丙第163号証

添付　1

平成２３年東北地方太平洋沖地震の知見を考慮した原子力発電所の地震・津波の評価について

～中間取りまとめ～

平成２４年２月１６日

経　済　産　業　省

原子力安全・保安院

目　　次

Ⅰ．はじめに 1

１．調査の目的 1
２．調査・検討の対象及び進め方 1
３．調査・検討の方法 2

Ⅱ．３月１１日の地震及びそれに伴う津波 2

１．概況 2
1.1　地震の規模 2
1.2　津波の規模 3
２．原子力発電所を襲った地震と津波による被害 4
2.1　福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所 4
2.1.1　地震観測結果 4
2.1.2　津波の観測及び調査結果 4
2.1.3　地殻変動量 5
2.1.4　津波による被害の概要 6
2.1.5　３月１１日の地震による送電鉄塔等への影響と今後の対策について 7
2.2　女川原子力発電所 7
2.2.1　３月１１日の地震の観測結果 7
2.2.2　３月１１日の津波の観測及び調査結果 7
2.2.3　地殻変動量 8
2.2.4　津波による被害の概要 8
2.2.5　４月７日の地震による被害の概要 9
2.3　東海第二発電所 9
2.3.1　地震観測結果 9
2.3.2　津波の観測及び調査結果 9
2.3.3　地殻変動量 10
2.3.4　津波による被害の概要 10

Ⅲ．３月１１日の地震・津波の文献等における新たな知見 11

１．当院による新たな科学的・技術的知見等の収集 11
２．地震調査研究推進本部での議論 11
３．中央防災会議の動き 12

Ⅳ．地震動に関する評価 13

１．調査・検討の具体的な進め方 13
1.1　東京電力、東北電力及び日本原子力発電に係る地震動に関する評価13
1.2　湯ノ岳断層に係る評価 13
２．福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における評価 13
2.1　３月１１日の地震における地震動の観測記録 13
2.2　３月１１日の地震の強震動シミュレーション解析結果と観測記録の比較 14
2.3　３月１１日の地震のはぎとり波の推定と分析 15
2.3.1　はぎとり波の推定及び基準地震動Ｓｓとの比較 15
2.3.2　はぎとり波の「福島第一南地点」、「福島第一北地点」及び「福島第二地点」の比較 15
2.3.3　プレート間地震の検討用地震動（仮想塩屋崎沖地震）とはぎとり波の比較 16
2.4　福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における評価のまとめ 17
３．女川原子力発電所における評価 17
3.1　３月１１日の地震の評価 17
3.1.1　３月１１日の地震における地震動の観測記録 17
3.1.2　３月１１日の地震の強震動シミュレーション解析結果と観測記録の比較 18
3.1.3　３月１１日の地震のはぎとり波の推定と分析 20
3.1.3.1　はぎとり波の推定及び基準地震動Ｓｓとの比較 20
3.1.3.2　プレート間地震の検討用地震（連動型想定宮城県沖地震）とはぎとり波の比較 20
3.2　４月７日の地震の評価 21
3.2.1　４月７日の地震における地震動の観測記録 21
3.2.2　４月７日の地震の強震動シミュレーション解析結果と観測記録の比較 21
3.2.3　４月７日の地震のはぎとり波の推定と分析 22
3.2.3.1　はぎとり波の推定及び基準地震動Ｓｓとの比較 22
3.2.3.2　プレート内地震の検討用地震（平成１５年５月２６日宮城県沖の地震）とはぎとり波の比較 23
3.3　女川原子力発電所における評価のまとめ 24
４．東海第二発電所における評価 24
4.1　３月１１日の地震における地震動の観測記録 24
4.2　３月１１日の地震の強震動シミュレーション解析結果と観測記録の比

較 25
4.3　３月１１日の地震におけるはぎとり波の推定と分析 25
4.3.1　はぎとり波の推定及び基準地震動Ｓｓとの比較 25
4.3.2　プレート間地震の検討用地震（１８９６年鹿島灘の地震）とはぎとり波の比較 26
4.4　東海第二発電所における評価のまとめ 26
5．湯ノ岳断層の評価 26
5.1　既往評価における湯ノ岳断層の取扱い 26
5.2　応力場の影響 27
5.3　現地調査 27
5.4　湯ノ岳断層の評価のまとめ 28
6．地震動に関する評価のまとめ 28
Ⅴ．津波に関する評価 30
1．調査・検討の具体的な進め方 30
2．福島第一及び第二原子力発電所における今回の津波の評価 30
2.1　波源モデルの策定と再現計算 30
2.2　福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の津波の差異に係る分析 32
2.3　浸水経路及び浸水による影響 33
2.4　津波波力の検討 33
3．東海第二発電所における今回の津波の評価 33
3.1　波源モデルの策定と再現計算 33
3.2　浸水経路及び浸水による影響 34
4．女川原子力発電所における今回の津波の評価 34
4.1　波源モデルの策定と再現計算 34
4.2　浸水経路及び浸水による影響 35
5．独立行政法人原子力安全基盤機構によるクロスチェック 35
5.1　東北地方太平洋沖地震・津波の特徴の分析 36
5.2　ＪＮＥＳの波源モデルによる広域的再現性 36
5.3　ＪＮＥＳの波源モデルによる津波計算手法の各原子力発電所における観測記録の再現性 37
5.3.1　福島第一原子力発電所 37
5.3.2　福島第二原子力発電所 37
5.3.3　東海第二発電所 37
5.3.4　女川原子力発電所 38

5.4　各原子力発電所の評価結果の検証 38
5.4.1　事業者とＪＮＥＳが用いた波源モデルの相違点 38
5.4.2　事業者とＪＮＥＳの評価における観測波形等の再現性 38
5.4.3　事業者とＪＮＥＳにおける津波高増幅特性及び発電所前面海域の海底地形の影響 39
5.4.4 クロスチェックのまとめ 39
6．想定津波高さの考え方 40
7．波力評価の考え方 40
8．津波に関する評価のまとめ 41
Ⅵ．おわりに 43

Ⅰ．はじめに

１．調査の目的

平成２３年東北地方太平洋沖地震（以下「３月１１日の地震」という。）とそれによって引き起こされた津波（以下「３月１１日の津波」という。）により、複数の原子力発電所に多大な影響を与えることとなった。特に、福島第一原子力発電所においては、我が国において未曾有の原子力災害を引き起こすこととなり、いまだに国民生活に、極めて広範かつ深刻な影響を及ぼしている。

原子力安全・保安院（以下「当院」という。）においては、このような事態を二度と繰り返さないために、科学的・技術的観点から、３月１１日の地震と３月１１日の津波（以下「３月１１日の地震・津波」という。）を徹底的に分析し、従来の地震・津波の安全審査や耐震バックチェックで想定していない３月１１日の地震・津波に係わる知見を明らかにして、その教訓を原子力発電所の安全規制に反映させるために調査・検討を進めているところである。

本「平成２３年東北地方太平洋沖地震の知見を考慮した原子力発電所の地震・津波の評価について～中間取りまとめ～」は、その調査・検討結果を中間的に取りまとめたものである。

２．調査・検討の対象及び進め方

本調査・検討の対象及び進め方は次の通り。

①３月１１日の地震・津波による原子力施設への影響の検討に当たっては、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所、女川原子力発電所並びに東海第二発電所を調査・検討の対象とし、当院からの指示に基づく事業者からの報告（指示内容及び事業者の報告内容については別添１参照）、現地調査等により、評価を取りまとめる。なお、女川原子力発電所については、余震として影響の大きかった４月７日の宮城県沖地震（以下「４月７日の地震」という。）も対象とする。

②３月１１日の地震・津波に関する文献等による新たな知見の調査・検討に当たっては、平成２３年９月２日に独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「ＪＮＥＳ」という。）及び事業者から報告のあった３月１１日の地震に関する耐震安全性評価に係る新たな科学的・技術的知見等の収集結果及び関係機関（地震調査研究推進本部、中央防災会議）での議論を対象とし、ＪＮＥＳ及び原子力事業者からの報告、関係機関の開催する委員会での議論等を分析し、３月１１日の地震・津波等を踏まえた新たな知見を抽出する。

③地震・地震動の評価に当たっては、解放基盤表面における地震動（以下「はぎとり波」という。）の推定、基準地震動や検討用地震とはぎとり波との比較・検討等を行うことにより、３月１１日の地震等を踏まえた地震動に関する知見を抽出する。また、湯ノ岳断層に係る現地調査による検討を踏まえた活断層の詳細調査に関する知見を抽出する。

④津波の評価に当たっては、浸水経路及び浸水による影響・分析、津波の再現計算等を行うことにより、３月１１日の地震による津波を踏まえた津波に関する知見を抽出するとともに、想定津波高さの評価、波力評価等の今後の津波に関する評価の在り方について、取りまとめる。

また、福島第一原子力発電所における送電鉄塔の倒壊や開閉所の遮断機及び断路器の損傷は、３月１１日の地震による盛土の崩壊等が原因であったと推定され、地震による随伴事象と考えられるため、今後の本調査・検討の対象とした。

３．調査・検討の方法

当院は、平成２３年９月３０日、「地震・津波に関する意見聴取会」を開催し、福島第一及び福島第二原子力発電所、女川原子力発電所並びに東海第二発電所における地震動の解析・評価の検討を行うとともに、３月１１日の地震に関する新たな科学的・技術的知見について整理し、原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項を検討することとした。

なお、「地震・津波に関する意見聴取会」とは別に、平成２３年９月２９日、「建築物・構造に関する意見聴取会」を開催し、前記の発電所における建物・構築物、機器・配管系の地震応答解析の評価等の検討を行うとともに、同様に３月１１日の地震に関する耐震安全性評価に反映すべき事項を検討することとした。

両意見聴取会においては、主に別添資料で記述した当院による指示に基づき事業者から報告された内容等について、当院から説明し、各委員から意見等を聴取している（審議経緯については、別添２参照）。

また、ＪＮＥＳでは、事業者が実施した津波の再現計算に対してクロスチェックを行うことにより、当院に対して技術的支援を行った。

Ⅱ．３月１１日の地震及びそれに伴う津波

１．概況

1.1　地震の規模

３月１１日の地震は、２０１１ 年３月１１日１４時４６分、北米プ

レート（陸側のプレート）の下に太平洋プレート（海側のプレート）が沈み込む日本海溝沿いのプレート境界で発生し、広い範囲で破壊が起きたことにより発生した三陸沖を震源とするマグニチュード９．０の国内観測史上最大規模の地震であった。

気象庁は、発震機構について、西北西－東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型、震源位置は北緯３８度６．２分、東経１４２度５１．６分、震源深さは２４ｋｍと発表、各地の震度について、宮城県栗原市築館で震度７、福島県大熊町下野上・双葉町新山・浪江町幾世橋・富岡町本岡・楢葉町北田などで震度６強、宮城県石巻市桃生町、茨城県東海村東海等で震度６弱と発表している。また、文部科学省地震調査研究推進本部は、震源域等について、岩手県沖から茨城県沖までの長さ約４００ｋｍ以上、幅は約２００ｋｍで、最大の滑り量は２０ｍ以上であったと推定しており、すべり量の大きい領域は、三陸沖南部海溝寄り、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの一部と発表している。更に、この地震による地殻変動が広範囲で確認されており、国土地理院は、電子基準点「牡鹿」（宮城県石巻市）が東南東方向へ約５．３ｍ動き、約１．２ｍ沈下したと発表している。

今回の一連の地震活動について、気象庁は、本震－余震型で推移しており、余震活動は岩手県沖から茨城県沖にかけて震源域に対応する長さ約５００ｋｍ、幅約２００ｋｍの範囲に密集して発生しているほか、震源域に近い海溝軸の東側でも発生、福島県から茨城県の陸域の浅い場所では、Ｍ３～４程度の地震（震度３～４）も多発するなど、活動が継続していると発表している。また、これまでに発生した余震は、１月１０日１２時現在、Ｍ７．０以上は６回、Ｍ６．０以上は９６回、Ｍ５．０以上は５８０回であり、最大震度４以上を観測した余震は２１９回と発表している。なお、３月１１日の地震の発生以降、東日本において、従来地震活動がほとんど観測されていなかった場所においても、誘発されたと考えられる地震活動が活発になっている。

1.2　津波の規模

３月１１日の地震に伴う津波の浸水面積について、国土地理院は、青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉の６県６２市町村の空中写真・衛星画像判読による浸水範囲面積の合計を５６１ｋｍ^{2}と発表している。また、津波の観測値について、気象庁は、宮城県石巻市鮎川で津波高さ８．６ｍ以上、福島県相馬で９．３ｍ以上、茨城県大洗で４．０ｍ以上など高い津波が東北地方及び関東地方の太平洋沿岸で観測されたと発表し

ている。海外の検潮所においても津波が観測されており、アメリカの西海岸に位置するクレセントシティーで津波高さ２．４７ｍ、チリのアリカで２．４５ｍが記録されていると発表している。

この津波により、太平洋側に立地している原子力発電所においては、甚大な被害が生じており、特に東京電力株式会社（以下「東京電力」という。）福島第一原子力発電所（以下「福島第一原子力発電所」という。）、東北電力株式会社（以下「東北電力」という。）女川原子力発電所（以下「女川原子力発電所」という。）及び日本原子力発電株式会社（以下「日本原子力発電」という。）東海第二発電所（以下「東海第二発電所」という。）においては、津波が敷地内に遡上し、原子炉設備を冷却するための機器類等が大きく損壊したとしている。

２．原子力発電所を襲った地震と津波による被害

2.1　福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所

2.1.1　地震観測結果

福島第一原子力発電所においては、原子炉建屋基礎版上の観測記録のうち、２号機、３号機及び５号機のＥＷ方向において、耐震安全性評価で策定した基準地震動Ｓｓに対する最大応答加速度値（２号機：４３８ガル、３号機：４４１ガル、５号機：４５２ガル）を上回り、それぞれ、２号機が５５０ガル、３号機が５０７ガル、５号機が５４８ガルであったとしている。

福島第二原子力発電所全号機において、原子炉建屋基礎版上の観測記録は、耐震安全性評価で策定した基準地震動Ｓｓに対する最大応答加速度値を下回ったとしている。

2.1.2　津波の観測及び調査結果

福島第一原子力発電所において、約４ｍの津波に続き、更に大きな波が到達し、測定範囲が－７．５～＋７．５ｍの波高計が損傷したといしている。敷地前面で観測された波高記録では、最大値Ｏ．Ｐ．※＋７．４５ｍを記録しているが、その後、計測不能となっている。（図Ⅱ．１－１）

福島第一原子力発電所の敷地高さは１～４号機がＯ．Ｐ．※＋１０ｍ、５号機及び６号機はＯ．Ｐ．＋１３ｍである。津波は敷地前面海域から襲来し、主要建屋設置敷地のほぼ全域が広範囲に亘って冠水したとしている。１～４号機側の津波の遡上高（敷地への津波の浸入痕の高さ）は、Ｏ．Ｐ．約＋１１．５ｍ～Ｏ．Ｐ．約＋１５．５ｍ、南

西部では局所的にＯ．Ｐ．約＋１６ｍ～１７ｍであり、浸水深は約１．５ｍ～５．５ｍであったとしている。（図Ⅱ．１－２、図Ⅱ．１－３）

また、開閉所に接続する発電所敷地内の送電線鉄塔が地震による周辺斜面の法面崩壊で倒壊したと考えられること等、外部送電線からの受電ができない状態となったことから、各号機の非常用ディーゼル発電機が自動起動し、原子炉及び使用済燃料プールの冷却機能を維持したが、その後に到達した前述の津波により、本体及びその関連機器が水没しなかった６号機の空冷式非常用発電機を除き、１号機から６号機の全ての非常用ディーゼル発電機等が水没若しくは冷却機能を喪失して停止したため、１号機～５号機は、全ての交流電源が喪失する事態となったとしている。

福島第二原子力発電所においては、主要建屋設置エリア南東側から免震重要棟への道路に津波が集中的に遡上したとしている。福島第二原子力発電所の敷地高さはＯ．Ｐ．＋１２ｍであり、Ｏ．Ｐ．＋４ｍの海側エリアはほぼ全域が浸水、敷地高さＯ．Ｐ．＋１２ｍの１号機、２号機の建屋周辺及び３号機の建屋南側が浸水したが、４号機の建屋周辺の浸水はなかったとしている。遡上高は、主要建屋設置エリアの山側でＯ．Ｐ．約＋１２ｍ～約＋１４．５ｍ（浸水深約２．５ｍ以下）であり、主要建屋設置エリア南東側で局所的にはＯ．Ｐ．約＋１５～約＋１６ｍ（浸水深約３～約４ｍ）であったとしている。（図Ⅱ．１－４、図Ⅱ．１－５）

この浸水により、主要建屋の地上の開口部や、敷地の地下に埋設されたトレンチ等の一部から海水が浸水し、１号機の主要建屋の地下階や３号機タービン建屋地下２階、全号機の海水熱交換器建屋等が津波により浸水したとしている。

※　Ｏ．Ｐ．：小名浜港工事基準面
　　東京湾平均海面（Ｔ．Ｐ．）の下方０．７２７ｍ

2.1.3　地殻変動量

３月１１日の地震による福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の敷地周辺の地殻変動は、国土地理院によると、水平方向では東方へ約２．３ｋｍの移動、上下方向では約０．５ｍの沈降が観測されたとしている。東京電力による報告によると、ＧＰＳ測量等を実施した結果、福島第一原子力発電所において、６号機のタービン建屋及び原子炉建屋の位置において約０．５８ｍ、１号機～４号機までの東側（海側）の地盤面においては、平均で約０．６６ｍの沈下量が確認

されたとしているが、地盤の傾斜は生じなかったとしている。(図Ⅱ..１－６、図Ⅱ．１－７)

福島第二原子力発電所において、１号機～４号機の主要な建屋において、約０．６２ｍ前後の沈下量が確認されたとしているが、地盤の傾斜は生じなかったとしている。

2.1.4　津波による被害の概要

福島第一原子力発電所において、主要建屋の周辺は、津波の遡上を受けほぼ全域が浸水した。この浸水により、主要建屋の地上の開口（建屋の出入口や機器搬入口（ハッチ）、給排気口（ルーバー））や、敷地の地下に埋設されたトレンチやダクトに接続する開口（ケーブルや配管の貫通口）の一部から海水が浸水した。建屋内への浸水は、通路や階段室等を介して地下の広い範囲が浸水したものと考えられる。１号機タービン建屋の東側（海側）を中心に、扉やシャッター等の一部が津波により損傷していることが確認されたが、主要建屋の外壁や柱等について、水素爆発等による影響を受けたところを除いた構造躯体に有意な損傷は確認されていない。また、補機冷却用海水ポンプ施設は、津波によって全号機が冠水した。また、原子炉建屋やタービン建屋の地下階に設置されている水冷式若しくは空冷式の非常用ディーゼル発電機等は、津波によって１号～５号機すべてが機能喪失した。６号機については、３台ある非常用ディーゼル発電機のうち、水冷式の２台のディーゼル発電機本体は被水しなかったが、海水の冷却設備が使用不可となったことにより機能喪失した。残る１台は、ディーゼル発電機本体が被水せず、空冷式で海水冷却が不要であったこと、また、配電盤が被水しなかったことにより、非常用電源の供給が可能であったとしている。

福島第二原子力発電所において、敷地高Ｏ．Ｐ．＋４ｍの海側エリアはほぼ全域が浸水し、敷地高Ｏ．Ｐ．＋１２ｍの１号機、２号機の建屋周辺及び３号機の建屋南側が浸水したが、４号機の建屋周辺の浸水はなかった。この浸水により、主要建屋の地上の開口（建屋の出入口や機器搬入口（ハッチ）、給排気口（ルーバー））や、敷地の地下に埋設されたトレンチやダクトに接続する開口（ケーブルや配管の貫通口）の一部から海水が浸水したが、主要建屋の外壁や柱等の構造躯体に有意な損傷は認められなかった。１号機の主要建屋の地下階や３号機タービン建屋地下２階、全号機の海水熱交換器建屋等が津波により浸水した。これにより、１号機では、すべてのディーゼル発電機が水

没し、高圧電源盤（M／C）のC系、H系が水没した。なお、同号機の高圧電源盤（M／C）のB系並びに他号機の高圧電源盤（M／C）は被水を免れている。また、海水熱交換器建屋の非常用電源盤は3号機のD－2系電源盤を除いて機能喪失したとしている。

