

乾湿繰返し促進腐食試験による超高強度繊維補強コンクリートの耐久性能評価

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 UFC)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。したがって、腐食性環境下において鋼繊維が著しく腐食劣化し、構造物の性能低下に繋がることがないかどうか確認しておく必要がある。そこで本研究では、60℃の温海水による乾湿繰返し促進腐食試験を行い、UFCの引張性能の観点から鋼繊維の腐食による影響の評価を行った。また、UFCはひび割れを許容しない設計が一般的であるが、供用期間中に不測の事由によりひび割れが生じた場合を想定して、ひび割れを有する場合の劣化性状についても併せて評価した。なお、本報告は、平成16年刊行土木学会「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」¹⁾(以下、指針(案))の作成にともなう同研究小委員会の成果を取りまとめ、さらに長期データを追加して報告するものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合条件

UFC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(φ0.2×15mm)、高性能減水剤となっている。プレミックスは、セメント、シリカフューム、珪石微粉末および最大粒径2mmの珪砂が緻密に充てんするように粒度構成したものであり、指針(案)中の標準配合粉体に相当する。表-1に、UFCの配合条件を示す。W/Cは22%、鋼繊維の容積混入率は2%とした。UFCの養生は、成形後2日間20℃封緘養生した後、90℃-48時間の蒸気養生を行った。

表-1 配合条件

配合記号	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	鋼繊維容積混入率(%)
UFC	22	180	2.0

2.2 実験方法

(1)促進腐食試験方法

促進腐食試験として、温海水乾湿繰返し試験を実施した。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、55サイクル(約1年間)まで行った。

(2)ひび割れのない場合

角柱供試体(寸法40×40×160mm)を用いて、促進期間15、30、55サイクルで、EPMA(電子線マイクロアナライザ)によるCIの浸透プロファイルの測定と曲げ強度試験を実施した。曲げ強度試験は3等分点载荷とした。

(3)ひび割れを有する場合

角柱供試体(寸法100×100×400mm)を用いて、3等分点曲げ载荷によってひび割れを導入し、促進期間10および30サイクルで再度曲げ载荷試験を実施した。ひび割れの大きさは、除荷後の引張縁残留ひずみで200μ程度(W1シリーズ)および残留ひび割れ幅で0.1mm以上(W2シリーズ)の2水準とした。W1シリーズの残留ひずみは、設計上、UFCにひび割れが発生する引張ひずみに相当し、割裂試験によるひび割れ発生強度と静弾性係数から概算で設定した。W2シリーズのひび割れ幅は、鋼繊維のブリッジングによってUFCが一定の引張応力を維持している状態に相当し、既往の研究²⁾を参考に、鋼繊維の腐食が顕著になると考えられる値を設定した。なお、ひずみは等曲げモーメント区間の変位をパイ型変位計で測定し、検長で除すことで算出した。ひび割れ幅は、分散ひび割れの中で最大のものを選択しクラックスケールで測定した。

3. 実験結果

3.1 ひび割れのない場合

図-1に、供試体長手直角方向の断面内(範囲:10×40mm)のCIの浸透プロファイルを促進期間別にそれぞれ示す。また、比較としてW/C40%のモルタル(早強ポルトランドセメントを使用)の結果も併せて示す。同図より、比較用供試体は15サイクルで既に断面中央部までCIの浸透が認められ、本試験条件がCIの浸透の点で非常に厳しいことが伺える。一方、UFCの場合、浸透深さは促進期間15、30、55サイクルに対し、それぞれ1.5mm、2.0mm、2.0mm程度であり、CIの浸透は供試体表面のごく僅かな範囲に限られた。また、UFC断面内の鋼繊維を目視で確認したところ、変色等は全くなく健全であると判断さ

キーワード: 超高強度繊維補強コンクリート、鋼繊維、塩害、ひび割れ、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 Tel043-498-3837

れた。図-2に、促進期間と曲げ強度の関係を示す。同図より、促進期間にかかわらず曲げ強度の変化はほとんど認められないことがわかる。UFCは比較的高温で蒸気養生を行うため、通常、養生後の強度発現はほとんどない。したがって、本試験結果は、この強度発現性状を裏付ける結果を示している。以上の結果から、ひび割れがない場合のUFCはCIの浸透性が極めて小さく、鋼繊維の腐食劣化やそれともなう引張性能の低下の可能性は極めて低いと考えられる。

