

原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

第988回

令和3年7月6日（火）

原子力規制委員会

原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

第988回 議事録

1. 日時

令和3年7月6日（火） 13：30～15：11

2. 場所

原子力規制委員会 13階 会議室A

3. 出席者

担当委員

山中 伸介 原子力規制委員会 委員

原子力規制庁

小野 祐二 審議官
田口 達也 安全規制管理官（実用炉審査担当）
名倉 繁樹 安全規制調整官
天野 直樹 安全管理調査官
江寄 順一 企画調査官
植木 孝 主任安全審査官
藤原 弘成 主任安全審査官
三浦 宣明 主任安全審査官
皆川 隆一 主任安全審査官
宮本 健治 主任安全審査官
伊藤 拓哉 安全審査官

東北電力株式会社

金澤 定男 常務執行役員 原子力本部 原子力部長
阿部 正芳 原子力本部 原子力部 部長
渡邊 剛史 原子力本部 原子力部 課長
飯田 純 原子力本部 原子力部 課長
宮原 聡 原子力本部 原子力部 課長

大友 恒人	原子力本部	原子力部	課長
大江 公彦	東通原子力発電所	機械保修課	課長
秋葉 真司	原子力本部	原子力部	副長
檜舘 宏司	原子力本部	原子力部	主査
小野 晃史	女川原子力発電所	保全部	技術主任
熊谷 信昭	原子力本部	原子力部	主任
大熊 俊司	原子力本部	原子力部	主任
尾形 芳博	土木建築部		部長
辯野 裕	土木建築部		部長
平田 一穂	土木建築部		副部長
橋本 澄明	土木建築部		課長
伊達 政直	土木建築部		副長
田村 雅宣	土木建築部		副長

4. 議題

- (1) 東北電力（株）女川原子力発電所 2 号炉の設計及び工事の計画の審査について
- (2) その他

5. 配付資料

資料 1 - 1	女川原子力発電所第 2 号機	設計及び工事の計画の申請に係る論点整理について
資料 1 - 2	女川原子力発電所第 2 号機	津波漂流物の衝突荷重について
資料 1 - 3	女川原子力発電所第 2 号機	地下水位低下設備の設計方針について
資料 1 - 4	女川原子力発電所第 2 号機	サプレッションチェンバの耐震評価について
資料 1 - 5	女川原子力発電所第 2 号機	使用済燃料貯蔵ラックの設計用減衰定数について

6. 議事録

○山中委員 定刻になりましたので、ただいまから原子力発電所の新規制基準適合性に係

る審査会合、第988回会合を開催します。

本日の議題は、東北電力株式会社女川原子力発電所2号炉の設計及び工事の計画の審査についてです。

本日は、プラント関係の審査ですので、私が出席いたします。

本日の会合は、新型コロナウイルス感染症対策のため、テレビ会議システムを利用しております。音声等が乱れた場合には、お互いにその旨を伝えるようお願いいたします。

議事に入ります。

それでは、資料について説明を始めてください。

○東北電力（阿部） 東北電力の阿部です。

本日の御説明につきましては、資料1-1に説明項目をまとめておりますので、まず、こちらを御説明いたします。

それでは、資料1-1の1ページをお開きください。こちらは審査の中で論点として整理された項目を説明する資料になります。表を御覧いただくと、説明項目はNo.1からNo.4までございます。No.1は、4月の審査会合での指摘事項への回答になります。No.2及びNo.3は、昨年7月の審査会合でお示した主な説明事項になります。さらに、審査の中で整理されたNo.4の論点を加えた4件が本日の御説明する項目になります。

説明資料につきましては、説明項目No.1からNo.4に対して、それぞれ資料1-2から1-5を御用意しておりますので、御確認いただければと思います。

この後の御説明ですが、説明項目ごとに御説明、その後、質疑応答という形で進めさせていただきますが、説明項目のNo.2とNo.3の間に説明者の入替えの時間をお願いいたします。このような順番で進めさせていただきたいと思います。

それでは、資料1-2の説明に移ります。説明者、代わります。

○東北電力（田村） 東北電力の田村です。

資料1-2を用いまして、津波漂流物の衝突荷重について説明いたします。

1ページをお願いいたします。4月の審査会合におきまして、主要説明項目であります津波漂流物の衝突荷重について説明をし、資料の上段の表に示す指摘を頂いてございますので、本日は、その回答内容について説明するというものでございます。

頂きました指摘事項といたしましては、FRP船舶の衝突荷重算定で、矢羽根三つの内容を含めて妥当性と設計への適用性を体系立てて整理して説明ということでございます。

資料の下半分に大きな表を載せてございまして、ここに回答の内容を示してございます。

表の一番左側の列に指摘事項を再掲しておりまして、その右側の二つの列で妥当性、それから設計への適用性の回答内容を示してございます。

指摘事項の矢羽根三つに対する内容につきましては、中段から下3行で整理しておりまして、まず、真ん中の行の鋼製船舶を対象としている土木学会の方法をFRP船舶に適用できるかということに関して、右側の欄を見ていただきまして、鋼製とFRP船舶の形状、構造、材質の力学特性、損傷モードに類似性があるということを確認してございます。

次に、その下の行、軸剛性算定における保守性に関して、用いるパラメータを保守的に設定することで、軸剛性としては基本ケースに対して3倍以上の保守性を有しているということを確認してございます。

一番下の行につきましては、衝突解析の位置づけと不確かさ結果になります。船舶の衝突は、いろいろな方向から当たるという可能性がございますので、その影響を不確かさについて確認をするため行ったというものでございまして、それぞれの衝突形態の結果についてお示ししてございます。

以上を踏まえまして、表の上段の行のほうに妥当性と設計への適用性を確認したということに記載してございまして、これらについて、体系立てたフローを作成してございますので、これをもって指摘に対する回答という形を取ってございます。

2ページをお願いいたします。津波漂流物の影響の全体を示してございまして、このうち、赤い実線で囲った漂流物の衝突荷重の算定の章の中で回答することといたしまして、4月の会合で説明した内容と重複するところにつきましては、本日、説明を割愛させていただきまして、回答内容に絞った内容で説明させていただくということにしております。

資料5ページをお願いいたします。5ページに示している下のフローで、点線で囲っている直近海域の小型FRP船舶のところが回答内容になります。

6ページをお願いいたします。直近海域の小型FRP船舶の衝突荷重算定の詳細フローを示してございまして、フローの左側につきましては、土木学会の方法で軸剛性を求め、FEMA式から荷重を算定するという流れでございまして、FEMA式のほうでは、衝突形態の影響を確認することが困難でございますので、右側のフローで衝突形態の不確かさ影響として、解析を用いて確認するという流れを作っております。

なお、衝突形態の影響の結果といたしましては、荷重の確認のほかに解析結果から破壊形状を確認いたしまして、機関部、エンジン部分に相当しますが、こちらの影響についても確認するということとしてございます。このフローで、青い点線で囲っている項目につ

いては妥当性の確認、赤い点線で囲っているところが設計への適用性の項目について示してございます。

7ページをお願いいたします。初めに、船舶の破壊に関する整理を行ってございまして、FRP船舶の圧壊荷重から軸剛性を求めるというような方針を出してございます。

8ページをお願いいたします。こちらでは土木学会の方法を示してございまして、資料の左下の方に式がございすけれども、こちらの式を用いまして軸剛性を求めることとしてございます。

なお、この内容につきましては、前回の会合、4月の会合で説明した内容と重複する内容でございます。

9ページをお願いいたします。9ページから、鋼製船舶とFRP船舶の類似性に関する整理を行っております。ここでは、文献調査の結果から、船舶の形状に類似性があるということを確認してございます。

10ページをお願いいたします。10ページでは、船舶の構造に類似性があるということで記載をしてございます。

11ページをお願いいたします。11ページのほうでは、鋼製とFRPの材質の力学特性といたしまして、両者弾性変形をするというようなことで類似性があるということを示してございます。

12ページをお願いいたします。損傷モードにつきましては、鋼製、それからFRP船舶ともに座屈が支配的であり、類似性があるということを示してございます。

以上を踏まえまして、12ページの中ほどの箱書きのところになりますが、鋼製船舶とFRP船舶については類似性があるということで、土木学会の方法をFRP船舶に用いることは妥当であるというふうに評価をしてございます。

