

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-03 改 02
提出年月日	2022年10月13日

## 下位クラス施設の波及的影響の検討について

2022年10月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目 次

1. 概要	1
2. 波及的影響に関する評価方針	2
2.1 基本方針	2
2.2 下位クラス施設の抽出方法	4
2.3 影響評価方法	4
2.4 プラント運転状態による評価対象の考え方	4
3. 事象検討	6
3.1 別記2に記載された事項に基づく事象検討	6
3.2 地震被害事例に基づく事象の検討	6
3.2.1 被害事例とその要因の整理	6
3.2.2 追加考慮すべき事象の検討	7
3.3 津波，火災，溢水による影響評価	8
3.4 周辺斜面の崩壊による影響評価	8
3.5 液状化による影響評価	9
4. 上位クラス施設の確認	10
5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法	28
5.1 不等沈下又は相対変位による影響	28
5.2 接続部における相互影響	32
5.3 建物内における損傷，転倒，落下等による影響	40
5.4 屋外における損傷，転倒，落下等による影響	42
6. 下位クラス施設の検討結果	44
6.1 不等沈下又は相対変位による影響検討結果	44
6.1.1 抽出手順	44
6.1.2 下位クラス施設の抽出結果	44
6.1.3 影響検討結果	44
6.2 接続部における相互影響検討結果	53
6.2.1 抽出手順	53
6.2.2 接続部の抽出及び影響評価対象の選定結果	54
6.2.3 影響検討結果	54
6.3 建物内における損傷，転倒，落下等による影響検討結果	94
6.3.1 抽出手順	94
6.3.2 下位クラス施設の抽出結果	94
6.3.3 影響検討結果	94
6.4 屋外における損傷，転倒，落下等による影響検討結果	133
6.4.1 抽出手順	133
6.4.2 下位クラス施設の抽出結果	133
6.4.3 影響検討結果	133

## 添付資料

- 添付資料 1-1 波及的影響評価に係る現地調査の実施要領
- 添付資料 1-2 波及的影響評価に係る現地調査記録
- 添付資料 2 原子力発電所における地震被害事例の要因整理
- 添付資料 3 周辺斜面の崩壊等による施設への影響について
- 添付資料 4 上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤について
- 添付資料 5 設置予定施設及び撤去予定施設に対する波及的影響評価手法について
- 添付資料 6 建物開口部竜巻防護対策設備の波及的影響評価における対応について
- 添付資料 7 島根 2 号機の特徴を踏まえた波及的影響評価について
- 添付資料 8 下位クラス配管に係る波及的影響評価の考え方について
- 添付資料 9 島根 2 号機排気筒廻りの波及的影響評価について
- 添付資料 10 小規模建物を含めた上位クラス施設周辺の建物について
- 添付資料 11 1 号機取水槽流路縮小工への下位クラス施設の波及的影響評価について
- 添付資料 12 原子炉補機海水系等の通水機能への下位クラス施設の波及的影響評価について
- 添付資料 13 防波壁への下位クラス施設の波及的影響評価について
- 添付資料 14 上位クラス電路に対する下位クラス施設からの波及的影響評価について
- 添付資料 15 下位クラス配管の損傷形態の検討について
- 添付資料 16 下位クラス施設の損傷による機械的荷重等の影響について

## 参考資料

- 参考資料 1 原子炉補機海水系配管放水ラインの信頼性向上について
- 参考資料 2 設置変更許可時からの相違点について

: 今回説明する範囲

## 下位クラス施設の損傷による機械的荷重等の影響について

## 1 はじめに

下位クラス機器が損傷した場合の上位クラス機器への波及的影響については、上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における相互影響がないこと及び建物内外における下位クラス施設の損傷、転倒及び落下等による上位クラス施設への影響がないことを確認している。本資料では、下位クラス施設の損傷を想定する場合の機械的荷重及び破断時の環境に及ぼす影響について検討する。

## 2 機械的荷重の影響

耐震評価においては、地震時に発生する機械的荷重を考慮した評価を実施しているが、本検討においては、耐震計算書における機械的荷重の設定よりも保守的な条件として、下位クラス配管の損傷を仮定した場合においても、上位クラス配管と下位クラス配管との境界サポート及び境界弁が強度上問題ないことを確認する。

上位クラスの機器・配管系に要求される支持機能、隔離機能への影響確認として、境界サポートに対して配管破損による反力（以下「配管破損反力」という。）を踏まえた構造強度評価を実施するとともに、境界弁に対して配管破損時に弁体前後に生じる圧力差による荷重を踏まえた構造強度評価を実施する。図 2-1 に検討方針の概要図を示す。

