

## 第11回地震・津波技術評価検討会

### 議事録

#### 1. 日時

令和2年10月26日（月）13：30～15：53

#### 2. 場所

原子力規制庁舎 13階会議室A

#### 3. 出席者

##### 外部専門家

糸井 達哉 東京大学大学院工学系研究科准教授  
岩田 知孝 京都大学防災研究所教授  
酒井 直樹 国立研究開発法人防災科学技術研究所先端的研究施設利活用センター副センター長

##### 専門技術者

梅木 芳人 中部電力株式会社原子力本部原子力土建部設計管理グループ課長  
土志田 潔 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  
松山 昌史 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企画運営チーム研究参事

##### 原子力規制庁

遠山 眞 技術基盤課 課長  
萩沼 真之 技術基盤課 企画官  
川内 英史 安全技術管理官（地震・津波担当）  
佐藤 勇輝 技術基盤課 技術研究調査官  
杉野 英治 地震・津波研究部門 首席技術研究調査官  
道口 陽子 地震・津波研究部門 技術研究調査官  
大橋 守人 地震・津波研究部門 首席技術研究調査官  
山崎 宏晃 地震・津波研究部門 統括技術研究調査官  
日比野 憲太 地震・津波研究部門 統括技術研究調査官

#### 4. 議題

- (1) 令和2年度安全研究プロジェクトの技術的観点からの評価  
(地震・津波技術 事前評価)
- (2) その他

#### 5. 配付資料

##### 名簿

- |       |  |
|-------|--|
| 資料1   | 原子力規制委員会における安全研究の基本方針  |
| 資料2   | 今後の研究評価の進め方について（抜粋）  |
| 資料3   | 「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」について   |
| 資料4   | 研究計画（案） <ul style="list-style-type: none"><li>・津波評価手法及び既往津波の波源推定に関する研究</li><li>・外部事象に係る施設・設備の脆弱性評価手法の高度化に関する研究</li></ul> |
| 参考資料1 | 研究計画（案）説明資料  |

#### 6. 議事録

○遠山課長 技術基盤課長の遠山でございます。定刻になりましたので、第11回地震・津波技術評価検討会を開催いたします。

本日はお忙しい中、皆様検討会に御出席いただき、ありがとうございます。

今回の技術評価検討会では、令和3年度から開始する2件の安全研究プロジェクトの事前評価として、研究手法や成果の取りまとめ方法などの技術的な妥当性について、専門家の皆様から御助言をいただきたいと考えております。

どうぞよろしく願いいたします。

○萩沼企画官 技術基盤課企画官の萩沼です。

本検討会では主査を設定してございませんので、事務局として、私のほうで議事進行をさせていただきます。どうぞよろしく願いいたします。

なお、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います。

一般傍聴については傍聴席の間隔を空け、席数を限定して行っております。テレビ会議システムを使用しております関係上、音声等が聞きづらい点などありましたら、御遠慮なくおっしゃっていただければ幸いです。

それではまず、委員と専門技術者の方々を御紹介させていただきます。

本日は委員として京都大学の岩田先生、東京大学の糸井先生、防災科学技術研究所の酒井先生に御出席いただいております。どうぞよろしく申し上げます。

また専門技術者として、中部電力株式会社の梅木様、電力中央研究所の土志田様、ちょっと土志田様のカメラが入っていないようですが、つけていただけますれば幸いです。

○土志田氏 申し訳ありません。手元では入っているんですけど、なぜか表示されないですね。

○萩沼企画官 そうですか。

○土志田氏 そうです。

○萩沼企画官 それから、同じく電力中央研究所の松山様に御出席いただいております。皆様どうぞよろしく願いいたします。

それではまず、事務局より資料の確認をさせていただきます。

○佐藤技術研究調査官 技術基盤課の佐藤です。

外部有識者の皆様には議事次第、名簿、本日の資料を事前にお送りさせていただいております。

まず議事次第、名簿と来まして、その後資料1としまして、原子力規制委員会における安全研究の基本方針を御用意しております。

資料2としまして、今後の研究計画の進め方についてを御用意しております。

資料3としまして、「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」についてを御用意しております。

資料4といたしまして、今回、事前評価の対象となります2件の安全研究プロジェクト、津波評価手法及び既往津波の波源推定に関する研究及び外部事象に係る施設・設備のフラジリティ評価手法の高度化に関する研究の研究計画案を御用意しております。

参考資料1といたしまして、本日の御説明で使用させていただく説明資料を用意しております。また、検討会委員の先生方には、技術的観点からのコメントを記載いただく評価シートを事前にお送りしております。過不足等ありましたら事務局のほうへお知らせ願います。

○萩沼企画官 資料はよろしいでしょうか。

それではよろしければ、事前評価に先立ちまして評価の進め方等について取りまとめました資料1、原子力規制委員会における安全研究の基本方針、資料2、今後の研究評価の進め方について及び資料3、「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」についてを、事務局より簡単に御説明させていただきます。

○佐藤技術研究調査官 事務局の佐藤です。

最初に資料1、原子力規制委員会における安全研究の基本方針について御説明させていただきます。

安全研究の基本方針は、安全研究の進め方に関する基本的な考え方、安全研究プロジェクトの企画と評価等についての基本的な方針をまとめたものです。安全研究のプロジェクトの評価につきましては、基本方針の3ページに記載してございます。

原子力規制委員会では、安全研究の的確な実施及び成果の活用を図るため、各安全研究プロジェクトの開始、終了等の節目において事前評価、中間評価そして事後評価を実施することとしております。今回は事前評価を実施させていただきます。今回の事前評価は実施方針に従って計画された令和3年度以降に実施予定の新規の安全研究プロジェクトについて、当該分野の最新動向等を踏まえた成果目標及び研究手法、計画の技術的妥当性の評価を行うものです。

これらの評価の中で実施する研究手法、成果の取りまとめ方法等の技術的妥当性評価については、外部専門家、ここでは「委員」と呼ばさせていただきますが、委員の皆様及び専門技術者の皆様から成る技術評価検討会を開催し、御意見及び評価をいただくこととしております。

具体的な評価の内容につきましては、資料2、今後の研究評価の進め方についてを御覧ください。

3ページに、事前評価について、評価手法、評価項目及び評価基準が定められております。

6ページの図1を御覧いただきますと、評価の全体概要をお示ししております。左から事前評価、中間評価、事後評価とございます。評価の視点といたしまして三つ。目標・成果の適切性、それから技術的妥当性、そして研究の管理とございますが、本検討会ではこのうち技術的妥当性について御意見及び評価をいただくこととなります。

具体的には本技術検討会におきまして、主に次の四つの観点での評価及び御意見を頂

戴したいと思っております。まず一つ。国内外の過去の研究、最新知見を踏まえているか。二つ。解析実施手法、実験方法が適切か。三つ。解析結果の評価手法、実験結果の評価手法が適切か。最後に、重大な見落とし、観点の欠落がないか。

以上、四つでございます。

なお、いただいた御意見、評価結果につきましては、原子力規制庁が行う総合的な評価に活用させていただきます。このような技術評価検討会の位置づけや進め方を御理解いただき、原子力規制庁が行う安全研究の評価に御協力をお願いいたします。

続きまして資料3、「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」についてを御覧ください。

先ほどの資料1の基本方針において、委員会は今後推進すべき安全研究の分野、及びその実施方針を、原則として毎年度策定することとしております。令和3年度以降の安全研究の実施方針は、横断的原子力安全、原子力施設、核燃料サイクル廃棄物、原子力災害対策、放射線規制等、技術基盤の構築・維持の以上五つのカテゴリに分けて整理しております。

本日の検討会で事前評価の対象といたします二つの安全研究プロジェクトは、この資料の4ページの②及び5ページの⑤として記載されている横断的原子力安全の分野に属するものでございます。

最後に、委員の皆様をお願いさせていただく評価につきまして、御説明させていただきます。

委員の皆様におかれましては、事前にお送りさせていただきました評価シートに、先ほど御説明させていただいた四つの観点での評価の記入をお願いしたいと考えております。評価シートの御提出の締切りは11月2日月曜日までとさせていただければと存じます。今回の技術評価検討会での評価を踏まえて、今後、原子力規制委員会に図る予定としております。

本検討会での評価についての御説明は、以上となります。

○萩沼企画官 それでは、本件について御質問、御意見ございましたらお願いいたします。よろしいでしょうか。

それでは、令和3年度から令和6年度まで行われる予定の安全研究プロジェクトであり、今年度の事前評価の対象となる津波評価手法及び既往津波の波源推定に関する研究について、原子力規制庁長官官房技術基盤グループ地震・津波研究部門の杉野首席技術研究調査

官から説明させていただきます。

○杉野首席技術研究調査官 技術基盤グループ地震・津波研究部門の杉野と申します。よろしく申し上げます。

それでは、資料に従って説明させていただきます。

めくっていただきまして2ページ目、目次になります。背景・目的それから研究の概要、そして行程表ということで進めさせていただきます。

めくってください。背景です。まず平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波、以降では「東北地震津波」と呼ばせていただきますが、福島第一原子力発電所に襲来して、重大な事故を引き起こしたということがあります。

この津波の教訓の一つになりますが、福島第一発電所の当時の設計津波水位を上回ることになり、過去数百年の記録に基づいて設定された設計津波水位による津波想定というものが十分ではないということが示されたと考えています。

こういう事故、それから東北地震を踏まえまして、平成25年に規制基準及び審査ガイドが新しく施行されました。津波の関連でいいますと、「基準津波の策定」それから「超過確率の参照」ということが、このガイドの中で明記されることになりました。現在、これらの基準ガイドに従って既設発電所の適合性審査が行われているという状況です。

それから、平成25年に改正されました、ここに書いています法律があるんですけども、この中では事業者に対して「安全性の向上のための評価」というのが規定されています。これというのは今後、適合性審査を終えた既設の発電所から順次、安全性向上評価の定期的な実施ということが見込まれているわけです。

今説明した適合性審査、それから安全性向上評価の確認、こういったものに関連した原子力規制の継続的な高度化というものが必要になってくるわけですが、「基準津波の策定」それから「超過確率の参照」等に関わる種々の評価手法について継続的な改善が重要であると考えています。

めくっていただきまして4ページになりますが、これまで津波に係る安全研究を行ってきたわけですが、テーマだけですが簡単に整理させていただいています。

平成28年度までのプロジェクト、「D03.」と呼んでいたものですが、このプロジェクトの中では、例えば東北地震津波の波源の推定であったり、その知見を踏まえた形で津波波源のモデル化の方法、それから、そういった波源モデルの設定方法を用いた確率論的津波ハザード解析手法等を進めてきました。それ以外にも津波痕跡データベースを整理し

たり、津波堆積物に基づく津波波源の推定手法を構築するなどしてきました。

これらの成果の一部につきましては、上記、これも先ほど説明した津波に係る審査ガイド等に反映されまして、現在の適合性審査においても有用な知見の一つとして活用されている状況です。

