

伊方発電所の
地震による揺れ（地震動）の評価について

四国電力株式会社



本日の説明要旨 <原子力発電所の耐震安全性評価とは>

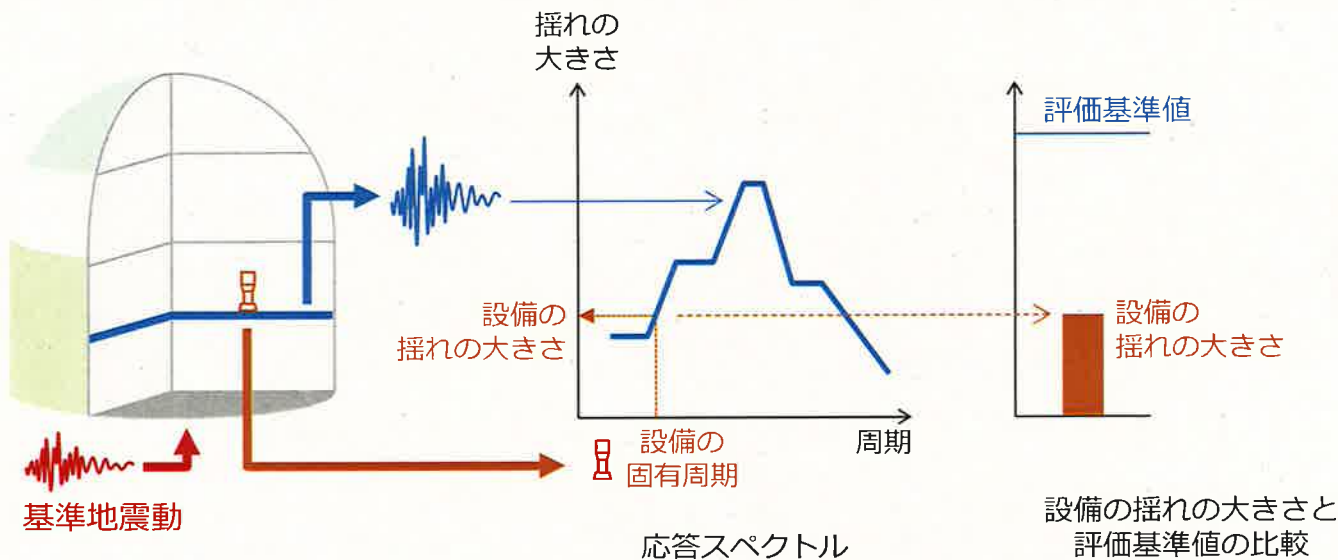
- 1 敷地の地域特性を十分に知り、**保守性を踏まえて基準地震動を策定**



「伊方発電所の地震による揺れ(地震動)の評価」

の資料で説明

- 2 策定した基準地震動に対する原子力発電所の**耐震安全性を保守的に評価**



「伊方発電所の耐震安全性の確保について」

の資料で説明

目次

1. はじめに	3
2. 基準地震動策定における基本スタンス	8
3. 基本スタンス ①十分な調査で地域特性を知る	11
3.1 震源特性の評価	11
3.2 伝播特性の評価	25
3.3 増幅特性の評価	29
3.4 小括	36
4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に	38
4.1 地震による揺れの評価方法	38
4.2 評価に用いる震源モデルの設定	46
4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価	68
5. 基準地震動の策定結果	77
6. まとめ	82

1. はじめに

地震による揺れの大きさはどのように決まるのか？

地震による揺れの大きさは「3つの地域特性」によって決まる



震源特性

(震源の大きさ・マグニチュードなど)

震源が大きいほど、
地震による揺れは大きくなる

伝播特性

(震源からの距離など)

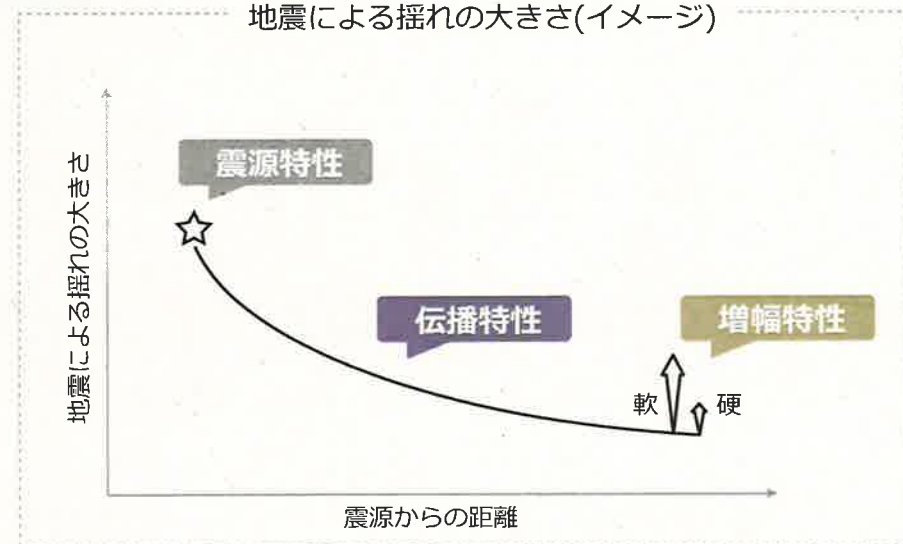
震源からの距離が遠いほど、
地震による揺れは小さくなる

増幅特性

(地盤の硬さなど)

地盤が硬いほど、
地震による揺れは小さくなる

地震による揺れの大きさ(イメージ)

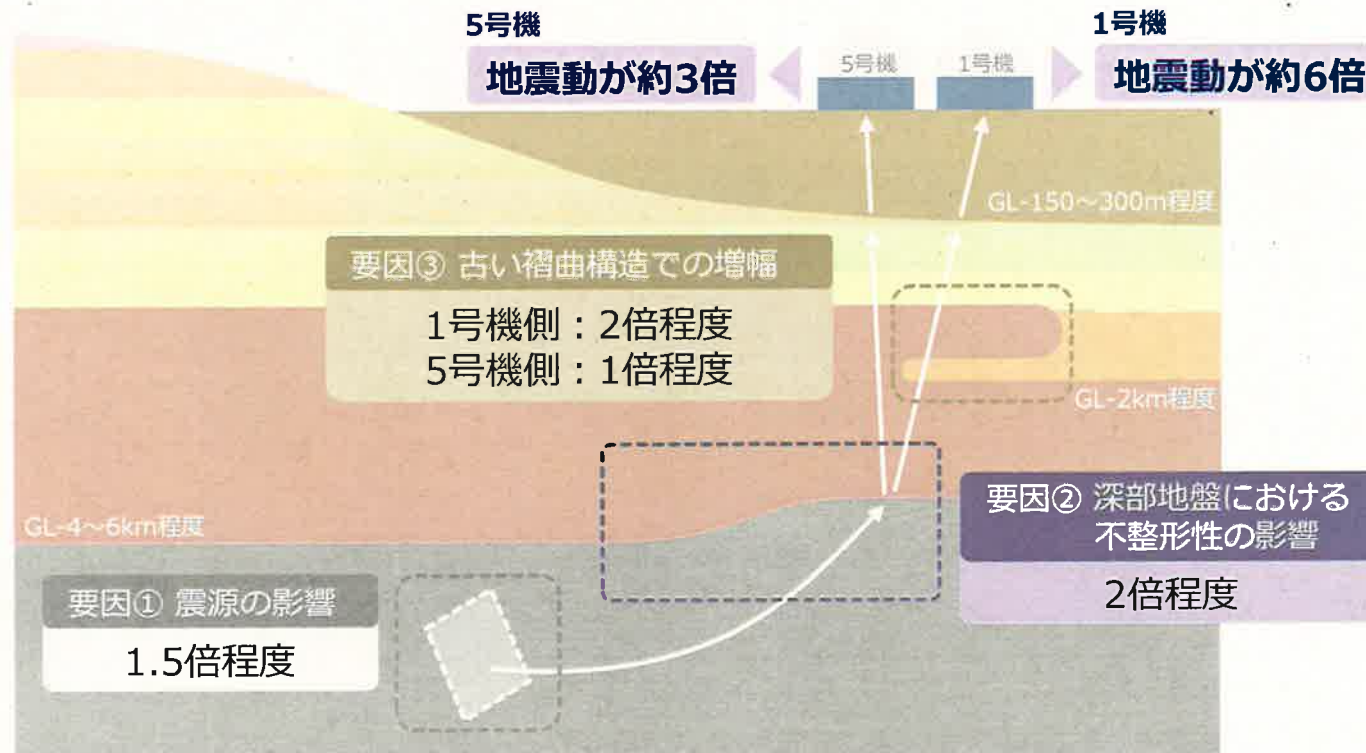


解放基盤表面：基準地震動を策定するために、基盤面上の表層や構造物がないものとして仮想的に想定する自由表面であって、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりを持って想定される基盤の表面をいう。

地震による揺れの大きさはどのように決まるのか？

2007年中越沖地震の例 ～「3つの地域特性」が要因で地震動が増幅～

- 2007年新潟県中越沖地震は、**逆断層型**の内陸地殻内地震である。
- 2007年新潟県中越沖地震の東京電力柏崎刈羽原子力発電所の観測記録による分析から、**震源特性**・**伝播特性**・**増幅特性**の**3つの地域特性を精度よく評価することの重要性**が確認された。

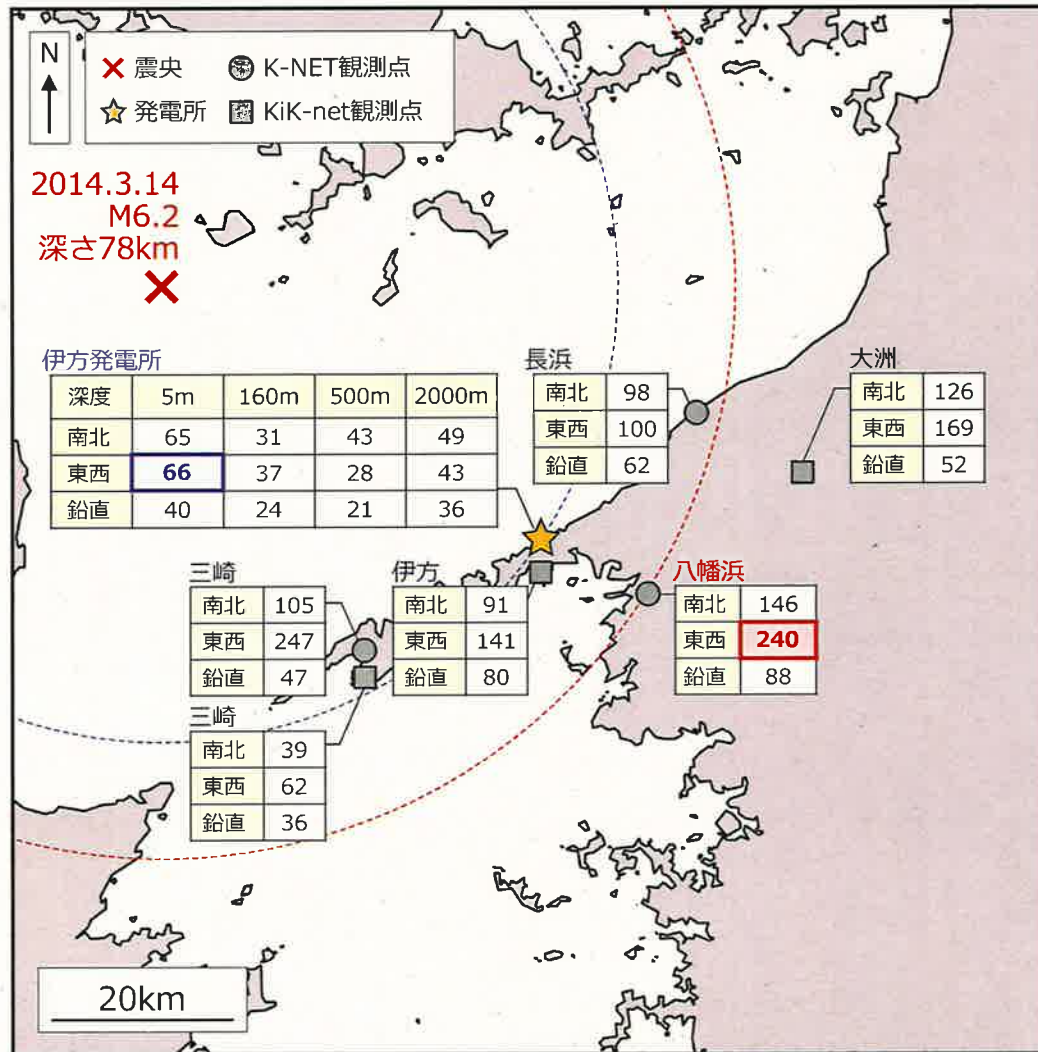


2007年新潟県中越沖地震において柏崎刈羽原子力発電所の地震動が大きくなった要因の概念図

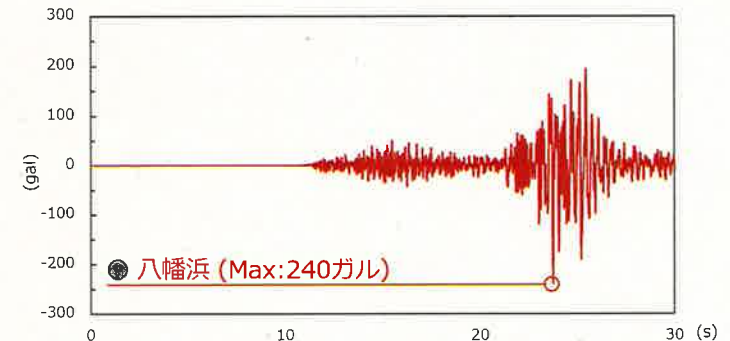
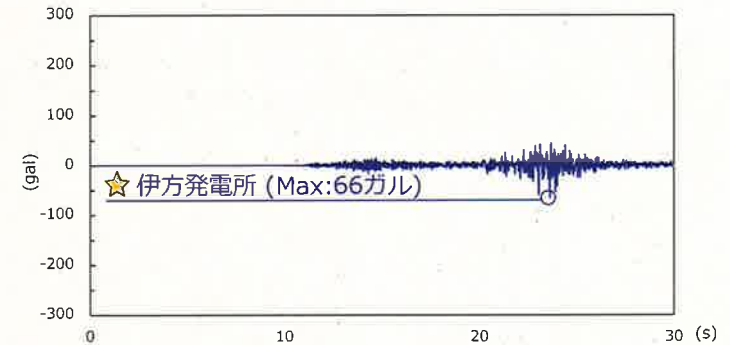
地震による揺れの大きさはどのように決まるのか？

増幅特性が異なるだけでも揺れは全く異なる

■ 2014年3月14日伊予灘の地震における観測記録

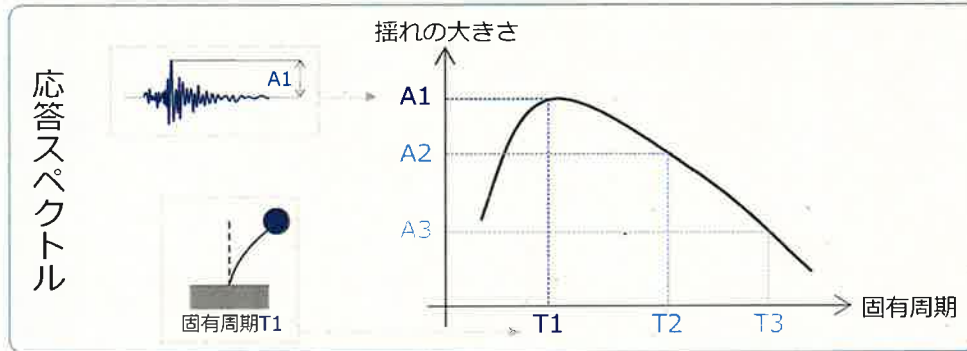


- 地盤の硬い(=揺れにくい)伊方発電所では最大でも**66ガル**。
- 一方、伊方発電所と比べて地盤が軟らかい(=揺れやすい)八幡浜では、伊方発電所よりも震源からの距離が遠い(=揺れが減衰し易い)にもかかわらず、最大**240ガル**を観測している。

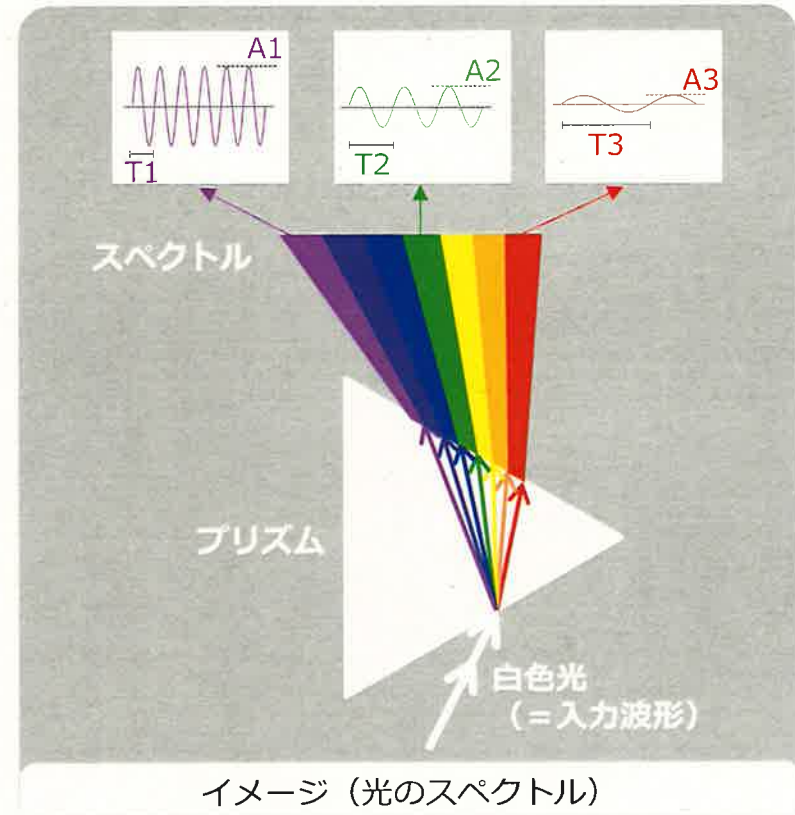
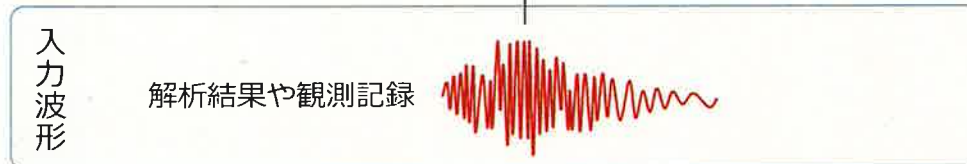
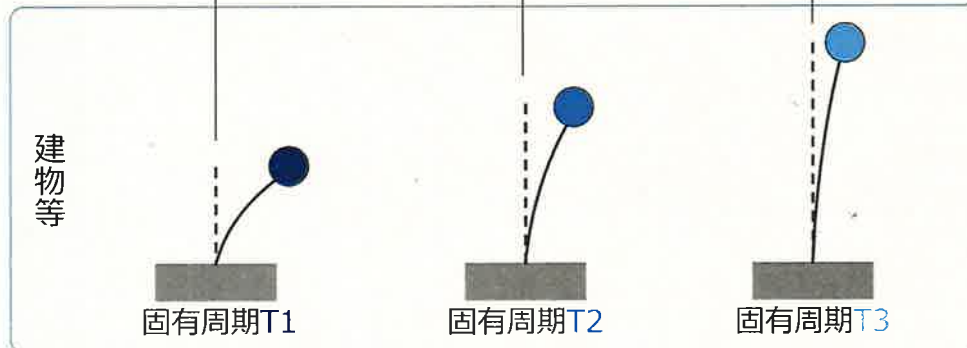
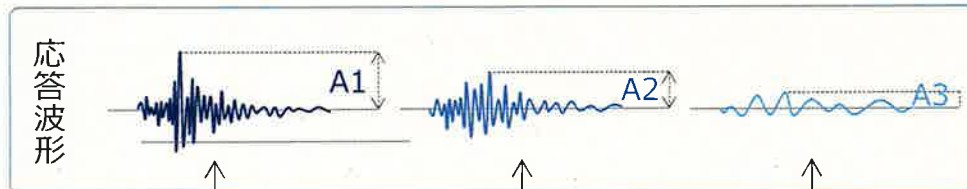


応答スペクトルとは

補足 応答スペクトルとは、**「建物等がどのくらい揺れるかをわかりやすく描いたもの」**



- 地震動には様々な周期の波が含まれる。
- 建物や構造物は特定の揺れやすい周期があり、同じ周期を持つ地震動が到来すると大きく揺れる。
- 「応答スペクトル」とは、様々な周期を有する建物等に対して地震動がどのくらいの揺れを生じさせるかを、横軸に周期、縦軸に最大応答値をとってわかりやすく描いたもので、その地震動によって建物等に生じる揺れの大きさが把握できる。



2. 基準地震動策定における基本スタンス

2. 基準地震動策定における基本スタンス

①十分な調査で地域特性を知る + ②地震動評価を安全側に

○地震による揺れの評価

⇒ 震源特性・伝播特性・増幅特性
3つの地域特性を十分に把握する

基本スタンス①

十分な調査で地域特性を知る



基本スタンス②

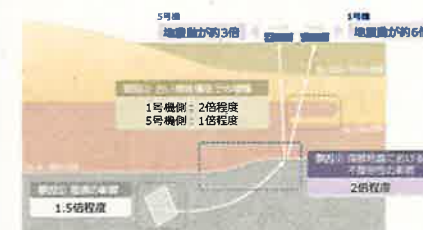
地震動評価を安全側に

○不確かさを考慮した評価

⇒ 敷地における地質調査結果や
過去の地震の知見や教訓を
踏まえた不確かさを考慮



柏崎刈羽原子力発電所の知見



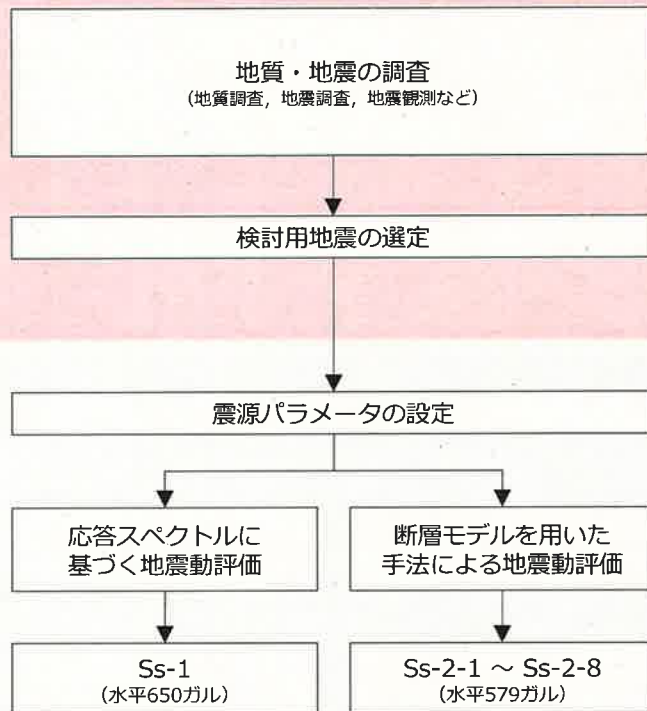
2. 基準地震動策定における基本スタンス

基準地震動策定の流れ

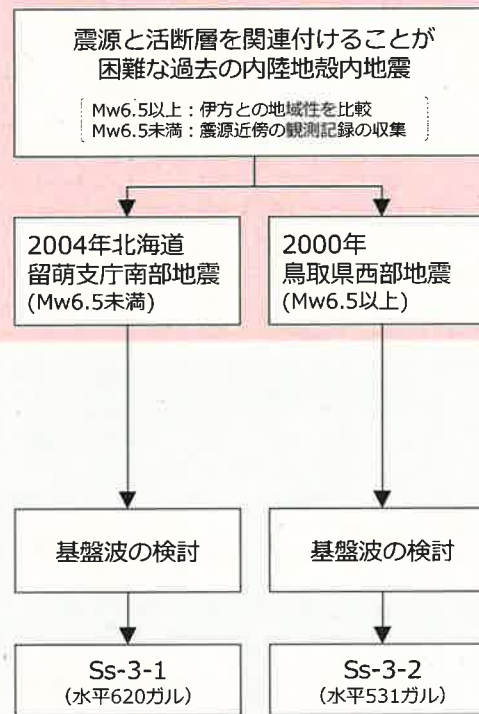
- 基準地震動は、審査ガイドに基づき、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」の2種類の地震動について、以下に示す流れで設定する。
- 本日は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、敷地への影響が最も大きい敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)を代表して説明する。

基本スタンス①

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



十分な調査で
地域特性を知る

地震動評価を
安全側に

基本スタンス②

3. **基本スタンス①** 十分な調査で地域特性を知る

3.1 **震源特性** の評価

3.2 伝播特性の評価

3.3 増幅特性の評価

3.4 小括

3.1 震源特性の評価

活断層とは？

- 規模の大きな地震が発生した際、断層が地表に現れることがあり、これを「**地表地震断層**」という。
- 「**活断層**」とは、「**地表地震断層**」が生じ、地震の繰り返しによってそれらが蓄積し、地形に傷として残されたものである。
- 実際に地震による揺れを発生する断層は**、「**地表地震断層**」や「**活断層**」ではなく、**地下の深い部分にある「震源断層」**であり、この評価が重要である。



(北淡町提供：科学技術庁パンフ「活断層」より)

1995年兵庫県南部地震(M7.3)
(約2mの水平方向のずれ)

