

第20回女川原子力発電所2号機の安全性に関する検討会

日 時 令和元年10月11日（金曜日）

午前9時30分から

場 所 ホテル白萩 2階 錦の間B

1. 開 会

○司会 それでは、ただいまから第20回女川原子力発電所2号機の安全性に関する検討会を開催いたします。

2. あいさつ

○司会 開会に当たりまして、宮城県環境生活部長の大森から挨拶を申し上げます。

○環境生活部長 皆さん、おはようございます。

今日は10月の11日ということで、令和元年度も早いもので半分が過ぎました。折り返し地点を過ぎたという感じでございます。

ご承知のとおり、台風19号も近づいております、今日も朝から先触れといえますか、天候に不穏なものが漂っているような感じでございます。

本日は、足もとのお悪い中、また大変お忙しい中、ご出席を賜りまして、まことにありがとうございます。

8月30日に開催いたしました第19回目の会議では、新規制基準適合性審査申請のうち、格納容器破損防止や制御室等につきまして活発なご議論をいただき、ありがとうございました。

原子力規制委員会による女川原子力発電所2号機の審査状況についてですが、東北電力は、9月19日に設置変更許可申請書に係る補正書を原子力規制委員会に提出しており、県としては1つの節目を迎えたというふうに認識しております。

そのような中、20回目となる本日の検討会では、論点分類の1、東日本大震災後の設備の健全性のうち、炉内点検、確認手法など、そして、論点分類に新規制基準適合性審査申請のうち耐震設計方針等について東北電力からご説明いただき、委員の皆様にご確認をいただきたいというふうに考えております。

今回も前回に引き続き、午前、午後と長時間の開催となりますが、皆様にはそれぞれの専門分野に係る知見に基づく忌憚のないご意見を賜りたいと考えております。

以上、簡単ではございますが、開会に当たっての挨拶とさせていただきます。どうぞよろしくをお願いいたします。

○司会 それでは、本検討会の開催要綱第4条の規定に基づきまして、座長の若林先生に議事の進行をお願いしたいと思います。よろしくをお願いいたします。

○座長（若林） 議事に入る前に、本日検討する論点項目について、事務局から説明をお願いいたします。

○事務局 原子力安全対策課の伊藤と申します。

それでは、本日検討を予定しております論点項目につきましてご説明をさせていただきます。

まず、A4判の資料－1をごらん願います。この資料では、全体の論点項目を取りまとめておりまして、本日検討を予定しております項目につきましては網がけ部分になります。具体的には、大きな2つの柱の1つ目、「東日本大震災後の施設の健全性」のうち、「(1) 炉内点検」それから「(2) 確認手法」「(5) 設備被害」「(7) 点検・評価結果」。

それから、2本目の柱であります「新規制基準適合性審査申請」のうち、「(1) 地震」及び「その他」の「竜巻」、それから大きな3番目の「その他」のうち、「安全対策全般」及び「情報公開」についてご検討をお願いしたいと考えております。

次に、A3判の資料1、カラーのものをごらんいただきたいんですけども、こちらの資料につきましては、委員の皆様方からいただきましたご意見・ご質問を論点項目として整理しているほか、検討会の途中段階でいただきました質問につきましても関連質問ということで追加をさせていただきます。また、その質問は第何回の検討会で出されたのか、質問の末尾に括弧書きで示しておりますので、参考にいただければと思います。

今回検討をお願いする事項につきましては、オレンジ色で塗った部分でございまして、具体的には、1枚目の(1)の炉内点検の6及び(2)の確認手法。それから、1枚めくっていただきますと、(5)設備被害の1、それから(7)点検・評価結果。それから、次のページに行きまして、(1)の地震、それから(3)その他の自然災害のうち竜巻の64番。それから、最後のページに参りまして、一番下のほう、その他(1)安全対策全般の61番、それから(3)の情報公開になります。

多くの視点からご意見をいただき、より議論を深めるため、ご欠席の委員に対しましては、事前に送付した資料をご確認の上、コメントをいただくようお願いしてございます。事務局からの説明は以上になります。

○座長 皆様よろしいでしょうか。

それでは、早速議事に入らせていただきます。

○事務局 それでは、議事に入りますので、ここからはカメラによる撮影をご遠慮願います。カメラをお持ちの方は撮影をおとめください。

3. 議 事

(1) 各論点の説明・検討

「1 東日本大震災後の設備の健全性について」

- ・ (1) 炉内点検
- ・ (2) 確認手法
- ・ (5) 設備被害
- ・ (7) 点検・評価結果

○座長 それでは、(1) 各論点の説明・検討のうち、1. 東日本大震災後の設備の健全性につきまして、東北電力株式会社から説明をお願いいたします。

なお、議事の進行上、「2-2 建物・構築物」まで説明した後、5分間休憩としたいと思います。

○東北電力株式会社 東北電力の青木と申します。

説明に入る前に、1件ご報告をさせていただきたいと思います。

先ほど、大森部長様のご挨拶にもございましたように、9月の19日に女川2号機の設置変更許可申請の補正書を原子力規制委員会のほうに提出をいたしております。この補正書というものは、私どもの当初の申請内容に対しまして、審査会合等の結果変更した部分こちらを提出したものでございます。

なお、本検討会におきましては、基本的には、審査会合が終了して審査の結果を踏まえた内容をご説明させていただいておりますので、今回出した補正書の中身と基本的には合っているものとなっております。以上でございます。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

それでは、資料-2に基づきまして、地震後の設備健全性確認についてご説明いたします。ページをめくっていただいて、1ページをお願いいたします。

本日のご説明内容になりますけれども、まず、2011年東北地方太平洋沖地震等に対する女川2号機の地震後の設備健全性確認の結果、これを資料-2としてご説明いたします。その後、資料-3といたしまして、2013年の新規制基準に基づく耐震設計、こちら適合性審査の状況につきまして、これまで検討会でいただきましたコメントを交えましてご説明させていただきます。

まず、資料-2でございますけれども、1. のところで、全体概要をまずご説明させていただきます。その後、検討会でいただきましたコメントに対しまして2-1、2-2で、建物・構築物に係る点検関連と地震応答解析関連に対する回答をいたします。その後、2-3、

2-4ということで、機器・系統に関する回答をいたします。あと、2-5その他ということでコメントの回答をいたします。

それでは、ページをめくっていただいて、4ページをお開きください。

ここから全体概要のご説明になります。ページ進んでいただいて、5ページお願いいたします。

まず、全体概要でございますけれども、地震後の設備健全性確認につきましては、東北地方太平洋沖地震等、3.11地震、4.7地震と今後呼ばさせていただきます。これらの地震によって設備が受けた影響を調査・把握し、補修等の必要な対策を実施することで、設備の健全性を確保することを目的として実施しております。

具体的には、地震後の設備健全性確認につきましては、下の図をご覧ください。

こちらの確認につきましては、大きくフェーズ1、フェーズ2、フェーズ3と分かれておりまして、今回ご説明する内容につきましては、青の四角囲みで書いているところで、定期点検の停止時に実施する項目でございます。本日はこのうち、建物・構築物及び機器・系統の設備健全性確認についてご説明します。一部、機器・系統につきましては、今後復旧段階で点検を実施していくものもございます。

1ページめくっていただいて、次のページ、6ページお願いいたします。

確認の実施フローについてご説明いたします。確認につきましては、大きく建物・構築物及び機器・系統と分けまして確認を実施してございます。それぞれは共通でございますけれども、点検と地震応答解析、これら2つを2本柱として点検・解析を実施しまして、それら両者を合わせて健全性の総合的評価を行うという流れになってございます。

図中右側の機器・系統につきましても同じような流れでございます。ただし、機器・系統につきましては、地震応答解析する場合は、機器系の設置されている建物・構築物の応答結果を反映して解析を実施しているということでございます。

図中、下半分になりますけれども、現時点でのステータスでございます。建物・構築物につきましては、先ほども触れましたように、点検・地震応答解析ともに完了してございます。機器・系統につきましては、機器レベルにつきましては、一部設備点検のところではプラントの復旧に合わせて実施する項目を除きまして全て完了しており、系統レベルの機能試験につきましては、今後プラント起動段階で実施する予定としてございます。

ページめくっていただいて、7ページをお願いします。

7ページは確認結果の概要ということで、まずは、建物・構築物についてご説明いたします。

対象設備ですけれども、紙面下半分に図が書いてございますけれども、原子炉建屋、その左に海水ポンプ室、海水を取り込む取水路、あと右側のほうに排気筒、こういったものを対象として点検・解析を実施してございます。

点検につきましては、外観目視点検を実施してございます。解析につきましては、原子炉建屋、取水路といったような重要なものを対象としまして、3. 1 1地震、4. 7地震に対する解析を実施してございます。

結果でございますが、まず、点検につきましては、構造上問題になるひび割れ、こちらにつきましてはひび割れ幅が1ミリ以上のものを定義してございます。こちらがないことを確認してございます。解析の結果としましては、評価基準値を下回っていることを確認してございます。こちらの結果につきましては、適合性審査または保安検査等で国にもご説明している内容となります。

次のページお願いいたします。8ページからが機器・系統に関する結果の概要となります。

対象設備ですけれども、ポンプ、電動機、タービン、弁といった設備全体を対象としてございます。

点検につきましては、外観目視のほか、漏えい試験、作動試験等により確認を実施しております。外観点検で確認できない部位につきましては、漏えい試験、作動試験と組み合わせることによって健全性を確認するという流れでございます。

系統機能試験につきましては、先ほども申しましたように、今後プラント復旧段階に合わせて実施する予定となっております。

解析につきましては、対象を「止める」「冷やす」「閉じ込める」といった安全機能を有するSクラス設備を対象としまして、地震応答解析を実施しているということになります。

まず、結果ですけれども、各設備の点検結果としまして、地震に起因する事象が確認されましたけれども、その後の追加点検、分解点検等でございますけれども、そちらを実施しまして健全性を確認してございます。B、Cクラスの一部につきましては、異常が確認されておりますが、安全機能に影響を及ぼす事象ではなく、取替、補修等により原形復旧をしてございます。

解析結果につきましては、弾性応答範囲、こちらは力を加えると変形するんですけれども、力を取り除くと元に戻るといえることができる範囲でございますけれども、そういった範囲にありまして、評価基準値を満足しているということを確認してございます。こちらにも建物・構築物と同様に保安検査もしくは適合性審査のほうで国に説明している内容となります。

9ページをお願いいたします。

9 ページは、設備点検、地震応答解析の実施した内訳について少しご説明いたします。設備点検につきましては、総数約3万3,000機器を対象として実施してございます。点検の結果、地震に起因する事象としまして、Sクラスにつきましては、具体的な事例としましては、配管とそのサポートが地震によって擦れて塗装が剥がれるような事象、あとは配管の保温材がずれるような事象が15件程度確認されてございます。B、Cクラスにつきましては、例えばタービン設備の回転体と静止翼の接触痕、あとはタービンの軸受箱を固定している基礎ボルトの曲がり、こういったものをご確認してございます。こちらの詳細につきましては、後ほどコメント回答にあわせて写真等を用いてご説明させていただきます。

フロー右側に戻りまして、地震応答解析はご覧のとおり構造強度評価、動的機能維持評価を実施してございまして、全てにつきまして評価基準値を満足するという結果になってございます。

ページ進んでいただきまして、10ページをお願いします。10ページからが検討会でいただきましたコメントへの回答となります。いただいたコメント内容が数多くございますので、コメント内容を分類しまして、改めて本説明資料の中で番号づけをさせていただきます。11ページで申しますと、1番左側に書いてある番号がその番号となります。後ほど説明する資料につきましては、どのコメントに該当するかわかるようにナンバリングをしてございますので、ご参照願います。

それでは、15ページをお願いします。ここからが建物・構築物に係る点検関連の説明になります。説明者交代いたします。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形でございます。私のほうから2-1の建物・構築物の点検関連についてご説明いたします。

建物・構築物の点検結果につきましては、29年の3月の第11回の検討会におきまして、主に原子炉建屋を中心にご説明をしておりますけれども、今回は先生方のコメントを踏まえまして、原子炉建屋の概略を説明しながら、構築物、排気筒などの構築物についてもご説明をいたします。

次のページをお願いします。

点検方法、それから判定基準について、初めにこれにかかわるいただいたコメントがこの記載のとおりになってございまして、1つ目は、施設の健全性の確認手法について、それから、地震後の点検の観点から目視点検のあり方、それから、点検マニュアルについては見直すべきところがどのように整理しているか、最後に、設備健全性について定量的なデータのもとに判

断根拠を明確にして説明していただきたいと、こういったコメントをいただいております。

次のページをお願いします。

点検対象と判定基準についての説明になりますけれども、このようなページの右側のところに、コメント1-1とか1-4とか書いてございまして、先ほどのコメントのどこに関連するかというのがここで確認してございます。

まず、点検対象ですけれども、このページにつきましては、11回の検討会での説明と同様の説明になっていますけれども、建物としては生体遮へい装置、それから原子炉格納施設、堰その他の設備となりますが、構築物系につきましては、排気筒、それから配管ダクト、海水ポンプ室、取水路等ですね、そういったものが対象となっています。

判定基準については、鉄筋コンクリート構造については、遮へい性に影響を与える断面欠損がないこと、構造上問題となるひび割れ、剝離、剝落がないこと、耐漏えい性に影響を与えるひび割れがないことということが判定基準になります。鉄骨部分につきましては、構造上問題となる変状（変形・座屈等）がないことということになります。

次のページをお願いします。

続いて、判定方法、判定基準となりますけれども、初めに、原子炉建屋の鉄筋コンクリート躯体に関する点検方法及び判定基準でございまして、鉄筋コンクリート躯体への地震の影響については、ひび割れ、剝離・剝落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、目視点検を主体とした点検を実施してございます。

判定基準につきましては、追加の判定基準ですね、の点検を実施する判定基準の目安を下の表に書いてございますけれども、生態遮へい装置は、遮へい性能に影響を与える断面欠損がないこと、それから原子炉格納施設は、構造上問題となるひび割れ、これが幅1ミリ以上のひび割れということになってございます。

こちらのひび割れ幅がなぜ基準となっているかということにつきまして、一番最後のページのところですね。後ろから2枚目のところに、前回もちょっとご説明はしておりますけれども、鉄筋コンクリート構造の特徴ということで、参考資料のところですね。

一番後ろから2枚目のところに、耐震壁については、鉄筋コンクリートの場合、こういった左から地震力が働く場合、箱形であればこうした2枚の耐震壁でもっている、耐えることとなりますが、そのときにこういった引っ張り力が働きますと、鉄筋が入っておりますけれども、そのコンクリートにつきましては斜めのひび割れがということで、次のページをめくっていただきますと、左右に力が働きますと、斜め45度等々のひび割れがX状に入るといったよう

なことになります。

下に書いてありますとおり、水平力により耐震壁に変形が生じると、引っ張り力によって斜め方向にひび割れが発生して、変形が増大するとひび割れ幅も増大することになりますので、ひび割れ幅によって被災度を評価することができるということがいわれてございます。

戻っていただきまして、また18ページですけれども、こういった考え方にに基づきまして幅1ミリということで、これがさらに詳細に評価が必要だろうかの判定基準ということにしております。

18ページ上の矢羽根の3つ目のところですが、作業員の被ばくの低減、人身安全等の観点から点検が困難な場合といったところがありますけれども、そういった場合においては、構造的に類似した部位の点検結果及び解析結果を踏まえた上で合理的な評価を行うということにしております。

また、クレーン階の、原子炉建屋の上のほうですが、クレーン階上部の耐震壁は、建設時に仮設材で壁面を覆ってますので、内部からはひび割れ点検はできませんので、外部から足場をかけて塗装を剥がした上での点検を実施しております。

次のページをお願いいたします。

原子炉建屋の鉄筋コンクリート躯体の点検に基づく評価の流れを示しております。

ここにありますように、従来から鉄筋コンクリート躯体の保守点検では、ひび割れや剝離・剝落等の劣化が想定されることから、社内マニュアルに基づいた外観に着目した目視点検を実施しております。また、後ほどご説明するんですけれども、解析結果との比較から、地震時の点検におきましても目視による手法が有効であるというふうなことを確認しております。

ひび割れのフローですが、基本的には地震によるものかどうかを判定して、イエスの場合には基本的に全てひび割れを補修するといった流れになってございます。

続きまして、20ページですが、20ページのほうは、屋外重要土木構造物及び排気筒に関する点検方法、判定基準というふうになってございます。

1つ目の矢羽根、屋外の重要土木構造物ですが、鉄筋コンクリート構造物である屋外重要土木構造物につきましては、ひび割れ及び剝落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、目視点検を主体とした点検を実施しております。

それから、排気筒は鉄骨構造物でありますので、地震の影響については、部材の変形・座屈・破断、溶接接合部の亀裂・破断、ボルト接合部のボルト破断・緩みが想定されまして、外観の確認が有効であると考えられますので、目視点検を主体とした点検を実施しております。

下に判定基準の例が書いてありまして、屋外重要土木構造物につきましては、基本的には建屋と同様に幅1ミリ以上の被害がないこと、構造上問題となる剥離・剥落がないことになりま
すけれども、1点、取水機能に影響を及ぼす止水板の伸び・ずれ、耐震ジョイントの損害がない
ことといったことが、原子炉補機冷却海水系取水路ですとか海水ポンプ室については、そう
いったことも点検してございます。

排気筒につきましては、記載のとおりで、部材、接合部、脚部、それぞれ確認してございま
す。

続きまして、21ページですけれども、こちらは屋外の重要土木構造物及び排気筒の点検の
フローを示してございます。

従来どおり、屋外重要土木構造物の保守では、ひび割れや剥落等の劣化、排気筒の保守では
部材の変形・座屈・破断、溶接接合部の亀裂・破断、ボルト接合部野ボルト破断・緩みなどが
想定されますので、社内のマニュアルに基づきまして外観に着目した目視点検を実施してござ
います。これらも建屋と同様に、解析結果との比較から地震時の点検においても目視による手
法が有効であることを確認してございます。

下のフローですけれども、これも建屋と似てはいるんですけれども、最初の止水板とか耐震
ジョイントの調査、このあたりが構築物の特徴かと思われま。ひび割れも基本的には同じで
すけれども、ひび割れ1ミリそういったものを判定指標として耐震性を判断しております。

右側は排気筒につきましては塗装の剥がれとか切れとか、それから地震による座屈・変形そ
ういったものを判定いたしまして、鉄骨構造の点検評価をするということになります。

次のページをお願いします。22ページにつきましては、点検者の力量、それから点検の体
制にかかわるコメントに対する説明となります。

コメント内容ですけれども、実施した作業担当者の能力、経験とか資格などについてかかわ
るもの、どのような能力を持った者であるとか、あるいはメーカーの社内資格についてどのよ
うな確認をしろとか。それから、2つ目の箱こちらは点検の体制、点検の計画、点検結果の家
訓体制について。それから、特に設備、機器系への対応についてどのようなチーム構成でやっ
ているのか。それから、第三者機関での確認を実施となっていますけれども、その体制、確認
の状況などについてといったところがコメントとしていただきました。

23ページ。こちらで点検・評価の改正について説明をいたします。

ここにありますように、点検の概略業務フローということで、東北電力、弊社と、それから
協力企業、そして第三者機関といったことになっておりまして、実際に点検そのものも協力企

業を伴ってやるわけですが、そこで、まず計画段階で計画書の審査といったところで、第三者機関が計画書の審査をするということがございます。それから、点検確認の断面では、点検結果の妥当性の確認及び現場確認等について第三者機関についても見ていただくと、そういった形になってございます。

矢羽根の2つ目ですが、点検の実施する会社につきましては、社内の品質保証マニュアルに基づきまして、供給者の評価、技術的能力（資格者、業務実績など）、品質保証活動状況、藤社設備の業務実績等、そういったものを勘案して選定してございます。

それから、点検の実施者の力量確認ですが、以下の観点で実施計画とともに書面で確認してございます。目視点検につきましては、以下に留意した人員配置ということで、非破壊試験技術者の資格及び認証に規定の非破壊試験員に要求される近方視力の確認を行うなど、視力に問題ない者を配置すると。それから、業務経験年数、資格、例えば1級建築士であるとかコンクリート診断士、コンクリート主任技士等ですが、こういった資格等について当社の確認を受けた適切な力量を有する者を配置すること。それから、必要に応じて、地震によって影響を受け破損しやすい箇所などを把握可能な設計者に意見を求めることができる体制ということで、実施してございます。

続きまして、24ページですが、ここでは第三者機関についてになりますが、建物関係につきましては、第三者機関としては建築研究振興協会をお願いしてございます。これは東京電力の柏崎の中越沖地震の際にも実績のある第三者機関ということになってございます。それから、構築物のほう、排気筒、屋外重要土木構造物につきましては、公益社団法人の土木学会が第三者機関ということで実施してございます。確認方法につきましては、それぞれ記載のとおり、学識者なりを配置した上で確認をお願いしているということでございます。

25ページですが、続きまして、点検結果にかかわるコメントに対する説明でございます。

コメントとしては、3.11地震での被害調査結果を詳しく説明していただきたい。それから、地震による原子炉建屋・構造物のひび割れ、発生の修繕・交換状況、それから、それが安全上問題ないのか。今後の地震によっても進展する可能性は、そういったところについてのコメントをいただきました。

26ページですが、点検結果になります。

各点検対象の点検結果は、以下に示すとおりとなっておりますが、コンクリートにはひび割れの発生が認められましたが、構造上問題となるような幅1ミリ以上のひび割れは発生して

ございません。地震起因のひび割れにつきましては、ひび割れ幅によらず全て補修工事をしておりますので、今後の進展は、補修元の段階ではないということになります。それから、次ページ以降に、原子炉建屋、取水路、排気筒を例に点検結果・補修工事の概要を詳細な部分を抜粋して紹介してございます。

表のとおりに1ミリ以上の幅がないといったことで、建物と建築物等認めてございます。

それから、構築物のほうにつきましては、先ほど言いました取水機能に影響を及ぼす取水板の伸びですとか耐震ジョイントの損傷というのは生じていないことも確認しています。排気筒については、ボルトの緩みとか変形、こちらもないことを確認してございます。

27ページになります。27ページは、第11回でもご説明をしておりますけれども、こういった抜粋ですが、建屋の地下3階の耐震壁の一部ですけれども、ひび割れの点検結果ということで示していますが、ほとんどありませんので、ちょっとひび割れが見えない状況ということで、これはもちろん1ミリ超のひび割れはなかったということになります。

28ページ、こちらは建物の上部のほうですね。右側の下でちょっとわかりにくいですが、建屋の上のほうにパッチングしてますけど、この建物の上部の壁ですけれども、展開でもってひび割れ状況を示しています。この青色のひび割れ線は幅0.3ミリ未満のひび割れということで、ほとんどが0.3ミリ未満でございまして、緑色が0.3ミリ以上1ミリ未満、一部緑色もあります。赤色の1ミリ以上はないということでございます。

次、お願いします。29ページですけれども、こちらは写真でもって0.3ミリ未満、大体0.3ミリ程度ですかね、そういった被害がどういう見え方かというのをちょっと、これも11回のときに示しておりましたけれども、重複しますが、こういった形で、補修前にここにひび割れがあるんですけども、写真上はなかなか写りにくいといったところですが、こういったひび割れが先ほどの青色のひび割れに該当して、0.3ミリだとあと緑色になるんですけども、ここがひび割れ、なかなか写真に写りにくいような状況となっております。これらは、幅によらず樹脂注入あるいは塗装によって修復をしてございます。

次、お願いします。30ページですけれども、地震後の点検結果のまとめということで、こちらは地上3階に先ほどのように非常に多くの微小なひび割れが認められまして、ただ各階で見ますと1ミリ以上のひび割れはないということになります。棒グラフですけれども、青色がその0.3ミリ未満のひび割れということで、3階部分が非常に多くてそれより下は非常に少ないということになります。赤色のひび割れはないということでございます。点検結果からは構造上の問題はないという考え方です。

続きまして、31ページ。こちらは原子炉補機冷却海水系取水路の例でございます、こちらでも左側にちょっと赤く示している部分ですね、ここが取水路のところの例なんですけれども、このAA断面のところを開いたものがこの右下の展開図ということで、縦方向に若干のひび割れが見られますけれども、幅としては非常に小さい幅ということになってございます。耐震性に影響を与えるようなひび割れは確認されてございません。