3. 2ひび割れを有する場合

図-3に、基準供試体(促進なし)および促進期間30サイクル後のW1, W2シリーズの荷重-たわみ関係例を示す。同図より、W1シリーズの挙動は基準供試体とほぼ同様であることがわかる。またひび割れ面を観察したところ、鋼繊維の腐食は全く認められなかった。EPMAを用いた組成像による詳細なひび割れ観察と、面分析によるひび割れ部へのCI浸透測定を行ったところ、表面から2mm程度の位置で水和物がひび割れを充てんしている箇所が確認され、CIの浸透深さと概ね一致した。したがってW1シリーズでは、ひび割れ面の未水和粒子が海水と接触し、ひび割れ部に水和物を生成することでCIの浸透を阻害したと考えられ、このことが鋼繊維の健全性を維持した主要因の一つであると考えられる。一方、W2シリーズでは、促進試験前と比べ促進後の耐荷力が低下していることがわかる。ひび割れ面を観察したところ、比較的多くの箇所赤錆や錆汁が発生するとともに鋼繊維の破断が認められ、促進試験後の耐荷力の低下は鋼繊維の腐食ともなう断面欠損によるものと考えられる。次に、これらの結果を促進期間別に曲げ強度比と残留ひび割れ幅の関係で整理したものを図-4に示す。ここで曲げ強度比とは、W1シリーズの場合、基準供試体との曲げ強度の平均値の比を、W2シリーズの場合、除荷直前の曲げ応力と促進試験後の最大曲げ応力の比とした。またW1シリーズのひび割れ幅は、等曲げ区間に1本のひび割れが発生したと仮定し、検長とひずみの積とした。同図より、W1シリーズの場合、促進期間にかかわらず曲げ強度比がほぼ一定であることがわかる。一方、W2シリーズの場合、曲げ強度比は、促進期間10サイクルでは変化が認められないが、30サイクルでは0.2~0.33mmのひび割れ幅の範囲で15~30%の低下が認められた。また、ひび割れ幅が大きくなるとともに曲げ強度比が低下する傾向が認められた。これらのことから、少なくとも0.2mm程度以上の残留ひび割れを有する場合、厳しい腐食環境では引張性能が低下する恐れがあり、適切な対策を施す必要があると考えられる。

4. まとめ

UFCを対象に、温海水乾湿繰返しによる促進腐食試験を約1年間実施し、得られた知見を以下にまとめる。

- (1)ひび割れがない場合、CIの浸透は極めて小さく、浸透深さは最大で2mm程度であった。また促進試験を通じて、曲げ強度の変化は認められなかった。
- (2)残留ひずみ200μ程度のひび割れを有する場合、鋼繊維の腐食や引張性能の低下は認められなかった。これは、水和物がひび割れ部を充てんしCIの浸透を阻害したことが主要因の一つと考えられる。
- (3)0.2~0.33mmのひび割れ幅を有する場合、ひび割れ面の鋼繊維が腐食し曲げ強度比で15~30%程度低下した。

[謝辞] 試験実施にあたり(独)港湾空港技術研究所の岩波光保主任研究官ならびに加藤絵万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) 土木学会:超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第113号, 2004. 2)河野ら:鋼繊維コンクリートのひび割れと発錆に関する検討, 第34回土木学会年次学術講演概要集, 第V部門, pp.139-140, 1979.

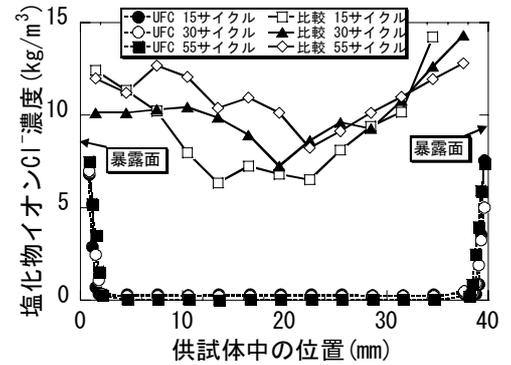


図-1 供試体中のCI濃度プロファイル

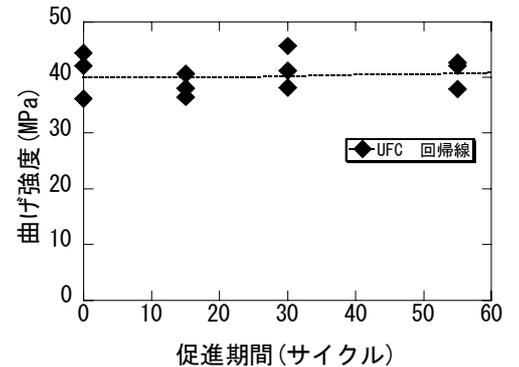


図-2 促進期間と曲げ強度の関係

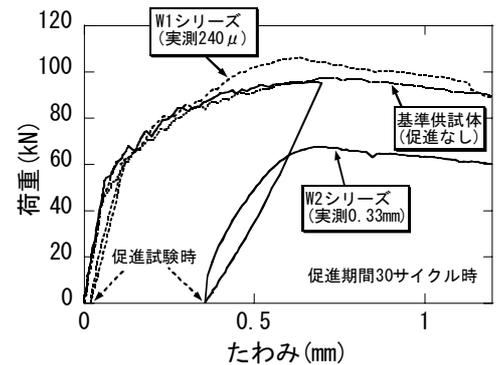


図-3 荷重-たわみ関係の例

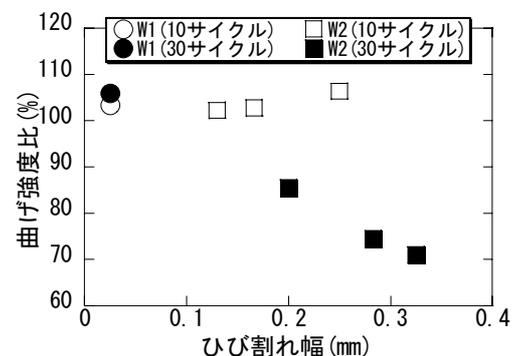


図-4 ひび割れ幅と曲げ強度比の関係