

UHPFRC の再水和ひび割れ閉塞挙動の顕微鏡観察

Microscopic observation of re-hydration crack closure in UHPFRC

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 小田川 慎之介 (Shinnosuke ODAGAWA)
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)は超高強度で超緻密な繊維補強セメント系複合材料である¹⁾。通常のコンクリートの水結合材比が 40~60%であるのに対し、UHPFRC は 20%と非常に小さく、材料内に未水和セメントが残存しており、微細なひび割れが発生しても水のある条件では水和が進み、ひび割れが閉塞される機構があるとみられている。

これまでに、ひび割れ閉塞と曲げ挙動への影響について、UHPFRC に曲げ載荷することで微細なひび割れを生じさせた後に、約 2 週間の水中養生を行って、再度曲げ載荷を行うことで、最大荷重や初期剛性の比較、変形と耐荷の挙動への影響を確認する研究が行われている²⁾。

しかし、UHPFRC に生じたひび割れが、どれだけの時間をかけてどのように閉塞していくのか、詳細に観察する研究は未だ行われていない。

本研究では、UHPFRC のひび割れ閉塞挙動について、詳細な検討を行うために、4 点曲げ疲労載荷実験によって微細な複数ひび割れを生じさせた UHPFRC に水中養生を行い、ひび割れ閉塞の有無と程度を顕微鏡撮影により観察し、養生前のひび割れ幅の影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体

長辺 240mm、短辺 60mm、厚さ 25mm の寸法の直方体供試体を用いた (図-1)。材齢 32 日からの曲げ疲労載荷実験で破壊に至っては至っていない、微細なひび割れの発生した供試体を 2 体用意し、それぞれ Case 1、Case 2 とした。

2.2 ひび割れ閉塞観察

曲げ疲労載荷実験により生じたひび割れの様子 (養生前) と、水中養生 7 日間の各日のひび割れの様子について、計 8 回の顕微鏡観察を行った。水中養生は水道水を満たした水槽に供試体を静置したのみである。顕微鏡は AnMo Electronic の Dino-Lite AM4815(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下面の一部とした (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 (x 方向に 1.65mm、y 方向に 1.2mm) に画像を取得した。その後、画像を Image Composite Editor を使用して合成し、ひび割れマップを作成した (図-3 と図-4)。本研究ではひび割れ幅が 0.01mm 以下のひび割れを閉塞ひび割れとして、各観察日の閉塞部を色分けして表示した。

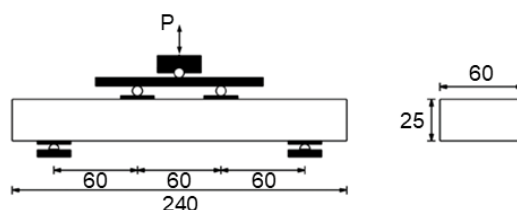


図-1 供試体寸法(単位: mm)

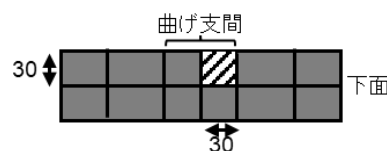


図-2 撮影範囲(単位: mm)

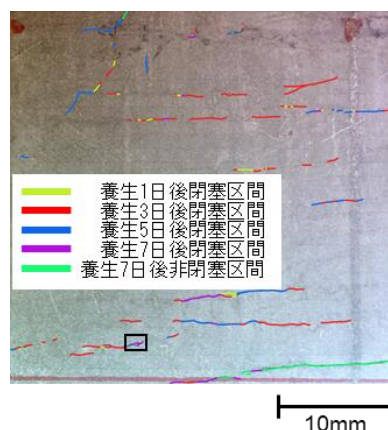


図-3 ひび割れマップ (Case 1)

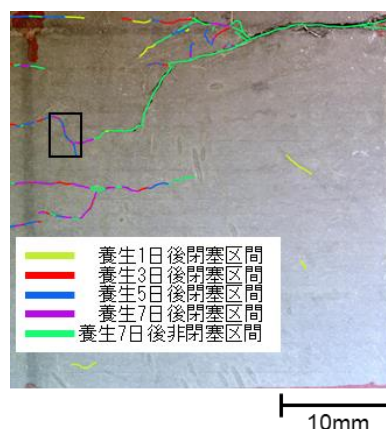


図-4 ひび割れマップ (Case 2)

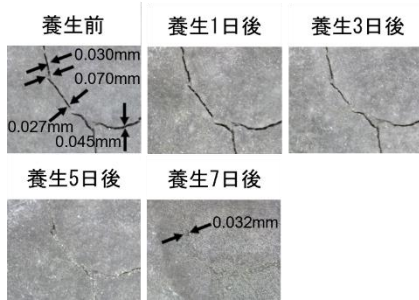


図-5 閉塞状況 (Case 1)

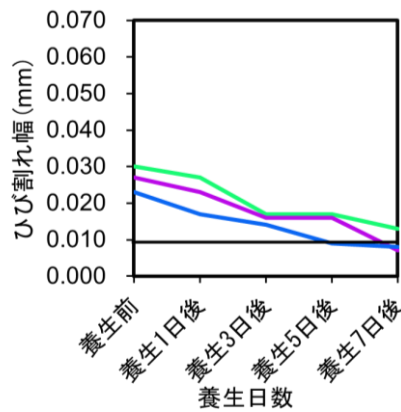


図-6 ひび割れ閉塞経過 (Case 1)

