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

大成建設株式会社　正会員　○武者　浩透
防衛大学校 建設環境工学科　正会員　別府　万寿博
大成建設株式会社　正会員　岡本　修一
大成建設株式会社　正会員　龍　尊子

1．はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（UFC）は，その優れた強度特性と耐久性を活用することにより，従来の鉄筋コンクリートに比べて部材厚を大幅に薄肉化することが可能となり，歩道橋や道路橋あるいは床版構造への適用が進んでいる．しかしながら，その耐衝撃性能に関しての研究報告は未だ非常に少ない．そこで，薄肉のUFCパネルに焦点を絞り，鋼製飛翔体の高速衝突を受けたUFCパネルの局部破壊モードを，補強繊維の種類やパネル厚さをパラメータとした実験により確認した．

2．実験の概要

本実験では土木学会のUFC指針（案）で用いられている標準配合粉体（RPC系UFC）を使用し，配合繊維の種類を鋼繊維（高張力鋼：引張強度 Pu=2,800N/mm^2，ϕ＝0.2mm，L＝15mm,）および有機繊維（PVA：引張強度 Pu=1,050N/mm^2，ϕ＝0.3mm，L＝15mm）の2種類とした（**表-1**）．供試体は，縦50 cm×横50 cmとし，板厚は同様の実験[1)]で用いられることが多い8 cmよりも薄肉の3 cmおよび5 cmの2種類を用意した．供試体の製作はUFC指針（案）に準じて行い，標準熱養生（90℃で48時間の蒸気養生）後の圧縮強度の平均値は，鋼繊維配合（FM）が205N/mm^2，有機繊維配合（FO）が168N/mm^{2}であった．

実験には，飛翔体がエアコンプレッサーおよび増圧器で圧縮された空気の高圧力によって発射される高圧空気式の飛翔体発射装置（**図-1**）を用いた．供試体は，発射管出口から約1mの位置に置いた固定台に設置し，上下2辺をクランプにて固定した．飛翔体は鋼製で，先端の形状が直径25 mmの半球型であり質量は50gである（**図-2**）．

飛翔体の衝突速度は，200～400m/s の範囲とし，発射管の出口に設置した速度検出センサーで計測した．

高速衝突によって生じるUFCパネルの局部破壊を，**図-3** に示すように，表面破壊，裏面剥離，貫通と3種類のモードに区別し評価を行った．**表-2** に実験ケースと実験結果の局部破壊モードをまとめ示す．

表-1　UFC(RPC系)※の配合

※:UFC指針で示されている標準配合粉体　　単位:kg/m^3

	プレミックス粉体	細骨材	繊維	高性能減水剤	水
UFC-FM（鋼繊維配合）	1,322	932	157 (2.0 vol%)	28	162
				単位水量: 180	
UFC-FO（有機繊維配合）	1,309	922	39 (3.0 vol%)	26	162
				単位水量: 178	

