

建物・構築物の免震構造に関する検討チーム

第3回会合

令和2年7月28日（火）

原子力規制委員会

（注：この議事録の発言内容については、発言者のチェックを受けたものではありません。）

建物・構築物の免震構造に関する検討チーム第3回会合
議事録

1. 日時

令和2年7月28日（火）10:00～12:15

2. 場所

原子力規制委員会 13階A会議室

3. 出席者

原子力規制委員会

山中 伸介 原子力規制委員会委員

石渡 明 原子力規制委員会委員

外部専門家（順不同 敬称略）

菊地 優 北海道大学大学院 工学研究院 建築都市空間デザイン部門 教授

久田 嘉章 工学院大学 総合研究所・都市減災研究センター長 教授

古屋 治 東京電機大学 理工学部機械工学系 教授

免震装置メーカー専門家（順不同 敬称略）

室田 伸夫 株式会社ブリヂストン 化工品量産開発第1本部 免制震開発部
主幹専任部員

渡辺 厚 日鉄エンジニアリング株式会社 都市インフラセクター 建設本部
設計技術部 シニアマネージャー

事業者・原子力エネルギー協議会（ATENA）等（順不同 敬称略）

福士 知司 東北電力株式会社 発電・販売カンパニー 土木建築部 課長

敦賀 隆史 東京電力ホールディングス株式会社 原子力設備管理部建築技術G
グループマネージャー

濱田 直之 東京電力ホールディングス株式会社 原子力設備管理部建築技術G
チームリーダー

小川 勤 日本原子力発電株式会社 開発計画室 建築グループ課長

室井 勇二 日本原子力発電株式会社 発電管理室 設備耐震グループGM

赤司 二郎	九州電力株式会社 テクニカルソリューション統括本部 土木建築本部 原子力土木建築部長
富岡 義博	A T E N A 理事
白井 英士	A T E N A 部長
高尾 誠	A T E N A 部長
鈴木 純也	中部電力株式会社 原子力部 専任部長
岩瀬 聡	中部電力株式会社 原子力土建部 スタッフ課長
大河内 靖雄	中部電力株式会社 原子力土建部 スタッフ副長
金澤 健司	一般財団法人電力中央研究所 原子力リスク研究センター 上席研究員
稲葉 学	株式会社大林組 原子力本部 技術部 副部長
藪内 耕一	鹿島建設株式会社 原子力部 担当部長
原子力規制庁	
大村 哲臣	審議官
川内 英史	技術基盤グループ安全技術管理官（地震・津波担当）
大浅田 薫	原子力規制部安全規制管理官（地震・津波審査担当）
名倉 繁樹	原子力規制部地震・津波審査部門 安全管理調査官
江寄 順一	原子力規制部地震・津波審査部門 企画調査官
三浦 宣明	原子力規制部地震・津波審査部門 主任安全審査官
井上 超	原子力規制部地震・津波審査部門 主任安全審査官
大橋 守人	技術基盤グループ地震・津波研究部門 首席技術研究調査官
山崎 宏晃	技術基盤グループ地震・津波研究部門 統括技術研究調査官
猿田 正明	技術基盤グループ地震・津波研究部門 主任技術研究調査官
日高 慎士郎	技術基盤グループ地震・津波研究部門 主任技術研究調査官

4. 議題

- (1) 第2回会合での外部専門家からのご意見に対する対応方針
- (2) 免震装置メーカー等からの検討事項に関する技術的な観点での意見
- (3) 免震構造に対する事業者のこれまでの取組状況等

5. 配付資料

- 資料1 これまでの外部専門家からのご意見に対する対応方針
- 資料2-1 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準および維持管理について
- 資料2-2 鋼材ダンパーの長周期長時間地震動に対する設計・品質管理について
- 資料3-1 東日本大震災を経験した免震建屋の状況
- 資料3-2 免震建屋の今後の活用について
- 資料3-3 免震構造に対する原子力エネルギー協議会（A T E N A）の取組状況について
- 机上配布資料1 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈<抜粋>
- 机上配布資料2 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈 別記1、別記2 <抜粋>
- 机上配布資料3 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈<抜粋>
- 机上配布資料4 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド<抜粋>

6. 議事録

○山中委員 定刻になりましたので、ただいまから建物・構築物の免震構造に関する検討チームの第3回会合を開催します。

司会進行を務めさせていただきます原子力規制委員会の山中です。よろしくお願いいたします。

本検討チーム会合ですが、免震構造に関する基準地震動についても議論する予定ですので、地震関連を担当されておられます石渡委員にも検討チームのメンバーとして参加いただいております。

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。

また、一般傍聴については、傍聴席の間隔を空け、座席数を限定しております。

テレビ会議システムでの会合における注意事項を説明いたします。

説明者は名前をきちんと発言してから、発言を行ってください。また、映像から発言者が特定できるよう、必要に応じて挙手をしてから発言をお願いいたします。

説明終了時には、説明が終了したことが分かるようにしてください。

説明に当たっては、資料番号を明確にし、資料上で説明している部分の通しページを明確にしてください。

音声について不明瞭なところがあれば、お互いにその旨を伝え、再度説明していただくということにしたいと思いますので、よろしく願いいたします。

続きまして、本日の配付資料の確認を規制庁からお願いいたします。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

議事次第に基づきまして説明したいと思います。

議事次第の4. 配付資料に本日の資料を記載してございます。

資料1が規制庁の資料で、これまでの外部専門家からのご意見に対する対応方針です。

資料2シリーズが免震装置メーカーの資料で、2-1が免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準および維持管理について、資料2-2が鋼材ダンパーの長周期長時間地震動に対する設計・品質管理について。

続きまして、資料3シリーズが事業者、ATENAの資料です。資料3-1、東日本大震災を経験した免震建屋の状況、資料3-2、免震建屋の今後の活用について、資料3-3、免震構造に対する原子力エネルギー協議会（ATENA）の取組状況についてです。

それと、机上配布資料につきましては、傍聴者に配付しておりませんが、ホームページに掲載しておりますので、そちらを御覧いただきたいと思います。配付資料は以上です。

○山中委員 資料などに不備がございましたら、原子力規制庁へお申しつけいただければと思います。

それでは、議事に入らせていただきます。

本日の議題は、最初の議事次第にある三つの議題を予定しております。

まず、最初の議題1について、規制庁から資料1を用いて説明をお願いいたします。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

それでは、資料1、これまでの外部専門家からのご意見に対する対応方針について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、論点と会合、ご意見の概要、対応方針と示してございます。第1回の会合について、前回御説明しておりますけれども、第1回の部分で下線を引いた箇所が何か所かございます。その部分が今回修正したところでございます。

具体的には、ナンバー1のところ、頂いた御意見を踏まえ、今後検討チームの会合とは別に規則解釈への反映を検討するという部分を変更してございます。同じように2ページになりますけれども、ナンバー4のところにも同じ文言の部分に下線を引いてございます。

それから、戻ってナンバー2を見ていただきますと、下線部分、検討チーム会合において、ガイドへの反映を検討するというふうに文章を追加してございます。これは、同じようにナンバー3、それから3ページ目に行って、ナンバー6から10の部分、いずれも同じ文言を追加してございます。

第1回についての修正部分で、もう1か所、1ページに戻っていただきまして、ナンバー2、一番最後のところですが、サイト特有のローカルな影響の可能性も踏まえ、サイトにおける観測記録やシミュレーション解析により、その影響についても確認することという部分も追加しております。

第1回についての変更部分は以上でございます。

それでは、第2回で頂いた御意見と対応方針について御説明いたします。

1ページ目の1a、基本方針ですが、久田先生のほうから基準地震動 S_s の策定過程におけるばらつきについて、長周期地震動を検討する場合、これまでの短周期地震動と同様に想定すると、相当なばらつきとなる。可能性として、超過確率が限りなく0に近いものも出てきて、今の免震の技術では対応はできなくなることが考えられる。そのため、地震動のばらつきだけを考慮するのではなく、建物の位置付けや特性、フェールセーフ等の安全対策等をトータルに考えて検討してほしいという御意見を頂きました。

これに対して、対応方針といたしまして、対象とする施設の位置付けや特徴等を踏まえ、許容限界を超過する場合に対しても、多重性、多様性、複数の施設、または機能の併用等、トータルでの安全機能の保持による設計の基本的な考え方について、いただいた御意見を踏まえ、今後検討チーム会合とは別に、規則解釈への反映を検討するとしております。

続きまして、そのページの一番下、3a、免震構造の設計に関する基本事項、許容限界につきまして、菊地先生のほうから履歴系ダンパーの累積損傷度の評価法にある安全係数のように、他の装置においても安全余裕度として数値で捉えてほしいが、各装置で大きく異なることがないようにしなければならないという御意見を頂いております。

それに対しまして、免震装置の安全余裕度については、御説明いただいた資料や御意見を踏まえ、今後、検討チーム会合とは別に、安全研究等での知見収集を検討するとしてお

ります。

続いて、2ページ目に行きまして、一番上の3b、これもやはり許容限界についてですが、菊地先生から積層ゴムのひずみ仕様による評価の適用性については、精度の面で、また実験データが少なく、さらなるデータの蓄積が必要であると御意見を頂きました。

これに対しまして、ひずみ仕様による評価の現状を踏まえ、その適用に当たっては、実験等により妥当性を確認することを前提として、装置メーカー等の見解も含め、検討チーム会合において、ガイドへの反映を検討するとしております。

本日、ブリヂストンのほうから、ここら辺の見解も聞けるかと思えます。

続きまして、そのページの一番下、5a、これは他施設・設備への影響等でございます。

菊地先生から、建物が擁壁に衝突すると、上部構造に過大な応答加速度が生じ、機器の損傷が危惧されるため、擁壁への衝突を前提とした設計はすべきではないという御意見を頂きました。

続いて、久田先生から、想定外の地震動に対しては、フェールセーフ等の安全対策の検討も必要である。

古屋先生から、鉛直支持性能の喪失により、即座に機能喪失につながることから、鉛直荷重を支持するアイソレータ、積層ゴムすべり支承に関して、フェールセーフ等の対策を確保する必要があるという御意見を頂きました。

対応方針といたしまして、設計上考慮するレベルにおいては、擁壁への衝突等のフェールセーフを前提とした設計は採用しないことを基本とすること、及び設計を上回るレベルに対して、即座に機能喪失しないような配慮として積層ゴムの荷重支持能力喪失防止に係る措置の取扱いについて、検討チーム会合においてガイドへの反映を検討する。

また、フェールセーフを設置することにより、機器等への影響を十分に確認する場合の扱いについても、併せてガイドへの反映を検討すると考えております。

以上が、前回の御意見に対する対応方針でございます。

○山中委員 ただいま説明のありました資料1につきまして、質問、コメント等がございましたら頂きたいと思いますが、いかがでしょうか。

○久田教授 工学院大の久田ですけど、一つ補足をよろしいでしょうか。

○山中委員 どうぞお願いします。

○久田教授 一番最後の5aの想定外の地震に対して、フェールセーフの安全対策の検討をしようという意見、このとおりでんですけど、これは想定する地震動が通常の地震動レベ

