

女川原子力発電所 2 号機の安全性に
関する検討会 説明資料

論点番号 8 4

(意見番号 9 1)

女川原子力発電所2号炉に関する 審査の概要

原子力規制庁
令和2年3月23日

※ 本資料は、東北電力株式会社女川原子力発電所2号炉の新規制基準への適合性審査の概要を分かりやすく表現することを目的としているため、技術的な厳密性よりもできる限り平易な記載としています。正確な審査内容及び審査結果については、審査書をご参照ください。

目次

女川原子力発電所2号炉に関する審査の概要

1. はじめに

- | | |
|------------------------------------|-----|
| (1) 新規制基準と適合性審査について | P 3 |
| (2) 原子炉等規制法に基づく発電用原子炉施設に係る規制 | P 4 |
| (3) 女川原子力発電所2号炉の審査の経緯 | P 5 |

2. 新規制基準の概要

- | | |
|------------------------------|------|
| (1) 福島第一原子力発電所事故における教訓 | P 7 |
| (2) 強化した新規制基準 | P 8 |
| (3) 新規制基準で新たに要求した主な対策 | P 10 |

3. 女川原子力発電所2号炉の設置変更に関する審査結果の概要

- | | |
|----------------------------------|-------|
| (1) 審査結果の概要 | |
| ① 設計基準対象施設 | P 11 |
| ② 重大事故等対処施設及び重大事故等対策に係る手順等 | P 62 |
| (2) 原子力規制委員会としての結論 | P 183 |
| (参考) BWRプラントの比較 | P 185 |

1. はじめに

2

(1) 新規制基準と適合性審査について

- 原子力規制委員会は、東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓等を踏まえ、従来の基準から大幅に強化された新規制基準を策定。
- 厳格に審査を行い、女川原子力発電所2号炉の設置変更許可申請の内容が、新規制基準に適合していることを確認。
- また、先に設置変更許可を行った柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉の審査の過程で得られた知見^{※1}を踏まえた基準の改正についても、審査において適合していることを確認。

(※1) 炉心損傷時に放射性物質を放出せずに原子炉格納容器の圧力を下げることができる冷却システム 等

(参考)

新規制基準では、想定される重大事故(シビアアクシデント)^{※2}の発生時に放出される放射性物質(セシウム137)の放出量が、100テラベクレル^{※3}を下回ることを要求

女川原子力発電所2号炉の場合は、7日間で最大約1.4テラベクレル(格納容器過圧破損防止対策を講じた場合における放出量の評価結果)

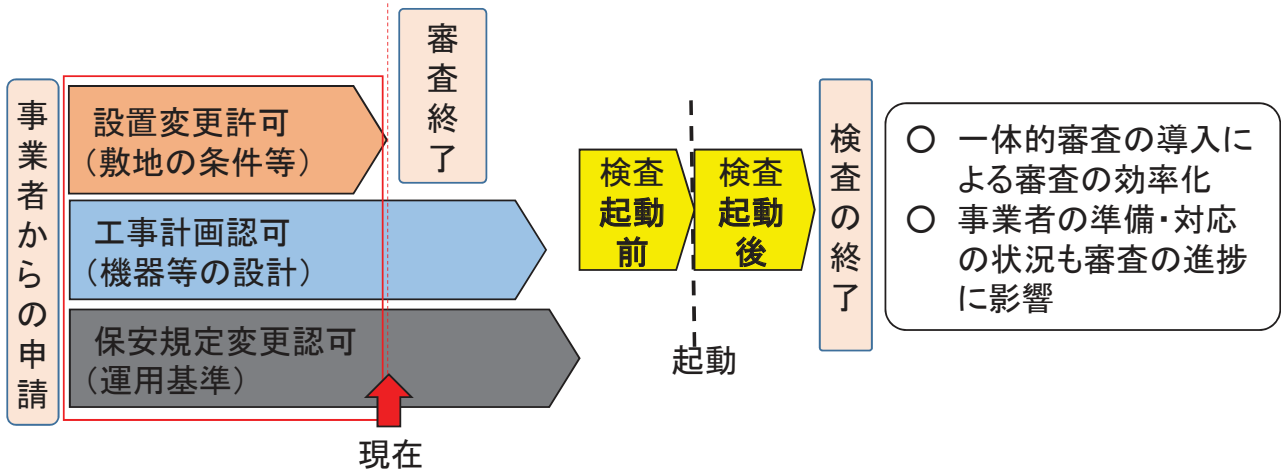
(※2) 核燃料が溶けたり、放射性物質が大量に放出される危険性のある事故

(※3) 東京電力福島第一原子力発電所事故の約百分の一

3

(2) 原子炉等規制法に基づく発電用原子炉施設に係る規制

- 新規制基準への適合性確認のためには、原子炉等規制法に基づき、設置変更許可、工事計画認可、保安規定変更認可、使用前検査等の手続きが必要
- 新規制基準適合性審査では、これら許認可に係る事業者からの申請を同時期に受け付け、同時並行的に審査を実施



今回、女川原子力発電所2号炉の新規制基準適合性審査の「設置変更許可」に関する審査が終了。
今後、東北電力による「工事計画認可」及び「保安規定変更認可」に関する補正申請がなされれば、これらの審査を行うこととなる。

4

(3) 女川原子力発電所2号炉の審査の経緯

平成25年 7月 8日：新規制基準施行

平成25年12月27日：東北電力が設置変更許可申請書、工事計画及び保安規定の変更申請書を提出

平成26年 1月16日～ 審査会合での審査（原子力規制委員、規制庁審査官）

※176回の審査会合と8回の現地調査等を実施

※598回のヒアリングを実施

令和元年11月27日：設置変更許可に係る審査結果（案）をとりまとめ

令和元年11月28日～12月27日：審査書（案）に対する科学的・技術的意見を募集

令和 2年 2月26日：審査書を原子力規制委員会で了承し、設置変更許可

※審査書全文は原子力規制委員会ホームページに掲載しています。

「設置変更許可 審査結果」：<https://www.nsr.go.jp/data/000302937.pdf>

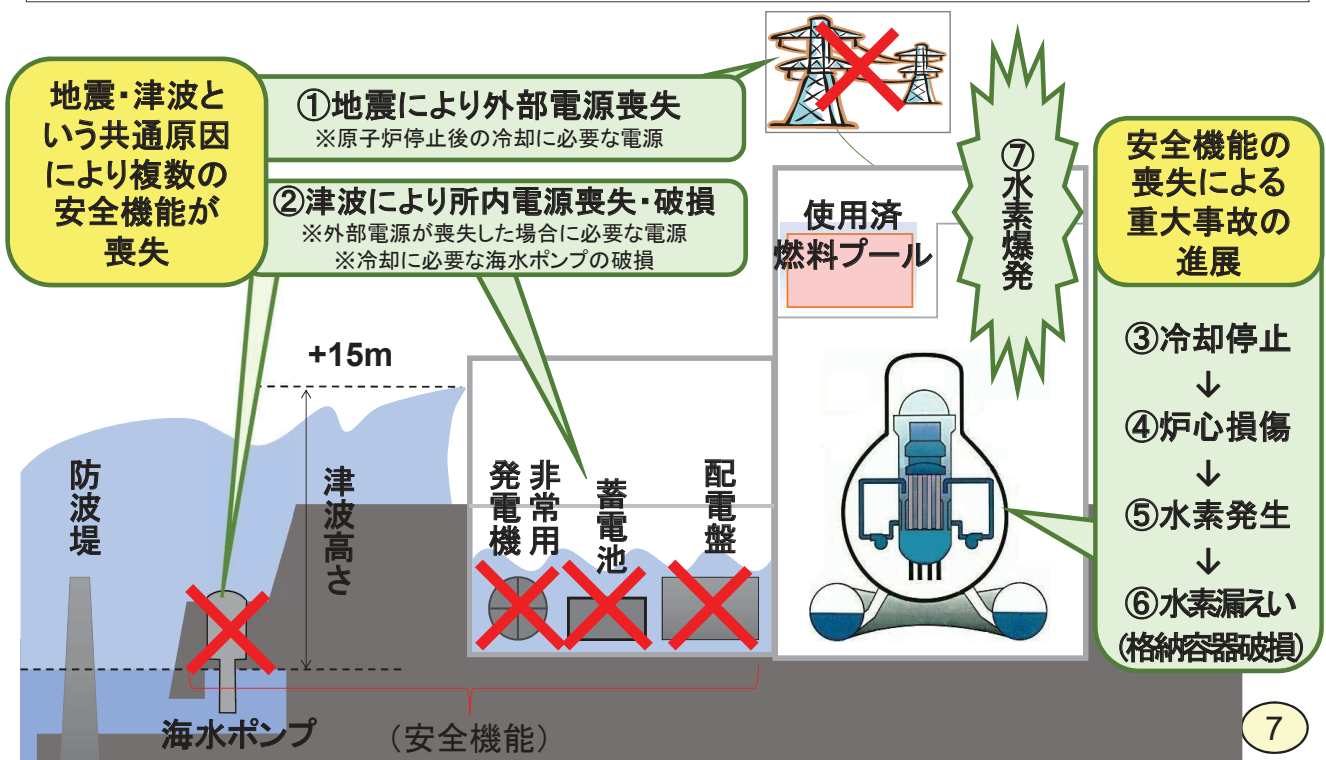
5

2. 新規制基準の概要

6

(1) 福島第一原子力発電所事故における教訓

- 福島第一原子力発電所事故では、地震や津波などの共通原因により複数の安全機能が喪失。
- さらに、その後の重大事故（シビアアクシデント）の進展を食い止めることができなかった。



7

(2) 強化した新規制基準①

設計基準

重大事故

強化

(従来の規制基準)
安全機能を維持し、
重大事故の発生を
防止する対策

+

新規

安全機能を失う重大事故
の発生を想定し、
それが発生しても事故の
拡大を防止する対策

- 従来想定していた自然現象に加え、竜巻、森林火災、火山等を想定。
- また、耐震、耐津波対策を強化し、プラント内部で発生する火災や溢水(いっすい)も想定。
→自然現象や火災等を広く想定し、共通要因により、複数の安全機能が同時に失われないように対策を強化。

