

原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合

第970回

令和3年4月27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970回 議事録

1. 日時

令和3年4月27日（火） 14：30～15：32

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

山形 浩史 緊急事態対策監
田口 達也 安全規制管理官（実用炉審査担当）
天野 直樹 安全管理調査官
名倉 繁樹 安全管理調査官
江寄 順一 企画調査官
止野 友博 上席安全審査官
藤原 弘成 主任安全審査官
三浦 宣明 主任安全審査官
小野 幹 安全審査専門職

東北電力株式会社

羽鳥 昭満 執行役員 土木建築部長
大宮 宏之 土木建築部 部長
尾形 芳博 土木建築部 部長
辨野 裕 土木建築部 副部長
橋本 澄明 土木建築部 課長
田村 雅宣 土木建築部 副長
相澤 直之 土木建築部 副長

澤邊 浩	土木建築部	副長
大村 英昭	土木建築部	副長
日下 雅康	土木建築部	担当
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

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 津波漂流物の衝突荷重について
- 資料1-2 女川原子力発電所第2号機 3.11地震等の影響を踏まえた建屋の耐震評価について

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970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1-1について説明を始めてください。

○東北電力（大宮） 東北電力の大宮でございます。

本日、東北電力からの説明事項は2点ございまして、資料1-1、漂流物の衝突荷重についてと資料1-2、3.11地震等の影響を踏まえた建屋の耐震評価についての2種類の資料を準備してございます。

本日の進め方としまして、まず資料1-1、津波漂流物の衝突荷重についてを御説明させ

ていただきまして、質疑、議論をいただいた後に、2点目の建屋の耐震評価の説明に入るという順番で進めましてよろしいでしょうか。

○山中委員 よろしいですね。

○天野調査官 規制庁の天野です。

それで結構ですので、よろしくお願ひします。

○東北電力（田村） 東北電力の田村です。

私のほうから、資料1-1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。

資料、1ページをお願いいたします。

昨年の7月の審査会合で、主要説明項目としておりました津波漂流物の衝突荷重について、本日説明するものでございます。

2ページ目をお願いいたします。

初めに、漂流物に対する要求事項の整理についてでございますが、工認審査ガイドにおきまして、漂流物に対するものといたしまして、取水性の評価、それから衝突評価ということで、2件の評価を行う必要があるというふうな整理をされてございます。

3ページをお願いいたします。

このうち、取水性評価につきましては、ここに記載している左側のフローで示してございまして、設置変更許可の内容を踏襲するということとしてございます。一方、工認段階におきましては、右側のフローで示している衝突荷重について説明するということとございまして、本日は、この右側の赤枠のところについて説明するものでございます。

4ページをお願いいたします。

1章の衝突荷重を考慮する施設の選定でございます。

5ページをお願いいたします。

津波防護、浸水防止、それから津波監視施設の配置図を示してございます。

6ページをお願いいたします。

これらの設備から、設備の設置位置の条件を踏まえまして、赤枠で示している防潮堤、それから貯留堰、逆流設備、この三つについて、衝突荷重を考慮する施設として選定をしてございます。

7ページをお願いいたします。

次に2章、津波に関するサイト特性についてでございます。

8ページをお願いいたします。

発電所周辺の地形についてでございますが、発電所は、女川湾の湾口部の小さな湾の奥部に位置してございまして、発電所よりも西側に複数の漁港、それから市街地が形成されているといったような特徴がございます。

9ページをお願いいたします。

津波の特徴といたしまして、津波の第一波の水位、流速というものが支配的でございます、東西方向の流れが卓越しているということ。津波の二波以降につきましては、水位、流速は小さくなりますけれども、東西方向の流れというのは繰り返されているといったような特徴がございます。

なお、津波の特徴の詳細につきましては、参考資料1のほうに示してございます。

10ページをお願いいたします。

防潮堤、それから逆流防止設備の前面におきましても、津波の第一波の水位が最大となりまして、二波以降については、津波は到達していないといったような状況でございます。

また貯留堰は、海中にございますので、津波第一波には露出せずに、第二波以降で露出するといったようなことを確認してございます。

11ページをお願いいたします。

発電所における最大流速というものは約13m/sとなっておりまして、一方で、各施設の前面での流速というものは、それよりも遅くなってございまして、施設に沿うような流れが確認されてございます。

こういったことを踏まえまして、第一波で衝突するものにつきましては、流速を13m/sを適用するといったような方針としてございます。

一方、第二波以降につきましては、寄せ波と引き波を繰り返すといったような特徴を踏まえまして、貯留堰前面の2m/sの流速を考慮するといったような方針としてございます。

12ページをお願いいたします。

3章の衝突荷重として考慮する漂流物の選定についてでございます。

13ページをお願いいたします。

設置変更許可におきまして整理しました「取水口前面に到達する可能性のある漂流物」のフローを載せてございます。このうち、赤枠で示しておりますものが浮遊するもの、それから、青で示しているものが滑動して到達するものといったようなことで、漂流物については、こういった2種類のものがございます。

