

中速度衝突を受ける超高強度繊維補強コンクリートパネルの破壊性状に関する考察

防衛大学校 学生会員 ○片岡 新之介 防衛大学校 正会員 別府 万寿博
 大成建設 正会員 武者 浩透 大成建設 正会員 岡本 修一

1. 緒言

近年、国内において竜巻の発生や火山噴火活動が増加する傾向にあり、竜巻により巻き上げられた破片等による落下衝突や火山噴石等に対する重要防護施設や避難施設等への関心が高まりつつある。これらの衝突物に対する指針類^{1), 2)}の中では、飛来物の衝突速度は 40m/s~100m/s 程度と想定されている。このような衝撃荷重に対するコンクリート構造物の防護対策の例としては、敷砂など緩衝材の設置や繊維補強などが考えられている。本研究は、耐衝撃性向上の検討として、強度特性や耐久性に優れた超高強度繊維補強コンクリート (UFC) に着目し、UFC パネルに対する中速度衝突実験を行い、その破壊特性について考察を行ったものである。

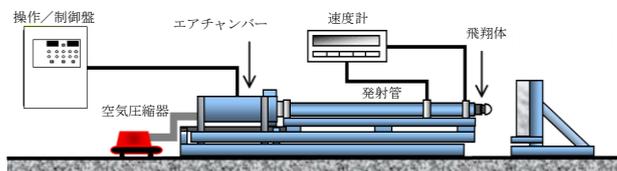


図-1 高圧式飛翔体発射装置の模式図



写真-1 鋼製飛翔体

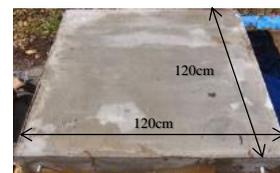


写真-2 コンクリート板の外観

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の模式図を示す。本装置は、空気圧の調節により飛翔体の発射速度を変化させることができる。飛翔体の発射速度は、発射管に設置されたレーザ式速度計により計測している。写真-1 に、本実験で使用した剛飛翔体を示す。剛飛翔体の質量は 8.3kg、先端形状は $\phi 90\text{mm}$ の半球型で、先端部の鋼材は SS400 を使用している。写真-2 に、UFC パネルと比較するために作成したプレーンコンクリート板の外観を示す。プレーンコンクリート板および UFC パネル試験体の縦横寸法は、それぞれ 120cm×120cm および 115cm×115cm である。プレーンコンクリート板には、衝突実験によるコンクリートの破片化を防ぐため、鉄筋 D22 を周囲に 4 本配筋している。コンクリートの平均圧縮強度は 34N/mm² である。プレーンコンクリート板に対しては、速度 38~44m/s の衝突実験を行った。UFC パネルは、衝突速度約 42m/s に対する破壊性状の推移を調べるために版厚を変化させ、版厚 6cm, 9cm のパネルをそれぞれ 2 体、版厚 12cm のパネルを 1 体、計 5 体を作成した。各試験体の支持条件は、プレーンコンクリート板は四辺支持、UFC パネルは二辺支持である。UFC 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) (UFC 指針案)³⁾を参考に作成した。配合繊維は鋼繊維 (高張力鋼: 引張強度 $P_u=2,800\text{N/mm}^2$, 繊維径 $\phi=0.2\text{mm}$, 繊維長 $L=15\text{mm}$) で、試験体の養生は、標準熱養生 (90 度で 48 時間の蒸気養生) で行った。UFC パネルの平均圧縮強度は 216N/mm² である。コンクリート板および UFC パネルの配合を表-1 に示す。図-2 に、局部破壊の計測項目および位置を示す。貫入深さは、表面から局部破壊の一番深い位置まで

表-1 コンクリート板および UFC パネルの配合

プレーンコンクリート板				UFC パネル		
単位量 (kg/m ³)				単位量 (kg/m ³)		
水 W	セメント C	細骨材 s	粗骨材 G	プレミックス粉体	細骨材	鋼繊維
168	324	809	1006	324	809	157 (2.0vol%)
粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材 s/a (%)	高性能減水剤	水	
20	15	52	45.3	28	152	