続いて、32ページが排気筒の例になってございまして、こちらは写真でもって示してありますが、接合部と部材あるいは脚部ということでそれぞれ写真を撮っていますが、変形、破断、ボルトの緩み等は確認されておりませんで、異常はありませんでした。

続きまして、建物・構築物の地震応答解析関連の説明でございます。34ページをお願いします。

コメントですけれども、地震応答解析にかかわるコメントということで、予想した損傷レベルと被害調査結果との対応関係、それから、解析と被害調査の関係がどうであったか、あるいは剛性低下にかかわる経年変化の分析結果について説明してほしい、それから、裕度の有無を判定する判断基準、それから3.11地震あるいはその前の地震もありますけど、ダメージの分析、そういったものをどのように定量化して評価しているか、それから、観測された地震動を最も再現できるようなモデルによる評価結果をもとに評価・点検を実施するのかなど、こういったコメントをいただいております。

35ページをお願いいたします。

こちらが、原子炉建屋の解析的検討の全体像となってございまして、3.11地震、4.7地震に対する解析的検討をこういった流れで実施してございます。

初めに、Aのところですが、シミュレーションモデルによる検討ということで、これは観測記録の再現のための解析結果と観測記録の整合性の確認ですね、これをしながら、解析モデルを最適化してシミュレーションモデルというのを構築します。このときに、初期剛性を補正しないとなかなか合わなかったということで、そういったパラメータを採用してございます。そういった構築したシミュレーションモデルについて、地震応答解析の結果、せん断ひずみの評価あるいは耐震壁の鉄筋が弾性範囲であったかということ、そういったことを確認いたします。

Bのところですが、詳細検討ということで3次元FEMの非線形モデルによる検討ということで、耐震壁の鉄筋は、シミュレーション解析上は弾性範囲だというふうに想定はされますけれども、3階から上部については裕度が比較的少なかったので、3次元FEM非線形モデルによる詳細検討も実施して、弾性範囲だといったことを確認してございます。

さらに、建屋全体の3次元FEMモデルといったことで検討もしておりまして、これは建屋の応答性状をより詳細に把握するといったことを目的として、建屋全体3次元FEMモデルをもってシミュレーションして、解析結果と点検結果が整合するかどうかといったことも確認してございます。

それから、右上のaのところですけども、建屋の剛性低下に係る経年的変化の分析、こちらもあわせて確認しておりまして、初期剛性低下といったものが経年的にどのようなようになってきているのかということを観測記録を用いて、その変化の傾向について検討しております。

続いて、36ページになります。

こちらが、Aのシミュレーション、それからBとCのシミュレーションに基づく評価ということでフローを書いたんですけども、こういった手順でやるんですけども、矢羽根の2つ目ですね、耐震壁の構造評価につきましては、地震応答解析により得られた各階のせん断応力と、設計配筋量によって負担できるせん断応力とを比較することによって評価を行って分析しています。また、せん断ひずみについても評価を行います。

この結果、目安として、設計配筋量によって負担できるせん断力に対して地震応答解析によって得られた各階のせん断応力が20%以上の余裕がない階については、個別の部材ごとの応力を算出し、詳細な構造計算によるチェックを行います。この段階で裕度が比較的少ない場合には、さらに詳細な検討を行うこととしております。

続いて、37ページですけども、こちらがシミュレーション解析のモデルの概要でございます。これも第11回でご説明しておりますけれども、このような設計モデルから発展させたモデルを使いまして、観測記録に合うようなモデルとしておりまして、構成を若干補正しているというのは、ここに表にありますような、3階ですとNS方向は0.3倍、地下3階から2階は0.75倍、EW方向は0.5倍と0.8倍という、そういった補正で設定してございます。

次のページをお願いします。38ページです。

その補正係数の意味ですけども、ここに書いてございますように、こういった力と変形関係をモデルに組み込んでいるわけですけども、この最初の傾きのところですね、ここが0.3倍あるいは0.75倍といったように若干傾きを変えていかないと、なかなかシミュレーションと観測記録が合わないといったようなそういったことで補正しております。

39ページをお願いします。

こちらがシミュレーションモデルを採用することによって観測記録とどの程度合ったかとい

うことの説明ですが、左側ですね、既工認モデルと書いていますけれども、これはもともとの設計モデルになりますけれども、黒いのが解析モデル、既工認の設計モデルでの経過で、赤いものがその観測記録ですけれども、若干整合性が悪くて、頂点のピーク的位置が若干ずれがあるとあったところが、シミュレーションモデルでちょっと剛性を落としてあげると非常によく合うということで、こういったモデルを使って健全性の検討を行ってございます。

さらには、そのS sに対する検討といったものも、こういったモデルを採用した上でS sに対する健全性、耐震性も検討してございます。

次のページをお願いします。40ページですけれども、こちらは剛性低下に係る経年的変化の分析についての方法についてですね。

原子炉建屋には地震計幾つかついてはいますけれども、主に1次固有周期を見るため、およそ等価な高さに相当するような地震計位置ということでこの3つですね、出力点2つありますけれどもこの中間ぐらいの高さが1質点系に直したときの、大体等価な高さということで、これを2つで補完して使っていますけれども、そういった記録から1次周期を出しています。

その結果が41ページになってございまして、ちょっとわかりにくいんですけども、横軸は地震の履歴ですね、竣工して間もないころからの地震観測記録から2005年の8.16、3.11地震、4.7地震と書いてますけれども、そういった中での建物の固有振動数ですね、これは周期ではなくて振動数であらわしていますけれども、赤線と青線がそれぞれNSとEW、空かせ線の実線と点線ですね、これがNSとEWのものですけれども。

一番上に緑色で書いているのは、右側の軸で読む最大加速度、下向きにプラスになっていますが、3.11地震ですと500ガルぐらいですね、近くになっていますけれども、そういったこの関連がわかりますが、徐々に振動数が低下しつつ、3.11地震で非常に固有振動数が変化したというようなのがわかるかと思えます。

このように建設以降、地震の履歴の蓄積を行われており、地震応答解析モデルとして今回策定しておりますので、そういった影響も入っていると。また、その初期剛性の低下といったものが耐震壁の終局耐力に影響しないといったことにつきましては、資料-3のほうの説明になりますけれども、午後の部ですが、そちらでまたご説明したいと思えます。そういったことも実験等によって確認してございます。

次、お願いします。42ページですけれども、こちらがシミュレーション解析と観測記録の比較ですけれども、非常に最大加速度でよく合っております。

43ページになりますけれども、せん断ひずみの結果ですけれども、これも 2×10^{-3} 、

これは終局耐力の半分が判定基準になっていますけれども、 2×10^{-3} に対して十分な余裕があると。これはある意味当たり前といえども、そういったことも確認しております。

それに対して今度は鉄筋のどの程度の応力だったかというのが44ページになりますけれども、設計配筋のみによって負担できるせん断力はどうなっているのか。コンクリートの影響を考えずに鉄筋だけで負担できるせん断力がどの程度かというものと、それから、解析で得られたせん断力を比較してどの程度の余裕があるかということを確認しておりますが、このやり方ですと、※の2のところですね、比率が0.89ということで比較的少ないということで、念のため詳細な解析というものを実施してございます。

それが45ページになりまして、45ページは建物から上部の部分だけを取り出したモデルになります。そこでは3次元非線形モデルによる解析ということで、要素に組み入れてそれぞれ鉄筋、コンクリート、シェル要素でもって3次元化した非線形解析ということを実施しております。それによって最大の鉄筋のひずみというのを出しますと 676μ ということで、降伏ひずみを十分下回っております。鉄筋についてもダメージはなかったといったことが確認してございます。

続いて、46ページになりますけれども、46ページは建屋全体の3次元FEMモデルということで、建屋全体を3次元のFEMでモデル化してございます。なかなか3次元のFEMモデルですと非常に自由度が多くなりますので、これを非線形で解くというのはなかなかできないので、このモデルの場合は等価線形解析ということで、弾性モデルになります。

ただし、その観測記録に合うように先ほどの質点系モデルと同様なんです。剛性の低下といったもののモデルとして構築して、この右側のスペクトルの比較にありますように、ほぼ合うようなモデル、観測記録と整合するようなモデルとして構築しております。

次のページをお願いします。47ページですけれども、そういったモデルでもって解析した結果、これが屋上の上部の部分を示していますけれども、面内のひずみのコンターを書いてますが、これがちょうど赤点線によるこういったひずみに対して、ひび割れ展開図、被害の状況と整合性が確認されております。

48ページが、こちら地下3階の部分になりますけれども、こちらほとんどひずみが少ないということでひび割れがあまりないというものと整合してございます。

したがって、49ページですけれども、点検結果としては、1ミリ以上のひび割れが生じていなかったということで、それから、地震応答解析の結果、ひずみが評価基準値を満足し

ていると。それから、鉄筋が弾性範囲であると。それから、総合的には点検が困難な部位につきましても解析結果を見る限り、見てそれから見えるところの点検と結果も比較した上で、十分な安全、解析結果の健全性が確認できたということで、以上のことから、原子炉建屋の健全性が確保されていると判断しました。

続いて、50ページですけれども、50ページからは屋外重要土木構造物の解析的検討の例でございます。

こちらは構造物と周辺地盤をモデル化した2次元の時刻歴応答解析によって実施してございます。検討の結果、曲げに対して鉄筋が降伏していないこと、せん断に対して終局耐力以下であることを確認してございます。この解析結果は、耐震性に影響がないという点検結果とも整合してございます。

ここに示しているものが、その内空断面が比較的大きい、原子炉補機冷却海水系取水路の例ということで、地震応答解析の概要を示します。ここにありますように、地盤部分に埋められたもので、この赤い部分はその構造物ということになります。評価基準値は右にありますように、曲げですと降伏曲げモーメント、せん断ですとせん断耐力ということになりまして、曲げモーメント、おおむね弾性変合に属するような基準、そういったことで実施してございます。

次のページが、曲げモーメントの評価結果でございます。

ここにありますように、評価基準値に対する応答値ということで、E2が0.4から0.6程度ということで、評価基準値を下回ることを確認してございます。

せん断についても、同様に照査用のせん断力がせん断耐力を下回っていることを確認してございます。

次のページ、52ページですけれども、排気筒の解析的検討ということで3次元質点系とした地盤連成の解析によって実施をしてございます。検討の結果、圧縮、曲げに対する部材応力度が許容応力度以下であることを確認してございます。この解析結果は、異常がないといった点検結果とも整合しているものとなっております。

評価基準値についてはこの右側にいろいろ書いてございますが、圧縮、曲げそれぞれですね、1つの評価基準として通常ですけれども、あります。

53ページですけれども、53ページが照査値です。許容応力度に対する部材応力度ですね。これが式値を下回るといったことを確認してございます。

次のページをお願いします。

ここで裕度の考え方について一応説明いたしますけれども、基本的にはこの記載のとおり、

評価基準値を満足しているといったことを確認しているわけですが、解析におきましては、コンクリート及び鋼材の設計基準強度を用いたり、実際の強度は設計基準強度よりも大きい場合設計基準強度自体に余裕を含んでいるということになりますけれども、そういうことがありますので、隣接構造物を盛り土でモデル化するという、そういった構造物よりも剛性の小さい盛り土でモデル化するということによって構造物が変形しやすくなるということなんですけれども、そういった意味で盛り土であくまでモデル化することなどによって余裕を含んでいる。この2つですね。余裕を含んでいるので、評価基準値を満足すれば余裕があるといった判断をさせていただきます。

続いて、55ページですけれども、これは重要土木構造物の総合評価ということで、点検結果としては、屋外重要土木構造物、それから排気筒ともに異常はございません。

それから、応答解析結果としても、それぞれ評価基準値に対してOKという結果でした。

以上のことから、屋外重要土木構造物、それから排気筒それぞれ健全性が確保されているものと判断させていただきます。

私からは以上でございます。

○座長 ありがとうございます。それでは、ここで5分間休憩をとりたいと思います。

再開は、現在10時22分ですので、10時27分にしたいと思います。

〔休 憩〕

○座長 それでは、再開をしたいと思います。

引き続き、ご説明をお願いいたします。

○東北電力株式会社 それでは、56ページから機器・系統系の点検関連に関するコメント回答になります。

57ページに先生方からいただいたコメントを記載させていただきます。ここでは、コメントNo. 1の分類としまして、点検方法、判定基準に対するコメントと、No. 2ということで点検者の力量に関するご説明をさせていただきます。

ページめくっていただいて、58ページお願いいたします。

まず、地震後の設備点検方法に係る検討ですが、地震時に想定される損傷の形態は、設備の種類や設置方法等によって異なるため、機器ごとに損傷要因、損傷モード及び損傷部位を分析させていただきます。

この分析の結果得られた損傷想定部位の確認に当たりましては、適切に損傷状況を把握可能な点検手法を検討するとともに、この手法が定期点検等でも用いた設備点検手法で対応可能であることを確認しております。

具体的には、次のページ、59ページをお願いいたします。

こちらは横型ポンプを例としまして、損傷要因モードと点検方法を分析、整理した結果を示してございます。

一番左側でございますけれども、地震によって損傷要因を考える上で、ポンプ本体の応答が過大になるということを想定します。それ以降、ポンプが揺れることによって荷重がどのように伝達していくかということを経験というところで検討しまして、最終的に、現象の一番右側になりますけれども、基礎ボルトの損傷というのが可能性として分析されます。以下、同様に各部の損傷想定部位を分析した結果でございます。

その右側、点検手法でございますけれども、例えば基礎ボルトにつきましては、点検手法として①⑦⑧⑨とございまして、外観目視点検、⑦ではボルトの頂部の外観確認といったことで、点検手法を設定してございます。

こういった損傷要因分析と点検方法を確認しまして、要領書のほうに反映した形で地震後の健全性確認をするという流れになってございます。

ページめくっていただいて、60ページをお願いいたします。

60ページでは、各設備の点検項目及び判定基準に係るご説明になります。こちらにつきましては、これまでの保全で適用している定期事業者検査の判定基準や国の技術評価がなされた民間規格等を準用しております。

例えば、表の一番上になりますけれども、外観目視点検につきましては、判定基準の規格としましては、日本機械学会の規格を用いまして、例えば判定基準の例としましては、機器に変形がないことですか芯合わせ不良がないかどうか、あと異常な傾き、こういった観点で点検、判定をしているというものでございます。

ページめくっていただいて、61ページをお願いします。

61ページは、点検者の力量になります。こちらの力量管理につきましては、作業員名簿等を協力会社から提出いただきまして書面等で確認をしてございます。例えば、浸透探傷検査でございますけれども、こちらにつきましては社内のマニュアルに定める公的資格を有するかどうか、あるいは協力企業内で資格認定されたかどうか、そういった観点で確認を実施してございます。

2つ目の矢羽根でございますけれども、外観目視及び漏えい試験に関しましては、JIS 規格に基づきまして検査に要求される近方の視力、こういったことで視力の問題のない方を配置するというところでございます。また、目視点検、漏えい試験の実施に当たりましては、教育を受講しているかどうか、こういったことも確認のポイントとなっております。

それ以外の点検につきましては、業務の経験ですとか経験の年数、こういった観点での確認を実施してございます。

次のページをお願いします。

62ページは、コメントの No. 3 ということで、点検体制に係るご説明になります。下の図に、点検評価の体制、あとは点検の概略フローを示してございます。

青書きの部分が当社の体制でございます、責任者のもとに各チームを配置してございます。各チームが協力会社と協力し合って点検等を実施する流れとなっております。また、品質保証チームもございまして、各チームの品質保証に対する観点から指導・助言を実施する体制となっております。

右側の図でございますけれども、こちらは当社、協力企業における計画・点検・評価段階における図書の流れあるいは承認行為等を示しているものでございます。今回、こういった体制を構築して、実際に先ほど申しましたような地震による損傷要因モードを分析することによって、こういった観点で点検をすればいいのか、そういったことを当社、協力企業と一緒に検討した結果がございまして、こういった今回の対応は、今後地震があった場合の対応につきましても効果的に対応していけると考えてございます。

ページ進みまして、63ページをお願いします。

ここからがコメント回答 No. 4 ということで、点検結果に関するご説明となります。

最初に、全体概要ということでご説明させていただきましたけれども、下の表にありますように、基本点検の結果としまして、地震に起因する事象が確認されております。こちらにつきましては、いずれも安全機能に影響を及ぼす事象ではないことを確認してございます。

次ページ以降、少し具体的な例を皆様にご説明したいと思います。

ページ進んで、64ページお願いいたします。

64ページは、基本点検で損傷が確認されなかった機器の例としまして、先ほど横型ポンプの地震損傷要因分析の結果をご紹介しましたけれども、その結果として各部位の点検を実施してございます。各部位といいますものは、現象の欄の各青枠で囲まれた部位となります。こちらにつきまして各点検を実施しまして損傷が確認されなかったというものでございます。

ページ進みまして、65ページお願いします。

ここからは地震起因事象の対応例ということでご説明いたします。

左下の写真をごらんください。水色の配管が縦に立っておりますけれども、こちらが非常用ガス処理系の配管でございます。この配管を支持するサポートが銀色のものがございます。この配管とサポートの部分が地震によって擦れまして、写真の真ん中と右側になりますけれども、塗装の剥離が確認されたというものでございます。こちらの剥離につきましては、補修等を実施しております。

次のページをお願いします。

次のページは、配管保温外装カバーのずれということでございます。こちらの配管は主蒸気系の配管になりまして、高温配管でございますので保温材が敷設されております。この保温材が地震によって揺らされて少しずれが確認されたというものが、写真の右下でございます。赤囲みの部分でございます。こちらにつきましてもカバーを元の位置に復旧してございます。

ここまでがSクラスの確認ということで、地震に起因する事象として確認されたものでございます。

67ページお願いいたします。

67ページからがB、Cクラスの設定ということで、高圧・低圧タービンの地震起因の事象についてご説明いたします。

タービンは回転体でございまして、動翼というものがございます。こちらは右側の図の赤い部分でございます。その周辺に静翼というものがブルーの絵で書いているところがございます。こちらは蒸気の流れが効率よく動翼に伝わるように導く設備でございます。こういった赤の部分と青い部分が地震によって接触しまして、写真の赤丸で囲んでいる部分、こういったところに接触痕が見られたというものでございます。

こちらにつきましては、表面研磨、手入れ、補修等を実施し、その後、非破壊検査を実施して異常ないということを確認してございます。

次のページをお願いいたします。

68ページ、こちらもタービン系で確認された事例になります。こちらは中間軸受箱というものが右側のオレンジで示された部分になります。この軸受と申しますのは、回転する軸と接触しており荷重を支持するものであります。タービン系全体が地震によって揺らされることによって軸受を支えております基礎ボルト、こういったところに曲がり確認されたというものでございます。写真でいうと上の部分でございます。こちらの基礎ボルトにつきましては、8

本ございますけれども、全て取り替えを実施してございます。

続いて、69ページお願いいたします。

69ページは、地震の損傷要因分析結果と実際の点検結果の関係を説明したものでございます。下の主タービンに対する損傷要因モードの分析図をごらんください。

地震によりタービン本体の応答が大きくなりまして、それによって荷重が伝達、影響することによって、一番右側になりますけれども、基礎ボルトが損傷することが想定されました。こういった想定に対しまして、実際の点検結果ということで、下の写真の部分になりますところの基礎ボルトの曲がりを確認したと、こういったことが事前に想定した分析結果と点検結果が整合しているということのご紹介でございます。

ページめくっていただいて、70ページをお願いいたします。

70ページの説明は、コメント整理番号 No. 5ということで、制御棒の点検に関するご質問に対する回答になります。

まず、70ページにおきましては、改めて地震時の制御棒の挿入性につきまして、実機と解析による確認を実施してございますけれども、そちらについて問題ないことを再整理した結果が、下の表になります。

実機による確認結果といたしましては、3.11地震時におきましては、全ての制御棒が挿入されていることを確認してございます。その後の外観目視の結果、異常がないことを確認してございます。

次に、解析による確認結果でございます。解析におきましては、燃料集合体に着目した評価を行います。右側の図をご覧ください。赤い部分が燃料集合体でございます。右側の赤い点線がございます。燃料集合体は上部と下部を支持板によって支持されておりますので、地震によって揺らされますと中間部が膨れるように挙動いたします。こういったところの黒い矢印で示している部分、相対変位と申しておりますけれども、こういった相対変位を解析により評価いたします。その結果が、左側の表中になりますけれども、3.11につきましては18.2ミリという結果でございます。これとは別に加振試験で制御棒の挿入性、あとは健全性が確認された値としまして、燃料集合体の相対変位が40ミリという条件がありますので、それと比較をして、その内数であることから総合的に制御棒の挿入性に対しては問題がなかったという判断でございます。

次のページをお願いいたします。

71ページは、先ほども申しました加振試験の概要について、評価基準値の考え方について

ご説明いたします。

右側の写真が実際に加振試験をするときの实機大を模擬した試験装置でございます。このブルーの容器の中に制御棒1体とその周辺に燃料集合体4本を設置しまして、加振試験を実施します。加振試験は正弦波で実施します。先ほど申しました相対変位を与えた上で、制御棒の全引き抜き状態から規定挿入位置までの時間がどれくらいかかるかを測定いたします。

左側の図をご覧ください。横軸に相対変位、縦軸に制御棒の挿入時間を示してございまして、横軸の相対変位を徐々に大きくして、そのときの挿入時間について測定をしております。赤い横の線が規定時間でございまして、40ミリにおける値が十分問題ない値ということで、評価基準値と設定しているものでございます。

真ん中のところにマスキングがございます。こちらにつきましては、先生方のお手元にマスキングのないものを準備しておりますので、そちらをご覧ください。こちらのご紹介は、現在、新規基準を踏まえた耐震設計の審査をしておりますけれども、その中で我々がこれまでの工認で確認された試験と同じような試験をしまして、燃料集合体の相対変位を約60ミリまで実施しまして、その状態においても規定時間内に挿入できるということを試験した結果でございます。こういったことで、我々としては余裕という観点でも確認をしているというものでございます。

次のページをお願いいたします。72ページになります。

72ページにつきましては、目視点検の信頼性に対するご説明となります。

制御棒等に想定される損傷モードにつきましては、変形、曲がりでございますので、外観を目視を実施してございます。外観目視につきましては、規格基準に基づきまして、水中テレビカメラを用いて確認をしております。確認に当たりましては、社内資格を有するプラントメーカーの検査員、それと当社社員が双方で確認することによって信頼性を確認している手順としてございます。

続いて、通常点検と地震後の点検の抜き取りの考え方でございます。

通常点検につきましては、照射による影響を確認するため、照射量の多いものから抜き取りをしてございます。地震後の点検では、地震による影響を確認しますので、地震応答解析の結果ですとか地震時の制御棒等の揺れの特徴あるいは制御棒等の配列、こういったものが対称であるといったこと、あるいは点検の網羅性などを考慮しまして、右下の図になりますけれども、4分の1炉心、90度範囲から緑色の制御棒等を抜き取りまして点検を実施してございます。

継続使用の可否判断でございますけれども、目視点検の結果異常がなかったこと、あと、地

震応答解析の結果からも評価基準値の以内であったことから、継続使用が可能であると判断してございます。今後、系統機能試験におきましては、全制御棒に対する機能試験を実施しまして、挿入性を確認する予定となっております。

次、73ページをお願いいたします。73ページにつきましては、燃料集合体に対するご回答になります。

まず、目視点検の信頼性につきましては、制御棒でご説明した内容と同様でございますので、割愛させていただきます。

抜き取りの考え方につきましては、燃料の燃焼の度合い等を考慮することで網羅性を確保してございます。

点検結果でございますけれども、地震による変形、損傷は認められなかったということを確認してございます。

次のページ、74ページをお願いいたします。

こちらは実際に抜き取りしたものを示してございます。左側に炉内のもの、右側に使用済燃料プール内のものを示してございます。

炉内の方についてご説明しますけれども、燃料集合体は2つの型式がございます。この2つの型式につきまして、燃焼度合いの低いものと高いもの、こういった観点で抜き取りをしまして、図中左下にあるようなところ、緑色と黄色の部分でございますけれども、こういったところを抜き取りで点検をしているというものでございます。

続いて、75ページをお願いいたします。

75ページは、地震応答解析に対する結果でございます。地震による燃料集合体の応力、状態がどうだったかということで、右側に評価箇所のイメージ図を書いてございますけれども、スペーサ間、スペーサ部、下部端栓溶接部、この3カ所について評価をしてございまして、いずれとも評価基準値を満足していることを確認してございます。

