

原水 76 720

発議	合併	文書番号	平成20・05・15原院第11号	
起案者	原子力安全・保安院 原子力安全技術基盤課 氏名 横井 稔 内線番号 76166(4881~4884)			
あて先	独立行政法人原子力安全基盤機構 理事長 成合 英樹 あて			
施行者	原子力安全・保安院長 名			
差出元				
起案日	平成20年 5月 15日	接受日		
決裁日	平成20年 7月 11日	校閲・確認	発送	
施行日	平成 年 月 日 20 7. 11 / /			
表示	完結			
施行注意				保 存 期 間 5
件名	「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価に係るクロスチェック解析について			

## 伺い

上記(件名)について、次案のとおり独立行政法人原子力安全基盤機構 理事長 成合 英樹あて指示してよろしいか伺います。

受付年月日

原子力安全・保安院 原子力安全技術基盤課新型炉規制室長			
原子力安全技術基盤課長			
企画調整課長			
審議官(原子力安全・核燃料サイクル担当)			
次長			
院長			

原子力安全・保安院

## 報道発表対応等に関する起案添付資料様式

### 【解説】

本件は、独立行政法人日本原子力研究開発機構より、原子力安全・保安院に報告のあった「高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価の報告について」について、当院から独立行政法人原子力安全基盤機構へのクロスチェック解析の作業について、「クロスチェック解析等の実施要領（内規）」（平成16年9月21日）に基づき、指示するものである。

### 【報道対応】

本件は、報道発表、ホームページ掲載基準における「4. 事業者への指導・通達等」のうち、個別事業者への指導・通達等その他の文書によるものであることから、報道発表は行わず、当院のホームページへの掲載のみを実施する。

### 【ホームページ掲載文】

件名：「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価に係るクロスチェック解析について

内容：原子力安全・保安院は、独立行政法人原子力安全基盤機構に対し、平成20年3月31日に原子力安全・保安院に報告のあった「高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書」に係るクロスチェック解析の実施を指示したことをお知らせします。

### 【問い合わせ先】

発電研究

9547

原子力安全・保安院原子力安全技術基盤課／電話(03)3501-0621<sup>9547</sup>（直通）

### 【プレスリリース内容・発表日】

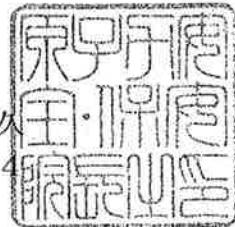
プレス発表は実施しない。

# 経済産業省

平成 20・05・15 原院第 11 号  
平成 20 年 7 月 11 日

独立行政法人原子力安全基盤機構  
理事長 成合 英樹 殿

原子力安全・保安院長 薦田 康久  
N I S A - 3 2 4 d - 0 8 - 1



## 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価に係るクロスチェック解析について

独立行政法人日本原子力研究開発機構 理事長 岡崎 俊雄（以下「事業者」という。）より、平成 20 年 3 月 31 日付け 19 原機（も）712 により原子力安全・保安院（以下「当院」という。）に報告のあった「高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果の報告について」について、当院は貴機構に対し、下記のとおりクロスチェック解析の実施を指示します。

### 記

#### 1. 作業指示件名

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価に係るクロスチェック解析

#### 2. クロスチェック解析等に係る作業内容

事業者から提出のあった報告書の内容について、以下のクロスチェック解析を実施する。

- (1) 基準地震動 S s の策定に係る解析
- (2) 耐震健全性評価に係る解析
- (3) 地震随伴事象に対する安全性評価に係る解析

なお、解析範囲、解析条件等の詳細については、本件を担当する安全審査官と協議の上、決定するものとする。

#### 3. クロスチェック解析等に係る作業方法

作業方法は、以下のとおりとする。

- 公開情報等に基づく地震による地震動の解析及び分析
- 事業者が実施した設計、調査データ、解析に使用された条件等に基づく建屋、設備等

#### の地震応答解析及び耐震健全性評価

- ・ 独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「機構」という。）が保有する解析コード等を用いた解析の実施

#### 4. 提供書類等

クロスチェック解析に当たっては、当院より以下の資料を提供するものとする。

- ・ 平成20年3月31日付け報告書「高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書」
- ・ 当院が事業者より入手した事業者の実施した解析に係る資料及びデータ一式
- ・ 上記以外で、クロスチェック解析実施の過程において新たに必要が生じたデータ

#### 5. 提供方法

提供資料は、機構の作業期間中貸与するものとする。また、データについては適切な媒体により提供するものとし、機構における作業が終了した後、当該データのうち、電子媒体は消去することとし、その他の媒体については、当院へ返却することとする。

なお、作業の一部を外部に委託等する場合においては、データの漏えい防止等の遵守事項について、契約等において明確に規定することとする。

#### 6. 作業期間

作業期間は、指示の日から平成20年9月30日までとする。また、平成20年7月25日までに中間報告するものとする。

なお、機構は作業を作業期間内に終了することができないと見込まれるときは、速やかに遅延の理由及び内容、作業の完了の予定日等を当院に報告することとする。この場合、当院から別途作業期間の延長について指示するものとする。

以上

(案)

番 号  
年 月 日

20.7.11

独立行政法人原子力安全基盤機構  
理事長 成合 英樹 あて

原子力安全・保安院長 名  
N I S A - 3 2 4 d - 0 8 - 4

件 名

独立行政法人日本原子力研究開発機構 理事長 岡崎 俊雄(以下「事業者」という。)より、平成20年3月31日付け19原機(も)712により原子力安全・保安院(以下「当院」という。)に報告のあった「高速増殖原型炉もんじゅ」「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果の報告についてについて、当院は貴機構に対し、下記のとおりクロスチェック解析の実施を指示します。

記

1. 作業指示件名

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価結果に係るクロスチェック解析

2. クロスチェック解析等に係る作業内容

事業者から提出のあった報告書の内容について、以下のクロスチェック解析を実施する。

- (1) 基準地震動 S s の策定に係る解析
- (2) 耐震健全性評価に係る解析
- (3) 地震随伴事象に対する安全性評価に係る解析

なお、解析範囲、解析条件等の詳細については、本件を担当する安全審査官と協議の上、決定するものとする。

3. クロスチェック解析等に係る作業方法

作業方法は、以下のとおりとする。

- ・公開情報等に基づく地震による地震動の解析及び分析
- ・事業者が実施した設計、調査データ、解析に使用された条件等に基づく建屋、設備等の地震応答解析及び耐震健全性評価
- ・独立行政法人原子力安全基盤機構(以下「機構」という。)が保有する解析コード等を用いた解析の実施

#### 4. 提供書類等

- クロスチェック解析に当たっては、当院より以下の資料を提供するものとする。
- ・平成20年3月31日付け報告書「高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書」
  - ・当院が事業者より入手した事業者の実施した解析に係る資料及びデータ一式
  - ・上記以外で、クロスチェック解析実施の過程において新たに必要が生じたデータ

#### 5. 提供方法

- 提供資料は、機構の作業期間中貸与するものとする。また、データについては適切な媒体により提供するものとし、機構における作業が終了した後、当該データのうち、電子媒体は消去することとし、その他の媒体については、当院へ返却することとする。
- なお、作業の一部を外部に委託等する場合においては、データの漏えい防止等の遵守事項について、契約等において明確に規定することとする。

#### 6. 作業期間

作業期間は、指示の日から平成20年9月30日までとする。また、平成20年7月25日までに中間報告するものとする。

なお、機構は作業を作業期間内に終了することができないと見込まれるときは、速やかに遅延の理由及び内容、作業の完了の予定日等を当院に報告することとする。この場合、当院から別途作業期間の延長について指示するものとする。

以上

(参考)

大綱につき板添付

平成20・03・31原院第3号

19原機(も)712

平成20年3月31日

経済産業省

原子力安全・保安院長 薦田 康久殿

独立行政法人日本原子力研究開発  
理 事 長 岡 崎 俊

高速増殖原型炉もんじゅ

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う  
耐震安全性評価結果の報告について

謹啓 日頃より当機構の業務に対しましては、格別のご支援・ご指導を賜り、厚くお礼申しあげます。

さて、平成18年9月20日付け平成18・09・19原院第6号でご指示のありました「「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設の耐震安全性の評価等実施について」を受け、高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価実施計画書（平成18年10月18日付け18原機（も）301、計画書の見直し；平成19年8月20日付け19原機（安）071）、報告時期の変更（平成19年11月28日付け19原機（も）464）に基づき実施した、高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価を取りまとめましたので、別添のとおり報告いたします。

謹白

別添 高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」  
の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書

高速増殖原型炉もんじゅ  
「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」  
の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書

平成 20 年 3 月  
独立行政法人 日本原子力研究開発機構

## 【目 次】

1. まえがき
2. 耐震安全性評価の基本方針
3. 敷地周辺・敷地近傍・敷地の地質
4. 基準地震動 Ss の策定
5. 原子炉建物基礎地盤の安定性評価
6. 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価
7. 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価
8. 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価
9. 地震随伴事象に対する考慮
10. まとめ

高速増殖原型炉もんじゅ  
「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」  
の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書

【別冊】

## 【目 次】

- I 敷地周辺・敷地近傍・敷地の地質
- II 基準地震動 Ss の策定
- III 原子炉建物基礎地盤の安定性評価
- IV 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価
- V 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価
- VI 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価
- VII 地震随伴事象に対する考慮（周辺斜面の安定性）
- VIII 地震随伴事象に対する考慮（津波に対する安全性）

### 別添

- 資料 1 新潟県中越沖地震の知見の反映状況
- 資料 2 断層の運動に関する検討
- 参考 1 地盤変位・傾斜に関する検討
- 参考 2 地震調査委員会の知見に係る試算

平成22年04月07日原院第7号

09耐計発-0037

平成22年3月30日

経済産業省原子力安全・保安院長  
寺坂 信昭 殿

独立行政法人 原子力安全基盤機構

理事長 曽我部 捷洋



「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価に係るクロスチェック解析について

平成20年7月11日 付け平成20・05・15原院第11号により指示のありました  
『「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価に係るクロスチェック解析について』のクロスチェック解析が終了しましたので、下記のとおり報告します。

#### 記

1.作業指示件名:

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価に係るクロスチェック解析

2.解析評価等作業結果: 別添のとおり

3.返却書類: 申請書、審査の過程で保安院が申請者から入手した資料及びデータ

4.返却方法: 担当者が持参し返却

5.作業完了日: 平成22年3月30日

以上

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」  
等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全  
性評価に係るクロスチェック解析に関する報告書

平成22年3月31日

独立行政法人 原子力安全基盤機構  
耐震安全部

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」  
等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの  
耐震安全性評価に係るクロスチェック解析に関する報告書

## 要 旨

本解析は、経済産業省 原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）からの指示に基づき、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「事業者」という。）による「高速増殖原型炉もんじゅ『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書」（平成 20 年 3 月 31 日付）及び「高速増殖原型炉もんじゅ『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書 追補」（平成 21 年 3 月 31 日付）、並びに、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震設計小委員会 地質・地盤、地震・津波合同ワーキング C サブグループ（以下「合同 C サブグループ」という。）及び同委員会 構造ワーキンググループ B サブグループ（以下「構造 B サブグループ」という。）での審議において事業者より提示された資料における基準地震動 Ss の策定、原子炉建物基礎地盤の安定性評価、屋外重要土木構造物の耐震安全性評価、安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価、安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価、及び地震随伴事象に対する考慮の各評価項目について独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「JNES」という。）が独自に解析・評価を実施し耐震安全性が保たれることを確認するとともに、事業者の解析結果の妥当性を確認するものである。

基準地震動 Ss の策定に係るクロスチェック解析では、基準地震動 Ss の策定に係る検討用地震のうち、事業者が断層モデルによる地震動解析結果から Ss-1～Ss-9 として選定した C 断層と白木・丹生断層を解析対象とし、これらの活断層に対して断層モデルによる地震動解析を行い、それらの地震動の大きさと周期特性について事業者の解析結果と比較し、その妥当性について検討した。その結果、事業者が実施した地震動解析の応答スペクトル結果は、JNES が揺らぎを与えて解析して得られた応答スペクトルの周期特性、各周期の変動幅に概ね対応していること、事業者が応答スペクトルに基づく手法により設定した基準地震動 Ss-Dh 及び Ss-Dv は JNES の地震動解析結果の平均応答スペクトルをほぼ包絡していることを確認した。また、耐震設計審査指針

の改訂により安全審査で参照することとなった基準地震動 S<sub>s</sub> の超過確率の評価では、日本原子力学会の地震 PSA 実施基準及び地震調査研究推進本部の評価方法に基づき地震ハザード曲線を評価し、さらに超過確率別スペクトルを算定し、基準地震動 S<sub>s</sub> と比較した。その結果、水平動の基準地震動 S<sub>s</sub> の超過確率は、全周期でほぼ  $10^{-4}$  に、鉛直動は、1 秒より短周期側で  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  、長期側で  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  に対応すること、事業者が評価した超過確率は、JNES の評価結果とほぼ同レベルであることを確認した。

原子炉建物基礎地盤（以下「基礎地盤」という。）の安定性評価に係るクロスチェック解析では、炉心で直交する二断面のうち、事業者が解析を実施した X-X' 断面（東西断面）を評価対象とし、基礎地盤のすべり、基礎底面の傾斜及び基礎地盤の支持力について評価した結果、入力地震動の水平動と鉛直動の位相の全組合せに対して、いずれも評価基準を満足することを確認した。また、事業者の解析結果が事業者解析条件による JNES の解析結果とほぼ同等であることを確認した。

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価に係るクロスチェック解析では、原子炉補機冷却海水ポンプ室を対象に、基準地震動 S<sub>s-D</sub> 及び断層モデルにより策定した基準地震動 S<sub>s-1</sub>～S<sub>s-9</sub> のうち最も応答変位が大きくなる S<sub>s-4</sub> による応答解析を行った結果、構造物の曲げに対する評価（層間変形角）及びせん断力に対する評価（せん断耐力）のいずれも評価基準を満足することを確認した。また、事業者の解析結果が事業者解析条件に基づく JNES の解析結果とほぼ同等であることを確認した。

安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価に係るクロスチェック解析では、原子炉建物・原子炉補助建物を対象として地震応答解析モデルについての検討と耐震安全性評価及びディーゼル建物基礎の安定性評価を実施した。その結果、建物の最大応答評価の観点では、事業者が耐震バックチェックに用いた建物の地震応答解析モデル（以下「事業者 BC モデル」という。）、JNES の三次元 FEM モデル及び床などの柔軟性を考慮した質点系モデルによる地震観測記録のシミュレーション解析結果は、いずれも建物の最大応答加速度の地震観測記録と整合的であった。建物の床応答スペクトル評価の観点では、事業者 BC モデルによる地震観測記録シミュレーション解析結果は、観測記録より小さめの評価となる部分があったこと、床の柔軟性を考慮した JNES のモデルによるシミュレーション解析及び基準地震動 S<sub>s</sub> に対する解析結果より、床応答スペクトルに床の柔軟性・基礎版の柔軟性の影響がみられたことから、床の柔軟性等の影響が考えられる建物位置及び固有周期帯にある重要機器配管系設備については、床の柔軟性等を考慮したモデルで床応答スペクトルを評価した方がよいと考える。原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性評価では、基準地震動 S<sub>s-D</sub> 及び基礎の接地率評価が最も厳しかった基準地震動 S<sub>s-5</sub> に対して、原子炉建物・原子炉補

助建物の耐震安全性の評価基準を満足することを確認した。また、事業者の解析結果と事業者 BC モデルを用いて JNES の所有コードで計算した結果はほぼ同様になることを確認した。基準地震動 Ss-D に対するディーゼル建物基礎の安定性評価では、接地率評価が厳しくなると予想される建物基礎の短辺方向（NS 方向）について基礎の安定性の評価基準を満足することを確認した。また、事業者の解析結果と事業者の解析モデル（基礎の安定性を確認するための二次元 FEM モデル）を用いて JNES の所有コードで計算した結果はほぼ同様になることを確認した。

安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価に係るクロスチェック解析では、「止める」「冷やす」「閉じ込める」機能の観点から選定した主要機器・配管を対象に事業者が実施した解析条件と同じ条件で解析を実施した。その結果、事業者と JNES の発生応力等の解析結果はほぼ同等となり、いずれも評価基準を満足した。また、床の柔軟性等を考慮した JNES 解析条件を用いて原子炉構造物、補助冷却設備空気冷却器、一次主冷却系配管（ホットレグ）及び二次主冷却系配管（コールドレグ）を対象に基準地震動 Ss に対する応答解析を実施した結果、いずれも評価基準を満足することを確認した。

地震随伴事象に対する考慮（周辺斜面の安定性評価）に係るクロスチェック解析では、風化した D 級岩盤の層厚が厚い断面位置において、現況の斜面形状及び事業者が概略検討を行った排土工事完了後の斜面形状を対象に、斜面のすべりについて評価を行った。その結果、現況の斜面形状のすべりに対する検討では、D 級岩盤風化部（深部）を通るすべり面に対しては入力地震動の水平動と鉛直動の位相の全組合せに対して、いずれも評価基準を満足することを確認した。また、事業者の解析結果が事業者解析条件による JNES の解析結果とほぼ同等であることを確認した。D 級岩盤風化部（表層部）を通るすべり面に対しては評価基準を満足しなかった。排土工事完了後の斜面形状のすべりに対する検討では、D 級岩盤風化部（表層部）を通るすべり面に対しては入力地震動の水平動と鉛直動の位相の全組合せに対する最小すべり安全率は評価基準値と同等となつた。また、事業者の解析結果が事業者解析条件による JNES の解析結果とほぼ同等であることを確認した。

地震随伴事象に対する考慮（津波に係る安全性評価）に係るクロスチェック解析では、[1]想定津波が敷地内に侵入し重要機器が冠水しないこと、[2]原子炉機器冷却系の取水に支障がないことを確認するため、①対象とする津波波源の設定、②津波水位に係る評価結果、③土砂移動に係る評価結果について検討した。その結果、水位上昇側及び水位下降側とも最も影響が大きい津波波源は、「大陸棚～B～野坂断層の同時活動」であり、これは事業者が最大とした波源と一致した。想定津波による取水口前面における最大水位上昇量は T.P+5.6m であり、敷地レベル（T.P+5.0m）

を超えるが、やや内陸側に位置する補機冷却海水ポンプ位置では T.P+5.6mを下回るため安全性判断基準 (T.P+5.8m) を満足する結果となった。事業者の解析結果は、同水位が T.P+5.2mであり、JNES の結果に比べて 10%程度低い結果であった。想定津波による取水口前面における最大水位下降量は T.P-5.5m であり、補機冷却海水ポンプの取水限界レベル (安全性判断基準値 T.P-2.9m) を下回る結果となった。事業者の解析結果は、同水位が T.P-5.2mであり、JNES の結果とほぼ一致する結果となった。ただし、構造 B サブグループにおける事業者の報告により、水位低下への対策として「自然循環による炉心冷却が可能である」とされた。「大陸棚～B～野坂断層」同時活動の波源を対象として、津波に伴う土砂移動に係る安全性評価を実施した結果、想定津波による取水口前面の堆砂量は 30cm 程度であり、安全性判断基準 (取水口の開口部高さ 250cm 以下) を満足することを確認した。また、事業者の結果は、同堆砂量が 20cm 程度であり、JNES の結果とほぼ一致する結果であった。

以上から、上記評価項目のいずれにおいても耐震安全性が保たれることを確認した。また、上記事業者の報告書等における事業者の解析及び評価結果は妥当であると判断される。

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」  
等の改訂に伴う高速増殖原型炉もんじゅの  
耐震安全性評価に係るクロスチェック解析に関する報告書

目 次

第Ⅰ篇 基準地震動 Ss の策定

I-1 基準地震動 Ss に係わる主要活断層の地震動評価	
I-1.1 クロスチェック解析の目的及び概要	I-1-1
I-1.2 評価対象活断層及び震源断層モデル	I-1-3
I-1.3 地震動解析手法及び解析条件	I-1-7
I-1.4 地震動解析結果	I-1-12
I-1.5 地震動評価クロスチェック解析のまとめ	I-1-13
・参考文献	I-1-13
・添付資料	I-1-24
・参考資料	I-1-33
I-2 基準地震動 Ss の超過確率評価	
I-2.1 クロスチェック解析の目的及び概要	I-2-1
I-2.2 超過確率評価の基本方針・評価条件	I-2-1
I-2.3 特定震源モデルの設定	I-2-3
I-2.4 領域震源モデルの設定	I-2-11
I-2.5 地震動伝播モデルの設定	I-2-13
I-2.6 ロジックツリーの作成	I-2-17
I-2.7 地震ハザード評価結果	I-2-22
I-2.8 超過確率別スペクトルの評価結果及び基準地震動 Ss との比較	I-2-28
I-2.9 基準地震動 Ss の超過確率評価結果まとめ	I-2-28
・参考文献	I-2-28
・添付資料	I-2-30

第Ⅱ篇 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価

II - 1 概要 .....	II - 1-1
II - 1. 1 目的及び検討概要 .....	II - 1-1
II - 1. 2 前提条件 .....	II - 1-3
II - 1. 3 検討フロー .....	II - 1-3
II - 2 事業者条件による解析 .....	II - 2-1
II - 2. 1 安定性評価項目 .....	II - 2-1
II - 2. 2 解析条件 .....	II - 2-1
II - 2. 3 解析結果 .....	II - 2-5
II - 3 J N E S 条件による解析 .....	II - 3-1
II - 3. 1 J N E S 条件による解析の考え方 .....	II - 3-1
II - 3. 2 安定性評価項目 .....	II - 3-1
II - 3. 3 解析条件 .....	II - 3-2
II - 3. 4 解析結果 .....	II - 3-3
II - 4 まとめ .....	II - 4-1

### 第III篇 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

III - 1 概要 .....	III - 1-1
III - 1. 1 目的及び検討概要 .....	III - 1-1
III - 1. 2 検討対象と前提条件 .....	III - 1-2
III - 1. 3 検討フロー .....	III - 1-2
III - 2 検討対象構造物 .....	III - 2-1
III - 3 耐震安全性評価基準 .....	III - 3-1
III - 4 事業者条件による解析 .....	III - 4-1
III - 4. 1 解析条件 .....	III - 4-1
III - 4. 2 解析及び評価結果 .....	III - 4-8
III - 5 J N E S 条件による解析 .....	III - 5-1
III - 5. 1 J N E S 条件による解析の考え方 .....	III - 5-1
III - 5. 2 解析条件 .....	III - 5-2
III - 5. 3 地震応答解析結果 .....	III - 5-3
III - 5. 4 耐震安全性評価結果 .....	III - 5-7

III - 6 まとめ.....	III-6-1
・参考文献 .....	III-6-1
・附資料 - 1 .....	附-1-1

#### 第IV篇 建物の耐震安全性評価

IV - 1 目的及び概要 .....	IV-1-1
IV - 2 地震観測記録シミュレーション等に基づく建物地震応答解析モデルの検討 .....	IV-2-1
IV - 2 . 1 地震観測記録のシミュレーション解析 .....	IV-2-1
IV - 2 . 2 基準地震動 Ss に対する建物モデルの検討 .....	IV-2-16
IV - 2 . 3 建物地震応答解析モデル検討のまとめ .....	IV-2-22
IV - 3 建物の耐震安全性評価 .....	IV-3-1
IV - 3 . 1 原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性評価 .....	IV-3-1
IV - 3 . 2 ディーゼル建物基礎の安定性評価 .....	IV-3-19
IV - 3 . 3 建物の耐震安全性評価のまとめ .....	IV-3-30

#### 第V篇 機器・配管系の耐震安全性評価

機器・配管系の耐震安全性評価の概要 .....	( i )
V - 1 機器・配管系の耐震安全性評価クロスチェック解析の基本方針 .....	V-1-1
V - 1 . 1 基本方針 .....	V-1-1
V - 1 . 2 クロスチェック解析の作業手順 .....	V-1-3
V - 2 機器・配管系の評価方針及び判断基準 .....	V-2-1
V - 3 解析結果 .....	V-3-1
V - 3 . 1 機器設備 .....	V-3.1.1-1
V - 3 . 1 . 1 事業者条件による解析 .....	V-3.1.1-1
V - 3 . 1 . 2 JNES 条件による解析 .....	V-3.1.2-1
V - 3 . 1 . 2 . 1 JNES 条件による解析の条件 .....	V-3.1.2-1
V - 3 . 1 . 2 . 2 JNES 条件による解析の結果 .....	V-3.1.2-1
V - 3 . 2 配管系 .....	V-3.2.1-1
V - 3 . 2 . 1 事業者条件による解析 .....	V-3.2.1-1

V－3.2.2 JNES 条件による解析 .....	V-3.2.2-1
V－3.2.2.1 JNES 条件による解析の条件 .....	V-3.2.2-1
V－3.2.2.2 JNES 条件による解析の結果 .....	V-3.2.2-1
V－4 機器・配管系のまとめ .....	V-4-1

[参考] 観測記録と建物シミュレーション解析結果の差分を考慮した

機器配管系設備の耐震余裕評価 .....	V-参-1
・付録：V付－1 地震応答解析用床応答スペクトル .....	V-付-1-1
・付録：V付－2 線形モデルと非線形モデルによる応答スペクトル比較 .....	V-付-2-1
・付録：V付－3 主要機器・配管系応力評価結果数値一覧表 .....	V-付-3-1

## 第VI篇 地震随伴事象に対する考慮（周辺斜面の安定性評価）

### 第一章 クロスチェック解析概要

VI－1 クロスチェック解析概要 .....	VI-1-1
VI－1.1 目的及び検討概要 .....	VI-1-1
VI－1.2 前提条件 .....	VI-1-6

### 第二章 現況の斜面形状に対する検討

VI－2 概要 .....	VI-2-1
VI－2.1 検討フロー .....	VI-2-1
VI－2.2 安定性評価項目 .....	VI-2-1
VI－3 事業者条件による解析 .....	VI-3-1
VI－3.1 解析条件 .....	VI-3-1
VI－3.2 解析結果 .....	VI-3-5
VI－4 JNES 条件による解析 .....	VI-4-1
VI－4.1 JNES 条件による解析の考え方 .....	VI-4-1
VI－4.2 解析条件 .....	VI-4-1
VI－4.3 解析結果 .....	VI-4-2
VI－5 まとめ .....	VI-5-1

### 第三章 排土工事完了後の斜面形状に対する検討

VI－6 概要 .....	VI-6-1
---------------	--------

VI- 6 . 1 検討フロー .....	VI-6-1
VI- 6 . 2 安定性評価項目 .....	VI-6-1
VI- 7 事業者条件による解析 .....	VI-7-1
VI- 7 . 1 解析条件 .....	VI-7-1
VI- 7 . 2 解析結果 .....	VI-7-5
VI- 8 JNES 条件による解析 .....	VI-8-1
VI- 8 . 1 JNES 条件による解析の考え方 .....	VI-8-1
VI- 8 . 2 解析条件 .....	VI-8-1
VI- 8 . 3 解析結果 .....	VI-8-2
VI- 9 まとめ .....	VI-9-1
参考資料 現況の斜面形状に対する岩塊移動量の検討	
VI- 10 現況の斜面形状に対する岩塊移動量の検討（参考） .....	VI-10-1

#### 第VII篇 地震随伴事象に対する考慮（津波に係わる安全性評価）

VII- 1 クロスチェック解析の目的及び概要 .....	VII-1
VII- 2 対象施設の立地条件 .....	VII-2
VII- 3 津波に対する安全性の考え方 .....	VII-3
VII- 4 既往津波による再現性の確認 .....	VII-5
VII- 5 安全評価上重要な波原の選定 .....	VII-7
VII- 6 津波水位に係わる安全性評価 .....	VII-10
VII- 7 津波に伴う土砂移動に係わる安全性評価 .....	VII-15
VII- 8 まとめ .....	VII-19
・参考文献 .....	VII-20

## 第 I 篇 基準地震動 Ss の策定

## [ 第 I 篇・目次 ]

### 第 I 篇 基準地震動 Ss の策定

I - 1	基準地震動 Ss に係わる主要活断層の地震動評価	
I - 1. 1	クロスチェック解析の目的及び概要	I - 1-1
I - 1. 2	評価対象活断層及び震源断層モデル	I - 1-3
I - 1. 3	地震動解析手法及び解析条件	I - 1-7
I - 1. 4	地震動解析結果	I - 1-12
I - 1. 5	地震動評価クロスチェック解析のまとめ	I - 1-13
・参考文献		I - 1-13
・添付資料		I - 1-24
C	断層及び白木-丹生断層・全解析ケースの結果	
・参考資料		I - 1-33
	もんじゅの経験的サイト增幅特性及び地盤構造モデル(減衰特性)の評価	
I - 2	基準地震動 Ss の超過確率評価	
I - 2. 1	クロスチェック解析の目的及び概要	I - 2-1
I - 2. 2	超過確率評価の基本方針・評価条件	I - 2-1
I - 2. 3	特定震源モデルの設定	I - 2-3
I - 2. 4	領域震源モデルの設定	I - 2-11
I - 2. 5	地震動伝播モデルの設定	I - 2-13
I - 2. 6	ロジックツリーの作成	I - 2-17
I - 2. 7	地震ハザード評価結果	I - 2-22
I - 2. 8	超過確率別スペクトルの評価結果及び基準地震動 Ss との比較	I - 2-28
I - 2. 9	基準地震動 Ss の超過確率評価結果まとめ	I - 2-28
・参考文献		I - 2-28
・添付資料		I - 2-30
	各主要特定震源の地震ハザードの影響度解析結果	
	主要特定震源以外の震源の地震ハザード評価	

## I - 1 基準地震動 Ss に係わる主要活断層の地震動評価

### I - 1. 1 クロスチェック解析の目的及び概要

#### (1) 目的

本クロスチェック解析は、日本原子力研究開発機構(以下、「事業者」という。)より、平成 20 年 3 月に原子力安全・保安院(以下、「保安院」という。)に提出された高速増殖原型炉もんじゅの「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書」における基準地震動 Ss の評価に関して実施したものである。

本解析では、基準地震動 Ss の妥当性評価に資するため、耐震・構造設計小委員会 地質・地盤、地震・津波合同ワーキング C サブグループ(以下、「合同 C サブグループ」という。)における審議を踏まえ、事業者が、敷地への影響が特に大きな活断層に対して、断層モデルによる地震動解析を行って設定した基準地震動 Ss を対象とした。

#### (2) 概要

基準地震動 Ss の策定フローと今回のクロスチェック解析の対象範囲を図 I - 1-1 に示す。本クロスチェック解析では、基準地震動 Ss の策定に係わる検討用地震のうち、事業者が断層モデルによる地震動解析結果から Ss-1～Ss-9 として選定した敷地近傍の C 断層と白木・丹生断層を解析対象とした。本解析では、それらの活断層に対して断層モデルによる地震動解析を行い、それらの地震動の大きさと周期特性について事業者の解析結果と比較し、妥当性について検討した。

これらの震源断層の基本震源モデル及び不確実さを考慮したモデルは、合同 C サブグループで審議された結果を反映して設定されていることから、本解析では、事業者が設定した震源断層モデルを用いることとした。また、断層モデルの解析における波形合成(下記注釈参照)で、破壊伝播速度や要素地震波の位相特性に乱数を用いて揺らぎを与えて、地震動の応答スペクトルの平均と変動幅を評価し、事業者の解析結果と比較することにより地震動のレベルと周期特性の対応を示した。上記のクロスチェック解析結果は、平成 22 年 1 月 22 日に開催された第 23 回合同 C サブグループで報告した。

また、基準地震動の策定において、事業者は、深部地盤の減衰特性を鶴来(1997)による経験的サイト增幅特性を用いて評価して、地震動評価を行っており、それらの内容についても合同 C サブグループで審議された。JNES では、事業者が評価した経験的サイト增幅特性について検討し、減衰が過大に評価されていることを指摘し、第 14 回(平成 21 年 4 月 9 日)及び第 15 回(平成 21 年 4 月 22 日)の合同 C サブグループで報告した。C サブグループにおける審議の結果、事業者が評価した減衰が過大であると判断され、事業者側で減衰特性の見直しを行い、基準地震動が再評価された。本章の巻末に、参考として合同 C サブグループにおける報告内容を添付した。

(注釈：断層全体を小断層に区分し、各小断層から要素地震波を発生させて地震動を合成し、断層全体の地震動を評価する手法)



図 I-1-1 基準地震動 Ss の策定フローと今回のクロスチェック解析の対象範囲

## I - 1. 2 評価対象活断層及び震源断層モデル

### (1) 評価対象活断層の概要

サイト周辺の活断層の分布、解析対象とした C 断層及び白木-丹生断層の位置、事業者が解析した両断層による基準地震動 (Ss-1～Ss-9) と検討用地震の地震動解析結果(応答スペクトル)を図 I - 1-2 に示す。

同図に示すように、C 断層と白木-丹生断層は、敷地のごく近傍に位置する逆断層で、震源断層は敷地直下まで広がっている。各断層の応答スペクトルから C 断層と白木-丹生断層による地震動は、他の検討用地震と比較して周期 1 秒より短周期側の地震動が大きく、周期 0.1 秒～0.3 秒の周期帯では、応答スペクトルによる手法で策定した Ss-D を上回る応答スペクトルが発生している。

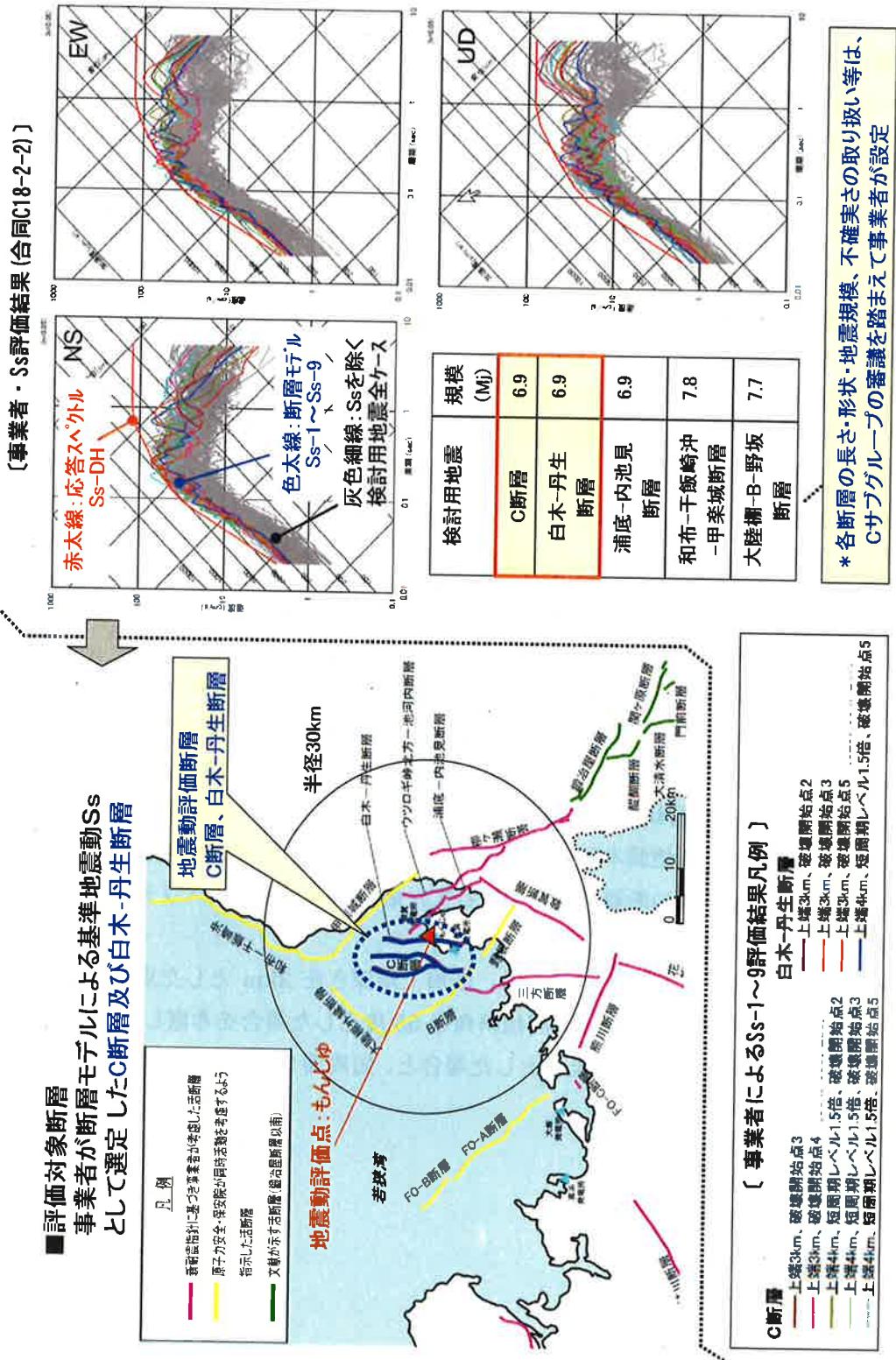
これらの結果を踏まえ、特に敷地への影響が大きい活断層として C 断層と白木-丹生断層を選定し、クロスチェック解析を実施することとした。

### (2) 震源断層モデル及び解析ケース

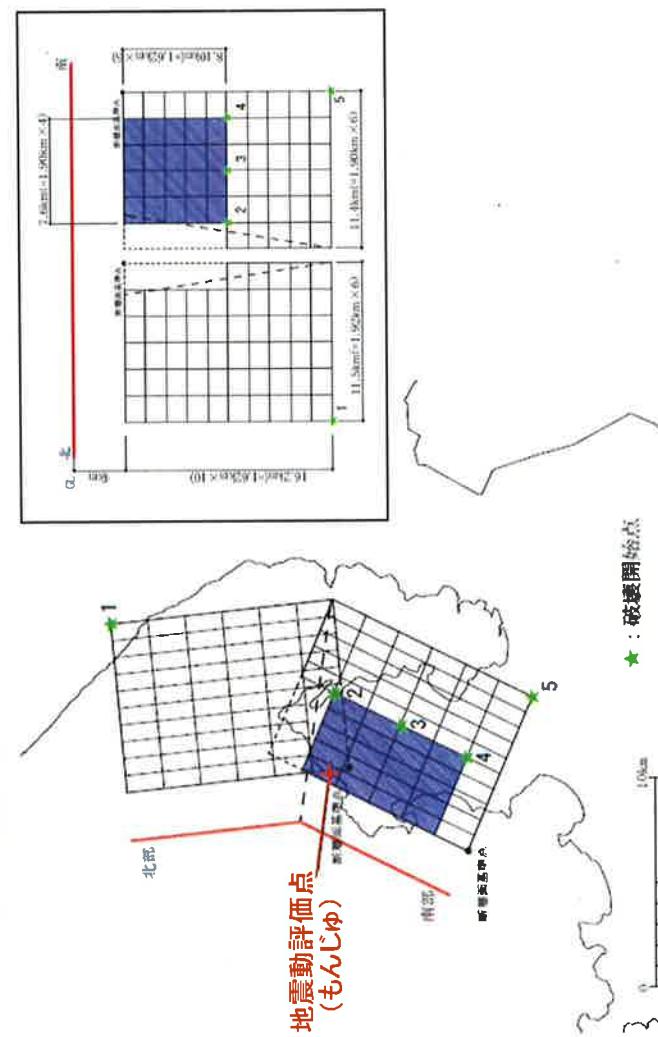
C 断層と白木-丹生断層の震源断層モデル及び断層パラメータ、解析ケースを図 I - 1-3 及び図 I - 1-4 に示す。これらの震源断層モデル及び各断層の解析ケースは、合同 C サブグループの審議を踏まえて事業者が設定したものと同一条件とした。

解析ケース一覧に示すように、両断層について基本震源モデルと不確実さを考慮したモデルについて解析を行った。基本震源モデルは、それぞれの活断層について反射法探査結果等に基づき断層位置や長さを設定し、断層上端深さは、微動アレー探査や微小地震分布から両断層ともに 4km、断層傾斜角は 60 度に設定している。また、短周期レベルは、地震調査研究推進本部(以下、「地震本部」という。)の強震動予測レシピの平均値とし、アスペリティ位置を敷地に最も近い断層上端に配置して、破壊開始点はアスペリティ下端と断層下端に 5 ケース設定した。

また、不確実さとして、C 断層については、断層上端深さを 3km とした場合、短周期レベルを平均値の 1.5 倍とした場合、断層傾斜角を 55 度とした場合を考慮した。白木-丹生断層については、断層上端深さを 3km とした場合と、短周期レベルを平均値の 1.5 倍とした場合を考慮した。



### [C断層・震源断層モデル]



### [断層パラメーター一覧( 基本震源モデル )]

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	18	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	60	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	4	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	地盤発生層と傾斜角から
断層幅W(km)	16.2	設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	335.34	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	-
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	6.26 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0</sub> =S/(4.24 × 10 <sup>-1</sup> ) <sup>2.0</sup>
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \rho \beta^2$ , $\rho = 2.79/\text{cm}^3$ , $\beta = 3.6/\text{m/s}$
平均すべり量D(cm)	53.3	D=M <sub>0</sub> /(μ S)
平均応力降下量△σ(MPa)	2.5	$\Delta \sigma = (7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$
破壊伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	V <sub>r</sub> =0.72 β
立ち上がり時間T <sub>r</sub> (sec)	0.81	T <sub>r</sub> =2.03 × 10 <sup>-3</sup> M <sub>0</sub> <sup>-1/3</sup>
高周波限界遮断周波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	香川他(2003)
短周期レベルA(Nm/s <sup>2</sup> )	9.77 × 10 <sup>16</sup>	A=2.46 × 10 <sup>17</sup> × M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
Q値	50ft <sup>1</sup>	佐藤他(2007)

### [クロスチェック解析ケース一覧]

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
全面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	61.31	S <sub>a</sub> =πr <sup>2</sup>
平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	107.1	$= (7\pi M_0 \beta^{-2})/(4\pi \alpha R)$ , R=(S/a) <sup>0.5</sup>
地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	2.30 × 10 <sup>18</sup>	D <sub>a</sub> =γ D, γ=2.01
応力降下量△σ <sub>a</sub> (MPa)	13.6	M <sub>0a</sub> =μ S <sub>a</sub> D <sub>a</sub>
面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	274.03	△σ <sub>a</sub> =S <sub>a</sub> (S <sub>b</sub> )△σ
地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	41.3	S <sub>b</sub> =S <sub>a</sub>
実効応力△σ <sub>b</sub> (MPa)	3.96 × 10 <sup>18</sup>	D <sub>b</sub> =M <sub>0b</sub> /(μ S <sub>b</sub> )
応力降下量	2.7	M <sub>0b</sub> =M <sub>0a</sub> D <sub>a</sub>
		△σ <sub>b</sub> =0.2△σ <sub>a</sub>

\* 断層パラメータは地震本部強震動予測レシピ<sup>(1)</sup>に基づき設定

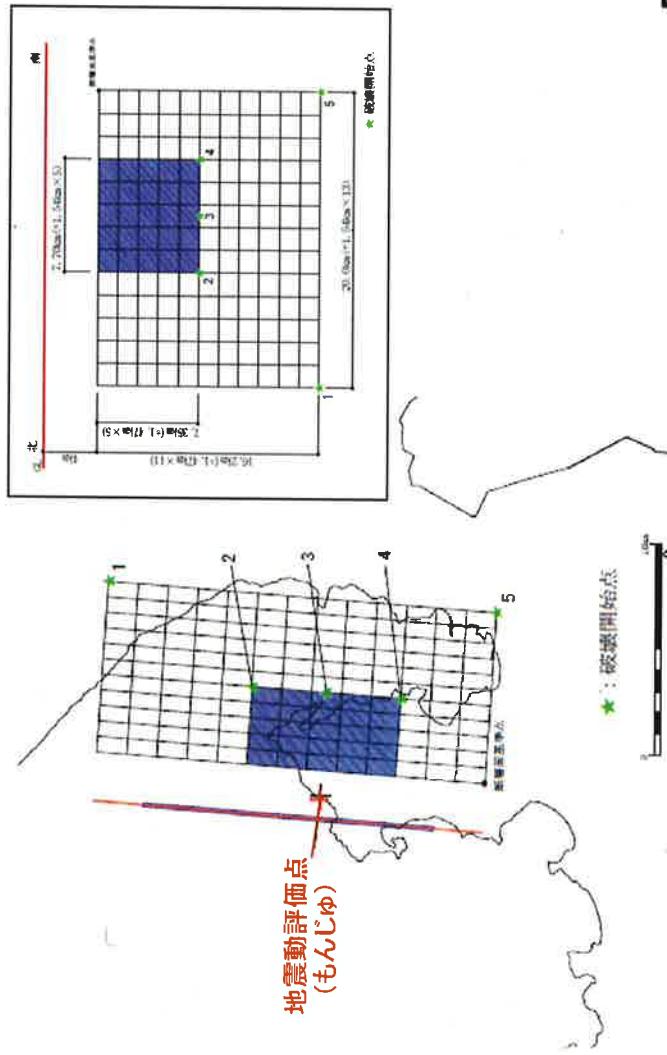
図 I-1-3 C 断層の震源断層モデル及び解析ケース

## [白木-丹生断層・震源断層モデル]

### [断層パラメータ一覧(基本震源モデル)]

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	20	断層位置を延長
断層傾斜角(°)	60	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	4	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層幅W(km)	18	地盤先生層と傾斜角から設定
断層面積S(km <sup>2</sup> )	324	断層面より算定
地震伝播様式	同心円状	—
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	5.84 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0</sub> = S / (4.24 × 10 <sup>-11</sup> ) <sup>1/2</sup>
剛性率(N/m <sup>2</sup> )	3.5 × 10 <sup>10</sup>	$\mu = \rho \beta^2, \rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$ $\beta = 3.6 \text{ km/s}$
平均すべり量D(cm)	51.5	D = M <sub>0</sub> / (μ S)
平均応力降下量△σ(MPa)	2.4	$\Delta \sigma = (7.7 \times 10^{-15}) M_0 S^{1.5}$
地震伝播速度V <sub>r</sub> (km/s)	2.59	V <sub>r</sub> = 0.72 β
立ち上がり時間T(sec)	0.79	T <sub>r</sub> = 2.03 × 10 <sup>-9</sup> M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup>
高周波限界震断層波数f <sub>max</sub> (Hz)	8.3	香川地(2003)
短周期レベルA(N/m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> )	9.54 × 10 <sup>16</sup>	A = 2.46 × 10 <sup>-7</sup> × M <sub>0</sub> <sup>1.3</sup>
C値	50F <sup>1</sup>	注音地(2007)

\*パラメータは上端4km、応力降下量(レシピ平均)のケースを代表して示す



断層パラメータ	パラメータ	設定方法
全面積S <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	57.89	S <sub>a</sub> = π r <sup>2</sup>
アスペリティ面積D <sub>a</sub> (cm)	103.5	r = (7π M <sub>0</sub> β <sup>2</sup> / (4AαR)) <sup>1/2</sup>
平均すべり量D <sub>a</sub> (cm)	2.10 × 10 <sup>18</sup>	D <sub>a</sub> = γ D <sup>0</sup> , γ <sub>D</sub> = 2.01
地震モーメントM <sub>0a</sub> (Nm)	2.10 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0a</sub> = μ S <sub>a</sub> D <sub>a</sub>
応力降下量△σ <sub>a</sub> (MPa)	13.7	△σ <sub>a</sub> = (S/S <sub>a</sub> ) △ σ
面積S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	266.11	S <sub>b</sub> = S - S <sub>a</sub>
質量M <sub>0b</sub> (kg)	40.2	D <sub>b</sub> = M <sub>0b</sub> / (μ S <sub>b</sub> )
地震モーメントM <sub>0b</sub> (Nm)	3.74 × 10 <sup>18</sup>	M <sub>0b</sub> = M <sub>0</sub> M <sub>0a</sub>
累加応力△σ <sub>b</sub> (MPa)	2.7	△σ <sub>b</sub> = 0.2 △ σ <sub>a</sub>

\*断層パラメータは地震本部強震動予測レシピ<sup>2.1</sup>に基づき設定

図 1-1-4 白木-丹生断層の震源断層モデル及び解析ケース

### I - 1. 3 地震動解析手法及び解析条件

断層モデルによる地震動解析の条件を表 I - 1-1 に、ハイブリッド合成法による解析手法の全体概要を図 I - 1-5 に、また、ハイブリッド合成法における短周期側の地震動手法(統計的グリーン関数法)の詳細を図 I - 1-6 に、長周期側の地震動手法(理論解手法)の詳細を図 I - 1-7 に示す。表 I - 1-1 の地震動解析条件には、事業者と JNES が用いた条件を対比して示し、備考欄に条件が異なる場合の取り扱いや地震本部の強震動予測レシピとの対応等設定根拠を記載した。

本解析では、地震動解析手法として、ハイブリッド合成法を用い、短周期側地震動の解析に統計的グリーン関数法を、長周期側地震動の解析に理論解手法として波数積分法を用いた。短周期側と長周期側地震動の双方の結果を、周期 1 秒を中心として結合し、広帯域の地震動を評価した。

地震動解析の条件は、JNES と事業者でほぼ同一であるが、事業者は、長周期側地震動の理論解析手法において、すべり速度時間関数のモデルに地震本部のレシピ(中村・宮武(2000)) と異なるモデル(Sekiguchi & Iwata (2002)) を用いている。そこで、JNES では事業者が用いたモデルと地震本部のレシピのモデルの双方で解析を行い、結果を比較した。

また、統計的グリーン関数法による短周期側地震動の解析においては、小断層から発生させる要素地震波を波形合成する際に、要素地震波の位相特性と断層の破壊伝播速度の揺らぎとして、乱数の組み合わせを 49 ケース ( $7 \times 7$  ケース) 与えて地震動を解析した。それらの解析結果から、各解析ケースについて応答スペクトルの平均と変動幅を評価し、事業者の解析結果と比較した。

表 I -1-1 地震動解析手法及び解析条件の整理・比較一覧

事業者	JNES	備考
○解析手法 ・ハイブリッド合成法 ・短周期:統計的グリーン関数法 ・長周期:理論解析手法 ・結合周期帯:1秒～2秒	○解析手法 ・ハイブリッド合成法 ・短周期:統計的グリーン関数法 ・長周期:理論解析手法 ・結合周期帯:1秒～2秒	
○統計的グリーン関数法 ・要素地震波作成…Boore(1983) <sup>2)</sup> ・放射係数…釜江・他(1990) <sup>3)</sup> ・ $f_{\max} = 8.3 \text{ Hz}$ …香川(2003) <sup>4)</sup> ・波形合成法…入倉・他(1997) <sup>6)</sup>	○統計的グリーン関数法 ・要素地震波作成…Boore(1983) <sup>2)</sup> ・放射係数…釜江・他(1990) <sup>3)</sup> ・ $f_{\max} = 8.3 \text{ Hz}$ …香川(2003) <sup>4)</sup> ・波形合成法…横井・入倉(1991) <sup>5)</sup> , 入倉・他(1997) <sup>6)</sup>	*地震本部レシピ <sup>1)</sup> $f_{\max} = 6.0 \text{ Hz}$ (事業者の手法:レシピより 安全側の設定) *JNES波形合成法:原安委 検討の手法A適用(応力降 下量と短周期レベルが整合)
○理論解析手法 ・離散化波数法=Bouchon(1981) <sup>7)</sup> ・すべり速度時間関数=Smoothed ramp function … Sekiguchi・ Iwata(2002) <sup>9)</sup>	○理論解析手法 ・波数積分法=久田(1997) <sup>8)</sup> ・すべり速度時間関数=①Smoothed ramp function, 要素断層内破壊伝播 時間考慮… Sekiguchi・Iwata(2002), ②中村・宮武(2000) <sup>10)</sup>	*地震本部レシピ=中村・宮武 (2000)…JNES : Sekiguchi ・Iwata(2002)と中村・宮武 (2000)双方の手法で検討
○内陸地殻内伝播経路特性 ・伝播経路特性Q値= $Q(f) = 50f^{1.1}$ …佐藤・他(2007) <sup>11)</sup> .	○内陸地殻内伝播経路特性 ・伝播経路特性Q値= $Q(f) = 50f^{1.1}$ …佐藤・他(2007) <sup>11)</sup> .	
○サイト特性(地下構造モデル) ・経験的サイト增幅特性に基づき設 定…鶴来・他(1997) <sup>12)</sup>	○サイト特性(地下構造モデル) ・経験的サイト增幅特性に基づき設 定…鶴来・他(1997) <sup>12)</sup>	*事業者が地下構造調査結 果、地震動観測記録に基 づき設定(Cサブ等で審議)

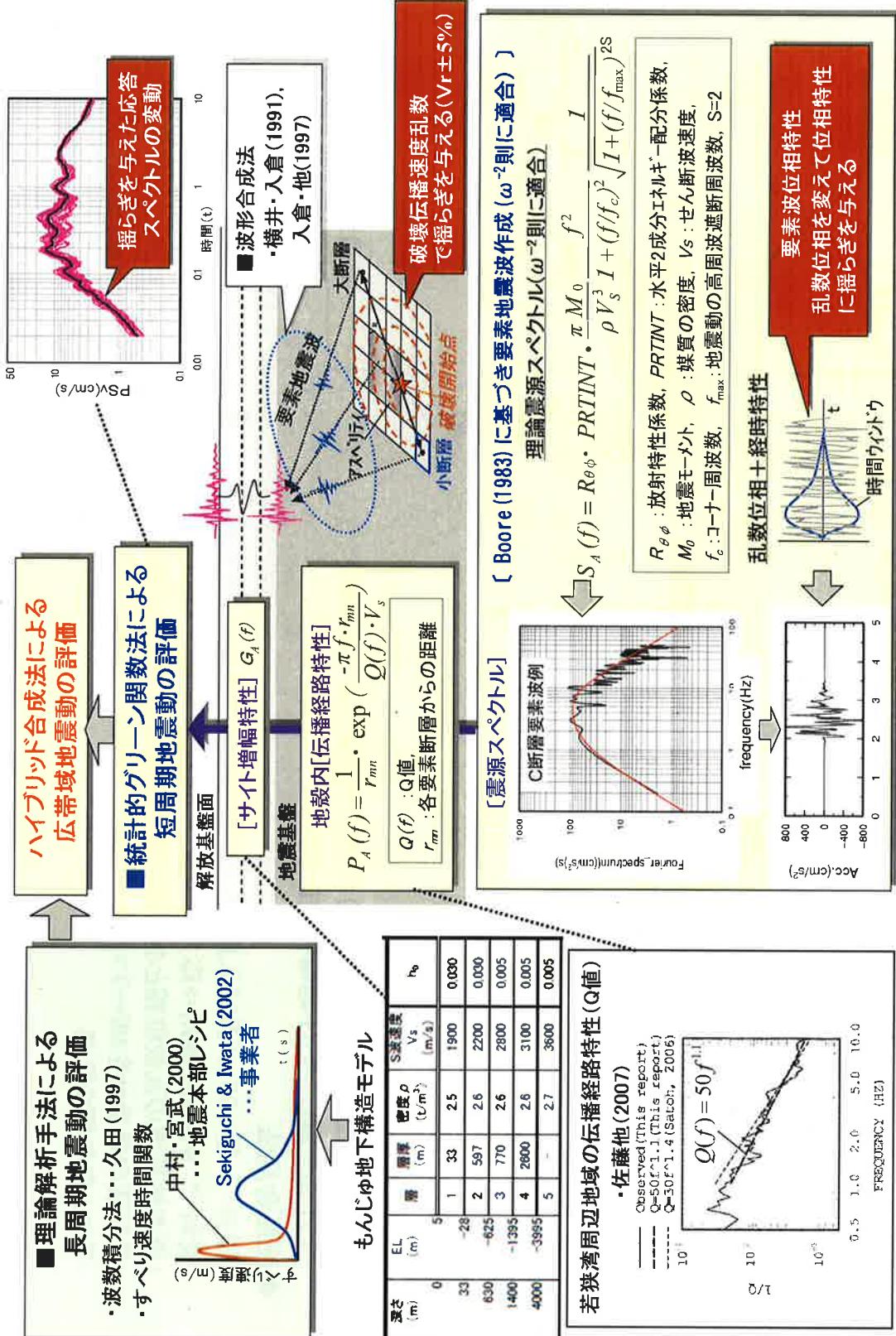


図 I - 1-5 地震動解析手法の概要

## (1)ハイブリッド合成法による広帯域の地震動評価

◆短周期:統計的グリーン関数法、長周期成分:波数積分法

### (2)統計的グリーン関数法の解析条件

◆要素地震波作成手法 … Boore(1983)<sup>2)</sup>の手法  
◆放射特性の与え方 … 釜江・他(1990)<sup>3)</sup>の手法

- ・周波数数 < 0.5Hz = 理論放射係数
- ・ $0.5 \leq$  周波数  $\leq 5\text{Hz}$  = 理論放射係数と一様放射係数を線形補間
- ・周波数数  $> 5\text{Hz}$  = 一様放射係数  $Sv=0.45$ 、 $Sh=0.5$
- … (Boore & Boatwright(1984)<sup>13)</sup>)

◆破壊伝播形式 同芯円状破壊

◆高周波遮断特性の設定

$$\begin{aligned} &\cdot f_{\max}=8.3\text{Hz} \quad \cdots (\text{香川}(2003)<sup>4)</sup>) \\ &\cdot \text{フィルター特性} : \frac{1}{1+(f/f_{\max})^4} \quad \cdots (\text{Boore}(1983)^2) \end{aligned}$$

◆鉛直地震動の算定

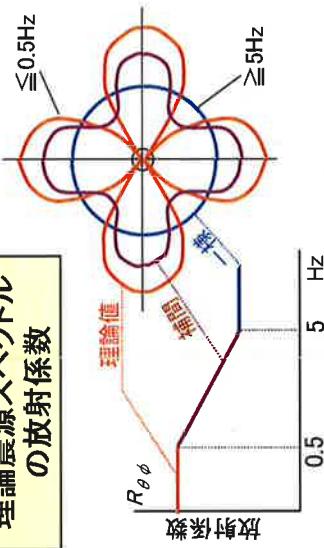
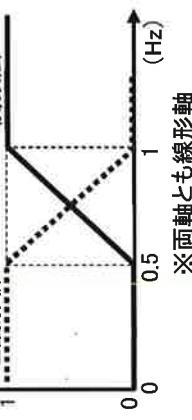
各要素断層と評価点(地震基盤)の幾何学的関係より、SV波をベクトル分解し、サイト增幅特性を考慮して上下動を算定

◆波形合成法

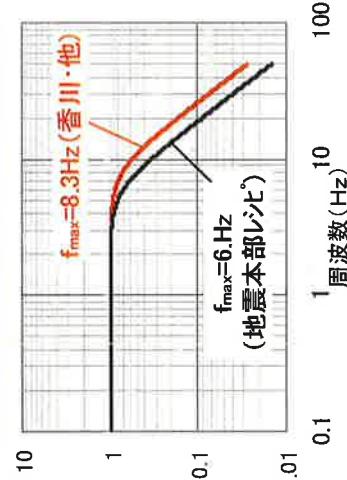
- ・横井・入倉(1991)<sup>5)</sup>及び入倉・他(1997)<sup>6)</sup>による波形合成法(原安委資料<sup>14)</sup>手法A)を適用 ⇒ 応力降下量(1.5倍)と短周期レベルが整合
- ・要素地震波の乱数位相と小断層の破壊伝播速度(範囲±5%)の乱数初期値の組合せを49( $\leftarrow 7 \times 7$ )ケース変えて解析し、応答スペクトルの平均と変動幅を評価

### ハイブリッド合成法の結合フィルター

◆統計的グリーン関数法



### 理論震源スペクトルの放射係数



### 高周波数遮断特性

図 I - 1-6 地震動解析手法の詳細 (ハイブリッド合成及び統計的グリーン関数法)

■ 理論解析手法(波数積分法)及び解析条件

○ 解析手法 —久田(1997)<sup>8)</sup>の手法により解析

○ すべり速度時間関数—下記の2つのモデルを比較

- ①Sekiguchi & Iwata (2002)<sup>9)</sup> …事業者適用モデル  
 ②中村・宮武(2000)<sup>10)</sup> …地震本部レシピ

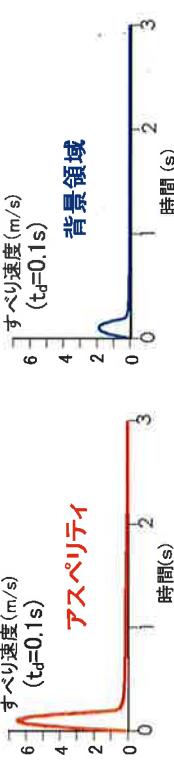
②中村・宮武(2000)に基づくすべり速度時間関数

[すべり速度時間関数]

$$dD(t)/dt = \begin{cases} \left(2V_m/t_d\right) \cdot t \cdot \{1 - (t/2t_d)\} & 0 < t < t_b \\ b/\sqrt{t - \varepsilon} & t_b < t < t_i \\ c - a_t(t - t_i) & t_i < t < t_s \\ 0 & t < 0 \text{ or } t > t_s \end{cases}$$

- 最大すべり速度到達時間  $t_d$  (s)  $\equiv 1/(\pi \cdot f_{max})$
- すべり速度振幅が  $1/\sqrt{t}$  に比例するKostrov型関数に移行する時間  $t_b$  (s)
- ライズタイム  $t_i$  (s)  $\equiv \alpha \cdot W/V_r$  ( $\alpha=0.5$ )
- 最大すべり速度振幅  $V_m$  (m/s)  $\equiv V_m = \Delta\sigma \cdot \sqrt{2f_c \cdot W \cdot V_r / \mu}$

[白木-丹生断層すべり速度時間関数の例]



①Sekiguchi & Iwata (2002)に基づくすべり速度時間関数

[すべり速度時間関数]

$$f_{vel}(\omega) = \frac{\pi \omega t_0/4}{e^{\frac{\pi \omega t_0/4}{\sqrt{t_0/8}}} - e^{-\frac{\pi \omega t_0/4}{\sqrt{t_0/8}}}}$$

$$t_0 = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3} \quad (t_0=0.93s, \lambda=14, \text{Somerville et al. (1999)})^{15)}$$

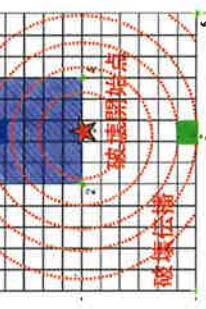
[要素断層の破壊伝播時間等を考慮した時間補正関数]

$$f_{pr}(\omega) = \frac{\sin(\frac{\omega t_c/2}{\sqrt{t_c/7}})}{\omega t_c/7} \cdot e^{-j\omega t_c/2}$$

$t_c$ :要素断層内の破壊伝播時間+地震波の伝播時間差

要素断層内  
の破壊伝播  
の理論解

波形ソース  
の理論解



要素断層  
の破壊伝播  
の理論解



[白木-丹生断層すべり速度時間関数の例]

3.0 ポイントソース Smoothed ramp function

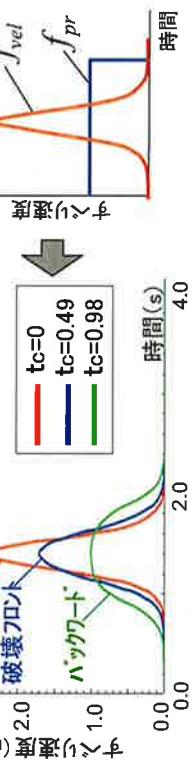


図 1-1-7 地震動解析手法の詳細（理論解析手法）

#### I - 1. 4 地震動解析結果

基準地震動 Ss-1～Ss-9 に対応する C 断層及び白木-丹生断層の断層モデルによる地震動解析結果として、ハイブリッド合成法で得られた応答スペクトルを図 I - 1-8～16 に示す。これらの結果において、Ss-1～Ss-5 の結果が C 断層、Ss-6～Ss-9 が白木-丹生断層の解析結果を示す。各図の上段には、統計的グリーン関数法による短周期側地震動の波形合成で要素地震波の位相や破壊伝播速度に揺らぎを与えた 49 波の平均応答スペクトルと、事業者が評価した断層モデルによる基準地震動 Ss-1～Ss-9 及び応答スペクトルによる Ss-D との比較を示す。また、下段には、揺らぎを与えた 49 波の全応答スペクトルとそれらの平均及び平均± $\sigma$ の結果と、事業者による Ss-1～Ss-9 及び Ss-D との比較を示す。

これらの結果において、JNES が解析した平均応答スペクトルと事業者による解析結果を比較すると、周期によるばらつきはあるが、応答スペクトルの周期特性は全体的に概ね対応している。

図 I - 1-17 の上段には、JNES が解析した全ケースの平均応答スペクトルと Ss-D との比較を示し、下段には事業者の Ss-1～Ss-9 と Ss-D の比較を示した。また、図 I - 1-18 の上段には、JNES が解析した基本震源モデルの断層モデルによる解析結果と各ケース (Ss-1～Ss-9) の結果の比較を、下段には事業者の基本震源モデルの解析結果と Ss-1～Ss-9 の比較を示した。

図 I - 1-17 より、各ケースにおいて、応答スペクトルによる基準地震動 Ss-D は、JNES が解析した平均応答スペクトルをほぼ全周期で上回る結果となっている。また、図 I - 1-18 より、不確実さを考慮した Ss-1～Ss-9 の応答スペクトルは、周期 1 秒より短周期側で基本震源モデルの応答スペクトルを上回っている。

図 I - 1-19 及び 20 には、ハイブリッド合成法で用いた理論解析による長周期側地震動の解析結果について、すべり速度時間関数の違いによる応答スペクトルの比較を示した。地震本部のレシピに基づくすべり速度時間関数（中村・宮武（2000））を用いた応答スペクトルが、事業者が用いたすべり速度時間関数（Sekiguchi & Iwata (2002)）によるスペクトルを上回るケースがあるが、全ケースにおいて応答スペクトルによる基準地震動 Ss-D を下回る結果となっている。

なお、添付資料に、C 断層と白木-丹生断層の全解析ケースの結果を示す。

## I - 1. 5 地震動評価におけるクロスチェック解析結果のまとめ

- 事業者による活断層等の調査結果等に基づき、敷地に最も影響が大きい C 断層と白木 - 丹生断層についてクロスチェック解析を行った。各断層について、C サブグループの審議を踏まえ事業者が設定した基本震源モデルと不確実さを考慮したモデルを解析対象とした。
- 地震動解析手法として、統計的グリーン関数法と波数積分法によるハイブリッド合成法を用いた。統計的グリーン関数法による 1 秒より短周期成分の解析では、要素地震の位相特性と破壊伝播速度に乱数で揺らぎを与えた約 50 ケースの解析を行い、事業者の結果と比較した。
- JNES と事業者の地震動解析結果の応答スペクトルを比較したところ、事業者の各解析結果は、JNES が揺らぎを与えて解析した応答スペクトルの周期特性、各周期の変動幅に概ね対応している。また、事業者が応答スペクトルの基づく手法により設定した基準地震動 Ss-Dh 及び Ss-Dv は、C 断層と白木 - 丹生断層の各ケースにおける JNES の地震動解析結果の平均応答スペクトルをほぼ包絡している。

### 〔参考文献〕

- 1) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会 (2009) : 付録 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 平成 21 年 4 月 11 日.
- 2) Boore, D. M. (1983) : Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1865-1894.
- 3) 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長 (1990) : 地域的な震源スケーリング則を用いた大地震 (M 7 級) のための設計用地震動予測、日本建築学会構造系論文報告集、No.416, 57-70.
- 4) 香川敬生・佐藤信光 (2003) : 硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討、土木学会地震工学論文集、2003.
- 5) 横井俊明・入倉幸次郎 (1991) : 震源スペクトルの Scaling 則と経験的 Green 関数法、地震 2, 44, 109-122.
- 6) 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子 (1997) : 経験的グリーン関数法を用いた強震動予測方法の改良、日本地震学会講演予稿集、B25.
- 7) Bouchon, M. (1981) : A simple method to calculate Green's function for elastic layered media, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 959-971.
- 8) 久田嘉章 (1997) : 成層地盤における正規モード解及びグリーン関数の効率的な計

算法、日本建築学会構造系論文集、第 501 号、pp.49-56.

- 9) Sekiguchi H. and Iwata T. (2002) : Rupture Process of the 1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake Estimated from Strong-Motion Waveforms, Bull. Seism. Soc. Am., 92,1, pp.300-311.
- 10) 中村洋光・宮武 隆 (2000) : 断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式、地震 2、53、1-9.
- 11) 佐藤智美・壇一男・岡崎敦・羽田浩二 (2007) : 若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析、日本地震学会講演予稿集, p3-66.
- 12) 鶴来雅人・田居優・入倉孝次郎・小和田明 (1997) : 経験的サイト增幅特性評価手法に関する検討、地震 2、50、215-227.
- 13) Boore & Boatwright (1984) : Average body-wave radiation coefficients, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 1615-1621.
- 14) 原子力安全委員会・地震動解析技術等作業会合 (2009) : 資料第 1 – 1 号 波形合成法の基本的考え方、平成 21 年 4 月 23 日.
- 15) Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999):Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70.

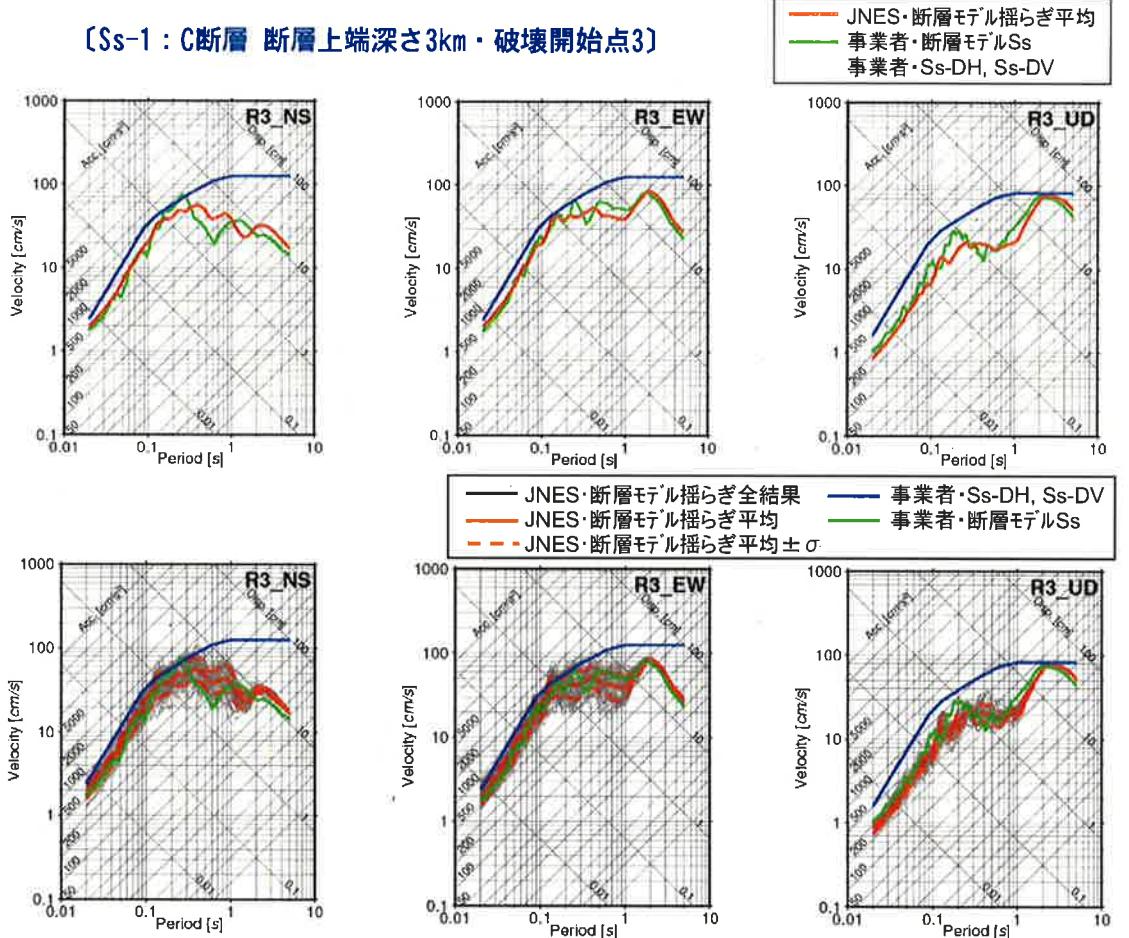


図 I -1-8 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (1)

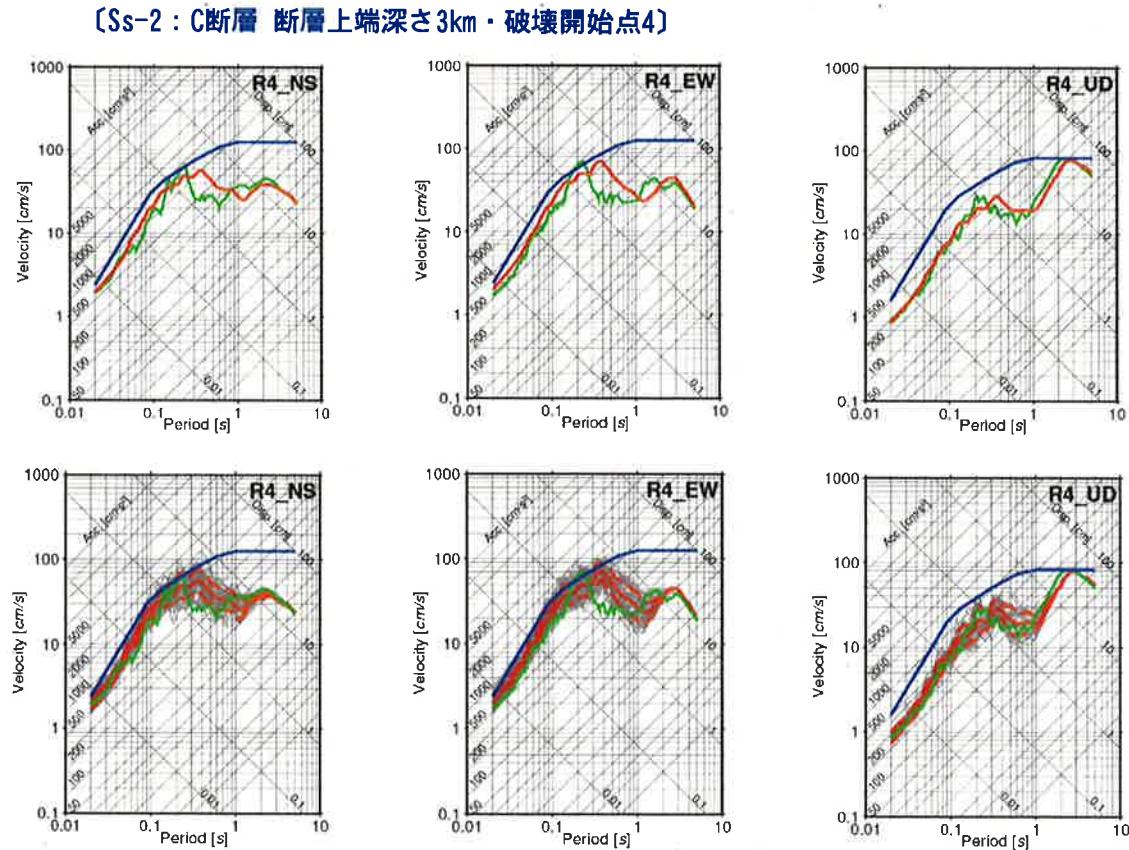


図 I -1-9 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (2)

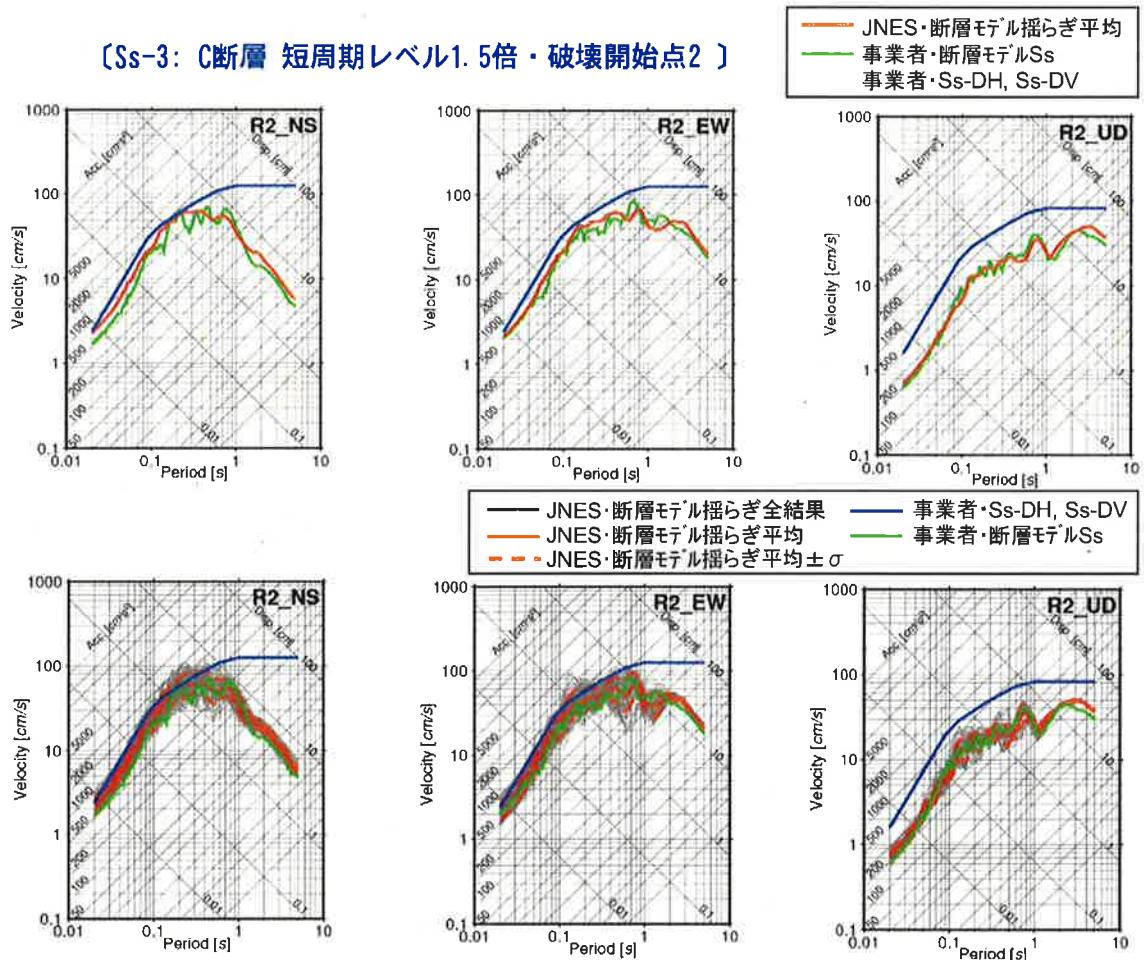


図 I - 1-10 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (3)

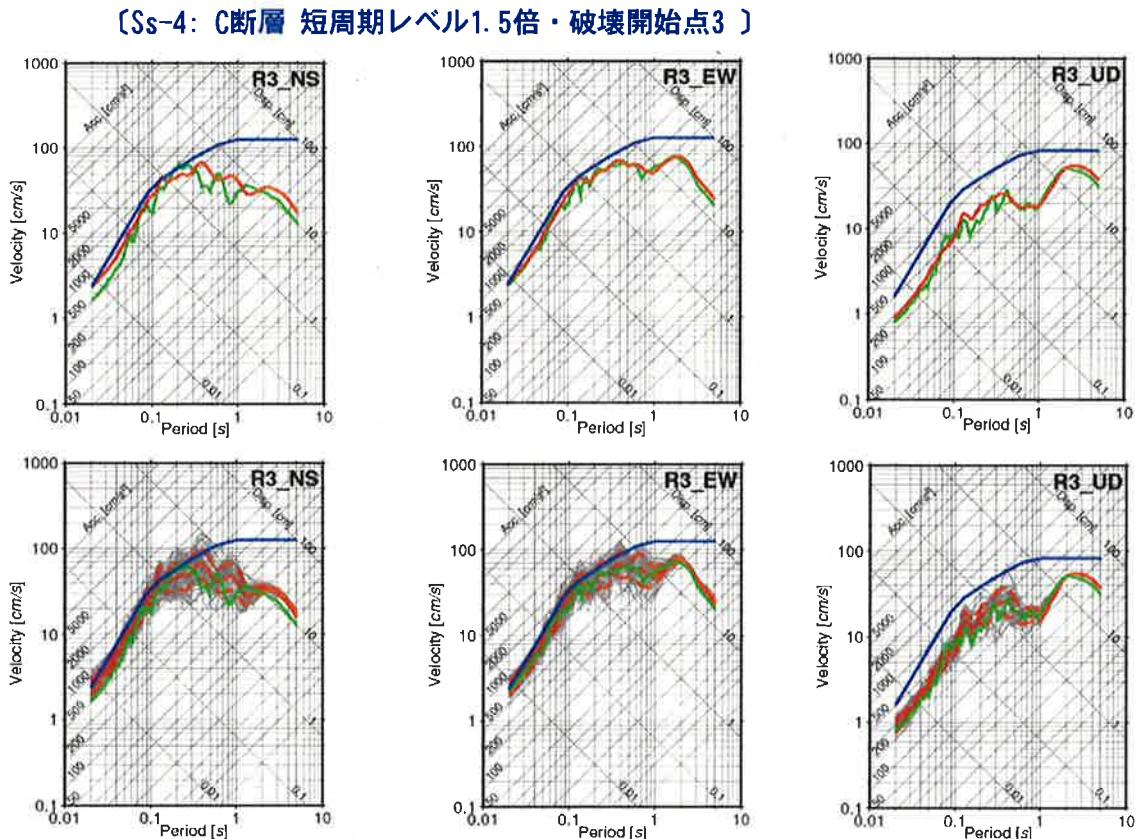


図 I - 1-11 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (4)

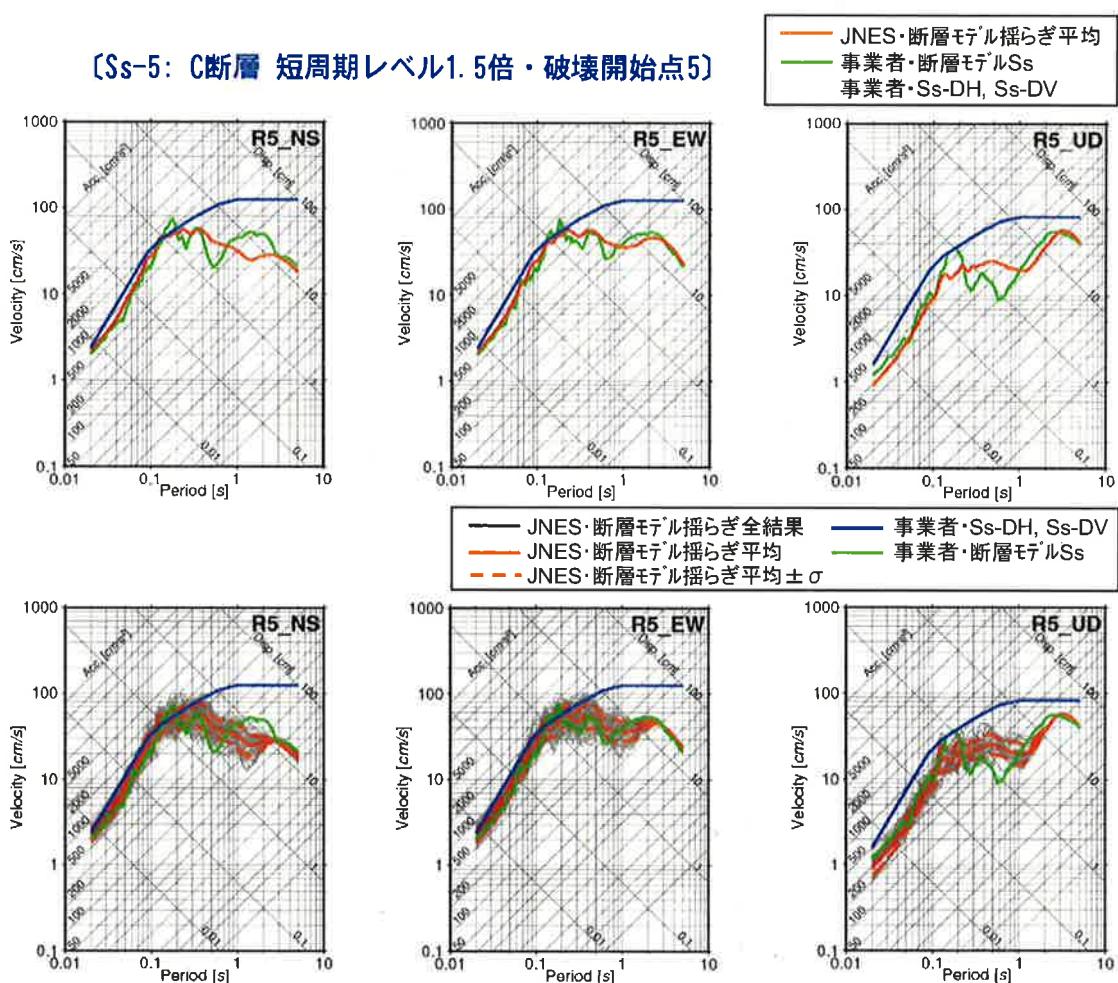


図 I -1-12 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (5)

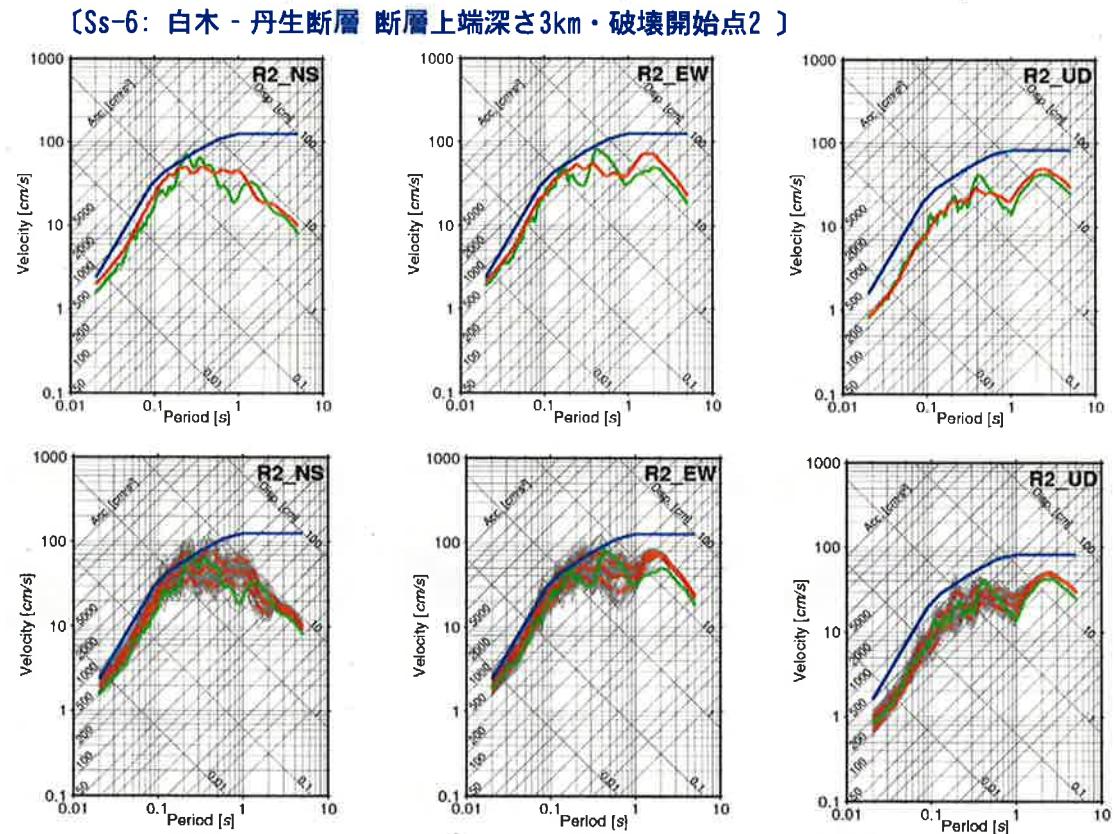


図 I -1-13 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (6)

[Ss-7: 白木 - 丹生断層 断層上端深さ3km・破壊開始点3]

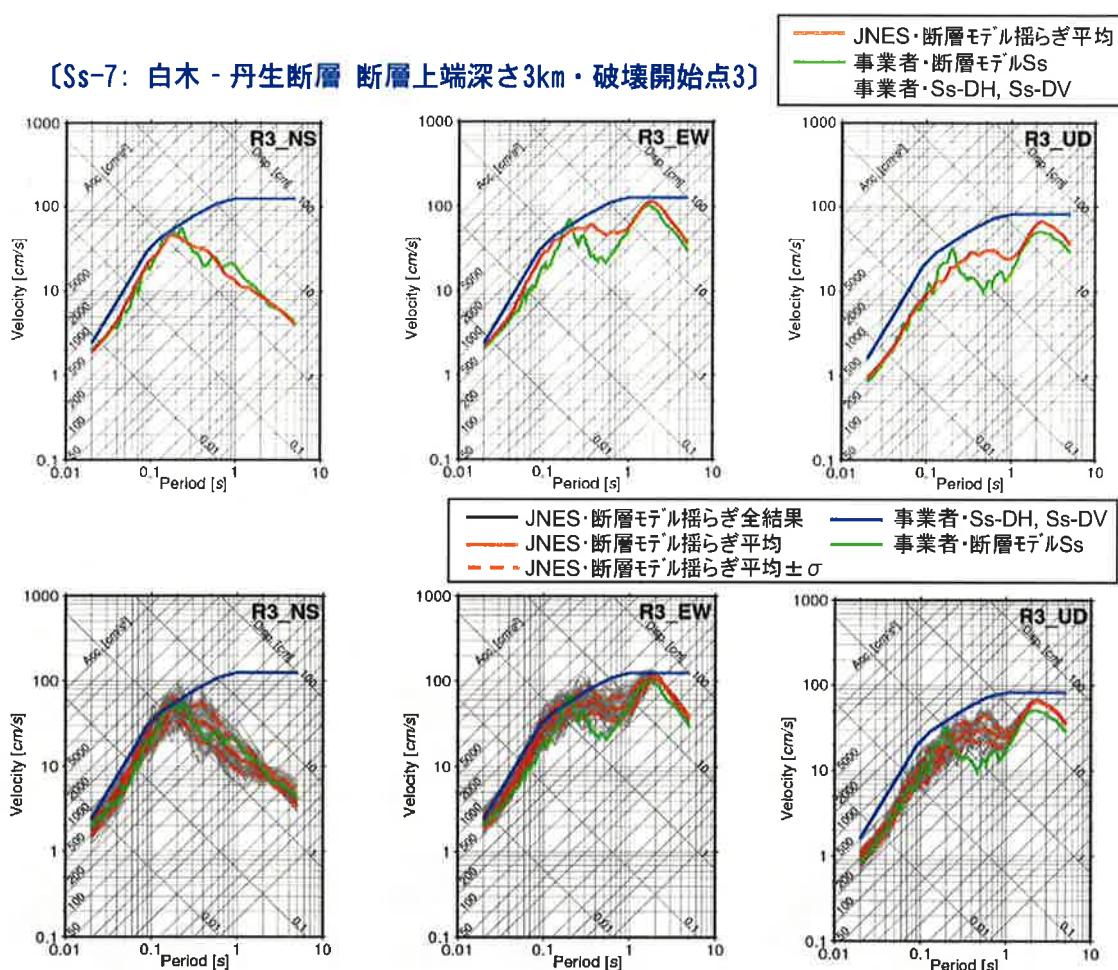


図 I-1-14 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (7)

[Ss-8: 白木 - 丹生断層 断層上端深さ3km・破壊開始点5]

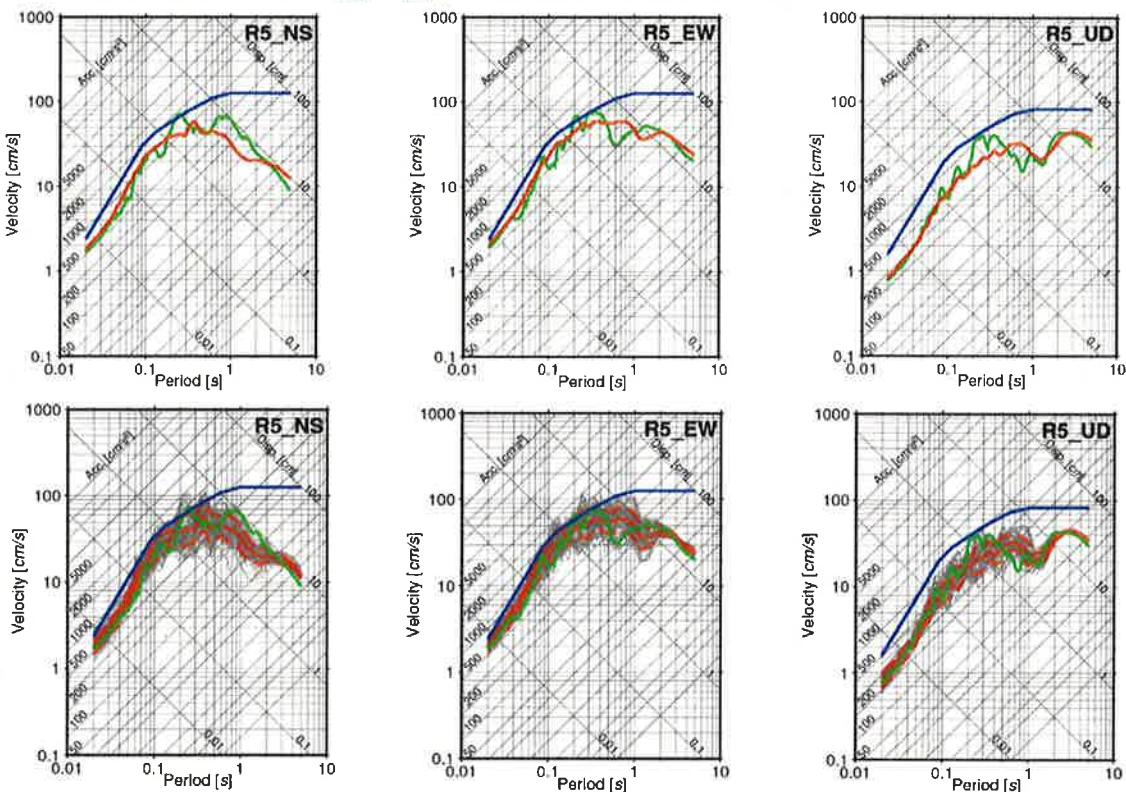


図 I-1-15 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (8)

[Ss-9:白木 - 丹生 短周期レベル1.5倍・破壊開始点5)

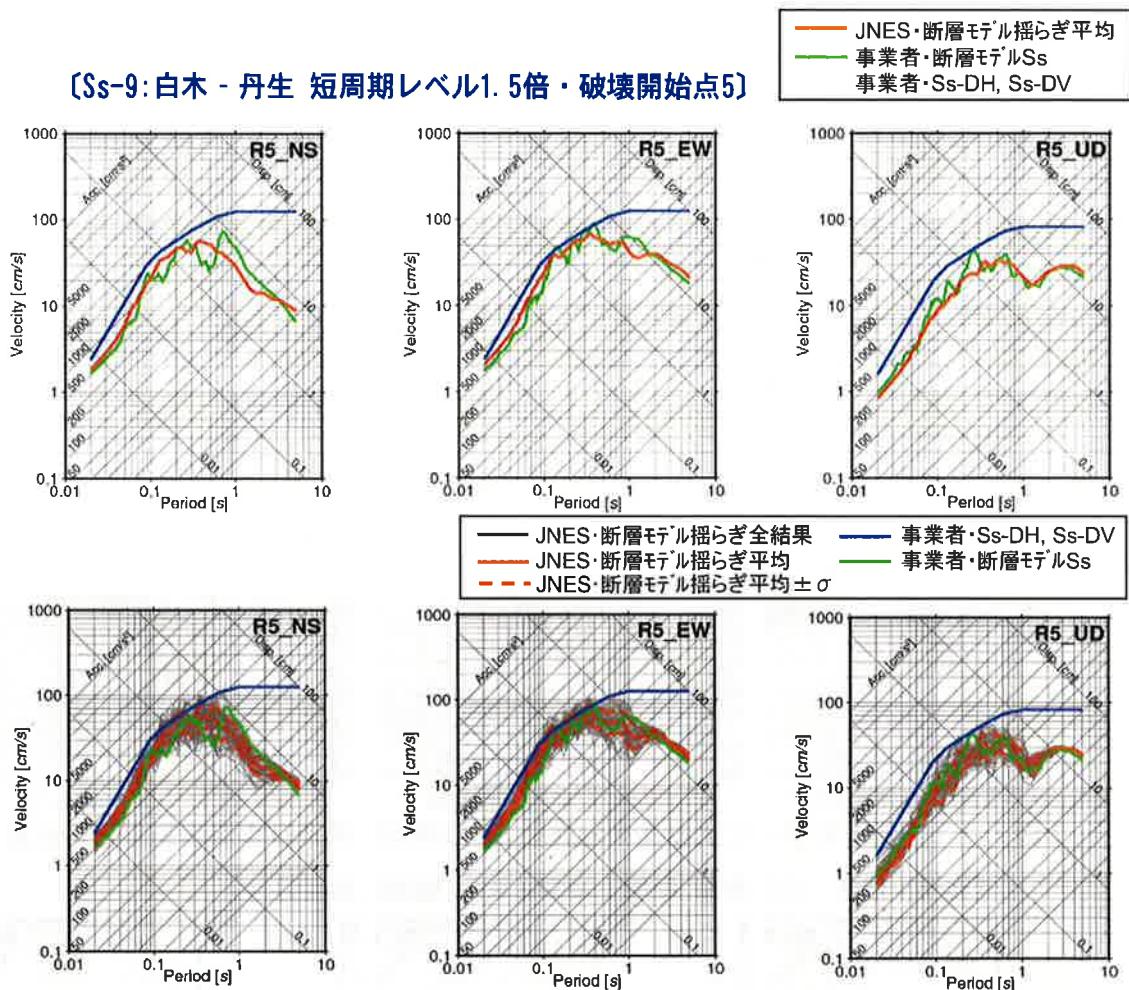
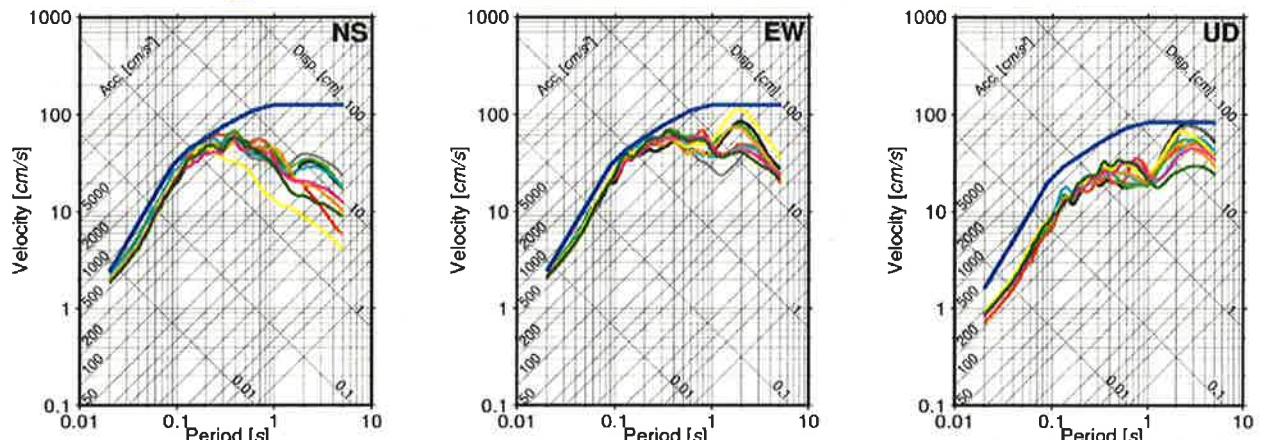


図 I-1-16 断層モデルによる基準地震動 Ss の解析結果及び事業者結果との比較 (9)

■ JNES・Ss-1 ~ Ss-9 解析結果・平均応答スペクトルの重ね書き



■事業者が設定したSs-1 ~ Ss-9応答スペクトルの重ね書き

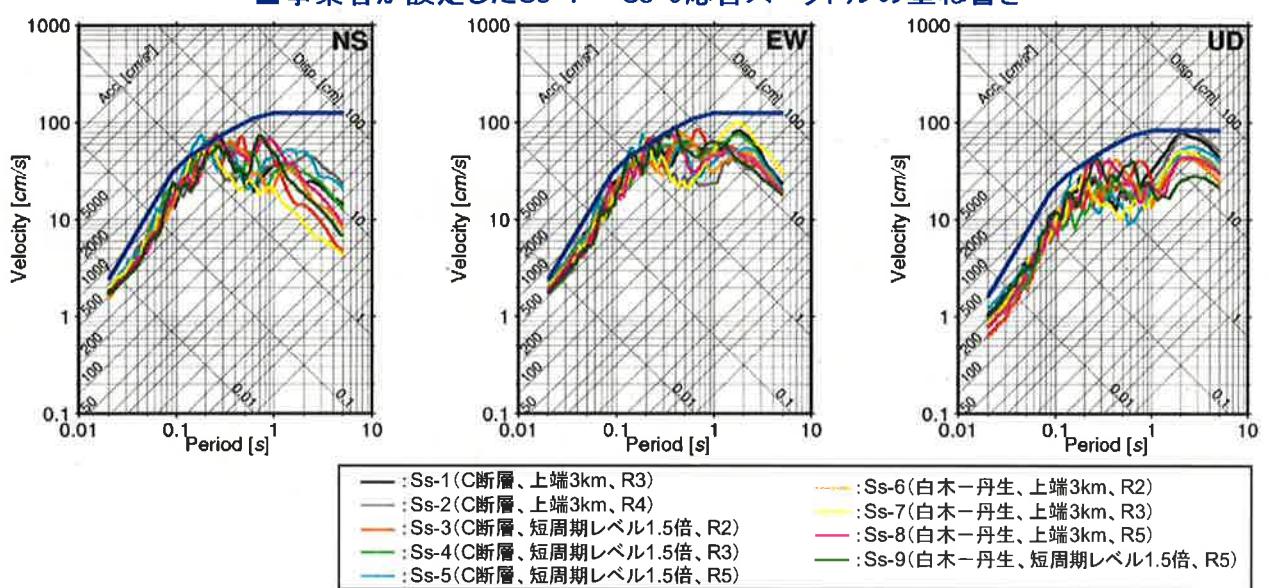
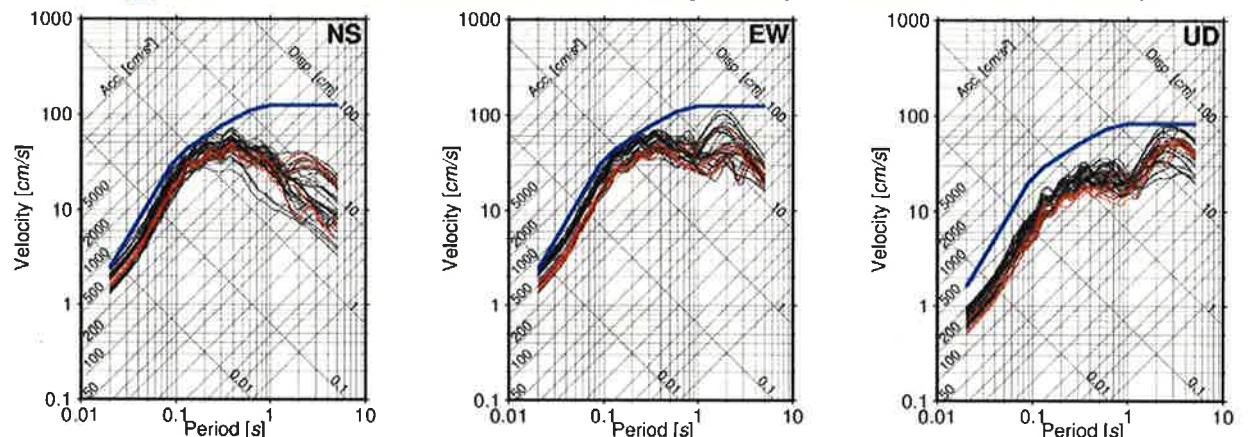


図 I -1-17 Ss-1～Ss-9 の全解析結果の比較

— JNES・Ss-1～9平均  
 — JNES・基本震源モデル平均  
 — 事業者・Ss-DH, Ss-DV

■ JNES Ss-1～Ss-9及び基本震源モデル解析結果・平均応答スペクトルの比較



■事業者が設定したSs-1～Ss-9基本震源モデル・応答スペクトルの比較

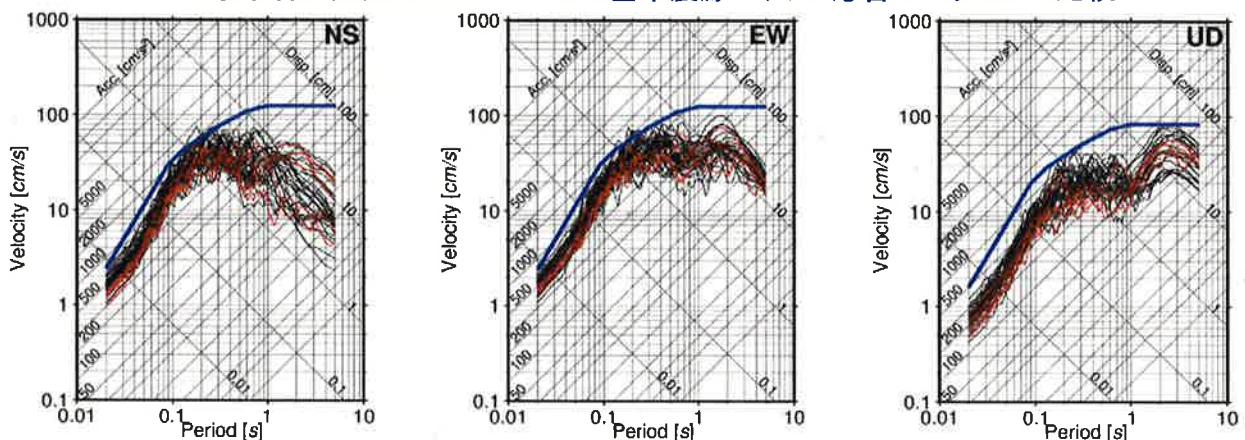


図 I -1-18 Ss-1～Ss-9 と基本震源モデルの解析結果の比較

## [ C断層解析結果比較 ]

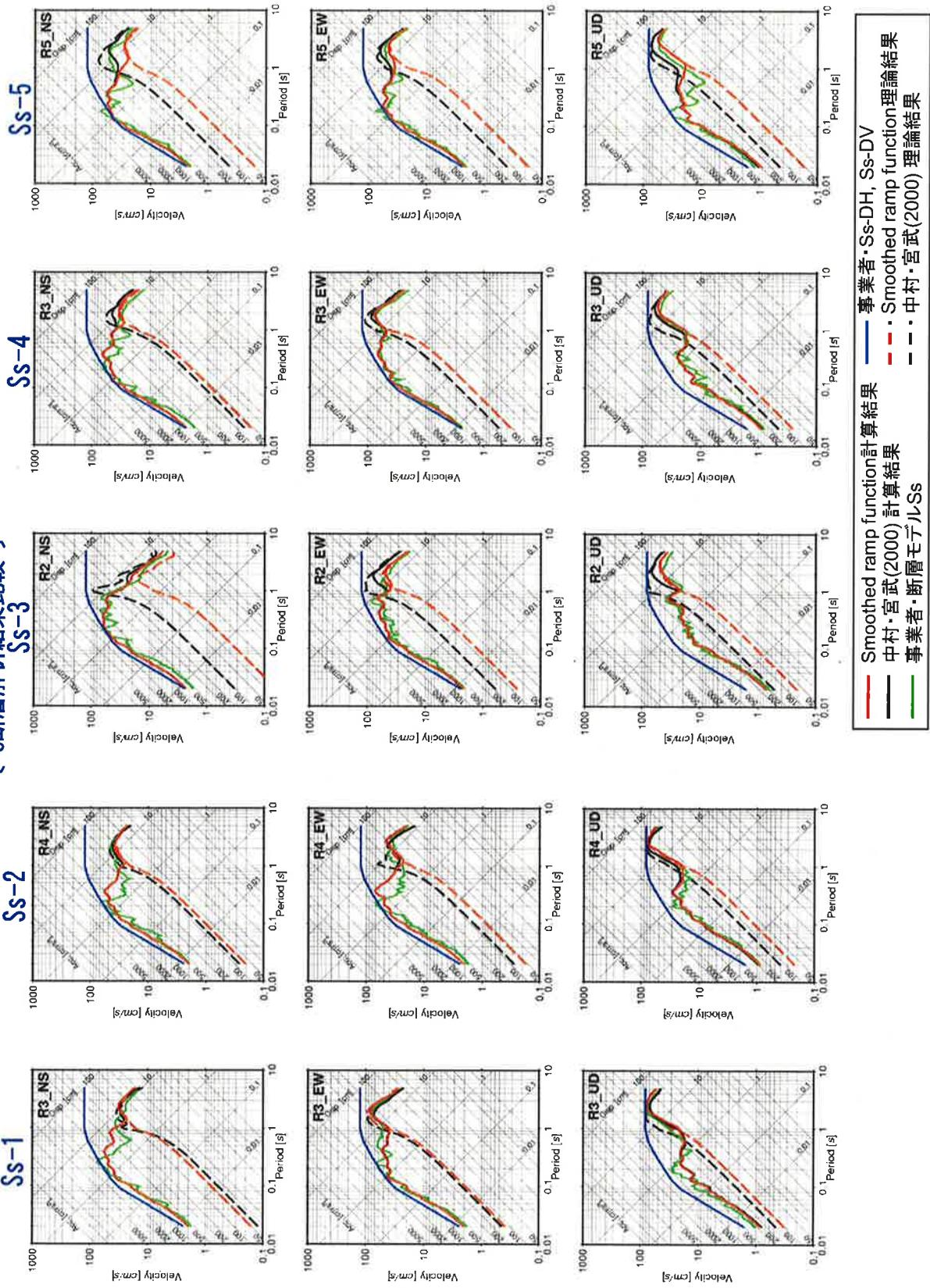


図 I -1-19 すべり速度関数に中村・宮武(2000)を用いた長周期地震動との比較 (1)

[ 白木 - 丹生断層解析結果比較 ]

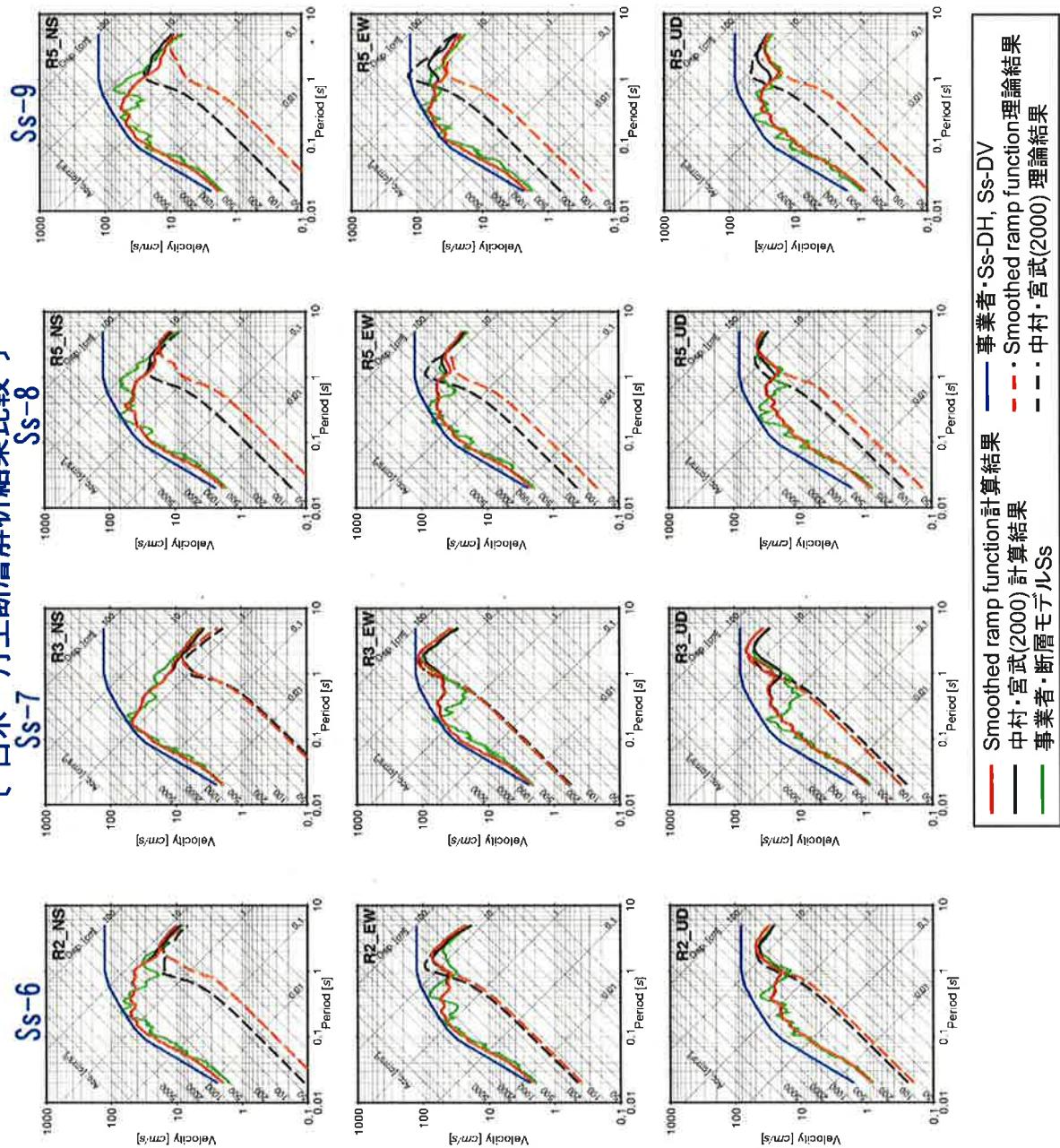
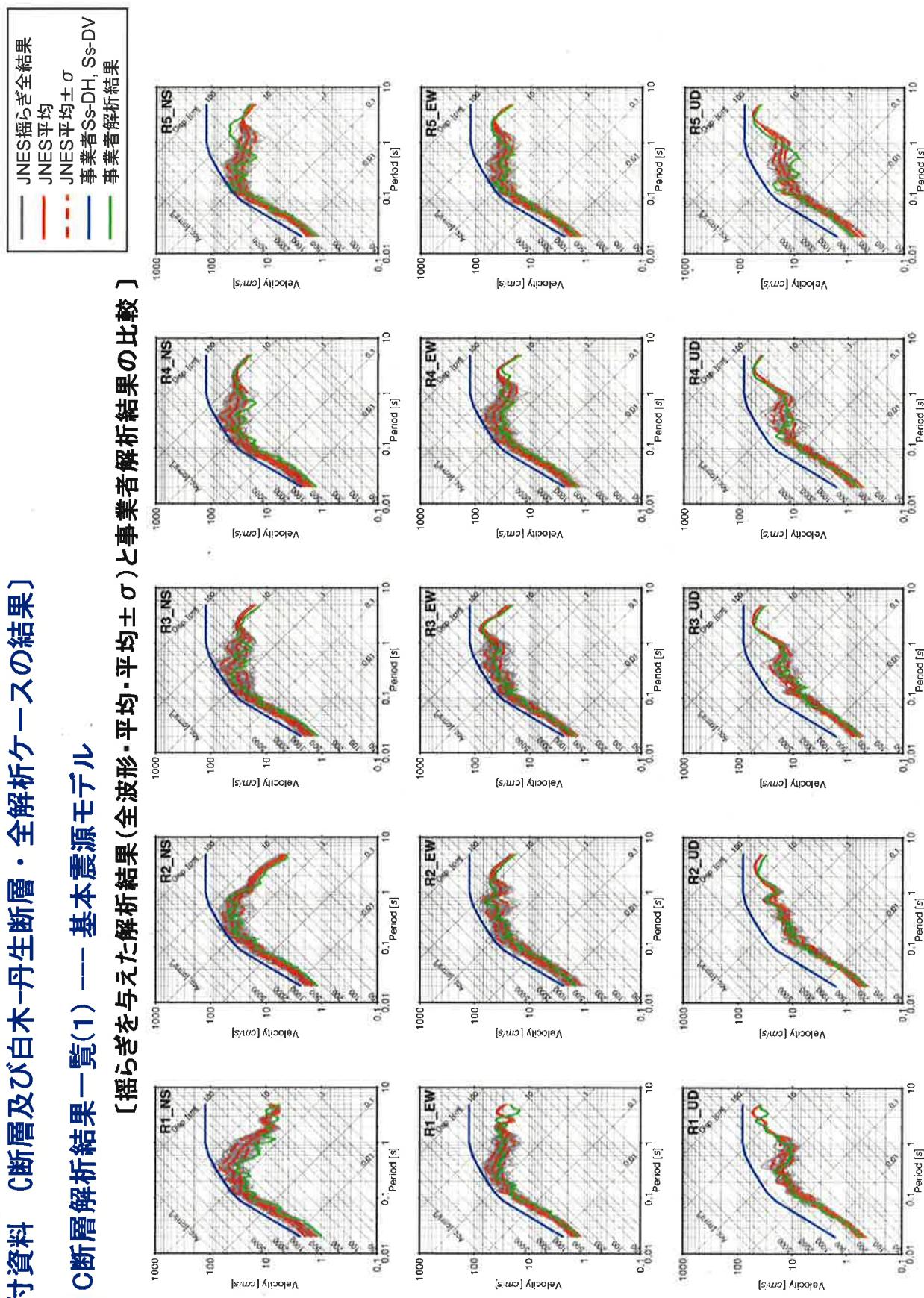


図 I -1-20 すべり速度関数に中村・宮武(2000)を用いた長周期地震動との比較 (2)

## [添付資料 C断層及び白木-丹生断層・全解析ケースの結果]

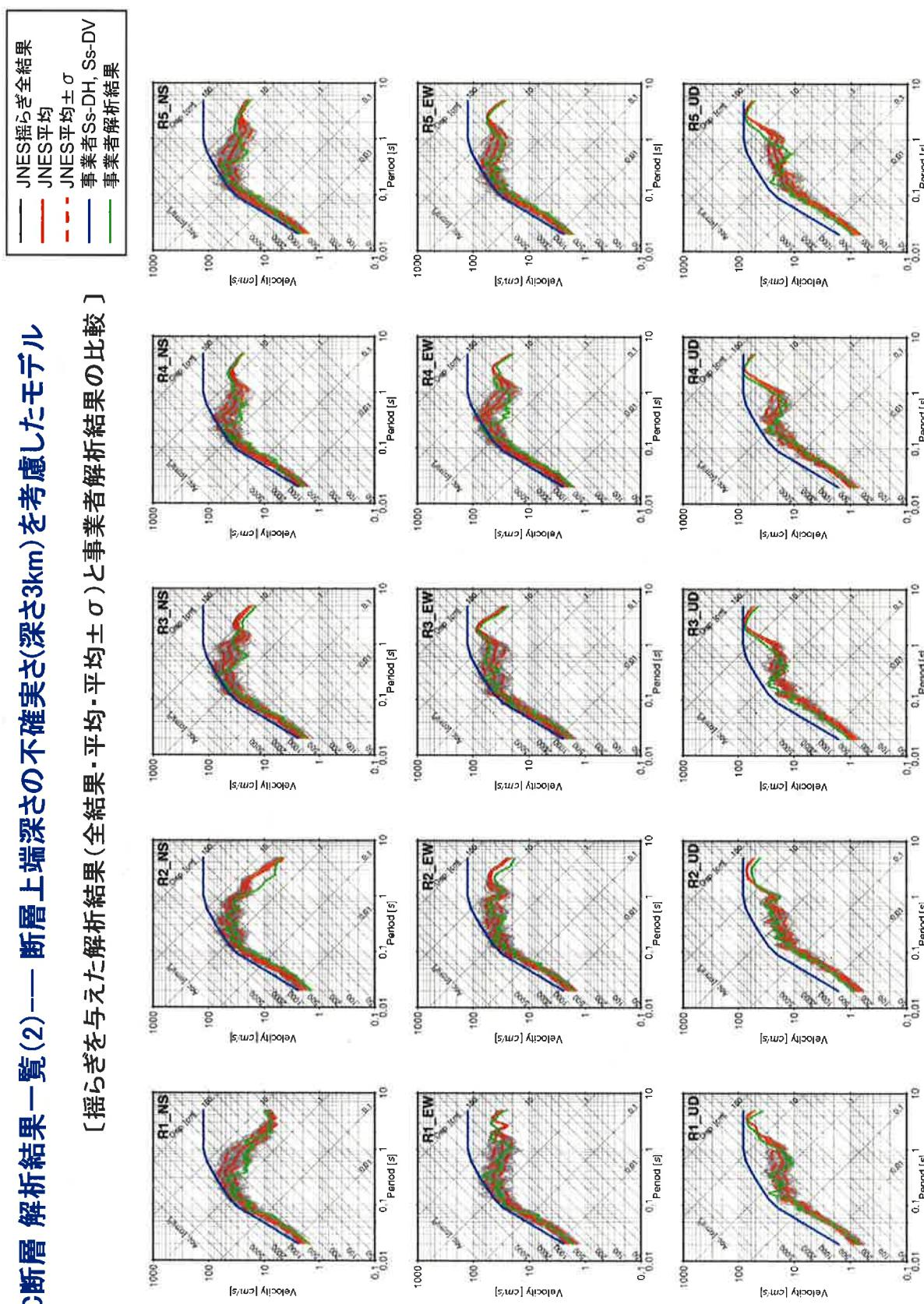
### ■ C断層解析結果一覧(1) — 基本震源モデル

#### 〔揺らぎを与えた解析結果(全波形・平均・平均土 $\sigma$ )と事業者解析結果の比較〕



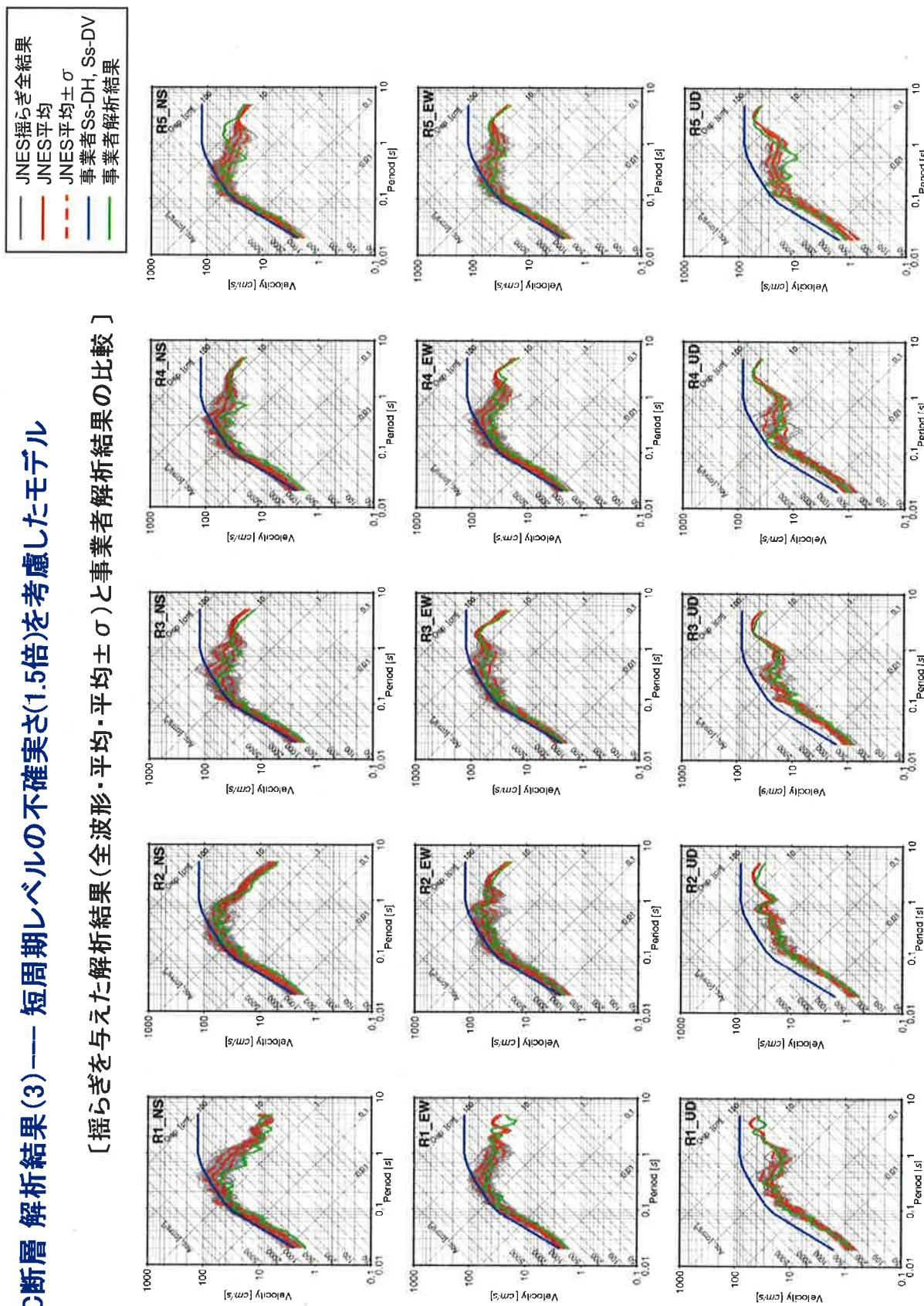
## ■ C断層 解析結果一覧(2)——断層上端深さの不確定さ(深さ3km)を考慮したモデル

