

# 持続荷重が高靱性繊維補強セメント複合材料の自己治癒性能に及ぼす影響に関する実験的研究

埼玉大学大学院 学生会員 ○鈴木 啓太  
 埼玉大学大学院 正会員 欒 堯  
 東日本高速道路(株) 正会員 佐久間 智  
 東日本高速道路(株) 正会員 平野 勝彦

## 1. 研究目的

高靱性繊維補強セメント複合材料(以下,SHCC)は高い靱性を持ち,繊維の架橋効果により微細な複数ひび割れを生じるという特徴がある.また,水分状況下において二次水和物やカルサイトの析出により,ひび割れが閉塞する自己治癒性能を持つ.そのため,構造物の耐久性向上や維持管理コストの低減が期待でき,近年,土木構造物への適用が増加している.一方,SHCCの自己治癒性能に関しては,既往の研究では材料レベルでの実験が多く行われたが,部材レベルでの検討は十分に行われておらず,特に持続荷重条件での自己治癒効果については不明な点が多く残されているのが現状である.そこで,本研究では鉄筋を併用したSHCCの梁を用いて,4種類の荷重条件で自己治癒性状の評価を行った.

## 2. 実験概要

### (1) 供試体の作製及び荷重条件

SHCCの配合は表1に示す.結合材は早強ポルトランドセメントにフライアッシュを50%置換で使用した.繊維はPVA(ポリビニルアルコール)を用い,体積率は2%とした.40×70×550mmの梁を作製し,引張側にはD6の曲げ補強鉄筋を配置した(図1).脱型後,20℃の水中養生を材齢28日まで行った.その後,クリープ試験装置(図2)を用いて4点曲げ試験を行った.荷重条件は,荷重6kN-荷重除荷,荷重10kN-荷重除荷,荷重6kN-持続荷重,荷重10kN-持続荷重の4種類であり,各条件でそれぞれ2体の供試体を用いて実験を行った.予備実験により,荷重6kNの供試体は鉄筋未降伏の状態,荷重10kNの供試体は鉄筋降伏の状態が確認された.引張側には多くの曲げひび割れが発生したことが確認できた(図3).

ひび割れを導入した後,マイクロSCOPEを用いてひび割れ幅の測定を行った.その後,自己治癒を促

進させるため,供試体下部に容器を固定し,容器を水で満たし2度目の水中養生を行った(図2).各促進期間で梁の底面と両側面におけるひび割れの幅の測定を行った.ひび割れ幅の測定は,2度目の水中養生の開始を0日目として,7日目,14日目,21日目,28日目,35日目に行った.図4はひび割れ閉塞の経時変化の様子である.自己治癒期間の経過に伴い,徐々にひび割れが閉塞する様子が確認できた.

表1 SHCCの配合

水粉体比	細骨材体積率	フライアッシュ置換率	SP添加率	PVA繊維体積率
0.3	45%	50%	0.8	2%

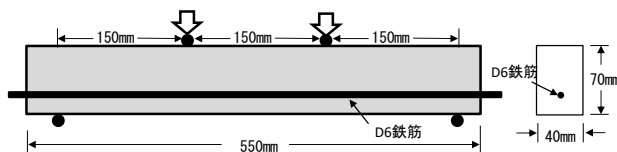


図1 試験体概要

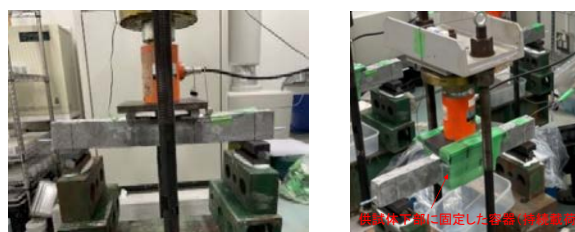
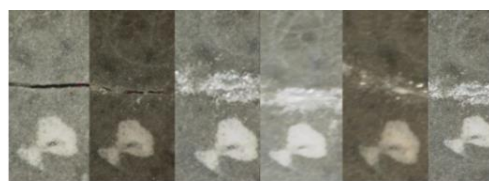


図2 荷重試験概要



図3 ひび割れ発生の様子(10kN-荷重除荷)



0日目 7日目 14日目 21日目 28日目 35日目

図4 自己治癒進行の様子

キーワード SHCC, 自己治癒, ひび割れ, 持続荷重, PVA 繊維

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学理工学研究科 TEL: 048-8458-3565

## (2) 修復率

ひび割れ閉塞度合いの指標として、以下に示す修復率を用いて評価を行った。

$$\text{修復率(\%)} = \frac{0 \text{ 日目のひび割れ幅}(\mu\text{m}) - n \text{ 日目のひび割れ幅}(\mu\text{m})}{0 \text{ 日目のひび割れ幅}(\mu\text{m})} \times 100$$