14ページをお願いいたします。

「取水口前面に到達する可能性のある漂流物」を右側の表に示してございまして、これらの漂流物が施設に衝突する可能性があるということで、衝突荷重につきましては、この漂流物の初期配置というものが大きく影響するということを踏まえまして、これらの漂流物について、次のページで初期配置についての整理を行ってございまして、15ページをお願いいたします。

初期配置につきましては、「直近陸域」、それから「直近海域」、それから、それよりも沖側の「前面海域」という三つの区分に分けてございまして、このうち直近陸域につきましては、敷地内の陸域からの漂流物というものを選定してございまして、

16ページをお願いいたします。

次に、直近海域についてでございますが、下の図の赤枠よりも敷地側の海域を示してございまして、この範囲につきましては、女川湾の各地区、それから漁港、いずれも該当していないということでございまして、直近海域内を航行する船、それから漁をしている船、こういったものが該当するというふうな整理を行ってございまして、

なお、発電所周辺の海域につきましては、下の図の青線よりも敷地寄りの範囲が漁業権消滅区域となつてございまして、直近海域の大部分がこの漁業権消滅区域となつてございまして、一方で、図の左上のほう、小屋取漁港の港口の付近になりますが、この辺につきましては、一部漁業権消滅区域ではない範囲がございまして、こういった特徴を踏まえまして整理を行ってございまして、

17ページをお願いいたします。

直近海域の近傍につきましては、発電所、それから小屋取漁港の航路となつて、それから発電所が小規模な湾の奥に立地しているということ、直近海域よりも前面側に区画漁業権がございまして、養殖が営まれているということ、それから航行、それから退避ルートとしては、西側の漁港からは大きく遠回りになるといったようなこと、こういったことを踏まえまして、いずれの状態におきましても、直近海域のすぐ外側にあります小屋取漁港の小型漁船が直近海域のほうに選ばれるといったような結果となつてございまして、

18ページをお願いいたします。

以上を踏まえまして、直近海域内につきましては、漁または航行中の小屋取漁港の漁船が津波襲来時に故障等によって航行不能になることを想定しまして、直近海域からの漂流物として選定するという事としてございまして、

19ページをお願いいたします。

続きまして、前面海域の整理でございますが、津波に関するサイト特性から、前面海域の漂流物につきましては、発電所に到達して衝突する可能性というものは非常に低いというふうに考えてございますが、3.11の津波では、時間をかけてゆっくりと発電所のほうに到達した漂流物もありましたので、念のため、下の表の青枠で示している漂流物について、前面海域からの漂流物として選定するというようにしてございます。

なお、直近海域と前面海域からの漂流物につきましては、検討の詳細を参考資料のほうに示してございます。

20ページをお願いいたします。

以上を踏まえまして、表に示す緑枠につきまして直近陸域、赤枠につきまして直近海域、青枠については前面海域の漂流物として整理を行ってございます。また、重量等の関係で、この中から代表とする漂流物についても選定を行っているというものでございます。

21ページをお願いいたします。

これまで検討いたしました初期配置に加えまして、津波の特徴、それから浮遊状態、滑動状態、施設の設置高さの条件から、どの漂流物がどの施設に衝突する可能性があるかといったことを整理したフローを示してございまして、このフローに従って整理した結果につきまして、次の22ページのほうに示してございますので、22ページをお願いいたします。

表で示してございまして、縦軸のほうに漂流物、横軸のほうに施設を記載してございまして、活動する／しないを星取表で示してございます。この中で、○になっているものについてが、衝突荷重を考慮する施設となります。

23ページをお願いいたします。

4章の荷重の算定方法と設計上の配慮についてでございます。

24ページをお願いいたします。

既往の文献で示されている、衝突荷重の算定式の適用性について整理した結果を示してございます。

25ページをお願いいたします。

設計上の配慮といたしまして、流向、流速、それから津波荷重との重畳について、ここに記載しているとおりの、保守的な考慮を行うといったようなことにはしてございますが、流速につきましては、冒頭説明したとおり、津波の第一波が支配的になるということ踏まえまして、津波の第一波と二波以降で分けた形で流速というものを設定しているということでございます。

26ページをお願いいたします。

5章になりまして、荷重の算定についてでございます。

27ページをお願いいたします。

これまでの検討の整理を踏まえまして、直近陸域の浮遊状態の車両と直近海域の小型漁船、こちらにつきましてはFEMA（2012）の式、前面海域の漁船につきましては、道路橋示方書の式を適用するという事としてございます。

また、冒頭説明いたしました昨年7月の審査会合におきまして、荷重算定式にFEMA（2019）とASCE（2016）を適用するという事を御説明しておりましたが、先行実績、それから保守性の観点から、浮遊状態のものに関しましては、FEMA（2012）を適用するという事としてございます。

FEMA（2012）の式を用いる場合がございますが、軸剛性を設定する必要がございますが、対象としております小型漁船のFRP製につきましては、軸剛性を示されている文献等がございませんので、材質を考慮した上で、保守的な設定となるように、次のページ以降で詳細な検討を行っておりますので、そちらの説明に移ります。

