

柔飛翔体が高速衝突した超高強度繊維補強コンクリートの局部破壊に関する研究

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

1. 目的

超高強度繊維補強コンクリート(以下, UFC)は 200N/mm^2 以上の圧縮強度を有し, 短繊維補強により高い引張抵抗力を有するため, 部材厚を大幅に薄肉化することが可能であり, 橋梁や床版構造へ適用されている. 一方で, 衝突や爆発等の衝撃荷重に対し, UFC パネルが高い耐衝撃性能を有することが確認されている¹⁾. ただし, これらの検討は剛飛翔体の衝突が対象であり, 衝突により衝突物が変形する柔飛翔体の衝突による破壊性状については不明な点が多いのが現状である. そこで, 本研究では, 柔飛翔体を高速衝突させた際の UFC 板の破壊性状について検討を行った.

2. 実験概要

図-1 に, 実験に使用した高圧空気式飛翔体発射装置の概要を示す. 圧縮空気圧力の調整により, 質量約 50~1000g の飛翔体を速度 100~500m/s で発射することが可能である. 飛翔体の速度は発射口付近に設置された 2 つの速度センサーにより計測可能である. 図-2 に柔飛翔体の概要を示す. 飛翔体は, 先端部, 固定具, 円筒部から構成され, 飛翔体の総重量は 250g である. 先端部は半球型であり, 直径 25mm, 質量 46g で, 円筒部の鋼管厚は 2.0mm と 3.0mm とした. 実験に用いた UFC 板の寸法は縦 500mm×横 500mm で, 板厚を 50mm と 60mm とした. 実験に用いた UFC は, 超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針(案)²⁾に適合する標準配合紛体に, 鋼繊維を 2.0(vol.%)混入したものである. 実験は, 表-1 に示す様に, 鋼管厚, UFC 板厚および衝突速度(約 130~230m/s)を試験要因として, 9 ケースを実施した. 具体的には, 1) Case1~4 : 鋼管厚 2mm-UFC 板厚約 60mm, 2) Case5 : 鋼管厚 2mm-UFC 板厚約 50mm, 3) Case6~9 : 鋼管厚 3mm-UFC 板厚約 60mm としたものである.

3. 実験結果

表-1 に実験ケースと結果, 図-3 に Case2~4 と Case9 における UFC パネルの破壊状況と円筒部の変形状況を一例として示す. 同図より, Case2~4 と Case9 では, 円筒部が変形していることがわかる. また, 他のケースにおいても, 同様に柔飛翔体の変形が確認された(表-1). 併せて, 図-3, 表-1 に示す様に, 衝突速度の変化に伴い, UFC 板の破壊モードが変化することも確認された.

次に, 試験後に破壊性状を観察すると, Case2 は, 図-3 に示す様に裏面にひび割れが生じる裏面損傷であった. 裏面の損傷部で膨らみが生じており, 繊維の架橋効果による破壊の抑制が発揮されたと考えられる. 次に, Case3 では, 裏面のコンクリート片が剥落し, 裏面剥離となった. さらに, Case4 では, 裏面が剥離し,

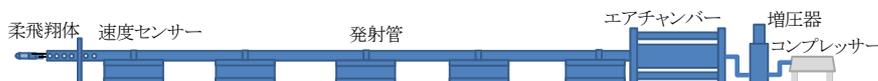


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置

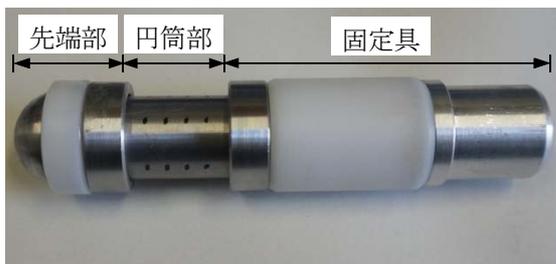


図-2 柔飛翔体の概要

表-1 実験ケースと結果

Case	鋼管厚 (mm)	板厚 (mm)	実施速度 (m/s)	衝突エネルギー (J)	UFC板 破壊モード	円筒部 変形状況
1	2.0	60	189	4465	裏面損傷	潰れ・き裂
2			214	5725		
3			220	6050		
4			227	6441		
5	2.0	50	171	3655	裏面剥離 (貫通限界)	1段座屈・き裂
6	3.0	60	130	2113	裏面損傷	1段座屈
7			156	3042		
8			189	4465		
9			214	5725		

キーワード 高速衝突, 耐衝撃性能, 超高強度繊維補強コンクリート, 柔飛翔体, 局部破壊

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 TEL 045-814-7219

飛翔体先端部より小さい孔が貫通している裏面剥離(貫通限界)となった。そして、Case9では、裏面の剥離に加え、発生した貫通孔が飛翔体先端部の直径より大きくなっており、ここでは貫通と判断した。他ケースの破壊性状観察については、Case1で裏面損傷、Case5で裏面剥離(貫通限界)、Case6,Case7で裏面損傷、Case8で裏面剥離(貫通限界)となった(表-1)。