- 安全機能の代わりとなる「止める」「冷やす」「閉じ込める」手段を用意することにより、重大事故に対処。

新規制基準は、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、重大事故の発生を想定した対策を要求。

さらに、万が一重大事故が発生し、その拡大を防止できない場合も考慮し、放射性物質の拡散をできるだけ「抑える」ための対策も要求。

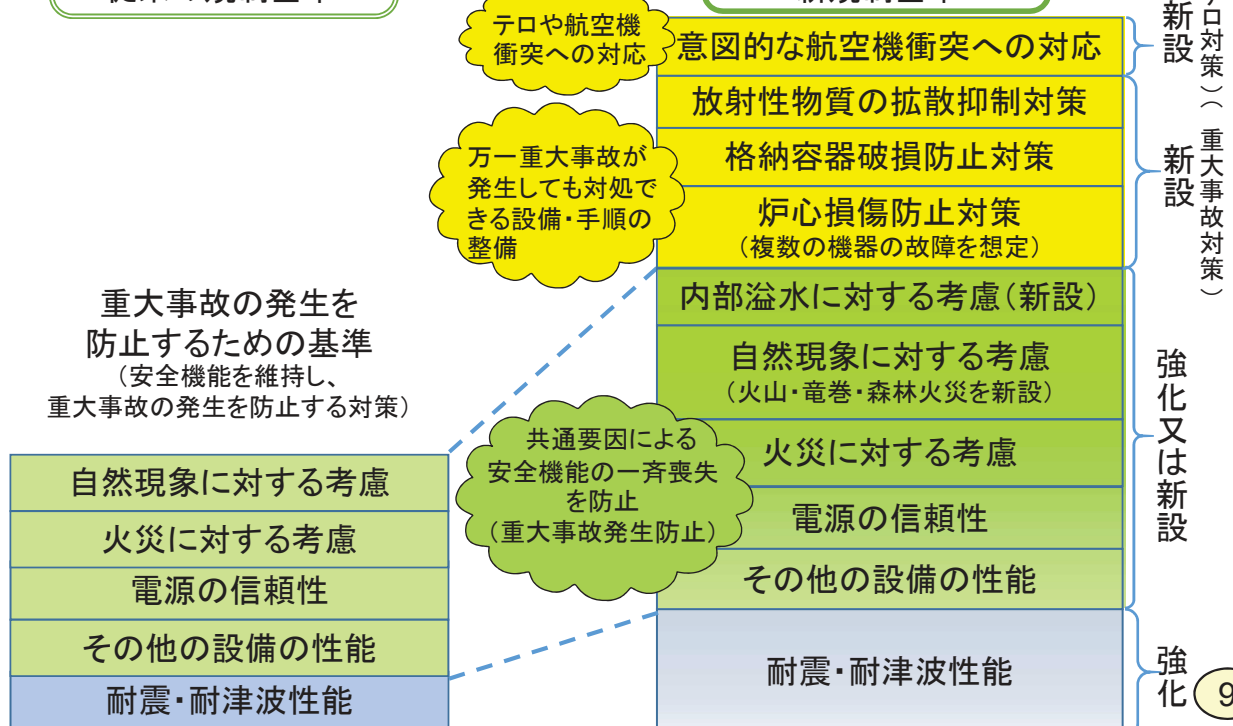
8

(2) 強化した新規制基準②

福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、重大事故(シビアアクシデント)の発生を防止するための基準を強化するとともに、万一重大事故やテロが発生した場合に対処するための基準を新設。

従来の規制基準

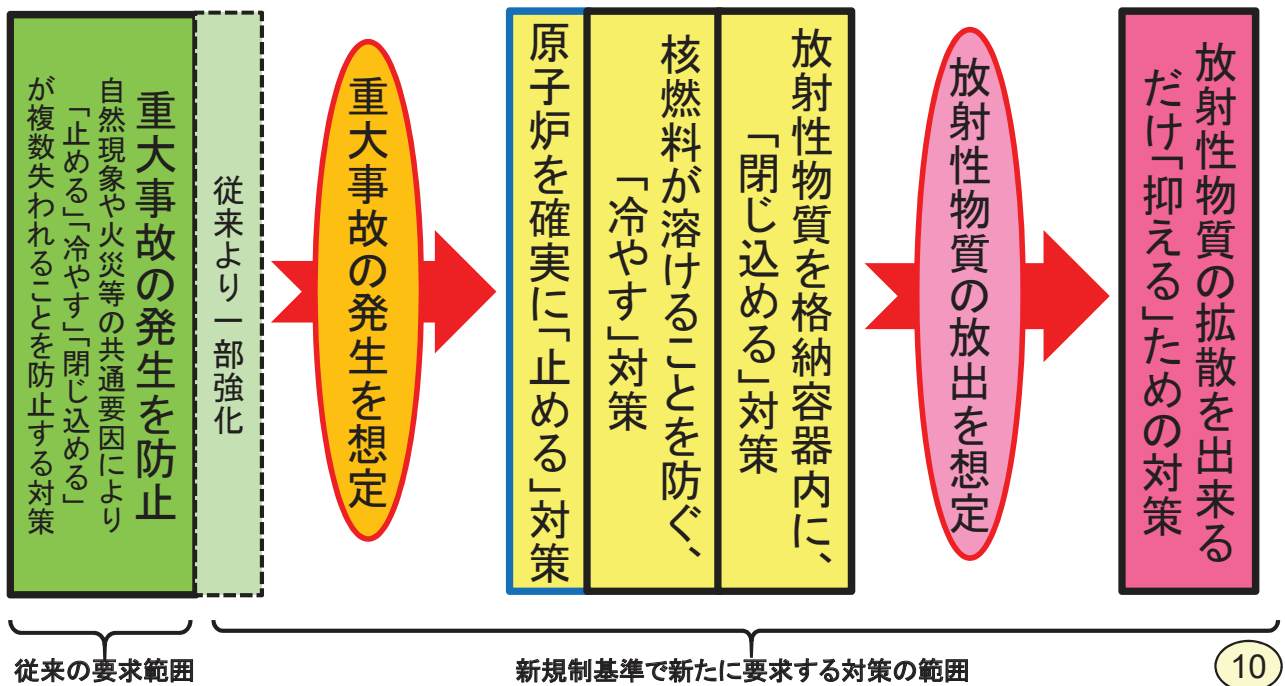
新規制基準



9

(3) 新規制基準で新たに要求した主な対策

- 新規制基準では、重大事故(シビアアクシデント)を防止する対策の強化に加え、重大事故の発生を想定した対策も要求
- それでもなお、敷地外へ放射性物質が放出されるような事態になった場合を考え、さらなる対策として、放射性物質の拡散をできるだけ「抑える」ための対策を要求



3. 女川原子力発電所2号炉の設置変更に関する審査結果の概要

(1) 審査結果の概要

① 設計基準対象施設

第4条 基準地震動(1/9:解放基盤表面の設定及び地震波の伝播特性)

【要求事項】

- 解放基盤表面は、せん断波(S波)速度がおおむね700m/s以上の硬質地盤であって、著しい風化を受けていない等の特性を有する地盤に設定する。
- 敷地及び敷地周辺の地下構造(深部・浅部地盤構造)が地震波の伝播特性に与える影響を検討する。

解放基盤表面の設定

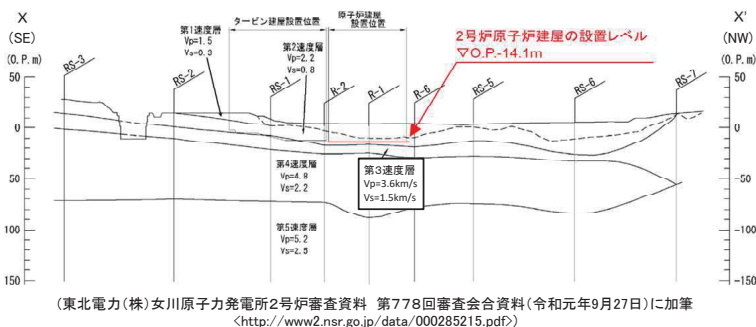
<審査書 P.11>

- 基準地震動を設定する解放基盤表面については、敷地内で実施した地表地質調査、ボーリング調査及びPS検層の結果、2号炉原子炉建屋設置レベルである女川原子力発電所工事用基準面(O.P.)-14.1mに設定

<審査結果の概要>

- 必要な特性を有する硬質地盤の表面に解放基盤表面を設定していることから、新規制基準に適合していることを確認。

【2号炉を通る北西—南東方向の速度構造断面図と解放基盤表面】



地震波の伝播特性の評価

<審査書 P.12-13>

<審査結果の概要>

- 調査結果に基づき、敷地における到来方向別の複数の地震観測記録を分析し、地震波の到来方向の違いによる特異な伝播特性は認められないとしていること、及び敷地内のPS検層結果をもとに敷地地盤の速度構造は概ね水平な成層構造をなすことから一次元構造でモデル化できるとしていることから、新規制基準に適合していることを確認。

12

第4条 基準地震動(2/9:震源として考慮する活断層)

【要求事項】

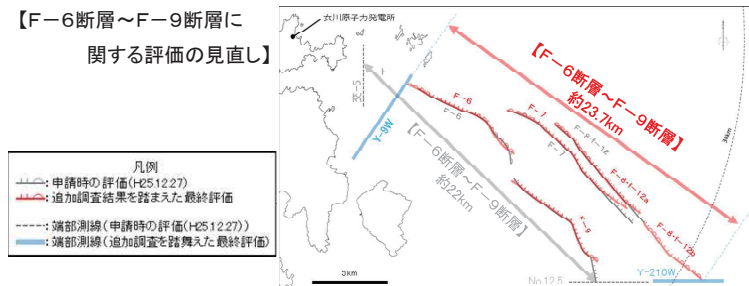
- 震源として考慮する活断層の評価に当たっては、文献調査、変動地形学的調査、地質調査等の結果を総合的に評価し、活断層の位置、形状、活動性等を明らかにする。

震源として考慮する活断層

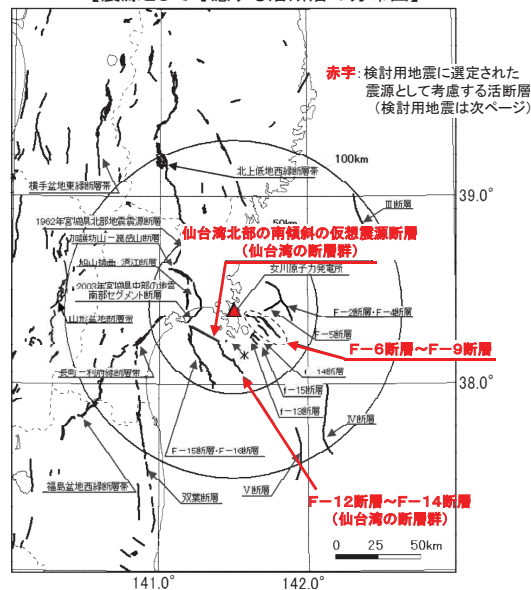
<審査書 P.13-16>

- 産業技術総合研究所発行の地質図、地質調査所編(1992)、地震調査研究推進本部(2006)、今泉ほか編(2018)等の文献調査を含む調査結果に基づき、震源として考慮する活断層として右図の通り抽出し、活断層の位置、形状等評価した。
- F-6断層~F-9断層については、申請時は断層長さを約22kmとしていたが、規制委員会の指摘を踏まえ、追加調査(音波探査及び海底地形調査等)を実施し、その位置(端部)を見直し、断層長さを約23.7kmと評価を見直した。

【F-6断層~F-9断層に関する評価の見直し】



【震源として考慮する活断層の分布図】



<審査結果の概要>

- 適切な手法、範囲及び密度で調査を実施した上で、総合的に評価し、活断層の位置、形状等を明らかにしていることから、新規制基準に適合していることを確認。

13

第4条 基準地震動(3/9:敷地ごとに震源を特定して策定する地震動①-1)

【要求事項】

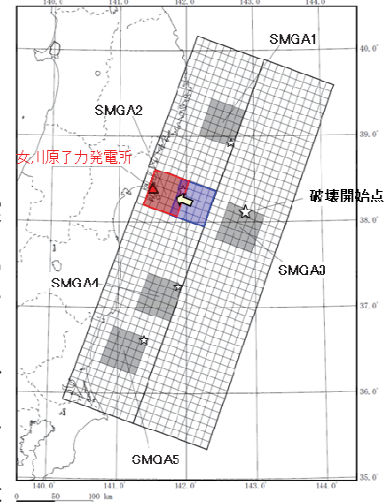
- 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、検討用地震を複数選定し、不確かさを十分に考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価(1) <審査書 P.16-22, 24-25>

- 検討用地震については、地質調査結果等に基づき、敷地に大きな影響を与えると予想される地震として、以下の4地震を選定。
 - ※内陸地殻内地震による地震動評価結果は基準地震動に策定されない

- | | |
|--------------------|-------------|
| ①F-6断層～F-9断層による地震※ | 【内陸地殻内地震①】 |
| ②仙台湾の断層群による地震※ | 【内陸地殻内地震②】 |
| ③2011年東北地方太平洋沖型地震 | 【プレート間地震】 |
| ④2011年4月7日宮城県沖型地震 | 【海洋プレート内地震】 |

