

飛翔体衝突に係る 原子力施設への影響評価研究

安全研究・防災支援部門

安全研究センター

材料・構造安全研究ディビジョン

西田 明美

本日の発表内容

(1)はじめに

(2)研究内容

①建屋外壁の局部的損傷評価

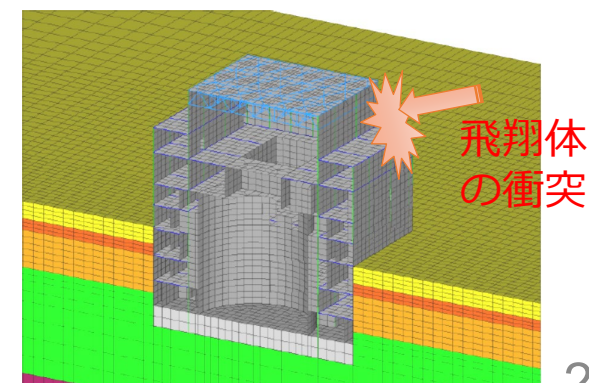
②建屋内包機器への影響評価

(3)まとめ

(1)はじめに

背景

- 新規制基準(2013年施行)では、**竜巻飛来物や航空機等の飛翔体衝突に関する規制**が新設。
- 原子力施設の安全確保のためには、竜巻飛来物や航空機等の飛翔体衝突の外部事象に対する**実力評価**が重要。
- 既往研究は主に**軍事研究**が中心。
 - セキュリティ等の観点から、公開されている飛翔体衝突影響評価に係る**試験データは限定的**。
 - 評価に必要な鉄筋コンクリート壁や床の損傷、破壊等の**解析手法や実力評価手法は未確立**。
- 実力評価により損傷程度が評価できれば、重要施設の安全確保とともに、現実的な防護対策の検討及び**現実的な放射性物質の放出評価**等が可能となる。



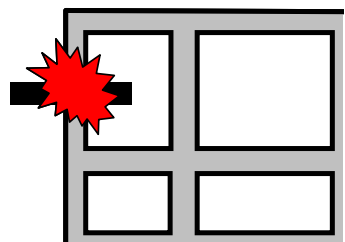
(1)はじめに

研究目的

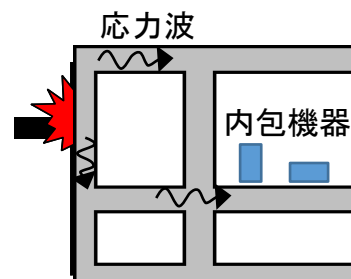
- 飛翔体衝突に起因する原子力施設への影響評価手法の高度化に資するため、**原子力施設の飛翔体衝突時の構造・機能評価に係る解析手法を整備**する。

実施内容

- **建屋外壁の局部的損傷評価**に加え、建屋を伝播した応力波による**建屋内包機器への影響評価**に係る解析手法を整備する。



①建屋外壁の局部的損傷評価



②建屋内包機器への影響評価

成果の活用先

- 飛翔体衝突時における建屋及び建屋内包機器への影響評価に係る**影響評価解析手法の標準化**

(2) 研究内容 ①建屋外壁の局部的損傷評価(1/6)

既往研究の現状

- ◆ 主に軍事研究をベースにした**実験式**
- ◆ 衝突により変形しにくい剛な飛翔体 (**剛飛翔体**) を用いた研究を中心に実施
 - 航空機や竜巻飛来物等の一部は、衝突時に飛翔体自体が変形する
柔らかい飛翔体 (**柔飛翔体**)
- ◆ 既往の実験式は、壁等に対して**垂直に衝突**する実験結果から算出された実験式
 - 立地条件等により、現実的には**斜め方向からの衝突**となる可能性大



