

第1回地震・津波技術検討会

議事録

1. 日時

平成27年3月24日（火）10:00～11:56

2. 場所

中央合同庁舎4号館 1212会議室

3. 出席者

外部専門家

酒井 知孝 京都大学防災研究所教授

古屋 治 東京都市大学工学部原子力安全工学科准教授

山中 浩明 東京工業大学大学院総合理工学研究科 環境理工学創造専攻教授

原子力規制庁

高松 安全技術管理官（地震・津波担当）

飯島 首席技術研究調査官（地震・津波担当）付

川内 首席技術研究調査官（地震・津波担当）付

石田 上席技術研究調査官（地震・津波担当）付

中村 上席技術研究調査官（地震・津波担当）付

呉 技術研究調査官（地震・津波担当）付

小林 技術研究調査官（地震・津波担当）付

迎 技術基盤課企画調整官

坂本 技術基盤課課長補佐

4. 議題

(1) 平成26年度 安全研究プロジェクトの技術的評価

（地震・津波技術中間評価）

(2) その他

5. 配付資料

名簿

資料1 外部専門家による安全研究の技術的評価について

資料2 平成26年度 中間評価調査票

参考資料 平成26年度 中間評価調査票説明資料

6. 議事録

○迎企画調整官 それでは、定刻になりましたので、第1回地震・津波技術検討会を開催いたします。

本日は、お忙しい中、検討会に御出席いただきましてありがとうございます。

本検討会は主査を設定いたしませんので、原子力規制庁長官官房技術基盤グループ技術基盤課、迎が、事務局として議事を進行させていただきます。どうぞよろしく願いいたします。

それでは、事務局より事務的な御連絡と資料の確認をいたします。

○坂本課長補佐 同じく、技術基盤課の坂本でございます。

では、お手元に、座席表とともに議事次第、名簿、本日の資料を御用意しております。御覧ください。クリップを外していただきまして、1枚めくっていただきますと名簿になってございます。名簿を御覧ください。

地震・津波検討会の委員は、こちらにお示しいたします5名で構成されています。今回、委員の御都合によりまして、委員会を2回開催させていただくことといたします。5名のうち、本日の第1回会合には、防災科研の酒井委員、東京都市大学の古屋委員、東京工業大学の山中委員に御出席いただいております。第2回の地震・津波技術検討会は、3月26日に、残りの2名の委員の先生方に御出席いただいて開催することとしております。その際に、原子力規制庁からの報告事項は、今回の第1回と同一となります。

次に、資料1は、外部専門家による安全研究の技術評価についてでございます。その次、資料2といたしまして、評価の対象となる安全研究プロジェクトの成果をまとめました調査票を2件御用意しております。さらに、参考資料といたしまして、本日のスライドのコピーを用意しております。過不足等ございましたら、事務局のほうへお知らせ願います。

○迎企画調整官 よろしいでしょう。

それでは、評価に向けた御説明に先立ちまして、資料1、外部専門家による安全研究の

技術評価についてを用いて、技術評価の流れについて、引き続き事務局より説明いたします。

○坂本課長補佐 技術基盤課の坂本です。

資料1を御覧ください。原子力規制庁は、昨年4月に、規制ニーズへの適合性等の観点から評価を実施することといたしました。この評価のうち、中間評価及び事後評価につきましては、技術評価検討会を開催し、外部専門家から、安全研究プロジェクトに対する技術的評価を得ることといたしました。本検討会は、外部専門家によります評価を得るために設置したものでございまして、議事、議事録、資料を公開することといたします。

次ページ、別添1、1枚めくっていただきまして、別添1を御覧ください。会合といたしましては、プラント安全、燃料・材料、シビアアクシデント、核燃料廃棄物、地震・津波の五つの技術分野に区分いたしまして、技術分野ごとに3名以上の委員を選定しております。

次に、1枚めくっていただきまして、別添2を御覧ください。今回、評価いたします案件は、中間評価については、計19件となっております。このうち、地震・津波検討会では、対象といたしますのが2件となっております。

中間評価につきましては、研究機関が5年以上の安全研究のプロジェクトのうち、研究開始から3年以上経過したものを対象としております。

次のページに、事後評価対象として、計5件を掲載しております。これは後日の評価になりますけれども、地震・津波関係では1件を計画してございます。

次に、A3の資料を準備しておりますので、そちらを御覧ください。

委員の先生方には、こちらのA3の資料の評価項目というところに記載してございますような観点での評価をお願いしたいと考えております。具体的には、国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。また、解析手法、実施方法が適切か。解析結果の評価手法、実施結果の評価手法が適切か。また、重大な見落としがないか。このような観点からの評価をコメント形式でお願いしたいと考えてございます。

なお、評価のスケジュールでございまして、3月の間に、中間評価につきましては、技術評価検討会を行いまして、いただいたコメントをもとに、我々事務局のほうで総合的な評価を行います。そして、その結果を、4月末～5月初旬ぐらいを目処にですけれども、原子力規制委員会のほうに諮る予定をしております。また、後日行います事後評価につきましては、4月に同じような技術評価検討会を開催させていただきまして、5月末～6月頭にか

けまして、原子力規制委員会での承認を目指して報告したいと考えています。

私のほうからは以上でございます。

○迎企画調整官 本件について、御質問等ございますでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、安全研究プロジェクト成果の説明に移らせていただきます。

まず、地震動評価技術の整備について、原子力規制庁長官官房技術基盤グループ安全技術管理官（地震・津波担当）付の飯島首席技術研究調査官から、説明をお願いいたします。

○飯島首席技術研究調査官 地震動津波担当の飯島でございます。よろしく申し上げます。

それでは、地震動評価技術の整備について、説明いたします。

まず、概要でございますけれども（参考資料D02の1p）、平成25年7月に、原子力規制庁、規制委員会は、新規制基準、それから関連するガイドといたしまして、「基準地震動及び耐震設計方針に係わる審査ガイド」を施行しました。その中で、基準地震動策定に係わる要求事項というのが述べられております。

それとあわせて、その基準地震動の策定に関しまして、四つの課題を委員会のほうでは挙げております。それぞれ、地震動評価における不確かさ評価手法の整備、それからサイト特性の評価手法の整備、断層変位の評価手法の整備、そして震源を特定せず策定する地震動の評価手法の整備でございます。本プロジェクトでは、この四つのテーマについて研究を行っております。

これは（参考資料D02の2p）、四つのテーマのそれぞれのスケジュールでございます。それぞれ、平成24年～28年にかけて行ってございます。4番目の項目につきましては、これは25年度に終了しております。現在は、この1～3番目の項目について実施しているところでございます。

本日の成果の説明でございますけれども（参考資料D02の3p）、時間の関係上、この青字で示した四つの項目のうち二つ、地震動評価とサイト特性について、今日は説明を行います。

最初に、地震動評価における不確かさの評価手法の整備ということでございますけれども（参考資料D02の4p）、まず目的ですが、東北地方太平洋地震3.11地震、それと、兵庫県南部地震以降に発生した国内の内陸地殻内地震を対象といたしまして、強震動生成域の抽出方法の検討、それから震源スケーリング則等の改良というところに焦点を当てて研究を行ってございます。

この研究では、対象としているのは、断層モデルによる地震動の評価です。断層モデル

を用いた地震動評価の流れがここに書いてございますけれども、2.1では、この震源特性についての研究の内容について説明いたします。具体的には、地震動評価に対しての震源の影響についてでございます。

評価の流れは、強震動を再現するために必要な震源の特性を主要パラメータで表した震源モデルを使って評価しているわけですが、この特性化震源モデルの高度化に関する検討を行っております。

それに対して二つの方法を用いております。一つが、従来用いられてございます調査・観測データに基づく検討。それからもう一つが、動力学知見に基づく検討ということで、この二つのアプローチから、先ほど申し上げました強震動生成域の抽出方法の検討、それから震源のスケーリング則等の改良、これを行っております。

最初に説明いたしますのが（参考資料D02の5p）、海溝型巨大地震の地震動評価手法の高度化でございます。これは、対象といたしましては、3.11地震ということでございますが、背景といたしましては、この地震では、数十メートルを超えるような大きなすべり量が発生した海側の浅い震源域で長周期の地震動が生成されて、数メートル程度のすべり量が発生した陸側の深い震源域で短周期が生成されている、ということなんですけれども、従来使っております最終すべり分布、最終すべり量に基づいた評価手法では、この強震動生成域の抽出が困難であろう、という課題がございます。この研究では、そういった課題を解決するというので、海溝型巨大地震の地震動の評価手法の高度化を図っております。

こちらに（参考資料D02の5p右図）、3.11地震の特性震源化モデルの例を示してございます。上図に描いてございますのが最終すべり分布。従来の最終すべり分布に基づくモデルということで、この図は、上側が海側の浅い領域。プレートを上から見ている図と想像していただきたいんですけども、こちら側が海側の浅い領域、こちら側が陸に近いほうの深いプレートの領域ということですが、従来の最終すべり分布に基づくようなモデルですと、アスペリティの分布が、海側の浅い領域に偏った形になっています。これで強震動を評価すると、先ほどのような課題があるということでございますが、それに対して、新しい、最大すべり分布に基づくモデルということで、こちらのほうの検討を行っております。

これは、地震動の観測記録から逆解析を行い、プレート内のすべり速度というのを評価いたしまして、それに基づいて、最大すべり分布に基づくアスペリティの領域を設定したものです。これですと、海側の浅い領域だけではなくて、陸側の深いところ、プレートの

深い側にもアスペリティを設定するような形になっています。こういうモデルを使うことによりまして地震動評価を行うと、長周期成分のみならず短周期に関わる地震の評価といえますか、整合性のよいものが得られたということを確認いたしました。

最終すべり分布に基づく、そのモデルの妥当性の評価というのは、もう一つ、アプローチとして、動力的シミュレーションを用いた評価も行っております。

ちょっと見づらいですけれども、このところで（参考資料D02の6 p 左図）、この青い、こちらの薄い青とちょっと濃い青がございますけれども、これはアスペリティの部分ですけれども、ここに、すべり応力と、それからすべり量との摩擦構成則の関係をそれぞれ、こちら側と、その青いほう、黒いほうと、ちょっと違うんですけれども、関数を与えまして、それをもとに破壊解析、断層面の破壊解析を行ったのがこちらです（参考資料D02の6 p 中央図）。結果、右側の浅い領域ではゆっくりとすべるような、それから陸に近いほうでは比較的早く運動するような、こういう破壊挙動が確認されています。といいますか、そういう結果が得られました。

それをもとに得られた地震動ですが（参考資料D02の6 p 左図）、黒が観測、赤が計算値ということで、両者を比較いたしますと、パルス波の形状、それから到達時間、それとともに観測記録と、概ね整合するような結果が得られたということで、このような動力的シミュレーションからも、最大すべり速度に基づくモデルの妥当性というのは確認できました。