ルで、数百年に1回とかというレベルですと、当然想定外の地震動が考えられるのでフェールセーフが必要だという意味で私は言いましたので。

想定外の地震ってあらゆる場合が考えられますけども、一応そういう意味で言いましたので、全てフェールセーフをつけろという意味ではないということで、誤解を招くかなと思いましたが、補足させていただきたいと思います。

○山中委員 よろしいですか。

○猿田主任技術研究調査官 はい、ありがとうございました。

○山中委員 そのほかいかがでしょう。特にございませんでしょうか。

○古屋教授 電機大の古屋です。

今、久田先生がお話しされた5aのところなんですけども、私もフェールセーフ等の対策を確保する必要があるというコメントを残していますけども、それも入力との関係、あとは設計の考え方というところに大きく依存するというふうに思います。

ですので、もしどこかで時間があったら、フェールセーフということに関しての考え方について意見交換する時間があればなというふうには思います。今日ではなくてもいいんですけども。

以上です。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

今の古屋先生に対して、お答えさせてください。

承知いたしました。対応方針のほうでも、ガイドへの反映を検討するというふうに書かせていただいておりますので、時間をとって、また御議論できればと思います。よろしくお願いたします。

○山中委員 そのほかいかがでしょうか。

○菊地教授 菊地です。

○山中委員 よろしくお願いたします。

○菊地教授 今のフェールセーフに関するコメントに関連して、フェールセーフは、一つ、緩衝材、擁壁との衝突のときの緩衝材もフェールセーフという、あるいは、過大な変形の際に積層ゴムの鉛直支持能力を肩代わりするようなソフトランディングのようなものをフェールセーフという。ただ、目的が違いますので、フェールセーフの定義自体をもう少しはっきり明確にしたほうがよろしいかと考えます。

以上です。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

ありがとうございます。承知いたしました。先ほどの古屋先生の御意見もありましたけれども、議論の場でそこら辺を明確にしていきたいと思いますので、よろしく願いいたします。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。よろしいでしょうか。

規制庁側から何かございますか。よろしいですか。

それでは、引き続き、議題の2に入りたいと思います。

議題の2では、検討事項につきまして、免震装置メーカーよりブリヂストンの室田さん、日鉄エンジニアリングの渡辺さんから御意見を伺いたいと思います。

お二人には、テーマごとに説明を頂きますけれども、どちらのテーマも免震装置に関するものでございますので、お二人には続けて御説明頂き、その後、議論をさせていただきたいと思います。

ただし、簡単な質問がある場合につきましては、各方々の説明の後に受けたいと思います。

それでは、最初に資料の2-1につきまして、室田さんから御説明をお願いいたします。よろしく願いいたします。

○株式会社ブリヂストン（室田） ブリヂストンの室田です。よろしく願いいたします。

これから資料を御用意させていただきます。資料のほうは映っておりますでしょうか。

それでは、私のほうから、こういったタイトルで御説明させていただきます。

私のほうからは、積層ゴム支承の許容引張応力等基準並びに維持管理、この二つについて、特に許容引張応力等に関しましては、実験データ等をお示しして、重点的に御説明したいというふうに思っています。

まず最初に、このスライドですけれども、こちらは現状の許容引張応力等の基準に関して紹介したものです。この辺りに関しては、既にこれまでの検討会でも御説明があったかと思いますが、改めてレビューさせていただきますと、左上の写真、こちらが積層ゴムを引張実験している写真でして、アイソレータに所定のせん断のオフセットひずみを与えて、そこから引張荷重をもってそのときの引張特性を計測するというものです。

そのときに得られます典型的な引張荷重変位関係を示したのが、右側のグラフになりました。横軸に引張ひずみ、縦軸に引張応力をとったときに、こういった形で、最初かたい剛性で立ち上がり、そこから寝ていくと。最終的には破断ということになります。

現象的に何が起きているかということなのですが、積層ゴムの中に引張応力が作用いたしますと、ある臨界点を超えるとゴム層内部が負圧状態になりまして、ミクロなボイドが発生します。ボイド、すなわち空隙です。

このボイドが増加していきますと、引張剛性がどんどん寝ていく、低下する現象が起きまして、最終的には破断にいたるということになります。

我々の実験結果からいたしますと、天然ゴム系の積層ゴムでいきますと、250%のオフセットのせん断ひずみに、この破断に至る引張ひずみがおおよそ75%、大体70から80%くらいとなります。大臣認定上では、引張限界強度ということで、この右の上の図にありますところの引張降伏応力度、この部分、 σ_{ty} と表しておりますけれども、これはせん断ひずみ100%を与えたときに、鉛直方向に引張加力しまして、所定の定義で設定される値になります。ここが強度、限界強度、かつ規定では1.0N/mm²(MPa)という規定になります。

この応力値を規定した背景といたしましては、先程申しましたように、ボイドが発生いたします。この領域を超えていくとボイドが発生していく。そのときに、積層ゴムの持つ復元力特性、その後の基本特性であったり破断特性、あるいは、その後の積層ゴムの劣化特性、こういったものが不明でありました。知見もなかったということもあります。

あと、当時この規定を定めた頃に至りますと、実験等の知見ではおおよそ1MPa程度でこういった降伏点が見受けられるということ。それから、100%というオフセットの規定に関しましては、大臣認定上の規定のせん断ひずみが100%であるということから、そこを起点にして基準値として定められたという背景になります。

一方、これは弊社の例で恐縮なんですけれども、許容応力ではなくて、限界ひずみ、引張ひずみで引張限界を規定できないかということで検討いたしまして、2015年に大臣認定を取得したものです。こちらは、天然ゴム系積層ゴム支承G0.4についてです。

この引張限界ひずみを設定した際の様々な実験データ等に関しまして、これから紹介したいと思います。

先ほど来、申していますように、課題といたしましては、引張を与えられて、しかも、許容応力度を超えてボイドが発生した後の水平性能、限界性能がどうであるか。それから、経年劣化後に、引張特性がどうなるのか、あるいは引張経験後に経年変化がどうなるのか、また、それが水平特性にどういう影響を与えるのか。あるいは、アイソレータ、積層ゴムのプロポーシオン、すなわち二次形状係数であるとか、フランジの厚さ、それからオフセットのせん断ひずみの与え方、これによる影響。繰り返しの引張加力の影響、こういった

課題を挙げまして、それぞれパラメトリックに実験を行っております。

実験は、スケールモデルと実大試験タイプと両方使っております、最初に結論的なところなんですけれども、右上のところにグラフがございまして、こちらに横軸に引張ひずみ、縦軸に引張応力を取りまして、あるアイソレータの引張の実験を実施したものです。およそ75%から80%程度でこの破断が発生しております。

基本となる引張試験の条件、このパラメトリックの実験の条件といたしましては、ここに対して、およそ15%のところをこの実験での基本条件といたしまして、最終的に、その実験の結果からさらに安全率を見て、許容ひずみとして5%というライン、ここまでを積層ゴムの許容引張ひずみとして規定しております。

下の表に、このたびの実験の様々なパラメータが示されていますが、試験項目は先程申し上げたような項目になりまして、試験体は実大の試験体600、800、1,000、それからスケールモデルに関しましては、200Φから160Φというようなサイズになります。評価項目はこのような形になります。

こちらが、その実験例です。フルスケールの直径1メートルのアイソレータに対しまして、引張試験を与える前に一度、基本特性を評価しております、その後に15%までの引張ひずみを与えております。その後、再び基本特性実験を行いまして、それを比較したのが右上の重ね描きをしたグラフになります。さらに、鉛直度特性についても比較をして、最終的にはプラマイ400%の限界性能試験をワンサイクルで実施しています。

こちらが、もう一つの例としまして、経年変化及び経年変化後の引張特性についての実験結果になります。この左上のグラフが、これは個体が違うので、試験体そのもののばらつきも含まれておりますが、黒いライン、これが引張を最初に与えたものです。赤いライン、こちらが劣化させた後に与えたものです。ここで劣化と申しますのは、熱劣化促進、20℃×60年相当を所定の項目の中にアイソレータを入れまして促進劣化したものになります。

この試験体を使って破断実験を試みたのがこちらになります。

これは、引張試験を行った後に熱劣化試験をやったもの、熱劣化試験をやった後に引張試験をやった、それから、引張試験だけを行って劣化をさせていないもの、熱劣化も引張試験も実施していないもの、この四つを比較しています。ここに示しますように、一応、引張を与えたもの、引張と熱劣化を与えたもの、順番が逆になっておりますけれども、それぞれは、大体熱劣化を与えたものに対しまして、50%ぐらい破断のひずみが軽減してい

ることを示しております。

あと、破断実験の前に基本特性実験も行っていますが、こういった形で、それぞれの条件下で比較的小さくはありますけれども、差が出ている。

今御説明しました二つの事例について数値的にお示ししますとこちらになります。

まずは、実大実験の引張試験後の基本特性の変化につきましては、600、800、1,000それぞれでマイナス6%から5%程度の基本特性の低減が見られました。

一方で、経年劣化に関しましては、促進劣化後に、まず引張後にマイナス、例えばこの試験体でいきますと、マイナス6.3%の低減があって、そこから劣化させるとプラス11%ぐらいの増加が見られた。

逆に、熱劣化促進を先にやりまして、劣化後にプラス10.9%だったものが、その後引張実験を経験させますと、5%ほど下がって、プラス4.9%という形になります。引張試験であれば、実大と同じようにマイナス5%ほど下がっていますが、この例でいきますと、あるインターバルを置いてもう一度実験すると、少し剛性が復元いたしまして、回復いたしまして、プラス0.1%という形になります。

あと、何も劣化も引張もしないものに関しましては、こういうふうになっておりまして、こういうのをリファレンスにして、それぞれの影響度を調べているところであります。

総じまして、劣化に関しましては、マイナス5%、6%、それから引張特性、引張を与えた後の基本特性の変化につきましても、マイナス5から6%程度の変動であったということでございます。

あと、こちらは別の事例でありまして、繰り返しの引張加力試験を20サイクル与えたものです。およそ15%まで与えまして、そのときの引張特性の履歴曲線がこのようになりません。

最初、かたい曲線を描きまして、その後は同じレベルのところをなぞるような形の結果。そして、最初の加力でボイドが発生し、剛性が低減した後は、新たにあまり大きな変化はなく、同じところをたどっているというような結果になります。

このときの繰り返し試験前後の基本特性の評価ですけれども、変化率を見ますと、マイナス7.2%程度の低減になります。重ねがけで見ますとこういった形になります。

その後、430%までの限界変形能力を確認した実験ですと、破断することなくこういう結果になっております。

我々の引張ひずみの定義におきましては、併せて、そのときに用いる引張剛性について

も規定しております。こちらは、そのときの実験の一例を示しておりますが、こちらの左上にあります。オフセットせん断ひずみを与えない場合、150、250、300、400ととりまして、そのときの曲線を重ねがけしたものです。このような形でオフセットせん断ひずみの与え方によって、その時の履歴曲線は影響を受けています。我々が定義しようとしているのは、5%という許容ひずみ、このときの応力値と、それから、原点を結んだ曲線勾配、これを引張剛性として定義しようとしています。そのときの引張剛性のオフセットせん断ひずみに対する依存性がこちらのグラフに書かれておりまして、こういった形で250%ぐらいまでは低減していて、そこからまた少し剛性が上がっていくといったような結果が得られております。

