

耐震設計の保守性について (等価繰返し回数 of 算定)

平成 2 1 年 1 月 2 8 日

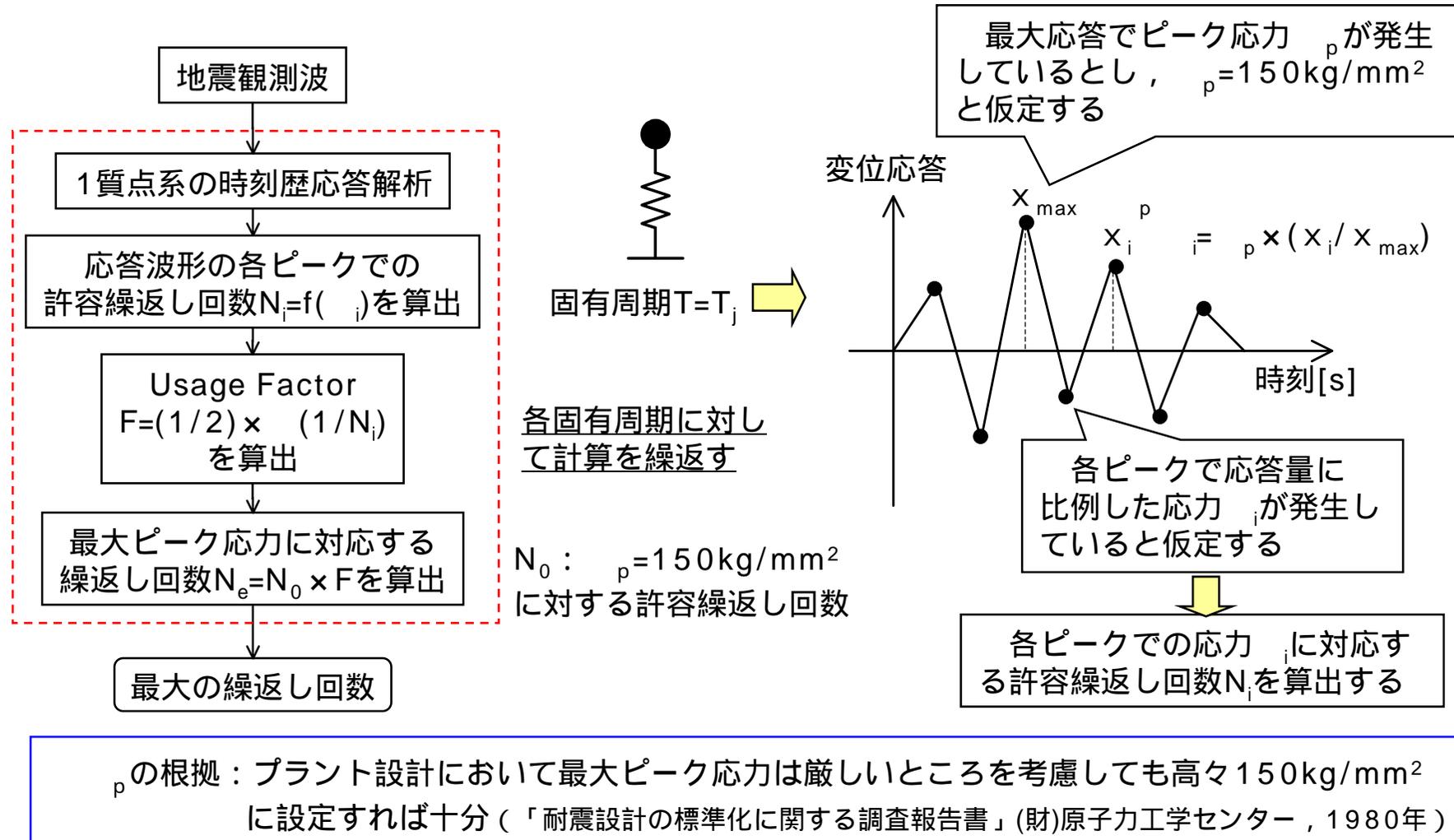


東京電力

7号機における等価繰返し回数の算定

■ 等価繰返し回数の算定方法

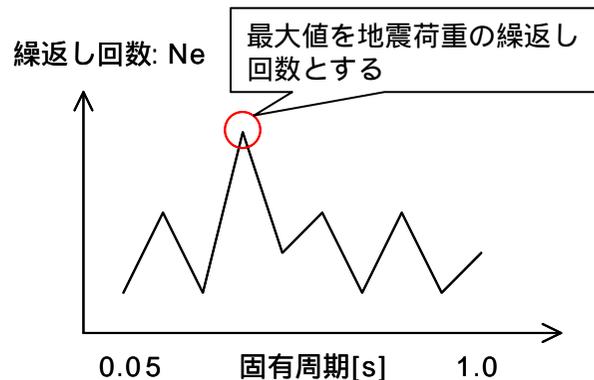
- JEAG4601に基づきピーク応力法により算定



7号機における等価繰返し回数の算定

■ 等価繰返し回数の算定結果