次、2.1.2ということで、内陸地殻内地震の評価でございます。ここでは、特性化震源モデルの巨視的パラメータの検討を行っております。地震動の特性というのを特徴づけるパラメータについての評価でございますけれども、ここで行いましたのは、国内の地震のそういった巨視的なパラメータと、既往の経験式との整合性の比較です。これが巨視的パラメータという、先ほど言いました地震動を特徴づけるようなパラメータですけども、例えば断層の長さ、断層の幅、それから破壊面積、こういったものがあるのですが、これはその一つの例で、地震モーメントと断層の破壊面積との関係を表したものです。

今までの課題は、これが経験式、青い線、この辺の実線が経験式でございますけれども、これで予測値を与えるわけですが、これは従来の、というか、海外の地震のデータをもとにつくられたというか、提案されたものです。この研究の中では、この経験式、予測式の国内地震への適合性の検討を行いました。

具体的には、1995年以降の内陸の地震を対象に評価を行いまして、18件のものについて

データを整理して、この経験式との比較を行いました。ちょっと見づらいですが、この赤い点と黄色い点が、今回、国内地震ということで評価しているものですが、既往の経験式との整合性はよいと。スケーリング則との対応がよいということが確認できました。

国内の内陸地震につきまして、もう一つ、微視的パラメータについての同様な検討を行っています（参考資料D02の8p）。微視的パラメータとしては、アスペリティの面積ですとか、応力の降下量とか、あるいはライズタイムがございますけれども、こういったものについての検討を行っています。

対象としている地震は、ここに描いてある三つの国内の地震です。下に書いてございますのが、その中の一つの例として、2008年の岩手・宮城県内陸地震の例でございますが、まず、地震の観測記録から震源の逆解析を行いまして、地震動の断層面のアスペリティの特性と申しますか、その辺りを把握して、それを特性化震源モデルに置き換えた上で、地震動の強震動の評価を、解析的な評価を行った。計算で得られた地震動と実際の観測値との比較を行いまして、その計算で使った微視的パラメータと既往のスケーリング則との比較を行いました。

これがその例でございますけれども（参考資料D02の8p右図）、アスペリティの面積とライズタイムということです。ライズタイムにつきましては、既往のスケーリング則との予測値を下回るような結果になってございますけれども、これについては、もう少しデータを集めたりして、さらに検討を続けるという予定でございます。

次に、2.2、サイト特性の評価手法の整備でございます（参考資料D02の9p）。御存じのとおり、柏崎の地震、新潟県中越沖地震等では、地震動が増幅するような結果がございました。そういった知見を、それから教訓を踏まえまして、今の規制のガイドと申しますか、基準の中ではサイトの地下構造を、地震動評価においてサイトの地下構造を評価してくださいという要求がございます。この研究の目的は、地震動の評価のために、そのサイトの地下構造のモデル化手法、その高度化でございます。この研究におきましては、軟岩サイトと、それから硬岩サイト、二つのサイトについて評価を行ってございます。こちらは軟岩のサイトの結果です。軟岩サイトとして、柏崎エリアについての評価を行った地盤——三次元地下構造の評価を行いました。

実施した内容ですけれども、物理探査ですとか、水平アレーを用いた地震動の観測ですとか、あるいはボーリング調査、こういったものを、まず広い、43km×14.5kmの広いエリアと、それから10km×10kmの狭いエリアでやって、こちらのほうの狭いエリアではかなり

密にデータを得たわけでございますけれども、それらの結果から地下構造の評価を行いました。この中で、3,000mのボーリングもあわせて行ってございます。

得られた結果でございますけど、この部分の、この破線の断面がこちらに示してございます。ここでは、S波の速度のコンタで地下構造を表してございますけれども、こちらが古いモデルです。それに対して、今回の研究によりまして、このような、より詳細な、精緻な地下構造モデルが得られました。

地下構造モデルにつきまして、もう一つ、広帯域における実用的な三次元地震動伝播シミュレーション解析手法の検討でございます（参考資料D02の10p）。

先ほど説明したような、柏崎のような地盤構造は、不整形性を有するようなところの地震評価においては、なかなか、地表地盤での地震動の評価というのは困難、なかなか難しい問題があります。これがそのイメージですけれども、地震基盤から、深部基盤、それから浅いところまで、全部一緒くたんでモデル化できれば一番いいわけですが、それがなかなか、今の計算上の制約があってできないということで、今は、この分離解析を行っています。分離解析をすると、地盤増幅率がよく模擬できないというような指摘もあります。それを解決するための一体モデルの提案を行っています。これは、浅部の、浅いところの地盤を、仮の様な簡易なモデルでまず置き換えて、それに一体モデルとして解析をして、その結果、得られた地震波形を工学的地盤に入れて、その詳細なモデルに入れて、地震動を評価するというものです。

これは、こういう簡単な数値解が得られるようなモデルに入れて、それぞれどういう差が出るかということ、数値解との差がどの程度かというのを示したのがこちらでございます。両方とも、今回のモデルで、より地震動として確からしいものが得られたという結果が得られました。

まとめでございますが、これは今、説明させていただきましたとおりですので、時間の関係上、省略いたします。

今後の展開でございますが、「地震動評価における不確かさ評価手法の整備」、「サイト特性の評価手法の整備」、それから、今日は説明しませんでしたけれども、「断層変位の評価手法の整備」について、引き続き検討を行っていくということでございます。

結果の中身についてはちょっと省略させていただきますが、こういった結果の活用についてでございますが、新しい規制基準の中では、安全性向上に関わる運用ガイドの中で、原子力プラントの総合的な安全性を定期的に、原則5年ごとに評価して報告しなさいとい

う要求がございます。この我々がやってございます安全研究につきましては、事業者さんが行います安全性向上評価の中、そういった結果の妥当性について確認するというものに反映していきます。特に、この地震動につきましては、安全性向上評価の中では、地震PRAが有力な方法として考えられるわけですが、その地震PRAの中で、地震動のハザードというのは非常に重要な位置づけですので、そういったところに、評価の確認に活用していくということです。さらに、こういった安全研究で得られた知見を、継続的な安全規制の高度化につなげていくという予定であります。

簡単でございますけど、以上でございます。

○迎企画調整官 御質問等ございますでしょうか。

山中委員、お願いします。

○山中教授 例えば今日御説明いただいた中で、後半は、時間がないから省略するという話がありましたが、これについては我々は議論しなくてよろしいんですか。

○迎企画調整官 事前に調査票をお配りさせていただいておりますので、そこを御確認いただいて、何か御質問等あるようでした御質問していただいて結構です。

○山中教授 それについてもですね。はい、わかりました。

それからもう一つ、どこまで議論するかをちょっと教えていただきたいんですけども、いろいろ御説明いただいたんですが、個々の項目が非常にたくさんあって、ほとんど結果しか見えないので、途中のプロセスについては、あまりここでは議論しなくてよろしいでしょうか。

○迎企画調整官 いいえ。先ほどの資料1の2ページ目を御確認いただきたいんですが、その上のほうにあります、④というところを見ていただくと、今回の評価に当たりまして、委員から、国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか、解析実施手法、実験方法が適切か、解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か、という観点で見ていただきますので、そういったところも含めて、御質問とかございましたら。

○山中教授 たくさんあり過ぎて、多分終わらないと思うんですけど。一番初め、じゃあ5ページの結果ですけども、まず確認なんですけれども、右側のほうの図、二つありますけども、これは、周期範囲はそれぞれどうなっているんでしょうか。この辺からやらないと多分理解できないと思いますけれども。

○呉技術研究調査官 同じく、安全技術管理官（地震・津波担当）付の呉です。

これは、震源逆解析の場合のほうが主に長周期側のほうを見ています。10秒より長い周

期を見ています。

○山中教授 下のほうはどのぐらいの周波数ですか。

○呉技術研究調査官 これは、実際に同じ結果なんですけど。同じインバージョンで、破壊解析で。しかし、二つのプロットはちょっと違う。上のほうがすべり量で、下のほうが最大すべり速度でかけているだけです。解析は、同じ解析です。

○山中教授 データの周波数範囲は同じということですね。

○呉技術研究調査官 同じです。

○山中教授 インバージョンのターゲットする目的関数が違うという、そういう理解でよろしいですか。

○呉技術研究調査官 いや、これは実際に同じ解析のプロセスの中で、結果だけで、例えば上のほうがすべり分布だけでプロットして、下のほうはすべり速度をプロットして。逆解析は同じです。

逆解析のときが、自動的にすべり分布が出ますと、波形バージョンのときが自動的にすべり時間関数もあります。その最後の出力だけが違います。

○山中教授 そうですか。

○迎企画調整官 すみません、マイクを通して御発言をお願いします。

○山中教授 私はちゃんと理解したかどうかわからないんですけども、結局、この背景として、長周期で求めたモデルと短周期で求めたモデルが違うという話がありますね。

○呉技術研究調査官 はい。

○山中教授 けれども、解析は同じ周波数帯でやったという、そういうことなんですか。

○呉技術研究調査官 これが、逆解析のほうは確かに今の現状として、例えば短周期のほうで、これ、逆解析できないけど、例えばレシピを使って、強震動生成域モデルを使って再現解析やりますね。しかし、今の検討のほうは、強震動生成域の抽出手法として、一応従来どおり、例えばすべり分布から、大きいすべりのところが強震動生成域の抽出をしますと。この抽出手法だけの研究ですので、今回のほうが、やや長周期側の地震動を使って逆解析します。

短周期側の検討のほうは、調査票で書いたとおり、短周期地震動は検討しています。

○山中教授 質問票でまた確認いたします。

例えば、下のほうのすべり速度分布で見ると、あまり南のほうは大きくなっていませんよね。これは、そういうモデルで、強震動が、南のほうの茨城のほうの強震動が説明でき

ることになるのでしょうか。

○呉技術研究調査官 これは多分使うモデルによって結果は違うと思いますが、今回のほうで、調査票に書いたのは、確認できたほう、宮城県沖の地震動が特徴的です。真ん中の一番下のほうが、一番、宮城県沖の地殻が、強震動生成域です。南で、たしか抽出できないですね。これは御指摘のとおり、多分違うモデルを使って、例えば南のほうが、図の右のほうで、下のほうが赤いところがあります。人によって、あそこが強震動生成域の抽出をすることもできると思います。今回のほうが、このようなモデルを使うほうが、確かに調査票に書いたとおりの宮城県沖地殻の強震動再現性が確認できました。

○山中教授 わかりました。

それから、この資料全体なんですけれども、「高精度化」とか「高度化」とかという言葉がいっぱいあって、全体をまとめた理解には非常に役立つと思うんですが、テクニカルな議論をするときに、「高精度化」とか「高度化」という言葉が使われると、一体何が行われているのかよくわからないと。これは、事前に送られた資料もそうなんです、そこは、できれば次回は——次回というか、次々回かわかりませんが、次の機会にはぜひ、あまり使わないようにしていただいて、具体的に何をやったかというのがわかるような資料にしていただければありがたいと思います。

