

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-他-F-19-0008_改0
提出年月日	2020年12月14日

基準地震動 $S_s - F3$ の検討段階における
地震動による施設への影響について

2020年12月

東北電力株式会社

目次

1.	はじめに.....	1
2.	基準地震動 $S_s - F_3$ について.....	1
2.1	海洋プレート内地震の検討.....	1
2.2	断層モデルを用いた手法による地震動評価の概要.....	2
2.3	基準地震動 $S_s - F_3$ の選定.....	2
3.	施設の耐震設計への影響検討.....	5
3.1	施設の耐震設計への影響に係る検討方針.....	5
3.2	施設の耐震設計への影響検討に用いる F_3 候補波.....	5
3.3	施設の耐震設計への影響検討結果.....	9
4.	まとめ.....	14

1. はじめに

女川原子力発電所第2号機の施設の耐震設計においては、基準地震動 S_s に対して、設計上の保守性を考慮した設計用地震力を設定し、耐震重要施設等の安全機能が損なわれない設計としている。基準地震動 S_s の概要を表 1-1 に示す。

このうち基準地震動 $S_s - F 3$ (以下「 $S_s - F 3$ 」という。)は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち海洋プレート内地震の断層モデルを用いた手法による地震動であり、審査ガイドの要求事項を踏まえ、不確かさを考慮した複数の地震動評価結果から選定したものである。

本資料では、 $S_s - F 3$ の選定の代表性を施設の耐震設計への影響の観点から確認するため、基準地震動として選定しなかった地震動 (以下「 $F 3$ 候補波」という。)に対しても、 $S_s - F 3$ を含めた基準地震動 S_s による耐震設計により施設の耐震性が確保されることを確認する。

表 1-1 女川原子力発電所第2号機の基準地震動 S_s の概要

基準地震動 S_s		備考	
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	プレート間地震	$S_s - D 1$	応答スペクトルに基づく手法
		$S_s - F 1$	断層モデルを用いた手法
		$S_s - F 2$	断層モデルを用いた手法
	海洋プレート内地震	$S_s - D 2$	応答スペクトルに基づく手法
		$S_s - D 3$	応答スペクトルに基づく手法
		$S_s - F 3$	断層モデルを用いた手法
	内陸地殻内地震	—	上記 S_s で包絡
震源を特定せず策定する地震動	$S_s - N 1$	—	

2. 基準地震動 $S_s - F 3$ について

$S_s - F 3$ は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち海洋プレート内地震の断層モデルを用いた手法による地震動であり、海洋プレート内地震の強震動生成域を海洋性マントル内に設定したケースから、時刻歴波形の主要動の継続時間等の特性を考慮し不確かさケース 3 を基準地震動として選定したものである*。

注*：詳細は、添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」による。

2.1 海洋プレート内地震の検討

地震の発生機構等の違いを踏まえ、地震タイプ別に海洋プレート内地震を想定し、

敷地への影響検討を行った上で、最も影響の大きい地震タイプとして、二重深発地震面上面の地震「2011年4月7日宮城県沖型地震」を検討用地震として選定した。

2.2 断層モデルを用いた手法による地震動評価の概要

2011年4月7日宮城県沖型地震の基本ケースは、2011年4月7日宮城県沖の地震（以下「4.7地震」という。）のシミュレーションモデルを踏まえたものとし、断層の位置等は敷地への影響を踏まえた上で4.7地震の震源位置等に行っている。また、地震規模については不確かさをあらかじめ考慮することとし、シミュレーションモデルの北側に断層を拡張して地震規模をM7.5としている。

強震動生成域を海洋性マントル内に設定したケースは、基本ケースのほか不確かさケースとして、以下のとおり設定している。

(1) 基本ケース（破壊開始点 1～3）

(2) 不確かさケース 1（破壊開始点 1～3）

4.7地震の強震動生成域の位置を保守的に断層上端に設定

(3) 不確かさケース 3

強震動生成域を集約したケースを海洋性マントル位置で評価

最終的に断層モデルを用いた手法による地震動評価のうち、強震動生成域を海洋性マントル内に設定したケースは計7ケースとしている。地震動評価結果を図2-1及び図2-2に示す。

2.3 基準地震動 $S_s - F_3$ の選定

(1) 継続時間、位相特性の特徴

海洋プレート内地震（強震動生成域を海洋性マントル内に設定）の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果は、内陸地殻内地震と比較すると短周期成分に富んでいる。不確かさケース 3 は、敷地と強震動生成域との相対的位置関係から、主要動が最も短い（緻密）という特徴を有している。

