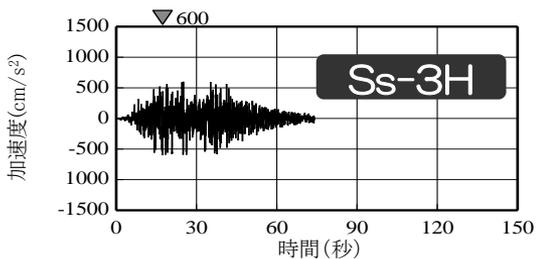
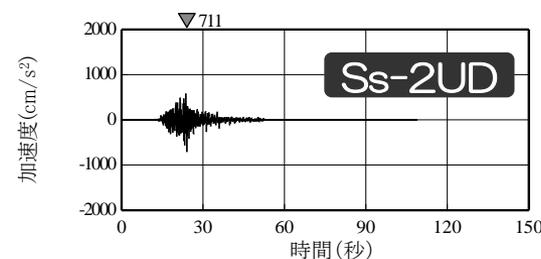
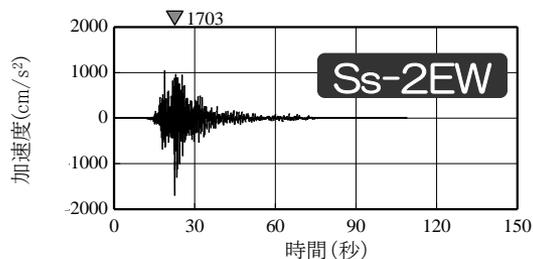
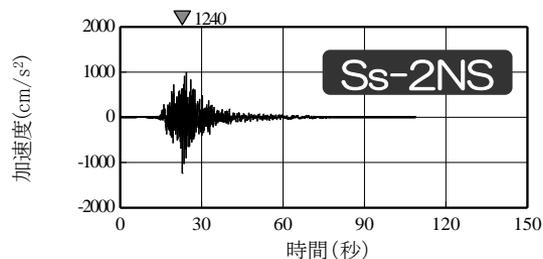
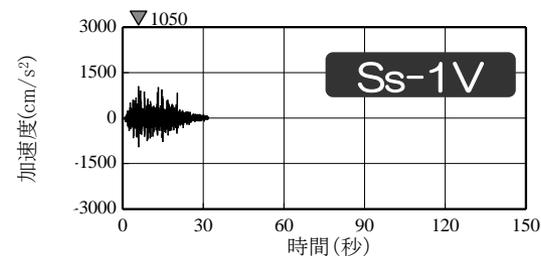
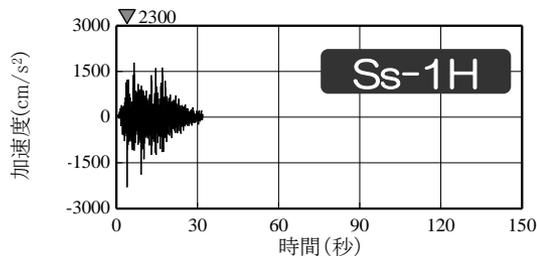
T : 固有周期(s)

- 断層モデルを用いた手法による地震動評価による基準地震動については、波形合成結果を採用。

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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 模擬地震波

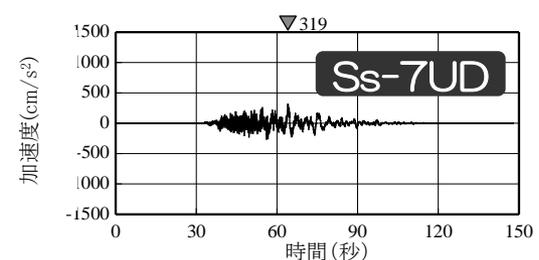
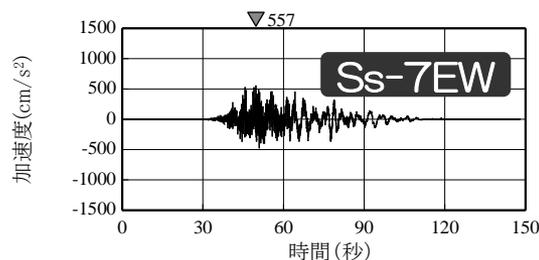
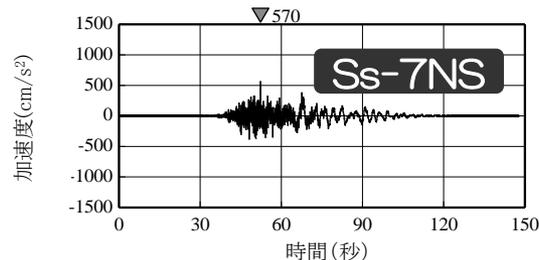
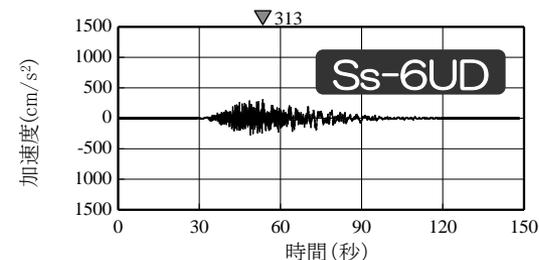
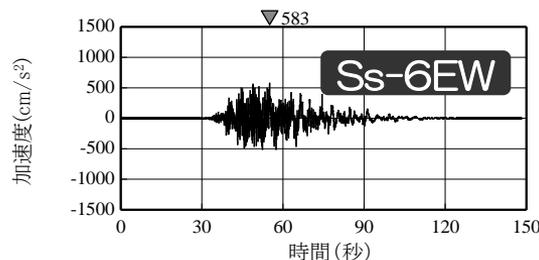
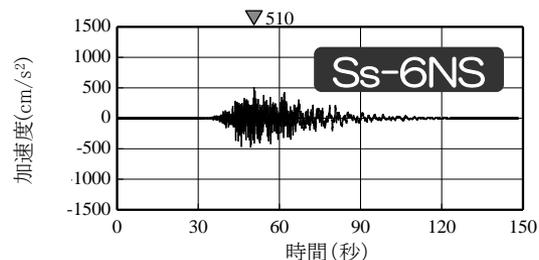
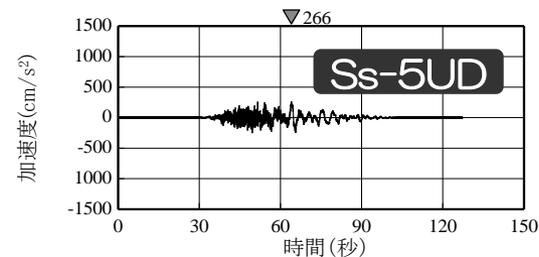
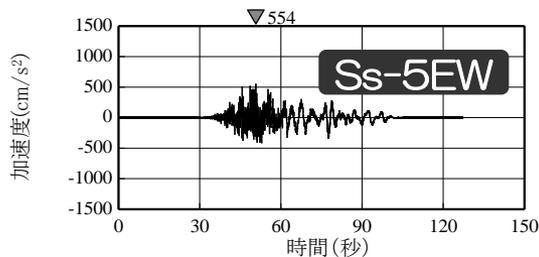
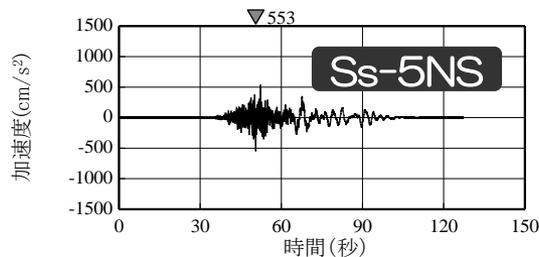
荒浜側



5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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 模擬地震波

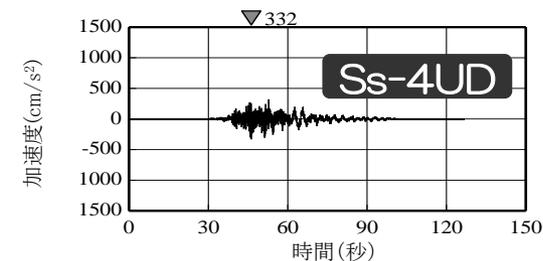
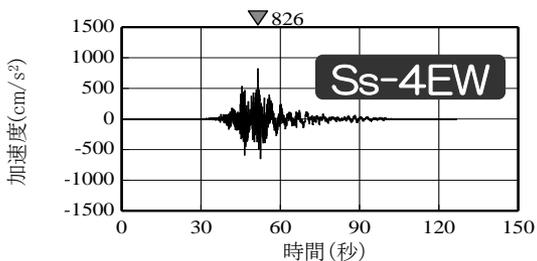
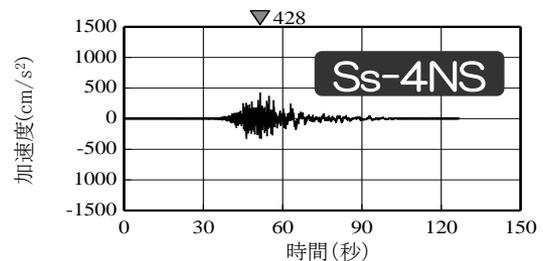
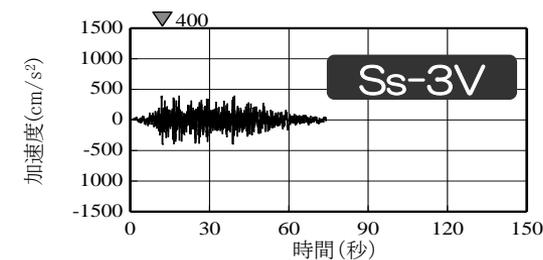
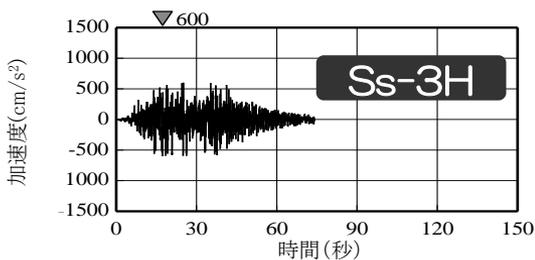
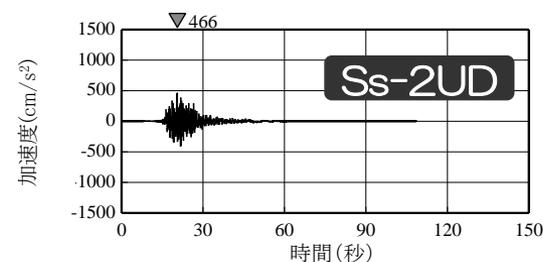
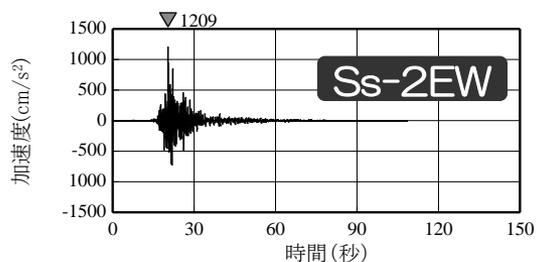
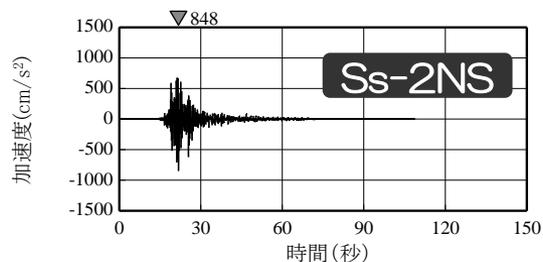
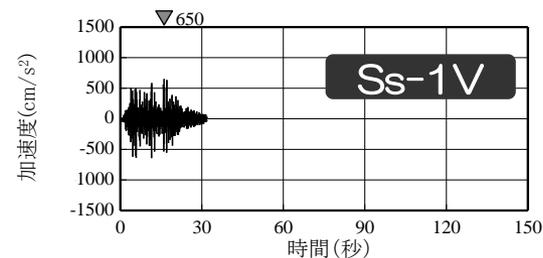
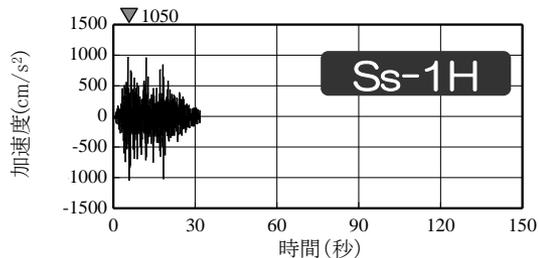
荒浜側



5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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 模擬地震波

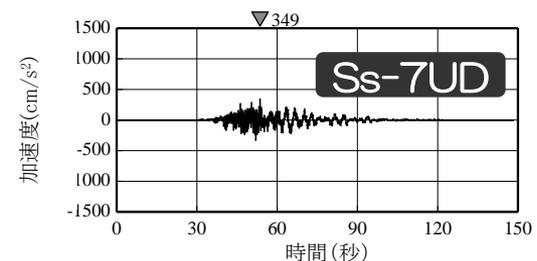
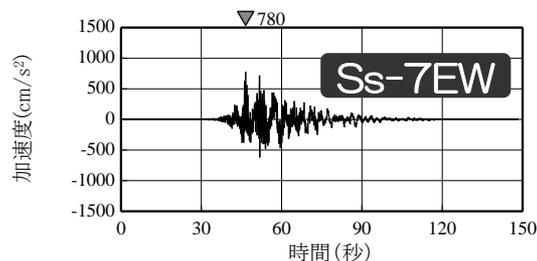
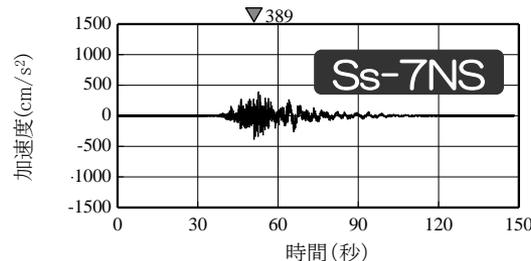
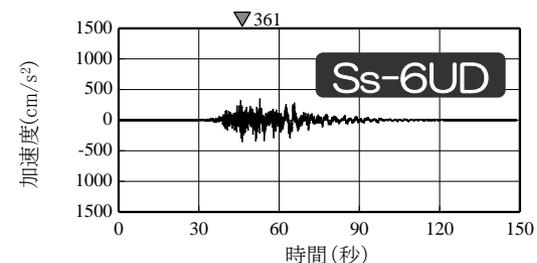
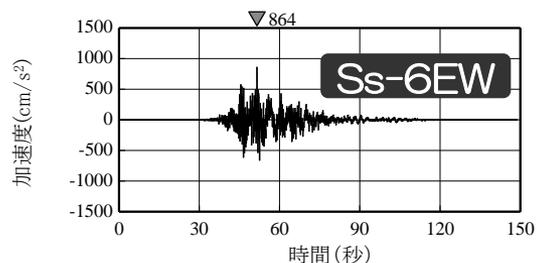
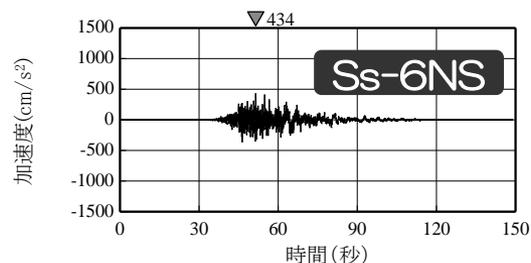
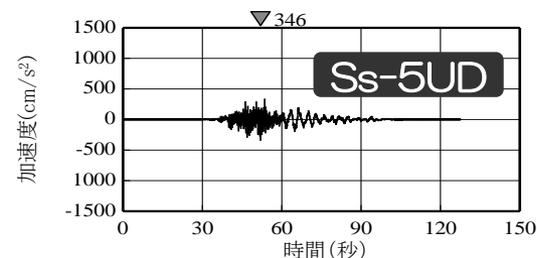
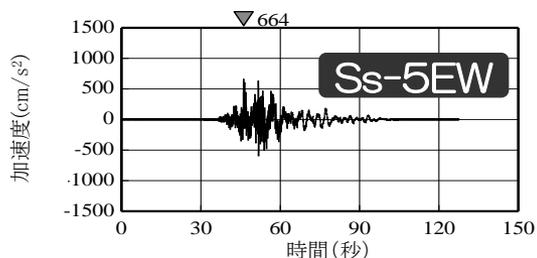
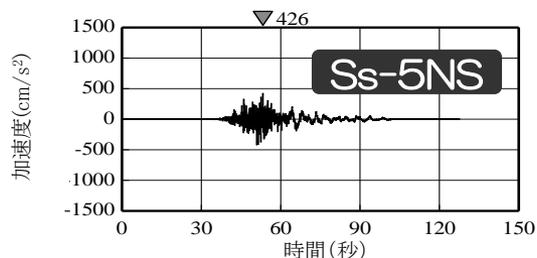
大湊側



5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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 模擬地震波

大湊側



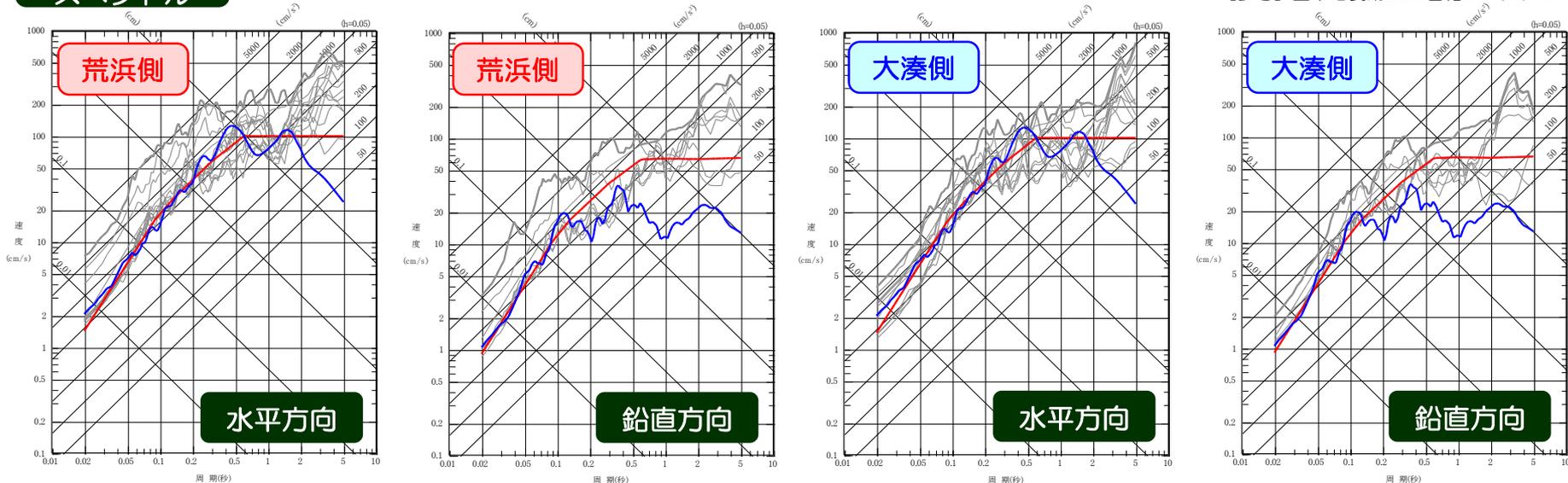
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

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HKD020港町観測点の基盤地震動に基づき震源を特定せず策定する地震動を策定する。はぎとり解析の不確かさ及び敷地の地盤物性の影響を考慮した結果、水平方向： 643cm/s^2 、鉛直方向： 310cm/s^2 と評価され、これに対して保守性を考慮して、水平方向： 650cm/s^2 、鉛直方向： 330cm/s^2 の地震動を震源を特定せず策定する地震動として設定する。
- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動との比較によると、大湊側では、一部の周期帯で上回ることから、震源を特定せず策定する地震動を基準地震動Ss-8として大湊側を対象に策定する。

