

女川原子力発電所における  
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震時等に  
取得された地震観測記録の分析・評価および  
耐震安全上重要な設備の影響評価について

平成23年7月28日  
東北電力株式会社

- ・今回の報告に係る原子力安全・保安院指示文書の対応状況一覧
- ・今回の報告内容と今後の対応について

## 1. 耐震安全上重要な設備の影響評価について

1. 1 評価対象設備
1. 2 評価対象箇所(女川3号機の例)
1. 3 評価フロー
1. 4 構造強度評価の結果
1. 5 動的機能維持評価の結果
1. 6 耐震安全上重要な設備の影響評価 まとめ(今回報告)

## 2. 基準地震動 $S_s$ を一部上回った要因の分析

2. 1 基準地震動 $S_s$ を一部上回った要因の分析
2. 2 3.11地震 公表された断層モデルとシミュレーション解析
2. 3 4.7地震 公表された断層モデルとシミュレーション解析
2. 4 基準地震動 $S_s$ を一部上回った要因の分析 まとめ(今回報告)

## 3. 保安確認用地震計と建屋観測用地震計との観測記録の差異の分析

3. 1 4.7地震時 最大加速度値(鉛直方向)の比較結果
3. 2 地震観測波形の比較結果
3. 3 地震観測記録の分析結果
3. 4 過去の傾向分析結果
3. 5 保安確認用地震計と建屋観測用地震計との観測記録の差異の分析 まとめ



