

低速度衝突を受ける UFC パネルの実験的研究

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 大澤 和也

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (UFC) は、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、橋梁や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する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、低速度衝突時の耐衝撃性能を確認するため、重錘落下実験を UFC パネルと RC 版に対して実施し、破壊形態や最大衝撃力等の確認と両者の比較を行った。

2. 実験の概要

本実験では、土木学会の UFC 指針¹⁾ 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 $P_u=2,800\text{N/mm}^2$, $\phi=0.2\text{mm}$, $L=15\text{mm}$) とした (表-1)。供試体の平面寸法は、UFC パネルおよび RC 版共に、 $1800\text{mm}\times 900\text{mm}$ として、UFC パネルの厚さを 6cm , RC 版を 12cm と 18cm とした。UFC パネルには主方向 (長手方向) に $\phi 12.7\text{mm}$ の PC 鋼より線を 10 本配置し (図-1)、プレストレスを導入している。RC 版は異型鉄筋 (外側鉄筋の純かぶり 4cm) を 10cm 間隔で 2 方向に複鉄筋配置している。供試体の仕様と、コンクリート標準示方書および UFC 指針より各安全係数を 1 とし実強度で算定した静的耐力を表-2 の左側に示す。

図-2 に実験の概要を示す。実験は、RC 版および UFC パネルを架台上に設置し、上方から質量 115kg の重錘を所定の位置から自由落下させた。重錘の衝突部の直径は 15cm で先端の形状は平坦である。供試体は架台上に 2 辺支持し、跳ね上がり防止治具で固定している。なお、供試体と架台の間には厚さ 1mm の硬質ゴムシートを敷設した。計測項目は、重錘衝撃力および衝突位置の変位とした。重錘衝撃力は、供試体中央に載荷版 (直径 15cm , 厚さ 3cm) を配置し、その上に設置したロードセル (最大容量 2MN) を用いて計測を行った。変位は、非接触型レーザー変位計 (応答周波数 915Hz , 分解能 $50\mu\text{m}$) を用いて載荷点であるパネル中央の裏側を計測した。

載荷方法は、同じ供試体に衝突速度が 1.0m/s から段階的に増加 ($1.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 11.0, 12.0\text{m/s}$) するように落下高さを変えながら重錘落下を繰り返し、破壊時まで漸増載荷を行った。

表-1 UFC (RPC 系)^{*} の配合

	UFC 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 指針で示されている標準配合粉体

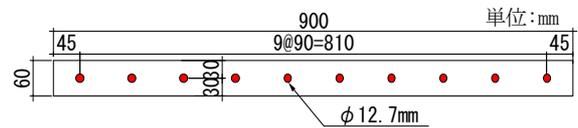


図-1 UFC パネル供試体

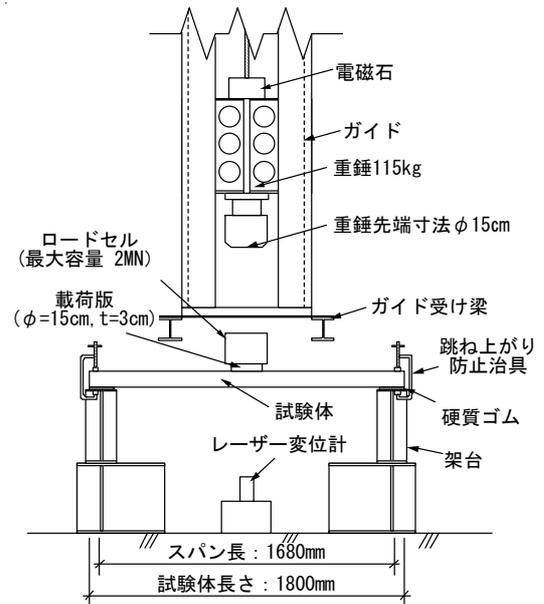


図-2 実験装置の概要

表-2 供試体の仕様と載荷結果

ケース名	供試体仕様							実験結果				
	板厚	圧縮強度 (引張強度) (N/mm ²)	鋼材補強	プレストレス	補強 鋼材比 (%) 主方向 [*]	静的曲げ 耐力に対応する荷重 (kN)	静的押抜き せん断耐力 (kN)	破壊形態	最終衝突速度 (最終落下高さ)	最大 衝撃力 [*] (kN)	最大変位 [*] (mm)	最終 在留変位 (mm)
UFC-6-P	6cm	212.4 (13.8)	鋼繊維+PC鋼材 (主方向のみ)	784kN (14.5N/mm ²)	1.83	99	546	押抜き せん断	12.0m/s (7.35m)	1,755	63	33
RC-12	12cm	56.4	D10@100 主・横両方向	————	2.05	28	101	曲げ	7.5m/s (2.87m)	1,266	14	8
RC-18	18cm	56.4	D13@100 主・横両方向	————	2.00	93	251	押抜き せん断	11.0m/s (6.17m)	2,000	17	14

^{*}計測機器は、その破損を防ぐため供試体の破壊前に撤去している場合がある。そのため、RC12とRC18の最大衝撃力と最大変位は、終局直前の載荷時の値である

キーワード: 超高強度, 短繊維補強, UFC, パネル, 低速衝突, 重錘落下

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

3. 実験結果と考察

各ケースの実験結果を表-2の右側に、最終的な破壊状況写真を図-3～図-5に、各計測項目間の関係を図-6～図-8に示す。

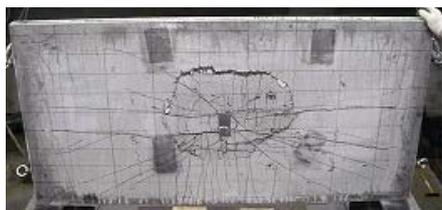


図-3 UFC-6-Pの破壊状況(12.0m/s)



