

現場打ち超高性能繊維補強コンクリートの材料特性

長崎大学大学院	○永松 牧子
コサカ設計・アソシエーツ	Dipl. Ing 上阪 康雄
長崎大学大学院教授 正会員	工博 松田 浩
日本工営(株)	工修 海部 貴裕

Abstract : In recent years, it's paid attention that long life of various concrete structure and importance of maintenance. This article focuses Ultra High-Performance Fiber-Reinforced concrete (UHPFRC) as repairing and reinforcement of PC structure of new material. We carry out shrinkage test, resistance to mass transfer test, and reinforcement for adding thickness of top face due to examine into material properties of UHPFRC became possible for concreting in site by development of cold setting material. It becomes clear for material properties of UHPFRC and so It's expected that UHPFRC is utilized for maintenance as repairing and reinforcing material of prepared PC structures.

Key words : UHPFRC , Fiber Reinforced Concrete , Adding Thickness of Top face , Shrinkage Test

1. はじめに

コンクリートは建設工事において不可欠な材料であるが、コンクリート構造物がおかれる過酷な環境下では、常に耐久性が減じる方向にある。日本において2030年頃には、供用期間50年を超過する橋梁が全体の半数以上となるため、さまざまなコンクリート構造物の長寿命化や維持管理の重要性が注目されてきている¹⁾。本研究では、コンクリートの長寿命化や補修・補強による維持管理を図る新材料として超高性能繊維補強コンクリート(以下、UHPFRC)に着目した。UHPFRCは圧縮強度130N/mm²以上の現場打設可能な高強度コンクリートであり、短繊維鋼材を一様に分散させることにより、ひび割れに対する抵抗性、じん性を高めた複合材料である。さらに、普通コンクリートよりも透気・透水性が極めて小さく、耐久性が優れた緻密なコンクリートを用いることで、道路橋RC床版の防水工の省略も考えられる。

2. 研究概要

本研究では、(1)UHPFRCの材料特性を把握するために高強度コンクリート特有の課題である収縮ひずみ量の計測を行い、収縮低減剤および膨張剤を添加したときの収縮抑制効果について検証した。また、(2)透気・透水試験を実施し、施工打継目を含めた部位での空気および水に対する物質移動抵抗性について検証した。続いて、(3)UHPFRCを普通コンクリート角柱試験体に上面増厚した試験体を製作し、曲げ試験を行うことにより、UHPFRCの上面増厚補強効果を確認した。

3. 収縮量試験

3.1 試験目的

UHPFRCは高強度、高耐久、高流動、現場打ちが可能であるというメリットがあるが、高強度コンクリートであるため、セメント量が普通コンクリートよりも多く、水結合材比が小さくなり、自己収縮量が大きくなるという高強度コンクリート特有の問題点がある。本試験ではUHPFRCの収縮特性、収縮低減剤添加時および収縮低減と膨張材を併用したときの収縮特性を明らかにすることを目的とする。

3.2 試験概要

収縮ひずみ試験は、JSCE-K 561-2010²⁾に準拠して実施した。本試験に使用したUHPFRCは、プレミックス材、鋼繊維、スチールウール、減水剤、消泡剤から構成されるもので、これを基本配合とした。試験体はNo.1~3の3種類あり、No.1は基本配合とし、No.2は収縮低減剤を1.56%添加し、No.3は収縮低減剤を1.56%と膨張材を1.26%添加した。100×100×400mmの試験体を製作し、埋込みひずみゲージを埋設し、時刻、収縮量を計測した。練混ぜ日を材齢0日として、材齢360日まで計測を行った。また、収縮低減剤、膨張材添加による強度への影響を検証するために材齢28日に圧縮強度試験も実施した。

3.3 試験結果

収縮量試験結果を図-1に示す。図-1について、収縮量の計測を行ったのは材齢1, 3, 7, 14, 21, 28, 60, 90, 150, 180, 270, 360日のときであり、その時点の収縮ひずみをプロットしている。各配合とも材齢初期の段階では膨張し、そのあと収縮している。基本配合の360日時点での収縮ひずみは約 300×10^{-6} であり、基本配合と比較して、収縮低減剤、膨張材の添加は収縮量の低減につながる事がわかる。収縮低減剤のみの配合よりも収縮低減剤、膨張材を併用した方が、収縮ひずみが約 200×10^{-6} 小さくなり、一層の収縮量低減効果を期待できる。図-2に材齢28日の圧縮強度試験結果を示す。普通コンクリートと比較して³⁾収縮低減剤と膨張材の添加によるUHPFRCの圧縮強度と弾性係数の低下率は高いが、圧縮強度は 100N/mm^2 以上と、高強度を維持しており、影響は小さいことが確認できた。

