

## SEM-BSE 画像解析による実構造物の毛細管空隙率と圧縮強度の関係

苫小牧工業高等専門学校 正会員 ○土門 寛幸  
 苫小牧工業高等専門学校 正会員 渡辺 暁央  
 苫小牧工業高等専門学校 非会員 高橋 正一

## 1. はじめに

コンクリートの強度はセメントマトリックスの微細構造により決定づけられる。特に毛細管空隙構造と強度は良い相関性があり、コンクリートの性能を評価するうえで重要である。コンクリートの空隙構造を評価する手法は複数存在するが、実績の多い水銀圧入法による評価が一般的である。一方、反射電子像による評価も行われているが、研究レベルの領域を超えていないのが現状である。これは、実構造物のコンクリートに適用事例が少なく、信頼性や評価の解釈が不明確なことが要因と考えられる。そこで本研究では、実構造物から採取したコンクリートコアに対して、反射電子像の画像解析を行い圧縮強度との対応を検討することを目的とする。

## 2. 実験概要

## 2.1 圧縮強度・静弾性係数試験

橋梁のコンクリート構造物からコアボーリングを行い、試料を採取した。端面研磨を行い、JIS A 1149 に準じて静弾性係数試験を実施し、コアの圧縮強度を得た。

## 2.2 試料作製

圧縮試験後の供試体から 10×10×5mm 程度の寸法の試料を精密カッターで切り出し、エタノール浸漬を行った。これを真空含浸装置によりエポキシ樹脂を含浸させ、耐水研磨紙およびダイヤモンドスラリーを用いて研磨し、電子顕微鏡観察試料を作製した。この試料に白金蒸着を施し、反射電子検出器を備えた電界放出型走査電子顕微鏡により倍率 500 倍で骨材を避けて反射電子像を取得した。反射電子像は、256 段階のグレーレベルで構成されており、白色の粒子の相が未水和セメント、明るい灰色の相が水酸化カルシウムであり、黒色の相が粗大毛細管空隙である。

## 2.3 反射電子像解析

汎用画像処理ソフトを用いて、反射電子像の画像解析を行った。写真-1 はコンクリートコアの反射電子像である。長期材齢の反射電子像は、未水和セメントが少なく、全体的に灰色が卓越し、グレーレベルの識別が明確にならない。そのため、図-1 に示すように濃度ヒストグラムは一つのピークが現れるのみである。このヒストグラムの 0 側の立ち上がりが毛細管空隙の閾値、256 側の立ち上がりが未水和セメントになる。この反射電子像について

