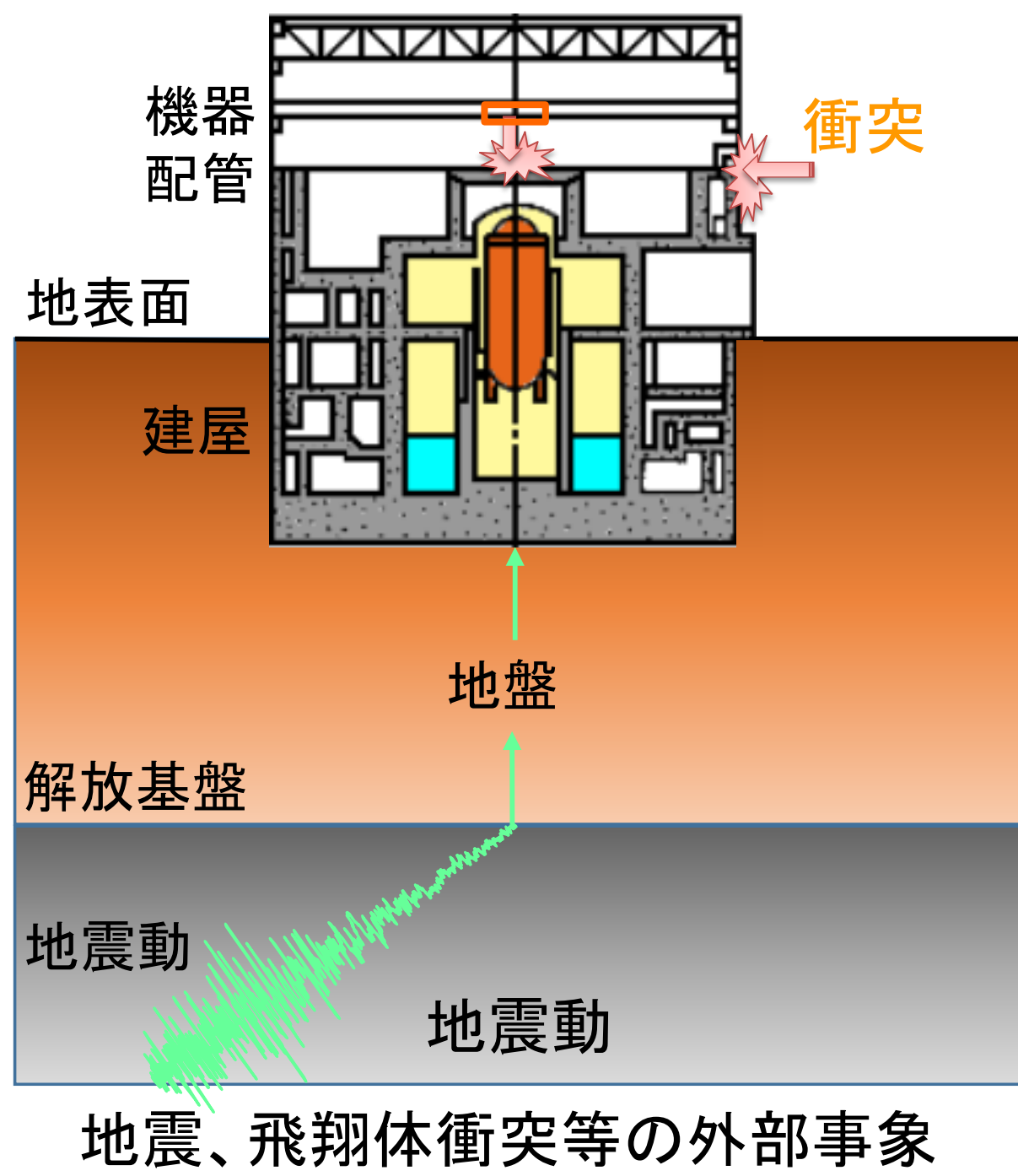


外部事象を考慮した原子力施設の健全性評価手法の高度化

材料・構造安全研究ディビジョン 構造健全性評価研究グループ

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

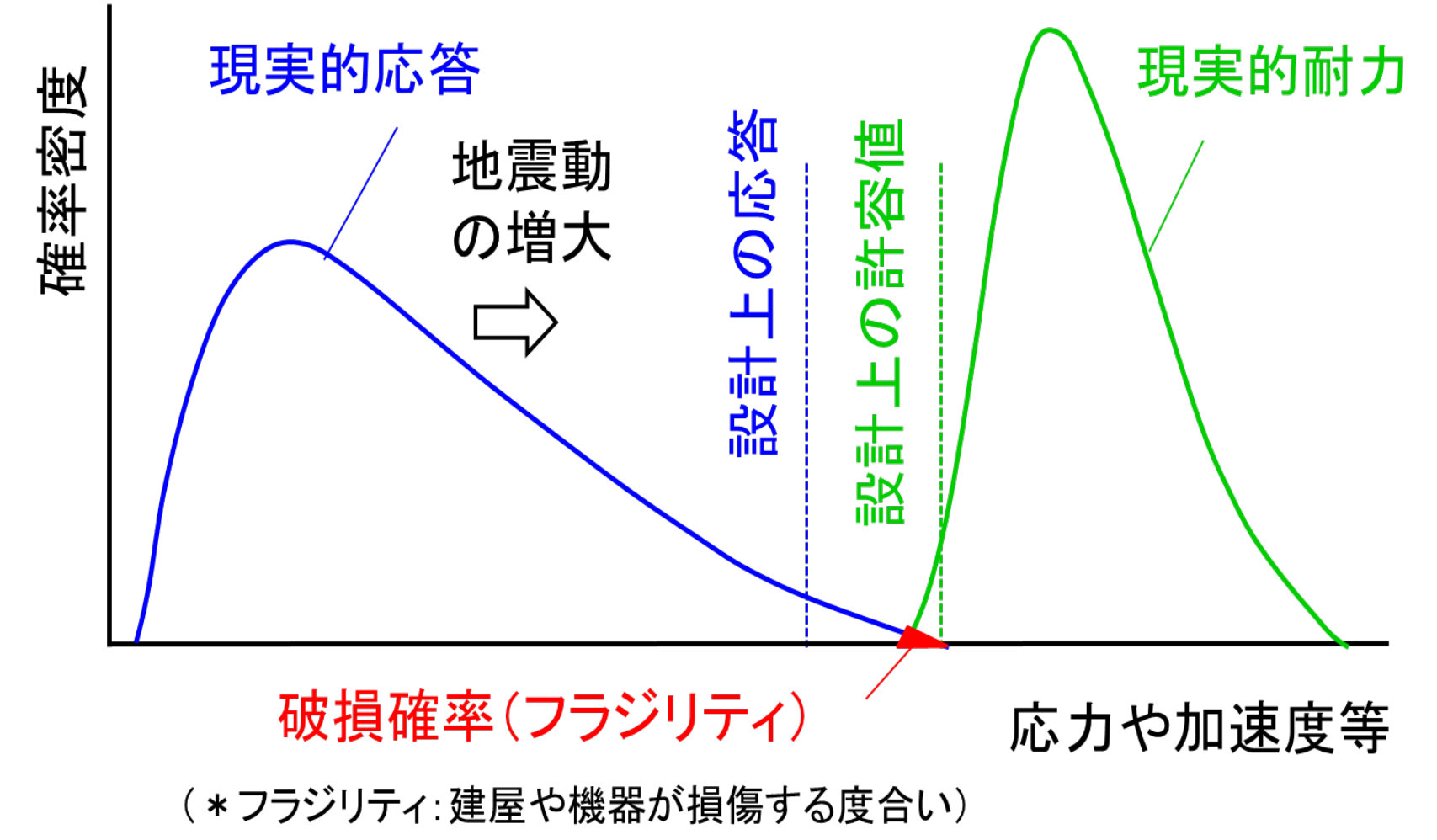
飛翔体衝突に係る影響評価

- 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

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
- 耐力評価、健全性評価・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