- 観測記録を用いて算定した回数のうち最大の値を等価繰返し回数と考えて疲労評価を実施した。



プラント	標高	方向	繰返し回数Neの最大値
K-7	中間階 (T.M.S.L.23.5m)	NS	14
		EW	16
		UD	21
	基礎マット上端 (T.M.S.L.-8.2m)	NS	18
		EW	15
		UD	21

各値のうち最大の値を中越沖地震(本震)の繰返し回数とした。

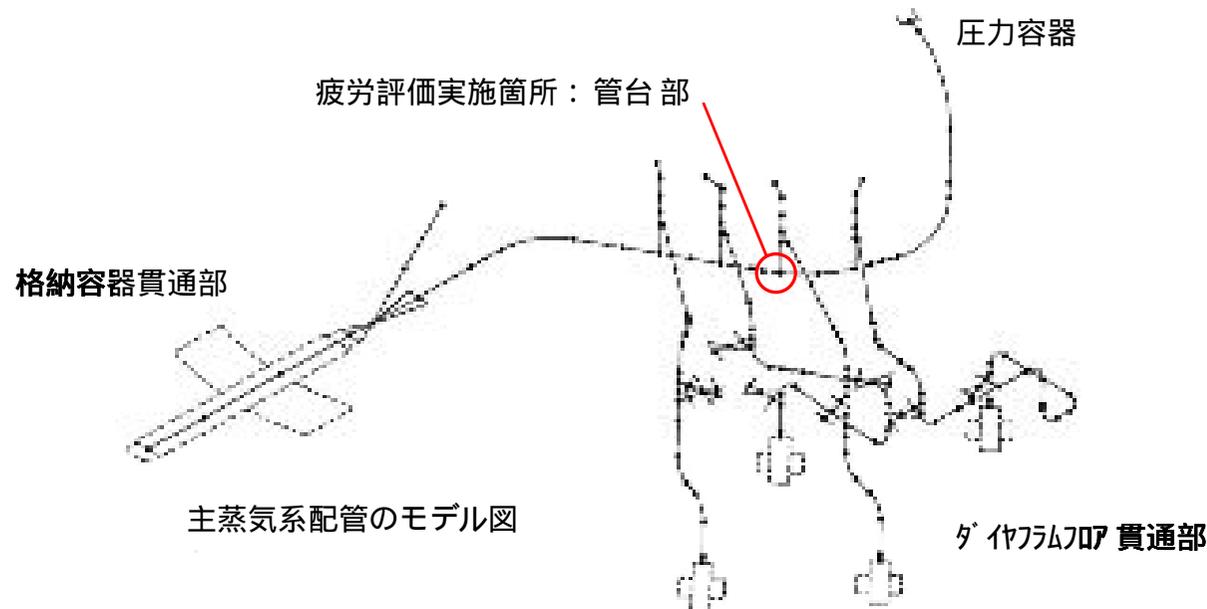
(過度に保守的な算定条件)