この剛性に関しましては、圧縮剛性に対して何分の1かといった形で定義されますが、それでいきますと、こちらに圧縮剛性を引張剛性で割った値をこの赤の枠内で示しておりますが、最低で49.7、およそ50分の1という値を得ています。我々の規定では、このときの許容引張ひずみを使用する際の引張剛性の定義は、圧縮剛性に対して50分の1以下の剛性を用いるということにしております。

あと、こちらはフランジの厚みの影響を示したものです。フランジの厚み、端部の厚みと、それからゴムの直径の比率、こちらをパラメータとして、このようにフリップしております。それに対しまして、先ほどの定義に基づく引張剛性の圧縮剛性に対する比率が最低で50分の1という結果を得ております。

また、参考ではありますけれども、FEMとの比較も実施しておりまして、ほぼこのフランジの厚みを振った際の曲線に乗る形で解析結果も得られております。

これがサマリーのところなんです。我々の基準値といたしまして、新たに認定を取得いたしましたこの引張ひずみに関しましては、限界基準といたしまして、ここにありますように引張ひずみを5%以下に抑える。かつ、面圧と引張応力といたしましても1.0N/mm²(MPa)以下に抑えるというふうになっております。

そのときの引張剛性は圧縮剛性の50分の1にする。こちらの下にあるのが、従来の応力によるものとして、こちらは1.0MPa以下という基準で、そのときの引張剛性は10分の1以上の圧縮剛性を使うということで、この大臣認定の中では規定をしております。

この右下の図ですけれども、こちらにケーススタディの事例をお示ししておりますが、引張応力で解析したときのとあるアイソレータの引張の応力とひずみとの関係を示しておりまして、引張応力で設計いたしますと、1.0MPaを超える結果ですけれども、こちらの上

の引張ひずみの考え方に基づいて設定いたしますと、アイソレータに関しましては、1MPa以下の、5%未満のこの許容範囲に入ってきた一例ではあります。

我々といたしましては、積層ゴム自体はこの許容引張に関しまして、十分にひずみのデータ検証をして、その領域内である規定の範囲においては使えるというふうに判断をしております。

続きまして、維持管理についてです。

これに関しましては、これまでの検討会でも情報共有されておりますので、簡単に御紹介させていただきますけれども、維持管理の点検の項目に関しましては、こちらに書かれているとおりでございます。点検種別、それから、それぞれの頻度、点検方法といたしまして、目視と計測。目視に関しましては、ゴムの外観を確認して、そのときの傷や膨れ、あるいはフランジ、ボルト類のさび等、こういったものが点検ポイントとなります。

計測に関しましては、免震ゴムの高さ、傾斜を測る。これは、特に高さに関しましては、免震のクリープの確認をするという目的で実施しております。あと、残留変形でありますとか、外傷があった場合には、その長さや深さ、それから、別置き試験体が最初に置かれている場合は、その経年変化という形になります。

別置き試験体についてですけれども、こちらも、前回の検討会でもお話があったかと思いますが、大きくは二種類がございます。一つがプロジェクトの建物サイトに置かれているスケールモデルの別置き試験体です。フルスケールで置かれているケースもございますが、一般的にはスケールモデルが置かれています。

もう一つは、アイソレータの製造メーカーの工場で管理している別置き試験体です。こちらがフルスケールになります。

設置場所は、この工場別置き試験体と呼ばれているものにつきましては、アイソレータメーカーの製造工場内に一般的には保管されております。検査頻度等は同等というふうに考えています。

ちなみに、この辺の運用に関しましては、サイトやプロジェクトによって固有の運用が実施されている場合がありますので、これは一例として考えていただければと思います。

別置き試験体自体は、免震用積層ゴムの開発初期に促進劣化実験の結果を実証する目的での、モニタリングという目的で始められておまして、スケールモデルを中心に製作して、免震層に置くということが行われておりました。

一方、上の表にも書いてはありますが、2000年以降は、もう工場別置きによるモニタ

リングが開始されたことによって、このサイトというのは、ほぼ新規に製作されたり、設置されることはなくなりつつあります。これは弊社の事例ですので、ほかのメーカー様と異なるかもしれませんが、そういう現状がございます。

それから、工場別置きに関しましては、概ね初期のもので20年ぐらいの経過で、概ね促進の推定範囲にすべからず収まるということが確認されております。

それから、あと、これも前回お話があったかと思いますが、スケールモデルで評価した際には、どうしても経年劣化する外周部、酸化劣化ですけれども、その部分の全体のボリュームに占める割合が大きくなりますので、工場別置きに比べてですね、ですので多少、出てくる値は工場別置きのフルスケールに比べて大きい傾向ということが見受けられます。

その他、このテーマに関しましては、現在、日本免震構造協会内で委員会が発足されておりまして、データ収集並びに統計的な分析等によって、そのデータの妥当性の検証というのを行うということでございます。

私のほうからは以上になります。

○山中委員 それでは、簡単な御質問がもしあれば頂きたいと思うのですが、いかがでしょうか。よろしいですか。

それでは、引き続き2-2につきまして、渡辺さんのほうから説明をお願いいたします。よろしくをお願いいたします。

○日鉄エンジニアリング株式会社（渡辺） 日鉄エンジの渡辺と申します。

皆さん、聞こえますでしょうか。

○山中委員 よろしいですか。

○日鉄エンジニアリング株式会社（渡辺） 聞こえますか。

では、共有させていただきたいと思います。

画面のほうは映りましたでしょうか。

○山中委員 はい、映っております。

○日鉄エンジニアリング株式会社（渡辺） では、鋼材ダンパーの長周期長時間地震動に対する設計・品質管理について、日鉄エンジニアリングの渡辺が説明させていただきます。

この鋼材ダンパーは既に販売から20年ぐらいたってしまっていて、かなりの実績がございます。JIS規格の50キロ鋼の鋼材の中で、特別、製鉄所の中で、降伏点とか、それからエネルギー吸収性能を高めた鋼材を使っております。

今日の説明の中では、一つは鋼材ダンパーの累積塑性ということで、繰り返しによる耐力低下と、それから累積損傷度の確認ということで説明させていただきたいと思います。

これは、鋼材ダンパーの試験例で、プラスマイナス600ミリの水平変形を与えたときの鋼材ダンパーの変形具合ですが、こんなような形で、かなり変形をして、残留変形も残ったり、見た目の上では結構激しい変形を受けます。

ただ、これが見かけの変形の割には、繰り返しの実験結果なんですけど、ダンパーの累積塑性としての繰り返しによる耐力低下としては、最初の1周目は、一番上の、一番耐力の高いところを通過するんですが、繰り返していくごとにだんだん、だんだん低くなっていきまして、1割から2割ぐらい下がったところで落ちて、そこで同じループを繰り返すというような特徴がございます。

そのダンパーの累積塑性による繰り返しによる耐力低下をグラフに示したものがこの図になります。横軸が累積変形量、ここが50メートルの累積変形量になります。

こちらが、先ほど1週目のループに対して、耐力低下がどのぐらい起きるかという低減係数 α を示したのですが、この五つのグラフはU型ダンパーのサイズ別に表したもので、5種類サイズがありますので、一番大きいサイズでいきますと、この低下が緩やかになりまして、一番小さなダンパーは早めに低下するというので、最終的には2割ぐらいの耐力の低下がございます。

次に、この累積塑性に対して、最終的にはこのU型ダンパーが破断するわけですが、何回繰り返したら破断をするかというサイクル数と、それから、振幅量ですね。変形量の関係を実験で示したものがこのグラフです。これもサイズが5種類ありますが、例えば、変形量がプラスマイナス、例えば1メートルのような大きな変形の場合でいきますと、一番大きなサイズのUD60というサイズでいけば、10回もつということになります。

もし、これ以上の回数とか、それから変形性能を必要とする場合ですと、このUD60よりもさらに大きなサイズを製造することで、この上のグラフを実現することは可能です。

基本的には、鋼材ですので、こういった力学的特性はほぼ断面に比例するので、幾何学的な比例の関係でいろんなことを類推することができます。

次に、鋼材ダンパーの品質管理について説明します。

地震が起きた後のダンパーの点検は、見た目ですぐ判断できる1次判定と、それから、精緻な計算をする2次判定の2種類がございます。

これは、3.11の地震の後の鋼材ダンパーの写真ですが、こういった形で若干塑性変形が

残ります。

1次判定の方法ですが、もともとのオリジナルの形に対して、塑性変形をした場合の変形量が1割以下であれば継続利用ができるということを過去の実験で確かめておりますので、この変形の量を測って、継続使用ができるかどうかというのが1次判定として使われています。

2次判定ですが、これは、免震層においてある罫書の記録ですが、この記録を元に2方向の載荷試験の過去の実験から求めた累積損傷の評価法を適用することで算出することが可能です。

具体的な例は、このような形で最大変形をこの対象の形のところを持ってきて、その全振幅を計算します。これは、実際は手計算になるんですが、それに対して、組み合わせ、それから、回転角の γ や、これに対する予想破断回数を調べて、累積損傷度のD値を出して、それを積分することで、これが1以上かどうかということで、破断をするかどうかということを調べます。累積損傷度が、この場合はたまたま0.05ということでしたので、同じ地震が20回来ると破断に至るといような形になります。

まだ事例はございませんが、もちろん加速度計のような時刻歴のデータがあれば、一番最初に紹介させていただいたような時刻歴応答解析も残った形での破断の推定もやるのが可能になります。

簡単ですが、以上、鋼材ダンパーの長周期長時間地震動に対する設計・品質管理についての説明を終わらせていただきます。ありがとうございました。

○山中委員 室田さん、渡辺さん、ありがとうございました。

それでは、お二人に御説明いただきました内容につきまして議論を進めていきたいと思っております。質問、コメントはございますか。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

室田さんに質問させていただきます。

引張降伏応力について、いろいろと御紹介していただきましたけれども、応力で考えた場合の1MPaというのが、いろいろと実験のデータも見せていただきましたけれども、これは余裕度という観点から考えた場合には、破断に対してはまだ余裕があるように感じられますけれども、ボイドが発生して剛性が低下するとか、そういうことを考えますと、1MPaというのはそれほど余裕がないと見たほうがいいのか、あるいは、まだ余裕がありますよということなんでしょうか。

○株式会社ブリヂストン（室田） 応力で1MPaというところを起点にして、仮にボイドが発生するんだという前提に立ったときには、やはりボイドが発生するということを認識した上で、そのアイソレータの使用方法は考えるべきかなとは思いますが。

ただ、我々が今回示しましたように、仮に内部にボイドが発生したとしても、そのボイドが、その後の水平方向の特性に与える影響は小さいというふうに考えていますので、そういう意味では、応力の1MPaというポイントが、安全率として、安全のマージンとして、十分あるのかどうかということに関しては、ひずみと併せて考えたほうがよろしいのではないかと思います。以上です。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。はい、ありがとうございました。

関連してもう一つよろしいでしょうか。

一般建築といいますか、では、1MPaが標準といいますか、それで設計されているかと思うんですけども、今のお話も踏まえて、その1MPaというのは、ボイドの発生等の関係から、妥当というか、それを超える値で考えていくことは難しいのでしょうか。