[揺らぎを与えた解析結果(全結果・平均・平均土 $\sigma$ )と事業者解析結果の比較]



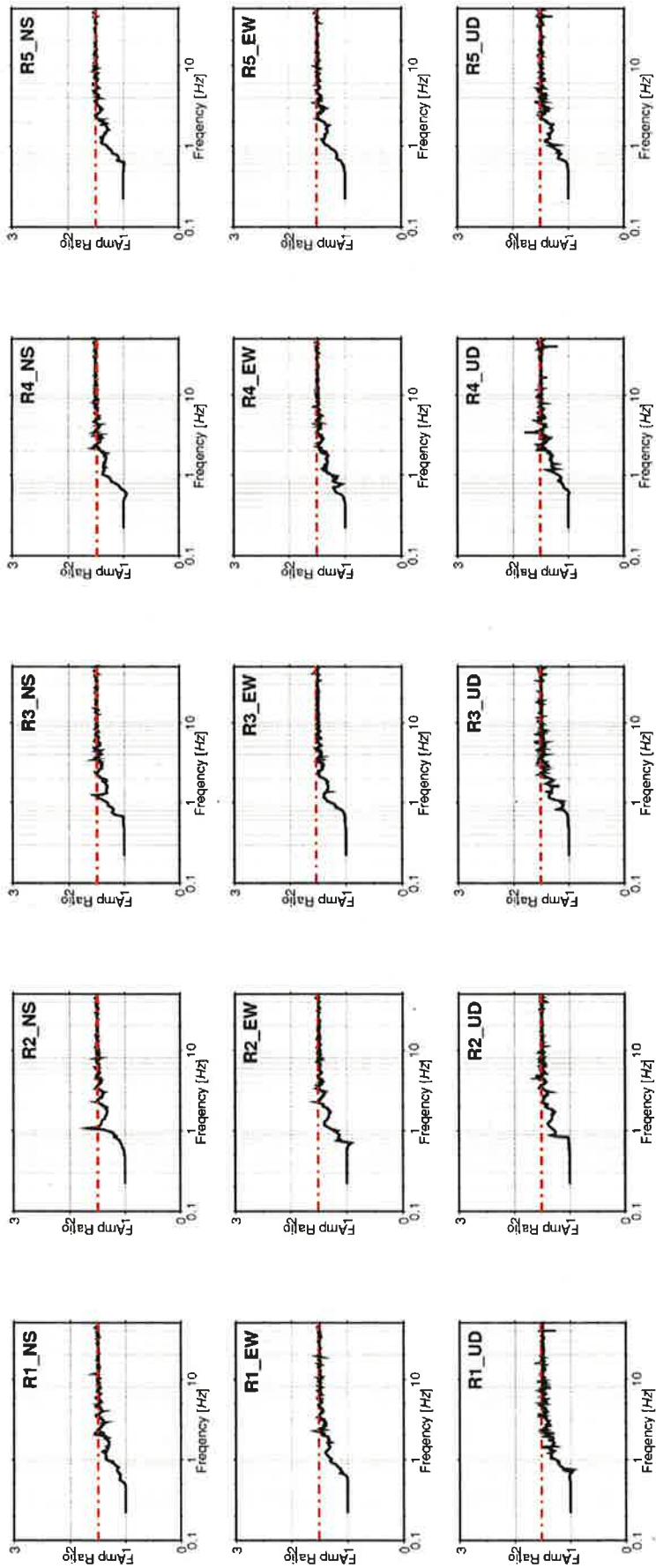
## ■ C断層 解析結果(3)——短周期レベルの不確実さ(1.5倍)を考慮したモデル

[揺らぎを与えた解析結果(全波形・平均・平均土 $\sigma$ )と事業者解析結果の比較]



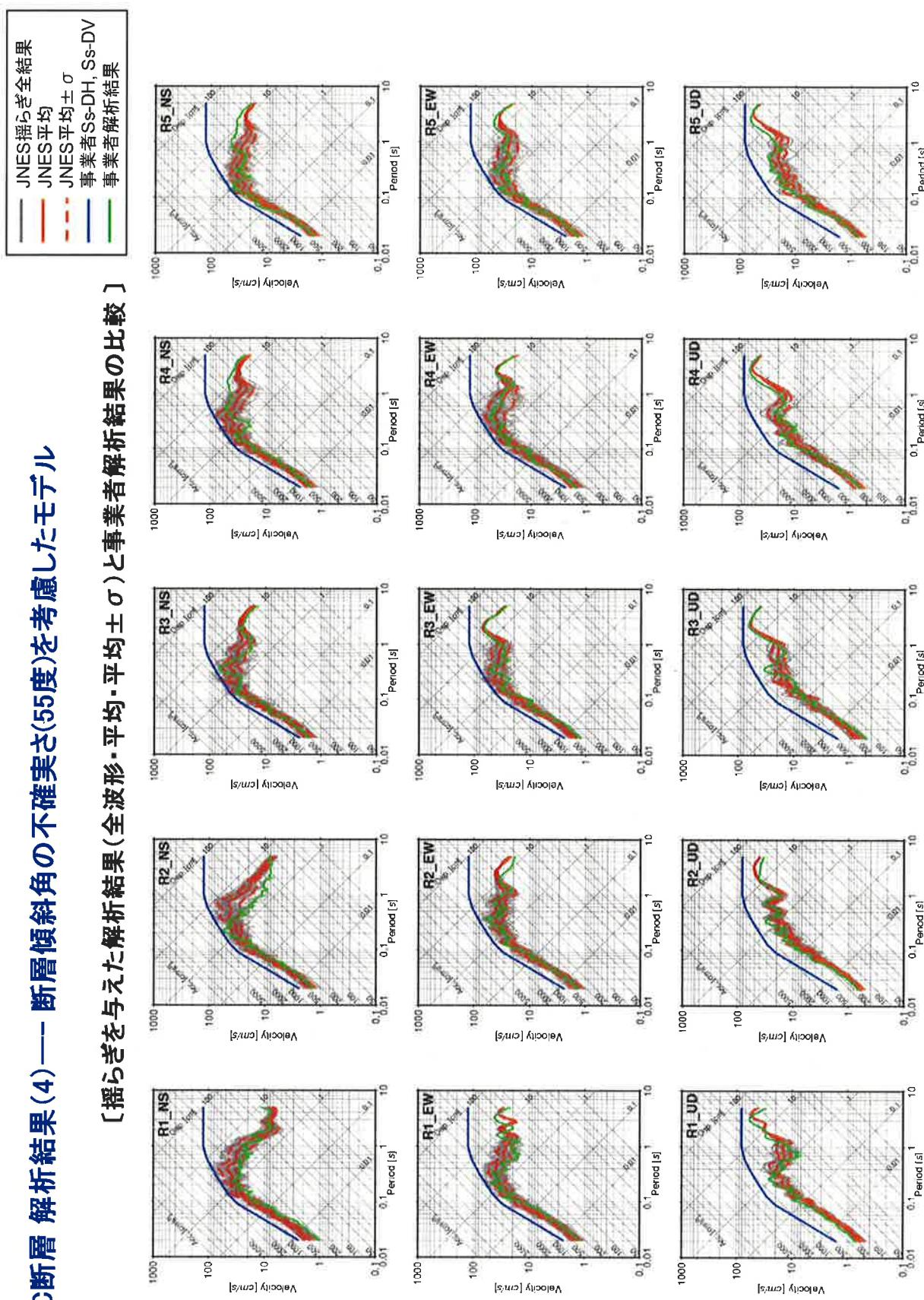
■ 短周期レベルの不確実さ(1.5倍)を考慮したモデルと基本震源モデルのフーリエスペクトル比

[揺らぎを与えた解析結果のフーリエスペクトルの平均の比率 (短周期レベル1.5倍のモデル/基本震源モデル)]



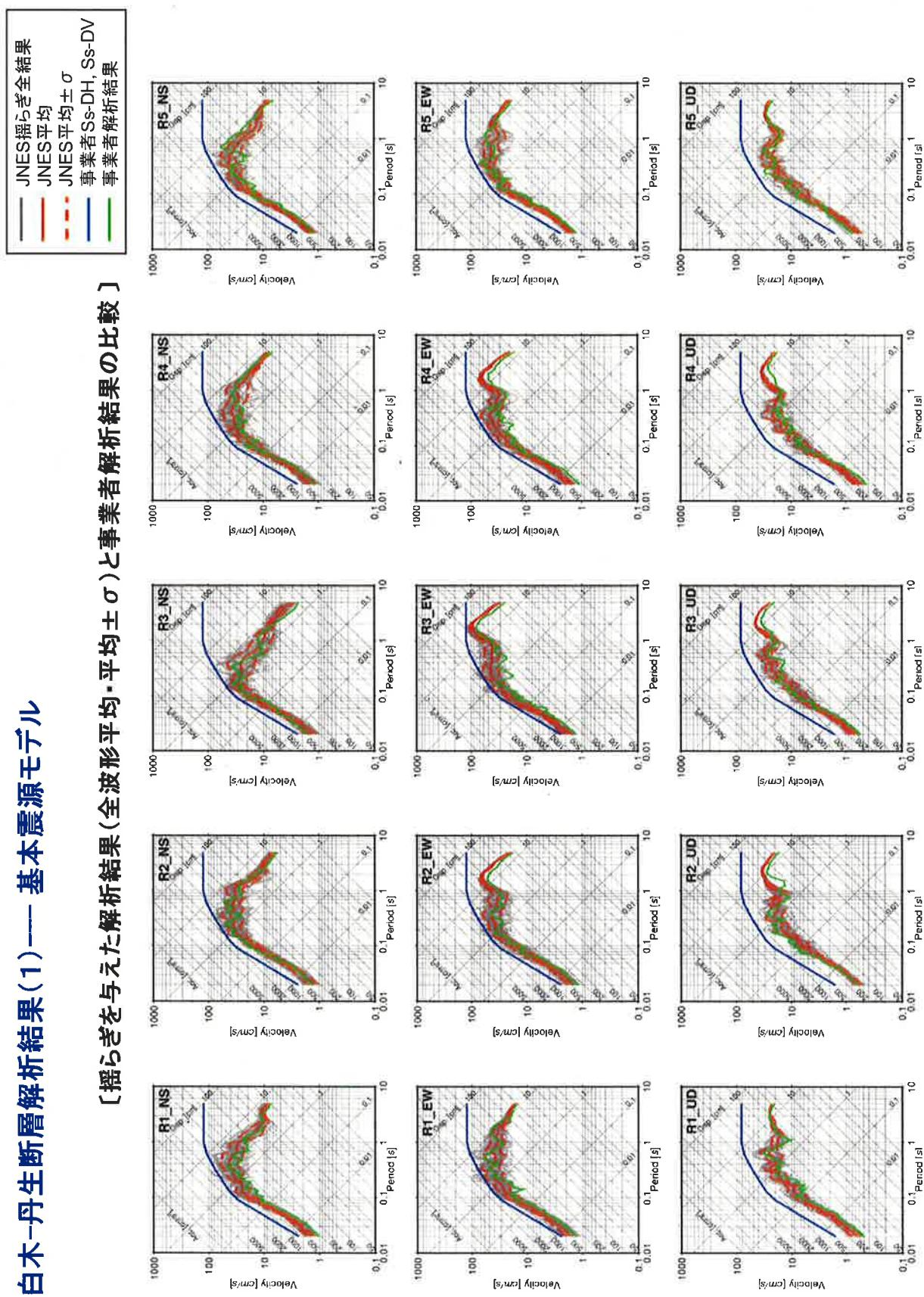
## ■ C断層 解析結果(4)——断層傾斜角の不確実さ(55度)を考慮したモデル

[揺らぎを与えた解析結果(全波形・平均・平均土 $\sigma$ )と事業者解析結果の比較]



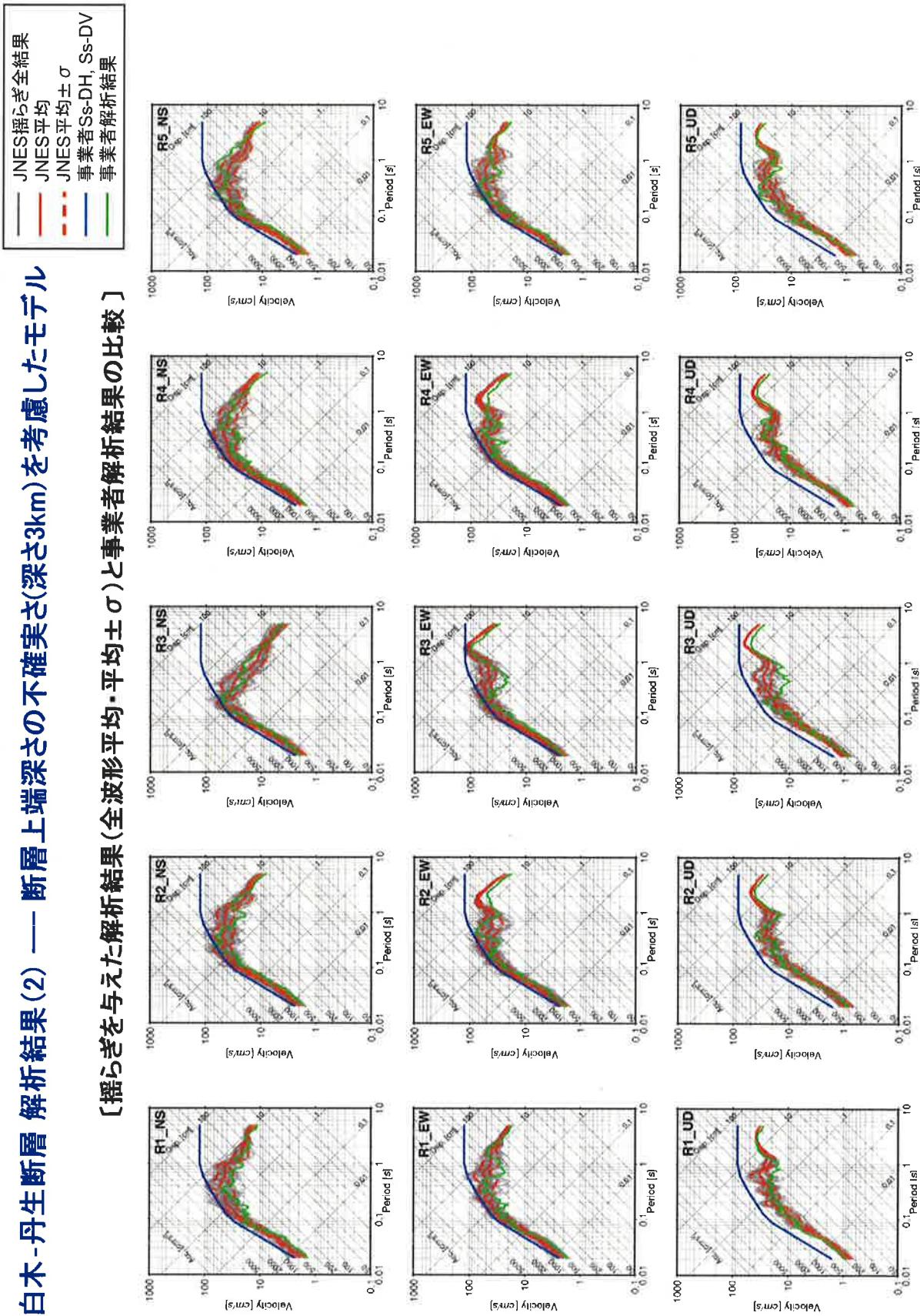
## ■ 白木-丹生断層解析結果(1)——基本震源モデル

### 〔揺らぎを与えた解析結果(全波形平均・平均土 $\sigma$ )と事業者解析結果の比較〕



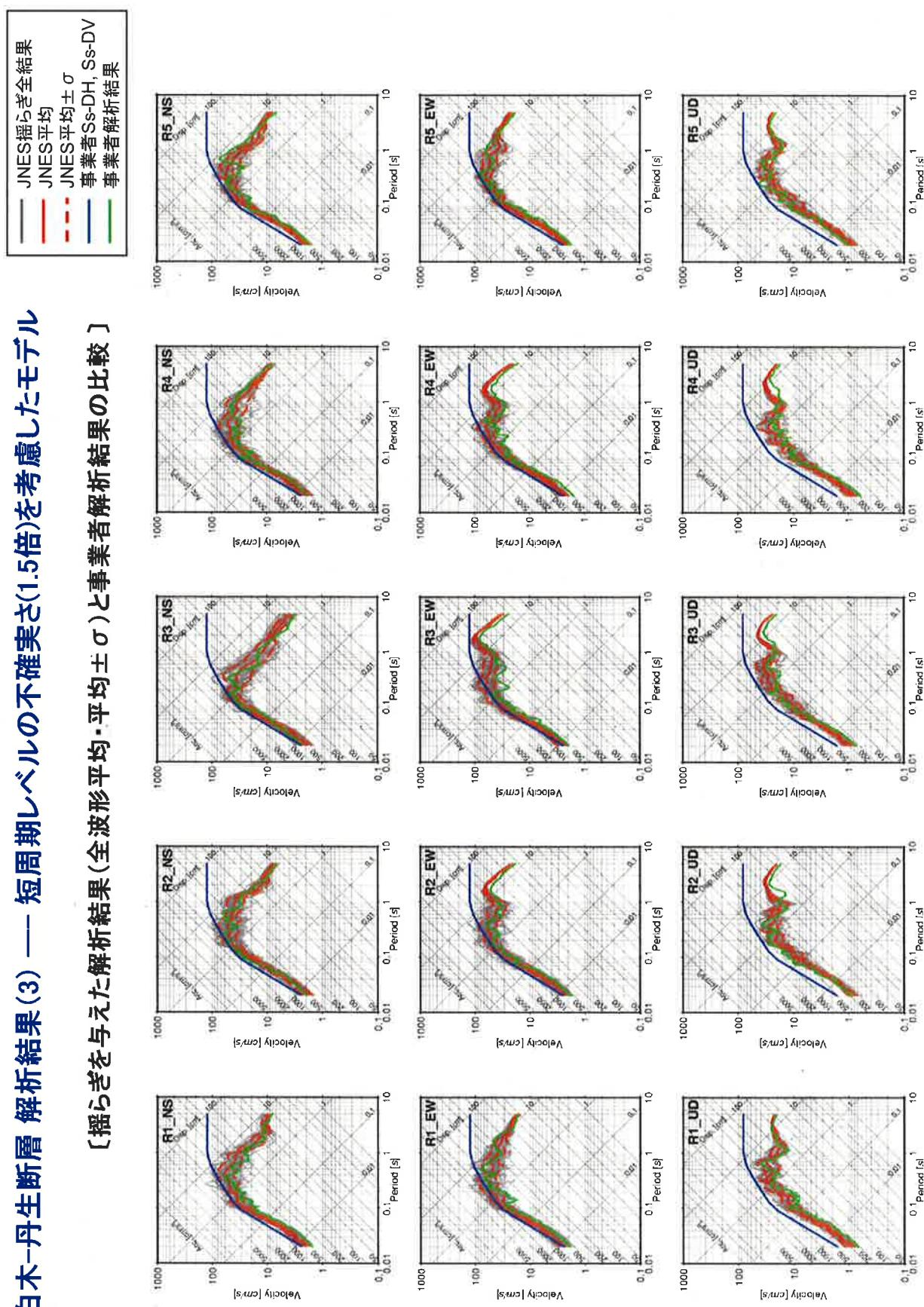
## ■ 白木-丹生断層 解析結果(2) —— 断層上端深さの不確実さ(深さ3km)を考慮したモデル

[揺らぎを与えた解析結果(全波形平均・平均土 $\sigma$ )と事業者解析結果の比較]



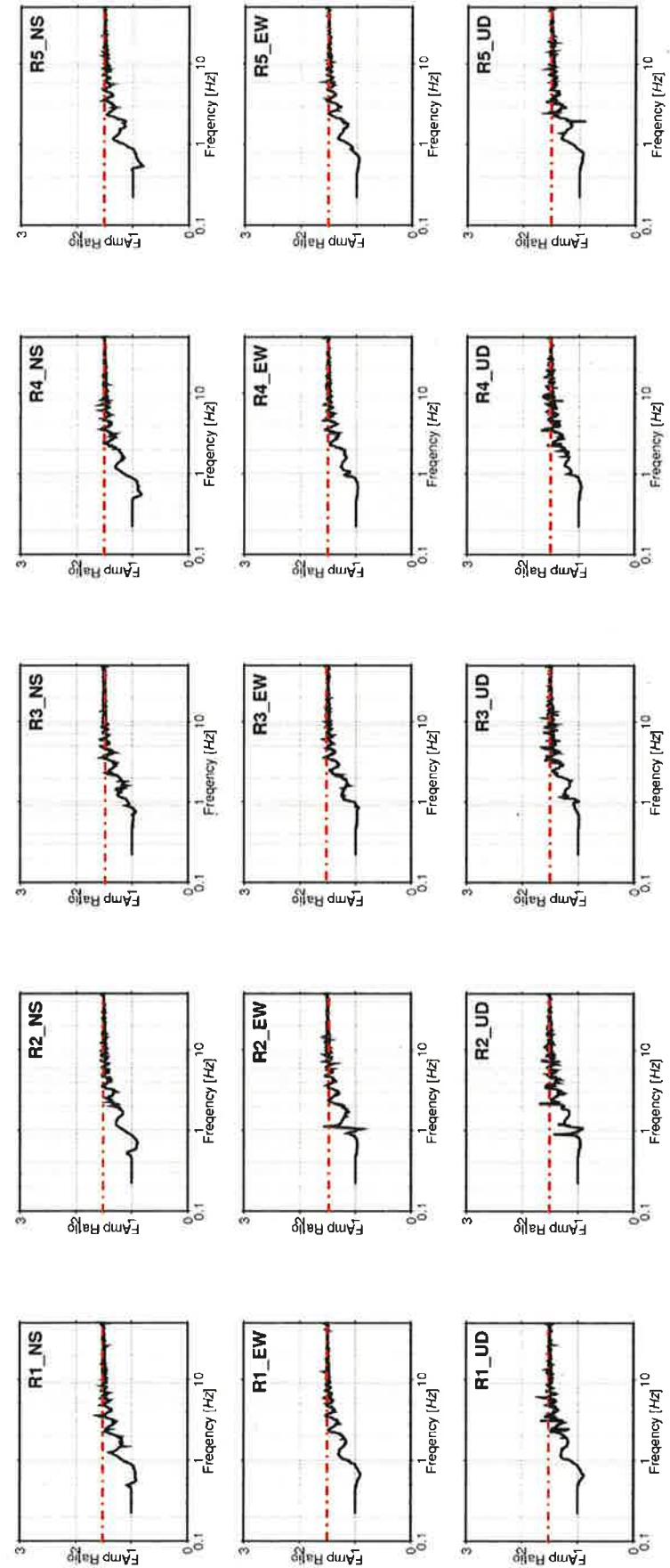
## ■ 白木-丹生断層 解析結果(3) —— 短周期レベルの不確実さ(1.5倍)を考慮したモデル

〔揺らぎを与えた解析結果(全波形平均・平均土 $\sigma$ )と事業者解析結果の比較〕



## ■ 短周期レベルの不確実さ(1.5倍)を考慮したモデルと基本震源モデルのフーリエスペクトル比

[揺らぎを与えた解析結果のフーリエスペクトルの平均の比率 (短周期レベル1.5倍のモデル/基本震源モデル)]



## [参考資料] もんじゅの経験的サイト增幅特性及び地盤構造モデル(減衰特性)の評価

(Cサブグループ第14回資料再掲)

### 1. 経験的サイト增幅特性の評価 (1)

#### ■ 鶴来ほか(1997)に基づく評価手法の概要

地表の「観測スペクトル」と、地震の $\omega^{-2}$ 則に基づく地震基盤における「基盤スペクトル」の比からサイト增幅特性を算出

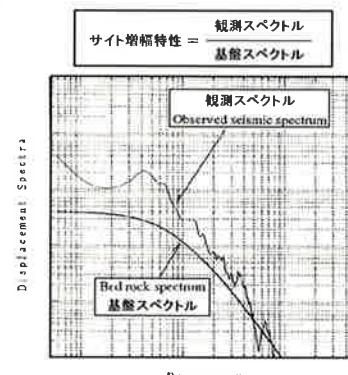
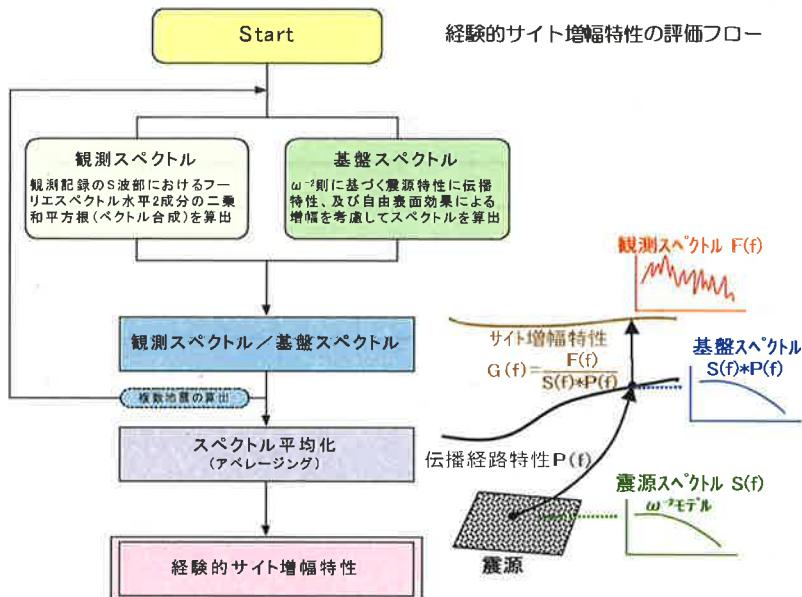


Fig. 1. Schematic illustration for calculating site amplification effects. Site amplification effects is defined as the ratio of observed seismic spectrum (thin line) to the "bed rock spectrum" (thick line) in the present study.

経験的サイト增幅特性の定義  
鶴来ほか(1997)に加筆

### 1. 経験的サイト增幅特性の評価 (2)

#### ■ 基盤スペクトルの算出方法

##### a. 震源特性 $S_i(f)$ を式(1)より算定する

$$S_i(f) = M_{oi} \frac{R_{\theta\phi} F_S P_{RTTN}}{4\pi\rho V_s^3} \frac{(2\pi f)^2}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_{max}}\right)^{2m}}} \quad (1)$$

但し、 $f$ は振動数(Hz)、 $M_{oi}$ は地震モーメント、 $R_{\theta\phi}$ は放射特性、 $F_S$ は自由表面の増幅、 $P_{RTTN}$ はエネルギーを2つの成分に分配する係数、 $\rho$ は地殻の密度、 $V_s$ は地殻のS波速度、 $f_c$ はコーナー周波数、 $f_{max}$ は高域遮断周波数、 $m$ は高域遮断特性のべき乗根、 $i$ は地震の数(1~n)である。

##### b. 断層から地震基盤までの伝播経路特性 $P_i(f)$ を、地殻と地震基盤のインピーダンス比の違いによる増幅率と合わせて式(2)より算定する

$$P_i(f) = \frac{1}{R_i} \exp\left(-\frac{\pi R_i f}{Q(f) V_s}\right) \sqrt{\frac{\rho_i V_s}{\rho_B V_{SB}}} \quad (2)$$

但し、 $R_i$ は震源距離、 $Q(f)$ は周波数ごとに定義された当該地域の内部減衰を表す係数、 $\rho_B$ は地震基盤の密度、 $V_{SB}$ は地震基盤のS波速度である。

##### c. サイト增幅特性 $G_i(f)$ を式(3)により算定する

$$|G_i(f)| = \frac{|F_i(f)|}{|S_i(f)P_i(f)|} \quad (3)$$

なお、式(3)で用いる地震動の加速度フーリエスペクトル  $F_i(f)$  はトランスマース(TR)成分である。また、フーリエスペクトルの計算を行う解析区間はS波主要動を含む4秒間とし、うち前後1秒にコサインテープを施す(解析区間は計4秒間)。フーリエスペクトルはバンド幅0.2HzのParzenウィンドウで平滑化を行う。

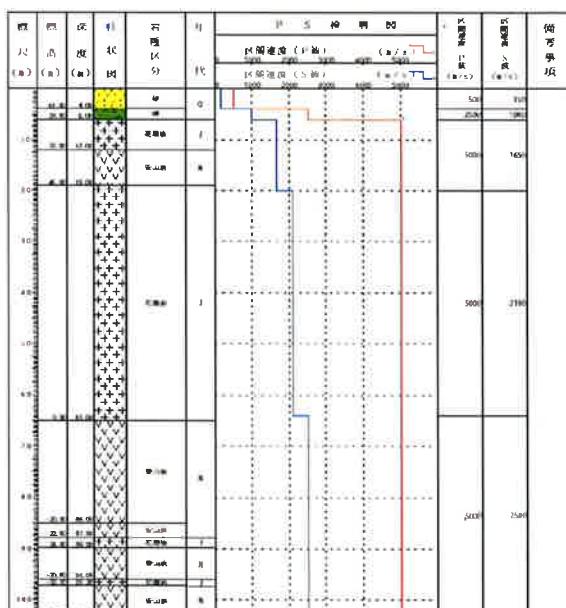
## 1. 経験的サイト增幅特性の評価 (3)

### ■震源特性・伝播経路特性に関するパラメータ

地震モーメント	$M_o$	F-NETから引用
放射特性	$R_{\theta \phi}$	0.63
自由表面の増幅	$F_s$	2.0
分配係数	$P_{RTTN}$	0.707(1.0/sqrt(2.0))
地殻密度	$\rho$	2.70 g/cm <sup>3</sup>
地殻S波速度	$V_s$	3.6 km/s
地震基盤密度	$\rho_B$	2.61 g/cm <sup>3</sup>
地震基盤S波速度	$V_{SB}$	2.5 km/s
コーナー周波数	$f_c$	観測記録からグリッドサーチにより算出
高域遮断周波数	$f_{max}$	観測記録からグリッドサーチにより算出
高域遮断特性	$m$	2.0(べき乗根2m=4.0)
減衰	$Q(f)$	$Q(f) = 50.0f^{1.1}$ (佐藤ほか(2007)より設定)

## 1. 経験的サイト增幅特性の評価 (4)

### ■永平寺観測点の状況



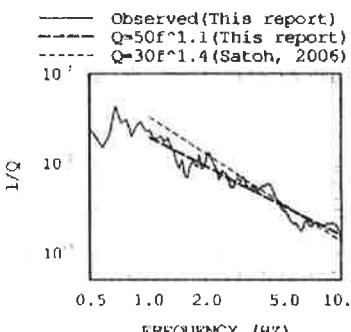
ボーリング柱状図  
(防災科学技術研究所)

永平寺観測点において同定された地盤構造  
(佐藤ほか(2007))

層番号	層厚*	密度** (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	減衰定数	P波速度* (m/s)
1	4.0	1.47	68.3	0.0067	500.0
2	2.0	2.19	600.1	0.1522	2500.0
3	14.0	2.61	990.0	0.0920	5000.0
4	44.0	2.61	1864.0	0.0490	5000.0
5	36.0	2.61	2500.0	0.0365	5000.0
6	-	2.61	2500.0	0.0365	5000.0

\* 防災科学技術研究所

\*\* P波速度からGardner et al. (1974)に基づき換算

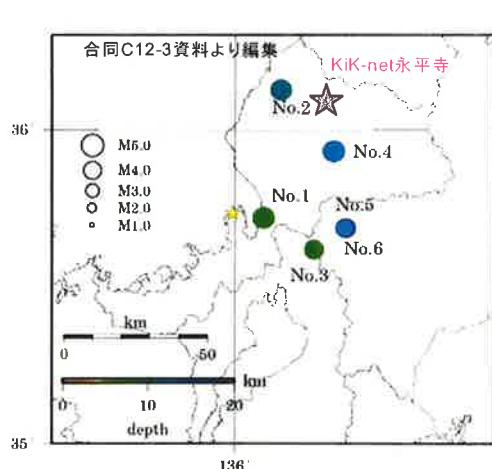


若狭湾周辺のQ値( $Q=50f^{1.1}$ )  
(佐藤ほか(2007))

## 1. 経験的サイト增幅特性の評価（5）

### ■ KiK-net永平寺観測点における経験的サイト增幅特性評価手法の適用

マグニチュード(Mj)5以下、震源深さ30km以浅、震央距離60km以内及びF-netメカニズム解品質95以上を条件とする内陸地殻内地震を6地震選定し、経験的サイト增幅特性を評価する



地震の震央及び観測点の位置  
(合同C12-3資料に加筆)

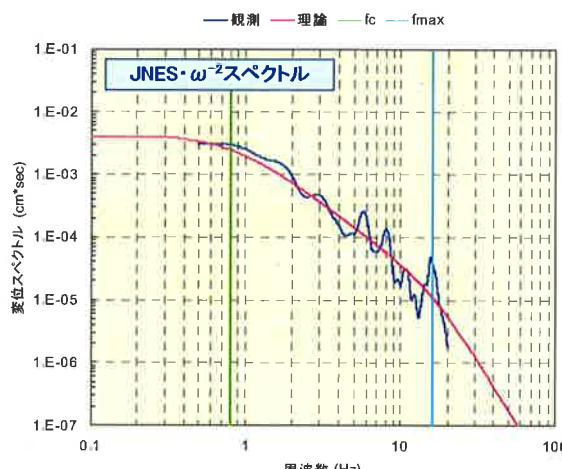
地震諸元の一覧表							
No.	緯度(deg.)	経度(deg.)	深さ(km)	Mj	震央距離(km)	震源距離(km)	方位角(deg.)
1	35.7205	136.1103	8.9	4.9	47.2	48.0	29.0
2	36.1268	136.1772	11.5	4.7	17.4	20.8	103.5
3	35.6185	136.3013	9.3	4.4	52.9	53.7	6.2
4	35.9333	136.3782	12.4	4.8	17.7	21.6	356.0
5	35.6885	136.4227	13.7	4.4	45.1	47.2	353.3
6	35.6883	136.4187	13.1	4.1	45.1	47.0	353.8

## 1. 経験的サイト增幅特性の評価（6）

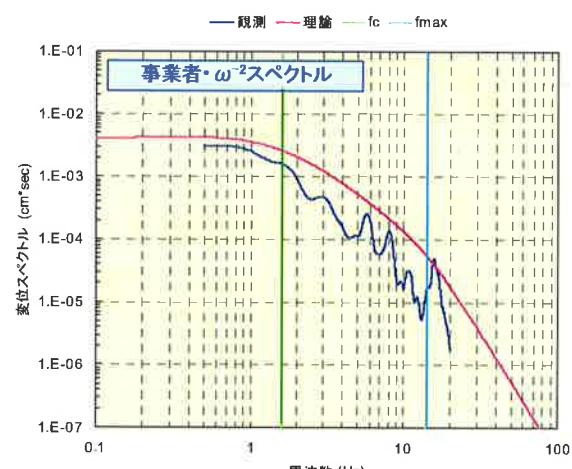
### ■ 永平寺観測点における基盤スペクトルの評価

- JNESの方法：F-netによる地震モーメントを用いて、観測記録(変位スペクトル、0.8HzのParzen ウィンドウで平滑化)からグリッドサーチによりコーナー周波数及び高域遮断周波数を決定し、基盤スペクトルを設定

(基盤スペクトル=震源スペクトル\*伝播経路特性 (Q=50 f<sup>1.1</sup>)



地震モーメント：F-netによる  
コーナー周波数：観測記録からグリッドサーチにより算出  
高域遮断周波数：14Hz

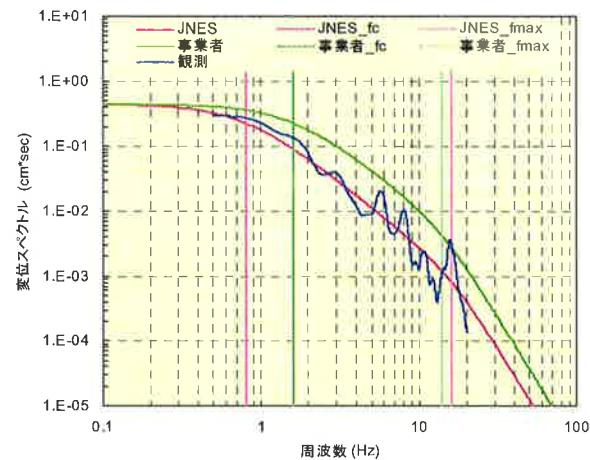


地震モーメント：F-netによる  
コーナー周波数：地震モーメントと応力降下量より算出  
高域遮断周波数：14Hz

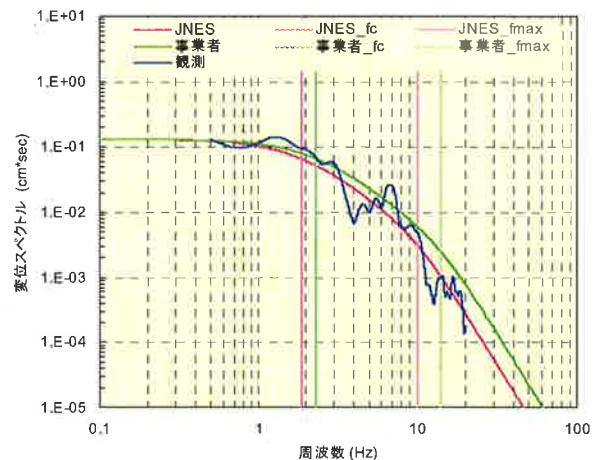
## 1. 経験的サイト增幅特性の評価 (7)

永平寺観測点

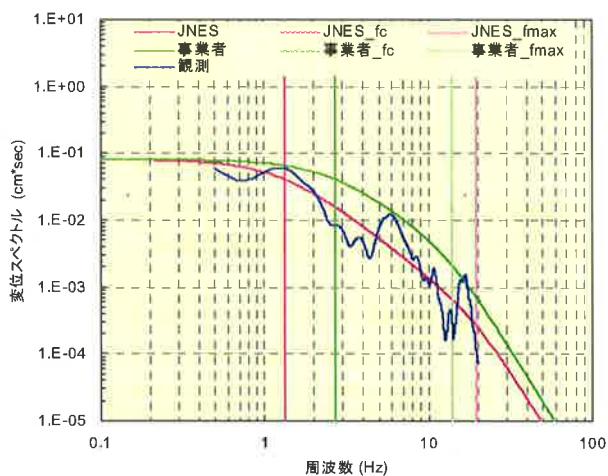
No.1地震 (Mj4.9)



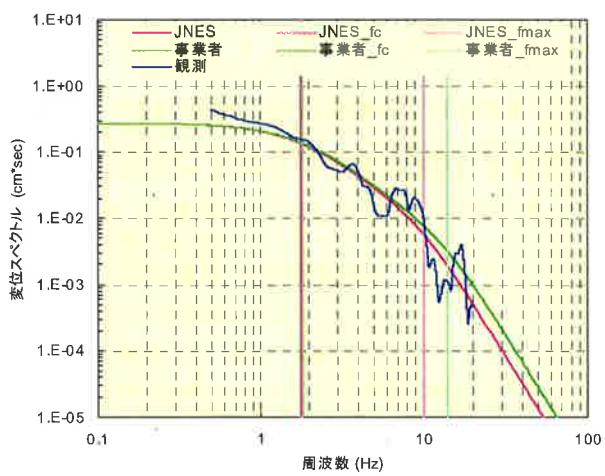
No.2地震 (Mj4.7)



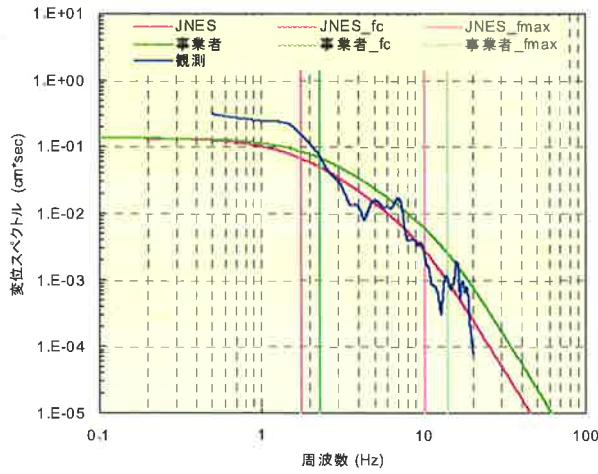
No.3地震 (Mj4.4)



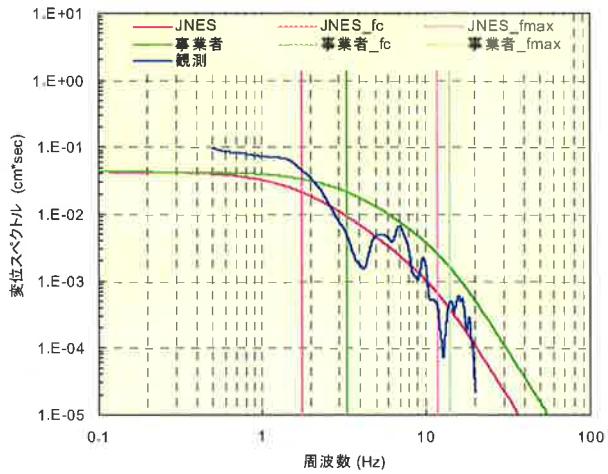
No.4地震 (Mj4.8)



No.5地震 (Mj4.4)

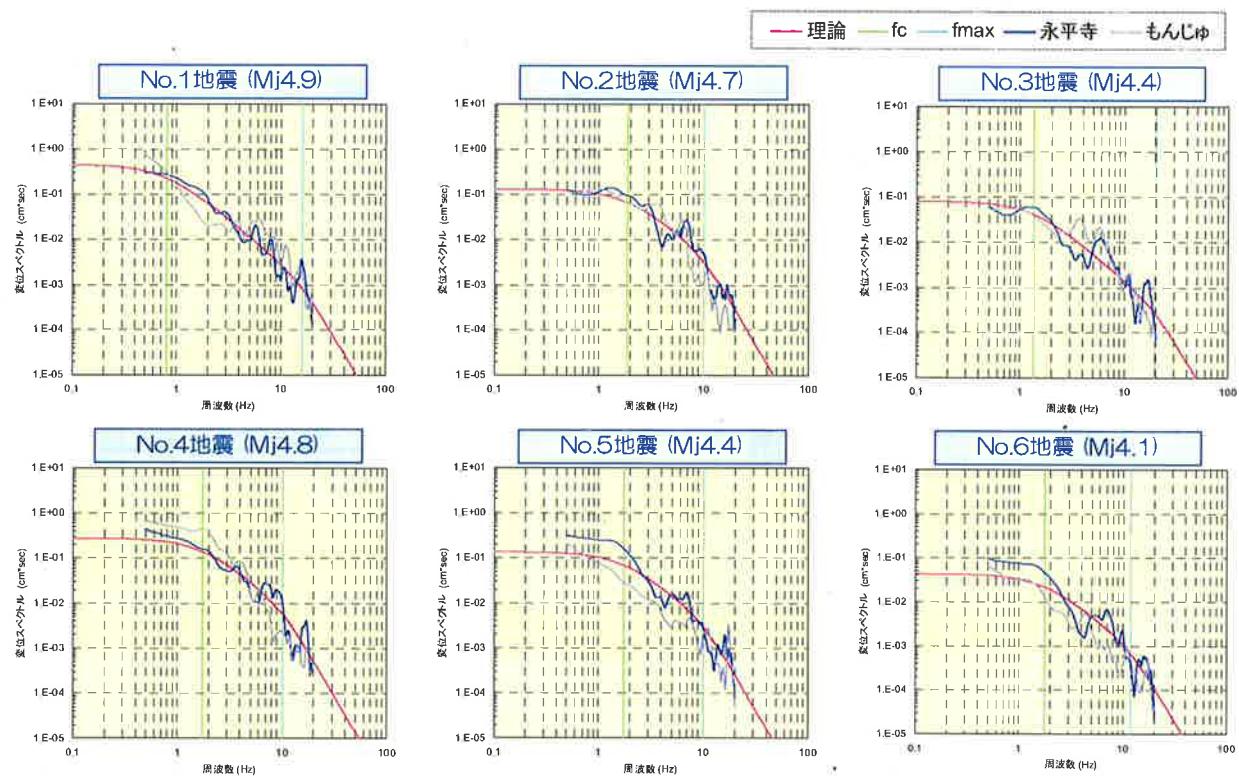


No.6地震 (Mj4.1)



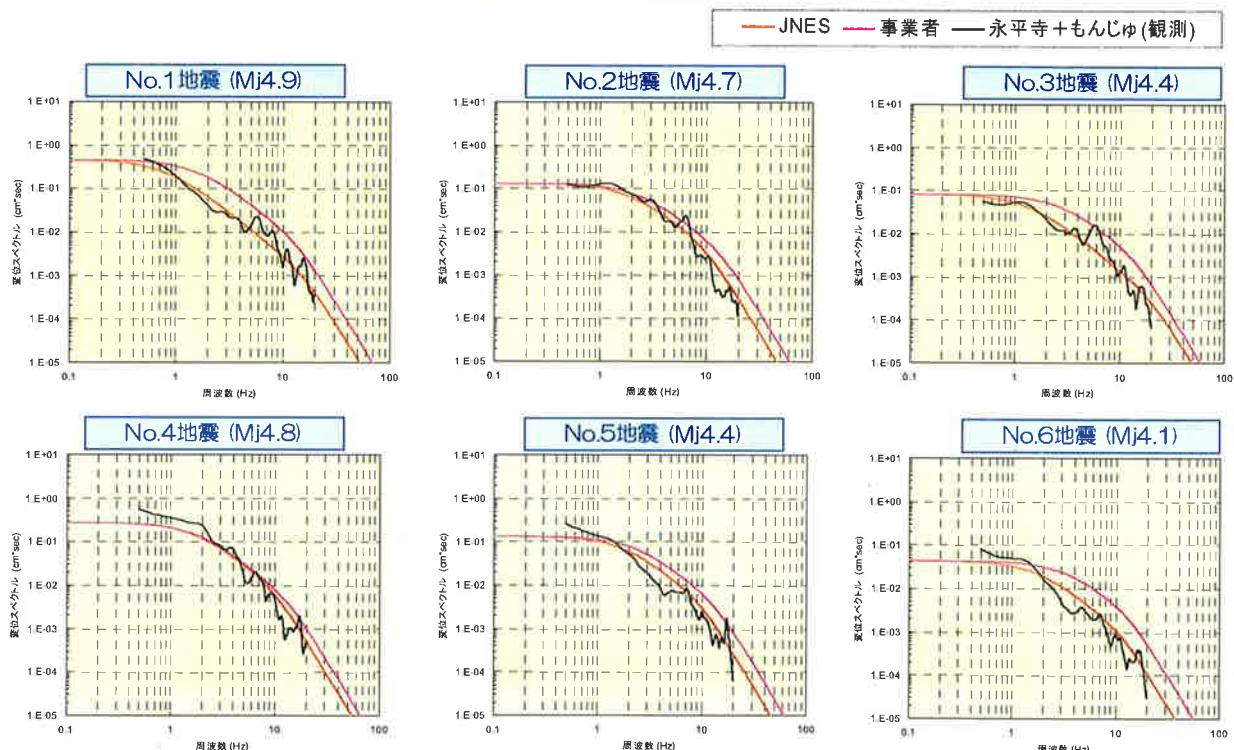
## 1. 経験的サイト増幅特性の評価（8）

もんじゅ観測点による震源スペクトルの検討



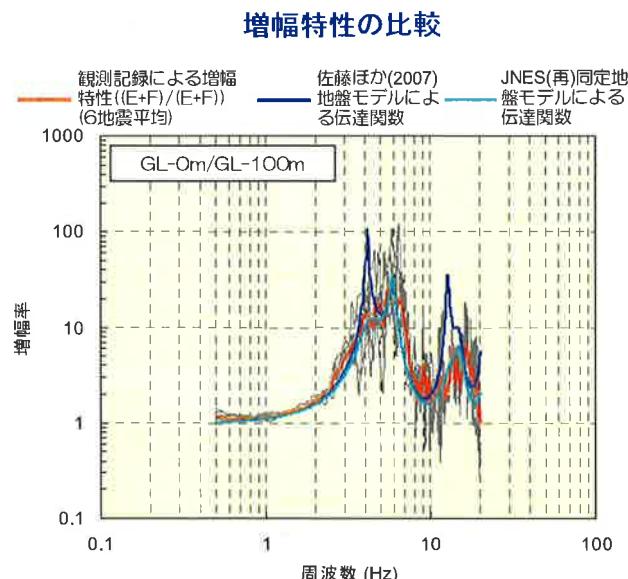
## 1. 経験的サイト増幅特性の評価（9）

永平寺観測点・もんじゅ観測点の平均



## 1. 経験的サイト增幅特性の評価 (10)

(Cサブグループ第15回資料再掲)



永平寺観測点において同定された地盤構造

(佐藤ほか(2007)に加筆)

層番号	層厚*	密度**	S波速度	減衰定数	P波速度*
1	4.0	1.47	68.3	0.0067	500.0
2	2.0	2.19	600.1	0.1522	2500.0
3	14.0	2.61	990.0	0.0920	5000.0
4	44.0	2.61	1864.0	0.0490	5000.0
5	36.0	2.61	2500.0	0.0365	5000.0
6	-	2.61	2500.0	0.0365	5000.0

\* 防災科学技術研究所

\*\* P波速度からGardner et al. (1974)に基づき換算

永平寺観測点において再同定された地盤構造

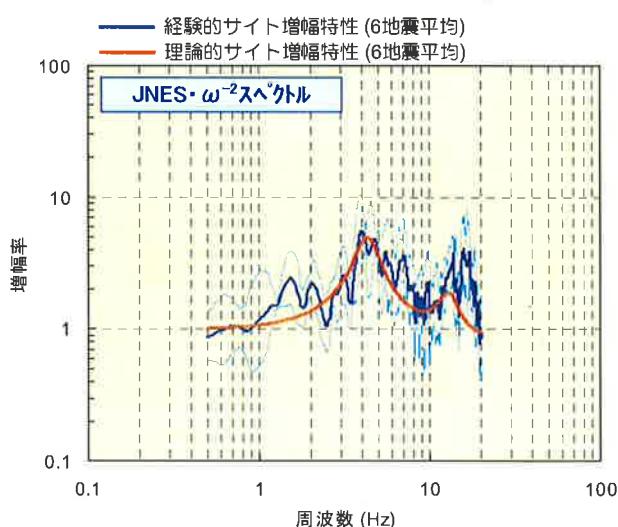
(JNESにおいて減衰定数を再同定)

層	深度 (m)	層厚 (m)	密度 (g/cm³)	S波速度 (m/s)	減衰定数 (%)	P波速度 (m/s)
1	0	4	1.47	68.3	14.366	500
2	4	2	2.19	600.1	12.930	2500
3	6	14	2.61	990	11.634	5000
4	20	44	2.61	1864	1.680	5000
5	64	36	2.61	2500	1.362	5000
6	100	-	2.61	2500	1.362	5000

6地震による增幅特性は、同定された地盤構造に基づく伝達関数と概ね整合する

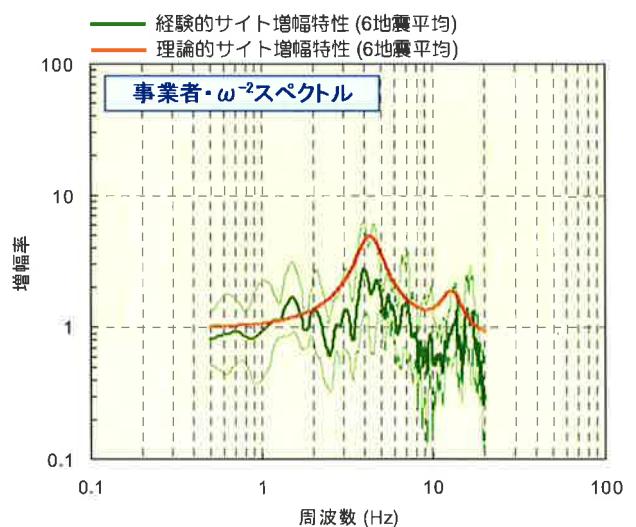
## 1. 経験的サイト增幅特性の評価 (11)

### ■ 永平寺観測点における経験的サイト增幅特性と理論サイト增幅特性との比較



地震セーメント：ト-netによる

コーナー周波数：観測記録からグリッドサーチにより算出  
高域遮断周波数： //



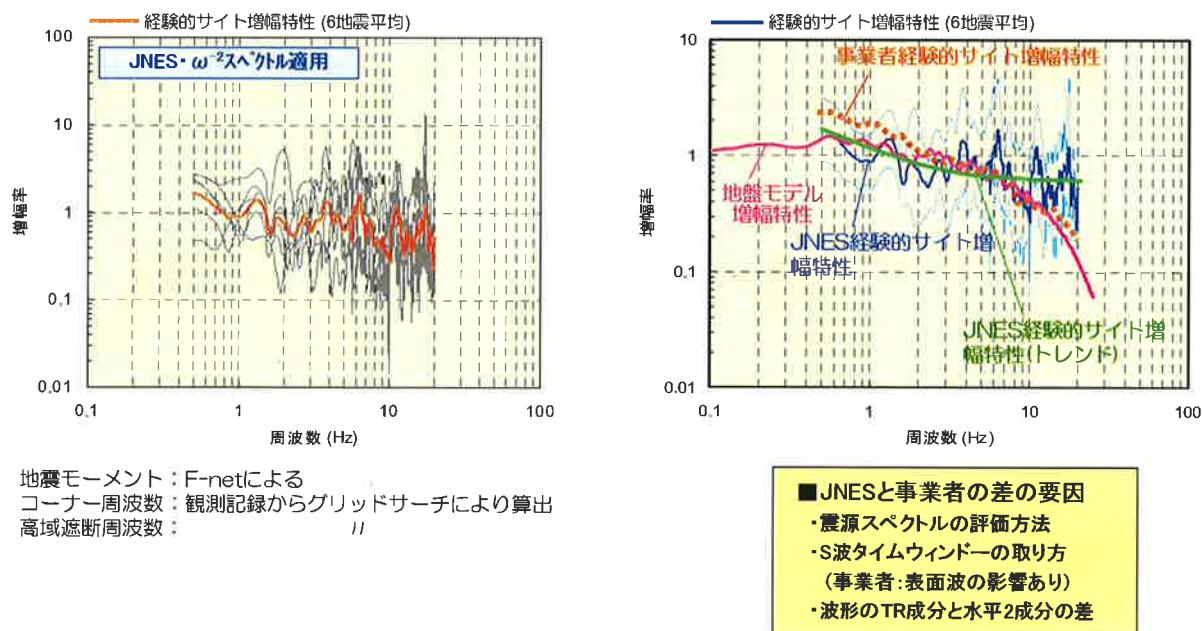
地震モーメント：F-netによる

コーナー周波数：地震モーメントと応力降下量より算出  
高域遮断周波数：14Hz

観測記録に基づき基盤スペクトルを設定することで、経験的サイト增幅特性の  
ばらつきが低減され、理論增幅特性に整合するようになる

## 1. 経験的サイト增幅特性の評価 (12)

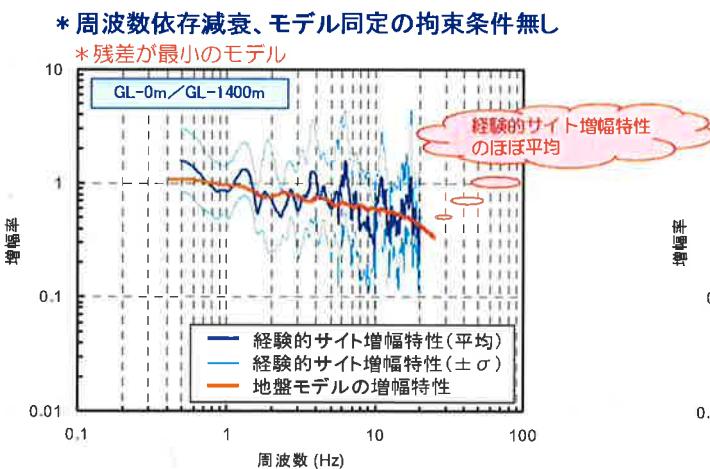
### ■ もんじゅ観測点における経験的サイト增幅特性 －6地震による評価結果－



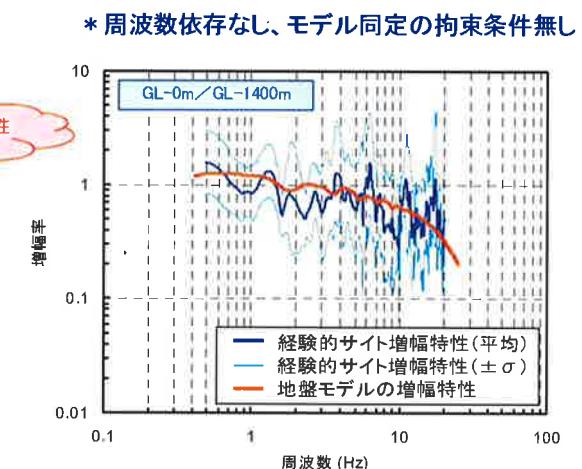
## 2. 経験的サイト增幅特性に基づく「もんじゅ」の地盤モデルの検討(1)

### ■ 経験的サイト增幅特性と地盤モデルによる伝達関数(1)

#### 〔検討モデル1〕



#### 〔検討モデル2〕



○ 地震基盤Vs=3.1km/s (GL-1.4km)

(減衰定数  $h=h_0f^{-\alpha}$ )

層	深度 (m)	層厚 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm³)	減衰定数	
						$h_0(\%)$	$\alpha$
1	0	33	4300	1900	2.5	5.537	0.894
2	33	298.5	4600	2200	2.6	14.676	0.392
3	331.5	298.5	4600	2200	2.6	8.536	0.597
4	630	385	5130	2800	2.6	5.929	0.703
5	1015	385	5130	2800	2.6	0.228	0.510
6	1400	-	5310	3100	2.6	0.228	0.510

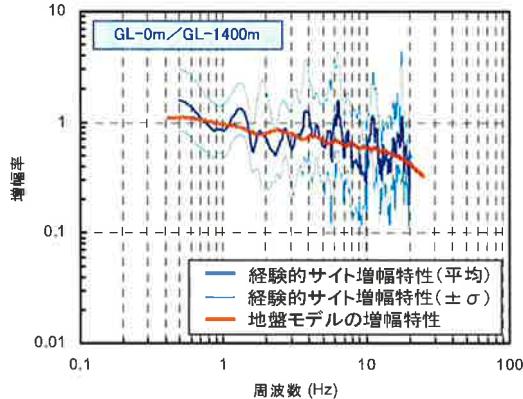
○ 地震基盤Vs=3.1km/s (GL-1.4km)

層	深度 (m)	層厚 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm³)	減衰定数	
						$h_0(\%)$	$\alpha$
1	0	33	4300	1900	2.5	0.090	0.000
2	33	298.5	4600	2200	2.6	8.028	0.000
3	331.5	298.5	4600	2200	2.6	0.380	0.000
4	630	385	5130	2800	2.6	0.132	0.000
5	1015	385	5130	2800	2.6	0.108	0.000
6	1400	-	5310	3100	2.6	0.108	0.000

## ■経験的サイト增幅特性と地盤モデルによる伝達関数(2)

### [検討モデル3]

\* 周波数依存減衰、深部になるほど減衰小、  
第4~6層の減衰 $h_0$ 固定(任意)

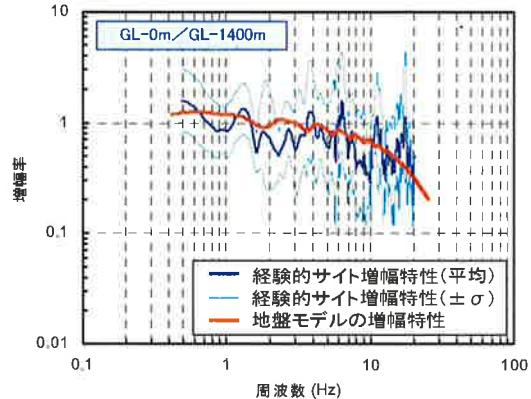


○地震基盤Vs=3.1km/s (GL-1.4km)

層	深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm³)	減衰定数	
						$h_0(\%)$	$\alpha$
1	0	33	4300	1900	2.5	14.860	0.992
2	33	298.5	4600	2200	2.6	13.373	0.373
3	331.5	298.5	4600	2200	2.6	11.827	0.589
4	630	385	5130	2800	2.6	1.000	0.525
5	1015	385	5130	2800	2.6	1.000	0.498
6	1400	-	5310	3100	2.6	1.000	0.498

### [検討モデル4]

\* 周波数依存なし、深部になるほど減衰小、  
第4~6層の減衰 $h_0$ 固定(任意)



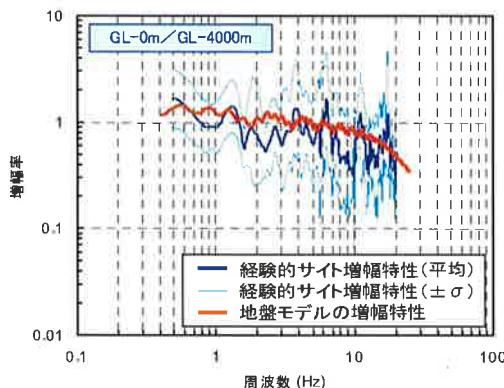
○地震基盤Vs=3.1km/s (GL-1.4km)

層	深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm³)	減衰定数	
						$h_0(\%)$	$\alpha$
1	0	33	4300	1900	2.5	5.359	0.000
2	33	298.5	4600	2200	2.6	4.824	0.000
3	331.5	298.5	4600	2200	2.6	2.277	0.000
4	630	385	5130	2800	2.6	0.330	0.000
5	1015	385	5130	2800	2.6	0.330	0.000
6	1400	-	5310	3100	2.6	0.330	0.000

## ■経験的サイト增幅特性と地盤モデルによる伝達関数(3)

### [検討モデル5]

\* 第1~5層において減衰固定(任意)、第6~7層において周波数依存減衰(任意)

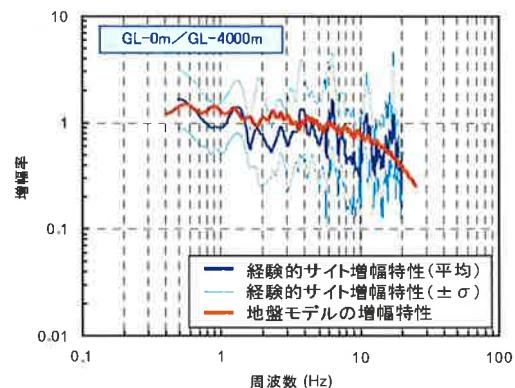


○地震基盤Vs=3.6km/s (GL-4.0km)

層	深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm³)	減衰定数	
						$h_0(\%)$	$\alpha$
1	0	33	4300	1900	2.5	3.000	0.00
2	33	298.5	4600	2200	2.6	3.000	0.00
3	331.5	298.5	4600	2200	2.6	1.500	0.00
4	630	385	5130	2800	2.6	0.500	0.00
5	1015	385	5130	2800	2.6	0.330	0.00
6	1400	2600	5310	3100	2.6	1.000	0.70
7	4000	-	6270	3600	2.7	1.000	1.10

### [検討モデル6]

\* 周波数依存なし、全層の減衰固定(任意)



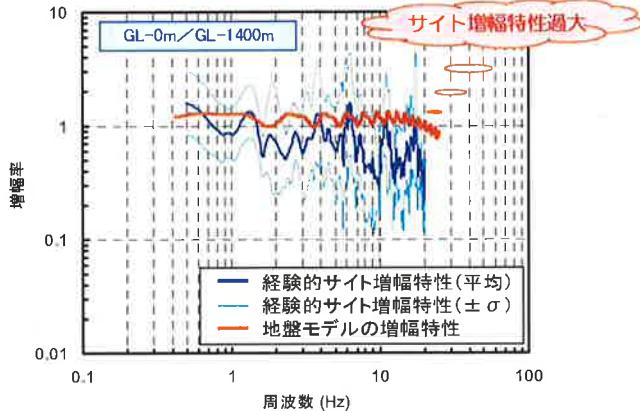
○地震基盤Vs=3.6km/s (GL-4.0km)

層	深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm³)	減衰定数	
						$h_0(\%)$	$\alpha$
1	0	33	4300	1900	2.5	3.000	0.00
2	33	298.5	4600	2200	2.6	3.000	0.00
3	331.5	298.5	4600	2200	2.6	1.500	0.00
4	630	385	5130	2800	2.6	0.500	0.00
5	1015	385	5130	2800	2.6	0.330	0.00
6	1400	2600	5310	3100	2.6	0.330	0.00
7	4000	-	6270	3600	2.7	0.330	0.00

## ■経験的サイト增幅特性と地盤モデルによる伝達関数(4)

### [検討モデル7]

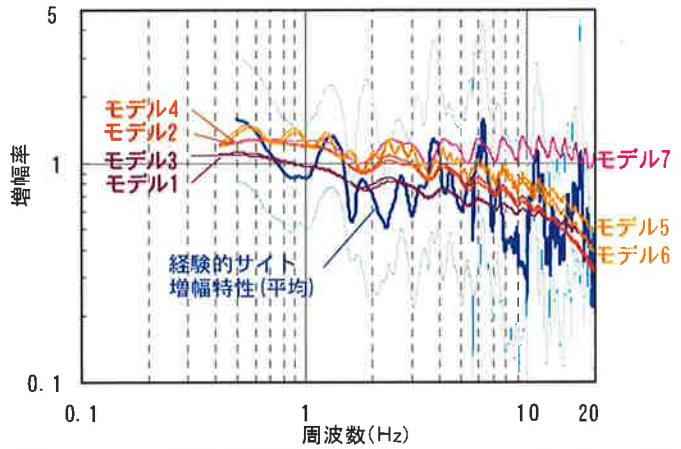
\* 周波数依存なし、全層の減衰を一般的な  
減衰(Q値50~150)に設定



### ○地震基盤Vs=3.1km/s (GL-1.4km)

層	深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm³)	減衰定数	
						$h_0(\%)$	$\alpha$
1	0	33	4300	1900	2.5	1.000	0.000
2	33	298.5	4600	2200	2.6	0.500	0.000
3	331.5	298.5	4600	2200	2.6	0.500	0.000
4	630	385	5130	2800	2.6	0.330	0.000
5	1015	385	5130	2800	2.6	0.330	0.000
6	1400	-	5310	3100	2.6	0.330	0.000

### [全検討モデルの比較図]

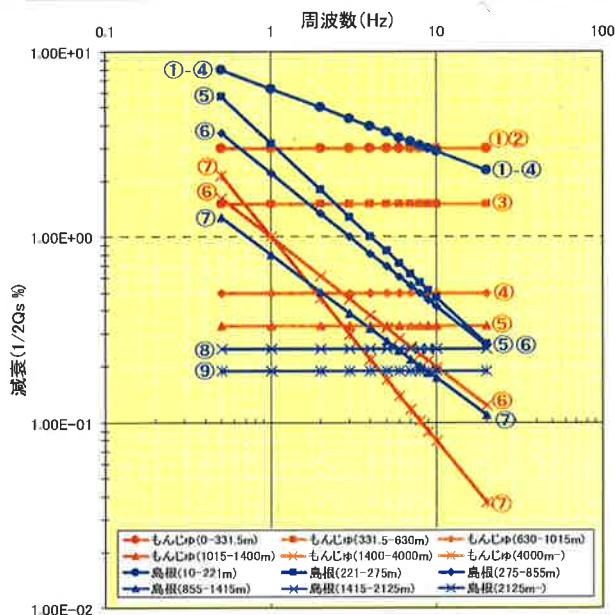


- ・モデル1, モデル3：周波数依存考慮、地震基盤GL-1.4km  
経験的サイト增幅特性のほぼ平均
- ・モデル2, モデル4：周波数依存なし、地震基盤GL-1.4km  
経験的サイト增幅特性との残差小
- ・モデル5, モデル6：周波数依存なし、地震基盤GL-4km  
モデル4を参考に上層減衰を3%  
⇒下層減衰を調整
- ・モデル7  
：周波数依存なし、地震基盤GL-1.4km  
Vsを考慮して一般的なQ値に調整

## ■他サイト地盤モデルの減衰特性との比較

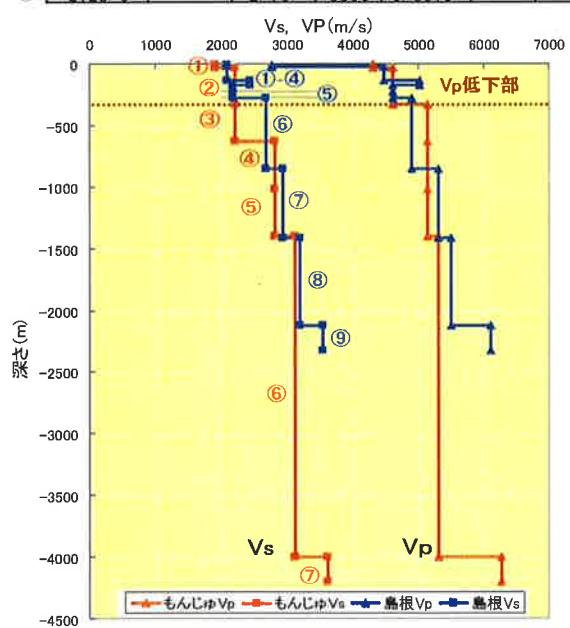
### もんじゅ・地盤構造モデル（減衰：検討モデル5）

層	深度(m)	層厚(m)	P波速度(m/s)	S波速度(m/s)	密度(g/cm³)	減衰定数	
						$h_0(\%)$	$\alpha$
①	0	33	4300	1900	2.5	3.000	0.000
②	33	298.5	4600	2200	2.6	3.000	0.000
③	331.5	298.5	4600	2200	2.6	1.500	0.000
④	630	385	5130	2800	2.6	0.500	0.000
⑤	1015	385	5130	2800	2.6	0.333	0.000
⑥	1400	2600	5310	3100	2.6	1.000	0.70
⑦	4000	-	6270	3600	2.7	1.000	1.10

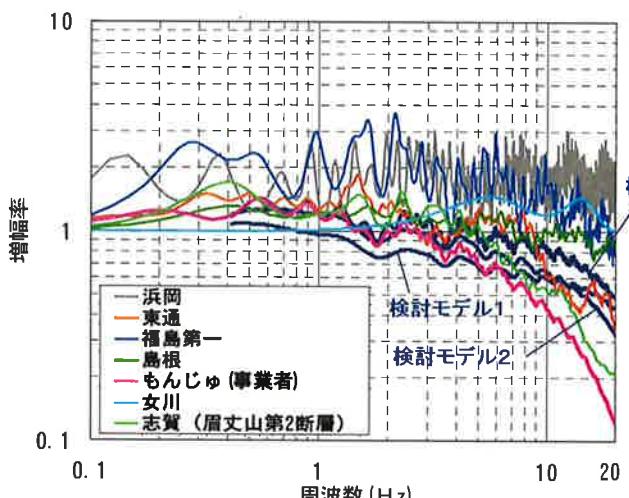


### 島根・地盤構造モデル

標高 m	層厚 m	密度 g/cm³	Vs m/s	減衰定数	Q	$\alpha$
-10.0	12.0	2.51	2080	0.063	-	-0.338
-22.0	116.0	2.57	2080	0.063	-	-0.338
-138.0	32.0	2.49	2420	0.063	-	-0.338
-170.0	51.0	2.57	2170	0.032	-	-0.833
-221.0	54.0	2.57	2170	0.032	-	-0.833
-275.0	580.0	2.50	2660	0.022	-	-0.717
-855.0	560.0	2.50	2820	0.008	-	-0.664
-1415.0	710.0	2.60	3180	0.0025	-	-
-2125.0	-	2.70	3530	0.0019	-	-



## ■(参考)検討モデルと他プラントの地盤増幅特性との比較



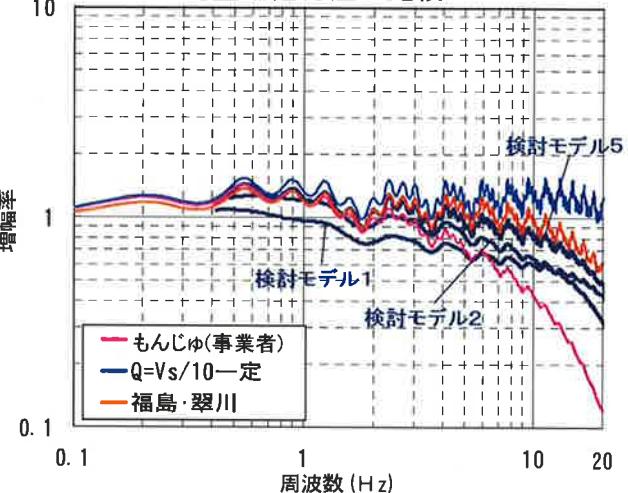
志賀 (眉丈山第2断層・統計的グリーン関数法地盤モデル)

GL m	層厚 m	密度 g/cm <sup>3</sup>	V <sub>s</sub> m/s	減衰定数	Q
-10.0	98.9	2.37	1500	0.0300	16.67
-108.9	91.1	2.38	1960	0.0300	16.67
-200.0	910.0	2.38	2070	0.0300	16.67
-1110.0	690.0	2.60	2880	0.0025	200
-1800.0	-	2.70	3450	0.0025	200

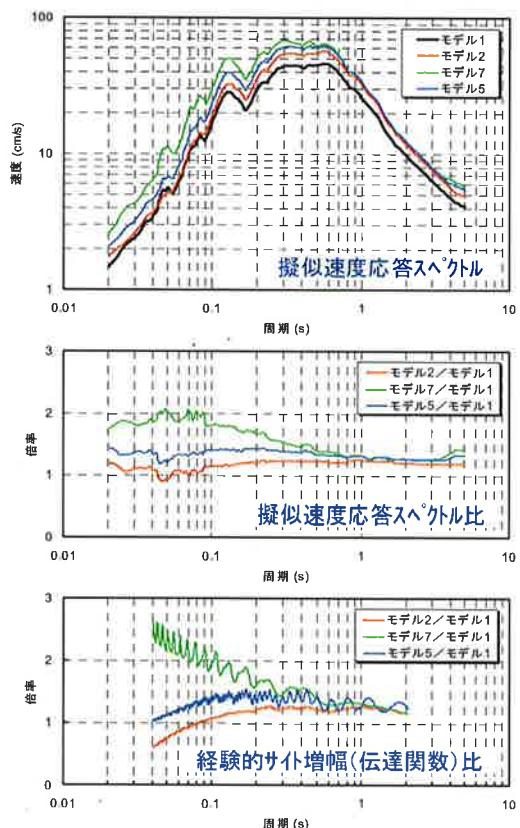
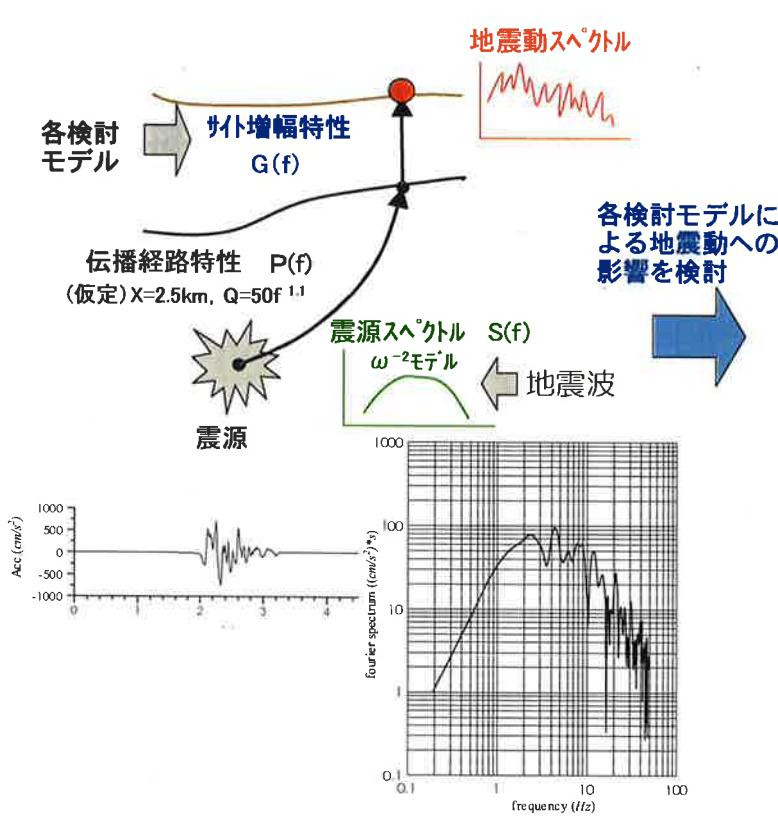
(合同A14-2-2資料より)

検討モデル5

## ■検討モデルと文献・慣用値による地盤増幅特性の比較



## ■各地盤モデルの地盤増幅特性の違いによる地震動への影響

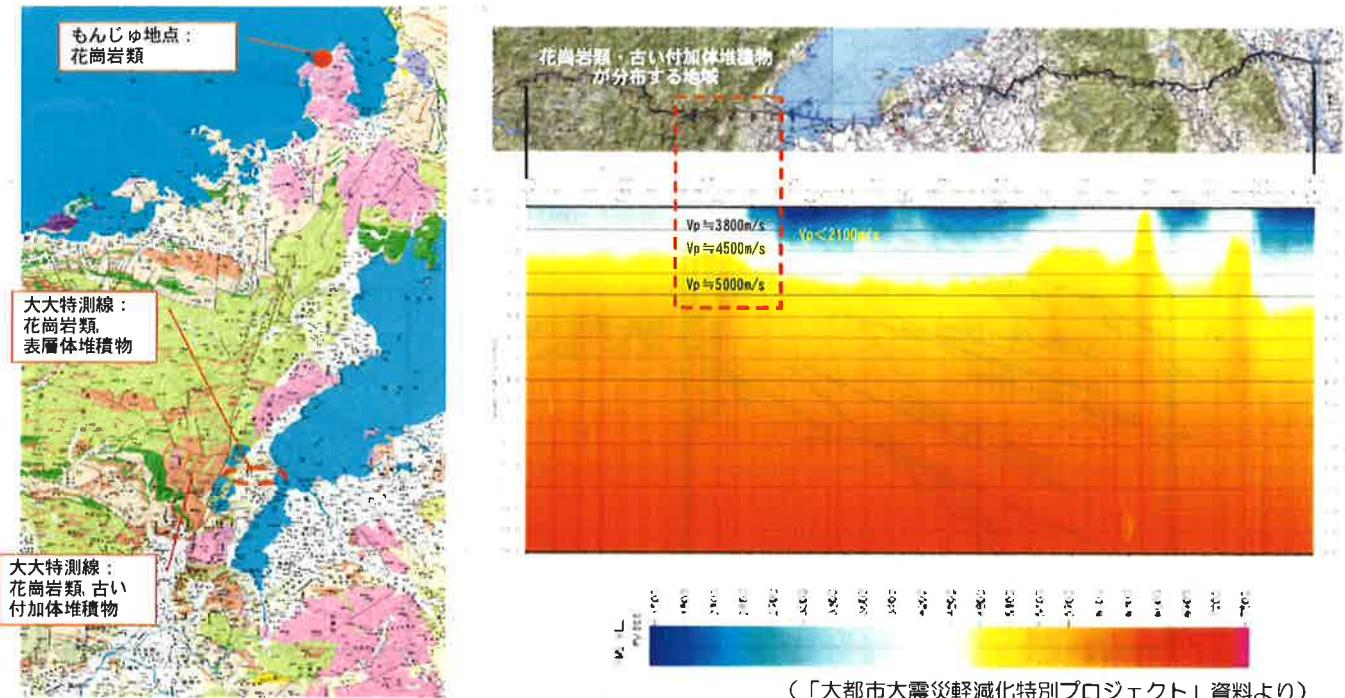


### 3. 硬質岩盤の減衰特性に関する参考資料

#### 1) 弹性波探査データによるVp低下深度の検討例

もんじゅ地点の基盤(花崗岩類)と類似した地質状況の琵琶湖付近で、大大特が実施した弾性波探査(反射・屈折)データによるVpの深さ分布の例

⇒大大特測線の結果では、概ね2~3kmより深い部分でVpが5,000m/sを超える速度を示す。風化部ないし緩み部とみられる速度低下部( $V_p < 4,000\text{m/s}$ )は、速度断面図からおよそ深さ1km以浅と推定される。



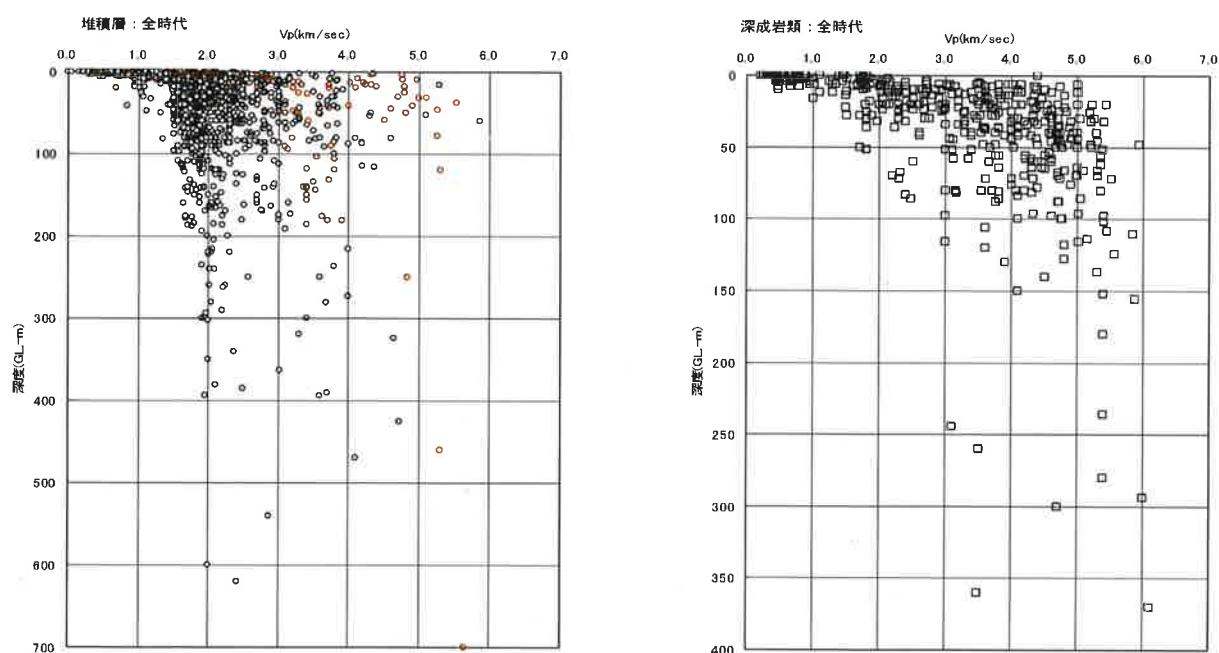
#### 2.) ポーリングの検層結果からの推定

全国範囲で収集した堆積岩類と花崗岩類を含む深成岩類における弾性波速度検層データ(KIK-net観測点)の事例

⇒堆積層、深成岩類とも、震度の増加に伴い弾性波速度(Vp)が増加する傾向を示し、深成岩類の増加傾向が急である。

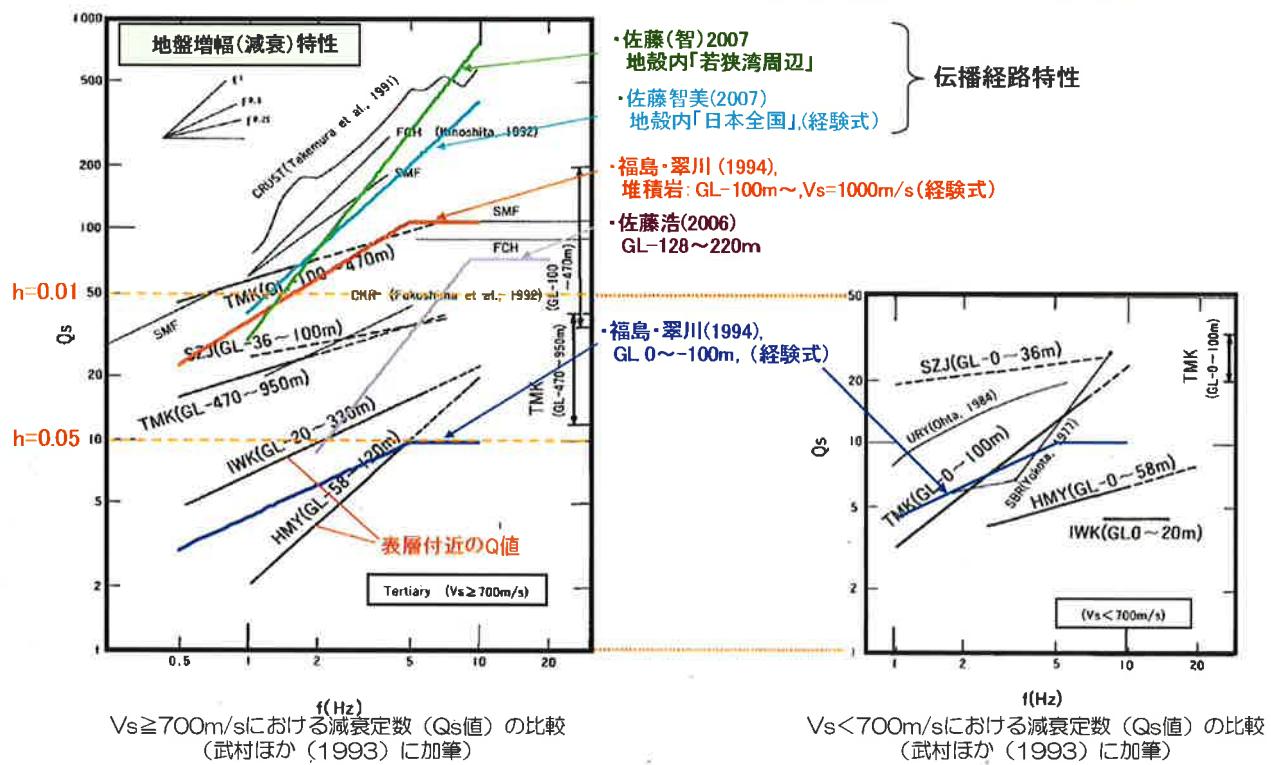
深い地点でのデータが少ないため明確ではないが、深成岩類では深度200~300m以深では、おおむね地震基盤相当の弾性波速度( $V_p \approx 5,500\text{~}6,000\text{m/s}$ )を示し、風化部・緩み部の深さは、一般に200~300m程度と推定される。

堆積層(工学基盤)でも、深成岩類と同様に200m以浅で弾性波速度が低下し( $V_p < 2,000\text{m/s}$ )、緩み部が見られる。



### 3.) 文献によるQ値の比較検討

- 武村ほか(1993)：Qs値は、基本的に周波数依存性を持つ。表層付近の浅部地盤は深部に比してQs値の絶対値と周波数依存性が小さくなる傾向が見られる。



## I - 2 基準地震動 Ss の超過確率評価

### I - 2. 1 クロスチェック解析の目的及び概要

本クロスチェック解析は、日本原子力研究開発機構(以下、「事業者」という。)より、平成20年3月に原子力安全・保安院(以下、「保安院」という。)に提出された高速増殖原型炉もんじゅの「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書」における基準地震動 Ss の超過確率評価に関して実施したものである。

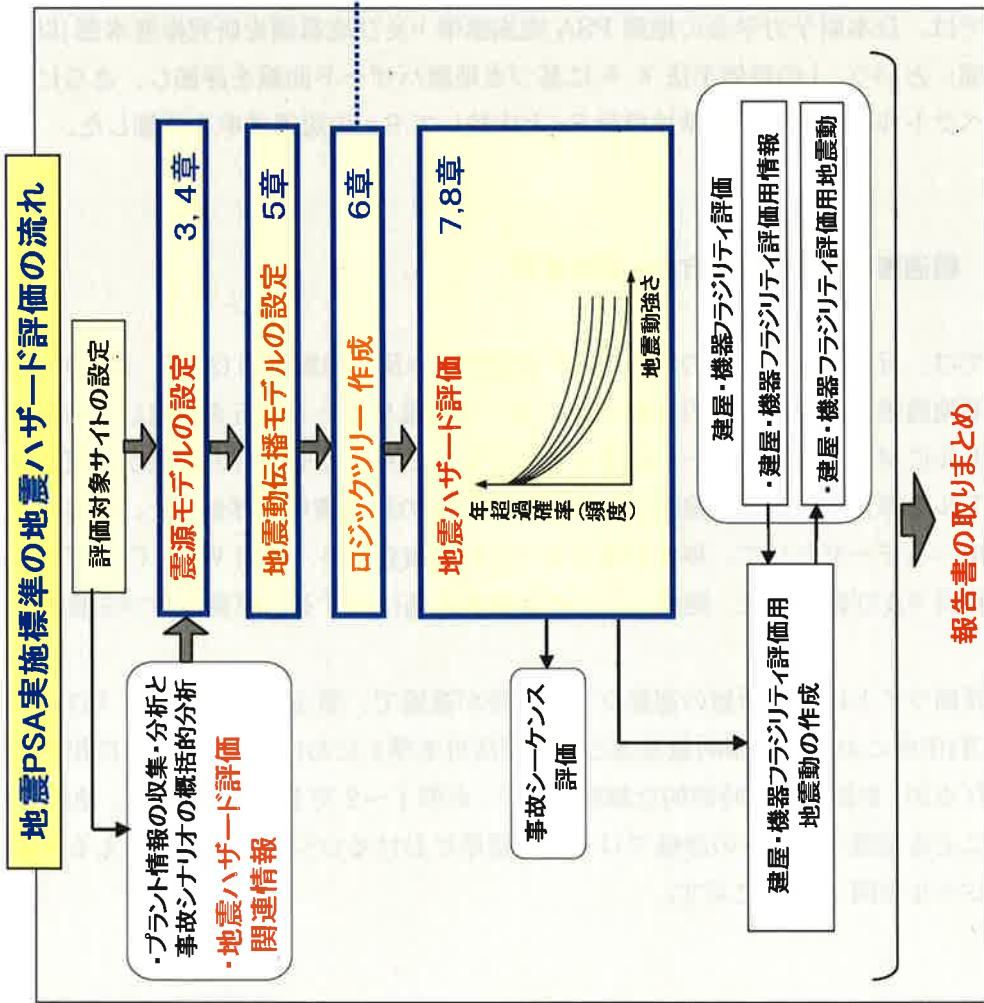
耐震指針の改訂により、安全審査で基準地震動 Ss の超過確率を参照することとなった。一方、日本原子力学会で、2007 年に「日本原子力学会標準 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007(以下、「地震 PSA 実施標準」という。)」<sup>1)</sup>が制定され、評価に必要な情報の収集・分析、地震ハザード評価の方法、評価条件・過程・結果の取りまとめ方が規定されている。そこで、本解析では、事業者が策定した基準地震動 Ss の超過確率を評価して、そのレベルを提示し、事業者の評価結果と比較する。また、地震ハザード評価の条件やプロセス、地震ハザードの観点から敷地への影響が大きな震源等、審査の参考情報を提示することを目的に実施した。

本解析では、日本原子力学会の地震 PSA 実施標準<sup>1)</sup>及び地震調査研究推進本部(以下、「地震本部」という。)の評価手法<sup>2), 3)</sup>に基づき地震ハザード曲線を評価し、さらに超過確率別スペクトルを算定し、基準地震動 Ss と比較して Ss の超過確率を評価した。

### I - 2. 2 超過確率評価の基本方針・評価条件

本解析では、日本原子力学会の地震 PSA 実施標準<sup>1)</sup>及び地震本部(2005、2009)<sup>2), 3)</sup>の「確率論的地震動予測地図」等の評価手法に基づき地震ハザード解析を実施し、加速度応答スペクトルに対する地震ハザード曲線を算出した。さらに、それらの結果から超過確率別スペクトルを算定し、基準地震動 Ss と比較して Ss の超過確率を評価した。地震ハザード評価に用いるデータとして、事業者報告書<sup>4)</sup>記載の調査資料、合同 WG・C サブグループ等報告資料<sup>5)</sup>及び審議結果、地震本部等の活断層評価に関する公開資料<sup>6)~9)</sup>を参考とした。

また、評価サイトは、活断層の運動シナリオ等が複雑で、原子力学会基準の『ロジックツリー (LT)作成における技術的難易度と専門家活用水準』における水準 2~3 に相当すると考えられるが、本評価では時間的な制約もあり、水準 1~2 で LT を構築した。地震 PSA 実施標準による地震ハザードの評価フローと同標準におけるロジックツリーによる不確実さの検討レベルを図 I - 2- 1 に示す。



### [ 地震PSA実施標準:ロジックツリーの検討レベル ]

- LT作成における技術的難易度と専門家活用水準の設定
- 対象とする認識論的不確実さ要因の技術的な難易度を判断し、次の3段階の専門家活用水準のいずれかを設定
- ・水準1: 不確実さの影響が比較的小さい場合  
TIが自ら収集・分析した情報・経験に基づきコミュニティ分布を評価し、LTを作成
- ・水準2: 不確実さの影響が比較的大きい場合  
TIがモデル提案者・専門家の意見聴取や、専門家と一緒に集めての討論等を通じて、モデルの改善や絞り込みを行い、コミュニティ分布を評価して、LTを作成。
- ・水準3: 不確実さ要因が多岐に涉り、重要且つ複雑と判断された場合  
TFIが専門家によるパネルを編成し、専門家をモデル提案者でなく、不確実さの客観的評価者として活用し、パネルが評価したコミュニティ分布を公平に集約して、LTを作成。

図 I - 2-1 日本原子力学会・地震 PSA 実施標準における地震ハザード評価フロー及びロジックツリーによる不確実さ検討レベル

## I - 2. 3 特定震源モデルの設定

### (1) 主要な特定震源のモデル化の考え方

もんじゅサイトの地震ハザード解析において、敷地周辺の主要活断層(以下、「主要特定震源」という。)は、合同Cサブグループの審議を踏まえて、図I-2-2に示すような起震断層とその活動セグメントの区分、運動パターン(同時活動)をモデル化した。ただし、本サイト周辺の全ての起震断層とそれを構成する活動セグメントの運動パターンを考慮して、ロジックツリー(以下、「LT」と記す。)の分岐や重みを設定するのは難しいと考え、ハザード評価上、以下のようにモデルを設定した。

- ・3つ以上の活動セグメントからなる長大な起震断層は、敷地に対する震源の影響やセグメント間の活動性の類似性等を考慮し、代表的なものを設定した。
- ・各起震断層を独立して扱うこととし、複数の起震断層間で重複する活動セグメントがある場合、セグメントの重複による地震発生頻度のダブルカウントを回避するため、同位置に2つの活動セグメントがあるとして、平均変位速度を分配した。
- ・想定した各起震断層について、次に活動する活動セグメント及び運動パターンを工学的に絞り込んでロジックツリーに展開し、各分岐に対して断層長さの逆数に応じて重みを配分することとした。

以上の主要特定震源のモデル化の考え方を図I-2-3に示す。

### (2) 特定震源モデルの地震規模と地震発生確率に係るパラメータの設定

本敷地周辺の主要特定震源である活断層の位置、長さ、地震規模、地震活動度(平均活動間隔、最新活動時期等)、地震発生確率モデルの諸元を表I-2-1に示す。地震発生確率モデルに関しては、最新活動時期が推定されている活動セグメントは、更新過程としてBrownian Passage Time (BPT) 分布を用い、それ以外は定常ポアソン過程として地震発生確率を算出した。また、主要特定震源の活動度について、白木・丹生断層、C断層及び浦底断層の検討例を図I-2-4~6に示す。

また、各主要特定震源の活動セグメントやそれらの運動パターンの不確実さを考慮して整理したロジックツリーの分岐項目と重み付けを図I-2-7に示す。LTの各分岐に対する重みは、(1)に述べたように、各断層長さの逆数に応じて配分した。

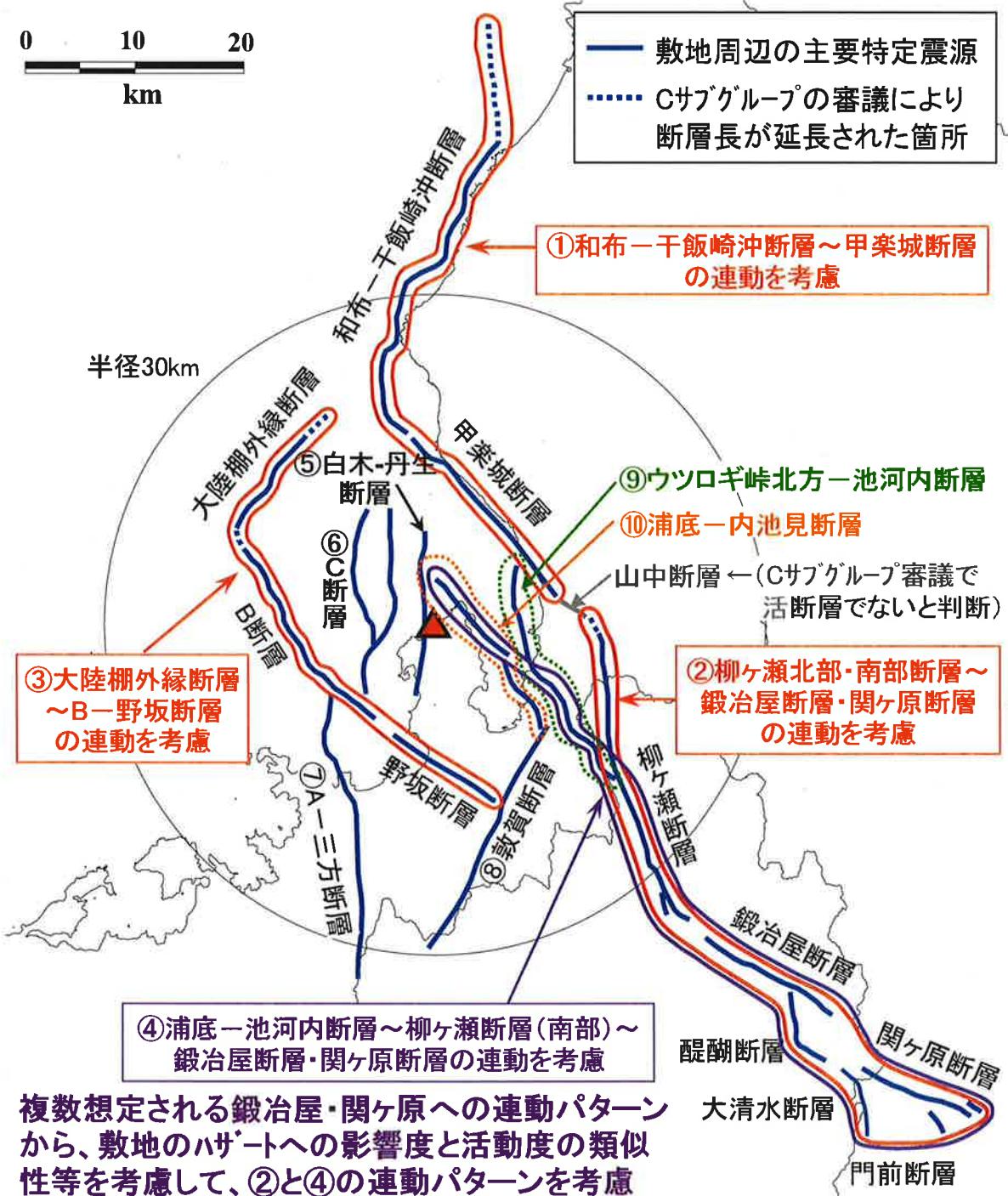


図 I -2-2 敷地周辺の主要特定震源の分布図

## 基本的なパラメータ設定方法

### ①地震規模

松田(1975)<sup>10)</sup>から地震規模Mjを推定  
 $\log L(\text{km}) = 0.6M_j - 2.9$  (1)

### ②平均活動間隔 R(年)

・トレンチ調査結果で、Rが得られている場合はその値を探用。

・トレンチ調査結果がない場合は、平均変位速度S(m/千年)と地震時の断層変位D(m)から算定。

$$\begin{aligned} \log D(\text{m}) &= 0.6M_j - 4.0 & (2) \\ R(\text{年}) &= D(\text{m}) / S(\text{m}/\text{千年}) \times 1000 & (3) \end{aligned}$$

### ③最新活動時期 T(年)

・トレンチ調査結果や歴史地震から、Tが推定されている場合はその値を探用。

### ④地震発生確率 P

・Tが推定されている場合はBPT分布、それ以外はボアソン過程で確率を算出

## 運動を考慮する場合のパラメータの設定方法

### ①起震断層内の活動セグメントが単独で活動する場合と運動する場合

- (a) 活動セグメントが単独で活動
  - ・基本設定に従いパラメータを設定

- (b) 活動セグメントが運動して活動
  - ・Mj: 活動セグメントの長さの和
  - から松田式で推定

- (c) 想定した複数の起震断層で重複する活動セグメントがある場合
  - ・重複する活動セグメントの取扱い

同位置に2つの活動セグメントがあるとして、 $S(\text{m}/\text{千年})$ を分配し、各起震断層を独立して扱う

\* 地震発生頻度の評価で、活動セグメントのダブルカウントを回避

$S(\text{m}/\text{千年})$ の分配後、各起震断層のパラメータを上記①に従って設定



3セグメント以上の運動  
は、敷地への影響度  
等を考慮して選択

図 1-2-3 特定震源の地震規模と地震発生確率に係るパラメータの設定方法

表 I -2-1 主要特定震源の諸元一覧

起震断層 運動バターン	$L$ (km)	$M_j^{*1}$	$\lambda_{ea}^{*2}$ (km)	平均活動間隔 <sup>*3</sup> (年)	最新活動時期 <sup>*4</sup>	地震発生 確率モード
<b>① 和布ー千飯崎沖～甲美城断層</b>						
1 和布ー千飯崎沖	42	7.5	27.0	2,700	17世紀頃(和布ー千飯崎沖)	BPT
2 甲美城	19	7.0	15.9	2,300	—	ボアン
3 和布ー千飯崎沖+甲美城	60	7.8	23.4	4,000	17世紀頃(和布ー千飯崎沖)	BPT ボアン
<b>② 柳ヶ瀬断層～鍛冶屋・関ヶ原断層</b>						
1 柳ヶ瀬(北部+南部)	31	7.3	20.1	6,000	7200年前～7000年前(柳ヶ瀬北部) ～15世紀(柳ヶ瀬南部)	BPT
2 柳ヶ瀬(南部) + 鍛冶屋・関ヶ原	45	7.6	38.7	9,000	4900年前～(鍛冶屋・関ヶ原) ～15世紀(柳ヶ瀬南部)	BPT ボアン
3 柳ヶ瀬(北部+南部) + 鍛冶屋・関ヶ原	60	7.8	24.7	12,000	7200年前～7000年前(柳ヶ瀬北部) ～15世紀(柳ヶ瀬南部) 4900年前～(鍛冶屋・関ヶ原)	BPT BPT ボアン
<b>③ 大陸棚外縁～B-野坂断層</b>						
1 大陸棚外縁	14	6.7	17.5	2,500	—	ボアン
2 B-野坂	33	7.4	14.7	3,500	15世紀～17世紀(B-野坂)	BPT
3 大陸棚外縁+B-野坂	49	7.7	15.2	5,300	15世紀～17世紀(B-野坂)	BPT ボアン
<b>④ 浦底断層～池河内断層～柳ヶ瀬断層南部～鍛冶屋・関ヶ原断層</b>						
1 浦底+池河内	25	7.2	12.0	8,400	～15世紀(柳ヶ瀬南部)	ボアン
2 浦底+池河内+柳ヶ瀬(南部)	38	7.5	12.8	8,000	～15世紀(柳ヶ瀬南部)	BPT ボアン
3 柳ヶ瀬南部+鍛冶屋・関ヶ原	45	7.6	38.7	9,000	～15世紀(柳ヶ瀬南部) 4900年前～(鍛冶屋・関ヶ原)	BPT ボアン
4 浦底+池河内+柳ヶ瀬南部+鍛冶屋・関ヶ原	67	7.9	16.7	13,800	～15世紀(柳ヶ瀬南部) 4900年前～(鍛冶屋・関ヶ原)	BPT ボアン
<b>⑤ 白木ー丹生断層</b>						
1 白木ー丹生断層	15	6.8	11.5	6,000	約5000年前	BPT ボアン
<b>⑥ C断層</b>						
1 C断層	18	6.9	10.6	7,000	—	ボアン
<b>⑦ Aー三方断層</b>						
1 Aー三方断層	27	7.2	17.2	2,100	1662年(寛文2年)	BPT
<b>⑧ 敦賀断層</b>						
1 敦賀断層(北部・南部)	23	7.1	21.3	2,600	11世紀～14世紀	BPT
<b>⑨ ウツロギ岬北方ー池河内断層</b>						
1 ウツロギ岬北方+池河内	23	7.1	14.2	2,600	—	ボアン
<b>⑩ 浦底ー内池見断層</b>						
1 浦底+内池見	18	6.9	12.1	5,600	—	ボアン

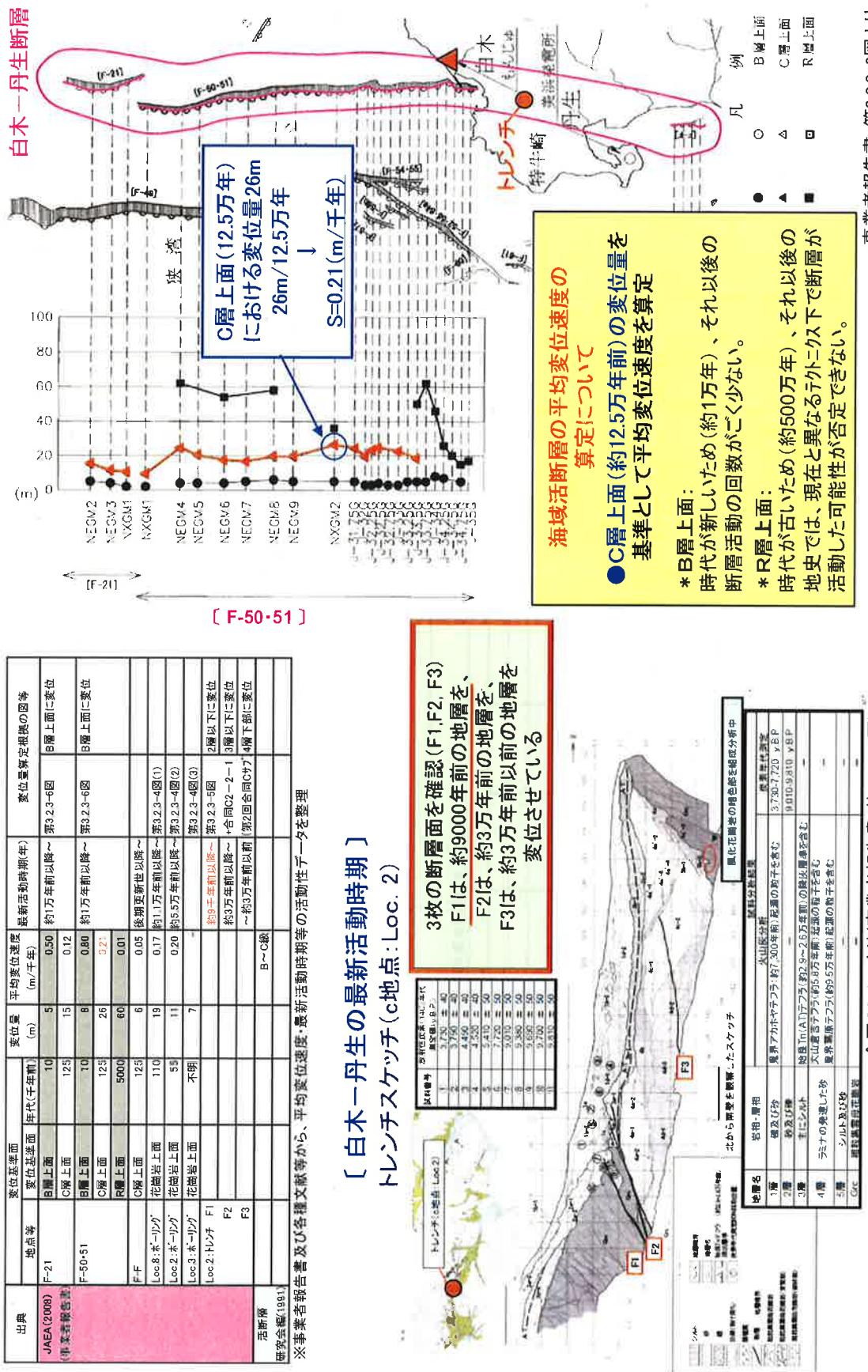
\*1) 地震規模判別は、松田(1975)のM-L式を用いて算出  
\*2) 等震源距離 $\lambda_{eq}$ は、アスペリティを断層中央に設定して算出

\*3) 平均活動間隔は、松田(1975)のM-D式による1回の活動の変位量と、事業者報告書、地盤本部長期評価、その他の文献から得られた平均変位速度Sとの関係より算出した。

\*4) 最新活動時期は、事業者報告書、地盤本部長期評価、その他の文献に基づき記述

## [白木ー丹生の活動性の検討結果]

### [白木ー丹生の累積変位量分布]



## 〔C断層の活動性の検討結果〕

### [C断層の累積変位量分布]

卷之三

出典	地点等	最新活動時期(閏年)				委託量算定報表の図等
		基準海面	年代(千年前)	(m)	(r./千年)	
JAEA (2008) 〔事業者報告書〕	F-49	B層上面	10	3	0.30	約1万年前以降～
		C層上面	125	12	0.10	第2.2.3-113図(1)B層上面に変位
F-48	R層上面	5000	42	0.01		
	B層上面	10	4	0.40	約1万年前以降～	第2.2.3-113図(1)B層上面に変位
F-58	C層上面	125	18	0.14		
	R層上面	5000	58	0.01		
F-52・56・64a	B層上面	10	2	0.20	約1万年前以降～	第2.2.3-113図(2)B層上面に変位
	C層上面	125	6	0.05		
F-64b	R層上面	5000	95	0.02		
	B層上面	10	4	0.40	約1万年前以降～	第2.2.3-113図(2)B層上面に変位
F-59	C層上面	125	20	0.16		
	R層上面	5000	66	0.01		
若狭湾断層S3	C層上面	125	13	0.10		第2.2.3-113図(2)B層上面に変位なし
	R層上面	5000	55	0.01		
若狭湾断層S4	C層上面	125	2	0.02		第2.2.3-113図(2)B層上面に変位なし
	R層上面	5000	42	0.01		
若狭湾断層S5	海底面		5～10			
若狭湾断層S6	海底面		5～15			
若狭湾断層S7	海底面		5			
			5～10			
若狭湾断層S8	海底面		2～5			

\*事業者報告書及び各種文獻等から、平成2年活動時期等の活動性データを整理

車票冊子(2) 112頁(2) 111頁

（事業者報言：第22.3-13図（Z）より）

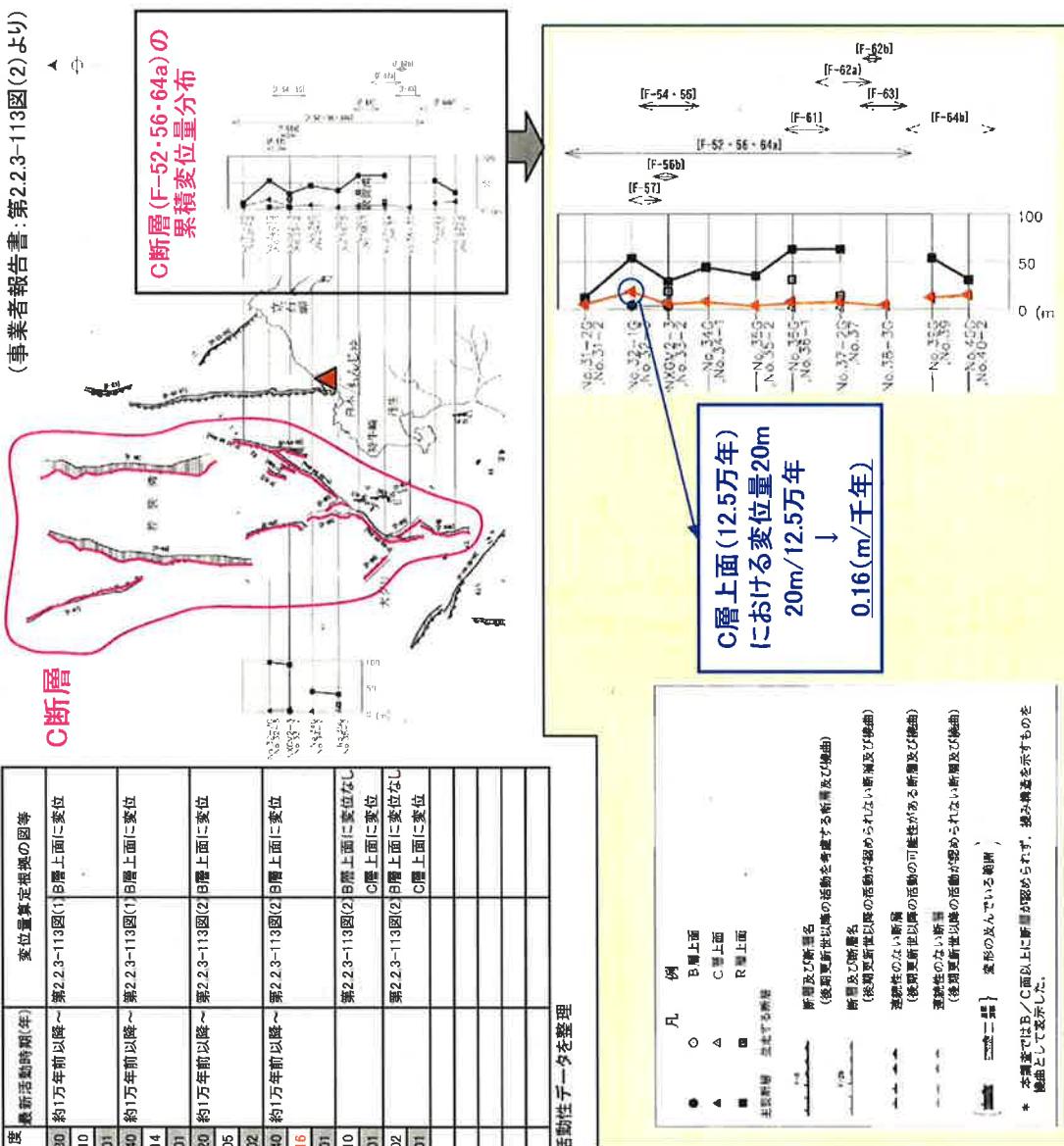


図 I-2-5 C断層における活動度の検討

## 〔浦底断層の活動性の検討結果〕

※事業者報告書及び各種文献等から、平均変位速度・最新活動時期等の活動性データを整理

〔浦底断層の最新活動時期〕

浦底断層の活動性(トレンチ調査)



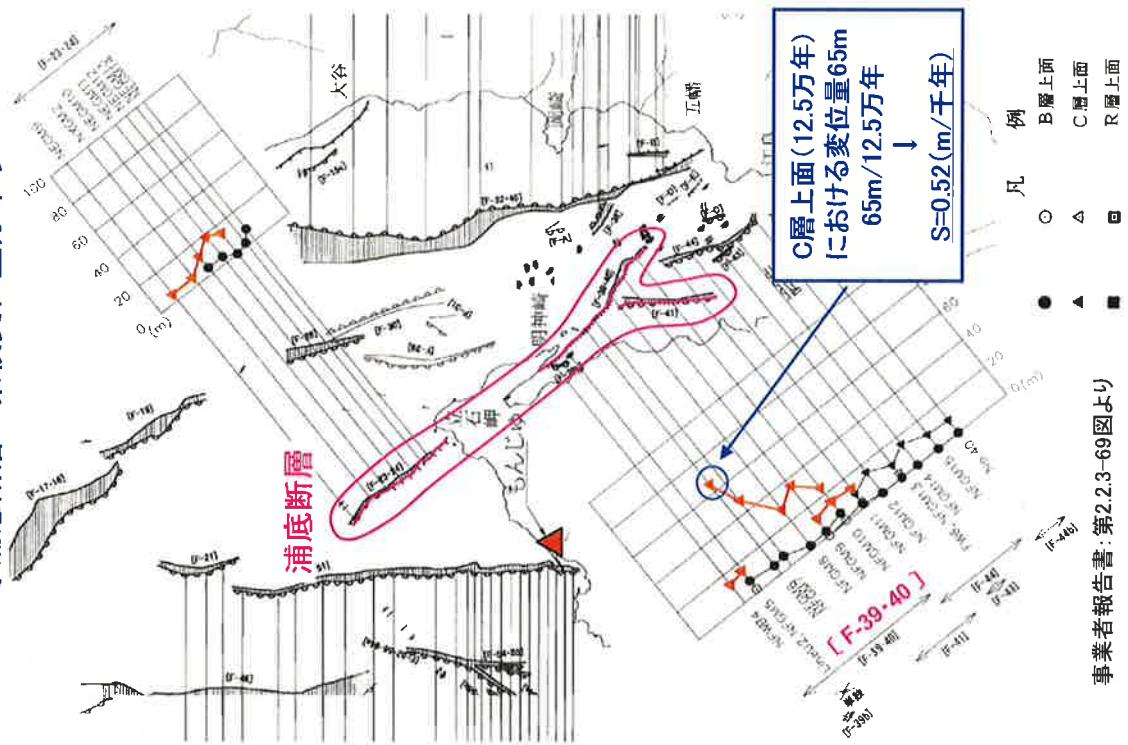
- ・岩壁(アブライト)と堆積物が接している
- ・堆積物中には、断層運動による堆積物の変形や堆積物に断層破碎部が取り込まれた様子などが認められる
- ・震度を受けている最も上位の地震(日食)の堆積年代は最も若い年代で約4,000年前

最新活動時期 約4000年前

図 I-2-6 浦底断層における活動度の検討

事業者報告書：第2.2.3-69図より

〔浦底断層の累積変位量分布〕



R層上面

事業者報告書：第2.2.3-69図より

### [ 主要特定震源の分布と連動パターン ]

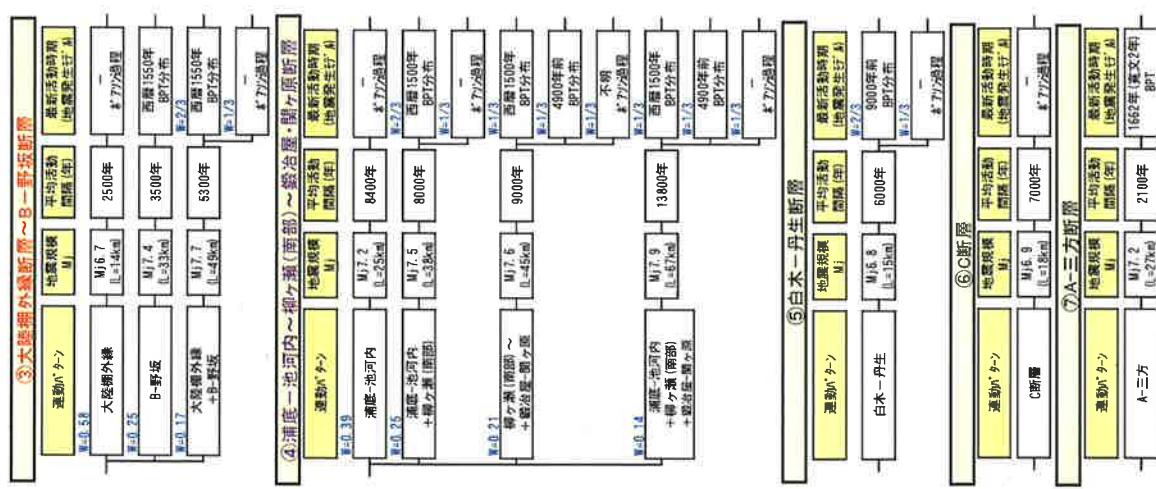


図1-2-7 各主要特定震源のロジックツリーにおける分歧項目と重み付け

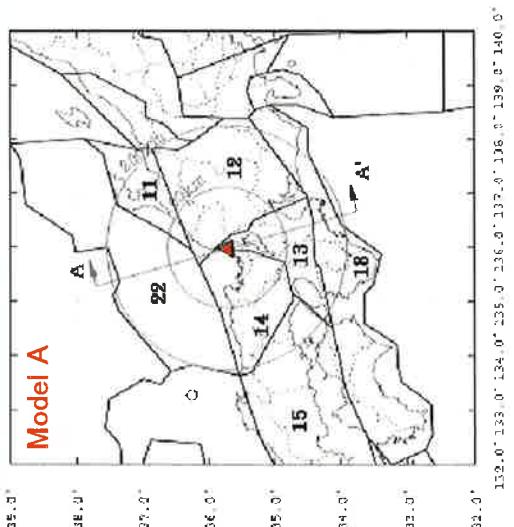
#### I - 2. 4 領域震源モデルの設定

本解析では、敷地周辺の領域震源モデルとして、地震本部のモデルを参考に、垣見ほか(2003)<sup>11)</sup>による地震地体構造区に準拠して作成した領域震源区分(モデルA)と、上記の領域震源区分を鷺谷(2007)<sup>12)</sup>によるひずみ集中帯を考慮して修正した領域震源区分(モデルB)を作成した。地震ハザード解析において、これらのモデルを LT の分岐として考慮した。

