

女川原子力発電所2号機
基準地震動の策定について
(コメント回答)

平成29年8月10日
東北電力株式会社

審査会合におけるコメント

| No. | コメント時期 | コメント内容 | 回答の概要(記載頁) |
|------|-------------------------|---|---|
| S157 | 平成28年12月9日 第420回審査会合 | 基準地震動S _s -D1の模擬地震波の継続時間に影響を与える地震規模等については、安全側の考えに基づき検討を行うこと。 | 振幅包絡線の設定に関する地震規模について安全側のM8.3を採用した(pp.13～15)。 |
| S158 | 平成28年12月9日 第420回審査会合 | 基準地震動S _s -D1の設計用応答スペクトルについて、例えば長周期側が低下している形状になっていることなどから、耐震設計上の考慮として、さらなる裕度の検討を行うこと。 | 基準地震動S _s -D1の設計用応答スペクトルの形状を見直した(p.9)。 |
| S159 | 平成28年12月9日 第420回審査会合 | 海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデルは、強震動生成域の応力降下量が120MPaと非常に大きく、そのため短周期が卓越した地震動となっている。基準地震動は、断層モデル波を包絡する応答スペクトルで代表するとしているが、地震動の特徴を踏まえた場合、代表性に問題は無いが、例えば短周期の部分的なエネルギーの観点などから検討すること。 | 海洋プレート内地震の断層モデルの特徴やそれから算定された地震動の特徴を踏まえ、断層モデル手法による地震動評価結果を基準地震動として追加することとした(pp.21～30)。 |

目次

| | |
|-------------|----|
| 1. 検討概要 | 3 |
| 2. 基準地震動の策定 | 8 |
| 参考文献 | 39 |

1. 検討概要

■第420回審査会合(平成28年12月9日)からの主な変更点

- ①プレート間地震について、応答スペクトル手法による基準地震動 S_s-D1 の設計用応答スペクトル形状を、さらに裕度を確保するように見直した。また、継続時間も長くなるように見直した。
- ②海洋プレート内地震(SMGA※1マントル内)について、断層モデル手法による地震動評価結果を、新たに基準地震動として採用した。

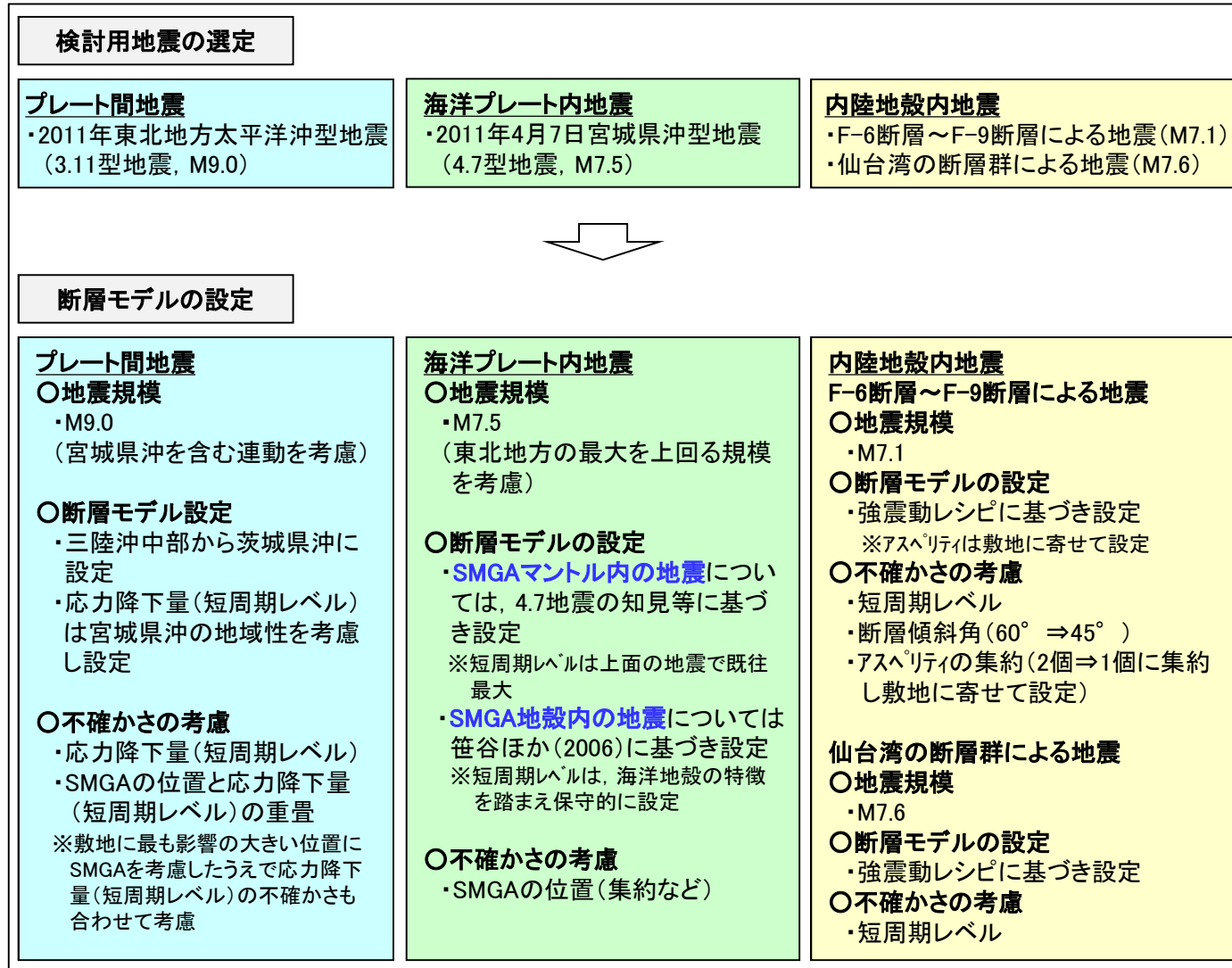
※1: SMGA: 強震動生成域

1. 検討概要

■ 検討用地震の概要

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動】

【震源を特定せず策定する地震動】



Mw6.5以上の地震について

審査ガイドの例示2地震

- ・地質・地質構造の違い等により地域性が異なることから地震観測記録の収集対象外

Mw6.5未満の地震について

審査ガイドの例示14地震

- ・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地震動の検討結果を踏まえ、震源を特定せず策定する地震動に設定

※地震観測記録のはざとり結果に保守性を考慮した基盤地震動を設定

1. 検討概要

■「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策定の考え方

基準・ガイドの要求

- ①「応答スペクトルに基づく地震動評価」による“設計用応答スペクトル”と、「断層モデルを用いた手法による地震動評価」による“応答スペクトル”の採用を要求。特に、震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法を重視することを要求。
- ②応答スペクトルに基づく手法による基準地震動は、検討用地震ごとに評価した応答スペクトルを下回らないように作成することを要求。
- ③断層モデルによる手法の基準地震動は、施設に与える影響の観点から地震動の諸特性（周波数特性、継続時間、位相特性等）を考慮して、別途評価した応答スペクトルとの関係を踏まえつつ複数の地震動評価結果から策定することを要求。
- ④なお、応答スペクトルに基づく基準地震動が全周期帯にわたって断層モデルを用いた基準地震動を有意に上回る場合には、応答スペクトルに基づく基準地震動で代表させることができることが記載されている。



女川原子力発電所の基準地震動策定に当たっての考え方

○応答スペクトル手法による基準地震動は、検討用地震ごとに評価した応答スペクトルを下回らないように設定する。具体的には、検討用地震の地震動特性の特徴※を踏まえ、応答スペクトル手法による基準地震動は以下の3種類として策定する。

- ①プレート間地震の応答スペクトルを下回らない設計用応答スペクトル
- ②海洋プレート内地震のうち、SMGA マントル内の地震の応答スペクトルを下回らない設計用応答スペクトル
- ③海洋プレート内地震のうち、SMGA 地殻内の地震の応答スペクトルを下回らない設計用応答スペクトル

なお、内陸地殻内地震の応答スペクトルは①～③の設計用応答スペクトルを下回ることを確認する。

※プレート間地震と海洋プレート内地震では、地震規模の他にSMGAの位置や面積、短周期レベルの大きさ等に差異があるため、評価される地震動特性に違いがある。また、SMGA マントル内の地震とSMGA 地殻内の地震では、地震規模は同じM7.5であるものの、両者には、SMGAの短周期レベルの大きさや敷地からSMGAまでの距離に差異があるため、評価される地震動特性に違いがある。

○断層モデル手法による基準地震動は、基本的には検討用地震ごとに、応答スペクトル手法による基準地震動を上回る周期帯を有する評価結果を与えるケースを採用する。

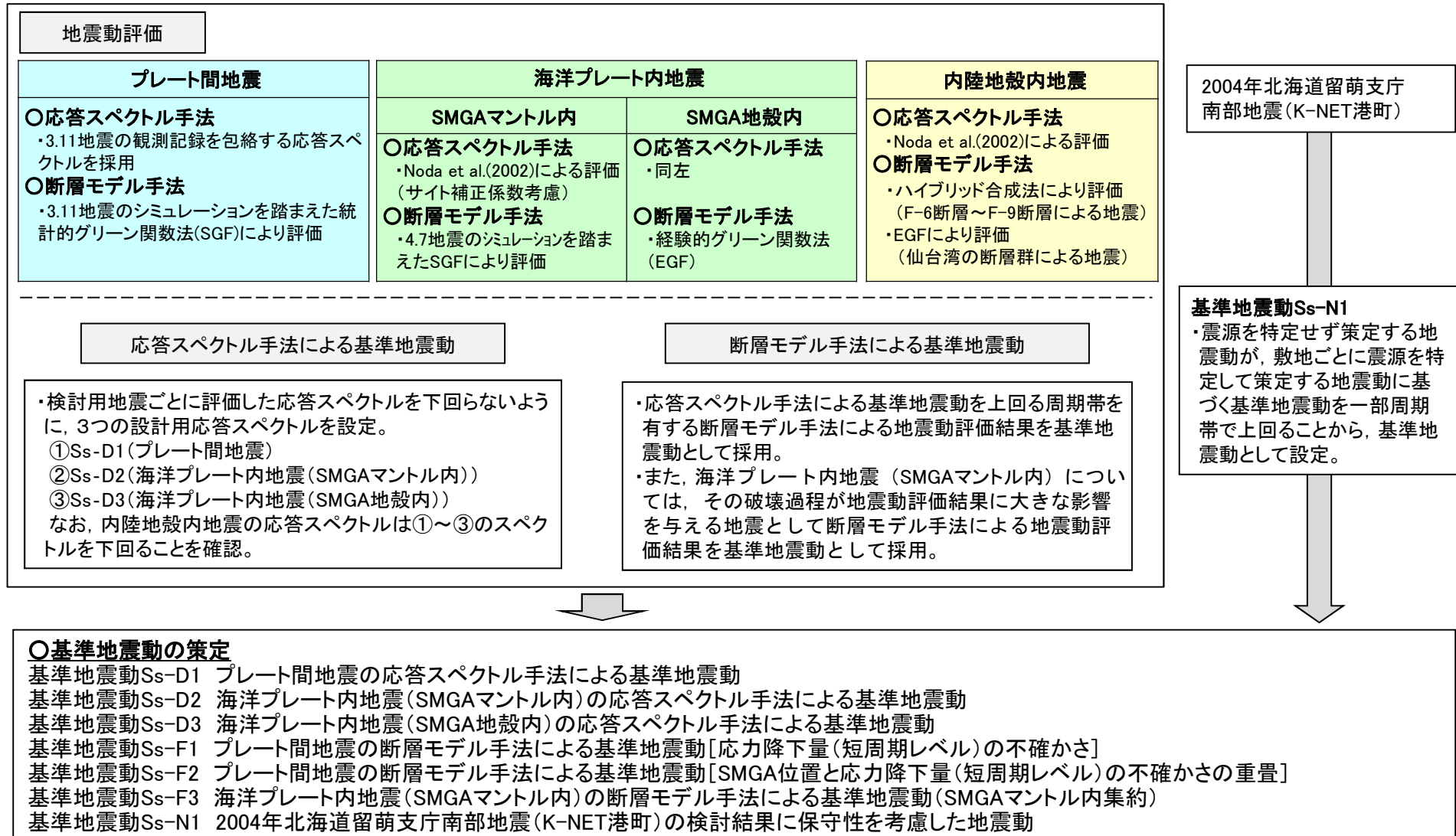
○また、SMGAの応力降下量が120MPaと大きい海洋プレート内地震（SMGA マントル内）については、その破壊過程が地震動評価結果に大きな影響を与える地震として、断層モデル手法による地震動評価結果を基準地震動として採用する。採用に当たっては、周波数特性の他に、継続時間や位相特性の特徴からの検討を加える。

1. 検討概要

■基準地震動の策定フロー

【敷地ごとに震源を特定して策定する地震動】

【震源を特定せず策定する地震動】



1. 検討概要

■設置変更許可申請時からの地震動評価に関する主な変更点

—:未考慮

| 項目 | 申請時 | 今回審査 |
|------------------------------|----------------|---|
| プレート間地震 ・3.11型地震 | 地震規模 | ・M9.0(宮城県沖を含む連動を考慮) |
| | 断層モデル設定 | ・断層モデルによるシミュレーション解析の特徴から2011年東北地方太平洋沖地震が敷地に対して最も影響の大きい地震であると評価 |
| | 不確かさの考慮 | ・三陸沖中部から茨城県沖に設定 ・応力降下量(短周期レベル)の宮城県沖の地域性を考慮 ・応力降下量(短周期レベル), SMGA位置, SMGA位置と応力降下量の重畳, 破壊開始点 |
| 海洋プレート内地震 ・4.7型地震 | 地震規模 | ・M7.5 |
| | 断層モデル設定 | ・4.7地震の知見等を考慮 ・上面の既往最大を考慮 |
| | 不確かさの考慮 | ・破壊開始点 ・SMGA位置と集約, 断層の位置, 破壊開始点 |
| 内陸地殻内地震 ・F-6断層～F-9断層による地震 | 地震規模 | ・M7.1 |
| | 断層モデル設定 | ・調査結果から断層長さ22km |
| | 不確かさの考慮 | ・応力降下量(短周期レベル)を考慮 ・追加調査結果から断層長さ23.7km ・応力降下量(短周期レベル), 断層傾斜角, アスペリティ位置と集約, 破壊開始点 |
| 内陸地殻内地震 ・仙台湾の断層群による地震 | 地震規模 | — |
| | 断層モデル設定 | — |
| | 不確かさの考慮 | — |
| 震源を特定せず策定する地震動 | ・加藤ほか(2004)を考慮 | ・審査ガイドに示された16地震について検討を行い, 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮 |

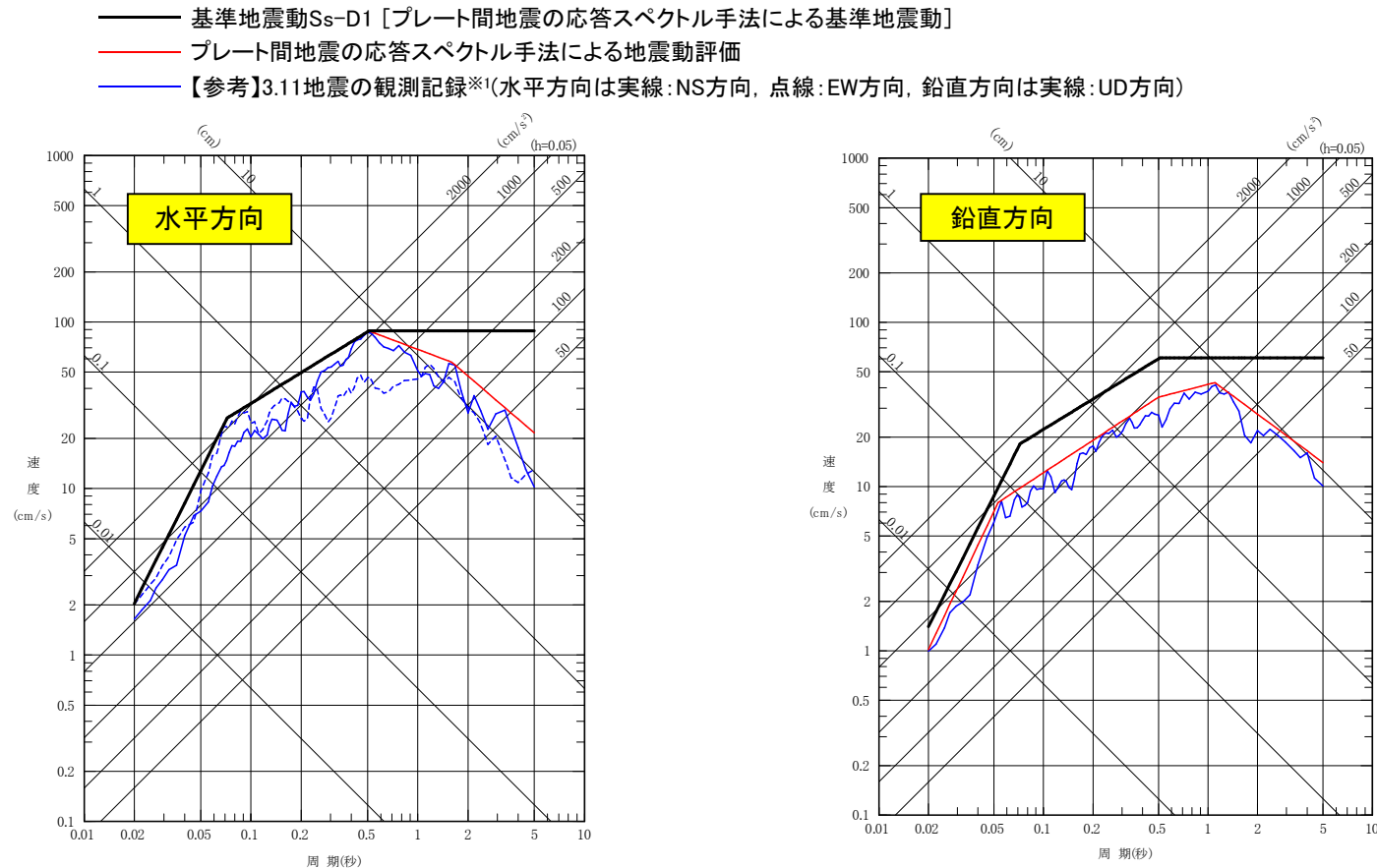
2. 基準地震動の策定

- 2. 1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 9
 - 2. 1. 1 応答スペクトル手法による基準地震動 9
 - 2. 1. 2 断層モデル手法による基準地震動 19
- 2. 2 震源を特定せず策定する地震動 33
- 2. 3 基準地震動の策定のまとめ 35

