

ひび割れ自己治癒による UHPFRC 曲げ挙動への影響の実験的検討

Experimental study about the effects of crack self-healing in UHPFRC on bending behaviors

北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院

○ 学生員 奥泉 椿 (Tsubaki OKUIZUMI)
正 員 鄧 朋儒 (Pengru DENG)
正 員 松本 高志 (Takashi MATSUMOTO)

1. はじめに

UHPFRC(Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete)は超緻密で高強度が特徴の繊維補強コンクリートである。通常のコンクリートの水結合材比が 40~60%であるのと比較して、UHPFRC は20%¹⁾と非常に小さく、材料内に未水和セメントが残存しているのが特徴の一つである。UHPFRC の微細なひび割れであれば、ひび割れ発生後に、水が浸入して水和反応が進むことで、ひび割れが閉塞し自己治癒すると考えられている。

コンクリートの自己治癒性能に関して様々な研究が行われており、バクテリアの生物代謝反応を利用したものや結合材の反応余力を利用したものなど²⁾があるが、UHPFRC に発生したひび割れの自己治癒に関する研究はまだなされていない。

本研究では、UHPFRC の曲げ載荷実験を行い、微細なひび割れを発生させた。その後、水中養生を行いひび割れ閉塞の有無と程度を顕微鏡により観察した。7 日間の水中養生後に曲げ載荷実験を再び行い、曲げ変形・耐荷挙動への影響を確認した。

2. 実験概要

2.1 供試体

長辺 240mm、短辺 60mm、厚さ 25mm の直方体の供試体寸法とした(図-1)。静的曲げ実験 2 回分と自己治癒後曲げ実験 2 回分で、各回 3 体、合計 12 体の供試体を用意した。材齢 67 日で第 1 回静的曲げ実験と、2 ケースの自己治癒後曲げ実験用供試体にひび割れ導入載荷を行った。そして、材齢 82 日で 2 ケースの自己治癒後曲げ実験と第 2 回静的曲げ実験を行った。供試体名は、静的曲げ実験 F/自己治癒後曲げ実験 H-回/ケース 1~2-供試体番号 1~3、とした。

2.2 静的曲げ実験

JISA1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」³⁾を参考に行った。載荷条件を図-1 に示す。載荷装置にはオートグラフ精密型万能試験機 (SHIMADZU AG-1 250kN) を用い、支点間距離を 180mm、せん断スパンを 60mm とした。載荷は変位制御で行い、載荷速度は 0.1mm/min とした。自己治癒後曲げ実験時には、供試体はひび割れ導入後の約 2 週間の水中養生を経ているために、第 1 回静的曲げ実験時と材齢が異なる。このため、自己治癒養生期間の前後に静的曲げ実験を行った。支間中央の供試体上面にひずみゲージ、下面にパイゲージを取り付けるとともに、レーザー変位計を用いて中央、支点変位を計測した。

2.3 自己治癒後曲げ実験

静的曲げ実験同様に載荷し、第 1、第 2 ケースそれぞれで 3kN、4kN まで載荷を行い、ひび割れ導入をした。これは後述するひび割れ荷重 P_c に基づき、その上下の値としている。その後、水中養生を行い、水中養生前、水中養生 1 日目、3 日目、5 日目、7 日目に、顕微鏡観察により供試体ひび割れの自己治癒状況を観察した。顕微鏡は AnMo Electronic の Dino-Lite AM 4815(20x~220x)を使用した。観察は最大倍率の 220 倍を用いた。撮影範囲を曲げ支間の半分の下面、側面とした(図-2 斜線部)。顕微鏡を x-y ステージに固定し、一定移動量毎にステージを移動させて画像を取得した。その後画像を合成しひび割れマップを作成した。水中養生の 7 日間と前後の準備日を合わせて材齢約 2 週間後に静的曲げ実験と同様に破壊まで再度載荷した。

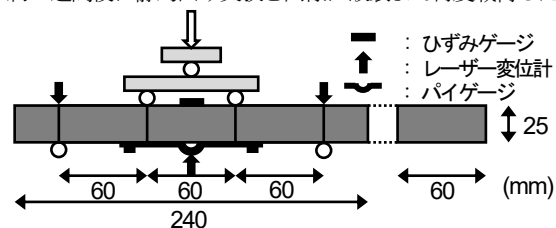


図-1 載荷条件

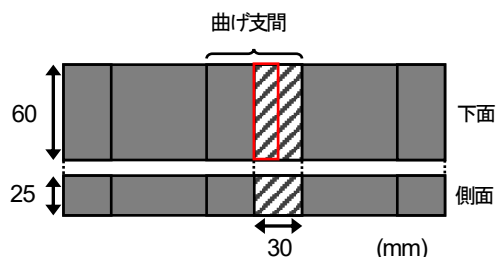


図-2 顕微鏡画像撮影範囲

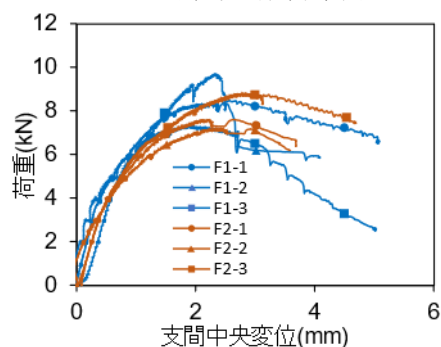


図-3 静的曲げ実験の荷重-変位曲線

表-1 F 供試体のひび割れ荷重と最大荷重(kN)

	F1-1	F1-2	F1-3	F1 平均	F2-1	F2-2	F2-3	F2 平均
P_c	3.43	3.67	3.92	3.67	3.89	4.76	3.53	4.06
P_{max}	8.47	7.29	9.68	8.48	7.59	7.18	8.79	7.85