# 今回の報告に係る原子力安全・保安院指示文書の対応状況一覧

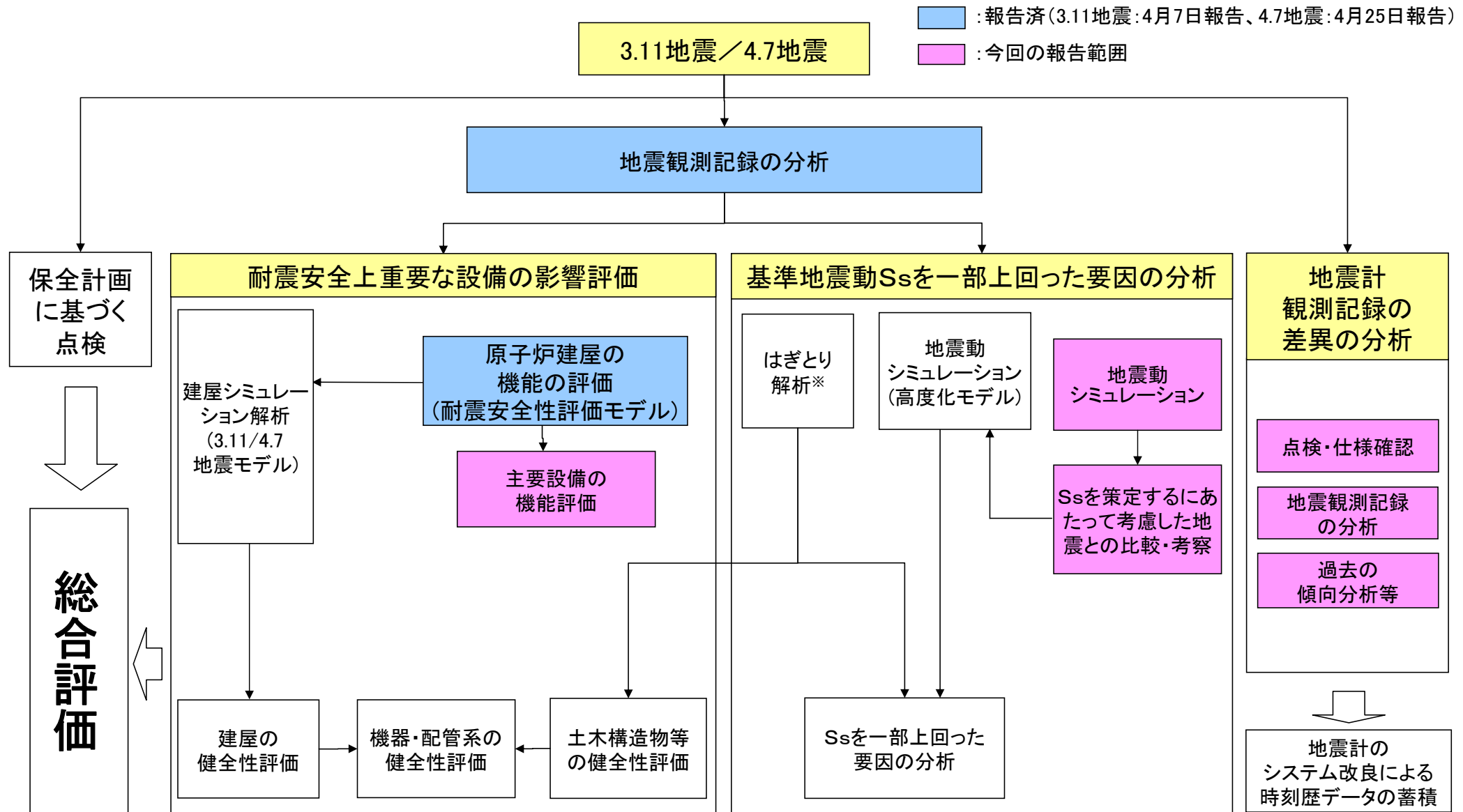
3

| 発出日            | 指示文書                                                                                 | 指示内容                                                                                                                                 | 報告日   |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 平成23年<br>4月7日  | 平成23年東北地方太平洋沖地震に対する女川原子力発電所における地震観測記録及び津波波高記録を踏まえた対応について(指示)<br>【平成23・04・07 原院第1号】   | ①女川1～3号機の耐震安全上重要な設備が東北地方太平洋沖地震の揺れにより受けた影響についての地震応答解析による詳細な評価結果を報告すること。                                                               | 本日報告  |
|                |                                                                                      | ②東北地方太平洋沖地震により発生した津波の再現計算等による女川原子力発電所に到達した津波の詳細な分析による評価結果を報告すること。                                                                    | 7月8日  |
| 平成23年<br>4月13日 | 女川原子力発電所における2011年4月7日宮城県沖の地震時に取得された地震観測データの分析<br>【平成23・04・08 原院第4号】                  | ③女川1～3号機において、平成23年4月7日宮城県沖の地震時に取得された地震観測データの分析結果を報告すること。                                                                             | 4月25日 |
|                |                                                                                      | ④女川1～3号機の耐震安全上重要な設備が平成23年4月7日宮城県沖の地震の揺れにより受けた影響についての地震応答解析による詳細な評価結果を報告すること。                                                         | 本日報告  |
| 平成23年<br>4月26日 | 女川原子力発電所における2011年4月7日宮城県沖の地震時に取得された地震観測データの分析結果を踏まえた対応について(指示)<br>【平成23・04・25 原院第1号】 | ⑤平成23年東北地方太平洋沖地震および2011年4月7日宮城県沖の地震が女川原子力発電所に与えた影響について、事業者が実施する建物・構築物の健全性評価の妥当性を確認するため、1号機～3号機までについて、号機ごとの「点検・評価に関する計画書」を作成し、報告すること。 | 5月31日 |
|                |                                                                                      | ⑥平成23年4月7日宮城県沖の地震が想定される地震動より大きくなった要因の分析(特に解放基盤表面相当位置の観測記録で一部周期帯において基準地震動Ssの応答スペクトルを水平方向で上回っていること)に関する詳細な評価結果を報告すること。                 | 本日報告  |
|                |                                                                                      | ⑦1号機の基礎版上における保安確認用地震計と建屋観測用地震計との観測記録に差異が生じていることから、その原因についての詳細な評価結果を報告すること。                                                           | 本日報告  |



# 今回の報告内容と今後の対応について

4



※: はざとり解析とは、敷地地盤で取得された地震観測記録を基準地震動Ssと同じ条件で比較・分析するために、地盤中に設置された地震計の上部地盤の影響を取り除く解析。

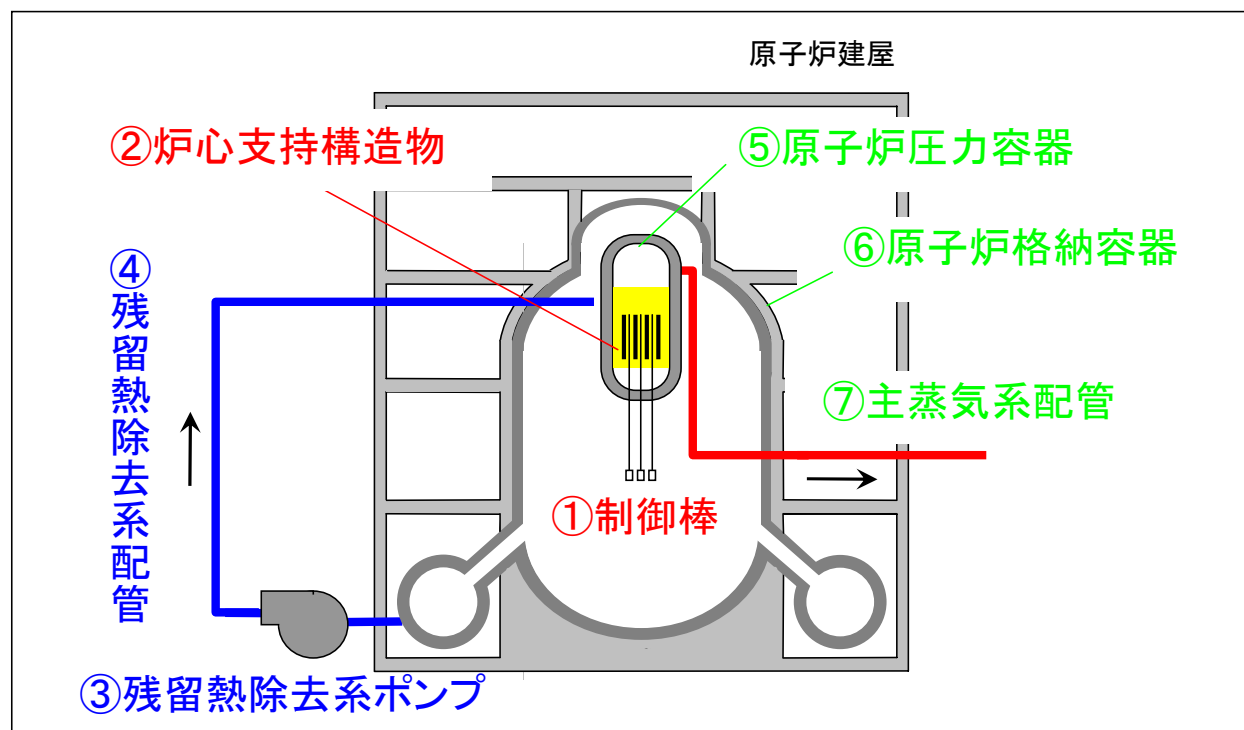


Tohoku Electric Power

## 1. 耐震安全上重要な設備の影響評価について



原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」機能を有する耐震安全上重要な主要設備の地震時における機能について概略評価した。