それから、今年度、令和2年度までのプロジェクトということで、今「津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究」というのを進めてきています。この中の主なテーマということで二つ挙げていますが、地震の規模や発生頻度に係る不確かさが確率論的津波ハザード解析に与える影響を評価する研究ですとか、海底面の水平方向の地殻変動を考慮した、既往の津波評価手法の適用性に関する研究ということを進めてきております。これらの成果につきましても、学術論文として一部公表してきております。

めくっていただきまして、こういった背景、それから、これまでの研究成果を活用するとするという観点も含めまして、課題を挙げてみました。

5ページになります。一つ目ですが、海溝軸付近で発生する津波については、水理実験の結果から、既往の初期水位の設定方法では十分に再現できない現象というのが見られました。

こういうことから、津波初期水位の設定方法を改良、あるいは精緻化することが必要と考えておまして、課題(1)と挙げています、このタイトルのものを進めていきたいと考えています。

背景にあります従来の手法では説明できない現象ということにつきましては、後ほど説明させていただきます。

続きまして、策定された基準津波の妥当性を判断するという段階において、歴史記録の津波痕跡高の情報ですとか、津波堆積物情報、こういったものを使って推定された既往津波の地震の規模、それから波源位置に関する情報とか、こういったものが活用されています。しかし、過去の巨大津波でも発生の記録はあるものの、その波源の位置ですとか規模が明確に定まっていないものもございます。

津波堆積物を用いて波源を推定するという事例も多々あるんですけども、津波堆積物には本質的に津波由来かどうかの確からしさや、推定年代の幅があるということ。それから堆積物が発見されていないということの情報でも、それ自体で浸水があったかどうかとか、堆積物が消失した可能性というものを否定できないというのがあります。こういった不確定性が津波堆積物には伴っています。

そういうことで、過去の安全研究で整理した「津波堆積物に基づく津波波源推定手法」を活用することで、津波堆積物の不確定性を考慮した上で、過去の巨大津波の波源を具体化するということが必要だろう。それからこういうことを通じて津波堆積物の不確定性と推定される波源の相関関係のようなものを把握するということが重要というふうに考えております。

このような背景の基で、課題(2)：既往の巨大津波の波源推定ということを考えています。

めくってください。6ページになります。本研究プロジェクトの全体の目的になりますが、津波評価手法、それから既往津波の波源推定に関する、以下に書かれています内容の研究を行いまして、審査等の際の判断に必要な知見を収集し、整理するということを目的にしています。

その上で1番目、海溝軸付近で発生する津波の初期水位設定方法の改良。2番目に既往の巨大津波の波源推定といった二つのテーマを挙げています。詳細についてはこの後、説明させていただきます。

めくっていただいて7ページが研究の概要ということで、二つのテーマを説明させていただきます。

めくってください。8ページになります。一つ目のテーマですが、3.1ということで挙げています。

まず、背景ということで、この研究の背景になりますが、津波の初期水位の設定に当たっては、長く従来から海底の地殻変動があったときに、その鉛直成分のみを海面に与えるというような方法が用いられてきています。

そんなに新しくはないんですけども、既往の研究ということで、Tanioka and Satakeの論文があるんですけども、こういったものでは地殻変動の水平変位による鉛直成分への寄与を考慮する方法というのが示されています。これを基本とする考え方というのが、地震調査研究推進本部の津波レシピの中で記載されていまして、こういった形の考え方が一般的になりつつあります。

この水平変位による鉛直成分への寄与が少し分かりやすくイメージできるように、右下の図を御覧ください。オレンジ色で描いた三角のものが地殻とイメージしていただきまして、これが右の方向にただ水平に移動するだけでも、海水面の上昇というのが起きますので、こういったものを対象にしようということを進めます。これまでの令和2年度まで

の、今やっている研究でも、これのテーマの前身になる研究を進めています。

めくっていただきまして、9ページになります。R2年度までの安全研究ということで、実は私どもではTanioka and Satakeの既往研究の手法の適用性というものを確認するために、海溝軸付近の斜面模型を模擬した水理実験、下の図にあるような装置をつくりまして、それと解析結果を比べるというような、そういったことをしています。右上に実験装置の写真、それから下のほうに装置の平面図、断面図を示しています。

この断面図のほうで御覧いただきたいんですけども、黄色いハッチのかかった部分が可動式斜面と呼んでいまして、ここを横方向に右から左にアクチュエーターを使って押すことで、水面の変形を捉えるというような、そういった実験になります。斜面の法肩部分を0としまして、そこから左方向に20cm間隔で水位計を置きまして、水面の変化を捉えるというようなことをやっています。

次のページをお願いします。実験の結果と解析の結果を比較したものになります。左の図の上が実験の結果で、横軸が各地点を表していまして、そのときの各地点の最大水位というものをプロットしています。斜面模型を動かす速度を変えたりしながら、多数のケースの実験をやっているんですけども、それぞれの実験でこんな形で、おおよそどの地点も100cm付近で一番大きな水位を出すというところも分かっているんですけども、これと同じ条件で解析をやったのが下の図になります。

御覧いただいて分かりますように、実験よりも解析のほうが低く出るような傾向が見てとれます。また、最大水位が出る場所も若干違うというような、そういったことが分かりました。これを右図のグラフにプロットしています。縦軸は水位を表しますが、基準化しています。これは、この図で御覧いただきますように、最大に変形したときの鉛直方向の成分、変化量を表します。dyがそれです。これで基準化しています。

この図の青いプロットが実験結果です。赤いプロットは解析値になります。横軸ですけども、ライズタイムをプロットしているんですけども、ここにありますように斜面長、それから波速で無次元化した形で整理しています。

左の数字が小さいほど、瞬間的に速く動いているというように見ていただければと思いますが、横軸の数字が小さくなるに従って、解析と実験の差が広がっているというようなことが見て分かります。こういった形で既往の解析手法では説明できない現象というのが水理実験に現れているということで、この差を埋めることが必要であろうというふうに考えました。

めくっていただきまして、11ページをお願いします。この研究の目的になりますけれども、まずは初期水位の生成過程に関する既往研究をレビューして知見を蓄積する。それから、R2年度まで水理実験を行ってきたんですけれども、実験の条件を新たに加えてやるとともに、計測項目も追加してデータを取得しようと思っています。

実験結果を踏まえまして、初期水位の設定方法の改良ということにつなげたいと思っています。特に実験のほうですけれども、研究の内容というところで(b)を見ていただきたいんですが、これまでの実験に加えて新たな実験条件とか計測項目を加えて、水理実験を考えています。そのときにこれまで海水面の水面の変形だけを捉えた形で実験結果を整理してきたんですが、今回R3年からは水中に粒子を混ぜたような形で、水中の流速場もデータとして捉えて、設定手法の改良につなげたいというふうに考えています。

次のページをお願いします。12ページ、研究テーマの二つ目になります。背景としまして、既往の巨大津波には、過去に発生したことは分かっている、その全容が解明されていないものがある。例えばということで挙げていますが、1611年慶長三陸地震津波があります。この津波については、波源の位置というものが岩手県沖の三陸海岸沖にあったという考え方が、これまでも随分されてきているんですけども、最近北海道のほうで津波堆積物が幾つか見つかってきているということがありまして、千島海溝沿いで大きな地震・津波が発生したのではないかと、そういった二つの説、あるいはほかもあるかもしれませんが、諸説あるということで、いまだ決着がついていない状況にあります。

こういった津波を対象にしまして、13ページをお願いします。本研究の目的としましては、津波波源が明確になっていない既往の巨大津波を対象にしまして、津波堆積物調査を実施として、堆積物の不確定性を整理するというのを考えています。それから津波堆積物に基づく波源推定手法を用いて、具体的な津波波源を推定することと、堆積物の不確定性と推定される波源の相関性に関して知見を拡充するというのを目的に掲げています。

この下の図ですけれども、これは堆積物の情報が多くなれば推定される波源も変わってくるというような、そういったものをイメージで示したものです。参考までです。

14ページ、次のページをお願いします。実施内容としましては、平成28年度までにやってきた安全研究の成果ですけれども、津波堆積物情報から津波波源を推定する手法、これについてちょっと申し遅れましたが、この平成28年度までには関西大学の高橋教授と委託研究で進めてきた内容になりますが、そういった手法を利用して、1611年慶長三陸地震津

波を事例として、具体的な津波波源を推定するというを考えています。大きく分けて四つの段階で進めていきたいと思っています。

めくっていただきまして15ページをお願いします。まず(a)ということで津波堆積物に関する既往の文献調査、それから必要に応じて現地調査、それから年代分析を行いたいと思っています。

既往の北海道から東北地方で津波堆積物調査の知見が幾つか出てきていますので、まずこういったものを精査します。それから現地調査の実施、そして取得した堆積物資料の年代分析を行いまして、1611年慶長三陸地震津波の堆積物の情報を拡充するというを、まず考えたいと思います。

めくっていただきまして16ページ、お願いします。(b)(c)になりますが、先ほどまで説明してきました津波堆積物を用いた波源推定手法というものは、どういうものかというのを少し簡単に説明いたします。

下の図を利用して説明いたします。まず真ん中のほうを御覧ください。解析結果のデータベースというのがあります。これはあらかじめたくさんのシナリオの波源というものを設定して、その1個1個の波源について事前の土砂移動解析というものをしていきます。これによってどこに波源があれば、どの辺りが浸水して、どのぐらいの土砂が運ばれるかという、そういった情報が整理できます。これが千島海溝沿いから日本海海溝沿いにおいて、大小様々な波源を設定して解析しておくことで、まずそういった形でのデータベースを用意しておくということがあります。

このデータベースから左側の入力情報というところがございしますが、ここに見つかった堆積物の場所、それから堆積厚、こういった情報を入力して、入力情報に最もよく合うような解析結果を抽出するというような、そういったやり方がこの堆積物を用いた波源推定手法ということになります。

ただ、今お話ししたのはこれまでの手法でして、ここに新たにそれぞれの津波堆積物の不確定性という情報をうまく数値化して持たせることで、得られる波源の確からしさというようなものを数値化するようなことも考えたいと思っています。

それが17ページの内容になります。例えば図を御覧いただきたいんですけども、この確からしい堆積物を、例えば信頼度ということで(A)というふうに、A点、B点、C点では(A)、そこにちょっと不確かさがあるけれども、地点Dの情報を加えることで、津波波源がどういうふうに推定されるのか、そういったことを整理したいというふうに考えています。

18ページをお願いします。それぞれ二つの研究テーマの年度の展開を示したものになります。いずれもR3年度からR6年度までの4年間の計画になっています。詳細は割愛させていただきますが、途中段階でもまとまった成果が得られれば、学会発表ですとか論文にて投稿するようなことを考えています。