- 最大ピーク応力を 150kg/mm^2 に設定していること。
実際のピーク応力は 150kg/mm^2 よりも十分小さい。
- 各周期について算定した繰返し回数の中で最大の回数を等価繰返し回数と考えたこと。
多くの設備の等価繰返し回数はより小さい。

6号機における疲労評価

■ 6号機における疲労評価

- 6号機の疲労評価においては次の2つの手法による疲労評価を実施し、等価繰返し回数の算定に関する耐震設計の保守性について検討する。
 - ◆ 3方向同時時刻歴応答解析による疲労評価
 - ◆ ピーク応力法による疲労評価
- 地震による1次+2次応力が厳しい設備として主蒸気系配管、低圧注水ノズル、原子炉補機冷却水(RCW)系配管を対象に検討する。



6号機における疲労評価

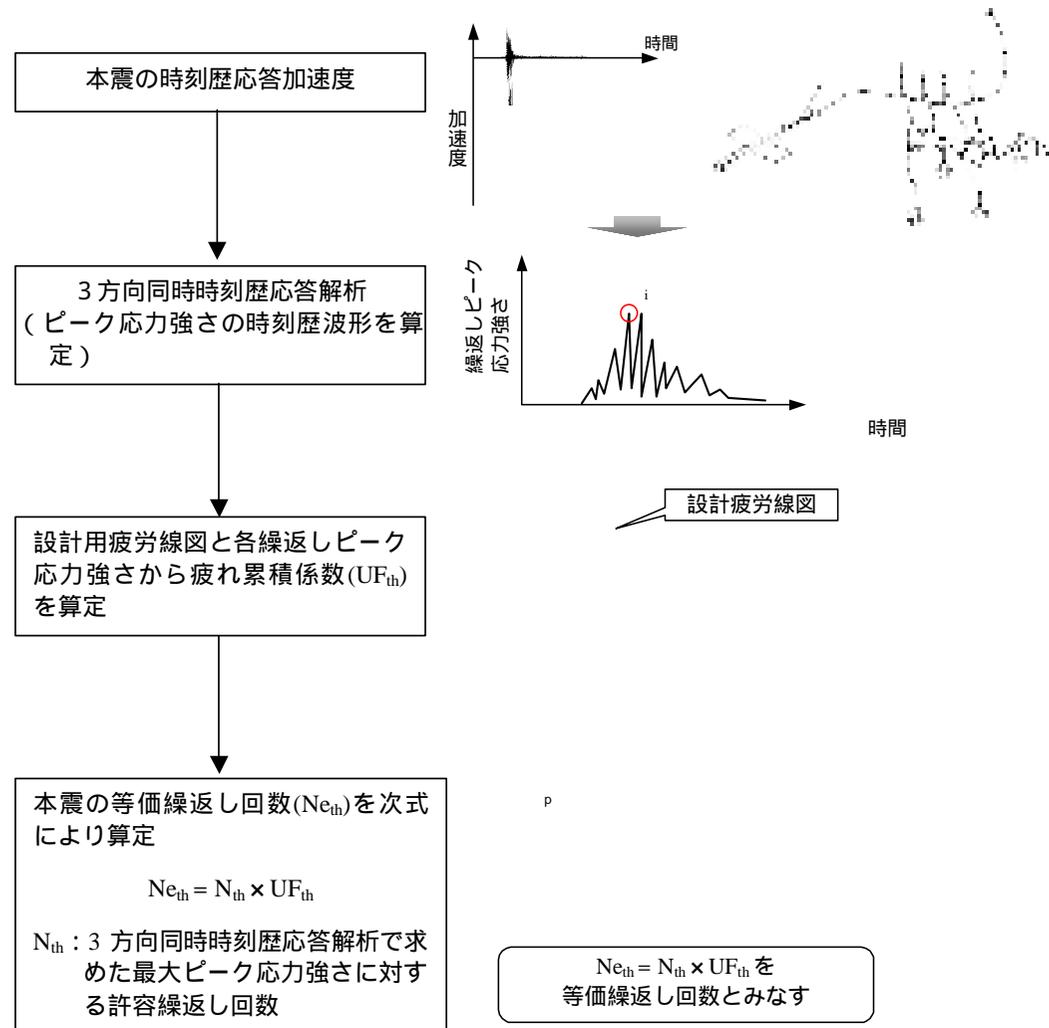
■ 等価繰返し回数の算定（3方向同時時刻歴応答解析）

- 3方向同時時刻歴応答解析による疲労評価の手順