また、地震による疲労の影響についても、下部端栓溶接部について評価をしてございまして、こちらも評価基準値に対して十分小さいことを確認してございます。

継続使用の判断につきましては、目視点検の結果、地震応答解析の結果を総合的に評価しまして、再使用については問題ない、可能であるということ判断してございます。

続いて、76ページになります。

76ページからは、機器・系統に関する地震応答解析に係るコメント回答となります。

ページめくっていただいて、78ページをお願いいたします。

78 ページ目は、まず、機器・系統の地震応答解析の流れについて説明させていただきます。

左上でございますけれども、地震観測記録がございます。この観測記録を使いまして、原子炉建屋の地震応答解析をしまして、再現性のよいシミュレーションモデルを構築します。先ほど建築側で説明した内容になります。この結果から得られる床応答スペクトルを設定しまして、設備の健全性評価という流れになります。

図中、左側でございますけれども、地震観測記録から床応答スペクトルのところに矢印がございます。こちらにつきましては、コメントでいただきました機器自体に観測記録があるかというご質問でしたけれども、こちらにつきましては機器自体に観測記録はありませんけれども、機器が設置される床につきましては地震計が設置されてございますので、そういった地震計の観測記録これも含めて床応答スペクトルを設定しまして、各設備の健全性の評価をする流れとなっております。

79 ページをお願いいたします。79 ページは評価対象設備に関する説明となります。

まず、「止める」「冷やす」「閉じ込める」の機能を有する耐震Sクラスの設備、Sクラスに波及的影響を及ぼすおそれのある設備を対象としまして、構造強度評価125設備、動的機能維持評価を35設備について実施してございます。

また、2つ目の矢羽根ですけれども、地震の継続時間が長かったことを考慮しまして、疲労の影響が大きいと考えられる設備に対しても、4設備を抽出しまして疲労評価を実施してございます。

評価部位につきましては、これまでの工認ですとか既往の評価結果を踏まえて、裕度の少ないところを対象として実施してございます。

ページ進んで、80 ページをお願いいたします。

80 ページにつきましては、まず、構造強度評価についてご説明します。ここの評価では、地震により設備に負荷される地震力、あとは設備に負荷される内圧等によって、設備の部材に発生する応力を算出いたします。その算出値が材料に許容される評価値、評価基準値でございますけれども、これ以下であることを確認するものでございます。

実際の評価は左下のフローでございまして、段階的な評価を実施してございます。圧力等の評価条件につきましては、これまでの工認の条件を基本としておりますけれども、地震の影響を詳しく確認するに当たってはより実態に合った評価条件を設定して評価をしています。

3番目の矢羽根でございまして、評価基準値に対するご説明になります。今後、設備を再使用する観点から、設備の応答につきましては弾性応答範囲内、日本電気協会の技術指針

(J E A G 4 6 0 1) に規定されている値を用います。

図中の右側をご覧ください。横軸にひずみ、縦軸に応力をとっておりますけれども、力を加えた場合に、応力とひずみの関係が比例関係にある部分、こういった範囲を弾性応答範囲と申しておりますけれども、今回の評価結果がこの範囲内であることを確認しているというものでございます。

続いて、疲労評価に関する説明になります。

ここでは、3. 1 1 地震、4. 7 地震の地震観測を用いた地震応答解析を行います。左下の疲れ累積係数の算出手順というところの①でございますけれども、地震による繰り返しピーク応力強さと言うのを時刻歴で求めます。これとその下②でございますけれども、設計疲労線図、こちらは日本機械学会で設定されたものでございますけれども、この関係からピーク応力強さの許容繰り返し回数との関係を用いまして、疲れ累積係数というものを算出します。これが基準としまして1以下であることを確認するものでございます。

右側に3. 1 1 地震及び4. 7 地震の地震波形、それと平成17年8月16日に確認された波形を載せてございます。8月16日の影響でございますけれども、ご覧のとおり4. 7 地震に比べても地震規模が小さく、設備に対する疲労の影響は極めて軽微であると評価してございます。具体的な評価結果につきましては、この後にご説明いたします。

ページめくっていただいて、82ページをお願いいたします。

82ページには、動的機能維持評価ということで、地震時に動的機能が要求される弁あるいはポンプといったものの評価になります。こちらは地震応答解析によって対象設備に負荷される地震の応答加速度を評価しまして、評価基準値との比較を実施します。評価基準値につきましては、日本電気協会のJ E A G 4 6 0 1で規定される値、あるいは試験等で妥当性が確認された値と比較しまして、その内数かどうかという確認をしております。

なお、評価基準値である機能確認済加速度というものは、余裕を持った値となっており、各機器の限界の加速度ではないということを申し添えさせていただきます。

ページ進みまして、83ページをお願いいたします。ここからが評価結果のご説明になります。

まず、構造強度評価でございますけれども、記載してるとおり、全ての設備につきまして評価基準値を下回っており、弾性応答範囲内であることを確認してございます。

このうち、②の炉心支持構造物につきましては、評価基準値と発生値に近い値になってございますけれども、発生値の算出に当たりましては荷重の設定を安全側に設定してございますの

で、実際の発生値というのはこれより小さいと想定されます。

また、一番下の主蒸気系の配管でございますが、これも発生値と評価基準値が接近してございます。評価基準値につきましては、こちらは最高使用温度が300度付近でございますけれども、そちらの値でございます。実際4月7日の地震のときは冷温停止状態でございますので、この評価基準値は実際には3割程度上がるような状況となっておりますので、問題ないと判断してございます。

続きまして、84ページをご覧ください。84ページでは疲労評価にかかわる評価結果でございます。

こちら、いずれとも評価基準値1.0に対しまして、合計値のところを見ていただきますと十分小さい値となっておりますので、疲労についても問題なかったと評価してございます。

ちなみに、4.7地震に関する地震による疲れ累積係数というところを見ていただきますと、地震によるこの疲れ累積係数の増分といいますのは、かなり小さい値であることがわらうかと思えます。

続いて、85ページをお願いいたします。

85ページ目は、動的機能維持評価に対する結果となります。制御棒あるいはポンプ、弁といったものの評価結果になっております。いずれも評価基準値を満足しております。

一部、この中で⑨の主蒸気系配管（主蒸気隔離弁）は、4.7地震につきまして、鉛直方向の加速度が評価基準値を超えたために、弁本体の構造強度評価をして弾性範囲内であることを確認しておりますけれども、今現在、適合性審査の中で地震動が大きくなったということも踏まえて、主蒸気隔離弁の加振試験を実施してございます。その中では4.7地震で確認された加速度より大きい加速度で試験を実施しております。問題のないということを確認しております。

続きまして、ページ数で86ページをお願いいたします。86ページは、点検結果と地震応答解析の関係についてのご説明になります。

設備点検の結果としまして、Sクラス設備に係る地震後設備点検の結果、構造強度・機能に影響を与えるような損傷は確認されませんでした。地震応答解析結果におきましても、構造強度評価、疲労評価、動的機能維持評価について、いずれも評価基準値を満足しているということを確認してございます。

そういったことから、まとめとしまして、点検結果と地震応答解析の結果は整合しているという判断でございます。

続きまして、87ページからその他のコメントということでご説明させていただきます。

88ページをご覧ください。

こちらは、耐震クラスの相違による影響に関するご質問がありました。具体的には、89ページのところでご説明させていただきます。

まず、低耐震クラスの耐震設計についてでございますけれども、地震時にB、Cクラスの波及的影響によってSクラス設備の安全性が損なわれないことが要求されてございます。今回、Bクラスの設備として燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーンは、Sクラス設備である使用済燃料プールに落下しないことが要求されておりますので、こちらに対して点検で問題がないことを確認しておりますが、これとあわせて解析による確認をしております。その結果がその下の表でございます。

いずれの評価につきましても発生値は弾性応答範囲の基準値を下回っておりますので、解析的にも問題なかったということを確認しております。

下のところ、耐震設計における機器と建屋の関係でございます。こちらにつきましては、原子炉建屋等の重要な施設の基礎は強固な岩盤状に設置されており、地盤沈下等により重要な設備が損傷しないように設計してございます。また、建屋間を渡る配管につきましては、建屋間の相対変位を考慮した設計をしております。また、地震後の設備健全性確認結果としましては、建屋と機器の連結部である基礎台、基礎ボルト、こういったところにつきましても損傷の有無を確認しております。Sクラスの設備に波及的影響を及ぼす損傷はなかったということを確認しております。

ページ進みまして、90ページをお願いします。90ページにつきましては、コメント No. 9ということで、地震動と施設固有周期の関係についてご紹介いたします。

地震の揺れによる設備被害について整理したものでございます。こちらの整理につきましては、源栄先生の論文を参考にしてまとめさせていただきました。

地震の揺れは、建物の場合、その基礎地盤が揺れることによって慣性力というものが作用されます。その分析としまして、図の右側下をご覧ください。横軸に最大変形を整理しまして、縦軸に最大加速度を整理します。そうしますと、大きく黒の分布のように、短周期が大加速度となる地震動の場合と、赤の線のように、建物を変形させるパワーがある地震動の場合に整理されます。

91ページをお願いいたします。

先ほどの整理に基づいて、宮城県の3.11地震での例を2つ載せてございます。

まず、右側の大崎地区の分析した結果をご覧ください。これを見ますと、先ほどの赤の線のように変位が相当大きいような分布になってございまして、住家の全壊が数多く確認されたというのがわかります。一方、築館地区につきましては、加速度は大きかったわけですが、住家の全壊としましては3棟ということで少ない状況があるということで、こういった特徴があったことがわかってございます。

こういった整理を、92ページでございまして、女川原子力発電所に対しても整理した結果を左下のグラフに示してございます。左側が3.11地震、右側が4.7地震の整理結果でございます。こちらを見ますと、変位が非常に小さく加速度が大きい揺れであったということがわかってお思います。この結果は、女川原子力発電所の地盤がかなり固いところに、硬質地盤に設置されておりますので、そういったことを裏づける分析結果になっていると考えてございます。

続いて、93ページをお願いいたします。

93ページ目は、コメントのNo.10ということで、女川1号機の天井クレーンに関するコメントに対するご回答ということになります。

まず、緊急的な使用時の扱いでございます。当時の天井クレーンの状況について事実関係を説明させていただきますと、3.11地震発生時は使用済燃料プール等のSクラスの設備に波及影響を与えることはなく、落下防止機能は満足していたことを確認してございます。その後、天井クレーンは異音があったものの走行可能な状態でありましたが、異音発生の原因調査として走行軸受の損傷を確認しました。そういったことから、必要な機能が満足できないと当社は判断してございます。

そういったことから、仮にこのような状態で燃料取り出しをする必要性が生じていた場合を仮定しますと、当該天井クレーンを使用して作業するというのではなくて、まずはプラントの安全性確保のために「止める」「冷やす」「閉じ込める」といった機能維持を万全にして、それと並行して天井クレーンの機能を復旧するということになろうと思っております。その上で、その後安全に燃料取り出しをするということになろうと考えてございます。

下半分になりますけれども、軸受の構造変更に係るご回答になります。

女川1号機と女川2・3号機の軸受が異なる理由につきましては、軸受メーカーの標準型式の変更に伴うものでありまして、耐震性能の向上を意図したものではないことを確認してございます。

また、天井クレーンの軸受自体につきましては、基準地震動Ssの地震力に対する要求機能

はございません。これは 耐震Bクラスというものでございます。なお、ガーダ等の強度部材、クレーン本体、こちらにつきましては落下によるSクラス設備への波及的影響の観点で、基準地震動S_sに対する評価を実施することになってございます。

ページめくっていただいて、94ページをお願いいたします。

94ページは、天井クレーンの荷重の伝達にかかわるご説明になります。

左側の図をご覧ください。地震によりまして、まず①ということで、原子炉建屋が揺らされます。それ以降、荷重が伝達しまして②のレール基礎、③の車輪部、④のガーダ、⑤トロリというふうに伝達していきます。このときに、天井クレーンの落下防止対策ということでご紹介しますと、右側の吹き出し、赤枠で囲った部分がございます。下のところがございますけれども、地震によって上の車輪部がございますけれども、この車輪部がこのレールを外れるような状況になった場合につきましては、脱線防止ラグというものがございまして、これが脱線を防止する役割を持ちます。こちらにつきまして強度評価ですとか耐震補強工事等を当社のほうでは実施しているというものでございます。

続きまして、95ページをお願いいたします。

95ページにつきましては、コメント No. 11ということで、シュラウド、原子炉再循環系配管のひびに対するご説明になります。

女川2号・3号機のシュラウド、原子炉再循環系配管に係る地震による変形等につきましては、外観目視点検を実施した結果として異常は確認されませんでした。

下に表を載せてございますけれども、上の段がシュラウドの点検状況、下の段が原子炉再循環系配管に対する点検状況ということで整理してございます。このうち、女川2号機のシュラウドにつきましては、右側の震災後の点検状況でございますが、目視点検等で異常がないことを確認してございますけれども、もともと再稼働前にはひび自体の状況を確認するというところで考えてございます。

続いて、96ページ、最後のページになります。

こちらはコメント No. 12ということで、配管減肉に対するご説明になります。

まず、管理方法でございますけれども、配管系の減肉に関する管理につきましては、社内要領に基づき管理をしてございます。地震後の確認結果としましては、過去に点検して余寿命が短いものを選定しておりまして、表面の異常を確認するために目視点検を実施してございます。その結果として、有意な変形、漏えい痕が確認されず、配管の健全性に問題はなかったということを確認してございます。

また、長期停止中の現在でございますけれども、こちらにつきましても社内要領に基づきまして肉厚測定を実施し、異常な減肉等が確認されていないということでございます。

私からの説明は以上でございます。

○座長 ありがとうございます。それでは、ここで5分間休憩をとりたいと思います。再開はちょっとまた5分後としますので、13分にしたいと思います。よろしくお願いいたします。

〔休 憩〕

○座長 それでは、議事を再開いたします。

初めに、この件につきまして、欠席の先生から何かコメントがありましたら、事務局からご報告をお願いいたします。

○事務局 特にコメントございませんでした。

○座長 はい。それでは先生方、何か質問等がありましたらご発言をいただきたいと思います。はい、源栄先生、お願いします。

○源栄委員 地震動と被害の関係で加速度による被害、変形による被害、私、しつこく今まで研究者、社会向けでやってきて、これはよくまとめられているとあってうれしいんですけども。今日の資料を見て幾つか質問とコメントさせていただきます。

質問は、ちょっと図からいうと28ページのこのクラックの絵で、ちょうど真ん中に曲げクラックがあって、これ面外曲げでひょっとして閉じてるんじゃないかというようなことですね。せん断力クラックというのは閉じないと思うんですけどね、曲げクラックは実際これは大きく開いて閉じちゃっているんじゃないのというのがあって、これは柱なんかだと非常に問題なんです、こういうものに対する扱いはどうなってますか。単純な、これはちょっと私の専門とは少し外れるんですけども。それが1つね。

それから、2つ目は、地震応答解析で大事なのは、結構片方向に揺すったときの直交方効果ということで、これがクリティカルになる場合もあるので、3次元応答解析やっているという回答をしているんですけども、3次元応答解析のときの入力波に関する説明が1つもないですね。これがシミュレーションのときと、それからこの規制基準に対する応答、3次元効果はどうなっているのかというあたりについて質問、これは質問です。入力波はどうなっているのか。2方向入力なのか、3方向入力なのか。上下動も含めて。この辺ですね。

それと、3番目の質問は、これは資料の中にB、CクラスとAクラス、いわゆる重要度の違

いによる影響、その境目が問題だと鈴木先生、私、柏崎の調査を先生と一緒にやって、排気筒のあれも見て感じてるんですけども、BWRの場合にはPWRと違って、タービンまで放射能含んだ水が行っているということで、水、要するに接点ですね、冷却水系統、これはタービン建屋の下にある復水器なんかはまさに接点なわけで、こういうところに対してちゃんとチェックしているんですかというあたりですね。水漏れは福島の場合にいろんなところからひよっとしたら漏れている可能性もあって、それ分析されているとは必ずしも十分でないような気もするので、その冷却水系と放射能を含んだ循環器系との接点のチェックなんかされているんですかというあたり、質問ですね。

それから、コメントになりますけども、累積応答、今日書類では3.11と4.7だけの累積応答をやっている。私、世の中に言って今非常に免震関係者からも評価いただいたのは、累積応答というのはこういう継続時間の長い地震の中の累積じゃなくて、通算累積ということが大事なの。通算累積というのは、竣工してから受けた地震が全部累積するんですね。大きい地震から中小地震まで。中小地震ほど回数多いです、余震もね。そうすると、大崎市の被害、免震建屋、鉛ダンパーの被害なんかでも250%私累積やった経験あるんですけども、そうすると、そういう3.11とか4.7の地震だけで済まない累積量があるんだと思う。そうすると余裕度が、今回の場合は少し余裕度があるから何とか大丈夫かなとは思うんです。ぎりぎりのときなんかだと非常に問題なんですね。人間がつくったものは竣工したから破壊が始まるという、自動修復機能はないんですね。生物は自動修復するけどね。人工物は戻らない。これをトータルという意味での、トータル累積ですね、1つの地震の累積ではない。これがどれぐらいの位置づけにあるのかという、これをコメントでぜひ、世の中に免震、原発ばかりじゃないんですけどね、一般構造物もあるんです。この辺が非常に気がついたところ。

以上でございます。質問とコメント。

○東北電力株式会社 コメントどうもありがとうございます。

1つ目の28ページのクラックですが、横方向に入っているクラックに関してですけれども、これは点検のほうからちょっと回答あると思います。

○東北電力株式会社 東北電力の福士と申します。点検を担当しておりました。

28ページのちょうど真ん中に薄い緑色の線が入っているのを構面外の曲げひび割れではないかというご指摘かと思われます。

この図面の下の方の凡例をちょっと見ていただくと、実は、ひび割れの幅によって色分けをしていますが、それと同時に、地震によるものと地震によらないものという形で、太さ

で分類をしてございます。この真ん中の緑の盛り上がった線ですけれども、ごらんになると薄い細い緑色でございまして、我々は、これは地震によるひび割れではない、要するに曲げひび割れではないというふうに判断してございます。

なぜかということですが、これは、建設当時のコンクリートを打ち回していくとき打ち継ぎのひび割れになります。では、次は、この山型のひび割れ以外、ほかに打ち継ぎのひび割れがないのはどうしてですかというご質問がってくるかと思うんですが、実は、19ページをごらんになっていただきたいんですが、こちらのひび割れ点検のフローでございませぬ。

最初に、地震によるもの、よらないものということで分類するんですが、地震によるものについては幅に関係なく、これは全部記載すると、記録に残すという形なんですが、地震によらないものについては、幅が0.3ミリ以上の比較的大きいものについては記載していく。これは例えば乾燥収縮ひび割れであるとか、今申し上げたような打ち継ぎ部分といったものについても記載していくんですが、0.3ミリを超えない地震以外のものについては、こちらは非常に数も多くなりますので、そちらについては記載をしていないというような状況でございませぬ。

実際には、現地を見ると、例えば縦の打ち継ぎであるとか、この打ち継ぎのほかにもまだ幾つか見られるという状況で、我々はこのひび割れは打ち継ぎ、曲げではないと、曲げのひび割れではなくて、打ち継ぎによるひび割れであるというふうに判断してございます。

○東北電力株式会社 ひび割れの状況としては今の説明のとおりでございませぬ。

もう一点、3次元応答解析のほうですね。こちらは、申しわけございませぬ。入力条件等省略してございませぬけれども、これは3方向の入力ですね。NS、EW、アップダウンということでやってまして、要は地震時の状況そのままを解析するといった中身でございませぬ。そのうちのスペクトル図は1点しか、2点ですか、示してませぬけれども、こういった形での整合性を確認した上で、出てきた各階のひずみであった応力とかそういったのを踏まえての点検結果との比較等をやってございませぬ、問題ないという判断でございませぬ。

○源栄委員 それでね、そのときに別なモデル、型を別なモデルでやった応答と同じモデルで片方向やったときに対してどれぐらい問題になる応力、部位に対して直交効果があるのかというのを整理しておくというのは大事だと思いますね。モデル違っちゃうとね、どっちの影響かわからなくなっちゃう。その辺ちょっとコメントになりますけどね。

○東北電力株式会社 はい、ありがとうございます。

基本的には、面内方向のひずみと、あと、同じように面外にも揺られるというそういうことだと思いますけれども、そのあたりも考えまして一応点検結果等を見ておりまして、そういった考察もしております。

あと、そういった2方向の問題というものは規制のほうでも、規制基準のほうでのポイントにもなっております、そういった影響についても国のほうでの審査の対象ということで、我々、説明することとなっております。

3つ目と4つ目……（「累積応答は……」の声あり）はい、については、また別の担当から説明します。

○東北電力株式会社 東北電力の小林と申します。

タービンとか、あとそれ以外の放射性流体を扱うような部位に関して、重要度の低いところであっても点検していますかというご質問だったかと思いますが、そちらに関しては、本日の資料の67ページ、68ページにもタービンの損傷例などが出てございますが、答えから言いますと、きちんと点検してございまして、現在、放射性の流体を貯蔵するタンク、容器などに系外に漏えいが確認されるような損傷はございません。

それでは全部終わったのかというお話があるかと思いますが、配管系などの部分に関しましては、今後、蒸気を通気しながら確認していくところがございます。それはあくまでもやはり蒸気がないと点検できないところがございますので、そういうものは蒸気を通気する段階でしっかりと確認していく。一部、水もこれから復旧にあわせてやっていくところもございますが、そこも確実に漏えい確認はやっていく計画としてございます。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。若干、現在、実施しています安全対策について、今の関連でご紹介をいたします。

復水器につきましては、海水系で蒸気を冷却するという事で接しておりますけれども、海水系を復水器に導くところにつきましては前後に弁がございます。こちらの弁につきましては、地震のスクラム信号あるいはその復水器の部屋の漏えいを検知しまして前後弁を自動で閉めるような安全対策をしまして、系外に放射性物質を含むような水が出ないような対策を安全対策として今回の新規制対象として実施しているということをご紹介させていただきます。

あと、もう一つ、先生からありましたコメント、累積の影響でございますけれども、中小地震も含めると地震による揺れの回数としては多くなると思います。一方、機器・配管系の疲労評価について若干ご説明させていただきますと、本日のページでいいますと、疲労評価のところがございますので、81ページをご覧ください。

81ページになりますけれども、左下のグラフをご覧ください。疲労評価を実施するに当たっては、まず、地震によってどういう繰り返しの荷重がかかったかということで、応力の大きさを評価いたします。その応力がどれぐらいの大きさかによって、許容繰り返し回数が設定されるわけですが、中小地震の場合は応力が小さいですので許容される繰り返し回数というのは多くなるという傾向になります。

あと、こちらの日本機械学会で設定している設計疲労線図でございますけれども、こちらにつきましては応力で2倍、回数で20倍といったような余裕を持たせておりますので、設計の根拠となるこういった線図に対しても余裕が含んでいるということをご回答いたします。

○源栄委員 このSNカーブというのは、SNカーブというものね。（「そうです」の声あり）
SNカーブに対してどの位置にあるんですかというようなね、これポンチ絵だけじゃなくてね、数値で示していただくとありがたいんですけどね。余裕、検討する、十分がある、どれぐらい十分あるかというのは出てるんですか。

○東北電力株式会社 そちらにつきましては、具体的な評価結果を見ていただいたほうがよろしいと思いますので、84ページをご覧ください。

84ページに、今回疲労評価をした設備としまして4つほど載せてございます。1番上の④残留熱除去系配管の評価結果を載せてございます。地震による疲れ累積係数でございますけれども、3.11地震について全ての応力のかかったところをカウントしますと0.0027ということで、かなり極めて少ない影響です。評価基準値としましては、これを1を超えると判定としてNGになるわけですが、それに対しても十分あります。繰り返しになりますけれども、この評価基準値1というのは、ここを越えるとすぐさま設備が壊れるというものではなくて、先ほど申しましたように、設計疲労線図自体に余裕がございますので、実際の疲労に対する設備の影響というのはまだ余裕があるかなと考えてございます。