最後19ページは参考文献になります。

説明は以上になります。

○萩沼企画官 技術基盤課、萩沼です。

それでは、質疑とさせていただきます。

質疑につきましては、最初に専門技術者の方々から御質問、御意見をいただき、次に委員の方々から御質問、御意見をいただきたいと存じます。

なお、発言の前に所属とお名前をおっしゃっていただきますよう、お願いいたします。

それでは、まず専門技術者の方で御意見ある方、いらっしゃいますでしょうか。

○梅木氏 よろしいですか。中部電力の梅木でございます。

○萩沼企画官 お願いいたします。

○梅木氏 説明どうもありがとうございました。

私のほうから、最初のほうの海溝軸付近で発生する津波の初期水位設定の方法の改良について、1点だけ質問させてください。

9ページ、10ページ、11ページのところに、新たな実験をやるということになっているんですが、この研究をやるに当たっての大前提は9ページなり10ページなりの結果が正しいということからスタートしていると思っています。ですので、9ページ、10ページの結果、要するに実験が正しいという証明はどこかでされたのかなというのが、ちょっと気になっています。

というのは、この9ページの実験で実際の実現象を模擬できているのかどうかというのが分かりませんでした。というところで、もしこの実験の成果がちゃんと実現象を模擬していて、この実験の結果が正しいということをどうやって証明されたのかなというのを教えてください。

以上です。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

まず実験装置をつくるに当たって考えたことは、実際の海溝軸付近の地形を、勾配になりますけども、そういった地形の形状を調べまして、スケール効果といいますか、ここに

書いていますけれども、1/30,000のスケールで模式的な水理模型実験の装置をつくったということになります。

実際の現象をこの装置で全て再現できるとは考えておりませんが、この現象を簡略化した形で水理模型実験をやって、そういった簡略化したものを解析の中で説明できれば、それをある意味現地のように拡大して、適用するというようなことをやりたいと思っています。

なお、この実験、それから解析の結果につきましては、昨年度の土木学会の海岸工学講演会で説明させていただいているものになります。

以上です。

○梅木氏 ありがとうございます。

私懸念しているのは、1/30,000というスケールの中で、20cmも動かしているところに少し疑問を持ってまして、ちょっと実現象よりも過大に動かしていないかなという、それからライズタイムというか、そのスピードも過大になっていないかというところがあって、実験結果が過大にやったことによって、実現象と合っているのかなという疑問を持った次第です。

その辺も今度来年度から始める前に、もう一度検証されたほうがいいんじゃないかなと思って発言させていただきました。

以上です。

○杉野首席技術研究調査官 ありがとうございます。

確かに1/30,000というスケールで20cm動かすことは、実現象から見たら大分大きなことをやっているのは理解しています。

ただ、動く地殻変動の量も実現象に合わせて小さくすると、もう計測できないぐらい小さな、実験では計測できないような水位の変動になってしまって、これでは実験をやっても意味がないということになりましたので、そこは少し大きく動かすということを考えてやった次第です。

ただ、このいろんなパラメータあるんですけども、実験の結果の整理の段階でいろんな無次元化をしていく形で、実現象を捉えられるような整理の仕方ということを念頭に置いて実験結果もまとめてきたつもりですし、今後もまたやっていきたいなというふうに思います。

以上です。

○梅木氏 ありがとうございます。

以上です。

○萩沼企画官 それでは、ほかの専門技術者の方、御意見、御質問ございますでしょうか。

○松山氏 電中研、松山ですが、よろしいでしょうか。

○萩沼企画官 松山さん、よろしく願いいたします。

○松山氏 どうもありがとうございました。

二つの研究中でそれぞれコメントがございますが、今回いろいろ背景としてリスク評価、リスク情報の充実ということで、確率論的な津波評価にいろいろ生かす研究を進められているということは理解いたしました。

今、質問のあった最初のほうの紹介の研究について、一つ大きなというか、これをどう生かしていくかという観点で、少し気になる点がございます。津波の場合に将来問題、将来の津波の想定をどうするかというふうなことが非常に問題になって、この研究もそこに生かそうとされているということになるかと思えます。

こういった現象解析の話は私も非常に興味深く、実は30年前に、ちょっと観点は違いますが、近いような実験をしたことがあったりもするので、非常に興味深く聞いておりました。

ただ、津波の将来想定が沿岸での波源から沿岸の津波水位まで計算するというか、推定するシステムというものが大事なかと思えます。過去のを再現して、それを基に将来を推定するといった場合には、例えば今回のような効果、普通の地震による隆起、垂直・鉛直方向の隆起以外にもこういう効果があるんじゃないかとか、たまにほかにも海底地すべりがプラスアルファであったんじゃないかとか、そういったことが地震情報による隆起以上に効果がある可能性があるということと言えます。

ただ、もし過去の再現にのっかってやっているということであれば、もし過去を再現したものがベースにあるとすると、その再現した計算方法、波源の推定方法、具体的には隆起とか沈降の地形変化をもって、それを鉛直だけ考慮するか水平だけを考慮するかとか、そういったことの中に過去の再現に成功していれば、隆起以外の効果も含めた実際の地震の隆起・沈降といったものを推定していることになるかと思えます。

そういった観点からいくと、過去のベースに将来を推定する場合には、その再現によって使ったシステムを必ず使っていないと、ちょっと不合理が生じるという、こういう観点があります。そういった観点で、こういった研究をどう生かしていくかというふうなと

ころにあると、先ほどのスケール効果の話もあるでしょうし、過去の再現に若干立ち戻って、今回のような効果がどれぐらいあるのかというようなことをできれば実ケースに、例えば数値計算でもいいと思うんですけども、そういったものに少し効果を立ち戻って、そこでの効果を確認した上で、将来予測に使っていくというようなことが重要なと思います。

すみません。それがひとまず一つ目のコメントです。何か回答ありましたらお願いいたします。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

コメントありがとうございます。

私どものほうでもその辺りは重々考えておまして、それで今回の改良というのは、初期水位の設定方法の部分だけになるわけですけども、これを取り入れた先ほどのコメントの中の全体のシステムの中で、やはりもう一つ考えなきゃいけない部分があるなと思っています。

それが波源の、一番大きく効くのがすべり量ということだと思うんですけど、このすべり量の設定の方法を、初期水位の設定方法とセットで考える必要があるんじゃないかなというふうに考えていて、我々の11ページの研究内容の(d)に相当する部分で、初期水位の設定方法の改良がうまくいけば、それを利用した、例えば東北地震の津波のインバージョン解析を行うようなことをして、波源の設定の部分にどう反映、影響してくるのかということまで考えたいというふうに思っています。

以上です。

○松山氏 ありがとうございます。

そうすると、もうインバージョン解析を行う時点で、もし今回研究の成果、得られた効果が反映できれば、波源推定の時点でそういったことを取り入れてやられるということでもよろしいですか。

○杉野首席技術研究調査官 そうです。

○松山氏 ありがとうございます。

ほかもよろしいでしょうか。

○萩沼企画官 続けて、よろしく願いいたします。

○松山氏 ちょっと細かい点は、後でもう少し。

あと、巨大津波の波源推定のところでも、非常に津波堆積物の研究成果の不確実さを

考慮して、今後定量的にリスク評価、多分確率論的なハザード評価というところになるのかもしれませんが、反映するという意味では非常に大事な話かなとは思ってございます。しかも津波堆積物そのものの不確定性といったものと、あと波源を推定するときの話、そこでの不確定性ということがあるかと思えます。

これはちょっと私が時々研究者が集まったときに言っていることの繰り返しになるんですけれども、スライドの13辺りにイメージ図を上げていただいていますけれども、推定波源のA・B・C・Dというのがあって、各地点で捉えた津波堆積物というイベントが同時じゃないかというような話があったら、それが大きなものでないかということ。これは否定はしないんですけれども、今の年代測定の精度、それ多分、数年とか数十年というレベルではないかと思うんです。実際、日本でも、例えば明治で起きた三陸津波の後、30年後ぐらいに同じような場所で昭和三陸津波というのが起こっているんですけども、多分その二つで年代を分けられないような気がします。なので、そういう不確定性は必ずあるはずなので、例えば年代が数十年レベルであったとしても、同じ津波であった場合とそうでない場合というのを、不確定性として必ず考慮する必要があるんじゃないかなというふうに思っています。

今回の研究ではそういう広いもの、非常に大きな波源とか小さな波源もいろいろ推定されるようなことができると思うので、ぜひその両方をよく考慮して進めていただくということが確率論的な評価とか、PRAの中では必ず評価に関する中央値と広がり、CBR、センター・ボディ・レンジという評価があるので、そういったことにすごくそれが反映できるのかなというふうに思いますので、反映していただければと思っております。

以上です。

○杉野首席技術研究調査官 コメントありがとうございます。

私どもで考えている。この津波堆積物の不確定性というところは、今まさにおっしゃっていただいたようなところも含めております。

結局1611年の慶長三陸を例にするんですけども、北海道のほうで見つかっている堆積物が、17世紀初頭というような幅を持った評価になっているわけですし、やはりその部分を今おっしゃられたように、1611年のものだとすればどうか、そうではないときにはどうかというような、そういった形の扱い方が必要になるんだろうなというふうに思っています。そういった不確定性を何とか定量的な形でまとめるようなことに持っていけたらなというふうに考えています。

コメントありがとうございます。

○松山氏 ありがとうございます。

すみません。あと1点だけよろしいでしょうか。

○萩沼企画官 どうぞ。

○松山氏 あと、すみません、戻りましてスライド10のところで、波源のお話のグラフ等が出していただいて、実際の鉛直成分 $dy$ よりも1を超えるようなところがあるというふうなプロットであったと思います。

これについては、原因として一つは、ここの水深が30cm、40cm、50cm、どう見るのかちよっと波源にあってあれなんですけども、波速にすると起きた波が伝播する速度が大体1.1~1.2m/sぐらいかなというふうな気がします。そうすると今の地盤が動いている速度が0.15~0.25m/sというふうなことがあるので、速いほうで起きた津波が広がっていくのに追いつきやすいというようなことで、どうしても高くなっていくような傾向が見られるのかなという気がします。

そういったことが、例えば先ほど梅木さんのほうからあったスケールが変わってきたときに、多分、下の動きの速度が鍵になるのかなと思いますけど、そういったものとの関係をきちんと考慮して、推計した上で、この辺りの方法をやっていくことが大事かなと思いましたので、非常に面白い結果ですので、今後も進めていただければと思います。

以上です。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

コメントいただきまして、ありがとうございます。

我々もこんなに縦軸で1を超えるような結果が出てくるというのは、正直びっくりしているようなところがあって、この解析で表現できていない、1を超える部分をどう説明するのがいいのかというのは、これからの研究にはなるんですけども、一つの可能性として考えているのが、今までの手法は変化した分だけの体積の分を上を上げる、海水面に与えるということで、言ってみれば位置エネルギー分だけ与えているというような、そういった解釈になるのかなと。それで、実際の動きは位置エネルギーと運動エネルギーが合わさった形ということで、この解析のほうの足りない分というのは、運動エネルギーのほうに由来するんじゃないかというふうに思っています。