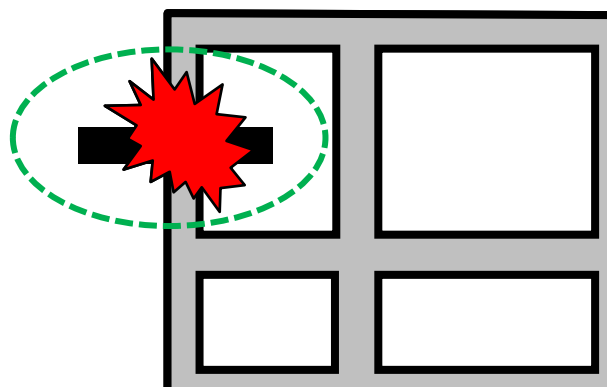
剛飛翔体による垂直衝突や**より現実的な衝突条件 (柔飛翔体、斜め衝突等)**に対応した試験データ等を取得し、影響パラメータの設定を含めた**解析手法の整備及び妥当性確認**を行う

①建屋外壁の局部的損傷評価(2/6)

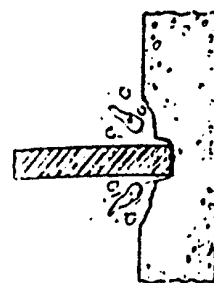
建屋外壁の局部的損傷については、衝突物の壁への「貫入」、壁の「裏面剥離」及び衝突物の「貫通」に着目し、

- ・飛翔体の柔性(剛飛翔体及び柔飛翔体)
- ・衝突角度(垂直及び斜め衝突)

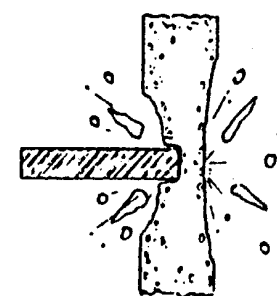
等を考慮した飛翔体衝突試験を実施し、建屋外壁を模擬した鉄筋コンクリート板構造の損傷状況に係る試験データを取得し、影響評価解析手法を整備する。



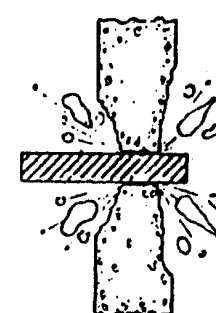
建屋外壁の局部的損傷評価
(貫入、裏面剥離、貫通等)



貫入



裏面剥離



貫通

①建屋外壁の局部的損傷評価(3/6)

衝突時の建屋外壁を模した鉄筋コンクリート構造の局部的損傷に着目
衝突試験結果の例(裏面剥離)

表面



裏面



衝突時の高速度カメラ映像

(板厚:210mm、衝突速度:207m/s、飛翔体の柔性:剛な飛翔体、
衝突角度:垂直(0度)、飛翔体の先端形状:平坦型)

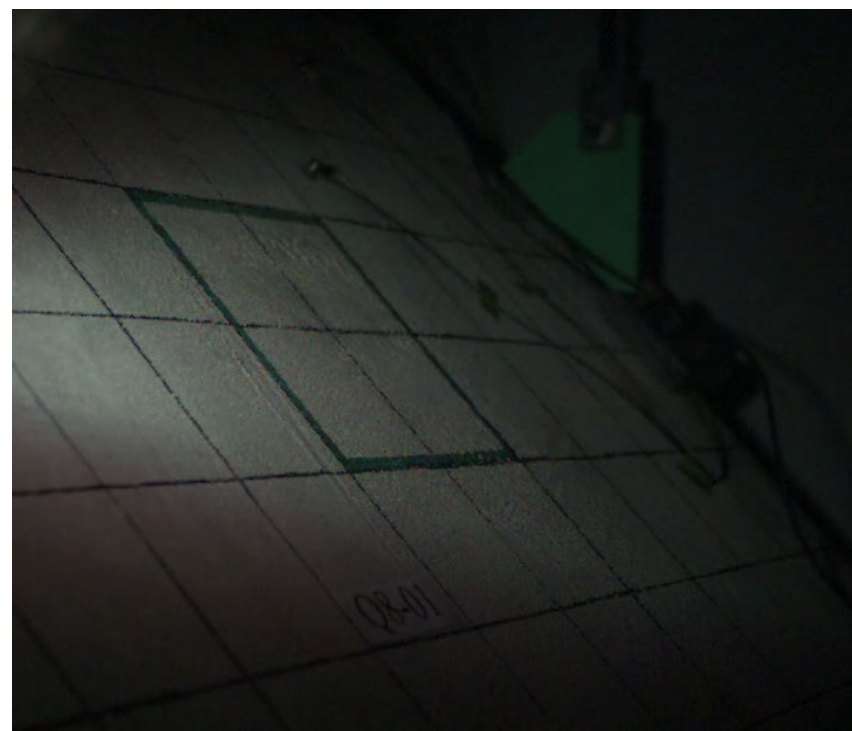
①建屋外壁の局部的損傷評価(4/6)