今後、新規制基準の中では、今回設定しました基準地震動、こちらの継続時間につきましては3.11地震を踏まえて長い継続時間を設定してございます。そういったことから、機器・配管系に想定する疲労の評価条件も今回見直して評価をするということでございますので、今後の適合性審査の中でそういった見直しの内容、実際の評価結果について国のほうにも説明していくということで考えてございます。

以上です。（「わかりました」の声あり）

○座長 それでは、ほかに。栗田先生、お願いします。

○栗田委員 幾つか質問があります。

43 ページですが、ここではひずみを比較しているので気になった点があります。表の中の評価基準値に終局耐力と書いてある。耐力ではなくて、ここは終局耐力時ひずみなので、上の文言のところも「終局耐力時のひずみに対して」ですよね。

基準というのはひずみで規定されているのですか、耐力で規定されているのですか。どちらでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力尾形です。すみません。コメントありがとうございます。

「終局耐力時のひずみ」が正しくて、基準というのは、基本的にはこのひずみを見るというのが機能維持の評価の基準になります。ひずみで見ます。

○栗田委員 はい、わかりました。

次が、45 ページのこの解析について聞きたいのですが、これは3階部分を取り出して、静的な非線形FEM解析を行ったものでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力尾形です。

これは、3階部分を取り出して動的な非線形の解析をやってございます。その時の入力につきましては、これはちょっとわかりにくいんですが、1点に集約されているような図が載っているんですけども、この点がちょうど質点系モデルの3階部分の応答になりまして、このNSあるいはEW方向の応答と、それから回転につきましてもここは地震計が3つ以上、アップ・ダウンありますので、そこから回転を一応出してそれを入れています。

○栗田委員 つまり、3階のオペフロの観測記録を入力して、3階部分も揺すったという……（「そうです」の声あり）わかりました。

次に、46 ページのところの、今度は建屋全体のFEM解析のところですが、ここに載せてある、図番号書いてないですが、建屋全体の3次元FEMモデルによる解析結果があるが、これと39 ページのシミュレーションのところとで観測記録が違うのですが、何か理由があるのですか。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

この3次元FEMモデルの、観測記録が2RB-8ですね。それとこちらの2RB-9ということで、複数ありますのでちょっと違うものを比較しておりますけれども、そういったことでございます。3次元FEMモデルですので、全ての観測記録を出すこともできますけれども、今回の抜粋上、ちょっと違った記録を抜粋していただいた……

○栗田委員 できたら一緒のほうが……（「そうですね」の声あり）違いがわかりやすいんじゃないかなと思います。（「すみません」の声あり）

その次に、その結果が47ページですが、この詳細な3次元FEMを建屋全体でやって、ひび割れが発生したかどうかだけの判断をするのは、ちょっともったいないかな。実は、3次元FEMやって最大せん断ひずみの値が出ていない。出したほうがいいじゃないかなと思うのですが。

○東北電力株式会社 東北電力尾形です。

そうですね。ここでは、最大せん断ひずみ、数字では書いてはいませんが……そうですね、コンター図上の色分けでもって、およそ0.8から0.9に行くかなというところですかね。

○栗田委員 ですよ。

○東北電力株式会社 そういった形に見えるかと思います。

○栗田委員 そういう意味で、最初の国が決めた基準値に対して詳細やったけども、簡略モデルで詳細やって、この解析をやってもその基準を満足していることを確認したというのがよろしいんじゃないかなと。

○東北電力株式会社 おっしゃるとおりですけども、はい、今回のちょっと抜粋での説明ということで、詳細、数字等記載したいと思います。

○栗田委員 最後が49ページの総合評価なんですけれども、「以上のことから原子炉建屋の健全性が確保されているものと判断した」と書いてあるんですが、もう少し丁寧に説明されたほうがよろしいんじゃないでしょうか。そもそも、ここでは健全性の確認を行っている。つまり3.11地震で健全性が失われていないことを確認したということじゃないかなと思うんですが、いかがでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力尾形です。

そのとおりでございます。（「以上です」の声あり）

○座長 そのほかご質問。兼本先生、お願いします。

○兼本委員 私の質問は、39ページの初期剛性と減衰ですね。定数の変化で、観測ともよく合っているということですね。それと、経年変化が次の41ページで、時間比がずっとあるんですけども、健全性には影響は与えないんですけども、シミュレーションモデルの妥当性を主張するという意味では大事なデータだと思うんですが、この初期剛性と減衰定数を補正したとあるんですけども、この変化というのは物理的にはどんな原因を想定しているかということと、もう一点、それに絡んで、今の41ページの経年化で3.11のところ、急激に固有値が下がって元に戻っていないという、これも地震の影響だろうと思うんですけども、その

辺の物理的な原因を少し教えていただきたいんですが。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形でございます。ご質問ありがとうございます。

この37ページのシミュレーション解析ですけれども、こちらにつきまして、元々の質点系モデルというのは、設計基準強度に基づいてその壁のせん断剛性であるとか曲げ剛性であるとかそういったのをモデル化して、その後、力を加えていきますとやっぱり非線形化していきまので、非線形化するその壁の復元力特性とってまですけど、要は力と変形関係ですね、そういったものをモデル化をして解析しております。

それが、その38ページに力と変形関係についての、いわゆるコンクリートですと本当は曲線になるわけですけれども、実験しますと曲線になりますけれども、数値モデルですので、これを3つの折れ線でもってモデル化しているのが、その38ページの左側の3階上部の骨格曲線とってまですけども、これが力で壁を押した場合にだんだん力と変形関係が寝てくるといった状況で、最初の立ち上がりのところが、コンクリートの基準強度に基づくヤング係数から算定しているわけですけれども、それが通常ですと、あるところになると、折れ線ですので剛性が落ちてくること、これは考慮できるようにはなっているんですけども、どうもそこに至るか至らないレベルからどうも剛性が落ちて、今回はその設計モデルそのものにやりますと、なかなか剛性が落ちないレベルになってきて、どうも観測記録と合わないなということで、この最初の立ち上がりの剛性を落としてあげないとどうも合わない。これが3階もそうなんですけれども、地下というか3階以下ですね、こちら右側の青の線で書いてますけれども、これは2階の部分を示してますけど、ごくわずかな傾きに見えちゃいますけど、この0.75倍にしないとやっぱりちょっと合わないというそういうことでございます。

これを要因とか、この剛性が落ちることに関して、何でもこういうふうになるんだということで、我々も国のほうの審査の中でも聞かれておりますし、この剛性が落ちることによって、耐震性に問題があるのかなのかといったところが、今後の基準地震動 S_s に耐えられるかどうかというそこに大きな問題になりますので、そういったところの説明をさせていただきます。

それについては、資料-3のほうに今回ご説明する予定になっておりまして、午後に詳しいところを説明はいたしますけれども、実験なり等をやっているんですけども、どうもコンクリートの乾燥収縮の影響と、それから地震の揺れですね、乾燥収縮があるところで地震の揺れが来るとどうも剛性が落ちるといったそういった実験結果が得られてまして、やはりそういうところが想定されておりました。

ただし、最終的には、終局耐力ですね、耐震壁がどこまで力に耐えられるのか。そういった

ところは影響しない。あるいはそのときのひずみがすごく進んでしまっただけで変形がすごく大きくなっちゃうのかと、そういうこともなくて、終局状態には影響はないんですけども、最初の立ち上がりのところはどうも影響があるというのが我々の結論でして、耐震上は問題はなくて、あくまで最初の剛性を下げたようなモデルでもって、基準地震動 S_s に耐えられるかを解析していくことが耐震性の評価になると、そういった結論でございます。

○兼本委員 要は、ひずみと応力の曲線の小さいところの変化ということで、塑性変形とかそういう範囲では全くないということと捉えていいんですね。

鉄骨の変化はあまり関係ないんですね。コンクリートの特性変化と、コンクリートと鉄骨の間の密着度合いとか、そういうのもあり得るかと思うんですが、その辺まではあまり正確にはわかっていない……。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

コンクリートの中の鉄筋との付着ということだと思いますけれども、その詳しいところ、本当の詳しいところはやっぱりそれは非常に研究的な要素もありまして、そこまで詳しくわかっているかといわれるとなかなかまだ詳しい説明はないんですけども、ただ乾燥収縮をしている試験体とそうでない試験体だとやっぱりここに差があるというのは間違いないと思っていますので。

○兼本委員 わかりました。ぜひ、緊急を要するというわけではないですけども、研究要素としてはちゃんと説明しておいていただくと、シミュレーションの信頼性が上がるかなと思います。特に、長期間の劣化の話と、それから3.11のところでは急激に落ちて戻っていないというところは2つ別の問題が入っていると思いますので、ぜひ説明は地道に努力していただければと思います。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

研究的な要素が多分にあると思いますけれども、我々、引き続きこういったことを検討していくというつもりでおります。

○座長 はい、では、鈴木先生、お願いします。

○鈴木委員 鈴木でございます。

たくさんいろんな質問をさせていただいていたのに対して、非常に真摯に、それから繊細に答えていただきまして、また、事前にもいろいろご説明いただいたので、大変その点に対しては敬意を表したいと思いますが、その上でなんですが、どうしても僕は機械屋なんで機械系の立場から、まずちょっと大きな質問というのは、答えは簡単ですが、機械系の場合にはもちろん

んご存じのように、構造的な健全性というか安全性はもちろん大事です。配管、機器、熱交換器、容器、タンク、その他ございますけれども、むしろ動的な特性、ここで動的機能という言葉は出てきてはいるんですが、実際に、特に今回、前回にも出ましたように、少し改善しているとかシステムを変えているようなところもございますので、実際にその起動したときにどうなのかというのは非常に気になるわけですね。

それで、3ページに全体的な全体像があって、今回の説明範囲がフェーズ1ですので、その点ではもちろん結構なんですけど、このフェーズ2とかフェーズ3、つまりプラントが起動したときにどうなるのかとか、ページ3もそうなんですけど、この辺についてはいつの時点かでご説明をいただけることになっているのか。あるいは、ここの今回のこのプロジェクトではこれは範囲外なのか。それはどうなんですか。ここはいつかご説明いただけるんでしょうか。プラントを起動して設備の健全性、それから動的機能等が確認できたということは、何らかの形でご報告いただけるんですか。入ってないんですか。フェーズ2、フェーズ3と書いてはあるんですけど。

○東北電力株式会社 私どもの理解といたしましては、この安全性検討会の目的というものが、女川2号機を再稼働する前の段階で安全性を確認いただくというところですので、このところにつきましては、私ども、確実に1つ1つ安全確認しながらやってまいりますし、万一何か故障とかがあれば、それは当然プレス公表等をしてきちんとそういう場で説明をしていくことになると思っております。

○鈴木委員 そうですか。はい、わかりました。結構、ここ大事だなというふうに、いや、問題がなくても、非常にこういう点でよくなったという報告も、ポジティブな面も含めて、確認していただけると、私なんかになると非常に関心があるんですけれども。

その上でなんですけれども、動的機能の評価というのはそういう意味でとても大事で、これ今回もやってらっしゃるわけなんですけれども、そうすると、動的機能というのは、これもご説明いただいて、J E A Gの基準で評価したよと、それで大丈夫だったよというんですが、J E A Gの基準で評価するというのは、あくまでも動的機能がある側面からあれしたわけで、実際に回転している機械だとか動いているものに対して本当に安全なのかというものも、1つの僕は評価基準だというふうに理解しているんですね。

今回のこういうことがあったので、東北電力さんとしては、動的機器についてはこういう見方もしてちゃんと安全性を評価したよというようなことは特には考えておられないですか。その辺がちょっと質問としてはあったんですが、特には今は考えていない……。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。ご質問ありがとうございます。

動的機能につきましては、ポンプですとか弁とかそちらにつきましては、今時点での点検、解析結果につきましては、今時点で問題があるかないかという観点で点検で問題ないということを確認してございます。

それとあわせて、地震応答解析では、その設備に加わる加速度等といったものが別に加振試験を実施しているものを超えるか超えないかという観点で評価をして、それが許容値以下であるということを確認しております、総合的には問題ないというふうに考えてございます。

今後の確認についてだと思えますけれども、こちらにつきましては、先生から先ほどもご質問いただいたように、今後、復旧段階ですとか起動段階で各系統の機能試験を実施します。その中で弁が規定時間に動作するかどうか、あるいはポンプについては規定の揚程が出るかどうか、そういったことを確認する予定であります。

○鈴木委員 はい、わかりました。それは、ここの検討会では特に範疇ではないというようなことを今おっしゃいましたけれども、どちらかにはそれを報告なさる……

○東北電力株式会社 そうですね。そちらにつきましては、今後、我々のほうで要領書等を定めてきちんと試験をして、その結果をまとめていきますけれども、その結果につきましては、発電所において国の保安検査等を受けたり、あと、使用前検査、今後、評価を受ける形になると思います。そのように考えてございます。

○鈴木委員 評価を受けるわけですね。はい、わかりました。

最後に1つだけ、私にとってはちょっと気になるところを、今日気がついたところなんです、41ページのこの原子炉建屋の剛性低下なんです、ここに「わずかながら経時的変化による剛性低下傾向も見られる」と書いてあるんですが、私はこれはわずかと言えるかなと。つまり、7ヘルツ、確かに固有周期にしたら7ヘルツが0.14秒で5ヘルツに下がってますよね。0.2秒。これと建屋系の見方からするとわずかなとおっしゃるのかもしらんけど、機器系にとっては非常にここは深刻で、これだけ変化があると、建屋が揺らされた固有周期の固有ヘルツ数で今まで揺れなかったものが急に揺れたり、あるいはその影響が結構検討しなくちゃならないレベルだと私は思うんですけれども、いかがですか。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

先生のおっしゃるとおり、この変化、わずかな傾向という言い方は、何といいますか、竣工当初から徐々に低下しているというそういった意味をちょっと含んでいますけれども、3.11のときにぐっと落ちてますということで、この固有振動数が変わっているということが非常

に大事で、この固有振動数の変化をちゃんとあわせるモデルで、今後の基準地震動 S s の評価をしなければいけないと、そういうところをおっしゃってるんだと思います。（「そうです」の声あり）

もちろんそういうことが重要だと我々も思っているので、このシミュレーション解析を通してのこの剛性低下を考慮したモデルでやるということです。

○鈴木委員 了解しました。ちょっと揚げ足を取るような質問で失礼しましたが……

○源栄委員 ここは10%台のね拡幅応答スペクトル、それに含めて。

○東北電力株式会社 そうです。今、源栄先生からご指摘ありましたように、機電側の評価の際にはもちろん拡幅もやりますし、それもNSEWを重ねて包絡するような形でやるということになりますので……

○鈴木委員 設計ではそうですね。（「はい」の声あり）はい、どうもありがとうございます。

○座長 そのほかご質問。じゃ、首藤先生、お願いします。

○首藤委員 ありがとうございます。

本日、何か所かに分けて私の質問にご回答いただいたんですけども、そこをもう一回確認させていただきたいと思います。

ページでいきますと、恐らく72ページ、73ページのところで、目視点検の信頼性についてご説明をいただいたというふうに考えています。これは大分前のことなので、私の記憶が十分定かではないんですけども、私がこれをご質問させていただいたときに申し上げたかったことは、1つは、もちろん目視点検というのが確実な手段であるということですか、きちんとしたテレビカメラなどを用いて確認されているということは理解した上で、しかしながら、人間というのはやはりエラーをする動物でございますので、見落としですとかそういったものをどういうふうに防いでいращやるか。例えばダブルチェックをしていращやるか、そういうことはしないのかなということを少し確認させていただきたいと思います。

例えば、社内資格を有するプラントメーカー検査員及び当社社員というふうに書かれているということは、プラントメーカーの方が確認した後に、ダブルチェックとして電力さんの社員が確認する形でやってらっしゃるのかどうかですね。

あるいは似たようなことで、23ページのほうになりますけれども、協力会社さんが点検した結果を第三者機関がチェックをされる。こちらは多分建物のほうのお話だと思いますけれども、建物ですとか構築物について点検結果を実際に第三者が現地で確認をされているというふ

うにおっしゃられています。要は、第三者が実際にダブルチェックのような形でやったときに、どれだけ元の検査結果が見落としがないということが確認されていたのかとかですね。その辺、もし情報があれば、少し資格がある方が点検をしたというだけではなくて、その信頼性が数字をもって表されるといいかなと思ったので、情報があれば教えてください。

○東北電力株式会社 東北電力の小林です。ご質問ありがとうございます。

まず、72ページのご質問の件でございますが、こちらにつきましては先生のご理解どおりでございます。社内資格を有するプラントメーカー検査員が実施した後に、別な目で当社社員が見るといふもので信頼性を高めているという文章でございます。何かそこに齟齬があったかという、あったとは聞いてございません。

○東北電力株式会社 東北電力の福士でございます。建物についてご説明いたします。

点検ですけれども、こちらについても機器側と同様ですが、点検する方が見た後に、彼らの中でさらに力量のある方、例えば1級建築士を持っているとか、それから構造設計に携わった方が実際に現地でもた同じチェックをして、例えば最初に見た方は「これは地震によるひび割れだ」と判断したとしても、「いや、これは地震ではなくて形状からいうと地震以外のものです」というふうに、あるいは逆もありますけれども、そういうようなダブルチェックをすることによって動いています。

それから、その内容を当然我々東北電力社員も確認をするという形でございます。その中身を、それが東北電力としての点検結果になるんですが、それを今度は第三者機関の方に見てもらおう。第三者機関の方は実際に現地に足を運んで、我々が調査したスケッチあるいは表と、実際のひび割れをくまなく全数見て回ります。当然その中で我々との意見の相違、「これは地震によるひび割れです」「いや、そうではありません」というのがもちろんあるんですけれども、そこについてはいろいろ議論をした上でご指導いただくというようなことを行っております。

ひび割れの抜け落ちとかそういった大きなものはなかったというふうに記憶をしております。

○座長 岩崎先生、お願いします。

○岩崎委員 幾つかお聞きしたいんですけれども、まずは……順番からいって30ページのところで、ひび割れの3階、上に行けば行くほど揺れが揺られているということで、かなり急激に大きくなっていますけれども、例えばこの場合、燃料プール内のような部位で水を多分抜いてなくて、その辺の点検が多分できてないでしょうしということで、シミュレーションをされて

いると思うんですけども、燃料プールの状況はいかがでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力の福士でございます。

最初にこのグラフの見方なんですけれども、3階のひび割れは非常に多くなっているように見えるんですが、表の見方としては、グラフの見方としては、3階から見えた部分、要するに、例えば前のページ29ページに小さい断面図が載ってございますけれども、一番上の3階の部分というのは非常に大きな空間、体育館みたいな空間になってございまして、ひび割れが入りやすい場所でございます。そういった場所を拾うとこれくらいの数になると。

実際、燃料プールは、1つ下の階になりますが、その部分については、ごらんのように3階と比べると非常に少ないひび割れであるというのが、建屋側の見解でございます。

○岩崎委員 具体的に、燃料プールは壁面チェックしているんですか。

○東北電力株式会社 東北電力の諸井と申します。

今回の地震の健全性では、資料の中でも約3万3,000機器の点検ということで、3階にございます燃料プール、ラック、あとは今ほど先生からございましたライニング、壁のほうの点検をございまして、大きな異常がないというのを確認してございます。

○岩崎委員 その辺、きちっと出していただいて健全……主要な機器のひび割れ、ないならないということもきちんとうたっていただいた、特に上部、これだけ大きな値を出しているのと、空間が大きいから揺れが大きいんだというのはわかりますけれども、例えばオペフロの、後で、午後出てくるんでしょう、途中出てくる、タービンのボルトが曲がっていたとかああいう話があったときに、どれだけ影響があるのかということは総合的にこの資料ではわからないんですよ。どこにどういうものがあってどういうトラブルが発生したか、それを総合的にちょっとまとめていただくようなものは見せていただけないでしょうかね。

例えば、主要な機器ごとに、あるいは壁ごとに、ひび割れの数を列記していただくとか、主要な機器だったらボルトのチェックをしたけどゼロだったとか、そういうものを総合的に見せていただいて安心材料になるのか、チェック材料になるのか。そういうことをちょっとご検討いただけないかなと私は思いました。今、コメントです。

次、質問させていただきたいのは、いろんな先生から出ましたけど、41ページのこの剛性、固有振動数がかなり低下してきているというところは、多分まだ完全に理解されていないような現象じゃないかと思うんですけども、いかがでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。ご質問ありがとうございます。

41ページのこの固有振動数の低下の部分ですけれども、現象としては、何と申しますか、

理解されていないというのを、どこまで理解すれば理解したということになるのか難しい面はあるんですけども、鉄筋コンクリート構造のこういった大きな建物になりますけれども、固有振動数が徐々に低下するという点に関しては、構造的な特徴そういったものを踏まえれば特に珍しいことではないと思いますし、あと、地震を受けて剛性が低下するのもこれは当然でして、そもそも地震が多くて剛性低下がすること前提で設計をしております。

ただ、当初の設計とちょっと低下の仕方が追いついていないといいますか、もっと揺れれば恐らく追いついてくると思うんですけども、そのちょうど最初の立ち上がりのところで微妙なところなんですけれども、そのあたりの精度が確保できていないということなんですけれども、実際にS sのときにはもっと大きな揺れでもっと非線形化が完全に進んだところになりますので、そういったところでは恐らく精度がちゃんと出てくるものだと思っております、そういった意味では、何といいますか、鉄筋コンクリート構造としては、我々、十分に設計できると思いますし、あと、実験なりでこういった性質になるというのはわかっていることかなと思っております。

○岩崎委員 多分そうなんだろうけども、県民目線で見ると、20年30年してきて、建屋がかなり変化してきているということはこれを見るとわかるので、これの説明をつけていただかないと、何によるものかと。専門家はこれはあるんだと言われるけれども、何が原因で固有振動数が、例えば7から最少だと4.5ですか、4.5を切るぐらいまで、極端なことを言うと40%ぐらい、非常に私は大きいヘルツ数の差だと思いますけれども、そこを電力さんは理解できるということをおっしゃるんですけど、その説明が1つもなくて、という気がするんですけど、ご説明をいただかないと地震によるものかどうかはわからないんじゃないかと。

地震の影響は確かにあるけれども、それ以外でも劣化している要因は何ですかとか、これはコンクリートの基本的な性質によるものですか、それに対してどれだけマージンをもって設計してますとか、そういうことをこの図を示す以上、出していただきたいなと思います。

○東北電力株式会社 ご指摘ありがとうございます。

まさにそういった観点で我々国のほうに説明をしております、何でこういう剛性低下が起きたかと、コンクリートの構造的な影響なのか、それとも地盤が影響しているのか、コンクリートの強度が落ちるなんてことはまずあり得ないですけども、そういったことがないのかとかですね、いろいろな構造的な要因が考えられるので、その中から何が原因でと考えていて、それを踏まえてS s、基準地震動S sに対してどういう設計をするかといったことを国のほうに説明しております。

そのあたりの考え方については、全て今回の資料で説明し切れるか、ちょっとわからない面はありますけれども、午後の資料－3のところの説明をする予定となっておりますので、そのときに今のご指摘も踏まえてご説明をしたいと思います。

○岩崎委員 県民の方が見たときに、心配がないのであればきちっとその説明を、国でこう言ったとか国の審査を得たではなくて、県民目線でわかりやすく説明をいただきたいということなんですけれども。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

おっしゃるとおりだと思いますので、今日ご説明をしますけれども、足りない部分についてはまた別の機会に説明させていただきたいと思います。

○岩崎委員 もう2点ほどですけれども、71ページの制御棒なんですけれども、これの実験についてちょっとお聞きするんですが、これは当然のことながら実寸大ということで、どういう試験でどういう回数をやられているのか、その辺。それから、サイン波でやられているということなんですけれども、正弦波ですね、書いてありますけれども、その模擬度合いというのは実機の揺れと比べていかがなんでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

71ページの制御棒の加振試験に係るご質問についてご回答いたします。

まず、試験装置につきましては、繰り返しになるかもしれませんが、71ページの右上に写真がございます。ここには実機大の長さ、重量等を模擬した制御棒1本と燃料集合体、これが4本、本体に入っております。これを加振試験装置の上に載せまして、制御棒、燃料集合体を揺らしているというものでございます。

