

女川原子力発電所3号機の耐震安全性について

～地震によるプルサーマルへの影響について～

平成21年12月

東北電力株式会社



論点7 地震によるプルサーマルへの影響について

プルサーマルの実施により、MOX燃料を採用することになるが、燃料以外の設備には変更はなく、耐震安全性は従来と変わらない。

MOX燃料も従来のウラン燃料と基本的な構造は同じであり、耐震強度としても影響はない。

よって、地震によるプルサーマルへの影響としては、検討課題にもあげられているとおり、現在実施している新耐震指針に照らした女川原子力発電所の耐震安全性評価の内容についてご説明する。

また、新潟県中越沖地震を踏まえて、耐震安全性評価に反映した内容の他、防災体制への反映等についてご説明する。



ご説明の内容

論点7 地震によるプルサーマルへの影響

検討課題

- ① 新しい耐震指針により、どのようにして耐震安全性を確認（バックチェック）しているのか。（P63）
- ② 地震の想定が小さいのではないか。（P64）
- ③ 中越沖地震における知見はどのように活かしたのか。（P65）
- ④ 実際に地震により被災した場合、どのくらい被害を想定していて、また、防災体制はどうなっているのか。（P74）
- ⑤ プルサーマルを実施すると、地震の際に危険性が増すのではないか。（P77）

※（ ）内の数字は、各項目のまとめの頁を示す



検討課題①～③について

検討課題①～③については、新耐震指針による既設発電所の耐震安全性評価（バックチェック）の中で検討していることから、合わせて耐震安全性評価の内容として説明する。

<説明内容>

1. 耐震安全性評価に係る状況
2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価
 - (1) 地質調査の実施・活断層の評価
 - (2) 基準地震動 S_s の策定
 - (3) 施設等の耐震安全性評価

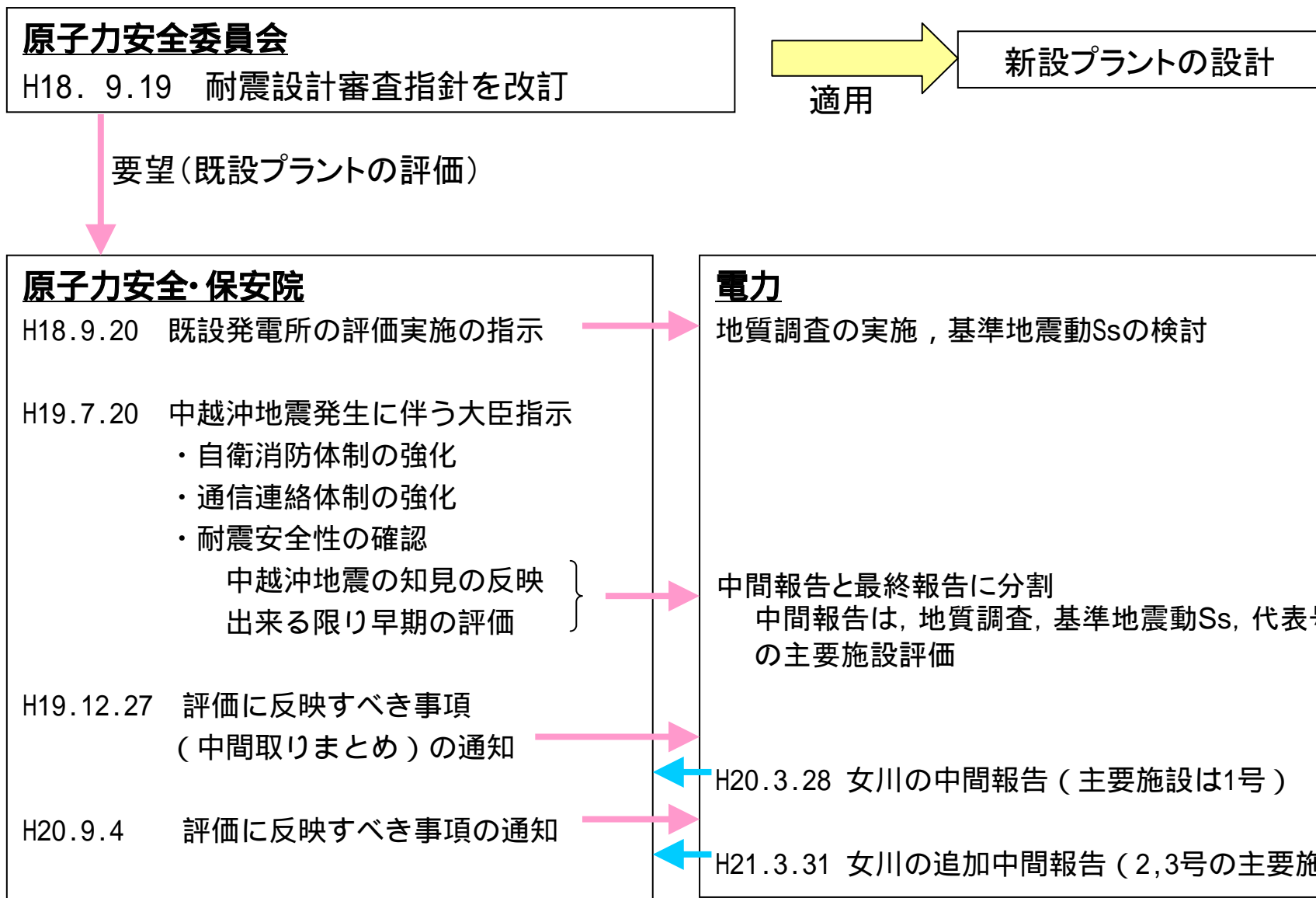


検討課題①～③について

1. 耐震安全性評価に係る状況



1.1 新耐震指針に照らした耐震安全性評価(バックチェック)の経緯



1.2 耐震安全性評価の位置付け

- 新指針は、**最新の知見・技術**を取り入れ、より一層の高度化を図るもの
- 新指針は**旧指針を否定するものではない**
 - ⇒ 原子炉施設は裕度を持って設計しており、旧指針でも耐震安全性は確保されている
- 今後の**新設プラント**に適用
 - ⇒ 既設のバックチェックにより、より一層の信頼性向上を図る
- **中越沖地震**により得られた知見も反映
 - ⇒ 入念な地質調査に基づき、より安全側に活断層を評価
 - ⇒ 不確かさを考慮した地震動の評価

1.3 新耐震設計審査指針のポイント

旧指針 S56.7

- ・ 考慮すべき活断層の活動時期の範囲:5万年以降
- ・ M6.5「直下地震」の想定
- ・ 設備の重要度分類(As,A,B,C)

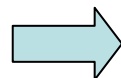
- ・ 文献調査, 空中写真判読, 現地調査等による活断層調査を実施

- ・ 水平方向について, 基準地震動を策定
- ・ 地震規模と震源からの距離に基づき経験式による地震動評価(応答スペクトルに基づく地震動評価)

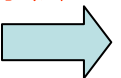
より厳しい
水準



より入念な
調査



より高度な
手法



新指針 H18.9

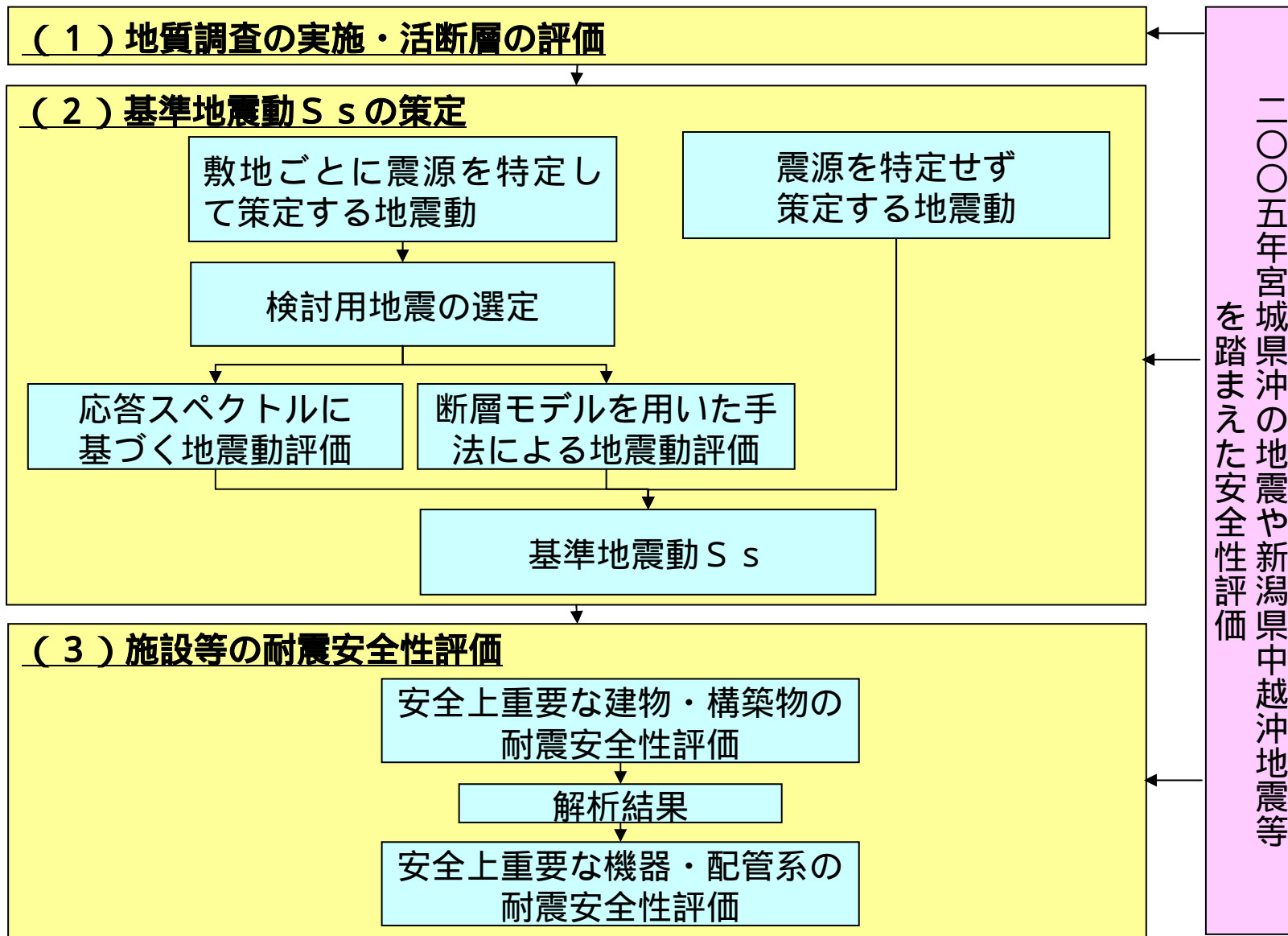
- ・ 考慮すべき活断層の活動時期を12～13万年以降に拡大
- ・ 「直下地震」に代えて国内外の観測記録を基により厳しい「震源を特定せず策定する地震動」を設定(M6.8程度に相当)
- ・ AクラスをAsに格上げしSクラス

- ・ 従来の調査に加え, 不明瞭な活断層を見逃さないよう, 変動地形学的手法等を用いた総合的な活断層調査を実施

- ・ 水平方向に加え鉛直方向についても基準地震動を策定
- ・ 応答スペクトルに基づく評価に加え, より詳細な断層モデルによる地震動評価を採用



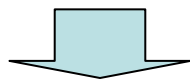
1.4 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ



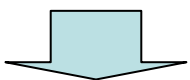
1.5 女川原子力発電所1号機の耐震安全性評価

現在、新耐震指針に照らした耐震安全性評価(地質調査, 基準地震動 S_s , 1号機主要設備の評価)を実施中

(1) 地質調査の実施・活断層の評価



(2) 基準地震動 S_s の策定



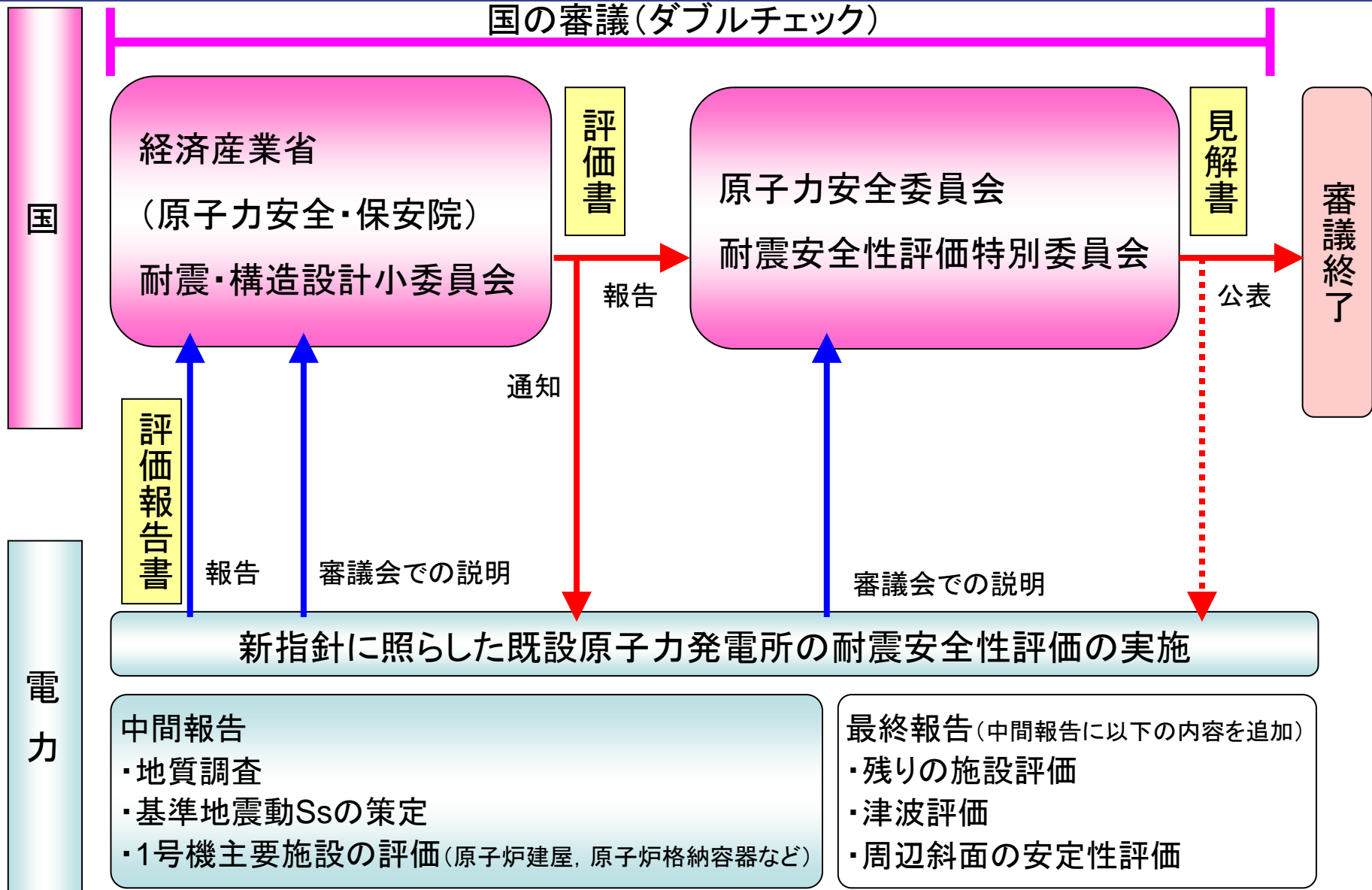
(3) 施設等の耐震安全性評価



原子力安全・保安院
の審議は終了し, 引
き続き原子力安全委
員会による審議

- 平成20年3月 中間報告
(地質調査, 基準地震動 S_s , 1号機主要設備の評価)
- 平成21年3月 中間報告[改訂版]
(2号, 3号主要設備の評価)

1.6 耐震安全性評価の審議の流れ



1. 耐震安全性評価に係る状況

1.7 女川原子力発電所1号機の審議体制

原子力安全・保安院での耐震安全性評価審議体制

以下のワーキンググループ体制で審議

耐震・構造設計小委員会

- ・委員は関連する分野の専門家が就任しており、各WGの構成員は小委員会委員で構成
- ・会合はすべて公開

地震・津波，地質・地盤合同WG

(主に地質，活断層，地震動を審議)

地震・津波WG

地質・地盤WG

委員25名 のべ5回審議

合同A-SG

合同B-SG

合同B-SG

……女川原子力発電所
委員8名 のべ10回審議

構造WG

委員14名 1回審議

(主に建物，施設評価を審議)

構造A-SG

構造B-SG

構造C-SG

……女川原子力発電所
委員5名 のべ11回審議



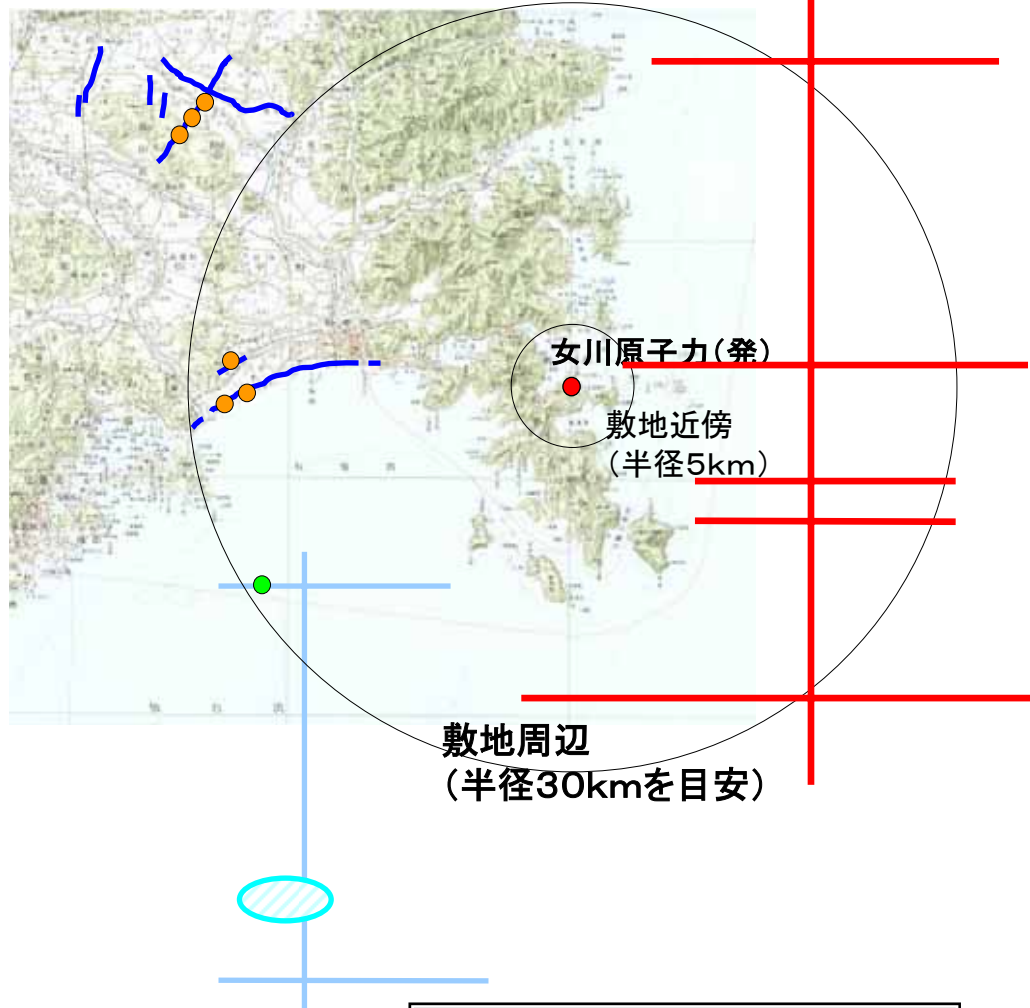
2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価

(1) 地質調査, 活断層評価



(1) 地質調査, 活断層評価 **地質調査の実施**

地質調査・解析範囲



この地図は、国土地理院発行の20万分の1地勢図(石巻)を使用したものである。

既存データに加え, 新耐震指針に照らした各種地質調査(変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等)を実施

- (敷地周辺を対象に実施)
 - ・空中写真判読
 - ・地表地質調査
 - ・既往データの解析
- (断層等を対象に実施)
 - ・反射法地震探査等
 - ・ボーリング調査
 - ・海上音波探査(仙台湾)
 - ・追加海上音波探査(太平洋)
 - ・海上ボーリング調査
 - ・柱状採泥調査

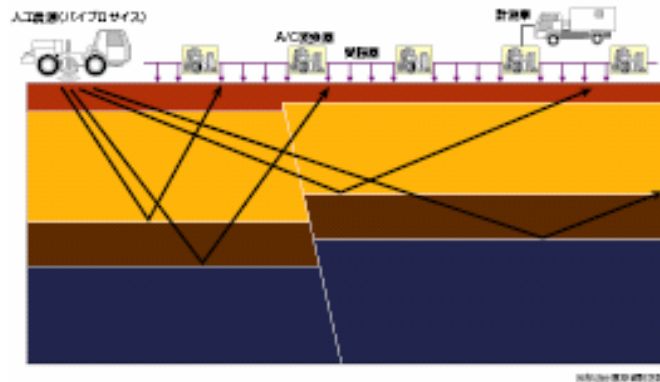


地表地質調査

- ・敷地周辺約30kmの範囲
- ・敷地近傍の島しょ・岩礁部,
入り組んだ海岸線沿いの露頭も
詳細調査



反射法地震探査



大型起震車

起震車により地下に振動を与え, 反射波をとらえて地下構造を把握

中深度を対象とした起震車

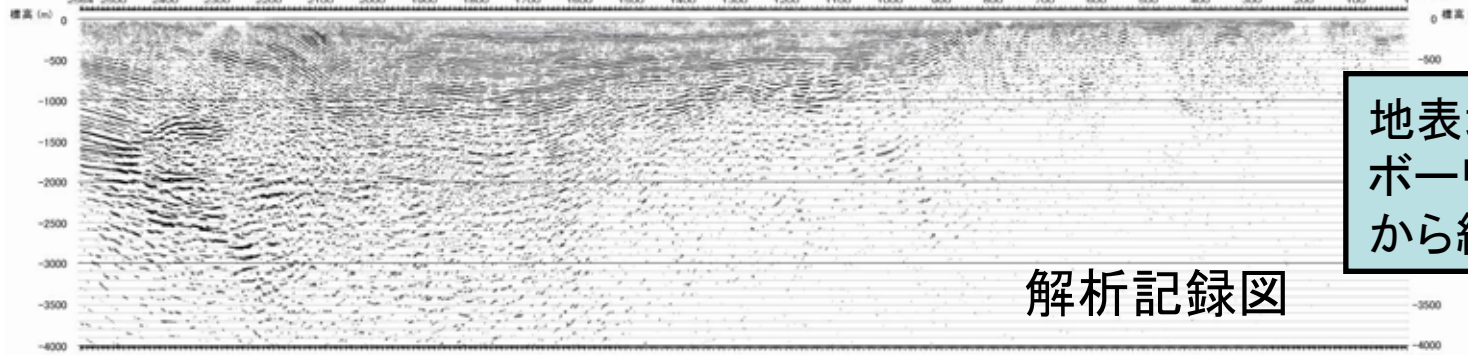


検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

(1) 地質調査, 活断層評価 深部反射法断面及び地質解析断面図の例

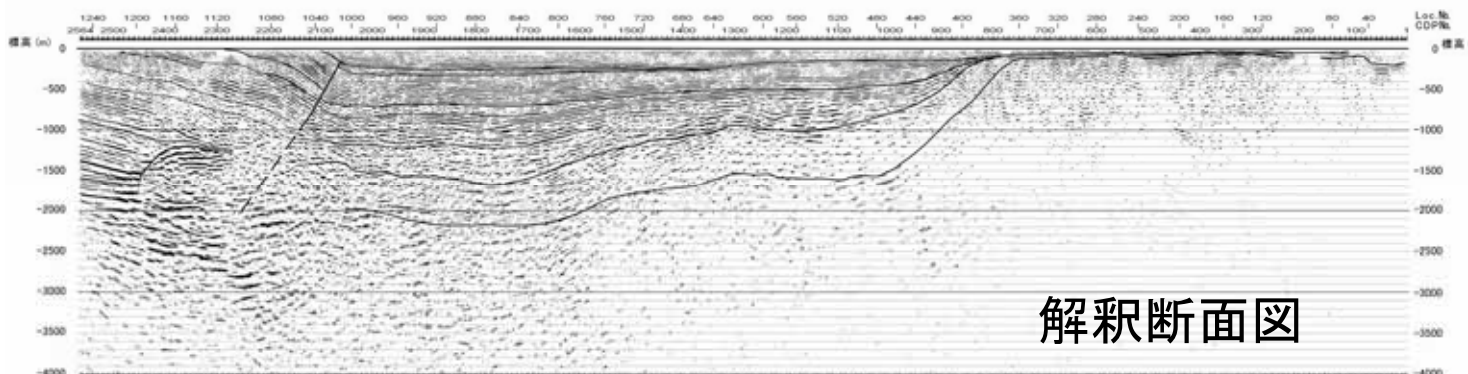
仙台湾沿岸で須江断層の南端を確認した例

須江断層延長想定位置



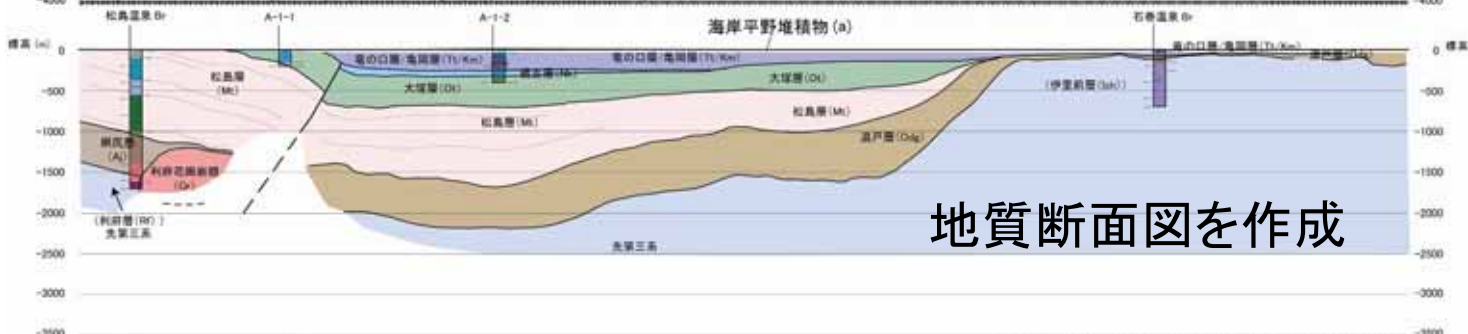
解析記録図

地表地質調査,
ボーリングデータなど
から総合的に判断



解釈断面図

- 須江断層：
認められない
- 平野西部に
西上がりの
逆断層・撓曲：
 - ・中新統及び
鮮新統下部
まで変位・変形
 - ・鮮新統上部より
上位の地層に
変位・変形なし



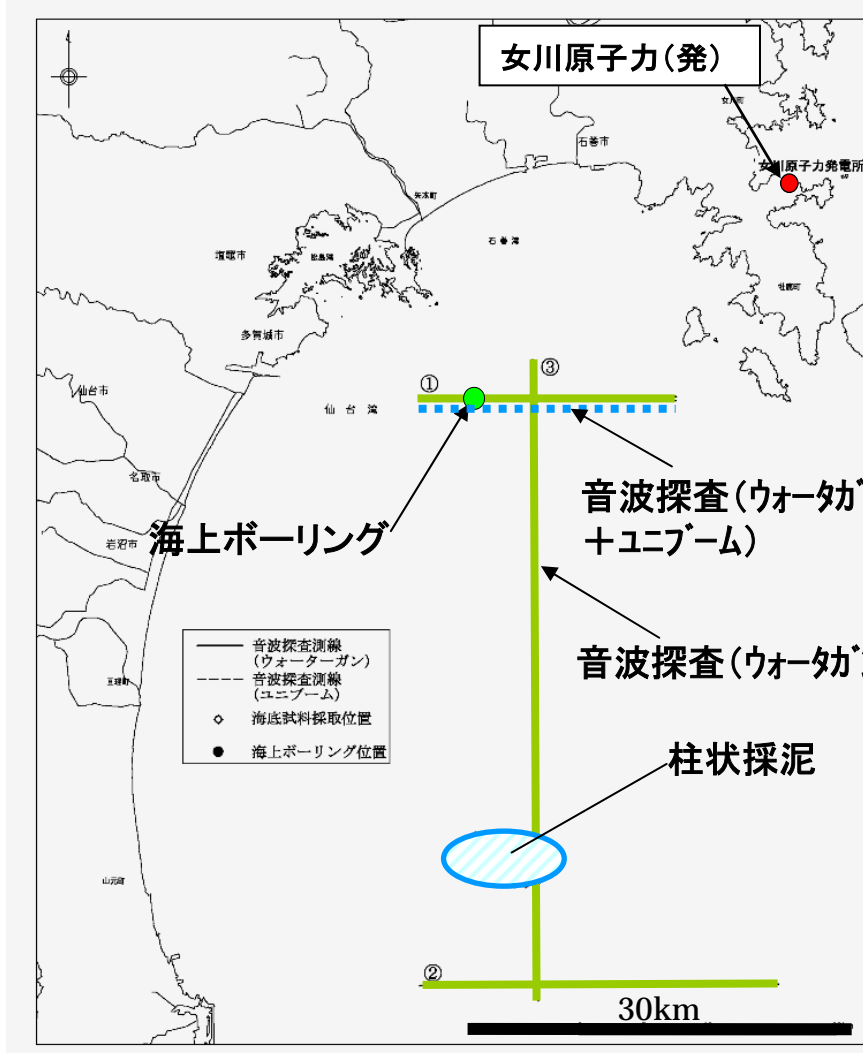
地質断面図を作成

(縦：横 = 1：1)



(1) 地質調査, 活断層評価 海域における詳細な地質調査(仙台湾海域)

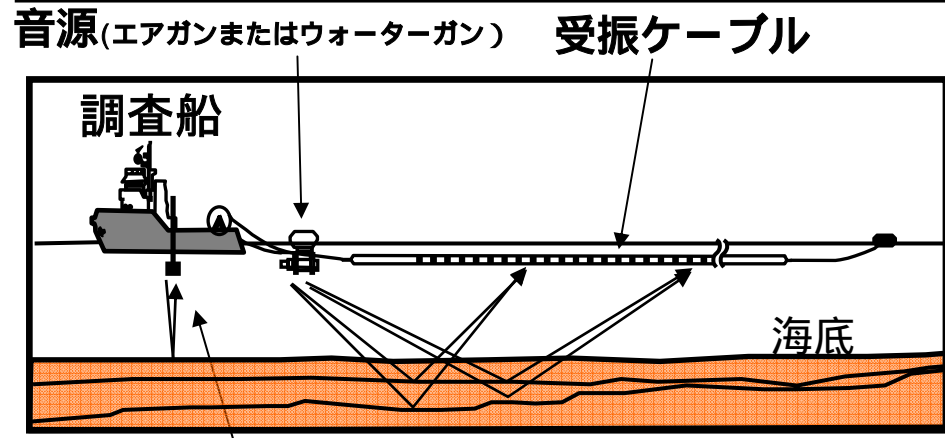
海上ボーリング調査, 海上音波探査, 柱状採泥



・海上ボーリング調査
海底の地層を直接採取し, 年代を分析



・海上音波探査
分解能の高い音波探査で地層の変形等を確認

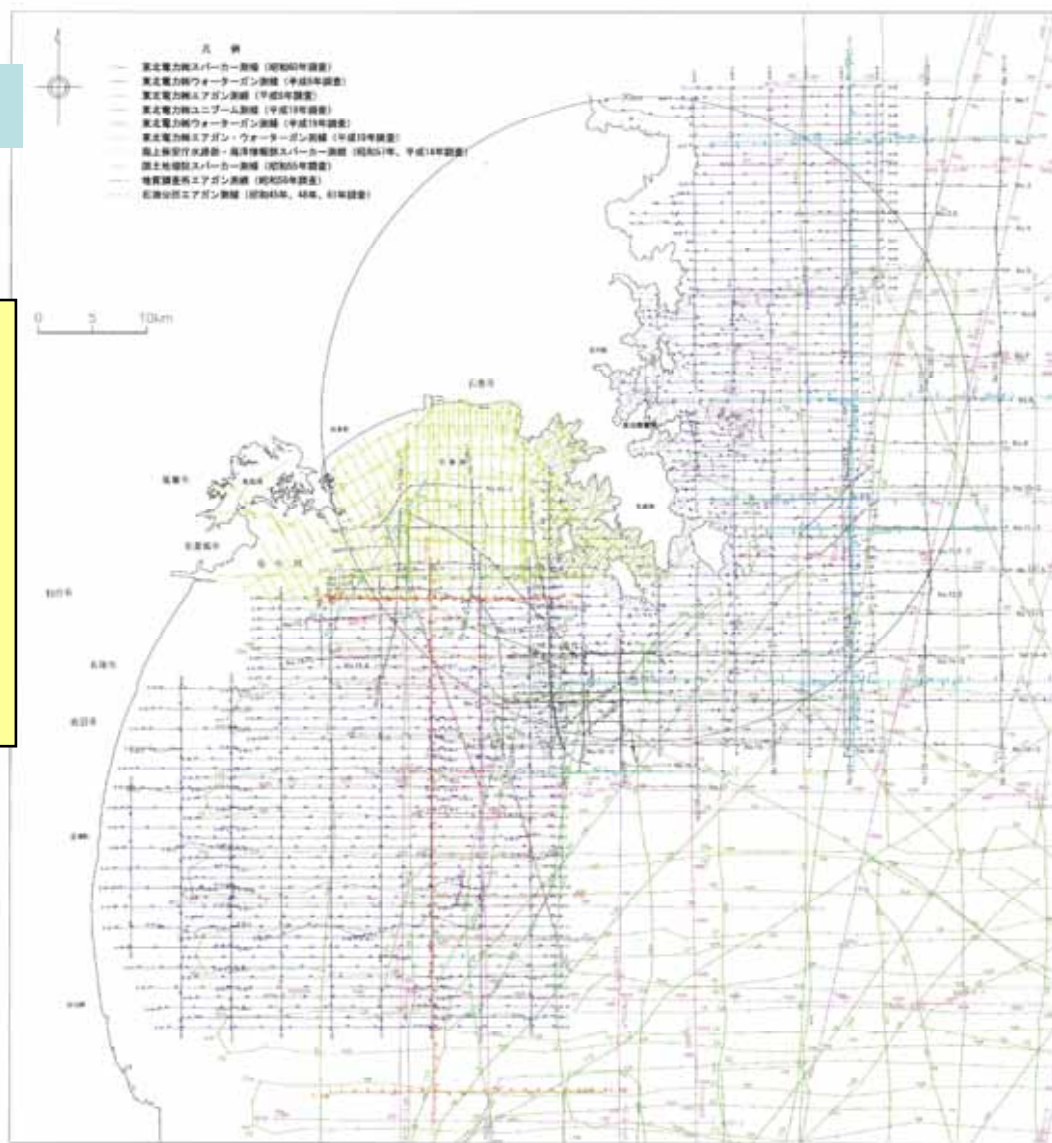


検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

(1) 地質調査, 活断層評価 海域における詳細な地質調査(既存調査)

既存の海上音波探査測線図

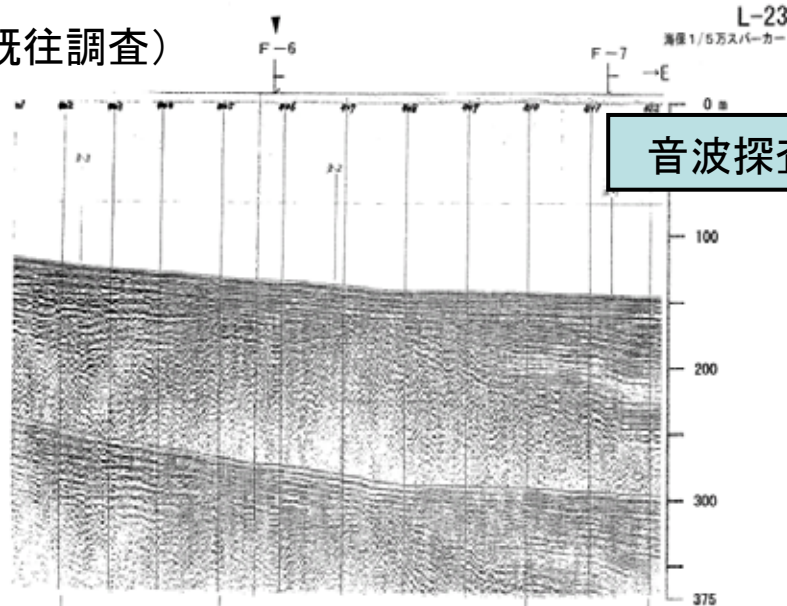
- ・探査測線解析総延長
自社記録 約1400km
海上保安庁等他機関記録
約700km
総延長 約2100km
- ・測線間隔 4km～8km



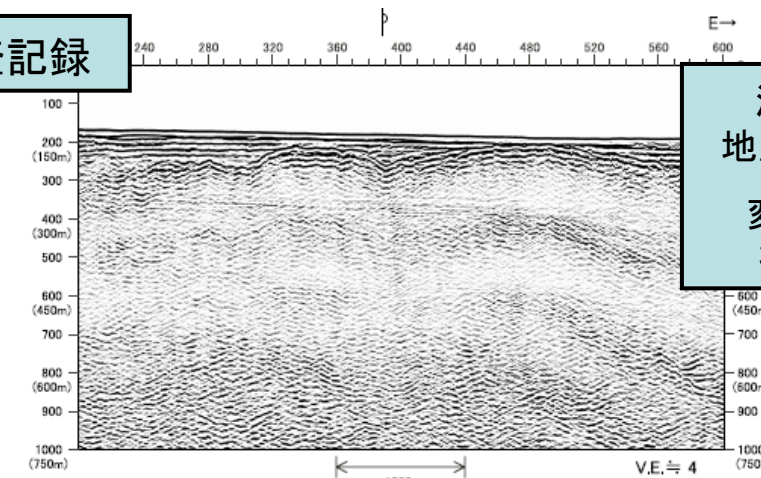
検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

(1) 地質調査, 活断層評価 海上音波探査記録の例(既往調査と追加調査)

(既往調査)



(追加調査) より深部の地層を確認



No.10.3M-2
[東北マルチチャンネル]
(ウオーターガン)

音波探査記録

海底地下の
地層区分を解析
変位・変形の
状況を確認

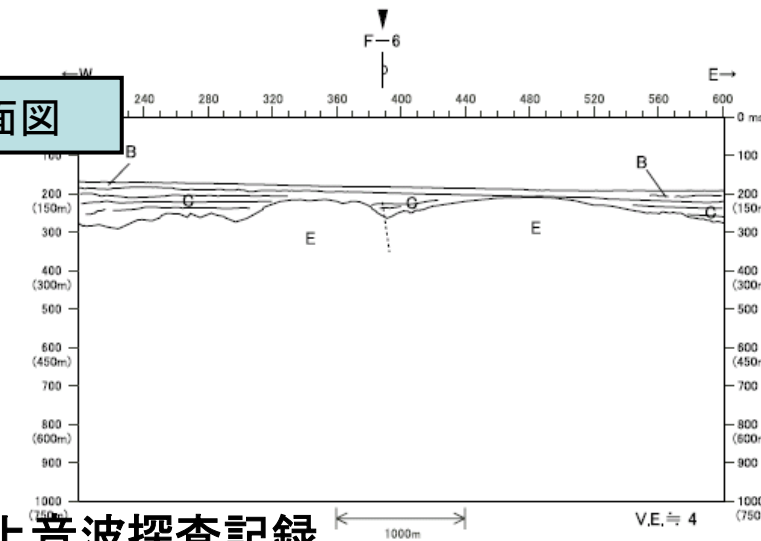
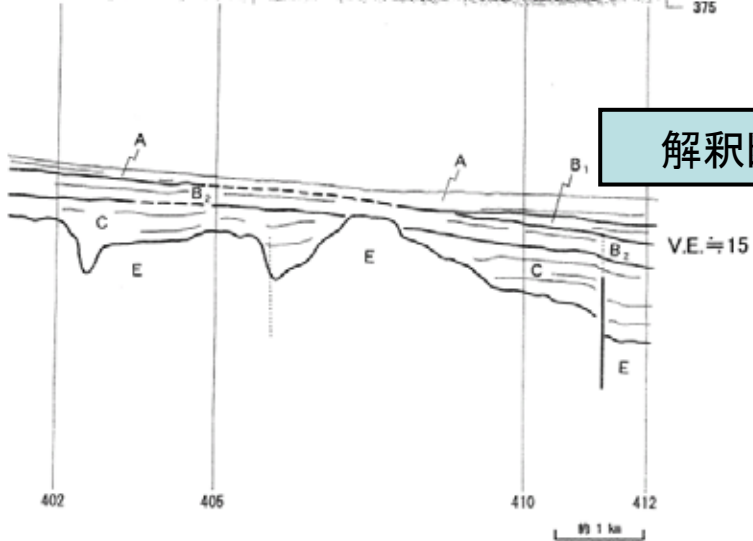


