

地震応答解析の余裕度について  
(7号機残留熱除去系配管, 原子炉隔離時  
冷却系ポンプ基礎ボルト評価の例)

平成20年3月7日

東京電力株式会社



東京電力

---

# 本検討の背景

---

## ■ 前回WGにおけるご質問

- 地震動は3次元であり、その影響評価をした上で設計的な評価を行うことが必要。基礎ボルトを例に影響の度合いを確認すること

## ■ 上記ご質問に対する検討

### ● 残留熱除去系配管を用いた評価

- ✓ 地震による実現象をよりの確に再現するために、残留熱除去系配管を例に、3方向の地震動を考慮した時刻歴解析を実施。合わせて解析のもつ保守性の検討を実施

### ● 原子炉隔離時冷却系ポンプ基礎ボルト評価

- ✓ 基礎ボルトの評価については、地震記録が取れている基礎版上に設置される原子炉隔離時冷却系ポンプを例に、3方向の地震動による発生応力の時系列を評価

# 残留熱除去系配管による評価（1 / 2）

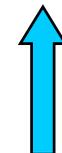
- 7号機の残留熱除去系配管を例に時刻歴解析を用いた現実的な評価を実施し、合わせて解析の持つ余裕度を評価した

（検討ケース）

|           |           | 解析方法      |              | 温度・圧力入力条件 | 減衰定数 |
|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|------|
|           |           | FRS<br>拡幅 | 上下・水平<br>の組合 |           |      |
| ケースA      | 入°外L-E-ダリ | ±10%      | 絶対値和         | 最高使用温度・圧力 | 2.0% |
| ケースB      |           | 無し        | 絶対値和         | 最高使用温度・圧力 | 2.0% |
| ケースC(報告値) |           | 無し        | SRSS         | 最高使用温度・圧力 | 2.0% |
| ケースD      | 時刻歴解析     | —         | 代数和          | 最高使用温度・圧力 | 2.0% |

|          |                              |
|----------|------------------------------|
| ケースX     | ケースCに減衰7.5%を適用               |
| ケースY     | ケースCに減衰7.5%&材料証明書値を適用        |
| ケースZ(追而) | ケースD(時刻歴解析)に減衰7.5%&材料証明書値を適用 |

JEAG  
の範疇



JEAG  
範疇外



※1: 最高使用温度:302°C, 最高使用圧力:87.9kg/cm<sup>2</sup>

※2: 減衰定数2.0%は規格基準値, 7.5%は諸試験から推定した現実的な値

※3: SRSS=2乗和平方

# 残留熱除去系配管による評価 (2/2)

評価箇所: TEE(42) ← 1次応力が大きい箇所

|                          | 1次応力 (MPa) | 許容値 (Ⅲ <sub>A</sub> S) (Mpa) | 余裕度  |
|--------------------------|------------|------------------------------|------|
| ケースA                     | 311        | 274                          | 0.88 |
| ケースB (ケースA→拡幅無し)         | 254        | 274                          | 1.07 |
| ケースC (ケースB→水平上下組合せにSRSS) | 199        | 274                          | 1.37 |
| ケースD (時刻歴解析)             | 171        | 274                          | 1.60 |