2.1.5　3月11日の地震による送電鉄塔等への影響と今後の対策について

福島第一原子力発電所の開閉所に接続する送電鉄塔については、3月11日の地震により鉄塔近傍の盛土の崩落により倒壊したと考えられるが、周囲の盛土の崩落を含めた総合的な耐震性評価の視点に欠けていたことが鉄塔倒壊につながったと考える。このことから、平成23年4月15日に、当院は各事業者に対し、鉄塔基礎の安定性に関する調査を含む外部電源の信頼性確保についての対応を指示し報告を求めた。これを受け事業者からは、鉄塔基礎の安定性評価について、適宜報告がなされているところであり、当該報告については、今後、当院として厳格に確認するとともに、必要に応じて対応を求めていく予定である。

また、3月11日の地震により、福島第一原子力発電所1号機及び2号機の開閉所の遮断器及び断路器も損傷したと考える。このため、当院は、平成24年1月19日、事業者に対し、外部電源の信頼性確保の観点から、開閉所の遮断機及び断路器等について、今後発生する可能性のある地震による耐震性の評価及び対策を求めたところである。

2.2　女川原子力発電所

2.2.1　3月11日の地震の観測結果

1号機、2号機及び3号機における原子炉建屋の基礎版上の観測記録のうち、各号機で観測された最大加速度は、1号機で水平方向587ガル、2号機で水平方向607ガル、3号機で573ガルであり、耐震安全性評価で策定した基準地震動Ssに対する最大応答加速度値（1号：532ガル、2号：594ガル、3号：512ガル）を上回っていた。

2.2.2　3月11日の津波の観測及び調査結果

女川原子力発電所においては、港内静穏域に常時観測用の潮位計と常時観測用の潮位計が欠測となった場合のバックアップ用の潮位計（メモリー式）を同一箇所に設置している。常時観測用の潮位計は津波の影響による測定不能となったものの、バックアップ用の潮位計は

メモリーに観測値が保存されていた。観測の結果、最高水位は、O．P．※＋１３．７８m（3月１１日、１５時２９分）であり、最低水位は、O．P．－５．０m（3月１１日、１５時４４分～１５時４６分）であった。なお、潮位計のデータサンプリング間隔は、６０秒であることから、最高水位を観測した１５時２９分前後に、より高い水位を記録している可能性があるとしている。また、最低水位については、潮位計の観測レンジがO．P．－５．０m以上であることから、O．P．－５．０m以下であったものと推定されるとしている。津波の遡上高について、東北電力は、痕跡調査により、主要な建屋が設置されている敷地前面における遡上高は、地殻変動量約－１．０mを考慮して、最大でO．P．約＋１３．８mであり、津波は主要な建屋には及んでいなかったとしている。主要建屋の設置エリアよりも低い位置に設置されていた第１号機の重油貯蔵タンク等については、津波の影響により大きく損壊、また、第２号機海水ポンプ室に設置した循環水ポンプ自動停止用水位計の止水処理が不十分だったため、取水路より海水が流入し、第２号機の原子炉建屋地下３階の原子炉補機冷却水系熱交換機室（非管理区域）の一部が浸水したとしている。
（図Ⅱ．２－１～図Ⅱ．２－３）

※　O．P．：女川原子力発電所工事用基準面
東京湾平均海面（T．P．）－０．７４m

2.2.3　地殻変動量

国土地理院によれば、女川原子力発電所が位置する牡鹿半島の電子基準点「牡鹿」で約１．２mの地盤沈下し、水平方向の変動量（東南東）は約５．３mと報告されている。また、東北電力の報告によると、ＧＰＳ測量による地形解析を実施した結果、地震地殻変動により敷地は１m程度沈下したが、その変動量は敷地内で上下・水平方向に一様であり、地盤の傾斜は生じなかったとしている。（図Ⅱ．２－４）

2.2.4　津波による被害の概要

津波による砂の堆積は、発電所港湾内における泊地でおおむね０．５m～０．６m程度、海底の浸食は東防波堤堤頭部で最大５．５m程度であった。そのため、津波に伴う堆砂により取水口が閉塞することはなく、原子炉補機冷却系海水ポンプに必要な海水が継続的に取水可能であったとしている。

女川原子力発電所２号機については、海水ポンプ室に設置した循環

水ポンプ自動停止用水位計の止水処理が不十分だったため、津波の影響により取水路側から海水が流入し、女川原子力発電所２号機原子炉建屋地下３階の原子炉補機冷却水系熱交換器室等（非管理区域）の一部が浸水した。この浸水の影響により、原子炉補機冷却水系（Ｂ）系及び高圧炉心スプレイ補機冷却水系が機能喪失し、非常用ディーゼル発電機（Ｂ）及び（Ｈ）が自動停止したものの、外部電源は喪失しておらず、非常用ディーゼル発電機（Ａ）は健全であり、原子炉補機冷却水系（Ａ）及び（Ｃ）への被害はなかったため、非常用炉心冷却系が２系統維持されることとなり、原子炉の冷却機能は維持されていたとしている。

その他、主要な施設（Ｏ．Ｐ．約＋１３．８ｍ）が設置されている敷地より低い位置に設置されている小屋等については、津波の浸水等による損傷を受けており、女川原子力発電所１号の重油タンクは、Ｏ．Ｐ．約＋２．５ｍに設置されていたため、底面からの５ｍ以上の津波水位による浮力により浮き上がり、倒壊している。

2.2.5　４月７日の地震による被害の概要

東北電力から報告された地震状況報告によると、女川原子力発電所は全号機とも、４月７日の地震発生時は停止中であり、プラントには異常はなかったとしている。また、津波による被害は報告されていない。

2.3　東海第二発電所

2.3.1　地震観測結果

原子炉建屋の基礎版上の観測記録のうち、最大加速度は、水平方向２２５ガル、鉛直方向は１８９ガルであり、設計時の最大応答加速度や耐震安全性評価で策定した基準地震動Ｓｓに対する最大応答加速度値を下回っていた。

2.3.2　津波の観測及び調査結果

日本原子力発電は、東海第二発電所において、港内静穏域に潮位計を設置して連続測定を実施していたものの、３月１１日の地震に伴う津波による最高水位及び最低水位が、潮位計の観測可能範囲であるＨ．Ｐ．[※1、※2]＋３．８９ｍ（標高＋３．００ｍ）からＨ．Ｐ．－１．１１ｍ（標高－２．００ｍ）を超えていたことから、測定値を取得できず、また、３月１１日１６：４０頃以降については、電源喪失のためデータが取得

できなくなったとしている。東海第二発電所においては、東海港への船舶入出港管理用に東海港沖合（東側）約１５０ｍの位置に波高計を設置しており、３月１１日の地震後、波高計の復旧作業を行う中で、地震発生当日の２１時頃までのデータが保存されており、３月１１日１６：５０頃に最大水位約Ｈ．Ｐ．＋５．５ｍ（標高＋４．６ｍ）が確認されている。東海第二発電所の主要建屋の設置レベルは、Ｈ．Ｐ．＋８．８９であり、主要建屋には津波の遡上は確認されなかった。津波の痕跡高について、日本原子力発電は、痕跡高調査により、Ｈ．Ｐ．＋５．９ｍ（標高＋５．０ｍ）～Ｈ．Ｐ．＋６．３ｍ（標高＋５．４ｍ）であり、遡上高は、Ｈ．Ｐ．＋６．３ｍ（標高＋５．４ｍ）程度であったと推定している。また、東海港沖合約１５０ｍに設置した波高計では最大水位約Ｈ．Ｐ．＋５．５ｍが確認されている。この津波の遡上により、地上部に埋設されているケーブルピットの蓋の水密化工事が途中であった部分から海水が浸水し、また、蓋の浮き上がりを防止する基礎ボルト設置のためにケーブルピット周辺を掘削しており、地盤が浸水し易い状況になっていたため、海水が浸水し、Ｈ．Ｐ．＋４．２ｍ（標高＋３．３ｍ）に従来から設置してある仕切り壁を乗り越え、海水が北側非常用海水ポンプ室に浸水した。（図Ⅱ．３－１、図Ⅱ．３－２）

※１　Ｈ．Ｐ．：日立港工事用基準面
東京湾平均海面（Ｔ．Ｐ．）＋０．８９ｍ

※２　地殻変動による地盤の沈降は考慮していない。

2.3.3　地殻変動量

３月１１日の地震による地殻変動は、国土地理院によると、東海第二発電所周辺においては、東側に約１ｍ程度変動するとともに、約３０ｃｍ程度沈下したとしている。また、日本原子力発電の報告によると、ＧＰＳ測量及び航空レーザー測量による地形解析を実施した結果、敷地全体が東側に約１．２ｍ、下側に約０．２ｍ程度の変動が確認されたとしているが、地盤の傾斜は生じなかったとしている。（図Ⅱ．３－３）

2.3.4　津波による被害の概要

３月１１日の地震に伴う津波により、海水ポンプ室のうち北側非常用海水ポンプ室に海水が浸水し、３台ある非常用ディーゼル発電機用海水ポンプのうち１台が自動停止した。海水ポンプ室については、津波対策として側壁の嵩上げ工事（Ｈ．Ｐ．＋５．８０ｍ（標高＋４．

９１ｍ）までであった側壁の外側にＨ．Ｐ．＋７．００ｍの（標高＋６．１１ｍ）までの側壁を新たに設置）や、壁の貫通部の封止工事を実施してきており、側壁の嵩上げ工事は完了していたが、地震が発生した時点では壁の貫通部の封止工事については北側が実施中の状態であった。今回発生した津波については、遡上高がＨ．Ｐ．＋６．３ｍ（標高＋５．４ｍ）程度であり、Ｈ．Ｐ．＋７．００ｍ（標高＋６．１１ｍ）の側壁は越えていないことから、北側ポンプ室に海水が浸水した原因は、封止工事が実施中であった貫通部を海水が通ったことによるものと考えられる。なお、主要建屋の設置レベルＨ．Ｐ．＋８．８９ｍ（標高＋８．００ｍ）には津波は到達していない。３台設置してある非常用ディーゼル発電用海水ポンプのうち、津波対策工事が終了していた２台については、津波による影響は無かったが、壁の貫通部から浸入した津波によって冠水してしまった１台は自動停止した。しかしながら、２機の非常用ディーゼル発電用海水ポンプが正常に稼働したことにより、原子力発電所は冷温停止に至った。

Ⅲ．３月１１日の地震・津波の文献等における新たな知見

１．当院による新たな科学的・技術的知見等の収集

平成２３年９月２日に、ＪＮＥＳ及び原子力事業者から、これまでの平成２３年東北地方太平洋沖地震に関する耐震安全性評価に係る新たな科学的・技術的知見等の収集結果が報告された。両者の報告内容を当院として精査した結果、新たな知見として以下のものが該当すると考える。

（１）海溝型地震における地震セグメントの連動等

海溝型地震として、従来の想定以上の断層すべり量であったことや、広範囲にわたるアスペリティ及び地震セグメントの連動等により、大きな地震動や津波が生じた。

（２）プレート間地震による津波と海溝軸付近の津波の重畳効果

プレート間地震による長周期の津波と、海溝軸沿いで発生した短周期かつ大振幅の津波との重畳等によって津波波高が高くなった。

（３）大規模な地殻変動で誘発される地震活動

非常に大きな地殻変動により、広域にわたって応力場に影響が及び、正断層型の地震も発生した。

２．地震調査研究推進本部での議論

平成２３年９月３０日、地震調査研究推進本部は、「東北地方太平洋沖地震後の活断層の長期評価について」を発表し、３月１１日の地震とそれ以降

の地殻変動のデータを用いて、全国の主要断層帯への影響を各断層面にかかる力の変化の度合いに基づき評価し、その結果、福島県の双葉断層、神奈川県の三浦半島断層群等の５断層については、地震後に断層面を押しつける力が小さくなり、断層面にかかる摩擦力が弱くなるという影響を大きく受け、地震前と比べると動きやすくなっている可能性があると判明したため、「地震発生確率が高くなっている可能性がある」としている。

また、平成２３年１１月２５日、「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）について」を発表し、当該領域を対象とし、長期的な観点で地震発生の可能性、震源域の形態等について評価してとりまとめている。なお、その中で、この報告は、現時点での知見をとりまとめたものであり、３月１１日の地震については、余震活動や余効活動が続いている上、調査研究も途上にあり、今後この地震の調査観測等により知見が得られた後に「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価」を再度評価することとしている。

３．中央防災会議の動き

３月１１日の地震及び津波を調査分析し、今後の地震・津波対策を検討する「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門委員会」の設置が中央防災会議において決定され、平成２３年５月２８日第１回会合が開催され、議論が進められた。

９月２８日に専門調査会としての報告がまとめられ、その中で、今後の想定地震・津波の考え方として、これを想定するためには、できるだけ過去に遡って地震・津波の発生等をより正確に調査し、古文書等の史料の分析、津波堆積物調査、海岸地形等の調査などの科学的知見に基づく調査を進めることが必要であり、この調査・検討に当たっては、地震活動の長期評価を行っている地震調査研究推進本部地震調査委員会と引き続き十分に連携し実施する必要があるとしている。さらに、この場合、地震の予知が困難であることや長期評価に不確実性のあることも踏まえつつ、考え得る可能性を考慮し、被害が想定よりも大きくなる可能性についても十分に視野に入れて地震・津波を検討する必要があるとしている。

また、津波対策を構築するにあたってのこれからの想定津波高さの考え方が示され、基本的に二つのレベルの津波を想定する必要があるとしている。具体的には、「発生頻度は極めて低いものの、甚大な被害をもたらす最大クラス」「発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波」であり、前者は人命を守るためにソフト面を含めた総合的な津波対策の確立が必要とされ、後者は人命を守るとともに、生活、産業を守るために海岸保

全施設等の整備を進めていく必要がある等としている。

なお、この専門委員会では、原子力発電所のような特別な重要な施設について、必ずしも念頭に置かれて議論されたものではないとしている。

Ⅳ. 地震動に関する評価

1．調査・検討の具体的な進め方

地震動に係る具体的な調査・検討の進め方は以下のとおり。

1.1　東京電力、東北電力及び日本原子力発電に係る地震動に関する評価

①原子力施設の耐震設計に重要な短周期成分を含む強震動を説明する震源モデルとして公開されている釜江・川辺モデル等を用いた強震動シミュレーション解析を実施し、敷地及び周辺観測点の応答スペクトルをおおむね再現できるものであることを確認

②３月１１日の地震等のはぎとり波を推定

③敷地内に複数の地震計を設置している場合には、はぎとり波を比較し、有意な差が確認された場合には、その要因を分析

④はぎとり波と基準地震動Ｓｓの応答スペクトルを比較し、はぎとり波が超過した場合にはその要因を分析

⑤基準地震動Ｓｓの策定に用いた検討用地震とはぎとり波の応答スペクトルを比較し、はぎとり波が超過した場合にはその要因を推定

⑥これらを踏まえ、従来の安全規制で用いている評価手法の見直しが必要か否かの観点から、３月１１日の地震を踏まえた地震動に関する知見を抽出

1.2　湯ノ岳断層に係る評価

湯ノ岳断層のような、従来地震活動がほとんど観測されていなかった場所において、３月１１日の地震により誘発されたと考えられる活断層が出現したことを踏まえ、今後の活断層調査・評価における留意点を抽出

2．福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における評価

2.1　３月１１日の地震における地震動の観測記録

東京電力は、３月１１日の地震の際、福島第一原子力発電所では、敷地地盤、各号機の原子炉建屋及びタービン建屋並びに地震観測室の計５３箇所に設置された地震計のうち、２２箇所において正常な観測記録が得られており、福島第二原子力発電所では同様に計４３箇所に設置された地震計のうち、３２箇所において正常な観測記録が得られていたとしている。

３月１１日の地震時に観測された各号機の原子炉建屋基礎版上における最大加速度と耐震安全性評価において策定した基準地震動Ｓｓの最大応答加速度を表Ⅳ．１－１に示す。福島第一原子力発電所２号機、３号機及び５号機のＥＷ方向で基準地震動Ｓｓの最大応答加速度を上回っていた。また、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の原子炉建屋基礎版上における観測記録の応答スペクトルは、基準地震動Ｓｓの基礎版上の応答スペクトルをおおむね下回る結果が得られているが、一部の周期帯において、基準地震動Ｓｓを超過していたとしている。（図Ⅳ．１－１、図Ⅳ．１－２）

2.2　３月１１日の地震の強震動シミュレーション解析結果と観測記録の比較

３月１１日の地震については、これまでにＧＰＳ測量記録、津波観測記録、強震観測記録、遠地地震観測記録を用いた種々の震源モデルが提案されている。東京電力は、これらのうち、原子力施設の耐震設計に重要な短周期成分を含む強震動を説明する震源モデルとして公開されている釜江・川辺（２０１１）（以下「釜江・川辺モデル」という。）及び入倉・倉橋（２０１１）（以下「入倉・倉橋モデル」という。）を用いた強震動シミュレーション解析結果から３月１１日の地震の震源特性を把握していることを確認したとしている。（図Ⅳ．１－３、表Ⅳ．１－２、図Ⅳ．１－４、表Ⅳ．１－３）

両モデルのシミュレーション解析は、地震の観測記録が発電所で得られていることから敷地の地下構造による増幅特性が反映された要素地震波を用いた経験的グリーン関数法により行われ、解析の結果、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所については、敷地及び周辺観測点の応答スペクトルをおおむね再現したものであることを確認したとしている。（図Ⅳ．１－５－１、図Ⅳ．１－５－２）

釜江・川辺モデル及び入倉・倉橋モデルが、３月１１日の地震観測記録をおおむね説明できることから、これらの震源モデルの主要なパラメータと既往のスケーリング則を比較するとともに、基準地震動Ｓｓの策定に当たって考慮している検討用地震のパラメータも加え、地域性を含めた検討を行った。比較するパラメータは、地震調査研究推進本部（２００９）による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」に示されている「強震動予測に直接影響を与える短周期領域における加速度震源スペクトル（以下「短周期レベル」という）Ａ」を対象としている。

釜江・川辺モデル及び入倉・倉橋モデルの各強震動生成域から推定される短周期レベルは、既往のスケーリング則及び検討用地震の震源モデ

ルから算定される短周期レベルと比較して平均的な値よりも大きなものであったが、特異な値でないことを確認したとしている。(図Ⅳ．１－６－１～図Ⅳ．１－７)

2.3　３月１１日の地震のはぎとり波の推定と分析

2.3.1　はぎとり波の推定及び基準地震動Ｓｓとの比較

東京電力は、３月１１日の地震と基準地震動Ｓｓを比較するため、解放基盤表面の深度（福島第一原子力発電所：Ｏ．Ｐ．－１９６ｍ、福島第二原子力発電所：Ｏ．Ｐ．－１６８ｍ）に最も近いＯ．Ｐ．－２００ｍの地中観測点（福島第一原子力発電所自由地盤系北地点（以下「福島第一北地点」という。)、南地点（以下「福島第一南地点」という。）及び福島第二原子力発電所自由地盤系（以下「福島第二地点」という。)）において得られている正常な記録を用いてはぎとり解析を実施している。(図Ⅳ．１－８)

はぎとり波は、福島第一南地点のＥＷ方向で最大加速度は、６７５ガルと推定され、基準地震動Ｓｓによる最大加速度である６００ガルを上回っている。また、解放基盤表面でのはぎとり波の応答スペクトルは、一部の周期帯で基準地震動Ｓｓを上回っている。(図Ⅳ．１－９－１～図Ⅳ．１－１０－２)

福島第二地点のＮＳ方向で最大加速度は、４２７ガルと推定され、基準地震動Ｓｓによる最大加速度である６００ガルを超えていない。また、解放基盤表面でのはぎとり波の応答スペクトルは、一部の周期帯で基準地震動Ｓｓを上回っている。(図Ⅳ．１－１１－１、図Ⅳ．１－１１－２)

東京電力の提出した耐震安全性評価報告書(平成２０年３月３１日)によると、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の基準地震動Ｓｓは、検討用地震の評価結果を包絡する応答スペクトルと加藤ほか（２００４）に基づく「震源を特定せず策定する地震動」による応答スペクトルにより設定され、検討用地震の評価結果に余裕を見込んで策定している。このため、はぎとり波は、一部の周期帯のみで、基準地震動を上回っていただけと考えられる。(図Ⅳ．１－１２)