- ・層序区分,
地層分布,
地質構造は
整合的な結果

(断層位置,
変位・変形
の状況も
整合的)

- ・地下深部の
地質構造を
明確に確認

解釈断面図



F-6断層の海上音波探査記録



① 陸域

- ・旭山撓曲・須江断層の活動性及び連続性
2003年宮城県中部の地震の発生, その後の調査データ等を踏まえ, 旭山撓曲・須江断層を一連の断層帯として評価

② 海域

- ・F-6断層～F-9断層の活動性及び連続性
一連の断層群として長さ約22kmと評価

今回個別のセグメントを安全側に一連の断層群と評価し, この断層による地震を検討用地震として選定

- ・F-15断層・16断層の活動性及び連続性
一連の断層として長さ約38.7kmと評価

検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

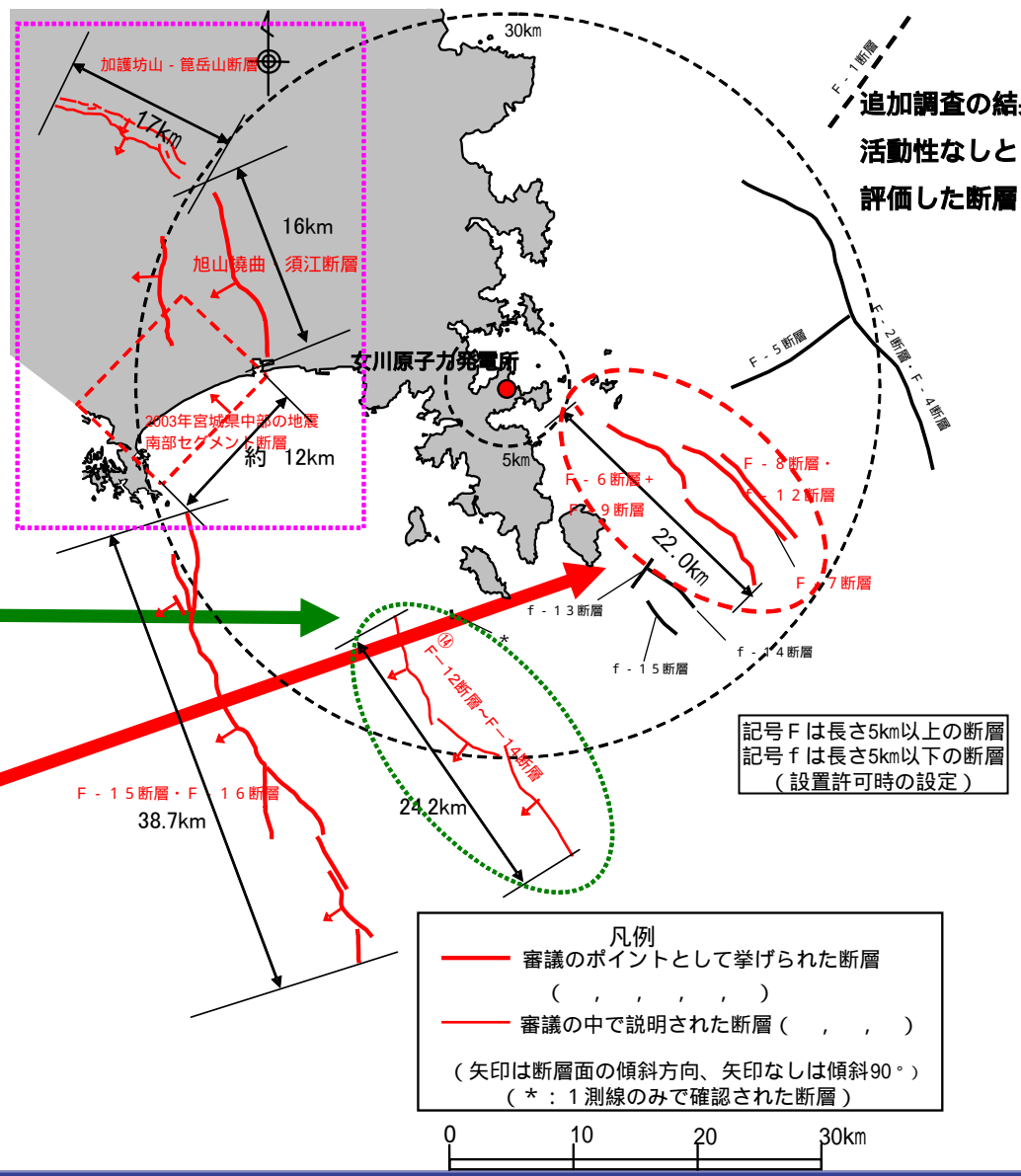
(1) 地質調査, 活断層調査 国の審議における指摘

それぞれの断層が単独に動くものと考えられるが、連鎖的に動いた場合の影響について確認

同時に動いたとしても、基準地震動Ssを下回ることを確認

海域のF-12～F14断層の活動性評価について議論があり、安全側の評価として活動性を考慮

基準地震動Ssの策定において検討用地震として選定された断層群



追加調査の結果、活動性なしと評価した断層

記号Fは長さ5km以上の断層
記号fは長さ5km以下の断層
(設置許可時の設定)

凡例

- 審議のポイントとして挙げられた断層 (, ,)
- 審議の中で説明された断層 (, ,)

(矢印は断層面の傾斜方向、矢印なしは傾斜90°)
(* : 1測線のみで確認された断層)



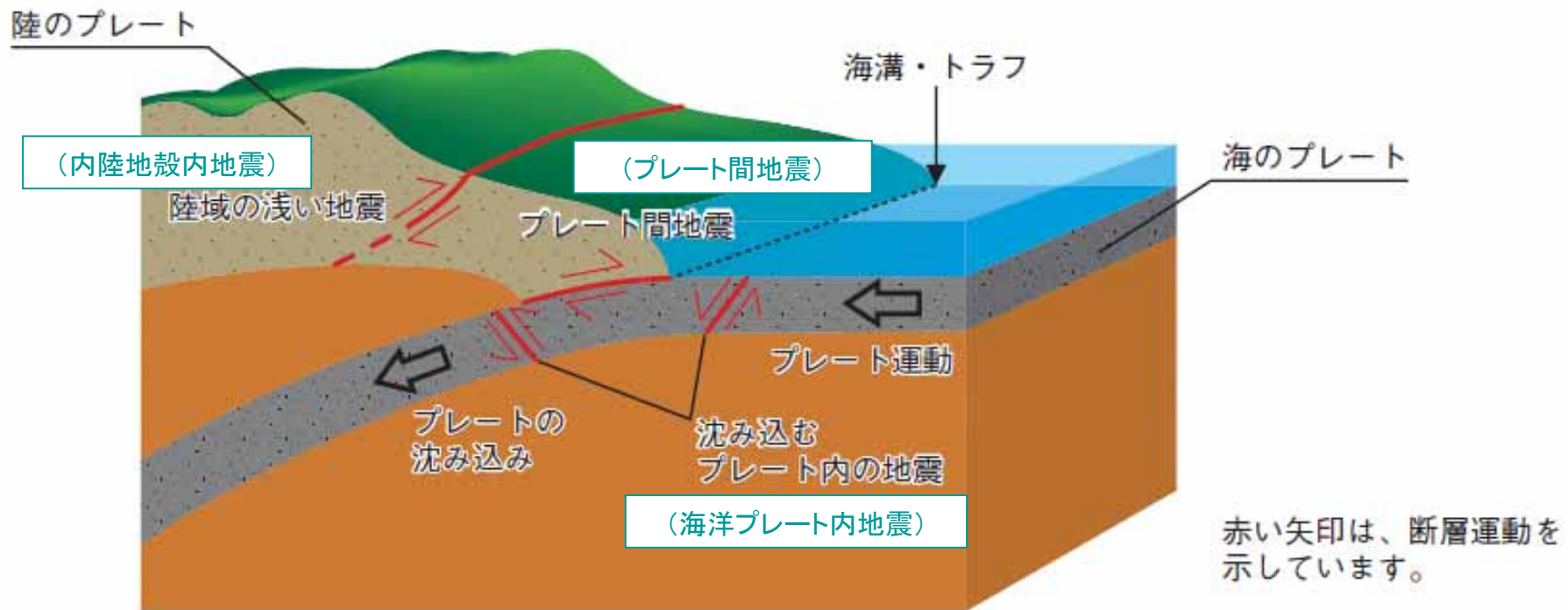
検討課題①～③について

2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動 S_s の策定



検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～ 女川原子力発電所において考慮する主な地震の種類

(1) 敷地周辺の地震発生様式



地震発生様式の模式図(文部科学省パンフレットより抜粋, 一部加筆)

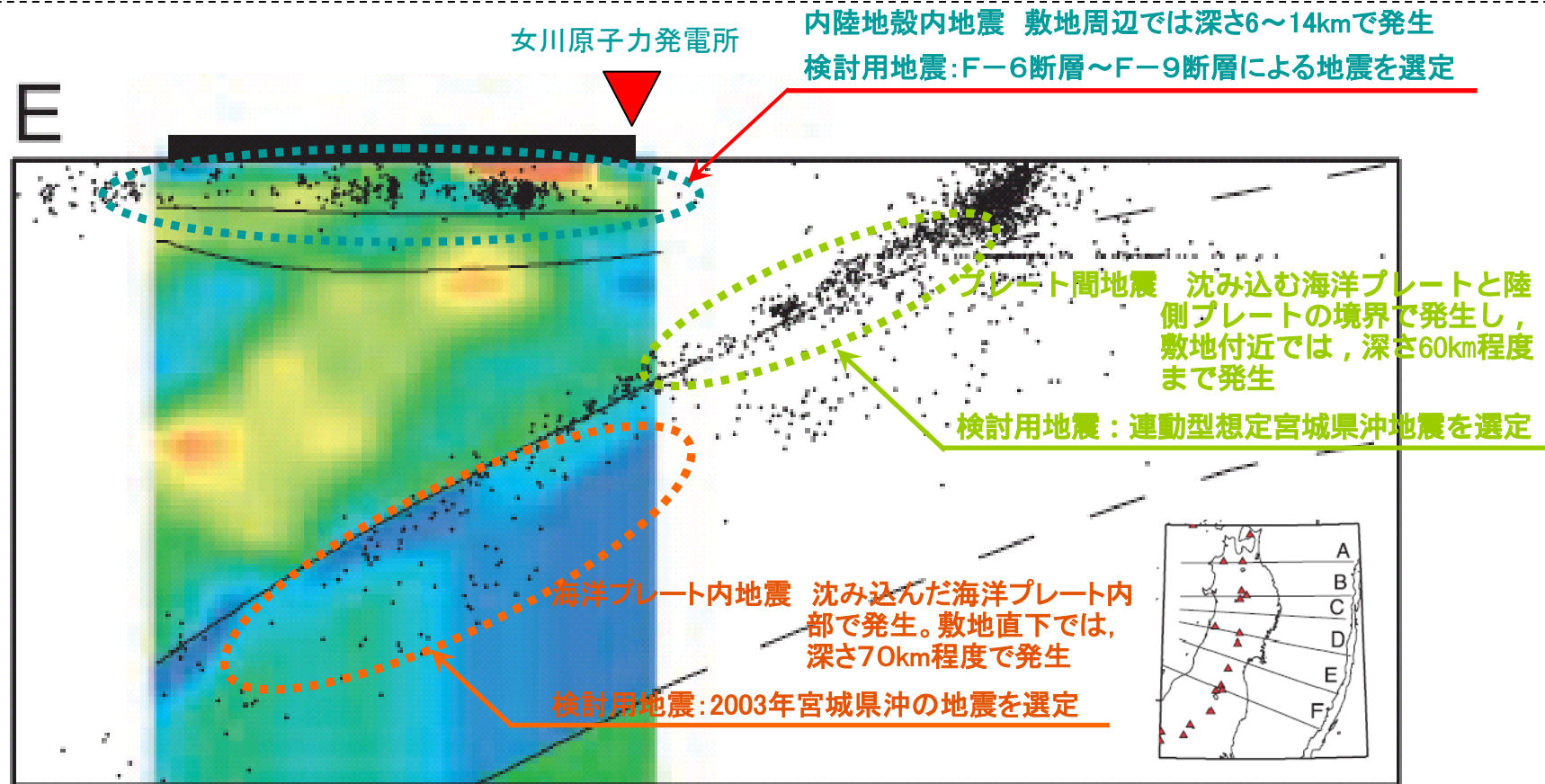
敷地周辺に発生する地震は、プレート間地震、海洋プレート内地震及び内陸地殻内地震に分類される



検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～ 女川原子力発電所において考慮する主な地震の種類

(2) 敷地周辺の震源鉛直分布

■ 各地震発生様式ごとの検討用地震については、後ほど説明

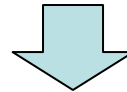


敷地周辺における震源鉛直〔中島・長谷川(2008)に一部加筆〕



耐震設計審査指針に基づき、2種類の基準地震動を策定

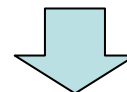
敷地周辺の詳細な地質調査、地震の発生状況の調査を実施



敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

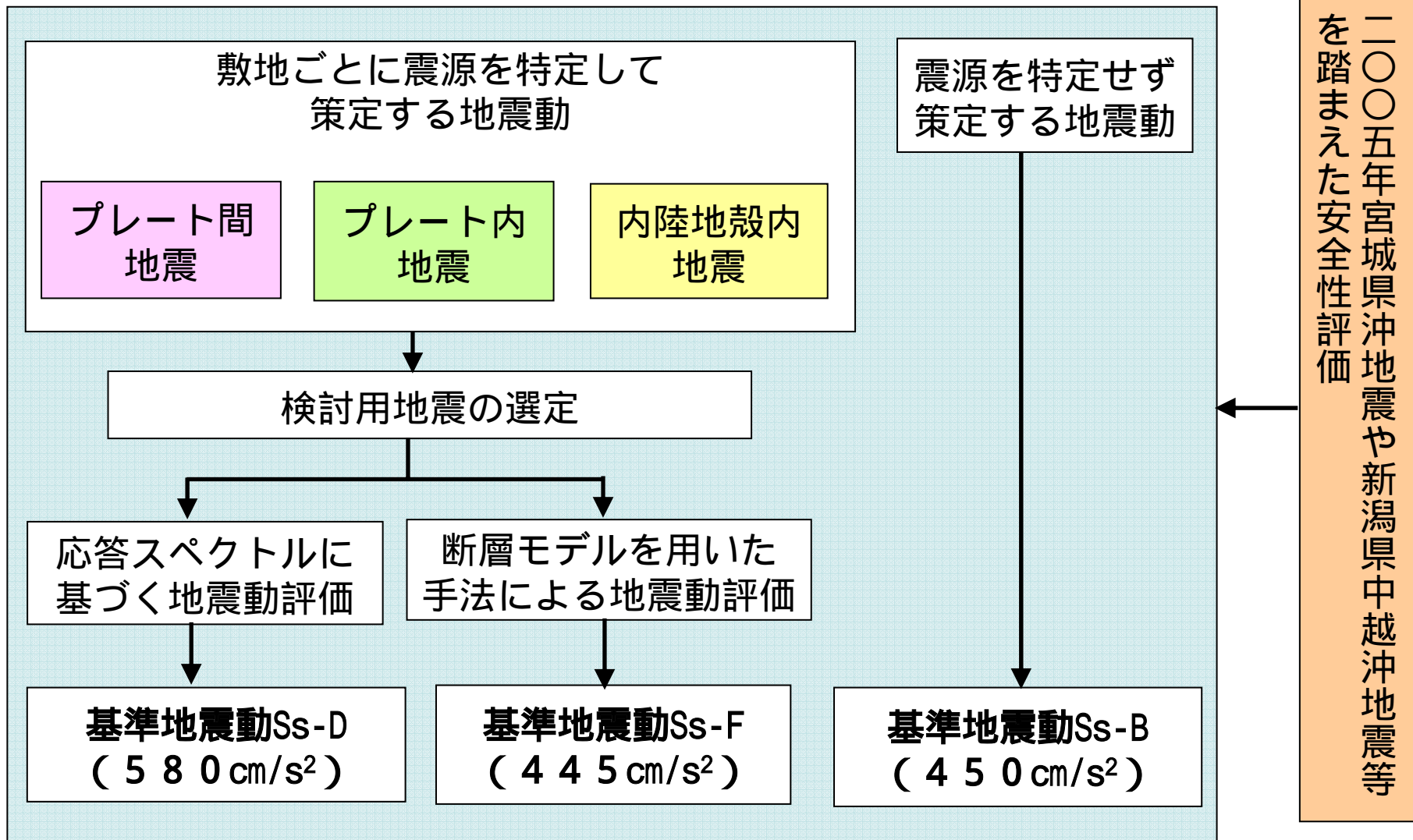
敷地周辺の活断層の性質、過去及び現在の地震の発生状況等を考慮し、敷地に大きな影響を与えると予想される地震(検討用地震)を選定

- 敷地周辺の状況を十分考慮した詳細な調査を実施したとしても、なお敷地近傍で発生する可能性のある内陸地殻内地震を全てを事前に評価するとは言い切れないとの観点から想定
- 詳細な調査の結果に関わらず考慮



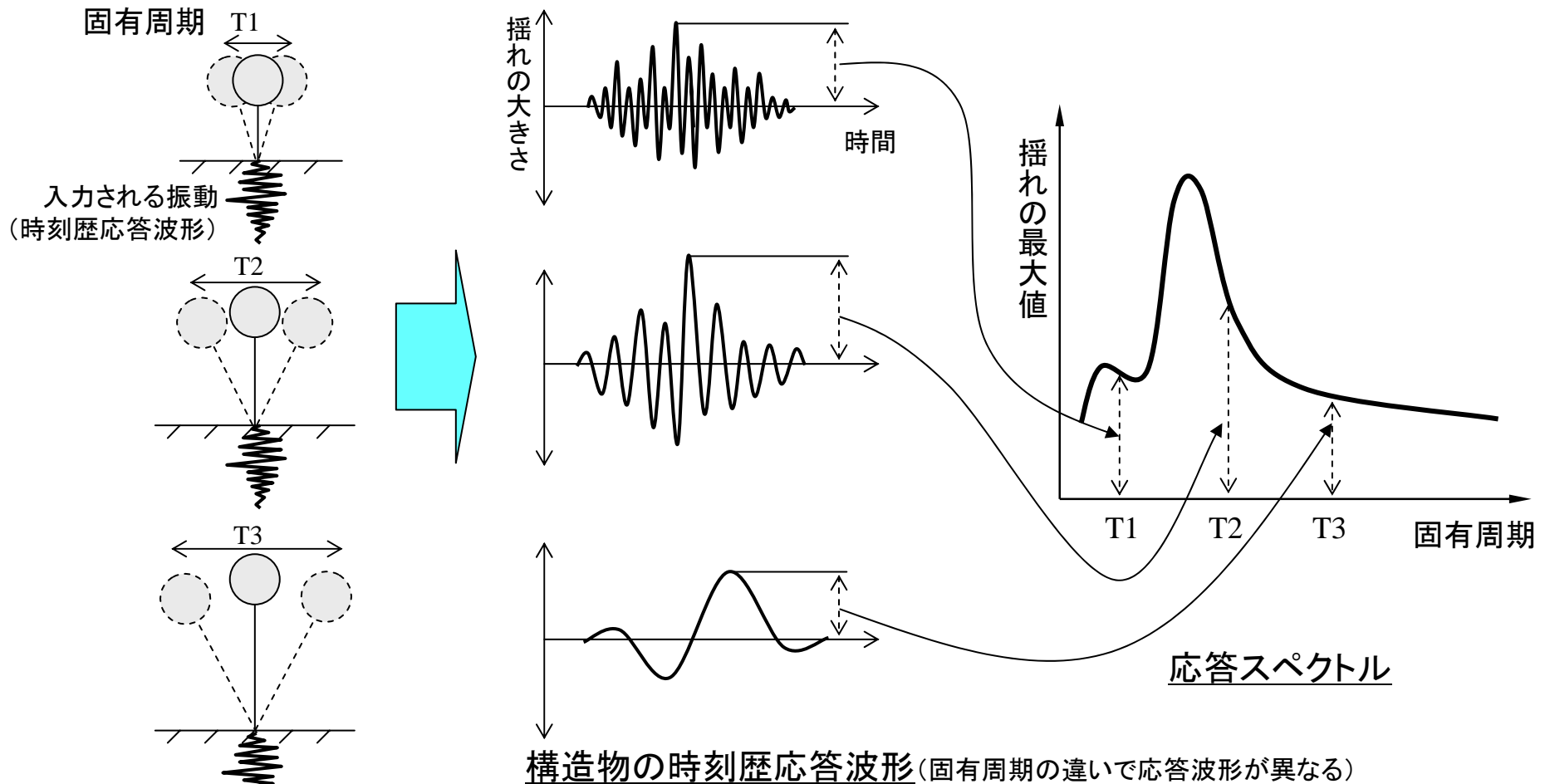
震源を特定せず策定する地震動

(2) 基準地震動Ssの策定 基準地震動の評価フロー



【参考】 応答スペクトル(1)

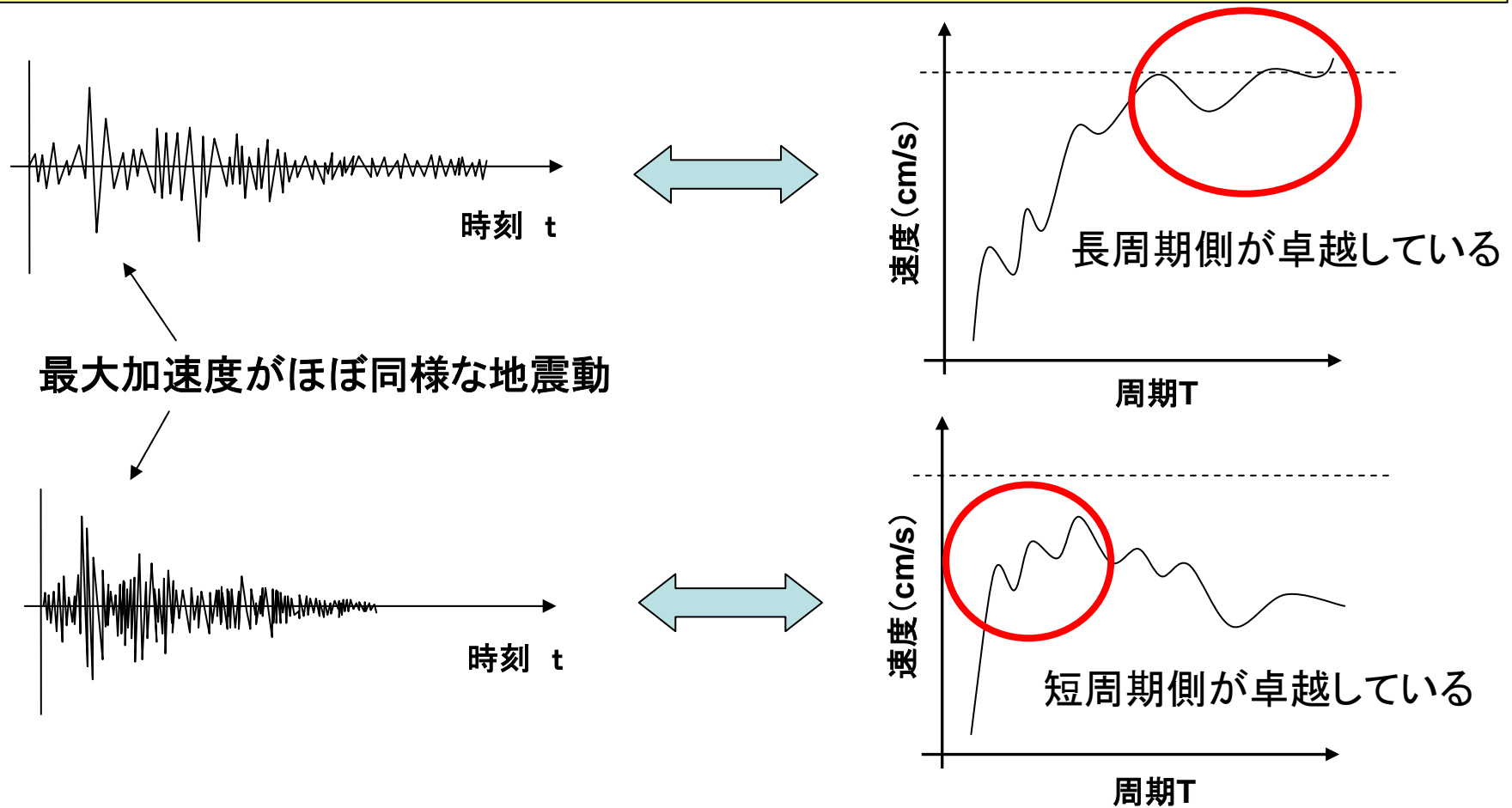
地震動によって建屋，機器などの構造物は，据え付けられている場所の揺れにより振動する。固有周期が異なる構造物を同じ揺れ(地震動)により振動させた場合，その構造物が最大でどの程度揺れるか固有周期ごとの最大値をプロットしたグラフが応答スペクトルである。横軸に構造物の固有周期，縦軸に揺れの最大値(速度や加速度など)を表している。



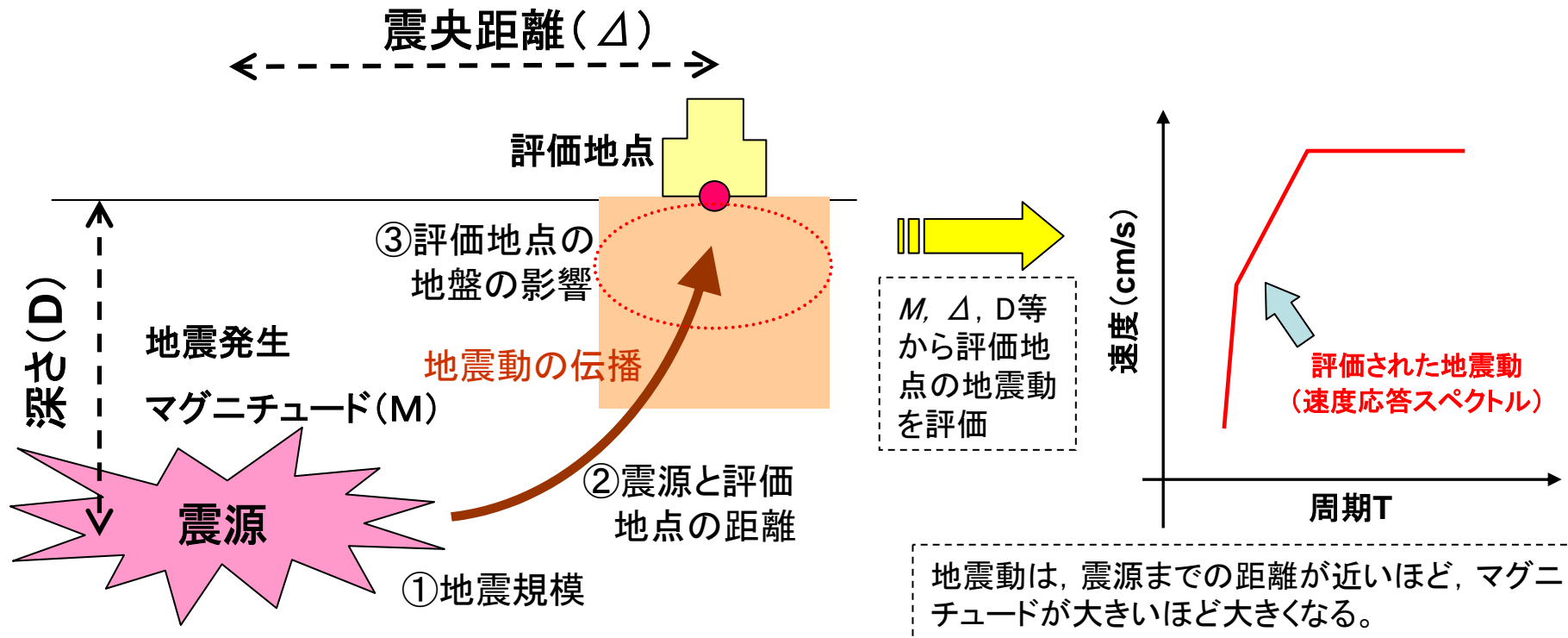
【参考】 応答スペクトル(2)

地震動の応答スペクトルを算定することによって、規則性のない波形に見える地震動がどのような固有周期の構造物に影響を与えるかを明確にすることができる。

設計などでは、逆に設計用の応答スペクトルを設定し、それに整合する地震動を作成している。

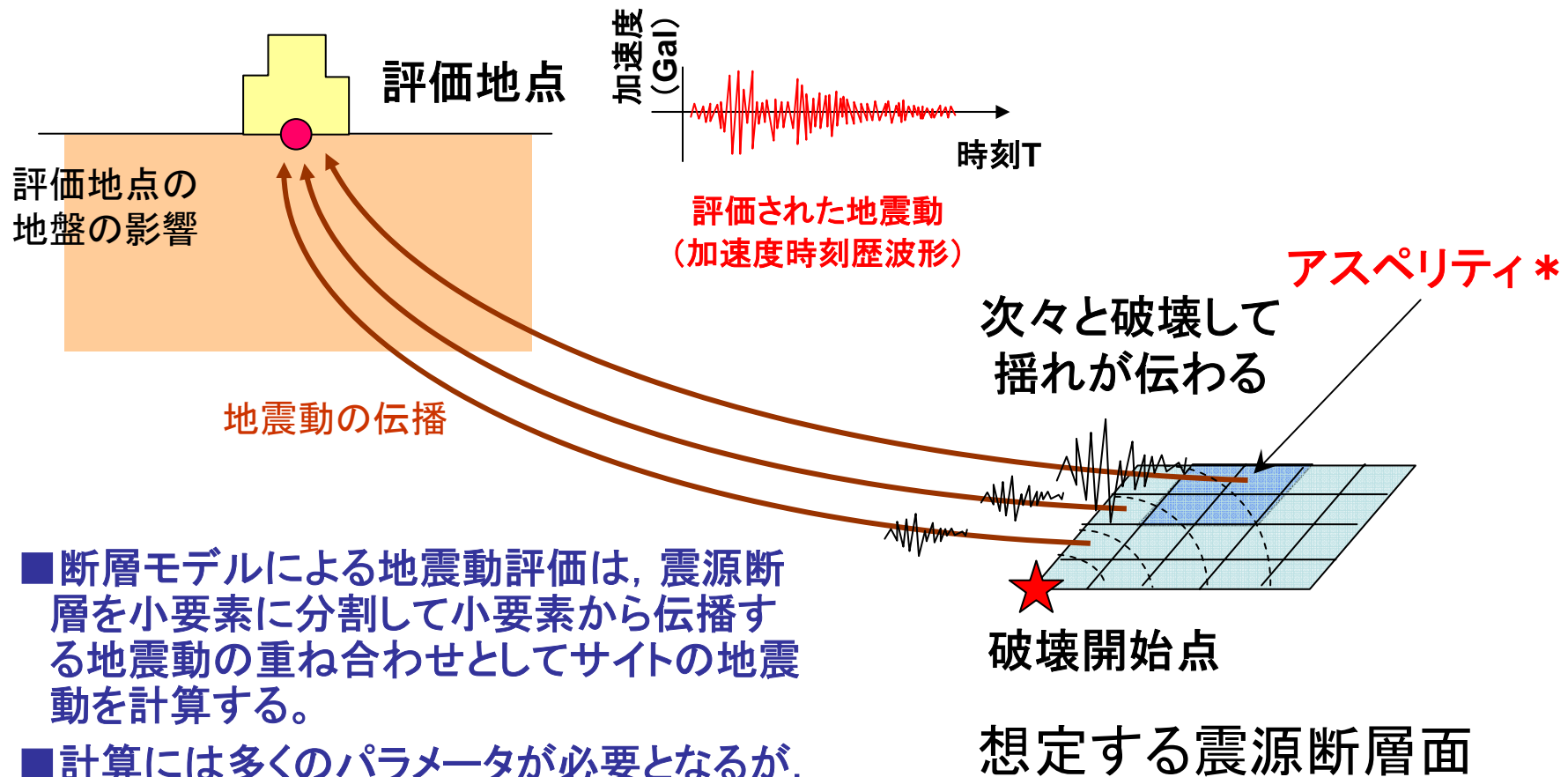


(2) 基準地震動S_sの策定 応答スペクトルに基づく地震動評価手法



- 応答スペクトルに基づく地震動評価は、距離減衰式と呼ばれる経験式によって評価する。
この経験式では、①地震規模、②震源と評価地点の距離、③評価地点の地盤の影響等が考慮されている。
- 評価に必要なパラメータ(震源の情報)は、比較的少なく、以下など。
 - ・地震規模(マグニチュード)
 - ・震源までの距離(震央距離や深さなど)
- 地震動の評価結果は「応答スペクトル」として与えられる。

(2) 基準地震動Ssの策定 断層モデルによる地震動評価手法



■ 断層モデルによる地震動評価は、震源断層を小要素に分割して小要素から伝播する地震動の重ね合わせとしてサイトの地震動を計算する。

■ 計算には多くのパラメータが必要となるが、地震動の評価結果は、時刻歴の加速度波形として算定することができる。

必要なパラメータは、断層の位置、幅、長さ、角度やアスペリティの位置、応力降下量など多くのパラメータがある。

アスペリティ

通常は強く固着していて、あるとき急激にずれて周囲よりも強い地震波を出すところを「アスペリティ」と呼んでいる。

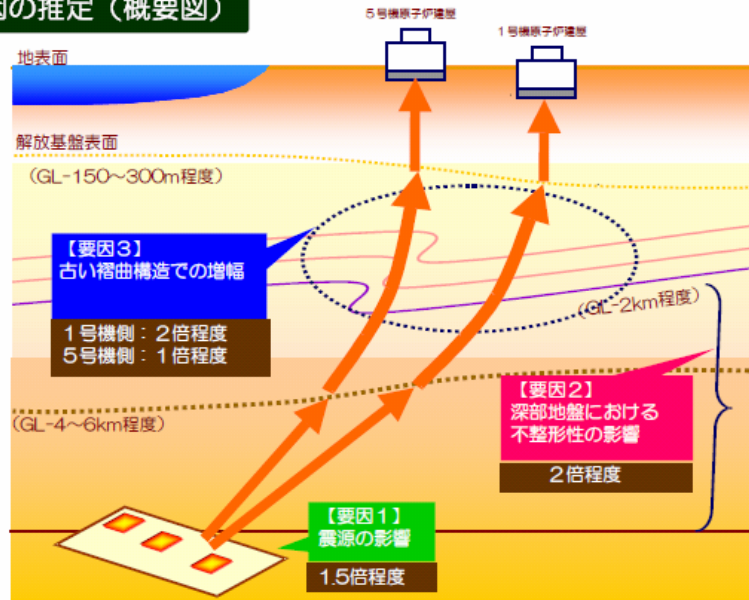
(2) 基準地震動 S_s の策定 基準地震動 S_s 策定の審議のポイント

- ① 2003年5月26日宮城県沖の地震及び2005年8月16日宮城県沖の地震による知見を踏まえた地震動評価
- ② プレート間地震(連動型想定宮城県沖地震)の想定と地震動評価(震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について)
- ③ 海洋プレート内地震(想定敷地下方の地震)の想定と地震動評価(震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について)
- ④ 内陸地殻内地震(F-6～F-9断層)の想定と地震動評価(震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について)
- ⑤ 震源を特定せず策定する地震動の評価
- ⑥ 基準地震動 S_s の策定結果
- ⑦ 想定宮城県沖地震を考慮した地震ハザード評価(確率論によって地震動を評価するもので参考扱い)

検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

(2) 基準地震動 S_s の策定 新潟県中越沖地震を踏まえた指示事項

要因の推定 (概要図)



東京電力殿資料〔合同W9-1-2〕より引用

中越沖地震で得られた知見

①震源
〔平均の1.5倍の強さ〕

②深部地盤による増幅
〔2倍〕

③褶曲構造による増幅
〔1~2倍〕

女川の反映状況

活断層による地震
平均の1.5倍も考慮

・厚い堆積層はない。
・観測記録の検討等から、深部の不整形性の影響はないことを確認

中越沖地震の知見を踏まえた地質調査、活断層評価

耐震バックチェックに対する原子力安全・保安院からの指示事項(平成19年12月27日, 平成20年9月4日)

- 褶曲の連続性を考慮した活断層の評価
- 短い断層についても、少なくともM6.8相当を想定
- 震源モデルの不確かさを考慮(震源の地震動の強さを平均の1.5倍など)
- 地盤の不整形性を反映した地下構造モデルの構築



(2) 基準地震動 S_s の策定 1) 地震の分類と検討用地震の選定

敷地周辺で発生する主な地震を以下の通り分類し、検討用地震を選定

様式	プレート間地震	海洋プレート内地震	内陸地殻内地震
特徴	過去の被害状況から、敷地に影響を及ぼすプレート間地震は、宮城県沖地震のうち陸側の震源域が活動する地震	2003年宮城県沖の地震(DC型)は、東北地方で発生した沈み込んだ海洋プレート内地震としては、これまで知られている最大規模	太平洋側海域、仙台湾側海域等に活断層が分布
検討用地震	宮城県沖地震のうち、陸側と海側の震源域が連動する 連動型想定宮城県沖地震(Mw8.2) を選定	2003年宮城県沖の地震(M7.1) は、規模の大きな地震が発生しうる特異な場所で発生した地震※ ¹ であり、同様の場所は敷地周辺にはない※ ^{1, 2} ことから、この地震を選定	地震規模と敷地との距離の関係から、 F-6断層～F-9断層による地震(M7.1) を選定

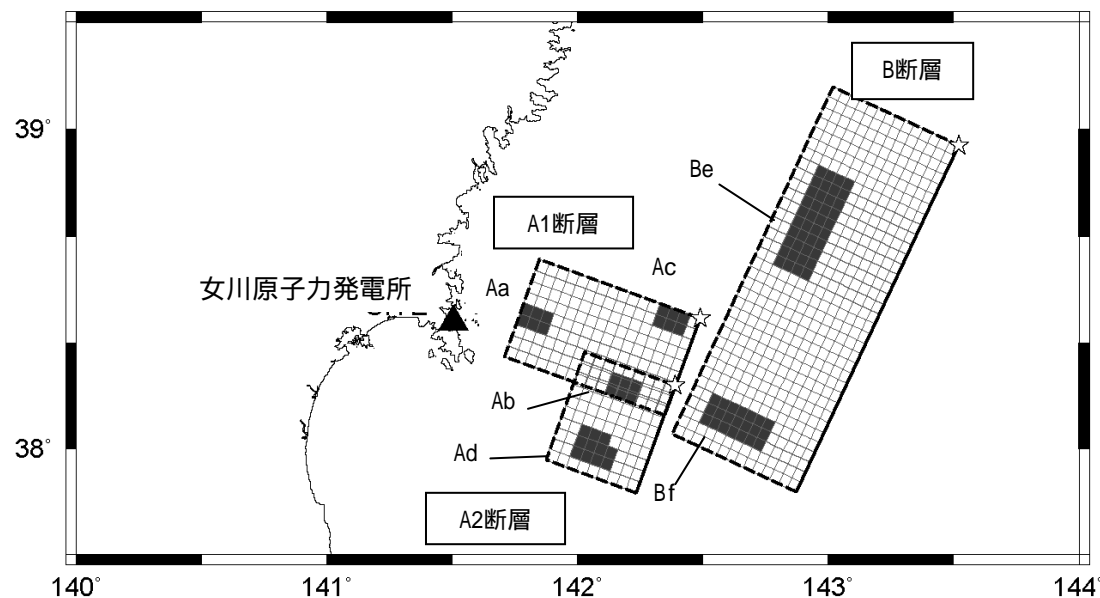
※1: 迫田ほか(2004), ※2: 菅ノ又ほか(2006)