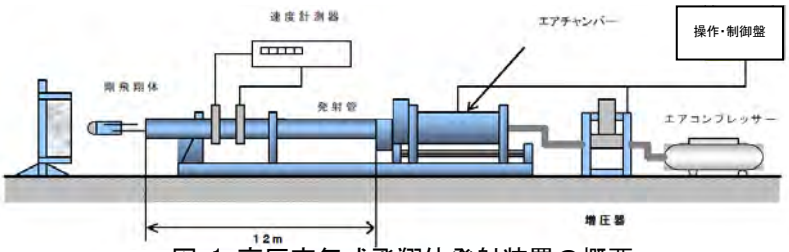

図-1 高圧空気式飛翔体発射装置の概要

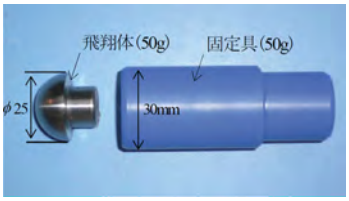

図-2 鋼製剛飛翔体および固定

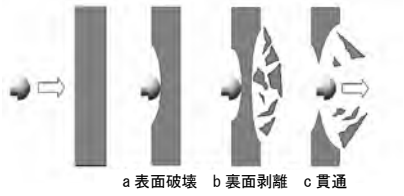

図-3 局部破壊モードの区分

表-2 実験ケースと局部破壊モード

ケース / 衝突速度（設定速度）	UFC-FM（鋼繊維）		UFC-FO（有機繊維）	
	厚さ:3cm	厚さ:5cm	厚さ:3cm	厚さ:5cm
200m/s	FM-3-1 貫通	FM-5-1 表面破壊	FO-3-1 貫通	FO-5-1:1回目 表面破壊（裏面にひび） FO-5-2:2回目 表面破壊（裏面にひび）
250m/s			———	FO-5-3 裏面剥離
300m/s	———	FM-5-2:1回目 裏面剥離 FM-5-3:2回目 表面破壊（裏面にひび）	———	FO-5-4 貫通
400m/s	———	FM-5-4 貫通		

上段:ケース番号
下段:局部破壊モード

キーワード：超高強度，短繊維補強，UFC，パネル，高速衝突，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）技術センター土木技術開発部 TEL 045-814-7219