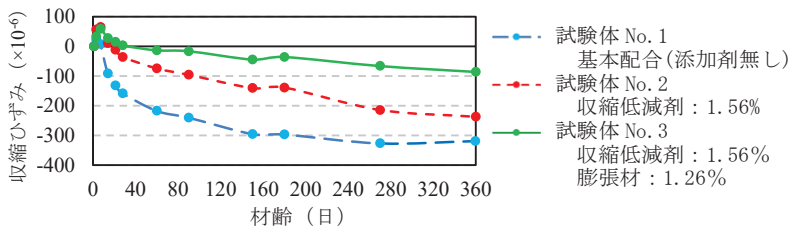


図-1 収縮量試験の結果

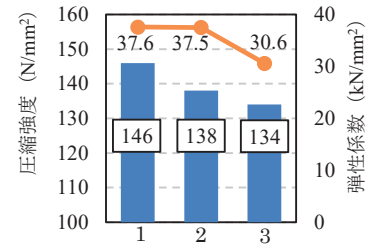


図-2 圧縮強度と弾性係数の結果

4. 物質移動抵抗性試験

雨水の侵入によるコンクリート床版の早期劣化事例が多く報告されている。そこで、道路橋床版の上面増厚補強材ならびに床版防水層としてのUHPFRCの有用性、有効性を検討するために、物質移動抵抗性試験を実施した。試験項目はUHPFRCの空気、水に対する抵抗性とした。

4.1 透気試験

(1) 試験概要

本試験に使用したUHPFRCは、早強ポルトランドセメント、石灰石フィラー、シリカヒューム、短繊維、高性能AE減水剤から構成される配合とし、収縮量試験とは異なる材料である。試験体の概要を図-3に示す。試験方法は中村氏⁴⁾の透気試験方法を参考にした。試験体寸法は $450 \times 200 \times 20\text{mm}$ とし、長手方向の両端部から100mmの部分に打継目を設けた。床版補修において、打継目の問題は避けられないためである。打継目は階段型と傾斜型の2種類を設けた。打込み箇所は3つに分けることができるが、それぞれは個別に打設し、硬化したものをエポキシ樹脂により接着している。計測場所は図-3のa, b, cの3箇所とし、材齢14, 70日に試験体の型枠面で行った(練混ぜ日を材齢0日とする)。試験体は計測日まで水中養生をし、計測の3時間前に水中から取り出し、試験体表面が乾燥している状態で行った。すなわち、材齢14日の試験体は水中養生14日、材齢70日の試験体は水中養生70日の試験体となる。

試験ではトレント透過率試験機を用いて透気係数を測定した。図-4に示すように、内側と外側に隔てられているチャンバを測定箇所にあて、真空ポンプにより吸引しチャンバ内の圧力を下げる。吸引を止めるとコンクリート内から内側チャンバに空気が流入し内側チャンバ内の圧力が回復するが、外側チャンバの働きにより内側チャンバに流入する空気の流れを用いて透気係数が算定される。

(2) 試験結果

透気試験結果を図-5に示す。打継目がある階段型と傾斜型とも材齢14日では透気係数が高かったが、材齢70日になると低い値となった。このことから、水中養生を行った場合、打設後の時間経過とともに気体の移動抵抗性が好転していくことが考えられる。しかし、気中養生の場合、表面からの乾燥の影響で、時間経過にともなう透気係数の減少の傾向が変わる可能性もあり、今後は養生条件による透気係数の変化に関する研究の余地がある。打継目がないUHPFRCの透気係数は、14、70日とも非常に低く良好であることがわかり、既往研究⁴⁾と比較しても透気係数が $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 程度であり、妥当な結果であるといえる。さらに、打継目がない普通コンクリートの透気係数は $5 \times 10^{-16} \sim 10 \times 10^{-16} \text{m}^2$ という結果が得られており、UHPFRCの透気係数が優れていることがわかる。また、階段型より傾斜型の方が透気係数は小さいことが図-5より見てとれる。