今、岩崎先生からご質問があった正弦波と地震波との関係についてでございますけれども、地震波につきましては、地震が起きている間、同じ大きさの揺れをずっと継続しているわけではございません。最大の揺れがあって、その後だんだん揺れが落ち着いてきます。我々がやっているこの正弦波といいますものは、地震で確認されている最大の振幅を模擬するように、それを連続して揺らしてやるという実験でございますので、試験の条件としてはより厳しい状態で試験をしているということになります。説明は以上です。

○岩崎委員 厳しいかどうかをちょっと、さまざまな要因があるので。

それと、例えば実際に燃焼が進んだ燃料自体を考えたときに、燃料棒自体が既に燃焼によってゆがんでいるとか、あるいはチャンネルボックスが曲がっているとか、そういう模擬の可能性で挿入速度が遅くなるということはいかがでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力佐藤と申します。

これまでの運転経験やデータ等から、燃料集合体に関しましてそのゆがみや変形を生じるのが、約8サイクル程度だったと記憶してございます。実際、発電所の運転管理上、定期検査ごとに燃料を取りかえてございますけれども、平均して4サイクルで全て取りかえられることとなりますので、その辺に留意すればこの解析で十分かと考えてございます。

○岩崎委員 もう少し、例えば女川なんかですと、CC、コントロールセルで燃焼の強い進んだものを4体集めて装荷している形になるんですね。運転はそれに限りませんけれども。そういうときに、その辺の燃料集合体のゆがみというのが、過去に他のプラントでも散見されていたと私は記憶……散見というんですけど、あった事実はあると思うんですけども、そういうものを模擬しないで実験としては妥当なのかどうかということをちょっとお聞きしたい。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

実際の燃料集合体の運転後の点検状況につきましては、先ほど佐藤から申し上げたとおりでございます。

実際の加振試験の状態を考えますと、仮にゆがみがあったとした場合に、その状態をずっと継続するかというわけではございませんで、今回の試験というのは、地震でございますので交番荷重です。要は、左右に揺らすようなイメージでございますので、そういった状況で制御棒が挿入されますので、ゆがみ等の影響というのはかなり小さいかなというふうにまずは考えてございます。

あと、加えて少し補足させていただきますと、今回、制御棒の挿入性に係る条件と申しますものは、地震が起きたときに、最大の揺れが起きたときその時に制御棒が入るかということ、そういった状況での試験でございます。実際の原子力発電所の安全設定としましては、地震が来たときに初期の段階でスクラム信号が発生します。そういったところでもう制御棒は実際には全挿入状態になりますので、加振試験につきましては、保守的な条件のもとで試験・評価をしているということでございます。以上です。

○岩崎委員 燃焼についての効果というのにお答えいただいてないんですけども、過去、曲がった燃料集合体があると思うんですけども、そのデータを見せていただいた上で、それが4体近づいて装荷されたときに、どういう、どの程度の差を生じるのか。これはもう多分調べている、数値はあるんじゃないかと思うんですけども、いかがでしょうか。

○東北電力株式会社 今、先生からご質問いただいた詳細については手元にデータ等もございませんので、確認させていただきたいというふうに思います。以上です。

○岩崎委員 わかりました。私の記憶違いだったら申しわけない。ちょっと調べていただきたい
と思います。

それと、天井クレーンのところで、93ページで、炉心の燃料を取り出すということで天井
クレーンは多少復旧が遅くても冷やしてあれば問題ないということで、多分そうなんでしょう
けども、例えば福島の状態のようなときに、燃料プールから燃料をキャスクに移さなきゃいけ
ないとか緊急にそういうのがあったときに発生する……どうなんですか。大丈夫なんです
しょうか。クレーンの修理は多分相当日数かかると思うんですけども。クレーンをSクラスに
しろということは言っているわけじゃないんですけども、Bクラスの中でどういうめどでど
ういうふうな、例えば燃料緊急性がないということを書かれているんでしょうか。

○東北電力株式会社 東北電力の小林でございます。

我々の安全確保の考えとしましては、基本的に、これまでも繰り返してきましたが、「止め
る」「冷やす」「閉じ込める」というのが基本でございますので、まずは、それを確保するこ
とを最優先に考えまして、それが十分保たれた後に初めてそういった作業に入るとしてござ
いますので、もし仮に天井クレーンの修理が長期にわたったとしても、その場合はその間、こ
の「止める」「冷やす」「閉じ込める」状態を維持した上で、修理してから安全を確認して作
業をするという段取りになると思います。

○岩崎委員 炉は多分それでいいと思うんですね、福島の例でいうと。水素のあれがなければ。
燃料プールはいかがでしょうか。

○東北電力株式会社 燃料プールに関しても、まずは注水等により水位を確保して、燃料プール
を冷やすというところを優先して作業をしていきます。

○岩崎委員 例えば、地震で揺られて燃料棒が割れてゼノンが出たと、気体が出たと。緊急にそ
れを放置していいんでしょうか。

○東北電力株式会社 今のご質問ですけれども、仮に燃料を破損した場合のご質問だというふう
に理解します。

我々、今、新規制基準の中では、これまでよりも地震動を技術的な新知見を踏まえて、かな
り大きい設定をしてございます。その状態におきまして燃料自体が応力的に異常がないこと、
そういったことを確認してございますので、我々、そういった新規制基準の条件の中で、まず
燃料の健全性を確認するというのが1点ございます。

また、使用済燃料プールにつきましては、そちらのほうも地震によって水が抜けるようなこ
とがないように、プールの耐震性を確認する。あわせて、今回、シビアアクシデントという対

策が追加要求されましたけれども、その中での対策としまして、我々はプールを恒常的に冷やすための設備を新たに設置するという事も実施しておりますし、その確実性を保つためにも実際の運用要領ですとか訓練といったものも要求されております。こういったことをきちんと実施していくことによって、先生からいただいたコメントについては十分対応していけるものかなと考えております。以上です。

○岩崎委員 それは理解するんですけども、燃料を直接扱っているときに仮に地震が来て、クレーンがブランブラン揺れてどうしようもないのに止まってしまったと。そんなことは心配するなということなのかもしれないけど、ただ燃料クレーンを何でBクラスでいいのかというのは、起こる頻度の問題なんだろうけどもね、わかりますけども、ちょっと心配ですね。

以上で結構です。はい、わかりました。

○座長 そのほか。はい、長谷川先生。

○長谷川委員 二、三、お尋ねしたいんですが、まず、岩崎先生のおっしゃった41ページの図です。ちょっとわからないのですが、1994年頃から2003年頃の地震（宮城県沖、宮城県北部地震）までだだだだだと固有振動数が減少しているんですね。それ以降、2005年の地震のとき以外、ほぼ一定で来ているんですね。ところが今度は3.11地震になったらぐんと下がって、続いて4.7地震にかけて、何か少しずつ上昇している。素直に見るとそのように見えます。だから、これら（固有振動数の経時変化）はどういうことなんだろうなと思います。

それに関して、こういう地震のデータがあるかどうか、その経年変化というようなことに関して、他プラントでもこういうことがあるのかどうか。それから、一般の建築物で何かこういう固有振動数の変化というのはあるのか気になります。女川原発に関してこういうのを示されるのはいいんだけども、一般の建築物でもこういうことがあるのかないのかということもまず言っていただいて、その経時変化の差異の範囲内で同様のことが起こったのか、あるいはあり得ないことが起こったのかということを示していただきたい。1つの素朴な質問です。

それから、2番目に、ちょっといつも気になるんですが、裕度とか余裕があるとか、またいわゆる基準値を満たしているとか、保守的であるから余裕があるという言い方などについてです。余裕度がある、余裕があるというのは、それは単に言葉の言いかえで、シミュレーションの結果はある基準を下回っていることを言っているように見えます。余裕度があると言うときには、どの程度の余裕度、例えば何十%とか何倍とか、何かそういうことがないと、普通私らは疑問に感じることの1つですね。それが44ページとか54ページとか85ページの上のみ

んなそこに出てくる言葉の使い方というか、要するに感性が少し足りないように思えます。裕度とか余裕度という言葉の使い方などに気を付けていただきたい。それが1つ。

それから、3番目ですね。74ページに来ると、9×9の燃料のA型B型とある。A型でも照射の進んだのと進んでいないとか、このAとBというのはどこが違うんだと何も書いていないように見えるんですね。それをちょっとお聞きしたいなと思います。

以上が私の質問です。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

まず初めに、最初のご質問ですけれども、41ページの振動数の低下のものですけれども、まず、一般的な建物でこういったことがどうかというお話ですけれども、これについては、最近といいますか、そうですね、ここ10年くらいかもしれませんけれども、こういった論文が、一般の建物でも見られているというのがございまして、鉄筋コンクリートの建物についてはこういったことがあるというのは、最近そういのがわかってきているということだと思います。

○長谷川委員 その変化の程度というのは、これと同等なのかとか。

○東北電力株式会社 それで、その変化の程度は、やっぱりそれは構造物それぞれに特徴がございますので、我々の建物は壁式の壁が主な構造体になりますけれども、一般の建築ですと柱とか梁といったものになってたり、若干そこはやはり違いがありますので、その幅がどうかと言われてしまうとなかなか簡単には比較できないと思いますけれども、ただこういった傾向で、竣工当初から徐々に下がるという傾向はあると思っております。

その理由が何なのかといったところは、やはり明確にこれだということがわかっているというわけではないのかもしれませんが、我々、今回はコンクリートの乾燥収縮の影響と地震の揺れの影響ということで、実験をするとどうもそうだということで、一般のものにもそういった乾燥収縮とか何かが影響しているんじゃないかというのはもちろん言われているものもありますし、そういった観点で、今現状としては多分研究途上の部分も多々あるんだとは思っております。

ただ、研究途上で正体がわからないから設計ができないのかということ、そういうことはないと思っております、あくまで最初の立ち上がりのところを、そういった剛性の精度がどうも我々考えていたよりもちょっと違うんじゃないかなということが今回の地震でわかったわけですけれども、ただあくまで設計上、やっぱり安全性の確保という意味では強度、耐力がちゃんと出るのかどうか最終的な大事なところになりますので、それは間違いなくあるし、鉄筋コンクリート構造はもう100年以上歴史があるわけですから、そういった中でちゃんと強度の

確保、信頼性のある構造だということは間違いのないことですので、そういった意味でも設計、耐力の部分というのは信頼性が十分あると思っているので、安全性の評価として建屋の部分も問題ないというふうに思っております。

○長谷川委員 いや、わかったんですが、新聞報道なんかで剛性が何とかってものすごく書かれるから、やっぱりちゃんと説明していただきたいと思います。

それから、今のお答えで、他プラントでもこういうことになっているわけですかね。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

他プラントについてはちょっと我々も承知していない部分ですので何とも言えないんですが、ただ言えるのは、女川原子力発電所については、やはり我々宮城県沖地震もありましたし、30年99%ということでもともとずっと言われておりましたし、我々は地震に対してのそういう取り組みは比較的熱心にやってるつもりもありまして、地震も多いのでこういったデータの整理であったりして、もともとやっぱり地震が多くないとなかなかこういうデータが取れないというのがありますね。

○長谷川委員 あまり大きな地震なくてこうだらだと来ている。それは他プラントであるかということ。

○東北電力株式会社 ええ、そこもちょっとなかなか……他プラントそのもの、やっぱり地震そんなには多いところはないと思いますし、こういった分析をやっているかもちょっと、私の知る限りでは論文化されているかはわからないので、ちょっとわからない面はございますが、ただ一般の建物でもあるということが鉄筋コンクリート構造はあるので、恐らくちゃんと調べると多少はないわけではないのかなとは思いますが。はい。それは、ただ、程度はプラントによってある程度違うと思います。

続いて、余裕度、裕度のところですけども、我々、あまり確かに裕度があるという言い方で、あるいは余裕がありますということを書いてますけれども、厳密な使い分けというのは確かにあまりそんなにしていない面はございますけれども、あくまで基準値、我々、評価基準値そのものが、建屋でいいますと、終局点、終局ひずみが 4×10^{-3} に対して、その半分の 2×10^{-3} を基準にするという、そこで大きな余裕を稼ぎつつ、さらにその実際の応答はそれよりもうんと小さいですという言い方になるんですけども、いろんな余裕の設定の仕方があるので一概に、いろんなところが階によっても違うので何%ですというのはあまり確かに我々としては言っていないで、やっぱり評価基準に対しての余裕度がありますよというそういった表現をしております……

○長谷川委員 大体わかるんですがね、例えば余裕度があると言いながら、その比較してあるときの対象が9割とか9割5分になっているんですよ。そのときに余裕度という言葉で言われると、やっぱりそのときはどの程度の補修できたか。例えばもっと、2割3割あるとか。一般的に言って、工学的に余裕度というのはやっぱり何割か、何倍とか、そういうのが本来余裕なんですね。だから、そういったのと比較して、何か9割5分ぐらいの値になっているのに、ここは余裕があるとか余裕度があるという言葉で済まされてはちょっと困るなというのが正直な意見ですね。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

今の先生のご質問に対してお答えさせていただきます。

今回の地震後の健全性評価における地震応答解析につきましては、まずは、我々のやり方のところからご説明しますと、今回の3.11地震及び4.7地震によって、建物ですとか設備に対してどれぐらいの力が加わったかという評価をします。一方で、その加わった力に対してどこまでもつかという材料自体が持つ許容値というのがございます。ですから、評価する上では比べるものと比べられるもの両者があるというものでございます。

まず、我々が地震のときどれぐらいの力が加わったかという観点から言いますと、今回の評価につきましては、実際の評価をする段階で各パラメータに対して設計上の保守性が入っている、そういった状態で評価をしてございます。

○長谷川委員 時間があれなので、例えば85ページの片方は……こういう非常に近いような値、そういうのが結構あるようにも思うんです。

○東北電力株式会社 85ページでしょうか。

○長谷川委員 水平と鉛直だから違うのか……。ああ、そうですね。ちょっと、私、誤解していました。水平と鉛直で。だけれども、一般的に言って、そういう余裕、裕度というのが気になります。

○東北電力株式会社 余裕度というのは、一概に何%ですとか何割ですというのを設定することはなかなか難しいんですけれども、それはなぜかと申しますと、やはり設備毎の評価手法が違ったり材料が違ったりということで、一概に決められないというのがございます。

ただし、今回、我々評価したときに、どこまででいいかといったときに、厳密に言えば1.0を超えてなければいいとなれば、1.0でもいいわけですね。そういったところで、カツカツのところでは我々問題ないというふうな判断をしているかというところとそういうわけではございませんで、工学的な判断として、この結果を導いた評価のプロセスの中に保守性にかかわる項目

があるかないか、そういったものはきちんと見させていただきます。

ちょうど今回、地震後健全性評価ということで再使用の観点で実施してございますので、力を加えたときに変形はするんですけれども、力を除くと元どおりに戻るということで、そこをまず基準値としています。本来であれば、もう少し変形がわずかにあっても機能に影響がしないというところが、本来、基準地震動 S_s に対する評価値でございますので、今回の地震後健全性確認による評価では、その下の弾性応答範囲で抑えているというところで、まずは大きな余裕として設定をしているというものでございます。以上です。

○東北電力株式会社 すみません。東北電力伊藤です。

先生、先ほど、95%とか評価でというのは、53ページに排気筒の評価が。

○長谷川委員 何かどっかにあったような……。

○東北電力株式会社 はい。53ページの支柱材の評価が、許容応力度に対して0.954というところで。

○長谷川委員 何かそういのがあったな。ああ、これか。

○東北電力株式会社 ええ。ここにつきましては、照査値のところ※3と振らせていただきまして、脚注のところですが、許容応力度による照査結果であり、設計の保守性により実際の強度に2割程度、実際には、設計の中で腐食代を見込んでいたりとかミルシート強度に対して設計基準強度を使っていますので、それぞれ1割ぐらいの余裕を含んでおり、両方合わせると許容応力度に対し2割ぐらいの余裕を見込んでおりますという説明をしております。

○長谷川委員 何かこういうふうにちゃんと。すみません、ちゃんと書いてあればね、ええ。

○東北電力株式会社 東北電力佐藤と申します。

先ほど、74ページのご質問、9×9燃料A型、B型のご質問でございます。

こちらは、断り書きが付してございまして申しわけございません。

こちら、A型、B型は、BWR型燃料の製造メーカー、加工メーカーの違いでございます。A型は神奈川県にあるメーカーでございます。B型は茨城県にあるメーカーとなっております。以上です。

○座長 そのほか、ご質問、よろしいでしょうか。

それでは、以上で、1. 東日本大震災後の設備の健全性に関する議論を終了したいと思います。

ここで1時間の休憩をとりたいと思います。再開は13時35分に再開したいと思います。

〔休 憩〕

○座長 少し早いですけれども、それでは、議事を再開いたします。

「2 新規制基準適合性審査申請について」

・ (1) 地震 (耐震設計方針等)

○座長 (1) 各論点の説明・検討のうち、2. 新規制基準適合性審査申請について、東北電力株式会社から説明をお願いいたします。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

それでは、資料-3に基づきまして説明のほうをさせていただきます。

1ページ目ごらんください。

説明としましては、新規制基準に基づく耐震設計についてということで、まず1番目に、耐震設計の概要についてご説明します。その後に、2番としまして、女川2号機の耐震設計に係る適合性審査の論点ということで、まず初めに建物・構築物、次に土木構造物、最後に機器・配管系に係る論点についてご説明します。その後に、3番目としまして、検討会の先生方からいただいたコメントに対するご説明をさせていただきます。

それでは、ページめくっていただいて、4ページをご覧ください。

続きまして、5ページをお願いします。

まず、新規制基準に基づく耐震設計の概要についてでございますけれども、新規制基準につきましては、下の図に書いてございますとおり、耐震設計に係る規制要求事項に対しての基準地震動の策定、耐震評価方法などの強化が図られてございます。図の赤の点線で囲っているところでございます。

具体的には、次のページをご覧ください。

6ページでございますが、まず、基準地震動 S_s の策定ということで、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、「震源を特定して策定する地震動」、こちらにつきましては3. 1. 1地震のようなプレート間地震、あとは4. 7地震のような海洋プレート内の地震、あとは活断層といわれる内陸地殻内地震に対する地震を指してございます。及び「震源を特定せず策定する地震動」、これらにつきましては、水平方向、鉛直方向についての地震動を設定することになってございます。

続きまして、耐震重要度分類に基づく設計といたしまして、施設をSクラス、Bクラス、Cクラスに分類しまして、その耐震クラスに応じて適用する地震力に対して十分耐える設計をするという考え方でございます。また、Sクラスにつきましては、基準地震動 S_s による地震力に対しまして安全機能が損なわれるおそれのないように設計する内容となっております。

その次でございますが、波及的影響評価です。こちらはSクラスの設備は、耐震重要度分類が下位のクラス、具体的にはBクラス、Cクラスでありますけれども、そちらに属する施設の波及的影響によってSクラスの安全機能を損なわないように設計する要求でございます。この波及的影響の評価に当たりましては、施設全体を俯瞰して調査・検討しなさいという要求でございます。

続いて、地震力の組み合わせですけれども、こちらにつきましては水平2方向、具体的に言いますと東西方向あるいは南北方向といった2方向を指しております。こちらと鉛直方向、上下方向の揺れ、こちらを適切に組み合わせて算定することが要求されておまして、影響が考えられる施設につきましては、許容限界の範囲内にとどまることを確認することとなっております。

続きまして、7ページをご覧ください。

7ページにつきましては、耐震設計の基本的な流れを図示したフロー図になります。一番上に、地質地盤の調査を行って、基準地震動 S_s を策定いたします。そこから左側にあります建物・構築物のモデル化などございまして、その対象となる耐震重要度分類に応じて地震応答解析を水平方向、鉛直方向で実施して、その応答結果を利用して各施設の耐震評価として構造強度評価あるいは波及的影響評価などを実施することになります。

右側でございますけれども、機器・配管系につきましても同様でございますけれども、機器・配管系の地震応答解析に当たりましては、機器・配管系が設置されます建物・構築物の応答を反映する形で地震応答解析を実施しまして、その応答に基づいて各施設の耐震評価として、構造強度評価、動的機能維持評価、波及的影響評価というものを実施する流れとなっております。

特に、当社女川2号機の特徴としましては、まず第1点目に、東北地方太平洋沖地震等を踏まえた反映事項、こちらを耐震設計する場合に反映することになります。続きまして、2点目でございますけれども、基準地震動が大きくなってございますので、各施設・設備の評価をするに当たっては、これまで認可等受けた既工認の評価手法から変えることがございますので、その評価方法をきちんと耐震設計に反映するというのがございます。また、3番目でございます

すけれども、耐震性を向上させるために、耐震対策工事を原子炉建屋ですとか各機器・配管系に対して実施してございます。こういった耐震対策工事を反映した形で地震応答解析、評価を実施するという流れでございます。

続きまして、8ページからは適合性審査の論点に係る説明となっております。

9ページをご覧ください。

まず、新規制基準に対する適合性審査（耐震設計）の流れでございますけれども、大きく2段階ございます。設置変更許可段階での審査、次に工事計画認可段階での審査、2段階でございます。今現時点におきます適合性審査といいますものは、赤点線で囲った部分でございます。設備の設計に当たりましての基本設計、こちらを今回ご議論いただいております。ここが許可されますと、次のステップということで右側になりまして、詳細設計につきましては技術基準を満足しているかどうかの審査をいただくこととなります。

今現時点での適合性審査状況としましては、下の箱囲みになりますけれども、詳細設計段階、次の工事認可になりますけれども、そこで採用予定の評価方法等がこれまでの認可された工認から変更となる項目を論点として抽出して、その評価方法等の内容及びその妥当性、それを採用した場合の成立する見通しなどについて確認がなされております。

次のページ、10ページをお願いします。

10ページにおきましては、耐震設計に係る論点といいますものが数多くございますので、その論点につきましては、下のようなフローに基づきましてこれまでの評価方法との差異あるいは審査実績との差異から、論点に重みづけをするフローでございます。この重みづけによりまして、一番下のところの欄にございますが、A、B、C、Dというふうに区分しまして、このうち赤点線で囲っているAからCにつきましては、設置変更許可段階での論点として国のほうに説明し、ご議論いただいているところとなります。

例えば、このうちAに該当するものをここで紹介させていただきます。左上をご覧ください。評価方法、評価条件というところを整理しまして、その下の矢印になりますけれども、女川2号機の旧規制での認可あるいは改造工認での相違があるかないかという判断でございます。これと違くと右のほうに流れます。その次に、女川2号機以外のプラントで旧規制での工認実績があるかないか、これも実績がないと右側に流れます。その次に、他社プラントでの新規制審査での実績があるかないかとなって、ないと、右側に流れます。ですから、Aに区分されるものにつきましては、過去に適用実績がないということで、新規性については高いということで、細かく御議論をいただくということになってございます。

続いて、11ページからが具体的に建物・構築物に係る論点についてご説明したいと思いません。説明者を交代いたします。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。それでは、私のほうから建物・構築物に係る論点についてご説明いたします。

先ほどのフローにおいて論点の重みづけAというふうにされたものとしては、ここに書いてございますように、東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映ということで、午前中にもご説明しましたが、シミュレーション解析等に基づく初期剛性低下を考慮するという。それから、耐震補強工事を反映。これについては、補強工事を実施しておりますので、設計にこの補強工事の効果も踏まえてモデルを設定するとそういったこととなります。

それから、周辺地盤による低減効果を考慮。E+F入力とちょっと専門用語でなっていますが、これは通常建屋は埋め込まれておりますので、地震の揺れというのは埋め込まれた効果が入った形で実際の地震が来るんですけれども、当初の工認、建設時の設計においては、その埋め込まれている効果、周りに地盤がないものとして地盤の上に、普通に地表にポンと建てたような、埋め込んでいないような状態での設計をしております、その場合は非常に保守的な形で揺れが大きく計算されるんですけれども、そういった形なわけなんですけれども、今回はこの3.11地震での埋め込まれた効果というのがわかってきてますので、そこを含めた効果を取り入れた低減効果を考慮するとそういった意味であります。

それから、B2の論点ですけれども、これは屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用ということで、これは各社やっておりますので、論点の重みづけとしてはB2となります。

それから、基礎版の解析モデルへの弾塑性解析の適用、これも各社で取り入れているということで、B2の重みづけとなります。

表の右側に、本資料上での論点概要記号ということで、a. b. c. と書いておまして、説明はa.を中心に説明いたします。b. c.についてはこの資料の後ろのほうに参考資料に記載してございますけれども、そちらは後ほど参照していただきたいと思えます。