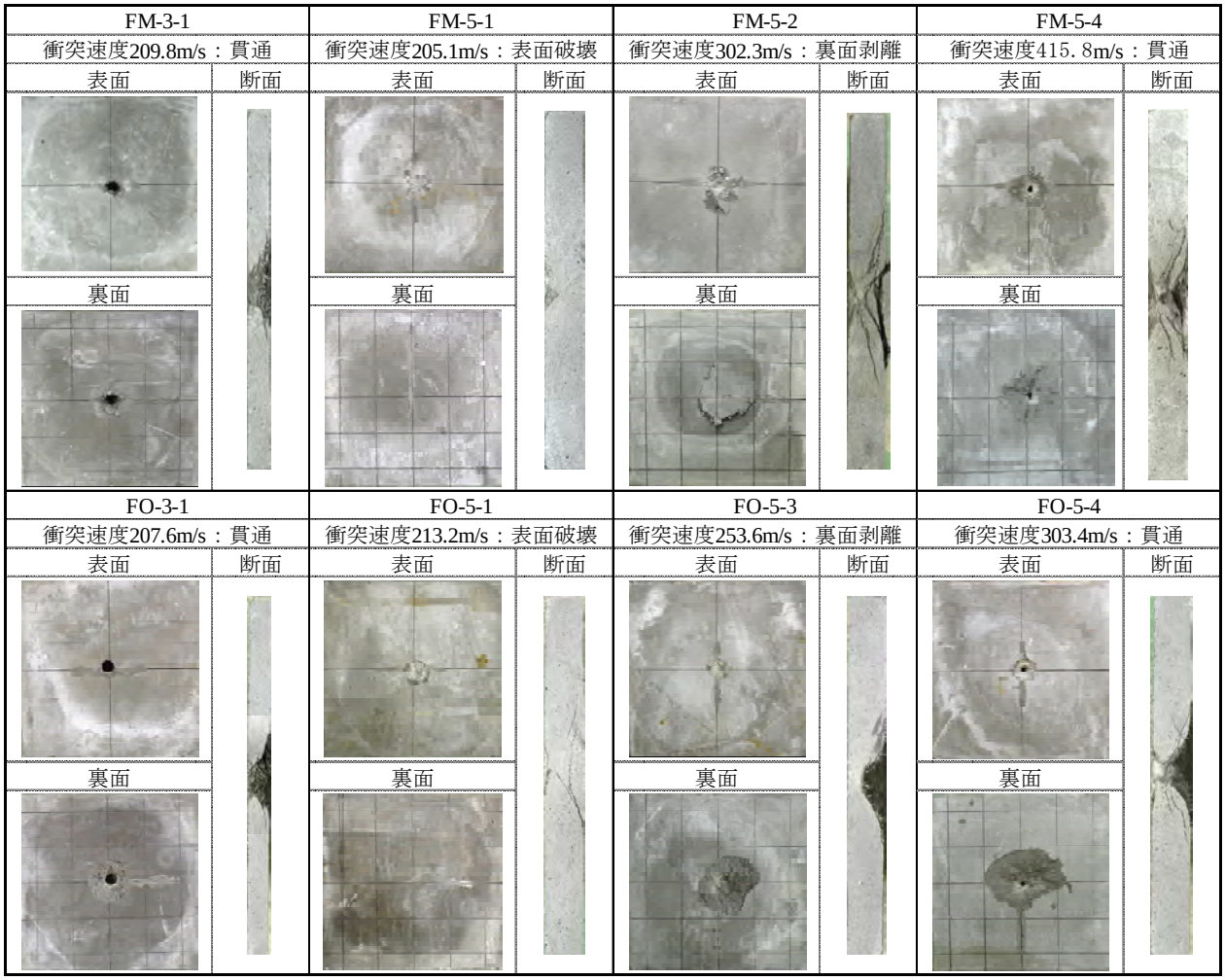

図-4 UFC パネルの破壊状況

3．実験結果と考察

実験ケースの内，主なものの供試体写真（表面と裏面，およびパネルを切断した断面）を抽出し，上段に鋼繊維配合（FM），下段に有機繊維配合（FO）をまとめ**図-4** に示す．

厚さ 3 ㎝のパネルでは，FM および FO 共に衝突速度 200m/s で貫通であった．同じ 200m/s の速度で 5 ㎝パネルでは，いずれも表面破壊で留まったが，FM では断面にも裏面にもひび割れがないのに対し，FO はいずれにもひび割れが確認された．裏面剥離が確認されたのは FO が衝突速度 250m/s で，FM では 300m/s であったが，FO の場合は剥離した部分が剥落したのに対し，FM では繊維の効果により剥離部はパネルに留まっていた．貫通が確認されたのは，FO で衝突速度 300m/s，FM では 400m/s のケースであった．

UFC のマトリックス圧縮強度は FO および FM ともに約 200N/㎟ であることから，FO と FM の衝突速度における破壊状況の差は繊維種類の補強効果に起因すると考えられる．FM のケースでは，同じ 200m/s の衝突速度において，3 ㎝厚では貫通であるのに対し，5 ㎝厚ではごく表面の損傷に留まっている．これは，板厚が増すことにより繊維の配向性が 2 次元（平面的）から 3 次元（立体的）へと変化の傾向にあり，押し抜きせん断面に対して有効に作用する繊維本数が増加するため，ひび割れや裏面剥離の抑止といった繊維補強効果が急速に高まるのではないかと推察される．また，既往のコンクリート版（8 ㎝厚）での実験結果[1)] との比較では，UFC パネルでは表面および裏面共に損傷面積が小さいこと，そして裏面の放射状のクラックが見られないことが確認され，繊維補強効果によるものと考えられる．しかしながら同既往実験では，400m/s の衝突速度で高強度（圧縮強度 100N/㎟，8 ㎝厚）のコンクリート板では裏面剥離との報告があり，供試体の厚さが異なるため断定的なことは言えないが，高強度のコンクリート板に比べ UFC パネルの高速衝突における耐衝撃性能は，強度増加と繊維補強効果が付与される割には大きな差異が生じないことが推察される．

4．今後について

今回の実験では，剛飛翔体の高速衝突に対する薄肉 UFC パネルの耐衝撃性能を把握する基礎データが得られた．しかしながら，3 ㎝と 5 ㎝厚の UFC パネルでの実験であったため，既往の 8 ㎝厚のコンクリート板との性能比較までには至っていない．今後は，厚さのパラメータを増やした実験を行うことにより，UFC パネルの耐衝撃性能をより詳細に把握できるものと考えられる．

【参考文献】 1) 別府万寿博，三輪幸治，大野友則，塩見昌紀：鋼製剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊に関する実験的研究，土木学会論文集E， Vol.63，No.1，pp.178-191，2007.3