28ページをお願いいたします。

FRP製の小型漁船の軸剛性を決定して、荷重を算定するフローを示してございます。

初めに、船舶の衝突形態の検討といたしまして、船舶の特徴や衝突パターンというものを整理し、軸剛性算出のための衝突形態というものを決定いたします。

次に、軸剛性の設定でございますが、材質の物性、それから構造の条件を設定し、保守的になるような軸剛性というものを設定する方針としてございます。

なお、衝突パターンの検討におきまして、衝突解析を実施してございますので、その結果として、荷重が算出されますので、最終的な設計用の荷重よりも解析の結果が小さくなるということを確認するという方針としてございます。

29ページをお願いいたします。

船舶の衝突挙動につきましては複雑でございますので、荷重として保守的になるような衝突形態というものを想定する方針としてございます。その上で、衝突箇所、それから衝突面積、こういったことを観点に、施設に対して直角になるような衝突、下の図でいきますと、a-1の船首からの衝突、それからa-3で示す船尾からの衝突、こういった衝突形態が荷重としては保守的になるというふうに判断をしてございます。

この船首、それから船尾からの衝突につきまして、次のページで衝突解析を行ってござ

いまして、軸剛性算出のための衝突形態として、どちらが有意かといったようなことを検討してございます。

30ページをお願いいたします。

繰り返しになりますが、船舶の軸剛性を算出する際の衝突形態を決定するために、船首、それから船尾からの衝突解析を行ってございます。ここではモデル化について記載しておりまして、右下の海技研報告で示されている総トン数14tの漁船をサイズで按分いたしまして、左下に示すような評価対象の5tの漁船のモデル化をしてございます。

31ページをお願いいたします。

右上の図に衝突荷重の時刻歴を示してございまして、青線が船首からの衝突、それから、茶色で示しているものが船尾からの衝突荷重を示してございます。この結果から、どちらも約500kNでございまして、有意な差がないというふうに判断をしてございまして、軸剛性算出においては、この中から船首方向を代表として今後検討するというようにしてございます。

32ページをお願いいたします。

船首方向からの軸剛性の算出に当たりましては、FRP製の材質を考慮できる土木学会（1994）の方法を用いることとしてございまして、下のほうに記載している計算式から算出するというようにしてございます。

33ページをお願いいたします。

算定式に用います材質に関わる条件として、ヤング率、それからポアソン比についてでございまして、こちらにつきましては、ばらつきを有する条件であるということ踏まえまして、最大値またはそれを上回るような値に設定をしてございます。

34ページをお願いいたします。

次に、船の構造に関わる条件でございまして、右側に示している表のとおり、日本海事協会（2018）の「強化プラスチック船規則」を基に設定した場合と、対象が鋼製の船舶ではございまして、土木学会（1994）を基に設定した場合の2種類の方法によりまして軸剛性を算出してございます。

その結果が右下に示す表でございまして、この結果を見ていただきますと、土木学会（1994）を基に設定した方法が、軸剛性が大きくなりましたので、この土木学会（1994）の方法で算出した結果を採用することとしてございます。

なお、軸剛性算出に関わる条件が保守的になっているということ別途確認してござい

まして、そちらにつきましては、参考資料4のほうに示してございます。

35ページをお願いいたします。

最終的な荷重の算定結果を表形式で示してございます。いずれの設備におきましても、浮遊状態の車両をFEMA（2012）の式で算出した1855kNというものが最大となっておりまして、この荷重を踏まえまして、設計用の衝突荷重といたしましては2000kNということで設定をしてございまして、この2000kNを使いまして防潮堤、それから逆流防止設備、貯留堰の設計を行っているといったようなこととございます。

なお、滑動状態の衝突につきましては、ASCE（2016）を参考に算出してございまして、そちらにつきましては、参考資料5のほうに詳細を記載してございます。

36ページをお願いいたします。

最後に、衝突形態で検討いたしました、衝突解析の結果に対する考察をしてございます。船首、船尾共に500kN程度の荷重ではございましたが、瞬間的に船の隔壁等が衝突することで、670kN程度の荷重が生じております。一方で、軸剛性を算出して、FEMA（2012）から求めた荷重につきましては、1245kNでございましたので、解析結果は、おおよそ、その半分程度となるということを確認してございます。

なお、津波によって運ばれる際の影響といたしまして、付加質量を考慮した場合についても検討を行ってございますが、解析結果のほうは、ほかの荷重よりも十分小さい荷重であるということを確認してございます。

また、船尾から衝突した場合において、機関部（エンジン部分）をイメージしておりますが、そこまで破壊が生じる可能性がありましたので、その影響について検討をしてございまして、同じ重量の車両にそれを置き換えたとしても、敷地内の車両（1855kN）の荷重に包絡されるということを確認してございます。

漂流物の衝突荷重につきましての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、コメントございますか。

どうぞ。

○小野安全審査専門職 原子力規制庁の小野です。

私のほうから2点、確認させていただきたいと思っております。

1点目なんですけれども、将来、今後ですね、今回の評価対象とした船舶の重量、材質が変更される場合と、あとは発電所近傍に新たな設備とか施設が設置される場合に、今回整理した漂流物に包含されない状況が発生した場合等の影響の確認については、定期的に