2.3.2　はぎとり波の「福島第一南地点」、「福島第一北地点」及び「福島第二地点」の比較

東京電力は、３月１１日の地震で得られた原子炉建屋基礎版上での水平方向の最大加速度は福島第一原子力発電所で５５０ガル、福島第

二原子力発電所で２７７ガルと大きく異なることから、その要因を検討するため３地点の地中観測記録のはぎとり波を比較したところ、最大加速度及び応答スペクトルの短周期成分において「福島第一南地点」は大きいが、「福島第一北地点」と「福島第二地点」はおおむね同程度であることを確認したとしている（図Ⅳ．１－１３、図Ⅳ．１－１４）。

また、福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所で観測された過去の地震を比較するため敷地周辺において１９７６年から２０１０年３月までに発生したプレート間地震であって、マグニチュード５．５以上の４０地震について、福島第二原子力発電所に対する福島第一原子力発電所の応答スペクトル比を比較したところ、３月１１日の地震における両発電所の観測記録の差異は、おおむね過去の地震と同程度であることを確認したとしている。（図Ⅳ．１－１５）

福島第一北地点と南地点は、わずか１ｋｍ程度の離隔距離に位置しているが、応答スペクトルを比較すると長周期側のピークの出方が異なっていることが確認され、当院としては、敷地内の増幅特性の相違の有無や地震計の設置状況等について、今後、調査・検討が必要であると考える。

2.3.3　プレート間地震の検討用地震動（仮想塩屋崎沖地震）とはぎとり波の比較

耐震安全性評価報告書においては、１９３８年に塩屋崎沖で発生した３つのプレート間地震の波形記録を用いたインバージョン解析に基づき、プレート間の検討用地震の特性化震源モデルを設定している。また、地震動の不確かさとして、この３つの地震の連動をカスケードモデルで考慮し、マグニチュード７．９の仮想塩屋崎沖地震として評価している。（図Ⅳ．１－１６）

仮想塩屋崎沖地震とはぎとり波の応答スペクトル比は、福島第一南地点では仮想塩屋崎沖地震に対して３倍程度大きく、福島第二地点では、仮想塩屋崎沖地震に対して２．５倍程度大きいことを確認したとしている。（図Ⅳ．１－１７）

また、３月１１日の地震の知見を踏まえ、１９３８年に塩屋崎沖で発生した３つのプレート間地震の連動を、基本震源モデルで考慮し、パラメータはスケーリング則を考慮して設定した震源モデルにより、塩屋崎沖地震の地震動について検討を行っている。不確かさとして福島県沖の地域性を考慮し、短周期レベルを基本震源モデルの１．４倍で設定した場合の地震動評価結果は、短周期側で３月１１日の地震の

地震動レベルとおおむね同程度になることを確認したとしている。(図Ⅳ．１－１８、図Ⅳ．１－１９、図Ⅳ．１－２０)

2.4　福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における評価のまとめ

東京電力は、プレート間の検討用地震の設定においては、震源モデルの各パラメータを、１９３８年塩屋崎沖地震群の震源インバージョン結果に基づき設定するとともに、不確かさとして個々の地震の連動を、カスケードモデルで考慮していた。

また、釜江・川辺モデル及び入倉・倉橋モデルは、実際に取得された３月１１日の地震の観測記録に基づき複数のアスペリティの配置や短周期レベルを設定することで、３月１１日の地震動をおおむね再現できることを確認したとしているが、検討用地震の震源モデルと比較すると、アスペリティーの大きさや位置及びモーメントマグニチュード等は対応していないことが分かったとしている。

これらのことから、当院としては、既往の地震動評価手法では、検討用地震の震源モデルの設定の仕方に限界があり、地震動計算方法自体は適切であることが確認できたものの、既往の地震動評価の考え方では、今回の揺れを想定することは困難な部分もあったと考える。これらは、今後の震源モデルの設定における不確実さの評価に反映すべきものと考える。

具体的には、これまでプレート間地震は、同じ地震規模の地震が今後も繰り返し起きるものと考え、過去数百年間の地震の発生履歴のみから想定が行われ、プレート間地震の地震規模について、十分な不確かさについて考慮していなかった。当院は、今後、プレート間地震について、不確かさとして考慮すべき因子や規模について、調査・検討を継続する。

３．女川原子力発電所における評価

3.1　３月１１日の地震の評価

3.1.1　３月１１日の地震における地震動の観測記録

東北電力は、３月１１日の地震及び４月７日の地震時に、女川原子力発電所では、敷地地盤、各号機の原子炉建屋各階及びタービン建屋、制御建屋等に計７６箇所に地震計を設置し観測を行っており、全ての地震計の観測記録が得られたとしている。

３月１１日の地震時に観測された各号機の原子炉建屋各階における最大加速度と耐震安全性評価において策定した基準地震動Ｓｓに対する最大応答加速度を比較したものを表Ⅳ．２－１に示す。３月１１日の

地震において、女川原子力発電所１号機では、屋上のＵＤ方向、燃料取替床（５階）のＮＳ方向、ＵＤ方向、基礎版上のＮＳ方向、ＥＷ方向が、女川原子力発電所２号機では、屋上のＵＤ方向、燃料取替床（３階）のＮＳ方向、基礎版上のＮＳ方向が、女川原子力発電所３号機では、基礎版上のＮＳ方向が基準地震動Ｓｓに対する最大応答加速度を上回っていた。

敷地地盤の解放基盤相当位置の観測点（Ｏ．Ｐ．－８．６ｍ）の観測記録は、一部の周期帯（周期０．５秒付近）において基準地震動Ｓｓを上回っているが、その他の周期帯ではおおむね基準地震動Ｓｓと同程度以下となっていることを確認した。

（図Ⅳ．２－１、図Ⅳ．２－２）

原子炉建屋の観測記録の応答スペクトルは、基準地震動Ｓｓによる地震応答解析結果を周期帯によって上回る箇所があるものの、おおむね基準地震動Ｓｓと同等以下となっていることを確認したとしている。（図Ⅳ．２－３～図Ⅳ．２－１４）

3.1.2　３月１１日の地震の強震動シミュレーション解析結果と観測記録の比較

３月１１日の地震については、これまでにＧＰＳ記録、津波観測記録、強震動観測記録、遠地地震観測記録を用いた種々の震源モデルが提案されている。東北電力は、これらのモデルのうち、原子力施設の耐震設計に重要な短周期成分を含む強震動を説明する震源モデルとして公開されている釜江・川辺モデル及び入倉・倉橋モデルを用いた強震動シミュレーション解析結果と観測記録との比較により再現性を検討している。（図Ⅳ．２－１５－１～図Ⅳ．２－１５－３、図Ⅳ．２－１６）

○釜江・川辺モデルを用いたシミュレーション解析結果

釜江らは、太平洋沿岸部における防災科学技術研究所の観測記録を用いて、強震動生成域のモデル化を行った結果、宮城県沖、岩手県南部沖、福島県沖、茨城県沖等の５箇所に強震動生成域を配置し、岩手県沿岸から茨城県沿岸にかけての観測点における特徴的な観測波形がほぼ再現できたことを確認したとしている。（図Ⅳ．２－１７～図Ⅳ．２－１９）

○入倉・倉橋モデルを用いたシミュレーション解析結果

入倉らは、防災科学技術研究所の観測記録を用いて、強震動生成域のモデル化を行った結果、三陸沖南部、三陸沖中部、宮城県沖、福島

県沖、茨城県沖に強震動生成域を配置し、合成された波形は、観測波形と良く一致していることを確認としたしている。(図Ⅳ．２－２０、図Ⅳ．２－２１)

各発電所におけるシミュレーション解析は、グリーン関数として用いた地震の観測記録が各発電所で得られていることから、経験的グリーン関数法により行われているが、女川原子力発電所については、宮城県沖に設定されている強震動生成域の影響が大きいことから、近傍の２つの強震動生成域のみ考慮したモデルにより解析を行っている。

釜江・川辺モデル及び入倉・倉橋モデルを用いた解析の結果、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所及び東海第二発電所については、発電所及び周辺観測点の応答スペクトルをおおむね再現したものであることが確認されたが、女川原子力発電所については、発電所及び周辺観測点の応答スペクトルは、観測記録よりもやや過小となっている。特にＮＳ方向の周期０．５秒付近が過小となっていることから、更に検討を進めることとしている。(図Ⅳ．２－２２)

○浅野・岩田モデルを用いたシミュレーション解析結果

過小評価となっているＮＳ方向の周期０．５秒付近の卓越した成分については、平成１７年８月１６日に発生した宮城県沖の地震(Ｍ７．２)(以下「Ｈ１７宮城県沖地震」という。)でも同様の傾向が見られることから、検討にあたり要素地震は、Ｈ１７宮城県沖地震を採用することとし、断層モデルについては、Ｈ１７宮城県沖地震の断層モデル（Suzuki and Iwata(2007)）で示されている強震動生成域が位置的に整合している浅野・岩田モデル（２０１１）を採用することとして検討を進め、解析条件を以下のとおり設定し、解析を行っている。(図Ⅳ．２－２３－１、図Ⅳ．２－２３－２)

・浅野・岩田モデルのうち宮城県沖の強震動生成域１、２を用いる。
・平成１７年宮城県沖地震の観測記録のうち卓越する前半部を補正し用いることとし、補正は、西條・司ほか（２０１０）の手法による。
・要素地震の精度を考慮し、解析対象を０．４Ｈｚ以下とする。
・それぞれのＯ．Ｐ．－８．６ｍにおける観測記録を比較する。

シミュレーション解析の結果、要素地震の観測記録波形の前半部を用いていること等により、３月１１日の地震における観測記録に比べ、継続時間が短くなっているが、最大加速度はおおむね整合しており、応答スペクトルについても、シミュレーション解析結果の方が、観測記録と比較し、やや大きいものの全体的傾向を捉えている。ＮＳ方向の周期０．５秒付近の傾向についても、他モデルと比較して再現性は

良いことを確認したとしている。

当院としては、これら東北電力によるシミュレーション解析に、要素地震としてＨ１７年宮城沖地震を用いることの妥当性について、引き続き調査・検討が必要と考える。

3.1.3　３月１１日の地震のはぎとり波の推定と分析

3.1.3.1　はぎとり波の推定及び基準地震動Ｓｓとの比較

東北電力は、既往検討による大振幅時の地盤モデル（平成１５年５月２６日宮城県沖の地震や平成１７年８月１６日宮城県沖の地震のはぎとり解析に策定した地盤モデル）の有効性を確認するため、３月１１日の地震の観測記録による伝達関数（水平、鉛直）と、既往検討による地盤モデルによる伝達関数を比較し、変化があるかどうかについて確認している。その結果、水平動については、既往地盤モデルの伝達関数よりも低周波側にシフトしており、表層部分での非線形化が見られることから、地層の層厚、減衰、表層のＳ波速度を最適化の対象として、非線形化を許容するような最適化解析を実施し、表層地盤のＳ波速度及び減衰定数を最適化した地盤モデルを用いて、解放基盤表面における地震動（以下「はぎとり波」という。）を推定している。鉛直動については、既往検討の地盤モデルによる伝達関数と３月１１日の地震の観測記録による伝達関数の比較においても系統的に大きなずれがなく、おおむね対応していることから、既往検討の地盤モデルを用いて、はぎとり波を推定している。（図Ⅳ．２－２４～図Ⅳ．２－３０）

この最適化した地盤モデルを用いて、解放基盤表面（Ｏ．Ｐ．－１４．１ｍ）に最も近いＯ．Ｐ．－８．６ｍの地震観測記録からはぎとり波を推定した結果、３月１１日の地震時の最大加速度は、ＥＷ方向で６３６ガルと推定され、基準地震動Ｓｓによる最大加速度である５８０ガルを上回ることを確認したとしている。

また、はぎとり波による応答スペクトルは、基準地震動Ｓｓによる応答スペクトルと比較し、一部の周期帯で上回っているとしている。（図Ⅳ．２－３１、図Ⅳ．２－３２）

3.1.3.2　プレート間地震の検討用地震（連動型想定宮城県沖地震）とはぎとり波の比較

女川原子力発電所における検討用地震のうち、３月１１日の地震と同じプレート間地震として考慮している地震は、連動型想定宮城県沖

地震（Ｍｗ８．２）を設定している。この連動型想定宮城県沖地震の地震動（統計的グリーン関数法）と、３月１１日の地震のはぎとり波を比較した結果、おおむね整合しているが、ＮＳ方向の周期０．５秒付近については、連動型想定宮城県沖地震の地震動が小さい傾向にあることを確認したとしている。

東北電力は、連動型宮城県沖地震と３月１１日の地震時の断層モデル（浅野・岩田モデル）の比較を行った結果、アスペリティの位置や大きさに違いはあるものの、おおむね同じような位置に設定されており、短周期レベルもほぼ同じであるとしている。

3.2　４月７日の地震の評価

3.2.1　４月７日の地震における地震動の観測記録

４月７日の地震時に観測された各号機の原子炉建屋各階における最大加速度と耐震安全性評価において策定した基準地震動Ｓｓに対する最大応答加速度を比較したものを表Ⅳ．２－２に示す。４月７日の地震において、女川原子力発電所２号機では屋上のＵＤ方向、燃料取替床（３階）のＵＤ方向、女川原子力発電所３号機では燃料取替床（３階）のＵＤ方向の観測された最大加速度が基準地震動Ｓｓに対する最大応答加速度を上回っている。

敷地地盤の解放基盤相当位置の地中観測点（Ｏ．Ｐ．－８．６ｍ）の観測記録の応答スペクトルは、一部の周期帯（周期０．０４～０．０５秒付近）において基準地震動Ｓｓの応答スペクトルを上回っているが、その他の周期帯ではおおむね基準地震動Ｓｓのものと同程度以下となっていることを確認したとしている。（図Ⅳ．２－１、図Ⅳ．２－３、図Ⅳ．２－７、図Ⅳ．２－１１、図Ⅳ．２－３３）

原子炉建屋の観測記録の応答スペクトルは、基準地震動Ｓｓによる地震応答解析結果による応答スペクトルを周期帯によって上回る箇所があるものの、おおむね基準地震動Ｓｓのものと同等以下となっていることを確認したとしている。（図Ⅳ．２－３４～図Ⅳ．２－３６、図Ⅳ．２－３７～図Ⅳ．２－３９、図Ⅳ．２－４０～図Ⅳ．２－４２）

3.2.2　４月７日の地震の強震動シミュレーション解析結果と観測記録の比較

４月７日の地震についてもＧＰＳ記録、津波観測記録、強震動観測記録、遠地地震観測記録を用いた種々の震源モデルが提案されている。東北電力は、４月７日の地震について基準地震動Ｓｓを超える観測記

録が得られていることから、これらのモデルのうち、原子力施設の耐震設計に重要な短周期成分を含む強震動を説明する震源モデルとして、原田・釜江（２０１１）（以下「原田・釜江モデル」という。）が初期モデルとして提案されており、この原田・釜江モデルを用いた強震動シミュレーション解析結果と観測記録との比較により再現性を検討している。

原田らは、防災科学技術研究所の観測記録を用いて、強震動生成域のモデル化を行った結果、４月７日の地震の震源の北側と南側２箇所に強震動生成域を配置し、バイラテラルな破壊過程を考えることにより、震源の北側の観測点で見られる指向性パルスや継続時間が再現できていることを確認したとしている。（図Ⅳ．２－４３－１、図Ⅳ．２．４３－２）

当院としては、原田・釜江モデルを用いたシミュレーション解析の結果が、女川原子力発電所及び周辺観測点の観測記録の応答スペクトルをおおむね再現したものであることを確認した。この評価にあたっては、原田・釜江モデルの強震動生成域から推定される短周期レベルは、既往のスケーリング則及び検討用地震の震源モデルから算定される短周期レベルと比較して平均的な値よりも大きなものであったが、特異な値でないことを確認している。（図Ⅳ．２－４４－１～図Ⅳ．２－４６）

今後、短周期成分（０．１秒より短周期側）を含め応答スペクトルとの適合性の向上を図る等の調査・検討を継続する。

3.2.3　４月７日の地震のはぎとり波の推定と分析

3.2.3.1　はぎとり波の推定及び基準地震動Ｓｓとの比較

３月１１日の地震時のはぎとり波推定と同様に、東北電力は、４月７日の地震の推定に当たっても、地盤モデルの有効性を確認するため、４月７日の地震時に観測記録による伝達関数（水平、鉛直）と３月１１日の地震時のはぎとり波を推定する際に用いた最適化した地盤モデルによる伝達関数を比較し、変化があるかどうか確認している。その結果、水平動、鉛直動いずれも系統的に大きなずれがなく、おおむね対応していることから、３月１１日の地震を踏まえて最適化した地盤モデルを用いてはぎとり波を推定している。（図Ⅳ．２－４７－１、図Ⅳ．２－４７－２）

この最適化された地盤モデルを用いて解放基盤表面の深度（Ｏ．Ｐ．－１４．１ｍ）に最も近いＯ．Ｐ．－８．６ｍの観測記録か

らはぎとり波を推定した結果、４月７日の地震時の最大加速度は、ＥＷ方向で５５４ガルと推定され、基準地震動Ｓｓによる最大加速度である５８０ガルを超えていないことを確認したとしている。

しかしながら、はぎとり波による応答スペクトルは、一部の周期帯で基準地震動Ｓｓを上回っているとしている（図Ⅳ．２－４８、図Ⅳ．２－４９）。

3.2.3.2　プレート内地震の検討用地震（平成１５年５月２６日宮城県沖の地震）とはぎとり波の比較

女川原子力発電所における検討用地震のうち、４月７日の地震と同じプレート内地震として考慮している地震は、平成１５年５月２６日宮城県沖の地震（Ｍ７．１）が東北地方で発生したプレート内地震として最大規模であったことから、この地震動シミュレーションモデルを女川原子力発電所の敷地下方に想定したものを設定している。（図Ⅳ．２－５０）

東北電力は、この検討用地震（プレート内地震）と４月７日の地震は、地震の諸元（規模、震源距離等）はほぼ同等であるものの、地震動は有意に４月７日の地震が大きかったことを確認したとしている。（図Ⅳ．２－５１）

また、検討用地震のベースとなった平成１５年５月２６日宮城県沖の地震と、４月７日の地震それぞれで、各地で得られた観測記録の大きさを耐専スペクトルとの残差で評価した場合、４月７日の地震が約２倍大きいことを確認したとしている（図Ⅳ．２－５２）。

平成１５年５月２６日宮城県沖の地震と、４月７日の地震の短周期レベルの違いは、地震規模の違いを考慮して算定した場合、４月７日の地震が約１．２倍程度大きかったことを確認したとしている。（図Ⅳ．２－５３）

平成１５年５月２６日宮城県沖の地震の断層モデルでは、破壊開始点が太平洋プレートの地殻とマントルの境界付近から始まり、破壊が主に下方のマントルに広がっていったと考えられているのに対し、４月７日の地震の断層モデル（原田・釜江モデル）では、断層の傾斜方向が陸側に向かってくる方向となっていること、かつ、破壊方向が女川原子力発電所の方向に向いていることから、地震波の振幅が大きくなる効果（以下「ディレクティビティー効果」という。）があったとしている。また、破壊開始が太平洋プレ

ートのマントル内で始まり、上部と下部のマントルに広がっていたと考えられるとしている。(図Ⅳ．２－５４)

3.3　女川原子力発電所における評価のまとめ

当院としては、３月１１日の地震について、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の評価手法に関する対応と同様に、プレート間地震の不確かさとして考慮すべき因子や規模について調査・検討を継続する。

また、今後発生するプレート内地震が４月７日の地震を超える規模の地震が発生する可能性が否定できないため、Ｍ７．５クラスを考慮するか、あるいは既往最大のプレート内地震である釧路沖の地震（Ｍ７．９）を考慮することについて、調査・検討を継続する。

さらに、プレート内地震を考慮した地震動を想定する場合には、ディレクティビティ効果を考慮した不確かさ、例えば、敷地からプレート境界に垂線を降ろした場所に断層面を設定する等、プレート内地震についての不確かさについて調査・検討を継続する。

４．東海第二発電所における評価

4.1　３月１１日の地震における地震動の観測記録

日本原子力発電は、３月１１日の地震時に、東海第二発電所では、敷地内の地盤系４箇所、原子炉建屋内８箇所、タービン建屋内１箇所、使用済燃料乾式貯蔵建屋内２箇所、復水貯蔵タンク基礎１箇所の計１６箇所に地震計を設置し、観測が行われたとしている。(図Ⅳ．３－１、表Ⅳ．３－１、図Ⅳ．３－２)

３月１１日の地震時に観測された地盤系の最大加速度を表Ⅳ．３－２に、原子炉建屋内で観測された最大応答加速度、当初の工事計画に基づいて原子炉建屋の弾性設計用に設定された地震動（以下「当初の弾性設計用地震動」という。）による最大応答加速度及び耐震安全性評価で策定された基準地震動Ｓｓによる最大応答加速度を比較して表Ⅳ．３－３に示す。

