

鉄筋コンクリート版への柔飛翔体の衝突解析に関する基礎的検討

(株)大林組 正会員 ○高橋 篤史 秋元 理仁
JIP テクノサイエンス(株) 正会員 戸田 圭彦 田中 克弘

1. はじめに

原子力施設などの重要構造物は航空機衝突に対する構造健全性の確保および機能維持が求められており、設計検討のための衝突解析技術の重要性が高まっている。そこで筆者らは設計領域での衝突解析技術の高度化を目指している1), 2), 3)。

過年度には Hansson らの無筋コンクリート版への弾丸衝突実験⁴⁾の再現解析を試み、RHT モデルの降伏曲面にひずみ速度依存効果⁵⁾を取り入れることにより実験結果の破壊性状が再現できることを確認した。ただし、再現解析の対象は厚みのある無筋コンクリートかつ弾丸が十分に剛であるなど、限定的な条件下での検証であった。

そこで、本稿では既往の研究と同様の解析条件を RC 版の衝突実験へ適用した結果を報告する。さらに、飛翔体の吸収エネルギーおよび鋼板コンクリート版と RC 版の構造の違いが破壊性状に及ぼす影響に関して基礎的な考察を実施した。

2. 解析手法の妥当性に関する検討

片岡ら⁶⁾の RC 版への衝突実験を解析対象とした。ターゲットは図-1 に示す 15cm 厚の RC 版であり図-2 に示す総質量 8.4kg の飛翔体を 60m/sec の速度で垂直に衝突させるものとする。

FEM モデルは 1/4 対称モデルとし、コンクリートの構成則には高圧力下での圧密現象を表現可能な P- α 型の Mie-Grüneisen 状態方程式を組み込んだ RHT モデルを採用し、鉄筋および弾丸の鋼管部は弾塑性体とした。既往の研究における検討により、コンクリートの強度定数としてひずみ速度 10(1/s)相当の圧縮強度および引張強度を与えた⁵⁾。表-1 に解析条件の概要を示す。

解析結果を図-3 に示す。実験結果は文献 6)紙面より読み取った。解析結果は実験と同様に裏面剥離型の破壊性状を示し、その裏面破壊領域のサイズは実験と概ね同等であった。また、飛翔体の変位履歴も概ね同様の減速傾向が得られている。著者らの解析条件は本実験に対しても妥当な結果を得ることを確認した。

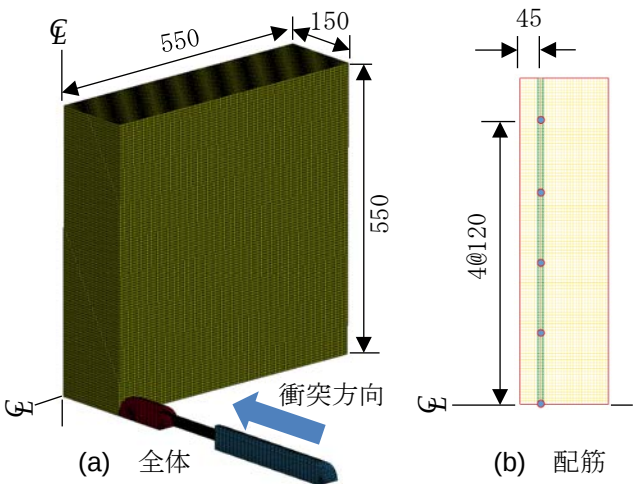


図-1 RC 版の FEM モデル

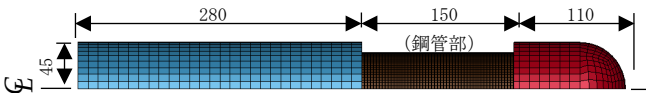
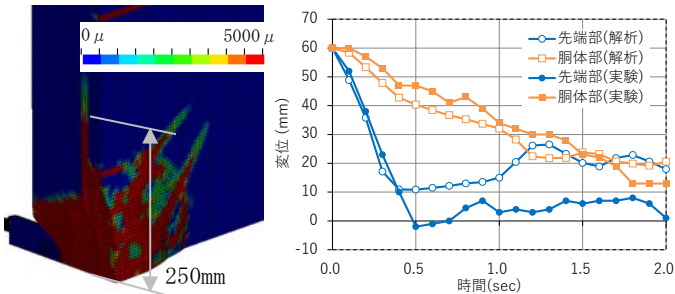


