

Japan Atomic Energy Agency

令和3年度
原子力規制庁技術基盤グループ-原子力機構安全研究・防災支援部門
合同研究成果報告会

外部事象を考慮した原子力施設の 健全性評価手法の高度化

令和3年11月2日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門 安全研究センター
構造健全性評価研究グループ

本成果の一部は、原子力規制庁からの受託事業「原子力施設等防災対策等委託費(高経年化を考慮した建屋・機器・構造物の耐震安全評価手法の高度化)事業」及び原子力規制庁との共同研究「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」の成果である。

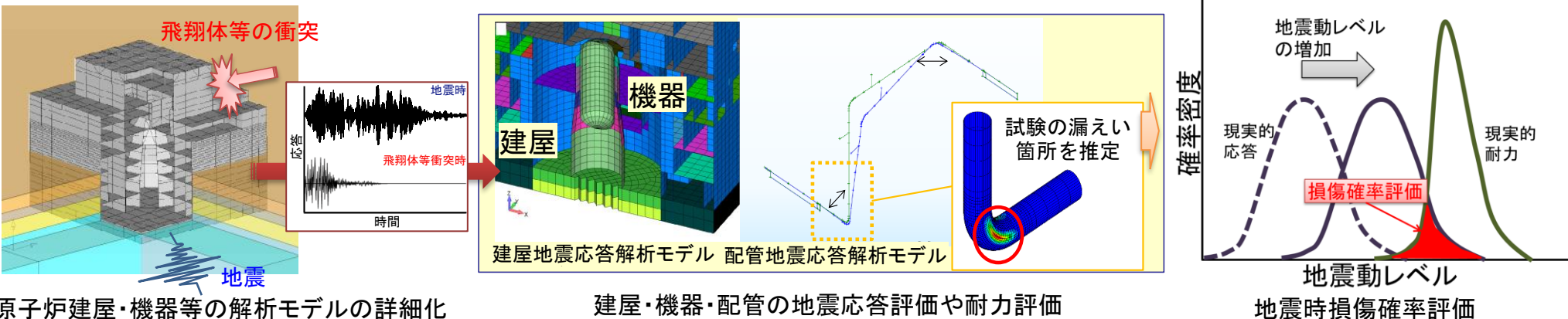


【最新の動向】

- 新規制基準では、地震等の外部事象評価の厳格化、リスク評価を含めた安全性向上評価に関する運用ガイドが施行。また、飛翔体（竜巻飛来物や飛行機等）衝突に係る規制が新設。

【実施内容の概要】

- 地震時の原子炉建屋及び機器・配管の健全性評価**
 - 地震動による現実的応答に係る3次元・非線形詳細解析手法の整備、評価モデルの標準化
 - 現実的応答・耐力評価を通じた健全性評価手法・フラジリティ評価手法の整備
 - 現実的耐力に係る強度試験データの活用、機構施設を活用した地震観測記録の取得
- 飛翔体衝突に係る原子炉建屋及び内包機器等の健全性評価**
 - 建屋を対象とした飛翔体衝突による損傷評価手法の整備
 - 建屋内包機器設備を対象とした応力波による応答に係る評価手法、健全性評価手法の整備
 - 建屋外壁や内包機器を含めた構造体を対象とした飛翔体衝突試験の実施、試験データの活用



年度(平成/令和)	27	28	29	30	31/01	02	03
地震時の健全性評価	配管耐震解析手法の詳細化 配管に係る損傷確率評価手法の整備		建屋・機器・配管耐震評価手法の詳細化 建屋・機器・配管に係る損傷確率評価手法の整備			耐震評価手法の標準化 損傷確率評価手法の高度化	
飛翔体等の衝突に係る健全性評価		予備検討・試験解析			機構施設を活用した地震観測システムの整備、地震応答データ取得、耐震評価手法の妥当性確認 建屋外壁に着目した斜め衝突等解析手法及び評価手法の整備		建屋内包機器に着目した解析手法及び評価手法の整備 飛翔体衝突試験データ、内包機器耐力試験データ等の取得、活用、手法の妥当性確認

