

## 画像解析を用いた硬化コンクリートの配合推定

金沢大学大学院 学生会員 池崎 由典  
 金沢大学大学院 正会員 五十嵐 心一  
 金沢大学工学部 フェロー 川村 満紀

## 1. 序論

コンクリート構造物から採取されたコアを用いて、その構造物に使用されたコンクリートの水セメント比を推定することは、コンクリート構造物の耐久性を評価するうえで有用である。現在わが国では、硬化コンクリートの配合推定方法として、セメント協会法といわれる化学分析法[1]が一般的である。しかし、その分析手順は複雑であり、試料によっては精度が大きく低下することが指摘されている。現在、複数の配合推定法が提案されているが、コンクリート研磨面の反射電子像はコンクリート構成相の体積率およびセメントの水和反応過程に関する情報を与えるものであり、これを適切に解析することにより、コンクリートの構成相に関する定量的な評価が可能である。本研究においては、この特長に着目し、光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡反射電子像観察結果の画像解析と結合水量から硬化コンクリートの水セメント比を推定する方法について検討する。

## 2. 実験概要

表-1 コンクリートの配合表

## (1) 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。骨材は石川県手取川産の川砂、川砂利(表乾密度 2.57g/cm<sup>3</sup>、吸水率：粗骨材 2.73%、細骨材 2.29%)を使用し、粗骨材の最大寸法は 10mm である。コンクリートの水セメント比は 0.25、0.5、0.6 の 3 種類とした。配合を表-1 に示す。

W/C	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
	水	セメント	粗骨材	細骨材	高性能減水剤
0.25	146	581	1086	559	10
0.5	214	428	771	900	0
0.6	239	398	642	963	0

(2) 骨材の分析方法 材令1ヶ月から1年程度のコンクリート円柱供試体(100mm×200mm)から厚さ10mm程度の板状試料を切り出した。表面を簡単に研磨し、骨材とペースト相を識別しやすいように、断面にフェノールフタレイン溶液を塗布した。デジタルカメラ(倍率4倍)および光学顕微鏡(倍率20倍)を用いて断面の任意の箇所(10箇所程度)を撮影し、それぞれの画像において明度および色度に関して適当な閾値を設定することでペースト相と骨材を分離し、粗骨材および細骨材の体積率を求めた。粗骨材量の評価に際しては、画像パラメータとして最大粒子径5mm以上のものを粗骨材として処理した。細骨材の体積率は次式により求めた。

$$S = (100 - V_G) / 100 \times V_S \dots (1)$$

ここに、S は細骨材の体積率(%)、V<sub>G</sub> は粗骨材の体積率(%)、V<sub>S</sub> は細骨材のモルタルに占める体積率(%)である。

## (3) 水セメント比の分析方法 結合水量

試験用の試料としては、コンクリート中のモルタル部分を粉砕したものをを用いた。粉砕前に試料の体積および乾燥質量を計測し、上で述べた骨材の体積率を用いてモルタル中の細骨材質量比を算出した。モルタル

表-2 骨材の体積率の推定結果

W/C	推定時の材令(日)		粗骨材体積率(%)	細骨材体積率(%)
0.25	100	推定値	42.9	20.8
		示方配合値	42.3	21.8
0.5	30	推定値	28.4	35.4
		示方配合値	30.0	35.0
0.6	400	推定値	24.0	37.8
		示方配合値	25.0	37.5

の強熱減量から骨材の強熱減量分を差し引いたものをセメントの結合水とし(式(2))、これから式(3)を用い

キーワード：配合推定、水セメント比、画像解析

連絡先：工学部土木建設工学科 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 076-234-4622 Fax076-234-4632

て水和セメント量を求めた。式(4)で強熱前の試料質量から細骨材質量、細骨材の強熱減量および水和セメント質量を減算することによって未水和セメント量を求めた。式(5)によって、未水和セメントに対する水和セメントの比を計算した。

$$W_{ne} = M_{LOI} - (S_{LOI} / 100) \times M_S \cdots (2)$$

$$C_h = W_{ne} / 0.23 \cdots (3)$$

$$C_{uh} = M - M \times M_S - M_{LOI} - C_h \cdots (4)$$

$$C_{h/uh} = C_h / C_{uh} \cdots (5)$$

ここに、 $W_{ne}$  はセメントの結合水量(g)、 $M_{LOI}$  は強熱による減少量(g)、 $S_{LOI}$  は細骨材の強熱減量(%)、 $M_S$  はモルタルにおける細骨材の乾燥質量比、 $C_h$  は水和セメント量(g)、 $C_{uh}$  は未水和セメント量(g)、 $M$  は強熱前の試料質量(g)、 $C_{h/uh}$  は水和セメントの未水和セメントに対する比である。

