

# 建物・構築物の免震構造に関する検討チーム

## 第1回会合

令和2年2月5日（水）

## 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1回会合

### 議事録

#### 1. 日時

令和2年2月5日（水） 15:00～17:00

#### 2. 場所

原子力規制委員会 13階D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

##### 原子力規制庁

大村 哲臣 審議官（技術基盤グループ長）

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

小林 恒一 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) 「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」について  
(免震構造の規制に係る経緯等)
- (2) 「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」の目的、主な検討事項等について
- (3) その他

#### 5. 配付資料

- 資料1 「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」について
- 資料2 「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」の目的・主な検討事項等について
- 資料3 建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド（ドラフト）に対する検討事項の整理
- 付録 建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド（ドラフト）に対する検討事項の整理に係る補足資料
  
- 机上配付資料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>
- 机上配付資料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>
- 机上配付資料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>
- 机上配付資料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1回会合を開催いたします。

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ございます。よろしくお願いたします。

なお、検討チームの会合ですが、免震構造に対する基準地震動についても議論する予定

でございますので、地震動を担当し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していただきます。

本検討チームは、昨年12月4日の原子力規制委員会で設置された検討チームであり、外部の専門家、原子力規制委員会及び原子力規制庁の担当者から構成されております。本日は初めてお集まりいただきましたので、最初に、検討チームのメンバーの紹介を規制庁からお願いいたしたいと思っております。

○川内安全技術管理官 原子力規制庁の川内です。本日はよろしくお願いたします。

まず、お手元の名簿、出席者名簿に基づきまして、検討チームのメンバーを紹介させていただきます。

まず、外部専門家ですが、奥側の山中委員に近いほうから、北海道大学大学院の菊地先生でございます。

○菊地教授 北海道大学の菊地でございます。

○川内安全技術管理官 続きまして、お隣が工学院大学の久田先生でございます。

○久田教授 工学院大学の久田です。よろしくお願いたします。

○川内安全技術管理官 続きまして、東京電機大学の古屋先生でございます。

○古屋教授 東京電機大学の古屋でございます。よろしくお願いたします。

○川内安全技術管理官 続きまして、原子力規制委員会からですが、先ほど紹介がありましたが、山中委員、正面奥が山中委員でございます。

○山中委員 山中でございます。よろしくお願いたします。

○川内安全技術管理官 そのお隣が、同じく石渡委員でございます。

○石渡委員 石渡でございます。よろしくお願いたします。

○川内安全技術管理官 続きまして、原子力規制庁ですが、まず、私のお隣が審議官で技術基盤グループ長でございます、大村でございます。

○大村審議官 大村です。どうぞよろしくお願いたします。

○川内安全技術管理官 続きまして、私が技術基盤グループの川内です。よろしくお願いたします。

私の隣が、原子力規制部の大浅田です。

○大浅田安全規制管理官 大浅田です。

○川内安全技術管理官 続きまして、同じく名倉です。

○名倉安全管理調査官 名倉です。よろしくお願いたします。

- 川内安全技術管理官 続きまして、技術基盤グループの大橋です。
- 大橋首席技術研究調査官 大橋です。よろしくお願いいたします。
- 川内安全技術管理官 同じく、山崎です。
- 山崎統括技術研究調査官 山崎です。よろしくお願いいたします。
- 川内安全技術管理官 同じく、猿田です。
- 猿田主任技術研究調査官 猿田です。よろしくお願いいたします。
- 川内安全技術管理官 続きまして、原子力規制部の江寄です。
- 江寄企画調査官 江寄です。よろしくお願いいたします。
- 川内安全技術管理官 同じく、井上です。
- 井上主任安全審査官 井上です。よろしくお願いいたします。
- 川内安全技術管理官 同じく、三浦です。
- 三浦主任安全審査官 三浦です。よろしくお願いいたします。
- 川内安全技術管理官 後ろのほう、2列目になりますが、技術基盤グループの、奥から小林です。
- 小林主任技術研究調査官 小林です。
- 川内安全技術管理官 その隣が、同じく日高です。
- 日高主任技術研究調査官 日高です。よろしくお願いいたします。
- 川内安全技術管理官 検討チームメンバーの紹介につきましては以上でございます。
- 山中委員 それでは、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 原子力規制庁の川内です。

お手元の議事次第を御覧ください。議事次第の中ほどに配付資料の一覧が記載してございます。まず、資料1が、「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」について。資料2が、「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」の目的、主な検討事項等について。資料3が、建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド（ドラフト）に対する検討事項の整理。続きましては、付録がこの資料3の補足資料になってございます。

あと、お手元の紙ファイルにおきましては、関連する基準類の解釈についての抜粋をお配りしておりますので、必要に応じ、御参照いただければと思います。

なお、この机上配付資料につきましては、傍聴者には配付しておりませんが、ホームページに記載しておりますので、そちらからダウンロードしてくださるようお願いいたします。

す。

不足等ありましたら、こちらへ御連絡ください。

配付資料は以上でございます。

○山中委員 資料の不足、不備等ございましたら、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りますとおり、主に三つを予定しております。これらの議題は、それぞれ関連することが多ございますので、原子力規制庁側から、議題(1)から議題(3)について続けて説明した後に、議論の時間をいただければと思います。

まずは、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します。

○川内安全技術管理官 原子力規制庁の川内です。

資料1によりまして、「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」について、御説明いたします。

本資料は、昨年12月4日に規制委員会に諮ったものですので、日付は12月4日のままとさせていただきます。

まず、1.の趣旨でございますが、現行の実用発電用原子炉施設に関する基準、規則の解釈におきましては、免震構造の特性としまして、特に長周期を考慮した基準地震動の策定ですとか、緊急時対策所や特定重大事故等対処施設に対する免震構造の採用に関して言及されているものの、この免震構造を採用した場合の審査の考え方ですとか具体的な確認事項までは示されてございません。

この免震構造につきましては、一般構造におきまして設計、施工等の実績が豊富にあることから、発電用原子炉施設におきましても、新たに免震構造を採用する動きが見られてございます。このため、この免震構造を採用する発電用原子炉施設の建物・構築物につきまして、合理的かつ効率的に審査を実施するため、この現行の解釈のうち免震構造に係る規定の改正及び建物・構築物の免震構造に関する審査ガイドの策定の必要があると考えました。

このため、次の別紙1で経緯等について御説明いたしますが、原子力規制庁におきまして、この審査ガイドに係る検討を進めまして、別紙2に示しております審査ガイドのドラフトを作成いたしました。今後、この審査ガイドの完成に向けまして、公開の場で議論するため、本検討チームを設けまして所要の検討を行うことといたしました。

続きまして、下の通しの3ページを御覧ください。ここに別紙1としまして、原子力規制庁で作成しました審査ガイドのドラフトについて、経緯等を説明してございます。

まず、(1)のところですが、原子力発電所におけるこの免震構造につきましましては、2007年におきました新潟県中越沖地震、これを契機としまして、当時のJNESにおきまして、外部専門家を含めた検討会を設置しまして、免震構造の審査に資する規制の考え方の検討を開始いたしました。その後、ここに示しております平成25年の設置許可基準規則では、この基準地震動の策定等に関しまして、免震構造を適用する場合の留意点が記載されるなど規定の整備を進めてまいりました。こうした背景のもと、JNESにおきまして、平成25年に、免震構造の審査手引きの提案をレポートとしてまとめ上げました。

続きまして、この(2)に示しています、免震構造に係るこれまでの審査の概要について説明いたします。平成25年に、九州電力の川内1、2号炉におきまして、免震構造の緊急時対策所の設置変更許可に関する審査を行いました。当該施設の審査につきましましては、先ほど説明しました「免震構造の審査手引きの提案」を参考に進め、平成26年に設置変更許可を行いました。しかしながら、九州電力から、基準地震動 $S_s$ に対する設計の成立性に見通しを得ることができないとの理由から、耐震構造の建屋に申請変更がなされたという経緯がございます。このように、これまでの免震構造の建屋に係る申請事例につきましましては、工事計画認可申請に係る審査まで完了に至った事例はございませんが、事業者の中には、これまでの経験等を踏まえまして免震構造の施設を導入しようとする動きがあるという状況です。

次に、2.のところでは審査ガイドのドラフトの作成につきましまして、特に留意した点等について御説明いたします。一つ目につきましましては、ポツにありますように、JNESの「免震構造の審査手引きの提案」に基づきまして、審査における確認事項を明確化するとともに、審査を合理的かつ効率的に行えるように配慮いたしました。次のポツですが、免震構造の審査を効率的に行うため、「耐震設計に係る工認審査ガイド」の構成と整合し、かつ、この規定と対比できるように配慮をいたしました。

これにつきましましては、次の5ページに、審査ガイドのドラフトの表紙がございまして、次の6ページに目次を示してございます。

ここで、本ガイドの構成を簡単に説明いたします。1の総則で、適用範囲ですとか留意事項。2.の基本事項のところでは基本方針、重要度分類、あと、基準地震動について説明しています。3.で免震構造の設計に係る事項としまして、許容限界、地震応答解析。3.5の

免震構造物の設計というふうなところを説明していますが、この3.5までは、耐震のガイドと同様な記載内容となっております。次の3.6の免震構造に伴う設備設計、あと、4章の免震構造の品質管理・維持管理に係る事項、こういったところにつきましては、免震として新たに追加した内容を記載してございます。

すみません、4ページに戻りまして、作成方針の留意点の続きですが、上のポツにありますように、このガイドにつきましては、工事計画認可の審査を対象とした構成をとるものの、設計の基本方針の妥当性を設置許可に係る審査において確認し、設計の詳細の妥当性を工事計画認可に係る審査で確認できるように配慮いたしました。また、川内発電所での審査において課題となった事項ですとか、免震構造に特有な事項に関する記載を充実することに留意いたしました。

続きまして、(2)で、審査ガイドのドラフトの作成にあたっての技術的ポイントについて簡単に説明いたします。ここでは、①に示しています耐震構造と免震構造の設計思想の違い。あと、②の一般建築物と発電用原子炉施設との要求事項の違い及び発電用原子炉施設の構造・仕様上の特徴、これらを踏まえまして検討を行いました。この技術的な内容につきましては、後ほど議論させていただきますので、ここでの説明は割愛したいと思います。