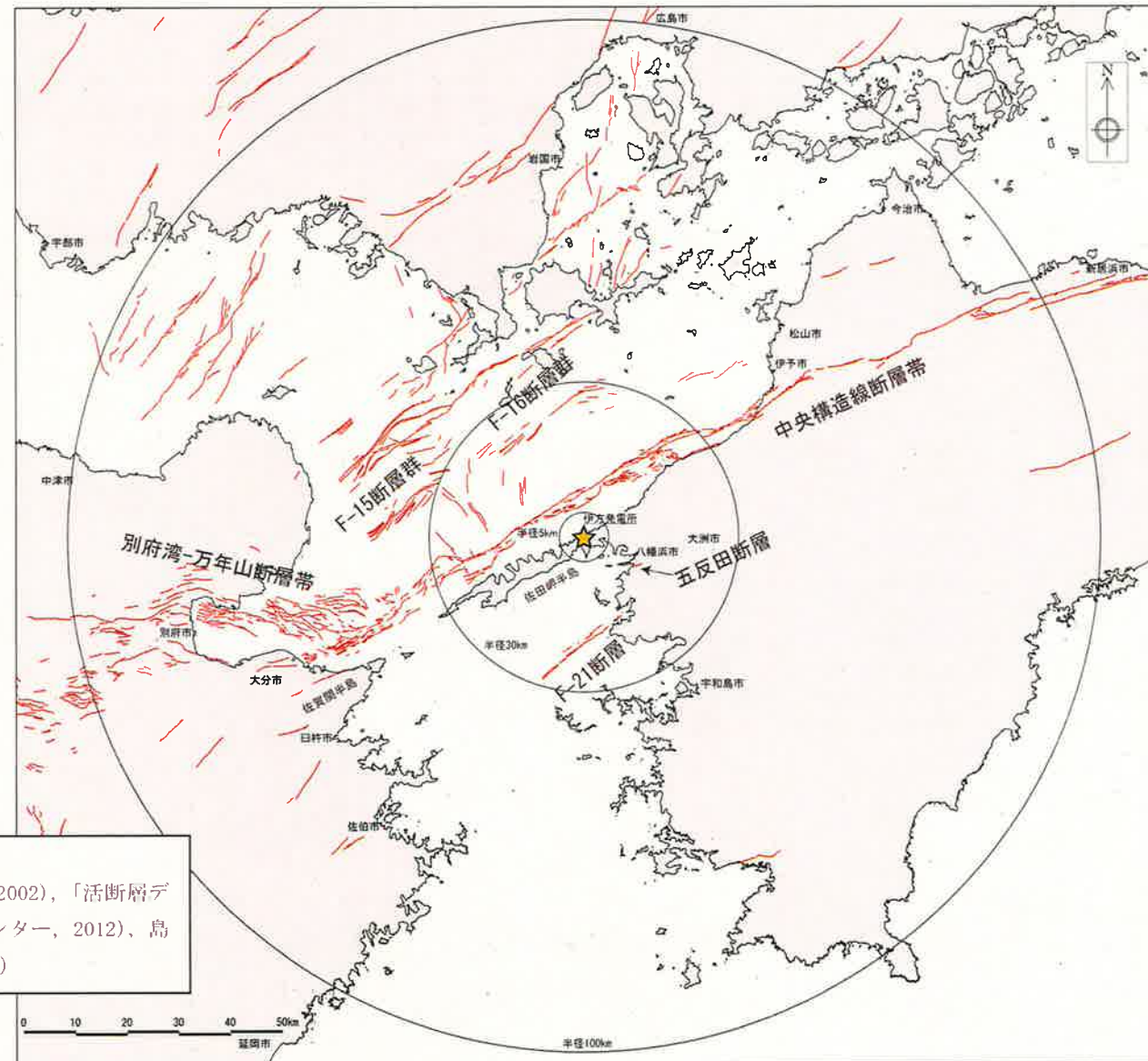


地表地震断層及び活断層と
震源断層のイメージ図

3.1 震源特性の評価

敷地周辺の活断層

- 敷地の沖合約8kmには中央構造線断層帯があり、敷地に及ぼす影響が最も大きいと考えられる。
- 敷地は中央構造線断層帯の南方に位置し、伊方発電所立地地点(半径5km以内)には活断層は存在しない。



※活断層分布は以下の文献に基づいて作成
 「活断層詳細デジタルマップ」(中田・今泉編, 2002), 「活断層データベース」(産業技術総合研究所・地震研究センター, 2012), 島崎ほか(2000), 七山ほか(2002), 田中ほか(2010)

3.1 震源特性の評価

補足 地質境界としての中央構造線 ～活断層としての中央構造線とは異なる～

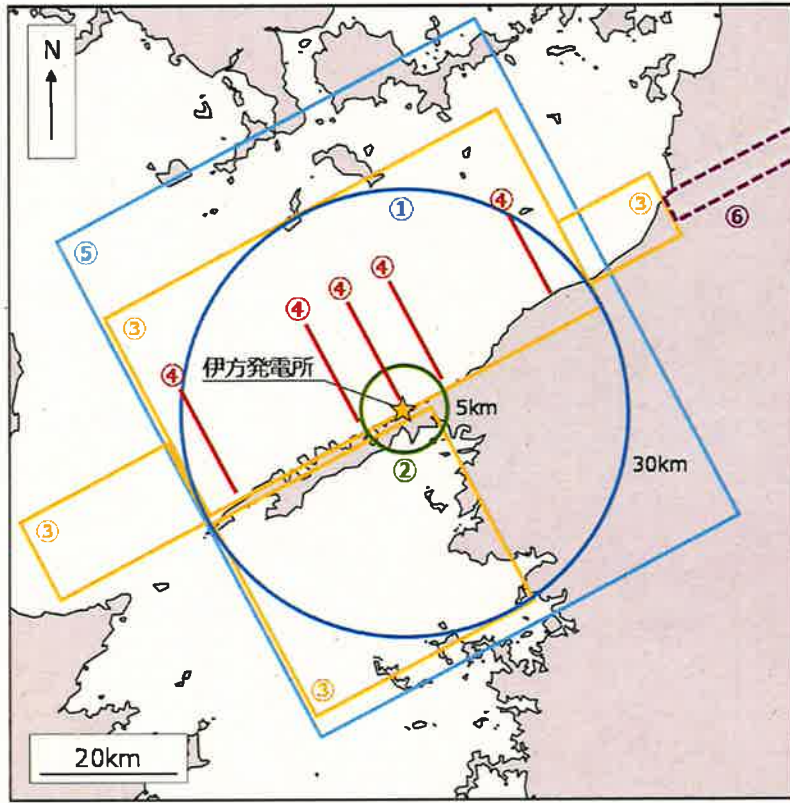


- 中央構造線は、一般的に三波川帯と領家帯の接合面のことをいう。
- 「地質境界としての中央構造線」は、関東地方から九州地方に至る長大な地質構造であり、地震を発生させるものではない。
- 一方、「活断層としての中央構造線」は、近畿地方の金剛山地東縁から伊予灘に達する断層帯で、将来地震を発生させる可能性があるかどうかの観点から、「地質境界としての中央構造線」とは区別して検討する必要がある。



3.1 震源特性の評価

詳細な調査に基づき敷地周辺の活断層を把握



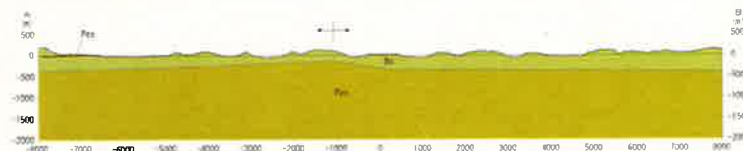
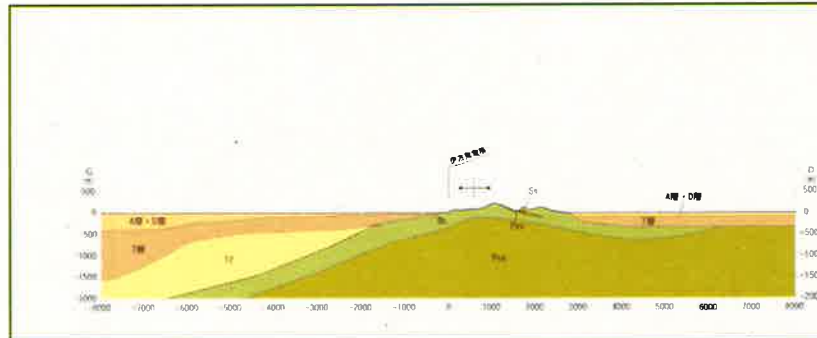
①地形調査

DEMデータの取得, 音響測深, 変動地形に着目した地形判読



②深部ボーリング調査・地表地質調査

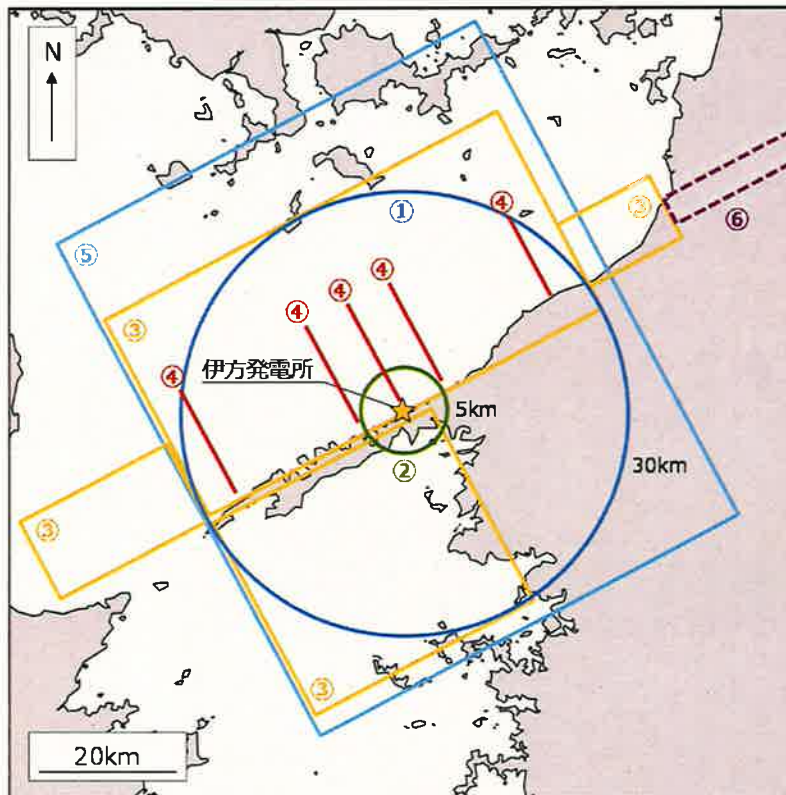
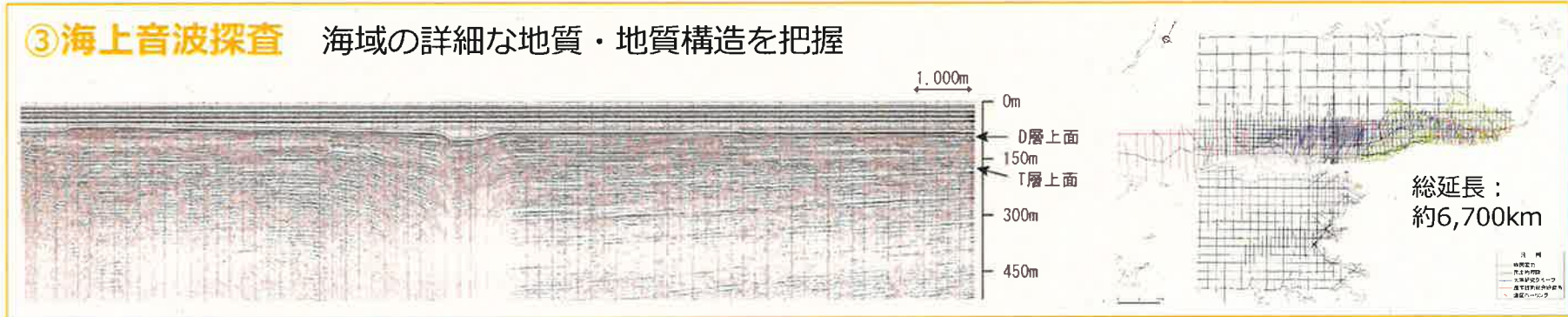
敷地における深さ2000mまでの深部ボーリングと敷地近傍における地表踏査によって詳細な地下構造を把握



3.1 震源特性の評価

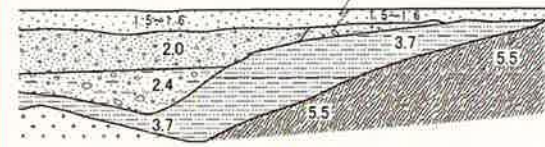
詳細な調査に基づき敷地周辺の活断層を把握

③海上音波探査 海域の詳細な地質・地質構造を把握



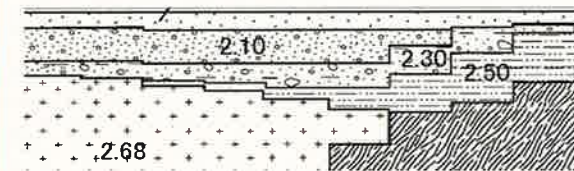
④エアガン海上音波探査, 屈折法探査

地下深部の速度構造を把握



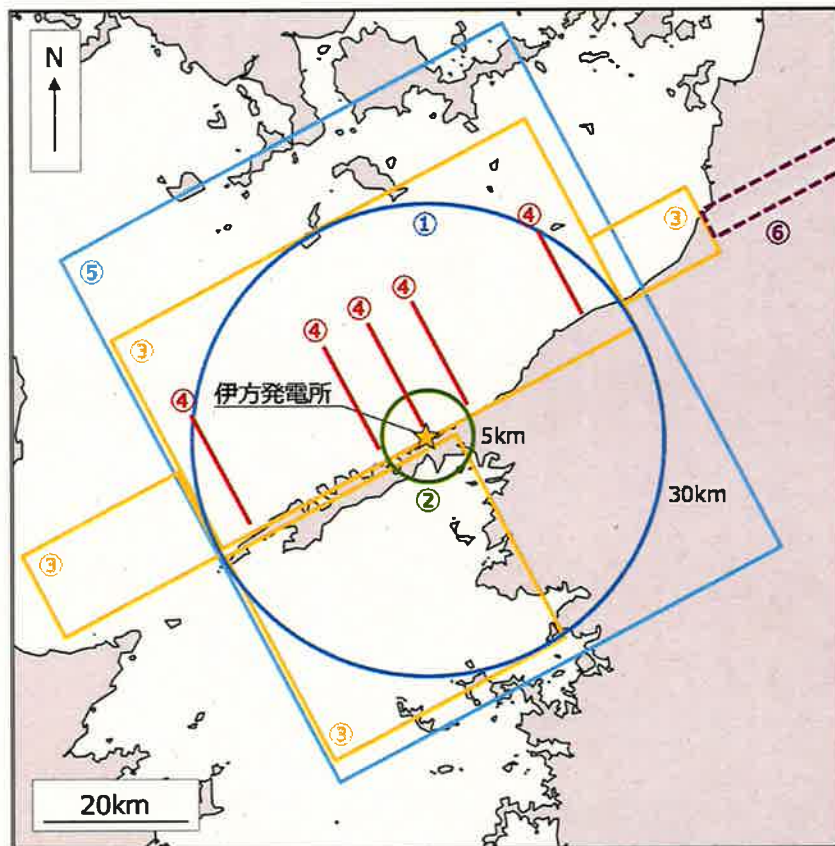
⑤重力測定

地下深部の密度構造を把握



3.1 震源特性の評価

詳細な調査に基づき敷地周辺の活断層を把握

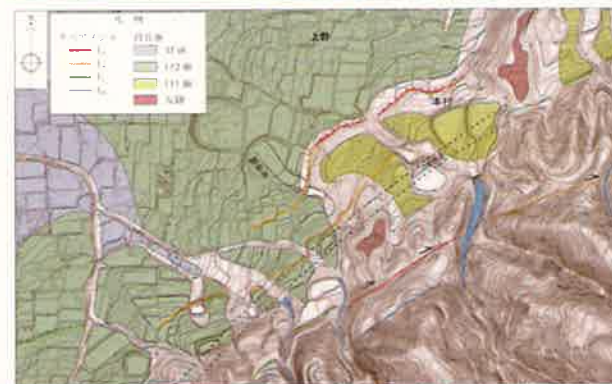


⑥陸域の中央構造線断層帯を対象とする調査

地形調査 (DEMデータの取得, 地形判読)

地表地質調査 (地表踏査, ボーリング調査, トレンチ調査)

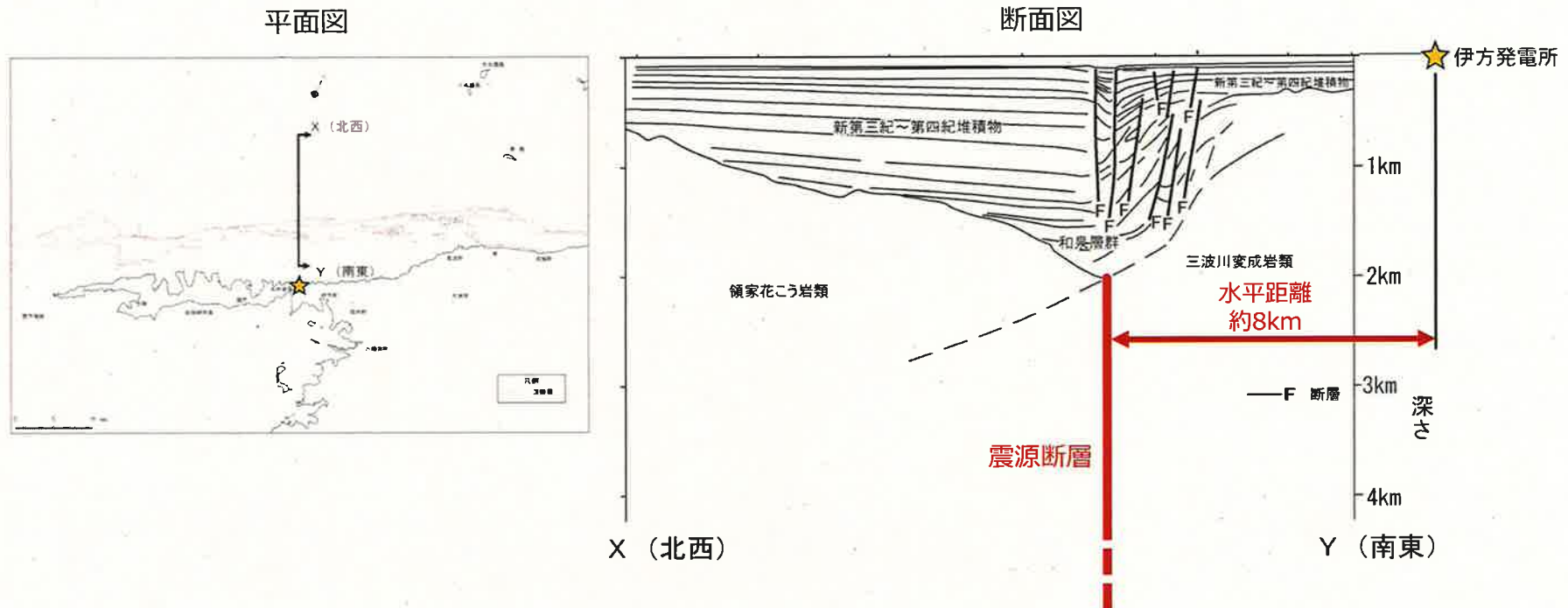
地球物理学的調査 (反射法地震探査, 重力測定, MT探査)



3.1 震源特性の評価

中央構造線断層帯の「震源断層」と敷地との距離

- 敷地の沖合では深さ2kmの付近で三波川変成岩類と領家花こう岩類とが会合している。
- 深さ2kmより浅い場所にある複数の「活断層」は、地下深部でこの会合部へ収斂している。
- この会合部の下に「震源断層」が存在すると推定され、敷地との水平距離は約8kmである。

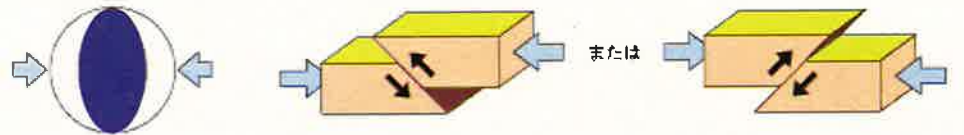


3.1 震源特性の評価

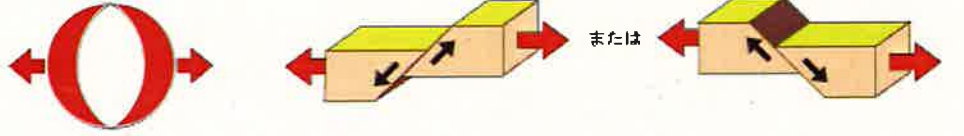
補足 断層型の地域性

- 日本列島を囲む4つのプレートの押合いによって働く力の向きや大きさの違いにより、断層のずれ動き方(断層型)は、**逆断層型**、**正断層型**及び**横ずれ断層型**の**3つの型**に分けられる。(左下図)
- 近年、日本列島で発生した内陸地殻内地震の発震機構解を見ると、概ね**東北日本は逆断層型**、**西南日本は横ずれ断層型**である。(右下図)

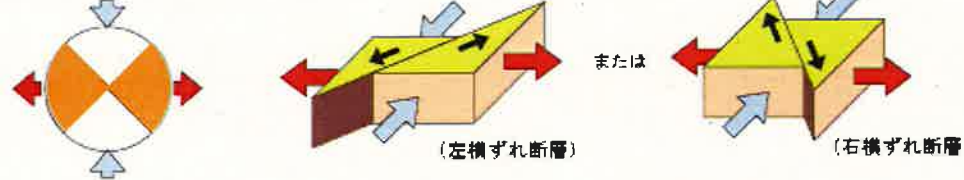
逆断層型



正断層型

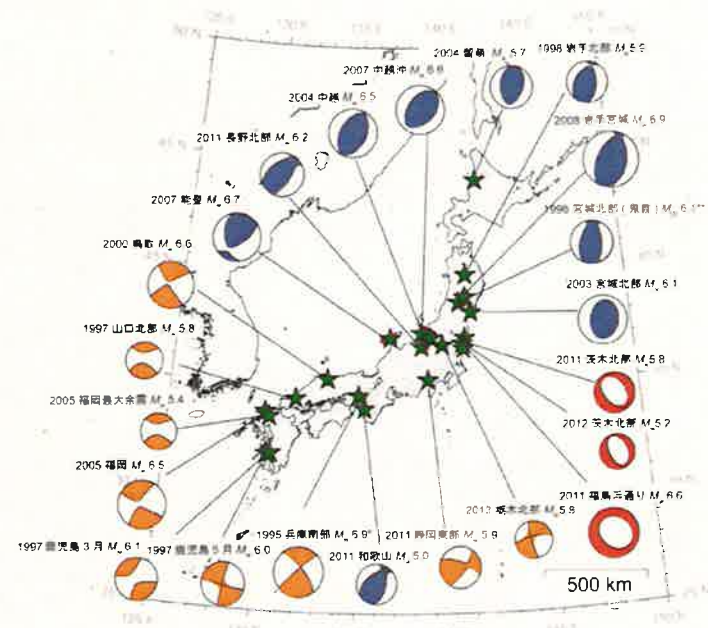


横ずれ断層型



圧力 (押す力)
 張力 (引く力)
 断層がずれる方向

逆断層型・正断層型・横ずれ断層型の発震機構解



赤色：正断層、黄色：横ずれ断層、青色：逆断層

近年発生した内陸地殻内地震

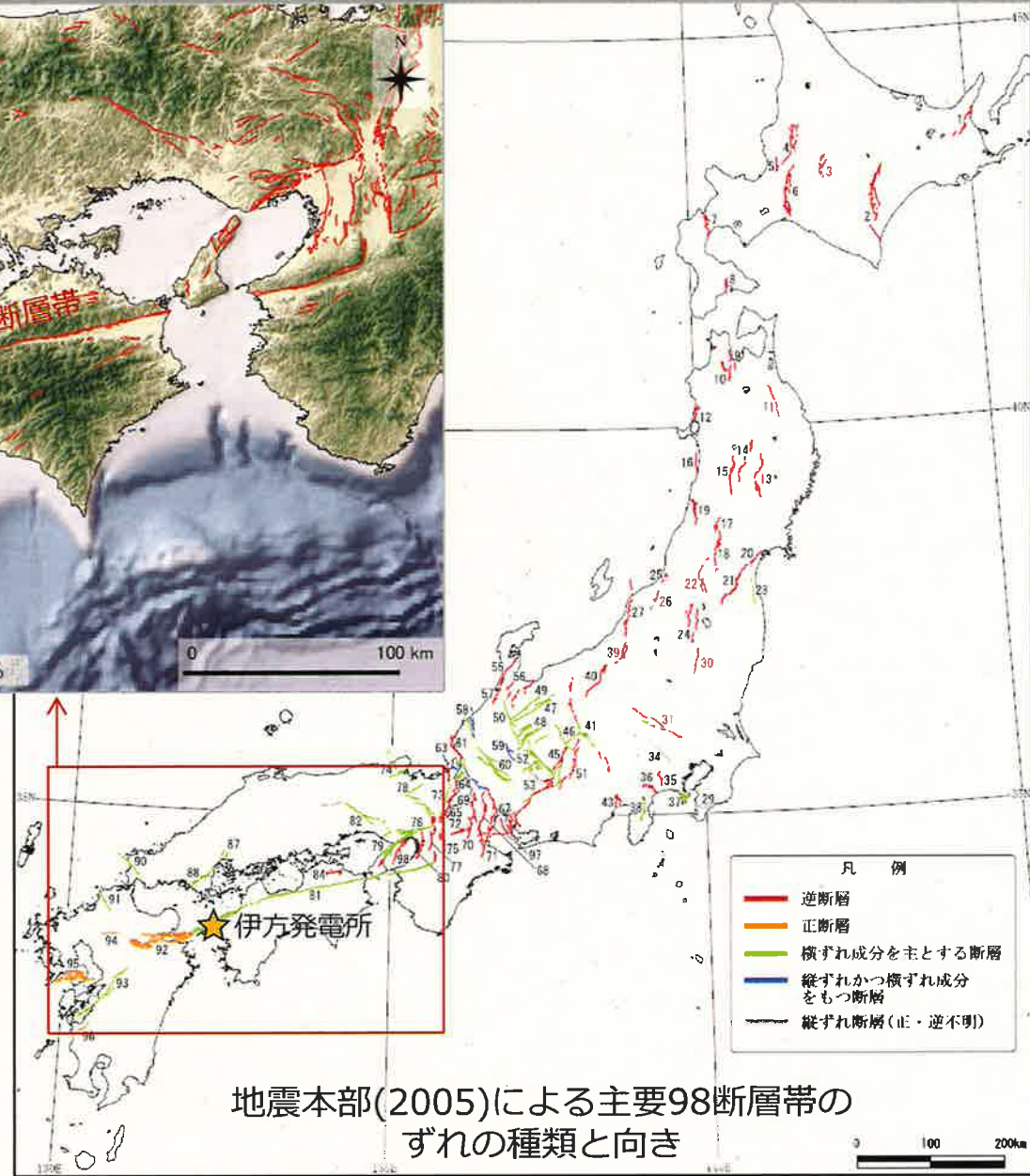
3.1 震源特性の評価

敷地周辺の断層型は「横ずれ断層型」



- 西南日本には横ずれ断層が多く、九州には一部正断層が存在する。
- 敷地は**横ずれ断層の存在する地域**に位置する。

- ・地震調査研究推進本部, 2005, 「基盤的調査観測対象活断層の評価手法」報告書について.
- ・中田 高・今泉俊文編, 2002, 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会.
- ・四国電力株式会社, 2015, 伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉).

