

剛・柔飛翔体の中速度衝突を受ける UFC パネルの衝撃応答に関する実験的検討

防衛大学校 学生会員 ○片岡 新之介 正会員 別府 万寿博
大成建設株式会社 正会員 川口 哲生, 吉本 宏和, 武者 浩透, 岡本 修一

1. 緒言

近年, 国内において気候変動による竜巻の発生が増加するとともに, 地殻変動による火山活動などが活発化している. また, 竜巻飛散物や噴石などの飛来物衝突による構造物の被害が報告されており, これらの衝突荷重に対する防護設計法を検討する必要がある. しかし, これらの中速度 (10m/s~100m/s 程度) の衝突に対するコンクリート構造物の設計法や補強方法に関する検討はほとんど行われていない. 本研究は, 構造物の補強材料として超高強度繊維補強コンクリート (通称 UFC) に着目し, 剛・柔飛翔体の中速度衝突を受ける UFC パネルの衝撃応答について実験的検討を行ったものである.

2. 中速度衝突実験の概要

図-1 に, 高圧空気式飛翔体発射装置を示す. この装置は空気圧を調節することにより, 8.3kg の飛翔体を 15m/s ~75m/s の衝突速度で発射することができる. 写真-1 に, 実験で使用した飛翔体を示す. 剛飛翔体の先端形状は半球型で, 質量は 8.43kg である. 柔飛翔体の先端形状も半球型で, 質量は 8.35kg である. 柔飛翔体は先端部と胴体部の間に長さ 150mm, 厚さ 2.0mm の鋼管を配置し, 衝突によって鋼管に座屈変形が生じるように設計した. なお, 鋼管の材質は STKM11A (JIS G 3445) である. いずれの飛翔体も, 速度 33m/s~60m/s で UFC パネルに衝突させた. UFC パネル試験体の寸法は縦 1150mm, 横 1150mm, 厚さ 90mm である. 試験体の配合は, 土木学会の超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針 (案)¹⁾を参考に, 標準配合粉体を使用し, 鋼繊維 (引張強度 2,800N/mm², 繊維径 0.2mm, 繊維長 15mm) を, 2.0vol%混入している. 表-1 に UFC パネルの配合表を示す. 平均圧縮強度および引張強度はそれぞれ 217N/mm², 13.5N/mm²であった. 図-2 に試験体の設置状況を示す. 支持条件については, 過去に行われた UFC パネルの低速衝突実験²⁾と整合させるため, 試験体が二辺支持となるように試験体を裏面支持具と鋼板で挟んで設置した. 実験ケースは, 剛飛翔体と柔飛翔体を用いてそれぞれ 4 ケース行った.