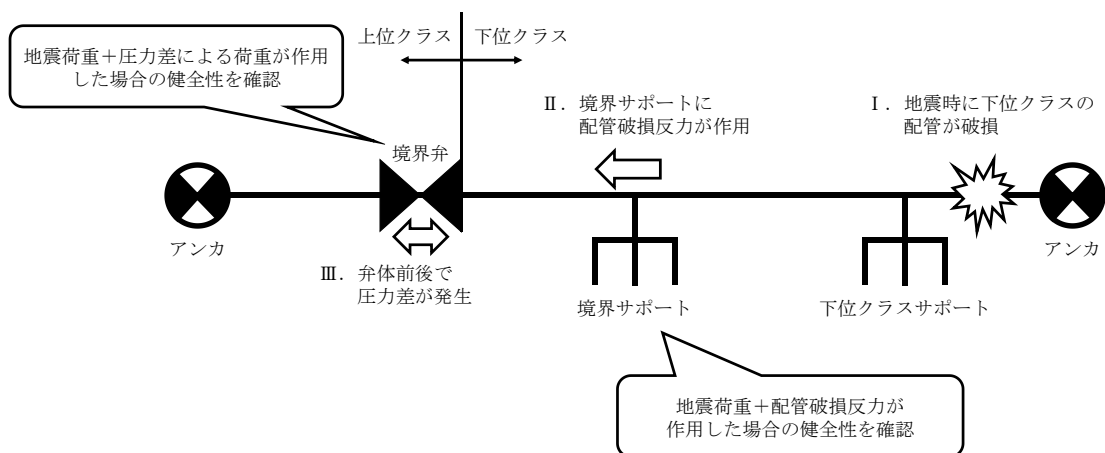


図 2-1 概要図

## 2.1 影響検討対象設備

図 2.1-1 に影響検討対象の抽出フローを、表 2.1-1 にフローに従い抽出した影響検討対象設備を示す。なお、具体的には本文「4. 上位クラス施設の確認」表 4-1 及び表 4-2 にて抽出した上位クラス施設を対象として以下のとおり影響検討対象設備を抽出した。

- ・電気設備及び計測制御設備は、その破損により有意な機械的荷重が発生しないと考えられることから、影響検討の対象外とする。
- ・下位クラス施設との接続部がある機器・配管系を抽出する。
- ・上位クラスに接続される下位クラス配管部について、破損により生じる荷重と相関関係がある圧力が大きいものかつ配管径が大きいものを抽出する。ここで、圧力及び配管径は、溢水ガイドの高エネルギー配管の分類を参考に 1.9MPa を超える且つ 25A を超えるものとする。
- ・添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない B, C クラス機器の耐震性についての計算書」において、下位クラス配管の基準地震動  $S_s$  に対する健全性が確認されているものは影響検討対象から除外する。