検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～
(2) 基準地震動 S_s の策定 「検討用地震」(1)

プレート間地震

地震調査研究推進本部の知見等から、敷地に最も影響を及ぼすプレート間地震として「連動型想定宮城県沖地震」($M_w8.2$)を選定



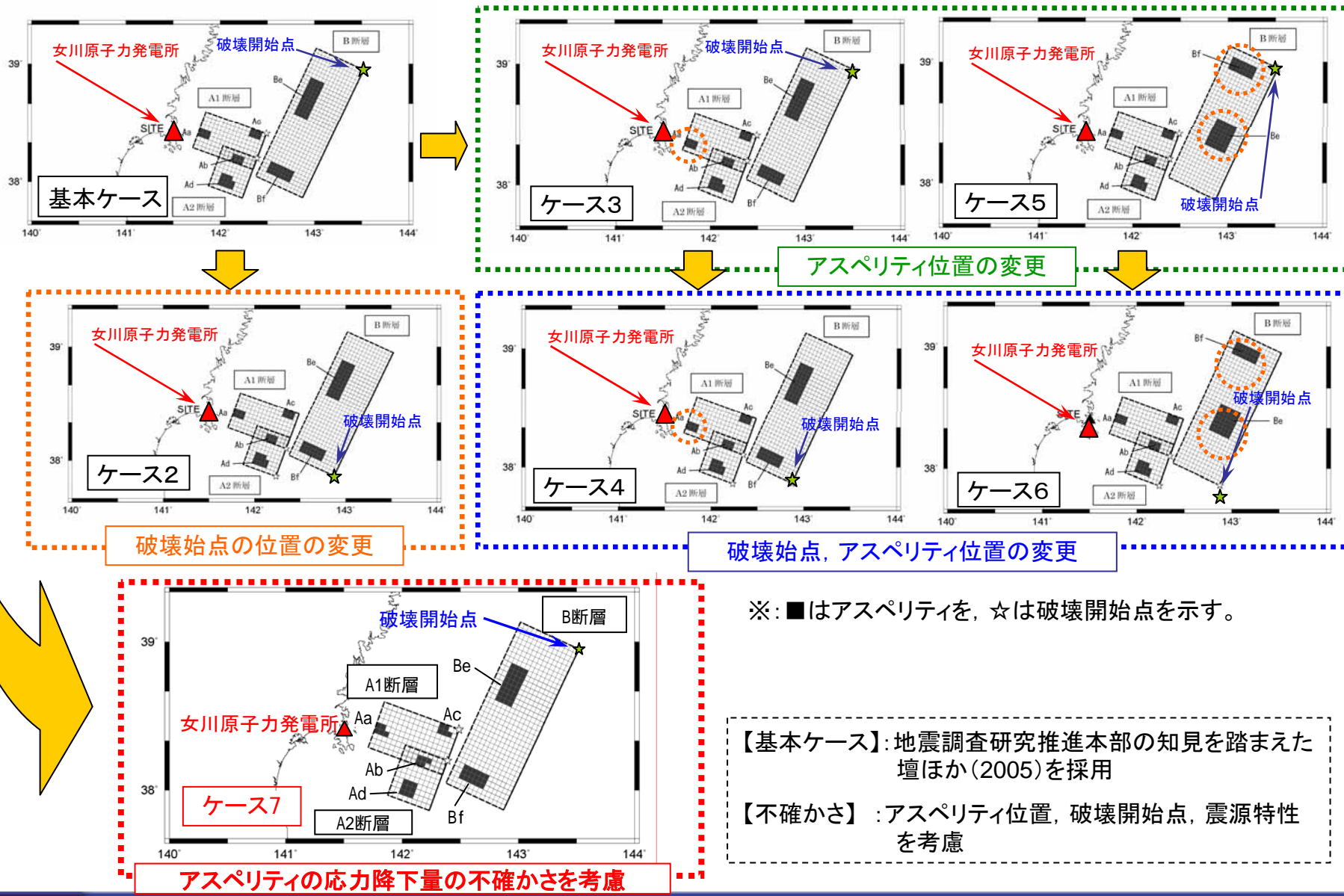
連動型想定宮城県沖地震の断層モデル(基本ケース)

※: ■はアスペリティを, ☆は破壊開始点を示す。



検討課題①～③について～～2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

(2) 基準地震動Ssの策定 「検討用地震」(1) プレート間地震



※: ■はアスペリティを, ☆は破壊開始点を示す。

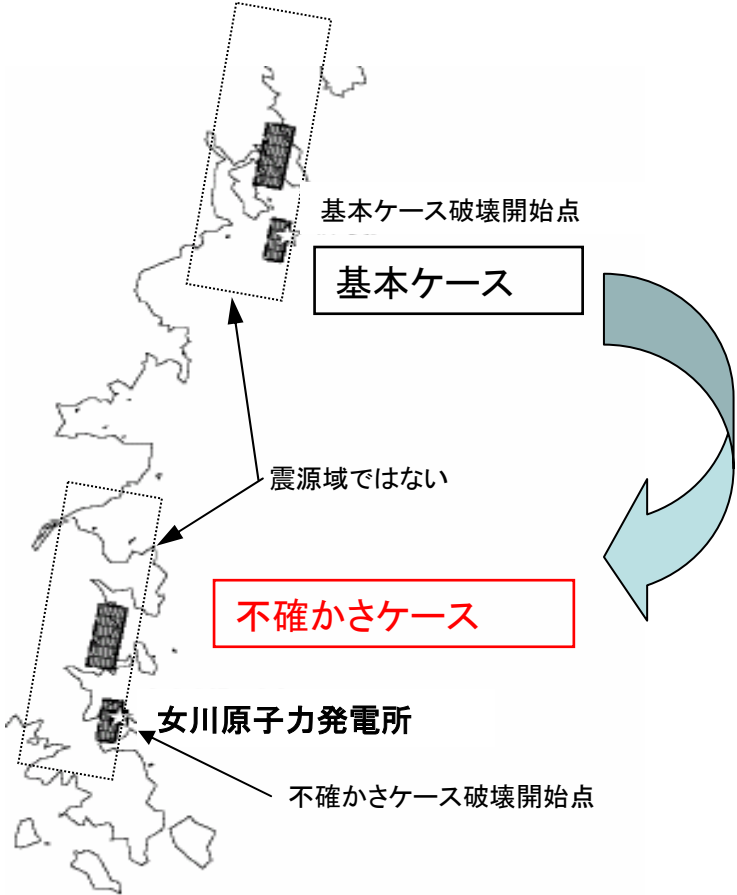
- 【基本ケース】: 地震調査研究推進本部の知見を踏まえたほか(2005)を採用
- 【不確かさ】: アスペリティ位置, 破壊開始点, 震源特性を考慮



(2) 基準地震動Ssの策定 「検討用地震」(2)

海洋プレート内地震

2003年宮城県沖の地震は、特異な場所で発生した地震と考えられる※1が、地震発生位置の不確かさを考慮して、「**想定敷地下方の海洋プレート内地震**」(M7.1)※2を敷地下方に想定



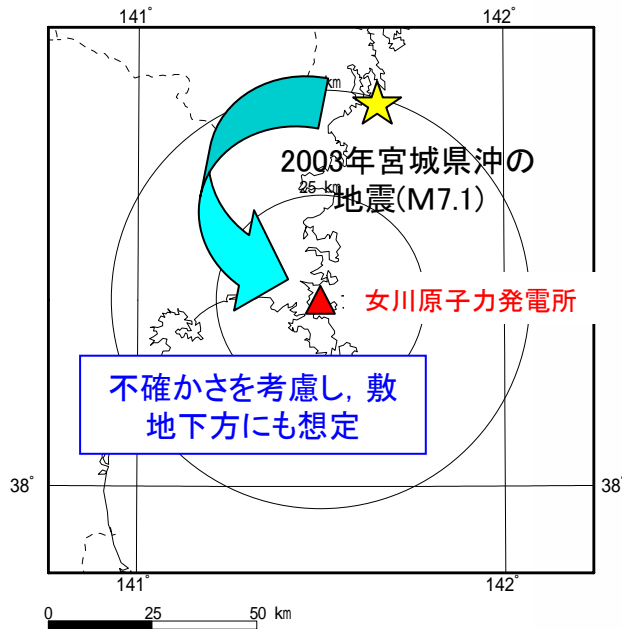
※1: 迫田ほか(2004)による。
※2: 浅野ほか(2004)の震源モデルを用いた。

※強震動生成領域を図示

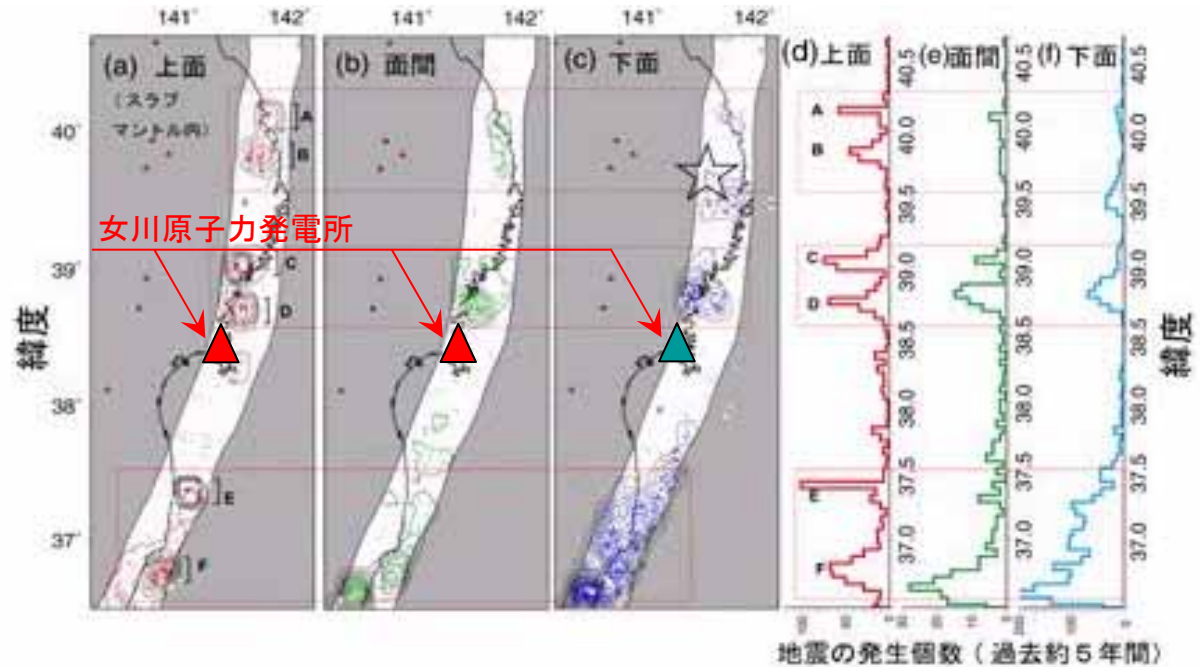
想定敷地下方の海洋プレート内地震の断層モデル

(2) 基準地震動 S_s の策定 「検討用地震」(2)

海洋プレート内地震



2003年宮城県沖の地震の震央分布



〔東北大学のHP資料に一部加筆〕

- 2003年宮城県沖の地震は、これまで知られている東北地方で発生した最大の海洋プレート内地震
- 迫田ほか(2004)等による知見から、2003年宮城県沖の地震は、地震発生前から二重深発地震上面を超えて地震活動がみられた特異な領域。このような領域は、女川周辺では、2003年地震の震源域付近以外にはない。
- 2003年地震を検討用地震として選定し、不確かさを考慮して敷地下方にも同地震を想定



検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

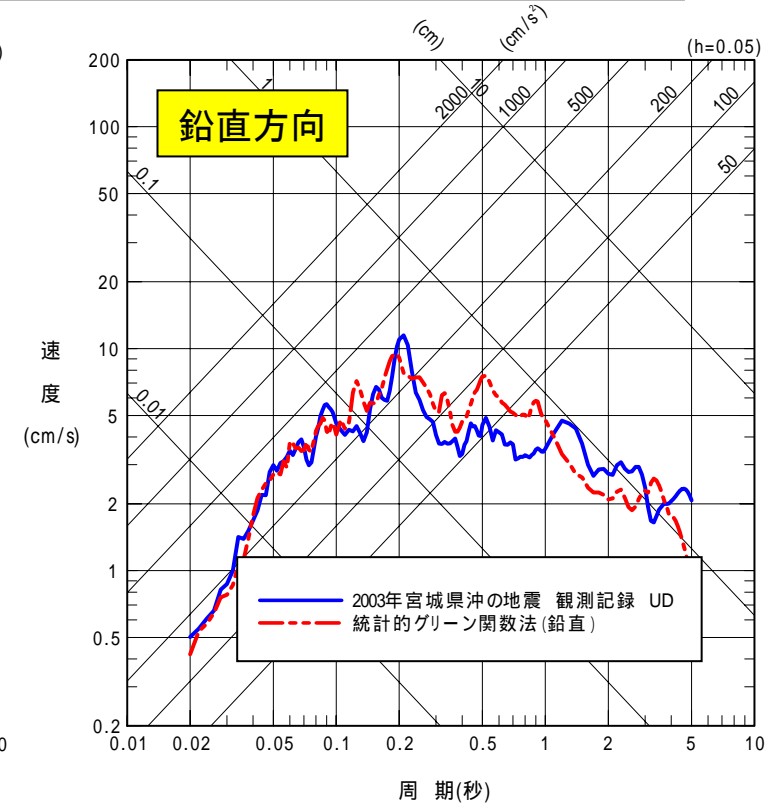
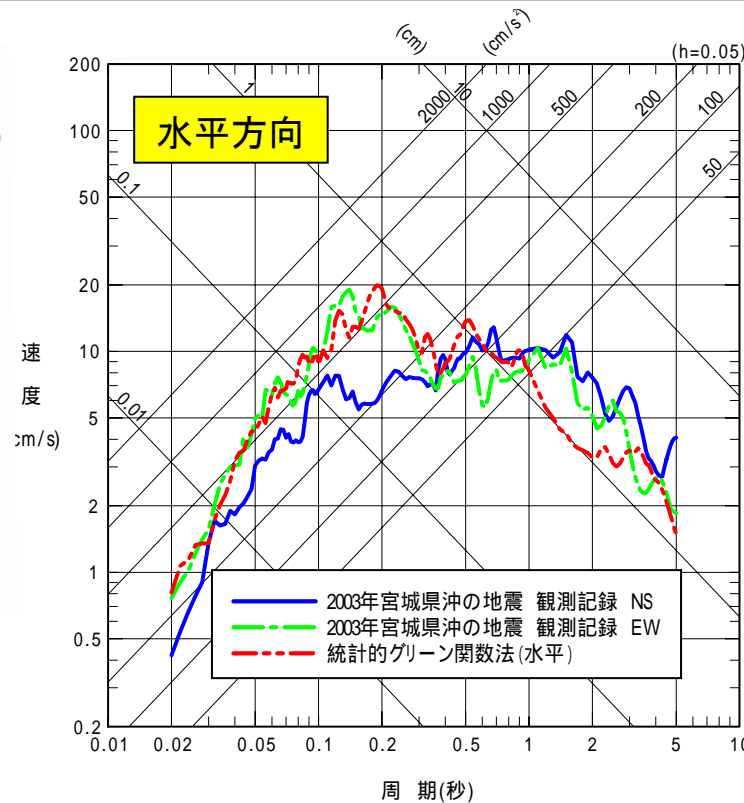
(2) 基準地震動Ssの策定 「検討用地震」(2)

海洋プレート内地震

2003年宮城県沖の地震(基本ケース)の観測記録と統計的グリーン関数法による評価の比較



2003年宮城県沖の地震の震央位置



2003年宮城県沖の地震(M7.1)

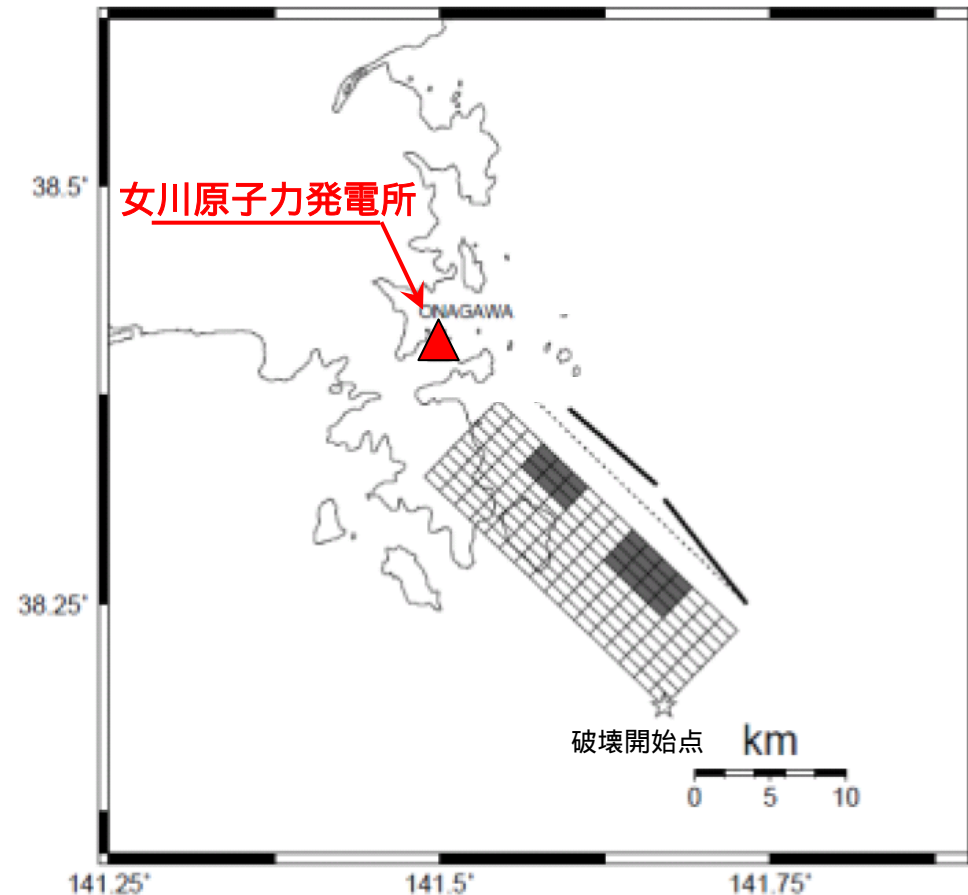
岩盤上部(O.P.-8.6m)における地震観測記録(はぎとり波)

断層モデルによる解析(統計的グリーン関数法)は、2003年宮城県沖の地震の強震記録と適合



内陸地殻内地震

敷地周辺の地質調査結果から、敷地に最も影響を及ぼす地震として「F-6断層～F-9断層による地震」(M7.1)を選定

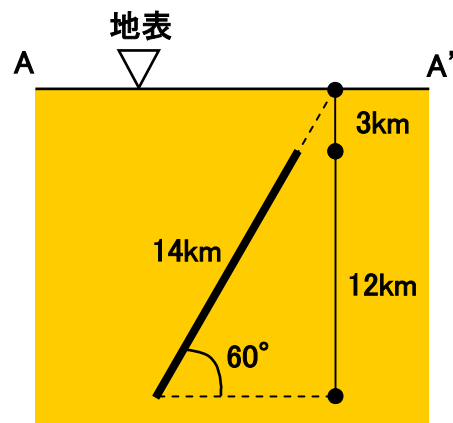
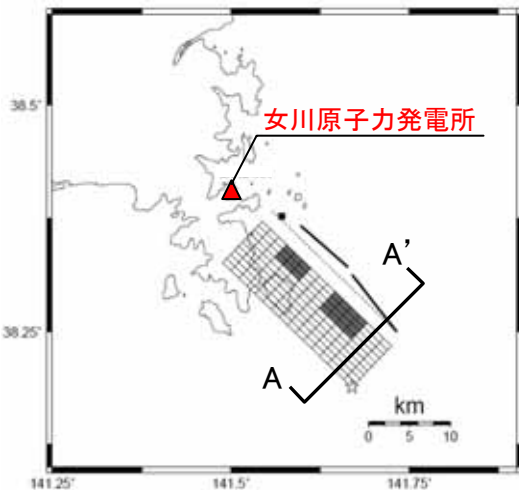


不確かさを考慮した「F-6断層～F-9断層による地震」の断層モデル

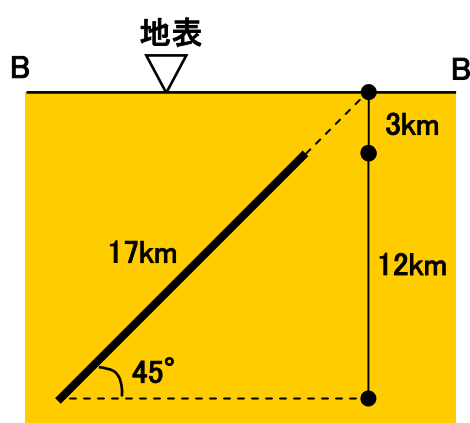
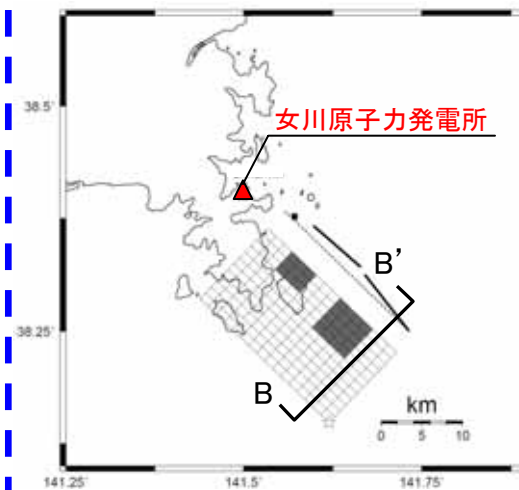
検討課題①～③について～～2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

(2) 基準地震動 S_s の策定 「検討用地震」(3) 内陸地殻内地震

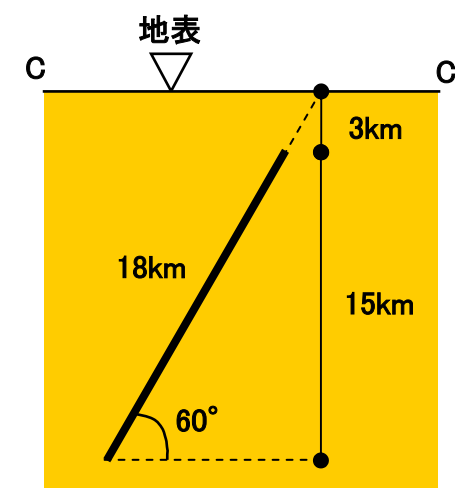
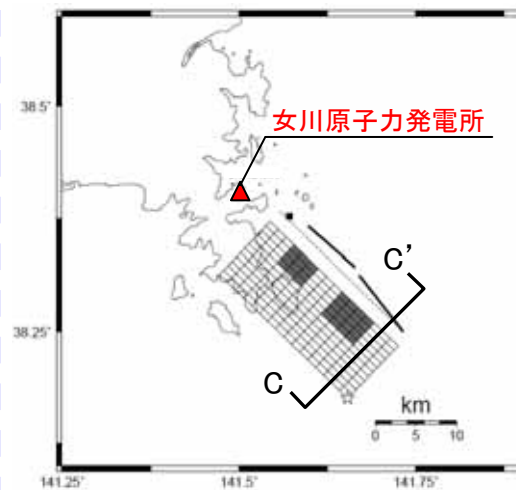
基本ケース



ケース2



ケース3



地震規模と距離との関係から、F-6断層～F-9断層による地震(M7.1)を選定

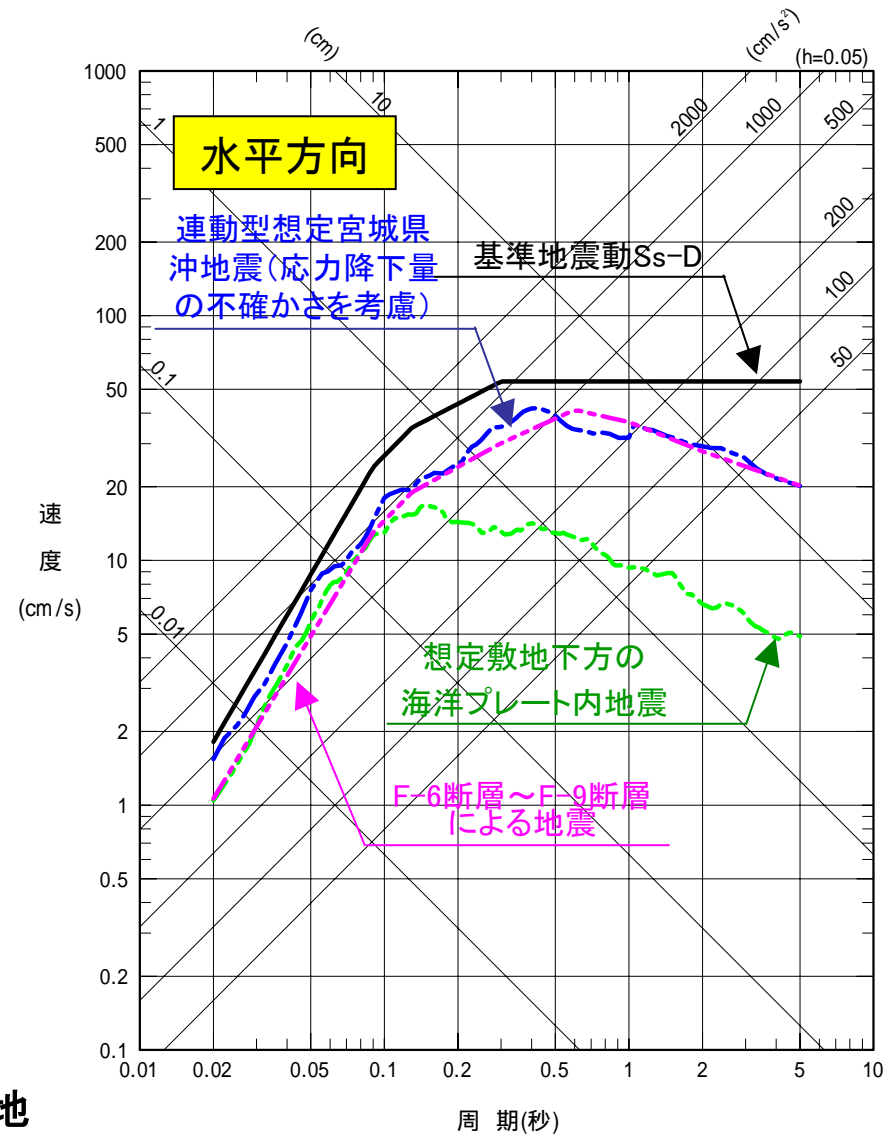


「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」

- ・検討用地震の応答スペクトルに基づく地震動評価を包絡する**基準地震動 S_s -D**を設定

- ※1: 連動型想定宮城県沖地震は、敷地における観測記録を用いて策定した宮城県沖のプレート間地震に適用する距離減衰式により評価
- ※2: 想定敷地下方の海洋プレート内地震は、Noda et al.(2002)の方法に沈み込んだ海洋プレート内地震の観測記録を用いた補正係数を考慮して評価
- ※3: F-6断層～F-9断層による地震は、Noda et al.(2002)の方法により評価

応答スペクトルに基づく検討用地震の評価と基準地震動 S_s -Dの応答スペクトル(水平方向)

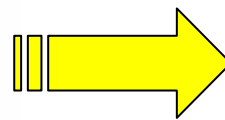
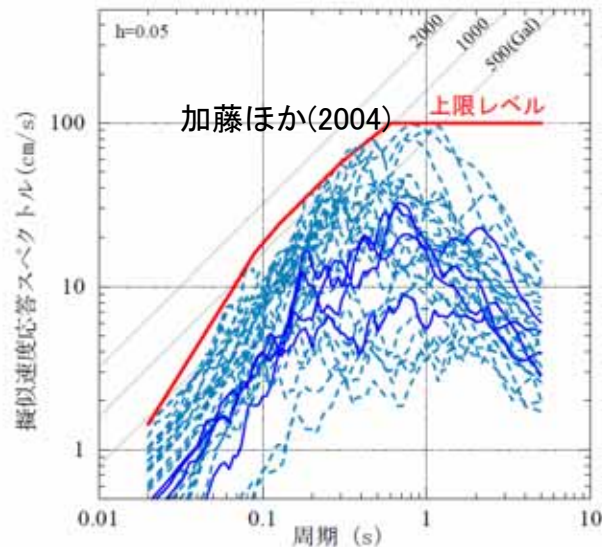


(2) 基準地震動 S_s の策定 震源を特定せず策定する地震動

「震源を特定せず策定する地震動」

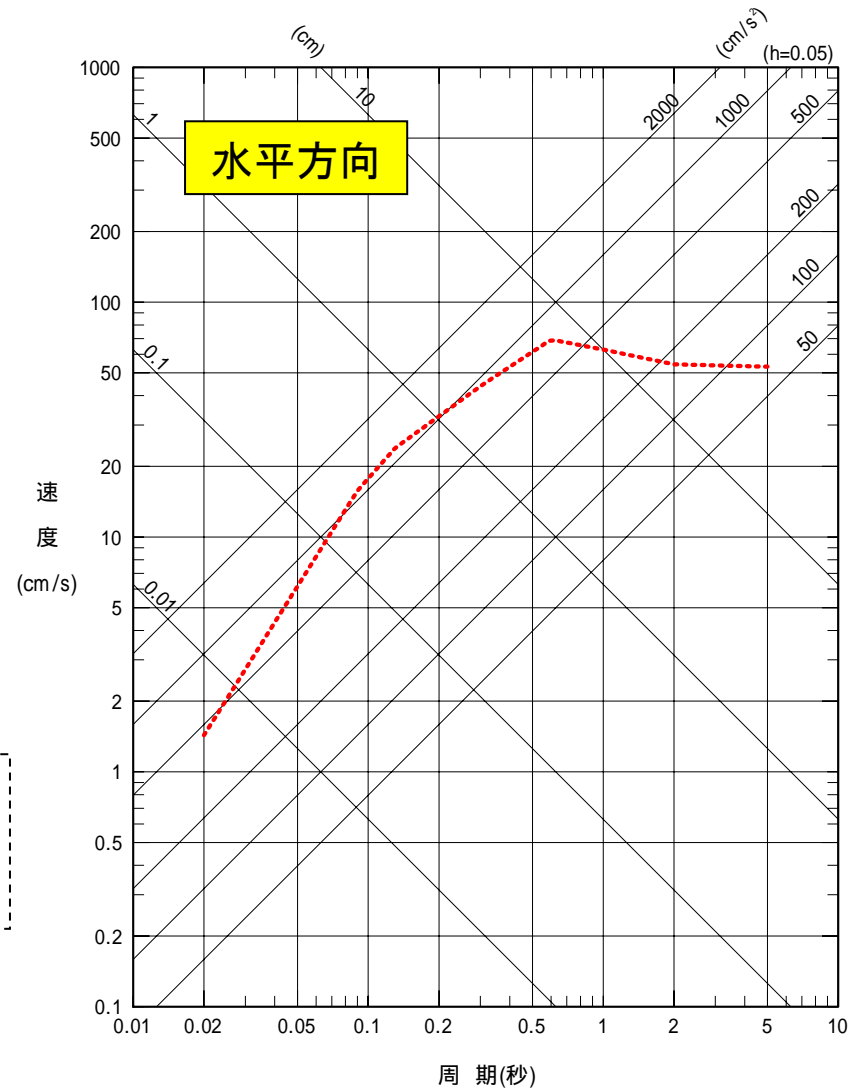
- ・加藤ほか(2004)に基づき, **基準地震動 S_s-B** を設定

※1:加藤ほか(2004)は, 国内で得られた活断層との関係が明確ではない地震の観測記録から, 「震源を予め特定できない地震」の上限レベルを設定し, 1984年長野県西部地震(Mj6.8)の硬質岩盤の観測記録等を用いて, 設定した上限レベルの妥当性を検証している。



加藤ほか(2004)の
応答スペクトルに対し,
敷地の地盤特
性を考慮して補正

基準地震動 S_s-B の応答スペクトル(水平方向)



周期(秒)

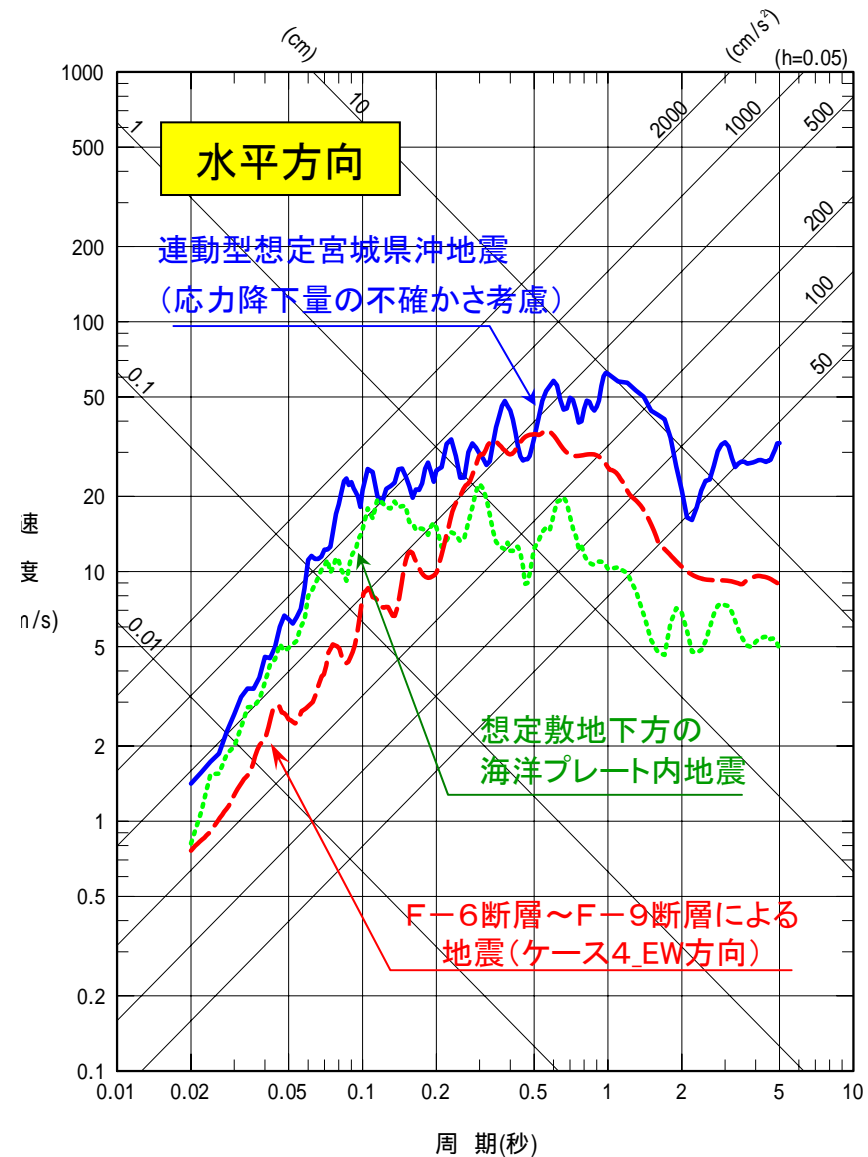
検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

(2) 基準地震動 S_s の策定 3) 断層モデルによる地震動評価

検討用地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施し、最も影響の大きい「連動型想定宮城県沖地震」(応力降下量の不確かさを考慮)を**基準地震動 S_s-F** として採用

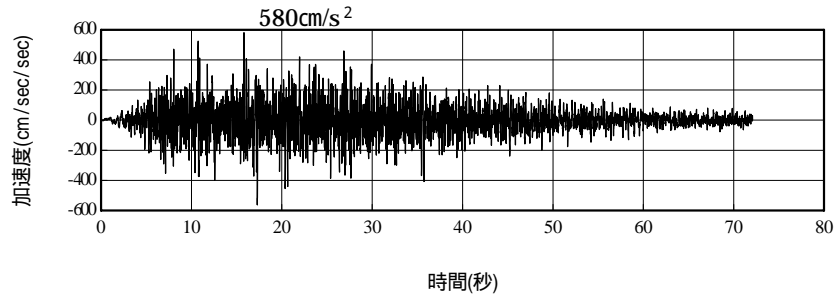
- ※1: 連動型想定宮城県沖地震については、プレート間地震である2005年8月16日宮城県沖の地震(M7.2)の敷地における観測記録と統計的グリーン関数法による評価の適合性を確認
- ※2: 想定敷地下方の海洋プレート内地震については、基本ケースである2003年宮城県沖の地震(M7.1)の敷地における観測記録と統計的グリーン関数法による評価の適合性を確認
- ※3: 不確かさを考慮した検討のうち、影響の大きいものを記載

断層モデルを用いた手法による検討用地震の評価と基準地震動 S_s の応答スペクトル(水平方向)

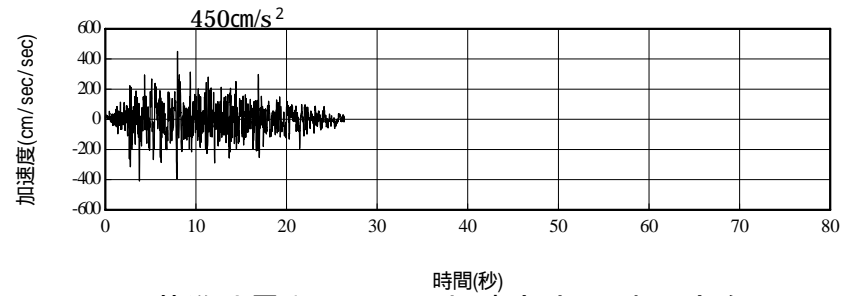


検討課題①～③について～～ 2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価～～

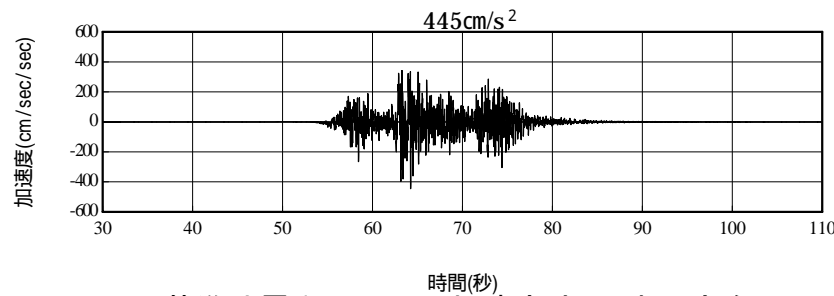
(2) 基準地震動S_sの策定 4) 基準地震動S_sの時刻歴波形



基準地震動S_s-Dの加速度波形(水平方向)



基準地震動S_s-Bの加速度波形(水平方向)



基準地震動S_s-Fの加速度波形(水平方向)

【時刻歴波形の作成方法】

- S_s-D及びS_s-Bの模擬地震波は、応答スペクトルに適合するよう乱數位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成。S_s-Dの鉛直方向の応答スペクトルは、水平方向の2/3とした。S_s-Bの鉛直方向の応答スペクトルは、Noda et al.(2002)を用いて算定した。
- 基準地震動S_s-Fの鉛直方向地震動は、地震基盤上の水平動にNoda et al.(2002)の鉛直/水平比率を乗じ、次元波動理論を用いて解放基盤表面の地震動を算定。

基準地震動の時刻歴波形の最大加速度

単位: cm/s²

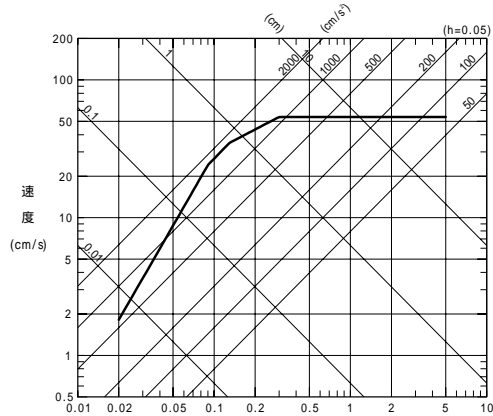
基準地震動S _s		水平方向	鉛直方向
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	応答スペクトルに基づく手法	S _s -D	580
	断層モデルを用いた手法	S _s -F	445
震源を特定せず策定する地震動		S _s -B	450