### 「止める」

- ①制御棒（挿入性）
- ②炉心支持構造物

### 「冷やす」

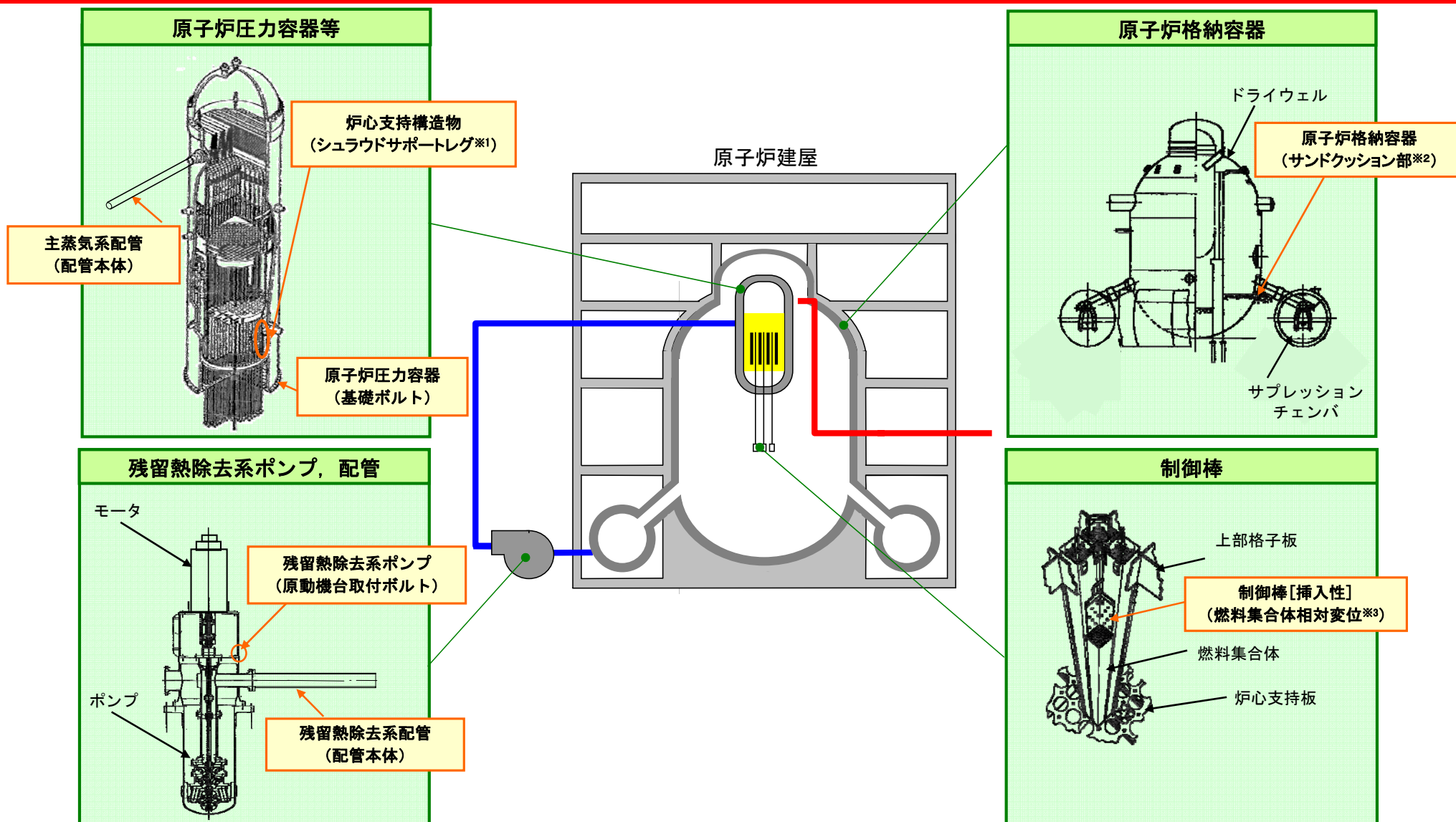
- ③残留熱除去系ポンプ
- ④残留熱除去系配管

### 「閉じ込める」

- ⑤原子炉压力容器
- ⑥原子炉格納容器
- ⑦主蒸気系配管

## 1. 2 評価対象箇所(女川3号機の例)

7



※1 原子炉压力容器内にある炉心(燃料等)を支持する構造物

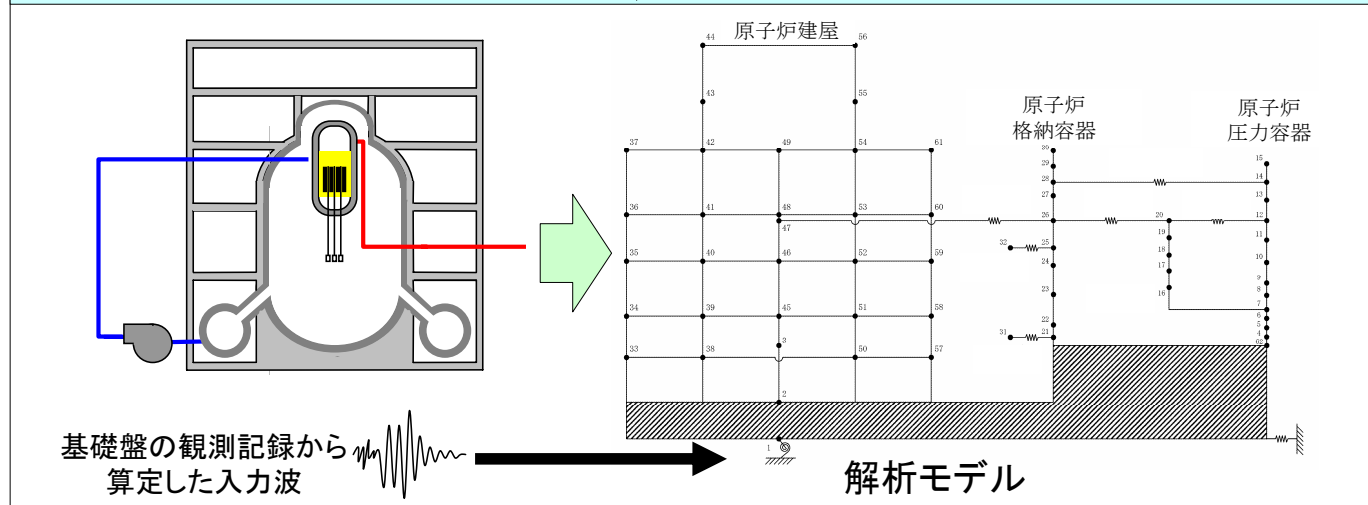
※2 原子炉格納容器のドライウェルとサプレッションチェンバをつなぐ管の付根部

※3 燃料集合体の上下端と中央部の変位の差



## 3.11地震および4.7地震における地震観測記録

### 原子炉建屋・大型機器（原子炉圧力容器、原子炉格納容器等） の地震応答解析



#### 構造強度評価

地震時に作用する地震荷重等から設備に発生する応力を算出し、機能維持の評価基準値内であることを確認する

##### 【評価対象設備】

- ・炉心支持構造物
- ・残留熱除去系配管
- ・原子炉格納容器
- ・残留熱除去系ポンプ
- ・原子炉圧力容器
- ・主蒸気系配管

#### 動的機能維持評価

地震時の制御棒の挿入性について、解析で求めた燃料集合体の相対変位が、試験により挿入性が確認された相対変位を下回ることを確認する

##### 【評価対象設備】

- ・制御棒（挿入性）

## 1. 4 構造強度評価の結果(1)

| 機能  | 評価設備<br>(評価対象箇所)         |     | 発生値(N/mm <sup>2</sup> ) |       | 評価基準値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 判定 |
|-----|--------------------------|-----|-------------------------|-------|-------------------------------|----|
|     |                          |     | 3.11地震                  | 4.7地震 |                               |    |
| 止める | 炉心支持構造物<br>(シュラウドサポートレグ) | 1号機 | 71                      | 69    | 250                           | ○  |
|     |                          | 2号機 | 85                      | 111   | 209                           | ○  |
|     |                          | 3号機 | 80                      | 58    | 209                           | ○  |
| 冷やす | 残留熱除去系ポンプ<br>(取付ボルト※)    | 1号機 | 88                      | 103   | 185                           | ○  |
|     |                          | 2号機 | 22                      | 21    | 444                           | ○  |
|     |                          | 3号機 | 27                      | 26    | 444                           | ○  |
|     | 残留熱除去系配管<br>(配管本体)       | 1号機 | 140                     | 151   | 363                           | ○  |
|     |                          | 2号機 | 114                     | 157   | 366                           | ○  |
|     |                          | 3号機 | 204                     | 213   | 324                           | ○  |

※ 取付ボルトの詳細名称は、1号機が電動機取付ボルト、2号機、3号機が原動機台取付ボルト



## 1. 4 構造強度評価の結果(2)

| 機能    | 評価設備<br>(評価対象箇所)       |     | 発生値(N/mm <sup>2</sup> ) |        | 評価基準値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 判定 |
|-------|------------------------|-----|-------------------------|--------|-------------------------------|----|
|       |                        |     | 3.11地震                  | 4.7地震  |                               |    |
| 閉じ込める | 原子炉圧力容器<br>(基礎ボルト)     | 1号機 | 62                      | 71     | 222                           | ○  |