衝突時の建屋外壁を模した鉄筋コンクリート構造の局部的損傷に着目

衝突試験結果の例(裏面剥離:裏面)

衝突角度:垂直(0度)

衝突角度:斜め(45度)

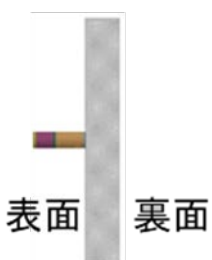
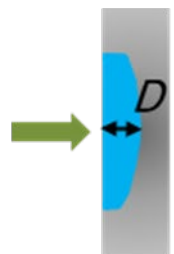
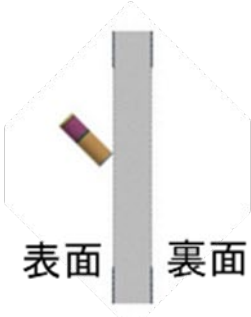
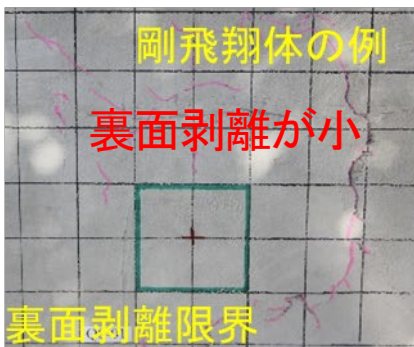
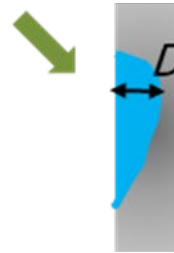


衝突時の高速度カメラ映像(裏面)

(板厚:210mm、衝突速度:207/202m/s、飛翔体の柔性:剛飛翔体、
飛翔体の先端形状:平坦型)

①建屋外壁の局部的損傷評価(5/6)

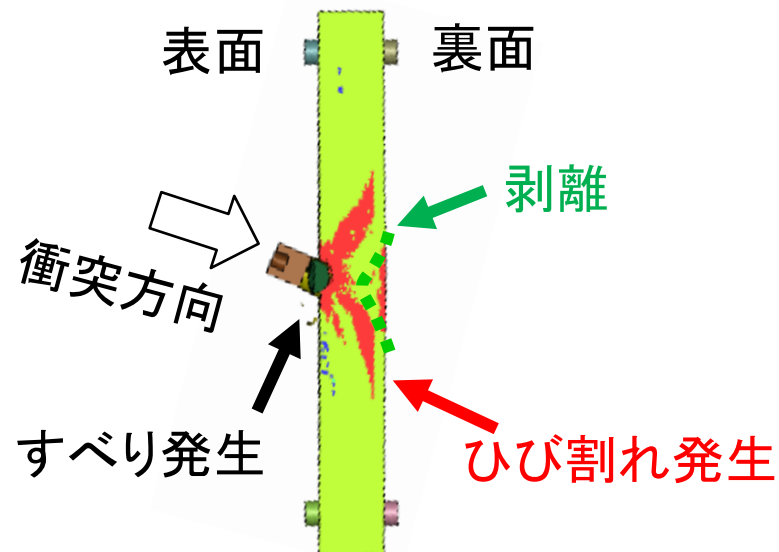
衝突試験結果の例(裏面剥離、貫入)

