

研究計画（案）説明資料

津波評価手法及び既往津波の波源推定に関する研究

事前評価 説明資料

令和2年10月

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

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究の概要
4. 研究計画(行程表)

1. 背景

- 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(以下「東北地震津波」という。)は、福島第一原子力発電所に襲来し、重大な事故を引き起こした。
- この津波は、同発電所の当時の設計津波水位を上回ることになり、過去数百年の歴史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が十分ではないことを示した。
- 平成25年に規制基準及び審査ガイドが施行され、津波関連では、「基準津波の策定」及び「超過確率の参照」が明記された。現在、既設発電所の適合性審査が行われている。
- 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(平成25年に改正)」により、事業者に対する「安全性の向上のための評価」の実施が規定され、今後、適合性審査を終えた既設発電所から順次、安全性向上評価の定期的な実施が見込まれている。
- 上述の適合性審査及び安全性向上評価の確認に関連した原子力規制の継続的な高度化のためには、「基準津波の策定」や「超過確率の参照」等に係る種々の評価手法について継続的な改善が重要である。

• これまでの津波に係る安全研究の成果

➤ 平成28年度までのプロジェクト「D03.津波ハザード関連評価技術の整備」

- ◆ 東北地震津波の波源推定
- ◆ プレート間地震による津波水位評価のための津波波源モデルの設定方法
- ◆ 同津波波源モデルを用いた確率論的津波ハザード解析手法
- ◆ 津波痕跡高情報及び津波堆積物情報を集めた津波痕跡データベース
- ◆ 津波堆積物に基づく津波波源推定手法

⇒これらの成果の一部^{参8)-9)}は、上記の津波審査ガイドに反映され、既設発電所の適合性審査において有用な知見の一つとして活用されてきた。

➤ 令和2年度までのプロジェクト「2. 津波ハザード評価の信頼性向上に関する研究」

- ◆ 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に与える影響
- ◆ 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

⇒これらの成果の一部^{参5)-7)}は、学術論文として公表した。(印刷中を含む。)

• これまでの研究成果の活用と課題

- 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^{参1)}では十分に再現できない現象が見られたことから、津波初期水位の設定方法を改良・精緻化する必要がある。

⇒ **課題(1): 海溝軸付近で発生する津波の初期水位設定方法の改良**

- 策定された基準津波の妥当性の判断として、歴史記録の津波痕跡高情報や津波堆積物情報、これらを用いて推定された既往津波の地震規模及び波源位置に関する情報が活用されている。
- しかし、過去の巨大津波でも発生記録はあるものの、その波源の位置や規模が明確に定まっていないものがある。
- 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(信頼度)や、推定年代の幅、未発見情報の場合でも津波による浸水や堆積物消失の可能性を否定できないことに起因する不確定性が伴う。
- 先の安全研究で整備した「津波堆積物に基づく津波波源推定手法」を活用し、津波堆積物の不確定性を考慮して、過去の巨大津波の波源を具体化するとともに、津波堆積物の不確定性と推定波源の相関関係を把握することが重要である。

⇒ **課題(2): 既往の巨大津波の波源推定**

2. 目的

本プロジェクトでは、津波評価手法及び既往津波の波源推定に関する以下の研究を行い、審査等の際の判断に必要な知見を収集し、整備することを目的とする。

(1) 海溝軸付近で発生する津波の初期水位設定方法の改良

海溝軸付近で発生する津波を模擬した水理実験結果等に基づいて、津波の初期水位の生成過程メカニズムの解明と、その特徴を考慮した津波の初期水位設定方法の改良に関する知見を拡充する。

(2) 既往の巨大津波の波源推定

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、津波堆積物調査を実施し、津波堆積物の不確定性を整理する。また、土砂移動モデルを用いた津波堆積物に基づく波源推定手法を適用し、具体的な津波波源を推定するとともに、津波堆積物の不確定性と推定波源の相関性に関する知見を拡充する。

3. 研究の概要

- 3.1 海溝軸付近で発生する津波の初期水位設定方法の改良
- 3.2 既往の巨大津波の波源推定

3.1 海溝軸付近で発生する津波の初期水位設定方法の改良

【背景】

- 津波の初期水位の設定に当たっては、海底の地殻変動量(鉛直成分)分布を海面に与える方法が従来用いられてきた。
- 既往研究^{参1)}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が示されており、これを基本とする考え方も一般的になりつつある(図1)。

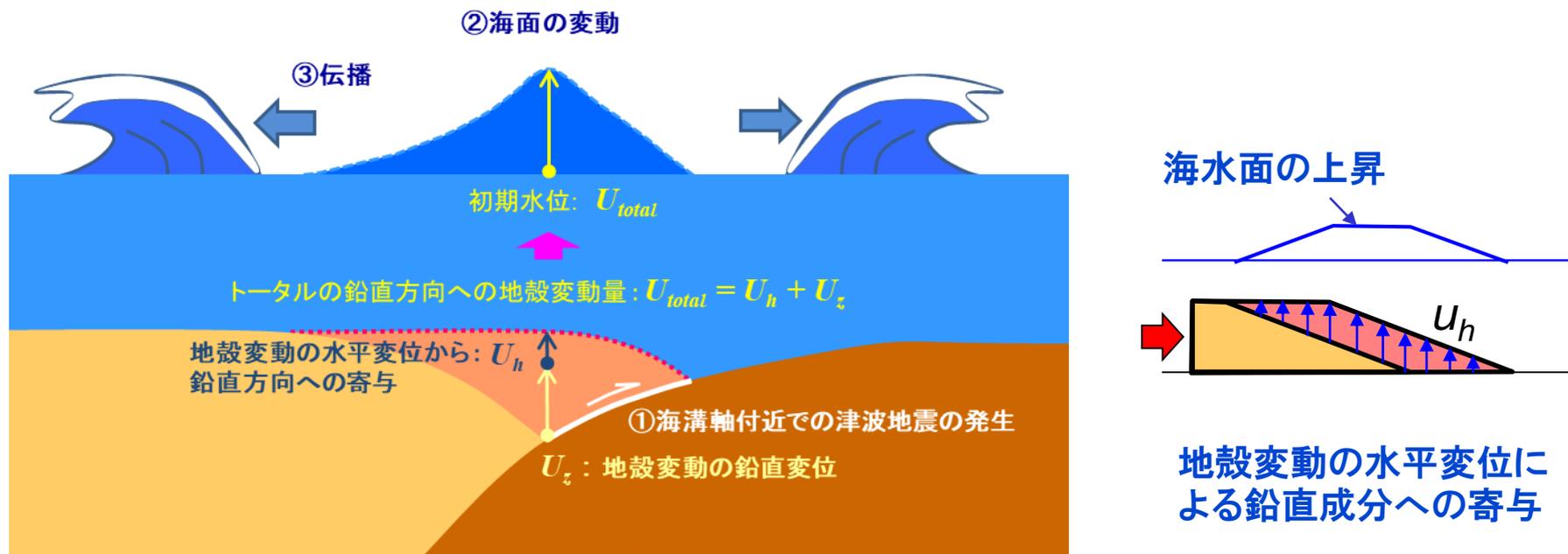


図1 津波初期水位設定のイメージ

【R2年度までの安全研究:水理実験の概要】

- 既往研究(Tanioka et al.)の手法の適用性確認のため、海溝軸付近の斜面地形を模擬した水理実験(図2)と、同一条件での非線形長波理論に基づく津波伝播解析を行い、海面に生じる水位を比較した。



水理実験装置の写真

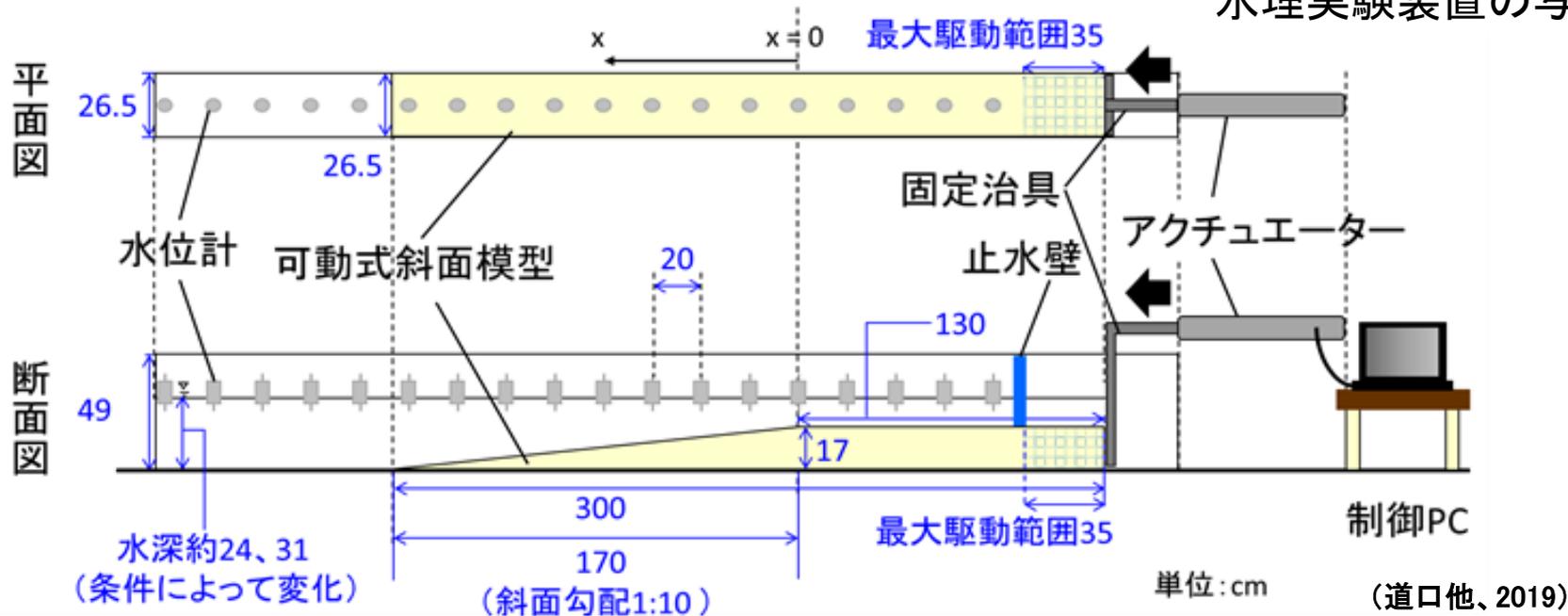


図2 水理実験装置の概要(実地形の約1/30,000スケール相当)