その上で、このページの下のほうに四つのポツで示していますが、ここで技術的、ここで整理しました技術的事項に留意しつつドラフトを作成しております。その内容としまして、一つ目は免震構造の審査の考え方ですが、これにつきましては規制庁側で整理をいたしております。次の3項目、残りの3項目ですが、すなわち免震構造の設計に係る基準地震動の長周期成分等の話ですとか、あと、次の免震装置の許容限界等に係る基本事項、さらには免震装置の品質管理、これらにつきましては、この検討チーム会合の中で議論させていただきたいというふうに考えております。これらにつきましては、次の資料2及び資料3で詳細に説明する予定としてございます。

なお、これらの技術的事項につきましては、本検討チームにおいて議論を行い、この審査ガイドのさらなる充実を図るため、必要に応じてドラフトへの反映を検討することといたしたいと考えております。

資料1についての説明は以上です。

○山中委員 それでは、引き続き、議題2の資料2に記載している主な検討事項のうち、免震構造の設計及び品質管理について議論を行う事項等の詳細にまとめた資料3及び付録を



用いて説明をお願いいたします。

すみません、議題の2ですね、申し訳ありません。資料2を用いて、規制庁側から説明をお願いいたします。

○山崎統括技術研究調査官 原子力規制庁、山崎です。

それでは、資料2を用いまして、本検討チームの目的、及び主な検討事項等について説明いたします。

まず、本検討チームの目的についてでございますけれども、以下に書いてありますような現行の二つの規則解釈、このうち、建物・構築物の免震構造に係る規定の改正及び審査ガイドのドラフトの更なる充実を図ることを目的としまして、この2. 主な検討事項に示しております技術的な事項の審査ガイド等における考え方に関しまして、専門家の先生方と議論するとともに、事業者等からの意見を聴取することで考えております。

それでは、次に2. 主な検討事項について説明いたします。本審査ガイドのドラフトにつきましては、下に書いてあります四つの検討事項について留意して作成いたしております。このうち、一つ目のポツの免震構造の審査の考え方、これにつきましては後ほど別紙を用いて説明させていただきたいと思いますが、基本的な事項としましては、この審査ガイドのドラフトにおきまして、対象とする施設や設計方針について検討したものであります。そのようなため、審査ガイドのドラフトの技術的な内容の更なる充実化の観点で、本検討チームでは、特に下に書いてあります検討事項のポツのうち二つ目から、免震構造の設計に用いる基準地震動、設計に関する基本事項、そして、免震装置の品質管理、維持管理に関する基本方針といった三つの検討事項について議論させていただくことで考えております。

また、この三つの検討事項につきましては、論点や具体的な内容、原子力施設への適用において議論を行いたい事項といったものを、資料3のほうで詳細にまとめておりますので、後ほど説明させていただきます。

まず、本資料では、その前提となります基本的な方針等につきまして、別紙にて説明いたします。

1枚めくっていただいて3ページ目を御覧ください。免震構造の審査の考え方としましては、審査ガイドで対象とする施設や基本的な設計方針、免震装置等の要求性能等の考え方について、ここでは説明いたします。

まず、対象施設について、現状の審査ガイドのドラフトの対象とする施設につきまして

は、基本的にはSクラスの施設としております。現状、主として安全上重要な設備を間接支持する建物全体を免震構造とした施設としております。次に、基本方針について、基本的には耐震設計と同様の方針とすることとしています。また、免震構造の特徴を考慮した上で、耐震構造と同程度の安全性、信頼性を確保していること。また、基準地震動 $S_s$ に対してほぼ弾性範囲の応答に留める等、安全余裕を付与した設計とすることといった方針としております。

次に、免震設計における重要度分類につきまして、これも基本的には耐震設計上の重要度分類を適用することとしておりまして、免震構造物を構成する上部構造物、下部構造物及び免震装置は、いずれもSクラスの設備の間接支持構造物と位置づけ、基準地震動 $S_s$ に対しまして支持機能、免震機能及び支持する設備の有する安全機能の保持といったものを要求されるとしております。

ここで、参考までに、耐震クラス等の考え方というものを5ページの参考に示しておりますので、5ページを御覧ください。こちらでは、原子力発電所における耐震重要度分類の設備区分と建物・構築物の耐震クラスの例を示しております。

まず、耐震重要度分類の設備区分につきまして、これは耐震クラスを有するものと、機能維持を要求されるものに分けられておりまして、下の図1を御覧いただきますと、ここに示していますように、安全機能に関連する設備等からなる主要設備や、この主要設備の補助的役割をなす補助設備といったものについて、それらを直接サポートしている、支えているもの、これを直接支持構造物としております。また、直接支持構造物を支える鉄筋コンクリート造の構造物とか、いわゆる建屋とかですね、そういったものを間接支持構造物として区分しております。

また、免震構造における設備区分につきましては、その隣、右の図-2に示しております。積層ゴムやダンパーといった複数の免震要素からなる免震装置は、上部構造物と下部構造物の間に設置されており、建屋等の上部構造物ですね、これを支持する機能を有しており、間接支持構造物としての区分としております。

1枚めくっていただきまして6ページでは、参考としてですが、耐震設計における建屋の耐震クラスの分類の例というものを示しております。先ほど、原子炉建屋等につきましては、間接支持構造物である旨説明させていただきましたが、内包する設備などによっては安全機能が要求され、これに係る部位につきましては耐震クラスが設定されます。例えば、この表-1に示しておりますように、使用済燃料を貯蔵するものとか、炉心からの崩壊熱を

除去するためとかといった安全機能に係るものにつきましては、その対象部位となるもの、そこが、その重要度に応じてですけれども、S、B、Cといった耐震クラスで設定されるということになっております。

それでは、3ページのほうへ戻っていただきまして、別紙の説明のほうに続けさせていただきます。

下から二つ目の四角ですが、免震設計に用いる基準地震動につきまして、これは耐震設計に用いる基準地震動に加えまして、免震設計に用いる基準地震動を必要に応じて算定していること、また、水平方向、鉛直方向の成分を用いて設計に適用していること、また、この基準地震動につきましては、免震構造物の周期特性に着目して策定するとともに、地震の想定や検討用地震動の選定というものを検討していることとしております。また、その策定過程への配慮としまして、地震規模に対して十分な継続時間を有していることとしております。

続きまして、免震構造物の設計につきまして、まず、設計の基本方針となる要求性能等をここでは示しております。免震装置につきましては、免震装置全体の支持機能及び減衰機能といったものを要求され、それらは供用期間中に継続してこの機能が保持できることとしております。上部構造物については、間接支持する機能及び内包する設備の有する安全機能が保持される設計と、あと、下部構造物につきましては、上部構造物及び免震装置を支持する機能、そういったものが保持される設計としていることということにしております。また、免震層におきましては、ねじれの影響を小さくする設計でありましたり、上部構造物及び下部構造物につきましては、ロッキング挙動やねじれ挙動といったものを考慮した設計としていること、また、免震装置部の応答変形に対しましては、妥当な余裕を有したクリアランスを設定していることといったことを設計の基本方針として考えております。

それでは、本文の2ページに戻っていただきまして、最後に、今後のスケジュールについて簡単に説明いたします。

本日、第1回目の会合では、特にこちらとしては、今、審査ガイドのドラフトを作成する際に検討していましたが、この検討事項といったものの具体的内容等について御説明させていただきます。また、それに対して、第2回会合では、この検討事項に対しまして、外部専門家の先生方から御意見をいただきたいと考えております。また、第3回の会合では、免震構造に対して、事業者のこれまでの取組状況とか、2011年の東北地方太平洋沖地震で

の経験等といったものについてヒアリングを行いたいと考えております。また、免震装置メーカー等からの検討、こちらで今提示しました検討事項に関する技術的な観点での意見というものも聴取したいと考えております。それらの結果を踏まえまして、第4回会合以降ですが、検討事項全般に係る議論の整理を進め、検討チームの取りまとめを行いたいと考えております。

資料2の説明は以上となります。

○山中委員 それでは、引き続き、議題2の資料に記載しております主な検討事項のうち、免震構造の設計及び品質管理について議論を行う事項等を詳細にまとめた資料3及び付録を用いて説明をお願いします。

○猿田主任技術研究調査官 原子力規制庁、猿田です。

それでは、資料3並びに付録につきまして御説明させていただきます。

まず、最初に資料3、A3の資料でございますけれども、こちらでは、各検討事項に対しまして、免震ガイドの記載の解釈、検討事項の論点、一般建築物での対応状況、発電用原子炉施設への適用において課題となる事項、これは論点のところをもう少し具体的に示したものでございます。それから、最後の列が規制側の考え方、方針案として示してございます。

それでは、最初の免震構造の設計に用いる基準地震動でございます。ガイドの中では、国土交通省の技術的助言を参考に、やや長周期（一般的には2秒から5秒程度）における敷地への影響に着目した地震の想定及び検討用地震の選定としております。免震構造物の固有周期がやや長周期であることを踏まえ、地震規模に対して十分な継続時間を有していることの確認が必要としております。

これに対する論点でございますけれども、その国土交通省の技術的助言の反映の必要性並びに反映の考え方、具体的には、この助言の中で各地域を設定しておりますけれども、各地域で設定している速度応答スペクトルの特性、長周期帯域のスペクトル振幅等ですけれども、これの適用範囲・適用性について、それから原子力施設、原子力発電所が対象区域に立地する場合は、基準地震動の速度応答スペクトルが国土交通省の技術的基準の速度応答スペクトルを上回っていることを確認すればよいかということを論点としております。それと、模擬地震波の作成方法として、継続時間が500秒というふうに記載されておりますけれども、その取り扱いについて論点として議論したいと思っております。

一般建物での対応状況ですけれども、南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動の

影響が大きいと考えられる区域内、これは技術的助言で指定されておりますけれども、ここでは超高層建築物等に対して、極めて稀に発生する地震動として国土交通省の基準に基づく長周期地震動、基整促波等と呼ばれておりますけれども、これを1波以上検討して、建築認定を得ることとしております。