		局部的損傷の評価対象: 損傷モード							
		裏面: 裏面剥離	表面: 貫入						
衝突条件	垂直衝突 	 損傷大	 <table><tr><th colspan="2">貫入深さD (mm)</th></tr><tr><td>剛飛翔体</td><td>25.0</td></tr><tr><td>柔飛翔体</td><td>5.5</td></tr></table>	貫入深さD (mm)		剛飛翔体	25.0	柔飛翔体	5.5
	貫入深さD (mm)								
剛飛翔体	25.0								
柔飛翔体	5.5								
	斜め衝突 	 損傷小	 貫入深さが大 <table><tr><th colspan="2">貫入深さD (mm)</th></tr><tr><td>剛飛翔体</td><td>37.0</td></tr><tr><td>柔飛翔体</td><td>24.0</td></tr></table>	貫入深さD (mm)		剛飛翔体	37.0	柔飛翔体	24.0
貫入深さD (mm)									
剛飛翔体	37.0								
柔飛翔体	24.0								

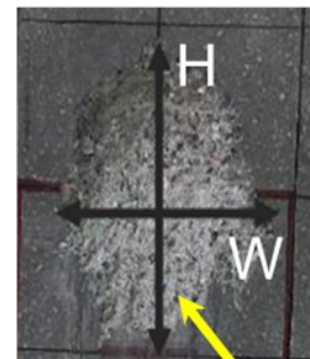
※飛翔体の先端形状: 平坦型

①建屋外壁の局部的損傷評価(6/6)

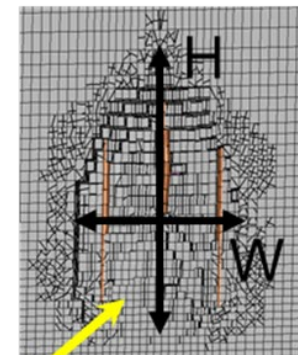
【ねらい】建屋外壁の局部的損傷に係る解析手法の妥当性確認

局部的損傷(裏面剥離)
の解析の例

試験



解析



局部的損傷の範囲は概ね対応(表面)

	測定範囲		寸法(H×W×D)
試験	表面	クレーター	180×150×24
解析	表面	クレーター	160×112×26.6

※Dは
貫入深さ

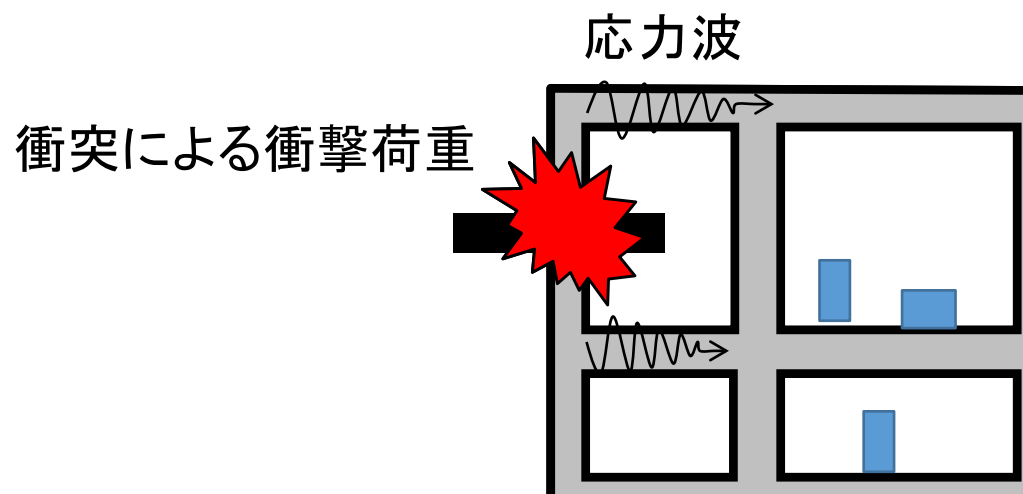
局部的損傷(貫入)の試験と解析の比較

【成果】衝突試験の再現解析を実施し、飛翔体や鉄筋コンクリート構造の非線形材料特性、ひび割れ等の閾値及びすべり条件等に係る適切な設定方法等をもとに、局部的損傷に係る影響評価解析手法を整備