状況を確認して評価する運用を実施すると、そういう方針であると理解してよろしいでしょうか。

○東北電力（田村） 東北電力の田村です。

初めに御指摘、コメントをいただきました、対象物が変更される可能性があるかという点でございますが、大きく影響しそうなものといまして、小屋取漁港の漁船というものを考えてございます。こちらにつきましては、現在、18隻の船があるということを確認してございまして、いずれもFRP製であることを確認してございます。一方で、このFRPの特徴であります軽量であるということ、それから耐久性があつて錆びないということ、それから魚探などの電波通信関係の透過性がよいといったような観点から、FRP製から鋼製、それから木製のような船に変わるというようなことは、ないというふうに判断をしております。

それから、18隻のうち、ほとんどの船が1t未満の小さい船でございまして、こちらは主に養殖関係の漁業を営んでございますので、こういった漁業形態を踏まえると、船のサイズにつきましても、変更されることはないというふうに考えてございます。

それから、荷重につきましてでございますが、荷重については、設計用の荷重について、漁船を対象とした荷重に対しては、十分余裕を持った荷重としてございますので、設計条件が変わらないような、十分な高い設計荷重ということを設定しているというふうに認識をしております。

私のほうからは以上でございます。

○東北電力（辨野） すみません、続きまして、東北電力の辨野でございます。

今ほど田村のほうから我々の設計に関する考え方を御説明申し上げたとおりではございますけれども、小野さんのほうから御指摘のありました、今後、それを変更する可能性についてということでございますけれども、既にヒアリング等で御説明させていただいている耐津波設計の基本方針の中でも、その構造物の変更等については、定期的に確認し評価するよう、保安規定に定めて管理するという方針を示させていただいておりますので、今しがた頂いたコメントに関しては、この中で、こういったことも確認してまいりたいというふうに考えております。

以上でございます。

○小野安全審査専門職 規制庁、小野です。

承知いたしました。基本設計方針の方針どおりに確認していくということで理解しまし

た。

続いて、2点目なんですけれども、FRP製船舶の衝突荷重の算定過程の妥当性及び設計への適用性については、今回、既工認実績のない手法であるため、体系的に整理して、今後説明していただきたいと考えております。具体的な内容としては、28ページのフローのところになるんですけれども、FRP製船舶の衝突荷重の算定で、土木学会を参考として軸剛性を求める手法のやつと、あとLS-DYNAによる解析の双方を用いているんですけれども、LS-DYNAによる解析の位置づけをどのように考えているのかといったところを整理していただきたいと。

二つ目については、今度、32ページのほうになるんですけれども、土木学会の手法を参考として軸剛性を算定しています。この土木学会のほうの手法については、もともと大型の鋼製船舶を対象とした手法であるため、これをFRP製船舶に適用できるとした理由を整理していただきたいと考えています。

今申し上げた二つについて、今後、整理して説明していただけないでしょうか。

○東北電力（田村） 東北電力の田村でございます。

FRP製の船舶の衝突荷重につきまして、先行実績がなく、当社が、こういった検討、評価をしているのが初めてだということについては、認識をしておりますので、この辺につきましては、丁寧に今後説明をすることで検討してまいりたいというふうに考えてございます。

○小野安全審査専門職 規制庁、小野です。

承知いたしました。

ちょっと確認なんですけれども、今回のこの衝突荷重の手法なんですけれども、直近海域にある、まずはほかの浮遊する漂流物と同様に、FRP製船舶の衝突荷重については、FEMA式で算定することを前提にしたかったと。この軸剛性を求める、この土木学会を参考にした手法というのは、あくまでもこの船首からの衝突、これを対象としているので、衝突の不確かさを確認するためにLS-DYNAによる解析を実施していますと。FRP製船舶の軸剛性については、文献等で軸剛性が与えられていないので、土木学会の手法を参考に、保守性を考慮して軸剛性を算定して、FEMA式を用いて衝突荷重を算定しましたと。こういうふうな流れで、今回の資料に書いてあるところを読み解くと、こういう流れかなと思うんですけれども、その理解についてはあっていますでしょうか。

○東北電力（田村） 東北電力の田村でございます。

今、小野様からお話しいただいた内容で、認識は間違いないということでございます。

○小野安全審査専門職 規制庁、小野です。

こういったことを踏まえて、衝突荷重の算定方針を少し体系立ててきっちり整理していただきたいとともに、今、例えばLS-DYNAの位置づけですと、衝突の不確かさを確認するケースとして、船首と船尾からの衝突しかやっていないんですけれども、そういったことを考えると、斜め方向等の検証結果も合わせて、今後、併せて説明していただきたいと思っております。

○東北電力（田村） 東北電力の田村でございます。

前提といたしまして、設計の方針としては、集中荷重で静的にかけるといったようなことをまず前提条件として、我々、設計の方針として掲げているところがございまして、衝突解析につきましては、今後、斜め方向ですとか、横方向についても確認をさせていただきたいというふうに考えてございまして、ただ、横方向、斜め方向から当たった場合につきましては、資料のほうに記載もしてございまして、衝突面積のほうが大きくなってしましまして、エネルギーが分散するといえますか、エネルギー密度が薄くなってしましますので、そういったことで、横方向、斜め方向からは、今回、お見せしていないような状況かなというふうに考えてございまして。