実際そういった指摘をされているほかの研究者もいらっしゃることは文献調査で分かっています、そういったところにヒントを得て、少し研究を進めていきたいなというふう

に考えています。ありがとうございました。

○松山氏 回答ありがとうございました。よろしくお願いいたします。

○萩沼企画官 原子力規制庁、萩沼です。

それでは、電中研の土志田様、何か御質問、御意見あったらよろしくお願いいたします。

○土志田氏 水理実験についてなんですけれども、こちらは水路で行われているということで、多分実際の現象は水が横にというか、海溝沿いに側方にも流れていく部分があると思うんですけれども、水路で横に流れていくものがないという辺りで、その理論と何か差が出てはいないだろうか、ちょっと素人ながら思ったりしたんですけれども、そこら辺はいかがでしょうか。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

コメントありがとうございます。

この水路で現象、実験で見て、それを解析でやるときも側面には壁を設けるような、そういった形の解析をやっています、実験の再現という意味では、境界条件の部分は問題ないというふうに考えています。ただ、今御指摘のあった部分は実際の現象は2次元に広がりを持っているということになるかと思しますので、これは実際の現象に適用する際に、もう一度考えなきゃいけない部分になるかなというふうには思っています。ありがとうございます。

○土志田氏 ありがとうございます。

もう一つよろしいですか。

研究項目、(1)(2)、二つ挙げられているんですけれども、これ(1)の成果が見直しになりますと、(2)のほうにも効いてくるものなんでしょうか。そこら辺もし効いてくるようであれば、(1)と(2)の間に矢印が引かれるようなイメージでおればよろしいのでしょうか。そこら辺がちょっと気になりました。

○杉野首席技術研究調査官 コメントありがとうございます。

正直、考えていませんでした。ですが、確かに課題(1)のほうで改良手法がうまくできれば、(2)のほうにももちろん採用できる、応用する形になると思うんですけれども、できるようになると思います。

段階を踏みながら、研究を進めていきたいなというふうに思います。ありがとうございます。

○土志田氏 ありがとうございました。

以上です。

○萩沼企画官 ありがとうございます。

それでは、続きまして、委員の方から御意見をお伺いしたいと思います。どなたか御発言ある方、いらっしゃいますでしょうか。

それでは、まず防災科学技術研究所の酒井先生、いかがでしょうか。

○酒井委員 ありがとうございます。

かなりもう話が随分出てきたのであれなんですけども、水理実験について御質問があるんですけども、もともと当然実験なので、現象を再現したくて特徴のあるところを持ってきてモデル化した実験と思っています。今のいろいろ苦労しているところだと、実験のための解析というか、その中で、この実験自体がどう正しいのかなというのが、ちょっと分からないところがあるんじゃないかなと思ったのは、先ほどもそういう指摘もあられたようなところだと思うんです。

例えばこの実験自体も相当大きなものだと思うんですけども、別の形で同じようなモデルでやったりしてもっと大きなものにした場合にすると、もっと測るものとかちゃんと定量的に測れるようになるんじゃないかなと思うと、そうすると、より今回のお話にあったものが近づくような結果も出てくるのかと思うし、前回の実験との差異がちょっとあるのかなというところもあるかと思うんですが、今回はこの実験の大きさそのものでしか検討しないということでしょうか。ほかのようなもっと実験、あるいはほかの実験のようなものを持ってきて、比較していくといいのかなとも思うんですが、その辺はいかがでしょうか。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

すみません。今の御質問は、この実験以外に、より大きな装置のようなものをつくったり、借りたりして実験してみたらいいのではないかという御質問になりますか。

○酒井委員 例えば、実験自体をこれに合わせるために、今回の令和3年度からの見えるので、そうではなくて、この辺の初期水位のところ、どううまくやっていくかということころを判断するために、そういうのもありじゃないかなというふうに思いました。

○杉野首席技術研究調査官 今、考えているのは、これまでに作った装置の有効利用もあって、これを使い続けるようなことを考えていますが、やはり研究を進めていく中で、もしそういったことも必要になってきたときに考えたいなと思います。

今のところは、この研究を開始する段階では、あまり大きなスケールの実験まで一気に

構想に入れるのではなくて、このぐらいの今までの装置の有効利用を図って、もう少し現象をきちんと捉えていきたいなというふうに考えています。

○酒井委員 私も実験をこういうのをやっていくときに、やはりなかなか思ったようにいかない場合があるということで、シミュレーションと、これどうするのというときは、本当に悩むところがある。

そうすると、必ず実験自体が正しいという話になってくるので、やはりこの実験自体がちゃんと正しいんだというのは、今言われたような形で、いろんな形の実験をやって、あるいは、ほかの結果も比較しながら、うまく説明した上で、これは正しいというところで有効利用というのもよく分かるので、そういうところを実験で重ねていくというのはいいのではないかなということ、すみません。これちょっとコメントなんですけども、そう思いました。

○杉野首席技術研究調査官 規制庁の杉野です。

ありがとうございます。

確かにこの9ページの絵には、斜面勾配が1/10の1ケース、このケースだけ記載していますが、それで、しかも先ほどの実験の結果とか解析も、みんなこの1/10の斜面勾配のものを載せています。我々違う斜面の勾配のものも用意しておりますので、そういったことは現在もこの後続けてやっているんですけど、そういったデータもひっくるめて、これから始まる研究のほうに活かしていきたいというふうに考えています。ありがとうございます。

○酒井委員 よく分かりました。ありがとうございます。

○萩沼企画官 ありがとうございます。

それでは、東京大学の糸井先生、何か御質問、御意見があったらよろしく願いいたします。

○糸井委員 ありがとうございます。東京大学の糸井です。

すみません、幾つかあって、ちょっと時間を使ってしまうかもしれない、申し訳ありません。

まず、前提条件として教えていただきたいのは、松山さんのコメントで、冒頭で少しあったこととも関係しているんですけども、津波の発生源として様々なものが、地すべり等も含めてある中で、今回それでいろんな議論が最近されていると思います。その中で今回この二つの課題がやるべきだというふうに考えられている考え方を、まず参考までに教えていただきたいんですけど。それが一つ目です。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

この津波に関する研究プロジェクトは、JNES時代からひっくり返って年数やってきました。それで冒頭の整理したところでどういった研究のものをやってきたかというお話をさせていただいたかと思うんですけども、そういうことを進めていく中で、確率論的なハザード評価の部分に手をつけているときであったり、それから申し訳ありません。今回の資料には載せていなかったんですけども、海底地すべりに関する研究もずっとやってきました。それで一旦一区切りかなということで、私どもでは考えています。

それで、この後またさらに研究を今後4年間続けていく中で、どういったものがあるか。しかも我々が今まで取り組んできた研究成果が、ある意味生かせるようなフィールドといえますか、研究分野はどこかなということを考えながら、テーマを設定したということになります。ありがとうございます。

○糸井委員 分かりました。ありがとうございます。理解できました。

あと幾つかあるんですけど、次が、これも先ほど松山さんがコメントされた部分と少し似た、あるいは土志田さんがコメントされた、皆さんがコメントされた部分からで、10ページなんですけれども、図4で示していただいているのは、 $H_{MAX}$ が1を超えるというキャッチーな図としての設定いただいて、これがメインで載せていただいていると思うんですけど、例えば左の図を見ると、そもそも山の形が両者で違っていたり、波況が違うという言い方が正しいのか、ちょっと分からないんですけど、それで $H_{MAX}$ 以外でも基本設定があるように思っていて、それは先ほど運動エネルギーとおっしゃられたところで解決できるのか、できないのか分からないんですけど、そういうところまで視野に入れた研究だという理解でよろしいでしょうか。

○杉野首席技術研究調査官 御質問ありがとうございます。

何分、10ページに示した図は、実験と今ある解析手法とを使って、どこまで合っていて、どこまで違うのかということを見る第1段階の整理ということになります。それで、御覧いただいたように、御認識いただいたように、解析のほうが最大水位が平面的に出る場所も違っているということもありますので、これがどういった、何が足りなくて実験を再現できないのかということからは、まだ十分には理解できていないんですが、その原因の一つが、今は運動エネルギーではないかというふうに捉えています。この運動エネルギーも、また導入の仕方も難しいところがありまして、そういったところを解決しながら一つ一つ潰していけたらなというふうに思っているところです。

答えになったかどうか分かりませんが。ありがとうございます。

○糸井委員 大丈夫です。理解できました。

すみません。あと二つというか、大きく分けて一つなんですけど、後半のテーマについて少しコメントというか質問をさせていただきたいんですけど、不確かさについて相関関係を見るということで、ただ、説明を聞いて、そうじゃないんだろうなと思ったんですけど、不確かさとか相関関係というと何となく平均は正しくて、ばらつきを見るんだというように聞こえなくもないんですけど、これ多分もうちょっと重要なのは、平均値のバイアスも含めて、その影響をどう見るかというところだと個人的には理解しました。という理解でよろしいでしょうかというのが、まず一つです。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

なかなか相手にする堆積物の情報というのが、不確かさがあるという整理をしたんですけども、これ自体の不確かさを平均とか分散の形の整理ができるのかどうかという、その難しさもちょっとありまして、それで構想ではありますけども、今考えているところでは、例えば何らかの重みをつけるような不確かさ、確かなものには例えば0.9。年代は近いけども大分幅のある年代で推定されていれば、そこは0.5というような、例えばそういった重みづけの仕方をする形で、結果に対して確からしさの数字を持たせるような、そういった整理の仕方ができないかというアイデアといいますか。幾つも候補は出てくることになると思うんです。入力側の見つかっている堆積物の情報が幾つか出てきた場合でも、1個だけの最適解が出てくるわけではなくて、幾つか出てきたときにそれぞれに対して確からしさみたいなものが整理できると、それなりの知見になるのかなというふうに考えています。

○糸井委員 ありがとうございます。今のような一つに平均像としてまとめるのではなくて、今みたいなまとめ方を是非していただきたいとコメントしようと思っていました。ぜひよろしく願いいたします。

もう一つが、ちょっとまだ遠い将来かもしれないんですけども、波源の推定をしていくときに地震動ハザードとも当然震源の想定で絡んでくる、短期的には難しいというのは理解していますけど、本来できるものだと思いますので、ぜひその辺りの整合性を持った形での検討も今後併せてお願いできればと思います。

以上で質問を終了します。ありがとうございました。

○杉野首席技術研究調査官 ありがとうございます。

地震と津波のハザードの重畳とっていいのかどうかはあれなんですけど、やはり一緒に考えるというところは必要なことだと思っています。

ただ、我々のハザード分野だけの話ではなくて、そこというのは影響を受ける側の施設側のほうとのリンクがあって、初めて両方を考える意味が出てくるのかなと思っていますので、そういった大分大きなテーマになりそうで、今後の課題ということで考えさせていただければと思います。ありがとうございます。

○萩沼企画官 糸井先生、ありがとうございました。

それでは、京都大学の岩田先生、御質問、コメントがあればよろしくお願いたします。

○梅木氏 勝手に入ってすみません。酒井先生、ミュートにさせていただくと、ちょっと声が割れちゃうのですみませんが。

○萩沼企画官 よろしいでしょうか。

それでは、京都大学、岩田先生、よろしくお願いたします。

○岩田委員 京大の岩田です。聞こえますか。

○萩沼企画官 はい、聞こえております。よろしくお願いたします。

○岩田委員 説明どうもありがとうございました。

もう大分議論の中でいろいろ分かったこともあるんですけども、まだ分からないことがあるので教えてください。

実験のところでもう既に御質問で、この実験を再現するための、いわゆる境界を与えたもので比較していると、10ページのところはそういうことをやられているということは分かったんですけども、酒井先生からも御指摘があったように、実現象は空間的に広がるわけですよ。海は壁がないですから。