(2) 研究内容 ②建屋内包機器への影響評価(1/5)

評価対象設備の衝撃破損については、**衝撃荷重による振動により必要な機能を喪失しないかどうかを評価**する必要がある。

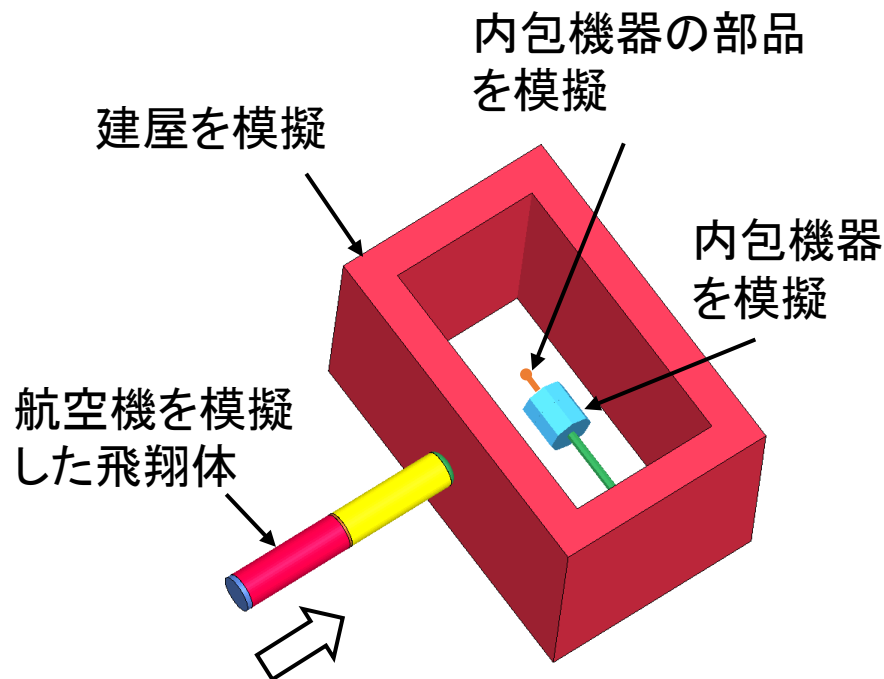
そのため、飛翔体衝突による建屋及び内包機器への影響評価に係る試験データを取得し、建屋の局部的損傷及び建屋内包機器への影響評価に係る手法の整備を行う。



飛翔体衝突による応力波伝播と
内包機器への影響評価

②建屋内包機器への影響評価(2/5)