【R2年度までの安全研究: 実験結果と解析結果の比較と課題】

- Tanioka et al.の方法による解析値は、実験値よりも小さくなる(図3)。
- 無次元ライズタイムが小さくなるにつれて、解析値と実験値の差が広がる(図4)。
- そもそも既往の解析手法では H_{max}/dy が1を超えないと考えられるが、実験では1を超えている。既往の解析手法では説明できない現象が水理実験に現れている(図4)。

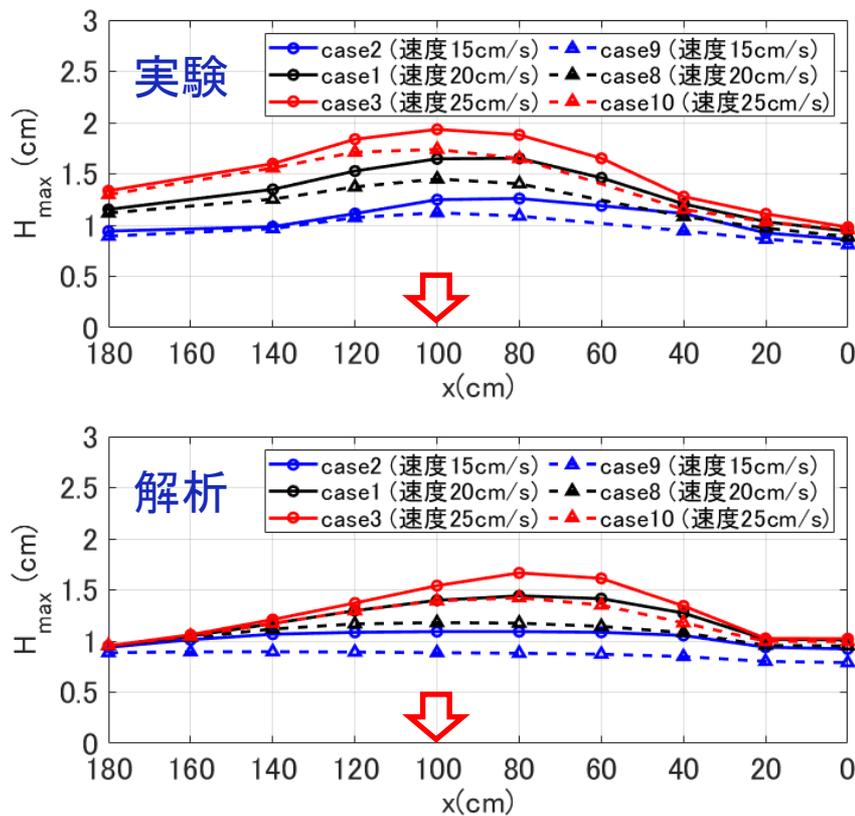


図3 速度を変化させたときの各地点での最大水位

(道口他、2019)

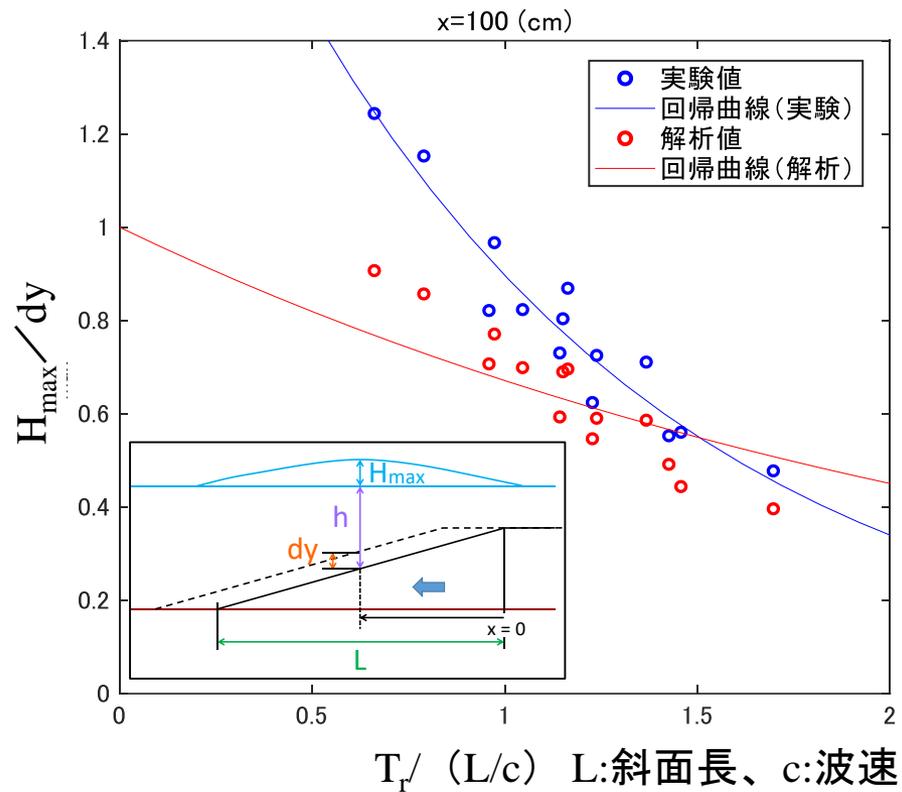


図4 最大水位 H_{max} と底面高さの増分 dy の比と無次元ライズタイム($T_r/(L/c)$)の関係

(Michiguchi et al., 2020の一部修正)

【目的】

- 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。
- R2年度までの水理実験の条件に新たな条件及び計測項目を追加してデータを取得する。
- 水理実験結果等を踏まえた初期水位の設定方法の改良に関する知見を拡充する。

【令和3年度以降の研究内容】

- 初期水位の生成過程に関する実験的及び解析的な既往研究をレビューする。
- 新たな実験条件及び計測項目による水理実験を行い、津波発生時の海水面の水位変動や水中の流速場に関する実験データを取得する。
- 水理実験の結果を踏まえ、既往の初期水位の設定方法を改良する。
- 既往津波のインバージョン解析で改良方法を適用して津波波源のすべり量分布を推定し、改良方法の効果を確認する。

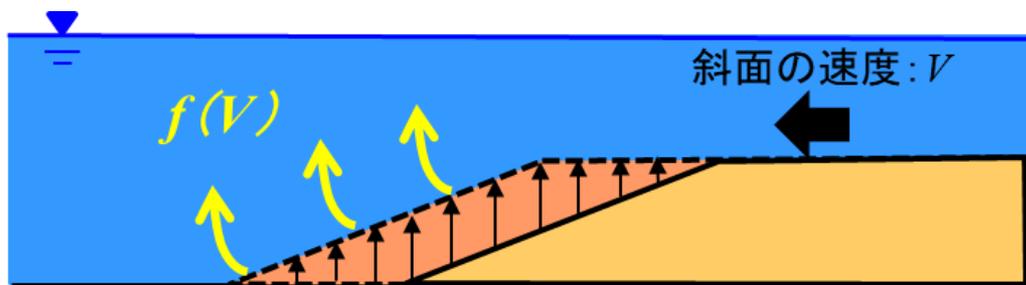
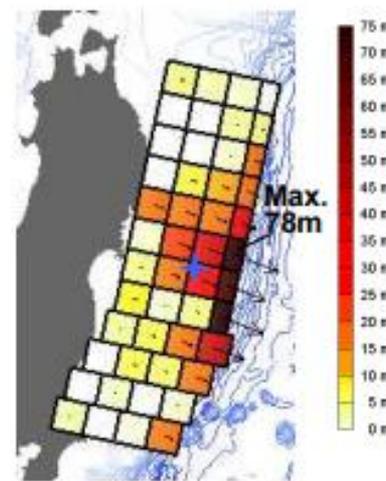


図5 斜面が動くことによる底面上昇に加え、流速場の変化による水位の変化を検討



(杉野他、2013)

図6 初期水位の設定方法を改良した手法ですべり量分布の推定

3.2 既往の巨大津波の波源推定

【背景】

- 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ものの全容(津波波源の位置や規模)が解明されていないものが存在する。
- 例えば、1611年慶長三陸地震津波については、その波源の位置が三陸海岸沖であったとする考えと千島海溝沿いにあったとする考えの二つの説があり、未だ決着がつかない(澤井2017、宍倉2019)。