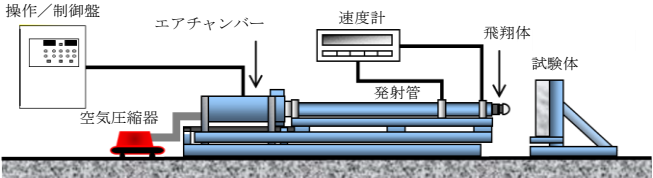


図-1 高圧式飛翔体発射装置

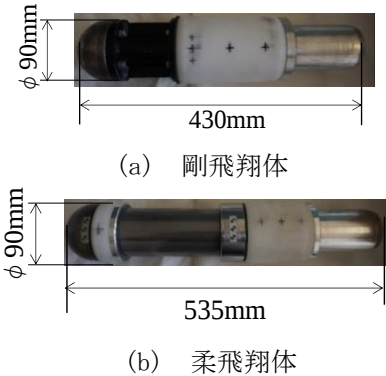


写真-1 飛翔体の概要

表-1 UFC パネルの示方配合

単位量 (kg/m ³)				
標準配合粉体	細骨材	鋼繊維	水	高性能減水剤
1322	932	157 (2.0vol%)	152	28

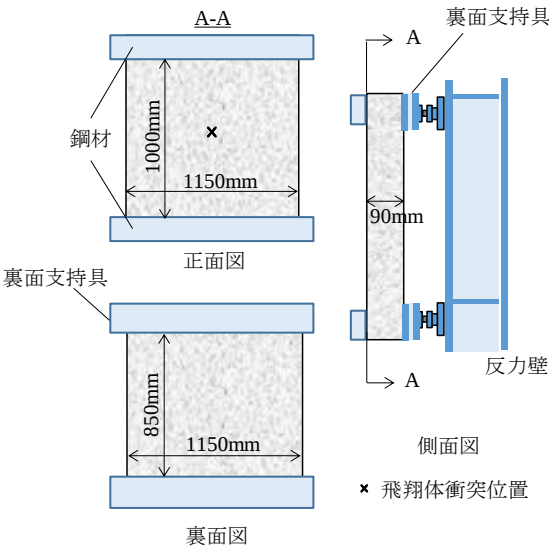


図-2 試験体設置状況

キーワード 中速度衝突, 剛・柔飛翔体, 超高強度繊維補強コンクリートパネル

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 T E L 046-841-3810

3. 実験結果および考察

写真-2に、実験結果および試験体の破壊性状を示す。破壊モードの判定については、表面だけが損傷した場合を表面破壊、裏面が剥落したものを裏面剥離、貫通孔が生じたものを裏面剥離（貫通限界）と判定した。なお、本実験では全てのケースで飛翔体は裏側に通り抜けていなかった。剛飛翔体のケースでは速度 33.8m/s で表面破壊、速度 35.8m/s で裏面剥離が生じ、速度 55.2m/s 以上で裏面剥離（貫通限界）の破壊モードとなった。ケース 1-3 およびケース 1-4 では貫通孔が生じ、衝突速度が大きいケース 1-4（貫通孔直径 53.7mm）はケース 1-3（貫通孔直径 30.5mm）よりも貫通孔が大きくなった。柔飛翔体のケースにおいては、速度 58.1m/s で表面破壊、速度 58.9m/s で裏面剥離、速度 59.6m/s で裏面剥離（貫通限界）となった。図-3は各飛翔体による破壊モードと衝突速度の関係を示しており、剛飛翔体のケースでは速度 35.8m/s で裏面剥離が生じているが、柔飛翔体のケースでは衝突速度 58.1m/s に達しても表面破壊であった。この理由は写真-3に示すように、柔飛翔体の衝突時には飛翔体が座屈変形することで衝突エネルギーが吸収され、破壊が低減したためと考えられる。なお、図-3に示すように、柔飛翔体による速度 58m/s 以上の衝突では、剛飛翔体の衝突と同じ裏面剥離（貫通限界）を示す傾向が認められる。写真-3に示す鋼管の座屈長を比較すると、座屈長 82.3mm のケース 2-2 は表面破壊であるが、座屈長 91.5mm のケース 2-3 は裏面剥離となった。また、表面破壊となったケース 2-2 から衝突速度が 0.8m/s～1.5m/s 増加すると、ケース 2-3 および 2-4 に示すように裏面剥離以上の破壊モードに進展している。

以上のことから、柔飛翔体の中速度衝突を受ける UFC パネルは、剛飛翔体と比較して飛翔体の変形により破壊が抑制されるが、衝突速度が速くなると剛飛翔体とほぼ同様の破壊モードを示す傾向があることがわかった。

4. 結言

本研究の成果を以下に要約する。

- (1) 剛飛翔体の衝突を受ける版厚 90mm の UFC パネルは衝突速度 34m/s 付近で裏面剥離、速度 55m/s 付近で裏面剥離（貫通限界）の破壊モードを示すことがわかった。
- (2) 柔飛翔体の衝突を受ける版厚 90mm の UFC パネルは、飛翔体の座屈変形によりエネルギーが吸収され、剛飛翔体のケースよりも破壊が抑制された。ただし、衝突速度が速くなると抑制効果は限定的であることがわかった。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー第 113 号 超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針（案），2004
- 2) 武者 浩透，別府 万寿博，岡本 修一：重錐落下実験による UFC パネルの耐衝撃性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.35, No2, pp1273-1278, 2013

剛飛翔体				
項目	ケース1-1	ケース1-2	ケース1-3	ケース1-4
	33.8m/s : 表面破壊	35.8m/s : 裏面剥離	55.2m/s : 貫通限界 (貫通限界)	64.9m/s : 裏面剥離 (貫通限界)
表面				
裏面				
柔飛翔体				
項目	ケース2-1	ケース2-2	ケース2-3	ケース2-4
	47.7m/s : 表面破壊	58.1m/s : 表面破壊	58.9m/s : 裏面剥離	59.6m/s : 裏面剥離 (貫通限界)
表面				
裏面				

写真-2 試験体損傷状況

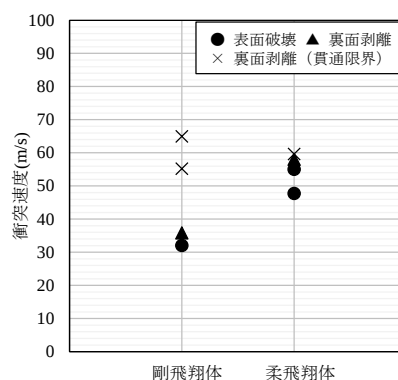


図-3 飛翔体種類による破壊と衝突速度の関係

項目	ケース2-1	ケース2-2	ケース2-3	ケース2-4
	座屈長 49.3mm	座屈長 82.3mm	座屈長 91.5mm	座屈長 73.2mm
鋼管側面				

写真-3 鋼管変形状況