図-2 柔飛翔体の FEM モデル（質量が合うよう調整）

表-1 実験条件⁶⁾

衝突条件	衝突角度 $\theta(^{\circ})$	90
	速度(m/sec)	60
コンクリート版	幅(mm)	550×550
	厚さ t(mm)	150
	圧縮強度(MPa)	30
	弾性係数(GPa)	25
鉄筋	呼び径	D10
	弾性係数(GPa)	216
	降伏応力(MPa)	409
飛翔体	直径(mm)	90
	質量(kg)	8.4
	鋼管部の板厚(mm)	2
実験結果	裏面剥離の半径(mm)	200～250



(a) 裏面の破壊の様子 (最大せん断ひずみ, 0.3 秒時点)
(b) 変位時刻歴

図-3 解析結果

キーワード 柔飛翔体, 衝突解析, RHT モデル, RC 版, 鋼板コンクリート版
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 インターシティ B 棟 (株)大林組 原子力本部 FAX03-5769-1942

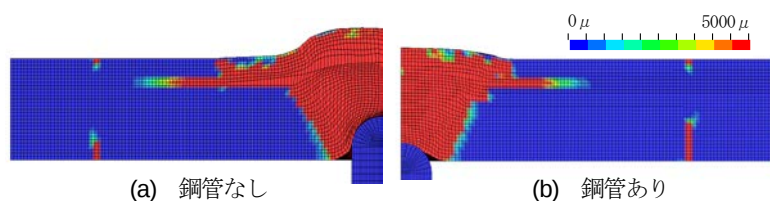


図-4 0.3秒後の最大せん断ひずみ

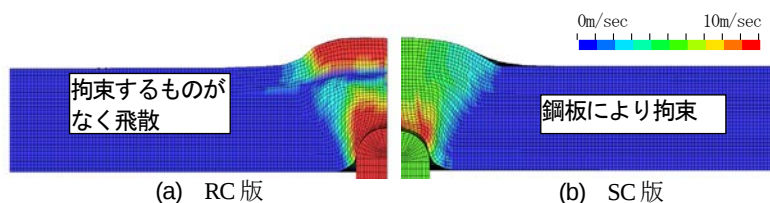


図-7 0.3秒後の節点速度

3. 柔飛翔体の吸収エネルギーに関する検討

柔飛翔体のエネルギー吸収効果が破壊性状に及ぼす影響に関する検討を実施した。柔飛翔体から鋼管部を無くした同質量の剛飛翔体モデルを作成し、同速度による衝突解析を実施した。解析結果を図-4に示す。鋼管部なしのケースでは同時刻におけるRC版の変形はより大きく、より破壊は局所型、押し抜き型に近づいている。

図-5にエネルギー推移を示す。柔飛翔体の解析では鋼管部のエネルギー吸収により、RC版の内部エネルギーが剛飛翔体の解析ケースと比較して半減している。RC版への入力エネルギーの違いが破壊性状の違いに表れているものと考えられる。ただし、一般に柔性の飛翔体の衝突に対しては全体的な曲げ破壊に至ると考えられているが、本実験のように十分に入力運動エネルギーが大きいと、局所的な破壊に至ることを示している。