船首、船尾方向から当たった場合については、集中荷重的な作用になるかなというふうに考えてございまして、今回、お示ししてございまして、そちらについても、説明性向上の観点から、今後、斜め方向ですとか、横方向からの解析というものにつきましても実施をして、今後、説明性向上に努めてまいりたいというふうに考えてございまして。

以上でございます。

○山中委員 そのほかよろしいでしょうか。

どうぞ。

○江寄企画調査官 規制庁、調査官の江寄です。

私からは、今、小野審査官のほうで指摘した土木学会の適用性について、少し加えていただきたいのは、いわゆる鋼製船舶とFRP船舶について、構造形式の同等性や、あと、同じようにFRPと鋼材の材質としての性質の同等性、それと、基本的には船舶、各種の船舶の損傷モード、ここでは座屈かなと思うんですが、そうしたものの同等性というのをまず説明した上で、いわゆる土木学会の方法が適用できるということをもう少し明確に説明していただく必要があると思っておりますので、よろしく申し上げます。

○東北電力（田村） 東北電力の田村です。

鋼製の船舶、それからFRPの船舶につきましては、材質が違うということで、それぞれ、鋼製船舶でいきますと鋼製のもの、FRPでいきますと強化プラスチックということで、それぞれ、ヤング率、それからポアソン比で表されるものかなと思っておりまして、その辺について、もう少し詳しく検討したいと思っております。

それから、構造につきましても、今後、詳しく検討していきたいと思っておりますが、基本的には、船の構造としては同じであるというふうに考えてございまして、その辺についての説明性について、今後向上させるように努めてまいりたいというふうに考えてございます。

以上でございます。

○江寄企画調査官 規制庁の江寄です。

よろしく申し上げます。

○山中委員 そのほかいかがでしょうか。

○名倉調査官 規制庁の名倉です。

小野のほうから、最初に、今回のFRP船舶の衝突荷重を算定する際の軸剛性の算定方法に関して、その妥当性と設計への適用性をうまく分離して整理して説明してくださいということを指摘しています。それで、これが意味するところなんですけれども、32ページのほうで説明しているような、軸剛性の算定の過程で、複数の知見を組み合わせて用いていると。ですから、こういった知見それぞれに対して、その適用の考え方、範囲、適用条件とか、そういったものを一つ一つしっかり説明していただいた上で、理論的な妥当性をまずしっかり説明するということと、それから、実際の算定過程に物性のばらつきとか、適用する規格・基準の種類とか、それから、あとは衝突形態、そういったものの不確かさ、こういったものを設計への適用性として積み重ねた場合に、どれぐらいの設計の余裕というか、荷重算定の余裕があるか、こういったところが設計の適用性ということで説明が必要になりますので、理論的な妥当性の説明と、設計の条件を踏まえた設計への適用性というところの説明を分離して説明していただきたいと。

そのときに、LS-DYNAがどういう役割を果たしているのかということで、考えられる役割としては、理論的な妥当性を検証する役割もありますし、設計への適用性の中で、衝突形態の不確かさとか、そういったものを影響として検討すべきもの、衝突形態を抽出するというところで、LS-DYNAの解析を活用しているということがあると思っておりますので、こう

いった役割を、複数あるものを明確にして、LS-DYNAの解析の位置づけ、これの重要性、今回の検討では、少し重要なものというふうに考えておりますので、一方で、事業者のほうの説明では参考的な位置づけになっているんですが、こういったところの位置づけをしっかりとさせていただきたいということで指摘をしています。

ちょっと趣旨のほうを説明させていただきましたけれども、こういったことも踏まえて、コメントのほうをしっかりと回答してもらいたいと思います。

私からは以上です。

○東北電力（辨野） 東北電力の辨野でございます。

頂いたコメント、理解いたしました。繰り返しになるかと思っておりますけれども、今回の資料の中では、軸剛性の算定を、設定の考え方を少し合わせちゃった形で、資料が少しストーリー的に展開されているというようなところがあったかというふうに反省をしております。したがって、いただいたとおり、軸剛性の算定における考え方と設計の条件という考え方、大きく二つに分けて、その中で、それぞれ、頂いたコメントのとおり、ばらつき、不確かさをどういうふうに考えているのか、さらには、そもそも理論的な妥当性をどういうふうに判断しているのかということ、今後、お示ししたいと思います。その中で、頂いた最後の御指摘でございますけれども、LS-DYNAの役割というところで、これも御理解いただいたというか、御指摘いただいたとおりで、理論的な妥当性と設計の不確かさの検証という意味での位置づけを、当社として考えていることをお示ししてまいりたいと思います。

以上でございます。

○山中委員 あと、よろしいでしょうか。そのほかいかがですか。よろしいですか。

それでは、引き続き、資料1-2について説明をお願いいたします。

○東北電力（相澤） 東北電力の相澤です。よろしくをお願いいたします。

引き続きまして、資料1-2に基づきまして、3.11地震等の影響を踏まえた建屋の耐震評価について御説明いたします。

目次を挟みまして、1ページ目、お願いいたします。

1.はじめにということで、本日の説明内容について記載をさせていただきます。

①番ですけれども、初期剛性低下の地震応答解析モデルへの反映ですけれども、3.11地震等の影響を踏まえた検討の全体概要、それから、原子炉建屋におけます評価の内容、さらには原子炉建屋の代表性についてということで御説明いたします。また、原子炉建屋以外