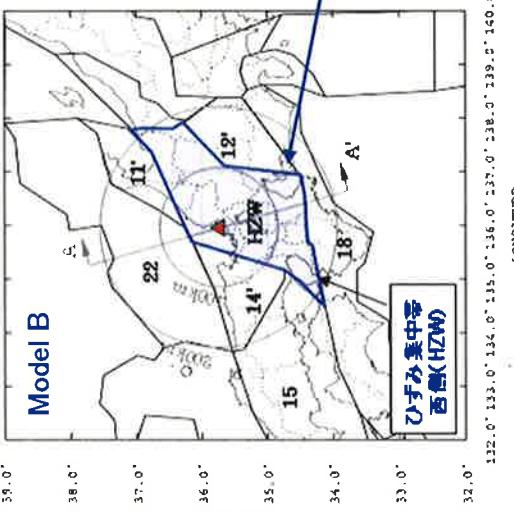
モデルAでは、各領域の b 値及び最大地震規模として、地震本部の設定値を用いた。また、モデルBにおいては、ひずみ集中帯を考慮して区分した領域について、宇佐美カタログ、宇津カタログ、気象庁カタログ等から、領域内の地震データを抽出して地震規模別発生頻度を算出し、b 値をモデル化した。

各領域震源モデルの領域の区分、b 値や解析で考慮する最小・最大地震規模等諸元、ひずみ集中帯の地震発生モデルの検討結果等を図 I - 2-8 に示す。

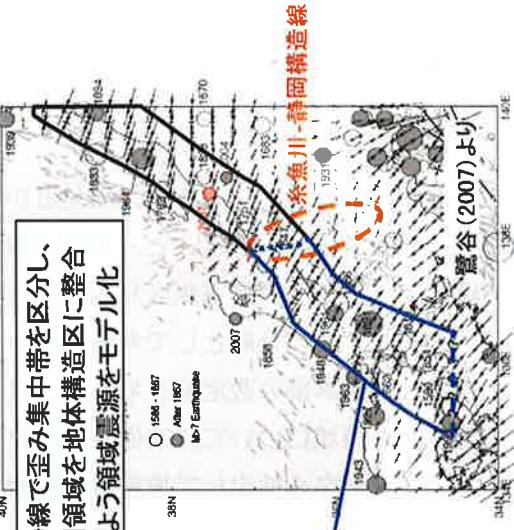
### 〔 地体構造区を考慮したモデル(Model A) 〕



### 〔 歪み集中帯を考慮したモデル(Model B) 〕



### 〔 歪み集中帯を考慮したモデル(Model B) 〕



### 〔 領域震源Model Aの諸元 〕

地震活動域	年平均累積発生頻度 (M5以上、/年)	b値	Mmin	Mmax
11	0.0925	0.9	5.0	6.9
12	0.426	0.9	5.0	7.0
13	0.0924	0.9	5.0	6.8
14	0.3255	0.9	5.0	6.9
15	0.0659	0.9	5.0	7.3
18	0.2592	0.9	5.0	7.0
22	0.0499	0.9	5.0	6.8
201	0.3529	0.9	5.0	7.4

\*b値、最大マグニチュード(Mmax)は、地震本部の設定値を用いた。

但し、領域11は、2007年能登半島地震を考慮してM6.9とした。

\*領域15、18、22の各領域は、地震ハザード評価を行う際にサイトから200km内の範囲を考慮。発生頻度は、各領域の全面積から求めた単位面積当たりの値に該当部分の面積を乗じて算出した。

\*領域201(フィリピン海プレートに属する領域)では、地震本部のモデル化に依り、全地震を海洋プレート内地震として扱った。

### 〔 領域震源Model Bの諸元 〕

地震活動域	年平均累積発生頻度 (M5以上、/年)	b値	Mmin	Mmax
11'	0.0844	0.9	5.0	6.9
12'	0.1737	0.9	5.0	7.0
14'	0.2258	0.9	5.0	6.9
15	0.0659	0.9	5.0	7.3
18	0.2592	0.9	5.0	7.0
22	0.0499	0.9	5.0	6.8
HZW	0.539 (M≥5.0) 0.794 (M≥5.5) 0.0127 (M≥6.8)	1.239 0.775 3.686	5.0	7.0
201	0.3529	0.9	5.0	7.4

\*サトは領域HZW内に位置し、b値については、観測記録に合うように地震規模を3区分してハザードを評価した。

\*領域HZWの区分に伴い、周辺の領域11、12、14の範囲を調整(領域11'、12'、14')。領域11'、12'、14'の発生頻度は、領域11、12、14との面積比で算出し、b値、Mmaxは同一の値を用いた。

\*領域15、18、22、201の各パラメータはModel Aと同値とした。

### 〔 歪み集中帯西側の発生頻度 〕

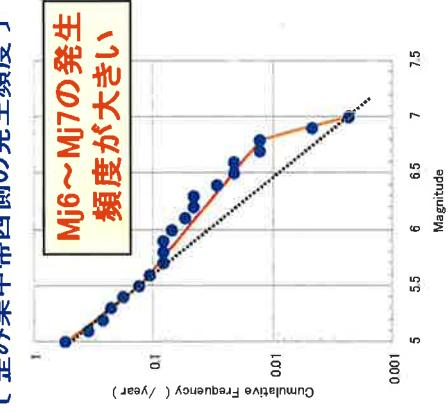


図 I - 2-8 領域震源モデル(Model AとModel B)の領域図と設定概要

## I - 2. 5 地震動伝播モデルの設定

本解析では、各特定震源モデル及び領域震源モデルの地震動を評価する際の地震動伝播モデルとして、耐専スペクトル<sup>13)</sup>を適用した。ただし、耐専スペクトルを適用する際、若狭湾周辺地域の内陸地殻内における地震動の伝播経路特性及び敷地直下の深部地盤におけるサイト增幅特性と、耐専スペクトルの評価データにおけるそれらの特性の違いを考慮し、耐専スペクトルによる地震動の中央値にそれぞれ補正を加えることとした。

内陸地殻内における地震動の伝播経路特性は、基準地震動 Ss の策定における地震動評価で適用している佐藤ほか(2007)<sup>14)</sup>の Q 値を用い、耐専スペクトルで考慮している Q 値との残差を探って補正した。また、サイト增幅特性は、同様に、基準地震動 Ss の策定で適用している経験的サイト增幅特性を応答スペクトルの增幅特性に換算して用いた。なお、耐専スペクトルをサイト增幅特性で補正した地震動評価結果の妥当性を検討するため、敷地近傍の C 断層、白木-丹生断層の評価結果と断層モデルによる解析結果を比較し、両者がほぼ一致していることを確認した。

また、耐専スペクトルで算定した地震動のばらつき(対数標準偏差)は、同式の回帰において評価されている対数標準偏差(0.53)と、上述の経験的サイト增幅特性のばらつき、及び池浦・野田(2005)<sup>15)</sup>で検討されている距離減衰式の評価における震源特性・伝播経路特性のばらつきを考慮して設定した対数標準偏差(0.69)を LT の分岐として用いた。

上記の地震動伝播モデルの評価概要を図 I - 2-9 に、サイト增幅特性の評価方法を図 I - 2-10 に、耐専スペクトルをサイト增幅特性で補正した地震動評価結果と断層モデルによる解析結果の比較を図 I - 2-11 に示す。

[ もんじゅ : サイト増幅特性 ]

各震源の地震動伝播解析手法として、耐專スペクトル<sup>(3)</sup>を用い、内陸地殻内  
伝播経路特性とサイト増幅特性の補正を加えて地震動を算定

### ■耐專スペクトル基礎式

$$F(f) = \left[ \frac{\pi R_{\text{eq}}^2}{\rho V_s^3} \right] f^2 M_0(f) \frac{1}{X} \exp \left( \frac{-\pi X}{V_s Q(f)} \right)$$

$$\log F(f) = a(f)M - b(f)X - \log X + c(f)$$

$$a(f) = \frac{[\log M_0(f) - \log P_0(f)]}{M}$$

$$b(f) = \frac{(\log e)\pi f}{V_s Q(f)}$$

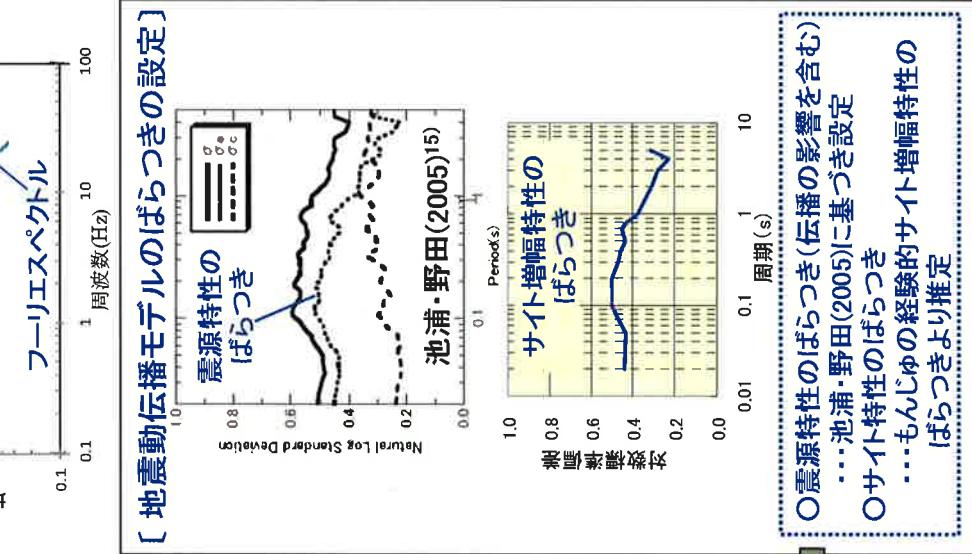
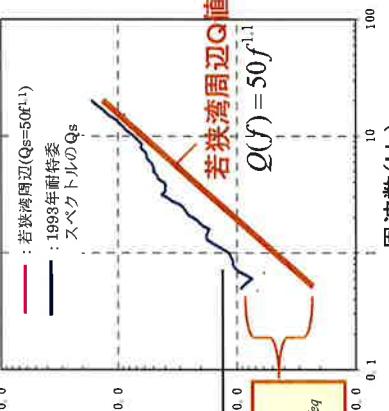
$$c(f) = \log \left[ \frac{P_0(f)\pi R_{\text{eq}}f^2}{\rho V_s^3} \right]$$

伝播経路特性の差  
 $DQ(f) = 10^{(b(f)-b'(f))Xeq}$

耐專スペクトルのQ値  
 $Q(f) = 50f^{1.1}$

### ■伝播経路特性の補正

耐專 ⇒ 佐藤他 (2007)<sup>14)</sup>  
h=0.1



### ●地震動の中央値の評価

・水平動と鉛直動は、下式で評価した。

Noda et.al(2002)による距離減衰式 \* サイト増幅特性 \* NFRD  
(NFRD)は等価震源距離30km内の特定震源に適用

●ばらつきと上限値(ばらつきと上限値は対で取り扱う)の設定

・ばらつき(対数標準偏差 $\zeta$ )は、Noda et al.(2002)の式の $\zeta=0.53$ と、震源特性とサイト増幅特性のばらつきを考慮した $\zeta=0.69$ をLTの分岐として設定。

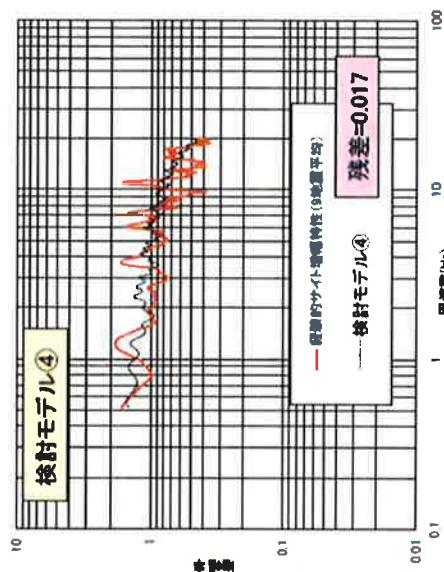
・上限値の打ち切りは、現実的な地震動の上限としてSsの3倍程度に想定し、 $\zeta=0.53$ では打ち切りを3 $\zeta$ 、 $\zeta=0.69$ では2.3 $\zeta$ とした。

●震源特性のばらつき(伝播の影響を含む)  
…池浦・野田(2005)に基づき設定  
○サイト特性のばらつき  
…もんじゅの経験的サイト増幅特性のばらつきより推定

図 1-2-9 地震動伝播モデルの評価概要

## 地盤動伝播モデルにおけるサイト増幅特性の設定方法

- ・耐專スペクトルによる地震動解析結果に、内陸地盤内伝播経路特性の補正とサイト増幅特性を乗じて地震動を算定。
  - ・サイト増幅特性は、事業者が設定した地盤モデルの増幅特性(フリエスペクトルから変換)。



高さ (m)	EL (m)	幅 (m)	厚さ (m)	密度 $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	SUS强度 $V_s$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	貫通度 $V_p$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Q <sub>s</sub>	実測定数 (N)
0	5	1	33	2.5	1900	4300	16.7	3.0
33	-28	2	167	2.6	2200	4600	16.7	3.0
200	-195	2	430	2.6	2200	4600	100.0	0.5
630	-0.25	3	770	2.6	2800	5130	100.0	0.5
1400	-1395	4	2800	2.6	3100	5310	100.0	0.5
4000	-3995	5	-	2.7	3600	6270	100.0	0.5

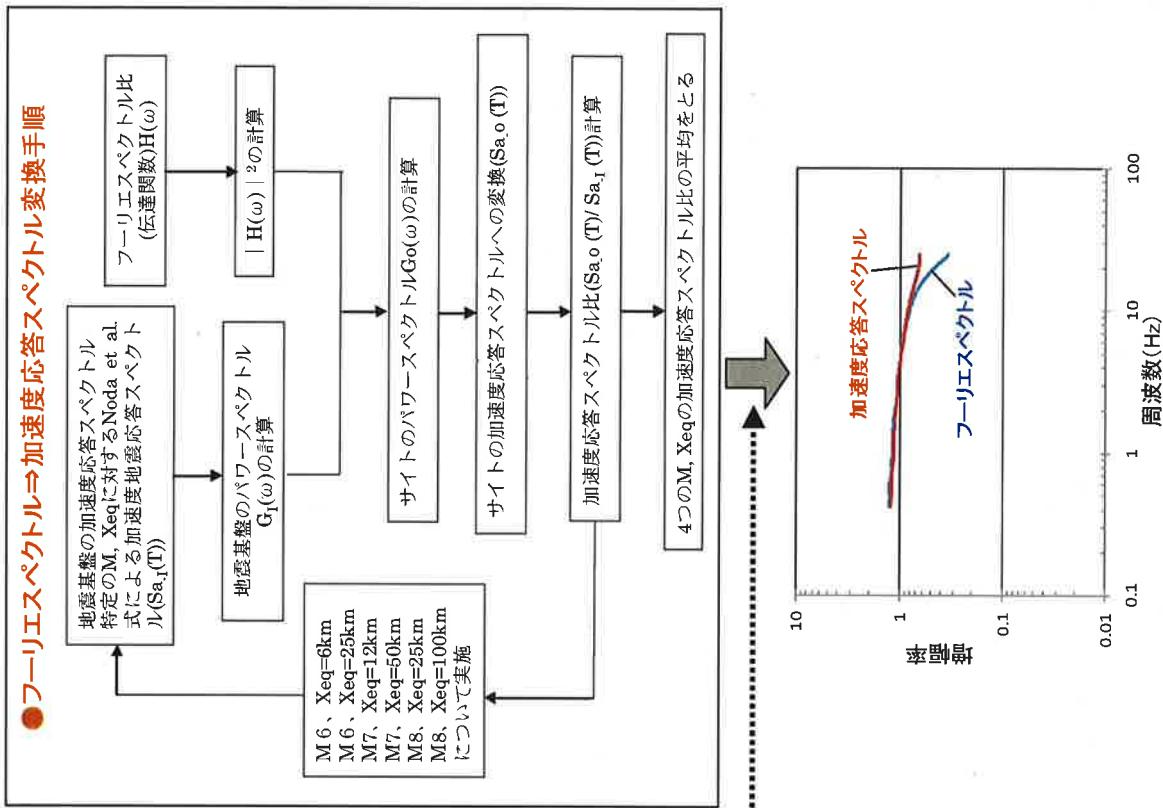
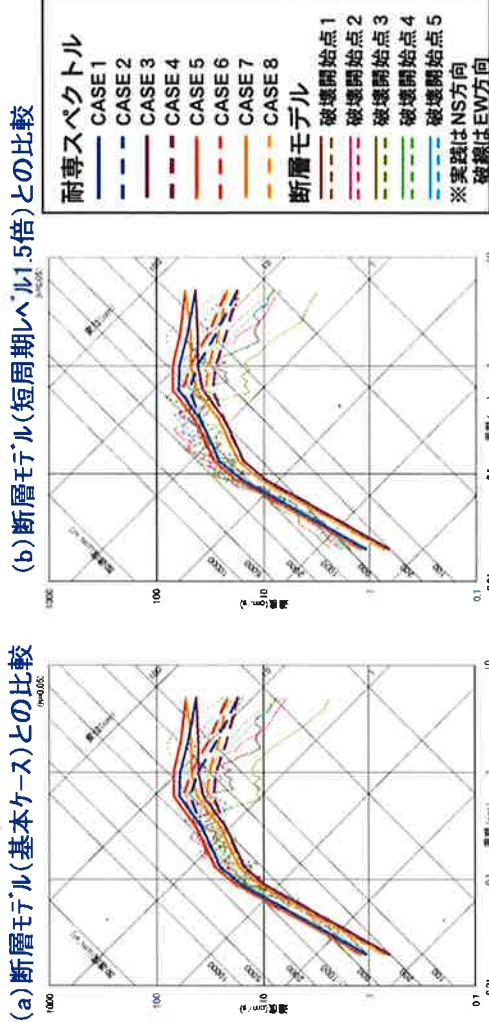


図 I-2-10 地震動伝播モデルにおけるサイト増幅特性の設定方法の概要

[ 地震動評価の検証に用いた活断層 ]



[ 白木一丹生断層における耐專スペクトルと断層モデルの結果比較(水平動) ]



[ 各活断層の耐專スペクトルによる解析ケース ]

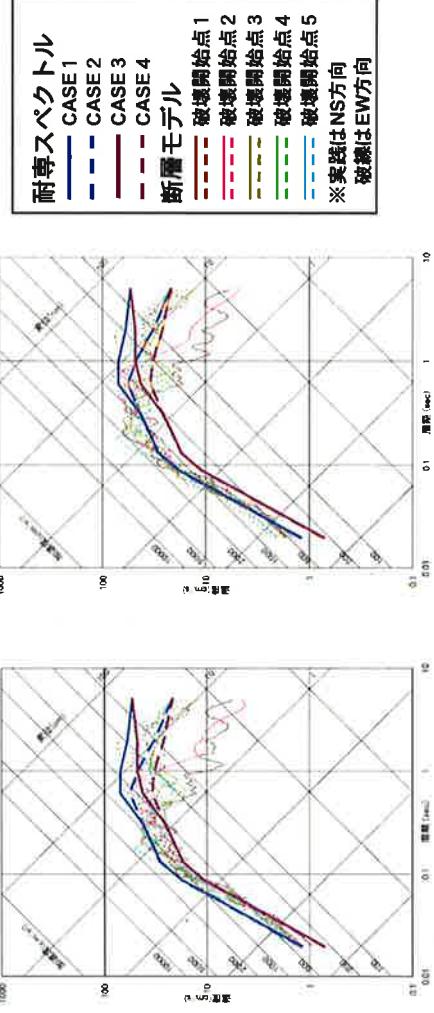
起覆断層 ⑤白木一丹生断層	解析ケース	$\lambda_{eq}$ (km)	地震規模 求め方	Mj	サイト補正		内陸地盤 内補正	NFRD
					松田式 $L \rightarrow M_j$	Mo → Mj		
CASE1							○	
CASE2							—	
CASE3							○	
CASE4							—	
CASE5							○	
CASE6							—	
CASE7							○	
CASE8							—	
⑥C断層								
CASE1							○	
CASE2							—	
CASE3							○	
CASE4							○	

\*C断層の解析ケースにおいて、面積から算出されるMjと松田式から算出されるMjの解釈は省略。  
されるMjは同一(Mj6.9)であるため、面積から算出されるMjの解釈は省略。

[ C断層における耐專スペクトルと断層モデルの結果比較(水平動) ]

(a) 断層モデル(基本ケース)との比較

(b) 断層モデル(短周期レベル1.5倍)との比較



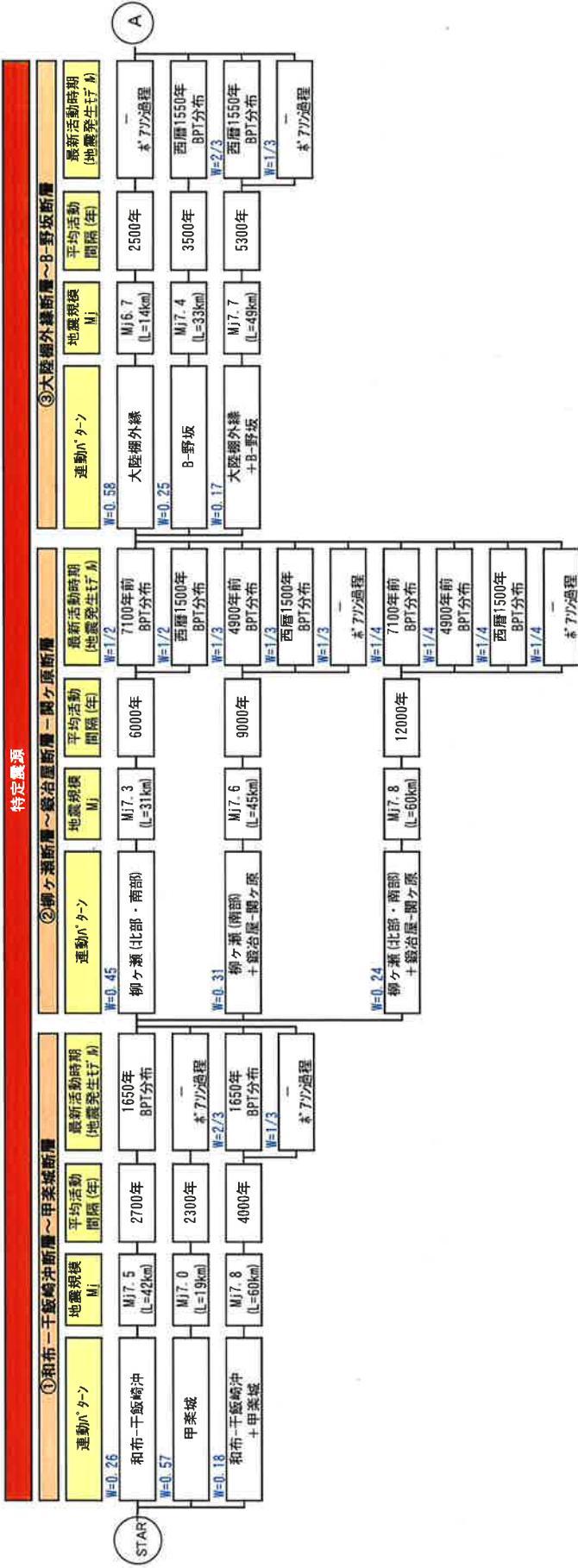
\*断層モデルによる地震動解析結果は第18回合同Cサブグループ報告資料より

図 I -2-11 サイト增幅特性を考慮した耐專スペクトルと断層モデルによる解析結果の比較

## I -2. 6 ロジックツリーの作成

I -2. 3～5章に示した特定震源モデル、領域震源モデル、地震動伝播モデルについて、それぞれ不確実さを考慮して LT を作成し、LT の各分岐に対して重みを設定した。それらの各 LT を図 I -2-12～15 に示す。

## [ 特定震源のロジックツリーの各分岐項目と重み付け(1) ]



\*各主要特定震源のアスペリティ位置の設定  
アスペリティ位置:アスペリティが分布することが統計的に多い各セグメントの断層中央に設定。断層中央にアスペリティを設定した場合のハザードは、断層上端、中央、下端で算定した各ハザードのほぼ平均に対応。

図 I - 2-12 特定震源のロジックツリー(1)

## 〔特定震源のロジックツリーの各分岐項目と重み付け(2)〕

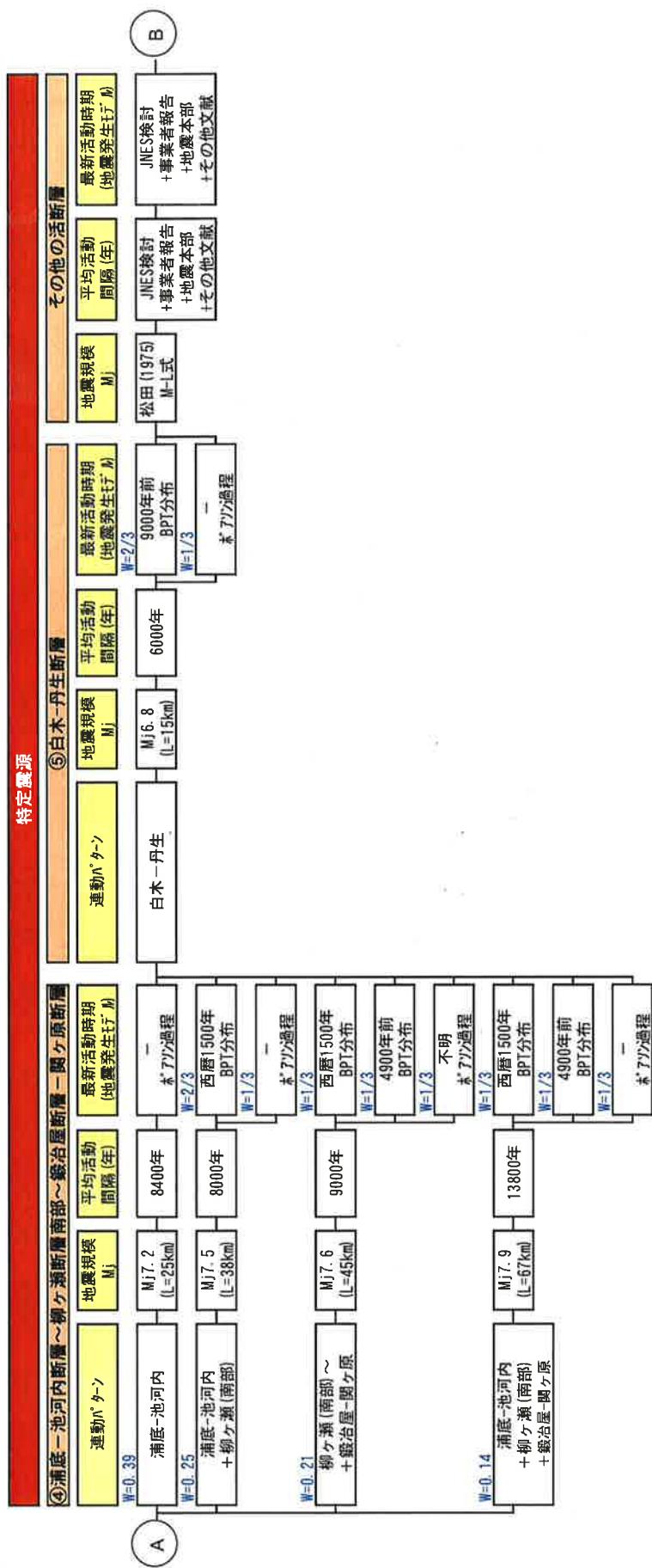


図 I -2-13 特定震源のロジックツリー(2)

[ 領域震源のロジックツリーの各分岐項目と重み付け ]

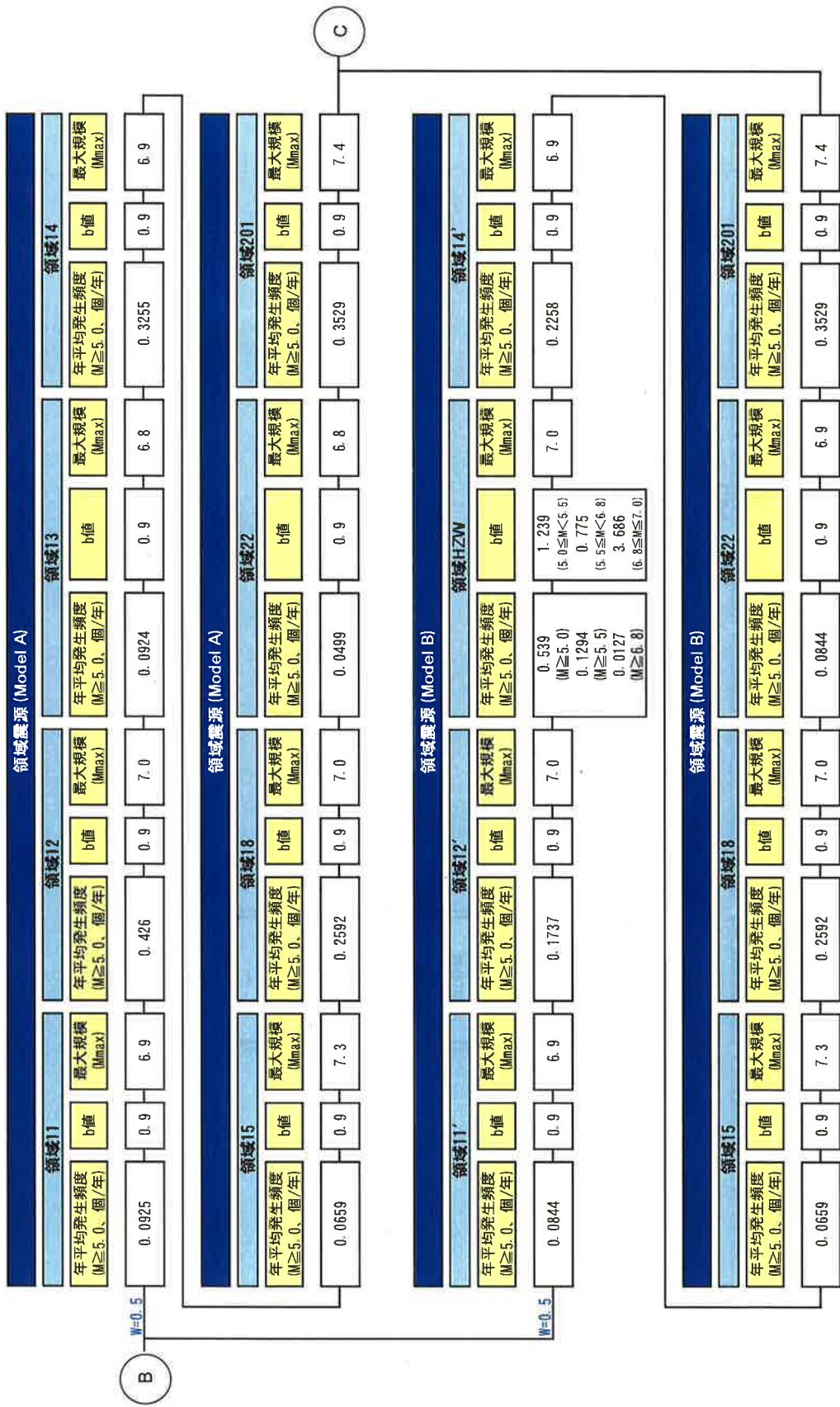
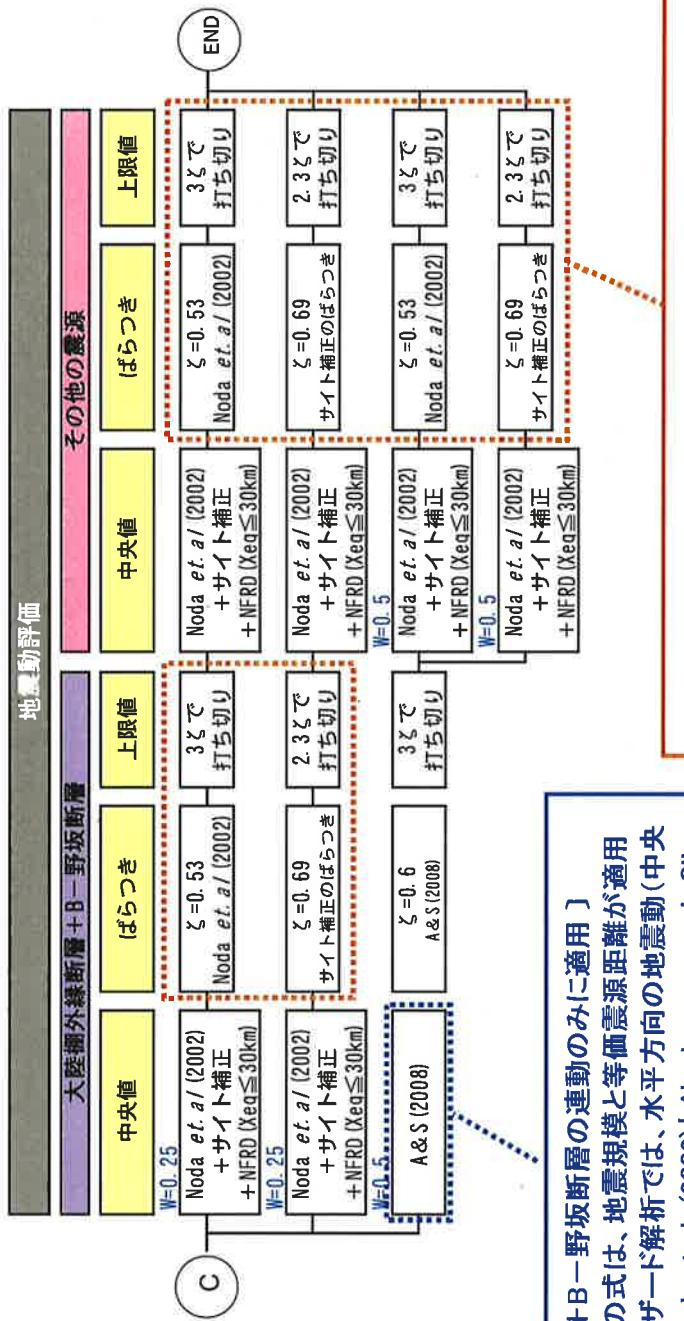


図 I - 2-14 領域震源のロジックツリー

## 〔地震動伝播解析のロジックツリーの各分岐項目と重み付け〕



## [大陸棚外縁十B-野坂断層の運動のみに適用]

- Noda et.al(2002)の式は、地震規模と等価震源距離が適用範囲外。地震ハザード解析では、水平方向の地震動(中央値)の評価で、Noda et al (2002)とAbrahamson and Silva (2008)<sup>16)</sup>の分歧を設定。鉛直動はNoda et. al(2002)を適用。
  - Abrahamson and Silva (2008)の式では、同式のばらつき $\zeta=0.6$ を用い、打ち切りを3とした。

- ・ばらつきと上限値の設定（ばらつきと上限値は対取り扱う）
- ・ばらつき（対数標準偏差  $\zeta$ ）の分岐は、Noda et al.(2002)の式の  $\zeta = 0.53$
- ・サイト補正と震源特性のばらつきを考慮した  $\zeta = 0.69$  の2つの分岐を設定
- ・上限値の打ち切りは、現実的な地震動の上限を  $S_{sS}$  の2～3倍程度を想定
- ・ $\zeta = 0.53$  では上限値を  $3\zeta$ 、 $\zeta = 0.69$  では  $2.3\zeta$  で打ち切った。
- ・Abrahamson and Silva (2008)の式では、同式のばらつきを用いて上限値を  $3\zeta$  で打ち切った。

図 1-2-15 地震動伝播解析のロジックツリー

## I -2.7 地震ハザード解析

I -2.6 章に示した LT を用いて、地震ハザード解析を行い、地震ハザード曲線を算出した。LT の各分岐の重みを考慮した全震源の代表 4 周期の平均ハザード曲線と、特性震源、領域震源の各平均ハザード曲線の比較を図 I -2-16 に示す。LT の全パスについて算定したフラクタルハザード曲線を図 I -2-17 に示す。同図には、LT の全パスのハザード、それらの平均ハザード、及び 15% 信頼度、50% 信頼度、86% 信頼度のフラクタルハザード曲線を重ねて示した。

また、各主要特定震源の地震ハザード曲線の比較を図 I -2-18 に、地震ハザードに影響を及ぼす主要特定震源について、地震発生モデル(ポアソン過程と BPT 分布)と平均活動間隔の違いによる地震ハザード曲線の比較を図 I -2-19 に示す。さらに、領域震源による地震ハザード曲線について、モデルの違いによる比較を図 I -2-20 に示す。

図 I -2-16 から、本サイトでは、地震ハザードに対して、特定震源の影響が支配的で、領域震源の影響はほとんどない。また、図 I -2-18 より、敷地への影響が大きい(超過確率  $10^{-3} \sim 10^{-5}$  に影響度大) 特定震源として、白木-丹生断層、ウツロギ峠北方-池河内断層、C 断層、浦底-内池見断層等、検討用地震に選定された震源があげられる。

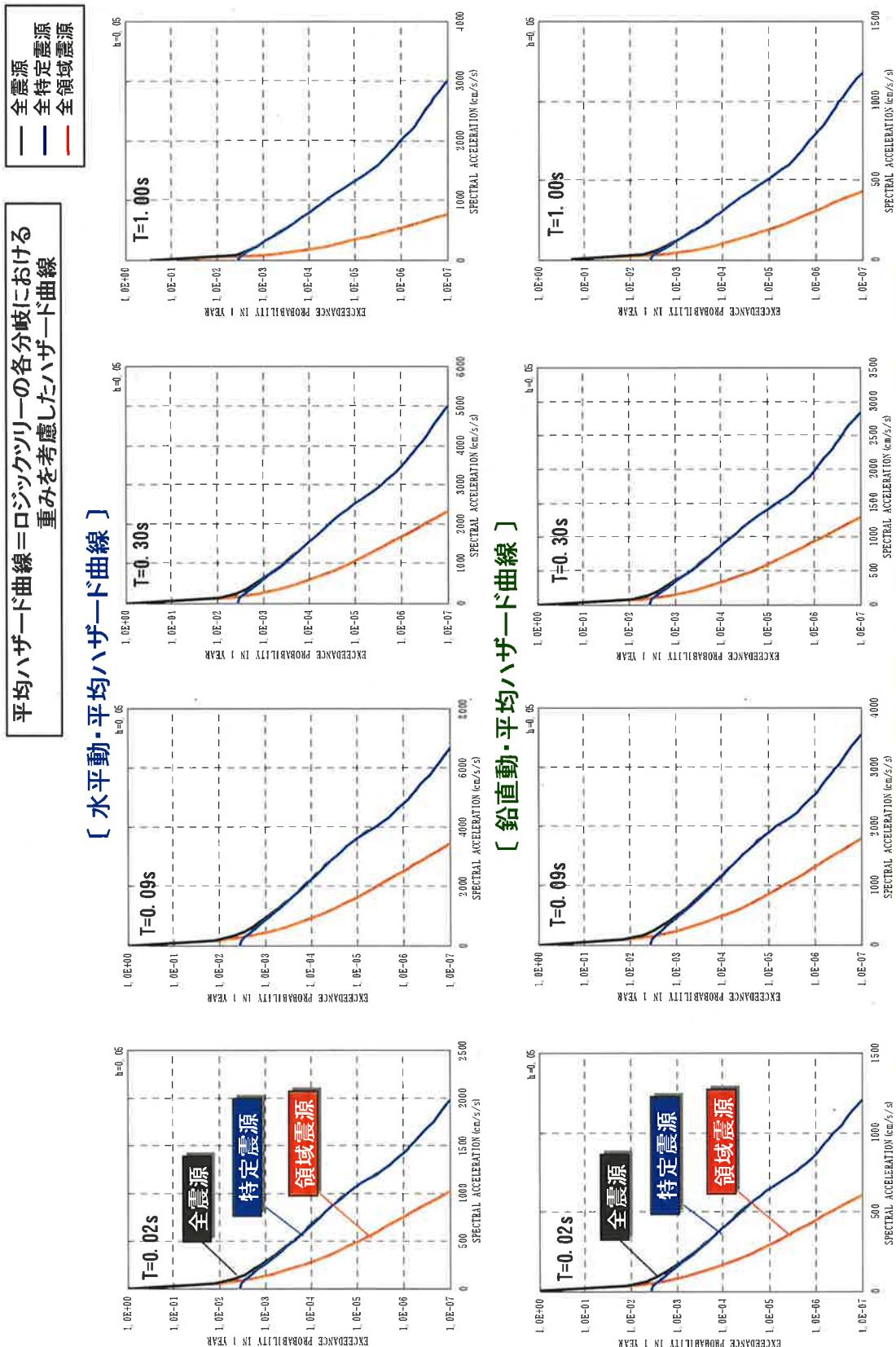


図 I - 2-16 全震源・特定震源・領域震源による各平均ハザードの比較図

水平動・鉛直動の地震ハザードに対して、特定震源の影響が支配的

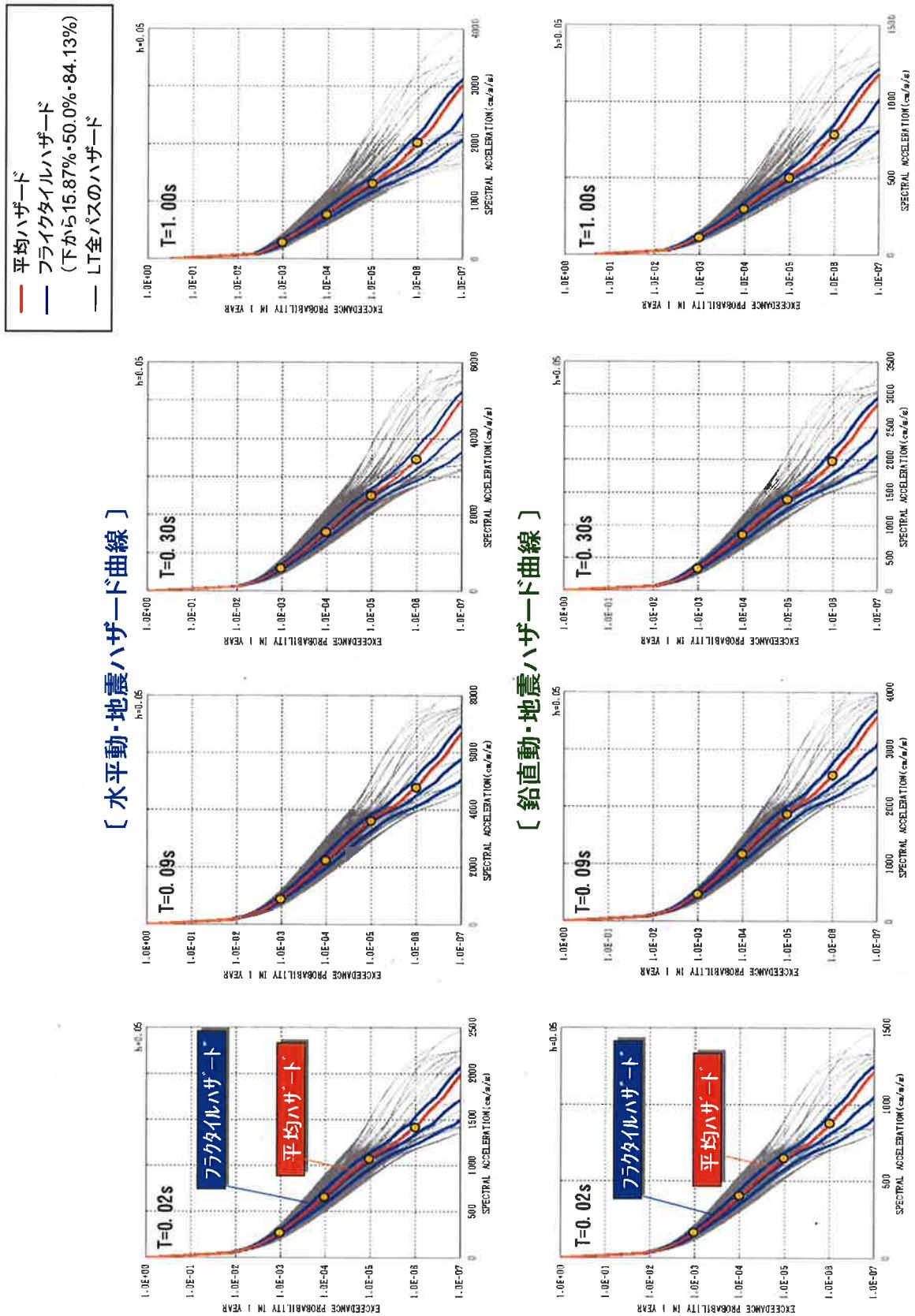


図 I - 2-17 LTの全パスによる各ハザード曲線とその平均ハザード曲線及びフリクタイルハザード曲線の重ね書き

## [水平動地震ハザード曲線の比較]

- ・地震動伝播解析=Noda et al.(2002)\*サイト補正係数、  
対数標準偏差( $\zeta=0.53$ ),上限打ち切り(中央値+3 $\zeta$ )

$10^{-3} \sim 10^{-5}$ に大きく影響を及ぼす震源

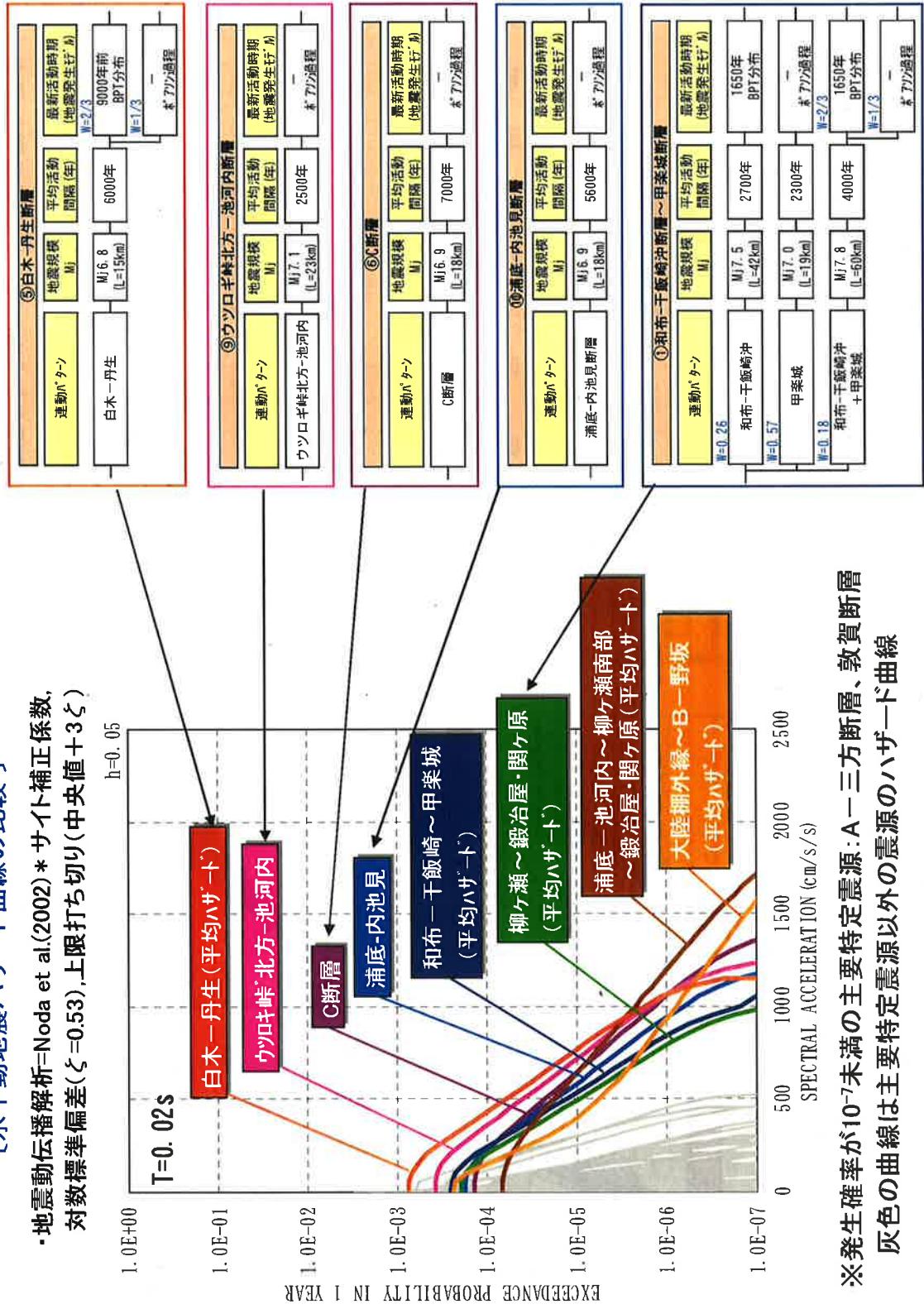


図 I - 2-18 各主要特定震源の地震ハザード曲線の比較

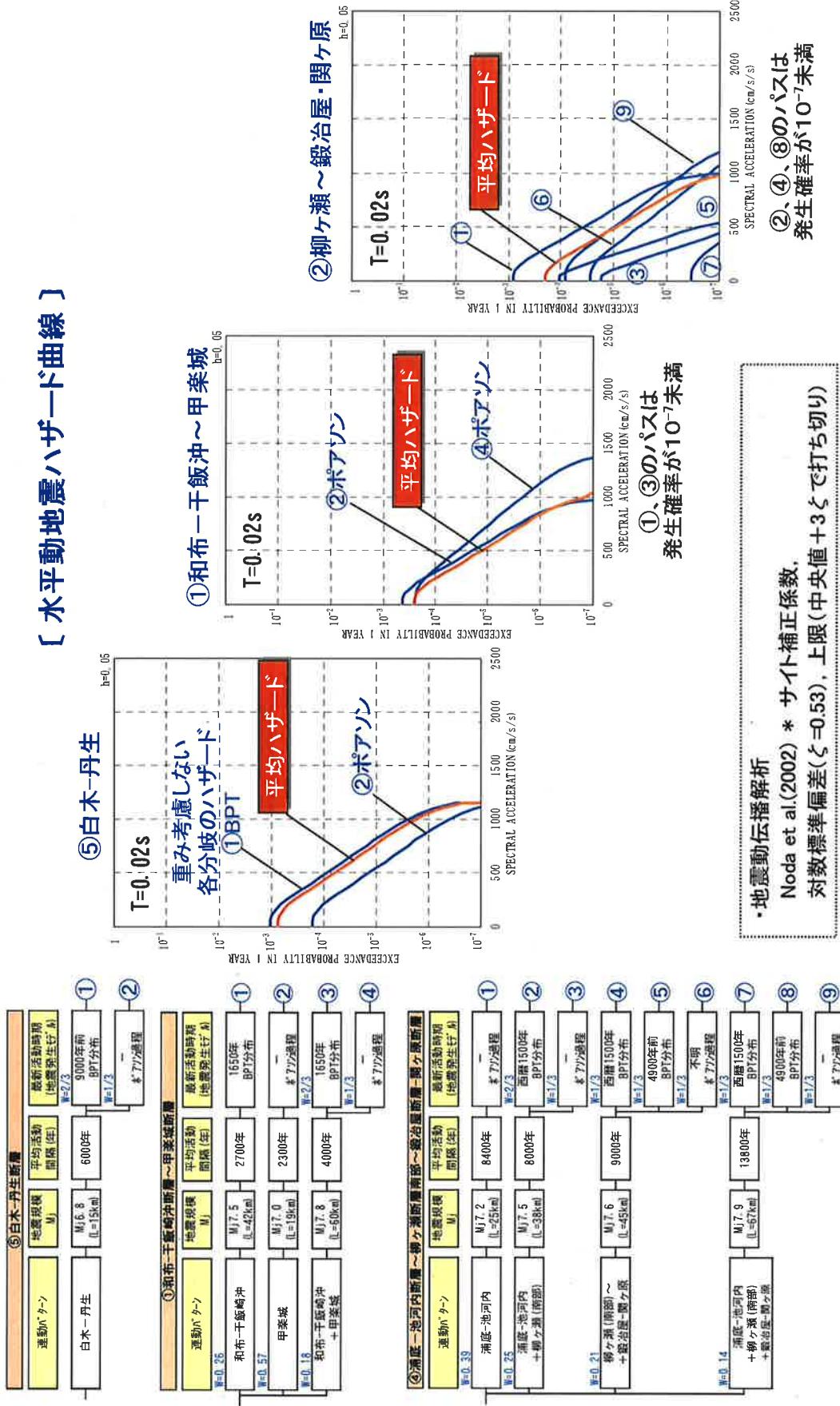


図 I-2-19 主要特定震源のLTにおける各バスによる地震/ハザードの影響度解析

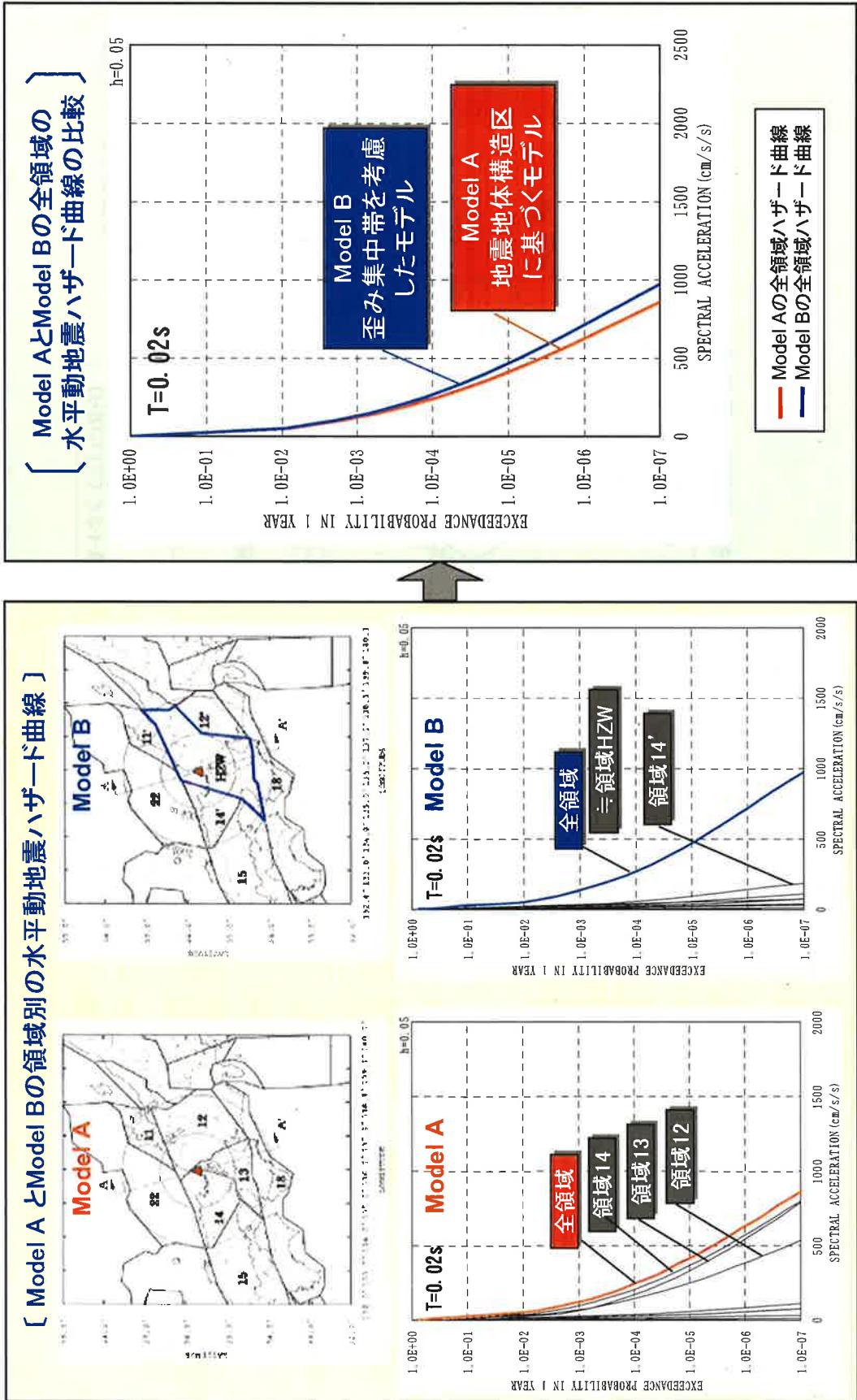


図 I - 2-20 領域震源による地震ハザード曲線(Model A と Model B)  
地震動伝播解析=Noda et al.(2002)\*サイト補正係数、対数標準偏差( $\zeta = 0.53$ )、上限値(中央値 + 3 $\zeta$ で打ち切り)

## I - 2. 8 超過確率別スペクトルの評価結果及び基準地震動 Ss との比較

I - 2. 7 章に示した平均ハザード曲線から、代表 8 周期について、 $10^{-3} \sim 10^{-6}$  の超過確率別スペクトルを算定し、事業者が策定した基準地震動 Ss-D と比較した。それらの結果として、水平動の超過確率別スペクトルを図 I - 2-21 に、鉛直動の超過確率別スペクトルを図 I - 2-22 に示す。各図の左側には JNES の評価結果を、右側には、事業者の評価結果を示した。

水平動の基準地震動 Ss の超過確率は、全周期でほぼ  $10^{-4}$  に、鉛直動は、1 秒より短周期側で  $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 、長期側で  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  に対応する結果となった。また、事業者が評価した超過確率は、JNES の結果とほぼ同レベルであった。

なお、添付資料に、主要特定震源の地震発生モデルの違いによる地震ハザードへの影響度解析の結果と、主要特定震源以外の震源の諸元と地震ハザード解析結果を示す。

## I - 2. 9 基準地震動 Ss の超過確率評価結果まとめ

もんじゅサイト周辺の震源について、震源モデル(特定震源及び領域震源)と地震動伝播解析モデルを設定し、ロジックツリー解析により不確実さを考慮して、地震ハザード解析を実施した。さらに、それらの結果から超過確率別スペクトルを算定し、基準地震動 Ss と比較して Ss の超過確率を評価した。主な結果は、以下の通りである。

- 水平動の基準地震動 Ss の超過確率は、全周期でほぼ  $10^{-4}$  に、鉛直動は、1 秒より短周期側で  $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 、長期側で  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  に対応する結果となった。また、事業者が評価した超過確率は、JNES の評価結果とほぼ同レベルであった。
- もんじゅサイトでは、地震ハザードに対して、特定震源の影響が支配的である。敷地への影響が大きい(超過確率  $10^{-3} \sim 10^{-5}$  に影響度大)特定震源として、白木-丹生断層、ウツロギ峠北方-池河内断層、C 断層、浦底-内池見断層等、検討用地震に選定された震源があげられる。

### [参考文献]

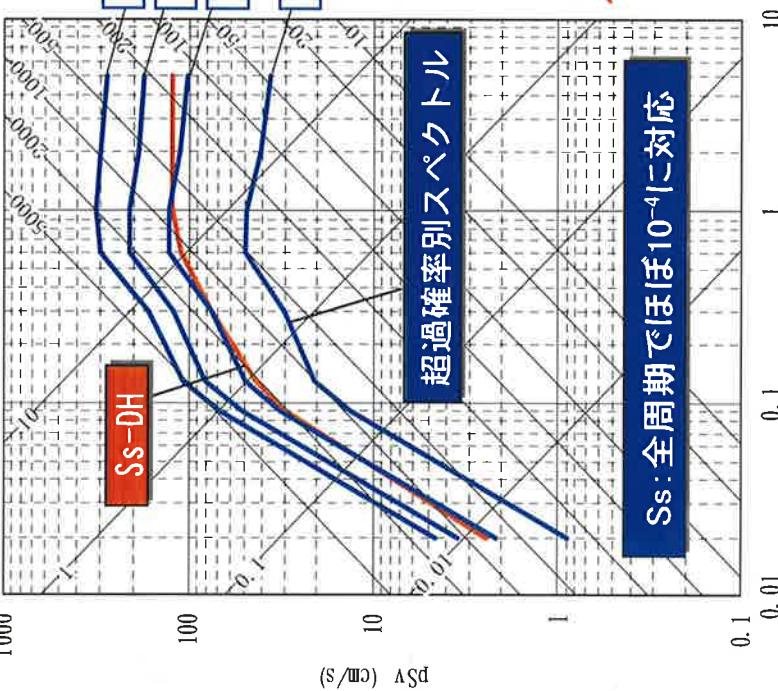
- 1) 日本原子力学会 (2007) : 日本原子力学会標準 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準 : 2007.
- 2) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会 (2005) : 分冊 1 確率論的地震動予測地図の説明、平成 17 年 3 月 23 日.
- 3) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会 (2009) : 全国地震動予測地図 - 地図を見て私の街の揺れを知る - 、平成 21 年 7 月.

- 4) 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 (2008) : 高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書、平成20年3月。
- 5) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同WG会合Cサブグループ資料、第14回Cサブグループ会合(2009.4/9)合同C14-4.
- 6) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会 (2004) : 「柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の長期評価について」、平成16年1月14日(平成17年1月12日変更)。
- 7) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会 (2003) : 「野坂・集福寺断層帯の長期評価について」、平成15年6月11日。
- 8) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会 (2003) : 「湖北山地断層帯の長期評価について」、平成15年6月11日。
- 9) 地震調査研究推進本部・地震調査委員会 (2003) : 「三方・花折断層帯の長期評価について」、平成15年3月12日。
- 10) 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について、地震 2, 28, 269-283.
- 11) 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠義博(2003) : 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分、地震 2, 55, 389-406.
- 12) 鷲谷威 (2007) : 「ひずみ集中帯」とは何か、科学、Vol55、No.11、pp.1200-1205.
- 13) Noda S. et al. (2002) : Response spectra for design purpose of stiff structures on rock OECD/NEA Workshop.
- 14) 佐藤智美・壇一男・岡崎敦・羽田浩二 (2007) : 若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析、日本地震学会講演予稿集、P3-66.
- 15) 池浦友則・野田静男 (2005) : 同一地点における地震動応答スペクトルのばらつき - 地震規模と震源距離がそれぞれ等しい強震記録ペアの分析- 日本地震工学会論文集、第5巻、第3号。
- 16) Abrahamson, N. A., and Silva, W. J., (2008) : Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground motion relations, Earthquake Spectra 24, 67-97.

## [ 基準地震動 $S_s$ と超過確率別スペクトルとの比較(水平動) ]

**JNES**

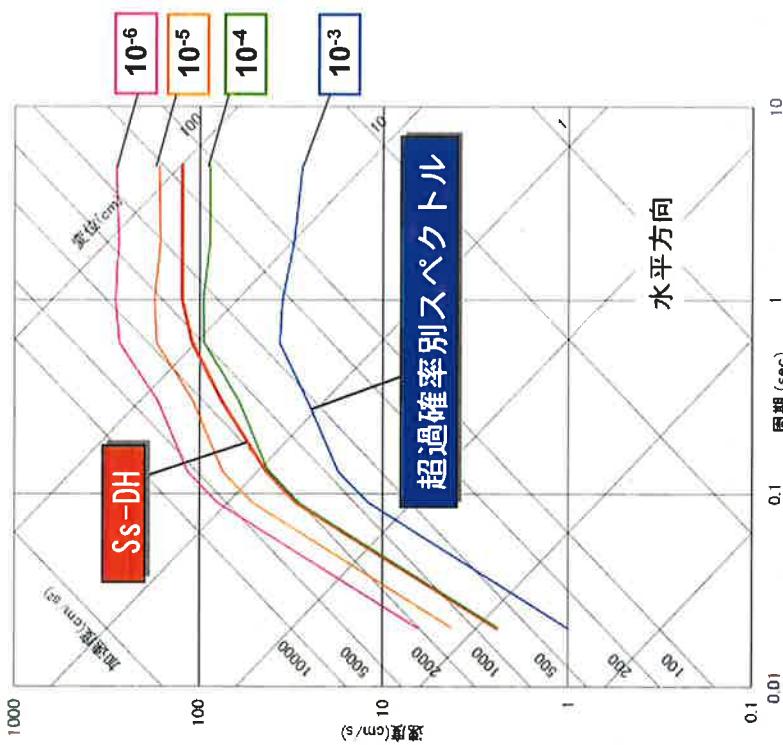
$h=0.05$



$S_s$ : 全周期でほぼ  $10^{-4}$  に対応

※超過確率別スペクトルはロジックツリーの  
全パスの平均ハザード曲線から算定

$h=0.05$



超過確率別スペクトル

合同C21-3より

■ハザードに影響が  
大きい活断層  
・白木-丹生断層  
・ウツロギ峠北方  
-池河内断層  
・C断層  
・浦底-内池見断層

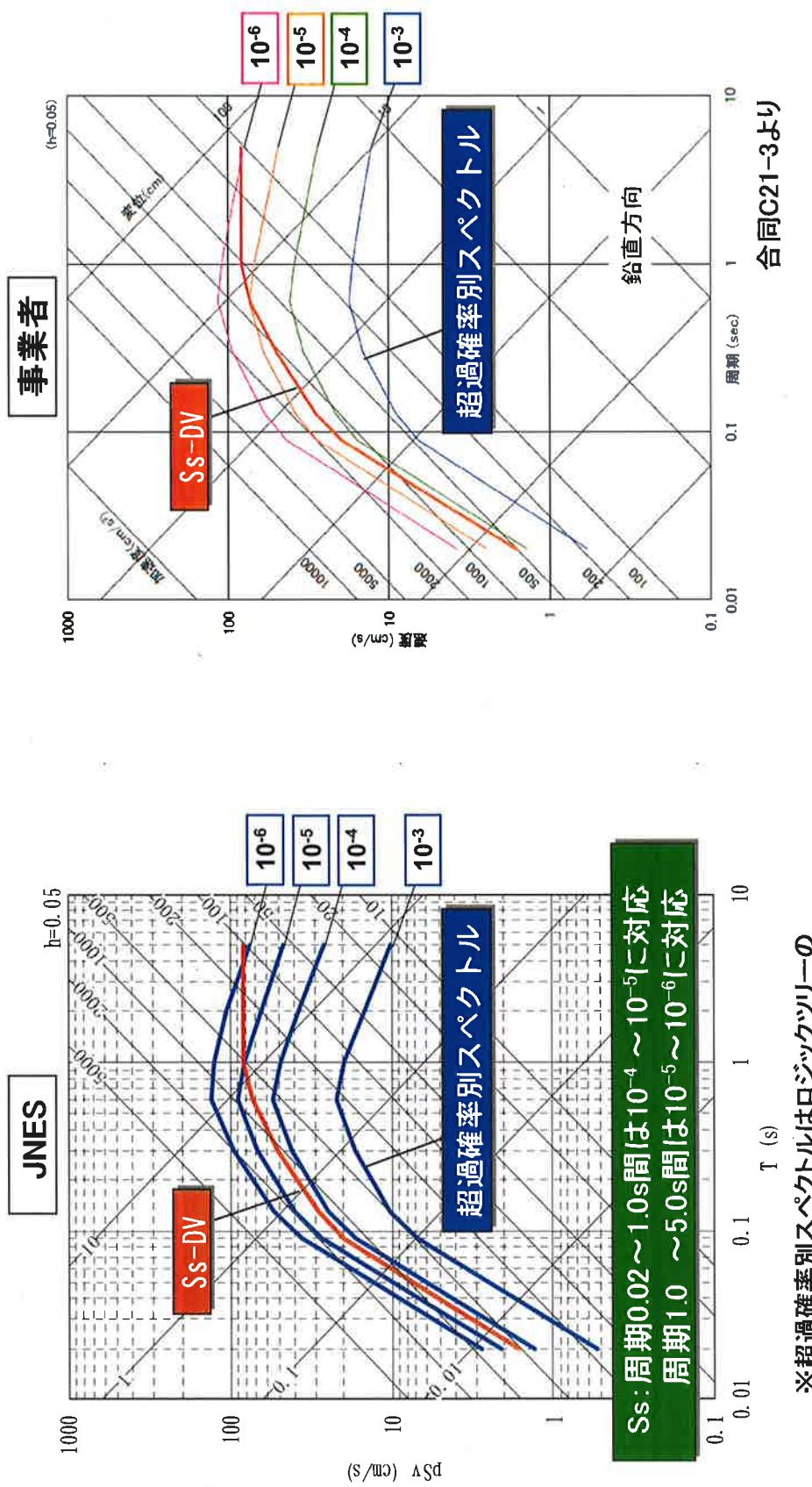
検討用地震	規模(M)
C断層	6.9
白木-丹生 断層	6.9
浦底-内池見 断層	6.9
和布-干飯崎沖 -甲美城断層	7.8
大陸棚-B-野坂 断層	7.7



$S_s-1$   
~  $S_s-9$

図 I - 2-21 基準地震動  $S_s$  と超過確率別スペクトルとの比較(水平動)

## [ 基準地震動 $S_s$ と超過確率別スペクトルとの比較(鉛直動) ]

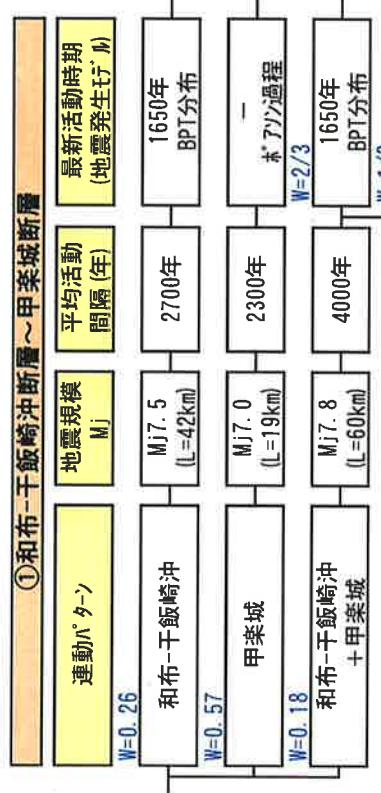


※超過確率別スペクトルはロジックツリーの  
全パスの平均ハザード曲線から算定

図 1-2-22 基準地震動  $S_s$  と超過確率別スペクトルとの比較(鉛直動)

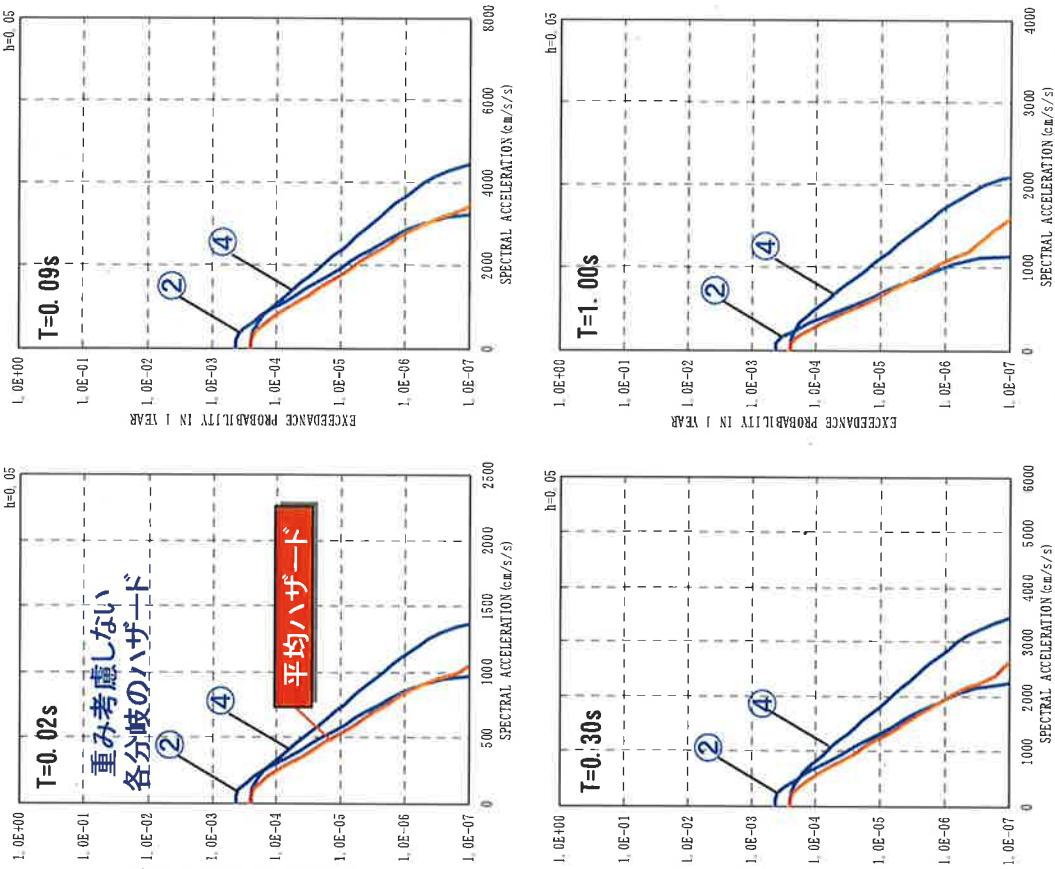
## [添付資料 各主要特定震源の地震ハザードの影響度解析結果(1)]

### ■ 和布-干飯崎沖～甲楽城の分岐項目と各分岐に対する重み



①、③のパスは  
発生確率が $10^{-7}$ 未満

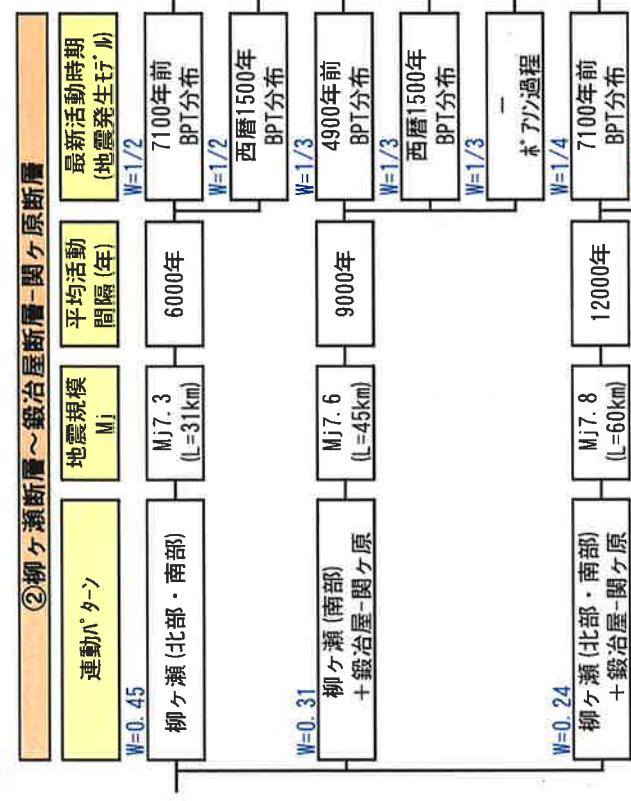
### ■ 和布-干飯崎沖～甲楽城断層の水平動地震ハザード曲線



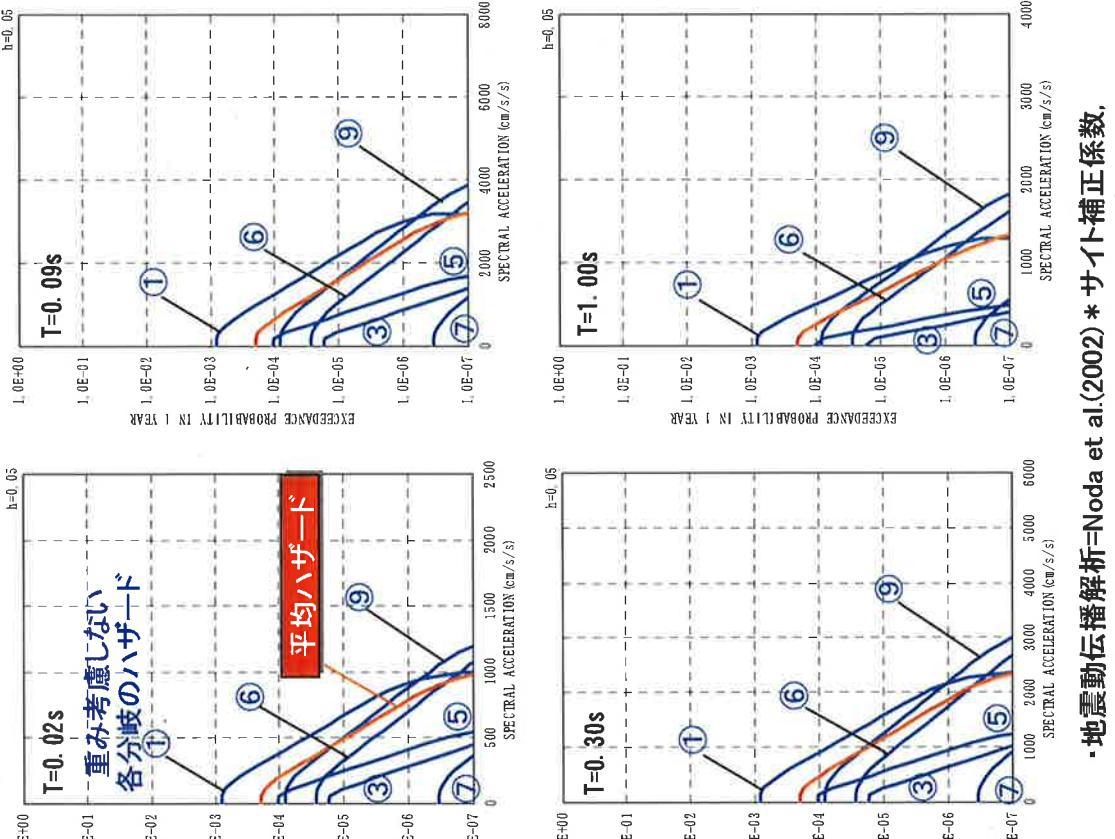
\* 地震動伝播解析=Noda et al.(2002) \* サイト補正係数,  
対数標準偏差( $\zeta=0.53$ ),上限打ち切り(中央値+3 $\zeta$ )

## 〔添付資料 各主要特定震源の地震ハザードの影響度解析結果(2)〕

### ■ 柳ヶ瀬～鍛冶屋-関ヶ原断層項目と各分岐に対する重み



### ■ 柳ヶ瀬～鍛冶屋-関ヶ原断層の水平動地震ハザード曲線

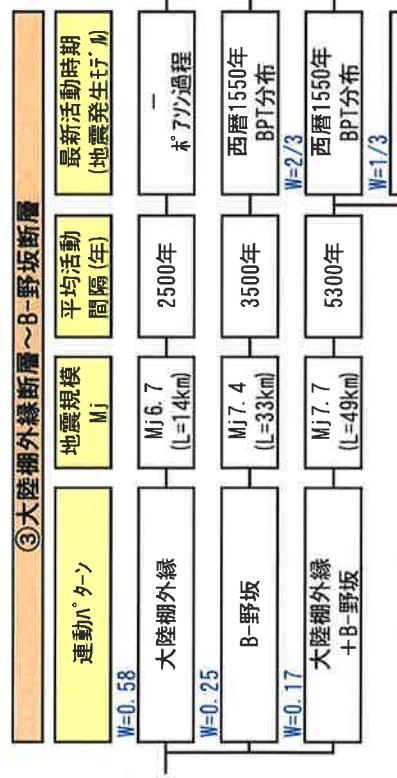


・地震動伝播解析=Noda et al.(2002)\*サイト補正係数、  
対数標準偏差( $\zeta = 0.53$ ),上限打ち切り(中央値+3 $\zeta$ )

②、④、⑧のパスは  
発生確率が $10^{-7}$ 未満

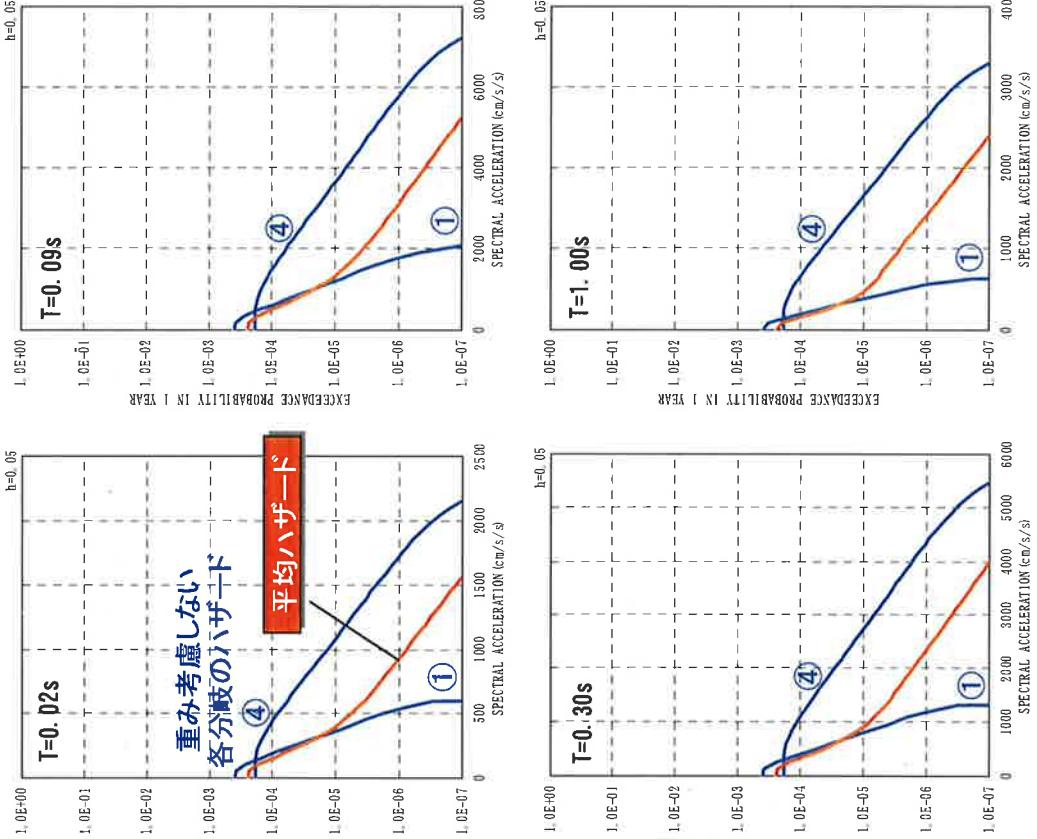
〔添付資料 各主要特定震源の地震ハザードの影響度解析結果(3)〕

■ 大陸棚外縁～B～野坂の分岐項目と各分岐に対する重み



②、③のパスは  
発生確率が $10^{-7}$ 未満

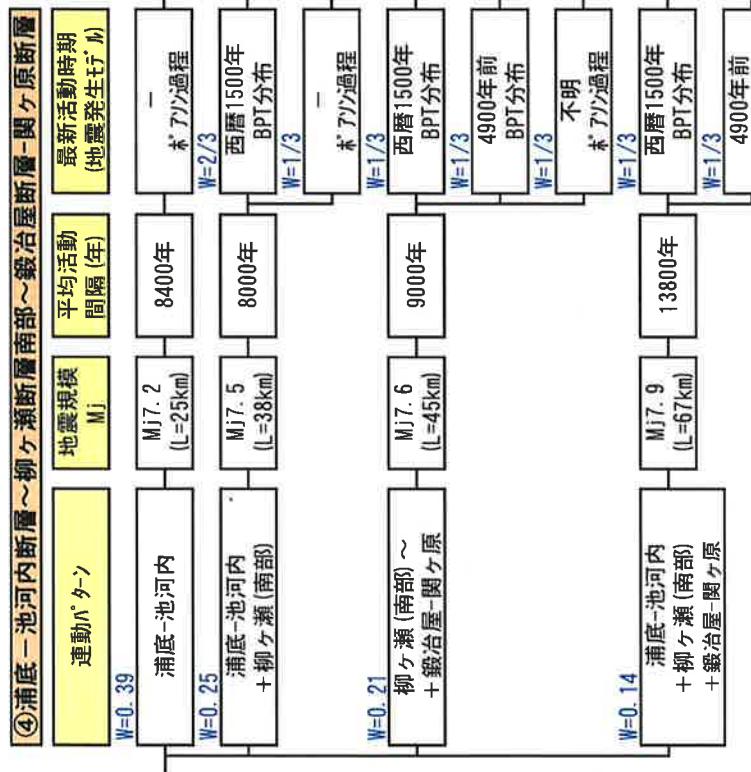
■ 大陸棚外縁～B～野坂断層の水平動地震ハザード曲線



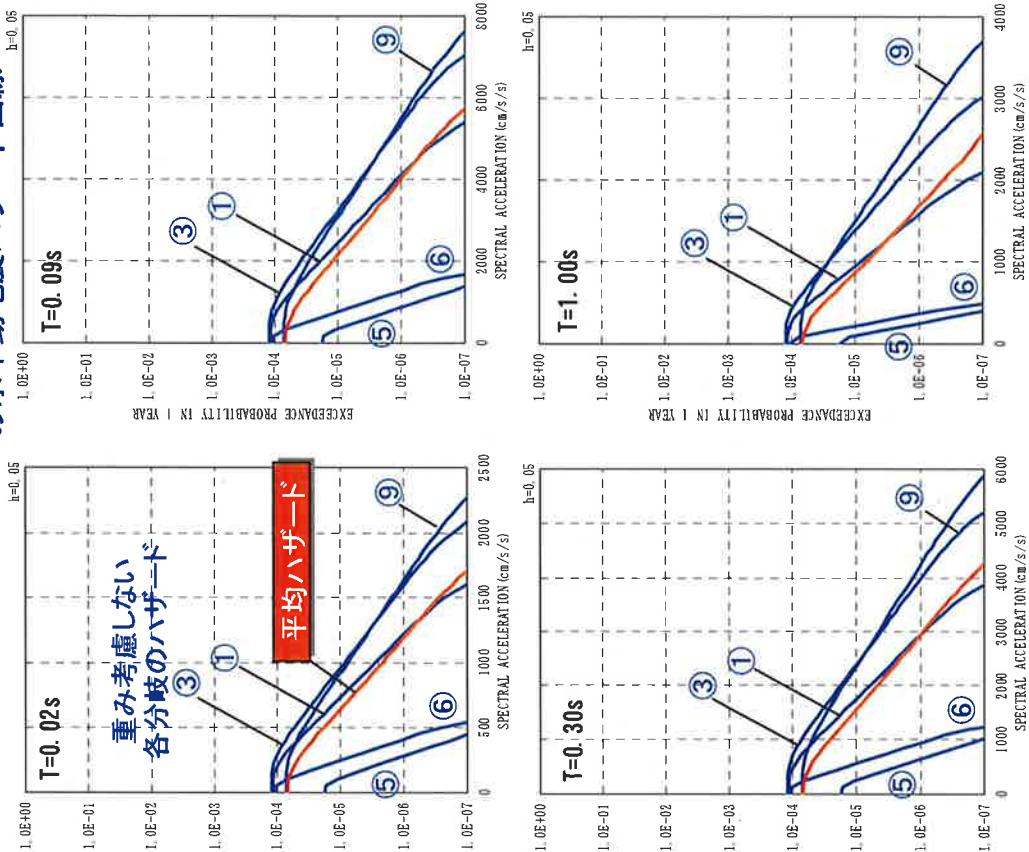
・地震動伝播解析=Noda et al.(2002)\* サイト補正係数、  
対数標準偏差( $\zeta=0.53$ )、上限打ち切り(中央値+3 $\zeta$ )

[添付資料 各主要特定震源の地震ハザードの影響度解析結果(4)]

■ 浦底-池河内～柳ヶ瀬南部～鍛冶屋-関ヶ原  
の分岐項目と各分岐に対する重み



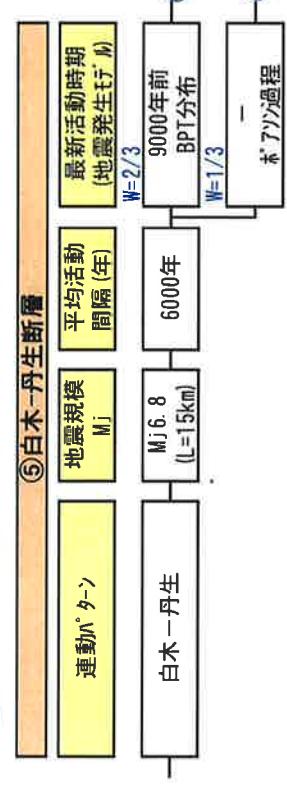
■ 浦底-池河内～柳ヶ瀬南部～鍛冶屋-関ヶ原断層  
の水平動地震ハザード曲線



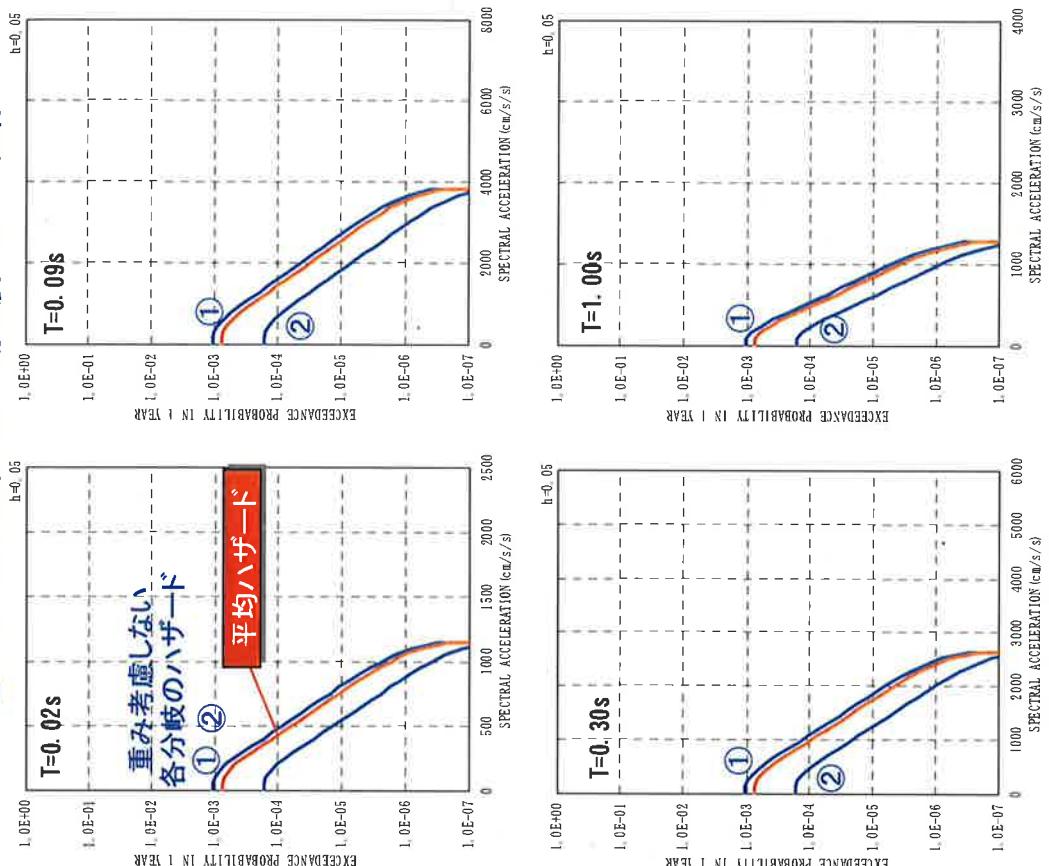
・地震動伝播解析=Noda et al.(2002)\* サイト補正係数、  
対数標準偏差( $\zeta = 0.53$ )、上限打ち切り(中央値 + 3 $\zeta$ )

[添付資料 各主要特定震源の地震ハザードの影響度解析結果(5) ]

■白木ー丹生断層の分岐項目と各分岐に対する重み



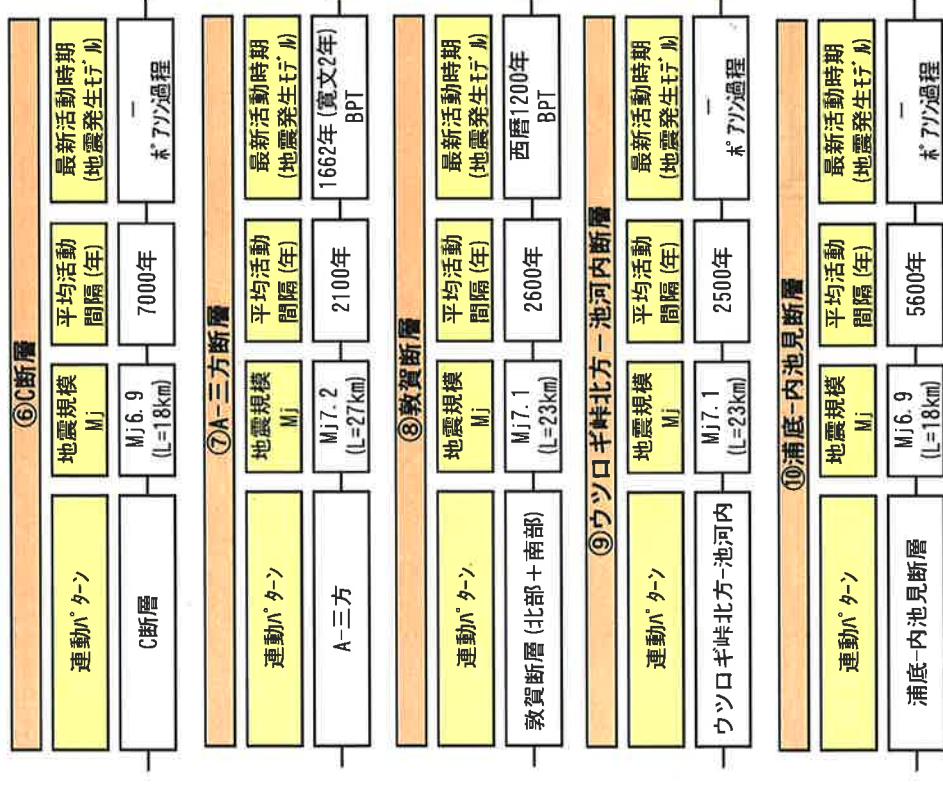
■白木ー丹生断層の水平動地震ハザード曲線



・地震動伝播解析=Noda et al.(2002)\* サイト補正係数、  
対数標準偏差( $\zeta = 0.53$ )、上限打ち切り(中央値 + 3 $\zeta$ )

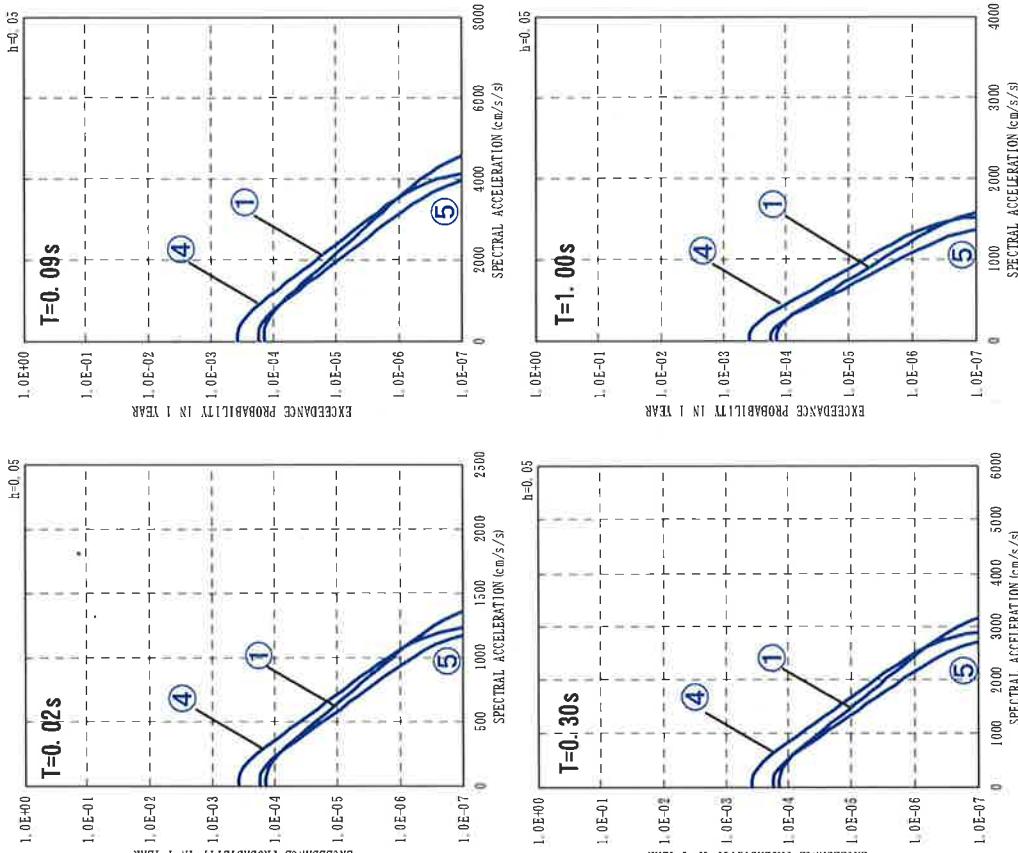
## [添付資料 各主要特定震源の地震ハザードの影響度解析結果(6)]

### ■ その他の主要特定震源のバス



②、③のバスは  
発生確率が $10^{-7}$ 未満

### ■ その他の主要特定震源の水平動地震ハザード曲線



・地震動伝播解析=Noda et al.(2002)\*サイト補正係数,  
対数標準偏差( $\zeta = 0.53$ ),上限打ち切り(中央値 + 3 $\zeta$ )

## 〔添付資料 主要特定震源以外の震源の地震ハザード評価(1)〕

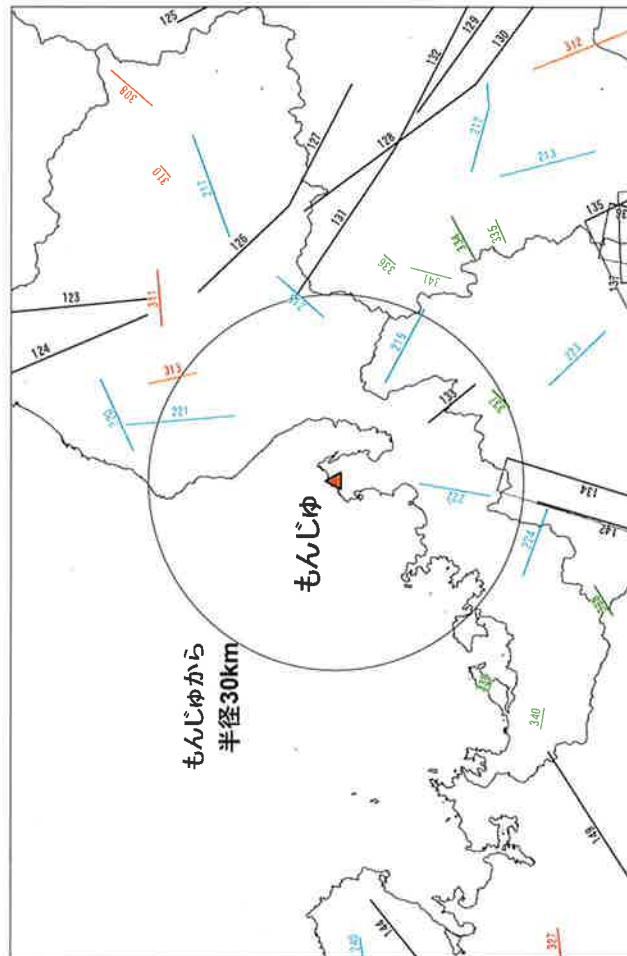
### ■主要特定震源以外の震源の分布

#### ● 地震本部の主要断層帯及び主要断層帯以外の活断層

#### ●新編日本の活断層(活断層研究会、1991)

#### ●近畿の活断層(岡田・東郷、2000)

#### ●活断層詳細デジタルマップ(中田・今泉、2002)



※サイト周辺の主要特定震源については省略

— 地震本部 (主要断層帯以外)

— 地震本部 (主要断層帯)

— 新編日本の活断層 (確実度 I, II)

— 近畿の活断層 (確実度 I, II)

— 活断層詳細デジタルマップ (推定活断層)

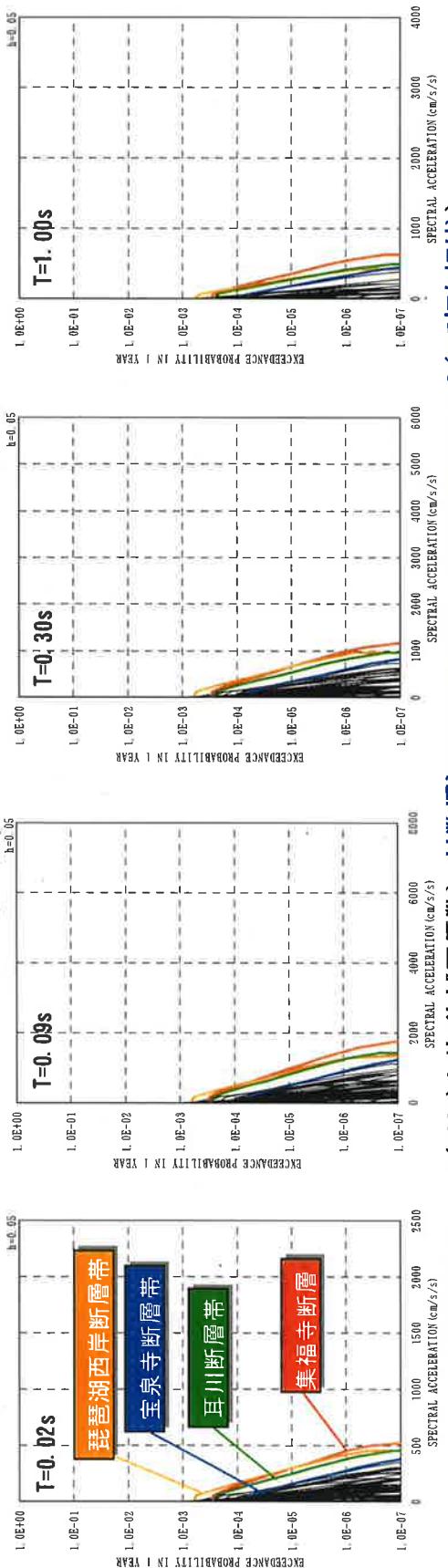
### ■主要特定震源以外の断層諸元(地震本部の主要断層帯)

	起震断層	L (km)	M <sub>j</sub> (km)	λ <sub>eq</sub> (年)	平均活動周期 (年)	最新活動時期 (年)	地盤発生 確率モデル
101	木曾山脈西端断層带北部	44	7.5	162	7.750	760	BPT
102	木曾山脈東端断層带南部	9	6.3	145	14.250	5151	BPT
103	北嶺山断層带	74	7.8	135	2.500	152	BPT
104	高尾山・大原断層带	28	7.1	110	3.050	2505	BPT
105	高尾山・大原断層带高尾山断層带	48	7.5	110	4.000	-	ボアン
106	高尾山・大原断層带者之參断層带	24	6.9	126	7.000	-	ボアン
107	牛首断層带	58	7.7	126	6.050	910	BPT
108	庄川断層带	72	7.8	102	5.250	710	BPT
109	阿寺断層带主部北部	20	6.8	112	2.150	3201	BPT
110	阿寺断層带主部南部	64	7.8	122	1.700	474	BPT
111	阿寺断層带足利断層带	28	7.2	112	7.300	-	ボアン
112	阿寺断層带白川断層带	34	7.3	112	9.800	-	ボアン
113	庄川断層带・東那山断層带	20	6.8	143	8.000	-	ボアン
114	赤堀河断層带	24	7.1	119	7.300	-	ボアン
115	東那山・那古山北断層带	60	7.8	136	10.600	6501	BPT
116	鶴林谷・高津断層带	52	7.7	120	40.000	14001	BPT
117	木曾木曾断層带	32	7.6	126	30.000	-	ボアン
118	邑知浅野断層带	46	7.6	146	1.350	-	ボアン
119	飯坂平野断層带西部	26	7.3	130	9.000	4405	BPT
120	饭坂平野断層带東部	22	7.1	129	5.000	3951	BPT
121	庄川断層带	30	7.5	153	4.000	2405	BPT
122	糸本・葛野断層带	26	7.1	114	2.000	1110	BPT
123	福井平野東端断層带主部	48	7.6	59	12.500	-	ボアン
124	福井平野東端断層带西部	35	7.3	51	10.048	-	ボアン
125	長良川上流断層带	32	7.3	83	9.300	-	ボアン
126	白鳥断層带東部	20	6.8	41	2.300	119	BPT
127	白鳥断層带東部	22	7.1	55	1.700	-	ボアン
128	庄屋断層带主部	34	7.3	55	2.850	119	BPT
129	庄屋断層带主部庄屋断層带	40	7.5	79	14.500	119	BPT
130	多賀町断層带三田田断層带	22	6.9	79	15.000	-	ボアン
131	猪川断層带	28	7.1	42	7.600	-	ボアン
132	庄屋断層带	32	7.3	69	9.200	-	ボアン
133	集福寺断層带	10	6.9	23	3.200	-	ボアン
134	北淡西北剥離帶	60	7.7	50	3.200	2601	BPT
135	垂井一益名・四日市断層带	58	7.8	78	1.650	610	BPT
136	餘鹿東端断層带	45	7.6	75	9.250	3151	BPT
137	餘鹿西端断層带	46	7.6	73	21.000	-	ボアン
138	御食山地東端断層带西部	32	7.3	101	10.000	56355	BPT
139	御食山地東端断層带東部	34	7.3	113	17.000	14205	BPT
140	布引山地東端断層带東部	50	7.6	124	25.000	11001	BPT
141	木曾川断層带	32	7.3	98	14.500	156	BPT
142	庄野断層带東部	30	7.2	47	8.407	-	ボアン
143	庄野断層带中部	38	7.5	77	5.350	2105	ボアン
144	山田断層带主部	38	7.3	83	10.000	-	ボアン
145	豊村断層带	38	7.3	91	12.500	83	BPT
146	良賀盆地東端断層带	36	7.5	117	5.000	6105	BPT
147	有馬・高嶽断層带	60	7.7	113	1.500	414	BPT
148	牛ヶ角断層带	49	7.5	117	4.500	1310	BPT
149	上林川断層带	30	7.2	69	8.300	-	ボアン
150	三郎山断層带	30	7.2	82	6.000	-	ボアン
151	庄野断層带	48	7.6	87	4.550	2105	BPT
152	宍道山断層带主部六甲山地南側 - 丹波島東岸西岸区間	74	8.0	135	1.850	460	BPT
153	宍道山断層带主部東部	28	7.1	62	2.150	15	BPT
154	上町断層帶	46	7.5	131	8.000	18301	BPT
155	中央構造線断層带高尾山地東側 - 和泉山脈南側	52	7.6	160	2.050	1142	BPT
156	山崎断層帶北西部	30	7.7	141	3.000	2505	BPT
157	室生断層帶主部東部	32	6.7	145	5.000	1210	BPT
158	室谷断層帶	26	7.2	121	12.500	760	BPT
159	伊勢佐木断層帶主部東部	18	6.8	137	7.500	1760	BPT
160	白子二野断層帶	22	7.1	120	8.000	5751	BPT
161	大坂瀬断層帶	44	7.5	157	5.000	605	BPT

※地震本部の主要断層帶の諸元は、独立行政法人防災科学研究所の地震ハザードステーション(<http://www.j-shis.bosai.go.jp>)からダウンロード。

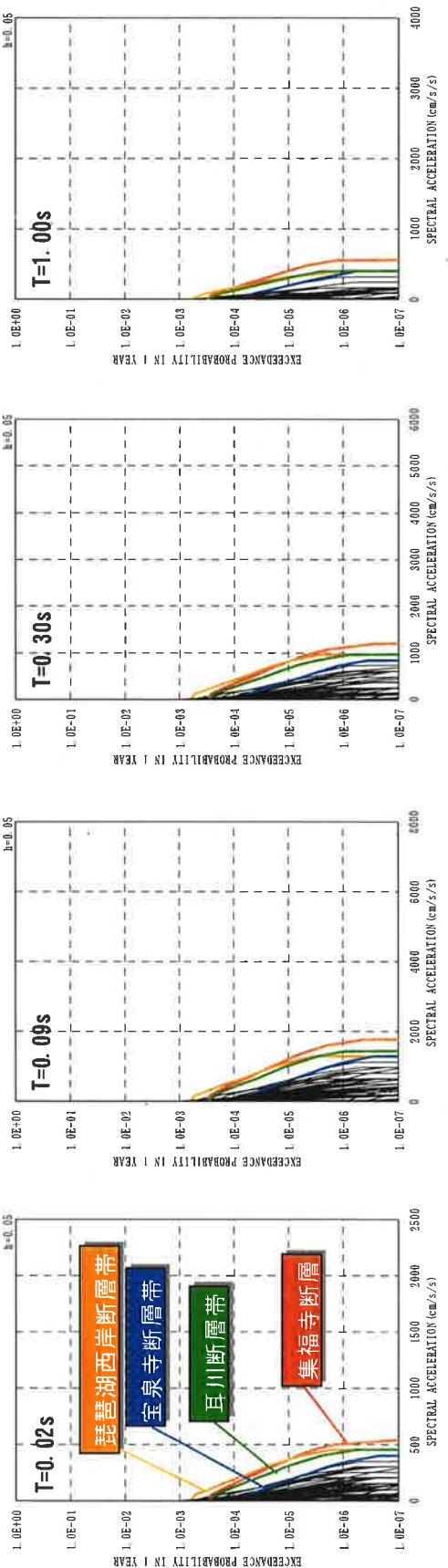
## 〔添付資料 主要特定震源以外の震源の地震ハザード評価(2)〕

### ■水平動地震ハザード曲線の比較



中央値(Noda et al.(2002)+サイト補正係数)、対数標準偏差( $\zeta = 0.53$ )、上限値(中央値+ $2.3\zeta$ で打ち切り)

### ■水平動地震ハザード曲線の比較



中央値(Noda et al.(2002)+サイト補正係数)、対数標準偏差( $\zeta = 0.69$ )、上限値(中央値+ $2.3\zeta$ で打ち切り))

## 第Ⅱ篇 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価

## 目 次

II-1 概要 .....	II-1-1
II-1. 1 目的及び検討概要 .....	II-1-1
II-1. 2 前提条件 .....	II-1-3
II-1. 3 検討フロー .....	II-1-3
II-2 事業者条件による解析 .....	II-2-1
II-2. 1 安定性評価項目 .....	II-2-1
II-2. 2 解析条件 .....	II-2-1
II-2. 3 解析結果 .....	II-2-5
II-3 JNES条件による解析 .....	II-3-1
II-3. 1 JNES条件による解析の考え方 .....	II-3-1
II-3. 2 安定性評価項目 .....	II-3-1
II-3. 3 解析条件 .....	II-3-2
II-3. 4 解析結果 .....	II-3-3
II-4 まとめ .....	II-4-1

## II-1 概要

### II-1.1 目的及び検討概要

#### II-1.1.1 目的

平成18年9月19日に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(原子力安全委員会決定)に基づき、独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、「事業者」という。)が実施した高速増殖原型炉もんじゅの原子炉建物基礎地盤(以下、「基礎地盤」という。)の安定性評価に関してクロスチェック解析を実施する。

#### II-1.1.2 検討概要

##### (1) 検討条件

クロスチェック解析では、事業者が設定した解析条件(以下、「事業者条件」という。)による解析及び、JNESが妥当と考える解析条件(以下、「JNES条件」という。)による解析を実施した。

###### 1) 事業者条件

事業者条件による解析は以下の条件で行った。

評価項目は、①建屋基礎地盤のすべり、②建屋基礎底面の傾斜の2つとする。

検討対象断面は、炉心で直交する二断面のうち、事業者が解析を実施したX-X'断面(東西断面)とする。

解析モデルは、原子炉建物及び地盤を平面ひずみ要素でモデル化した建物～地盤連成モデルとする。また、破碎帯はジョイント要素でモデル化する。

基礎地盤の安定性解析は、静的解析による地盤の初期応力の算定と、地震応答解析による地震時応力の算定を行うものとする。

地震応答解析は、水平動と鉛直動の同時入力による周波数応答解析とし、等価線形解析によって剛性及び減衰のひずみ依存性を考慮する。

解析に使用する物性値は、事業者が設定した値を用いる。

地震応答解析に用いる地震動は、事業者が策定した10波の基準地震動Ssの中から、水平動の加速度が最も大きな地震動であるSs-D波(応答スペクトルに基づく地震動)と、合同CサブWGで報告された事業者解析結果において最も厳しい評価となったSs-1波(断層モデルを用いた手法による地震動)の2波を選定する。

すべり面は、事業者が設定したすべり面を用いる。

###### 2) JNES条件

JNES条件による解析は、事業者条件を分析したうえでJNESが妥当と考える解析条件を設定して行った。

###### i) 事業者条件の分析

###### ① 基礎地盤の安定性評価に係る項目

- ・事業者解析では、すべりと傾斜に対する評価が行われているが、基礎地盤の安定性評価においては、さらに支持力に対する評価が重要である。
- ・事業者解析では、傾斜に対する評価基準値が設定されていない。

###### ② 入力条件に係る項目

- ・安定性解析モデルは地層構成が不整形であり建物東側に斜面が存在する左右非対称なモデルとなっている。そのため、入力地震動の水平動と鉛直動の位相を反転することによって応答結果に違いが生じることが予想される。

従って、事業者解析では実施されていないが、応答スペクトルに基づく地震動の場合は位相を反転した解析が必要である。

## ii) JNES条件の設定

JNES条件による解析は以下の条件で行った。

評価項目は、①建屋基礎地盤のすべり、②建屋基礎底面の傾斜、③建屋基礎地盤の支持力の3項目とする。また、傾斜に対する評価基準値を設定する。

地震動については、「入力地震動の水平動と鉛直動の同時入力における位相の組合せ」を考慮する。

他の条件については、事業者条件と同様とする。

## (2) 解析結果

### 1) 事業者条件による解析結果

事業者の解析条件を用いて、基礎地盤の安定性解析を実施し、①建物基礎地盤のすべり、②建物基礎底面の傾斜に対する検討を行い、以下の結果を得た。

①すべりに対する事業者の解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準を満足した。

②傾斜に対する事業者の解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致した。

なお、事業者解析では傾斜に対する評価基準値が設定されていないため、安定性は確認できなかつた。

### 2) JNES条件による解析結果

JNES条件による解析では、入力地震動の位相の反転を考慮した基礎地盤の安定性解析を実施し、①建物基礎地盤のすべり、②建物基礎底面の傾斜、③建物基礎地盤の支持力に対する検討を行い、以下の結果を得た。

①すべりに対する評価では、最小すべり安全率 $F_s$ は $F_s=9.2$ となった。また、この値は評価基準値1.5を上回り、評価基準を満足している。

②傾斜に対する評価では、最大傾斜は $1/9,600$ となった。また、この値はJNESの設定した評価基準値 $1/2,000 \sim 1/1,000$ を下回り、評価基準を満足している。

③支持力に対する評価では、最大接地圧は $4.8 \text{ MPa}$ となった。また、この値はJNESの設定した評価基準値 $20.5 \text{ MPa}$ を下回り、評価基準を満足している。

### 3) まとめ

以上から、基準地震動 $S_{\text{S}}$ に対して基礎地盤の安定性が保たれることを確認した。また、上記事業者の報告書等における事業者の解析及び評価結果は妥当であると判断される。

## II - 1. 2 前提条件

- ・クロスチェック対象は、事業者が耐震安全性評価結果報告書※1や合同CサブWG※2で報告した、基準地震動Ssによる地震力に対する基礎地盤の安定性評価結果とする。
- ・解析には、JNES保有の解析コードを用いる。
- ・適用基準は、以下のとおりである。
  - 1) 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(原子力安全委員会、平成18年9月)
  - 2) 新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価及び確認に当たっての基本的な考え方並びに評価手法及び確認基準について(原子力安全・保安院、平成18年9月)
  - 3) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(日本電気協会、昭和62年8月)

※1 高速増殖原型炉もんじゅ 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う  
耐震安全性評価結果報告書（平成20年3月31日）、追補版（平成21年3月31日）、改訂版（平成22年2月2日）

※2 耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループCサブグループ会合

## II - 1. 3 検討フロー

クロスチェック解析では、事業者条件による解析及びJNES条件による解析を実施する。

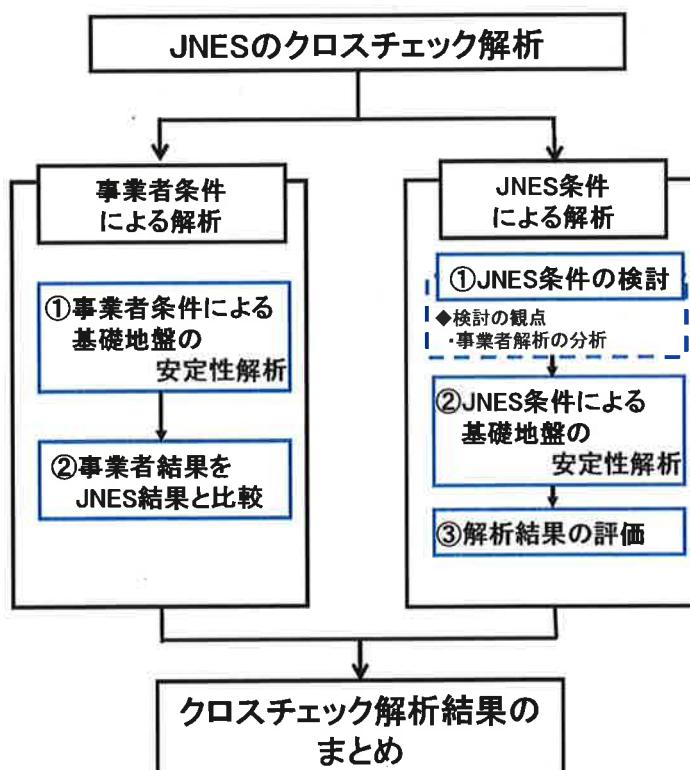


図-1.1 クロスチェック解析における基礎地盤の安定性検討フロー図

## II-2 事業者条件による解析

### II-2.1 安定性評価項目

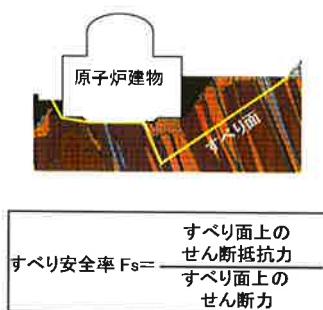
事業者条件による解析では、以下の2項目について評価を行うものとする。

表-2.1 事業者条件による解析における評価項目と評価基準

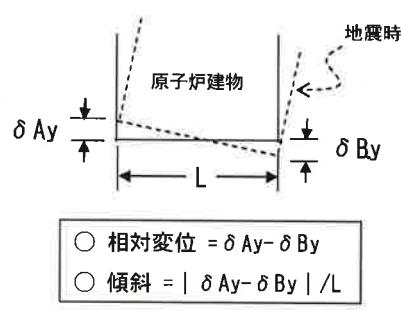
評価項目	評価基準
①建物基礎地盤のすべり	すべり安全率Fsが1.5以上であること※1
②建物基礎底面の傾斜	(事業者は傾斜に対する評価基準値を設定していない)

※1 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987

①すべり安全率の算定



②傾斜の算定



## II-2.2 解析条件

### II-2.2.1 解析モデル

検討対象断面は、炉心で直交する二断面のうち、事業者が解析を実施したX-X'断面(東西断面)とする。解析モデルは、原子炉建物及び地盤を平面ひずみ要素でモデル化した建物～地盤連成モデルとする。また、破碎帯はジョイント要素でモデル化する。

基礎地盤の安定性解析は、静的解析による地盤の初期応力の算定と、地震応答解析による地震時応力の算定を行うものとする。

地震応答解析は、水平動及び鉛直動同時入力による周波数応答解析とし、等価線形解析によって剛性及び減衰のひずみ依存性を考慮する。

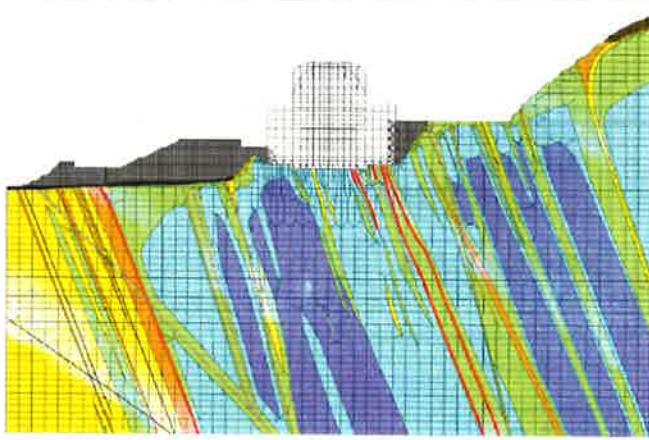


図-2.1 解析モデル図(X-X' 断面)

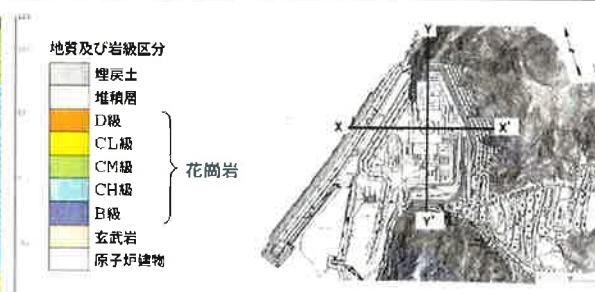


図-2.2 断面位置図

表-2.2 境界条件

	静的解析	地震応答解析
地盤底面	固定境界	粘性境界
地盤側面	鉛直ローラー境界	エネルギー伝達境界

## II-2.2.2 地盤物性値

解析に使用する物性値は、事業者が設定した値を用いる。

表-2.3 地盤物性値

	物理特性	動的変形特性			強度定数				
		単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	動ポアソン比※1	動せん断弾性係数※1 (kN/m <sup>2</sup> )	動せん断弾性係数及び 減衰定数の ひずみ依存性	ピーク強度※2	残留強度※2		
					C (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$C_r$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi_r$ (°)	
堆積層	20.4	$\nu = 0.45 - 0.006Z^{0.60}$	$G_0 = 36,600 \frac{(21.7 - e)^2}{1+e} \cdot (102 \cdot \sigma'_m)^{0.50}$	ひずみ依存性を考慮	59	36			
埋戻土	22.3	$\nu = 0.375 - 0.006Z^{0.56}$	$G_0 = 59841 \frac{(21.7 - e)^2}{1+e} \cdot (102 \cdot \sigma'_m)^{0.502}$	ひずみ依存性を考慮	29	38			
岩盤	D級 (熱水変質)	20.1	0.46	538,000	h=3.0%	118	28	98	28
	D級 (風化部)	21.0	0.36 0.23	210,000 540,000		710+1.20P		530+1.41P	
	C <sub>L</sub> 級	23.7	0.45	1,960,000		589	34	392	34
	C <sub>M</sub> 級	25.2	0.40	7,360,000		1,770	39	1,370	39
	C <sub>H</sub> 級	25.3	0.36	10,500,000		2,840	49	2,260	49
	B級	25.4	0.32	17,500,000		4,020	49	3,630	49
	破碎帯	19.9	0.46	538,000		69	23		考慮しない