それでは、めくっていただきまして12ページですけれども、東北地方太平洋沖地震等による影響を踏まえた建屋耐震設計方法への反映ということで、まず目的ですね。耐震設計に関する目的ですけれども、矢羽根の1つ目が、2011年東北地方太平洋沖地震等の観測記録に基づく原子炉建屋のシミュレーション解析から得られた知見を踏まえて、建屋の解析モデルの初期剛性とそれから周辺地盤による入力地震動の低減効果を考慮するということです。

また、原子炉建屋は耐震補強工事を実施しておりますので、その解析モデルに補強工事を反映するということになります。

下の表を見ていただくと、①②③とそれぞれ書いてありますけれども、右側に既工認（建設時）と書いてあって、建屋の剛性につきましては、設計基準強度に基づく剛性を設定していたわけですが、今回の地震を踏まえたシミュレーション解析で初期剛性を見直すことになったということで、振動特性ですね、固有振動数が合わないということで、そういったシミュレーションモデルを作成しましたので新たに来る S_s 、基準地震動 S_s に対する設計においてはこういった低下した剛性をすでに見込んで、見込んだ上での耐震設計といったことになっております。

それから、入力地震動の算定については、先ほどの入力地震動の低減効果ということですが、建屋が29メートル掘り込まれて埋まっているというのは半分ぐらい埋まっている状態なんですけれども、その地下部分での入力動の低減効果を考慮するというでございませう。

既工認におきましては、表右にありますように、建屋の基礎下までに地盤がありますけれどもそれより上には地盤がなく、埋め込まれていることの地盤による入力低減効果を無視した形での解析をしておりました。

③番は補強工事の反映です。これは当然補強工事しておりますので、モデルに取り込むということでございませう。

下に絵が書いてありますけれども、左側は剛性低下の午前中にご説明した内容ですが、モデルのこの耐震補強工事の反映というのは③ということで、これはオペフロの建屋の上部のところですね。上部のところを補強工事をしたというのを曲げ・せん断棒をもう1本それぞれつけ加えとしたモデル化です。それから、下のほうに地震動の揺れ、入力地震動の算定と書いていますが、これはいわゆる地盤の応答解析した上で入力地震動を決めるわけですが、地中の中の揺れを取り出してそれを入力する形になってございませう。こういったことを反映することによる効果というのはどういうことかというのを、次、順次ご説明いたします。

13ページですが、適用によって期待する効果ということで、これはより実現象に近い応答を再現する建屋モデル、これは建屋初期剛性を補正したモデルにより、耐震性を評価することによって各部の応力であったり床応答スペクトルの精度を向上することができる。

適合性審査におきましては、どういうふうなことを確認したかといいますと、建屋の初期剛性低下の要因分析、それから終局耐力等への影響について、下のフローに基づきまして確認してございませう。それから、基準地震動 S_s に対する耐震安全性評価についてはこういった適用

可能なモデルだということを説明しております。

下のフローをごご覧いただきたいと思いますが、3. 1 1 地震などの施設への影響を踏まえた耐震性評価に反映すべき事項の検討の全体フローということで、

初めに、これは初期剛性が設計より低下している要因の検討ということで、午前中にも先生方よりご指摘いただきましたけれども、この要因がどういったもので、設計に当たってそれがどういうふうに影響するかをよく見なければいけないんじゃないかという指摘がありまして、そういった趣旨、もちろん我々としても重要だと考えておりまして、そういった検討をしております。

左側のところに、地震などによる構造的影響と書いてありまして、1つ目、実機の3. 1 1 地震等に対する建屋の振動特性、これが先ほど経年的な振動特性の低下がどういったことになっているか、そういったものを把握しています。それが3. 1 1によりどうなったかということです。

それから、3. 1 1 地震のあとにおける構造的損傷の有無、これはそもそも剛性低下したのは、建屋が構造的に損傷した、構造的に損傷があったからではないか、そういった疑念に対する検討でございます。これは具体的には点検結果だったりシミュレーションでの比較だったりということで、構造物損傷はないという結論ということでございます。

それから、3D-FEMモデルによる地上3階から上部の剛性低下ですね。非常に大架構だということで、建屋上部は耐震壁が4周、東西南北の4辺しかなく比較的空間が大きいものですから、そういった影響でモデル化上のバランスが実態としてあるんじゃないかというもので、そういった検討もやっております。

それから、繰り返し試験体による耐震実験による確認ということで、これは繰り返し3. 1 1 地震の前にも地震が起きておりましたので、そういったことによって初期剛性がどの程度影響を受けるかと、そういったことを実験にて確認しております。このやり方は、非常に小さな振幅で複数回繰り返すと、小さな振幅であっても剛性に影響がするかどうか、そういった観点です。さらにその後、そういった小さな振幅が終局耐力、最大耐力そういったものに影響するかどうか、そういう観点の実験をしております。

それから、右のほうですね。コンクリートの乾燥収縮の影響ということで、剛性低下や乾燥収縮の影響などに関する文献レビュー、こういったものが先ほど一般建物などでとかなんかふうに影響していくのか、そういったところの調査だったり、乾燥収縮の影響がどういうふうに影響するのかそういったレビューになっております。それから、実機の乾燥収縮状態の把握と

ということで、実機においての乾燥収縮のひび割れがどのくらいあるのかなといったことも調査をしております。

最後に、乾燥収縮の試験体を使っての耐震実験です。乾燥収縮させた場合とさせない場合で、可能な範囲あるいは最初の初期剛性の立ち上がりのあたり影響があるのかなかというところを実験で検証しております。

それから、その他の要因ですね。周期が徐々に低下する。あるいは3.11地震でグッと下がったという、それは地震観測記録を分析しての現象を見たわけであって、低下する理由としてはそもそも地盤がゆるゆるになっちゃったら建屋の振動にも影響するし、あるいはコンクリートの強度そのものが経年的に何かしら低下したのであれば、当然それは非破壊ということになりますから、何かしら影響があるということでそういう観点で検討しています。支持地盤はもともと非常に固いので、シミュレーションで出てきた建屋から地盤に対する転倒に関しての力の伝達ですね、それは基礎地盤の耐力に対してどの程度かという非常に大きい耐力があるのでほとんど影響ないんですけれども、そういうことも一応念のために確認をしております。

それから、コンクリートの圧縮強度については、実際建屋から普通はきちんと施工されたコンクリートがあれば、ちゃんとメンテもしていれば、コンクリートの強度が低下するということはないんですけれども、念のためこれもコンクリート、現地の建屋からコアを抜いてしっかり試験をして設計基準強度よりも随分と高い値だということも確認してございます。

そういったことを踏まえて、初期剛性低下の要因が終局耐力等に与える影響の確認ということで、地震による事前の損傷が終局耐力等に与える影響ということで、例えば繰り返し試験体の初期剛性低下するかどうかというのもやりましたが、それは特にあまり影響ないんですけれども、じゃ、今回3.11地震を受けたということはある程度もうそれで剛性低下しています。そのような剛性低下した状態からさらに地震を受けたときにどういった影響があるかということで、あらかじめ地震の損傷を受けたようなひび割れの入ったような試験体をつくって、加力による試験、途中までの加力をすればひび割れの状態はつくれますから、そういった状態に対してさらに繰り返し試験をやって、最終終局耐力にどういう影響を及ぼすかということを実験しております。

さらには、乾燥収縮が終局耐力に与える影響ということで、剛性だけでなく終局耐力に与える影響についても実験や文献によるレビューを実施しております。

そういったことを全てトータルで判断しまして、最終的に、初期剛性を補正した地震応答解析モデルを策定しているということです。そのときにももちろん左側からの矢印ですが、耐震補

強工事を実施していますので、そういったこともモデルに取り入れています。また、ばらつき等、こういったときにはある程度ばらつき、決め打ちではなく多少のばらつき地盤のばらつきであったりコンクリートの剛性とかございますので、剛性低下がさらに低下したことも考えたモデル化そういった検討もしてございます。

14ページですけれども、初期剛性低下の要因が終局耐力等に与える影響の確認として実験の[1]から[3]ですが、先ほど説明しましたが、実験[1]については繰り返し試験体により小さな振幅の繰り返しが初期剛性や終局強度にどう影響するのか。実験[2]としては、事前損傷試験体により事前加力による損傷が終局強度に及ぼす影響、それと乾燥試験体の収縮が初期剛性や終局強度への影響、こういった試験をしております。

下に図がちょっと書いてますけれども、これが事前損傷の影響を見た場合のものですけれども、色分けされてますけれども、これらの試験体に対して事前損傷させますと、最初の剛性ですね、これが低下しております。青色だったりとか水色がよく目立ちますけれども、水色ちょっと低下してはいますけれども、赤は立ち上がって無損傷ですね、黄色系は結構最初下がってますけれども、これはかなり損傷させた状態で始まっているので最初の剛性は非常に低いんですけども、最終的には同じようにですね終局耐力はほとんど影響がなく耐力が出ているということなんです。

あと、ここでちょっと力変形関係はあらわしてはいませんけれども、乾燥収縮試験体でも同じようなことをして、最初の剛性が乾燥収縮しているとちょっと低下するということがあります。実際の乾燥収縮の試験体についてはこういったような写真に示すような試験体になってございます。それから、繰り返し試験体のほうも同じですけれどもこういった試験体によって実施してございます。

上のほうに実験の得られた結果ということでもありますけれども、初期剛性の低下の要因というのは各種検討の結果、地震動の影響とそれからコンクリートの乾燥収縮の影響の重畳したものだというふうに考えております。

地震の繰り返しとかコンクリートの乾燥収縮により初期剛性が低下した状態であっても、終局耐力（建屋の強度）には影響がないことを確認する目的で、耐震実験を実施しました。

実験の結果、地震による事前損傷や乾燥収縮の影響が、基準地震動 S_s に対する評価基準値、せん断ひずみでいいますと 2×10^{-3} 付近ですね、の耐力とか終局耐力に与える影響は小さいことを確認してございます。

続いて、15ページから土木構造物に係る論点でございまして、それぞれA、Bとあります

が、Aについては時刻歴応答解析（有効応力解析）を適用した防潮堤ほかの耐震評価ということで、時刻歴応答解析の適用、すべり安全率による評価の適用、液状化影響の検討としております。

それから、後施工せん断補強工法、セラミックキャップバー工法ですが、これらを適用しております。

時刻歴応答解析では、上部工ー下部工（杭）ー地盤の連成モデルを適用した防潮堤の耐震評価を実施しております。

あとは、3次元静的材料非線形解析を適用した海水ポンプ室ほかの耐震評価も実施しております。

それから、限界状態設計法の適用ということで、引っ張り強度及びせん断強度に関するものでございます。これらが論点Aになります。

B2については、時刻歴応答解析、これは全応力解析等の適用ということで、これらは他社実績を踏まえたものになります。

ここではa.のところを中心に次ページ以降説明いたします。

16ページです。16ページは、目的書いてますけれども、防潮堤などの施設の周辺地盤として、盛り土や旧表土といった土の層が存在しておりまして、女川の盛り土・旧表土は地震時でも支持力を失うような液状化の状態にはならないことを試験によって確認しておりますけれども、剛性とか強度が低下することは起こり得るというふうに考えてます。

この影響を考慮するために、地盤と地下水の相互作用を考慮できる時刻歴応答解析（有効応力解析）を実施しております。

また、防潮堤の盛り土堤防などでは安定性を評価する必要がありますので、安定性を評価する方法であるすべり安全率による評価も行っております。すべり安全率につきましては、下にありますように、地震等によりすべろうとする力とすべりに抵抗する力（強度）の比からすべりに対する安全率を示すものです。

下に図が書いてますけれども、左が防潮堤の鋼管式の鉛直壁部分の断面図でございます。右側は、防潮堤なんですけれども、これは盛り土堤防での防潮堤断面図になっております。左のほうでこういった形で複雑な形状ですけれども、防潮堤としての検討を実施しております。右側に盛り土堤防のほうですけれども、すべり安全率による評価ということで、赤の点線が書いてありますけれども、ここにすべり線を設定して評価を実施しております。

次のページ、17ページになりますけれども、適用によって期待する効果ということで、時

刻歴応答解析の1つであります有効応力解析を行うことで、地震による地盤の強度や剛性が低下した状態を考慮した評価ができます。盛り土・旧表土の液状化強度特性については、液状化強度試験結果の下限値に設定することで、地震による地盤の強度や剛性の低下を保守的に評価できます。一部、盛り土堤防などにすべり安全率評価を適用することで、施設の安全性の評価ができます。

下のほうに液状化強度試験結果に基づく液状化強度曲線という図が書いてございますけれども、左がその試料を採取した位置を示してございまして、丸が旧表土の試料でございまして、四角が盛り土試料の採取場所として、それぞれ試験結果というのが右側の図になってございまして、それぞれ丸あるいは四角ですね、ちゃんと大きさを変えたりしてありまして、プロットしていることになりましてけれども、最終的にはこの赤で書いてますように、液状化強度曲線の下限値ですね、そこを採用し保守的な設定となっているということでございます。

次のページです。18ページですけれども、時刻歴応答解析（有効応力解析）を適用した防潮堤ほかの耐震化評価なんですけれども、適合性審査における確認事項ということで、防潮堤の代表的な断面に対して、時刻歴応答解析（有効応力解析）を適用した評価結果、すべり安全率評価を含めてになりますが、そういったものを示して防潮堤の構造成立性について確認してございます。

液状化強度特性を設定するための液状化強度試験における盛り土・旧表土の試料採取位置の代表性、それから試験結果及び試験結果に基づく液状化強度特性の設定の妥当性についても確認しております。

液状化などの耐震評価につきましては地下水が重要な要素ということになりますけれども、地下水の設定に関して、地下水位低下設備の機能を期待するため、地下水位低下設備を設計基準対象施設というふうに位置づけまして、信頼性向上を図る方針についても確認をいただいております。

地下水位低下設備の機能を期待するというのはなかなかわかりにくいかもしれませんが、下に地下水位低下設備の断面図を書いておりまして、ここに模式的に原子炉建屋等として、地下水が青の曲線でもって書いてます。このドレーンのところで水位が低下する、そこから地下水が引っ張られて排水されるということです。縦棒でもって取水口から排水するということで、揚水ポンプとなります。そこにドレーンが設置される。ドレーンから今度は水が引っ張られる。それによって地下水が下がっていくという状況を示しておりますけれども、こういった下がったような状態を前提に解析をやってございます。このポンプ等の信頼性であるとかそういった

ところが設計によって評価する、そういった位置づけでございます。

※1に書いてありますのは設計基準対象施設と、発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化または設計基準事故の発生を防止し、またはこれらの拡大を防止するために必要となるもの、そういったものでございます。※の2に書いてますけれども、こういった設備ですね、多重化や非常用電源への接続などによる信頼性向上を図るということでございます。

私からは以上です。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

続きまして、19ページから機器・配管系に係る論点についてご説明いたします。

機器・配管系の論点の重みづけといたしましては、A区分に分類されるのは3つでございます。サプレッションチェンバ内部水質の考え方の変更、あとは午前中少しご紹介しましたけれども、竜巻防護ネットへのゴム支承の適用、あとは弁の動的機能維持評価の3つがございます。

B区分としましては5つございまして、原子炉本体基礎の復元力特性、使用済燃料ラックの減衰定数の変更、動的機能維持評価をする場合の規格から外れたものの扱い、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能に関する評価、最後に海水ポンプ室門型クレーン、こちらに非線形時刻歴応答解析を適用する、こういった項目についての論点です。

次のページ以降、サプレッションチェンバを例に取りまして、論点についてご紹介をいたします。

20ページ、お願いいたします。

20ページにつきましては、図中にマスキング箇所がございます。こちらの資料につきましては、資料-2と同じように先生方のお手元にマスキングなしの資料もございますので、こちらのほうをご覧ください。

まず、目的でございますけれども、左側の図をご覧ください。容器内に空間部をもって液体が貯蔵される場合、こういった容器に対して地震力が加わった場合、地震荷重というのは、内部水の全質量ではなくて、実際に地震荷重として寄与するのは一部でございます。この一部を有効質量というふうに設定しますけれども、この考え方を新たに適用するというものでございます。

真ん中の図をご覧ください。こちらは球形タンクの図で、容器構造設計指針の例でございます。図中、左上、液量率が1.0というところが満水をあらわしております。満水のと きにつきましては、内部にある液体の質量の全てが地震荷重として適用するわけですが、水位が下がって空間を持つような場合については、地震荷重として働く部分はだんだん低くなって

いきます。それを有効質量比ということで、こちらの設計指針のほうでも提示されております。こういった考え方を我々、サプレッションチェンバの耐震設計に適用するというものでございます。

サプレッションチェンバ自体は、原子炉格納容器の一部でございまして、右側の図でございまして、格納容器はドライウェルとサプレッションチェンバから構成されてございまして、サプレッションチェンバは下にあるドーナツ状の形状をしてございまして、この中に、空間部をもって冷却のための水が貯蔵されておりますので、こちらの耐震設計をするために有効質量比の考え方を適用するというものでございまして。

21ページをお願いします。

適用によって期待する効果でございまして、これまで工認等で認可された耐震設計におきましては、簡便で保守的な扱いということで、サプレッションチェンバに貯蔵される内部水の全質量を地震荷重に寄与するという形で評価してございまして。

今現在実施されている適合性審査の中では、基準地震動 S_s 等が大きくなってございまして、より実態に即した地震荷重を評価するために、先ほど説明した有効質量比の考え方を適用するというものでございまして。

こちらに対する適合性審査での確認事項としましては、サプレッションチェンバの有効質量比は、汎用構造解析コードで算出いたします。このコードの算出結果が妥当かどうかを、左側の下に関係図を書いてございましてけれども、サプレッションチェンバを縮小模擬した円環形状容器を作製しまして、振動試験を実施してございまして。それと、汎用流体解析コード、こちらでも有効質量比を算出しまして、汎用構造解析コードとの比較、妥当性検証をするというものでございまして。先ほど申しました振動試験の試験状況の写真が右下でございまして。

こういったことで、加振試験をして挙動を整理したものが上のグラフになります。

横軸にサプレッションチェンバ内部の水位の設定してございまして。縦軸が有効質量比を整理したものでございまして。既工認の扱いとしましては、全質量が地震荷重に働くということで赤の線の有効質量比1というふうに設定してございましてけれども、実際に解析コード試験結果、それらをプロットしたのがこの図中でございまして、水位によって有効質量比が上昇するような形になってございましてけれども、傾向としましては有効質量比が存在するというのを試験結果として確認してございまして。

次のページをお願いします。

次のページは確認事項の続きになりますけれども、今回設置許可段階での議論としましては、

基本設計方針ということで、サプレッションチェンバの地震応答解析をする場合の3次元はりモデルの考え方、こういったところを1つ目の矢羽根で書いておりますけれども、こういったものについてご説明しております。

また、サプレッションチェンバの内部水が地震に揺られますと、揺動、スロッシングと申しておりますけれども、こちらによる荷重が発生しますので、こちらにつきましては流体解析により個別に評価しまして、地震荷重と保守的な組み合わせを実施する方針を説明してごさいます。

今後の工事計画認可申請に向けた対応でございますけれども、今後、さらにサプレッションチェンバの地震応答解析、こちらに対する定量的解析を進めまして、サプレッションチェンバの実機構造などに着目した解析結果についてご説明することになってございます。

また、サプレッションチェンバ自体に対する基準地震動 S_s に対する評価結果をご説明することでごさいます。

続いて、23ページをお願いします。

ここからが検討会でいただいたコメントに対する回答の一覧表になります。それぞれいただいたコメントに対して番号を改めて、表中左側にありますけれども、番号取りをしまして、以降の資料によってご説明いたします。

それでは、26ページをお開きください。

26ページにつきましては、コメント No. 13ということで、地震継続時間の影響に対するコメントに対する回答になります。

まず、地震動の策定に当たりましては、基準地震動 S_s の時刻歴波形の経時的变化につきましては、Noda et al. の手法によって設定してごさいます。Noda et al. の手法といいますのは、地震の規模を示すマグニチュードに対して地震の揺れの立ち上がり時間、主要動の時間、継続時間を設定するものでごさいます。

左下に、プレート間地震の基準地震動 S_s の時刻歴波形を書いてごさいます。2種類の策定方法がございまして、 $S_s - D1$ として応答スペクトル手法、 $S_s - F2$ で断層モデル手法で策定した地震動の時刻歴波形を載せてごさいます。こちらの応答スペクトルにつきましては、右側のグラフに示してごさいます。

続いて、27ページになります。

27ページは、施設への影響でございますけれども、先ほどご説明した基準地震動 S_s の時刻歴波形を用いまして、時刻歴の非線形応答解析を実施します。左下の耐震壁せん断力復元力

特性の設定ですけれども、こちらにつきましては耐震評価をするときにこうした特性を用いて評価をしていることを説明しているものでございます。

矢羽根の3つ目になりますけれども、機器・配管系に対する影響につきましては、地震動の継続時間は疲労評価に影響を与えることとなります。このため地震の等価繰り返し回数設定に当たりましては、地震動の継続時間を考慮した設定条件を今回、次の工事計画の段階で見直しして、それに応じた評価を実施することで継続時間を考慮することで考えてございます。

図中右下をご覧ください。

こちら上の段に基準地震動 $S_s - D1$ の波形を載せてございます。その下に、3.11地震での波形を載せてございます。こちらを見ていただきますと、波形の大きさ、継続時間ともに基準地震動 $S_s - D1$ が十分大きく設定されているということがおわかりになると思います。

続きまして、28ページをお願いします。

28ページ目は、コメント No. 14 ということで、耐震裕度に係る説明になります。

まず、建物・構築物でございますけれども、Sクラスの建物・構築物に対しましては、終局耐力に対して適切な安全裕度を有していることが要求されます。具体的には、耐震壁の評価に用いる最大応答せん断ひずみの評価基準値としましては、終局点のせん断ひずみ 4.0×10^{-3} に対しまして2倍の裕度を持たせておりますので、 2.0×10^{-3} に設定してございます。

3つ目の矢羽根でございますけれども、実際に S_s を用いた地震応答解析の結果が右側に載せております。赤囲みの部分でございますが、最大でも 1.0×10^{-3} 程度で、評価基準値に対して十分な余裕を有していることがわかります。

続いて、29ページをお願いします。

29ページにつきましては、機器・配管系に対する説明になります。左側の図をごらんください。耐震設計におきましては地震及び内圧等による影響によりまして設備にどのぐらいの力が加わるかということをお応答値として評価します。こちら、実際に評価する場合のイメージを書いてございますけれども、設計段階では保守的な荷重の組み合わせですとか保守的な減衰定数を設定しますので、緑色の棒グラフのような応答値となります。実際には、実態に応じた荷重の組み合わせですとか減衰定数を用いますと、応答としては小さいことになるというイメージをあらわしております。

一方、評価する側の材料の許容値でございますけれども、実際の基準で決まっている安全機能維持の設計許容限界を赤い線で示してございます。実際、こちらに該当する機能維持の限界といえますのは、機械試験等を実施しますと規格値よりも大きい値になってございますので、

ここも余裕があるということになります。

右側の四角のところを見てください。許容限界のイメージですけれども、実際の材料につきましては、引張試験のイメージで書いてございますけれども、設計引張強さに対しまして安全設計で用いる評価基準値につきましては、十分余裕を持たせた形で赤の線で許容値を示しております。ここからも余裕を持たせた設定としております。また、耐震工事によりまして設備の応答低減や強度の増加ということで耐震性を向上させております。

続きまして、30ページをお願いします。

30ページは耐震工事の体制、基準、妥当性に係るコメントに対するご回答になります。

耐震工事の実施について、四角囲みで説明します。まず1つ目ですが、耐震工事は新たな知見などを踏まえ、耐震設計条件である基準地震動の見直しや評価項目の追加などが必要となった場合、国や学協会における規格基準などにに基づき、一連の耐震設計に係る検討・評価・施工を行い、その結果の妥当性を確認して業務に当たります。

2つ目でございますけれども、耐震工事の実施に当たりましては、社内のマニュアルに基づきまして業務計画を作成し、業務内容に応じた体制を構築し、力量・経験を有する技術者が一連の耐震設計にかかわります。また、評価ですとか工事を実施する協力会社につきましては、品質マニュアルに基づきまして、要求事項に係る技術的能力を有するか、また品質保証に係る運用・管理が妥当か、さらには、耐震設計の実績を有するかなどを確認してございます。