の既設建屋につきまして、地震応答解析モデルに初期剛性低下というものをどのように反映したかというところについて御説明いたします。

次に、②番の入力地震動の算定方針ですけれども、入力地震動算定におけます既工認からの見直しの概要につきまして、原子炉建屋を代表に検討した内容について、また、原子炉建屋以外の既設建屋についての入力地震動の算定方針について御説明いたします。

最後、③番ですけれども、新設建屋の評価への反映ということですが、①、②での既設建屋における地震影響を踏まえた評価方針を新設建屋の評価にどのように反映するのかという内容につきまして、御説明する予定でございます。

続きまして、2ページ目、お願いいたします。

2ページ目では、1ページ目のほうで説明しました①番、②番、原子炉建屋の検討と、あと、既設建屋への展開といった部分に関連しまして、既設建屋の耐震評価に係る各審査段階での説明内容について、少し具体的に、表に整理をしております。

工認段階での説明につきましては、原子炉建屋以外の既設建屋について、原子炉建屋の検討と同様の考え方を適用するということによって耐震評価を実施するというふうにしてございますが、具体的には、①としまして、地震応答解析モデルの策定という内容に関わるものですけれども、初期剛性の低下に関しまして、原子炉建屋と同様に、シミュレーション解析に基づいて建屋の初期剛性を評価しまして、過去の地震観測記録の傾向分析ですとか、地震後の点検結果等を踏まえまして、適切に地震応答解析モデルに反映する方針というふうにしてございます。

また、②としまして、入力地震動の算定というものに関する内容ですけれども、原子炉建屋では、表層地盤の影響を考慮した入力地震動、いわゆるE+F入力ですけれども、それを採用いたしますが、各施設建屋につきましては、建屋ごとに周辺地盤との設置状況、それから、シミュレーション解析結果などを踏まえて決定する方針というふうにしてございます。

3ページ目をお願いいたします。

ここからは、3.11地震の影響を踏まえた検討につきまして、原子炉建屋を代表に実施した内容について説明をいたします。

3ページ目、全体フローを示してございますけれども、フローの一番上、地震観測記録を用いたシミュレーション解析によりまして、初期剛性の低下を確認したということから、このフローで下に行きまして、初期剛性が低下した要因の検討、さらには、その要因が終

局耐力に与える影響といったものについて確認した上で、今回、初期剛性低下を考慮した地震応答解析モデルの策定といったような手順で実施をしたということでございます。

次の4ページ目ですけれども、4ページ目には、原子炉建屋の代表性について示してございます。

原子炉建屋における検討におきましては、下の図に示しておりますけれども、建屋の上部と下部とで初期剛性の低下を分けて設定してございます。建屋の上部につきましては、スパンが大きく大架構であるという特徴、下部につきましては、耐震壁が密に配置されたマッシブな構造という特徴がございます。

原子炉建屋以外の既設建屋への反映という部分につきましては、こういった原子炉建屋の構造的特徴と同様の傾向を有しているということから、原子炉建屋と同様に、シミュレーション解析によって確認された剛性低下を地震応答解析モデルに反映するというふうなことで考えてございます。

続いて5ページ目、お願いいたします。

5ページ目には、地震応答解析モデルに設定する復元力特性の設定の概要についてまとめてございます。

図のほうに示しておりますとおり、設計時の復元力特性に対しまして、初期剛性につきましては、シミュレーション解析を反映して低下をさせてございますが、その先は設計時の復元力特性に接続するように設定するということとしてございまして、その設定根拠といたしましては、当社で実施しました耐震実験、行っておりますが、それによりまして、初期剛性の低下の要因と考えられる地震による事前損傷、それからコンクリートの乾燥収縮といったような要因が、 2000μ 、 4000μ といった部分の耐力に対しては影響を与えないということを確認しているということから、このような設定としたということでございます。

次の6ページ、それから7ページのほうには、耐震実験の全体像ということでまとめてございまして、大きく耐震実験につきましては三つ実施してございますが、それぞれの実験の目的、概要、それから、結果について整理をしているというものでございます。

続いて、8ページ目ですけれども、ここでは初期剛性の不確かさの考え方についてまとめてございます。

過去の中小地震も含めた記録の分析結果では、時間の経過に伴いまして剛性が低下するといった傾向のほかに、過去の観測よりも大きな加速度となる、更新地震というふうな言

っておりますが、それによりましては剛性が低下する傾向が認められているということから、初期剛性の低下の影響を保守的に反映するモデルというものを不確かさケースとして採用する方針というふうにしてございます。

続いて、9ページ目ですけれども、9ページ目では、弾性設計用地震動Sdに対する評価における考え方について整理をしてございます。

まず、基本ケースですけれども、紙面の右側のほうにグラフを示しておりますが、Sdに対する応答というものが3.11地震による応答と同程度であるということから、シミュレーション解析で確認された剛性を採用している、今回の基本モデルで評価を行う方針というふうにしてございます。