※1 動ポアソン比、動せん断弾性係数

・堆積層、埋戻土

Z : 盛土表面からの深さ(m)

$\sigma'_m$  : 平均有効主応力(N/mm<sup>2</sup>)

e : 間隙比

・D級(風化部)

上段(下段)の数値はZ=0~5m(Z=5m~)に適用[Z:深度]

※2 ピーク強度、残留強度

・D級(風化部)

P: 压密圧力(kN/m<sup>2</sup>)

出典: 耐震安全性評価結果報告書(追補版)

堆積層、埋戻土、D級岩盤(風化部)のG/G<sub>0</sub>~γ、h~γの関係を図-2.3に示す。

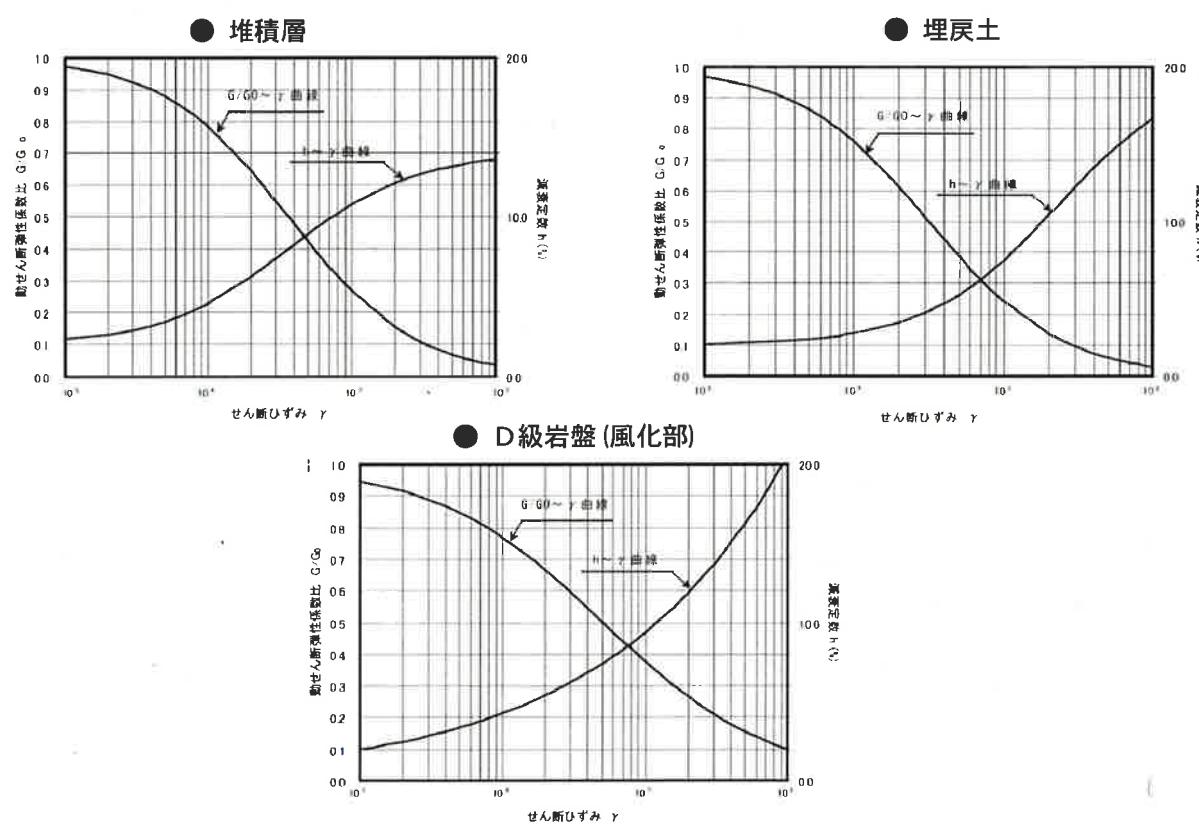


図-2.3 G/G<sub>0</sub>~γ、h~γ曲線図

出典: 耐震安全性評価結果報告書(追補版)

## II-2.2.3 基準地震動

地震応答解析に用いる地震動は、事業者が策定した10波の基準地震動Ssの中から、水平動の最大加速度が最も大きな地震動である Ss-D波（応答スペクトルに基づく地震動）を選定する。さらに、断層モデルを用いた手法により策定した地震動のSs-1波～Ss-9波の中から、第19回合同CサブWG資料において、事業者のすべりに対する評価が最も厳しい結果となった Ss-1波 を選定し、合計2波を用いるものとする。

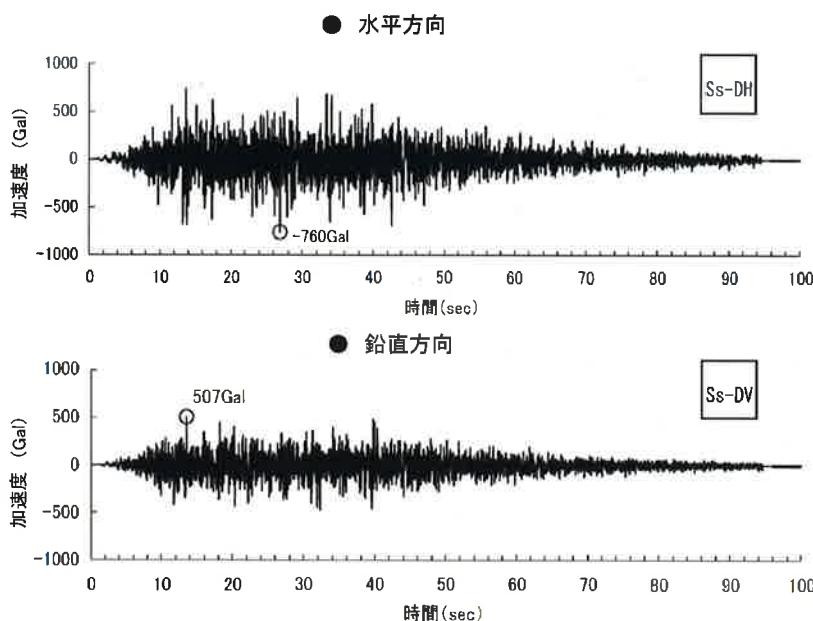


図-2.4 Ss-D波加速度時刻歴図

出典:構造BサブWG 構造B13-2-2に加筆

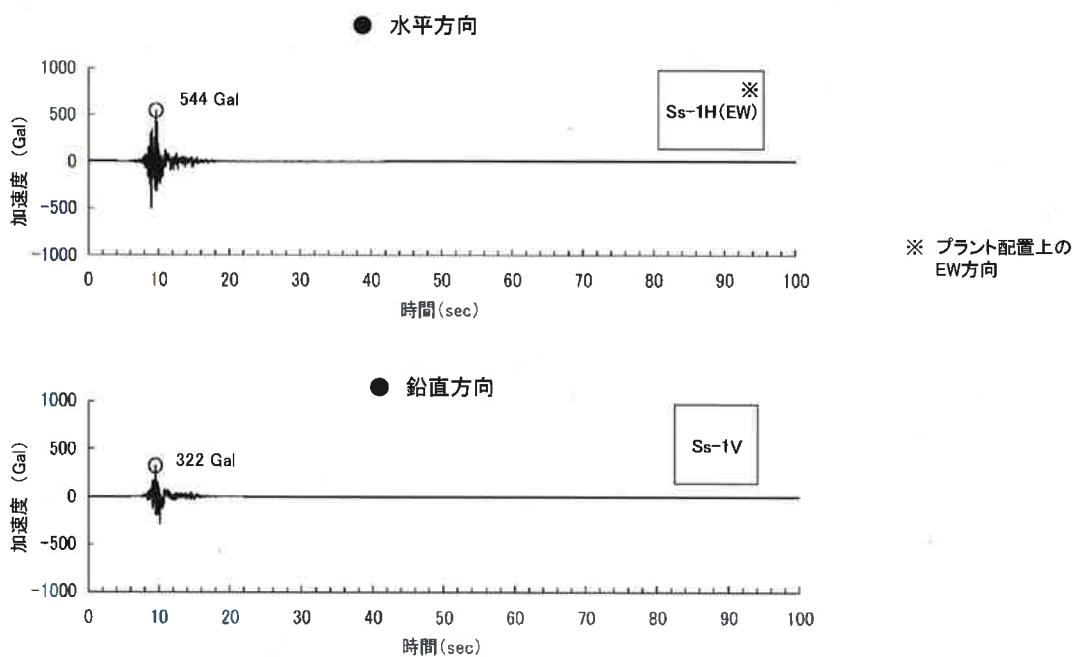


図-2.5 Ss-1波加速度時刻歴図

出典:構造BサブWG 構造B13-2-2に加筆

## II-2.2.4 解析モデルへの入力地震動

解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面(EL+5m)で定義された基準地震動 $S_s$ を、一次元波動論に基づく解析によって二次元FEMモデル下端位置(EL-200m)まで引き戻した地震動を用いる。

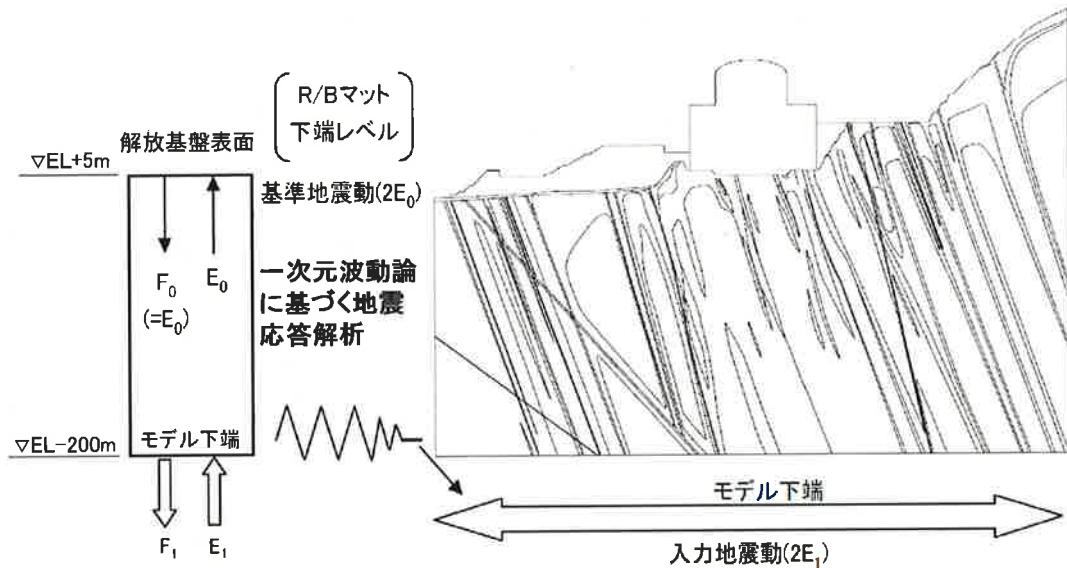


図-2.6 入力地震動の算定方法のイメージ図

出典：合同CサブWG 合同C19-5に加筆

## II-2.2.5 すべり面

すべり面は、事業者が設定したすべり面を用いる。

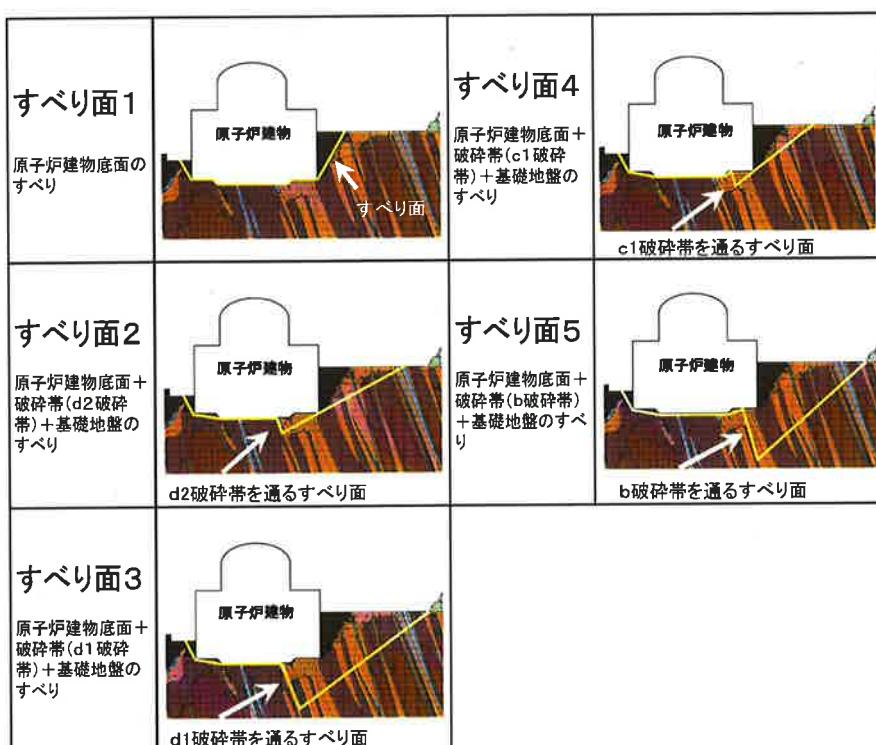


図-2.7 すべり面形状図

## II-2.3 解析結果

### II-2.3.1 地震応答解析結果

Ss-D波における水平方向の最大応答加速度分布を示す。

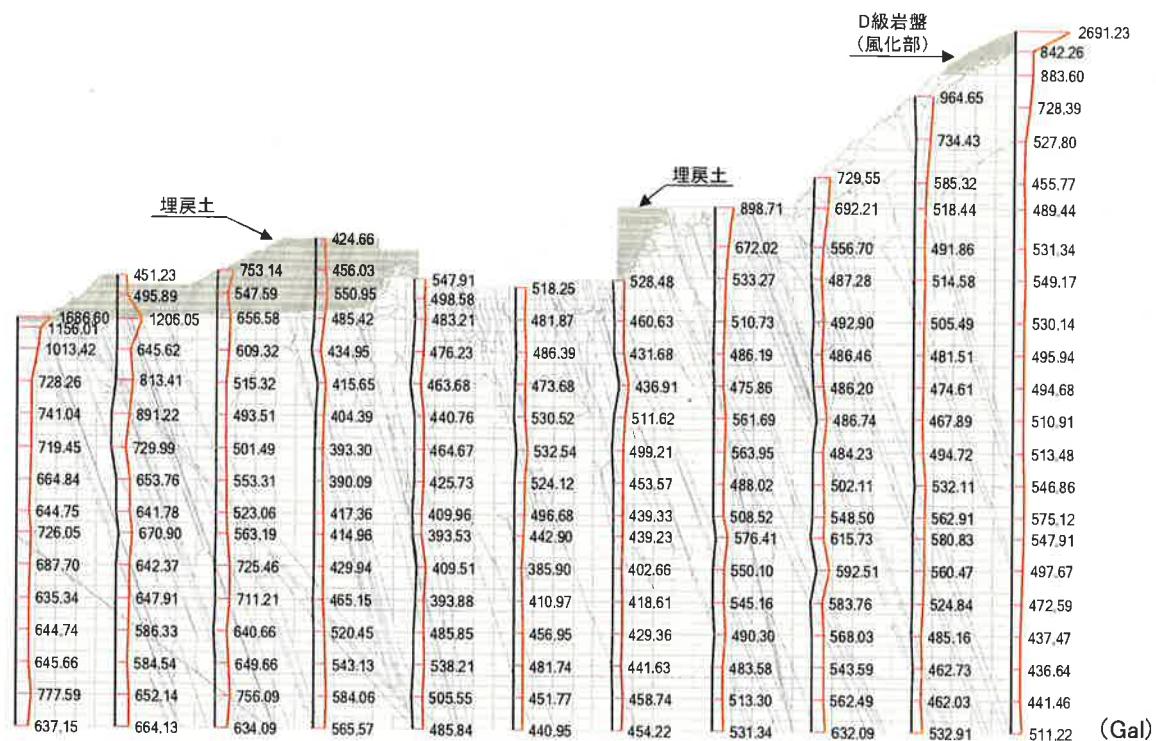


図-2.8 最大応答加速度分布図(水平方向)

Ss-D波における鉛直方向の最大応答加速度分布を示す。

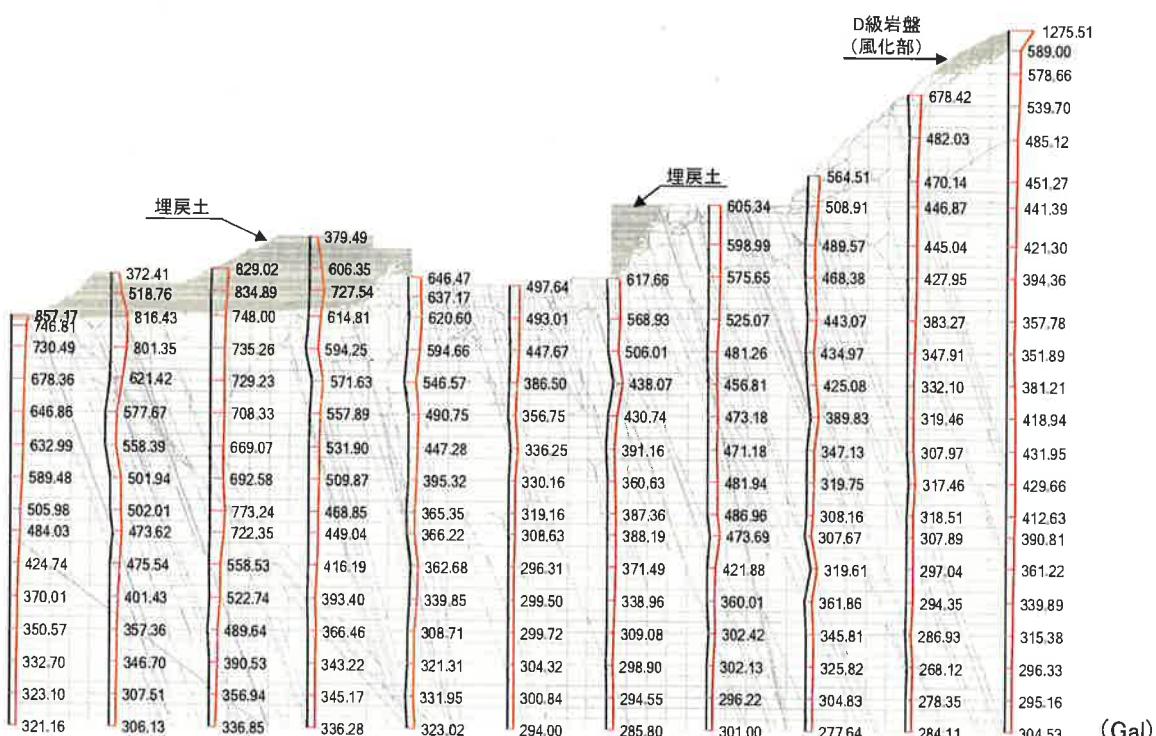


図-2.9 最大応答加速度分布図(鉛直方向)

## II-2.3.2 評価結果

### ① 建物基礎地盤のすべりに対する評価

すべりに対するJNES及び事業者の解析結果を示す。

表-2.4 すべり安全率比較表

		すべり安全率 F <sub>s</sub>					評価基準値
		すべり面1	すべり面2	すべり面3	すべり面4	すべり面5	
Ss-D波	JNES解析結果	9.2	12.8	9.9	15.5	13.1	1.5
	事業者解析結果	9.0	12.6	10.3	15.2	13.6	
Ss-1波	JNES解析結果	11.2	14.3	17.0	18.6	28.3	
	事業者解析結果	11.1	14.5	17.4	18.9	28.5	

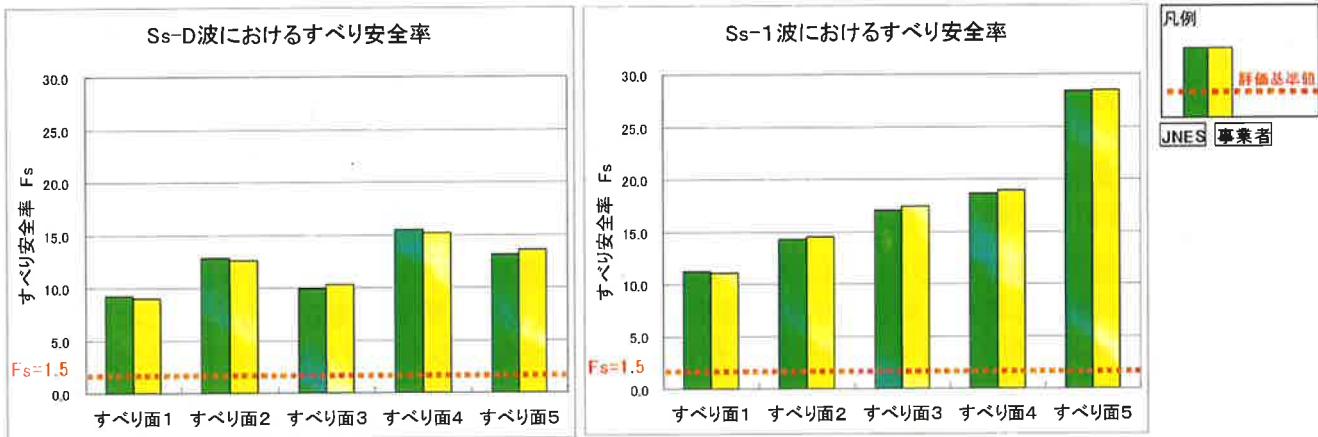


図-2.10 すべり安全率比較図

事業者解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準値1.5を上回り、評価基準を満足した。

### ② 建物基礎底面の傾斜に対する評価

傾斜に対するJNES及び事業者の解析結果を示す。

表-2.5 傾斜比較表

	Ss-D		Ss-1		評価基準値
	鉛直方向相対変位(cm)	傾斜	鉛直方向相対変位(cm)	傾斜	
JNES 解析結果	1.041	$\frac{1}{9,600}$	0.482	$\frac{1}{20,700}$	※
事業者 解析 結果	1.040	$\frac{1}{9,600}$	0.495	$\frac{1}{20,200}$	

※ 事業者条件では評価基準値が設定されていない

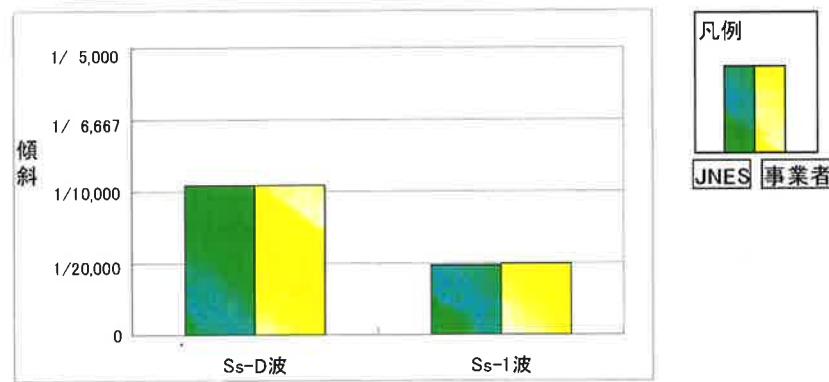


図-2.11 傾斜比較図

事業者解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致した。

評価基準値が設定されていないので、安定性の確認はできなかった。

## II-3 JNES条件による解析

### II-3.1 JNES条件による解析の考え方

JNES条件による解析では、事業者解析を分析し、JNESが妥当と考える解析条件に基づいた解析を行う。

#### (1) 基礎地盤の安定性評価に係る項目

- ・事業者解析では、すべりと傾斜に対する評価が行われているが、基礎地盤の安定性評価においては、さらに支持力に対する評価が重要である。
- ・事業者解析では、傾斜に対する評価基準値が設定されていない。

#### (2) 入力条件に係る項目

- ・安定性解析モデルは地層構成が不整形であり建物東側に斜面が存在する左右非対称なモデルとなっている。そのため、入力地震動の水平動と鉛直動の位相を反転することによって応答結果に違いが生じることが予想される。

従って、事業者解析では実施されていないが、応答スペクトルに基づく地震動の場合は位相を反転した解析が必要である。

なお、地盤物性値のばらつきは、事業者解析では考慮されていないが、すべりについての解析結果が評価基準値に対して十分余裕を持っているため、解析上考慮しないこととする。

また、事業者解析において基礎地盤に存在する破碎帯を通るすべりが考慮されているため、新たなすべり面は考慮しないこととする。

## II-3.2 安定性評価項目

JNES条件による解析では、以下の3項目について評価を行うものとする。

表-3.1 JNES条件による解析における評価項目と評価基準

評価項目	評価基準
①建物基礎地盤のすべり	すべり安全率 $F_s$ が1.5以上であること※1
②建物基礎底面の傾斜	構造的な障害が発生する限度となる傾斜(1/2000～1/1000)以下であること※2
③建物基礎地盤の支持力	接地圧が地盤の支持力評価基準値(=20.5MPa)以下であること※3

： JNES条件で新たに設定した評価項目、評価基準

※1 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987

※2 建築基礎構造設計指針(変形角が  $0.5 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$  rad 以下)

※3 高速増殖原型炉もんじゅ原子炉設置変更許可申請書における、支持力評価基準値(=210kgf/cm<sup>2</sup>)

#### ①すべり安全率の算定



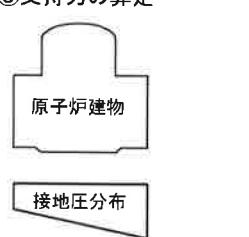
$$\text{すべり面上のせん断抵抗力} \\ \text{すべり安全率 } F_s = \frac{\text{すべり面上のせん断力}}{\text{すべり面上のせん断力}}$$

#### ②傾斜の算定



- 相対変位 =  $\delta A_y - \delta B_y$
- 傾斜 =  $| \delta A_y - \delta B_y | / L$

#### ③支持力の算定



## II-3.3 解析条件

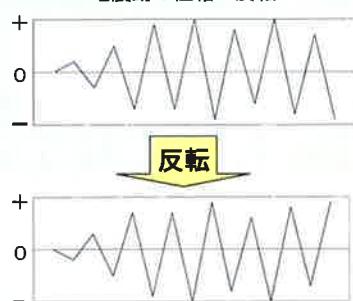
(1)入力地震動Ss-D波における水平動と鉛直動の組合せは、位相の反転を考慮して、「正・正」、「正・逆」、「逆・正」、「逆・逆」の4通りとする。また、解析ケースはSs-1波と合わせて5ケースとする。

表-3.2 解析ケース表

解析ケース	入力地震動	位相の組合せ
1	Ss-D	正・正
2		正・逆
3		逆・正
4		逆・逆
5	Ss-1	-

■：事業者が実施した解析ケース

地震動の位相の反転



(2)他の解析条件については、「2.2 解析条件」において示した条件と同じとする。

## II-3.4 解析結果

### ① 建物基礎地盤のすべりに対する評価

すべりに対するJNESの解析結果を以下に示す。

表-3.3 すべり安全率比較表

ケース	地震動	位相の組合せ	すべり安全率 $F_s$					評価基準値
			すべり面1	すべり面2	すべり面3	すべり面4	すべり面5	
1	Ss-D	正・正	9.2	12.8	9.9	15.5	13.1	1.5
2		正・逆	10.5	13.7	9.8	16.6	13.9	
3		逆・正	9.8	13.9	10.1	16.1	12.8	
4		逆・逆	10.8	14.5	10.1	17.4	13.1	
5	Ss-1	-	11.2	14.3	17.0	18.6	28.3	

図-3.1 すべり安全率比較図

建物基礎地盤のすべり安全率  $F_s$  は、ケース1において最小の  $F_s=9.2$  となった。この値は評価基準値 1.5 を上回り、評価基準を満足している。

個々のすべり面でみると、事業者解析で実施している「正・正」の組合せケースよりも、厳しい評価結果となるケースが存在する。

### ② 建物基礎底面の傾斜に対する評価

傾斜に対するJNESの解析結果を以下に示す。

表-3.4 傾斜比較表

ケース	地震動	位相の組合せ	相対変位 (cm)	発生時刻 (sec)	傾斜	評価基準値
1	Ss-D	正・正	1.041	29.42	$\frac{1}{9,600}$	$\frac{1}{2,000} \sim \frac{1}{1,000}$
2		正・逆	0.882	13.45	$\frac{1}{11,300}$	
3		逆・正	0.882	13.45	$\frac{1}{11,300}$	
4		逆・逆	1.041	29.42	$\frac{1}{9,600}$	
5	Ss-1	-	0.482	10.26	$\frac{1}{20,700}$	

○ 相対変位 =  $\delta A_y - \delta B_y$   
○ 傾斜 =  $| \delta A_y - \delta B_y | / L$

: 最大値

建物基礎底面の傾斜は、ケース1及びケース4において最大の  $1/9,600$  となった。この値は評価基準値  $1/2,000 \sim 1/1,000$  を下回り、評価基準を満足している。

II-3-3

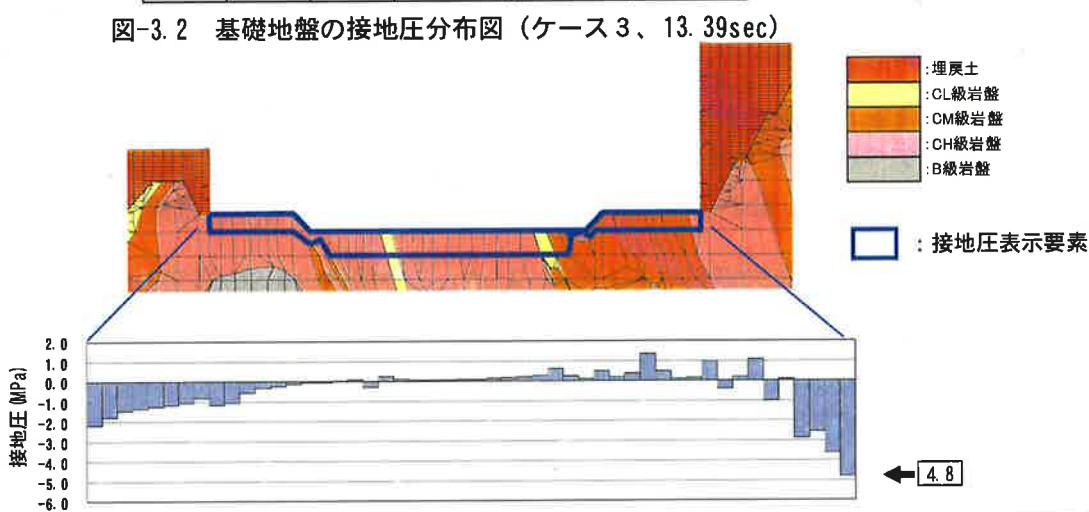
### ③ 建物基礎地盤の支持力に対する評価

支持力は地盤の接地圧で評価を行う。地盤要素の鉛直応力度を接地圧とする。  
JNESの解析結果を以下に示す。

表-3.5 接地圧比較表

ケース	地震動	位相の組合せ	接地圧(MPa)	発生時刻(sec)	評価基準値(MPa)
1	Ss-D	正・正	4.4	38.44	20.5
2		正・逆	4.2	34.12	
3		逆・正	4.8	13.39	
4		逆・逆	4.5	28.49	
5	Ss-1	-	3.0	8.94	

■ : 最大値



建物基礎地盤の接地圧は、ケース3において最大の4.8MPaとなった。この値は評価基準値20.5MPaを下回り、評価基準を満足している。

## II-4 まとめ

### (1) 事業者条件による解析

事業者の解析条件を用いて、基礎地盤の安定性解析を実施し、①建物基礎地盤のすべり、②建物基礎底面の傾斜に対する検討を行った。

①すべりに対する事業者の解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準を満足した。

②傾斜に対する事業者の解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致した。

なお、事業者解析では傾斜に対する評価基準値が設定されていないため、安定性は確認できなかつた。

### (2) JNES条件による解析

JNESでは入力地震動の位相の反転を考慮した解析条件を用いて、基礎地盤の安定性解析を実施し、①建物基礎地盤のすべり、②建物基礎底面の傾斜、③建物基礎地盤の支持力に対する検討を行った。

①すべりに対する評価では、最小すべり安全率 $F_s$ は $F_s=9.2$ となった。この値は評価基準値1.5を上回り、評価基準を満足している。

②傾斜に対する評価では、最大傾斜は1/9,600となった。この値はJNESの設定した評価基準値1/2,000～1/1,000を下回り、評価基準を満足している。

③支持力に対する評価では、最大接地圧は4.8MPaとなった。この値はJNESの設定した評価基準値20.5MPaを下回り、評価基準を満足している。

### (3) まとめ

以上から、基準地震動 $S_s$ に対して基礎地盤の安定性が保たれることを確認した。また、上記事業者の報告書等における事業者の解析及び評価結果は妥当であると判断される。

### **第Ⅲ篇 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価**

## 目 次

III-1 概 要 .....	III-1- 1
III-1. 1 目的及び検討概要 .....	III-1- 1
III-1. 2 検討対象と前提条件 .....	III-1- 2
III-1. 3 検討フロー .....	III-1- 2
III-2 検討対象構造物 .....	III-2- 1
III-3 耐震安全性評価基準 .....	III-3- 1
III-4 事業者条件による解析 .....	III-4- 1
III-4. 1 解析条件 .....	III-4- 1
III-4. 2 解析及び評価結果 .....	III-4- 8
III-5 JNES条件による解析 .....	III-5- 1
III-5. 1 JNES条件による解析の考え方 .....	III-5- 1
III-5. 2 解析条件 .....	III-5- 2
III-5. 3 地震応答解析結果 .....	III-5- 3
III-5. 4 耐震安全性評価結果 .....	III-5- 7
III-6 まとめ .....	III-6- 1

### 参考文献

附資料-1 せん断耐力式による耐力を超過した部材の材料非線形解析結果

## III-1 概要

### III-1.1 目的及び検討概要

#### III-1.1.1 目的

平成18年9月19日に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(原子力安全委員会決定)に基づき、独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、「事業者」という。)が実施した高速増殖原型炉もんじゅの屋外重要土木構造物(以下、「土木構造物」という。)の耐震安全性評価に関してクロスチェック解析を実施する。

#### III-1.1.2 検討概要

土木構造物の耐震安全性評価は、基準地震動Ssに対する耐震安全上重要な施設の安全機能を保持する観点から実施した。クロスチェック解析における土木構造物の耐震安全性評価フローを図-1.1に示す。ここで、耐震安全性評価は、事業者が設定した解析条件及びJNESが妥当と考える解析条件の下、基準地震動による地震応答解析の応答結果を用いて、①曲げに対する健全性、②せん断力に対する健全性の2項目について確認した。

対象構造物は、事業者が評価対象とした原子炉補機冷却海水ポンプ室(以下、海水ポンプ室という)、送水管カルバート、送水管トンネルのうち、事業者報告において構造物の曲げ及びせん断力に対する健全性の評価結果が厳しく、取水機能上重要度の高い機器を支持する海水ポンプ室とした。

地震応答解析に用いた基準地震動は、事業者が作成した基準地震動10波の中から、事業者報告で構造物の曲げ及びせん断力に対する評価が厳しい結果となった地震動Ss-D(応答スペクトルに基づく地震動)と断層モデルを用いた手法による地震動の中で応答変位が最も大きくなつた地震動Ss-4を採用した。

解析手法は、基準地震動Ssによる水平及び鉛直動同時入力による二次元動的FEM解析(構造物と地盤の非線形性を考慮した時刻歴地震応答解析)を用いた。

#### (1) 事業者条件による解析

事業者の解析結果の再現性を確認するため、事業者が設定した条件による解析を行い、事業者の入力データ等に誤りがないことを確認した。なお、両者の解析結果には、若干差異があるものの、これは解析手法、主に収束計算手法やジョイント要素のモデル化の相違によるものと考えられる。

#### (2) JNES条件による解析

JNES条件による解析では、海水ポンプ室及びその周辺地盤が非対称な構造となっており、応答スペクトルに基づく地震動Ss-Dについては、入力地震動の方向性による影響が大きいものと考えられることから、入力地震動の位相の組合せを考慮した解析を実施した。

これより、曲げに対する健全性(側壁・隔壁の層間変形角)、せん断力に対する健全性の評価結果は、すべて評価基準値1.0を下回る結果となつた(1.0以下となれば安全)。

以上より、基準地震動Ssに対する地震応答解析の結果、海水ポンプ室は評価基準値を満足し、耐震安全性を確保することを確認した。

### III-1.2 検討対象と前提条件

#### (1) 検討対象

本検討では、事業者の耐震安全性評価結果報告書<sup>※1)</sup>及び構造Bサブワーキンググループにおける報告書<sup>※2)</sup>のうち、土木構造物の耐震安全性評価結果を対象とする。

#### (2) 前提条件

解析および評価は、以下の情報に基づき行うものとする。解析等に用いる構造物や地盤等の基本的な条件は事業者の設定が妥当であることを確認した上で使用するものとする。

○事業者の耐震安全性評価結果報告書<sup>※1)</sup>及びワーキンググループ報告書<sup>※2)</sup>

○設置許可申請書、工事計画認可申請書

○事業者貸与資料など

※1) 高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書（平成20年3月31日）、追補版（平成21年3月31日）及び 改訂版（平成22年2月2日）

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、事業者報告書という）

※2) 高速増殖原型炉もんじゅ 新耐震指針に照らした耐震安全性評価に関する説明資料

－屋外重要土木構造物－ 平成21年10月26日 独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、構造B14-3-4という）

### III-1.3 検討フロー

クロスチェック解析の検討フローを図-1.1に示す。

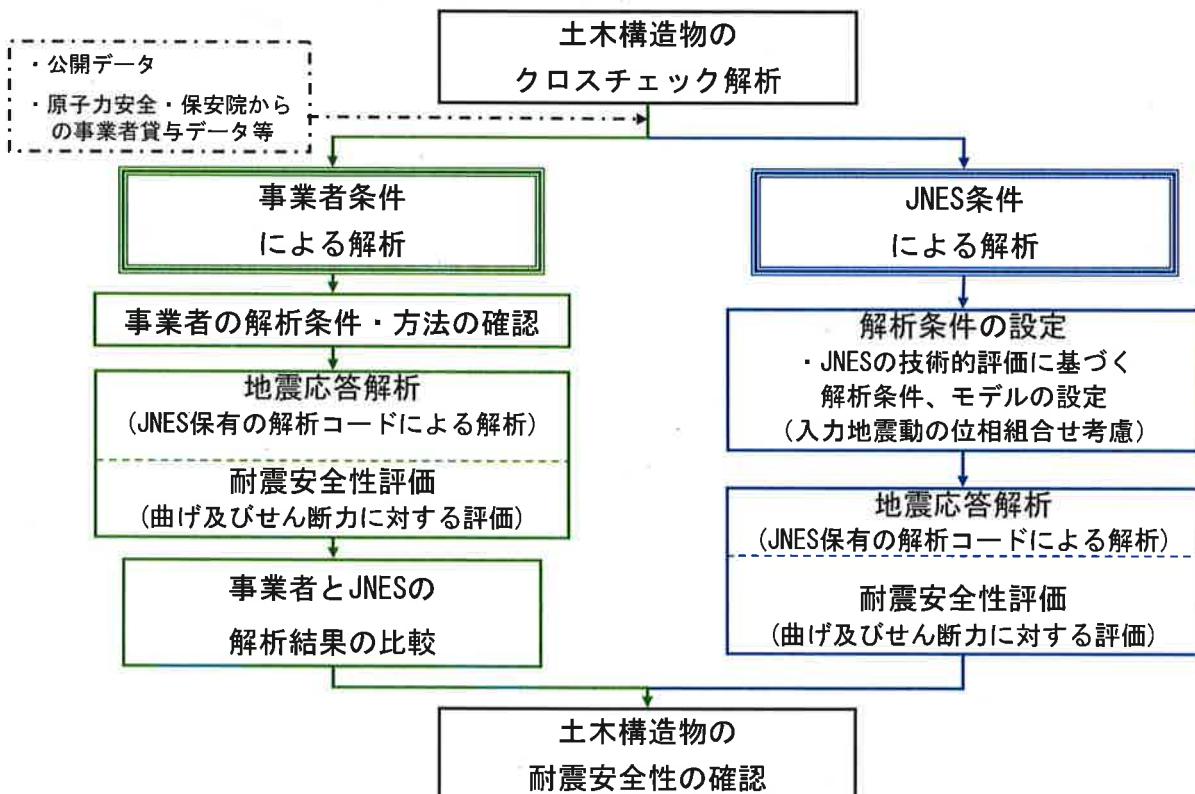


図-1.1 クロスチェック解析の検討フロー

### III-2 検討対象構造物

検討対象構造物は、事業者報告書及びワーキンググループ報告書において検討が行われた海水ポンプ室、送水管カルバート及び送水管トンネルのうち、耐震安全性評価結果が厳しく取水機能上重要度の高い機器を支持する海水ポンプ室とする。土木構造物の配置図を図-2.1に示す。

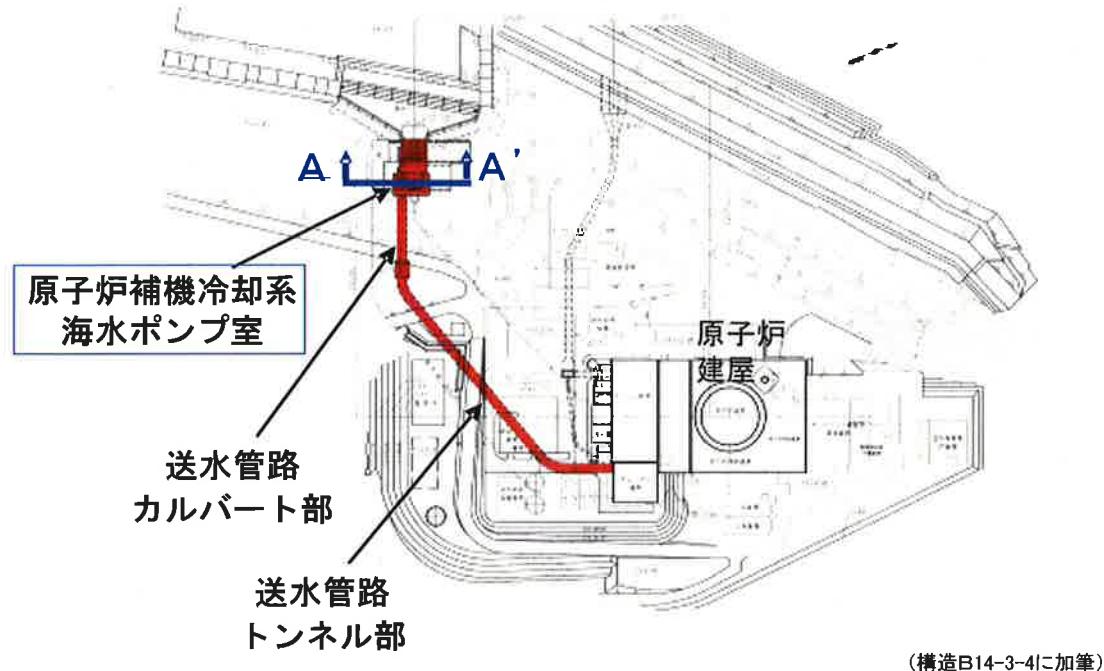


図-2.1 土木構造物配置図

海水ポンプ室周辺地盤の地質断面図を図-2.2に示す。これより、海水ポンプ室基礎地盤は、比較的整層な地層を構成している。

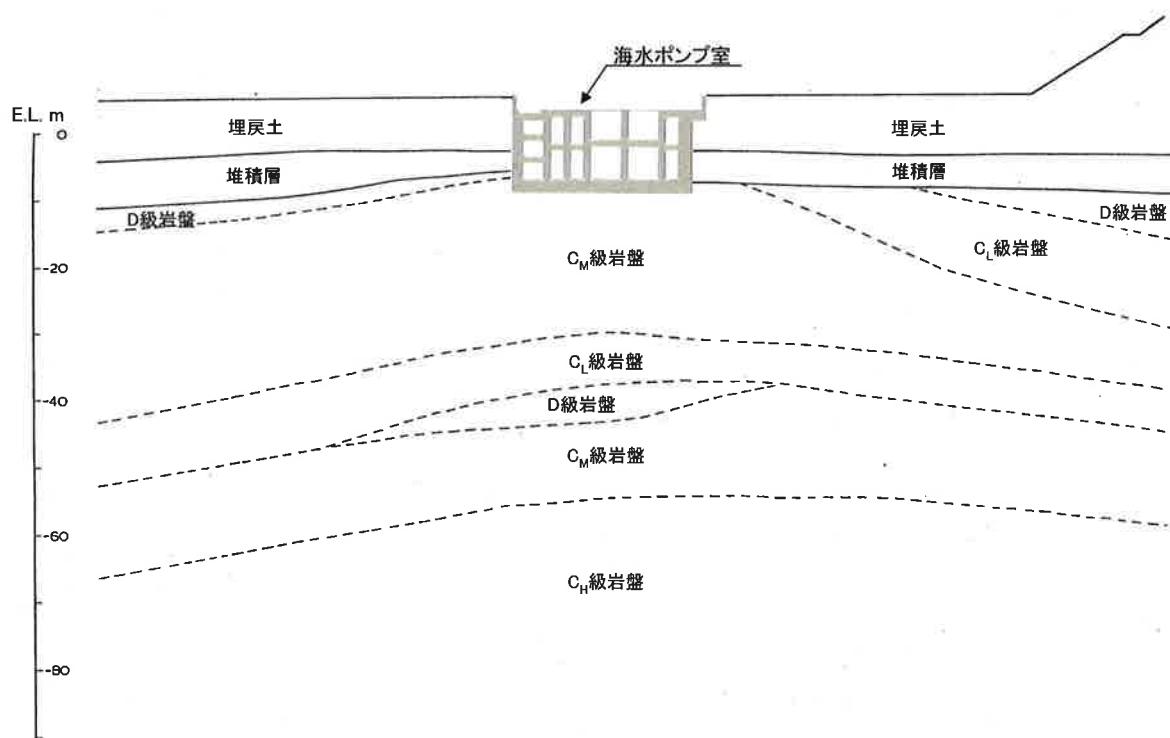


図-2.2 海水ポンプ室周辺地盤の地質断面図

海水ポンプ室は、CM級岩盤に直接支持された鉄筋コンクリート造の中構造物であり、構造物周辺を埋戻土により埋め戻されている。海水ポンプ室の断面図を図-2.3に示す。

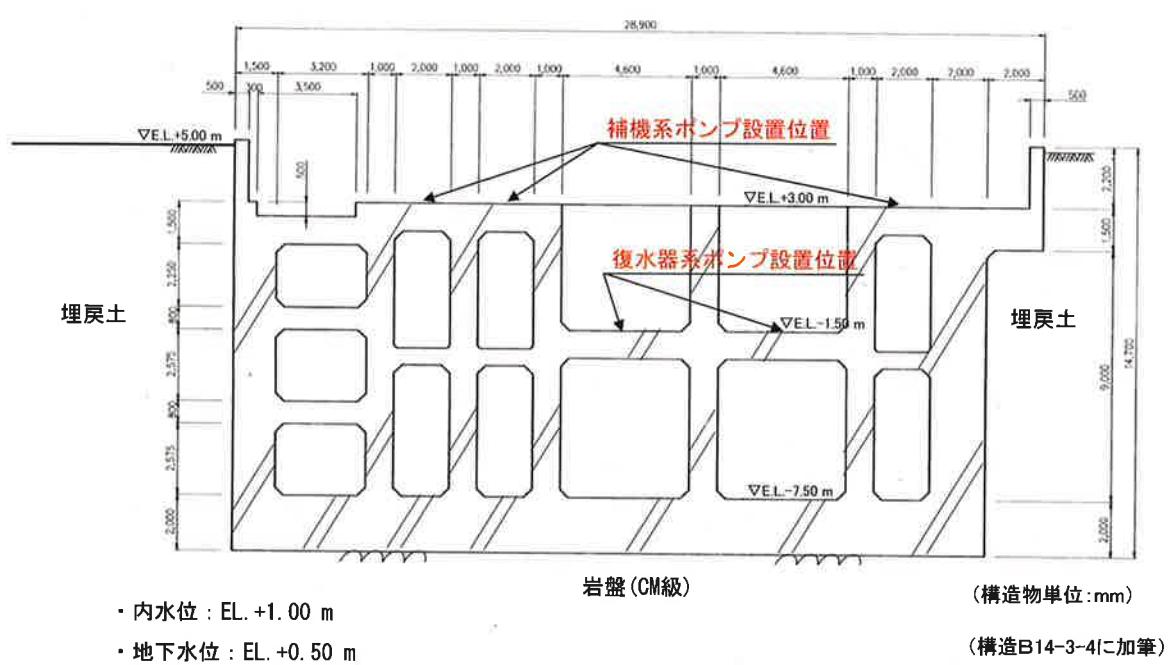


図-2.3 海水ポンプ室(A-A'断面)断面図

### III-3 耐震安全性評価基準

土木構造物の耐震安全性評価は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル、2005年、土木学会」(以下、耐震性能照査指針という)に準拠した評価基準を用いて行う。土木構造物の耐震安全性評価における評価項目と評価部位、評価基準を表-3.1に示す。なお、当指針における評価は構造物に対する項目のみであり、構造物の支持力等に関する地盤の評価は含まれていない。

表-3.1 評価項目と評価基準

評価項目	評価部位	評価基準
曲げに対する健全性	側壁 隔壁	照査値(照査用層間変形角/限界層間変形角)が1.0以下となること $\gamma_i \cdot R_d / R_u \leq 1.0^{*1}$
せん断力に対する健全性	各部位	照査値(照査用せん断力 /せん断耐力)が1.0以下となること $\gamma_i \cdot V_d / V_{yd} \leq 1.0^{*2}$

\*1)  $\gamma_i \cdot R_d / R_u \leq 1.0$  の確認 ( $\gamma_i$  : 構造物係数)

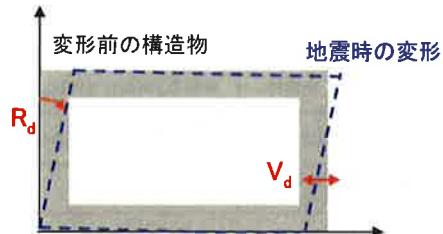
$R_d$  : 照査用層間変形角

$R_u$  : 限界層間変形角 (=1/100)

\*2)  $\gamma_i \cdot V_d / V_{yd} \leq 1.0$  の確認 ( $\gamma_i$  : 構造物係数)

$V_d$  : 照査用せん断力

$V_{yd}$  : せん断耐力



### III-4 事業者条件による解析

#### III-4.1 解析条件

事業者条件による解析は、事業者が設定した条件による解析をJNESが実施し、解析の再現性を確認し、入力データ等に誤りがないことを確認する。解析条件一覧を表-4.1に示す。ただし、解析コードは、JNES保有のコードを使用するため、解析時の収束計算方法やジョイント要素のモデル化において事業者との差異がある。このため、下記のように対応する。

表-4.1 解析条件一覧

項目	内 容		備考
構造物	弾性係数	事業者と同条件(設計に基づく値)	—
	非線形性	事業者と同条件(非線形履歴モデル:武田モデル)	—
	単位体積重量他	事業者と同条件(設計に基づく値)	—
地盤	弾性係数	事業者と同条件(設計に基づく値)	—
	非線形性	事業者と同条件(非線形履歴モデル:Ramberg-Osgoodモデル)	—
荷重	常時	事業者と同条件(設計に基づく値)	—
	地震時	事業者と同条件(設計に基づく値)	—
解析手法	収束計算手法	地震動の刻み幅を小さくして、収束計算を行わない	事業者は、Newton-Raphson法により収束計算を実施
	ジョイント要素のモデル化	Toki,Miuraモデル※1)	事業者は、Goodmanモデル※1)

JNES保有の解析コードを用いているために事業者と解析条件が異なる事項

#### ①収束計算方法について

事業者: Newton-Raphson法により収束計算を実施(解析時の地震動の刻み幅は0.01秒から $0.01/50=0.0002$ 秒として解析)

JNES : 収束計算を行わない。ただし、解析時の地盤や構造物等の非線形性により発生する収束誤差を極力小さくするために地震動の刻み幅を0.01秒から $0.01/200=0.00005$ 秒として解析する。

#### ②ジョイント要素のモデル化について

ジョイント要素は、構造物と地盤等の境界に幅を持たない要素を配置し、剥離や滑動を模擬する要素である。ここで、剥離や滑動は、要素の応力ひずみ関係により表現し、ジョイント要素の物性値は法線方向、せん断方向のばね定数( $k_n$ 、 $k_s$ )及び減衰定数( $h$ )とせん断強度に関する定数( $c$ 、 $\phi$ )となる。ジョイント要素のモデル化には、図-4.1に示すような相違があるが、基本物性値を同条件として対応する。

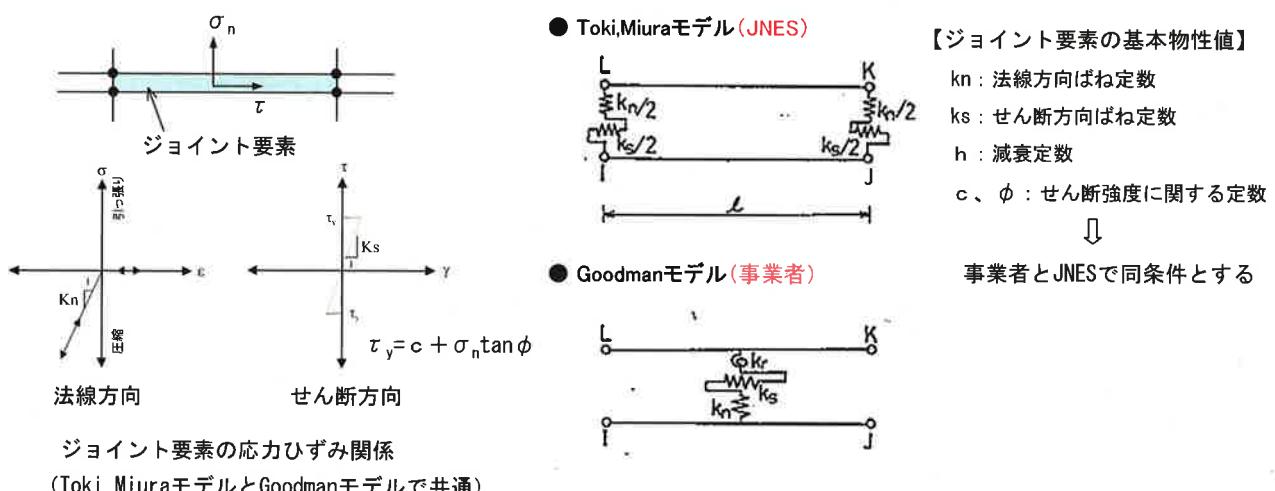


図-4.1 ジョイント要素のモデル化の相違

### III-4.1.1 解析方法の概要と評価手順

地震応答解析は、構造物を梁要素に地盤を平面ひずみ要素にモデル化した二次元時刻歴地震応答解析※により行う。ここで、地盤の非線形性はRamberg-Osgoodモデル（以下、R-Oモデルという）により評価し、構造物の非線形性は武田モデルにより評価する。地盤および構造物の非線形特性の概要を図-4.2、図-4.3に示す。

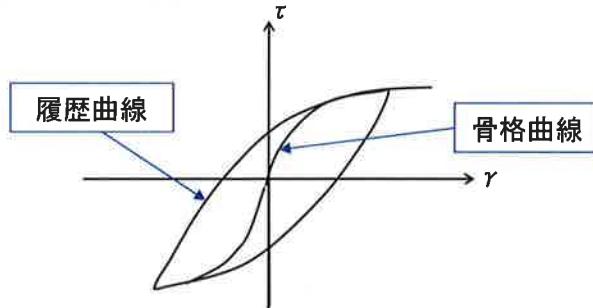


図-4.2 地盤の非線形特性（R-Oモデル）

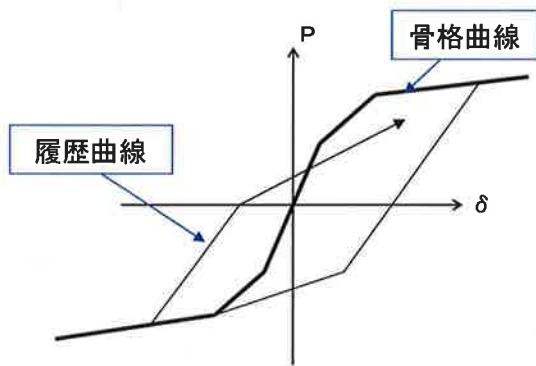
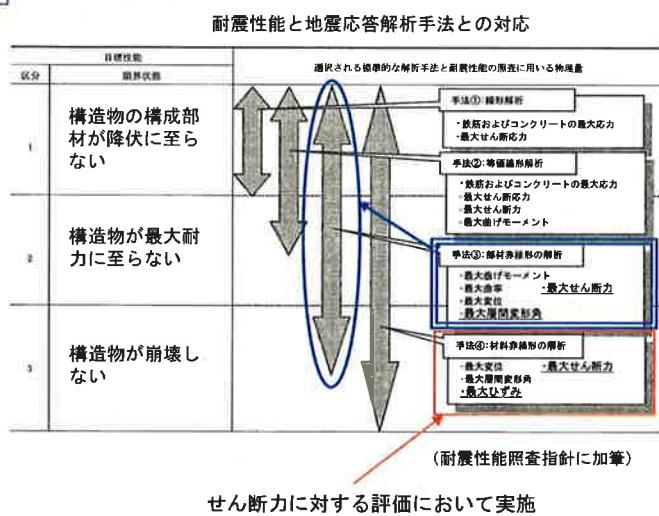


図-4.3 構造物の非線形特性（武田モデル）

※ 耐震性能照査指針では、二次元時刻歴地震応答解析は下図に示す「部材非線形の解析」に相当する。



また、土木構造物の耐震安全性は、構造物および地盤の連成モデルによる地震応答解析の結果を基に構造物の曲げ、せん断に対する照査を行うことで評価する。耐震安全性評価の評価手順を図-4.4に示す。

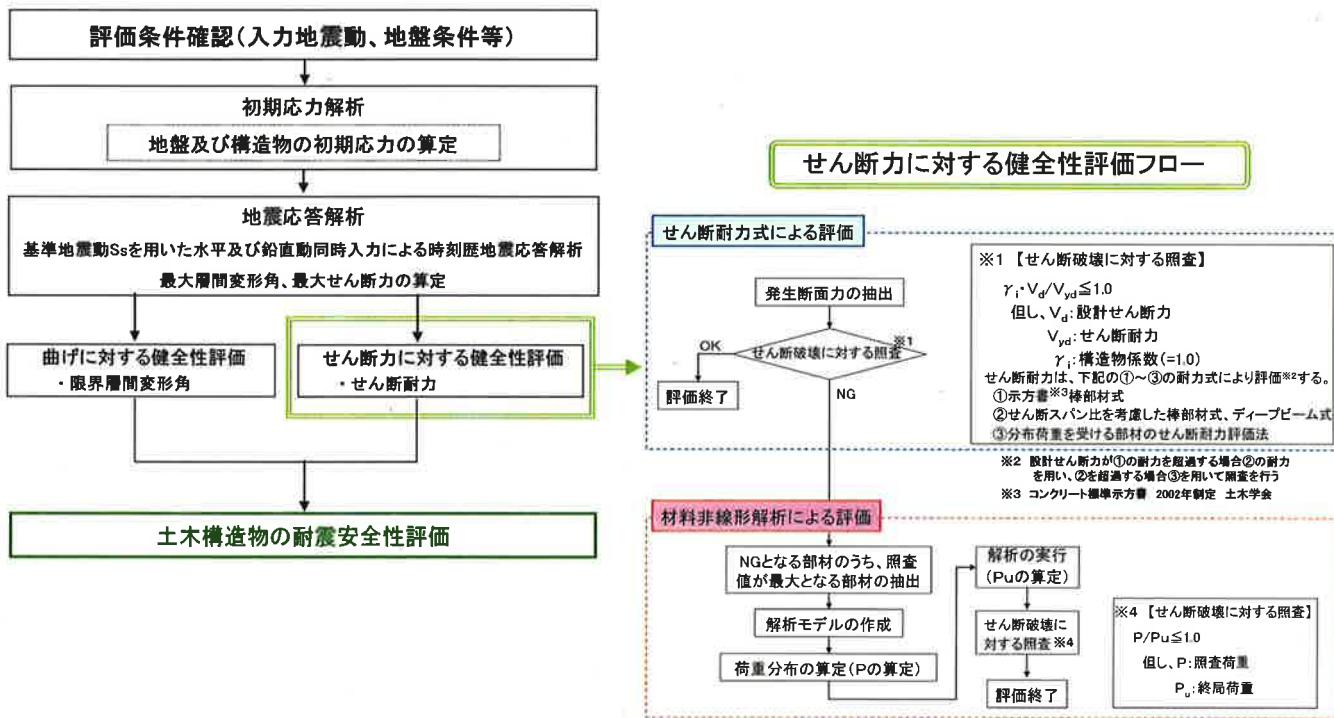


図-4.4 評価手順

### III-4.1.2 解析モデル

解析モデルは、構造物及び地盤の非線形性を考慮した構造物-地盤連成の有限要素法解析モデルである。解析モデルを図-4.5に示す。なお、初期応力解析モデルおよび時刻歴地震応答解析モデルの境界条件は、表-4.2のとおりである。また、構造物と地盤の境界は、構造物と地盤の剥離や滑動を模擬できるジョイント要素を設けるものとする。

表-4.2 解析モデルの境界条件一覧

境界	初期応力解析	時刻歴地震応答解析
底面	固定境界	粘性境界
側方	鉛直ローラー境界	粘性境界

### ※解析モデルの概要

- ・ポンプ等の機器配管荷重のモデル化：機器配管荷重は、線材要素の付加重量として考慮する。
- ・構造物のモデル化：一般部は非線形梁要素で、剛域部は線形梁要素でモデル化
- ・地盤のモデル化：表層地盤は非線形平面ひずみ要素で、岩盤部は線形平面ひずみ要素でモデル化
- ・減衰条件：構造物及び地盤の非線形性に伴う履歴減衰の他に、各要素に対するRayleigh減衰を考慮する。  
減衰の比例係数は、初期剛性行列に対する1次及び2次の固有振動数を用いて設定する。
- ・積分手法：時刻歴応答解析における運動方程式の数値積分手法は、Newmarkの $\beta$ 法( $\beta=0.25$ ,  $\gamma=0.5$ )を用いる。

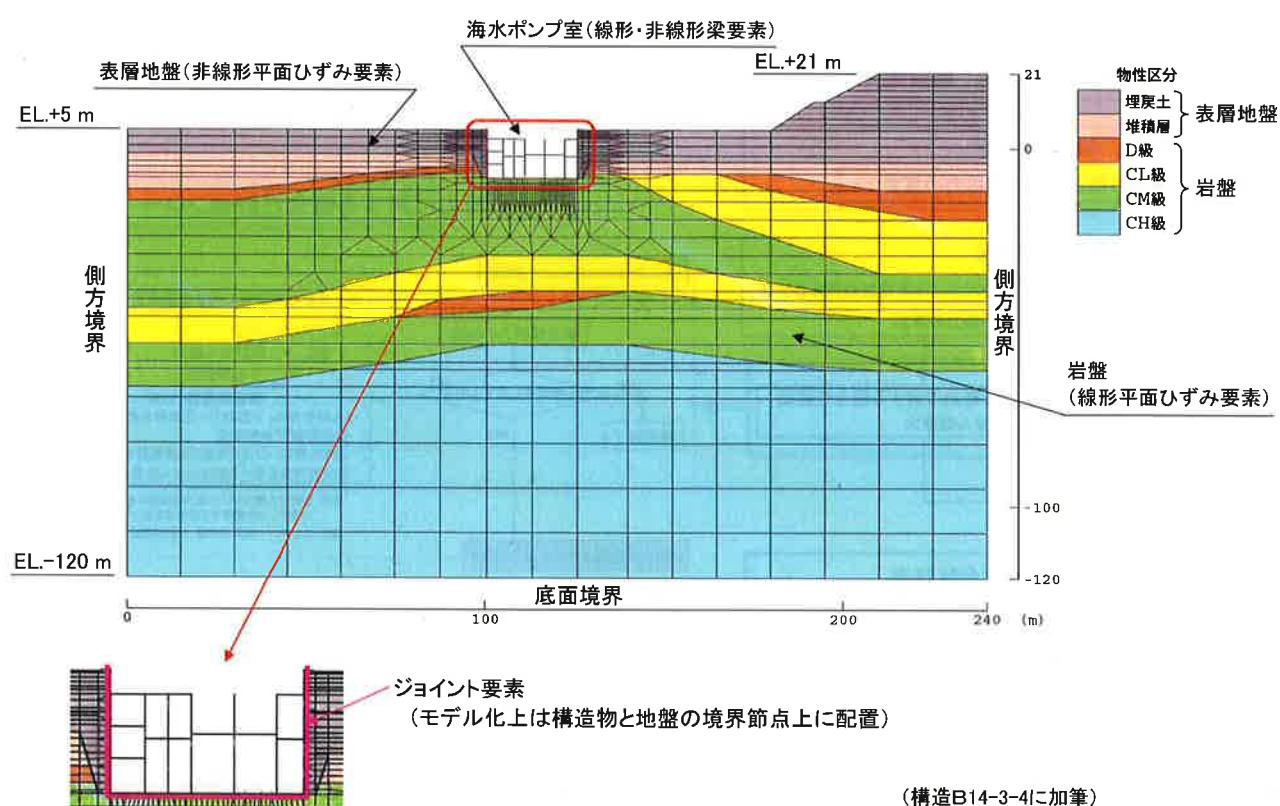
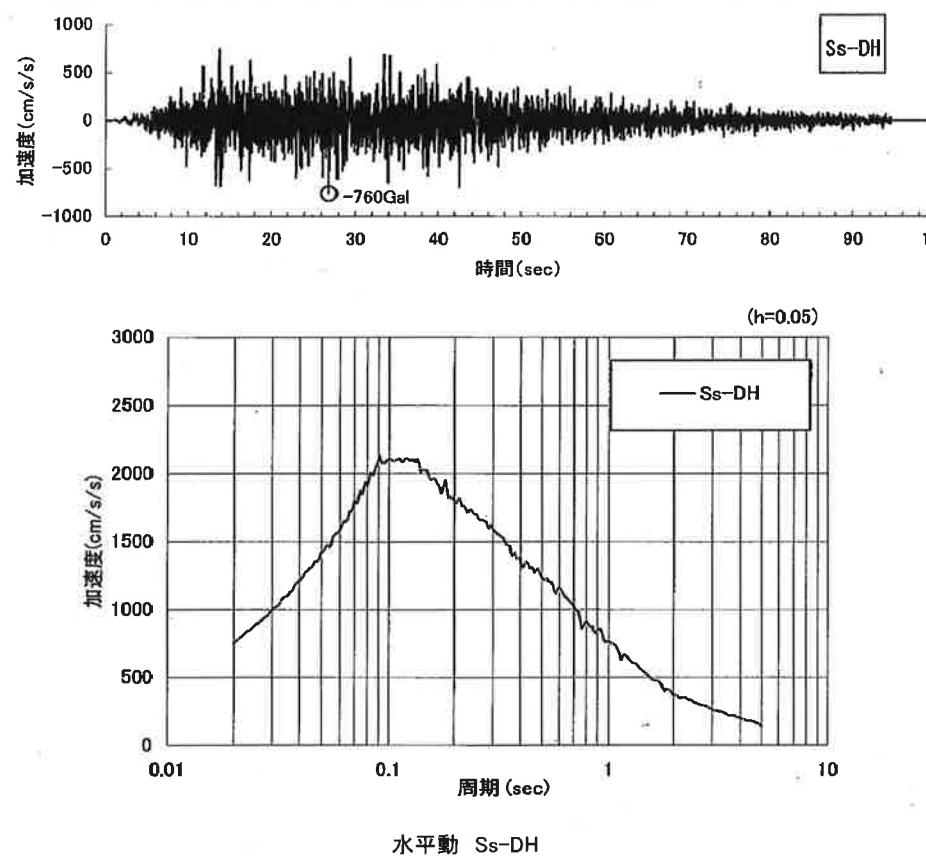


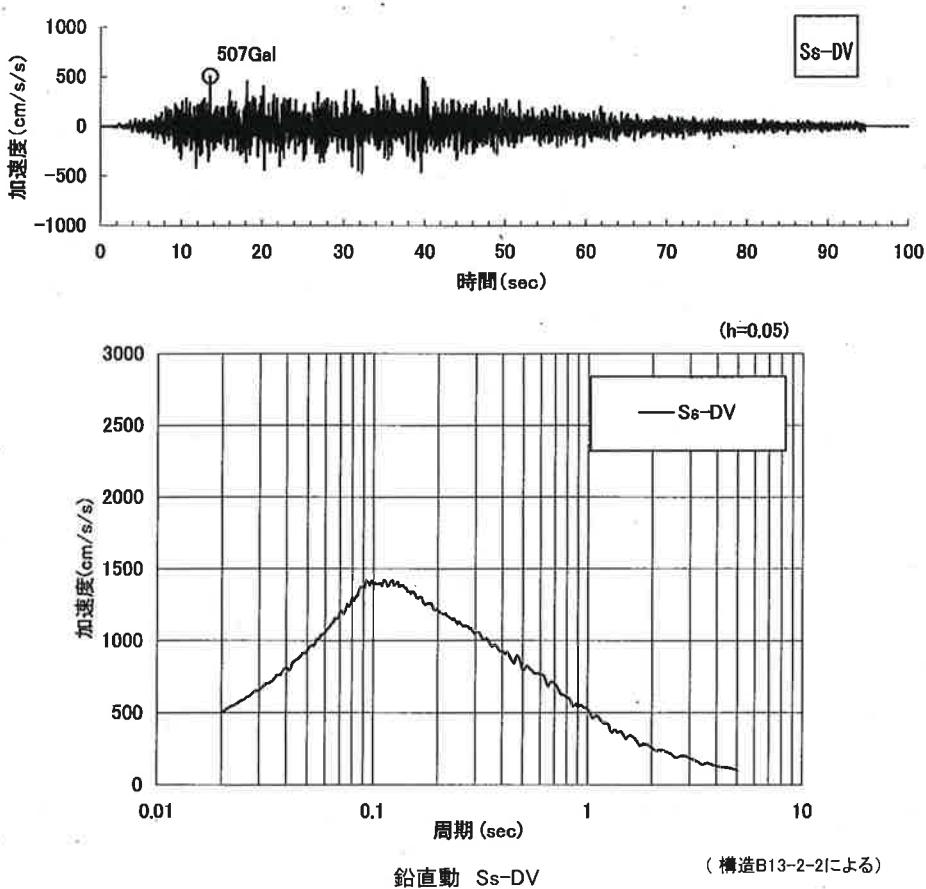
図-4.5 有限要素法解析モデル

### III-4.1.3 基準地震動

基準地震動は、事業者の評価上最も厳しい結果となったSs-Dと断層波の中で最も応答変位が大きくなつたSs-4を用いるものとする。検討に用いる基準地震動を図-4.6、図-4.7に示す。

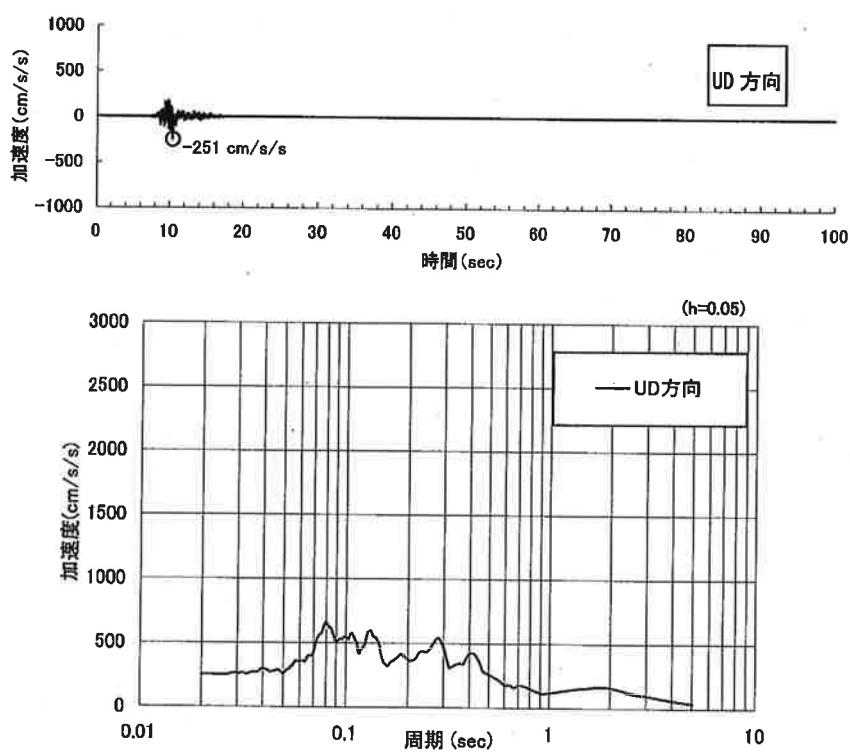
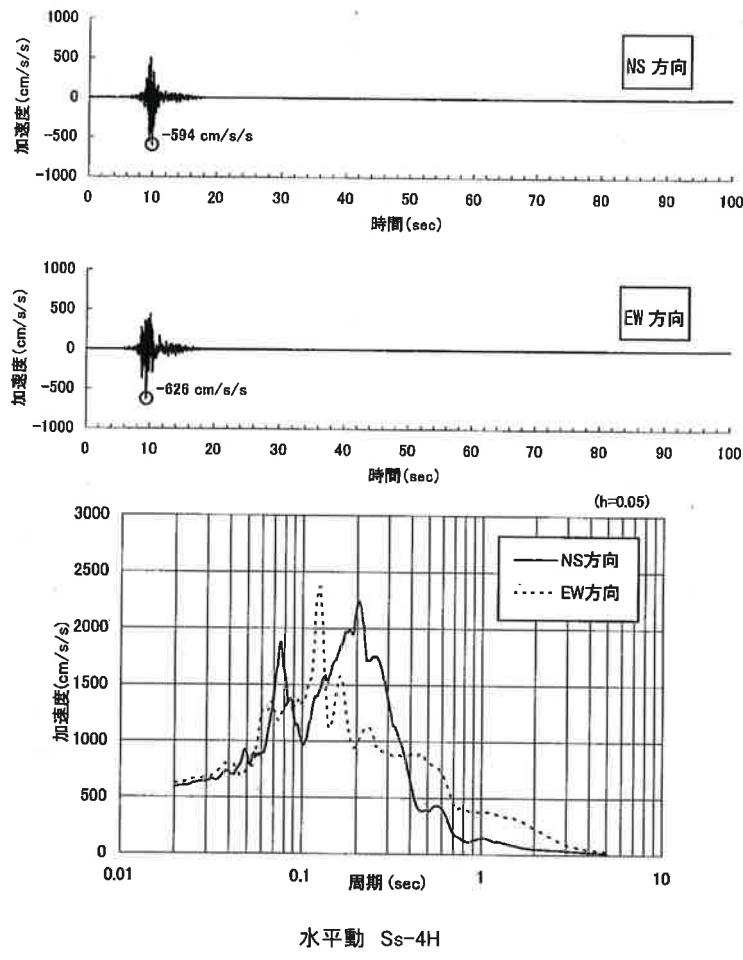


水平動 Ss-DH



(構造B13-2-2による)

図-4.6 基準地震動(Ss-D)



(構造B13-2-2による)

図-4.7 基準地震動(Ss-4)

### III-4.1.4 解析モデル入力地震動

解析モデルへの入力地震動は、重複反射理論に基づく一次元地震応答解析により、二次元地震応答解析モデルの地震動入力位置において抽出した上昇波を用いるものとする。解析モデル入力地震動の算定イメージを図-4.8に示す。また、解析モデル入力地震動の諸元を表-4.3に示す。

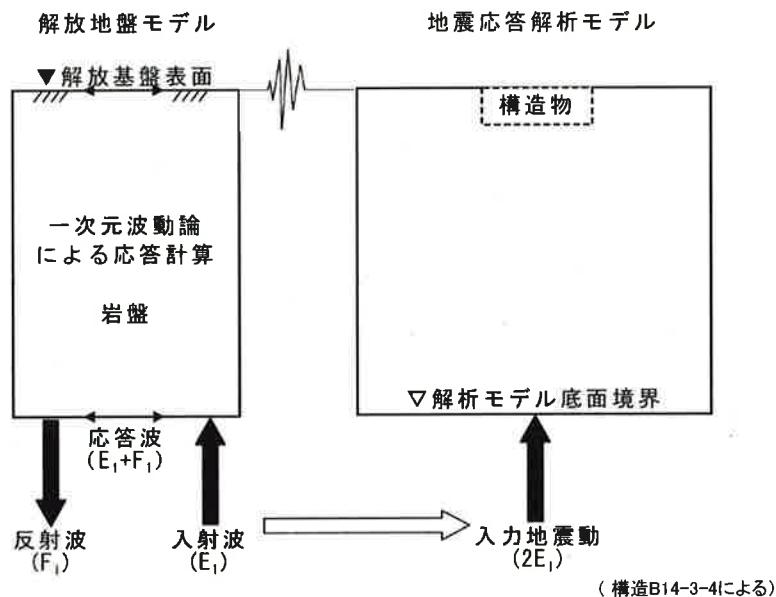


図-4.8 解析モデル入力地震動の算定イメージ

表-4.3 解析モデル入力地震動( $E_1$ )の諸元

地震動	成分	最大加速度(Gal)	継続時間(秒)	刻み幅(秒)
Ss-D	水平	393.9	94.59	0.01
	鉛直	270.4		
Ss-4	水平	293.6	20.00	0.01
	鉛直	128.1		

※ 地震応答解析モデルの底面境界は粘性境界であるため、解析時は上記の加速度振幅を2倍して入力する。

### III-4.1.5 構造物及び地盤の物性値

構造物の使用材料及び物性値を表-4.4、表-4.5に、地盤の物性値を表-4.6、図-4.9に示す。

#### (1) 構造物の物性値

表-4.4 構造物使用材料

コンクリート	設計基準強度 24 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	SD345

表-4.5 構造物材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (kN/m <sup>2</sup> )	ボアソン比
鉄筋コンクリート	24	2.65 × 10 <sup>7</sup>	1/6

#### (2) 地盤の物性値

(構造B14-3-4による)

表-4.6 地盤物性値

地層	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )		動ポアソン比 <sup>※2)</sup>	動せん断弾性係数 <sup>※2)</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	動せん断 弾性係数及び 減衰定数の ひずみ依存性
	地下水位 <sup>※1)</sup> 以上	地下水位 <sup>※1)</sup> 以下			
堆積層	19.7	20.4	$\nu = 0.45 - 0.006Z^{0.60}$	$G_0 = 36.600 \frac{(217-e)^2}{1+e} \cdot (102 \cdot \sigma'_{m})^{0.501}$	ひずみ依存性を 考慮
埋戻土	21.5	22.3	$\nu = 0.375 - 0.006Z^{0.58}$	$G_0 = 59.841 \frac{(217-e)^2}{1+e} \cdot (102 \cdot \sigma'_{m})^{0.502}$	
岩盤	D級 (熱水変質部)	20.1	0.46	538,000	
	C <sub>L</sub> 級	23.5	0.45	1,960,000	
	C <sub>M</sub> 級	25.1	0.40	7,360,000	
	C <sub>H</sub> 級	25.3	0.36	10,500,000	

※1) 地下水位: EL+0.5m

(構造B14-3-4による)

※2) 堆積層、埋戻土

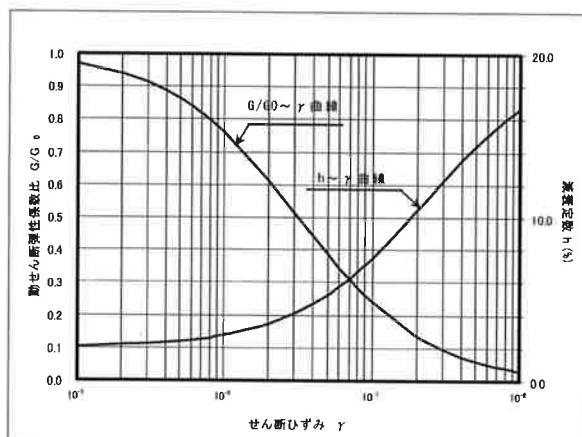
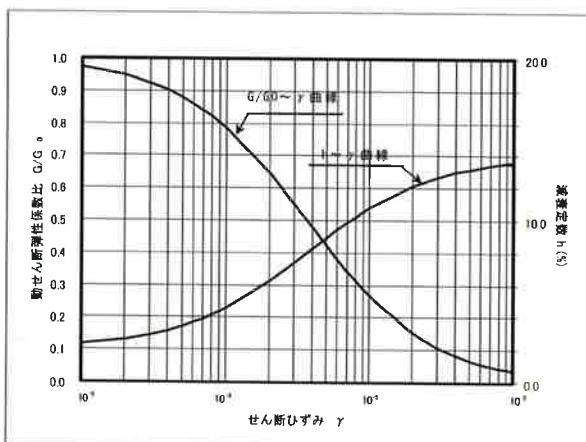
Z : 地表面からの深さ(m)

$\sigma'_{m}$  : 平均有効主応力

e : 間隙比

堆積層

埋戻土



(構造B14-3-4による)

図-4.9 G/G₀～γ、h～γ曲線

## III-4.2 解析及び評価結果

事業者と同様の解析条件及び方法により行った解析及び評価結果を以下に示す。

### III-4.2.1 地震応答解析結果

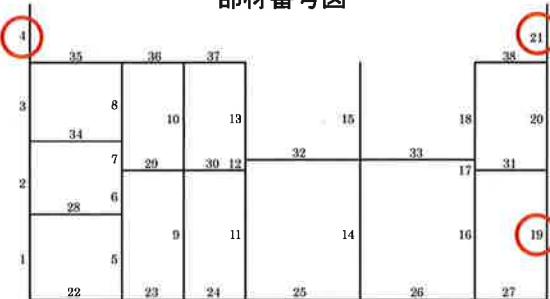
地震応答解析による応答結果として、Ss-Dによる各部材の上下端の最大相対変位、構造物部の最大加速度分布図及び最大断面力図を以下に示す。

#### (1) 各部材上下端の最大相対変位

表-4.7 最大相対変位

地震動	JNES			事業者		
	相対変位 (cm)	発生時刻 (秒)	部位	相対変位 (cm)	発生時刻 (秒)	部位
Ss-D	1.58	84.94	21	1.37	29.40	4
Ss-4	0.83	9.65	19	0.81	9.64	19

部材番号図



## (2) 構造物部の最大加速度分布

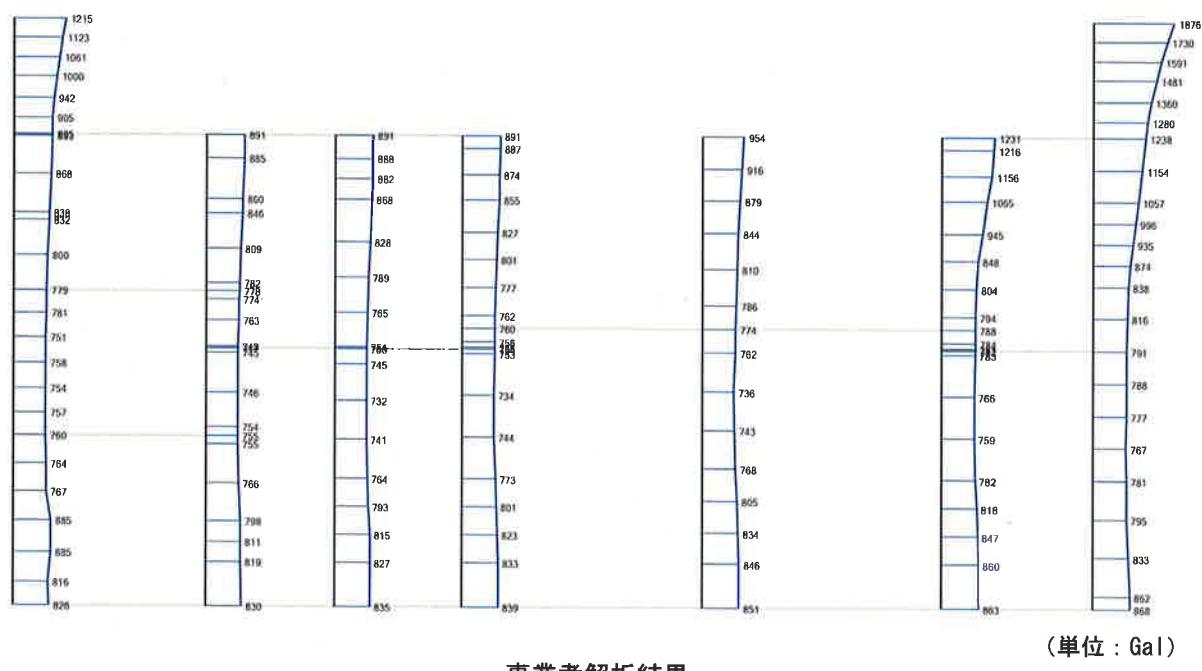
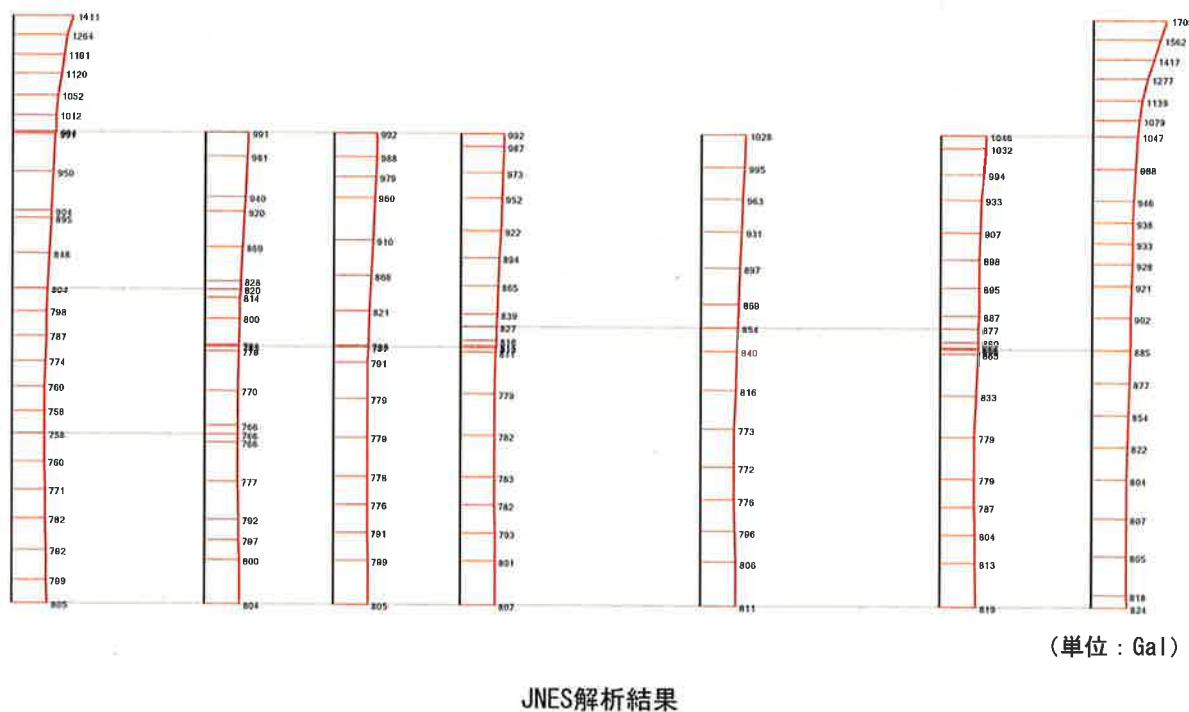


図-4.10 構造物部の最大加速度分布 (Ss-D、水平加速度分布)

### (3)最大断面力図

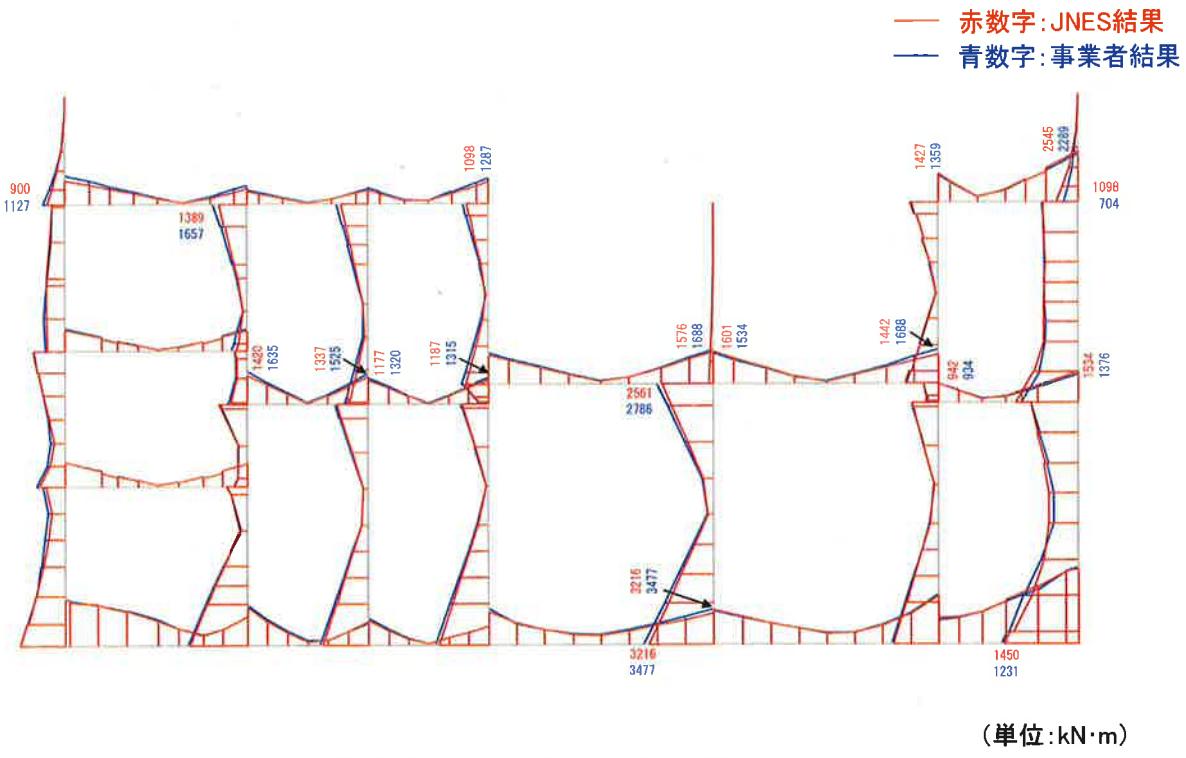


図-4.11 最大曲げモーメント (Ss-D)

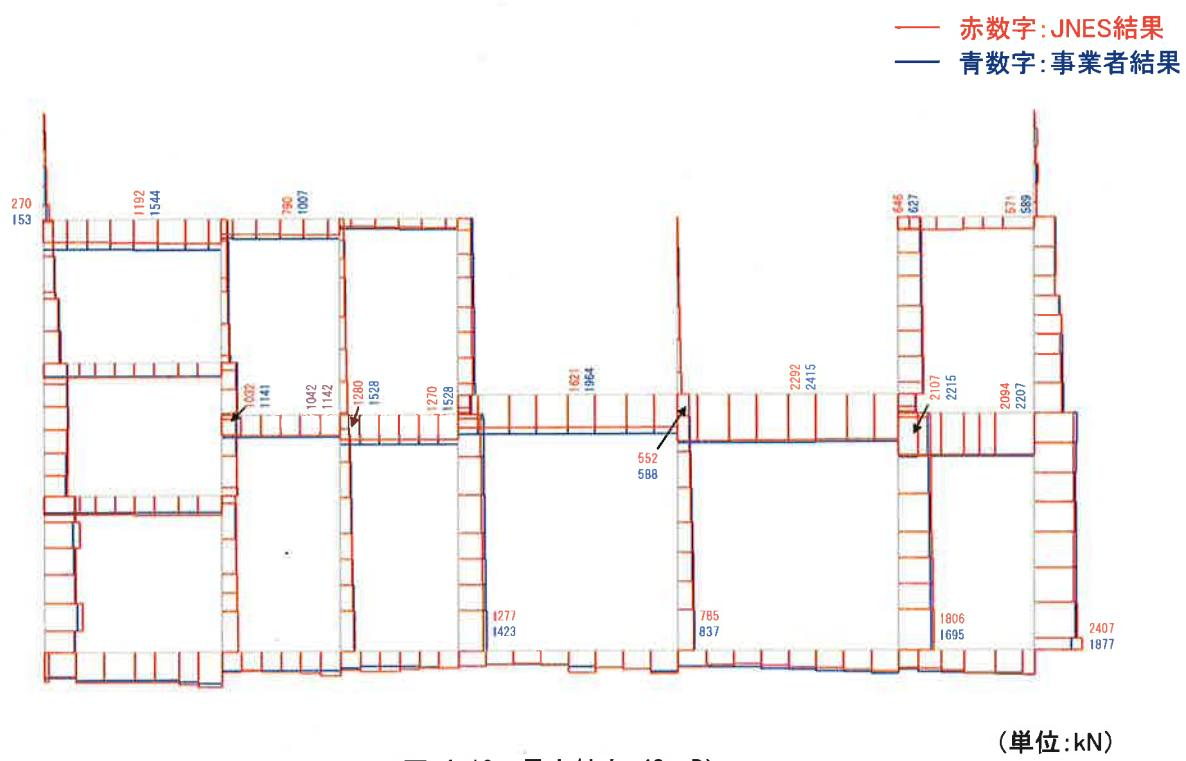
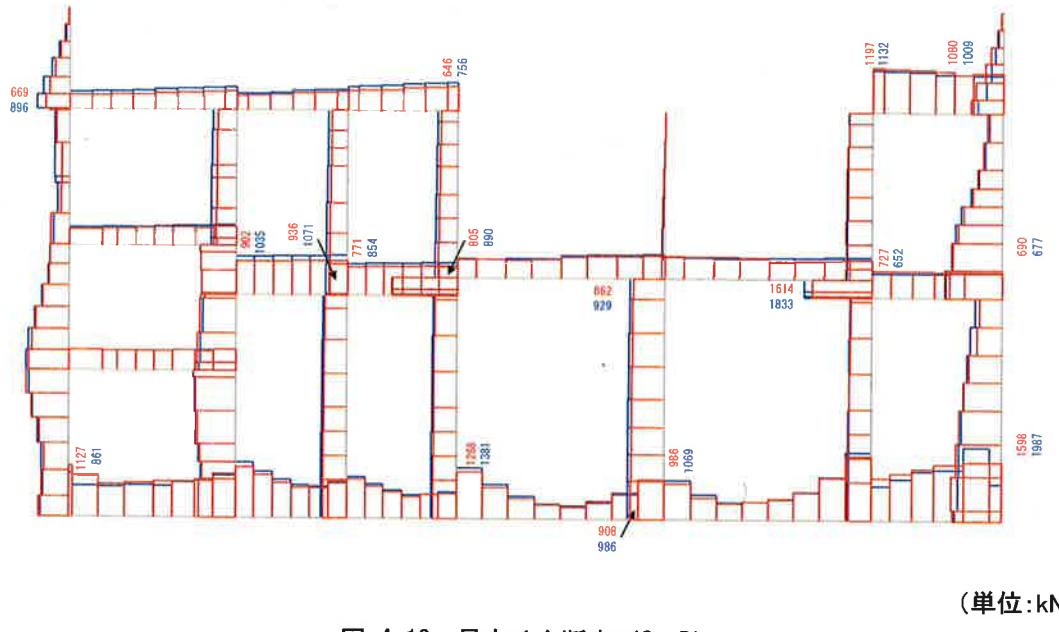


図-4.12 最大軸力 (Ss-D)

赤数字:JNES結果  
青数字:事業者結果



### III-4.2.2 耐震安全性評価結果

事業者と同様の解析条件及び方法により行った地震応答解析により求められた応答値を用い、耐震安全性の評価を行うと共に、事業者の結果と比較する。なお、耐震安全性評価はSs-Dのみを比較する。

#### (1)曲げに対する評価結果

曲げに対する評価では、照査用層間変形角は限界層間変形角を満足する結果となった。評価結果を表-4.8及び図-4.14に示す。また、JNESの評価結果と事業者の結果には若干の差異があるが、これは解析手法(主に収束計算手法やジョイント要素のモデル化)の相違によるものと考えられる。

表-4.8 曲げに対する評価結果一覧(JNESと事業者の比較)

部位	JNES		事業者	
	照査用層間変形角 $R_d^{※1}$	$\gamma_i \cdot R_d / R_u$	照査用層間変形角 $R_d^{※1}$	$\gamma_i \cdot R_d / R_u$
	限界層間変形角 $R_u^{※2}$		限界層間変形角 $R_u^{※2}$	
側壁	0.00701	0.70	0.00609	0.61
	0.01		0.01	
隔壁	0.00333	0.33	0.00259	0.26
	0.01		0.01	

※1 照査用層間変形角

$R_d = \text{最大層間変形角} R \times \text{構造解析係数} \gamma_a (\gamma_a=1.2)$

※2 限界層間変形角

$R_u = 1/100 = 0.01$

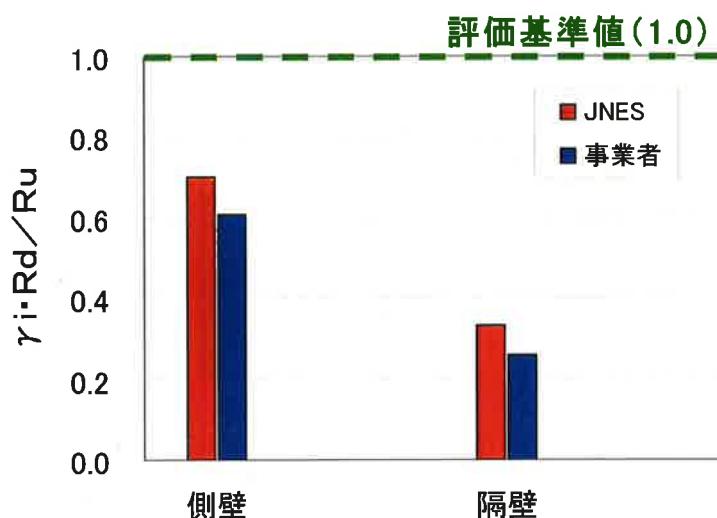


図-4.14 JNESと事業者の評価結果の比較

※部位の説明

側壁:部材番号 1～4、19～21

隔壁:部材番号 5～18



## (2)せん断力に対する評価結果

せん断力に対しては、始めにせん断耐力式による評価を実施する。次に、照査用せん断力がせん断耐力を超過した部材について、材料非線形解析を実施し評価を行う。評価結果を表-4.9、表-4.10及び図-4.15～図-4.17に示す。せん断耐力式による評価では頂版、中床版、隔壁において耐力を超過する結果となるが、材料非線形解析では全ての部材で耐力を満足する結果となった。また、JNESの評価結果と事業者の結果には若干の差異が見られるが、これは解析手法（主に収束計算手法やジョイント要素のモデル化）の相違によるものと考えられる。

表-4.9 せん断耐力式による評価結果一覧（JNESと事業者の比較）

評価位置 (部材番号)	JNES		事業者		備考
	照査用せん断力 $V_d^{*1}$ (kN)	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd}$	照査用せん断力 $V_d^{*1}$ (kN)	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd}$	
	せん断耐力 $V_{yd}^{*2}$ (kN)		せん断耐力 $V_{yd}^{*2}$ (kN)		
頂版 (38)	1337	1.35	1255	1.27	せん断 スパン比
	990		991		
中床版 (29)	1098	1.85	1260	2.13	せん断 スパン比
	592		592		
底版 (27)	1447	0.90	1280	0.79	示方書式
	1609		1627		
側壁 (4)	422	0.97	529	1.21	等価せん断 スパン比
	433		439		
隔壁 (14)	947	1.00	1028	1.09	せん断 スパン比
	950		947		

※1 照査用せん断力

$V_d = \text{発生せん断力 } V \times \text{構造解析係数 } \gamma_a (\gamma_a = 1.05)$

※2 せん断耐力は、以下のせん断耐力式を用いて算定する

示方書式：コンクリート標準示方書の棒部材式

せん断スパン比：せん断スパン比を考慮した棒部材式及びディープビーム式

等価せん断スパン比：等価せん断スパン比を用いた式

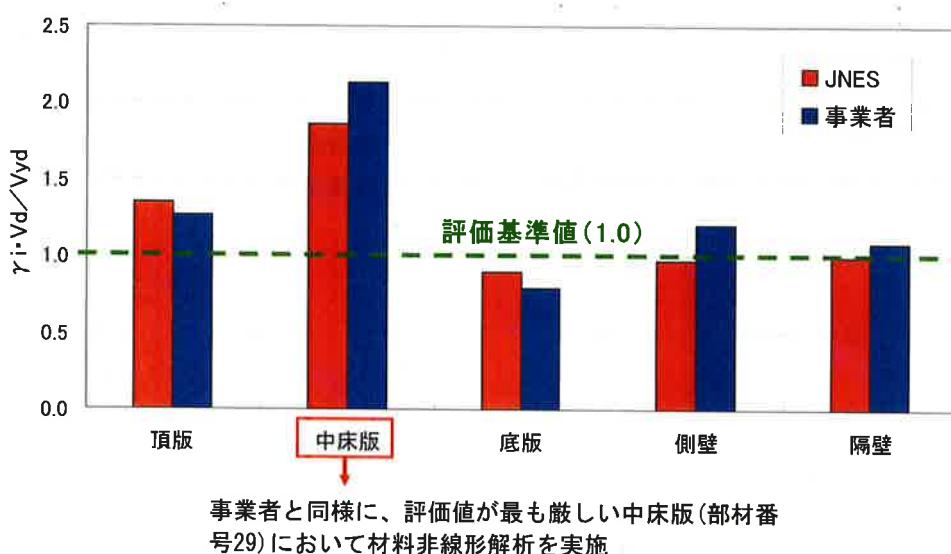


図-4.15 せん断耐力式による評価結果比較

### ※部位の説明

頂版: 部材番号 35～38

底版: 部材番号 22～27

中床版: 部材番号 28～34

側壁: 部材番号 1～4、19～21

隔壁: 部材番号 5～18

### 部材番号図

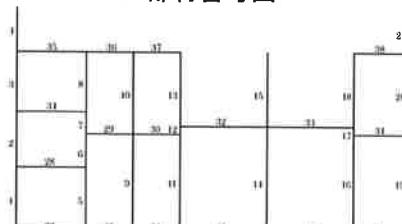


表-4.10 材料非線形解析による評価結果一覧

評価位置 (部材番号)	JNES		事業者	
	照査荷重 $P^{*1}(\text{kN})$	$P/P_u$	照査荷重 $P^{*1}(\text{kN})$	$P/P_u$
	終局荷重 $P_u(\text{kN})$		終局荷重 $P_u(\text{kN})$	
中床版 (29)	1328	0.71	1624	0.78
	1880		2072	

※1 照査荷重

$$P = \text{作用荷重 } P_0 \times \text{構造解析係数 } \gamma_a \times \text{部材係数 } \gamma_b$$

$$\text{JNES} (\gamma_a=1.05, \gamma_b=1.21)、\text{事業者} (\gamma_a=1.05, \gamma_b=1.30)$$

ここで、部材係数は解析モデル、解析コードに応じて実験結果との同定が必要であり、JNES、事業者のそれぞれで部材係数( $\gamma_b$ )を算出している。このため、両者間で1割程度の相違がある。

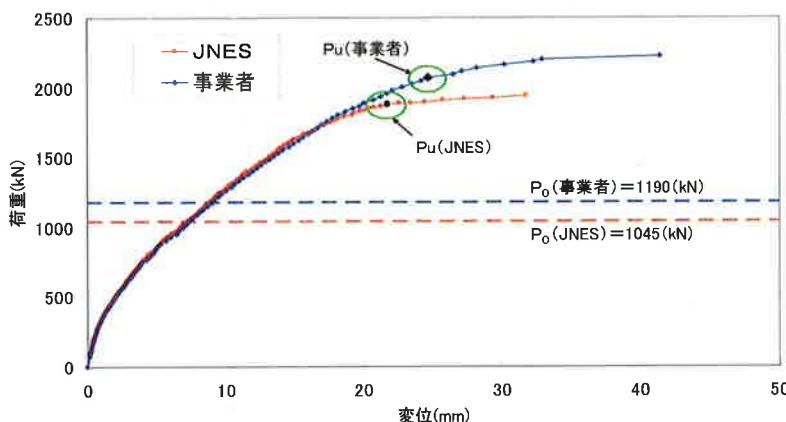
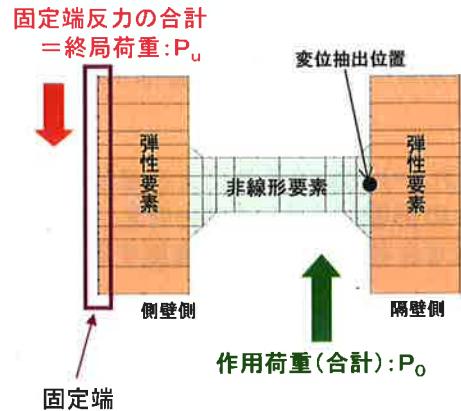


図-4.16 材料非線形解析による荷重変位曲線



※変位が急増し始める点を終局荷重の算定期とした。

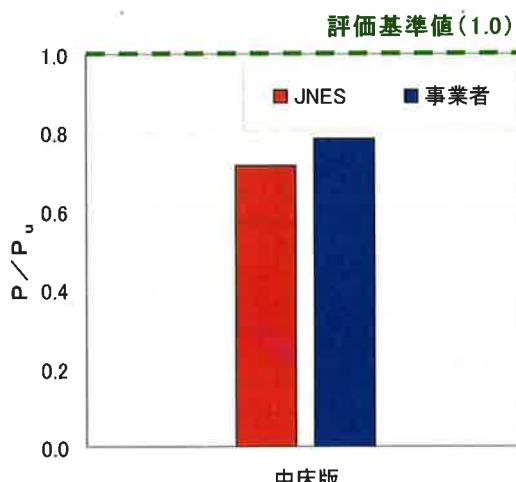


図-4.17 材料非線形解析による評価結果比較



耐力式による評価値が最も厳しい中床版（部材番号29）において材料非線形解析を実施

### III-5 JNES条件による解析

#### III-5.1 JNES条件による解析の考え方

JNES条件による解析は、以下の考え方に基づいて実施する。

##### ①FEMモデル入力地震動について

事業者の地震応答解析では、全ての地震動に対して解放基盤表面において定義された地震動の位相のみで評価が行われている。しかし、応答スペクトルに基づく地震動Ss-Dについては、海水ポンプ室及びその周辺地盤が非対称な構造となっていることから、入力地震動の方向性による影響が大きいものと考えられる。

##### ②地盤条件について

海水ポンプ室周辺地盤は、図-2.3に示すように比較的整層な地層構成を有しており、地盤の不整形性等による構造物への影響は小さいものと考えられる。また、地盤のばらつき( $V_s \pm 1\sigma$ )に対する検討の結果より構造物への影響は小さいものと判断できる。

これより、JNES条件による解析では、基礎地盤の不整形性や地盤定数のばらつきによる海水ポンプ室への影響は小さいものと考え、地震動の方向性のみを対象として表-5.1に示す入力地震動の位相の組合せを考慮した解析を実施する。

表-5.1 JNESが考慮する地震動の位相の組合せ

地震動	入力地震動の位相		位相の略称
	水平方向	鉛直方向	
Ss-D	正(+)	正(+)	正・正
	正(+)	逆(-)	正・逆
	逆(-)	正(+)	逆・正
	逆(-)	逆(-)	逆・逆

事業者の解析は、「正・正」のみ

※ 入力地震動の符号について、『正』は事業者の解析で用いている地震動と同じ位相を示し、『逆』は入力地震動の位相を逆転した地震動を示す。

### III-5.2 解析条件

基本的な解析条件及び解析方法は、「III-4.2 解析条件」で示した条件・方法と同様となるが、JNES条件による解析では、入力地震動の位相の組合せを考慮した解析を追加して実施する。解析ケース一覧を表-5.2に示す。なお、断層モデル波であるSs-4については、地震動の策定において地震動の方向が規定されるため、位相の影響は考慮しないものとする。

表-5.2 解析ケース一覧

解析 ケース	地震動	入力地震動の位相		位相の 略称
		水平方向	鉛直方向	
ケース1	Ss-D	正(+)	正(+)	正・正
ケース2		正(+)	逆(-)	正・逆
ケース3		逆(-)	正(+)	逆・正
ケース4		逆(-)	逆(-)	逆・逆
ケース5	Ss-4	—		

事業者の解析  
実施ケース

但し、ケース5は  
地震応答解析のみ  
実施

※ 入力地震動の符号について、『正』は事業者の  
解析で用いている地震動と同じ位相を示し、『逆』  
は入力地震動の位相を逆転した地震動を示す。

III-5-2

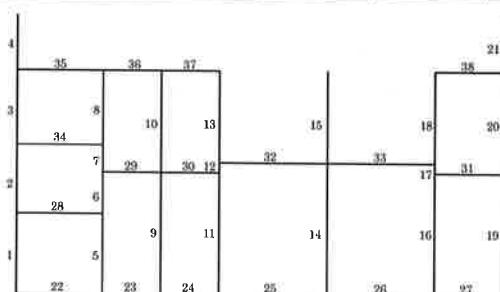
### III-5.3 地震応答解析結果

地震応答解析による応答結果として、各部材の上下端の最大相対変位、最大加速度分布図、最大変位分布図及び最大断面力図を以下に示す。

#### (1) 各部材上下端の最大相対変位

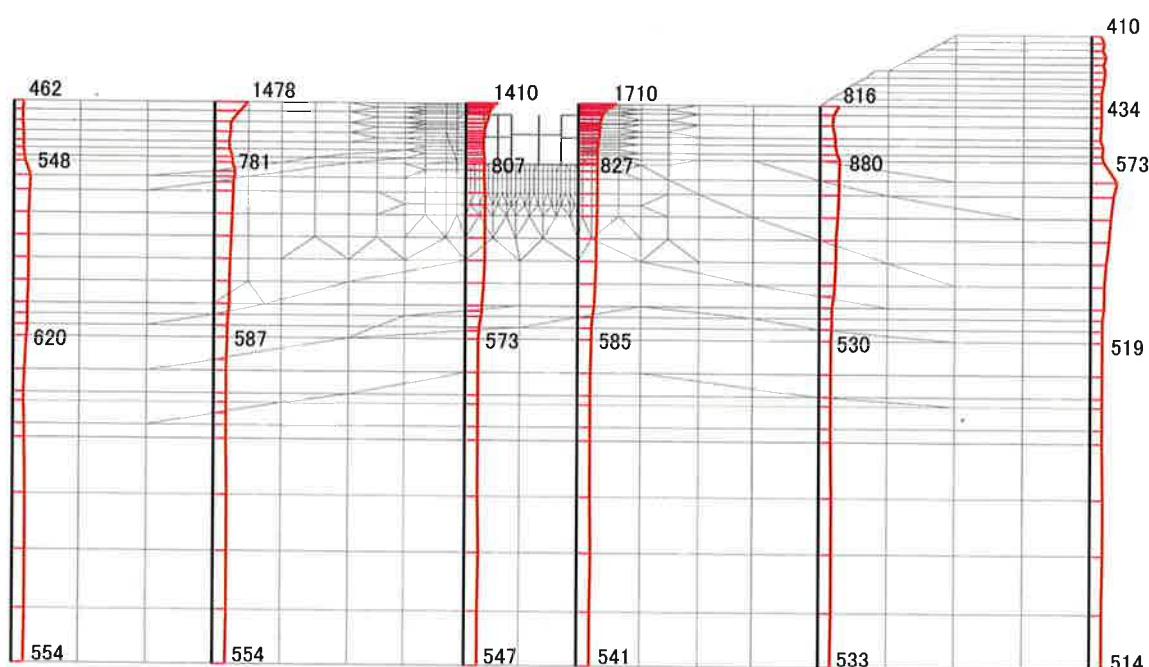
表-5.3 最大相対変位

解析 ケース	位相の 組合せ	相対変位 (cm)	発生時刻 (秒)	部 位	備 考 (地震動)
ケース1	正・正	1.58	84.94	21	Ss-D
ケース2	正・逆	1.40	42.64	17+18	
ケース3	逆・正	1.07	29.38	19	
ケース4	逆・逆	1.20	42.65	21	
ケース5	—	0.83	9.65	19	Ss-4



部材番号図

#### (2) 最大加速度分布



(単位 : Gal)

図-5.1 最大加速度分布 (Ss-D、ケース1、水平方向)

(3)最大変位分布

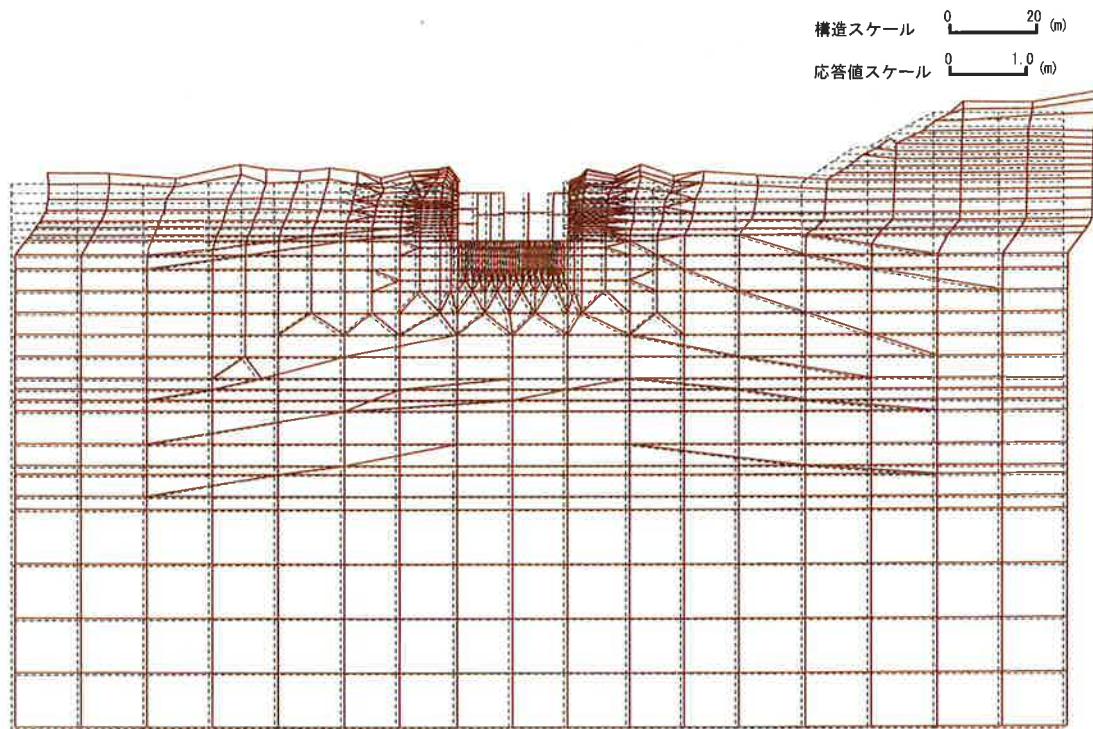
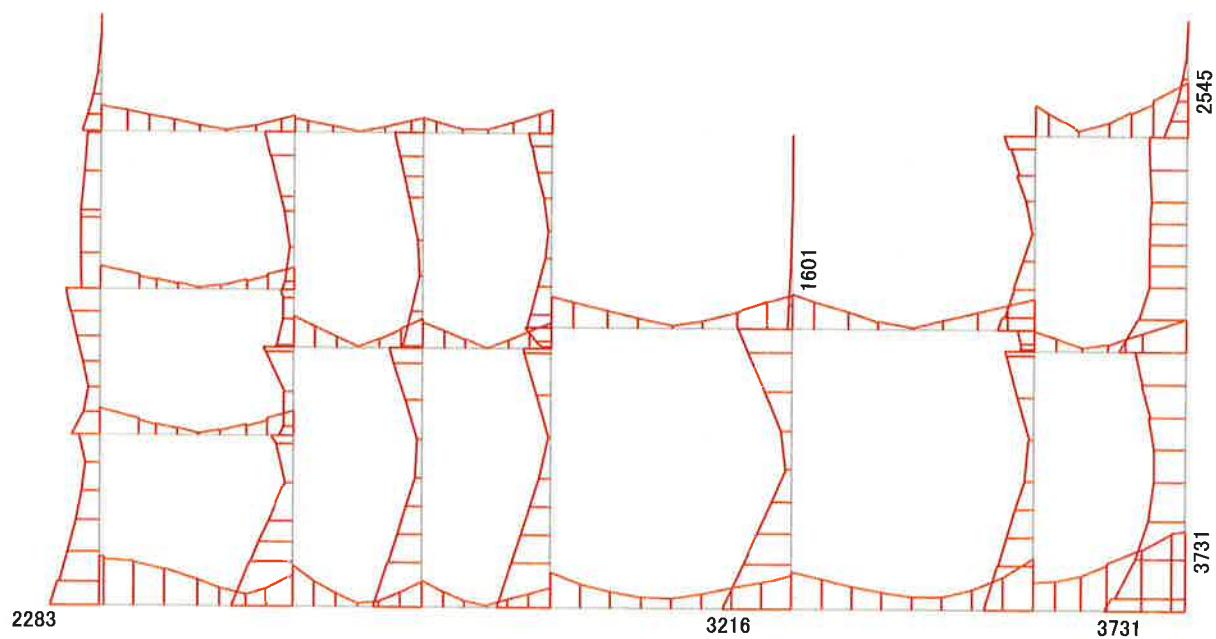


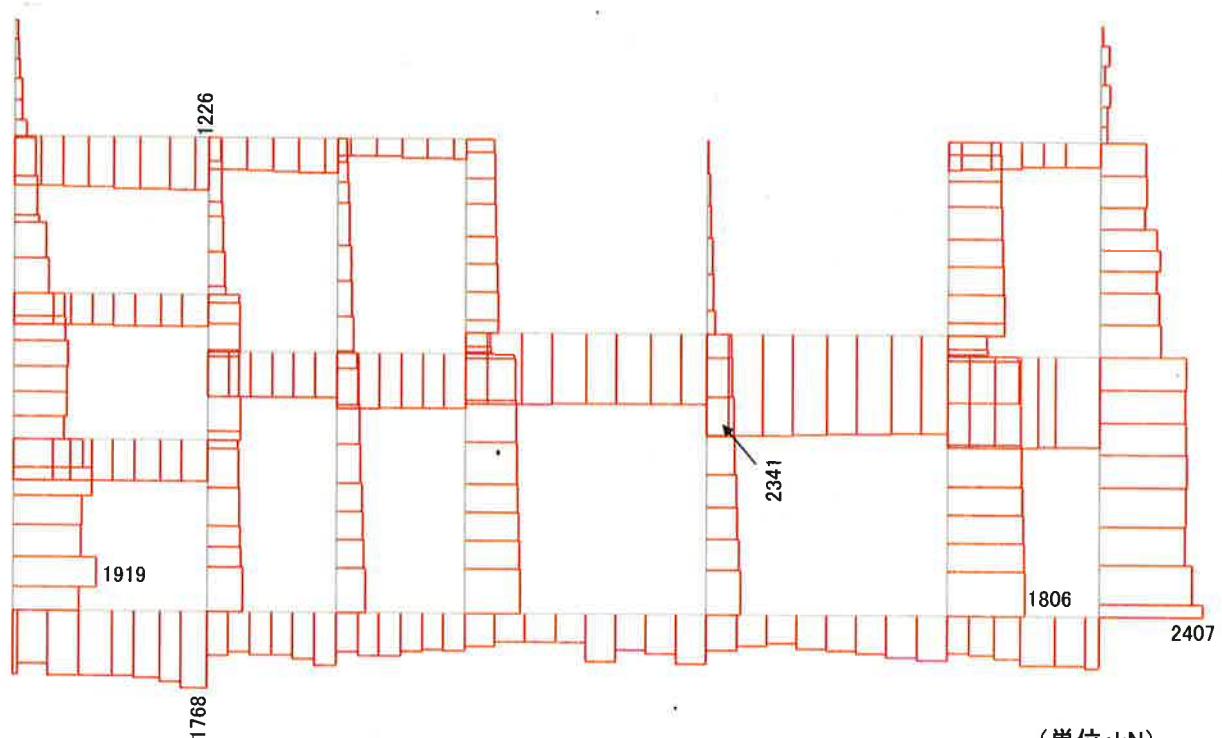
図-5.2 最大変位分布 (Ss-D、ケース1)

(4)最大断面力図



(単位:kN·m)

図-5.3 最大曲げモーメント (Ss-D、ケース1)



(単位:kN)

図-5.4 最大軸力 (Ss-D、ケース1)