13ページをお願いいたします。13ページ、それから14ページのほう、2ページにわたります。土木学会の方法で軸剛性を求めるためのパラメータについて、それぞれ用いる文献の適用性を確認した上で、パラメータの設定というのを行ってございます。

15ページをお願いいたします。パラメータの設定を踏まえまして、軸剛性と荷重を算出した結果を載せてございまして、荷重で見ますと635kNとなっております。こちらの結果につきましては、妥当性を確認したケースといたしまして、基本ケースというような位置づけで行ったものになります。

続きまして、16ページをお願いいたします。16ページ、それから17ページ、こちらの2

枚にわたりまして、設計への適用性として、これまで説明いたしましたパラメータに対して、それぞれ保守性を持たせた設定とするということを示してございまして、その結果といたしまして、17ページの表の右下のところを見ていただきまして、軸剛性と衝突荷重を載せてございますけれども、先ほど御説明した妥当性確認ケースに対して、軸剛性については3倍以上、荷重にいたしますと1221kNでございますので、ほぼ倍になっているということで、十分な保守性を有しているということを確認してございます。

18ページをお願いいたします。18ページから、衝突形態の影響について示してございまして、18ページの一番上の矢羽根に記載しているとおり、衝突解析を用いて、衝突形態が荷重に及ぼす影響を確認するというようなことで、衝突解析の位置づけを明確に記載してございます。

19ページにつきましては、4月の会合の再掲でございますので、20ページをお願いいたします。

解析ケースについて、20ページの下の方に図を載せてございますけれども、このうち、4月の審査会合では、左側に示している船首、それから船尾からの衝突の2ケースを説明してございました。今回は、それに加えまして、ケース③、④、⑤を追加いたしまして、真横からの衝突、それから斜めからの衝突ということで、こちらの3ケースを追加しております。

21ページにつきましては、こちらも前回の会合の再掲になってございますので、22ページをお願いいたします。

22ページでは、真横からの衝突解析の結果を載せてございまして、下のほうにグラフを載せてございますが、非常に短い作用時間ではございますけれども、最大で1100kNの荷重が生じているということになります。また、モデル化をしていないエンジン部分の機関部になりますけれども、こちらの部分まで破壊が生じているような状況についても確認をしております。

23ページをお願いいたします。23ページでは斜め衝突について記載をしてございまして、こちらは、荷重としてはそれほど大きくなってございませぬけれども、斜め船尾衝突・・・生じているという。

○天野調査官 規制庁の天野ですけれども、ちょっと途中で説明の音声が入切れましたので、23ページの頭から、改めて説明をお願いします。

○東北電力（田村） 東北電力の田村です。

音声は聞こえておりますでしょうか。

○天野調査官 規制庁の天野です。

音声は聞こえていますので、説明を続けてください。

○東北電力（田村） 東北電力の田村です。大変申し訳ありませんでした。

23ページのほうから説明させていただきます。

23ページでは、斜め衝突についての解析結果を載せてございまして、船首、それから船尾、2種類ございますけれども、それぞれ、荷重はそれほど大きくなってございせんけれども、斜め船尾衝突につきましては、機関部まで破壊が生じているということを確認してございます。

24ページをお願いいたします。24ページでは、衝突形態の影響といたしまして、船首、船尾、真横、それから斜め衝突の解析を行った結果といたしまして、右上の下線のところに示しているとおり、最大荷重としては真横からの衝突の1100kNということで確認をしております。

25ページをお願いいたします。衝突形態の影響のまとめになります。上半分につきましては、今ほど説明いたしました1100kNの荷重が、土木学会の方法で軸剛性を出して、FEMA式から算出した1221kNよりも小さいということでございますので、FRP船舶の荷重といたしましては、FEMA式から算出される1221kNを採用するというを示してございます。

下半分につきましては、解析でモデル化をしていない機関部の影響のまとめとして書いてございまして、機関部につきましては、鋼材であるため、車の、車両の衝突に置き換えて、速度、それから重量から車両の衝突荷重1855kNに包含されるということを確認してございます。

26ページをお願いいたします。前段で説明いたしましたFRP船舶の衝突荷重の算定フローに、各項目で求めた荷重を記載してございまして、それぞれの関係を示したものでございます。左側の中段より下の方に、青で示した635kNは、軸剛性を用いてFEMA式から算出した基本ケースでございまして、その右下のほうに1221kN、こちらが保守性を確認した荷重になります。

右側の方が解析についてでございまして、そちらのうち、船首衝突につきましては、青で示している600kN、これがFEMA式の基本ケースの635kNとおおむね同じような値であるということを確認してございます。また、解析の最大といたしましては、真横からの1100kNでございまして、こちらは先ほど説明した保守性を確認した1221kNよりも小さいため、

1221kNが衝突形態の不確かさの影響も含めて、包含しているというような評価をしているものでございます。

それから、緑で囲ったところ、衝突解析のところでございますけれども、こちらにつきましては、機関部まで破壊が生じているケースでございます、こちらのケースにつきましては、車両の1855kNに包含されるということで、緑の矢印で示してございます。

27ページをお願いいたします。こちら、4月の審査会合で説明した内容と同じでございますけれども、各漂流物の衝突荷重を踏まえて、右下の表にありますとおり、設計用の荷重といたしましては2000kNということで、考慮することといたしておりまして、こちらについては変更はございません。

漂流物の衝突荷重についての説明は以上となります。

○山中委員 それでは、質疑に移ります。

質問、コメントはございますか。よろしいですか。

それでは、引き続き、説明をお願いいたします。

○東北電力（大江） 東北電力の大江と申します。

それでは、資料1-3、地下水位低下設備の設計方針について御説明いたします。

2ページを御覧ください。はじめに、今回は第952回の審査会合においてお示した地下水位の設定に関わる今後の説明事項のうち、地下水位低下設備の設備構成についてを御説明するものです。

資料3ページを御覧ください。こちらで今回の説明事項を表に整理しております。説明事項の一つ目ですが、浸透流解析による地下水流入量の評価として、揚水ポンプの設計条件に適用する地下水の最大流入量の評価結果、及び地下水位低下設備の機能喪失時に復旧時間の検討に使用する、設計上想定する水位までに上昇、到達する時間の評価結果を御説明いたします。次に、地下水位低下設備の設備構成について、地下水位低下設備の設置箇所、耐震設計及び設備の信頼性に係る設計方針、この設計方針等を踏まえた系統構成について御説明いたします。また、地下水位低下設備の機能喪失を想定し、復旧措置に必要な資機材を整理した結果を御説明いたします。最後に、工事計画認可段階における詳細設計結果の反映点として、設置変更許可段階の内容と対比し、整理した結果を御説明いたします。

4ページを御覧ください。ここから、浸透流解析による地下水流入量の評価結果を御説明いたします。まず、浸透流解析モデルの設定に関して、図3-1に浸透流解析のフローを

お示ししておりますが、浸透流解析を用いた地下水流入量は、排水実績との比較によるモデル検証を行った上で、保守的な条件を設定したフロー③の地下水流入量評価モデルにより大きめに算出して、地下水位低下設備の排水能力に反映しております。また、機能喪失を仮定した到達時間の評価は、フローの④、水位上昇評価モデルにより短めに算出し、地下水位低下設備機能喪失時の復旧措置時間の評価を参照しております。

資料5ページを御覧ください。ここでは、浸透流解析による地下水流入量の評価結果について御説明いたします。図3-2のフローにおきまして、①広域モデルを用いた妥当性確認として、解析結果が、これまでの排水実績と整合するよう解析条件を設定しております。その上で、フローの③地下水流入量評価モデルを用いた予測解析を実施し、地下水流入量が大きく算定されるよう、透水係数を大きく、ドレーン範囲を広く設定し、表3-1にお示しするとおり、エリア当たりの地下水の最大流入量を1日当たり8,078m³/dと評価しております。

6ページを御覧ください。ここでは、浸透流解析による機能喪失を仮定した到達時間の評価結果について御説明いたします。設置変更許可段階においては、地下水位低下設備が通常運転している状態から全て機能喪失した状態の水位上昇を仮定し、設計上想定する水位に到達するまでの時間内に復旧措置を行う方針としており、この時間を到達時間として、浸透流解析により評価することとしておりました。