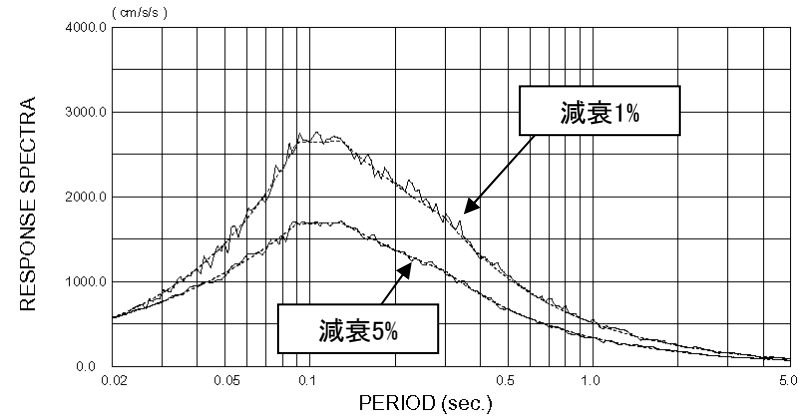
(2) 基準地震動 S_s の策定 4) 基準地震動 S_s の時刻歴波形

模擬地震波の作成方法の概要

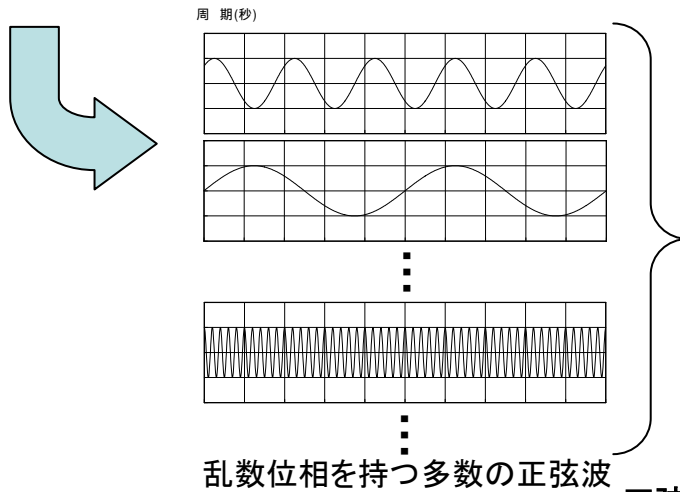
■ 模擬地震波は、乱数位相を持つ正弦波の重ね合わせによって、目標とする応答スペクトルに適合する地震波を作成する。



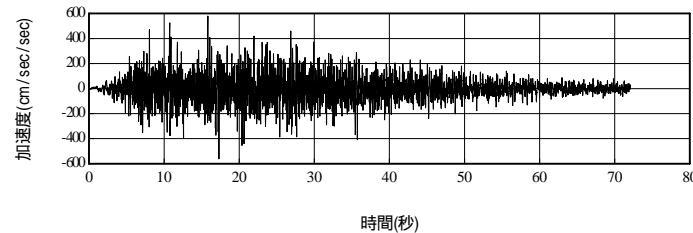
目標とする
応答スペクトルの例



模擬地震波と目標応答スペクトルとの適合状況の例



正弦波の重ね合わせの概念図



正弦波の重ね合わせによって作成した模擬地震波の例

検討課題①～③について

2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価
(3) 施設等の耐震安全性評価



1) 建物・構築物の評価

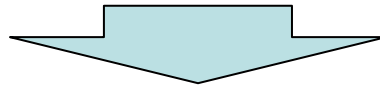
- ・原子炉建屋の地震応答解析モデル
- ・原子炉建屋の入力地震動の評価
- ・水平、鉛直方向地震力の組合せ方法
- ・原子炉建屋の耐震安全性評価結果

2) 機器・配管系の評価

- ・機器に加わる地震力の評価
- ・評価手法の詳細
- ・評価基準値
- ・機器・配管系の耐震安全性評価結果

(3) 施設等の耐震安全性 **女川3号機主要施設の評価**

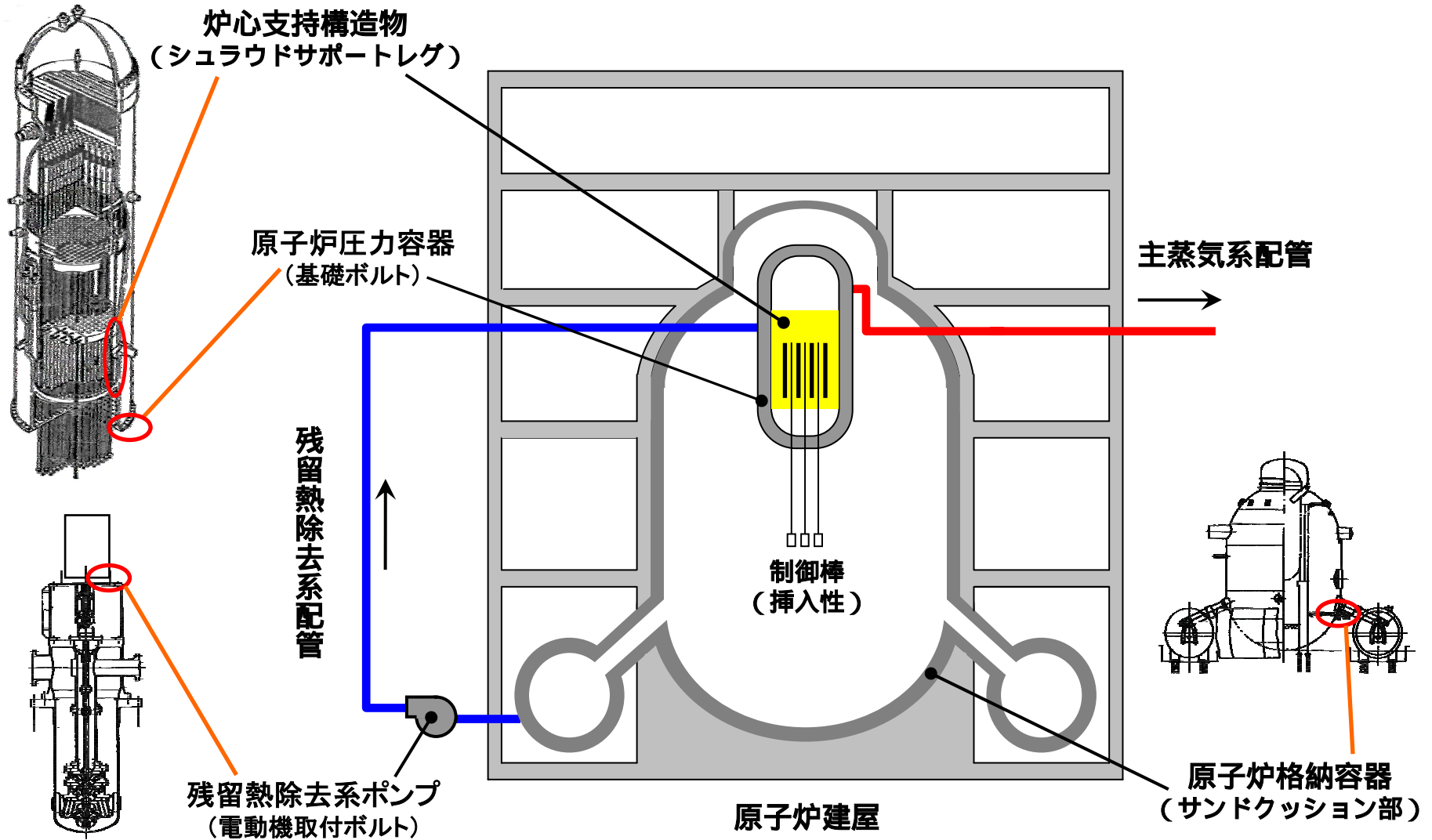
- ・ 女川3号機の主要施設の評価結果については、平成21年3月に原子力安全・保安院に報告済み
- ・ 平成20年3月に報告した女川1号機の主要施設と同じ対象設備，評価手法により，耐震安全性を確認
(地質調査，基準地震動 S_s は女川発電所共通)
- ・ 発生値は評価基準値を満足しており，耐震安全性が確保されていることを確認



以下，女川3号機の主要施設の評価結果を示す

(3) 施設等の耐震安全性 **女川3号機 中間報告での評価対象設備**

(安全上重要な建物・構築物, 機器・配管系)

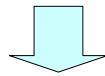


(3) 施設等の耐震安全性 **安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価**

— 原子炉建屋に関する評価 —

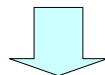
○ 評価方針

基準地震動 S_s に対する耐震設計上重要な施設の
安全機能の保持の観点から実施

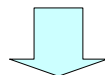


Sクラスの施設を内包する建物・構築物を評価

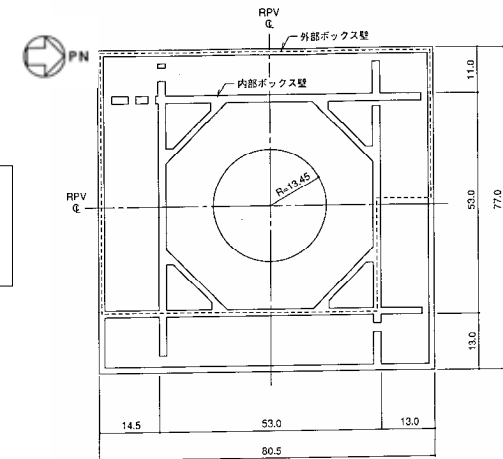
原子炉建屋



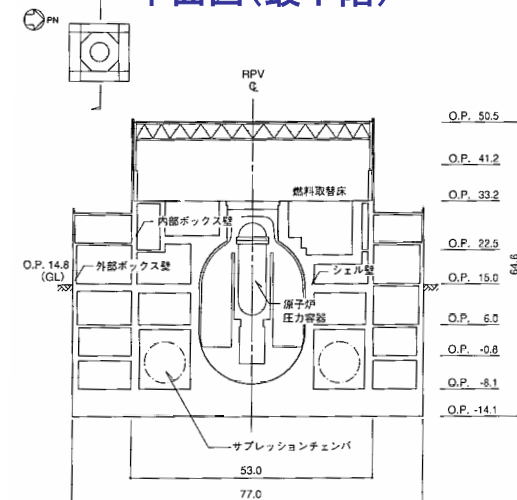
原子炉建屋は、主要な耐震要素を耐震壁とした剛な構造物である。
建物全体としての変形能力について十分な余裕を有し、終局耐力に対して
妥当な安全余裕を有していることを確認する観点から、主要な耐震要素
である耐震壁の耐震安全性を確認する。



基準地震動 S_s による地震応答解析により求めた耐震壁の最大応答
せん断ひずみが**評価基準値 (2.0×10^{-3})**を超えないことを確認



女川3号機原子炉建屋
平面図(最下階)



女川3号機原子炉建屋
断面図(南北方向)

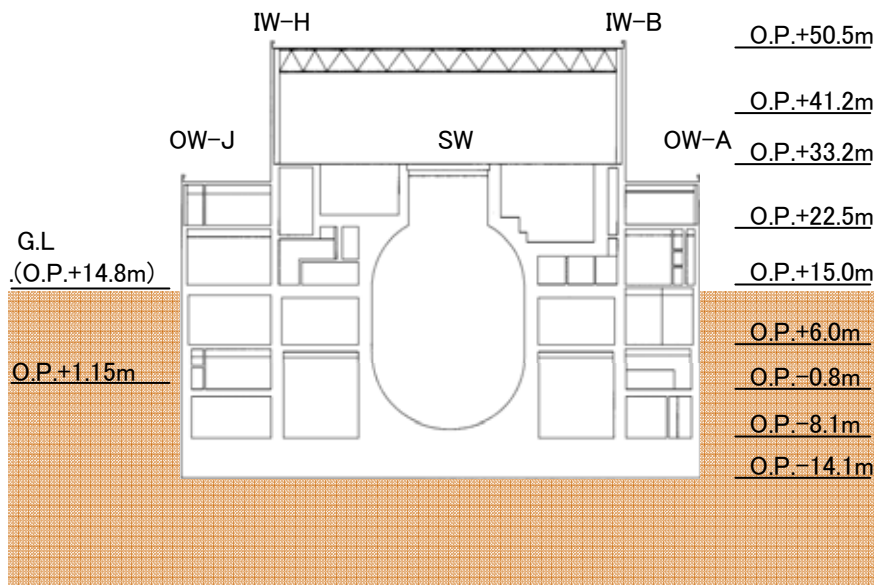
(3) 施設等の耐震安全性 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

— 原子炉建屋に関する評価 —

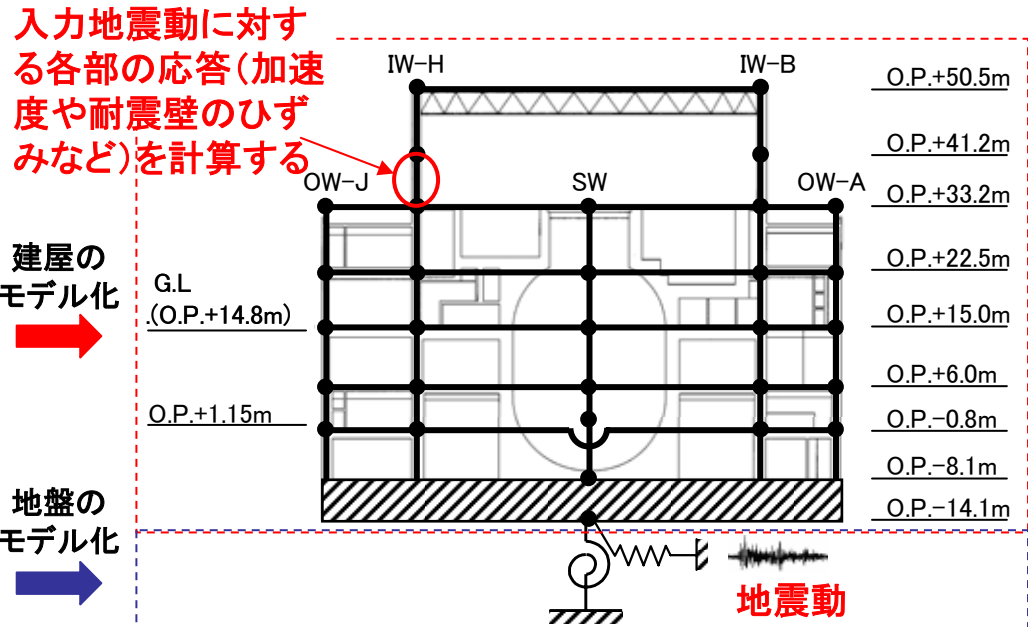
○ 評価方法

耐震安全性評価は、**基準地震動 S_s** を用いた**地震応答解析**によって行う

地震応答解析・・・ある地震動に対する構造物の応答(揺れ)を解析的に求めるため、対象とする構造物や地盤等をモデル化し、振動方程式により応答を計算する。



女川3号機原子炉建屋(南北方向)

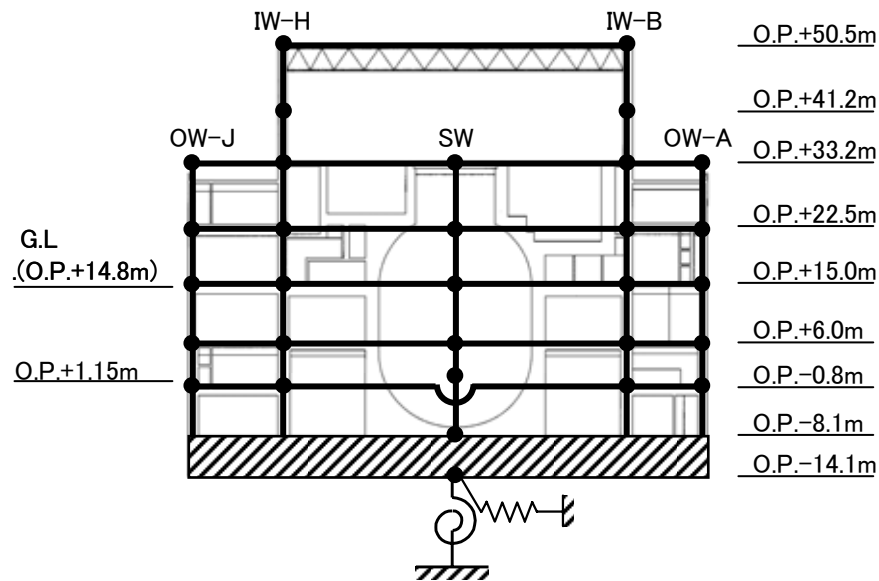


モデル化された女川3号機原子炉建屋(南北方向)

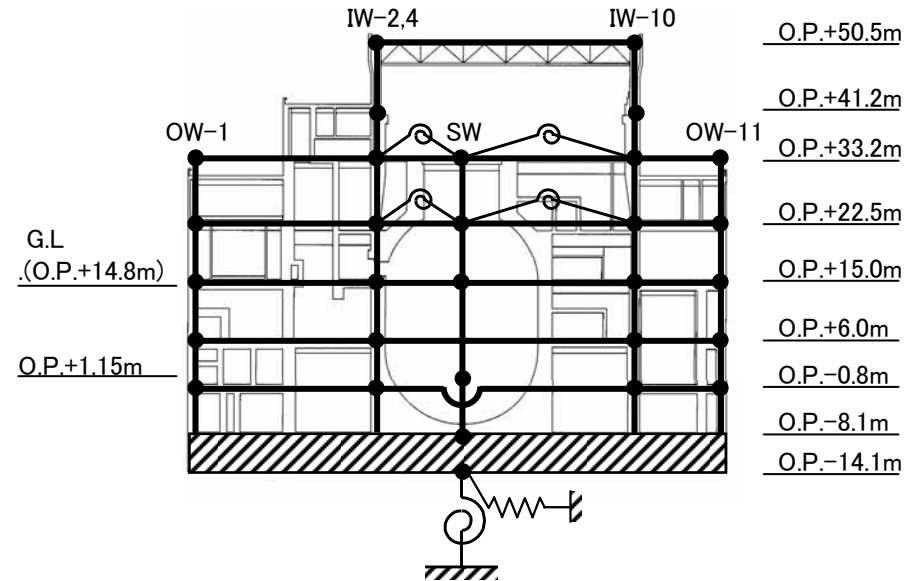
一原子炉建屋に関する評価一

○地震応答解析モデル(水平方向)

- 建屋を質点系とし地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成モデル
- 底面ばね(水平・回転): JEAGによる近似法
- 基礎浮上り非線形考慮
- 減衰定数 RC: 5%

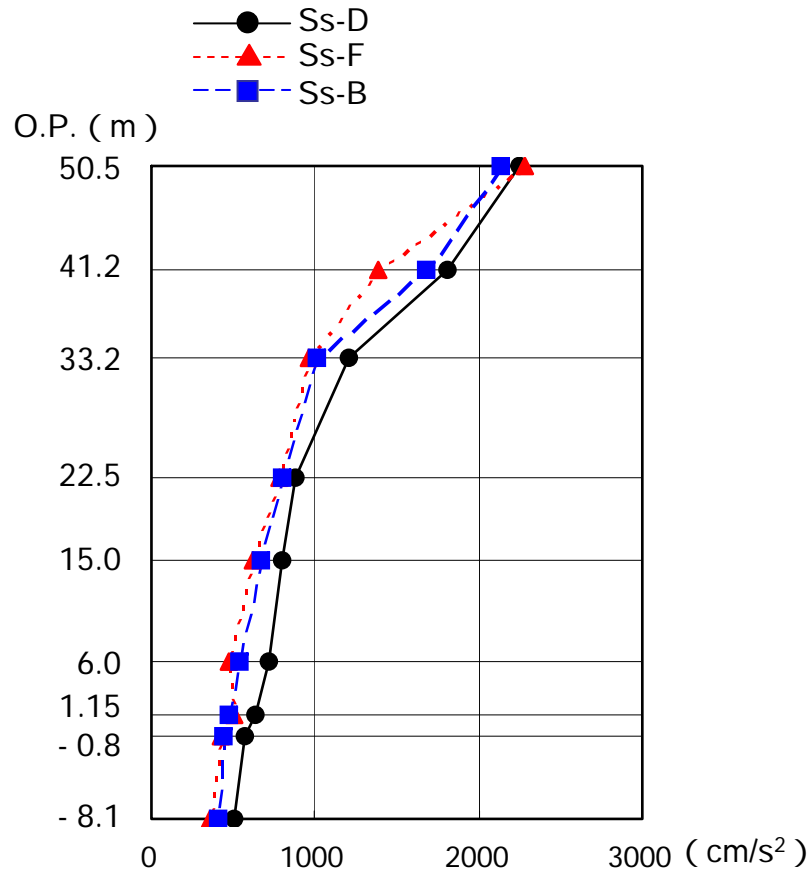


(南北方向)

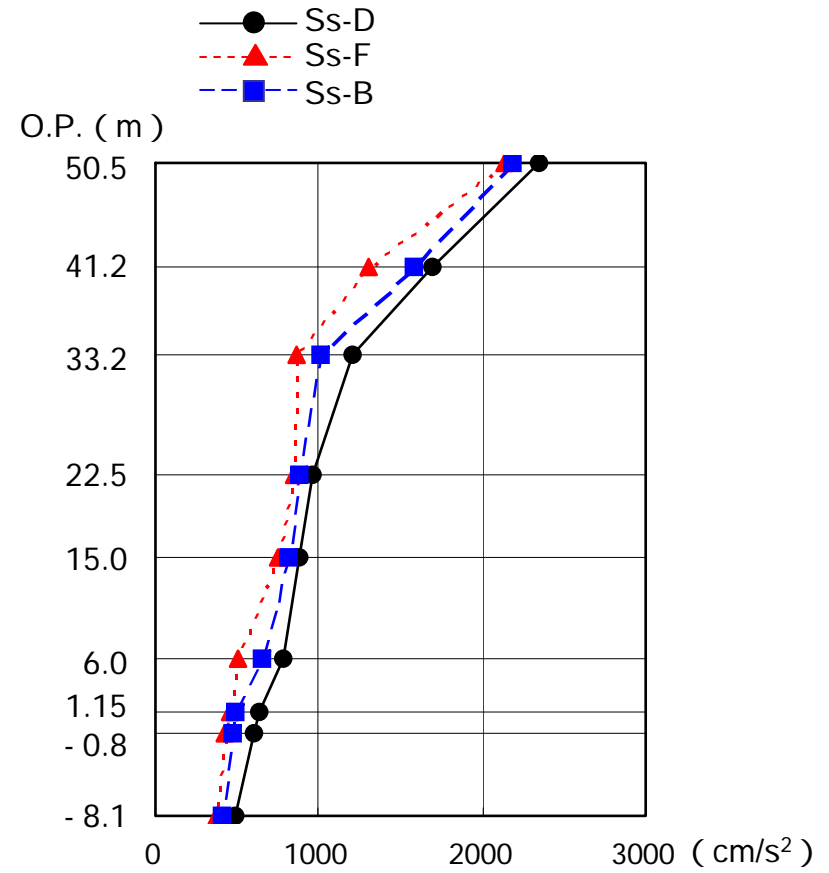


(東西方向)

女川3号機原子炉建屋の地震応答解析結果



(南北方向)



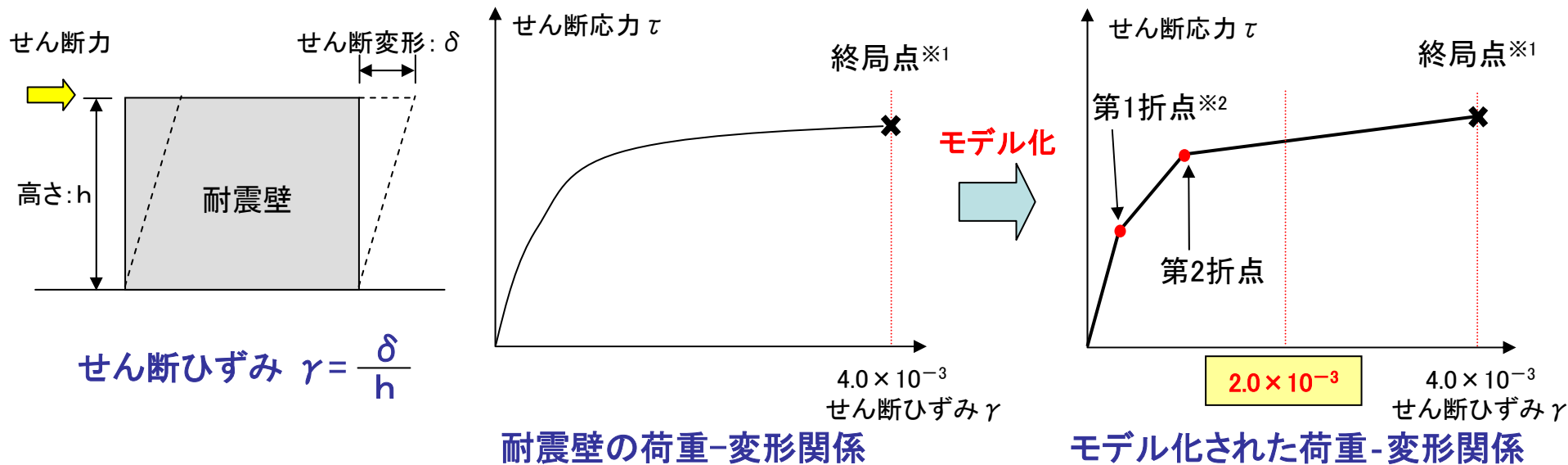
(東西方向)

女川3号機 原子炉建屋 最大応答加速度分布

評価基準

耐震安全性評価においては、耐震壁のせん断ひずみ(γ)によって評価する。

原子炉建屋の弾塑性地震応答解析では、主要耐震要素である耐震壁について、実験によって得られた耐震壁の実際の荷重-変形関係をもとに、3折線で近似したモデルにより解析している。



※1 終局強度に達する点

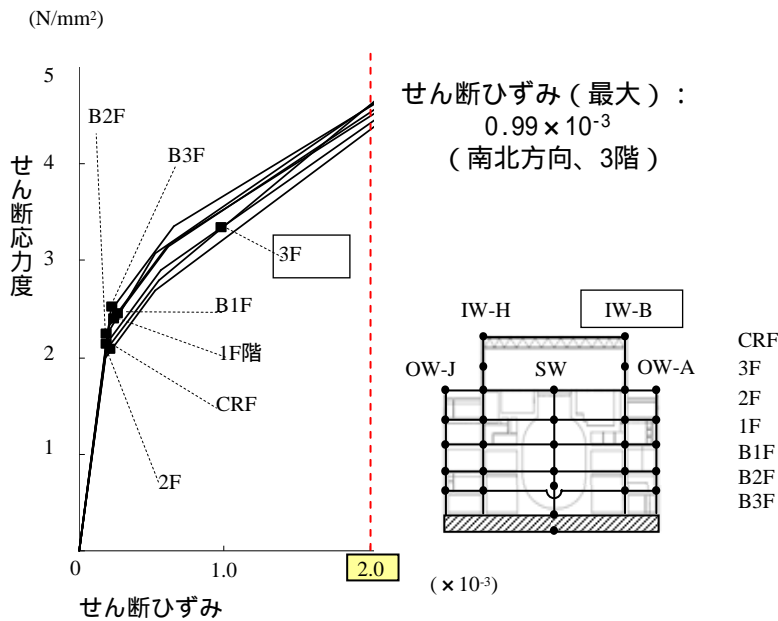
※2 コンクリートに概ねひび割れが発生するとされている点

耐震安全性評価においては、終局状態のせん断ひずみの1/2の値 2.0×10^{-3} を評価基準値としている。

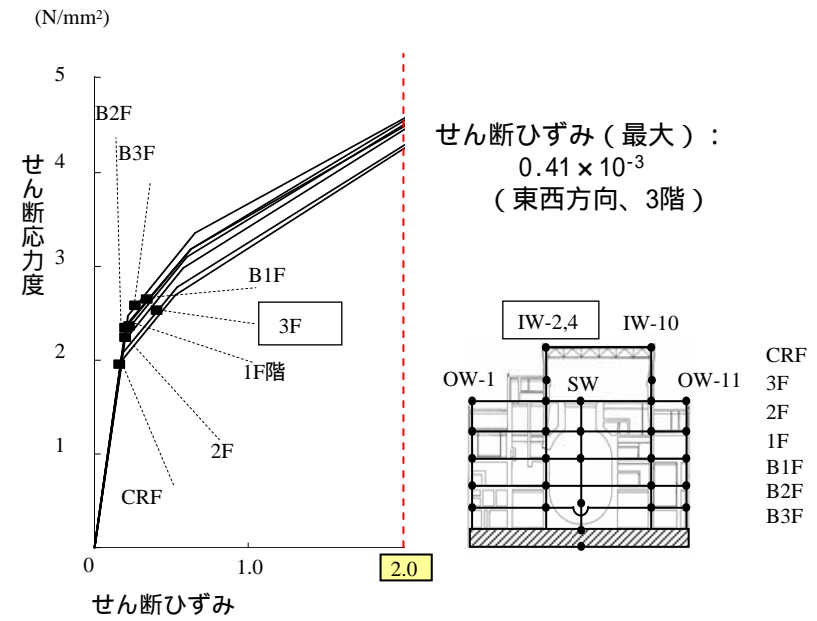
女川3号機原子炉建屋の評価結果

最大せん断ひずみ※	評価基準値
0.99×10^{-3}	2.0×10^{-3}

※南北方向, Ss-D, 3階



(南北方向)



(東西方向)

耐震壁の最大せん断ひずみは 0.99×10^{-3} であり、評価基準値 2.0×10^{-3} に対して耐震安全性が確保されていること、十分な余裕があることが確認できる。

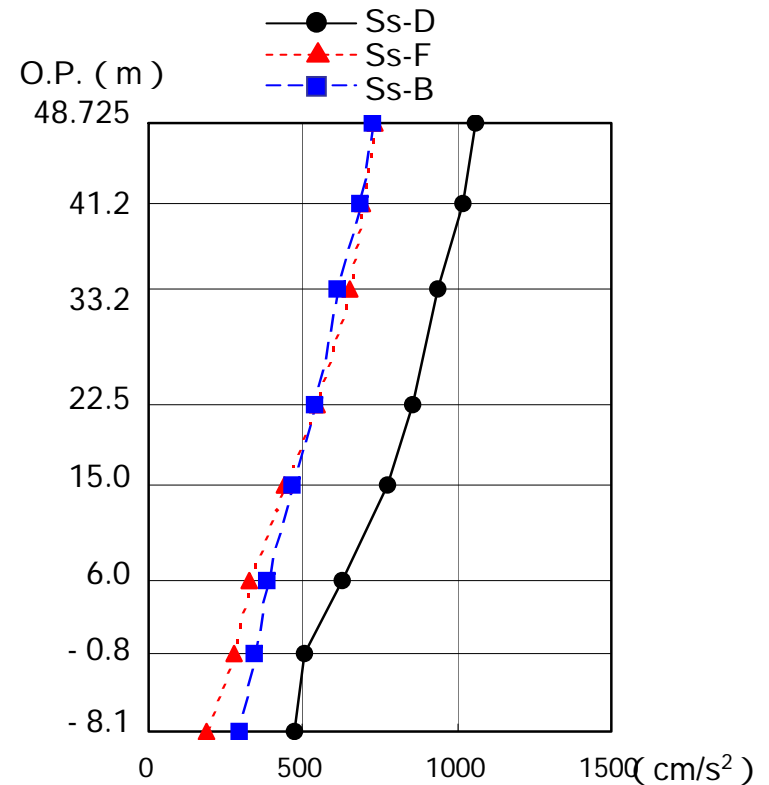
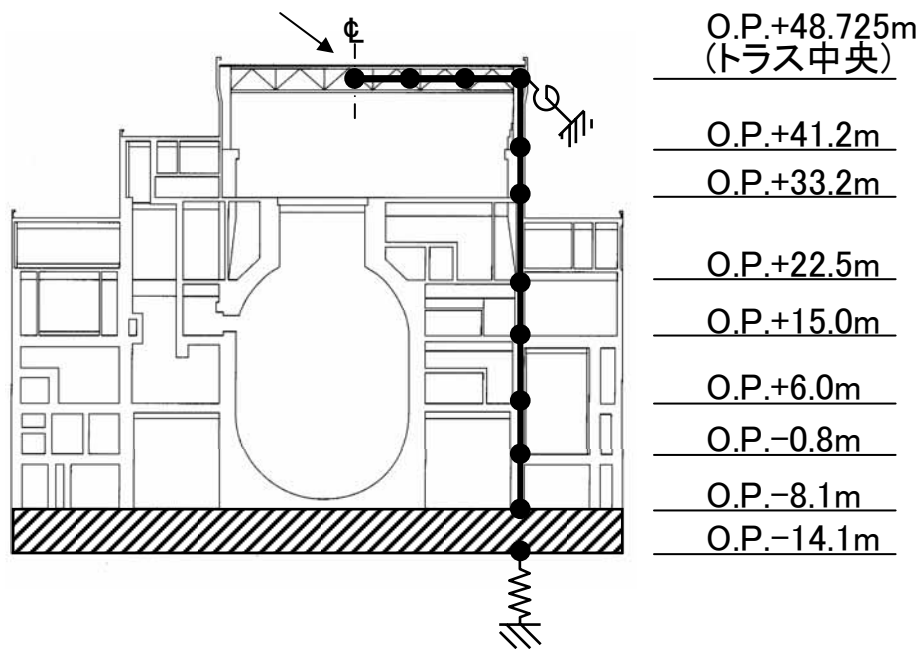
(3) 施設等の耐震安全性 **安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価**

— 原子炉建屋に関する評価 —

○ 地震応答解析モデル(鉛直方向)

- 耐震壁の軸剛性を評価した1軸多質点系モデル
- 屋根トラス: 曲げせん断梁モデル
- 底面ばね(鉛直): JEAGによる近似法
- 減衰定数 RC: 5%, 鉄骨: 2%

対称条件として回転を拘束



女川3号機 原子炉建屋
最大応答加速度分布(鉛直方向)



鉛直方向の応答は、機器・配管系の評価に用いている。

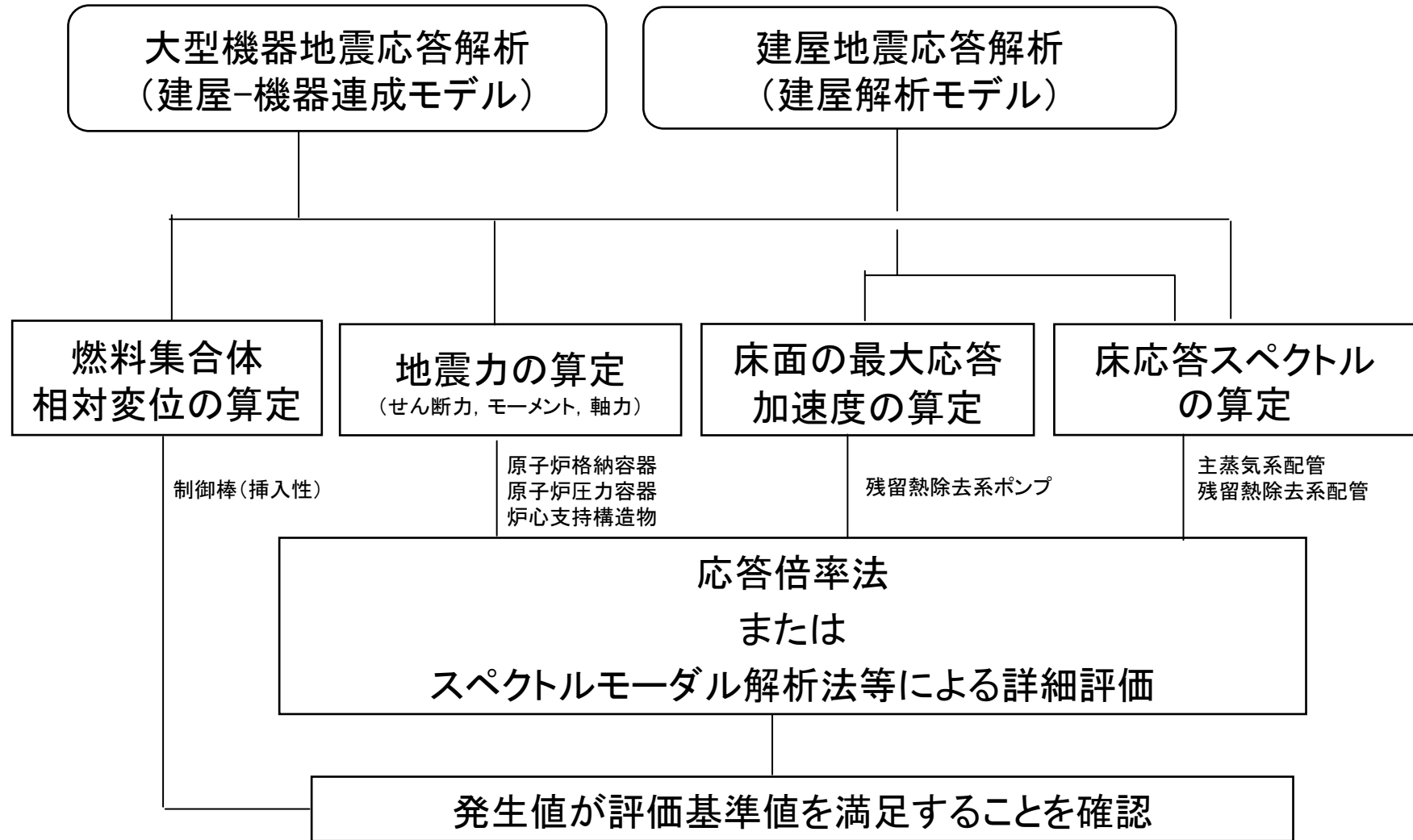
(女川3号機 対象設備)

原子炉を「止める」, 「冷やす」, 放射性物質を「閉じ込める」に係る安全上重要な機能を有する耐震Sクラスの設備のうち、女川3号機における次の主要な設備

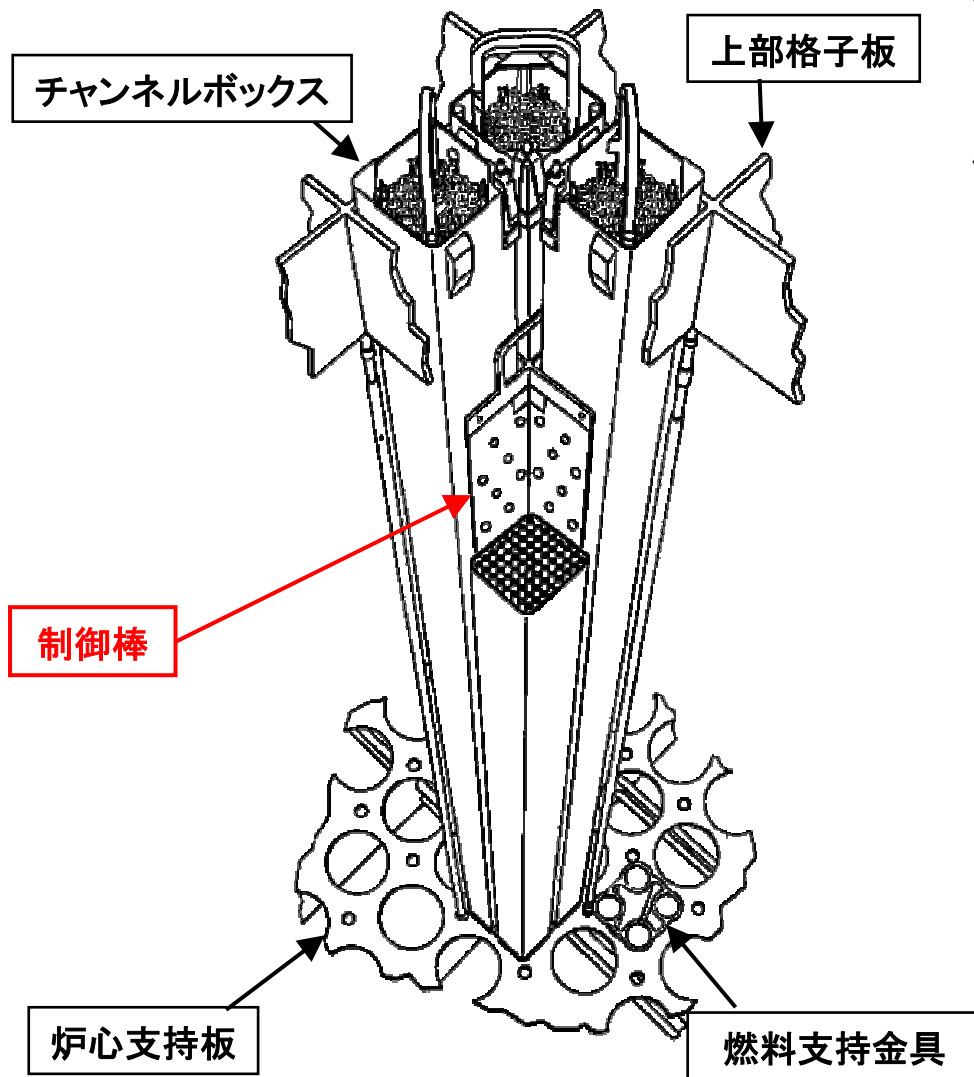
「止める」	制御棒（挿入性）, 炉心支持構造物
「冷やす」	残留熱除去系ポンプ, 残留熱除去系配管
「閉じ込める」	原子炉圧力容器, 原子炉格納容器, 主蒸気系配管

