

衝突を受ける RC 構造物および内部機器設備モデルの振動特性に関する実験的研究

大成建設株式会社 正会員 ○上村 勇太, 笠置 昌寿, 武者 浩透, 宇賀田 健
防衛大学校 正会員 別府 万寿博

1. 目的

原子力施設をはじめとする重要インフラ構造物においては、火山噴火や竜巻などの自然災害、テロ行為などによる衝撃的な荷重に対する設計が求められる場合がある。衝撃荷重に対する RC 構造物の防護を目的として、局部破壊を防ぐための壁厚の評価や補強方法に関する研究が多く行われている^{1), 2)}。一方で、重要インフラ構造物には機能を維持するための機器設備が建屋内部に設置されており、衝突により励起される高振動数の振動が機器設備に影響を及ぼす可能性がある。そのため、RC 構造物および機器設備の高振動数領域における振動特性を把握する必要がある。

本研究では、内部に機器設備モデル（機器模擬体）を有する RC 箱型試験体を製作し、柔飛翔体による衝突実験により高振動数領域における RC 箱型試験体および機器模擬体の振動特性を分析する。

2. 中速度衝突の実験概要

図-1 は、衝突実験で用いた発射装置の概要と試験体の設置状況を示したものである。試験装置はコンプレッサー、エアチャンバー、発射管及び速度計測センサーで構成されている。飛翔体の速度は、圧縮空気の圧力を変化させることで調節可能であり、発射管に設置したレーザー式速度検出センサーによって発射速度を計測している。RC 箱型試験体は飛翔体が側壁中心位置に衝突するように鋼製架台で高さを調節し、架台上に設置した。RC 箱型試験体の衝突面、背面、上面、下面にそれぞれ厚

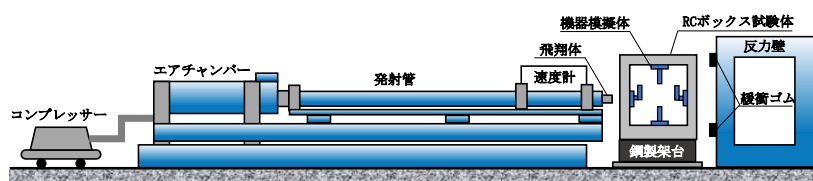


図-1 発射装置と試験体設置位置図

さ 9~16mm, SS400 の鋼板で製作した機器模擬体を設置した。表-1 に試験実施ケースを示す。試験体の外形は、(幅×高さ×奥行き)1150mm×1150mm×900mm とし、衝突面壁厚を 120mm(No.1)と 160mm(No.2)の 2 種類を製作した。試験体 No.1 では、試験体の損傷による影響を確認するため、柔飛翔体発射回数を 3 回とした。図-2 に柔飛翔体の

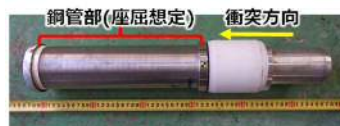


図-2 柔飛翔体写真

写真を示す。柔飛翔体は、衝突時に鋼管部が座屈することで柔衝突となるように設計したものである。鋼管部の衝突面直径は 90.5mm, 長さは 302mm, 総重量は 5.7kg とした。図-3 に RC 箱型試験体および機器模擬体における加速度計測位置を示す。試験体の衝突面中央部には裏面剥離の恐れがあるため加速度計は設置せず、端部のみに設置した。背面は中央部と端部、上面・下面は中央部にそれぞれ設置し、衝突加速度を計測した。本論文では、試験体背面の ACC9(機器模擬体表面), ACC13(コンクリート表面)における加速度計測データに対して分析を行う。