2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.1 応答スペクトル手法による基準地震動:プレート間地震

・プレート間地震の応答スペクトル手法による地震動評価結果を包絡する設計用応答スペクトルを基準地震動Ss-D1として設定。特に、長周期側の裕度を考慮した形状としている。なお、鉛直方向の設計用応答スペクトルは、水平方向の2/3倍としている。



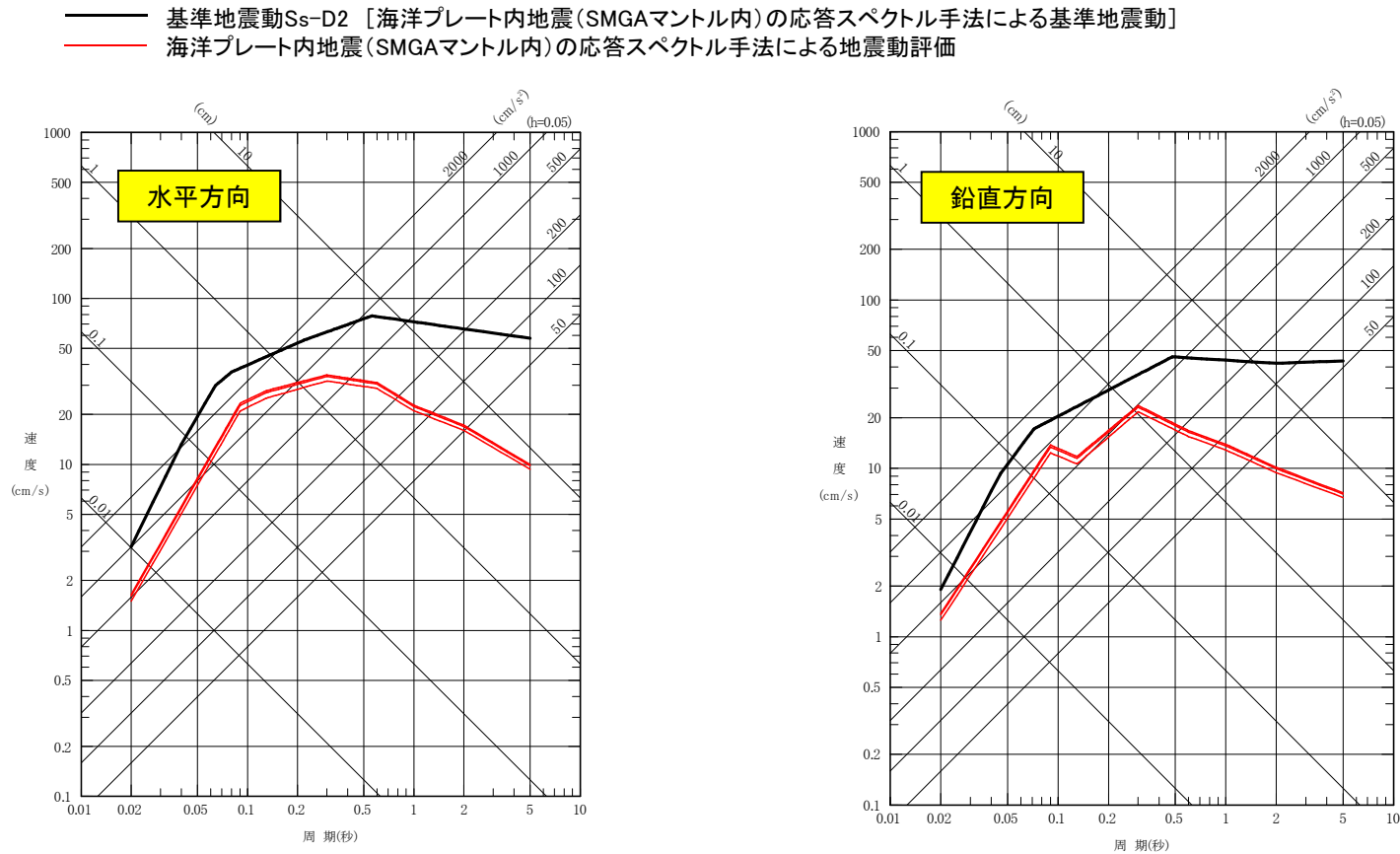
| 応答スペクトル | | コントロールポイント | | | |
|---------|----------|------------|-------|------|------|
| | | A | B | C | D |
| Ss-D1H | 周期(s) | 0.02 | 0.072 | 0.51 | 5 |
| | 速度(cm/s) | 2.0372 | 26.5 | 88.4 | 88.4 |

| 応答スペクトル | | コントロールポイント | | | |
|---------|----------|------------|-------|------|------|
| | | A | B | C | D |
| Ss-D1V | 周期(s) | 0.02 | 0.072 | 0.51 | 5 |
| | 速度(cm/s) | 1.3687 | 17.7 | 59.0 | 59.0 |

2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.1 応答スペクトル手法による基準地震動: 海洋プレート内地震 (SMGAマントル内)

・海洋プレート内地震 (SMGAマントル内) の応答スペクトル手法による地震動評価結果を包絡する設計用応答スペクトルを基準地震動 Ss-D2として設定。この設計用応答スペクトルは、裕度確保の観点から断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡させている (pp.21~22参照)。



| 応答スペクトル | | コントロールポイント | | | | | | | |
|---------|-----------|------------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| Ss-D2H | 周期 (s) | 0.02 | 0.032 | 0.04 | 0.064 | 0.08 | 0.22 | 0.56 | 5 |
| | 速度 (cm/s) | 3.183 | 8.4 | 13.2 | 29.8 | 36.0 | 56.2 | 78.5 | 57.5 |

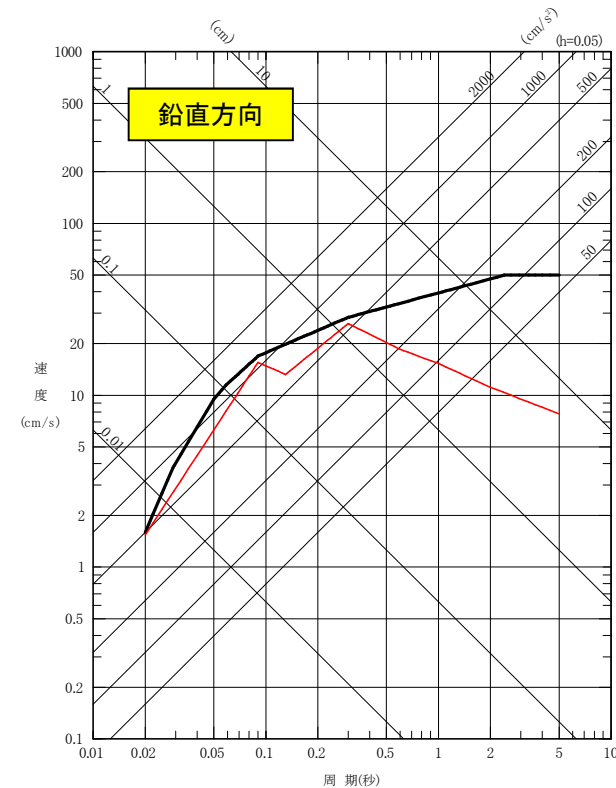
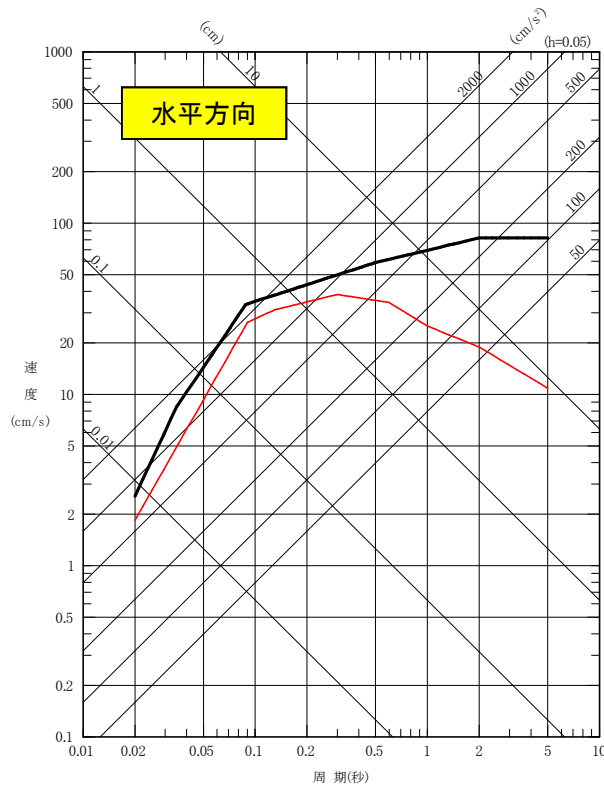
| 応答スペクトル | | コントロールポイント | | | | | |
|---------|-----------|------------|-------|-------|------|------|------|
| | | A | B | C | D | E | F |
| Ss-D2V | 周期 (s) | 0.02 | 0.045 | 0.072 | 0.48 | 2 | 5 |
| | 速度 (cm/s) | 1.91 | 9.2 | 17.2 | 46.0 | 42.1 | 43.5 |

2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.1 応答スペクトル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGA地殻内）

・海洋プレート内地震（SMGA地殻内）の応答スペクトル手法による地震動評価結果を包絡する設計用応答スペクトルを基準地震動Ss-D3として設定。この設計用応答スペクトルは、裕度確保の観点から断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡させている（p.31参照）。

— 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震（SMGA地殻内）の応答スペクトル手法による基準地震動]
— 海洋プレート内地震（SMGA地殻内）の応答スペクトル手法による地震動評価



| 応答スペクトル | | コントロールポイント | | | | | | |
|---------|-----------|------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | | A | B | C | D | E | F | G |
| Ss-D3H | 周期 (s) | 0.02 | 0.035 | 0.056 | 0.088 | 0.49 | 2 | 5 |
| | 速度 (cm/s) | 2.5465 | 8.5 | 17.0 | 33.5 | 58.5 | 82.0 | 82.0 |

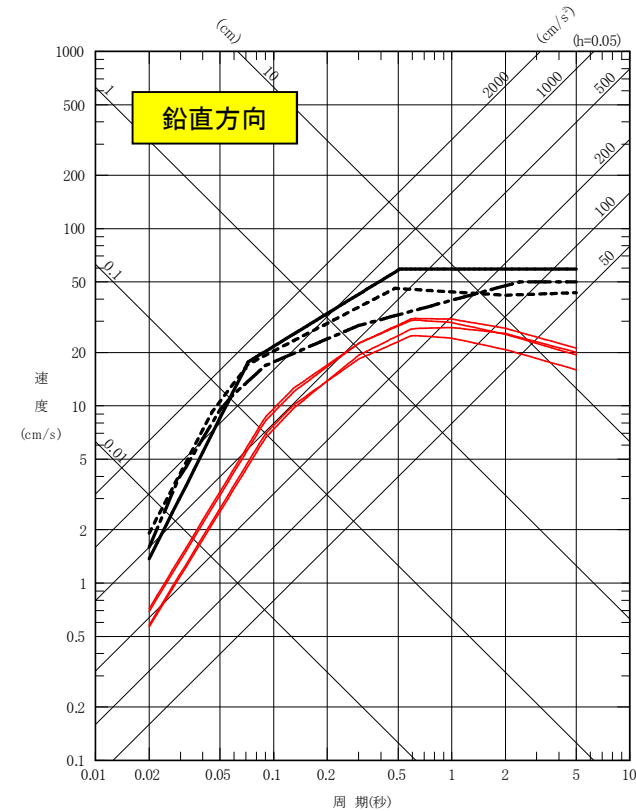
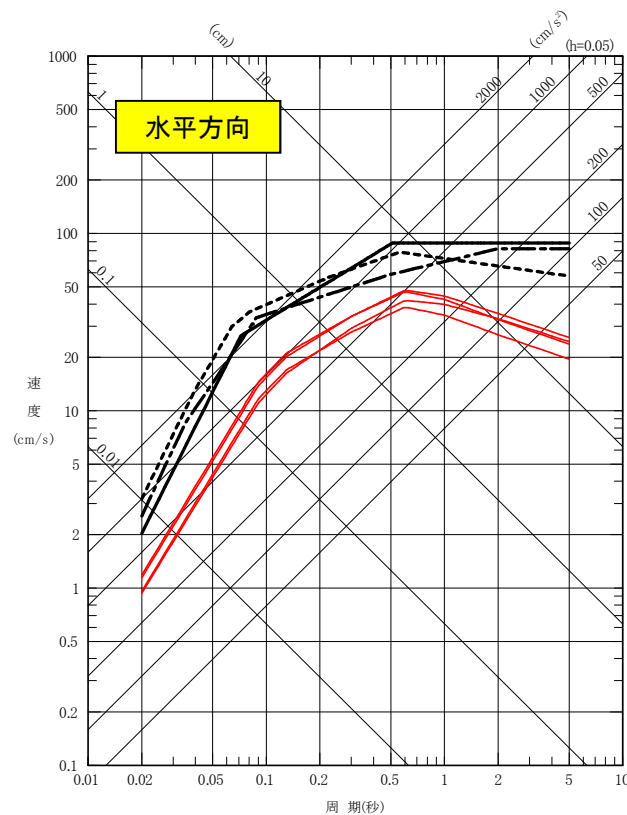
| 応答スペクトル | | コントロールポイント | | | | | | | |
|---------|-----------|------------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| Ss-D3V | 周期 (s) | 0.02 | 0.029 | 0.05 | 0.059 | 0.09 | 0.3 | 2.4 | 5 |
| | 速度 (cm/s) | 1.5915 | 3.8 | 9.5 | 11.5 | 16.9 | 28.4 | 50.0 | 50.0 |

2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.1 応答スペクトル手法による基準地震動:内陸地殻内地震

・内陸地殻内地震の応答スペクトル手法による地震動評価結果は、基準地震動Ss-D1、Ss-D2及びSs-D3の設計用応答スペクトルを下回る。

- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震 (SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - · 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震 (SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 内陸地殻内地震の応答スペクトル手法による地震動評価



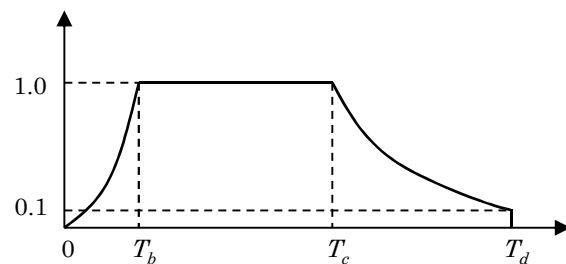
2. 1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2. 1. 1 応答スペクトル手法による基準地震動: 模擬地震波

■ 模擬地震波の作成: 振幅包絡線の経時的变化

・基準地震動Ss-D1, Ss-D2及びSs-D3の設計用応答スペクトルに適合する模擬地震波は、乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成するものとし、振幅包絡線の経時的变化については、Noda et al.(2002)の方法に基づき、それぞれ下記に示す形状とする。

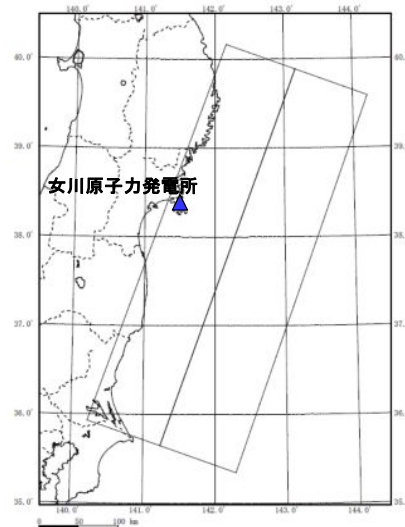
| 模擬地震波 | 最大加速度 (cm/s ²) | マグニチュード M | 等価震源距離 Xeq(km) | 振幅包絡線の経時的变化(s) | | | 備考 |
|--------|-------------------------------|--------------|-------------------|----------------|------|----------|--|
| | | | | Tb | Tc | Td(継続時間) | |
| Ss-D1H | 640 | 8.3 | 132 | 16.6 | 47.5 | 137.9 | Mは次頁を参照し、Xeqはプレート間地震(基本ケース)の断層モデルに基づき設定。 |
| Ss-D1V | 430 | | | | | | |
| Ss-D2H | 1000 | 7.5 | 72 | 6.6 | 24.3 | 72.0 | M, Xeqは海洋プレート内地震(基本ケース)の断層モデルに基づき設定。 |
| Ss-D2V | 600 | | | | | | |
| Ss-D3H | 800 | 7.5 | 65 | 6.6 | 24.3 | 69.4 | M, Xeqは海洋プレート内地震(不確かさケース2)の断層モデルに基づき設定。 |
| Ss-D3V | 500 | | | | | | |



