

剛飛翔体の中速度衝突を受けるコンクリート板の衝撃応答に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○片岡 新之介 上野 裕稔 正会員 別府 万寿博

1. 緒言

近年、気候変動の影響を受けて竜巻が多発する傾向にあり、人命および建物への被害が多く発生している。既往の研究によると、国内において竜巻に巻き上げられて落下する飛散物（以下、竜巻飛散物と呼ぶ）の衝突速度は、最大で約 60m/s と推測されている。しかし、この中速度領域に対するコンクリート部材の破壊や耐衝撃設計法に関する研究は非常に少ない現状にある。本研究は、中速度衝突に対するコンクリート板の衝撃応答に関して基礎的な実験を行ったものである。

2. 衝撃実験の概要

図-1 に示す高圧空気式飛翔体発射装置を用いて、写真-1 に示す鋼製剛飛翔体（質量 8.3kg、先端形状は半球）をコンクリート板に衝突させた。飛翔体の衝突速度は 33m/s とした。試験体の寸法は、縦 118cm×横 118cm、板厚は 18cm である。試験体の圧縮強度は、29.4N/mm² である。

衝撃荷重の計測においては、ロードセルや加速度計による計測ではケーブルの断線などが考えられる。そこで、高速ビデオカメラを用いて飛翔体の衝突前後の変位時刻歴を記録し、その変位データを 2 回微分して求めた加速度に質量を乗じて荷重に換算した。支点反力については、図-2 に示すように衝撃用ロードセルを 6 個設置して計測した。また、図-3 に示すように、アクリル棒にひずみゲージを貼付したひずみ計測装置²⁾ をコンクリート打設時に埋設し、コンクリート板内部のひずみを測定した。

3. 衝撃荷重及び支点反力

図-4 は高速ビデオカメラにより計測した、飛翔体の変位、速度および加速度から換算した衝撃荷重の時刻歴応答を示す。図-4 (a) から、飛翔体は衝突後約 0.75ms で最大変位 13.5mm を示している。図-4 (b) から、飛翔体は速度約 33m/s でコンクリート板へ衝突し、時刻約 0.75ms で跳ね返り、速度約 2.5m/s へ変化したことがわかる。すなわち、反発係数は e=0.07 程度であり、非常に大きなエネルギーが局部的に吸収されていることがわかる。図-4 (c) は、衝撃荷重～時

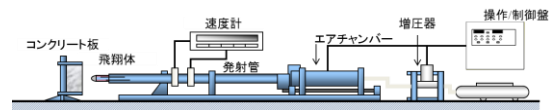
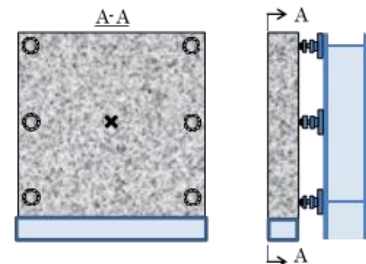


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置の概要



写真-1 剛飛翔体の概要



● ○ 飛翔体衝突位置
* ロードセル設置位置

図-2 ロードセル設置位置

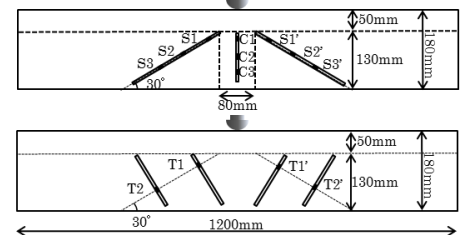
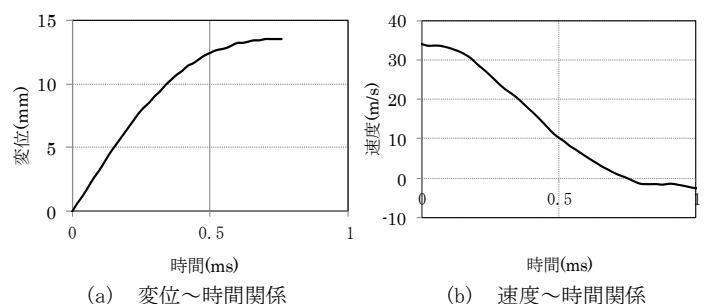
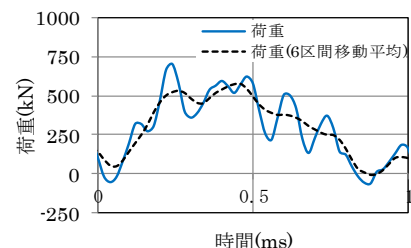


図-3 ひずみゲージ設置位置



(a) 変位～時間関係 (b) 速度～時間関係



(c) 荷重～時間関係

図-4 高速ビデオカメラによる計測データ

キーワード：剛飛翔体、中速度、コンクリート板、衝撃荷重、ひずみ応答

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel：046-841-3810

間関係であり、時刻 1.4ms で最大荷重約 550kN を示している。図-5 は支点反力の時刻歴であり、時刻約 2.2ms で最大荷重 200kN を示している。