耐震評価におけるフラジリティ評価の概要

原子力施設の健全性評価手法の高度化

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

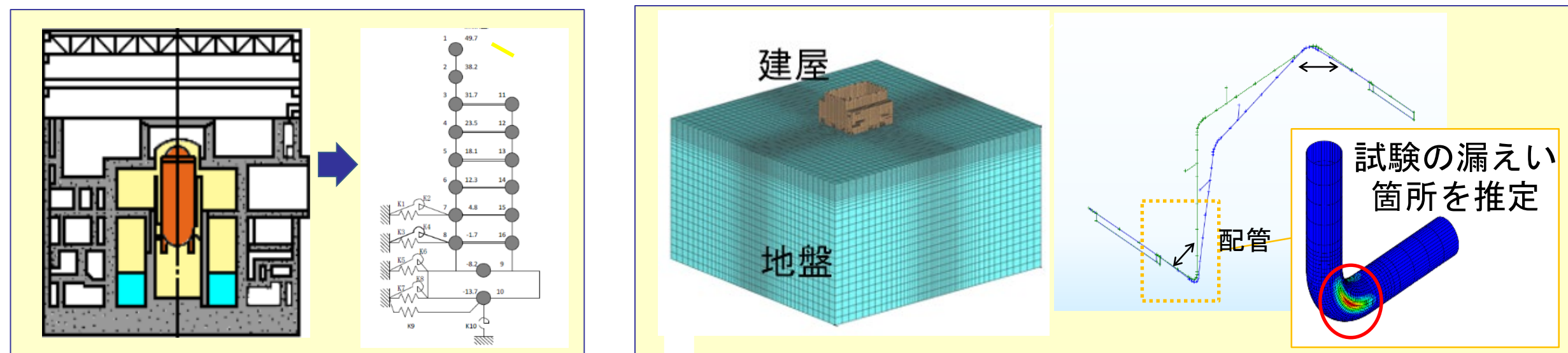
- 原子炉建屋及び機器・配管の耐震安全評価研究
- 飛翔体衝突に係る原子炉建屋及び機器の影響評価研究

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。

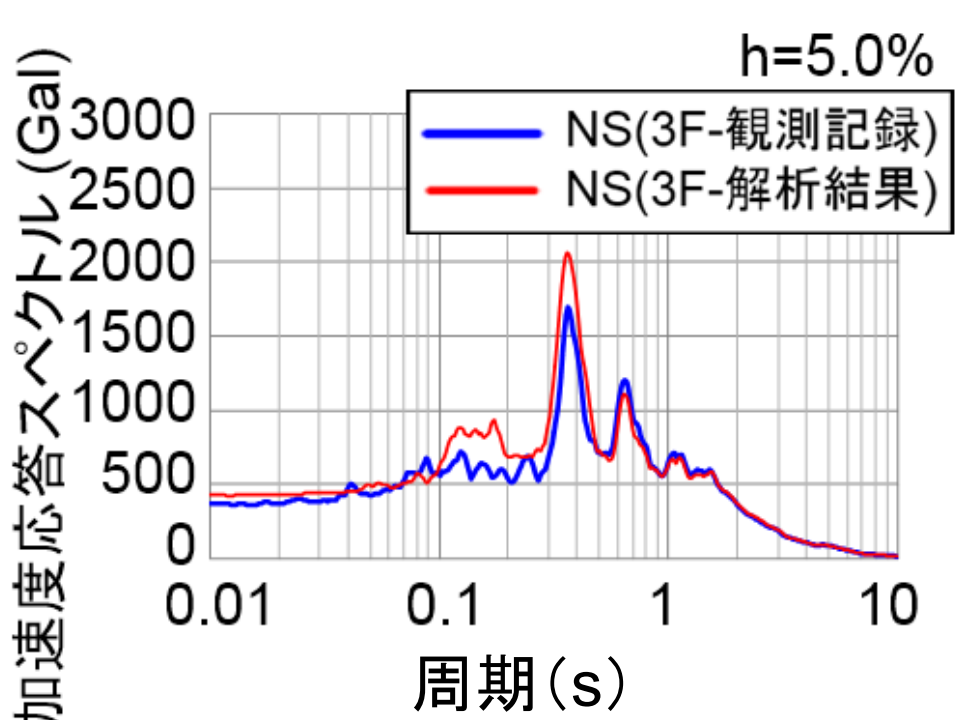
【アプローチ】3次元詳細モデルを用いた建屋地震応答解析手法の標準化を図るとともに、建屋や機器・配管のフラジリティ評価手法を高度化する。