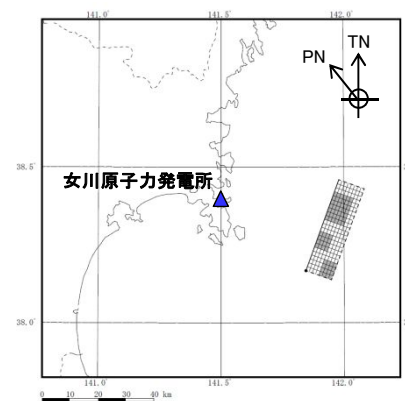
$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

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

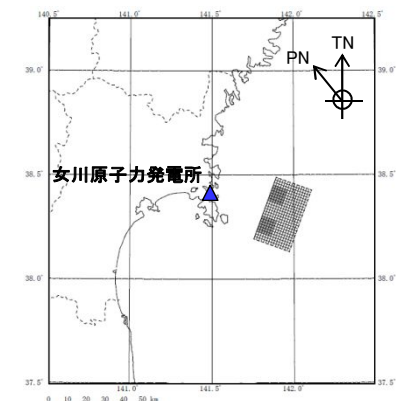
$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$



プレート間地震(基本ケース)
の断層モデル(巨視的面)



海洋プレート内地震(基本ケース)
の断層モデル



海洋プレート内地震(不確かさケース2)
の断層モデル

2. 1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

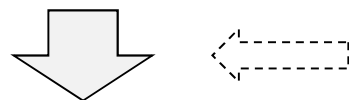
2. 1. 1 応答スペクトル手法による基準地震動: 模擬地震波

■ 基準地震動S_s-D1の振幅包絡線の設定に用いるマグニチュード(M)

- ・基準地震動S_s-D1の設計用応答スペクトルに適合する模擬地震波作成に関し, Noda et al.(2002)の方法に基づく振幅包絡線の設定に必要なマグニチュード(M)と等価震源距離(X_{eq})については, より継続時間が長くなるように検討用地震である3.11型地震を考慮し設定する。

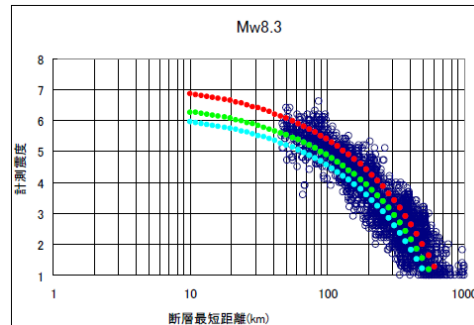
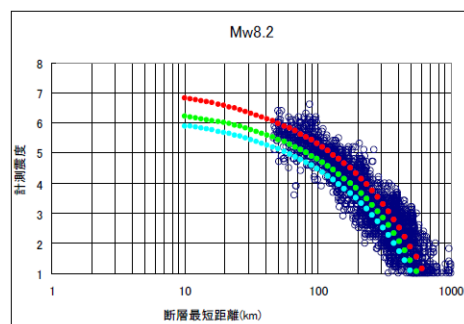
【Mの設定】

- ・内閣府(2012)では, 3.11地震において, 距離減衰式から求められる地震規模M_wは「**8.2~8.3程度**」であり, すべり量や応力降下量など断層運動から求められる地震規模M_w9.0と比べると相当小さい値となっているとしている。
- ・司ほか(2016)では, 断層最短距離を用いる場合, M_w9クラスの3.11地震による地震動最大値の平均的強さはM_w8クラスのそれと同程度であるとしている。



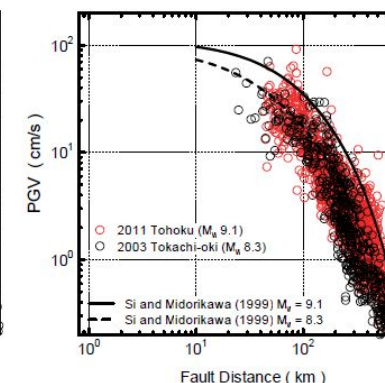
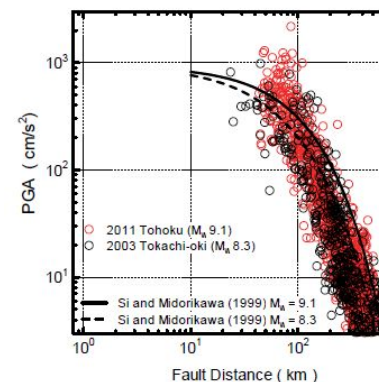
神田ほか(2012)では, 3.11地震の本震波形記録全体を用いた震度インバージョン解析ではM_i=8.3であった。

M_w=Mとみなし, **M8.3**を考慮する。



- 東北地方太平洋沖地震の観測震度
- 距離減衰(AVS150m/s)
- 距離減衰(AVS400m/s)
- 距離減衰(AVS700m/s)

3.11地震の震度の距離減衰(内閣府(2012))

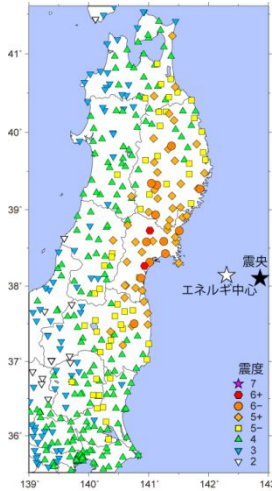


3.11地震と2003年十勝沖地震のPGA, PGVの距離減衰の比較(司ほか(2016))

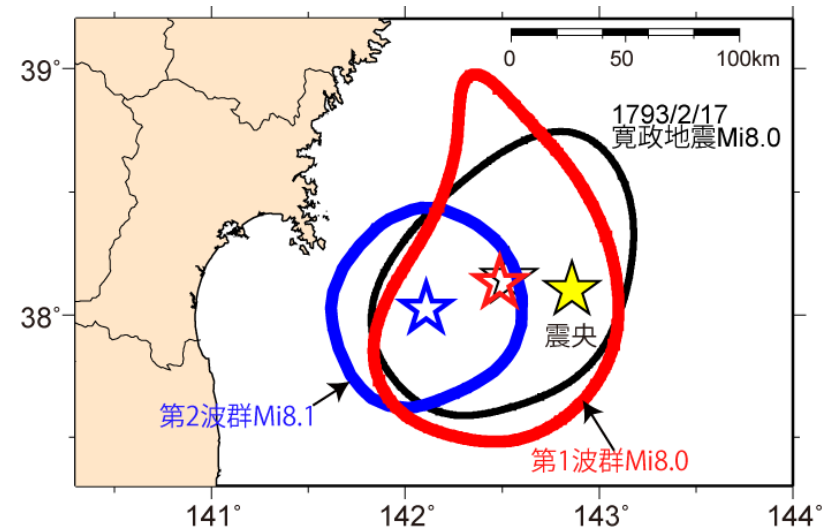
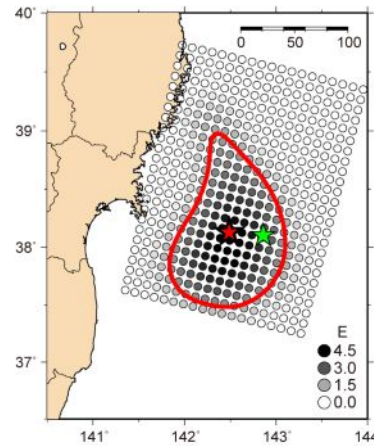
2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 (参考)3.11地震の震度インバージョン

■3.11地震の震度インバージョン

- ・神田ほか(2012)では, 2つの波群についてそれぞれの波群を分離し, 震度インバージョンを実施している。
- ・結果としては, 第1波群 $M_i=8.0$, 第2波群 $M_i=8.1$ となり, それぞれの波群のマグニチュードはM8前半であった。

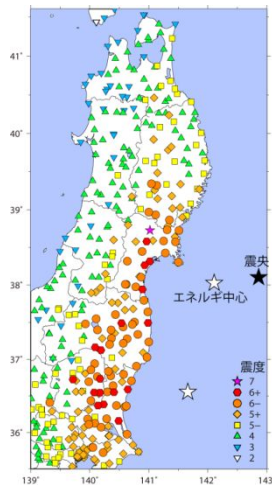


第1波群の震度分布と短周期エネルギー放出分布

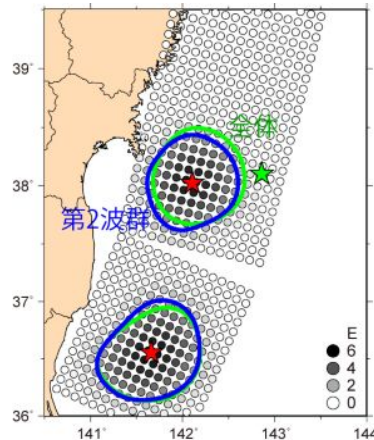


第1波群, 第2波群ともM8前半

※波群を分離せず, 波形全体を用いた場合には,
 $M_i=8.3$ となる。



第2波群の震度分布と短周期エネルギー放出分布

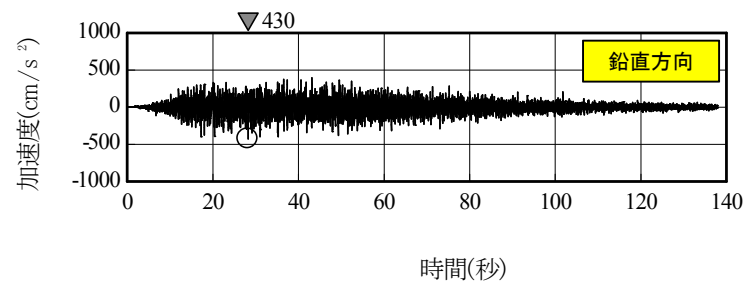
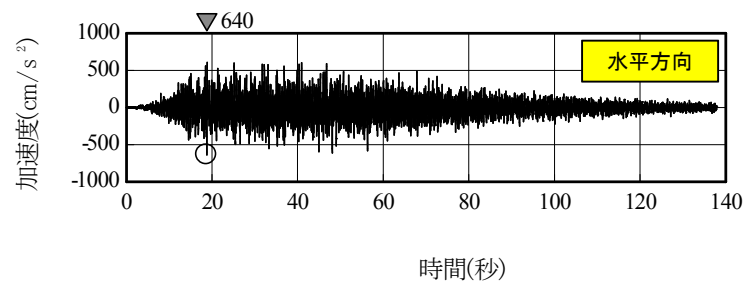


2. 1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

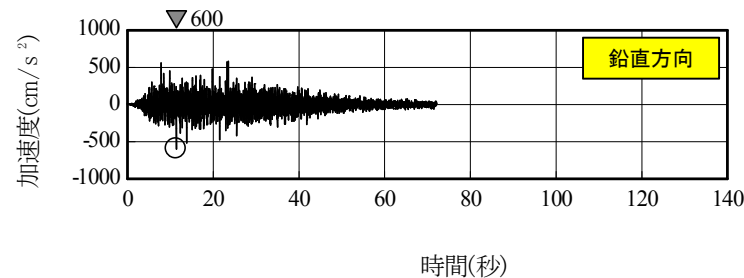
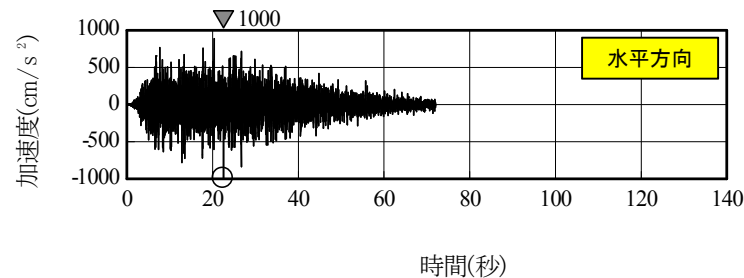
2. 1. 1 応答スペクトル手法による基準地震動: 模擬地震波

■ 模擬地震波の作成結果: 加速度時刻歴波形

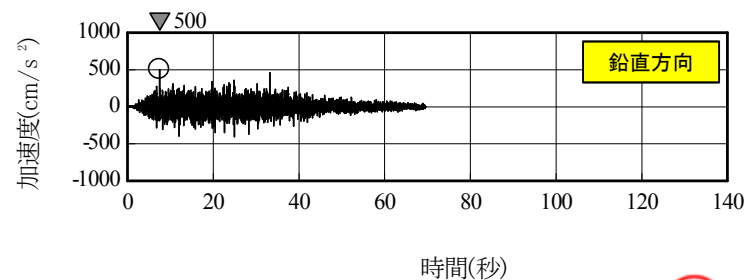
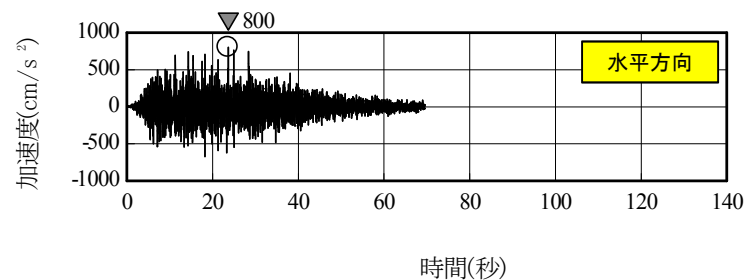
基準地震動Ss-D1



基準地震動Ss-D2



基準地震動Ss-D3

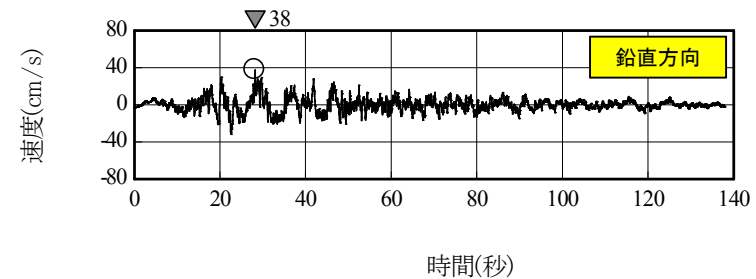
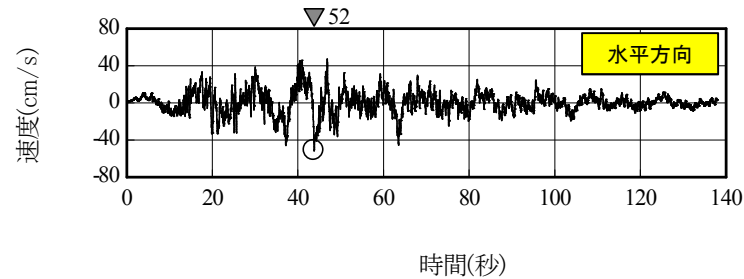


2. 1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

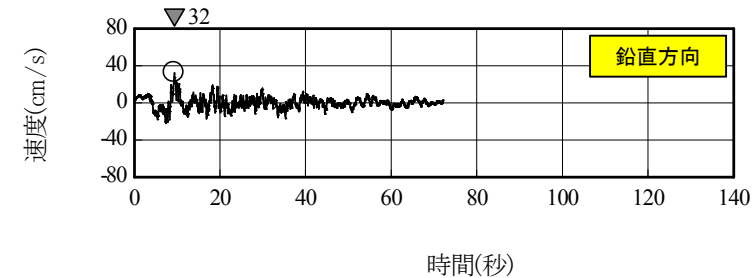
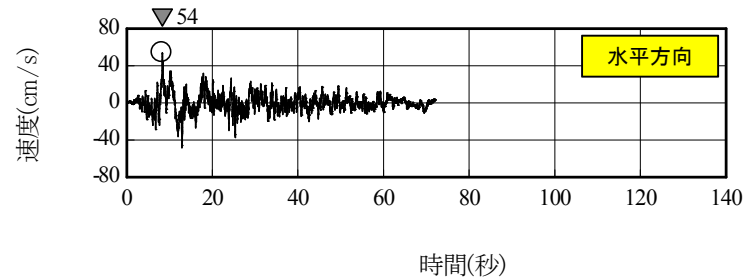
2. 1. 1 応答スペクトル手法による基準地震動: 模擬地震波