|       |                        | 2号機 | 117                     | 89     | 499                           | ○  |
|       |                        | 3号機 | 72                      | 73     | 499                           | ○  |
|       | 原子炉格納容器<br>(サンドクッション部) | 1号機 | 120                     | 129    | 255                           | ○  |
|       |                        | 2号機 | 0.34 ※                  | 0.41 ※ | 1 ※                           | ○  |
|       |                        | 3号機 | 0.33 ※                  | 0.31 ※ | 1 ※                           | ○  |
|       | 主蒸気系配管<br>(配管本体)       | 1号機 | 135                     | 139    | 366                           | ○  |
|       |                        | 2号機 | 157                     | 207    | 375                           | ○  |
|       |                        | 3号機 | 240                     | 304    | 375                           | ○  |

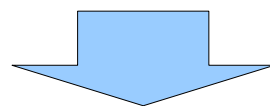
※ 2号機、3号機の原子炉格納容器は座屈評価となるため、許容値を1とした場合の比率



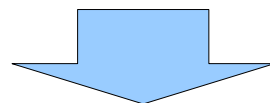
## 1. 5 動的機能維持評価の結果

| 機能  | 評価設備<br>(評価対象箇所)            |     | 相対変位 (mm) |       | 評価<br>基準値<br>(mm) | 備考                                                              |
|-----|-----------------------------|-----|-----------|-------|-------------------|-----------------------------------------------------------------|
|     |                             |     | 3.11地震    | 4.7地震 |                   |                                                                 |
| 止める | 制御棒(挿入性)<br>(燃料集合体<br>相対変位) | 1号機 | 20.5      | 17.5  | 40.0              | ・3.11地震時:制御棒が<br>全挿入したことを確認済<br>・4.7地震時:制御棒は<br>全て挿入状態であることを確認済 |
|     |                             | 2号機 | 13.9      | 10.2  | 40.0              |                                                                 |
|     |                             | 3号機 | 12.2      | 9.5   | 40.0              |                                                                 |

3.11地震および4.7地震の揺れにより受けた影響について、耐震安全上重要な主要設備の地震時における機能を概略評価した。



各設備の発生値は、いずれの地震においても機能維持の評価基準値を下回っていることを確認した。



今後、保安規程(原子力発電工作物)等に基づき策定する保全計画に従い点検を確実に実施するとともに、主要設備以外の耐震安全上重要な設備も含め、3.11地震および4.7地震に対する設備の影響を詳細に評価していく。

## 2. 基準地震動Ssを一部上回った要因の分析



## 2. 1 基準地震動S<sub>s</sub>を一部上回った要因の分析

14

### 要因分析の検討フロー

#### 断層モデルによるシミュレーション解析

公表された断層モデル

3. 11地震の断層モデル

4. 7地震の断層モデル

女川の岩盤での観測記録  
(地中記録)

断層モデルによるシミュレーション解析(女川の記録の再現解析)

- ・ 3. 11地震(釜江・川辺(2011)モデル, 入倉・倉橋(2011)モデル)
- ・ 4. 7地震(原田・釜江(2011)モデル)

・ 記録の再現性の確認

#### 基準地震動S<sub>s</sub>※1を超えた要因分析

3. 11地震の断層モデル  
4. 7地震の断層モデル

基準地震動S<sub>s</sub>策定に当たって考慮した地震

- ・ 連動型想定宮城県沖地震の断層モデル
- ・ 想定敷地下方の海洋プレート内地震の断層モデル

女川の岩盤での観測記録  
(地中記録)