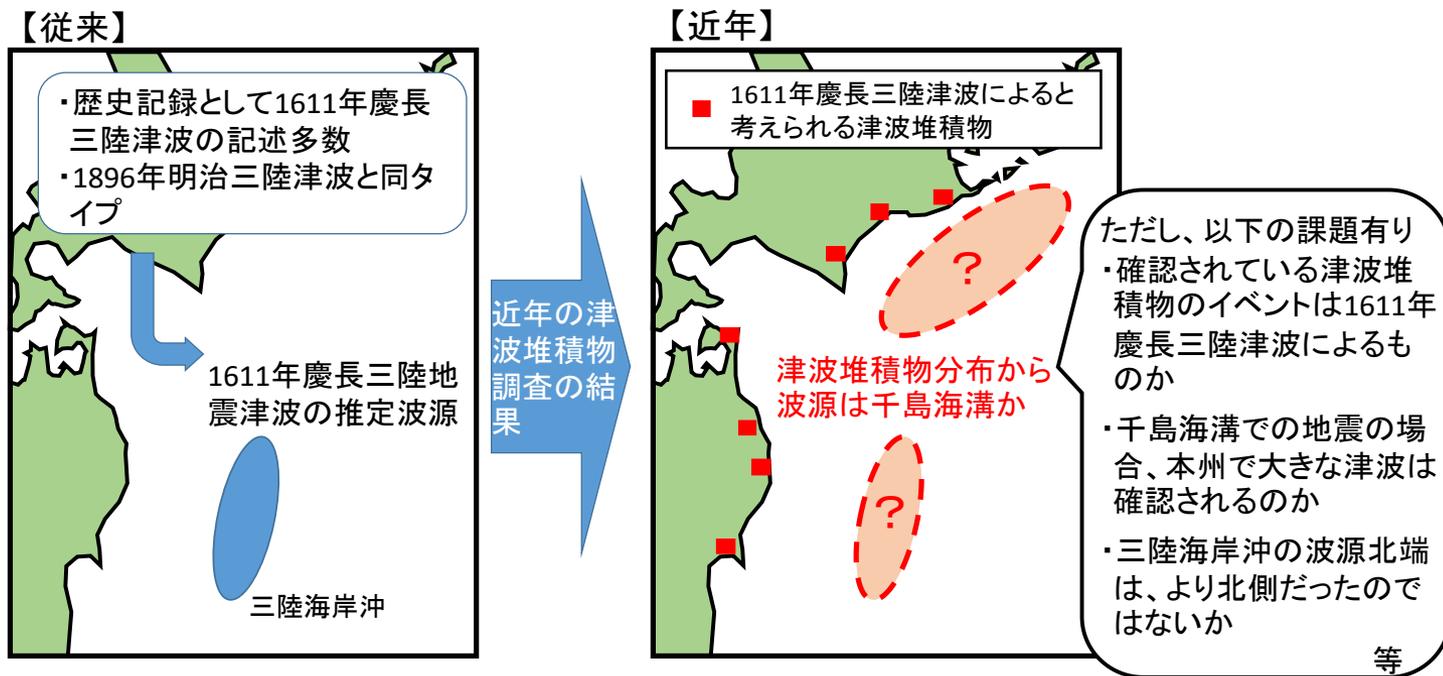


図7 1611年慶長三陸津波の津波波源に関する知見の整理

【目的】

- ・ 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、津波堆積物調査を実施し、津波堆積物の不確定性を整理する。
- ・ 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とともに、津波堆積物の不確定性と推定波源の相関性に関する知見を拡充する。

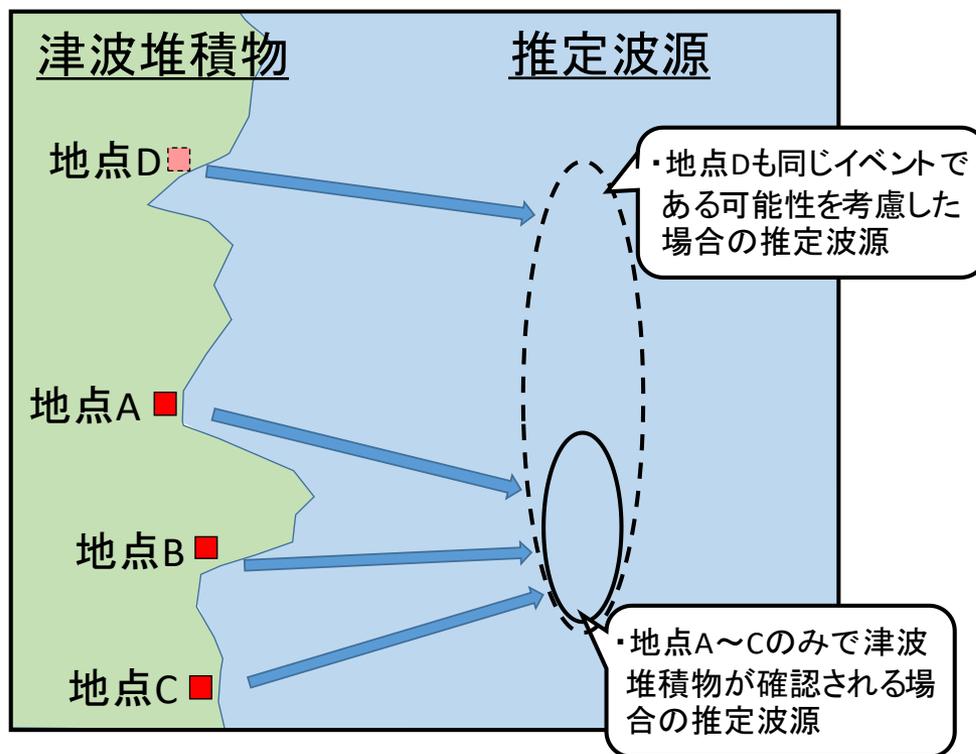


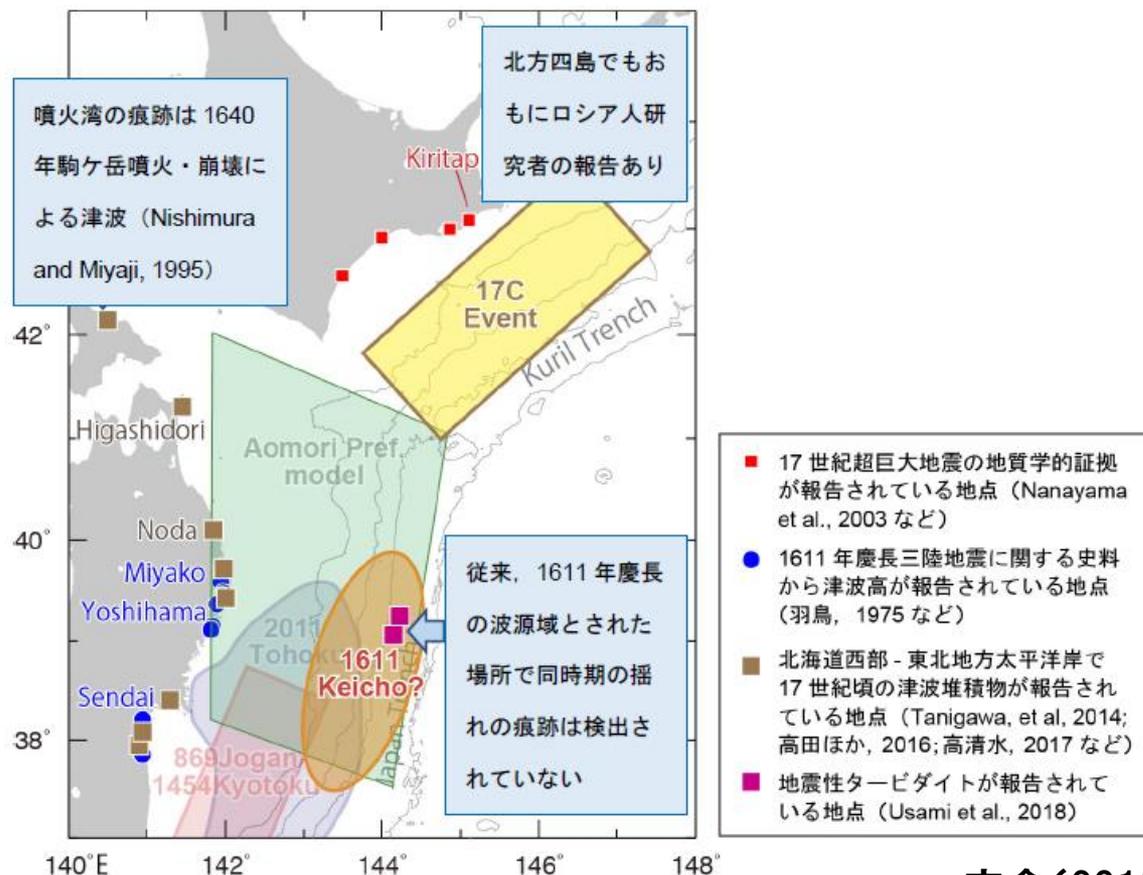
図8 津波堆積物を用いた津波波源推定のイメージ

【実施内容】

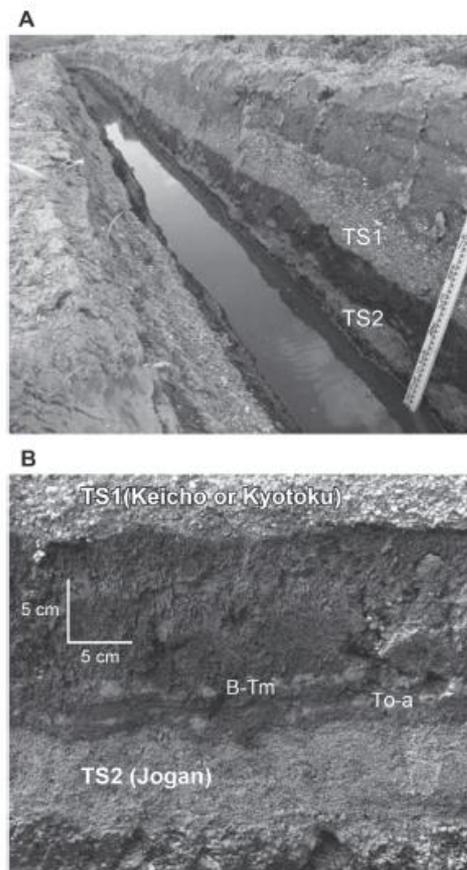
- 平成28年度までの安全研究で整備した数値シミュレーションにより津波堆積物情報から津波波源を推定する手法を利用して、1611年慶長三陸地震津波を事例として具体的な津波波源を推定する。そのために、以下を実施する。
 - (a)津波堆積物に関する既往の文献調査及び、現地調査と年代分析
 - (b)想定津波波源モデルの作成と土砂移動解析の実施及び解析結果のデータベースの作成
 - (c)津波堆積物の不確定性を考慮した津波波源の推定
 - (d)津波堆積物の不確定性と推定波源の相関関係の整理