工事計画認可段階における検討においては、図3-6にお示しした地下水位の上昇に伴う影響のうち、揚圧力の上昇による耐震性への影響が最も早く生じることを確認し、到達時間の評価手法としております。

そして、図3-4にお示しした④水位上昇評価モデルを用いた予測解析においては、到達時間を短く設定するため、水位上昇開始時の水位が高くなるよう透水係数を小さく、ドレーン範囲を限定し設定しました。この結果、表3-2にお示しするとおり、到達時間を原子炉建屋・制御建屋エリアで約25時間、第3号機海水熱交換器建屋エリアで約67時間と評価しました。

以上が浸透流解析による評価結果となります。

7ページを御覧ください。ここから、地下水位低下設備の設備構成について御説明いたします。まず、地下水位低下設備の設置箇所についてですが、地下水位低下設備は、地下水位を一定の範囲に保持するために、各エリアにおいて浸透流解析結果から得られた地下水の最大流入量、1日当たり8,078m³/dを排水可能な設計とし、図4-1のとおり、原子炉建

屋・制御建屋エリア、及び第3号機海水熱交換器建屋エリアに地下水位低下設備を設置いたします。また、地下水位低下設備は、多重性及び独立性を備える設計とし、図4-2、4-3のとおり、各エリアに2系統設置いたします。

8ページを御覧ください。ここでは、耐震設計及び設備の信頼性に係る設計方針について御説明いたします。地下水位低下設備は、地震時及び地震後を含む、原子力発電所の供用期間の全ての状態において機能維持を可能とするため、基準地震動 S_s による地震力に対して機能維持する設計といたします。また、設置許可基準第十二条第2項に基づき、地下水位低下設備を設置する原子炉建屋・制御建屋エリア及び第3号機海水熱交換器建屋エリアの各エリアで多重性、独立性を備える設計とするとともに、外部事象による機能喪失要因に対し機能維持する設計といたします。

表4-1に、地下水位低下設備における耐震及び信頼性に係る設計方針を整理しております。

9ページを御覧ください。次に、地下水位低下設備の系統構成について御説明いたします。地下水位低下設備は、図4-4のとおり系統を構成し、この系統構成によるドレーン及び接続桝により揚水井戸に地下水を注水し、水位計により検出した水位信号により揚水ポンプを起動し、揚水ポンプに接続された配管を通して地下水を屋外排水路に排水することで、地下水位を一定の範囲に保持する設計といたします。

10ページを御覧ください。10ページでは、図4-5に地下水位低下設備の制御及び電源系統図をお示ししておりますが、こちらの独立した2系統を設置する設計としております。また、電力は非常用交流電源設備である非常用ディーゼル発電機及び常設代替交流電源であるガスタービン発電機から設備に供給できる設計としております。

○天野調査官 規制庁の天野ですけれども、また音声が乱れましたので、10ページの最初から、改めて説明をお願いします。

○東北電力（大江） はい、承知いたしました。申し訳ございません。では、資料10ページの説明をさせていただきます。

10ページでは、図4-5に地下水位低下設備の制御及び電源系統図をお示ししております。こちらの独立した2系統を設置する設計としております。また、電力は非常用交流電源設備である非常用ディーゼル発電機及び常設代替交流電源であるガスタービン発電機から設備に供給できる設計としております。

11ページを御覧ください。ここでは地下水位低下設備の復旧措置に係る資機材の配備に

ついて御説明いたします。

まず、復旧措置に係る基本方針ですが、地下水位低下設備は、これまで御説明したとおり、地震時及び地震後を含む、原子力発電所の供用期間の全ての状態において機能維持が可能な設計としたものの、それでもなお機能喪失が発生した場合を想定し、復旧措置に必要な資機材として予備品及び可搬ポンプユニットを配備する方針としております。

東北電力の大江です。音声のほうは聞こえておりましたでしょうか。

○天野調査官 規制庁の天野です。

11ページ目の上のほうの一つ目の矢羽根の説明の途中で、ちょっと一旦、一瞬止まったような感じが見受けられたので、改めて11ページ、最初から説明をお願いします。

○東北電力（大江） はい、承知いたしました。それでは、11ページの説明から始めさせていただきます。

11ページですが、ここでは、地下水位低下設備の復旧措置に係る資機材の配備について御説明いたします。

まず、復旧措置に係る基本方針ですが、地下水位低下設備は、これまで御説明したとおり、地震時及び地震後を含む、原子力発電所の供用期間の全ての状態において機能維持が可能な設計としたものの、それでもなお機能喪失が発生した場合を想定し、復旧措置に必要な資機材として予備品及び可搬ポンプユニットを配備する方針としております。

そのうち、可搬ポンプユニットの配備については、原子炉建屋・制御建屋エリア及び第3号機海水熱交換器建屋エリアにおける全ての地下水位低下設備の機能喪失を考慮し、各エリアの排水機能の維持を可能とするため、各エリアに1個、合計2個を配備いたします。

また、浸透流解析結果から得られた到達時間である原子炉建屋・制御建屋エリアで約24時間、第3号機海水熱交換器建屋エリアで約67時間の時間内に水位低下措置を完了できる設計とするとともに、搭載する可搬ポンプにより、浸透流解析結果から得られた地下水の最大流入量1日当たり8,078m³/dを排水可能な設計といたします。

12ページを御覧ください。ここでは、工事計画認可段階における詳細設計結果の反映点をお示ししております。

図5-1において、地下水位低下設備の設置範囲をお示ししておりますが、まず、排気筒について、排気筒は設計用地下水位を地表面とし地下水位低下設備の機能に期待しない設計としたため、排気筒周辺に地下水位低下設備は設置しないこととしております。また、ドレーンの配置・本数については、浸透流解析結果を踏まえたドレーン（鋼管）の設置、

耐震性等の確保条件に応じたヒューム管の有効範囲設定を行っております。

次に、図5-2にお示しした揚水ポンプ及び水位計の個数についてですが、こちらは信頼性向上のため設置数を設定しております。

13ページを御覧ください。本日御説明した項目のまとめです。

一つ目の矢羽根です。浸透流解析結果を踏まえた揚水ポンプの設計条件に適用する地下水の最大流入量及び地下水位低下設備の機能喪失時における設計上想定する水位に到達するまでの到達時間を整理しました。

二つ目の矢羽根です。地下水位低下設備は、浸透流解析による地下水の最大流入量を考慮し、地下水位を一定の範囲に保持可能な設備構成としました。

三つ目の矢羽根です。地下水位低下設備は、原子炉建屋・制御建屋エリア及び第3号機海水熱交換器建屋エリアにおいて、多重性及び独立性を備える設計とし、各エリアに2系統設置しました。

四つ目の矢羽根です。地下水位低下設備の機能喪失時における設計上想定する水位に到達するまでの時間内に、可搬ポンプユニットにより各エリアの水位低下措置を完了できる設計としました。

最後の矢羽根です。この保安規定において、地下水位低下設備にLC0を設定するとともに、復旧措置に係る資機材の配備、手順書及び体制の整備並びに教育訓練の実施方針を自然災害発生時の体制の整備及び重大事故発生時の体制の整備として定めた上で、具体的な実施要領を社内規定に定めることといたします。

地下水位低下設備の設計方針に係る御説明は以上でございます。

○山中委員 それでは、質疑に移ります。質問、コメントはございますか。

○宮本審査官 規制庁の宮本です。

パワーポイント13ページ、まとめの最後の矢羽根に記載されているように、地下水位低下設備についての設備の運用管理から、機能喪失の復旧措置の対応まで、定めなければいけない事項が多岐にわたります。これまでの設置変更許可と工事計画での審査内容を踏まえ、今後、申請することになる保安規定の審査において、この部分については、設備の運用管理等に含めて詳細に説明するようにお願いします。

○東北電力（大友） 東北電力の大友でございます。

今ほどの運用管理について、保安規定の方で詳細に御説明などをさせていただきます。よろしく申し上げます。

以上です。

○宮本審査官 私のほうからは以上です。

○山中委員 そのほか、何か質問、コメントはございますか。よろしいですか。

それでは、ここで事業者側の出席者の入替えを行いますので、5分後に再開したいと思います。2時10分、再開とします。

(休憩)