■ 模擬地震波の作成結果: 速度時刻歴波形

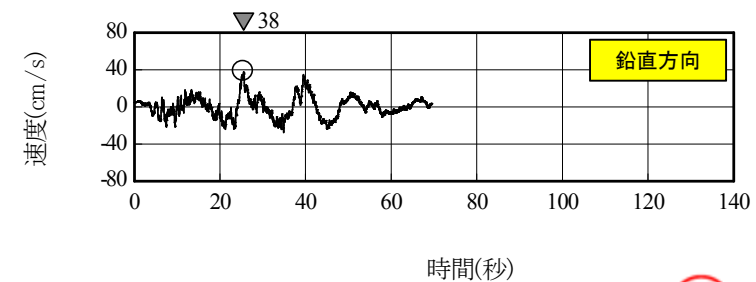
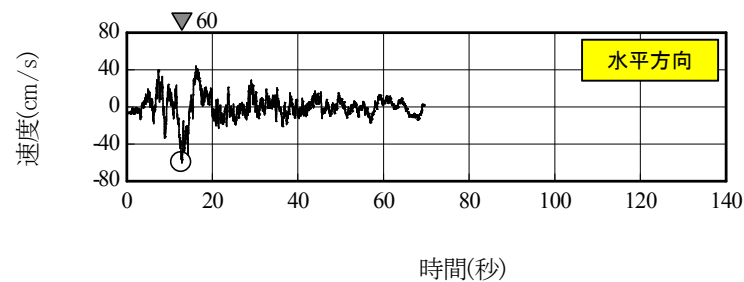
基準地震動Ss-D1



基準地震動Ss-D2



基準地震動Ss-D3



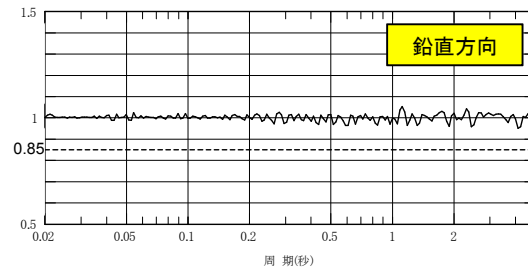
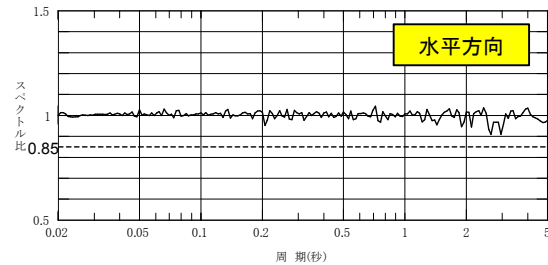
2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.1 応答スペクトル手法による基準地震動: 模擬地震波

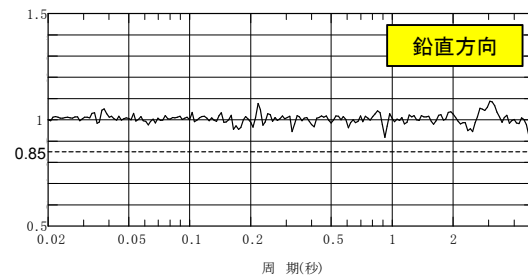
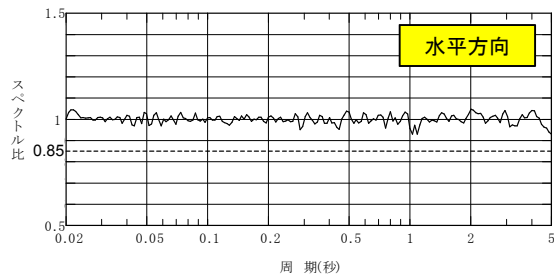
■ 模擬地震波の作成結果: 適合度の確認

- ・作成した模擬地震波が、日本電気協会(2008)に示される以下の適合度の条件を満足していることを確認した。
 - 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全周期帯で0.85以上
 - ② 応答スペクトルの強度値の比(SI比)が1.0以上

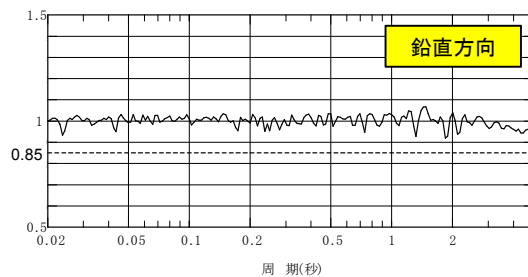
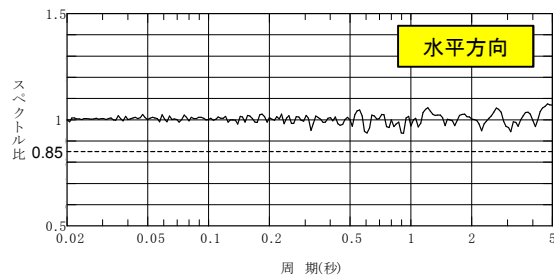
基準地震動Ss-D1の応答スペクトル比



基準地震動Ss-D2の応答スペクトル比



基準地震動Ss-D3の応答スペクトル比



応答スペクトルの強度値の比(SI比)

| 模擬地震波 | SI比 (周期0.1~2.5秒) |
|--------|---------------------|
| Ss-D1H | 1.00 |
| Ss-D1V | 1.00 |
| Ss-D2H | 1.00 |
| Ss-D2V | 1.00 |
| Ss-D3H | 1.00 |
| Ss-D3V | 1.00 |

$$SI比 = \frac{\int_{0.1}^{2.5} Sv(T)dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}v(T)dt}$$

ここで、

SI : 応答スペクトル強さ

$Sv(T)$: 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)

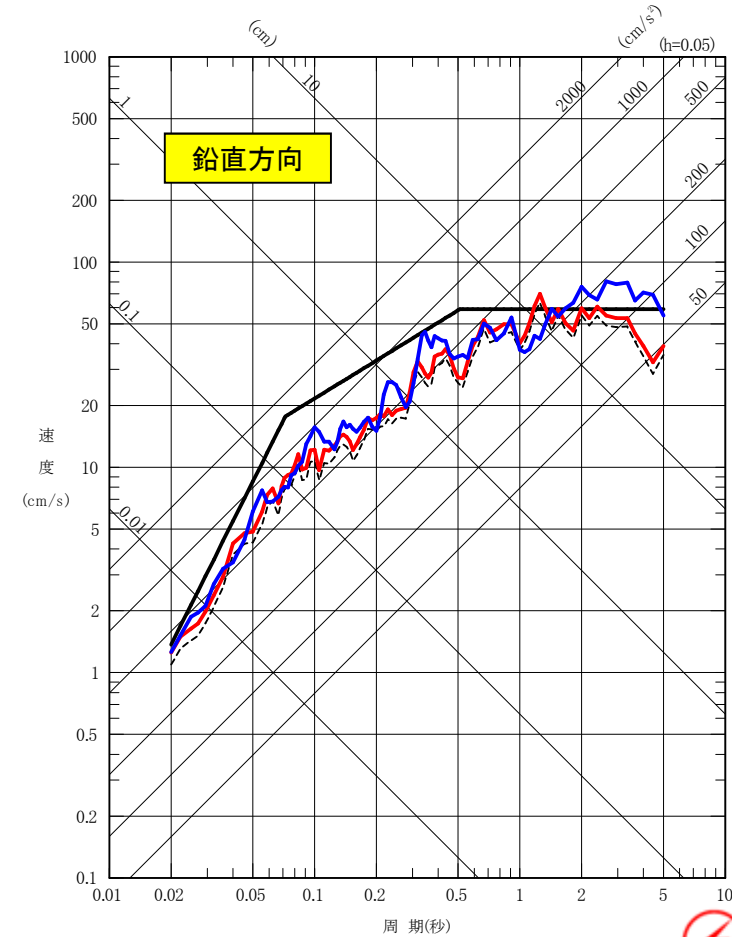
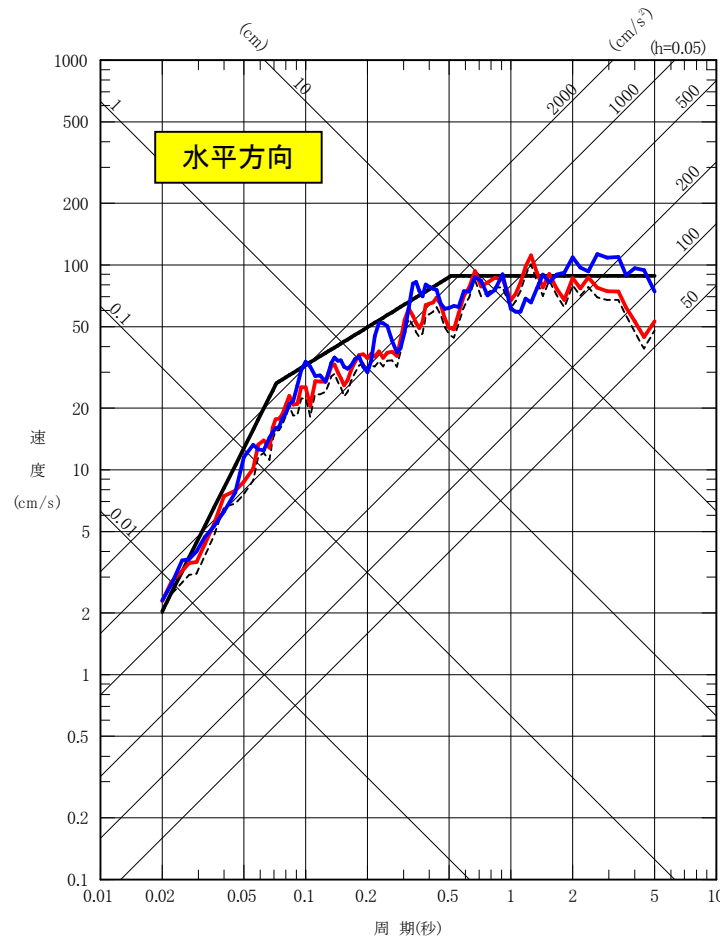
2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動:プレート間地震

・基準地震動Ss-D1の応答スペクトルを上回ったケースのうち、「応力降下量(短周期レベル)の不確かさケース」及び「SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳ケース」を、それぞれ基準地震動Ss-F1、基準地震動Ss-F2として採用。

- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- - - 基本ケースの断層モデル手法による地震動評価※

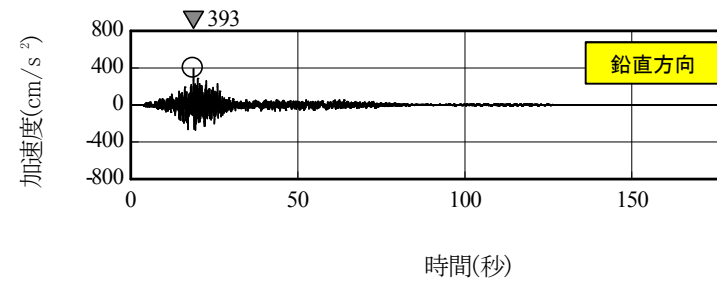
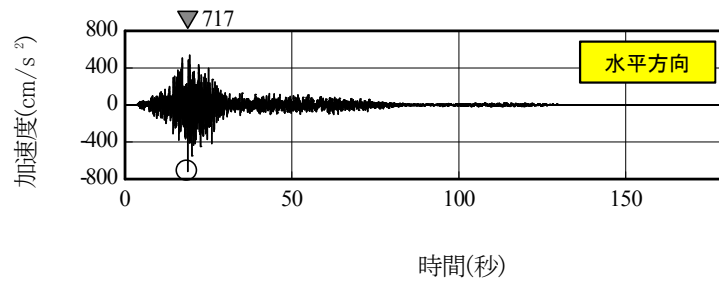
※Ss-F1が基本ケースを全周期帯で上回る。



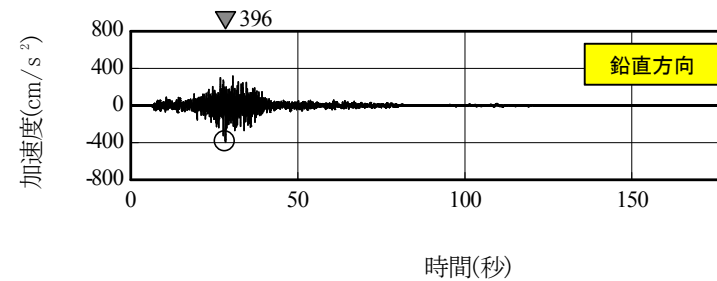
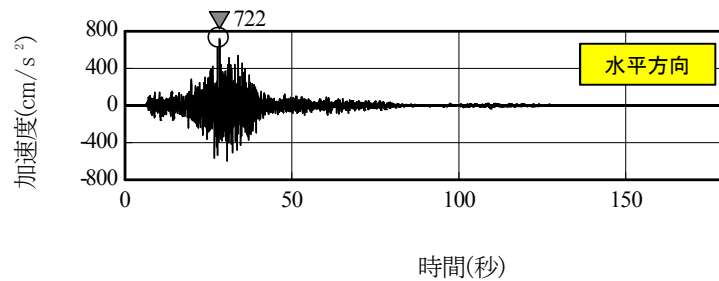
2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動:プレート間地震