許容限界の考え方につきましては、Sd評価ですので、概ね弾性範囲といったところを確認することになりますけれども、その際には、応力が許容限界以下であることを確認するといったことを基本としてございます。

その下、なお書きですけれども、初期剛性低下を考慮した復元力特性を用いていることによりまして、変形が大きくなりやすいといったような特徴がございますけれども、耐震実験、我々、当社が実施した耐震実験になります。それによりまして、地震による事前損傷が 2000μ 、 4000μ といった部分の耐力には影響を与えないということを確認しているということから、Sd評価の目的であります、Ssに対する安全機能の保持をより高い精度で確認するという目的の観点からは、問題はないというふうに判断をしてございます。

また、その下、不確かさケースについて書いておりますけれども、今ほど申しました理由と同様になります。剛性低下に関する不確かさケースは設定しないということにしてございます。

続いて、10ページ目からは、原子炉建屋以外の既設建屋に対しての反映に当たっての考え方、フローについて整理をしてございます。

紙面の下のほうにフロー図を示してございますけれども、原子炉建屋と同様に、建屋の初期剛性や減衰をパラメータとしましたシミュレーション解析の実施を基本としてございます。

シミュレーション解析の結果、確認された建屋の剛性につきまして、その右側、建屋の状態確認ということで、過去の地震観測記録を用いた振動特性の把握、それから地震後の点検結果との整合性の確認といったことをした上で、地震応答解析モデルに反映するといった手順で実施をしてございます。

なお、復元力特性の設定に当たりましては、先ほど原子炉建屋の中で説明したとおりですけれども、耐震実験の結果を設定根拠としまして、復元力特性を設定しているということがございますので、実験の適用性を確認する観点から、実験に用いた試験体のパラメータと各既設建屋のパラメータを比較することで、その適用性についても確認をしているということでございます。

11ページ目からですけれども、11ページ目からは、このフローに沿った検討例としまして、ここでは制御建屋を例に示してございます。

11ページ目では、シミュレーション解析結果ということで、紙面の右側にグラフを示してございますけれども、制御建屋の場合は、初期剛性の補正としましては、NS方向で0.4倍、EW方向では0.5倍といったことをすることで、観測記録との整合性が、よい結果が得られているということでございます。

ここでNS方向のほうがEW方向に比べて値が小さくなってございますが、この傾向は、原子炉建屋の傾向と整合しているということでございます。

続いて、12ページ目ですけれども、建屋の状態確認の結果について、こちらも制御建屋の例を示してございます。

下の図になりますが、建設以降の地震観測記録を用いまして、固有振動数の推移について示してございますけれども、地震動レベルと建屋の剛性低下には相関性が見られておりまして、この傾向は、次の13ページのほうには、原子炉建屋での検討結果というもの、同じ図を示してございますが、原子炉建屋の傾向と整合しているという結果が得られてございます。

また、12ページ目、三つ目の矢羽根になりますけれども、制御建屋におけます3.11地震後の点検結果におきましては、原子炉建屋と同様に、構造的損傷、ここでは1mmを超えるひび割れのことを指してございますけれども、そういったものはありませんでしたけれども、地震による微細なひび割れというものは確認されておりました、こちらのほうは初期剛性低下の傾向と整合しているということでございます。

こういった検討結果を踏まえまして、13ページを飛んで、14ページ目になりますが、制御建屋の今回工認における地震応答解析モデルを策定したといった手順で既設建屋の展開をしているということでございます。

続いて、15ページ目ですけれども、15ページ目では、耐震実験の適用性を確認した結果について示してございます。

耐震実験のパラメータ、コンクリート強度と鉄筋比となりますけれども、これらのパラメータと既設建屋のパラメータとは、下の表に示しますとおり概ね対応してございまして、実験の適用性についても確認したということでございます。

続いて、16ページ目ですけれども、ここでは各既設建屋におけます初期剛性の設定につきまして、一覧として示してございます。

下の表に赤丸と黒丸で示してございますけれども、赤丸については、原子炉建屋の上部と同様の構造的特徴を持つところ、黒丸につきましては、原子炉建屋の下部と同様の構造的特徴を示しているというものを示してございますが、各建屋での設定された剛性というものについては、原子炉建屋での補正の結果と同等の結果となっているといったところが見てとれるかと思えます。

続いて、17ページ目からになります。17ページ目からは、今度は入力地震動の算定に関する御説明になってございます。

17ページでは、入力地震動算定における既工認からの見直しの概要につきまして、原子炉建屋での検討例を示しているというものでございます。

紙面の右側のほうに検討の流れを示してございますけれども、既工認では、深く埋め込まれている原子炉建屋であっても、表層地盤の影響、すなわち入力地震動に与える影響、それから埋込み効果、すなわち側面地盤ばねの設定というものは考慮しないといった、保守的な評価としてございました。

これに対しまして、シミュレーション解析におきましては、表層地盤の影響を考慮した、いわゆるE+F入力が入力するケースに比べて整合性がよいといったことで、表層地盤の影響が確認されたということでございます。

