

コンクリートのひび割れ箇所の中性化進行度に関する一考察

東海旅客鉄道(株) 正会員 ○稲熊 弘 正会員 伊藤裕一 フェロー 関 雅樹
 ジェイアール東海コンサルタンツ(株) 正会員 稲熊唯史

1. はじめに

鉄道の RC 高架橋では、耐久性の向上を目的に、中性化防止対策として、一般的に塗膜系ライニング材による表面保護工が実施されている。しかし、長期的な耐久性向上の観点においては、RC 高架橋の縦梁では、繰返し列車荷重によるライニング材のひび割れ追随性が課題である。また、ひび割れ箇所の中性化の影響について知見を得る必要がある。そこで、ひび割れ箇所の中性化速度について、大気中 40 年相当である 340 日間の促進中性化試験を実施した。また、マルチプルクラック特性を有し、かつ、ひび割れ幅を 0.1mm 以下に抑制可能な吹付けタイプの高靱性セメント複合材料¹⁾ (Engineered Cementitious Composite ; 以下, ECC) に着目し、ECC の表面保護工としての有効性を検討した。

2. 試験概要

(1) 試験体の概要

試験の目的は、コンクリートにひび割れが生じている箇所の中性化速度の把握と、コンクリートのひび割れ箇所に ECC を施した場合の中性化抑制効果を把握することである。試験体の種類は、無保護試験体と ECC を吹付けた試験体の 2 種類であり、実験パラメータは表 1 に示すひび割れ幅である。試験体数は各パラメータについて 1 体であり、試験日数ごとに試験体の中性化深さを測定した。試験体の概要図を図 1、試験体コンクリートの材料試験値を表 2、ECC の材料試験値 (材齢 14 日) を表 3 に示す。ECC に混入した繊維は、径 0.04mm、長さ 12mm、引張強度 1600Mpa の PVA 繊維であり、PVA 繊維の混入率は 2.1%である。

(2) 試験体の製作

試験体は、同一バッチで練り混ぜたコンクリートを用いて同時に製作した。養生は材齢 4 週まで標準水中養生を行い、続けて材齢 8 週まで恒温恒湿室 (温度 20℃, 湿度 60%) での気中養生を実施した。その後、ECC 試験体については、研磨材にアルミナを用いた吸塵式ブラストにより、ECC を吹付けるコンクリート面を対象に表面処理を行った。つぎに、試験体にひび割れを導入させた。ひび割れの導入は、JIS A 1106 「コンクリートの曲げ強度試験方法」に記載されている 3 等分点載荷装置を用いて、試験体の鉄筋を降伏させることにより、除荷後の残留ひび割れ幅が目標ひび割れ幅にできる限り近づくように行った。その後、ECC 試験体には、厚さ 10mm の ECC を吹付け、14 日間の ECC の気中養生を行った。養生後、これらの試験体については、さらに試験体コンクリート部のひび割れ幅が、残留ひび割れ幅から 0.03mm 開口するまで、3 等分点載荷装置により加力を与えた。なお、ひび割れ幅を 0.03mm まで開口させたのは、実高架橋に ECC を施工した場合の状況を想定したものであり、列車通過時におけるひび割れ開閉幅の大きさは 0.02mm 程度であることから、これに 1.5 倍の安全率を加えた 0.03mm の開閉幅が躯体コンクリートに生じた場合の応力を ECC 部に与え、ECC 部にひび割れを生じさせるためである。

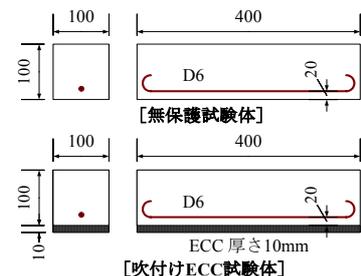


図 1 試験体概要図

表 1 実験パラメータ

試験体の種類	試験体コンクリートの表面に導入したひび割れ幅の種類	試験日数
無保護	0mm, 0.03mm, 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm, 0.6 mm	42.5 日 85 日
ECC	0mm, 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm	170 日 340 日

表 2 コンクリートの材料試験値

材齢	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
117 日	49.2	28.5
159 日	48.1	26.8
244 日	46.6	27.7
414 日	45.5	27.4

表 3 ECC の材料試験値

初期ひび割れ強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張降伏強度 (N/mm ²)	最大引張強度 (N/mm ²)	終局引張ひずみ (%)	付着強度 (N/mm ²)
2.85	13.1	2.45	2.65	2.39	2.00

キーワード：鉄道 RC 高架橋、ひび割れ開閉幅、中性化対策、ECC、促進中性化試験、

〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 TEL (0568)47-5374 FAX (0568)47-5364

(3) 促進条件および中性化深さ測定

促進試験条件は、JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に基づき、気温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 5\%$ 、二酸化炭素濃度 $5 \pm 0.2\%$ とした。試験日数に対する促進年数は、次式²⁾で示される「炭酸ガス濃度を考慮した中性化速度予測式」から促進倍率を算定した。大気中の炭酸ガス濃度を 0.035% と仮定すると、二酸化炭素濃度 5% の促進中性化試験は、試験日数 340 日間で、大気中の 40 年間相当となる。

$$X = (2.804 - 0.847 \log C) \cdot A \cdot \sqrt{C \cdot t}$$

X：中性化深さ(mm), C：二酸化炭素濃度(%),
t：経過時間(t), A：室内自然環境下(C=0.07%)