基準地震動Ss-F1の加速度時刻歴波形



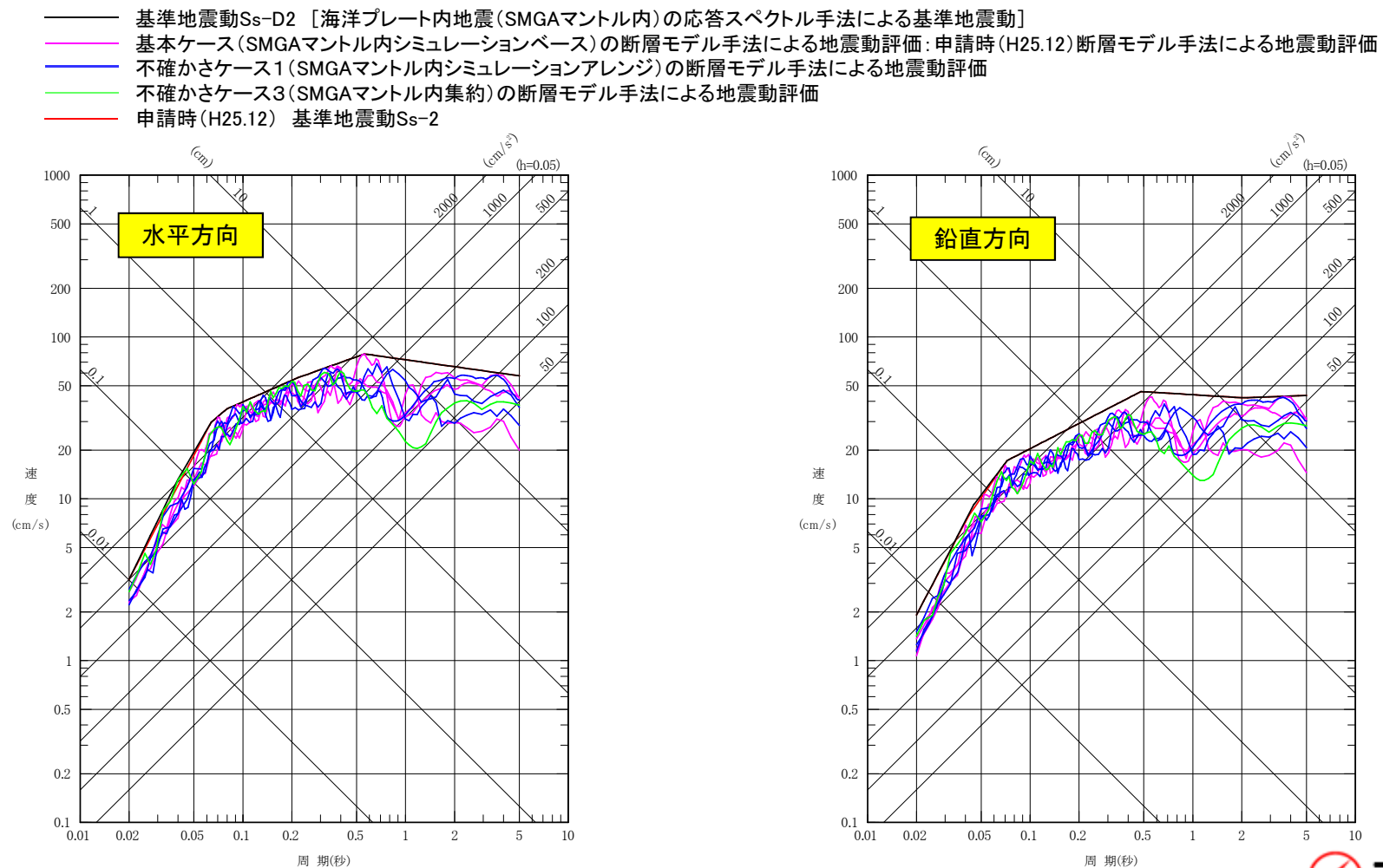
基準地震動Ss-F2の加速度時刻歴波形



2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

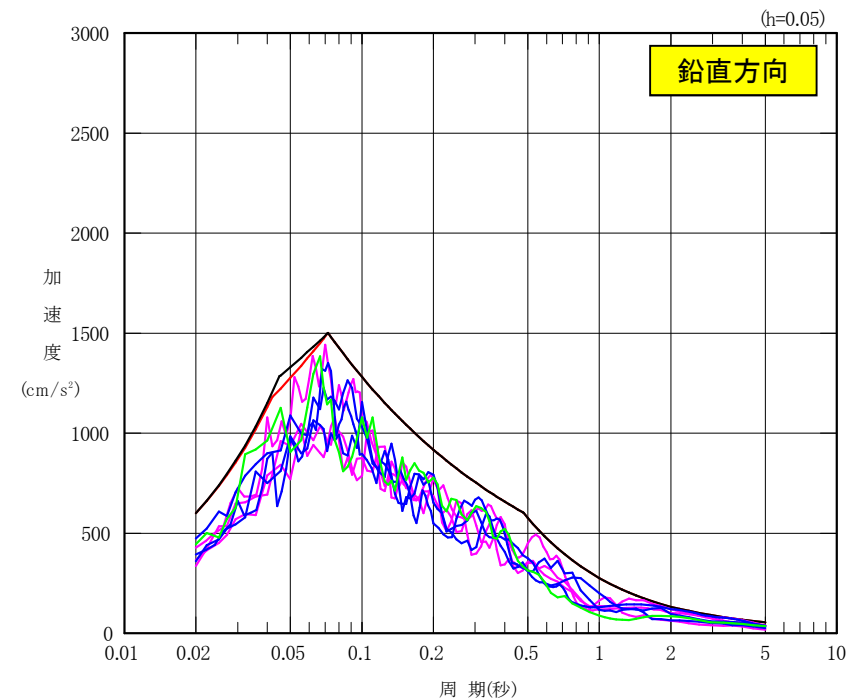
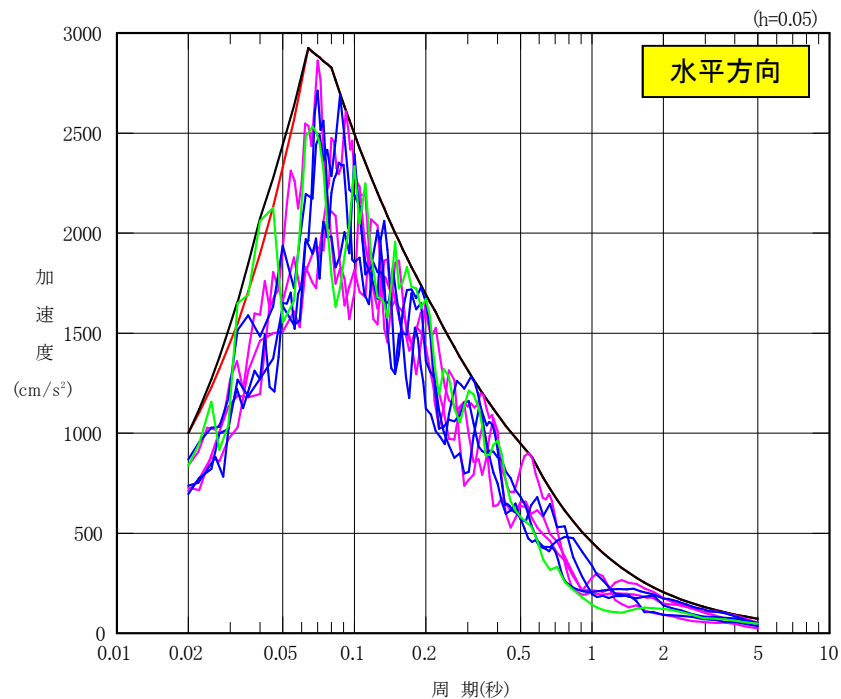
- ・基準地震動Ss-D2の設計用応答スペクトルは、裕度確保の観点から海洋プレート内地震（SMGAマントル内）の断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡するように申請時の設計用応答スペクトルを見直している。
- ・なお、不確かさケース3（SMGAマントル内集約）は、申請時の基準地震動の設計用応答スペクトルを超過する。



2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

- 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震（SMGAマントル内）の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基本ケース（SMGAマントル内シミュレーションベース）の断層モデル手法による地震動評価：申請時（H25.12）断層モデル手法による地震動評価
- 不確かさケース1（SMGAマントル内シミュレーションレンジ）の断層モデル手法による地震動評価
- 不確かさケース3（SMGAマントル内集約）の断層モデル手法による地震動評価
- 申請時（H25.12）基準地震動Ss-2



2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

■断層モデル手法による基準地震動に関する審査ガイド要求事項とその対応

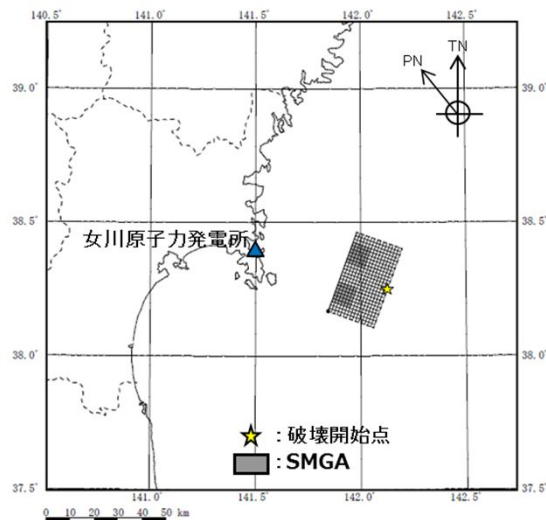
・審査ガイドでは、震源が敷地に近く、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法を重視することを要求している。

・海洋プレート内地震（SMGAマントル内）の各モデルの応力降下量は約120MPaとプレート間地震や内陸地殻内地震と比較して大きい。
[仮に、M7.5の規模で応力降下量20MPa程度の内陸地殻内地震が、この海洋プレート内の地震と同程度の大きさの地震動を与えるためには、敷地近傍（10km程度）に仮定する必要がある。]

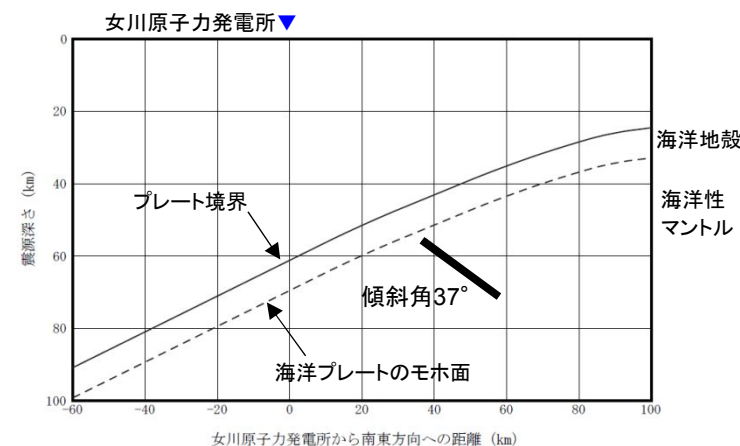
・また、4.7型地震は、敷地に最も近い海洋プレート内に位置し、断層の傾斜方向がサイトに向かっているため、ディレクティブティ効果が効き易い位置にある。



・海洋プレート内地震（SMGAマントル内）については、その破壊過程が地震動評価に大きな影響を与えると考えられる。また、基準地震動S_s-D2の設計用応答スペクトルは、断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡しているものの、個別の周期帯で見た場合、設計用応答スペクトルとの差が小さい部分もあることを勘案し、断層モデル手法による地震動評価結果を基準地震動として考慮する。



平面図



断面図

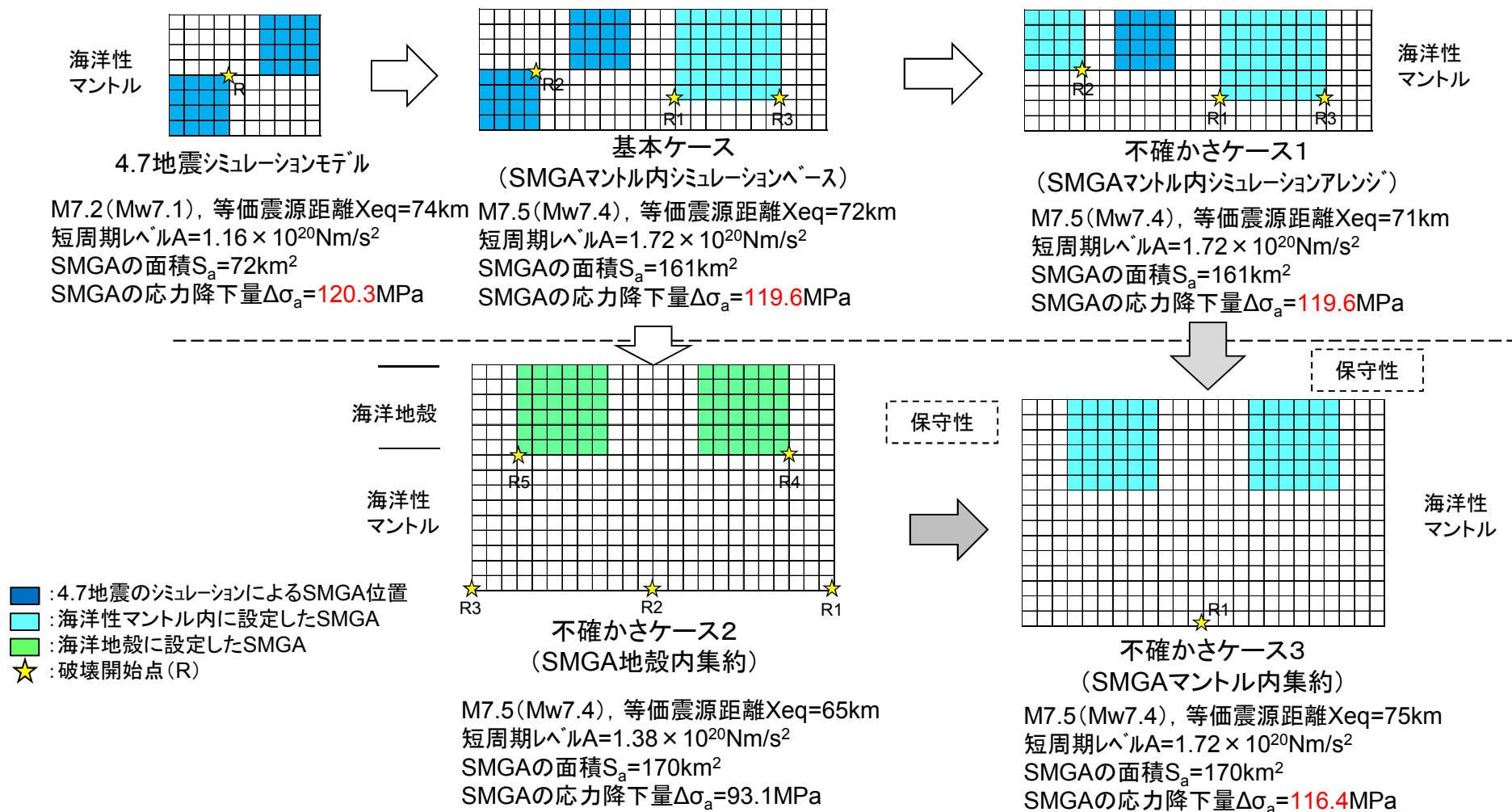
4.7型地震の断層モデル：不確かさケース3（SMGAマントル内集約）

2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

■海洋プレート内地震の断層モデル

・海洋プレート内地震の各モデルの概要は以下の通り。



2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

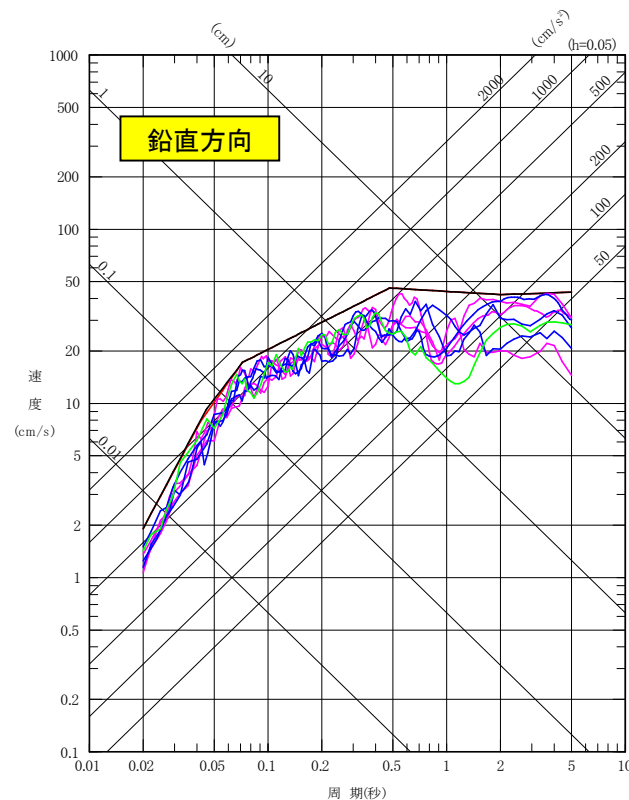
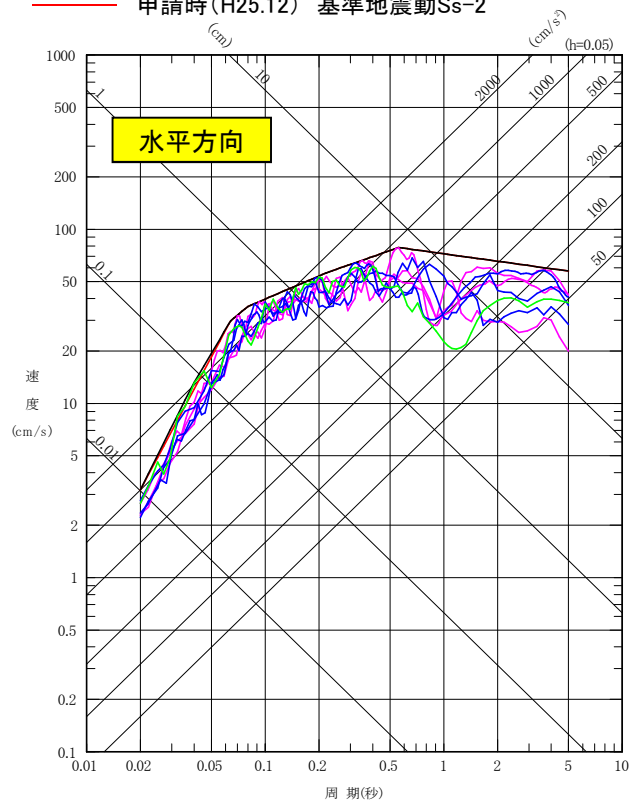
2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

■断層モデル手法による基準地震動に関する審査ガイド要求事項とその対応

・審査ガイドでは、断層モデル手法による基準地震動は、施設に与える影響の観点から地震動の諸特性（**周波数特性**、**継続時間**、**位相特性**等）を考慮して、別途評価した応答スペクトルとの関係を踏まえつつ複数の地震動評価結果から策定することを要求している。

・**周波数特性**については全ケースとも基準地震動Ss-D2の設計用応答スペクトルに包絡されているが、個別の周期帯で見た場合、設計用応答スペクトルとの差が小さい部分もあることから、さらに**継続時間**、**位相特性**の特徴について比較、検討を行う。

- 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震（SMGAマントル内）の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基本ケース（SMGAマントル内シミュレーションベース）の断層モデル手法による地震動評価：申請時（H25.12）断層モデル手法による地震動評価
- 不確かさケース1（SMGAマントル内シミュレーションアレンジ）の断層モデル手法による地震動評価
- 不確かさケース3（SMGAマントル内集約）の断層モデル手法による地震動評価
- 申請時（H25.12）基準地震動Ss-2

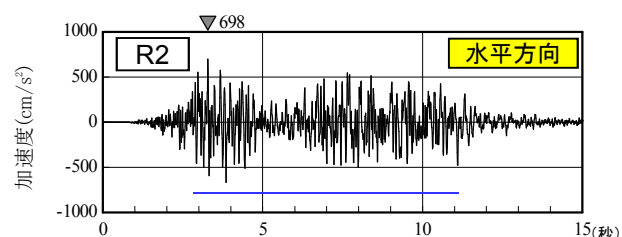
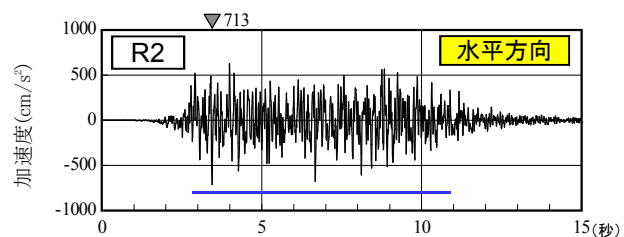
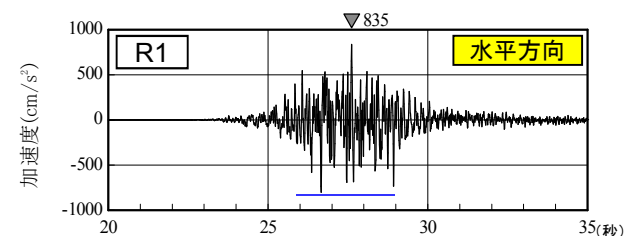
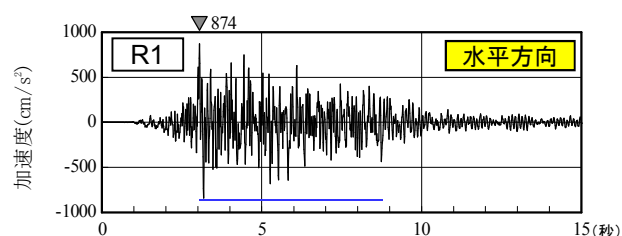
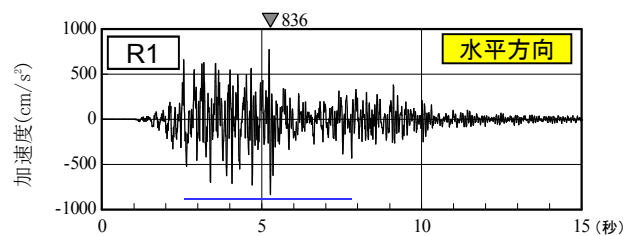