ですからそこが、つまりこのモデル、これを再現できるようになったとして、その事象だけで実際のインバージョン解析に使えるグリーン関数になるということが、どこで担保されるかということについて教えてください。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

これから考えようと思っている部分なんですけれども、今のフェーズでやっている研究の中でも、既往の考え方、先ほどTanioka and Satakeのやり方で、水平方向の鉛直分の寄与ということを取り入れた形でインバージョンをやるということは、今現在進めている研究で実際やっているんです。

そのときには、よくある形で、たくさんの領域の中の小断層で単位すべりを与えたとき

に、どんな波が各地で取れるかというデータを一旦取って、それをグリーン関数にするということをやっているんですけども、その中にこの運動エネルギーの効果というものがうまく取り入れることができれば、似たような形でグリーン関数を作って、インバージョンのほうは今までのやり方ができるのか、というようなことまでは今のところ考えているんですが、それがそのまますんなり行くかは、ちょっとやってみた上で研究を進めていきたいなということで考えています。

○岩田委員 それともう1点教えてほしいのは、私はこういう流体の専門じゃないので、間違ったことを聞いているかもしれませんが、数値実験というのはできないんですか。

○杉野首席技術研究調査官 規制庁の杉野です。

数値実験とおっしゃいますのは、例えば粒子法だったりとか、そういったもののイメージをされているということでしょうか。

○岩田委員 私も細かくは知らないのですが、例えばこういう、今実験をされているようなものでもいいし、もっと現実的なTaniokaさん、Satakeさんのやつが、論文を私は正確には内容を知らないので間違ったことを言っているのかもしれませんが、そういうものの中に、例えば一つは粒子法だと思うんですけども、そういう計算値負担が大きそうな気はしますが、そのほうが様々な、ある程度その計算コストが考えられる中では、ケース研究はたくさんできると思いますので、それが許すのであれば。

そういうことによって、今ここで前回の研究で出てきているような問題点を、次のステップに高度化するときを考えていくような方法として使えないかというような、非常に単純な質問です。

○杉野首席技術研究調査官 ありがとうございます。

正直、構想の中に全くありませんでした。少し考えてみたいなと思います。水理実験の現象を理解するという意味で意味があるなというふうに今感じまして、ちょっと考えてみたいなというふうに思います。ありがとうございます。

○岩田委員 どうもありがとうございました。

以上です。

○萩沼企画官 岩田先生、どうもありがとうございました。

それでは本件について、専門技術者の方、あるいは委員の先生方から何かもう1回質問とかコメントがあったらよろしく願いいたします。よろしいでしょうか。

では1件目の研究については、これで終わりたいと思います。

続きまして、令和3年度から令和6年度まで行われる予定の安全研究プロジェクトであり、今年度の事前評価の対象となる外部事象に係る施設・設備のフラジリティ評価手法の高度化に関する研究について、原子力規制庁長官官房技術基盤グループ地震・津波研究部門の大橋首席技術研究調査官から説明させていただきます。

○大橋首席技術研究調査官 原子力規制庁地震・津波研究部門、大橋と申します。よろしくお願いたします。

外部事象に係る施設・設備のフラジリティ評価手法の高度化に関する研究について、参考資料1、研究計画案、説明資料を用いまして説明させていただきます。資料の中ほどから我々の研究となっています。

2ページ目になりますが、2ページ目目次で、先ほどと同様に1番背景、2番目的、3番研究の概要、4番研究計画（行程表）となっております。

続きまして3ページ目までめくっていただきまして、背景です。ここでは、本研究が新規規制基準の中の、いわゆる設置許可基準におけるの条文対応について記しております。設計基準対象施設におきましては、四条「地震」、五条「津波」、六条「外部からの衝撃波」、重大事故等対処施設に対しましては、これらの地震・津波に加えまして四十三条「重大事故等対処設備」、四十二条「特定重大事故等対処施設」これらの条文が外部事象に対して施設の安全機能を損なわないようにということが規制要求として決められております。

また、いわゆる再稼働の審査終了後も継続的に安全性向上評価、FSARの活動が行われております。この中では確率論的リスク評価、PRAの活用が見込まれており、そのためには外部事象に対する施設や設備の応答及び耐力に係る損傷の度合いを精緻に評価する研究に取り組むことが重要であると考えております。

4ページ目に行きまして、本研究の目的です。本研究は外部事象に係る科学的・技術的知見及び規制基準等の整備に活用するための、知見の拡充等に資することを目的といたします。

この目的に対しましては、(1)地震、(2)津波、(3)衝撃の3分野について令和3年度から研究を進めていきます。これらについて次ページ以降で説明させていただきます。

5ページ目が研究の概要です。ここでは項目を上げているんですけれども、(1)地震に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討では、aが建屋の耐震安全性評価手法の適用性評価、bが礫質土等の地盤の液状化による施設への影響評価、cが既設プラントの設備の

耐震性の把握を行います。

(2)が、津波に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討で、ここでは黒津波の発生条件等の検討を行います。ここで黒津波と申しましたが、これは東北地方太平洋沖地震で報告された、ヘドロ等を巻き込んだ黒い津波、これが単なる海水の津波よりも大きな波力を生じるのではないかというものなんですけれども、その黒津波に対する検討を行います。

(3)が、飛翔体等の衝突に対する衝撃評価手法の高度化の検討ということで、aが建物・構築物の設置状況及び形状特性を考慮した衝撃評価、bが衝撃力に対する設備の応答評価手法の検討を行う予定でございます。

続きまして6ページから各研究について、説明いたします。

(1)が、地震に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討です。aが建屋の耐震安全性評価手法の適用性評価なんです。これについては二つのテーマを考えております。ここで示しているa-1が、非線形挙動を示す建屋の耐震安全性評価手法の適用性検討です。これは今実際行われています新規制基準の適合性に係る審査からの課題ニーズを受けて実施するものです。

ここで二つ課題があるんですけれども、一つ目の課題は建屋の低接地率に係るものです。これは審査が進むに従って安定する建物だけではなくて、地震時の接地率が小さいと評価される建物が出てまいりました。そういった場合の建物の評価が妥当であるかという課題です。

二つ目の課題ですけれども、コンクリートが事故時の高温・高圧を受けた場合、そのコンクリートの性状が変化して、その後の耐震性能にどう影響するかといった課題を掲げております。

7ページに行ってくださいまして、その課題に対する研究内容を示しております。低接地率状態の建屋の応答評価及び、高温状態等の影響を受けた建屋の地震荷重作用時の応答特性に与える影響評価に関する既往知見の調査並びに関連する試験や解析による応答特性の把握を行い、それらによって非線形挙動を示す建屋の耐震安全性評価手法の適用性に係る知見を拡充しようとするものです。

8ページ目に行きまして、これは建屋の二つ目のテーマなんですけれども、これまで建屋は地震観測記録に基づいて、三次元解析による解析等を行った結果、同一フロア内での地震応答が異なるということが確認されています。これについては我々も令和2年度まで

の研究の中で、少ない観測点の記録で再現解析を行っていました。

そういう応答が異なる原因につきましては、床の柔性や開口等の影響が考えられるんですけども、地震記録について、より多くの観測点からデータを収集して、また現実の構造を反映したものによって、その検証を行う必要があると考えています。

9ページ目に行ってくださいまして、その研究内容です。ここでははっきり書いていないですけども、実際には既に令和元年度からJAEAと共同研究を行っておりまして、JAEAのHTTR高温工学試験研究炉に固定式の地震計の増設及び移動式の地震計を設置しまして、自然で発生する地震観測記録に加えて、起震機を動かして、その小さな地震動ですけども、その建屋応答を計測します。そうして得られた地震記録を計測・分析、そして、そのシミュレーション解析等を実施して、地震応答解析モデルの精緻化に係る知見を拡充しようと考えております。

次のページに行きまして、10ページ目にb. の礫質土等の地盤の液状化による施設への影響評価についての説明をいたします。

課題ですけども、一般的には液状化というのは砂地盤で多く発生するというのが常識になっています。発電所の地盤というのは、埋め立てた箇所でも粒径が大きな礫地盤が多く、液状化については今まであまり着目がされていませんでした。しかしながら原子力サイトというのは地震力が大きいため、礫地盤でも液状化を考慮する必要があるのではないかとこのことが言われております。我々の令和2年度までの研究では、礫地盤でも液状化が発生し得るといった知見が得られています。

11ページ目に移っていただきまして、このように原子力発電所のサイトで礫地盤で液状化が発生するとして、次にじゃあ液状化が地下にある屋外重要土木構造物や海岸線沿いにある防潮堤にどう影響するかというのを、今後検討していかなければならないと考えております。

この課題に対する研究内容としましては、原子力発電所特有の地震動や礫質土等の地盤材料や、地形等の特性を踏まえまして、その条件による液状化実験やシミュレーション解析等を実施します。そして、礫質土地盤の液状化による施設への影響評価に係る技術的知見を拡充しようと考えております。

12ページからはc. の既設プラントの設備の耐震性の把握です。これの課題ですけども、機器配管系の耐力につきましては、これまでNUPECやJNESの研究によって、新設プラントの機器耐力についての振動試験等から知見を得てきました。しかしながら、今行われ

ている新規制基準の適合性審査では、これまで大きな地震を経験した既設プラントに係る審査も行われています。

次のページ、13ページですけれども、また新規制基準は特定重大事故等対処施設に対して、基準地震動を一定程度超える地震動に対する頑健性を要求しています。また事業者自主的な安全性向上の取組を促進するため、確率論的リスク評価や安全裕度評価に基づく安全性向上評価の提出も要求されています。

これらを踏まえまして、新規制基準に適合した既設プラントの確率論的リスク評価や安全裕度評価に資するため、大きな地震を経験した設備の耐震性や、新たに3.11以後導入された設備の耐震性、特にその基準地震動を超える領域での耐震性を明らかにする必要がありますと考えております。

14ページが研究内容です。二つのテーマを上げておりまして、一つ目がc-1大きな地震を経験した設備の耐震性の把握。これは過去に大きな地震を経験した配管系の基準地震動を超える地震荷重における耐震性を把握するため、試験片を用いた材料試験及び配管要素試験体を用いた振動試験を行います。

また、試験で観測された繰り返し荷重下での弾塑性挙動及び疲労強度について、有限要素法等によって詳細に評価して、既往の疲労評価手法の適用性を確認しようと考えております。

15ページが二つ目のテーマのc-2、既設プラントに新たに導入された設備の耐震性の把握です。新規制基準に適合した既設プラントの耐震性を把握するためには、新たに導入された設備や、その構造や機構に着目した振動試験を行い、その現実的な耐力やばらつきの評価が必要となってきます。また、衝撃力等により生じる高振動領域での振動試験も併せて行い、外力の振動領域の違いが、設備の現実的な耐力やばらつきに及ぼす検討も把握いたします。