原子炉建屋で観測された最大応答加速度は、いずれの階においても、当初の弾性設計用地震動による最大応答加速度及び耐震安全性評価で策定された基準地震動Ｓｓによる最大応答加速度値を下回っている。また、観測記録の応答スペクトルは、地下２階～６階において０．３秒より短周期側の一部で基準地震動Ｓｓによる応答スペクトルを上回っている箇所が見られたが、当初の弾性設計用地震動による応答スペクトルをお

おむね下回っているとしている。(図Ⅳ．３－３)

4.2　３月１１日の地震の強震動シミュレーション解析結果と観測記録の比較

３．１１地震については、これまでにＧＰＳ測量記録、津波観測記録、強震観測記録、遠地地震観測記録を用いた種々の震源モデルが提案されている。日本原子力発電は、東京電力同様に、原子力施設の耐震設計に重要な短周期成分を含む強震動を説明する震源モデルとして公開されている釜江・川辺モデル及び入倉・倉橋モデルを用いた強震動シミュレーション解析結果から３．１１地震の震源特性を把握していることを確認したとしている。(図Ⅳ．３－４－１～図Ⅳ．３－６)

両モデルのシミュレーション解析は、地震の観測記録が発電所で得られていることから敷地の地下構造による増幅特性が反映された要素地震波を用いた経験的グリーン関数法により行われ、解析の結果、東海第二発電所については、敷地及び周辺観測点の応答スペクトルをおおむね再現したものであることを確認したとしている。(図Ⅳ．３－７～図Ⅳ．３－１０)

4.3　３月１１日の地震におけるはぎとり波の推定と分析

4.3.1　はぎとり波の推定及び基準地震動Ｓｓとの比較

日本原子力発電は、３月１１日の地震により得られた地盤系の観測記録を用いて地盤構造モデルを同定し、解放基盤表面相当のはぎとり波を推定し、基準地震動Ｓｓとの比較を行っている。東海第二発電所の基準地震動Ｓｓは、応答スペクトルに基づく手法によるＳｓ－Ｄと、断層モデルを用いた手法により、プレート間地震である１８９６年鹿島灘の地震をもとに不確かさを考慮して策定したＳｓ－1_{H}①、Ｓｓ－1_{H}②（水平成分）、Ｓｓ－1_{V}（鉛直成分）が設定されている。断層モデルを用いた手法による基準地震動Ｓｓ－１の応答スペクトルは、Ｓｓ－Ｄの応答スペクトルを一部の周期帯（０．１秒～０．３秒）で上回るものとして設定されている。

地盤構造モデルの同定解析に当たっては、従来の中小地震により得られた最適地盤モデルの物性値を見直し、３月１１日の地震による応答の再現性の高い地盤モデルを作成して、はぎとり解析を実施している。

はぎとり解析によって求まった解放基盤表面相当位置(Ｅ．Ｌ．－３７２m)でのはぎとり波の加速度時刻歴波形を図Ⅳ．４－７に示す。は

ぎとり波の最大応答加速度は、ＮＳ成分５５５ガル、ＥＷ成分４５０ガル、ＵＤ成分３７９ガルとなった。

はぎとり波の応答スペクトルは、一部の周期帯（０．０５秒～０．２秒）で基準地震動Ｓｓ－Ｄの応答スペクトルを上回っているとしている。また、断層モデルによるＳｓ－１による応答スペクトルも上回っているとしている。（図Ⅳ．３－１１、図Ⅳ．３－１２）

4.3.2　プレート間地震の検討用地震（１８９６年鹿島灘の地震）とはぎとり波の比較

耐震安全性評価で策定された基準地震動Ｓｓ－１の設定に当たって検討用地震としたプレート間地震である１８９６年鹿島灘の地震と３月１１日の地震によるはぎとり波と比較した。３月１１日の地震の強震動生成域としてモデル化されている釜江・川辺モデル、入倉・倉橋モデルの南側の強震動生成域は、基準地震動Ｓｓ－１を求めるときに設定した断層モデルの不確かさを考慮したモデルとアスペリティ位置、短周期レベル等とほぼ整合している。また、はぎとり波については、１８９６年鹿島灘の地震に不確かさを考慮したモデルの応答スペクトルを長周期側で上回っているが、短周期側はおおむね同等であることを確認したとしている。（図Ⅳ．３－１３）

4.4　東海第二発電所における評価のまとめ

当院としては、３月１１日の地震について、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の評価手法に関する対応と同様に、プレート間地震の不確かさとして考慮すべき因子や規模について調査・検討を継続する。

また、東海第二発電所における基準地震動Ｓｓ策定における検討用地震の応力降下量の設定にあたっては、地域性を考慮する観点から、１８９６年鹿島灘の地震の基本モデルの設定において、応力降下量を平均的レベルより低く設定していたことが、はぎとり波の応答スペクトルが基準地震動Ｓｓ－Ｄの応答スペクトルを超えた一因であると考えられる。

当院としては、その地域性を考慮した際に、地震動が小さくなるような場合は、十分な検討が必要であると考える。

５．湯ノ岳断層の評価

5.1　既往評価における湯ノ岳断層の取扱い

従来、地震活動のほとんど観測されていなかった場所においても３月

１１日の地震により誘発されたと考えられる地震活動が活発になり、４月１１日に井戸沢断層及び湯ノ岳断層の周辺で地震（Ｍ７．０）が発生した。このうち井戸沢断層は活断層として評価されていた。一方で、湯ノ岳断層は、耐震設計上考慮すべき活断層として評価されていなかったが、地震に伴って断層沿いに地表地震断層（正断層）が出現していることが確認された。

湯ノ岳断層に関する既往評価においては、敷地からの距離（福島第一原子力発電所から南西約５０ｋｍ、福島第二原子力発電所から南西約４０ｋｍ）、断層の長さの観点から敷地への影響が小さいため、「発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き（平成２２年１２月２０日原子力安全委員会了承。以下「審査の手引き」という。）」に基づき、ボーリング調査等の詳細な地質調査は実施せず、①リニアメント延長部を横断する地形面の状況、②断層破砕部の性状に基づいて活動性の評価を行い、後期更新世以降の活動がないと判断していた。（図Ⅳ．４－１）

5.2　応力場の影響

福島県南西部周辺は、３月１１日の地震発生前にも東西伸張の応力場が存在していたことが、国土地理院による過去１０年間における地殻水平歪みデータや今西和俊ほか（産業技術総合研究所：２０１１）により、指摘されている。さらに、平成２３年９月３０日の地震調査研究推進本部が発表した「東北地方太平洋沖地震後の活断層の長期評価について」においても。全国の主要活断層帯の一部でも３月１１日の地震前に比べると動き易くなっているとしている。

これらのことから、今後の活断層の評価にあたっては、３月１１日の地震により誘発される可能性や応力場がどのようになっているか等について、十分な調査・検討が必要である。

5.3　現地調査

詳細な地質調査を行うことにより、事前に活動性の有無が把握できるかどうかという観点から専門家とともに現地調査を行った。

断層が出現した４月１１以降に実施した地質調査結果より、①リニアメントに対応した断層露頭の新鮮な断層面及び破砕部、ボーリングで捉えた断層面のいずれにも軟質粘土が認められること、②リニアメント延長部の複数地点においてM_1面段丘堆積物基底面に累積変位があり、後期更新世以降の活動が認められることから、湯ノ岳断層は耐震設計上考慮すべき活断層であったと判断される。しかしながら、事前に活動性を

適格に把握するには、より詳細な変動地形学的調査を行い、その結果を踏まえた地表地質調査、地球物理学的調査を実施し、断層の活動性をより精緻に評価する必要があったと考えられる。

（図Ⅳ．４－２～図Ⅳ．４－５）

5.4　湯ノ岳断層の評価のまとめ

３月１１日の地震の発生により、従来地震活動のほとんど観測されていなかった場所においても誘発されたと考えられる地震活動が活発になっていることや、今回の湯ノ岳断層の調査結果も踏まえ、活断層に関する詳細調査については、より厳密かつ総合的に行う必要があり、特に以下のような点に注意を払うべきと考える。

①当該地域について、地震観測等により、どのような応力場であるかを把握しておくこと

②審査の手引きには、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査の３つの調査が記載されており、それぞれが独立した視点から行う調査であることを踏まえ、例えば変動地形学的調査により、断層の活動を示唆する結果が得られ、これを他の調査で否定できない場合には、活動性を否定できないこと等を念頭に評価を進めること

③審査の手引きでは、後期更新世の地形面や地層が無い場合は、さらに古い年代の地形面や地層の変形等総合的に検討すると書かれており、これを適切に実施すること

なお、湯ノ岳断層の評価に際して、活断層では無いとの判断のひとつとして例えば断層内物質の固結状況等があったが、これらについては更なる分析・評価を行い、今後、詳細調査の項目や内容を精査・再検討を行う必要があると考える。

また、大規模な地殻変動によって、東日本の各地で地震活動が誘発されているとの新たな知見を踏まえると、湯ノ岳断層の調査・検討で得られた成果については、他サイトへの水平展開が必要である。

６．地震動に関する評価のまとめ

（１）平成２３年３月１１日に発生した３月１１日の地震については、余震等も含めて国内外で様々な調査・研究が行われている。現段階において、地震動に関する新たな知見として、海溝型地震について、想定以上の地震セグメントの連動等により、継続時間の長い大規模なすべり量となり、大きな地震動や津波が生じたこと等が挙げられる。強震動生成域の大きさや位置の設定などに問題があり、既往の地震動評価手

法で３月１１日の地震の揺れを事前に想定することは難しい部分があったと考えられる。今後、プレート間地震及びプレート内地震に係る基準地震動の設定方法や不確かさの考慮に関する考え方について、各方面の研究動向を注視しつつ、３月１１日の地震の規模（Ｍ９．０）を踏まえた検討を行うこととする。

なお、当院は、平成２３年１１月１１日に海溝型地震による地震動が支配的なサイト（東北電力東通原子力発電所、中部電力株式会社浜岡原子力発電所）に対し、３月１１日の地震の知見を踏まえた適切な地震動評価を行うよう指示した（３月１１日の地震の影響を受けた福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所及び女川原子力発電所並びに東海第二発電所については、「本調査・検討」の中で評価を行っている。）。

（２）今回、学会等で示された各種断層モデルによると、断層すべり量やアスペリティーの面積等を大きくすることによって、３月１１日の地震等のおおむね再現性を確認。これらは、今後の地震動評価を実施する上で、不確かさとして考慮すべき因子や規模と考えられる。不確かさの考慮にあたっては、大規模な地震が起きたことを踏まえ、考慮すべき因子や規模について、最大限のものを検討するとともに、ディレクティビティー効果（地震波の震幅が方位によって大きくなる効果）を考慮することが必要であり、これらを踏まえた評価を行うべきであり、当院として調査・検討を継続する。

（３）また、地震動に関する新たな知見として、３月１１日の地震に伴う非常に大きな地殻変動により、広域にわたって応力場に影響が及び、これまで活動性が低い断層の活動が誘発されたことが明らかになった。この知見とともに、地震調査研究推進本部でも所謂５ｋｍルールによらず、地形及び地質構造の形成過程（以下「テクトニクス」という。）の観点から連動を考慮していく方向性を示していること※1等を踏まえると、内陸地殻内地震については、これまで離隔距離が約５ｋｍを超える断層等その連動性を否定していたものに関し、テクトニクス、応力の状況等を詳細に調査し、不確かさの評価も含めて、連動の可能性について検討が必要である。

なお、本件については、平成２４年１月２７日に、当院は各事業者に対し、検討結果を報告するよう指示した。

（４）湯ノ岳断層の評価については、現地調査等による検討を踏まえ、断層の活動性に関する詳細調査に関するいくつかの知見※2が抽出されたが、今後、更なる分析・評価を行い、活断層の認定の仕方及び詳細調

査の項目や内容を精査・再検討を行う必要がある。

※1　平成２２年１１月２５日に地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会は、「活断層の長期評価手法（暫定版）」を同部会の報告書として公表した。同書中には、断層同士が５ｋｍ以上離れていても、地質構造等を評価し、連続性を検討することが記載されている。

なお、地震調査研究推進本部では、当該暫定版を用いて、まず九州地域の地域評価を行っている。

※2　変動地形学的調査、地表地質調査及び地球物理学的調査は、それぞれが独立した視点から行う調査であることを踏まえ、例えば変動地形学的調査により、断層の活動を示唆する結果が得られ、これを他の調査で否定できない場合には、活動性を否定できないこと等を念頭に置いて評価を進めることが重要である。また、後期更新世の地形面や地層が無い場合は、更に古い年代の地形面や地層の変形等総合的に検討することが必要である。

Ⅴ．津波に関する評価

１．調査・検討の具体的な進め方

津波に関する評価に係る具体的な調査・検討の進め方は、以下のとおり。

①東京電力、東北電力及び日本原子力発電は、策定した津波波源モデルを用い、３月１１日の地震で発生した津波による津波波形、浸水範囲、敷地内の痕跡高等について、その再現性を確認、

②当院は、独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「ＪＮＥＳ」という。）が行った各社の再現計算の妥当性についてのクロスチェック結果を確認、

③これらを踏まえ、３月１１日の地震を踏まえた津波に関する知見を抽出

２．福島第一及び第二原子力発電所における今回の津波の評価

2.1　波源モデルの策定と再現計算

東京電力は、北海道から千葉県にかけて広域の観測記録等が平均的に一致する津波波源モデル（以下「広域再現モデル」という。）と発電所周辺の観測記録等がよく一致する津波波源モデル（以下「発電所再現モデル」という。）に分けて、津波の痕跡高や検潮記録について再現性を検討している。（図Ⅴ．１－１）

当院は、広域再現モデルの再現性は、以下に示す①痕跡高、②検潮

記録及び③地殻変動量並びに④浸水域のとおり良好であることを確認した。

①痕跡高については、全痕跡高データ２，８２０点に対して再現性の評価指標がＫ＝１．０４、κ＝１．４０であり、土木学会による再現性の目安０．９５＜Ｋ＜１．０５、κ＜１．４５を満たしていること。

②検潮記録については、気象庁、国土交通省港湾局及び事業者の検潮記録等と広域再現モデルを比較した結果、全体として再現性は良好であること。

③地殻変動量については、国土地理院等による水平変位分布及び鉛直変位分布との比較を行った結果、広域でおおむね再現できていること。

④浸水域については、青森県から千葉県にかけての国土地理院及び事業者による浸水域の評価結果と広域再現モデルの浸水域を比較した結果、各地点の浸水域を網羅的に再現していること。

広域再現モデルによる発電所敷地内の再現性については、福島第一原子力発電所敷地内の痕跡１９点に対してＫ＝１．１５、κ＝１．１１、福島第二原子力発電所敷地内の痕跡７１点に対してＫ＝０．９８、κ＝１．１９であり、福島第二原子力発電所についての再現性は良好であるが、福島第一原子力発電所は解析値が痕跡高よりやや小さいことを確認したとしている。

また、東海第二発電所においては、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所と同じ広域再現モデルを用いて検討しており、東海第二発電所敷地内の痕跡１９点に対してＫ＝１．２６、κ＝１．０９であり、福島第一原子力発電所と同様、解析値が痕跡高よりやや小さいことを確認したとしている。

このため、発電所再現モデルとして、広域再現モデルのすべり量を福島第一原子力発電所では１．２３倍、東海第二発電所では１．３倍して検討を行っており、発電所再現モデルの再現性は、福島第一原子力発電所敷地内ではＫ＝１．００、κ＝１．０９、東海第二発電所敷地内ではＫ＝１．０８、κ＝１．０８となっており再現性は良好であることを確認したとしている。

発電所再現モデルは、発電所における建屋への浸水状況の分析を行うため、発電所の痕跡高の再現性が良いモデルを求めることを目標としたものであり、広域データの再現性は、広域再現モデルより低下しているが、発電所の痕跡高は良好に再現しており、当院としては、そ

の目的は達成していると考える。
（図Ⅴ．１－２～図Ⅴ．１－５）

2.2　福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の津波の差異に係る分析

福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所の距離は約１０ｋｍであるが、津波シミュレーション解析による津波の高さは、福島第一原子力発電所で約１３．１ｍ、福島第二原子力発電所で約９．１ｍであるとしており、津波の高さの差異に係る分析を行っている。

海底地形の影響については、敷地前面海域における等高線の間隔は比較的一定であることから、海底地形の違いにより両発電所間で津波高さが大きく変化することはないとしている。（図Ⅴ．１－６）

浅海域における増幅特性の影響については、水深１５０ｍ地点の沖合から沿岸にかけて津波の高さは２倍に増幅するが、両発電所の増幅率にほとんど差がないことから、沖合（水深１５０ｍ地点）において両発電所の津波の差異が形成されていたものとしている。（図Ⅴ．１－７）

波源から来る津波特性の影響を評価するため、広域再現モデルの解析結果において、両発電所沖合（水深１５０ｍ地点）の津波高さのピークに寄与が大きい６つのブロックを抽出し、各ブロックから発生する津波波形では、波形そのものの相違の他に、ピークの重なり度合いの違いが認められるとしている。（図Ⅴ．１－８、図Ⅴ．１－９）

両発電所の津波の差異は、沖合から沿岸にかけての増幅の度合いに相違が認められなかったことから、宮城県沖及び福島県沖に想定されるすべり量の大きい領域から発生した津波のピークの重なり度合いの強弱が主な原因と考えられるとしている。

また、抽出したこのブロックをプレートの浅いところが波源となる津波地震タイプとプレートの深いところが波源となるプレート間深部タイプに分けて比較すると、以下のような傾向にあることを確認したとしている。

・両発電所に対する伝播状況について、津波地震タイプでは顕著な違いがないのに対し、プレート間深部タイプでは福島第一原子力発電所に先行して到達すること。
・津波地震タイプの方がプレート間深部タイプより水位変動量が大きいこと。
・福島第一原子力発電所の方が、両タイプの波のピークの重なり度合い

が強いこと。

・両タイプの波のピーク時刻の重なりには、まだ時間差があることから、仮にピークが一致すれば、更に水位変動量が評価上大きくなる可能性のあること。

2.3　浸水経路及び浸水による影響

福島第一原子力発電所では、O．P．＋１０m（１～４号機）及びO．P．＋１３m（５、６号機）の敷地にある主要建屋の周辺では、ほぼ全域が津波の遡上を受け浸水した。

福島第二原子力発電所では、O．P．＋４mの敷地東側（海側）やO．P．＋１２mの敷地南側の主要建屋の周辺で浸水した。両発電所とも、浸水によって、主要建屋の地上の開口（建屋の出入口や機器搬入口（ハッチ）、給排気口（ルーバ））や、敷地の地下に埋設されたトレンチやダクトに接続する開口（ケーブルや配管の貫通口）の一部が建屋内への浸水経路になったと考えられるとしている。

2.4　津波波力の検討

津波波力の推定には、既存の波圧分布式Asakura et. al. (2002)を適用し、水平波圧指標（遡上水深に相当する静水圧に対する倍率）αを波の入射方向を考慮したフルード数Ｆｒの関数「α＝１．２Ｆｒ＋１．０（０．１≦Ｆｒ≦１．６）」として求め、波力によって建屋外壁に作用する曲げモーメントＭｄを算出している。Asakura et. al. (2002)では、αの最大値は、３を提案している。評価対象箇所は、海側に面する福島第一原子力発電所のタービン建屋東面及び福島第二原子力発電所の海水熱交換機建屋東面を選定し、その外壁の耐力Ｍｕを算出している。

これらの曲げモーメントＭｄと耐力Ｍｕを比較すると、一部の箇所においてＭｄがＭｕを上回っているが、外壁には津波によるひび割れ等の損傷は、現在までのところ確認されていないことから、実際には、津波による波力は、建屋外壁の耐力を上回ることはなかったと考えられる。（図Ⅴ．１－１０）

３．東海第二発電所における今回の津波の評価

3.1　波源モデルの策定と再現計算

日本原子力発電による広域の再現計算については、2.1 で記述したとおり、福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所と同じ広域再現モデルを用いて検討しており、解析値が痕跡高よりやや小さいとしてい

る。また、東海第二発電所敷地内及びその周辺の観測記録等がよく一致する発電所再現モデルは、2.1 で記述したとおり、広域再現モデルのすべり量を１．３倍して検討し、再現性は良好であるとしている。

