

反射電子像の画像解析法による RC 床版上面脆弱部の水セメント比の評価

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 正会員 ○渡辺暁央

金沢大学大学院 学生員 Dang Giang Hoang

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 正会員 青山實伸

金沢大学理工学域 正会員 五十嵐心一

1. はじめに

コンクリートの配合推定を実施する方法は、セメント協会法と呼ばれる「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告(1967)」によるものが一般的である。本手法は、建設時の資料保存が不完全な場合などにおいて、構造物全体のコンクリートの情報(配合)を求めることに主眼が置かれている。しかし、配合が明確な構造物であっても、例えば表面の仕上げ部がブリージングの影響等により、局所的にコンクリートの配合が変化して、劣化が進行する事例も多く存在する。この場合の対応は、セメント協会法による配合推定等での品質の定量的な評価が困難であるため、劣化状況から発生理由を推定するにとどまり、経験的に補修を実施せざるを得ない状況にある。そのため、局所的なコンクリートの品質の変化を的確に解明し、合理的な補修方法を提案することが求められている。

本報告では、局所的なコンクリートの品質変化を把握する方法として、著者ら¹⁾が提案する反射電子像の画像解析法による水セメント比の推定法を適用し、実構造物の劣化範囲を定量的に評価した事例について述べる。

2. RC 床版の劣化状況

写真-1 は、RC 床版の舗装路面のひび割れより噴泥が発生した床版上面の調査状況を示したものである。コンクリートの表面が部分的に脆弱化しており、これが噴泥の要因であることが理解される。脆弱化に至った要因は本橋の合成勾配が 5.8% であり、上面の締固めが

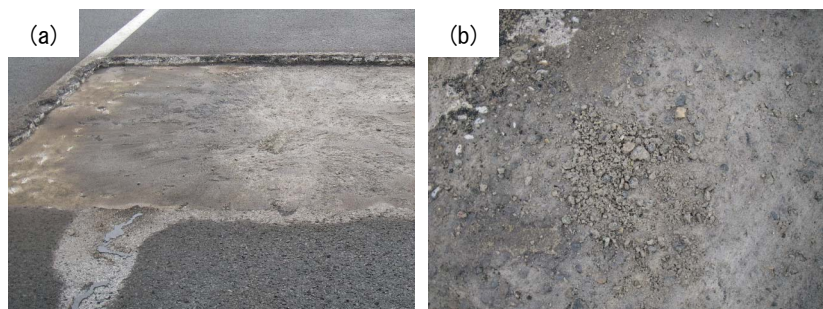


写真-1 RC 床版の上面の劣化状況 (a) 舗装はつり部, (b) コンクリート表面

十分に行われなかったこと等が考えられ、表面部の水セメント比が局所的に高くなっていたことが推察される。

3. 反射電子像の画像解析法

(1) コアの採取および解析位置 コアの採取は、横断勾配の高い側の車線において舗装を切削し、劣化が顕著化していない箇所を選定した。コアは直径 75mm、長さ 300mm 程度とし、上面から採取して配合推定用の試料とした。配合推定を実施する箇所は、コアの上面から深さ 10mm、30mm、130mm および 280mm の 4 箇所とした。

(2) セメント-樹脂硬化体の作製 本手法による水セメント比の推定は、使用したセメントの粒度分布と、材齢経過後(水和反応によって)残存する未水和セメントの粒度分布の質量中位径の変化からセメントの反応厚さを計算することにより行う。そのため、初期のセメントの粒度分布を仮定する必要がある。本事例の RC 床版は 11 年前に施工され、普通ポルトランドセメントが使用されており、現在流通しているセメントの品質とは大きな差はないと推定される。そのため、セメントの初期粒度分布の評価は、現行の普通ポルトランドセメントとエポキシ樹脂を混合して硬化体を作製し、研磨面の反射電子像を取得することにより実施した。

(3) 反射電子像の取得および画像処理 切り出した試料は、エタノールに浸漬した後、真空樹脂含浸装置にてエポキシ樹脂を含浸させた。表面を耐水研磨紙およびダイヤモンドスラリーを使用して注意深く研磨し、表面に金-パラジウム蒸着を行って反射電子像観察試料とした。4 分割型反射電子検出器を備えた走査型電子顕微鏡を使用し、倍率 500 倍で、なるべく骨材を避けるようにして、各断面 10 枚の反射電子像をパーソナルコンピュータに取り込んだ(加速電圧: 25kV)。1 画像は 1148×1000 画素からなり、1 画素は約 0.22 μm に相当す

キーワード 反射電子像, 画像解析, 水セメント比, RC 床版脆弱部

連絡先 〒920-0025 石川県金沢市駅西本町 3 丁目 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)金沢支店 TEL:076-264-7872

る。また、セメント-エポキシ樹脂硬化体についても同様に反射電子像を取得した。取得した反射電子像に対して、未水和セメント粒子の相(白色の相)を抽出する画像処理を実施して2値画像を得た。