発電所のほうでは、それに対して速度応答スペクトル等をどう考えるかということを示しております。

最後に、規制側の考え方でございますけれども、基本的には、設置許可基準規則解釈の別記2に基づいた免震設計用の基準地震動で国土交通省の技術的助言において要求する地震動を包絡しているものと考えております。ただし、基準地震動の長周期成分を十分に励起できる継続時間を有していることの確認は必要ではないかと考えております。また、速度応答スペクトルについては、基準地震動の速度応答スペクトルが国土交通省の技術的助言におけるスペクトルを包絡することの確認も必要と考えております。最後に、信頼性確保のための長周期側の周期範囲につきまして、免震層のターゲット周期の2倍程度の周期までをカバーできるよう、10秒程度まで設計用スペクトルを規定して、模擬地震波の設計用スペクトルに対する適合度を確認することと考えております。

以上の内容につきましては、ちょっと付録を見ながら御説明を追加したいと思います。

まず、付録の3ページでございます。これが、先ほど来述べております国土交通省の技術的助言の中で指定されている対象区域でございます。関東地方と静岡地方、中京地方、大阪地方につきまして10区域が指定されておまして、それぞれ速度スペクトルの図があります。それで、各地域に対応する形でスペクトルが示されておまして、図中の黒の線は、告示波の、ごく稀のスペクトルが示されております。それに対しまして、下にグラフ、加速度時刻歴の波形がございますけれども、これは一例として静岡の例を示しております。これが基整促波と呼ばれる波形でございますけれども、上から、青のところは一番海側のところ、赤が少し内陸に入りまして、緑がさらに内陸に入るという形でございます。これは横軸が時間で600秒を示しておりますけれども、主要動と呼ばれる大きなところは100秒から200秒の範囲に入っているのかなというふうに考えられます。

続いて、4ページ目が日本建築センター模擬波ということで、一般建築物でよく採用されております模擬波の例でございます。

続いて、5ページ目は国土交通省の告示波の加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルを示しておまして、青が稀と呼ばれるレベル1の地震スペクトルで、オレンジがごく

稀と呼ばれるものでして、稀のほうは大体再現期間が50年程度と言われております。ごく稀のほうは500年程度と言われております。ちょっと前後してしまいますが、この国土交通省の告示波というのは、解放工学的基盤、 $V_s$ にして400m/sの地盤を対象に考えられているものでございます。

続いて、6ページ、これが先ほど資料1のところから紹介がありましたけれども、川内の原子力発電所の免震重要棟設計用基準地震動を示したものでございます。こちらでは、通常の $S_s$ に加えて、 $S_s$ の中では検討用地震動として選定していない長大活断層及びM9クラスのプレート間地震による評価結果をもとに、そのグラフ、実線と破線とございますけれども、破線のほうがいわゆる基準地震動で、実線のほうが長周期を考慮したものとなっております。左側が水平動、右側が上下動でございますけれども、長周期1秒を超えた領域で、実線の長周期用のものが基準地震動を上回っていることがわかるかと思えます。

続きまして、7ページで、今の川内での基準地震動と告示波のスペクトルを比較して示してございます。それぞれ凡例がございますけれども、0.6秒くらいまでは基準地震動と国土交通省のごく稀のオレンジの線が重なっておりますけれども、そこから先のところでは、基準地震動のスペクトルが大きくなっていることがわかるかと思えます。ただし、下に書いてございますけれども、基準地震動のほうは解放基盤表面で $V_s$ が1500m/sを対象としておりまして、年超過確率で考えると $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$ 程度であるとしております。一方、国土交通省の告示波のほうは、解放工学的基盤で $V_s$ が400m/sという違いがございますけれども、重ねて比較してみると、このようなレベル感になるかと思えます。

では、また資料3のほうに戻っていただきまして、1ページ目の点線の下のところでございますけれども、ガイドの記載の解釈として、耐震設計と免震設計の双方の基準地震動の設定を記載しております。

それに対して論点ですけれども、鉛直方向の地震動は耐震設計用の基準地震動の策定方法を準用することでよいかというのが論点となります。

一般建築物では、通常は上下、鉛直方向の地震応答解析というのが必須とはなっていないかと思えます。

原子力発電所のほうでは水平、上下をつくるということで、規制庁側の考え方でございますけれども、免震設計の鉛直方向の地震動の作成は耐震と同様とします。ただし、水平方向の地震動と同様の配慮の下、作成されていることと規定します。上部構造及び設備の

設計においては鉛直方向の基準地震動を適用する場合には、耐震設計用と免震設計用のそれぞれの基準地震動に基づく応答解析を実施し、双方の解析結果を考慮して鉛直方向の設計用地震荷重を設定することとします。なお、免震装置の設計においては、水平方向及び鉛直方向の同時入力を考慮した時刻歴解析を適用するなど、免震構造物のロッキング挙動及び鉛直方向の応答挙動並びにそれらの組合せを適切に考慮するように考えております。

では、2ページに行きまして、免震構造の設計に関する基本事項でございます。最初に、許容限界として積層ゴムの許容限界、並びに履歴系ダンパーの累積塑性の評価について述べております。

ガイドの中での記載でございますけれども、免震装置の許容限界は、当該装置を構成する免震要素に応じて、上部構造物の保有すべき安全余裕及び免震装置の特性のばらつき等の影響を考慮した上で設定していること。

それに対して論点は、一般建築物で使用される免震装置の許容限界を適用しているかどうか。

一般建築物では、既往の試験等から以下のような許容限界の設定を行っています。それは積層ゴム、免震、履歴系ダンパー等をそれぞれ規定されております。発電用原子炉施設の中では、それらの積層ゴム、履歴系ダンパーの既往の試験等から設定された許容限界の発電用原子炉への適用性というのが議論になるかと思えます。

規制側の考え方でございますけれども、一般建築物の許容限界の妥当性、発電用原子炉施設への適用性を確認した上で、一般建物の考え方を準用するというふうに考えております。

では、具体的に積層ゴムの許容限界でございますけれども、積層ゴムの固体ごとの特性のばらつきを考慮し、既往の研究等を参考に、引張応力度等の許容限界を設定すると記載しております。

論点としまして、一般建築物で使用される積層ゴムのせん断ひずみ及び引張面圧の許容値 ( $1\text{N}/\text{mm}^2$ ) の設定の経緯。また、これを上回る許容値の設定の可能性、他指標 (ひずみ等) による設計評価の適用性はあるかということ論点と考えております。

一般建築での扱いですけれども、一般建築では、せん断線形限界ひずみとして、ハードニングが生じない範囲として、せん断ひずみで200~300%を規定しております。あと、許容引張面圧でございますけれども、これは国土交通省の、基本的に一般建築では国土交通省の大臣認定を受けた製品を使っておりますけれども、その製品の認定を受ける際の基準

値である $1\text{N}/\text{mm}^2$ を用いて対応しております。

続いて、発電用原子炉施設の適用ですけれども、積層ゴムとして種類がございますので、それと許容値との関係、それから、せん断線形限界ひずみの規定における安全余裕の考え方が課題と考えております。

規制側の考え方でございますけれども、積層ゴムの引張に対する評価において、他の指標を採用する場合は、当該指標の妥当性、発電用原子炉施設への適用性を確認した上で適用するように考えております。

では、今の積層ゴムの許容値についての付録の御説明でございます。また、付録のほうに行ってくださいまして、9ページをお願いいたします。これは積層ゴムの引張面圧の限界値として、 $1\text{N}/\text{mm}^2$ を採用したらどうかということに関する一つの実験例でございます。ちょっと文章を読ませていただきますけれども、通産省の受託研究で行われた研究の一部で、動的2次元試験装置を用いて、直径 $253\text{mm}$ の天然ゴム系積層ゴムについて、ゴム硬度を3種類変えて実験を行っております。それで、引張側の許容応力の線形限界応力に対して安全率 $1.5$ の裕度を持たすと、高硬度のゴムでは $13.5(\text{kgf}/\text{cm}^3)$ 、標準硬度では $11.4(\text{kgf}/\text{cm}^3)$ 、低硬度では $9.6(\text{kgf}/\text{cm}^3)$ というような結果になっております。この値を見ますと、 $1\text{N}$ というのが、安全率 $1.5$ をもって考えられるのかなということがわかります。

このような実験はほかにもいろいろ行われておりまして、次のページに、日本建築学会の免震構造設計指針というのがございますけれども、その中の解説に、以下のような記述がございます。「せん断ひずみ $200\%$ 程度であれば、引張応力度は $2\text{MPa}$ 以上の引張抵抗力を発揮できていることがわかる。」とございます。そこにいろいろな実験を整理したグラフも載っております。この $2\text{MPa}$ に対して、安全率を $1.5$ とか考えますと $1.3\text{MPa}$ というような値になるかと思えます。

続いて11ページ目、積層ゴムの引張限界のひずみの評価の方法を提案している例でございます。こちらでは、従来使われている応力のかわりに、引張限界のひずみとして評価しようということで、新たに数種類の試験体の実験を行っております。15%ぐらいまでのひずみでは大丈夫じゃないかという結論から、安全率を見て、引張限界ひずみとして5%というものを提案している論文でございます。

それから、12ページでございますけれども、これが先ほど来出ております川内での検討の例でございます。こちらでは、先ほどありましたように、設置許可が終わって工認として詳細設計を行った場合に、ここでは一般仕様の装置、国土交通省の大臣認定を受けた装



置で設計されておりますけれども、水平2方向、鉛直、あるいは地盤のばらつき等を考慮して詳細設計を行った場合に、許容値をオーバーしてしまったということで、免震から耐震に変わってしまったという例でございます。

では、すみません、また資料に戻っていただきまして、履歴系ダンパーについての御説明です。

2ページ目の点線の下、履歴系ダンパーの許容限界です。設計で期待している減衰性能を維持できる許容限界としている。例えば、積層ゴムとともに設置されるダンパーは、積層ゴムに設定される線形限界まで設計で考慮した減衰性能を維持していることと記載してございます。