表 2.1-1 影響検討対象設備

No	系統	運転圧力* (MPa)	口径* (A)
1	給水系	6.71	450
2	主蒸気系	7.75	600

注記\*：境界サポートの拘束部における配管諸元を示す。

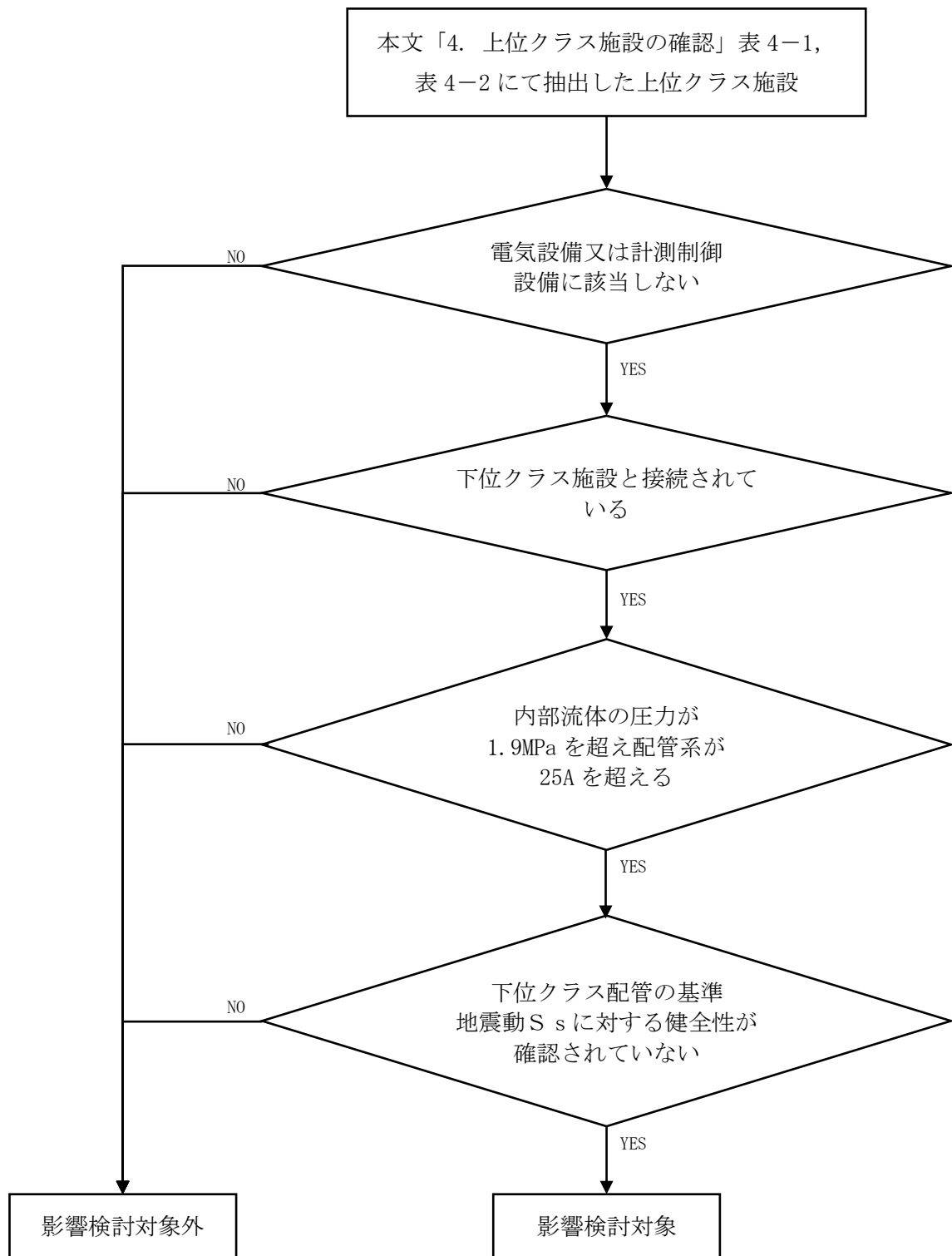


図 2.1-1 影響検討対象の抽出フロー

## 2.2 影響検討方針

図 2.2-1 に下位クラス施設の損傷に伴う機械的荷重の影響検討フローを、表 2.2-1 に影響検討対象設備の検討内容を示す。2.1 項で抽出した影響検討対象設備における境界サポート及び境界弁に対して、下記①～③の評価により下位クラス配管破損時の荷重に対する検討を実施する。

- ①下位クラス配管及びサポートが基準地震動  $S_s$  により破損しないことを確認することで、破損時の荷重が発生しないことを確認する。
- ②基準地震動  $S_s$  による地震荷重+配管破損反力が作用した場合でも境界サポートが健全であることを確認する。
- ③基準地震動  $S_s$  による地震荷重+圧力差が作用した場合でも境界弁が健全であることを確認する。

