第I部門

剛飛翔体の中速度衝突を受けるコンクリート版の衝撃応答の数値解析に関する研究

京都大学工学部 学生員 〇後藤 雅登 京都大学大学院 正会員 古川 愛子 京都大学大学院 正会員 清野 純史 東電設計株式会社 正会員 中瀬 仁

1. 研究の背景と目的

近年,日本における竜巻発生は増加傾向にあり, 竜巻によって巻き上げられた飛来物が構造物に衝 突し,被害を及ぼした事例も報告されている.し かし,剛飛翔体の衝突を受ける構造物の耐衝撃設 計に関する検討は十分になされておらず,特に, 竜巻の飛来物等に想定される中速度の衝突につい ての研究事例は非常に少ない.そこで,東電設計 株式会社は防衛大学校が開発した中速度飛翔体発 射装置(図1)¹⁾を用い,2015年12月にコンクリ ート版と剛飛翔体の中速度衝突実験を行った.し かし,衝突現象に適した数値解析手法は確立され ていない.そこで本研究では,改良版個別要素法 ²⁾を用いて衝突実験の再現解析を行い,手法の適 用性を検証することを目的としている.

2. 改良版個別要素法

個別要素法では,構造物を剛体要素の集合体と モデル化し,接触要素間にばねとダッシュポット を配置し相互作用を表現する.改良版個別要素法 では,要素表面をセグメントに分割し各セグメン トにばね等を設置(図 2)することで,理論的に ばね定数を決定することが可能になった²⁾.

3. 衝突実験の再現解析

3.1 解析モデル

図3に供試体,図4に解析モデルを示す. コン クリート版は高さ 122.5cm,幅 122.5cm,奥行き 20cm,飛翔体は高さ9cm,幅9cm,奥行き43cm である.また実験の際,コンクリート版の外周を ボルトでフレームに固定していることから,解析 モデルの青色部分はこの固定条件を再現するもの である.要素サイズは高さ3.0625cm,幅3.0625cm, 奥行き2.5cmとした.

3.2 解析定数

解析に用いる材料特性は供試体の要素試験に基

づき設定した. 飛翔体は, 質量 8.3kg, ヤング率 2.05×10¹¹[N/m²], ポアソン比 0.3 とし, コンクリー ト版は, 密度 2.3×10³[kg/m³], ヤング率 2.793×10¹⁰[N/m²], ポアソン比 0.2 とし, 圧縮強度 は 4.5×10⁷[N/m²], 圧縮破壊後の圧縮応力の上限値 を 3.4×10⁷[N/m²], 引張強度を 4.5×10⁶[N/m²]とした.



図1 中速度飛翔体発射装置¹⁾



図2 要素表面のばね設置の様子とばね設置点



Masato GOTO, Aiko FURUKAWA, Junji KIYONO and Hitoshi NAKASE

goto.masato.66a@st.kyoto-u.ac.jp

3.3 応力-ひずみ曲線のモデル化

従来の応力-ひずみ関係のモデル(図 5 (左)) では、圧縮破壊によるエネルギー消散が考慮され ておらず、コンクリート版は過大な破壊の挙動を 示した.そこで、圧縮破壊によるエネルギー発散 が生じるように応力-ひずみ曲線のモデルを図 5 (右)のように改良した.圧縮破壊後の軟化を表 現するため、圧縮強度は 4.5×10⁷[N/m²]とし、圧 縮破壊後の圧縮応力の上限値を 3.4×10⁷[N/m²]と 設定した.また改良モデルでは、コンクリートに 特有な引張軟化の影響も考慮するよう改善を加

えた. 3.4 解析結果

本研究では,表1に示す5ケースについて数値 解析を行った.解析結果は5ケースすべてについ て,実験と同様の破壊モードを示し,飛翔体の貫 入量も全体として近い傾向を示した.図6に,代 表例としてケースbについて,衝突発生後の飛翔 体の変位時刻歴の実験値との比較を示すが,良好 な一致を示している.また,実験,解析で観測さ れた3種の破壊モードをそれぞれ図7,8に示す が,破壊モードを良好に再現することができた.

4. 結論

本研究では、衝突現象について改良版個別要素 法を用いた数値解析が、実験結果を良好な精度で 再現できることを確認した.しかし、今回用いた 応力-ひずみ曲線モデルでは、コンクリートの圧 縮軟化を適切に評価できていない等のいくつか の課題を残し、今後、さらなる検討が必要である.

参考文献

1) 別府万寿博ほか,防衛大学校理工学研究報告
第52冊,第2号,pp.21-30,2015.

2) A. Furukawa et.al., Journal of Disaster Research, Vol.6, No.1, pp.51-69, 2011.

表1 解析ゲース			
ケース	壁厚[cm]	速度[m/s]	破壊モード
а	10	69.7	貫通
b	20	56.7	表面破壊
c	20	64.7	表面破壊
d	20	76.9	裏面剥離
e	30	69.7	表面破壊



(b)ケースb 表面破壊



(c)ケース d 裏面剥離図 8 解析で観測された破壊の様子(左:表面,中:裏面,右:側面)