

腐食環境下における超高強度繊維補強コンクリートの引張軟化特性

北海道大学大学院 学生会員 ○豊田 昂史
北海道大学大学院 フェロー 横田 弘
北海道大学大学院 正会員 橋本 勝文
太平洋セメント株式会社 正会員 河野 克哉 川口 哲生 森 香奈子

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFC)はひび割れ発生後においても、引張力を十分に負担できる優れた力学特性を有している。しかしながら、現行の設計・施工指針¹⁾では、UFCに発生する引張応力が設計ひび割れ発生強度を超えないように規定されており、UFCに対しひび割れの発生を許容していない。一方で、有筋部材へのUFCの適用および収縮によるひび割れの発生を考慮した場合、発生するひび割れの許容を視野に入れる必要がある。特に塩分環境下では、ひび割れ発生後に架橋する鋼繊維が腐食すると考えられるが、このような状態で引張力をどの程度負担できるかは不明確である。そこで、本研究では、ひび割れを有するUFCを海水浸漬し、一定の浸漬期間後の引張軟化特性を把握する。これにより、ひび割れ発生後にUFCが保有する性能を確認することを目的とした。

2. 実験概要

表-1にUFCの配合を示す。使用材料として、セメントは低熱ポルトランドセメント(LC, $\rho=3.22\text{g/cm}^3$)、混和材にはシリカフューム(SF, BET比表面積 $10\text{m}^2/\text{g}$, $\rho=2.40\text{g/cm}^3$)、細骨材には珪砂(S, $\rho=2.61\text{g/cm}^3$)、補強繊維には鋼繊維(F, 直径 $0.2\text{mm}\times$ 長さ 15mm , $\rho=7.84\text{g/cm}^3$)、混和剤には高性能減水剤(SP)を使用した。なお、配合条件はFurnaceの最密充填理論による簡易計算²⁾に基づき、粉体構成(LC:SF=8:2(体積比))を決定した。100mm $\times$ 100mm $\times$ 400mmの角柱供試体をJCI-S-001-2003「切欠きはりをを用い

た繊維コンクリートの荷重-変位曲線試験方法」に準拠して作製し、熱養生終了後の供試体のスパン中央にコンクリートカッターを用いて幅5mm、深さ30mmの切欠きを導入した。その後、後述する曲げ試験にて初期ひび割れを導入した。その際、残留ひび割れ幅を0(ひび割れ無し)、0.1、0.5および1.0mmの4水準設定した。初期ひび割れを導入した供試体を切欠き端部から5mmの高さまで人工海水に3か月間浸漬した。人工海水には予め濃度を調整した粉体製品を使用した。初期ひび割れの導入直後および海水浸漬試験終了後に図-1に示すようにスパン300mmで万能材料試験機を用いて3点曲げ载荷を行い、荷重およびひび割れ肩口開口変位(CMOD)を測定した。得られた荷重-CMOD曲線を用いて引張軟化曲線を推定した³⁾。表-2にUFC供試体の力学特性を示す。

3. 実験結果

3. 1 鋼繊維の腐食状況

3か月海水浸漬終了後の供試体において、鋼繊維が海水に浸水していた領域、海水面付近の領域および浸水していない領域から鋼繊維を採取し、マイクロスコプを用いて鋼繊維の腐食状況を撮影した。図-2に海水に浸水していた領域の鋼繊維の写真を示す。図より、初期導入ひび割れ幅が大きい供試体ほど鋼繊維の著しい腐食の進行が確認された。

3. 2 引張軟化曲線

得られた引張軟化曲線を図-3に示す。初期結合応力(ひび割れ幅が0mmにおける引張応力)および最大

表-1 UFC の配合

配合条件(Vol.%)			単位量(kg/m ³)					
W/(LC+SF)	SF/(LC+SF)	F混入量	W	LC	SF	S	F	SP
40	20	2.0	180	1146	214	927	157	24

表-2 UFC 供試体の力学特性

圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破壊エネルギー (N/mm)
210	59.5	10.5	14.40

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート、塩分浸透、腐食、曲げ試験、引張軟化
連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 TEL 011-706-6204