それに加えてなんですけれども、8ページ目で、ここの確認なんですけれども、下の図の左の①の図と、フォワードモデリングとある②の図で、ここから、①から②に行くプロセスを少し紹介してください。

○呉技術研究調査官 ①のほうが、先ほどと同じく、波形場所の結果、①をプロットしています。そうすると、実際は、②のほうが、試行錯誤して、例えば①の結果、①でとれるほうが最大モーメントの分布を地表で投影した図ですけど、この断層面上のほうで大きなすべりモーメントが集中するところが、強震動生成域が集中しますと。これを、幾つかのモデルを検討して、その中で一番強震動を再現できる、これは②のほうが経験的グリーン関数法を使うときが、短周期側も、10Hzまでを確認して、一番最適なモデルを構築します。これが①から②からのプロセスです。

以上です。

○山中教授 内容を見ると、文章の①がございませぬ。余震記録の利用により地下構造モデルを高精度化したと。何がよくなってこれができるんですか。

○呉技術研究調査官 これは①のほうですね。①の波形場所が、一応地下構造の速度モデ

ルをチューニングします。余震の波形を使って地下構造モデルをチューニングにして、それが、逆解析の精度を向上しました。これは①の話なんですけど。

○山中教授 そうすると、ちょっと私も全部理解していないんですけども、結局①は、長周期の目で見た断層モデル。

○呉技術研究調査官 そうですね。1Hzまでの。

○山中教授 ②のほうは、高周波を考えて、特性化して、除いた。

○呉技術研究調査官 はい。

○山中教授 そういうふうに書いていただくとわかるんですけど、このままじゃちょっとわからないですね。

○呉技術研究調査官 はい。すみません。申し訳ない。

○山中教授 そんなのがいっぱいあるんですよ。

それから、じゃあ少し先へ行きますして、9ページ目。これも結局、私もよく、どういうプロセスでできたかわからない。地下構造モデルが二つございますね。古いほうから新しいのになって高精度化されたというけども、何が説明できるようになって高精度化したか。多分これは、普通の物理探査と違って、地震動を説明できるモデルが一番いいモデル、そういうふうになると思うんですね。最終的には、地震動説明能力がどれだけ向上したかという、そういう視点で見ないと、この目的のための地下構造モデル、そして高精度化したというのは、ならないですね。その辺はどうですか、これ。

○小林技術研究調査官 同じく、地震・津波担当付の小林です。よろしく申し上げます。御質問ありがとうございました。

まず9ページ、データですね、このグラフありますけど、要は真ん中の下のほうに二つの、JNES2007年モデルと、あと今回やったジョイントインバージョンモデルと、二つあります。これは、当然ながら新旧ですね。

まずデータの扱いなんですけど、JNES2007年モデルというのは、これはほぼほぼJ-SHISのモデルと等価とお考えください。ですから、もともとこの中越のこのエリアというのは、石油の探査、掘削、基礎試錐とか、いっぱいありますので、それをもとに大ざっぱにつくられたものということです。

今回、これは平成24年度からということなんですけど、旧JNESのほうでは平成22年度から、こういった、今度、右の上のほうの平面図でグリッドを描いていますけど、そこで、小さくて申し訳ないんですけど、微動アレー探査とか、水平アレーの地震動観測とか、あと、

新潟工科大学で3,000mのボーリングをやっていました。それが1本ですね。それと、反射法、これは線のほうで描いていますけど、大体40kmぐらいの反射法をやっているんですけど、そういったものをコンパイルして、なおかつ、新しいジョイントインバージョン手法というのをを用いて、それでインバージョン解析したものが下の図のジョイントインバージョンモデルということで。

やはり先生御指摘のとおり、使っているデータが当然増えているということと、解析手法を、従来のアナログ的な解析からジョイントインバージョンを使ったというところで、そういった手法で、そういう意味では基準が、やや統一したデータとか手法がなっていないので、見えていないというのが一方あります。そういった状況が一つ御説明できると思います。

それと、先生、後半御指摘の、最終的には地震動評価のためのモデル、これは私どもも非常に重要視してしまっていて、その一部、これは応答（地盤応答）のみなんですけど、もう一度御説明しますと、右下の部分の黄色い、こういった図が描いていますけど、そこは何をやっているかといいますと、このものは矢印で引っ張られていますけど、3,000mのボアホールの一次元の（PS）検層のデータとソニックログデータをやっています。

もともと、このジョイントインバージョンモデルというのは、やはりこの3,000mのボーリング孔のデータを使ってしまうと、これはもう比較にならないので、この部分は取り除いています。取り除いた上で、周辺の追加した微動アレー探査とか、そういうものを用いてですね。

ですから、そういった上では、一つ、旧JNESのモデルとジョイントインバージョンモデルの比較はできるだろうということで、それぞれ、原位置の記録に対して比較しているということです。これらの構造がありますと、先生御承知のとおり、あとは減衰定数を、Q値ですね、当てれば、一応その一次元の伝達関数がありますので、これが右下に描いてあるということです。

ここでやはり注目すべきが、今回やったジョイントインバージョンモデルが、これが緑色なんですけど、それが検層の原位置のデータの青色の部分に非常に高周波、10Hz以上までフィットしていると。応答的には合っていると。

一方、旧JNESモデル、これは赤ですけど、これについては、やはり高周波は特にダイバージしてきてないということです。

これが、ほぼほぼ平成25年度までの成果が出てきました。今現在、大変恐縮なんですけど

ど、この成果としてはまだ載つけられなかったんですけど、実際、観測記録をいろいろととれていますので、三次元の時間波形を入力して、観測記録がどれだけあるかという検討を進めています。今、大体わかっているのが、最低でも、この一次元の応答では、10Hzぐらいまでの応答を説明するモデルができていたんですけど、時間波形では、大体5Hzぐらいまで説明できそうな、依然まだスペクトルベースなんですけど、そういったことで、今、確認中です。

最終的には、位相を含めたタイムドメインでどれだけあるかというところを、今後これを、平成28年ぐらいまでかけて計画しているんですけど、そういう形で捉えようと。そこで最終的な総合評価ということで、適用性も含めて、どれだけ、今回、安全研究でやったものが高度化できているかというところで、そこで判断しようと考えています。

以上でございます。

○山中教授 わかりました。それはぜひそうしていただきたいと思います。

それから、もう一つ、やはりぜひ検討していただきたい点なんですけれども、現状では、三次元モデルを使うということはほとんどやっていない。現状審査ではね。やはり一次元で、高周波だから一次元でいいという理屈を使っているんですけど、その辺もやはり御検討いただきたい。

つまり、一次元のモデルを仮定した場合と、詳細な三次元モデルをつかった場合に、どの辺の周波数帯域でどのぐらい違うのかという、この辺も大事な評価になりますので、ぜひそこも御検討をよろしくお願いします。

○小林技術研究調査官 ありがとうございます。まさに先生の御指摘の点が、私どもも捉えていまして、ついては、この三次元の高度化したものが、最終的にどこまでが、いわゆるミニマムリクワイアメントとして、調査の観点でデターミスティックに求められるかという、その押さえを見ていこうと。それが、ついては、原子力の適合性審査に、その一つの要求事項になりそう、それが上限なのか、ミニマムリクワイアメントかわからないですけど、そこを最後は定めようという感じでやっています。

○山中教授 私、マイクを持っていますので、もう一個、最後に。

10ページ目、これもやっぱり資料としてはちょっとわかりづらいというか、わからないんですけど、まず深いほうは、これは差分ですか。有限要素ですか。それともハイパー、薄層要素ですから、一次元のモデル波ですか。

○小林技術研究調査官 再び、小林です。

これは全て、FDM、有限差分法の問題点をちょっとターゲットとしていますので、これは全部差分法でやっています。少し子細に申し上げますと、これは5mメッシュでやっています。ですから、400×400×600の、大体9600万の要素で、グリッドでやって計算しています。この程度ですと、大体数G程度のメモリで、手前上、計算できるんですけど、そういった中で、精算解というのと、それぞれの数値解というのを計算して表現しています。

○山中教授 こういう趣旨はわかるんですけども、まず、こういう検討は、今の現状の解析的な手法で、差分なら差分で、どこまで行けるか。これはいろんなコンピュータパフォーマンスにもよるので、アベイラブルなコンピュータ、例えば、京とか、いろいろありますね。そういうものを含めて、どこまで行けるのか。では、行けない部分をこういう簡略化した方法でやるといった、そういうのが初めにないと、やっぱり行き先が見えない。

実際問題、推本なんかの評価では——地震調査推進本部の評価では、表層地盤も入れて三次元で解こうとかいう議論が出ているわけですね。ですから、その辺もぜひ、まずこの研究の背景として、どのくらいの資源があって、それが、この問題に対してどういう現状まで行けそうかというのをぜひ踏まえた御検討をやられると非常によろしいかと思えます。

それで、質問なんですけれども、結局、これは減衰が大分効くんですね。表層地盤を入れた場合に、減衰によっては横方向に伝わる波というのはすぐ減衰しちゃう。例えば、このモデルでいうと、窪地になっている部分というのは1kmぐらいあるんですか。

○小林技術研究調査官 そうです。

○山中教授 その1kmを、これでいうと、多分1秒とか、1Hzとか、もっと高周波の部分の表面波が伝播するときに、Q値が小さいと、かなり減衰してしまって、ほぼ一次元で説明がつくとか、そういうこともありますので。表層地盤の、まずQ値はどうやって出されたんですか。

○小林技術研究調査官 小林です。

そういう意味で、Graves (1996) のQ値の考え方、差分法ですので、中心周波数が (1Hzで)、Qが、1%ですからQ50で表現しています。それでGravesのFのべき乗、1乗ですね。そういう周波数依存を使っています。

○山中教授 ですから、そういうのもよるし、あと、今おっしゃったように、Q値の入れ方、周波数依存性が入らないとか、そういうのがありますよね。ですから、ここでいうのは、そういう限られた状況の中での検討であるという、そういうことをぜひ踏まえていただきたいということなんですけど。

○小林技術研究調査官 先生、ありがとうございます。実は、これは、紙面の都合上、もともとターゲットがFDM、有限差分法ですので、お示ししたんですけど、もともと一次元の重複反射理論から、波数積分を使ったり、二次元の断面を使ったり、いろんなトライをしまして、構造も、いろんな構造、各地のですね、大体今とられているのが7カ所ぐらい、7サイトぐらい、代表的なものをやっているんですけど、そういった中で応答も確認しつつ、やはり売りとしては有限差分法でこういった問題が防災のほうでもありますので、そういった形で、今回はちょっと切り出してお示ししているということで。大分煮詰めてはおりまして、それはまた別の形でお示しできればいいのかなというふうにと感じています。

○山中教授 煮詰めた場合に、よくわかりませんが、ぜひ、この全ての場合がね、私が言いたいのは、全ての場合がこういうアプローチはだめですよというんじゃなくて、どういふときにこういうアプローチをしないとだめで、どういふ場合には通常のハイブリッドアプローチでもいいですよという、そういう仕分けをしていただきたいという、そういう意味です。

