

研究の全体概要

外部事象(地震、飛翔体衝突等)

対象: 原子炉建屋・機器・配管

耐震評価手法の標準化

- 重要なモデル化因子の影響評価
- 3次元詳細応答解析手法の標準化

飛翔体衝突に係る影響評価

- 飛翔体衝突による建屋の損傷評価
- 衝突に伴う応力波が建屋に内包する機器・設備に及ぼす影響評価

原子力施設の健全性評価手法の高度化研究

研究背景

- 新規基準では、地震等の外部事象評価の厳格化が求められているとともに、飛翔体衝突(竜巻飛来物、航空機等)に係る規制が新設されている。
- 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や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等が施行されている。
- 原子力関連機関や産業界において、これらに対応するための研究が急速に進展中。

研究内容

- 原子炉建屋及び機器・配管の耐震安全評価研究
- 飛翔体衝突に係る原子炉建屋及び機器の影響評価研究

原子炉建屋及び機器・配管の耐震安全評価研究

【ねらい】安全上重要な建屋や機器・配管を対象に、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手法を整備する。

【アプローチ】3次元詳細モデルを用いた建屋地震応答解析手法の標準化を図るとともに、建屋や機器・配管のフラジリティ評価手法を高度化する。

- 地震動による現実的応答に係る3次元詳細解析手法の整備
 - 地震応答解析のための3次元・非線形詳細モデル化手法の整備
 - 3次元詳細評価モデルのモデル化手法の標準化、現実的耐力評価・損傷確率評価等を通じた健全性評価手法・フラジリティ評価手法の整備

試験データの拡充及び試験データによる評価手法の妥当性確認

- 3次元詳細モデル(図1)を用いた原子炉建屋の地震応答解析手法の標準化について、重要な影響因子についてその影響度を確認するとともに、地震観測記録の再現解析を実施(図2)し、建屋3次元詳細評価モデルの標準的解析要領案を整備。
- 経年配管を対象とした地震フラジリティ評価について、地震時の亀裂進展や破壊を考慮した確率論的破壊力学解析に基づく評価方法を整備するとともに、評価要領案を整備。
- 原子力施設の地震応答を詳細に観測し、建屋3次元詳細モデル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、高温工学試験研究炉(HTR)を対象として地盤や建屋の床及び壁に地震計を設置し、常設地震計とモバイル型地震計を組合せ、自然地震と人工波の両方を観測可能な大規模観測システム(図3)を世界で初めて整備。

※ 本報告は、原子力規制委員会原子力規制庁からの受託として、原子力機構が実施した平成31年度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)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)の成果の一部を含みます。

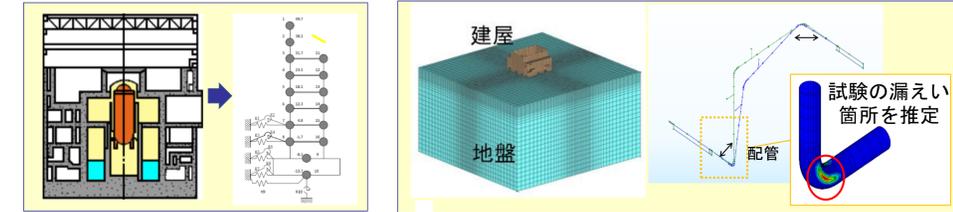


図1 従来の耐震評価モデル(質点モデル)(左)と3次元詳細評価モデル(右)

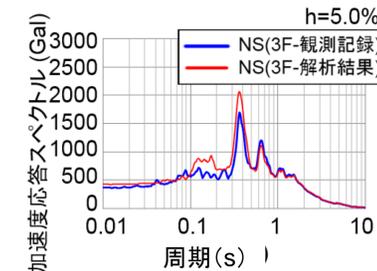


図2 3次元詳細モデルによる地震応答解析結果と地震観測記録との比較

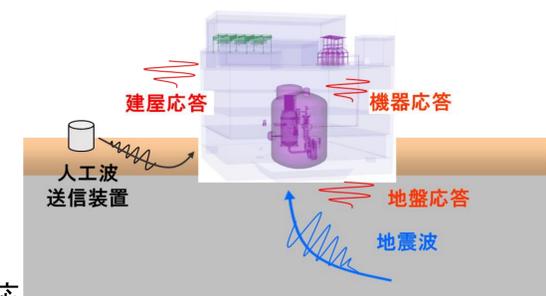
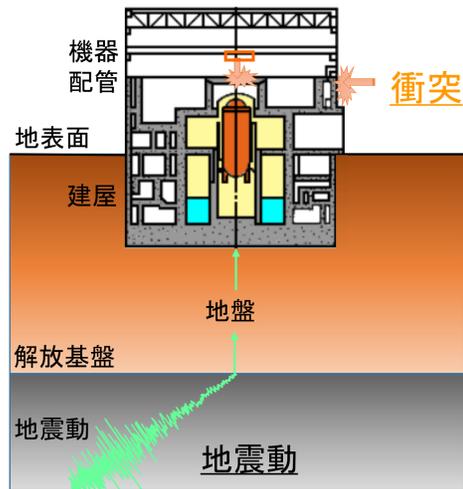