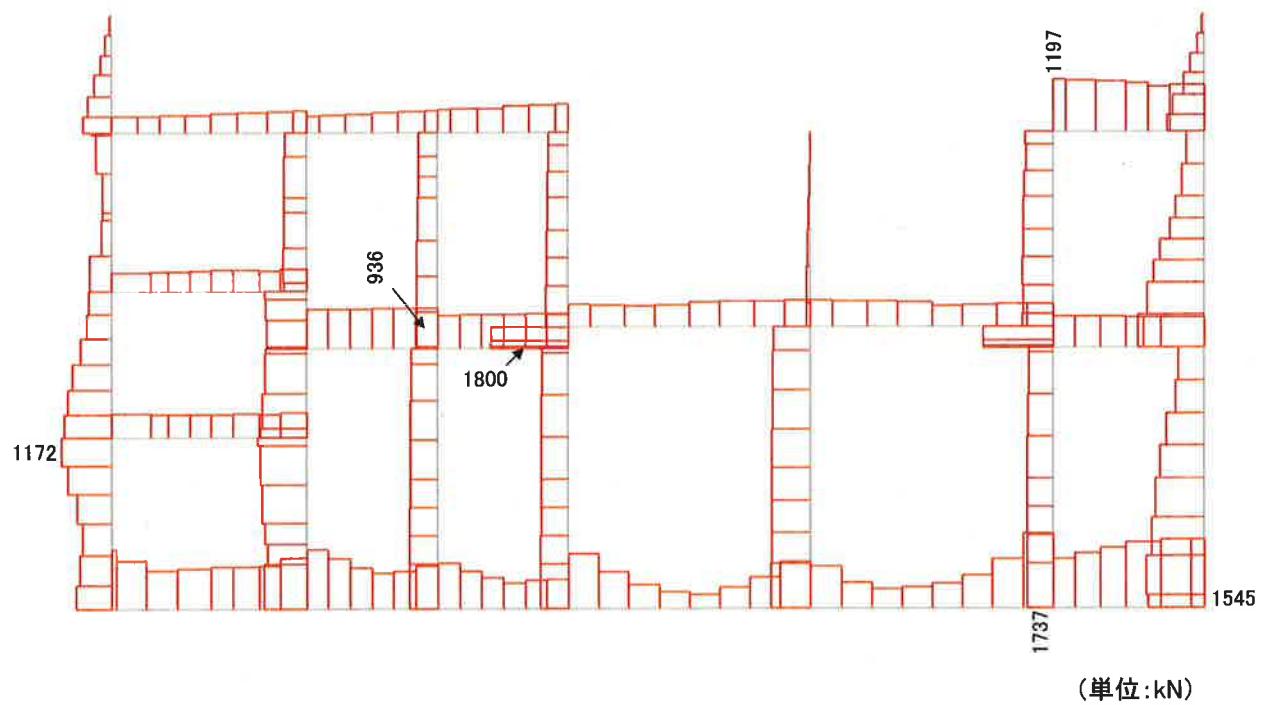


図-5.5 最大せん断力 (Ss-D、ケース1)

### III-5.4 耐震安全性評価結果

土木構造物の耐震安全性は、地震応答解析による応答値を用い、「III-3 耐震安全性評価基準」に示した評価基準に基づいて評価を行う。評価結果を以下に示す。

### III-5.4.1 曲げに対する評価結果

曲げに対する評価結果を表-5.4及び図-5.6に示す。照査用層間変形角はケース1の側壁で最大となり、限界層間変形角以内となる。これより、土木構造物は曲げに対する健全性を満足することを確認した。

表-5.4 曲げに対する評価結果一覧

部 位	解 析 ケ-ス (位相)	照査用層間変形角	$\gamma_1 \cdot R_d / R_u$	備 考 (地震動)		
		$R_d^{\text{※1}}$				
側 壁	ケース1 (正・正)	0.00701	0.701	Ss-D		
		0.01				
	ケース2 (正・逆)	0.00449	0.449			
		0.01				
	ケース3 (逆・正)	0.00453	0.453			
		0.01				
	ケース4 (逆・逆)	0.00535	0.535			
		0.01				
	ケース5	0.00274	0.274			
		0.01				

### ※1 照查用層間變形角

$R_d$  = 最大層間変形角  $R \times$  構造解析係数  $\gamma_s$  ( $\gamma_s = 1, 2$ )

## ※2 限界層間変形角

$$R_u = 1/100 = 0.01$$

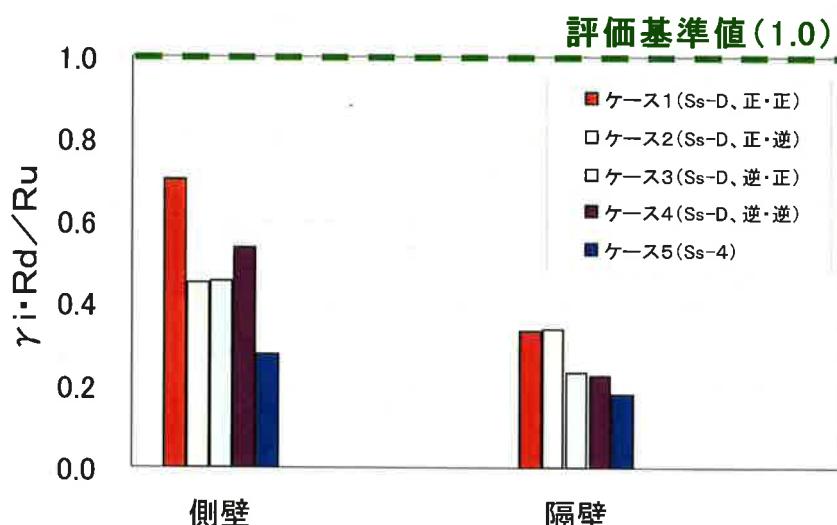


図-5.6 評価結果の比較

### ※部位の説明

側壁:部材番号 1~4, 19~21

隔壁：部材番号 5~18



### III-5.4.2 せん断力に対する評価結果

せん断力に対する評価結果のうち、せん断耐力式による評価結果を表-5.5及び図-5.7に示す。また、耐力式の評価結果において照査用せん断力がせん断耐力を超過した部位のうち、最も厳しくなる部位（ケース1の中床版）について行った材料非線形解析の評価結果を表-5.6及び図-5.8、図-5.9に示す。これより、照査用せん断力はせん断耐力以下となり、せん断力に対する健全性を満足することを確認した。

表-5.5 せん断耐力式による評価結果一覧

評価位置	解析 ケース (位相)	照査用せん断力 $V_{d,0}^{(kN)}$	せん断 耐力式 <sup>※2</sup> $V_{sd}^{(kN)}$	$\gamma_a \cdot V_d / V_{sd}$	備考 (地盤動)	評価位置	解析 ケース (位相)	照査用せん断力 $V_{d,0}^{(kN)}$	せん断 耐力式 <sup>※2</sup> $V_{sd}^{(kN)}$	$\gamma_a \cdot V_d / V_{sd}$	備考 (地盤動)
頂版	ケース1 (正・正)	1337 990	せん断 スパン比	1.35	Ss-D	側壁	ケース1 (正・正)	422 433	等価せん断 スパン比	0.97	Ss-D
	ケース2 (正・逆)	1269 998	せん断 スパン比	1.27			ケース2 (正・逆)	1528 1706	せん断 スパン比	0.90	
	ケース3 (逆・正)	1155 995	せん断 スパン比	1.16			ケース3 (逆・正)	445 449	示方書式	0.99	
	ケース4 (逆・逆)	1161 923	せん断 スパン比	1.26			ケース4 (逆・逆)	1117 1143	示方書式	0.98	
	ケース5	1070 923	せん断 スパン比	1.16			ケース5	861 864	示方書式	1.00	Ss-4
中床版	ケース1 (正・正)	1098 592	せん断 スパン比	1.95	Ss-D	隔壁	ケース1 (正・正)	945 947	せん断 スパン比	1.00	Ss-D
	ケース2 (正・逆)	948 627	せん断 スパン比	1.51			ケース2 (正・逆)	1180 942	せん断 スパン比	1.25	
	ケース3 (逆・正)	912 604	せん断 スパン比	1.51			ケース3 (逆・正)	1038 948	せん断 スパン比	1.09	
	ケース4 (逆・逆)	1055 593	せん断 スパン比	1.78			ケース4 (逆・逆)	1060 945	せん断 スパン比	1.12	
	ケース5	904 585	せん断 スパン比	1.55			ケース5	873 938	示方書式	0.93	Ss-4
底版	ケース1 (正・正)	1447 1609	示方書式	0.90	Ss-D						
	ケース2 (正・逆)	1371 1493	示方書式	0.92							
	ケース3 (逆・正)	743 1174	示方書式	0.63							
	ケース4 (逆・逆)	1037 1615	示方書式	0.64							
	ケース5	1257 1618	示方書式	0.78							

※1 照査用せん断力

$V_d = \text{発生せん断力 } V \times \text{構造解析係数 } \gamma_a \quad (\gamma_a = 1.05)$

※2 せん断耐力は、以下のせん断耐力式を用いて算定する  
示方書式：コンクリート標準示方書の棒部材式

せん断スパン比：せん断スパン比を考慮した棒部材式及びディープビーム式  
等価せん断スパン比：等価せん断スパン比を用いた式

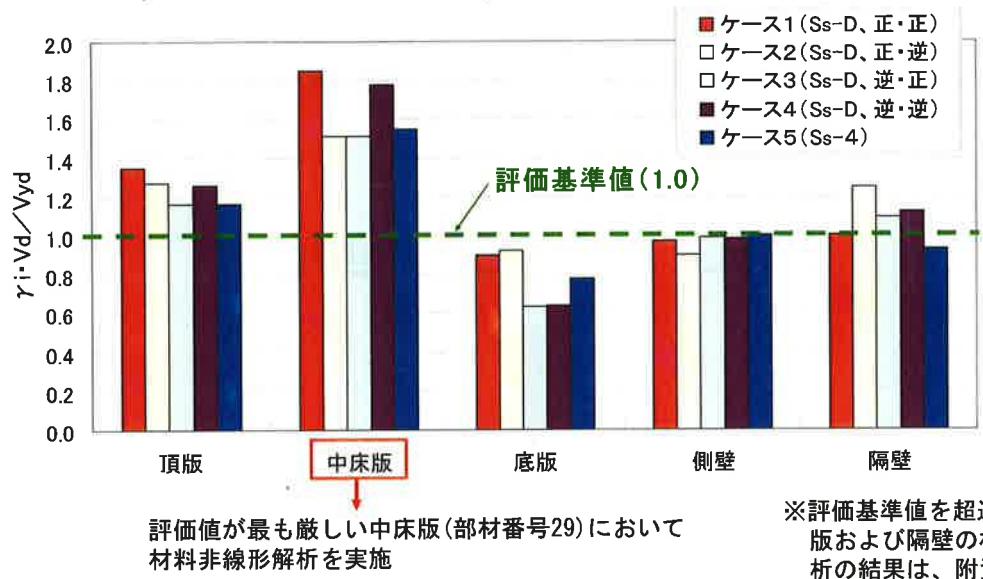


図-5.7 せん断耐力式による評価結果の比較

#### ※部位の説明

頂版：部材番号 35～38

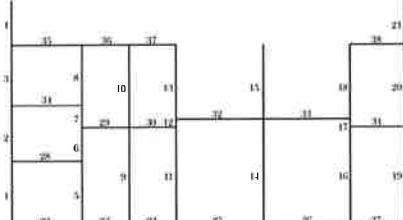
底版：部材番号 22～27

中床版：部材番号 28～34

側壁：部材番号 1～4、19～21

隔壁：部材番号 5～18

#### 部材番号図



※評価基準値を超過している頂版および隔壁の材料非線形解析の結果は、附資料-1に示す。

表-5.6 材料非線形解析による評価結果

評価位置 (部材番号)	解析 ケース (位相)	照査荷重 $P^{※1}$ (kN)	$P/P_u$	備考 (地震動)
		終局荷重 $P_u$ (kN)		
中床版 (29)	ケース1 (正・正)	1328	0.71	Ss-D
		1880		

※1 照査荷重

$$P = \text{作用荷重} P_0 \times \text{構造解析係数} \gamma_a \times \text{部材係数} \gamma_b$$

ここで、 $\gamma_a=1.05$ ,  $\gamma_b=1.21$

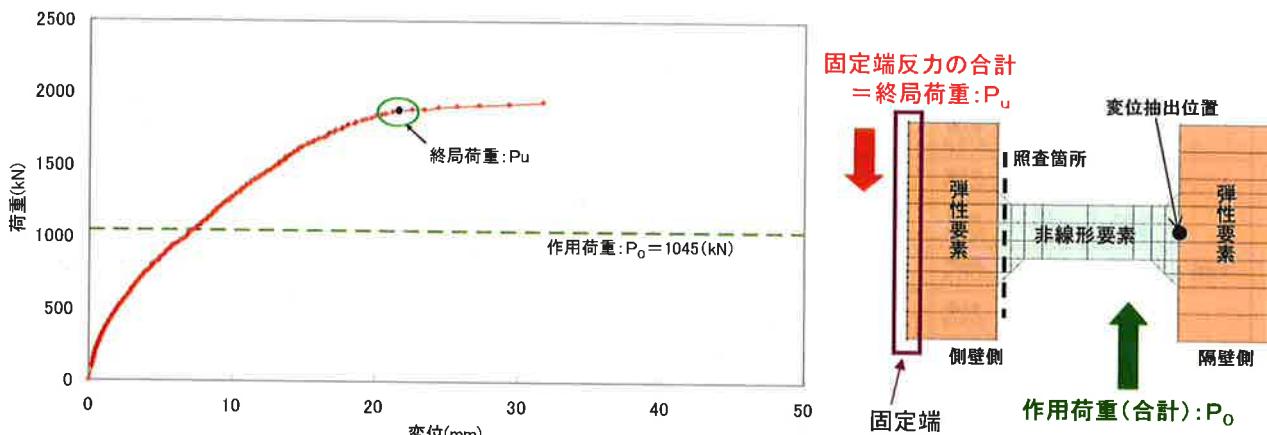


図-5.8 材料非線形解析による荷重変位曲線

※変位が急増し始める時点の荷重を終局荷重とした。

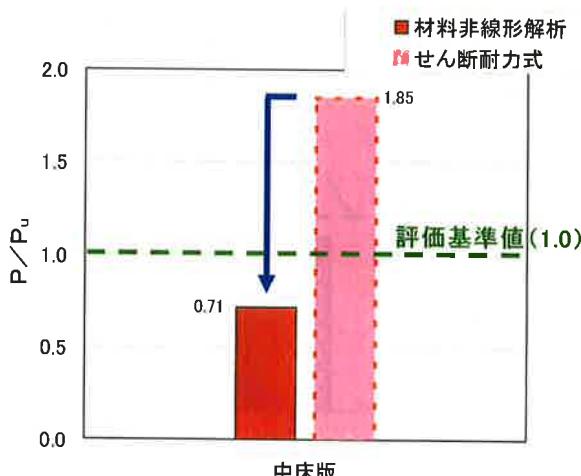


図-5.9 せん断耐力式と材料非線形解析の評価結果の比較



耐力式による評価値が最も厳しい中床版において材料非線形解析を実施

### III-6 まとめ

#### (1) 事業者条件による解析

- ・事業者条件による解析では、事業者が設定した条件による解析をJNESが実施し、解析の再現性を確認し、入力データ等に誤りが無いことを確認した。
- ・せん断力による評価の結果、せん断耐力式による評価では照査値が2程度となつたが、材料非線形解析による詳細な評価では、評価基準値を満足することを確認した。
- ・事業者の解析結果は、JNESの解析結果と若干差異があるものの、事業者の入力データ等に誤りが無いことを確認した。なお、両者の差異は解析手法、主に収束計算手法やジョイント要素のモデル化の相違によるものと考えられる。

#### (2) JNES条件による解析

- ・JNES条件による解析では、地盤の不整形形成やばらつきによる影響は小さいものと考えられるが、海水ポンプ室及びその周辺地盤の非対称な構造に伴う地震動の方向性による影響が考えられるため、入力地震動の位相の組合せを考慮した解析を行い海水ポンプ室の耐震安全性評価を実施した。
- ・評価の結果、側壁、隔壁の層間変形角、各部材のせん断力は評価基準を満足し、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。

以上から、高速増殖原型炉もんじゅの土木構造物は、基準地震動Ssに対して耐震安全性を確保することを確認した。

### 【参考文献】

- (1) 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針、原子力安全委員会、平成18年9月
- (2) 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価等の実施について、経済産業省、原子力安全・保安院、平成18年9月20日
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987及びJEAG4601-1991追補版），日本電気協会 電気技術基準調査委員会、昭和62年8月及び平成3年12月
- (4) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル、土木学会、2005年
- (5) コンクリート標準示方書、土木学会、2002年、2007年

## 附資料-1 せん断耐力式による耐力を超過した部材の材料非線形解析結果

### 1. 概要

「III-5.4.2 せん断力に対する評価結果」において、せん断耐力を超過した頂版および隔壁に対して材料非線形解析を実施する。なお、材料非線形解析の解析条件や解析モデルの設定方法等は本編と同様である。

### 2. 解析結果

次ページ以降に頂版および隔壁の材料非線形解析結果を示す。

これより、作用荷重は終局荷重以下となりせん断力に対する耐震安全性を満足する結果となる。

## (1) 頂版の材料非線形解析

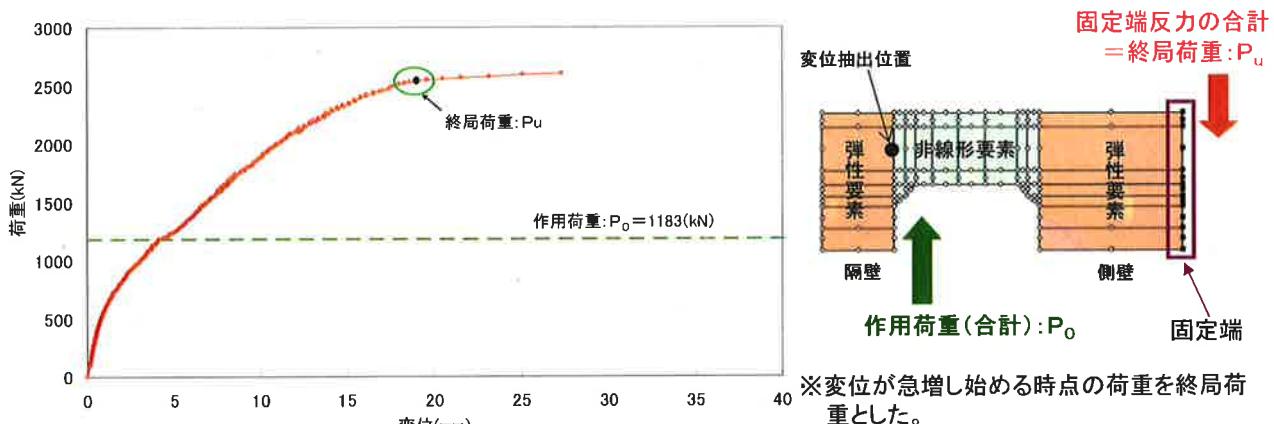
附表-1 材料非線形解析による評価結果(頂版)

評価位置 (部材番号)	解析 ケース (位相)	照査荷重 $P^{*1}$ (kN)	$P/P_u$	備考 (地震動)
		終局荷重 $P_u$ (kN)		
頂版 (38)	ケース1 (正・正)	1503	0.59	Ss-D
		2540		

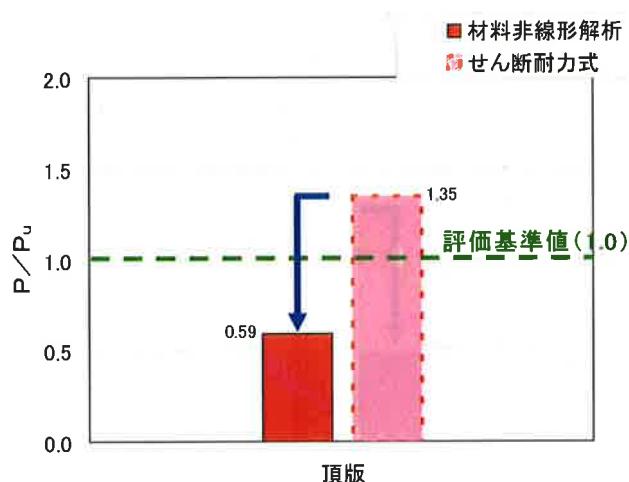
\*1 照査荷重

$$P = \text{作用荷重} P_0 \times \text{構造解析係数} \gamma_a \times \text{部材係数} \gamma_b$$

ここで、 $\gamma_a = 1.05$ ,  $\gamma_b = 1.21$



附図-1 材料非線形解析による荷重変位曲線（頂版）



附図-2 せん断耐力式と材料非線形解析の評価結果の比較（頂版）



## (2) 隔壁の材料非線形解析

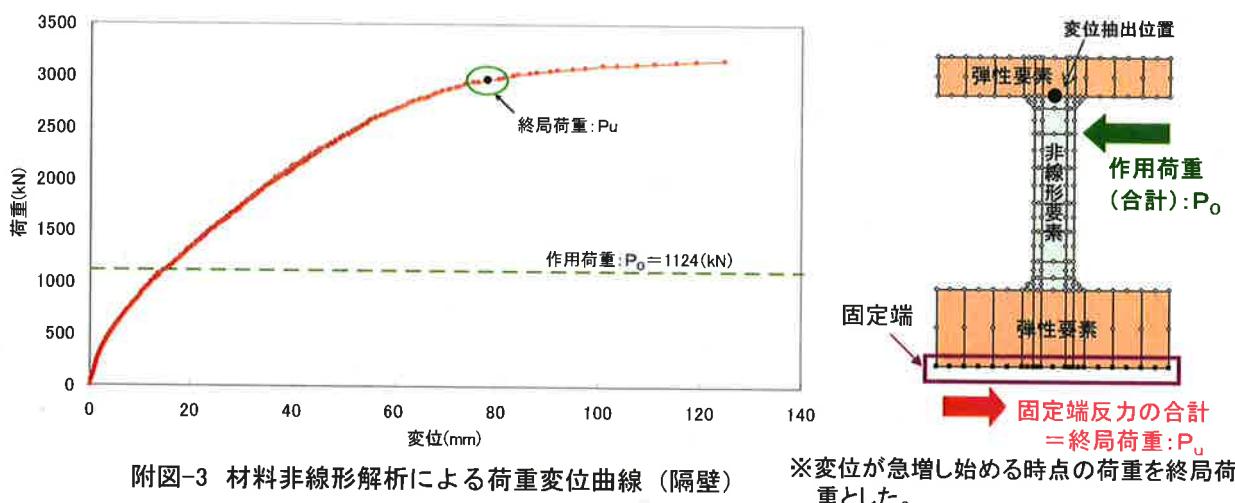
附表-2 材料非線形解析による評価結果

評価位置 (部材番号)	解析 ケース (位相)	照査荷重 $P^{**1}$ (kN)	$P/P_u$	備考 (地震動)
		終局荷重 $P_u$ (kN)		
隔壁 (14)	ケース2 (正・逆)	1428	0.48	Ss-D
		2970		

※1 照査荷重

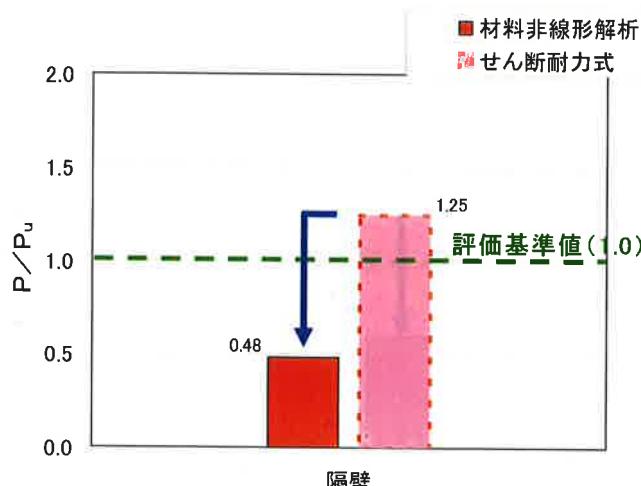
$$P = \text{作用荷重} P_0 \times \text{構造解析係数} \gamma_a \times \text{部材係数} \gamma_b$$

ここで、 $\gamma_a=1.05$ ,  $\gamma_b=1.21$

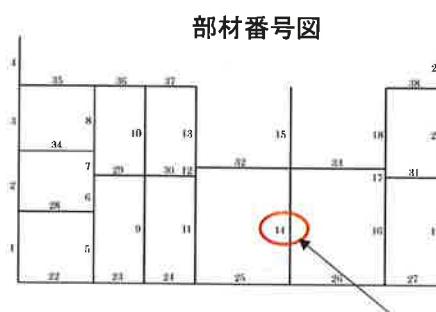


附図-3 材料非線形解析による荷重変位曲線（隔壁）

※変位が急増し始める時点の荷重を終局荷重とした。



附図-4 せん断耐力式と材料非線形解析の評価結果の比較（隔壁）



## 第IV篇 建物の耐震安全性評価

## 目次

IV	建物の耐震安全性評価.....	IV-1-1
IV-1	目的及び概要.....	IV-1-1
IV-2	地震観測記録シミュレーション解析等に基づく建物地震応答解析モデルの検討 .....	IV-2-1
IV-2. 1	地震観測記録のシミュレーション解析 .....	IV-2-1
IV-2. 2	基準地震動 Ss に対する建物モデルの検討 .....	IV-2-16
IV-2. 3	建物地震応答解析モデル検討のまとめ .....	IV-2-22
IV-3	建物の耐震安全性評価 .....	IV-3-1
IV-3. 1	原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性評価 .....	IV-3-1
IV-3. 2	ディーゼル建物基礎の安定性評価 .....	IV-3-19
IV-3. 3	建物の耐震安全性評価のまとめ .....	IV-3-30

## IV 建物の耐震安全性評価

### IV-1 目的及び概要

#### (1) 目的

平成 18 年 9 月 19 日に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(原子力安全委員会決定) (以下、「新耐震指針」という) に照らして独立行政法人原子力研究開発機構 (以下、「事業者」という) が実施した高速増殖原型炉もんじゅ (以下、「もんじゅ」という) の耐震安全性評価 (以下、「耐震バックチェック」という) の内容及び結果に対する原子力安全・保安院の審査に資することを目的にクロスチェック解析を実施した。

#### (2) 概要

クロスチェック解析の検討方針及び前提条件を IV-1-4 頁に示す。図 1.1 に建物に関する JNES のクロスチェック解析のフローを示す。図 1.2 にもんじゅプラントの概要を示す。

#### (a) 建物の地震応答解析モデルの検討

原子炉建物・原子炉補助建物で観測された地震記録のシミュレーション解析及び基準地震動 Ss の解析に基づき建物の地震応答解析モデルについて検討を行った結果、次の結論を得た。

##### ① 建物の最大応答評価 (建物の耐震安全性評価の観点)

- ・JNES の三次元 FEM モデル、JNES の床 (基礎版) 柔質点系モデル及び事業者が耐震バックチェックに用いた建物の地震応答解析モデル (以下、「事業者 BC モデル」という) による地震観測記録のシミュレーション解析結果は、地震観測記録による建物の最大応答加速度と整合的であった。
- ・従って、建物の応答最大値 (最大応答加速度) の評価の観点からは、本検討の範囲においては、いずれのモデルを建物の耐震安全性評価に用いても問題ないと考えられる。
- ・なお、耐震壁の最大応答せん断ひずみを評価する際は、各耐震壁が負担するせん断力の算定結果に基づき行うべきと考える。

##### ② 建物の床応答スペクトル評価 (建物内の機器配管系設備の耐震安全性評価に用いる建物応答評価の観点)

###### ア) 水平方向モデル

- ・事業者 BC モデルによる地震観測記録シミュレーション解析結果は、観測記録を小さく評価する周期帯があった。
- ・床の柔軟性を考慮した JNES の三次元 FEM モデル及び質点系モデルによるシミュレーション解析及び基準地震動 Ss による解析の検討結果より、床応答スペクトルに床の柔軟性の影響がみられた。
- ・以上から、床の柔軟性が床応答スペクトルに及ぼす影響が大きいと判断される建物位置に、

重要機器配管系設備がある場合は、床の柔軟性を考慮したモデルで床応答スペクトルを評価した方がよいと考える。

#### ④ 上下方向モデル

- ・事業者 BC モデルによる地震観測記録シミュレーション解析結果は、観測記録を小さく評価する部分及び過大に評価する周期帯があった。
- ・床・基礎版の柔軟性を考慮した JNES の三次元 FEM モデル及び質点系モデルによるシミュレーション解析及び基準地震動  $S_s$  による解析の検討結果より、床応答スペクトルに床・基礎版の柔軟性の影響がみられた。
- ・以上から、床・基礎版の柔軟性が床応答スペクトルに及ぼす影響が大きく、かつ床応答スペクトルを小さめに評価すると判断される建物位置に、重要機器配管系設備がある場合は、床・基礎版の柔軟性を考慮したモデルで床応答スペクトルを評価した方がよいと考える。

(b) 建物の耐震安全性評価

① 原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性評価

事業者の耐震バックチェック結果において、耐震壁のせん断ひずみ評価が最も厳しかった基準地震動 Ss-D 及び基礎の接地率評価が最も厳しかった基準地震動 Ss-5 に対して、原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性は確保できることを確認した。

また、事業者の耐震バックチェック結果において耐震壁のせん断ひずみ評価が最も厳しかった基準地震動 Ss (Ss-D) に対する地震応答解析結果について、事業者の解析結果と事業者 BC モデルを用いて JNES の所有コードで計算した結果はほぼ同様になることを確認した。

② ディーゼル建物基礎の安定性評価

事業者が実施した質点系モデルによる地震応答解析結果において、最も大きな転倒モーメントが発生した基準地震動 Ss-D に対するディーゼル建物基礎の安定性評価を行い、接地率評価が厳しくなると予想される建物基礎の短辺方向 (NS 方向) について基礎の安定性は確保できることを確認した。

また、基準地震動 Ss-D に対する NS 方向の地震応答解析結果について、事業者の解析結果と事業者の解析モデル（基礎の安定性を確認するための二次元 FEM モデル）を用いて JNES の所有コードで計算した結果はほぼ同様になることを確認した。

## ■ 検討方針

### ○ 検討概要

#### ◆ 解析モデルの検討

原子炉建物・原子炉補助建物で得られた地震観測記録等に基づき検討を行う。

#### ◆ 耐震安全性評価

- ・原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性を評価する。
- ・ディーゼル建物の基礎の安定性を評価する。

### ○ 前提条件

#### ◆ 解析・評価に用いた情報

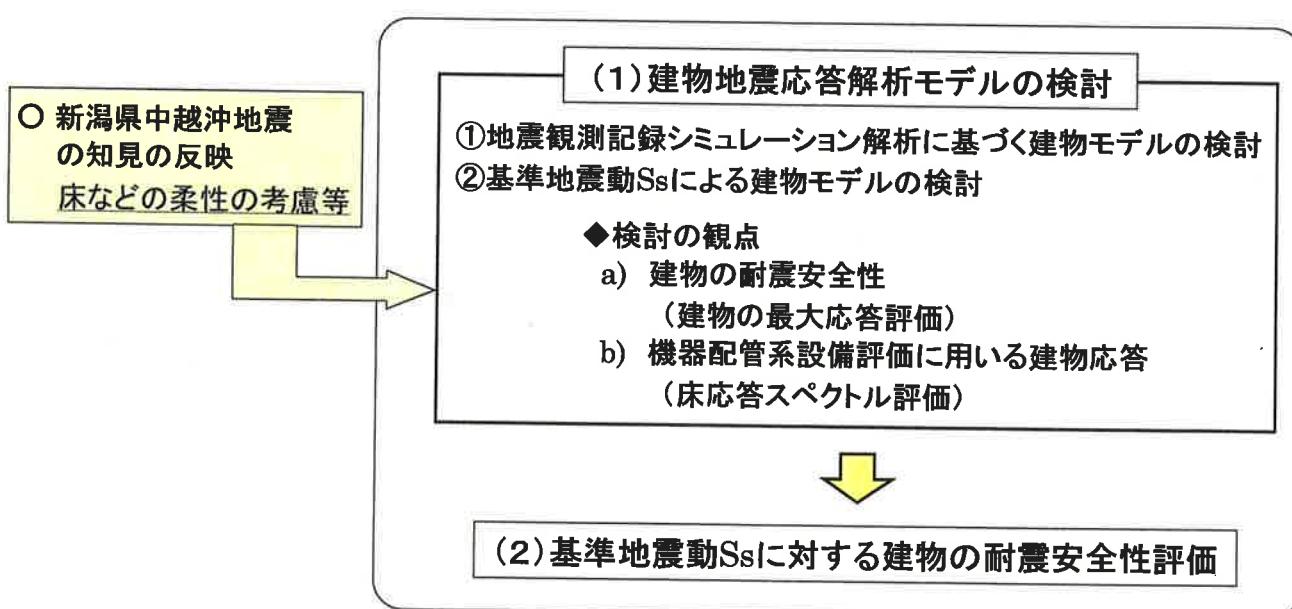
以下の情報に基づき解析・評価を行った。

- ・事業者の耐震パックチェックに係る報告書<sup>(※)</sup>

- ・事業者からの貸与資料 など

(※)・独立行政法人日本原子力研究開発機構：耐震・構造設計小委員会、構造B13-2-1「高速増殖原型炉もんじゅ 新耐震指針に照らした耐震安全性評価に関する説明資料(概要版) 地震応答解析及び耐震安全性評価結果について 一安全上重要な建物・構築物一(原子炉建物・原子炉補助建物)、平成21年10月9日」  
・独立行政法人日本原子力研究開発機構：耐震・構造設計小委員会、構造B13-2-2「高速増殖原型炉もんじゅ 新耐震指針に照らした耐震安全性評価に関する説明資料(概要版) 地震応答解析及び耐震安全性評価結果について 一安全上重要な建物・構築物一(原子炉建物・原子炉補助建物)、平成21年10月9日」  
・独立行政法人日本原子力研究開発機構：耐震・構造設計小委員会、構造B14-3-2「高速増殖原型炉もんじゅ 新耐震指針に照らした耐震安全性評価に関する説明資料(概要版) 地震応答解析及び耐震安全性評価結果について 一安全上重要な建物・構築物一(ディーゼル建物)、平成21年10月26日」  
・独立行政法人日本原子力研究開発機構：耐震・構造設計小委員会、構造B14-3-3「高速増殖原型炉もんじゅ 新耐震指針に照らした耐震安全性評価に関する説明資料(概要版) 地震応答解析及び耐震安全性評価結果について 一安全上重要な建物・構築物一(ディーゼル建物)、平成21年10月26日」  
・独立行政法人日本原子力研究開発機構：耐震・構造設計小委員会、構造B15-3-1「高速増殖原型炉もんじゅ 新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について(コメント回答を含め再説明)、平成21年11月10日」  
ほか

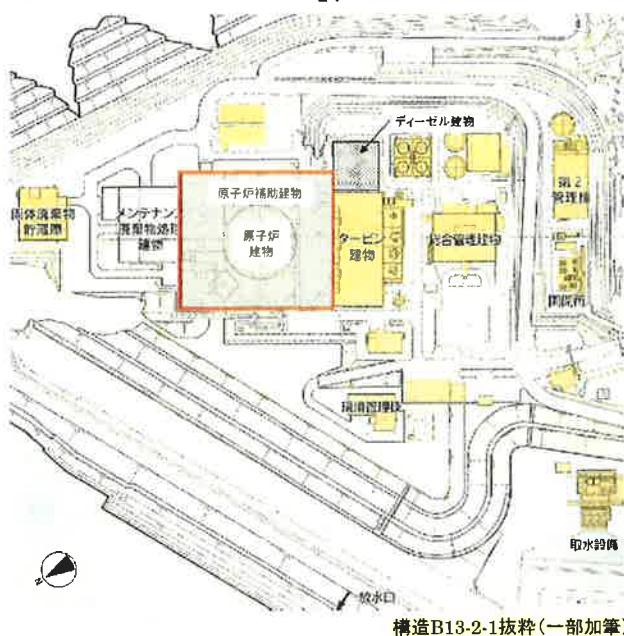
図1.1 JNESのクロスチェック解析のフロー(建物)



## 図1.2 もんじゅプラント概要

### ○ 配置図

N ↔ S



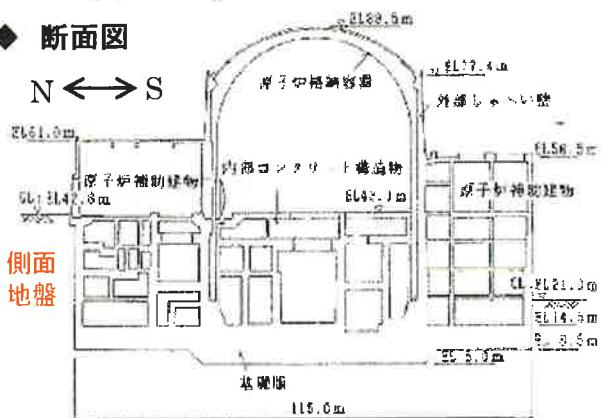
構造B13-2-1抜粋(一部加筆)

- ・内部コンクリート(IC)、原子炉補助建物(AB)、  
外部遮蔽壁(OS)、原子炉格納容器(CV)に大別される。
- ・北側に「メンテナンス・廃棄物処理建物」が、南側に「タービン建物」及び「ディーゼル建物」が隣接する。
- ・東側、西側及び北側の一部が埋め込まれている。

### ○ 原子炉建物の構造概要

#### ◆ 断面図

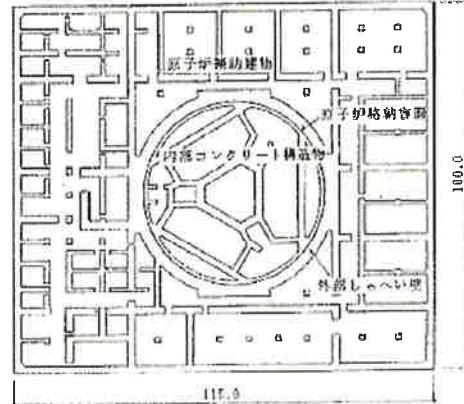
N ↔ S



構造B13-2-1抜粋(一部加筆)

#### ◆ 平面図

N ↔ S



構造B13-2-1抜粋(一部加筆)

(単位: m)

## IV-2 地震観測記録シミュレーション解析等に基づく建物地震応答解析モデルの検討

### IV-2.1 地震観測記録のシミュレーション解析

原子炉建物・原子炉補助建物で観測された地震記録のシミュレーション解析を行い、建物地震応答解析モデルについて検討した。

IV-2-2 頁から「IV-2.1.1 検討概要」を示す。図 2.1 に地震記録と地震観測の概要を示す。

IV-2-5 頁から「IV-2.1.2 シミュレーション解析モデル及び解析条件」を示す。図 2.2 にシミュレーション解析モデルを、表 2.1 にシミュレーション解析条件を示す。

IV-2-9 頁から「IV-2.1.3 地震観測記録シミュレーション解析結果の分析と検討」を示す。

IV-2-9 頁から「IV-2.1.3.1 地震観測記録とシミュレーション解析結果の比較」を示す。図 2.3 に建物の最大応答加速度を、図 2.4 に床応答スペクトルを示す。

IV-2-13 頁から「IV-2.1.3.2 三次元 FEM 解析結果の分析に基づく事業者 BC モデルの検討」を示す。図 2.5 に水平方向に対する観測記録と事業者 BC モデルの比較を、図 2.6 に上下方向に対する観測記録と事業者 BC モデルの比較を、図 2.7 に水平方向に対する建物の床の柔性的影響検討を、図 2.8 に上下方向に対する建物の床・基礎版の柔性的影響検討を示す。

IV-2-15 頁に「IV-2.1.4 地震観測記録シミュレーション解析のまとめ」を示す。

#### IV-2.1.1 検討概要

##### ■ 本検討に用いた解析モデル

###### ○ JNESの解析モデル

- ・三次元FEMモデル
- ・床(基礎版)柔性を考慮した質点系モデル

###### ◆ JNESの解析モデルで考慮する内容

###### ① 建物の床の柔性的影響 (水平方向)

新潟県中越沖地震を踏まえた原子力安全・保安院の指示文書<sup>(※1)</sup>に基づく。

###### ② 建物の床(基礎版)の柔性的影響 (上下方向)

JNESによる柏崎刈羽発電所原子炉建屋で観測された新潟県中越沖地震記録のシミュレーション解析において、基礎版の柔性を考慮した解析結果は、観測記録と整合的であった。(構造W16-1)<sup>(※2)</sup>

ほか

###### ○ 事業者の解析モデル

- ・事業者が耐震バックチェックに用いた床を剛でモデル化した質点系モデル  
(以下、「事業者BCモデル」という)
- ・床の柔性を考慮した質点系モデル  
(事業者は地震観測記録シミュレーション解析結果のみ報告;構造B15-3-1)

ほか

(※1)原子力安全・保安院 プレス発表：新潟県中越沖地震を踏まえ原子力発電所等の耐震安全性に反映すべき事項に関する原子力安全委員会への報告及び原子力事業者等への通知について、平成20年9月4日

(※2)耐震・構造設計小委員会、構造W16-1「新潟県中越沖地震における地盤一建屋解析モデルの分析、JNES」

##### ■ 本検討に用いた事業者モデルの解析結果について

・事業者が設定した解析モデルを用いてJNES所有コードで計算した地震応答解析結果は、事業者の地震応答解析結果とほぼ一致することを確認している。

・したがって、本資料における事業者モデルの解析結果は、JNES所有コードで計算した解析結果を示している。

図2.1 地震記録と地震観測の概要

図2.1(a) 地震記録の概要 (構造B15-3-1抜粋)

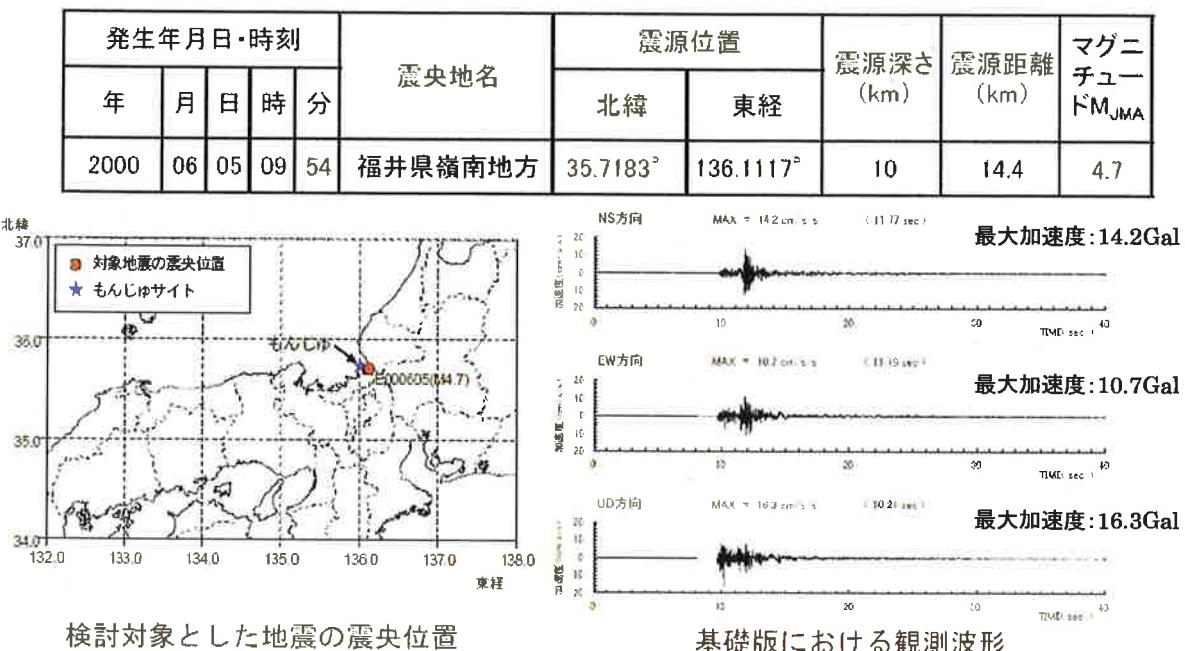
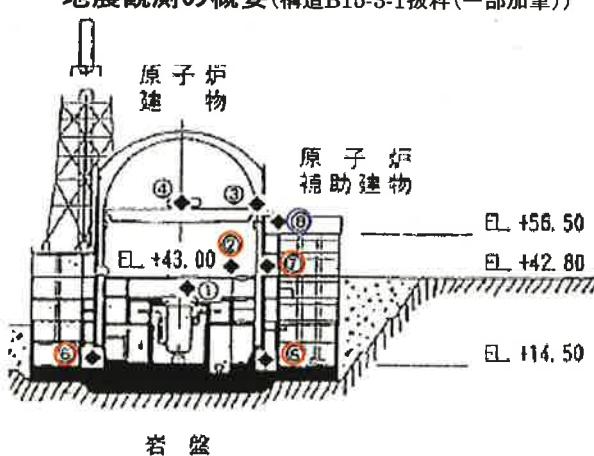


図2.1(b) 原子炉建物・原子炉補助建物における地震観測の概要(構造B15-3-1抜粋(一部加筆))



- ◆: 地震計設置位置 (○内の数字は地震計No.)
- : 事業者がシミュレーション解析対象とした地震計 (No.2, No.7)
- : JNESが追加でシミュレーション解析対象とした地震計 (No.8)

○ 地震計No.8の地震記録の信頼性について

事業者から原子力安全・保安院に報告された内容を考慮して、地震計No.8のNS方向の記録は参考値として扱う。

◆事業者から原子力安全・保安院への報告内容

地震時に地震計No.8の直上にあったガントリークレーンは、NS方向に対して建物にロックされていた影響で、ローカルな振動を拾っている可能性が大きい。

図2.1(c) 地震計配置(シミュレーション解析対象)

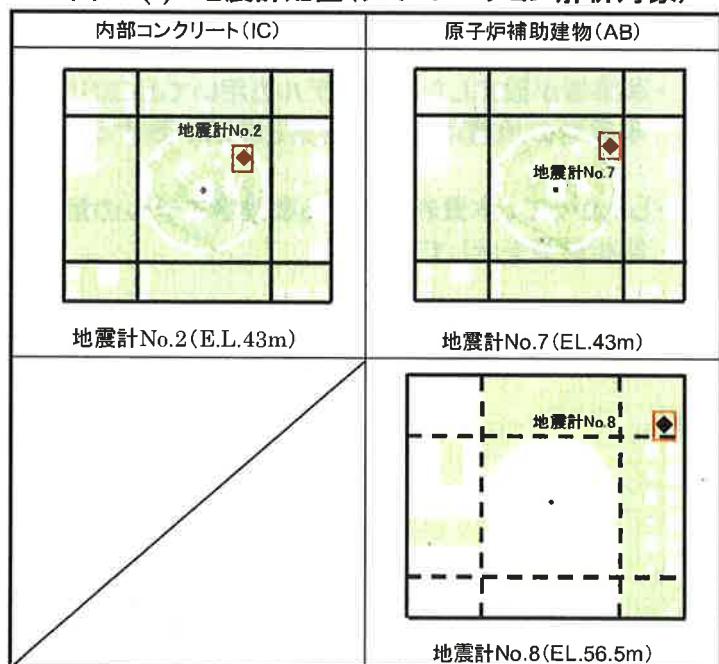
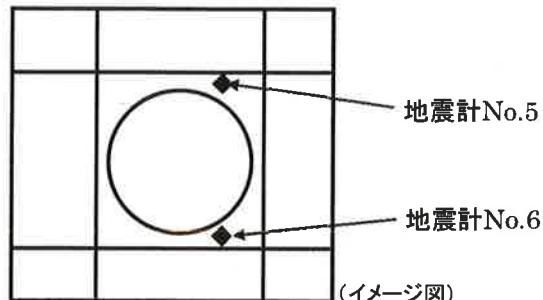


図2.1(d) 基礎版上の地震計の配置と応答スペクトル(シミュレーション解析の入力)

◆ 地震計配置

(基礎版上、EL.14.5m)



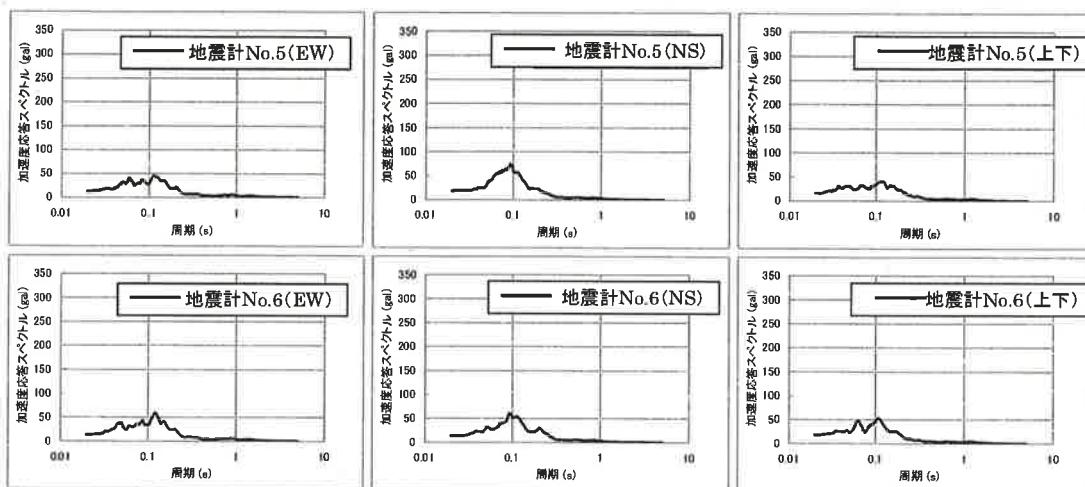
地震計No.5

地震計No.6

(イメージ図)

◆ 加速度応答スペクトル\* (基礎版上、EL.14.5m)

\*応答スペクトル減衰 $h=0.05$



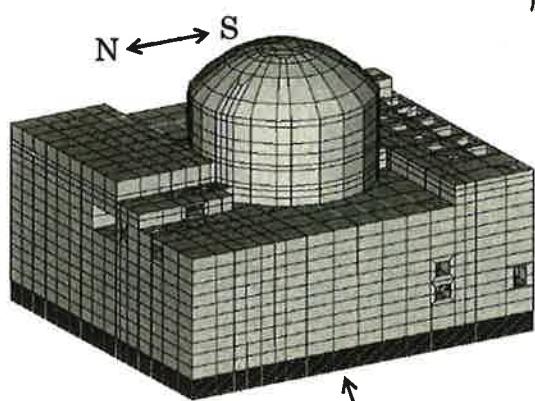
地震計No.5とNo.6の加速度波形の平均をシミュレーション解析の入力波とした。

## IV-2.1.2 シミュレーション解析モデル及び解析条件

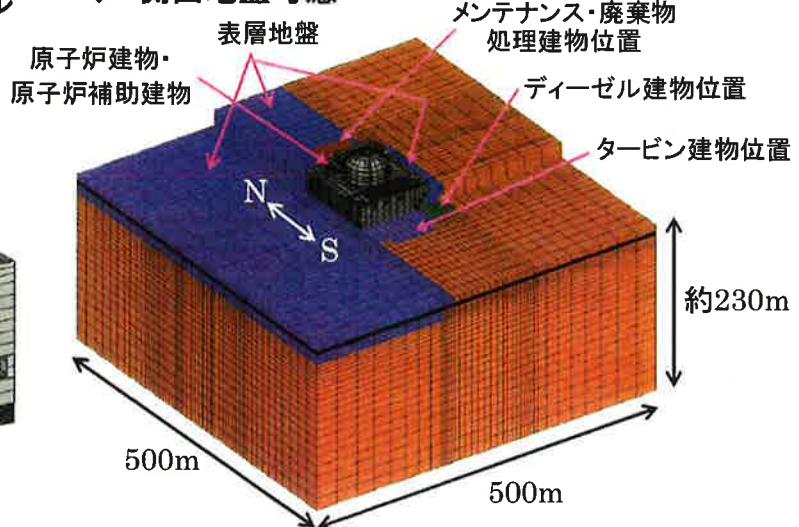
図2.2 シミュレーション解析モデル

図2.2(a) JNESの3次元FEMモデル

◆ 側面地盤無視



◆ 側面地盤考慮



基礎底面に振動アドミッタンス理論に基づく水平・鉛直地盤ばねを設置

□ 原子炉建物・原子炉補助建物と地盤との接触条件

■ 隣接建物位置の地盤との接触

接触なし

■ 側面地盤との接触

・原子炉補助建物外壁の垂直方向：接触あり

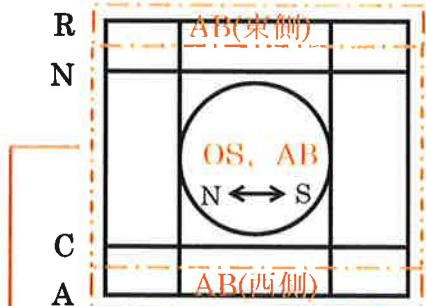
・原子炉補助建物外壁のせん断方向：接触なし

図2.2(b) 床の柔軟性を考慮した床ばね質点系モデル(水平方向モデル)

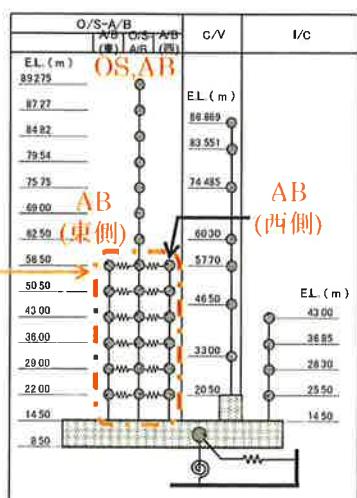
図2.2(b).1 NS方向モデル

□ JNESモデル

■ 耐震壁の分割(OS~AB) <平面図>

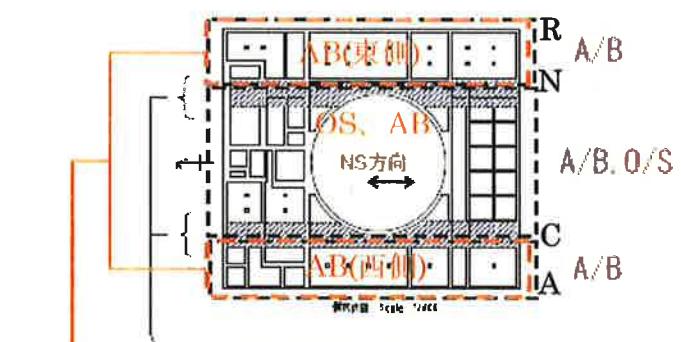


■ 解析モデル



□ 事業者モデル(構造B15-3-1抜粋(一部加筆))

■ 耐震壁の分割(OS~AB) <平面図>



■ 解析モデル

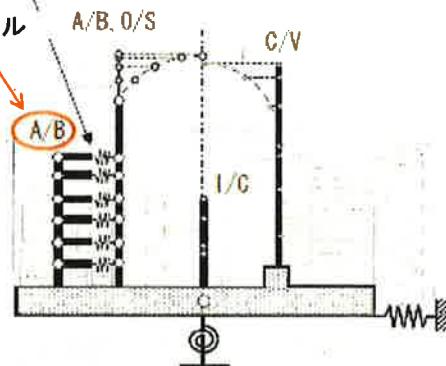
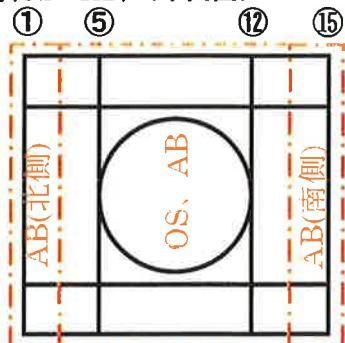


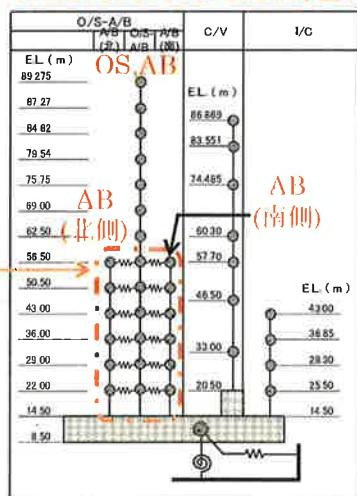
図2.2(b).2 EW方向モデル

□ JNESモデル

■ 耐震壁の分割(OS～AB) <平面図>

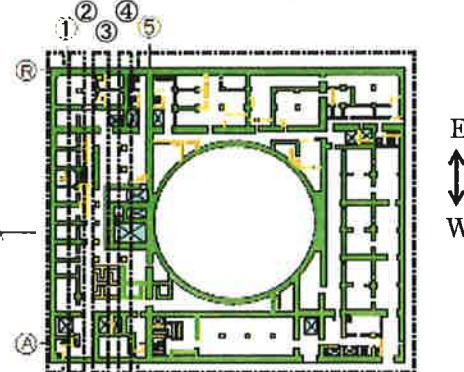


■ 解析モデル



□ 事業者モデル(構造B15-3-1抜粋(一部加筆))

■ 耐震壁の分割(OS～AB) <平面図>



■ 解析モデル

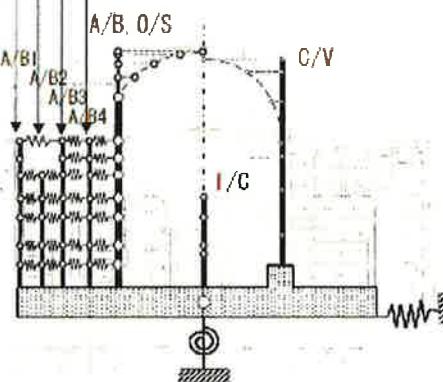
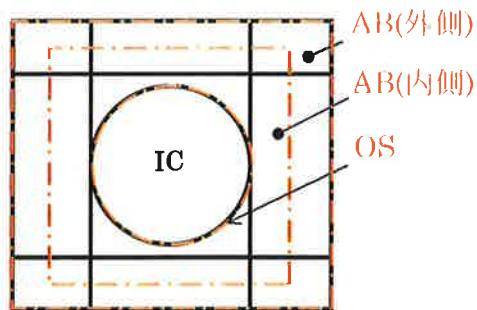


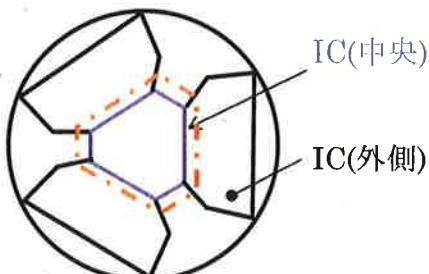
図2.2(c) JNESの床・基礎版の柔性を考慮した床ばね質点系モデル(上下方向モデル) [1/2]

◆ 耐震壁の分割<平面図>

□ OS～AB



□ IC



◆ 解析モデル

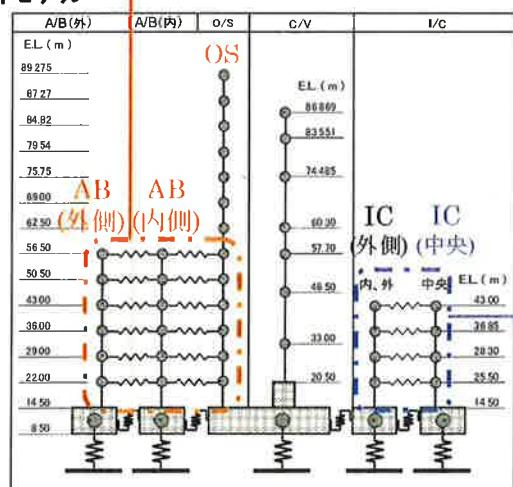


図2.2(d) 事業者BCモデル(床・基礎版を剛とした質点系モデル)

◆ 水平方向モデル(NS方向、EW方向)

◆ 上下方向モデル

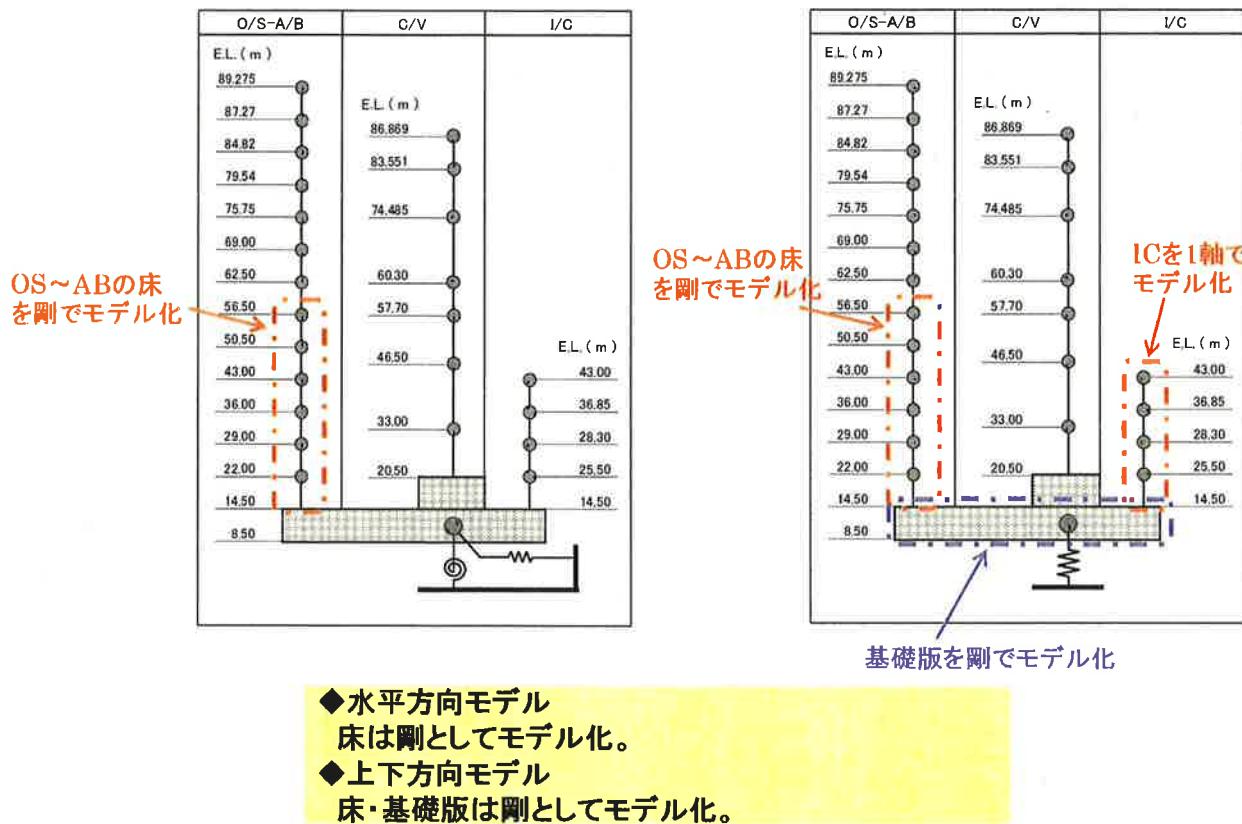


表2.1 シミュレーション解析条件

表2.1(a) 水平方向モデル

部位	項目	JNESモデル			事業者モデル		
		三次元FEMモデル		床の柔軟性を考慮した質点系モデル	事業者BCモデル	床の柔軟性を考慮した質点系	
		側面地盤考慮	側面地盤無視		(床剛質点系)		
建物	鉄筋コンクリート部材の剛性	設計に基づく値 (事業者報告書記載値)			同左		
	床の柔軟性	考慮			無視 (剛と仮定)	考慮	
	コンクリート部材の減衰定数	3% <sup>(※)</sup>			5%		
地盤	地盤モデル	ソリッド要素	振動アドミッタンスばねと等価な地盤ばね	振動アドミッタンス理論に基づく地盤ばね	振動アドミッタンス理論に基づく地盤ばね		
建物と地盤の相互作用	建物埋込部側面	考慮 (外壁の垂直方向のみ)	無視	無視	無視		
	基礎底面	考慮			同左		

(※) 鉄筋コンクリート構造物の減衰定数に関する既往の試験結果<sup>\*1,\*2</sup>等を参照して、3%を採用。

\*1 大型振動台による原子炉建屋の加振実験(その7 BWR型 1/12全体模型の試験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和62年10月

\*2 原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験(その4 減衰性能試験のうち動的試験)、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989年10月

表2.1(b) 上下方向モデル

部位	項目	JNESモデル		事業者モデル (床剛質点系)	
		三次元FEMモデル			
		側面地盤考慮	側面地盤無視		
建物	鉄筋コンクリート部材の剛性	水平モデルと同じ		水平モデルと同じ	
	床・基礎版の柔性	考慮		無視 (剛と仮定)	
	コンクリート部材の減衰定数	水平モデルと同じ		水平モデルと同じ	
地盤	地盤モデル	水平モデルと同じ		水平モデルと同じ	
建物と地盤の相互作用	建物埋込部側面	無視		水平モデルと同じ	
	基礎底面	水平モデルと同じ		水平モデルと同じ	

### IV-2.1.3 地震観測記録シミュレーション解析結果の分析と検討

#### IV-2.1.3.1 地震観測記録とシミュレーション解析結果の比較

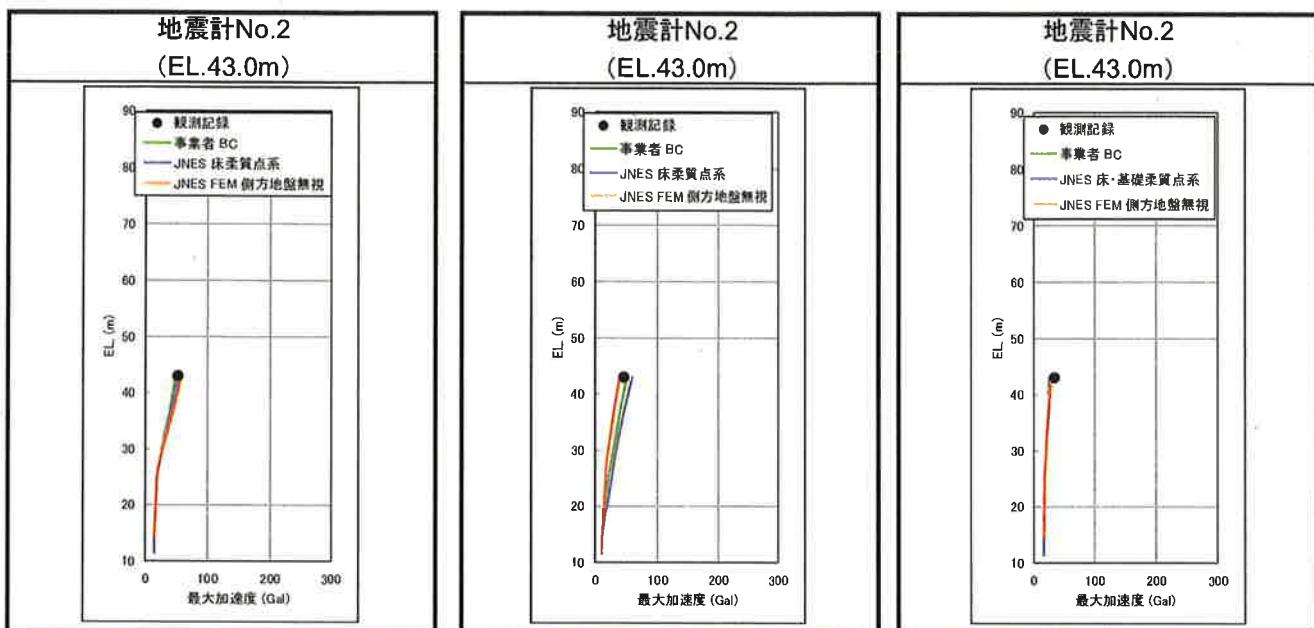
図2.3 建物の最大応答加速度

図2.3(a) 内部コンクリート(IC)

□ NS方向

□ EW方向

□ 上下方向



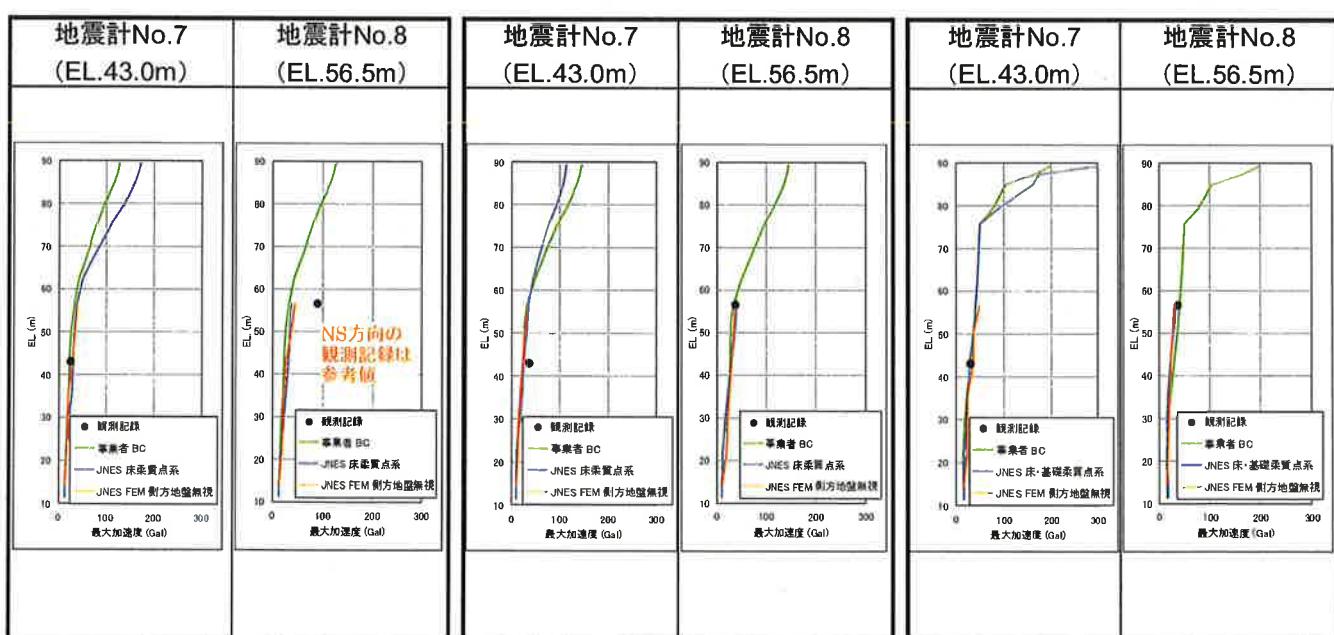
JNESの三次元FEMモデル、JNESの床柔質点系モデル、JNESの床・基礎柔質点系モデル及び事業者BCモデルによるシミュレーション解析結果は、観測記録と整合的である。

図2.3(b) 原子炉補助建物(AB)

□ NS方向

□ EW方向

□ 上下方向



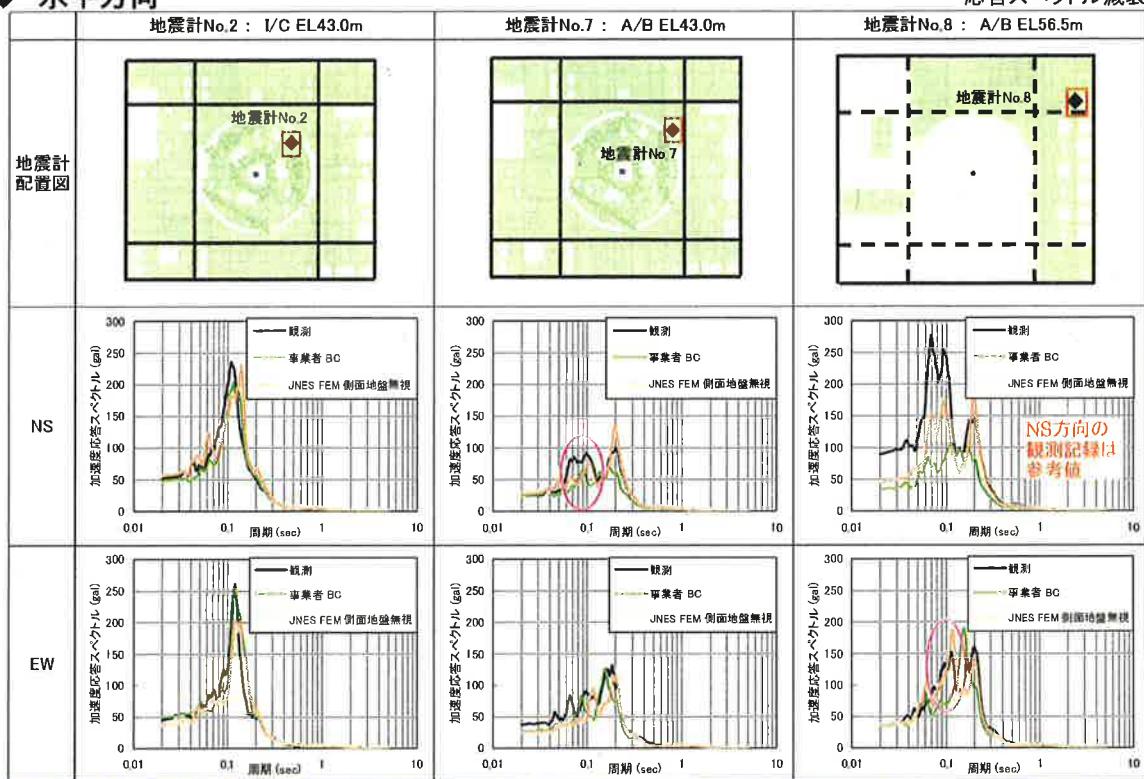
JNESの三次元FEMモデル、JNESの床柔質点系モデル、JNESの床・基礎柔質点系モデル及び事業者BCモデルによるシミュレーション解析結果は、観測記録と整合的である。

図2.4 床応答スペクトル

図2.4(a) 「JNESの三次元FEMモデル」と「事業者BCモデル」の解析結果(1/2)

◆ 水平方向

応答スペクトル減衰 $h=0.05$



・事業者BCモデルの結果は、内部コンクリート(IC)では観測記録と整合的だが、

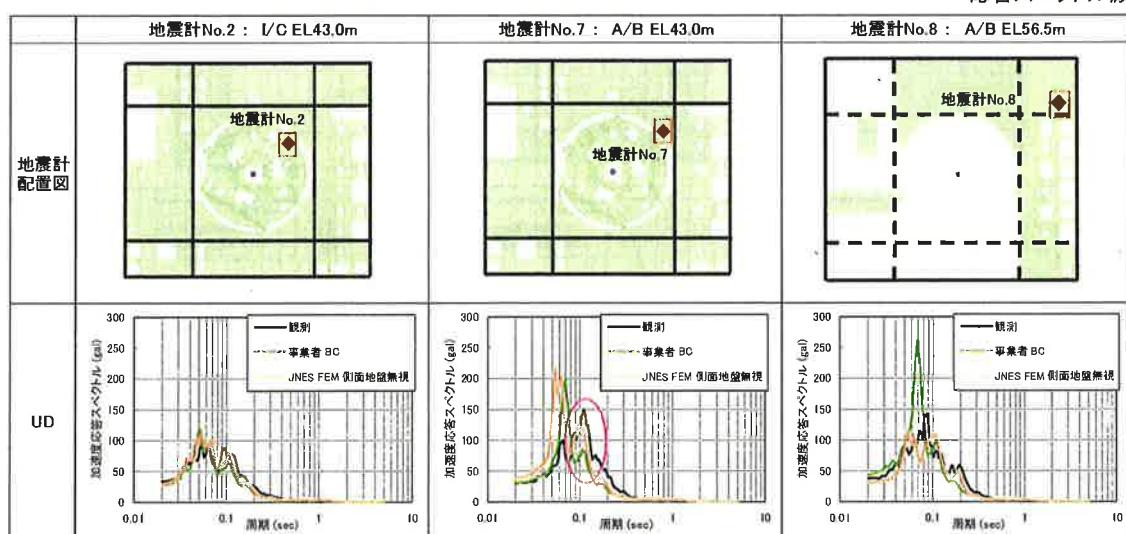
原子炉補助建物(AB)では周期0.1秒付近で観測記録より小さい部分あり。

・JNESの三次元FEMモデルの結果は、比較的観測記録と整合的。

図2.4(b) 「JNESの三次元FEMモデル」と「事業者BCモデル」の解析結果(2/2)

◆ 上下方向

応答スペクトル減衰 $h=0.05$

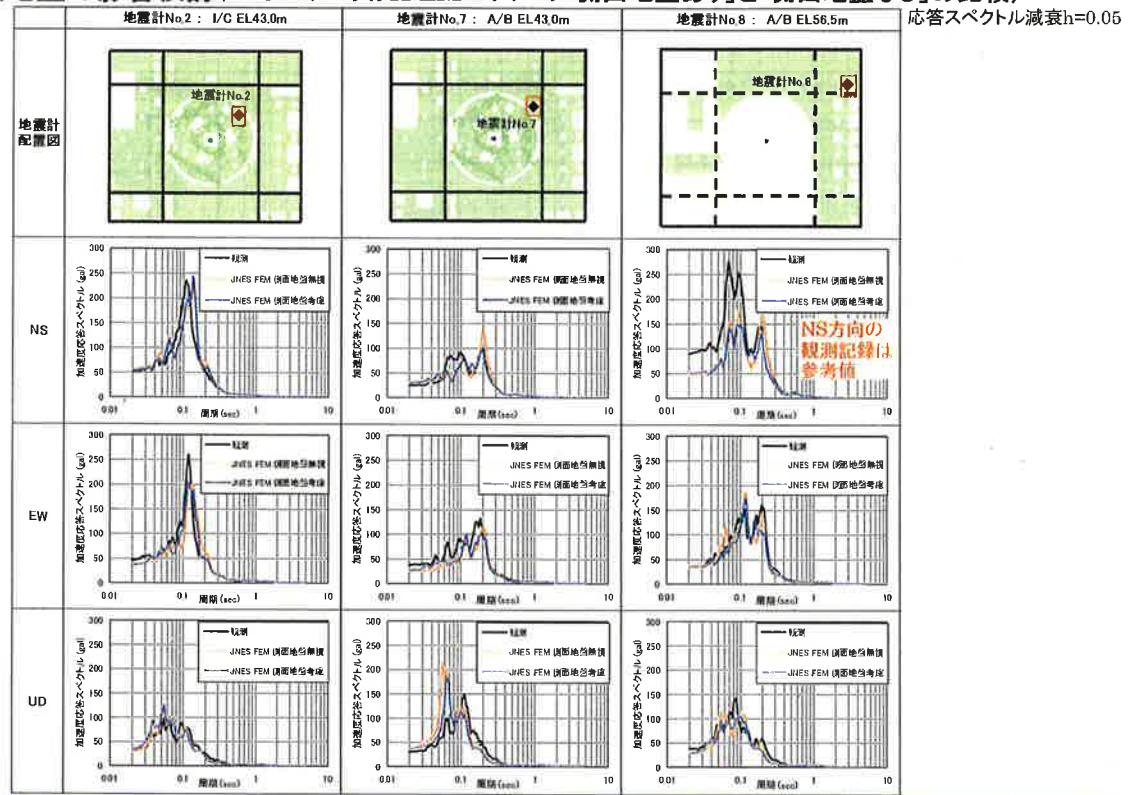


・事業者BCモデルの結果は、内部コンクリート(IC)では観測記録と整合的だが、

原子炉補助建物(AB)では周期0.1秒付近で観測記録より小さい部分及び過大に評価する部分あり。

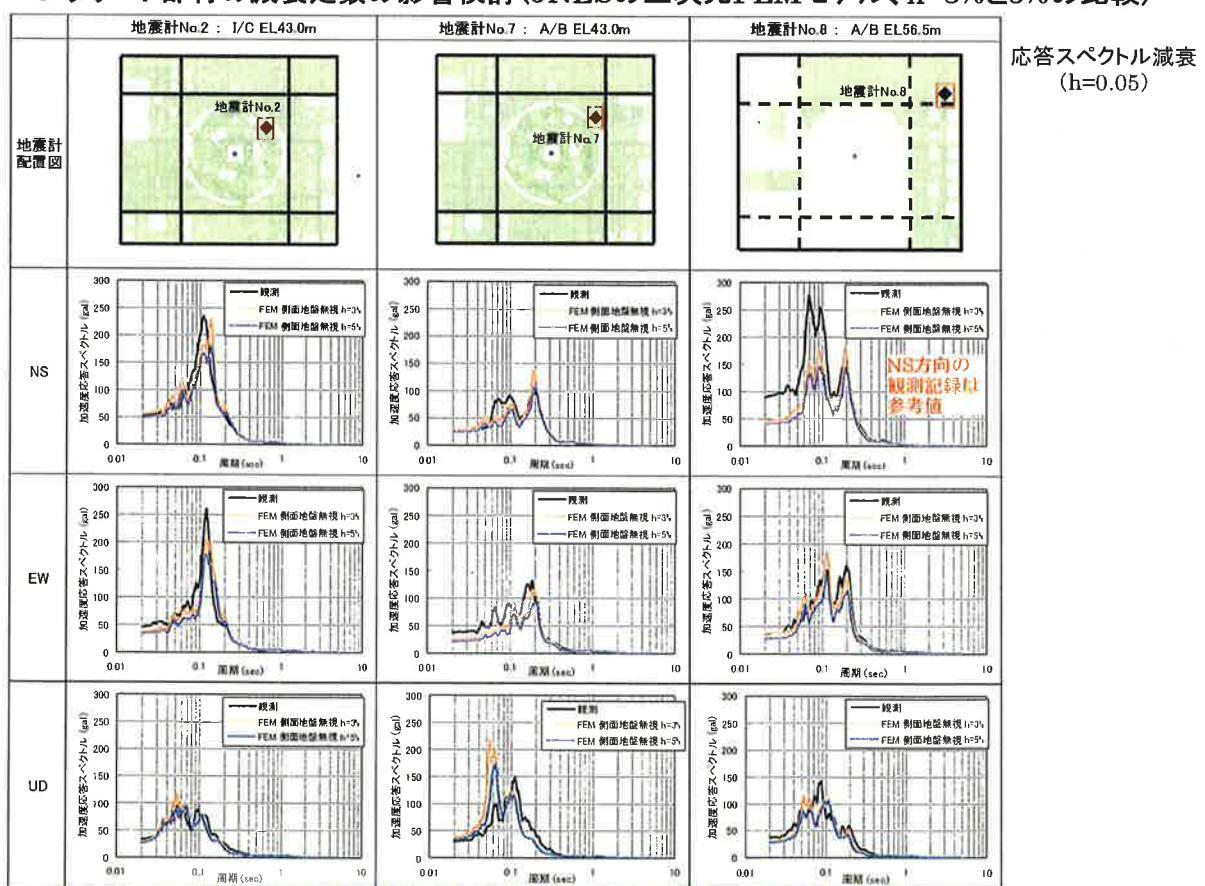
・JNESの三次元FEMモデルの結果は、比較的観測記録と整合的。

図2.4(c) 側面地盤の影響検討(JNESの三次元FEMモデルの「側面地盤あり」と「側面地盤なし」の比較)



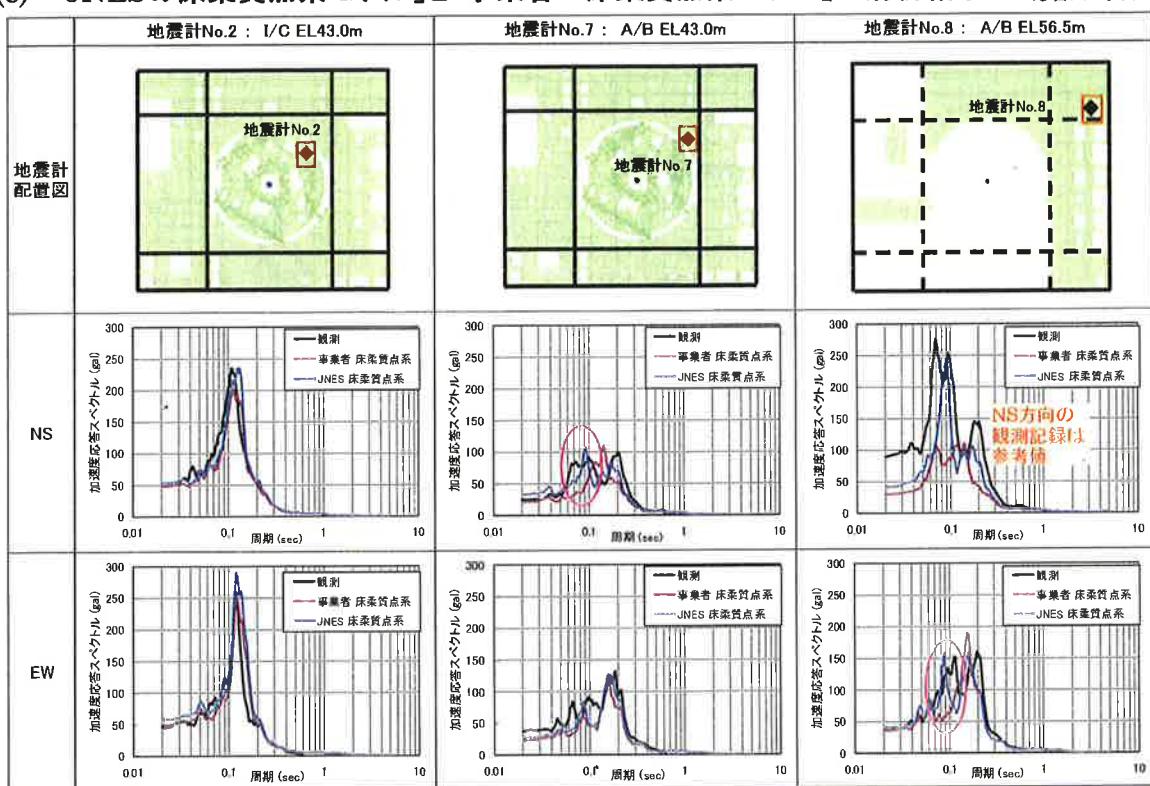
- ・解析結果より、側面地盤(表層地盤)が建物応答に及ぼす影響は小さい。
- ・また、新潟県中越沖地震では建物周りの表層地盤の沈下がみられ、地震時に地盤が非線形化したことが推測されたことも踏まえると、強地震動下では側面地盤(表層地盤)が建物応答に及ぼす影響は小さいと判断される。

図2.4(d) コンクリート部材の減衰定数の影響検討(JNESの三次元FEMモデル、h=3%と5%の比較)



コンクリート部材の減衰定数が3%の結果と5%の結果は概ね同様。

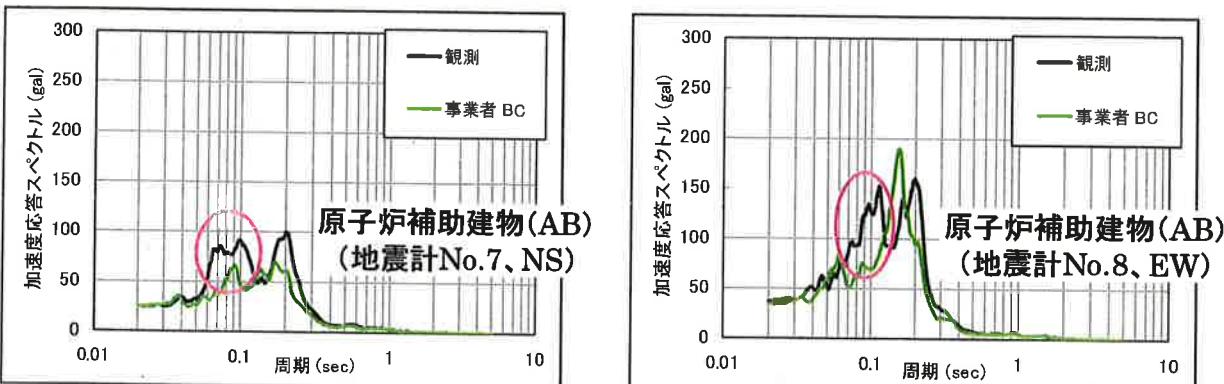
図2.4(e) 「JNESの床柔質点系モデル」と「事業者の床柔質点系モデル」の解析結果 応答スペクトル減衰 $h=0.05$



- ・事業者の床柔質点系モデルの結果は、内部コンクリート(IC)では観測記録と整合的だが、原子炉補助建物(AB)では周期0.1秒付近で観測記録より小さい部分あり。
- ・JNESの床柔質点系モデルの結果は、事業者の床柔質点系モデルの結果に比べて、観測記録と整合的。

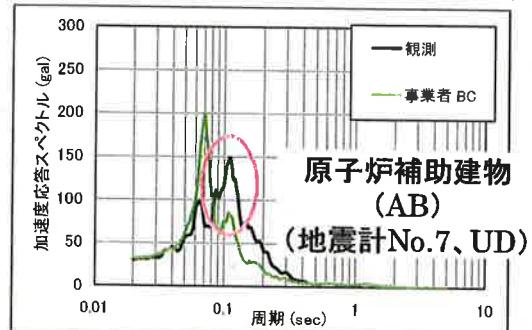
#### IV-2.1.3.2 三次元FEM解析結果の分析に基づく事業者BCモデルの検討

図2.5 水平方向(観測記録と事業者BCモデルの比較)



床の柔性的影響について検討を行った。

図2.6 上下方向(観測記録と事業者BCモデルの比較)



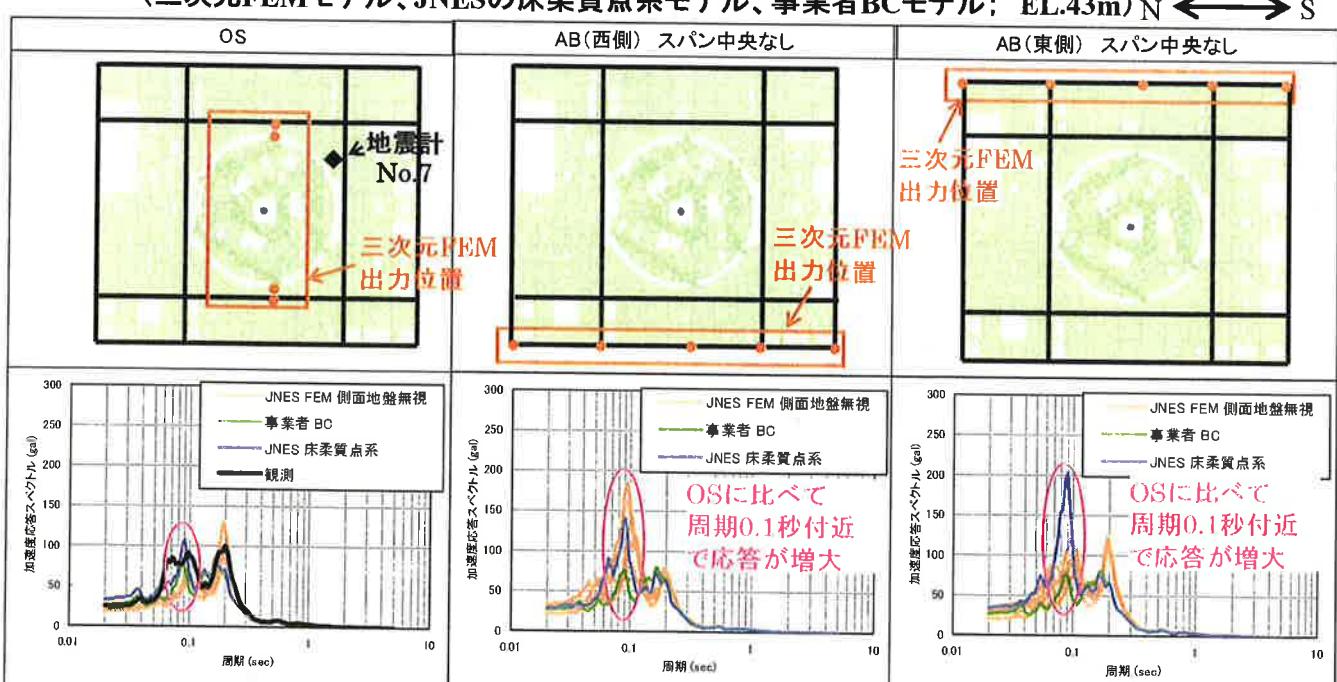
床・基礎版の柔性的影響について検討を行った。

- ・観測記録と比較的整合的であった三次元FEMモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較して、「水平応答に対する床の柔性的影響」及び「上下応答に対する床・基礎版の柔性的影響」について検討を行った。
- ・なお、コンクリート部材の減衰定数の影響を排除するため、以降の検討では、全てのモデルでコンクリート部材の減衰定数を3%に統一した。

図2.7 水平方向(建物の床の柔性的影響検討)

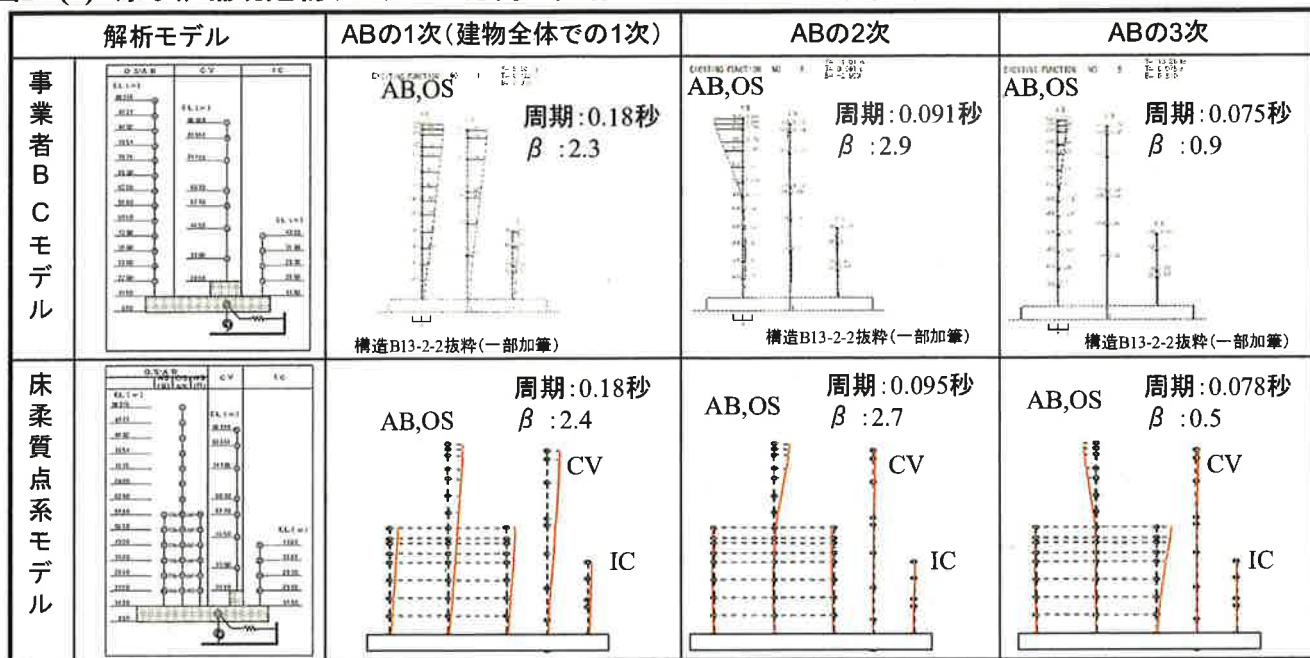
図2.7(a) 原子炉補助建物(AB)のNS方向の応答スペクトルの比較

(三次元FEMモデル、JNESの床柔質点系モデル、事業者BCモデル; EL.43m) N ← → S



- ・観測記録と比較的整合的であった三次元FEMモデルの結果をみると、OSとABで周期0.1秒付近の応答が異なる。
- ・事業者BCモデルの結果は、三次元FEMモデルの結果に比べてABの周期0.1秒付近の応答が小さい。
- ・JNESの床柔質点系モデルの結果は、三次元FEMモデルの結果と整合的。

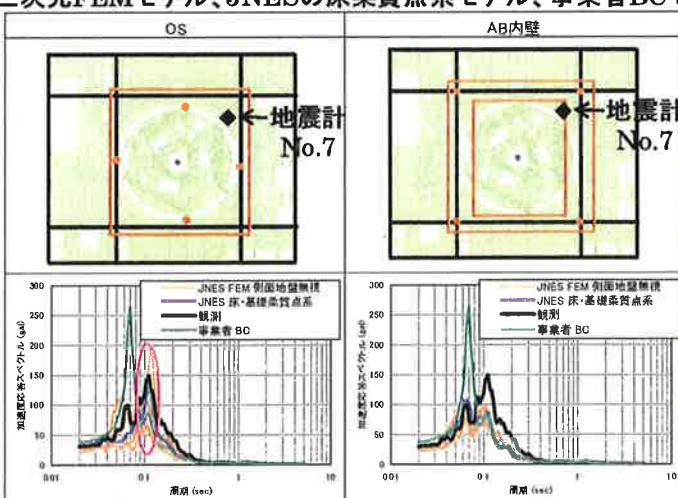
図2.7(b) 原子炉補助建物(AB)のNS方向の固有モード (JNESの床柔質点系モデルと事業者BCモデル)



- ・建物全体での1次周期は、両モデルでほぼ一致。
- ・JNESの床柔質点系モデルでは、固有周期が0.1秒付近となるABの2次モードと3次モードで、OSとABのモードに違いがみられ、床柔性の影響がみられる。

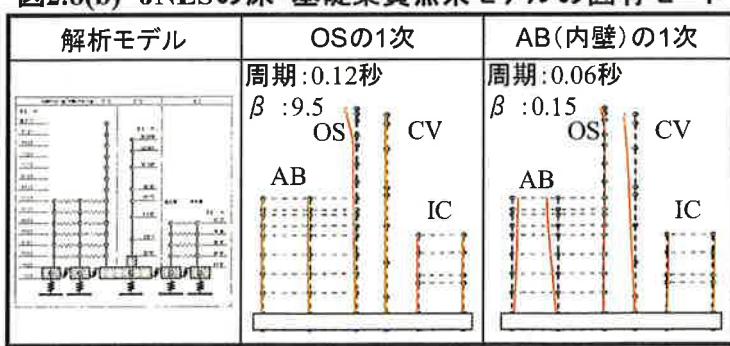
図2.8 上下方向(建物の床・基礎版の柔性的影響検討)

図2.8(a) 外部遮蔽壁(OS)及び原子炉補助建物(AB)の上下方向の応答スペクトル  
(三次元FEMモデル、JNESの床柔質点系モデル、事業者BCモデル； EL.43m)



- ・観測記録と比較的整合的であった三次元FEMモデルの結果をみると、OSとABで応答が異なる。
- ・事業者BCモデルの結果は、三次元FEMモデルの結果に比べてOSの周期0.1秒付近の応答が小さく、周期0.06秒付近では過大である。
- ・JNESの床・基礎柔質点系モデルの結果は、三次元FEMモデルの結果と整合的。

図2.8(b) JNESの床・基礎柔質点系モデルの固有モード



JNESの床・基礎柔質点系モデルでは、OSとABのモードに違いがみられ、床・基礎柔性の影響がみられる。

#### IV-2.1.4 地震観測記録シミュレーション解析のまとめ

本検討では微小地震を対象としており、建物の微小振動の範囲ではあるが、  
地震観測記録シミュレーション解析を実施した結果、以下の検討結果を得た。

##### (1) 建物の最大応答加速度

JNESの三次元FEMモデル、JNESの床柔質点系モデル、JNESの床・基礎柔質点系モデル及び事業者BCモデルによるシミュレーション解析結果は、観測記録と整合的である。

##### (2) 床応答スペクトル

- ・JNESの三次元FEMモデルの結果は、観測記録と比較的整合的。
- ・JNESの三次元FEMモデルの解析結果を分析した結果、以下の影響がみられた。
  - ◆水平応答に対する床の柔性の影響
  - ◆上下応答に対する床・基礎版の柔性の影響
- ・JNESの床の柔性を考慮した質点系モデル及び床・基礎版の柔性を考慮した質点系モデルの結果は、JNESの三次元FEMモデルの結果と整合的であった。
- ・床及び基礎版を剛でモデル化した事業者BCモデルの結果は、観測記録を小さく評価する周期帯と過大に評価する周期帯があった。

## IV-2. 2 基準地震動 Ss に対する建物モデルの検討

地震観測記録シミュレーション解析で確認された「水平方向に対する床の柔性的影響」及び「上下方向に対する床・基礎版の柔性的影響」について、基準地震動 Ss による解析で確認した。

なお、地震観測記録シミュレーション解析の場合と同様、基準地震動 Ss を入力した場合においても床の柔軟性が建屋応答に与える影響が大きい（工学的に無視できない）と判断される場合は、基準地震動 Ss に対する施設の耐震安全性評価において床の柔軟性の考慮が必要と判断される。

IV-2-17 頁に「IV-2.2.1 検討概要」を示す。図 2.9 に検討に用いた基準地震動 Ss を示す。

IV-2-18 頁から「IV-2.2.2 線形解析による建物応答検討」を示す。図 2.10 に原子炉補助建物（AB）の水平方向の床応答スペクトルの比較を、図 2.11 に外部遮蔽壁（OS）－原子炉補助建物（AB）間の上下方向の応答スペクトルを示す。

IV-2-20 頁から「IV-2.2.3 非線形解析による建物応答検討」を示す。図 2.12 に床の柔軟性の影響検討に係る水平方向の床応答スペクトルの比較を、図 2.13 に床・基礎版の柔軟性の影響検討に係る上下方向の床応答スペクトルの比較を示す。

## IV-2.2.1 検討概要

### ■ 検討方法と解析モデル

三次元FEMモデルの非線形解析は膨大な計算時間を要するため、以下のとおり線形解析と非線形解析に分けて検討を行う。

#### ○ 線形解析による建物応答検討

以下の解析モデルによる地震応答解析結果について線形解析で比較・検討する。

- ・JNESの三次元FEMモデル
- ・JNESの床の柔軟性を考慮した質点系モデル(水平方向)
- ・JNESの床・基礎版の柔軟性を考慮した質点系モデル(上下方向)
- ・事業者BCモデル

#### ○ 非線形解析による建物応答検討

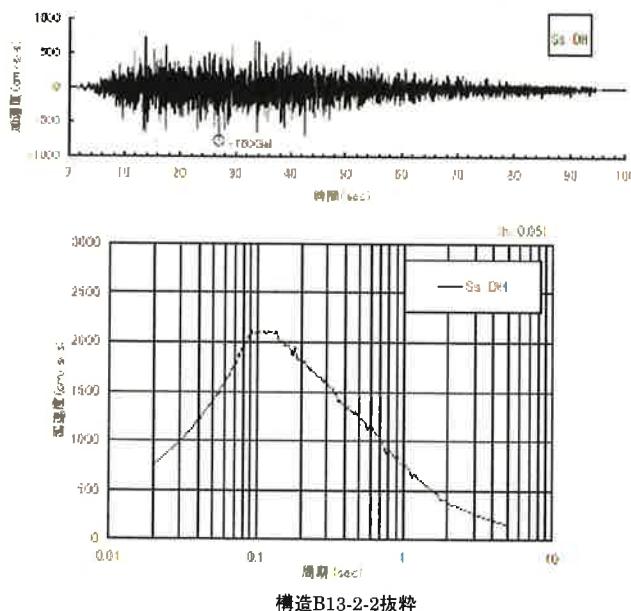
以下の解析モデルによる地震応答解析結果について非線形解析で比較・検討する。

- ・JNESの床の柔軟性を考慮した質点系モデル(水平方向)
- ・JNESの床・基礎版の柔軟性を考慮した質点系モデル(上下方向)
- ・事業者BCモデル

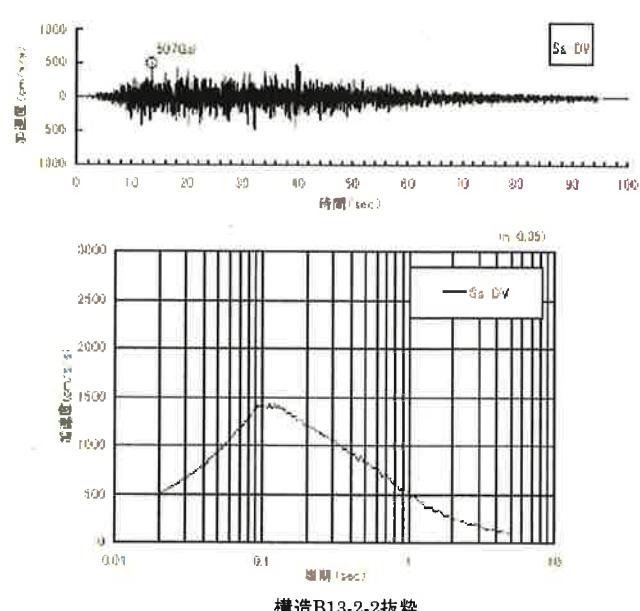
図2.9 検討に用いた基準地震動Ss

事業者が作成した応答スペクトル法による基準地震動Ss-Dを用いた。

#### ○ 水平方向



#### ○ 上下方向

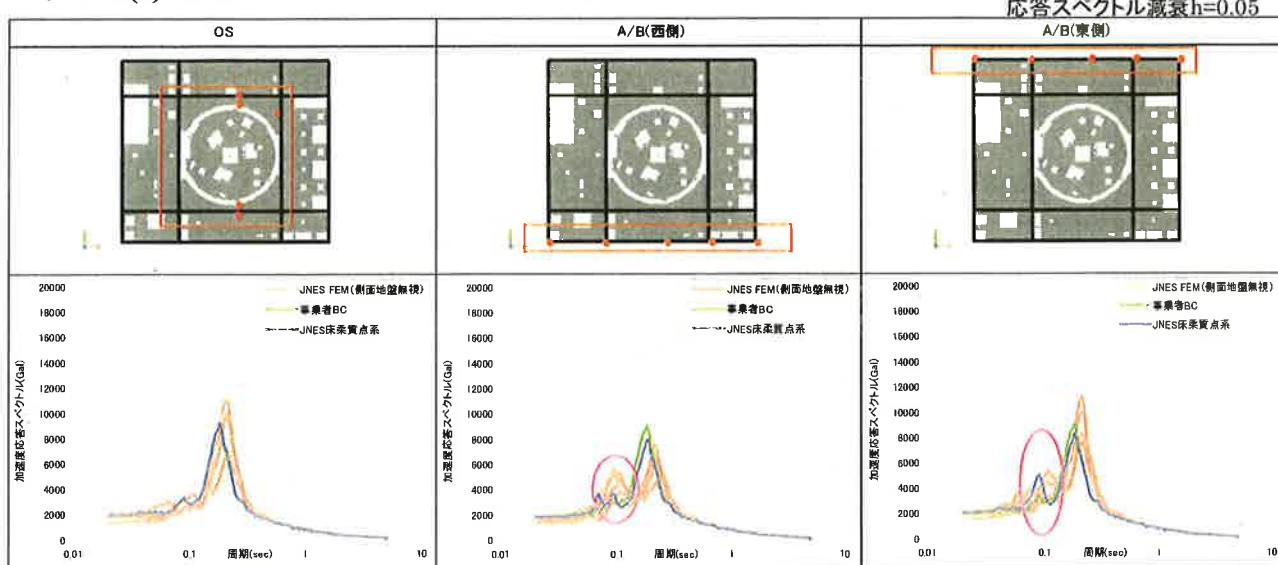


## IV-2.2.2 線形解析による建物応答検討

### (1) 床の柔性の影響検討

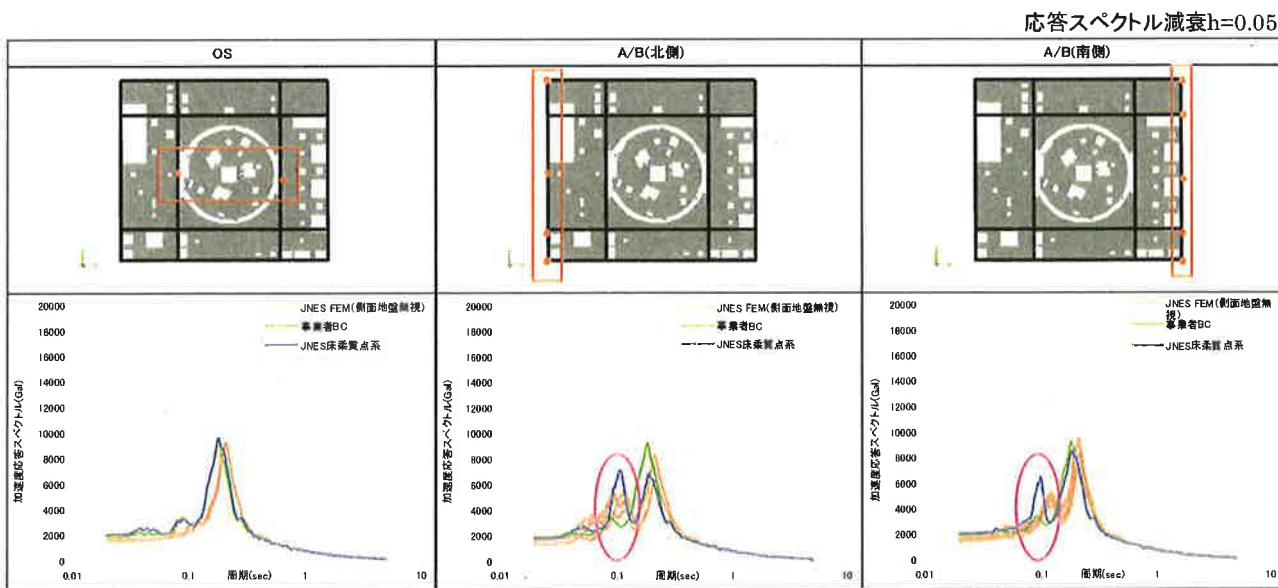
図2.10 原子炉補助建物(AB)の水平方向の床応答スペクトルの比較  
(三次元FEMモデル、JNESの床柔質点系モデル、事業者BCモデル； EL.43m)

図2.10(a) NS方向



- ・JNESの床柔性を考慮したモデル(三次元FEMモデルと床柔質点系モデル)の結果では、周期0.1秒付近でOSとABの応答に違いがみられる。
- ・「事業者BCモデル」の結果は、JNESの「三次元FEMモデル」及び「床柔質点系モデル」の結果に比べて、ABにおける周期0.1秒付近の応答が若干小さい。

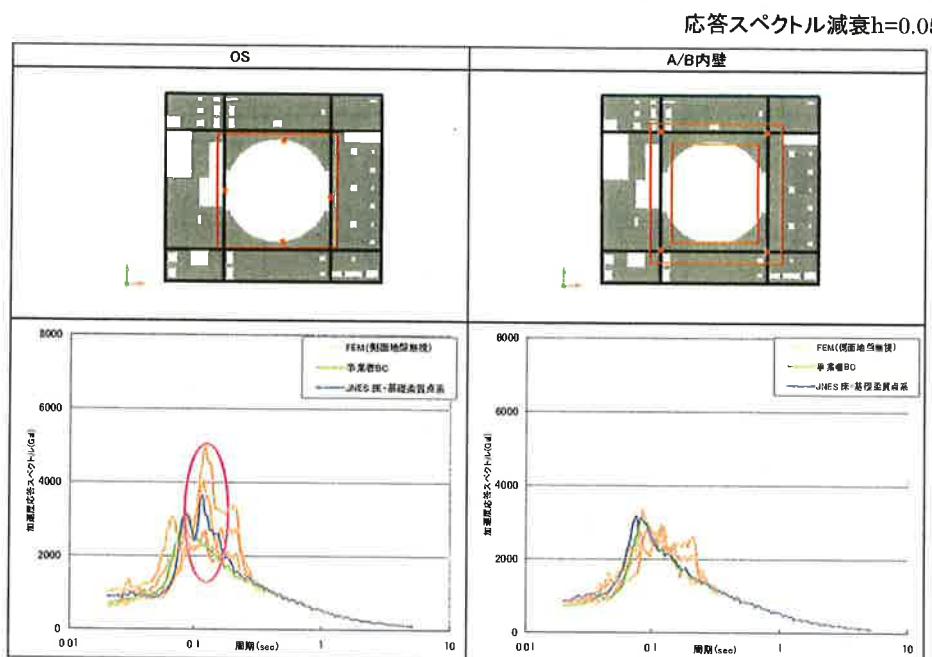
図2.10(b) EW方向



- ・JNESの床柔性を考慮したモデル(三次元FEMモデルと床柔質点系モデル)の結果では、周期0.1秒付近でOSとABの応答に違いがみられる。
- ・「事業者BCモデル」の結果は、JNESの「三次元FEMモデル」及び「床柔質点系モデル」の結果に比べて、ABにおける周期0.1秒付近の応答が小さい。

## (2) 床・基礎版の柔性の影響検討

図2.11 外部遮蔽壁(OS)－原子炉補助建物(AB)間の上下方向の応答スペクトル  
(三次元FEMモデル、JNESの床・基礎柔質点系モデル、事業者BCモデル； EL.36m)



- ・JNESの床・基礎版の柔軟性を考慮したモデル(三次元FEMモデルと床・基礎柔質点系モデル)の結果では、OSとAB(内壁)とで応答が異なる。
- ・「事業者BCモデル」の結果は、JNESの「三次元FEMモデル」及び「床・基礎柔質点系モデル」の結果に比べて、OSの一次周期の0.12秒付近で応答が小さい部分がある。

### IV-2.2.3 非線形解析による建物応答検討

#### ■ 検討に用いた解析モデル

##### ○ JNESの解析モデル

地震観測記録及び三次元FEM解析結果と比較的整合的であった下記のモデルを用いる。

###### ◆水平方向

JNESの床柔軟性を考慮した質点系モデル

###### ◆上下方向

JNESの床・基礎版柔軟性を考慮した質点系モデル

##### ○ 事業者の解析モデル

床及び基礎版を剛でモデル化した下記のモデルを用いる。

###### ◆水平方向及び上下方向

事業者BCモデル

#### ■ 解析モデルに設定した非線形特性

##### ○ JNESの解析モデル

下記のとおり、事業者の設定値に基づき非線形特性を設定した。

###### ◆水平方向

耐震要素の $\tau$ (せん断応力)－ $\gamma$ (せん断ひずみ)関係は事業者設定値と同じ。

###### ◆上下方向

外部しゃへいドーム部のN(軸力)－ $\delta$ (鉛直変位)関係は事業者設定値と同じ。

##### ○ 事業者の解析モデル

###### ◆水平方向及び上下方向

事業者BCモデルにおいて事業者が設定した非線形特性を使用。

#### (1) 床の柔軟性の影響検討

図2.12 原子炉補助建物(AB)、外部遮蔽壁(OS)及び内部コンクリート(IC)の水平方向の床応答スペクトルの比較 (JNESの床柔質点系モデル、事業者BCモデル)

##### ◆ JNESの床柔質点系モデル

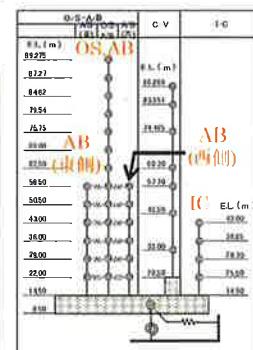
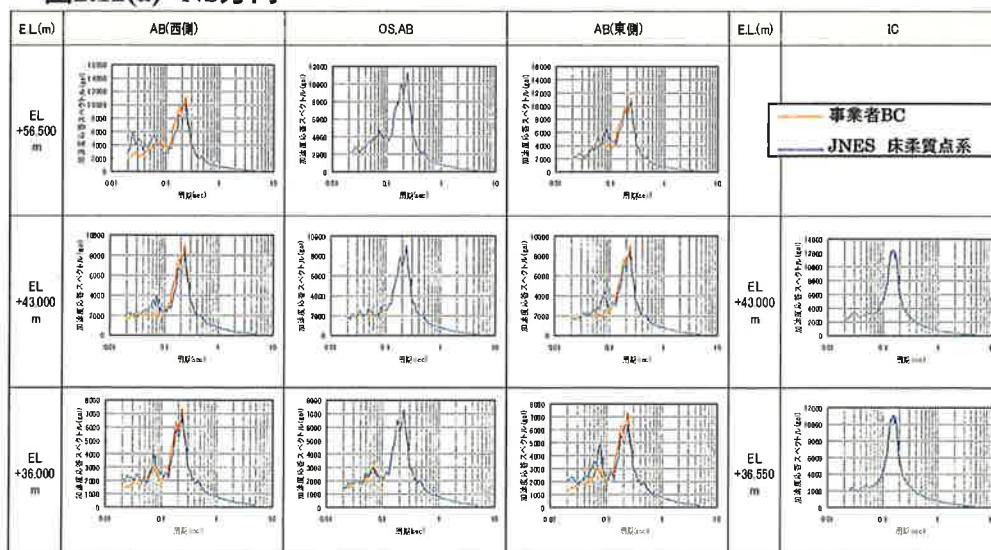
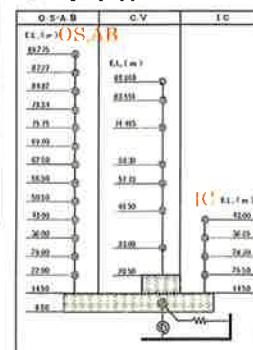


図2.12(a) NS方向

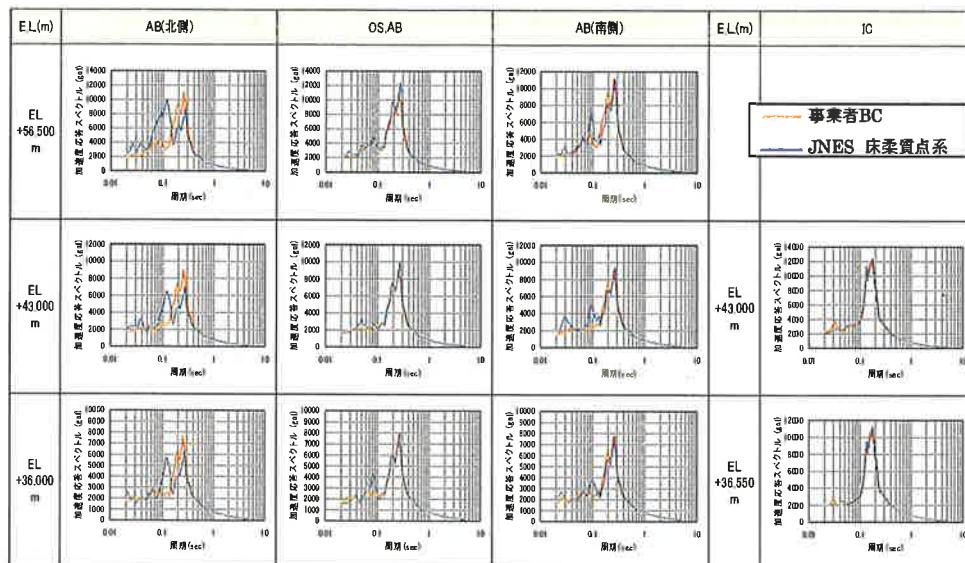


##### ◆ 事業者BCモデル

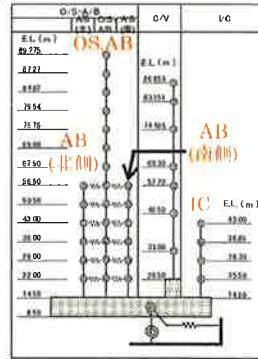


床の柔軟性を考慮した場合の結果と床を剛とした場合の結果を比較すると、ABの周期0.1秒付近などで応答に違いがみられる。

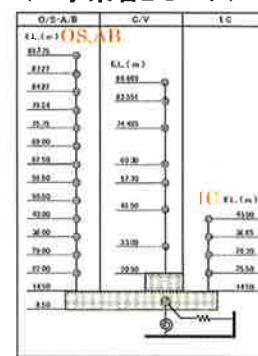
図2.12(b) EW方向



◆ JNESの床柔質点系モデル



◆ 事業者BCモデル

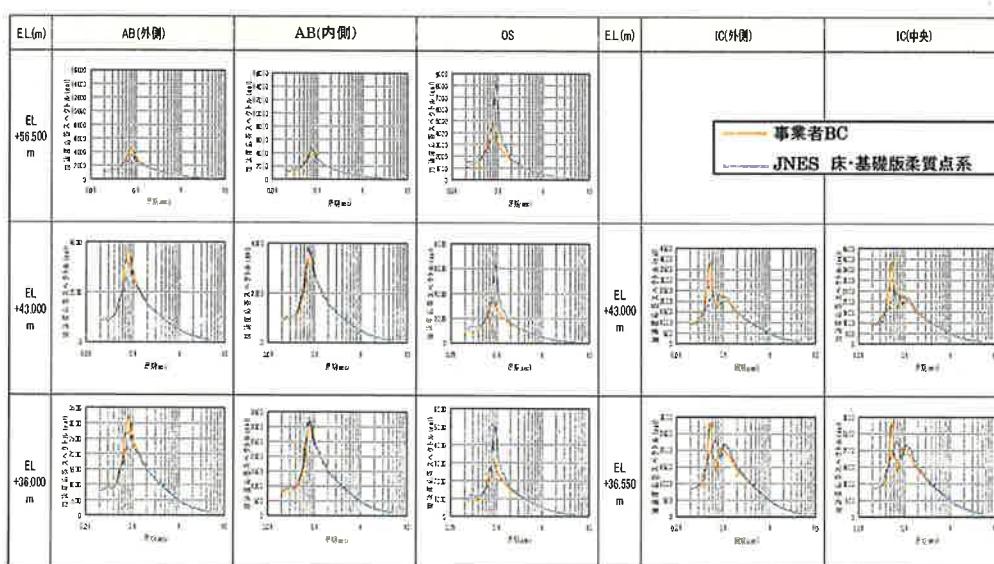


NS方向の結果と同様に、床の柔性を考慮した場合の結果と床を剛とした場合の結果を比較すると、特にABの北側において周期0.1秒付近で応答に違いがみられる。

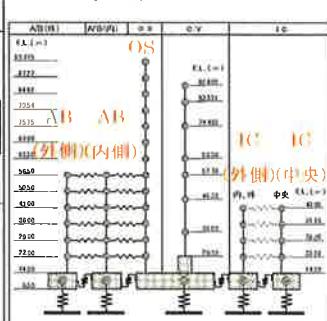
## (2) 床・基礎版の柔性的影響検討

図2.13 原子炉補助建物(AB)、外部遮蔽壁(OS)及び内部コンクリート(IC)の床応答スペクトルの比較  
(JNESの床・基礎版柔質点系モデル、事業者BCモデル)

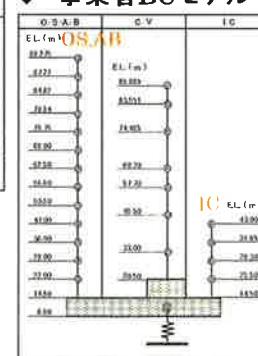
### ○ 上下方向



◆ JNESの床・基礎柔質点系モデル



◆ 事業者BCモデル



床・基礎版の柔性を考慮した場合の結果と床・基礎版を剛とした場合の結果を比較すると、特にICの周期0.07秒付近で応答に違いがみられる。

### IV-2. 3 建物地震応答解析モデル検討のまとめ

地震観測記録シミュレーション解析及び基準地震動 Ss の解析を実施し、建物の地震応答解析モデルについて検討した。結論は、IV-2-23 頁に示す。

## (1) 建物の最大応答評価(建物の耐震安全性評価の観点)

- ・JNESの三次元FEMモデル、JNESの床(基礎版)柔質点系モデル及び事業者BCモデルによる地震観測記録のシミュレーション解析結果は、地震観測記録による建物の最大応答加速度と整合的であった。
- ・従って、建物の応答最大値の評価の観点からは、本検討の範囲においては、いずれのモデルを建物の耐震安全性評価に用いても問題ないと考えられる。

## (2) 床応答スペクトル評価

(建物内の機器配管系設備の耐震安全性評価に用いる建物応答評価の観点)

### ○ 水平方向モデル

- ・事業者BCモデルによる地震観測記録シミュレーション解析結果は、観測記録を小さく評価する部分があった。
- ・床の柔性を考慮したJNESの三次元FEMモデル及び質点系モデルによるシミュレーション解析及び基準地震動Ssによる解析の検討結果より、床応答スペクトルに床の柔性的影響がみられた。
- ・以上から、床の柔性が床応答スペクトルに及ぼす影響が大きいと判断される建物位置に、重要機器配管系設備がある場合は、**床の柔性を考慮したモデルで床応答スペクトルを評価した方がよいと考える。**