【2011年東北地方太平洋沖型地震の断層モデル】



(1)地震動評価①2011年東北地方太平洋沖型地震 次ページにおいても説明 <審査結果の概要>

以下のことから、新規基準に適合していることを確認。

- 応答スペクトルに基づく地震動評価では、2011年東北地方太平洋沖地震の敷地での地震観測記録を包絡した応答スペクトルを設定していること
- 基本ケースにおいて、観測記録との整合性が確認されていること及び宮城県沖の地域性を考慮して、すべての強震動生成域(SMGA)の応力降下量を34.5MPaとして大きく設定するなど予め不確かさを考慮していること
- 不確かさケースとして、以下の2ケースを設定し、不確かさを十分に考慮した評価を実施していること
 - 宮城県沖の陸寄りのSMGAの応力降下量を基本ケースの1.14倍(39.4MPa)としたケース
 - 宮城県沖の陸寄りのSMGAの応力降下量の不確かさと位置を敷地に最も近づけた不確かさとの重畳を考慮したケース

(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料 (令和元年9月27日)から抜粋・修正<http://www2.nsr.go.jp/data/000285215.pdf>)

■:基本ケースの宮城県沖の陸寄りのSMGA2
■:不確かさケースの宮城県沖の陸寄りのSMGA2

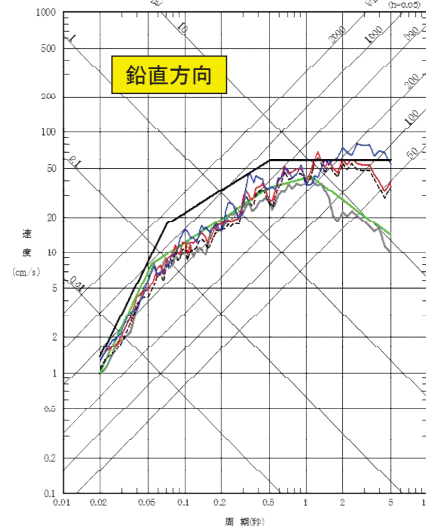
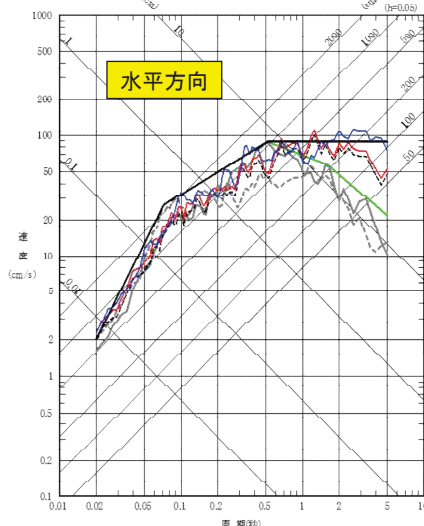
14

第4条 基準地震動(4/9:敷地ごとに震源を特定して策定する地震動①-2)

2011年東北地方太平洋沖地震による女川原子力発電所における観測記録と基準地震動

- 2011年東北地方太平洋沖地震の応答スペクトルに基づく評価は、2011年東北地方太平洋沖地震による敷地での地震観測記録より求めた解放基盤波※1を包絡した応答スペクトルを採用した。さらに、採用した応答スペクトルを包絡させて基準地震動 S_s-D1 ※2を策定した。
- レシポの適用性及び統計的グリーン関数法による評価と観測記録との整合性が確認されている諸井ほか(2013)を参考に震源モデル及び震源特性パラメータを設定して、断層モデルに基づく地震動評価を行い、不確かさケースによる評価結果を基準地震動 S_s-F1 , S_s-F2 ※2として策定した。

※1:敷地岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について表層の影響を除去したはざり波
※2:P19.20にて説明



- プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動【基準地震動 S_s-D1 】※3
- プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)【基準地震動 S_s-F1 】※3
- プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)【基準地震動 S_s-F2 】※3
- 基本ケースの断層モデル手法による地震動評価※3
- 【参考】プレート間地震の応答スペクトル手法による地震動評価※3
- 【参考】3.11地震の観測記録※1(水平方向は実線・NS方向、点線・EW方向)

※3 NS方向、EW方向で共通

(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料(令和元年9月27日)令和元年11月19日修正版<https://www2.nsr.go.jp/data/000291496.pdf>)

15

第4条 基準地震動(5/9:敷地ごとに震源を特定して策定する地震動②-1)

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価(2)

＜審査書 P.22-25＞

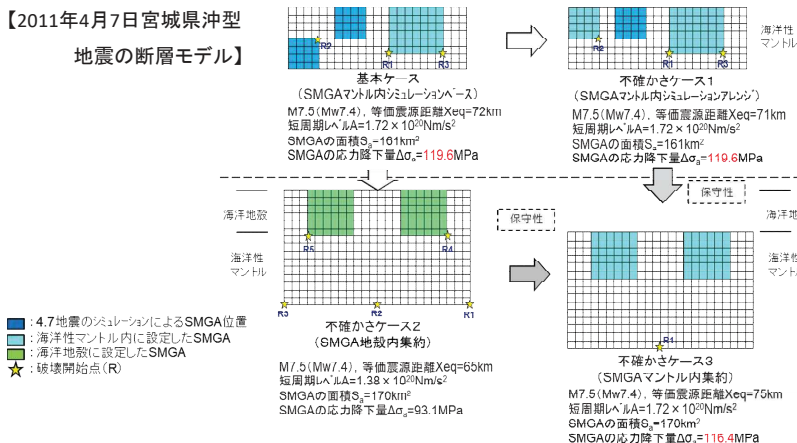
(2)地震動評価② 2011年4月7日宮城県沖型地震

＜審査結果の概要＞

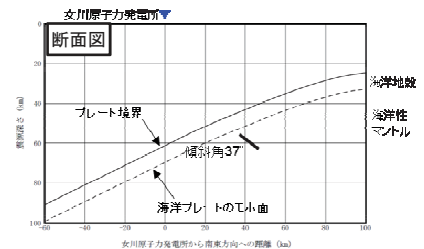
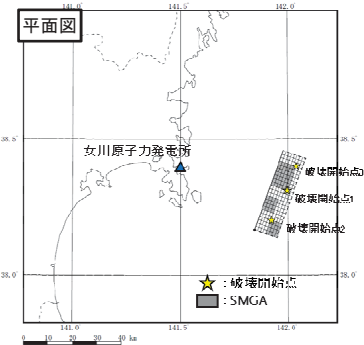
以下のことから、新規規制基準に適合していることを確認。

- 2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)の断層モデルを用いた地震動評価と敷地での観測記録との整合性を確認した上で、予め地震規模を大きくした震源モデル(M7.5)及び震源特性パラメータを設定していること (次ページにて説明)
- 基本ケースにおいて、敷地に対して厳しい位置に断層位置を設定するとともに、宮城県沖の地域性を考慮して、短周期レベルをレシビの1.5倍として予め大きく設定 (SMGA応力降下量119.6MPa) して適切に評価を実施していること
- 不確かさケースとして、SMGAの位置及び数に関する2種類のケース、また、断層全体を敷地に近づけるケースを設定し、不確かさを十分に考慮した評価を実施していること

【2011年4月7日宮城県沖型地震の断層モデル】



【2011年4月7日宮城県沖型地震の断層モデル位置(基本ケース)】



(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料(令和元年9月27日)から抜粋・加筆 <<http://www2.nsr.go.jp/data/000285215.pdf>>)

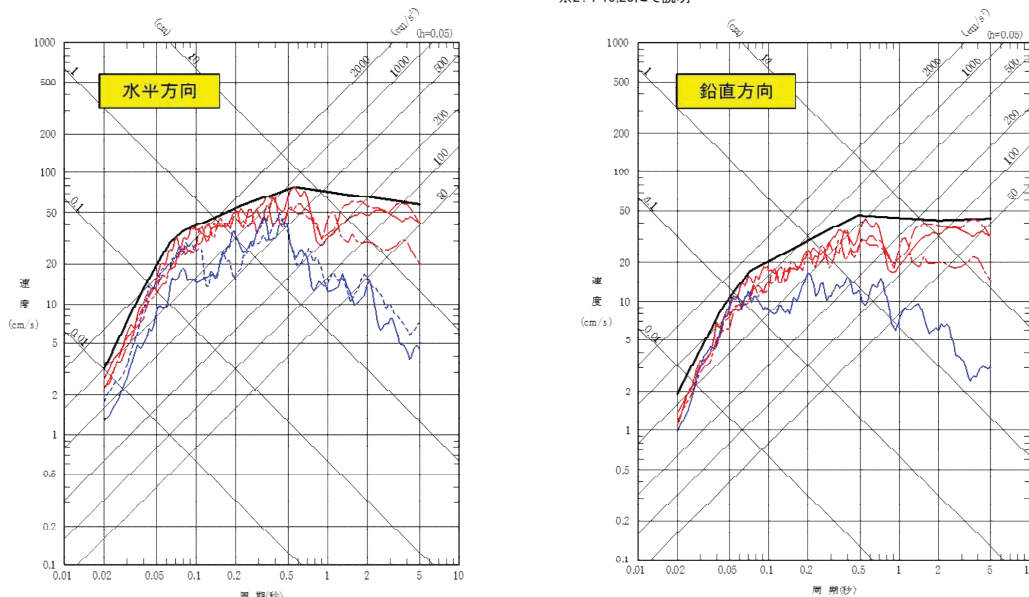
(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料(令和元年9月27日)から抜粋<<http://www2.nsr.go.jp/data/000285215.pdf>>)

第4条 基準地震動(6/9:敷地ごとに震源を特定して策定する地震動②-2)

2011年4月7日宮城県沖の地震による女川原子力発電所における観測記録と基準地震動Ss-D2

- 2011年4月7日宮城県沖型地震の評価は、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)による敷地での地震観測記録より求めた解放基盤波^{※1}との整合性を確認した上で、予め地震規模を大きくした断層モデル(M7.5)による地震動を評価した。評価結果を包絡させて基準地震動Ss-D2^{※2}を策定した。

※1: 敷地岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について表層の影響を除去したはざとり波
 ※2: P19.20にて説明



※3 NS方向、EW方向で共通

(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料(令和元年9月27日)令和元年11月19日修正版<<https://www2.nsr.go.jp/data/000291496.pdf>>)

第4条 基準地震動(7/9:震源を特定せず策定する地震動)

【要求事項】

- 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定する。

震源を特定せず策定する地震動の評価 <審査書 P25-27>

<審査結果の概要>

以下のことから、新規制基準に適合していることを確認。

- 地域性を考慮するMw6.5以上の地震である2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震については、敷地近傍及び敷地周辺との地域性の違いを十分に評価したうえで、地質学的背景等が異なることから、観測記録収集対象外としていること
- 全国共通に考慮すべきMw6.5未満の地震については、震源近傍における観測記録を精査して抽出された、2004年北海道留萌支庁南部地震による震源近傍の観測点における記録に各種の不確かさを考慮した地震動を採用していること