(2) 継続時間、位相特性の特徴が施設に与える影響

地震動はもともと短周期のフーリエ振幅がばらつく傾向を有しており、地震応答解析における建屋の非線形特性等の影響によって位相に相対的变化が加わると、短周期成分が重畳し、建屋応答としてもばらつく場合がある。このような短周期側の応答のばらつきは、短周期成分が富み、かつ主要動が短い（緻密）場合、さらに顕著になる傾向にある。

以上より、不確かさケース 3 は、短周期が卓越し、また主要動の継続時間が最も短いという特徴を有していることから、断層モデルを用いた手法による基準地震動として選定し、 $S_s - F_3$ としている。なお、 F_3 候補波は、基本ケース（破壊開始点 1～3）及び不確かさケース 1（破壊開始点 1～3）が該当する。

F 3 候補波 {

- 基本ケース (破壊開始点 1~3)
- 不確かさケース 1 (破壊開始点 1~3)

S s - F 3 — 不確かさケース 3

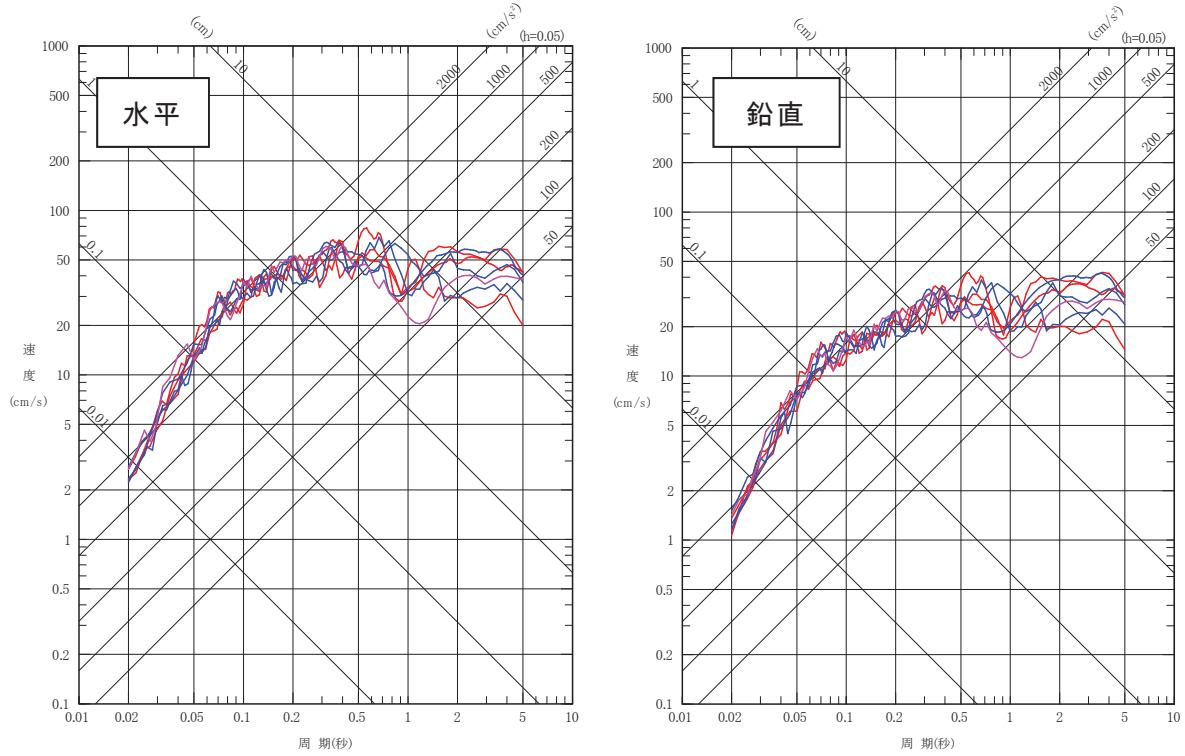
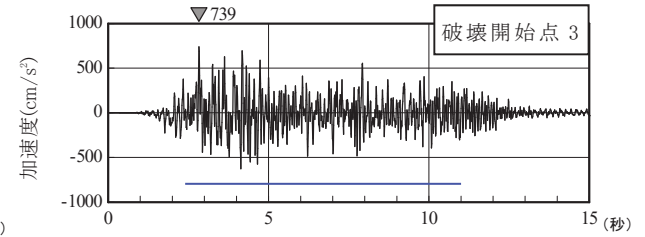
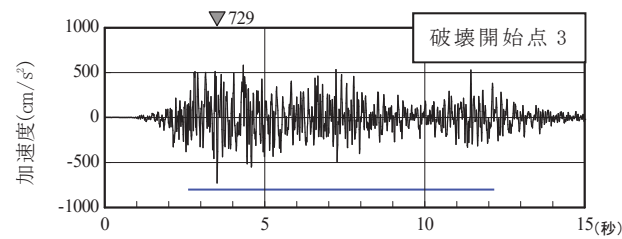
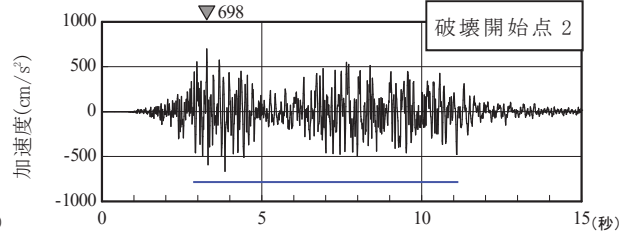
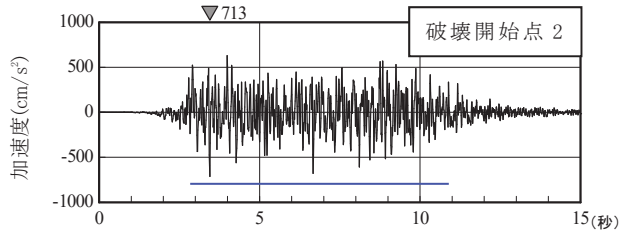
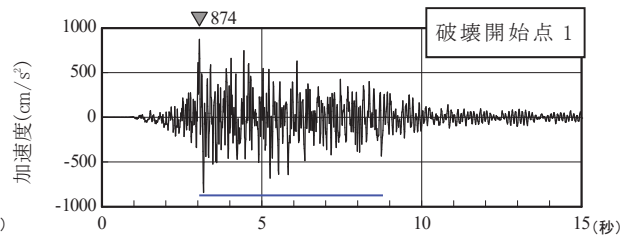
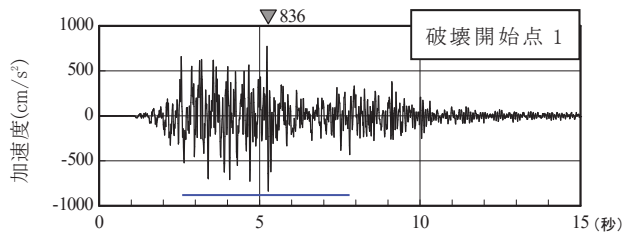