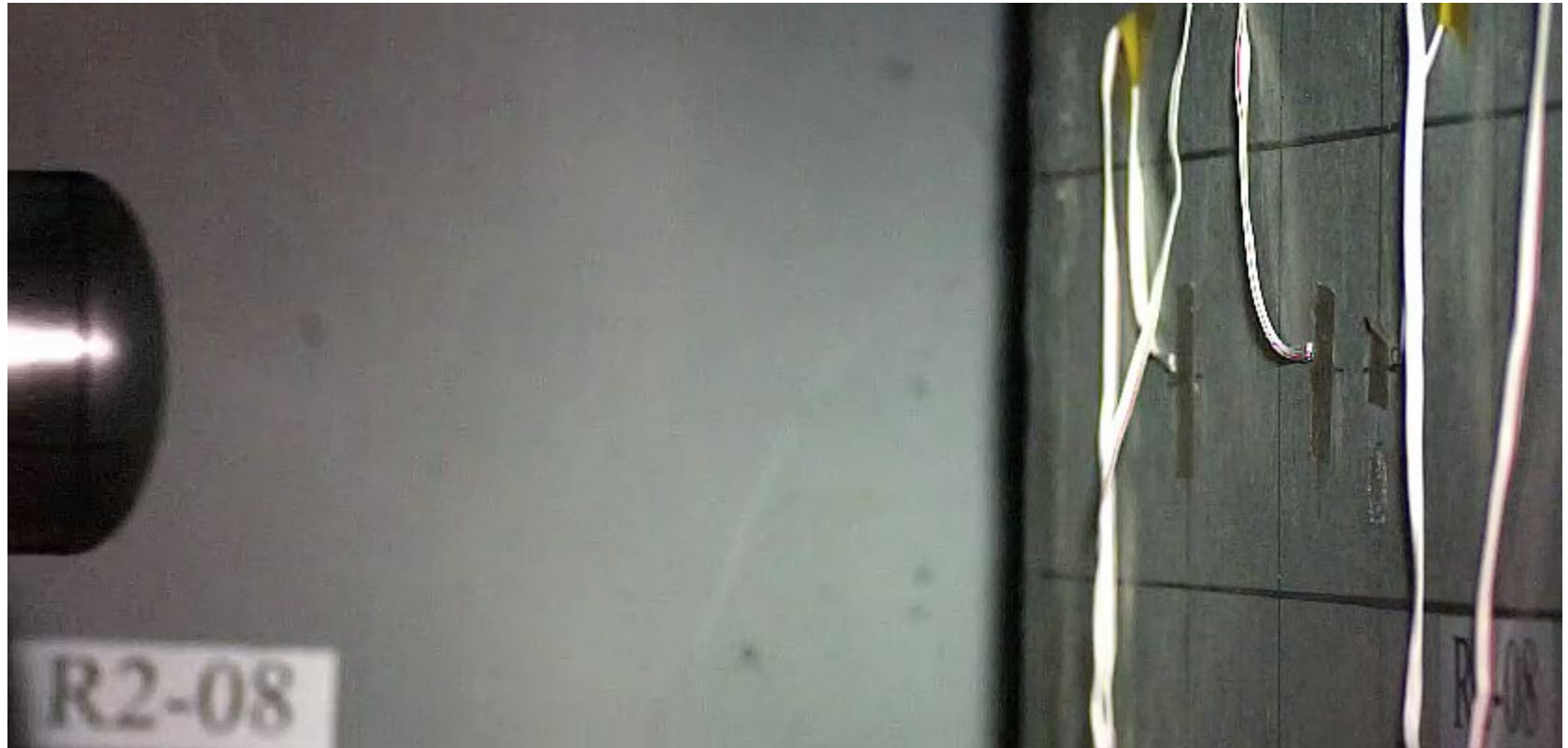
内包機器への影響評価については、建屋外壁、内包機器及び衝突による影響を受けやすい部品を模擬した箱型試験体を用いて衝突試験を実施し、飛翔体衝突時の建屋における応力波伝播や建屋内包機器への影響等に係る試験データを取得し、影響評価解析手法を整備する。



箱型試験体の飛翔体衝突試験の例

②建屋内包機器への影響評価(3/5)

