

常温硬化型 UFC の水中曲げ疲労特性に関する実験的検討

(株)大林組 フェロー ○野村 敏雄 正会員 佐々木 一成
宇部興産(株) 正会員 桐山 宏和

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート(Ultra high strength fiber reinforced concrete : 以下, UFC)¹⁾は高強度で緻密なため, 中性化や塩害に対する抵抗性が高いことが知られている. この特長を活かして海洋構造物や道路橋床版など, 水中または湿潤状態で, かつ, 繰り返し荷重が作用する場所での使用が期待される. 常温養生で高い強度を発現する常温硬化型 UFC²⁾は場所打ちできるため, 補修, 補強といった用途でも使用が可能となる. UFC はひび割れを許容しない使い方が一般的ではあるが, ひび割れが発生するような疲労を水中で受けるような場合には, 気中と比較してひび割れに水が侵入することから疲労寿命が異なるものと考えられる.

そこで, 本検討では常温硬化型 UFC の水中における曲げ疲労実験を実施し, 疲労特性を検証した.

2. 実験方法

(1) 使用材料

使用した UFC の配合および強度(疲労実験開始時)を表 1, 2 に示す. 鋼繊維を 2.0vol.%混入し, 標準養生により材齢 28 日で特性値として圧縮強度 180N/mm², ひび割れ発生強度 8.0N/mm²を満足する材料³⁾である.

(2) 供試体

供試体の寸法は 100×100×400mm とした. 供試体ごとに繊維配向がばらつかないように, 打込みは材料を型枠の端部から 1 方向に流す方法で統一した. 1 ケースあたり 8 体を同一バッチから採取した. 養生は材齢 28 日まで標準水中養生とし, その後, 載荷まで気中養生とした. 実験時の材齢は 40 ~74 日であった.

(3) 載荷方法

疲労載荷する上限荷重は静的曲げ強度の 85%, 70%, 60%, 50%となる荷重の 4 ケースとし, 1 ケースあたり 3 体の疲労載荷実験を実施した. 基準となる静的曲げ強度は, 疲労載荷実験に使用する供試体と同一バッチから採取した供試体 5 体の静的曲げ強度の平均値とした. 下限荷重はいずれのケースにおいても静的曲げ強度の 5%とした. 疲労載荷の基準となった曲げ強度および疲労実験に使用した上限応力は表 3 のとおりである.

載荷は静的, 疲労とも同様に図 1 に示すような 3 点曲げとした. 基準を決定するための静的曲げ実験は気中で実施

表 1 使用した UFC の配合

単位量(kg/m ³)				鋼繊維 (kg/m ³)
水	プレミックス材	骨材	高性能減水剤	
230	1830	330	24	157

表 2 使用した UFC の圧縮強度, 曲げ強度

	上限 応力比	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	材齢 (日)
1	85%	205	38.4	62
2	70%	198	37.9	68
3	60%	207	37.3	74
4	50%	218	33.8	40

表 3 疲労実験における載荷荷重

	上限 応力比	静的曲げ実験結果		疲労曲げ載荷	
		最大荷重 (kN)	曲げ強度 (N/mm ²)	載荷荷重 (kN)	載荷応力 (N/mm ²)
1	85%	81.2	38.4	69.0	32.6
2	70%	80.8	37.9	56.6	26.5
3	60%	78.5	37.3	47.1	22.4
4	50%	71.0	33.8	35.5	16.9

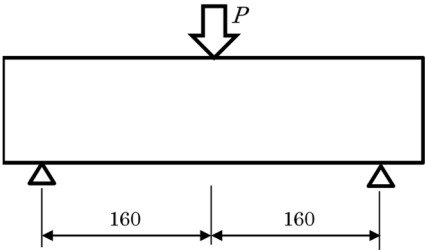


図 1 静的および疲労曲げ載荷条件



写真 1 水中疲労載荷状況

し, 疲労載荷実験は写真 1 のように水槽内で供試体が完全に水に浸される状態で実施した. 疲労載荷実験の載荷速度は 5Hz とし, 所定の荷重に到達しなくなった時点点を破壊とみなした. 載荷回数の上限は 200 回とした.