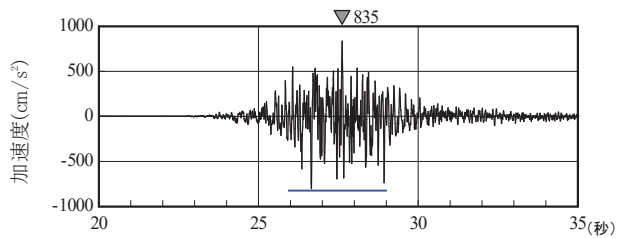


図 2-1 海洋プレート内地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
 (応答スペクトル)



F 3 候補波：基本ケース
(破壊開始点 1～3)

F 3 候補波：不確かさケース 1
(破壊開始点 1～3)



— : 主要動部
(最大加速度値の 0.5 倍以上)

S s - F 3 : 不確かさケース 3

図 2-2 海洋プレート内地震 (強震動生成域を海洋性マントル内に設定) の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果 (時刻歴波形: 水平方向)

3. 施設の耐震設計への影響検討

3.1 施設の耐震設計への影響に係る検討方針

- (1) 原子炉建屋内に設置している主要な設備を対象とし、施設の耐震評価に用いる地震応答による検討を行い、基準地震動 S_s による耐震設計の裕度の範囲内にあることを確認する。
- (2) 検討に用いる原子炉建屋の地震応答解析モデルは今回工認モデルを基本とするが、減衰定数の設定においては 2011 年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析結果^{*1}を踏まえて減衰定数 7%を用いる。

注記*1：「補足 620-1 東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映について 別紙 1 東北地方太平洋沖地震等に対する主要建屋のシミュレーション解析」による。

