吹付けECCにより断面修復したRC梁の疲労試験

鹿島建設（株）　正会員　○福田　一郎　正会員　須田　久美子　正会員　坂田　昇
正会員　岩井　稔　閑田　徹志

１．はじめに

ECC（Engineered Cementitious Composite）の適用分野を拡大するために，吹付け施工が可能なECCの断面修復材（以下，吹付けECC）の開発を行っている。ECCは繊維の架橋効果により，ひび割れ発生後にもより大きな引張応力を負担できるという特徴があり，道路橋床版下面の断面修復に，吹付けECCを用いることにより，床版厚の増厚をしなくてもひび割れ幅の制御，疲労寿命の向上が期待できる。ここでは，吹付けECCで断面修復した既設の道路橋床版を想定し，橋軸直角方向のひび割れにより梁状化した後と同等の幅をもつRC梁試験体を用いた定点載荷試験（静的および疲労）により，疲労特性に関する基礎的な検討を行った。

２．実験概要

試験体は，静的試験用，疲労試験用それぞれ１体の合計２体とした。試験体形状・配筋・計測位置を**図－１**に示す。試験体は，ハンチを有する形状で，引張鉄筋の有効高さ（d）を142㎜，支間長（l）を1,150㎜とし，せん断スパン比（a/d）を４とした。引張鉄筋は，せん断破壊に先行して曲げ破壊が生じないように降伏強度800N/㎟程度の高強度鉄筋とした。

既設の道路橋床版をモデル化した試験体のコンクリート部分（以下，既設部）は，実橋の調査結果をもとに圧縮強度を決定した。断面修復に用いたECCはプレミックスタイプであり，構成する主要材料は，普通セメント，フライアッシュ，水，硅砂，短繊維である。短繊維には繊維径0.04㎜，長さ12㎜のビニロン繊維を用いており，混入量は体積比で2.1%である。**表－１**に材料試験結果を示す。

試験体は，既設部を打設後，コンクリートが所定の圧縮強度に達した材齢でウォータージェット工法（衝突噴流方式）により既設部下面からはつり処理を行い，その後ECCを吹付け施工して製作した。はつり深さは，引張鉄筋の配力筋の背面に鉄筋径相当の隙間ができる程度とした。

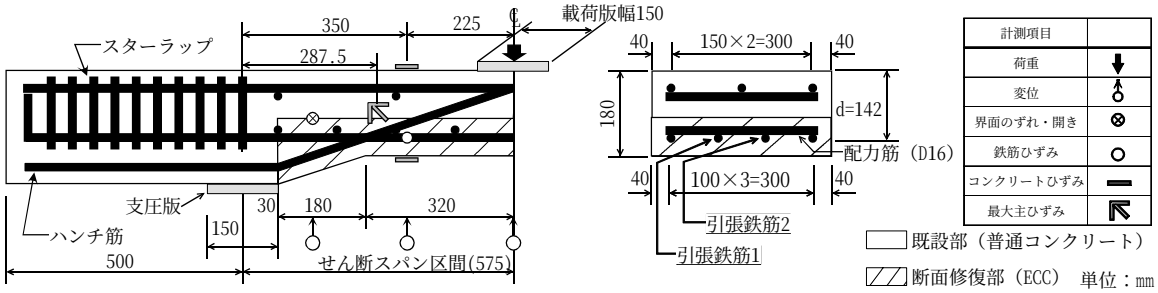
３．静的試験

静的試験は単純支持の一点載荷で行った。

荷重－載荷点変位（以下，変位）の関係を**図－２**に，ひび割れ状況を**図－３**に示す。45kNでスパン中央付近に曲げひび割れが発生した。この時の最大ひび割れ幅は0.02㎜であった。荷重の増加に伴い，ひび割れ本数が増加し，140kNで支点付近から斜めひび割れが発生した。これ以降は，ハンチの影響により耐荷機構がタイドアーチ型に移行し，280kNでせん断圧縮破壊した。

表－１　材料試験結果

項目＼位置	既設部	断面修復部
圧縮強度（N/㎟）	35.4	41.3
ヤング係数（kN/㎟）	29.3	19.0
割裂強度（N/㎟）	2.90	6.14



図－１　試験体形状・配筋・計測位置図

キーワード　断面修復，ECC，疲労，床版
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給2-19-1　鹿島技術研究所　土木技術研究部　ＴＥＬ0424-89-7071

４．疲労試験

疲労試験は静的試験と同じ載荷装置を用いて行った。疲労載荷（以下，載荷）は周波数 5Hz の正弦波とした。疲労試験の概要を**表－2**に示す。まず，上限荷重は 84kN とし，下限荷重は支承および載荷部に緩みがでないように14kN とした。200 万回終了時点で疲労破壊の兆候が見られなかったため，上限荷重を 91kN および 112kN と段階的に引き上げた。