論点は、鋼材ダンパー等の履歴系ダンパーに対し、疲労の累積を考慮して減衰性能を評価する際、基準地震動の継続時間が及ぼす影響、供用開始期間中の余震の影響等、留意すべき事項があるかということ論点としております。

一般建築では、積層ゴムに設定される線形限界までの変形領域において、必要な減衰性能を維持していることとしております。また、評価として、累積疲労損傷を評価するため、Miner則に基づく許容限界を設定しているというのが一般建築の状況でございます。

それに対しまして規制側の考え方でございますけれども、鋼材ダンパーについては、基準地震動による累積疲労損傷がダンパーの限界値に対して、十分な安全余裕を有していることを確認する。2ポツ、鋼材ダンパーの累積疲労損傷に対して十分な安全余裕を確保するとの観点から、免震機能の地震後の継続維持が認められる場合は、敷地における震源想定及び地下構造の特性を踏まえて余震、誘発地震が及ぼす影響を確認するというふうに考えております。

ダンパーの許容値に対する検討例でございますけれども、付録の13ページ、履歴系ダンパーの許容限界に関連した実際の地震経験事例として紹介してございます。こちらの論文は、石巻市のI病院で使われておりました鋼材ダンパーを、現地から取り出しまして実験した例が報告されております。ここで用いられております鋼材ダンパーは、一番上、(a)別置型免震U型ダンパーと書いてございますけれども、このように鉄のプレートをU字型に曲げまして、この例ですと、それを8本組み合わせたダンパーでございます。その右側に青いダンパーが写っておりますけれども、これが実際に東北地方太平洋沖地震を経験した後の状況でございまして、U型のプレートが少しゆがんでいるのがわかるかと思いません。このダンパーを一組、1機抜き出しまして実験しております。

図3に罫書記録からのピーク値算出方法と書いてございますけれども、これ、ちょっとピークを、累積損傷を求めるためにピークを拾っておりますけれども、このような軌跡が罫書計に、地震中の挙動を示しております。これを見ますと、X方向には最大250mmくらい変形していることがわかります。逆に、Y方向は変形が小さく、100mmになっております。試験としましては、その右にございます、この8本のU型ダンパーを、直交するような形で2本ずつ組み合わせまして、ここには試験体1、2しか書いてございませぬけれども、このような形で1から4までの試験体を作成しております。

その下、図6、エネルギー吸収量の推移、試験体1.4とございますけれども、これは、この試験体を図4に示す加振方向、この紙面で言いますと横方向になりますけれども、それで加振した際の縦軸は1サイクル当たりの吸収エネルギーを示しております。申し訳ございませぬ、この四角の例示が間違っております、黒の線で実験値が示されておりますのは±490mm、設計許容変形で繰り返した実験でございまして、白の点が±213mm、地震の際の最大振幅の平均値で繰り返したものとなっております。

白丸のところを見ますと、これが地震時の最大変位での繰り返しでございまして、加振に平行方向という位置、この試験体位置で言いますと1とか2の方向ですけれども、これで76回目で破断しております、90°方向は300回でも破断しないということがわかります。あと、繰り返しの後、若干吸収エネルギーの量が減ってはきていますけれども、比較的安定した吸収エネルギーになっているのかなということがわかります。黒のほうは490mmという設計許容変形での繰り返しでございまして、平行方向では25回目で破断しております、直交方向でも40回目で破断しているという結果になっています。

図7は疲労曲線と書いてございますけれども、このダンパーにつきましては、メーカーのほうで開発当初からいろいろの実験を行っております、それが既往試験という形で白丸、白三角、四角という形でプロットされております。それから求められました疲労曲線が実線で示されておりますけれども、そこに、この石巻から持ってきましたダンパーの試験結果を黒でプロットしておりますけれども、既往の試験値によるということを示しております。

あと、罫書計から求められましたダンパーの履歴から計算しますと、疲労損傷度（疲れ累積係数）で5%程度ということで、東北地方太平洋沖地震の際に大きな変形を受けておりますけれども、まだダンパーの性能的には十分余裕があるということが示されております。

続きまして、また資料のほうに戻っていきまして、3ページ目をお願いいたします。ここでは、免震構造の設計に係る基本事項のうち、他施設・設備への影響等を整理してございます。

ガイドの記載でございますけれども、免震構造の採用に伴う設備等の影響について、以下の事項の検討を行うこと、上部構造物と周辺構造物間の地震時の相対変形（水平方向、鉛直方向とも）に対するクリアランスの確保をうたっております。

論点でございますけれども、免震構造物の上部構造の設計に係る確認事項として、構造物と擁壁等とのクリアランス等が論点かと考えております。

一般建築では、水平方向のクリアランスについては、上部構造物の地震時最大応答変位に余裕（1.5倍とすることが多い）を持った離隔幅を設定しています。鉛直方向のクリアランスは、クリープや温度変化による変形、地震時の沈み込み等を考慮し、積層ゴムの層圧の数%を必要な離隔幅として設定されています。

規制庁側の考えですけれども、想定される水平方向並びに鉛直方向の相対変位に対して十分なクリアランスがあることを確認する。ただし、地震等の荷重による変位が大きいため、設計上フェールセーフ機構に期待する場合、想定される損傷モードに応じて、免震構造物及び周辺構造物への影響を評価する。また、安全上重要な設備を間接支持する場合、当該設備への影響についても検討が必要となるというふうに考えております。

また付録を御覧いただきたいんですけども、14ページ、こちらに、東北地方太平洋沖地震の際に、どのくらいの変形を受けたかというようなことを、免震構造協会で調査した結果が示されております。都道府県別になっておりますけれども、宮城県の41.5という最大変位が、今回の地震で一番大きかった免震層の変位となっております。右側に残留変位が示されておりますけれども、これも宮城県の欄に2cmとなっておりますけれども、残留変形につきましては比較的小さいというか、2cmが最高ということで、比較的小さかったのではないかというふうに考えられまして、クリアランスの設計等でこういった数値が参考になるのかなというふうに考えます。

では、また資料3でございますけれども、次の項目として、免震構造物と非免震構造物の接続部の相対変位に対する機能保持を記載しております。

論点としまして、免震構造物と非免震構造物間の渡り配管等のインターフェイス部の健全性を挙げております。

一般建築物では、ガス管・給水管等、ボールジョイント等を用いて免震層での相対変位

に対応しているかと思えます。

規制側の考え方としましては、免震構造物と非免震構造物間の渡り配管等のインターフェイス部については、水平方向及び鉛直方向の変位に追従できる構造仕様であること、水平方向及び鉛直方向の変位を考慮した適切な方法、条件を用いる設計、評価していることを確認するというふうに考えております。

また付録のほうに行っていたいただきたいんですけれども、15ページに、渡り配管の構造仕様の例を示しております。上の図は、オレンジが免震の原子炉建屋、ブルーのところはタービン建屋となっておりますけれども、この間で主蒸気・主給水配管等が渡り配管として出てくるかと思えます。また、外部から入るものとして、冷却用の海水配管があるかと思えます。

下はエネルギー総研でまとめました発電施設への免震技術の適用検討として示されております例が、その図でございまして、このような主蒸気配管が使われるというような例示でございまして。

また、資料3をお願いしたいんですけれども、一番点線の最後のところ、非免震時よりも耐震設計条件が厳しくなる設備の健全性、波及的影響の防止を記載しております。

これは、論点としましては、免震構造の振動特性が設備設計に与える影響としてプールのスロッシング等が考えられます。

原子炉施設では、免震構造に伴う建屋応答の長周期化がスロッシング荷重の増大に及ぼす影響が課題と考えられます。また、プール以外で長周期化することによって影響を与えるもの、影響が出るものがあるかないかということが課題として考えられます。

規制側の考え方としましては、免震構造物の振動特性が設備設計に大きな影響を与える要因がある場合は、当該の影響要因の対応策を確認すること。例えば、免震構造とすることでスロッシング評価が厳しくなる場合、免震装置の構造や仕様で対応する、またプール等の補強対策を検討する等が考えられます。

付録に行っていたございまして、16ページでございまして、こちらでは、発電用原子炉施設における波及的影響評価の事例を紹介しております。波及的影響評価の考え方、これは規制基準解釈、別記2にこのように書いてございます。「耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること。」としております。

次のページに行っていたございまして、波及的影響まではなりませんでしたが、参

考となる事例を2例示しております。事例-1は、建屋の断面でございますけれども、使用済み燃料プールから地震時に水があふれてしまったという例でございます。下は、ダクトの基礎が沈下することによって火災が発生した例でございます。このような波及的影響というものを免震構造のほうでも考えていかななくてはいけないということでございます。

続いて、資料の4ページをお願いいたします。ガイドの記載ですけれども、上部構造物の用途に応じた設計の考え方としまして、上部構造物については、Sクラス設備の間接支持構造物としての機能の保持を要求しています。上部構造物の許容限界は、上部構造物が塑性変形した場合、急激に塑性変形が進展する可能性を踏まえ、原則として、ほぼ弾性、鉄筋コンクリート構造の場合は、鉄筋が降伏しない範囲等に留めることとして記載してございます。

これは論点としまして、建屋の用途の多様性、及びその多様性に応じた設計クライテリアの使い分けの考え方、具体的には、建屋及びその部位に要求される機能を踏まえまして、許容限界の使い分けをすることが可能かということ論点としております。

一般建築では、建築基準法では、人命の保護で耐震性能が要求されています。また、日本建築構造協会(JSCA)では、地震後の建物の機能維持や事業継続性の観点から耐震グレードを設定しております。それについては、後ほど御説明いたします。

原子力発電所のほうでは、要求性能が波及的影響の防止等、限定的な場合における合理的な許容限界の設定の可能性を課題と考えております。

規制側の考え方でございますけれども、建屋及びその部位への要求機能が限定的な場合、波及的影響防止等でございますけれども、耐震設計における許容限界の相対関係を踏まえまして、「終局耐力に対して妥当な安全余裕を有していること」として、局所的な塑性化に対して、その進展が無いことを確認すると考えております。免震建屋に設置される設備の機能については、多様性、多重性の観点から代替設備対応が可能等、地震後の継続的な維持が要求されない場合も同様の確認とすると考えております。