○株式会社ブリヂストン（室田） ブリヂストンの室田です。

実際に我々の実験結果を見ますと、そのひずみ領域での話で、1サイクル目の履歴特性が1MPaを優に超えているわけです。

その中でひずみを5%まで、15%までといったときに、それなりに破断特性までの評価が出ているということですから、お答えに、ダイレクトに回答できていると思いませんけれども、先ほどの御質問とも絡むと思うんですけども、その1MPaという縛りを越えた領域において、急激にアイソレータの性能が低下するというふうには考えておりません。

ですので、その辺についての基準の考え方は、こちらで、今回私のほうからひずみをメインとして、この中でお示ししましたけれども、ほかの接合部との関係であるとか、様々なことを含めて慎重に検討を進めていきたいと思えます。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

はい、ありがとうございました。

○山中委員 そのほかいかがでしょうか。

○菊地教授 北海道大学の菊地でございます。よろしいでしょうか。

○山中委員 お願いいたします。

○菊地教授 室田さんにお聞きしたいんですが、まず、御説明いただいたパワーポイントの9ページでして、フランジ厚の影響というところで、このφ225の縮小の積層ゴムに対し

て、フランジ厚を7mm、11mm、18mmと、3水準振っていますけれども、圧縮剛性と引張剛性の比が、フランジ厚が厚くなると比が小さくなるというのは、恐らく分母の引張剛性が大きくなっていると理解しているんですが、圧縮剛性はあまり変わりませんから。ということになると、フランジのたわみというのが引張剛性の中に影響するという理解でよろしいんですよね。

○株式会社ブリヂストン（室田） ブリヂストンの室田です。

そのとおりだと思います。

○菊地教授 10ページに、今回御紹介を頂いた、ひずみを考慮した引張限界基準というのがありますけど、ここに5%という、この ϵ_t には、まず、オフセットをさせることで積層ゴムは圧縮側と引張側でひずみがまず変わるということ、あと、フランジが面外変形することによる変形、これも含まれている。全てが含まれた平均。要するに、上下間のどこかのフランジの相對軸変形をゴム層厚で割るといような解釈でよろしいのでしょうか。

○株式会社ブリヂストン（室田） ブリヂストンの室田です。

そのとおりです。

○菊地教授 となると、それらを分離して評価するということはできないんですか。

ゴムそのものの材料から出てくるボイドというのは関連付けて、損傷評価されるということであれば、少なくともフランジ厚、フランジの面外変形による影響はまず排除して、ゴムだけの軸ひずみということで評価すべきではないかと思うんですが、いかがでしょう。

○株式会社ブリヂストン（室田） その点につきましては、御指摘のとおりかなと思います。

一連の実験に関しましては、十分にフランジ厚が影響しない範囲でやってはいるんですけども、御指摘のとおり、実大のものと、そうではなく純粹にボイドに関して調査するのであれば、確かに無視し得るぐらいの剛体的なフランジを使うとか、そういった評価のほうが適切な可能性はあると思います。

○菊地教授 あともう1点。今のパワーポイントの10ページで、今回新しく示された基準と、従来の1MPaのみの基準というのは、全体的に見ると、どちらが厳しい評価になるのでしょうか。安全側、危険側というのは、例えば、そういう判断でいきますと。

今回、ひずみを評価されるほうが、より安全側の評価になるという解釈でしょうか。いかがでしょう。

○株式会社ブリヂストン（室田） 難しい御質問だと思います。

すみません、ブリヂストン、室田です。

実際に、10分の1の剛性でどんと立ち上げてみるケースと、せん断ひずみがそれなりに大きく発生して、そういうふうには曲率をもったカーブになっていくものと、例えば、250%のオフセットせん断ひずみを与えられたケースでの剛性は、立ち上がりは明らかに違うわけで、そここのところは、今、ひょっとしたら100%の規定ひずみでという実験データに規定していますけれども、それが実態とどうリンクしているのかというところは、少し照査すべきところではある、場合によっては見直すこともできそうかなと思っています。

実際に運用されている中では、応力を見ながら、そのときのひずみとか、実際の実験データからした曲線上はどこに存在するのかというところまで、恐らく、いろいろと検討されていると思うんですね。

なので、お答えにはなっていないんですが、アイソレータに関して言うと、このブルーのゾーンというのは、まずここに関しては、今回、十分に安全性を我々は確保したというふうに感じております。

引張応力による設計のこのポイント、ここのポイントが、本当に実在するポイントになるのかどうかというのは少し考えなければいけないというふうに思っています。それが、安全を含んだところでの値であればそれはそれでよい。

逆に、つけ加えますと、前回の検討会で先生のほうからも少しお話があったかと思いますが、応力を見た場合で、この今回の我々の実験データはアイソレータにフォーカスして、実際に、じゃあ、接合部分にかかる力を見積もるときに、この剛性でいいのかというと、そこは慎重に考えて、実験データのスケルトンカーブからしても、5%の引張ひずみのところは実現していても、その中間地点で 1MPa を超えているケースもございますので、そういったときは、やっぱりその接合部分の設計に関しましては、もう少しほかのデータも含めた上で、総合的に判断して数値を決めるというふうに考えています。

以上です。

○菊地教授 はい、ありがとうございます。

以上です。

○山中委員 そのほか、御質問、コメントはございますでしょうか。

○古屋教授 電機大の古屋です。

○山中委員 よろしく申し上げます。

○古屋教授 室田さんのほうに、これは確認なんですけれども、今回お示しいただいた、例

例えば、今の10ページのところでも結構なんですけども、許容引張ひずみ5%というところの定量値について、試験体のばらつきとかというところを考えても、この5%というところに設定しておくことで、十分に安全側になるという理解でよろしいでしょうか。

○株式会社ブリヂストン（室田） はい。そのところは十分マージンをとっている和我々は考えています。

250%というひずみを規定しての話ですけれども、オフセットせん断ひずみ下においての破断の特性というのは、我々の実験データから見て、7、80%保有しております。

その辺は、フランジの厚み云々のパラメータのところでもあるところですので、それに対して5%ですので、相当、それなりにマージンを見たところでの使用領域というふうに考えています。

ですから、確かに、おっしゃるように、ゴムにはばらつきがあって、水平特性についてもプラマイ10ないし15%ありますけれども、その辺のバランスを含めたところでも問題ないというふうに我々は考えております。

○古屋教授 ありがとうございます。

もう1点は、御説明の中の、ページ数があれなんですけど、促進劣化、熱劣化についてです。

今回の観点からは外れてしまうかもしれませんが、JSSIで立ち上がっているところからの最新知見によると、熱劣化試験の確からしさというのが、どの辺りのところまで確認されているかというのを教えていただければと思います。

○株式会社ブリヂストン（室田） そこは、まさに今、JSSIの中でやっつけるところなんですけれども、今、免震構造協会の中で共有されている範囲以上のものとしては、我々としても知見はございません。

そこは、確かにおっしゃるとおりでして、今まで使用実績のなかった免震ゴムを使用していくに当たっては、どうしても寿命予測が必要で、そのときに我々が持っていたスキルというのが、熱劣化促進。

熱劣化促進というのは、かなりシンプルに劣化反応を定義、仮定して促進しているということでもあります。ただ、これまでのデータですので、その結果に関しては、実証をしっかりとしていかなければいけないというふうに考えております。

今までの結果からすると、大きく促進劣化の結果を逸脱するようなことはないというふうには考えてはおりますけれども、劣化のモードに関しましても、モードというか進み方

についても、ラボなんかで比較、評価すると、最初にぐっと立ち上がってから、だんだんサチュレートしていったらあまり変化しなくなるんですね。そういった現象が得られています。そういったものと照らし合わせて、実大の結果を認証しているというところが必要かなあと考えています。

○古屋教授 ありがとうございます。

あともう1点、渡辺さんのほうに、これも確認というか、質問なんですけども、スライドの7ページで、1次判定というお話が出てまいりましたけども、ここでの1割という値に対して、継続可能というふうに判断する継続利用の条件みたいなものというのは、何をもって継続利用が行えるという判断基準になっているかというのを教えていただければと思います。

○日鉄エンジニアリング株式会社（渡辺） 今共有させていただきました先ほどの7ページですが、この変形量が元の形に対して1.1倍以下であれば、この試験体を取り出して、またエネルギー吸収量、いわゆる塑性変形能力を調べたところ、新品と概ね変わらないぐらいのエネルギー吸収量が残っていたという事実でもって、1.1倍以下ぐらいであれば、ほぼこれでエネルギー吸収を使ってしまうということはありませんというものが分かったので、そういう意味で継続利用ができるということで判断しております。

○古屋教授 そうすると、つまり、ダンパーとしての機能であるエネルギー吸収というものが、1割程度の塑性変形、残留変形ではあまり影響ないという判断ということですね。

○日鉄エンジニアリング株式会社（渡辺） そうですね。ほとんど失われていないという。0ではないんですが、ほとんど失われていないということです。

○古屋教授 分かりました。ありがとうございました。

○山中委員 そのほかいかがでしょうか。いかがでしょう。

どうぞ。

○石渡委員 規制委員の石渡ですけれども。

渡辺先生にお伺いしたいんですけど、今のお話なんですけれども、1割程度以下であれば、今の変形であれば、継続利用が可能であるということなんですけども、ただ、実際の変形は、地震の動きというのはかなり複雑で、あちこち揺すられた後で、たまたま、現在そういう1割以下のところで最後止まったというふうになっている可能性もあるわけですよ。

ですから、そういう意味で、2次判定というのが必要だということで書かれているんだ

とは思いますが、こういうのを判定する場合に、2次判定でも水平2方向の観測記録なんですよ。

上下動というのは、これはどういうふうにお考えなのか。むしろ、ダンパーに対しては上下動もかなり影響が大きいんじゃないかと思うんですけども、その記録というのは、これは取らなくてもいいのかということと、それから、2方向の記録というのは、これは大体必ず取るようになっているのかどうか、教えていただきたいんですけども。

○日鉄エンジニアリング（渡辺） 日鉄エンジの渡辺です。

まず、上下動に関しましては、このUダンパーの高さが1割変化した場合でのエネルギー吸収性能を実験して確かめております。

それから、逆に、ないことですが、10%高さを縮めた場合のエネルギー吸収性能も確認しております。

オリジナルに比べて10%高くした場合、それから10%低くした場合に対しても、基本的な復元力特性ですとか、それから、破断特性ですとか、エネルギー吸収性能について、ほとんど変わりが無いということを確認していますので、上下動の変位の量が1割、つまり、ダンパーの高さが、仮に、30cmや40cmくらいのサイズが一般的ですので、3cmか4cmくらいの範囲であれば、性能に関して問題ないということを確認しております。

それ以上については駄目かということになりますが、それ以上については、まだ実験していませんので、そんなに急激に悪くなるということないと思っておりますが、もし必要であれば、そういう実験を行っていきたく思っております。

