

超高強度繊維補強コンクリートの塩分浸透性と鋼繊維の腐食に関する実験的検討

太平洋セメント（株）	正 会 員	兵頭 彦次
大成建設（株）	正 会 員	新藤 竹文
（独）港湾空港技術研究所	フェロー	横田 弘
長岡技術科学大学	正 会 員	下村 匠

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート(以下 UFRC)は鋼繊維によって補強されており、ひび割れ発生後も鋼繊維のブリッジングによって高い引張抵抗力を示す。UFRC を構造物に適用する場合、通常、その引張抵抗を活かすことで、鉄筋を用いない構造が可能となる。すなわち鋼繊維は補強鉄筋の代替材料であり、鋼繊維が長期にわたり所要の性能を保持することが重要である。そこで本研究は、UFRC 中の鋼繊維の腐食抵抗性および腐食した場合の性能低下の有無を確認することを目的に、外部からの塩化物イオンの浸透性と促進腐食試験による鋼繊維の性状について実験的評価を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合条件

UFRC の使用材料は、上水道水、プレミックス(太平洋セメント社製、DP-200)、鋼繊維($\phi 0.2 \times 15\text{mm}$)、高性能減水剤である。プレミックスは、セメント、シリカフェーム、珪石微粉末などが最密充填となるよう調整され、骨材として最大粒径

2mm の砂が混合されたものである。また比較用として用意した鋼繊維補強モルタル(以下 SFRC)の使用材料は、上水道水、早強ポルトランドセメント、硬質砂岩系砕砂、鋼繊維(UFRC と同一)、AE 減水剤とした。

表-1 に、UFRC および SFRC の配合条件を示す。鋼繊維混入率はいずれの配合も 2vol.%とした。また鋼繊維の腐食を促進するために練混ぜ水に NaCl を混入した。混入量は、全塩化物イオン(以下 Cl⁻)量が 0(無混入)、6、13kg/m³となるようにした。

2.2 実験方法

(1) 浸せき試験

UFRC 供試体(Cl⁻量:0kg/m³)に対し、人工海水(塩分濃度:3.4%)への浸せき試験を行い、Cl⁻の浸透深さの測定を行った。供試体寸法は 100×100×400mm とし、養生は、打込み後 20℃恒温室内での湿潤養生を 48 時間、脱型後 90℃の蒸気養生を 48 時間行った。浸透面は打込み面に対し長手方向の側面とし、Cl⁻濃度分布は EPMA 分析(測定範囲:5×5mm)によって測定した。

(2) 温海水乾湿繰返し試験

鋼繊維の腐食を促進させる目的で、UFRC および SFRC 供試体に対し、温海水乾湿繰返し試験を行った。供試体寸法は、40×40×160mm とした。UFRC の養生は、浸せき試験と同様とし、SFRC は、成型後 1 日で脱型し、材齢 7 日まで 20℃水中養生を行った。促進条件は、60℃の海水に浸せき 3.5 日、送風による乾燥 3.5 日を 1 サイクルとし、15 サイクル行った。試験後の供試体に対し、目視による表面および内部の鋼繊維の腐食観察、EPMA 分析による Cl⁻濃度分布の測定、曲げ強度試験による力学的性能の評価を行った。

3. 実験結果

3.1 浸せき試験結果および見掛けの拡散係数の推定

図-1 に、浸透面から 5mm の範囲の Cl⁻濃度分布を、浸せき期間 1.5 年、2.5 年についてそれぞれ示す。Cl⁻は、時間の経過とともに深部へ浸透し、浸漬期間 2.5 年における浸透深さは約 2.5mm であった。表-2 に、これらの結果から見掛けの拡散係数を推定¹⁾した結果を示す。UFRC の拡散係数は 0.002cm²/年程度であり、その値は一般のコンクリートと比べ 2~3 桁小さく、高い遮塩性能が認められた。

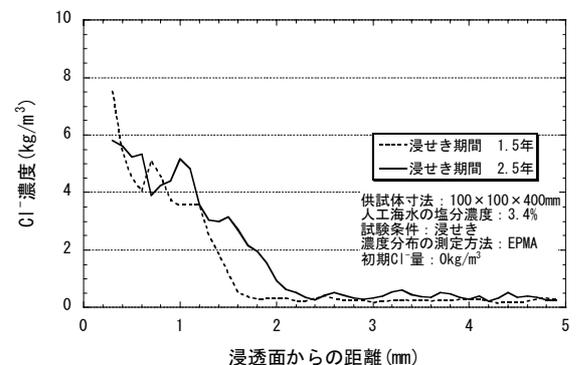


図-1 浸せき試験後の Cl⁻濃度分布

表-2 見掛けの塩化物イオン拡散係数の推定結果

浸せき期間(年)	1.5	2.5
見掛けの拡散係数(cm ² /年)	0.0022	0.0019

キーワード：超高強度繊維補強コンクリート、塩害、拡散係数、鋼繊維、促進腐食試験

連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 Tel043-498-3902

3.2 温海水乾湿繰返し試験結果

図-2 に、乾湿 15 サイクル後の型枠底面側の発錆状況を示す。UFRC, SFRC とともに、表面に点錆や線錆が認められた。腐食している箇所、範囲はUFRCと比べSFRCに多く認められた。練混ぜ時に混入したCI(以下初期CI)量の違いが表面の発錆に与える影響は少なかった。次に供試体を破断し、内部の鋼繊維の状況を目視で確認した。SFRC の場合、初期CI量にかかわらず一部の鋼繊維が黒く変色していたが、赤錆や孔食といった著しい劣化は認められなかった。UFRC の場合、いずれの初期CI量においても鋼繊維の変色、変状は全く認められなかった。初期CI量が同量であるにもかかわらず、UFRC の鋼繊維の状態が SFRC と異なるのは、硬化体組織が非常に緻密で、腐食の要因となる酸素や水の供給が少ないことが主な原因であると考えられる。