また、付録のほうに行ってくださいまして、18ページですけれども、こちらは原子力発電所にある建屋の特徴について整理した表でございます。建屋としまして、原子炉建屋、緊急時対策所、それからSA設備等の設置された建屋と分けてございまして、建屋に要求される機能、下から2行目ですけれども、こちらは、安全機能に係る事項として、そのような機能が要求されております。原子炉建屋、緊急時対策所につきましては安全性が高くなっておりますけれども、それに対して、一番右のSA設備では、直接的な安全機能がないと

ということで、その下の建屋に要求される性能としましては、原子炉建屋、緊急時対策所の場合には、ほぼ弾性というふうになっておりますけれども、SA設備の場合には、終局耐力というような要求となっております。

続いて、次のページに行きまして、JSCAにおける耐震性能グレードの考え方でございませうけれども、これは耐震の性能につきまして、基準法は満足しているんですけども、地震後の使用性とかそういったことを考えて、設計者が建築主と議論、決めるために示されたグレードの考え方でございまして、建物の状態として、無被害～軽微な被害、小破、中破、大破となっております、それぞれ地震が大きくなるに従って右側に進んでいきますけれども、その壊れ方等に関して、基準級、上級、特急というようなグレードを設定して耐震性能を考えるとという例を示したものでございます。こういったものが、その原子力発電所施設でグレードといいますか、用途等を考えて適用できるのかなというふうに思います。

では、③免震装置の品質管理の、地震後の維持管理に関する基本方針でございませう。

ガイドの記載ですけれども、品質保証計画に基づき、免震要素の保守及び点検活動計画並びに取替え方法が適切に策定されていること、通常点検、定期点検、応急点検等による維持管理がなされていることというふうに記載してございませう。

論点としましては、一般建築物における地震後の免震装置の継続使用の実績、これは原子力発電所でも免震事務棟等があるかと思っておりますけれども、これを踏まえまして、地震後の免震装置の健全性の判断をする際の点検とか、確認事項等の明確化を論点と考えております。

一般建築では、国土交通省認定品の免震装置を使って、品質基準に則り全数の特性試験により製品検査が実施されていまして、日本免震構造協会の維持管理基準等が標準として使われております。また、別置き試験体も、積層ゴムの実績使用によって、メーカーでのロット管理等に代わってきており、設置されていない事例等が増えてきております。

規制庁側の考え方としまして、一般建築物と同等に、品質保証計画、維持管理を行うものとして、地震後の安全性確認は、目視による応急点検を行うものとする。詳細点検として、構造物の安全性を判定するための地震観測等により免震装置の挙動を数値的に確認する。諸設計の測定方法として、別置き試験体による評価や地震観測記録の分析評価等により要求機能が保持されていることを確認する。免震装置の取替時の状態を踏まえても、他の装置により免震層全体としての機能が維持されていることを確認するというふうに考え

ております。

付録を御覧いただきたいんですけども、22ページでございます。ここに表がございますけれども、これは日本免震構造協会の管理基準から持ってきた表で、このように竣工時の点検、通常、定期、応急、詳細、更新工事後の点検というふうに分けられておまして、それぞれ毎年行うとか、何年毎、あるいは、応急点検につきましては大地震、強風、水害、火災等被災時に行うというような点検の項目が決められております。

続いて、23ページでございますけれども、これは先ほど出てまいりました別置き試験体の実施の現状を調べた結果でございます。これは1997年以降ですけども、2000年以降、非常に数が減ってきていることがわかるかと思えます。これは、先ほど申し上げましたようにロット、メーカーにおけるロット管理で代替するというので、現地に別置き試験体が置かれる例が少なくなっているかと思えます。

続いて、24ページは地震観測した例でございます。これは、36階の超高層の建物の4階部分が免震層となっております。いわゆる中間層免震というものでございます。図-2に加速度最大値として、各地震における最大値の分布を示したものがございまして、一番右側のオレンジのプロットが、3.11の本震の際の記録でございまして、GLで180ガル、それが1階に入りまして110ガルとなって、4階までで少し増幅して130ガル。免震層のところで軽減されまして100ガルとなって、上部では115ガルと若干増幅しておりますけれども、1階と上部でほぼ同じとなっております。1階と免震層の上で比べると8割くらいの軽減率かと思えます。ほかの小さいといいますか余震等もプロットしておまして、概ね、その免震効果が出ている分布となっているかと思えます。

図-6が、この観測では変位計が設置されておまして、変位の軌跡が書かれております。これを見ますと最大15cm変形していること、あと、円形状に建物が動いていることがわかります。下に速度応答スペクトルと伝達関数がございまして、速度応答スペクトル、GLの速度応答スペクトルを見ますと、50kineを超えるような入力となっております。伝達関数から、免震の応答が4秒の固有周期で動いていたことがわかります。

次のページは、いわゆる構造ヘルスマニタリングと呼ばれるものでございまして、建物の健全性を診断するためのシステムとして開発されております。通常は応急点検等構造の専門家が行わなくてはならないということがございまして、この例ですと、数値といいますか、観測記録を分析することによって結果が出ますので、建物の管理者等でも、その建物の健全性の評価が行えるという利点がございまして、近年、採用される例が

増えていると聞いております。

以上、長くなりましたけれども、資料3及び付録の説明でございます。

○山中委員 それでは、説明のありました検討課題について議論を行ってまいりたいと思いますが、幾つか区切りを設けるのが議論をしやすいと思っておりますので、まずは、議事次第の議題ごとに議論を進めてまいりたいと思います。

発言される方は挙手いただきまして、私が指名しますので、マイクのスイッチを入れて、最初にお名前をおっしゃってから御発言をお願いいたします。

それでは、まず、議題の(1)について議論をしてまいりたいと思います。

質問・コメント等ございますでしょうか。

○久田教授 議題の(1)というのは、基準地震動に関してですか。基準地震動に関してという議題の(1)。

○山中委員 はい。

○久田教授 わかりました。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

議題(1)は、資料1で説明しました検討チームについて経緯等を説明しておりますので、その関係が議題1となっております。以上について、議事次第のほうでそのように規定しておりまして、基準地震動については議題(2)のほうに含まれてございます。よろしくお願ひします。

○久田教授 わかりました。

○山中委員 いかがでございますでしょうか。まずは議題(1)について質疑をしたいと思ひます。

○菊地教授 北海道大学の菊地でございます。

資料1の3ページ目でございます、この経緯について、今回、御説明されたものは、過去にJNESで作成された「免震構造の審査の手引きの提案」をベースにされたということをお伺いしましたが、この審査の手引き自体はかなりのものと私は認識しているんですけども、ここに示されているものは、それをさらに詳細にしたものですか、簡略化されたものなんでしょうか。

○川内安全技術管理官 原子力規制庁の川内です。

JNESの手引きの提案につきましては、ここでは、今回は建物・構築物の免震構造を対象としておりますが、JNESの手引きでは、建物の免震以外に床免震ですとか、もっと部分的



な機器免震、こういったところも含めて全体的なものを対象としていまして、なおかつ、設計施工から廃炉に至るまで、一応言及しておりまして、そういった形で、かなり幅広く内容を盛り込んでいまして、今回は、特に建物・構築物の免震構造という形で、そこに特化するというんですか、絞り込んだ形でガイドのドラフトを作成していると、そこがちょっと違っている、そういった状況でございます。

○菊地教授 ありがとうございます。

○山中委員 そのほか、何か質問・コメント等ございますでしょうか。

○古屋教授 電機大の古屋です。

確認なんですけれども、その建屋に絞ったというところの何か理由があれば教えていただければと思うんですが。

○川内安全技術管理官 原子力規制庁の川内です。

先ほど、川内の申請の例等についても御説明いたしましたが、一応、近年のこの免震構造の申請の内容が、一応建屋免震に限った形でなされていますので、そういったニーズに応えるという観点から、現時点では建物・構築物に絞り込んだ審査ガイドにしているという考えでございます。

○古屋教授 ありがとうございます。今後、というのはまた別で検討すると、とりあえず今回は建物でいくということでしょうか。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

今の件につきましては、今、建物・構築物を対象とした免震装置を今ターゲットとして考えておりますが、ここで整理した考え方というのは、床免震ですとか、そういったところにも流用はできると思いますので、そういった形で、もし今後、そういった建物以外の免震が出てきた場合は、このガイドを流用して使うか、もしくは、必要であれば別途検討したいというふうに考えます。

○古屋教授 わかりました。ありがとうございます。

○久田教授 今、ごめんなさい、今の確認ですが、建屋ではなくて建物ですね、建屋じゃなくて。例えば、この対象にしているのは付録の18ページにあるような原子炉建屋、緊急時対応所、それからSA設備等の設置された建屋という、附属する建物も対象にしているということですか、建屋本体ではなくて、それも対象にしている。具体的には、もう緊急時対策所のような、川内の、あれを対象にしているということですよ。設備免震ではないということの意味ですよ、今の。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

ええ、そのような認識でよろしいと考えます。

○久田教授 わかりました。

○菊地教授 北海道大学の菊地でございます。

もう1点、教えていただきたいんですが、今の別紙1の、3ページの別紙1の中段辺りにございます川内原発で、「建屋に設置する免震装置の仕様では基準地震動 $S_s$ に対する設計の成立性に見通しを得ることができないことから」という、ここの部分なんです、これは、見通しを得ることができなかつたというのは、要求に対して技術が伴わなかつたので設計が成立しなかつたんでしょうか。それとも、審査の方法のほうにいろいろ問題があつたと、どちらだつたんでしょうか。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

今回、その九電の緊急時対策所が免震重要棟に設置できなかつたという理由については、こちらの付録の12ページのところを見ていただくと、ここにそのときの評価の内容等あるんですが、ここに書いてあるところでは、一般建築仕様の免震装置、これを原子力の施設の免震構造に採用しようとして、それが、やはり原子力の設計のやはり入力レベルが大きいという話。それから、あと、水平2方向を考慮するとか、そういった荷重増分が非常に大きくて、一般の免震装置を採用した場合には、なかなか、その成立が難しいと、基準を満たすことが難しいという理由であつて、これが免震構造そのものの技術的なその課題があつたとか、そういうわけではないと。