地震時に発生した繰返しピーク応力強さの時刻歴を3方向同時時刻歴応答解析により求める。

繰返しピーク応力強さの時刻歴波形の各ピーク値と設計用疲労線図とを用いて疲れ累積係数 (UF_{th}) を算定する。

疲れ累積係数 (UF_{th}) に、3方向同時時刻歴応答解析で求めた最大繰返しピーク応力強さに対する許容繰返し回数 (N_{th}) を乗じることにより、本震の等価繰返し回数 (Ne_{th}) を算定する。



6号機における疲労評価

■ 等価繰返し回数の算定（ピーク応力法）

● ピーク応力法による疲労評価の手順

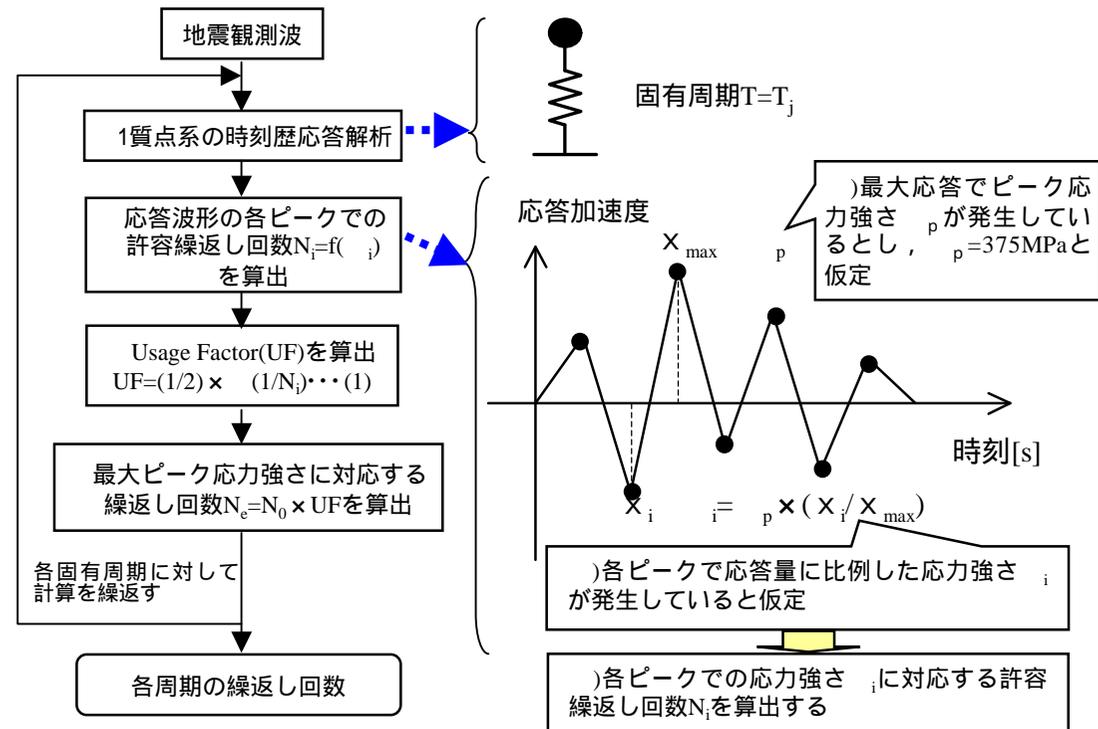
地震観測データを用い、1質点系に入力した場合の応答加速度の時刻歴を求める。

この時刻歴を繰返しピーク応力強さの時刻歴とみなし、最大となる繰返しピーク応力強さを $3S_m$ (1次+2次応力に対する許容応力, 375 MPa)と仮定した場合の各ピーク点の応力強さを求める。