図-4 (c) に示した衝撃荷重と比較すると、支点反力の最大値は最大衝撃荷重の半分以下であり、また主たる支点反力の継続時間は約 3~4ms と衝撃荷重の3倍以上となっている。これは、衝突速度が 10m/s 以下の低速度衝突の場合と同様の³⁾特徴であることから、中速度衝突を受けるコンクリート板に作用する荷重や支点反力は低速度衝突時と類似していることがわかる。

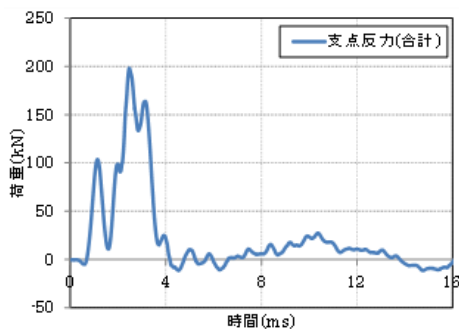


図-5 支点反力～時間関係

4. コンクリート板内部のひずみ応答

図-6 に、飛翔体の衝突方向に設置したひずみゲージ C シリーズのひずみ～時間関係を示す。表面に近い C1 に 5000 μ を超える大きな圧縮ひずみが発生している。これは衝突による応力波に起因するものと考えられ、C2 においても C1 の 1/3 程度の圧縮ひずみが生じている。一方、C3 においては引張ひずみが発生した。これは、表面から入射された圧縮の応力波が裏面で自由端反射し、入射波と反射波の重複波によるものであると考えられる。図-7 に、衝突位置から 30° 斜め方向に設置した S シリーズのひずみ～時間関係を示す。衝突によって入射された応力波の影響で時刻 1ms までに高周波成分とともに最大 500~1000 μ 程度の圧縮ひずみが記録されている。図-8 に、衝突位置から 30° 斜め方向に対して垂直になるように設置した T シリーズのひずみ～時間関係を示す。図から、T シリーズも応力波の影響が卓越している時刻 1ms の間に大きな引張ひずみが生じていることがわかる。それ以降は支点反力の影響によるものと考えられる引張ひずみが生じている。以上から、中速度衝突を受けるコンクリート板内部には、高速度衝突時と同様に、衝突面から斜め方向に圧縮および引張のひずみが生じていることがわかった。

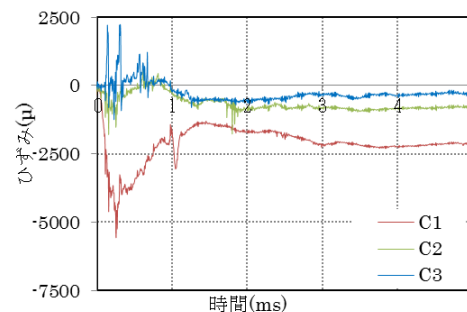


図-6 C シリーズのひずみ～時間関係

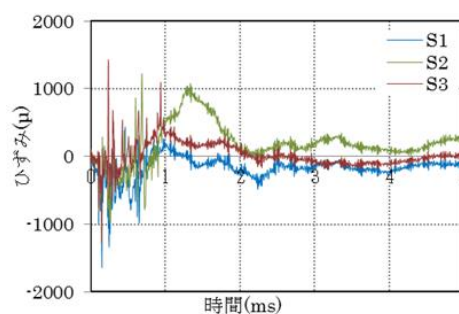


図-7 S シリーズのひずみ～時間関係

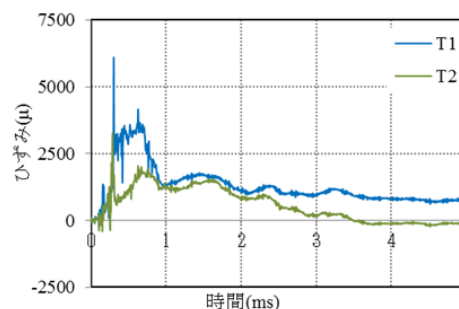


図-8 T シリーズのひずみ～時間関係

5. 結言

本研究は、剛飛翔体の中速度衝突を受けるコンクリート板の衝撃応答について衝突実験を行ったものである。中速度衝突における衝突荷重と支点反力の関係は、低速度衝突時と類似していることがわかった。また中速度衝突を受けるコンクリート板内部には、高速衝突時と同様に、衝突面から斜め方向に圧縮および引張のひずみが生じていることがわかった。

参考文献

- 1) 東京工芸大学：竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究，平成 21-22 年原子力安全基盤調査研究報告書，2011
- 2) 三輪幸治：剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の裏面剥離の発生メカニズムと耐衝撃補強に関する研究，防衛大学校理工学研究科後期（博士）課程論文，2010.3
- 3) 岸徳光，三上浩，栗原祐介：支持条件の異なる RC 版の静的および衝撃荷重実験，構造工学論文集， Vol15 5A, pp.1327-1338,2009