## (3) 実験結果

図5は、マイクロSCOPE観察による初期ひび割れ幅(0日目)の分布を示している。図5によれば、荷重10kNと6kNを比較した場合、初期ひび割れ幅が大きく増加した。これは、断面の曲げモーメントの増加に加え、鉄筋の降伏もひび割れ幅拡大の原因と考えられる。また、持続荷重と比較し、除荷した場合はひび割れ幅が小さくなった。これは、除荷によってひび割れ幅が減少したためであると考えられる。

図6は、初期ひび割れ幅(μm)を1-100, 101-200, 200以上に分けて修復率を示したものである。図6によれば、初期ひび割れ幅が小さいほど、ひび割れの修復に必要な期間が短く、最終的な修復率も高い傾向にあることが確認でき、ひび割れの修復は初期ひび割れ幅に依存すると考えられる。また、幅が大きいひび割れが修復に期間を要する要因として、切断もしくは引き抜けた繊維の量が多く、繊維の架橋効果が低下したためであると考えられる。

図7(左)は荷重6kNにおける初期ひび割れ幅40μm以下での修復率、図7(右)は荷重10kNにおける初期ひび割れ幅80μm以下での修復率である。初期ひび割れ幅を限定することによって、持続荷重の影響を検討した。荷重6kN、荷重10kNともに、荷重を除荷したものが明らかに修復の期間が短いと言え、持続荷重がひび割れ閉塞に影響を与えたと考えられる。

持続荷重がSHCCのひび割れに及ぼす影響について、Boshoffら<sup>1)</sup>の研究では、ダンベル型供試体を用いた一軸引張クリープ試験を行った。その結果、時間の経過とともに、ひずみが著しく増加したことが明らかになった。この要因は、時間の経過とともに繊維がセメント硬化体から引き抜けたこと、繊維の引き抜きによる架橋効果の低下、セメントマトリクス自体のクリープ、以上の3点であると結論付けた。本研究においても、上述した繊維の引き抜き及び架橋効果の低下により、持続荷重を行った供試体では、ひび割れの修復に期間を要したのであると考えられる。

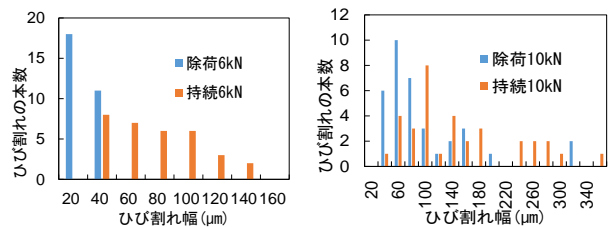


図5 荷重ごとのひび割れ幅分布(0日目)

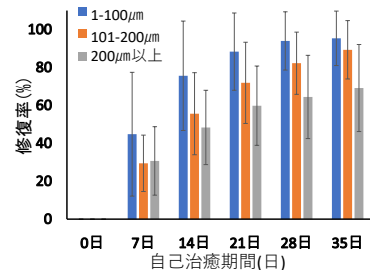


図6 ひび割れ幅別修復率

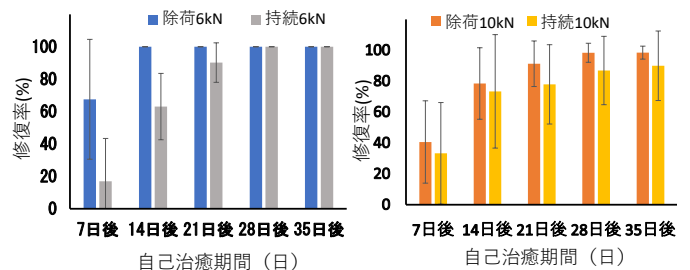


図7 荷重条件別修復率

## 3. 結論

本研究において以下に示す結論が得られた。

- (1) SHCCと鉄筋を併用した梁は、鉄筋降伏程度の荷重を受けた場合、ひび割れ幅が鉄筋未降伏の供試体と比較して顕著に増加した。
- (2) ひび割れの修復率は初期ひび割れ幅依存する。鉄筋未降伏の供試体では、除荷後にひび割れ幅が著しく減少し、ひび割れの修復も速い傾向にある。
- (3) 持続荷重、荷重除荷ともに自己治癒が進行しているが、持続荷重の供試体は繊維の引き抜きによって引張クリープが発生し、自己治癒効果が小さいと考えられる。

## 4. まとめ

実構造物においては、鉄筋及び荷重の状態が複合的に作用している。そのため、実構造物におけるSHCCの自己治癒効果の評価には、鉄筋及び持続荷重の影響を考慮する必要がある。

## 参考文献

- 1) W. P. Boshoff and C. J. Adendorff: Effect of sustained tensile loading on SHCC crack width, Cement and Concrete Composites, 2013, Vol. 37, pp. 119-125