### ○ 上下方向モデル

- ・事業者BCモデルによる地震観測記録シミュレーション解析結果は、観測記録を小さく評価する部分及び過大に評価する部分があった。
- ・床・基礎版の柔性を考慮したJNESの三次元FEMモデル及び質点系モデルによるシミュレーション解析及び基準地震動Ssによる解析の検討結果より、床応答スペクトルに床・基礎版の柔性的影響がみられた。
- ・以上から、床・基礎版の柔性が床応答スペクトルに及ぼす影響が大きく、かつ床応答スペクトルを小さめに評価すると判断される建物位置に、重要機器配管系設備がある場合は、**床・基礎版の柔性を考慮したモデルで床応答スペクトルを評価した方がよいと考える。**

## IV-3 建物の耐震安全性評価

### IV-3. 1 原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性評価

IV-3-2 頁から「IV-3.1.1 JNES の解析モデルによる耐震安全性評価」を示す。

IV-3-2 頁から「IV-3.1.1.1 検討概要」を示す。表 3.1 に建物の耐震安全性の評価基準を、図 3.1 に事業者が策定した基準地震動 Ss-D を、図 3.2 に事業者が策定した基準地震動 Ss-5 を示す。

IV-3-4 頁に「IV-3.1.1.2 固有値解析結果」を示す。表 3.2 に固有値解析結果を示す。

IV-3-5 頁から「IV-3.1.1.3 地震応答解析結果」を示す。図 3.3 に基準地震動 Ss-D に対する最大応答加速度分布を、図 3.4 に基準地震動 Ss-5 に対する最大応答加速度分布を示す。

IV-3-8 頁から「IV-3.1.1.4 耐震安全性評価」を示す。図 3.5 に基準地震動 Ss-D に対する耐震壁のせん断ひずみ分布を、図 3.6 に基準地震動 Ss-5 に対する耐震壁のせん断ひずみ分布を、表 3.3 に基礎の接地率を示す。

IV-3-11 頁から「IV-3.1.2 事業者解析結果の再現性の確認」を示す。

IV-3-11 頁から「IV-3.1.2.1 検討概要」を示す。表 3.4 に建物の耐震安全性の評価基準を、図 3.7 に事業者が策定した基準地震動 Ss-D を示す。

IV-3-13 頁に「IV-3.1.2.2 固有値解析結果」を示す。表 3.5 に固有値解析結果を示す。

IV-3-14 頁から「IV-3.1.2.3 地震応答解析結果」を示す。図 3.8 に基準地震動 Ss-D に対する最大応答加速度分布を示す。

IV-3-16 頁から「IV-3.1.2.4 耐震安全性評価」を示す。図 3.9 に基準地震動 Ss-D に対する耐震壁のせん断ひずみ分布を、表 3.6 に基礎の接地率を示す。

IV-3-18 頁に「IV-3.1.3 原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性評価のまとめ」を示す。

## IV-3.1.1 JNESの解析モデルによる耐震安全性評価

### IV-3.1.1.1 検討概要

JNESが設定した解析条件・モデルによる地震応答解析結果に基づき原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性を評価し、事業者の耐震バックチェック結果の妥当性について評価する。

表3.1 建物の耐震安全性の評価基準

評価項目	評価基準
1. 耐震壁の健全性	耐震壁のせん断ひずみ: $2 \times 10^{-3}$ 以下 <sup>(※1)</sup>
2. 基礎の安定性	基礎浮上り非線形性を考慮した場合の基礎の接地率: 65%以上 <sup>(※2)</sup>

(※1)JEAG 4601-1987

(※2)JEAG 4601-1991(追補版)

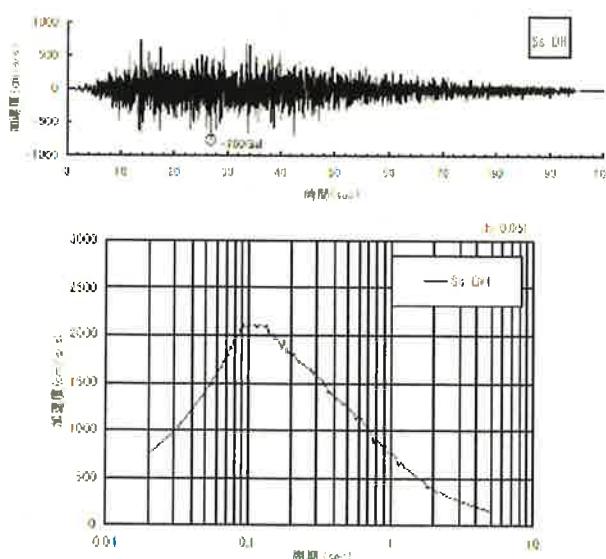
#### ■ 基準地震動Ss

事業者の耐震バックチェック結果を参考し、耐震壁の健全性及び基礎の安定性の評価結果が最も厳しかった基準地震動を選定して、耐震安全性評価を実施した。

- ・事業者が策定した応答スペクトル法による基準地震動Ss-D：耐震壁のせん断ひずみが最大
- ・事業者が策定した断層モデルによる基準地震動Ss-5 : 基礎の接地率が最小

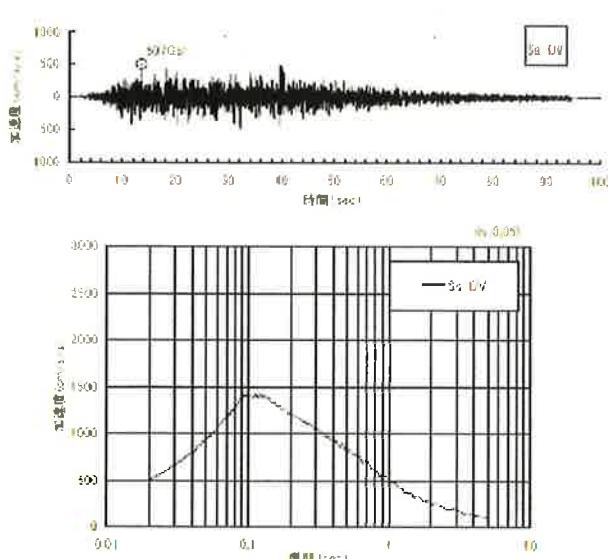
図3.1 事業者が策定した基準地震動Ss-D

#### ◆ 水平方向



構造B13-2-2抜粋

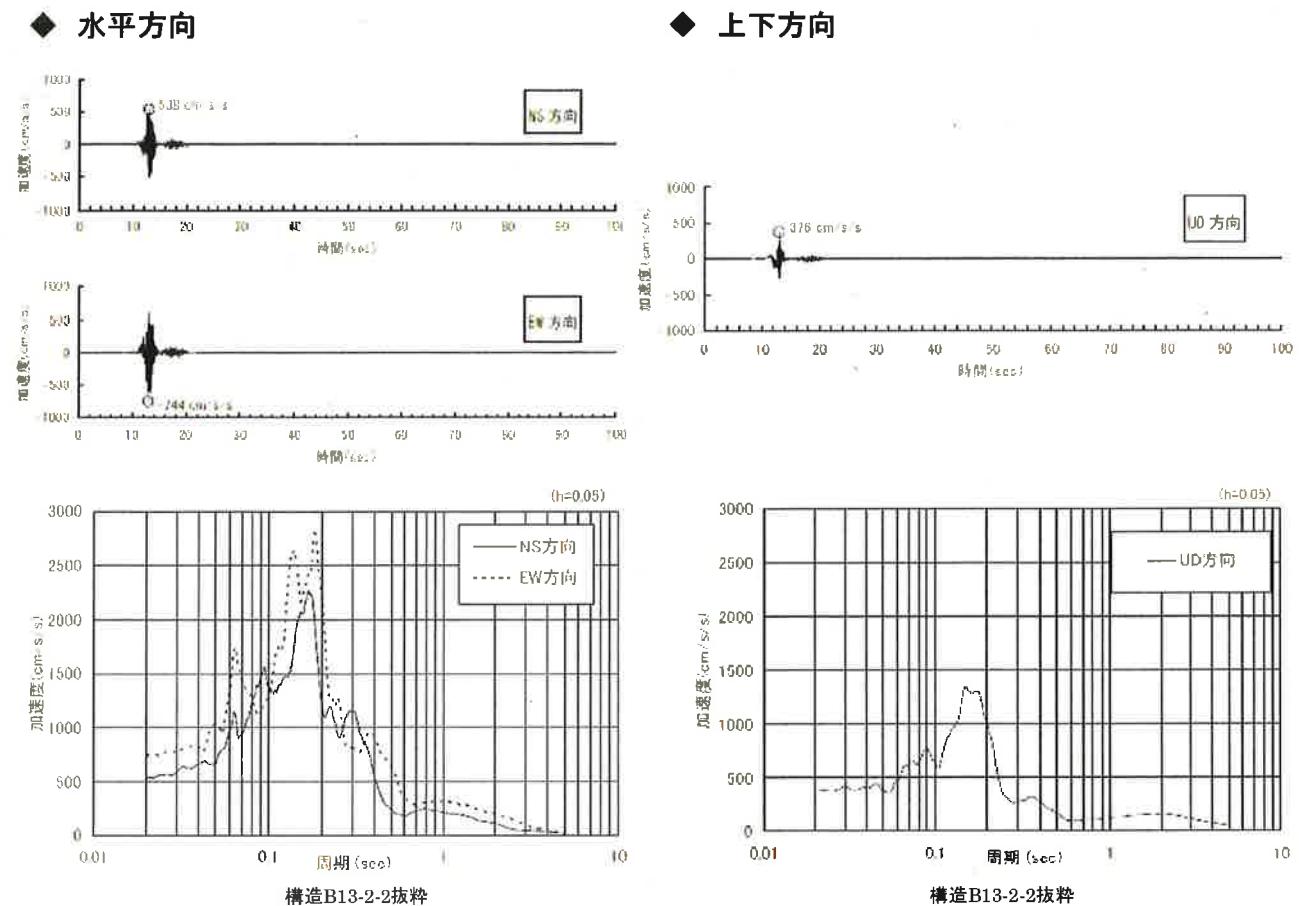
#### ◆ 上下方向



IV-3-2

構造B13-2-2抜粋

図3.2 事業者が策定した基準地震動Ss-5



## ■ 耐震安全性評価に用いた解析モデル

### ○ JNESの解析モデル

IV-2「地震観測記録シミュレーション解析等に基づく建物地震応答解析モデルの検討」において、建物の耐震安全性評価に用いることの妥当性を確認した下記のモデルを用いる。

#### ◆ 水平方向

JNESの床柔軟性を考慮した質点系モデル

##### □ 非線形特性

###### ● 耐震壁の復元力特性

事業者BCモデルでの設定値(※)を各耐震壁に分配して設定。

###### ● 基礎浮上り地盤回転ばねの特性

事業者BCモデルでの設定値(※)と同じ。

#### ◆ 上下方向

JNESの床・基礎版柔軟性を考慮した質点系モデル

##### □ 非線形特性

###### ● 外部しやへいドーム部の復元力特性

事業者BCモデルでの設定値(※)と同じ。

(※) 事業者BCモデルでの設定条件は、IV-3.1.2に記載。

## ■ 解析コード

JNESが所有する地震応答解析コードSANLUMを使用した。

#### IV-3.1.1.2 固有値解析結果

表3.2 固有値解析結果

■ NS方向

○JNESモデル

モード 次 数	周期 (sec)	刺激係数
1	0.183	2.359
2	0.161	-0.261
3	0.131	0.955
4	0.094	-2.676
5	0.079	-0.478

○事業者の結果

周 期 (sec)	刺 激 係数
0.182	2.301
0.161	-0.484
0.131	0.901
0.091	-2.909
0.075	0.870

■ EW方向

○JNESモデル

モード 次 数	周期 (sec)	刺激係数
1	0.190	2.418
2	0.161	0.271
3	0.134	1.038
4	0.105	1.096
5	0.097	-0.846

○事業者の結果

周 期 (sec)	刺 激 係数
0.187	2.315
0.161	-0.120
0.134	0.912
0.092	-2.957
0.073	1.529

■ 上下方向

○JNESモデル

モード 次 数	周期 (sec)	刺激係数
1	0.119	9.505
2	0.104	-10.229
3	0.086	0.639
4	0.078	0.928
5	0.064	-0.151

○事業者の結果

周 期 (sec)	刺 激 係数
0.109	11.193
0.098	-11.063
0.061	1.022
0.058	-0.756
0.048	1.814

JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると地盤一建屋の一次モードは、両者でほぼ一致するが、高次モードでは両者は大きく異なる場合がある。

### IV-3.1.1.3 地震応答解析結果

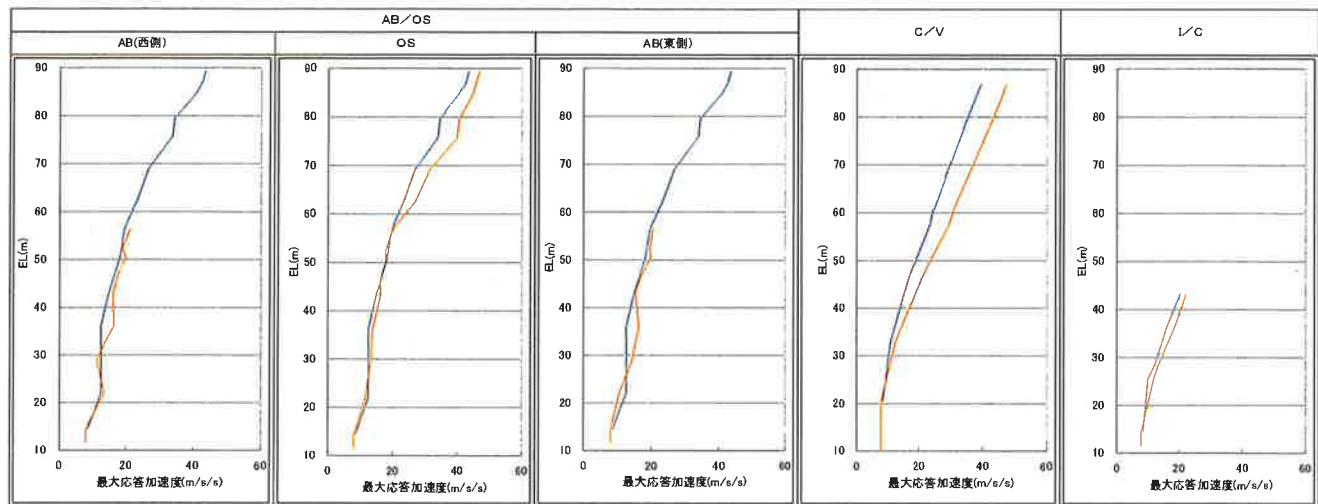
#### ■ 最大応答加速度分布

図3.3 基準地震動Ss-Dに対する最大応答加速度分布

JNES(床柔質点系)

図3.3(a) NS方向

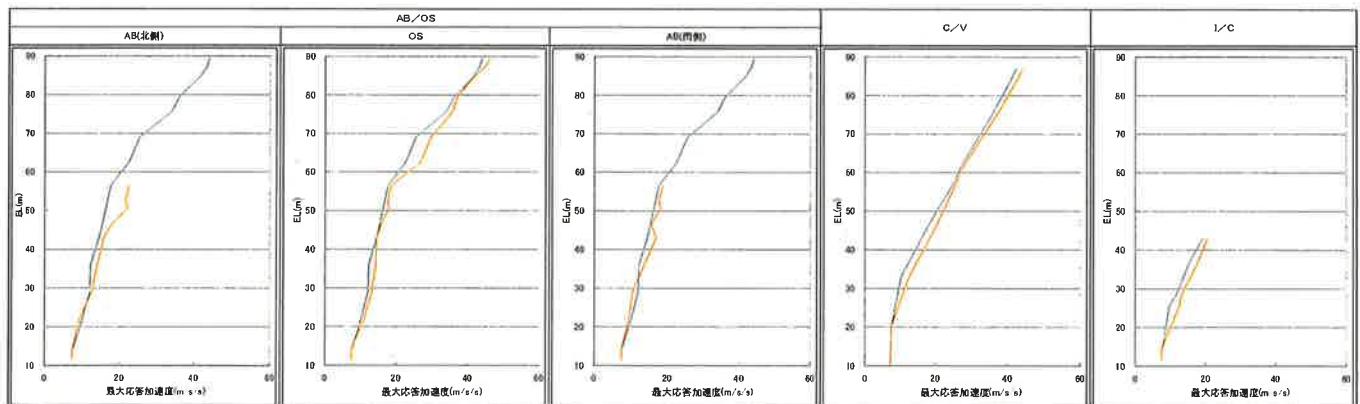
事業者の結果



JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると両者の傾向は概ね同様である。

図3.3(b) EW方向

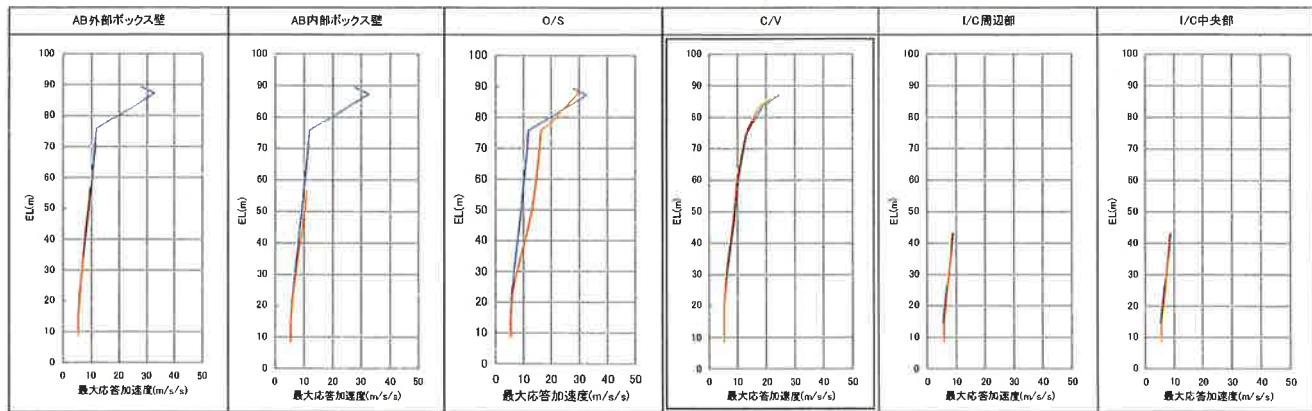
JNES(床柔質点系)  
事業者の結果



JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると両者の傾向は概ね同様である。

図3.3(c) 上下方向

JNES(床・基礎柔質点系)  
事業者の結果

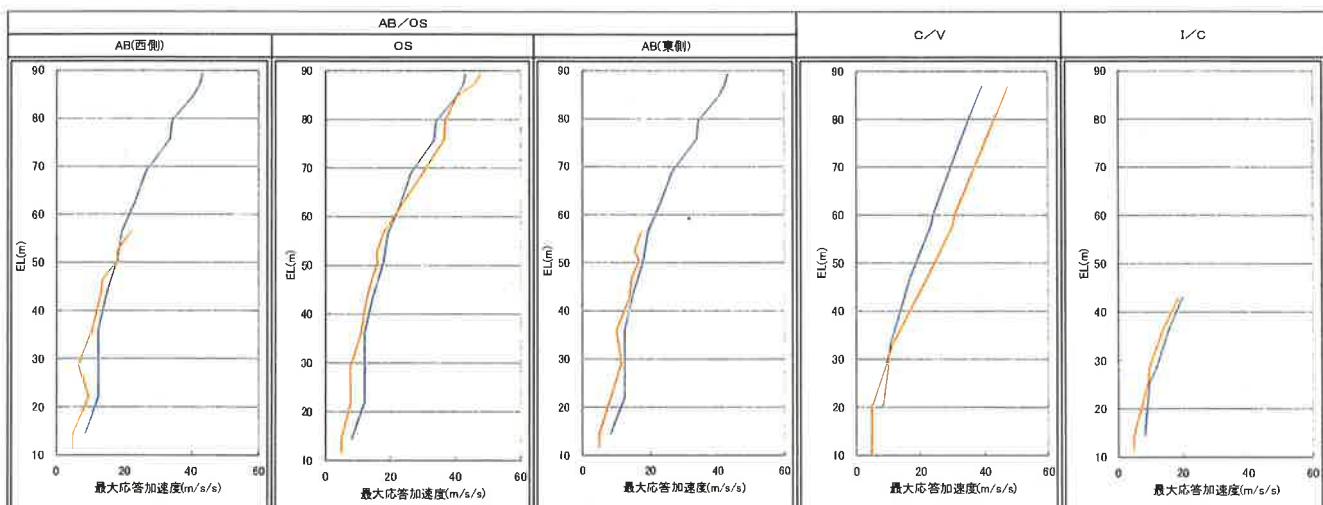


JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると両者の傾向は概ね同様である。

図3.4 基準地震動Ss-5に対する最大応答加速度分布

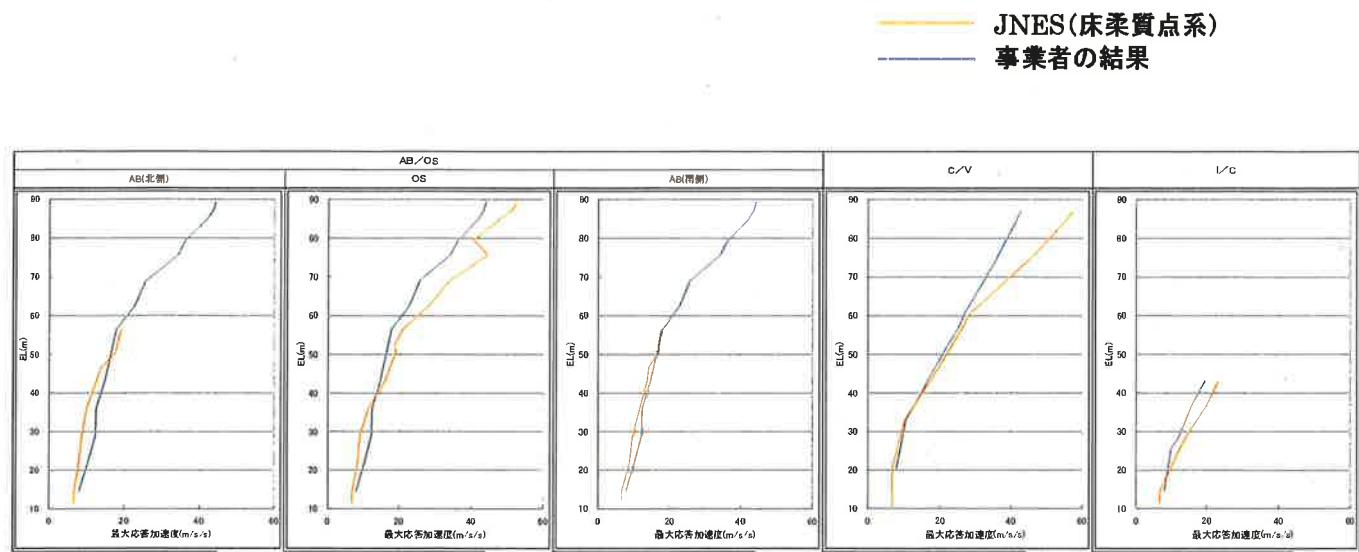
図3.4(a) NS方向

JNES(床柔質点系)  
事業者の結果



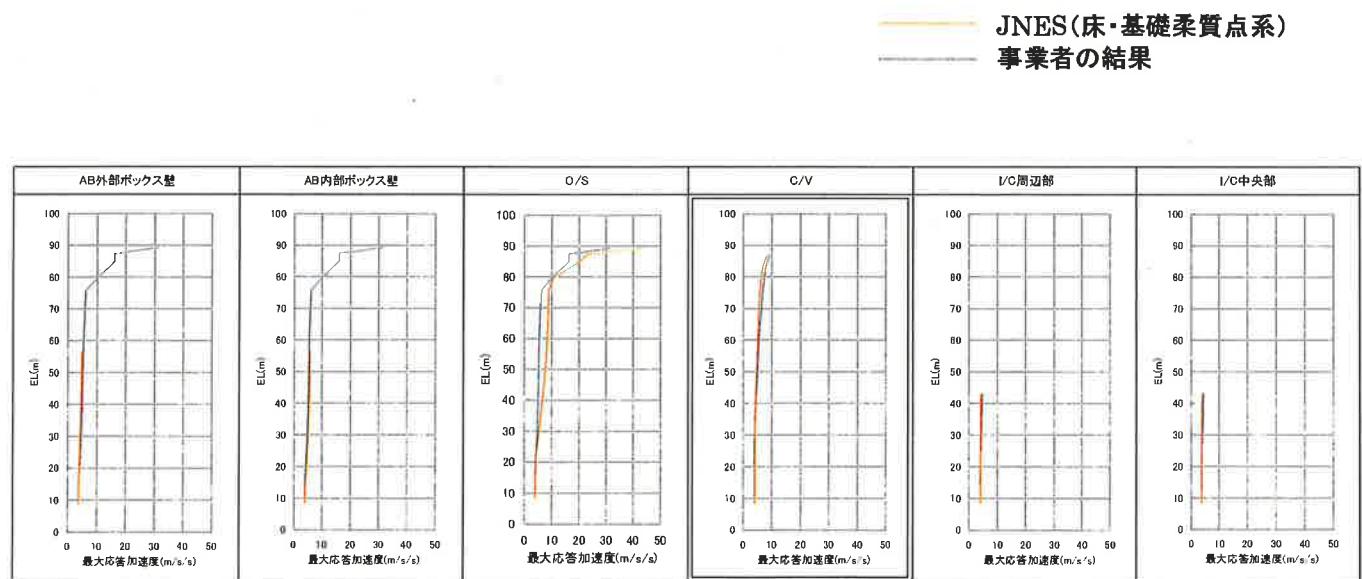
JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると両者の傾向は概ね同様である。

図3.4(b) EW方向



JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると両者の傾向は概ね同様である。

図3.4(c) 上下方向



JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると両者の傾向は概ね同様である。

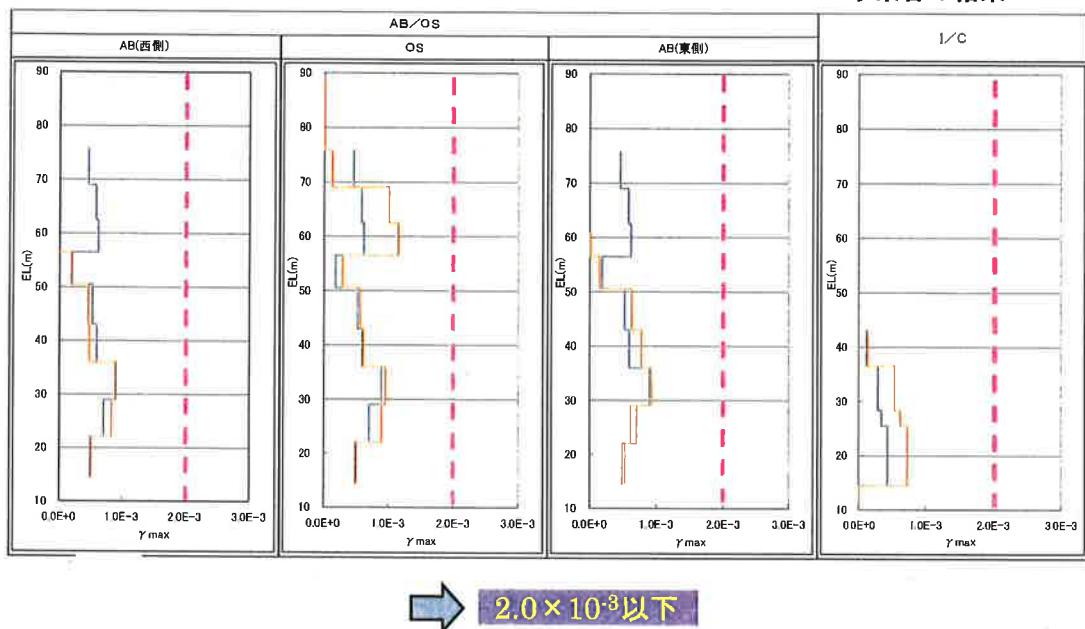
#### IV-3.1.1.4 耐震安全性評価

##### (1) 耐震壁の健全性

図3.5 基準地震動Ss-Dに対する耐震壁のせん断ひずみ分布

図3.5(a) NS方向

JNES(床柔質点系)  
事業者の結果

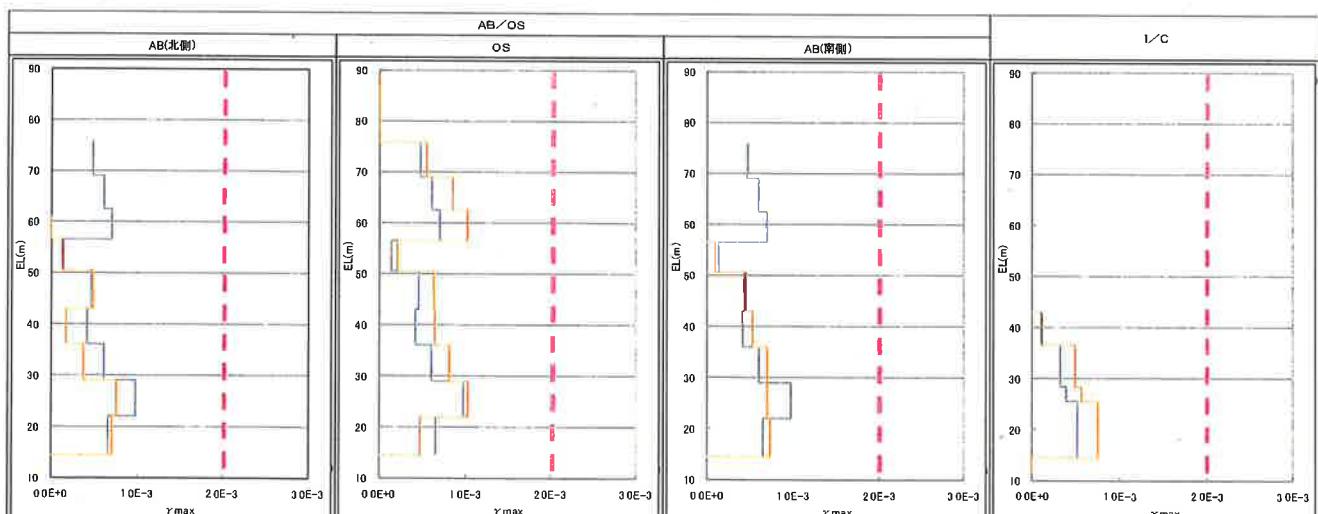


→  $2.0 \times 10^{-3}$ 以下

- ・JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると両者の傾向は概ね同様である。
- ・JNESモデル及び事業者BCモデルによる最大せん断ひずみは、評価基準値以下であり、耐震安全性を満足している。

図3.5(b) EW方向

JNES(床柔質点系)  
事業者の結果



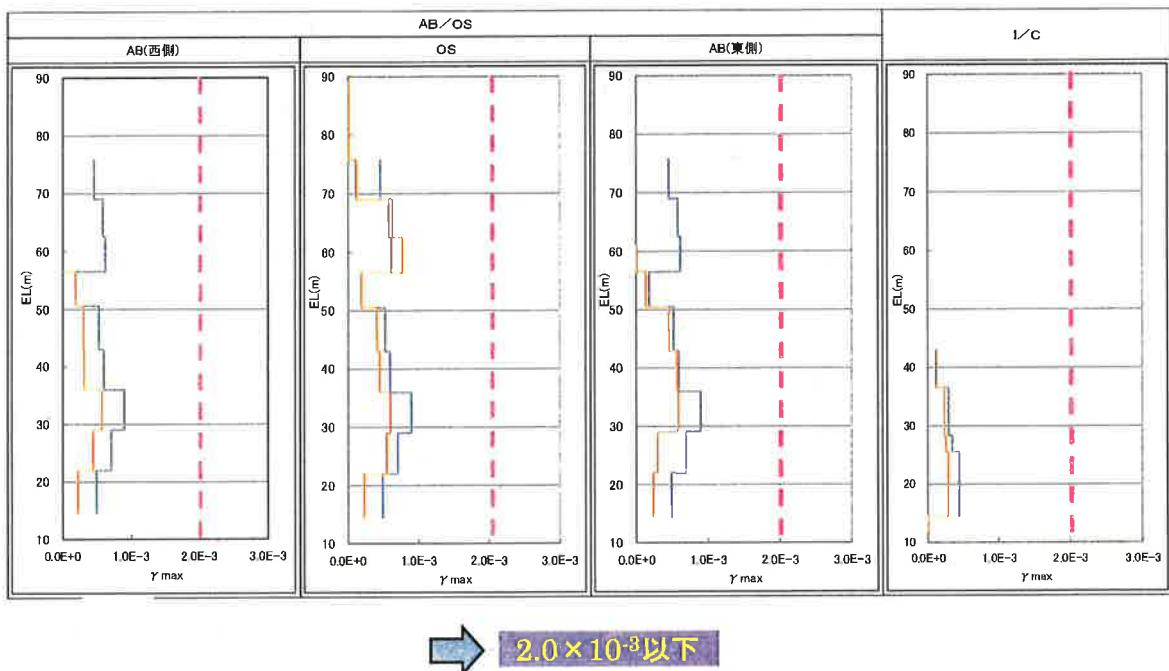
→  $2.0 \times 10^{-3}$ 以下

- ・JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると、OSやICの一部などではJNESモデルの結果の方が事業者BCモデルの結果に比べて最大せん断ひずみが大きくなる傾向などもみられるが、全体的には両者の傾向は概ね同様である。
- ・JNESモデル及び事業者BCモデルによる最大せん断ひずみは、評価基準値以下であり、耐震安全性を満足している。

図3.6 基準地震動Ss-5に対する耐震壁のせん断ひずみ分布

図3.6(a) NS方向

JNES(床柔質点系)  
事業者の結果

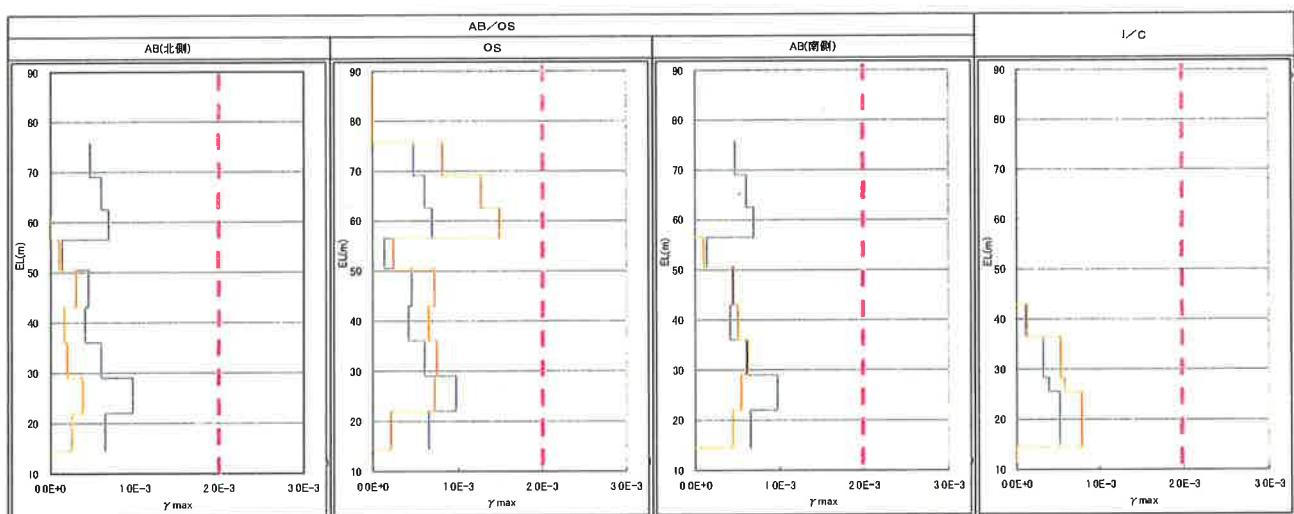


→  $2.0 \times 10^{-3}$ 以下

- ・JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると両者の傾向は概ね同様である。
- ・JNESモデル及び事業者BCモデルによる最大せん断ひずみは、評価基準値以下であり、耐震安全性を満足している。

図3.6(b) EW方向

JNES(床柔質点系)  
事業者の結果



→  $2.0 \times 10^{-3}$ 以下

- ・JNESモデルの結果と事業者BCモデルの結果を比較すると、OSやICの一部などではJNESモデルの結果の方が事業者BCモデルの結果に比べて最大せん断ひずみが大きくなる傾向などもみられるが、全体的には両者の傾向は概ね同様である。
- ・JNESモデル及び事業者BCモデルによる最大せん断ひずみは、評価基準値以下であり、耐震安全性を満足している。

## (2) 基礎の安定性

表3.3 基礎の接地率

地震動	方向	JNES床柔質点系 モデル	事業者の結果
Ss-D	NS	73.9	78
	EW	70	70.1
Ss-5	NS	83	81.2
	EW	69.6	66.8

65%以上を確認

JNESモデル及び事業者BCモデルによる基礎の接地率は、評価基準値以下であり、耐震安全性を満足している。

## IV-3.1.2 事業者解析結果の再現性の確認

### IV-3.1.2.1 検討概要

JNES所有コードを用いた事業者BCモデルによる地震応答解析結果と事業者の解析結果がほぼ同様であるか確認する。

表3.4 建物の耐震安全性の評価基準

評価項目	評価基準
1. 耐震壁の健全性	耐震壁のせん断ひずみ: $2 \times 10^{-3}$ 以下 <sup>(※1)</sup>
2. 基礎の安定性	基礎浮上り非線形性を考慮した場合の基礎の接地率: 65%以上 <sup>(※2)</sup>

(※1)JEAG 4601-1987

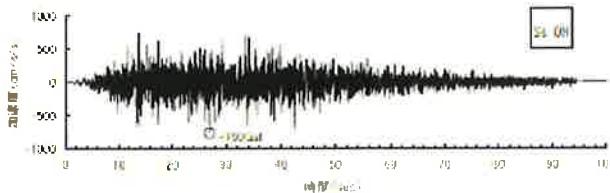
(※2)JEAG 4601-1991(追補版)

#### ■ 基準地震動Ss

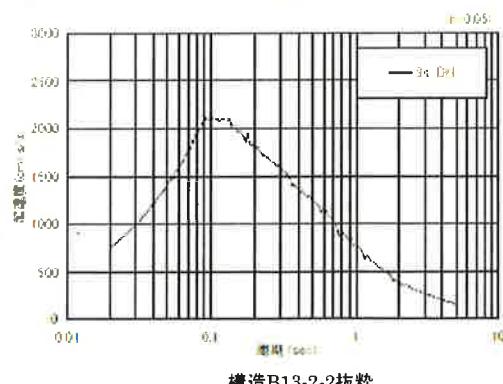
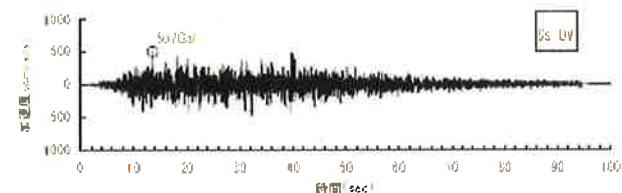
事業者の耐震バックチェック結果において、耐震壁のせん断ひずみが最大であった基準地震動Ss-Dを用いた。

図3.7 事業者が策定した基準地震動Ss-D

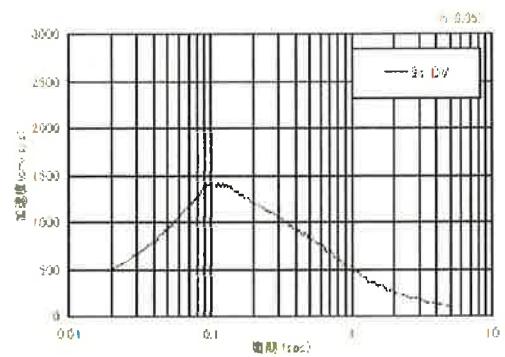
#### ◆ 水平方向



#### ◆ 上下方向



構造B13-2-2抜粧



構造B13-2-2抜粧

## ■ 事業者の解析結果の再現性確認に用いた解析モデル

### ◆水平方向

事業者BCモデル

#### □ 非線形特性

##### ● 耐震壁の復元力特性

JEAG4601-1991に基づきTri-Linear型スケルトン曲線・最大点指向型履歴ループ特性を設定。

##### ● 基礎浮上り特性

JEAG4601-1991に基づき地盤回転ばね特性を設定。

### ◆上下方向

事業者BCモデル

#### □ 非線形特性

##### ● 外部しやへいドーム部の復元力特性

Tri-Linear型スケルトン曲線・原点指向型履歴ループ特性を設定。

## ■ 解析コード

JNESが所有する地震応答解析コードSANLUMを使用した。

## IV-3.1.2.2 固有値解析結果

**表3.5 固有値解析結果**

■ NS方向 ○事業者の結果      ○JNES再現計算結果      ○事業者の結果/JNES再現計算結果

次 数	事業者			JNES			比率(事業者/JNES)		
	周 期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	周 期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	周 期	振動数	刺激係数
1	0.182	5.500	2.301	0.182	5.495	2.301	1.000	1.000	1.000
2	0.161	6.220	-0.484	0.161	6.224	-0.484	1.000	1.000	1.000
3	0.131	7.620	0.901	0.131	7.616	0.901	1.000	1.000	1.000
4	0.091	11.010	-2.909	0.091	11.012	-2.909	1.000	1.000	1.000
5	0.075	13.260	0.870	0.075	13.260	0.870	1.000	1.000	1.000

■ EW方向 ○事業者の結果      ○JNES再現計算結果      ○事業者の結果/JNES再現計算結果

次 数	事業者			JNES			比率(事業者/JNES)		
	周 期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	周 期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	周 期	振動数	刺激係数
1	0.187	5.360	2.315	0.187	5.361	2.315	1.000	1.000	1.000
2	0.161	6.220	-0.120	0.161	6.222	-0.120	1.000	1.000	1.000
3	0.134	7.470	0.912	0.134	7.473	0.912	1.000	1.000	1.000
4	0.092	10.870	-2.957	0.092	10.875	-2.957	1.000	1.000	1.000
5	0.073	13.640	1.529	0.073	13.636	1.529	1.000	1.000	1.000

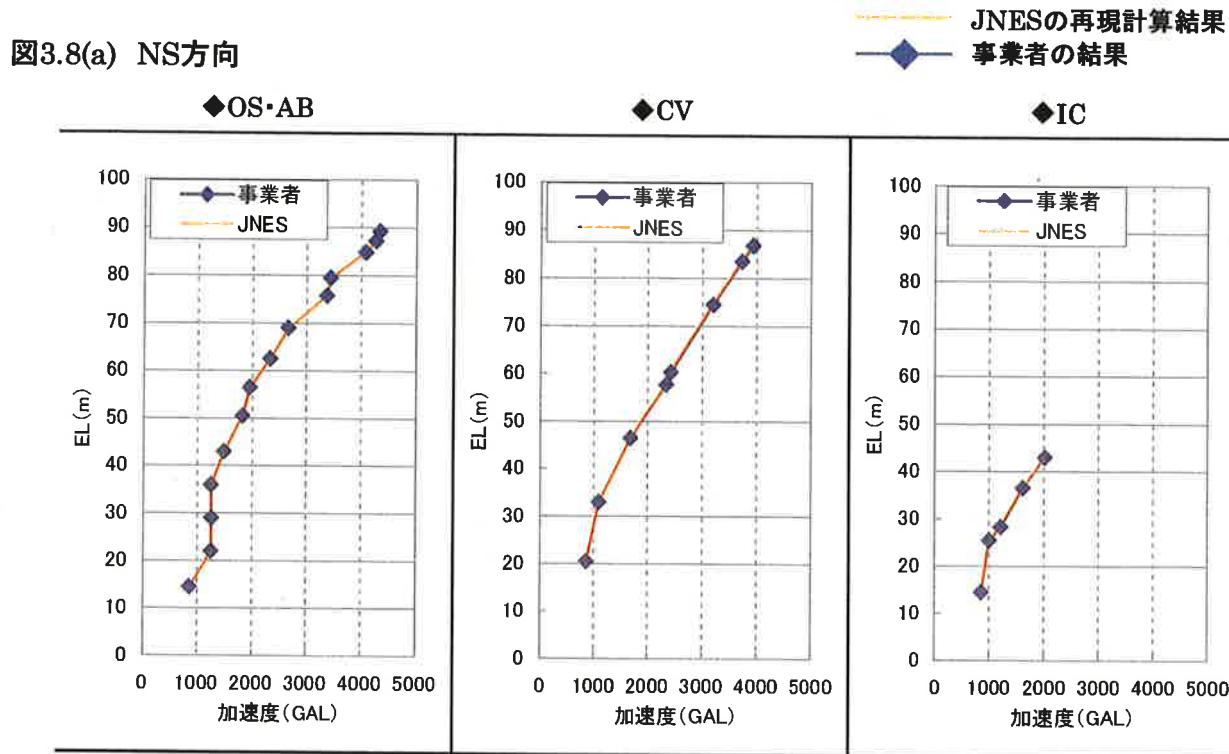
■ 上下方向 ○事業者の結果      ○JNES再現計算結果      ○事業者の結果/JNES再現計算結果

次 数	事業者			JNES			比率(事業者/JNES)		
	周 期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	周 期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	周 期	振動数	刺激係数
1	0.109	9.160	11.193	0.109	9.158	11.193	1.000	1.000	1.000
2	0.098	10.190	-11.063	0.098	10.187	-11.063	1.000	1.000	1.000
3	0.061	16.290	1.022	0.061	16.289	1.023	1.000	1.000	0.999
4	0.058	17.380	-0.756	0.058	17.381	-0.756	1.000	1.000	1.000
5	0.048	21.000	1.814	0.048	20.996	1.814	1.000	1.000	1.000

事業者の解析結果は、事業者BCモデルを用いてJNESが計算した結果とほぼ一致することを確認。

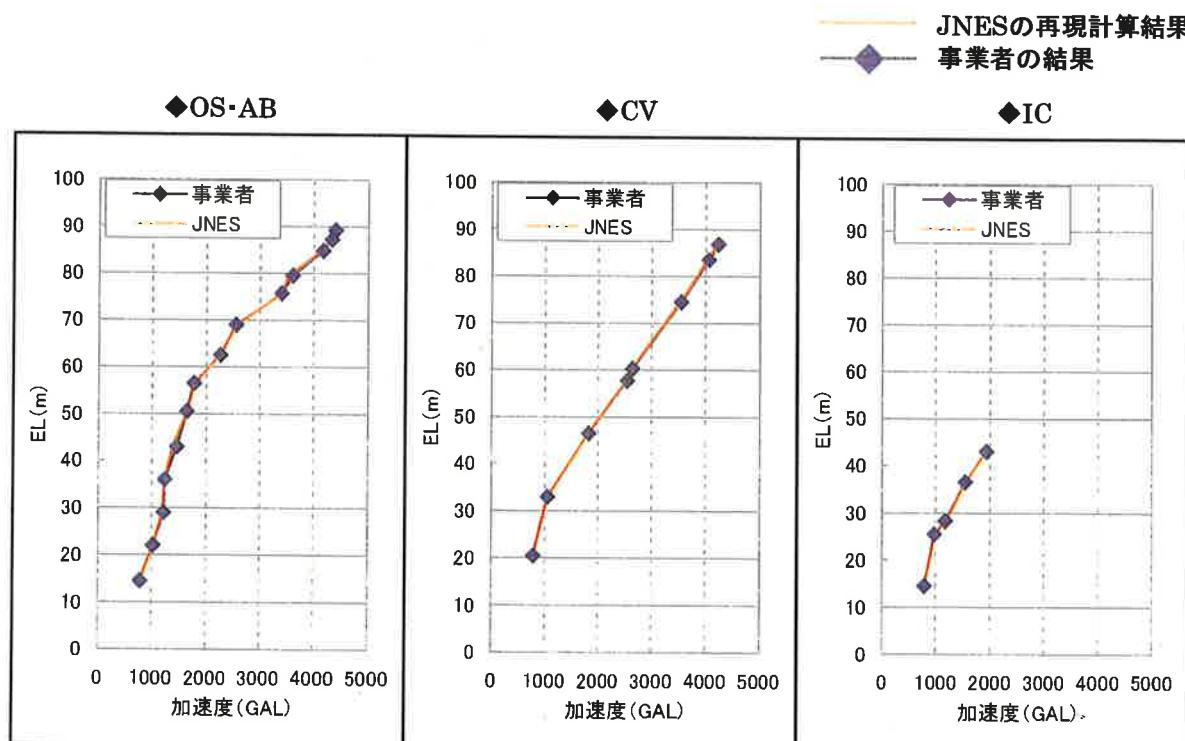
#### IV-3.1.2.3 地震応答解析結果

図3.8 基準地震動Ss-Dに対する最大応答加速度分布



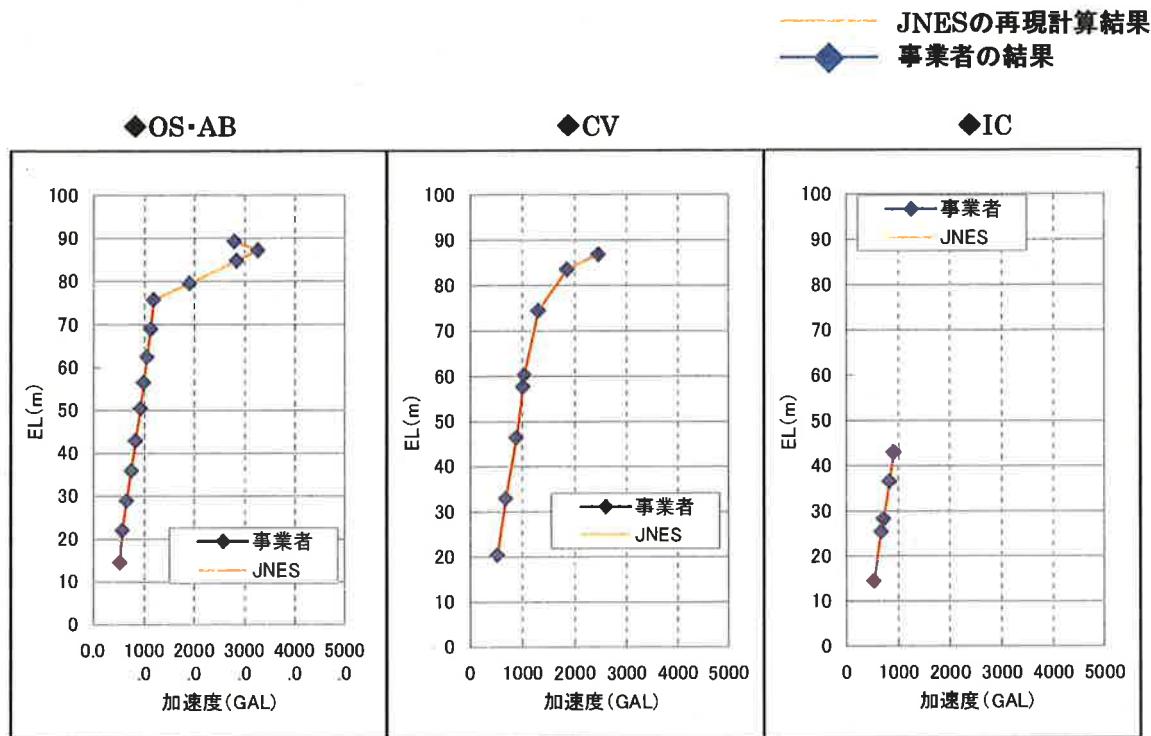
事業者の解析結果は、事業者BCモデルを用いてJNESが計算した結果とほぼ一致することを確認。

図3.8(b) EW方向



事業者の解析結果は、事業者BCモデルを用いてJNESが計算した結果とほぼ一致することを確認。

図3.8(c) 上下方向



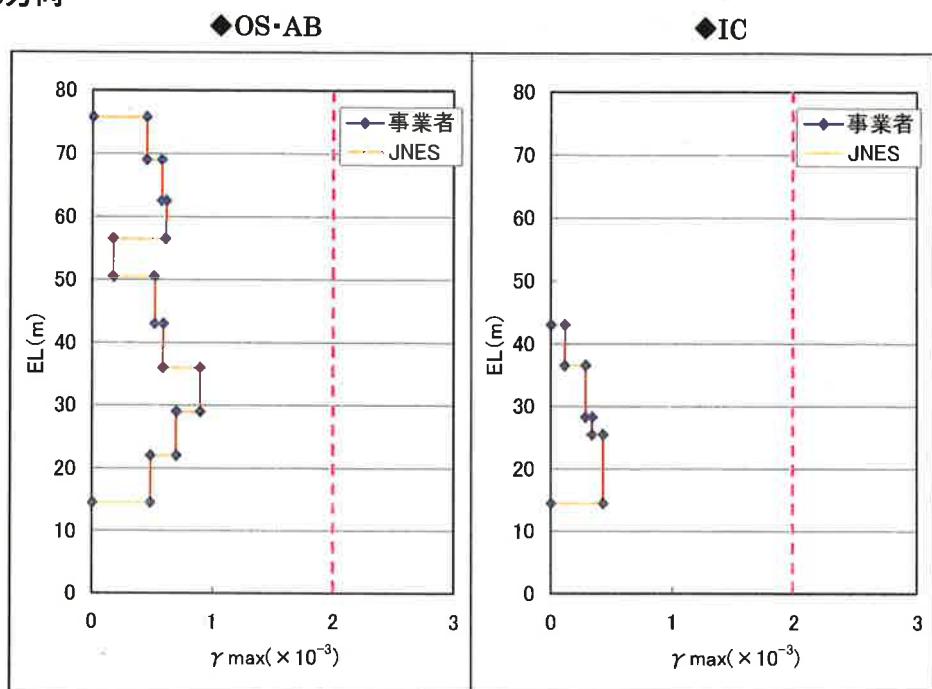
事業者の解析結果は、事業者BCモデルを用いてJNESが計算した結果とほぼ一致することを確認。

#### IV-3.1.2.4 耐震安全性評価

##### (1) 耐震壁の健全性

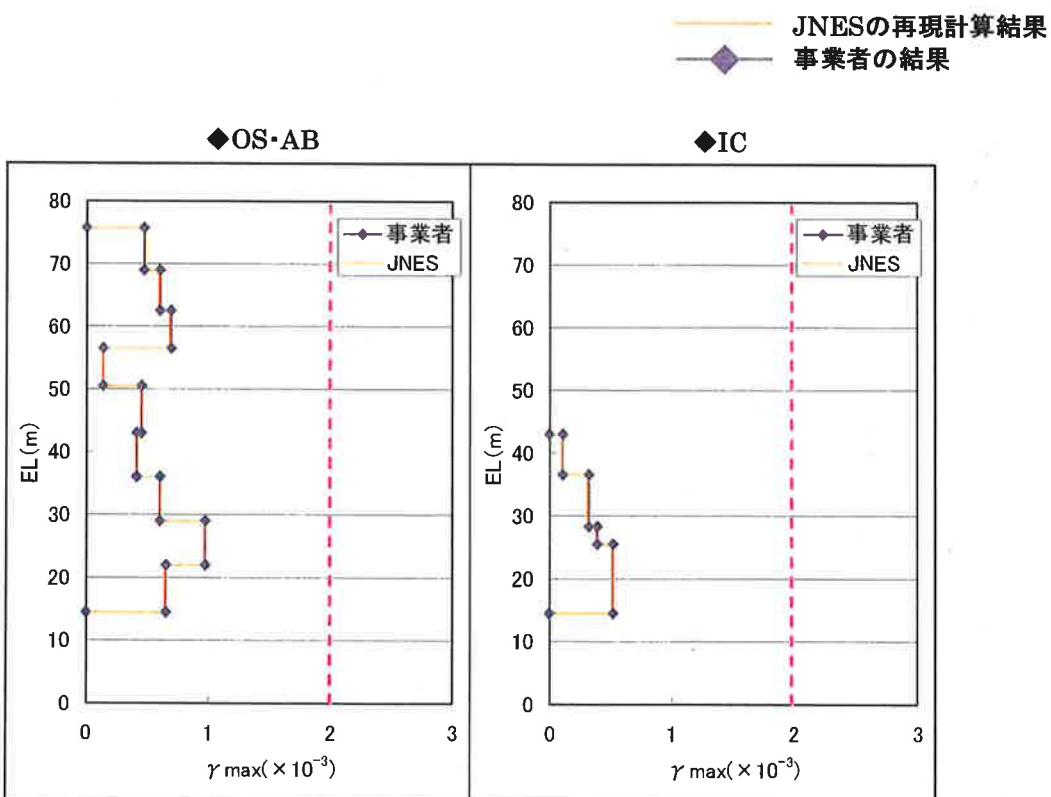
図3.9 基準地震動Ss-Dに対する耐震壁のせん断ひずみ分布

図3.9(a) NS方向



事業者の解析結果は、事業者BCモデルを用いてJNESが計算した結果とほぼ一致することを確認。

図3.9(b) EW方向



事業者の解析結果は、事業者BCモデルを用いてJNESが計算した結果とほぼ一致することを確認。

## (2) 基礎の安定性

表3.6 基礎の接地率

地震動	方向	JNES再現計算結果	事業者の結果
Ss-D	NS	76.5	78
	EW	67.1	70.1

事業者の解析結果は、事業者BCモデルを用いてJNESが計算した結果とほぼ一致することを確認。

### IV-3.1.3 原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性評価のまとめ

#### ■ JNESの解析モデルによる耐震安全性評価

事業者の耐震バックチェック結果において、耐震壁のせん断ひずみ評価が最も厳しかった基準地震動Ss-D、及び基礎の接地率評価が最も厳しかった基準地震動Ss-5に対する地震応答解析を行い耐震安全性を評価した。

##### ○ 耐震壁の健全性

地震応答解析結果より得られた耐震壁の最大応答せん断ひずみは、評価基準( $2.0 \times 10^{-3}$ )以下であった。

##### ○ 基礎の安定性

地震応答解析結果より得られた基礎の接地率は、評価基準(65%)以上であった。

以上より、基準地震動Ss(Ss-D及びSs-5)に対する原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性は満足することを確認した。

#### ■ 事業者解析結果の再現性の確認

事業者の耐震バックチェック結果において耐震壁のせん断ひずみ評価が最も厳しかった基準地震動Ss(Ss-D)に対する地震応答解析結果について、事業者の解析結果と事業者BCモデルを用いてJNESの所有コードで計算した結果はほぼ同様になることを確認した。

## IV-3. 2 ディーゼル建物基礎の安定性評価

IV-3-20 頁から「IV-3.2.1 JNES の解析モデルによる建物基礎の安定性評価」を示す。

IV-3-20 頁から「IV-3.2.1.1 検討概要」を示す。図 3.10 に事業者が策定した基準地震動 Ss-D を、表 3.7 に建物基礎の安定性評価基準を示す。

IV-3-22 頁に「IV-3.2.1.2 解析モデル及び解析条件」を示す。図 3.11 に JNES の解析モデル及び解析条件を示す。

IV-3-23 頁に「IV-3.2.1.3 地震応答解析結果」を示す。図 3.12 に最大加速度分布を示す。

IV-3-24 頁に「IV-3.2.1.4 基礎の安定性評価」を示す。図 3.13 に基礎地盤の最大応力分布を示す。

IV-3-25 頁から「IV-3.2.2 事業者解析結果の再現性の確認」を示す。

IV-3-25 頁に「IV-3.2.2.1 検討概要」を示す。

IV-3-26 頁に「IV-3.2.2.2 解析モデル及び解析条件」を示す。図 3.14 に事業者の解析モデル及び解析条件を示す。

IV-3-27 頁に「IV-3.2.2.3 地震応答解析結果」を示す。図 3.15 に最大加速度分布を示す。

IV-3-28 頁に「IV-3.2.2.4 基礎の安定性評価」を示す。図 3.16 に基礎地盤の最大応力分布を示す。

IV-3-29 頁に「IV-3.2.3 ディーゼル建物基礎の安定性評価のまとめ」を示す。

## IV-3.2.1 JNESの解析モデルによる建物基礎の安全性評価

### IV-3.2.1.1 検討概要

JNESが設定した解析条件・モデルによる地震応答解析結果に基づきディーゼル建物基礎の安定性を評価し、事業者の耐震バックチェック結果の妥当性について評価する。

#### ■ 事業者の検討概要

- 事業者は質点系モデルの地震応答解析より得られた最大転倒モーメント、及び試験結果から得られた基礎一地盤間の付着力等に基づいて接地率を計算した。(事業者が計算した接地率は、評価基準を満足している)
- さらに、事業者は、念のためFEM解析手法を用いた詳細検討により接地率を計算し、FEM解析で計算した接地率についても評価基準を満足した結果を示している。

#### ■ 事業者の検討を踏まえたJNESのクロスチェック解析方針

- 以下の観点等より、事業者による基礎一地盤間の付着力を考慮した接地率計算手法の妥当性に関して、事業者は十分に説明していないと考える。

##### ○ 観点

試験結果より得られた基礎一地盤間の付着力は、鉛直方向の引張荷重のみに対するものと考えられるが、地震時には基礎一地盤間にせん断力が発生すると考えられ、せん断力が生じている状態での鉛直方向引張荷重に対する付着力に関する説明が必要と考える。

- 以上を踏まえて、JNESのクロスチェック解析では、基礎一地盤間の付着力を考慮した接地率評価手法は適用せずに、FEM解析手法を用いた詳細検討により接地率を計算し、基礎の安定性について評価する。

#### ■ 基礎の安定性評価に用いた基準地震動Ss

- 事業者の地震応答解析結果(質点系モデルによる転倒モーメント計算結果)を参照し、最も大きな転倒モーメントが発生した基準地震動Ss-Dを選定して基礎安定性評価を実施した。
- なお、接地率評価が厳しくなると予想される建物基礎の短辺方向(NS方向)に対して基礎安定性評価を実施した。

図3.10 事業者が策定した基準地震動Ss-D

##### ◆ 水平方向

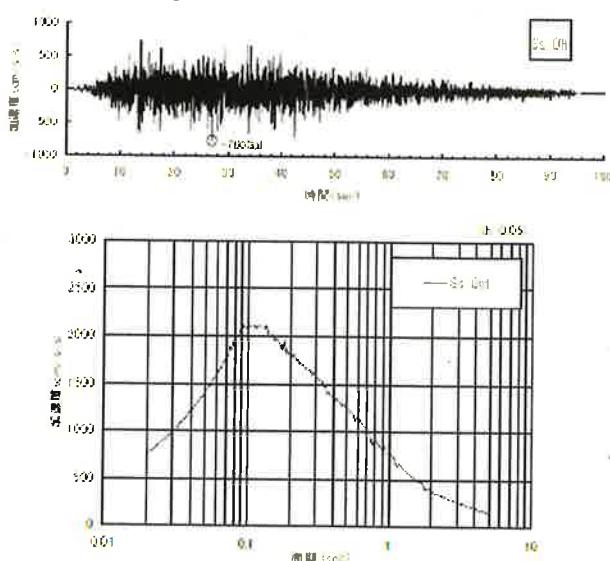


表3.7 建物基礎の安定性評価基準

評価項目	評価基準
基礎の安定性	基礎浮上りを線形とした場合の基礎の接地率: 75%以上 <sup>(※)</sup>

(※) JEAG 4601-1991(追補版)

ディーゼル建物に対する事業者BCモデルでは、基礎浮上りを線形としている。

### ■ 基礎の安定性評価に用いた解析モデル

#### ○ JNESの解析モデル(水平方向モデル)

事業者の二次元FEM解析モデル<sup>(※)</sup>と基本的に同様。但し、基礎-地盤間の付着特性に非線形特性を設定した。

(※) 事業者の二次元FEM解析モデルは、IV-3.2.2に記載。

### ■ 解析コード

JNESが所有する地震応答解析コードSANNOSを使用した。

#### IV-3.2.1.2 解析モデル及び解析条件

図3.11 JNESの解析モデル及び解析条件

図3.11(a) 概要

図3.11(a)-1 地盤-建物(二次元FEMモデル)

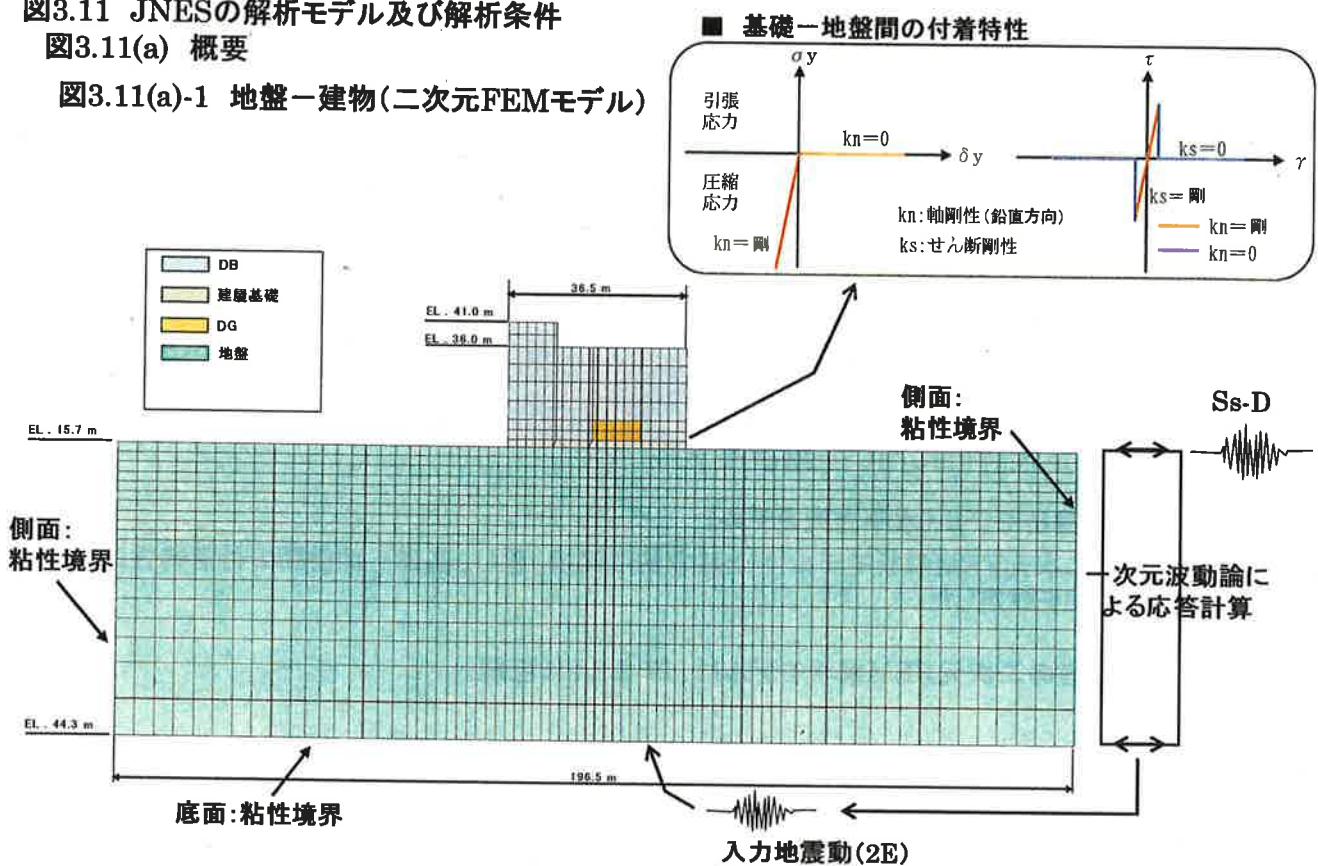
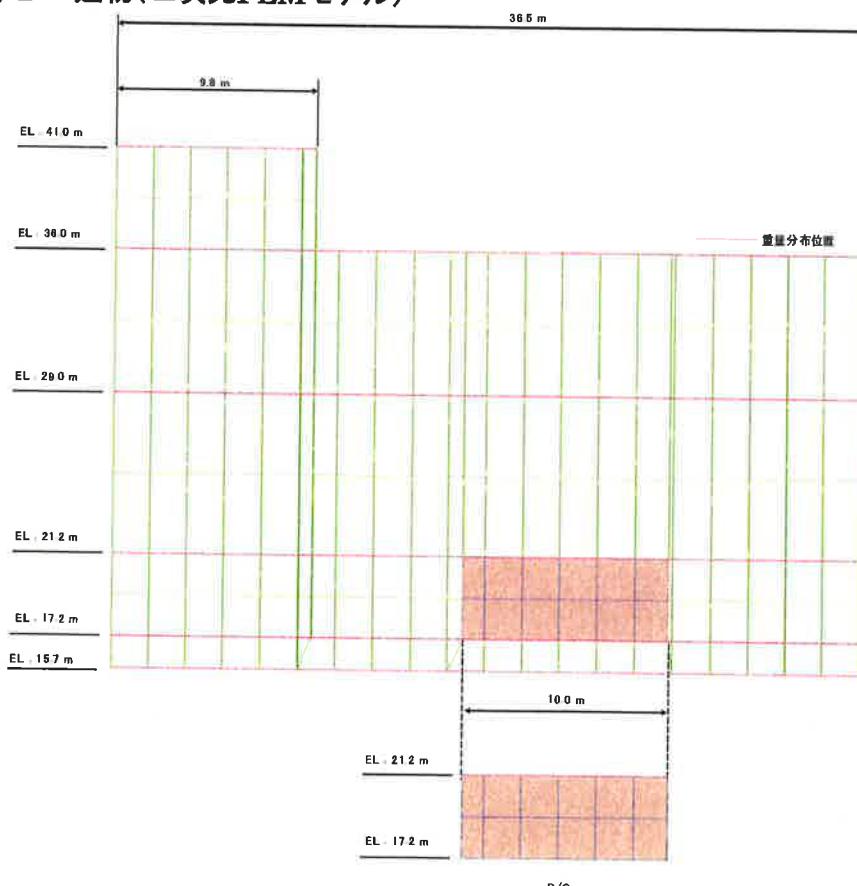


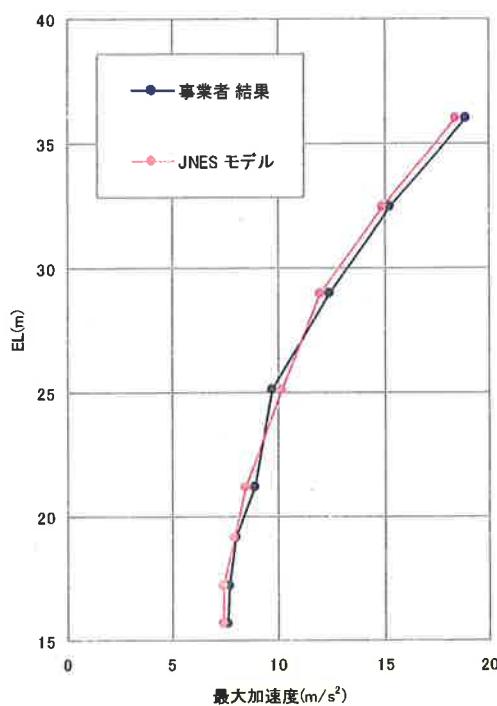
図3.11(a)-2 建物(二次元FEMモデル)



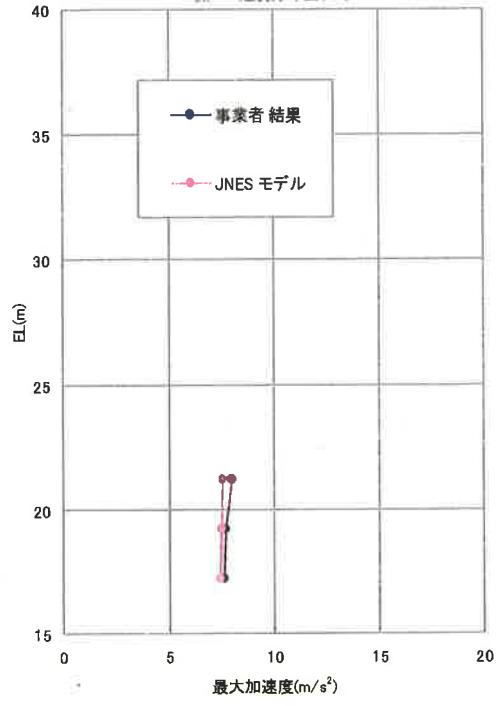
#### IV-3.2.1.3 地震応答解析結果

図3.12 最大加速度分布

■ ディーゼル建物(D/B)



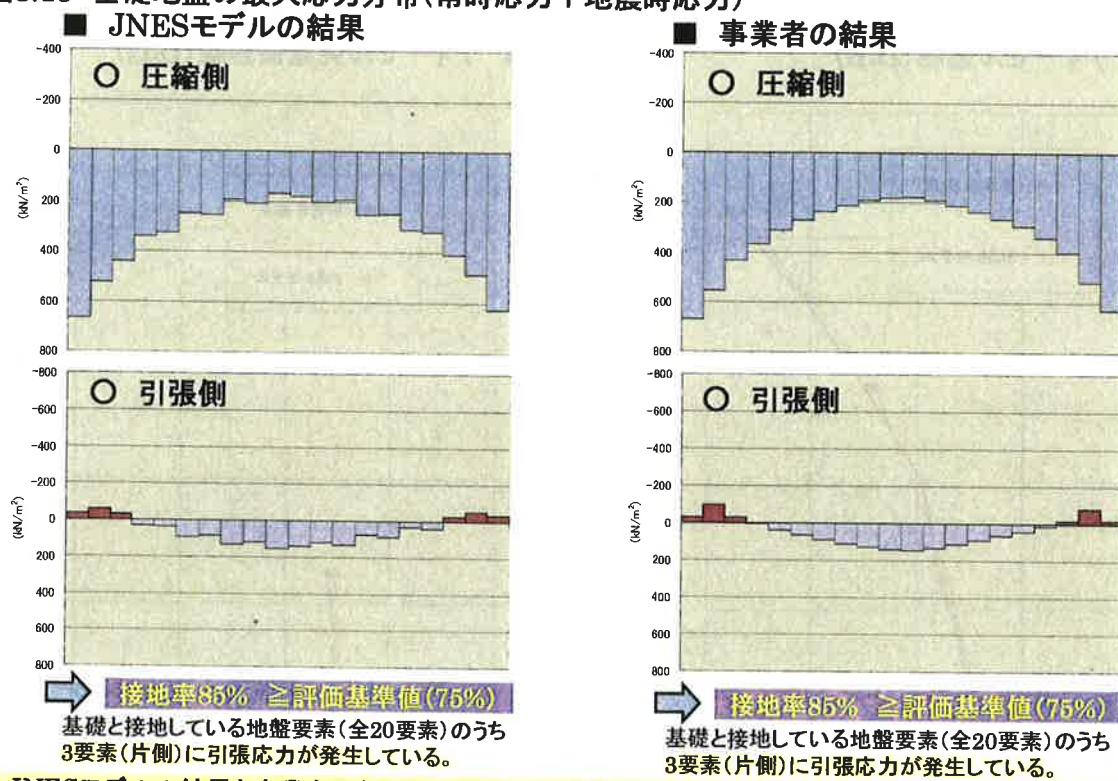
■ ディーゼル発電機基礎(D/G)



JNESモデルの結果と事業者の結果は、概ね同様である。

#### IV-3.2.1.4 基礎の安定性評価

図3.13 基礎地盤の最大応力分布(常時応力+地震時応力)



・JNESモデルの結果と事業者の結果は、概ね同様である。

・JNESモデルで計算した接地率及び事業者が計算した接地率ともに評価基準値以上であり基礎の安定性を満足している。

## IV-3.2.2 事業者解析結果の再現性の確認

### IV-3.2.2.1 検討概要

JNES所有コードを用いた事業者の解析モデルによる地震応答解析結果と事業者の解析結果がほぼ同様であるか確認する。

#### ■ 基準地震動Ss

IV-3.2.1での解析と同様、事業者が策定した基準地震動Ss-D(水平方向)を用いた。

#### ■ 建物基礎の安定性評価基準

IV-3.2.1で用いた評価基準と同じ。

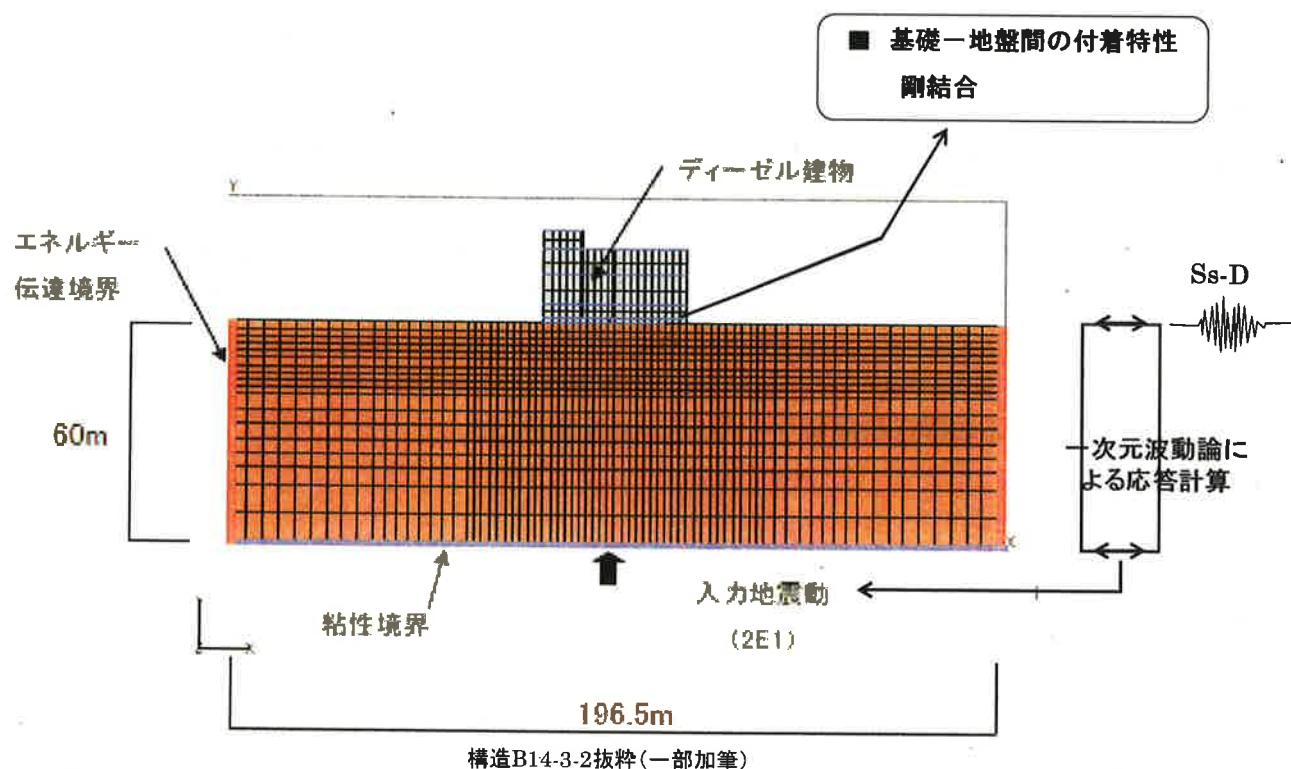
#### ■ 解析コード

JNESが所有する地震応答解析コードSANNOSを使用した。

#### IV-3.2.2.2 解析モデル及び解析条件

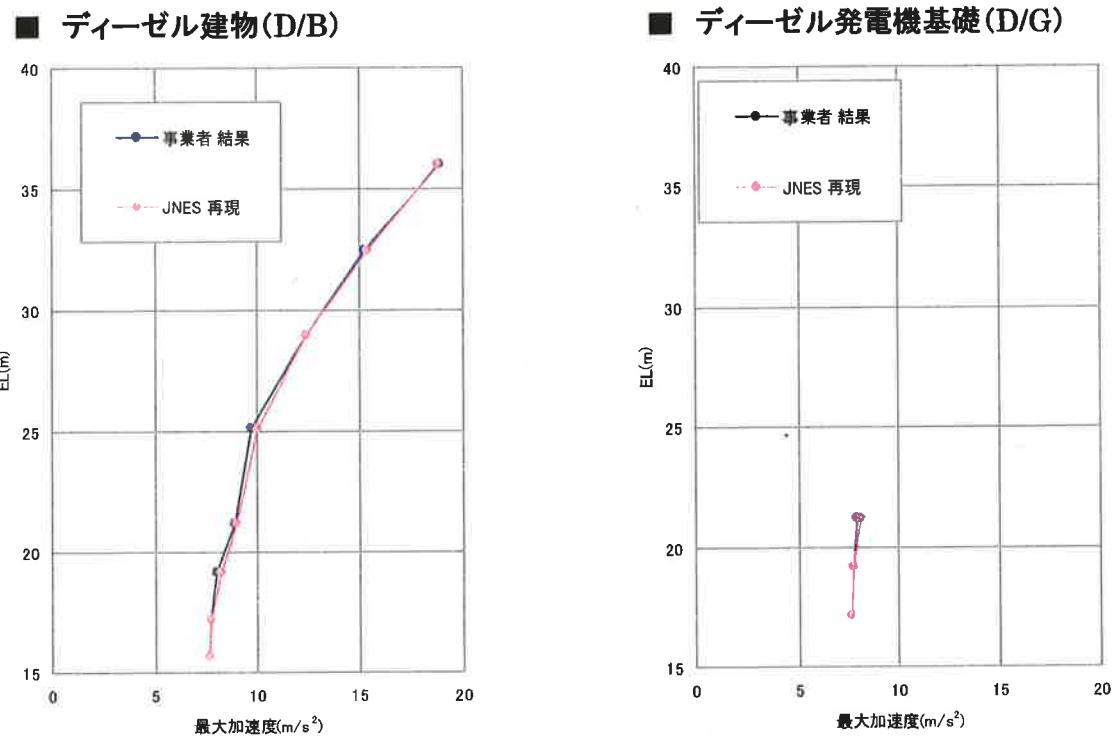
図3.14 事業者の解析モデル及び解析条件

■ 概要（二次元FEMモデル、地盤ー建物）



### IV-3.2.2.3 地震応答解析結果

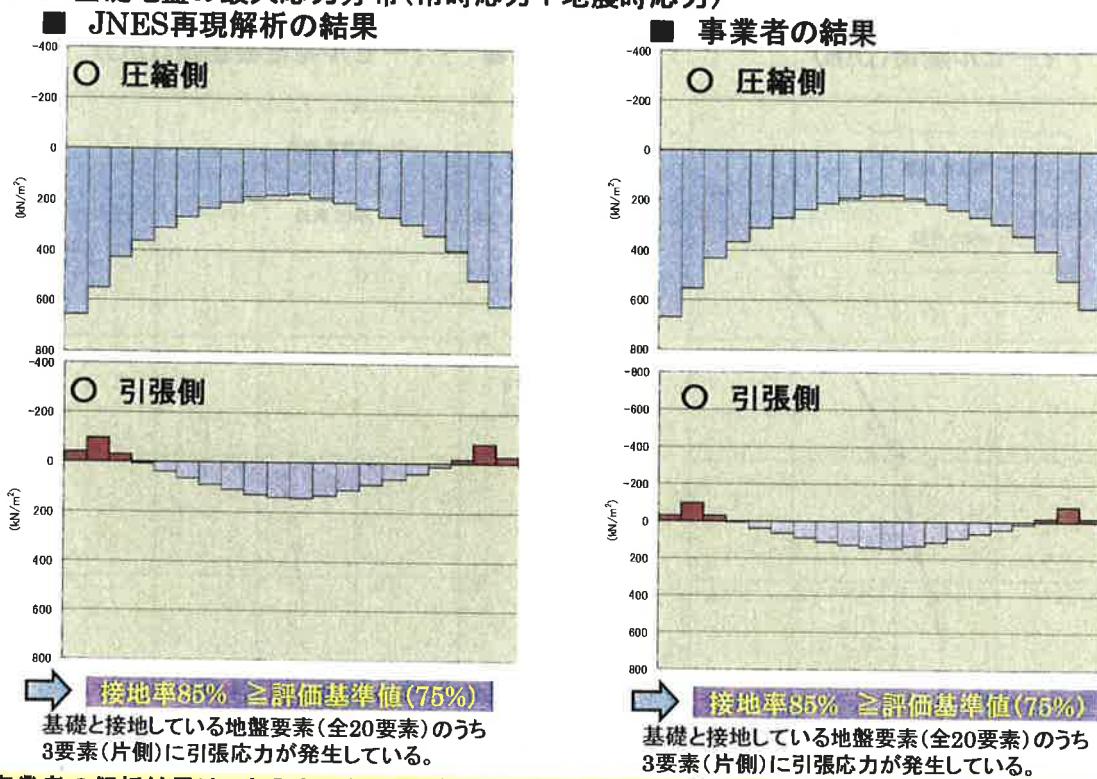
図3.15 最大加速度分布



事業者の解析結果は、事業者の解析モデルを用いてJNESで計算した結果とほぼ一致することを確認。

#### IV-3.2.2.4 基礎の安定性評価

図3.16 基礎地盤の最大応力分布(常時応力+地震時応力)



- ・事業者の解析結果は、事業者の解析モデルを用いてJNESで計算した結果とほぼ一致することを確認。
- ・事業者の解析モデルを用いてJNESで計算した接地率及び事業者が計算した接地率ともに評価基準値以上であり基礎の安定性を満足している。

IV-3-24

### IV-3.2.3 ディーゼル建物基礎の安定性評価のまとめ

#### ■ JNESの解析モデルによる建物基礎の安定性評価

・JNESの解析モデルによる地震応答解析結果より得られた基礎の接地率は、評価基準(75%)以上であった。

以上より、基準地震動Ss(Ss-DのNS方向)に対するディーゼル建物基礎の安定性は満足することを確認した。

#### ■ 事業者解析結果の再現性の確認

基準地震動Ss-Dに対するNS方向の地震応答解析について、事業者の解析結果と事業者の解析モデル(基礎の安定性を確認するための二次元FEMモデル)を用いてJNESの所有コードで計算した結果は、ほぼ同様になることを確認した。

### IV-3. 3 建物の耐震安全性評価のまとめ

#### (1) 原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性評価

事業者の耐震バックチェック結果において、耐震壁のせん断ひずみ評価が最も厳しかった基準地震動 Ss-D 及び基礎の接地率評価が最も厳しかった基準地震動 Ss-5 に対して、原子炉建物・原子炉補助建物の耐震安全性は満足することを確認した。

また、事業者の耐震バックチェック結果において耐震壁のせん断ひずみ評価が最も厳しかった基準地震動 Ss (Ss-D) に対する地震応答解析結果について、事業者の解析結果と事業者 BC モデルを用いて JNES の所有コードで計算した結果はほぼ同様になることを確認した。

#### (2) ディーゼル建物基礎の安定性評価

事業者が実施した質点系モデルによる地震応答解析結果において、最も大きな転倒モーメントが発生した基準地震動 Ss-D に対するディーゼル建物基礎の安定性評価を行い、接地率評価が厳しくなると予想される建物基礎の短辺方向 (NS 方向) について基礎の安定性は満足することを確認した。

また、基準地震動 Ss-D に対する NS 方向の地震応答解析結果について、事業者の解析結果と事業者の解析モデル（基礎の安定性を確認するための二次元 FEM モデル）を用いて JNES の所有コードで計算した結果はほぼ同様になることを確認した。

## 第V篇 機器・配管系の耐震安全性評価

## 目 次

機器・配管系の耐震安全性評価の概要	..... (i)
V-1. 機器・配管系の耐震安全性評価クロスチェック解析の基本方針	..... V-1-1
V-1.1 基本方針	..... V-1-1
V-1.2 クロスチェック解析の作業手順	..... V-1-3
V-2. 機器・配管系の評価方針及び判断基準	..... V-2-1
V-3. 解析結果	..... V-3.1.1-1
V-3.1 機器設備	..... V-3.1.1-1
V-3.1.1 事業者条件による解析	..... V-3.1.1-1
V-3.1.2 JNES条件による解析	..... V-3.1.2-1
V-3.1.2.1 JNES条件による解析の条件	..... V-3.1.2-1
V-3.1.2.2 JNES条件による解析の結果	..... V-3.1.2-1
V-3.2 配管系	..... V-3.2.1-1
V-3.2.1 事業者条件による解析	..... V-3.2.1-1
V-3.2.2 JNES条件による解析	..... V-3.2.2-1
V-3.2.2.1 JNES条件による解析の条件	..... V-3.2.2-1
V-3.2.2.2 JNES条件による解析の結果	..... V-3.2.2-1
V-4. 機器・配管系のまとめ	..... V-4-1
【参考】観測記録と建物シミュレーション解析結果の差異を考慮した 機器配管系設備の耐震余裕評価	..... V参-1
付録: V付-1. 地震応答解析用床応答スペクトル	..... V付-1-1
V付-2. 線形モデルと非線形モデルによる応答スペクトル比較	..... V付-2-1
V付-3. 主要機器・配管系応力評価結果数値一覧表	..... V付-3-1

## 機器・配管系の耐震安全性評価の概要

2006年9月の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂を受け、高速増殖型炉もんじゅの耐震設計上重要な耐震Sクラスの機器・配管系が、基準地震動Ssに対して安全上重要な「止める」「冷やす」「閉じ込める」の基本機能が維持されることを確認するため、機器・配管系のクロスチェック解析を実施した。

### (1) 評価対象設備

事業者から耐震・構造小委員会構造ワーキング小委員会へ報告された「止める」「冷やす」「閉じ込める」に係る主要機器・配管のうちの代表機器・配管を対象とした。

### (2) 解析内容

機器・配管系のクロスチェック解析は、以下の2つを実施した。

- 事業者条件による解析：事業者と同じ条件による解析を行い事業者結果との比較を行う
- JNES条件による解析：もんじゅでの観測地震波に基づくシミュレーション解析に基づき作成したJNES建物モデルから算定された入力条件を用い解析を行い、建物床柔性等の影響を評価する。

事業者条件による解析は、評価対象とした主要機器・配管全てについて、解析モデルを用い、地震応答解析により耐震健全性を詳細に評価するための詳細評価と、耐震安全性を応答倍率法により簡易的に評価する簡易評価を実施した。JNES条件による解析は、詳細評価を実施した設備のうち、原子炉建物内及び原子炉補助建物内の代表機器・配管系を対象に解析を行った。

評価対象及び解析の区分をまとめて表1に示す。

表1 評価対象機器・配管系

詳細解析					
機器	事業者 条件によ る解析	JNES 条件によ る解析	配管	事業者 条件によ る解析	JNES 条件によ る解析
原子炉構造 ・ 構造健全性 ・ 制御棒挿入性 補助冷却設備空気冷却器 蒸発器	○ ○ ○ ○	○ — ○ —	1次主冷却系配管 ・ ホットレグ配管 ・ コールドレグ配管 2次主冷却系配管 ・ ホットレグ配管(A系) ・ コールドレグ配管(B系) (補助冷却系配管含む)	○ ○ ○ ○	○ — — ○
3機器	4	2	2系統配管(4ライン)	4	2
簡易評価					
1次主循環ポンプ 中間熱交換器 2次主循環ポンプ 原子炉格納容器	○ ○ ○ ○	— — — —	2次主冷却系配管(1ライン) 補助冷却系配管(5ライン)	○ ○	— —
4機器	4	—	2系統配管(6ライン)	6	—

### (3) 解析結果

もんじゅ機器・配管系のクロスチェック解析の結果は以下のとおりである。

#### ●事業者条件による解析

○「止める」「冷やす」「閉じ込める」に係る主要機器・配管を対象に解析を実施した結果、事業者とJNESの解析結果は同等となり、評価基準値を下回ることを確認した。

#### ●JNES条件による解析

○JNES条件による解析は、原子炉格納容器内及び原子炉補助建物内の代表設備として、原子炉構造、補助冷却設備空気冷却器、1次主冷却系配管(ホットレグ)及び2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)を対象に建物床柔性等の影響を評価した。

○原子炉構造及び補助冷却設備空気冷却器の発生応力は評価基準値を下回り、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。

○1次主冷却系配管(ホットレグ)の発生応力は評価基準値を下回ったが、Ss-Dにおけるスナッパ(6E)は評価基準値を上回った。その後、事業者はスナッパ評価解析において解析条件である配管の減衰定数を見直した。減衰定数見直し後のスナッパ荷重は、事業者とJNESで同等であり、解析条件見直しにより、スナッパ(6E)が評価基準値を下回った。

○2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)の発生応力は評価基準値を下回り、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。

以上より、高速増殖原型炉もんじゅの主要な機器・配管系について、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。

## V-1. 機器・配管系の耐震安全性評価クロスチェック解析の基本方針

### V-1.1 作業の基本方針

2006年9月の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂を受け、基準地震動Ssに対して、高速増殖原型炉もんじゅの安全上重要な「止める」「冷やす」「閉じ込める」の基本機能が維持されることを確認するため、下記事項を明確にした上で、耐震設計上重要な耐震Sクラスの機器・配管系のクロスチェック解析を行う。

- ① 実施する解析及び地震動・入力条件
- ② クロスチェック評価対象設備

#### ① 実施する解析及び地震動・入力条件

機器・配管系のクロスチェック解析の解析条件を整理すると表1.1-1に示す通りである。

表1.1-1 実施する解析及び解析条件

実施解析	解析条件	
	基準地震動Ss	入力条件(建物モデル)
事業者条件による解析 ・事業者と同じ条件下より解析を実施する。 基本的にJNESが整備した解析コードを用いる。	事業者が策定した「基準地震動Ss」を用いる。 ① 基準地震動(Ss-D) 事業者が原子力安全・保安院に報告した耐震安全性評価(2009/3)にて用いた応答スペクトルに基づく基準地震動(760gal) ② 基準地震動(断層波) 事業者が2009/8に策定した震源断層モデルに基づく基準地震動Ss-1~9	・設工認と同じ建物モデル ○水平方向、鉛直方向 1軸質点系モデル(床剛) ・コンクリートの減衰定数は5%
JNES条件による解析 ・JNESが適切と判断する解析モデル及び手法にて解析を実施し、設備の耐震安全性を確認する。	同上	・もんじゅの地震観測に基づくシミュレーション解析に基づき作成した「JNES建物モデル」 ○水平・鉛直方向 多軸床ばね質点系モデル(床柔性考慮) ・コンクリートの減衰定数は3%

## ② クロスチェック評価対象設備

事業者条件による解析の評価対象は、事業者から耐震・構造小委員会構造ワーキングへ報告された主要設備のうちの代表的な機器・配管系を選定する。

JNES条件による解析は、原子炉格納容器内及び原子炉補助建物内の床柔軟性の影響が考えられる主要な機器・配管について実施する。

事業者条件による解析及びJNES条件による解析の対象機器・配管系を表1.1-2a及び表1.1-2bに示す。事業者条件による解析は、より詳細に耐震裕度を確認する必要がある設備については詳細評価を実施し、比較的裕度がある設備については簡易評価を実施する。

表1.1-2a 詳細評価の対象設備

機器	事業者 条件による 解析	JNES 条件による 解析	配管	事業者 条件による 解析	JNES 条件によ る解析
原子炉構造 ・ 構造健全性 ・ 制御棒挿入性	○ ○	○ —	1次主冷却系配管 ・ ホットレグ配管 ・ コールドレグ配管	○ ○	○ —
補助冷却設備空気冷却器	○	○	2次主冷却系配管		
蒸発器	○	—	・ ホットレグ配管(A系) ・ コールドレグ配管(B系) (補助冷却 系配管含む)	○ ○	— ○
3機器	4	2	2系統配管(4ライン)	4	2

表1.1-2b 簡易評価の対象設備

機器	事業者 条件による 解析	JNES 条件による 解析	配管	事業者 条件による 解析	JNES 条件による 解析
1次主循環ポンプ	○	—	2次主冷却系配管(1ライン)	○	—
中間熱交換器	○	—	補助冷却系配管(5ライン)	○	—
2次主循環ポンプ	○	—			
原子炉格納容器	○	—			
4機器	4	—	2系統配管(6ライン)	6	—

## V-1.2 クロスチェック解析の作業手順

クロスチェック解析の作業手順を図1.2-1に示す。

基準地震動Ssは、事業者が策定した応答スペクトルに基づく「基準地震動Ss-D」及び震源断層モデルに基づく「基準地震動Ss-1～9」を用いる。解析は、事業者と同じ解析条件を用いた「事業者条件による解析」と、もんじゅの地震観測波に基づくシミュレーション解析に基づきJNESが作成した建物モデルから算定された、床柔軟性等を考慮した入力条件を用いる「JNES条件による解析」を行う。「事業者条件による解析」では、事業者モデルの構造諸元を確認するとともにJNESの解析と比較し同等の結果が得られることを確認する。「JNES条件による解析」では、床柔軟性等の影響を評価する。

クロスチェック解析は、「止める」「冷やす」「閉じ込める」の基本機能を維持する上で重要な主要な機器・配管系を対象として解析を行う。JNES条件による解析は、事業者条件による解析で対象とした機器・配管系の中から、原子炉建物内及び原子炉補助建物内の代表機器・配管系を選び詳細評価を行う。また、クロスチェック解析においては、基本的に事業者と同等の解析モデルを用いるが、JNES条件による解析では、2次主冷却系配管のティーのモデル化を一部修正して解析を行う。

これらの解析により、もんじゅの主要機器・配管系の基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認する。

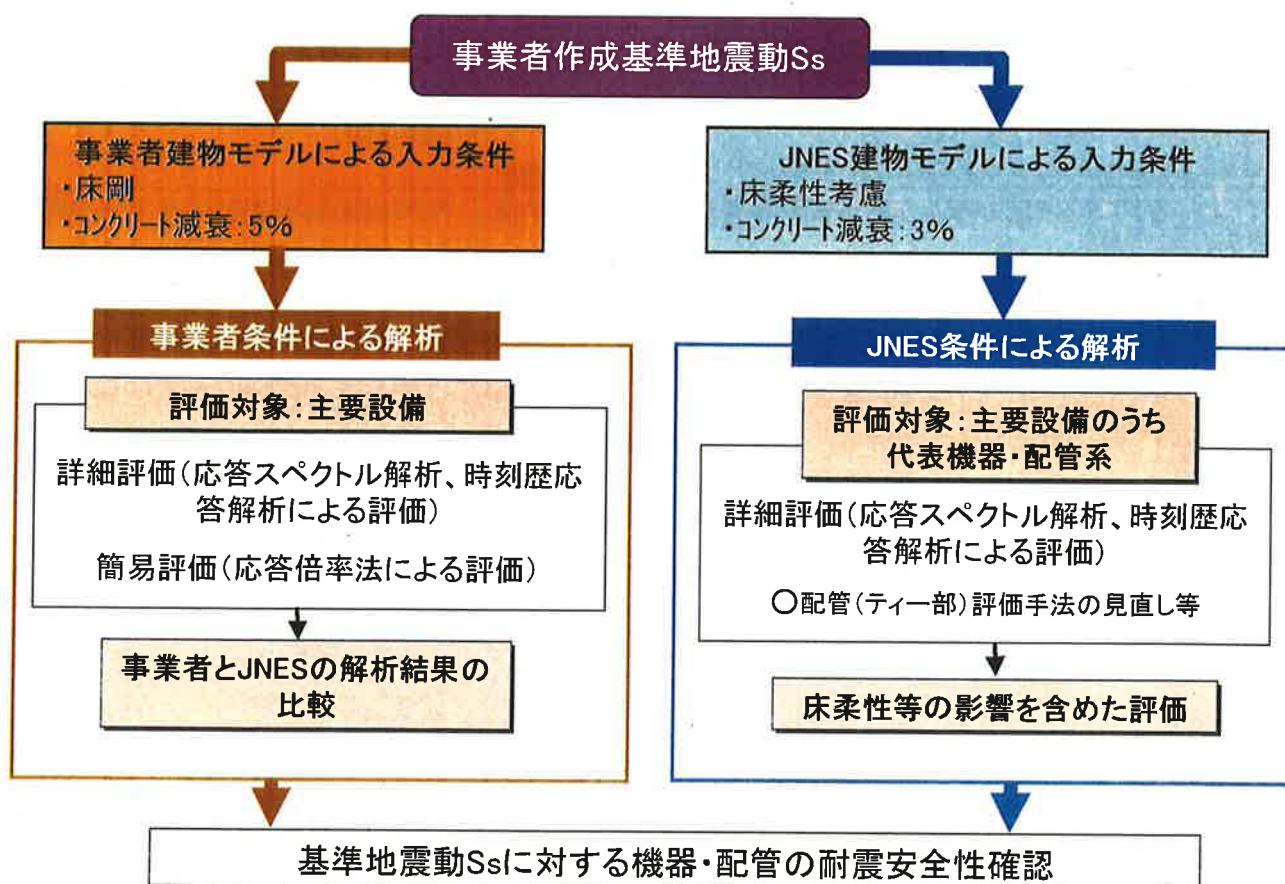


図1.2-1 クロスチェック解析作業フロー

## V-2. 機器・配管系の評価方針及び判断基準

機器・配管系設備の評価方針及び判断基準は、「新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価及び確認に当っての基本的な考え方並びに評価手法及び確認基準について」(平成18年9月20日 原子力安全・保安院)に従う。具体的には表2-1に示す評価方針及び判断基準による。

表2-1 評価方針及び判断基準

項目	評価方針及び判断基準
評価方針	・原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1984、1987、1991)を適用する。 下記、項目(a)、(b)は、原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)を参考とする。なお、もんじゅ申請時の基準類を下表に示す。
(a)減衰定数	・JEAC4601に記載される機器・配管系の減衰定数。また、試験等で妥当と確認された場合もこれに準じるものとする。
(b)水平と鉛直地震動の組合せ	・新指針は水平動的地震と鉛直動的の地震を入力して評価するため、両地震荷重の合成は、二乗和平方根(SRSS)法の適用を原則とする。
判断基準	・基準地震動Ssに対する許容応力状態は、JEAG4601-1984の IV <sub>AS</sub> を適用する。

もんじゅ設工認申請時の構造強度、耐震設計	軽水炉(もんじゅ申請当時)
・ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術基準(昭和59年11月、科技庁)及び同解説(注)	・発電用原子炉設備に関する構造等の技術基準(告示501号)
・高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針(昭和59年11月、科技庁)及び同解説	・原子力発電所の耐震設計基準(案)及び同解説
・ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設の耐震設計基準(昭和62年3月、科技庁)及び同解説	
<民間>・原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1984、1987)	<民間>・同左

(注)平成16年7月に改訂(経済産業省 平成16-07-14原院第2号)(H16新基準と称す。)(配管の応力係数大幅改訂)

## V-3. 解析結果

V-1.1章 表1.1-2a及び表1.1-2bに示す機器・配管系の「事業者条件による解析」及び「JNES条件による解析」の結果を以下より示す。

### V-3.1 機器設備

#### V-3.1.1 事業者条件による解析

##### (1) 詳細評価

###### ① 原子炉構造

###### a.耐震安全性評価の手順(事業者と同条件)

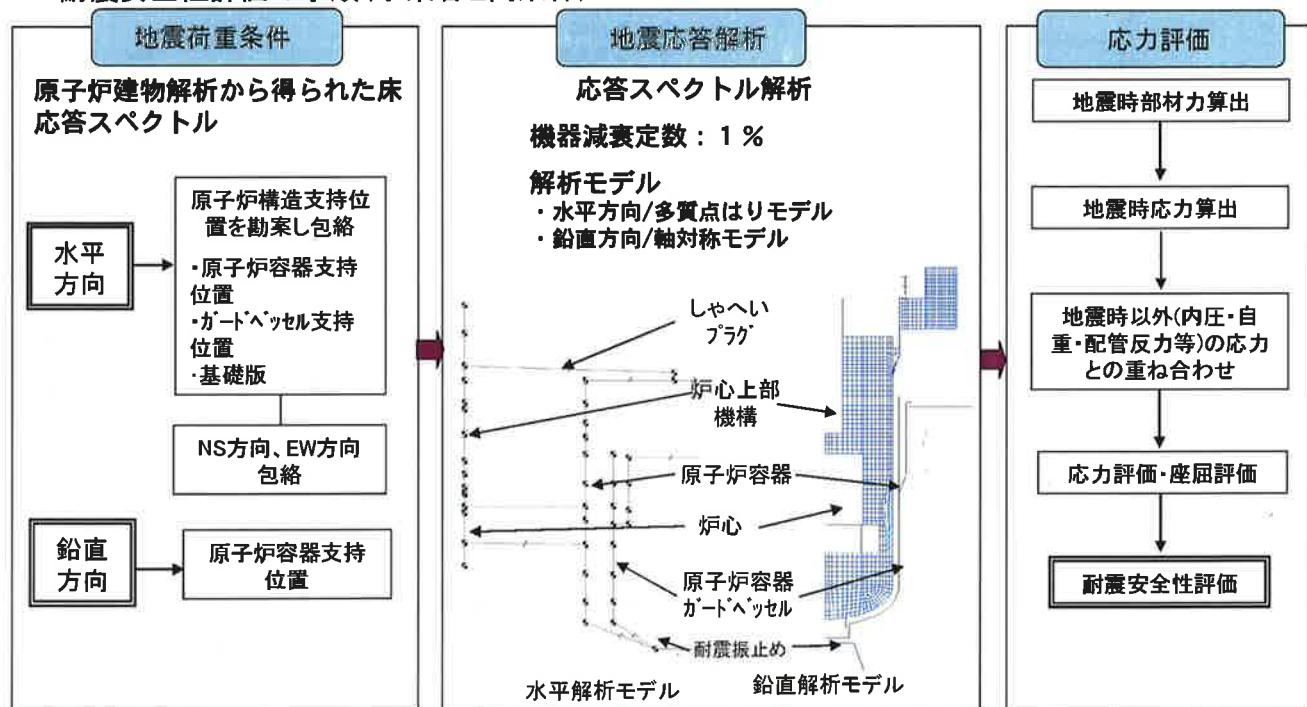


図3.1.1-1 原子炉構造評価手順

## b. 原子炉構造の応力評価結果

### (i) Ss-Dに対する評価

原子炉構造の基準地震動Ss-Dに対する解析結果を図3.1.1-2に示す。事業者とJNESの解析結果はほぼ同等であり、原子炉構造各部の発生応力は評価基準値を下回った。

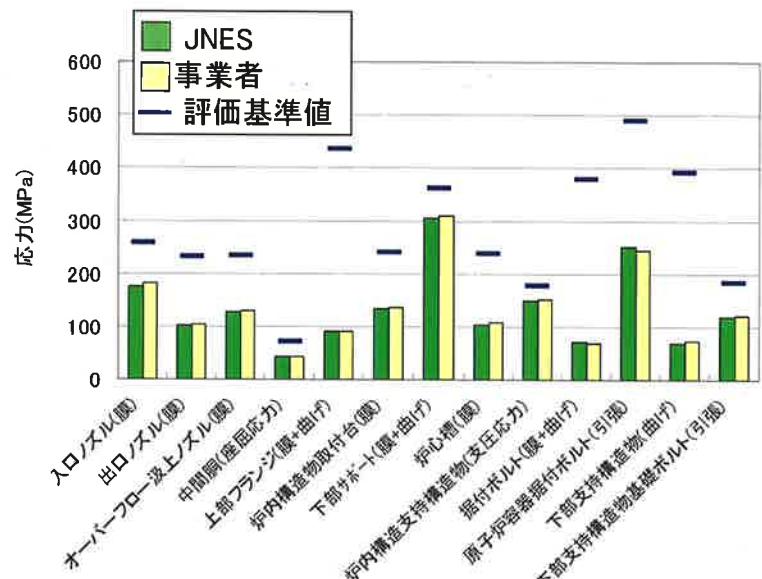
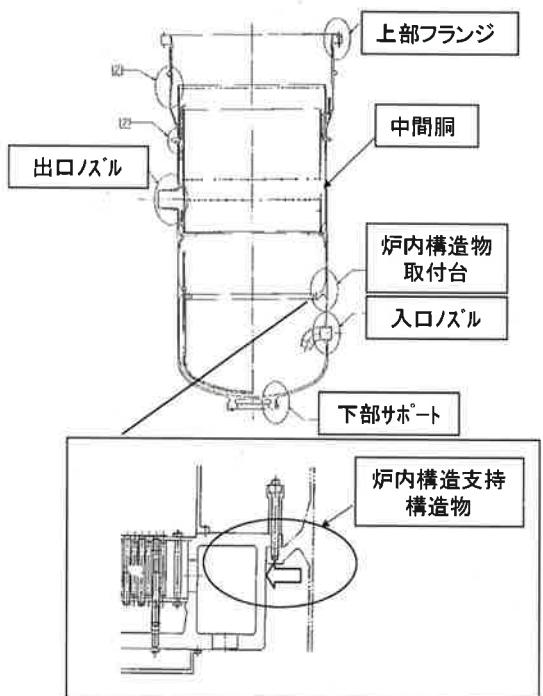


図3.1.1-2 原子炉構造評価結果(Ss-D)

### (ii) 断層波に対する評価

原子炉構造の断層波(Ss-1～9(包絡))に対する解析結果を図3.1.1-3に示す。事業者とJNESの解析結果はほぼ同等であり、原子炉構造各部の発生応力は評価基準値を下回った。

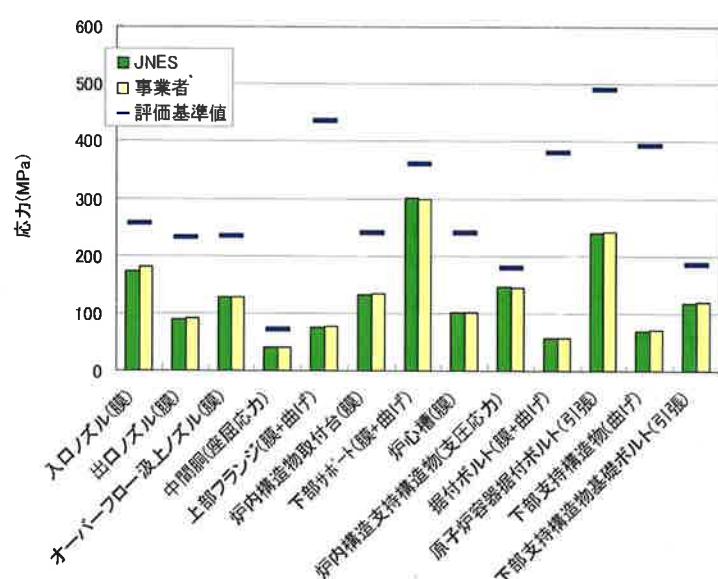
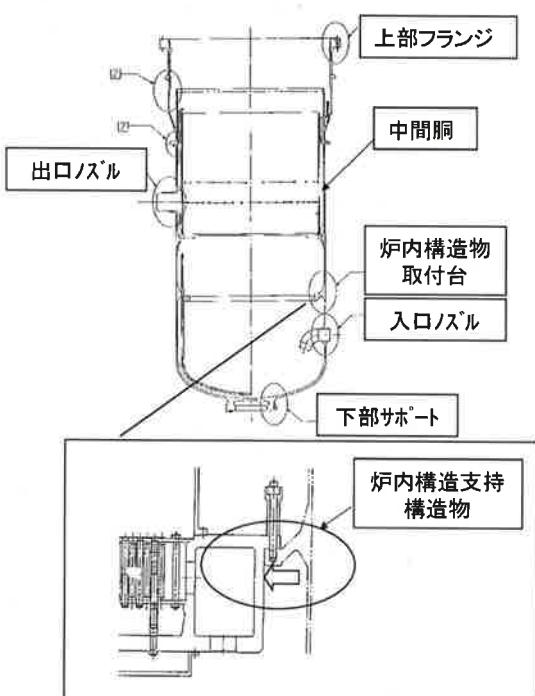


図3.1.1-3 原子炉構造評価結果(断層波)

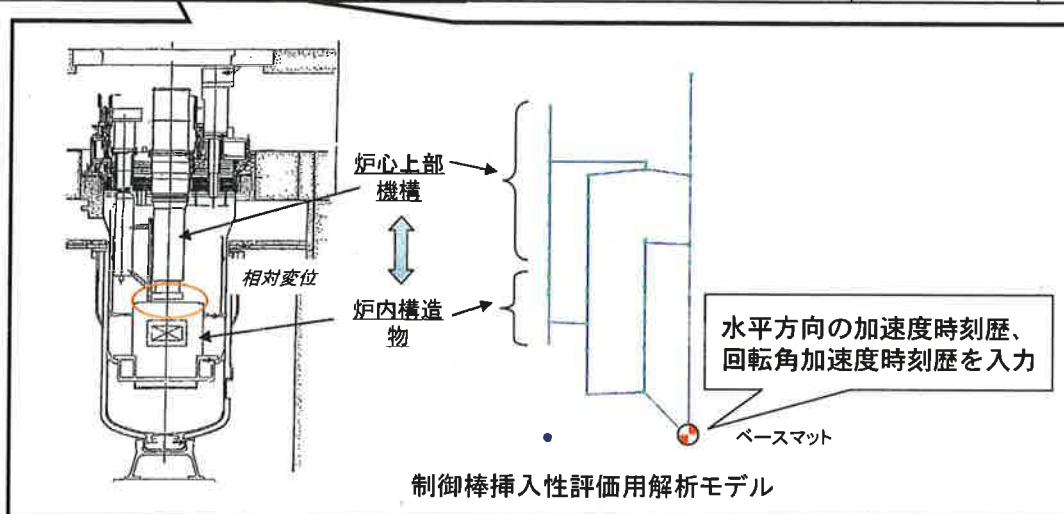
## ② 制御棒挿入性

### a. 事業者条件による解析の評価対象

下記評価項目のうち、地震時の炉心上部機構下端・炉内構造物上端間相対変位を評価

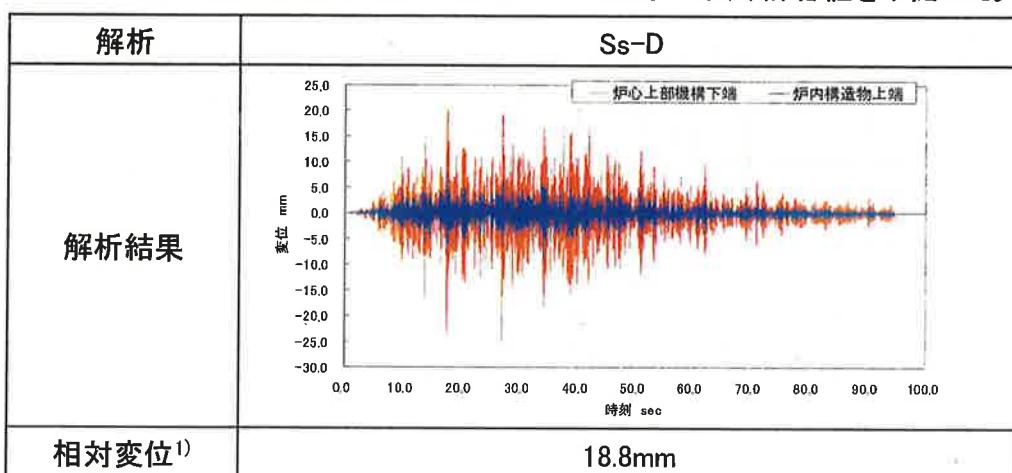
表3.1.1-1 制御棒挿入性評価項目

炉心上部機構下端と炉内構造物上端との相対変位(A)	炉心槽内の制御棒案内管の変位(B)	合計	許容変位(mm)
水平方向の時刻歴応答解析により算出	下記2ケースのうち大きい方 ①炉心構成要素の総片寄り ②炉心群振動による制御棒案内管の最大変位	(A) + (B)	55



### b. 地震時相対変位評価結果

炉心上部機構下端と炉内構造物上端との相対変位解析結果を図3.1.1-4に、制御棒挿入性評価結果を表3.1.1-2に示す。事業者とJNESの解析結果はほぼ同等であり、許容値を下回った。



1) 相対変位= | 炉心上部機構上端変位 - 炉内構造物上端変位 |

図3.1.1-4 炉心上部機構下端・炉内構造物上端間相対変位

表3.1.1-2 制御棒挿入性評価結果

	炉心上部機構下端と炉内構造物上端との相対変位(mm)	炉心槽内の制御棒案内管の変位(mm)	合計(mm)	許容値(mm)
JNES	18.8	18 <sup>2)</sup>	36.8	55
事業者	18	18	36	

2) 制御棒案内管の変位については事業者評価結果を用いる

### ③ 補助冷却設備空気冷却器

#### a. 耐震安全性評価の手順(事業者と同条件)

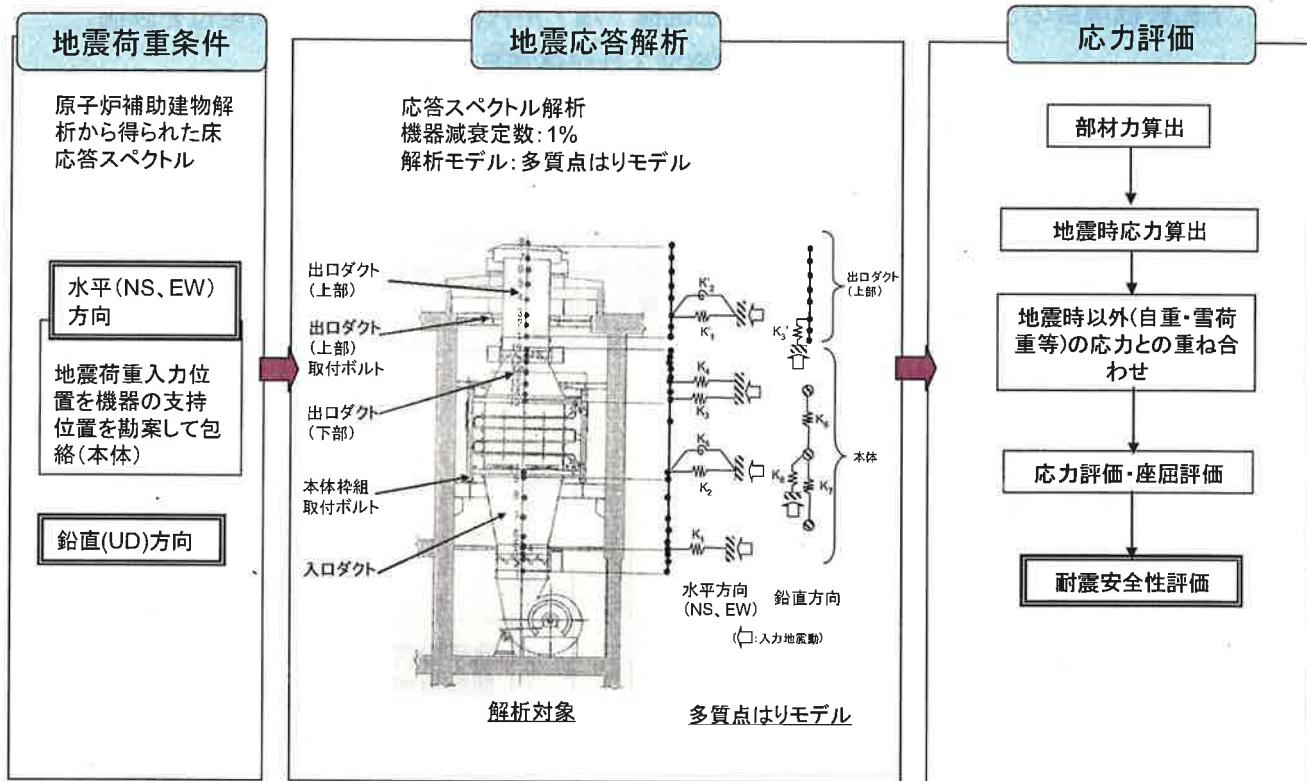
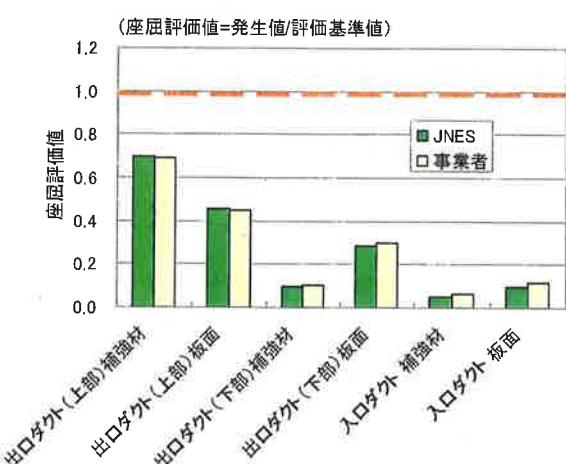
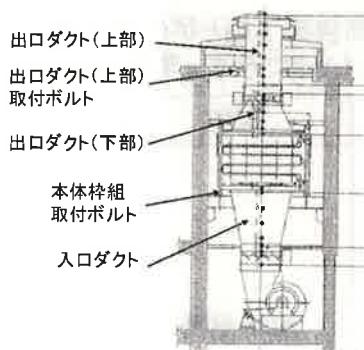


図3.1.1-5 補助冷却設備空気冷却器評価手順

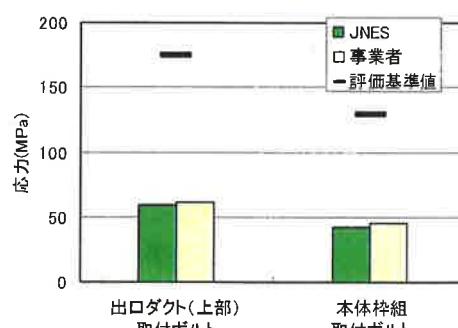
#### b. 補助冷却設備空気冷却器の応力評価結果

##### (i) Ss-Dに対する評価

補助冷却設備空気冷却器の基準地震動Ss-Dに対する解析結果を図3.1.1-6に示す。事業者とJNESの解析結果はほぼ同等であり、補助冷却設備空気冷却器各部の発生荷重及び応力は評価基準値を下回った。



(a) ダクトの座屈評価



(b) 取付ボルトの引張応力

図3.1.1-6 補助冷却設備空気冷却器評価結果(Ss-D)

## (ii) 断層波に対する評価

補助冷却設備空気冷却器の断層波(Ss-4、5)に対する解析結果を図3.1.1-7に示す。

事業者とJNESの解析結果はほぼ同等であり、補助冷却設備空気冷却器各部の発生荷重及び応力は評価基準値を下回った。

注:1) 断層波Ss-1~9のうち、最も厳しいSs-4、5を用いた。(事業者と同条件)

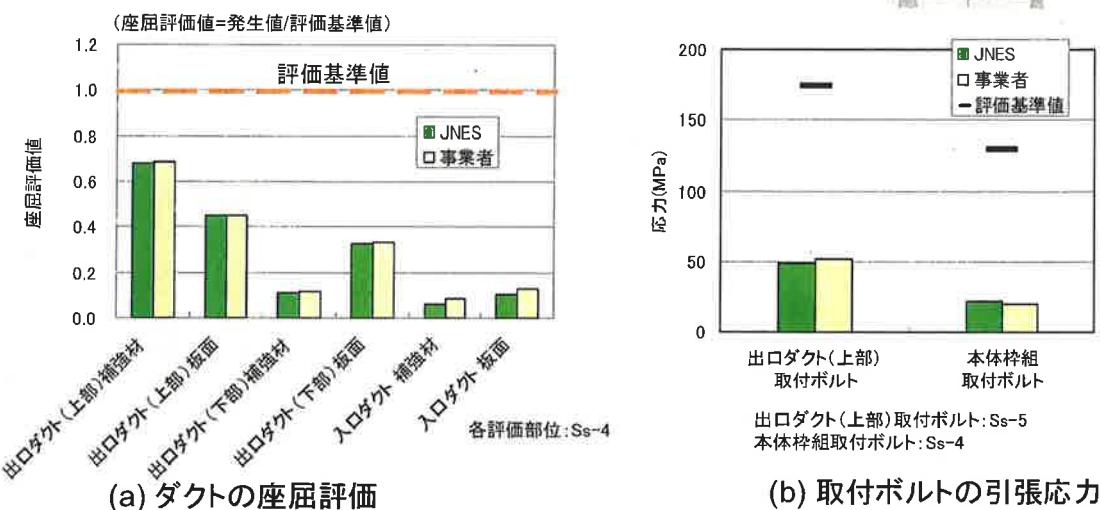


図3.1.1-7 補助冷却設備空気冷却器評価結果(断層波)

