中速度衝突を受ける RC・UFC 複合版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　島﨑　利孝
防衛大学校　正会員　別府　万寿博　片岡　新之介

1．はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（UFC）の耐衝撃性に着目した一連の研究をこれまで行ってきた[例えば 1,2)]．今回は，構造物の耐衝撃性向上ための実用的な適用を考え，既設の RC 壁に UFC 版を設置する場合，もしくは新設であっても壁厚低減のため RC と UFC を複合して用いる場合の耐衝撃性を実験にて検討した．また，さらなる耐衝撃性向上を目指して，複合版の RC と UFC の間に緩衝材を設置した特殊複合版についても検討を行った．

2．実験の概要

本実験では，土木学会の UFC 指針[3)]で用いられている標準配合粉体（RPC 系 UFC）を使用した．図-1 に実験装置の概要を示す．パネルの架台への設置は，上下２辺を鋼材で挟み込んで固定し２辺支持とした．パネル側面には高速度カメラを設置し，衝突の瞬間を記録してその映像を解析することにより衝突速度を算出した．実験では剛飛翔体（質量 8.3kg，先端形状：半球形状，先端直径 90mm，材質 SS400）（図-2）を，高圧のエア圧で発射してパネル中央に衝突させた．供試体の平面寸法を 1,150mm×1,150 mm とし，RC 版には D13 の鉄筋を 200 mmのピッチで配筋した．

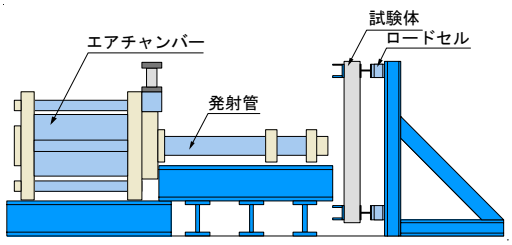
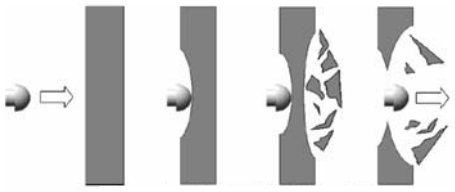


図-1　実験装置の概要

図-2　鋼製剛飛翔体


a 表面破壊　b 裏面剥離　c 貫通
図-3　局部破壊モードの区分

実験は，まず RC（15, 20, 25 cm厚）と，UFC（12, 15, 18 cm厚）の単版の基本ケースに対して，実験装置の出せる最高スピード 100 m/s を衝突速度として実験を行った．次に，一体化のために直径 10 mm，高さ 5 mmの突起を全面的につけた UFC(6 cm厚)にコンクリート(9 cm厚)を流し込んで製作した複合版(15 cm厚)に対して，衝突面を RC とする場合と，UFC とする場合の 2 ケースについて，基本ケースの結果を踏まえて，衝突速度 80m/s にて実験を行った．最後に，衝突による衝撃波を遮断もしくは弱める目的で，複合版の RC と UFC の間に厚さ 5 mmのゴム板（クロロプレンゴム：硬度 60），もしくは厚さ 10 mmの EPS（発泡率 60 倍）を挟み込んだ特殊複合版に対して同じ 80m/s にて実験を行った．

単版のケース名の R は RC を，U は UFC を表し，ハイフン後の数字は版厚を表す．複合版は CB で示し，CBR はゴムを挟んだ，CBE は EPS を挟んだ特殊複合版を示す．また，-R は RC を衝突面としたケース，-U は UFC を衝突面としたケースを表す．なお，試験時の版の圧縮強度は，RC 版：41N/mm^2，UFC 版：211N/mm^2 であった．