JEAG  
の範疇

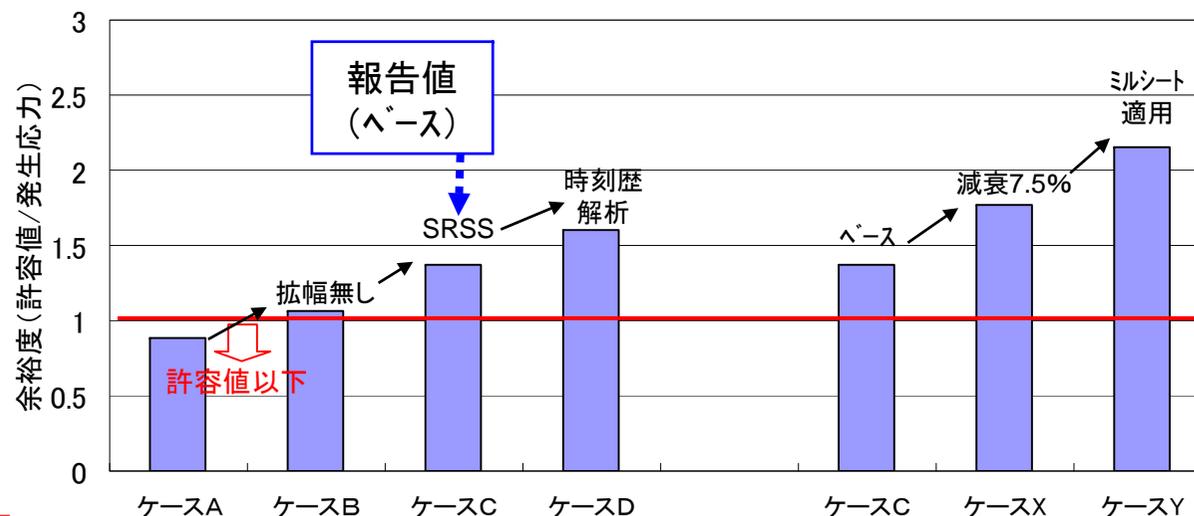
余裕度2割

規格外検討ケース

|                          |     |        |      |
|--------------------------|-----|--------|------|
| ケースX (ケースC→減衰7.5%)       | 154 | 274    | 1.77 |
| ケースY (ケースC→減衰7.5%&材料証明書) | 154 | 約330*2 | 2.14 |
| ケースZ (ケースD→減衰7.5%&材料証明書) | 追而  | 約330*2 | 追而   |

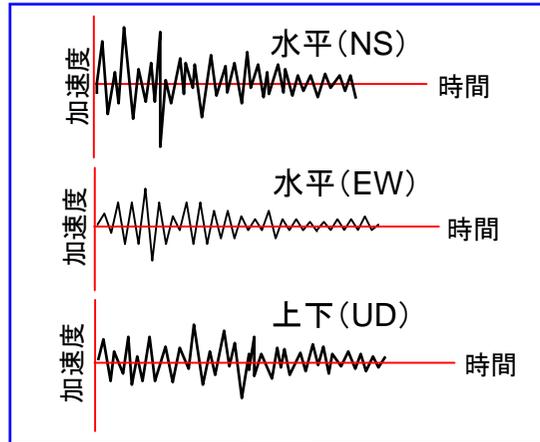
JEAG  
範疇外

※2: 材料証明書より求めたSm=167MPaと20°CでのJSME規格値137MPaの比を274MPaに乗じた値



# 補足：時刻歴解析と床応答スペクトル解析

## 時刻歴解析



配管モデル(3次元)に入力  
時刻歴解析

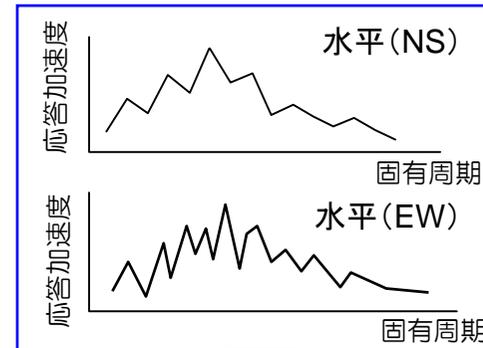
3方向モーメント成分の導出  
 $Mx(t), My(t), Mz(t)$

応力評価

$$\sigma(t) = \frac{\sqrt{Mx(t)^2 + My(t)^2 + Mz(t)^2}}{Z}$$

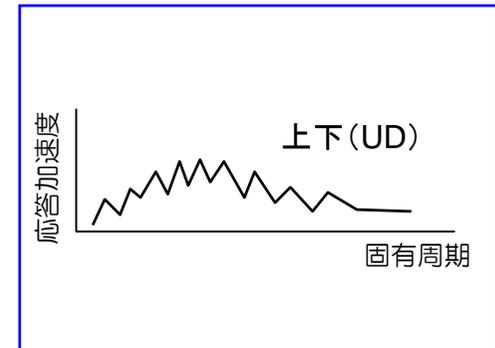
最大応力  $\sigma_{MAX} = \sigma(t)|_{t=t_{MAX}}$

## 床応答スペクトル解析



応答スペクトル解析

3方向モーメント成分の導出  
 $Mx_{(NS)}, My_{(NS)}, Mz_{(NS)}$   
 $Mx_{(EW)}, My_{(EW)}, Mz_{(EW)}$