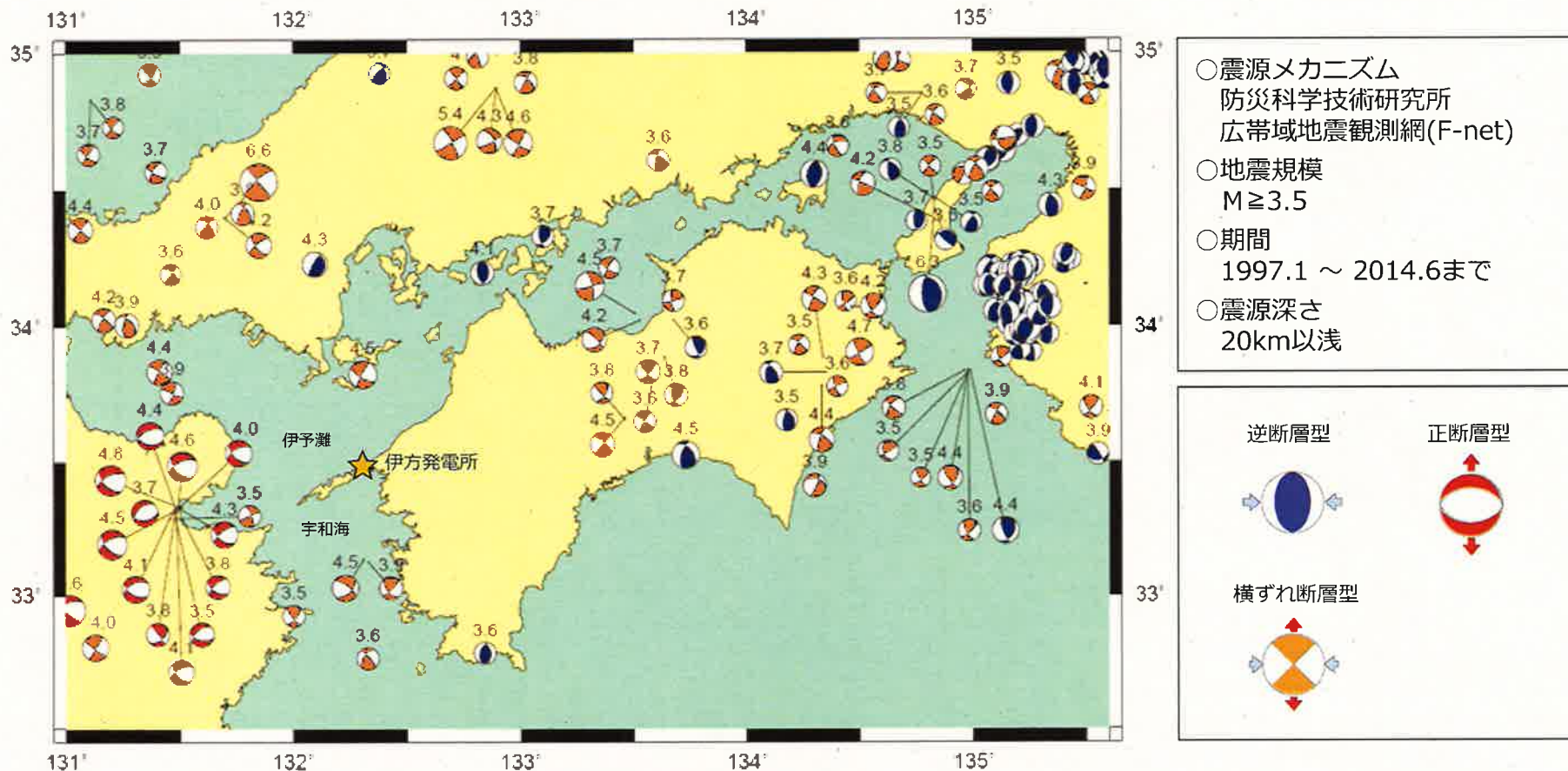


地震本部(2005)による主要98断層帯のずれの種類と向き

3.1 震源特性の評価

敷地周辺の断層型は「横ずれ断層型」

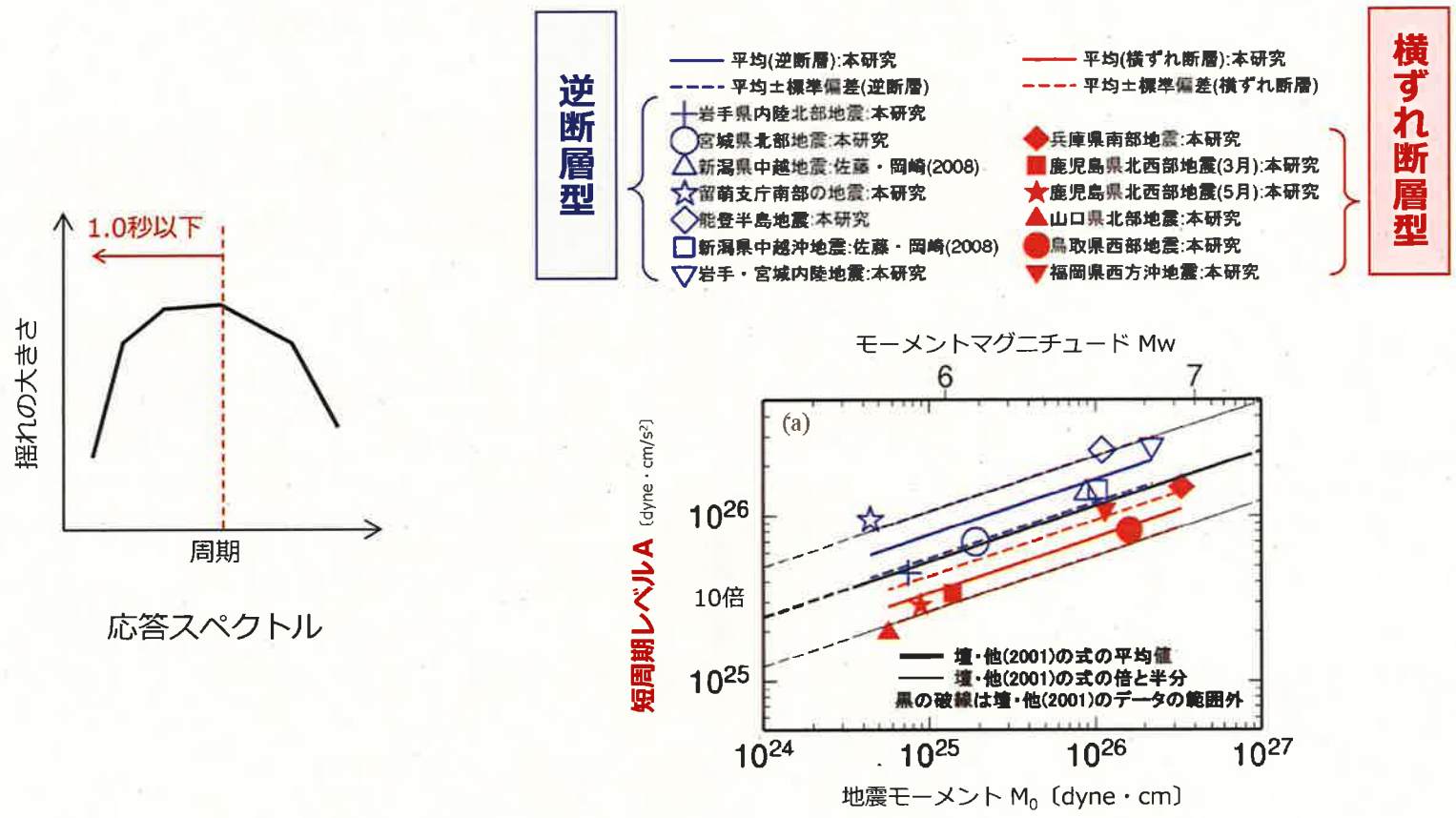
- 四国中東部及び中国地方における内陸地殻内地震には横ずれ断層型の発震機構解が多い。
- 敷地周辺では内陸地殻内地震が少ないものの、伊予灘北方や宇和海南方の発震機構解は横ずれ断層型である。
- 一方、大分県北部における内陸地殻内地震の発震機構解はほとんどが正断層型である。
伊方の敷地周辺は、横ずれ断層型で、正断層型への遷移域に位置する。



3.1 震源特性の評価

「横ずれ断層型」は「逆断層型」と比べると短周期の揺れが小さい

- 断層型による揺れの大きさの違いを**短周期レベル**で見ると、**横ずれ断層型**は、**逆断層型**の地震による揺れに比べて有意に小さい。
- 短周期レベル**とは、震源特性として、**短周期領域(原子力発電所建物の固有周期に相当する1.0秒以下)**での地震による揺れの大きさを表す指標。

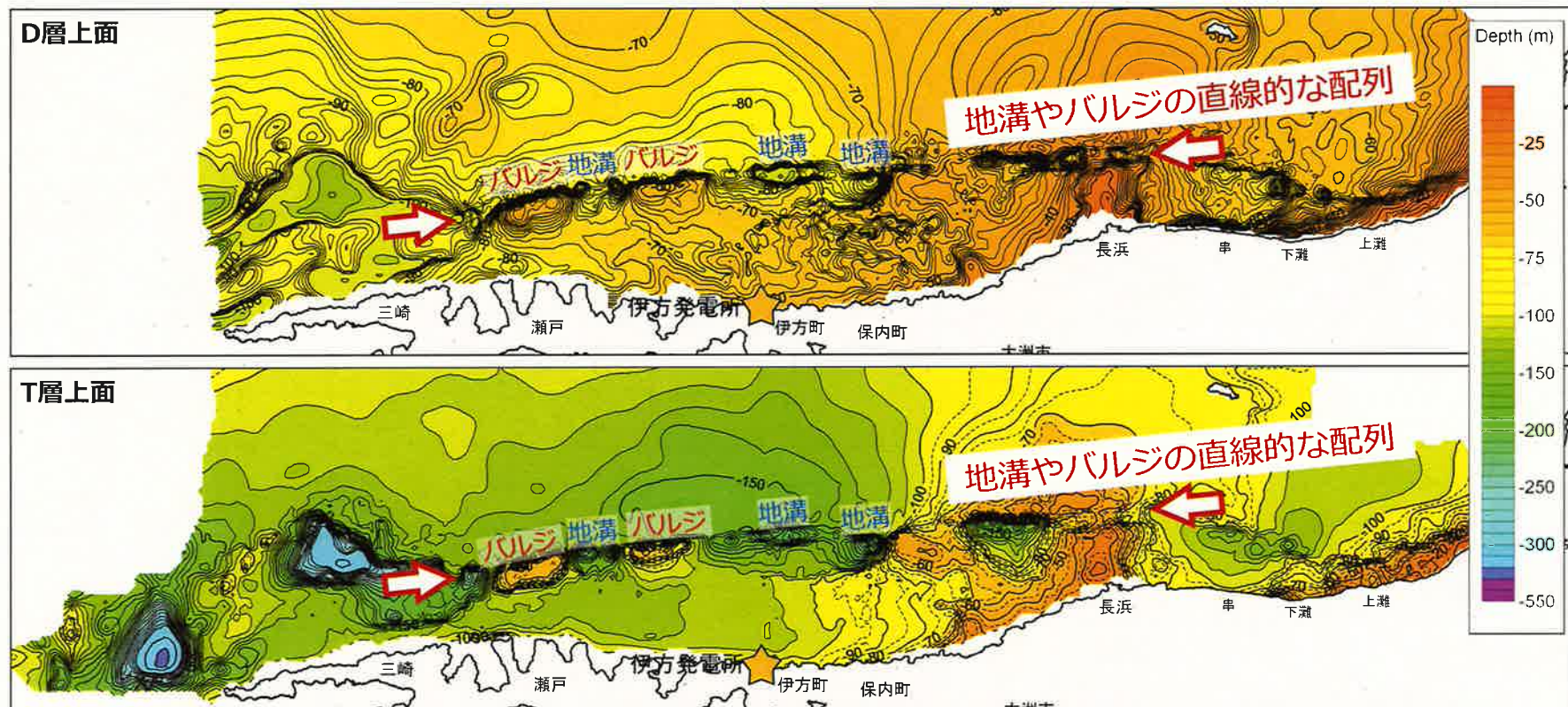


佐藤(2010)による知見

3.1 震源特性の評価

中央構造線断層帯の断層型と傾斜角

- 敷地前面海域の断層群の分布域は地溝やバルジが配列していることから、**横ずれ断層**。
- 更に、それらが非常に直線的な配列を示すことから、少なくとも**地下浅部における活断層はほぼ鉛直**。
震源断層もほぼ鉛直。

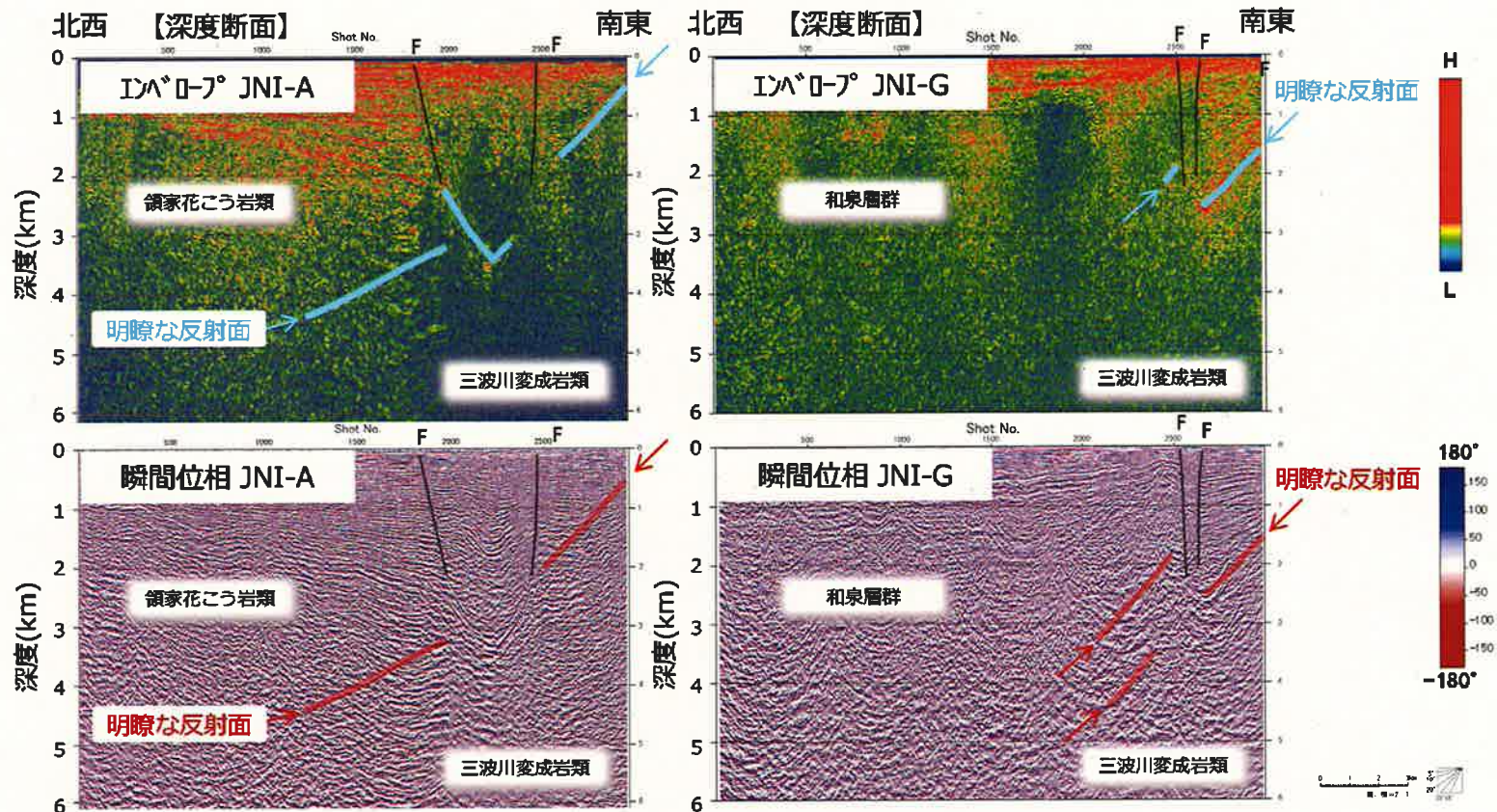


YONDEN D層：更新統，D層上面は沖積層基底面と対応する
T層：上部鮮新統～下部更新統
地溝：断層にはさまれて生じた，細長くくぼんだ土地。
バルジ：活断層によって地表に生じた凸型のふくらみ

3.1 震源特性の評価

中央構造線断層帯の傾斜角

- 地下浅部で幅を持って雁行配列する活断層はいずれも堆積層内で高角度である。
- 地質境界断層は北傾斜であることが示唆されるものの、アトリビュート解析結果によると、堆積層中にみられる高角度の活断層の下方で、北傾斜する地質境界断層が高角度の断層によって変位を受けている可能性を示唆する結果が得られた。



アトリビュート解析：地震探査データからアトリビュート(地震波形の振幅、卓越周波数など地震波形に対して何らかの数学的な変換を適用して得られる数値)を用いて地中の物性などを推定する解析のことをいう。用いるアトリビュートには、エンベロープ(波形の包絡線で位相情報(位相とは周期的に繰り返される現象の時間情報のこと)を含まない振幅。反射強度の強い面が強調される。)、瞬間位相(振幅情報を含まない位相。振幅の小さい反射面の連続性の追跡に有効とされる。)などがある。

3. **基本スタンス①** 十分な調査で地域特性を知る

3.1 震源特性の評価

3.2 **伝播特性** の評価

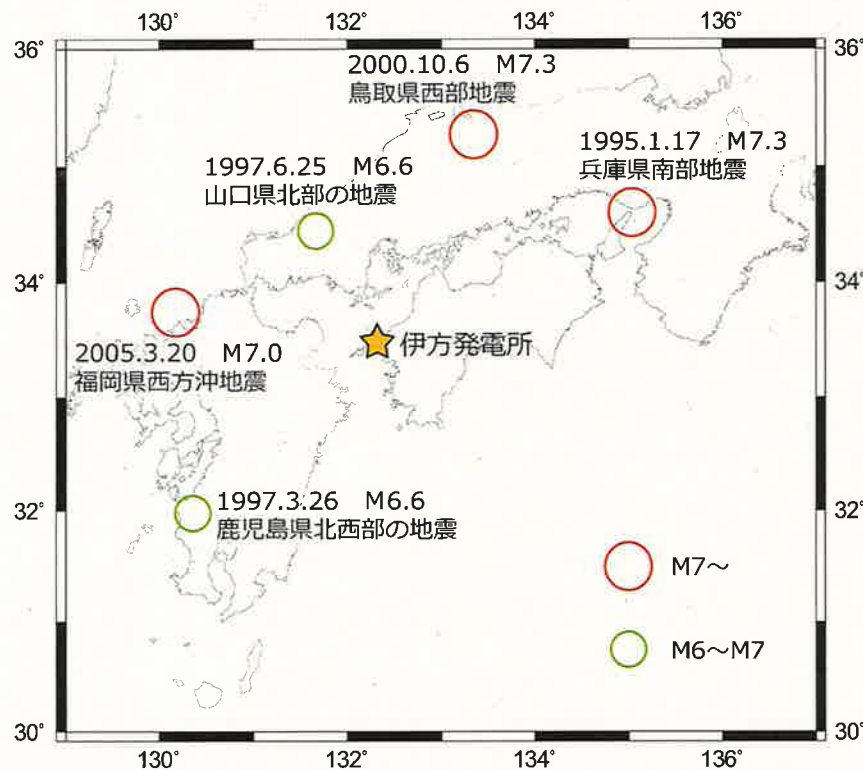
3.3 増幅特性の評価

3.4 小括

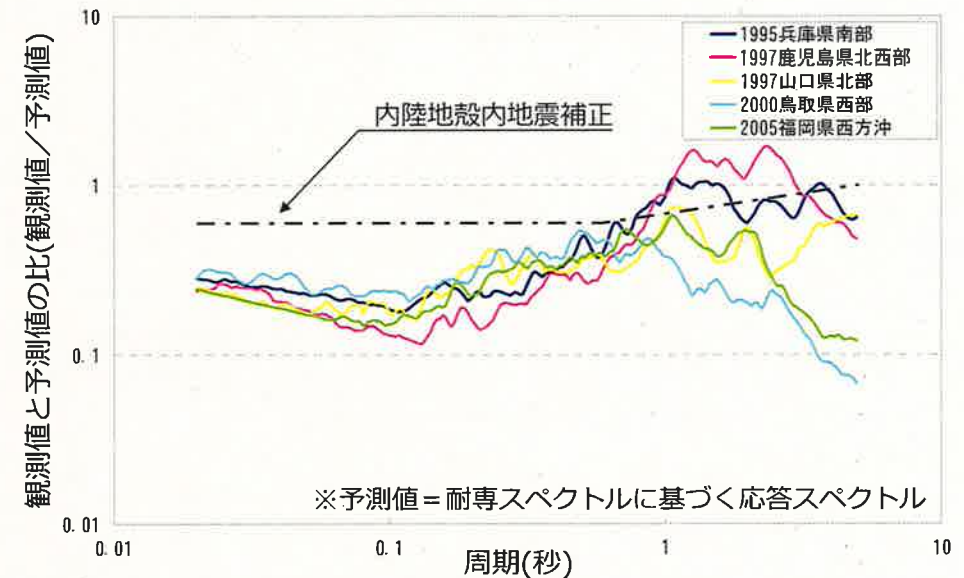
3.2 伝播特性の評価

敷地での観測記録を用いた分析 ～到来方向による差異の確認

- 伊方発電所で観測した比較的規模の大きい内陸地殻内地震を用いて、『観測記録の応答スペクトル』と『耐専スペクトルにより推定した応答スペクトル』との比に基づき、地震波の到来方向による特異性の検討を行った。
- どの地震においても、観測記録の最大振幅が小さい(1~3ガル程度)ことや、敷地の岩盤が耐専スペクトルの想定する地盤よりも硬いことから、短周期側では観測値が予測値よりも小さい傾向を示している。
- 最大加速度が小さい記録を用いた検討結果ではあるが、地震動の増幅は到来方向による差異が小さく、**伝播特性が異なる傾向は見られない。**



検討対象地震



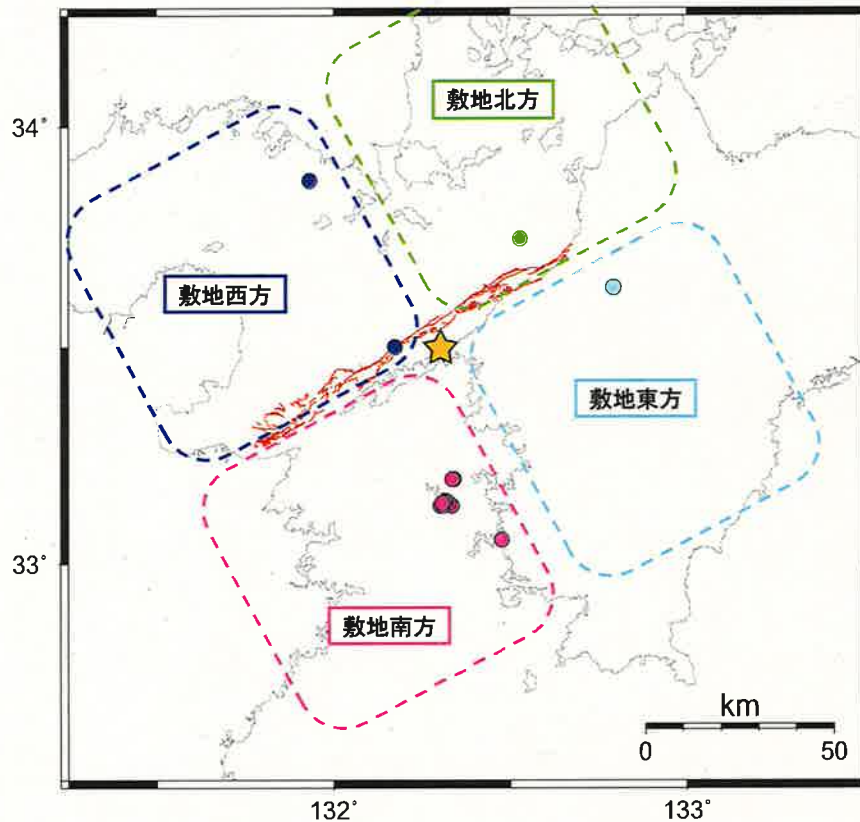
※予測値 = 耐専スペクトルに基づく応答スペクトル

観測記録と耐専スペクトルによる予測値の比較
(南北・東西平均)