それから、2点目のほうですが、建物ごとに、いわゆる野書板に2方向の履歴を残しているかということに関しましては、これは、我々1メーカーとしては、ゼネコンさんや設計事務所の方、それからお施主さんにはつけていただくことを推奨してまして、実際、今、一般的に免震建物ですと、10万円とか、そこそこくらいで野書板をつけられるようなことも聞いていますので、かなり普及率は高いのかなというふうに思っております。

ただ、これは時刻歴の、どの順番で動いたのかということは分かりませんが、免震U型ダンパーだけについて申し上げれば、この2方向の野書板があるだけで、かなり有用なデータとしては使えるデータというふうに考えております。

以上です。

○石渡委員 どうもありがとうございました。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

先ほどの室田さんと菊地先生の議論に戻ってしまうんですけども、引張の評価として応力とひずみがあって、前回、菊地先生のほうから、ひずみでの評価をするにはまだ実験データが不足しているのではないかと、過去に行われた実験等をもう少し精査していったほうがいいという御意見を頂いたかと思うんですけども、先ほどの議論も踏まえて、今後の方向としてIMPaというのが基準値といいますか、標準値として使われて、ひずみで評価していくというのは、今のブリヂストンさんが大臣認定を取られていますけれども、方向としてはなかなか難しいと考えるのか。

あと、それと室田さんのお話にもありましたように、積層ゴムだけの評価ではなくて、躯体といいますか、接合部とか、そういうところも含めると、もっとひずみの評価というのは難しくなるという認識でしょうか。

○株式会社ブリヂストン（室田） ブリヂストンの室田ですけれども。

私のほうからでよろしいですか。先生。

○菊地教授 前回、実験データの蓄積が必要ということをお願いしましたがけれども、例えば、今回御説明いただいたパワーポイントの8ページを拝見しますと、実大も3体ですけれども、600Φ、800Φ、1000Φと、3体行われておりまして、必ずしも縮小試験体だけの評価じゃないということは分かりました。

特に、実際に一番大きな1000Φに関して、先ほどの50分の1という引張と圧縮の剛性比にほぼ近い値47.1という数字が得られていますので、これは一つ貴重なデータかなということに理解しました。

もちろん、実大の試験は非常に難しいので、そう簡単にはできないと思うんですけども、何かの機会があれば、もう少し実験データを蓄積していただきたいなということを希望します。

菊地からは以上です。

○株式会社ブリヂストン（室田） ブリヂストンの室田です。

ありがとうございました。

御指摘のように、実大による実験データを積み重ねていきたいなと思ってございます。

こちらに示しております実験データは、大臣認定を取得するために、ある実験プランののっとなって実験したものですけれども、実際には、それ以外にプロジェクト対応でプロトタイプ試験等でのデータや、それ以外の経験はございます。この三つだけで評価している

わけではないということです。

ただ、おっしゃるように、体系的に評価する上では、我々としても御指摘のとおり、もう少し実大でのデータを増やしていきたいというふうに考えております。

ありがとうございます。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

どうもありがとうございました。

関連して、もう1点確認させていただきたいんですけども、差し支えない範囲でお答えいただければと思います。

室田さんのほうで、これはGが0.4の天然ゴムについて実験された結果で、大臣認定を取られたかと思うんですけども、ほかのゴム種等についても、今後こういった引張ひずみの評価というのもされていく御予定があるのかどうか、もし、よろしければお答え願えますでしょうか。

○株式会社ブリヂストン（室田） ブリヂストンの室田です。

その方向で検討しております。天然ゴム系で、基本的に引張で鉛入積層ゴムも中は天然ゴムですので、非常に類似したところもございますので、そういったところは、その延長線上でいろいろと実験を積み重ねて、同じような評価をしていければというふうに考えています。それ以外の高減衰等に関しましても、今後はその可能性を検討していきたいと思っています。

以上です。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

どうもありがとうございました。

○山中委員 そのほか、いかがでしょう。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁、山崎です。

私からは、室田さんから御説明いただきました資料2-1の最後、12ページの別置き試験体について少し質問させていただければと思っています。

12ページでは、先ほど説明がありました、2000年以降、サイト別置き試験体というものの新規作製がなく、工場での別置きで代用されているということ、それはブリヂストンさんのほうでということですが、そういったところで考えられるのは、工場別置き試験体とサイトで置くことの、それぞれでメリットもあればデメリットというか、課題といったところも考えられるんですけども、そういったことを踏まえても、これまで数多くの実

験とか試験とかというのをやられて、工場での別置きで十分なデータというのは蓄積されてきたということでしょうかということと、あと、この資料の中でも一番最後にありますが、JSSIのほうで2019年9月に調査委員会というのが立ち上がっていますけども、これも御存じでしたら教えてほしいんですが、今後、この委員会のほうではどのような方向性でこの別置きについて検討していらっしゃるのか、そして成果というのがいつくらいに取りまとめられるのかということについて教えていただければと思います。

○株式会社ブリヂストン（室田） ブリヂストンの室田です。

別置き試験体のサイト置きのものに関しまして、それが工場別置きに変わってきたという背景に関してですけれども、最初にスケールモデルのサイト別置きというのは、ゴムのロット等に関してのばらつきによって、経年劣化の出方も変わるのではないかとというような考え方があったと思うんです。

その辺が、いろいろと積み重ねていくと、さほどその差は有意なものはないということが分かってきたというところなんです。

もう一つは、これだけの免震建物が増えた中で、サイト置きのを、例えば同じゴム種で幾つもの同じ地域で持つ必要があるのかといったような議論もございます。

それと、もう一つは、あくまでスケールモデルですので、先ほどの劣化。これは、まだきちんとした知見は得られておりませんが、劣化の部分がボリュームに占める比率が大きいということから、劣化のレベルが大きめに評価されているのではないかとということから、これも実大で見たほうがよかろうということもあって、工場で、代表のゴム材料でもって、ゴム材料に関して1体ないしは2体を用意して、それで評価していくほうが合理的ではないかなという発想の下に進んでいるものと思われまます。

我々の考えといたしましては、工場別置きで、これからモニタリングをしていくというものでよろしいかと思います。

もう一つは、免震構造協会に関しましては、私も直接の委員ではございませんし、ここに書かれている以上のことは申し上げることはできません。ただ、ここに書いているとおり、いろんなデータが得られてきておりますので、それらについて分析を行ってまいりまして、今、御質問にあったようなことも含めて、今後の工場別置き体に関して把握したことをおまとめになるというふうに考えています。

以上です。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁、山崎です。

ありがとうございました。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○菊地教授 北海道大学の菊地です。よろしいでしょうか。

○山中委員 どうぞ。

○菊地教授 鋼材タンパーのことで渡辺様にお伺いしたいんですが、資料の4ページ。

今回、御説明いただいた繰り返しによる耐力低下ということで、累積変形を見ながら Q_y を徐々に低下するようなデータをお示しいただきましたけれども、長周期長時間地震動ということで、このような検討をなされたと思うんですけども、累積変形0から増えるに従って徐々に下がるということは、長周期長時間地震動を考えなくても、このような累積変形による耐力低下というのは、今後、考えるべきというお考えでしょうか。

○日鉄エンジニアリング（渡辺） 日鉄エンジの渡辺です。聞こえますでしょうか。

○菊地教授 はい、聞こえます。

○日鉄エンジニアリング（渡辺） 先ほどの御質問に対して、非常に設計的な要素が強くて、非常に答えにくいところがありますが、今、この図でいきますと、ダンパー5種類によって低下のスピードが違います。御指摘された地震動がどこまでの領域に行くのかということだと思います。

したがって、地震動が長く続いて、もうこの領域まで行くような地震動であれば、当然配慮したほうがよいと思いますし、この入り口の、この辺りのところで地震がもうすぐに終わってしまうようなものでしたら、そんなに応答に与える影響は大きくないと思いますので、どこまで低下の領域を下がっていくところまで地震動が、累積の変形量がどこまであるのかということに尽きるのかなというふうに思います。

○菊地教授 徐々に下がっていくというような現象ですけども、通常、設計なり解析をするというときに、こういったことを、徐々に下がっていくことを表現するのは難しいと思うんですね。

最初から0.8倍した Q_y をもって評価するとかということが結果的には安全側になろうと思うんですけども、そういう評価でもよろしいでしょうかね。

○日鉄エンジニアリング（渡辺） そうですね。プログラムが複雑になってしまうので、最初から0.8に低減した解析モデルでやるというのが安全側の判断になります。

ただ、それで結構、実際の実務、普通の一般的な建物のレベルですと、それで十分安全ですという確認ができてしまうので、そういった少しラフな検討をしているのか実態です。

ただし、もう少し精緻な解析を求めるのであれば、先ほど御指摘のように、時刻歴に応じてだんだん低下していくようなモデル、複雑なモデルも必要になってくるかと思います。

○菊地教授 ありがとうございます。以上です。

○日鉄エンジニアリング（渡辺） ありがとうございます。

○山中委員 そのほか、いかがですか。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

今の菊地先生の御質問に関連してなんですけれども、最後に、渡辺さんのほうからも詳細な解析をとってお話もありましたけれども、原子力発電所施設の場合には非常に入力地震動が大きかったりします。

そういった場合でも、今の御議論を聞いていると、きちんと評価することによって累積損傷の評価を使って設計が可能だというふうに理解してよろしいでしょうか。

○日鉄エンジニアリング（渡辺） その部分も今後、当社としては課題の一つとして捉えておりますので、できるだけ進めていきたいとは考えております。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

どうもありがとうございました。

○山中委員 そのほか、いかがですか。よろしいでしょうか。

それでは、引き続き議題の3に入りたいと思います。

議題の3では、事業者における取組状況として、事業者から東北地方太平洋沖地震時の発電所における免震構造建屋の状況並びに免震構造に対する今後の見通し、加えまして、原子力エネルギー協議会（ATENA）から免震構造に対する取組状況として現在策定中のSA施設を対象とした免震構造に関わるガイドラインの概要を説明いただきます。

まず、事業者から二つの資料、資料3-1、3-2を御説明いただき、簡単に質疑を行いたいと思います。その後にATENAから資料3-3の御説明を頂きたいと思います。

それでは、資料3-1、3-2につきまして事業者の皆さんから説明をお願いいたします。よろしく願いいたします。

○東北電力（福士） 東北電力の福士です。

資料3-1、東日本大震災を経験した免震建屋の状況について御説明いたします。

ページをめくっていただきまして、2ページを御覧になっていただきたいと思います。

こちらは、弊社東北電力の女川原子力発電所に設置しております事務新館と呼んでいる建物の概要でございます。地上8階建ての鉄骨造でございます。

3ページを御覧になっていただきたいと思います。

こちらは、1.ですけれども、地震当時の被災状況ということで、この建物は3.11地震当時は建設中でした。ただ、躯体工事は終了して、内装仕上げ工事を行っている状態ということで、ほぼ建物としては完成形だったというふうに考えております。

地震後の目視点検によりまして、上部構造および下部構造に異常がないことを確認してございます。

また、免震装置にも異常は見られなかったということで、特に免震装置の交換等ということは行ってございません。

2.ですけれども、設計と観測値の比較ということで、まず、設計についてですけれども、設計では既往の強震記録3波、それから告示の3波、それからサイト波と7波を用いて設計をしてございます。さらにレベル2地震動の1.5倍の地震動で余裕度の確認を行っている。