○山中委員 それでは、再開いたします。

引き続き、資料について説明を始めてください。

○東北電力(熊谷) 東北電力の熊谷でございます。

それでは、資料1-4を用いまして、女川原子力発電所第2号機、サプレッションチェンバの耐震評価についてということで御説明させていただきます。

ページをめくっていただきまして、1ページ目になります。本日の御説明内容としましては、「はじめに」ということで、詳細設計の申送り事項を御説明させていただきまして、サプレッションチェンバの構造概要、耐震評価における既工認からの変更内容、設置許可の段階での説明内容、工認、詳細設計の申し送り事項への対応、それから、地震応答解析モデルへの適用性に係る検討ということで、御説明を進めさせていただきたいと思っております。

ページをめくっていただきまして、2ページ目になります。詳細設計の申し送り事項としまして、サプレッションチェンバの耐震評価につきましては、サプレッションチェンバの耐震評価における地震応答解析モデルに3次元はりモデルを適用すること等につきまして、詳細を説明することとしてございます。

3ページ目にお進みください。こちらでは、サプレッションチェンバの構造概要ということで、改めて、ちょっと御説明させていただきたいと思っております。サプレッションチェンバの構造につきましては、下のほうの図に示しますとおり、円筒を繋ぎ合わせた円環形状構造物でありまして、その内部には円筒の変形を抑制するための強め輪を設置してございます。円筒の継ぎ目部につきましては、ボックスサポートが取り付けられておりまして、基礎ボルトを介しまして原子炉建屋基礎版上に自立する構造としてございます。今回工認におきましては、詳細設計を踏まえまして、サプレッションチェンバの強め輪、ボックスサポート取付部、及びボックスサポートの補強を実施してございます。

補強の内容につきましては、参考資料1で示しておりますので、適宜御参照いただければと思います。

4ページ目にお進みください。耐震評価における既工認からの変更内容としまして、今回の耐震評価におきましては、重大事故当時のサプレッションチェンバ内部水の増加、基準地震動の増大等を踏まえまして、表のフローに示しますとおり、①、②、③の変更を加えております。①としましては内部水質量に対する有効質量の適用、②としましては地震応答解析手法の変更、③としましては流体解析におけるスロッシング荷重の個別評価ということで三つの変更を加えております。

ここで、サプレッションチェンバの地震応答解析モデルにつきましては、既工認がはりモデルであったこと、大型機器もはりモデルを適用していることを踏まえまして、今回工認でも3次元はりモデルを適用し、より詳細な検討を実施してございます。

ページ進みまして、5ページ目をお開きください。ここでは、設置許可段階での説明内容について御説明させていただきます。先ほどの既工認からの変更点に対しまして、それぞれの項目に対して考慮事項を整理してございます。

主なものとしまして、①の内部水質量に対する有効質量の適用に当たりましては、構造解析用プログラムの仮想質量法を用いまして、サプレッションチェンバ内部水質の有効質量を算定することとしてございます。

②の地震応答解析手法の変更としましては、サプレッションチェンバの動的解析として、3次元はりモデルによるスペクトルモーダル解析を適用することなどを、耐震設計の考慮事項として取りまとめてございます。

次のページへお進みください。今回、詳細設計の申し送り事項への対応としまして、今回工認を受けるサプレッションチェンバの耐震評価に関しましては、さきの耐震設計への考慮事項及び詳細設計の申し送り事項等を踏まえまして、下表のとおり、今回工認での検討を行ってございます。

一つ目としまして、サプレッションチェンバの震動挙動に対するバルジングの影響を検討しまして、その結果、強め輪の効果によって地震時の発生応力が低減されるものの、発生応力に対して支配的な振動モード、1次モード及び2次モードがあることを確認してございます。

二つ目としまして、ボックスサポート取付部の局部変形の影響を検討しまして、その結果、地震応答解析モデルの固有周期に影響することを確認したことから、バルジングの影響等を合わせまして、地震応答解析モデルのボックスサポート取付部にばね剛性を追加することで考慮することとしてございます。

上記等を考慮しました、三つ目としまして、上記等を考慮した地震応答解析モデルを設定しまして、適用性確認用解析モデルとの比較検証を行い、女川2号機に対して適用性があることを確認してございます。

ページ進みまして7ページ目にお進みください。地震応答解析モデルの適用性に係る検討としまして、サプレッションチェンバの地震応答解析モデルの設定フローについて御説明させていただきます。地震応答解析モデルに当たりましては、各種の検討を行っており、地震応答解析モデルの設定に当たって検討した事項について、表のとおり整理してございます。

サプレッションチェンバの内部水に対しましては有効質量の算定、サプレッションチェンバの本体に対しましてはバルジングの影響検討、ボックスサポート取付部に対しましては局部変形による影響検討、ボックスサポートに対しましては基礎ボルトのモデル化ということで検討してございまして、今回は真ん中の赤枠で囲いましたとおり、こちらの範囲を説明することと考えてございます。また、上記を踏まえて設定した地震応答解析モデルの適用性に係る確認についても、御説明させていただきます。

ページをめくっていただきまして8ページ目になります。こちらは、今回設定した地震応答解析モデルについて御説明するものでございます。下のほうにサプレッションチェンバの地震応答解析モデルを示してございますが、A部詳細図を見ていただきまして、右側にボックスサポート取付部のばね剛性というもの、ヤシしているものがございます。こちらに、先ほどから御説明させていただいておりますバルジングの検討、それから、局部変形による影響について、こちらのほうに考慮してございます。

次のページ、9ページ目をお開きください。ここからはサプレッションチェンバの震動挙動に対するバルジングの影響検討について御説明させていただきます。サプレッションチェンバの震動挙動に対するバルジングの影響を検討するため、サプレッションチェンバの一部を横置円筒容器とした簡易モデルを用いた固有値解析及び応力解析を実施してございます。ここで、振動モードの定義について、参考3を用いて簡単に説明させていただきます。

24ページ目をお開きください。24ページ目の下表のほうに、振動モードに対する定義のほうを御説明しております。設置許可段階の御説明につきましては、既往知見に基づく定義としまして、振動モード、スロッシング及びバルジングと定義させていただきまして、バルジングの中でもビーム振動、オーバル振動の二つの振動に分けてございます。それぞ

れの振動に対しましては、タンクがあたかも梁のようにする振動、こちらをビーム振動、タンク壁面が花びら状に変形する振動、これをオーバル振動と定義して御説明させていただいております。

今回検討における振動モードにつきましては、それをより詳細化させていただきまして、バルジングのオーバル振動について、低次のオーバル振動、2次モード以降で花びら状の変形を伴わない振動モードとなりますけれども、こちらと高次の振動モード、2次モード以降で花びら状に変形をする振動モード、この二つに分けまして、検討のほうを行っております。

ページを戻っていただきまして9ページ目になります。横置円筒容器とした簡易モデルを用いた解析の結果、下表、下の左のほうの表に示しますとおり、高次のオーバル振動を含む、含まないによって発生応力が変わらないことから、高次のオーバル振動の発生応力に与える影響が小さいということを確認してございます。また、発生応力のところに強め輪がなし、ありの結果をお示ししておりますが、強め輪があることによって、地震時の発生応力が大きく低減されることを確認してございます。

ただし、右側の応力コンター図を見ますと、発生応力に対する振動、支配的な振動モードである1次モード、こちらビーム振動になりますけれども、それと2次モード、こちらオーバル振動になりますけれども、こちらの影響を確認したことから、バルジングの影響として確認してございます。いずれの振動モードもボックスサポート取付部が最大応力の発生部位であることを確認してございます。

ページをめくっていただきまして10ページ目になります。さきのバルジングの影響検討の結果を踏まえまして、発生応力に対して支配的な振動モードである1次モード及び2次モードに対するばね剛性を算定しまして、今回工認に用いる地震応答解析モデルに考慮することとしてございます。今回工認におきましては、サプレッションチェンバへのさらなる剛性向上を目的とした強め輪の耐震補強対策を実施し、小円断面変形を抑制することで応力低減を図っております。