各ピーク点の応力強さに対する許容繰返し回数 (N_i) を設計疲労線図より求め、式(1)により Usage Factor (UF) を求める。

UFと、最大ピーク応力強さに対する許容繰返し回数 N_0 の積をとることにより最大ピーク応力強さに対する等価繰返し回数 N_e を求める。

各周期について手順 ~ を実施する。



N_0 : $p=375\text{MPa}$ に対する許容繰返し回数

6号機における疲労評価（主蒸気系配管）

■ 等価繰返し回数の算定結果（本震）

- 3方向同時時刻歴応答解析とピーク応力法により算定した等価繰返し回数を次表に示す。

本震に対する等価繰返し回数（3方向同時時刻歴解析、ピーク応力法）

評価設備	運転状態 、 疲れ累積係数： U	新潟県中越沖地震（本震）				U+UF
		最大繰返し ピーク応力強さ	許容繰返し 回数	疲れ累積係数	等価繰返 し回数	
主蒸気系 配管	0.3581	p: 104 MPa	N _{th} : 1.8 × 10 ⁵	UF _{th} : 1.9 × 10 ⁻⁵	Ne _{th} : 4	0.3582
		p: 375 MPa	N ₀ : 3.3 × 10 ³	UF: 0.0048	Ne: 16	0.3629

上段：3方向同時時刻歴解析 下段：ピーク応力法

算定の結果、次のことを確認した。

- より現実的な手法である3方向同時時刻歴応答解析により算定した等価繰返し回数は、4回であること。
- ピーク応力法は保守的な解析手法であること。
- 設計に用いる等価繰返し回数（60回）は十分に保守的であること。

6号機における疲労評価（主蒸気系配管）

■ 等価繰返し回数の算定結果（本震 + 余震）

- 観測された最大加速度が大きい順に次の2つの余震を考慮して、ピーク応力法により等価繰返し回数を算定した。（次表）

余震 : 2007年7月16日 15時37分発生

余震 : 2007年7月25日 6時52分発生

余震を考慮した等価繰返し回数（ピーク応力法）

評価設備	地震動	最大繰返し ピーク応力強さ	等価 繰返し回数	疲れ累積係数： UF
主蒸気系 配管	本震	375 MPa	16	0.0048
	本震 + 余震		20	0.0061
	本震 + 余震 + 余震		20	0.0061