図-4に、柔および剛飛翔体の衝突実験における衝突エネルギーを示す。ここでは比較のため、過去に実施された剛飛翔体の衝突実験の結果¹⁾を併記した(CaseI~CaseIII)。これは、板厚50mmと60mmのUFC板に剛飛翔体を衝突させた場合の結果を示したものである。ここで衝突エネルギーは、飛翔体の質量と速度の二乗を乗じて算出したものである。まず、Case4とCase8を比較すると、Case4では衝突エネルギー6441Jであるが、Case8では4465Jであり、Case4の方が大きな衝突エネルギーであるにも関わらず、裏面剥離(貫通限界)となり、同等の破壊モードであった。これは、Case8(鋼管厚3mm)では、円筒部に比較的小さな座屈が発生したのに対し、Case4(鋼管厚2mm)では、大きな変形(潰れ・き裂)が生じており、Case4の方がエネルギーが多く吸収されたためと考えられる。次に、CaseIIの剛飛翔体衝突とCase3の柔飛翔体衝突についても同様に、Case3の方が大きな衝突エネルギーであるが、円筒部での変形が大きいため、両者とも同じ破壊モードとなったと考えられる。また、CaseIII(剛飛翔体衝突)とCase9(柔飛翔体衝突：鋼管厚3mm)を比較すると、5773J、5725Jと同等の衝突エネルギーで、類似した破壊性状となった。これは、Case9は、円筒部での座屈が比較的小さく、剛飛翔体による衝突に近い挙動であったためと考えられる。

図-5に、板厚と衝突速度の関係を示す。図中の点線は、既往の研究により定められた算定式¹⁾による裏面剥離限界厚である。この算定式は、UFC板に剛衝突させた場合を対象に、修正NDRC式に係数0.72を乗じて補正されたものである。鋼管厚3.0mmでは、円筒部の座屈が比較的小さいことから、裏面損傷と裏面剥離(貫通限界)の間に剛衝突での裏面剥離限界厚が存在しており、既往の剛飛翔体衝突の算定式は、今回の柔飛翔体衝突の実験結果と概ね一致している。一方、鋼管厚2.0mmでは、円筒部の変形によるエネルギー吸収が大きいことにより、破壊が抑制され、各破壊モードとも剛衝突の算定式を下回ったものと考えられる。

4. まとめ

円筒部を設けた柔飛翔体を用いて高速度衝突実験を実施した結果、円筒部の変形の程度により、エネルギーの吸収が大きく、破壊モードが軽減される現象と、柔飛翔体による衝突ではあるものの剛飛翔体による衝突に近い破壊モードとなる現象を確認することができた。

【参考文献】

- 1) 武者裕透, 上野裕稔, 岡本修一, 別府万寿博: 鋼製剛飛翔体の高速衝突を受けるUFCパネルの実験的基礎研究, 大成建設技術センター報 第48号, 37, pp.1-8, 2015
- 2) 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の設計・施工指針(案), 2004

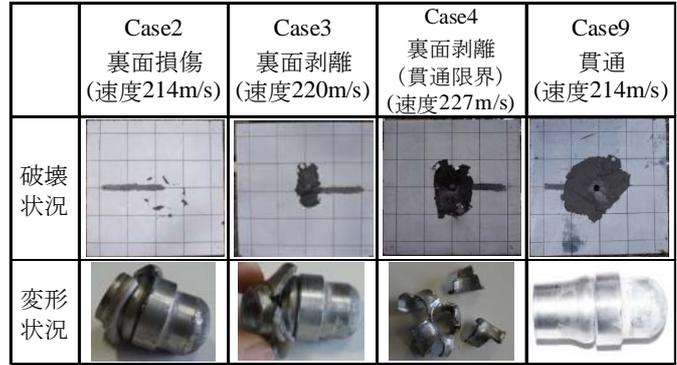


図-3 UFC板破壊状況および円筒部変形状況

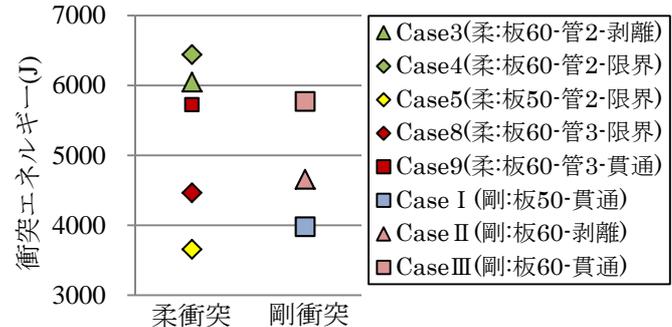


図-4 柔衝突と剛衝突における衝突エネルギー

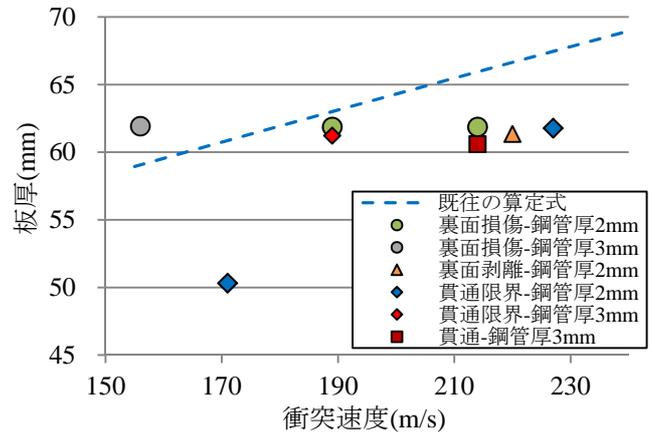


図-5 板厚と衝突速度の関係