## ④ 蒸発器

### a. 耐震安全性評価の手順(事業者と同条件)

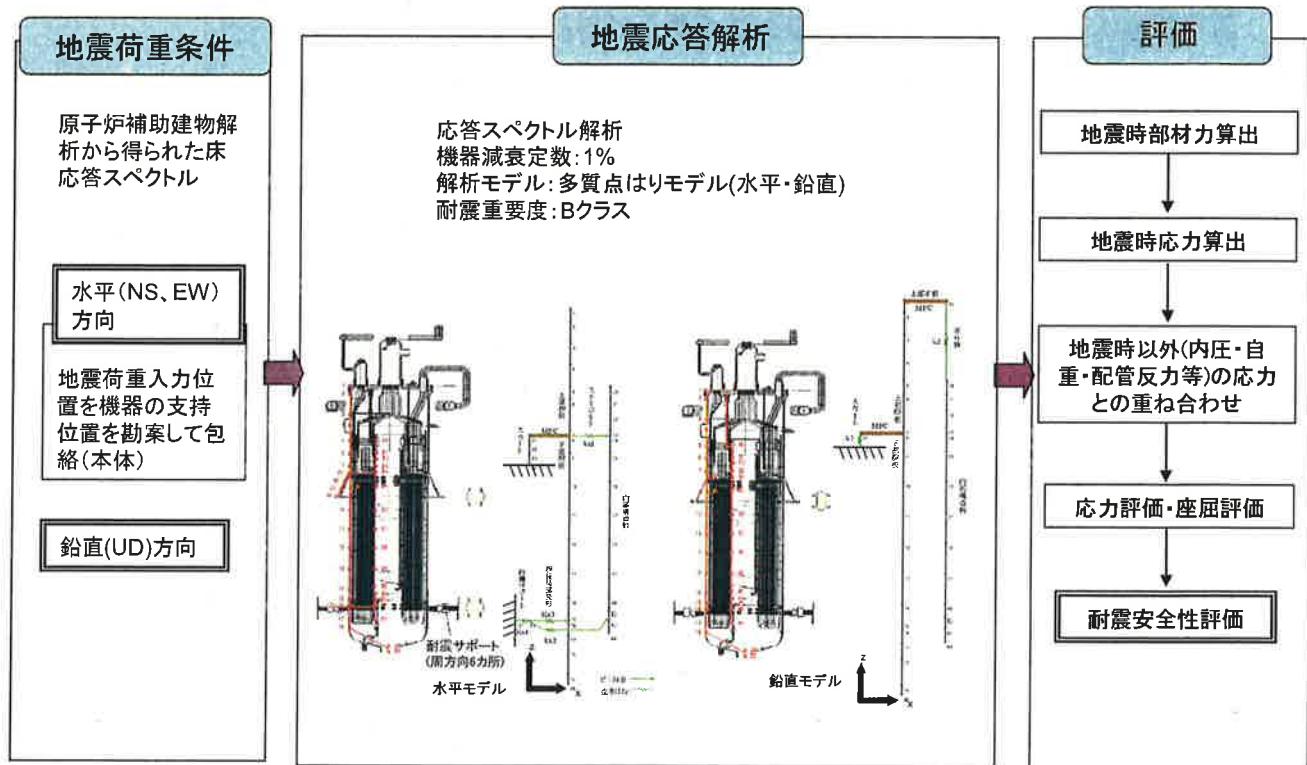


図3.1.1-8 蒸発器評価手順

## b. 蒸発器の応力評価結果

### (i) Ss-Dに対する評価

蒸発器の基準地震動Ss-Dに対する解析結果を図3.1.1-9に示す。事業者とJNESの解析結果はほぼ同等であり、蒸発器の発生応力は評価基準値を下回った。

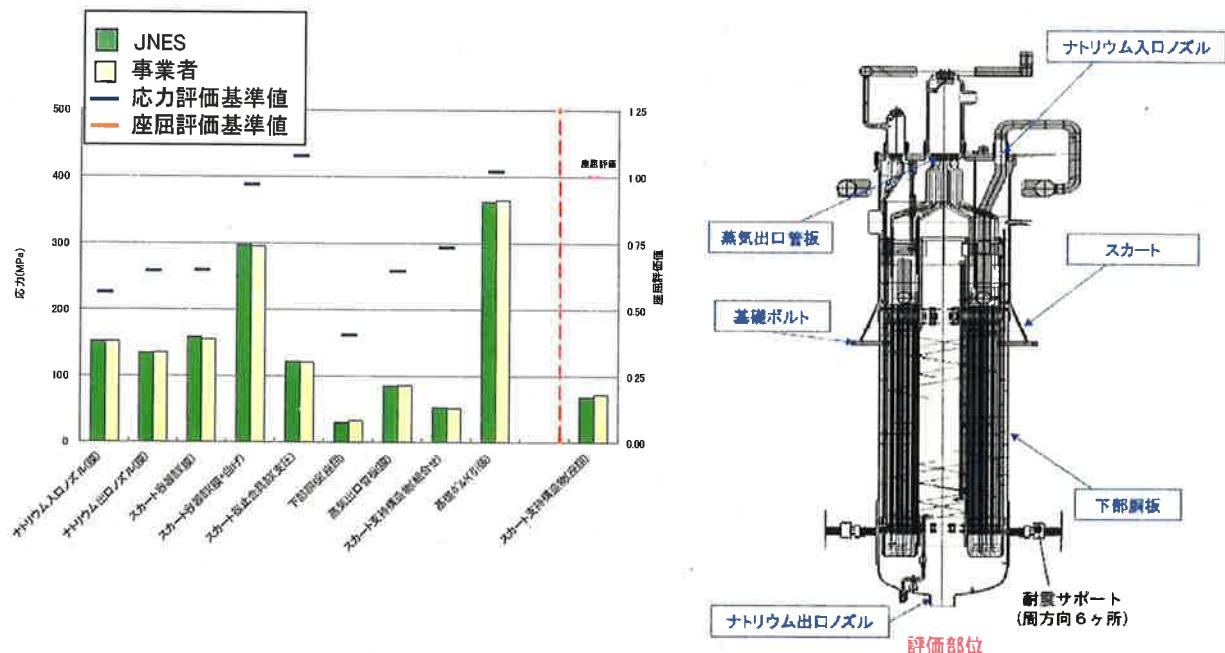


図3.1.1-9 蒸発器評価結果(Ss-D)

### (ii) 断層波に対する評価

蒸発器の断層波(Ss-1～9(包絡))に対する解析結果を図3.1.1-10に示す。事業者とJNESの解析結果はほぼ同等であり、蒸発器の発生応力は評価基準値を下回った。

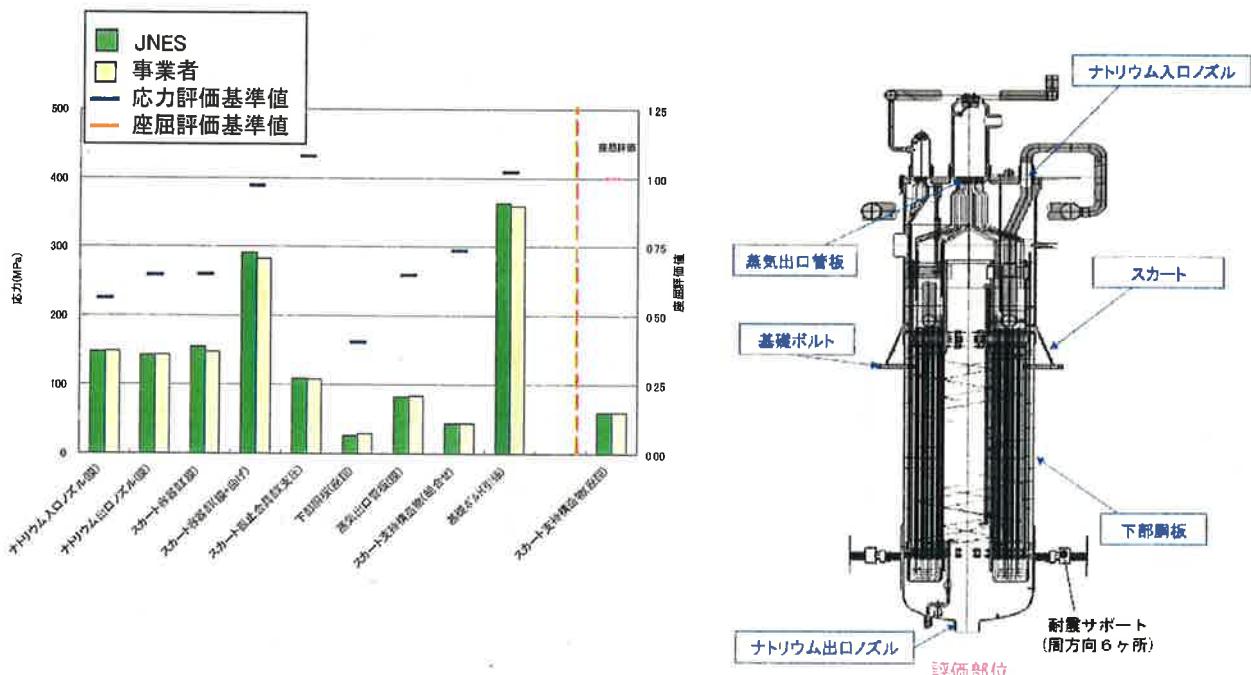
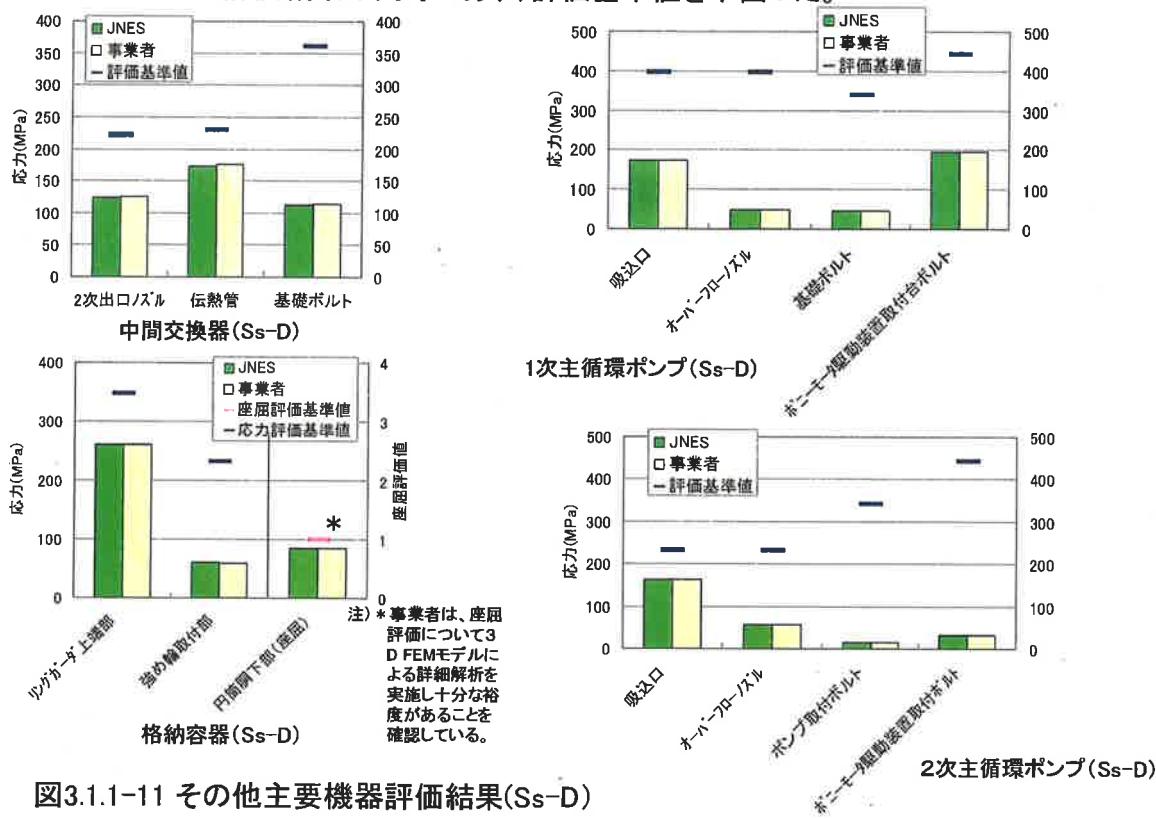


図3.1.1-10 蒸発器評価結果(断層波)

## (2)簡易評価

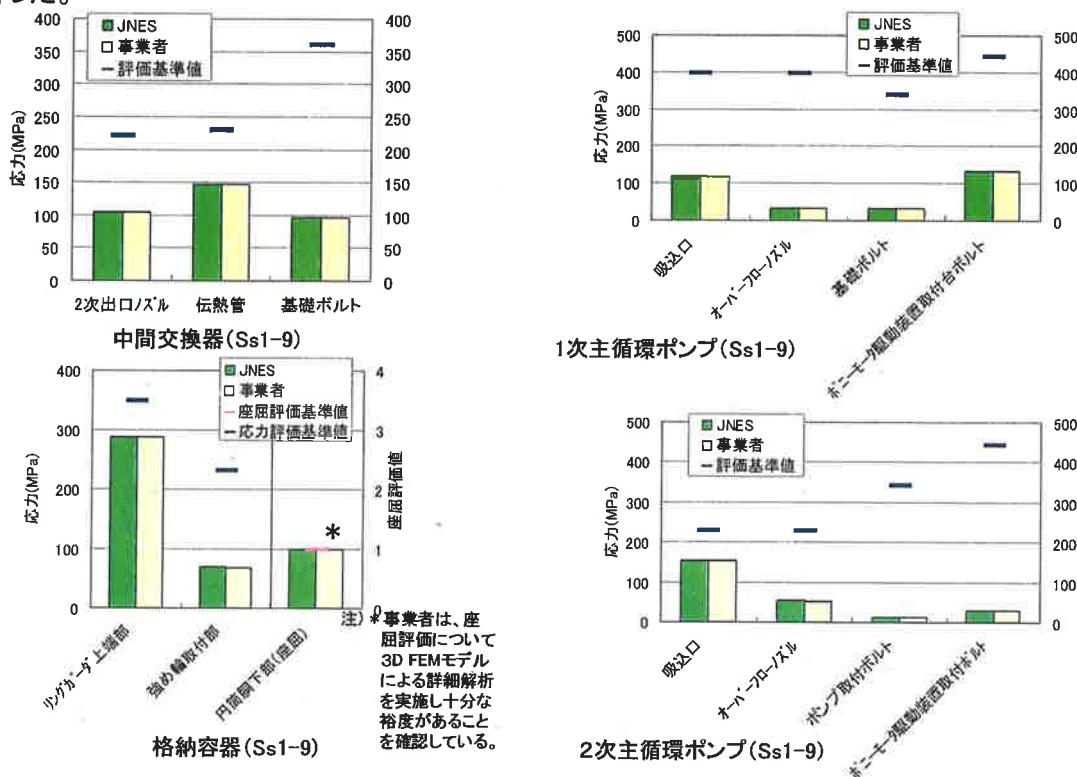
### ① Ss-D波に対する評価

中間熱交換器、1次主循環ポンプ、2次主循環ポンプ及び格納容器について、Ss-Dに対する応答倍率法(格納容器座屈評価はJEAG座屈評価式を適用)を用いた評価結果を図3.1.1-11に示す。事業者とJNESの評価結果は同等であり、評価基準値を下回った。



### ②断層波に対する評価

同じく、断層波(Ss-1～9(包絡))に対する応答倍率法(格納容器座屈評価はJEAG座屈評価式を適用)を用いた評価結果を図3.1.1-12に示す。事業者とJNESの評価結果は同等であり、評価基準値を下回った。



### (3) 事業者条件による解析のまとめ(機器)

主要機器について、事業者と同条件を用い基準地震動( $S_{s-D}$ 及び $S_{s1} \sim 9$ )に対する評価を実施した。評価結果を以下に示す。

#### ● 詳細評価

- 原子炉構造、制御棒挿入性、補助冷却設備空気冷却器及び蒸発器について詳細解析を実施した。
- 事業者とJNESの解析結果は同等となり、評価基準値を下回った。

#### ● 簡易評価

- 中間熱交換器、1次主循環ポンプ、2次主循環ポンプ及び格納容器について簡易評価(応答倍率法による評価)を実施した。
- 事業者とJNESの評価結果は同等となり、評価基準値を下回った。

## V-3.1.2 JNES条件による解析

### V-3.1.2.1 JNES条件

#### (1) 解析対象機器

解析対象は、原子炉建物内及び原子炉補助建物内の代表機器として以下とする。

- ・原子炉構造
- ・補助冷却設備空気冷却器

#### (2) 入力条件

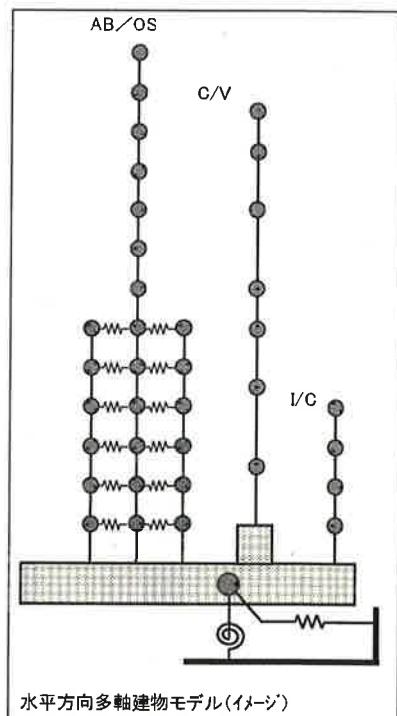
##### ① 床応答スペクトル(FRS)

- ・解析に用いるFRSは、右図に示す床柔軟性を考慮した多軸の建物モデルから得られたものである。(建物減衰定数3%)
- ・機器の設置床を包絡したFRSを用いる。

##### ② FRSの拡幅

- ・周期軸方向に10%拡幅して用いる。

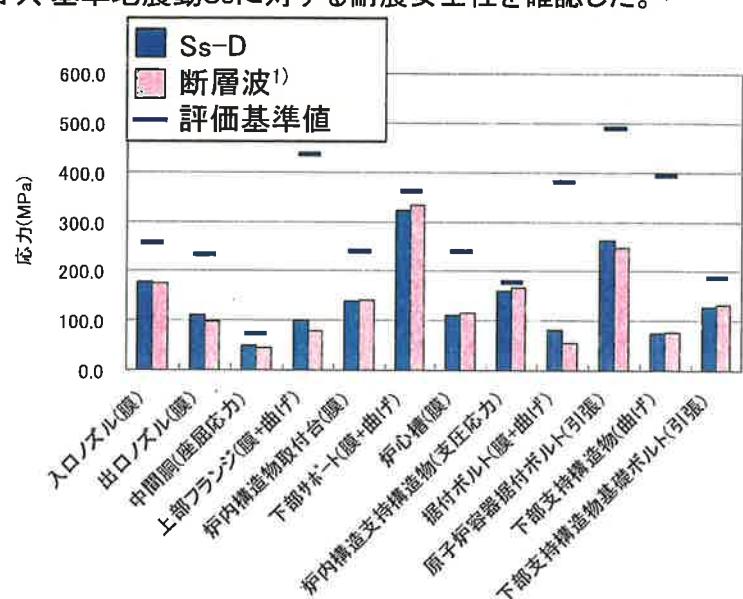
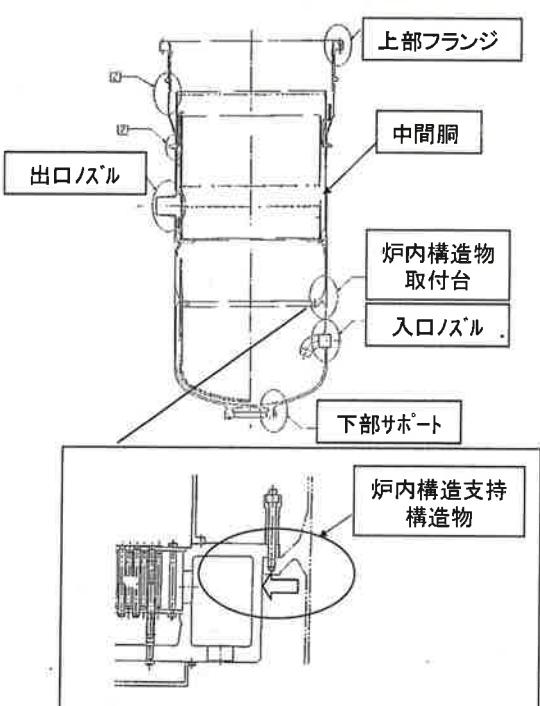
なお、JNES条件による解析に用いた床応答加速度を付録1に示す。



## V-3.1.2.2 JNES条件による解析結果

### (1) 原子炉構造

床柔軟性等を考慮した床応答スペクトルを用いた解析結果を図3.1.2-1に示す。原子炉構造各部の発生応力は評価基準値を下回り、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。<sup>1)</sup>



注: 1) 断層波については、Ss1～9のうち、最も厳しいSs4、Ss5(包絡)を使用

原子炉構造主要部応力評価

図3.1.2-1 原子炉構造評価結果

## (2)補助冷却設備空気冷却器

床柔性等を考慮した床応答スペクトルを用いた解析結果を図3.1.2-2に示す。補助冷却設備空気冷却器各部の発生応力は評価基準値を下回り、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。

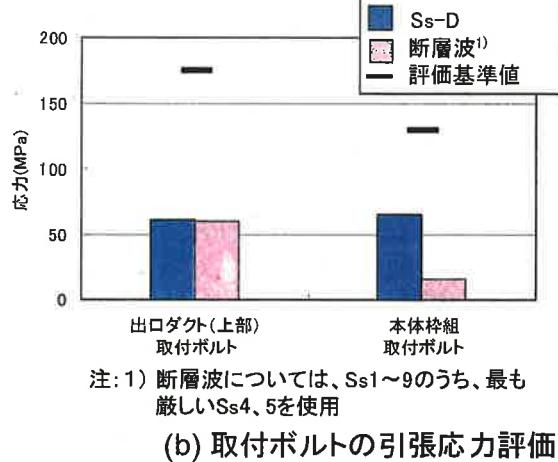
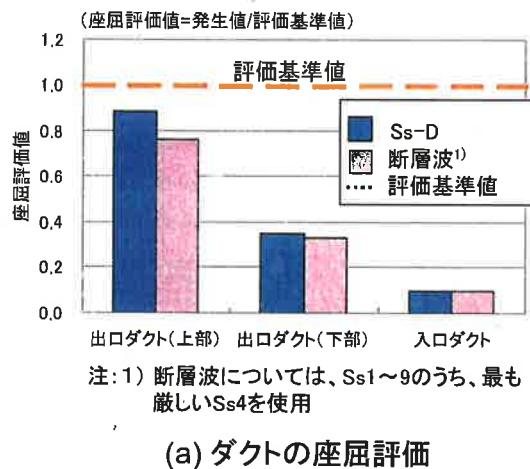
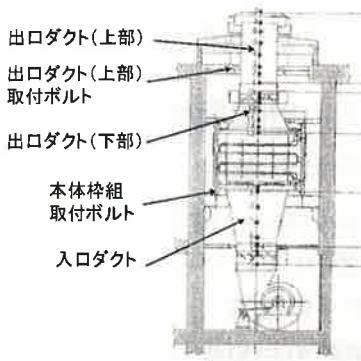


図3.1.2-2補助冷却設備空気冷却器評価結果

## (3) JNES条件による解析のまとめ（機器）

- 原子炉建物内及び原子炉補助建物内の代表機器として、原子炉構造及び補助冷却設備空気冷却器を対象に建物床柔性の影響を評価した。
- 評価の結果、建物床柔性等を考慮した入力条件を用いた解析では、原子炉構造及び補助冷却設備空気冷却器の発生応力は評価基準値を下回り、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。

## V-3.2 配管系

### V-3.2.1 事業者条件による解析

#### (1) 詳細評価

##### ① 1次主冷却系配管(ホットレグ)

基準地震動Ss-D、断層波(Ss-1～9)に対する1次主冷却系配管(ホットレグ)の配管応力及びスナッパ荷重の解析結果を図3.2.1-1に示す。

事業者の配管応力及びスナッパ荷重は、JNESの結果と同等であり、いずれも評価基準値を下回った。

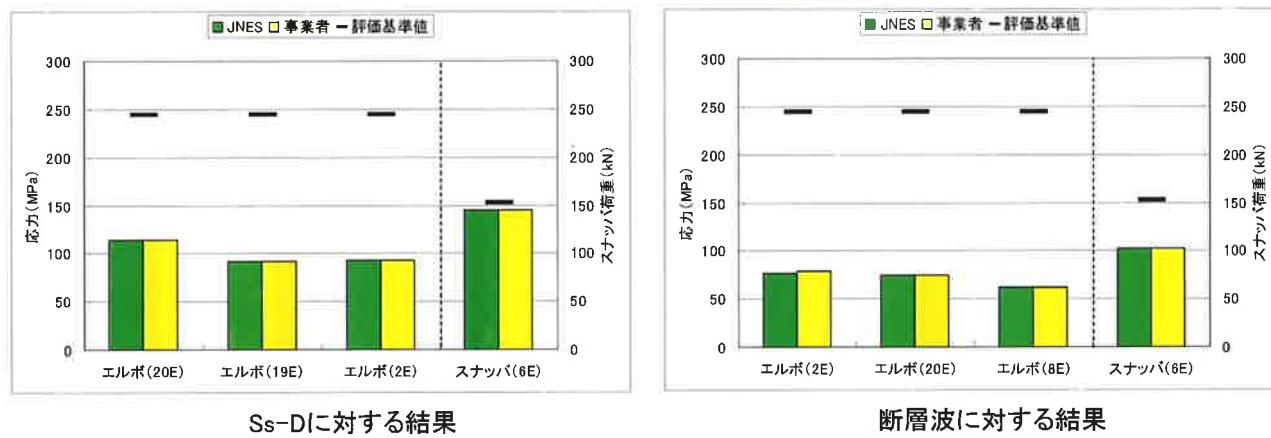
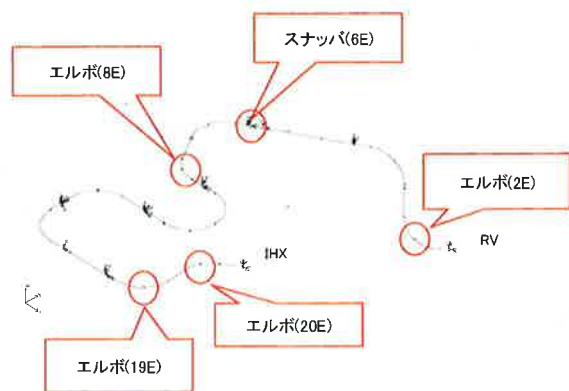


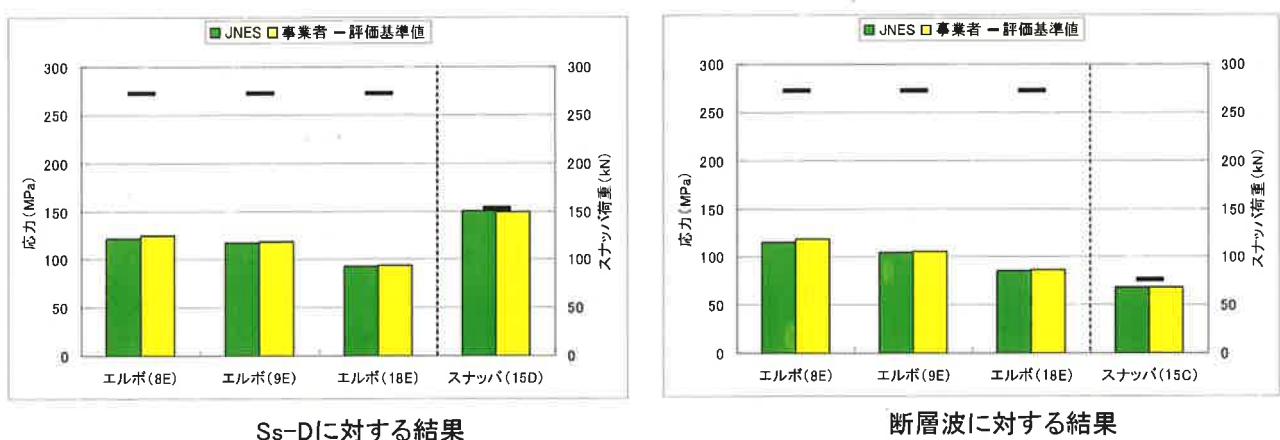
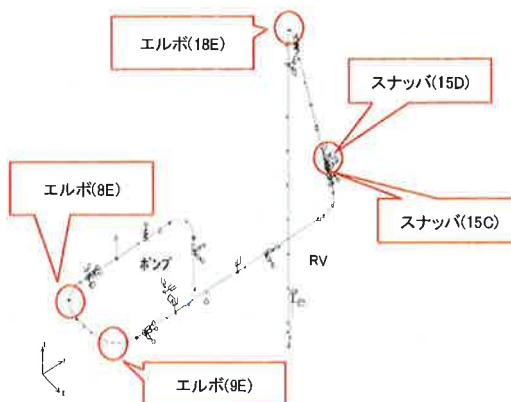
図3.2.1-1 1次主冷却系配管(ホットレグ)評価結果

事業者は、Ss-1～9を包絡。JNESは、配管系に厳しい代表Ss-4、5を包絡。

##### ② 1次主冷却系配管(コールドレグ)

基準地震動Ss-D、断層波(Ss-1～9)に対する1次主冷却系配管(コールドレグ)の配管応力及びスナッパ荷重の解析結果を図3.2.1-2に示す。

事業者の配管応力及びスナッパ荷重は、JNESの結果と同等であり、いずれも評価基準値を下回った。



事業者は、Ss-1～9を包絡。JNESは、配管系に厳しい代表Ss-4、5を包絡。

図3.2.1-2 1次主冷却系配管(コールドレグ)評価結果

### ③ 2次主冷却系配管(ホットレグ、A系)

基準地震動Ss-Dと配管系に厳しいSs-5に対する2次主冷却系配管(ホットレグ)の配管応力の解析結果を図3.2.1-3に示す。

事業者の発生応力は、JNESの結果と同等であり、評価基準値を下回った。

なお、Ss-Dにおいて、事業者はティー(21T)に対し、独立3次元シェルFEMモデルを用い評価している。JNESもティー(21T)について、事業者と同じ評価手法を用いて評価した。

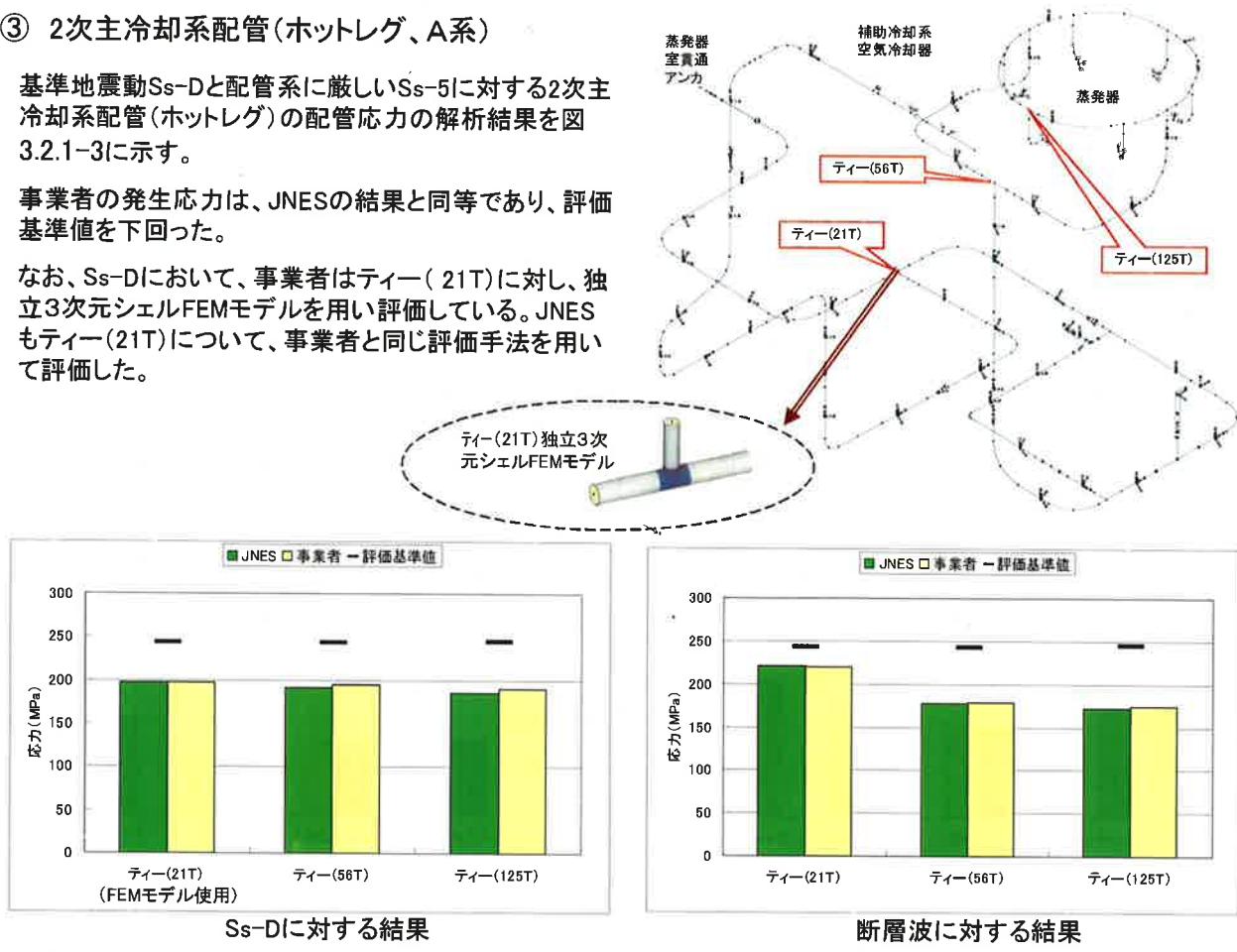


図3.2.1-3 2次主冷却系配管(ホットレグ、A系) 評価結果

### ④ 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)

基準地震動Ss-D及び配管系に厳しいSs-5に対する2次主冷却系配管(コールドレグ)の配管応力の解析結果を図3.2.1-4に示す。

事業者の発生応力は、JNESの結果と同等であり、評価基準値を下回った。

なお、Ss-Dにおいて、事業者はティー(127T、423T)に対し、独立3次元シェルFEMモデルを用い評価している。JNESもティー(127T、423T)について、事業者と同じ条件及び同じ評価手法を用いて評価した。

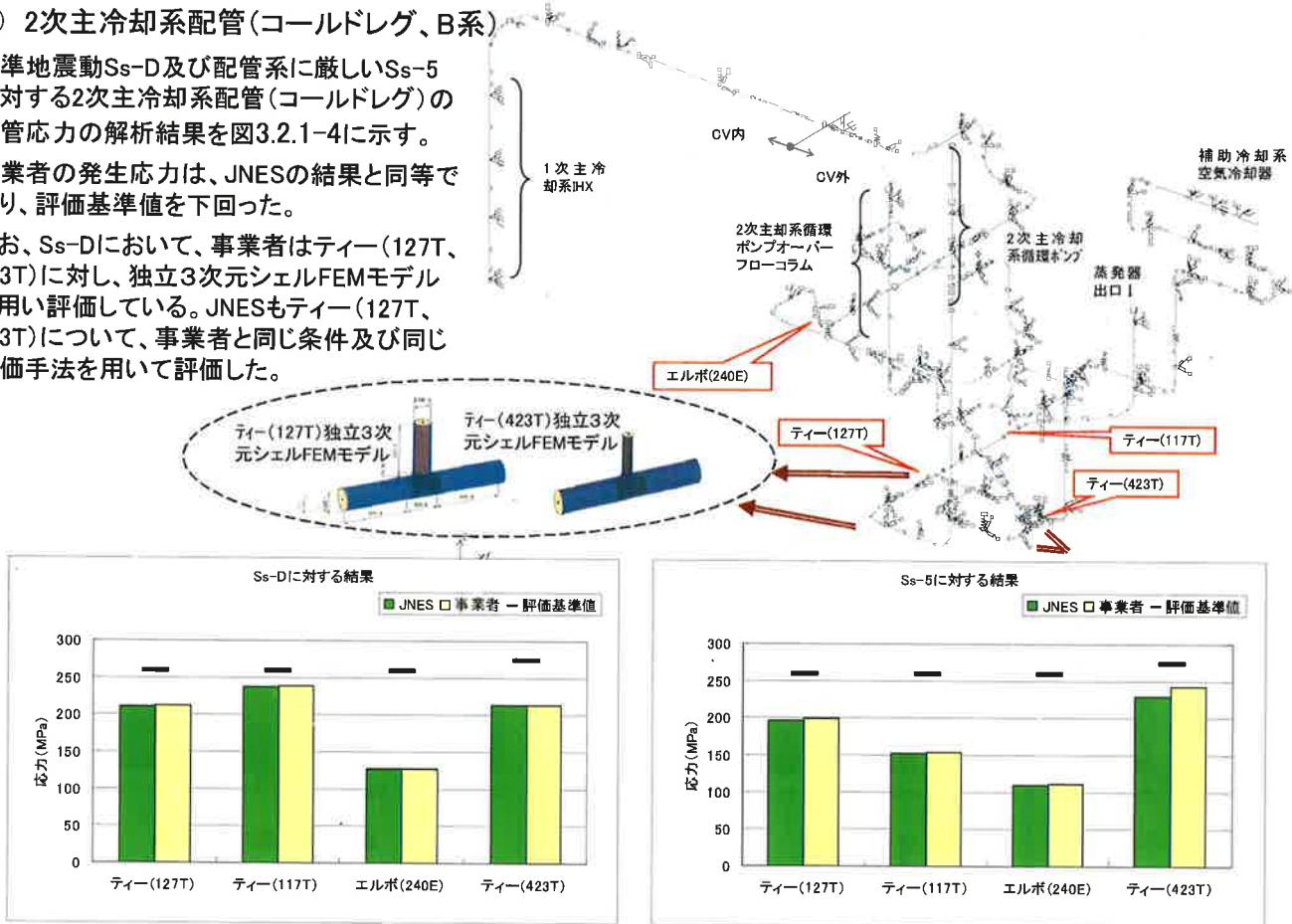


図3.2.1-4 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系) 評価結果

## (2) 簡易評価

2次主冷却系配管及び補助冷却系配管を対象に、応答倍率法(簡易法)を適用した配管の発生応力を図3.2.1-5に示す。事業者の発生応力は、JNESの結果と同等であり、評価基準値を下回った。

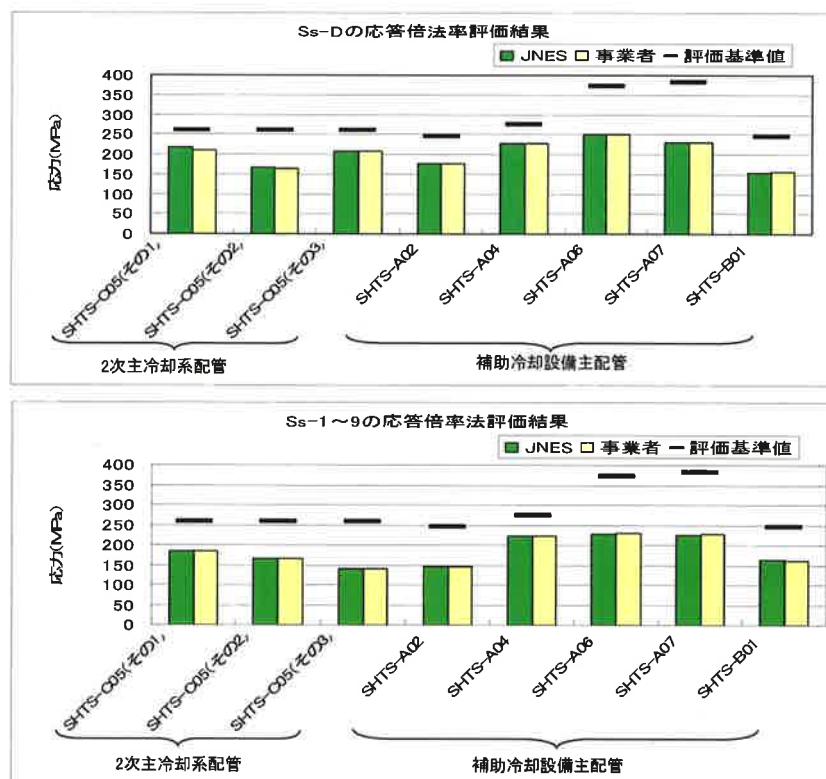


図3.2.1-5 2次主冷却系配管及び補助冷却系配管評価結果

## (3) 事業者条件による解析のまとめ(配管)

主要配管系について、事業者と同条件を用い基準地震動(Ss-D及びSs1~9)に対する評価を実施した。評価結果を以下に示す。

### ● 詳細評価

- 1次主冷却系配管の「ホットレグ」、「コールドレグ」は、「Ss-D」及び「Ss-1~9」共に、事業者の発生応力は、JNESの結果と同等であり、評価基準値を下回った。
- 2次主冷却系配管の「ホットレグ、A系」、「コールドレグ、B系」は、「Ss-D」及び「Ss-5」共に、事業者の発生応力はJNESの結果と同等であり、評価基準値を下回った。

### ● 簡易評価

- 2次主冷却配管及び補助冷却系配管について、簡易評価(応答倍率法による評価)を実施実施した。  
事業者の発生応力はJNESの結果と同等であり、評価基準値を下回った。

## V-3.2.2 JNES条件による解析

### V-3.2.2.1 JNES条件

#### (1) 解析対象配管系

解析対象は、原子炉建物内及び原子炉補助建物内の代表配管として以下とする。

- ・1次主冷却系配管(ホットレグ)
- ・2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)

#### (2) 入力条件

##### ① 床応答スペクトル(FRS)

- ・解析に用いるFRSは、右図に示す床柔軟性を考慮した多軸の建物モデルから得られたものである。(建物減衰定数は3%)
- ・配管系は、引き回される床の包絡FRSを用いる。

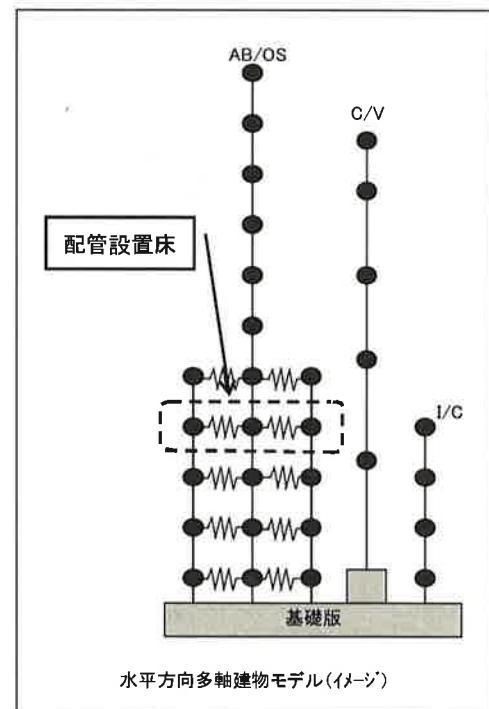
##### ② FRSの拡幅

- ・周期軸方向に10%拡幅して用いる。

なお、JNES条件による解析に用いた床応答加速度を付録1に示す。

#### (3) 解析の方法

応力係数は、平成16年7月「ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術基準」を適用する。

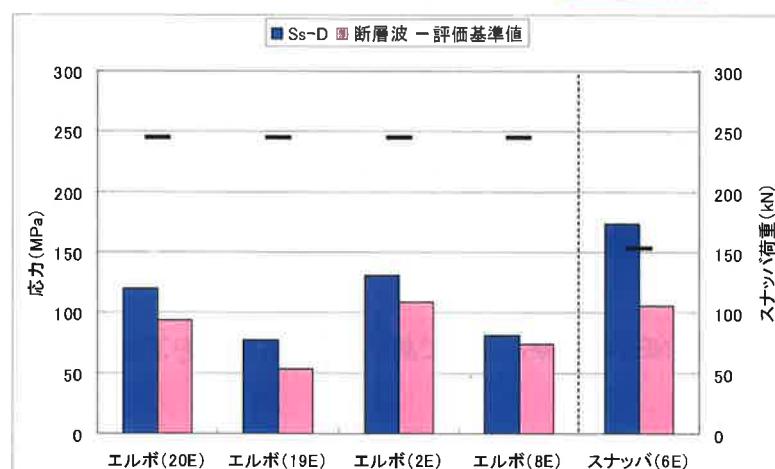
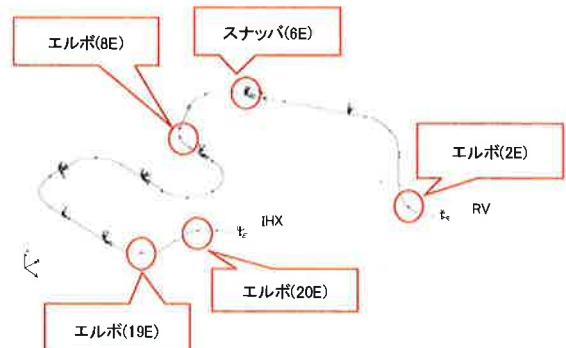


## V-3.2.2.2 JNES条件による解析の結果

### (1) 1次主冷却系配管(ホットレグ)

基準地震動Ss-D及び配管系に厳しいSs-4.5包絡の1次主冷却系配管(ホットレグ)の配管応力及びスナッパ荷重の解析結果を図3.2.2-1に示す。

配管本体の発生応力は評価基準値を下回ったが、Ss-Dにおけるスナッパ(6E)は評価基準値を上回った。



Ss-D及び断層波(Ss-4, 5包絡)に対する結果  
図3.2.2-1 1次主冷却系配管(ホットレグ) 評価結果

## (2) 1次主冷却系配管(ホットレグ)の追加検討

平成21年11月30日構造Bサブグループ資料「構造B16-2」において事業者は1次主冷却系配管(ホットレグ)の配管応力の解析を配管系の減衰定数2.0%で実施し報告していたが、3月8日第47回構造WG「参考資料2」において事業者は解析条件を見直し、同配管のスナッパ荷重の解析を減衰定数3.0%で実施し報告した。

事業者の解析条件見直しを受けた基準地震動Ss-Dの同配管のスナッパ荷重のクロスチェック解析結果を図3.2.2-2に示す。

事業者の減衰定数3.0%のスナッパ荷重は、JNESの結果と同等であり、解析条件見直しにより、スナッパ(6E)が評価基準値(153kN)を下回った。

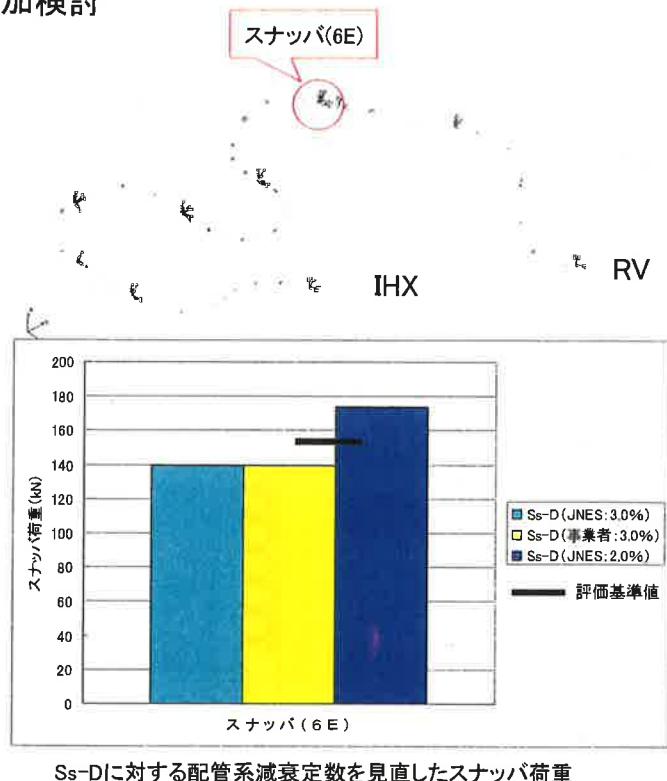


図3.2.2-2 1次主冷却系配管(ホットレグ)のスナッパの評価結果

## (3) 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)

発生応力の余裕が少ないティー(127T, 423T)に着目し、より合理的な解析を行った。

### a. ティー部FEM組込モデル

#### ① 配管系モデル

自立剛支持の機器に接続する配管は、機器と配管モデルを分離して解析出来ることを考慮し、「縮小モデル」(右図)を作成した。

その結果、原子炉補助建物(A/B)のみの地震力条件とした。

#### ② ティー部の詳細モデル

配管系の中で発生応力が厳しいティー(127T, 423T)に3次元FEMモデルを組込んだ。

#### ③ 解析に用いた床応答スペクトルを図3.2.2-4に示す。

#### ④ 解析結果

Ss-Dに対する発生応力(図3.2.2-3)は、評価基準値を下回った。

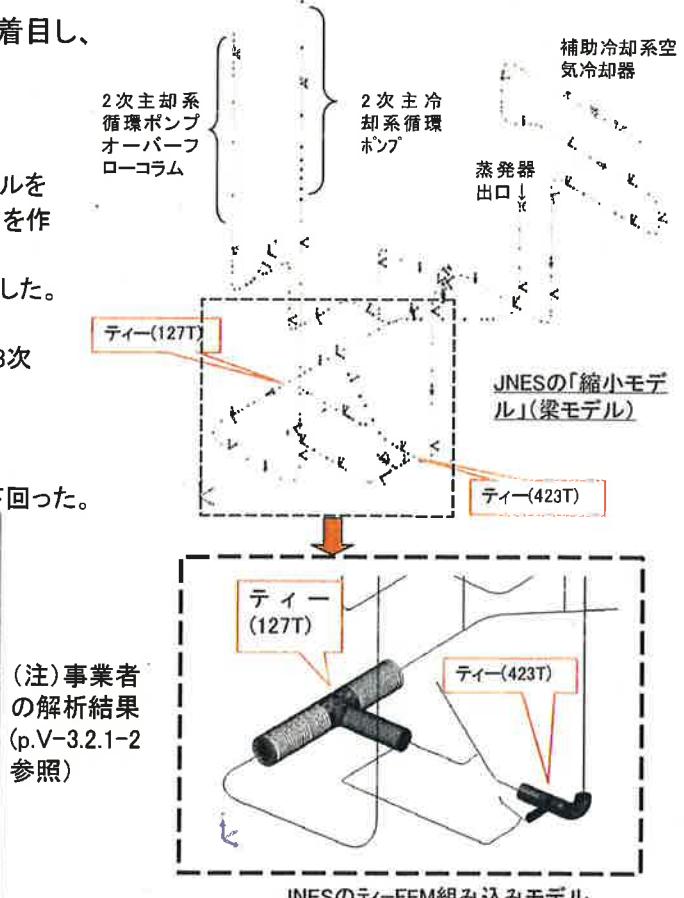
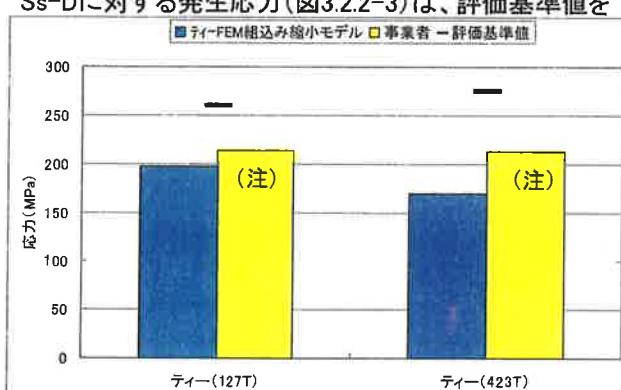


図3.2.2-3 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系) 評価結果(ティー部FEM組込縮小モデル)

○床応答スペクトル：床柔軟性を考慮した建屋モデルから得られた床応答加速度

2次冷却系配管(コールドレグ、B系)「縮小モデル」のFRS

○減衰定数 : 3%

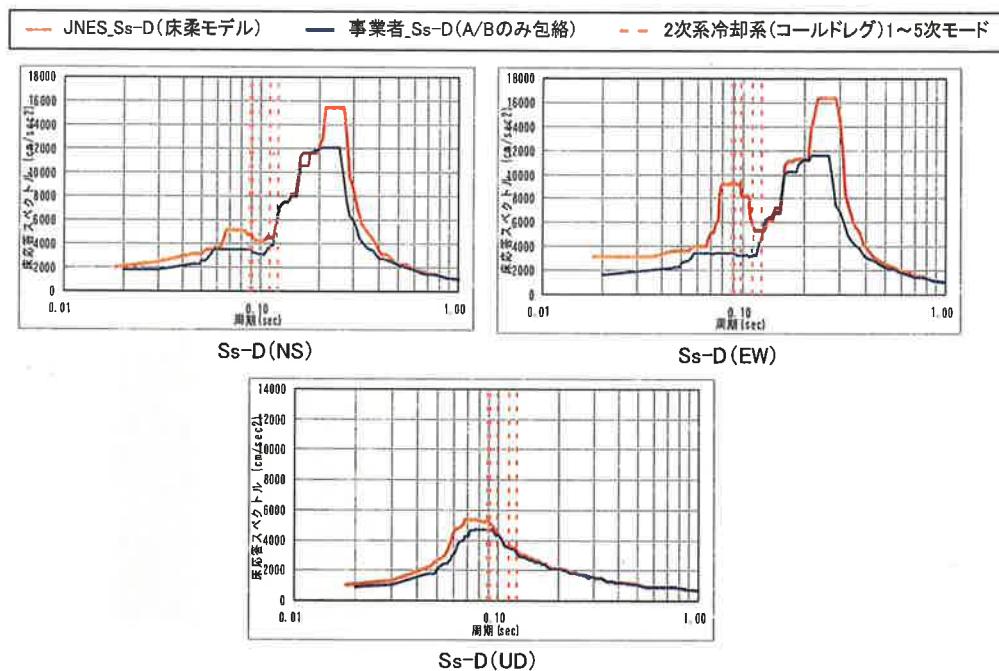


図3.2.2-4 解析に用いた床応答スペクトル

## b. 時刻歴応答解析

### ① 配管系モデル

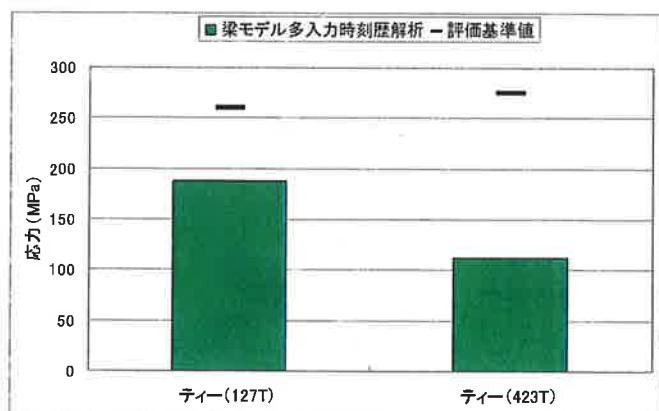
「縮小モデル」(aと同じ範囲の梁モデル)(右図)を用いた。

### ② 解析方法

それぞれのサポートにサポート取り付け部に応じた建屋の時刻歴波を入力する多入力時刻歴解析を行った。

### ③ 解析結果

Ss-Dに対する発生応力(図3.2.2-5)は、評価基準値を下回った。



「縮小モデル」(梁モデル)における時刻歴解析の結果

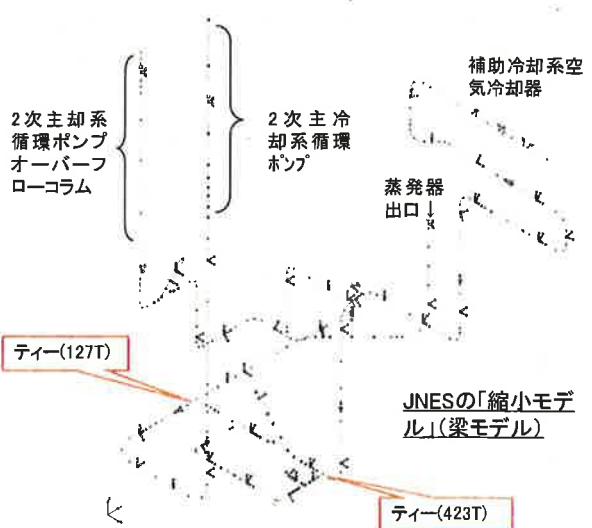


図3.2.2.2-5 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)評価結果(時刻歴応答解析)

#### (4) JNES条件による解析のまとめ(配管)

クロスチェック評価として「事業者条件による解析」対象に選定した配管系の中から

- 1次主冷却系配管「ホットレグ」
- 2次主冷却系配管「コールドレグ、B系」

を対象に解析を行なった。

- ① 1次主冷却系配管「ホットレグ」は、配管本体の発生応力は評価基準値を下回ったが、Ss-Dにおけるスナッバ(6E)は評価基準値を上回った。その後、事業者はスナッバ評価解析において解析条件である配管の減衰定数を2.0%から3.0%に見直した。事業者の減衰定数3.0%のスナッバ荷重は、JNESのクロスチェック解析結果と同等であり、解析条件見直しにより、スナッバ(6E)が評価基準値を下回った。
- ② 2次主冷却系配管「コールドレグ、B系」は、配管系モデルを縮小し、ティー(127T、423T)に3次元FEMモデルを組み込んだ部分詳細モデルを用いた解析を実施した結果、評価基準値を下回り、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。  
更に、時刻歴応答解析を実施し余裕のある結果となつた。

## V-4. 機器・配管系のまとめ

### (1)事業者条件による解析

- 事業者条件による解析は、事業者から耐震・構造小委員会構造ワーキングへ報告された主要設備のうちの代表的な機器・配管系を選定し、事業者と同じ条件による評価を実施した。
- 評価の結果、事業者とJNESの解析結果は同等となり、評価基準値を下回ることを確認した。

### (2)JNES条件による解析

- JNES条件による解析は、原子建物内及び原子炉補助建物内の代表設備として、原子炉構造、補助冷却設備空気冷却器、1次主冷却系配管(ホットレグ)及び2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)を対象に建物床柔性等の影響を評価した。
- 原子炉構造及び補助冷却設備空気冷却器の発生応力は評価基準値を下回り、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。
- 1次主冷却系配管(ホットレグ)の発生応力は評価基準値を下回ったが、Ss-Dにおけるスナッバ(6E)は評価基準値を上回った。その後、事業者はスナッバ評価解析において解析条件である配管の減衰定数を2.0%から3.0%に見直した。事業者の減衰定数3.0%のスナッバ荷重は、JNESのクロスチェック解析結果と同等であり、解析条件見直しにより、スナッバ(6E)が評価基準値を下回った。
- 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)の発生応力は評価基準値を下回り、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。

以上より、高速増殖原型炉もんじゅの主要な機器・配管系について、基準地震動Ssに対する耐震安全性を確認した。

## 【参考】地震観測記録と建物シミュレーション解析結果の差異を考慮した機器配管系設備の耐震余裕の評価

### (1) 背景

- ・建物の地震観測記録シミュレーション解析では、原子炉補助建物において、周期0.1秒付近で解析結果が観測記録より小さい部分あることが報告されている。(構造B17-4／平成21年12月8日)
- ・基準地震動Ss相当の地震が発生した場合、観測値が建物地震応答解析モデルの解析結果を周期0.1秒付近で上回る可能性が考えられる。

### (2) 検討概要

- ・原子炉補助建物内に設置される主要な機器配管系設備に対し、地震観測記録とシミュレーション解析結果の差異を考慮した耐震余裕について検討を行う。

### (3) 検討の前提条件

#### ・建物の線形・非線形

- 観測記録のような微小地震と基準地震動Ssでは建物の線形・非線形による差異が生じることが考えられる。
- 建物の線形モデルと非線形モデルによる応答比較から、線形と非線形で周期0.1秒付近のFRSの差異は小さく、微小地震における地震記録とシミュレーション解析結果の周期0.1秒付近の応答スペクトル比は、基準地震動Ssにおける応答スペクトル比と同等とみなす。  
(付録-2参照)

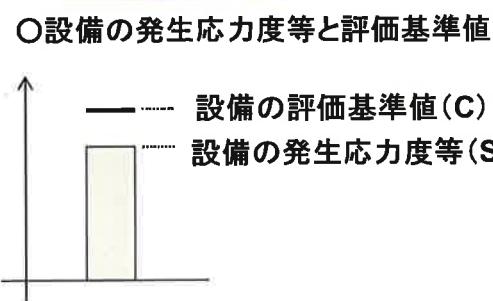
#### ・地震計位置と設備位置との差異

- 地震計位置と機器・配管系設備の実際の位置とは異なるが、原子炉補助建物内の機器・配管の評価は、地震計No.7の波形を代表として用いる。

### (4) 検討方法

機器配管系設備について下式を満足するか検討する。

$$\text{耐震余裕}(C/S) \geq \text{主要固有周期での応答スペクトル比} (FRS_{(obs.)}/FRS_{(cal.)})$$



	機器	配管
評価対象設備	空気冷却器 蒸発器	2次主冷却系配管／コールドレグ(B系)
評価用固有周期	空気冷却器(出口ダクト) 水平1次:0.042秒 鉛直1次:0.027秒 蒸発器 水平1次:0.078秒 鉛直1次:0.051秒	主要固有周期(0.07~0.2秒)のうち、応答スペクトル比が最も大きいもの(ただし、評価対象部位の発生応力に影響しない振動モードを除く)

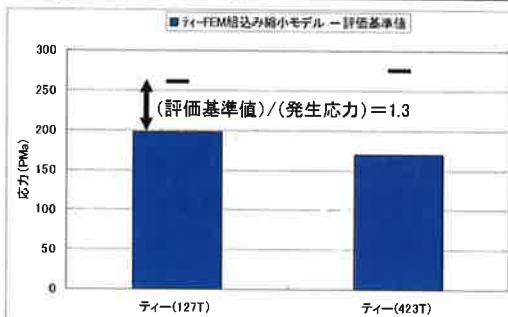
## (5) 検討結果

### 機器

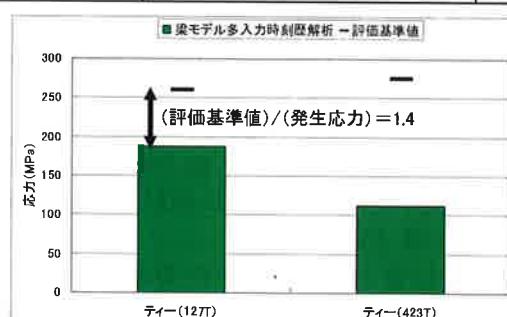
機器	評価部位	JNES条件による解析における耐震余裕(C/S)	FRS(obs.)／FRS(cal.)	評価
空気冷却器	出口ダクト上部 (座屈)	1.1		
蒸発器	基礎ボルト (引張応力)	1.1	解析結果が観測記録値を上回る(1.0以下)	OK

### 配管

配管	評価部位	JNES条件による解析における耐震余裕(C/S)		FRS(obs.)／FRS(cal.)	評価
2次主冷却系配管／ コールドレグ (B系)	ティー <sup>（127T）</sup>	FEM組込モデル	1.3	1.3	OK
		時刻歴応答解析	1.4		



ティーFEM組込「縮小モデル」の結果



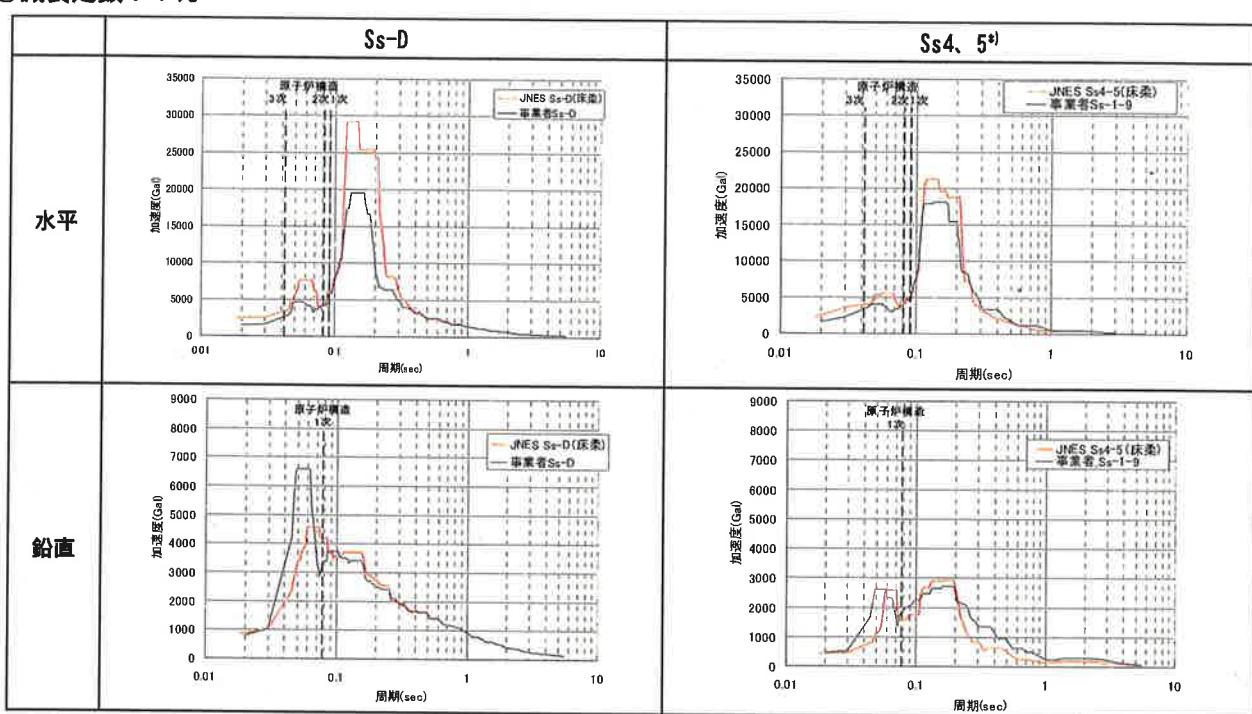
「縮小モデル」(染モデル)における時刻歴解析の結果

# 付 錄

## 付録-1 地震応答解析用床応答スペクトル

### (1) 原子炉構造用 (JNES条件による解析)

- 床応答スペクトル：床柔軟性を考慮した原子炉建物モデルから得られた床応答加速度
  - ・水平方向／基礎版、原子炉容器設置位置、ガードベッセル設置位置包絡
  - ・鉛直方向／原子炉容器設置位置
- 減衰定数：1%



注\*) 断層波については、影響が大きいSs-4及びSs-5の包絡波を使用

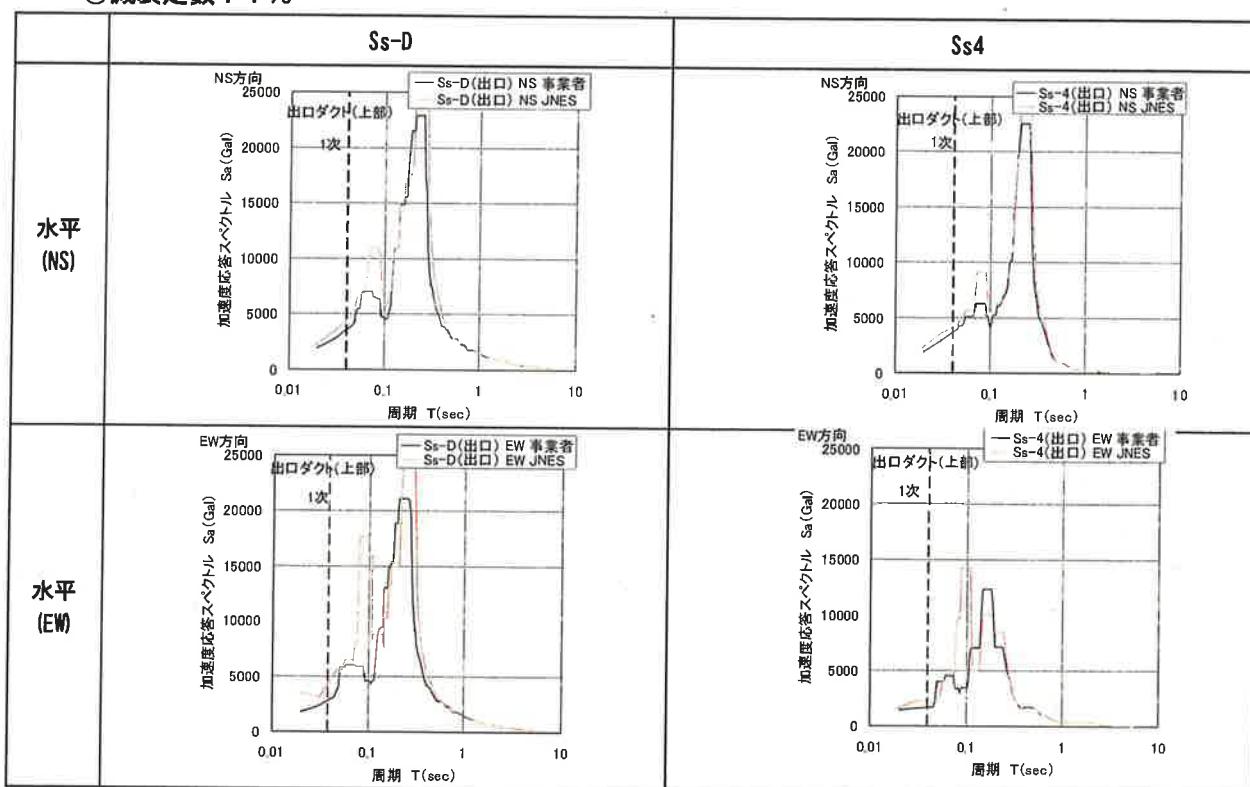
## (2) 空気冷却器（出口ダクト（上部））用（JNES条件による解析）(1/2)

○床応答スペクトル：床柔軟性を考慮した原子炉補助建物モデルから得られた床応答加速度

- ・水平方向／原子炉補助建物のEL56.5m位置

- ・鉛直方向／原子炉補助建物のEL56.5m位置

○減衰定数：1%



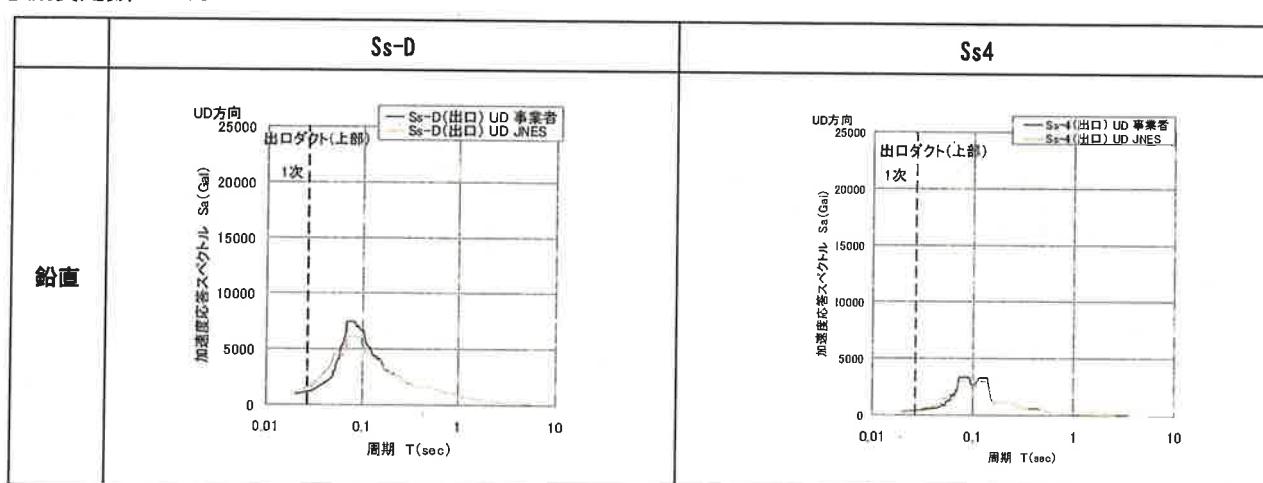
## (2) 空気冷却器（出口ダクト（上部））用（JNES条件による解析）(2/2)

○床応答スペクトル：床柔軟性を考慮した原子炉補助建物モデルから得られた床応答加速度

- ・水平方向／原子炉補助建物のEL56.5m位置

- ・鉛直方向／原子炉補助建物のEL56.5m位置

○減衰定数：1%

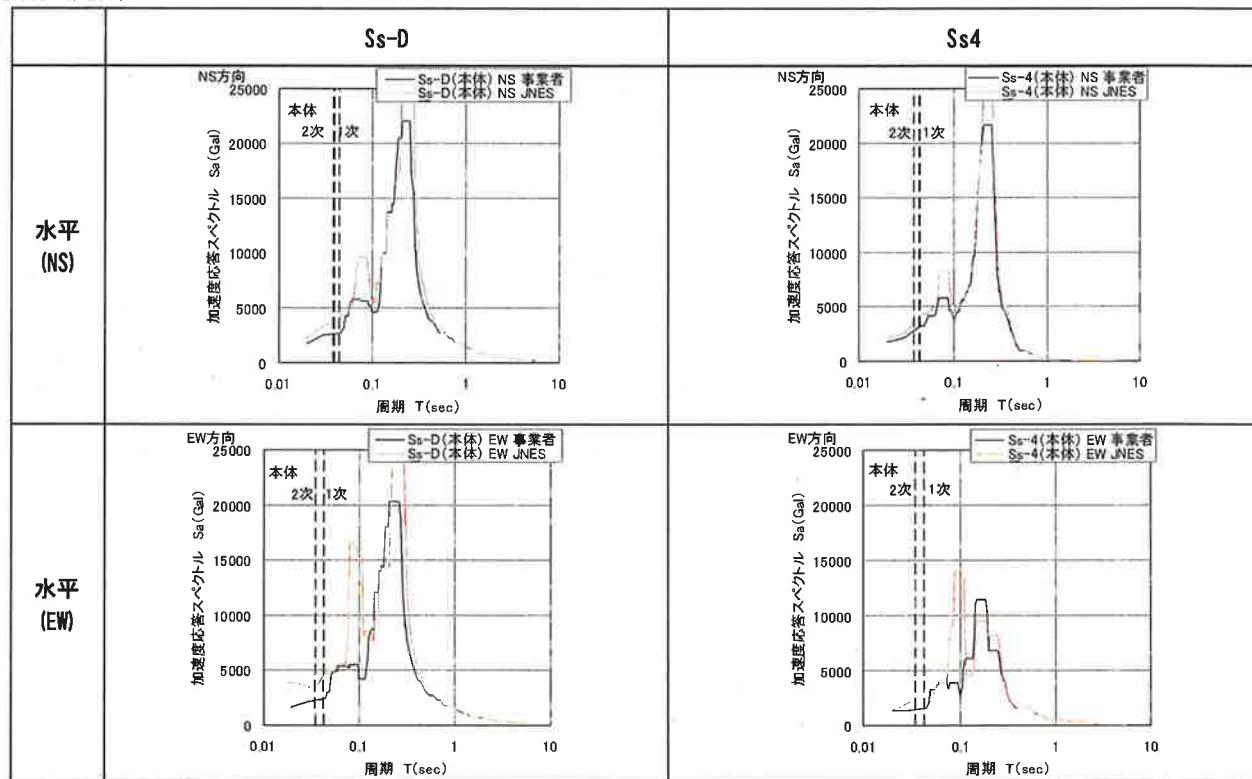


## (2) 空気冷却器（本体）用（JNES条件による解析）(1/2)

○床応答スペクトル：床柔軟性を考慮した原子炉補助建物モデルから得られた床応答加速度

- ・水平方向／原子炉補助建物のEL43.0m、EL46.5m、EL50.5m、EL52.4m位置包絡
- ・鉛直方向／原子炉補助建物のEL46.5m位置

○減衰定数：1%

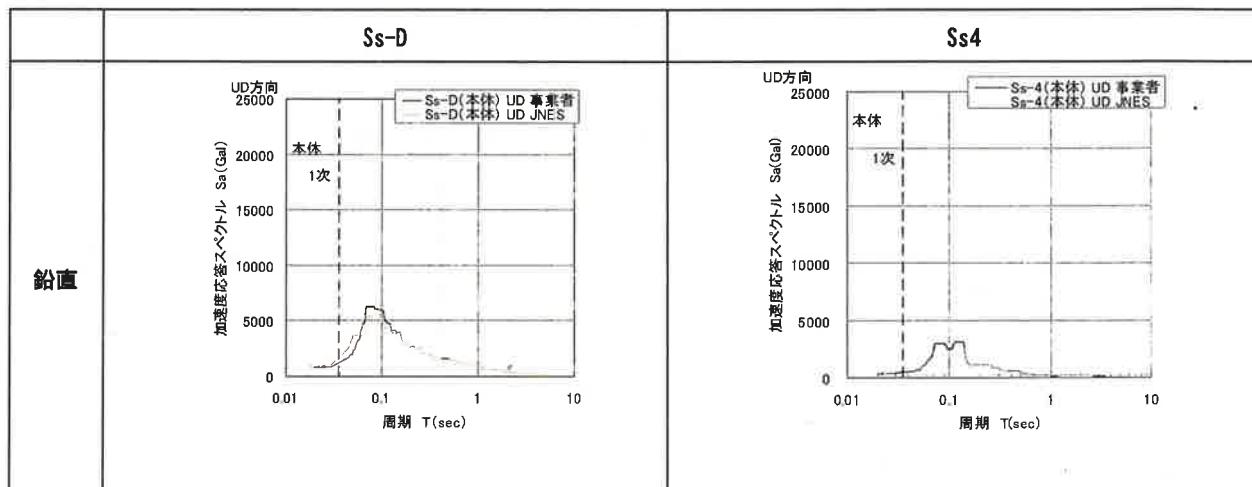


## (2) 空気冷却器（本体）用（JNES条件による解析）(2/2)

○床応答スペクトル：床柔軟性を考慮した原子炉補助建物モデルから得られた床応答加速度

- ・水平方向／原子炉補助建物のEL43.0m、EL46.5m、EL50.5m、EL52.4m位置包絡
- ・鉛直方向／原子炉補助建物のEL46.5m位置

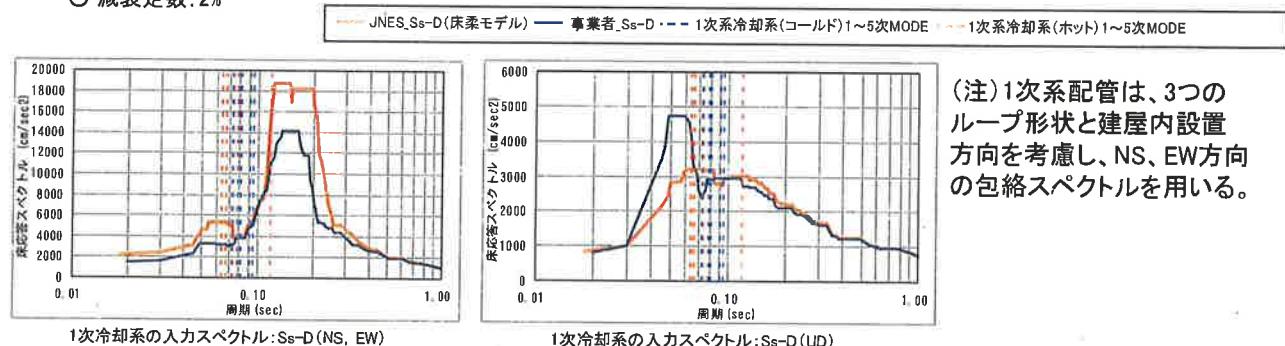
○減衰定数：1%



### (3) 配管用(1/2)(JNES条件による解析)

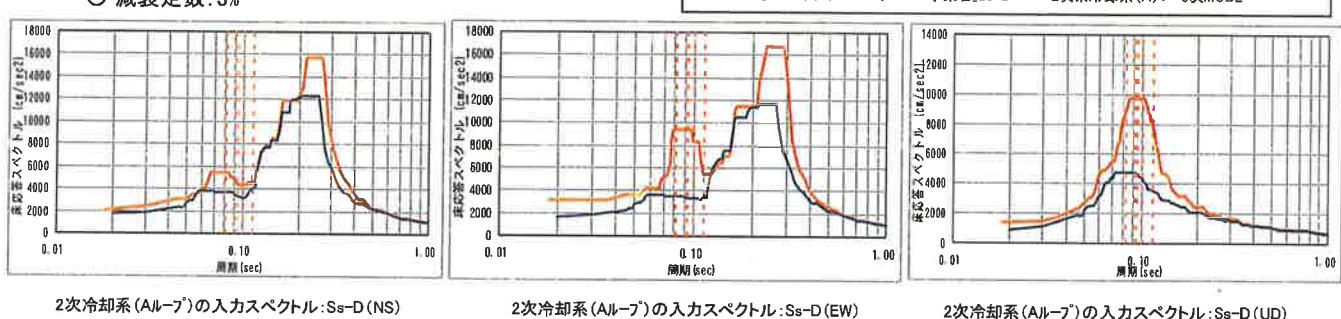
○ 1次冷却系配管の入力スペクトル:Ss-D

○ 減衰定数:2%



○ 2次冷却系配管(Aループ)の入力スペクトル:Ss-D

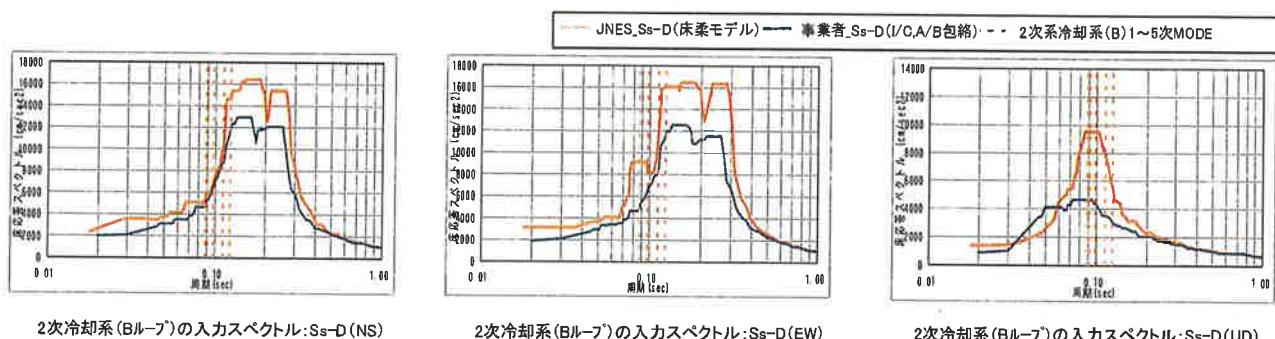
○ 減衰定数:3%



### (3) 配管用(2/2)(JNES条件による解析)

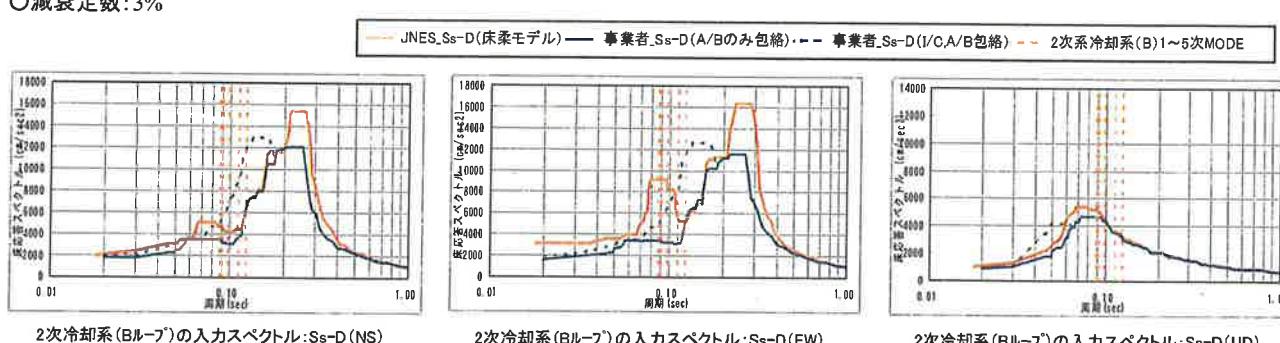
○ 2次冷却系配管(Bループ)の入力スペクトル:Ss-D\_I/C,A/Bすべて包絡

○ 減衰定数:3%



○ 2次冷却系配管(Bループ)の入力スペクトル: JNESは、JNES床柔モデルに基づきA/B内の配管設置部を包絡。事業者は、A/Bのみ包絡

○ 減衰定数:3%



## 付録-2 線形モデルと非線形モデルによる応答スペクトル比較

### ◆JNES床柔質点系モデル(基準地震動Ss-D)

#### ○ NS方向

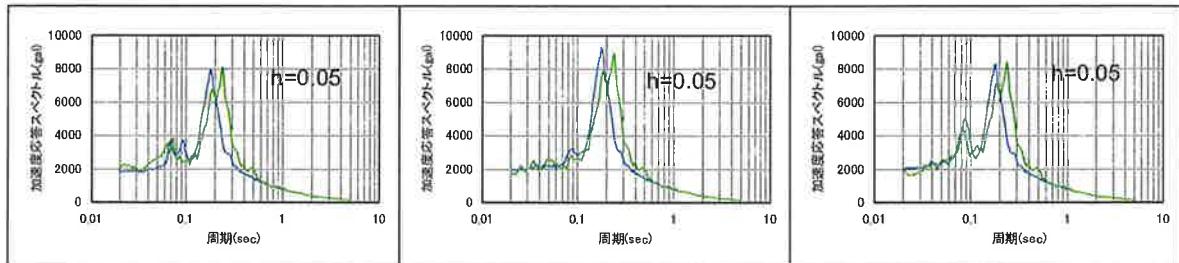
##### ■ 床応答スペクトル (EL.43m)

###### ●補助建物(西側)

###### ●外部遮蔽壁-補助建物

###### ●補助建物(東側)

線形  
非線形

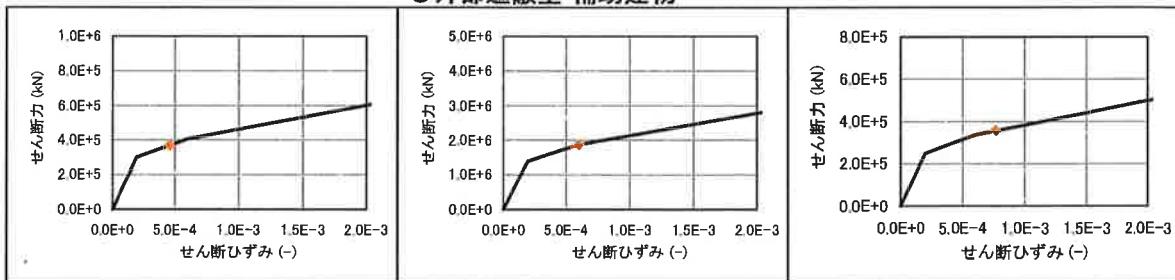


##### ■ 非線形解析における最大せん断ひずみ (EL.43m直下の耐震要素)

###### ●補助建物(西側)

###### ●外部遮蔽壁-補助建物

###### ●補助建物(東側)



FRSについて、建物の非線形化により建物一次周期とみられる周期0.2秒付近のピークは、長周期側に移動するが、機器配管系設備の主要固有周期帯である周期0.1秒付近のFRSは、建物の非線形化による影響はさほど大きくな。

#### ○ EW方向

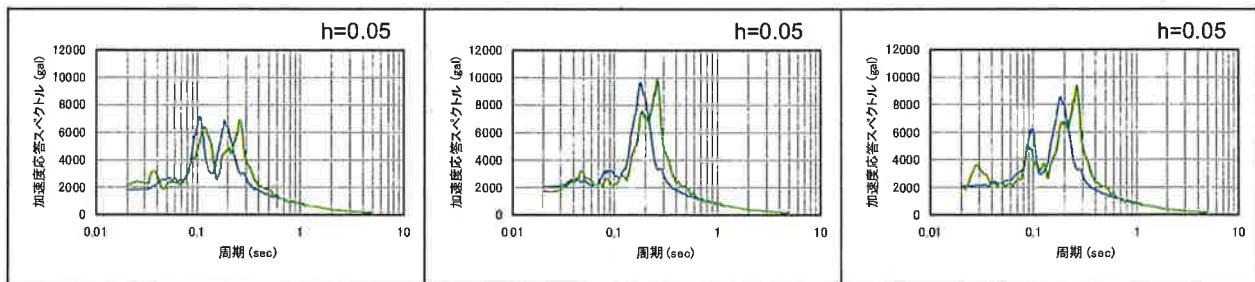
##### ■ 床応答スペクトル (EL.43m)

###### ●補助建物(北側)

###### ●外部遮蔽壁-補助建物

###### ●補助建物(南側)

線形  
非線形

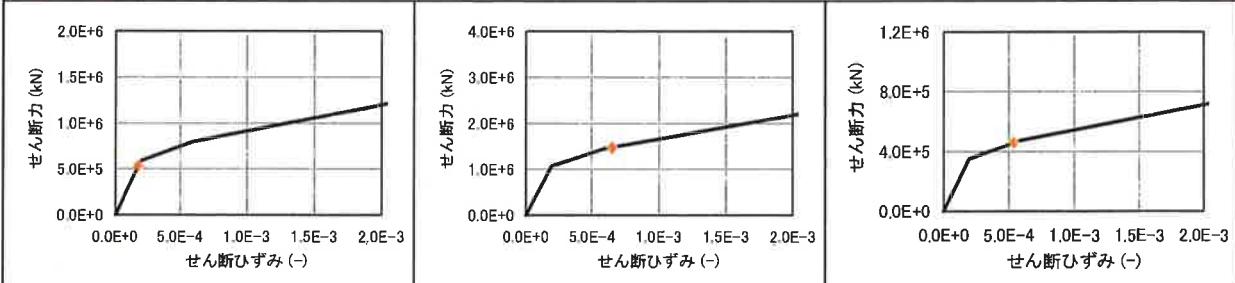


##### ■ 非線形解析における最大せん断ひずみ (EL.43m直下の耐震要素)

###### ●補助建物(北側)

###### ●外部遮蔽壁-補助建物

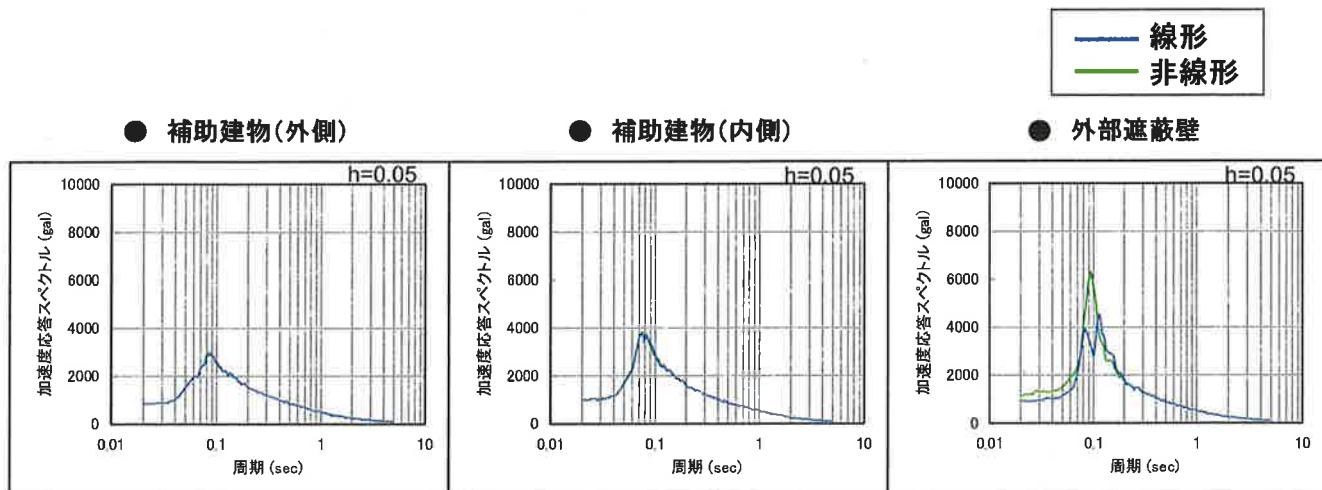
###### ●補助建物(南側)



NS方向と同様、建物の非線形化により建物一次周期とみられる周期0.2秒付近のピークは、長周期側に移動するが、機器配管系設備の主要固有周期帯である周期0.1秒付近のFRSは、建物の非線形化による影響はさほど大きくな。

○ 鉛直方向

■ 床応答スペクトル (EL.43m)



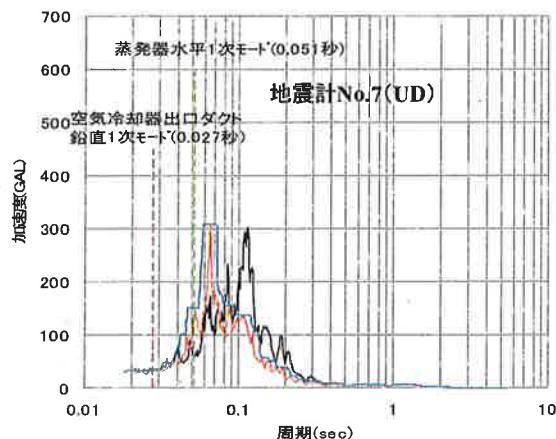
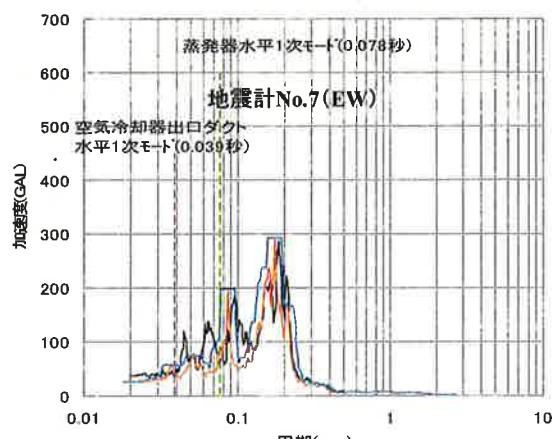
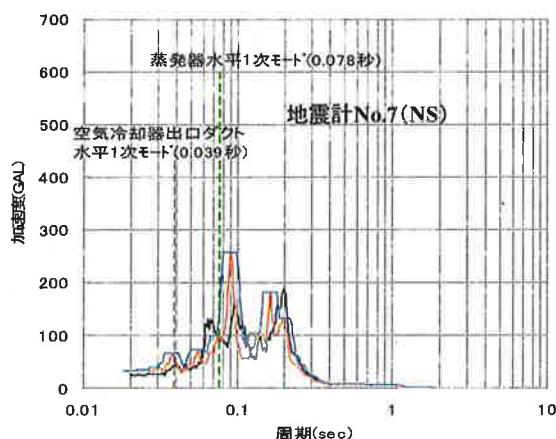
・建物の上下方向の解析モデルでは、外部遮蔽壁のドーム部のみ非線形特性を設定している。

・FRSをみると、外部遮蔽壁以外は建物の非線形化による影響はほとんどない。

(外部遮蔽壁のFRSは本検討には使用していない)

■ 機器設備検討結果

○ A/B内設備(空気冷却器、蒸発器)



空気冷却器及び蒸発器について応答スペクトル  
比 $FRS_{(obs.)}/FRS_{(cal.)} \leq 1$ であり影響なしと判断

### 付録-3 主要機器・配管系応力評価結果一覧表

本文中に図示される主要機器・配管系の応力評価結果の具体的数値は以下のとおりである。

#### ◆原子炉構造(事業者条件による解析)

##### ① Ss-Dに対する評価表(図3.1.1-2 原子炉構造評価結果(Ss-D))

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生応力		評価基準値 (MPa)
				JNES	事業者	
原子炉本体	原子炉容器	入口ノズル	膜	175.8	183	257
		出口ノズル	膜	101.4	103	231
		オーバーフロー汲上ノズル	膜	128.3	129	234
		中間胴	座屈応力	44.1	44	72
		上部フランジ	膜+曲げ	90.8	92	436
		炉内構造物取付台	膜	133.3	136	240
		下部サポート	膜+曲げ	306.0	309	361
	炉内構造物	炉心槽	膜	103.3	108	239
		炉内構造支持構造物	支圧	149.2	151	178
		据付ボルト	膜+曲げ	72.4	69	380
	原子炉容器支持構造物	原子炉容器据付ボルト	引張	251.7	244	490
		下部支持構造物	曲げ	70.3	73	392
		下部支持構造物基礎ボルト	引張	119.8	122	185

##### ② 断層波に対する評価表(図3.1.1-3 原子炉構造評価結果(断層波))

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生応力		評価基準値 MPa
				JNES	事業者	
原子炉本体	原子炉容器	入口ノズル	膜	173.7	182	257
		出口ノズル	膜	90.3	91	231
		オーバーフロー汲上ノズル	膜	127.5	128	234
		中間胴	座屈応力	40.4	41	72
		上部フランジ	膜+曲げ	74.6	77	436
		炉内構造物取付台	膜	131.3	135	240
		下部サポート	膜+曲げ	300.1	300	361
	炉内構造物	炉心槽	膜	100.7	102	239
		炉内構造支持構造物	支圧	147.1	145	178
		据付ボルト	膜+曲げ	57	56	380
	原子炉容器支持構造物	原子炉容器据付ボルト	引張	240.5	243	490
		下部支持構造物	曲げ	68.7	72	392
		下部支持構造物基礎ボルト	引張	117.1	121	185

## ◆補助冷却設備空気冷却器(事業者条件による解析)

### ① Ss-Dに対する評価表(図3.1.1-6 補助冷却設備空気冷却器評価結果(Ss-D))

(a)ダクトの座屈評価

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値		評価基準値
				JNES	事業者	
補助冷却設備	空気冷却器	出口ダクト(上部)補強材	座屈評価	0.70	0.69	1.0
		出口ダクト(上部)板面		0.46	0.45	1.0
		出口ダクト(下部)補強材		0.10	0.10	1.0
		出口ダクト(下部)板面		0.29	0.30	1.0
		入口ダクト補強材		0.05	0.07	1.0
		入口ダクト板面		0.10	0.12	1.0

(b)取付ボルトの引張応力

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値(MPa)		評価基準値
				JNES	事業者	
補助冷却設備	空気冷却器	出口ダクト(上部)取付ボルト	引張応力	59.3	61.0	174.5
		本体枠組取付ボルト		42.2	45.1	129.4

### ② 断層波に対する評価表(図3.1.1-7 補助冷却設備空気冷却器評価結果(断層波))

(a)ダクトの座屈評価

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値		評価基準値
				JNES	事業者	
補助冷却設備	空気冷却器	出口ダクト(上部)補強材	座屈評価	0.68	0.69	1.0
		出口ダクト(上部)板面		0.45	0.45	1.0
		出口ダクト(下部)補強材		0.11	0.12	1.0
		出口ダクト(下部)板面		0.33	0.34	1.0
		入口ダクト補強材		0.06	0.08	1.0
		入口ダクト板面		0.11	0.13	1.0

(b)取付ボルトの引張応力

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値(MPa)		評価基準値
				JNES	事業者	
補助冷却設備	空気冷却器	出口ダクト(上部)取付ボルト	引張応力	49.2	52.1	174.5
		本体枠組取付ボルト		21.6	19.9	129.4

## ◆蒸発器(事業者条件による解析)

① Ss-Dに対する評価表(図3.1.1-9 蒸発器評価結果(Ss-D))

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値(MPa)		評価基準値 (MPa)
				JNES	事業者	
2次主冷却系	蒸発器	ナトリウム入口ノズル(膜)	膜	151.9	152	225
		ナトリウム出口ノズル(膜)	膜	134.3	135	258
		スカート容器部(膜)	膜	157.8	155	259
		スカート容器部(膜+曲げ)	膜+曲げ	297.9	296	388
		スカート振止金具部(支圧)	支圧	122.0	121	431
		下部胴板(座屈)	座屈	29.7	33	161
		蒸気出口管板(膜)	膜	85.3	86	258
		スカート支持構造物(組合せ)	組合せ	52.0	51	294
		基礎ボルト(引張)	引張	362.7	365	408
		スカート支持構造物(座屈)	座屈評価	0.17	0.18	1.0

② 断層波に対する評価表(図3.1.1-10 蒸発器評価結果(断層波))

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値(MPa)		評価基準値 (MPa)
				JNES	事業者	
2次主冷却系	蒸発器	ナトリウム入口ノズル(膜)	膜	148.0	149	225
		ナトリウム出口ノズル(膜)	膜	142.1	143	258
		スカート容器部(膜)	膜	154.9	148	259
		スカート容器部(膜+曲げ)	膜+曲げ	291.1	282	388
		スカート振止金具部(支圧)	支圧	109.0	108	431
		下部胴板(座屈)	座屈	26.0	29	161
		蒸気出口管板(膜)	膜	82.4	84	258
		スカート支持構造物(組合せ)	組合せ	44.0	44	294
		基礎ボルト(引張)	引張	362.5	359	408
		スカート支持構造物(座屈)	座屈評価	0.15	0.15	1

## ◆機器簡易評価(事業者条件による解析)

### ① Ss-Dに対する評価表(図3.1.1-11 その他主要機器評価結果(Ss-D))

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値(MPa)		評価基準値 (MPa)
				JNES	事業者	
1次主冷却系	中間熱交換器	2次出口ノズル	膜応力	124.1	126	222
		伝熱管	膜応力	173.3	176	231
		基礎ボルト	せん断応力	113.4	115	361
	主循環ポンプ	吸込口	膜応力	172.9	173	397
		オーバーフロー/ノズル	膜応力	48.9	49	397
		基礎ボルト	せん断応力	46.8	47	341
2次主冷却系	主循環ポンプ	ポンプ取付台ボルト	引張応力	195.3	195	444
		吸込口	膜応力	162.8	164	231
		オーバーフロー/ノズル	膜応力	56.6	57	231
		ポンプ取付ボルト	せん断応力	14.2	14	341
格納施設	格納容器	ポンプ取付台ボルト	引張応力	31.9	32	444
		リングガーダ上端部	膜+曲げ応力	260.7	261	348
		強め輪取付部	膜応力	60.3	59	232
		円筒胴下部(座屈)	座屈評価	0.84	0.84	1

### ② 断層波に対する評価表(図3.1.1-12 その他主要機器評価結果(断層波))

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値(MPa)		評価基準値 (MPa)
				JNES	事業者	
1次主冷却系	中間熱交換器	2次出口ノズル	膜応力	104.9	105	222
		伝熱管	膜応力	146.4	147	231
		基礎ボルト	せん断応力	95.8	96	361
	主循環ポンプ	吸込口	膜応力	116.7	117	397
		オーバーフロー/ノズル	膜応力	33	33	397
		基礎ボルト	せん断応力	31.6	32	341
2次主冷却系	主循環ポンプ	ポンプ取付ボルト	引張応力	131.8	132	444
		吸込口	膜応力	153.5	154	231
		オーバーフロー/ノズル	膜応力	53.4	53	231
		ポンプ取付ボルト	せん断応力	13.4	13	341
格納施設	格納容器	ポンプ取付台ボルト	引張応力	30.1	30	444
		リングガーダ上端部	膜+曲げ応力	287.4	288	348
		強め輪取付部	膜応力	69.1	68	232
		円筒胴下部(座屈)	座屈評価	0.99	0.99	1

## ◆原子炉構造(JNES条件による解析)

Ss-D波及び断層波に対する評価表(図3.1.2-1 原子炉構造評価結果)

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	発生値(MPa)		評価基準値 (MPa)
				Ss-D	Ss4-5	
原子炉本体	原子炉容器	入口ノズル	膜	177.0	175.9	257
		出口ノズル	膜	111.7	98.3	231
		中間胴	座屈応力	48.4	45.5	72
		上部フランジ	膜+曲げ	100.5	78	436
		炉内構造物取付台	膜	138	141.1	240
		下部サポート	膜+曲げ	322.5	333.2	361
	炉内構造物	炉心槽	膜	110.8	114.9	239
		炉内構造支持構造物	支圧	159.9	166.3	178
		据付ボルト	膜+曲げ	80.9	55.3	380
	原子炉容器支持構造物	原子炉容器据付ボルト	引張	262.4	247.4	490
		下部支持構造物	曲げ	74.6	77.6	392
		下部支持構造物基礎ボルト	引張	127.2	132.3	185

## ◆補助冷却設備空気冷却器(JNES条件による解析)

Ss-D波及び断層波に対する評価表(図3.1.2-2 補助冷却設備空気冷却器評価結果)

### (a)ダクトの座屈評価

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	地震動		評価基準値
				Ss-D	Ss-4	
補助冷却設備	空気冷却器	出口ダクト(上部)	座屈評価	0.89	0.77	1.0
		出口ダクト(下部)		0.35	0.33	1.0
		入口ダクト		0.10	0.10	1.0

### (b)取付ボルトの引張応力

系統名称	評価対象機器	評価部位	応力分類	地震動		評価基準値
				Ss-D	Ss-4, Ss-5	
補助冷却設備	空気冷却器	出口ダクト(上部)取付ボルト	引張応力	61.6	59.7	174.5
		本体枠組取付ボルト		65.3	16.1	129.4

## ◆1次主冷却系配管(ホットレグ)(事業者条件による解析)

Ss-D及び断層波に対する評価表(図3.2.1-1 1次主冷却系配管(ホットレグ)評価結果)

### Ss-Dに対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa, kN)		評価基準値
			JNES	事業者	
1次冷却系	1次主冷却系配管 ホットレグ	エルボ(20E)	114	114	245
		エルボ(19E)	92	92	245
		エルボ(2E)	93	93	245
		スナッパ(6E)	145	145	153

### 断層波に対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa, kN)		評価基準値
			JNES	事業者	
1次冷却系	1次主冷却系配管 ホットレグ	エルボ(2E)	77	79	245
		エルボ(20E)	75	75	245
		エルボ(8E)	62	62	245
		スナッパ(6E)	103	102	153

## ◆1次主冷却系配管(コールドレグ)(事業者条件による解析)

Ss-D及び断層波に対する評価表(図3.2.1-2 1次主冷却系配管(ホットレグ)評価結果)

### Ss-Dに対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa, kN)		評価基準値
			JNES	事業者	
1次冷却系	1次主冷却系配管 コールドレグ	エルボ(8E)	122	125	272
		エルボ(9E)	117	118	272
		エルボ(18E)	93	94	272
		スナッパ(15D)	151	149	153

### 断層波に対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa, kN)		評価基準値
			JNES	事業者	
1次冷却系	1次主冷却系配管 コールドレグ	エルボ(8E)	115	118	272
		エルボ(9E)	105	106	272
		エルボ(18E)	85	87	272
		スナッパ(15C)	68	68	76

## ◆2次主冷却系配管(ホットレグ、A系)(事業者条件による解析)

Ss-D及び断層波に対する評価表(図3.2.1-3 2次主冷却系配管(ホットレグ、A系)評価結果)

### Ss-Dに対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa)		評価基準値
			JNES	事業者	
2次冷却系	2次主冷却系配管 ホットレグ、A系	ティー(21T)	197	197	243
		ティー(56T)	192	195	243
		ティー(125T)	186	190	245

### 断層波に対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa)		評価基準値
			JNES	事業者	
2次冷却系	2次主冷却系配管 ホットレグ、A系	ティー(21T)	221	220	243
		ティー(56T)	178	178	243
		ティー(125T)	172	175	245

## ◆2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)(事業者条件による解析)

Ss-D及び断層波に対する評価表(図3.2.1-4 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)評価結果)

### Ss-Dに対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa)		評価基準値
			JNES	事業者	
2次冷却系	2次主冷却系配管 コールドレグ、B系	ティー(127T)	211	213	260
		ティー(117T)	237	239	260
		エルボ(240E)	128	128	260
		ティー(423T)	214	214	275

### 断層波に対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa)		評価基準値
			JNES	事業者	
2次冷却系	2次主冷却系配管 コールドレグ、B系	ティー(127T)	197	199	260
		ティー(117T)	153	154	260
		エルボ(240E)	110	111	260
		ティー(423T)	230	243	275

## ◆配管系簡易評価(事業者条件による解析)

Ss-D及び断層波に対する評価表(図3.2.1-5 2次主冷却系配管及び補助冷却系配管評価結果)

### Ss-Dに対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位(配管No.)	発生値(MPa)		評価基準値
			JNES	事業者	
2次冷却系	2次主冷却系配管	SHTS-C05(その1)	217	211	260
		SHTS-C05(その2)	167	164	260
		SHTS-C05(その3)	208	208	260
補助冷却設備	補助冷却設備主配管	SHTS-A02	178	178	245
		SHTS-A04	229	228	275
		SHTS-A06	251	251	371
		SHTS-A07	231	231	383
		SHTS-B01	155	157	245

### 断層波(Ss-1～9)に対する結果

系統名称	評価対象配管	評価部位(配管No.)	発生値(MPa)		評価基準値
			JNES	事業者	
2次冷却系	2次主冷却系配管	SHTS-C05(その1)	184	184	260
		SHTS-C05(その2)	167	167	260
		SHTS-C05(その3)	141	141	260
補助冷却設備	補助冷却設備主配管	SHTS-A02	147	147	245
		SHTS-A04	224	224	275
		SHTS-A06	227	232	371
		SHTS-A07	226	228	383
		SHTS-B01	165	162	245

## ◆1次主冷却系配管(ホットレグ)(JNES条件による解析)

### ①Ss-D及び断層波に対する評価表(図3.2.2-1 1次主冷却系配管(ホットレグ)評価結果)

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa, kN)		評価基準値
			Ss-D	断層波	
1次冷却系	1次主冷却系配管 ホットレグ	エルボ(20E)	120	94	245
		エルボ(19E)	77	54	245
		エルボ(2E)	131	109	245
		エルボ(8E)	81	74	245
		スナッパ(6E)	174	106	153

### ②Ss-Dに対するスナッパ評価表(図3.2.2-2 1次主冷却系配管(ホットレグ)のスナッパの評価結果)

評価対象	評価部位配管	発生値(kN)			評価基準値
		Ss-D(JNES:3.0%)	Ss-D(事業者:3.0%)	Ss-D(JNES:2.0%)	
1次主冷却系配管 ホットレグ	スナッパ(6E)	140	140	174	153

## ◆2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)(JNES条件による解析)

### ①Ss-Dに対する評価表(図3.2.2-3 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)評価結果 (ティ一部FEM組込縮小モデル))

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa)		評価基準値
			ティ一部FEM組込み縮小モデル	事業者	
2次冷却系	2次主冷却系配管 コールドレグ	ティー(127T)	198	213	260
		ティー(423T)	170	214	275

### ②Ss-Dに対する評価表(図3.2.2-5 2次主冷却系配管(コールドレグ、B系)評価結果 (時刻歴応答解析))

系統名称	評価対象配管	評価部位	発生値(MPa)		評価基準値
			梁モデル多入力時刻歴解析		
2次冷却系	2次主冷却系配管 コールドレグ	ティー(127T)	188		260
		ティー(423T)	112		275

## 第VI篇 周辺斜面の安定性評価

# 目 次

## 第一章 クロスチェック解析概要

VI-1 クロスチェック解析概要 .....	VI-1-1
VI-1. 1 目的及び検討概要 .....	VI-1-1
VI-1. 2 前提条件 .....	VI-1-6

## 第二章 現況の斜面形状に対する検討

VI-2 概要 .....	VI-2-1
VI-2. 1 検討フロー .....	VI-2-1
VI-2. 2 安定性評価項目 .....	VI-2-1
VI-3 事業者条件による解析 .....	VI-3-1
VI-3. 1 解析条件 .....	VI-3-1
VI-3. 2 解析結果 .....	VI-3-5
VI-4 JNES 条件による解析 .....	VI-4-1
VI-4. 1 JNES 条件による解析の考え方 .....	VI-4-1
VI-4. 2 解析条件 .....	VI-4-1
VI-4. 3 解析結果 .....	VI-4-2
VI-5 まとめ .....	VI-5-1

## 第三章 排土工事完了後の斜面形状に対する検討

VI-6 概要 .....	VI-6-1
VI-6. 1 検討フロー .....	VI-6-1
VI-6. 2 安定性評価項目 .....	VI-6-1
VI-7 事業者条件による解析 .....	VI-7-1
VI-7. 1 解析条件 .....	VI-7-1
VI-7. 2 解析結果 .....	VI-7-5
VI-8 JNES 条件による解析 .....	VI-8-1
VI-8. 1 JNES 条件による解析の考え方 .....	VI-8-1
VI-8. 2 解析条件 .....	VI-8-1
VI-8. 3 解析結果 .....	VI-8-2
VI-9 まとめ .....	VI-9-1

## 参考資料 現況の斜面形状に対する岩塊移動量の検討

VI-10 現況の斜面形状に対する岩塊移動量の検討(参考) .....	VI-10-1
-------------------------------------	---------

# 第一章 クロスチェック解析概要

## VI-1 クロスチェック解析概要

### VI-1.1 目的及び検討概要

#### VI-1.1.1 目的

平成18年9月19日に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(原子力安全委員会決定)に基づき、独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、「事業者」という。)が実施した高速増殖原型炉もんじゅの原子炉建物背後斜面(以下、「背後斜面」という。)の安定性評価に関してクロスチェック解析を実施する。

#### VI-1.1.2 検討概要

##### (1) クロスチェック概要

背後斜面に対するクロスチェック解析では、すべり面法を用いたすべりに対する評価を、現況の斜面形状及び、排土工事完了後の斜面形状に対して実施した。

また参考として、個別要素法を用いた岩塊移動量の算定を、現況の斜面形状に対して実施した。

各検討の概要を表-1.1に示す。

表-1.1 検討概要

検討手法	検討断面	検討結果	本報告書での扱い
すべり面法を用いて すべり安全率Fsを求める	現況の斜面形状	$F_s = 0.5 < 1.2 \Rightarrow NG$	第二章に記述
	排土工事完了後の 斜面形状	$F_s = 1.2 \geq 1.2 \Rightarrow OK$	第三章に記述
個別要素法を用いて 岩塊の移動量Dを求める	現況の斜面形状	$D \approx 2.5m$	参考資料に記述

##### (2) 検討斜面形状

クロスチェック解析を実施する斜面形状は以下の2形状とした。

- ①現況の斜面形状
- ②排土工事完了後の斜面形状

このうち②については、事業者が概略検討を行った斜面形状に基づいた。

### (3) 現況の斜面形状のすべりに対する検討

評価項目を背後斜面のすべりとし、現況の斜面形状に対して、すべり面法による検討を行った。

#### 1) 解析条件

解析は、事業者が設定した解析条件(以下、「事業者条件」という。)による解析及び、JNESが妥当と考える解析条件(以下、「JNES条件」という。)による解析の2通りを行った。

##### i ) 事業者条件

事業者条件による解析は以下の条件で行った。

検討対象断面は、事業者が解析を実施したA-A'断面とする。

解析モデルは、地盤を平面ひずみ要素でモデル化する。

背後斜面の安定性解析は、静的解析による地盤の初期応力の算定と、地震応答解析による地震時応力の算定を行うものとする。

地震応答解析は、水平動及び鉛直動同時入力による周波数応答解析とし、等価線形解析によって剛性及び減衰のひずみ依存性を考慮する。

解析に使用する物性値は、事業者が設定した値を用いる。

地震応答解析に用いる地震動は、事業者が策定した10波の基準地震動Ssの中から、水平動の加速度が最も大きな地震動であるSs-D波(応答スペクトルに基づく地震動)と、合同CサブWGで報告された事業者解析結果において最も厳しい評価となったSs-6波(断層モデルを用いた手法による地震動)の2波を選定する。

すべり面は、事業者が設定したすべり面を用いる。

##### ii ) JNES条件

JNES条件による解析は、事業者条件を分析したうえでJNESが妥当と考える解析条件を設定して行った。

###### イ) 事業者条件の分析

###### a) 入力条件に係る項目

・安定性解析モデルは地層構成が不整形であり、左右非対称なモデルとなっている。そのため、入力地震動の水平動と鉛直動の位相を反転することによって応答結果に違いが生じることが予想される。

従って、事業者解析では実施されていないが、応答スペクトルに基づく地震動の場合は位相を反転した解析が必要である。

###### b) すべり面の設定に係る項目

・斜面の表層部は、D級岩盤風化部に分類され、せん断弾性係数やせん断強度等の物性値が小さい地盤である。

従って、D級岩盤風化部(表層部)を通るすべり面を設定して安定性解析を実施する必要がある。

###### ロ) JNES条件の設定

JNES条件による解析は以下の条件で行った。

地震動については、「入力地震動の水平動と鉛直動の同時入力における位相の組合せ」を考慮する。

すべり面については、D級岩盤風化部(表層部)を通るすべり面を新たに追加する。

他の条件については、事業者条件と同様とする。

## 2) 解析結果

### i ) 事業者条件による解析結果

事業者の解析条件を用いて、背後斜面の安定性解析を実施し、すべりに対する検討を行い、以下の結果を得た。

- ・D級岩盤風化部(深部)における事業者の解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準を満足した。

### ii ) JNES条件による解析結果

JNES条件による解析では、入力地震動の位相の反転を考慮し、更に新たなすべり面を追加した解析条件を用いた背後斜面の安定性解析を実施し、すべりに対する検討を行い、以下の結果を得た。

- ・D級岩盤風化部(深部)を通るすべり面に対する最小すべり安全率 $F_s$ は $F_s=1.9$ となり、この値は評価基準値1.2を上回り、評価基準を満足している。
- ・D級岩盤風化部(表層部)を通るすべり面に対する最小すべり安全率 $F_s$ は $F_s=0.5$ となり、この値は評価基準値1.2を下回り、評価基準を満足していない。

#### (4) 排土工事完了後の斜面形状のすべりに対する検討

評価項目を背後斜面のすべりとし、排土工事完了後の斜面形状に対して、すべり面法による検討を行った。

##### 1) 解析条件

解析は、事業者条件による解析及び、JNES条件による解析の2通りを行った。

###### i ) 事業者条件

事業者条件による解析は以下の条件で行った。

検討対象断面は、事業者が解析を実施したA-A'断面とし、断面形状は事業者が概略検討を行った排土工事後の斜面形状とする。

解析モデルは、地盤を平面ひずみ要素でモデル化する。

背後斜面の安定性解析は、静的解析による地盤の初期応力の算定と、地震応答解析による地震時応力の算定を行うものとする。

地震応答解析は、水平動及び鉛直動同時入力による周波数応答解析とし、等価線形解析によって剛性及び減衰のひずみ依存性を考慮する。

解析に使用する物性値は、事業者が設定した値を用いる。

地震応答解析に用いる地震動は、事業者が策定した10波の基準地震動Ssの中から、水平動の加速度が最も大きな地震動であるSs-D波（応答スペクトルに基づく地震動）と、合同CサブWGで報告された事業者解析結果において最も厳しい評価となったSs-6波（断層モデルを用いた手法による地震動）の2波を選定する。

すべり面は、事業者が設定したすべり面を用いる。

###### ii ) JNES条件

JNES条件による解析は、事業者条件を分析したうえでJNESが妥当と考える解析条件を設定して行った。

###### 1) 事業者条件の分析

###### a) 入力条件に係る項目

・安定性解析モデルは地層構成が不整形であり、左右非対称なモデルとなっている。そのため、入力地震動の水平動と鉛直動の位相を反転することによって応答結果に違いが生じることが予想される。

従って、事業者解析では実施されていないが、応答スペクトルに基づく地震動の場合は位相を反転した解析が必要である。

###### b) すべり面の設定に係る項目

・事業者は、排土工事後における斜面のD級岩盤風化部（表層部）のすべり面として、すべり面6を設定しているが、更に表層部の厳しいすべり面に対する確認が必要である。

地震動については、「入力地震動の水平動と鉛直動の同時入力における位相の組合せ」を考慮する。

###### □) JNES条件の設定

JNES条件による解析は以下の条件で行った。

すべり面については、D級岩盤風化部（表層部）を通るすべり面として、更に表層部の厳しいすべり面を新たに追加する。

他の条件については、事業者条件と同様とする。

## 2) 解析結果

### i) 事業者条件による解析結果

事業者の解析条件を用いて、背後斜面の安定性解析を実施し、すべりに対する検討を行い、以下の結果を得た。

- ・すべりに対する事業者の解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準を満足した。

### ii) JNES条件による解析結果

JNES条件による解析では、入力地震動の位相の反転を考慮し、更に新たなすべり面を追加した解析条件を用いた排土工事後の背後斜面の安定性解析を実施し、すべりに対する検討を行い、以下の結果を得た。

- ・背後斜面の最小すべり安全率 $F_s$ は、 $F_s=1.2$ となり、この値は評価基準値1.2と同等となった。
- ・個々のすべり面でみると、事業者解析で実施している「正・正」の組合せケースが必ずしも厳しい結果とはなっていない。

## (5) まとめ

以上から、基準地震動Ssに対して排土工事完了後の斜面の安定性が保たれることを確認した。また、上記事業者の報告書等における事業者の解析及び評価結果は妥当であると判断される。

## (6) 現況の斜面形状に対する岩塊移動量の算定(参考)

現況の斜面形状に対して、個別要素法を用いて岩塊移動量の算定を行った。

- 1) 岩塊の移動量は、Ss-D波の方がSs-6波よりも大きく、最大変位量は約2.5m程度であった。
- 2) 事業者の解析では、岩塊の移動量はSs-D波の場合最大2.0cm程度である。違いの原因は、用いている解析手法や、斜面のモデル化、モデル化領域等がJNESと異なるためと考えられる。
- 3) 今回の解析条件のもとでは、斜面法下まで落下した岩塊は存在しない。

## VI-1. 2 前提条件

- ・クロスチェック対象は、事業者が耐震安全性評価結果報告書※<sup>1</sup>や合同CサブWG※<sup>2</sup>で報告した、基準地震動Ssによる地震力に対する背後斜面の安定性評価結果とする。
- ・解析には、JNES保有の解析コードを用いる。
- ・適用基準は、以下のとおりである。
  - 1) 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(原子力安全委員会、平成18年9月)
  - 2) 新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価及び確認に当たっての基本的な考え方並びに評価手法及び確認基準について(原子力安全・保安院、平成18年9月)
  - 3) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(日本電気協会、昭和62年8月)

※ 1 高速増殖原型炉もんじゅ 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う  
耐震安全性評価結果報告書（平成20年3月31日）、追補版（平成21年3月31日）、改訂版（平成22年2月2日）