長くなりましたが、まずは以上です。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

酒井委員、お願いします。

○酒井主任研究員 今のことに関連して、私はもっと単純なんですけども。この浅部地盤を単純化していくというようなところで、実用的な、それはよくわかるんですけども、通常、こういうところで、目的のところは絞られていて、やろうと思うと、これは上でもやっていますけど、細かく調査して、内部の調査を三次元的にわかろうとしてやっていると思うんですね。

ここでは逆に今度、単純化しちゃっているというところで、今、現象そのものが起きたところで何かやろうと思うと、そこで、こういう合わせることができるから、単純なものでも合っているとか言えると思うんですけども、こういうのは、ほかのところこういう手法を使おうと思うと、いきなり、詳細に全部調べて単純化するのか、それとも、単純化したものをそのまま使うのかというところで、これの位置づけというか、せつかく詳細なデータを調べて判断するということに向かっているというところで、この単純化することで失われるものとか、予測するとき、あると思うんですけど、これはどういう位置づけで行おうとしているのかということですね、とりあえず。

○小林技術研究調査官 再び、小林です。御質問ありがとうございました。

まさにこの浅部地盤、基本的には工学的基盤から大体 V_s で、400m/s、500m/sぐらいですけど、そこから、速度が遅いところを、こういった形で仮想的に考えているんですけど。

情報が失われているという懸案ですけど、まず、この一次元の波動場を考えた場合、これはもともと、私、二つちょっと考えていまして、地盤の仮想モデル。一つは、浅部等価地盤というもので、もう一つは浅部一様地盤というものです。これは調査票には少し書いているんですけど。

浅部等価地盤というのは、これはもともと、本来、リアルな浅部地盤を、これは等価な、要は一層の、要は平均化した、調和平均ですね。例えば速度も、密度も、減衰もですね。そういったものに一回仮想的に上げて、一体解析で地表まで解析するという。これを概念図にあるとおり、また引き戻したり、最終的に実のリアルな浅部地盤でやったとき、これはほぼほぼ理論解と合うということが確認しています。

もう一つ、後者の等価一様地盤というのは、これは何をやっているかといいますと、工学的基盤がございまして、その物性をそのまま上に投影して地表まで持ってきたという、これは実務でもよくやっているかと思うんですけど、そういった場合にどうなるかという応答も、一次元では確認できていまして、ほぼほぼ説明できているというのは確認済みです。

問題は、では、実際リアルな現象というのは、三次元波動場でしょうということなんですね。結局、その部分の浅部の地盤を、本来だったら三次元の振る舞いがあるのに、一次元に押しつけているというところが、誤差を生むような要因になってきます。

実際、今回、右上のほうに、今回のおわん型のモデルで、浅部地盤というのが成層構造をやっていますが、これ、浅いところもおわんのような形で、不整形を与えた計算をしているんですね。そうすると、今回お示しした提案手法Aというのに対して、若干、やはり波形は少し乱れてくるようになりますが、いずれにしろ、それは従来の方法よりは非常に精度がいいというのも確認できていまして、そういったところで、使い方も含めて、考えました。

結論としましては、浅部も確かに三次元性はあるかもしれないけど、そこを一次元に仮定しているというところが、一つ、エラーが出る要因ということで、今、手法の適用性としてはそういうことを捉えております。

以上です。

○迎企画調整官 よろしいでしょうか。

ほかにございますでしょうか。

古屋委員、お願いします。

○古屋准教授 都市大の古屋でございます。

いろいろ御説明いただきまして、どうもありがとうございます。

今後の展開というところに、地震PRAというのが入ってくるわけですが、私は機械系なので、機械系の不確かさというところからすると、地震ハザードのほうの不確かさというのはかなり難しいところが多いと思うんですね。今回のそういった研究の内容が、そういう不確かさのほうにどのぐらい評価の上で寄与していくのかというまとめを、どういうふうに御検討されているかということと、あと、不確かさの何か例えば優先順位というようなところから、こういう研究のところとの関連というのはいかがでしょうか。

○飯島首席技術研究調査官 先ほど説明したとおり、PRAのほうに将来的には使っていくと。安全性向上評価の中で使っていくということなんですけれども、今、先生御指摘のとおり、地震動に関しては、機械系のばらつきと比べたら非常に大きいです。

それで、例えば、今、ばらつきというか、不確かさとしてどういうものがあるかということで、例えばこういうスケールリング則の中でデータをいろいろとって、それでさらに国内のデータをとって、実際に平均値と比べてどれくらいばらつくか。あるいは、もう少し微視的なパラメータについてもデータをとって、蓄積して、総合的にこういった中でどの程度のばらつきを、そのハザード評価の中に持っていくかということも踏まえて、この研究の中では進めているということで、そういったことで、最終的にはPRAのほうに反映していきますので、そういったデータの中から、そのばらつきというのをどの程度というのを把握していきたいというふうに考えています。

○古屋准教授 どうもありがとうございました。

あと1点、これは質問というか、コメントに近いかもしれませんが、先ほど山中先生のほうもおっしゃっていましたが、我々、例えば工学系からしますと、こういった地震のところの入力というのが、その後の対策というところで非常に大きい位置づけになるということで、安全規制側のほうで、今やられている研究が、そういった入力というものに対しての推定ですね、評価というんでしょうか、というところに、精度向上を含めて、どう貢献していくのかというところで、何かまとめていただけると非常に、これからの安全評価というところにも非常に貢献するのかなと。つながっていくのかなと思いますので、

今後の展開のところも含めてですけども、そういった方向性で何かコメントがいただける
といいかなというふうに思います。

○飯島首席技術研究調査官 ありがとうございます。

我々の安全研究につきましては、その都度といいますか、対外的に発表をどんどん行っ
てございますので、そういった中で、我々の成果というのを知っていただけたらいいなと
いうふうな考え方を含めて、進めてございます。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

山中委員、お願いします。

○山中教授 これは幾つか断層モデルでインバージョンとかされておりましてけれども、例
えば岩手の地震ですと、かなり大きな加速度の記録がありますし、ほかでもありますよね。

○呉技術研究調査官 はい。

○山中教授 ああいうものについての扱いというのは、どういうふうにお考えか、ちょっ
と意見を聞かせていただければと思うんですが。

○呉技術研究調査官 実際に、今回の、例えば2008年の岩手・宮城地震は、確かに一関の
西のほうに非常に大きい加速度が観測されたと思いますが、実際のインバージョンのとき
——インバージョンは、もちろん長周期は、1Hzしか見ていないから、よく再現できます。
②のところ、実際、一関のほうは10Hzまでも、よく再現できたことも確認できました。

○山中教授 そうですか。それはすばらしいですね。ぜひそういう結果を御紹介いただ
けると、研究の価値というのが具体的にわかりますので。やはりなかなか、大加速度の記録
というのも説明するというのは非常に難しく、いろんなところでいろんな取組がやられ
ているところから、その辺をぜひもっと積極的に紹介していただければと思
います。

○呉技術研究調査官 御指摘ありがとうございます。実際、我々、目的以外の、例えば先
ほど1番から申し上げた18個の地震なんかで、実際、地震規模はそんなに大きくない。し
かし、速度値が大きい。この説明性を向上するために研究を進めてきました。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。 よろしいでしょうか。

それでは、続きまして、外的事象に係る構造健全性関連研究について、石田上席技術研究
調査官及び中村上席技術研究調査官から御説明をお願いいたします。

○石田上席技術研究調査官 それでは、平成26年度の外的事象に係る構造健全性関連研究
に関する御報告をいたします。

まず、研究概要についてですけれども（参考資料D06の1 p）、平成25年の7月に、新規制基準、それから関連する審査ガイド等が施行されております。現在、これらに対する適合審査が進められているところでございます。また、一方、「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」というのが、平成25年11月に施行されておりますが、ここでは、プラントの安全性向上を評価することを求めています。評価手法の1つとして「外の事象に係る確率論的リスク評価（PRA）」これが挙げられております。

こういった背景を踏まえまして、我々は、地震・津波等に関するリスク評価の観点から、施設・設備のフラジリティに係る研究を進めているところでございます。

具体的には、この下にございます(1)耐津波設計・フラジリティ評価手法に係る整備ということで、①②③の三つのテーマを掲げてございます。それから、(2)地震等の外部事象に係るフラジリティ評価手法の整備ということで、①～④までの四つのテーマを掲げてございます。

まず、耐津波設計・フラジリティ評価手法の整備に関する御説明ですが、ここが平成24年度～28年度までの実施計画について述べてございます（参考資料D06の2 p）。

このうち、三つ、テーマがございましてけれども、平成26年度時点で実際に研究が行われておりますのが、網かけのかかっております①防潮堤の津波に対するフラジリティ評価、②水密扉の津波に対するフラジリティ評価、この二つでございます。

同様に、地震等の外部事象に関するフラジリティ評価手法も、四つテーマがございまして、24年～26年度までに実際に研究を実施しておりますのが、①の地震時の斜面崩壊に係るフラジリティ評価というものでございます（参考資料D06の3 p）。

ですので、本日は、26年度までに研究が実際に実施されております三つのテーマ、これについて事例を紹介させていただきたいと思っております。

それではまず初めに、初めのテーマでございます防潮堤の津波に対するフラジリティ評価、これについて御説明をいたします（参考資料D06の4 p）。

まず、背景といたしましては、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」、25年に制定されました新規制基準に伴うところのガイドでございますが、この中で、防潮堤に係る津波による荷重の設定に関しては、考慮する知見（例えば、国交省の暫定指針）及びそれらの適用性を確認するというようなことを求めています。ちなみに、ここで防潮堤に作用する津波波形というのがどういうものがあるかというのが、ちょっとこの図1に示しておるところでございます。一つは段波波圧と言われるもの、それからもう一つ

は持続波圧と言われるもの、この2種類の波圧がございます。段波波圧は、津波が最初に防潮堤に衝突する際に与える継続時間の短い波圧、持続波圧は、段波波圧の後の継続時間が長い波圧、というふうに分類をされてございます。

こういったことを踏まえまして、国交省の暫定指針等では、設計上考慮する津波波圧をどのように定義しているかといいますと、構造物（防潮堤）の位置において、防潮堤がない場合を想定した津波の浸水深から得られる設計用浸水深の3倍、これを水深係数3というふうに称しておりますが、この高さに相当する静水圧より求めましょう、ということを暫定指針ではうたっております。

一方、この暫定指針の物の考え方に対しては、条件によっては、この水深係数3というものを超えてくるような場合があるという既往研究もいろいろ出されております。

そこで我々は、水深係数3の適用範囲というものをきちんと検討しようということを目的にいたしまして、既往研究の中で言われていること、それから、先ほど御説明しました波圧には段波波圧、持続波圧、2種類あるということを御説明しましたけれども、その中でも、特に防潮堤に対する効果がより大きいというふうに言われている持続波圧、この持続波圧をテーマにいたしまして、まずは水理試験、シミュレーション解析、試解析、こういったものを実施してまいりました。