○菊地教授 そのような要求性能に対して対応できる装置がなかつたということで、技術の問題ではないでしょうか。

○名倉安全管理調査官 そうですね、個別の設計をもしすれば、ゴムのその設計を再設計したりして、そうすると、また、その試験をやったりして実証しなくちゃいけなくなつたりして、時間もコストもかかると。そういう要因も考えた場合に、耐震構造に切り替えて速やかに運用を開始、設計、建設、運用開始したほうが事業者にとってメリットが大きいということが、要は今回、この川内で耐震構造に変更した主な理由というふうに理解しております。

○菊地教授 そういうことを踏まえての、この表現方法なんです、今回のこの審査ガイドには、審査を合理的かつ効率的にというのは、そういうことを踏まえた、反映させた上でのこの表現なんですか。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

まず、合理的にというところについては、科学的合理性をもってというところで、やはり判断するに当たって、いろんなその設計の方法とか、許容限界とかを含めたその体系が、ある程度合理性を持っているかどうか、そういうことを効率的に確認するためにはガイド等をちゃんと整備して、それに基づいて審査をするということのほうが審査として効率的にできるのではないかと。川内のときには、そういうふうなガイドというものがなくて、あくまでも、そのJNESで作成した手引き、これを見ながら審査をして、それは、そういうことは明示していたんですけれども、世に、その審査側の基準を知らしめるという行為をしていないということもあって、そういう意味では、今回はちゃんとガイドをつくって、それを世に知らしめて、私たちもそれをもとに審査をしていく、そこに審査のプロセスをある程度効率的に実施するということが効果として出てくるということで、今回こういうふうな記載をさせていただいたと。

○菊地教授 決して審査の基準を下げるというわけではないんですね。

○名倉安全管理調査官 合理的にというところについては、下げるということは、そこを念頭に書いたものではないと。ただし、例えば許容限界とか、 $1\text{N}/\text{mm}^2$ とか、そういうものを用いたときに、それがもっと性能規定的に、原子力施設に求められる機能・性能、それを損なわない範囲において、もう少し、その合理的な範囲で、規制要求そのものを性能規定化して、その範疇におさめれば、おさまれば、その妥当性そのものの説明も含めて審査で確認していくというやり方もあると思いますので、そういった意味で、今回、川内のときに非常に苦しかったその要素に対して、もう少しその許容限界を性能規定化する中で、使えるものはもう少しないのかとか、そういうところを御検討、今回していただきたいなと思ひまして、項目を上げております。

○菊地教授 わかりました。ありがとうございます。

○山中委員 そのほかは、いかがでございますか。よろしゅうございますでしょうか。

それでは、続きまして、議題の(2)について、資料2、資料3、付録について、質問・コメントございましたらいただきたいと思いますが、よろしくお願ひいたします。

○久田教授 工学院大の久田と申します。

資料の3の①の基準地震動についてということで、国土交通省の技術的助言ということ参考にしながらか、こう書いてあるんですけれども、最終的には、方針案としては、基準地震動で長周期帯域を考えて、震源とか、伝播とか、サイトの特性、継続時間を考慮した

もので包含できると、多分そのとおりだと思うんですけども、国土交通省の技術的助言というのは、そもそも東京、名古屋、大阪の超高層建築を対象に、昔からあえて長周期、長時間地震動をざっくりと、南海トラフのかなり大きい地震を考えたものですので、この基準地震動でちゃんと震源、伝播、サイト特性を考えれば、ほぼ、もうそれ以上のものになりますので、これはあくまで参考で、そもそも使っているのは距離減衰式の、長周期の距離減衰式であって、そんな物理的な考えが入っているわけではないので、基本的には、もうちゃんと長周期も考えた基準地震動をつくれればいいのかなと思います。

例えば、この付録資料の3ページに、静岡県の加速度波形の例というのが出ているんですけど、これ、すごい短いですよ。これ、なぜかというとK-NETの記録を使っているんですけど、K-NETの昔の記録というのは大体2分ぐらいしかとれなかったんですね。だから、もともとそんな500秒もとれるような記録をもとにした距離減衰式というか、経験式ではないので、こんな短くなって。静岡は、そんなに堆積層がないというのもあると思うんですけども、だけど、ちゃんとシミュレーションをして、それから、その後いろいろな壊れ方とか伝播等を考えれば、もっと長い継続時間とかも自然に入ってきますし、その地盤特有な卓越周期なども入ってくるので、あくまで、この国土交通省の参考であって、基準地震動を別にした考えであればいいのかなと思います。

あと、例えば、基準地震動でシミュレーションによる波形をつくる時に、パラメータの与え方で、大きいのも小さいのもすごいばらつきが出て、ばらつきの範囲が出るんですけど、それに対する考え方というのは、もういろんなことをやってマックスまでやると、相当厳しいものになってしまいますし、平均的なものにするのか、大分変わると思うんですけども、その辺、何か少し整理して、何%ぐらいをやって、どの程度、例えばばらつきの範囲をどうするのかとか、そんなような考えも、もしかしたら要るのかなと思いました。

あと、ちょっと長くなって恐縮なんですけど、基本的には免震ってすごくいい構造で、特に危機管理の緊急時対応と一緒にいいと思うんですけども、やはり、一応注意しなければいけない長周期、長時間ですとか、もう活断層の真上でとか地すべり、液状化、地盤変状が起こるようなところというのは、基本的には向かないとは思いますが、そうでなければ、基本的には非常にいいものなので、あまりこの川内が具体的にはどうかというのは後で本当は伺いたいんですけども、厳し過ぎて、想定地震動があまりにも大き過ぎて、当然、免震が成り立たないとなってしまうのも、そのばらつきも考えながら検討す

る必要があるのかなと思いました。

○山中委員 今、いただきましたコメントについて、何か規制庁のほうからございますか。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

川内について実際の緊対、免震の緊対を設置する周辺の地盤の状況とかはどうだったのかということ、ちょっと今、御質問というか言及されましたので、お答えさせていただきます。

川内の免震重要棟設置箇所については、ある程度かたい岩盤のところをくり抜いて、斜面を削って設置しようとしておりました。ということで、周辺斜面の安定性、これが施設に影響を及ぼさないかという観点では審査をしておりまして、やはり岩盤ですので、有意なひび割れとかそういうものもないということですので、あまり問題にならなかった。それから、当然、岩盤をくり抜いて、周辺については、あまり軟弱な地盤を設けていないということですので、地盤の変状とかそういった観点からも、まあ影響はなかったと。

そういった硬岩で $V_s=1500\text{m/sec}$ 相当以上の岩盤に設置するということでしたので、免震のその設計方針を見る段階で確認した内容としては、免震の効果としては、やはり入力に対して3分の1を下回る、5分の1から3分の1ぐらいの低減率になりますので、サイト条件からしたら、震源も比較的近いところの短い周期を多く出すような震源が多かったということもあって、非常に免震効果は比較的高いサイト条件だったのではないかなというふうに見ております。

○久田教授 それで気になるのは、なぜ免震にならないかと。やっぱり厳しくすればするほどいいかということ、 $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$ というのは相当厳しいですから、それに対する免震の技術があるかというそもそも論になってしまうんですけども、福島原発もそうですけれども、やったことによってすごく効果があったし、実績もあるものが、なかなか、いろんな条件で成り立たなくなるというのが、そのばらつきとかをどう考えたのかということにもよるとは思うんですけども、なかなか厳しい現状があるかなというのは、ちょっと認識しました。

○石渡委員 その点、結構、なぜその免震から耐震になったのかということに関して、いろいろ御疑問というか、そこのところはあるみたいですが、私、実は、まさにその免震を耐震にしますという審査会合に出ていまして、その資料がここにあります。この1枚、なぜ免震から耐震に変えたかという、これは事業者側の説明がここに書いてあります。

例えば、免震構造は、「当社の原子力施設として許認可を得た建設実績がない。耐震構

造は許認可を得た実績が豊富であり、速やかに建物・機器設計が可能であることから、早期に運用を開始することができるため、安全性の向上につながる」というようなことが書いてあります。それで、この免震と耐震のそのプロ（Pros）とコン（Cons）を対比した表がここにありますので、これをちょっとコピーして配っていただければいいと思うんですが。

○山中委員 ちょっとコピーが刷り上がるまでに、別の議論を、もしいただければ。

○菊地教授 その間に1点お伺いしたいんですが、今のこの資料2の3ページの上にございます対象施設、「対象はSクラスの施設とし」と書かれてありますけれども、ほかのクラスについてはどうお考えなんでしょうか。その原子力発電所施設内にあるほかのクラスの、Bクラスなり、その建物を免震するという場合の考え方はどうなんでしょうか。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

ここでSクラスの施設としていることに関しましては、私どもの規制基準の適合性の審査が、Sクラスの設備を間接支持した構造物を念頭にやっております、下位のものについては、実際の私たちの具体的な確認の対象に、審査の対象という形ですけれども、していないということがありまして、ここでは、それについて言及していないんですが、基本的には今回Sクラスを対象にして基準というかガイドをつかって、それをBクラスに採用する場合ということで少し、もしかしたら、その適用する場合にはどういった、入力に対してどういった状態になるかとか、そういったところについて少し、もしかしたら考えないといけないのかなという、ちょっと印象ではあります。

要は、Sクラスだけを対象にしたという理由については、ちょっと冒頭申しましたけれども、審査の対象が主にSクラスであるからと。多分、下位クラスに採用する場合というのは、恐らく一般の基準に整合するようにつくれば、恐らく、こちらの要求上は通るだろうと。というのは、例えばBクラスであれば、求められる地震力は、実は静的地震力として一般建築に求められる地震力に対して1.5倍の地震力、静的設計なんですね。動的設計に関しては2分の1Sd、Ssのそれをほぼ0.5倍程度ぐらいにした地震動、その2分の1の振幅に対して共振をしない、弾性範囲におさめるということになりますので、そうすると、恐らく一般建築の告示波とか、そういったほうが大きくなって支配的になるので、どちらかという一般建築の建築確認申請におけるプロセスを経ればいいということになるかと思えます。