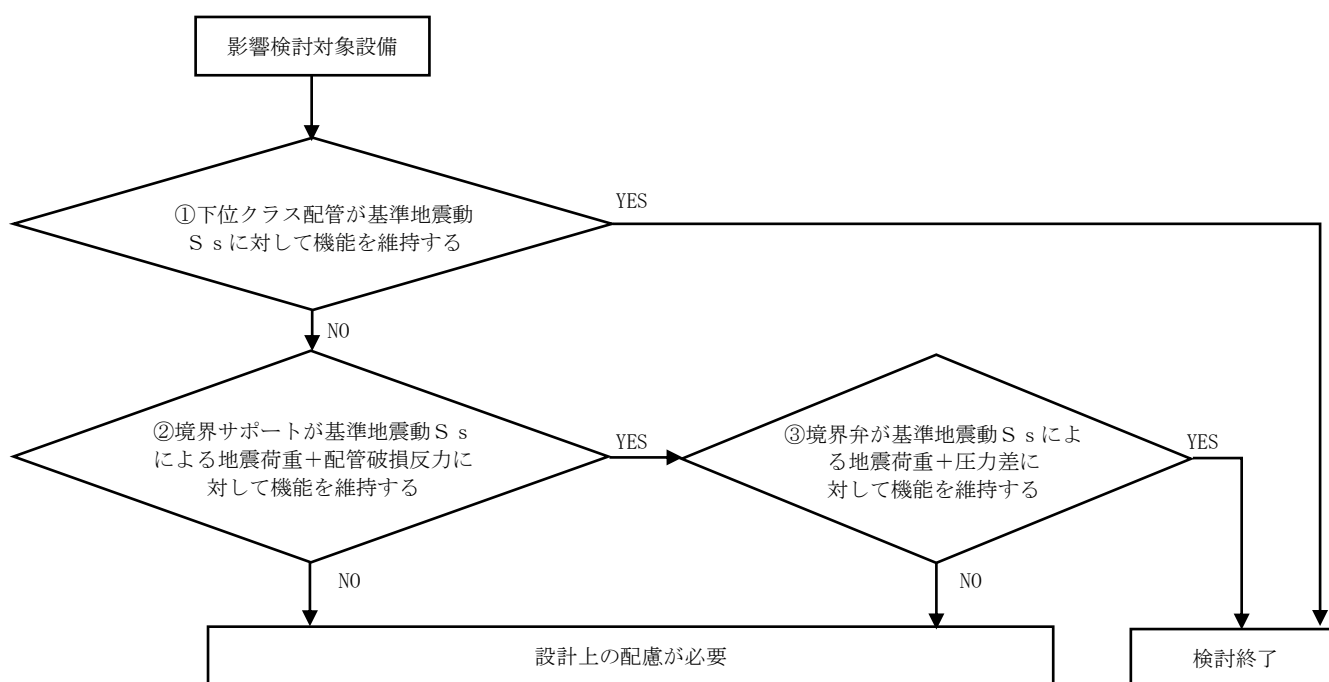


図 2.2-1 下位クラス施設の損傷に伴う機械的荷重の影響検討フロー

表 2.2-1 影響検討対象設備の検討内容

No	系統	境界弁	検討内容
1	給水系	V204-103A, B	②③
2	主蒸気系	AV202-2A, B, C, D	②③

②の評価において、地震による下位クラス配管の破損を想定する箇所は、下位クラス配管の耐震重要度分類に応じた耐震性評価における最小裕度部位とする。

既往知見\*において、許容応力の4倍以上となる条件の加振試験を実施した場合であっても配管の全断面破断やき裂貫通は生じず、配管全体に過大応答が発生するような試験体を用いた場合にのみ、振動台加振限界相当の条件による繰返し加振によってき裂貫通が生じたことが確認されている。また、影響検討対象の下位側の耐震重要度分類は全てBクラスであり、基準地震動 $S_s$ の1/4程度である弾性設計用地震動 $S_d$ に1/2を乗じた地震動（以下「1/2 $S_d$ 」という。）又は1/2程度である弾性設計用地震動 $S_d$ に対して各々、弾性設計又は機能維持設計されている。以上より、Bクラス配管において基準地震動 $S_s$ 相当の地震発生時に全断面破断やき裂貫通は生じないと考えられるが、本評価を実施するにあたっては貫通クラックを仮定し検討を行う。

貫通クラックの面積は「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド（原子力規制委員会、令和2年3月31日改定）」（以下「溢水ガイド」という。）を参考に $1/2 \cdot D$ （配管内径） $\times 1/2 \cdot t$ （配管肉厚）として算定する。これは、既往知見\*において高エネルギー配管に該当する圧力1.9MPaを大きく超える10.7MPaを負荷した試験体を用いた加振試験においても、配管の破損モードは全断面破断ではなく、き裂貫通が生じるのみであったことを踏まえて、損傷モードとしては貫通クラックを想定し、その面積は溢水ガイドを参考にして算出するものである。

③の検討を実施する系統の境界弁に対して、地震時における弁の隔離機能に対する健全性評価を行う。具体的には、配管破損時に弁体前後に生じる圧力差による荷重を考慮して、地震力と組み合わせた強度評価を実施し、地震時に下位クラス配管破損を想定した場合でも境界弁の構造強度に問題がないことを確認する。

注記\*：「平成14年度 原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 その1 配管系終局強度（（財）原子力発電技術機構、平成15年3月）」の実規模配管系試験



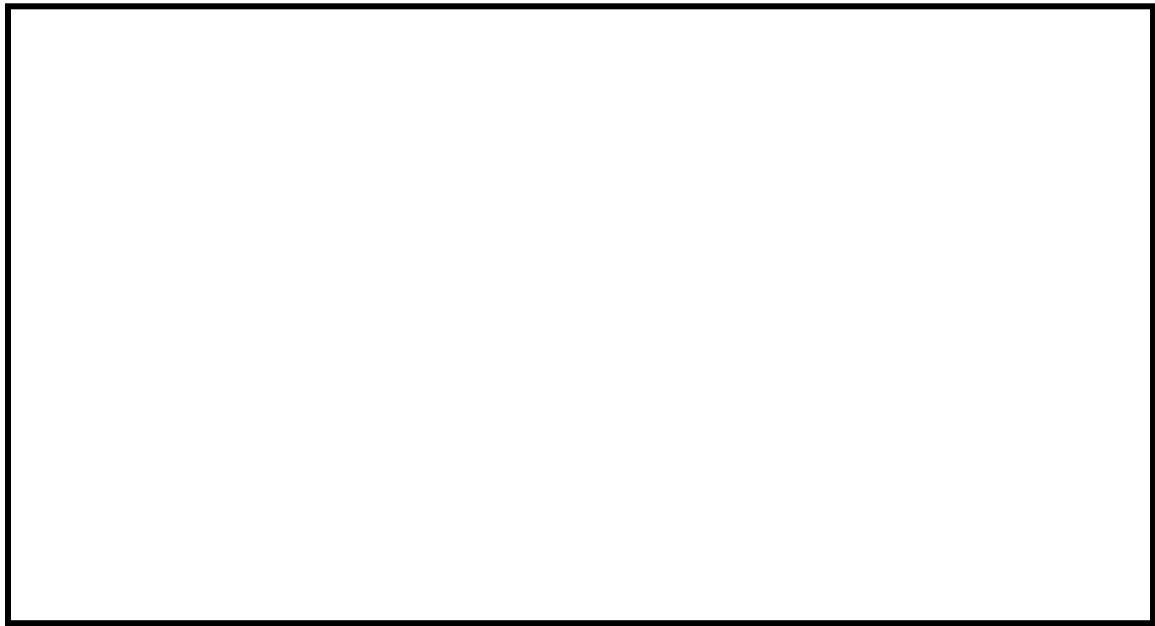
### 2.3 配管モデル

配管破損反力を算定する際に適用する配管モデルは、基準地震動  $S_s$  による地震力が作用した場合、規格・基準に基づく許容値を下回る下位クラスの配管サポートや、許容値を上回るもののある程度の拘束効果が期待できる下位クラスの配管サポートがあると想定されるが、下位クラスの配管サポートによる拘束が無い状態を仮定する。また、配管の損傷モードとしては貫通クラックを想定するため、配管端部は自由端とせず拘束点として考慮する。