ページをめくっていただきまして11ページ目になります。ここから、ボックスサポート取付部における局部変形による影響について御説明させていただきます。

右下のほうに設置許可での地震応答解析モデルをお示ししておりますが、設置許可段階ではサプレッションチェンバの本体のはり要素、ボックスサポートのはり要素、これらの剛性を用いてモデル化をしてございました。これはボックスサポート取付部の剛性が高い

と考えられたことから、このようなモデル化を行っております。今回工認における地震応答解析モデルに基づくモデル化に当たりましては、この下の右の図を見ていただきまして、サプレッションチェンバのはり剛性、ボックスサポートの剛性に加えまして、サプレッションチェンバ小円の断面変形の剛性、及びボックスサポート取付部の局部変形の剛性を考慮することとしてございます。

ページをめくっていただきまして12ページ目になります。さきに御説明しましたサプレッションチェンバ小円断面の剛性、及びボックスサポート取付部の局部剛性を算定するため、剛性算定用のシェルモデルと、剛性算定用はりモデルを構築しまして、それらの差分から地震応答解析モデルに考慮するボックスサポート取付部のばねの剛性を算定してございます。なお、本方法では、②、③の剛性が合算されて計算されるため、③の局部変形の剛性に対する検討を実施してございます。

次のページへお進みください。ボックスサポート取付部の局部変形の剛性を算定するため、図Aに示しますとおり、図Aに示す検討フローを用いまして、図Bの解析モデル、ボックスサポート取付部の局部変形の剛性算定モデルを用いまして、その影響について確認してございます。その結果が、その下の固有周期の比較結果の表になります。こちらの表に示します剛性の考慮範囲につきましては、その左側に示します模式図、剛性イメージに対応しておりまして、①+④につきましては、サプレッションチェンバのはり剛性及びボックスサポートの剛性を考慮した固有周期になってございます。真ん中に示しますのが、それに加えて、ボックスサポート取付部の局部変形の剛性を考慮した固有周期となっておりまして、その比較の結果、固有周期の変動があることから、局部変形の影響はあるということを確認してございます。

次のページへお進みください。ここから、地震応答解析モデルの適用性の確認について御説明させていただきます。下の図に示しますとおり、今回工認に用いる地震応答解析モデルと適用性確認用解析モデルとしまして、3次元シェルモデルを用いて比較検討を行い、検討してございます。検討内容としましては、中段に示しますとおりになります。

次のページへお進みください。15ページ目になります。ここからが結果になります。まずは振動モードの比較結果ということで、振動モードの比較結果を表に表示してございます。左側が適用性確認用モデル、真ん中が3次元はりモデル、右側が振動の特徴ということで、適用性確認モデルと3次元はりモデルの振動モードは、おおむね同様な傾向を示すことを確認してございます。

次のページへお進みください。ここでは、サプレッションチェンバ本体における発生応力の発生応力の比較結果をお示ししております。評価結果につきましては、左下の棒グラフに示しますとおりで、3次元はりモデル、適用性確認モデルの応力評価結果は、構造的に類似する部位をグルーピングした上で比較したところ、おおむね許容応力の範囲内では同程度であることを確認してございます。

次のページ、17ページ目をお開きください。こちらがボックスサポート発生応力の比較結果になります。左下に応力の比較結果をお示ししておりますが、各応力評価点における両者の発生応力の差は小さく、発生応力は許容応力範囲内で同程度であることを確認してございます。

18ページ目をお開きください。まとめとなりますが、三つ目の矢羽根になりますけれども、サプレッションチェンバの地震応答解析モデルにつきましては、適用性確認用解析モデルとの比較検討を行いまして、振動モード、発生応力が同等であり、ともに許容応力を満足することを確認したため、女川2号機への適用性があると判断してございます。

以上で説明を終わります。

○山中委員 それでは、質疑に移ります。質問、コメントはございますか。

○植木審査官 規制庁、植木です。

4ページ、私から1点確認させてください。4ページをお願いします。二つ目の矢羽根に、サプレッションチェンバの地震応答解析モデルとして、3次元はりモデルを適用する理由として、既工認がはりモデルであったことと、それから大型機器、原子炉压力容器とか格納容器もはりモデルを適用しているということを挙げています。今ここで挙げている、他設備の例として挙げている原子炉压力容器、原子炉格納容器等は、まず、建屋に多点で支持されているため、はりモデルを用いている建屋と連成解析をする必要があるということとか、あと、過去に大型試験体の耐震実証試験ではりモデルの妥当性が確認されているというようなことから、従来からはりモデルを使用しているというふうに理解しています。

一方、このサプレッションチェンバについては、基礎マットに下端が支持されている、多点で支持されているわけではなくて、そのため、その建屋と連成解析する必要はないと。それから、地震応答解析モデルとしても、シェルモデルを使った場合でも、スペクトルモーダル解析をするのであれば解析時間もそれほどかからないということから、3次元シェルモデルをそのまま適用しても、適用するというのも一つの方法というふうに考えられます。

今回、事業者は、その3次元モデルを適用するために、設置許可段階で、まず3次元シェルモデルを用いて仮想質量法で出した内部水有効質量、これをはりモデルで縮約するということとか、それから、今回説明していただいたように、3次元シェルモデルによる固有値解析とか地震応答解析結果と比較して妥当性を示すなど、かなり労力を使っているというふうに考えます。

それで、既工認とかほかの大型機器の実績にとらわれずに、先ほど言ったように3次元シェルモデルをそのまま地震応答解析モデルとして適用する方法もあるかと思えますけれども、今回、その3次元はりモデルにこだわって、それを地震応答解析モデルとして選択した理由というのを、再度説明をお願いします。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

今の御質問は、当社は、サプレッションチェンバの地震応答解析モデルとしてははりモデルを選択しているわけですが、その理由ということで承りました。

繰り返しになるかもしれませんが、我々、今回、サプレッションチェンバの地震応答解析モデルにつきましては、既工認のはりであったと、また、今、規制庁さんのほうから御質問があったように、大型機器系についてもはりモデルを適用していたということで、3次元はりモデルをベースとして検討を開始しました。このはりモデルを適用するに当たっては、我々としては、はりモデルでサプレッションチェンバの地震応答が適切に表現できるかという観点で詳細に検討してございます。その検討結果が、本日、御説明させていただきましたようにサプレッションチェンバの振動挙動に対するバルジングの影響、それと、もう一つはボックスサポート取付部の局部変形の影響、こちらについて詳細に検討してまいりました。その結果として、いずれもそれを考慮する必要があるという判断をしまして、そちらにつきましては、ばね剛性ということではりモデルのほうに反映することで、モデルを詳細化したということでございます。

さらに、今回我々が実施したのは、今回、我々が適用する3次元はりモデル、これの適用性検討としまして、3次元シェルモデルを使った比較検証をしてございます。で、その結果も本日御説明させていただきましたが、振動モード及び、あと、女川2号機の基準地震動に対する発生応力が同様で、ともに、ともにというよりは3次元はりモデル及び3次元シェルモデル、両方言えますけれども、ともに既往値を満足しているということを確認しましたので、我々事業者としては、女川2号機のサプレッションチェンバの地震応答解析モデルにつきましては、3次元はりモデルを適用することができるというふうに判断し

たものでございます。こういった検討結果を踏まえまして、女川2号機の今回の耐震評価につきましては、3次元はりモデルを適用させていただきたいということでございます。

私からの説明は以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

3次元はりモデルを使うということに対する事業者の考え方は理解しました。

私からは以上です。

○山中委員 そのほかは何かございますか。

○皆川審査官 規制庁、皆川です。

パワーポイントの15ページ以降ですけれども、先ほど、質疑応答のやり取りの中でも説明がありましたが、今回、その事業者の検討を踏まえて詳細化を図った3次元はりモデルと3次元シェルモデルの比較検討が15ページ以降に記載がされていると思います。この結果を見ると発生応力、特に、その発生応力については、そのはりモデル、シェルモデルともサプレッションチェンバ本体、さらには、その支持構造物であるボックスサポート、どちらもその許容応力以下であるということ、さらには、その評価部位によって大小関係はありますけれども、おおむね同じような応力の傾向にあるということが検証されておりますので、今回工認のその耐震評価で、3次元はりモデルを使って評価すること自体は、基本的に問題ないというふうに考えております。