擬似速度応答スペクトル

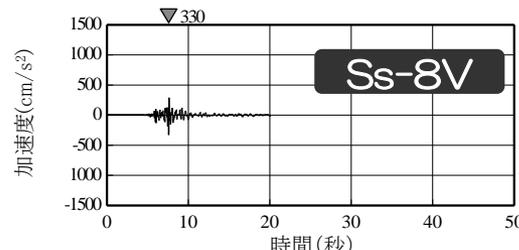
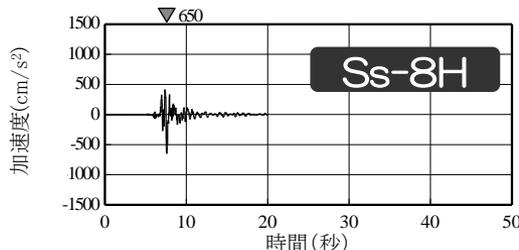
— 震源を特定せず策定する地震動 (水平方向: 650cm/s^2 , 鉛直方向: 330cm/s^2)
— 【参考】加藤ほか(2004)による応答スペクトル (水平 $V_s=700\text{m/s}$, 鉛直 $V_p=2000\text{m/s}$)
— 基準地震動Ss-1~7
— 【参考】基準地震動Ssの包絡スペクトル



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動と震源を特定せず策定する地震動の比較

時刻歴波形

大湊側



5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動の策定 基準地震動の一覧

- 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動として「F-B断層による地震」, 「長岡平野西縁断層帯による地震」の応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価の結果を踏まえて基準地震動Ss-1~7を策定。
- 震源を特定せず策定する地震動として, 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動を踏まえて, 大湊側において基準地震動Ss-8を策定。

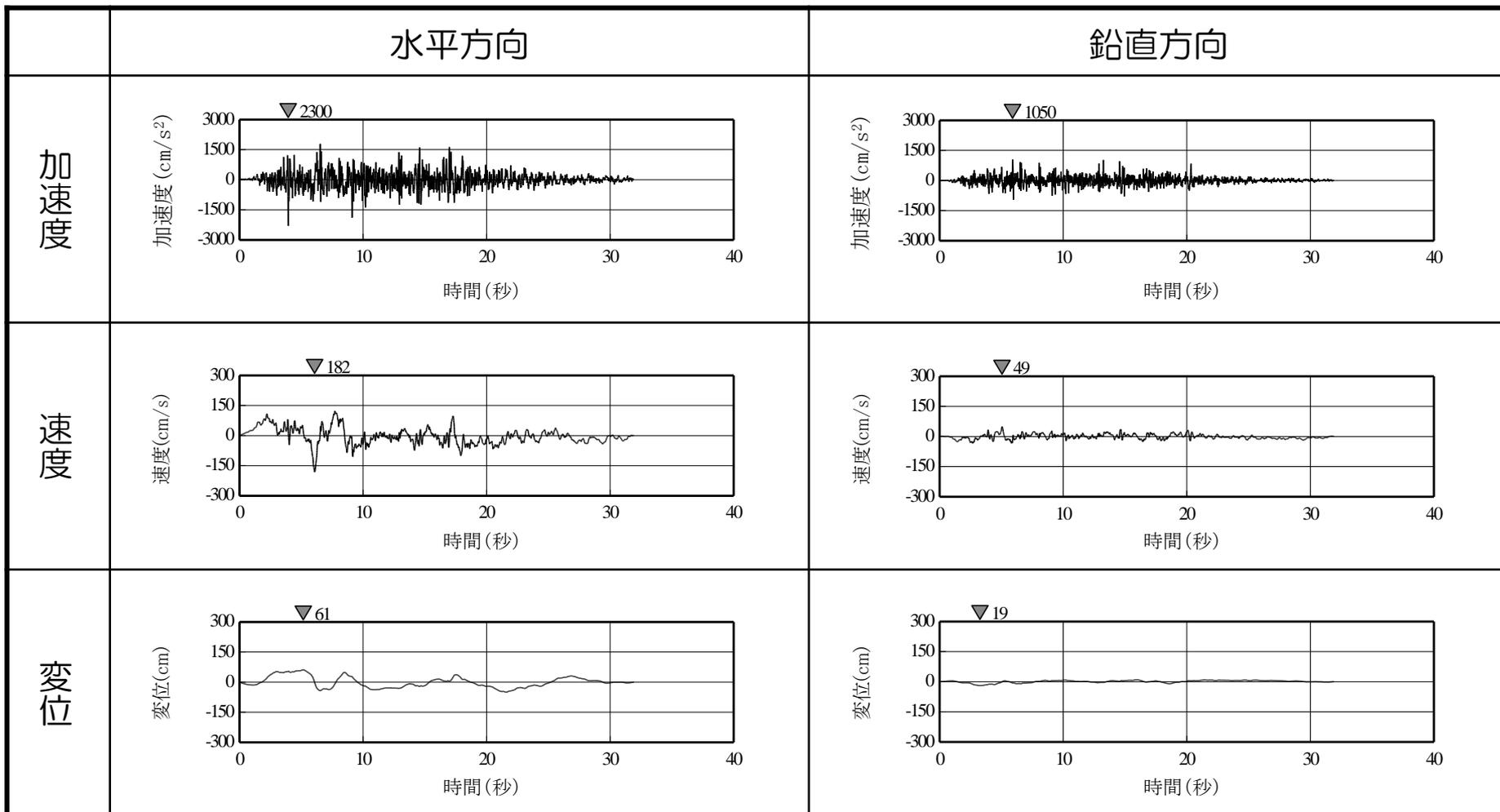
【基準地震動の最大加速度値】

| 基準地震動 | 検討用地震 | | 最大加速度値 (cm/s ²) | | | | | | | |
|-------|--------------------------|---------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | | 荒浜側 | | | 大湊側 | | | | |
| | | | NS方向 | EW方向 | UD方向 | NS方向 | EW方向 | UD方向 | | |
| Ss-1 | F-B断層による地震 | 応答スペクトルに基づく地震動評価 | | 2300 | | 1050 | 1050 | | 650 | |
| Ss-2 | | 断層モデルを用いた手法による地震動評価 | | 1240 | 1703 | 711 | 848 | 1209 | 466 | |
| Ss-3 | 長岡平野西縁断層帯による地震 | 応答スペクトルに基づく地震動評価 | 応力降下量1.5倍及び断層傾斜角35° ケースを包絡 | | 600 | | 400 | 600 | | 400 |
| Ss-4 | | 断層モデルを用いた手法による地震動評価 | 応力降下量1.5倍 | | 589 | 574 | 314 | 428 | 826 | 332 |
| Ss-5 | | | 断層傾斜角35° | | 553 | 554 | 266 | 426 | 664 | 346 |
| Ss-6 | | | 連動+応力降下量1.5倍 | | 510 | 583 | 313 | 434 | 864 | 361 |
| Ss-7 | | | 連動+断層傾斜角35° | | 570 | 557 | 319 | 389 | 780 | 349 |
| Ss-8 | 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動 | | - | - | - | 650 | | 330 | | |