給水系の配管モデルを図 2.3-1 に、配管破損反力を算定する際に適用する給水系の配管モデルを図 2.3-2 に示す。具体的には、配管破損反力を算定する際に適用する給水系の配管モデルは、上位クラス配管から第 6 給水加熱器接続部までをモデル化し、下位クラスの配管サポートによる拘束が無い配管モデルを用いる。給水系の 2 つの境界弁は同一モデル上に存在し、境界サポートはそれぞれ 2 つの境界弁から B クラス側に最も近い配管サポートである。給水系の境界サポートには X 方向の拘束がないことから、上位クラスの配管サポートのうち、境界サポートに最も近い X 方向を支持する配管サポート（以下「反力支持サポート」という。）についても、基準地震動  $S_s$  による地震荷重+配管破損反力に対する健全性を確認する。



図 2.3-1 給水系配管モデル (FW-T-7, FW-T-8)



(a) 全体図



(b) 上位クラス範囲拡大図

図 2.3-2 配管破損反力を算定する際に適用する給水系配管モデル

## 2.4 評価結果

### 2.4.1 給水系

表 2.2-1 において検討内容を②及び③とした給水系配管の評価結果を示す。

#### ① 境界サポートの評価

##### A) 破損を想定する箇所の特定

対象の給水系配管はBクラス設備であり、 $1/2 S_d$ に対する耐震評価を実施していることから、この結果を用いて地震時に破損を想定する箇所を特定する。なお、対象の配管モデルは上位クラス施設と下位クラス施設との接続部を有するFW-T-8とする。

配管解析に用いた設計条件を表 2.4.1-1 に、設計用地震力の算出に用いる設計用応答スペクトル I を表 2.4.1-2、図 2.4.1-1 に示す。なお、図 2.4.1-1 は、弾性設計用地震動  $S_d$  であるため、耐震評価では  $1/2$  を乗じて適用する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

$1/2 S_d$  に対して水平 2 方向及び鉛直 1 方向を考慮した評価結果を表 2.4.1-3 に示す。地震時に破損を想定する箇所として、評価範囲の疲労累積係数が最大である評価点 13 を選定した。

表 2.4.1-1 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)
10.0	230.0	508.0	32.5
10.0	230.0	711.2	35.7
10.0	230.0	769.8	65.0
10.0	230.0	406.4	26.2
6.47	60.0	406.4	21.4
10.0	230.0	540.6	48.8
10.0	230.0	508.0	44.4
10.0	230.0	508.0	42.95
10.0	230.0	457.2	29.4
8.62	302.0	457.2	23.8
8.62	302.0	114.3	11.1
8.62	302.0	216.3	18.2
10.0	302.0	216.3	18.2

表 2.4.1-2 設計用地震力の算出に用いる設計用応答スペクトル

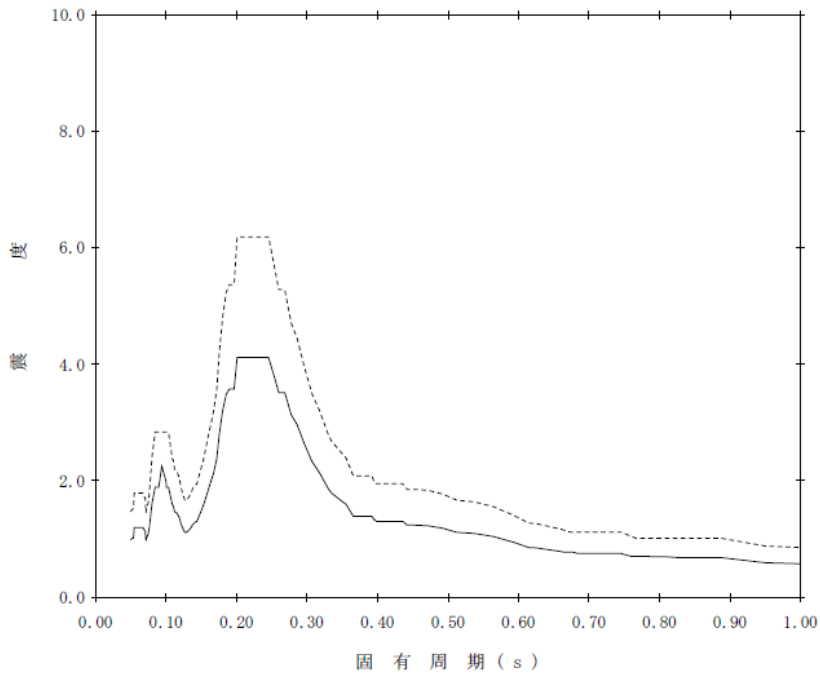
建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
原子炉建物	EL 23.800	3.0
タービン建物	EL 20.600	3.0