今後ですけれども、サプレッションチェンバ本体とボックスサポートの耐震計算書を確認していきますので、詳細については、その確認と併せて、引き続き確認していきたいというふうに考えています。

私からは以上です。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

サプレッションチェンバの耐震評価につきましては、耐震計算書、こちらのほうで丁寧に説明させていただきたいと思いますので、御確認のほど、どうぞよろしく願いいたします。

私からは以上です。

○山中委員 そのほか、何かございますか。よろしいですか。

それでは、引き続き、資料の説明をお願いいたします。

○東北電力（小野） 東北電力の小野です。

それでは、資料1-5を用いまして、女川2号機の使用済燃料貯蔵ラックの設計用減衰定数

について御説明いたします。

1ページ目をお願いいたします。本日の御説明内容としては以下のとおりです。

2ページ目をお願いいたします。

まず、はじめに、女川2号機の燃料ラックの耐震設計においては、加振試験等に基づき、水平方向の設計用減衰定数を既工認で1%としていたものから変更いたします。

設置許可段階では、設置変更許可申請時の基準地震動 S_s-1 、 2 に対する検討を踏まえて、加振試験結果のばらつき、耐震設計の簡便さと余裕を考慮して、燃料ラックの設計用減衰定数として一律7%を採用することとしておりました。

燃料ラックの詳細設計を踏まえた設置許可段階と工認段階との変更点については、下表にまとめておりますが、工認段階では S_s-1 、 2 からの地震動の追加及び地盤物性の不確かさ等を追加した基準地震動 S_s に対する燃料ラックの耐震評価の結果、応答加速度の一部が加振試験範囲を超えているため、加振試験の外挿領域における減衰定数を設定することとしました。

また、燃料ラックの基準地震動 S_s に対する応答加速度、加振試験で得られた減衰定数及び加振試験の外挿領域に対する解析的な検討結果を踏まえるとともに、燃料ラックの地震荷重をより実態に応じて評価するため、今回工認に用いる設計用減衰定数を10%と設定することとしました。

そこで、本資料では、加振試験の外挿領域における設計用減衰定数の設定及び減衰定数10%の適用性について、解析的に検討した結果を含めて御説明させていただきます。

次のページをお願いいたします。3ページ目です。燃料ラックの構造について御説明いたします。下の図に示しますとおり、女川2号機の燃料ラックは、燃料プール内に設置された角管型の燃料ラックです。角管型の燃料ラックは角管と補強板を溶接することで、格子状のセルを構成しているというような構造となっております。

次のページ、4ページ目をお願いします。燃料ラックの耐震設計における既工認からの変更点について御説明いたします。既工認における燃料ラックの水平方向の設計用減衰定数は、JEAG4601に規定される気中の溶接構造物の1.0%を用いておりました。しかしながら、燃料ラックは水中に設置されており、燃料集合体を貯蔵していることから、燃料集合体のガタつき、燃料ラック締結部の摩擦や、あと水の抵抗などによって、運動エネルギーの消散が大きくなり、1.0%よりも大きな減衰があると考えられます。そこで、今回工認では、評価用地震動による燃料ラックの応答加速度と、加振試験で得られた減衰定数及び

加振試験の外挿領域に対する解析的な検討を踏まえ、余裕を考慮して、燃料ラックの設計用減衰定数を設定いたします。

次のページ、5ページ目をお願いいたします。今回工認における燃料ラックの耐震設計に適用する設計用減衰定数の設定について御説明いたします。

下の図の青のひし形が、加振試験で得られた燃料ラックの応答加速度と減衰定数の関係のプロットです。燃料ラックの減衰定数には応答依存性があるため、燃料ラックの応答加速度の増加に伴って減衰定数が増加した後、次第に低下する傾向が確認されたことを考慮して、工認段階で応答加速度が大きくなった加振試験の外挿領域も含めて、燃料ラックの減衰挙動を近似直線で設定しました。基準地震動 S_s に対する燃料ラックの減衰定数は、図中の緑の線のとおり、燃料ラックの応答加速度の増加に応じて低下傾向を示すものの、加振試験の外挿領域においても14%程度と考えられるため、燃料ラックの地震荷重をより実態に応じて評価することとし、減衰定数を10%と設定することといたしました。

次のページ、6ページ目をお願いいたします。加振試験の外挿領域における設計用減衰定数設定の適用性について御説明いたします。

まずは、適用性に係る検討プロセスです。加振試験の外挿領域における減衰定数10%の適用性については、加振試験の外挿領域における燃料ラックの減衰定数が急激に低下するものでないこと及び減衰定数の程度感、これは10%を上回るレベル、これを確認することを目的として、以下のプロセスに基づき実施を行いました。まず、燃料ラックにおける減衰要因の抽出を行います。次に、各減衰要因の応答依存性を整理します。次に、減衰挙動に係る解析の検討方針として、簡易解析モデルによる解析、詳細解析モデルによる解析を行うことにしました。

次のページ、7ページ目をお願いいたします。燃料ラックにおける減衰要因の抽出結果について御説明いたします。燃料ラックの構造特徴を考慮して、地震時の燃料ラックの減衰に寄与する減衰要因を抽出した結果として、右上の表のとおり構造減衰、流体減衰、摩擦減衰、衝突減衰、この四つに分類、抽出いたしました。

次のページ、8ページ目をお願いいたします。先ほど抽出しました各減衰要因の応答依存性の分類について御説明いたします。燃料ラックにおける各減衰要因について、応答依存性の観点から分類した結果、加振試験範囲及び外挿領域における減衰定数の低下傾向は、摩擦減衰に起因することが分かりました。

参考2に、減衰要因と応答依存性の整理を記載しておりますが、説明については割愛さ

させていただきます。

下の図のフローを御覧ください。前のページで分類しました四つの減衰要因に対する応答依存性の検討を行います。

まず、左のほうで、応答依存性がないものとして左下に記載してございますが、構造減衰と衝突減衰があります。これらは応答に対して減衰が一定となる分類になります。続いて真ん中、応答依存性があるものとして、流体減衰と摩擦減衰のような分類をされます。これらのうち、応答増加に伴い減衰が低下しないもの、真ん中になりますけれども、これが流体減衰に分類されます。この流体減衰は、応答増加に伴い減衰が増加するものです。最後、応答増加に伴い減衰が低下するもの、これが右の摩擦減衰になります。摩擦減衰は、すべり初めは減衰が増加しますが、その後、応答増加に伴い減衰が低下するという特徴を持っています。加振試験の結果は、これらが重複した、重畳した挙動であるということが考えられます。図の右上に燃料ラックの減衰イメージを示してございます。

次のページ、9ページ目をお願いいたします。燃料ラックの減衰挙動に係る解析の検討方針として、二つ目の矢羽根に記載の2種類の解析を行うこととしました。一つ目は、加振試験の外挿領域における減衰低下傾向を把握することを目的として、簡易解析モデルによる解析を行いました。二つ目は、加振試験における減衰挙動を合わせることを目的として、詳細解析モデルによる解析を行います。

次のページ、10ページ目をお願いいたします。まず、簡易解析モデルによる減衰の解析について御説明いたします。左下の図に示す簡易解析モデルは、燃料ラック等を1質点として、燃料ラックの構造減衰及びラックベースと床面の摩擦減衰を考慮して設定しております。参考3にモデル諸元を示してございます。

燃料ラックの減衰定数は、質点位置の応答加速度と入力加速度との関係から算出しております。

右下のプロットに示すとおり、簡易解析結果は減衰が低下する領域において、急激に減衰が低下することではなく、燃料ラックの応答加速度が増加するに伴ってゆるやかに低下する傾向となることを確認しました。