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-1 時刻歴波形

荒浜側

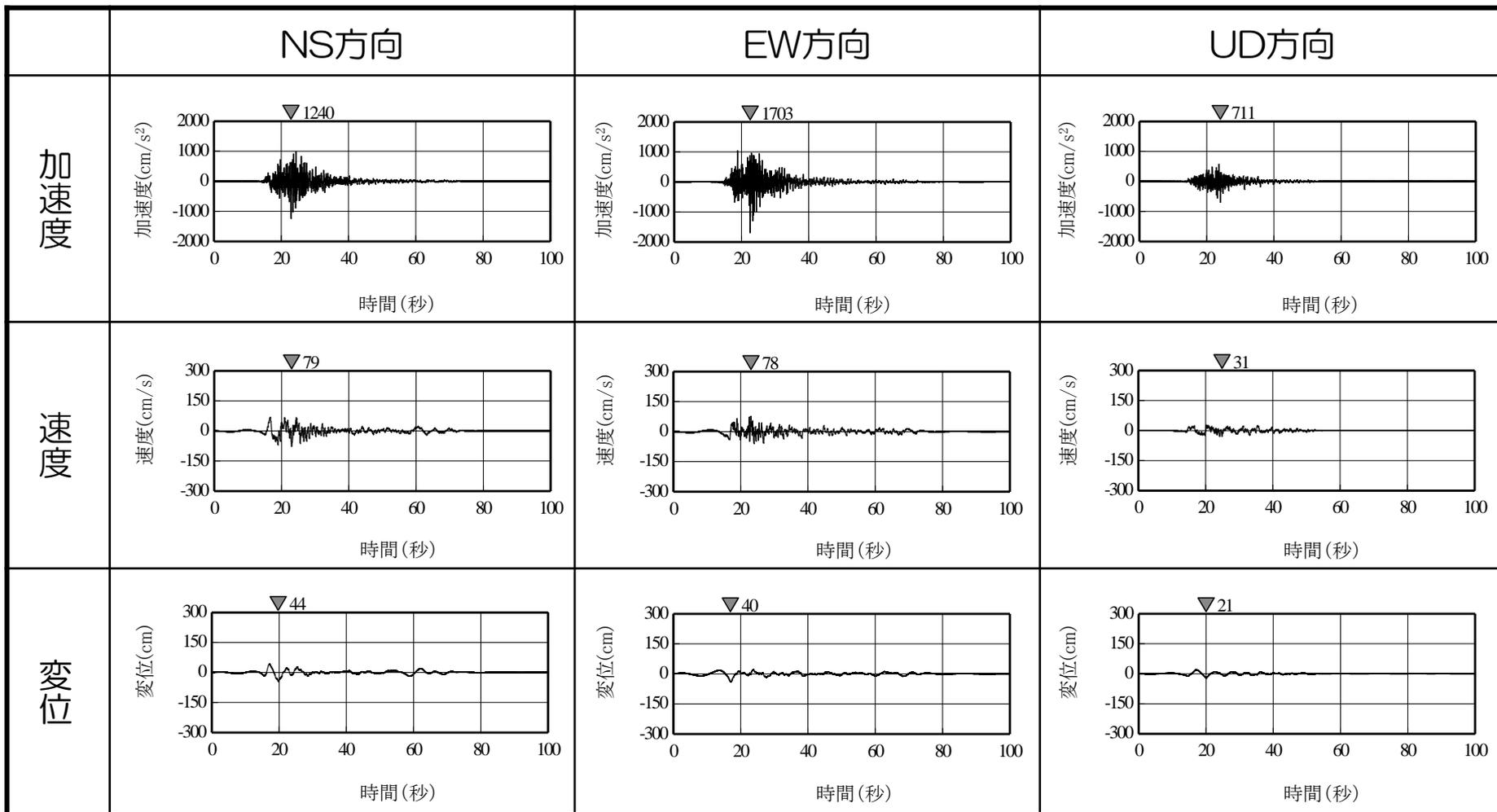


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-2 時刻歴波形

荒浜側

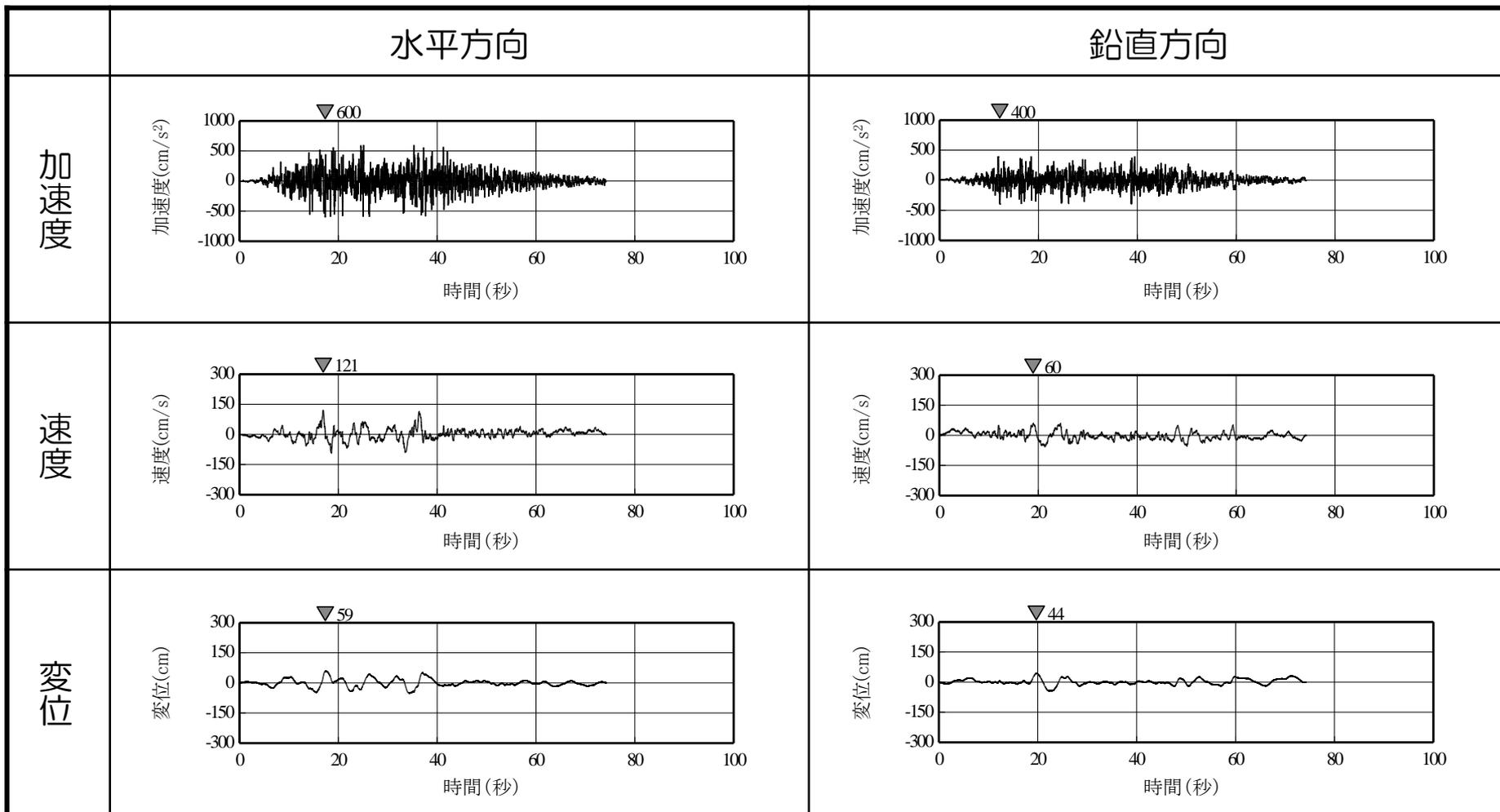


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-3 時刻歴波形

荒浜側

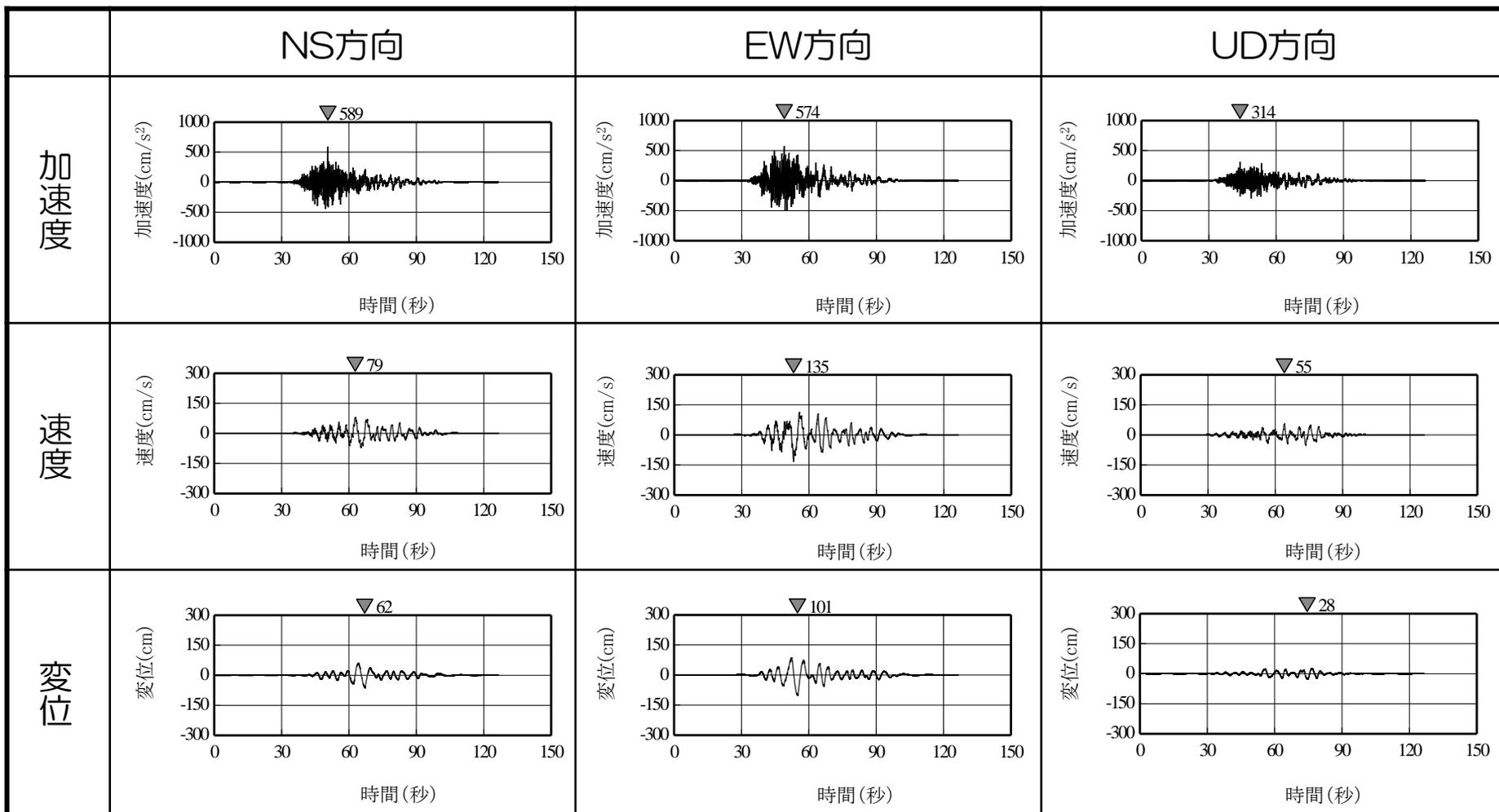


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-4 時刻歴波形

荒浜側

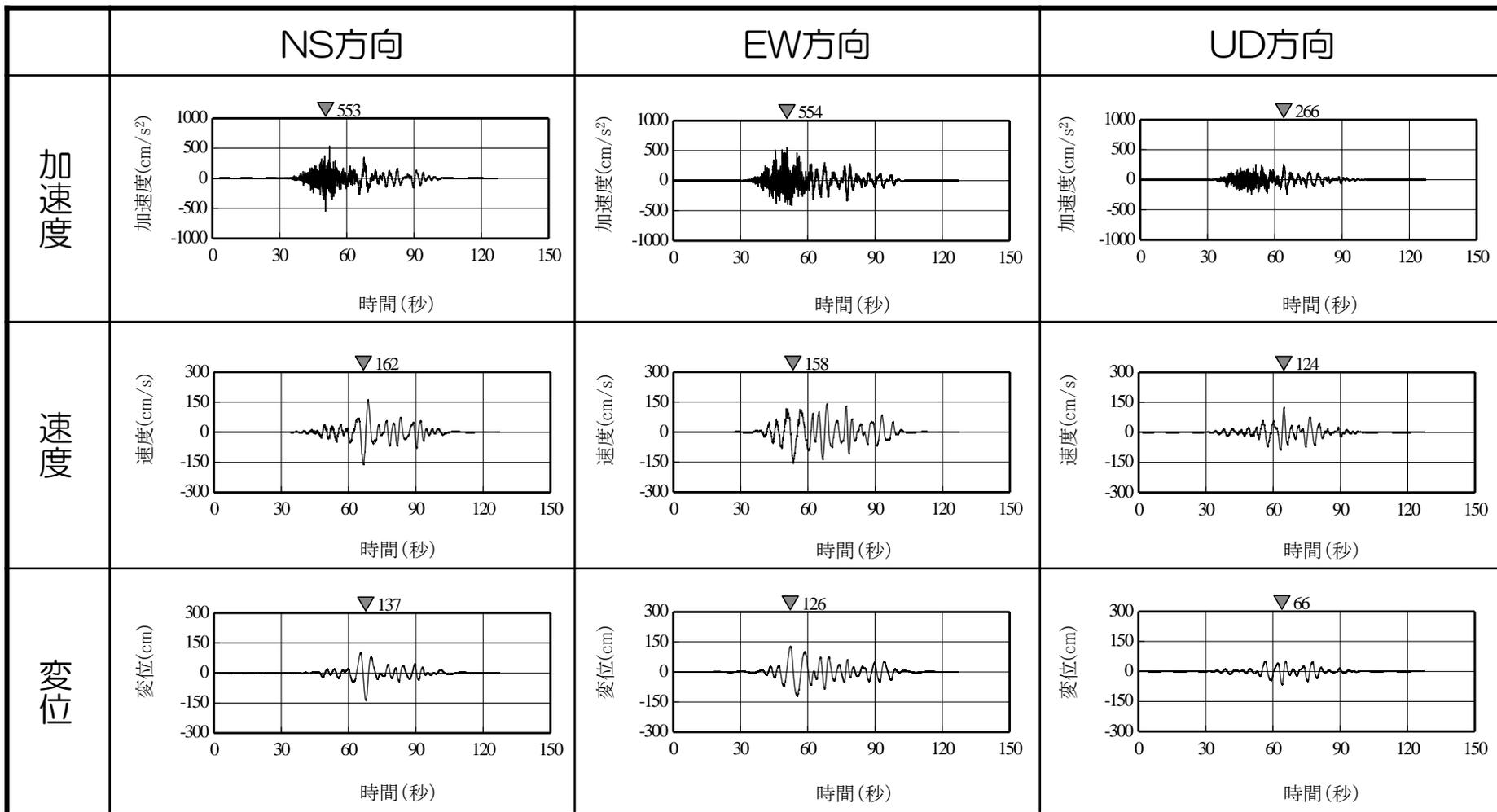


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-5 時刻歴波形

荒浜側

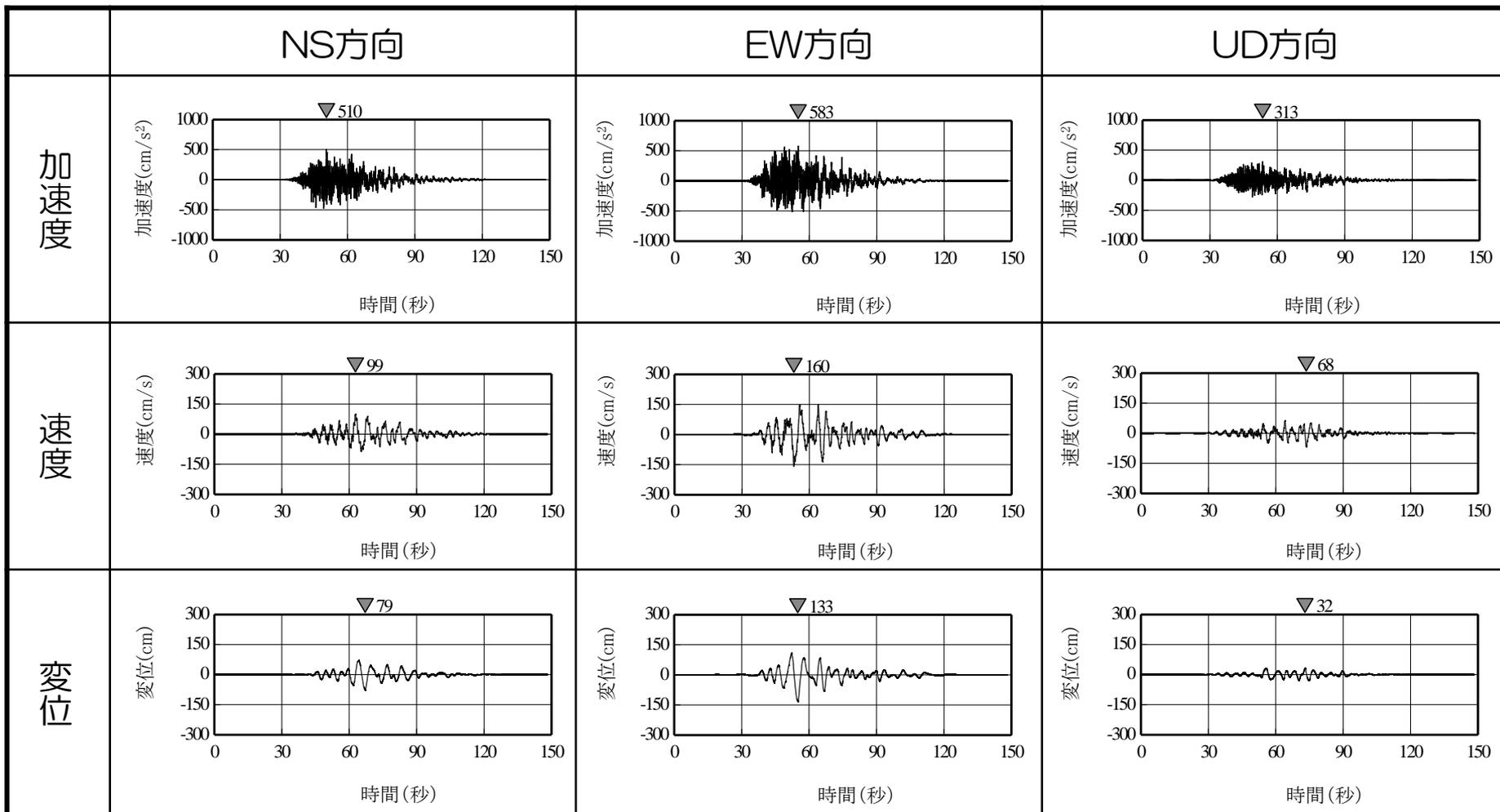


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-6 時刻歴波形

荒浜側

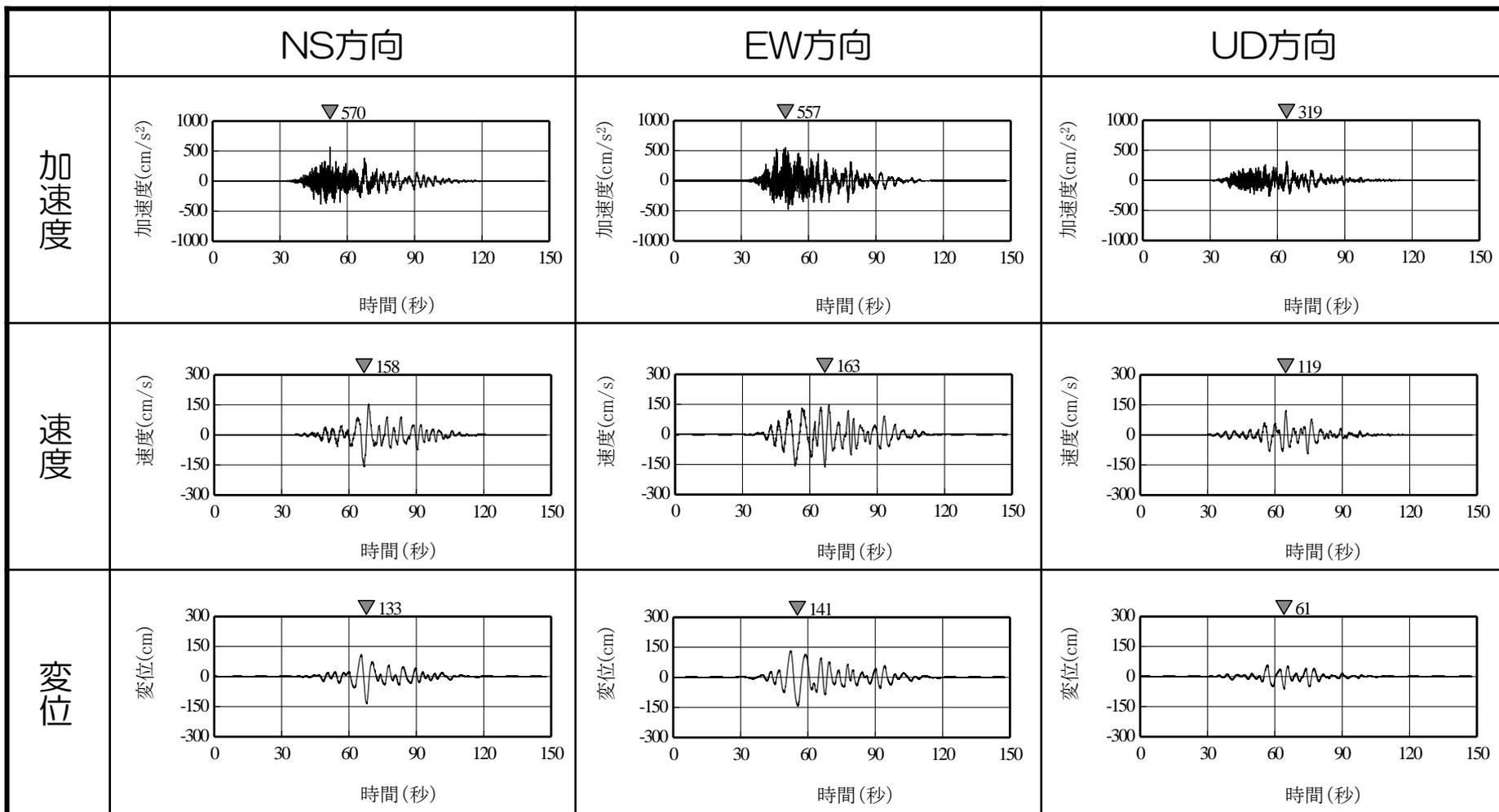


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-7 時刻歴波形

荒浜側

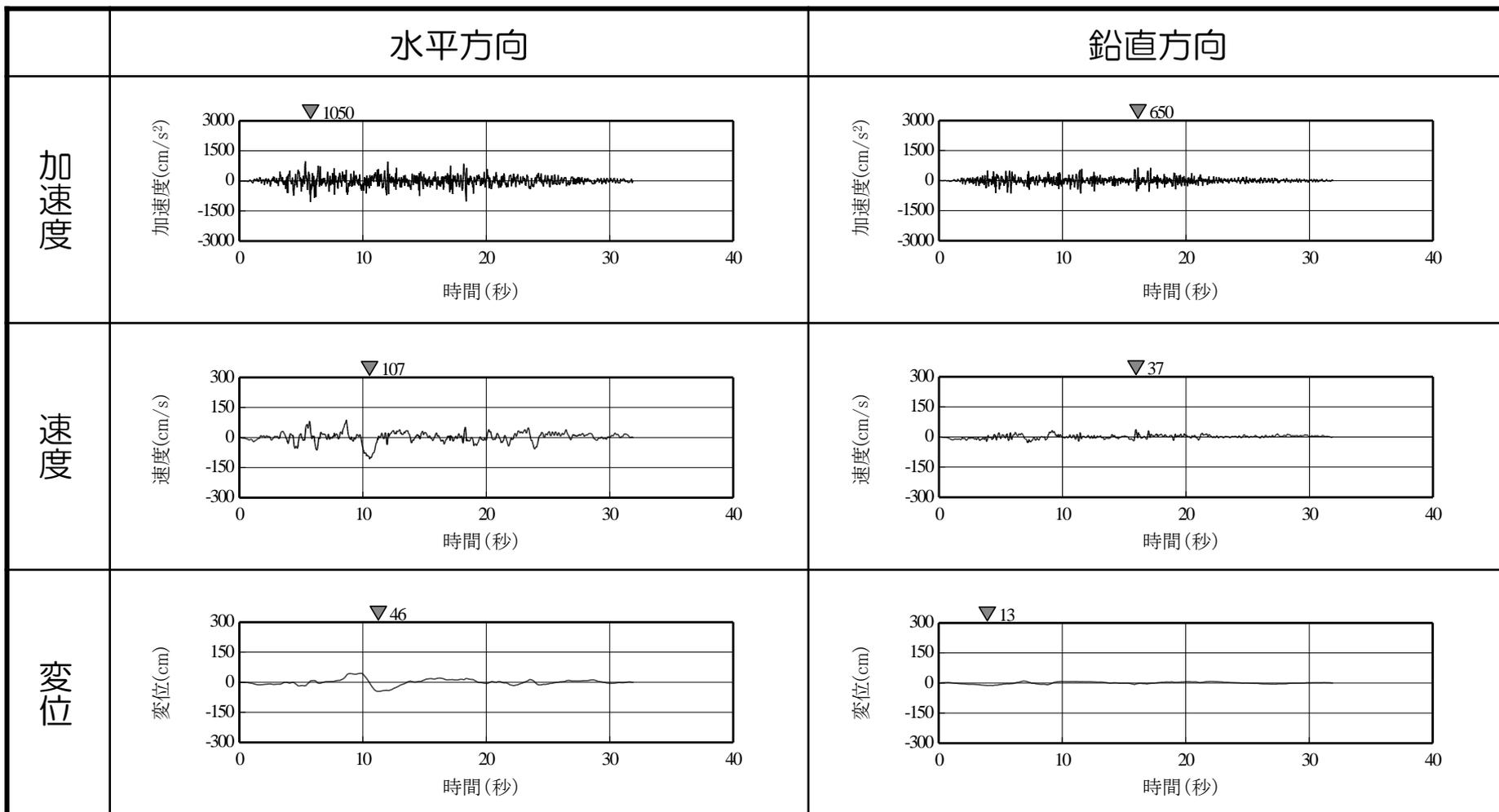


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-1 時刻歴波形

大湊側

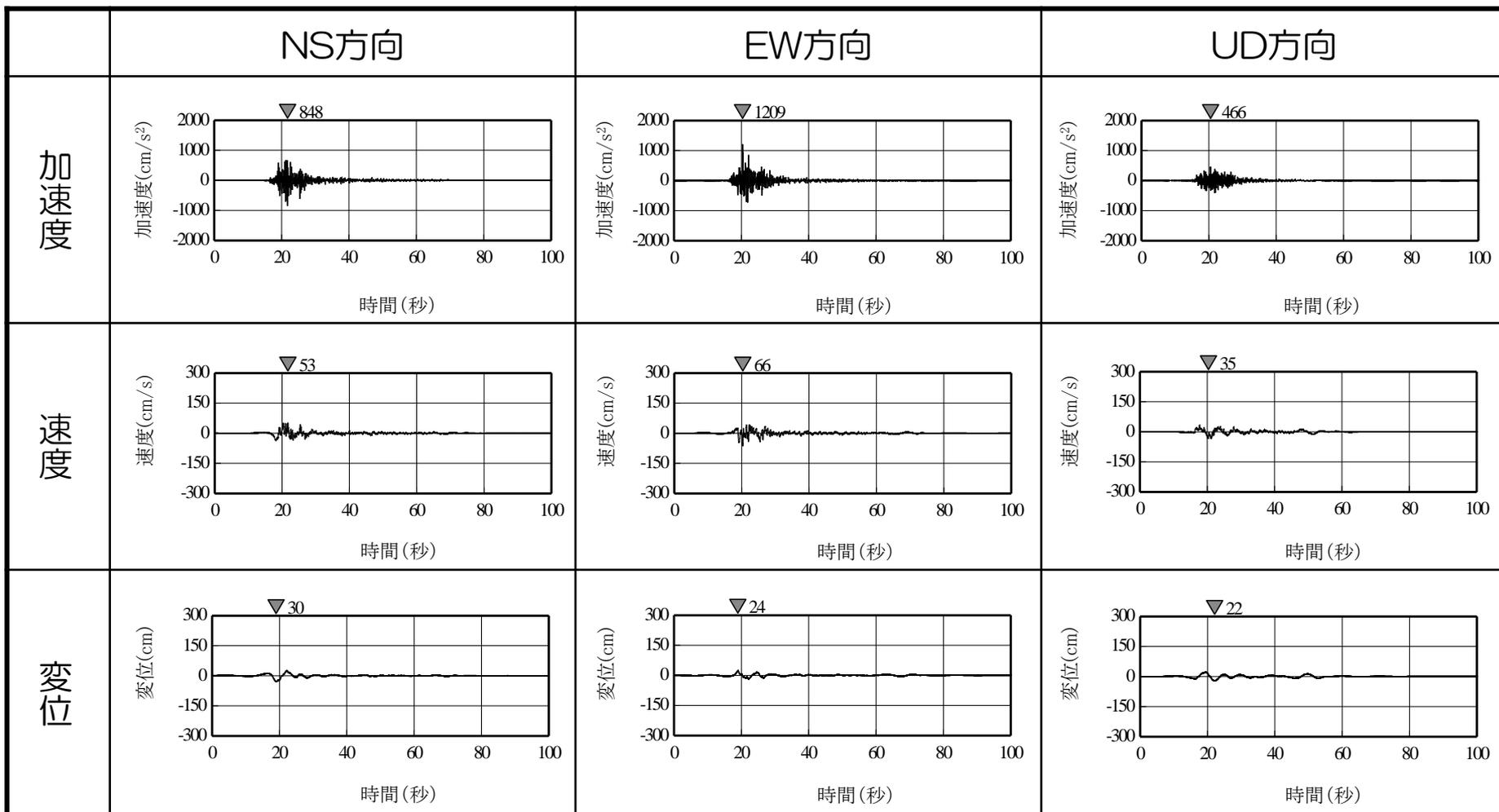


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-2 時刻歴波形

大湊側



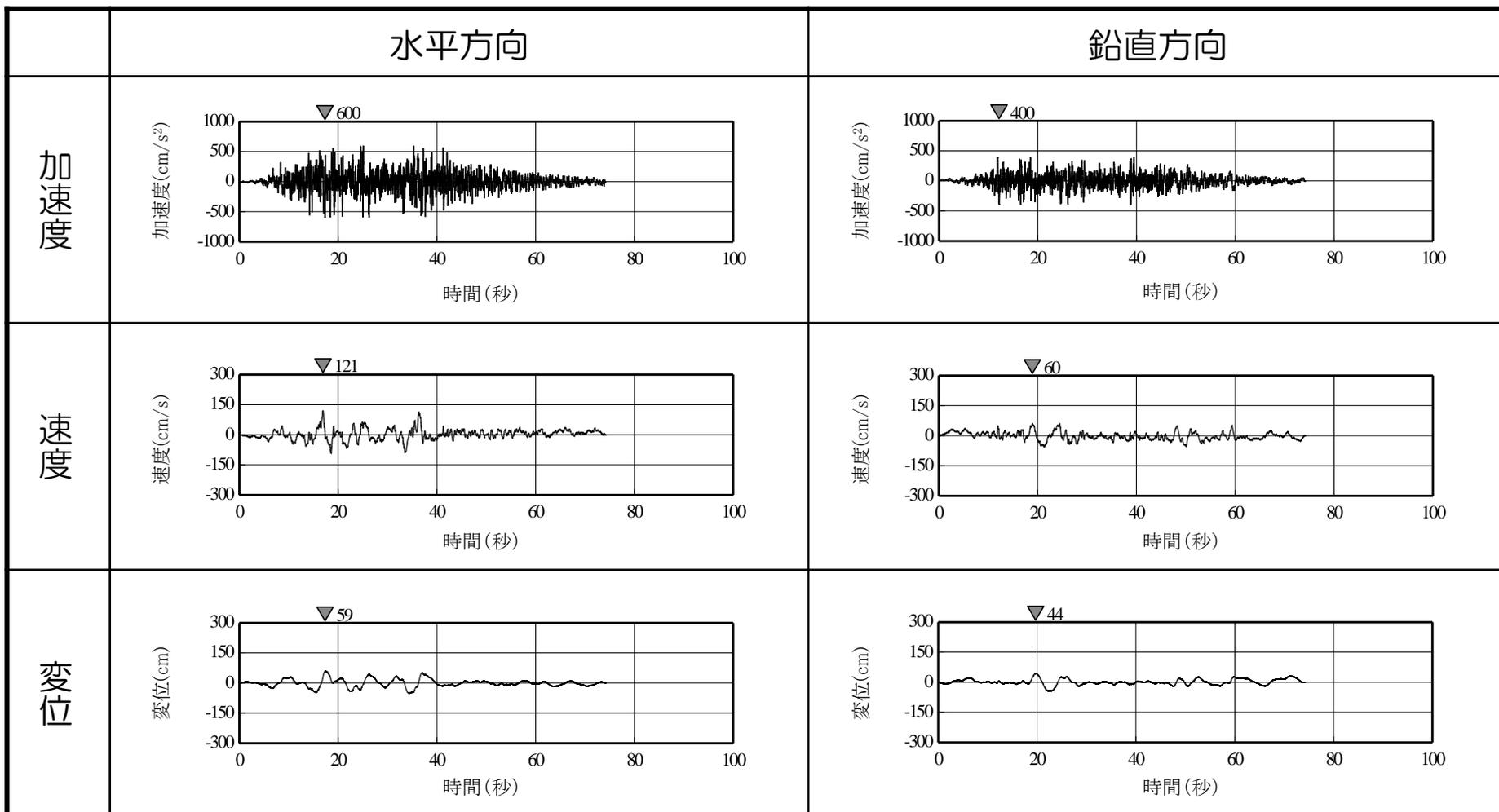
- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-3 時刻歴波形