応答スペクトル解析

3方向モーメント成分の導出  
 $Mx_{(UD)}, My_{(UD)}, Mz_{(UD)}$

水平・上下の組合せ

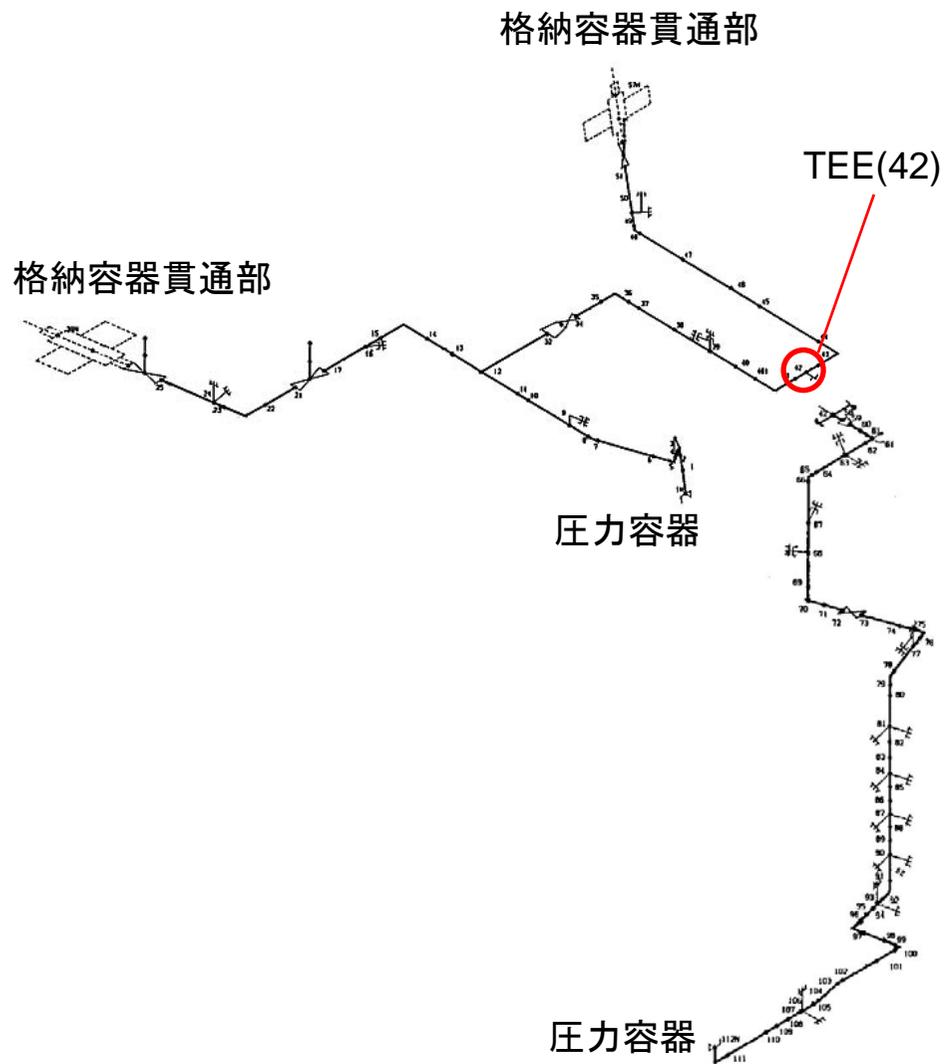
$$Mx = \max\left(\sqrt{Mx_{(NS)}^2 + Mx_{(UD)}^2}, \sqrt{Mx_{(EW)}^2 + Mx_{(UD)}^2}\right)$$

$$My = \max\left(\sqrt{My_{(NS)}^2 + My_{(UD)}^2}, \sqrt{My_{(EW)}^2 + My_{(UD)}^2}\right)$$

$$Mz = \max\left(\sqrt{Mz_{(NS)}^2 + Mz_{(UD)}^2}, \sqrt{Mz_{(EW)}^2 + Mz_{(UD)}^2}\right)$$

応力評価  $\sigma_{MAX} = \frac{\sqrt{Mx^2 + My^2 + Mz^2}}{Z}$

# 補足：評価箇所



# 原子炉隔離時冷却系ポンプ基礎ボルト評価（1 / 3）

- 地震記録が取れている基礎版上に設置される原子炉隔離時冷却系ポンプの基礎ボルトで、3方向の地震動による発生応力の時系列を評価

- NS方向転倒モーメントにより基礎ボルトに発生する引張応力

$$\sigma_{NS} = \frac{W \cdot (C_H + C_p) \cdot h + M_p - W(1 - C_v - C_p) \cdot L_1}{N(L_1 + L_2) \cdot A}$$