【ねらい】安全上重要な建屋・配管等を対象に、地震を起因とした確率論的リスク評価(地震PRA)に資するフラジリティ評価のための現実的応答解析手法を整備し、妥当性を確認する。

【アプローチ】3次元詳細解析モデルを用いた建屋・配管等の地震応答解析手法の高度化及び標準化を図る。

✓建屋3次元詳細解析モデル(図1)を用いて地震観測記録の再現解析を実施(図2)し、建屋地震応答解析結果への影響度の高い重要因子についてその影響度を確認した。

✓さらに、特に影響度の高い重要因子である建屋側面と地盤間の剥離・滑りや建屋基礎の浮上り等については、設計上の想定を超える入力に対する地震応答解析を実施し、フラジリティ評価のための地震応答解析手法の高度化に資する技術的知見を取得した(図3)。

✓以上の考察等を踏まえ建屋3次元詳細解析モデルを用いた地震応答解析手法に係る方法論や技術的根拠等を取りまとめ、標準的解析要領案を整備した。

【成果とその活用】

✓3次元詳細モデルを用いた地震応答解析手法等に係る本研究の成果は、耐震安全性評価に係る技術的知見として原子力規制庁のNRA技術報告(NTEC-2021-4002)に反映された。

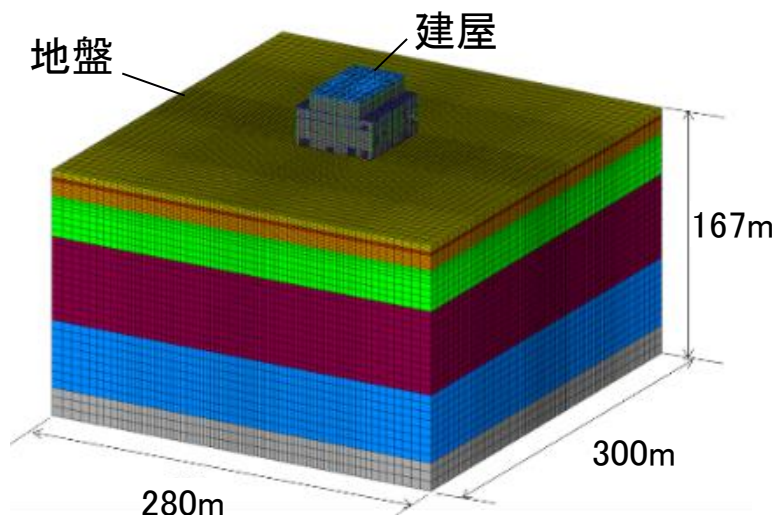


図1 軽水炉建屋3次元詳細モデル

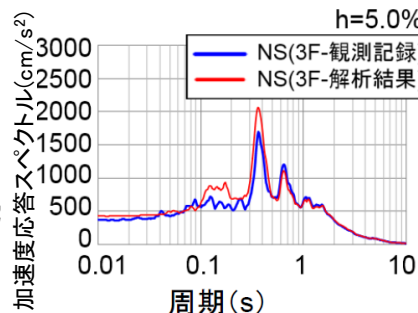


図2 軽水炉建屋3次元詳細解析モデルによる解析結果と観測記録との比較