要因分析

- ・ 3. 11地震と連動型想定宮城県沖地震の断層モデルの違い(アスペリティ※2の位置、大きさ等)
- ・ 4. 7地震と想定敷地下方の海洋プレート内地震の断層モデルの違い(断層の傾斜方向, 破壊の方向等)
- ・ それぞれの地震動の大小関係や特徴の比較

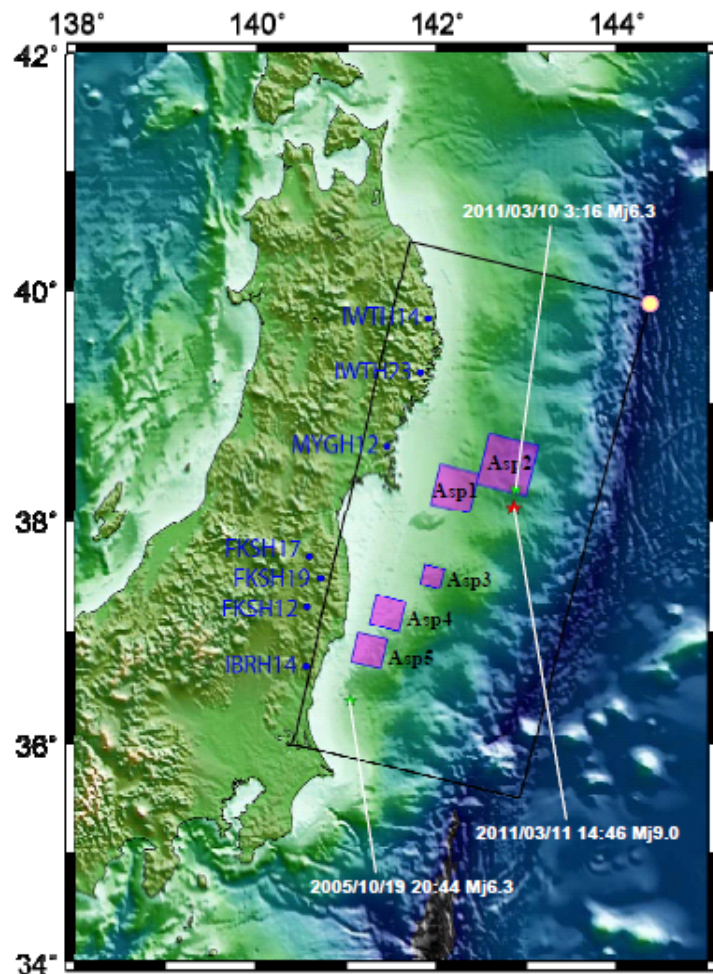
※1 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」で定義された、施設の供用期間中に極めてまれではあるが、発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切なものとして策定する地震動