- EW方向転倒モーメントにより基礎ボルトに発生する引張応力

$$\sigma_{EW} = \frac{W \cdot (C_H + C_p) \cdot h - W(1 - C_v - C_p) \cdot l_1}{n(l_1 + l_2) \cdot A}$$

- ✓  $C_H$ は保守的にNS方向震度( $C_{H\_NS}$ )とEW方向震度( $C_{H\_EW}$ )の2乗和平方とする

$$C_H = \sqrt{(C_{H\_NS})^2 + (C_{H\_EW})^2}$$

W: ポンプ重量

h: 重心までの高さ

$C_v$ : 上下方向地震動による震度

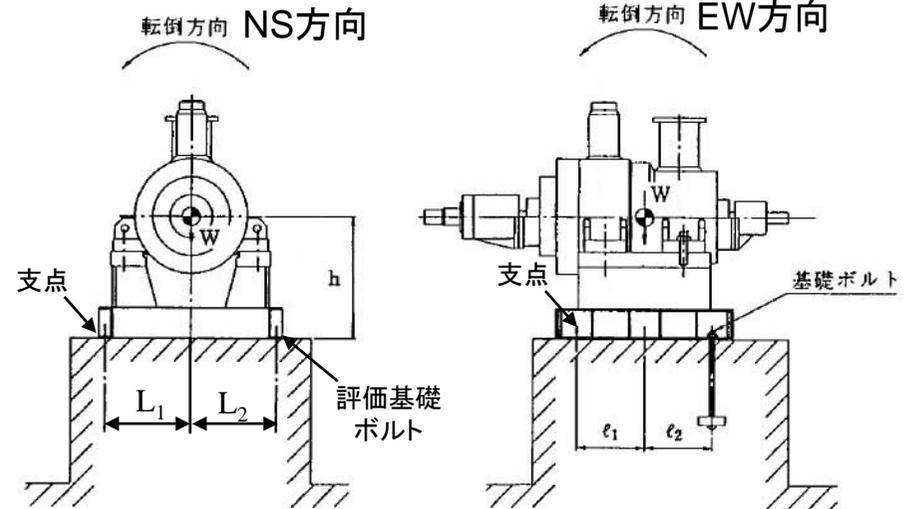
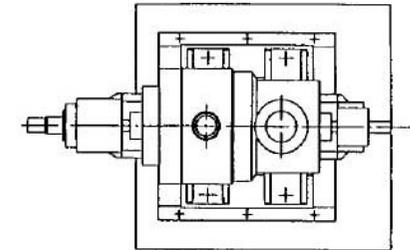
N, n: 評価上引張力を受けるとして期待するボルト本数 (N=2, n=2)

A: 基礎ボルト断面積

$C_p$ : ポンプ振動による震度

$M_p$ : ポンプ軸回転によるモーメント

地震時は当該ポンプは停止していたため本評価では $C_p$ ,  $M_p$ とも0とする

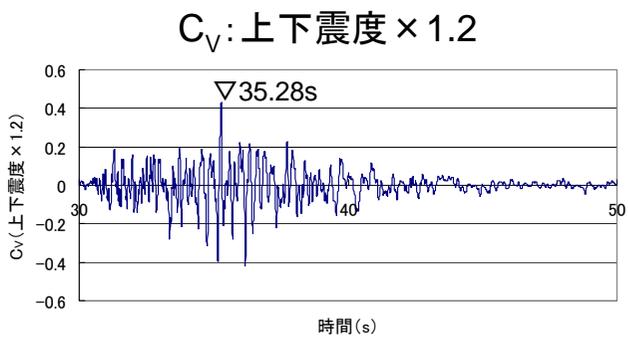
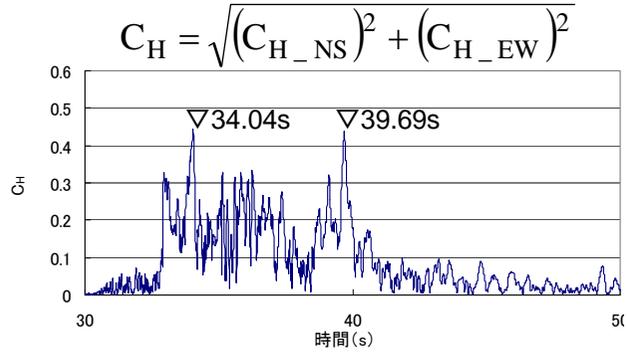
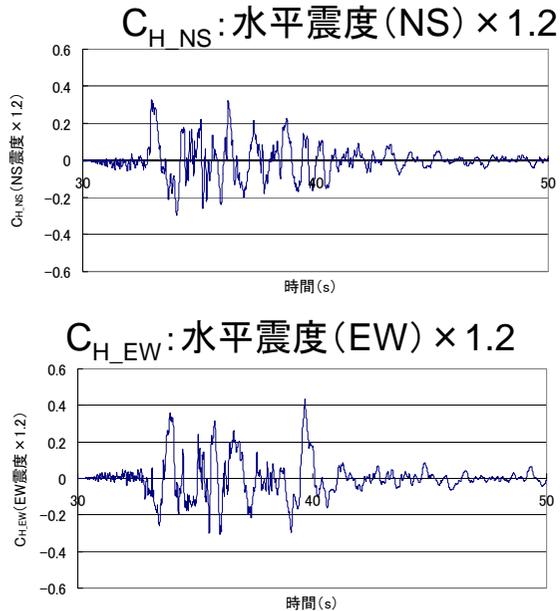


