

柔衝突飛翔体の中速度衝突を受ける超高強度繊維補強コンクリートの衝撃挙動

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
防衛大学校 正会員 片岡 新之介, 上野 裕稔, 別府 万寿博

1. 目的

超高強度繊維補強コンクリート(以降, UFC と表記)は短繊維補強に起因して, 高い引張抵抗力を有しており, 特に UFC 板は剛飛翔体による衝突に対して優れた耐衝撃性を有することが示されている¹⁾. しかし, 剛性の低い柔飛翔体が衝突する場合, 飛翔体の運動エネルギーは, 飛翔体の変形において消費されるため, UFC 板の応答は剛飛翔体の衝突とは異なるものと考えられる. しかし, UFC 板に柔衝突飛翔体が衝突した場合の衝撃挙動は不明な点が多いため, 本研究では衝突試験を実施して検討を行うこととした.

2. 実験概要

図-1 は, 衝突試験で用いた発射装置の概要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, 発射管および速度計測センサーで構成されたものである. ここで, 飛翔体の速度は, 圧縮空気圧力を変化させることで調節可能であり, 飛翔体の速度は, 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計測が可能である.

表-1 は試験水準を示したものであり, 試験要因は, 飛翔体の鋼管厚(以降, 鋼管厚と表記), 飛翔体の発射速度とした. 発射速度は 15m/s~40m/s の範囲であり, 発射速度を変化させることで, 破壊モードを変化させた. また, 比較のため, No.8~No.10 の条件で剛衝突試験も実施した.

図-2 は, 本試験で使用した飛翔体の概要を示したものである. 飛翔体は, 半球状となっている先端部, 鋼管, 治具部より構成されており, 衝突の際, 鋼管が座屈することで, 柔衝突となるように設計したものである. ここでは, 鋼管厚を 1.6mm, 2.0mm と変化させると同時に, 適宜鋼管長さも変化させ, 飛翔体の総重量が 8.3kg となるように設定した. また, 衝突試験を実施した後, 鋼管部における変形量を計測して, 座屈長を算出した.

本研究で用いた UFC は鋼繊維を混入したものであり,

表-1 試験水準

No.	飛翔体 種類	飛翔体の 鋼管厚(mm)	UFC 板の 厚さ(mm)	衝突速度 (m/s)
1	柔	1.6	60	15.8
2				33.6
3				38.5
4		2.0		16.1
5				24.4
6				34.2
7				39.8
8	剛	—		16.9
9				18.6
10				26.4

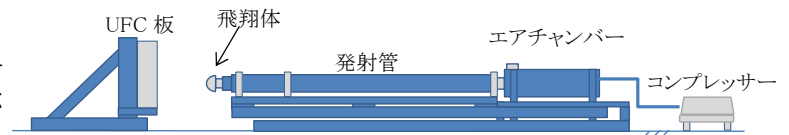


図-1 発射装置の概要

鋼繊維の繊維混入率は 2.0vol.%である. これは, 土木学会編「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」²⁾に規定される標準配合粉体を使用し, 練混ぜ方

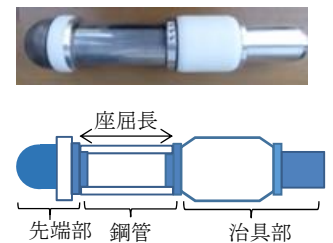


図-2 飛翔体の概要

法, 標準熱養生についても同指針(案)に従って製作したものである. ここで使用した UFC 板の寸法は, 1150mm×1150mm の平板であり, 板厚は, 60mm である. また, 管理試験より得られた UFC の圧縮強度は 217N/mm²であり, 曲げ強度は 36.5N/mm²であった.

3. 実験結果

表-2 は衝突試験の結果を示したものであり, 図-3 は衝突試験後における飛翔体の変形状況の例を示したものである. 衝突試験後の目視観察では, 座屈量が異なるが, 全ケースで鋼管が座屈しており, 想定通り柔衝突となることが確認された. さらに, 剛飛翔体, 柔飛翔体によらず, 衝突速度に応じて破壊モードが変化することが

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート(UFC), 飛翔体, 柔衝突

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 土木技術開発部 TEL045-814-7219

表-2 実験結果

No.	飛翔体種類	鋼管厚(mm)	衝突速度(m/s)	破壊モード	座屈長(mm)	貫入深さ(mm)
1	柔	1.6	15.8	裏面損傷	1.5	2.6
2			33.6	裏面剥離	30.5	11.5
3			38.5	裏面剥離(貫通限界)	30.8	—
4		2.0	16.1	裏面損傷	1.0	1.3
5			24.4		3.8	2.5
6			34.2	裏面剥離(貫通限界)	16.0	9.3
7			39.8		22.5	—
8	剛	—	16.9	裏面損傷	—	1.8
9			18.6		—	6.4
10			26.4	裏面剥離	—	5.8