発電所再現モデルによる計算結果を見ると、海水ポンプ室周辺の津波高さは、最大H．P．＋６．２４ｍであり、ポンプ室の壁（H．P．＋７．０ｍ）を超えておらず、痕跡調査結果とも整合している。また、取水口前面での最低水位はH．P．－４．３４ｍであり、取水可能レベル（H．P．－４．５３ｍ）を上回っており、取水機能に影響を及ぼしていないことも確認したとしている。（図Ⅴ．２－１）

3.2　浸水経路及び浸水による影響

発電所再現モデルによる計算結果では、地震発生後４９分２０秒後に敷地内の海水ポンプ室南側に津波が到達し、その２０秒後にポンプ室北側に、その後北側・南側から中央部に回り込んでいる状況を確認したとしている。

計算結果を見ると、海水ポンプ室周辺の津波高さはポンプ室の壁を超えていなかったにも関わらず、実際には、北側の非常用ポンプエリアに海水が浸水していたが、これは封止工事中での貫通部から海水が浸入したことによるものとしている。

４．女川原子力発電所における今回の津波の評価

4.1　波源モデルの策定と再現計算

東北電力は、津波の再現計算に当たり、女川原子力発電所周辺における津波の再現性を重視し、女川原子力発電所に設置されている潮位計で観測された津波波形と地盤変動量の整合性との確認結果から、独立行政法人建築研究所で公開されている藤井・佐竹（２０１１）の４０枚断層モデルを津波波源モデルのベースとして選定し、試行錯誤的に小断層のすべり量を調整し、更に再現性を高める方法で、波源モデルを作成している。（図Ⅴ．３－１）

モデルの規模は、Ｍｗ８．９４であり、最大すべり量を２０ｍとしている。すべり量については、独立行政法人防災科学技術研究所が公開している地震波インバージョンによるすべり量分布や、海上保安庁が公開している海底変位を参照している。（図Ⅴ．３－２、図Ⅴ．３－３）

当院は、当該波源モデルの再現性について、前述のとおり、女川原子力発電所における再現性を重視して作成されているものの、以下に示す①痕跡高、②検潮記録、③浸水域、④時刻歴波形のとおり、発電所にお

ける浸水状況の分析に用いる事について問題は無いと考えられるが、広域の再現性については、東京電力及び日本原子力発電が共同で策定した津波波源モデルよりも再現性は低いと考える。

①痕跡高については、女川原子力発電所近傍の津波痕跡高１４点と波源モデルによる計算結果を比較した結果、再現性の評価指標Ｋ＝１．００、κ＝１．０４であり、土木学会による再現性の目安０．９５＜Ｋ＜１．０５、κ＜１．４５を満たしていること。（図Ｖ．３－４）

また、女川原子力発電所周辺の津波痕跡高１２３点と計算結果を比較した結果、再現性の評価指標Ｋ＝１．１５、κ＝１．２４であり、おおむね再現できていること。（図Ｖ．３－５）

北海道太平洋北部沿岸から千葉県房総半島沿岸の痕跡高データ２，８２０点と計算結果を比較した結果、再現性の目安Ｋ＝１．２８、κ＝１．４９であり、再現性の目安は満たしていないものの、痕跡高さの傾向をおおむね再現していること。（図Ｖ．３－６）

②検潮記録については、北海道太平洋北部沿岸から千葉県房総半島南部沿岸の気象庁等検潮所で観測された検潮記録と再現解析による各位置の時刻歴波形を比較した結果、若干の位相のずれ、最高・最低水位の差が見られるものの、全体としては再現性は良好であり、広域の波形を網羅的に再現していること。

③浸水域については、女川原子力発電所敷地内の現地調査から確認された浸水域と再現計算による敷地内の浸水域が整合的で良好な再現性であること。また、国土地理院による浸水域の評価結果と波源モデルによる浸水域を比較した結果、各地点の浸水域を網羅的に再現していること。（図Ｖ．３－７、図Ｖ．３－８）

④時刻歴波形については、潮位計で得られた観測記録の位相、最高水位を良好に再現していること。（図Ｖ．３－９）

4.2　浸水経路及び浸水による影響

女川原子力発電所において、２号機の海水ポンプ室に設置した循環水ポンプ自動停止用水位計の止水処理が不十分であったため、取水路より海水が循環水ポンプ自動停止用水位計を経由して流入し、女川原子力発電所２号機原子炉建屋地下３階の原子炉補機冷却水系熱交換器室等（非管理区域）に配管トレンチの貫通部から海水が流入したとしている。

５．独立行政法人原子力安全基盤機構によるクロスチェック

ＪＮＥＳは、当院の指示に基づき、東京電力、日本原子力発電及び東北電

力が実施した、3月１１日の地震により発生した津波の再現計算結果等に係るクロスチェックを実施している。

5.1　東北地方太平洋沖地震・津波の特徴の分析

ＪＮＥＳは、津波の再現計算結果を検証する前段階として、3月１１日の地震の特徴について、各機関における観測データから以下のように分析し、津波の再現計算等に係るクロスチェックに考慮している。

①巨大な地震規模（Ｍｗ９．０）であったことや、複数震源域が空間的に連動したことに加え、独立行政法人防災科学技術研究所において観測地震動の記録を分析し、複数の震源域がわずかな時間差で連動した可能性が指摘されていることから、地震の時間差発生の傾向を考慮すること

②岩手南部沖で観測されている津波波形では長周期の波形と急激に上昇する短周期の波形が重なっていることから、異なる性質の波の重なりの傾向を考慮すること

③陸域及び海底の測地データ及び長周期地震動から各機関において推定された震源過程から、大きなすべり量が日本海溝付近に集中し、大きな津波を引き起こした可能性が高いとみられることから、日本海溝付近の大きなすべり量分布を考慮すること

としている。（図Ｖ．４－１～図Ｖ．４－４）

5.2　ＪＮＥＳの波源モデルによる広域的再現性

ＪＮＥＳは、4.1 による分析結果を考慮し、４つの原子力発電所（福島第一、福島第二、女川、東海第二）における観測津波波形・痕跡高と、４つの原子力発電所以外の広域で観測された津波波形・痕跡高を１つの波源モデルで再現する前提で検討を実施。（図Ｖ．４－５～図Ｖ．４－８）

観測データの収集・整理を行い、波源モデルの幾何形状の設定、断層破壊開始時間と継続時間を考慮できるようなすべり量分布の時間推移の設定、すべり量の設定、時間差を考慮した波の重なり合いの効果等について解析を行い、４つの原子力発電所及び広域の観測津波波形の再現性が良好な波源モデルを確定したとしている。（図Ｖ．４－９～図Ｖ．４－１１）

ＪＮＥＳは策定した波源モデルを用いた津波計算手法により、広域で観測されている記録の再現性を確認した結果、広域の観測津波波形の第一波の最大波の波形（特に短周期の波形）が良好に再現されていることを確認した。（図Ｖ．４－１２～図Ｖ．４－１５）

また、北海道から千葉県にかけて調査された津波痕跡（遡上高、遡上高）１，２７２点に対する再現性の評価指標 Ｋ＝０．９６、κ＝１．４８が、土木学会による再現性の目安０．９５＜Ｋ＜１．０５、κ＜１．４５を満たしてはいないものの、痕跡高さの傾向はおおむね再現しており、各測地殻変動量の再現性についてもおおむね再現していることを確認した。（図Ⅴ．４－１６、図Ⅴ．４－１７）

5.3 ＪＮＥＳの波源モデルによる津波計算手法の各原子力発電所における観測記録の再現性

ＪＮＥＳは、策定したこの波源モデルを用いた津波計算手法により、４つの原子力発電所における観測記録の再現性について以下のとおり考察した。

5.3.1 福島第一原子力発電所

観測津波波形については、発電所における観測記録が一部しか得られていないが、計算波形では、観測津波波形の第一波の形状、波高を良く再現していることを確認した。

浸水範囲の再現性については、再現計算による浸水範囲は、発電所敷地内における調査結果を良好に再現していることを確認した。

発電所敷地内における津波痕跡１９点に対する再現性の評価指標Ｋ＝１．０３、κ＝１．１３であり、再現計算による津波高は、痕跡高を良好に再現していることを確認した。

（図Ⅴ．４－１８～図Ⅴ．４－２１）

5.3.2 福島第二原子力発電所

浸水範囲の再現性については、再現計算による浸水範囲は、発電所敷地内における調査結果を良好に再現していることを確認した。

また、発電所敷地内における津波痕跡７１点に対する再現性の評価指標はＫ＝０．９８、κ＝１．１２であり、再現計算による津波高は、痕跡高を良好に再現していることを確認した。

（図Ⅴ．４－２２～図Ⅴ．４－２５）

5.3.3 東海第二発電所

観測津波波形の再現性については、観測波形、到達時間、波高を良く再現していることを確認した。

また、浸水範囲の再現性については、再現計算による浸水範囲は、発電所敷地内における調査結果を良好に再現していることを確認する

とともに、発電所敷地内における津波痕跡１３点に対する再現性の評価指標Ｋ＝１．０３、κ＝１．０５であり、再現計算による津波高は、痕跡高を良好に再現していることを確認した。
（図Ⅴ．４－２６～図Ⅴ．４－２９）

5.3.4　女川原子力発電所

観測津波波形の再現性について、計算波形においては引き波が先行している部分については改善の余地があるが、全体の波形をおおむね再現しており、最大波高が良く一致していることを確認した。

また、浸水範囲の再現性について、再現計算による浸水範囲は、発電所敷地内における調査結果を良好に再現していることを確認するとともに、発電所敷地内における津波痕跡１０点に対する再現性の評価指標は、Ｋ＝１．０３、κ＝１．０２であり、再現計算による津波高は、痕跡高を良好に再現していることを確認した。（図Ⅴ．４－３０～図Ⅴ．４－３３）

5.4　各原子力発電所の評価結果の検証

5.4.1　事業者とＪＮＥＳが用いた波源モデルの相違点

東京電力及び日本原子力発電の波源モデルは、広域再現用と発電所再現用で異なっており、発電所それぞれで細かな調整を行った波源モデルを用いている。これに対し、ＪＮＥＳの波源モデルは、広域及び４つの原子力発電所の津波現象を１つの波源モデルで再現している。

また、東京電力、日本原子力発電及び東北電力が策定した波源モデルにおいては、複数の震源域が時間差をもって連動したことや、分岐断層の考慮をしていないが、ＪＮＥＳが策定した波源モデルは、これらを考慮し、観測津波波形の再現性を向上させている。なお、当院は、波源モデル以外の津波計算手法（津波伝播解析や海底地形モデル等）について、再現計算を行うにあたって、ＪＮＥＳと各事業者とで有意な差が無いことを確認した。（図Ⅴ．４－３４）

5.4.2　事業者とＪＮＥＳの評価における観測波形等の再現性

ＪＮＥＳは、東京電力及び日本原子力発電が共同で策定した広域再現モデルによる最大波を示す第一波の波形の再現が、ＪＮＥＳが策定した波源モデルによる解析波形と比較して再現性が十分ではないことを確認した。

また、ＪＮＥＳは、東京電力、日本原子力発電及び東北電力が策定

した４つの原子力発電所の発電所再現モデルによる解析波形について、発電所毎にすべり量等が調整されたものであり、観測波形を良く再現していることを確認した。

さらに、４つの原子力発電所の敷地内の痕跡高・浸水範囲及び津波の侵入ルートの再現性について、解析された結果は、それぞれの発電所敷地内の痕跡高及び浸水範囲及び津波の侵入ルートをよく再現しているとともに、ＪＮＥＳの解析結果とも整合していることを確認した。（図Ⅴ．４－３５～図Ⅴ．４－４０）

5.4.3　事業者とＪＮＥＳにおける津波高増幅特性及び発電所前面海域の海底地形の影響

ＪＮＥＳは、４つの原子力発電所における津波高増幅特性及び発電所前面海域の海底地形の影響について水深と波高の増幅率の関係を示す理論式（グリーンの式）等をもとに検討し、それぞれの発電所における傾向は以下のとおりであることを確認した。

①福島第一原子力発電所及び第二原子力発電所の前面海域の波高増幅は理論式とほぼ一致し、特異な海底地形ではないと考えられる。

②女川原子力発電所については、理論式から外れ、陸上遡上域での波高増幅が小さい、女川原子力発電所は、女川湾の入口付近に立地されており、女川湾の湾奥に比べ津波の勢いがそれる地形効果により波高増幅が抑えられたと考えられる。

③東海第二発電所については、理論式から大きく外れ増幅率が大きくなっているが、理論式では反射を無視していることから、沿岸での反射波の影響があると考えられる。

（図Ⅴ．４－４１～図Ⅴ．４－４３）

5.4.4 クロスチェックのまとめ

当院は、３月１１日の地震により発生した津波に関して、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所、東海第二発電所及び女川原子力発電所それぞれにおいて事業者が実施した津波波形、浸水範囲、敷地内の痕跡高等の再現性について、今回の津波に係る観測記録と比較して良好であること、また、ＪＮＥＳによるクロスチェック結果と整合していることを確認した。

また、ＪＮＥＳによるクロスチェックにおいては、津波水位計算手法のうちの波源モデルについて、事業者は広域と発電所毎で異なったものを策定しているが、ＪＮＥＳによるクロスチェックにおいては、広域及

び４つの原子力発電所の津波現象を地殻変動解析のための波源モデルと津波伝播解析のための地形モデルを組み合わせた一つのモデルで再現している。このことを踏まえると、波源モデルについては、広域的な津波現象も適切に考慮する必要があると考える。

（参考）

津波の波形や水位の予測評価手法は、地殻変動解析のための波源モデルと津波伝播解析のための地形モデルからなる。

６．想定津波高さの考え方

今回の東北地方太平洋沖地震に係る津波については、

①海溝型地震について大きなすべり量や地震セグメントの連動等により、大きな地震動や津波を生じたこと。

②今回の津波は、やや長周期の波と短周期の波が重畳することにより津波が高くなったと考えられること。

などが明らかになっており、これらの知見を踏まえた上で、原子力発電所における津波に対する安全性を確保する取組を行うことは極めて重要である。

今回の事故の原因となった津波による被害は、６月及び９月の国際原子力機関に対する日本国政府の報告書で明らかにしているように、津波の発生頻度や高さの想定が不十分であり、大規模な津波の襲来に対する対応が十分なされていなかったためにもたらされたものである。

今回の再現性の解析結果や新たな知見なども考慮しつつ、想定津波高さの評価の考え方について、当院としては、引き続き検討することが必要であると考える。

７．波力評価の考え方

３月１１日の地震・津波で得られた知見を踏まえ、当院として想定される津波に対する波力評価の考え方について検討した。

福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の主要建屋における津波波力の検討において、建屋外壁に作用した曲げモーメントＭｄと建屋外壁の耐力Ｍｕを比較したところ、Ｍｄ／Ｍｕの値はおおむね１以下の値であること、Asakura et. AL(2002)に基づき、流速に応じて算定した水平波圧指標αの値は、１．１～２．０程度であり、３より小さいことを確認したとしている。このことから、想定する津波高さに対して３倍の静水圧分布を与え、波の入射方向を構造物鉛直方向として設計を

行うことは波力の想定として安全側にたったものと考えられるとしている。ただし、沿岸地形の傾斜状況や護岸の有無等によっては、過小評価になる場合もあることから、適用に際しては個別に評価する必要がある。

（参考）

既往文献において、３倍の静水圧分布を超える津波波圧が作用するケースが報告されている。

池野ら（２００６）では、実験結果を含めてデータを整理・考察した結果、３倍の静水圧分布を超える津波波圧が作用するケースも認められるが、越流量（護岸前面水深と遡上した津波の水深の比）が小さい場合に限定されていることを明らかにした。越流量が小さいため全体波圧としては小さく、個別事象ごとに注意は必要であるものの、構造物設計への影響は小さいものと考える。

国土交通省は、津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針を策定し、３月１１日の地震における実際の構造物の被害状況を踏まえると、津波波力の評価は合理化が可能としている。

具体的には、従来は一律に静水圧の３倍としていたところ、

①堤防や前面の建築物等による軽減効果が見込まれる場合：２．０倍

②①のうち、海岸等からの距離が離れている場合（５００ｍ以遠）：１．５倍

③①、②に該当しない場合：３．０倍

に合理化が可能としている。

８．津波に関する評価のまとめ

①３月１１日の地震により発生した津波に関して、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所、東海第二発電所及び女川原子力発電所それぞれにおいて事業者が実施した津波波形、浸水範囲、敷地内の痕跡高等の再現計算結果は、今回の津波に係る観測記録と良く合っていること、並びに、ＪＮＥＳによるクロスチェック結果と整合していることを確認した。

②想定津波高さの評価の考え方については、今回の再現性の解析結果や新たな知見なども考慮しつつ、具体的な評価手法やその活用方法等について、引き続き調査・検討することが必要である。

③波力評価の考え方について、想定する津波高さに対して３倍の静水圧分布を与え、波の入射方向を構造物鉛直方向として設計を行うことは波力の想定として安全側にたったものと考えられるが、沿岸地形の傾斜状況や護岸の有無等によっては、過小評価になる場合もあることか

ら、適用に際しては個別に評価する必要がある。

④波源モデル以外の津波水位計算手法（津波伝播解析や海底地形モデル等）については、再現計算を行うに当たって、事業者とＪＮＥＳに有意な差がないことが確認できた。このため、当院は、今後、全国の原子力発電所の津波水位評価をクロスチェックにより確認する場合、波源モデル以外の津波水位計算手法については、原則としてＪＮＥＳの方法を用いることとする。

⑤また、特に海溝型地震による津波の影響が支配的なサイトについては、ＪＮＥＳの波源モデルによる時間差を考慮した波の重なり合いの効果を適切に考慮する必要がある。なお、波源モデルについては、広域的な津波現象も再現することが重要であるため、サイトごとに検証する際に、このことを踏まえた調査・検討を行う必要がある。

なお、これらの検討を行うに当たっては、例えば以下の事項が重要であることを留意しつつ進めるものとする。

(a) 古文書等の史料や伝承等について詳細な調査・分析を行い、敷地周辺に襲来した可能性のある津波の年代、規模等について、可能な限り古い時代まで遡って把握すること。

(b) 津波堆積物の調査においては、原則、津波堆積物が残る地形である等の以下の条件が揃っている場所であることを示すこと。

・津波シミュレーション等によって、津波が浸水しやすい場所であること。

・津波堆積物が削剥されない安定した堆積環境であること。

・津波堆積物の供給源である砂等が前面の海岸又は海域に存在すること。

(c) 津波波源から敷地周辺までの海域の地形に関して十分な調査をもとに海底地形図を作成する。この場合、浅い海域の地形は、津波高さへの影響が大きいため、特に詳細な調査を行うこと。

(d) 砂移動の評価を行うための底質（砂の粒径や比重等）に関する資料等関して適切な調査を行うこと。

(e) ３月１１日の地震の余震として、過去に起こった１９３３年の昭和三陸津波地震のように、陸地からの距離が遠く、陸地での揺れは小さいが津波が大きいタイプの地震（アウターライズ地震）の発生の可能性も指摘されており、このような知見も踏まえ、余震に対する対応も適切に行うこと。

また、地震動と津波の重畳による影響については、現在ストレステス

トにおいて、設計を相当程度超える地震動と津波との重畳を評価しているところであるが、今後、安全規制の要求として、設計段階等で重畳のためのどのような条件を課すか検討が必要。

VI. おわりに

当院は、今回の新知見について、今後の耐震バックチェック及び安全審査に反映させるとともに、反映のプロセス等については、透明性の確保を図り、また、これらを継続的に反映していくことによって、原子力施設の耐震安全性に係る信頼性の一層の向上を図る。

丙第164号証

平成２３年東北地方太平洋沖地震による
福島第一及び福島第二原子力発電所の
原子炉建屋等への影響・評価について

～中間取りまとめ～

平成２４年２月１６日

経　済　産　業　省

原子力安全・保安院

Ⅰ．はじめに 1
１．調査・検討の目的 1
２．調査・検討の進め方 2
３．調査・検討の方法 4
Ⅱ．地震による福島第一及び福島第二の影響・評価結果 5
１．影響・評価 5
1.1　検討方針及び検討条件 5
1.2　福島第一１～６号機の影響・評価結果 9
1.3　福島第二１～４号機の影響・評価結果 18
1.4　地震の影響に関する個別指摘事項に係る配管等の影響・評価結果 .. 22
1.5　主要７施設等以外の施設の影響・評価結果 23
1.6　保安院の現地調査 26
1.7　東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会との合同開催（平成２３年１２月９日開催） 27
２．地震観測記録の一部中断による影響 27
2.1　観測記録の一部中断による影響 27
2.2　観測装置の不具合に係る調査及び改修 28
Ⅲ．福島第一の現状の原子炉建屋の耐震安全性の検討 30
1.1　原子炉建屋の状況 30
1.2　現状の損傷状況を踏まえた影響の検討方針及び検討条件 32
1.3　耐震安全性の評価結果 33
Ⅳ．まとめ及び今後の対応 38
１．地震による福島第一及び福島第二の影響・評価と今後の対応 38
２．福島第一の現状の原子炉建屋の耐震安全性 39
別紙１～３０ 40