NS+上下地震動による転倒方向

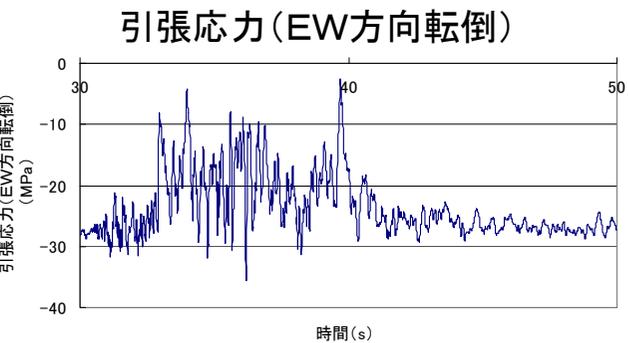
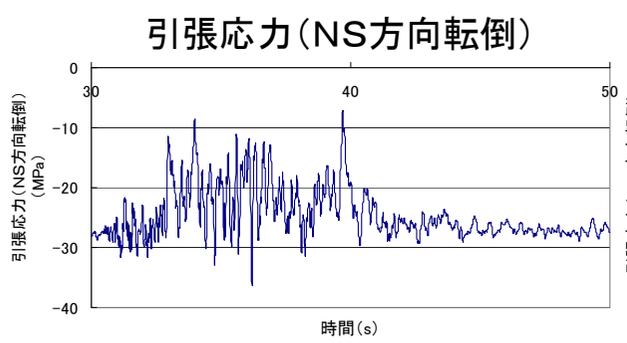
EW+上下地震動による転倒方向

# 原子炉隔離時冷却系ポンプ基礎ボルト評価 (2/3)

## 震度の時刻歴データ



## 引張応力評価



水平震度 $C_H$ と鉛直震度 $C_V$ が同時に大きくなることはなく、地震動による転倒モーメントはポンプ自重によるモーメントに勝ることがないため引張応力が発生しない

# 原子炉隔離時冷却系ポンプ基礎ボルト評価（3 / 3）

## ■ 評価のまとめ

|                        | 水平震度： $C_H$<br>(NS, EWからの最大値) | 上下震度：<br>$C_V$ | ポンプ振動による震度： $C_p$ | 引張応力<br>(MPa) | 許容値<br>(MPa) |
|------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------|---------------|--------------|
| 設計時                    | 0.33                          | 0.28           | 0.37              | 25.5          | 456          |
| 中越沖地震評価<br>(第4回WGにて報告) | 0.44                          | 0.44           | 0.37              | 30※           |              |
| 時系列評価                  | 引張応力は発生せず                     |                |                   |               |              |

※設計時震度と中越沖地震による震度より求まる震度比1.14を設計時の応力に乗じた値

- 設計においては水平と上下地震動の最大値を考慮し、かつ、ポンプ振動による震度も考慮するため、自重によるモーメントを上回って引張応力が発生する。しかし、本地震においては水平と上下震度が同時に大きくなることはなく、自重によるモーメントを上回ることがないため引張応力が発生しない
- 第4回WGで報告した当該ポンプの評価では、水平震度についてNS, EWから最大震度を取っているが、上下震度の最大値も取って震度比を求めて応力を算出しているため、保守的な評価となっている