

共同研究成果報告書

原子力施設耐震評価用モデルの妥当性確認 に関する研究

原子力規制委員会 原子力規制庁

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

令和5年6月

1. 研究目的

新規制基準において地震等の外部事象に対する影響評価の強化が求められており、原子力施設の地震時挙動を把握し、より詳細に評価する上で今後実用化が期待されている三次元耐震評価モデルの妥当性を確認することは重要となっている。原子力施設の地震時挙動を把握するためには、原子力施設における地震観測記録等の実測データを活用した妥当性確認が有効である。そこで本研究では、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構内施設の地盤・建屋を対象とした地震観測システムを整備・拡充し、得られた地震観測記録等の実測データを分析して三次元耐震評価モデルの妥当性を確認することで、三次元耐震解析手法の高度化を図る。

なお、対象施設としては、三次元耐震評価モデルの構築に必要な地盤・建屋及び機器の基礎データを有する日本原子力研究開発機構大洗研究所の高温工学試験研究炉（High Temperature Engineering Test Reactor、以下「HTTR」という。）を選定する。

2. 研究内容

（1）計測システムの整備

既存の HTTR の地震観測システム（地盤・建屋）を拡充し、多数の加速度計及び人工波送信装置（Accurately Controlled Routinely Operated Signal System、以下「ACROSS」という。）を設置することで、地震観測だけでなく、人工波も計測できる大規模な計測システムを整備した。

（2）実測データの取得及び分析

整備した計測システムを活用し、地盤・建屋の実測データの取得及び実測データを用いた振動特性の分析を行った。

（3）実測データを活用した三次元耐震解析手法の高度化

原子力施設三次元耐震評価モデルを構築し、実測データを分析して得られた振動特性と比較することで、三次元耐震評価モデルの妥当性を確認するとともに、三次元耐震解析手法の高度化を図った。

3. 実施方法

3.1 計測システムの整備

既存の HTTR の地震観測システム（地盤・建屋）は、主に建設時に設計用質点系モデルの妥当性確認を主目的として設置された。このため、建屋の三次元的な振動特性を把握するには計測位置が不足していた。

本研究では、研究目的に必要な実測データを取得する観点で、以下の a 及び b を実施し、計測システムを整備した。

a. 計測装置の整備（含計測計画）

- ・ 三次元的な振動特性の把握に有効な計測位置を検討・選定し、計測装置を整備した。

- ・ 計測装置の設置位置は、計測計画に基づき決定した。
- b. 送信装置の整備
- ・ 振動数や振幅を制御可能な人工波送信装置 ACROSS を設置した。
 - ・ 任意の条件（計測時期、送信波形等）で、効果的に送信・計測を行う環境を整備した。

3.2 実測データの取得及び分析

整備した計測システムを活用し、以下の a 及び b を実施した。

- a. 実測データの取得
- ・ 整備した計測システムを用いて、HTTR 建屋及び周辺地盤の実測データを取得した。
- b. 実測データの分析
- ・ 実測データを用いて、HTTR 建屋及び周辺地盤の振動特性を分析した。

3.3 実測データを活用した三次元耐震解析手法の高度化

実測データ及び分析した結果を活用し、以下の a 及び b を実施した。

- a. HTTR の地盤・建屋に係る三次元耐震評価モデルの作成
- ・ HTTR 建屋及び機器を対象とした従来モデルを基に三次元耐震評価モデルを作成した。
- b. 三次元耐震評価モデルの妥当性確認及び三次元耐震解析手法の高度化
- ・ 実測データと解析結果を比較し、分析した振動特性の三次元耐震評価モデルへの反映検討や三次元耐震解析手法の高度化を進めた。

4. 研究実施分担

項目	原子力規制庁	日本原子力研究 開発機構
(1) 計測システムの整備	◎	○
(2) 実測データの取得及び分析	◎	◎
(3) 実測データを活用した三次元耐震解析手法の高度化	○	◎

(◎：主担当、○：副担当)

5. 共同研究参加者

所 属	氏 名	本研究における役割
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	大橋 守人 *2	研究統括
	山崎 宏晃 *3	研究統括
	山川 光稀 *1	研究立案、振動特性の分析
	猿田 正明 *1	計測及び送信装置の整備
	森谷 寛 *1	振動特性の分析
	市原 義孝 *4	振動特性の分析
国立研究開発法人 日本 原子力研究開発機構 安全研究センター	李 銀生 *1	研究統括
	西田 明美 *1	研究計画の立案、取りまとめ
	奥田 幸彦 *5	振動特性の分析

材料・構造安全研究ディ ビジョン	川田 学 *1	振動特性の分析、モデルの改善 モデルの改善、高度化データの測 定とりまとめ データの測定 データの測定 送信試験実施、実測データの取り まとめ
	崔 炳賢 *1	
	石塚 悦男 *5	
	飯垣 和彦 *1	
	近藤 誠 *5	
	國友 孝洋 *5	

(実施期間：平成 31 年 4 月～令和 4 年 3 月)