次のページ、11ページ目をお願いいたします。次が、詳細解析モデルによる減衰の解析について御説明いたします。

左下の詳細解析モデルにつきましては、加振試験結果の減衰挙動を合わせることを目的として、燃料ラック等を多質点でモデル化し、燃料ラックの減衰要因と考えられる各種の

減衰メカニズムを取り込んで解析を実施しました。参考4に詳細モデルの諸元等を示してございます。

燃料ラックの減衰定数は、燃料ラック頂部の応答加速度と入力加速度との関係から算出しました。

減衰の解析に当たっては、加振試験結果から得られた減衰定数に合わせられるように、燃料ラックの締結面の摩擦剛性、摩擦特性及び締結ボルトの剛性を詳細にモデル化しました。参考5のほうにモデル化の詳細を示しておりますが、説明については割愛させていただきます。

12ページ目をお願いいたします。詳細解析モデルの加振試験の振動モードとの比較について御説明いたします。右下の図のとおり、詳細解析結果における燃料ラックの振動モード及び固有振動数は、加振試験結果とおおむね一致しており、詳細解析は、加振試験の振動挙動を表現できているというふうに考えられます。

次のページ、13ページ目をお願いいたします。加振試験結果との比較について御説明いたします。

詳細解析結果と加振試験結果で得られた減衰定数を下の図に示します。青のひし形が加振試験結果、黄色の四角が解析結果を示します。ここで、解析結果は加振試験結果と合わせられるように横軸方向の小さい側、つまり左側にシフトさせて表示しております。

詳細解析結果は、加振試験結果で得られた減衰定数と全体的な傾向はおおむね一致しておりまして、外挿領域についても、急激に減衰が低下することはなく、燃料ラックの応答加速度が増加するに伴ってゆるやかに低下する傾向となることを確認しました。

また、外挿領域における燃料ラックの減衰定数は、基準地震動 S_s による応答加速度範囲においても、10%を十分上回る結果となっていることが分かりました。

次のページ、14ページ目をお願いいたします。解析結果を踏まえた設計用減衰定数の設定について御説明いたします。

詳細解析結果が加振試験結果で得られた減衰定数の全体的な傾向をおおむね表現できていることを踏まえますと、下の図に示します加振試験結果から設定した外挿領域における近似曲線は、燃料ラックの減衰傾向を示しており、基準地震動 S_s の応答加速度に対する減衰定数は約14～15%の範囲になると考えられます。

また、燃料ラックの減衰要因等に係る検討結果から、他に燃料ラックの応答増加に伴う減衰の急激な低下要因がないことを確認しております。

したがいまして、加振試験の外挿領域における燃料ラックの設計用減衰定数は、余裕を考慮しても10%と設定することが可能であるというふうに考えられます。

15ページ目をお願いいたします。最後、まとめです。まとめについては以下のとおりですけれども、三つ目の矢羽根で、検討結果を踏まえまして、女川2号機の燃料ラックの設計用、耐震設計に適用する水平方向の設計用減衰定数については、燃料ラックの地震荷重をより実態に応じて評価するため、基準地震動 S_s の応答加速度に対して設置許可時の7%から変更して10%と設定することといたしました。

資料の説明については以上です。

○山中委員 それでは、質疑に移ります。質問、コメントはございますか。

○植木審査官 規制庁、植木です。

今回説明された解析による減衰定数の評価というのは、試験結果とよく一致しているというふうに思います。解析による、その減衰定数の評価内容に関して2点確認したいと思います。

まず、資料7ページをお願いします。右側の表の下に記載される流体－構造連成による応答低減効果の扱いについて確認します。一番下のポツに刺激関数 $\beta\phi$ と減衰定数 ζ はおのおの独立した変数であるため、流体－構造連成による応答低減効果を減衰として扱わないというふうに記載されています。この流体－構造連成による応答低減というのを減衰として扱わないというのは、それはそれで正しいと思います。

で、11ページに、左側に今回減衰を評価した多質点系の解析モデルと、それから、右側に正弦波加振をして得られた応答倍率曲線が示されていますけれども、この応答倍率曲線の中には、左側のモデルでモデル化されている流体－構造連成による応答の低減の効果というのが含まれた結果になっていると思うんですけれども、この結果を、この応答倍率を使って減衰定数を評価するわけですけれども、ここで、その流体－構造連成を含まない減衰というのをどのようにして評価できるのかというのを説明、お願いします。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

今の御質問は、7ページのところの流体－構造連成に関連しまして、あと11ページ、加振試験、あとは、今回解析してございますけれども、そのときに入力と応答の伝達関数を求めているわけですけれども、それとの $\beta\phi$ 、刺激関数との関係ということで理解しております。少し繰り返しになるかもしれませんが、ちょっと7ページのほうから再度御説明させていただきたいと思います。

7ページの右下になりますけれども、まず、流体－構造連成による応答低減効果というのは、流体中の構造物における流体と構造物の相互作用を、付加質量ですとか、あと排除質量として定義しまして、応答解析上は質量マトリクスとして刺激関数 $\beta \phi$ ということとで考慮されるものとなります。

ここに式が載せてございますけれども、今、燃料ラック、多自由度系モデルを左側にイメージして書いておりますけれども、そのときの入力と応答の関係から伝達関数を求めるわけなんですけれども、そこでのその応答倍率というのが、一番応答がピークになっているところを捉えます。それ以外につきましては、先ほど規制庁さんのほうからあった応答低減というのが、その中に含まれるということになります。

一方、この式におきまして、着目すべき振動モードが同じである1自由度系の応答倍率 Q_1 というものの関係を見ますと、燃料ラックの応答倍率 Q というのは、1自由度系の Q_1 に $\beta \phi$ を掛けること、係数倍として表すことができます。で、そういう関係もありまして、あと、その下でございまして、減衰定数につきましては、1自由度系の Q_1 との関係から、 $2Q_1$ 分の1というふうになりますので、ここに書いておるとおり、流体－構造連成に係る刺激関数 $\beta \phi$ と刺激関数 ζ というのは独立関係にあることとなります。よって、計算上は、応答低減効果と減衰定数というのは分離できることとなります。

これを言い換えますと、加振試験及び詳細解析における減衰定数の算定におきましては、ページで言いますと11ページを御覧ください。11ページで伝達関数を求めます。そうしますと、一番右側の減衰定数 ζ の算出例と書いてございますけれども、こういった伝達関数のカーブができます。ここにおける応答倍率 Q というのを確認しまして減衰定数を求めるわけなんですけれども、減衰定数を求めた式がその下に書いてございます。 $\zeta = \beta \phi / 2Q$ となりますけれども、ここで言う、その Q につきましては $\beta \phi$ というのが入ってございまして、考慮されてきますけれども、 $\beta \phi$ というものは、こちらの解析とは別に、刺激関数を算出してございます。要は、試験体ラックを考慮したモデルから $\beta \phi$ というのを別に用いますので、それをここに取り入れることによって、 Q に入っている $\beta \phi$ の効果を分離、分けるということになりますので、計算としましては、減衰定数の中に $\beta \phi$ というものを除いて評価ができるということになります。

私からの説明は以上となります。

○植木審査官 規制庁、植木です。

今、説明された内容について、ちょっと、少し理解できないところもあるので、次回、

もう少し資料ベースで説明をしていただきたいんですけれども、例えば今、11ページの説明で、左側に解析モデルがあって、このひし形のところに流体連成質量というものがありますけれども、仮に、このひし形を除いた解析モデルで、この解析で減衰を評価した場合にも、結果は変わらない、得られる減衰定数は変わらないという理解でよろしいでしょうか。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

今ほど、おっしゃっていただいたことにつきましては、次回、また丁寧に説明させていただきます。

あと、その後、御確認になった11ページのモデル図におきまして、この連成効果、ひし形で表しているものがございますけれども、これを外したときにどうなるかということだと思います。こちらにつきましては、連成効果を含めないという解析になろうかと思しますので、一義的にはおっしゃっていただいたことになるのかなというふうに考えております。この辺につきましても、詳細を整理した上で、次回、御説明させていただきたいというふうに思います。

以上でございます。

○植木審査官 規制庁、植木です。

それと、先ほど $\beta\phi$ は固有値解析の結果から算出されて、それは流体連成効果を含んだ $\beta\phi$ ということだと思うんですけど、運動方程式の右辺というか、入力に係る定数としては、その $\beta\phi$ のほかに、その排除質量による入力低減効果ですか、それは、その $\beta\phi$ とは別に出てくると思うんですけれども、それはどのように考慮されていて、今回の評価で、それが除かれているかというところとか、その辺が、ちょっとよく理解できないところがあるので、次回、説明をお願いします。