- (3) 影響検討に当たっては、F 3 候補波 (A~F の 6 波：表 3-1 参照) を比較し、より施設への影響が大きいと思われる地震波を選定する。また、F 3 候補波の比較に当たっては、より施設への入力に近い原子炉建屋基礎版上での地震応答を用いることとし、床応答スペクトル波形、基準地震動 $S_s - D 2$ (以下「 $S_s - D 2$ 」という。) とのスペクトル比^{*2}及び最大応答加速度を算出する。

注記*2： $S_s - D 2$ に対する応答加速度比 (F 3 候補波/ $S_s - D 2$) を、剛な機器を除く主要な施設の固有周期帯 (0.05 秒~0.24 秒) で平均化した値。0.24 秒は原子炉建屋の 1 次固有周期。

3.2 施設の耐震設計への影響検討に用いる F 3 候補波

- (1) 原子炉建屋基礎版上における地震応答

F 3 候補波 (A~F の 6 波) に対する原子炉建屋基礎版上での地震応答結果として、床応答スペクトル波形 (NS 方向及び EW 方向) を図 3-1 及び図 3-2 に、スペクトル比及び最大応答加速度の整理結果を表 3-1 に示す。

- (2) 影響検討に用いる F 3 候補波

上記(1)の F 3 候補波 (A~F の 6 波) による地震応答結果の比較により、以下の理由から、A 波及び D 波を影響検討に用いることとする。

- ・ F 3 候補波 (A~F の 6 波) の床応答スペクトルは、いずれも、女川原子力発電所の支配的な基準地震動である $S_s - D 2$ におおむね包絡されているが、剛な機器を除く主要施設の固有周期帯 (0.05 秒~0.24 秒) では A 波及び D 波が他の F 3 候補波と比べて大きい傾向にある。

- ・剛な機器を除く主要施設の固有周期帯（0.05 秒～0.24 秒）における A 波及び D 波のスペクトル比は，S s - F 3 と同等レベルで 0.8 を超えている。なお，A 波及び D 波を除く F 3 候補波のスペクトル比は有意に小さい。
- ・ F 3 候補波（A～F の 6 波）の最大応答加速度は，いずれも 500～600Gal 程度であり，S s - F 3 の 747Gal に比べて有意に小さい。
- ・ A 波及び D 波を影響検討として選定することは，S s - F 3 の検討段階における基本ケース（3 波），不確かさケース 1（3 波）からそれぞれ選定していることになる。

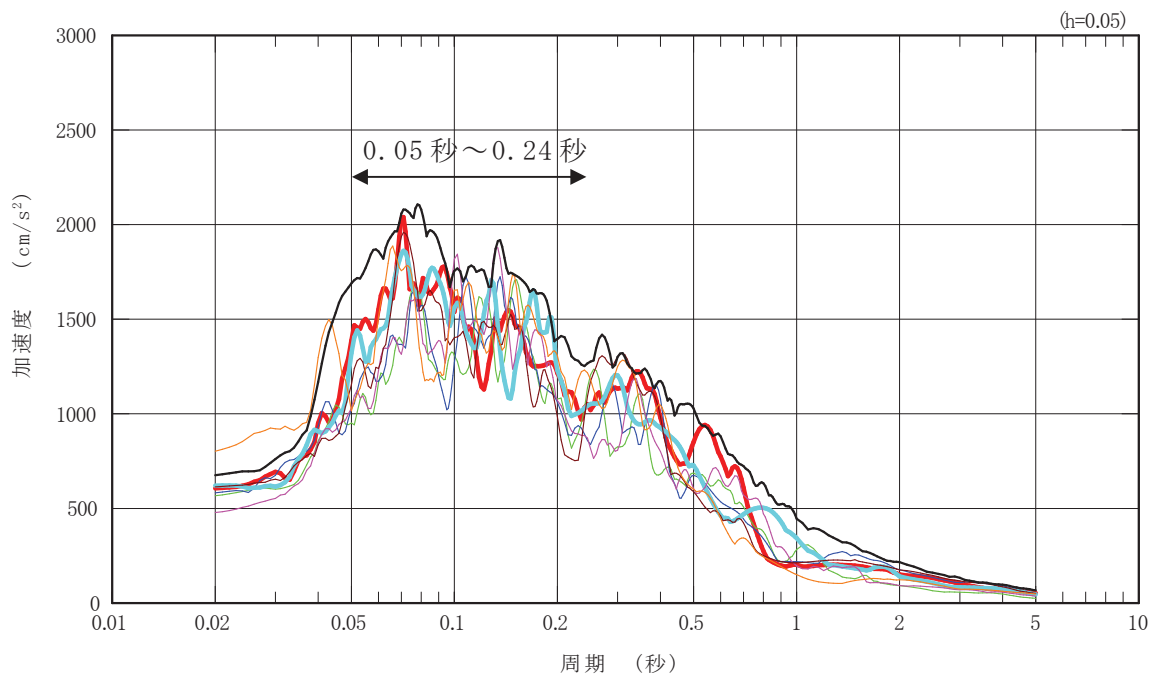
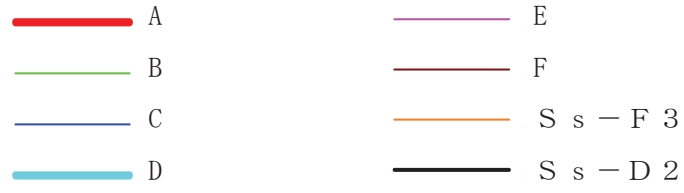