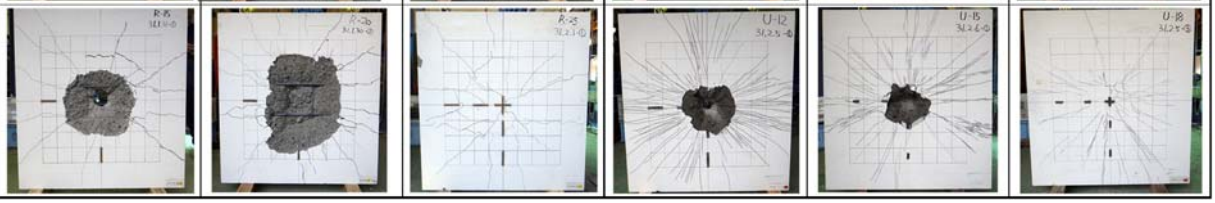
ケース		R-15	R-20	R-25	U-12	U-15	U-18
衝突速度		98m/s	96m/s	100m/s	95m/s	98m/s	98m/s
破壊モード		貫通	裏面剥離	表面破壊	貫通	裏面剥離	表面破壊
破壊状況写真	衝突面						
	衝突裏面						

図-4　試験体の損傷状況（RC および UFC 単版）

キーワード：超高強度，短繊維補強，UFC，パネル，衝突，剛飛翔体
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

© Japan Society of Civil Engineers

3．実験結果と考察

単版のケースの実験結果を図-4 に示す．RC および UFC ともに，実験した厚さに応じて図-3 に示す 3 つの局部破壊モードが確認され，UFC の裏面剥離限界および貫通限界厚は，RC の 7～8 割程度であることが確認された．衝突面の損傷面積は UFC の方が小さく，版厚の影響もあるが裏面の損傷面積も UFC の方がはるかに小さい．また，UFC 裏面のひび割れは，比較的綺麗な放射状に入っており，ひび割れ幅は 0.04～0.08 ㎜と微細なものであった．U-15 のケースで裏面剥離が生じたため，準備していた複合版シリーズ（15 ㎝厚）では，過去の実験[2)] をも参照し，衝突速度を 80m/s とした．

図-5, 図-6 に複合版および特殊複合版の実験結果を示す．全ケースを通じて，UFC を衝突面とする（RC が裏面）ケースでは裏面剥離が起こり，RC を衝突面とするケースでは裏面の UFC に放射状の無数の微細ひび割れ（幅 0.04～0.08 ㎜）が入ったが表面破壊に留まった. 表面の損傷面積は, 衝突面 UFC に比べて衝突面 RC のケースでは平均で 2.3 倍であった．衝突裏面の損傷面積は, CB-U(ケース名中の-15 は共通のため省略)のケースを 1 とすると，CBR-U では 0.81，CBE-U では 0.52 と小さくなっている．

断面の拡大写真を示した図-6 では，版の残留変形の把握のために RC と UFC の境界面に赤線を入れ，変形の値とその変形が局部的に起こっているか全体かを判定して示している. CB-U は損傷により断面が欠損しており不明だが，UFC を衝突面とする CBR-U と CBE-U では，全体的な版の変形は見られず，衝突位置から 45 度程度の角度でひび割れが広がり，境界部では幅約 18 ㎝の範囲で局部的に 16 ㎜変形しており，定型的な局部破壊のモードが現れている．一方，RC を衝突面とする 3 ケースでは，いずれも残留変形が版全体で生じており，その値は 6 ㎜であった．これは，RC を介して伝わった衝撃力を UFC 版が受け止め，版全体で曲げのモードも生じたためであると推察される．特に，CBR-R のケースでは，RC 部のひび割れが境界部では 75 ㎝まで広がっており，UFC は面圧を受けた状態であったと考えられる．