図-3 飛翔体変形状況の例(No.5)

確認された。特に、飛翔体の鋼管厚を1.6mmとした水準において、No.1では、衝突面の反対面(以降、裏面と表記)に大きなひび割れが発生する「裏面損傷」となった(表-3)。また、No.2では、裏面のUFC片が剥離してしまうものの飛翔体は表面側に残留する「裏面剥離」となった。さらに、No.3では、飛翔体が表面側に残留するものの、表面と裏面に孔が貫通する「裏面剥離(貫通限界)」となった。各ケースにおいても、非常に微細なひび割れが多数発生しており、短繊維の架橋効果によりひび割れが分散したものと考えられる。一方、表-2に示す様に、鋼管厚を2.0mmとし、柔飛翔体を衝突させたNo.4～No.7において、衝突速度を16.1m/s～34.2m/sとすると、「裏面損傷」となったが、衝突速度を39.8m/sとすると「裏面剥離(貫通限界)」になることが確認された。

図-4は貫入深さと衝突速度の関係を示したものである。衝突速度が増大するにつれて、貫入深さも増大していることがわかる。また、本研究の範囲内ではあるが、剛飛翔体を衝突させた水準と柔飛翔体を衝突させた水準における衝突速度と貫入深さの関係には、大きな差異がないことがわかる。

図-5は座屈長と衝突速度の関係を示したものである。ここで、衝突速度が増大するにつれて、座屈長も増大しており、特に鋼管厚2.0mmの水準では、衝突速度と座屈長に正の相関が認められた。ただし、鋼管厚1.6mm、衝突速度が33.6m/sと38.5m/sの水準では、ほぼ同様の座屈長になっており、データの蓄積など今後の検討が必要と考える。

表-3 破壊モード(鋼管厚:1.6mm)

試験体	No.1	No.3	No.3
裏面の状況			
破壊モード	裏面損傷	裏面剥離	裏面剥離(貫通限界)
衝突速度	15.8m/s	33.6m/s	38.5m/s

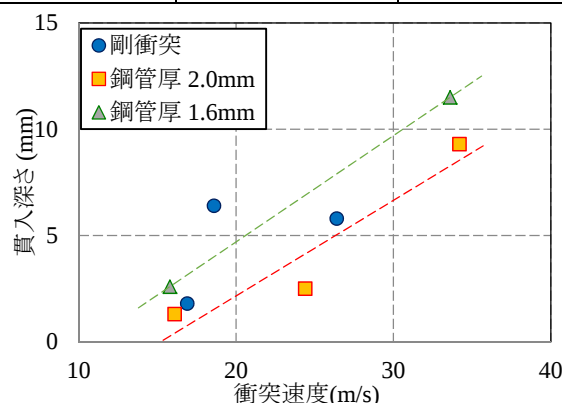


図-4 貫入深さと衝突速度の関係

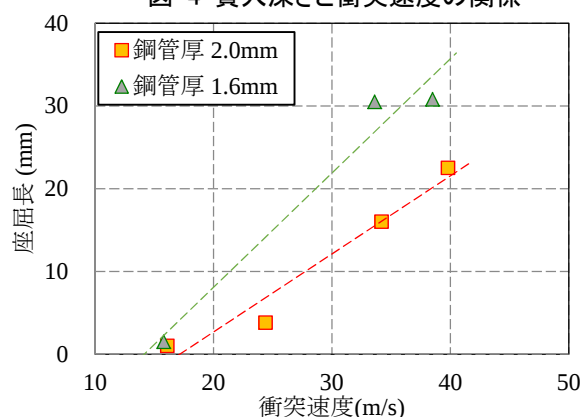


図-5 座屈長と衝突速度の関係

4. まとめ

柔飛翔体を用いた水準では、飛翔体の鋼管部が座屈することが確認された。また、衝突速度を増大させることで、破壊モードは変化しており、裏面剥離(貫通限界)となる衝突速度を把握することができた。さらに、衝突速度と貫入深さ、衝突速度と座屈長の関係を把握することができた。

参考文献

- (1) 武者 浩透, 別府 万寿博, 岡本 修一, 龍 尊子: 鋼製剛飛翔体の高速衝突を受けるUFCパネルの耐衝撃性に関する実験的研究, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp.210-211, 2012.9.
- (2) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 2004.