

# 高靱性セメント複合材料により補強した RC はりの疲労ひび割れ発生機能に関する考察

東海旅客鉄道(株) 正会員 稲熊 弘 フェロー 関 雅樹  
 鹿島建設(株) フェロー 須田 久美子 正会員 増川 淳二  
 岐阜大学 正会員 国枝 稔 フェロー 六郷 恵哲

## 1. はじめに

既存鉄筋コンクリート構造物の長期耐久性を確保するためには、コンクリート表面に表面保護工を施すことが有効である。しかし、鉄道高架橋のはり部材等は常に列車荷重による繰返し曲げ荷重を受けるため、表面保護工の材料特性としてひび割れ追従性が小さい場合は、新たにひび割れが発生するため、再施工が必要な場合も生じる。

一方、近年実用化されつつある吹付けタイプの高靱性セメント複合材料<sup>(1)</sup>（吹付け ECC：Engineered Cementitious Composite）は高いひび割れ分散性能を有している。このため、著者らは、既設部コンクリートのひび割れの開閉に追従できる表面保護材として吹付け ECC に着目した。

本研究では、静的載荷により曲げひび割れを導入した後に下面に吹付け ECC を施した RC はりを対象に、微小な応力振幅下（開閉ひび割れ幅制御）試験を行い、吹付け ECC のひび割れ発生機能を確認したので報告する。

## 2. 実験概要

図 1 のフローに従い、同一諸元の既設部試験体を 2 体製作した。静的載荷により曲げひび割れを導入した後、ECC 吹付け試験体の下面に ECC を吹付け、疲労試験を行った。

### (1) 既設部試験体の諸元

試験体は高架橋の RC 桁を想定し、図 2 に示すように、軸方向鉄筋に D32、スタールラップに D13 を使用した。試験体の材料特性値を表 1、2 に示す。

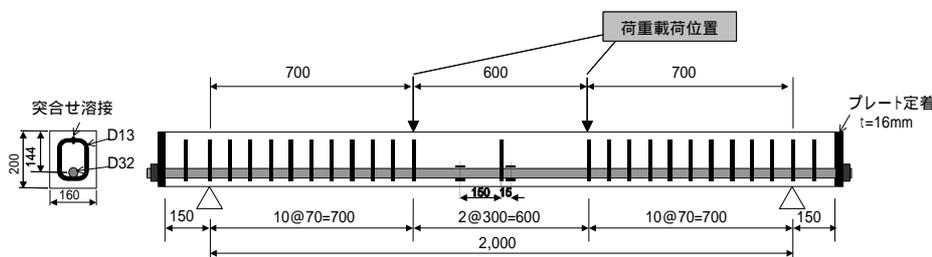


図 2 試験体配筋図

### (2) 静的載荷試験

静的載荷試験では、等曲げ区間の試験体側面最下端部にパイ型ゲージを連続的に設置して曲げひび割れ幅を測定した。載荷は 4 点曲げ試験機を用い、2 体の試験体に同等の比較的大きなひび割れを導入することを目的に、最大曲げひび割れ幅が 0.4mm に達するまで単調載荷した。除荷後、疲労試験での上限荷重を定めるために再載荷を行った（再載荷試験）。疲労試験の上限荷重は、1 kN 載荷時のひび割れ幅を基準に、少なくとも 1 つのひび割れ幅が更に 0.025mm 増加する時の荷重とした。

### (3) 吹付け ECC の施工

静的載荷試験終了後、吹付け ECC 試験体下面に 10mm 厚で ECC を吹付けた。養生は、アクリルウレタン樹脂系の養生剤の噴霧のみとした。吹付け ECC の実験時（材齢 14 日）の引張試験結果を表 3 に示す。吹付け ECC の引張特性は、ダンベル形状の板状供試体を用いた一軸直接引張試験により測定した。

キーワード：ひび割れ、表面保護、ECC、疲労試験、耐久性

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL(0424)89-7071 FAX(0424)89-7073