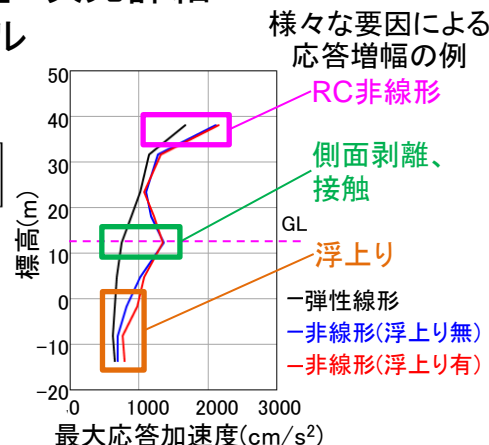


図3 建屋3次元詳細解析モデルによる非線形地震応答解析事例

- ✓ 建屋3次元詳細解析モデルを用いた地震応答解析手法の妥当性を確認するため、原子力規制庁との共同研究の一環として、機構施設である高温工学試験研究炉(HTR)を活用して大規模観測システムを整備した(図4)。
- ✓ 自然地震観測記録を用いて建屋全体挙動の分析を実施するとともに、複数周波数成分を含む人工波観測の微動記録を用いて建屋の局部応答に係る卓越振動数等の分析を行い、建屋の振動特性を把握(図5、図6)。今後は、得られた振動特性を3次元詳細解析モデルに反映し、地震応答解析手法の精緻化を図るとともに、手法の妥当性を確認する。
- ✓ 配管の地震応答解析手法の高度化のため、支持構造物を含めた配管系の3次元弾塑性詳細解析手法を整備し、解析手法の妥当性を確認中。

【成果とその活用】

- ✓ 本研究で整備した自然地震と人工波による同時多点観測を可能とする大規模観測システムは世界初であることから、**プレス発表を実施(令和2年3月)**。

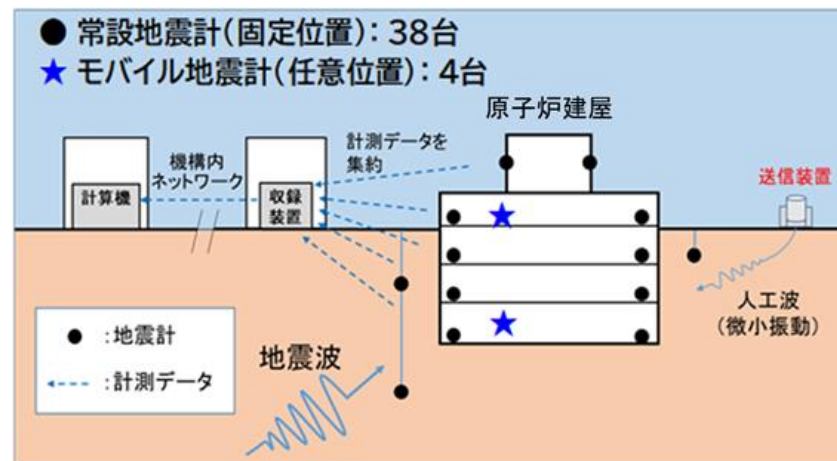


図4 大規模観測システムの概要

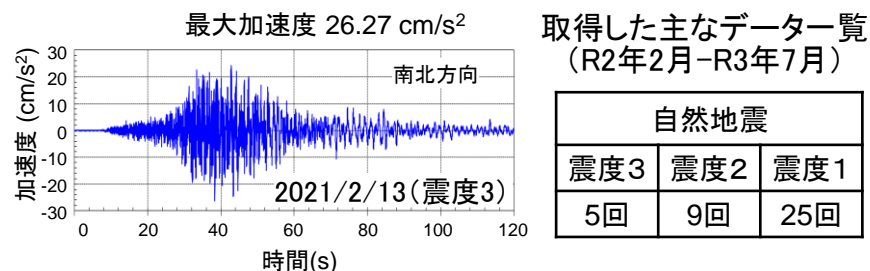


図5 自然地震の観測例(加速度時刻歴)

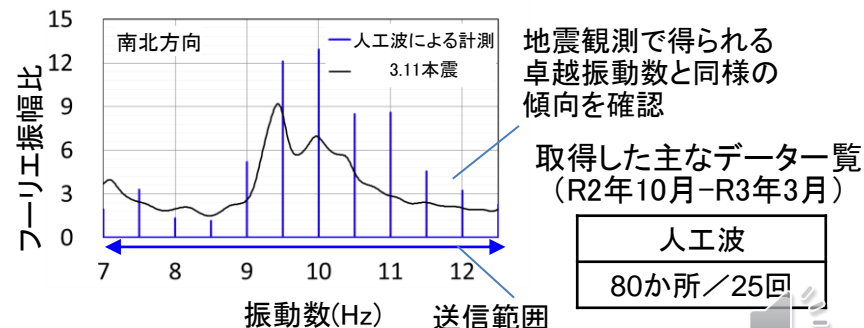


図6 人工波の観測例(応答比(2階/地下3階))

