超高強度繊維補強コンクリートの遮塩性能に関する研究

大成建設　土木技術研究所　正会員　○坂本　淳
大成建設　土木技術研究所　フェロー会員　丸屋　剛
大成建設　土木技術研究所　フェロー会員　新藤　竹文
首都大学東京大学院　都市環境科学研究科　正会員　宇治　公隆

１．はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（以下，UFCと記す）は，高強度，高じん性などの特徴を活かし，PC橋梁構造物へ近年多く適用されている[1)]。今後は高耐久性材料である特徴を活かして，塩害環境下など過酷な環境下での供用も考えられることから，長期的な耐久性能を実験的に評価することは重要である。

UFCの遮塩性能については，乾湿繰り返しおよび 3%食塩水の噴霧を伴う促進腐食試験により，水セメント比 35%の高強度コンクリートとUFCとを比較検討した約 2 年間の試験結果を既報にて報告した[2)]。本報告は，その後に得られた継続試験結果に加えて，均し面の精度確保を目的として開発された，鋼繊維無添加配合を暴露表面に打ち重ねる工法[3)]，および顔料を添加したカラーUFC配合に関する試験結果を報告するものである。

２．配合および使用材料

本研究で対象とした試験ケースは，UFC を用いた 5 ケース，および水セメント比 35%の高強度コンクリート配合 1 ケースの計 6 ケースである。

UFC については表－１に示す標準配合(No.1)の他に，鋼繊維無添加配合(No.2)を暴露表面に打ち重ねて供試体を作製したもの，および顔料を添加したカラー配合 3 種（No.3）を対象とした。前者については配合 No.1 を 500×500×50mm の平板型枠内に打ち込んだ直後に配合 No.2 を 2mm 厚で敷き均し，その上に透水シートを貼付した鋼板を伏せ型枠として設置して硬化させた。後者については白，赤，茶の 3 種類の顔料をプレミックス粉体材料の 3mass.%内割置換として，JIS R 5201 に規定されるフロー試験（落下なし）で No.1・2 と同等なフロー範囲（220～280mm）となるよう高性能減水剤添加量を適宜調整した。

高強度コンクリートについてはコンクリート中の鋼繊維腐食状況を UFC と比較するため，表―2 に示すコンクリート配合を 5mm ふるいによりウェットスクリーニングしたモルタルに対して，UFC に用いた鋼繊維を 0.5vol.%添加した配合で試験を行った。

UFC5 ケースについては打込み後に標準熱養生（20℃×48hr 湿潤養生後，90℃×48hr 蒸気養生）を施し，高強度コンクリートについては試験開始材齢（55 日）まで標準水中養生とした。

表－1　UFCの配合および使用材料（kg/m^3）

No.	水+高性能減水剤	プレミックス粉体	顔料	鋼繊維	高性能減水剤添加量
1	180	2254	0	157	23
2	184	2300	0	0	24
3	180	2205～2214	68	157	25～30

・プレミックス粉体：密度2.82g/cm^3
・鋼繊維：φ0.2×15mm
・顔料：白(密度3.85g/cm^3)，赤(密度5.10g/cm^3)，茶(密度4.80g/cm^3)

表－2　高強度ｺﾝｸﾘｰﾄの配合および使用材料(kg/m^3)

水	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ	細骨材	粗骨材	高性能減水剤
164	469	764	937	4.5

・普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ：密度3.15g/cm^3
・細骨材：砕砂と山砂の混合砂，表乾密度2.63g/cm^3
・粗骨材：砕石，Gmax20mm，表乾密度2.67g/cm^3

表－3　促進腐食試験の試験条件

環境状態	温度	湿度	付与時間（温度上昇・降下時間含む）
湿潤	35℃	100%（3%食塩水を噴霧）	3hr/サイクル
乾燥	50℃	100%未満	5hr/サイクル

３．促進腐食試験の概要

促進腐食試験に用いた供試体は 40×40×160mm を標準とし，UFC 配合 No.2 を用いた打重ね供試体のみ，500×500×50mm 平板のまま前記の標準熱養生を施した後，50×50×200mm 供試体にカット整形して試験に供した。

促進腐食試験は，雰囲気温度および塩水の噴霧を自動的に制御可能な複合サイクル試験機を使用して行った。

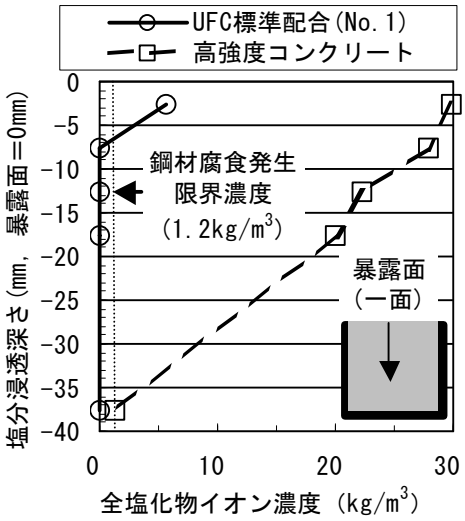
キーワード　超高強度繊維補強コンクリート，促進腐食試験，塩化物イオン，顔料
連絡先　〒245-0051　神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1　大成建設（株）技術センター　ＴＥＬ045-814-7228