繰返し回数に対する変位，引張鉄筋ひずみ（以下，ひずみ）の関係を**図－４**および**図－５**に示す。ひずみの漸増傾向は，載荷の初期において増加量が少なく（**図－５**中の点線範囲），既往の普通コンクリートを用いた疲労試験とは異なる性状を示していた。ひび割れ本数は載荷 1 回目に生じた本数からほとんど変化がなく，最大ひび割れ幅が 10 万回で 0.11㎜，100 万回で 0.17㎜, 200 万回で 0.20㎜ と徐々に増加した。これは，載荷の初期段階では繊維の架橋効果により ECC が引張力を負担しひび割れ幅を抑制するが，繰返し荷重下ではひび割れが分散するまでには至らず，繊維の破断や付着の劣化等によりひび割れ幅が増大し, ECC の負担した引張力が徐々に鉄筋に移行していったためと思われる。

100 万回以降は大きな変化がなく，上限荷重を 91kN に引き上げた場合も同様であった。

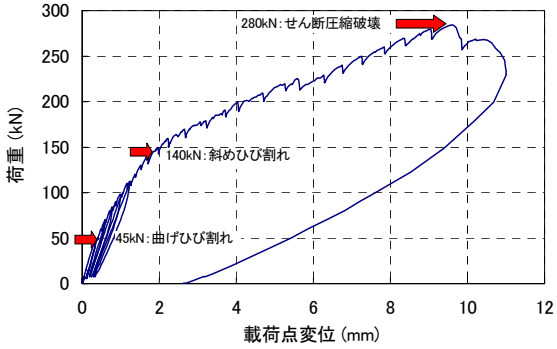
上限荷重を 112kN に引き上げたところ，変位およびひずみが再び増加傾向を示し，載荷の初期段階では 84kN 載荷時と同様にひずみが緩やかに増加した（**図－５**中の点線範囲）。これは荷重増による中立軸の圧縮縁への移動に伴い，繊維の架橋効果が健全な ECC の領域で引張力を新たに負担できるようになったためと考えられる。その後，112kN で 100 万回を超えた頃に既設部に新たに斜めひび割れが生じ，220 万回で主筋が 1 本破断した。既往の高強度鉄筋の S-N 曲線とひずみの実測値を対比すると引張鉄筋の疲労寿命で鉄筋が破断したと推測される。

５．まとめ

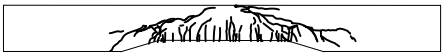
吹付け ECC を道路橋床版下面の断面修復材に適用した場合の静的および疲労試験によりいずれも斜めひび割れ発生が確認されたことから，床版疲労に関する基礎データが把握できた。今回の試験結果は，材料・施工法の検討結果と併せて，吹付け ECC により断面修復された構造部材の設計法確立に役立ててゆきたい。

参考文献

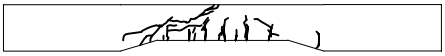
1) 閑田ほか：PVA 繊維を用いた高靭性 FRC による吹付け補修材料の基礎的特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.23，No.1，2001，pp.475-480



図－２　荷重－載荷点変位関係



静的試験



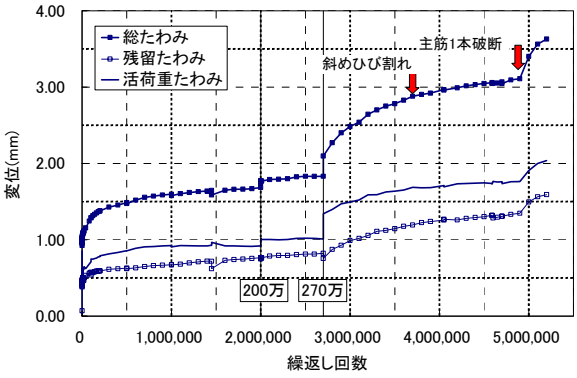
疲労試験

図－３　ひび割れ状況

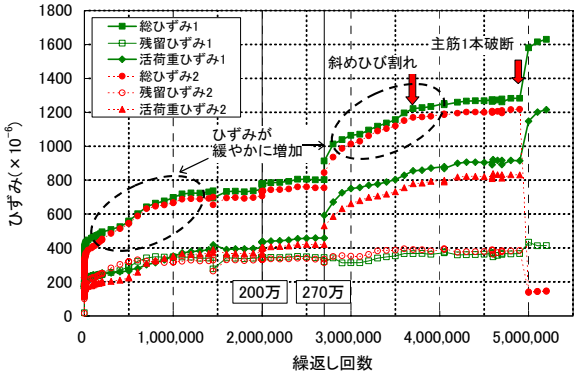
表－２　疲労試験の概要

累積回数	上限荷重	上限荷重／Vc	上限荷重／Vmax
1 回 ～ 200 万	84ｋN	0.6	0.3
200 万 回 ～ 270 万	91ｋN	0.65	0.325
270 万 回 ～ 520 万	112ｋN	0.8	0.4

Vc：斜めひび割れ，Vmax：最大荷重



図－４　繰返し回数と載荷点変位の関係



図－５　繰返し回数と引張鉄筋ひずみの関係