これらc-1及びc-2の研究は、大学との共同研究としても進めてまいります。

16ページが我々の研究、三つの柱のうち二つ目の津波に対する研究です。テーマは先ほど話しました黒津波の発生条件の検討です。これは3.11津波のときに海底のヘドロを巻き込んだ黒い津波が発生したとの報告がありまして、この黒い津波は粘性が大きいため、通常の津波よりも大きな波力が防潮堤に作用する可能性があります。研究では水理試験やシミュレーション解析等を実施し、黒津波の発生条件等を検討し、その知見を拡充しようと考えております。

17ページ目からは、三つ目の柱の飛翔体の衝突です。建物と設備についての研究を行います。aが建物・構築物の設置状況及び形状特性を考慮した衝撃評価になります。

このページで、これまでの研究を示しておりますが、図3-1のようにコンクリート構造物の模型に飛翔体を高速で衝突させて、構造物への貫入や衝撃応答を把握する実験を行い、その再現解析から評価手法の妥当性等を確認してまいりました。

18ページです。このように規制庁で今まで実験した研究というのは、平らなコンクリートの岩にぶつかるというようなものですとか、簡略した構造物を対象にしたものがほとんどでした。

一方、原子力施設には多くの地中設置の構造物が存在し、岩盤内または上載部を土やマンメイドロック等で埋め戻された地盤に設置されています。このような地中の構造物に対しての衝撃の評価というのも実際必要になっています。また、実構造物は様々な形状を有しており、現実的な形状、平板ではなくて円筒形ですとか、壁が二重になっているとか、そのような衝撃評価も必要となってきます。しかしながら現状としては、そのような形状を考慮した既往の研究は少ないのが現状となっております。

19ページが研究内容です。二つありまして、二つが岩盤内設置の設置状況や構造物の複雑な形状、二つを考慮した局部損傷に関する評価手法の適用性を検討します。具体的には岩の供試体への衝突実験及び実構造物で見られる形状を模擬した試験体への衝突実験を実施し、図3-3では既往研究の例ですけれども、コンクリートの壁が2枚あるとして、1枚目の壁を貫通後、2枚目の壁に衝突した場合、どの程度の衝撃力が作用するかというのを計測するような研究を行います。

実験後は実験結果の分析及び実験の数値シミュレーション解析を通して、衝突時の応答に係る知見を拡充いたします。

20ページが衝撃の二つ目、設備の応答評価手法の検討です。衝撃の作用荷重が地震荷重と異なる点というのは、高振動領域であるということと、また地震よりも大きな加速度が入力されるという点になります。

R2年度までに実施してきた電気品等の設備の衝撃振動試験は、ガタ系を有する構造、レールの上に台車が乗っているような、ガタを有するような構造ですけれども、そのようなものに対しては衝撃応答が増幅し、設備が損傷するというような事例が確認できました。つまりこれまで耐震で得てきた知見では不十分な点があるというのが、これまでの研究で分かってきました。そのため、衝撃力に対する設備の健全性を評価するには、設備を構成

する要素の耐力に係る知見に加えて、ガタや摩擦系を含む設備の応答に係る知見も拡充する必要があると考えております。

21ページが研究内容です。衝撃力に対する設備の応答等に係る知見を拡充するため、電気品等のキャビネットに着目し、その基本構造及びそれにガタ・摩擦系を加えた試験体を制作し、その衝撃振動試験を実施いたします。また、ガタ・摩擦系を含む設備の応答評価手法を検討するため、既往知見に基づき衝撃応答解析を実施し、衝撃振動試験結果と比較することにより、その適用性を確認いたします。この衝撃に係る研究についても、大学との共同研究の中で進めていく予定です。

22ページと23ページが研究行程です。平成3年～平成6年まで4年間のプロジェクトと考えております。ただし、a-1の建屋の低接地率につきましては、規制部のニーズのほうから、令和3年度中に知見を取りまとめる必要があるということと言われておりますので、令和3年までの研究と考えています。

ほかの研究については、成果は適宜、論文化、必要に応じて規制の反映を行いますが、先ほどから申し上げます共同研究としている案件につきましては、共同研究というのが3年間で一区切りという扱いとなっておりますので、その期間内で論文成果を出すものとしております。

あと最後の24ページは、文献の一覧表になります。

以上で、説明を終わります。

○萩沼企画官 技術基盤課、萩沼です。

それでは、質疑とさせていただきます。

先ほどと同じように、まず専門技術者の方から御意見いただきまして、続きまして委員の方から御意見をいただきたいと存じます。

専門技術者の方ですが、先ほどと同じ順番で御意見、お一人ずつ伺えたらと存じます。まず中部電力の梅木様、御意見いかがでしょうか。

○梅木氏 梅木です。聞こえますか。

○萩沼企画官 はい、聞こえております。よろしく願いいたします。

○梅木氏 御説明どうもありがとうございました。大分様々な研究をやられるということで大変かと思いますが、よろしく願いいたします。

私のほうから2点教えてください。1点目はまず少し細かいところから入りますが、9ページの中で、地震応答解析モデルの精緻化と、これはいいんでしょうけど、精緻化すると

いうことは、それだけモデルが複雑になるだけで、それを今度どうやって実際の検討に生かしてくるのだろうかというところが少し見えなかったので、例えばこの知見で出た結果を、今のモデルのパラメータに組み込んでいくのか、そういうところまで考えていらっしゃるのでしょうか。まずはそれを教えてください。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

確かに精緻化すれば、それがストレートに設計に反映すればいいものではないと考えております。

ただ、今まで事業者さんもいろいろ三次元の解析で、局地的な応答が出てくるというような報告を出されてきまして、じゃあそれというのがどういう原因で局所的な応答が出ているか、それが設計として考慮しなきゃいけないものなのかどうかというものの判断に困るというような現象がありました。

そうした場合、一つは精緻化して、例えば三次元の解析でも質点系ではモデル化していない壁等を考慮しておくことで、その原因が分かるというようなことがあるかと思います。そうすると、そのような設計の中で異常な応答が出たときに、それは単にモデル化を精緻化できていないことで、異常な応答が出てきたということが分かれば、設計の中ではそれは特に異常ではないということも分かるかと思います。そのような使い方になることを考えておまして、特に細かな精緻化が設計に必要なということを求めるものではないと考えております。

○梅木氏 理解しました。要するに局部的とか局所的なところの、もう少し詳細な踏み込みをするために必要だという理解ですね。分かりました。

今のと関連してくるんですが、今ずっと設計で使うというような話をされていましたが、となると8ページとか、この研究全体の考え方として、フラジリティの高度化という題目になっていますが、これはPRAのどこに使うのかなと思いつながら聞いておまして、設計に使うというところなのか、それともPRAということ、地震PRAという観点のときに使おうとされているのかと。

もし地震PRAで使うとなると、今度は建屋そのものというか、局所的なものがPRAの中でクリティカルになっているのかどうかというところまで考えた上で決められているのかどうか、そこがよく分かりませんでしたので、この研究、これをやることの考え方をもう一度説明していただけますでしょうか。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

ここの研究でフラジリティという言葉を使っているんですけども、実際バラエティに富んでいるという御指摘もありましたが、基準地震動を大きく超えるところまでやるものもあれば、基準地震動内での精緻化を求めるものもあるということで、それらを含んでフラジリティということで、そうさせていただいております。

建屋については、今までの研究の中でも基準地震動を大きく超えるところまで検討というものはやってはいるんですけども、なかなかそれを三次元のFEM解析で基準地震動をはるかに超えるような応答まで求めるというのは非常に難しいところがありまして、それは解析の技術的な能力的なものというのもあるので、あとPRA的なものに対応するには、やはりFEMの三次元でそれを検討するというのも、まだ技術的には難しいところはあるというのが、今までの研究で実感してきたところでもありますので、建物、特に地盤と連成するところでは、三次元解析をPRAの段階まで自由に道具として扱うというところまではまだちょっと難しい段階かなと思っております。

以上です。

○梅木氏 ありがとうございます。どこにどう使うかというところも少し頭に入れながら検討を進めて、逆にこれがどこにフィードバックされるかというところまで考えながらやられるといいかなと思って、コメントさせていただきました。

私のほうから以上です。

○大橋首席技術研究調査官 コメント、ありがとうございます。その適用性については今後も考えていきたいと思っております。

○萩沼企画官 梅木様、ありがとうございました。

それでは、続きまして電中研の松山様、御質問、御意見ございましたらよろしく願いいたします。

○松山氏 松山です。聞こえますでしょうか。

○萩沼企画官 はい、聞こえています。よろしく願いいたします。

○松山氏 じゃあ1点だけ。スライド16で説明いただいた黒い津波の発生条件の検討というところで、私の要望といいますか、これ発生条件と書かれているんですけども、これもしへドロだけに絞っているのであれば、へドロというものの日本沿岸での存在条件というんですか、そういったものは、もしかしたらこれはそういう調査をされているのかもしれないんですけども、まずそういったことを押さえた上で実施されるべきだと個人的には非常に強く思っていますので、その点について教えてください。

というのは、発電所、特に原子力発電所は港湾というのは、もともと港湾に適したところにつくっているわけではなくて、適したところというのは、波が入ってこないとか、流れも強くないところというわけです。

一般にある港湾というのは、もともと港ができた過程で、そういう波が入ってこないとか、流れの小さいところということで、ヘドロがたまりやすいんですけど、発電所の場合は後でつくった港湾ということで、結構波浪条件もきつかったり、発電所は基本取水していたり、場合によっては港湾がなかったりするような感じがしますので、根本的にこの辺りなのか。

この右の絵も、もしヘドロがたまるとしたら港湾の中だと思うんですけども、狭いところはどうしても流れが速くなったりするので、そういったこともよく考えられたほうがいいんじゃないかなと思いましたので、その存在条件といった、そういったことについてもしありましたら、ぜひそういったことも検討にやっていなかったら含めていただきたいということです。

以上です。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

コメントありがとうございます。

おっしゃるとおり黒津波が起きる条件というものが、原子力のサイトで本当にその条件が当てはまるかというのが一つのテーマでありまして、それについては、まず黒津波というのがどういう条件で発生するかというのを一つ明らかにして、じゃあそれが日本の原子力発電所のサイトでどういうところでそういう発生する可能性があるのかという条件から、検討を進めていきたいと考えております。

以上です。

○松山氏 回答ありがとうございます。ぜひその存在する、しないというもの。というのは3.11のときにも福島とか沿岸の火力発電所を見ていると、そこまでヘドロっぽいものもないのかな。福島辺りはもともとシルトというのが港内にたまるという課題があったと思うんですけども、もともと港内をよく調査をしていると思うので、その辺りを含めて考えていただきたいと思います。