試験条件は表―3 に示すように，湿潤状態と乾燥状態の繰返しを 8 時間／サイクルで行い，湿潤状態時には 3%食塩水を噴霧させた。供試体は塩分の浸透を一方向からとするため，暴露面は型枠の一側面（40×160mm）を標準とし，それ以外の 5 面についてはシーリングを施した。打重ね供試体については，鋼繊維無添加配合を打ち込んだ打込み面を暴露面とした。本試験では，試験開始から適当な時期に供試体を試験機から取り出し，JCI-SC4 による全塩化物イオン濃度分布の測定，フルオレセインナトリウム溶液法による腐食深さの測定等を行った。

4．試験結果

促進腐食試験の開始から 1～2 週間程度で，鋼繊維無添加配合を打ち重ねた供試体を除いた全ての試験ケースについて，供試体の暴露表面に鋼繊維の点錆が生じた。打重ね供試体については，試験開始から 40 ヶ月経過した時点においても暴露表面に点錆は生じていないことから，本工法は点錆防止に有効であると考えられる。

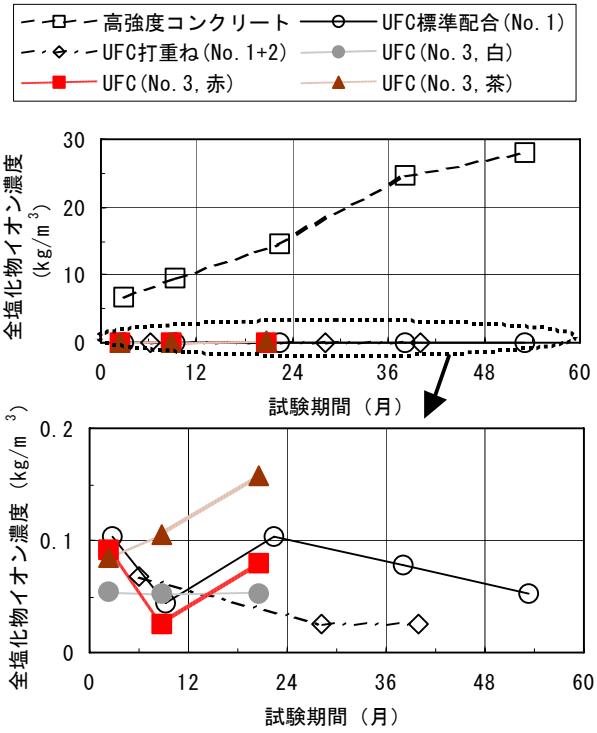
図―1 は，試験開始から 53 ヶ月経過した時点でUFC標準配合(No. 1)と高強度コンクリートについて調べた，供試体内部の全塩化物イオン濃度測定結果である。高強度コンクリートは暴露表面から深さ40mm程度，つまり本供試体におけるほぼ全断面において鋼材腐食発生限界濃度（1.2kg/m^3）に達しているのに対し，UFCは暴露表面のごく近傍数mmに濃度の高い領域があるのみで，それより深い位置では試験開始から全塩化物イオン濃度の増加はみられていない。



図―1　塩分浸透状況
（試験開始から 53 ヶ月後）

また，高強度コンクリートの供試体断面を目視観察した結果，断面内の鋼繊維はほとんど腐食しており，さらにフルオレセインナトリウム溶液を噴霧して目視観察した腐食深さは 35mm 程度であったことから，この時点で鋼繊維の腐食はほぼ全断面に生じているものと考えられる。これに対し，UFC 標準配合についても同様に観察したが，供試体内部の鋼繊維の腐食は認められず，腐食は暴露表面のごく近傍に限定された状態であると考えられる。

図―2 は，全試験ケースについて本試験における全塩化物イオン濃度の経時変化（暴露表面から 5～10mm の位置）を示したものである。同図より，供試体の製作方法や，顔料添加の有無に関わらず，今回検討した各種 UFC の遮塩性能は極めて高いことがわかる。



図―2　全塩化物イオン濃度の経時変化
（暴露表面から 5～10mm の位置）

5．まとめ

促進腐食試験を行った結果，水セメント比 35%の高強度コンクリートに比べて，供試体の製作方法や，顔料添加の有無に関わらず，各種 UFC の遮塩性能は極めて高いことが確認された。

参考文献

1） 武者ら：UFC を用いた PC 歩道橋の事例とその特徴，プレストレストコンクリート，Vol. 49, No. 6, pp. 48-56, 2007. 11

2） 坂本ら：高緻密性材料の塩分浸透性評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 27，No. 1，pp. 325-330，2005. 7

3） 田中ら：超高強度繊維補強コンクリートを使用した PC 橋梁の長大スパン化に関する研究開発，コンクリート工学，Vol. 42, No. 8, pp. 30-36, 2004. 8