(a) 津波堆積物に関する既往の文献調査及び、現地調査と年代分析

- 既往の北海道～東北地方での津波堆積物調査の知見を踏まえ、現地調査の実施及び取得した堆積物試料の年代分析を実施し、1611年慶長三陸地震津波の津波堆積物情報を取得する。



宍倉(2019)



澤井(2017)

図9 1611年慶長三陸地震津波に係る津波堆積物報告地点

図10 津波堆積物
(岩手県野田村)

- (b) 想定津波波源モデルの作成と土砂移動解析の実施及び解析結果のデータベースの作成
 (c) 津波堆積物の不確定性を考慮した津波波源の推定

- 千島海溝沿いから日本海溝沿いに複数の津波波源(シナリオ波源)を想定して津波の陸上遡上及び土砂移動の解析を実施し、データベースを作成する。この解析結果のデータベース及び(a)で得られた津波堆積物情報を用いて津波波源を推定する。

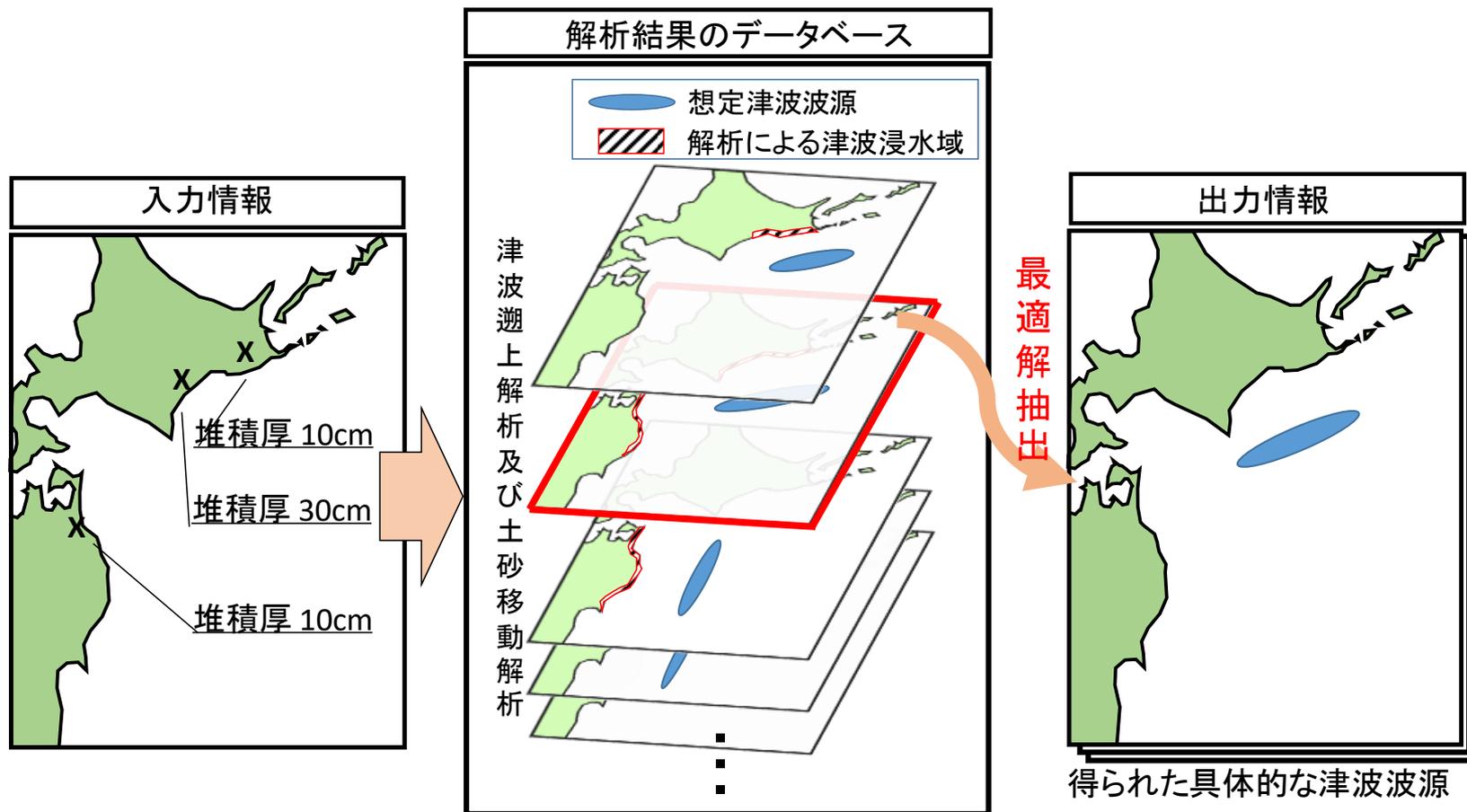


図11 1611年慶長三陸地震津波の波源推定方法のイメージ

(d)津波堆積物の不確定性と推定波源の相関関係の整理

- 津波堆積物の不確定性を考慮することで津波堆積物の分布と推定波源の複数の組合せが得られる。これらを対象に、津波堆積物の不確定性と推定波源の確かさを数値化して、相関関係を整理する。

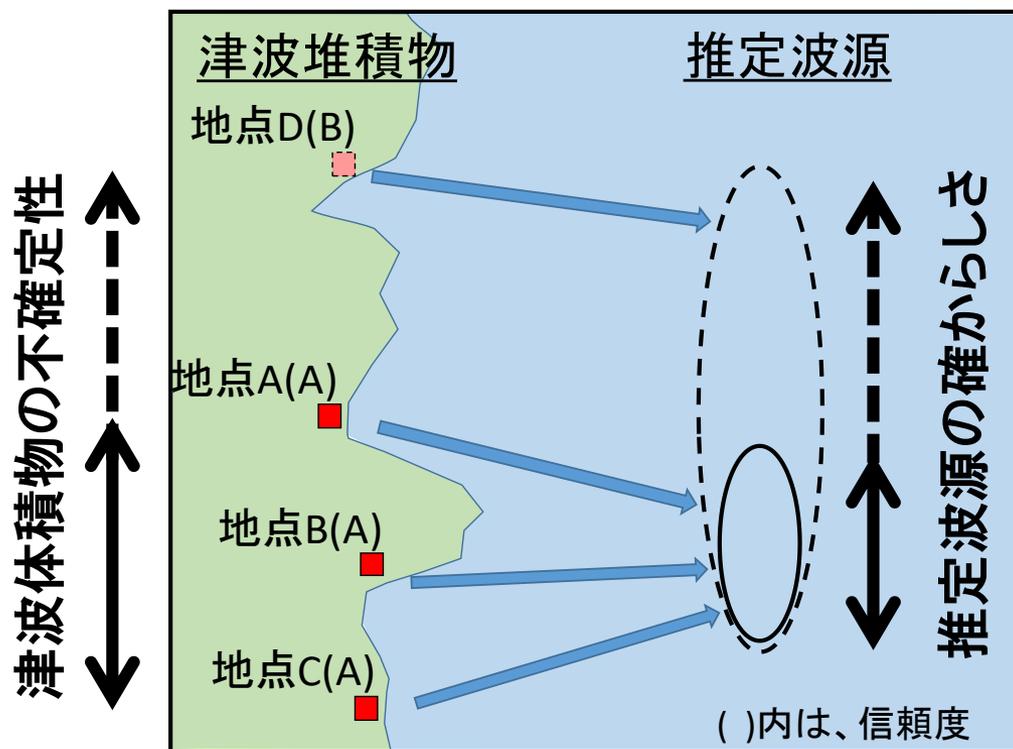


図12 津波堆積物の分布と推定波源の拡がりの相関関係のイメージ

4. 研究計画(行程表)

(1) 海溝軸付近で発生する津波の初期水位設定方法の改良

R3年度	R4年度	R5年度	R6年度
	学会発表▽		論文投稿▽
<ul style="list-style-type: none"> ・ 既往研究の知見の整理 ・ 水理実験の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波の初期水位の生成過程の把握 ・ 水理実験結果を踏まえた解析手法の改良 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 改良方法を用いた既往津波のインバージョン解析 ・ 推定すべり量分布への効果の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 初期水位の設定方法のまとめ

(2) 既往の巨大津波の波源推定

R3年度	R4年度	R5年度	R6年度
<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波堆積物の文献・現地調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波堆積物の現地調査・年代分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波堆積物の年代分析 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 土砂移動解析ツールの整備 	<ul style="list-style-type: none"> ・ シナリオ波源の設定及び土砂移動解析の実施 ・ データベースの作成 	<p>波源推定</p>	<p>論文投稿▽</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 津波堆積物の不確定性と推定波源の相関関係の整理

5. 参考文献

本プロジェクトに関する参考文献

- (1) Tanioka, Y. and Satake, K.: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, Geophysical Research Letters, Vol. 23, No. 8, pp.861-864, 1996.
- (2) 澤井祐紀: 東北地方太平洋側における古津波堆積物の研究、地質学雑誌, Vol.123, No.10, pp.819-830, 2017.
- (3) 穴倉正展: 千島・日本海溝沿いの超巨大地震履歴, 地震予知連絡会会報, 第101巻, 2019.
- (4) 高橋智幸, 川崎浩司, 平田賢治: 津波堆積物に基づく津波波源推定データベースの構築, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp.I_541-I_546, 2018.