どうもありがとうございました。

○大橋首席技術研究調査官 ありがとうございます。

○萩沼企画官 松山様、どうもありがとうございました。

それでは、電中研の土志田様、御意見、御質問あったらよろしく願いいたします。

○土志田氏 土志田です。

今松山さんのほうからもありましたけれども、黒津波ということなんですが、ヘドロ状の堆積物ではなくて、通常の実底の堆積物で、土砂等で同じようなことが発生し得るのではないかと片や思いつつ、片や発電所ですと放水路があつて、もう堆積物が残っていない、露岩しているような場合も多いと思ひますので、そこら辺は検討いただければなというのが、ヘドロに限らずに堆積物というのをどれくらい巻き上げるものなんだろうかという辺りから、検討いただければいいのではないかなというところが一つです。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

コメントありがとうございます。

我々は原子力発電所サイトで必ず黒津波が起きるのではないかという、そう決めつけて研究を進めているわけではなくて、そういう黒津波が発生すると、大きな津波の波力が生じるのではないかというような研究が別途ありまして、それに対していろいろな心配ごとがあるということも背景にありまして、じゃあそれが本当に原子力発電所で考えなければいけないものなのか、皆さんおっしゃるように原子力発電所の付近には、そのような条件というのではないだろうというようなこともあるかもしれませんし、それはそれでないということが分かれば、それで今までの津波の波力に対する評価方法で、特に原子力発電所の防潮堤等の評価は問題なかったという結論であれば、それはそれで一つの研究成果だつたと考えております。

3.11津波で黒津波現象が発生したというような報告とは別に、いろいろな研究者の方の中で、いろいろな粒度の土砂を水の中に混ぜたときに、どのような挙動を起こすかというような研究もありますので、そういういろいろな広い知見を集めて、研究の方向性というのは明らかにしていきたいと考えております。

以上です。

○土志田氏 ありがとうございます。

あともう一つ(3)の飛翔体です。衝撃についてなんですけれども、こちらは私の専門でないのであれなんですけれども、それこそ自衛隊とか米軍とか、あと惑星科学の分野でしょうか、物が衝突したときにどれくらいの大さの穴が開くだろうかといったことは、そういったいろいろな近い分野の成果があるかもしれないので、そちらも多少探索されてはいかかなと思ひましたという、単にコメントです。

以上です。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

コメントありがとうございます。

我々は研究を進めていくのに当たりまして、またこのような先生方からの御意見をいただく場とは別に、外部の有識者の方をお招きして、我々の研究に対する御意見もお伺いしていますので、その中には防衛大学校の先生もいらっしゃいますので、広く知見を取り入れて研究を進めていきたいと考えております。

以上です。

○土志田氏 承知しました。

○萩沼企画官 土志田様、ありがとうございました。

それでは、続きまして、委員の方から御意見をお伺いしたいと思います。

まず、防災科学技術研究所の酒井先生、御意見、御質問あったらよろしくお願ひいたします。

○酒井委員 防災科研の酒井です。

御説明ありがとうございました。もう多岐にわたるところで、いろいろそれが独立してやらなきゃいけないことがたくさんあるなというところを思いましたが、今あまり触れられていないところで、11ページのところですか。礫質土地盤の液状化の問題のところなんですけど、やはり実際のサイトに行くと、礫質のところ、こういうところはなかなか評価が難しいところで、土質力学的にもここは難しいなというところがあって、普通の砂質土とか、そういうところの評価、液状化のほうは非常に進んでいるんですけども、礫質土というのは、なかなか分かっているようで分かっていないところが非常に多いというところがあります。

なので、こういうシミュレーション等、実験等を行って、シミュレーションをやっているって説明していくというのが非常に重要なことだと思うので、ぜひ進めていただきたいなと思うんですが、このときに礫質土というのが、どのくらいまでの礫質土を対象としているのか、礫質土でも細かいものからいろいろ含まれているので、より横に寝たような粒径分布かなというふうには思うんですけども、そういうものを遠心模型のときの実験と、実際の土のところは当然違うので、そういうところでいろいろ工夫が必要かなとは思っています。

今回これ実験とシミュレーションという話なんですけども、ここからコメントなんです

けれども、現実的に実際の礫を含んだ土を液状化特性調べることは非常に重要だと思っています。基本的には普通の三軸試験の大きさではなかなか評価しづらい。礫が大きくてしづらいので、中型の三軸試験の大型のほうになってくるかなと思います。そういった実際のものと、今回ここで得られる液状化実験とシミュレーション解析等を行ったものをうまくリンクさせて、現実に使っていくような、最後そういうようなまとめになるといいなというのが一つここでのコメントです。いかがでしょうか。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁の山崎です。実際に液状化のほうを担当しています。

まず、今回実験に用いました礫質土の粒径等についてですが、遠心载荷模型実験で使っていますので、御存じのとおりあまり大きな礫を使えていないので、今、最大粒径で20mm～30mmぐらい、そういったものを使っています。割合的には10%いくかいかないか。下のほうですと細砂ぐらいまでを含んだ材料になっています。

それをモデル化して今50G場でやっているのですが、実際としてはかなり大きな粒径とはなっています。遠心载荷なので、粒径の影響というのは多少なりともあると思いますが、ここでは過剰間隙水圧とその変形挙動というところで、間隙比とか透水係数、そういったところに着目して、粒径の大きさというところは、ある程度そんな影響は少ないということ考えてやっています。

あと、今、三軸試験と中空ねじり試験で、実際のいろんなポイントでの応力を使って室内試験を行っていますが、普通の三軸の供試体レベルなので、尖頭粒度を使ってやっているというところが実際です。今ターゲットとしていますのは、どちらかといいますと、解析評価のところの妥当性というところもある程度目標として、そこでの応力場といったところを中心にしていこうと思って進めていますので、中空ねじり試験とか遠心载荷実験、ここでの応力場と解析、その三つを比べて、挙動を確認していこうというところでやっています。

実際の大きさの差というところは確かにありますので、できれば中型とか大型の三軸試験を使って見ていきたいんですが、今のところはちょっと視点が応力場というところで、やる機会ができたなら、ぜひ見ていきたいと思っていますし、他機関の方々の結果というのがあれば、そちらも参照しながらやっていきたいと思っています。

以上です。

○酒井委員 ありがとうございます。三軸試験と中空ねじり等も使いながらやっていること、よく分かりました。

ただ、こういう実験をやっていると私もこういう実験、かつてやっていたんですけども、やはり現実とのあれはどうなんだとどうしても言われてきて、その評価の試験、ちゃんとしないと駄目なんじゃないのと、どうしても言われてしまう。なのでシミュレーションとかそれをやる上では、これは非常に重要なところだと思うので、礫混じりというのは非常に難しいところだと思うので、ぜひここでうまく体系化したものを考えがちゃんとできるといいなと思いますので、よろしく願いいたします。

じゃあもう1点だけお願いします。飛翔体のところで、ちょっとイメージが湧かなかったところがあるんですけども、実験を行ったところで、斜面の中に構造物が入って実験する。19ページのところです。これは非常に重要なところだと思いますが、これは具体的にどんなような実験になるのでしょうか。イメージと岩盤で飛翔体でというのは、どういうふうにあるのかなというのが、ちょっとイメージがあれだったんですけども、簡単に御説明いただけたと思います。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

コメントありがとうございます。

このポンチ絵では地下構造物があるような絵になっていますが、まだそこまで技術的に進んでいないことがありますので、まずは中に構造物がない状態で地盤に衝突させて、あと地盤内の応答を調べていって、じゃあぶつかった地表面からどの程度の深さで、どれぐらいの衝撃力が伝わるとか、そういうような研究から始めていこうと考えています。これでよろしいですか。

○酒井委員 ここに伝わりの想定は、岩盤が当たる、岩塊が当たるのか、それとも例えばこれさっきのRCとか見ていると、竜巻もあるのかなとか、火山のそういう火山弾が飛んできたりするのかなというのもイメージあったんですけども、この図3-2のところが、この飛翔体というのはどういうことを想定しているのでしょうか。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

今、特定重大事故等対象施設というのが規制要求でありまして、それには航空機衝突による衝撃でも安全機能を損なわないというような要求がありますので、ほか竜巻だとか火山弾でも応用はできると思いますが、まずは航空機ということターゲットに考えてはいます。

○酒井委員 そういところからスケールの大きいところがよく分かりましたんで。

そういう意味では、先ほど言ったような普通の竜巻とか、そういう衝撃で壊れるとこ

ろというのはほかの分野、建築分野でも今いろいろ最近やっていたりするので、そういうところもやっていくと、特にRCがいいのかなと思いましたが、地盤のところもそういう計測をしているところもあったりしますので、うまくそういうところと合わせていくといいのかなと思いましたが、以上コメントです。

○大橋首席技術研究調査官 どうもありがとうございます。

○酒井委員 以上です。

○萩沼企画官 酒井様、御意見ありがとうございました。

それでは、続きまして、東京大学、糸井先生、よろしくお願ひいたします。

○糸井委員 東京大学の糸井です。

どうもありがとうございました。今、酒井さんからコメントがあったように、自然事象から人為事象まで幅広く取り上げられていて、非常に意欲的だなと思った一方で、これが必要十分なのかなと思うところもあるんですけど、それは今回はそういう議論ではないと思うので、今後の質問あるいはコメントに表させていただきたいと思えますけれども、まず、ちょっと全体的な整合性なんですけども、先ほど、たしか梅木さん、三次元建屋の話、あるいは今、飛翔体衝撃の話と、あと配管の話、全てにおいて非常によい方向でまとまるかと思っていて、そのよい方向というのは、入力周期成分の特性を捉えて、連続的に衝撃から、すぐには難しいけど、衝撃から地震動までうまく説明できるような形でぜひ、同じ事象でもうまくコーディネートしていただいて、取りまとめていただくといいのかなと思いつつ聞いていたんですけど、その辺りについてもお考え等あれば、伺いたいです。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

コメントありがとうございます。

衝撃の高振動数領域から地震の比較的低い周波数成分まで、広い範囲で説明ができればというようなことも考えているんですけども、先ほど設備の衝撃のところでも少し触れましたが、今まで地震動を想定した振動台試験で起こった損傷モードと、衝撃の入力波で振動試験を行った結果と、なかなか一致しないというか、損傷モードが違うということがやはり分かってきて、これが分からない段階では地震動に対する評価をそのまま衝撃に使えるのではないかという議論もあったんですけど、それはちょっと考え直さなきゃいけないなということが分かってきました。

ただ、全ての設備に対してそれが適用できるかというのも、また検討しなければいけな

いことがありますので、そういうところは見極めながら糸井先生おっしゃるように、低い周波数ではこうだ、高い周波数ではこうだというような形でまとめることができればいいかなとは思っていますが、ちょっと簡単にはできない。これから長期的に考えていこうかと思っております。

以上です。

○糸井委員 ありがとうございます。すみません。ちょっとコメントの方向が分かりづらくて逆方向だったんですけど、例えばこれは三次元建屋で、非線形で応答解析をやると、ひび割れによる高振動波が出たりする。その辺りを今までの耐震評価の枠組みの中でそれを取り込んでしまうと、現実的でなくなってしまうこともあるような気がするので、将来的にこの衝撃のほうの成果をそういうところに取り込むような形もあるんじゃないかという、短期的ではなくて少し長期的な観点ですが、そういう点についての整合性などを是非検討いただきたいと思えます。ありがとうございます。

