

直接引張試験による UHPFRC の引張特性に関する研究

中日本高速道路(株) 正会員 ○牧田 通 北川寛和
鹿島建設(株) 正会員 横田祐起 本田智昭 一宮利通

1. はじめに

UHPFRC (Ultra-High Performance Fibre Reinforced cement-based Composites, 超高性能繊維補強セメント系複合材料) は、高強度 (圧縮強度 150MPa 以上, 引張強度 5MPa 以上) で物質移動抵抗性が高い (普通コンクリートと比較して、透気係数は約 1/1,000, 塩化物イオンの拡散係数は約 1/100) という優れた特性を有するセメント系材料である¹⁾ (日本では UFC という呼称が一般的に使用されているが、本稿では世界的にみて一般的な UHPFRC という呼称を用いることとした)。UHPFRC の構造物への適用に関しては、プレキャスト部材として利用される事例が多いが、場所打ちでコンクリート構造物の補修・補強に利用される場合もあり、これまでに 50 以上の橋梁や建物等の構造物に適用されている²⁾。現在、高速道路橋の床版の補修・補強において UHPFRC を利用するための研究・開発を行っており、本稿は UHPFRC の引張特性を把握するために実施した直接引張試験について報告するものである。

2. 背景

UHPFRC が場所打ちにより橋梁コンクリート床版の上面に薄い層 (50~100mm) として施工された場合、UHPFRC の収縮が既設床版により拘束されほぼ一軸状態の引張応力が発生することとなる。また、床版の張出部や中間支点上近傍においても、作用する荷重により、同様の一軸状態の引張応力が発生することとなる。UHPFRC を橋梁の床版の補修・補強の材料として利用するためには、引張特性を直接引張試験により正確に把握する必要がある。

これまでも UHPFRC の直接引張試験は実施されてきたが、使用された供試体は比較的寸法が小さいものであり (例えば、長さ 300mm, 幅 50mm, 厚さ 10mm), その場合には繊維の配向がほぼ一様に引張荷重の作用方向に一致してしまい、引張特性が過大に評価されていた可能性があると考えられる。繊維の配向は UHPFRC の引張特性に大きく影響することから、直接引張試験においては実構造物への適用状況を考慮して、繊維の 3 次元的な配向を可能にする程度に大きな寸法の供試体を使用すべきであると考えられる。

3. 実験概要

鋼繊維の量と種類および骨材の種類の違いが UHPFRC の引張特性に与える影響を把握するために、鋼繊維の量と種類および骨材の種類が異なる 3 種類の UHPFRC に対して直接引張試験を実施した。マトリックスの配合は 3 種類の UHPFRC で全て同じとし (表-1)、鋼繊維の量と種類については、直径 0.2mm で繊維長 15mm と 22mm の 2 種類の鋼繊維を 1.75vol.% 混入したもの (配合 1)、直径 0.2mm で繊維長 15mm の鋼繊維を 2.5vol.% 混入したもの (配合 2)、直径 0.2mm で繊維長 15mm の鋼繊維を 3.0vol.% 混入したもの (配合 3) を準備した。また、配合 1 の骨材には砕砂を、配合 2 と 3 の骨材には珪砂を使用した。供試体の形状はドッグボーン型で、全長 400mm の両端部 60mm の範囲の断面は 100mm×100mm, 中間部 100mm の範囲の断面は 100mm×40mm とし、供試体中間部での破壊の発生を誘導した。中間部と両端部の間には長さ 90mm の変断面区間を設けた (図-1)。全ての供試体は 20℃ で 24 時間養生した後に、85℃ で 24 時間の高温蒸気養生を施した。

本研究では、直接引張試験の装置を新たに開発した。図-1 に示すように 3 つの治具を製作し、治具 2 により供試体を変断面箇所を把持し、治具 2 の上 (下) 端部に高力ボルトで接合した治具 1 を直径 23mm の PC 鋼棒で試験機に取り付けた。治具 3 は治具 2 の両側面に高力ボルトで接合し、供試体の位置を保持した。

表-1 マトリックスの配合

水結合材比 (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				
		水*1	結合材*2	骨材	収縮低減剤	高性能減水剤
15.2	2.0	195	1,287	905	12.9	32.2

*1: 高性能減水剤中の水分を含む

*2: エトリンガイト生成系プレミックス結合材 (収縮低減型)

キーワード セメント系材料, 繊維補強, UHPFRC (UFC), 直接引張試験, 橋梁, 補強

連絡先 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 2-18-19 中日本高速道路株式会社 TEL052-222-3421

供試体の中間部 100mm の範囲の両側面にアルミニウム製の治具を介して変位計を設置し、供試体の変形量を計測した。荷重は、500kN の万能試験機内に設置したロードセルにより計測した。直接引張試験は変位制御により行い、0.02mm/min の速さで変位を与えた。