- 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・非線形詳細モデルの整備
 - 3次元詳細評価モデルの標準化
- 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

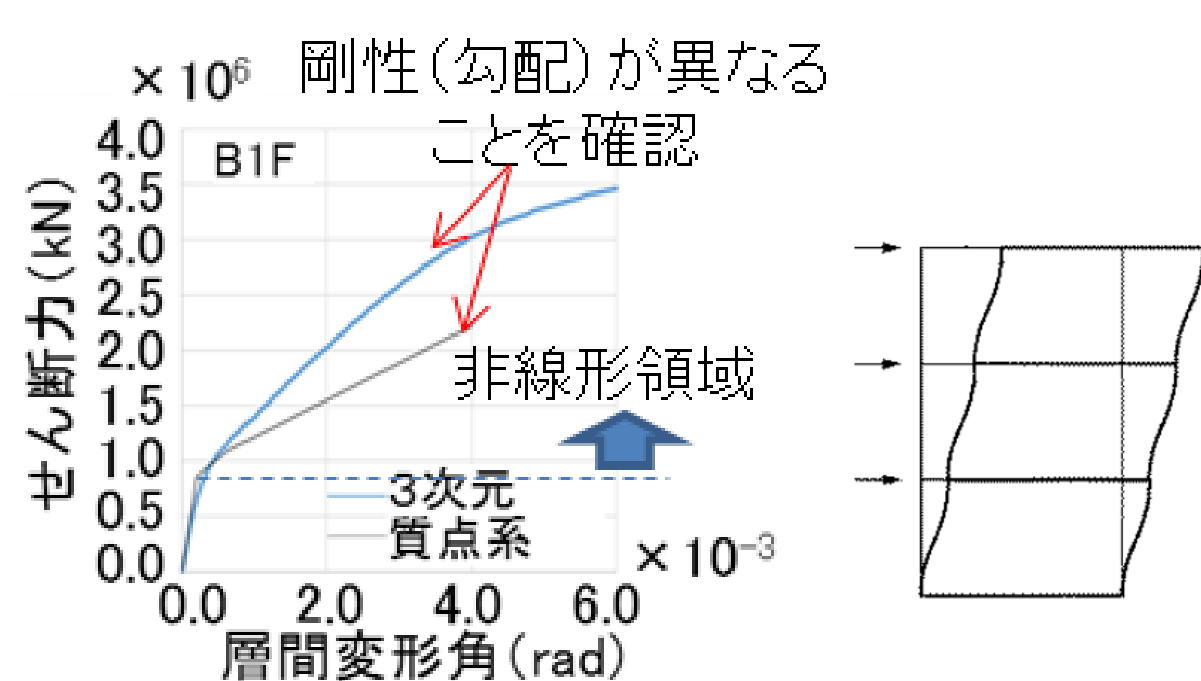


従来の耐震評価モデル(質点モデル)

3次元詳細評価モデル



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



3次元詳細モデルを用いた建屋損傷評価事例(3次元詳細モデルと従来法の比較例)