【ねらい】飛行体衝突に伴う原子力施設の構造健全性評価に資する手法の高度化を図る。

【アプローチ】飛行体衝突による建屋外壁の局部損傷及び建屋内包機器への影響評価に係る試験データを取得するとともに、解析手法の妥当性を確認する。

✓建屋外壁の局部損傷については、飛行体の柔性（剛飛行体及び柔飛行体）、衝突角度（垂直及び斜め衝突）及び先端形状（平坦型及び半球型）を考慮した飛行体衝突試験を実施し、建屋外壁を模擬した鉄筋コンクリート（RC）板の損傷状況に係る試験データを取得した（図1）。

✓建屋外壁の局部損傷に係る解析手法の妥当性確認のため、上記衝突試験の再現解析を実施した。飛行体やRCの非線形特性、ひずみ速度依存性及び試験体支持部のばね定数等を適切にモデル化することで、試験結果と解析結果はよく一致することを確認した（図2）。

【成果とその活用】

✓建屋の局部損傷に係る試験データや解析手法は、飛行体衝突による原子力施設への影響評価に資する技術的知見として活用可能である。

		局部損傷評価対象：損傷モード	
		裏面：裏面剥離	表面：貫入
衝突条件	垂直衝突 	 裏面剥離 損傷大	 貫入深さD (mm) 剛飛行体 25.0 柔飛行体 5.5
	斜め衝突 	 裏面剥離境界 損傷小	 貫入深さD (mm) 剛飛行体 37.0 柔飛行体 24.0

図1 衝突試験結果の例

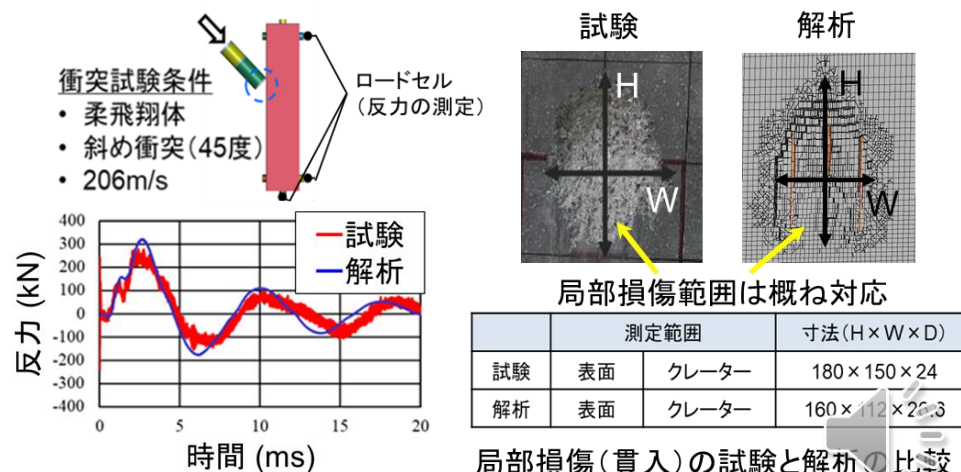


図2 試験結果と解析結果の比較

✓ 建屋内包機器への影響評価については、OECD/NEAの国際ベンチマークプロジェクト(IRIS)に参加して試験データを入手するとともに、取得した衝突試験データと解析結果の比較により、建屋内包機器への影響に係る解析手法の妥当性を確認した(図3)。

✓ 建屋外壁及び建屋内包機器を模擬した箱型試験体を用いて自ら衝突試験を実施し、飛行体衝突時の建屋における応力波伝播及び建屋内包機器への影響評価に係る試験データを取得した(図4)。