(3) 施設等の耐震安全性 **安全上重要な機器・配管系の評価**

機器・配管系の評価フロー

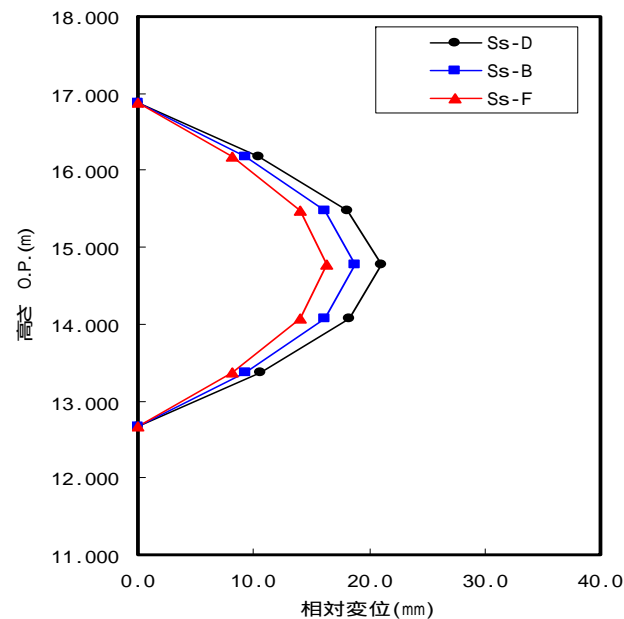


評価例：制御棒の挿入性



応答解析により地震時の燃料棒の相対変位を求め、機能確認済相対変位※以内であることを確認する。

※多度津の大型振動台での実証試験により規定時間内に制御棒が挿入できることが確認されている相対変位に余裕をみて設定されている基準値



燃料集合体の相対変位	機能確認済相対変位
21.1 [mm]	40.0 [mm]

(3) 施設等の耐震安全性 **安全上重要な機器・配管系の評価**

(女川3号機の評価結果)

発生値は評価基準値を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認した

評価基準値は、設備の安全機能を維持するため、損傷が生じるような状態に対して裕度のある設定となっている。

応力評価においては、弾塑性範囲まで許容されている。

評価設備（評価部位）	発生値	評価基準値	結果
原子炉圧力容器（基礎ボルト）	102 [N/mm ²]	499 [N/mm ²]	
原子炉格納容器（サンドクッション部）	0.50 [-]	1 [-]	
炉心支持構造物（シュラウドサポートレグ）	81 [N/mm ²]	209 [N/mm ²]	
残留熱除去系ポンプ（電動機取付ボルト）	40 [N/mm ²]	444 [N/mm ²]	
残留熱除去系配管（配管本体）	229 [N/mm ²]	363 [N/mm ²]	
主蒸気系配管（配管本体）	230 [N/mm ²]	375 [N/mm ²]	
制御棒挿入性（燃料集合体相対変位）	21.1 [mm]	40.0 [mm]	

※座屈に対する評価式により比率で評価しているため、単位なし



論点7 地震によるプルサーマルへの影響

検討課題①～③のまとめ



検討課題①～③のまとめ

検討課題

①新しい耐震指針により、どのようにして耐震安全性を確認(バックチェック)しているのか。

(回答)

既設発電用原子炉施設に対する新耐震指針に照らした耐震安全性の評価は国からの指示に基づき次の基本的な考え方に基づき実施する。

- 1) 新耐震指針の要求(※)を踏まえ、バックチェックにあたっては基準地震動 S_s に対する耐震設計上重要な施設の安全機能の保持の観点から行う。
- 2) 基準地震動 S_s に対する安全機能の保持の評価及び確認を行う施設は、新耐震指針によるSクラスの施設とする。
(なお、Sクラスの施設に波及的破損を生じさせるおそれのあるBクラス及びCクラスの施設については、基準地震動 S_s によるSクラスの施設への波及的影響の評価及び確認を行う)
- 3) 基準地震動 S_s は、新耐震指針に則り「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を考慮する。
- 4) 施設に作用する地震力の算定、発生応力の算定、安全機能の評価等に用いる地震応答解析手法、許容値等については、従来の評価実績、最新の知見及び規格・基準等を考慮する。

(※)新耐震指針では、「耐震設計上重要な施設は、敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれない」よう求めている。



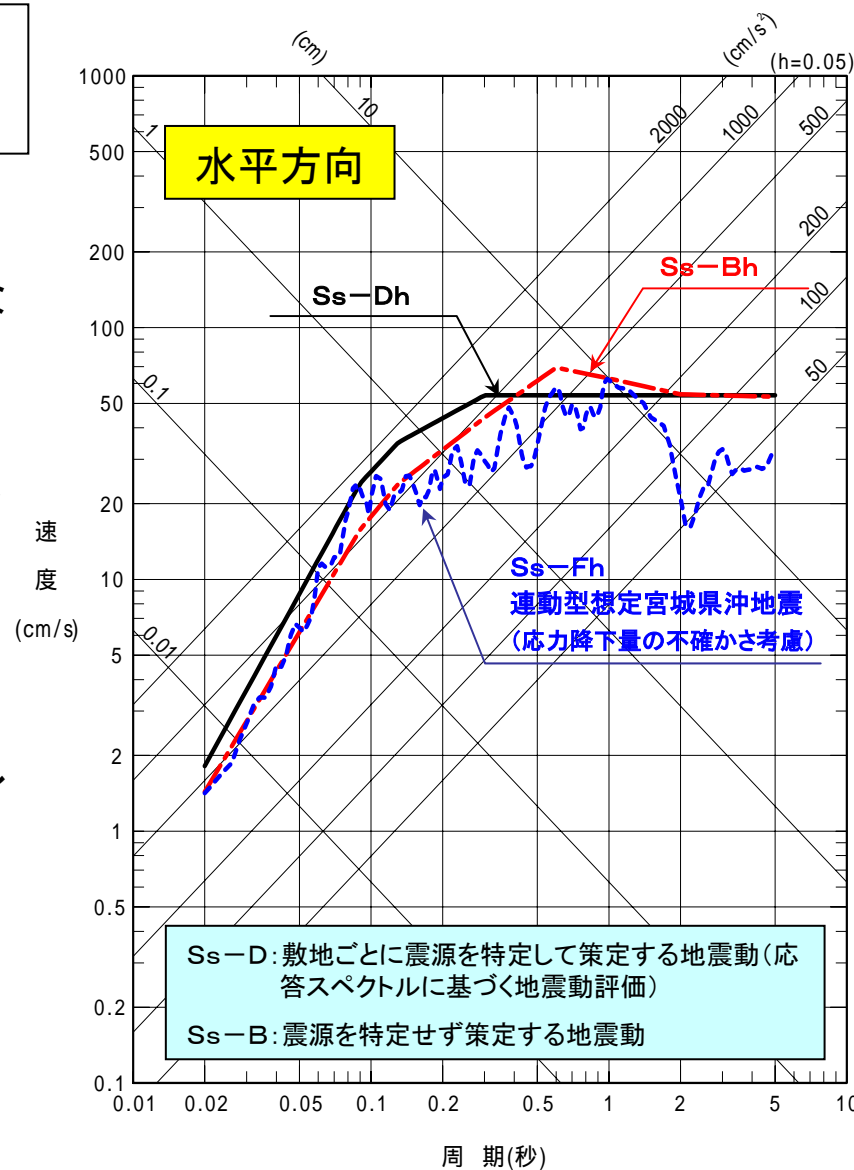
検討課題①～③のまとめ

検討課題

②地震の想定が小さいのではないか。

(回答)

- ・基準地震動 S_s は、地震観測記録や地質調査結果を踏まえて、中越沖地震から得られた知見など、最新の知見を反映して策定している。
- ・女川では、地質調査結果を踏まえて活断層をより安全側に評価し、2005年の地震観測記録等により得られた知見も反映している。プレート間地震としては**想定宮城県沖地震M8.2**、プレート内地震および内陸地殻内地震としてはM7.1の地震について、断層モデルを用いた手法等により不確かさも考慮して評価し、さらに「震源を特定せず策定する地震動」(M6.8程度に相当)を評価しており、評価すべき地震動として妥当なものである。
- ・なお、東北電力が新耐震指針に基づき設定した基準地震動 S_s に対する原子力安全・保安院による審議は、11月30日の「総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会第38回地震・津波、地質・地盤合同WG」で審議され、妥当とされた。



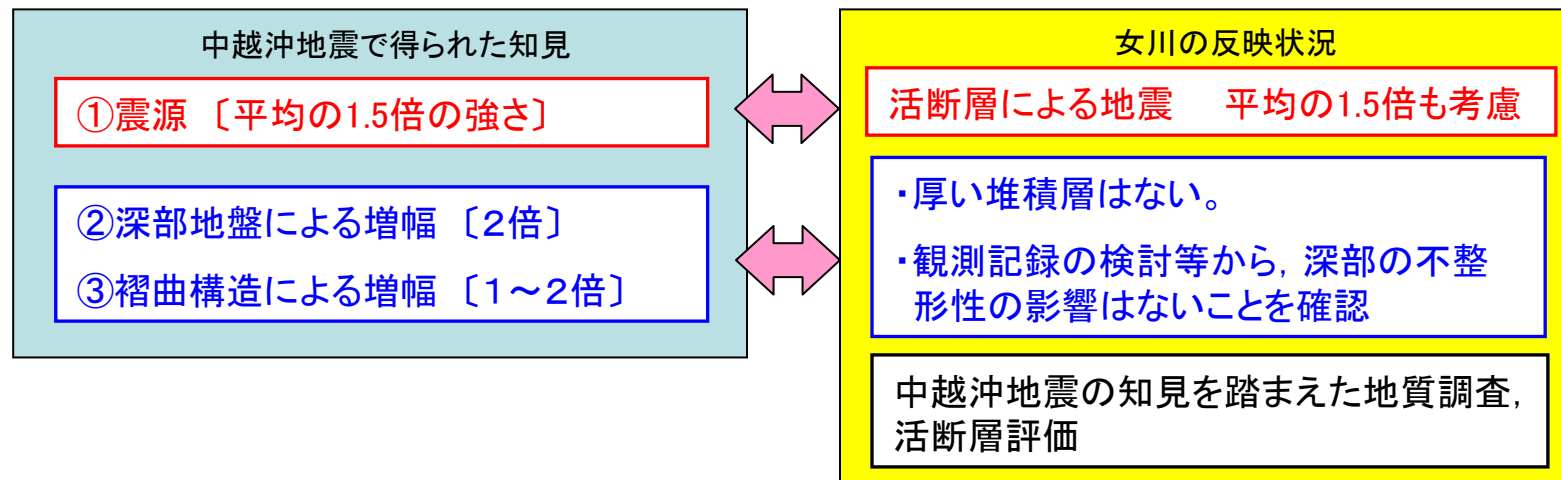
検討課題①～③のまとめ

検討課題

③中越沖地震における知見はどのように活かしたのか。

(回答)

中越沖地震を踏まえた耐震バックチェックに反映すべき事項については、国からの指示に基づき適宜中間報告書やバックチェック審議資料に反映してきている。具体的には、基準地震動 S_s の策定においては、断層モデルによる検討における応力降下量の1.5倍の考慮や地盤の地下構造特性の影響の考慮などである。なお、これらの中越沖地震を踏まえた反映事項については国の各WGで審議されており、妥当とされた。



検討課題④について

検討課題

- ④実際に地震により被災した場合，どのくらい被害を想定していて，また，防災体制はどうなっているのか。



(1) 耐震設計の基本的な考え方

設計の基本

- 安全上の重要度に応じ，設備の耐震クラスを分類
(S, B, Cクラス)
- クラス毎に考慮する地震力に対して機能を維持

設備の被害を想定した設計

- 地震時に，耐震クラスが下位の設備が損傷したとしても，上位の設備に影響がないこと
 - ・配置，隔離などの考慮
 - ・上位クラス並みの強度確保

消防法に基づく防火設計

- 消火設備，配置設計，防火壁など

(2) 耐震防災体制

女川原子力発電所では、原子炉建屋や機器の耐震性の確保以外にも耐震性の向上を目的として下記の取組みを実施している。

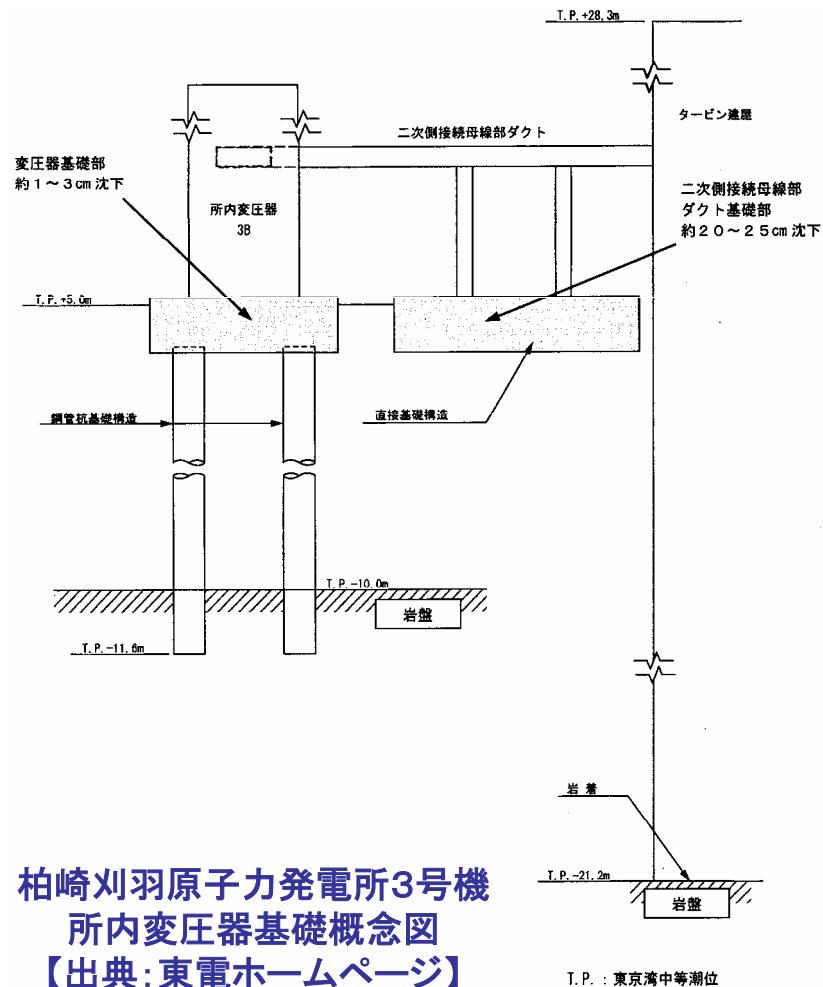
- 自衛消防体制および事故報告体制の強化
 - ・初期消火体制の強化
(要員増加, 消防車の追加配置, 大型消火器の増設)
 - ・放射性物質の漏えい等の事実確認体制を強化
 - ・災害時連絡手段の確保(女川は従来より確保済み)
- 所員執務室の耐震性向上
 - ・事務本館の耐震補強工事
 - ・免震構造を採用した新事務本館の建設
- 屋外施設の基礎強度の確認
 - ・変圧器, タンクなど
- その他
 - ・発電所構内への緊急地震速報の導入



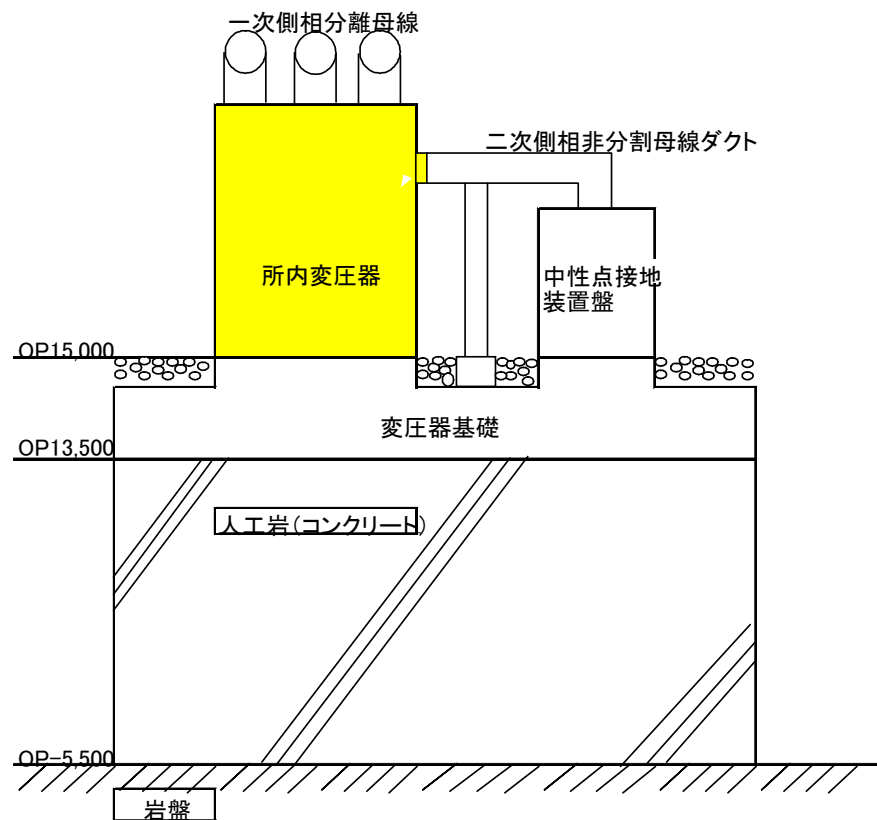
事務本館の耐震補強工事の状況

検討課題④について～～2. 防災体制等その他の耐震性向上に係る取組みについて～～ (2) 耐震防災体制

基礎強度の確認例【所内変圧器】



柏崎刈羽原子力発電所3号機
 所内変圧器基礎概念図
 【出典: 東電ホームページ】



女川原子力発電所
 所内変圧器基礎概念図
 【女川3号機の例】



(3)2005年宮城県沖の地震時の経年化影響評価

女川原子力発電所1号機の経年化影響評価

大きな地震を経験したこと、運転開始後約22年(2006年当時)を経ていることに鑑み、念のため経年化の影響評価を実施

1)設備診断調査

- ・機器等の診断調査

(点検結果の再確認, 追加実施: 緩み, ひび, 腐食, 減肉など)

- ・建屋コンクリートの診断調査

(コア供試体を用いた圧縮強度試験, 反発度法による試験により, コンクリートの実強度を確認)

(3) 2005年宮城県沖の地震時の経年化影響評価

女川原子力発電所1号機の経年化影響評価

2) 解析評価

点検結果を踏まえ耐震安全性評価上の影響が考えられる事象について「解析評価」を実施

(炉心シュラウドのひび, 残留熱除去系配管の減肉)



炉心シュラウド:

ひびの確認されていない部分も含め, 全周にひびを仮定

残留熱除去系配管:

全周にわたり必要最小肉厚となったものと仮定



いずれも, 許容応力を満足しており, 耐震安全性は確保できることを確認

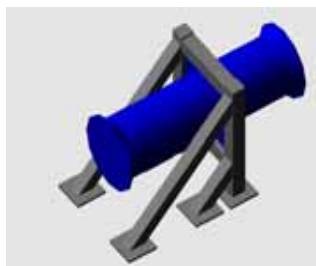
(4)耐震裕度向上工事

女川原子力発電所の耐震裕度向上工事の状況

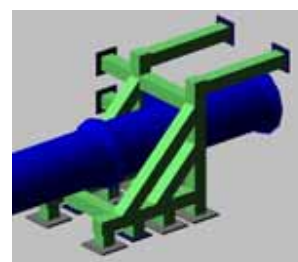
基準地震動 S_s に対しても十分な余裕を確保し、信頼性の更なる向上を図るため、自主的に耐震裕度向上工事に取り組んでいる。

- ・今後とも裕度向上が必要と判断した場合は適宜実施する。
- ・各号機の配管サポート類、クレーン類について順次実施済み
(女川3号機は第5回定検で配管サポート類約2100箇所について実施済み)

配管サポートの工事例



工事前

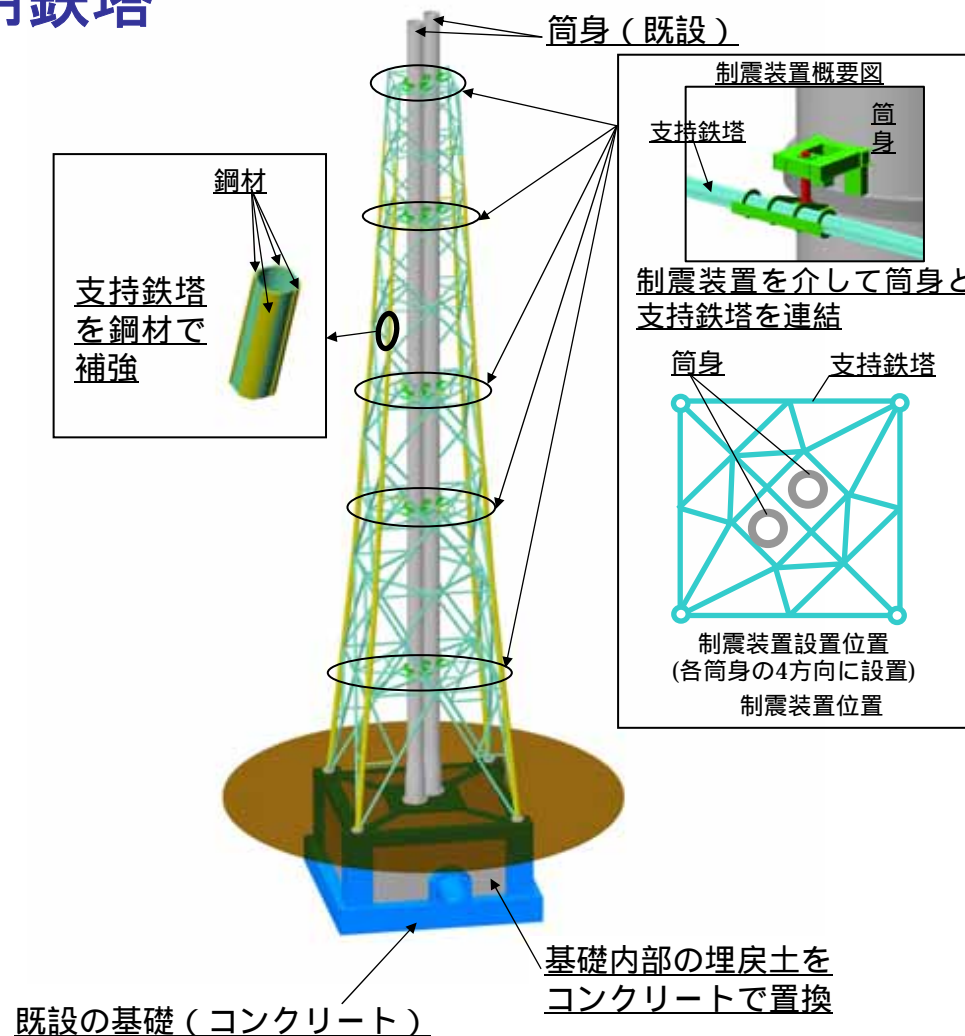


工事後

(4) 耐震裕度向上工事

・女川2, 3号機の排気筒共用鉄塔の耐震裕度向上工事

耐震設計審査指針の改訂により、排気筒の耐震クラスがAクラスからSクラスに格上げになり、より大きな裕度を確保して信頼性向上を図るため、排気筒の耐震裕度向上工事を行う



検討課題④のまとめ

検討課題

④実際に地震により被災した場合、どのくらい被害を想定していて、また、防災体制はどうなっているのか。

(回答)

- ・設備の耐震クラスに応じて考慮する地震力に対し、機能を維持するとともに、耐震クラスが下位の設備が損傷しても、上位の設備に影響を与えない設計
- ・新潟県中越沖地震の発生を踏まえて、以下の対応を実施
 - 自衛消防体制および事故報告体制の強化
 - ・初期消火体制の強化(要員増加, 消防車の追加配置, 大型消火器の増設)
 - ・放射性物質の漏えい等の事実確認体制を強化
 - ・災害時連絡手段の確保(女川は従来より確保済み)
 - 事務所(緊急対策室を含む)の耐震性向上
 - ・増設する事務本館を免震化(実施中)
 - ・既設事務所の耐震補強(実施中)
 - 屋外施設の基礎強度の確認
 - ・変圧器, タンクなど



事務本館の耐震補強工事の状況

検討課題⑤について

検討課題

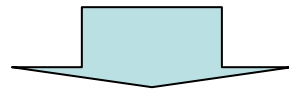
⑤プルサーマルを実施すると、地震の際に危険性が増すのではないか。



検討課題⑤について～～1. MOX燃料の採用と耐震安全性～～ (1) MOX燃料の採用による耐震安全性への影響

原子炉施設の構造や設備など耐震安全性に影響のある変更は伴わない

MOX燃料は従来ウラン燃料と基本的な構造は同じ
燃料集合体の地震時の揺れ方は変わらない

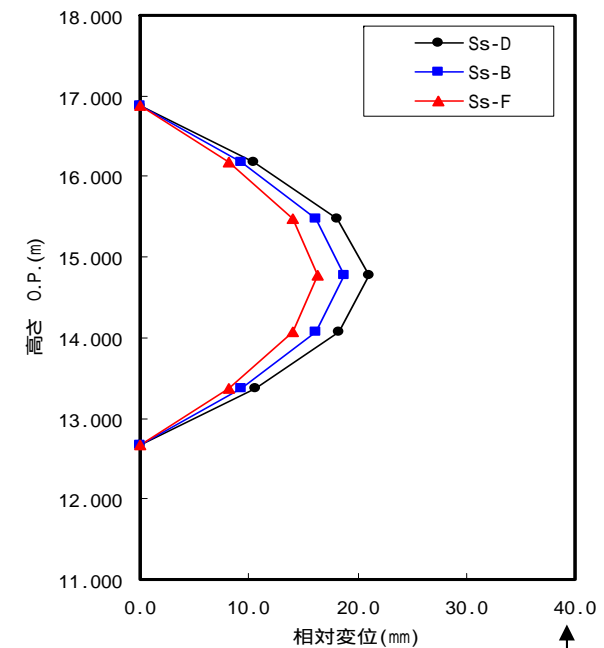


3号機主要施設の評価

基準地震動Ssに対する健全性を確認

制御棒の挿入性についても問題のないことを確認

3号機燃料集合体の
相対変位の評価



規定時間内での挿入性が確認されている相対変位



論点7 地震によるプルサーマルへの影響
検討課題⑤のまとめ

検討課題

⑤プルサーマルを実施すると、地震の際に危険性が増すのではないか。

(回答)

以下のことから、プルサーマルを実施しても、耐震安全性に影響はないものと評価している。

- ・ MOX燃料の採用にあたっては、原子炉施設の構造や設備など耐震性に関わる変更を伴うものではない。
- ・ MOX燃料集合体はウラン燃料集合体と基本的な構造が同じであり、耐震安全性に影響を与えるものではない。
- ・ 新指針による基準地震動 S_s に対して、女川3号機の主要施設の耐震安全性に問題のないことを確認している。

燃料集合体については、地震時の変位により、制御棒の挿入性に問題のないこと（規定時間内に挿入できること）を確認している。



END



<参考資料>



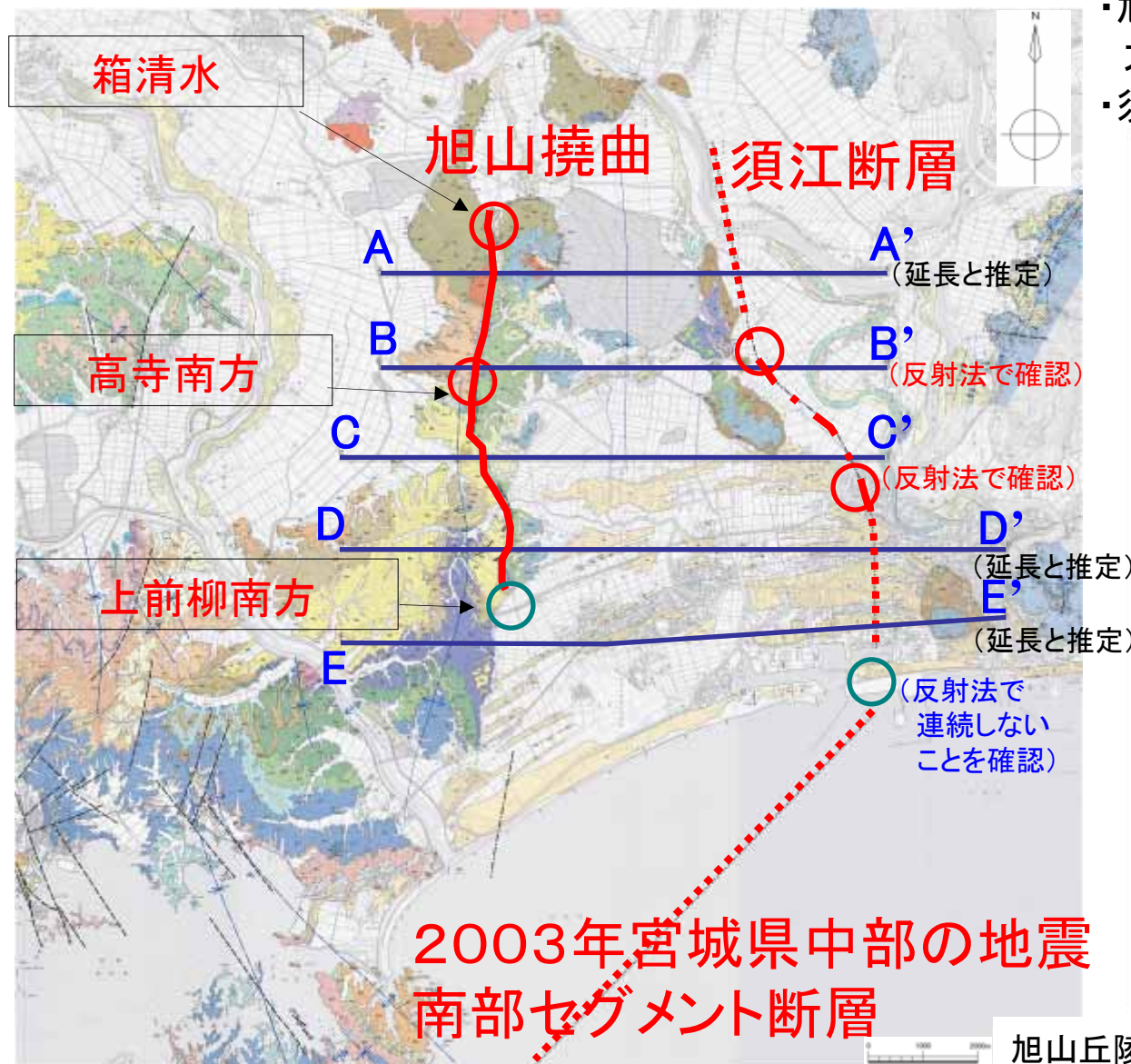
＜参考資料＞耐震安全性評価に係る状況
新耐震指針の主な改訂内容

- ・平成18年9月 原子力安全委員会にて決定
- ・最新の地震学・地震工学などの知見を反映し、高度化

項目	旧指針	新指針
設備の重要度分類	As, A, B, Cの4分類	S, B, Cの3分類 (AをAsに格上げし, 統合)
活断層の評価	過去5万年前以降に活動した活断層	過去12～13万年前以降に活動した活断層
地震動の評価	応答スペクトルによる 経験的評価	応答スペクトルによる経験的評価 + 断層モデルによる詳細評価
直下地震の考慮	一律にマグニチュード6.5の直下地震を想定	敷地毎に震源を特定できない地震動の揺れを定義
基準地震動	設計用最強地震による 基準地震動S1 設計用限界地震による 基準地震動S2	基準地震動Ssに1本化 (設計に際しては地震動Ssを係数倍した弾性設計用地震動Sdを設定)



＜参考資料＞新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (1) 地質調査, 活断層評価
 旭山撓曲・須江断層の活動性評価



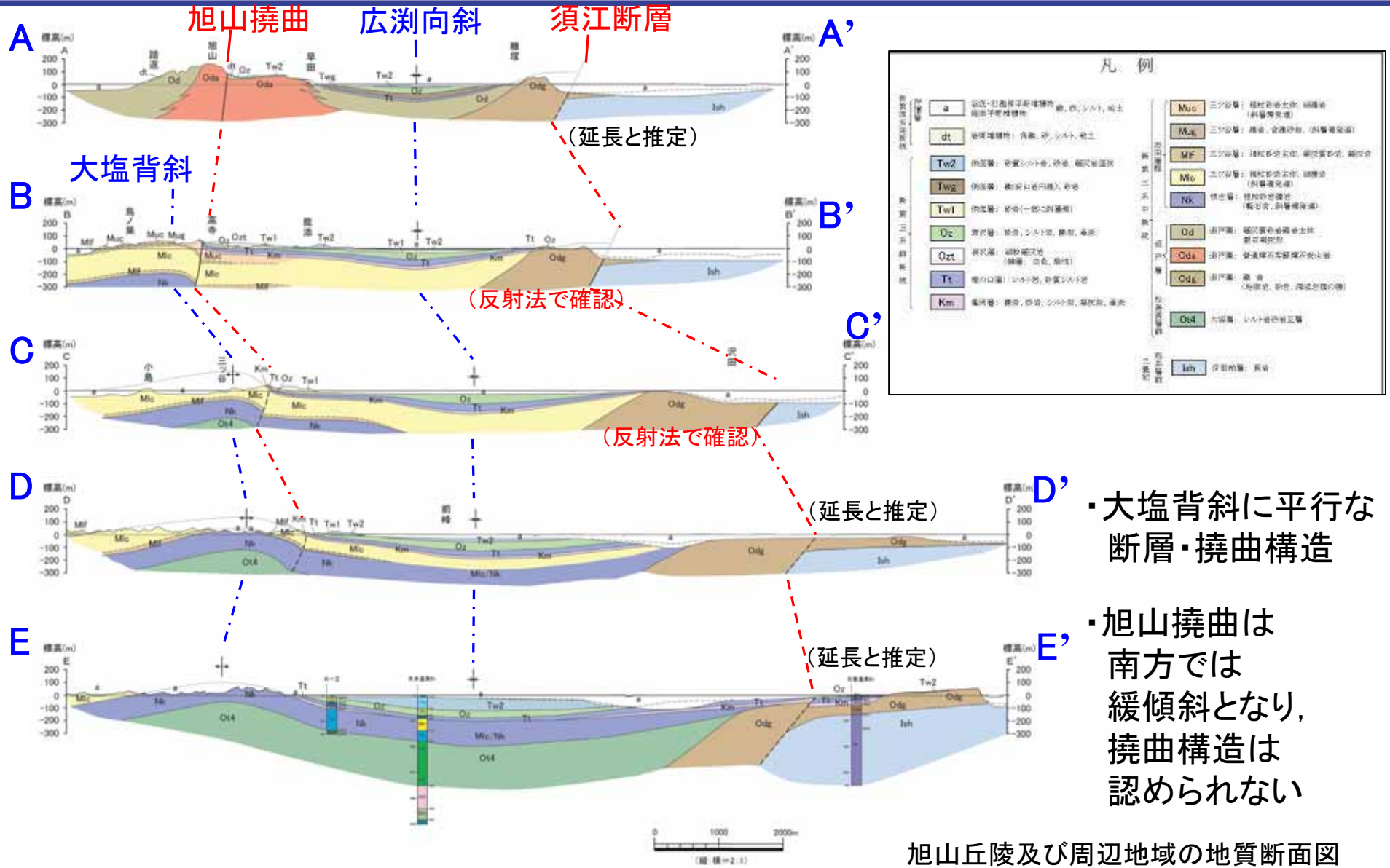
- 旭山撓曲:
大塩背斜に平行な断層・撓曲構造
- 須江断層: 反射記録より推定



旭山丘陵及び周辺地域の地質図



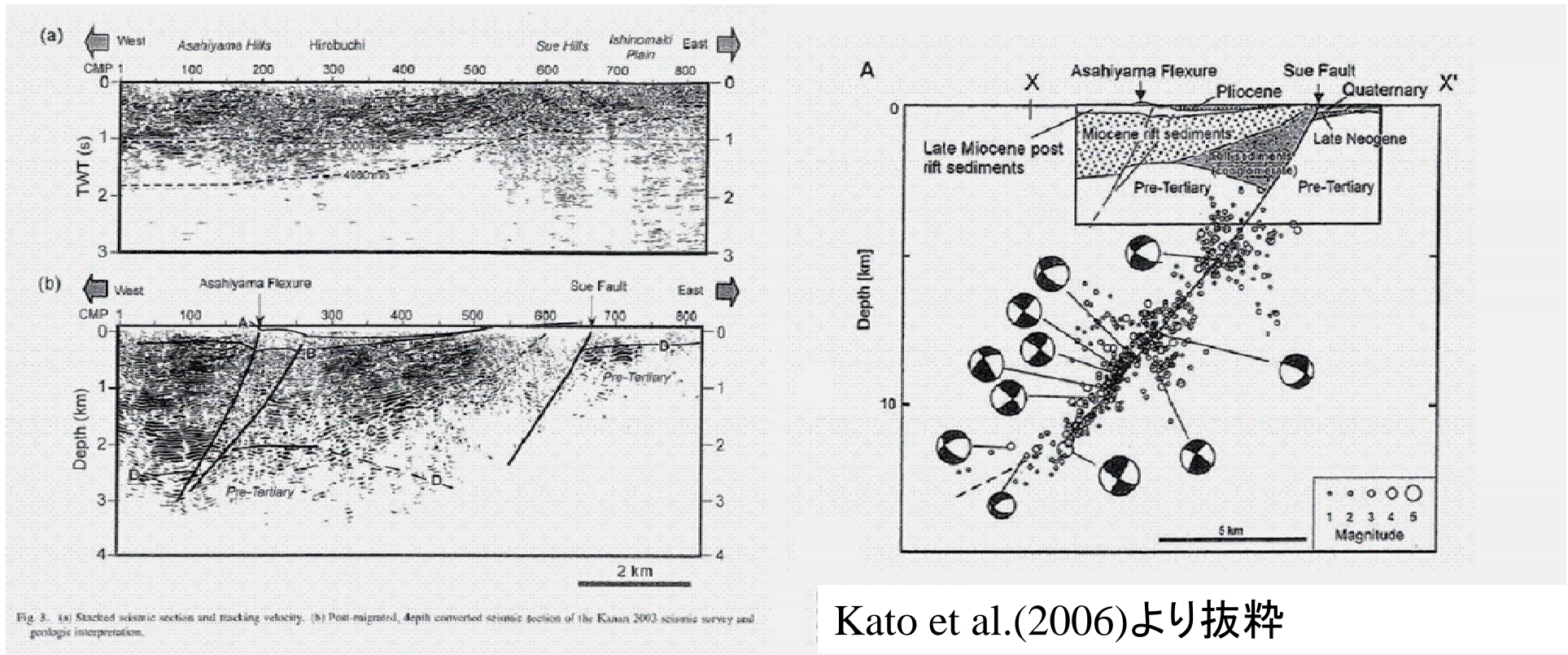
＜参考資料＞新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (1) 地質調査, 活断層評価 旭山撓曲・須江断層の活動性評価



- ・大塩背斜に平行な断層・撓曲構造
- ・旭山撓曲は南方では緩傾斜となり、撓曲構造は認められない

＜参考資料＞新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (1) 地質調査, 活断層評価 旭山撓曲・須江断層の活動性評価