※2 震源モデルの中で特に強い地震波を発生させる領域

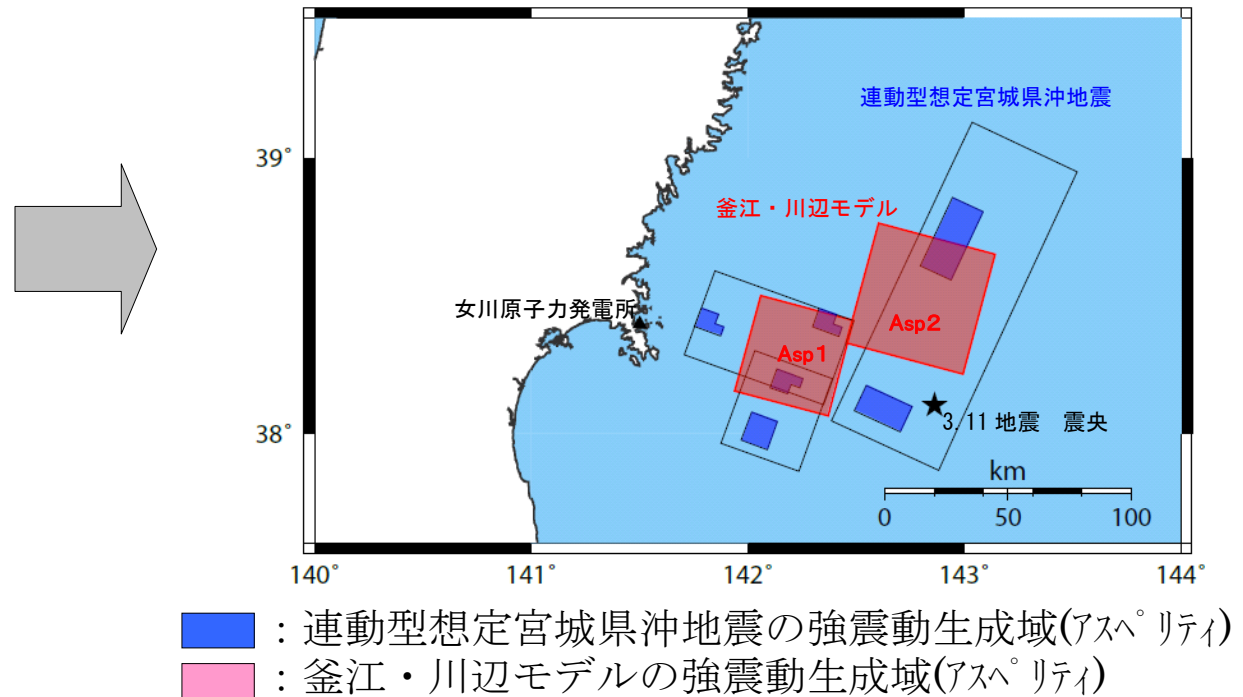


## 2. 2 3.11地震 公表された断層モデルとシミュレーション解析

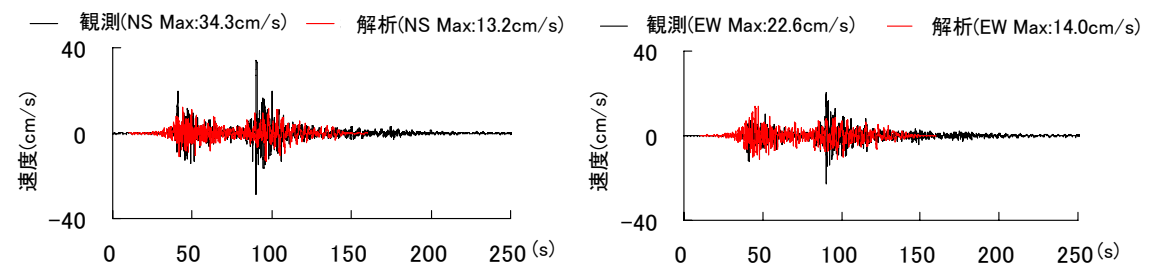
15



釜江・川辺モデル(2011)



### 震源モデルの比較



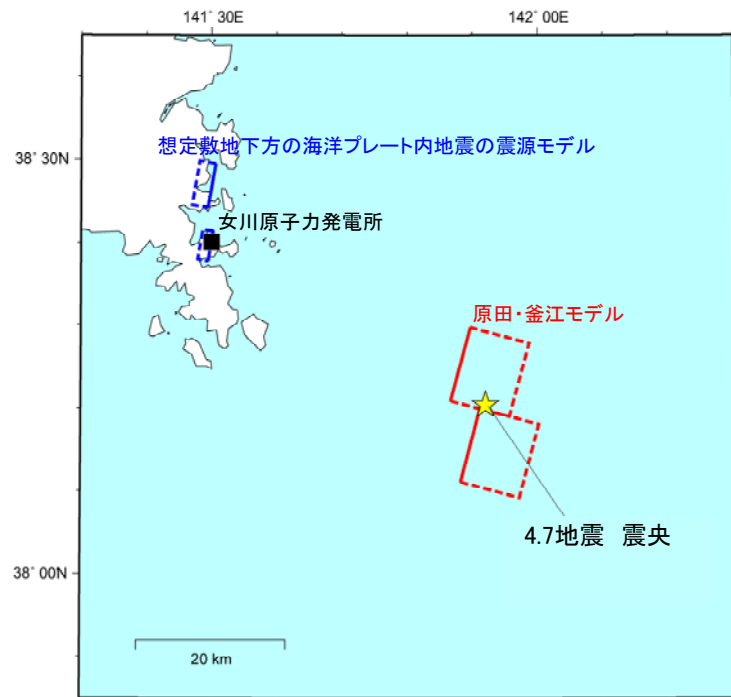
敷地の観測記録とシミュレーション解析結果の比較例



Tohoku Electric Power

## 2. 3 4.7地震 公表された断層モデルとシミュレーション解析

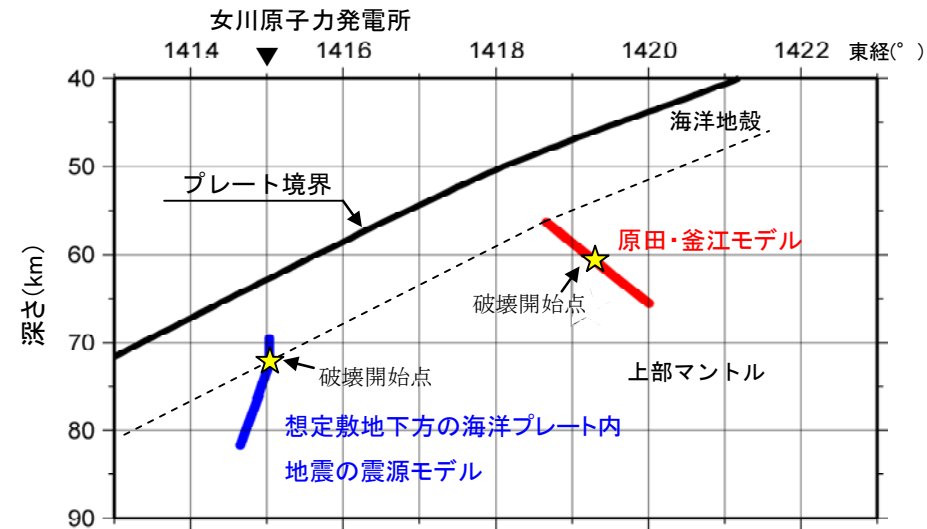
16



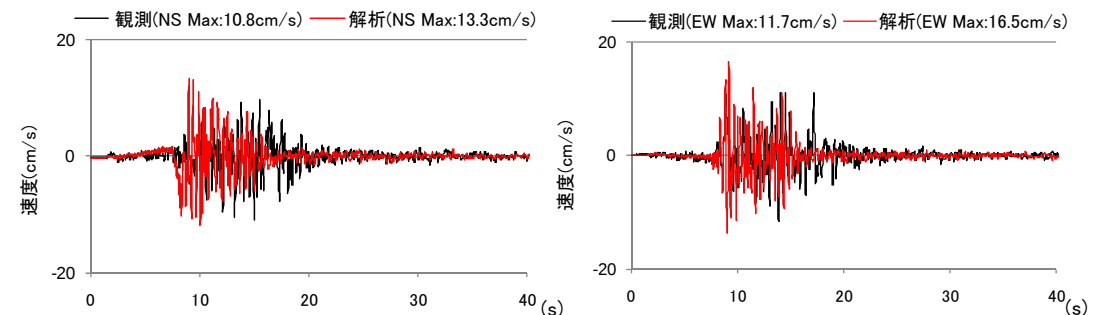
平面図

- [ ] : 想定敷地下方の海洋プレート内地震の強震動生成域(アスペリティ)
- [ ] : 原田・釜江モデルの強震動生成域(アスペリティ)

### 震源モデルの比較



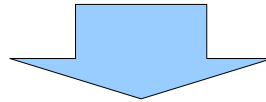
断面図(模式図)