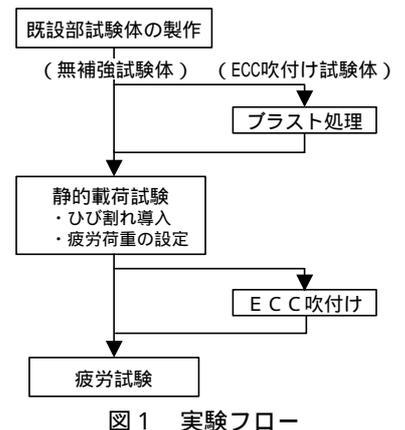


図 1 実験フロー

表 1 コンクリートの材料特性

圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
44.2	28.0	3.63

表 2 鉄筋の機械的性質

鉄筋径	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )
D32	371	176	571
D13	380	191	528

表 3 吹付け ECC の引張試験結果

初期ひび割れ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	引張降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	終局引張ひずみ (%)
2.85	13.1	2.45	3.65	2.39

#### (4) 疲労試験

疲労試験は、下限荷重に 1 kN、上限荷重に再載荷試験で得られた荷重を設定し、荷重制御で 200 万回繰返し載荷を行った。ひび割れ幅は、静的載荷試験で値が大きかったひび割れを選定し、無補強試験体で 3 箇所、吹付け ECC 試験体で 4 箇所測定した。

### 3. 実験結果

#### (1) 静的載荷試験

荷重 - スパン中央変位関係を図 3 に示す。最大ひび割れ幅が 0.4mm に達した時の荷重は、無補強試験体で 50 kN、吹付け ECC 試験体で 62kN であった。除荷後に再載荷を行った結果、ひび割れ幅が 1 kN 載荷時から 0.025mm 開く時の荷重は、無補強試験体で 6.7kN、吹付け ECC 試験体では 7.6kN であった。

#### (2) 疲労試験

疲労試験時の上限荷重時のスパン中央変位を図 4 に示す。1 万回終了時と 200 万回終了時の変位の増加率を比較すると、無補強試験体の 16% に対して、吹付け ECC 試験体では 12% 弱と幾分小さな値となった。上限荷重時の既設部下面のひび割れ幅（図 5）を比較すると、ECC を吹付けた場合、ひび割れ幅の増加量は半分程度に抑えられている。また、ひび割れ幅の最大振幅（図 6）を比較すると、無補強試験体ではほぼ 0.025mm であるのに対し、吹付け ECC 試験体では 0.020mm 以下で 2 割強減少した。

ECC のひび割れは、図 7 に示すとおり、既設部のひび割れに沿って 1 ~ 2 本ずつ生じていた。疲労試験中の上限荷重時の ECC 表面のひび割れ幅は最大 0.09mm 程度であった。本実験のような小さなひび割れ振幅では、ECC に生じるひずみが小さいこともあり、大変形時に見られるような既設ひび割れを起点にした三角形形状に広がるマルチプルクラック<sup>(2)</sup>は見られなかった。

### 4. まとめ

吹付け ECC の表面保護工への適用性を検討するための基礎実験として、比較的微小な応力振幅下での疲労試験を行った。その結果、吹付け ECC は既設部のひび割れ幅及びひび割れ振幅の増大を抑制できることが分かった。また、ECC に生じるひずみが小さい疲労試験では、既設部のひび割れを起点とする ECC のひび割れ本数が 1 ~ 2 本と少なく、ひび割れ分散性能が発揮されにくいものの、生じるひび割れ幅は小さいことを確認した。本報告は、列車走行時での標準的な開閉ひび割れ幅である 0.025mm における実験報告である。今後、最大開閉ひび割れ幅での実験結果を別稿にて報告の予定である。

### 参考文献

- (1) 坂田ほか：高靱性繊維補強セメント複合材料の吹付け施工システムの開発、鹿島技術研究所年報、Vol.50、pp.187-190、2002.9
- (2) 国枝ほか：断面修復材の靱性が補修部材のひび割れ分散性の及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.1、pp.1517-1522、2003.7