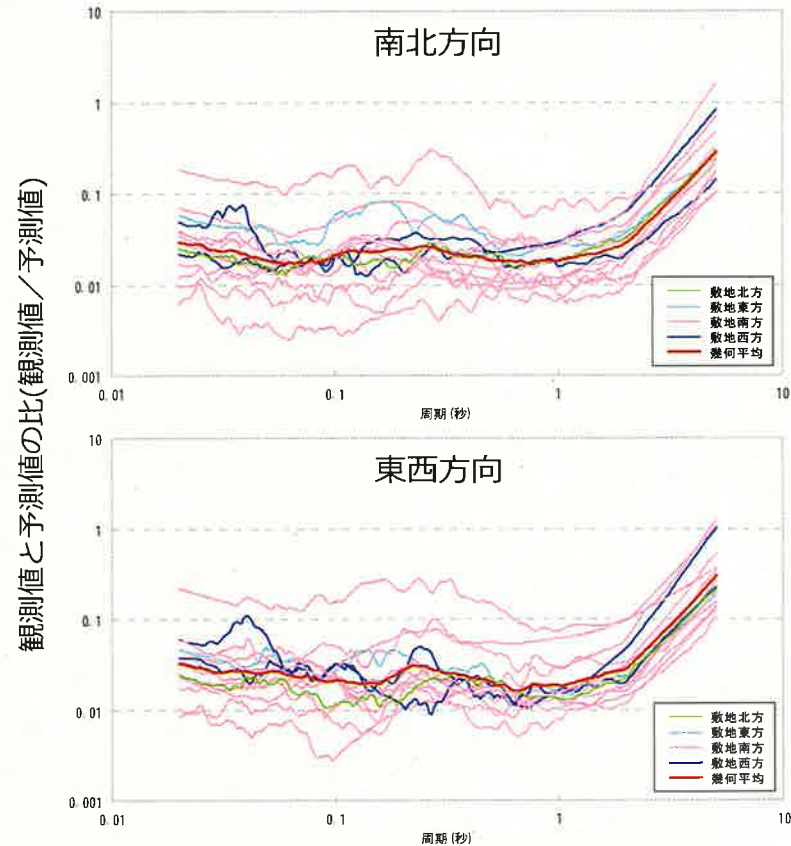
3.2 伝播特性の評価

敷地での観測記録を用いた分析 ～到来方向による差異の確認

- 微小地震計で観測した地震記録を用いて、『観測記録の応答スペクトル』と『耐専スペクトルにより推定した応答スペクトル』との比に基づき、地震波の到来方向による特異性の検討を行った。
- 観測された地震の発生地域を、中央構造線断層帯の分布方向及びその直交方向を軸として、敷地の北方・東方・南方・西方の4方向に区分けして検討したところ、地震動の増幅は到来方向による差異が小さく、伝播特性が異なる傾向は見られない。



到来方向による差異の検討に用いた地震

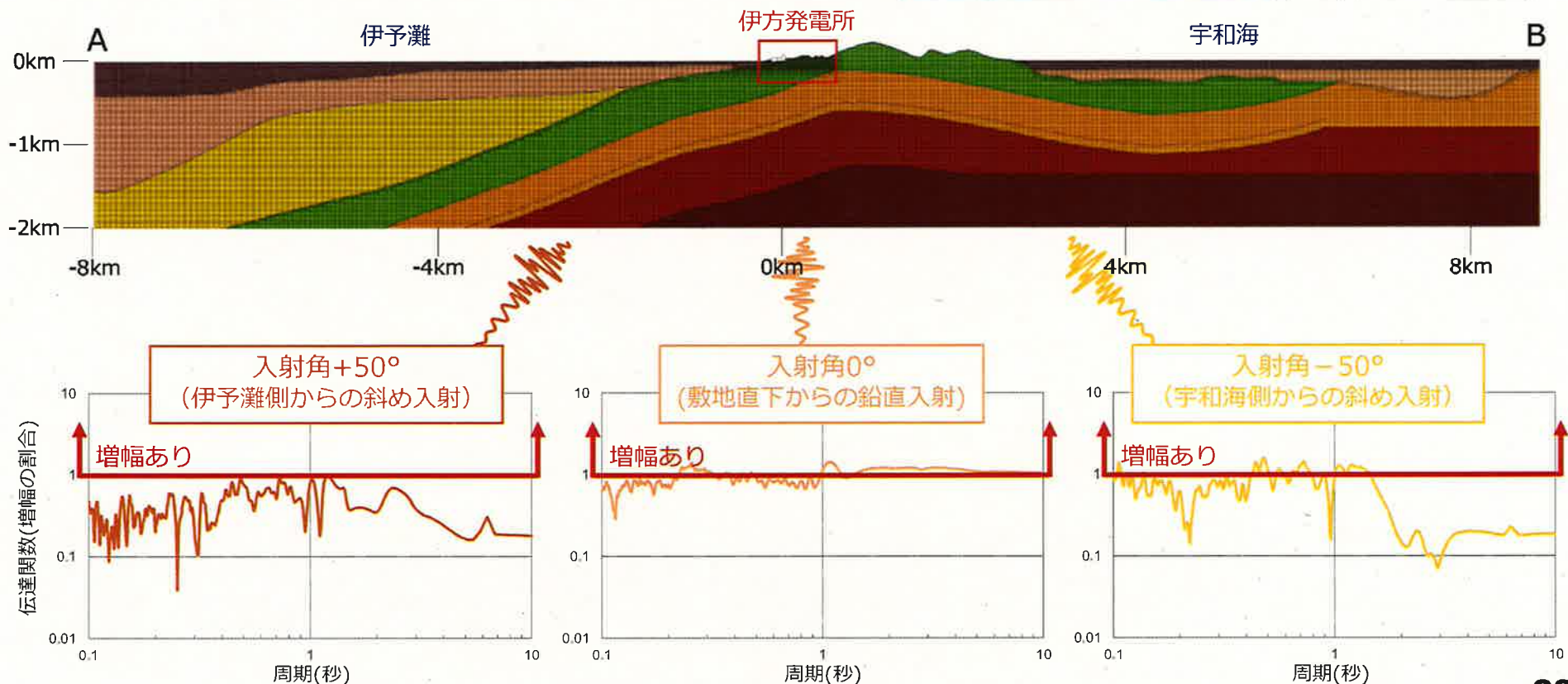
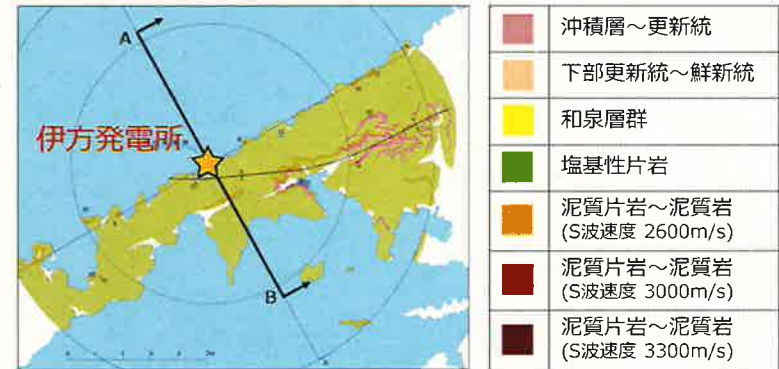


到来方向による差異の検討

3.2 伝播特性の評価

2次元地盤モデルを用いた解析的な分析 ～到来方向による差異の確認

- 敷地周辺の地下深部2kmまでの地下構造をモデル化し、敷地直下(入射角 0°)、伊予灘側(入射角 $+50^\circ$)、宇和海側(入射角 -50°)の各々からの到来方向(入射角)について地震波の到来方向による特異性の検討を行った。
- 敷地での増幅(伝達関数)はいずれも1程度かそれ以下で顕著な増幅は見られず、到来方向によって伝播特性が異なる傾向がないことを解析的にも確認した。



3. **基本スタンス①** 十分な調査で地域特性を知る

3.1 震源特性の評価

3.2 伝播特性の評価

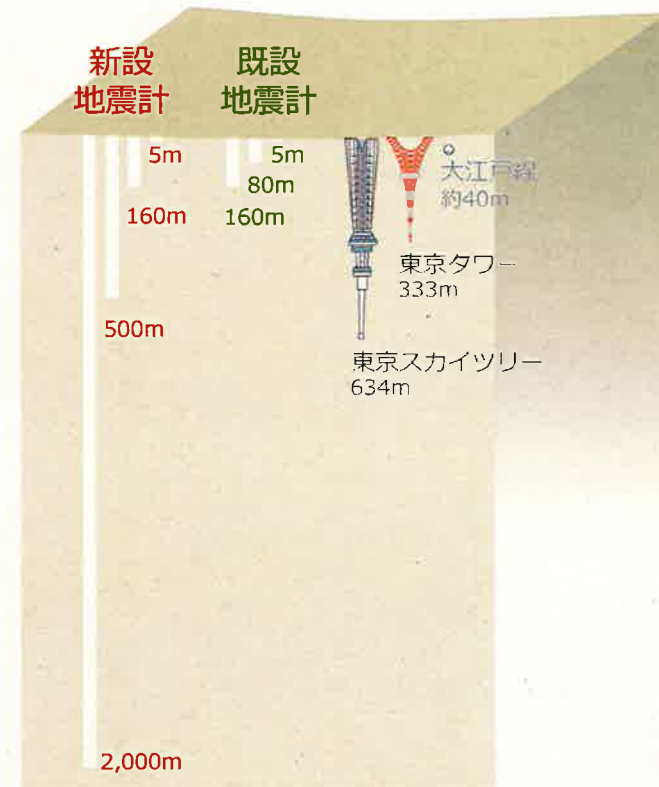
3.3 **増幅特性** の評価

3.4 小括

3.3 増幅特性の評価

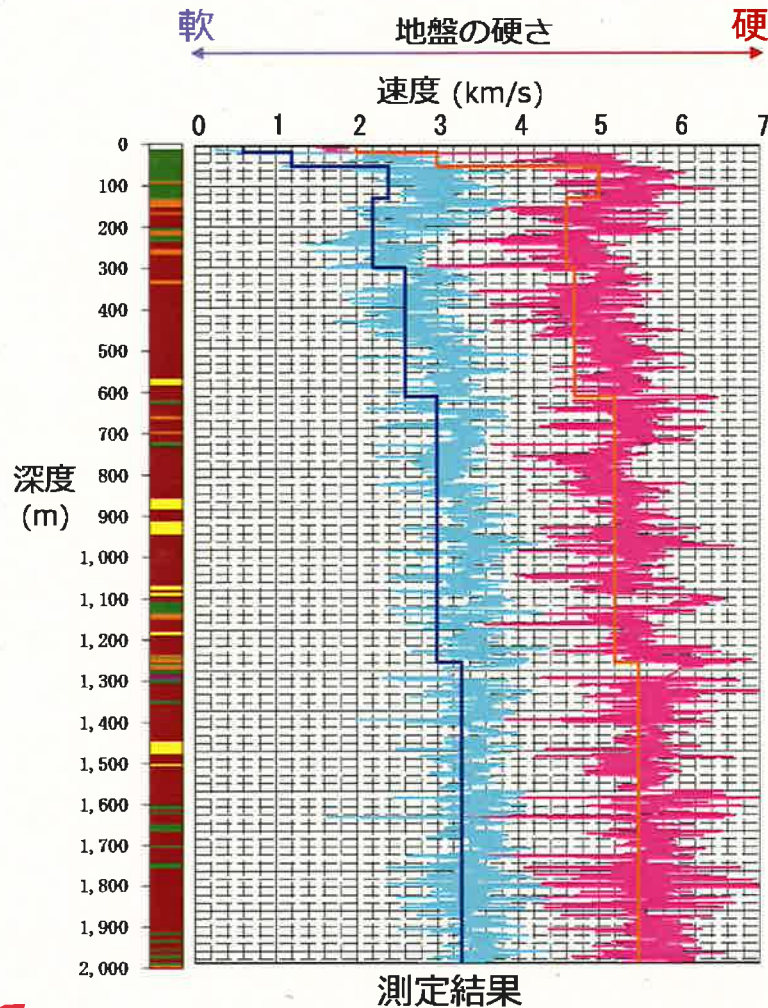
深部ボーリングの実施

- 敷地地盤に起因する地震動の増幅について検証するため、深部ボーリングにより**深度2,000mまでの地盤物性を測定**した（あわせて、深井戸で地震観測を実施している）。

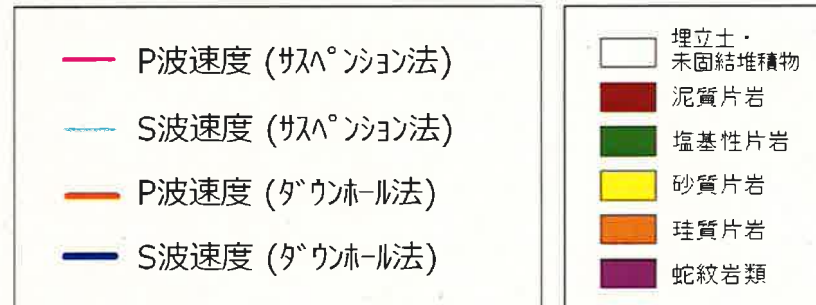


3.3 増幅特性の評価

敷地の速度構造の分析



- 地下浅部から地下深部まで非常に速い速度 (S波速度: $V_s=2.2\sim 3.3\text{km/s}$)を示している。
- 速度は深度方向に漸増するものの、地震動増幅の要因となる極端な速度構造の変化は見られない。



P波速度, S波速度: 地盤及び岩盤中では、縦波(波の進行方向と振動方向が同じ波)及び横波(波の進行方向と振動方向が直角をなす波)との2種類の弾性波が伝わる。地震学では、縦波をP波、横波をS波と呼び、P波、S波の伝播する速度をそれぞれP波速度、S波速度と呼ぶ。一般に、S波速度が概ね700m/秒以上であれば硬い岩盤であるとされている。

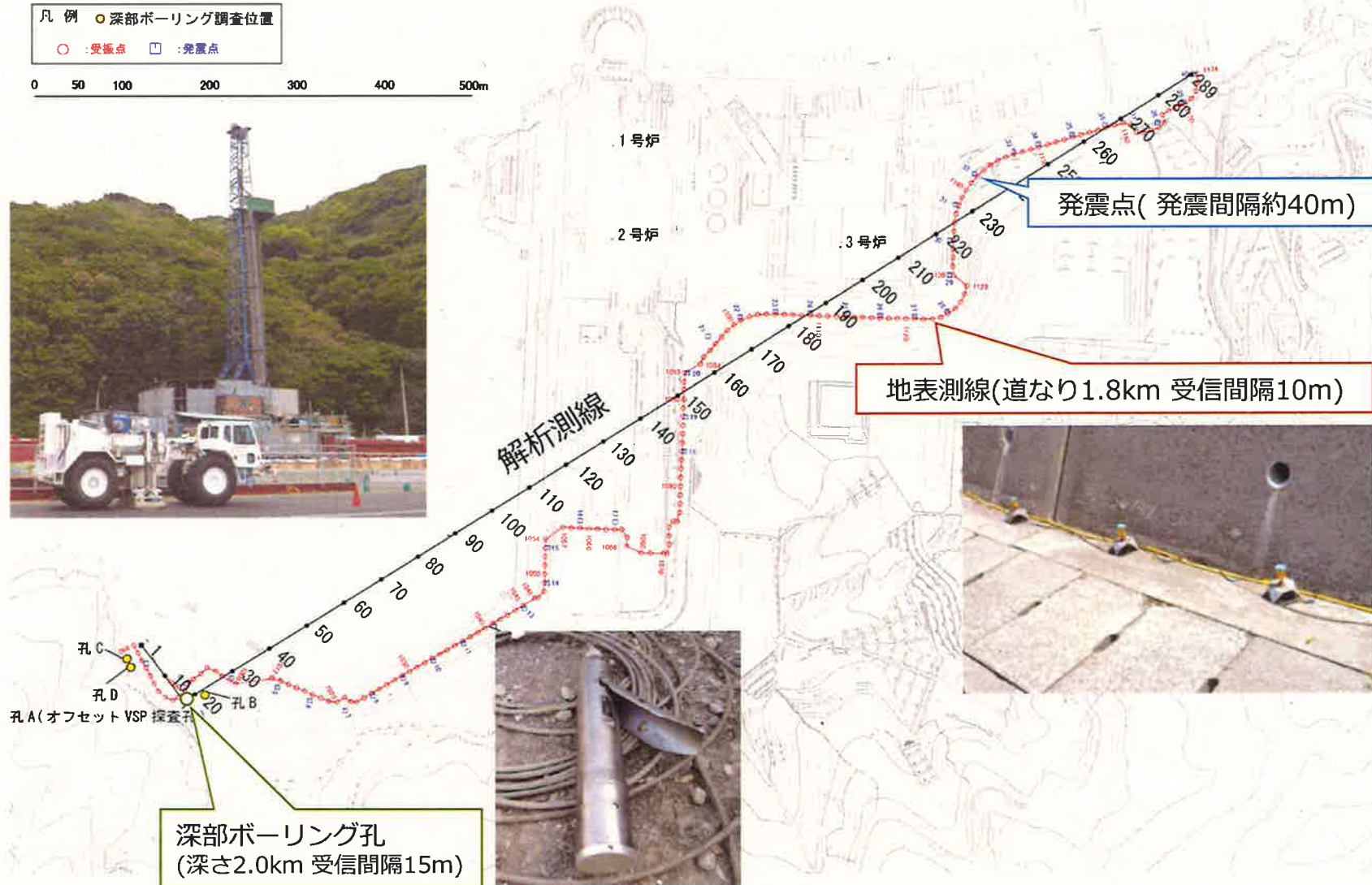
サスペンション法: 地表で発信した地震波をボーリング孔内で受信し、地下のP波速度、S波速度等を得る手法。

ダウンホール法: 発信器と受信器が組み込まれた測定器を用い、孔内で発振及び受振を行い、孔内のP波速度、S波速度を得る方法。

3.3 増幅特性の評価

敷地の地下構造評価

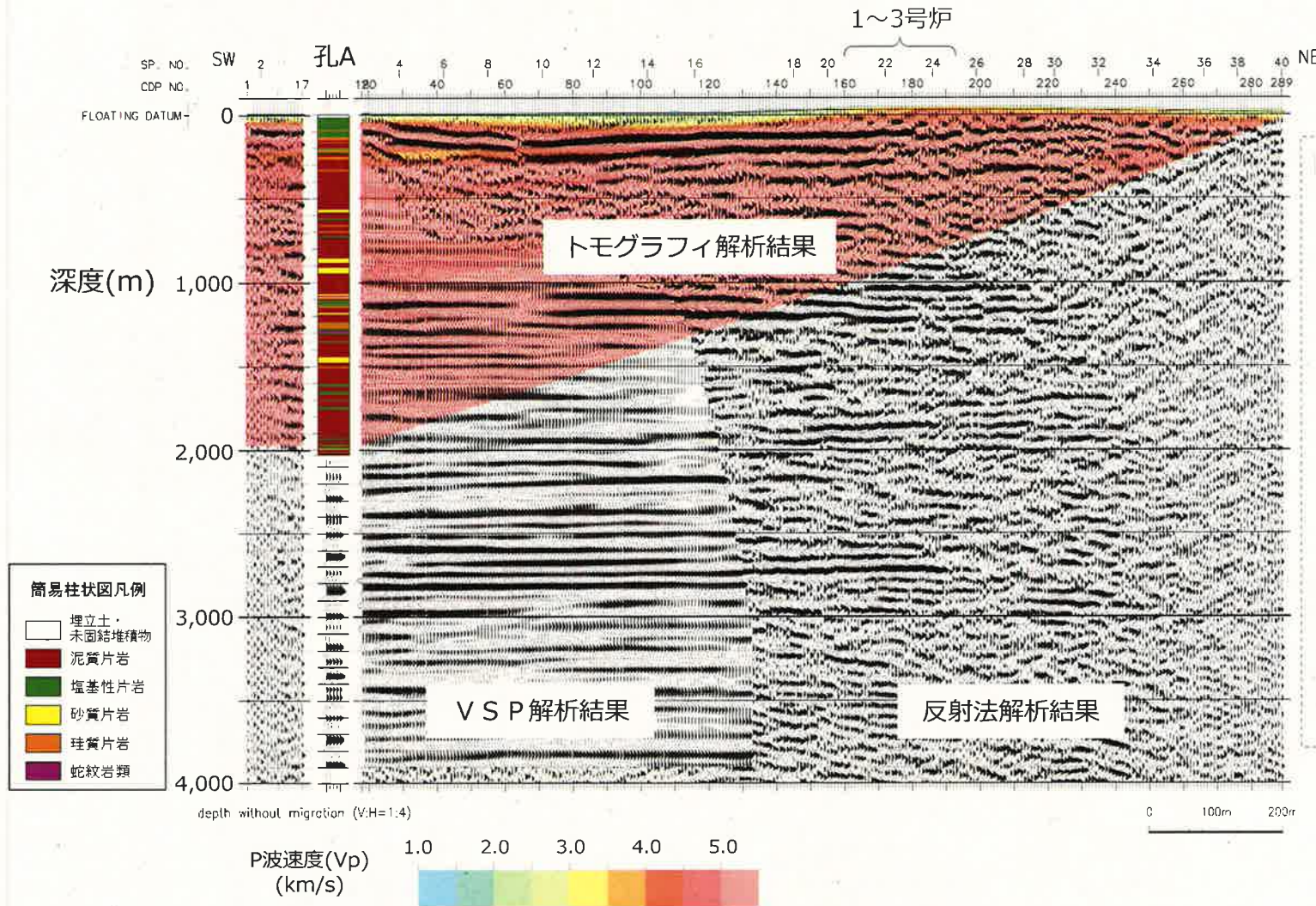
○深部ボーリング孔と3号炉心付近とを結ぶように設置した震源(□)からの地震波を地表の受信器(○)及びボーリング孔内の受信器で観測し、敷地の速度構造を検討した。



3.3 増幅特性の評価

敷地の地下構造評価

○地震動の特異な増幅の要因となる低速度域及び褶曲構造はいずれも認められず、敷地の地盤の速度構造は水平成層かつ均質である。



【解説】

地表に設置した震源で地震波を発生させ、地下の反射面から戻ってくる地震波(反射波)を、地表又はボーリング孔内に設置した受振器で観測し、その観測記録を解析することで、地下構造を把握できる。

反射法解析：

地表の受信器の観測結果を用いて解析を行う方法

VSP解析：

ボーリング孔内の受信器の観測結果を用いて解析を行う方法

トモグラフィ解析：

地表及びボーリング孔内の受信器の観測結果を用いて解析を行う方法

3. **基本スタンス①** 十分な調査で地域特性を知る

3.1 震源特性の評価

3.2 伝播特性の評価

3.3 増幅特性の評価

3.4 小括

3.4 小括

「3つの地域特性」の評価結果のまとめ

3.1 震源特性の評価 ～敷地及び敷地周辺の詳細な地質調査を実施～

- 伊方発電所の沖合約8kmに中央構造線断層帯があり、敷地に及ぼす影響が最も大きい。
- 中央構造線断層帯の震源断層は横ずれ断層型である。
- 断層の傾斜角はほぼ鉛直である。