では、具体的にどんなことをやってきたかということについて御説明をいたします。まず、水理試験です（参考資料D06の5p）。津波の海上伝播及び陸への遡上を模擬することのできる2種類の水路を用いて、造波装置により津波を模擬した作用波を発生させるということで、中規模の水理試験設備、それから大規模の水理試験設備という2種類の設備を用いました。具体的に言うと、対実規模縮尺というふうな視点で見たときに、40分の1、それから10分の1というような縮尺のものでございます。この二つの水路を使いまして、実際の試験というのを水路の底面勾配であるとか作用させる波の形、それから波の高さ、このようなものをパラメータとして試験をやっております。

試験自体は通過波検定試験、それから波圧試験という2種類の試験をやってございます。通過波検定試験というのは、防潮堤を模擬した堤体という、いわゆる壁ですけども、それを立てない状態で、ただ単純に津波の波を流すと。その流したときの沖合側、それから遡上した後の波の高さ、波高だったり浸水深がどうであるか、それから、そのときの流速がどうであるかというような、そういうデータをとるといった試験でございます。波圧試験のほうは、堤体という障害物を立てて、それに対してどういう波圧が発生したかというも

のを測定してございます。

ちょっとここでは、大規模水理試験の実際の試験の様子を、これは波圧を立て——これは実際に堤体を立てた状態です。奥のほうから今、波が作用してきておりますけれども、これは大規模水理試験設備という全長180mぐらいの大きなものでございます。これは今ちょっとスローモーションにしておりますけれども、波がここでは碎波した状態でぶつかっているというような状態でございます。こういったようなものを、いろいろとパラメータを振りながらデータをとりましたというのが水理試験の状況でございます。

それから、今回我々、暫定指針における水深係数の3の適用範囲を検討する、これが検討の一番の目的でございます（参考資料D06の6p）。この目的を達成するために、整理の仕方としては、フルード数と水深係数という概念を取り入れまして、この関係を整理するというのをやりました。

具体的に言うと、水理試験、シミュレーション試験、それから試解析、色々な数値解析等をやっているわけですが、これらの結果を統一的な尺度で比較するというのを目的にして、無次元数であるフルード数と水深係数というものを導入しております。

フルード数、水深係数というものは、この点ちょっとここに書いてございますけれども、フルード数というのは、ある特定の波高における水の勢い、それから、水深係数はある特定の波高における圧力の強さなので、水の強さ、圧力の強さというような指標になっているというふうに御理解をいただければと思います。

こういったような整理をするに当たって、先ほどの水理試験とあわせてシミュレーションの解析をしております。シミュレーションのほうでは、水理試験と同じように沖側の波高であるとか浸水深、流速、それから最大堤体作用波圧、こういったものをシミュレーション的に出して解析結果との整合性の確認をとっております。あわせて、フルード数、水深係数に対する解析手法の妥当性の確認などをしております。

それと、もう一つは、堤体位置をちょうど汀線である海岸線位置、それから少し奥、それからかなり奥というふうに3カ所ぐらい、それをパラメータにして振って、その状態で水深係数がどういうふうに変化していくかというようなこともやってございます。

まず、今度は結果ですけれども、シミュレーションの解析の結果でございます（参考資料D06の7p）。水理試験結果とシミュレーション解析結果の比較ということで、ここでは一例で、波高、浸水深、流速などを比較した場合ですけれども、両者はよく一致しますということでございます。これは一例として、浸水深と沖側の波高ですね、この関係をちょ

と示したのが下のグラフでございます。

ちょっと見づらいかもしれないんですけども、赤が試験、それから青が解析なんですけれども、沖側の波高、それから遡上後の浸水深、こういうふうに四つがだんだん時系列的に進んでいくのに当たって、シミュレーションの結果と実際の水理試験の結果がよく一致しているということがわかりました。なので、一応ここではシミュレーションの解析手法等を一応いろいろつくったりしているんですけど、これらのつくったものについてはほぼ妥当ではないかというような見解を持ってございます。

それから、堤体位置をパラメータとした検討についてでございますけども、堤体位置をいろいろと振った場合に、水深係数がどういう傾向になるかということを見ております。このグラフにございますけれども、堤体が汀線、ちょうど海岸線の位置から徐々に陸側に設置されるに従って、水深係数が大きくなる。連続右上がりですね、こういったような傾向が中規模、大規模、それからシミュレーション解析などでほぼほぼ同じような傾向が、概ね同じような傾向というものが得られてございます。

といったこれらのいろんな傾向の分析を踏まえて、最終的に水深係数3の適用範囲というところの整理を行っております（参考資料D06の8p）。先ほども御説明しましたように、フルード数と水深係数の α というものであって、そこを整理してあげようというものでございます。

このグラフを見ていただくと、横軸にフルード係数をとっております。縦軸に水深係数をとっております。これで水理試験の結果、シミュレーションの結果等のいろんなデータを無次元化してプロットしてみますと、フルード数が1.5程度を超える領域で水深係数 α が3を超える場合があります。それから、フルード数が1以下の領域では水深係数 α が3を超えるようなデータが得られなかったというような結論が得られてございます。

これはいろんなところで既往研究がやられております。そういった既往研究の結果と比較しても、既往研究の中もかなりいろんなばらけた結果が出ておりますけれども、そういった中においてでも、ほぼほぼ既往研究なんかの中とも大きく異なることのないような結果が我々の研究の中でも出ております。

最後、まとめについてですが、水理試験、水理試験のシミュレーション解析、それから実規模モデルによる試解析を行って、水深係数の適用範囲を明確化いたしました。これらの結果は原子力規制委員会に報告するとともに、NRA技術報告として取りまとめて、昨年末に発行してございます。

以上より、規制基準適合性に係る審査における判断基準として、こういったものが貢献できるのではないかというように評価してございます。

それでは、2番目のテーマですけれども、水密扉と津波に対する浸水防止機能の評価でございます（参考資料D06の9p）。

まず、背景といたしましては、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」等、いわゆる新規制基準の中のガイド、この中に水密扉等については、「浸水想定範囲における浸水時及び冠水後の波圧等に対する耐性等を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対して浸水防止機能が十分に保持できるように設計すること」、要は津波等で水が入ってきても十分に浸水防止機能というものは保持することが規制要求でございます。

そういうようなことで、目的といたしましては、水密扉の津波に対するフラジリティ評価手法を整備するため、水理試験を行い、水密扉の浸水防止機能に係るデータを取得するというところで研究を行っております。対象といたしましては、片開きの水密扉、これは幅1m、高さ2mほどのものです。国内の主要メーカーの実機仕様の試験体を使っております。それから、試験体としては、水密扉単体と、それと水密扉を設置するRC壁、コンクリートの壁ですね、コンクリートの壁も用いて試験を行いました。

条件としては、地震と津波の重量を想定するというので、まず、地震に関しましては、せん断変形を強制的にかけまして変形させるという状態で、その状態でもって津波を模擬した水圧を連続的にかけていくというような実験を行いました。

これがその実験の結果でございます（参考資料D06の10p）。まず、ここでは漏水量、枠内というのは扉の単体というふうに受け止めていただきたいんですけども、横軸が付加しました水頭圧です。縦軸が漏水量です。それで、いろいろとプロットがあるのは、そのときのせん断変形量がどれくらいであるかというのがいろんなプロットになってございますけれども、ここでは、せん断変形量をいろいろ変えるんですけども、あまりそこに、せん断変形量と漏えい量との関係というのは相関性がなくて、それよりもむしろ水頭圧を上げていくことによって連続的に漏えい量が増えていっているというようなことが見てとれました。

反対に、これはのRC壁の漏水量、壁の側です。壁の側のほうは、当然、水頭圧が上がってくると漏水量も増えてくるんですけども、せん断変形量が大きい場合には、やはり漏えい量も大きい、せん断変形量が小さいときには漏えい量が小さいというような結果が出てございます。

これらを整理いたしますと、まず、設計条件範囲内の許容漏水量ということで、ここでは水頭圧10mで、 $0.02\text{m}^3/(\text{h}/\text{m}^2)$ 、20Lぐらいですね、これぐらいの漏れい量を設計条件として設定しておりますが、これは超えないと、設計条件は満足していますよということを確認してございます。それに対して、まず扉の枠内、つまり扉の本体は、こういった設計条件を超えると急激に漏水量が増えるというふうな傾向があることがわかってございます。それから、扉の外側、つまり壁のところですけども、壁のところはRC壁にひび割れが生じると漏水量はせん断変形量に応じて大きくなる傾向がございまして、それはちょうどこのグラフに相当します。

一方、せん断変形量を強制的にかけた状態のものを、一旦開放してもとに戻すと、壁からの漏水量というのはほとんど無視できるぐらいの小さい値になります。結局、負荷時の、荷重をかけていたという状態での変形というのは、その荷重を開放してやることによってひび割れとか亀裂が入っているものが閉じてしまっていると、そこからの漏れいなくなるんだらうというふうに推定してございます。

以上、こういったことが今回わかりました。これらを踏まえて、今後、扉枠内の漏水量に基づいて、フラジリティ評価手法に係る検討を行って、津波PRAのほうに反映していきたいというように思っております。

では、ちょっと発表者をかわらせていただきます。

○中村上席技術研究調査官 後半部分は中村のほうから御説明させていただきたいと思っております。

後半部分、テーマといたしましては、地震等の外部事象に関するフラジリティ評価の整備ということで、テーマは地震時の斜面崩壊に係るフラジリティ評価でございます（参考資料D06の11p）。ここでは斜面崩壊、変形状態に応じて斜面崩壊前の検討と斜面崩壊後の検討、二つについて御説明させていただきます。

背景でございますけれど、こういった斜面の崩壊というものは、現在、基準地震動に対して動的解析を行うこととして、評価指標として時刻歴のすべり安全率、そういったものを用いて評価しております。しかしながら、こういった指標だけでは評価というものは十分でないだらうということで、新たにひずみや変形等の指標を導入して、斜面安定性評価手法を高度化するということを目的とします。

実施内容といたしましては、振動台試験により斜面の応答加速度や土塊の移動距離に関する試験データを取得し、斜面の崩壊形態について分析いたしました。左の図がその一

例でございます、斜面崩壊前の最大せん断ひずみを表しております。こういったせん断ひずみがどのように進展していくかということ時刻歴で見たものがこの右の図でございます。下の図が振動台に取りつけた入力加速度の時刻歴、上の図が、この斜面のすべり土塊の移動距離でございます。

御覧になってわかりますように、崩壊のパターンが幾つかの特徴的なパターンに分かれるということがわかりました。一つ目が、地震の作用とともに一挙に崩壊する滑落型という崩壊のパターン、2点目が地震動の慣性力がかかっている間、動くという進行型の場合、3番目がこの両者の中間型と、そういったものがこの試験でわかりました。