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート, UFC, 疲労
連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 構造技術研究部

3. 実験結果

実験により得られた S-N 関係を図 2 に示す。縦軸は変動応力の比 $(\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / (f_b - \sigma_{\min})$ ($\sigma_{\max}$: 上限応力, $\sigma_{\min}$: 下限応力, f_b : 静的曲げ強度) である。なお, 同材料による気中疲労载荷実験より得られた既往の結果²⁾および UFC 指針¹⁾に示されている S-N 曲線をあわせて比較している。また, 200 万回以上のプロットは未破壊で実験を終了した結果である。

上限応力比 85%では载荷回数のばらつきが少ないが, 60~70%ではばらつきが見られた。上限応力比 50%では载荷回数 200 万回で 3 体いずれも破壊には至らなかった。

気中における結果と比較すると上限応力比 60~85%の範囲で疲労寿命がやや低く見えるがばらつきの範囲内といえる。上限応力比 50%では気中で 200 万回以前に破壊に至るケースがあったのに対し, 水中で破壊に至るケースは見られなかった。

図 3 に静的曲げ载荷および疲労曲げ载荷における荷重-たわみ関係の一例を示す。いずれのケースにおいても繰返し载荷によりたわみが増加し, 静的曲げにおける軟化曲線に到達した時点で破壊に至っている。この傾向は気中における疲労载荷実験の結果と同様であり, 破壊直前のたわみは気中の静的载荷におけるたわみと同様であった。载荷回数にやや低下傾向がみられたが, 1 回の繰返し载荷により増加するたわみが気中に比べて水中では大きくなっているといえ, ひび割れに侵入した水が影響したと考えられる。

実験終了後の状況の一例を写真 2~4 に示す。上限応力比 85%ではひび割れが分散して発生し, 最終的にひび割れが 1 か所に集中して破壊に至ったことがわかる。上限応力比 60%ではひび割れの分散があまりみられず, 1 か所でひび割れが開いて破壊に至っている。破壊した供試体はいずれも繊維の拔出しによるものであり, 繊維の疲労や腐食による破断は見られなかった。破壊に至らなかった上限応力比 50%ではひび割れ部が白くなっており, 水中から引き上げた後にエフロレッセンスが発生したものと考えられる。

4. まとめ

常温硬化型 UFC の水中における疲労特性を検証するため, 曲げによる水中疲労载荷実験を実施した。その結果, 以下のことがわかった。

- ・水中における曲げ疲労耐久性は, 気中と比べてほぼ同等である。
- ・応力比 50%では 200 万回の繰返し载荷で破壊しない。

今回の実験は繊維の腐食を考慮しておらず, 環境によっては耐久性が低下するものと考えられる。ただし, 応力比 50%は設計ひび割れ発生強度を超える応力であり, ひび割れを許容しない範囲であれば, 常温硬化型 UFC を繰返し引張が作用する水中で使用しても問題ないといえる。

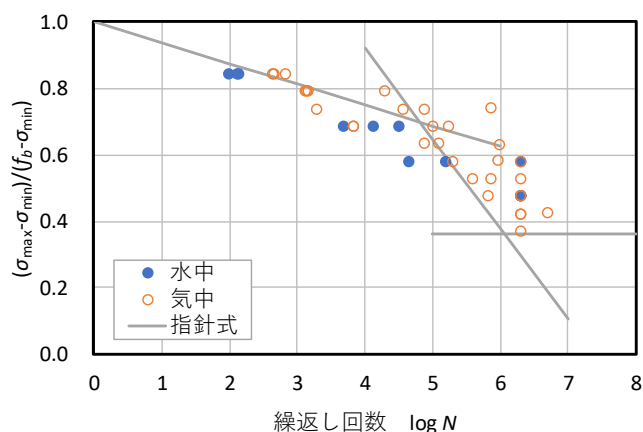


図 2 曲げ疲労実験結果

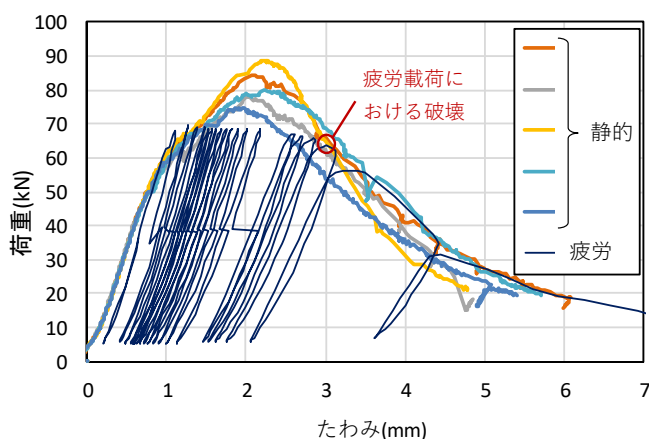


図 3 荷重-たわみ関係 (上限応力比 85%)



写真 2 試験終了後の試験体 (上限応力比 85%)



写真 3 試験終了後の試験体 (上限応力比 60%)



写真 4 試験終了後の試験体 (上限応力比 50%)

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, 2004
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価報告書, 技術推進ライブラリー, No.10, 2012