大湊側

※荒浜側と共通

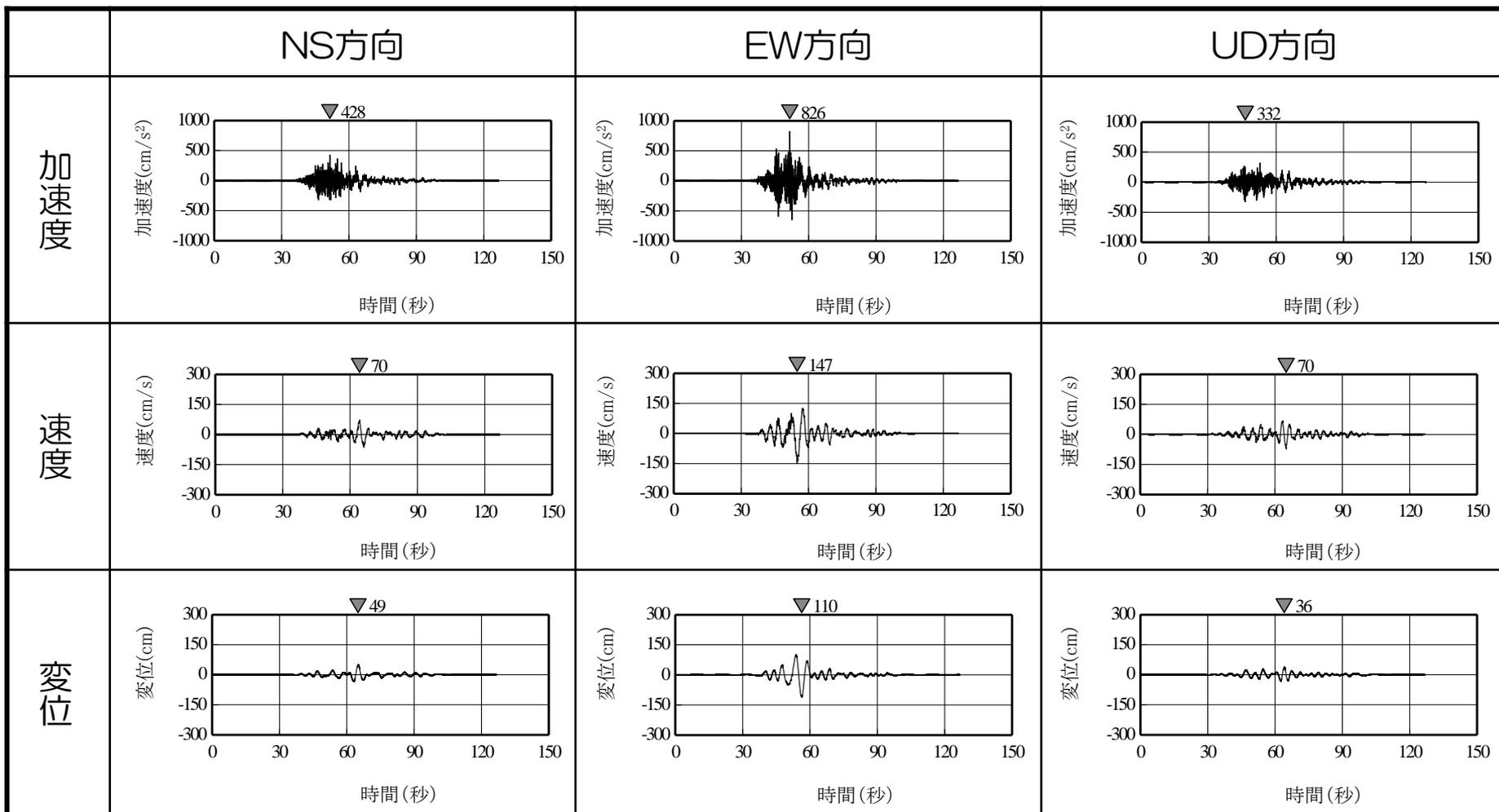


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-4 時刻歴波形

大湊側

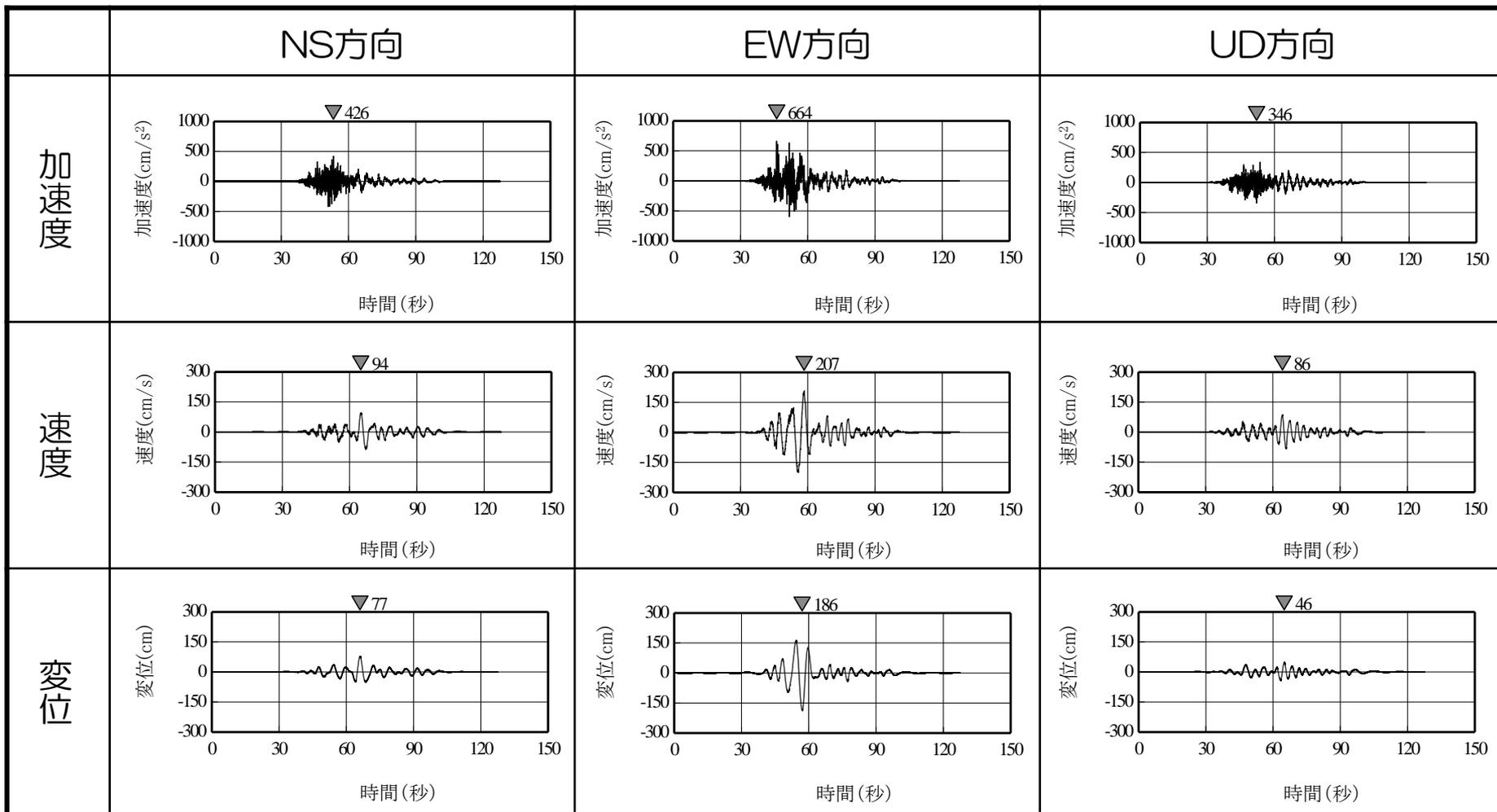


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-5 時刻歴波形

大湊側

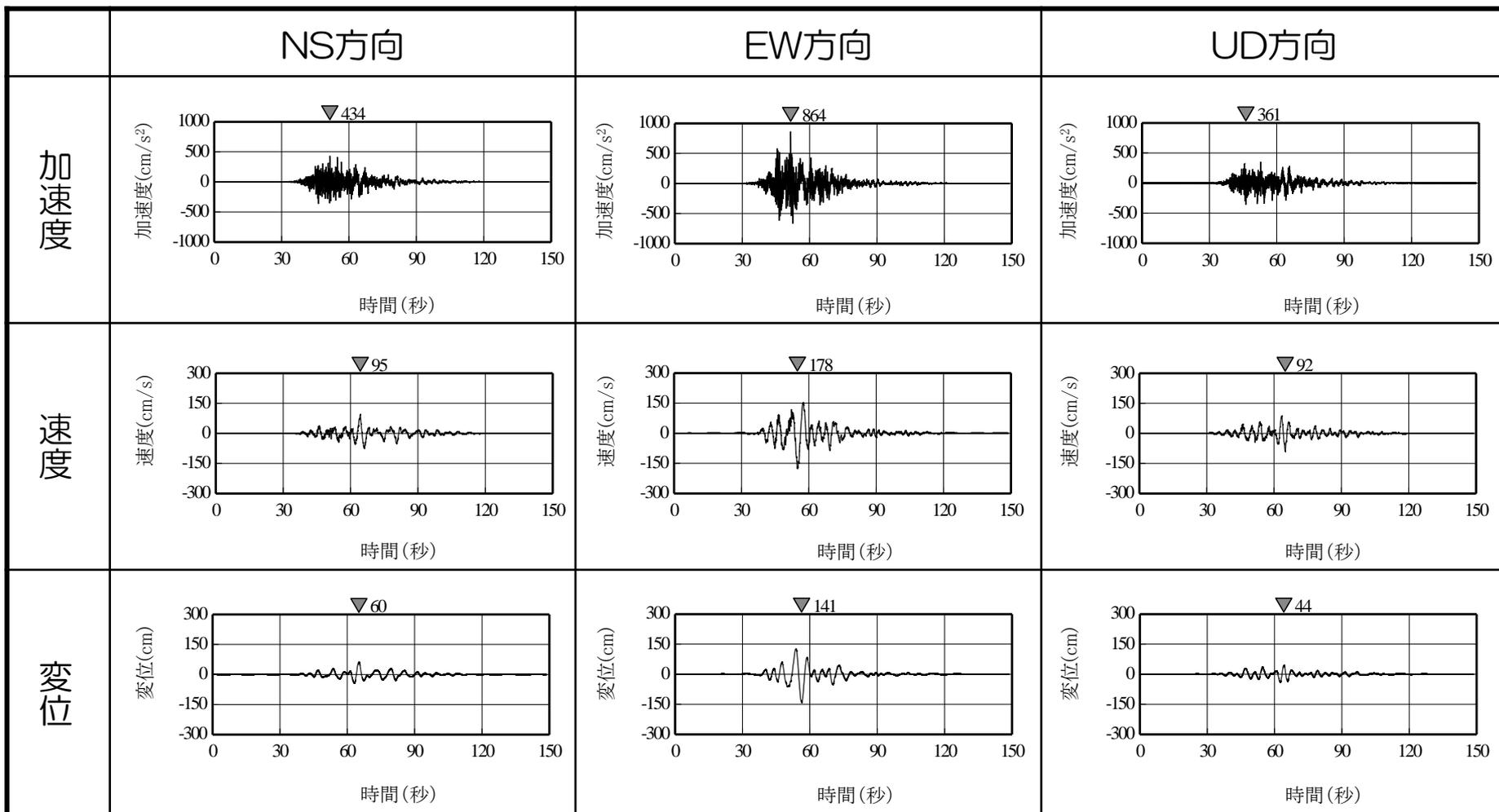


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-6 時刻歴波形

大湊側

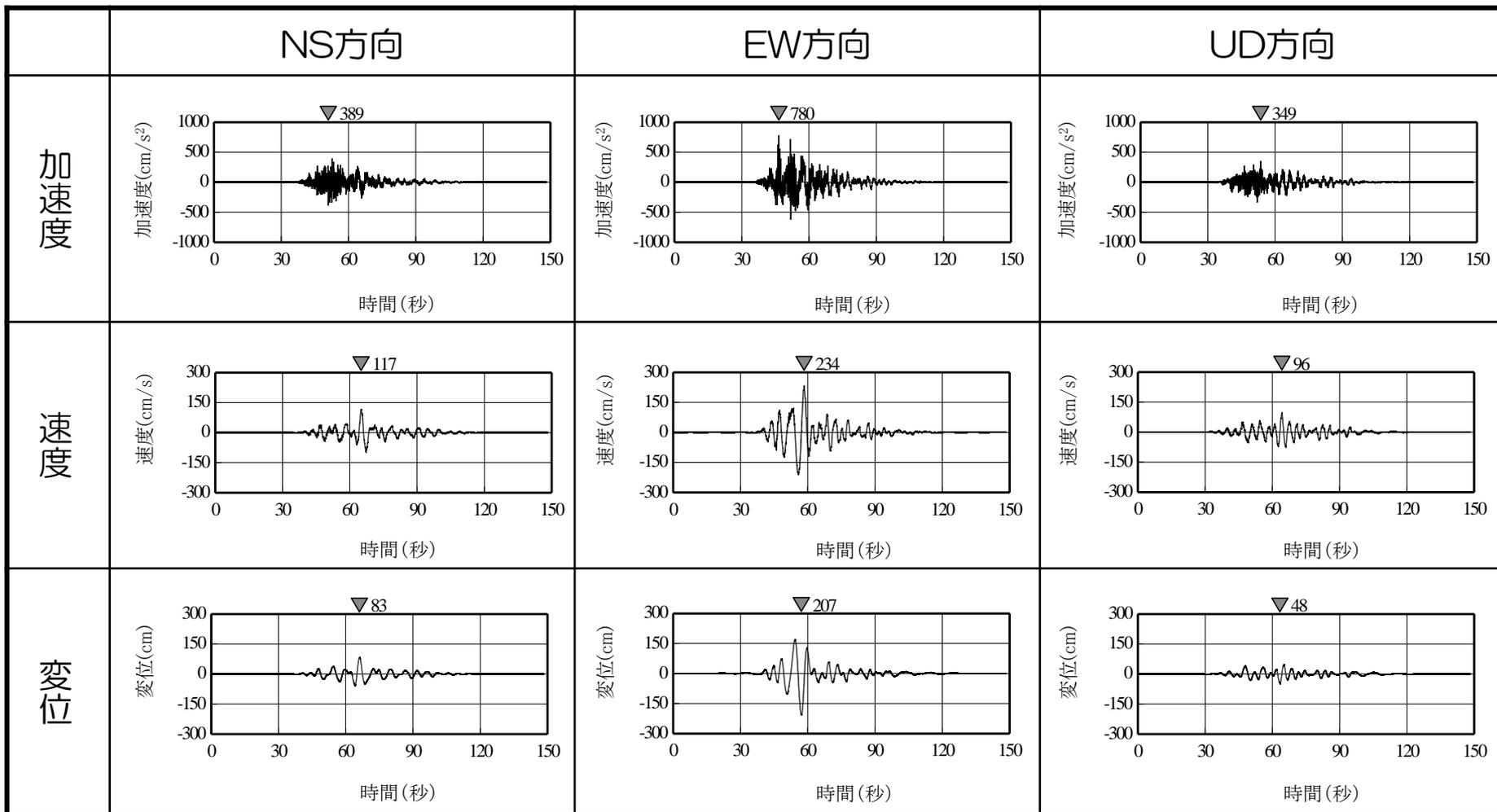


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-7 時刻歴波形

大湊側

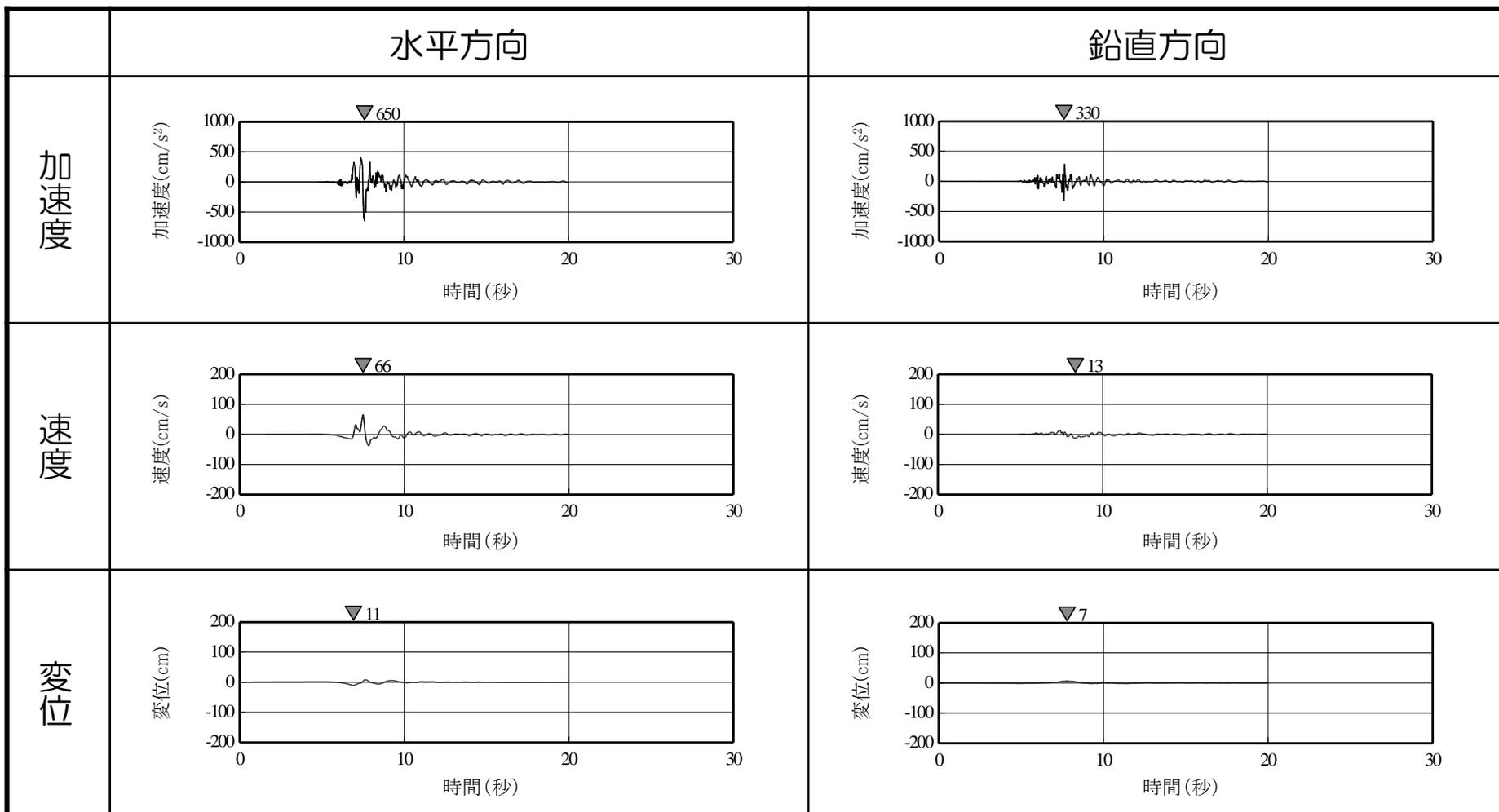


- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について

基準地震動Ss-8 時刻歴波形

大湊側



- 速度波形：加速度時刻歴波形で0線補正後，1回積分
- 変位速度：速度波形に対し0.1Hz以下はローカットフィルター処理後，0線補正を行い，1回積分

1. はぎとり地盤モデルにおける密度の設定について
2. 吉田ほか(2005)を踏まえた検討について
3. 長岡平野西縁断層帯による地震の評価結果について
4. 2004年北海道留萌支庁南部地震の評価について
5. 基準地震動Ssの時刻歴波形について
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について 評価方針