表 2.4.1-3 1/2 S d に対する評価結果

評価点	一次応力			一次+二次応力			疲労評価
	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数
13	85	218	2.56	202	436	2.15	0.0806

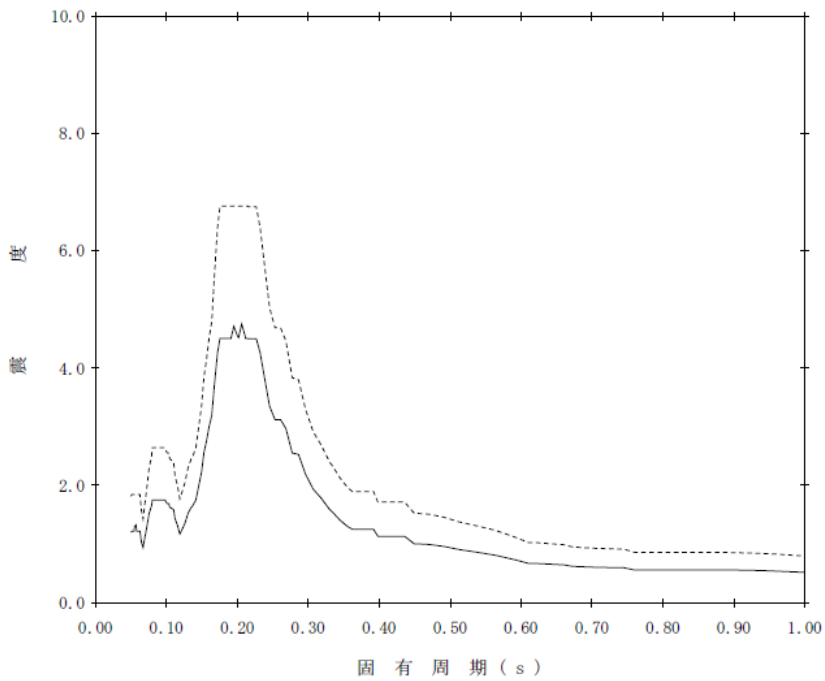
注：疲労累積係数が最も大きい評価部位を記載

構造物名：原子炉建物                      標高：EL23.800m                      ——— 設計用床応答スペクトルⅠ (NS方向)  
 減衰定数：3.0%                              波形名：弾性設計用地震動 S d                      - - - - - 設計用床応答スペクトルⅡ (NS方向)



(a) 原子炉建物 NS 方向

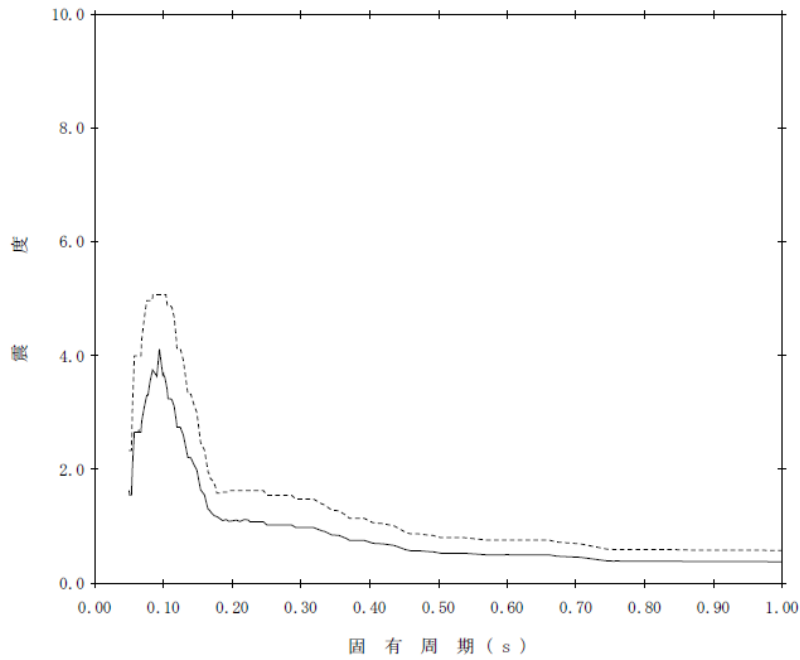
構造物名：原子炉建物                      標高：EL23.800m                      ——— 設計用床応答スペクトルⅠ (EW方向)  
 減衰定数：3.0%                              波形名：弾性設計用地震動 S d                      - - - - - 設計用床応答スペクトルⅡ (EW方向)