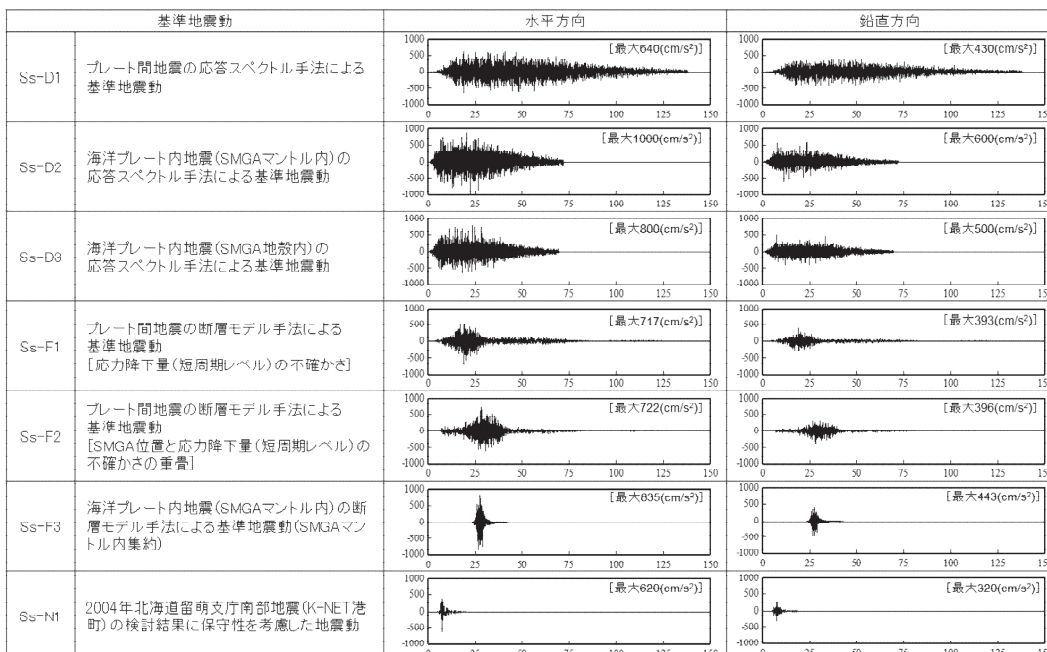
18

第4条 基準地震動(8/9:基準地震動の策定(加速度時刻歴波形))

【要求事項】

- 基準地震動は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものを策定する。

基準地震動の加速度時刻歴波形 <審査書 P.27-29>



申請時Ss-1から応答スペクトル形状、継続時間を変更

申請時Ss-2から応答スペクトル形状を変更

申請時から追加

注1: 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形(縦軸:加速度(cm/s²), 横軸:時間(s))
 注2: 断層モデルによる基準地震動のSs-F1, Ss-F2, Ss-F3については、3.11地震、4.7地震の観測記録との整合性を確認したシミュレーションでの手法(統計的グリーン関数法、放射特性一定)を用いていることから水平方向にしている。

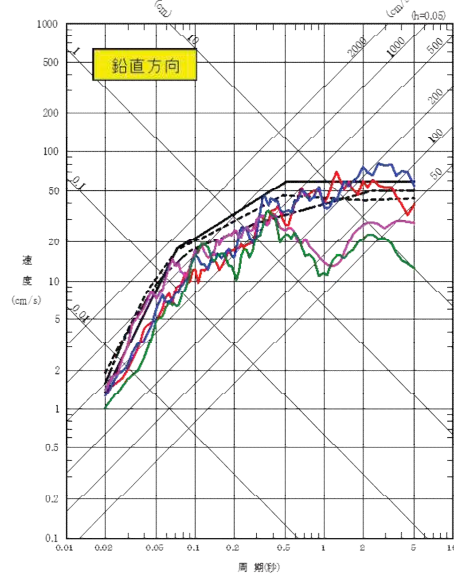
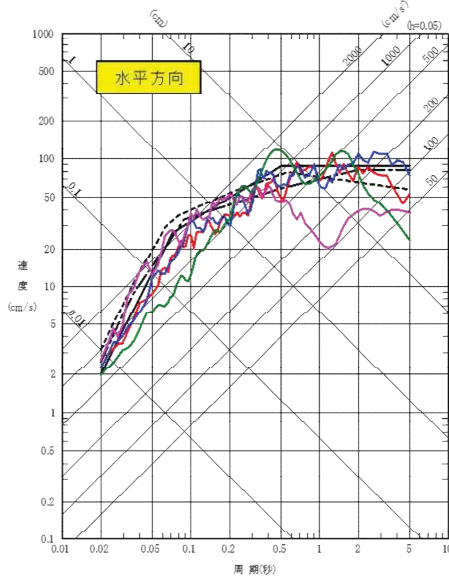
19

第4条 基準地震動(9/9 : 基準地震動の策定(応答スペクトル))

基準地震動の応答スペクトル

＜審査書 P.27-29＞

- 基準地震動Ss-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動Ss-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動Ss-D3 [海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- 基準地震動Ss-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期/ペル)の不確かさ)]
- 基準地震動Ss-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置に応力降下量(短周期/ペル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動Ss-F3 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内無射)]
- 基準地震動Ss-N1 [2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果を考慮した地震動]



＜審査結果の概要＞

(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料(令和元年9月27日)<<http://www2.nsr.go.jp/data/000285215.pdf>>)

- 最新の科学的・技術的知見を踏まえ、各種の不確かさを十分に考慮して、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から適切に基準地震動が策定されていることから、新規基準に適合していることを確認。

20

第4条 耐震設計方針

＜審査書 P.30＞

【要求事項】

- 設計基準対象施設は耐震重要度の区分に応じた地震力に対し十分に耐える設計とする。耐震重要施設は基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれない設計とする。

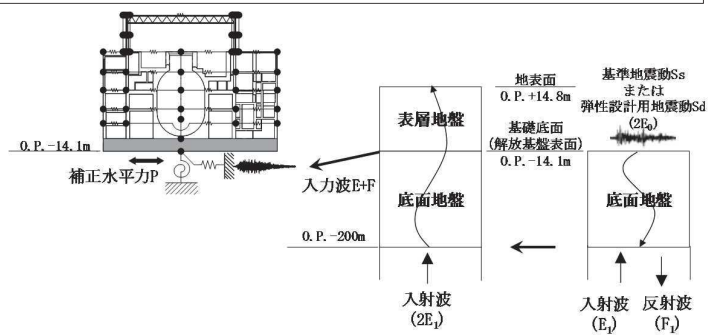
＜申請の概要＞

- 発電所の施設・設備等を耐震重要度に応じて、Sクラス、Bクラス及びCクラスに分類し、クラスに応じて適用する地震力に対して十分に耐え、安全機能が損なわれない設計
- 津波防護施設、浸水防止設備等についても、基準地震動Ssによる地震力に対して要求される機能が保持できるよう設計
- 耐震設計に用いる基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdによる地震力は、水平2方向及び鉛直方向について、適切に組み合わせて算定

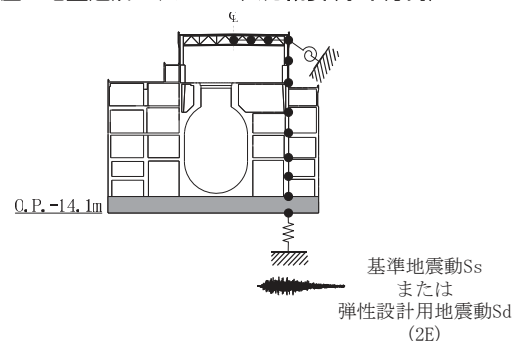


＜審査結果の概要＞

- 地震力に対して十分に耐え、安全機能が損なわれない耐震設計方針としていることを確認



建屋-地盤連成モデルへの入力概要(水平方向)



建屋-地盤連成モデルへの入力概要(鉛直方向)

21

第4条 耐震設計方針(コンクリートのひび割れに伴う初期剛性低下1/5)

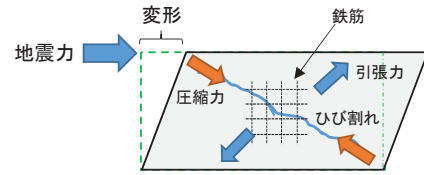
<審査書 P.33>

耐震壁(鉄筋コンクリート)の地震時のメカニズム

- 建物・構築物の主耐震要素である鉄筋コンクリート造耐震壁は、一般的に以下に示すメカニズムで地震力を負担し、建物・構築物の地震応答解析ではその特性を反映した復元力特性を用いる

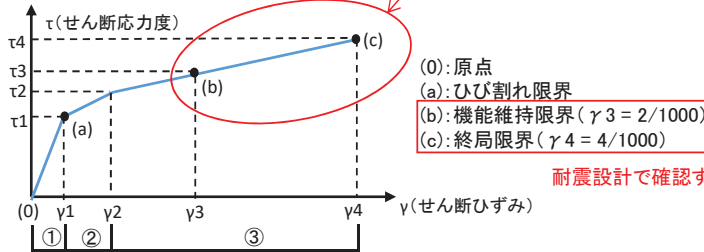
今後の大きな地震に対して耐えられるかを確認する上では、この領域(③)が重要

◆鉄筋コンクリート造耐震壁の地震時の荷重負担の考え方



圧縮力はコンクリートが負担
引張力は鉄筋が負担

◆耐震壁の復元力特性



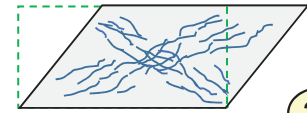
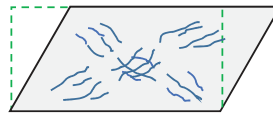
耐震設計で確認する際の許容限界

(0)地震前の状態

①主にコンクリートが地震力を負担する領域(ひび割れは生じない)

②コンクリートにひび割れが生じ、コンクリートと鉄筋で地震力を負担する領域(鉄筋は弾性範囲、ひび割れに伴い剛性は低下)

③コンクリートのひび割れが進展、かつ、増大し、コンクリートから鉄筋に地震力の負担が移行する領域



22

第4条 耐震設計方針(コンクリートのひび割れに伴う初期剛性低下2/5)

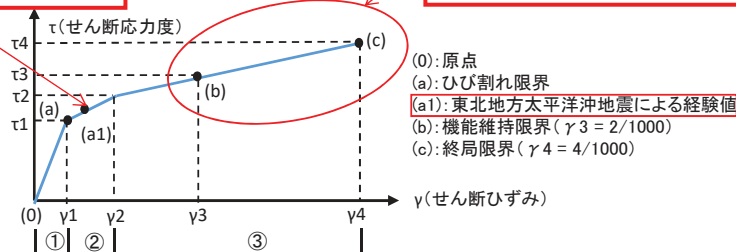
<審査書 P.33>

女川2号炉の現状

- 女川2号炉は、東北地方太平洋沖地震等の大きな地震を経験しており、地震時には①の領域を超え②の領域を経験した状態(観測記録に基づくシミュレーション解析から推定)また、地震後は、地震前の元の状態(原点(0))に戻っている

女川2号炉の現状は、この領域(②)を経験した状態

今後の大きな地震に対して耐えられるかを確認する上では、この領域(③)が重要

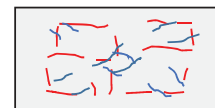
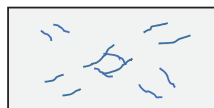
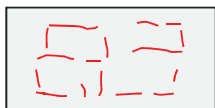


- また、女川2号炉のコンクリートは、乾燥収縮量が多いことから、乾燥収縮ひび割れが生じている

乾燥収縮によるひび割れ(鉄筋に沿った縦横のひび割れ)

東北地方太平洋沖地震等の地震によるひび割れ

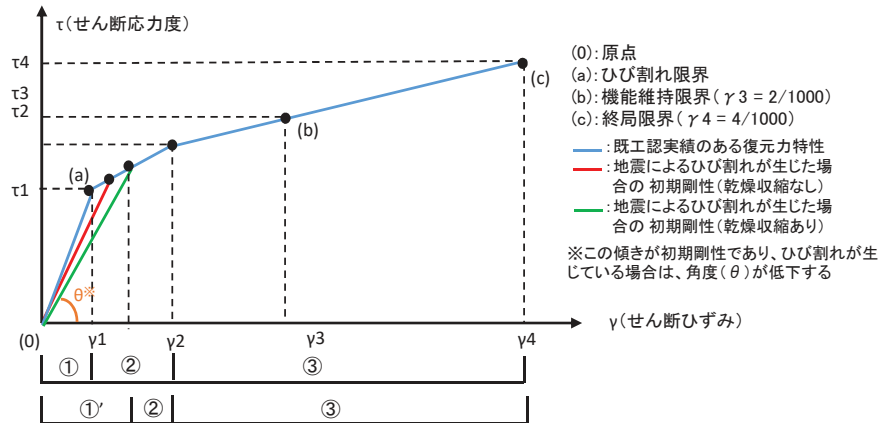
女川の現状(領域②)(乾燥収縮ひび割れと地震時ひび割れが重畳)