次が津波に関してのもので、それもほかのところもそうなんですけれども、これも御検討の内容としては先ほどコメントがあったように、原子力発電所でそのような状況が起こりうるのかについてもご検討いただきながら検討を進めていくべきというところで、私もそう思いました。一方で、こういう研究も、ぜひ進めていただきたいと思うのは、直接的には規制研究をされているわけですけど、間接的には一般防災にも資するような成果にはなると思えます。そういうところも大変意義のある研究かなと思えます。

そのときに、これもすみません。間接的な、将来的なところなのかもしれませんが、構造物荷重という狭い観点ではなくて、もう少しシビアアクシデント研究にも、将来的につながるように、例えば、敷地内へのヘドロなどの流入があるのであれば、それがアクシデントマネジメントにどのように影響をするのかを評価するとか、アクシデントマネジメントの検討に資するようなところも視野には入れるとよいかと思いつながりました。

以上です。

まだありますが、まずは今の二つ目の点についてお願い致します。

○大橋首席技術研究調査官 規制庁の大橋です。

いろいろと御助言ありがとうございます。

間接的な研究というのも今は規制のニーズだけではなくて、規制のシーズということもやっていこうということで進めておりますので、研究のための研究にならないように、い

ずれは規制には役立つだろうというような形で、間接的なものも取り入れて研究を進めていきたいと思います。

また、PRA的なものですが、これは私どもの組織にはシビアアクシデント部門もありますので、そちらのほうと対応を取りながら、我々のやれることをやっいていこうという具合には考えております。

以上です。

○糸井委員 ありがとうございます。

あとは細かい質問が2点ぐらいあります。まず7ページの浮き上がりのところの検討なんですけど、これはどのような地盤条件で、どのような炉形を考えられているのかというところを確認させてください。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁の山崎です。

これも実際審査の中で課題となってきた事項として、それに対して研究を進めようとしているものです。実際には今上がっているのはBWRのほうのサイトで出てきているものですので、そんな硬岩というほどではない地盤です。

あと原子炉建屋というよりは、ここではその周辺の建屋ですね、附属建屋、そういったところでの比較的構造的にはスレンダーで、トップヘビーな、そういったものが対象となっています。

○糸井委員 ありがとうございます。BWRだろうなと思いながら、何で埋め込まれていないんだろうと思ったんですけど、今ので何となく理解はできました。ありがとうございました。

あともう一つが、配管なんですけど、これも具体的にSクラスの配管なのかBクラスの配管なのか、どの辺りを対象にされているのか、クリアにしてください。

○日比野統括技術研究調査官 規制庁の日比野でございます。

具体的な配管も、今調査をしてこれから考えていくんですけど、まずはこれは疲労の影響かどうかという、基礎的なところを見る研究でして、従来よりももっと細かく裕度という観点で、まず、例えば行政的にはユースージファクターが1なものに対して、どれぐらい裕度があるのかとか、あと研究的には疲労の中でひび割れが進展していく過程で、入るまでの裕度とか入ってからの裕度とか、まずそんな感じの基礎的なところを見ていきたいと考えています。それとともに、現実的なものであれば過去からたくさんNUPECしかり、JNESで配管の試験をやっているんですけど、大口径の配管に対してT字で小さい配管が出

ているようなところなどは、こんな疲労が起きるような可能性もあると思われますし、あと容器から出ている計装配管、こんなようなものもちょっと該当するのかなと考えております。

以上でございます。

○糸井委員 ありがとうございます。私から以上です。

○萩沼企画官 糸井先生、どうもありがとうございました。

それでは、京都大学の岩田先生、御質問、御意見ございましたらよろしく願いいたします。

○岩田委員 京大の岩田です。

a-2のところについて幾つか教えてください。8ページとか9ページと、あと行程表、22ページのところですけども、まず一つ一つ聞いたほうがいいかな。

観測なんですけれども、これはすごい細かい話を聞いて悪いですけど、同時性は担保されているデータなんでしょうか。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁の山崎です。

今、地震計は建屋の内部におきましては、固定されたもので時間の同期は取っていると思います。あとそれに追加して、ポータブルな微動計のようなものを適宜置きながら記録を取っていく、計測していくという予定にしていますが、そのポータブルなものに関しましては、全体としての時間の同時性というところは、ターゲットとしていなくて、先ほど説明にありました起震機から出てきたものを使って建物の振動特性、そういったものを個別に見ていこうというところで考えていますので、そこの切り分け、使い分けはしています。

○岩田委員 すみません。最初ちょっと聞こえなかったんですけども、時刻の同時性は固定された地震計はあるということですか。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁、山崎です。

はい。そのとおりです。

○岩田委員 ありがとうございます。

それで、もちろん御説明の中にもあったんですけど、この行程表の中で再現解析などということが書いてございますので、多分そういうところに関係しているんだと思うんですけども、ここでこのサイトで得られたものを、ほかのところに活用する一つの方法としては、幾つも考えておられるんだと思うんですけども、例えば限られたデータで同定した

モデルで、ほかのデータが合うかどうかという、既往の今やっているやつです。

つまりほかのところでもやっているようなやつをこれでやってみて、それが適用性がどのくらいあるかとか、ほかの階の揺れがうまく評価できていないんだということが分かると、今後のこのデータの活用には、もしくはシステム全体を考えていくときに重要ではないかというふうに思いますので、そういうのも多分考えておられると思うんですけども、検討していただければと思います。

それで、今のはコメント程度になってしまいましたけども、最後に起震車で揺らすということについてちょっと教えてほしいんですけど、サイトでは自然地震の記録というか、自然地震の入力と、起震車の入力は違うわけです。それをあえてしないといけない理由について、ちょっと教えていただければ。あえてという言い方をしたら語弊がありますが、必要性について教えていただければと思います。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁、山崎です。

今二つ御質問と御意見をいただきまして、ほかへの活用というところ、今、先生がおっしゃっていただきましたように、ここでの知見、ほかの原子炉建屋等と比べますと、かなり埋め込まれているといった構造的なところの違いもありますので、ここはあくまでも三次元の解析と、そこで実際に観測したものと違い、そこから得られたものの知見、そういったところを、それぞれの分析した挙動とか特性とか、ういったところを発電炉等に適時反映できるものを考え使っていくということで考えています。

あと起震機の件につきまして、おっしゃるように入力、地表面で揺らしたものを用品ですので、地震と比べて入力する振動波というのは異なります。ですが、ここでは先ほど少し申し上げましたように、例えば基礎盤と各フロアの振動特性、固有周期とか、そういったものを一つ一つ分析して、地震記録に対してシミュレーション解析等を行うときに、その辺りも一つの分析の一つとして、モデル化なり解析結果を評価していくということで考えています。

以上です。

○岩田委員 分かりました、ありがとうございます。

むしろ自然地震と違いがあるならあるということで、そういう情報は非常にいろんなところで有用だと思いますので、その意味ではそういうデータ、人工地震のデータも取って、比較をされるというのは、つまり全く一緒だということだけではなくて、違いがどういふふうにあるかということが分かれば、今後、違うサイトにも使える可能性はあるわけで、

そういう意味で私は変な言い方をしましたけども、あえてというような言い方をしましたが、こういう調査をやっていくというのも、あと周波数レンジが広く使える可能性があるので、高周波も。

だからそういうようなところについての自然地震では小さな、あまり大きくない揺れではちょっと十分ではないところについて、そういう情報も使うということも含めて、検討いただければいいんじゃないかというふうに思いました。

以上です。

○山崎統括技術研究調査官 規制庁、山崎です。

御意見ありがとうございます。今後の取りまとめにおいて、先生からいただいた御意見等を参考にやっていきたいと思います。

以上です。

○萩沼企画官 規制庁、萩沼です。

岩田先生、どうもありがとうございました。

それでは、2件目の内容につきまして、一通り御意見をお伺いいたしましたが、追加で専門技術者の方、委員の方、どなたでも結構でございますので、追加で御質問、御意見ある方いらっしゃいますでしょうか。

○松山氏 電中研の松山ですけれども、1点よろしいでしょうか。

○萩沼企画官 松山様、どうぞよろしくお願ひします。

○松山氏 最初の杉野さんに説明いただいた中の、スライド10の津波の発生する実験の実験値と解析結果で、最大水位の場所のずれがあるというふうな点がございました。それについて一つだけコメントをしますと、今論文のほうを見ると、これ非線形長波理論に基づく数値解析でされているというようなことだと思います。

ちょっと私も関係する別の研究でもあったんですけど、これは一つ精度を上げて、非線形分散波によるようなもの。もちろん三次元でもいいとは思いますが。三次元もしくは断面二次元でもいいと思います。そういうものでも大分改善される可能性が高いのではないかなと思います。

なぜかという、これは実験でスケールの話がありましたけれども、大きな波の波長に対する水深ですね。相対水深と専門的に言っていますが、水深割る波長の大きさ、これが多分0.1、0.2、0.3とか、そういうオーダーになっていると思うので、これはもう長波理論よりも浅水波理論というふうなこともあるので、適用されます。その辺がこのスケ

ールの問題とかいろいろ関係してくるんですけども、そういった点でやれば大分改善されるという可能性が強いというふうに思いますので、コメントだけさせていただきます。  
以上です。

○杉野首席技術研究調査官 原子力規制庁の杉野です。

松山先生、コメントありがとうございました。少し検討させていただきたいと思います。  
ありがとうございます。

○萩沼企画官 原子力規制庁、萩沼です。

それでは、本日の御説明以上となりますが、1件目、2件目、あるいは全体を通して何かコメントございます方いらっしゃいますでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは、本日の御説明は以上ですが、本日御説明した研究の実施部門である地震・津波研究部門の管理官の川内が出席しておりますので、一言御挨拶をお願いします。

○川内安全技術管理官 地震・津波担当の安全技術管理官の川内です。

本日は地震・津波部門の安全研究のうち、津波関連の研究とあと施設・設備の脆弱性関係の研究について御説明いたしまして、貴重なコメント等いただきましてありがとうございました。

津波につきましては、特に実験の正しさといいますか、実現象との対応に関する議論が主にあったかなと。あと、脆弱性関係につきましては、地震・津波、あと衝撃、おのおのの分野につきまして、各論はもとより少し広い視野で今後の活用も含めた形の貴重なコメントをいただいたかというふうに認識しております。本日のコメントは、今後の研究に検討して反映してまいりたいと考えております。

本日はどうもありがとうございました。

○萩沼企画官 ありがとうございました。

それでは、最後に事務局からの連絡事項となります。

検討会委員の先生方におかれましては、技術的視点からの評価シートをお送りさせていただいております。お忙しいところ恐縮ではございますが、11月2日月曜までに、事務局にメールで御送付をいただければと存じます。いただきました御意見は事務局で取りまとめさせていただいた上、必要に応じ研究計画に反映させていただきたいと思っております。

それではこれで第11回地震・津波技術評価検討会を終了いたします。本日はどうもありがとうございました。