前プロジェクトの公表論文の実績(規制庁職員: 下線付き)

- (5) 道口陽子, 三戸部佑太, 杉野英治, 田中仁: 地殻変動の水平変位による津波初期水位への影響に関する実験的検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I_343-I_348, 2019.
- (6) Michiguchi, Y., Mitobe, Y., Sugino, H. and Tanaka, H.: COMPARATIVE STUDY OF EXPERIMENTS AND ANALYSES ON TSUNAMI GENERATION BY HORIZONTAL CRUSTAL DEFORMATION, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, 2020.
- (7) 佐藤太一, 杉野英治: Mw8.8以下のプレート間地震津波に対する特性化波源モデルの再現性, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.76, No.2, 2020.(印刷中)

前々プロジェクトの公表論文の実績(主な実績とR1年度以降の公表に限る、規制庁職員: 下線付き)

- (8) 杉野英治, 呉長江, 是永真理子, 根本信, 岩渕洋子, 蛭沢勝三: 原子力サイトにおける2011東北地震津波の検証、日本地震工学会論文集, Vol.13, No.2, pp.2-21, 2013.
- (9) 杉野英治, 岩渕洋子, 橋本紀彦, 松末和之, 蛭沢勝三, 亀田弘行, 今村文彦: プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案, 日本地震工学会論文集, Vol.14, No.5, pp.1-18, 2014.
- (10) 内田淳一, 岩渕洋子, 杉野英治: 日本海東縁部における広域的地殻構造境界の津波波源の設定—認識論的不確実さ要因の一つとして—, 日本地震工学会論文集, Vol.19, No.4, pp.122-155, 2019.
- (11) 佐藤太一, 杉野英治: 確率論的手法を用いた海底地すべり危険度判定手法の構築, 日本地震工学会論文集, Vol.19, No.6, pp. 283-295, 2019.
- (12) Sugino, H. and Abe, Y.: SIMPLE MODELING OF PHASE AND AMPLITUDE SPECTRA FOR OBSERVED TSUNAMI WAVES, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, 2020.
- (13) 杉野英治, 阿部雄太: 統計的手法を用いた津波模擬波形の提案, 日本地震工学会論文集(投稿中)

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 事前評価 説明資料

令和2年10月
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

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究の概要
4. 研究計画(行程表)

1. 背景

「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」(平成25年原子力規制委員会規則第5号)において、設計基準対象施設については「地震による損傷の防止」(第四条)及び「津波による損傷の防止」(第五条)、地震・津波以外の「外部からの衝撃による損傷の防止」(第六条)等が、同様に重大事故等対処施設については「重大事故等対処設備」(第四十三条)及び「特定重大事故等対処施設」(第四十二条)等が外部事象(地震、津波、火山等)に対する規制要求事項として規定されている。また、平成25年に改正された「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」により、事業者に対する安全性の向上のための評価の実施が規定されている。

外部事象はその規模及び発生頻度等の不確かさが大きく、福島第一原子力発電所事故の教訓から低頻度ではあるが影響の大きい事象が発生する可能性が否定できないことが認識されている。また、安全性向上評価においては、外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)の活用が見込まれる。

そのため、これから重要性が増していくリスク評価を考慮した外部事象に対する建屋、設備、防潮堤等の応答及び耐力に基づく損傷の度合い(フラジリティ)に係る評価の精度向上等に係る研究に取り組むことが重要である。

2. 目的

本プロジェクトでは、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に、地震・津波・衝撃の各分野において以下の研究を行う。

(1) 地震に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討

新規制基準の適用以降に増大した基準地震動を用いる事で顕在化した耐震評価における技術的課題や、基準地震動を越える地震力に対して、建物・構築物や設備に係る耐震評価手法の妥当性を検討する。

(2) 津波に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討

従来の評価で用いられている津波波力よりも大きな波力が生じる場合の、海岸付近の地形条件の検討を行う。

(3) 飛翔体等の衝突に対する衝撃評価手法の高度化の検討

実際の建物・構築物を想定し、複雑な設置状態・形状をした建物・構築物の衝撃評価や、衝撃力に対する設備の応答評価手法の検討を行う。

3. 研究の概要

- (1) 地震に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討
 - a. 建屋の耐震安全性評価手法の適用性評価
 - b. 礫質土等の地盤の液状化による施設への影響評価
 - c. 既設プラントの設備の耐震性の把握
- (2) 津波に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討
 - a. 黒津波の発生条件等の検討
- (3) 飛翔体等の衝突に対する衝撃評価手法の高度化の検討
 - a. 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. 衝撃力に対する設備の応答評価手法の検討

(1) 地震に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討

a. 建屋の耐震安全性評価手法の適用性評価

a-1 非線形挙動を示す建屋の耐震安全性評価手法の適用性評価

課題:

- 原子力発電所の建屋の中には、構造形状や重量配分及び地盤条件等により、基準地震動の増大に伴い地震時の接地率が低くなる建屋も存在する。低接地率の建屋では上下応答を適切に評価する必要があり、採用する評価手法の適用性について確認が必要である。しかし、この様な低接地率状態となる建屋について、低接地率の挙動や動的な鉛直地震動の影響に着目した研究事例が殆ど無い。従って、低接地率状態となる建屋の応答評価に関する知見を蓄積する必要がある。
- 原子炉建屋において、これまでは設計基準事象のうち通常時の状態を対象とした検討を実施し知見を蓄積してきたが、事故後の状態を対象とした高温・高圧状態の影響を受けた建屋の地震時応力解析に関する知見は少なく、高温状態等の影響を受けた建屋の地震時応力解析の適用性を確認するには、それらが応答特性へ与える影響に関する知見を蓄積する必要がある。

研究内容：

- 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から、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する。

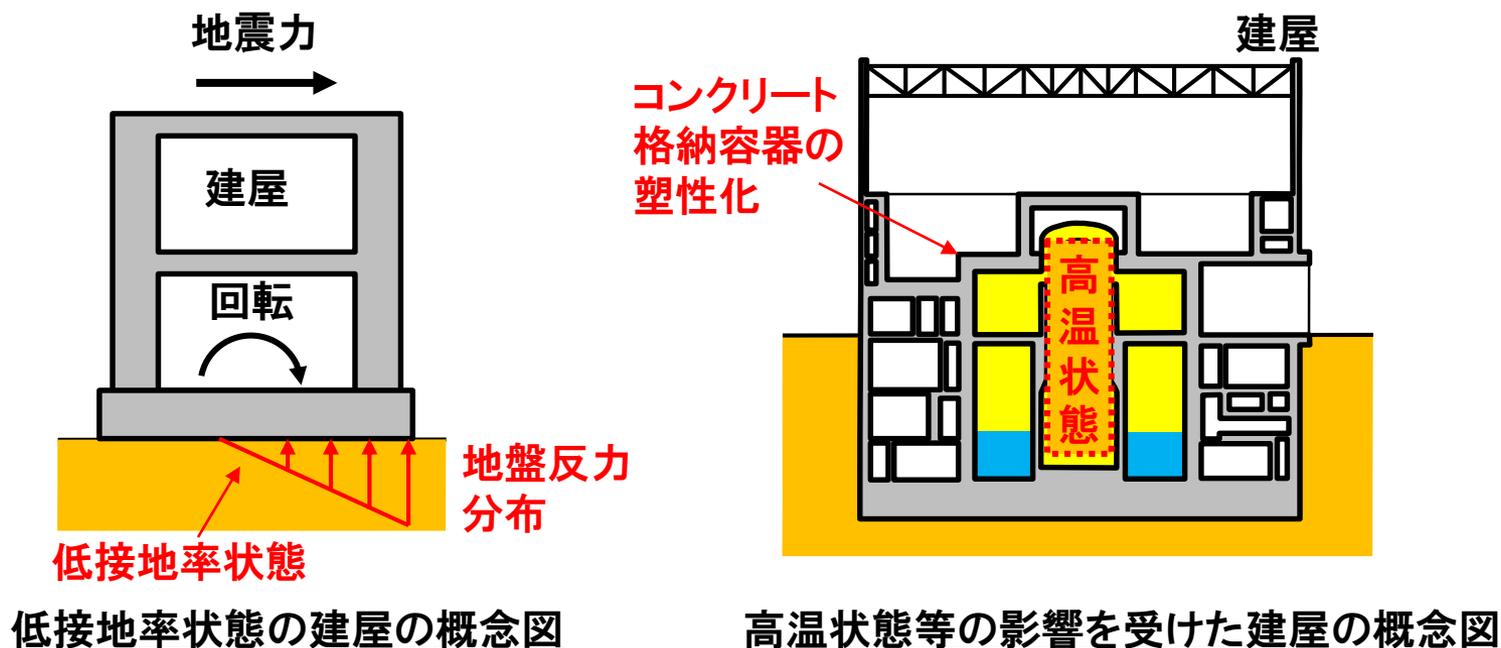


図1-1 低接地率状態の建屋及び高温状態等の影響を受けた建屋の概念図

a-2高密度に配置した地震計による建屋の精緻な三次元挙動の把握

課題:

- 建屋の応答挙動については、建屋における地震観測記録に基づき、シミュレーション解析等を用いて三次元的な応答挙動を把握している。
- 原子炉建屋の三次元解析による既往の検討では、開口部や壁からの離隔等により床版の局所的な応答が見られ、これまでの原子炉建屋の三次元解析モデルによる検討においても、同一フロア内で場所により応答に差異が確認された⁽¹⁾。そのため、より多くの観測地点における記録に基づき、精緻に建屋の応答挙動を把握する必要がある。

研究内容：

- 建屋の精緻な三次元挙動を把握するため、令和2年度までに実建屋において地震観測システムを整備し、建屋の振動特性の分析等を実施してきた⁽²⁾。今後は、実建屋における地震観測等の記録を計測・分析及びその記録のシミュレーション解析等を実施し、地震応答解析モデルの精緻化に係る知見を拡充する。