一方で、埋込み効果につきましては、側面の地盤ばねは考慮しないモデルのほうが、観測記録との整合性がよいといった結果が得られてございます。

このことから、原子炉建屋につきましては、表層地盤の影響を考慮するE+F入力に見直したということでございます。

続いて、18ページですが、原子炉建屋におけます既工認からの変更点といったところを表に整理してございますけれども、今回工認におきましては、今ほど申しましたとおりですが、側面地盤ばねは既工認と同様に「非考慮」とすること、それから、入力地震動算定におきましてはE+F入力を採用すると。さらには、その入力地震動の算定に当たりましては、非線形性を考慮することというふうにしてございます。

続いて、19ページ目ですけれども、原子炉建屋以外の既設建屋の入力地震動の算定方法につきまして、一覧として示してございます。

表層地盤の影響を考慮する建屋の選定といった部分に当たりましては、建屋の周辺状況から、ある程度、埋込み深さがあり、かつ2面～3面程度周辺地盤と接している建屋を選定した上で、シミュレーション解析の結果、直接入力よりもE+F入力のほうが観測記録との整合性がよいという結果が得られた建屋について選定をしたという流れで実施をしてございます。

結果としましては、下の表に赤字で示してございますけれども、原子炉建屋以外につきましては、タービン建屋と3号機の海水熱交換器建屋でE+F入力を採用するということとしてございます。

次の20ページ目に、タービン建屋と、それから、3号機海水熱交換器建屋におけます検討例としまして、床応答スペクトルの比較を示してございます。

それぞれの結果を見ますと、2E入力の結果も、直接入力の結果ですね、青線の直接入力の結果よりも赤線のE+F入力の結果のほうが、観測記録との整合性がよい結果となっているということでございます。

最後、21ページ目ですけれども、ここでは新設建屋の耐震評価への反映の考え方といった部分について整理をしているというものでございます。

対象としております建屋は、緊急時対策建屋と緊急用電気品建屋でございます。これまでの既設建屋での説明と同様に、地震応答解析モデルの設定という項目と、あと入力地震動の算定という項目等に分けて、それぞれ整理をしてございます。

まず、地震応答解析モデルにおける初期剛性の設定といった部分につきましてですけれども、基本ケースとしましては、新設建屋ということで、地震の影響を受けていないということから、コンクリートの設計基準強度に基づく設計剛性というふうにしてございます。

不確かさケースとしましては、新設建屋であるということで、 S_s に対しても十分な余裕を有しているといったことなどから、基本ケースの設計剛性で問題はないというふうには考えてございますけれども、既設建屋での検討結果を踏まえて、念のため0.8倍の剛性低下を考慮するといったことで、設計における保守性を確保するといった方針としてございます。

その下、入力地震動の算定といった部分につきましては、新設建屋は埋込み深さがある程度深く、かつ3面は周辺地盤と接しているといったような状況から、既設建屋での検討

も踏まえて、表層地盤の影響を考慮するE+F入力を採用するという方針としてございます。

また、最後の矢羽根になりますけれども、建屋周囲のうち、基礎版レベルまではMMRを打設するという施工方法を取りますことから、基礎版レベルまでは側面地盤ばねを設定するという地震応答解析モデルを設定する方針としてございます。

資料1-2につきましての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、コメントございますか。

○三浦主任安全審査官 規制庁の三浦です。

ただいまの御説明で、原子炉建屋以外の既設建屋についての初期剛性低下率と不確かさケース、あと入力地震動の設定方法、あと新設建屋の地震応答解析手法、これらについて御説明があり、それを確認しました。私のほうからは、今後、2点説明をしていただきたいことがありますので、それについて今からお話しします。

9ページですが、ここで、先ほど御説明になられたんですが、弾性設計用地震動Sdに対する評価として、「おおむね弾性範囲内であることについては、応力が許容限界以下であることを確認することを基本とする」ということが記載されています。弾性設計用地震動Sdについては、その応答レベルから、初期剛性低下の影響が大きいというふうなことを踏まえて、鉄筋の降伏、あとは残留変形、この二つの観点から、許容限界を明確にさせていただいて、その許容限界に基づく設計結果を今後説明していただきたいと思います。なお、その際に、既工認実績のない許容限界を用いる場合には、その妥当性についても説明をお願いしたいと思います。いかがでしょうか。

○東北電力（相澤） 東北電力の相澤です。

今ほど御指摘のありましたSdに対する許容限界の考え方といったところにつきまして、整理させていただきたいと思います。

以上です。

○三浦主任安全審査官 よろしく申し上げます。

あと、もう1点なんですが、本日説明された建屋剛性低下、初期剛性低下及び不確かさケースの建屋地震応答解析結果を踏まえて、原子炉建屋及び既設建屋に設置される機器配管系の耐震性評価方法と、その設計成立性についても、今後、御説明いただきたいと思うんですが、いかがでしょうか。

○東北電力（相澤） 東北電力の相澤です。

今ほどの御指摘につきましても、今後、御説明させていただきたいと思います。

以上です。

○三浦主任安全審査官 よろしくお願ひいたします。

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、本日予定していた議題は以上でございます。

今後の審査会合の予定については、本日17時30分からプラント関係（非公開）、4月30日（金曜日）午後に地震・津波関係（公開）の会合を予定しております。

第970回審査会合を閉会いたします。