3.2 伝播特性の評価 ～敷地の観測記録に基づく分析や解析的な分析を実施～

- 敷地への地震動の伝播経路において、**到来方向によって伝播特性が異なる傾向はない。**

3.3 増幅特性の評価 ～深部ボーリング調査や深部地震計の観測記録に基づく分析を実施～

- 敷地地盤は**地下深部まで非常に硬い岩盤**である。
- 敷地の地盤は水平成層かつ均質な速度構造で、**特異な増幅特性を有する地盤ではない。**

4. **基本スタンス②** 地震動評価を安全側に

4.1 地震による揺れの評価方法

- (1) 応答スペクトルに基づく評価
- (2) 断層モデルを用いた手法による評価

4.2 評価に用いる震源モデルの設定

4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

4.1 地震による揺れの評価方法

地震による揺れの大きさは3つの地域特性によって決まる

震源特性 震源の大きさ・マグニチュードなど

伝播特性 震源からの距離など

増幅特性 地盤の硬さなど

伊方発電所周辺で発生する地震の
3つの地域特性を十分に把握することが重要



応答スペクトルに基づく評価

地震規模や震源距離等の少ないパラメータで平均的な地震動を評価するのに適している。

||

『簡便な手法』
で地震動レベルを評価する

断層モデルを用いた手法による評価

多くのパラメータが必要であるが、詳細な地震動を評価するのに適している。

||

『より精緻な手法』
で実像を捉える

これらを併用することで
より信頼性の高い評価が可能

基本スタンス② 地震動評価を安全側に

4.1 地震による揺れの評価方法

(1) 応答スペクトルに基づく評価

(2) 断層モデルを用いた手法による評価

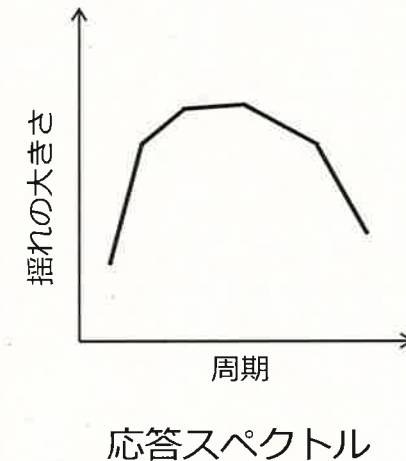
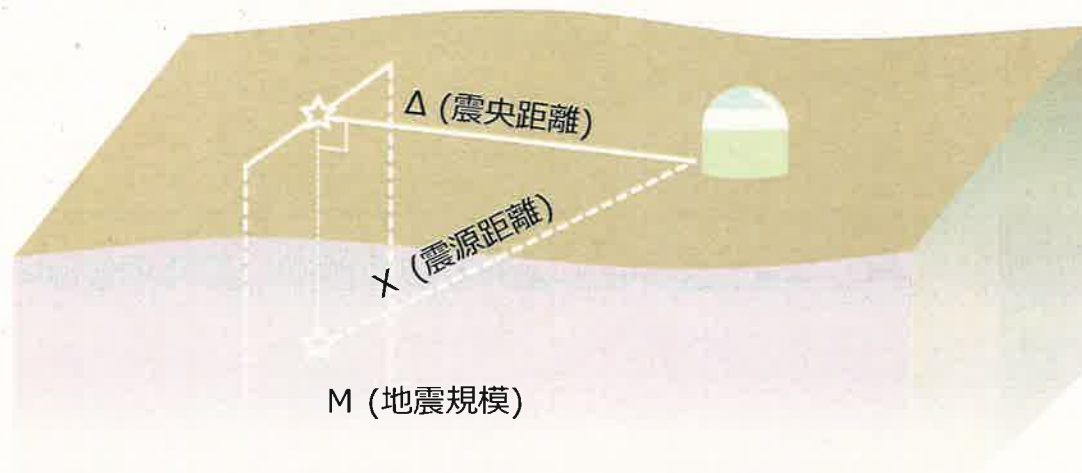
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

(1) 応答スペクトルに基づく評価

応答スペクトルに基づく評価 = 経験的な手法

- 過去の地震記録における「地震規模(M:マグニチュード)」及び「震源から観測点までの距離(X)」と「地震による揺れの大きさ(応答スペクトル)」の関係から導かれた回帰式により応答スペクトルを作成する方法。
- 原子力発電所の地震動評価で用いられている「耐専スペクトル」はこの評価手法の一つ。
- 地震規模や震源距離等の少ないパラメータで地震動を評価するのに適している。(簡便な手法)
- 回帰に用いた観測記録が豊富な範囲では、精度の高い評価が可能。

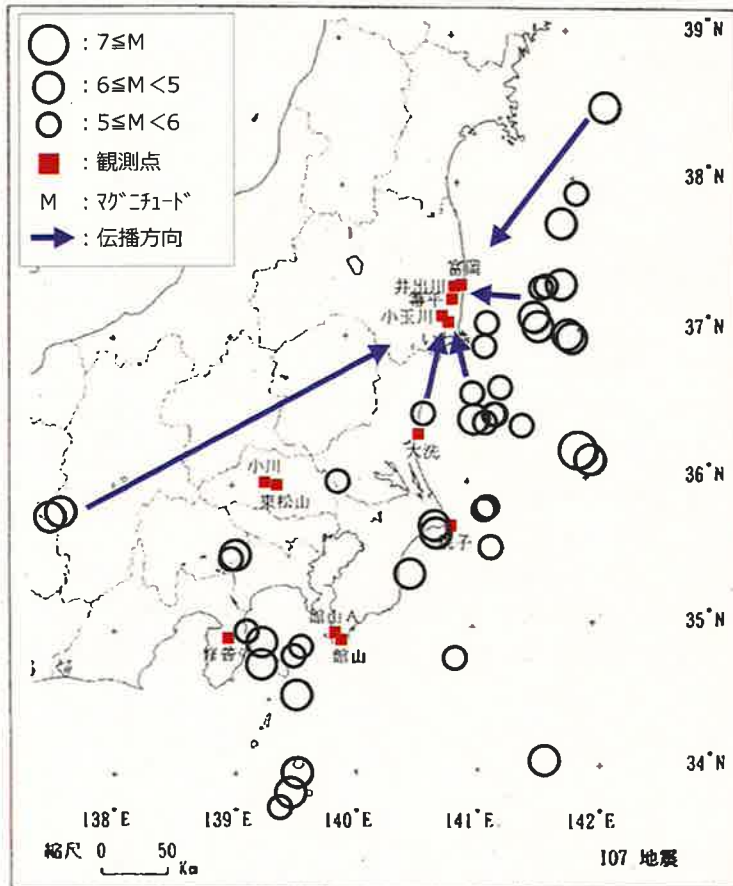


地震規模 + 距離 → 地震の揺れの大きさ

(1) 応答スペクトルに基づく評価

応答スペクトルに基づく評価において元データのばらつきをどう考えるか？

○応答スペクトルに基づく評価は、少ないパラメータで簡便に地震動レベルを評価できる利点がある一方、評価式の策定に用いた観測記録(元データ)にばらつきがある。



耐専スペクトルの評価式策定に用いた
観測記録の震央分布と観測地点との位置関係

応答スペクトルに基づく評価手法の特徴

- 複数の地震の記録がある → 様々な震源特性を含む (逆断層, 正断層, プレート間地震 etc)
- 様々な方向から到来 → 様々な伝播特性を含む
- 複数の観測点が存在する → 様々な増幅特性を含む

**ばらつく
のは当然**

観測記録のばらつきの概念図



(1) 応答スペクトルに基づく評価

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.1 地震による揺れの評価方法

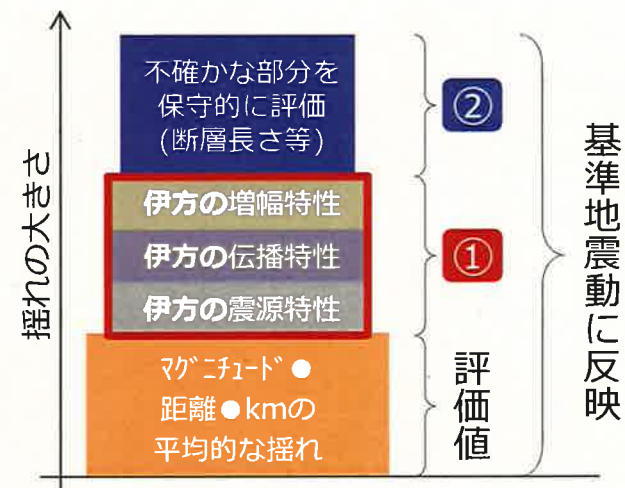
基準地震動の策定にあたって精度よく地震動を評価するには？

地震動評価にあたっては ...

- ① 敷地の地域特性(震源特性, 伝播特性, 増幅特性)を適切に反映する。 → **基本スタンス①**
- ② 評価する断層の長さを長くするなど, 断層の設定自体を保守的にして, 評価結果が平均像とならないように評価を行う。 → **基本スタンス②**

または

マグニチュードや距離以外の多くのパラメータを設定し, より精緻な評価を行う。



より精緻な評価方法とは？

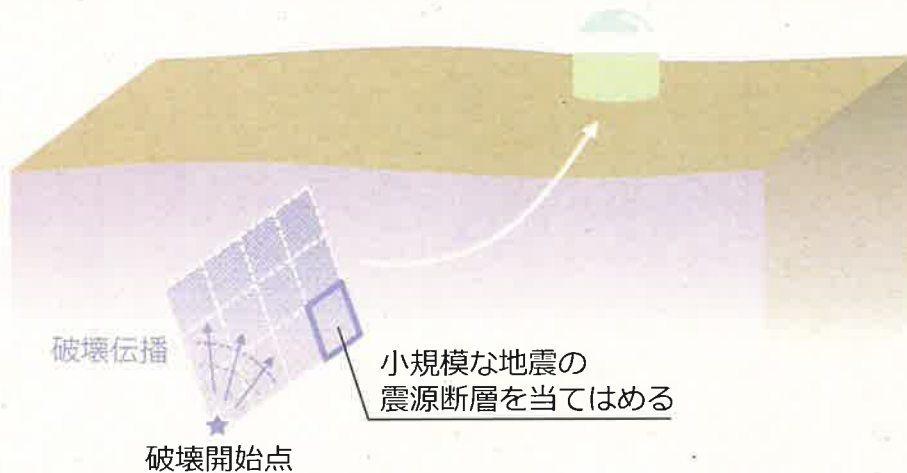
実像を捉える『断層モデルを用いた手法』

-
- 4. **基本スタンス②** 地震動評価を安全側に
 - 4.1 地震による揺れの評価方法
 - (1) 応答スペクトルに基づく評価
 - (2) 断層モデルを用いた手法による評価
 - 4.2 評価に用いる震源モデルの設定
 - 4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

(2) 断層モデルを用いた手法による評価

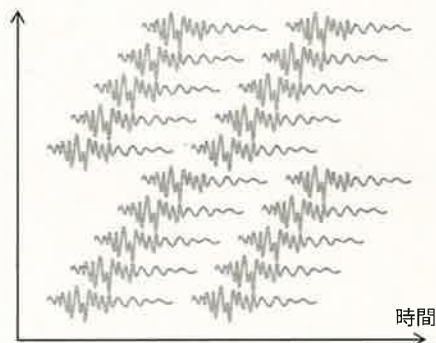
4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.1 地震による揺れの評価方法

断層モデルを用いた手法による評価 = 詳細な解析による手法

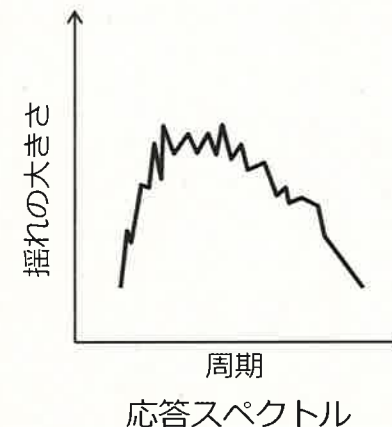


- 断層モデルは震源の断層面を詳細にモデル化したもの。
- まず小規模な地震での地震波を設定し、次に大規模な地震の震源の破壊過程(破壊の順番, 時間のずれ等)を考慮し, 順次足し合わせを行い, 大規模な地震の地震動を求める。
- 多くのパラメータが必要であるが, 詳細な地震動を評価するのに適している。(詳細な手法)

小規模な地震での地震波の
足し合わせ



足し合わせた結果
⇒ 大規模な地震の地震動



基本スタンス② 地震動評価を安全側に

4.1 地震による揺れの評価方法

4.2 評価に用いる震源モデルの設定

4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

4.2 評価に用いる震源モデルの設定

「基本震源モデル」と「不確かさ考慮モデル」の設定

- 「基本スタンス② 地震動評価を安全側に」に則り、「事前(地震発生前)の特定が困難な不確かさ」を保守的に重畳させた「基本震源モデル」を構築。
- 更に、地質調査や過去の地震による知見等から、「事前に平均的なモデルが特定できる不確かさ」を、独立した不確かさとして基本震源モデルに重畳させた「不確かさ考慮モデル」を構築。

3章で説明済

基本スタンス①

十分な調査で地域特性を知る

敷地に及ぼす影響が
大きい地震の特性を
しっかりと把握

基本スタンス②

地震動評価を安全側に

基本震源
モデル

不確かさ考慮
モデル

基本モデルを保守的に

さらに不確かさを重畳

4. **基本スタンス②** 地震動評価を安全側に

4.1 地震による揺れの評価方法

4.2 評価に用いる震源モデルの設定

(1) 基本震源モデルの設定

(2) 不確かさ考慮モデルの設定

(3) 設定した評価ケースの一覧

4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

(1) 基本震源モデルの設定

基本モデルを保守的に ～基本震源モデルに重畳させる不確かさの設定

- 地震動評価においては、**震源特性・伝播特性・増幅特性における各種の不確かさが含まれるため、これらの不確かさ要因を、事前(地震発生前)に平均的なモデルを特定できるか否かの観点から適切に分析・分類する。**
- その結果、以下の4つのパラメータは、**事前(地震発生前)の特定が困難なため、地震動が大きくなるよう、保守的に基本震源モデルに重畳させる。**

基本震源モデルに考慮する(重畳させる)不確かさ

① 断層長さ(連動)	断層長さ約480km, 約130km, 約54kmを考慮。
② アスペリティ上端深さ	断層上端(敷地に近くなるよう)に配置。
③ 破壊開始点	断層東下端・中央下端・西下端の 3箇所 または敷地前面海域の断層群のアスペリティ下端2箇所を含めた 5箇所 に設定。
④ スケーリング則	壇ほか(2011)を基本とし、Fujii and Matsu'ura(2000)又は入倉・三宅(2001)でも評価を行う。

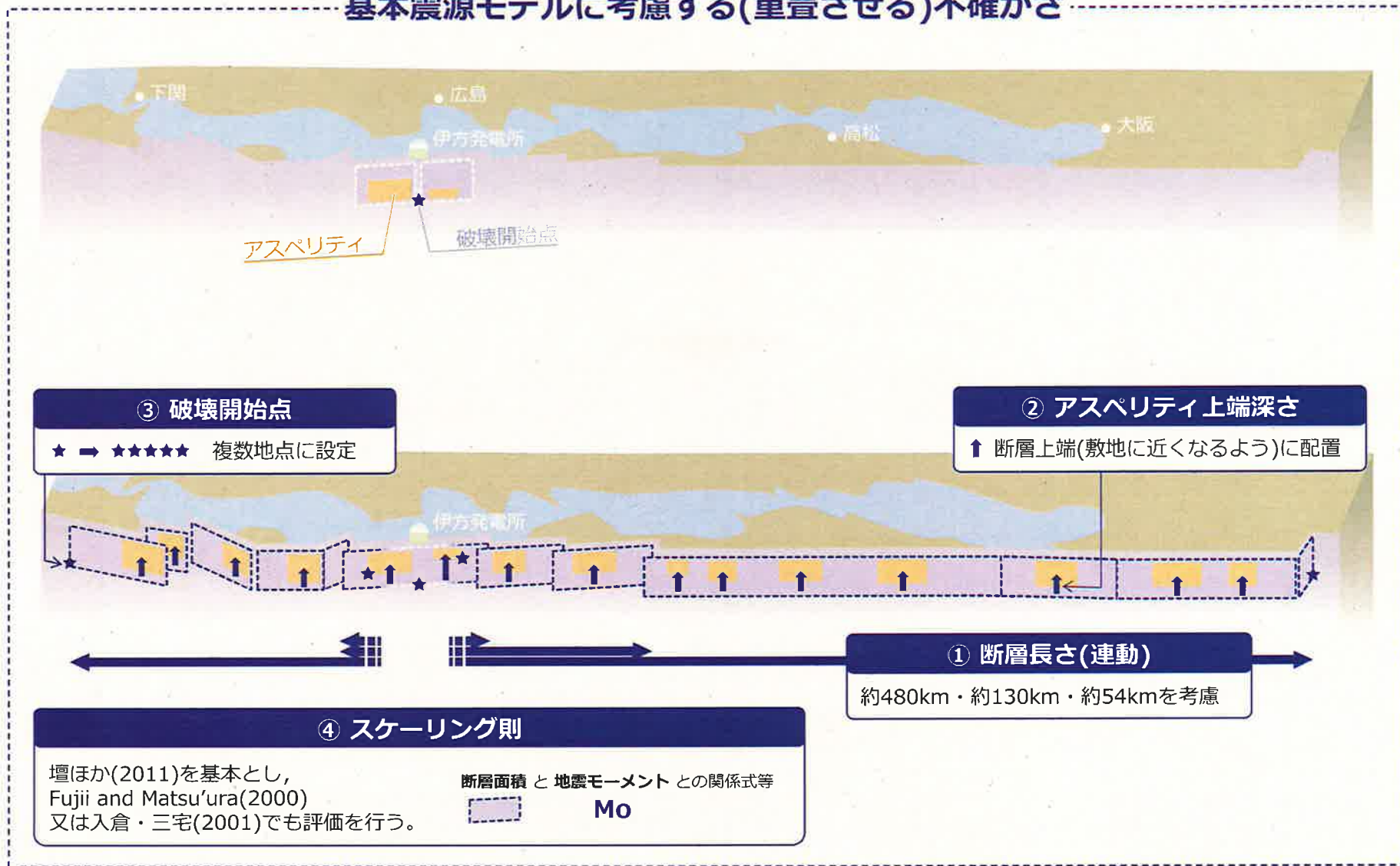


(1) 基本震源モデルの設定

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

基本モデルを保守的に ~基本震源モデルの概念図

基本震源モデルに考慮する(重畳させる)不確かさ



(1) 基本震源モデルの設定

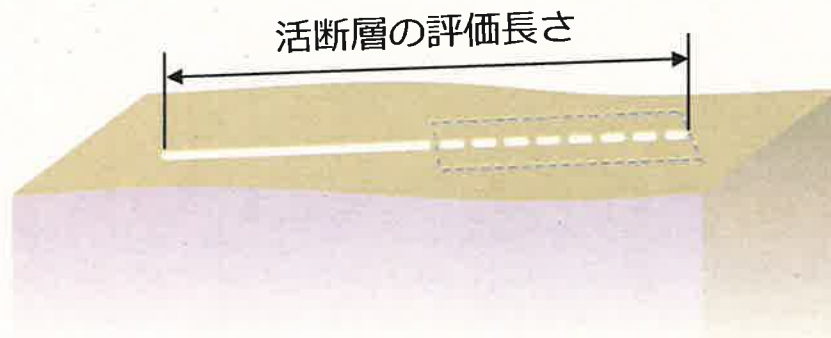
4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

不確かさ ①断層長さの設定(連動)

- 敷地内地質調査，敷地近傍及び敷地周辺の地質調査を踏まえ，敷地に影響を及ぼす可能性のある活断層の評価を実施。
- 「延ばす」「繋げる」などを判断し，安全側になるように活断層の長さを評価。

活断層の延長上に確実な
否定根拠が認められない場合

延ばす



複数の短い活断層が
認められる場合

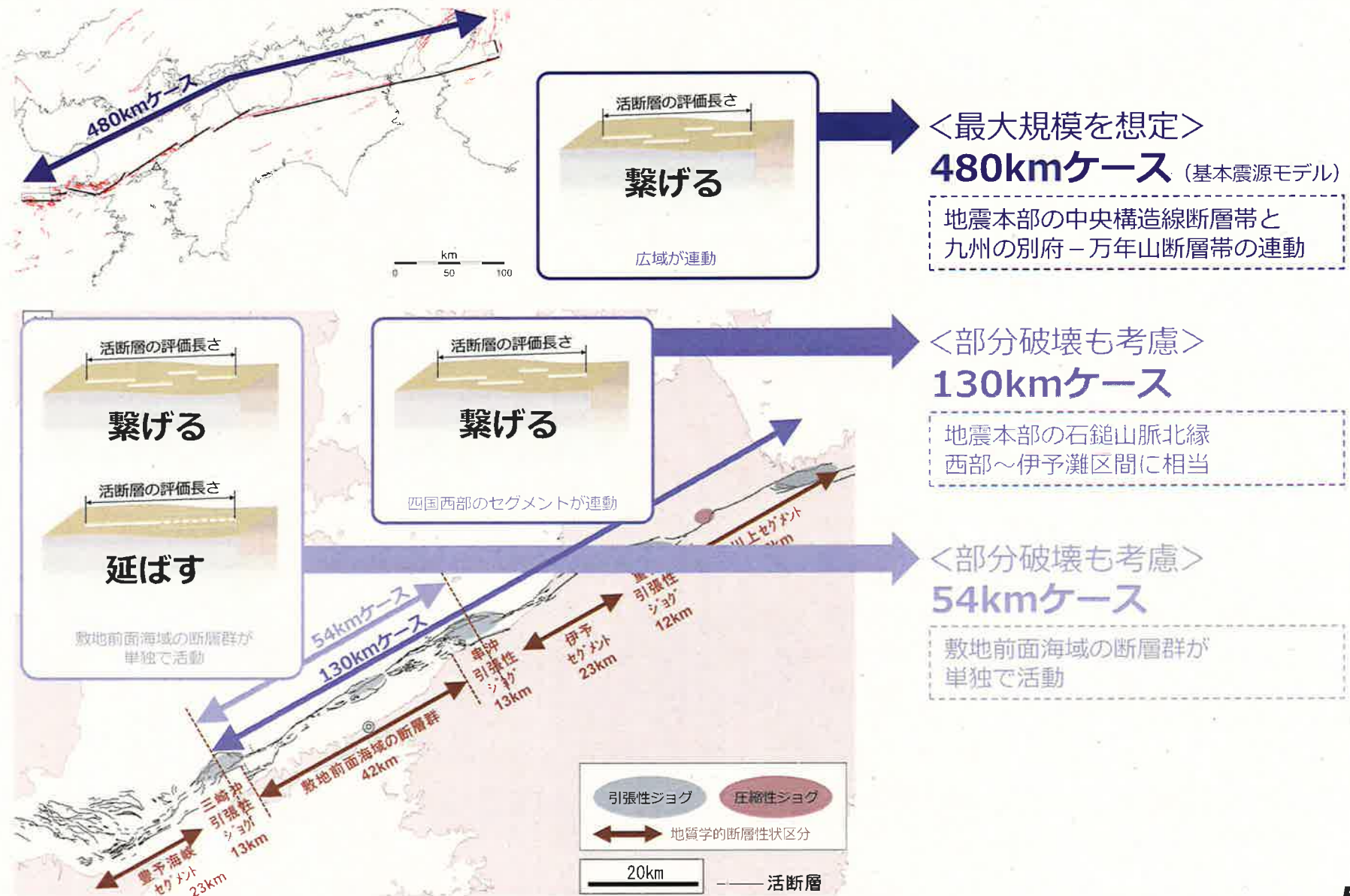
繋げる



(1) 基本震源モデルの設定

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

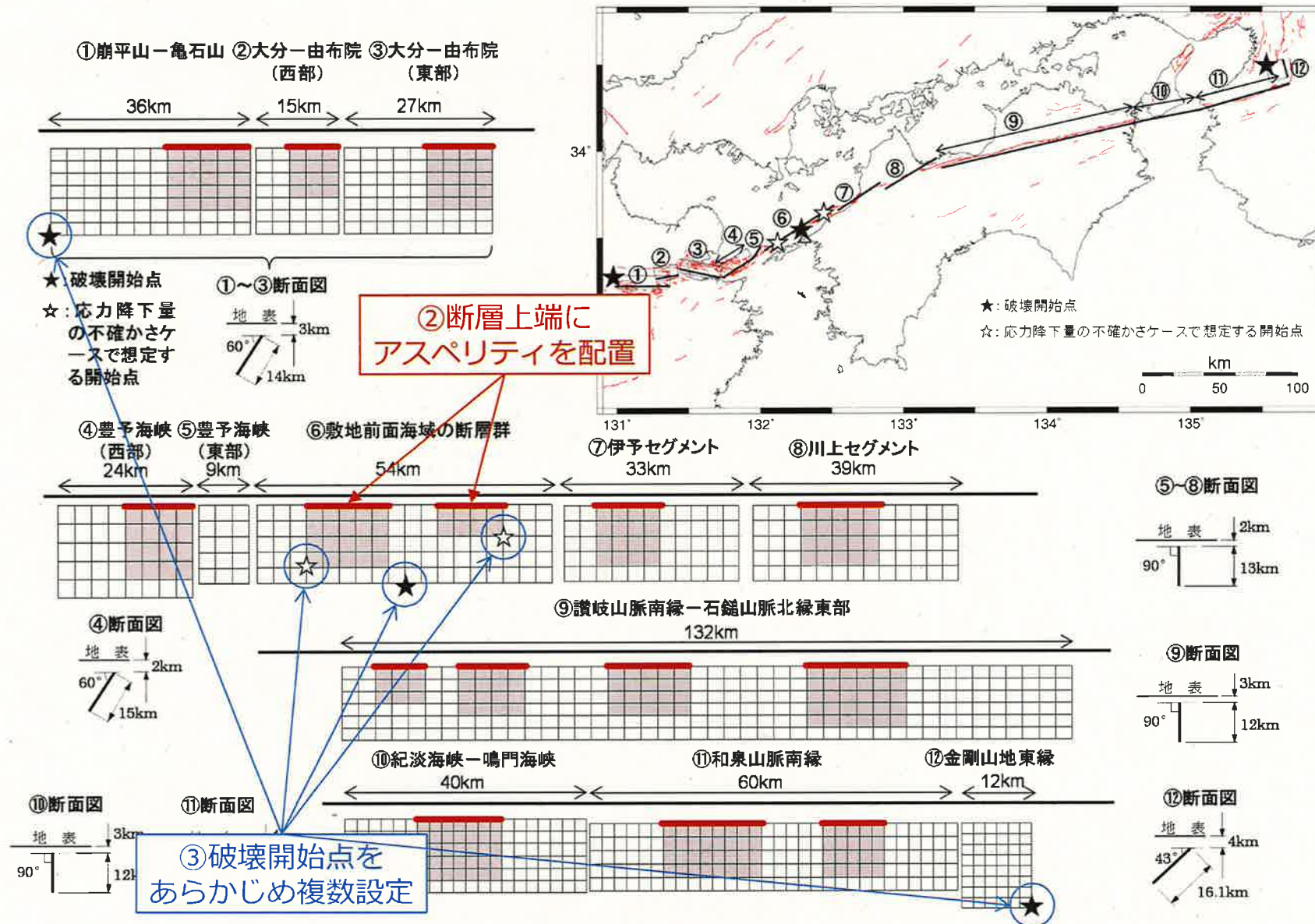
不確かさ ①断層長さの設定(連動)