このうち、告示波につきましては、レベル2ですけれども、建物の一次固有周期（4秒）付近ですけれども、その水平方向の応答速度は80cm/sという程度でございます。

地震当時、残念ながら地震計の運用前でございまして、地震観測記録は得られてございません。

ただ、建物一次固有周期（4秒）付近ですと、この建物への入力というのは自由地盤と同等というふうに考えられます。3.11地震の自由地盤の地震動は、一次固有周期付近で設計に対して4分の1程度ということでございますので、ほぼ同様のレベルの地震動が入力したというふうに推察してございます。

それから変位でございます。こちらについては、けがき計の変位ですけれども、こちらでも設置前ということで、最大変位は残念ながら不明でございます。ただ、すべり支承に痕跡が残っておりまして、約5cm程度、ほこりが取れた状況だったということで、そういうことから推察しますと、レベル感として、この程度の変位があったんだろうというふうに推察してございます。

それから、設計としての配慮でございますけれども、免震装置の限界変位70cmでございしますが、これを超えた場合の影響ということを考慮しまして、建物外周のクリアランスを70cmプラス20cmで、90cmということで多めに取っているという配慮をしてございます。

3.の得られた知見でございすけれども、地震計設置以降に、自由地盤の解放基盤表面のはざとり波と、それからこの建物の下部構造で得られた地震観測記録の比較を行っております。その結果、両者の伝達関数は概ね1程度であるということで、同じような地震動特

性だということを確認しておるという状況でございます。

東北電力からは以上でございます。

○東京電力ホールディングス（敦賀）　続きまして、東京電力、敦賀より4ページ以降を御説明いたします。

4ページを御覧ください。

弊社、東京電力の福島第一原子力発電所、こちらは免震重要棟でございます。用途は緊急時対策室ということで、こちらは東北地方太平洋沖地震の前年、2010年6月に竣工しているというものでございまして、地上2階建てのSRC造（一部鉄骨造）ということで、記載の諸元となっております。

5ページに参りまして、被災状況でございますけれども、こちらは建物の設置されている地盤のレベルが標高30mを超える高台にあるということで、地震や津波による被害は見受けられなかったということでございます。

地震後に目視点検を実施し、建物が健全であるということを確認してございます。また、免震装置およびダンパーにも有意な異常は認められておりません。

現在は、廃炉に関わる設備の監視や制御、管理機能を持った建物として運用してございます。

その次ですけれども、設計と観測値の比較ということでございますが、設計では告示3波の1.5倍、それから、福島第一の基準地震動 S_s の1のものでございますけれども、こちらに基づく地震動を採用してございます。

東北地方太平洋沖地震における観測値でございますけれども、基礎の上端で最大756Gal、建物の1階で213Galということで、免震効果は十分に発揮しております。

得られた知見でございますけれども、免震建物にしたことにより、建物内に収容されていた什器、機器等の転倒がなかったことから、震災後の復旧活動の拠点として活用されてございます。

その下ですが、設計時に想定した免震効果による大幅な応答低減を確認しているということでございます。

6ページに参りまして、続きまして福島第二原子力発電所の免震重要棟でございます。

こちら震災の1年前、2010年3月に竣工したものでございまして、こちらは地上3階建て、鉄筋コンクリート造で一部SRC、鉄骨造ということでございます。

7ページに参りまして、被災状況でございますけれども、福島第二原子力発電所の免震

重要棟につきましては、津波により建屋の1階部分が浸水してございまして、エレベータと一部電気系統の設備が被害を受けておりますが、その後、復旧してございます。

こちら地震後に目視点検を実施し、建物が健全であると判断してございます。また、免震層に入った海水を排出後の目視点検の結果、免震装置及びダンパーにも有意な異常は認められておりません。

設計と観測値の比較、設計に関しては、先ほど申し上げました福島第一の免震重要棟と同じような考え方で設計をしてございます。

東北地方太平洋沖地震の観測値でございますけれども、こちら福島第二では、基礎上端で411Gal、建物1階で184Galということで、やはり免震効果を発揮しているということが確認できます。

得られた知見ですけれども、こちらは、福島第二においても建物内に収容されていた機器、什器等の転倒がないことから、緊急時作業に活用してございます。

福島第二までの東京電力の説明は以上になります。

○日本原子力発電（小川） 日本原子力発電の小川です。

それでは、8ページ目から東海第二発電所の緊急時対策室建屋について説明させていただきます。

竣工は2011年3月末ということで、建物、免震装置の諸元としまして、地上3階のRC造建物、免震装置につきましては、鉛プラグ入りの積層ゴム、すべり支承、オイルダンパーを用いています。

外観につきましては、写真のとおり、事務本館の隣に免震建屋を設置してございます。建物規模については記載のとおりでございます。

次、めぐりまして、9ページ目。

被災状況ですが、まず、2011年3月末に竣工を控えた状況でありまして、本震発生時には、免震建屋は未使用で、什器とか通信機器等の未設置という状態でありました。

そして、本震の発生時におきましては、所員は事務本館で執務していましたが、本震の発生後に免震棟に一時避難して、地震後の対策等を行っております。

また、この際に複数回の余震を経験したんですけれども、強い揺れを感じたんですけれども、地震後の対応等を行うことができました。

次に、地震後の点検の結果ですけれども、建物の周辺の外構の仕上げ、その一部に不具合が確認されましたけれども、免震装置とか構造体に異常はなく、補修とか交換といった

対応は不要でございました。

最後に、3.11後の免震装置の点検、また維持管理につきましては、免震協会の維持管理基準に基づいて実施してございます。

最後、10ページ目ですけれども、設計と観測値の比較としまして、設計では、レベル1、2の告示波3波と、観測波3波を用いてございます。さらに、レベル2の1.5倍の地震動と基準地震動で余裕度を確認してございます。

観測値につきましては、免震建屋の地下ピット部に、けがき式の変位計を設置してございまして、そのときの最大変位としましては約80mmで、許容限界の700mmに収まってございました。

得られた知見としましては、免震装置、構造体に異常が認められなかったことから、免震効果があったものと考えてございます。

以上です。

○九州電力（赤司） 続きまして、資料3-2を御覧ください。

ATENA耐震ワーキングの主査を務めております、九州電力の赤司でございます。

資料3-2の2ページを御覧ください。

こちらのほうで免震建屋の今後の活用について簡単に御説明させていただきます。

今、各社から資料3-1で御説明させていただきましたとおり、東北地方太平洋沖地震で免震建屋の地震時、あるいは地震後の対応における有効性というものが示されたというふうに我々は考えております。

本検討チームでも御議論、御意見があるところではございますけれども、免震構造というものは、既往の耐震構造に対しまして、振動特性の相違によりまして同時損傷に至る可能性を低減できるという効果がありまして、大地震に対するバックアップ設備として多様性を持たせることができる、それによって安全性向上が期待できるというふうに考えております。

今後、基準地震動でございましたり、許容限界等の要求事項が明確化されまして、特に代替施設等の安全対策に関します総合的な設計の考え方、これが明確化されることによりまして、事業者としての選択肢の幅も広がり、免震構造の採用が拡大していくというふうに考えておりまして、事業者として審査対応の実績、その設計の経験を積み上げていくことによりまして、より多くの免震構造の採用を進めていきたいというふうに考えているところでございます。

二つ目のポチ、免震建屋の計画といたしまして、中部電力さん、浜岡原子力発電所の緊急時ガスタービン発電機、これはSA設備でございますけれども、建屋を簡単に御紹介しておりますけれども、これは福島第一事故を踏まえて設置済みのものでございまして、S造の比較的軽量の建物でございます。免震装置はここに挙げてありますとおりの仕様でございまして、一般の建物より、原子力発電所での設計でございますので、大入力の地震動まで対応するという設計を行っている、そういう設計経験及び既に実機が設置済みですので、試験データを踏まえた評価もできますので、この建物の事例は、原子力発電所の今後の免震建物の採用に大いに資するものというふうに考えているところでございます。

御説明は以上でございます。

○山中委員 それでは、ここまでで質問、コメントを頂きたいと思っておりますけれども、いかがでしょうか。

どうぞ。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

私のほうからは福島第一原子力発電所の免震重要棟の地震経験と設計及び健全性評価に関しまして、質問を3点させていただきたいと思っております。該当する資料は資料3-1の4ページ、5ページです。資料の該当ページをお開きください。

三つ質問を一遍にさせていただきます。

まず、一つ目です。

基礎上端の地震計の最大加速度値につきましては2006年の耐震指針に適合する基準地震動 S_s に相当する地震動レベルと理解しておりますけれども、それでよろしいですかということ。

それから、2点目です。

地震観測シミュレーションを実施していて、これは論文等をいろいろ発表されているので、そのように認識しているんですけども、建屋、免震装置及び減衰装置の地震時挙動を確認していると思っております。免震装置及び減衰装置について、外観点検と併せて自主的に健全性評価を実施しているというふうに理解しているんですけども、そのような理解でよろしいかということが2点目。

それから、3点目です。

2006年耐震指針に適合する基準地震動 S_s に対して設計されているということですが、この設計は水平1方向のみの設計なのか、それとも水平1方向及び鉛直方向を組み合わせ

せた設計をしているのか。それから、設計後の、地震後でも構いませんけれども、水平2方向の検証をしているかどうか、こういった点について教えていただきたいと思います。

いかがでしょうか。

○東京電力ホールディングス（敦賀） 東京電力、敦賀です。

お答えいたします。

まず、1点目の御質問でございますけれども、5ページ中段に記載の加速度の値のことかと思いますが、こちらは、実際に3.11の観測値となっておりますが、この数字のことでよろしいでしょうか。

○名倉安全管理調査官 はい。恐らく、基準地震動 S_s 、この当時のものについては解放基盤表面で600Galくらいだったと思うんですけれども、例えば、設計上、基礎下端とか、そういったところで何Galくらいなのか、それとこの750Galというのがほぼ相当する数値なのかということをお教えいただきたいと思います。

○東京電力ホールディングス（敦賀） こちらの設計で用いている基準地震動は当時の S_s の1ということで、最大加速度450Galの波でございます、そちらを入れたときの基礎下での応答が310Galということで、それよりは大きいものとなっているということでございます。

2点目でございますけれども、シミュレーションの話でしたか。福島第一、第二の観測記録を用いたシミュレーションは自主的に行っておりまして、福島第一については日本地震工学会のほうに論文投稿していただいておりますけれども、そちらで設計の妥当性ですとか免震の効果を確認するとともに、建物が健全であるということをおシミュレーションで確認しているという状況でございます。

あと、基準地震動の入力ということですが、こちらは水平1方向のみの入力となっております。

回答は以上になります。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

最初の質問に対しての答えとして、450Gal解放基盤表面入力で三百数十Galが基礎底という話をされていたんですけれども、既往の文献等を見ますと、基準地震動に基づく地震動、基準地震動 S_s に基づく地震動を採用したときの建物底面で最大加速度780Galというふうに記載されている論文もあるので、もしかしたら、600Galの検討もされていたのかなというふうには思っています。