- 社団法人日本原子力学会「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」に基づき、評価を実施。
- 特定震源モデルの設定
 - ・ 特定震源については、以下の5種類に分類してモデル化する。
 - ① サイトから30km程度の範囲内の震源モデル
 - ② サイトから30km程度以遠の震源モデル
 - ③ 日本海東縁部に想定される震源モデル
 - ④ 確率論的津波ハザード評価で考慮している震源モデル
 - ⑤ 敷地への影響が大きい活断層の連動を考慮した震源モデル
- 領域震源モデルの設定
 - ・ 垣見ほか(2003)の領域区分を参照し、敷地から半径150km以内の領域を対象とする。
 - ・ 地震規模と地震発生頻度はG-R式を用いて設定し、各領域の最大Mは領域内の過去の地震の最大値だけでなく、島崎(2009)の知見も考慮する。
- 地震動伝播モデルの設定
 - ・ Noda et al.(2002)による距離減衰式を用いる。
 - ・ 海域の地震と陸域の地震に対してそれぞれ補正係数を考慮し、ロジックツリーにおいて観測記録に基づく補正の有無を考慮する。
- ロジックツリーの作成
 - ・ 確率論的地震ハザードに大きな影響を及ぼす認識論的不確かさを選定しロジックツリーを作成する。
 - ・ 敷地への影響が大きい活断層の連動を考慮した震源モデルについては、詳細なロジックツリーにより評価する。

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

震源モデルの設定 特定震源モデル

①サイトから30km程度の範囲内の震源モデル

- 断層の諸元は地質調査結果に基づき設定。
- 平均活動間隔は地震本部(2009)の知見に基づき設定。F-B断層については、地震本部(2003)における日本海東縁部の長期評価を参考に設定。平均活動間隔が不明なものについては、断層変位量と平均変位速度から算定。
断層変位量 : $D = 10^{0.6M-4.0}$ 平均変位速度 : 0.5mm/年 (活動度はB級と仮定)
- 発生確率モデルは地震本部(2009)の知見に基づき設定。また、調査等により最新活動時期が推定されたものはBPT分布を用い、最新活動時期が不明なものは、ポアソン分布を用いる。

■ 海域の補正係数を用いる震源 ■ 地震本部の知見により推定した値
■ 陸域の補正係数を用いる震源 ■ 地震規模と活動度から算定した値



※図中⑨～⑫は副次的な断層

地質調査結果に基づく敷地周辺の活断層分布

| No. | 特定震源の名称 | 分類 | 地震規模※1 | 等価震源距離(km) | | 平均活動間隔(年) | 発生確率モデル |
|-----|------------------|--------------|--------|------------|----|-----------|---------|
| | | | | 荒浜 | 大湊 | | |
| ① | 佐渡島棚東縁部断層 | 海域 (調査結果) | 6.8 | 55 | 53 | 5500 | ポアソン |
| ② | F-B断層 | | 7.0 | 13 | 13 | 1000 | BPT |
| ③ | 佐渡島南方断層 | | 6.9 | 23 | 22 | 4700 | ポアソン |
| ④ | F-D断層 | | 6.9 | 35 | 36 | 4700 | ポアソン |
| ⑤ | 高田冲断層 | | 6.8 | 61 | 63 | 4100 | ポアソン |
| — | 親不知海脚西縁断層帯～魚津断層帯 | | 7.5 | 94 | 96 | 8000 | ポアソン |
| ⑥ | 角田・弥彦断層 | 陸域 (調査結果) | 7.7 | 51 | 49 | 2450 | ポアソン |
| ⑦ | 気比ノ宮断層 | | 7.1 | 21 | 20 | 2450 | ポアソン |
| ⑧ | 片貝断層 | | 6.8 | 14 | 14 | 2450 | ポアソン |
| ⑬ | 悠久山断層 | | 6.8 | 27 | 26 | 5800 | ポアソン |
| ⑭ | 半蔵金付近のリニアメント | | 6.8 | 25 | 25 | 2300 | ポアソン |
| ⑮ | 柏崎平野南東縁のリニアメント | | 6.8 | 15 | 16 | 2300 | ポアソン |
| ⑯ | 山本山断層 | | 6.8 | 21 | 21 | 2300 | ポアソン |
| ⑰ | 水上断層 | | 6.8 | 15 | 16 | 2300 | ポアソン |
| ⑱ | 上米山断層 | | 6.8 | 17 | 18 | 2300 | ポアソン |
| ⑲ | 雁海断層 | | 6.8 | 17 | 18 | 2300 | ポアソン |
| ⑳ | 十日町断層帯西部 | | 7.4 | 30 | 32 | 3300 | ポアソン |

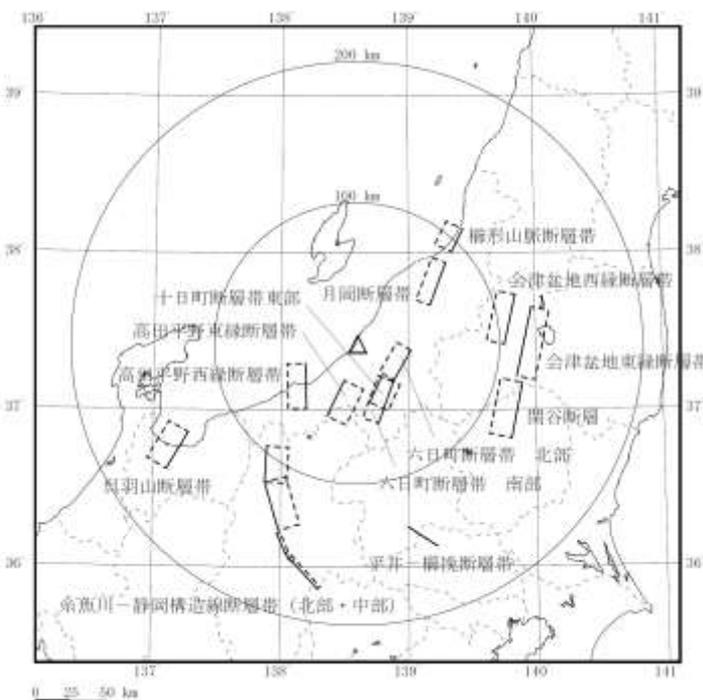
※1 : 海域の断層による地震のMは、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)の知見を踏まえて設定した値を記載。陸域の断層による地震のMは、松田(1975)に基づき設定。ただし、いずれも下限値は6.8としている。

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

震源モデルの設定 特定震源モデル

②サイトから30km程度以遠の震源モデル

- 断層の諸元、平均活動間隔及び発生確率モデルは地震本部(2009, 2012)の知見に基づき設定。



地震調査研究推進本部の主要活断層の分布

陸域の補正係数を用いる震源 (Orange square) 地震本部の知見により推定した値 (Pink square)

| 特定震源の名称 | 分類 | 地震規模※1 | 等価震源距離(km) | | 平均活動間隔(年) | 発生確率モデル |
|---------------------|------|--------|------------|-----|-----------|---------|
| | | | 荒浜 | 大湊 | | |
| 会津盆地西縁断層帯 | 地震本部 | 7.4 | 102 | 101 | 8550 | BPT |
| 会津盆地東縁断層帯 | | 7.7 | 123 | 123 | 7800 | BPT |
| 櫛形山脈断層帯 | | 6.9 | 99 | 97 | 3500 | BPT |
| 月岡断層帯 | | 7.3 | 67 | 66 | 7500 | BPT |
| 関谷断層 | | 7.5 | 113 | 113 | 3350 | BPT |
| 平井一櫛挽断層帯 | | 7.1 | 144 | 145 | 7300 | ポアソン |
| 十日町断層帯東部 | | 7.0 | 41 | 42 | 6000 | ポアソン |
| 糸魚川-静岡構造線断層帯(北部・中部) | | 8.2 | 125 | 126 | 1000 | BPT |
| 呉羽山断層帯 | | 7.3 | 150 | 151 | 4000 | ポアソン |
| 六日町断層帯 北部(ケース1) | | 7.1 | 32 | 32 | 5400 | ポアソン |
| 六日町断層帯 北部(ケース2) | | 7.1 | 28 | 28 | 3600 | BPT |
| 六日町断層帯 南部 | | 7.3 | 43 | 44 | 6700 | BPT |
| 高田平野東縁断層帯 | | 7.2 | 42 | 44 | 2300 | ポアソン |
| 高田平野西縁断層帯 | | 7.3 | 52 | 53 | 3500 | BPT |
| 長野盆地西縁断層帯 | | 7.8 | 74 | 76 | 1650 | BPT |

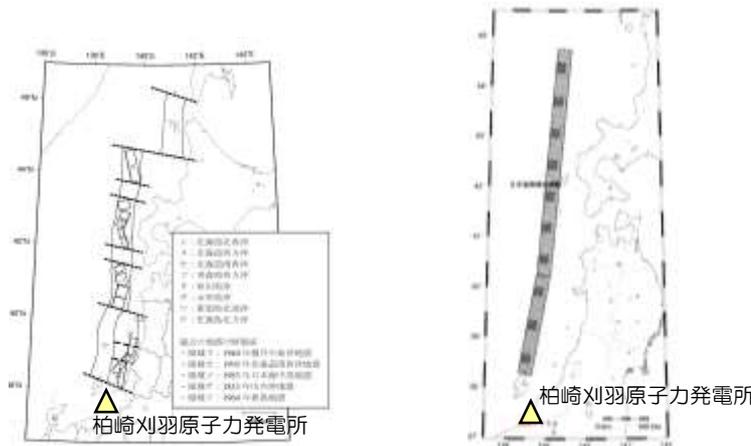
※1：地震のMは、松田(1975)に基づき設定。

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

震源モデルの設定 特定震源モデル

③日本海東縁部に想定される震源モデル

- 断層の諸元、平均活動間隔及び発生確率モデルは地震本部（2009）の知見に基づき設定。



日本海東縁部の特定震源

■ 海域の補正係数を用いる震源
 ■ 地震本部の知見により推定した値

| 特定震源の名称 | 分類 | 地震規模※1 | 等価震源距離(km) | | 平均活動間隔(年) | 発生確率モデル |
|-------------------|-----|--------|------------|-----|-----------|---------|
| | | | 荒浜 | 大湊 | | |
| 秋田県沖 | 東傾斜 | 7.5 | 258 | 257 | 1000 | ポアソン |
| | 西傾斜 | 7.5 | 259 | 257 | 1000 | ポアソン |
| 山形県沖 | | 7.7 | 169 | 167 | 1000 | BPT |
| 新潟県北部沖 | | 7.5 | 117 | 116 | 1000 | BPT |
| 佐渡島北方沖 | 東傾斜 | 7.8 | 235 | 233 | 750 | ポアソン |
| | | 7.8 | 199 | 197 | 750 | ポアソン |
| | | 7.8 | 148 | 147 | 750 | ポアソン |
| | 西傾斜 | 7.8 | 235 | 234 | 750 | ポアソン |
| | | 7.8 | 199 | 198 | 750 | ポアソン |
| | | 7.8 | 149 | 147 | 750 | ポアソン |
| 佐渡島北方沖～北海道西方沖（連動） | | 8.4 | 280 | 278 | 3900 | ポアソン |

④確率論的津波ハザード評価で考慮している震源モデル

- 断層の諸元、平均活動間隔及び発生確率モデルは確率論的津波ハザード評価より引用。



確率論的津波ハザード評価で考慮している断層面（想定D断層）

■ 海域の補正係数を用いる震源
 ■ 地震規模と活動度から算定した値

| 特定震源の名称 | 分類 | 地震規模※1 | 等価震源距離(km) | | 平均活動間隔(年) | 発生確率モデル |
|------------|-----|--------|------------|----|-----------|---------|
| | | | 荒浜 | 大湊 | | |
| 想定D断層による地震 | 想定D | 8.0 | 74 | 75 | 25000 | ポアソン |

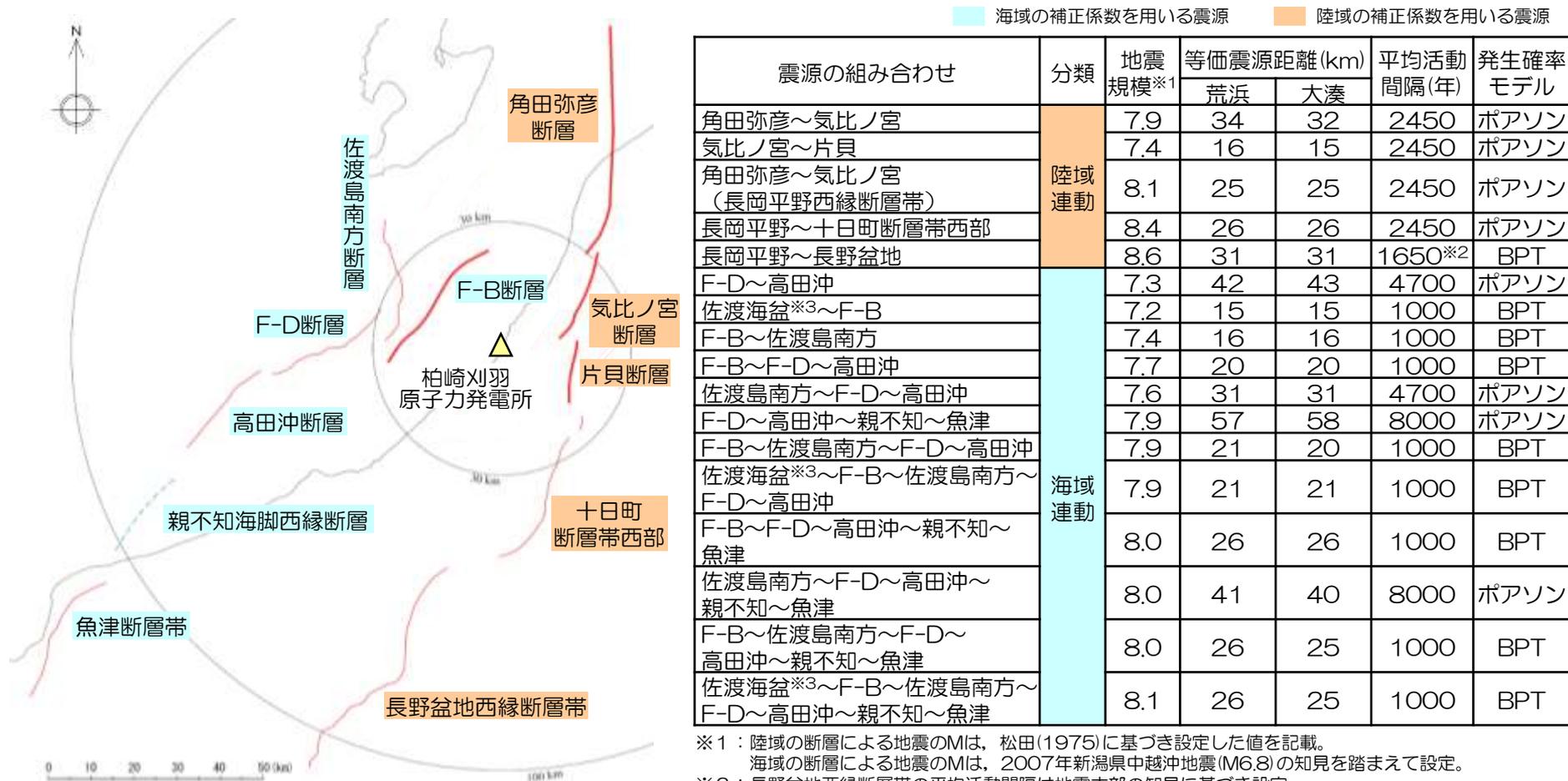
※1：佐渡島北方沖～北海道西方沖（連動）及び想定D断層による地震のMはMwの値を使用。その他の地震のMは地震本部に基づき設定。

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

震源モデルの設定 特定震源モデル

⑤敷地への影響が大きい活断層の連動を考慮した震源モデル

- 断層の諸元は地質調査結果に基づき設定。
- 平均活動間隔は、①で設定した活動間隔の長い断層に合わせる。ただし、長岡平野西縁断層帯及びF-B断層との連動を考慮する場合は、それぞれ両者の活動間隔及び発生確率モデルに従うこととする。



※1：陸域の断層による地震のMは、松田(1975)に基づき設定した値を記載。
海域の断層による地震のMは、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)の知見を踏まえて設定。