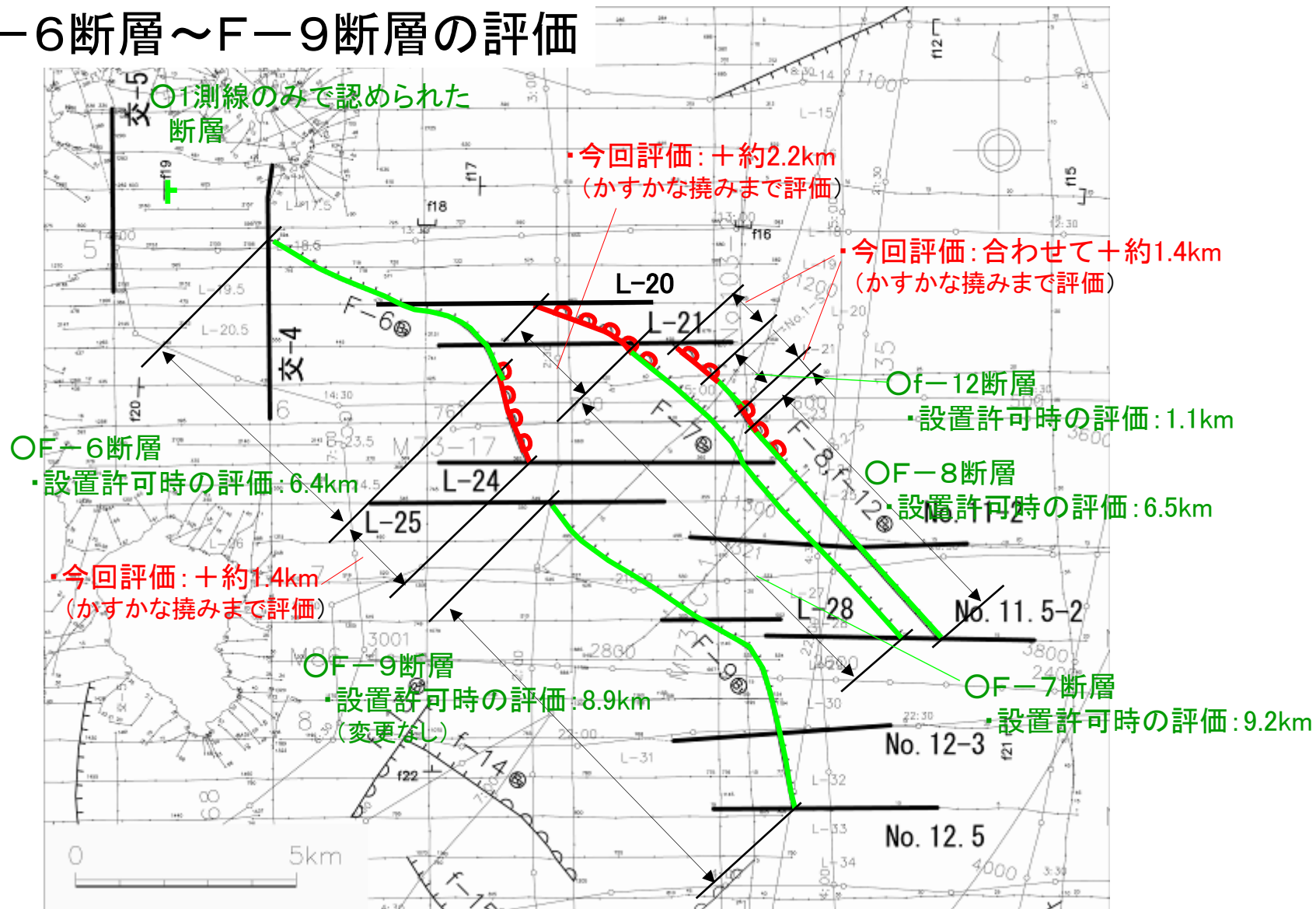
東京大学Kanan2003測線と2003年宮城県中部の地震の余震分布との関係(B断面付近)



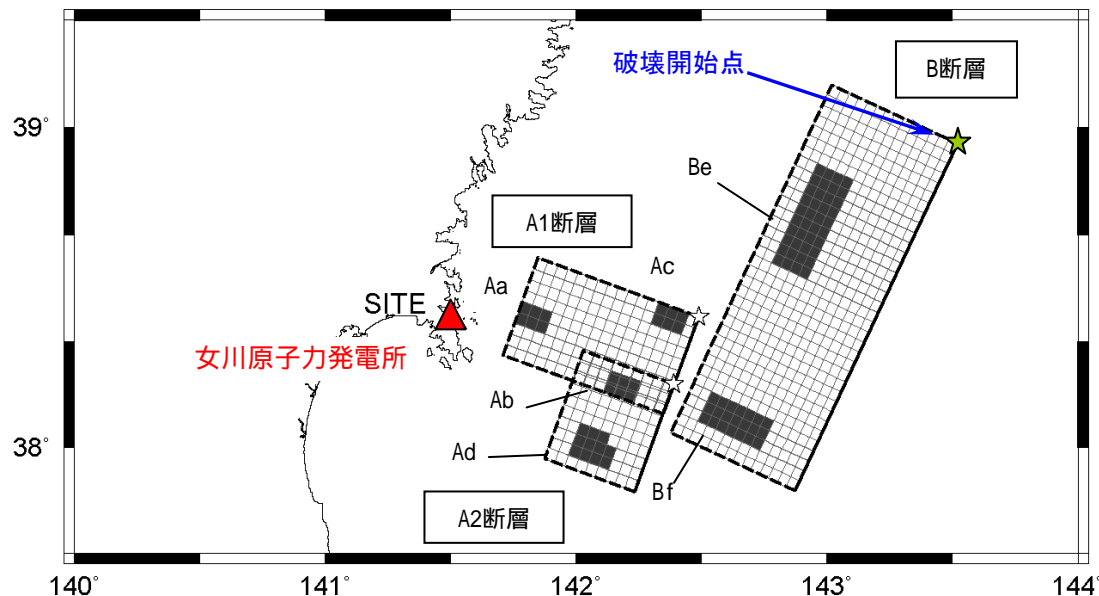
2003年宮城県中部の地震の発生, その後の調査データ等を踏まえ,
旭山撓曲・須江断層を一連の断層帯として評価

<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (1) 地質調査, 活断層評価 海域の断層評価

F-6断層~F-9断層の評価



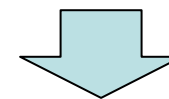
<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震(1) プレート間地震



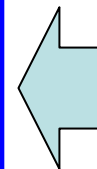
連動型想定宮城県沖地震の断層モデル(基本ケース)

※: ■はアスペリティを, ☆は破壊開始点を示す。

- ・過去の地震の被害状況, 地震本部(2000)の知見等から, 敷地に最も影響を及ぼすプレート間地震は, 1978年宮城県沖地震に代表される陸側の断層が活動する宮城県沖地震
- ・検討用地震として, 敷地に影響を与えた宮城県沖の陸側の震源域をも包含する「連動型想定宮城県沖地震」を選定



- ・壇ほか(2005)は, 地震本部(2002)を踏まえている。
- ・壇ほか(2005)のAaアスペリティ及びAbアスペリティは, 地震本部(2002)を改訂した地震本部(2005)と概ね同じ設定となっており, 検討用地震の基本ケースは宮城県沖の地域性を反映している。

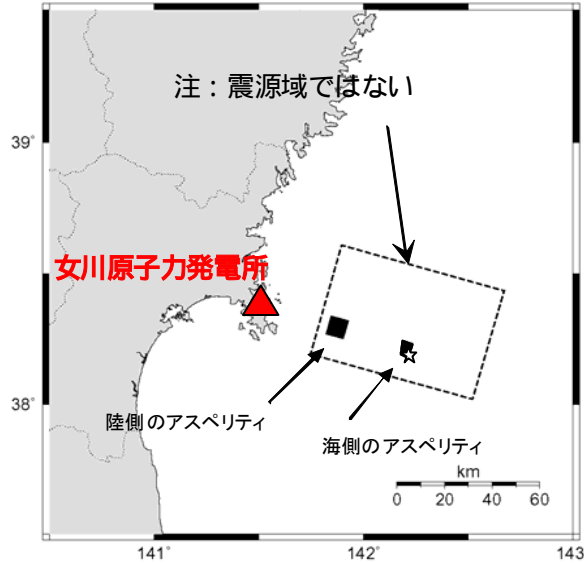


- ・基本ケースの断層パラメータとして壇ほか(2005)のモデル(Mw8.2)を採用

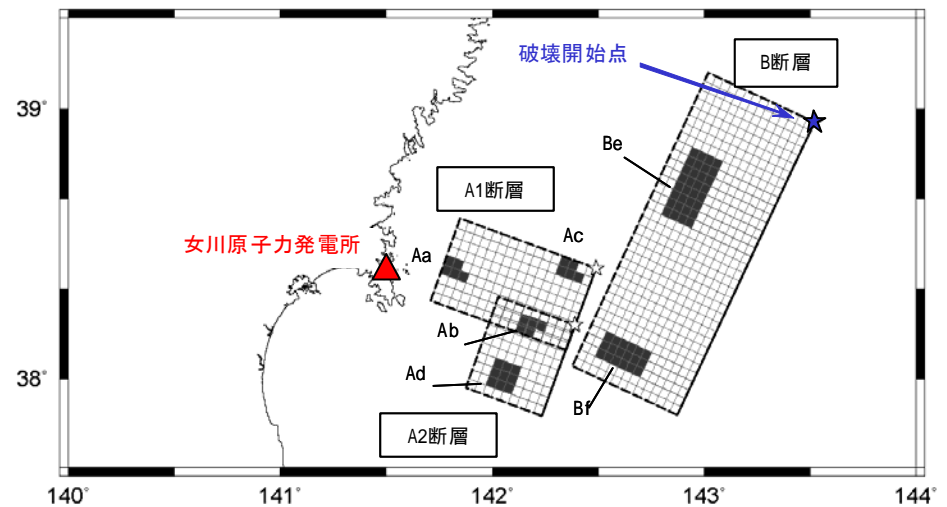


<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震(1) プレート間地震 応力降下量の不確かさ

2005年宮城県沖の地震とアスペリティの応力降下量の不確かさを考慮した連動型想定宮城県沖地震の比較



2005年宮城県沖の地震の断層モデル



アスペリティの応力降下量の不確かさを考慮した連動型想定宮城県沖地震の断層モデル

	規模	M ₀ (Nm)	アスペリティの応力降下量 (MPa)					
			Aa	Ab	Ac	Ad	Be	Bf
2005年宮城県沖の地震	Mj7.2	6.97 × 10 ¹⁸	38.9※1	89.8※2	—	—	—	—
連動型想定宮城県沖地震 (基本ケース)	Mw8.17	2.24 × 10 ²¹	29.0	72.6	63.6	55.1	35.4	35.4
連動型想定宮城県沖地震 (ケース7)			38.9	97.3	85.3	73.9	47.5	47.5

内陸地殻内地震のアスペリティ面積に関する入倉・三宅(2001)の知見を参考

アスペリティ面積を1/1.34することで応力降下量を1.34倍

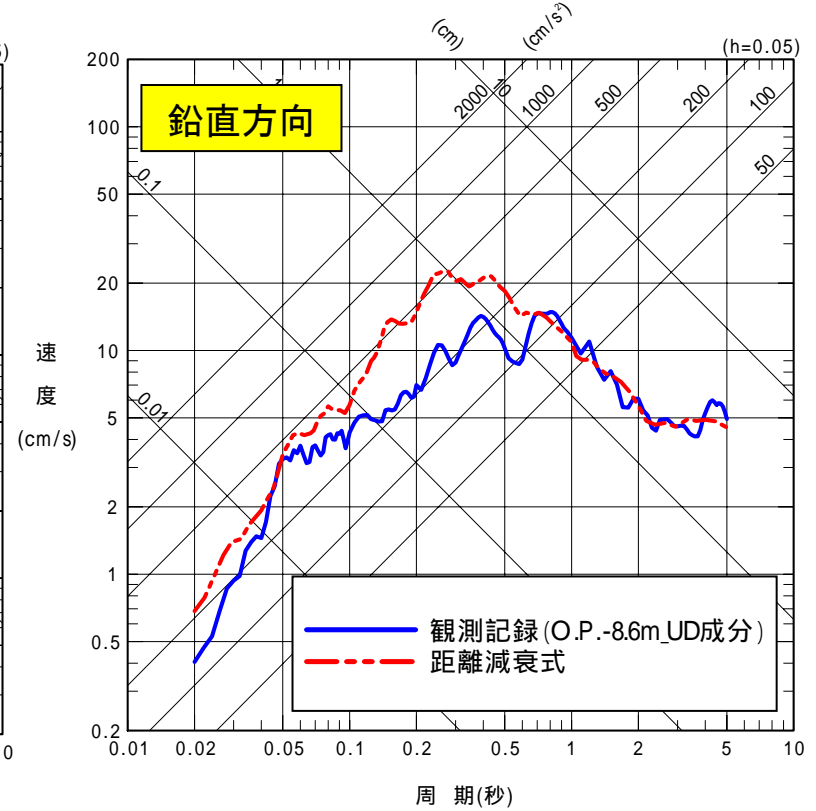
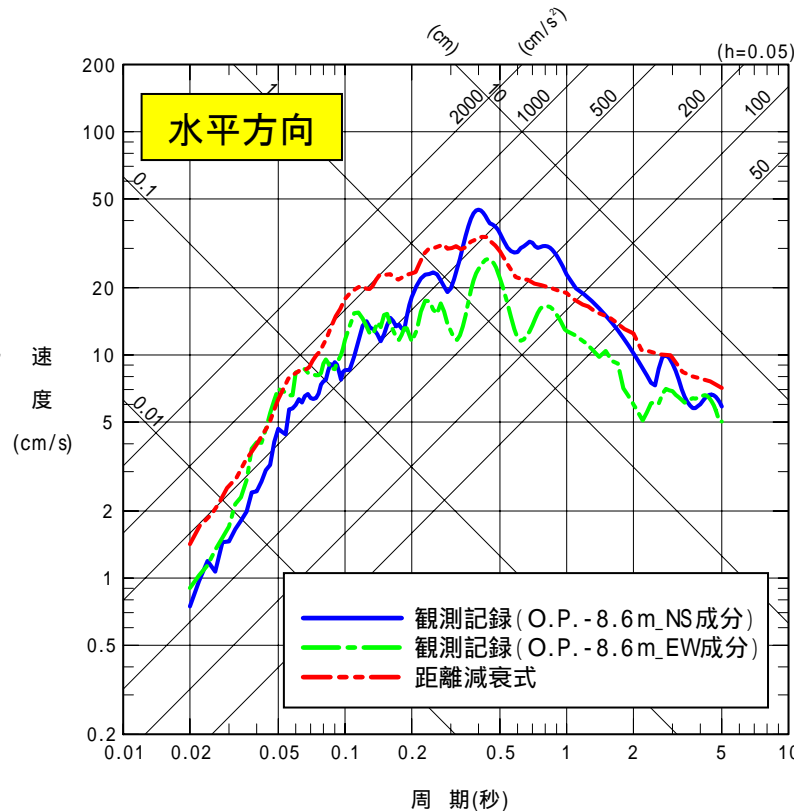
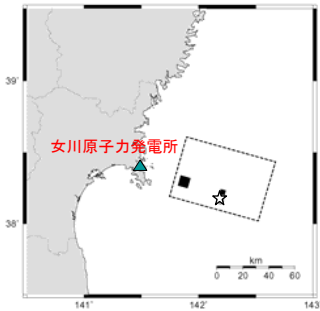
※1: Aaアスペリティに近い陸側のアスペリティを記載, ※2: Abアスペリティに近い海側のアスペリティを記載

不確かさを考慮した連動型想定宮城県沖地震のアスペリティの応力降下量は、短周期が卓越した2005年地震を上回る。



<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震(1) プレート間地震

2005年宮城県沖の地震の観測記録と宮城県沖のプレート間地震に適用する距離減衰式の比較



岩盤上部 (O.P.-8.6m) における地震観測記録 (はぎとり波)

【2005年宮城県沖の地震】 M7.2, $X_{eq}=60.8(\text{km})^{*1}$, $RSPL=1.32 \times 10^{18}^{*2}$

※1: アスペリティモデルから算定 ※2: 観測記録から算定

策定した距離減衰式は、2005年宮城県沖の地震の強震記録と整合

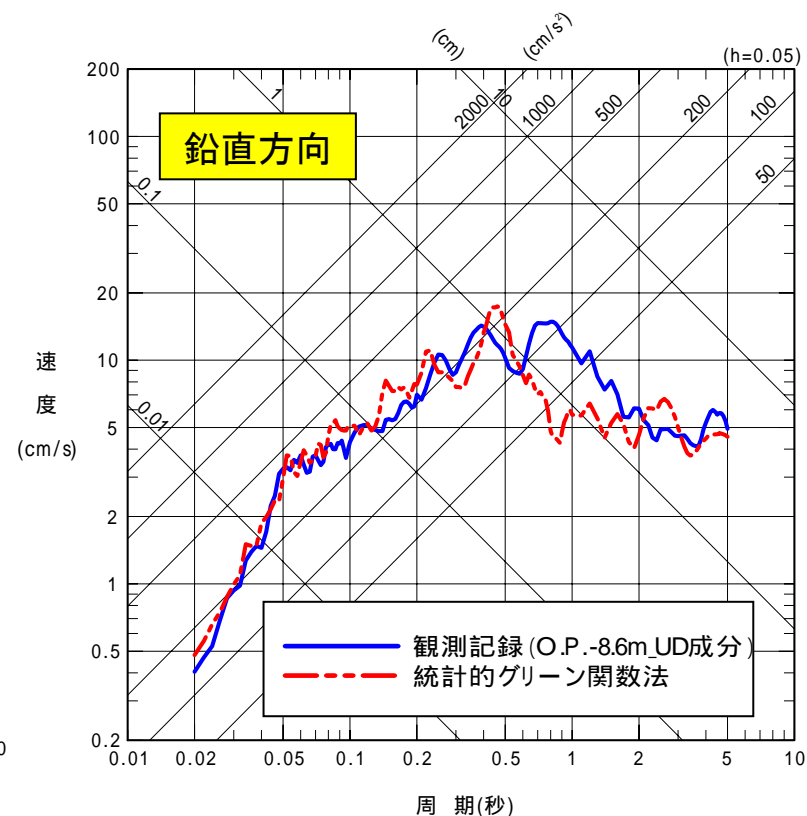
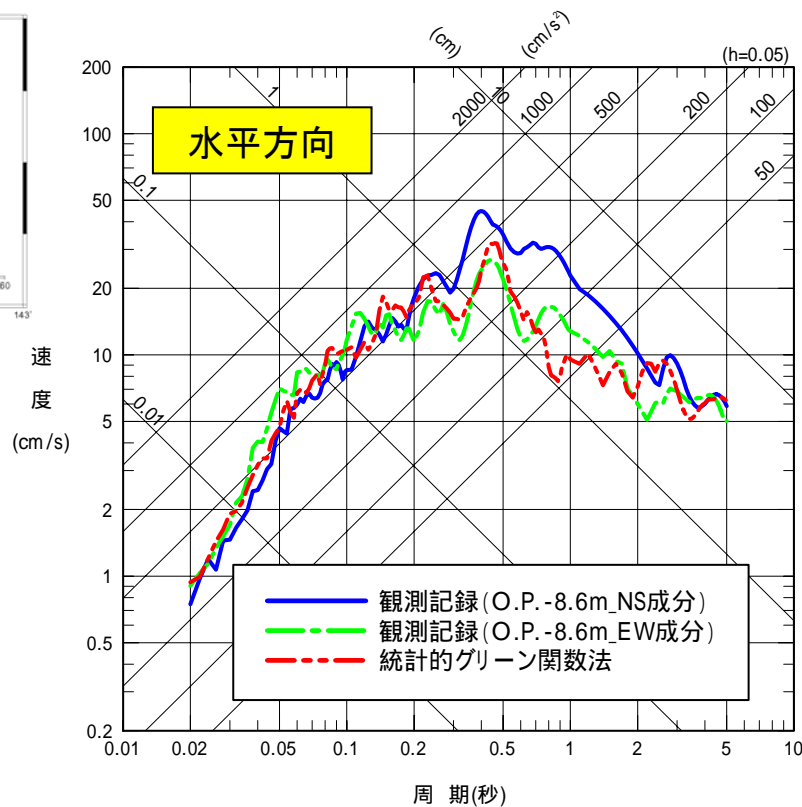


<参考資料> 新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震(1) プレート間地震

2005年宮城県沖の地震の観測記録と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の比較



2005年宮城県沖の地震の断層モデル



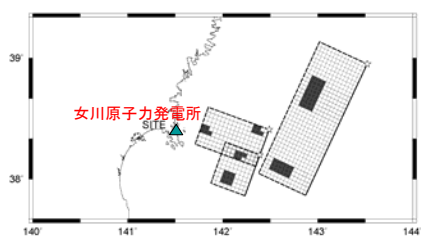
岩盤上部(O.P.-8.6m)における地震観測記録(はぎとり波)

統計的グリーン関数法は、2005年宮城県沖の地震の強震記録と整合

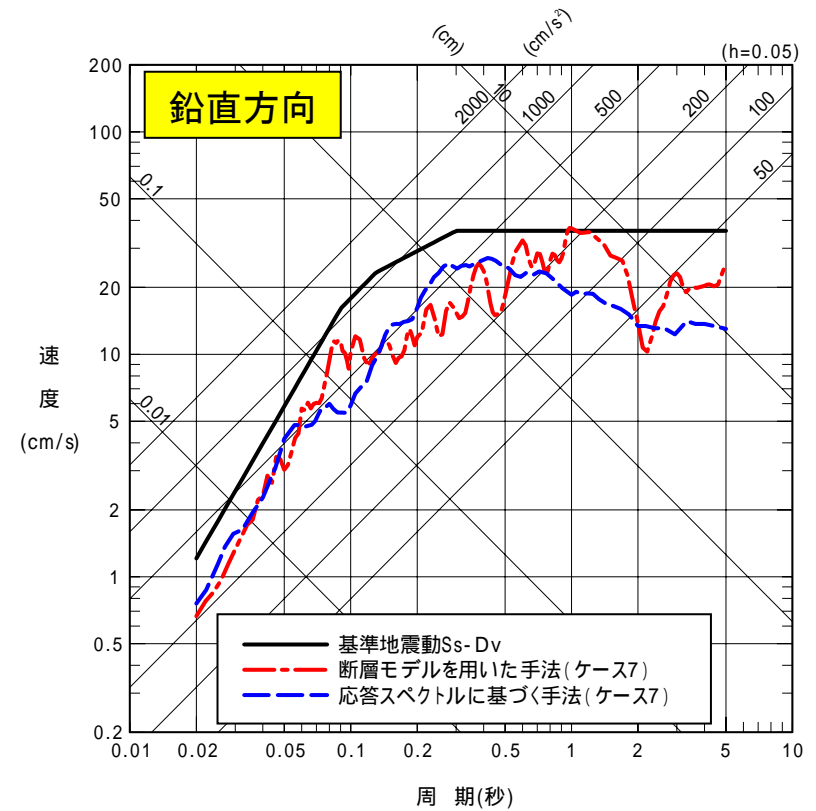
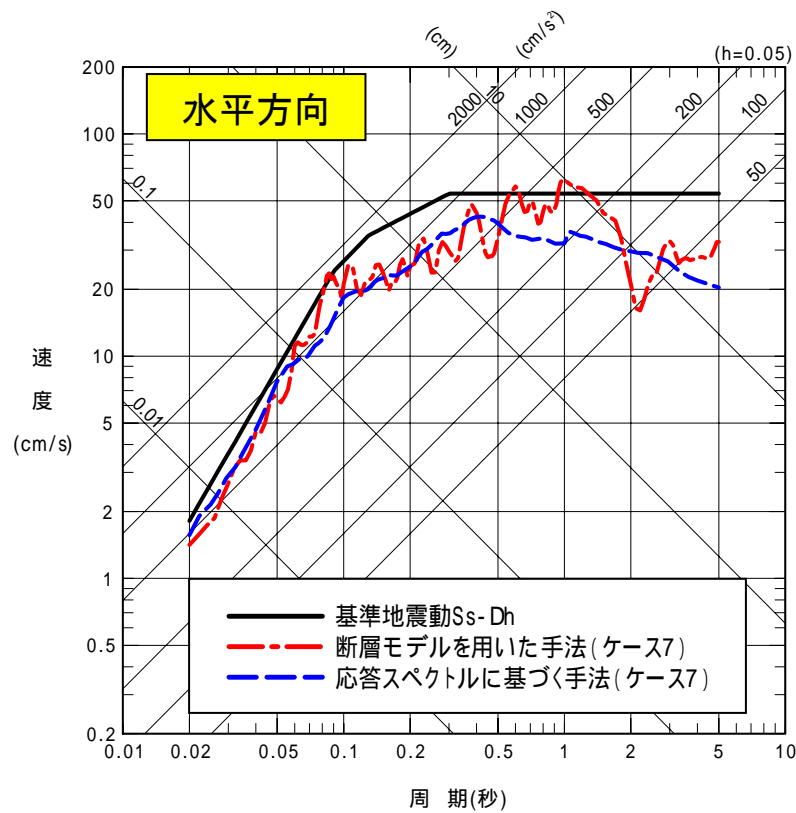


<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震(1) プレート間地震

連動型想定宮城県沖地震 応答スペクトル手法と断層モデル手法の評価結果の比較(ケース7)

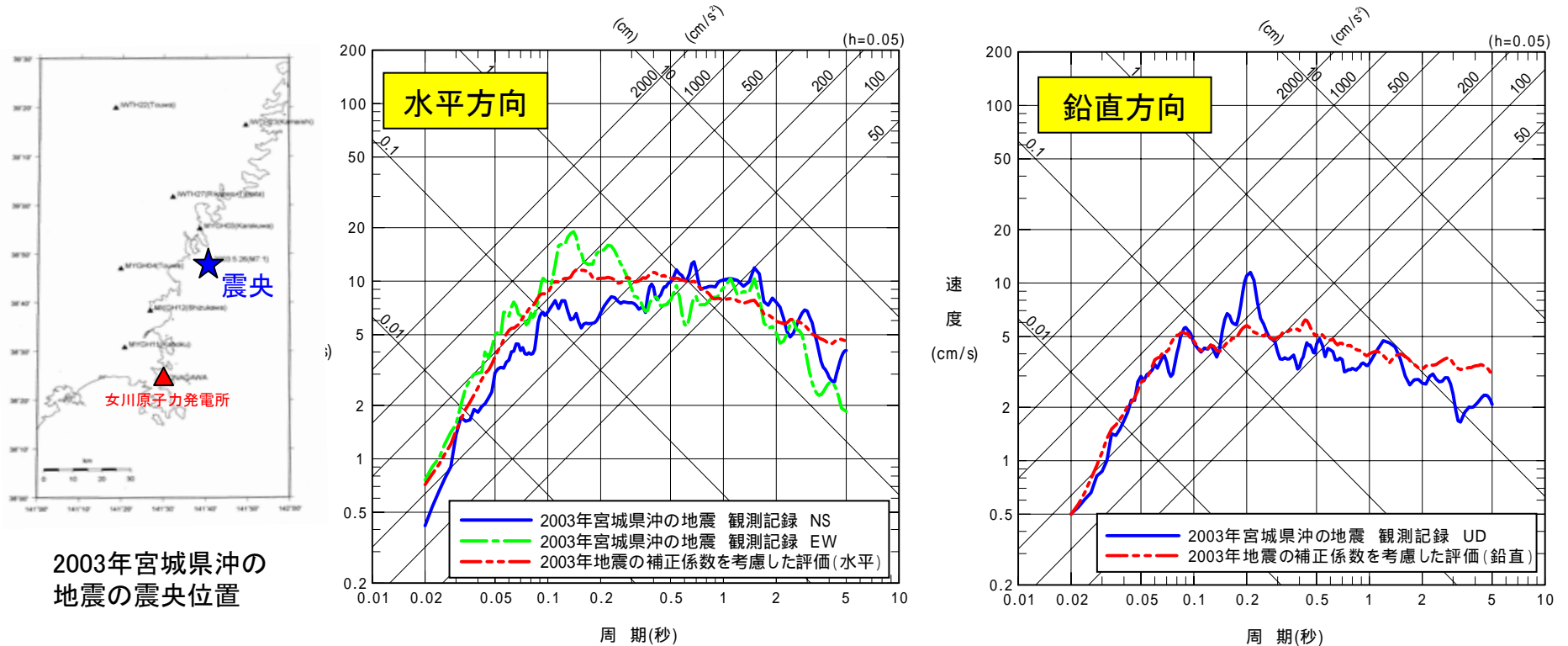


左図: 連動型想定宮城県沖地震の断層モデル



<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震(2) 海洋プレート内地震

2003年宮城県沖の地震(基本ケース)の観測記録と補正係数を考慮した応答スペクトルに基づく地震動評価の比較



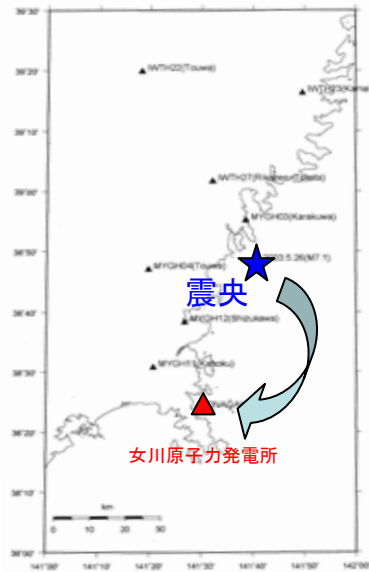
岩盤上部(O.P.-8.6m)における地震観測記録(はぎとり波)

補正係数を考慮した評価は、2003年宮城県沖の地震の強震記録と整合

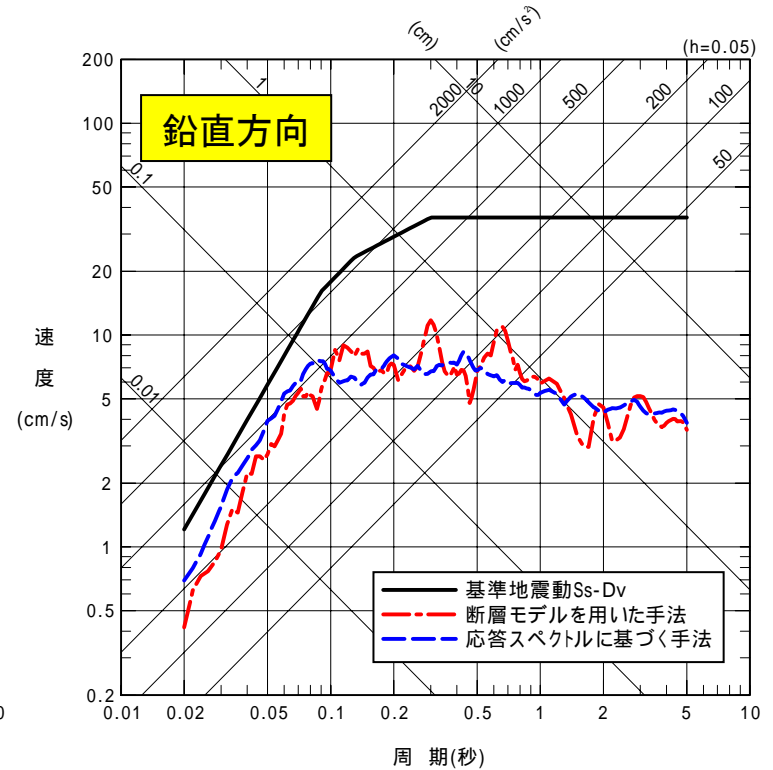
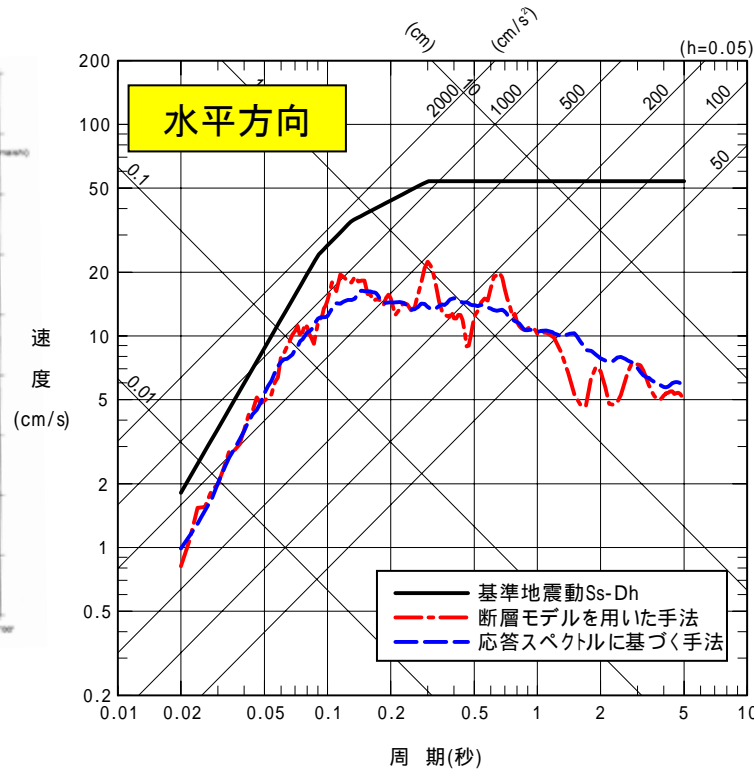


<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震(2) 海洋プレート内地震

想定敷地下方の海洋プレート内地震の 応答スペクトル手法と統計的グリーン関数法による地震動評価の比較



想定敷地下方の海洋プレート内地震の震央位置



想定敷地下方の海洋プレート内地震(M7.1)の地震動評価



＜参考資料＞新耐震指針に照らした耐震安全性評価（2）基準地震動Ssの策定 検討用地震（3） 内陸地殻内地震

F-6断層～F-9断層による地震の検討ケース

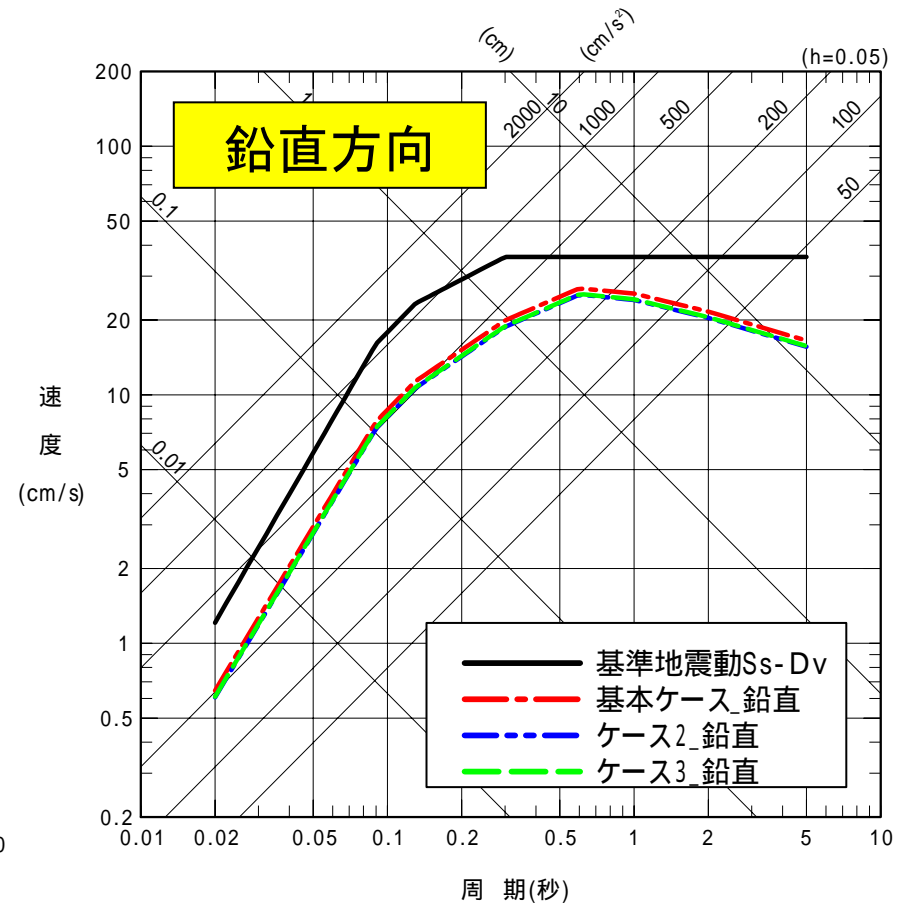
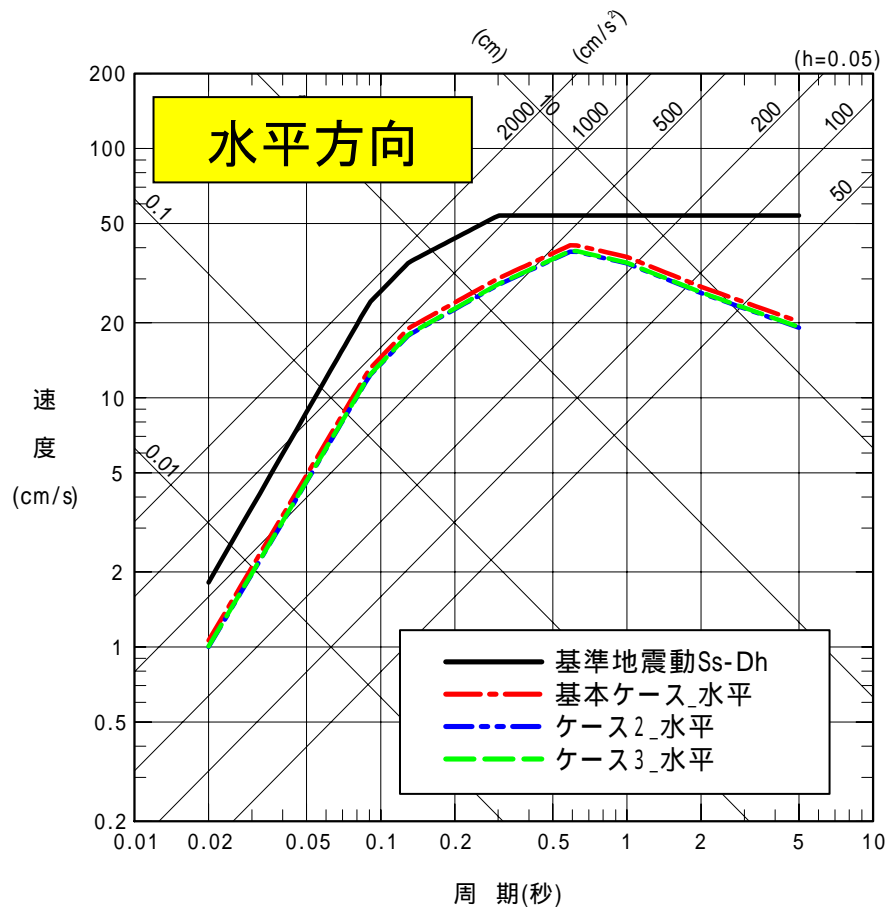
検討ケース	地震発生層 (km)	断層長さ (km)	断層幅 (km)	断層 傾斜角	アスペリティ 位置	アスペリティの 応力降下量	破壊 開始点	備考
地質調査結果	—	22	—	90度ないし 高角	—	—	—	
基本ケース (ケース1)	3～15	22	14	60度	各断層の敷 地寄り※1	強震動予測 レシピ	断層下端 (南東端)	統計的グリーン関数法 ハイブリッド合成法
ケース2	3～15	22	17	45度	各断層の敷 地寄り	強震動予測 レシピ	断層下端 (南東端)	統計的グリーン関数法 断層傾斜角の不確かさを考慮
ケース3	3～18	22	18	60度	各断層の敷 地寄り	強震動予測 レシピ	断層下端 (南東端)	統計的グリーン関数法 地震発生層の不確かさを考慮
ケース4	3～15	22	14	60度	各断層の敷 地寄り	強震動予測 レシピ1.5倍	断層下端 (南東端)	統計的グリーン関数法 平成19年新潟県中越沖地震の 知見を反映

※1 アスペリティ位置は、F-6断層及びF-9断層の各々の中央の敷地に近い位置に設定。



＜参考資料＞新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震 (3) 内陸地殻内地震

Noda et al.(2002)を用いて評価(内陸補正なし)