2. 1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2. 1. 2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

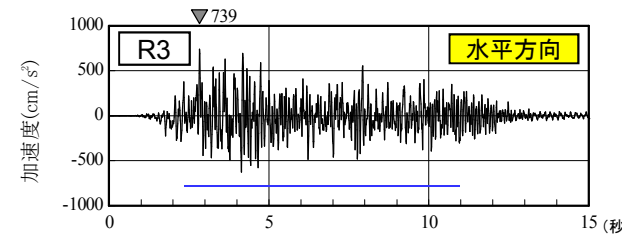
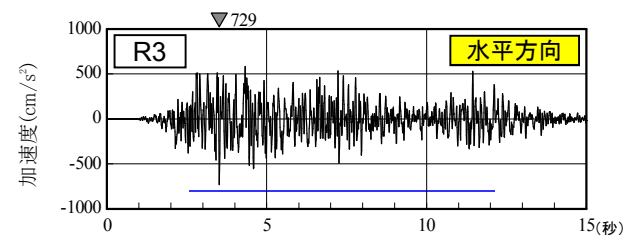
■断層モデル手法による地震動の時刻歴波形の特徴

・各ケースの時刻歴波形を比較すると、特に継続時間に差異が見られる。すなわち、不確かさケース3は、サイトとSMGAの相対的位置関係（SMGAを2つに集約し破壊開始点が断層下端中央）から、主要動の継続時間が他のケースの1/2程度と短い特徴を有している。



不確かさケース3（SMGAマントル内集約）

— : 主要動部
(最大加速度値の0.5倍以上)



基本ケース（SMGAマントル内シミュレーションベース）

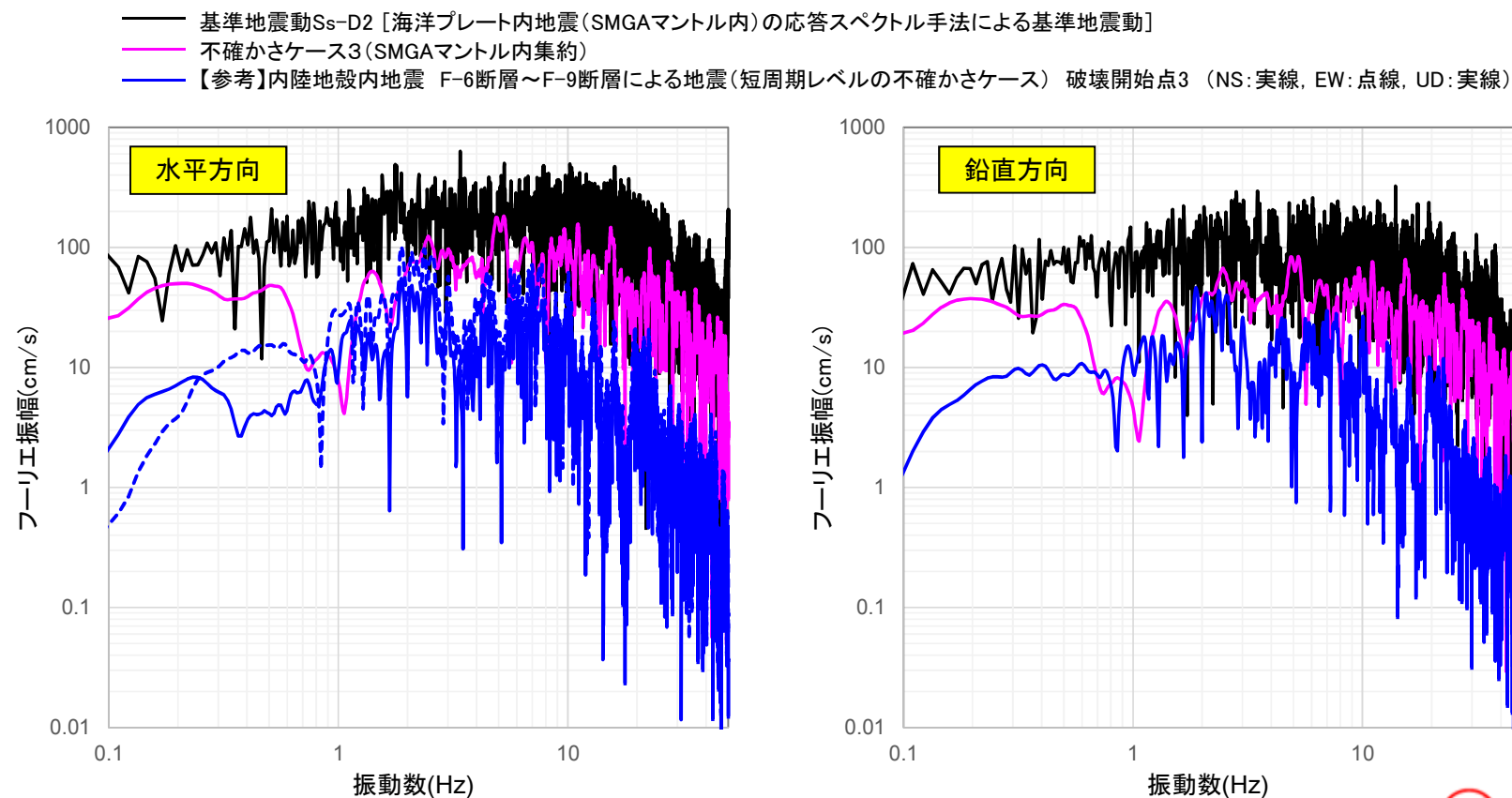
不確かさケース1（SMGAマントル内シミュレーションアレンジ）

2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

■ 基準地震動S_s-D2と不確かさケース3のフーリエ振幅スペクトルによる比較

- ・応答スペクトル手法による基準地震動S_s-D2と断層モデル手法による地震動（不確かさケース3）のフーリエ振幅スペクトルを下图に示す。比較のために内陸地殻内地震（F-6断層～F-9断層）の断層モデル手法による地震動のフーリエ振幅スペクトルも合わせて記載している。
- ・海洋プレート内地震と内陸地殻内地震（F-6断層～F-9断層）とを比較すると、10Hz以上の高振動数側において振幅が低下していく傾向に違いが認められ、海洋プレート内地震は高振動数成分に富んでいる。また、フーリエ振幅の一般的特徴として高振動数は、ばらつく傾向にあるが、これはS_s-D2、不確かさケース3も同様である。



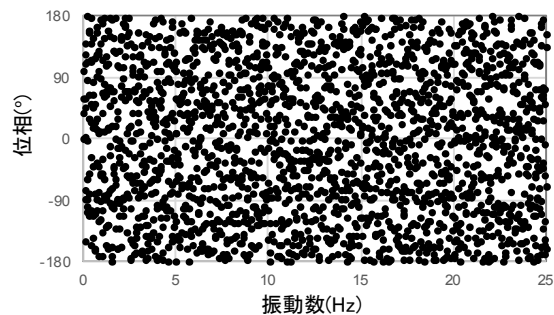
基準地震動S_s-D2と不確かさケース3のフーリエ振幅スペクトル

2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

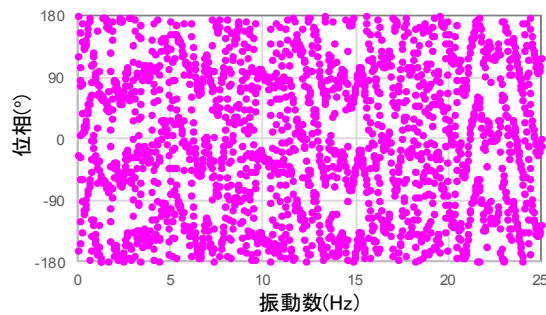
2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

■ 基準地震動S_s-D2と不確かさケース3のフーリエ位相スペクトルによる比較

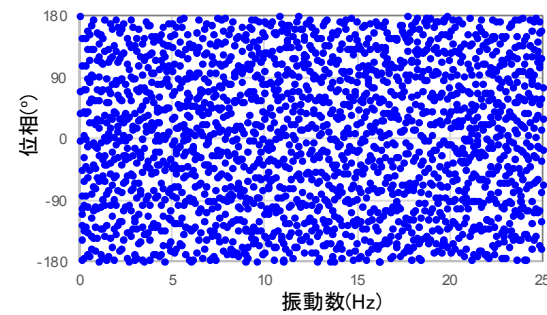
・位相特性を比較すると、不確かさケース3では位相に幾つかのまとまりが見られ、波が集中する傾向を示している。



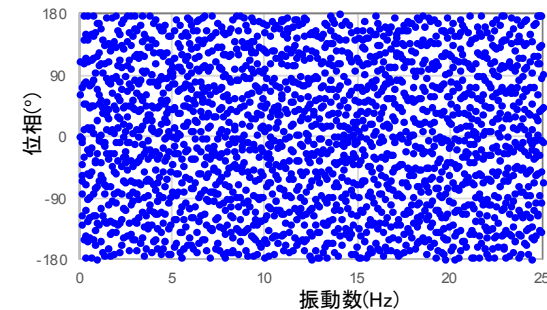
基準地震動S_s-D2
(応答スペクトル手法による基準地震動)【水平】



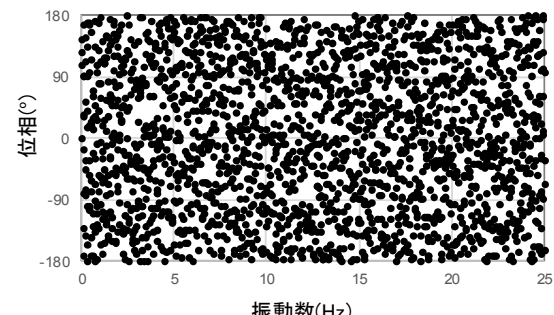
不確かさケース3
(断層モデル手法による地震動)【水平】



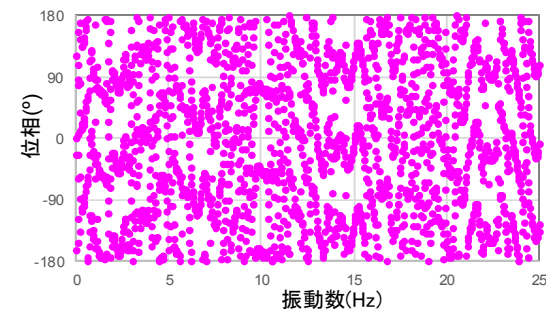
F-6断層～F-9断層 短周期レベルの不確かさ 破壊開始点3【NS】



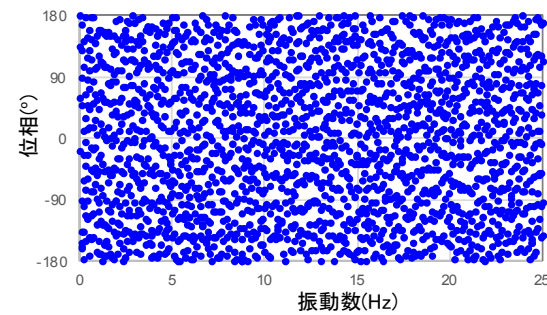
F-6断層～F-9断層 短周期レベルの不確かさ 破壊開始点3【EW】



基準地震動S_s-D2【鉛直】



不確かさケース3【鉛直】



F-6断層～F-9断層 短周期レベルの不確かさ 破壊開始点3【UD】

基準地震動S_s-D2と不確かさケース3のフーリエ位相スペクトル

2. 1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2. 1. 2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

■断層モデル手法による基準地震動の選定：継続時間，位相特性

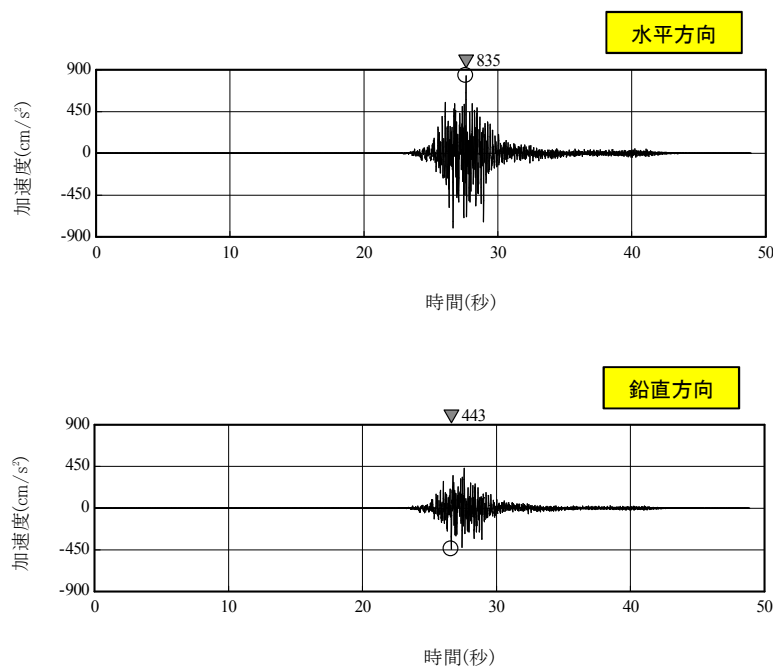
【継続時間，位相特性の特徴】

- ・海洋プレート内地震（SMGAマントル内）の断層モデル手法による地震動評価結果は，内陸地殻内地震と比較すると短周期成分に富んでいる。
- ・不確かさケース3は，サイトとSMGAとの相対的位置関係から，主要動が最も短い（緻密）という特徴を有している。

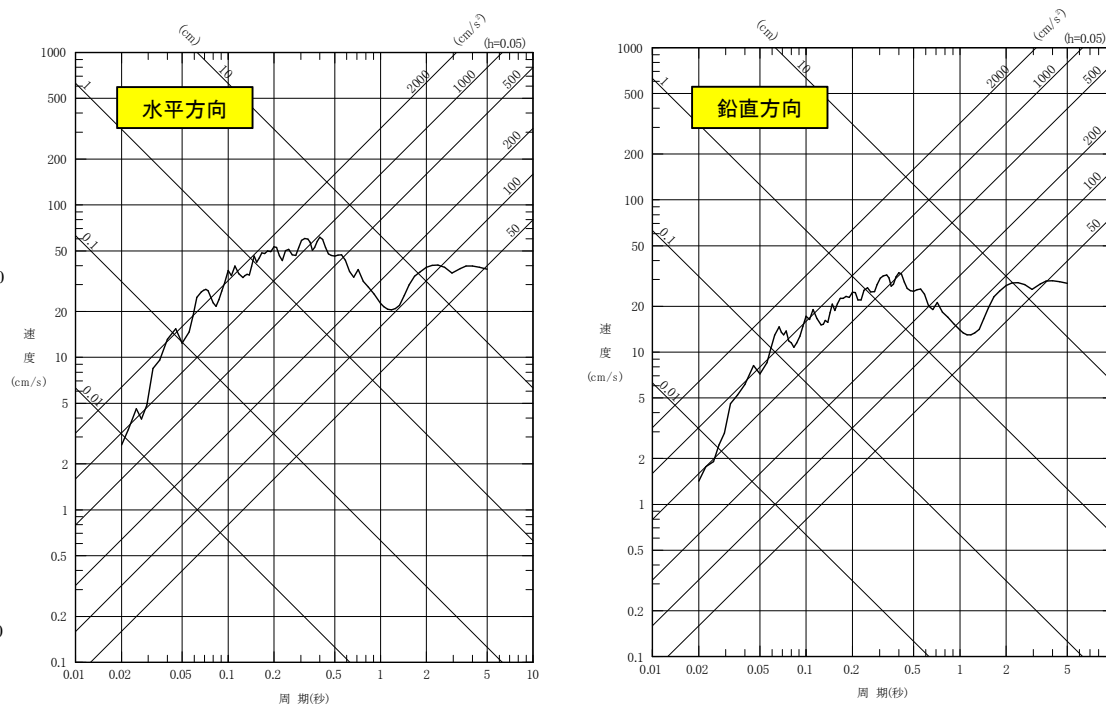
【継続時間，位相特性の特徴が施設に与える影響】

- ・地震動はもともと短周期のフーリエ振幅がばらつく傾向を有しており，地震応答解析における建屋の非線形特性等の影響によって位相に相対的变化が加わると，短周期成分が重畳し，建屋応答としてもばらつく場合がある。このような短周期側の応答のばらつきは，短周期成分が富み，かつ主要動が短い（緻密）場合，さらに顕著になる傾向にある。不確かさケース3は，短周期が卓越し，また主要動の継続時間が最も短いという特徴を有していることから，断層モデル手法による基準地震動として不確かさケース3を選定する。

基準地震動Ss-F3の加速度時刻歴波形



—— 基準地震動Ss-F3
[海洋プレート内地震（SMGAマントル内）の断層モデル手法による基準地震動（SMGAマントル内集約）]