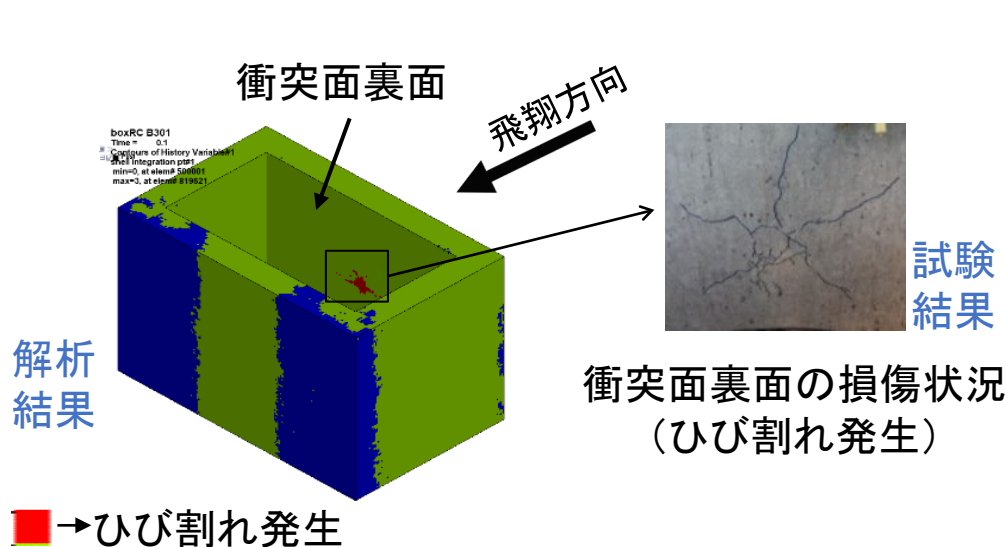
飛翔体衝突試験結果の例



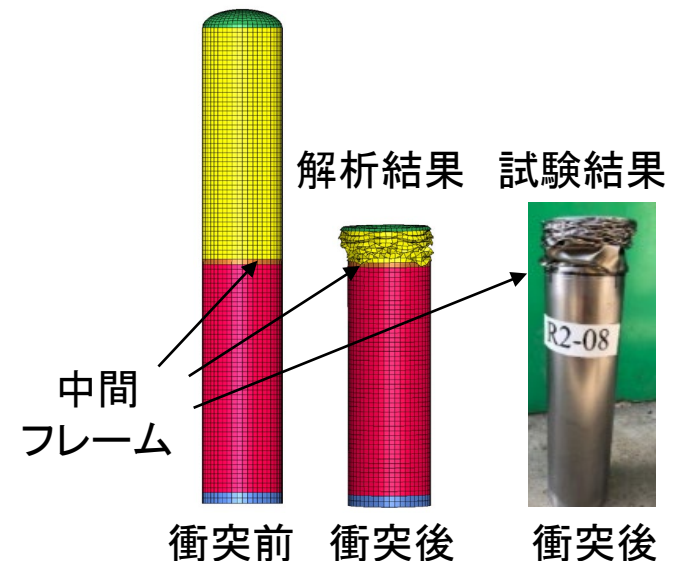
航空機を模擬した飛翔体の第1室が軸圧縮座屈により破損
(衝突速度: 60 m/s)

②建屋内包機器への影響評価(4/5)