Ⅰ．はじめに

１．調査・検討の目的

平成２３年３月１１日、東北地方太平洋沖地震（以下「今回の地震」という。）が発生した。東京電力株式会社（以下「東京電力」という。）福島第一原子力発電所（以下「福島第一」という。） 及び福島第二原子力発電所（以下「福島第二」という。）各号機の原子炉建屋基礎版上における今回の地震時に観測された最大加速度と耐震安全性評価において策定した基準地震動Ｓｓから求めた基礎版上の最大応答加速度を比較すると、福島第一２号機，３号機及び５号機の東西方向の観測記録が、基準地震動Ｓｓによる最大応答加速度を上回っていた。

各号機の原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度値と
基準地震動 Ss から求めた最大応答加速度値との比較

観測点（原子炉建屋基礎版上）		観測記録 最大加速度値（ガル）			基準地震動Ssに対する最大応答加速度値（ガル）		
		NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向
福島第一	１号機	460※	447※	258※	487	489	412
	２号機	348※	550※	302※	441	438	420
	３号機	322※	507※	231※	449	441	429
	４号機	281※	319※	200※	447	445	422
	５号機	311※	548※	256※	452	452	427
	６号機	298※	444※	244	445	448	415
福島第二	１号機	254	230※	305	434	434	512
	２号機	243	196※	232※	428	428	504
	３号機	277※	216※	208※	428	430	504
	４号機	210※	205※	288※	415	415	504

※：記録開始から130～150秒程度で記録が中断している。

このような状況を踏まえ、原子力安全・保安院（以下、「当院」という。）は、今回の地震による福島第一及び福島第二の耐震安全上重要な施設・機器への影響について、地震時及び地震直後の安全機能が保持できる状態にあったかどうか調査・検討を行うこととした。

また、福島第一の原子炉建屋においては、水素爆発や火災等により、外壁等が損傷しているプラントがあることから、今後、発生する可能性のある地震に対する現状の原子炉建屋の耐震性について、損傷状況を反映した解析モデルを

用いた地震応答解析により評価を行い、耐震補強の必要性を含めて調査・検討を行うこととした。

本「平成２３年東北地方太平洋沖地震による福島第一及び福島第二原子力発電所の原子炉建屋等への影響・評価について～中間とりまとめ～」は、この調査・検討の結果を中間的にとりまとめたものである。

２．調査・検討の進め方

（１）今回の地震による福島第一及び福島第二の施設・機器への影響

今回の地震による福島第一及び福島第二の耐震安全上重要な施設・機器への影響について、東京電力の報告を基に、地震時及び地震直後の安全機能が保持できる状態にあったかどうかについて、当院による現地調査を含め、次のように調査・検討を行うこととした。

①対象施設

各号機について、地震時及び地震直後において、安全機能が保持できる状態にあったかどうかを確認するため、全ての耐震Ｓクラスの施設・機器を検討の対象とした。

なお、耐震クラスの低いタンク、配管等の一部に地震の影響によるものと考えられる歪みや破損が確認されているところであるが、これらは直接各号機の安全機能の保持に係わるものでないため、対象から除外した。

②調査・検討の方法

一般的に、地震により施設・機器の健全性を評価する際には、対象とする地震の地震動を入力した地震応答解析の実施と評価基準値との比較とともに、現地における目視等による破損状況等の確認を併用する。一方、福島第一の各号機、特に１、２、３、４号機においては、水素爆発や津波の影響に加え放射能のレベルが高い状況にあり、このような現地調査は困難である。

このため、調査・検討を次のように行うこととした。

［地震観測記録の一時中断による影響］

今回、福島第一では、53 箇所の地震計のうち２９箇所で、福島第二では、４３箇所の地震計の全てで地震観測記録が得られている。地震観測記録を調べたところ地震計の不具合により、福島第一では、７箇所、福島第二では、１１箇所の観測点において１３０秒～１５０秒程度で観測記録が中断していたが、後述するように中断した観測記録と完全な観測記録の床応答スペクトルを比較すると各周期帯の応答に顕著な差はないこと、疲労評価に与える影響は僅かであ

ることから、中断した観測記録を入力地震動として解析に用いることは妥当と評価し、次の調査・検討を行うこととした。

［福島第一及び福島第二の主要施設の評価］

先ず、原子炉建屋及び原子炉建屋内の評価対象施設として、安全性の観点から原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」に係る安全上重要な機能を有する耐震Ｓクラスのうち主要な７施設（原子炉圧力容器、主蒸気系配管、原子炉格納容器、残留熱除去系配管、残留熱除去系ポンプ、炉心支持構造物及び制御棒（挿入性））を、耐震バックチェック中間報告と同様に選定した。また、これらに加え、福島第一１号機の非常用復水器系配管、福島第一３号機の高圧注水系配管等を評価対象に加えた。

７施設の代表箇所等について、今回の地震の地震動を入力した地震応答解析を行い、評価基準値と比較することとした。

検討の手順としては、今回の地震による既往の耐震バックチェックモデルを用いた地震応答解析から各設備に加わるせん断力や加速度等の応答値等（以下「応答値等」という）を求める。その結果から評価基準値（許容値）を上回る可能性のある設備を選定し、これらの設備について応力解析を実施し、計算値（応力等）と評価基準値との関係を確認した。

［福島第一５号機の地震応答解析と現地調査］

上記７施設等以外の耐震Ｓクラスの施設、機器が、地震時及び地震直後の安全機能を保持できる状態にあったかどうか確認するため、基準地震動Ｓｓを上回る地震動が観測された福島第一２、３、５号機の中から、水素爆発や放射能汚染等の影響がなく、地震による損傷状況を現場で確認することが可能な福島第一５号機を代表機として評価を行った。

先ず、５号機の全ての耐震Ｓクラスの施設、機器について、今回の地震の地震動を入力した地震応答解析を行い（ただし、後述のように、配管の解析は基準地震動Ｓｓを用いた。）、評価基準値と比較することとした。なお、原子炉建屋内に設置されている設備であって、耐震Ｓクラスに波及的影響を生じさせるおそれのあるＢ及びＣクラス設備も対象とする。

検討の手順としては、今回の地震の応答値等を求め、その結果から評価基準値を上回る可能性のある設備を選定し、これらの設備については、応力解析を実施し、計算値と評価基準値との関係を確認した。

ただし、配管の解析については、基準地震動Ｓｓによる検討が進んでいたこと及び今回の地震と基準地震動Ｓｓの応答スペクトルを比較すると配管の固有周期帯では、ほとんどの周期で基準地震動Ｓｓが上回っており、保守的な結果

が得られると考えられることから、基準地震動Ｓｓの応答スペクトルを用いた解析を実施した。基準地震動Ｓｓを用いた解析の結果、計算値が評価基準値（許容値）を下回る場合は、地震時及び地震直後の安全機能が保持できると推定した。

次に、地震による損傷状況を直接把握するため、福島第一５号機について、地震応答解析結果が評価基準値を超えている箇所を中心に現地調査を行い、地震による影響の程度を目視により確認した。

（２）福島第一の現状の原子炉建屋の耐震安全性

福島第一の原子炉建屋においては、水素爆発や火災等により、外壁等が損傷しているプラントがあることから、今後、発生する可能性のある地震に対する現状の原子炉建屋の耐震性について、東京電力の報告を基に、損傷状況を反映した解析モデルを用いた地震応答解析により評価を行い、耐震補強の必要性を含めて、調査・検討を行うこととした。

検討は、今後発生する可能性のある地震として、基準地震動Ｓｓの地震動があるものと想定し、現状の原子炉建屋に同地震動を入力した地震応答解析を行い、得られた耐震壁のせん断ひずみと耐震壁の終局限界に対応した評価基準値を比較することにより行った。

３．調査・検討の方法

当院は、前述の調査・検討に当たっては、「建築物・構造に関する意見聴取会」を開催し、専門家の意見を聴取しつつ検討を行った。

加えて、独立行政法人原子力安全基盤機構の技術的助言を得つつ、検討を進めたところである。

また、今回の地震による福島第一の施設・機器への影響については、当院において、別途、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会」を開催し、プラント・パラメータの分析やプラント挙動解析等により調査・検討を行っている。この調査・検討の結果、地震により「止める」、「冷やす」、「閉じこめる」の基本的な安全機能を損なうような損傷等が生じたことを示す情報は得られていないとしている。本中間とりまとめにおいては、ここでの調査・検討の結果等も参考としつつ、取りまとめたものである。

なお、設備の被害状況や影響については、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会」において、事故の発生及び事象

進展について現時点までに判明している事実関係及び経緯を再整理し、それらを基に事故の原因及び事象進展の各段階における技術的課題を体系的にまとめた上で、これまでの対策の有効性の評価及び主に施設・資機材等に係る必要な見直しの方向性を分析・検討している。

また、建物に対する波力の評価については、「地震・津波に関する意見聴取会」での検討を踏まえ、「地震・津波に関する報告書」において取りまとめられる。

Ⅱ．地震による福島第一及び福島第二の影響・評価結果

福島第一及び福島第二について、今回の地震により、地震時及び地震直後の安全機能が保持できる状態にあったかどうかを、東京電力からの報告を基にした地震動評価と原子力安全・保安院（以下「当院」という。）による現地調査により調査検討を行った。

１．影響・評価

1.1　検討方針及び検討条件

（１）検討方針

１）検討対象施設、設備

地震時及び地震直後において要求される安全機能（原子炉を「止める」「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったかどうかを判断する観点から原子炉建屋、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系、タービン建屋及びタービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系を検討の対象とする。

２）原子炉建屋

基礎版上の今回の地震観測記録を用いた原子炉建屋の地震応答解析を実施し、解析結果の耐震壁のせん断ひずみと機能維持限界値との関係を確認する。

３）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

基礎版上の今回の地震観測記録を用いた原子炉建屋の地震応答解析及び原子炉建屋と原子炉等の大型機器を連成させた地震応答解析（以下「大型機器連成地震応答解析」という。）を実施し、各設備の応答値等を求める。その結果から評価基準値を上回る可能性のある設備※を選定し、これらの設備については、応力解析を実施し、計算値と評価基準値（許容値）との関係を確認する。

※今回の地震による応答値等が基準地震動Ｓｓによる応答値等を上回る設備

４）タービン建屋

タービン建屋では、建屋内の一部に耐震安全上重要な機器・配管系が設置されていることから、その部位を機能維持部位として影響評価を行う。基礎版上の今回の地震観測記録を用いたタービン建屋の地震応答解析を実施し、解析結果の機能維持部位のせん断ひずみと機能維持限界値との関係を確認する。

なお、タービン建屋の基礎版上において、今回の地震観測記録が得られていない場合は、原子炉建屋の基礎版上の今回の地震観測記録を基に算出した原子炉建屋基礎版下端における地震動からタービン建屋の基礎版下端等における地震動を求める。

５）タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

タービン建屋の地震応答解析で得られた応答値等を用いて、耐震安全上重要な機能を有する機器・配管系のうち地震による外部電源喪失直後の電源設備として機能した非常用ディーゼル機関及びその関連設備の耐震安全性評価を実施する。

なお、福島第一４号機タービン建屋に設置される非常用ディーゼル機関は、地震時に分解点検中であったため評価対象から除く。また、福島第一６号機及び福島第二全号機において、非常用ディーゼル機関はタービン建屋に設置されていないため、耐震安全性評価は実施しない。

（２）検討条件

１）原子炉建屋

水平方向及び鉛直方向の地震応答解析モデル及び解析定数については、耐震バックチェックと同様に既往評価等の実績があるものを採用するとともに、定期検査等、地震時のプラントの状態を必要に応じて反映させる。水平方向の解析用地盤モデルについては、今回の地震動の大きさに応じた非線形性を考慮し、せん断ひずみレベルに応じた剛性低下等を考慮する。

地震応答解析については、水平方向及び鉛直方向共に弾性応答解析を基本とするが、耐震壁の水平方向の応答が塑性域であった場合には弾塑性応答解析を実施する。

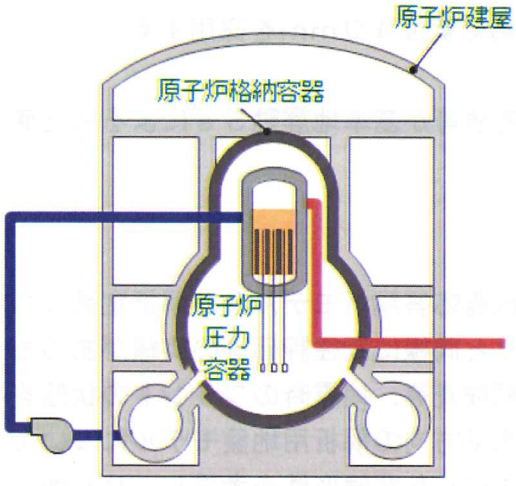
地震動の入力条件については、既往の地震観測記録に基づくシミュレーション解析の実績を踏まえ、基礎版上で得られた地震観測記録を解析モデルの基礎版上に入力することを基本とするが、弾塑性応答解析では基礎版上で得られた地震観測記録を再現できるように基礎下端レベルの地盤ばねへの入力地震動を推定した上で、それを地盤ばね位置に入力する。

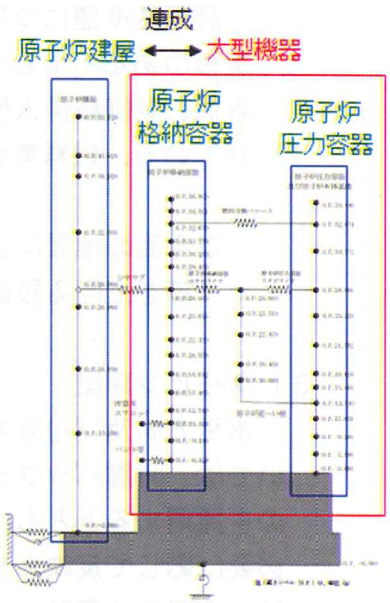
評価基準値については、耐震壁の機能維持限界値として既往評価等の実績のあるせん断ひずみ（２．０×１０$^{-3}$）を採用する。

２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

①地震応答解析の手法

水平方向及び鉛直方向の大型機器連成地震応答解析モデルのうち機器・配管系のモデル及び解析定数については、耐震バックチェックと同様であり、既往評価等の実績があるものを採用するとともに、定期検査等、地震時のプラントの状態を必要に応じて反映させる。また、大型機器連成地震応答解析モデルのうち建屋の部分については、原子炉建屋のモデルに基づき設定する。





原子炉建屋－原子炉格納容器－原子炉圧力容器連成系モデル（福島第一２号機）

地震応答解析については、水平方向及び鉛直方向共に機器・配管系の弾性モデルと原子炉建屋のモデルを連成させた地震応

答解析を実施していること。また、入力位置は原子炉建屋の地震応答解析と同一である。

②影響評価の方法

第一段階として、原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」に係わる安全上重要な機能を有する主要な設備ごとに以下の評価項目（指標）を選定し、地震応答解析により応答値等を求める。

・原子炉建屋床に設置されている機器・配管系（残留熱除去系ポンプ・配管等）：設置床レベルの震度及び床応答スペクトル
・原子炉冷却材圧力バウンダリ配管（主蒸気系配管等）：原子炉遮へい壁の床応答スペクトル
・原子炉圧力容器及び原子炉格納容器本体：モデルの各部材のせん断力、モーメント、軸力
・制御棒の挿入性：燃料集合体の相対変位
・炉心支持構造物：気水分離器及び炉心シュラウドのせん断力、モーメント、軸力

第二段階として、今回の地震の応答値等から評価基準値を上回る可能性のある設備※を選定し、これらの設備について応力解析を実施し、計算値と評価基準値との関係を確認する。

評価基準値については、機能維持限界値として既往評価等の実績のあるものとして、強度評価では許容応力状態IV_{A}Ｓの許容値、制御棒挿入性では、規定時間内の制御棒の挿入が確認されている、燃料集合体の相対変位４０ｍｍを採用する。

※今回の地震による応答値等が基準地震動Ｓｓによる応答値等を上回る設備

３）タービン建屋

水平方向及び鉛直方向の地震応答解析モデル及び解析定数については、耐震バックチェックと同様に既往評価等の実績があるものを採用するとともに、定期検査等、地震時のプラントの状態を必要に応じて反映させる。水平方向の解析用地盤モデルについては、今回の地震動の大きさに応じた非線形性を考慮し、せん断ひずみレベルに応じた剛性低下等を考慮する。

地震応答解析については、水平方向及び鉛直方向共に弾性応答解析を基本とするが、耐震壁の水平方向の応答が塑性域であった場合には弾塑性応答解析を実施する。

地震動の入力条件については、既往の地震観測記録に基づくシミュレーション解析の実績を踏まえ、基礎版上で得られた地震観測記録を解析モデルの基礎版上に入力することを基本とするが、タービン建屋基礎版上の観測記録が得られていない場合は、原子炉建屋基礎版上の観測記録から算出した基礎下端レベルの地盤ばねへの入力地震動を推定した上で、それを地盤ばね位置に入力する。

評価基準値については、耐震壁の機能維持限界値として既往評価等の実績のあるせん断ひずみ（２．０×１０$^{-3}$）を採用する。

４）タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

タービン建屋の地震応答解析で得られた応答値等を用いて、設置床レベルの震度や床応答スペクトルにより、非常用ディーゼル機関及びその関連設備の耐震性評価を実施する。

耐震安全性評価については、耐震バックチェック等の既往評価において実績のある手法により算定した設備の計算値と評価基準値との関係を確認する。

評価基準値については、機能維持限界として既往評価等の実績のあるものとして、強度評価では許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓの許容値、非常用ディーゼル機関の動的機能維持評価では、機能確認済加速度を採用する。

1.2　福島第一１～６号機の影響・評価結果

1.2.1　１号機

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。（別紙１）

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．１４×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、１階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価については、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（炉心支持構造物、原子炉停止時冷却系ポンプ、原子炉停止時冷却系配管、原子炉圧力容器、主蒸気系配管及び原子炉格納容器）を選定し、これらの施設の代表箇所について、応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を全て下回った。
- 制御棒挿入性評価を実施した結果、燃料集合体相対変位の計算値は、評価基準値を下回った。
- サプレッションチェンバ支持脚の耐震性についても、至近の工事計画認可において実績のあるモデルを用い、基礎版上の観測記録の水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度値を１．２倍した震度を用いた静的解析及び当該記録の床応答スペクトルを入力とした動的解析による計算値を求めた結果、計算値が評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価については、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されている耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析の結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．１１×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、１階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（４）タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価については、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 耐震安全上重要な機能を有する機器・配管系のうち地震による外

部電源喪失直後の電源設備として機能したディーゼル機関、燃料サービスタンク、始動空気槽及びディーゼル発電機について耐震性評価を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。

- 非常用ディーゼル機関の設置場所における本震における最大応答加速度が、機能確認済加速度に対して余裕があった。

1.2.2　２号機

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。（別紙２）

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．４３×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、５階）であり、評価基準値以下である。
- ＥＷ方向の５階を除く全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。
- 第一折れ点を超えた部位にあっても、第二折れ点は下回っており、建屋の機能維持の観点からは、構造上の問題はない。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（炉心支持構造物、残留熱除去系ポンプ、残留熱除去系配管、原子炉圧力容器、主蒸気系配管及び原子炉格納容器）を選定し、これらの施設の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を全て下回った。
- 制御棒挿入性評価を実施した結果、燃料集合体相対変位の計算値は、評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、

タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されている耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析の結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．２１×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、地下１階）であり、評価基準値以下である。
- ＥＷ方向の地下１階を除いた機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。
- 第一折れ点を超えた部位にあっても、第二折れ点は下回っており、建屋の機能維持の観点からは、構造上の問題はない。

（４）タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 耐震安全上重要な機能を有する機器・配管系のうち地震による外部電源喪失直後の電源設備として機能したディーゼル機関、燃料油タンク、始動空気槽及びディーゼル発電機について耐震性評価を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。
- 非常用ディーゼル機関の設置場所における本震における最大応答加速度が、機能確認済加速度に対して余裕があった。