また、実際の耐震工事設計におきましては、関係者間におきまして各段階におきまして、その進捗ですとか妥当性を確認しながら業務を進めていくというものでございます。

具体的にフローで書いたものが31ページになります。

31ページ目は、左側に当社の流れ、右側に協力会社の流れを書いてございます。当社のほうで、計画書、調達仕様書を設定しまして、発注段階におきまして、先ほどご説明したように、協力会社の能力評価、技術的能力とか品質保証体制などが適切であるかどうかを確認いたします。その後、耐震工事の各段階につきましては、規格基準に基づきまして各設備の耐震評価、改造判断、改造設計、工事要領、こちらの内容が妥当であるかどうかを確認・承認した上で、改造工事を実施する流れとなっております。

32ページ、お願いいたします。

32ページにつきましては、これまでの主な地震の履歴と耐震工事の履歴を書いたものでございます。我々、2003年、2005年に大きな地震、宮城県沖地震がありましたけれども、その後、2008年から2010年におきまして、2003年と2005年で基準地震動を超

えたこと、あるいは2006年の耐震設計審査指針の改訂を踏まえまして、耐震性向上工事を実施してございます。ここでは女川1・2・3号機合計でございますけれども、6,600カ所の耐震工事を実施してございます。その後、2011年に3.11地震、4.7地震が起こったわけですが、ここでは当時の基準地震動を一部上回ったわけですが、安全機能に影響を及ぼす事象は確認されず、原子炉が安全に停止し、維持されたことを踏まえまして、これまでに実施した耐震性向上工事の実施個所の選定につきましては妥当であるというふうに考えてございます。

続きまして、33ページをお願いいたします。

こちらにつきましては、コメント No. 16ということで、使用済燃料プールの耐震安全性に係るご質問に対する回答でございます。

まず、使用済燃料プールの構造概要でございますけれども、こちらにつきましては、部材断面の厚い鉄筋コンクリートの壁、床で構成されてございます。また、内面には漏水防止のためにステンレス鋼板でのライニングが施されております。こういった構造特徴に加えまして、モデル化をするわけですが、まず左側のモデル、建屋全体を質点系でモデル化した場合の地震応答解析結果になります。こちら見ますと、赤囲みの部分がございますけれども、評価結果としまして評価基準値 2×10^{-3} に対して発生値は 0.5×10^{-3} 程度ということで、耐震性は確認されているということでございます。

右側でございますけれども、こちらにつきましては使用済燃料プールの部分詳細モデル（FEMモデル）を実施することによって、各種荷重等を用いまして安全であることを確認するモデルになっております。

続きまして、34ページお願いします。

34ページにつきましては、No. 17ということで、制振、免震技術に関するご紹介になります。機器・配管系の耐震対策としましては、地震に伴う振動エネルギーを機器・配管系の支持構造物に積極的に吸収させて、地震応答を低減させる耐震設計法というのがございます。こちらにつきましては、日本電気協会のJ E A C 4 6 0 1に規定されておまして、そのうち、機器・配管系に用います制振サポートの例をこちらでご説明いたします。

制振サポートにつきましては、弾塑性ダンパ、摩擦ダンパ、鉛ダンパというのがございまして、そちらの構造図を参考として載せてございます。

35ページをお願いいたします。

35ページは、左側の写真でございますが、こちらは女川原子力発電所の耐震対策の例図で

ございます。こちらはこれまでの許認可で実績のある耐震対策ということで、サポートあるいはスナップの追設をしているものでございます。こちらの検討にあたりましては、単に剛構造化、サポートをふやすというのではなくて、設備のメンテナンス性ですとかアクセス性、運転による機器の熱膨張、こういったものを総合的に判断して対策を決定しております。

下の右側のご紹介ですけれども、こちらは今回の新規制基準に伴う耐震対策としまして、先程ご紹介した対策以外のものとして、排気筒へのオイルダンパの設置、海水ポンプ室上部に竜巻防護対策として竜巻防護ネットを設置するんですけれども、この対策では、橋梁等によく採用されておりますゴム支承を採用することを計画してございます。こちらにつきましても論点として国にご議論いただいております。

続きまして、36ページをお願いします。

36ページにつきましては、コメント No. 18、19ということで、低クラス施設の波及的影響への説明となります。

屋外の低重要度の設備（B、Cクラス）につきましては、その設備の地震による波及的影響によりましてSクラスの設備の安全機能を損なわないように耐震設計することが要求されております。国の新規制基準によりましては、冒頭の概要のほうでもご説明しましたとおり、施設全体を俯瞰した調査・検討を行いまして、下に具体的な例を書いておりますけれども、相対変位ですとか不等沈下、耐震重要施設と下位クラス施設との接続部の影響、あとは下位クラスの損傷、転倒及び落下、こういったものに着目して評価をすることになっております。

また、3.11地震等の点検におきまして、低重要度の設備の波及的影響によりましてSクラスに被害がないことを確認してございます。こちらにつきましては、資料-2でご紹介させていただきました。

今後、我々、低重要度の施設に対する対応でございますけれども、新規制基準を踏まえまして、屋外施設、液体貯蔵を含む施設につきましては、Sクラス施設の安全機能に影響しないことについて設計図書類を用いた机上検討、現場調査、耐震評価、こういったことを実施してまいります。

下の図でございまして、波及的影響評価を実施する施設の例でございまして、海水ポンプ室、こちらにつきましては、非常用の海水ポンプが設置されておまして、それをメンテナンスするための門型クレーンがございまして、こちらが地震によって落下することないように、丸囲みのところですが、脱線防止、S s地震によって落下しないように耐震対策を実施することになってございます。

37ページ目をお願いします。

37ページにつきましては、No. 20ということで、電源盤の安全対策です。まず、左側の図でございますけれども、女川1号機の高圧電源盤は火災による事象ですけれども、こちらが地震によって揺れるような構造のものでした。これを耐震性の高い構造として停止するという対策を実施しております。

右側の図でございますけれども、電源盤に短絡が発生した場合については、その上流の電源盤Aですが、ここによって電力の流れを遮断するわけですが、今回これらの対策、国のガイドを踏まえた対策としまして、短絡を検知してからこれまでよりも早期に電流を断つ対策を実施することで考えてございます。

続きまして、38ページをお願いします。

38ページにつきましては、No. 21ということで、外部荷重との組み合わせです。こちらは地震荷重と自然現象であります各現象から加わる荷重の組み合わせでございます。こちらにつきましては、地震との組み合わせした場合の影響があるか、地震との組み合わせが発生するかどうかという観点から検討しまして、実際に地震との組み合わせにつきましては風及び積雪と組み合わせることで整理しています。

39ページをお願いします。

39ページにつきましては、過去の地震を踏まえた耐震対策についての説明でございます。

下半分の表をご覧ください。一番上に、これまでの大きな地震ですとか基準地震動の改訂にかかわる履歴を書いております。その下に、女川原子力発電所の基準地震動、あとは耐震対策工事の履歴を書いております。

女川につきましては、建設時、最大で375ガルの基準地震動でございました。これを2005年の地震、2006年の耐震設計指針の改訂を受けまして、最大で580ガルの地震動となっております。また、基準地震動を見直したことによりまして、表で示した数の耐震対策の実施、また、2007年の新潟県中越沖地震での反映ということで、事務本館の対策工事あるいは事務新館として免震構造のものを新設してございます。

上の1つ目の矢羽根の2つ目のポツになりますけれども、そのほかにも自衛消防体制の強化、あるいは迅速かつ厳格な事故報告体制の構築、こういったものの構築を図っています。

その後、2011年に3.11地震が起き、2013年には新規制基準が施行されておりますけれども、これを踏まえまして、我々、最大1000ガルの基準地震動を設定してございます。これまでの女川2号機の耐震工事でございますが、約3600カ所、さらに緊急時対策所

の新設というものを対策をしてございます。

続きまして、40ページお願いします。

40ページにつきましては、燃料プールへの落下物対策です。こちらにつきましても新規制基準において、燃料プールへの重量物が落下した場合の影響評価が求められておまして、その評価のフローが左側です。使用済燃料プール周辺の設備を抽出して、その下でございますけれども、使用済燃料プールへの落下を検討すべき重量物であるかどうかを検討します。

例えば、検討に当たっては、右側になりますけれども、使用済燃料プールとの遠隔距離ですとか設置方法、あるいは落下するときの落下エネルギーなどを鑑みまして、検討をいたします。

その後、落下防止対策の要否判断、こちらにつきましては、耐震性確保による評価をする、あるいは設備構造上の対策をするとか運用で対策をするとかということでございます。

こちらにつきましては、上の黄色の四角囲みでございますけれども、燃料交換機、建屋クレーン、屋根トラス、こういったものについて基準地震動 S_s に対して耐震評価をして、使用済燃料プールに落下しない設計をすることを考えております。

最後、41ページになります。

こちらコメントNo. 24ということで、学会発表に係るご質問を頂戴いたしました。

2012年以降、国内だけではなく、国際会議でも、下に書いているような地震後の健全性確認の点検結果、あとは各種シミュレーション解析につきましては幅広く発信している状況になります。

その次、42ページ以降は参考資料となりますので、説明のほうは割愛させていただきます。

説明は以上となります。

○座長 ありがとうございます。初めに、この件につきまして、欠席の先生から何かコメントがありましたら事務局からご報告をお願いします。

○事務局 特にございませんでした。

○座長 はい。それでは、先生方、何か質問等ありましたらご発言をいただきたいと思います。

はい、どうぞ。源栄先生、お願いします。

○源栄委員 1つ目は自由意見になります。

1つはね、埋め込み効果でE+F、私、埋め込み原発、相互作用の専門で、その埋め込み問題について私学位を受けていますが、ちょっといいですか。E+Fというのは成層地盤で原発の埋め込み部の側壁の効果が全然入ってない形ですね。そうすると、側壁の効果というのは建物の周期よりも表層地盤が柔いときには表層地盤が押す効果あるね。固い場合逆に表層地盤が

支えてくれる。その時に大事なものは建物の1次周期、要するに表層地盤の1次に対して建物の固有振動数がどこにあるのかという、女川の場合。それによって安全側なのか危険側なのかという定量的に把握しなきゃいけない。もちろんそのときに脇にタービンがあったりすると、隣接建屋間相互作用の問題になるけど、この辺が抜けてるんじゃないかということで、定量的な検討を、3次元の解析やるんだったら、この辺もやる、それが1つ。

2つ目は、継続時間の影響を私コメントしてるんですけどもね。継続時間の長い繰り返しによる、構成則ですね。繰り返し荷重によるループ、スケルトンカーブじゃなくて、繰り返しの構成則がきちんと対応できるのかなど。3. 1 1の2つのフェーズね、第1波の、第2波のと私はよく言うんですけども、それを両方合わせる構成則できてるのという……、私ども、自分たちのデータでいろいろやっているけど、構成則が追いついてないですね。2回大きいの繰り返して小さいの1回、2回、3回やって、また大きくなったときに、2回目合うんですかということなんです。

2つ目の大きいほうを例えば、第2フェーズのが大きかった。3. 1 1。そっち合わせようと思うと、最初の揺れ表現できない。最初の揺れを表現しようと思うと、2番目の揺れを表現できない。こういうものに対して適用性がないと、将来起こる長い継続時間でどうなるかわからないよという、そういう指摘でございます。

それと、それに絡んでスケルトンの……実験やってますね。実験やったあの剛性低下、剛性低下するけど耐力は変わらないと言うんだけど、剛性低下はきちんとあれに入ってるんですね、今度の規制の。要するに、原発は床応答スペクトルで設計しますから、この剛性低下をきちんと考慮したモデルで、しかも振幅も考慮したものでちゃんとやってるんですねという、これは確認ですね。

それと、3つ目は……今のでいいです。今まで3つなっていた。

4つ目は、複合荷重と言うけどもね、もうちょっとこれ複合荷重というよりも複合災害というように広いやり方で対策要るんでないかと。なぜかという、私、宮城県の地震対策とか仙台市の地震対策やってましてね、当時、地震が何回も起こったら連動という言い方した。連動はね、1回に3回続けてくるよりは、1週間おきとか1カ月おきに起こったほうがつらいんじゃないのという議論したことがあるんですね。ですから、こういうとき、竜巻災害が起こった後に、1週間みんな悩んでいるときに地震来たらどうすんですか、そういう荷重も含めて、地震対策への対応というのを考えておかないと、今夜から明日また台風来ますけれどもね、そこに地震、来週の水曜日に地震が起こったらどうすんですかという問題も絡む。わかりやすく

言うよね、そういうことがある程度必要なんじゃないかという、複合荷重というものの拡大化するということも大事なんじゃないかと。これコメントです。以上でございます。

○東北電力株式会社 ご指摘ありがとうございます。東北電力の尾形です。

最初のコメントですね。E + Fでの入力地震動のお話なんですけれども、ちょっと我々のモデルで今回の資料12ページあたりから書いてますけれども……（「12ページの」の声あり）ええ。わかりにくいところがあるんですけども。

通常、E + F入力、埋め込みを考慮した場合には、建屋のその埋め込まれている側面からの地盤のバネをつけてですね……（「小さくなり過ぎる」の声あり）ええ、そのバネをつけてやるんですけども、今回、我々は、側面の地盤バネについてはつけていなくて、底面から底面下入力地震動のみを考えるような形になります。

これは、3. 11地震のシミュレーションのときに、シミュレーション解析には入力地震動をどうするかというところが幾つかありまして、建屋の最地下階で取れた観測記録を入力になるように、そこで一致するように建屋最地下階の基礎マットの上で取れた波形を入力する場面と、我々もう一つ、自由地盤地点というところがありまして、その自由地盤地点でいわゆる地震動の評価をするための解放基盤表面の地震動ですね、それを見るためにあるんですけども、そのちょっと離れたところの解放基板表面相当のいわゆるはぎ取り波形、そういったものをつくっているわけですけども、そのはぎ取り波形をバネの外から入力して、それで中の建屋の観測記録が再現できるかというそういう二通りございます。

基礎マットの最地下階を使うとももちろん再現性はより高い。でも、ちょっと離れたところの自由地盤地点のはぎ取り波形を使っても、まあそんなには遜色ない結果が得られております。そのときの解析がまさにこのE + F、はぎ取り波なんですけれどもE + Fに変換をして、側面の地盤バネにはバネをつけなくて、地盤バネをつけず埋め込まれている効果だけ、E + Fの低減効果だけを、底面バネから外から入力をして、それで中の再現がされるということを確認してございます。

つまり、これは何を言っているかという、3. 11地震のときには、どうも建屋の周りは揺すり込みの沈下とかがあって、実際は非常に軟らかい地盤でどうもそこからは建屋に入力波は入ってこないし拘束される効果もないと。どうもそういうことになっているのではないかと、ということを確認してございます。

ただ、じゃ、そのときにこのE + Fをつくるためには、表層地盤の物性値を決めなければいけないので、表層地盤はどういう物性になっているかというのを幾つかパラメータスタディー

もやって、ある程度の広がりを持ったところで、基礎地盤マットより下は非常に固いですが、そこはマイナス約14m、O. P. -14mぐらいですけども、そこからO. P. +0mですから、ちょうど十四、五mぐらいは、マット下ほどではないんですけど、そこそこ固い地盤があつて、さらにO. P. 0mから地表面のO. P. 15mまでの部分については非常に軟らかい盛り土が地盤になっている、そういう地盤モデルをつくって、表層地盤の物性、そして取り込んでE+Fを入力すると非常によく合うということを確認しておりました。

- 源栄委員 女川は、自由地表面の観測記録ないのか。
- 東北電力株式会社 自由地表面というのは……
- 源栄委員 いわゆる地表の記録。
- 東北電力株式会社 あります。
- 源栄委員 観測記録あるの。
- 東北電力株式会社 あります。それはちょっと離れた通りを自由地表面としてのところ……ちょっと離れてますけども。
- 源栄委員 離れたというのをね。それは説明できるの。下と中と。
- 東北電力株式会社 はい。自由地盤地点としてはもちろん説明ついていて、ただ建屋のすぐそばの地表面というそこではないんですけども。それは残念ながらないんですが。ただ建屋の中の観測記録を離れた地点のはぎ取り波でもって説明できるということなので、非常にそれは信頼性が高いと。
- 源栄委員 埋め込みとかというときに、側壁からの力のやりとりというのを定量的に抑えておくというのが一番大事なのです。そういうことについては？
- 東北電力株式会社 尾形ですけども、その点につきましては、そうするとバネをつけると、つけて、側面バネをつけて、そのバネを介して側面からも入力入るという状態で、いわゆる通常の埋め込み考慮の建屋のモデルでも解析したんです。それだと合わなくなります。はい。それはやっぱりバネが幾ら弱いとはいえ何かついていると、やっぱりそこからの入力との兼ね合いなんですけれども、どうも現実と違うようだということで整理しております。
- 源栄委員 バネがあつて合うのがない。
- 東北電力株式会社 そうですね。でも、やっぱりそこは、結論的にはどうも揺すりこみで沈下しているような状態ということは、ほとんどバネが効かないだろうというそういう現象だと思っております。ですので、やっぱりここはあまり低減効果だけを見るとよく合うというところで、S sのときには、ただ振幅レベルが上がりますから、そういったことで表層地盤の物性値

もS sの振幅が上がったなりに低下するような、そういうモデルをつくって、7波S sありますけども、7波ごとに全部そういった入力を変えています。そういう表層地盤の物性の考え方でもって、設計モデルということで国のほうにもご説明しております。

2つ目のほうですけれども、繰り返しによる構成則ですね。これについては、大きな入力があって非線形がある程度進んだ後に小さな地震があって、それでさらにまた大きな地震が来たときということだと思えますけれども、大きな地震が来て非線形化が進んだ後に小さな地震のときには、今の我々のモデルですと剛性下がったモデルでの解析ということになりますけども、その中で実質的に線形的な動きをするということになりまして、恐らくそれは多分、最近わかってきている振幅依存するという、振動数が振幅依存するというこの現象は再現できないと思っています。

ただ、次の大きな地震来たときですね、さらに2回目の大きな地震来たときには、その振幅を超えるような大きな、1回目の振幅を超えるようなものであれば、当然それは再現性が合うと思っています。それはなぜかという、大きな振幅時点では非線形特性も含める構成則というのはやはりそれなりの信頼性があるって、間違いなく非線形化は、ええ、最大値のところは、そこが重視されてる問題、構成則だと思っていますし、やっぱり今回の事象はちょうどその最初の立ち上がりの第一折点過ぎて第二折点に行くかどうかというその微妙なところなので、やっぱり固有振動数が合いにくいというのは、なかなか難しい問題があるんですが、S sレベルの非常な強非線形の領域に入ってくるとそれはやっぱり信頼性あるというふうな考え方でいいのかなというふうに理解してございます。

それから、3つ目ですね。3つ目は、剛性低下を考慮してモデル化をしているかということですが、もちろんシミュレーション解析で剛性低下したモデルを採用して、機電側のPCV内検討の連成モデルにそれを入れてますし、もちろんですので……（「床応答、全部ね」の声あり）全部、床応答も全て、はい、低下したモデルから、さらにS sを入力してのさらなる低下、当然するんですけども、そういうモデルでもって評価するというところでございます。

○源栄委員 そのときにね、やっぱり一番一般の民衆、県民の方に説明してほしいのはね、剛性低下によって、この床応答スペクトルで設計している機器で、どの機器が応答が減ってどの機器が応答がふえて、応答がふえても余裕がないなら問題ないというので、これもね、明確に整理していただくと、しかもこれは定量的な話でつまりできるかわからないですけどもね、そういう説明書が要るんじゃないかなという……（「難しい」の声あり）難しいですね。この10%の振幅の範囲内なのかそうでないのか。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

今のご質問について、私の方からご説明させていただきますと、建屋の剛性低下によりまして、建屋の応答としましては固有周期が長周期側にシフトします。機器側の設備の固有周期というのはさまざまございまして、原子力発電所の設計としましては、どちらかという短周期寄りの設計をしております。例えば配管であれば0.1秒より短周期側に設計しております。ですので、建屋による1次固有周期が0.2秒ぐらいだったと思うんですけども、それが長周期側にずれますので、傾向としてはそういったずれた部分については応答が下がると。ただし、あと2次、3次という固有周期帯の影響もございまして、そこをきちんと見ないと明確には言えませんが、影響する設備、影響しない設備といたしますと、長周期側にシフトしますので、そういう影響を受けるかなというふうに思われます。

あと、続いて、先生からいただいた4つ目の複合荷重に関する説明になりますけれども、こちらはパワーポイントでいいますと38ページのところでご説明させていただいた内容に対する質問かと思えます。

ここで書いてる下半分の表でございますけれども、これは地震と自然現象を同時に荷重として発生するという考え方でございます。先生からご質問あった風、台風に対してどうかという話ですけども、こちらは台風と地震を同時に組み合わせますので条件としては10分間平均の値を設定ございますが、風単体で考えますと、風台風といいたいまいしょうか、竜巻に対する評価が単体での評価条件になると思えます。

こちらにつきましては、100メートル/sの竜巻を単体で評価して建物等が健全であるかどうかというのを評価してございます。その結果、影響のないように設計しますので、その後、地震が来ても影響がない。逆のことも言えまして、 S_s に対して機能が満足するように設計しますので、その後に竜巻が単体で来ても大丈夫と考えています。

○源栄委員 荷重のほうは、荷重のほうは大丈夫なのはわかってるんですけどね、地震、災害対策というのが果たして一緒に来たほうがいいのかどうか。一緒に来たほうがいいのか、1週間ずれてたほうがきついのか、それらを結構考えておかないとまずいんじゃない。連動問題といったとき、私はそれを宮城県の地震対策会議で議論した、仙台市でもやったかな。3連動と言っていましたよね、その3つが3分間続いて揺られるのと、3回が1回目の揺れが来た後1週間後に2つ目がすべってね、1カ月後に3つ目が来たとする、対策はそっちのほうが厳しいんじゃないのというふうなことがありましてね、ですから、こういうのも風、荷重じゃなくて風による被害と地震による被害、そういうものが別々に対応できるような体制をつくってほしい

いというのが……。

○東北電力株式会社 東北電力の平川でございます。

先生のご指摘は確かにごもっともでございます。先ほど例としておっしゃったように、基準地震動ですね、竜巻が一緒に来るのではなくて、時間差攻撃のように1週間後に来たときに本当にそれで大丈夫なのかというご指摘だというふうに認識しておりますけれども、少なくとも我々の今回の評価なり設計というのは、それぞれの地震なり竜巻に対しても大丈夫なようにまずものをつくりなさいというのが前提でございます。その上で評価をするつもりでございます。

ですから、先生がおっしゃったとおり、先の事象によりましてなにがしかの被害を受けていて、その被害が後から来る地震によってまた拡大するというようなのは、確かに一般のご質問というかご心配としては理解できるんですけども、我々のやっぱり少なくとも設計としましてはそれぞれの事象に対して安全なように、結局、要は被害を受けないようにまずものをつくってというのがまず我々の今回やっている評価でございますので、恐らく、恐らくという言い方もおかしいのかもしれませんが、ある程度の時間差が来てそういった最大級の自然事象が繰り返し何回か時間差で来たということがあったとしても、少なくとも発電所の安全上の重要機能というのは確保できるようなことになっていると思っておりますし、確かにおっしゃるとおり下位クラスの機器が多少被害を受けるということは考えられますけれども、ただそれが直ちに発電所の安全に係るような事象には発展しないというようなことではなってるというふうに考えております。

○源栄委員 特に4つ、ちょっとした被害があって、どんどん連鎖的に大きくならないような対策というのが大事だと思いますね。ちょっと突発的な話になりますがね。

○東北電力株式会社 ちょっと補足いたしますと、今言ったのは、中小の被害がもし起こった場合でも直ちにそれをいかに復旧するかというようなことも今回の審査の中でかなり重要視されておまして、運用性ですとかそこら辺の復旧性、そういったものに対してどんな設備を持ってどんな訓練をしている、どんな人員を確保しているかというようなところも実際には我々として備えておりますので、そういったものにつきましても程度問題があります。必ず全部というわけにはいかないかもしれませんが、少なくとも通常考えられる範囲ではそういった対応はできるものというふうに考えてございます。