4. 水セメント比の推定¹⁾

初期のセメントの粒度分布およびコア試料の未水和セメントの粒度分布は、2値画像を使用して、セメント粒子を球状であると仮定し、切断面に現れる確率を考慮して、特定の直径の粒子数を決定していく Schwartz-Saltykov の方法で求めた。図-1 は初期のセメントおよび各深さにおける未水和セメントの粒度分布を、表-1 は粒度分布から求めた中位径を示したものである。なお、粒度分布および中位径は、10 枚の画像について粒度分布を求めて、平均を示したものである。中位径に基づいて反応厚さを式(1)にて算出した。

反応厚さ = $\frac{\text{初期セメントの中位径} - \text{未水和セメントの中位径}}{2}$ (1)

算出した反応厚さは、図-2 に示す水和度と反応厚さの関係を使用して水和度に変換した。3章で得た未水和セメントの2値画像を画像解析して面積率を算出し、ステレオロジーの原則である面積率＝体積率を適用して、未水和セメントの体積率を算出した。未水和セメント体積率および水和度を使用して初期のセメント体積率を式(2)で算出した後、水セメント比を式(3)で算出した。

初期セメント体積率 = $\frac{\text{未水和セメント体積率}}{1 - \text{水和度}}$ (2)

水セメント比 = $\frac{(1 - \text{初期セメント体積率}) \times \text{水の密度}}{\text{初期セメント体積率} \times \text{セメントの密度}}$ (3)

5. 水セメント比の推定結果および評価

表-2 は、水セメント比の推定結果である。施工時の要求性能を満たしていると考えられる深さ 130mm および 280mm における水セメント比は、54% および 61% である。本橋の示方配合の水セメント比は 59% であり、推定された水セメント比は示方配合の±5%の範囲内であり、適切に推定されていると判断される。また、表面付近の脆弱部と推察される深さ 10mm および 30mm の水セメント比は、88% および 66% と推定され、水セメント比が非常に高くなっている。すなわち、本橋の上面の劣化は、コンクリート表層部の水セメント比が局所的に非常に高く、強度が著しく低下したことが原因と推定される。また、高水セメント比となっている範囲は、深さ 30mm 程度までと判断でき、補修は安全側を考慮して深さ 40mm 程度までの品質改良を実施することで良いと判断できる。

6. まとめ

本報告では、RC 床版上面の脆弱部について、反射電子像の画像解析による水セメント比の評価を実施した。打設時の不良がないと考えられる箇所の水セメント比は、ほぼ示方配合の値と一致する。深さ 10mm および 30mm の水セメント比は 88% および 66% と推定され、示方配合の水セメント比より大きい値となっており、脆弱部の影響範囲は、深さ 30mm 程度までと判断される。

参考文献 1) 五十嵐心一，池崎由典，渡辺暁央：残存未水和セメント粒子の粒度分布の評価に基づく水和度と水セメント比の推定，コンクリート工学論文集，Vol. 16，No. 1，pp. 87-95，2005。

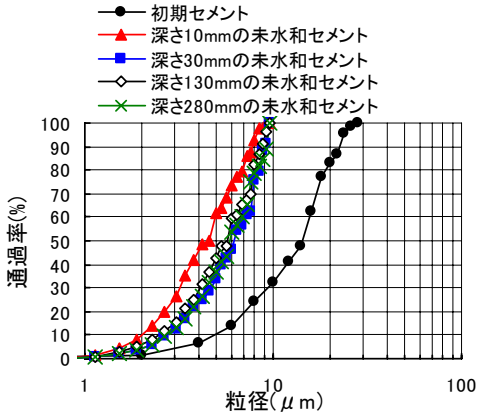


図-1 未水和セメントの粒度分布

表-1 未水和セメントの中位径

		中位径 (μm)
初期セメント		14.2
表面からの深さ (mm)	10	4.6
	30	6.2
	130	5.8
	280	5.9

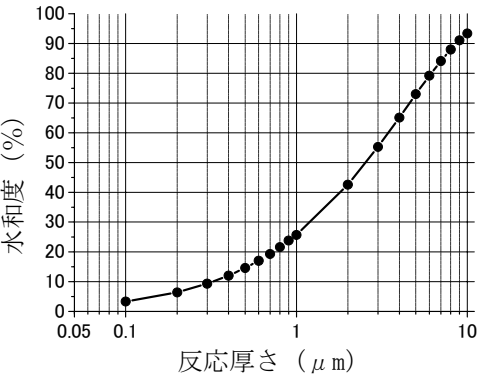


図-2 水和度と反応厚さの関係¹⁾

表-2 水セメント比の推定結果

表面からの深さ (mm)	W/C (%)
10	88
30	66
130	54
280	61

すなわち、本橋の上面の劣化は、コンクリート表層部の水セメント比が局所的に非常に高く、強度が著しく低下したことが原因と推定される。また、高水セメント比となっている範囲は、深さ 30mm 程度までと判断でき、補修は安全側を考慮して深さ 40mm 程度までの品質改良を実施することで良いと判断できる。