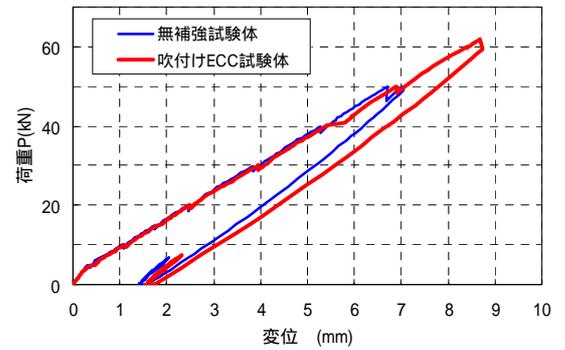


図 3 静的載荷試験時の荷重 - 変位関係

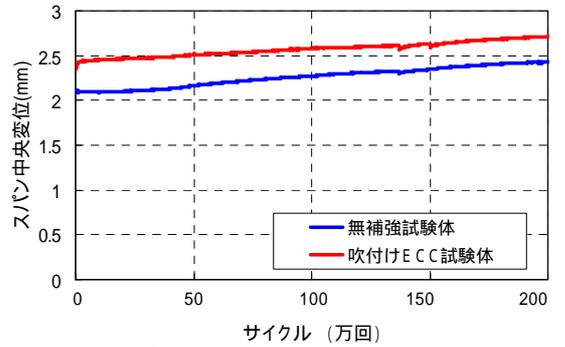


図 4 疲労試験時のスパン中央変位

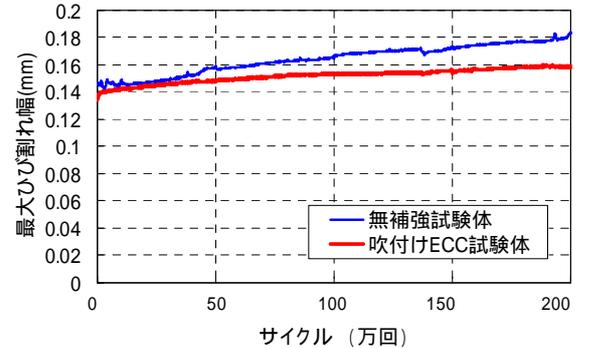


図 5 疲労試験での既設部最大ひび割れ幅

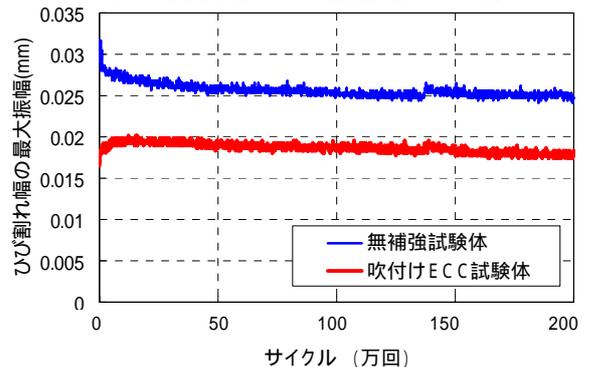


図 6 疲労試験での既設部ひび割れ幅の最大振幅

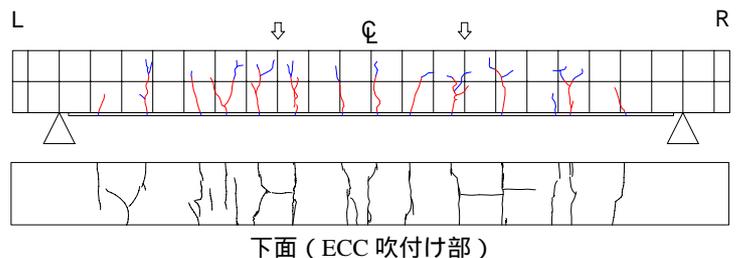


図 7 疲労試験終了後の ECC 吹付け試験体のひび割れ分布