表-1 試験実施ケース

No.	壁厚衝突面 [mm]	壁厚背面 [mm]	衝突速度 [m/s]	飛翔体	衝突回数 [回]
1	120	80	80	柔	3
2	160	80	80	柔	1

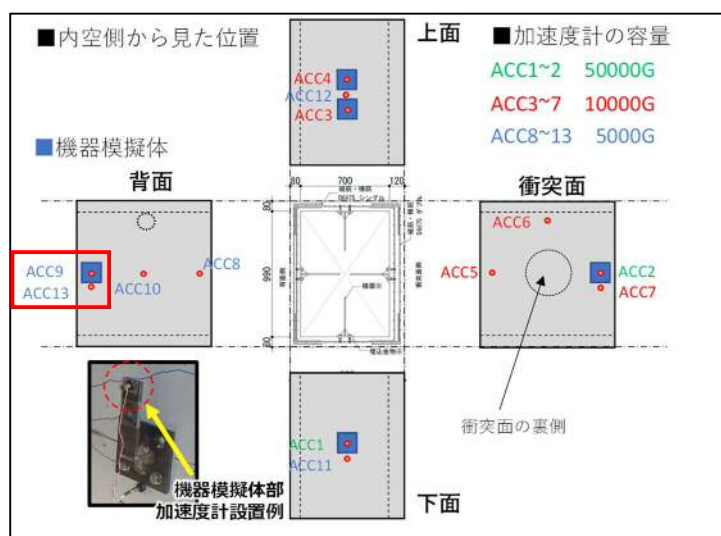


図-3 加速度計容量と設置位置図

キーワード 柔飛翔体, 衝突実験, 高周波数振動, 固有振動数

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター
社会基盤技術研究部 TEL080-8855-0387

3. 実験結果

表-2 に柔飛翔体の衝突実験時における圧縮空気の圧力と実測速度、鋼管座屈長を示す。実測速度は $80\text{m/s} \pm 2\text{m/s}$ 程度であり、試験体 No.1 と No.2 における衝突回数 1 回目の鋼管座屈長は近い値となった。一方、試験体 No.1 は衝突回数が多くなるにつれて、鋼管の座屈長が短くなった。これは、試験体の損傷により剛性が小さくなったためと考えられる。

図-4 に試験体 No.1 の背面における ACC9（機器模擬体）、13（コンクリート）の時刻歴加速度波形とフーリエスペクトルを示す。時刻歴波形は、ACC9 および 13 ともに衝突回数が多くなると周期が長くなり、加速度の減衰が大きい傾向が見られる。また、フーリエスペクトルから、ACC13 における一次モードの固有振動数は、衝突回数が多くなるにつれて小さい方へ推移することが確認できる。さらに、ACC9 では箱型試験体の一次モードの固有振動(65-110Hz)が伝達されるとともに、機器模擬体の固有振動(310Hz)が確認される。

図-5 に試験体 No.1(黒字)および 2(赤字)の時刻歴加速度波形とフーリエスペクトルの比較を示す。時刻歴波形によると、ACC13 は衝突面壁厚が大きい試験体 No.2 の方が No.1 に比べて周期が短い。この差異は、ACC9 のフーリエスペクトルにおけるコンクリート部から伝達した応答にも同様に表れている。一方、機器模擬体の固有振動は概ね同様の周期であるが、試験体 No.1 より No.2 の加速度が 2 倍となっている。これは、フーリエスペクトルの ACC13 に示される 2 次モードの固有振動(290Hz)と共振が起こったためであると考えられる。

4. まとめ

機器設備モデルを内部に有する RC 構造物を模擬した RC 箱型試験体を製作し、柔飛翔体による衝突実験により高振動数領域における RC 箱型試験体と機器設備モデルの振動特性を分析した。衝突回数に着目すると、衝突回数が多くなるほど柔飛翔体の座屈長は小さく、試験体の固有振動数も小さくなることから、試験体の損傷進行による剛性低下の影響が確認できた。また、衝突面の部材厚に着目すると、増厚することで剛性が大きくなるが、同時に固有振動数も変化し、機器模擬体の 1 次モードの固有振動とコンクリート部の 2 次モードの固有振動による共振が確認された。

【参考文献】

1)上野裕稔, 別府万寿博, 市野宏嘉, 武者浩透, 岡本修一: 柔飛翔体の高速衝突を受ける超高強度繊維補強コンクリートパネルの局部破壊に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.63A, 2017.3.
2)島崎利孝, 武者浩透, 片岡新之介, 別府万寿博: ポリウレア樹脂吹付による RC 版の耐衝撃性向上効果に関する研究, 防衛施設学会, 2020.2.