乾燥収縮は、主に骨材の収縮に起因しており、女川2号炉で使用している砂岩、頁岩は乾燥収縮量が多い

23

女川2号炉の今後の地震時の状況

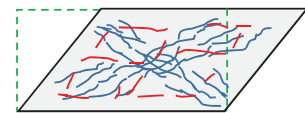
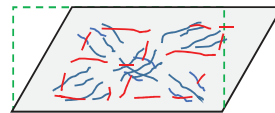
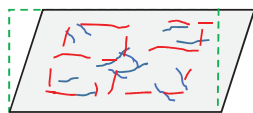
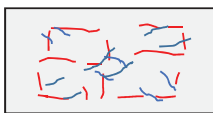


(0)女川の現状

①'主にコンクリートが地震力を負担する領域(ひび割れにより初期剛性は低下)

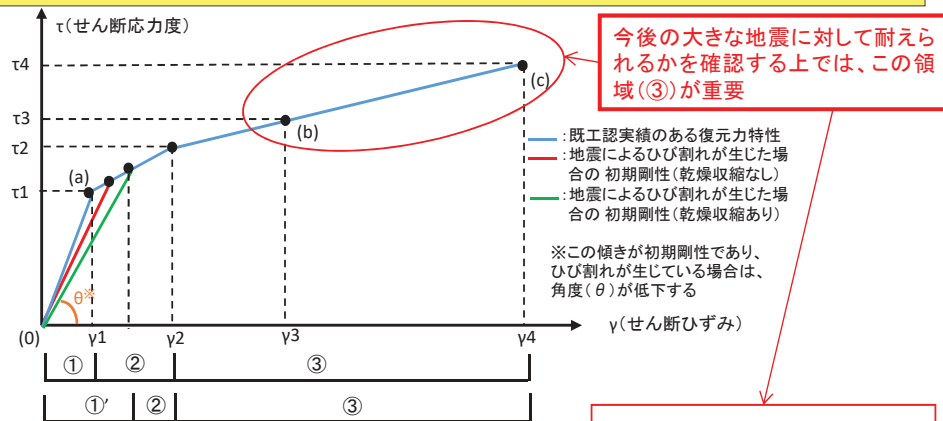
②コンクリートのひび割れが進展、かつ、増大し、コンクリートと鉄筋で地震力を負担する領域(鉄筋は弾性範囲)

③さらに、コンクリートのひび割れが進展、かつ、増大し、コンクリートから鉄筋に地震力の負担が移行する領域

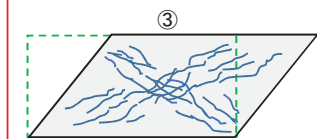
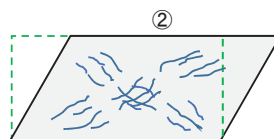
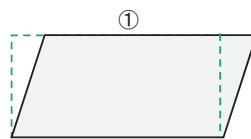
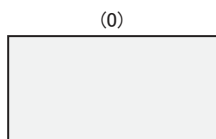


女川2号炉(ひび割れあり)は、ひび割れの影響により初期剛性が低下した状態から、今後の大きな地震に耐える

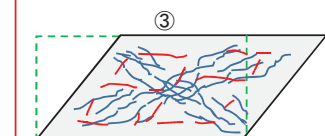
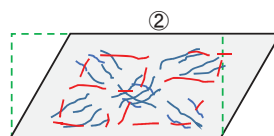
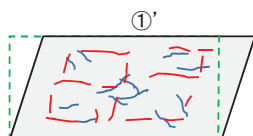
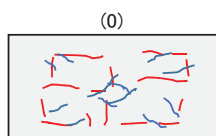
一般的な耐震壁(ひび割れなし)と女川2号炉の耐震壁(ひび割れあり)の今後の地震時の比較



一般的な耐震壁の地震時ひび割れ状況



女川2号炉の耐震壁の地震時ひび割れ状況

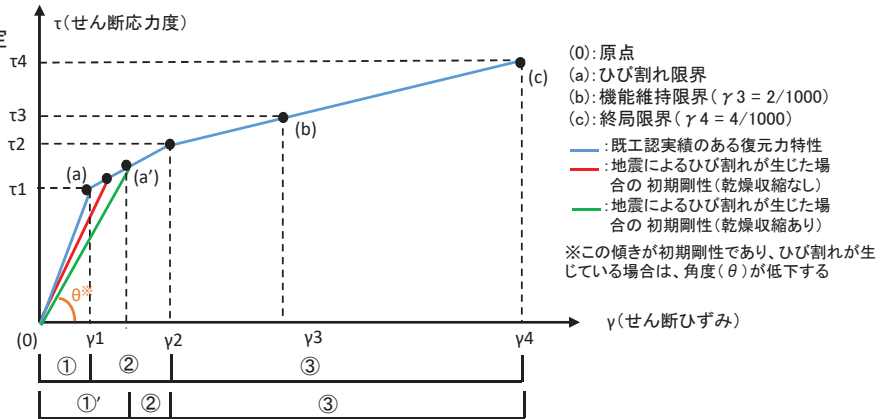


乾燥収縮ひび割れを除くと上記と同様

今後の大きな地震に対して耐えられるかを確認する上で重要な領域③の状態において、ひび割れなしの一般的な耐震壁と女川2号炉の耐震壁(ひび割れあり)では、耐震設計上の許容限界に対する鉄筋コンクリート造耐震壁の耐力は変わらない

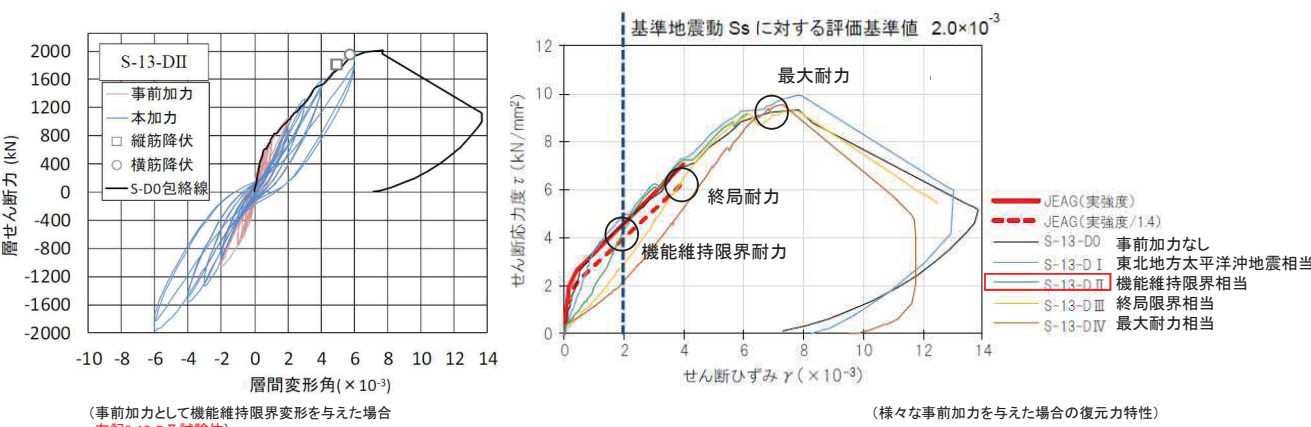
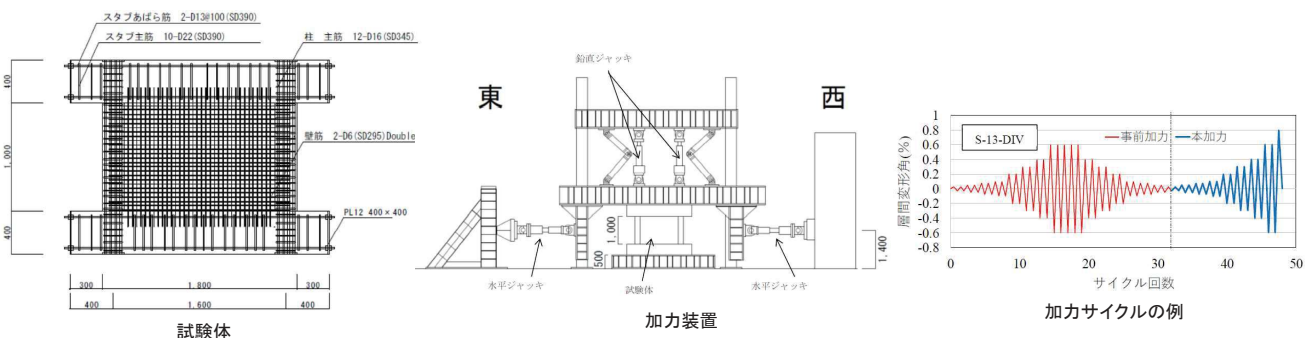
耐震設計への反映

(0)→(a')→(b)→(c)として復元力特性を設定



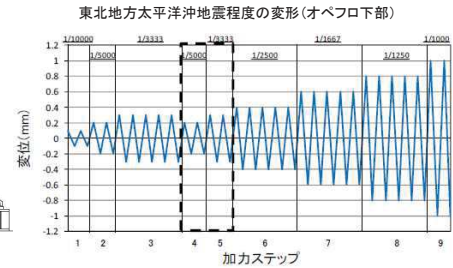
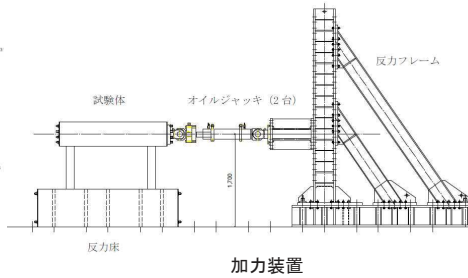
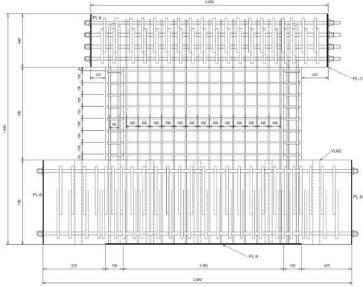
・ 女川2号炉について、工事計画認可申請の審査において実績のある復元力特性に初期剛性低下を反映したものの(上記に示す復元力特性)を建物・構築物の地震応答解析に適用できることを確認

第4条 耐震設計方針 (コンクリートのひび割れに伴う初期剛性低下) (参考資料1/2)

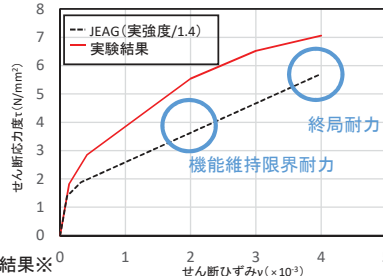
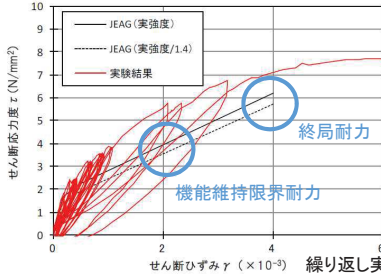


繰り返し実験結果

第4条 耐震設計方針 (コンクリートのひび割れに伴う初期剛性低下) (参考資料2/2)