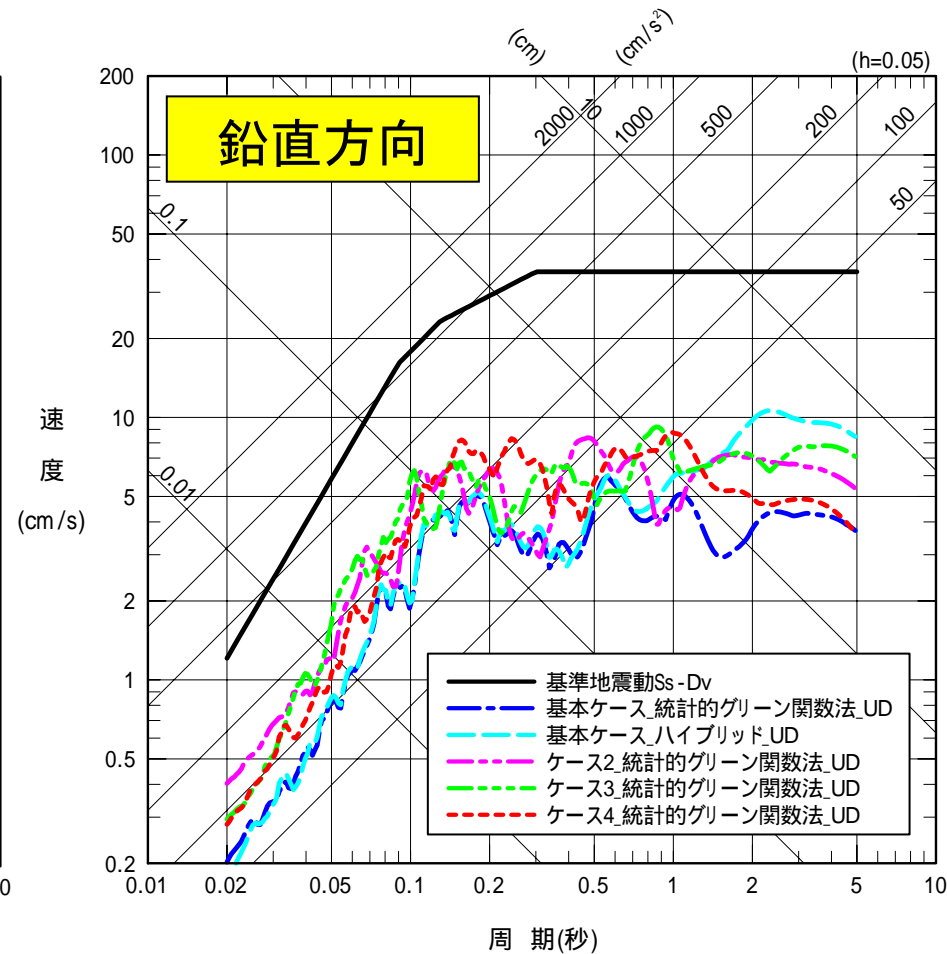
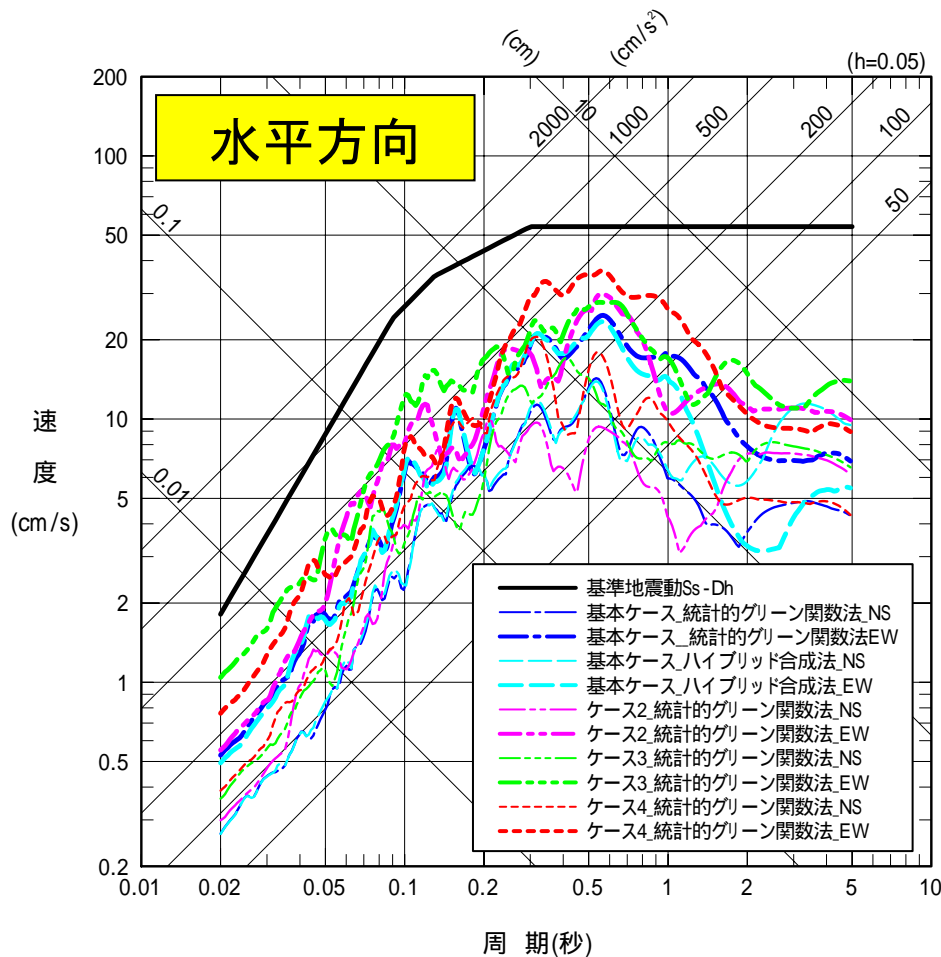


<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 検討用地震 (3) 内陸地殻内地震

敷地において適切な内陸地殻内地震の観測記録が得られていない。

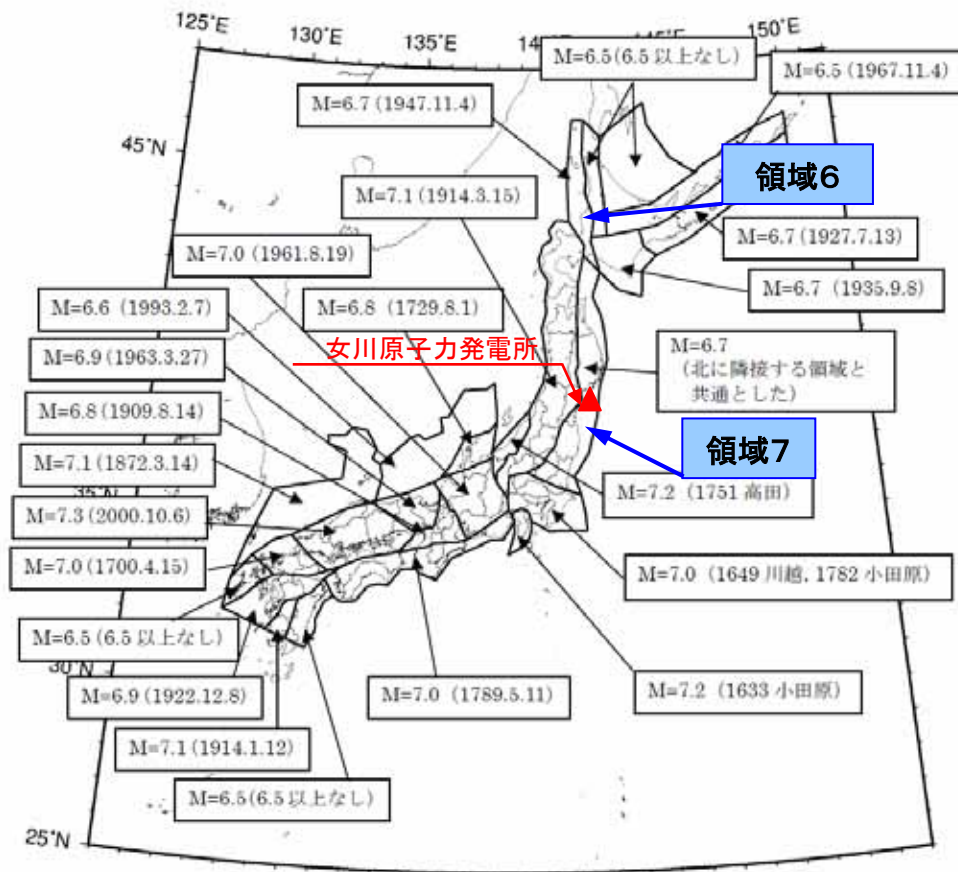


基本ケース : 統計的グリーン関数法およびハイブリッド合成法
不確かさケース : 統計的グリーン関数法



＜参考資料＞新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 震源を特定せず策定する地震動

陸域の震源を予め特定しにくい地震の最大規模



領域ごとの最大マグニチュード

〔地震本部(2006)より抜粋, 下線部加筆〕

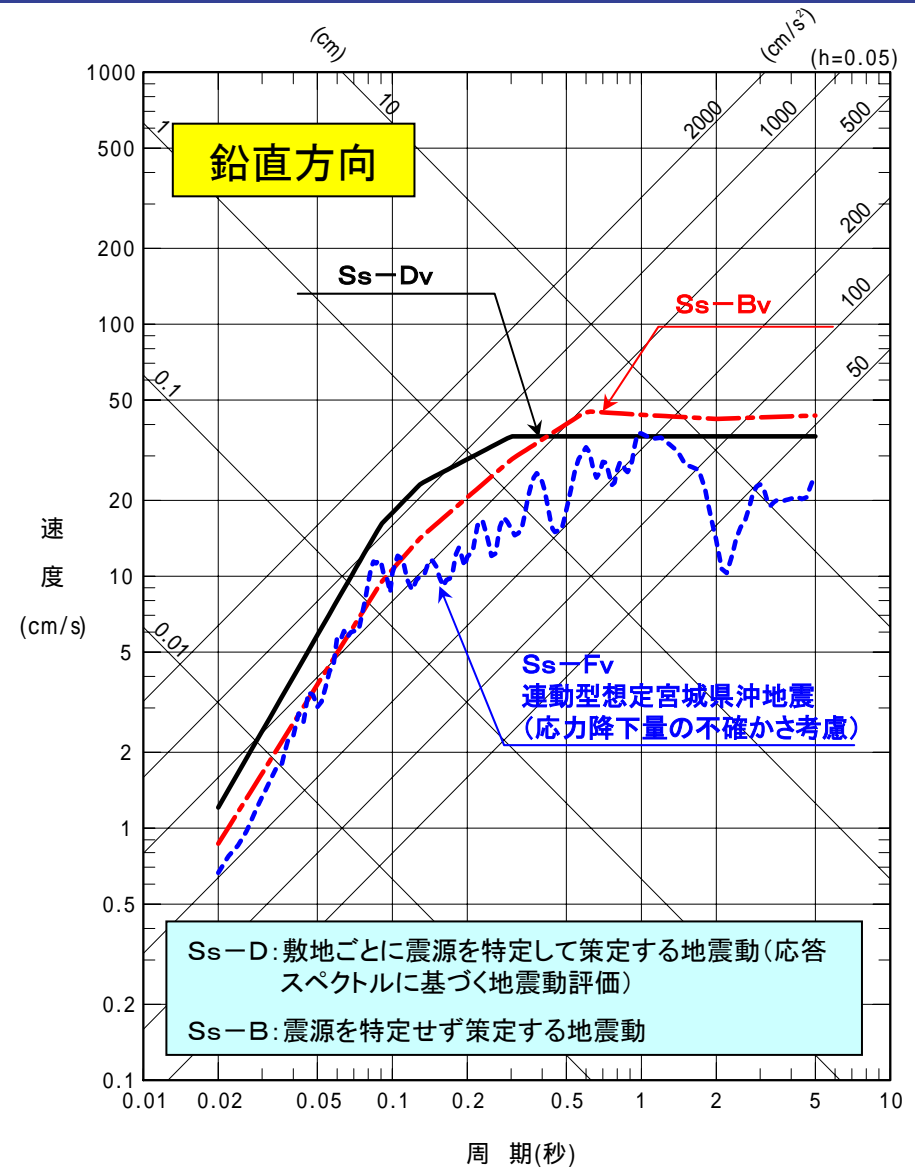
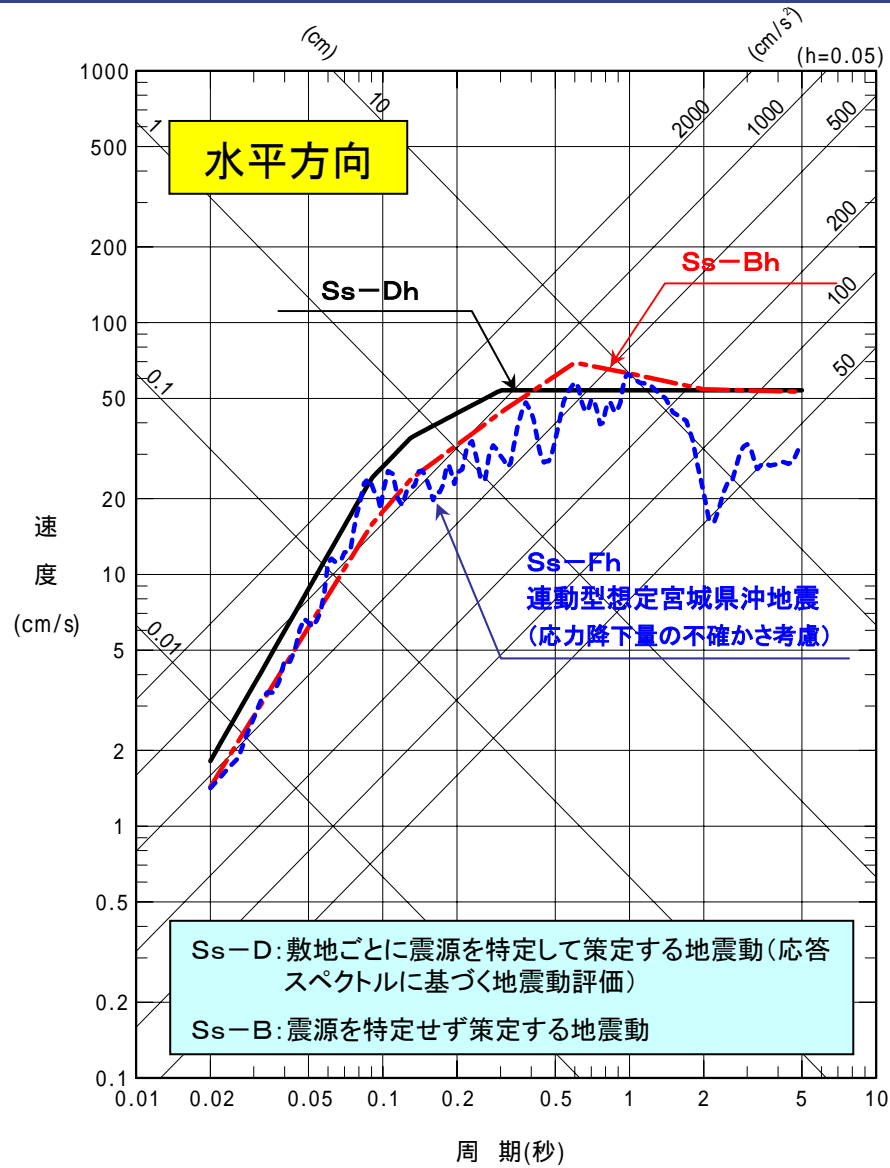
領域	最大 M	根拠	備考
6	6.7	1947.11.04 留萌西方沖	
7	6.7	(1947.11.04)	北に隣接するNo.6の領域と共通。 1772.6.3(M6.7)と 1858.7.8(M7.3)は太平洋プレートの地震と判断

陸域の震源を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード

〔地震本部(2006)に一部加筆〕



＜参考資料＞新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 基準地震動Ssの比較



<参考資料>新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 超過確率の参照

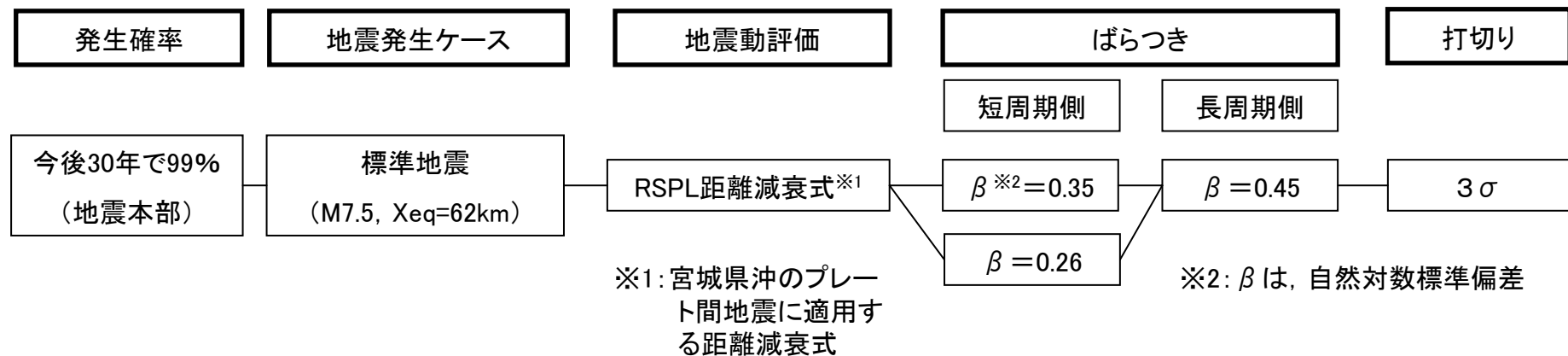
地震ハザードの評価概要

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」に基づき地震ハザード評価を実施。

【宮城県沖地震の特徴】

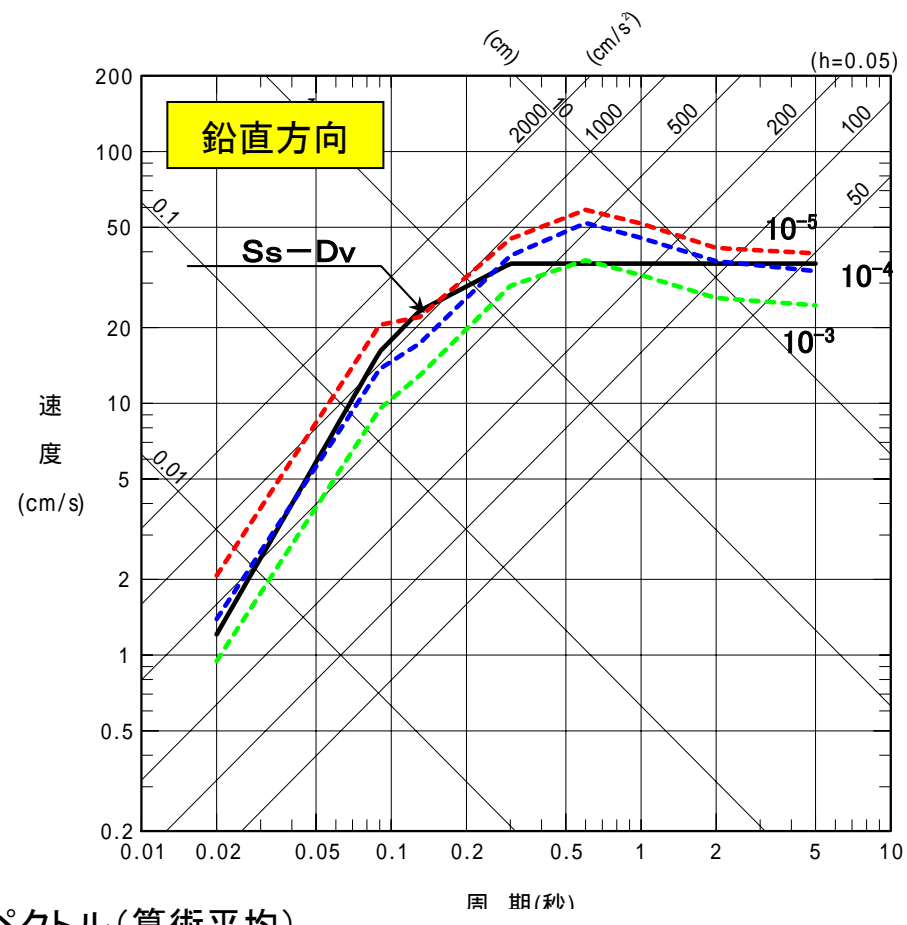
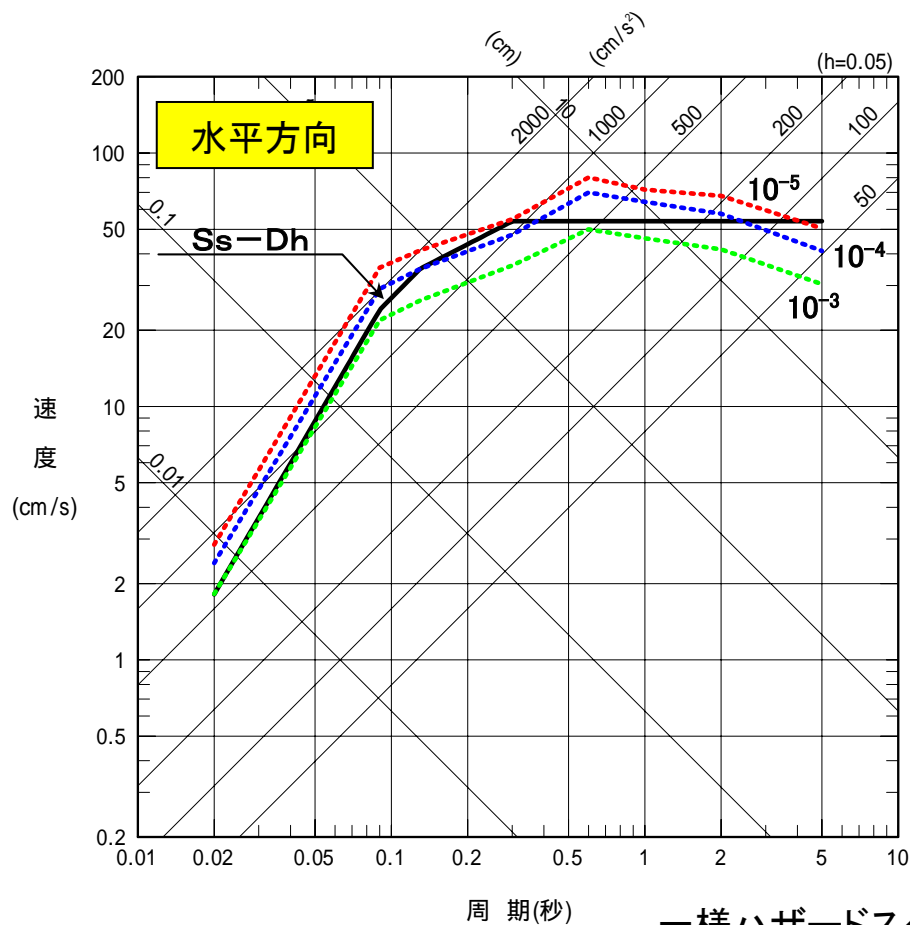
・宮城県沖地震は、高頻度で発生し、次の宮城県沖地震も切迫〔地震本部(2006):今後30年間の発生確率99%〕しているため、地震ハザードへ与える影響が大きいことから、「特定震源」として評価する。

宮城県沖地震(特定震源)のロジックツリー



＜参考資料＞新耐震指針に照らした耐震安全性評価 (2) 基準地震動Ssの策定 超過確率の参照

基準地震動の年超過確率



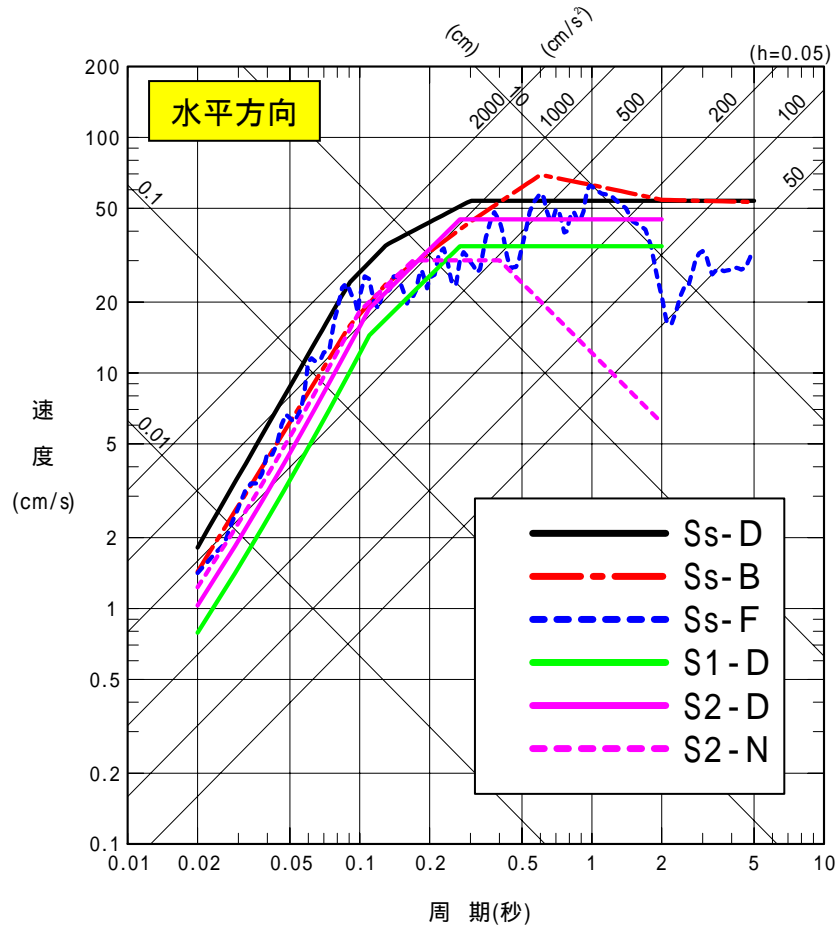
一様ハザードスペクトル(算術平均)

基準地震動Ssの年超過確率は、**10⁻³~10⁻⁵程度**

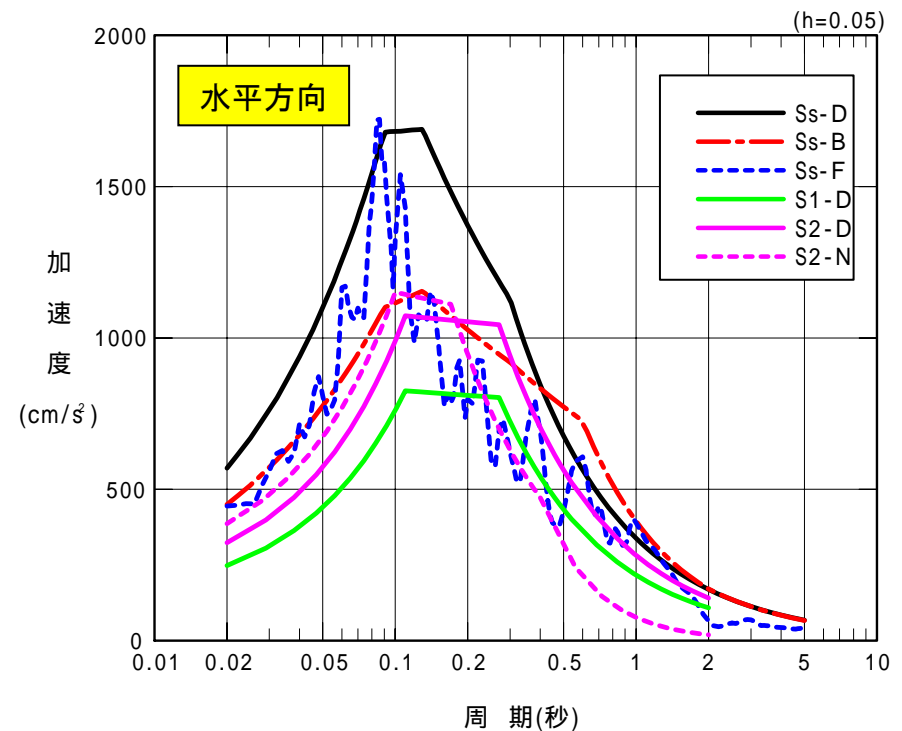


新・旧指針における基準地震動の比較

基準地震動 S_s と基準地震動 S_1 および S_2 の比較



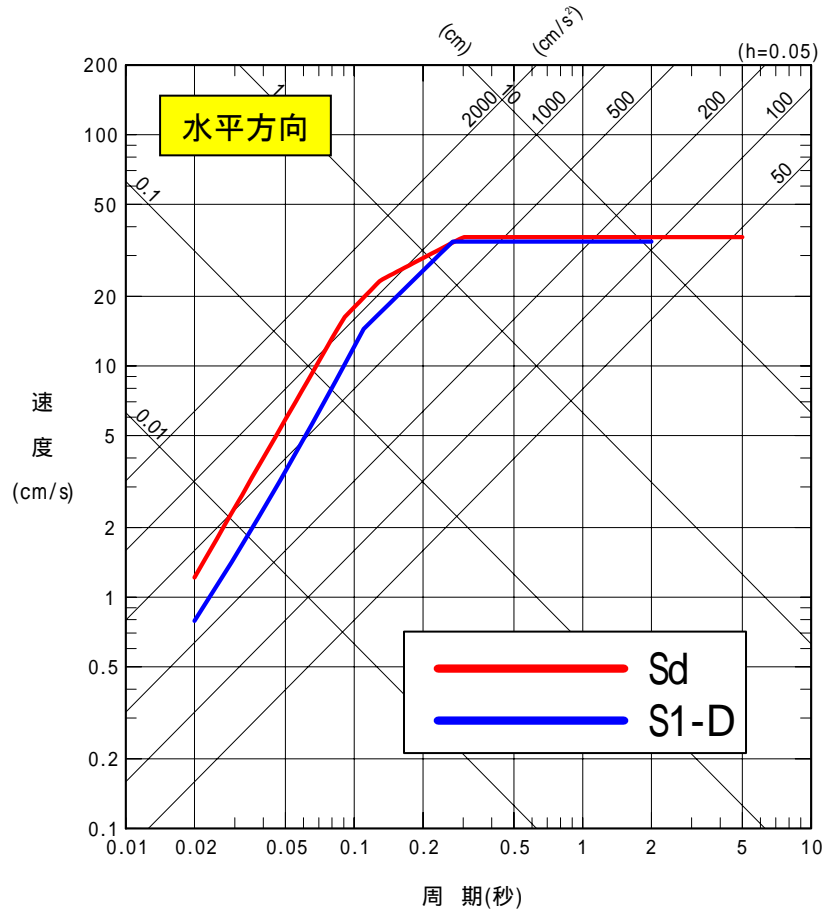
速度応答スペクトル



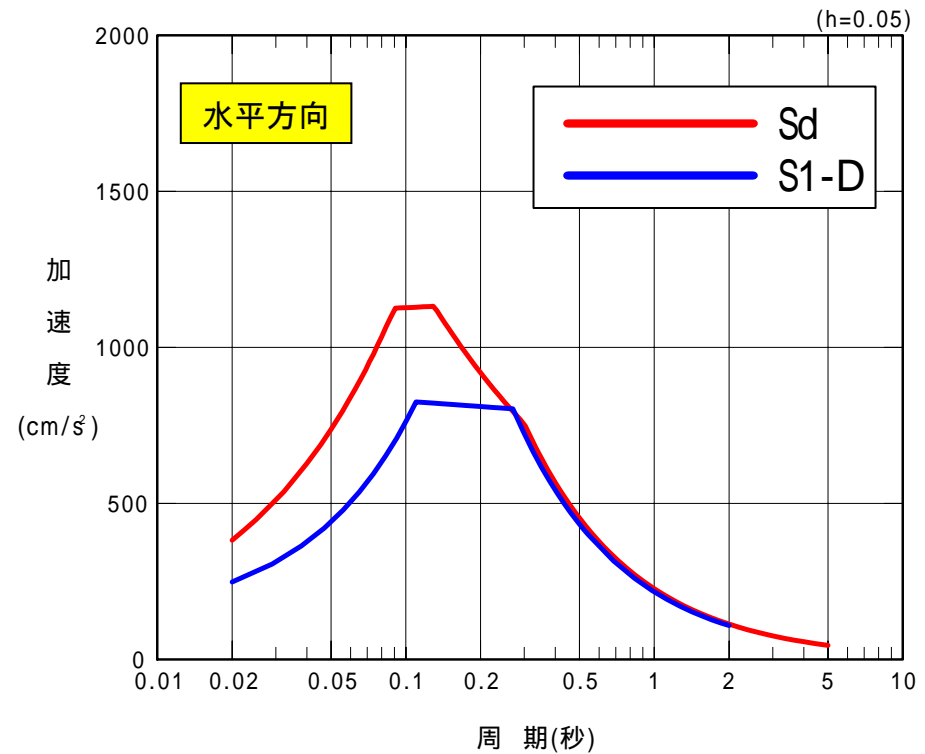
加速度応答スペクトル

新・旧指針における基準地震動の比較

弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_1 の比較



速度応答スペクトル

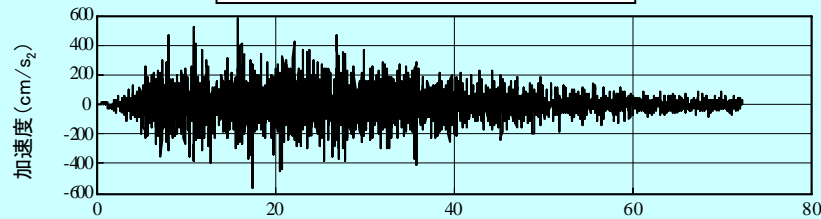


加速度応答スペクトル

新・旧指針における基準地震動の比較

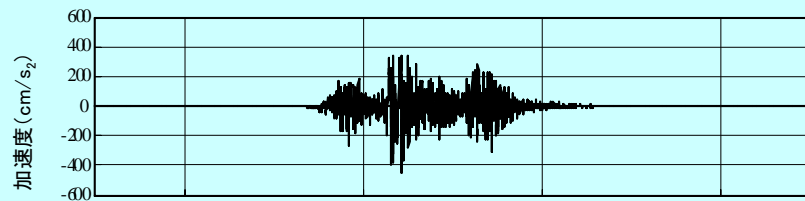
時刻歴波形(加速度)の比較

基準地震動S_s(水平成分)



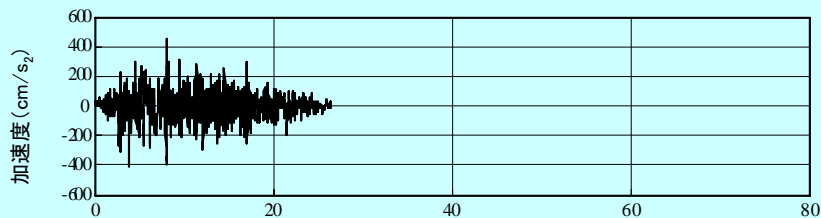
時間(秒)

基準地震動S_s-D (最大加速度580cm/s²)



時間(秒)

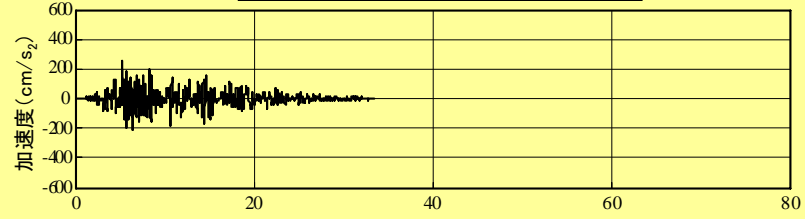
基準地震動S_s-F (最大加速度445cm/s²)



時間(秒)

基準地震動S_s-B (最大加速度450cm/s²)

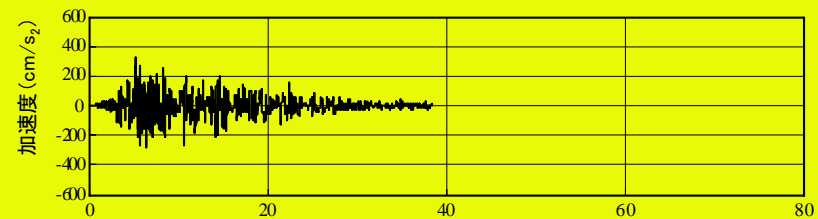
基準地震動S₁



時間(秒)

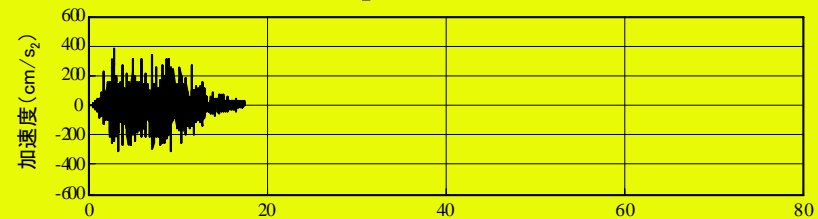
基準地震動S₁-D (最大加速度250cm/s²)

基準地震動S₂



時間(秒)

基準地震動S₂-D (最大加速度325cm/s²)



時間(秒)

基準地震動S₂-N (最大加速度375cm/s²)



自衛消防体制の強化

夜間および休日における火災等対応の改善について

観点	現状	柏崎の事象を踏まえた改善計画
火災発生時の迅速な人員の確保	<u>初期消火体制の人員を確保（6名）</u> <u>多重の連絡手段により確実に要員が参集可能</u>	<u>初期消火体制の人員を合計10名を確保</u> <u>小型陸上無線機を配備</u>
油火災等に備えての化学消防車の配置等	<u>化学消防車および泡消火設備を配備</u>	<u>消防ポンプ自動車（水タンク付）を追加配備</u> <u>可搬型大型消火器等を増設</u>
消防に対する専用通信回線の確保	<u>消防署への専用回線</u> <u>中央制御室から直接消防署への通報可能</u>	なし
消防との連携の下での担当職員の訓練	<u>定期的に教育、訓練を実施</u> <u>放水訓練を定期的に実施</u>	<u>油火災等の初期消火活動に対する合同実地訓練</u>



○2005年宮城県沖の地震時の対応

2005年8月16日に発生した宮城県沖の地震



女川原子力発電所

震源

- 震源深さ: 42km
- 震央距離: 73km、震源距離: 84km
- 規模: マグニチュード7.2

◆女川1、2、3号機は、「地震加速度大」信号により原子炉が自動停止（設計どおり）

◆環境への放射能の影響なし

自動停止設定値 200ガル（水平）

保安確認用地震計 251.2ガル（水平）

各地の主な震度

- ・震度6弱（宮城県川崎町）
- ・震度5強（宮城県石巻市，仙台市等）
- ・震度5弱（宮城県女川町等）

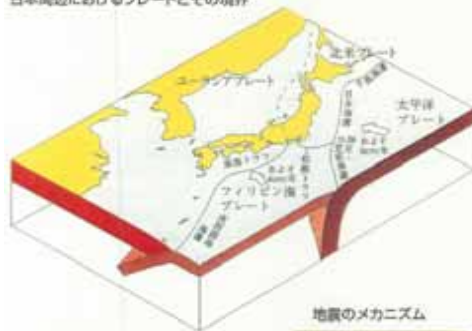


<参考資料>2005年宮城県沖の地震時の対応
2005年宮城県沖の地震の分析と評価

宮城県沖近海のプレート境界に発生する地震は、大きな地震においても短周期成分が卓越するという地域的特性があることが分かった。

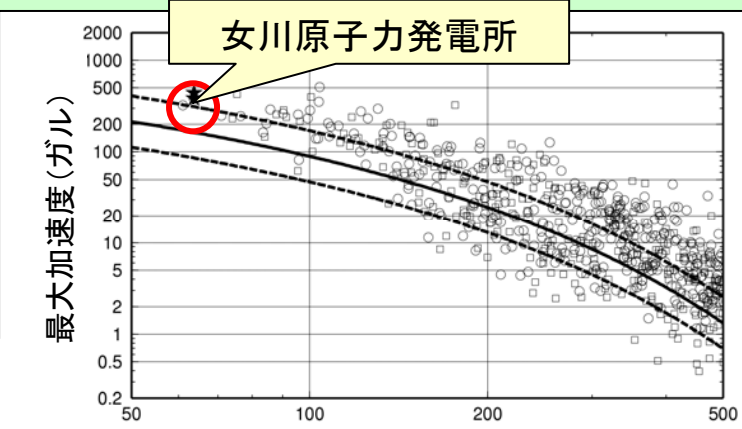
- ①分析結果を踏まえ、最新の知見を考慮した地震動を策定
- ②女川原子力発電所の安全上重要な設備の耐震安全性評価を実施