表-2 H 供試体の最大荷重(kN)と養生前後の初期剛性(kN/mm)

	H1-1	H1-2	H1-3	H1 平均	H2-1	H2-2	H2-3	H2 平均
P_{max}	7.65	5.73	4.87	6.08	5.64	10.13	6.81	7.53
前	10.68	9.54	20.28	13.50	6.42	16.18	10.31	10.97
後	10.52	8.47	9.97	9.65	9.90	11.32	10.68	10.63

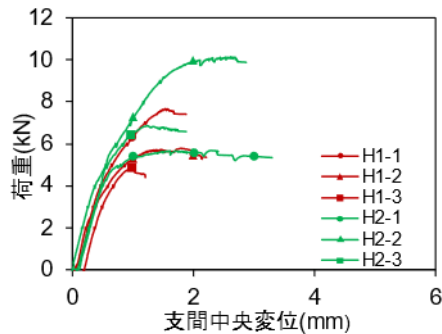


図-4 自己治癒後曲げ実験の荷重-変位曲線

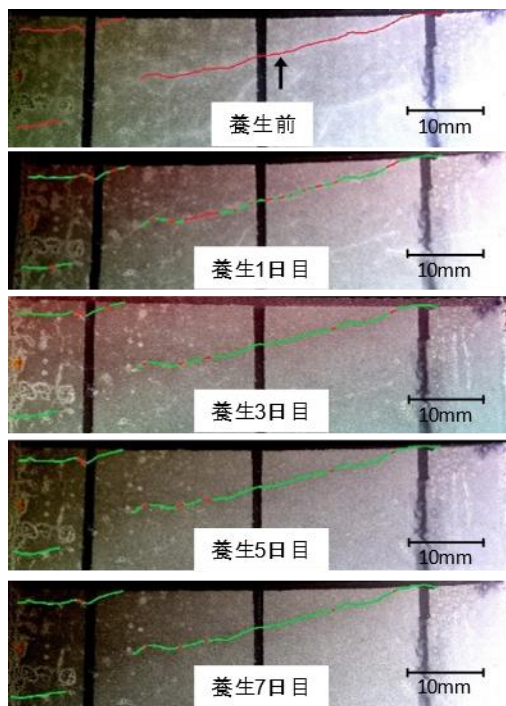


図-5 H2-1 下面 ひび割れマップ



図-6 H2-1 ひび割れ閉塞状況

3. 実験結果

3.1 静的曲げ実験

図-3 に F 供試体の荷重-変位曲線を示す。本実験で得られたひび割れ荷重 P_c 、最大荷重 P_{max} を表-1 に示す。 P_c の平均値は F1 では 3.67kN、F2 では 4.06kN であり、10.62% の増加がみられた。 P_{max} の平均値は F1 で 8.48kN、F2 で 7.85kN であり、7.43% の減少であった。材齢 67 日と 82 日で増加と減少があり、供試体数を増やしてさらに検討する必要がある。

3.2 自己治癒後曲げ実験

養生終了後の H 供試体の荷重-変位曲線を図-4 に示す。表-2 には P_{max} と養生前後の初期剛性を示す。初期剛性は P_{max} の 20% と 50% の 2 点で計算した。 P_{max} の平均値は H1 と H2 でそれぞれ 6.08kN、7.53kN であったが、H2 では H2-2 を除くと 6.23kN であった。H1 と H2 それぞれで F1 と比較すると 28.30% と 26.53% の減少、F2 と比較すると 22.55% と 20.64% の減少であった。また、H1 供試体の養生前、後の平均初期剛性は 13.50kN/mm、9.65kN/mm、H2 供試体の養生前、後の平均初期剛性は 10.97kN/mm、10.63kN/mm であった。第 1 ケースでは養生前後で剛性は 28.52% 減少し、第 2 ケースでは 3.10% 減少した。ひび割れ導入荷重の大小に応じた傾向はなく、今後供試体数を増やしてさらに検討する必要がある。

次に、図-5 に代表的な自己治癒が観察された H2-1 のひび割れマップを示す。供試体下面の半分はひび割れが確認されなかったため、図-2 の赤枠部分の 15×60mm のひび割れマップを示している。図中の赤線が開口ひび割れ、緑線が閉塞ひび割れを示している。ひび割れマップの赤線と緑線の比率を測定し、ひび割れの閉塞状況を調べた。養生 1 日目は 77.2%、3 日目は 90.4%、5 日目は 96.0%、7 日目は 98.6% のひび割れが閉塞したのが確認された。図-5 の矢印部分のひび割れ閉塞状態を図-6 に示す。幅 0.014mm のひび割れは、養生 3 日目までに閉塞したのが確認された。

4. まとめ

自己治癒後曲げ実験では、静的曲げ実験と比較して最大荷重は 20～28% 減少した。水中養生前後の初期剛性を比較した結果、第 1 ケースでは 28.52%、第 2 ケースでは 3.10% 減少した。また、顕微鏡観察により、H2-1 の下面では 98.6% のひび割れ長が閉塞し、ひび割れの自己治癒が観察された。

謝辞

本研究への鹿島学術振興財団の助成に謝意を示す。

参考文献

- 1) J-ティフコム施工協会：J-THIFCOM パンフレット「J-THIFCOM 超緻密高強度繊維補強コンクリート」
- 2) 岸利治：コンクリートのひび割れ自己修復/自己治癒，日本画像学会誌，54 巻，3 号，pp.236-242，2015
- 3) 日本工業規格：コンクリートの曲げ強度試験方法，JIS A 1106，2018