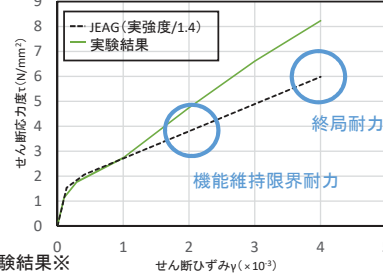
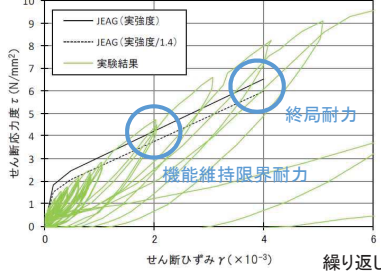


◆乾燥収縮ひび割れ無し



加力サイクル

◆乾燥収縮ひび割れ有り



※右図は、左図の各サイクルの最大値を結んだ復元力特性であり、事業者のデータを用いて作成

出典：発電用原子炉設置変更許可申請の補正書及び補足説明資料(2019年9月19日)から一部抜粋・加筆
<http://www2.nsr.go.jp/data/000286142.pdf>

第4条 耐震設計方針 (地下水位低下設備の効果を考慮した地下水位の設定)

<審査書 P.41>

申請者の説明

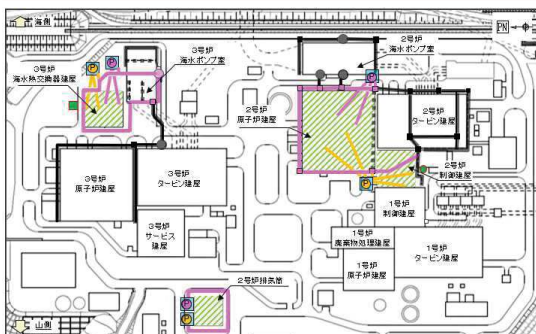
- 本発電所に特有な事象として、防潮堤下部を地盤改良することで敷地から海への地下水の流下がせき止められるため、地下水位が地表付近まで上昇する可能性があることを考慮
- 地下水位低下設備により一定の範囲に保持される地下水位を前提として、建屋の範囲だけではなく、敷地広範囲の設計用地下水位を適切に設定することで、建屋・構築物の設計及びその水位に基づく液化化評価を実施し、地盤変状が生じた場合においても機能が保持できる設計とする方針

規制委員会の指摘

- 地下水位低下設備は供用期間全てにおいて機能を有している必要があり、地下水位低下設備が機能喪失した場合には、重要安全施設等に影響を及ぼすことから、耐震性を含めた信頼性確保の考え方

申請者の説明

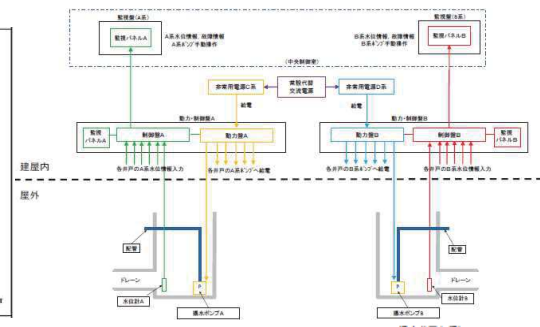
- 基準地震動に対して機能維持する設計
- 設置許可基準規則第12条第2項に規定する多重性又は多様性及び独立性の確保
- 全交流動力電源の喪失を想定し、常設代替交流電源設備からの電源供給が可能な設計
- 地下水位低下設備の機能喪失への対応として、可搬型設備等を確保するとともに、当該設備に対する運転上の制限(LCO)及びLCOを満足していない場合に要求される措置等を含めた運転管理における手順及び体制の整備



地下水位低下設備の設定例

<確認結果>

地下水位低下設備について、適切に信頼性を確保した上で、その効果を考慮し設計用地下水位を設定する方針であることを確認



地下水位低下設備の系統構成概要図

第3条 地盤(1/2 : 地盤の変位)

【要求事項】

- 耐震重要施設は、「将来活動する可能性のある断層等」の露頭が無いことを確認した地盤に設置する。

地盤の変位

<審査書 P.42-45>

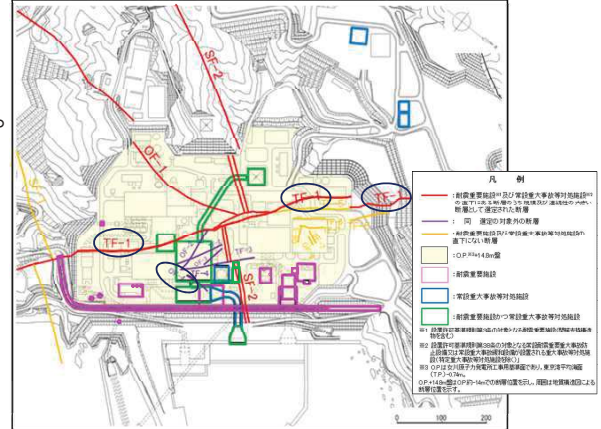
<審査結果の概要>

(第38条重大事故等対処施設についても同様。)

以下のことから、新規規制基準に適合していることを確認。

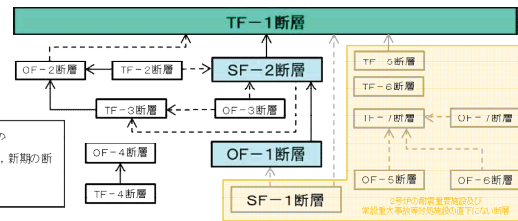
- ・ 変位量、破碎幅及び連続性の観点から、敷地内の活動性の検討対象となる断層(16断層)を抽出していること
- ・ 上記の断層から、耐震重要施設を設置する地盤に確認される断層(9断層)を抽出し、これらの断層について、その破碎規模や活動の新旧関係を確認した上で活動性評価の対象となる断層(2断層:TF-1断層及びOF-4断層)を抽出していること
- ・ 当該2断層の活動性について、断層の活動最新面に確認される変形を受けていない高温環境下で晶出した鉱物脈の生成状況等について検討した結果、前期白亜紀の熱水活動が終息して以降に断層の活動がないものと評価し、当該断層は「将来活動する可能性のある断層等」には該当しないとしていること

【敷地内の検討対象断層と耐震重要施設等の位置】



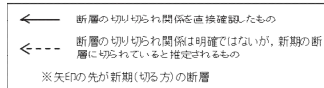
(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料 (令和元年9月27日)から抜粋・加筆<http://www2.nsr.go.jp/data/000285211.pdf>)

【断層の切り切れ関係を示す模式図】



断層の切り切れ関係の凡例

(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料(令和元年9月27日)から抜粋・修正 <http://www2.nsr.go.jp/data/000285211.pdf>)



第3条 地盤(2/2 : 地盤の支持、地盤の変形)

【要求事項】

- 設計基準対象施設は、地震力に対して十分に支持することができる地盤に設置する。さらに、耐震重要施設は、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていることを確認する。
- 耐震重要施設は、周辺地盤の変状が生じた場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設置する。

地盤の支持

<審査書 P.45-47>

<審査結果の概要>

(第38条重大事故等対処施設についても同様)

以下のことから、新規規制基準に適合していることを確認。

- ・ 設計基準対象施設について、要求される地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する岩盤(マンメイドロック、杭、改良地盤を含む)に設置すること
- ・ 耐震重要施設について、申請者が実施した動的解析の手法、地盤パラメータの設定方法等が適切であり、基準地震動を用いた評価を行った結果、評価基準値又は評価基準値の目安を満足していること(すべり安全率、基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜)

地盤の変形

<審査書 P.47-48>

<審査結果の概要>

(第38条重大事故等対処施設についても同様)

以下のことから、新規規制基準に適合していることを確認。

- ・ 耐震重要施設は、不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等による影響を受けるおそれはないが、液状化による地盤変状を考慮した場合においても、その安全機能が損なわれないよう、適切な対策を講ずる設計とする方針としていること
- ・ 地殻変動による傾斜に関する評価が適切であり、評価基準値の目安を満足していること

第5条 基準津波(1/3)

【要求事項】

- 津波の発生要因として、地震のほか、地すべり、斜面崩壊その他の地震以外の要因、及びこれらの組合せによるものを複数選定し、各種の不確かさを十分に考慮して数値解析を実施し、策定する。

地震に伴う津波

＜審査書 P. 49-56＞

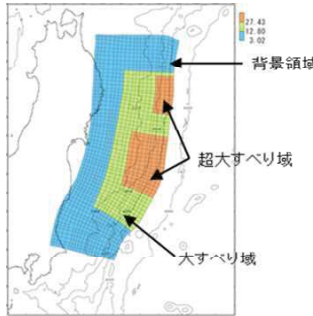
- 敷地に大きな影響を及ぼすおそれがある津波のうち、地震による津波について検討した結果、「東北地方太平洋沖型の地震による津波」(プレート間地震)(最大Mw9.13)、「1896年明治三陸地震による津波」(津波地震(プレート間地震))(Mw8.5)※1及び「1933年昭和三陸地震による津波」(海洋プレート内地震)(Mw8.6)※1を検討対象波源として選定。
※1 津波評価の結果「東北地方太平洋沖型の地震による津波」と比較し、敷地への影響が小さいことを確認

東北地方太平洋沖型の地震(プレート間地震)に起因する津波

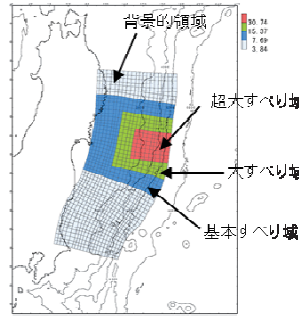
＜審査書案 P. 51-54＞

- “広域の津波特性を考慮した特性化モデル”として「基準断層モデル①」、「宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル」として「基準断層モデル②」及び「基準断層モデル③」を設定。

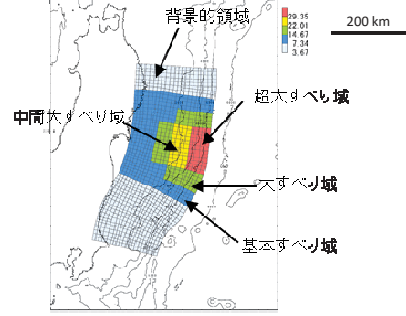
【基準断層モデル】



基準断層モデル①
 青森県北部～茨城県南部の痕跡高の再現性を確認
 (面積S:129,034km²、地震規模Mw:9.13)



基準断層モデル②
 既存の広域の津波特性を再現するモデル※2と、今回設定した震源断層モデルの面積の違いを考慮し、すべり量を20%割増し
 (S:107,357km²、Mw:9.04)
※2 内閣府(2012)、Satake et al.(2013)、杉野ほか2013)



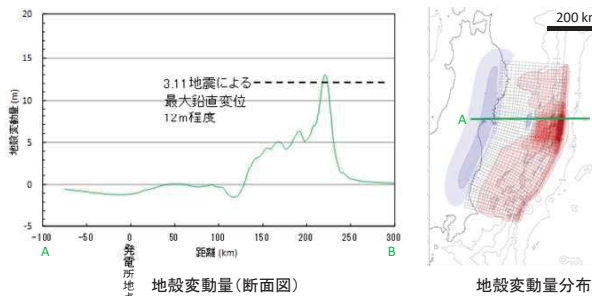
基準断層モデル③
 基準断層モデル②をベースに、未知の分岐断層の活動及び海底地すべりの発生可能性を考慮し、海溝側のすべりを強調するように、大すべり域及び超大すべり域の形状を変更し、中間すべり域を配置
 (S:107,357km²、Mw:9.04)

(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料(令和元年9月27日)から抜粋・修正
<http://www2.nsr.go.jp/data/000285218.pdf>)

第5条 基準津波(2/3)