○座長 それでは、鈴木先生、お願いします。

○鈴木委員 大変ご丁寧な説明ありがとうございます。それから、私のコメントに対する答えて

おりますが、それも了解いたしました。大変ありがとうございました。

その上でなんですが、今も先生の機器系の初期剛性の低下の機器系への応答に対する飯田さんの説明で、今結構だと思うんですが、もう一つ、初期剛性の低下というのは、この図にもあるように、履歴を伴うんですよね。ですから、履歴減衰、土木のほうのところに書いてありましたけど、レイリー減衰と書いてありますが引っ張りですから弾塑性に入りますので、床応答地震が剛性の低下によって低下しますので、機器系に対してはむしろ安全側に行くことがほとんどであって、そういうこともちょっとつけ加えてみたいと思います。

その辺で、ちょっとすみません、あとは技術的な質問で、簡単な質問ばかりです。今日は今村先生がいらっしゃらないんで。土木のところなんですが、土木構造物のところですね、この時刻歴応答で有効応力解析とそれから全応力解析についてちょっとご説明が不十分だったのかなと思うんですが、16番を見ると、そもそもAクラスが地盤と地下水の相互作用を考慮した応答解析が有効応力解析で、全応力解析というのは、この作用を考慮しない解析だという理解でいいんですか。全応力解析の説明がなかったですよね。

○東北電力株式会社 東北電力の橋本でございます。

ちょっと説明上少し簡略化したところがございますけれども、有効応力解析は、正確にいきますと、地盤とあと水の挙動それぞれ別に考慮できるということで、地盤の中の水の動きを考慮できますので、そうやって地下水によって液状化しようとするところを再現しようとする解析であると。一方、全応力は地盤と水を一体で扱いますので、地盤と地下水の相互作用ではなくて、地盤と構造物、地下水を含んだ地盤との構造物のその作用は考慮できるんですけども、別々には考慮できませんので、そういった液状化に絡んだような解析をするときには有効応力解析が唯一の方法になるかと思えます。

○鈴木委員 すると、一般的には有効応力解析のほうが厳しめに出てくると理解してよろしいんですか。

○東北電力株式会社 土の中の構造物ですと、有効応力解析のほうが変形が大きく出て厳しくなるというのが一般的だと思います。

○鈴木委員 はいはい。ですから、私、有効応力解析がこのAランクで、B2のほうは全応力解析というのを適用すると書いているというふうに理解していいですね。

○東北電力株式会社 B2の全応力解析はこれまでの審査でも長い歴史を持って適用されてきたものでございまして、この有効応力解析は特に液状化等に着眼して、この有効応力解析を用いているのは、今回ほかのサイトでも一般的に使用されている解析ではあるんですけども、液

状化というのは、そのサイトごとの土の特性によってその性状が異なりますので、いわゆるサイトマター、そのサイトによって特性が異なるという意味で、その重要な論点ということで整理されております。

○鈴木委員 はい、わかりました。ありがとうございます。

それで、ちょっと関連してなんですが、同じく土木の専門家じゃなくて変なことを聞くかも。有効応力解析をした、18ページなんですけれども、時刻歴応答解析を適用した云々というふうにあります。液状化、今のお話に関連すると思うんですが、フリップってありますね。これを使うということ、これを使っているというんでしょうか。

○東北電力株式会社 はい、おっしゃるとおり、一般的に使ってますフリップを適用しております。

○鈴木委員 ありがとうございます。すみません。もう一つ、質問したいことがございます。

サプレッションチェンバのところなんです。これも大変よく説明していただいてありがとうございます。よくわかりました。その上でなんですけれども、この20ページにある球形タンクの、それを応用してサプレッションチェンバの解析をするというのがたいへんよくわかりました。

私、ちょっと球形タンクについて多少存じ上げているんですが、この場合、球形タンクの場合は、耐震設計の基本的な評価としてどこを評価しているかといいますと、この縦型にある支柱ですね、コラム、支柱と、それから斜材、ブレースの引っ張り、それともう一つが、基礎ボルトを含む器具のところも一番重要な耐震上の評価になるんですけれども、サプレッションチェンバの場合は、理屈的にそのモデル化をするというのでモデル化のところまではわかったんですが、わかりましたけれども、今日、配っていただいたモデルまではわかったんですが、耐震性の評価はどういう、どの部位を、それからどういう応力を見て、耐震性があるかというのでしょうか。さっきのタンクの場合との違いを教えてください。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

今のご質問でございますけれども、サプレッションチェンバの耐震評価をする部位のご質問だと思います。こちらにつきましては、サプレッションチェンバ自体の応力評価、これは腹部であったりとか上下・左右部、あとは、サプレッションチェンバにはそれを支えているボックスサポートという支持構造物があります。そのサプレッションチェンバという容器でございますけれども、容器とその支持構造物の接続部位、あとは支持構造物本体、あとは支持構造物と床が基礎ボルトで定着しておりますので、その基礎ボルト、そういったところを、先生が球形

タンクとして説明していただいた荷重が伝達するところは全て評価するというところでございます。

評価につきましては、実際に容器内に加わる圧力ですとか温度等々を考慮しまして1次応力、あるいは地震、温度によって2次応力というものが発生しますので、1次+2次応力、さらには、部位ごとによってピーク応力が発生する部位もございますので、そういった場合につきましては、疲労評価まで実施いたします。

○鈴木委員 ありがとうございます。その点はよくわかりました。

21ページに加振実験の写真が出ていますよね。この加振実験では、今おっしゃった架台を書いてあって、内容で整理、試験……どこを測定してらっしゃるのでしょうか。今のお話に関連して言うと。加速度計をつけてるわけですか。

○東北電力株式会社 飯田でございます。ご説明いたします。

ここで加振試験をして、どのようなパラメータを設定して、どういったパラメータを実験値として採取しているか、その観点でご説明いたします。

試験装置としましては、右下の写真でございますが、アクリルで同じドーナツ形状の容器をつくります。その中に水を設定します。これはサプレッションチェンバと相似則を考えまして水を設定します。その状態で、このアクリルの容器を荷重計に載せます。荷重計とその容器をさらに加振装置の上に載せます。

そうすることによって、容器自体が揺らされたときに足もとにどれぐらいの荷重が加わるか、そういったものを採取しまして、実際、内部にある水があるわけですが、そのうちどれぐらいの割合が水平方向に揺らしたときに地震荷重として寄与しているかどうかということを確認してございます。それに対する内部水位の地震に加わる有効質量を出しまして、その有効質量を、22ページ、これはマスキングになってございますけれども、こちらのはりモデルのほうに重量という形で設定しまして、地震応答解析をして、各部の荷重を出すと。そこから各部の応力評価を実施することになります。

○鈴木委員 この加振実験では例えば地震波を入れたりなんかして、どこが壊れるかまでするとか、そういうことは元々考えていない。

○東北電力株式会社 おっしゃるとおりです。

○鈴木委員 モデル化の妥当性を検証するためにやった実験だということですね。

○東北電力株式会社 はい。そのとおりでございます。

○鈴木委員 わかりました。どうもありがとうございました。

○源栄委員 有効質量は、上下動かかったら変わるんじゃないの。上下動あったら……

○東北電力株式会社 飯田でございます。

上下動の有効質量につきましては、こちらは全て地震荷重として見ますので、有効質量は1
ということで設定してございます。

○座長 そのほかご質問。はい、栗田先生、お願いします。

○栗田委員 幾つかお聞きしたいことがあります。

まず、6 ページの新規制基準に基づく耐震設計の概要のところ、まず、波及的影響評価は、
女川については考慮しなくてもいいという意味でしょうか。考慮するならどんなものがあるか。
説明がなかったので、ちょっと言っていただきたいと思います。

○東北電力株式会社 飯田でございます。

女川におきましても波及的影響の評価は実施いたします。こちらにつきましては、ご存じの
とおり、耐震B、Cクラスのもの壊れたときに周辺にあるSクラスこういったものに対して
悪さしないように、対象物を抽出しまして、地震によってB、Cクラスが壊れないようにする
ですとか、あと、その間に区切りをすとか、そういう対策をしていきます。

ここにおいて波及的影響評価としてどういったものを評価するかでございますけれども、午
前中の資料-2でご説明させていただいたとおり、例えば原子炉建屋内の設備であれば、3階
にはSクラスである炉心、使用済燃料プール、その上に燃料交換機あるいは天井クレーンとい
うのがございますので、そういったものについては波及的影響として評価します。また、海水
ポンプ室につきましては、先ほど竜巻防護ネットを設置する、あとは海水ポンプ室にある非常
用のポンプをメンテナンスするための門型クレーンがございます。こういったものについても
Cクラスに該当していますので、こちらにつきましてはS sの地震が起きたときに壊れないとい
う評価を実施いたします。代表的なもので言いますとそういうところがございます。

○栗田委員 次に、地震力の組み合わせですが、3方向同時入力で新基準では行うということ
でしょうか。このところの説明がなかったのですが。

○東北電力株式会社 今のご質問についてお答えいたします。

こちらにつきましては、新規制基準での要求としましては、水平2方向と鉛直方向、それを
必ずしなさいというわけではなくて、設備によっては水平2方向の影響がないものもあります。
例えば、円筒タンクのようなものについては方向によってせん断力ですとか引張荷重が生じる
最大点がずれてきますので、そういったものについては水平2方向の影響はないということで、
各設備設備に応じて影響があるかどうかの有無を確認して評価してございます。

建物等について言いますと、例えば隅角部ですね、隅のところの影響がないかどうか、そういったところをきちんと事業者が分析した上で、影響がある場合についてはそのときの耐震性がどうかということの評価して説明することになります。

○栗田委員 だから、さっき隅角だと、例えば45度方向を入力ということをやるのですけれども、そういうことは……ない。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形ですけれども、そこまでのことはしません。あくまで質点系モデルを基本にしていますので、左右それぞれの方向での検討をするというのが基本でございます。

○栗田委員 はい、わかりました。

それで、次の質問が11ページですが、論点の分類の中で、耐震補強工事を反映というものがあまして、多分、ひび割れ自体エポキシかなんかで補修をしているはずだと思うのですが、耐震補強もしているはずですよ。そうすると、一般には、剛性低下したけど剛性が上がっている。低下した上で補強しているので下がることはない。それを考慮しないというのは、あくまで、ひずみレベルで検討なので、剛性を低いほうがひずみを大きく出るから、それは無視している、そういうことなのかどうなのか。説明がなかったので、ここについて考えを教えてください。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

オペフロの上部ですね、多数ひび割れが入ってございますけれども、そういったエポキシなりで補修もしてありますが、基本的にはエポキシ補修をしても剛性までは回復しないという前提でモデル化しております。

補強した部分については補強なりの効果がありますから、その効果も、地震の補強後の観測記録なりを分析した上で、補強効果があるねということまでを確認した上でモデル化をするということで、補強を特にしたものはもちろん今現時点の新品状態ですから、そこまでは剛性低下させませんけれども、一方で、ばらつきの検討ということでは、標準的には3.11地震時の剛性低下を考慮するんですけれども、さらに、剛性が下がった状態にS_sが来たときには、初期剛性としてそういう状態もあり得るかもしれないという、あくまでも保守的な前提でもってさらに剛性低下をさせて、その状態でさらにS_sを入れて、それでも大丈夫だというふうなところまでの検討をやるということにしております。

○栗田委員 次の質問が13ページなんです。ここの中で、初期剛性が設計より低下している要因の検討の中で、繰り返し試験（耐震実験〔1〕）による確認という。それと、そのことにつ

いての結果というのが14ページの実験目的、得られた結果の一番最初のことなんですか、これ、ちょっとわからなかったんです。ここについて説明をお願いします。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

すみません。ここは実験の内容、耐震実験〔1〕〔2〕〔3〕とありますけれども、その結果について〔1〕〔2〕〔3〕全てについて、荷重変形関係を載せた形での説明とかにちょっとになっていない面がありまして、ちょっとわかりにくいところはあるんですけども、繰り返し試験体というのは、ちょっとわかりにくいんですが、微小な……先ほどの経年的にだんだん振動数が低下していくと。それが乾燥収縮の影響というわけではなくて、もしかしたら、小さな振幅でも繰り返し起きているとちょっとずつ下がっていく可能性とかそういったことを考えて、通常やらないような試験体を耐震実験、壁の耐震実験では通常最初の小さな振幅のところでの繰り返しなんていうのはあまりやらないんですけども、本当に最初の繰り返しのところで5回ぐらい繰り返したりとか、そういったことをあえてやってみて、それでどうなるのかということもちょっとやってみたんですけども、基本的には確かに微妙には下がりますけれども、考えてるほどは全然影響がないというレベルなので、どうも小さな振幅の繰り返しはあまり初期剛性の低下には影響しないなというところが我々の結論でして、そういったこともあって、乾燥収縮させた試験体でもってそういったことをやってみないとわからないということで、そういった試験をさらにやっていったということでございます。

○栗田委員 どうもありがとうございました。

○座長 そのほか、じゃ、兼本先生、お願いします。

○兼本委員 ちょっと耐震のやつの中身の話はあまり詳しくないので、外見的な話だけなんですけど、41ページでいろんな発表されているということなんですが、これは電力会社の方ご自身で発表されていると考えてよろしいんですか。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

そうです。基本的には、我々、弊社のほうで筆頭になって発表しているものがほとんどで、状況によってちょっと行けない場合であったりとかそういう場合には、あるいはその1からその3みたいなふうに分かれて論文化するときには、その1は我々でやりますけど、その2とかその3は協力していただいている会社さんに発表していただいたり、あるいは大学のほうで発表していただいたり、そういうことをしております。

○兼本委員 ぜひ、この後に若い方に研究していただいてもっと協力してもらえればと思います。

それから、31ページの耐震工事の体制、基準、妥当性で、ちょっと理解ができなかったん

ですけど、矢印が当社から協力会社にしかないんですけど、本来、どこかのチェックポイントのところでは情報もらって改造判断を出すことになっているんだらうと思うんですけど、この辺を少しわかりやすく書いていただいたほうがいいかなと思いました。

○東北電力株式会社 東北電力の小林です。

確かにこれは表現が一方的になってございますが、今、先生がおっしゃられたように、例えば、改造設計というところが、協力会社の下から3番目にありますけれども、こういうものが出てくればそれは提案がこちらに来まして妥当性確認・承認を行って、工事要領が出てくればその工事要領ももちろん我々電力の視点から確認して工事に行きますので、そういう意味ではわかりやすい資料にするということで、今後も気をつけていきたいと思います。

○兼本委員 両矢印にするだけですからね。

○東北電力株式会社 はい、ありがとうございます。

○座長 そのほかご質問は。じゃ、長谷川先生、お願いします。

○長谷川委員 素人じゃないですけども、22ページのこのスロッシングと、それから組み合わせて、その地震のこのスロッシングのと分けて考えているということですかね。

○東北電力株式会社 おっしゃるとおりでございます。地震による荷重と、あと、揺れによって変わる荷重を別に評価して足し込んでいるものでございます。

○長谷川委員 38ページなんですけど、今の設計基準とすれば設計基準風速30メートルによる荷重、これで大丈夫ですか。

○東北電力株式会社 今、ご質問いただいた38ページのところの地震と組み合わせる風の条件設定だと思います。こちらにつきましては、地震と風を同時に組み合わせるものなので、10分平均で30メートルというふうにしてございます。

今、原子力発電所におきましては、さらに風の強い場合については、竜巻ということで評価してございまして、こちらにつきましては100メートル/sの条件で評価をしております。

○長谷川委員 それから、もう一つ教えていただきたいのは、説明がなかった63ページのこれは何を言っているのかよくわからなかった点です。そこでは何か先行プラントと女川2号機との間で比較している。右側に、線型モデルと非線形モデルで違っていたり、違っていなかったり、要するに、こういう考慮をするということは、どういうことを確認するためにこういうことをやっておられるのか、ちょっと教えていただきたいです。何を言わんとするのか。

○東北電力株式会社 東北電力の飯田でございます。

63ページのところで、左側に先行プラントと女川2号機の比較を書いている図だと思います。

す。こちらの論点としましては、この図で言いますと、上に原子炉圧力容器があって、それを支える形で基礎がございます。その基礎に対して、復元力特性というものを適用するんですけども、我々が審査を受ける前に、こちら先行プラント、具体的には東電さんになります、柏崎になりますけれども、ABWRのプラントでございます。

基本的な考え方としては一緒なんですけれども、国の審査の中で言われましたのは、東京電力のほうはABWR、当社のほうはBWR5でございますので、基礎構造が若干違いますので、そういったところの違いを明確にした上で、その違いによる影響があるかないかというのを説明するために、こういった比較をして説明を実施してきたというものでございます。

○長谷川委員　そして、それをここの右側の図で、線形と非線型というようなところ、圧力容器や格納容器に対して線形と非線形で違うのか、違ってないのかということ。どちらでやってもちゃんといくというのはわかっているけれども、何のためにこういう比較をやっておられるのか、それをちょっと知りたい。

○東北電力株式会社　今のご質問についてご回答します。

62ページをご覧ください。62ページの右側の荷重－変形特性のイメージと書いております。これまで認可を受けた既工認の検討といたしますものは、線形の想定でございまして、変形を受けますと荷重が大きめに出るように設定してございます。実際、原子炉圧力容器の基礎の挙動につきましては、あるところから非線形挙動をすることになります。そうすると、変形は大きいんですけども、荷重としては小さくなるので、こういった効果をきちんと評価してあげることができます。機器・配管系のものは荷重をベースに評価していますので、こういったところが違います。

その効果を63ページのところで線形・非線形の状態で評価した場合にどういう違いがありますかということの説明してございます。ですから、63ページでいいますと、格納容器の部分については若干荷重が上がる形になりますけれども、それ以外につきましては非線形特性を考慮することによって、荷重自体はより精緻な値として下がる傾向にありますと、そういう説明をしたものでございます。

○座長　そのほか、関根先生、お願いします。

○関根委員　確認をさせていただきますが、先ほど鈴木先生のご質問の中で、16と18ページのところで、これだけ大きな防潮堤を建てているので、かなり前後で地下水の動きが変わったのだと思うんですけども、その影響について説明していただきたいと思います。

○東北電力株式会社　東北電力の橋本でございます。

今回、海に面するところに防潮堤を設置いたしまして、工事自体はこれからになるんですけども、防潮堤の下部を地盤改良したり、あと、コンクリートを設置したりするようになっております。そのことによって、山側からやってくる地下水が地下でせき止められるような構造になります。

今までの原子炉建屋と重要な建屋の周りには地下水位低下設備というのがあって、現状まだせき止めておりませんので、現状、地下水は低い状態にあるんですけども、将来的に防潮堤の下部を地盤改良してせき止める効果ができてきた場合に、そのままですと地下水が上がってしまう可能性があるということで、今回、より信頼性を高めた地下水位低下設備を設置して、地下水が上がらないようにするというところでございます。

その効果については、実際これから工事をしていく、また地下水位低下設備を設置した上で、地下水がどういうふうになっていくかというのは観測等を行っていくというふうに考えてございます。

○関根委員 どうもありがとうございます。先ほど鈴木先生も確認されていましたが、16ページの矢羽根の2つ目のところは、地盤と地下水の相互作用を考慮できる解析を実施するというものになっていましたが、高くなった水位で、あるいは実測値で計算されていますか。

○東北電力株式会社 そのために、地下水位低下設備、今、耐震性あるいはバックアップ等も含めて信頼性を高めておまして、その結果、出てくる浸透流解析等によって算定される地下水を保守的に高く見積もったもので算定しておりますけれども、その場所によってその地下水の設定というのは変えるような考えになっております。

○関根委員 現在のところでは、まだ実際の地下水の、想定される地下水の変化を考慮しての計算はまだできないということですね。ただ安全側に立って、水位を高くして計算により評価しているということでしょうか。

○東北電力株式会社 そうです。この16ページの図にあります防潮堤（鋼管式鉛直壁）という図におきまして、設置許可段階で、構造成立性評価というものを行っております。そのときの条件としては、初期の地下水として満潮位と同じレベルでずっといっていると。実際には、先ほど申しました地下水位低下設備によりそれよりかなり下がってはいるんですけども、そのくらいまで上げた状態で評価をしていくということでございます。

○関根委員 わかりました。どうもありがとうございました。

○座長 そのほかありませんでしょうか。

1点、41ページの学会発表なんですけれども、この中で論文のレプリによる審査というか、

第三者による評価みたいなものですがけれども、そういうのの発表というのはどのぐらい、何件ぐらいあるんでしょうか。第三者で発表自体が評価される点、重要だと思いますけれども。

○東北電力株式会社 東北電力の尾形です。

厳密に、いわゆる審査論文的なものということでいいますと、ちょっと我々、建屋のほうを中心ですけども、建屋に関してはこのWCEEですとかこのSMIRTとか外国でも発表しておりますが、厳密な審査論文というよりは、アブストラクトなりでこういった内容の発表をするかといったところまでは事前に検討いただいて、それであると、アブストラクトが認められれば、あと本論を提出するというような形式ではあるんですけれども、そこで発表内容について指示がされるとかということは基本的にはないものですね。

あと、建築学会の……大会論文ですとか、そういったものも基本的にはそういった審査はなくて、1つ、構造工学論文集に発表しているものがありますけれども、これは審査のあるものでした。これは……たしか先生方に原子炉建屋を見に来ていただいたときに、変位系の先生もたしか来てたような気はするんですけど、その変位系の論文なんですけれども、これは審査を通過しての審査論文になってございます。

そのほかとか土木とか……あまりないようですね。

○座長 わかりました。ありがとうございました。

そのほかご質問。よろしいでしょうか。

それでは、以上で2. 新規制基準適合性審査申請についての本日の議論を終了いたします。

皆様、貴重なご意見ありがとうございました。議事の1を終了させていただきたいと思えます。

もし、本日の説明をお聞きになって改めてご質問等がございましたら、事務局までご提出いただければというふうに思います。

(2) その他

○座長 次に、(2) その他につきまして、事務局からご説明お願いいたします。

○事務局 原子力安全対策課の伊藤でございます。

資料、右上に「(参考資料) 女川原子力発電所2号機の安全性に関する検討会への要望書」と記載した資料をお開きいただきたいと思います。と存じます。

この資料でございますが、今月3日に、「脱原発をめざす宮城県議の会」から本検討会の座

長宛てに提出された要望書でございます。本年8月30日に開催いたしました第19回安全性検討会におきまして議論がなされた水蒸気爆発に関して疑問があるというふうな内容でございます。

また、本年9月に行われました宮城県議会定例会本会議及び常任委員会におきましても、格納容器内の水蒸気爆発につきまして、データの取り扱いに疑義があることから、安全性検討会の場で再度ご議論いただきたいというふうなご意見がございました。

こうしたことから、県といたしましても、水蒸気爆発に関する内容につきまして県民にわかりやすい説明が必要であるというふうに考えられますので、次回の安全性検討会におきまして、この内容につきまして改めて東北電力のほうから説明を求めて、先生方にご議論いただきたいというふうに考えております。

本日の検討会に先立ちまして、事前に座長、副座長にはご相談しておりましたけれども、検討会において取り扱うこととしてよろしいか、ご検討いただくようよろしくお願いいたします。

○座長 ただいま、事務局から説明があったことにつきまして、次回の安全性検討会で取り扱いたいと思いますが、先生方よろしいでしょうか。

はい、それでは、次回の検討会で取り扱うことにいたします。

ほかに何かありますでしょうか。

○東北電力株式会社 すみません。東北電力の尾形です。ちょっと訂正です。

先ほど、私、構造工学論文集で変位計で発表していると説明しましたが、ちょっと私、勘違いしてまして、そうじゃなくて、これは実験の説明でしたので、ちょっと訂正させていただきます。すみませんでした。

○座長 はい、それでは、お願いします。

○事務局 失礼しました。次回の開催日は令和元年10月23日の水曜日に、仙台市内の会議室「パレス宮城野」にて、午前10時から開催いたしますので、どうぞよろしくお願いいたします。

○座長 それでは、次回は10月23日に開催しますので、よろしくお願いいたします。

そのほか、何かございますでしょうか。

それでは、特にないようでしたら、本日の議事を終了させていただきます。

4. 閉 会

○司会 若林先生、どうもありがとうございました。

それから、皆様方からの貴重なご意見、大変ありがとうございました。

それでは、これをもちまして第20回女川原子力発電所2号機の安全性に関する検討会を終了させていただきます。

本日はどうもお疲れさまでした。