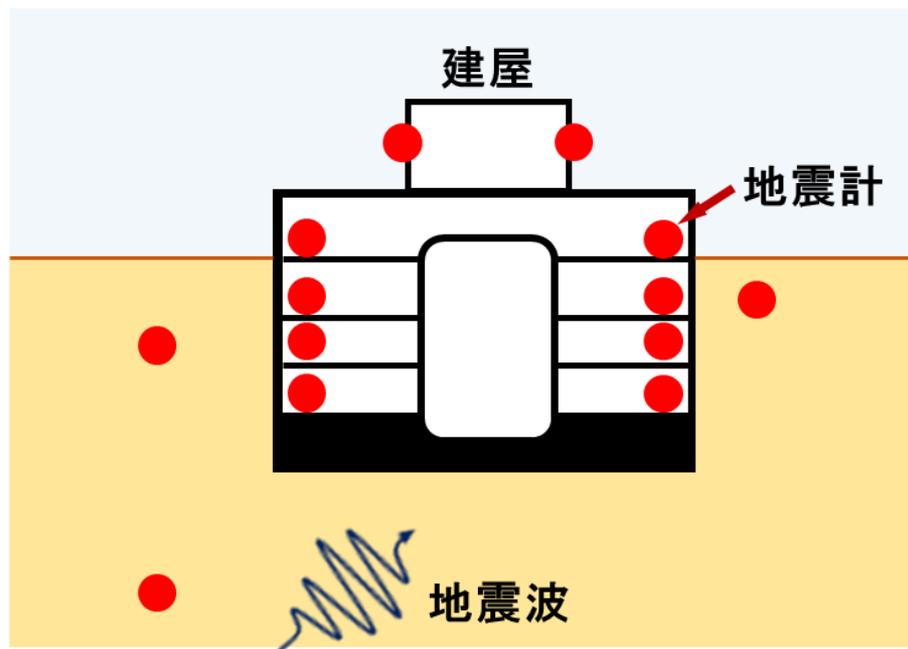
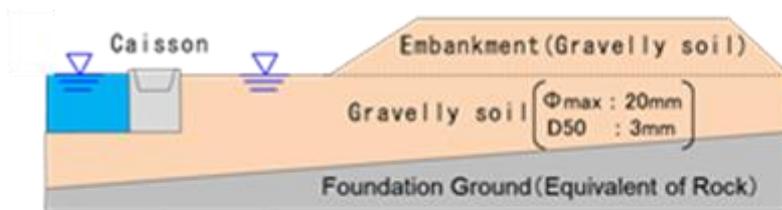


図1-2 建屋及び地盤における地震観測の概要図

b. 礫質土等の地盤の液状化による施設への影響評価

課題:

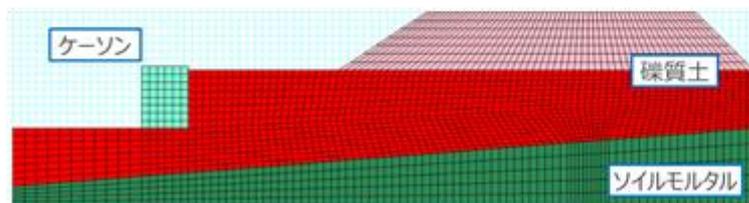
- 礫質土地盤の液状化評価について、令和2年度までは防潮堤が設置される原子力発電所施設沿岸部の地形や地質を想定した護岸や盛土を有する礫質土地盤モデルに関し、遠心模型実験及びシミュレーション解析等を実施してきた⁽³⁾。
- 通常、液状化し難いと言われてきた礫質土地盤においても、基準地震動レベルの地震動が作用した場合、過剰間隙水圧の上昇等が確認され液状化時の礫質土地盤の変形挙動等に係る知見を蓄積してきた。



遠心模型実験モデル



遠心模型実験結果



有効応力解析モデル

図1-3 遠心模型実験及び解析の一例

- これまでの検討により、礫質土地盤においても液状化が発生することは確認されてきたが、その傾向は通常の砂地盤とは異なることから屋外重要土木構造物等の応答特性や作用荷重等、施設への影響の程度も異なる可能性がある。
- しかし、礫質土地盤の液状化による施設への影響に関して実験等により評価した既往の知見は少なく審査に資する知見を蓄積する必要がある。

研究内容：

- 防潮堤や屋外重要土木構造物等の施設の周辺地盤を対象に、原子力発電所特有の条件として地震動、礫質土等の地盤材料、地形等の特性を踏まえた液状化実験やシミュレーション解析等を実施し、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する。

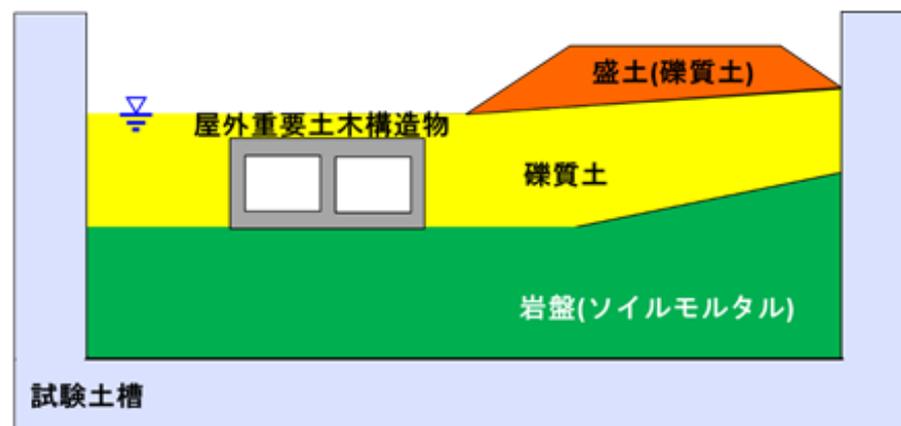


図1-4 施設への影響評価を対象とした液状化試験体の概念図

c. 既設プラントの設備の耐震性の把握

課題:

- 旧原子力発電技術機構及び原子力安全基盤機構は、機器配管系、電気品等の設備の耐震性の把握を目的として、その振動試験を継続的に行ってきた。これらの振動試験は、新設プラントの許認可等の審査に資することを目的としたものであり、新品の耐震Sクラスの設備を対象として、基準地震動レベルまでの耐震性を確認するとともに、一部の設備については限界耐力までを把握してきた^{例えば(4)(5)(6)}。
- しかしながら、近年は平成19年の新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所や平成23年の東北地方太平洋沖地震を受けた女川原子力発電所等、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る。

- また、先の東北地方太平洋沖地震を受けた福島第一原子力発電所の事故以降に策定された新規規制基準は、適切な不確かさを考慮した基準地震動の設定を要求するとともに、炉心損傷が生じた場合でも早期又は大量の放射性物質の放出を防止するための特定重大事故等対処施設 の設置、それに対する基準地震動を一定程度超える地震動に対する頑健性も併せて要求している。
- さらに、事業者自主的な安全性向上の取り組みを促進するため、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を要求している。
- 上述を踏まえ、新規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る。

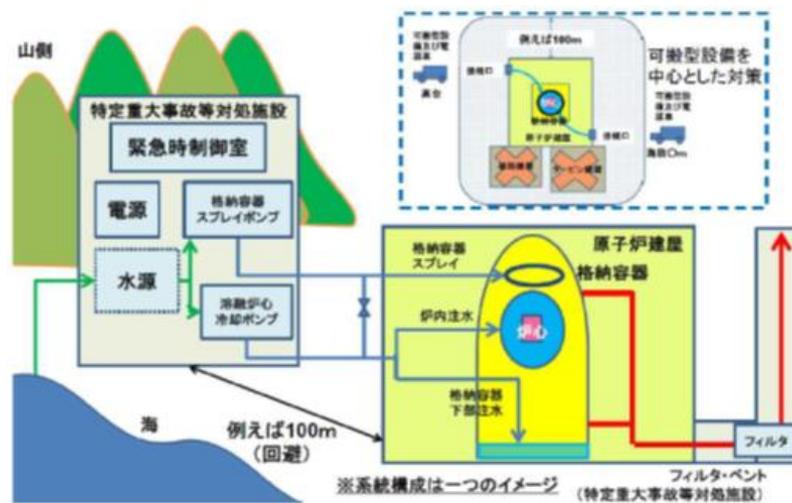


図1-5 特定重大事故等対処施設の概要⁽⁷⁾

c-1 大きな地震を経験した設備の耐震性の把握

研究内容：

- 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う。
- 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、既往の疲労評価手法の適用性を確認する。

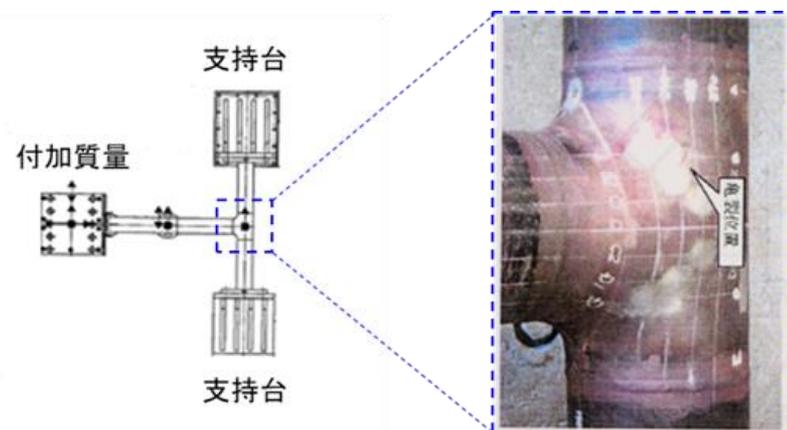


図1-6 配管要素の振動試験の一例

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

研究内容:

- 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、新たに導入された設備やその構造・機構に着目して振動試験を行い、その現実的な耐力やばらつきを評価する。
- 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影響も把握する。



図1-7 過去にNUPEC/JNESで実施した設備の振動試験の一例
(左:電気品、右:大型立形ポンプ)

(2) 津波に対するフラジリティ評価手法の高度化の検討

a. 黒津波の発生条件等の検討

課題:

- 東北地方太平洋沖地震に伴う津波の経験等から、海底面にへドロ状の堆積物が存在する沿岸海域に津波が来襲した際、このへドロ状の堆積物が混入した津波(黒津波)が発生する場合がある。
- 港湾や防波堤等の入口の様な狭窄部を通過する津波は、この傾向が顕著になることが知られている⁽⁸⁾。

研究内容:

- 沿岸海域の地形効果やへドロ状の堆積物の堆積量等に着目し、水理試験やシミュレーション解析を実施、黒津波の発生条件等を検討し、その知見を拡充する。

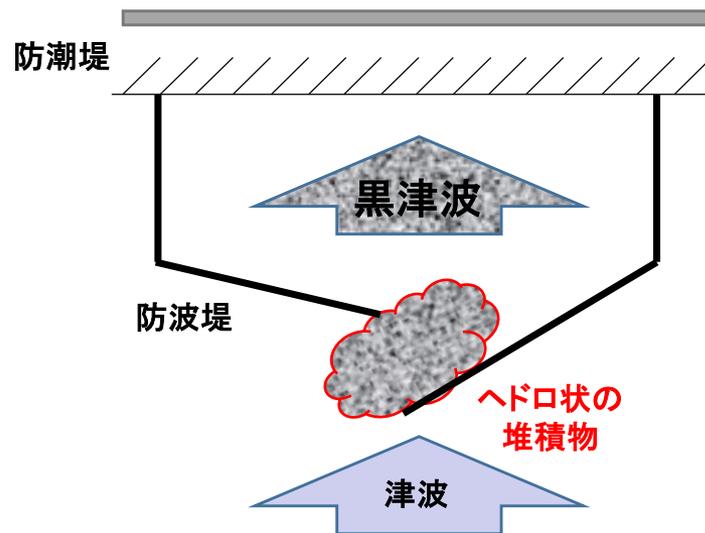


図2-1 狭窄部による黒津波発生
の概念図

(3) 飛翔体等の衝突に対する衝撃評価手法の高度化の検討

a. 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

課題:

- これまで、衝撃力が作用する建物・構築物を対象にした評価に係る研究として、高速衝突による鉄筋コンクリート板の局部損傷に係る研究及び3階建て構築物を模擬した試験体外壁への物体衝突を起因とした構築物の衝撃挙動に係る研究を実施してきた^{例えば(9)}。
- 過年度の成果として、実験による実現象の確認及び実験の再現解析から評価手法の妥当性等を確認した。

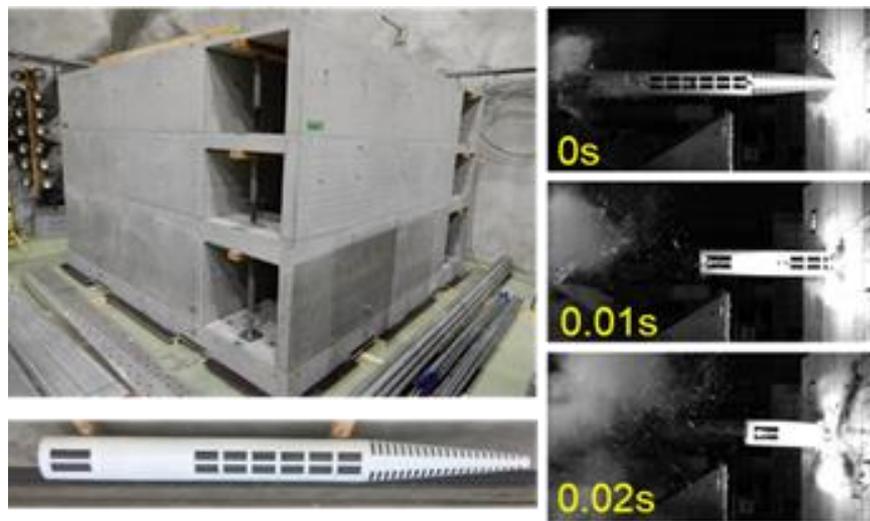


図3-1 構築物への衝突実験の一例

- 建物・構築物に対する既往の耐衝撃研究や令和2年度までに規制庁で実施してきた研究は、平板構造や簡略化した構造物を対象にしたものが殆どである。
- 一方、原子力施設には多くの地中設置の構造物が存在し、岩盤内又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る。審査ガイド⁽¹⁰⁾では、評価対象となる施設が地下に設置される場合にも、衝撃破損についての評価が求められている。
- また、実構造物は様々な形状を有しており、現実的な形状を考慮した衝撃評価も必要となる。現実的な形状を考慮した既往研究としては、衝撃作用に対するRC構造物の補強対策(ライナー等)に関する研究や構造物内の壁や床等を考慮した多層版による防護に関する研究等^{例えば(11)(12)}があるが、その数は少ない。
- この様に構造物の設置状況や形状等を踏まえた、現実的な条件での衝撃評価の事例は少なく、これらの評価に係る知見を蓄積する必要がある。

研究内容：

- 岩盤内設置等の設置状況や構造物の複雑な形状を考慮した局部損傷に関する評価手法の適用性を検討する。具体的には、岩石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、実験結果の分析およ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する。

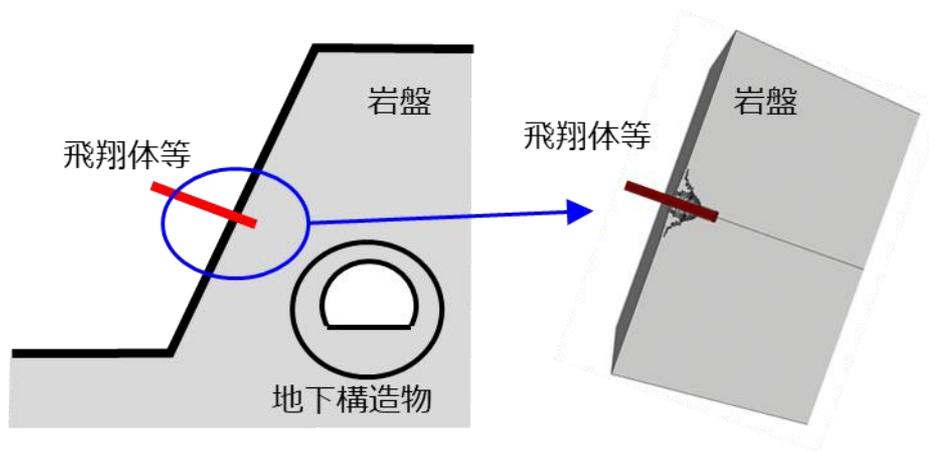


図3-2 建物・構築物の設置状況(地中設置)の概念図

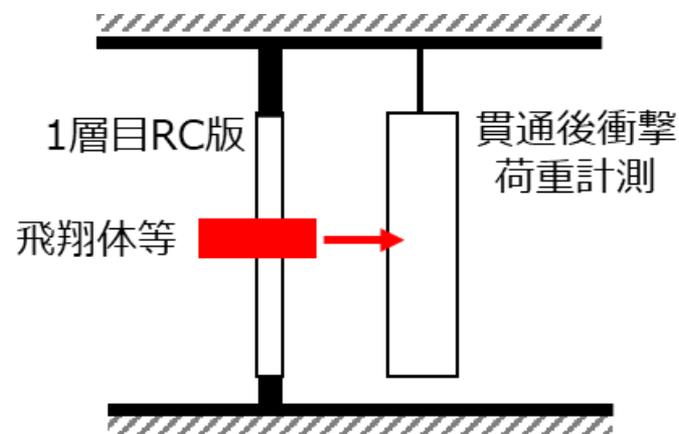


図3-3 多層版衝突実験の概念図
(既往研究の例)

b. 衝撃力に対する設備の応答評価手法の検討

課題:

- 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では、ガタ系等を有する構造によって衝撃応答が増幅し、設備が損傷する事例を確認した⁽¹³⁾。
- 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、ガタ・摩擦系等を含む設備の応答に係る知見も拡充する必要がある。

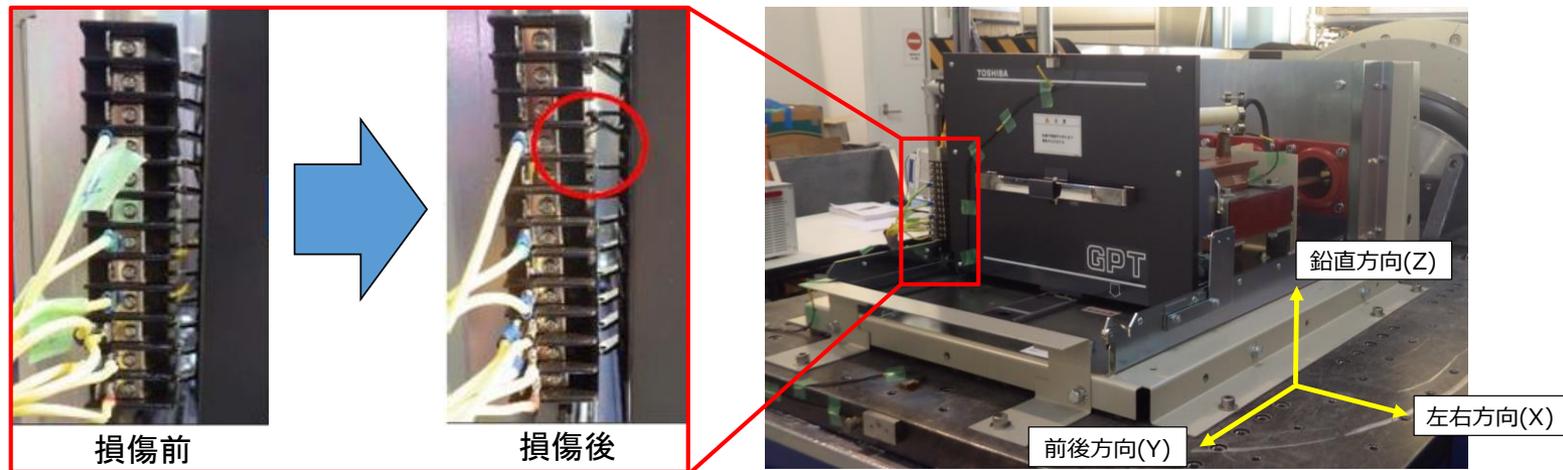


図3-4 ガタ系を有する設備の衝撃振動試験とその損傷事例

研究内容:

- 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・摩擦系等を加えた試験体を制作、その衝撃振動試験を実施する。
- また、ガタ・摩擦系等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、その適用性を確認する。

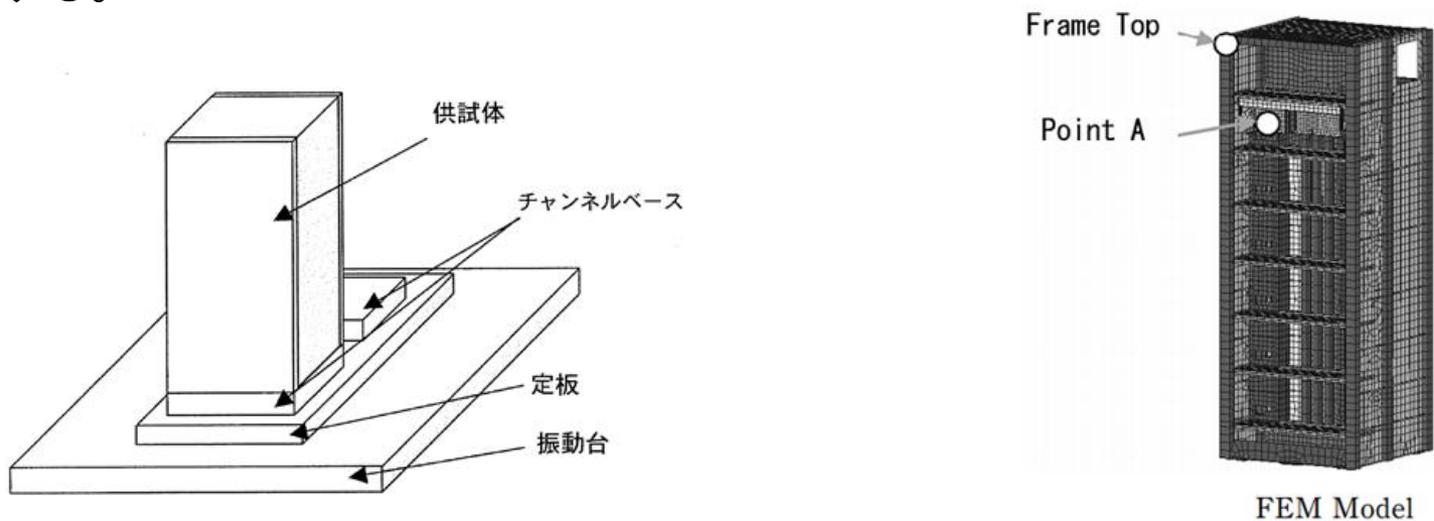


図3-5 衝撃振動試験のイメージと電気品の解析モデルの一例

4. 研究計画(行程表)

	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
(1)a-1	・低接地率状態となる建屋の解析モデル、応答挙動に係る調査、解析及び取りまとめ			▽成果の公表
	・高温状態等に曝された建屋の地震時応力解析の適用性に係る調査・実施計画の検討	・高温状態等に曝された建屋の地震時応力解析の適用性に係る予備検討	・高温状態等に曝された建屋の地震時応力解析の適用性に係る実験・解析	・高温状態等に曝された建屋の地震時応力解析の適用性に係る知見の取りまとめ NRA 技術報告等の検討
(1)a-2		▽共同研究論文公表		▽成果の公表
	・観測記録等に基づく建屋の固有振動モードの分析	・観測記録等に基づく建屋の応答特性の把握	・観測記録等の再現解析	・観測記録等に基づく建屋の三次元解析モデルの精緻化に関する知見の取りまとめ
(1)b				▽成果の公表
	・構造物周辺の礫質土地盤等の液化化による構造物への影響評価に係る調査、検討条件の設定に係る予備実験及び試解析の実施	・構造物周辺の礫質土地盤等の液化化実験及び解析による構造物の応答挙動の把握	・構造物周辺の礫質土地盤等の液化化実験及び解析による構造物への作用荷重特性の把握	・構造物周辺の礫質土地盤等の液化化による構造物への影響評価に関する知見の取りまとめ NRA 技術報告等の検討

			▽共同研究論文公表	▽成果の公表	
(1)c-1	・大きな地震を経験した配管系の耐震性の把握のための試験計画の立案、材料試験	・配管要素試験体の設計・調達	・配管要素試験体の振動試験及び試験データの取得、疲労評価手法の適用性の確認	・大きな地震を経験した配管系の現実的な耐力に係る知見の取りまとめ	
(1)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のための対象設備の選定、試験計画の立案	・設備試験体の設計・製作、要素試験	・設備試験体の振動試験及び試験データの取得	・既設プラントに新たに導入された設備の現実的な耐力とばらつきに係る知見の取りまとめ、振動領域の違いの影響の取りまとめ	
(2)a.	・黒津波の発生条件等を検討するための課題の抽出	・水理試験やシミュレーション解析の実施及びデータの取得	・黒津波の発生条件等の検討・整理	・黒津波の発生条件等に係る知見の取りまとめ	▽成果の公表 ↓ NRA 技術報告等の検討
(3)a.	・設置状況・形状特性を考慮した予備実験、小型試験体の製作、事前解析	・設置状況・形状特性を考慮した小型実験・解析、大型試験体の製作	・設置状況・形状特性を考慮した大型実験・解析、追加試験体の製作	・設置状況・形状特性を考慮した追加実験、全体とりまとめ	▽成果の公表 ↓ NRA 技術報告等の検討
(3)b.	・衝撃力に対する設備の応答評価手法を検討するための試験計画の立案、試験体の製作、要素試験	・設備の衝撃振動試験及び試験データの取得、応答等に係る知見の取りまとめ、衝撃応答解析手法の適用性の確認	・衝撃力に対するガタ・摩擦系等を有する設備の応答評価手法を検討するための試験計画の立案、試験体の製作、要素試験	・ガタ・摩擦系等を有する設備の衝撃振動試験及び試験データの取得、応答等に係る知見の取りまとめ、衝撃応答解析手法の適用性の確認	▽共同研究論文公表 ▽成果の公表

文 献

- (1) 市原義孝、森谷 寛、小林恒一、山崎宏晃、大橋守人、原子炉施設の建屋三次元地震時挙動の精緻な推定に資する影響因子の分析とその設定手法の適用性に関する検討、NRA技術報告、NTEC-2020-4002 (公表手続き中)
- (2) 山川光稀、猿田正明、森谷 寛、山崎宏晃、西田明美、川田学、飯垣和彦、地震観測記録による原子力施設の振動特性の推定(その2:分析結果)、2020年度日本建築学会大会(関東)、2020年
- (3) 河井正、百間幸晴、山田正太郎、山崎宏晃、森和成、野田利弘、密な礫質土地盤の動的遠心模型実験に対する数値シミュレーション、第65回理論応用力学講演会、2019年
- (4) (独)原子力安全基盤機構 規制基準部、JNES-SS レポート 原子力発電施設耐震信頼性実証試験の概要、JNES-SS-0617、2006年7月
- (5) (独)原子力安全基盤機構、平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その4(タンク)に係る報告書、08耐部報-0012、2008年10月
- (6) (独)原子力安全基盤機構、平成20年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書、09耐部報-0008、2009年12月
- (7) 原子力規制委員会、実用発電用原子炉に係る新規規制基準の考え方について、NREP-0002、平成28年6月29日策定、平成30年12月19日改訂
- (8) NHKスペシャル 連動企画“黒い津波”～知られざる実像～
<https://www3.nhk.or.jp/news/special/shinsai8portal/kuroinami/>
- (9) 太田良巳、澤田祥平、紺谷修、二階堂雄司、岡安隆史、金子貴司、日向大樹、石木健士朗、相馬和貴、山田和彦、安本宏、衝撃作用を受ける構造物の衝撃挙動評価に関する取り組み、シンポジウム「耐衝撃設計の合理化に向けてー現状と新しい流れ、今後の課題」、日本建築学会、土木学会共催、2019年11月
- (10) 実用発電用原子炉に係る航空機衝突影響評価に関する審査ガイド、平成26年9月17日策定
- (11) 別府ら:竜巻飛来物・火山噴石による衝撃作用に対するRC構造物の補強対策, シンポジウム「耐衝撃設計の合理化に向けて 現状と新しい流れ、今後の課題」, pp.123-133, 2019.
- (12) Isao Kojima: An experimental study on local behavior of reinforced concrete slabs to missile impact, Nuclear Engineering and Design 130 (1991) 121-132.
- (13) 地震・津波研究部門、設地型計器用変圧器にガタがある場合の衝撃耐力に係る試験結果について(案)、(第43回技術情報検討会で報告予定、2020年10月)