

凍結融解作用を受けた超高強度繊維補強コンクリートの引張特性に関する考察

北海道大学大学院 工学院 学生会員○上松瀬 慈
 北海道大学大学院 工学研究院 フェロー 横田 弘
 北海道大学大学院 工学研究院 正会員 橋本 勝文
 太平洋セメント株式会社中央研究所 複合構造材料チーム 正会員 河野 克哉

1.はじめに

引張脆弱性をもつコンクリート材料に対し、高強度の短繊維を混入した超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）に関する研究開発が広く推し進められており、部材断面の薄肉化など多くの合理化が図れる建設材料として期待されている。既往の研究から、繊維補強コンクリートは凍結融解に対する抵抗性が極めて高いことが知られている¹⁾が、構造部材として使用される場合、供用期間中にひび割れが発生することも報告されている。したがって、ひび割れ発生後のUFCの力学特性を適切に評価しておくことが、材料の適用範囲を広げるためには必要であると考えられる。

本研究では、ひび割れを導入したUFCを人工海水に浸漬した状態で凍結融解試験を行い、腐食環境および凍結融解環境下における引張特性に関する新たな知見を得ることを目的とした。

2.実験概要

使用材料として、低熱ポルトランドセメント ($\rho=3.22\text{g/cm}^3$)、シリカフューム (BET 比表面積 $10\text{m}^2/\text{g}$, $\rho=2.40\text{g/cm}^3$)、珪砂 ($\rho=2.61\text{g/cm}^3$)、高性能減水剤を使用し、鋼繊維（直径 $0.2\text{mm}\times$ 長さ 15mm , $\rho=7.84\text{g/cm}^3$ ）を体積比で2%混入した。

$100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 400\text{mm}$ の角柱供試体を作製し、熱養生終了後に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、曲げ荷にて所定の残留幅を有するひび割れを導入した。残留ひび割れ幅は、 0.0mm （ひび割れ無）、 0.1mm 、 0.5mm および 1.0mm の4水準とした。

凍結融解試験の温度変化は $-25\sim 30^\circ\text{C}$ であり、1サイクルに要する時間は12時間とした。ひび割れを導

入した供試体を切欠き上端から上方 5mm の高さまで人工海水に浸漬した。なお、凍結融解サイクル数が720サイクルとなるまで試験を継続した。また、比較対象として、同様にひび割れを導入した供試体を室温において同期間、海水浸漬した。

所定の凍結融解および海水浸漬終了後に3点曲げ荷重を行い、荷重およびひび割れ肩口開口変位（以下、CMOD）を測定した。また、得られた荷重-CMOD曲線を用いて引張軟化曲線を同定した²⁾。さらに、得られた引張軟化曲線および荷重-CMOD曲線に基づき、初期結合応力と破壊エネルギーを算出した。

3.引張軟化特性

3.1 引張軟化曲線

荷重-CMOD曲線を用いて同定した引張軟化曲線を図-1に示す。これはUFCの引張軟化曲線は繊維の架橋効果によって保持される引張応力とひび割れ幅の関係を示すものである。この架橋効果によって保持される引張応力に着目すると、初期導入ひび割れ幅が 0.0mm および 0.1mm の供試体では、海水浸漬および凍結融解の有無に拘わらず引張応力に大きな変化がないことが確認できた。一方、初期導入ひび割れ幅 0.5mm および 1.0mm の供試体では、海水浸漬のみの場合、架橋効果によって保持される引張応力が極端に減少する供試体が存在したが、凍結融解ありの場合においては大きな変化はなかった。これは、室温においては海水浸漬によってひび割れを架橋する鋼繊維の腐食が進行したのに対し、凍結融解環境下では腐食の進行が停滞したことが影響したと考えられる。すなわち、架橋効果によって保持される引張応力は鋼繊維の腐食により低下したと言える。

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート、引張軟化曲線、凍結融解作用、ひび割れ幅、初期結合応力
 連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 TEL 011-706-6204