(b) 原子炉建物 EW 方向

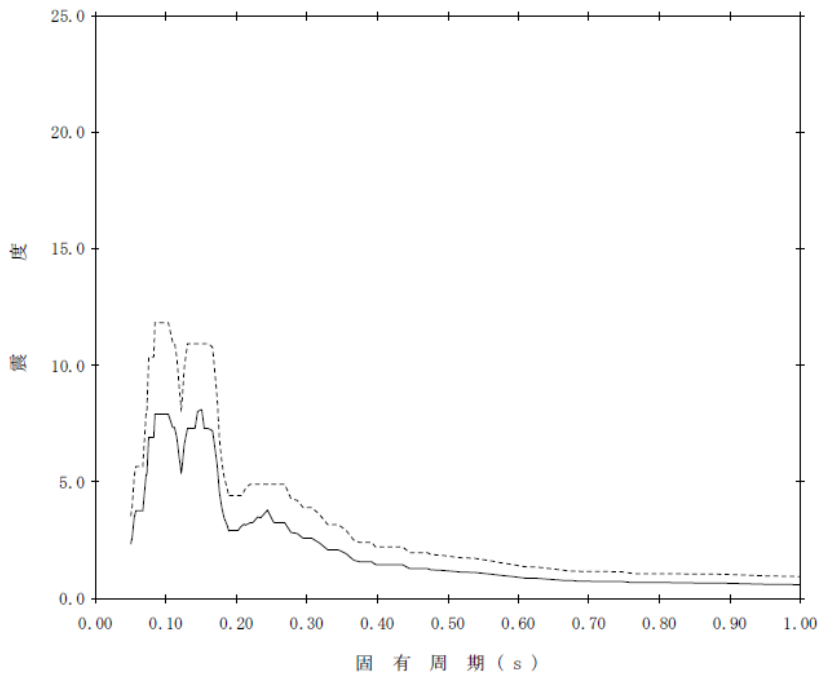
図 2.4.1-1 (1/3) 設計用床応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d)

構造物名：原子炉建物                      標高：EL23.800m                      ——— 設計用床応答スペクトルⅠ（鉛直方向）  
 減衰定数：3.0%                      波形名：弾性設計用地震動S d                      - - - - - 設計用床応答スペクトルⅡ（鉛直方向）



(c) 原子炉建物 鉛直方向

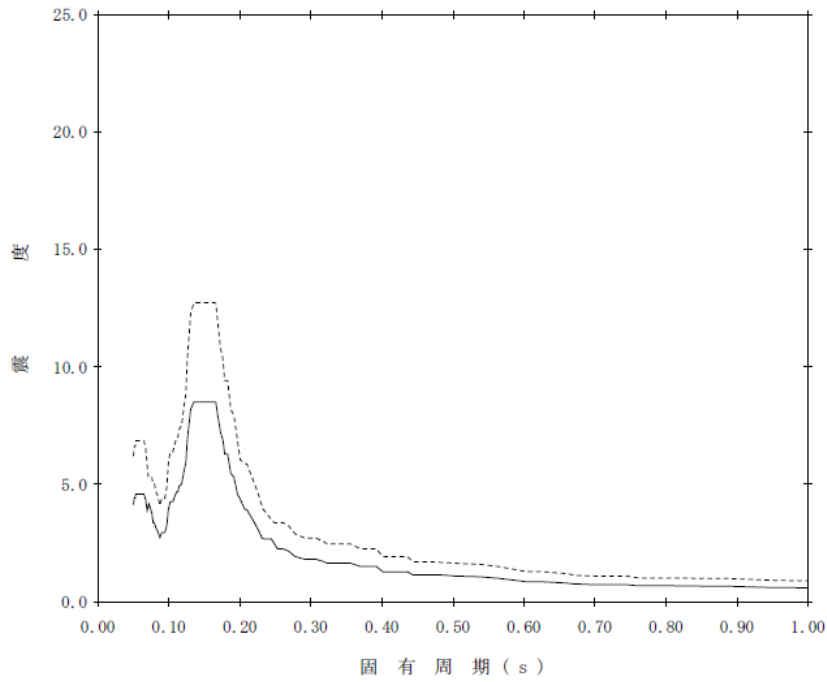
構造物名：タービン建物                      標高：EL20.600m                      ——— 設計用床応答スペクトルⅠ（NS方向）  
 減衰定数：3.0%                      波形名：弾性設計用地震動S d                      - - - - - 設計用床応答スペクトルⅡ（NS方向）