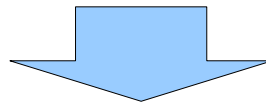
### 敷地の観測記録とシミュレーション解析結果の比較例



3.11地震および4.7地震について、  
現在公表されている断層モデルを用いたシミュレーション解析を行い、  
基準地震動Ss策定時に考慮した地震とのモデルの違い等について比較した。



3.11地震:主にアスペリティ面積等の震源特性の違いが認められる。  
4.7地震:断層の傾斜方向や破壊方向といった震源特性の違いが認められる。



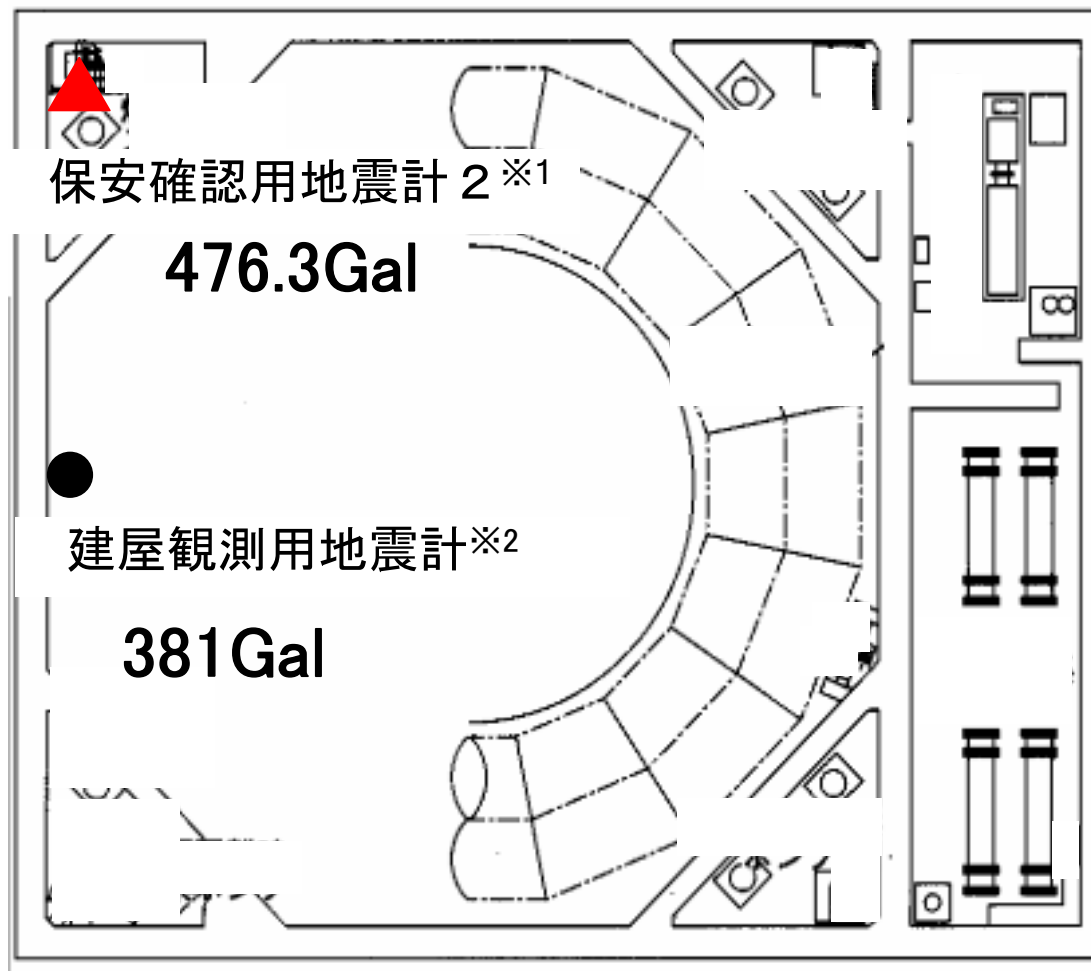
今後、地震動シミュレーション解析の更なる検討(高度化)が必要なため、基準地震動Ssを一部上回った要因についても合わせて引続き検討

### 3. 保安確認用地震計と建屋観測用地震計との観測記録の差異の分析

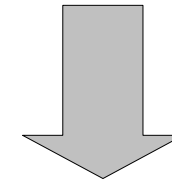


### 3. 1 4.7地震時 最大加速度値(鉛直方向)の比較結果

19



保安確認地震計の  
点検および仕様確認



地震計が健全であり、  
建屋観測用地震計と主な  
仕様に違いがない

1号機原子炉建屋 平面図（基礎版上）

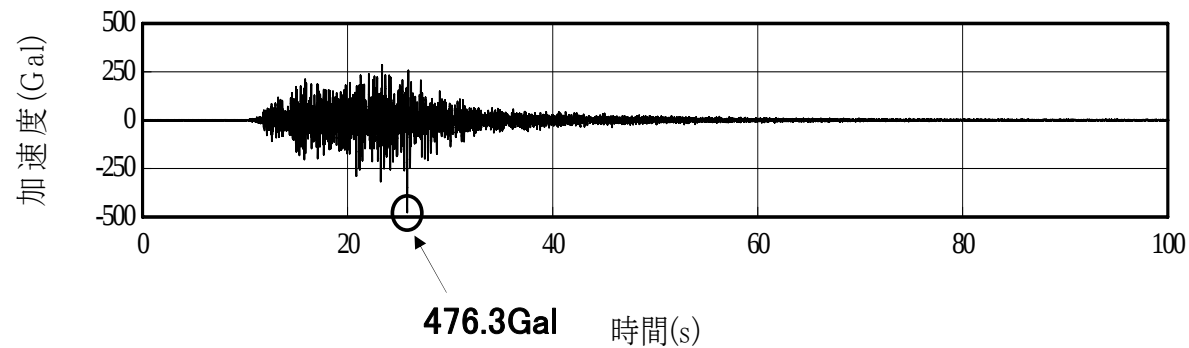
※1 地震直後に最大加速度値を表示するもので、速やかな公表および点検等の際の目安に活用している