算定の結果、次のことを確認した。

- 余震により等価繰返し回数は4回増加する。
- 余震 よりも小さい余震は、等価繰返し回数の算定結果に影響しない。

6号機における疲労評価（低圧注水ノズル）

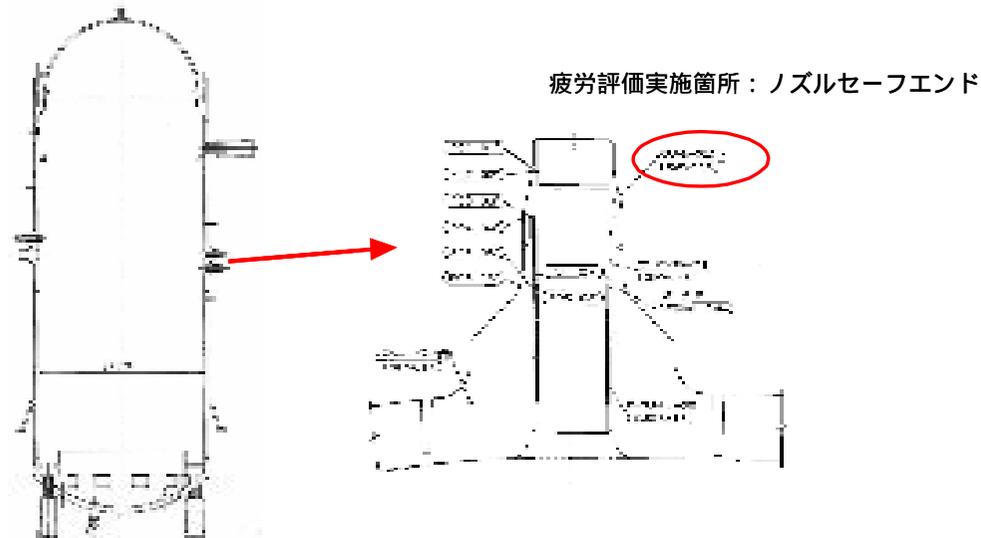
■ 等価繰返し回数の算定結果（本震）

- 低圧注水ノズルについて、3方向同時時刻歴応答解析により等価繰返し回数を算定した。算定結果を次表に示す。

本震に対する等価繰返し回数（3方向同時時刻歴解析）

評価設備	運転状態	新潟県中越沖地震（本震）				U+UF
	疲れ累積係数： U	最大繰返し ピーク応力強さ	許容繰返し 回数	疲れ累積係数： UF	等価繰返し 回数	
低圧注水 ノズル	0.008	116 MPa	1.2×10^5	1.5×10^{-5}	2	0.008

低圧注水ノズルのモデル図



6号機における疲労評価（RCW系配管）

■等価繰返し回数の算定結果（本震）

- RCW系配管について、3方向同時時刻歴応答解析により等価繰返し回数を算定した。算定結果を次表に示す。

本震に対する等価繰返し回数（3方向同時時刻歴解析）

評価設備	運転状態	新潟県中越沖地震（本震）				U+UF
	疲れ累積係数： U	最大繰返し ピーク応力強さ	許容繰返し 回数	疲れ累積係数： UF	等価繰返し 回数	
低圧注水 ノズル	-	150 MPa	54000	0.0002	7	0.0002

：設計時においては1次+2次応力が3Sm以下であるためJEAG4601補1984に従い疲れ累積係数は算出していません。

RCW系配管のモデル図



残留熱除去系熱交換器へ

6号機における疲労評価（考察：1 / 2）

■ 等価繰返し回数に関する考察

- 評価手法により等価繰返し回数の算定結果が相違する要因
 - ◆ 3方向同時時刻歴応答解析により算定した等価繰返し回数（4回）とピーク応力法により算定した等価繰返し回数（16回）とが相違する要因について検討した。
 - ◆ 最大繰返しピーク応力強さをピーク応力法と同様に375MPaと仮定し、3方向同時時刻歴応答解析により等価繰返し回数を算定することにより検討を行った。（次表）

最大繰返しピーク応力強さと等価繰返し回数

評価設備	最大繰返しピーク応力強さ	等価繰返し回数	評価手法
主蒸気系配管	104 MPa	4	3方向同時時刻歴応答解析
	375 Mpa	15	
	375 MPa	16	ピーク応力法

等価繰返し回数の算定結果（本震）において、評価手法により等価繰返し回数が相違するのは、最大ピーク応力強さの相違が主な要因であると考えられる。

6号機における疲労評価（考察：2 / 2）

■ 余震の影響に関する考察

- 3方向同時時刻歴応答解析により疲れ累積係数を算定すると、余震を考慮することにより疲れ累積係数は3割弱増加する。
(疲れ累積係数：本震 = 0.0048、本震 + 余震 = 0.0061)
- 仮に、3方向同時時刻歴応答解析により算定した本震による疲れ累積係数（主蒸気系配管： 1.9×10^{-5} 、低圧注水ノズル： 1.5×10^{-5} 、RCW系配管：0.0002）が3割弱増加したとしても、その影響は軽微である。

6号機における疲労評価（まとめ）

■ まとめ

- 等価繰返し回数の算定に関する耐震設計の保守性について、主蒸気系配管、低圧秋水ノズル、RCW配管を対象に検討を行い、次のことを確認した。
 - ◆ 3方向同時時刻歴応答解析により算定した本地震の現実的な等価繰返し回数は、1桁程度であること。
 - ◆ ピーク応力法は保守的な解析手法であること。
 - ◆ 設計に用いられる等価繰返し回数（60回）は十分な保守性を有すること。
 - ◆ 本地震による疲れ累積係数は運転状態 γ の疲れ累積係数に比べて十分小さく無視できる程度であること。