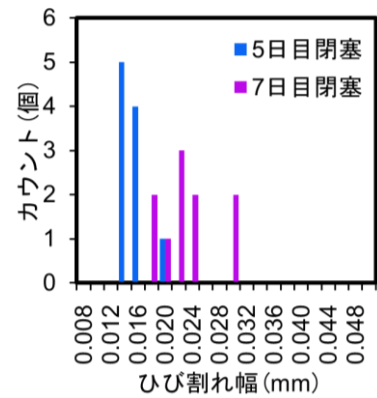


図-7 ひび割れ幅の影響 (Case 1)

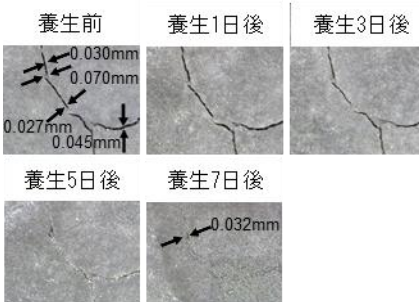


図-8 閉塞状況 (Case 2)

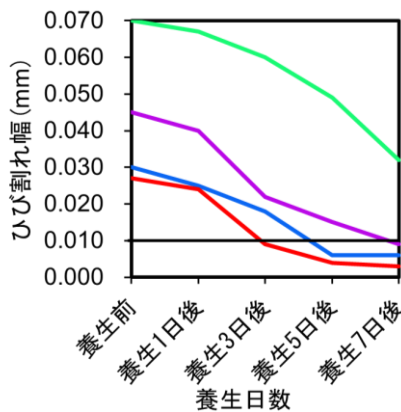


図-9 ひび割れ閉塞経過 (Case 2)

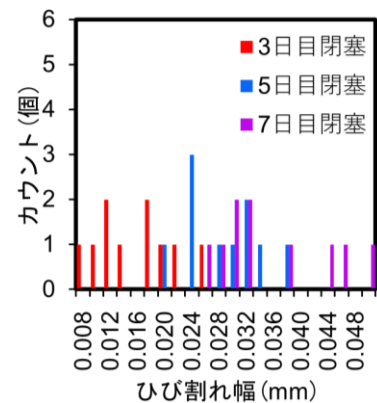


図-10 ひび割れ幅の影響 (Case 2)

3. 実験結果

Case 1 の図-3 のひび割れマップで閉塞長の比率を測定し、閉塞推移を検討した。養生1日目は7.26%、3日目は53.9%、5日目は81.6%、7日目は88.3%のひび割れ長が閉塞したのが確認された。次に、図-3の黒枠部のひび割れ閉塞状況を図-5に、図-5の3箇所の養生日数に対する閉塞経過を図-6に示す。幅0.030mmの箇所は7日間養生では閉塞に至らず、幅0.013mmまで閉じていた。図-3において、各観察日で閉塞した箇所をカウントして養生前ひび割れ幅でプロットしたものを図-7に示す。養生日数が増えるにつれ、大きいひび割れ幅の箇所も閉塞していくことが確認された。

Case 2 の図-4 のひび割れマップでは、養生1日目は8.10%、3日目は20.1%、5日目は40.6%、7日目は56.9%のひび割れが閉塞したのが確認された。Case 1と同様に、図-4の黒枠部のひび割れ閉塞状況を図-8に、図-8中の4箇所の閉塞経過を図-9に示す。幅0.070mmの箇所は7日間養生では閉塞に至らず、幅0.032mmまで閉じていた。養生前ひび割れ幅の影響を図-10に示している。Case 1と同様に、養生日数が増えるにつれ、大きいひび割れ幅の箇所も閉塞していくことが確認された。

両ケースを比較すると、Case 1は閉塞率が81.6%とCase 2の56.9%より高い。一方で、図-7と図-10にみられるように、Case 1は閉塞に至ったひび割れの幅は0.014から0.030mmの範囲であるのに対して、Case 2では0.008から0.050mmと広い範囲であることが分かる。さらに、幅0.020mm以下のひび割れは、Case 1が5日養生後に閉塞が確認されたのに対して、Case 2は

3日養生後と閉塞が早く確認されている。Case 1の供試体は疲労载荷実験で試行的に载荷レベルを変えており、一方でCase 2の供試体は一定振幅で疲労実験を終えていることもあり、もともとのひび割れ分布が異なっていた可能性もある。

4. まとめ

疲労载荷実験により生じた微細なひび割れに対して、水中養生での再水和による閉塞挙動を確認し、養生前ひび割れ幅の影響を検討した。今後の課題としては、供試体間のひび割れ閉塞の速さの違いについて、サンプル数を増やして養生前ひび割れの統計量を十分に得て分析するとともに、ひび割れの深さや未水和セメントの残存量を考慮しながら検討することが挙げられる。

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。

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) 奥泉椿・鄧 朋儒・松本高志：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、第77号土木学会北海道支部論文報告集、A-20、2020。