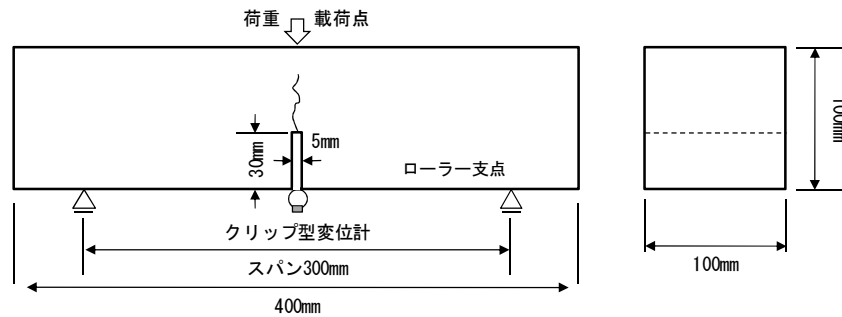
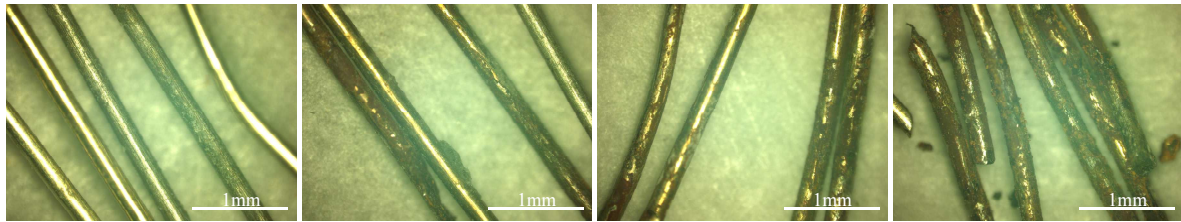


図-1 供試体および曲げ試験の概要



a) 初期導入ひび割れ無し

b) 初期導入ひび割れ0.1mm

c) 初期導入ひび割れ0.5mm

d) 初期導入ひび割れ1.0mm

図-2 鋼繊維の腐食状況(海水に浸水していた領域)

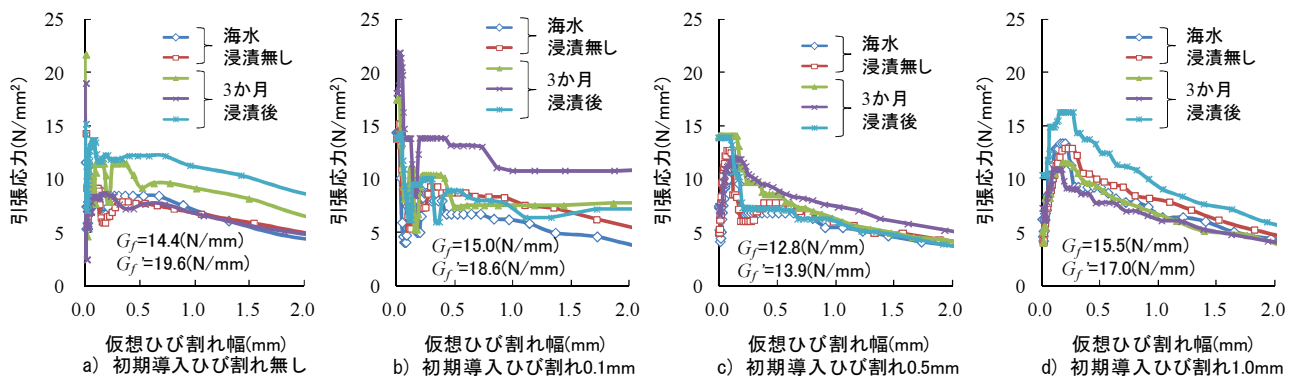


図-3 引張軟化曲線

引張応力は、初期導入ひび割れ幅によらず、3 か月海水浸漬試験終了後の方が海水浸漬しない場合に比べて大きくなる傾向が認められた。さらに、3 か月海水浸漬終了後(G_f')は海水浸漬前(G_f)と比較して破壊エネルギーが増加する傾向が認められた。これは、未水和セメントの再水和および二次生成物の析出等によるひび割れの閉塞あるいは鋼繊維に軽微な腐食が生じることによるモルタルとの付着性能の向上によるものであると考えられる。

4. まとめ

腐食環境下にてひび割れを有する UFC の引張軟化特性を調べた結果、鋼繊維の腐食が引張応力の負担に影響を及ぼすことが確認された。特に、初期導入ひび割れ幅に関わらず海水浸漬後には、より大きな初期結合応力および破壊エネルギーを示すことが

分かった。今後は6 か月、12 か月と浸漬期間を延長し、ひび割れ幅と塩分浸透性状および架橋する鋼繊維の腐食の進行が引張軟化特性に及ぼす影響を精査する予定である。

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号, pp.38-39, 2004
- 2) 三輪茂雄：粉粒体工学, 朝倉書店, pp.140-145, 1972
- 3) 日本コンクリート工学協会：多直線近似法による引張軟化曲線の推定マニュアル, コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会, 2001