(1) 基本震源モデルの設定

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

不確かさ ②アスペリティ上端深さ, ③破壊開始点



(1) 基本震源モデルの設定

不確かさ ④スケーリング則

- 断層モデルを用いた手法による評価では、はじめに、断層面積 S (断層長さ L ×断層幅 W)から**地震モーメント**を設定した後、**平均応力降下量とアスペリティの応力降下量**などを設定する。
- これらの**設定手法(=スケーリング則)**は、過去の地震による経験的關係から**複数の手法が提案**されており、回帰に用いられたデータの制約などから、**評価対象とする地震規模に応じて適用可能な関係式を選定**して用いる必要がある。

断層面積 S (または断層長さ L , 断層幅 W)と地震モーメント M_0 の関係式

	地震モーメント M_0 の関係式	適用範囲
Fujii and Matsu'ura(2000)	$M_0[\text{Nm}] = \{WL^2/(aL+b)\} \cdot \Delta\sigma$ (a, b は構造依存の定数)	長大断層に適用可
入倉・三宅(2001)	$M_0[\text{Nm}] = (S/4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	比較的短い断層に適用可
室谷ほか.(2010)	$M_0[\text{Nm}] = S \times 10^{17}$	長大断層に適用可
壇ほか(2011)	$M_0[\text{Nm}] = (\Delta\sigma \cdot S \cdot W_{\text{max}})/c$ ただし, $c = 0.5 + 2\exp(-L/W_{\text{max}})$	短い断層から長大断層まで適用可



(1) 基本震源モデルの設定

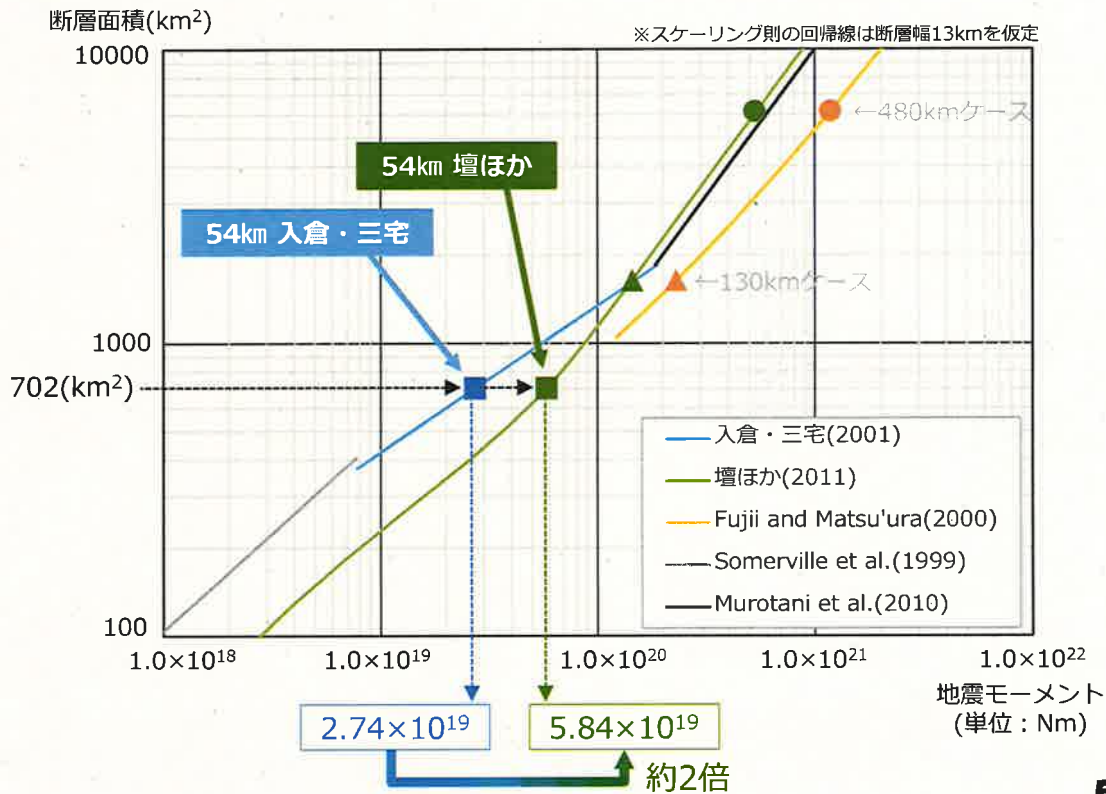
4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

不確かさ ④スケーリング則

○地震動評価のパラメータ設定に用いるスケーリング則は、
壇ほか(2011)を基本として採用し Fujii and Matsu'ura(2000)及び入倉・三宅(2001)も用いて
不確かさを考慮した検討を実施する。

評価ケース	基本	不確かさの重畳
480km	壇ほか(2011)	Fujii and Matsu'ura(2000)
130km	壇ほか(2011)	Fujii and Matsu'ura(2000)
54km	壇ほか(2011)	入倉・三宅(2001)

○入倉・三宅(2001)を用いた評価は、不確かさを考慮した一部の検討であるとともに、地震規模を表すパラメータである地震モーメントは、**基本として採用している壇ほか(2011)を用いた評価の方が保守的な値**となっている。



(1) 基本震源モデルの設定

補足 壇ほか(2011)を基本として採用する理由①

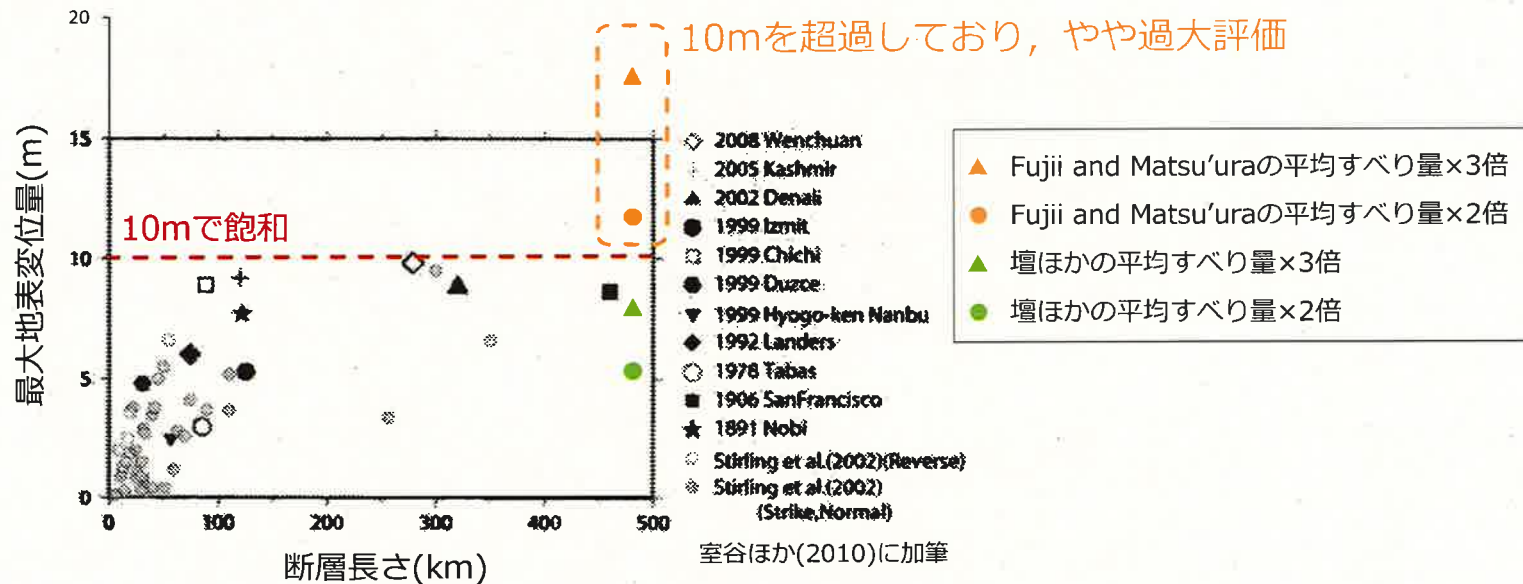
- 現在提案されているスケーリング則の中で、前述した地震モーメント M_0 、平均応力降下量 $\Delta\sigma$ 及びアスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a$ の3つのパラメータを一連で設定する考え方を示しているものは壇ほか(2011)のみである。
- また、壇ほか(2011)は、異なる長さの断層(480km, 130km, 54km)に対して適用可能と考えられることから、断層長さの影響を同一の手法で評価できる利点がある。

	M_0	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma_a$	備考
入倉・三宅(2001)	○	—	—	S~ M_0 関係式
室谷ほか(2010)	○	—	—	S~ M_0 関係式
Fujii and Matsu'ura(2000)	○	○	—	S~ M_0 ~ $\Delta\sigma$ 関係式
壇ほか(2011)	○	○	○	一連の設定手法を提案

(1) 基本震源モデルの設定

補足 壇ほか(2011)を基本として採用する理由②

- 室谷ほか(2010)は、**地表で観測された最大変位量は断層長さがほぼ100kmで約10mに飽和**すると指摘している。また、地表最大変位量と震源断層での平均すべり量との関係を見ると、長大断層に限れば、**最大地表変位量は平均すべり量の概ね2~3倍**に収まると指摘している。
- 壇ほか(2011)及びFujii and Matsu'ura(2000)から想定される平均すべり量を2~3倍し、これを地表最大変位量と考え、室谷ほか(2010)のデータセット(下図)と比較したところ、**壇ほか(2011)に基づく値は約10mに飽和するとの知見と整合的であるが、Fujii and Matsu'ura(2000)に基づく値はやや過大**となっている。

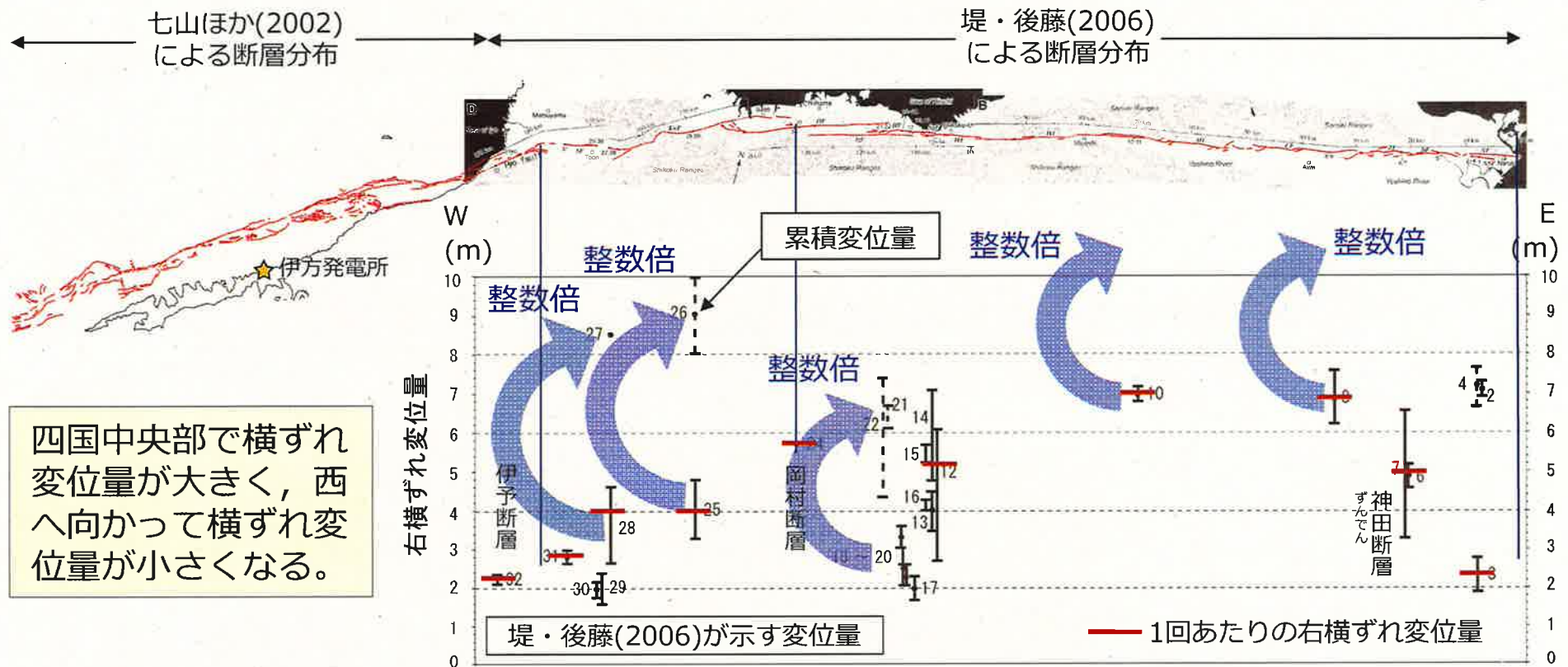


最大地表変位量と断層長さの関係

(1) 基本震源モデルの設定

補足 壇ほか(2011)を基本として採用する理由③

○前頁で示した壇ほか(2011)に基づく地表最大変位量の値(約5.2m~7.8m)は、堤・後藤(2006)の地質調査に基づく四国陸域における中央構造線断層帯の地表最大変位量2~7m程度と整合的である。



4. **基本スタンス②** 地震動評価を安全側に

4.1 地震による揺れの評価方法

4.2 評価に用いる震源モデルの設定

(1) 基本震源モデルの設定

(2) 不確かさ考慮モデルの設定

(3) 設定した評価ケースの一覧

4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

(2) 不確かさ考慮モデルの設定

さらに不確かさを重畳 ～基本震源モデルに対して独立に考慮する不確かさの設定

- 前記の通り，事前(地震発生前)の特定が困難な不確かさは保守的に基本震源モデルに重畳させているため，**基本震源モデルは既に保守性を持ったモデル**となっている。
- 更に，以下の5つのパラメータは，地質調査や地震に関する過去の知見等から，**事前(地震発生前)に平均的なモデルが特定できるため，独立した不確かさとして基本モデルに重畳させる。**

基本震源モデルに独立して設定する不確かさ

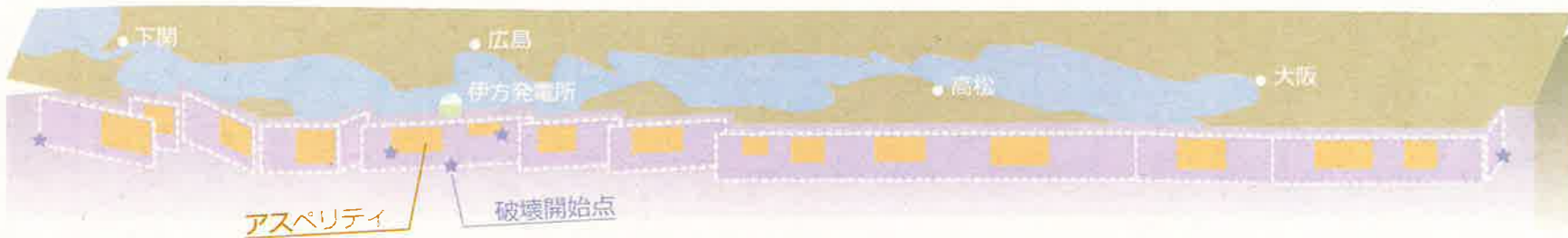
① 応力降下量	2007年新潟県中越沖地震の震源特性として，短周期レベルが平均的な値の1.5倍程度大きかったという知見を踏まえ， 応力降下量を1.5倍又は20MPa のケースを設定。
② 地質境界断層の知見	震源断層が地質境界断層と一致する可能性を考慮し， 北傾斜30度 のケースを設定。
③ 断層傾斜角	断層傾斜角のばらつきを踏まえ， 南傾斜80度 のケースを設定。
④ 破壊伝播速度	長大な活断層の破壊伝播速度に関する知見を踏まえ， 破壊伝播速度が平均的な値よりも速い ケースを設定。
⑤ アスペリティの平面位置	敷地正面にアスペリティ を配置したケースを設定。

(2) 不確かさ考慮モデルの設定

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

さらに不確かさを重畳 ～不確かさ考慮モデルの概念図

基本震源モデルに対して独立に考慮する不確かさ



① 応力降下量*

1.5倍又は20MPaに設定

* 地震発生直前の応力と地震発生直後の応力との差

④ 破壊伝播速度

平均的な値よりも速いケースを設定

⑤ アスペリティの平面位置

敷地正面にアスペリティを配置したケースを設定

②地質境界断層の知見 ③断層傾斜角

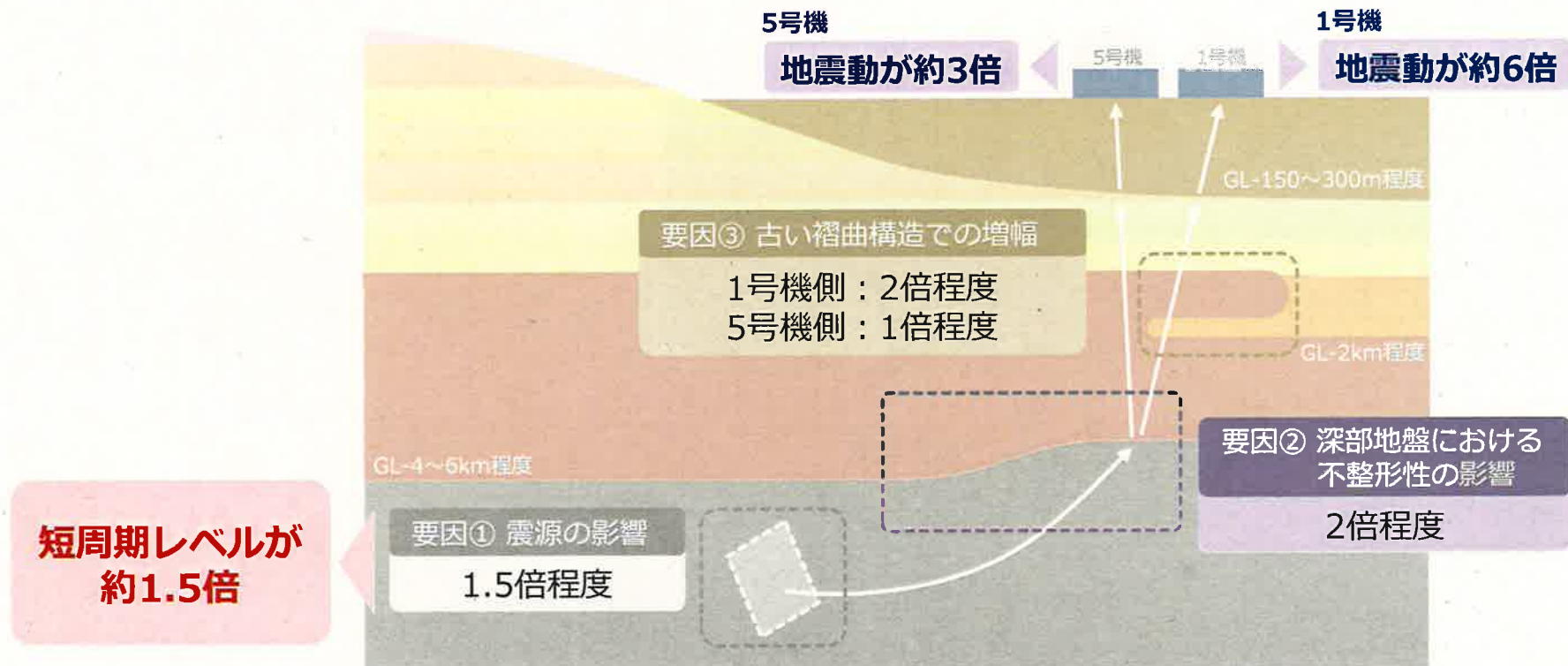
地質境界断層と一致する可能性を考慮し、北傾斜30度のケースを設定

断層傾斜角のばらつきを踏まえ、南傾斜80度のケースを設定

(2) 不確かさ考慮モデルの設定

不確かさ ①応力降下量の不確かさ

- 2007年新潟県中越沖地震は**逆断層型**の内陸地殻内地震であり、**同規模の地震と比べ地震動(短周期レベル)が約1.5倍大きい**という知見が得られている。
- 中央構造線断層帯は横ずれ断層型で、**中越沖地震とは地震発生様式が異なっているものの、保守的に不確かさとして考慮した。**(なお、パラメータ設定においては、短周期レベルと相関関係のある応力降下量に不確かさを考慮している。)



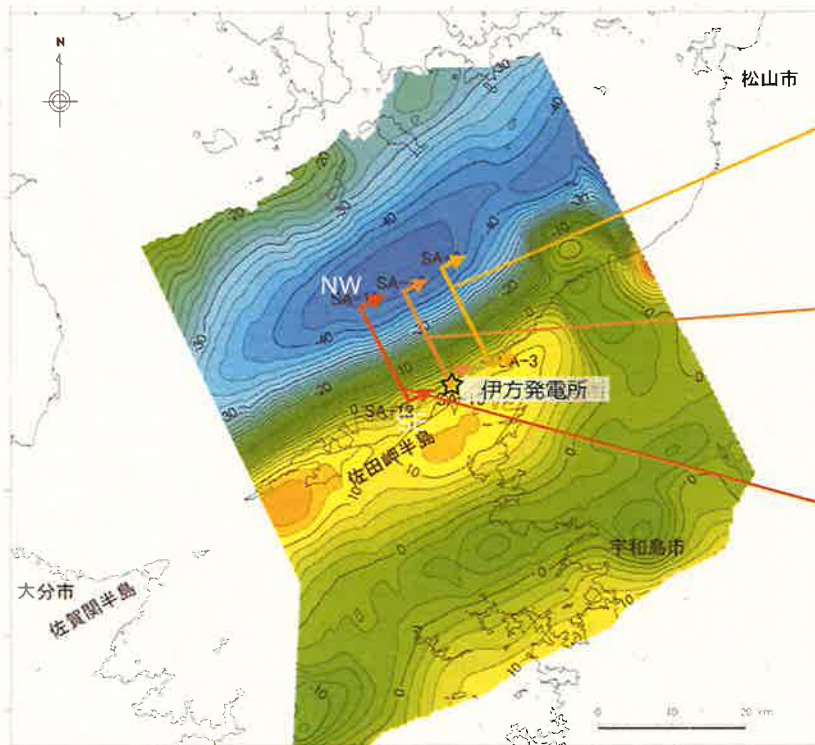
2007年新潟県中越沖地震において柏崎刈羽原子力発電所の地震動が大きくなった要因の概念図

(2) 不確かさ考慮モデルの設定

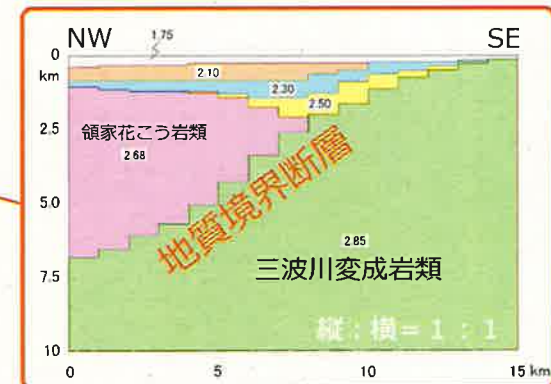
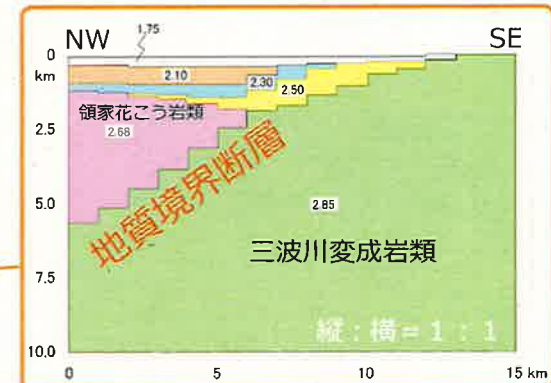
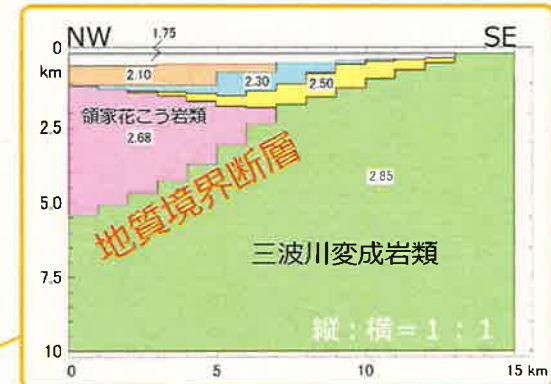
4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

不確かさ ②地質境界断層, ③断層傾斜角の不確かさ

- 航空重力測定から敷地前面海域の地下構造を解析した結果、**地質境界断層は30~40度で北傾斜**しているものと評価される。
- 震源断層の傾斜角は高角度である可能性が高いが、北傾斜する地質境界断層と震源断層が一致する可能性も否定できないことから、**断層傾斜角を北に傾斜させた場合を不確かさとして考慮**する。
- また、断層傾斜角のばらつきを踏まえ、敷地側に傾斜する場合を考慮し、**保守的に断層の南傾斜80度を考慮**する。