- ✓3次元詳細モデル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し、標準的解析要領案を整備。
- ✓入力地震動レベルに対する建屋損傷状態の推移を把握するため、建屋3次元詳細モデルの荷重漸増解析を実施し、局所損傷モードの同定に必要なデータを取得。また、建屋3次元詳細モデルと従来法の結果を比較し、建屋全体では両者は同様な復元力特性(せん断力-層間変形角関係)が得られたが、建屋位置によっては3次元的な変形が生じ、各層の復元力特性では違いを確認。さらに、複数回の地震を受ける配管を対象に、地震時亀裂進展評価手法及びフラジリティ評価手法を整備。
- ✓規制庁との共同研究として機構内施設の地震観測記録等を活用した3次元詳細モデルの妥当性確認に関する研究を開始。

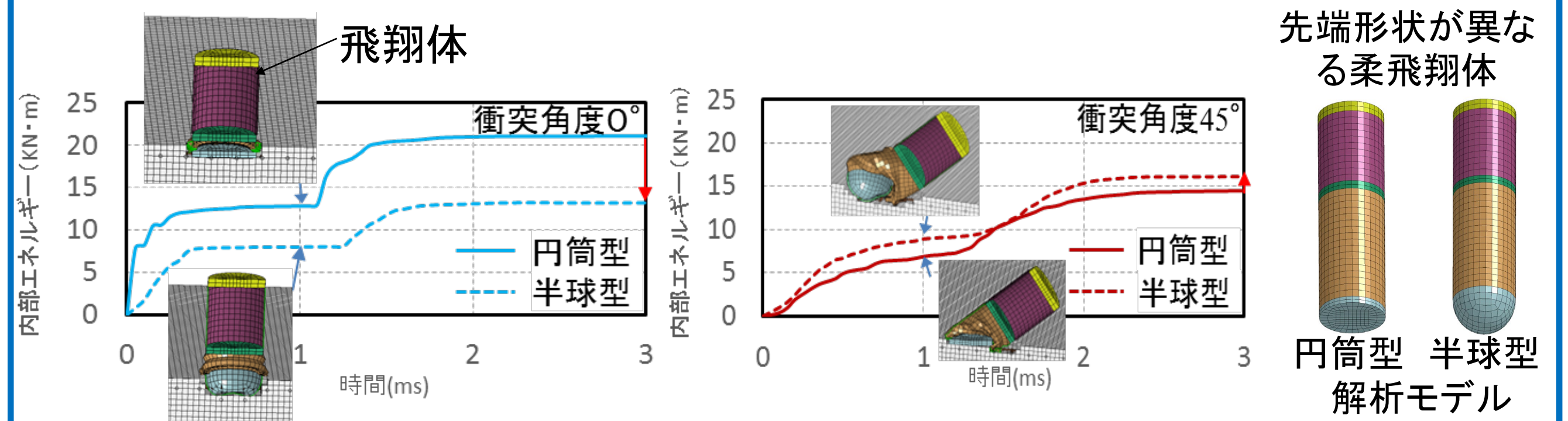
※本報告は、原子力規制委員会原子力規制庁からの受託として、原子力機構が実施した平成29年度及び平成30年度原子力施設等防災対策等委託費(高齢化を考慮した建屋・機器・構造物の耐震安全評価手法の高度化)の成果の一部を含みます。

飛翔体衝突に係る原子炉建屋及び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への影響評価に資する評価手法の高度化を図る。