したがいまして、Bクラスの施設に採用する、B・Cクラスの施設に採用するということ

に関しては、これは今の基準の枠内であったとしても、恐らく容易であろうと。だから、そういう意味ではガイドには特段規定をしていないということになるかと思います。

○菊地教授 わかりました。

○山中委員 そのほかはいかがでしょうか。

○古屋教授 電機大の古屋です。

資料2の3ページの免震設計で用いる基準地震動の一番下の行のところに「十分な継続時間を有していること」というふうに記載があるんですけども、この十分な継続時間というのは何を以て十分な継続時間かというふうに考えるかというの、いろいろ考え方はあるかと思うんですけども、この辺りのところの、その考え方の、基本的な考え方でもいいと思うんですけども、どういったところをもって、その十分な継続時間というふうに定義できるかというのはいかがでしょうか。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

先ほど、久田先生のほうから少し御示唆いただいた内容も踏まえて、一つの考え方として、これは今後、2回目以降で議論していただくことなのかなと思うんですが、一つ考えられるのは、基準地震動の策定方法が、震源を特定して策定する地震動として模擬地震波、要は設計用のスペクトルを設定して模擬地震波をつくるというものと、それから断層モデル波、断層モデルで三つの地震発生様式に対して波源を、震源を設定してパラメータスタディをして、不確かさを振って、地震動評価して基準地震動を決めると、代表的に、だから、その二つの応答スペクトルによる地震動評価と断層モデルによる地震動評価、その組み合わせで基準地震動を策定していると。

ということも踏まえて、一つの方策としては、断層モデル波で検討した、その結果と実際の模擬地震波の継続時間というものを、ある程度比較してみて、それがほぼ同等かどうか、リーズナブルかという比較をすることによって妥当性を確認することも恐らくできるだろうと。ただし、そのときに気をつけないといけないのは、断層モデルをつくるときの手法として、短周期側を経験的もしくは統計的な方法、長周期側を理論的な方法でハイブリッドでやっているときに、そういったハイブリッドでやったときの理論的な方法で、ちゃんと地下構造をモデル化して再現できているか、それが前提条件ですけども、そういった条件がちゃんとそろえば、その二つの方法を比較することによって、継続時間の妥当性は、ある程度は確認できるんじゃないかなと。これは一つの考え方、案ではあるんですけども、こういったところも含めて、先生方に御意見いただけるとありがたいなと思っ

ております。

○久田教授 私もそのとおりでいいと思います。

基本的には断層モデルを使うと震源の継続時間と伝播過程、伝播過程も表面波ですからすごく長くなってきて、あと、サイトの盆地と堆積層としての効果の継続時間が全部入ってくるので、基本的にはそれと、模擬波と整合しながらやればいいのかなど。

あと、もう1点は余震をどうするかというのが出てくると思うんですよね。巨大地震ですと、もう次から次へと出て、下手すると10分ぐらいは揺れたりしますので、それをどうするかと、それは短周期も小さいながら入ってきますので、それをどうするかというような議論は。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

やはり、原子力発電所の震源を特定して策定する地震動を策定する過程として、三つの震源の発生、地震の発生様式をちゃんと考慮してということになると、サイトによっては、やっぱり複数の地震発生様式から基準地震動が策定されるということにもなると。その場合に、特に免震構造に対して支配的な地震動としてピックアップされるのは、やはりプレート間地震、これがサイトの支配的な震源になっているところ、それで主に免震が決まるとしても、その震源が活動することによって、プレート内とかの活動を促進してしまう可能性があるんで、そういった基準地震動策定の中のプロセスの中で考慮している他の地震発生様式の震源を、ある程度考えた上でリーズナブルな評価をしていくということなのかなとは思いますが、そういったところを、恐らくそのときに、じゃあどこまでやるべきなのかとか、そのときに適用できる、そのクライテリア、方法、クライテリアってどうなのかということで、今日はいろいろと参考資料、付録のほうにちょっと御説明させていただいたんですけども、こういった方法でいいのかどうか、こういったところ御意見を、ちょっと次回以降にいただきたいなと思います。

○山中委員 そのほか、御質問、コメントはいかがでございましょうか。

先ほどのコメントをいただきました、お答えになっているかどうかわかりませんが、石渡委員からの審査資料のコピーをとっていただきましたが、何か先生の方でコメント等ございますでしょうか。

○久田教授 わかりました。今までの実績で考えて耐震のほう時間が時間もあり、第1号がなかなか時間がかかるのを考えたら、耐震のほうメリットがあったということで、第1号を、これからどうするかという話ということで理解しました。



○山中委員 そのほかは、いかがでございましょうか。

規制庁側から何か、先生方にございますか。

どうぞ。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

ちょっと先生方にお伺いしたいのは、資料3のこの表の中で3ページ目です。3ページのほうには免震構造の設計に関する基本事項ということで、一般建築でいろいろと、それぞれの項目に対しての対応状況が記載してあって、原子力のほうもFBRの免震とか、その後、軽水炉の免震の採用とかをいろいろ検討して、その結果が日本電気協会等で設計指針としてまとめられているような状況。それで、恐らくその相対変位を吸収するための構造とかというのは、それは一般でもいろいろと採用実績があるし、原子力でもある程度、これは恐らくそういったものを流用すればいいんですけれども。

ちょっとお伺いしたいのは、この3ページの下の方の欄にある、免震構造を採用した場合に、原子炉施設の設備に大きな影響を与える可能性がある免震装置の振動特性、これって、今、長周期化することでスロッシングが主な影響要因だと言っているんですけれども、これ以外に何か挙動として、やはり要注意な挙動というのは何かあるんでしょうかと。水平、鉛直、両方とも、水平2方向、鉛直を考えるとということも考えると、こういうところは要注意だよと、そういうところがもしあれば、御示唆いただければと思うんですが、

○古屋教授 電機大の古屋です。

免震層を何秒に設定するかということと、あと、その免震層の減衰をどのぐらいにするかということで、その周期性と減衰の関係で応答は随分変わってくるんだと思っていますけれども、特にその水平については、そういう周期性というか応答については、設計上いろいろ検討できると思うんですが、鉛直方向は、今のところ、その鉛直に減衰をきかすという方向はあまりないので、免震層として。そうすると、その鉛直方向の固有周期、固有振動数が内部の機器に行ってしまうところは以前から言われているところがあって、それがどのくらい寄与するかというところは、確認は必要なんだと思うんですけれども、一般的には、その過大に応答とかということはないと思うんですけれども、何か寄与することは、例えばですけれども積層ゴムにして、ばね要素を加えるということに対して、今までの岩着とは違うわけなので、その辺りのところは少し配慮する必要があるのかもしれませんが、ただ、機器側のほうのそのシステム機能維持と限界耐力というところに何か影響を及ぼすという観点では、それほど大きくはないのかなというふうには個人的には思ってい

ます。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

昔、G6とかでやっているときは、大体20Hzぐらいとか。大体、原子炉施設で20Hzとかという、もう大体、剛な領域に入っていて、設計としては静的設計で、最大加速度振幅をちゃんと捉えて設計しておけばいいだろうという領域なんですけど、これが今、例えば高面圧化して、G4とかの仕様になって若干長周期化していると、水平が。そうすると鉛直も、そうすると少し長周期化していると、やっぱり強震動域に入ってくるということがあるので要注意かなと思うんですけれども、今の免震装置、G4仕様とかでいくと大体、昔はG6で20Hzだったんですけど、今は、もうあれですね、10Hzとか、そういったところの領域に入っちゃうんでしょうか。

○古屋教授 電機大の古屋です。

それで10Hzに例えば下がった状況で、じゃあ、どこの機器に影響が出るか。建屋のほうは、すみません、ちょっとあれですけど、機器のほうに影響が出るかというのは、確かにその配管系とかって少し近くなる場所は、20Hzからすればですね、あるとは思いますが、それによって、じゃあ損傷するぐらいのところまで励起されるかというのは、ちょっと違うレベルなのかなと思います。ですから、その要注意というところがどこまで含むかということになるとは思いますが、レベル的にはそういうレベルで、その免震層を含むことによって入力条件は随分変わるとは思いますので、その辺りのところは、もちろん確認は必要だと思いますけれども。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

ということは、規制側の考え方のところにも、多分カバーできていると思うんですけれども、鉛直方向の免震用の、その水平と組み合わせる基準地震動、それから鉛直方向の本来の耐震型の基準地震動、これらに対してしっかりと地震応答解析を実施して、免震層による増幅とか、そういったことも含めた上で、それより上の上部構造物の床応答をしっかりと設計に反映すると、それで対応できていることを私たちは結果として確認できれば、それでいいと、恐らく、そういう理解でよろしいですね。

○山中委員 そのほか、先生方のほうから。

○久田教授 3ページの右上に「設計上フェールセーフ機能を期待する場合」と書いてあるんですけど、これ、具体的にはどんなイメージなのか。先の議論とも関係するんですけど、想定より大きい地震動が来ると、最近、やっぱり免震にもフェールセーフが要るねと

ということで、基本的には変形を、ある程度以上に行かないように抑えるような、そういうイメージで書かれているのか。そうすると、そういうのを許容するのかどうかという話にも関係すると思うんです。これ、どんな考えで書かれたのかということと、それから、もう一つは、4ページの一番最後の応急点検を目視ですと書いてあって、付録にはヘルスマモニタリングの話があるんですけども、やっぱり、基本的にはちゃんとヘルスマモニタリングして、超高層は今、新しいのはほとんど入っていますし、すぐにどういう状況かというのはここで確認できて危機対応をとれますから、むしろ目視もしますけれども、こういうヘルスマモニタリングは、ほとんどもうやらなければいけないというのが、これほどの構造物だったら当然かなという気はするんですけども、その2点をちょっと教えていただきたい。