航空重力測定結果

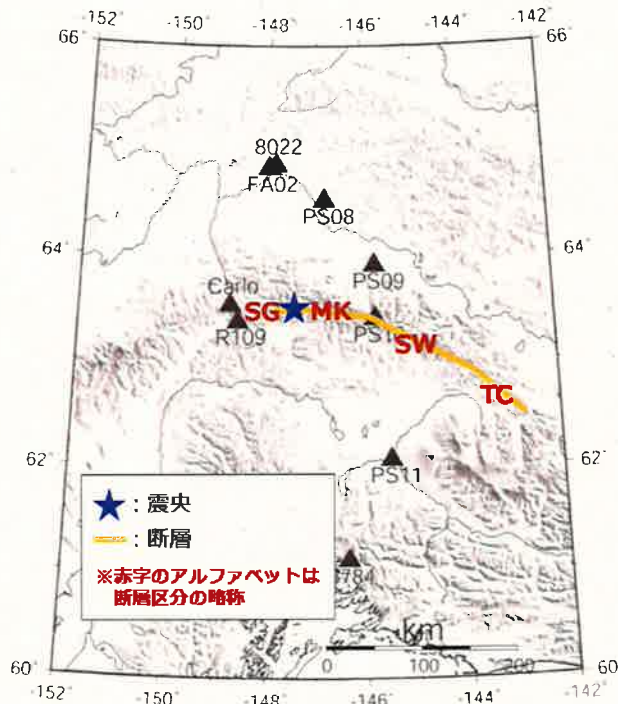


(2) 不確かさ考慮モデルの設定

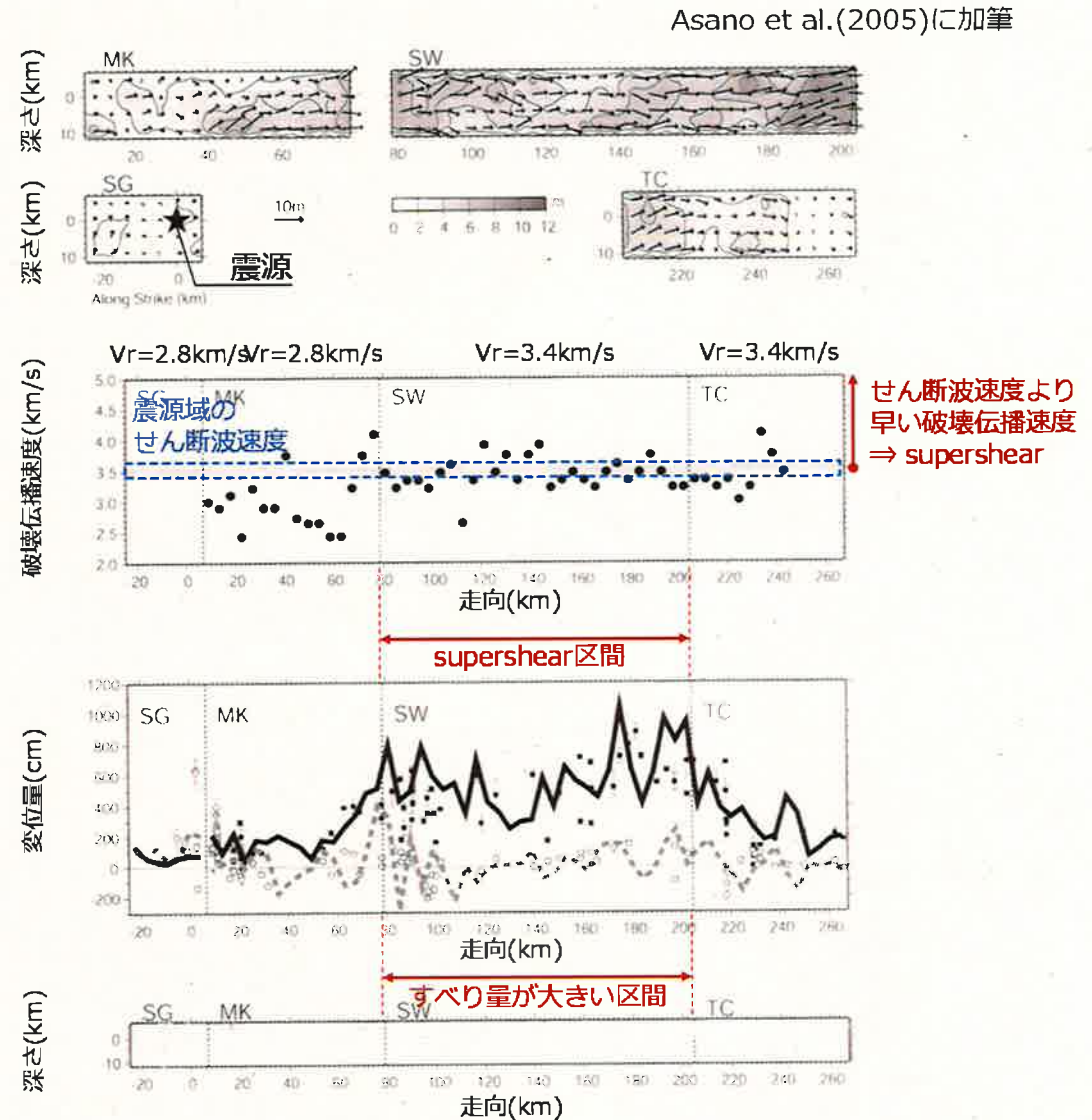
4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

不確かさ ④破壊伝播速度の不確かさ

- 2002年Denali地震等の長大な横ずれ断層では、断層の破壊伝播速度がせん断波速度を超える(supershear)という知見がある。
- supershearは、すべり量大きい領域で発生すると指摘されているが、中央構造線断層帯の地震動評価においては、保守的に横ずれ断層の全域でsupershearが発生するものとして不確かさを考慮している。



2002年Denali地震における断層区分



破壊伝播速度とすべり量との関係

(2) 不確かさ考慮モデルの設定

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

不確かさ ⑤アスペリティ平面位置の不確かさ

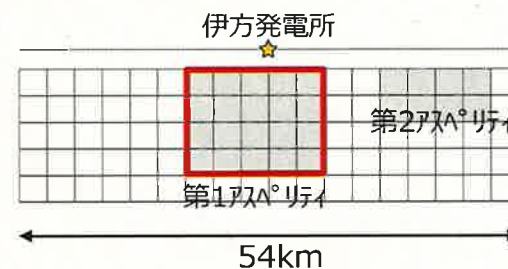
- 伊方発電所の敷地正面にはジョグが存在している。
- ジョグは破壊の停止域になりやすいため、基本的にはジョグにアスペリティは想定されないものの、**保守的に敷地正面のジョグにアスペリティを配置する場合を考慮した。**



<基本震源モデル>



<不確かさ考慮モデル>



ジョグ：断層形状が分岐したり、屈曲したりする不均質部のこと。力のかかり方により引張性ジョグと圧縮性ジョグに分類される。ジョグは、断層破壊の停止域となりやすく、断層破壊の末端を示唆する地質構造といえる。

基本スタンス② 地震動評価を安全側に

4.1 地震による揺れの評価方法

4.2 評価に用いる震源モデルの設定

(1) 基本震源モデルの設定

(2) 不確かさ考慮モデルの設定

(3) 設定した評価ケースの一覧

4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

(3) 設定した評価ケースの一覧

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.2 評価に用いる震源モデルの設定

地震動評価ケースの一覧

○各断層長さの震源モデルに対し、不確かさの考慮を踏まえ、地震動評価ケースを下記のとおり設定した。(計102ケース)

■ : 基本震源モデルに重畳させる不確かさ
□ : 基本震源モデルに独立して設定する不確かさ

【不確かさケースの説明】

- ① 応力降下量1.5倍または20MPa
- ② 断層傾斜角が北傾斜30度
- ③ 断層傾斜角が南傾斜80度
- ④ 破壊伝播速度が速いケース
- ⑤ アスペリティを敷地正面に配置

No.	断層長さ	アスペリティ深さ	スクーリング則	破壊開始点	不確かさケース				
					①	②	③	④	⑤
1	480 km	断層上端	壇ほか(2011)	3ケース	-	-	-	-	-
2				5ケース	○	-	-	-	-
3				3ケース	-	○	-	-	-
4				3ケース	-	-	○	-	-
5				3ケース	-	-	-	○	-
6				3ケース	-	-	-	-	○
7			Fujii and Matsu'ura(2000)	3ケース	-	-	-	-	-
8				5ケース	○	-	-	-	-
9				3ケース	-	-	-	○	-
10				3ケース	-	-	-	-	-
11	130 km	断層上端	壇ほか(2011)	5ケース	○	-	-	-	-
12				3ケース	-	○	-	-	-
13				3ケース	-	-	○	-	-
14				3ケース	-	-	-	○	-
15				3ケース	-	-	-	-	○
16			Fujii and Matsu'ura(2000)	3ケース	-	-	-	-	-
17				5ケース	○	-	-	-	-
18				3ケース	-	-	-	○	-

No.	断層長さ	アスペリティ深さ	スクーリング則	破壊開始点	不確かさケース				
					①	②	③	④	⑤
19	54 km	断層上端	壇ほか(2011)	3ケース	-	-	-	-	-
20				5ケース	○	-	-	-	-
21				3ケース	-	○	-	-	-
22				3ケース	-	-	○	-	-
23				3ケース	-	-	-	○	-
24				3ケース	-	-	-	-	○
25			入倉・三宅(2001)	3ケース	-	-	-	-	-
26				5ケース	○	-	-	-	-
27				3ケース	-	○	-	-	-
28				3ケース	-	-	○	-	-
29				3ケース	-	-	-	○	-
30	3ケース	-	-	-	-	○			

- ※1: 経験的グリーン関数法で評価を行う
- ※2: Fujii and Matsu'ura(2000)の地震動評価ケースは、壇ほか(2011)による評価結果から影響が大きい不確かさケース(①, ④)について考慮
- ※3: 破壊開始点3ケースは、断層下端3箇所(東下端, 中央下端, 西下端)。5ケースはこれに敷地前面海域の断層群のアスペリティ下端2箇所を追加。

-
4. **基本スタンス②** 地震動評価を安全側に
- 4.1 地震による揺れの評価方法
 - 4.2 評価に用いる震源モデルの設定
 - 4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価
 - (1) 応答スペクトルに基づく評価
 - (2) 断層モデルを用いた手法による評価

(1) 応答スペクトルに基づく評価

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

地震動評価でも不確かさを考慮 ～検討ケース

- 応答スペクトルに基づく評価においては、先に示した地震動評価の解析ケースの中から評価可能なケースとして、下記のケースを想定する。
- 断層モデルを用いた手法による評価においては、長さを変えても地震動は変わらないことを確認しているが、応答スペクトルに基づく評価においては、**地震規模と等価震源距離の関係から評価結果に影響がある可能性も考えられる。**
- そのため、**応答スペクトルに基づく評価では保守的に69kmケースについても検討を行い、基準地震動の策定に反映する。**

断層長さ	傾斜角
480km	鉛直
130km	北傾斜
69km	
54km	

×

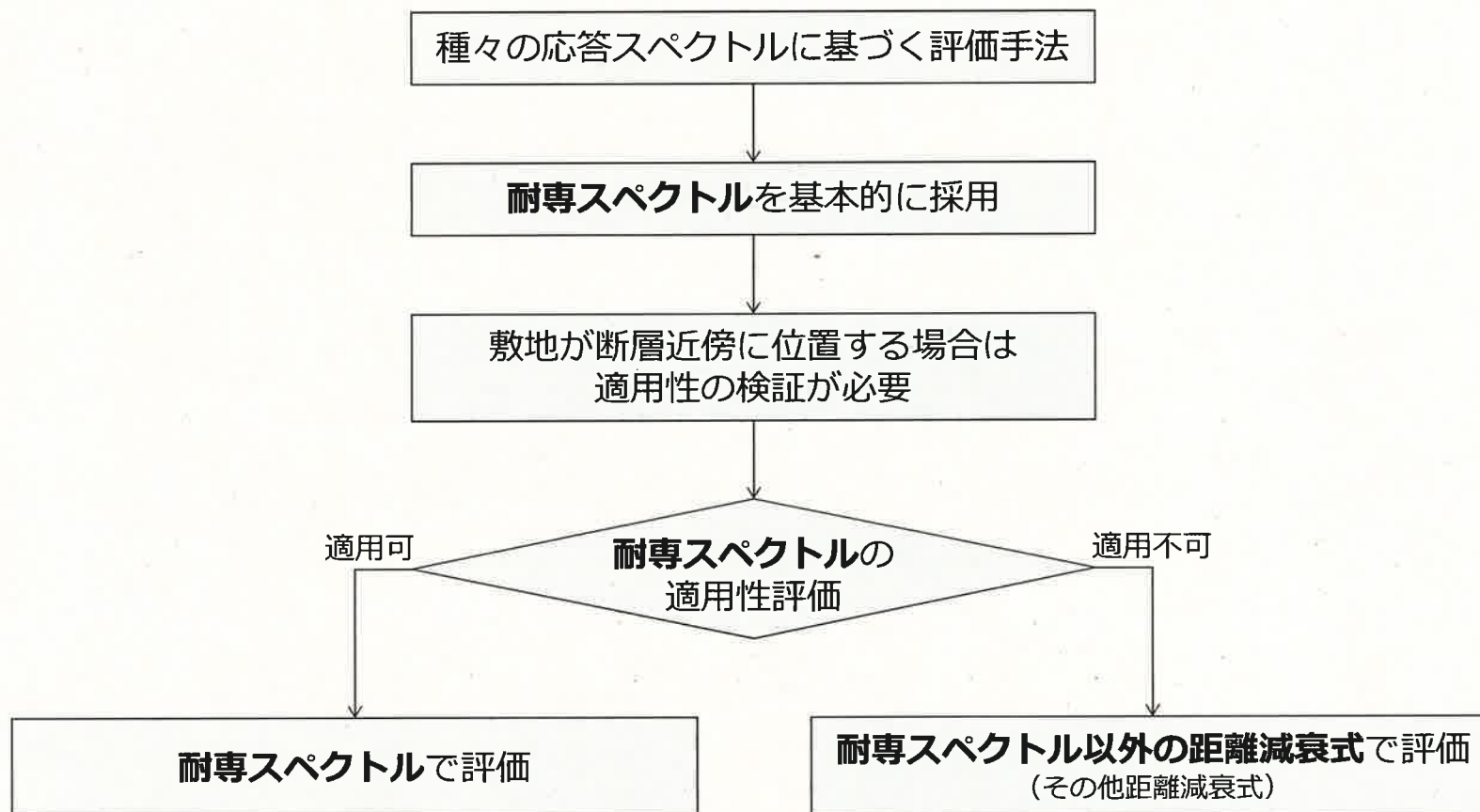


(1) 応答スペクトルに基づく評価

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

評価方針

- 基準地震動に係る審査ガイドに基づき、用いられている地震記録の規模、震源距離等から、適用条件・適用範囲について検討した上で、適切な経験式(距離減衰式)を選定して評価を行う。
- 距離減衰式は、水平及び鉛直方向の地震動が評価できる観点等から、「耐専スペクトル」を基本的に採用し、耐専スペクトルを適用できないと判断される場合は「耐専スペクトル以外の距離減衰式」で評価を行う。

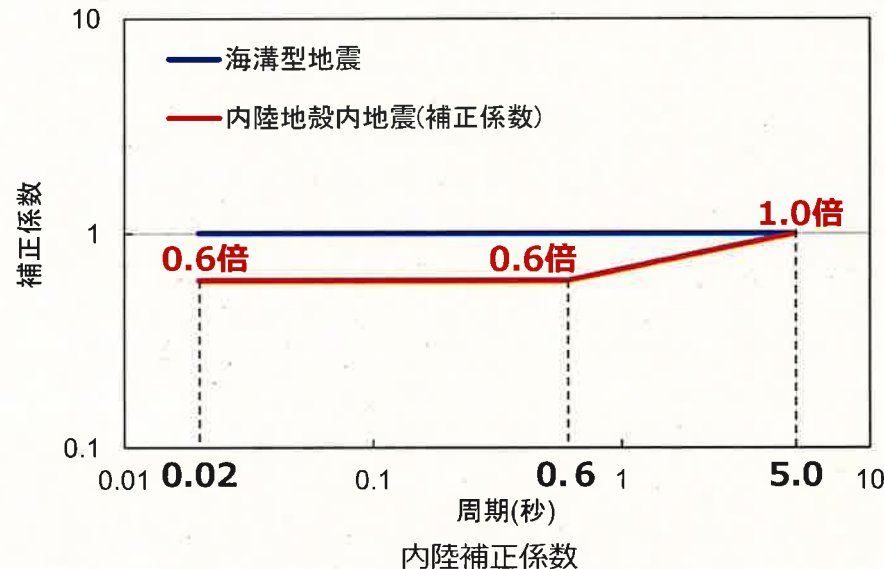
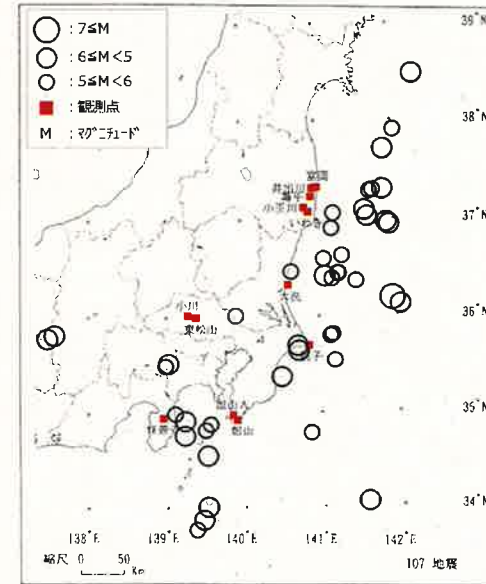


(1) 応答スペクトルに基づく評価

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

補足 耐専スペクトルにおける「内陸地殻内地震の補正」とは？

- 耐専スペクトルのデータベースの多くは、**海溝型地震**(海洋プレート内地震, プレート間地震)。(右図)
- 過去の地震の知見から、**内陸地殻内地震の地震動レベルは海溝型地震**(海洋プレート内地震, プレート間地震)と比べて小さいという特性が確認されている。
- この特性を反映するため、耐専スペクトルによる評価では、**内陸地殻内地震の地震動レベルを低減するための補正係数**が提案されている(=内陸補正)。(下図)



同じ地震規模, 同じ距離の場合,
ある地点での評価結果は...

海溝型地震の場合
⇒ 最大加速度**1000ガル**

内陸地殻内地震の場合
⇒ 最大加速度**600ガル**

(1) 応答スペクトルに基づく評価

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

地震動評価でも保守的に ~耐専スペクトルの適用性検証結果

○敷地が断層近傍となるケースについても可能な限り耐専スペクトルを適用し保守的に評価した。

要検証 → **適用不可**

内陸補正を適用してもその他距離減衰式との乖離が大きい

耐専スペクトルの適用は不適
⇒**その他距離減衰式で評価**

要検証 → **保守的に適用**

その他距離減衰式との対比からは**内陸補正を適用した評価が適切**

内陸補正を適用しない耐専スペクトルはその他距離減衰式との乖離が大きく**過大評価**

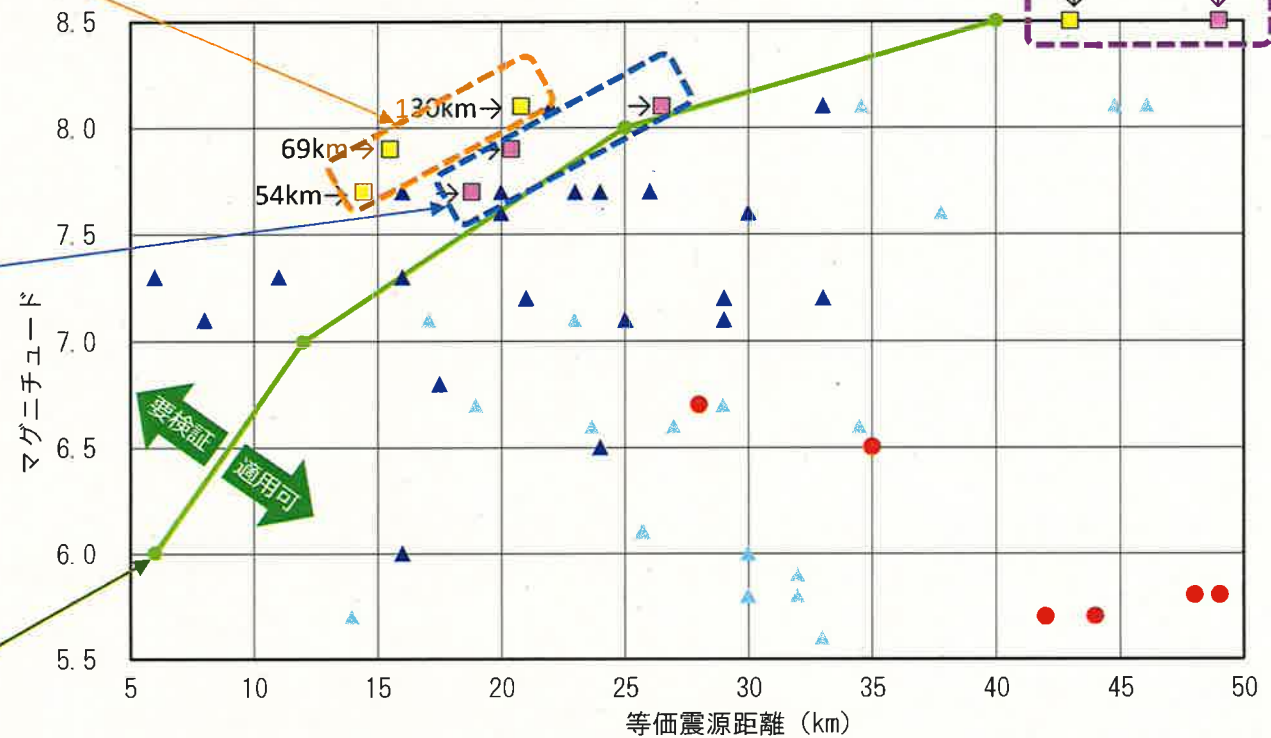
⇒**保守的に耐専スペクトル(内陸補正なし)で評価**

耐専スペクトルの一応の適用限界ライン

- 耐専スペクトルの回帰式作成に用いた観測記録
- ▲ 耐専スペクトルの適用性検討に用いた他地点観測記録
- ▲ 震源近傍での適用性検討に用いた観測記録
- 伊方 鉛直ケース
- 伊方 北傾斜ケース

適用可

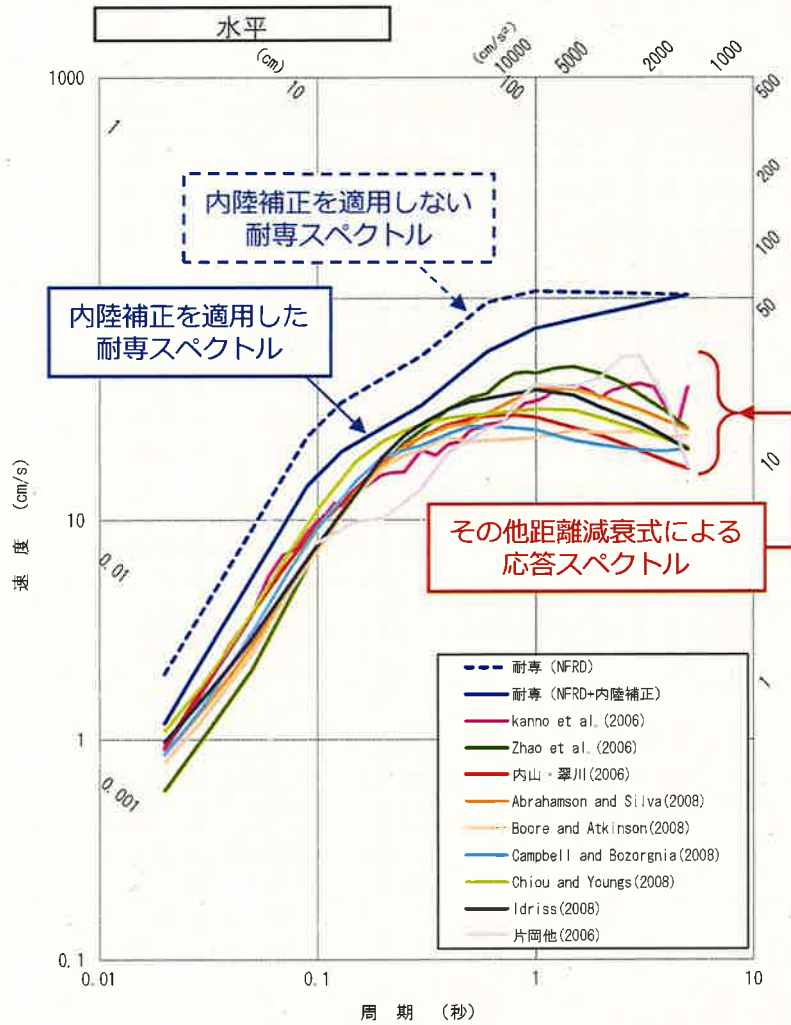
耐専スペクトル(内陸補正なし)で評価



(1) 応答スペクトルに基づく評価

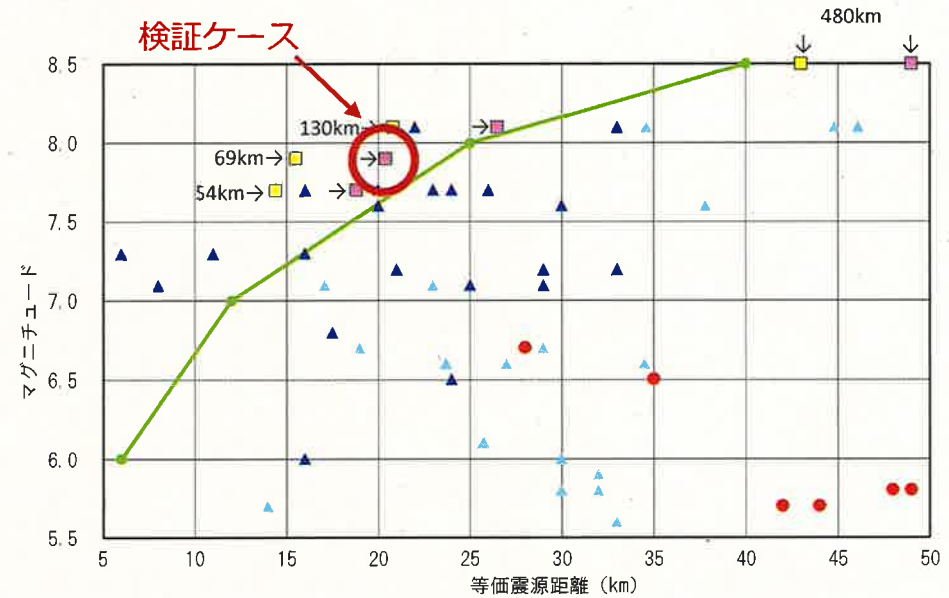
4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