具体例をちょっとここで御説明します。これが進行型で、この型の特徴といたしましては、地震動が終了したら斜面は滑り落ちずにここでとどまっていると、そういったものが特徴でございます。こういったパターンを特徴づけまして、最終的に斜面の崩壊形態に応じて、地震の変状を考慮した斜面の安定性評価の考え方をまとめました。

続きまして、斜面崩壊後の検討ということで（参考資料D06の12 p）、こちらの場合は、斜面崩壊した後に、この土塊というものがどういう挙動を示すか、あるいは転がった後、重要な構造物に衝突することが考えられます。そのため、本研究では、斜面崩壊に係るリスク評価の観点から、どのような要因が施設に影響を及ぼすかと、そういうことを明らかにすることを目的に試験を実施しております。

試験状況はこちらの写真にあるとおり、これは画像で実際よりもスローで再生しておりますけれど、ここにちょっと角度の異なる傾斜を設けまして、こういうはね返る挙動がどうなるかというものを検討したものでございます。

試験結果をまとめたものがこの図でございます、横軸が斜面の距離でございます、縦軸が速度です。速度につきましては、斜面の接線方向、この赤印と、斜面の法線方向、この青印で分類しています。斜面の接線方向につきましては、転がる間に多少変動はあるものの、マクロで見ますと、ほぼ線形に加速をし、一方、こちらの法線方向につきましては、この角度のあるところではね上がりまして、その後変動するといった特徴的な検討の結果が得られてます。

こういった検討結果とともに、この斜面の転動挙動というのは、斜面の勾配だとか、あるいは斜面の模型の形状、そういったものに到達距離が影響するということが確認できました。

以上、研究内容をまとめますと（参考資料D06の13 p）、まず第1点、防潮堤の津波に対

するフラジリティ評価、ここにつきましては水理試験とシミュレーション解析、それを行いまして、水深係数の適用範囲を明確にしました。この結果を原子力規制委員会に報告し、技術報告書として取りまとめました。その結果、現在進行中の審査においても活用しているところがございます。

2番目の水密扉に関する浸水防止機能の評価に関しましては、片開きの水密扉を対象にして、漏水量と水頭圧の関係をデータとして取得しました。それで、そのデータとしましては、許容漏水量を超えないことを確認しております。RC壁、それにはひび割れが生じたけれども、除荷時におきましては漏水量に大きく影響しないことを確認しております。

最後、地震時の斜面崩壊に係るフラジリティ評価にごさいましては、斜面崩壊前においては、崩壊形態を分類したというデータを得たことと、斜面崩壊後に関しましては、施設に与える影響、そういった点でどのような要因が支配的になるかということを確認しております。

今後の展開でございますけれど（参考資料D06の14p）、本日説明しました3テーマのほかに、次年度以降実施する項目を簡単に最後に御説明したいと思います。津波関係の検討につきましては、この4.3の構築物、設備の津波に対するフラジリティ評価を行います。一方（参考資料D06の15p）、地震等の外部事象に関する評価に関しましては、4.5の地震による設備のフラジリティ評価、4.6の構造物の衝撃に関するフラジリティ評価、そして最後、4.7の竜巻荷重に関する施設へのフラジリティ評価を次年度以降実施する予定でございます。

以上で御説明のほうを終わらせていただきます。

○迎企画調整官 御質問等ございますでしょうか。

酒井委員、お願いします。

○酒井主任研究員 ありがとうございます。最初の津波の対策というか、その評価手法のところですけど、6ページ目のところで、水深係数3に対してフルード数と水深係数の関係を整理という、非常にわかりやすかったんですけども、これ以前というか、通常どういふうにこれ評価していったということやっていて、今回このフルード数と水深係数でやってこうなったというのはわからない。これはどういうふうやって整理していった、これで考えていったというところは。

○石田上席技術研究調査官 実はフルード数と水深係数を使った整理の仕方というのは、必ずしも新しい整理の仕方ではないんですけども、一番最初に御紹介をいたしました国

交省の暫定指針、ここではフルード数という概念がなくて、単純に水深係数というものだけで評価をしております。なので、今回我々がいろいろやっていく過程でわかったことなんですけれども、先ほどフルード数というのは、水の勢いというか、そういうものを示す一つの指標であるということを申し上げたんですけれども、従来の暫定指針なんかの中では、その水の勢いというものに必ずしも言及せずに、一律、静水頭圧の3倍に相当する高さを用いばいいんだということに限定していたので、もう少しパラメータとして水の勢いであるとか、そういうようなことも加味すべきだろうというようなことで、こういう整理の仕方を採用したということでございます。

○酒井主任研究員 ありがとうございます。

もう1点なんですけど、これで3以上になっているところに随分来てるんですけども、これらについては今後どういうふうを考えていけばいいんでしょうか。

○石田上席技術研究調査官 我々、規制研究というか規制側の話になりますので、ここから先は事業者がこの結果を踏まえて、自分のところのプラントの実情がどうであるかということを見えていただきたいというふうに思っております。

その上で、フルード数が1以下であって、それから水深係数も3以下で適用できるねということであれば、それは従来の評価手法を使っていればいいと思いますし、逆にそれを超えるような場合であれば、そこから先、別の詳細の検討であるとか、そういうことをしていただくということの注意喚起といいますか、そういうような形で使っていればというふうに思っております。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

山中委員、お願いします。

○山中教授 津波のほうの二つ目の話ですが、最後にひび割れが閉じて水が漏れなくなるという話がありましたけれども、結果としては、水圧がかかって荷重がかかったままの状態を評価しなきゃいけないという、そういう理解でよろしいんですか。フラッグが閉じたから水の漏れがなくなったのでいいという、そういう話ではないんですよね。確認ですけれど。

○石田上席技術研究調査官 はい、そのとおりでございます。それで、一つ、これは実際の事象でどういうことかということ、地震が来て揺れました。揺れて、地震がおさまると、恐らくせん断的な荷重がなくなって閉じた状態になるんだろうなと思うんですね。ところが、その後に津波がやってきて、津波の水圧、荷重というはずっと連続してかかっている

わけですので。なので一旦4,000 μ とあって非常に大きなひび割れが発生した後、それが閉じました、その閉じた状態で水圧がかかって、どれだけの漏水量があるか、そこを見るというところがポイントのように思っております。

○山中教授 わかりました。

それとあと、こういう構造物の場合、基礎の部分で破壊するようなことも結構大きいような気もするんですが、その辺はどういうふうにお考えですか。

○石田上席技術研究調査官 基礎というのは建屋の側という。

○山中教授 いや、堤防の基礎部分というのは。

○石田上席技術研究調査官 堤防の側の話ですね。

○山中教授 ええ。

○石田上席技術研究調査官 堤防の側の話は、よく一般的に言われるのは洗掘というような現象でございますね。それで、そこも評価というか研究の対象になり得るというふうに思っております。それで、ただ、実はこれは今後、次年度以降、洗掘の研究もやっていると知っているんですが、ただ、今、優先順位的の一つ下げた一つの理由は、我々の規制基準の考え方というのは、いわゆるドライサイトという考え方があって、津波は防潮堤を立てた時点でもう越流しないと、越えないということが前提でございます。

それで、基礎部に対しての影響、つまり洗掘というのは津波が越流してきて、それを越えてぱっしょんと落ちたこの裏面のところで起こるとというのが一般的に言われておりますので、まずは設計条件で越流しないという条件においては、まだそこは最初の課題ではないのかなというふうに思っております。ただし、3.11の話なんかを見ると、洗掘による被害事例というのは非常にたくさんございますので、それは研究対象としてやっていくべきだろうというふうに考えてございます。

○山中教授 もう一つ、よろしいですか。遡上の場合をターゲットとしているかどうかわからないんですけども、初めのほうの話では、遡上の話も少し出ていましたよね。

○石田上席技術研究調査官 はい。

○山中教授 そのときに、水だけではなくて、いろんなものが混在した形で来ますよね。水自体は密度が上がりますよね。そういうものの影響というのはどういうふうに考慮されるのでしょうか。

○石田上席技術研究調査官 まず、水の話は、これ荷重に最終的に変換するときに ρ 、密度項がありますので、そのところで評価すべきだと思っております。それで、 ρ として、

じゃあ具体的にどれぐらいの値を評価するんだというのも、一般的な知見少ないんですけども、あるにはあって、大体、砂密度がせいぜい多くても7~8%ぐらいというふうに言われておりますので、それぐらいに相当する密度項をこの算出式の中に入れてもいいのかなというふうに思っております。

それからあと、いろんな、何でしょうね、砂丘のようなところに来て、こういろいろ物がごちゃごちゃごちゃって来て、場合によっては前面にあるようなものが漂流物のような形になって衝撃的にぶつかるというような、そういう事象もあるというふうに考えてございます。そこについては、我々は来年度以降、少し研究の中で取り組んでいきたいというふうに思っております。

○山中教授 もう一つ。二つ目のお話なんですけれども、話としてはよくわかったんですけども、今回の場合はミクロに少し見てらっしゃるように私は思ったんですが、これをどうやって設計に生かすかという観点ではどのようにこの研究はまとまるんでしょうか。

○中村上席技術研究調査官 一つは、ここに示しました、ひずみ分布で、どの程度で崩壊するかとか、滑落型ですけど、それが何%ぐらいになったときに、大体この崩壊形態が起るかという基準値をまずつけるというのが設計の第1点だと思います。

進行型というのは、途中で止まる場合は対策等で何らかの低減効果についても考えて設計していくと、そういうふうに今考えております。最終的には、次のリスク評価段階になっても、これどうしようもない、滑落型ですけども、そういった場合はばらつき等も大変重要なテーマになりますし、そのばらつきの幅がどういったものがあるかと。その要因は、例えば高さが高い場合だとか、この形状でも、球形ほど実はよく転がらないんですけど、そういった形状にもよると。あと、それと要因分析をした後に、そのばらつきが幾らになるかと、そういうことを今後詰めて検討していきたいと思っております。

○高松安全技術管理官 管理官の高松でございます。

今の御質問ですが、この斜面の研究そのものは、将来地震PRAを行うときのための研究でございます。設計としては、今ここに書いてありますように、すべり安全率を用いております。それは保守的な値ですので、それに対して問題があるとは我々は考えてございません。ただ、地震PRAをやる上では、やはり実際の挙動というものが非常に重要になってまいりますので、どういう壊れ方をして、そのときひずみとか、どういう指標を考えればいいのかということは重要になってまいりますので、この研究をさせていただいていると、そういう位置づけでございます。

○山中教授 ただ、設計では、やっぱりそういうのは大事で、やはりいろいろなものの壊れ方を想像しながら設計するのが設計ですから、決してPRAのほうだけでこういう情報が重要なわけではないんですよ。