日本周辺におけるプレートとその境界

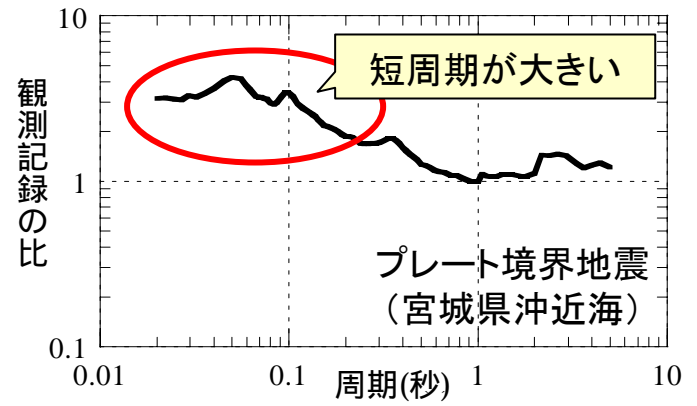


**プレート境界地震
(今回の地震)**

**内陸型地殻内地震
(活断層による地震)**



断層最短距離 (km)
 距離減衰式と各観測点で観測された最大加速度の比較 (今回の地震)






過去の中小地震の観測記録に対する経験式(距離減衰式)との比





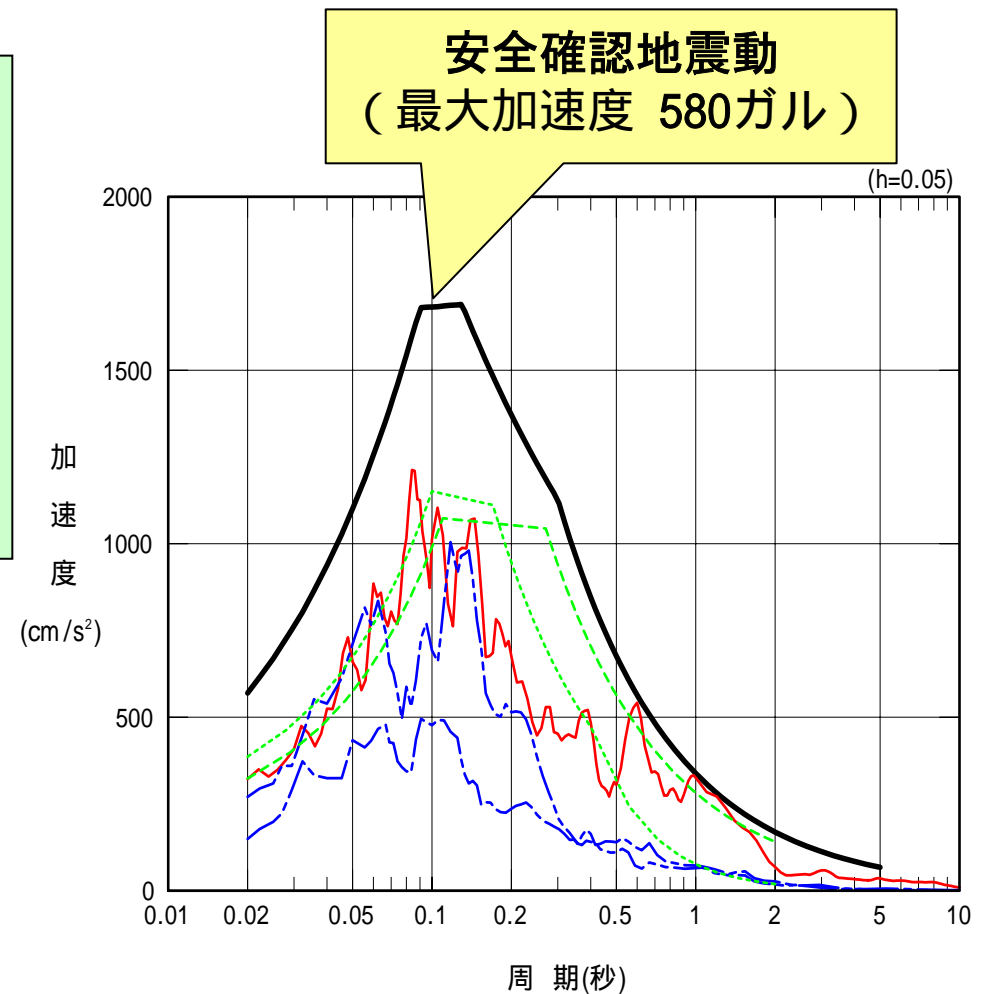
＜参考資料＞2005年宮城県沖の地震時の対応 安全確認地震動の策定

- ①宮城県沖に発生を想定する
限界的なプレート境界地震：
マグニチュード8.2相当
- ②発電所周辺最大規模のスラブ内地震：
マグニチュード7.2
を考慮して安全確認地震動を策定

	①限界的なプレート境界地震	
	②最大規模の スラブ内地震	南北方向
		東西方向

(参考)

	基準地震動 S_2	S_2-D
		S_2-N



＜参考資料＞2005年宮城県沖の地震時の対応 経年化の影響評価(女川1号機)

- 設計・建設段階から検査等を受けるとともに、運転段階でも定期検査(定期事業者検査)等において適切な保全活動を実施
- 今回の地震後に、保安規定に基づく巡視点検、安全機能確認等を行い、設備の健全性を確認
- また、第17回定期検査(定期事業者検査)等を実施し、設備の健全性を確認しており、今回の地震による影響と思われる事象は確認されていない
- しかしながら、今回の地震を経験したこと、運転開始後約22年を経ていることに鑑み、念のため経年化の影響評価を実施
 - ①現場での「設備診断調査」を追加実施
 - ②点検結果を踏まえ耐震安全性評価上の影響が考えられる事象について「解析評価」を実施



2005年宮城県沖地震時の対応のまとめ

- 2005年の地震では、「地震加速度大」の信号により、**設計どおり自動停止**した。
- **重要な設備には被害はなかった。**
- 観測記録の分析により得られた知見を反映し、
想定宮城県沖地震(302～370ガル)
更に大きな安全確認地震動(580ガル)
を策定。女川1, 2, 3号機の耐震安全性を確認
⇒ **1号機は経年化の影響も含めて安全性を確認**
(**炉心シュラウドのひび, 残留熱除去系配管の減肉**)
⇒ **国に報告し, 妥当性が確認された**

＜参考資料＞2005年宮城県沖の地震時の対応 宮城県沖地震対応のまとめ

- (1) 今回の地震に対して、保安規定に基づく点検および解析による評価を実施
- (2) 要因分析を踏まえて策定した2種類の想定宮城県沖地震(302～370ガル)および安全確認地震動(580ガル)に対する耐震安全性を評価
- (3) 経年化の影響評価(女川1号機)
 - ・安全上重要な設備について、設備診断調査を実施
 - ・耐震安全性評価上の影響が考えられる事象について、解析評価を実施

女川原子力発電所の耐震安全性が確保されることを確認



女川1号機 経年化の影響評価(解析評価) その1

①女川1号機 炉心シュラウドの経年化影響評価

保守的にひびの確認されていない箇所も含め当該リング全周にわたってひびが均一深さで存在するものと仮定して評価。

評価対象		発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	判定
今回の地震	中間部リング※1	8	145	○
	下部リング※1	20	145	○
想定宮城県沖地震A	中間部リング※2	107	145	○
	下部リング※2	95	145	○
想定宮城県沖地震B	中間部リング※2	95	145	○
	下部リング※2	77	145	○
安全確認地震動	中間部リング※2	191	232	○
	下部リング※2	158	232	○

※1:現在推定されるひび深さで評価。

※2:特殊設計施設認可の管理値に相当するひび深さを仮定して評価。



②女川1号機 残留熱除去系配管※の経年化影響評価

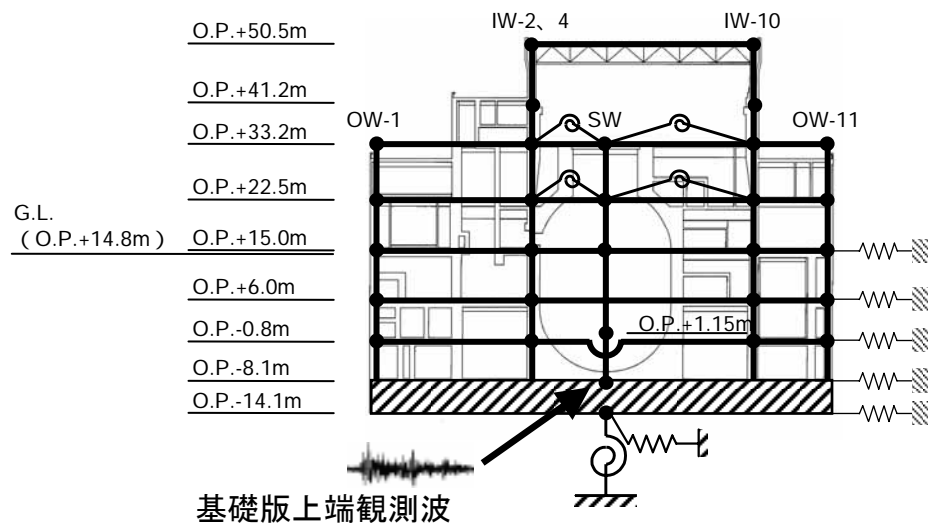
地震動	発生応力(N/mm ²)		許容応力(N/mm ²)	判定
	A系	B系		
今回の地震	80	84	191	○
想定宮城県沖地震A	94	95	191	○
想定宮城県沖地震B	89	95	191	○
安全確認地震動	92	105	327	○

※安全上重要な設備の配管については、360箇所を減肉管理対象(測定実績125箇所)。いずれも必要最小肉厚に対して十分な余寿命を有するが、念のため、余寿命が短い残留熱除去系配管について「全周にわたり必要最小肉厚となったものと仮定」して耐震安全性を評価。

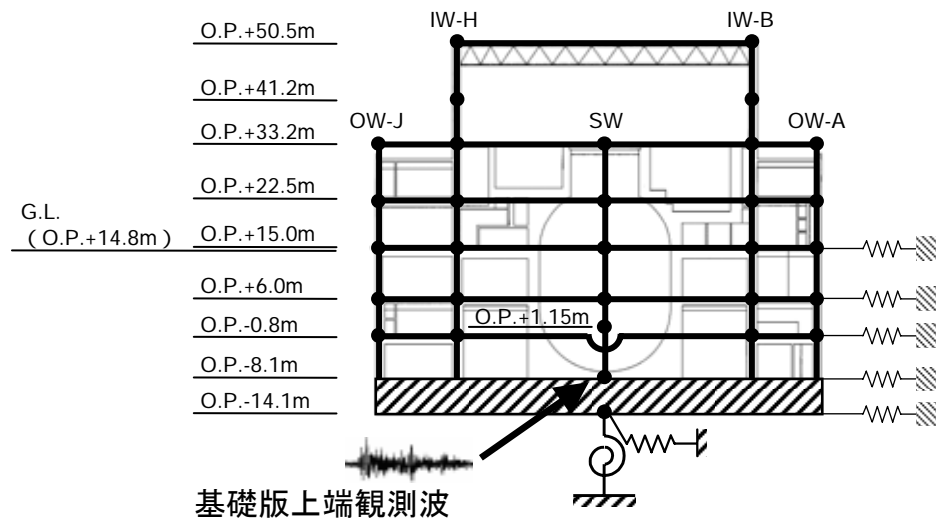
<参考資料>2005年宮城県沖の地震時の対応 女川3号機原子炉建屋シミュレーション解析(概要)

○地震応答解析モデル(水平方向)

- 建屋を質点系とし地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成モデル
- 側面ばね(水平), 底面ばね(水平・回転):JEAGによる理論解法
- 基礎浮上り非線形考慮
- 減衰定数 RC:5%
- 間仕切壁剛性考慮
- 基礎版上端の観測記録を入力とする周波数応答解析



(南北方向)

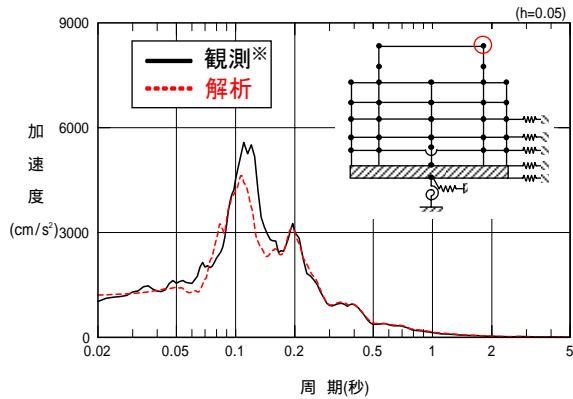


(東西方向)

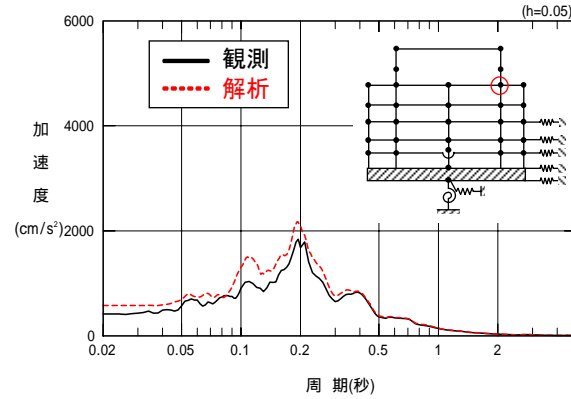


<参考資料>2005年宮城県沖の地震時の対応 女川3号機原子炉建屋シミュレーション解析(解析結果)

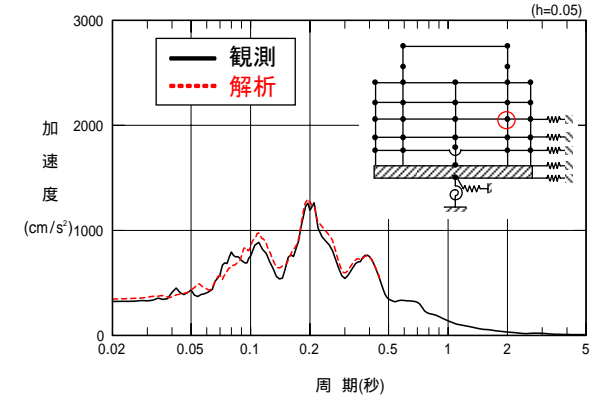
※地震計の最大設定値(1024cm/s²)を振り
きれているため参考値として記載



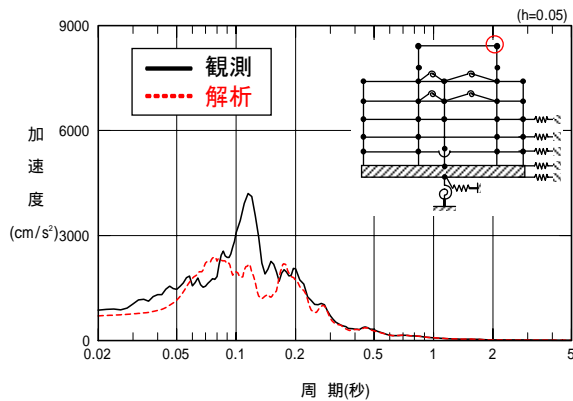
屋上(O.P. 50.5m,南北方向)



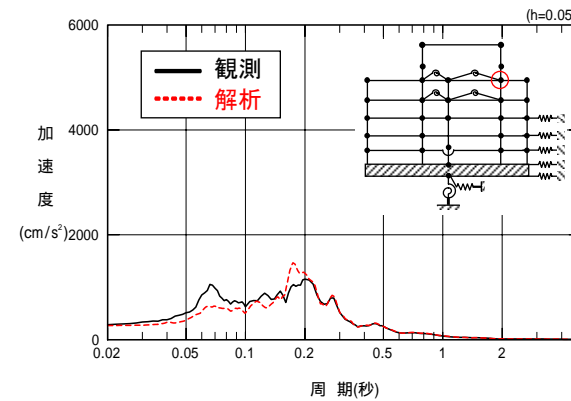
3階(O.P. 33.2m,南北方向)



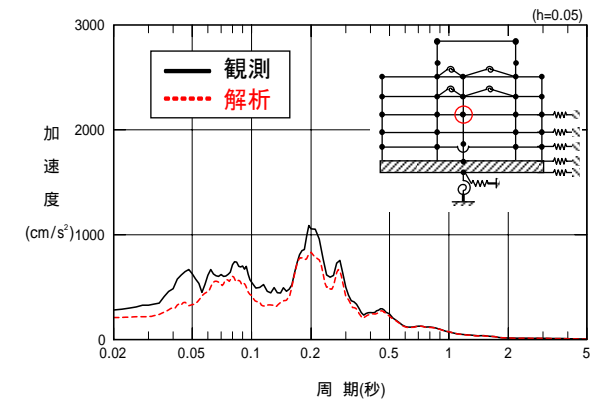
1階(O.P. 15.0m,南北方向)



屋上(O.P. 50.5m,東西方向)



3階(O.P. 33.2m,東西方向)



1階(O.P. 15.0m,東西方向)



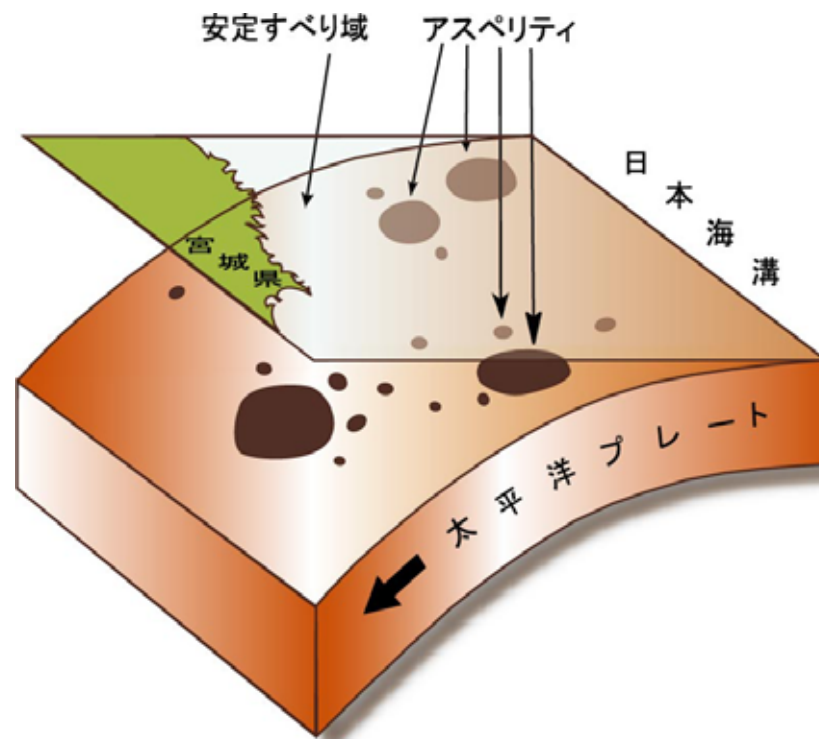
～ 用語解説 ～



用語解説

■「アスペリティ」

断層面におけるすべりの大きい部分、つまりアスペリティ以外の部分に比べ放出されるエネルギーが大きい部分のこと。



アスペリティモデル

(東北大学大学院理学研究科附属 地震・噴火予知研究観測センター HPより)



用語解説

■「応答スペクトル法に基づく地震動評価」

地震のマグニチュードと震源からの距離などの関係をもとに、断層モデルによる手法より少ない変数で簡易的に地震動を評価する方法である。

■「応力降下量」

断層が破壊すると、そこに蓄えられていたエネルギーが解放されるため、岩盤中の応力が降下する。応力降下量とは、断層破壊(地震)の直前の応力と直後の応力との差をいう。

■「解放基盤」

概ねせん断波速度 $V_s=0.7\text{km/s}$ 以上の値を有する硬質地盤で、著しい風化を受けていないものを解放基盤という。ここで、特に基盤面上の表層や構造物が無いものとして仮想的に想定する自由表面のことを「解放基盤表面」という。(JEAG4601-2008)

■「空中写真判読」

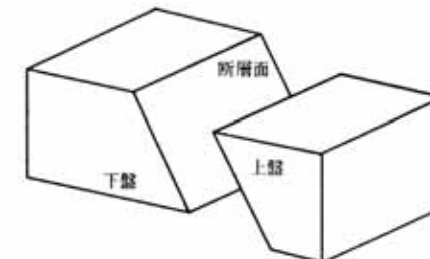
調査対象範囲を上空から撮影した2枚1組の写真を使った立体視により、地形を立体的に見て、変動地形やリニアメントなどの地形を読み取る方法。



用語解説

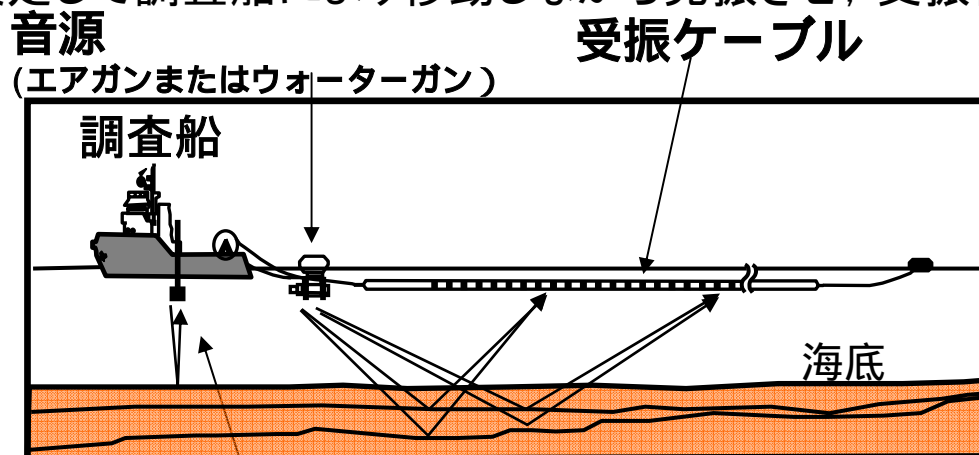
■「活断層」

地殻中の岩盤が破壊され、ずれ動いたときに地層の不連続が生じた地質構造を断層と言うが、これが最近も進行している構造を活断層と言う。このうち原子力発電所の耐震設計上評価する活断層は、12～13万年前以降に活動のあった断層と定義されている。



■「海上音波探査」

海上において実施される反射法地震探査の一種で、海底下の地層の境界で反射してくる弾性波を利用して、海底下の地質構造を明らかにするもの。一般に海域に格子状の測線を設定して調査船により移動しながら発振させ、受振器で反射波を計測する。



用語解説

■ 「地震基盤」

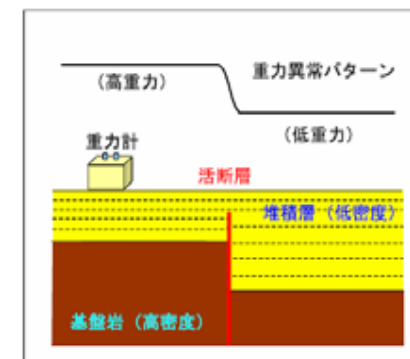
地殻最上層で、せん断波速度 $V_s=3\text{km/s}$ 程度の値を有する岩盤。(JEAG4601-2008)

■ 「地震ハザード」

ある任意地点において将来の一定期間中に襲来するであろう任意の地震動強さとその強さを超過する頻度または確率との関係。(原子力学会標準2007)

■ 「重力探査」

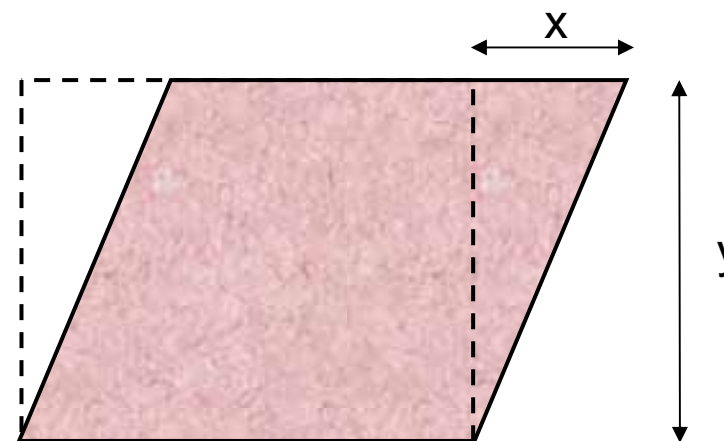
重力計を用いて詳細な重力異常値を測定することにより、地層の密度の差を反映した地下の構造を調査するもの



■ 「せん断ひずみ」

地震等の外力を受けた際に、そのせん断力(部材をずらそうとする力)によって発生するひずみのこと。なお、単位はrad(ラジアン)で表される。

$$(\text{せん断ひずみ}) = x / y \text{ [rad]}$$



用語解説

■「断層モデルを用いた地震動評価」

断層モデルとは、震源の断層面を地震動を求める計算手法として用いるためにモデル化したものをいう。従来は、震源を点として考え、その震源までの距離およびマグニチュードによって地震動の計算を行っていた。しかし、震源が近く、その震源断層面の広がりを考慮することがより適切であると考えられる場合には、その断層の形状および破壊形式を考えて地震動を計算する方がより合理的である。このため、地震の原因となる断層をモデル化して地震動を計算する手法がいくつか提案されている。

■「地球物理学的調査」

地下の物質構造などを地震波、電磁気、重力などを利用して調査する方法。主なものとして、陸上で行う反射法地震探査、電気探査、重力探査、海上で行う海上音波探査がある

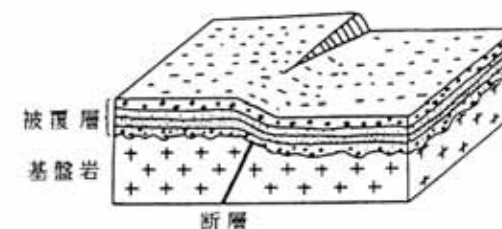
■「地表地質調査」

直接、地層が確認できる箇所(露頭)等を観察し、地質・地質構造や断層の有無について調査するもの。



■「撓曲(とうきょく)」

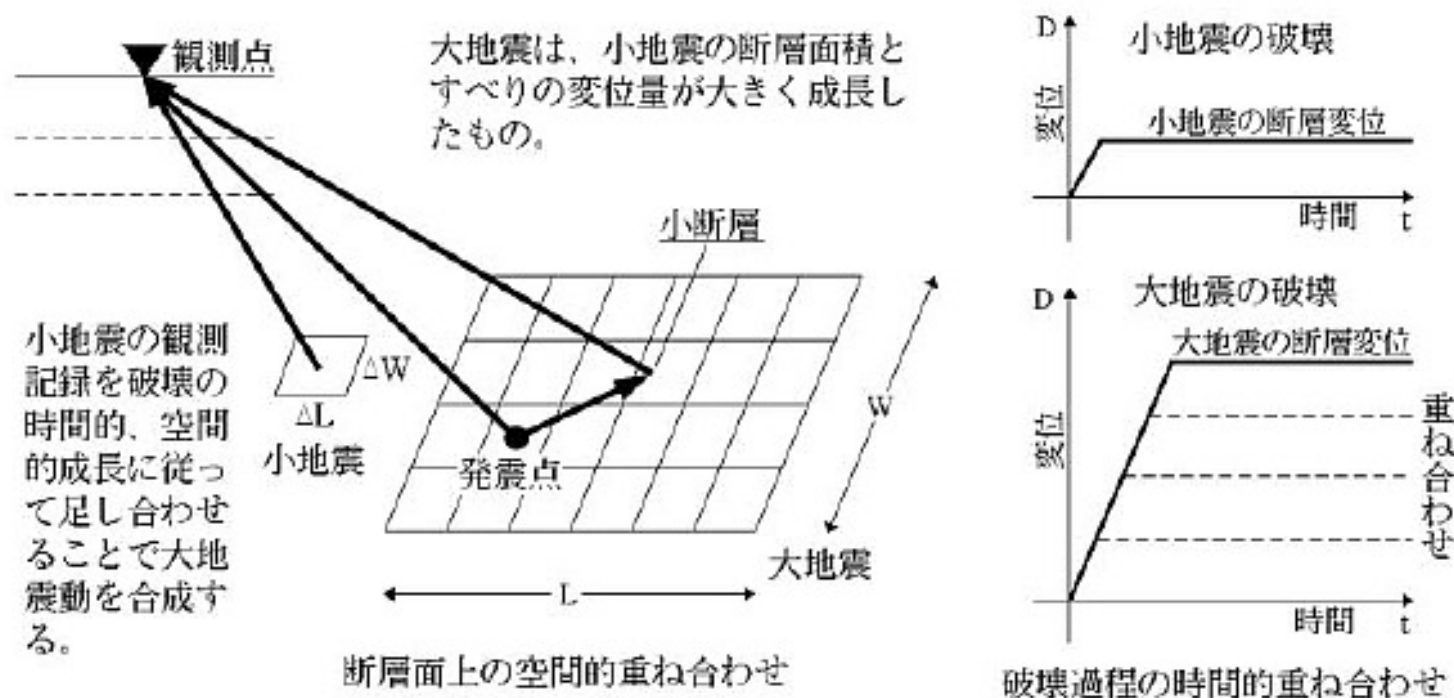
厚く重なった地層の一部が曲がる現象で、隣り合う2つの地盤が深部の断層などにより相対的に変位する場合、その境界に沿って断層を生じないで地層が連続したままS字状に曲がるような現象



用語解説

■「統計的グリーン関数法」

過去に発生した地震の地震動の統計的性質に基づき小地震を作成する方法。



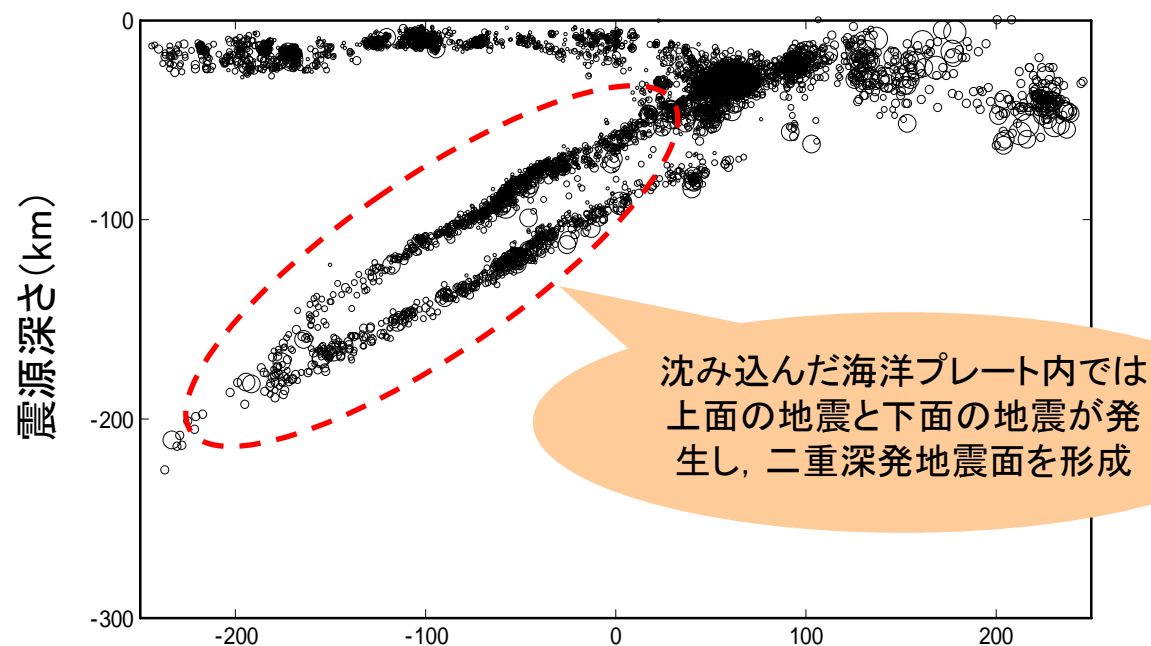
統計的グリーン関数法の概念 (K-NET HPより)



用語解説

■「二重深発地震面」

地下200km程度より浅いところで見られることのある、やや深い地震の垂直分布が形成する二重の地震面。(地震・火山の事典 他)



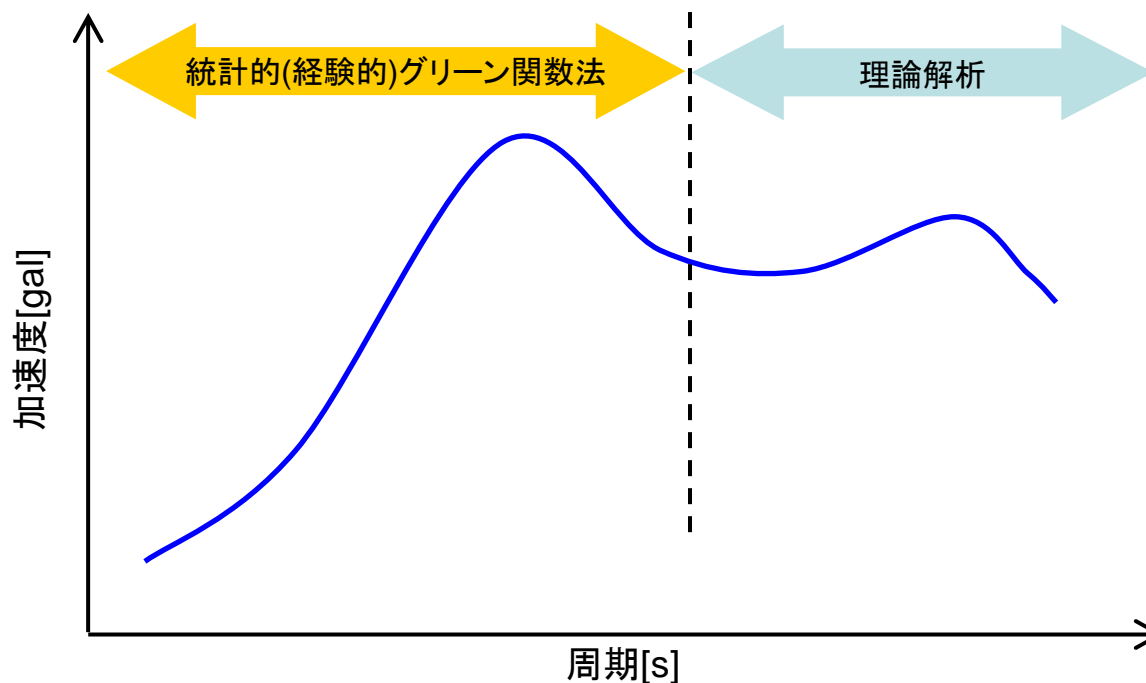
地震の震源分布に見られる二重深発地震面



用語解説

■「ハイブリット合成法」

地震動の短周期成分を経験的または統計的グリーン関数法で、長周期成分を理論解析で求め、両者を合成して広周波数帯域の地震動を算定する方法。



■「はぎ取り調査」

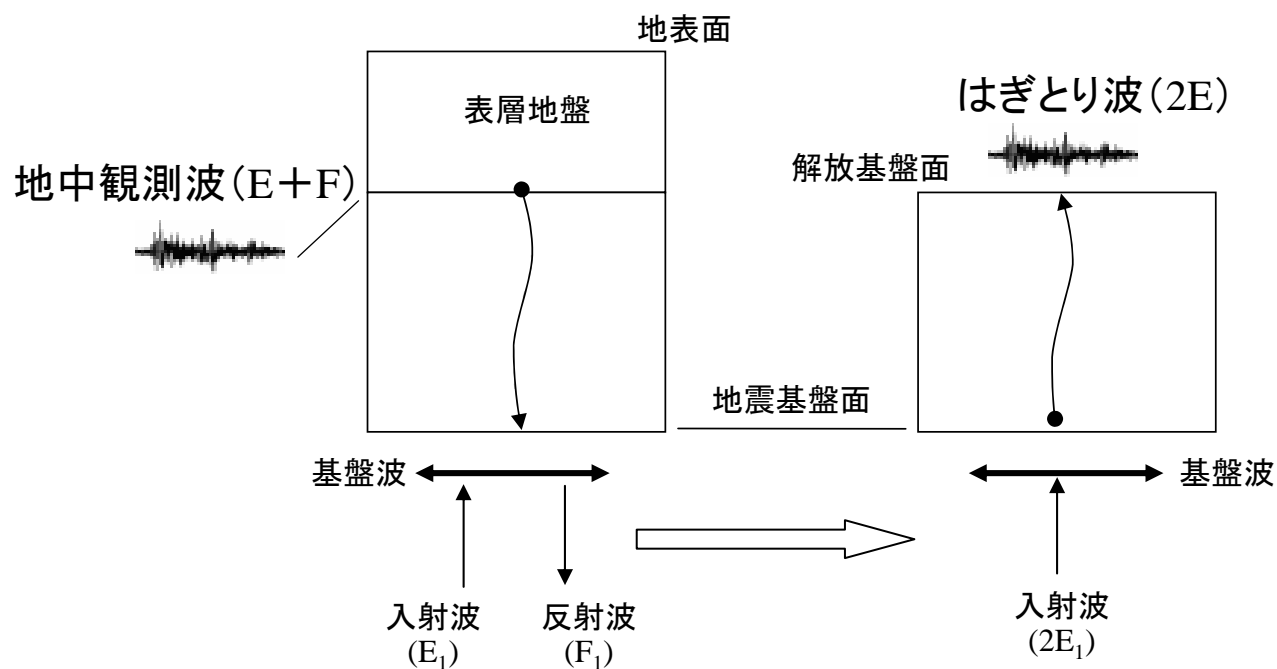
活断層が通過する地点において、表土をはぎ取って岩盤を露出させ、地質状況を調査する方法である。



用語解説

■ 「はぎとり波」

地中に埋設されている地震計で観測された地震波について、解析によりその観測位置より上部にある地盤や建物の影響を取り除いた地震波を「はぎとり波」という。



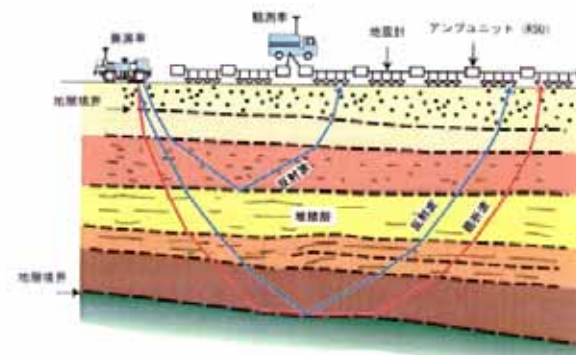
はぎとり波の概念



用語解説

■ 「反射法地震探査」

地下に振動を与え、地層からの反射波をとらえ、解析を行うことで、地下深部の地盤構成、地質構造を間接的に確認する調査方法。一般には地層の状況にもよるが地下3～5km程度の深さまで探査できる。



■ 「変動地形学的調査」

空中写真判読により、地形の成因を考慮して活断層の可能性のある地形を抽出する調査。崖や谷、山の尾根などの地形的な特徴が直線的にまたは緩やかな曲線状に続く地形だけではなく、段丘面の傾きや河川や尾根の屈曲などに着目し、活断層の可能性のある地形として判読するものである。

用語解説

■「モーメントマグニチュード(Mw)」

岩盤のずれの規模(ずれ動いた部分の面積×ずれた量×岩石の硬さ)に基づき計算したマグニチュードを、モーメントマグニチュード(Mw)と言う。通常マグニチュード(M)は観測波の振幅から計算され、規模の大きな地震になると岩盤のずれの規模を正確に表せないのに対して、モーメントマグニチュードは物理的な意味が明確で、大きな地震に対しても有効である。(気象庁HP)

■「応答倍率法」

設備設計時の応答加速度と基準地震動 S_s による応答加速度の比を、設備設計時の応力に乘じることなどにより、発生する応力等を算定する方法

■「スペクトルモーダル解析法」

複数の支持点があり複雑な揺れ方をする配管や機器について、それらの固有周期や固有周期における応答加速度などから、最大応答加速度を解析し、発生する応力等を算定する方法