2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

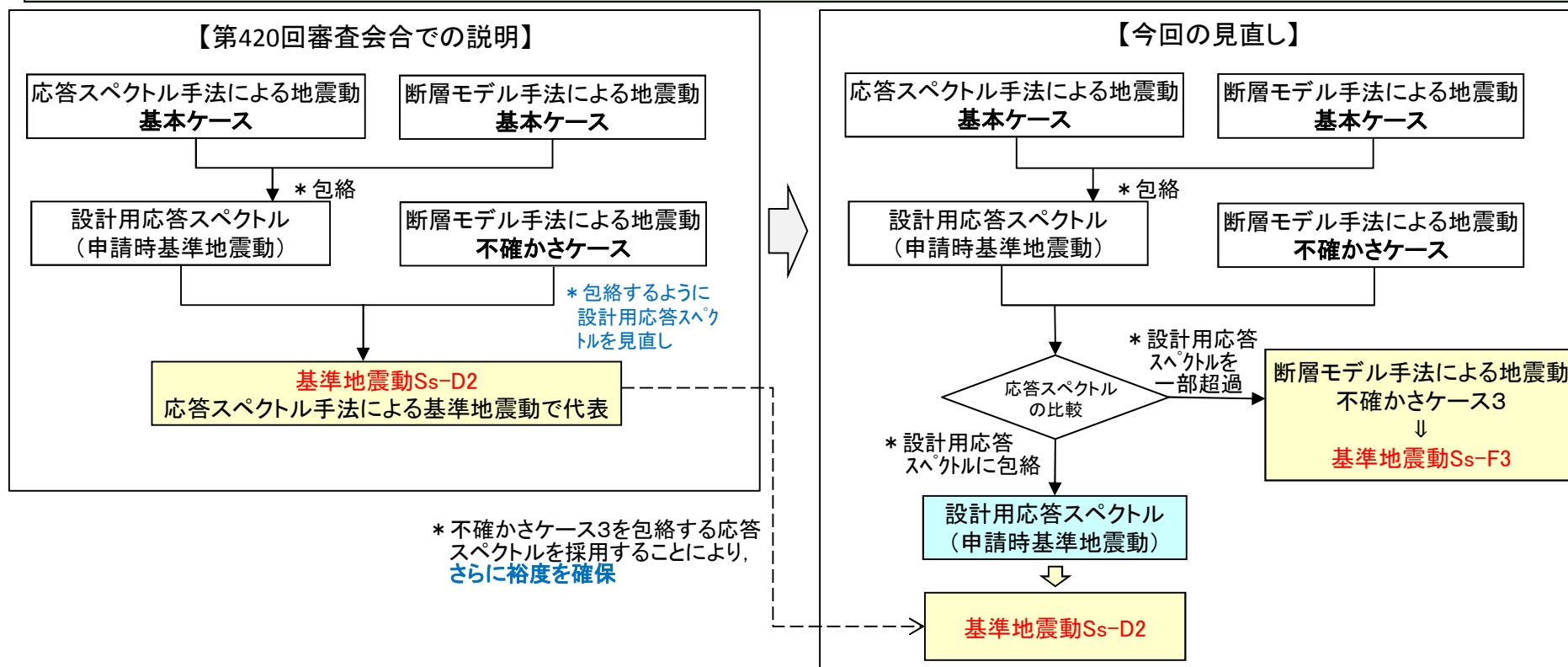
2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGAマントル内）

■断層モデル手法による基準地震動の選定：プレート間地震の選定方法との関係

プレート間地震では、断層モデル手法による基準地震動の選定は周波数特性に着目した選定^{*}を実施しているが、この選定方法と海洋プレート内地震における選定結果との関係について整理した。

- ①地震動の周波数特性（応答スペクトル）の大小関係に着目した場合、今回の断層モデル波（不確かさケース3）の基準地震動への採用と申請時の設計用応答スペクトルとの関係を整理すると下右図になり、仮に申請時の設計用応答スペクトルを基準地震動として採用した場合は、応答スペクトルと断層モデル波の関係は、基本的にはプレート間地震の選定の考え方^{*}と整合したものとなる。
- ②一方、第420回審査会合（H28.12）では、応答スペクトル手法による地震動結果のみならず、断層モデル手法による地震動評価結果をも包絡するように申請時の設計用応答スペクトルを見直し、これを基準地震動 S_s-D2 として採用することによって裕度を確保した。今回の見直しに当たってもこれを踏襲し、断層モデル波の採用に加え、包絡する設計用応答スペクトルも採用することによって、さらに裕度を確保したものとしている。

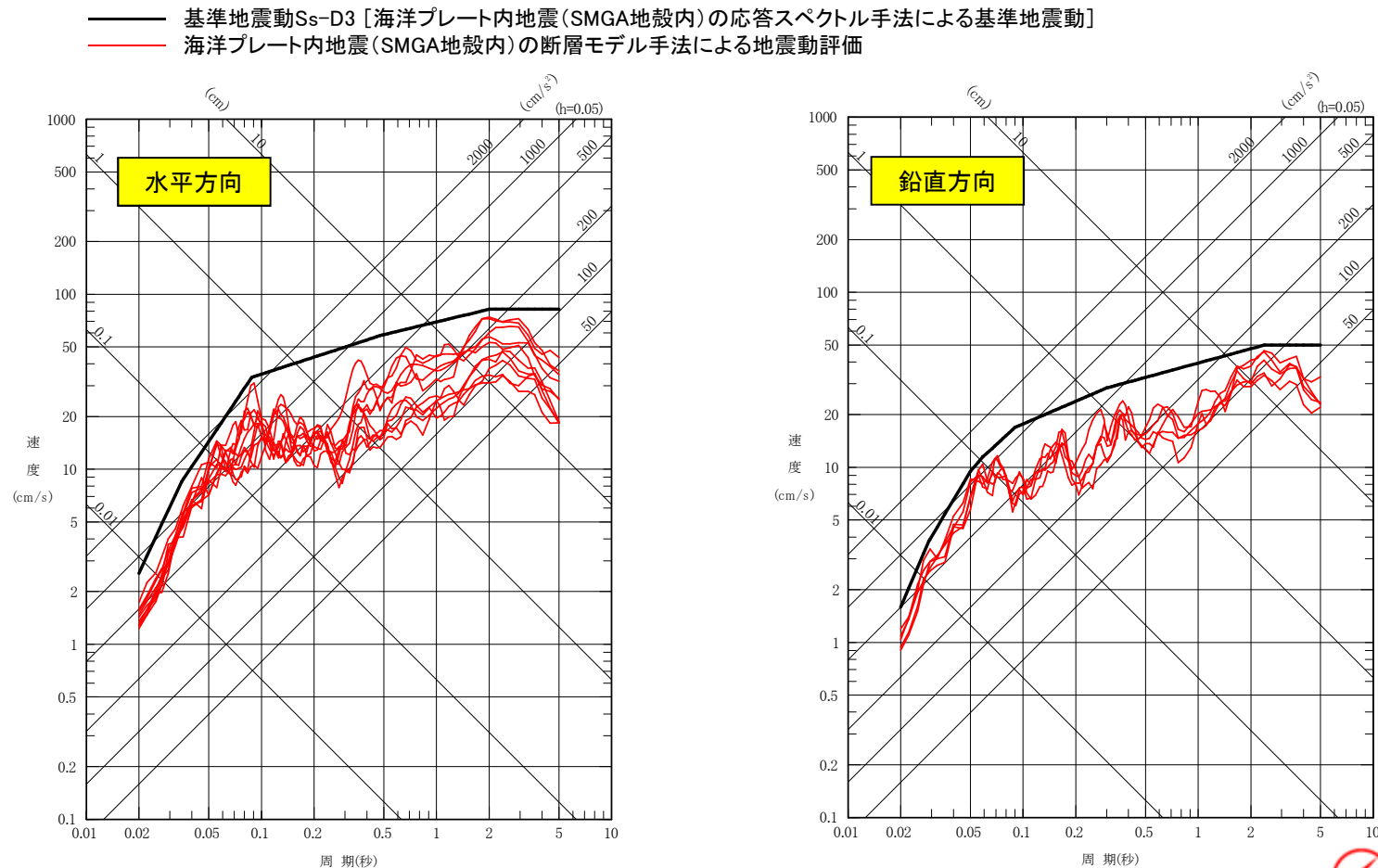
^{*}「断層モデル手法による基準地震動は、検討用地震ごとに、応答スペクトル手法による基準地震動を上回る周期帯を有する評価結果を与えるケースを採用する」という考え方。



2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動：海洋プレート内地震（SMGA地殻内）

- ・基準地震動S_s-D3の設計用応答スペクトルは、海洋プレート内地震（SMGA地殻内）の断層モデル手法による地震動評価結果を全て包絡するように設定している。
- ・海洋プレート内地震（SMGA地殻内）の応力降下量は約90MPaと海洋プレート内地震（SMGAマントル内）の約120MPaより小さいこと。その結果、短周期成分も小さい傾向にあることから、特に、断層モデル手法による地震動評価結果を基準地震動として選定せず、基準地震動は応答スペクトル手法による基準地震動S_s-D3で代表する。

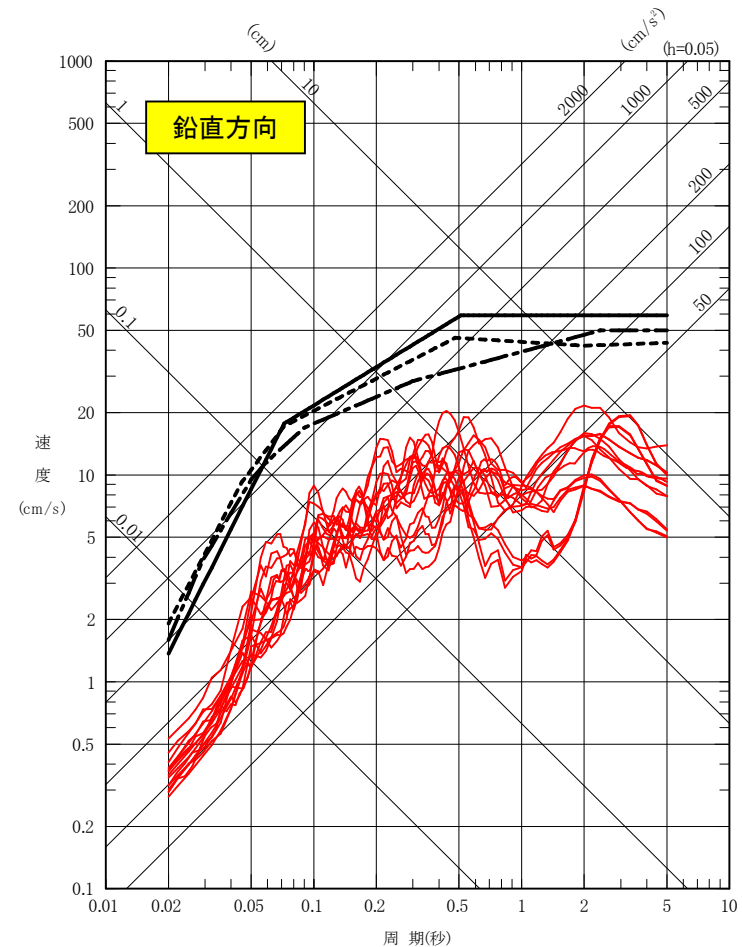
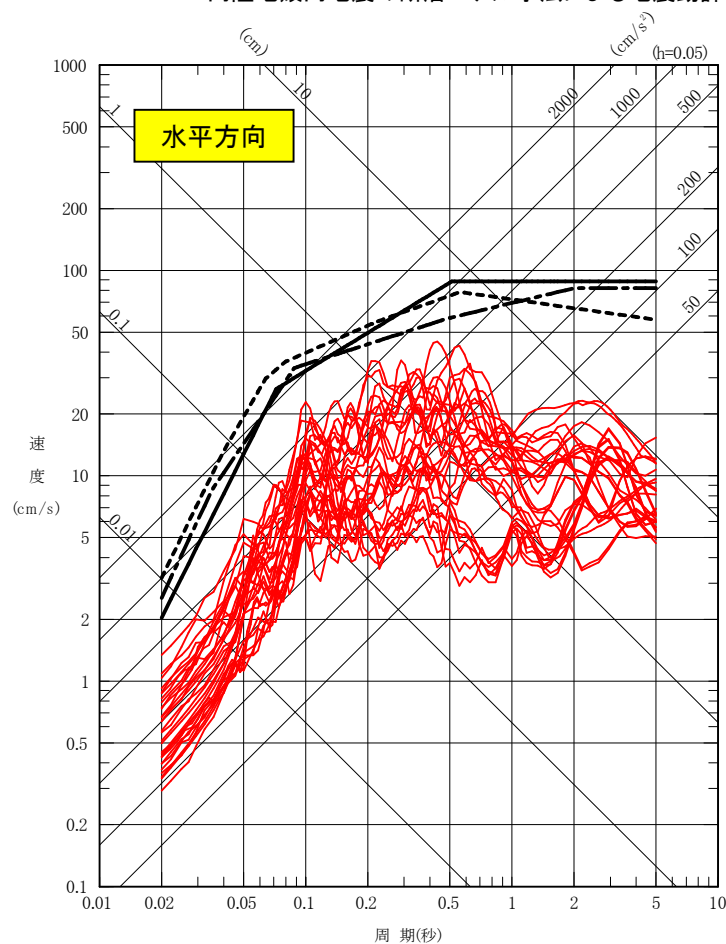


2.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

2.1.2 断層モデル手法による基準地震動:内陸地殻内地震

・内陸地殻内地震の断層モデル手法による地震動評価結果は、基準地震動Ss-D1, Ss-D2及びSs-D3の設計用応答スペクトルを下回る。

- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 内陸地殻内地震の断層モデル手法による地震動評価



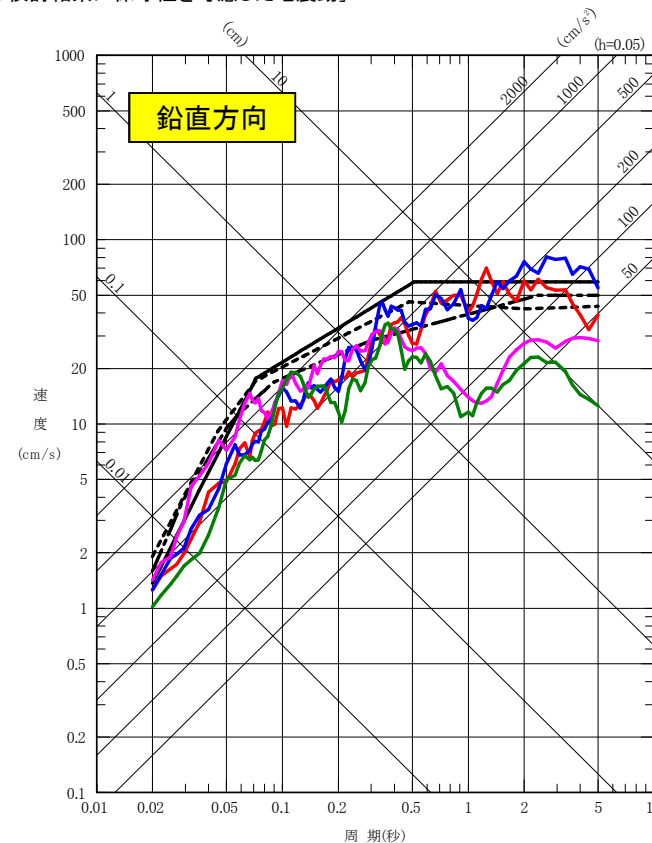
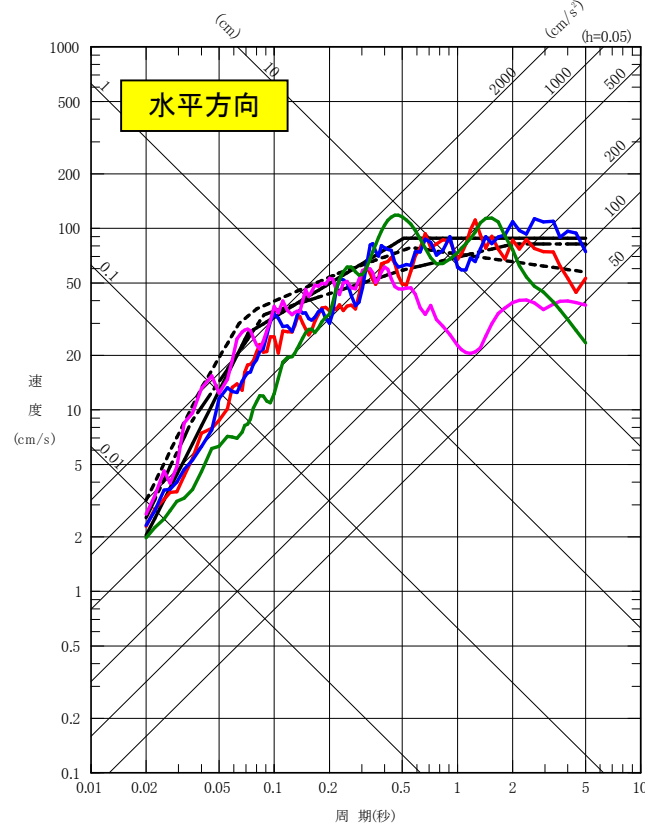
2. 基準地震動の策定

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と、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価結果に基づき設定した基準地震動Ssを比較する。

・2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動は、水平方向の一部周期帯で敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価結果に基づき設定した基準地震動Ssを上回るため、基準地震動Ss-N1として設定する。