○高松安全技術管理官 それはおっしゃるとおりでございます。それは当然ベースにあるとして、その上としてPRAで使う研究をさせていただくということでございます。

○山中教授 わかりました。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

○古屋准教授 いろいろ聞かせていただきました。どうもありがとうございます。幾つかあるんですが、一つは、まず7ページ、8ページのところの水深係数の結果の図の6番と図の7番があるんですが。安全規制側のほうからすると今大きな問題ではないのかもしれませんが、水深係数3を超えたところの領域で、実験結果に対して解析側が過小評価になっているという結果があるんですけども、この辺りの要因というんでしょうか、というのがもし何かおわかりになっているようであれば、少し御説明いただければと思うんですが。

○石田上席技術研究調査官 解析と試験の相違ということでよろしいでしょうか。

○古屋准教授 はい。

○石田上席技術研究調査官 解析と試験の相違ということだけではなくて、いろんなばらつきの要因になるようなものがやはり出てございます。それで、そのばらつきの要因が何であるかということもいろいろと分析をしたりしております、その中の一つに、津波の場合は、こう津波がずっと伝播してくると、最後に砕波といいますか、津波の波がずっと立ってきて、ぱたんと倒れる。その砕波という現象が圧力に対して非常に影響を及ぼすということが一般的にも言われているという話がございます。

それで、その砕波という現象もやってみないとわからないというようなところもあるというふうに聞いております。なので、これも来年度以降の研究テーマとして上げているんですけども、少しそこら辺の砕波のメカニズムというものをもうちょっと掘り下げてみて、ここら辺のシミュレーションの結果、それから、水理試験の結果の違いというものをもう少し掘り込んでみたいなというふうに思っております。

○古屋准教授 ありがとうございます。そうすると、そのばらつき、この解析のところの実験との比較というところのエラーの一番の要因は、その砕波というところの圧力分布の解析具合というのが一番大きいということですか。

○石田上席技術研究調査官 当然それだけではないんですけども、例えば奥のほうに行くと、今の試験設備の状況から言うと、非常に小さい水深をベースにして、その水深に対して、それを基準にして水深係数を出すというようなことがやられておりますので。そうすると、非常に小さい水深をはかる測定精度の話であるとか、そういった誤差要因とかもいろいろきいてくるという可能性があります。なので、砕波というのは一つの一例ではあるんですけども、そういうような話とか、いろいろ加味した上で、もう少し掘り込んだ研究をやってみたいなと思っております。

○古屋准教授 わかりました。ありがとうございました。

次は、9ページ、10ページのところの水密扉のところになるんですが、まず、先ほどちょっと御説明がありましたけども、基本的にはドライサイトというのが前提ということになるんですが、その中で、今回の試験のパラメータというところで、どういう入力を想定されたのかなど。その入力とか津波のパラメータで、その水頭圧で何mというのが試験的には行われるわけですけども、どのような入力状態というのを検討されたのかなど。

○石田上席技術研究調査官 これ、水頭圧で言うと、最高限界試験で50mぐらいまで持っていくとか、そういうところまでやってございます。通常の試験であれば、30mまではやるというふうになっております。それで、実際の現場での起こり得る事象ということの関連で言うと、必ずしもそこはマッチングしていないんですけども、ここではPRAとか、いわゆるビヨンドの世界で実際の扉の水深防止機能に係る耐力がどこまであるんだろうというふうに見ていきたいということを想定いたしましたので、そういう意味で、水頭高さは相当ずっと上げていってございます。

○古屋准教授 わかりました。大変ありがとうございました。よく理解できました。

あと、もう一つ、その試験条件のところ、その地震と津波の重畳を想定しているということなんですが、基本的には地震が起こった後に津波ということを見ると、この地震というのは、例えば余震とか、そういったことを想定されているという理解でよろしいでしょうか。

○石田上席技術研究調査官 一義的には、先ほど山中先生からも御指摘があったんですけども、まず地震が来て、変形することによってひび割れ等が入りました、だけど地震がおさまったので、そのひび割れのところがおさまったというか閉じた状態で、それで津波がやってきてというようなことを見るのがまず一義的な話かなというふうに思います。ただ、余震のような場合であれば、津波と地震の同時性というようなことも考えられますの

で、そういったような場合は、ここで言うところの載荷状態、その変形させた状態での漏えい量というものはかかってございますので、それは余震で地震・津波が同時に発生したときのデータとして使える可能性があるのかなというふうに思っております。

○古屋准教授 またちょっと細かい質問なんですけど、このひずみの4,000 μ という位置づけなんですけどね、これどういったところを想定すると、その4,000 μ というところで試験をされたのかなと思ったんですが。

○石田上席技術研究調査官 一応、RCコンクリートの終曲の耐力ということで、が4,000 μ というふうに言われているというところを基準にしてございます。

○古屋准教授 わかりました。ありがとうございます。

あと、もう一つ、今後のところで、特に水密扉等の試験って非常に重要な知見がいろいろ得られている結果だと思うんですけども、学会の発表とかというところの予定は何かございますでしょうか。

○石田上席技術研究調査官 今ちょっとまだ具体的に計画していないんですけども、そういうようなこともやっていきたいというふうには思っております。

○古屋准教授 できれば機械学会でぜひよろしく願いいたします。

○石田上席技術研究調査官 わかりました。ありがとうございます。

○古屋准教授 非常に興味ある試験で、なかなか、例えば大学とかでやるとかというのはなかなか難しい試験かなということだと思っていて、データとかも今後の耐震安全性の向上というところで非常に有益かなと思いますので、ぜひ御検討いただきたいと思います。よろしく申し上げます。

○石田上席技術研究調査官 ありがとうございます。

○迎企画調整官 ほかにございますか。

山中委員、お願いします。

○山中教授 今、古屋先生からお話があった、私最後に言おうと思ったんですけども、古屋先生が機械学会と言いましたけれども、やはりまずは日本の学会に波及させるというのは非常にいいことだと思います。ただ、その後で、ぜひ海外への発信、特に学会発表はいいと思うんですよ、国際学会はね。やっぱり論文として海外の雑誌に、英文雑誌ですね、日本の英文雑誌でも構いませんけれども、そういうところに発信することを心がけていただきたい。

やはりそれは、これから我が国のいろんなものを考えると、そこをやらないと、国内だ

けで発表しては国際的に認められないので、そこはぜひ肝に銘じて、まずは日本語、次の段階で外国という、そういうスタンスをぜひお願いします。

○高松安全技術管理官 今、先生のおっしゃられた、最終的に「ジャーナル」に出していくという方針、これは私ども基盤グループの大方針として掲げられておりますので、ぜひそれはやらさせていただきたいと思います。

○迎企画調整官 酒井委員、どうぞお願いします。

○酒井主任研究員 ちょっとまた戻っちゃうんですけど、実験の面から見たときに、9ページのやつで、先ほどちょっとお話聞いたんですけど、これ、ひび割れは、せん断がなくなると閉じる、状態が変わると閉じるというようなところ、RCのときですね。実験上は、剛性の違うものをやったときに、やっぱり一度壊れたものは壊れているということになって、閉じるというのを何か期待しているような感じがするんですね。そうすると、では、その後余震も来るしということを見ると、どうしても残っちゃう可能性もあるんじゃないかなと思うと、その後津波が来る、3.11見ているとそういうことなんで、そうすると、そういう影響が、これで見ると、その影響は大丈夫と言っちゃってるんですけど、そういうのを言い切れるのかなとはちょっと思ったんですが、その辺はどういうふうに考えたらよろしいのでしょうか。

○石田上席技術研究調査官 難しいですね。ただ、そういうことであれば、保守的に一番開いた状態での漏えい量というようなものをベースにして考えていくべきなのかなというふうに思います。なので、先ほど、せん断変形を開放した時点でそこが閉じてしまって、壁からのリークはないというふうに申し上げたんですけども、なので壁からのリークを考慮することはないということ必ずしも申し上げているわけではなくて、保守的な設計条件を設定するのであれば、実事象が地震がなくても壁が閉じている、傷が閉じているような状態だとしても、変形させた状態で、壁からもリークした、扉からもリークしたという、その両方の値を設計の条件として使うべきという、そういう考え方もあると思われます。

○酒井主任研究員 ありがとうございます。この間、すごい重要だなと思うところがあって、やっぱりこの扉だけ、何か扉だけでもあれを見ると、あとはRCならRCだけやってやるんですけど、通常はやっぱりセットされた状態であるんで。

○石田上席技術研究調査官 そうですね、はい。

○酒井主任研究員 その後に、やっぱり、しかも地震が来て、その後津波という大きなま

た外敵が来るというのを、複雑な要素なんで、それを考慮できるのってやっぱりこの大型の実験というのは非常にいいところだと思いますし、そこが本当に大丈夫なら大丈夫ということがわかればすごいと思いますし。それがだめなときは、じゃあどうだめなのかというのをやっぱり考える必要、きっかけを与えてくれると思うんですよね。なので、その辺はもっと実験の設備のあれをやるともっと大きいこと、もっと壁を、これ見ると小さい、そんなにないですよ、これ。

○石田上席技術研究調査官 これは、実は相当大がかりな設備で、ここの、例えば右の絵を見ていただいて、ここの黒い開口部、ここがちょうど1mと2mぐらいの扉がついているところです。そうやって考えると全体のスケール感がわかるかと思うんですけど。

それで、壁厚も建屋外壁の耐震壁を対象としておりまして、外壁厚さが500mmございます。それに伴った鉄筋とかも配置されてございますので、相当ごついものでつくってございます。

○酒井主任研究員 すみません、私、ちょっと小さい実験やっていると全然思っていないので、申し訳ない、ちょっと言い方が悪かった。そう言ったのは、要はその影響を見るときに、RCの影響を見ようと思ったら、これだけでは何か小さいのかなというのはちょっと思ったので、その全体として見るときの話なので、すみません、ちょっと言葉足らずで。

○石田上席技術研究調査官 いえいえ。

○酒井主任研究員 なので、こういう大型実験とか、こういうのってすごい重要だなと思うところがあるので、そういう考慮って、ぜひこういう実験やらないとできないと思うので、ぜひいろんな御実験いただけるとおもしろいと思います。

○石田上席技術研究調査官 はい、ありがとうございます。

○飯島首席技術研究調査官 地震動・津波の飯島でございます。

先ほどの総合的にということ、ちょっと補足させていただきますけれども、確かにコンクリートのほうは、実際に荷重かけて除荷するとともに戻っちゃうんですね。ところが、扉のほうはやっぱり塑性変形して、やっぱり傷んだままなんです。ということで、その扉のほうからやっぱり漏れるんです、除荷してもですね。ということで、今回この試験での一つの知見としては、地震が来て戻ったとしても、扉のほうに傷んでいる可能性があって、むしろそちらのほうに支配的に漏れいの要因になり得るということが一つの知見として得られているということで、ちょっと補足説明ということでさせていただきました。