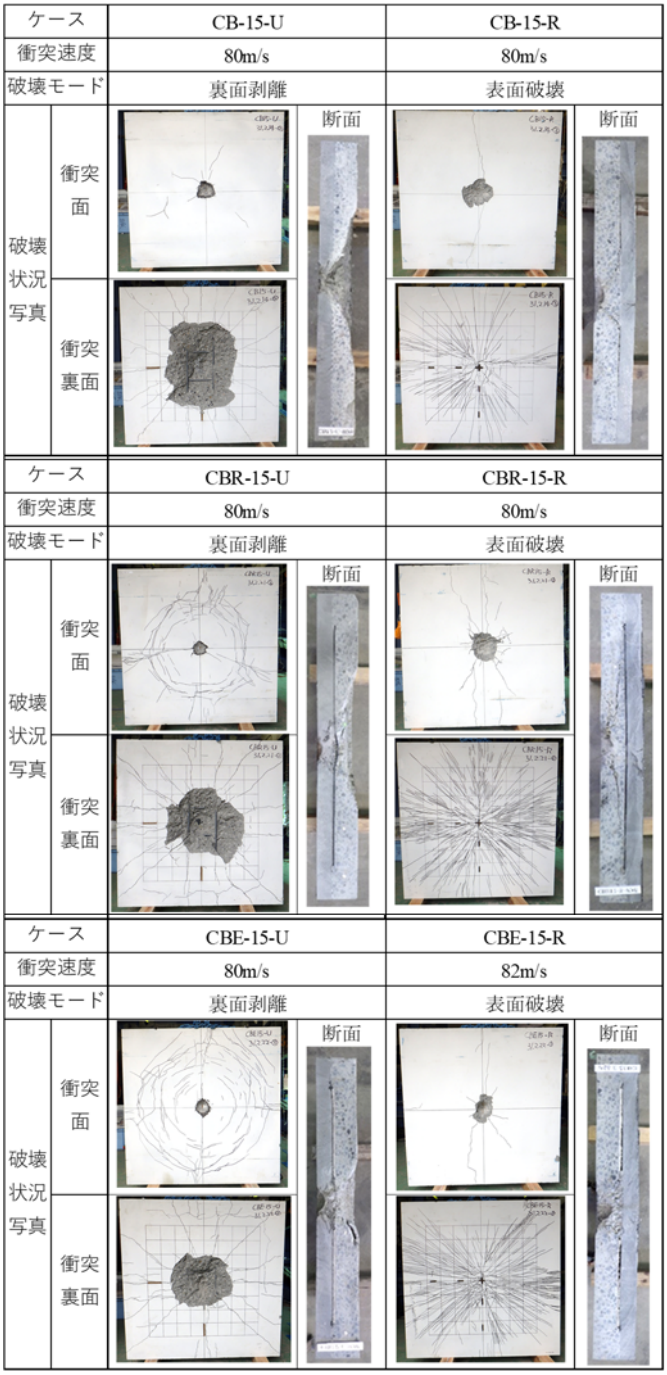


図-5　試験体の損傷状況（複合版，特殊複合版）

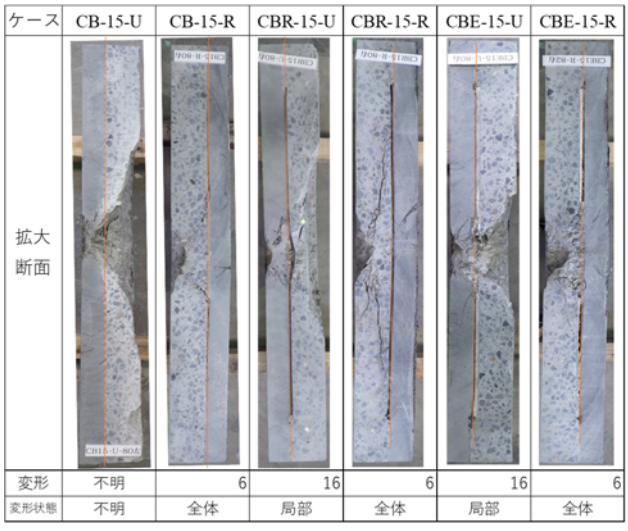


図-6　試験体の損傷状況（断面拡大）

4．まとめ

本実験においては， RC 版と同等の耐衝撃性能を有する UFC 版は，RC 版の 7～8 割程度の厚さであった．複合版においては，RC 版を衝突面とする方が，裏面剥離の抑制効果が高い事，またその際には，版全体での変形が生じることが確認された．

【参考文献】
1)武者浩透，別府万寿博，他：中速度衝突を受けるUFC パネルの耐衝撃性に関する実験的研究，土木学会年次学術，2015
2)片岡新之介，武者浩透，別府万寿博，岡本修一：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衝撃応答特性に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.2，pp757-762，2016
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の設計・施工指針(案)，2004

© Japan Society of Civil Engineers