3. 実験結果と考察

無保護試験体の中性化深さの推移を図 2 に示す。ひび割れ部における中性化深さは、ひび割れ幅が大きいほど大きい傾向にあり、ひび割れ幅が 0.2mm 以上では、試験日数 42.5 日までに急速に中性化が進行している。一方、ひび割れ幅が 0.03mm と 0.1mm では、42.5 日において、 0.2mm 以上のひび割れ部ほど中性化が進行していないものの、ひび割れが無い箇所と比べて、2 倍強の中性化深さであり、ひび割れ幅が 0.03mm と極めて小さい場合でも、中性化速度はひび割れが無い箇所と比べて速いことが明らかとなった。

つぎに、ECC 試験体の中性化深さの推移を図 3 に示す。なお、図中の Y 軸は、試験体の高さを基準としたため、ECC で被覆したコンクリート ($\omega=0, 0.13, 0.23, 0.33, 0.43\text{mm}$) の中性化深さ 0mm がグラフ中の 10mm に相当する。ECC で被覆したコンクリートのひび割れ部では、85 日まではひび割れ幅の大きさにかかわらず、中性化深さが 7mm 以下であり、ECC による中性化抑制効果が伺える。一方、85 日以降では、中性化が急速に進行している。ECC 母材部のひび割れが貫通しているのに、初期段階で ECC 内部のコンクリートの中性化の進行が遅延させている。この理由としては、ECC に生じるひび割れ幅が小さいことから CO_2 の透過を阻害していることと、外部からの CO_2 を ECC が消費したためと考えられる。また、その他の ECC の効果としては、写真 1 に示すように、ECC 試験体は無保護試験体に比べて、ひび割れ位置を中心とする中性化領域幅を小さくできる効果を有することも明らかとなった。

4. まとめ

- (1) コンクリートにひび割れを有する箇所で、ひび割れ幅が 0.2mm 以上の箇所では、促進試験の初期段階で中性化が加速的に進展した。また、ひび割れ幅が 0.03mm と極めて小さいひび割れ箇所でも、ひび割れが無い箇所と比べて、中性化深さの進展は 2 倍強であった。
- (2) コンクリートのひび割れ部を ECC で被覆した場合の効果は、ひび割れ幅の大きさにかかわらず、コンクリートと比較して ECC 被覆部分により中性化の進展を遅延させることができる。また、コンクリート本体での、中性化領域幅を小さくできる特徴を有する知見を新たに得た。

[参考文献]

- 1) Tetsushi KANDA, Tadashi SAITO, Noboru SAKATA, "FUNDAMENTAL PROPERTIES OF DIRECT SPRAYED ECC," Proceedings of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC) – Application and Evaluation -, pp.133-141, October 2002.
- 2) 魚本健人, 高田良章: コンクリートの中性化速度に及ぼす要因, 土木学会論文集, No.451, V-17, pp.119-128, 1992.8

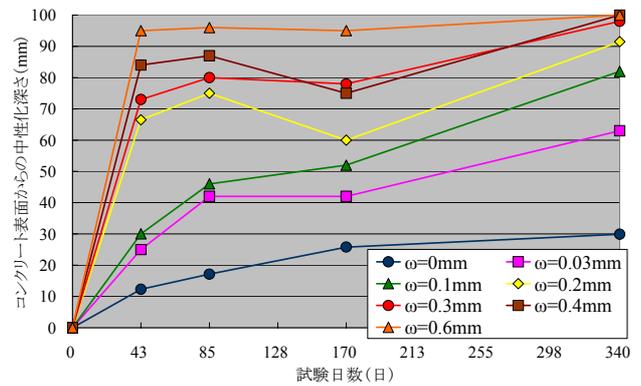


図 2 無保護試験体の中性化深さの推移

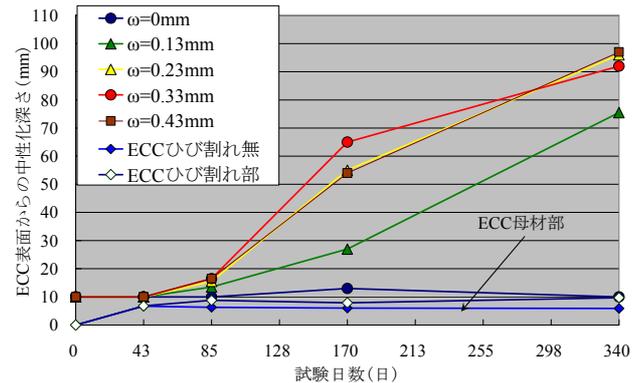


図 3 ECC 試験体の中性化深さの推移

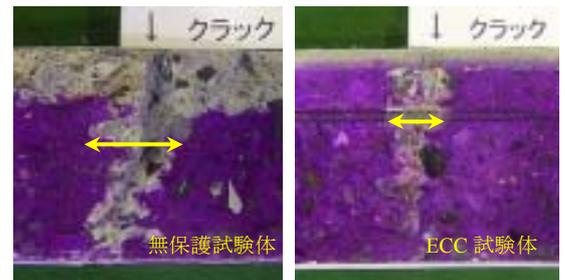


写真 1 中性化領域幅(340日, $\omega=0.4\text{mm}$)