

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

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) の水結合材比は 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。UHPFRC の微細ひび割れ発生後に、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。

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。また、曲げ実験時に画像撮影を行って画像解析を行うことで、ひずみ分布を確認し、閉塞ひび割れの治癒度について検討する。

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体は 240×60×25mm の直方体の寸法とした (図-1)。静的曲げ実験 2 回分と自己治癒後曲げ実験 2 回分、各回 3 体、合計 12 体の供試体を用意した。材齢 67 日で 67 日静的曲げ実験と、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 82 日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

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-1250kN) 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 7 日間の水中養生と準備日を経ているために、67 日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。

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、ひび割れを導入した。これは後述するひび割れ荷重に基づいた、その上下の値である。画像解析で用いる供試体側面の画像を撮影するため、載荷中に荷重 1kN 増加毎に載荷を停止させた。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、デジタル顕微鏡観察により供試体ひび割れの閉塞状況を観察した。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及び側面とした。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。

3. 画像解析手法

画像の画素数は 4608×3072 ピクセル (約 1400 万画素) である。なお、供試体の側面にはラメスプレーによるランダムパターンを付与している。

4. 曲げ実験結果

4.1 静的曲げ実験

図-2 に F 供試体の荷重-変位曲線を示す。本実験で

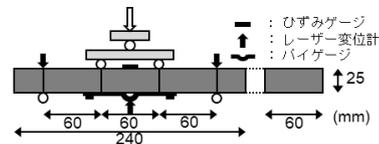


図-1 載荷条件

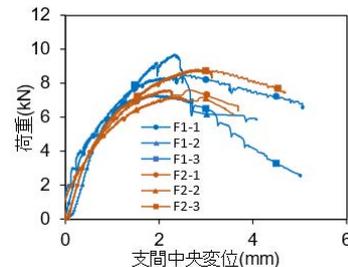


図-2 静的曲げ実験の荷重-変位曲線

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	11.04	10.01	8.23	9.76	7.68	14.62	13.03	10.28
後	9.53	9.02	10.60	9.72	9.28	11.32	11.17	10.59

キーワード UHPFRC, 自己治癒, 曲げ挙動
連絡先 〒060-8628 札幌市北区北十三条西 8 丁目
北海道大学大学院工学研究院土木工部門
電話 011-706-6171

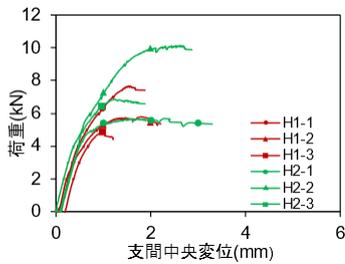


図-3 自己治癒後曲げ実験の荷重-変位曲線

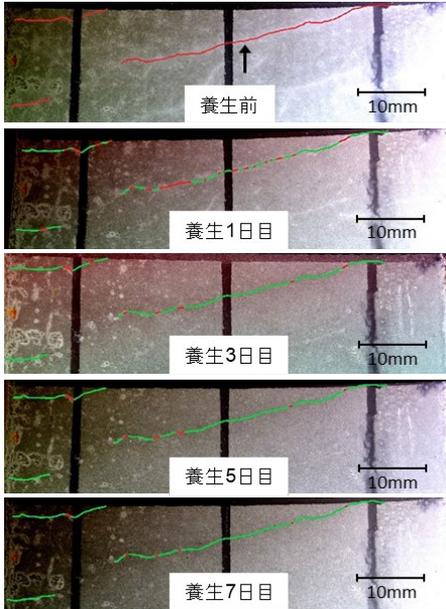


図-4 H2-1 下面 ひび割れマップ

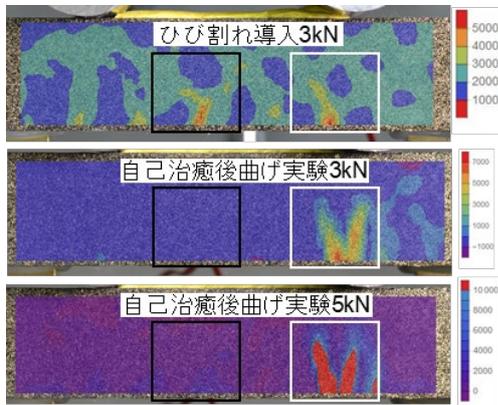


図-5 H1-2 最大主ひずみ分布

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。

4.2 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-3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0kNと3kNあるいは4kN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、第1ケースでは養生前後で剛性は0.45%減少し、第2ケースでは2.93%増加した。材齢67日と82日で増加と減少があり傾向が明瞭でないため、供試体数を増やしてさらに詳細に検討する必要がある。

次に、図-4に代表的なひび割れ閉塞が観察されたH2-1のひび割れマップを示す。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。供試体軸方向にほぼ垂直にひび割れが延びているのが確認された。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-4の矢印部分のひび割れ幅は0.014mmであったが、養生3日目までに閉塞したのが確認された。

5. 画像解析結果

画像解析には、変形前として荷重0kN時における画像を用いた。変形後の画像として、ひび割れ導入時にはH1供試体は3kN、H2供試体は4kNにおける画像を、また、自己治癒後曲げ実験には同様に3kN、4kNをそれぞれの供試体で用い、さらに最大荷重の直前の画像を使用した。これらの載荷前後の画像により、最大主ひずみ分布を算出した。ここでは、H1-2の画像解析の結果を示す。

図-5の白枠、黒枠の2箇所にも局所的な最大主ひずみが観察された。白枠では、ひび割れ導入時には5000 μ 程度のひずみであったが、自己治癒後曲げ実験の3kN載荷時には7000 μ 程度のひずみが見られ、ひずみの増加が確認された。水中養生によりひび割れ閉塞物質が生成されたものの、ひび割れが完全には治癒しなかったと考える。一方、黒枠では、自己治癒後曲げ実験において最大主ひずみの局所的な分布が観察されなかったため、ひび割れが自己治癒されたと考えられる。

6. 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た。さらに、画像解析により供試体側面の最大主ひずみ分布を算出した結果、自己治癒がされた箇所とされなかった箇所の両方が見られた。

謝辞

本研究は鹿島学術振興財団国際共同研究援助金により行われた。また、供試体の製作ではJ-ティフコム施工協会及び施工技術総合研究所の協力を得た。ここに謝意を示す。