※2 地震後、地震による建屋の揺れの性状などを評価分析するために設置している

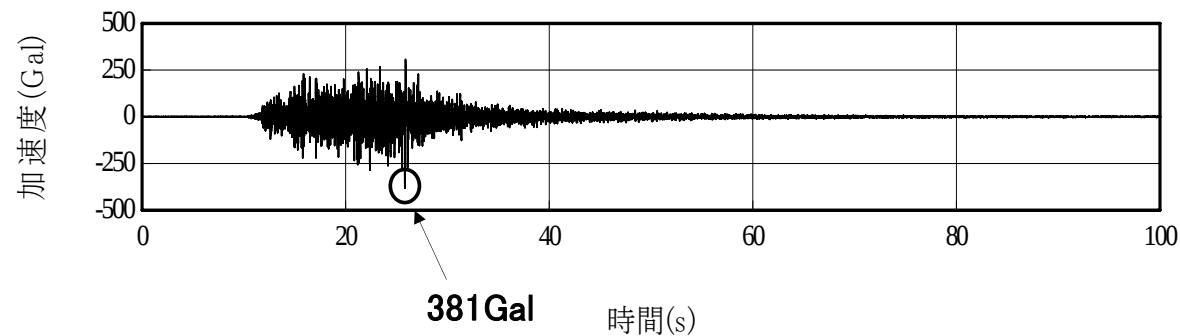


## 3. 2 地震観測波形の比較結果

20



保安確認用地震計2



建屋観測用地震計

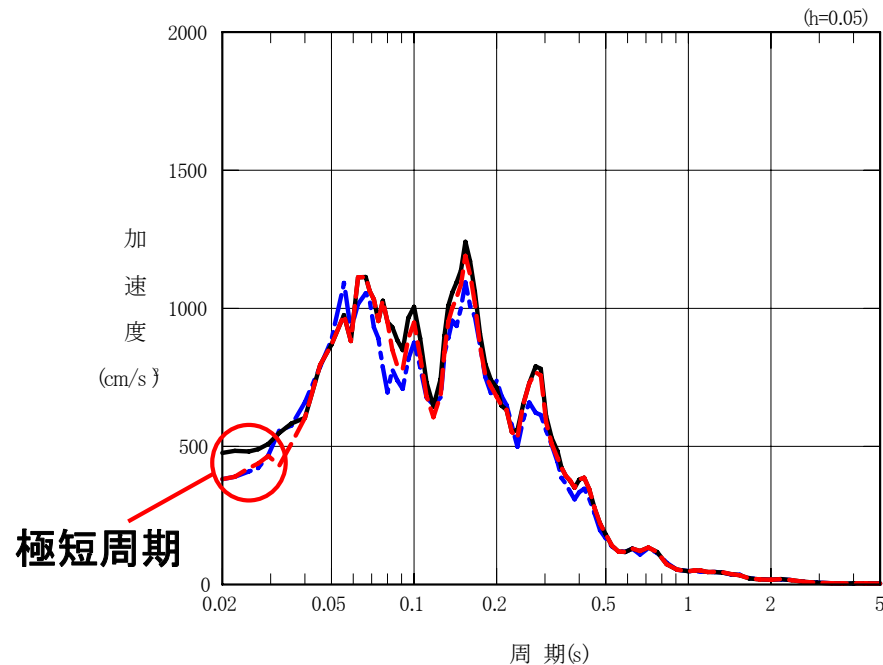
- ・保安確認用地震計の最大加速度値は、瞬間的に発生したパルス波によるもの。
- ・各地震計を比較すると、最大値の差異はあるものの、波形形状はよく一致。



### 3. 3 地震観測記録の分析結果

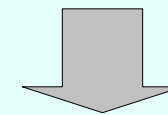
21

- 保安確認用地震計 2
- - - 保安確認用地震計 2 の最大値を  
カット (476.3→381Gal)
- · - · 建屋観測用地震計



応答スペクトル

- ・最大値カット前後で応答スペクトルに大きな違いがない
- ・最大値をカットした波形の応答スペクトルと建屋観測用地震計とはよく一致している



パルス波は極短周期の成分

10Hz以上(周期0.1秒以下)の高周波地震動では設計時の想定を超える地震動が観測された場合でも施設に及ぼす影響は最小※ ⇒ 極短周期のパルス波の影響は小さい

※:「Safety Report Series No.66 Earthquake Preparedness and Response for Nuclear power plants」(IAEA)

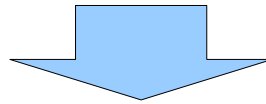


#### 各地震の最大加速度値と平均値との比較（鉛直方向）

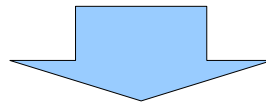
| 地震                    | 保安確認用<br>地震計2<br>最大加速度値<br>(Gal)① | 基礎版上の<br>平均値<br>(Gal)② | 平均値と<br>の比<br>(①/②) |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|
| 4.7地震                 | 476                               | 301                    | 1.58                |
| 3.11地震                | 345                               | 369                    | 0.93                |
| 2005年8月16日<br>宮城県沖の地震 | 120                               | 127                    | 0.94                |
| 2003年5月26日<br>宮城県沖の地震 | 109                               | 111                    | 0.98                |

4.7地震以外の地震においては、保安確認用の地震計の最大加速度が、必ずしも高い傾向にない。

#### 4.7地震における保安確認用地震計と建屋観測用地震計の 最大加速度の差異について分析



保安確認用地震計の最大加速度値はパルス的に発生したものである  
現状このようなパルス的な大きな加速度値の発生原因の特定は困難であるが、  
施設へ与える影響は小さい



保安確認用地震計※はこれまで最大加速度値のみを保存することとしていたが、  
今後の検討に資するため、システムを改良し、時刻歴データの蓄積を計ることとする。

※ 地震直後に最大加速度値を表示し、速やかな公表および点検等の際の目安に活用している地震計のため、最大加速度のみ保存することとしていたもの