ただ、いずれにしても、基準動 S_s 相当か、それ以上の地震動を経験しているということで理解しました。

あと、いろいろとシミュレーション解析を実施した上で、免震装置とか、それから減衰装置の応答の応答値を確認して、当然、地震後の外観点検と併せて健全性評価に相当する評価も自主的に実施しているということで理解しました。

あと、 S_s に対しての設計としては1方向ということで理解しました、

これらのことを総合して、所感ですけれども、福島第一原子力発電所の免震重要棟については、これは規制基準のもともとの策定の中で免震構造ということと言及することの直接のきっかけになった非常に重要な施設、案件でありまして、そういったことも踏まえて、今回確認したことも考慮しますと、基準地震動 S_s で設計がなされていて、それに相当するか、それ以上の地震動を経験し、その後、維持管理が自主的に実施されていて、現在も廃炉等に係る対応拠点として継続して使用できているということが事実として把握できたというふうに考えております。

私からは以上です。

○山中委員 そのほか、質問、コメント、ございますか。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁、山崎です。

私からも資料3-1につきまして三つほど質問のほうをさせていただきます。

具体的なページというよりも、全体にわたって今回説明いただきました中で、地震経験によって得られた知見ということで幾つか紹介いただいていた。それはどれも成功したということで、よい事例ということで理解していますが、一方で、もしあればなんです、何か設計上とか、維持管理上というところで、課題的なところが何か見られたかということが1点。

あと、地震後の点検というのも各社でやられているということですが、今回の東北地方太平洋沖地震では、本震後に長いこと余震が多発していましたので、実際どのようなタイミングでそういった点検等をやられていたのかということ。

最後に、先ほど来、議論させていただきました別置き試験体。こちらは現状、なかなか置いているところは少なそうなんですけれども、現在の事業者のほうでは、こういった別置き試験体というのを置いているサイトというものはあるでしょうかという3点についてお願いします。

○山中委員 どうぞ。

○東北電力（福士） 東北電力の福士でございます。

残念ながら、女川の事務新館は地震の記録が取れていないので、明確なことをお伝えできるかどうかというところがあるんですけども、まず、一つ目の御質問、維持管理上、それから設計上の課題はあるかということですが、資料にも記載しましたけれども、目視点検によりまして3.11地震当時は特に異常はなかったということございまして、通常の免震協会さんのガイドにのっとりた点検、それから、通常的设计で特段、今のところ不都合は感じていないというところでございます。

それから、二つ目の質問の点検のタイミングですけれども、こちらは、実はまだ竣工前ということで、施工者さんの点検、持ち物でございました。竣工する間際の点検ということで、6月くらいだったと記憶していますけれども、そのくらいのタイミングで点検をしてございます。

それから、三つ目ですけれども、別置き試験体の点でございましてけれども、こちらについても、特にサイト内に試験体を置いているということではなくて、メーカーさんの工場内の共通試験体というものを利用させていただくということで考えております。

以上でございます。

○東京電力ホールディングス（敦賀） 東京電力、敦賀ですけれども、回答いたします。

維持管理に関する課題ということでいいますと、私どもも免震建物維持管理基準を参考に設定したマニュアルに基づいて点検をしておりますが、特段今のところ不具合はないと、課題はないかなと考えております。

点検の時期になりますけれども、弊社の場合は、あのような事故を起こしてしまっている状況でございまして、その対応に追われていた状況、それから福島第二におきましては、免震層が津波で浸水しているという状況もございましたので、点検の時期については、大分後の点検になっているというような状況でございます。

また、別置きの試験体については設置してございまして、東北電力さんと同じような考えでございます。

○日本原子力発電（小川） 日本原子力発電の小川です。

設計上、あと維持管理上、何か課題があるかといいますと、特にございません。

ただ、点検のタイミングなんですけれども、東北電力さんと同じで、竣工前の建物でございまして、施工者のほうで点検していただいて、その後、また自主的に点検をしていると。その後、毎年点検をするんですけども、その際に免震ゴム支承の水平変位とか、鉛直

変位、ばね定数、減衰定数とか、点検項目にあるんですけども、特に別置きの試験体は設置してございません。メーカー提示の特性試験を用いまして点検を行っているという形になります。

以上です。

○山中委員 どうぞ。

○東北電力（福士） 東北電力でございます。

すみません。一つ間違えてございました。

先ほど、点検のタイミングを6月くらいというふうにお伝えしておりましたが、誤りでございます。正確には4月上旬に実施してございます。

以上でございます。

○山中委員 そのほか、ございますか。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁、山崎です。

ありがとうございました。今回の東北地方太平洋沖地震では、各社で免震構造の機能をうまく発揮して特段問題はなかったことで認識しました。点検等につきましても、通常の試験の範囲で対応できたということで理解しました。

あと、併せて資料3-2につきまして、1点だけ質問させていただければと思います。

資料3-2の「代替施設等の安全対策に係る総合的な設計の考え方が明確化されることによって、事業者として選択肢の幅が広がり」ということで、これは、こちら側の今まさに作っている検討の成果の明確化ということなんです。一方、事業者のほうでも、ある程度選択肢の幅というところでイメージをされているのかなと思うんですが、その具体的なイメージ、どういったものを描いているか、また、そのような選択というものを今後取る可能性とか見込み、そういったところが、もし、今、現時点でイメージされているようでしたら教えていただければと思います。

○九州電力（赤司） 九州電力の赤司でございます。

今の御質問に対しまして、まず、具体的なところとしての案件というのは、現状、明確に見えているものはないという状況ではございますけども、資料にも書かせていただきましたとおり、免震の特徴といたしまして耐震と振動特性が違う。ということは、同時損傷に至るような可能性が非常に低いと。要はどちらかが十分活用できるというような、プラント全体を大きなシステムとして考えたときの有効性というものが非常にあるというふうにご覧いただいておりますので、ATENAでの議論でもSA設備、SA施設というものを対象に活用を図

ろうということで議論を行ったりしているところがございます、そういう意味での代替施設ということで選択肢の幅が広がるというふうに考えているということでございます。

今後、その辺の考え方が明確化される中で、事業者といたしましても、設計、あるいは審査の経験を積み上げていって、まさに具体的な免震の採用の拡大を図っていききたいというふうに考えているところがございます。

以上でございます。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁、山崎です。

ありがとうございました。

また、こちらとしてもなるべくそういった事業者のほうで今後広がりを持てるようなことを検討していきたいと思えます。

以上です。

○山中委員 そのほか何かございますでしょうか。

○久田教授 工学院大学、久田ですけれども、よろしいでしょうか。

○山中委員 どうぞ。

○久田教授 今の議論とも関係するんですけれども、資料3-1で、東北で建物に関しては想定している以上のものが来た可能性はあると思うんですけれども、長周期に関して想定していた、例えば告示の1.5倍ですとか、 S_s に関して、免震の固有周期当たりで実際の入力と比べてどうだったかというのが、もし分かりましたら教えてください。

それぞれ直接観測されていたのは自由地盤しかなかったのもあると思うんですけれども、どの程度のレベル、想定以下、設計以下で対応できたのか、その辺が分かったら教えてください。

○東北電力（福士） 東北電力の福士でございます。

資料3-1の3ページ、女川の例ですけれども、記載してございまして、これは推定にはなりませんけれども、レベル2の地震動、水平、一次固有周期で80cm/s程度に対しまして、恐らく入力はその4分の1程度であったというふうに考えております。

○久田教授 ありがとうございます。

ほかの原発はどうだったのか、大体そんな感じかなという気はするんですけど。

○山中委員 東京電力さん、いかがですか。

○東京電力ホールディングス（敦賀） 東京電力、敦賀です。

福島第一の免震重要棟の周期、3秒強になりますけれども、その周期帯でのスペクトル

のレベルからすると、設計と同程度か、やや下回るか、それくらいのレベルであったというような記録になっています。

○久田教授 そうすると、結構変位応答も出たんですね。そんな変位が出たんですか。

○東京電力ホールディングス（敦賀） 変位につきましては、免震層の相対変位で20cmくらい出ております。以上です。

○日本原子力発電（小川） 日本原子力発電の小川です。

東海第二発電所につきましては、90カインで設計してございます。

以上です。

○久田教授 ありがとうございます。8cmくらいで、恐らくかなり想定しているよりは小さかったと。ありがとうございました。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、かなり時間が押しておりまして、残り一つ、資料を御説明いただかないといけないんですが、簡潔に御説明いただけますでしょうか。

資料3-3につきましてATENAから説明をお願いいたします。

○ATENA（富岡） ATENA、富岡です。

本日は御説明の機会を頂きましてありがとうございます。ATENAでは2018年9月から事業者のニーズを踏まえまして、SA設備を収納した建屋免震の技術基準適合性評価手法の策定というテーマの下、本日あります重大事故等対処施設免震構造設計ガイドラインの策定を検討してまいっております。中身が技術的内容がほぼ固まりましたので、本日、ガイドラインの概要について御説明させていただきたいと思っております。

では、白井のほうから説明します。

○ATENA（白井） ATENAの白井でございます。

資料3-3で説明させていただきます。

1ページ目は表題でございますので、2ページ目を開いてください。2ページで検討に至った背景と現在までの検討経緯について簡単に説明させていただきます。

まず、1.に記載しましたのは検討に至った背景でございますけれども、一つ目の丸は免震を採用することのメリットを示してございまして、上部構造物への荷重の低減効果は設備にとってよいばかりでなく、福島事故でも実証されたとおり、居住性の継続的な維持が挙げられております。

また、二つ目、三つ目の丸でございますけれども、SA設備は汎用品を使うことも多くて、

免震による荷重の低減によって採用できる設備の選択肢を増やす効果も見込まれております。したがって、まずは今後採用が見込まれるSA施設の免震から検討を始めることといたしました。

次に、2.、3. ですが、過去の検討経緯を記載してございます。2年間かけて検討を行ってきましたけれども、今年6月にガイドの最終案がまとまりまして、免震構造協会の外部レビュー、内部レビューを経て、なお内部レビューというのはATENA内の内部レビューでございますけれども、ほぼその修正も終わってございまして、完成してございます。現在、発刊のための最終チェックを行っているところでございまして、9月頃に発刊できるのではないかと考えてございます。

3ページ目を御覧ください。

3ページはNRAのガイドとATENAガイドの目次の比較を示したものでございます。主な違いは表のNRAガイドの最後に括弧書きで記載させていただいたとおり、品質管理、維持管理に対する留意点につきましてはJEAGに記載されておりますので、ATENAガイドは設計に主眼を置くこととし、対象外としております。

次のページをお願いいたします。

4ページ以降でATENAガイドの特徴を少し詳細に紹介してございます。

4ページは、特に、二つ目と三つ目の丸でございましてけれども、免震構造のSA施設は耐震構造DB施設と異なる振動特性を有しているということから、耐震構造にとって厳しい短周期成分が卓越した地震動に対して同時損傷に至る可能性が低減できますので、いわゆる多様性が見込めるということで、安全性向上が図られると考えてございます。