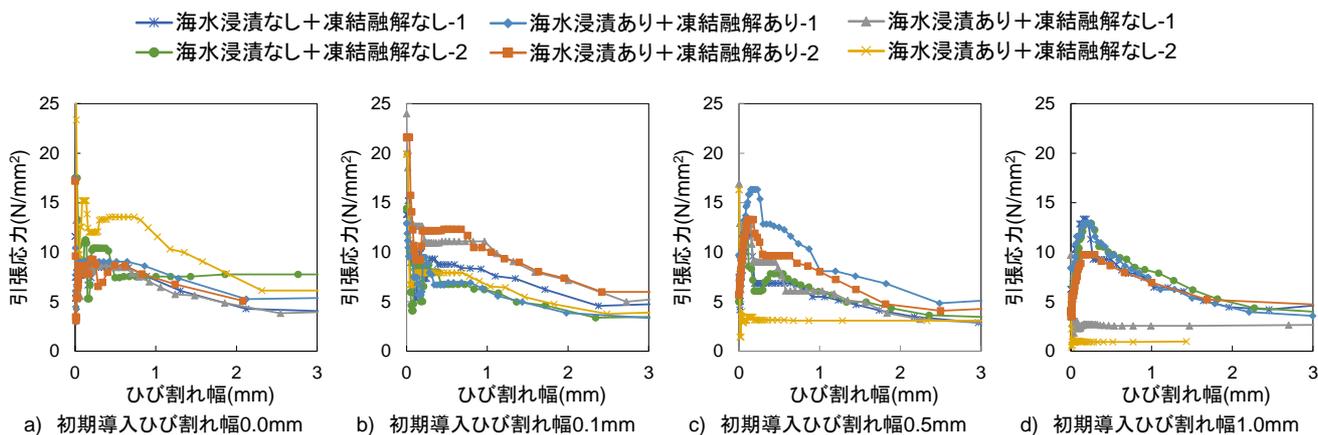


図-1 引張軟化曲線

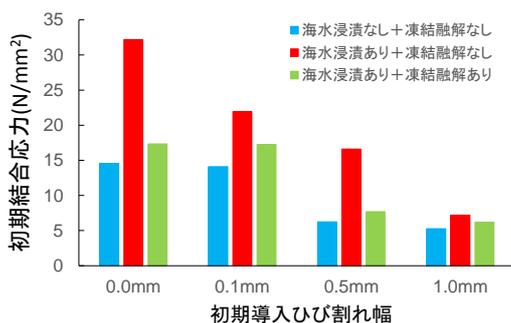


図-2 初期結合応力

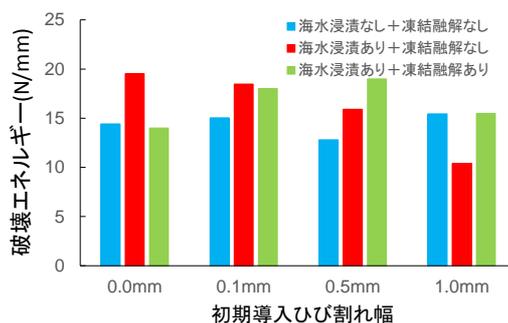


図-3 破壊エネルギー

3.2 初期結合応力

図-1の引張軟化曲線において、ひび割れ幅が0.0mmの最大引張応力(y切片)を初期ひび割れの導入に拘わらず初期結合応力と表現し、図-2に示す。これより、海水浸漬および凍結融解の有無に拘わらず、初期導入ひび割れ幅の増加に伴い初期結合応力が低下した。一方、海水浸漬ありの場合、海水浸漬なしの場合と比較して初期結合応力が増加し、その増加量は凍結融解ありの場合が凍結融解なしの場合より小さいことが確認できた。このことから、凍結融解なし(海水浸漬あり)の場合には、鋼繊維の腐食が進行することで初期結合応力が増加し、凍結融解ありの場合には鋼繊維の腐食が停滞したことにより、初期結合応力の増加はわずかとなった。

3.3 破壊エネルギー

荷重-CMOD曲線から算出した破壊エネルギーを図-3に示す。海水浸漬なしの場合および凍結融解ありの場合には、初期導入ひび割れ幅の増加に伴う破壊エネルギーの変化には傾向がみられない一方で、海水浸漬のみの場合においては初期導入ひび割れ幅の増加に伴い破壊エネルギーが減少した。上述した引張軟化挙動および初期結合応力と同様に、凍結融

解なし(海水浸漬あり)の場合には、進行する鋼繊維の腐食が破壊エネルギーに影響を及ぼすが、凍結融解ありの場合には、鋼繊維の腐食そのものが停滞するため、破壊エネルギーは低下しないことがわかった。

4.まとめ

ひび割れを有するUFCが凍結融解環境下に置かれた場合、室温環境と比較して鋼繊維の腐食に起因する架橋による保持応力の低下、初期結合応力の増加および破壊エネルギーの減少が起こりにくい。これは、凍結融解作用が加わることによって腐食の進行が停滞することが一因であると推察できる。

参考文献

- 1) 岩本勲, 嵯峨山剛, 眞嶋光保: 凍結融解作用を受けた繊維補強コンクリートの力学特性と微視的構造の変化, 土木学会論文集, No.538/V-31, pp.27-35, 1996
- 2) 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委員会, 2001