表-2 柔飛翔体衝突実験結果

No.	衝突回数 [回]	鋼管厚 [mm]	飛翔体重量 [kg]	昇圧圧力 [Mpa]	実測速度 [m/s]	衝突 エネルギー[J]	鋼管座屈長 [mm]
1	1	1.75	5.7	2.0	80.7	18568.0	140
	2			2.0	79.6	18057.1	134
	3			2.0	81.3	18837.6	126
2	1			2.0	81.9	19116.7	141

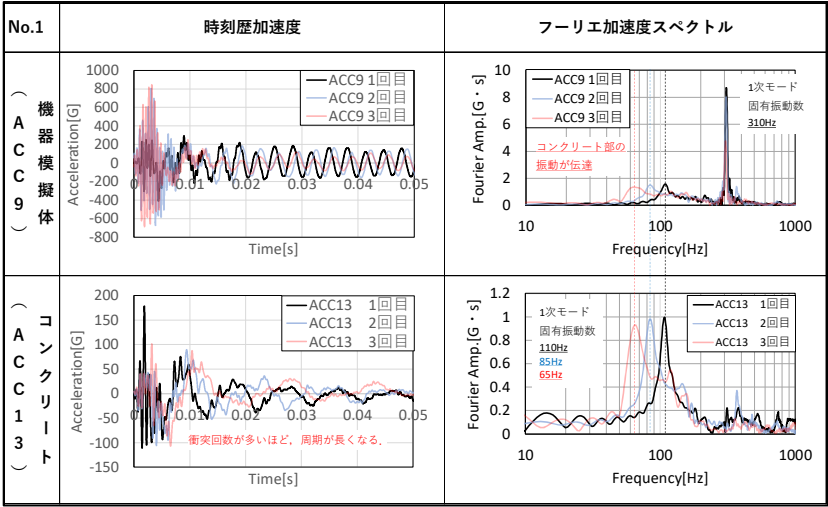


図-4 試験体 No. 1 背面 ACC9, 13 の時刻歴波形とフーリエスペクトル

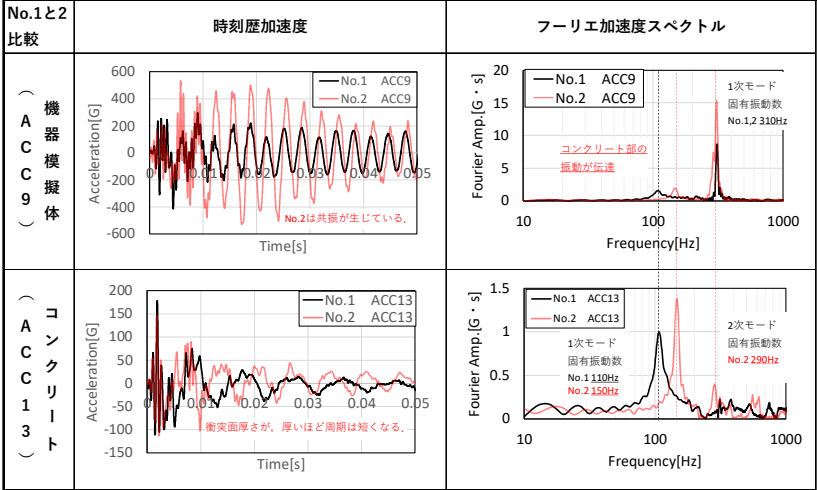


図-5 試験体 No. 1, 2 背面 ACC9, 13 における
時刻歴波形とフーリエスペクトルの比較