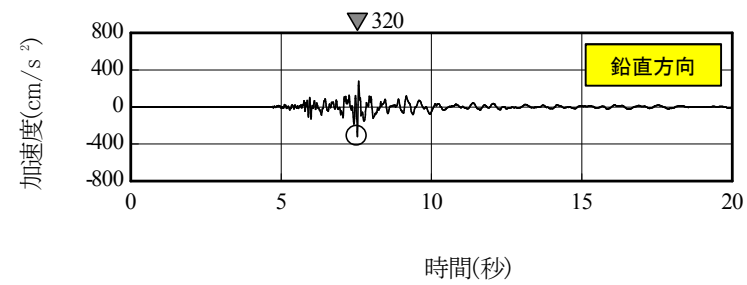
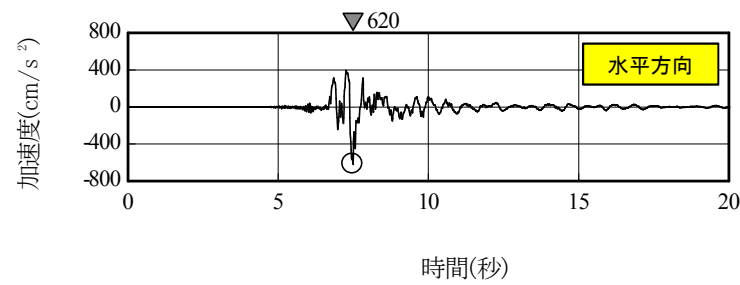
- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動Ss-F3 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)]
- 基準地震動Ss-N1 [2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動]



2. 基準地震動の策定

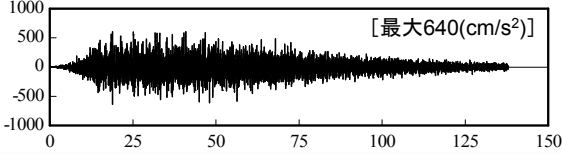
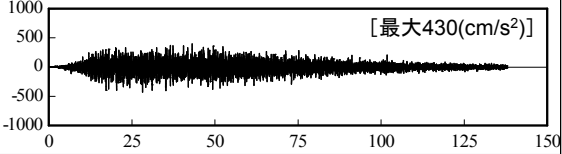
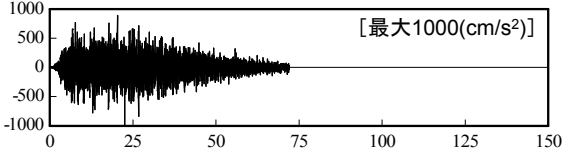
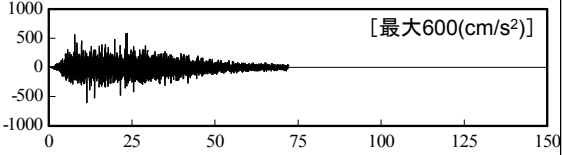
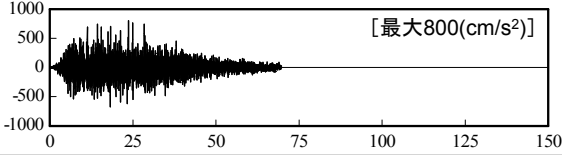
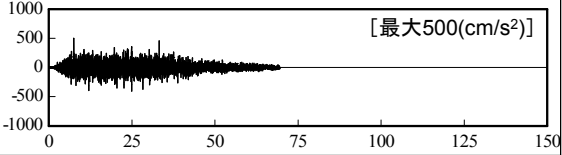
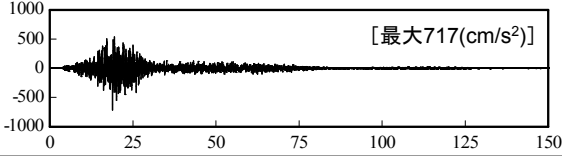
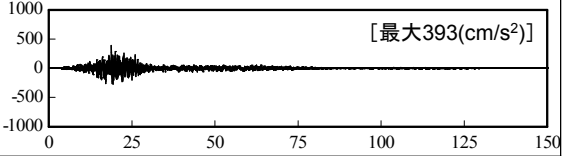
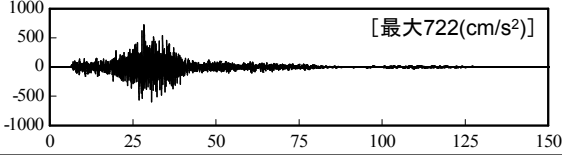
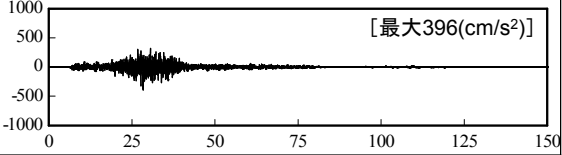
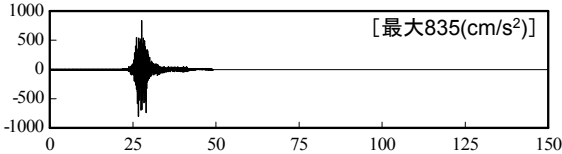
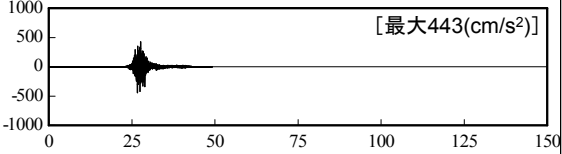
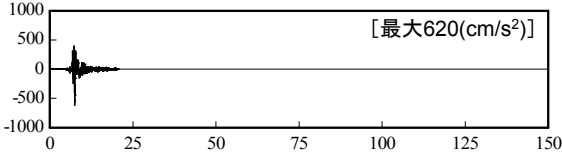
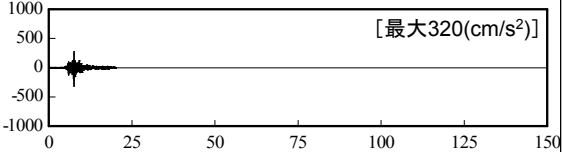
2.2 震源を特定せず策定する地震動(加速度時刻歴波形)

基準地震動Ss-N1の加速度時刻歴波形



2. 基準地震動の策定

2.3 基準地震動の策定のまとめ(最大加速度値)

| 基準地震動 | | 水平方向 | 鉛直方向 |
|-------|---|--|---|
| Ss-D1 | プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動 |  [最大640(cm/s ²)] |  [最大430(cm/s ²)] |
| Ss-D2 | 海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動 |  [最大1000(cm/s ²)] |  [最大600(cm/s ²)] |
| Ss-D3 | 海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動 |  [最大800(cm/s ²)] |  [最大500(cm/s ²)] |
| Ss-F1 | プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [応力降下量(短周期レベル)の不確かさ] |  [最大717(cm/s ²)] |  [最大393(cm/s ²)] |
| Ss-F2 | プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳] |  [最大722(cm/s ²)] |  [最大396(cm/s ²)] |
| Ss-F3 | 海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動 (SMGAマントル内集約) |  [最大835(cm/s ²)] |  [最大443(cm/s ²)] |
| Ss-N1 | 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動 |  [最大620(cm/s ²)] |  [最大320(cm/s ²)] |

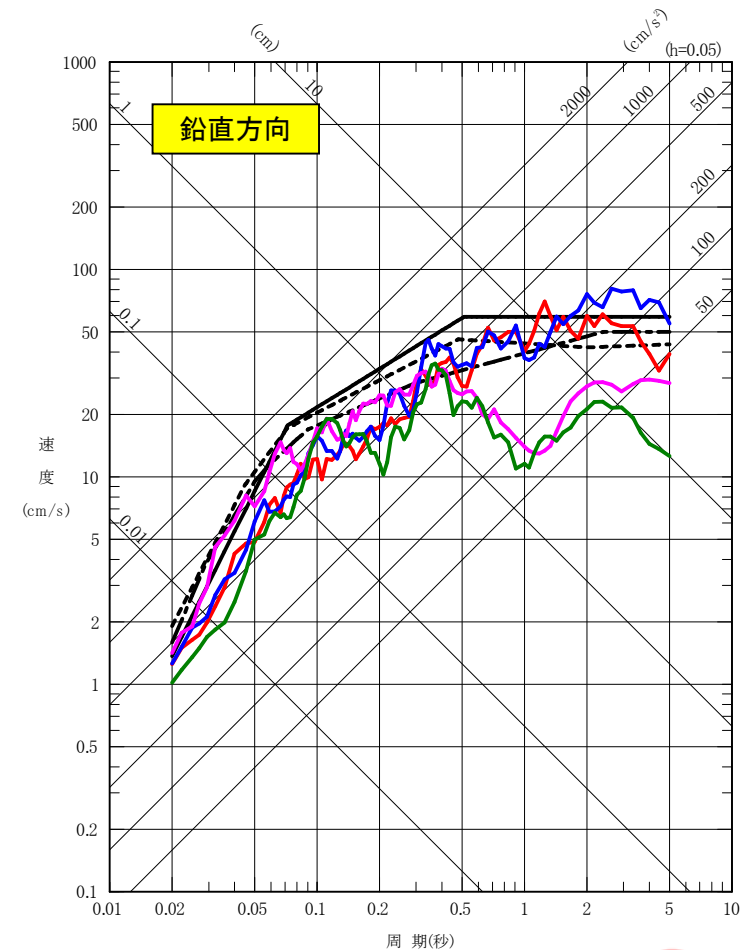
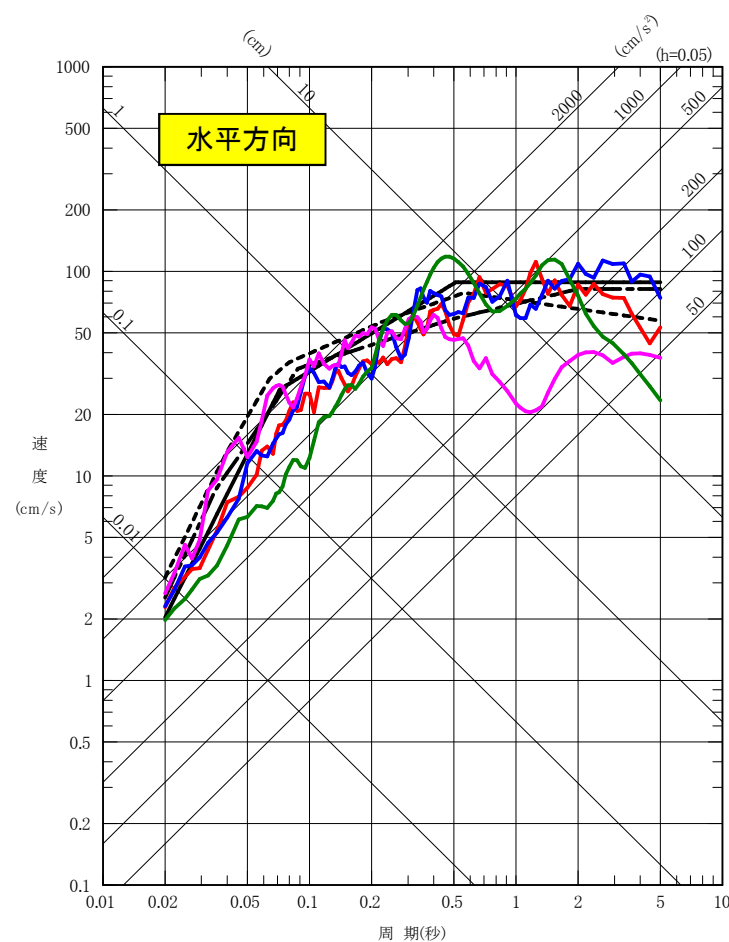
注1: 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度(cm/s²), 横軸: 時間(s)]

注2: 断層モデルによる基準地震動のSs-F1, Ss-F2及びSs-F3については, 3.11地震, 4.7地震の観測記録との整合性を確認したシミュレーションでの手法(統計的グリーン関数法, 放射特性一定)を用いていることから水平一方向としている。

2. 基準地震動の策定

2.3 基準地震動の策定のまとめ(応答スペクトル)

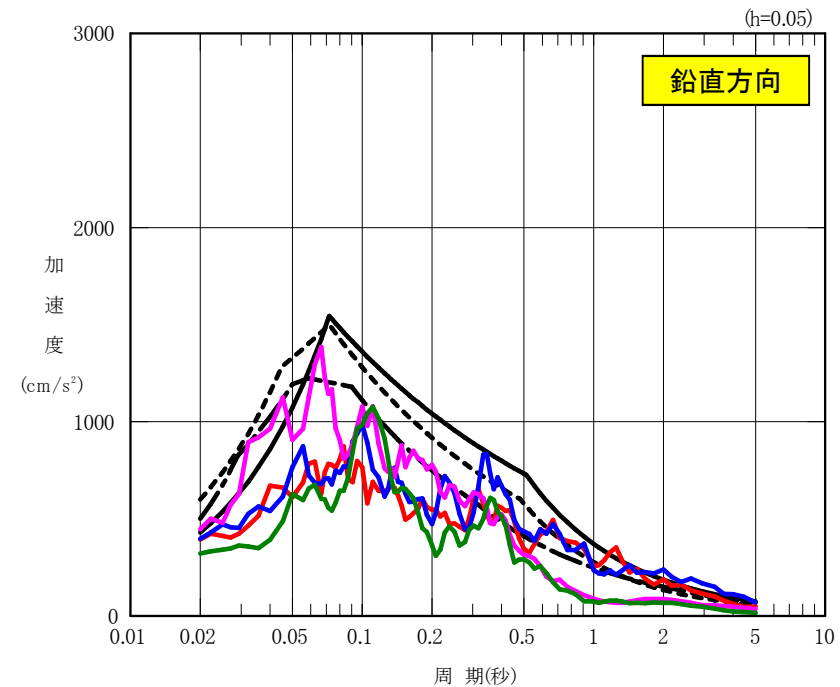
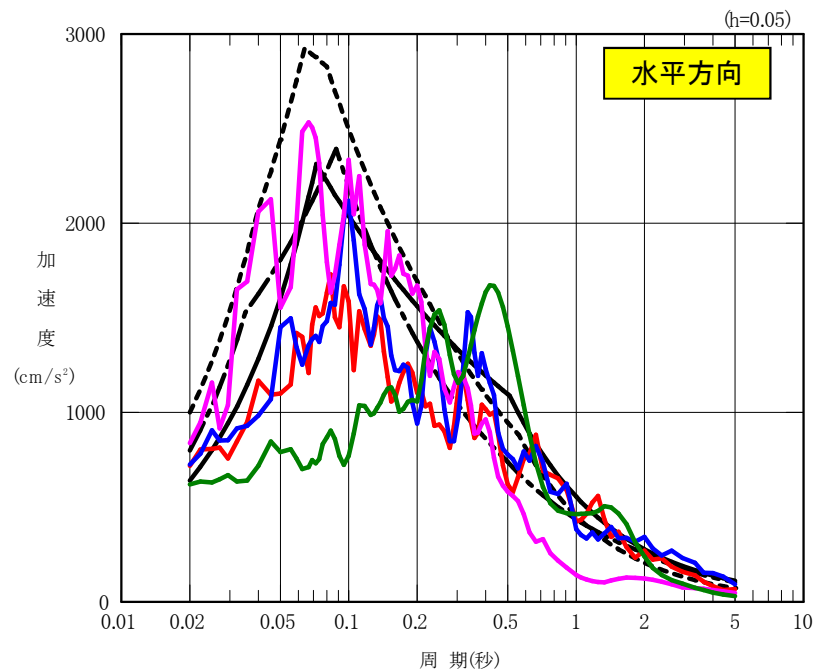
- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動Ss-F3 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)]
- 基準地震動Ss-N1 [2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動]



2. 基準地震動の策定

2.3 基準地震動の策定のまとめ(応答スペクトル)

- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動Ss-F3 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)]
- 基準地震動Ss-N1 [2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動]



(参考)申請時との比較

| 基準地震動 | | 最大加速度(cm/s ²) | | 申請時(H25.12)からの 変更 |
|-------|---|---------------------------|------|-----------------------------|
| | | 水平方向 | 鉛直方向 | |
| Ss-D1 | プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動 | 640 | 430 | 申請時Ss-1から応答スペクトル形状, 継続時間の変更 |
| Ss-D2 | 海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動 | 1000 | 600 | 申請時Ss-2から応答スペクトル形状の変更 |
| Ss-D3 | 海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動 | 800 | 500 | 追加設定 |
| Ss-F1 | プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [応力降下量(短周期レベル)の不確かさ] | 717 | 393 | 追加設定 |
| Ss-F2 | プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳] | 722 | 396 | 追加設定 |
| Ss-F3 | 海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約) | 835 | 443 | 追加設定 |
| Ss-N1 | 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動 | 620 | 320 | 追加設定 |

参考文献

1. 笹谷努, 森川信之, 前田宜浩 (2006) : スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告, No.69
2. 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 Analysis, Oct. 16-18, Istanbul
3. 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, 46-86
4. 内閣府 (2012) : 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高さについて (第一次報告), 南海トラフの巨大地震モデル検討会
5. 司宏俊, 瀬瀬一起, 三宅弘恵 (2016) : プレート境界巨大地震の地震動距離減衰特性 — 伝播特性に着目した検討 —, 日本地震工学会論文集, 第16巻, 第1号 (特集号)
6. 神田克久, 武村雅之, 広谷浄, 石川和也 (2012) : 震度分布に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の短周期地震波発生域, 地震 第2輯, 第65巻
7. 日本電気協会 (2008) : 原子力発電所耐震設計技術指針