図3 大規模観測システムの概要

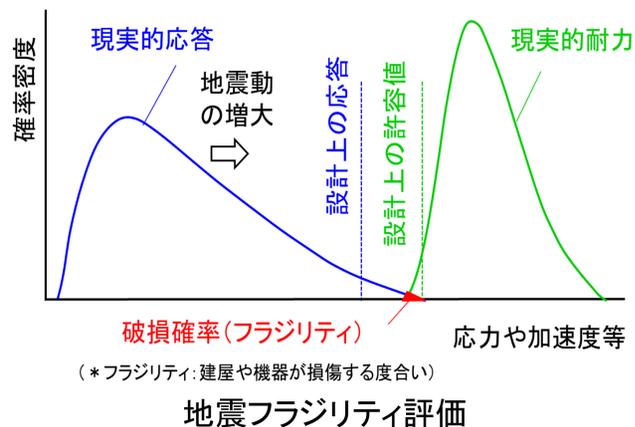
ニーズ ↓ ↑ 実用化に向けた知見

基盤研究

- 3次元・非線形詳細応答解析手法の整備
- 耐力、健全性・フラジリティ評価手法の高度化
- 飛翔体衝突に係る解析手法の整備
- 観測・試験データに基づく評価手法の妥当性確認等



地震、飛翔体衝突等の外部事象



(*フラジリティ: 建屋や機器が損傷する度合い)

地震フラジリティ評価

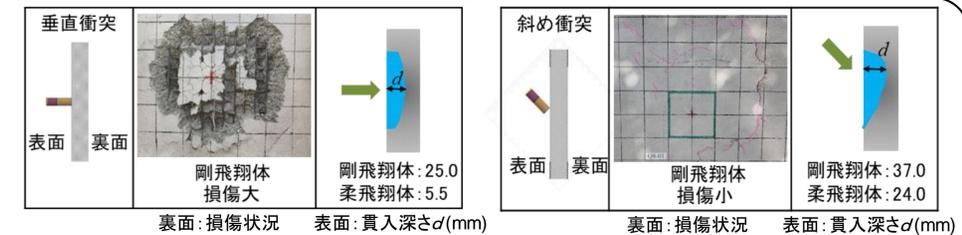
飛翔体衝突に係る原子炉建屋及び内包機器への影響評価研究

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

【アプローチ】建屋を対象とした飛翔体衝突による局部損傷評価に係る試験データを取得するとともに、建屋の局部損傷及び建屋内包機器への影響評価に係る手法の整備を行う。

- 建屋を対象とした飛翔体衝突による損傷評価手法や応答解析手法の整備及び試験データの取得
- 建屋内包機器設備を対象とした応力波伝播による応答に係る影響評価手法の整備

- 飛翔体衝突による建屋外壁への影響評価に関し、これまでにない現実的な衝突条件(柔飛翔体、斜め衝突)における試験を実施(図4)し、貴重な試験データを取得した。
 - 裏面側の損傷については、斜め衝突の方が垂直衝突よりも損傷が大きく低減することを確認。
 - 表面側の損傷については、保守的と考えられていた垂直衝突よりも斜め衝突のほうが貫入深さが深くなることを確認。この傾向は特に柔飛翔体を用いた試験のほうが顕著。
- OECD/NEA国際プロジェクトIRISへの参加を通じて取得した衝突試験データと解析結果の比較により、建屋の局部損傷及び建屋内包機器への影響に係る評価手法の妥当性確認(図5)。



(衝突速度: 207 m/s; 衝突角度: 0°) (衝突速度: 202 m/s; 衝突角度: 45°)

図4 飛翔体衝突による鉄筋コンクリート板の局部損傷に係る試験結果

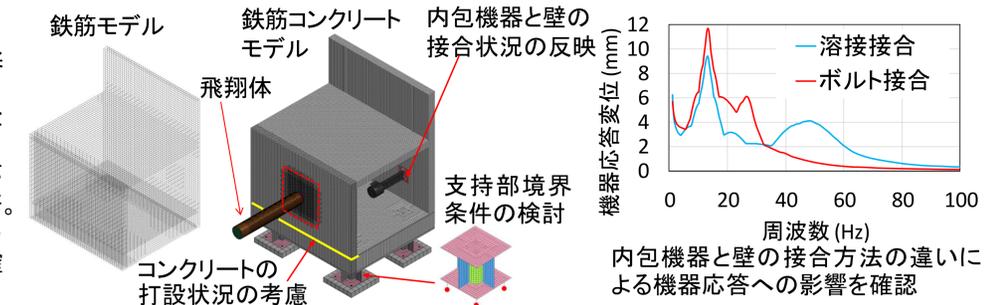


図5 飛翔体衝突による構造物の応力波伝播及び内包機器への影響評価例

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・フラジリティ評価手法等の本研究の成果は、耐震安全性評価に係る技術的知見として規制庁のNRA技報に反映される見込み。大規模観測システムは前例のない試みでありプレス発表を実施。
- 建屋の局部損傷に係る現実的条件における試験データや建屋局部損傷及び建屋内包機器への影響に係る評価手法等は、飛翔体衝突による原子力施設への影響評価に資する技術知見として活用可能。OECD/NEA IRISプロジェクトの成果報告書に反映される見通し。