※2：長野盆地西縁断層帯の平均活動間隔は地震本部の知見に基づき設定。

※3：佐渡海盆東縁断層は、地質調査結果からは活断層とは認められないものの、ハザード評価上は考慮することとする。

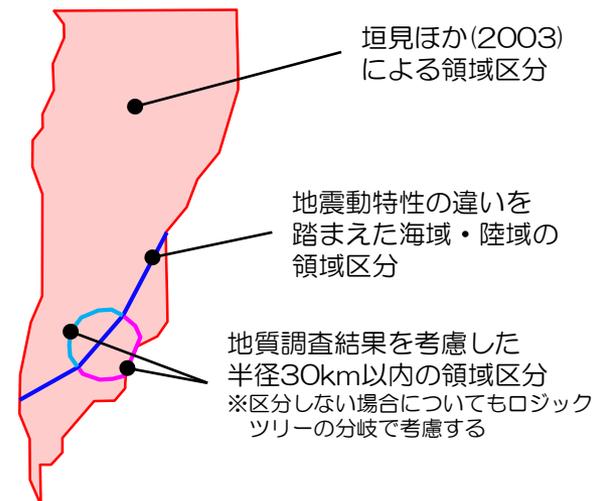
連動を考慮する断層

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

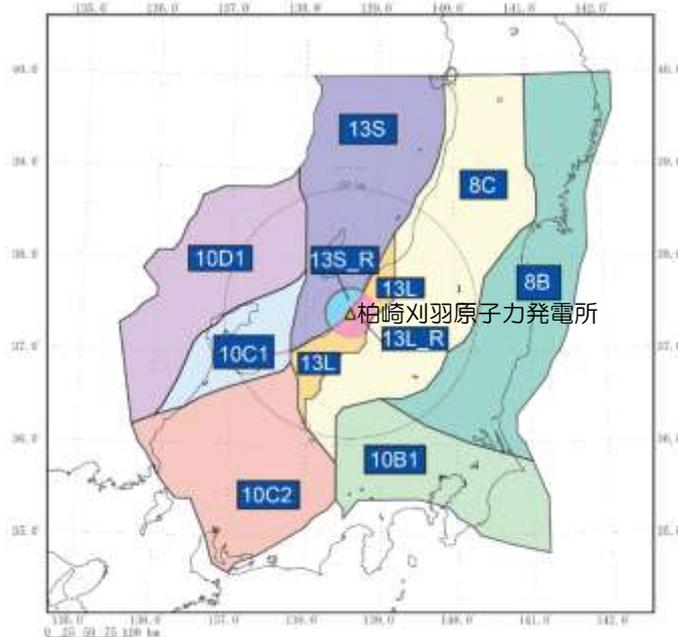
震源モデルの設定 領域震源モデル

領域震源モデル

- 敷地が位置する日本海東縁変動帯(領域13)については、地震動レベルの要因分析結果及び地質調査の内容を考慮した領域区分を設定。
- 地震発生頻度は宇津カタログ及び気象庁地震カタログのデータに基づき、G-R式を用いて設定。
- 最大Mは、各領域で過去に発生した地震のうち、特定震源として考慮している地震を除いた地震の最大規模とし、その値に幅がある場合は、中央値、上限値、下限値をロジックツリーの分岐として考慮する。また、島崎(2009)によれば、M7.0~7.1以下の範囲で活断層として表現されない地震が存在すること、短い活断層で発生する地震のMの上限が7.4程度であるとされていることから、これらの知見についてもロジックツリーの分岐として考慮する。



日本海東縁変動帯の領域区分の考え方



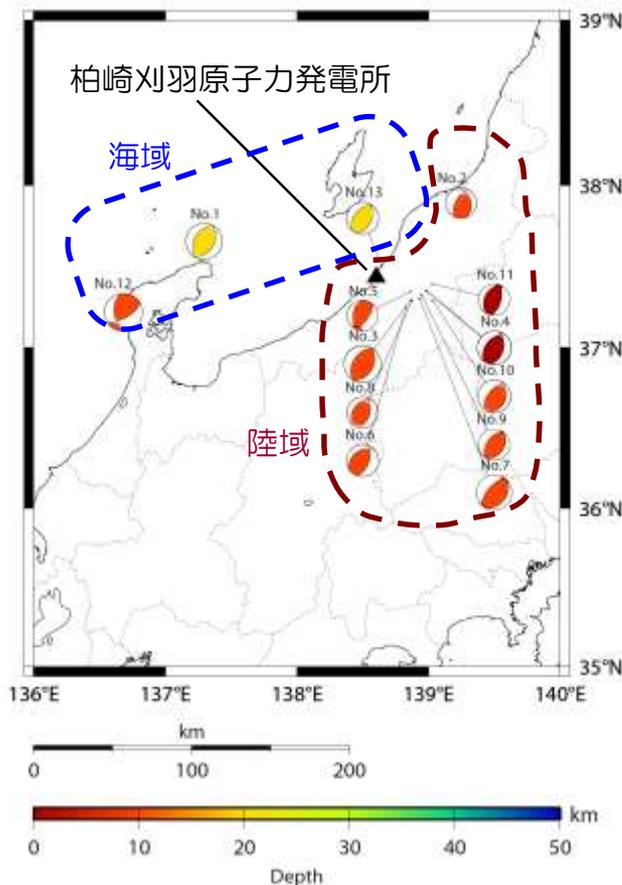
垣見ほか(2003)を参考に設定した領域区分

| 地震地体構造区分 垣見ほか(2003) | | 年発生頻度 (M5以上) | b値 | 最大M 歴史地震 | 最大M 島崎 (2009) | 備考 |
|------------------------|--------------|-----------------|--------|-----------------|---------------------|------|
| 領域 | 領域名 | | | | | |
| 8B | 東北日本弧外帯 | 0.4799 | 0.8525 | 6.8 | 7.1,7.4 | |
| 8C | 東北日本弧内帯 | 0.7496 | 0.8146 | 7.2 | 7.1,7.4 | |
| 10B1 | 関東主部 | 0.6428 | 0.8147 | 7.0,7.3 | 7.1,7.4 | |
| 10C1 | 能登 | 0.1180 | 0.7061 | 6.9,7.0 | 7.1,7.4 | |
| 10C2 | 中部山岳 | 0.6305 | 0.8665 | 7.0,7.3 | 7.1,7.4 | |
| 10D1 | 能登・若狭冲海域 | 0.1281 | 1.0901 | 6.8 | 7.1,7.4 | |
| 13L | 日本海東縁 変動帯 | 0.0545 | 0.9341 | 7.0,7.2, 7.4 | 7.1,7.4 | 陸側-外 |
| 13L_R | | 0.0476 | 0.9341 | 6.7 | - | 陸側-内 |
| 13S | | 0.3412 | 0.9341 | 7.0 | 7.1,7.4 | 海側-外 |
| 13S_R | | 0.0343 | 0.9341 | 6.7 | - | 海側-内 |

※13Lと13L_R、及び13Sと13S_Rについては、それぞれ区分しない分岐も考慮する。

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

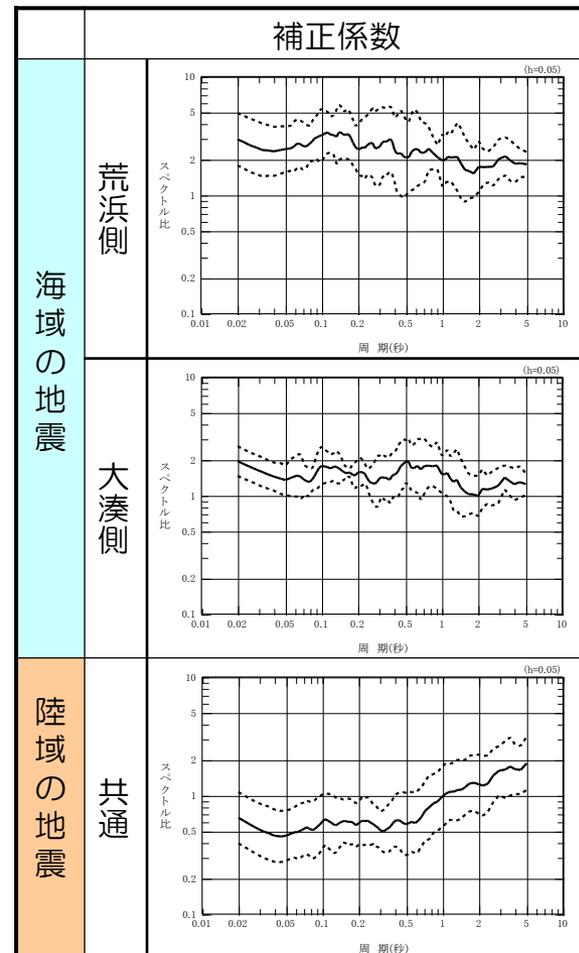
地震動伝播モデルの設定 陸域・海域の補正係数



| No. | 発震月日 | 地震規模 | 最大加速度 (cm/s ²) | |
|-----|---------------------|------|----------------------------|---------|
| | | | 荒浜側 | 大湊側 |
| 1 | 1993. 02. 07 22: 27 | 6.6 | 20.6 ○ | 13.5 ○ |
| 2 | 1995. 04. 01 12: 49 | 5.6 | 26.0 ○ | 17.3 ○ |
| 3 | 2004. 10. 23 17: 56 | 6.8 | — | 52.8 □ |
| 4 | 2004. 10. 23 18: 03 | 6.3 | — | 84.7 □ |
| 5 | 2004. 10. 23 18: 07 | 5.7 | — | 30.6 □ |
| 6 | 2004. 10. 23 18: 11 | 6.0 | — | 41.1 □ |
| 7 | 2004. 10. 23 18: 34 | 6.5 | — | 62.0 □ |
| 8 | 2004. 10. 23 19: 45 | 5.7 | 13.7 □ | 17.1 □ |
| 9 | 2004. 10. 25 06: 04 | 5.8 | 19.8 □ | 16.8 □ |
| 10 | 2004. 10. 27 10: 40 | 6.1 | 25.1 □ | 21.6 □ |
| 11 | 2004. 10. 27 10: 40 | 6.1 | 36.2 □ | 43.3 □ |
| 12 | 2004. 11. 08 11: 15 | 5.9 | 28.8 □ | 28.7 □ |
| 13 | 2004. 11. 08 11: 15 | 5.9 | 39.2 □ | 56.0 □ |
| 12 | 2007. 03. 25 09: 41 | 6.9 | 8.0 □ | 10.8 □ |
| 13 | 2007. 07. 16 15: 37 | 5.8 | 10.7 □ | 15.0 □ |
| | | | 51.5 ○ | 19.4 ○ |
| | | | 34.4 ○ | 13.9 ○ |
| | | | 190.1 ○ | 265.4 ○ |
| | | | 241.0 ○ | 251.0 ○ |

- 注 1) 最大加速度は上段がNS成分, 下段がEW成分(解放基盤表面)
- 注 2) 最大加速度の数値の右側の記号は, ○は海域の補正係数の算定に用いた地震 □は陸域の補正係数の算定に用いた地震
- 注 3) 陸域の補正係数は, 荒浜側(5地震)と大湊側(10地震)の平均

—— 平均値
 - - - - 標準偏差 (±1σ)



6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

ロジックツリーの作成

- 震源モデルおよび地震動伝播モデルの設定における認識論的不確かさのうち、確率論的地震ハザード評価へ及ぼす影響が大きい要因を選定。
- 特に、敷地に影響を及ぼすと考えられる活断層の連動については、詳細なロジックツリーにより評価。

特定震源の不確かさ

①陸域の断層の連動活動

連動の考慮

- 長岡平野西縁断層帯
 - ・片貝断層
 - ・気比ノ宮断層
 - ・角田弥彦断層
- 十日町断層帯西部
- 長野盆地西縁断層帯

傾斜角の設定

- 50°
- 35°

アスペリティ位置の設定

- 中央
- 至近
- 遠方

②海域の断層の連動活動

連動の考慮

- F-B断層
- 佐渡島南方断層
- F-D断層
- 高田沖断層
- 親不知海脚西縁断層帯～魚津断層帯

地震規模

- 中越沖
- 松田式

アスペリティ位置の設定

- 中央
- 至近
- 遠方

領域震源の不確かさ

発生最大規模の設定

- 歴史地震の最大規模を参照
 - ・誤差範囲の最小値
 - ・誤差範囲の中央値
 - ・誤差範囲の最大値
- 島崎(2009)の知見を参照
 - ・M7.1
 - ・M7.4

発生頻度の設定

- グーテンベルグーリヒター式より設定
- 日本全国の平均的な値 (b=0.9)

距離減衰式の不確かさ

観測記録による補正係数の考慮の有無

- 考慮
- なし

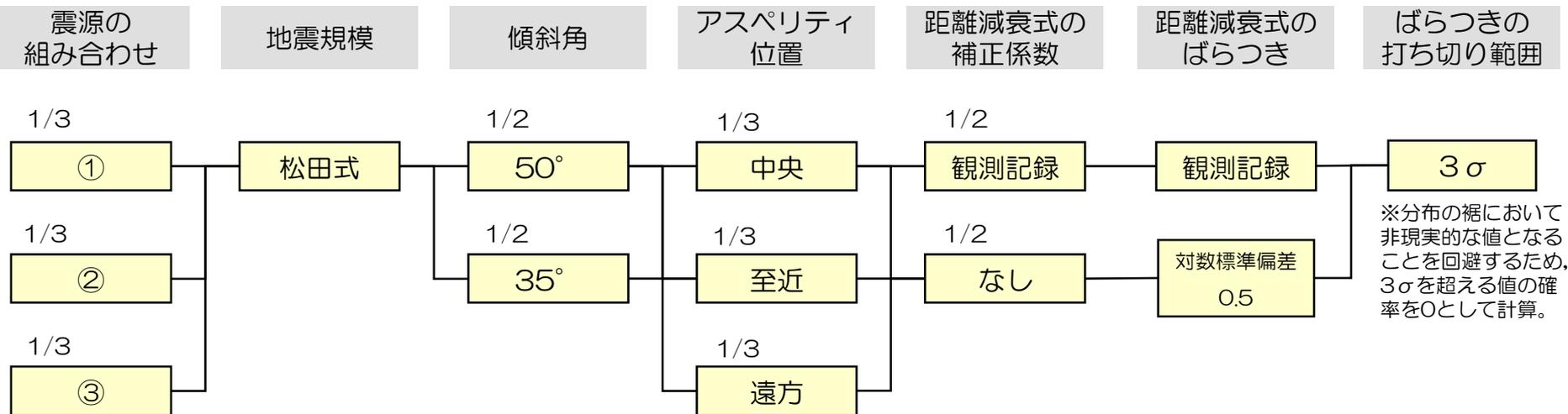
ばらつき

- 観測記録に基づくばらつき
- 対数標準偏差=0.5

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

ロジックツリー【陸域連動】

■ 陸域の連動については、震源の組み合わせを考慮したロジックツリーを作成して評価する。

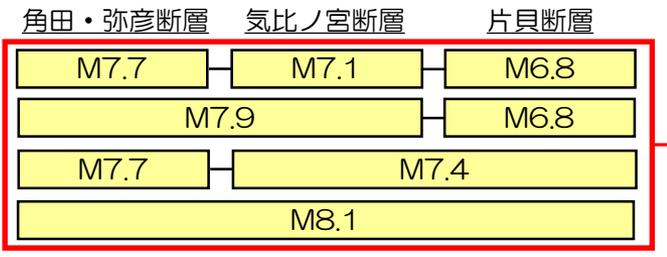


連動に関する分岐

- ①各セグメントが常に個別に活動
- ②角田弥彦断層+気比ノ宮断層+片貝断層は常に連動
- ③角田弥彦断層+気比ノ宮断層+片貝断層は連動

注1) 十日町・長野盆地はモデル②, ③に対して連動する場合 (W=1/2) を考える。

震源の組み合わせごとの出現確率を考慮



| 特定震源名称 | 平均活動間隔 (年) | 根拠 |
|--------|------------|-------------------|
| 角田弥彦断層 | 2450 | 地震調査研究推進本部 (2009) |
| 気比ノ宮断層 | | |
| 片貝断層 | | |

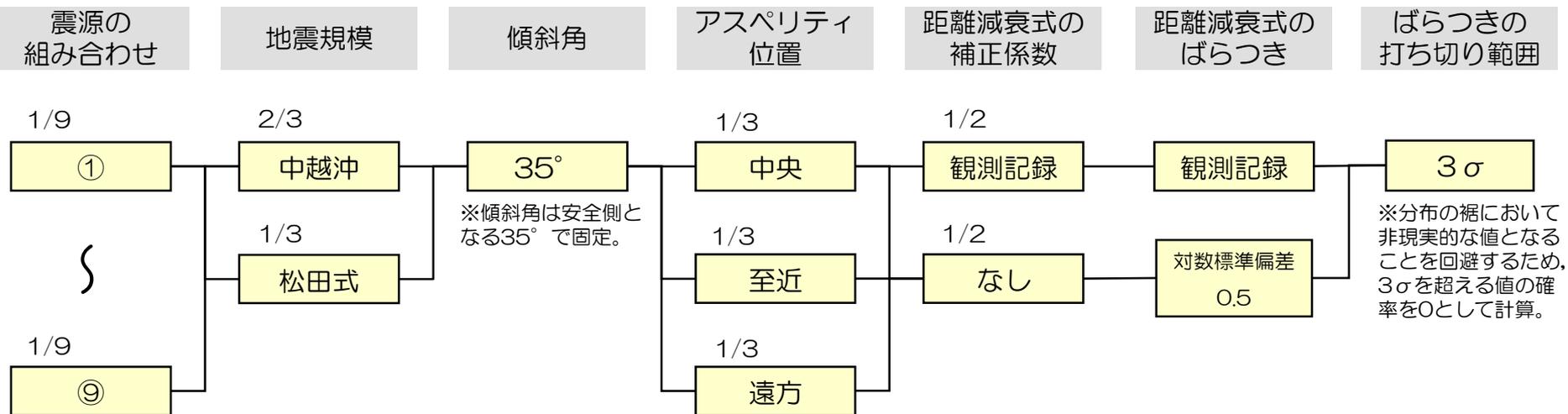
※いずれのセグメントも、平均活動間隔に1回は活動するように設定。(海域の連動ケースも同様の考え方で設定)

| 組み合わせ | 発生比率 | 平均活動間隔 (年) |
|--------------|------|------------|
| 角田弥彦断層 (単独) | 2/4 | 4900 |
| 気比ノ宮断層 (単独) | 1/4 | 9800 |
| 片貝断層 (単独) | 2/4 | 4900 |
| 角田弥彦+気比ノ宮 | 1/4 | 9800 |
| 気比ノ宮+片貝 | 1/4 | 9800 |
| 角田弥彦+気比ノ宮+片貝 | 1/4 | 9800 |

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

ロジックツリー【海域連動】

■ 海域の連動については、震源の組み合わせを考慮したロジックツリーを作成して評価する。



連動に関する分岐

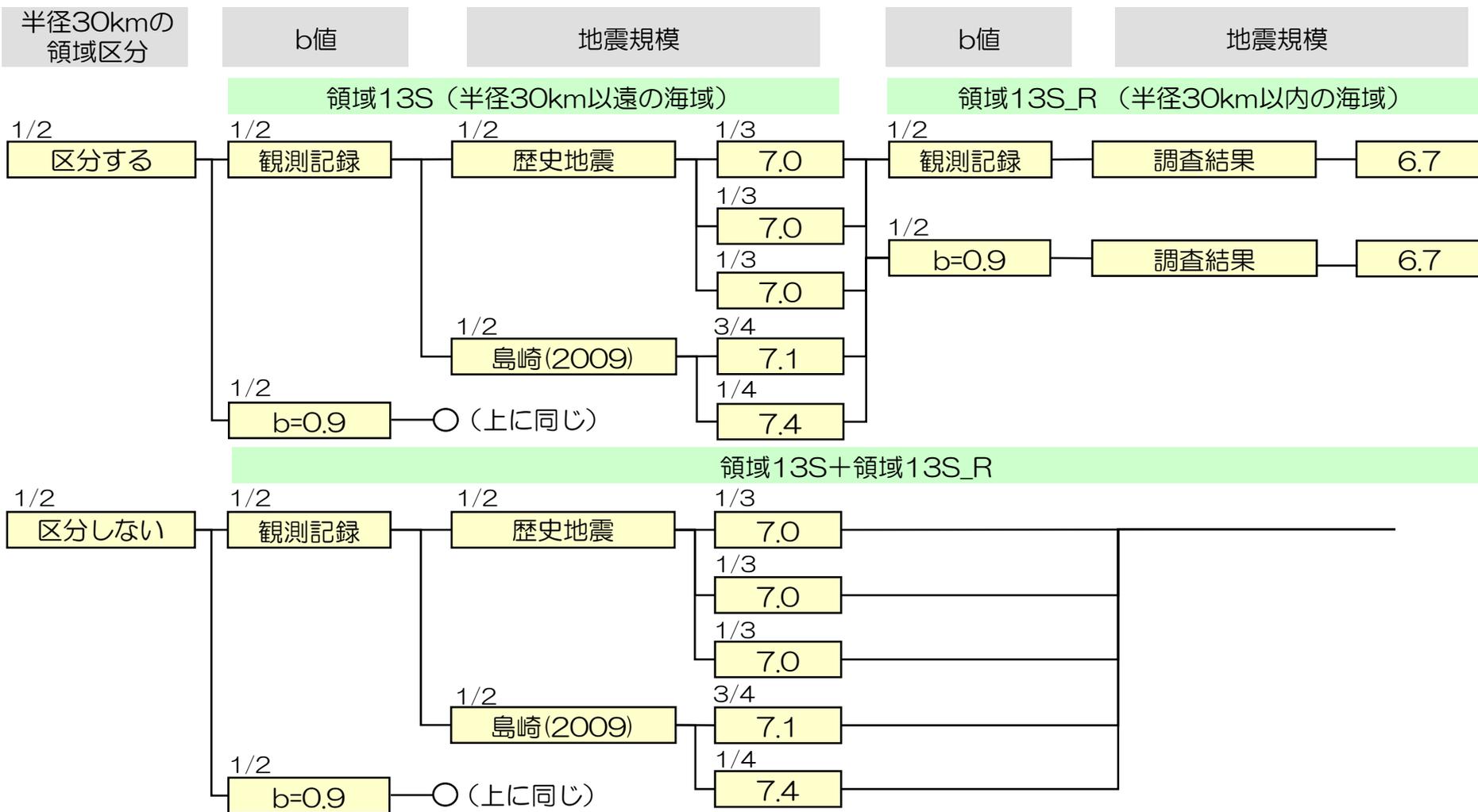
- ①各セグメントが常に個別に活動
- ②F-D断層、高田沖断層は常に個別、F-B断層+佐渡島南方断層は連動
- ③F-D断層+高田沖断層は常に連動、F-B断層、佐渡島南方断層は常に個別に活動
- ④F-D断層+高田沖断層は常に連動、F-B断層+佐渡島南方断層は連動
- ⑤F-D断層+高田沖断層は連動、その他は常に個別に活動
- ⑥F-D断層+高田沖断層は連動、F-B断層+佐渡島南方断層は連動
- ⑦高田沖断層+F-D断層+F-B断層は連動、佐渡島南方断層は常に個別に活動
- ⑧高田沖断層+F-D断層+佐渡島南方断層は連動、F-B断層は常に個別に活動
- ⑨高田沖断層+F-D断層+F-B断層+佐渡島南方断層は連動