図 3-1 F 3 候補波のスペクトル波形 (NS 方向)

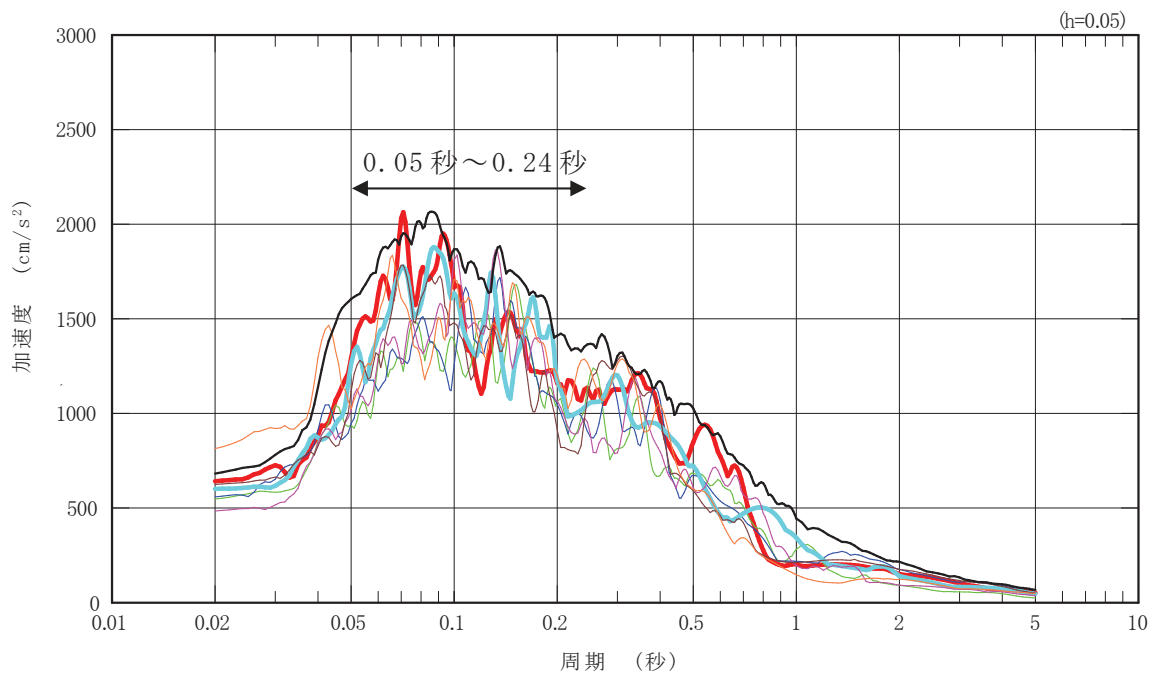


図 3-2 F 3 候補波のスペクトル波形 (EW 方向)

表 3-1 F 3 候補波の原子炉建屋基礎版上での地震応答結果

	F 3 候補波						参考	
	基本ケース			不確かさケース 1			Ss-F3	Ss-D2
	破壊開始点 1 [A]	破壊開始点 2 [B]	破壊開始点 3 [C]	破壊開始点 1 [D]	破壊開始点 2 [E]	破壊開始点 3 [F]		
スペクトル比 *1,*2	0.86	0.74	0.75	0.85	0.79	0.78	0.83	1.00
最大応答 加速度 (Gal)*2	611	532	546	592	465	606	747	632