地震動評価でも保守的に ~耐専スペクトルの適用性検証結果(69km×北傾斜の例)



69km×北傾斜ケースの適用性検証結果
(その他距離減衰式との比較による検証)

- 内陸補正を適用した耐専スペクトルの評価結果(—)はその他距離減衰式と比較的整合的であり、内陸補正を適用した評価が適切である。
- 内陸補正を適用しない耐専スペクトルの評価結果(----)はその他距離減衰式との乖離が大きく過大評価と考えられるが、**保守的に内陸補正を適用しない評価結果をもとに基準地震動を策定する。**



69km×北傾斜ケースの適用性検証結果
(地震規模と等価震源距離の関係による検証)

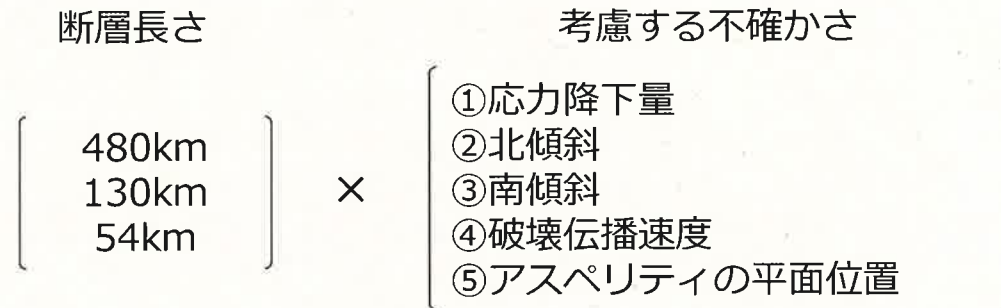
-
4. **基本スタンス②** 地震動評価を安全側に
- 4.1 地震による揺れの評価方法
 - 4.2 評価に用いる震源モデルの設定
 - 4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価
 - (1) 応答スペクトルに基づく評価
 - (2) 断層モデルを用いた手法による評価

(2) 断層モデルを用いた手法による評価

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

検討ケースと評価方法

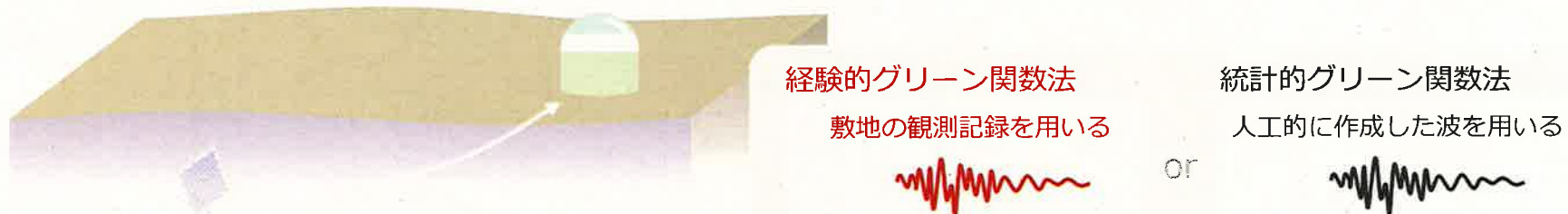
検討ケース



評価方法

- 敷地で観測記録が得られていることから、**経験的グリーン関数法**により評価する。
- 経験的グリーン関数法**は、敷地までの地震波の伝わり方(伝播特性・増幅特性)の地域的な特性が反映されるという利点がある。
- ただし、海洋プレート内地震の観測記録であるため、**統計的グリーン関数法**と**経験的グリーン関数法**との比較・検証を実施し、**経験的グリーン関数法**を用いた方が安全側となることを確認している。

経験的グリーン関数と統計的グリーン関数の違い



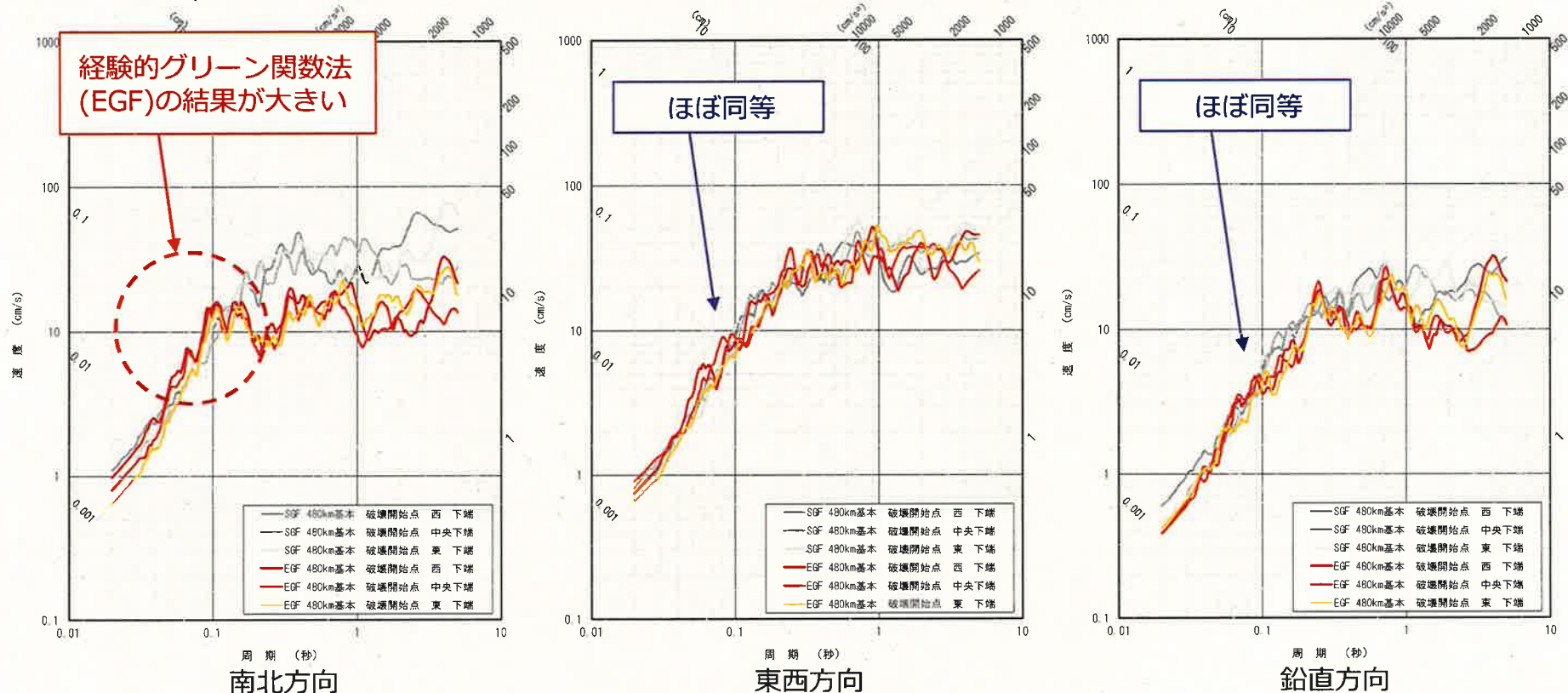
(2) 断層モデルを用いた手法による評価

4. 基本スタンス ②地震動評価を安全側に
4.3 設定したモデルを踏まえた地震動評価

保守的な結果を与える評価手法を採用

～経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法による評価結果の比較

- 断層モデルを用いた手法による評価にあたって、評価手法の違いによる影響を確認するため、経験的グリーン関数法(EGF)と統計的グリーン関数法(SGF)による評価結果を比較した。
- 東西方向と鉛直方向については、地震動レベルはほぼ同等である。南北方向では、経験的グリーン関数法で用いた要素地震の特徴から長周期側で統計的グリーン関数法の結果が大きい、**原子炉施設の主要周期帯である周期0.1秒付近に着目すると経験的グリーン関数法の方が厳しい結果**となっている。
- このため、基準地震動の策定においては、**保守的に経験的グリーン関数法による評価を採用した。**



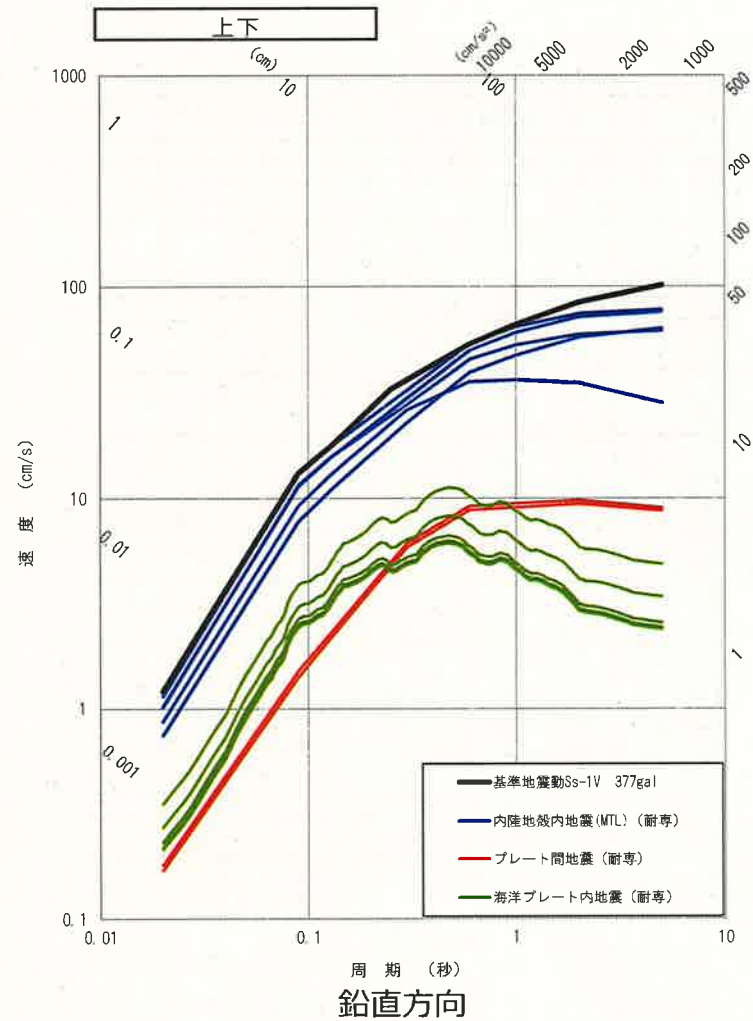
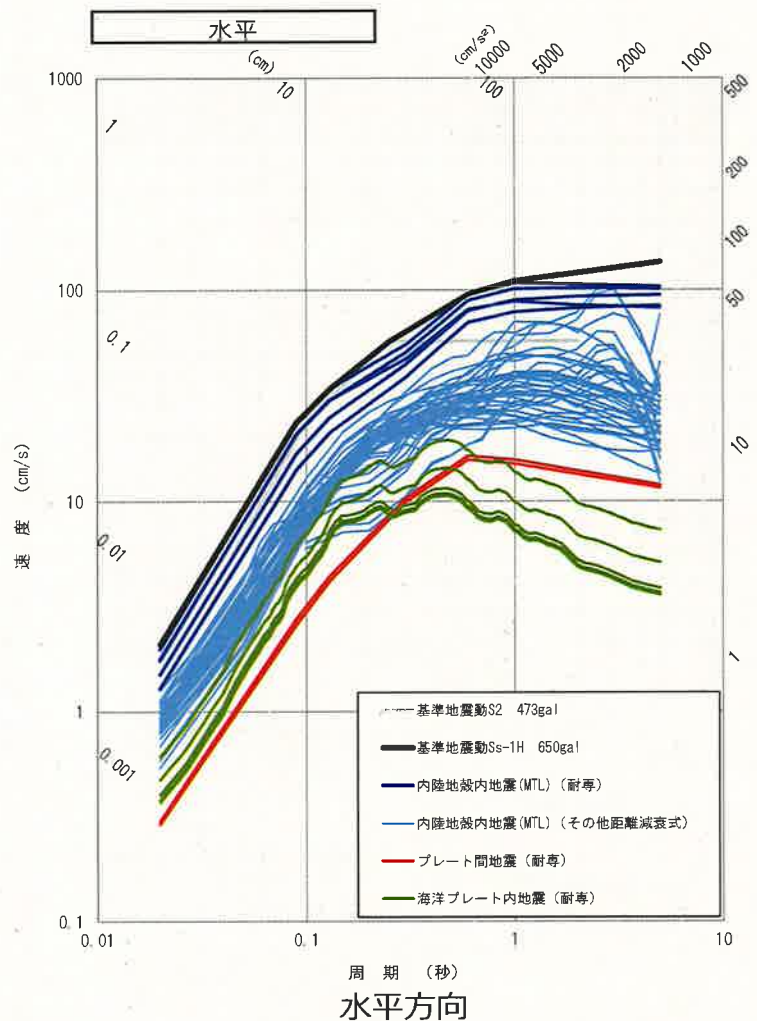
5. 基準地震動の策定結果

5. 基準地震動の策定結果

Ss-1 「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

基本スタンス②
地震動評価を安全側に

応答スペクトルに基づく評価結果を包絡するように、基準地震動Ss-1を設定する。



MTL : 中央構造線。Median Tectonic Lineの略。

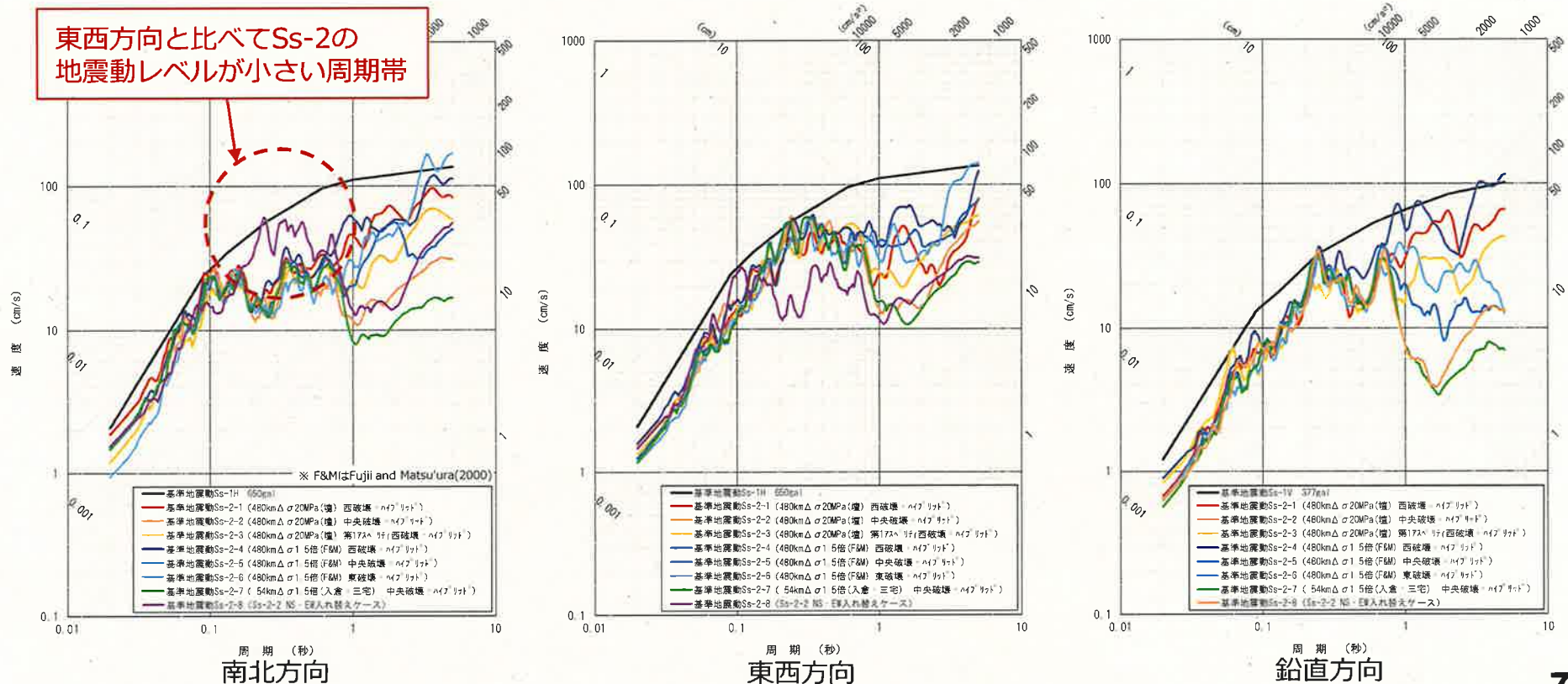
5. 基準地震動の策定結果

Ss-2 「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

- 基準地震動Ss-1を一部周期帯で超過するケースとしてSs-2-1～Ss-2-7を設定した。
- さらに、工学的判断から保守的にSs-2-8を設定した。

基本スタンス②
地震動評価を安全側に

経験的グリーン関数法に用いた要素地震は、「南北方向の一部周期帯の地震動レベルが小さい」という特徴があるが、当該周期帯はSs-1によってカバーされており、耐震評価上は問題ないと考えられるものの、保守的に工学的判断として、東西方向の周期0.2～0.3秒でSs-1を超過するケースについて、東西方向と南北方向を入れ替えたケースをSs-2-8(紫色の線)として設定した。



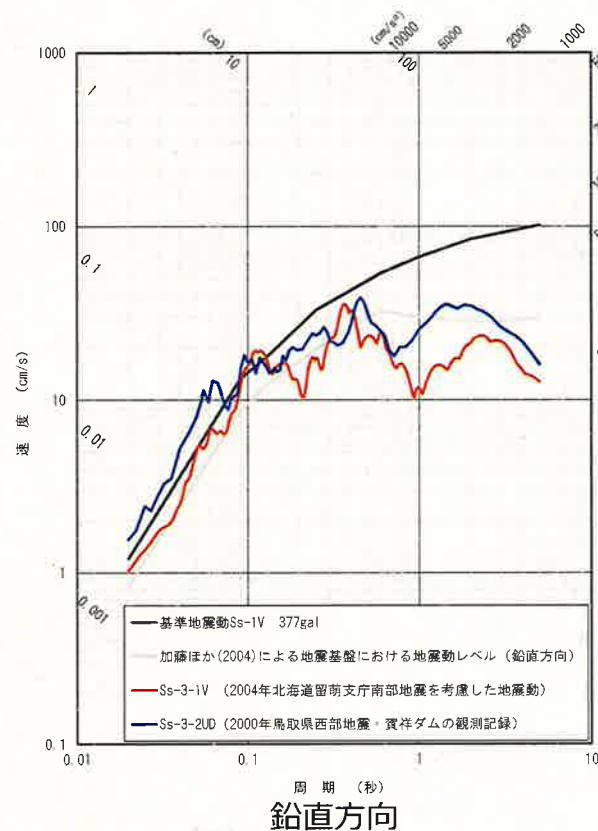
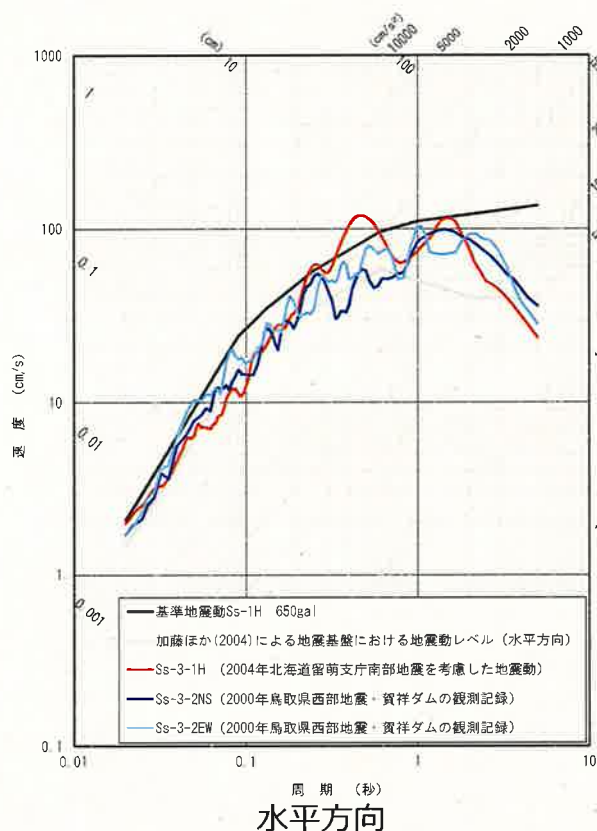
5. 基準地震動の策定結果

Ss-3 「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動

○震源を特定せず策定する地震動として、2004年北海道留萌支庁南部地震の解放基盤波及び2000年鳥取県西部地震の賀祥ダム(監査廊)の観測記録が基準地震動Ss-1を上回ることから、基準地震動Ss-3として選定する。

基本スタンス②
地震動評価を安全側に

いずれの地震動も、伊方発電所の解放基盤表面のせん断波速度(2600m/s)と比べて軟らかい地盤の地震動(賀祥ダム：約1200~1300m/s、留萌：938m/s)であり、伊方発電所の解放基盤表面相当に補正をすれば地震動は小さくなると考えられるが、保守的に地盤補正は行わずそのまま基準地震動として採用している。



5. 基準地震動の策定結果

伊方発電所で策定した基準地震動一覧

基準地震動 S s				最大加速度(cm/s ²)			
				南北方向	東西方向	鉛直方向	
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトルに基づく手法	設計用模擬地震波	Ss-1	650		377	
	断層モデルを用いた手法※	敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)	480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・西破壊	Ss-2-1	579	390	210
			480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊	Ss-2-2	456	478	195
			480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・第1アスパリティ西破壊	Ss-2-3	371	418	263
			480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・西破壊	Ss-2-4	452	494	280
			480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊	Ss-2-5	452	388	199
			480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・東破壊	Ss-2-6	291	360	201
			54km・入倉・三宅の手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊	Ss-2-7	458	371	178
			480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊・入れ替え	Ss-2-8	478	456	195
震源を特定せず策定する地震動	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動		Ss-3-1	620		320	
	2000年鳥取県西部地震賀祥ダムの観測記録		Ss-3-2	528	531	485	

※ 敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)による評価が支配的であり、海洋プレート内地震、プレート間地震の評価は敷地からの距離が遠いことなどにより基準地震動Ss-1に包絡されているため、Ss-2としては設定していない。

※ F&M : Fujii and Matsu'ura (2000)

6. まとめ

6. まとめ

本日の説明内容のまとめ と 今後の継続的な取り組みについて

- 伊方発電所の基準地震動は、敷地周辺で発生し、敷地に影響を及ぼす可能性のある地震について、**十分な調査で地域特性を知り（＝基本スタンス①）**、地震動評価を安全側に（＝**基本スタンス②**）することにより、十分な**信頼性・保守性が確保**されているものである。
- さらには、別途ご説明するとおり、施設の耐震安全性の評価における評価基準値や評価値の保守性、耐震補強や点検などの地震に備えたハード・ソフト両面の対策の整備などによって、発電所全体としての総合的な安全性が確保されるよう、十分な配慮がなされているものである。
- しかしながら、地震への備えは「**十分**」であっても「**絶対**」ではない。
- 「想定を超えることはあり得る」という福島第一原子力発電所事故の反省をしっかりと認識し、常に「より十分」を目指し、**最新の科学的・技術的知見の収集やそれを踏まえた安全性向上に対する取り組み**を怠らないことが何よりも重要である。
- 当社は、今後とも、国内外の最新知見の収集に加え、**自主的な調査・研究を継続して科学的・技術的知見の拡充に努める**ことにより、伊方発電所の安全性・信頼性の向上に万全を期していく所存である。

6. まとめ

「基本スタンス ②地震動評価を安全側に」に則り考慮した保守性

1. 基本震源モデルの設定 ～基本モデルを保守的に

- 活断層を延ばす・繋げる等して基本モデルを保守的に設定
- 事前(地震発生前)の特定が困難な不確かさを基本震源モデルに重畳させる

2. 不確かさ考慮モデルの設定 ～さらに不確かさを考慮

- 事前に平均的なモデルが特定できる不確かさは独立した不確かさとして設定

3. 地震動評価

＜応答スペクトルに基づく評価＞

- 基本とする断層長さ以外にも、保守的に69kmケースを想定
- 耐専スペクトルの評価では、内陸補正を適用せずに地震動を大きめに評価

＜断層モデルを用いた手法による評価＞

- 原子力発電所の主要施設にとって安全側の評価を与える経験的グリーン関数法を採用

4. 基準地震動の策定

- 応答スペクトルに基づく評価結果の全てを包絡して $S_s - 1$ を設定
- $S_s - 1$ を超過するケースを $S_s - 2 - 1 \sim S_s - 2 - 7$ として設定
- 経験的グリーン関数の特徴を踏まえ、工学的判断として $S_s - 2 - 8$ を設定
- 敷地との地盤の硬さの違いをあえて考慮せず、 $S_s - 3$ を保守的に設定