1.2.3　３号機

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。（別紙３）

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．１７×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、５階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（炉心支持構造物、残留熱除去系ポンプ、残留熱除去系配管、原子炉圧力容器、主蒸気系配管及び原子炉格納容器）を選定し、これらの施設の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を全て下回った。
- 制御棒挿入性評価を実施した結果、燃料集合体相対変位の計算値は、評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されている耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析の結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．３６×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、地下１階）であり、評価基準値以下である。
- ＥＷ方向の地下１階の一軸と中地下１階の一軸を除いた機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。
- 第一折れ点を超えた部位にあっても、第二折れ点は下回っており、建屋の機能維持の観点から構造上の問題はない。

（４）タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 耐震安全上重要な機能を有する機器・配管系のうち地震による外部電源喪失直後の電源設備として機能したディーゼル機関、燃料ディタンク、始動空気槽及びディーゼル発電機について耐震性評価を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。
- 非常用ディーゼル機関の設置場所における本震における最大応答

加速度が、機能確認済加速度に対して余裕があった。

1.2.4　４号機

４号機については、地震時にシュラウド取替工事中であり、それに伴い、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器が開放され、炉内構造物が撤去されていたこと、主蒸気系配管が安全措置により隔離されていたこと、また、全燃料が炉心から取り出され使用済燃料貯蔵プールに移設されていたことから、地震応答解析モデルの重量分布を変更する等、地震時のプラントの状態を反映した評価が実施されている。制御棒挿入性については、地震時に全燃料が炉心から取り出されていたことから、動的機能維持評価は実施しないとしている。（別紙４）

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．１５×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、５階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震時のプラントの状態を反映した地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（残留熱除去系配管）を選定し、この設備の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されている耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさな

い状態にあったと推定した。

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．１０×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、地下１階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の機能維持部位において、せん断スケルトン曲線の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（４）タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

ディーゼル機関は、地震時に分解点検中であったため、耐震性評価は、実施しない。

1.2.5　５号機

５号機については、地震時に定期検査中で、原子炉格納容器が開放されていたことから、地震応答解析モデルの重量分布を変更する等、地震時のプラントの状態を反映した評価が実施されている。制御棒挿入性については、地震時にプラントが停止中であったため、動的機能維持評価は、実施しないとしている。（別紙５）

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．３６×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、５階）であり、評価基準値以下である。
- ＥＷ方向のクレーン階及び５階を除く全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。
- 第一折れ点を超えた部位にあっても、第二折れ点は下回っており、建屋の機能維持の観点からは、構造上の問題はない。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機

能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震時のプラントの状態を反映した地震応答解析の結果から評価基準値を上回る設備（炉心支持構造物、残留熱除去系ポンプ、残留熱除去系配管、原子炉圧力容器、主蒸気系配管及び原子炉格納容器）を選定し、これらの設備の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を全て下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されている耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析の結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．３７×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、地下１階）であり、評価基準値以下である。
- ＥＷ方向の地下１階の一軸を除いた機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。
- 第一折れ点を超えた部位にあっても、第二折れ点は下回っており、建屋の機能維持の観点からは、構造上の問題はない。

（４）タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 耐震安全上重要な機能を有する機器・配管系のうち地震による外部電源喪失直後の電源設備として機能したディーゼル機関、燃料油ディタンク、始動空気槽及びディーゼル発電機について耐震性評価を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。
- 非常用ディーゼル機関の設置場所における本震における最大応答加速度が、機能確認済加速度に対して余裕があった。

1.2.6　６号機

６号機については、地震時に定期検査中であったが、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器の上蓋は復旧された状態であったことから、地

震応答解析モデルは、耐震安全性評価で用いた原子炉等の大型機器の解析モデルを連成させている。制御棒挿入性については、地震時にプラントが停止中であったため、動的機能維持評価は、実施しないとしている。（別紙６）

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．１６×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、４階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震時のプラントの状態を反映した地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（主蒸気系配管及び残留熱除去系配管）を選定し、これらの設備の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されている耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- タービン建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析を実施した結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．１６×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、地下１階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留

まっている。

（４）タービン建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

ディーゼル機関は、タービン建屋に設置されていないため、耐震性評価は、実施しないとしている。

1.3　福島第二１～４号機の影響・評価結果

1.3.1　１号機

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。（別紙７）

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．０９×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、６階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の評価

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（主蒸気系配管及び残留熱除去系配管）を選定し、これらの設備の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。
- 制御棒挿入性評価を実施した結果、燃料集合体相対変位の計算値は、評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されて

いる耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- タービン建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析を実施した結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．１０×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、地下１階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

1.3.2　２号機

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。（別紙８）

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．１０×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、６階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（主蒸気系配管及び残留熱除去系配管）を選定し、これらの設備の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。
- 制御棒挿入性評価を実施した結果、燃料集合体相対変位の計算値は、評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されて

いる耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- タービン建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析を実施した結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．１４×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、地下１階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

1.3.3　３号機

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。（別紙９）

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．１１×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、４階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（主蒸気系配管及び残留熱除去系配管）を選定し、これらの設備の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。
- 制御棒挿入性評価を実施した結果、燃料集合体相対変位の計算値は、評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されて

いる耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- タービン建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析を実施した結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．１０×１０$^{-3}$（ＥＷ方向、地下２階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

1.3.4　４号機

（１）原子炉建屋の影響評価

当院は、原子炉建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、原子炉建屋が地震時及び地震直後において、要求される安全機能（放射性物質を「閉じ込める」機能、安全上重要な機器・配管系を間接支持する機能等）を保持できる状態にあったと推定した。（別紙 10）

- 今回の地震を用いた地震応答解析の結果、耐震壁のせん断ひずみの最大値は、０．０９×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、６階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の全ての階において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

（２）原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系

当院は、原子炉建屋に設置される耐震安全上重要な機器・配管系の影響評価について、以下のとおり確認し、安全上重要な機能を有する主要な設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 地震応答解析の結果から評価基準値を上回る可能性のある設備（主蒸気系配管及び残留熱除去系配管）を選定し、これらの設備の代表箇所について応力解析を実施し、当該設備の地震時の計算値は評価基準値を下回った。
- 制御棒挿入性評価を実施した結果、燃料集合体相対変位の計算値は、評価基準値を下回った。

（３）タービン建屋の影響評価

当院は、タービン建屋の影響評価について、以下のとおり確認し、タービン建屋が地震時及び地震直後において、建屋内に設置されて

いる耐震安全上重要な機器・配管系に対して波及的影響を及ぼさない状態にあったと推定した。

- タービン建屋基礎版上の地震観測記録を用いた地震応答解析を実施した結果、機能維持部位のせん断ひずみの最大値は、０．０８×１０$^{-3}$（ＮＳ方向、地下２階）であり、評価基準値以下である。
- ＮＳ方向及びＥＷ方向の機能維持部位において、せん断スケルトン曲線上の最大応答値は第一折れ点を下回り弾性範囲の応答に留まっている。

1.4　地震の影響に関する個別指摘事項に係る配管等の影響・評価結果

安全上重要な設備・機器等について、今回の事故発生当初から地震により被害等が生じ、これが事故の拡大に繋がったのではないか等の指摘があった。このため、当院は、今回の地震の地震動により設備が受けた影響について、以下のとおり確認し、これらの設備が地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。（別紙 11）

①福島第一１号機の非常用復水器系配管

非常用復水器（ＩＣ）が自動起動した後、地震の揺れが収まり運転員が停止操作を行うまでの間に原子炉圧力が約４．７MPa まで低下していることに着目し、ＩＣの配管破損があったのではないかとの指摘があった。このため、地震応答解析を行い、配管の応力は、評価基準値を下回ることを確認した。

②福島第一１号機の原子炉再循環系配管

今回の地震により原子炉再循環系配管が破損し冷却材喪失事故が起きたのではないかとの指摘があった。このため、地震応答解析の結果、配管の応力は評価基準値を下回ることを確認した。

③福島第一１号機のﾍﾞﾝﾄ管、ﾀﾞｳﾝｶﾏ、ﾘﾝｸﾞﾍｯﾀﾞ

一般的な概念として、長く激しい地震動により圧力抑制室の接合部等が破損し、抑制機構が機能しなかったのではないかとの指摘があった。このため、地震応答解析の結果、これらの設備の応力は評価基準値を下回ることを確認した。

④福島第一２号機のﾍﾞﾝﾄ管、ﾀﾞｳﾝｶﾏ、ｻﾌﾟﾚｯｼｮﾝﾁｪﾝﾊﾞ

一般的な概念として、長く激しい地震動により圧力抑制室の接合部等が破損し、抑制機構が機能しなかったのではないかとの指摘があった。このため、地震応答解析の結果、これらの設備の応力は評価基準値を下回ることを確認した。

⑤福島第一２号機の炉心スプレイ系配管

地震発生後、津波到来前に、１、２号機中央制御室のホワイトボードに「15:16CS(B)室 漏洩 ANN(警報) 発生中」との記載があることから、炉心スプレイ系の配管に破損があったのではないかとの指摘があった。このため、地震応答解析の結果、配管の応力は評価基準値を下回ることを確認した。

⑥福島第一３号機の高圧注水系配管

原子炉隔離時冷却系（ＲＣＩＣ）の停止後、ＲＣＩＣに使用されたものとは別系統の直流電源により、原子炉水位低で高圧注水系（ＨＰＣＩ）が自動起動した後、原子炉圧力は除々に低下し、約１MPa で推移し、運転員が HPCI を停止すると再び約７MPa に戻っている。このＨＰＣＩの運転時に原子炉圧力が低下したことに着目し、ＨＰＣＩの配管破損があったのではないかとの指摘があった。このため、地震応答解析の結果、配管の応力は、評価基準値を下回ることを確認した。

1.5　主要７施設等以外の施設の影響・評価結果

（１）福島第一５号機の原子炉建屋に設置されている設備の影響評価

主要７施設等以外の耐震Ｓクラスの施設、機器が、地震時及び地震直後の安全機能が保持できる状態にあったかどうか確認するため、基準地震動Ｓｓを上回る地震動が観測された福島第一２、３、５号機の中から、水素爆発や放射能汚染等の影響がなく、地震による損傷状況を現場で確認することが可能な福島第一５号機を代表機として評価を行った。なお、耐震Ｓクラス設備に波及的影響を生じさせるおそれのあるＢ及びＣクラス設備も評価対象とする。

１）原子炉建屋に設置されている設備の影響評価方針

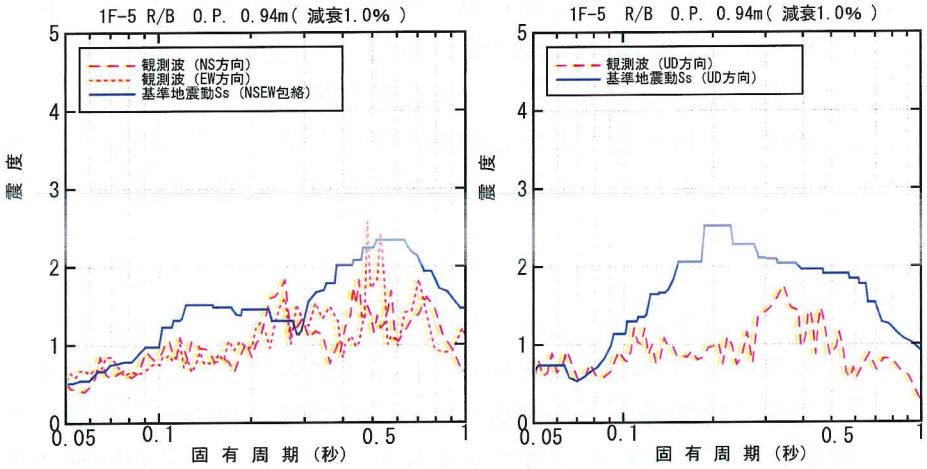
- 地震応答解析の結果から今回の地震の応答値等を求め、評価基準値を上回る可能性のある設備※を選定し、これらの施設について応力解析を実施し、計算値と評価基準値との関係を確認する。

※今回の地震による応答値等と設計時における応答値の比が、設計時の裕度（評価基準値/計算値）を上回る設備

- 解析的検討により評価基準値を上回るものについては、現場との照合を行い有意な損傷がないことを確認する。
- 配管の解析については、基準地震動Ｓｓによる検討がすでに進

捗していたこと及び今回の地震と基準地震動Ｓｓの応答スペクトルを比較すると配管の固有周期帯では、ほとんどの周期で基準地震動Ｓｓが上回っており、保守的な結果が得られると考えられることから、基準地震動Ｓｓによる応答スペクトルを用いた解析を実施する。

- 動的機能維持評価については、設備の応答加速度が、評価基準値の加速度以下であることを確認する。



＜水平方向＞　　＜上下方向＞

観測記録と基準地震動Ｓｓの基礎版上の床応答スペクトルの比較

２）影響・評価

当院は、原子炉建屋に設置されている設備の影響・評価結果について、以下のとおり確認し、評価対象設備が一部の配管本体及び配管サポートを除き、地震時及び地震直後において、要求される安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

- 評価基準値を上回る可能性のある設備として選定されなかった設備は、今回の地震による応答値等と設計時における応答値等との比が、設計時の裕度以下であった。（別紙 12）
- 評価基準値を上回る可能性がある設備として選定された設備について、応力解析を実施し、一部の配管本体及び配管サポートを除き、計算値が評価基準値を下回った。（別紙 13）
- 解析的検討により計算値が評価基準値を上回る設備は、現場との照合を行い有意な損傷がなかった。
- 動的機能維持評価の対象設備の応答加速度は、評価基準値を下回った。（別紙 14）

以下の設備については基準地震動Ｓｓの応答スペクトルを用いた解析から得られた計算値が、評価基準値を上回る。このため、当院は、後述するように当該設備について、目視により、配管等に有意な損傷又は変形が無く、流路も確保されていることを確認したことから安全機能を保持できる状態にあったと類推するが、今後、当該設備について、今回の地震による解析を実施する等、詳細な評価を行うものとする。

- 残留熱除去系配管サポート
- 原子炉冷却材再循環系配管サポート
- 給水系配管サポート
- 給水系配管本体
- 高圧注水系配管サポート
- 原子炉隔離時冷却系配管サポート
- 不活性ガス系配管サポート
- 残留熱除去海水系配管サポート

なお、福島第一においては、耐震バックチェック最終報告書が未提出であり、国の評価もなされておらず、結果として基準地震動Ｓｓに対応した耐震補強工事が、ほとんど実施されていなかった。このため、一部の配管本体及び配管サポートの評価において基準地震動Ｓｓの応答スペクトルを用いた解析から得られた計算値が評価基準値を上回った事例が見られたところである。

（２）福島第一５号機以外の耐震Ｓクラスの施設、機器の影響

福島第一１～４号機の施設、機器については、後述するように別途行ったプラント・パラメータの分析やプラント挙動解析等による調査・検討の結果、基本的な安全機能を損なうような損傷等が生じたことを示す情報は得られていない。このような状況であるが、福島第一１号機から４号機の耐震Ｓクラスの機器・配管について、更にデータを補充する観点から今回の地震による地震応答解析を行っていないものについては、今後、このような解析を行うものとする。

1.6　保安院の現地調査

（1）福島第一の耐震安全上重要な機能を有する主要７施設については、今回の地震による地震応答解析の結果、地震時及び地震直後において安全機能を保持できる状態にあったと推定されるが、福島第一の被害の状況について、プラントの物理的状態を目視による調査を行い、地震による影響の有無を確認することとした。

５号機は、津波や水素爆発の影響を受けておらず、実機の現状確認が可能なことから目視により調査を実施し、当院が確認した範囲では、建物の構造に影響を及ぼすようなひび割れ及び機器・配管に安全機能を損なう有意な変形は認められなかった。　（別紙 15）

実施時期：平成２３年１２月１日

実施概要：今回の地震による福島第一原子力発電所の取水路及び海水ポンプ周辺等の津波による被害状況、５号機原子炉建屋及びタービン建屋並びに機器・配管系の地震による影響等について

（2）福島第一５号機の耐震安全上重要な全ての耐震Ｓクラス設備に対する影響評価において、基準地震動Ｓｓに対する配管本体及び配管サポートの計算値が、一部の箇所において評価基準値を上回ったことから、当院は、当該箇所を目視により調査を実施し、安全機能を損なう有意な損傷がないことを確認した。（別紙 16）

実施時期：平成２４年１月２７日

実施箇所：残留熱除去系サポート、原子炉冷却材再循環系サポート、給水系配管本体・サポート、原子炉隔離時冷却系サポート、高圧注水系サポート、不活性ガス系サポート、残留熱除去海水系サポート

（3）福島第二の耐震安全上重要な機能を有する主要７施設については、今回の地震による地震応答解析の結果、地震時及び地震直後の安全機能は保持できる状態にあったと推定しているが、福島第二の被害の状況について、プラントの物理的状態を目視により調査を実施し、地震による影響の有無を確認することとした。

当院が確認した範囲では、建物の構造に影響を及ぼすようなひび割れ及び機器・配管に安全機能を損なう有意な変形は認められなかった。（別紙 17）

実施時期：平成２４年２月９日

実施概要：４号機原子炉建屋ドライウエル内（配管貫通部、主蒸

気系配管、ペデスタル)、１号機原子炉建屋（天井クレーン、燃料交換機、使用済み燃料プール）の地震による影響及び１号機原子炉建屋付属棟、１号機側取水路の津波による影響について

1.7　東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会との合同開催（平成２３年１２月９日開催）

現時点までに明らかになっている知見を、様々な角度から分析した上で、今回の地震による福島第一の建築物・構造及び主要機器・配管への影響を整理することを目的として、プラントパラメータの解析結果より、関連機器の挙動に係る現象面から議論している「東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の技術的知見に関する意見聴取会」と合同の意見聴取会を開催した。プラント状態からみた設備・機器等への影響評価は以下のとおり。

- 地震により、各号機のプラントパラメータの挙動等を総体的に見れば「止める」、「冷やす」、「閉じこめる」の基本的な安全機能を損なうような被害があったことを示す情報は得られていない。
- ただし、耐震クラスの低いタンク、配管等の一部に地震の影響によるものと考えられる歪みや破損が確認されている。

２．地震観測記録の一部中断による影響

2.1　観測記録の一部中断による影響

観測記録の一部が中断している影響について当院は、本震で得られた観測記録のうち、一部の記録について記録開始から１３０秒～１５０秒程度で記録が中断していたことから、地震応答解析に与える影響について、以下の検討を行った。その結果、中断した観測記録と完全な観測記録による床応答スペクトルを比較すると各周期帯の応答に顕著な差が見られないこと、疲労評価に与える影響はわずかであることから、中断した観測記録を入力地震動として解析を行うことは妥当なものと判断した。

[床応答スペクトルの比較]

- 福島第一６号機原子炉建屋基礎版上では、近接する２つの観測点において、中断した記録（観測点名：６—Ｒ２、継続時間：約１３８秒）と完全な記録（観測点名：Ｐ３、継続時間：約２５０秒）の両方が取得されており、それらの最大応答加速度及び応答スペクトルを比較すると顕著な差は認められない。(別紙 18)

● 完全な記録（Ｐ３）を用いたシミュレーション解析結果とＰ３の観測記録の継続時間（約２５０秒）を６－Ｒ２の観測記録の継続時間（約１３８秒）でカットした記録を用いたシミュレーション解析結果を比較すると、最大応答加速度及び応答スペクトルに顕著な差は認められない。（別紙 19）

なお、原子炉建屋基礎版上に設置した地震観測装置については、中断以降の時間の範囲においても最大加速度値のみは記録されており、分析の結果、中断記録しか得られていない号機における最大加速度値は、時刻歴データが得られている時間で発生していることを確認した。

［疲労評価に与える影響 ］

● 中断した観測記録を用いた疲労評価については、地震時の大型機器間（原子炉圧力容器―原子炉格納容器）の相対変位による影響が大きいと想定される福島第一１号機の主蒸気配管ノズル部において評価したところ、評価点における疲れ累積係数は、０．０００１となり評価基準値１に対して十分小さい。（別紙 20）

● また、地中観測記録は、正常な記録が得られていることから、この記録を用いて疲労による影響が大きいと想定される福島第一５号機の給水系配管（分岐部）について評価したところ、評価点における、疲れ累積係数は、０．０００００１以下で評価基準値１に対して十分小さい。