4. 実験結果および考察

直接引張試験から得られた応力-ひずみ曲線を 3 種類の配合別に図-2 に示す。各配合で 5 回の直接引張試験を実施したが、配合 2 では 3 回の試験で、配合 3 では 1 回の試験で変位計の計測範囲外で破壊が生じたため、計画どおり破壊した試験結果だけを用いて、各配合の応力-ひずみ関係の平均曲線を作成した。平均曲線から、各配合のひび割れ発生強度/引張強度/引張強度に対応するひずみを次のとおり定めた。すなわち、配合 1 で 11.3 MPa/13.3 MPa/5.7 ‰，配合 2 で 11.4 MPa/14.5 MPa/3.6 ‰，配合 3 で 11.7 MPa/14.4 MPa/4.1 ‰である。

マトリックスの構成材料に影響を受ける弾性領域における挙動は、3 種類の配合でほぼ同じであり、砕砂と珪砂の違いが UHPFRC の引張特性に及ぼす影響はほとんどないことが分かった。配合 1 の応力-ひずみ曲線はピークが明確でなくひずみ硬化挙動が小さいが、配合 2 および 3 では顕著なひずみ硬化挙動を示している。この違いは繊維量の多寡に起因すると考えられる。配合 2 および 3 では平均曲線だけをみると挙動にあまり違いは無いが、個別の試験から得られた応力-ひずみ曲線をみると配合 3 にはより大きなひずみ硬化挙動を示す結果もあり、0.5vol.% の繊維量の違いがひずみ硬化挙動の発現に影響を及ぼすことが示された。

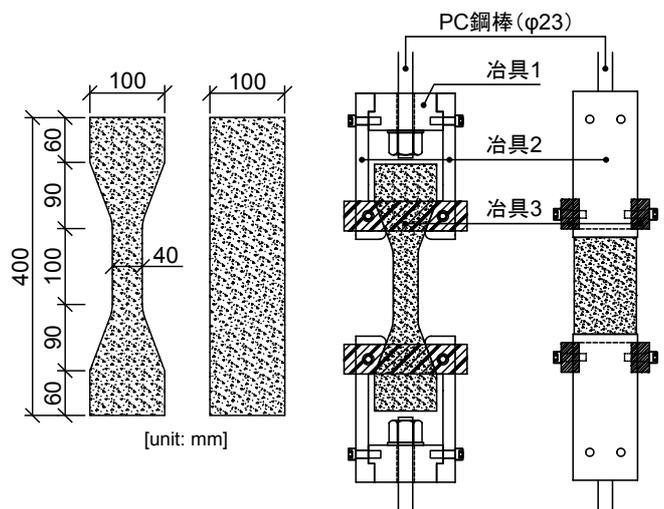
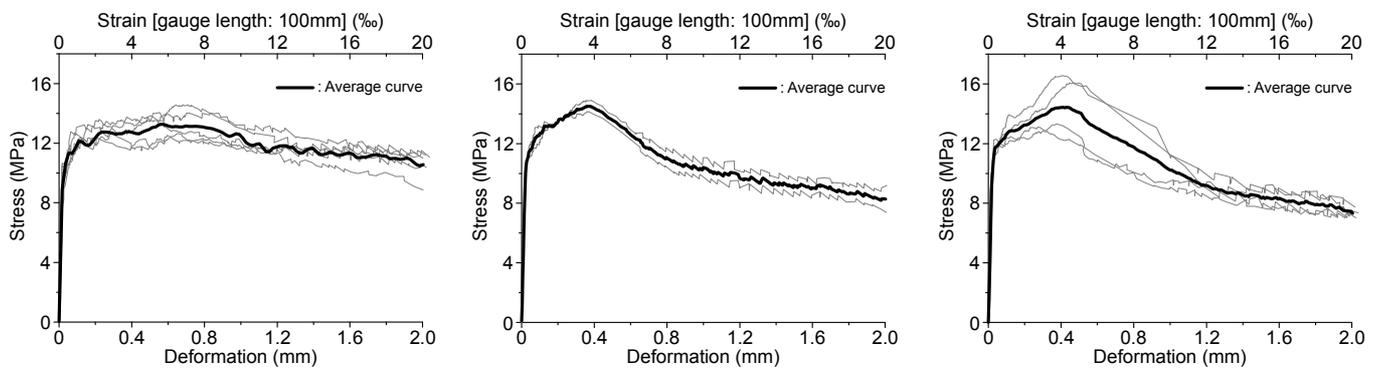


図-1 直接引張試験の供試体と治具の配置



(a) 配合 1 [2 種類の鋼繊維 1.75 vol.%]

(b) 配合 2 [鋼繊維 2.5 vol.%]

(c) 配合 3 [鋼繊維 3.0 vol.%]

図-2 直接引張試験から得られた応力-ひずみ曲線

5. まとめ

比較的大きな供試体を用いた直接引張試験により、UHPFRC の引張特性を把握した。本研究の結果を基に、橋梁の床版上面への適用の上で UHPFRC に求められる特性を見極めて最適な配合を決定し、UHPFRC を用いた橋梁床版の補修・補強工法の開発に繋げる所存である。

参考文献

- 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー113，2004
- 2) Brühwiler, E. : “Structural UHPFRC” : Welcome to the post-concrete era!, Proceedings of the First International Interactive Symposium on Ultra-High Performance Concrete, Des Moines, Iowa, July 18-20, 2016