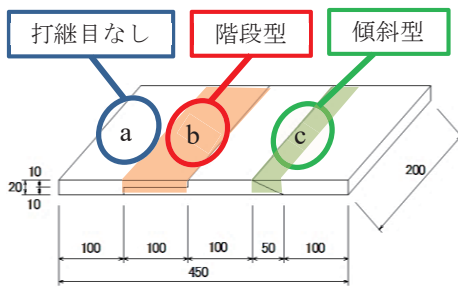


図-3 試験体概要(単位: mm)

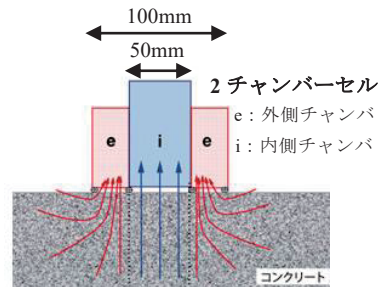


図-4 チャンバーセルの仕組み

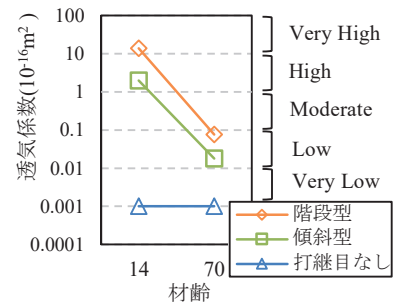


図-5 透気試験の結果

4.2 透水試験

(1) 試験概要

試験体は、透気試験で使用した試験体の裏面の計測面を用いて行った。図-6に透水試験の概要を示す。試験は中村氏⁴⁾の透水試験方法を参考に、JIS A 6909⁵⁾透水試験B法に準拠して実施した。初期水頭高さが試験体表面から250mmとなるよう水量を調整し、24時間後の水頭変化量を求めた。計測は、透水量が定常状態となるまで試験を継続し、回帰直線より単位時間透水量 (ml/d) を求めた。

(2) 試験結果

透水試験結果を図-7に示す。水中養生の条件において材齢14、70日を比較すると、材齢70日の方がUHPFRCのすべての計測位置で単位時間透水量の値が小さくなっていることから、打設後、空気と同様に水の移動抵抗性も時間の経過とともに好転していくことが考えられる。また、既往研究⁴⁾と比較して、打継目なしの単位時間透水量が0.01ml/d程度であり、妥当な結果であるといえ、普通コンクリートにおいては、単位時間透水量は約10ml/dという結果が得られており、普通コンクリートと比較するとUHPFRCの全計測位置における単位時間透水量が非常に小さく、UHPFRCの水に対する浸透抵抗性も優れていることがわかった。階段型と傾斜型を比較すると、傾斜型の単位時間透水量が小さく、水に対する浸透抵抗性も良好であると考えられる。

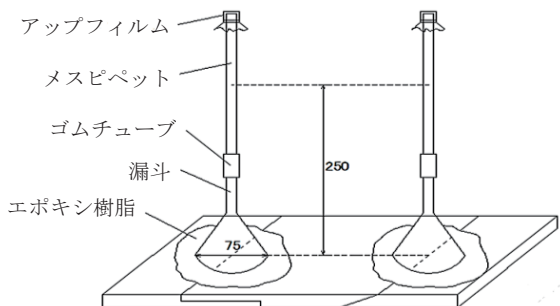


図-6 透水試験方法 (単位: mm)

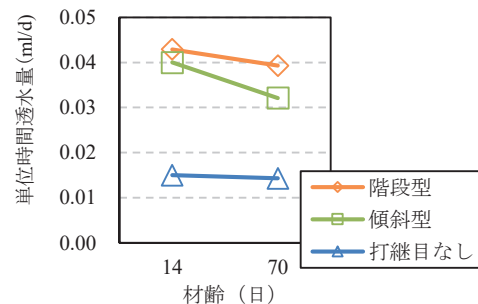


図-7 透水試験の結果

5. 上面増厚補強試験

5.1 試験目的

本試験は、母材となる普通コンクリートを打設し、その後UHPFRCを上面増厚補強材として打設した試験体を製作し、曲げ試験を実施することにより、UHPFRCの上面増厚補強材としての構造的効果を確認することを目的とする。比較として、普通コンクリートのみのRC供試体も製作し、比較を行った。