(d) タービン建物 NS 方向

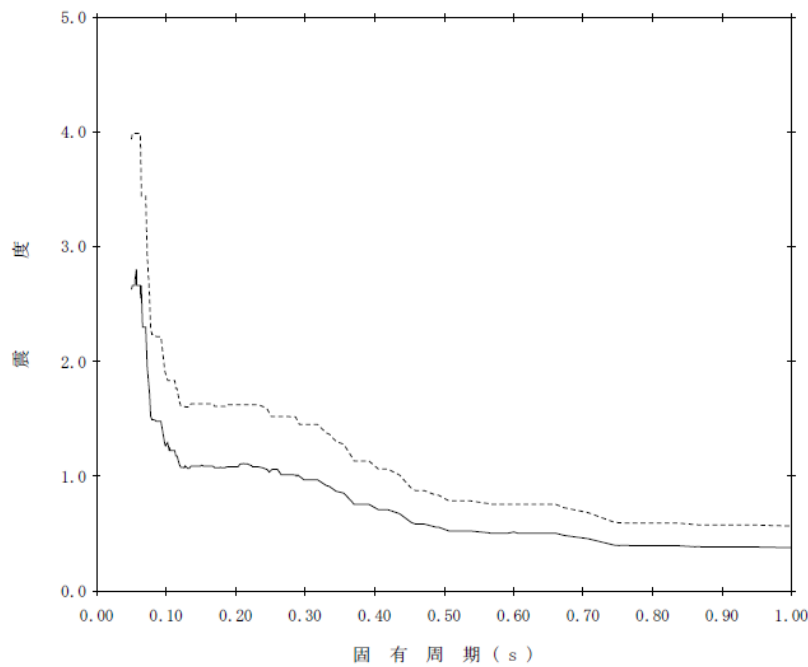
図 2.4.1-1 (2/3) 設計用床応答スペクトル（弾性設計用地震動S d）

構造物名：タービン建物                      標高：EL20.600m                      ——— 設計用床応答スペクトルⅠ (EW方向)  
 減衰定数：3.0%                              波形名：弾性設計用地震動 S d                      - - - - - 設計用床応答スペクトルⅡ (EW方向)



(e) タービン建物 EW 方向

構造物名：タービン建物                      標高：EL20.600m                      ——— 設計用床応答スペクトルⅠ (鉛直方向)  
 減衰定数：3.0%                              波形名：弾性設計用地震動 S d                      - - - - - 設計用床応答スペクトルⅡ (鉛直方向)



(f) タービン建物 鉛直方向

図 2.4.1-1 (3/3) 設計用床応答スペクトル (弾性設計用地震動 S d)

B) 貫通クラックの面積の算定

貫通クラックの面積 A は溢水ガイドを参考に下記のとおり算定した。

$$A = 1/2 \cdot D \times 1/2 \cdot t$$
$$= 1/2 \times (711.2 - 35.7 \times 2) \times 1/2 \times 35.7 \doteq 5711 \text{ (mm}^2\text{)}$$

D : 配管内径 (mm)

t : 配管肉厚 (mm)

注 : 破損を想定した箇所の値を使用

C) 貫通クラックによる荷重の算定

貫通クラックによる荷重 F は「design basis for protection of light water nuclear power plants against the effects of postulated pipe rupture ANSI/ANS-58.2-1988」を参考に下記のとおり算定した。

$$F = DLF \times C_T \times P \times A$$
$$= 2 \times 2.00 \times 7.75 \times 5711 \doteq 18 \times 10^4 \text{ (N)}$$

DLF : ダイナミックロードファクタ (=2\*)

C<sub>T</sub> : 定常スラスト係数 (=2.00\*)

P : 運転圧力 (MPa)

注記\* : 「design basis for protection of light water nuclear power plants against the effects of postulated pipe rupture ANSI/ANS-58.2-1988」より



D) 配管破損反力の算定

破損を想定する箇所に貫通クラックによる荷重 F を軸直 2 方向に載荷し、境界サポート及び反力支持サポートの配管破損反力を算定した。表 2.4.1-4 に基準地震動 S s による地震荷重等と配管破損反力を合計した最大値を示す。

表 2.4.1-4 評価対象サポートの荷重

支持構造物 番号	種類	反力 (kN)			モーメント (kN・m)		
		F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
RE-FW-794	レストレイント	0	336	120	—	—	—
RE-FW-802	レストレイント	0	448	122	—	—	—
AN-FW-795	アンカ	531	143	60	1004	49	215
AN-FW-803	アンカ	601	147	56	657	55	238

注：座標軸は図 2.3-1 に示す。

E) 配管破損反力を踏まえた評価

境界サポート及び反力支持サポートについて、地震荷重+配管破損反力に対する評価を表 2.4.1-5 に示す。全て計算値が許容値以下であり、地震荷重+配管破損反力に対して健全であることを確認した。なお、既往知見より、B クラス配管において基準地震動 S s 地震発生時に全断面破断やき裂貫通は生じないと考えられるが、保守的に貫通クラックを仮定した評価を実施していることから境界サポートの許容応力には S u 値を採用した。

表 2.4.1-5 評価対象サポートの荷重

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RE-FW-794	レスト レイント	ラグ	SGV42	302	0	336	120	—	—	—	圧縮	67	207
RE-FW-802	レスト レイント	ラグ	SGV42	302	0	448	122	—	—	—	圧縮	90	207
AN-FW-795	アンカ	ラグ	SGV49	302	531	143	60	1004	49	215	組合せ	108	241
AN-FW-803	アンカ	ラグ	SGV49	302	601	147	56	657	55	238	組合せ	85	241