よろしいでしょうか。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

刺激関数に係る $\beta\phi$ でございますけれども、この中におけるデータにつきましては、質量マトリクスということで付加質量、排除質量というのを定義することになりますので、そこら辺の考え方、詳細につきましては、次回、御説明させていただきたいと思っております。

以上でございます。

○植木審査官 規制庁、植木です。よろしく申し上げます。

2点目なんですけれども、今の11ページの左側の解析モデルの、各定数の設定の方法が、

試験の結果と合わせ込むように、いろいろの定数を決めているという説明がありました。

それで、21ページに、それぞれの定数の設定の、設定した値と根拠、考え方が示されていますけれども、この表の、上から六つ目のところに締結ボルトの剛性と、それから、その下にラックの剛性、これはいずれも、その燃料ラックの全体の固有周期に関わるものですけれども、この定数に関しては、試験結果、燃料ラックの固有振動数を考慮して、この定数を設定しているという考え方が示されていますけれども、両方とも、その燃料ラックの固有振動数に関わってくると思うんですが、試験の結果から、この二つの剛性を、どのように分離して、どういうふうに設定したかというところを説明をお願いします。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

今ほど確認がありましたのは21ページの締結ボルトの剛性、ラック剛性の設定の仕方というふうに理解しました。こちらにつきましては、まず、剛性を算定するに当たっては、まずボルト、締結ボルト、あるいはラックの材料、寸法に基づき剛性を算定するわけですが、実際の加振試験の挙動としましては、やはり細かい実体の寸法による影響があるということで、ラックの固有周期と合うように構成を少し調整しているということでございます。

回答につきましては以上となりますけれども、こういった、その各解析モデルの設定に当たって、少しデータ等、グラフ等を用いて詳細に御説明させていただきたいと思います。こちら先ほどの確認と併せまして、説明させていただきたいというふうに考えております。

以上です。

○植木審査官 規制庁、植木です。

今、私が質問したのは、22ページの下のところ締結ボルトのいろいろな剛性とか摩擦力の設定について示されていますけれども、今回の減衰の評価に当たっては、そのボルトの締結面での摩擦力の評価というのが、変位が大きいところ、加速度が大きい領域で低減していく領域になりますけれども、ここの評価が、結構この解析の評価で重要なところかと思ひまして、それでボルトの剛性の設定法とか、あと、もう一つは、その摩擦力の設定の方法なんですけど、そこで接合内のその摩擦係数をどう値として設定しているとか、あと、初期締付力をどのように考慮しているとか、その詳細なところを説明していただきたいというふうに考えています。

よろしいでしょうか。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

失礼いたしました。もう少し丁寧に説明させていただきます。次回、再度、丁寧に御説明はさせていただきますけれども、今日の資料でいいますと22ページに、今回の詳細解析モデルによって、試験結果とどのように合わせ込みをしているかという考え方を記載させていただいてございます。

22ページのスライドをお願いします。まず①、資料の①1というところがございませけれども、これは先ほど規制庁さんのほうからありました燃料ラックの締結面の摩擦特性の設定の仕方でございますけれども、これは下の図の真ん中、①というところに、燃料ラック締結面の摩擦特性というのがございます。こちらが低振幅領域における微小すべりという考え方を適用してございます。こちらにつきましては、既往文献にある考え方を採用したものでございますけれども、減りが小さいときにでも、わずかな微小すべりが起こって、摩擦に、減衰に寄与することが発揮されるという考え方を取り入れたものでございます。これが一つ目でございます。

あと、②ということで、先ほどもありました締結ボルトの水平方向の剛性でございますけれども、こちらにつきましては、締結ボルトのはめ合いを見たときに、おねじとめねじの関係でございまして、剛性について少し小さくなる領域が考えられますので、そういった考え方を取り入れて、こちらも低振幅領域における摩擦に寄与する考え方を取り入れたという考えでございます。

これらを適用することによって、22ページの左側のグラフになりますけれども、①の微小すべりによって減衰の立ち上がりが、よりラックの応答加速度が小さいときから、小さいところから減衰が大きく立ち上がってくるということになります。②につきましては、締結ボルトの剛性ですけれども、はめ合い部の剛性の小さいところを考慮することによって変位が大きくなりますので、その結果として、減衰が全体的に持ち上がるということでございます。

基本的な考え方は、今言ったところでございますけれども、もう少しデータもつけ加えながら、詳細整理の上、次回、御説明させていただきたいというふうに考えます。

以上でございます。

○植木審査官 規制庁、植木です。よろしく申し上げます。

私からは以上です。

○山中委員 そのほかはございますか。

○皆川審査官 規制庁、皆川です。

パワーポイントの21ページ、22ページをお願いします。先ほど来、やり取りがあると思うんですけども、21ページに詳細解析モデルの諸元ということで一覧表になっていると思います。この一番下のところに、摩擦力に関するパラメータとして、 δf と δk というパラメータがあると思います。で、22ページの説明を見る限りだと、その簡易解析モデルの結果から、その試験結果に合うように、詳細解析モデルとして、この δf とか δk のパラメータを導入していると思うんですけども、で、この δf と δk の設定に当たっては、加振試験結果と解析結果が合うようにチューニングをしているという説明だったかと思います。

で、確認は、このモデルの入力値なんですけども、これ自体は、その燃料ラックの構造などを踏まえて考えたときに、その妥当な値になっているかどうかというのが確認したい点の一つ目です。

で、もう一つが、仮にその構造等を踏まえたときに、この値が一義的に決まらず、ある程度幅をもって取り得るものであるのであれば、その幅の中でのパラスタの結果、今回、特に確認したい、その応答加速度が大きいときのその減衰の傾向というのが、その急激に落ちるような傾向にならないかという、その2点を説明してください。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

21ページ、22ページのところに関連しまして、まず、21ページのところでは、解析をする上でのパラメータの設定、構造を踏まえた設定になっているかということで理解しました。

まず、先ほど申しましたように、今回の解析におきましては、燃料ラックの締結面における摩擦を考慮してございます。摩擦が起きるときの低振動領域につきましては δf といったような定義をしてございますけれども、21ページで言うと XXXXXXXXXX というような設定をしてございます。こういった寸法につきましては、実体の締結ボルトの径ですとか、あとはラックベースの穴系統の関係を踏まえると、こちらの寸法関係、クリアランス等を考えた場合には矛盾する結果になっていないことを確認してございます。

すみません、失礼しました。今、 δf のところでございます。こちらにつきましては、実機の寸法関係を踏まえて、矛盾のない結果であることを確認してございます。

また、二つ目に確認がございましたラックの応答加速度が大きいときに減衰が大きく低減することはない、あとは、その減衰定数の低度化について、我々、解析してございますけれども、こちらに対する各パラメータの完了につきましては、少し我々の方でも整理は

させていただいた上で、その辺について、次回、改めて御説明させていただきたいというふうに考えてございます。

今、我々のほうで少し考えているところで言いますと、今回、摩擦に関しましては、すべりというものが解析上確認できております。先ほども申しましたように、そのすべりの定量的な数値につきましては、シキ構造等を踏まえた場合に矛盾する結果でないことも確認してございますので、そういった関係も含めて御説明させていただきたいというふうに考えてございます。

私からの説明は以上となります。

○皆川 審査官 規制庁の皆川です。

本日、これまでのやり取りも踏まえて、一度その整理をして、今後、詳細に説明をしていただけるということなので、特にその解析モデルと、あと解析条件の設定と、あとは減衰定数の算出方法などについて、本日のやり取りも踏まえて、今後、その妥当性を整理して、改めて説明をしてください。で、その上でなんですけれども、整理を踏まえて、減衰定数の設定について改めて説明をしてください。

私からは以上です。

○東北電力（飯田） 東北電力の飯田でございます。

今ほどのコメント、了解いたしました。

以上でございます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。よろしいですか。

それでは、以上で本日の議題は終了いたします。

本日、予定していた議題は以上です。

今後の審査会合の予定については、7月9日、金曜日に地震津波関係、公開の会合を予定しております。

第988回審査会合を閉会いたします。