- 注1) 親不知海脚西縁断層帯～魚津断層帯はモデル⑦～⑨に対して連動する場合 (W=1/2) を考える。
- 注2) 佐渡海盆東縁断層については、活動を考慮するケース (W=1/10) と活動を考慮しないケース (W=9/10) を分岐として設定し、活動を考慮する場合には、周辺の断層と連動するケース (W=1/2) と連動しないケース (W=1/2) を分岐として設定する

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

ロジックツリー【領域震源の例】

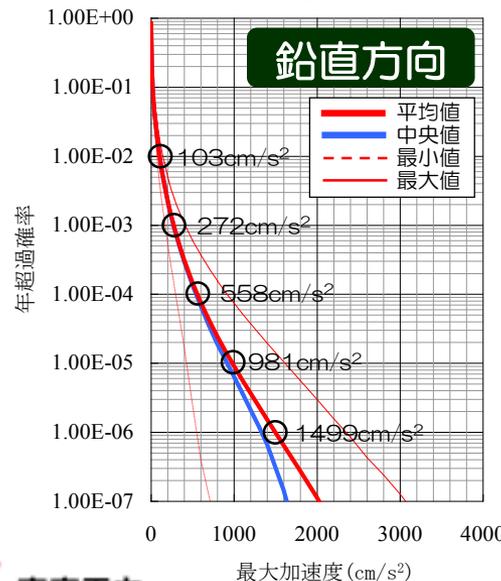
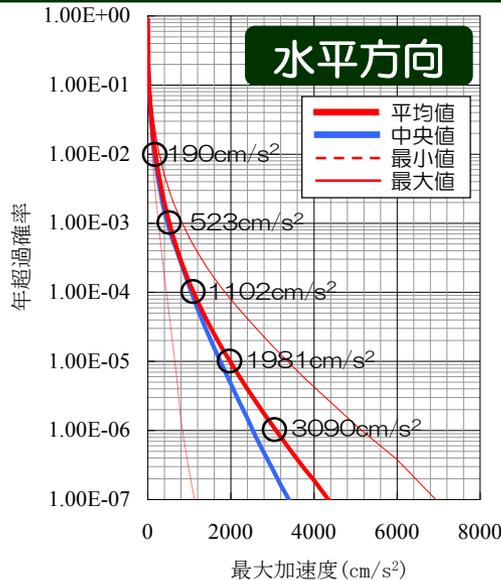
敷地至近の領域震源においては、半径30kmの領域を区分する場合としない場合の分岐を設定して評価。



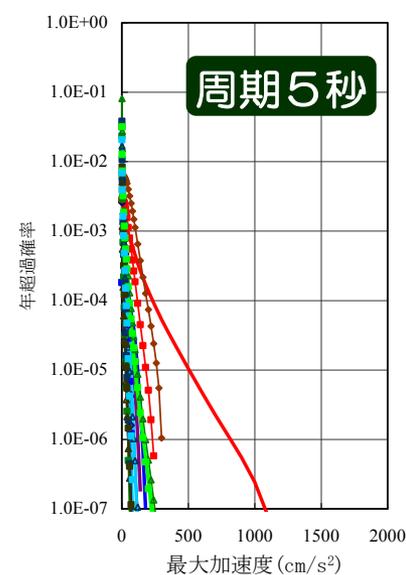
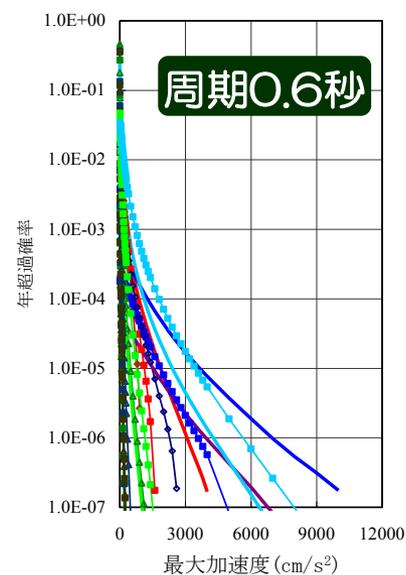
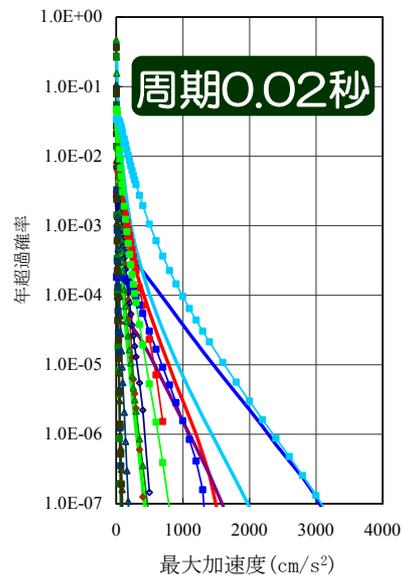
注) この領域では歴史地震の最小値, 中央値, 最大値が同じ値。また, 距離減衰式及びばらつきに関する分岐は特定震源と同様

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について 平均ハザード曲線・震源ごとの寄与率 荒浜側

平均ハザード曲線(周期0.02秒)



震源ごとのハザード曲線

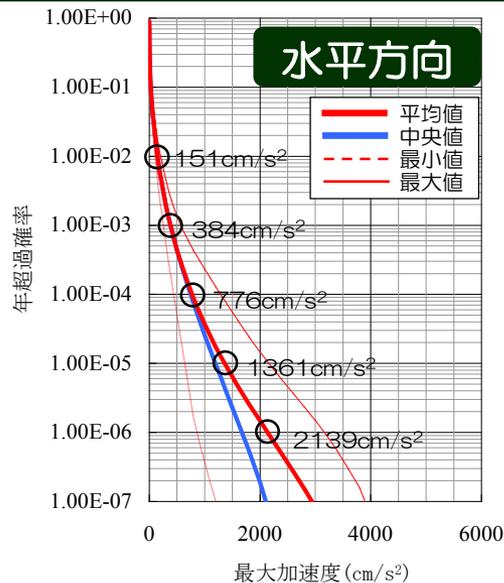


- 長岡平野西縁断層帯を含む陸域連動
- 陸域(調査結果)
- 地震本部
- F-B断層を含む海域連動
- 海域(調査結果)
- 日本海東縁部
- 想定D
- 10C2
- 10D1
- 8B
- 13L
- 8C
- 13L_R
- 10B1
- 13S
- 10C1
- 13S_R

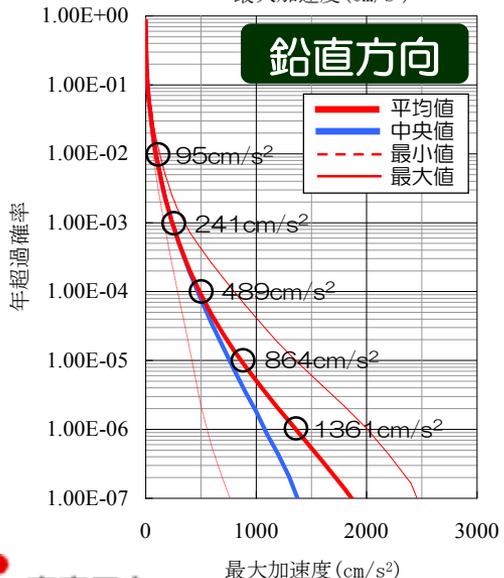
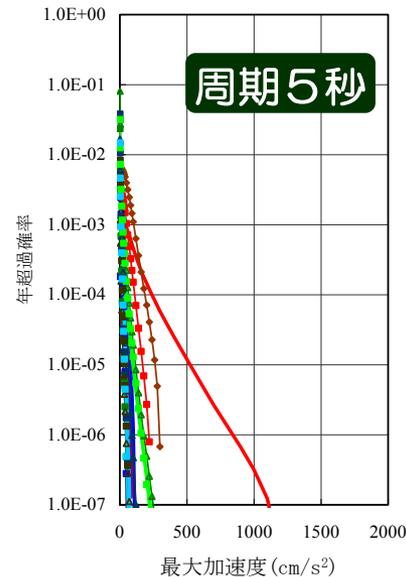
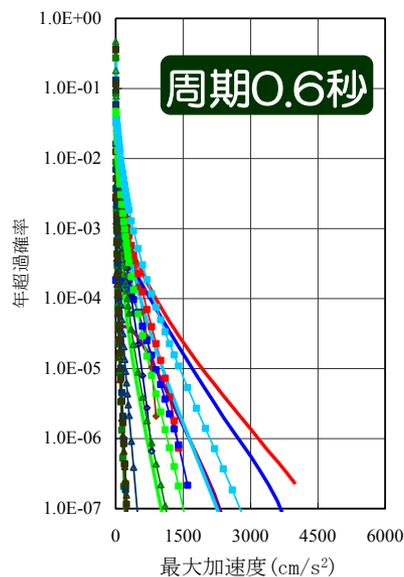
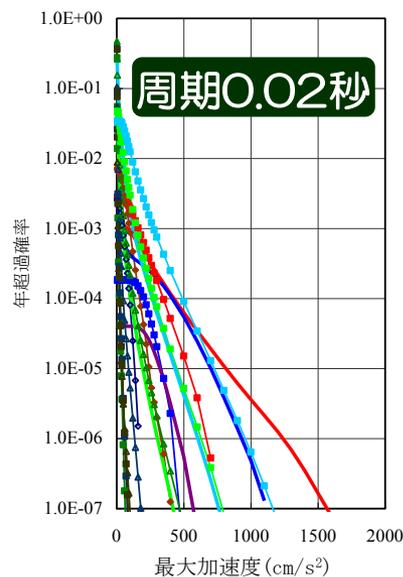
■ 年超過確率が小さい領域において、短周期側ではF-B断層を含む海域連動と領域震源が、長周期側では長岡平野西縁断層帯を含む陸域連動が支配的となっている。

6. 確率論的地震ハザードの評価内容について 平均ハザード曲線・震源ごとの寄与率 大湊側

平均ハザード曲線(周期0.02秒)



震源ごとのハザード曲線



- 長岡平野西縁断層帯を含む陸域連動
- 陸域(調査結果)
- 地震本部
- F-B断層を含む海域連動
- 海域(調査結果)
- 日本海東縁部
- 想定D
- 8B
- 8C
- 10B1
- 10C1
- 10C2
- 10D1
- 13L
- 13L_R
- 13S
- 13S_R

年超過確率が小さい領域において、全周期帯にわたって長岡平野西縁断層帯を含む陸域連動が支配的となっている。

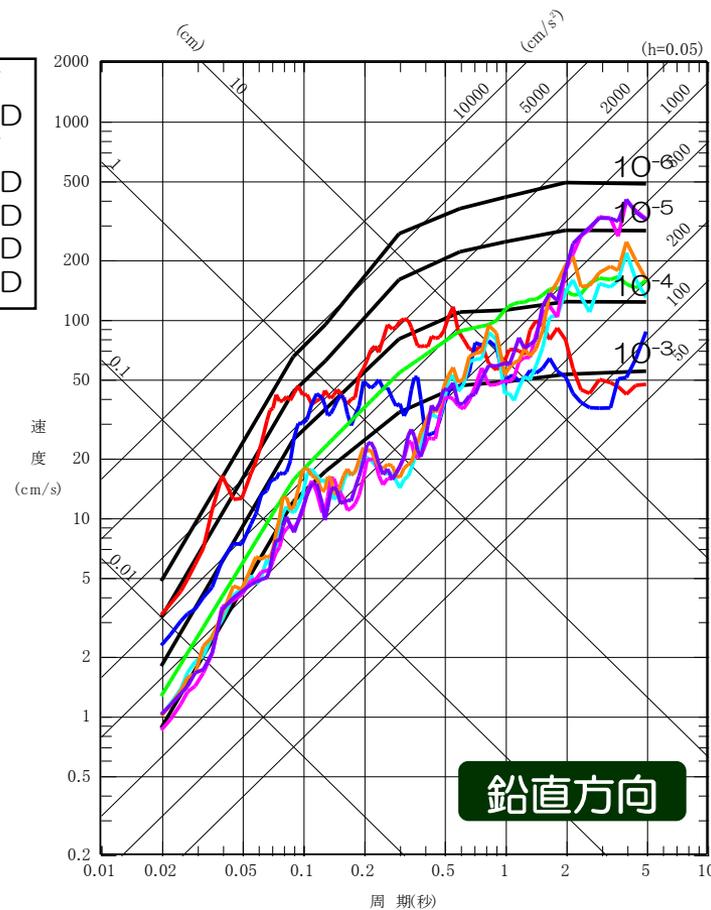
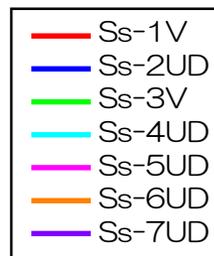
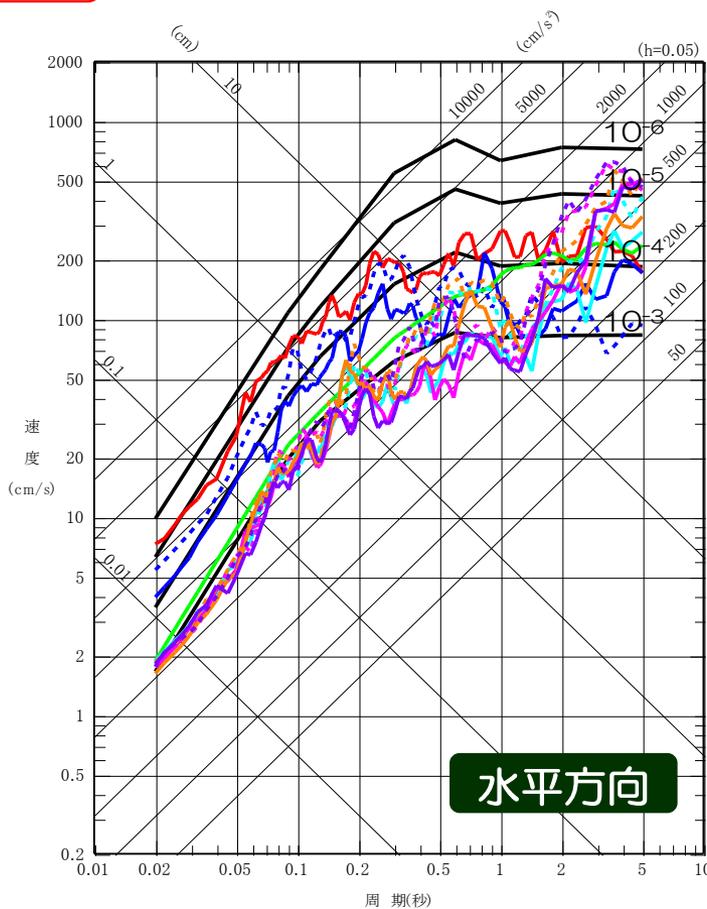
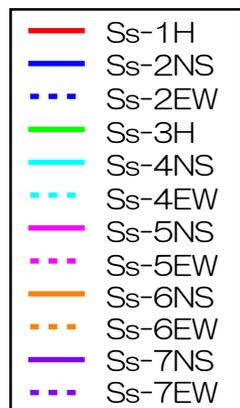
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について 一様ハザードスペクトル 荒浜側

基準地震動Ss-1~7との比較

■ 基準地震動Ss-1~7の応答スペクトルと一様ハザードスペクトルとを比較すると、基準地震動の上限レベルの年超過確率は、水平方向・鉛直方向ともに 10^{-4} ~ 10^{-5} 程度となっている。

荒浜側

(一様ハザードスペクトルは平均フラクタルハザードに基づいた評価)



6. 確率論的地震ハザードの評価内容について 一様ハザードスペクトル 大湊側

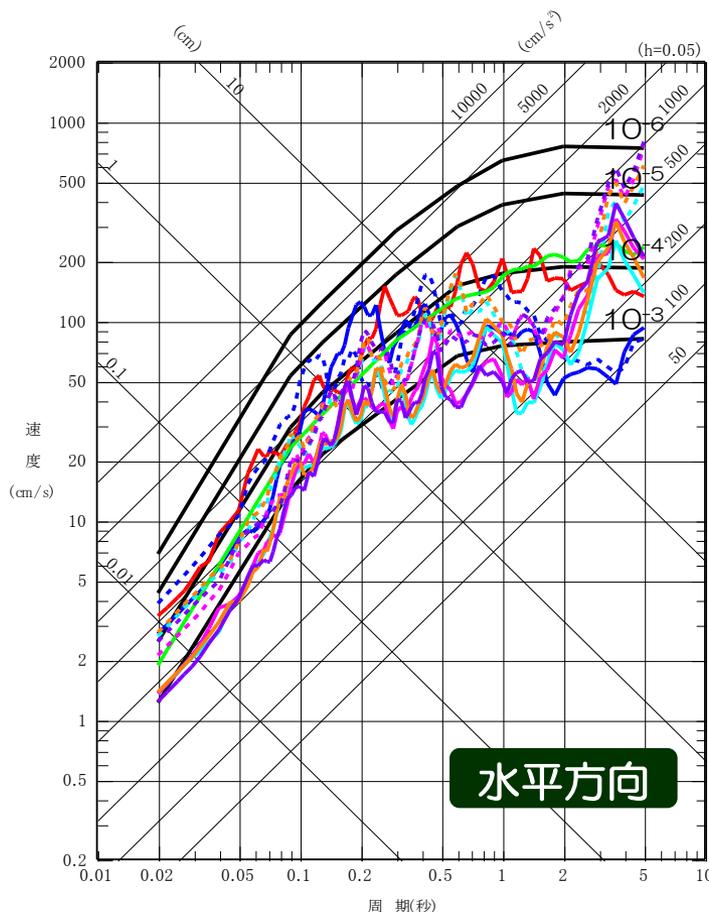
基準地震動Ss-1~7との比較

■ 基準地震動Ss-1~7の応答スペクトルと一様ハザードスペクトルとを比較すると、基準地震動の上限レベルの年超過確率は、水平方向・鉛直方向ともに 10^{-4} ~ 10^{-5} 程度となっている。