2.2　観測装置の不具合に係る調査及び改修

当院は、東京電力が、同社所有の福島第一、福島第二及び柏崎刈羽原子力発電所に設置している全ての機種の収録装置を対象として、同様の不具合の有無に関する調査を実施し、その結果に応じて改修した結果について以下を確認した。その結果、不具合が発生する可能性に応じて収録装置を分類、抽出したこと及び現在観測が可能な状態にある収録装置について全て改修を完了したことは妥当なものと判断した。

● 調査・改修の考え方としては、今回の不具合が２つの要因の重畳により発生したことを踏まえ、２つの要因の双方が該当する装置については、同様の不具合が発生する可能性が高く「改修の優先度は高く、早期に改修を実施」としていること。また１つの要因のみ該当する装置については、同様の不具合が発生する可能性が低く「改修の優先度は低いが、信頼性向上のため適宜改修を実施」としている。

● 福島第一、福島第二及び柏崎刈羽原子力発電所において設置されてい

る地震計（合計８７台の収録装置）について調査した結果、改修が不要と判断された収録装置が３台（福島第一２台、福島第二１台）、早期に改修が必要と判断された収録装置が７９台（福島第一２９台、福島第二１９台、柏崎刈羽原子力発電所３１台）、信頼性向上のために適宜改修すると判断された収録装置が５台（福島第一１台、福島第二１台、柏崎刈羽原子力発電所３台）確認された。

- 改修作業については、これらのうち、現在観測が可能な状態にあるものを対象として、早期に改修が必要と判断された４９台（福島第二１８台、柏崎刈羽原子力発電所３１台）及び信頼性向上のために適宜改修すると判断された３台（柏崎刈羽原子力発電所３台）について、平成２３年６月１４日までに完了している。
- 現在観測ができない状態にあり作業環境等により改修ができない収録装置３２台（福島第一３０台、福島第二２台）については、作業環境に留意しつつ観測再開の可否も含めて取扱いを検討するとしている。

Ⅲ. 福島第一の現状の原子炉建屋の耐震安全性の検討

福島第一の原子炉建屋においては、水素爆発、火災等により、外壁等が損傷しているプラントがある。今後、発生する可能性のある地震に対して施設の現状の耐震安全性を評価するため、平成２３年４月１３日に核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第６７条第１項の規定に基づき、東京電力に対し、福島第一の原子炉建屋について、今後発生する可能性のある地震を入力地震動に用いた耐震安全性評価を実施した結果及びその結果によって耐震安全性が確保できないおそれのある箇所に係る耐震補強工事等の対策に関する検討結果について報告を求め、順次※、評価書を取りまとめた。

※評価書とりまとめ

・福島第一１号機及び４号機（平成２３年５月２８日）
・福島第一３号機（平成２３年７月１３日）
・福島第一２号機、５号機及び６号機（平成２３年８月２６日）

1.1　原子炉建屋の状況

当院は、原子炉建屋の損傷状況について、写真等を基に以下のとおり把握していることを確認した。

1.1.1　１号機

●オペレーティングフロアより上部の鋼板、屋根鉄骨及び屋根スラブが水素爆発によって飛散し、それらの一部がオペレーティングフロア上に崩落したものと推定していること。なお、オペレーティングフロアより上部の鉄骨架構については、崩落せずに残存している。

●オペレーティングフロアより下階については、現状で得られている外観の写真を基に、ほぼ健全な状態を維持しているとしている。

●１号機は５階以上が鉄骨構造に鋼板を取り付けた構造形式であり、内圧に対して壁の部分が非常に脆弱であったと推定しており、この部分が先行破壊して内圧を開放したことにより、５階より下の構造はほぼ健全な状態を維持していると評価している。（別紙 21）

1.1.2　２号機

●建屋内部の線量が高く、立ち入りが制限されているため、建屋内部の状況が確認できていないものの、現状で得られている外観の写真を基に、外面の鉄筋コンクリート造の耐震壁等に損傷が確認できないことから、現時点で原子炉建屋には構造上の損傷はないものと推定している。

●念のため変動要因を踏まえたパラメータ解析を実施している。
（別紙 21）

1.1.3　３号機

●水素爆発と見られる事象によって、原子炉建屋の上部の外壁及び屋根が損傷しており、損傷部位については下階に崩落したものと推定している。

●使用済み燃料プールを構成する壁及び床については、壁、床の厚さが１４００～１８５０mmであり、損傷が確認されていない外壁の厚さ（９００mm）と比べて十分に厚いことから大きな損傷を受けていないと推定していること。オペレーティングフロアの北西側の床等において４号機と比べて爆発の影響と考えられる損傷状況が顕著であることから、部分的な損傷を受けている可能性が考えられるとしている。また、機器仮置プールを構成する壁及び床については、西側の壁が健全な状態であることが部分的に確認されているが、オペレーティングフロアの北西側の床等と同様に部分的な損傷を受けている可能性が考えられるとしている。（別紙 22）

1.1.4　４号機

●水素爆発と見られる事象によって、原子炉建屋の上部の外壁及び屋根が損傷しており、損傷部位については下階に崩落したものと推定している。

●オペレーティングフロアより下部の床のうち、１階の床と２階の床については、建屋内の調査を基に上面、下面共に損傷がないこと。３階の床については、建屋内の調査を基に下面に損傷がない。４階及びオペレーティングフロアの床については、建屋内の調査結果が得られていないことから、周囲の外壁の損傷状況（厚さ６５０mmまでの耐震壁が破損）を考慮して、原子炉格納容器周りのシェル壁頂部、使用済み燃料プール、機器仮置プール周辺を除く部分（厚さ３００mm程度）が損傷している可能性が高いとしている。（別紙 23）

●使用済み燃料プールを構成する壁及び床については、コンクリートポンプ車に取り付けられたカメラより撮影されたプール内の写真等から、内部の燃料ラックの形状が維持されプール水が安定した状態にあること。　建屋内の調査を基に燃料プール下部にあたる２階において漏水等が認められていないことから、損傷が無いとしている。

●１階、２階のシェル壁については、建屋内の調査により損傷がないことが確認できている。損傷が確認されている外壁の厚さは最大でも６５

０ｍｍであり、厚さ１０００ｍｍの外壁については損傷が無いことが確認できている。３階のシェル壁は、厚さが１８５０ｍｍであることから損傷は無いとしている。（別紙 23）

1.1.5　５号機及び６号機

●既に冷温停止状態を維持しており、現状で得られている建屋内部の写真及び外観の写真を基に、内部及び外面のＲＣ造耐震壁等に損傷が確認できないことから、現時点で原子炉建屋には構造上の損傷はないものと推定している。（別紙 23）

●５号機においては、耐震バックチェックに対応した耐震補強工事が完了しておらず、基準地震動Ｓｓによる耐震Ｓクラス設備の地震応答解析の結果、一部の配管本体及び配管サポートの計算値が評価基準値を上回っていた。

1.2　現状の損傷状況を踏まえた影響の検討方針及び検討条件

東京電力は、今後、発生する可能性のある地震に対して、現状の原子炉建屋の損傷状況を踏まえた解析モデルを用いて、原子炉建屋の耐震安全性評価を実施している。原子炉建屋の損傷状況は、写真等を基に推定した上で質点系モデルやＦＥＭモデルに損傷状況を反映するとともに、今後、発生する可能性のある地震としては、基準地震動Ｓｓを用いることとしている。

当院は、原子炉建屋の構造への影響及び耐震性の評価について、耐震安全上重要な設備への波及的影響防止の観点から、地震応答解析により得られた耐震壁のせん断ひずみと、鉄筋コンクリート造の耐震壁の終局限界に対応した評価基準値との比較により検討する。

（１）検討方針

● 原子炉建屋の損傷状況を考慮した上で、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成１８年９月１９日原子力安全委員会決定。以下「新耐震指針」という。）に基づく基準地震動Ｓｓに対し、原子炉建屋の耐震壁がせん断破壊する終局状態に至るかどうか確認する。

● 評価に用いる地震動については、「今後発生する可能性のある地震」として適切と考えられる、新耐震指針に基づき、敷地周辺の地質・地質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施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があるものを考慮して策定した基準地震動Ｓｓとする。

（２）検討条件

- 水素爆発と見られる事象により建屋上部が損傷した１、３、４号機の原子炉建屋の質点系モデルは損傷状況を反映し、上階の崩れた部分の重量は、下階の床で支持する等の仮定を行う。
- 建屋上部が複雑に損傷している３、４号機は、３次元ＦＥＭモデルより、使用済み燃料プールを中心とした局部評価を実施する。
- 建屋内部の線量レベルが高いため損傷状況の調査が詳細に実施できなかった箇所については、安全側の評価条件とする。
- 評価に適用した手法については、耐震バックチェックと同様とする。
- 適用した評価基準値については、耐震安全上重要な設備を破損させるような影響を及ぼさないとの観点から、鉄筋コンクリート造の耐震壁の終局限界に対応した許容値（４．０×１０$^{-3}$）を用いる。

1.3　耐震安全性の評価結果

当院は、今後、発生する可能性のある地震に対して現状の損傷状況を踏まえた原子炉建屋の耐震安全性については、以下のとおり確認し、耐震安全上重要な設備に波及的影響を与えないものと推定した。なお、四号機の使用済み燃料プールは、底部の支持性能を向上するため、耐震補強工事を実施しており、補強前と補強後について評価を実施する。

1.3.1　１号機

- 基準地震動Ｓｓに対する原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみは最大で０．１２×１０$^{-3}$（Ｓｓ－１及びＳｓ－２、ＮＳ方向、１階）であり、鉄筋コンクリート造の耐震壁の終局限界に対応するせん断ひずみ（４．０×１０$^{-3}$）に対して余裕があることから、原子炉建屋が、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、使用済み燃料プール等の耐震安全上重要な設備に影響を及ぼすおそれはないと考えられる。（別紙 24）
- また、耐震安全性評価の結果として、耐震安全性が確保できないおそれのある箇所は無かったことから、現段階では緊急的な耐震補強工事等の対策は不要と考えられる。

1.3.2　２号機

- 耐震バックチェックにおいて、基準地震動Ｓｓに対する原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみは最大で０．１７×１０$^{-3}$（Ｓｓ－１、ＥＷ方向、５階）であり、鉄筋コンクリート造の耐震壁の終局限界に対応するせん断ひずみ（４．０×１０$^{-3}$）に対して余裕があることから、原

子炉建屋が、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、使用済燃料プール等の耐震安全上重要な設備に影響を及ぼすおそれはないと考えられる。（別紙30）

● 耐震安全性評価の結果として、耐震安全性が確保できないおそれのある箇所はなかったことから、現段階では緊急的な耐震補強工事等の対策は不要と考えられる。

1.3.3　3号機

1）地震応答解析による評価

● 基準地震動Ｓｓに対する原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみは最大で０．１４×１０$^{-3}$（Ｓｓ－２、ＮＳ方向、１階）であり、鉄筋コンクリート造の耐震壁の終局限界に対応するせん断ひずみ（４．０×１０$^{-3}$）に対して余裕があることから、原子炉建屋が、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、使用済み燃料プール等の耐震安全上重要な設備に影響を及ぼすおそれはないと考えられる。（別紙25）

● また、耐震安全性評価の結果として、耐震安全性が確保できないおそれのある箇所は無かったことから、現段階では緊急的な耐震補強工事等の対策は不要と考えられる。

2）３次元ＦＥＭ解析による局部評価

● 基準地震動Ｓｓによって作用する応答値等とその他の荷重を組み合わせたシェル壁及び使用済み燃料プールの局部評価を実施した結果、鉄筋の最大ひずみは１．３０３×１０$^{-3}$であり、評価基準値（５．０×１０$^{-3}$）に対して十分な余裕があること、面外せん断力において最も余裕が少ない部位での発生応力は２，４７５Ｎ／ｍｍであり、評価基準値（３，２７０Ｎ／ｍｍ）に対して余裕があることから、原子炉建屋が、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、使用済燃料プール等の耐震安全上重要な設備に影響を及ぼすおそれはないと考えられる。

● 爆発によって、残存する床や壁にひび割れが生じ、剛性が低下している可能性や地震後の原子炉格納容器内の温度が一時的に上昇したことにより、その剛性に影響を与えた可能性を考慮し、以下の要因について別途検討を行い、評価結果に顕著な影響を及ぼさないことを確認した。

・爆発の影響として使用済燃料プール、機器仮置プール、原子炉ウェル及びシェル壁の剛性を５０%低下させる。

・爆発の影響として半壊程度の外壁の剛性を５０%低下させる。

３）クロスチェック解析結果

独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「ＪＮＥＳ」という。）が実施した現状の原子炉建屋に係るクロスチェック解析結果を検討したところ、耐震壁の最大せん断ひずみ、使用済み燃料プールの壁及び床の最大せん断力は、評価基準値を下回る。

1.3.4　４号機

１）地震応答解析による評価（補強前）

● 基準地震動Ｓｓに対する原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみは最大で０．１７×１０$^{-3}$（Ｓｓ－１及びＳｓ－２、ＥＷ方向、１階）であり、鉄筋コンクリート造の耐震壁の終局限界に対応するせん断ひずみ（４．０×１０$^{-3}$）に対して余裕があることから、原子炉建屋が、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、使用済み燃料プール等の耐震安全上重要な設備に影響を及ぼすおそれはないと考えられる。(別紙 26)

２）３次元ＦＥＭ解析による局部評価（補強前）

● 基準地震動Ｓｓによって作用する応答値等とその他の荷重を組み合わせた使用済み燃料プールの局部評価を実施した結果、鉄筋の最大ひずみは１．２３×１０$^{-3}$であり、評価基準値（５．０×１０$^{-3}$）に対して十分な余裕があること、面外せん断力において最も余裕が少ない部位での発生応力は８００Ｎ／ｍｍであり、評価基準値（１，１５０Ｎ／ｍｍ）に対して余裕があることから、原子炉建屋が、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、使用済み燃料プール等の耐震安全上重要な設備に影響を及ぼすおそれはないと考えられる。

● 損傷状況の評価及び荷重条件の設定における変動要因による影響については、以下の要因について別途検討を行い、評価結果に顕著な影響を及ぼさないことを確認した。(別紙 27)

・爆発により屋根及び３階以上の外壁の大半が崩壊し、厚壁で構成されたプールの周辺部の半壊壁や床の剛性が低下している可能性を考慮し、４階及び５階の床剛性を５０%低下、３階及び４階の半壊壁の剛性を５０%低下させる。

・火災により西面の使用済燃料及び周辺部が損傷し、それらの剛性が低下している可能性を考慮し、４階の使用済燃料プール壁、

４階及び５階の周辺床スラブの剛性を８０%低下させる。

・使用済燃料の発熱によりプール水温が上昇し、長時間高温環境下におかれることによりプール壁・床内側のコンクリートが損傷している可能性を考慮し、温度条件として、プール水温が１００℃まで上昇し、なお、かつ外気温も冬場０℃と想定する。

３）クロスチェック解析結果（補強前）

ＪＮＥＳが実施した現状の原子炉建屋に係るクロスチェック解析結果を検討したところ、耐震壁の最大せん断ひずみ、使用済み燃料プールの壁及び床の最大せん断力は、評価基準値を下回る。

４）４号機の使用済燃料プール底部の補強工事について（補強後）

- 耐震安全性評価の結果として、使用済燃料プールについて耐震安全性が確保できないおそれのある箇所は無かったが、東京電力は裕度の向上を目的に、使用済み燃料プール底部の補強工事を実施している。地震時に４号機がシュラウド取替工事中であったため、現在も使用済燃料プールに使用済燃料のみならず炉内の燃料集合体が全て保管されている状況等を踏まえると、当該補強工事は、使用済燃料プールの支持性能を強化する対策として必要である。
- 使用済燃料プール底部の補強工事は、プール底部に鋼製の支柱を設置して上部からの荷重を支えるとともに、その機能を確実なものとするためコンクリート壁を設置している。（別紙 28）
- 使用済燃料プール底部に補強工事を実施しているが、この工事によって、同プール底版の応力が２割程度緩和される等、裕度向上効果が期待できる。（別紙 29）

1.3.5　５号機、６号機

- 耐震バックチェックにおいて、基準地震動Ｓｓに対する第５号機及び第６号機の原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみは最大でそれぞれ０．１９×１０$^{-3}$（Ｓｓ－１、ＥＷ方向、５階）、０．３３×１０$^{-3}$（Ｓｓ－１、ＮＳ方向、２階）であり、鉄筋コンクリート造の耐震壁の終局限界に対応するせん断ひずみ（４．０×１０$^{-3}$）に対して十分な余裕があることから、第５号機及び第６号機の原子炉建屋が、それぞれの原子炉圧力容器、原子炉格納容器、使用済燃料プール等の耐震安全上重要な設備に影響を及ぼすおそれはないと考えられる。（別紙 30）

- 耐震安全性評価の結果として、耐震安全性が確保できないおそれのある箇所は無かったことから、現段階では緊急的な耐震補強工事等の対策は不要と考えられる。なお、今後、建屋内部の状況を確認するとともに、損傷が確認された場合には耐震性を維持するための補修を行うことが必要である。

今後、原子炉建屋の損傷状況の変動や解体撤去の進捗状況に応じ、適宜、影響検討を東京電力に対し、指示することとする。

なお、余震に伴う津波対策として仮設防潮堤を設置していることは、「東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋ステップ２完了報告書（平成２３年１２月１６日）」において、取りまとめている

Ⅳ．まとめ及び今後の対応

１．地震による福島第一及び福島第二の影響・評価と今後の対応

１）当院は、福島第一、福島第二全号機の①原子炉建屋、②タービン建屋、③原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」に係る安全上重要な機能を有する耐震Ｓクラスのうち主要な７施設及び④地震により被害等の可能性が指摘されている６設備（福島第一１号機の非常用復水器系配管等）について、地震応答解析により検討したところ、計算値は、評価基準値を満足しており、地震時及び地震直後において安全機能を保持できる状態にあったと推定した。

２）主要７施設等以外の耐震Ｓクラスの機器・配管が今回の地震により受けた影響について、基準地震動Ｓｓを上回る地震動が観測され、地震による損傷状況を現場で確認することが可能な福島第一５号機を代表機として評価を行った。地震応答解析に用いる地震動として、配管は、基準地震動Ｓｓを、配管以外は、今回の地震を用いて検討した。一部の配管本体及び配管サポートを除き、耐震Ｓクラスの機器・配管の計算値は、評価基準値を満足しており、地震時及び地震直後において安全機能を保持できる状態にあったと推定した。一部の配管本体及び配管サポートの計算値が、評価基準値を上回った箇所については、目視により有意な損傷がないことを確認したことから、安全機能を保持できると類推したが、今後、今回の地震による解析を実施する等、詳細な評価を行うものとする。また、冷温停止機能を維持する必要があることから、今回の地震応答解析結果や現地調査結果を踏まえ、必要な耐震補強を求めることとする。

３）別途行ったプラント・パラメータの分析やプラント挙動解析等による調査・検討の結果、基本的な安全機能を損なうような損傷等が生じたことを示す情報は得られていない。このような状況であるが、上記以外の福島第一１号機から４号機の耐震Ｓクラスの機器・配管について、さらにデータを補充する観点から、今回の地震による地震応答解析を行っていないものについては、今後、このような解析を行うものとする。

４）福島第一５号機と同様に、福島第一６号機及び福島第二１～４号機は、今後とも冷温停止機能を維持する必要があることから、これに関連する機器・設備について基準地震動Ｓｓ又は今回の地震による地震動の影響を確認するため、地震応答解析による評価と現場点検が必要と考えており、その結果を踏まえ、必要に応じて耐震補強を求めることとする。

５）女川原子力発電所及び東海第二原子力発電所についても、今後、今回の地震による影響・評価を取りまとめる。

２．福島第一の現状の原子炉建屋の耐震安全性

今後発生する可能性のある地震に対する現状の損傷状況を踏まえた福島第一の原子炉建屋が、耐震安全上重要な設備に波及的影響を及ぼす影響を、地震応答解析結果（４号機の使用済み燃料プールについては、耐震補強前後について実施）から評価した。評価の結果、今後発生する可能性のある地震に対する原子炉建屋耐震壁のせん断ひずみは、鉄筋コンクリートの耐震壁の終局限界に対応するせん断ひずみに対して余裕があり、耐震安全上重要な設備に波及的影響を及ぼすおそれはないと推定した。また、建屋上部が複雑に損傷している３，４号機は、３次元ＦＥＭモデルより、使用済み燃料プールを中心とした局部評価を実施し、鉄筋のせん断ひずみ及び面外せん断力は評価基準値に対して余裕があることを確認した。