注記*1: スペクトル比は, S s - D 2 に対する応答加速度比 (F 3 候補波 / S s - D 2)
を主要施設の固有周期帯 (0.05 秒 ~ 0.24 秒) で平均化した値

注記*2: NS 方向と EW 方向の大きい方を採用

3.3 施設の耐震設計への影響検討結果

(1) 原子炉建屋の地震応答解析

上記 3.2 項で選定した A 波及び D 波を用いた原子炉建屋の地震応答を全体的に把握するため、

- ・原子炉建屋各フロアの最大応答加速度
- ・原子炉建屋各フロアの床応答曲線
- ・建屋-大型機器連成モデルの地震応答解析による地震力

を算定した。

これらを基準地震動 S_s による設計用地震力と比較し、耐震設計の裕度の範囲内にあることにより、施設の耐震性が確保されることを確認する。

(2) 影響検討結果

a. 原子炉建屋各フロアの最大応答加速度

原子炉建屋各フロアにおける A 波及び D 波による最大応答加速度と基準地震動 S_s による設計用最大応答加速度の比較を表 3-2 及び図 3-3 に示す。

原子炉建屋各フロアにおける A 波及び D 波による最大応答加速度は、基準地震動 S_s による設計用最大応答加速度に収まっていることを確認した。

これにより、各フロアに設置されている剛（固有周期 0.05 秒未満）な設備については、耐震設計の裕度の範囲内にあるものと考えられる。

b. 原子炉建屋各フロアの床応答曲線

A 波及び D 波による床応答曲線と基準地震動 S_s による設計用床応答曲線の比較を図 3-4 に示す。ここで、床応答曲線は、設備の設計に用いる減衰のうち、配管系に適用している 2.0% を例として示す。

A 波及び D 波による床応答曲線は、基準地震動 S_s による設計用床応答曲線におおむね収まっている。また、原子炉建屋最地下階（O.P. -8.1m）の床応答曲線のピークについては、一部の周期でわずかに設計用床応答曲線を上回っていることを確認した。なお、上記ピーク周辺に固有周期がある設備は配管系のみであり、また、それらの配管系は十分な耐震裕度を有しており、ピークが振動モードの全体に影響を及ぼすものではないことから、配管系の耐震性に問題はないものと考えられる。

これにより、各フロアに設置されている剛ではない（固有周期 0.05 秒以上）設備については、耐震設計の裕度の範囲内にあるものと考えられる。

c. 建屋-大型機器連成モデルの地震応答解析による地震力

建屋-大型機器連成モデルの地震応答解析から地震荷重を算定する主要な施設について、A 波及び D 波による地震力と基準地震動 S_s による設計用地震力の比較を表 3-3 に示す。

主要な施設に対する A 波及び D 波による地震力は、基準地震動 S_s による設計用地震力に収まっていることを確認した。

これにより、建屋-大型機器連成解析モデルの地震応答解析から地震荷重を算定する施設については、耐震設計の裕度の範囲内にあるものと考えられる。

表 3-2 F 3 候補波による最大応答加速度と設計用最大応答加速度の比較

標高 O.P. (m)	設計用 最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) (a)	F 3 候補波による 最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) (b)		比率 (b/a)	
		A	D	A	D
50.5	6.07	4.27	3.58	0.70	0.59
41.2	2.86	2.35	1.95	0.82	0.68
33.2	2.21	2.02	1.77	0.91	0.80
22.5	1.77	1.24	1.38	0.70	0.78
15.0	1.65	1.11	1.49	0.67	0.90
6.0	1.31	0.86	0.98	0.66	0.75
-0.8	1.12	0.74	0.83	0.66	0.74
-8.1	0.82	0.65	0.62	0.79	0.76