※ 2 耐震・構造設計小委員会地震・津波・地質・地盤合同ワーキンググループCサブグループ会合

## 第二章 現況の斜面形状に対する検討

## VI-2 概要

### VI-2.1 検討フロー

クロスチェック解析では、事業者条件による解析及びJNES条件による解析を実施する。

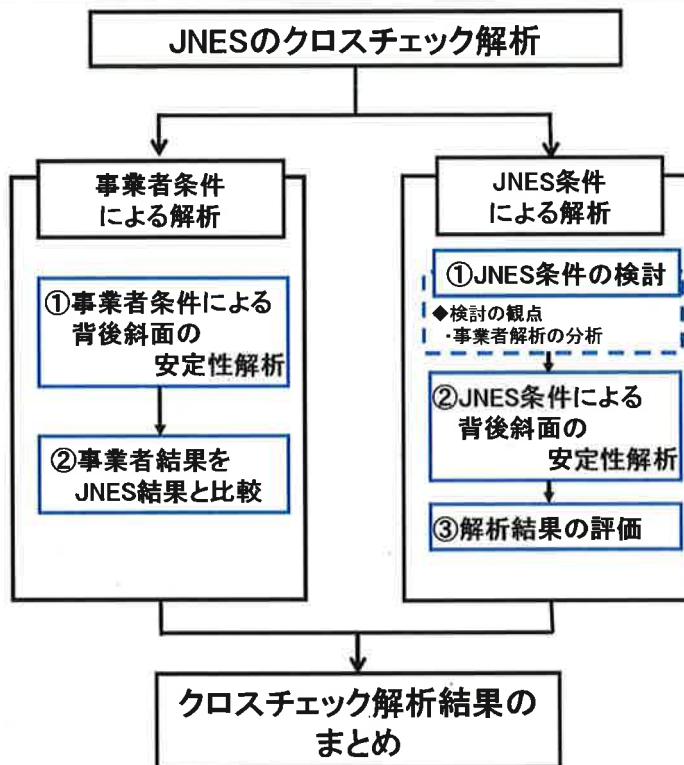


図-2.1 クロスチェック解析における基礎地盤の安定性検討フロー図

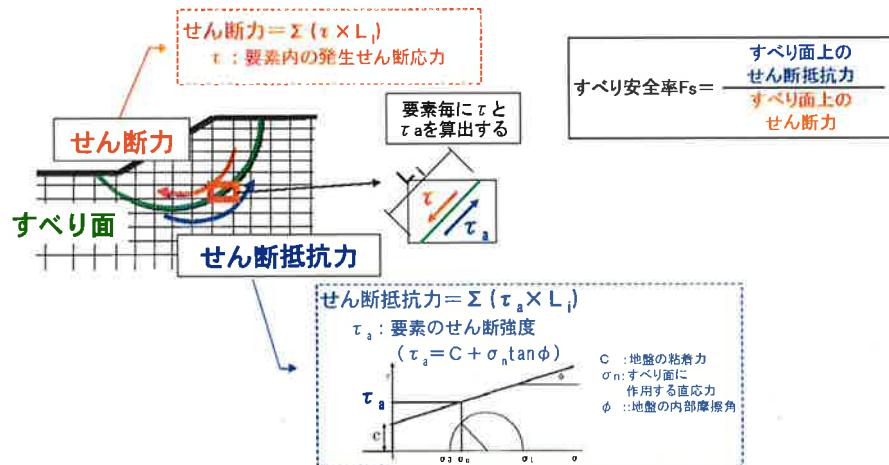
## VI-2.2 安定性評価項目

クロスチェック解析では、以下の項目について評価を行うものとする。

表-2.1 評価項目と評価基準

評価項目	評価基準
背後斜面のすべり	すべり安全率Fsが1.2以上であること※

※ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987



## VI-3 事業者条件による解析

### VI-3. 1 解析条件

#### VI-3. 1. 1 解析モデル

検討対象断面は、事業者が解析を実施したA-A'断面とする。

解析モデルは、地盤を平面ひずみ要素でモデル化する。

背後斜面の安定性解析は、静的解析による地盤の初期応力の算定と、地震応答解析による地震時応力の算定を行うものとする。

地震応答解析は、水平動及び鉛直動同時入力による周波数応答解析とし、等価線形解析によって剛性及び減衰のひずみ依存性を考慮する。

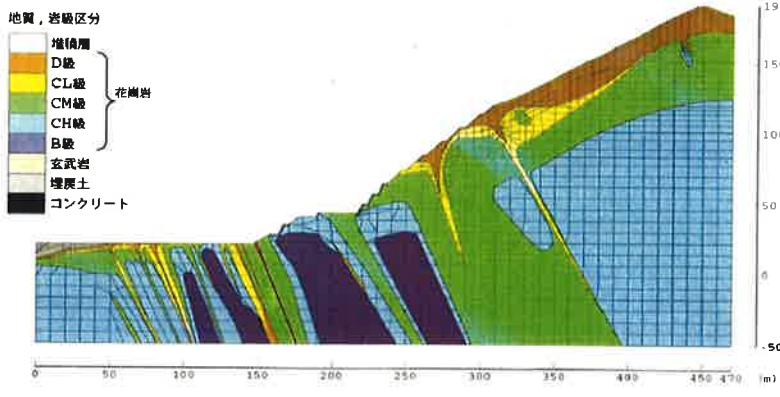


図-3.1 解析モデル図(A-A'断面)



図-3.2 断面位置図

表-3.1 境界条件

	静的解析	地震応答解析
地盤底面	固定境界	粘性境界
地盤側面	鉛直ローラー境界	エネルギー伝達境界

## VI-3. 1. 2 地盤物性値

解析に使用する物性値は、事業者が設定した値を用いる。

表-3.2 地盤物性値

物理特性	動的変形特性				強度定数			
	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )		動ポアソン比※1	動せん断弾性係数※1 (kN/m <sup>2</sup> )	動せん断弾性係数及び 減衰定数の ひずみ依存性		ピーク強度※2 C (kN/m <sup>2</sup> )	残留強度※2 $\phi$ (°)
	地下水位 以上	地下水位 以下			C <sub>r</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi_r$ (°)		
堆積層	19.7	20.4	$\nu = 0.45 - 0.006Z^{0.60}$	$G_0 = 36600 \frac{(217-e)^2}{1+e} \cdot (102 \cdot \sigma'_m)^{0.501}$	ひずみ依存性を考慮	78 59	38 36	考慮しない
埋戻土	21.5	22.3	$\nu = 0.375 - 0.006Z^{0.58}$	$G_0 = 59841 \frac{(217-e)^2}{1+e} \cdot (102 \cdot \sigma'_m)^{0.502}$	ひずみ依存性を考慮	29	38	
岩盤	D級 (風化部)	21.0		0.36 0.23	210,000 540,000	ひずみ依存性を考慮	80 710+1.20P	16 530+1.41P
	C <sub>L</sub> 級	23.5	23.7	0.45	1,960,000	h=3.0%	589	34
	C <sub>M</sub> 級	25.1	25.2	0.40	7,360,000		1,770	39
	C <sub>H</sub> 級	25.3		0.36	10,500,000		2,840	49
	B級	25.4		0.32	17,500,000		4,020	49

※1 動ポアソン比、動せん断弾性係数

・堆積層、埋戻土

Z : 盛土表面からの深さ(m)

$\sigma'_m$  : 平均有効主応力(N/mm<sup>2</sup>)

e : 間隙比

・D級(風化部)

上段(下段)の数値はZ=0~5m(Z=5m~)に適用[Z:深度]

※2 ピーク強度、残留強度

・堆積層、D級(風化部)

P: 圧密圧力(kN/m<sup>2</sup>)

出典:耐震安全性評価結果報告書(追補版)

堆積層、埋戻土、D級岩盤(風化部)のG/G<sub>0</sub>～γ、h～γの関係を以下に示す。

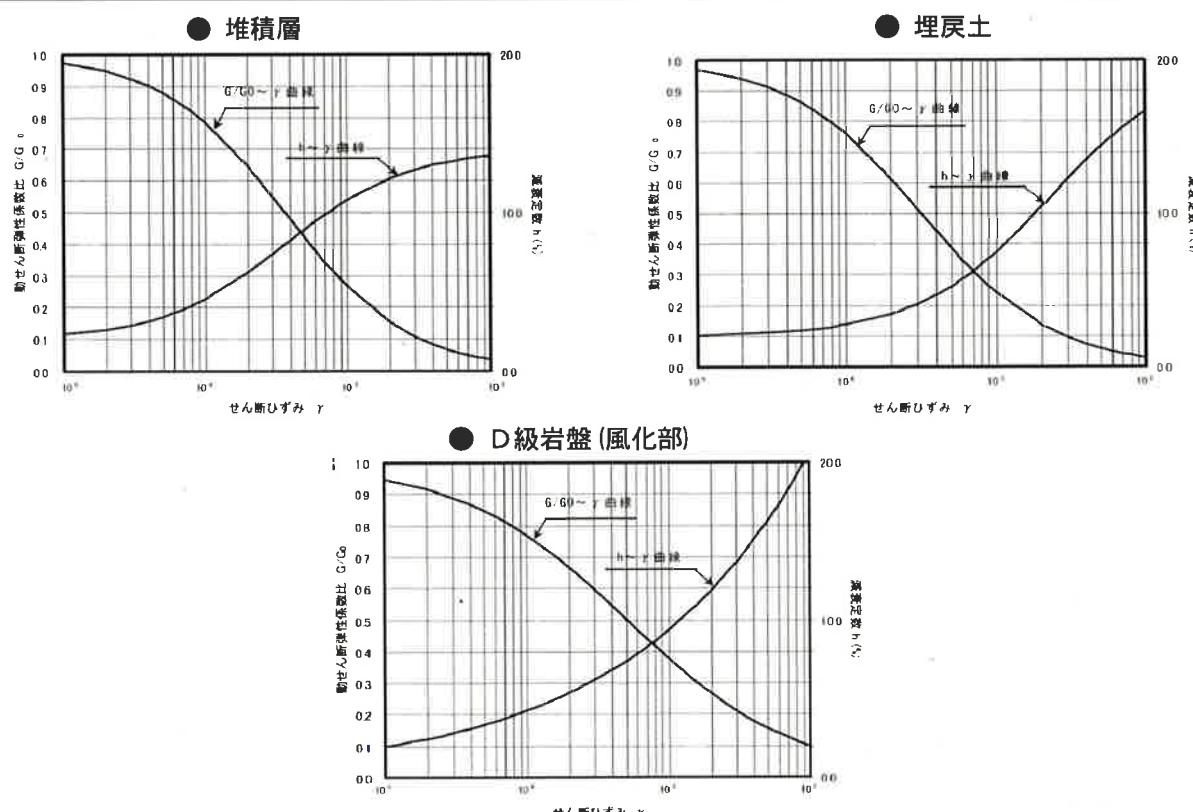


図-3.3 G/G<sub>0</sub>～γ、h～γ曲線図

出典:耐震安全性評価結果報告書(追補版)

### VI-3. 1. 3 基準地震動

地震応答解析に用いる地震動は、事業者が策定した10波の基準地震動Ssの中から、水平動の最大加速度が最も大きな地震動である Ss-D波（応答スペクトルに基づく地震動）を選定する。さらに、断層モデルを用いた手法により策定した地震動のSs-1波～Ss-9波の中から、事業者のすべりに対する評価が最も厳しい結果となった Ss-6波 を選定し、合計2波を用いるものとする。

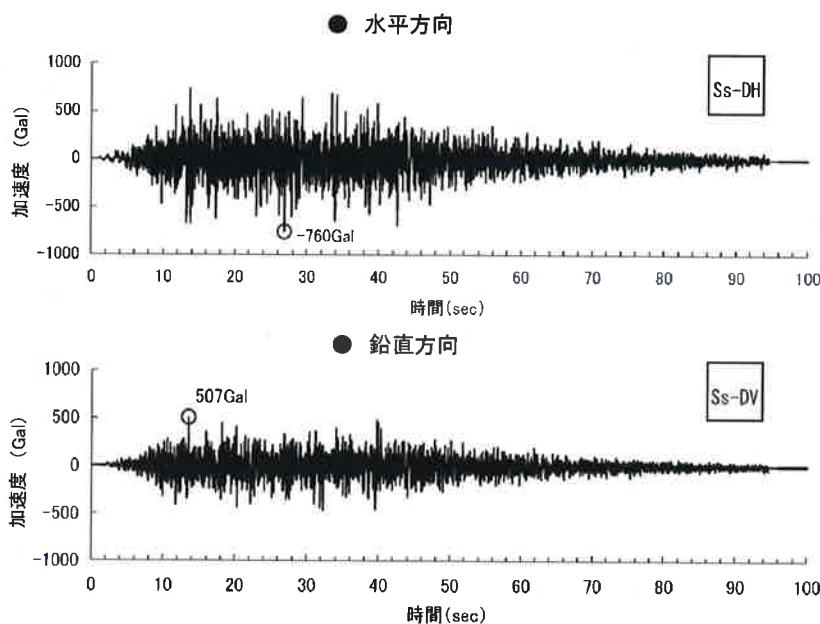


図-3.4 Ss-D波加速度時刻歴

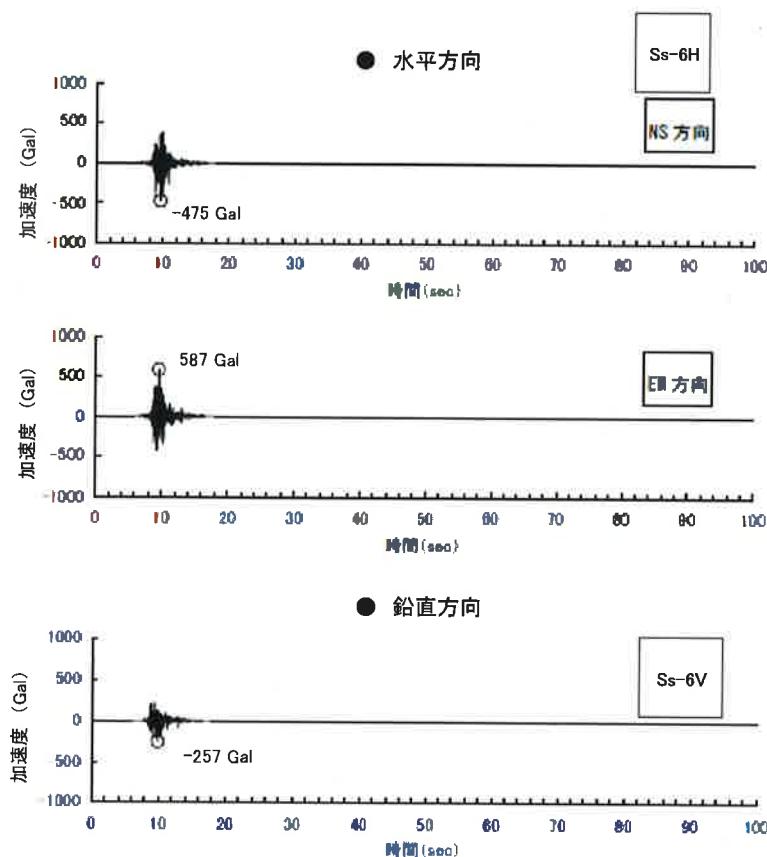


図-3.5 Ss-6波加速度時刻歴

### VI-3. 1. 4 解析モデルへの入力地震動

解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面(EL+5m)で定義された基準地震動Ssを、一次元波動論に基づく解析によって二次元FEMモデル下端位置(EL-50m)まで引き戻した地震動を用いる。

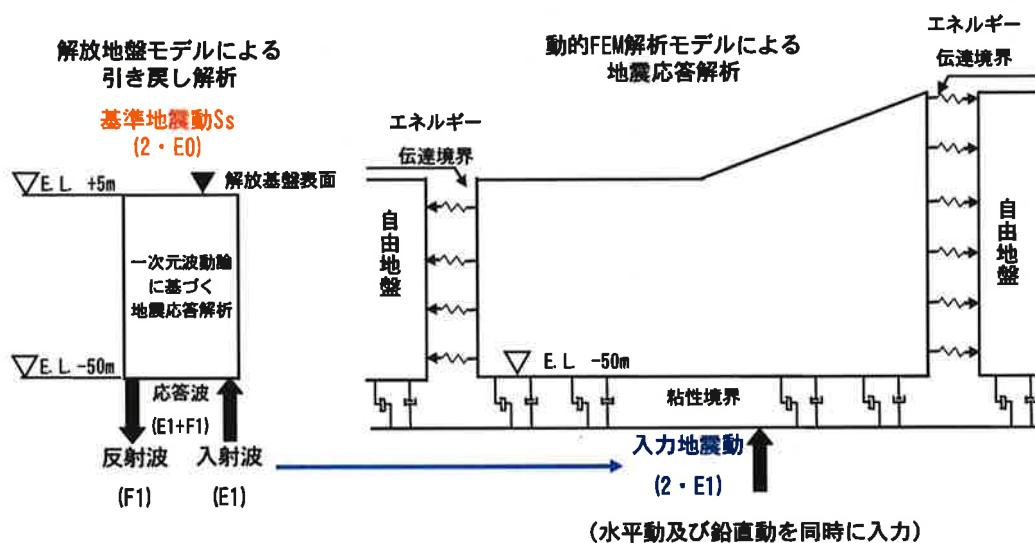


図-3.6 入力地震動の算定方法のイメージ

### VI-3. 1. 5 すべり面

すべり面は、事業者が設定したすべり面を用いる。D級岩盤風化部(深部)を通るすべり面となっている。

すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状
1	斜面の上側を通るすべり面	3	斜面の下側を通るすべり面	5	斜面の深部を通るすべり面
2	斜面の上側及び法肩を通るすべり面	4	斜面の上側から下側にまたがる範囲を通るすべり面		

図-3.7 すべり面形状図

### VI-3. 2 解析結果

### VI-3. 2. 1 地震応答解析結果

Ss-D波における水平方向の最大応答加速度分布を示す。

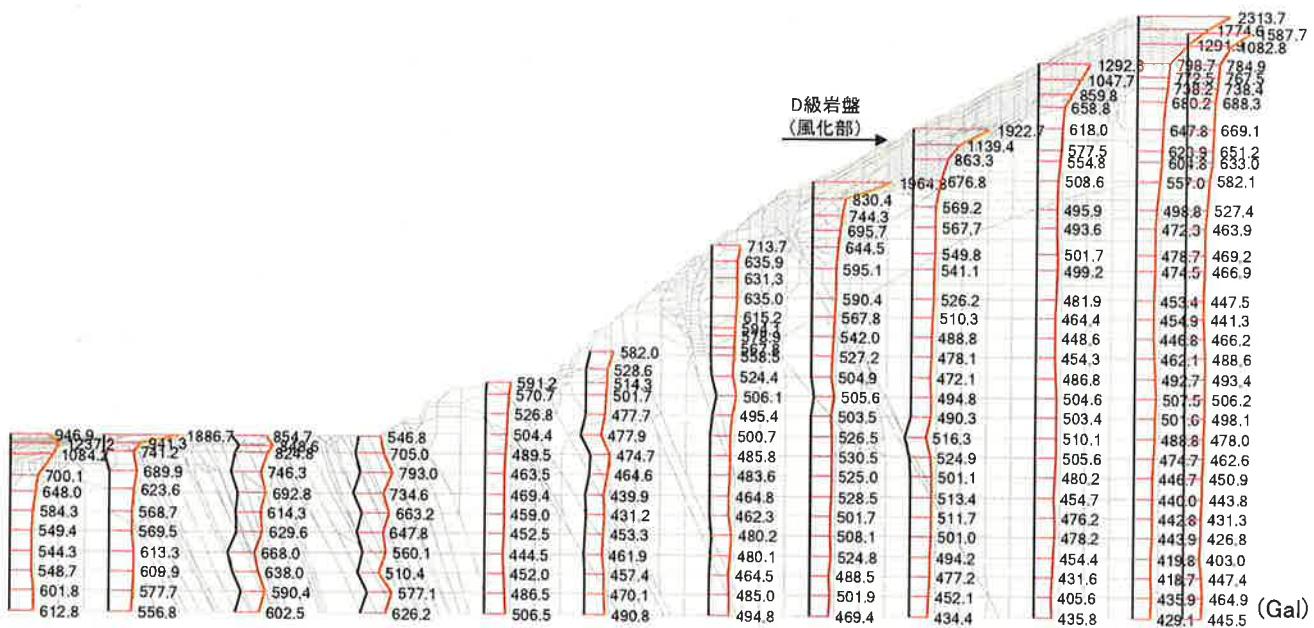


図-3.8 最大応答加速度分布図(水平方向)

Ss-D波における鉛直方向の最大応答加速度分布を示す。

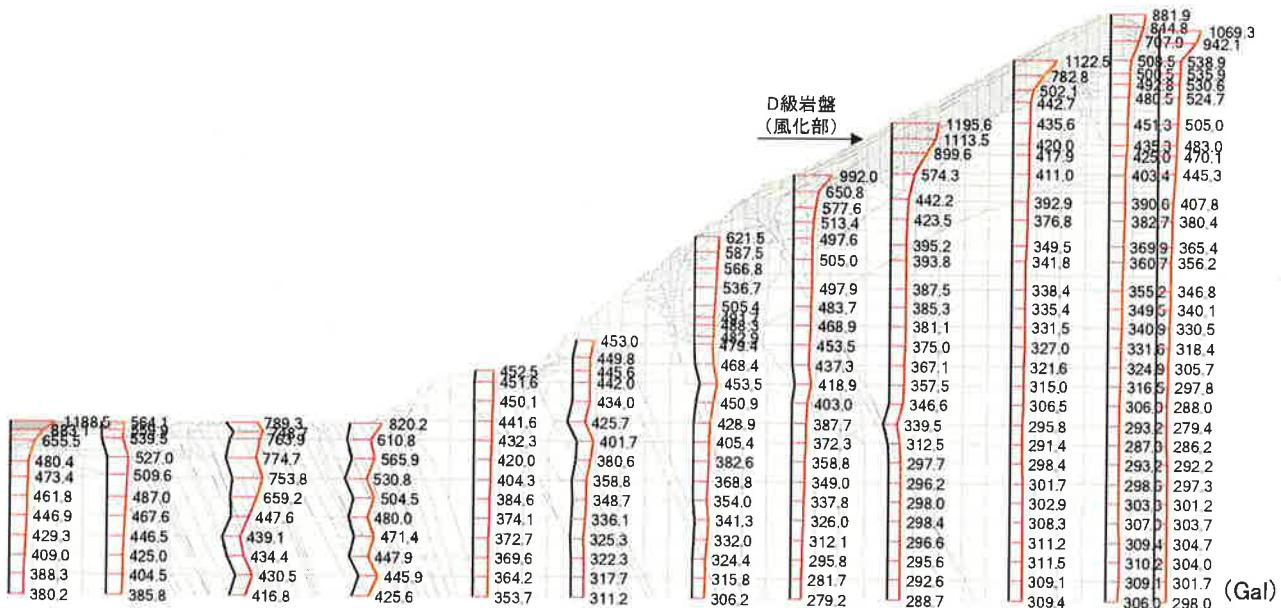


図-3.9 最大応答加速度分布図(鉛直方向)

### VI-3. 2. 2 評価結果

D級岩盤風化部(深部)におけるJNES及び事業者の解析結果を示す。

表-3.3 すべり安全率比較表

		すべり安全率 $F_s$					評価基準値 1.2
		すべり面1	すべり面2	すべり面3	すべり面4	すべり面5	
Ss-D波	JNES解析結果	2.1	1.9	5.7	3.0	3.9	1.2
	事業者解析結果	2.13	1.91	5.74	3.09	3.99	
Ss-6波	JNES解析結果	2.2	2.1	6.6	2.9	3.9	1.2
	事業者解析結果	2.24	2.11	6.71	3.02	3.98	

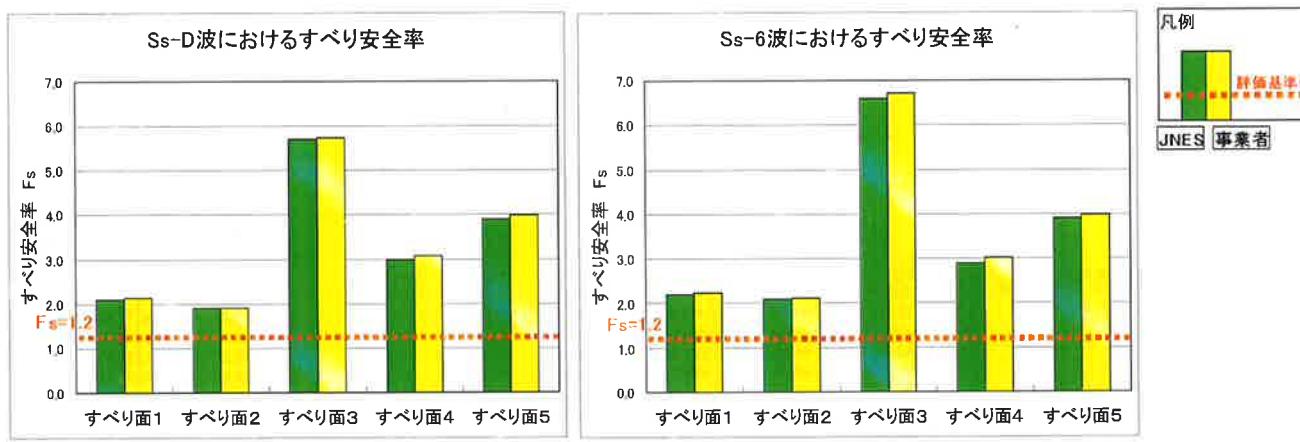


図-3.10 すべり安全率比較図

事業者解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準値1.2を上回り、評価基準を満足した。

## VI-4 JNES条件による解析

### VI-4. 1 JNES条件による解析の考え方

JNES条件による解析では、事業者解析を分析し、JNESが妥当と考える解析条件に基づいた解析を行う。

#### (1)入力条件に係る項目

- ・安定性解析モデルは地層構成が不整形であり、左右非対称なモデルとなっている。そのため、入力地震動の水平動と鉛直動の位相を反転することによって応答結果に違いが生じることが予想される。従って、事業者解析では実施されていないが、応答スペクトルに基づく地震動の場合は位相を反転した解析が必要である。

#### (2)すべり面の設定に係る項目

- ・斜面の表層部は、D級岩盤風化部に分類され、せん断弾性係数やせん断強度等の物性値が小さい地盤である。  
従って、D級岩盤風化部(表層部)を通るすべり面を設定して安定性解析を実施する必要がある。

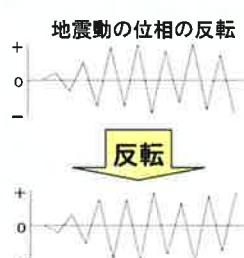
## VI-4. 2 解析条件

- (1)入力地震動Ss-D波における水平動と鉛直動の組合せは、位相の反転を考慮して、「正・正」、「正・逆」、「逆・正」、「逆・逆」の4通りとする。また、解析ケースはSs-6波と合わせて5ケースとする。

表-4.1 解析ケース表

解析ケース	入力地震動	位相の組合せ
1	Ss-D	正・正
2		正・逆
3		逆・正
4		逆・逆
5	Ss-6	—

■：事業者が実施した解析ケース



- (2)D級岩盤風化部(表層部)は、地表面から5mの範囲において、せん断弾性係数が小さくなっている。従って、すべり面の設定においては、この範囲を通るすべり面を新たに追加するものとする(すべり面6)。

すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状
1	斜面の上側を通るすべり面	3	斜面の下側を通るすべり面	5	斜面の深部を通るすべり面
2	斜面の上側及び法肩を通るすべり面	4	斜面の上側から下側にまたがる範囲を通るすべり面	6	D級岩盤風化部(表層部)を通るすべり面

- (3)他の解析条件については、「VI-3. 1 解析条件」において示した条件と同じとする。

## VI-4. 3 解析結果

D級岩盤風化部(深部および表層部)におけるJNESの解析結果を示す。

表-4.2 すべり安全率比較表

ケース	地震動	位相の組合せ	すべり安全率 $F_s$						評価基準値
			すべり面1	すべり面2	すべり面3	すべり面4	すべり面5	すべり面6	
1	Ss-D	正・正	2.1	1.9	5.7	3.0	3.9	0.5	1.2
2		正・逆	2.0	1.9	5.5	3.3	3.9	0.5	
3		逆・正	2.1	1.9	5.6	3.1	3.7	0.6	
4		逆・逆	2.1	2.0	5.5	2.7	3.4	0.5	
5	Ss-6	-	2.2	2.1	6.6	2.9	3.9	0.7	

■ 最小値  
■ 個々のすべり面において、「ケース1」よりも厳しい評価となったケース

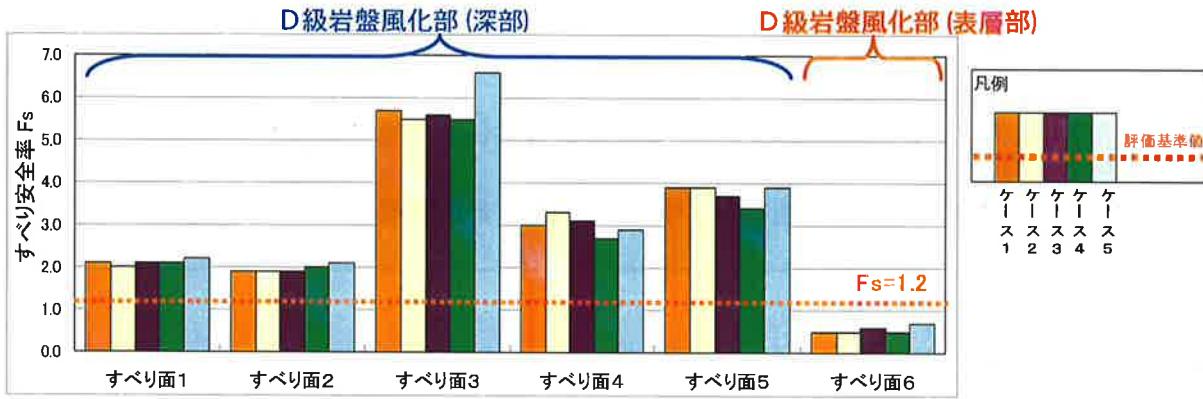


図-4.1 すべり安全率比較図

D級岩盤風化部(深部)を通るすべり面に対する最小すべり安全率 $F_s$ は $F_s=1.9$ となり、この値は評価基準値1.2を上回り、評価基準を満足している。

しかし、D級岩盤風化部(表層部)を通るすべり面に対する最小すべり安全率 $F_s$ は $F_s=0.5$ となり、この値は評価基準値1.2を下回り、評価基準を満足していない。

## VI-5 まとめ

### (1) 事業者条件による解析

事業者の解析条件を用いて、背後斜面の安定性解析を実施し、すべりに対する検討を行った。

- ・D級岩盤風化部(深部)における事業者の解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準を満足した。

### (2) JNES条件による解析

JNESでは入力地震動の位相の反転を考慮し、更に新たなすべり面を追加した解析条件を用いて、背後斜面の安定性解析を実施し、すべりに対する検討を行った。

- ・D級岩盤風化部(深部)を通るすべり面に対する最小すべり安全率 $F_s$ は $F_s=1.9$ となり、この値は評価基準値1.2を上回り、評価基準を満足している。
- ・D級岩盤風化部(表層部)を通るすべり面に対する最小すべり安全率 $F_s$ は $F_s=0.5$ となり、この値は評価基準値1.2を下回り、評価基準を満足していない。

### (3) まとめ

以上から、基準地震動 $S_s$ に対して現況斜面の安定性が保たれることは確認できなかった。

### 第三章 排土工事完了後の斜面形状に対する検討

## VI-6 概要

### VI-6. 1 検討フロー

クロスチェック解析では、事業者条件による解析及びJNES条件による解析を実施する。

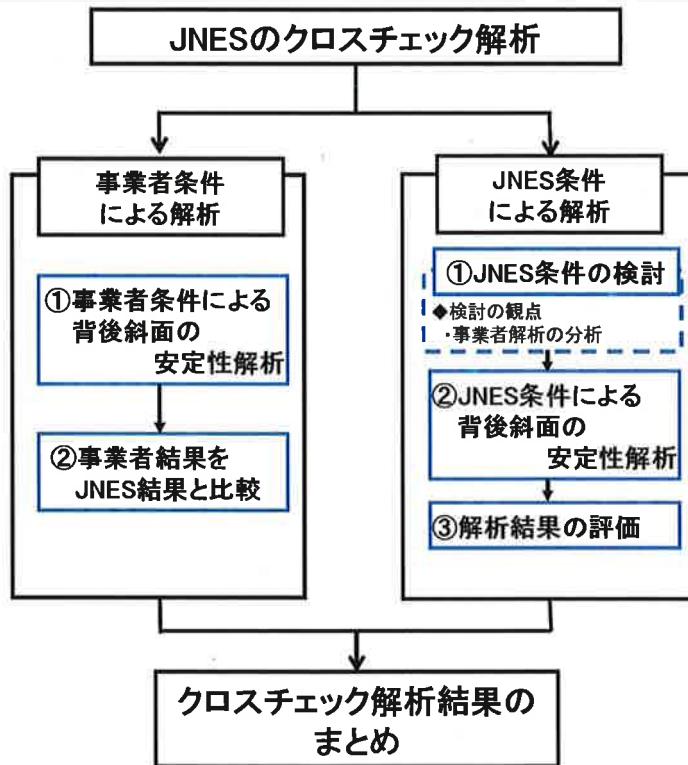


図-6.1 クロスチェック解析における基礎地盤の安定性検討フロー図

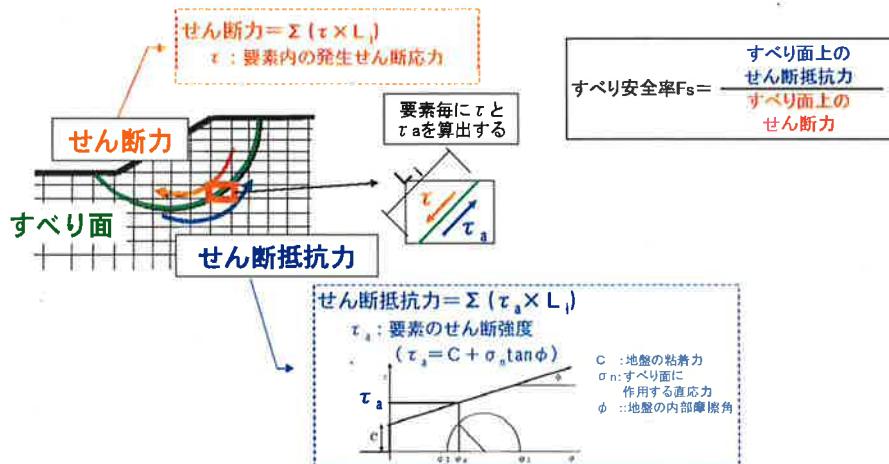
## VI-6. 2 安定性評価項目

クロスチェック解析では、以下の項目について評価を行うものとする。

表-6.1 評価項目と評価基準

評価項目	評価基準
背後斜面のすべり	すべり安全率Fsが1.2以上であること※

※ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987



## VI-7 事業者条件による解析

### VI-7.1 解析条件

#### VI-7.1.1 解析モデル

検討対象断面は、事業者が解析を実施したA-A'断面とし、断面形状は事業者が概略検討を行った排土工事後の斜面形状とする。

解析モデルは、地盤を平面ひずみ要素でモデル化する。

背後斜面の安定性解析は、静的解析による地盤の初期応力の算定と、地震応答解析による地震時応力の算定を行うものとする。

地震応答解析は、水平動及び鉛直動同時入力による周波数応答解析とし、等価線形解析によって剛性及び減衰のひずみ依存性を考慮する。

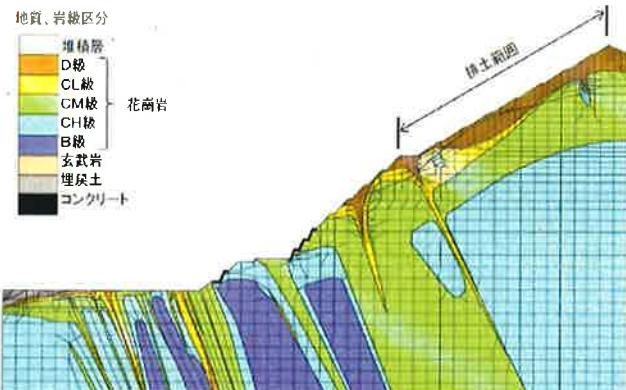


図-7.1 解析モデル図(A-A' 断面)



図-7.2 断面位置図

表-7.1 境界条件

	静的解析	地震応答解析
地盤底面	固定境界	粘性境界
地盤側面	鉛直ローラー境界	エネルギー伝達境界

## VI-7. 1. 2 地盤物性値

解析に使用する物性値は、事業者が設定した値を用いる。

表-7.2 地盤物性値

	物理特性		動的変形特性			強度定数			
	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )		動ポアソン比 <sup>※1</sup>	動せん断弾性係数 <sup>※1</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	動せん断弾性係数及び 減衰定数の ひずみ依存性	ピーク強度 <sup>※2</sup>		残留強度 <sup>※2</sup>	
	地下水位 以上	地下水位 以下				C (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	C <sub>r</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ <sub>r</sub> (°)
堆積層	19.7	20.4	$\nu = 0.45 - 0.006Z^{0.60}$	$G_0 = 36,600 \frac{(217-e)^2}{1+e} \cdot (102 \cdot \sigma'_m)^{0.501}$	ひずみ依存性を考慮	78 59	38 36	16	40.2
埋戻土	21.5	22.3	$\nu = 0.375 - 0.006Z^{0.58}$	$G_0 = 59841 \frac{(217-e)^2}{1+e} \cdot (102 \cdot \sigma'_m)^{0.502}$	ひずみ依存性を考慮	29	38	530+1.41P	考慮しない
岩盤	D級 (風化部)	21.0		0.36 0.23	210,000 540,000	h=3.0%	80	43.7	16
	C <sub>I</sub> 級	23.5	23.7	0.45	1,960,000		710+1.20P	34	34
	C <sub>M</sub> 級	25.1	25.2	0.40	7,360,000		1,770	39	1,370
	C <sub>H</sub> 級	25.3		0.36	10,500,000		2,840	49	2,260
	B級	25.4		0.32	17,500,000		4,020	49	49

※1 動ポアソン比、動せん断弾性係数

・堆積層、埋戻土

Z : 盛土表面からの深さ(m)

$\sigma'_m$  : 平均有効主応力(N/mm<sup>2</sup>)

e : 間隙比

・D級(風化部)

上段(下段)の数値はZ=0~5m(Z=5m~)に適用[Z:深度]

※2 ピーク強度、残留強度

・堆積層、D級(風化部)

P: 压密圧力(kN/m<sup>2</sup>)

堆積層、埋戻土、D級岩盤(風化部)のG/G<sub>0</sub>~γ、h~γの関係を以下に示す。

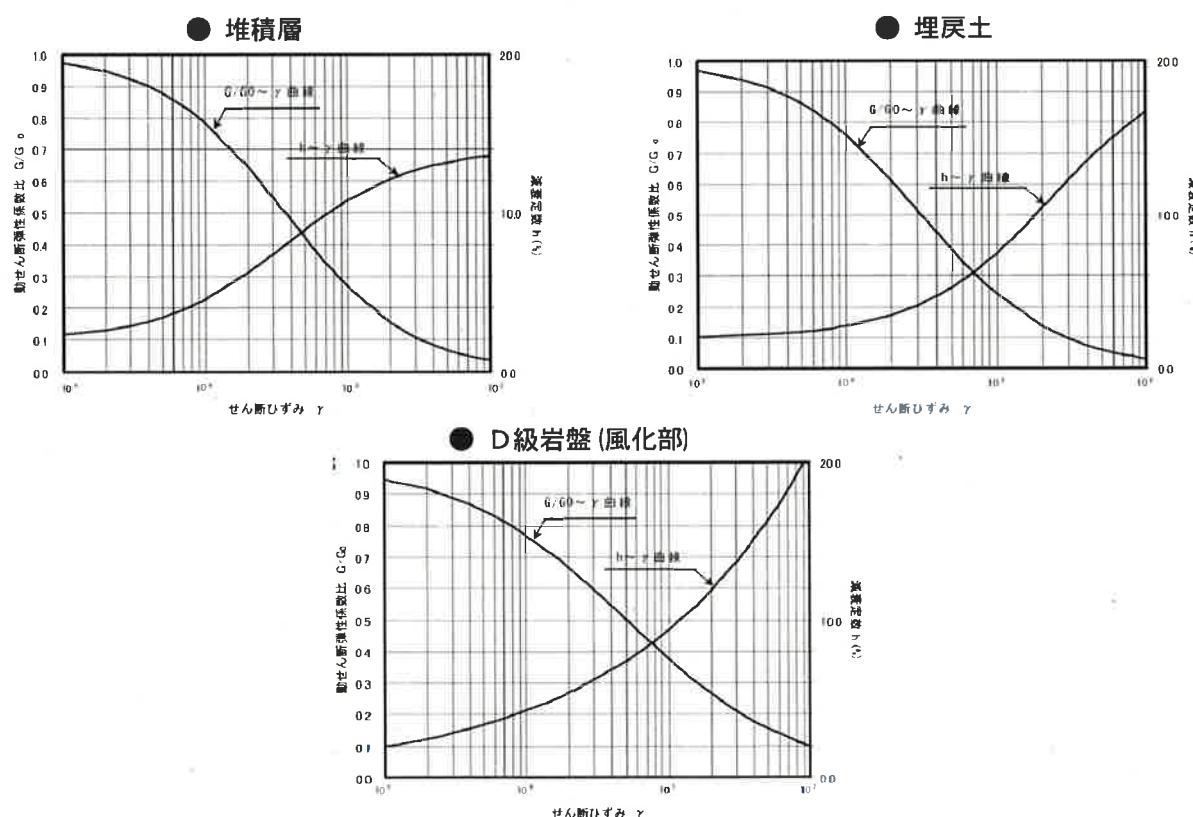
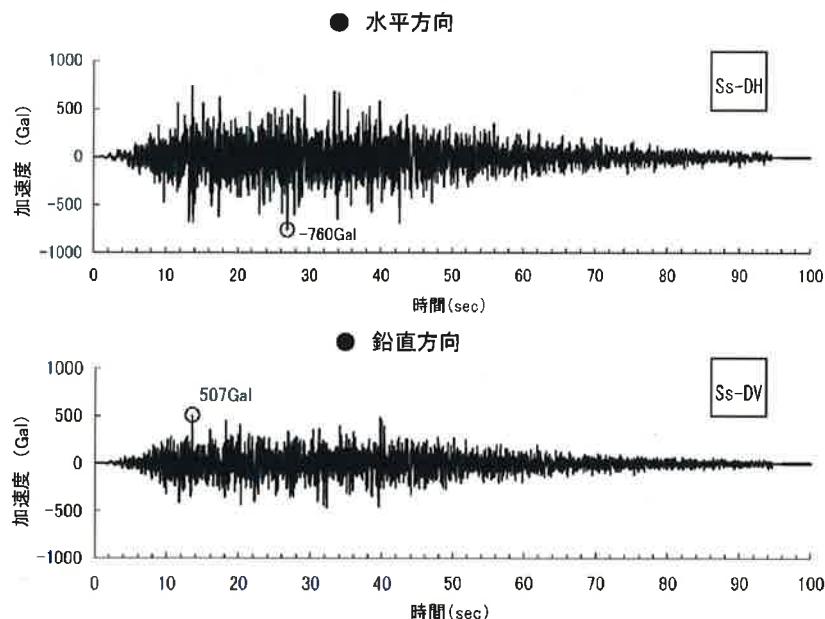


図-7.3 G/G<sub>0</sub>~γ、h~γ曲線図

### VI-7. 1. 3 基準地震動

地震応答解析に用いる地震動は、事業者が解析に用いているSs-D波（応答スペクトルに基づく地震動）とする。



### VI-7. 1. 4 解析モデルへの入力地震動

解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面(EL+5m)で定義された基準地震動Ssを、一次元波動論に基づく解析によって二次元FEMモデル下端位置(EL-50m)まで引き戻した地震動を用いる。

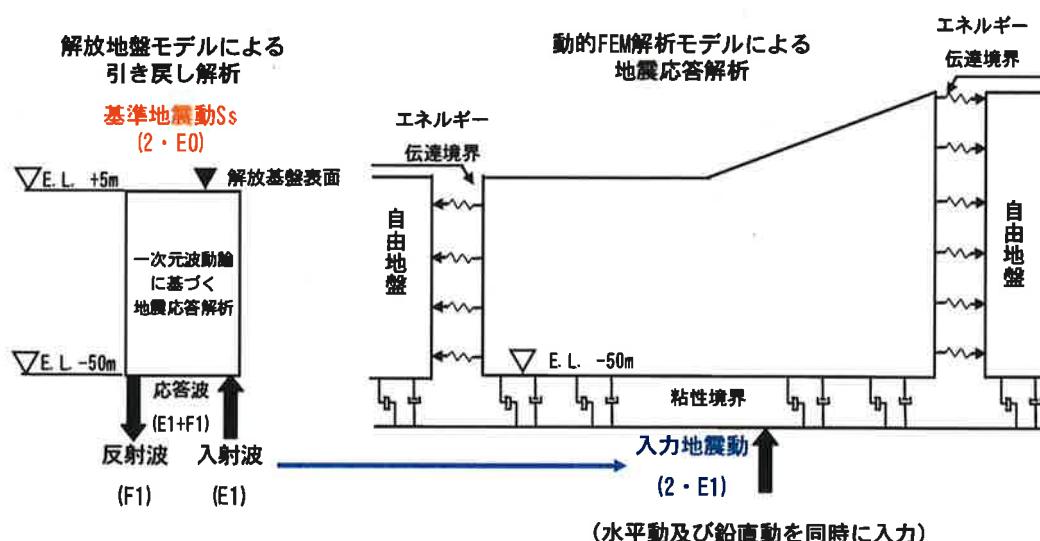


図-7.5 入力地震動の算定方法のイメージ

## VI-7. 1. 5 すべり面

すべり面は、事業者が設定したすべり面を用いる。

すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状
1	斜面の上側を通るすべり面	3	斜面の下側を通るすべり面	5	斜面の深部を通るすべり面
2	斜面の上側および法肩を通るすべり面	4	斜面の上側から下側にまたがる範囲を通るすべり面	6	斜面の表層部を通るすべり面

図-7.6 すべり面形状図

## VI-7. 2 解析結果

### VI-7. 2. 1 地震応答解析結果

Ss-D波における水平方向の最大応答加速度分布を示す。

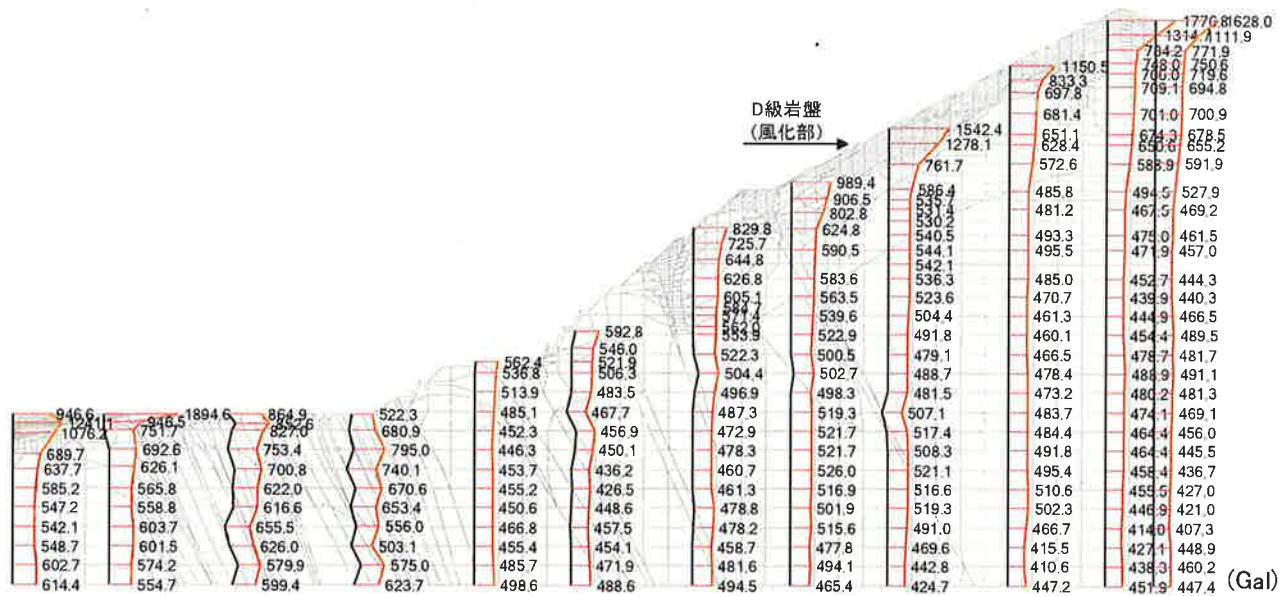
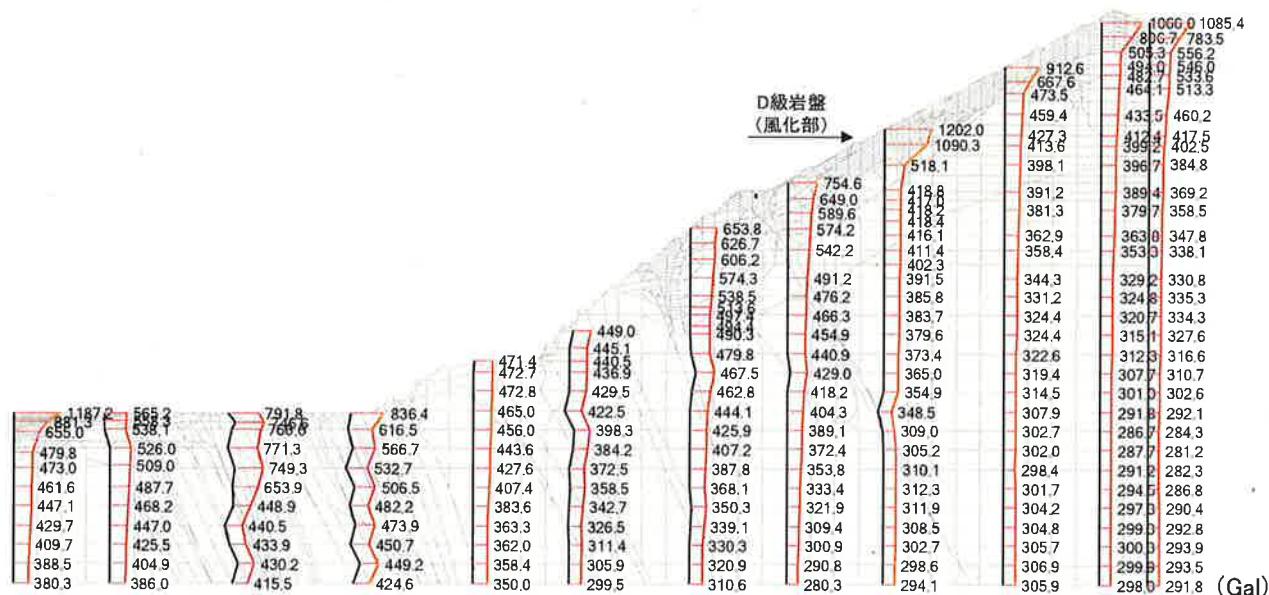


図-7.7 最大応答加速度分布図(水平方向)

Ss-D波における鉛直方向の最大応答加速度分布を示す。



## VI-7. 2. 2 評価結果

すべりに対するJNES及び事業者の解析結果を示す。

表-7.3 すべり安全率比較表

		すべり安全率 $F_s$						評価基準値
		すべり面1	すべり面2	すべり面3	すべり面4	すべり面5	すべり面6	
Ss-D波	JNES解析結果	2.5	2.5	5.4	3.3	3.8	2.1	1.2
	事業者解析結果	2.54	2.49	5.41	3.34	3.92	2.08	

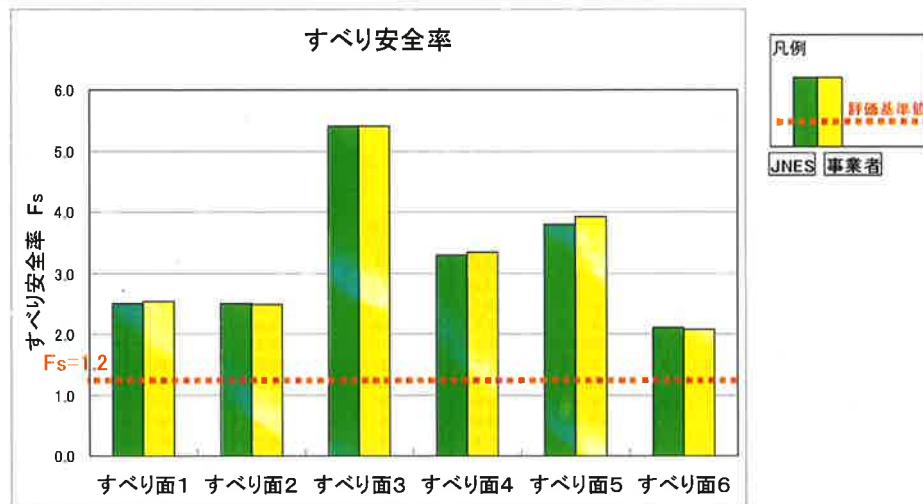


図-7.9 すべり安全率比較図

事業者解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準値1.2を上回り、評価基準を満足した。

## VI-8 JNES条件による解析

### VI-8. 1 JNES条件による解析の考え方

JNES条件による解析では、事業者解析を分析し、JNESが妥当と考える解析条件に基づいた解析を行う。

#### (1) 入力条件に係る項目

- ・安定性解析モデルは地層構成が不整形であり、左右非対称なモデルとなっている。そのため、入力地震動の水平動と鉛直動の位相を反転することによって応答結果に違いが生じることが予想される。従って、事業者解析では実施されていないが、応答スペクトルに基づく地震動の場合は位相を反転した解析が必要である。

#### (2)すべり面の設定に係る項目

- ・事業者は、排土工事後における斜面のD級岩盤風化部(表層部)のすべり面として、すべり面6を設定しているが、更に表層部の厳しいすべり面に対する確認が必要である。

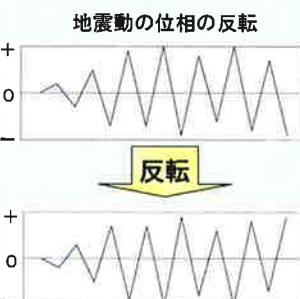
## VI-8. 2 解析条件

- (1)入力地震動Ss-D波における水平動と鉛直動の組合せは、位相の反転を考慮して、「正・正」、「正・逆」、「逆・正」、「逆・逆」の4通りとする。

表-8.1 解析ケース表

解析ケース	入力地震動	位相の組合せ
1	Ss-D	正・正
2		正・逆
3		逆・正
4		逆・逆

■：事業者が実施した解析ケース



- (2)事業者の排土計画の妥当性を確認するため、表層付近に着目して新たなすべり面を追加する。

すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状	すべり面	すべり面形状
1	斜面の上側を通るすべり面	3	斜面の下側を通るすべり面	5	斜面の深部を通るすべり面	7	斜面法尻を通るすべり面①
2	斜面の上側および法肩を通るすべり面	4	斜面の上側から下側にまたがる範囲を通るすべり面	6	斜面の表層部を通るすべり面	8	斜面中腹を通るすべり面①
						9	斜面法尻を通るすべり面②
						10	斜面中腹を通るすべり面②

すべり面の追加

- (3)他の解析条件については、「VI-7. 1 解析条件」において示した条件と同じとする。

## VI-8. 3 解析結果

すべりに対するJNESの解析結果を示す。

表-8.2 すべり安全率比較表

ケース	地震動	位相の組合せ	すべり安全率 $F_s$										評価基準値
			すべり面1	すべり面2	すべり面3	すべり面4	すべり面5	すべり面6	すべり面7	すべり面8	すべり面9	すべり面10	
1	Ss-D	正・正	2.5	2.5	5.4	3.3	3.8	2.1	1.9	1.9	1.3	1.5	1.2
2		正・逆	2.5	2.4	5.2	3.1	3.7	2.4	2.0	1.9	1.4	1.4	
3		逆・正	1.9	2.0	5.1	3.6	3.7	2.3	2.5	1.8	1.2	1.4	
4		逆・逆	2.4	2.4	5.2	3.8	3.7	2.2	2.5	2.0	1.3	1.4	

:最小値  
:個々のすべり面において、「ケース1」よりも厳しい評価となったケース

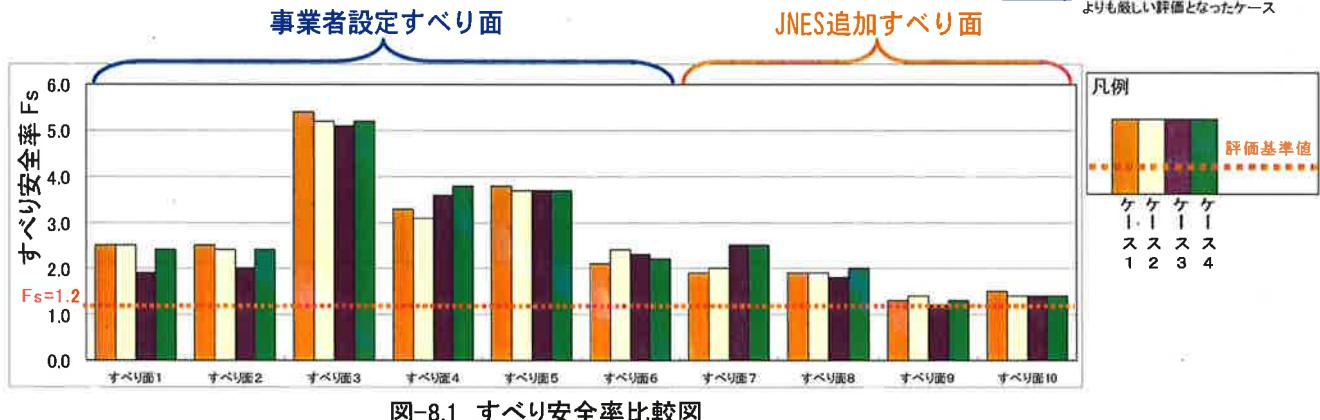


図-8.1 すべり安全率比較図

背後斜面のすべり安全率  $F_s$  は、JNES追加のすべり面9のケース3において最小の  $F_s = 1.2 (=1.22)$  となり、この値は評価基準値1.2と同等となった。

個々のすべり面でみると、事業者解析で実施している「正・正」の組合せケースが必ずしも厳しい結果とはなっていない。

## VI-9 まとめ

### (1) 事業者条件による解析

事業者の解析条件を用いて、排土工事後の背後斜面の安定性解析を実施し、すべりに対する検討を行った。

その結果、すべりに対する事業者の解析結果は、JNES解析結果とほぼ一致し、評価基準を満足した。

### (2) JNES条件による解析

JNESでは入力地震動の位相の反転を考慮し、更に新たなすべり面を追加した解析条件を用いて、排土工事後の背後斜面の安定性解析を実施し、すべりに対する検討を行った。

- ・背後斜面の最小すべり安全率 $F_s$ は、 $F_s=1.2$ となり、この値は評価基準値1.2と同等となった。
- ・個々のすべり面でみると、事業者解析で実施している「正・正」の組合せケースが必ずしも厳しい結果とはなっていない。

### (3) まとめ

以上から、基準地震動 $S_s$ に対して排土工事完了後の斜面の安定性が保たれることを確認した。また、上記事業者の報告書等における事業者の解析及び評価結果は妥当であると判断される。

## 参考資料 現況の斜面形状に対する岩塊移動量の検討

## VI-10 現況の斜面形状に対する岩塊移動量の検討(参考)

### VI-10. 1 概要

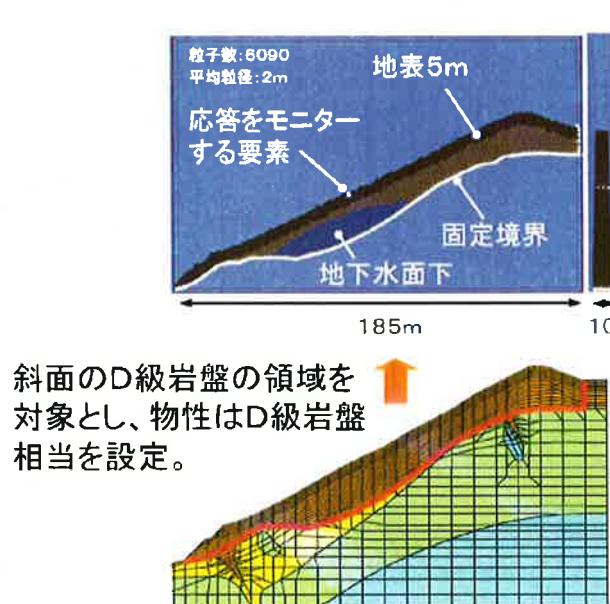
- ・現況斜面を対象として、個別要素法による不連続体解析を実施し、斜面崩壊を想定した場合の岩塊の移動量について予測する。
- ・すべり安定性の評価に用いる入力地震動は、応答スペクトルに基づく地震動であるSs-D波と断層モデルを用いた手法により策定した地震動であるSs-6波とする。

### VI-10. 2 解析条件の比較

表-10.1 解析条件の比較

項目	事業者	JNES
個別要素(要素形状)	剛体球形	弾性体六角形、および四角形
モデル化の範囲	D級岩盤のみモデル化	FEMと同様の領域
入力地震動	D級岩盤の下端に入力	FEMと同様、モデル底面に入力
ばね係数の設定	微小パルス波を入力し、FEMと整合させる	要素の変形を考慮し設定
材料強度	三軸試験のシミュレーションから設定	試験による岩盤物性を使用
減衰	微小パルス波を入力し、FEMと整合させる	エネルギー減衰(3%)

### VI-10. 3 解析モデルの比較



耐震・構造設計小委員会地震・津波・地質・地盤合同ワーキンググループ(第21回)Cサブグループ会合一配付資料

図-10.1 事業者モデル

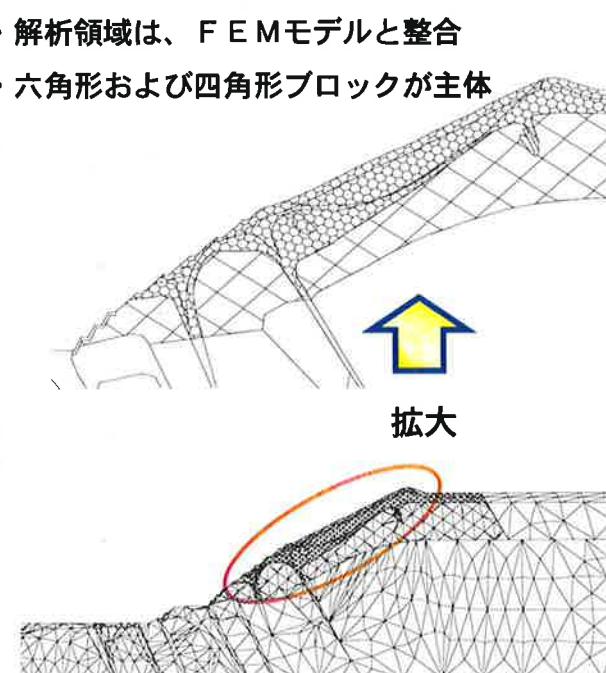


図-10.2 JNESモデル

## VI-10. 4 斜面崩壊に伴う岩塊の移動量の予測

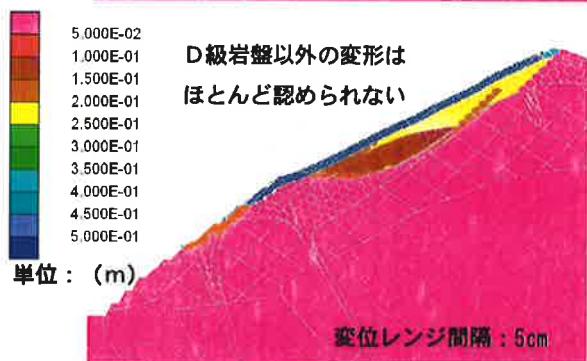
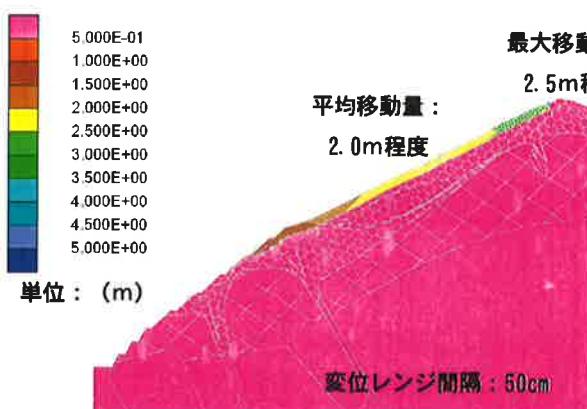


図-10.3 移動量センター図(入力地震動:Ss-D波)

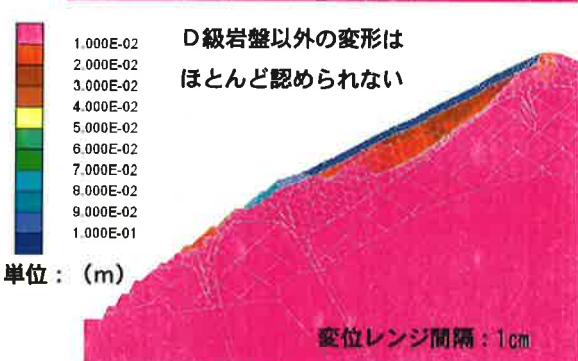
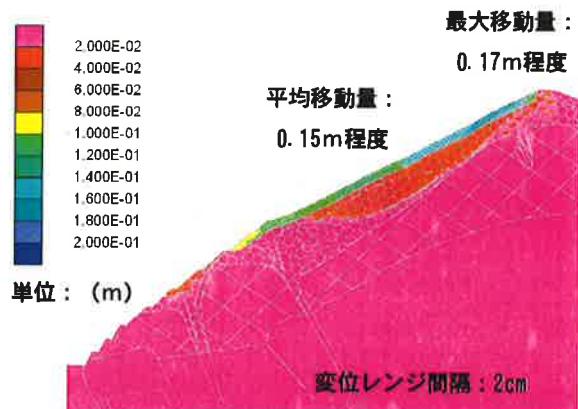
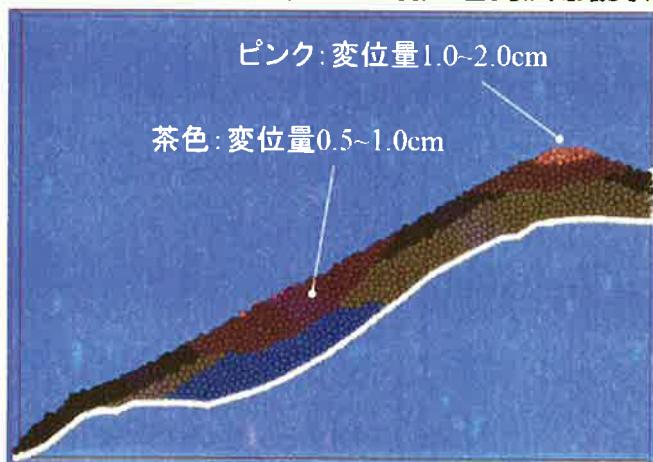


図-10.4 移動量センター図(入力地震動:Ss-6波)

## VI-10. 5 まとめ

- (1) 岩塊の移動量は、Ss-D波の方がSs-6波よりも大きく、最大変位量は約2.5m程度であった。
- (2) 事業者の解析では、岩塊の移動量はSs-D波の場合最大2.0cm程度である。これは、用いている解析手法や、斜面のモデル化、モデル化領域等がJNESと異なるためと考えられる。
- (3) 今回の解析条件のもとでは、斜面法下まで落ちた岩塊は存在しない。

個別要素法による検討では、2cm程度以下の変位が生じるが、破壊しない。



耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ(第21回)Cサブグループ会合-配付資料

図-10.5 事業者解析結果

## 第VII篇 地震随伴事象に対する考慮 (津波に係わる安全性評価)

## 第VII篇 地震随伴事象に対する考慮(津波に係わる安全性評価)

### 目次

VII-1. クロスチェック解析の目的及び概要	VII-1
VII-2. 対象施設の立地条件	VII-2
VII-3. 津波に対する安全性の考え方	VII-3
VII-4. 既往津波による再現性の確認	VII-5
VII-5. 安全評価上重要な津波波源の選定	VII-7
VII-6. 津波水位に係わる安全性評価	VII-10
VII-7. 津波に伴う土砂移動に係わる安全性評価	VII-15
VII-8. クロスチェック解析のまとめ	VII-19
・参考文献	VII-20

## 第VII篇 地震随伴事象に対する考慮（津波に係る安全性評価）

### VII-1. クロスチェック解析の目的及び概要

#### (1) 目的

本クロスチェック解析は、日本原子力研究開発機構（以下、「事業者」という。）が原子力安全・保安院（以下、「保安院」という。）に提出した高速増殖原型炉もんじゅの「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書（平成 20 年 3 月）」のうち、津波に係る安全性評価についてクロスチェック解析を実施した。

#### (2) 概要

本クロスチェック解析では、土木学会の「原子力発電所の津波評価技術 2002」（以下、「土木学会 2002」という。）に準拠し、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のある津波を想定して、その津波による当該施設への影響を検討した。具体的には、津波来襲時の押し波時の水位上昇による重要機器の浸水や、引き波時の水位低下による取水障害、津波に伴う海底の土砂移動による取水口閉塞によって、当該施設の安全機能が損なわれることがないかを検討した。

特に、津波波源の想定では、保安院の合同 C サブグループにおける活断層評価に関する審議に基づいて当該施設周辺の海域活断層のうち、「大陸棚外縁～B～野坂断層」、「FO-A～FO-B 断層」、「和布～干飯崎沖～甲楽城断層」については同時活動を考慮した波源も評価対象としクロスチェック解析を行った。なお、第 24 回合同 C サブグループ（平成 22 年 2 月 24 日）及び原子力安全委員会の地震動解析技術等作業会合（平成 22 年 3 月 8 日）にて本クロスチェック解析の結果を報告した。

## VII-2. 対象施設の立地条件

図 2.1 に示すように、もんじゅは、日本海の若狭湾に面して敦賀半島の先端に立地する。

若狭湾沿岸部は、地形変化に富むリアス式海岸であり、津波が增幅しやすい地形である。また、若狭湾周辺には海域活断層が多数存在する。さらに、図 2.2 にもんじゅ港付近を示す。もんじゅ港では、定期的に浚渫するほど、潮流によって海底の土砂が湾内に堆積する傾向となっている。



図 2.1 高速増殖原型炉もんじゅの立地位置



図 2.2 高速増殖原型炉もんじゅの敷地周辺状況

### VII-3. 津波に対する安全性の考え方

クロスチェック解析における津波に対する安全性の考え方を図 3.1 に示す。

クロスチェック解析は、基本的に土木学会 2002 に準拠し、当該施設の供用期間中に発生する可能性のある津波を想定し、その津波によって施設の安全機能が損なわれることがないことを確認する。そのために、[1] 想定津波が敷地内に侵入し重要機器が冠水しないこと、[2] 原子炉機器冷却系の取水に支障がないこと、について具体的な安全性判断基準を設定し、解析の結果が、この安全性判断基準を満足することを確認する。

クロスチェック解析のフローを図 3.2 に示す。

## 津波に対する安全性の考え方

- ・土木学会の「原子力発電所の津波評価技術2002」に準拠し、当該施設の供用期間中に発生する可能性のある津波を想定し、その津波によって施設の安全機能が損なわれるがないことを確認する。
- ・想定津波に対する安全性を判断するための具体的な基準(安全性判断基準)を設定し、津波数値解析等の結果が、この基準を満足することを確認する。

事故象	評価項目	安全性判断基準値	
重要機器の浸水 <sup>*2</sup>	水位上昇量	敷地レベル(T.P.+5m) + 防水壁の許容浸水深(0.85m <sup>*1</sup> )	T.P.+5.8m
取水障害 <sup>*2</sup>	水位下降量	補機冷却系海水ポンプ取水限界レベル	T.P.-2.9m
取水口前面の堆砂高		取水口の開口部高さ	2.5m

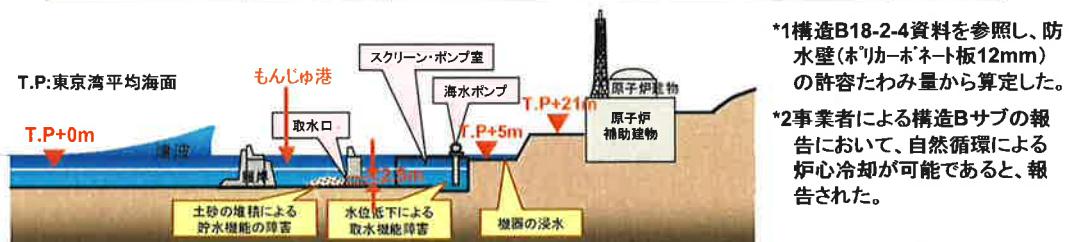


図 3.1 津波に対する安全性の考え方

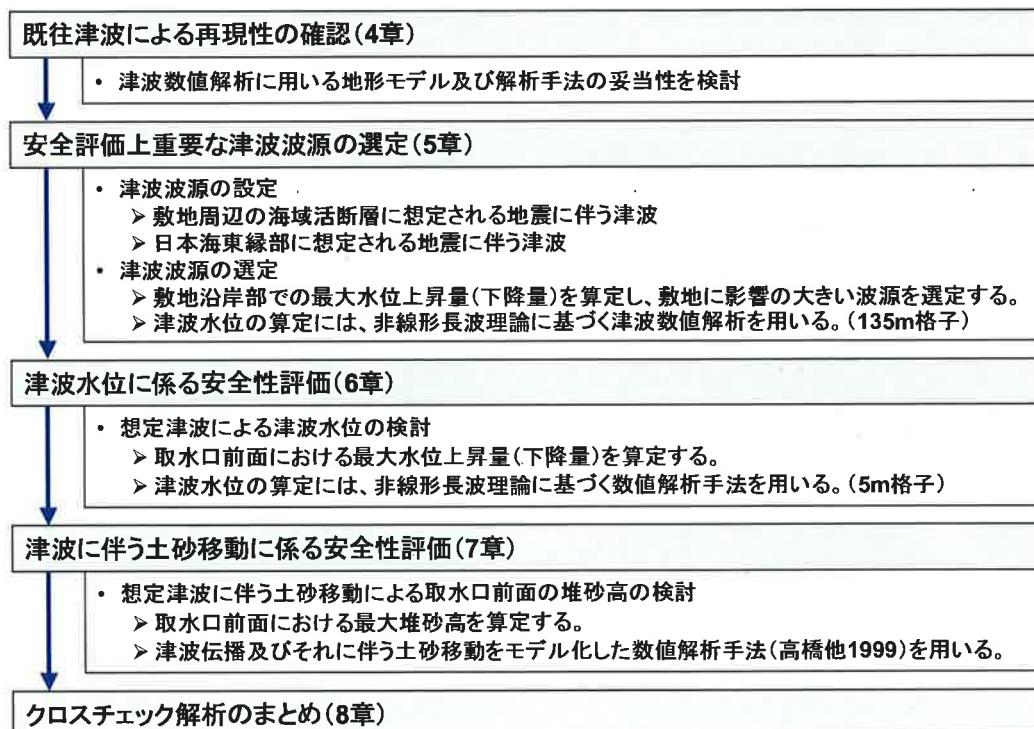


図 3.2 クロスチェック解析のフロー

#### VII-4. 既往津波による再現性の確認

クロスチェック解析に使用する JNES の津波解析コード SANNAMI (+TUNAMI) 及び地形モデルの妥当性を確認するために、既往津波による再現性を確認する。

対象津波は、1983 年日本海中部地震津波とし、青森県から福岡県において観測されたこの津波の痕跡データと計算結果を比較する。図 4.1 に既往津波の再現性確認の解析条件を示す。

図 4.2 に既往津波の再現性確認の結果を示す。広域及びサイト近傍における相田の幾何平均  $K$ 、幾何標準偏差  $\kappa$  の値は、いずれも再現性の目安とされる条件を満足しており、SANNAMI (+TUNAMI) コード及び地形モデルが妥当であることを確認した。

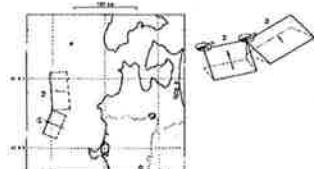
### (1) 目的

- 敷地沿岸部における津波水位は、海域及び陸域の地形モデルと数値解析手法を用いて算定する。
- これらの地形モデル及び解析手法等の妥当性を評価するために、既往津波の再現性を確認する。

### (2) 対象津波波源

- 1983年日本海中部地震津波
- 断層パラメータ<sup>1</sup>

セグメント	長さL (km)	幅W (km)	走向θ (°)	傾斜角δ (°)	すべり角入 (°)	すべり量 (m)	断層上線深さ(km)
①	40	30	22	40	90	7.6	2
②	60	30	355	25	80	3.05	3



断層位置(左:平面図、右:見取り図)

\*1 「日本の地震断層パラメーターハンドブック」より引用

### (3) 数値解析の地形モデルの領域区分と空間格子間隔

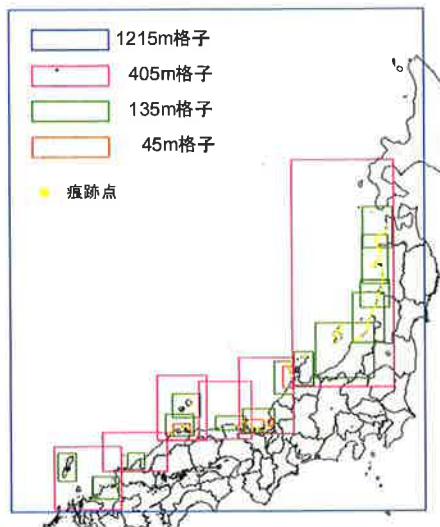
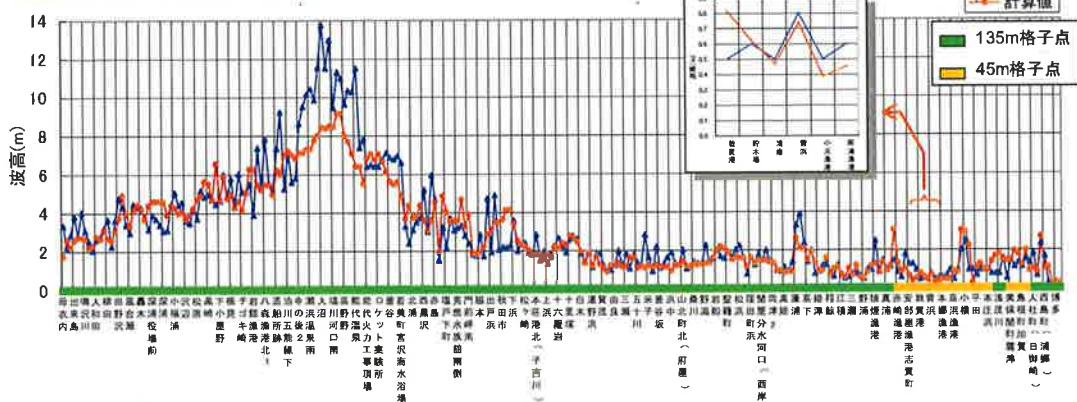


図 4.1 既往津波の再現性確認の解析条件

### (4) 再現性確認の結果

#### ■既往津波の痕跡高と計算波高の比較



#### ■相田(1977)の幾何平均K及び幾何標準偏差κ

	広域	サイト近傍	135m格子点	45m格子点
痕跡数	266	6	233	33
K	1.01	1.03	1.01	1.05
κ	1.40	1.29	1.37	1.61

広域及びサイト近傍におけるK、 $\kappa$ の値は、いずれも再現性の目安とされる以下の条件を満足しており、JNESの地形モデル及び数値解析手法が妥当であることを確認した。

(再現性の条件)  $0.95 < K < 1.05$ ,  $\kappa < 1.45$

図 4.2 既往津波の再現性確認の解析結果

## VII-5. 安全評価上重要な津波波源の選定

当該施設に影響を及ぼすと考えられる津波は、(1) 敷地周辺の海域活断層に想定される地震に伴う津波と、(2) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波である。これらの津波の波源を図 5.1 に示す。

(1) 敷地周辺の海域活断層に想定される地震に伴う津波の波源については、合同 C サブグループの活断層評価に関する審議に基づき、大陸棚外縁～B～野坂断層、FO-A～FO-B 断層、和布一干飯崎沖～甲楽城断層の同時活動を考慮して当該施設への影響を評価する。また、(2) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波源については、地震調査研究推進本部における日本海東縁部の地震活動域を参考に、土木学会 2002 に示された波源を基準断層モデルとして設定する。波源の不確かさとして、断層走向を基準断層モデルの基準走向を中心に、 $\pm 10^\circ$  の振り幅で解析を行う。

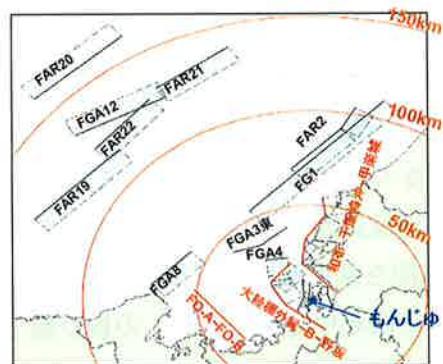
以上の対象津波波源の中から敷地沿岸部において水位変動が大きくなる波源を選定する。

敷地沿岸部の水位変動は、津波解析により算定する。図 5.2 に津波解析の計算条件を示す。ここでは、135m までの空間格子間隔のやや粗い地形モデルを用いて波源を選定する。

図 5.3 に敷地沿岸部の最大水位上昇量及び最大水位下降量の結果を示す。この図から、以下に示す波源が、敷地沿岸部において水位変動が大きい結果となった。これらの波源を次節の津波水位に係る安全性評価の対象波源として選定した。

- ・ 大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動
- ・ FO-A～FO-B 断層の同時活動

(1) 敷地周辺の海域活断層に想定される地震に伴う津波の波源



合同Cサブグループの活断層評価の審議に基づいて、以下の断層の同時活動を考慮する。

- ・大陸棚外縁~B~野坂断層
- ・FO-A~FO-B断層
- ・和布~干飯崎沖~甲楽城断層

(2) 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波源

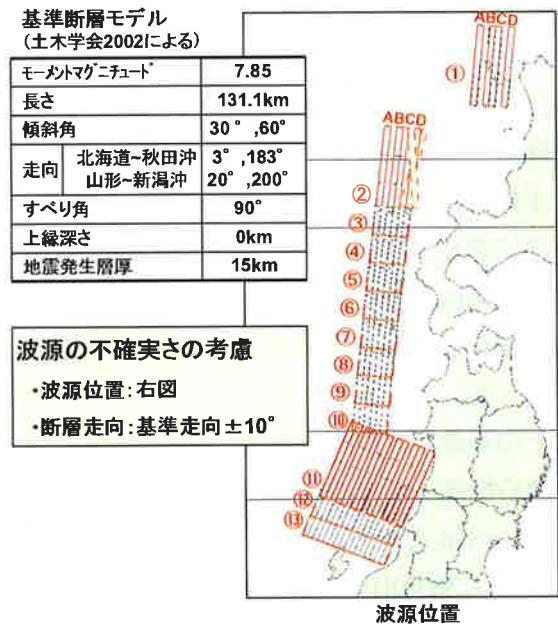


図 5.1 想定津波の波源設定

(1) 波源選定の方法

- ・設定した波源のうち、敷地沿岸部において水位変動(上昇、下降)が大きくなる波源を選定する。
- ・敷地沿岸部における水位変動の算定には、津波数値解析を適用する。

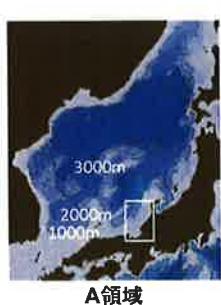
(2) 津波数値解析の方法

- ・非線形長波理論を適用した後藤ら(1982)の方法を採用する。
- ・地形モデルの空間格子間隔を1215m~135mとする。
- ・解析にはJNES保有の津波解析コードSANNAMI(+TUNAMI)を用いる。

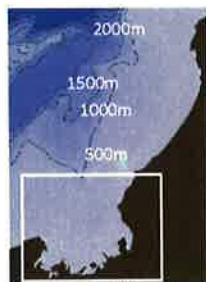
■津波解析の計算条件

項目	JNESの計算条件			
計算領域	A領域	B領域	C領域	
空間格子間隔(m)	1215	405	135	
時間格子間隔(秒)	1.458	0.486	0.162	
基礎方程式	非線形長波			
陸側境界条件	完全反射			
海底摩擦係数	マニングの粗度係数n=0.025m <sup>-1/3</sup> s			
水平渦動粘性	考慮しない			
初期条件	Mansinha and Smylie(1971)の方法による。			
計算対象現象時間	周辺海域活断層の地震津波	地震発生後5時間	日本海東縁部の想定地震津波	地震発生後10時間

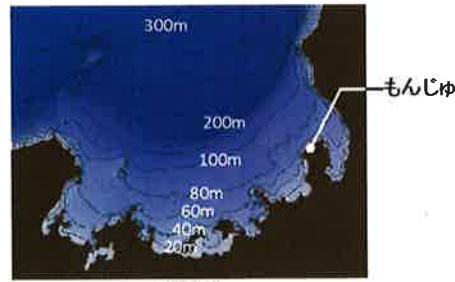
■津波解析に用いる地形モデルの領域区分及び等深線



A領域



B領域

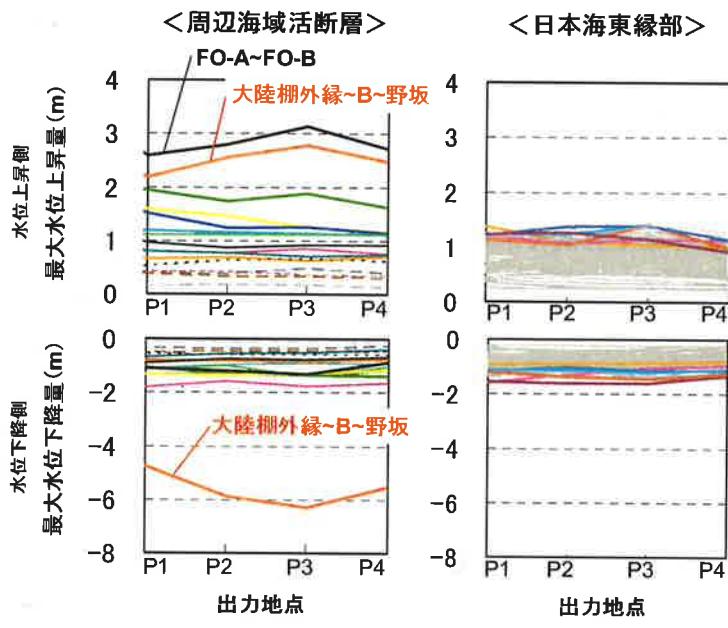


C領域

図 5.2 津波波源の選定方法及び津波解析の計算条件

### (3) 津波数値解析の結果

#### ■敷地沿岸部の最大水位上昇量及び最大水位下降量



### (4) 津波波源の選定結果

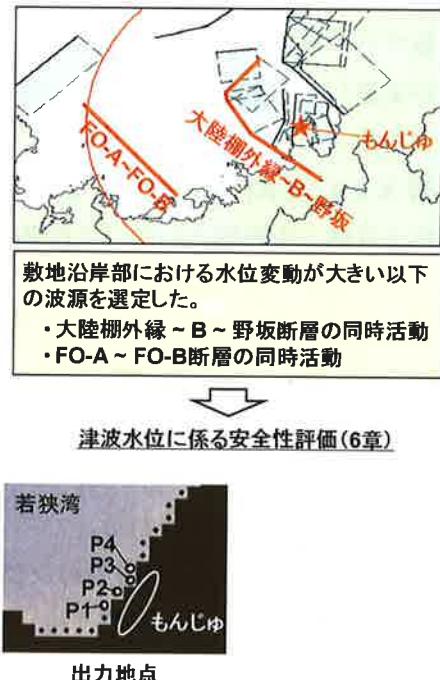


図 5.3 津波波源の選定結果

## VII-6. 津波水位に係る安全性評価

前節の安全上重要な津波波源の選定の結果を受けて、「大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動」及び「F0-A～F0-B 断層の同時活動」の2つの波源を対象に、当該施設の津波に対する安全性を評価する。対象とする断層の断層パラメータを図6.1に示す。これらの断層パラメータは、事業者が実施した、主応力軸(P軸)のばらつきを考慮したパラメータスタディのうち最も厳しいケースのパラメータである。図6.2に、津波水位評価用の解析手法及び計算条件を示す。

図6.3に取水口前面における最大水位上昇量及び最大水位下降量の結果を示す。この図から、水位上昇側・下降側とともに「大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動」ケースが敷地に最も影響が大きいことが分かる。また、このケースの水位上昇側で、取水口前面における最大水位上昇量が敷地レベルT.P.+5mを超えた。水位下降側では、補機冷却系海水ポンプの取水限界レベルを下回る結果となった。「大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動」ケースについて、事業者とJNESの解析結果を比較した。水位下降側ではほぼ一致するが、水位上昇側では事業者の結果はJNESの結果より小さく10%程度の差が生じた。これは、津波解析における水平渦動粘性係数に違いがあり、結果に影響したものと考えられる。

図6.4に最大水位上昇量分布及び最大水位下降量分布の結果を事業者の解析結果と比較して示す。この図から、水位上昇側では、事業者の解析結果に敷地内への浸水は見られないが、JNESの解析では、敷地内に浸水する結果となった。ただし、補機冷却海水ポンプ位置まで浸水することはなかった。また、水位下降側では、事業者の結果は、JNESの結果とほぼ一致した。

図6.5に取水口前面における水位変動の時系列の結果を事業者の解析結果と比較して示す。この図から、第一波到達時間を初め、水位変動の振幅及び位相がほぼ一致する結果となった。ただし、最大振幅の差は、10%程度であった。

図6.6に大陸棚外縁～B～野坂断層のアスペリティモデルを波源とした場合の検討結果を示す。アスペリティ配置は2種類とし、配置1は、事業者の地震動評価の基本震源モデルを参考とした。ただし、大陸棚外縁断層のすべり角については、主応力軸のばらつきを考慮して断層運動による地殻変動の鉛直成分が大きくなるケースを設定した。また、配置2では、最も大きいアスペリティを大陸棚外縁断層に設定した場合を検討した。これらのアスペリティモデルを用いた津波解析の結果、一様すべりの場合に比べてアスペリティモデルでの水位変動は小さい結果となった。

図6.7に津波水位に係る安全性評価の結果を示す。津波解析の結果は、東京湾平均海面(T.P.)からの水位変動を表しており、水位上昇側及び水位下降側の評価用の津波水位には、津波解析の結果にそれぞれ朔望平均満潮位(T.P.+0.42m)、朔望平均干潮位(T.P.-0.03m)を考慮する。取水口前面(J点)における最大水位上昇量はT.P.+5.2mであり、評価用の最高水位は、朔望平均満潮位を考慮するとT.P.+5.6mである。これは、敷地レベルT.P.+5.0mを超えるが、やや内陸の補機冷却海水ポンプ位置では、解析上、浸水していないためT.P.+5.6mを下回ると考えられ、安全性判断基準(T.P.+5.8m)を満足する結果となった。また、事業者の評価結果では、同水位がT.P.+5.2mであり、JNESの評価結果と10%程度の差があった。

次に、取水口前面(J点)における最大水位下降量はT.P.-5.5mであり、評価用の最低水位は、朔望平均干潮位を考慮するとT.P.-5.5mである。これは、安全性判断基準値(T.P.-2.9m)を下回る結果となった。また、事業者の評価結果では、同水位がT.P.-5.2mであり、JNESの評価結果と同程度であった。

## 1 評価対象の津波波源

安全上重要な津波波源の選定の結果を受けて、以下の波源を対象とする。

- ・大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動
- ・FO-A～FO-B断層の同時活動

これらの断層パラメータは、事業者が実施した、主応力軸(P軸)のばらつきを考慮したパラメタスタディのうち、最も厳しいケースについて検討する。(合同C21-5資料参照)



## 2 津波数値解析手法及び解析条件

- ・津波数値解析手法を用いて、敷地沿岸部における最大水位上昇量及び最大水位下降量を算定する。
- ・津波数値解析の方法は、非線形長波理論を適用した後藤ら(1982)の方法を採用する。
- ・津波数値解析に用いる地形モデルの空間格子間隔は、1215m～5mとする。
- ・津波数値解析には、JNES保有の津波解析コードSANNAMI(+TUNAMI)を用いる。

大陸棚外縁～B～野坂断層の断層パラメータ<sup>1</sup>

セグメントNo	長さL(km)	幅W(km)	走向θ(°)	傾斜角δ(°)	すべり角λ(°)	すべり量(m)	断層上縁深さ(km)
S1	12.9	17.3	41.2	60	112.7	3.73	0
S2	2.6	17.3	345.6	60	26.4	3.73	0
S3	11.0	17.3	330.4	60	0.0	3.73	0
S4	7.4	15	309.2	90	0.0	3.73	0
S5	2.7	15	315.6	90	0.0	3.73	0
S6	12.0	15	305.3	90	0.0	3.73	0

<sup>1</sup> 合同C21-5資料より

FO-A～FO-B断層の断層パラメータ<sup>2</sup>

長さL(km)	幅W(km)	走向θ(°)	傾斜角δ(°)	すべり角λ(°)	すべり量(m)	断層上縁深さ(km)
34.5	15	140	90	33	2.87	0

<sup>2</sup> 原子力安全・保安院より提供を受けた事業者データより

図 6. 1 評価対象の津波波源及び断層パラメータ

### ■津波解析の計算条件

項目	JNESの計算条件						事業者の計算条件				
計算領域	A領域	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域 <sup>1</sup>	A～I領域(9領域)				
空間格子間隔(m)	1215 <sup>1</sup>	405	135	45	15	5	1600～6.25m				
時間格子間隔(秒)	1.458	0.486	0.162	0.054	0.018	0.006	0.25				
基礎方程式	非線形長波						非線形長波				
陸側境界条件	完全反射		小谷ら(1998)の溯上境界				全領域:完全反射				
海底摩擦係数	マニングの粗度係数n=0.025m <sup>-1/3</sup> s						n=0.03m <sup>-1/3</sup> s				
水平渦動粘性	考慮しない						10m <sup>2</sup> /s				
初期条件	Mansinha and Smylie(1971)の方法による。						同左				
計算対象現象時間	地震発生後5時間						地震発生後3時間 <sup>2</sup>				

<sup>1</sup> 事業者の深浅測量データからD領域地形モデルを作成した。

<sup>2</sup> 事業者は、地震発生後12時間までの計算を行い3時間以降の最大波の到達がないことを確認している。(合同C23-5資料参照)

### ■津波解析に用いる地形モデルの領域区分及び等深線

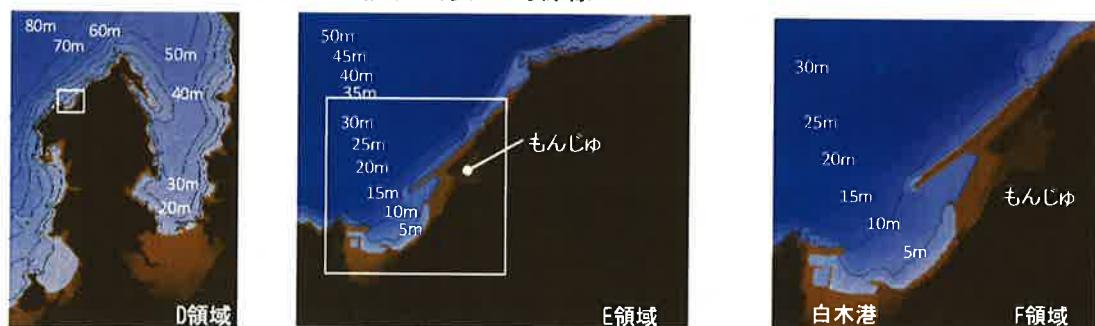
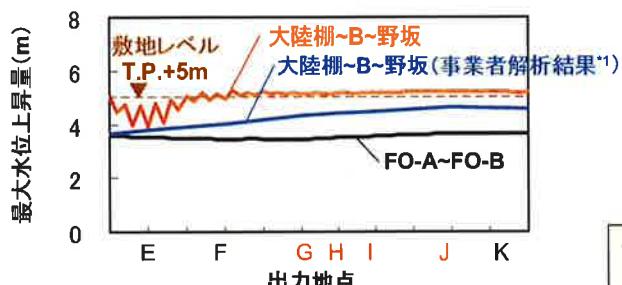


図 6. 2 津波水位評価用の計算条件及び地形モデル

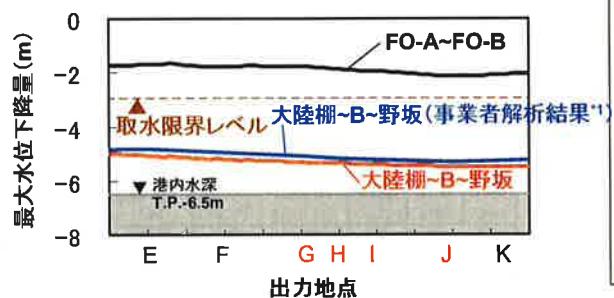
## (1) 取水口前面における最大水位上昇量及び最大水位下降量

### ■水位上昇側



出力地点

### ■水位下降側

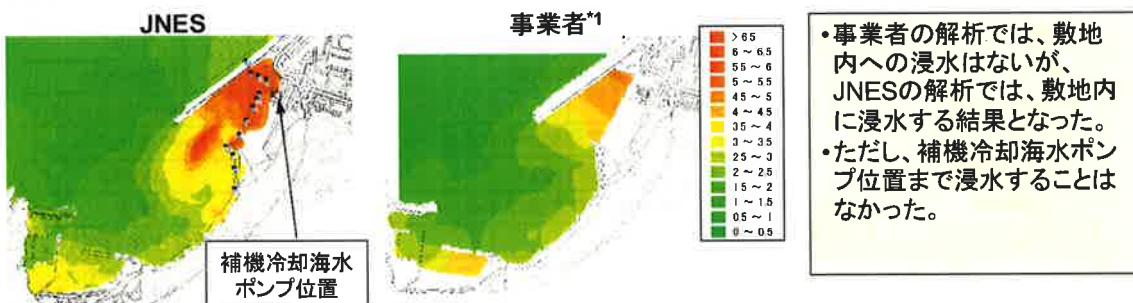


- ・数値解析の結果、水位上昇側・下降側共に大陸棚外縁~B~野坂断層の同時活動ケースが敷地に最も影響が大きい。
- ・水位上昇側では、取水口前面における最大水位上昇量が敷地レベルを超える結果となった。
- ・水位下降側では、取水口前面における最大水位下降量が補機冷却系海水ポンプの取水限界レベルを下回る結果となった。
- ・大陸棚外縁~B~野坂断層の同時活動ケースについて、事業者とJNESの解析結果は、水位下降側ではほぼ一致するが、水位上昇側では、10%程度の差が生じている。

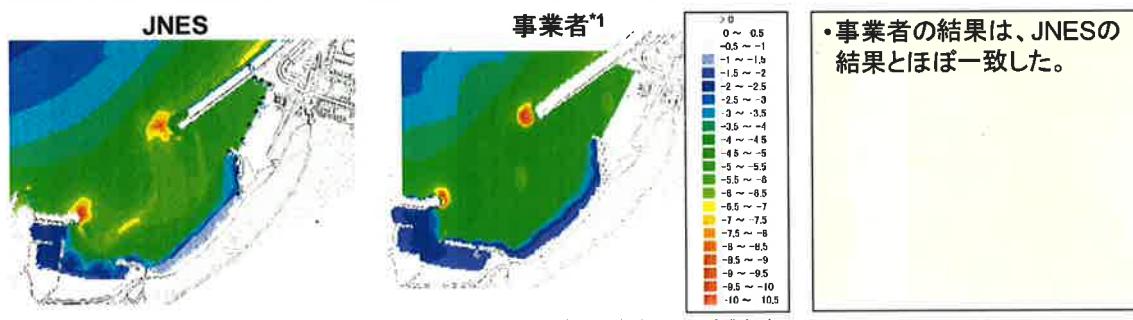
\*1 原子力安全・保安院より提供を受けた事業者データより

図 6.3 取水口前面における最大水位上昇量及び最大水位下降量の結果

## (2) 最大水位上昇量分布図:「大陸棚外縁~B~野坂断層」同時活動ケース



## (3) 最大水位下降量分布図:「大陸棚外縁~B~野坂断層」同時活動ケース



\*1 原子力安全・保安院より提供を受けた事業者データ

図 6.4 最大水位上昇量分布及び最大水位下降量分布の結果

(4) 取水口前面(J点)における水位変動の時系列:「大陸棚外縁～B～野坂断層」同時活動ケース

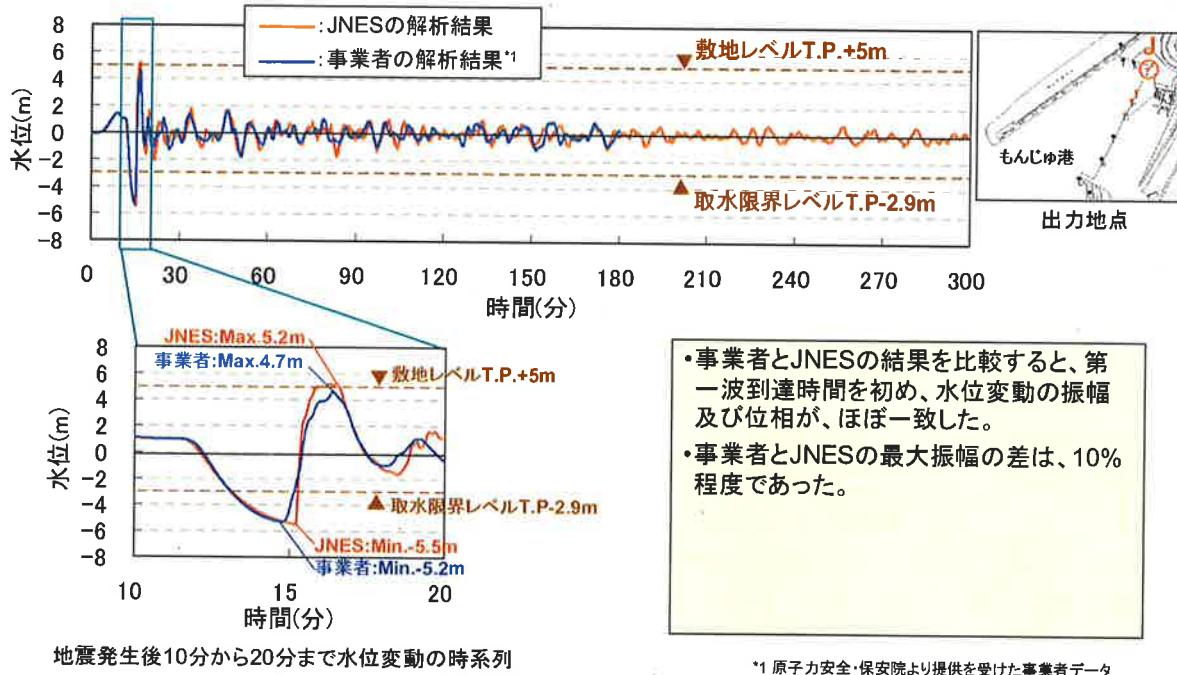
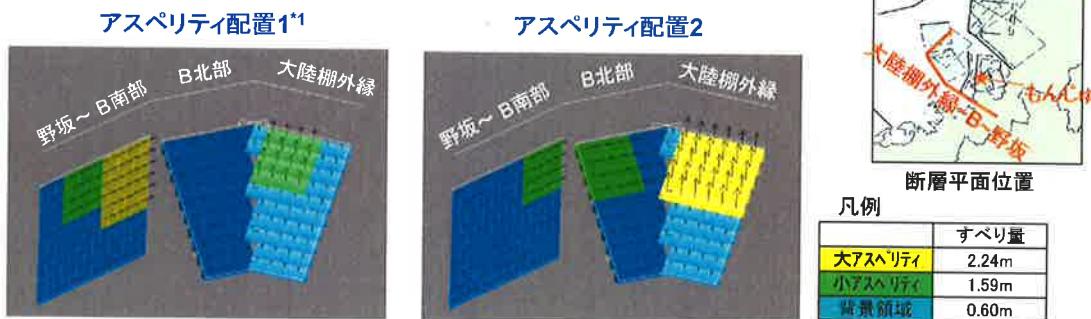


図 6.5 取水口前面における水位変動の時系列の結果

(1) 波源モデル



■ アスペリティモデルの断層パラメータ

断層名	長さL (km)	幅W (km)	傾斜角δ (°)	すべり角λ (°)
大陸棚外縁断層	13.7	16.2	60	105.1
B断層北部	13.4	16.2	60	0
B断層南部～野坂断層	22.0	14.0	90	0

- 2種類のアスペリティモデルを波源とする津波数値解析の結果、一様すべりモデルの水位変動より小さい結果となった。

(2) 解析結果－取水口前面の最大水位分布

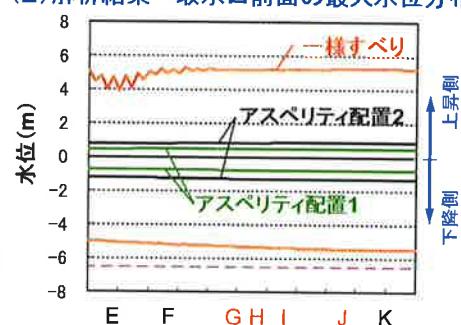


図 6.6 大陸棚外縁～B～野坂断層のアスペリティモデルを波源とした場合の検討結果

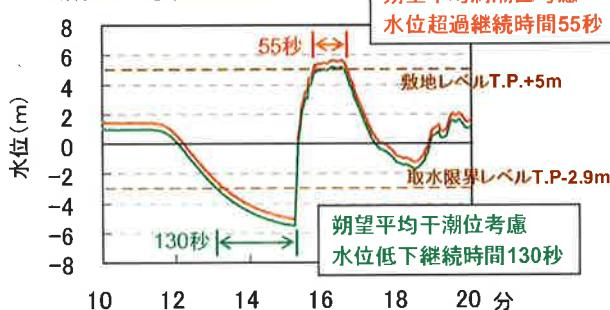
### ■評価結果(評価用津波波源:大陸棚外縁~B~野坂断層の同時活動ケース)

項目	JNES	事業者	安全性判断基準値
(1) 水位上昇側	解析値(m) 朔望平均満潮位(m)	T.P.+5.2(J点) T.P.+0.42	T.P.+4.7 (J点) —
	評価水位(m)	T.P.+5.6	T.P.+5.2
	継続時間	約55秒間	約10秒間
(2) 水位下降側	解析値(m) 朔望平均干潮位(m)	T.P.-5.5 (J点) T.P.-0.03	T.P.-5.2 (J点) —
	評価水位(m)	T.P.-5.5	T.P.-5.2
	継続時間	約130秒間	約120秒間



### ■取水口前面(J点)における水位変動の時系列

(朔望平均潮位考慮)



(1)取水口前面における最大水位上昇量はT.P+5.6mであり、敷地レベルT.P.+5.0mを超えるが、やや内陸の補機冷却海水ポンプ位置では、T.P.+5.6mを下回ると考えられ、安全性判断基準(T.P+5.8m)を満足する結果となった。

また、事業者の評価結果では、同水位がT.P.+5.2mであり、JNESの評価結果と10%程度の差があった。

(2)取水口前面における最大水位下降量はT.P.-5.5mであり、補機冷却海水ポンプの取水限界レベル(安全性判断基準値T.P.-2.9m)を下回る結果となった。

また、事業者の評価結果では、同水位がT.P.-5.2mであり、JNESの評価結果と同程度であった。

図 6.7 津波水位に係る安全性評価の結果

## VII-7. 津波に伴う土砂移動に係る安全性評価

津波水位に係る安全性評価の結果、もんじゅ港内において最も大きい水位変動を示した「大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動」ケースを対象に、津波に伴う土砂移動による取水口前面における堆砂高を算出する。図7.1に評価対象の津波波源及び土砂移動解析手法等を示す。土砂移動の解析手法には、層流砂層と浮遊砂層の交換砂量を考慮した高橋ら（1999）の土砂移動モデルを採用する。また、土砂移動解析では、空間格子間隔が1215m～5mまでの地形モデルによる津波の流水計算と同時に、空間格子間隔5mの領域において流砂計算を行う。図7.2に土砂移動解析の計算条件及び地形モデルを示す。

図7.3に最大堆積量分布及び取水口前面の各種時系列の結果を示す。もんじゅ港内の取水口前面では、最大堆砂高が約30cmであり、地形変化は地震発生後30分程度で収束する結果となった。また、取水口前面のG点において事業者の結果とJNESの結果を各種時系列で比較した。その結果、水位変動、浮遊砂濃度の時系列はほぼ一致する傾向となった。しかし、地形変化では、事業者の結果は、浸食から始まり堆積に移っていくのに対して、JNESでは始めから堆積傾向となり、両者に違いが見られた。これは、事業者の出力地点が岸壁から1,2メッシュ海側の地点であるのに対して、JNESのそれは岸壁沿いの地点であり、両者の出力地点がわずかにずれているのが原因である。JNESの岸壁から1,2メッシュ海側の地点では、浸食から始まって堆積に推移していることを確認した。

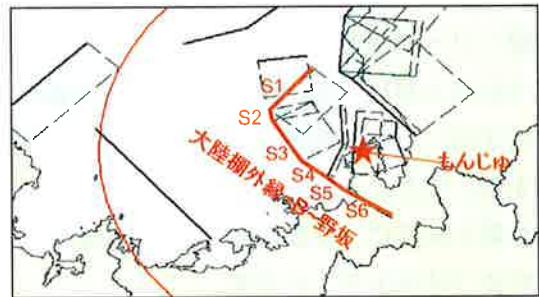
図7.4に地震発生3時間後の地形変化量分布について、事業者の結果とJNESの結果の比較を示す。この図より両者の堆積・浸食の傾向は、a. 北堤防先端部分の侵食と堆積、b. もんじゅ港内中央部の堆積、c. 取水口前面付近の緩やかな堆積など、大局的にほぼ一致した。また、取水口前面付近の堆積量は、両者とも20～30cm程度であり、ほぼ一致した。

図7.5に津波に伴う土砂移動に係る安全性評価の結果を示す。JNESの解析では、取水口前面の堆砂高は30cm程度であり、取水口の開口部高さ250cmを下回ることから、安全性判断基準を満足する結果となった。また、事業者の結果は、同堆砂高が20cm程度であり、JNESの結果とほぼ一致した。

## 1 評価対象の津波波源

津波水位に係る安全性評価の結果、もんじゅ港内において最も大きい水位変動を示した以下の波源を対象とする。

- ・大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動



## 2 土砂移動解析手法及び解析条件

- ・津波に伴う土砂移動による取水口前面における堆砂高を算定する。
- ・土砂移動の数値解析方法は、掃流砂層と浮遊砂層間の交換砂量を考慮した高橋ら(1999)の土砂移動モデルを採用する。
- ・土砂移動解析では、空間格子間隔が1215m～5mまでの地形モデルによる津波の流水計算と同時に、空間格子間隔5mの領域において流砂計算を行う。
- ・土砂移動解析には、JNES保有の津波解析コードSANNAMI(+TUNAMI)を用いる。

図 7.1 評価対象の津波波源及び土砂移動解析手法等

### ■土砂移動解析の計算条件

項目		JNESの計算条件						事業者の計算条件	
計算領域		A領域	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域 <sup>*1</sup>	A~I領域(9領域)	
空間格子間隔(m)		1215	405	135	45	15	5	1600～6.25m	
時間格子間隔(秒)		1.458	0.486	0.162	0.054	0.018	0.006	0.25	
基礎方程式	流水	非線形長波						A~I領域: 非線形長波	
	流砂	—						C~I領域: 高橋ら(1999)	
陸側境界条件		完全反射						全領域: 完全反射	
海底摩擦係数		マニングの粗度係数n=0.03m <sup>-1/3</sup> s						n=0.03m <sup>-1/3</sup> s	
水平渦動粘性		考慮しない						10m <sup>2</sup> /s	
初期条件		Mansinha and Smylieの方法による。						同左	
計算対象現象時間		地震発生後3時間						地震発生後3時間	

### ■土砂移動に関する主な解析パラメータ<sup>\*2</sup>

項目	値
初期砂層厚	設定しない
海水の密度ρ	g/cm <sup>3</sup> 1.0
水の動粘性係数	cm <sup>2</sup> /s 0.01
砂の密度σ	g/cm <sup>3</sup> 2.70
砂の水中比重s	1.7
砂の粒径d	mm 0.545
空隙率λ	0.4
砂粒子沈降速度w	cm/s 6.76(Rubey式)
限界摩擦速度	cm/s 0.0
飽和浮遊砂濃度	% 1.0
底面勾配の係数	0.0

\*2 原子力安全・保安院より提供を受けた事業者データ

\*1 事業者の深浅測量データからF領域地形モデルを作成した。

### ■土砂移動を考慮する解析領域(F領域)

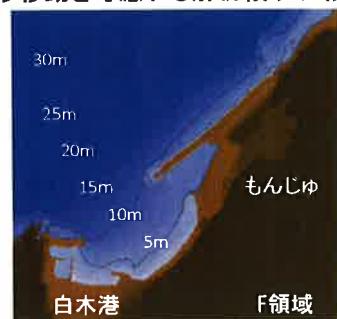
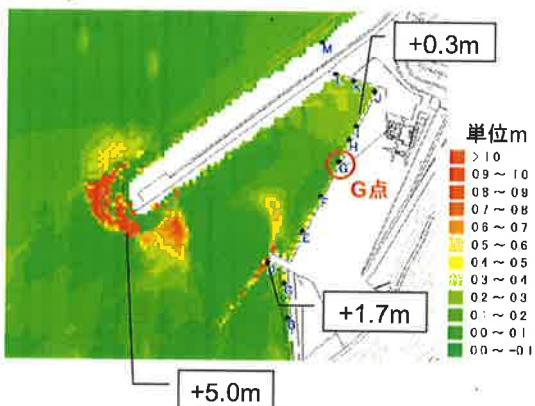


図 7.2 土砂移動解析の計算条件および地形モデル

### (1) 最大堆積量分布



- もんじゅ港内の取水口前面では、最大堆砂高が約30cmであり、地形変化は地震発生後30分程度で収束する結果となった。
- 取水口前面G点において事業者とJNESの結果を各種時系列で比較したところ、いずれもほぼ一致する結果となった。

### (2) 取水口前面G点の各種時系列による比較

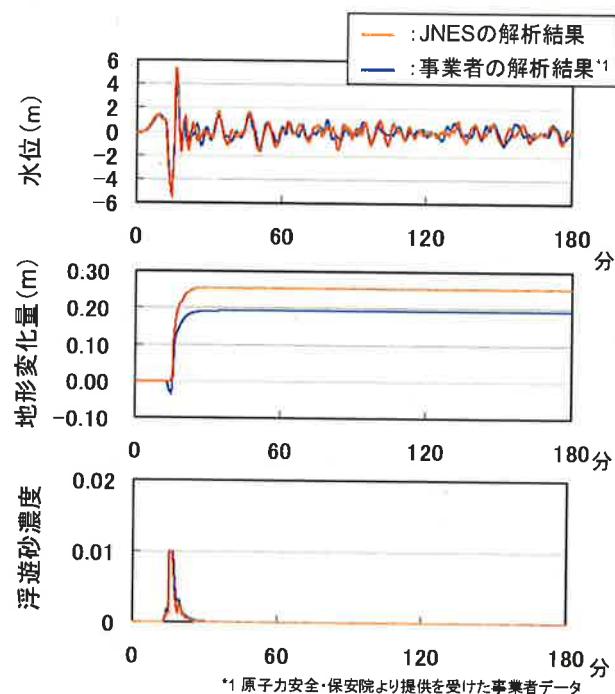
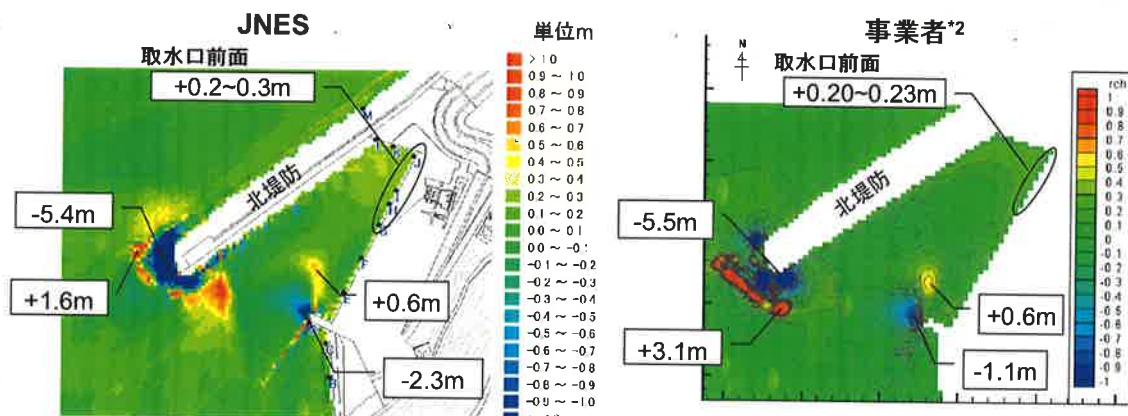


図 7.3 最大堆積量分布及び取水口前面の各種時系列の結果

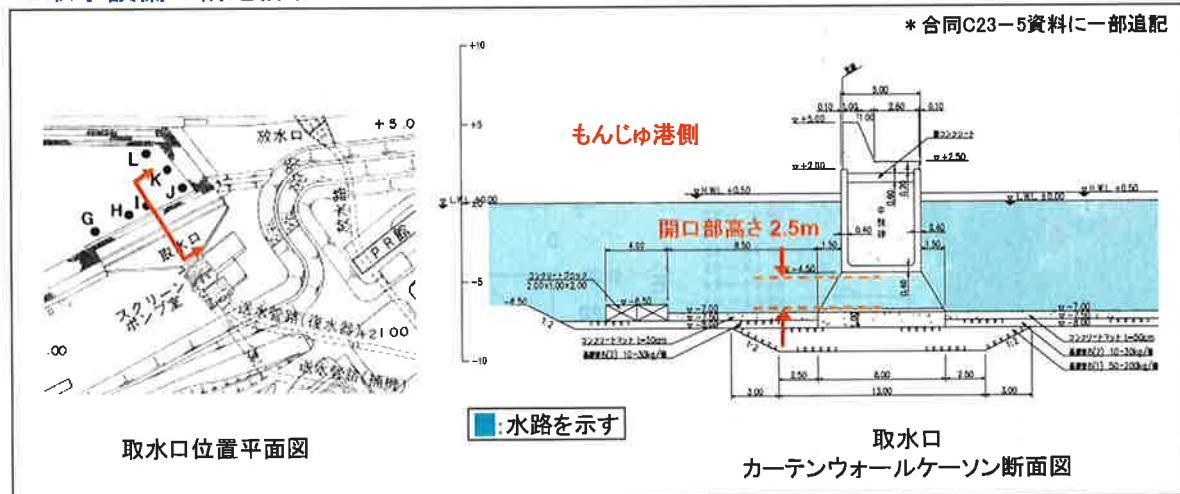
### (3) 3時間後の地形変化量分布<sup>\*1</sup>による比較



- 地震発生後3時間後の地形変化量について、事業者とJNESの結果を比較すると、堆積・侵食の傾向は、大局的にほぼ一致する結果となった。  
(a.北堤防先端部分の侵食・堆積, b.もんじゅ港内中央の堆積, c.取水口前面付近の堆積)
- 取水口前面付近の堆積量は、両者とも20~30cm程度であり、ほぼ一致する結果となった。

図 7.4 3時間後の地形変化量分布の結果

## ■取水設備の構造詳細



- JNESの評価では、取水口前面の堆砂高は30cm程度であり、取水口の開口部高さ250cmを下回ることから、安全性判断基準を満足する結果となった。
- 事業者の評価結果では、同堆砂高が20cm程度であり、JNESの評価結果とほぼ一致した。

図 7.5 津波に伴う土砂移動に係る安全性評価の結果

## VII-8. まとめ

### (1) 安全評価上重要な津波波源

- ✓ JNES の評価では、「大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動」ケースが、当該敷地における水位変動（上昇側、下降側共に）が最も大きい津波波源である。
- ✓ 事業者の評価でも当該敷地における水位変動が最も大きい津波波源は、「大陸棚外縁～B～野坂断層の同時活動」ケースであり、JNES の評価結果と整合する。

### (2) 津波水位に対する安全性評価

津波解析を元に、朔望平均潮位（満潮・干潮）を考慮して、津波水位に対する安全性を評価した。

#### (水位上昇側)

- ✓ JNES の評価では、取水口前面における最大水位上昇量は T.P.+5.6m であり、敷地レベル T.P.+5.0m を超える結果となった。しかし、やや内陸側に位置する補機冷却海水ポンプ位置では、T.P.+5.6m を下回るため、安全性判断基準 (T.P.+5.8m) を満足する結果となった。
- ✓ 事業者の評価結果では、同水位が T.P.+5.2m であり、JNES の評価結果と 10%程度の差があった。この差は、津波解析における水平渦動粘性係数の設定値の違いに起因し、土木学会 2002 の推奨範囲 (0～10m<sup>2</sup>/s) で生じ得る差である。

#### (水位下降側)

- ✓ JNES の評価では、取水口前面における最大水位下降量は T.P.-5.5m であり、補機冷却海水ポンプの取水限界レベル（安全性判断基準値 T.P.-2.9m）を下回る結果となった。
- ✓ 事業者の評価結果では、同水位が T.P.-5.2m であり、JNES の評価結果とほぼ一致する結果となった。ただし、構造 B サブグループにおける事業者の報告により、水位が低下しても「自然循環による炉心冷却が可能である」とされた。

### (3) 津波に伴う土砂移動に係る安全性評価

- ✓ JNES の評価では、取水口前面の堆砂高は 30cm 程度であり、取水口の開口部高さ 250cm を下回ることから、安全性判断基準を満足する結果となった。
- ✓ 事業者の評価結果では、同堆砂高が 20cm 程度であり、JNES の評価結果とほぼ一致する結果となった。

以上より、当該施設の津波に対する安全性は確保されていることを確認した。また、事業者の評価結果が妥当であることを確認した。

## 【参考文献】

- 1) 社団法人土木学会, 原子力発電所の津波評価技術, 原子力土木委員会津波評価部会, 2002.
- 2) 高橋智幸他, 掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発, 海岸工学論文集, 第 46 卷, pp. 606-610, 1999.
- 3) 佐藤良輔, 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, p. 358, 1989.
- 4) 相田勇, 三陸沖の古い津波シミュレーション, 地震研究所彙報, Vol. 52, pp. 71-101, 1977.
- 5) Mansinha, Smylie, The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1433, 1971.
- 6) 小谷美佐他, GIS を利用した津波遇上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第 45 卷, pp. 356-360, 1998.