反射電子像観察用の試料は、コンクリートを一辺 10mm 四方に切り出し、エポキシ樹脂を含浸させた後、表面を耐水性研磨紙およびダイヤモンドスラリーを用いて研磨し、蒸着を行って電子顕微鏡観察用試料とした。得られた画像を用いて、未水和セメントに関する 2 値化処理を行い、セメントペースト相に占める未水和セメントの体積率を求めた。式(6)において未水和セメント体積率に水和セメント比を乗ずることでペースト相に占める水和セメント体積率を求め、これに未水和セメント体積率を加え、セメントペースト中のセメント体積率を求めた。

$$V_C = V_{Cuh} + V_{Cuh} \times C_{h/uh} \cdots (6)$$

ここに、 $V_C$  はセメントペースト中のセメント体積率(%)、 $V_{Cuh}$  は未水和セメント体積率(% )である。水セメント比および単位セメント量は次式により求めた。

$$W / C = (100 - V_C) \times r_w / (V_C \times r_c) \cdots (7)$$

$$C = \{ (100 - V_{air} - S - V_G) \times V_C / 100 \} \times r_c \times 1000 \cdots (8)$$

ここに、 $c$  はセメントの密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $w$  は水の密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $V_{air}$  は巻込み空気量(% )であり、粗骨材最大寸法から 3% とした。

### 3. 結果および考察

表-2 に骨材の体積率の推定結果を示す。いずれの配合においても、示方配合との差は体積率で 2% 以内という良好な結果が得られた。このことから、骨材の体積率を画像情報を用いて求めることは十分可能であると考えられる。

図-1 に実際の水セメント比と推定値の関係を示す。 $W/C=0.25$  および  $0.6$  の配合では示方配合の値と推定値がほぼ一致した。また、最も大きな差が生じた  $W/C=0.5$  の配合においても両者の差は 8% 程度であった。図-2 に実際の単位セメント量とその推定値の比較を示す。単位セメント量の実際の値と推定値の差は、最大でも  $30\text{kg}/\text{m}^3$  程度であり良好な結果が得られたといえる。セメント協会法では場合によって、単位セメント量で  $100\text{kg}/\text{m}^3$  程度の誤差が生じることを考慮すると、今回検討した配合推定方法は高い精度を有しており、画像解析法は配合推定の有効な方法であると考えられる。

### 4. まとめ

硬化コンクリートの画像解析および結合水量から水セメント比等のコンクリートの配合を推定する手法の可能性を示し、その有用性を確認した。

参考文献 [1] セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-18「硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験結果」、1967

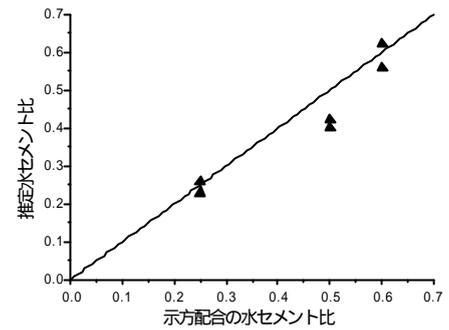


図-1 示方配合の水セメント比と推定水セメント比

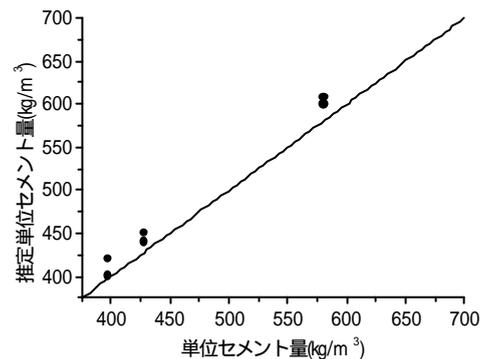


図-2 示方配合の単位セメント量と推定単位セメント量