5.2 試験概要

本試験はJIS A 1106⁵⁾を参考に実施した。試験体の概要を図-8に示す。試験体は寸法100×100×400mmのRC角柱試験体である。普通コンクリートのみの試験体と普通コンクリート上面にUHPFRCを増厚した試験体をそれぞれ製作したが、比較をするために、どちらの試験体も高さは100mmとなっている。普通コンクリートのみの試験体を構造計算した場合、せん断耐力⁶⁾は60.3kN、曲げ降伏時せん断耐力は164kNとなり、せん断破壊を呈することが考えられる。また、試験体全体をUHPFRCのみを用いて打設した試験体の場合、せん断耐力は125kNと計算されるため、UHPFRCで20mm上面増厚した場合もせん断破壊すると考えられる。上面増厚補強試験体の打設手順は、まず母材となるRC角柱を打設し、7日後にUHPFRCを上面増厚補強材として打設した。打継面処理は金たわしを用いて、RC角柱打設面のレイタンスを取り除く程度に削り、粗面処理を施した。養生方法は室温20℃(±2℃)の温度制御養生とした。曲げ試験はUHPFRCを打設後28日とした。スパン中央の変位を変位計を用いて計測した。

5.3 試験結果

図-9に曲げ強度試験結果として荷重-変位曲線を示す。最大荷重は普通コンクリートのみが63.8kN、上面増厚補強試験体が71.3kNであり、UHPFRCで上面増厚補強を行うことにより最大荷重が大きくなっている。また、最大荷重に達した後の挙動が上面増厚補強試験体の方が緩やかな挙動を示しており、じん性が優れていることがわかる。このことから、UHPFRCの上面増厚補強材としての有効性を確認でき、劣化したRC梁やPC床版の補修・補強材として有効であると期待できる。

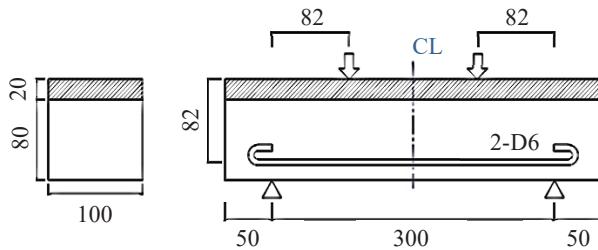


図-8 試験体寸法 (単位: mm)

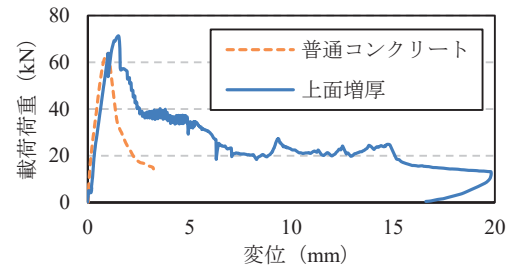


図-9 荷重-変位曲線

6. まとめ

- (1) UHPFRCは収縮低減剤で収縮ひずみを低減でき、膨張材を併用すると、さらなる低減効果が得られる。
- (2) 空気と水の物質移動抵抗性において、UHPFRCは普通コンクリートより優れている。また、打継目がある場合、階段型より傾斜型の方が抵抗性が大きい。
- (3) UHPFRCを上面増厚補強材として使用することで、最大荷重の増大および優れたじん性を示した。

参考文献

- 1) 松井繁之: 道路橋床版の長寿命化技術, pp. 1~2, 森北出版(株), 2016
- 2) コンクリート標準示方書[規準編]土木学会規準および関連規準, pp. 458~464, 土木学会, 2013
- 3) 大野吉昭, 榎田佳寛, 鹿毛忠継: コンクリートの乾燥収縮に及ぼす膨張材と収縮低減剤の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 65(1), pp. 233-238, 2011
- 4) 中村光: 緻密でよく曲がるセメント系材料を用いた補修・補強工法, ISSN 1883-3594, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発 成果報告レポート, No. 20-5, pp. 6~9, 新道路技術会議, 2011
- 5) コンクリート標準示方書[規準編]JIS規格集, pp. 557~559, (公社)土木学会, 2013
- 6) コンクリート標準示方書[設計編], pp. 177, (公社)土木学会, 2012