○酒井主任研究員 複合的に考えると、すごい重要だと思いますので、また、ぜひいろいろ

ろ実験繰り返されたらいいのかなと思ったんですが。

あと、ちょっとさっき、でかい水理実験やっているときに、下の奥のほうにするとすごい薄くなると言っていたんです。それはもう実験の構造上そうなっているということ。

○石田上席技術研究調査官 すみません、薄くなると申しますのは、水深の話ですかね。

遡上した後、水深の傾向としては、こう何というんですかね、こうばこんと上がって、津波の先端部がずっと水頭圧で走るんですよ。走ることによって、先端の速度が上がります。速度が上がることによって、結果、水の厚さが薄くなるというか、波高が低くなるという、そういう一般傾向がございます。

○酒井主任研究員 これ180mよりでかいという話ですよ。

○石田上席技術研究調査官 先ほどの水理試験のところはそうです。

○酒井主任研究員 この大型のやつとかは。

○石田上席技術研究調査官 今申し上げましたのは、遡上した後の話でございます。

○酒井主任研究員 どうしても薄くなっちゃう。

○石田上席技術研究調査官 はい。

○酒井主任研究員 わかりました。ありがとうございます。

あと、もう一つ、この11ページのほうで、先ほど、ひずみや変形の指標を入れようという説明だったと思うんですけども、でも、今、時刻歴のすべり安全率を用いていると思うんですね。そうすると、時刻歴の指標として今用いている時刻歴のすべり安全率は、やっぱりなかなか途中のそういう今言った段階的な変形が入ってこないと思うんですね、壊れやすさとか、そういうところは。なので見直そうかとしているんですけども、なかなかこういう斜面の中のひずみってとれないと思うんですね。

シミュレーション上こういうふうにやってよくわかるんですけども、実際の斜面って見えないからすごい問題になると思うんですが、その辺というのはどう、本当にそうなっているというのをどう評価していく、実際にそのときって考えたらいいんでしょう。

○中村上席技術研究調査官 難しい御質問だと思うんですけど、一つは現地の計測で、逐次、GPS等が発達していますから、そういうもので原子力発電所斜面で計測をすることと、地質調査の詳細化ということ、さっきおっしゃいましたけど、その密度をたくさんとり、あとは解析で追っていくこと、その3本を総合して評価していかざると得ないか今のところは考えております。

○酒井主任研究員 こういう計算って、どうしても解析だけは先行しちゃうので、どうし

でもなかなかそれが本当という話になると思うんで、斜面、はかったりしたら何かいいんじゃないかなと思うところはあって、そういうところはいろいろそういうのを組み合わせで実際にこうやるときという、これ何でこんなことを言ったかという、これだけだと、いかにも実験を再現して、それで終わっちゃっている感じがすごいするので、今後にやるときには、実際の斜面とどう対比させるかというのが重要じゃないかなと思うところはあって考えると、非常にこれも大型な実験もやってるんで、非常に重要な成果だと思えますので、よろしくお願いします。

○中村上席技術研究調査官 はい。

○酒井主任研究員 次のところで、12ページのところなんですけども、これは土砂が転がって、さっきみたいな岩塊なんですね。これどっちかなと思って。

○中村上席技術研究調査官 すみません、ちょっと今日は時間の関係で、この岩塊って、塊だったんですけれど、土砂の粒の細かいものもやっております。ちょっと今日は提示しておりません。

○酒井主任研究員 この場合、ちょっと今見ていて思ったんですけども、これは通常、何のために今これやっているかといったら、やっぱりプラントの建屋があって、そこに対してそれがどう影響を与えるかということを考えていると思うんですけども、そのときには、土砂の影響も当然あるかと思うんですけども、大きな岩塊が壊れた場合は非常に大きな影響を与えるんじゃないかなと思うんですね。そうすると、さっきやった実験って岩塊のほうの実験、壊れる、壊れないという話は全然入ってないんですが、それ岩盤が壊れるとかいうところの評価というのはあまりしないということでしょうね。

○中村上席技術研究調査官 長期的にはフェーズでは考えておりますけど、今回の、あと2年という期間ではこういった堆積岩系のものになりますけど、応用的には考え方は岩塊系のクラックの入ったものに使えるかと思えます。詳細は、また次のフェーズと考えています。

○酒井主任研究員 ちょっとそれに関連して、表面の土砂が崩れるというときって、これ雨でも崩れちゃうんじゃないかなと思うときあるんですね。最近、ゲリラ豪雨というので雨がすごい強く降るような感じでこうなってきたて、今までと違う雨の降り方してきている。大島とか広島見ても、ちょっと違う傾向の壊れ方しているのかなと思うんですが、そういうのは今回のは全然大丈夫ということ。

○中村上席技術研究調査官 実はこれも本日のスライドには入ってないですが、含水比を

変えたもので、含水比の低いものは崩れにくいとか、含水比がある程度までいくと崩れやすいとか、そういったデータも実はとっています。

○酒井主任研究員 ありがとうございます。非常に重要なところだと思います。斜面の中の見えないところを予想しようとしているので、ぜひこういう知見が生きるような基準になってくるといいなと思います。ありがとうございます。

○迎企画調整官 ほかに。

はい、山中委員。

○山中教授 水密扉の話で、もう一つちょっと教えてもらいたいんですが、まず、先ほど話に出たんですけれども、せん断変形ですけど、変形角というのとどのぐらいになるんですか。

○石田上席技術研究調査官 変形角で4,000 μ までちょっとやっています。

○山中教授 変形角で。

○石田上席技術研究調査官 角で、そうですね、なので、ひずみで4,000 μ まで持って行っていますので、角で言うと。

○飯島首席技術研究調査官 上のほうで大体9mmぐらい。

○石田上席技術研究調査官 9mmぐらいですね。

○山中教授 高さが。

○石田上席技術研究調査官 2mですので、そうですね、厚み9mmで。

○山中教授 それほど大きくはない。

○飯島首席技術研究調査官 それほど大きくないです、はい。

○山中教授 建物から見ると。

○石田上席技術研究調査官 建物から見るとそうですね。ただ、ちょうどその扉で言うところの外枠と扉本体、そののところというのはちょうどパッキンで接合するわけですけど、そのところが1cm近くずれるということですので、それはそこそこきいてはきます。

○山中教授 それと、これは多分ひび割れの、多分これ見てらっしゃると思うんですが、ひび割れの場所というのは多分、下のほうが、開口部というのかな、扉の部分ですよ、RCで見えるのが。

○石田上席技術研究調査官 はい。

○山中教授 それと漏えいの関係とかなんとか、多分、波の高さとかというのと、何か随分相関がありそうな気もするんですけど、そういうような細かい分析はされてらっしゃる。

○石田上席技術研究調査官 実は、実際のひび割れの測定をして、それから、そのひび割れ、大体この上の角のこういうところにひび割れが多く発生するんですけども。そのひび割れの実際の形状と、それをシミュレーション的に追っかけるところまでやっております。それで、ちょっとお待ちください。すみません。それであと、なので、ひび割れの性状は実験とシミュレーションまではできたんですけど、実際に漏えいがそこから顕著にあったかどうかというのは、その漏えいの実験設備の検知系の話もあって、あまりよくは正直わからなかったというところがございます。

○山中教授 RCの場合、非線形になってひび割れが広がるというのはしようがない。なかなか難しいですね、これ防ぐのは。

○石田上席技術研究調査官 はい。

○山中教授 それで、さっきも質問があつて、そうすると、例えばどのくらいの波高まではひび割れの発生状況によって耐えられるとか耐えられないとかね、そういう話になるのかなと思ってお聞きしたんですけどね、将来的には。

○石田上席技術研究調査官 そうですね。そこら辺ぐらいまで追い込めると、それはいいデータになると思います。はい。

○山中教授 条件がそろえば、ぜひ御検討いただければと。

○石田上席技術研究調査官 はい、ありがとうございます。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。

古屋委員、お願いします。

○古屋准教授 すみません、私もあと二つだけ。一つは、今の水密のところなんですけども、先ほどの実験パラメータのところと関連するんですが、想定された水頭圧のPRA上の確率と同じような確率まで考えると、物が例えば流れ込んできて衝突するとかというところも十分考えられるような確率なのかなと思ったんですが、その辺の重畳というのは今後どうお考えでしょうか。

○石田上席技術研究調査官 今これ扉のところの限りなく要素試験というか、そういうフェーズなので、この試験の中でそういったようなところとの組み合わせは考えていないんですけども、この要素試験をもう少しPRAという全体系で考えたときには、当然そういったようなものの組み合わせというものも考慮すべきだというふうに思います。なので、ちょっとそれは少し先の話にはなってくるかとは思んですけど、課題としてはそういうものはやっていくべきなのかなというふうには理解してございます。

○古屋准教授 わかりました。ありがとうございます。

あと、もう一つ、今回、全体のところで、前半部分のところの地震と後半部分のところのそれを受けてのというところの研究と、何か独立したような感じで受け取れるんですけどね。この研究の最終的な位置づけのところ、何か少し両者での関連というんでしょうか、要はハザードのほうの評価も今度は精度が上がってきて、それに対して広角的な観点で、こういった設計とか安全側の評価というんですかね、というところで何か一緒になるようなところがあると今後の展開というんですかね、これも最後の今後の展開というところにも何かそんなキーワードがあると非常にいいのかなと思っているんですけども。

○高松安全技術管理官 ありがとうございます。まさにおっしゃるとおりで、地震PRA、津波PRAをやるとすれば、やはりハザードと脆弱性の連携というのは非常に重要な話です。先ほど御質問ございましたように、例えばばらつきを一つとっても地震動と地盤の伝播が一番大きくて、建屋や機器になると、もうばらつきは小さくなります。そういう関係もございますので、そういうお互いの関連というんですか、それを考えながら試験をやって、最後、試験・研究をやって、最後それを総合的にまとめるというようなことも今後ぜひやらせていただきたいというふうに思っております。

○古屋准教授 どうもありがとうございます。ぜひそうしていただければと思います。社会一般的に理学と工学でなかなか意見が合わないところが結構多分にあたりとかしていますけども、ぜひこういう研究の中だけではいろいろ連携していただければと思いますので、よろしく願いいたします。

○迎企画調整官 ほかにございますでしょうか。じゃあ、よろしいでしょうか。

それでは、本日、中間評価に係る説明は以上でございます。お手元にA3のコメントシートをお配りさせていただいていますが、既に記載をいただいているようでしたら机の上に残していただければ結構です。お持ち帰りになって記載をしていただく場合には、事務局から別途、電子媒体をお送りさせていただきますので、1週間程度を目処に事務局までメール等で御返送いただきたいと思っております。

なお、本日報告いたしました安全研究プロジェクトに対するコメントのほかに、今回、技術評価、この外部有識者によります評価というのが今回、規制庁としまして初めて行ったもので、ただ、運営等々いろいろ至らない点があると思っておりますので、そういった運営の改善にもいろいろ努めたいと思っておりますので、そういった運営等に対するコメントがございましたら、あわせてコメントいただければと存じます。

事務連絡は以上でございます。

本日はどうもありがとうございました。これで、第1回地震・津波技術検討会会合を終了いたします。