*1：平成 31 年 4 月から令和 4 年 3 月まで

*2：平成 31 年 4 月から令和元年 8 月まで

*3：令和元年 8 月から令和 4 年 3 月まで

*4：平成 31 年 4 月から令和 3 年 3 月まで

*5：令和 2 年 8 月から令和 4 年 3 月まで

6. 研究実施工程

項 目	年 度											
	令和元年度				令和 2 年度				令和 3 年度			
(1) 計測システムの整備	計測装置／送信装置の整備											
	(実施工程の進行を示す横線)											
(2) 実測データの取得及び 分析	実測データの取得											
	(実施工程の進行を示す横線)											
(3) 実測データを活用した 三次元耐震解析手法の 高度化	モデルの作成											
	(実施工程の進行を示す横線)											
	モデルの妥当性確認								まとめ			
	(実施工程の進行を示す横線)											

7. 成果概要

本研究では、原子炉建屋の三次元耐震解析手法の高度化を目的とし、日本原子力研究開発機構の HTTR を対象として、自然地震に加えて人工波も計測可能な大規模な計測システムを構築した。さらに、実プラントでの観測記録等を多数蓄積し、実測データの分析結果及び感度解析結果を踏まえて三次元耐震評価モデルの改良を行い、地震観測記録の再現性向上によりその妥当性を確認した。

(1) 計測システムの整備

既存地震観測システム（地盤・建屋）を拡充し、HTTR 建屋の床、壁及び地表面を対象に多数の加速度計（21 台）を追加設置し、自然地震に加えて ACROSS を用いて任意の条件で

人工波を送信・計測可能な計測システムを構築した。これにより、自然地震による建屋全体の三次元挙動の計測に加えて、人工波による建屋の床や壁等の局所応答の計測を可能とした。

(2) 実測データの取得及び分析

本研究で構築した大規模な計測システムを活用し、計測を開始した令和2年1月26日から令和4年3月17日までの間に、合計60（大洗町で震度1以上）の地震を観測した。また、ACROSSによる人工波の計測を36回実施し、HTTR建屋の振動特性分析のための実測データ（地震観測記録及びACROSS計測記録）を取得した。さらに、取得したデータを用いて、建屋及び地盤の基本的な振動特性、床の面内及び面外応答、オペレーションフロア上部の壁・屋根応答等に着目した建屋の振動特性の分析を行った。これらの検討を通して、建屋の主要な振動モード等を把握した。

(3) 実測データを活用した三次元耐震解析手法の高度化

三次元耐震評価モデルについては、従来モデルの見直しを行うとともに、実測データ（地震観測記録、ACROSS計測記録）から得られた振動特性の分析結果を反映した改良を行うことで、地震観測記録の再現性が向上することを確認した。具体的には、固有値解析及び地震応答解析を実施し、建屋の主要な振動モード等に係わり解析結果と実測データの比較を行った。それらの結果を踏まえて、モデル化において重要な建屋基礎周辺の地盤物性や床の重量等の設定方法を検討し、建屋の三次元耐震解析手法の高度化を図った。引き続きより多くのデータの取得及び分析を進め、建屋の三次元耐震評価モデルの妥当性確認及び三次元耐震解析手法のさらなる高度化に係る知見を取得することが重要である。

8. 公表成果一覧

- 1 西田明美、川田学、飯垣和彦、山川光稀、猿田正明、森谷寛、山崎宏晃、「地震観測記録による原子力施設の振動特性の推定（その1：分析方法）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp. 1105-1106、令和2年
- 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）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp. 1107-1108、令和2年
- 3 Kouki Yamakawa, Masaaki Saruta, Hiroshi Moritani, Hiroaki Yamazaki, Akemi Nishida, Manabu Kawata and Kazuhiko Iigaki, “Estimation of Vibration Characteristics of Nuclear Facilities Based on Seismic Observation Records”, ICONE28, 2021.
- 4 Akemi Nishida, Manabu Kawata, Byunghyun Choi, Kazuhiko Iigaki and Yinsheng Li, “A Study on the Improvement of Accuracy of Three-dimensional Seismic Evaluation Analysis Method for Nuclear Buildings Using a Large-scale Observation System”, SMiRT26, 2022.
- 5 森谷寛、山川光稀、猿田正明、西田明美、川田学、飯垣和彦、「原子炉施設の三次元耐

震解析手法の高度化に関する研究（その1：大規模観測システムの整備）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、pp. 943-944、令和4年

- 6 山川光稀、猿田正明、森谷寛、飯場正紀、西田明美、川田学、飯垣和彦、「原子炉施設の三次元耐震解析手法の高度化に関する研究（その2：地震観測記録に基づく建屋の全体応答の分析）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、pp. 945-946、令和4年
- 7 川田学、西田明美、崔炳賢、飯垣和彦、山川光稀、「原子炉施設の三次元耐震解析手法の高度化に関する研究（その3：人工波に基づく建屋の局所応答に分析）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、pp. 947-948、令和4年
- 8 西田明美、川田学、崔炳賢、飯垣和彦、山川光稀、「原子炉施設の三次元耐震解析手法の高度化に関する研究（その4：三次元有限要素モデルを用いた解析）」、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、pp. 949-950、令和4年