【ねらい】内包機器への影響評価に係る解析手法の妥当性確認



(a) 箱型試験体の衝突面裏面の損傷の例



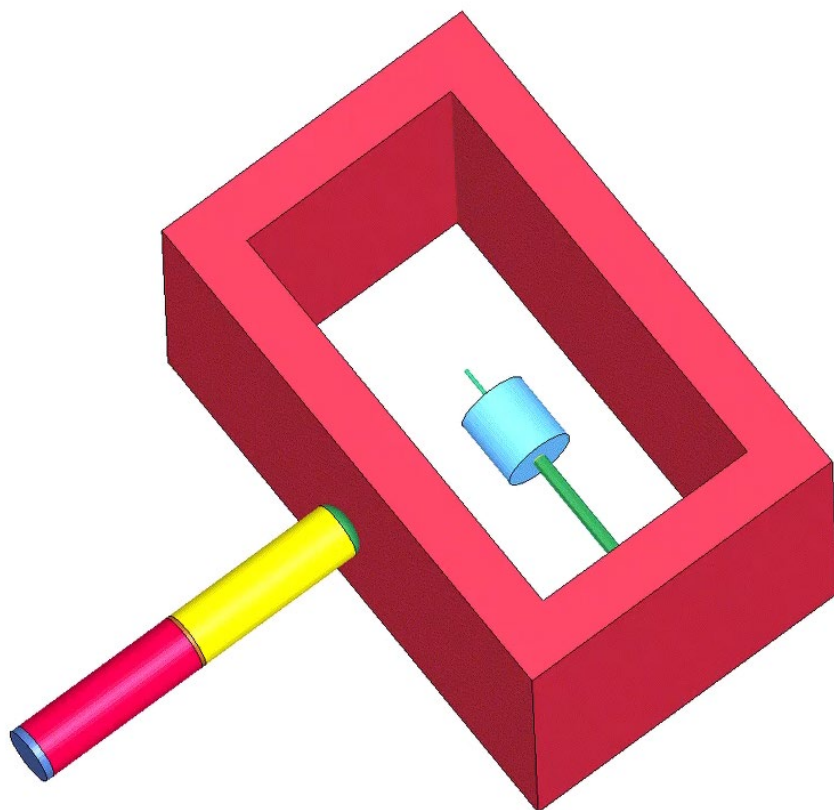
(b) 飛翔体の損傷の例

試験結果と解析結果の比較

【成果】箱型試験体の衝突試験結果の再現解析を実施し、建屋を模擬した鉄筋コンクリート壁内を伝播する応力波や建屋内包機器の衝撃応答に係る解析手法の整備を進めた

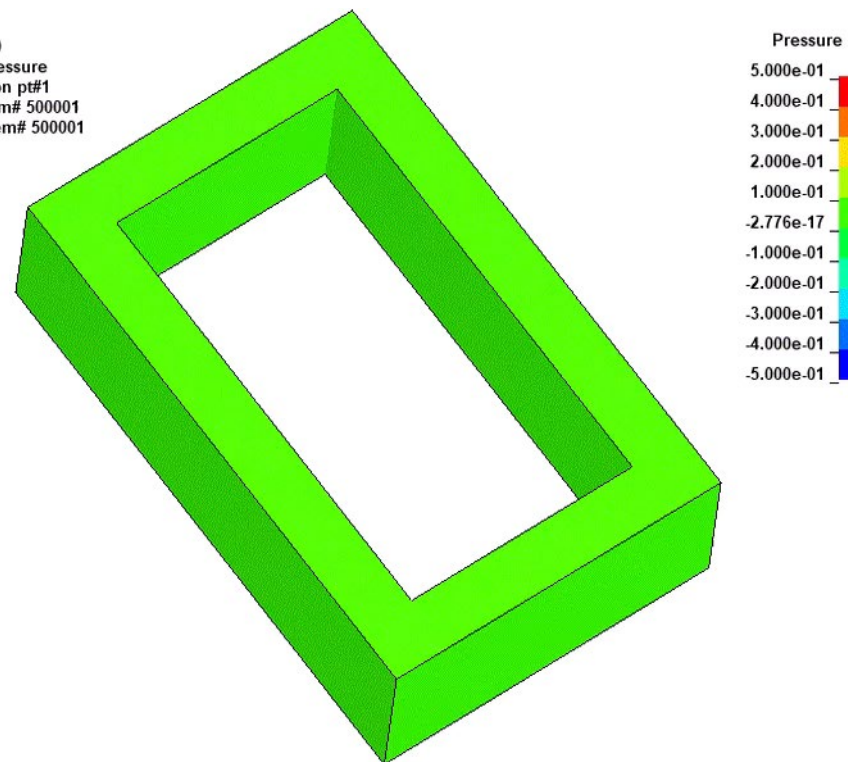
②建屋内包機器への影響評価(5/5)

飛翔体衝突時の解析結果の例



航空機を模擬した飛翔体の
座屈の様子

Time = 0
Contours of Pressure
shell integration pt#1
min=-0, at elem# 500001
max=-0, at elem# 500001



鉄筋コンクリート内を伝播する
応力波の様子

(3)まとめ

原子力施設における**航空機や竜巻飛来物等の飛翔体衝突時の影響評価**に資するため、解析手法を整備することを目的とし、研究を推進。

①建屋外壁の局部的損傷評価

柔飛翔体や斜め衝突等の現実的な衝突条件における衝突試験結果を用いて解析手法の妥当性を確認し、建屋外壁の局部的損傷評価を可能とした。

②建屋内包機器への影響評価

建屋外壁及び内包機器を模擬した箱型試験体の衝突試験を実施し、試験結果を用いて建屋内の応力波伝播及び建屋内包機器の衝撃応答に係る解析手法の妥当性確認に着手した。

今後は、試験的知見を充実するとともに、試験結果を踏まえた影響評価解析手法の高度化を進め、最終的には評価者が利用可能な飛翔体衝突時の影響評価解析手法のガイドラインの整備を目指す。