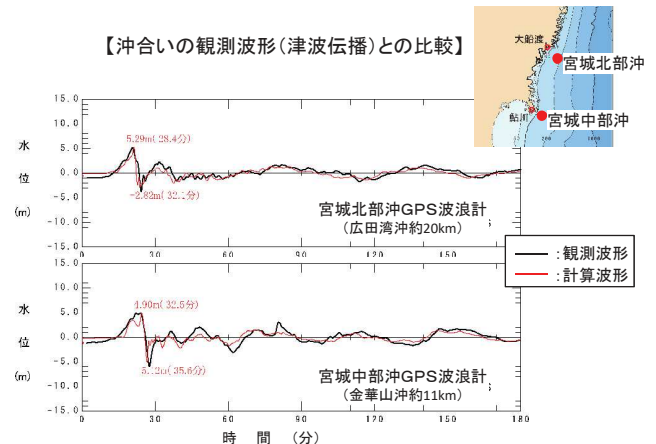
- 基準断層モデル②のもととなる宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルは日本海溝付近における地殻変動量で2011年東北地方太平洋沖地震による最大鉛直変位量を上回っていると同時に、同地震の沖合いの津波観測波形を良好に再現できている。

【地殻変動量(プレート境界の破壊)との比較】



(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料 第778回審査会合資料(令和元年9月27日)から抜粋・加筆(<http://www2.nsr.go.jp/data/000285218.pdf>))

【沖合いの観測波形(津波伝播)との比較】



＜審査結果の概要＞

以下のことから、新規制基準に適合していることを確認。

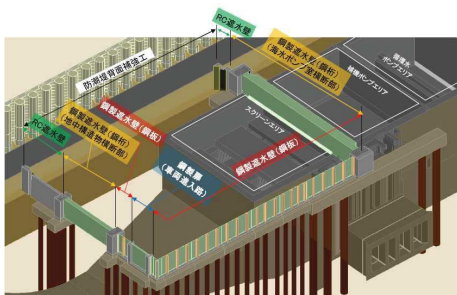
- 広域の津波特性を考慮した特性化モデルについては、敷地を含む宮城県周辺において、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の痕跡高よりも評価結果の方が大きく、保守的なモデルとなっていること
- 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルについては、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波を良好に再現するモデルを設定した上で、大すべり域・超大すべり域のすべり量を20%割増したモデル及び海溝側のすべりを強調したモデルを設定していること
- これらの特性化モデルは、最新の知見を踏まえ、大すべり域等の位置、面積、すべり量等について、不確かさを考慮して設定していること。大すべり域等の位置については、10km単位で移動させたパラメータスタディを行い、敷地への影響が最も大きい位置を抽出していること
- 敷地への影響が大きいパラメータについて検証した上で、詳細なパラメータスタディを行っていること

第5条 耐津波設計方針

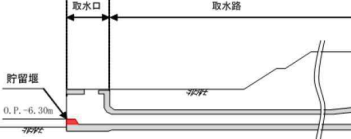
<審査書 P.59>

<申請の概要>

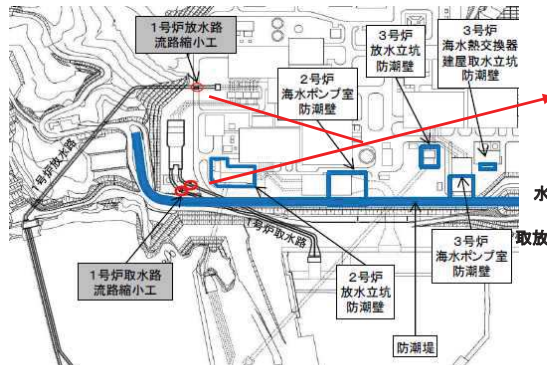
- 取水路、放水路等の開口部からの津波の流入を防止するため、津波防護施設(防潮壁、取放水路流路縮小工)及び浸水防止設備(浸水防止蓋、水密扉等)を設置。
- 引き波による水位低下に対する海水ポンプの機能維持のため、取水口前面に津波防護施設(貯留堰)を設置。
- 津波防護施設及び浸水防止設備について、余震による荷重等を適切に組み合わせて、入力津波に対して津波防護機能及び浸水防止機能が維持できるように設計。なお、許容限界については、地震、津波後の再使用性や津波の繰り返し作用を想定し、おおむね弾性域内に収まるように設定。



防潮壁の概要図

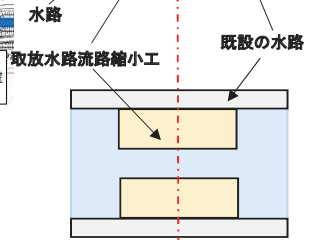
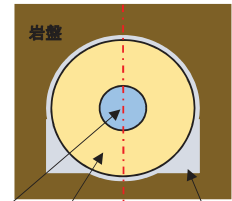


貯留堰の概要図



1号炉取水路及び1号炉放水路にコンクリートを打設し、水路内の断面積を縮小して、敷地への流入を防止する施設

取放水路流路縮小工の概要図



<審査結果の概要>

- 基準津波によって防護対象とする施設の安全機能が損なわれるおそれがない設計としていることから、新規制基準に適合していることを確認。

※ 重大事故等対処施設は、設計基準対象施設と同じ耐津波設計方針とすることより、基準津波に対して必要な機能が損なわれない設計としていることを確認。

出典: 発電用原子炉設置変更許可申請の補正書及び補足説明資料(2019年9月19日)から一部抜粋<http://www2.nsr.go.jp/data/000286146.pdf><

第5条 耐津波設計方針 (復旧・改修工事計画が入力津波の評価に与える影響)

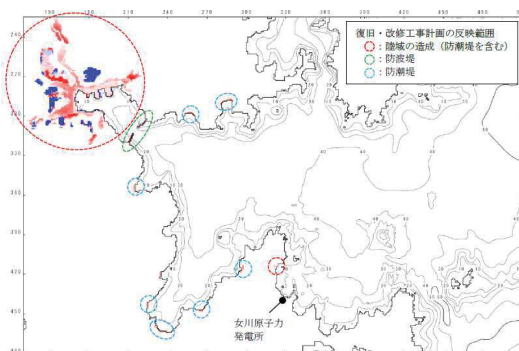
<審査書 P.63>

申請者の説明

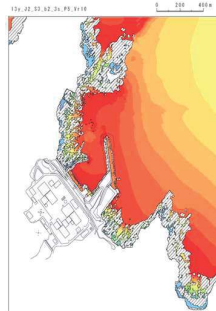
- ・ 入力津波の評価について、2011年東北地方太平洋沖地震後の女川町等の復旧・改修工事計画を地形データに反映しない方針

規制委員会の指摘

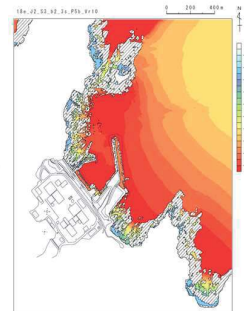
- ・ 復旧・改修工事計画の完了前及び完了後のいずれにおいても保守的な入力津波を採用することが必要



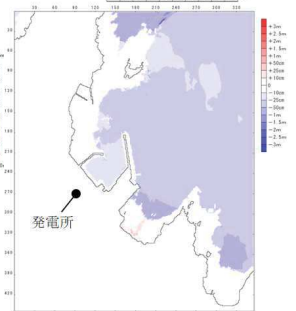
現状評価の地形と工事計画を反映した地形の差分図



現状評価



工事計画の反映



差分 (工事計画の反映-現状評価)

	2号炉取水口前面
現状評価 (A)	-10.38m
工事計画の反映 (B)	-10.50m
(B) - (A)	-0.12m

最大水位下降量(津波解析)の比較

<確認結果>

- ・ 復旧・改修工事計画の反映前後の評価結果を比較した上で、双方の評価結果から保守的な入力津波を採用
 - 上昇側の入力津波に与える影響なし
 - 下降側の入力津波は、復旧・改修工事計画を反映しない評価結果より最低水位は低くなるため、復旧・改修工事計画の反映後の入力津波に変更

出典: 発電用原子炉設置変更許可申請の補正書及び補足説明資料(2019年9月19日)から一部抜粋(<http://www2.nsr.go.jp/data/000286156.pdf>)

第5条 耐津波設計方針 (防潮堤のうち鋼管式鉛直壁の構造成立性、止水性の確保)

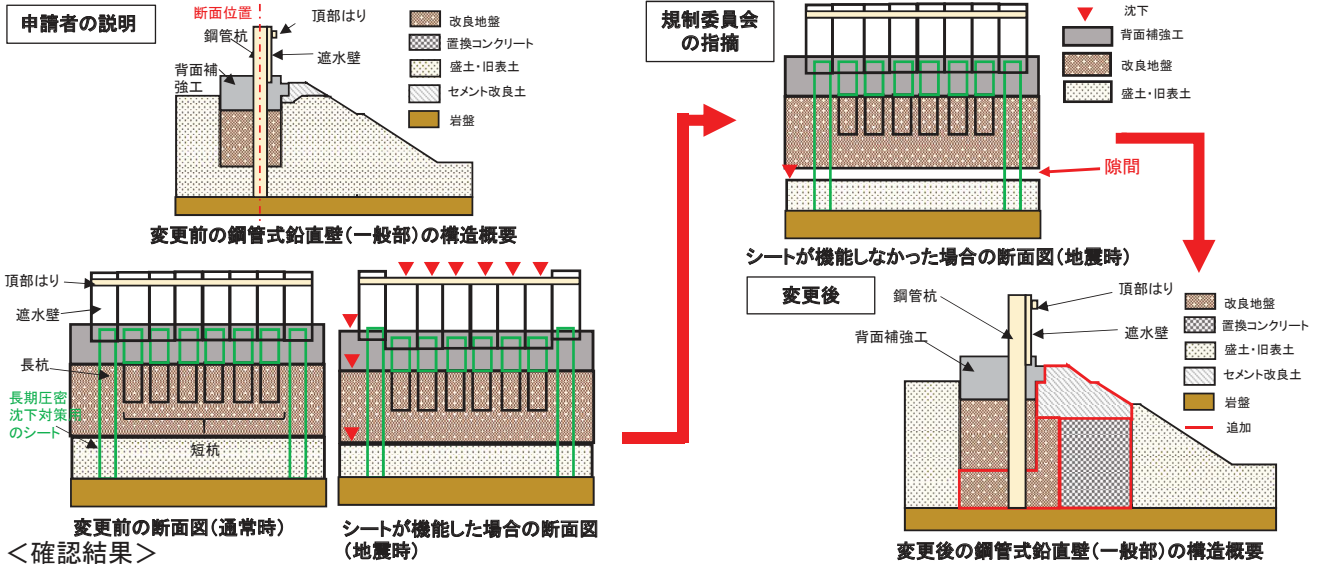
<審査書 P.79>

申請者の説明

- ・ 長杭は岩盤に支持させ、岩盤上の盛土・旧表土の上部に改良地盤及び背面補強工を設置することで短杭及び遮水壁を支持
- ・ 鋼管杭の周囲に粘性土の長期圧密沈下対策用のシートを施工し、そのすべり性能を利用して背面補強工及び改良地盤を盛土・旧表土の不等沈下に追従させることで止水性を確保

規制委員会の指摘

- ・ 地震時(短期)の盛土・旧表土の不等沈下に対して、用途の異なるシートのすべり性能が機能しなければ、背面補強工及び改良地盤が沈下せず、地中に隙間ができ、止水性を喪失する可能性がある
- ・ 試験等に基づきシートの地震時におけるすべり性能を検証することが必要



- ・ 以下の構造に抜本的に改善することにより、構造成立性を確認
 - 地震時の不等沈下対策として岩盤上の盛土・旧表土を地盤改良
 - 支持地盤のすべり安定性を確保するため、鋼管式遮水壁の海側前面に置換コンクリートを設置

38

第5条 耐津波設計方針 (防潮壁の構造成立性)