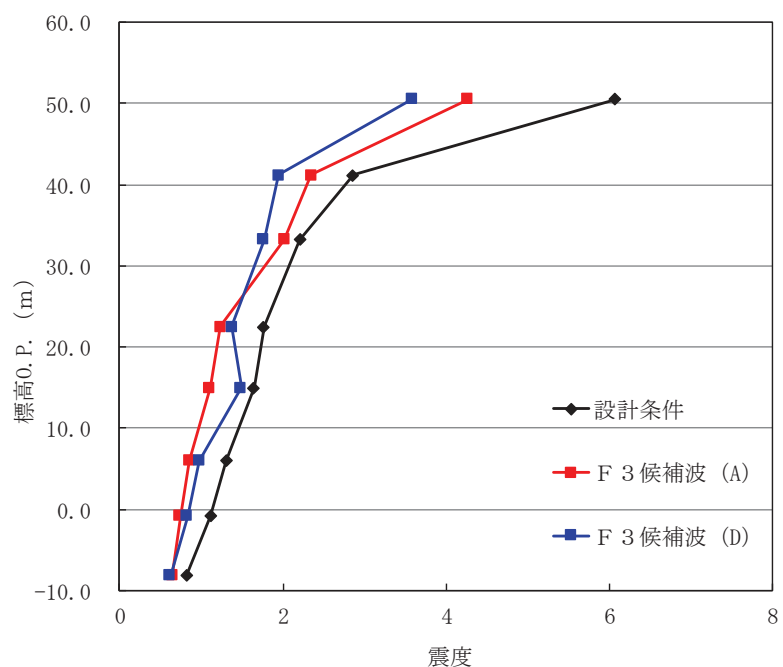


図 3-3 F 3 候補波による最大応答加速度と基準地震動 S_s による設計用最大応答加速度の比較

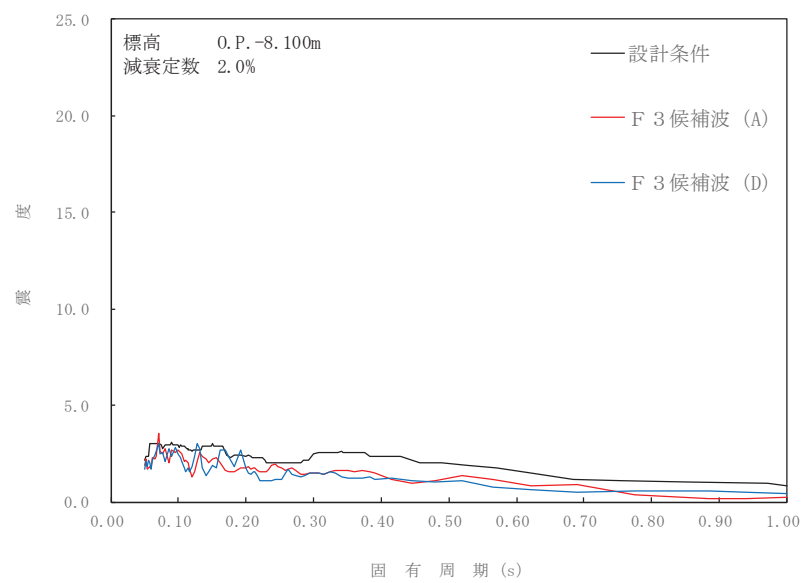
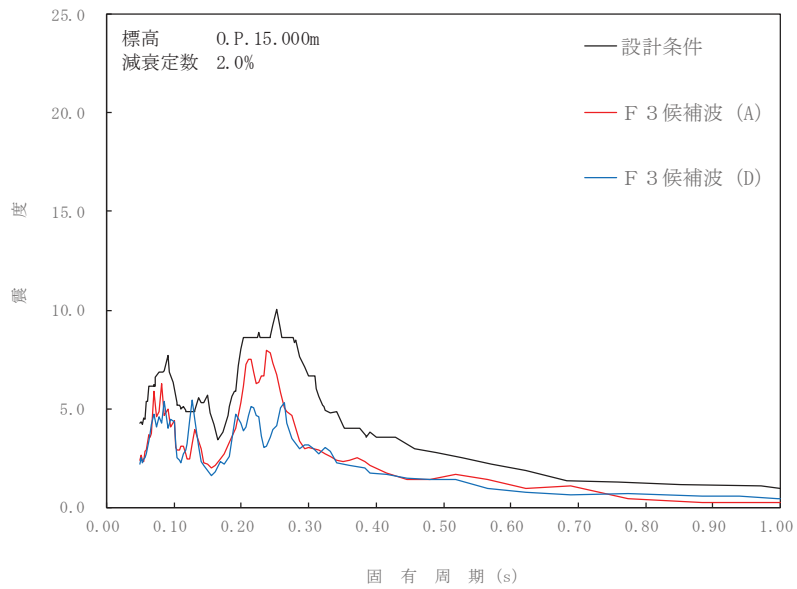
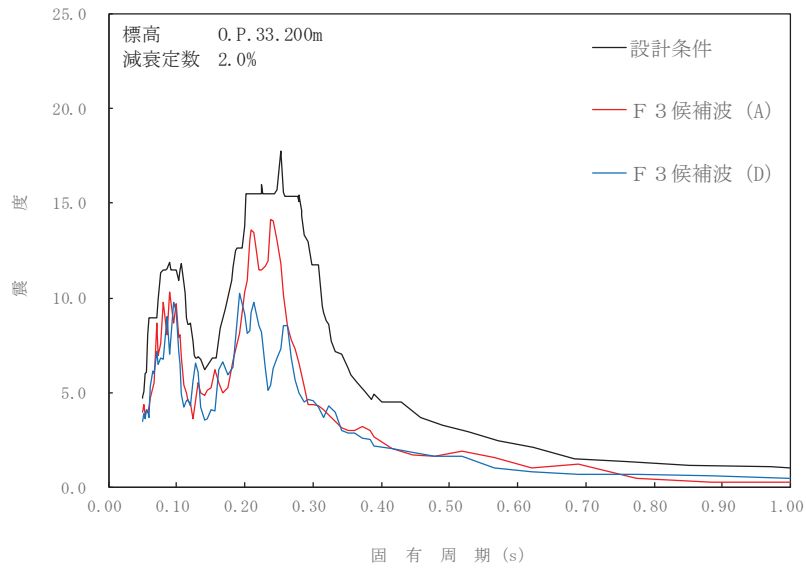