次のページをお願いいたします。

5ページにATENAガイドの特徴をまとめてございます。

まず、表の上を書いてありますとおり、本ガイドラインは、建屋及び免震装置への要求性能を明確にしまして、それを具体化する「仕様規定」とすることを目指してございます。

また、このガイドに従った試設計も実施いたしまして、NRA審査ガイドにも記載されている免震層のねじれやロッキング挙動の影響評価も行っております。

このガイドの特徴については、表に一覧表として要点をまとめてございますが、次ページ以降、それぞれについて概要を説明させていただきます。

6ページを御覧ください。

6ページは、地震動についてでございます。

一つ目と二つ目の矢羽根はNRAの審査ガイドに示されたとおりでございますので、省略させていただきますが、1点だけ、NRA審査ガイドのいわゆる書かれてございます一般建築物の地震動を下回らないこととの要求に対しましては、水平方向の基準地震動 S_s の応答スペクトルが、平成12年の建築告知1461号による「告示波」のうち極めて稀に発生する地震動の1.5倍は確実に下回らない地震動で設計することとしております。

また、三つ目の矢羽根でございますけれども、3次元挙動することが前提となりますので、ATENAガイドでは地震動を3次元入力することを主に考えております。

このとき、断層モデル波では既にもう地震動としては3次元で定義されておりますが、応答スペクトルから求める地震動の場合、3次元入力するためには3方向の位相の相関が問題となります。これについては、既に3次元入力での応答解析を取り入れている米国の基準を参考とさせていただきました。ただ、この相関係数の根拠になっている評価については、日本の観測記録でもその妥当性を確認しております。

7ページをお願いいたします。7ページには応答解析モデルについて記載してございます。

前ページでも述べましたとおり、3次元応答解析を基本としておりますので、建屋構造の複雑さや、評価の詳細さの必要性に応じて、ここに示しました三つの応答解析手法について規定してございます。

また、免震装置の復元力特性についても、国土交通大臣認定品を使用することを前提といたしまして、特性の決め方等について詳細に規定してございます。さらに設計の簡便化のために免震層の集約化の条件等についても規定してございます。

次のページをお願いいたします。

8ページは、鉛プラグ入積層ゴムの特性のばらつきや、特性変動の考慮の方法を例として示してございます。

鉛入免震ゴムは、剛性が硬くなるほど応答加速度が大きくなり、上部構造物にとって厳しくなりますけれども、柔らかくなるほど応答変位が大きくなりますので、免震層にとっては厳しい条件となります。

したがって、ATENAガイドでは、このスライドの左の表と右の図に記載したとおり、各ばらつきや変動項目について具体的に左の図に記載してありますように示すとともに、各変動項目の最大値を全て加えた特性と下限値を全て加えた特性と、そして標準値、この三つの条件の解析を行いまして、各構造物の影響に応じた評価を行うこととしております。

次、9ページをお願いいたします。

9ページは、オイルダンパーの特性の例を示してございますが、これも同じ考えでございますので、省略させていただきます。

10ページを見てください。10ページはあるメーカーの特性値の例について記載してございますけれども、ATENAで示しました組み合わせの考え方でいきますと、それぞれプラス側、マイナス側、安全側に考慮いたしますので、おおよそ±30%程度の変動を考慮することになり、非常に厳しい設計となることが分かります。

次のページをお願いいたします。

今まで説明してきました8～10ページにつきましては、各免震装置単体の特性変動への対処方法を説明してきましたけれども、免震装置はそれぞれの組み合わせで構成されますので、組み合わせた場合の特性の考慮方法についても記載してございます。

特にオイルダンパーの減衰定数はその他の装置が変位依存であるのに対しまして、速度依存と位相が異なることから、必要に応じて減衰の最大値、最小をたすき掛けで組み合わせることも評価することとしてございます。

次のページをお願いいたします。

12ページには免震装置の許容限界についてまとめてございます。記載のとおりでございますので、時間の関係で省略させていただきます。

13ページは建物・構築物の許容限界を記載してございます。

NRAの審査ガイドにも留意点が記載されてございますけれども、免震構造は比較的長い周期で振動するため、地震荷重が準静的に作用することを考慮いたしまして、建屋は降伏耐力に対して余裕を持たせた短期許容応力度を許容値としております。

注書きに記載しておりますけれども、※1でございますけれども、短期許容応力度を多少超えても降伏耐力に対しては十分余裕があることもございますので、短期許容応力度を多少解析等により降伏耐力に対して妥当な安全余裕を有していることを確認することができれば、それは個別の審査の中で確認して、よければよいとすることも考えてございます。

これは上部基礎版についても同様で、多少短期許容度を超えたとしても、間接支持構造物としての機能が妥当な余裕を持って示されれば、よいものとしております。

この辺りは個別の審査で確認されるものと考えてございます。

次のページをお願いいたします。

14ページは機器・配管系の設計について記載しております。

機器・配管系は免震構造の上部基礎版の応力入力として設計いたしますけれども、これは

入力の質は変わるものの、耐震構造と設計方法が変わるわけではございませんので、JEAC4601によることとしております。これは原則でございます。

ただし、免震構造固有の問題として、渡り配管の設計がございますので、基準地震動 S_s 作用時の最大相対変位が試験で確認された許容変位内、これはそれぞれの渡り配管の設計でございますけれども、その試験で確認された許容変位内に収まることとしてございます。

また、この許容変位は試験により求められますので、その方法も規定してございます。この表に書いたとおりでございます。伸縮継手は塑性変形により変位を吸収しますので、日本機械学会、これはJSMEでございますけれども、その設計・建設規格に従って疲労評価を行うこととしておりまして、これも満足することとしております。

次の15ページは渡り配管の例を記載しておりますけれども、説明は省略させていただきます。

16ページをお願いします。

16ページ～21ページまでは、試設計の結果を示してございます。解析条件等も示してございますけれども、最も重要な、ねじれとロッキングの影響について説明させていただきたいと思っております。

18ページをお願いいたします。

18ページは、ねじれの影響を評価しております。左の図が上部基礎版の平面図でございますけれども、極端な例として、赤色にハッチングしている部分に重量が集中した場合を仮定いたしまして、4隅と中央の応答を評価した結果が右のグラフでございますけれども、影響はあるものの小さいことが分かります。

次に21ページをお願いいたします。

21ページは、左の図に示す上部基礎版の平面図の4隅と中央のロッキングの影響を評価してございます。右の図がそれぞれ評価点の応答比較ですが、ほとんど変わらないことが分かりました。

応答解析のまとめとして22ページに示してございますけれども、ねじれのロッキングも影響は小さく、必ずしも比較しなくてはならないといほどではございませんが、応答解析モデルは3次元解析できるものとしてございますので、必要に応じて評価できるような形にしてございます。

最後に23ページを御覧ください。

23ページはまとめでございます。

まず、二つ目の丸でございますけれども、このガイドができた暁には、会員全員に、このガイドについてコミットメントを得て、安全対策として、このような構造を採用する場合にはこの設計ガイドラインを使っていただくということをコミットいただくと考えてございます。

一番重要なのは四つ目の丸でございます。これを規制委員会に要望したいと考えてございます。SA施設の免震設計に関しまして、ATENAガイドラインは具体的な仕様を規定したものでございますので、同ガイドラインの技術的内容につきまして確認いただきまして、コメントを頂き反映することによって充実できれば、実際の設計に役立つと考えておりますので、できれば、そのような形でよろしくお願ひしたいと思います。

以上で説明は終了させていただきます。

ちょっと走りましたが、よろしくお願ひいたします。

○山中委員 それでは質問、コメント、ございますか。いかがですか。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

先ほどの資料の最後に一番重要なところということで、規制庁に御確認いただきたいという意見がございましたが、この検討チーム会合では目的が違いますので、この場でのコメントは差し控えさせていただきたいと思っておりますけど、個別の案件につきましては、実際の審査の段階で、やっぱり個別に見ていくのではないかというふうに考えてございます。

あと、資料の3ページですが、こちらで作成しました審査ガイドのドラフトと、あとATENAのガイドラインの案の目次の比較がございますが、基本的に過不足がないというのか、維持管理のところは別のJEAGで記載されているということですので、基本的には同様の考え方に基づいているものというふうに認識してございます。

今回、事業者、あとATENAということで、資料3-1～3-3で御説明いただきましたけど、検討チーム会合でのこれまでの議論の内容ですとか、あと、先ほどの審査ガイドのドラフトの考え方ですが、そういったところに対しまして、もし意見や要望等がございましたら、この場でお伝え願ひたいと思っておりますが、いかがでしょうか。

○山中委員 いかがでしょうか。

○ATENA（白井） ATENAの白井でございます。

先ほどのまとめのところの四つ目の丸については、よく理解してございますけれども、一応、我々としましては、NRAさんが審査ガイドを作られる、これは要求性能をまとめられたものであると認識しておりますし、それに対しまして、我々はNRAのガイドを作っ

いるという以前から、我々として設計することを前提として、こういったガイドを作ってきております。さらに、中身というのが、いわゆる実際に設計をするものとして仕様規定として作ってございますので、できれば、中身を読んでいただいて、チームの中には先生方もおられますので、内容について確認していただいて、いろいろと指導いただければ幸いだなと思って、この四つ目の丸を書いてございます。

NRAさんの御趣旨はよく理解しております。

要望としては以上でございますけども。

○山中委員 いかがですか。特に何かお答えする必要はないでしょうか。よろしいですか。

○大村審議官 審議官の大村です。

今の御要望のところについて、こういう御要望があるということは理解をいたしますが、ただ、今の検討チームの中でやろうという話だと、それは、今のはスコープ外になりますので、それは、もし何かやるんだったら、別途の機会を設けるしかないというふうには思います。

確認するという行為をどういうふうにかえるのかということも含めて、もう少し具体的にどうするかということを御提案なり検討していただく必要があるのかなと思います。

こういう仕様規定、こういうものの規格類、こういうものの確認というのは、我々は、年に計画を立ててエンドースをするという仕組みはもちろんあるんですけども、それは学協会のを今現在対象にしておりますので、このATENAのガイドというものをどういうふうに関後扱っていくのかということは、もう少し慎重な検討が必要であろうというふうに思っています。

今回の検討チームの中で、これについて審議をして何かというのは、恐らく難しいのではないかとこのふうには思います。

以上です。

○ATENA（白井） 了解いたしました。

確かに、民間規格のエンドースといいますか、技術評価というのは電事連から個別に要望を出しまして、今年度ももう決まっておりますし、来年度ももうほぼ決まっている状況でございますので、それとは別にこれをエンドースしてくれというつもりは、現在ございません。

以上でございます。

○山中委員 そのほか何かございますか。よろしいでしょうか。

それでは、議題三つ全て議論が終わったということで、本日の議事については終了したいと思います。

最後に、規制庁から事務連絡がありますので、よろしくお願いします。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

本日は長時間にわたり御議論いただきまして、ありがとうございました。

これまで3回行ってきまして、次回の第4回でまとめをさせていただきたいと思っておりますが、冒頭にありました各先生方からの御意見いただきましたフェールセーフにつきましても、こちらで整理させていただいて、全体の中で討議といいますか、意見交換、議論させていただきたいと思っておりますので、よろしくお願いします。

次回会合につきましては、別途改めて御案内させていただきたいと思っております。

以上です。

○山中委員 それでは、これで建物・構築物の免震構造に関する検討チームの第3回会合を閉会いたします。

どうもありがとうございました。