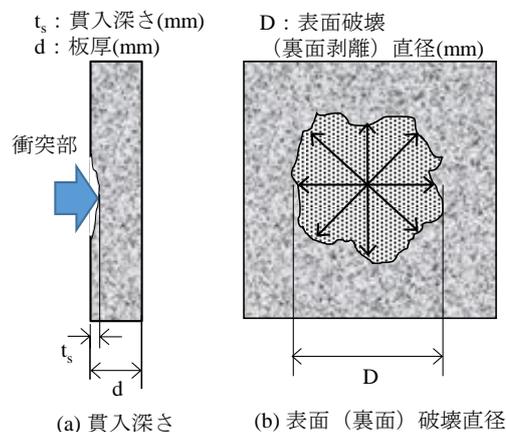


図-2 局部破壊の計測位置

の距離を計測した。表面破壊および裏面剥離直径は、試験体中央を中心として、垂直方向、水平方向および斜め方向の計4方向を計測し、その平均値とした。

3. 実験結果および考察

表-2 および写真-3 に、実験結果および試験体の損傷状況を示す。ケース名は「PLAIN」または「UFC」と版厚およびケース番号で示している。衝突速度 37.8m/s に対する PLAIN-180-1 の破壊モードは表面破壊であり、断面や裏面にひび割れが生じているが、裏面剥離は生じなかった。衝突速度 41.4m/s の PLAIN-180-2 についても、破壊モードは表面破壊であるが、PLAIN-180-1 に比べて断面および裏面のひび割れがより明瞭に生じていた。衝突速度 43.5m/s の PLAIN-180-3 は、貫通孔が生じているが、飛翔体は通り抜けていないため、破壊モードは貫通限界と判定した。以上の試験体の破壊性状から、板厚 18cm のプレーンコンクリート板においては、裏面剥離および貫通限界となる衝突速度は41m/s～43m/sであることがわかる。

版厚 6cm の UFC-60-1 は、貫通孔が生じているが飛翔体は通り抜けていないため破壊モードは貫通限界と判定した。版厚 9cm の UFC-90-1 は裏面剥離、UFC-90-2 は表面破壊であり、UFC-120 は表面破壊であった。このことから、UFC パネルは衝突速度約 42m/s に対して、版厚 9cm が裏面剥離限界版厚となることがわかる。つまり、この衝突速度に対するプレーンコンクリート板の裏面剥離限界版厚は 18cm であるのに対し、UFC パネルでは約半分の版厚で同程度の破壊性状を示すことがわかる。以上の結果から、UFC パネルは中速度衝突に対してもプレーンコンクリート板に比べて破壊が大きく抑制されることがわかる。

4. 結言

本研究は、中速度衝突を受ける UFC パネルの耐衝撃性について検討したものである。

- (1) 板厚 18cm のプレーンコンクリート板は、衝突速度 41m/s～43m/s で裏面剥離および貫通限界が生じることがわかった。
- (2) UFC パネルは、衝突速度約 42m/s に対して版厚 9cm が裏面剥離限界となり、プレーンコンクリート板の半分の厚さで同等の破壊を示すことがわかった。

参考文献

- 1) 原子力規制委員会：原子力発電所の竜巻影響評価ガイド，2014。
- 2) 内閣府（防災担当）：活火山における退避壕等の充実に向けた手引き，2015.12
- 3) 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

表-2 実験結果

No	実験ケース	設定空気圧	計測速度	破壊モード
		(MPa)	(m/s)	
1	PLAIN-180-1	1.0	37.9	表面破壊
2	PLAIN-180-2	2.0	41.4	表面破壊
3	PLAIN-180-3	2.2	43.5	貫通限界
4	UFC-60-1	1.1	41.9	貫通限界
5	UFC-60-2	1.1	41.6	貫通限界
6	UFC-90-1	1.1	41.4	裏面剥離
7	UFC-90-2	1.1	41.7	表面破壊
8	UFC-120	1.1	41.6	表面破壊

PLAIN-180-1 (37.8m/s)		PLAIN-180-2 (41.4m/s)		PLAIN-180-3 (43.5m/s)	
表面破壊		表面破壊 (裏面剥離限界)		貫通限界	
表面	断面	表面	断面	表面	断面
裏面		裏面		裏面	
UFC-60-1 (41.9m/s)		UFC-90-1 (41.4m/s)		UFC-120 (41.6m/s)	
貫通限界		裏面剥離		表面破壊	
表面	断面	表面	断面	表面	断面
裏面		裏面		裏面	

写真-3 試験体の損傷状況