図 3-4 F 3 候補波による床応答曲線と基準地震動 S_s による設計用床応答曲線の比較

表 3-3 主要な施設に対する F 3 候補波による地震力と設計用地震力の比較 (1/2)

機器名	設計用地震力 (a)		F 3 候補波による 地震力 (b)		比率 (b/a)	
			A	D	A	D
原子炉本体 の基礎	せん断力 (kN)	39300	29700	30700	0.76	0.79
	モーメント (kN・m)	428000	312000	348000	0.73	0.82
原子炉圧力容器 支持スカート	せん断力 (kN)	11500	9680	9830	0.85	0.86
	モーメント (kN・m)	89100	64600	71700	0.73	0.81
原子炉 しゃへい壁	せん断力 (kN)	17500	13800	15300	0.79	0.88
	モーメント (kN・m)	145000	94500	108000	0.66	0.75
原子炉格納容器	せん断力 (kN)	39900	24300	24500	0.61	0.62
	モーメント (kN・m)	759000	457000	473000	0.61	0.63
原子炉格納容器 スタビライザ	ばね反力 (kN)	15800	14000	13300	0.89	0.85
原子炉圧力容器 スタビライザ	ばね反力 (kN)	8250	7420	7220	0.90	0.88
原子炉格納容器 シヤラグ	ばね反力 (kN)	34100	21400	19200	0.63	0.57

表 3-3 主要な施設に対する F 3 候補波による地震力と設計用地震力の比較 (2/2)

機器名	設計用地震力 (a)		F 3 候補波による 地震力 (b)		比率 (b/a)	
			A	D	A	D
シュラウド 下部胴	せん断力 (kN)	6340	4710	4360	0.75	0.69
	モーメント (kN・m)	27700	18200	19100	0.66	0.69
燃料集合体	相対変位 (mm)	54.2	34.9	20.6	0.65	0.39
制御棒案内管	せん断力 (kN)	1320	620	638	0.47	0.49
	モーメント (kN・m)	2280	1070	1110	0.47	0.49
制御棒駆動機構 ハウジング	せん断力 (kN)	608	455	308	0.75	0.51
	モーメント (kN・m)	660	484	344	0.74	0.53
制御棒駆動機構 ハウジングレス トレントビーム	ばね反力 (kN)	473	359	231	0.76	0.49
シュラウド 支持ロッド	軸力 (kN)	1360	190	202	0.14	0.15

4. まとめ

女川原子力発電所第2号機の耐震設計においては、7波の基準地震動 S_s に対して、耐震重要施設等の安全機能が損なわれない設計を実施している。

本資料では、海洋プレート内地震の断層モデルを用いた手法の検討段階において基準地震動として選定しなかった地震動(F3候補波)に対しても、基準地震動 S_s による耐震設計の裕度の範囲内にあり施設の耐震性は確保されることを確認した。

したがって、 $S_s - F3$ の代表性について、施設の耐震設計への影響の観点からも問題はないものと判断した。