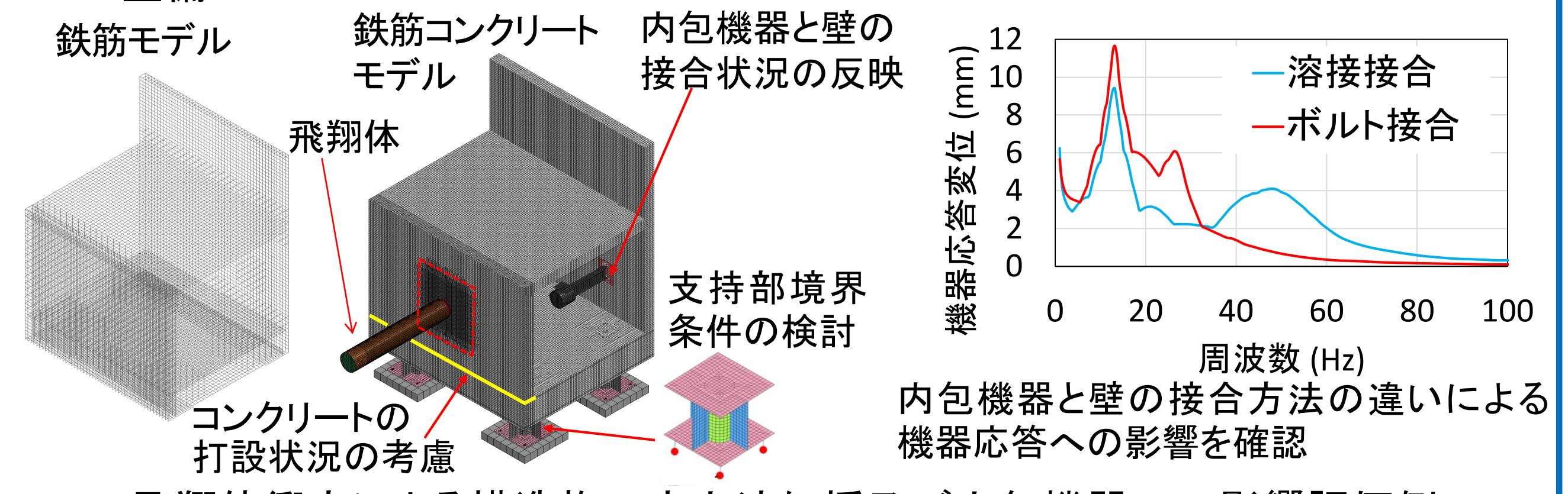
【アプローチ】建屋を対象とした飛翔体衝突による局所損傷評価に加え、建屋を伝播した応力波が建屋内包機器に及ぼす影響評価に係る手法の整備を行う。

- 建屋を対象とした飛翔体衝突による損傷評価手法・応力波伝播等の応答解析手法の整備



飛翔体衝突による板構造物の損傷に寄与するエネルギー履歴の解析例

- 建屋内包機器設備を対象とした応力波による応答や耐力に係る影響評価手法の整備



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

- ✓剛・柔飛翔体を対象とし、原子力施設の外壁を想定した板構造に対する衝突影響評価手法を整備し、貫入・貫通現象に着目した衝突速度や衝突角度の違いによる建屋応答への影響評価を実施。解析手法の妥当性を確認するため、飛翔体衝突試験を計画中。
 - ✓貫入現象では、板構造のエネルギー履歴・分担率等を分析し、柔飛翔体では垂直衝突と斜め衝突で先端形状の影響が異なることを確認。
 - ✓貫通現象では、施設内への影響評価に重要な板構造貫通後の飛翔体残留速度は、衝突角度が増すほど低減することを確認。一方、衝突時における柔飛翔体先端部の尖頭形状への変形の影響等により、垂直衝突よりも残留速度が大きくなる場合もある。
- ✓建屋内包機器への影響評価に資するため、飛翔体衝突時の鉄筋コンクリート(RC)構造物及び内包機器への影響評価に係る国際ベンチマーク(OECD/NEA IRISプロジェクト)に参画し、試験データを取得。試験結果の再現解析を通じて、建屋内包機器への影響評価手法を整備し、評価手法の妥当性を確認。

成果とその活用

- 地震時原子炉建屋及び機器・配管の耐震安全評価研究に関しては、建屋及び機器・配管を対象とし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を合理的な耐震安全性評価やリスク評価に係る技術知見として活用可能。
- 飛翔体衝突に係る原子炉建屋及び機器の影響評価研究に関しては、貫入・貫通現象における衝突角度や飛翔体先端形状の影響及び建屋内包機器への影響評価手法等の本研究の成果を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。