図-4 RC-12の破壊状況(7.5m/s)

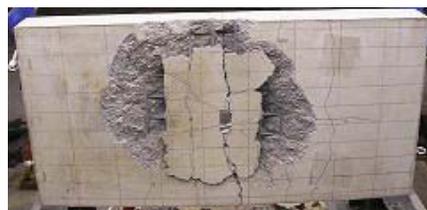


図-5 RC-18の破壊状況(11.0m/s)

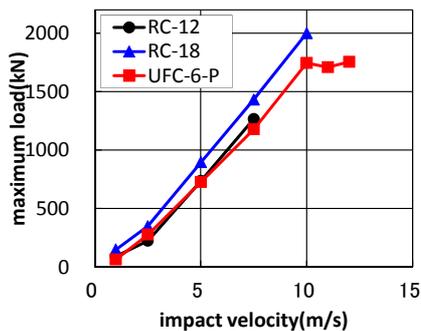


図-6 最大荷重-衝突速度関係

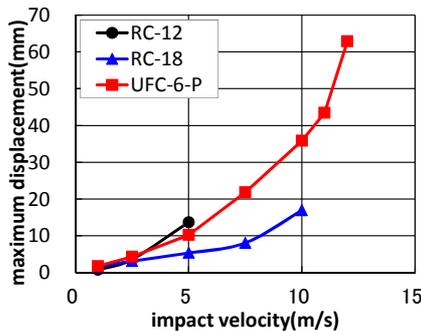


図-7 最大変位-衝突速度関係

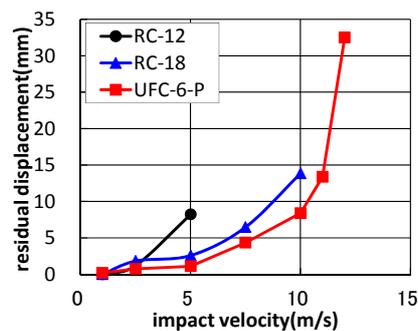


図-8 残留変位-衝突速度関係

破壊状況については、RC-12は衝突速度 2.5m/s において版中央に曲げひび割れが生じ、衝突速度が増加するにつれてひび割れが分散した。最終的に衝突速度 7.5m/s において曲げひび割れが大きく開口したため実験を終了した。RC-18では、衝突速度 5.0m/s で曲げひび割れが発生したのち、RC-12の場合と同様に衝突速度が増加すると曲げひび割れは分散していった。しかし、衝突速度 11.0m/s において、直径 80cm 程度の押し抜きせん断破壊が生じ終局に至った。一方、UFC-6-Pにおいては、パネルの部材軸方向に PC 鋼材が配置され、プレストレスにより補強されているため、RC 版で発生したような曲げひび割れが抑制されている。そのため、衝突速度 5.0m/s ではまず、図-3に示されている部材長手方向の縦ひび割れが生じた。その後、1mm以下の微細な曲げひび割れが分散して発生し、最終的には衝突速度 12.0m/s において押し抜きせん断破壊が生じた。いずれの場合も、表-2に示すように静的耐力は曲げに比べて押し抜きせん断の方がはるかに大きな値であるため、UFC-6-PとRC-18が押し抜きせん断破壊となったことについては、版構造における衝撃特有の現象であると考えられる。

また、RC-18では押し抜きせん断破壊時に、かぶりや内部のコンクリート片が大きく落下したのに対し、UFCでは大きな破片の落下は見られず、鋼繊維補強が部材の崩壊防止に寄与していることが確認された。最終衝突速度から判断すると、UFC-6-Pはその3倍の厚さを有するRC-18と同等以上の耐衝撃性能が有ることがわかる。

図-6では、部材の損傷が大きくなる前の衝突速度である 10.0m/s までは、各供試体ともに最大重錘衝撃力は衝突速度と共にほぼ線形に増加しているが、RC-18が他のケースよりやや大きい値を示している。これは、版厚が厚いRC-18の剛性が高いためと考えられる。図-7ではRC-18に比べてUFC-6-Pは倍以上の最大変位が記録されている一方で、残留変位はUFC-6-Pの方が小さい(図-8)。このことから、薄肉のため剛性の比較的小さいUFCパネルは、衝突時に大きな変形が生ずるが、鋼繊維とプレストレスによる延性的な特性により、変位が回復していることがわかる。

繊維補強とプレストレスにより曲げ補強されているUFCパネルは、今回の実験で用いた6cmの厚さにおいては、衝撃荷重に対して押し抜きせん断破壊が主な破壊モードとなり、動的な曲げ耐力がせん断耐力を上回っていたと言える。この実験結果を基に、UFCパネルにおける動的な曲げ強度と押し抜きせん断強度のバランスが取れた仕様とすることにより、衝撃に対して最も適した部材の設計が可能となると考えられる。

4. まとめ

本研究により、これまで未知であったUFCパネルの耐衝撃性を把握することができた。重錘落下による低速度の衝撃実験では、6cm厚でPC補強されたUFCパネルは押し抜きせん断破壊を生ずることが分かった。また、UFCパネルは、3倍の厚さの18cmのRC版と同等以上の耐衝撃性能を有し、終局荷重に至るまでは在留変位量も小さく、鋼繊維の補強効果により終局時においても崩壊に至らないことが確認された。

謝辞：本研究の重錘落下実験を行うにあたり、九州大学大学院博士過程のチョン・ソン・ボン氏には、多大なるご協力を頂きました。ここに記して、謝意を表します。

【参考文献】 1) 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