図-3 に、乾湿 15 サイクル後における、UFRC および SFRC 供試体(初期CI量:0kg/m³)の長手直角方向の断面内(範囲:40×40mm)のCI濃度分布を示す。SFRC の場合、断面中央のCI濃度が6kg/m³程度まで上昇しており、CIの浸透性の点で、実験条件が非常に厳しいものであることがわかる。このような条件においても、UFRC の場合、非常に高い遮塩性を示し、その浸透深さは1.5mm程度であった。

図-4 に、初期CI量と曲げ強度の関係を示す。UFRC の曲げ強度は、乾湿試験前後で初期CI量にかかわらずほぼ一定であった。一方、SFRC の曲げ強度は、乾湿試験後8～10MPa程度増加し、初期CI量の増加にともなって低下する傾向が見られた。これは、SFRC 中の鋼繊維の劣化状況から推測すると、促進期間中の強度発現や多量のCI混入によるマトリクスの変化が主な原因と考えられる。図-5 に、初期CI量が13kg/m³の場合の荷重-クロスヘッド変位関係を示す。同図より、UFRC は、最大荷重時だけでなく、それ以降の変形性能についても変化は認められず、曲げ引張性能の健全性を維持していると判断できる。なお、このような傾向は初期CI量が異なる場合も同様であった。

以上のことから、UFRC は、CIの浸透に対する抵抗性およびCIの存在下における鋼繊維の耐食性の点で、非常に優れた性能を示し、厳しい塩害環境下においても、鋼繊維の腐食によって力学的性能の低下が生じる可能性は極めて低いと考えられる。

4. まとめ

本実験の範囲で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 人工海水の浸せき試験結果から推定した UFRC の見掛けの拡散係数は 0.002cm²/年程度であり、一般のコンクリートと比べ2～3桁小さかった。
- (2) UFRC は、海水を用いた乾湿繰返し条件下においても、優れた遮塩性能を示した。また、初期CI量にかかわらず、内部の鋼繊維の腐食や、曲げ試験による力学的性能の変化は認められなかった。

[謝辞]

本研究の一部は、土木学会コンクリート委員会・超高強度繊維補強コンクリート研究小委員会の活動成果であり、温海水乾湿繰返し実験の実施に当たっては、(独)港湾空港技術研究所の岩波光保主任研究官に多大なるご協力を賜りましたことを、ここに付記します。

[参考文献] 1) 細川, 森, 山田, 山本:EPMA により測定した塩化物イオン濃度プロファイルによる見掛けの拡散係数の推定, セメント・コンクリート論文集, No.57, pp.293-299, 2003.

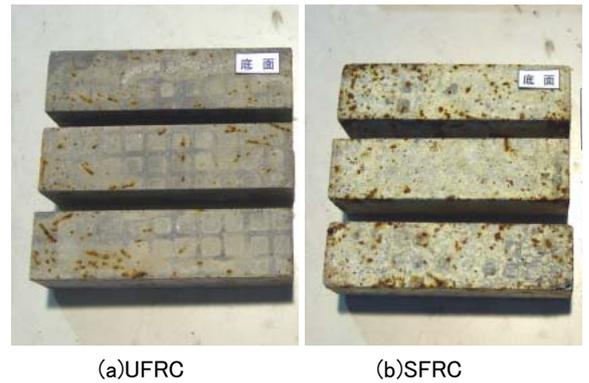


図-2 乾湿 15 サイクル後の供試体表面の腐食状況
(初期CI量 0kg/m³(上), 6kg/m³(中), 13kg/m³(下))

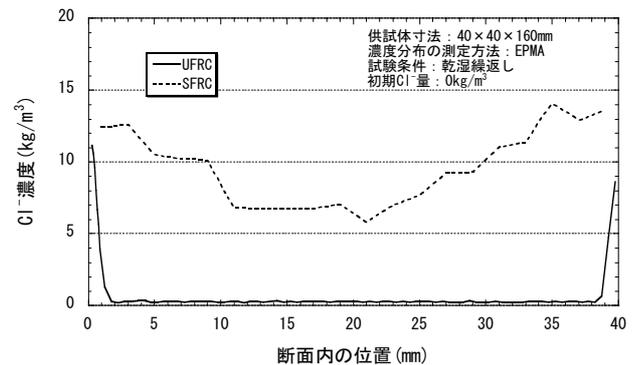


図-3 乾湿 15 サイクル後の供試体中のCI濃度分布

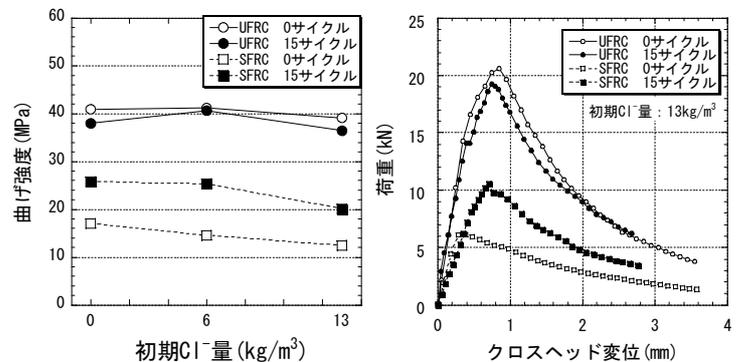


図-4 曲げ強度と初期CI量の関係 図-5 荷重-クロスヘッド変位関係