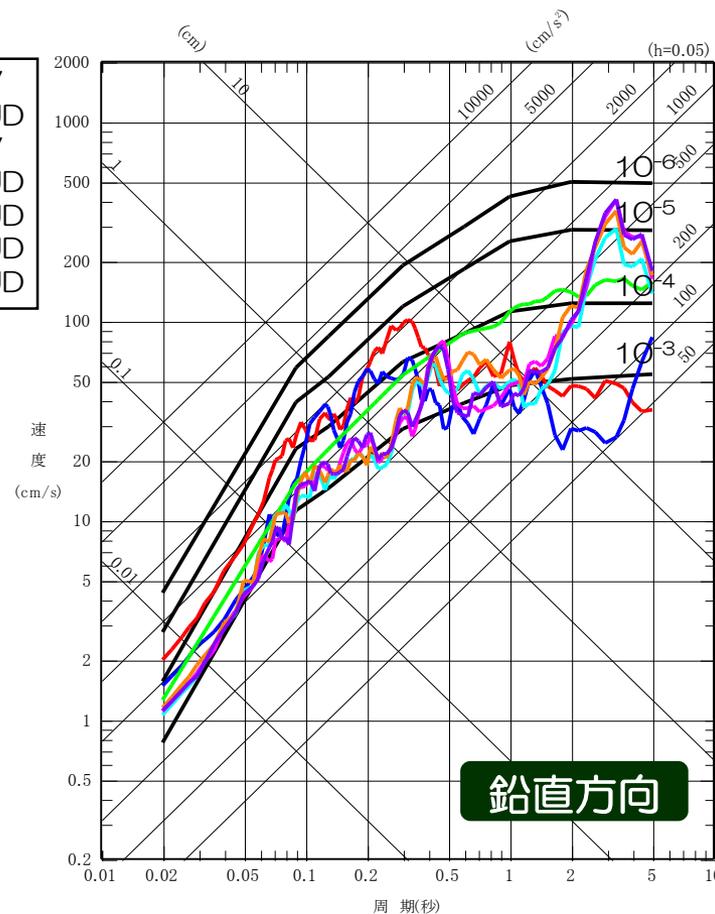
大湊側

(一様ハザードスペクトルは平均フラクタルハザードに基づいた評価)

- Ss-1H
- Ss-2NS
- ⋯ Ss-2EW
- Ss-3H
- Ss-4NS
- ⋯ Ss-4EW
- Ss-5NS
- ⋯ Ss-5EW
- Ss-6NS
- ⋯ Ss-6EW
- Ss-7NS
- ⋯ Ss-7EW



- Ss-1V
- Ss-2UD
- Ss-3V
- Ss-4UD
- Ss-5UD
- Ss-6UD
- Ss-7UD

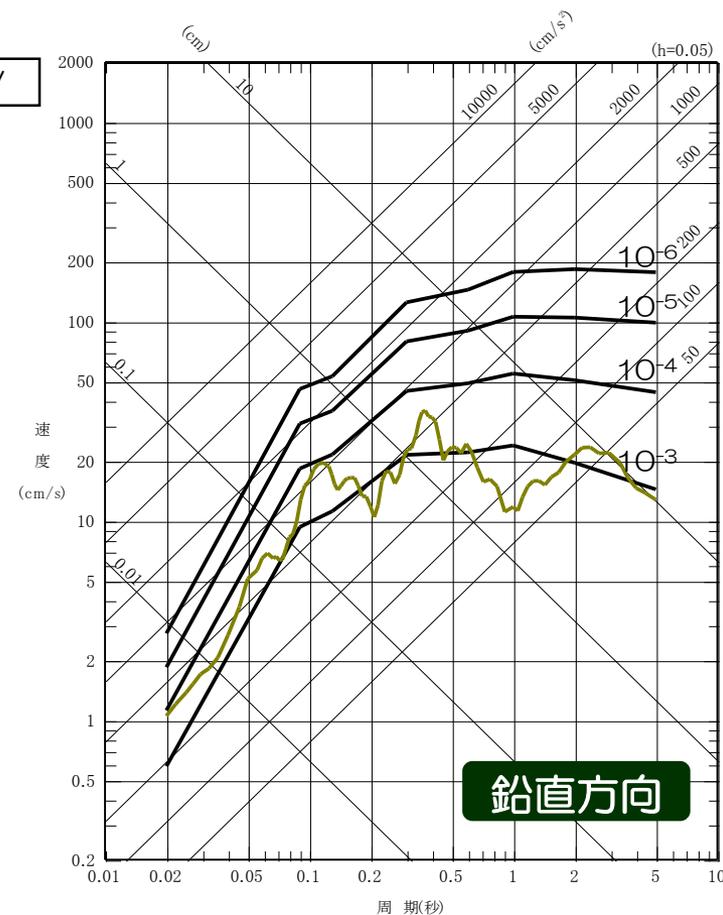
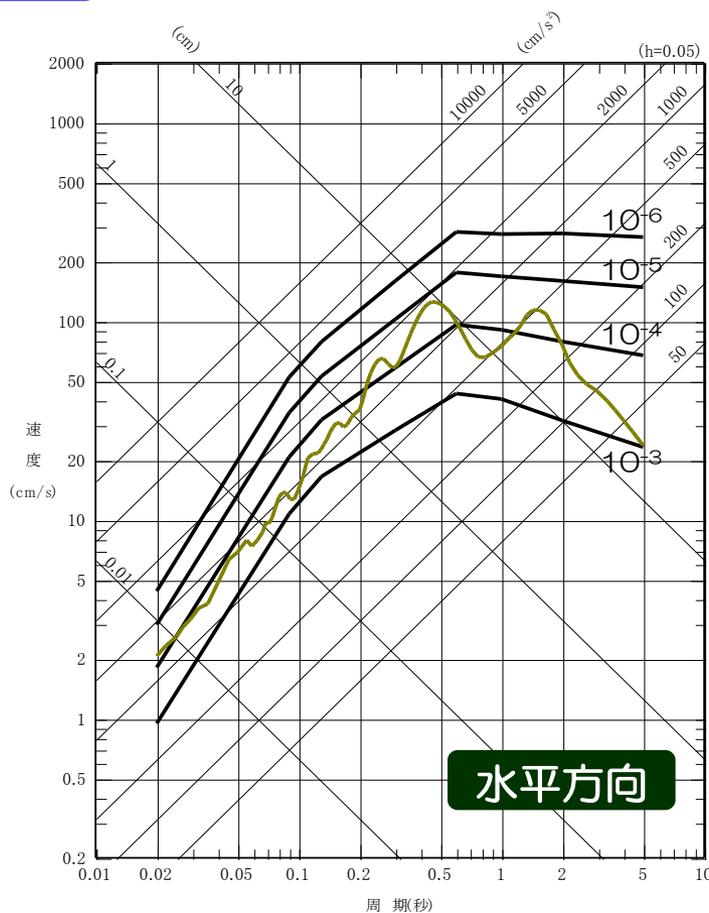


6. 確率論的地震ハザードの評価内容について 一様ハザードスペクトル

基準地震動Ss-8 との比較

大湊側

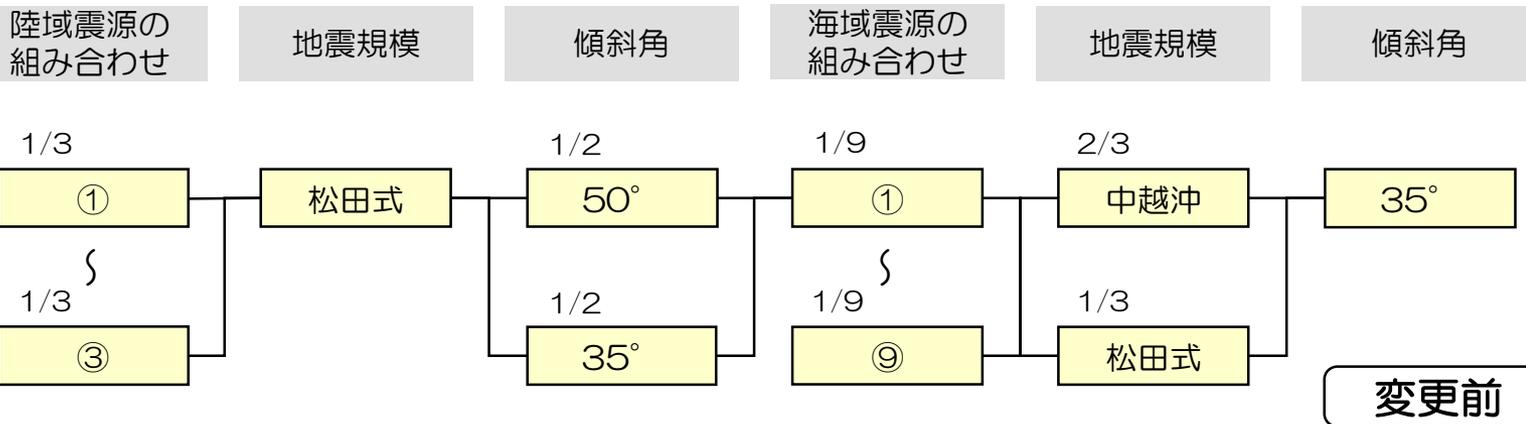
■ 基準地震動Ss-8の応答スペクトルと、敷地が位置する領域震源（領域13）の一様ハザードスペクトルとを比較すると、震源を特定せず策定する基準地震動Ss-8の年超過確率は、水平方向・鉛直方向ともに、 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 程度となっている。



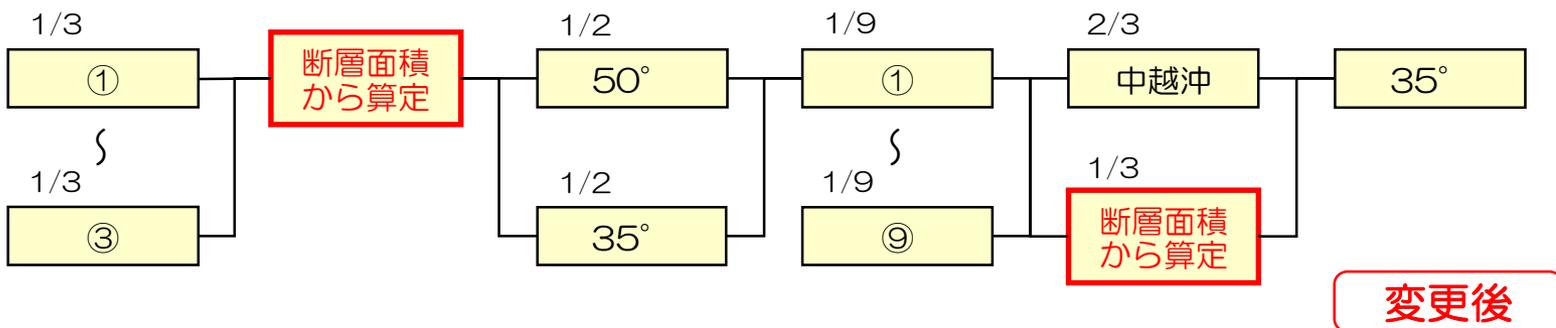
6. 確率論的地震ハザードの評価内容について

地震規模の設定に関する感度解析 概要

- 一様ハザードスペクトルへの寄与率が高い陸域及び海域の活断層の連動を考慮した震源モデルを対象に、断層面積から地震規模を算出した場合の分岐を取り入れ、評価結果へ与える影響について検討する。
- 松田式により地震規模を算出する方法を、断層面積から算出する方法に変更する。
- 断層面積から地震規模を算出する式は入倉・三宅(2001)及び武村(1990)を用いる。ただし、一部の長大断層の地震モーメントの算出には、スケーリング則を考慮し、Murotani et al.(2010)を用いる。



※傾斜角、アスペリティ位置、距離減衰式の補正係数、距離減衰式のばらつき、ばらつきの打ち切り範囲については、現状の評価から変更しない。



6. 確率論的地震ハザードの評価内容について 地震規模の設定に関する感度解析 解析結果

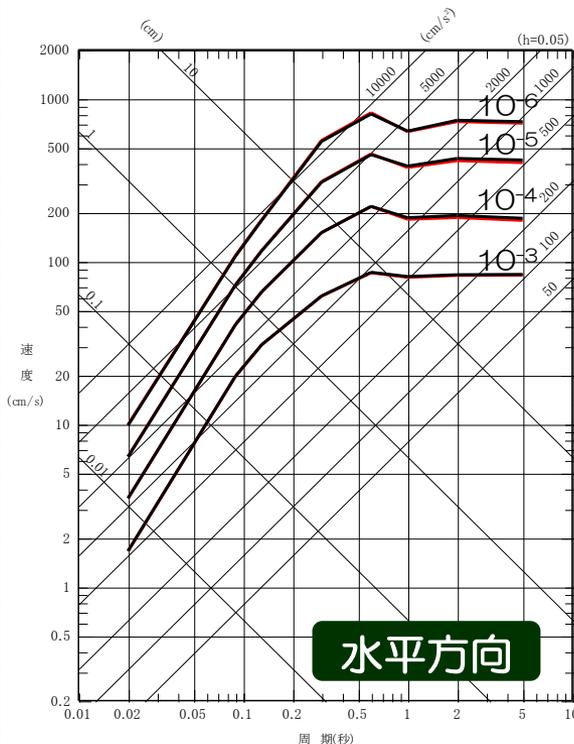
- 地震規模の算出方法に関する分岐を見直した結果、一様ハザードスペクトルは現状の評価よりも小さくなることを確認した。また、地震規模の算出方法が一様ハザードスペクトルへ与える影響は小さいことを確認した。
- 評価結果が小さくなった要因としては、断層面積から地震規模を算出した場合、現状評価で用いている松田式によって算出した値に比べて、地震規模が概ね小さく算出されるためだと考えられる。

■ 松田式により算出した値 ■ 断層面積から算出した値

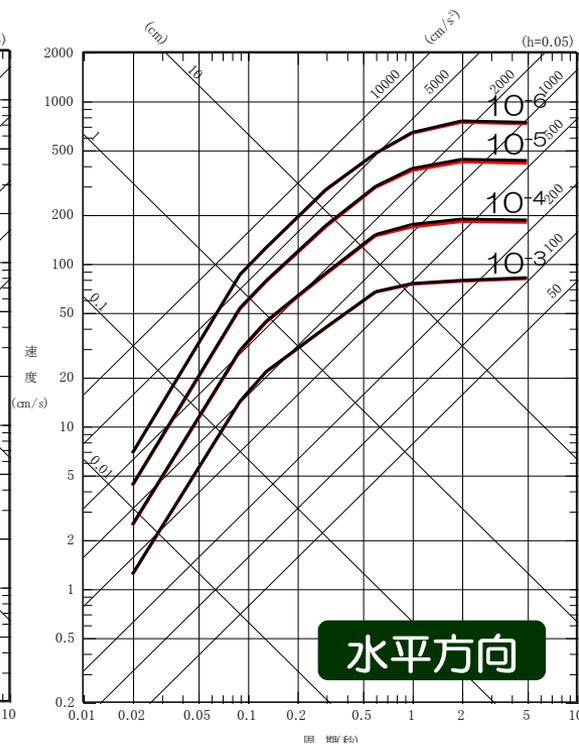
| 震源の組み合わせ | 分類 | 地震規模 | |
|-------------------------------------|----------|------|-----------|
| | | 変更前 | 変更後 ※1 |
| 角田弥彦～気比ノ宮 | 陸域 連動 | 7.9 | 7.8 |
| 気比ノ宮～片貝 | | 7.4 | 7.3 |
| 角田弥彦～気比ノ宮 (長岡平野西縁断層帯) | | 8.1 | 7.9 |
| 長岡平野～十日町断層帯西部 | | 8.4 | 8.2 |
| 長岡平野～長野盆地 | | 8.6 | 8.3 |
| F-D～高田沖 | 海域 連動 | 7.7 | 7.8 |
| 佐渡海盆※3～F-B | | 7.7 | 7.7 |
| F-B～佐渡島南方 | | 7.9 | 7.9 |
| F-B～F-D～高田沖 | | 8.1 | 8.2 |
| 佐渡島南方～F-D～高田沖 | | 8.0 | 8.1 |
| F-D～高田沖～親不知～魚津 | | 8.3 | 8.3 |
| F-B～佐渡島南方～F-D～高田沖 | | 8.3 | 8.3 |
| 佐渡海盆※3～F-B～佐渡島南方～ F-D～高田沖 | | 8.4 | 8.3 |
| F-B～F-D～高田沖～親不知～ 魚津 | | 8.5 | 8.4 |
| 佐渡島南方～F-D～高田沖～ 親不知～魚津 | | 8.5 | 8.4 |
| F-B～佐渡島南方～F-D～ 高田沖～親不知～魚津 | | 8.6 | 8.4 |
| 佐渡海盆※3～F-B～佐渡島南方～ F-D～高田沖～親不知～魚津 | | 8.7 | 8.5 |

— 松田式から地震規模を算出した場合のUHS (現状の評価結果)

— 断層面積から地震規模を算出した場合のUHS (感度解析結果)



荒浜側



大湊側

※1：陸域連動の地震規模は傾斜角50°とした場合の値。単独活動時の値は省略。

参考文献

- Murotani, S., S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, S. Kitagawa (2010) : Scaling relations of earthquakes on inland active mega-fault systems, 2010 AGU Fall Meeting, S51A-1911.
- 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
- The Global CMT Project, <http://www.globalcmt.org/>
- 入倉孝次郎, 三宅弘恵(2001) : シナリオ地震の強震動評価, 地学雑誌, 110
- 宇津徳治(1982) : 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表 : 1885年~1980年, 東京大学地震研究所彙報, 第57巻
- 宇津徳治(1985) : 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表 : 1885年~1980年 (訂正と追加), 東京大学地震研究所彙報, 第60巻
- 垣見俊弘, 松田時彦, 相田勇, 衣笠善博(2003) : 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震 第2輯, 第55巻
- 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
- 神原浩, 松島信一, 早川崇, 福喜多輝(2006) : 2004年新潟県中越地震の余震観測記録に基づく本震時の震源域の強震動推定, 清水建設研究報告 第83号
- 気象庁 : 地震年報2011年版, 地震・火山月報ほか
- 佐藤浩章, 芝良昭, 東貞成, 功刀卓, 前田宜浩, 藤原広行(2013) : 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点(HKDO20)の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告, 研究報告 : N13007
- 笹谷努, 前田宜浩, 高井伸雄, 重藤迪子, 堀田淳, 関克郎, 野本真吾(2008) : Mj6.1 内陸地殻内地震によって大加速度を観測したK-ET(HKDO20)地点でのS波速度構造の推定, 物理探査学会第119回, 学術講演会講演論文集, pp.25-27.
- 武村雅之(1990) : 日本列島およびその周辺地域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輯 第43巻
- 地震調査研究推進本部(2003) : 日本海東縁部の地震活動の長期評価について, 地震調査委員会資料
- 地震調査研究推進本部(2012) : 今後の地震動ハザード評価に関する検討 ~2011年・2012年における検討結果~
- 地震調査研究推進本部(2009) : 「全国地震動予測地図」報告書
- 島崎邦彦(2009) : 地震と活断層 : その関係を捉え直す, 科学, Vol79, No.2
- 社団法人日本原子力学会(2007) : 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準, 日本原子力学会標準, AESJ-SC-P006
- 社団法人日本電気協会原子力規格委員会(2008) : 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2008)
- 第279回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料1 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 基準地震動の策定について コメント回答 <http://www.nsr.go.jp/data/000124919.pdf>
- 独立行政法人 防災科学技術研究所 : 強震観測網(K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
- 独立行政法人 防災科学技術研究所 : 広帯域地震観測網(F-net), <http://www.fnet.bosai.go.jp/>
- 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
- 吉田望, 篠原秀明, 澤田純男, 中村晋 : 設計用地震動の設定における工学的基盤の意義, 土木学会地震工学論文集, 第28巻