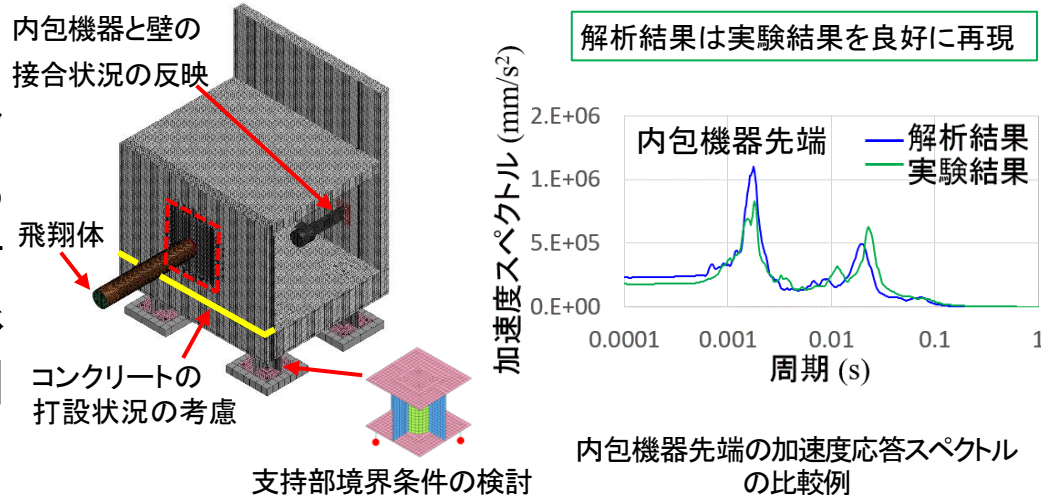


図3 飛行体衝突による構造物の応力波伝播及び内包機器への影響評価例

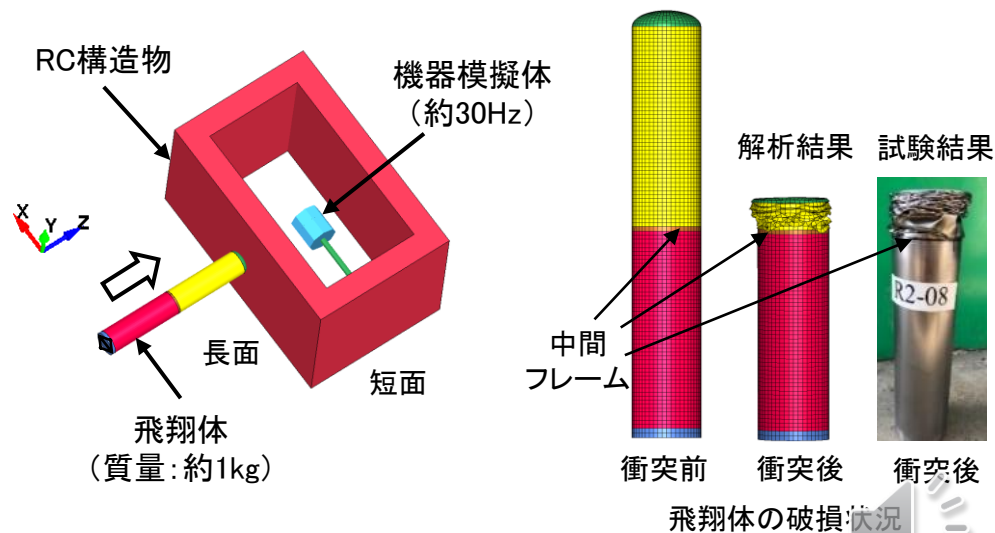


図4 RC構造物試験体の飛行体衝突試験の例

【成果とその活用】

✓ 建屋内包機器への影響評価に係る試験データや解析手法は、飛行体衝突による内包機器の構造健全性評価に資する技術的知見として活用可能である。

ご清聴いただきありがとうございました。