4. 鋼板コンクリートの飛散抑止効果

航空機の高速度化、重量化などにより、構造物への入力エネルギーは増大する傾向にある。前項の検討で示したように、航空機は薄肉部材で構成されており、一定のエネルギーを塑性変形により吸収するが、入力運動エネルギーが大きい場合には局所的な破壊は免れ得ないことが考えられる。そこで、コンクリート片の飛散抑止効果が期待される鋼板コンクリート版(SC版)に着目し、局所破壊に対する検討を行った。検討は図-6に示すようなSC版モデルを作成し、RC版との破壊性状の比較を実施した。SC版の剛性・曲げ耐力がRC版と同等となるように鋼材量を決定し、その拘束効果の違いのみが結果に現れるようにした。飛翔体は局所破壊が顕著に見られた8.4kgの鋼管なしモデルとし、衝突速度を60m/secとした。

図-7に変形図および速度分布を示す。SC版はRC版と変

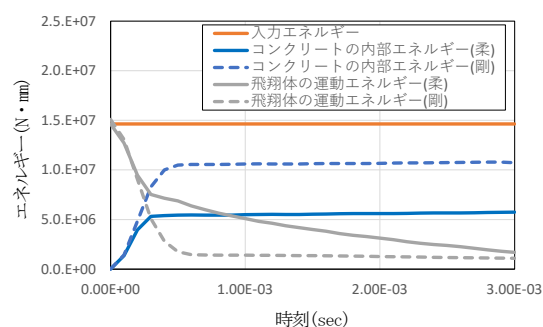


図-5 エネルギー推移

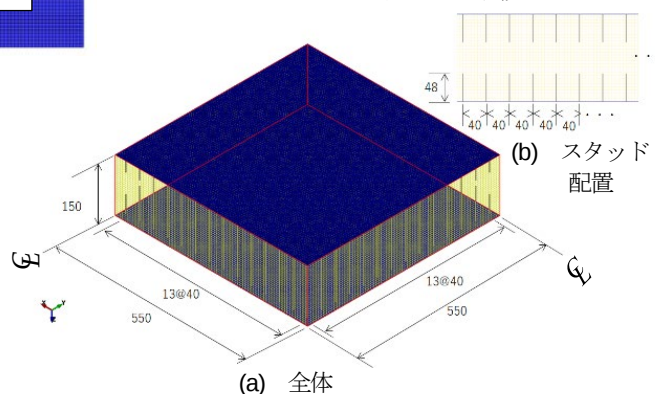


図-6 SC版の諸元(1/4モデル)

形は同程度であるが、鋼板の拘束効果により、破壊領域の低減と裏面側コンクリートの飛散抑止効果が確認できた。

5. まとめ

本稿では過年度の解析法をRC版へ適用し、その妥当性を確認した。また、エネルギー吸収に関する基礎的な考察を実施し、飛翔体の塑性化によるエネルギー吸収によりコンクリート版の破壊が抑制されたことを確認した。また、SC版はRC版に比べて、耐衝撃性能に有利な点があることを確認した。

今後はさらに高速度領域における局所破壊事象の解析法に関する研究を実施する予定である。

参考文献

- 1) 秋元ら：粒子法(SPH法)による土塊衝突荷重評価に関する研究,土木学会第72回年次学術講演会, III-282, 2017.
- 2) 秋元ら：Mohr-Coulomb弾塑性構成則を用いた重錘衝突実験の有限要素解析,土木学会第71回年次学術講演会, III-369, 2018.
- 3) 松本ら：SPH-FEMハイブリッドモデルによる重錘衝突実験の再現解析,土木学会第71回年次学術講演会, III-368, 2018.
- 4) Håkan Hansson: Warhead penetration in concrete protective structures, Licentiate Thesis of KTH RIT, 2011.
- 5) 荒木ら：貫通を伴う無筋コンクリート版の衝突実験の再現解析に関する基礎的検討,土木学会第73回年次学術講演会, I-175, 2020.
- 6) 片岡ら：飛翔体の座屈変形がRC版の局部破壊特性に及ぼす影響に関する考察,土木学会論文集A2, Vol. 74, No. 2, 2018.