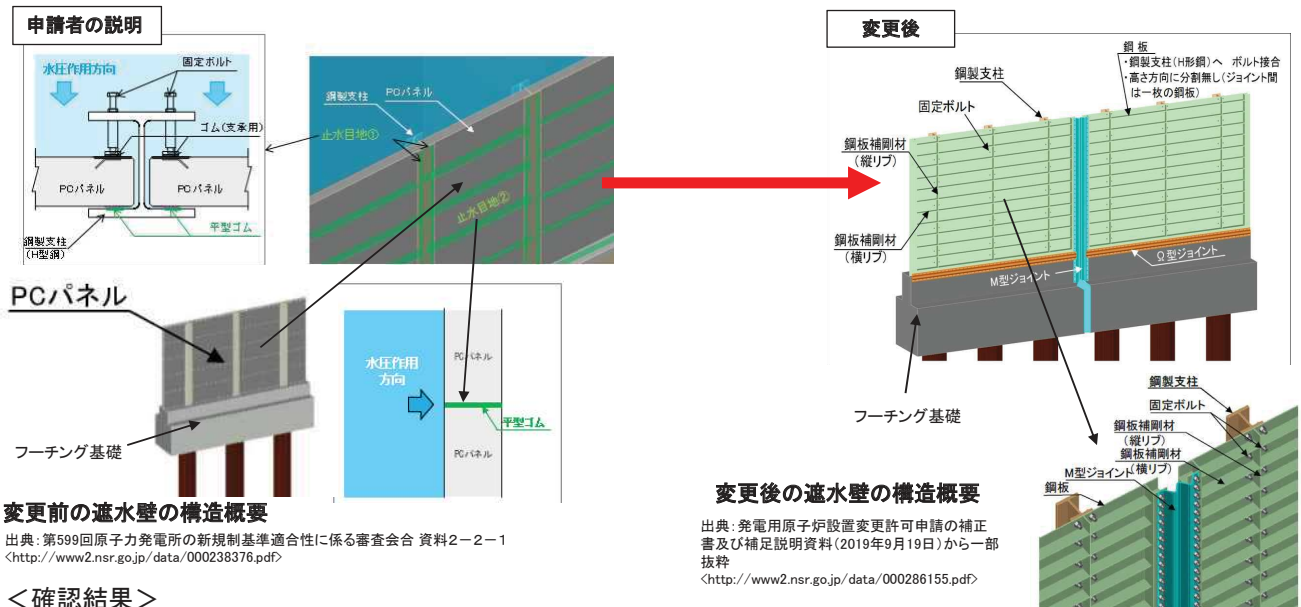
<審査書 P.80>

申請者の説明

- ・ フーチング基礎に設置したH型の鋼製支柱間にプレキャストコンクリート(以下「PC」という。)パネルを多層に分割してはめ込む構造
- ・ PCパネルと鋼製支柱の間及びPCパネル間に止水性を兼ねたゴム支承(止水目地)を設置し、ゴム支承に変位追従性も期待

規制委員会の指摘

- ・ 止水性、支持性、変位追従性を同時に担うゴム支承の採用は審査実績がないこと、かつ、適用できる規格基準がないことから、構造及び設計の成立性について振動試験等で確認が必要



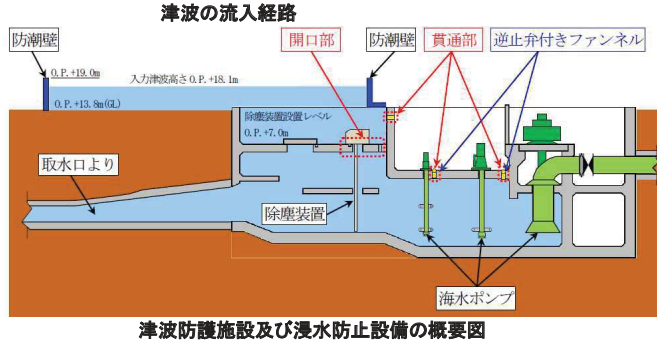
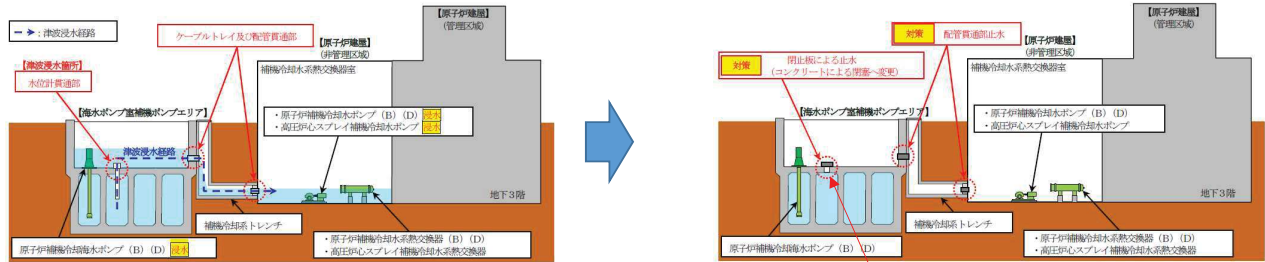
- ・ 以下の審査実績のある構造に抜本的に改善することにより、構造及び設計の成立性を確認
 - PCパネル遮水壁とゴム支承を取りやめ、鋼製遮水壁を支柱にボルトで接合
 - 遮水壁間の構造上の継ぎ手部には、止水性及び変位追従性に実績のある止水ゴムを設置

39

第5条 耐津波設計方針 (東北地方太平洋沖地震に伴う津波の流入) (参考資料)

東北地方太平洋沖地震に伴う津波の流入と対応

- 東北地方太平洋沖地震に伴う津波が、取水路から海水ポンプ室補機ポンプエリアに浸水し、同エリアのケーブルトレイ及び配管貫通部を通じ、原子炉建屋の原子炉補機冷却水系熱交換器室に流入
- 流入した津波により、補機冷却水系熱交換器室に設置している原子炉補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプが浸水し、非常用ディーゼル発電機等が自動停止
- 浸水経路となった箇所に閉止板の設置及び貫通部の止水処置を実施、今回の申請において津波の流入経路となり得る箇所に津波防護施設及び浸水防止設備を設置



閉止板 概要図
(今後、コンクリートによる閉塞を実施)

出典：発電用原子炉設置変更許可申請の補正書及び補足説明資料(2019年9月19日)から一部抜粋<http://www2.nsr.go.jp/data/000286156.pdf>

40

第6条 外部からの損傷の防止(火山事象)(1/2)

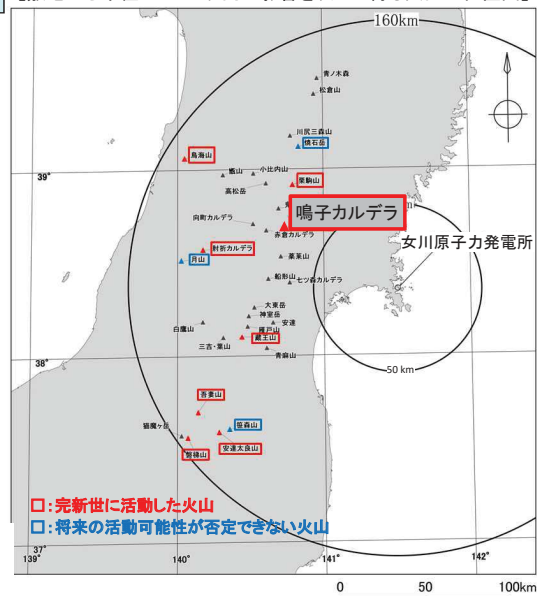
【要求事項】

- 火山事象が発生した場合においても安全施設の安全機能が損なわれないように設計する。

火山活動に関する個別評価(設計対応不可能な火山事象)

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として敷地から半径160km以内の11火山を抽出し、火砕物密度流、溶岩流等の火山現象の影響評価を行った結果、十分な離隔距離があり敷地に到達しないこと等から、本発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価。

【敷地から半径160km以内の影響を及ぼし得る火山の位置図】



火山事象の影響評価(降下火砕物の影響評価)

- 降下火砕物については、降下火砕物の分布状況及び降下火砕物シミュレーション結果から総合的に判断し、鳴子荷坂テフラ(鳴子カルデラ)を考慮し、敷地における最大層厚を申請時の10cmから15cmへ見直し。

(東北電力(株)女川原子力発電所2号炉審査資料
第778回審査会合資料(令和元年9月27日)から抜粋・加筆
<<http://www2.nsr.go.jp/data/000285222.pdf>>

<審査結果の概要>

以下のことから、新規制基準に適合していることを確認。

- 火砕物密度流は敷地周辺までの到達は認められないこと等から、設計対応不可能な火山事象が影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価していること
- 降下火砕物の最大層厚等は、最新の文献調査及び地質調査結果を踏まえ、降下火砕物の分布状況等から総合的に判断し、不確かさを考慮して適切に設定されていること

41

【要求事項】

- 火山灰などの降下火砕物に対して、安全機能が損なわれないこと。
 - 建物などへの負荷、配管の閉塞、その他設備への機械的及び化学的影響、並びに大気汚染等の影響(直接的な影響)
 - 外部からの送電停止や発電所外部との交通の遮断(間接的な影響)

<申請の概要>

- 火山灰による直接的影響
 - 火山灰が15cm堆積しても、建屋や設備は耐えることが出来る設計とする。
 - 火山灰が施設の内部に入り込まないようにフィルタを設置する。
 - 火山灰に含まれる腐食性成分による化学的影響(腐食)に対して、安全機能が損なわれないように、外装塗装等を実施する。
- 火山灰による間接的影響
 - 外部からの送電停止や、外部との交通の遮断を考慮して、発電所内にディーゼル発電機等を備え、電力の供給を可能とすることにより、外部からの支援がなくても、原子炉及び使用済燃料プールの安全性が損なわれないように対応する。

<審査結果の概要>

火山灰の影響があっても、安全機能が損なわれない設計であると判断

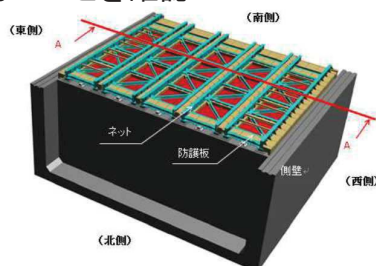
第6条 竜巻対策

【要求事項】

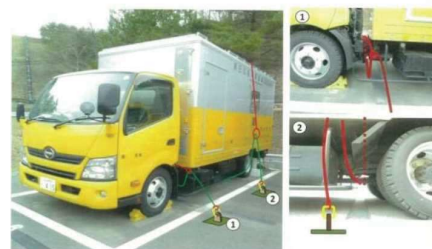
- 原子力発電所の立地地域の特性等を考慮して、想定される**最大の竜巻**を設定。
- 想定される**竜巻による荷重**(風圧力、気圧差、飛来物の衝撃荷重)に対しても原子炉施設の安全機能が損なわれないこと。
- 竜巻により発生する火災、外部電源喪失等により安全機能が損なわれないこと。

<申請の概要>

- 発電所が立地する太平洋沿岸地域で観測された過去最大の竜巻のスケールの風速上限値92m/sの竜巻を基準竜巻として設定。それに対して、**100m/sの竜巻**から防護できるよう設計。飛来物に対する**防護ネット等**の設置や飛来物の飛散防止を実施。
- 竜巻により発生する可能性のある火災、溢水及び外部電源喪失に対しても安全機能が損なわれないことを確認



防護ネット等の設置イメージ



飛来物発生防止対策の例(固縛)

出典: 発電用原子炉設置変更許可申請の補正書及び補足説明資料(2019年9月19日)から一部抜粋、加筆 <<http://www2.nsr.go.jp/data/000286153.pdf>>

<審査結果の概要>

竜巻の影響に対して、安全機能が損なわれない設計方針であると判断