○猿田主任技術研究調査官 規制庁、猿田です。

最初の御質問というか御意見のフェールセーフでございますけれども、これについては、今、先生がおっしゃられたように、一般建築においてもフェールセーフを入れるべきか、あるいは、そうでないかという議論があるかと思えます。免震建築物の当初のころは積層ゴムがまだできたばかりということもありまして、フェールセーフというのがほとんど使われていたかと思うんですけども、その後、積層ゴムの実績が積み重なって、信頼性が上がったというのは、ちょっと言い過ぎかもしれませんが、フェールセーフは少なくなってきた、また3.11の長周期、長継続時間の地震で大きな変形が起きて、またフェールセーフの議論が……。

○久田教授 そのフェールセーフというのはあれですよ、着座する、これ、外れたときにどんと落ちた、それをフェールセーフと言っているんですね。

○猿田主任技術研究調査官 初期のころはそうだったかと思うんです。今、現状は、先生の多分おっしゃりたいのは、そのフェンダーとかそういったもので変形を拘束するというようなことかと思えます。これを記載するに当たっては、庁内でもちょっと議論があったんですけども、原子力施設だからフェールセーフを必須とするのではなくて、設計者の考え方に基づいて、フェールセーフを採用するかしないかは、設計思想に基づいて決めてもらうというふうに考えております。

それと、次の応急時の点検でございますけれども、これも、基本的には先生のおっしゃるように、今は、もうヘルスマモニタリングがどんどん使われておりますし、非常に有効な方策だと思いますので、ガイド上には記載されないかもしれませんが、そういった

ことがある程度必須という方向で考えていきたいと考えております。

○山中委員 そのほかは、先生方はいかがでしょうか。

○菊地教授 北大の菊地でございます。

資料3の4ページ、一番右下でございます。品質管理で、別置き試験体のことについて言及されていますけれども、これの御説明の際に、付録の23ページの現状をあわせて御紹介いただいたんですが、年々、別置き試験体の設置は一般建築においては減っているという事実がございます。そうであっても、この規制側の考え方としては、別置き試験体は置くべきであるということを確認したいのと、もう1点は、恐らく、一般建築における別置き試験体は縮小試験体であろうと思うんですね。そうすると、ただ、それ、縮小試験体でやるのか、それとも実大を置くべきなのか、その辺のお考えをお聞かせ願いたいんですが。

○猿田主任技術研究調査官 原子力規制庁、猿田です。

別置き試験体についてはいろんな議論があるかと思えます。現在、日本免震構造協会の中にも、別置き試験体の検討の委員会ができたと同っておりますけれども、そういった動向も踏まえていきたいとは思いますが、先生の懸念というか、今おっしゃったように縮小の試験体を置いて、それで本当に実大のものが評価できるのかという議論もございますし、仮に、今度実大を置いて、それに実際の建物と同じ面圧をかけるということは、多分、大変無理だと思いますので、いろんなそういう矛盾点というかが出てきます。ただ、原子力のほうでは、ある程度その積層ゴムの変化というのをきちんと捉えたいということもありまして、別置き試験体を置くような方向で考えております。

○菊地教授 置く方向ということで、それも実大、なるべくであれば。

○猿田主任技術研究調査官 縮小で面圧をかけたものがよいのか、面圧かけなくても実大がよいのかという辺りは、さっき申し上げました協会の委員会の検討結果とか、そういうものを踏まえて考えていきたいと思っておりますけれども。

○菊地教授 わかりました。

○山中委員 そのほかは、いかがでございましょうか。

○古屋教授 電機大の古屋です。

資料3のほうでは、4ページ目のほうの、今の品質管理のところなんですけれども、幾つか、その免震についての言葉が、免震構造、免震層、免震設計、免震装置というような形で幾つか言葉が出てくるんですけれども、ここで出てくる、その維持管理は、これはダンパーも含めた免震層という考え方でよろしいですかね。文章の中には免震装置という形で

出てくるんですが、この免震装置はダンパーも含む免震装置なのか、その辺りのところのちょっと確認なんですけれども。

○猿田主任技術研究調査官 原子力規制庁、猿田です。

すみません、そこら辺、用語の統一がとれていないところは修正していきたいと思えますけれども、先生のおっしゃったとおり、免震装置ないし免震層としては、そこにございます積層ゴム等の支承系統とダンパー、全てを含んだものとして考えてございます。

○古屋教授 そうすると、例えばですけど、弾塑性ダンパーの場合に、過大な免震層の応答があった場合って、先ほど参考資料のほうでもあったように、ダンパーの形状って、弾塑性だとどうしても変わってしまったりとかということもあって、その文章で書いてある応急点検のその目視ということのその考え方に、その免震層の減衰としてどうなるのかということの視点で、これ、余震に対してもそうなんですけれども、何か確認できるようなガイドというふうな考え方にしていくといいなと思えますので、何かそのような考え方で検討いただければというふうに思います。

あと、これ、資料3のほうで、ほかのところにも出てくるんですけれども、例えば、その十分な安全余裕を有することというふうな、文章ではそういうふうな書き方になるのかもしれないんですけれども、この辺も、何をもちたら安全余裕を有している、十分に有しているというふうに、その審査できるのかということも、これ、なかなか定量的に示すのは難しいんだとは思えますけれども、ただ、その何らか指標が、もしできるのであれば何らか指標があったほうが、その十分に安全というような余裕は何、十分な安全余裕というのが何かということも、審査上もそうですし、設計上も明確になると思うので、その辺りのところが、自分で言って、多分難しいというのはわかるんですけれども、何かあるといいのかなというふうに思います。

これはちょっと話が戻りますけれども、先ほどの、その川内のほうのやっぱり適用性ということにも関連していくような話なのかもしれませんので、何か、ぜひそういった審査ガイドラインの中での、そのできる範囲での定量化みたいなものも、ぜひ検討できればいいんじゃないかなというふうに思います。

すみません、これはコメントなのかもしれません。

○山中委員 今、お答えいただくか、あるいは2回目の検討の中で回答するか、いかがでしょうか。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

今のコメントの中で、特にダンパーの確認という意味では、この今回の付録の資料のほうでも、13ページでダンパーの許容限界に関連した実際の地震経験事例とございますように、ここでは野書記録からピークの値を抽出したりとかしていますので、こういった形で、何らかの地震観測、地震記録といえますか、そういったのも設けまして、特に変位の量ですとか、この繰り返しの回数、こういったところはやっぱりチェック、それなりの何らかのチェックをするような形で、この信頼性を確保していくのかなと。一つの方法論としては、そういったところを考えてございます。

○山中委員 そのほか、いかがでしょうか。

○古屋教授 資料の今の3の1ページ目のところの、免震構造の設計に用いる基準地震動のところなんですけれども、規制側の考え方、方針として、周期を10秒程度までカバーしようというところがあるんですけれども、これ、つまり免震層の設計として5秒ぐらいのところまでは、免震層として提案というか、設計上出てくるということが想定されているということなんでしょうか。

○名倉安全管理調査官 規制庁の名倉です。

これ、大体、申請されるものは大体既製品ということで、そこにダンパーとかにつける量によって、固有周期が少し小さくなるということもあるので、実際のターゲットとしては4秒ぐらい、3秒、4秒ぐらいまでなのかなとは思いますが、大体目安として、どれぐらいまでの模擬地震波作成時の適合度の信頼性の確認をするかということでは、切りがよいところでいくと大体10秒ぐらいかなと思ってしまして、そういう意味で10秒と書いておりますので、5秒ぐらいまでは、まあカバーできるんですけど、5秒を最初から施設として念頭にしているというわけではないです。

ただ、切りがよいところとして、大体10秒ぐらいまでをターゲットのスペクトルを確保して、それに対してスペクトル比とSI強度比で適合度を確認して、そこから先をフィルターをかけて落としていくという形で模擬地震波をつくるという形になるのかなと、そういうイメージをもって10秒ぐらいということを書いております。

○山中委員 そのほかは、いかがでございますか。

○久田教授 今、古屋先生のと関係して、その余裕を持って設計するの中に、さっきの繰り返して恐縮なんですけど、やっぱりばらつきって、地震動はあって、震源を特定せずでもばらつきを考えて、 $2\sigma$ まで考えて、 $10^{-4}$ 、 $10^{-5}$ というふうにやって、やっぱり、ある程度そういう考え方って必要だと思うんですけども、ものすごいばらつきを持ったも

の中、この設計としてはこの範囲を使って、だけど、ものすごい可能性は低いけど、それを超える部分に関してはさきのフェールセーフ、あるいは代替施設、あるいは危機管理とかセットで、トータルで何か議論をすべきものなのかなというの、ちょっと検討の中に今後、少し御検討いただけたらと思います。

○山中委員 そのほか、先生方はいかがでしょうか。

よろしゅうございますでしょうか。貴重な御意見、今日、多数いただいたかと思いき、御質問も、まだお答え切れてない部分もあるかと思いき。最初、規制庁から資料2で、今後4回、検討会を開くということをお説明いただいたんですけども、第2回については予定どおり、先生方から今回いただいた御意見、御質問を整理していただいて、お答えをしていくという、そういう会にしてよろしいでしょうか。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

議論は、やっぱりたくさんあるかと思いきますが、一度、こちらからの考えは一応説明できたと思いきしますので、それに対して先生方の御意見を一度集約したいと思いきしますので、予定どおり、2回目で先生方の意見を伺いたいというふうに考えてございます。

○山中委員 本日は、本当に貴重な御意見をいただきまして、ありがとうございます。

次回以降の会議では、いただきました御意見、あるいは御質問、整理いたしまして、お答えできるような資料を規制庁のほうから用意をしていただきたいと思います。また、検討事項については、改めて先生方から技術的な視点で御意見をいただければというふうに考えております。詳細はまた後日、事務局から連絡をさせていただきたいと思いきしますので、よろしくお願いいいたします。

それでは、本日の議題は以上となります。

最後に、規制庁から事務的な連絡をさせていただきたいと思いき。

○川内安全技術管理官 規制庁の川内です。

本日は、長い時間にわたり御議論いただきまして、誠にありがとうございます。次回会合につきましては、改めて御案内させていただきたいと思いき。

また、本日の資料につきましては、お持ち帰りいただいても結構ですし、また、机の上に置いていただければ当方より郵送いたします。

事務局からは以上でございます。

○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1回会合を閉会いたしたいと思いき。

どうもありがとうございました。