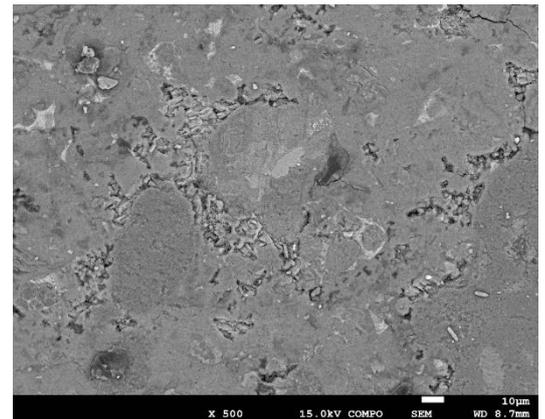


写真-1 コアDの反射電子像例

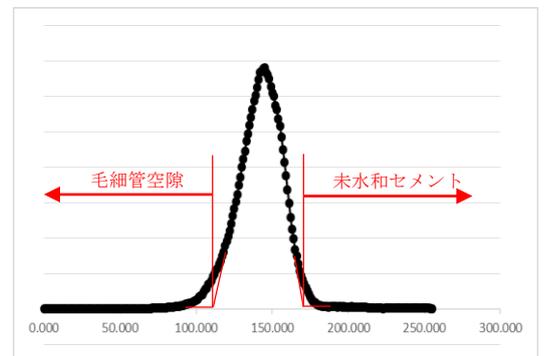


図-1 濃度ヒストグラム例

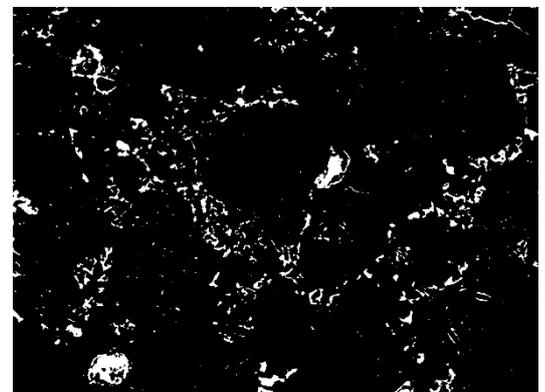


写真-2 コアDの二値化画像例

キーワード 反射電子像, 毛細管空隙, 圧縮強度

連絡先 〒059-1275 北海道苫小牧市字錦岡 443 番地 苫小牧工業高等専門学校技術教育支援センター TEL0144-67-8027

粗大毛細管空隙の二値化処理を行うと写真-2 のようになる。  
 なお、画像解析を行うにあたり、反射電子像に写っている骨材を除いたセメントペーストマトリックスを画像解析の対象として抽出する解析範囲指定の画像処理を行っている。

表-1 各コアの試験結果

	毛細管空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
コア A	5.9	14.5	10.7
コア B	5.1	17.0	5.4
コア C	2.6	14.6	12.5
コア D	3.9	32.7	
コア E	2.5	39.5	23.8
コア F	3.7	35.5	23.6
コア G	4.0	29.6	16.4
コア H	5.7	26.1	14.3
コア I	4.3	18.8	
コア J	6.9	53.8	38.4

3. 結果および考察

表-1 はコンクリートコアの強度、静弾性係数とともに、反射電子像の画像解析による毛細管空隙の面積率を示したものである。コア A~C は圧縮強度が低く、静弾性係数も小さいため、品質の低いコンクリートであると予測される。また、コア B は圧縮強度に比較して静弾性係数が著しく低くなっており、ASR などによる劣化の可能性が推察される。なお、コア D およびコア I は圧縮強度のみのデータしかなく、静弾性係数は得ていない。

図-2 は、画像解析による毛細管空隙率と圧縮強度の関係を示したものである。コア C およびコア J を除くと毛細管空隙率と圧縮強度は直線近似となり、毛細管空隙率が小さくなれば強度が増大することがわかる。これは、実験室レベルで検討された特性と同様である。

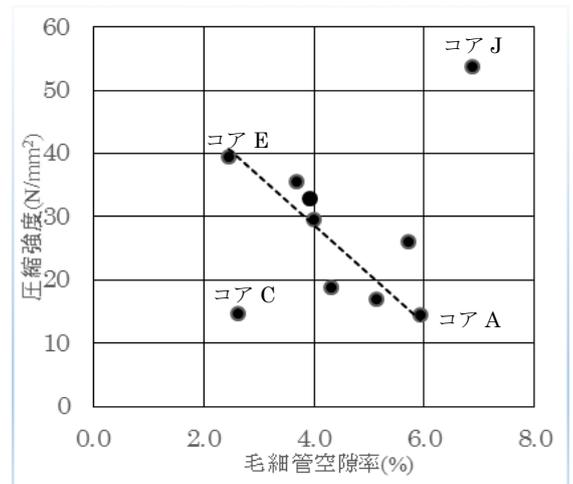


図-2 空隙率と圧縮強度の関係

コア A やコア E のように近似にほぼ一致している試料がある一方、コア C のように毛細管空隙率が低く強度が低いもの、コア J のように毛細管空隙率が高く強度が高いものもあり、セメントマトリックスの組織以外にも強度に影響を及ぼす要因があるといえる。

4. まとめ

実構造物の反射電子像の画像解析による毛細管空隙率と圧縮強度の関係は相関性があり、毛細管空隙率は小さいほど圧縮強度が大きくなる。しかし、これに該当しない試料もあったことから、さらに多くのデータの蓄積が必要である。

参考文献

1) 渡辺 暁央：反射電子像の画像解析によるセメント硬化体内部組織の定量評価に関する研究, 博士論文(金沢大学), 2005

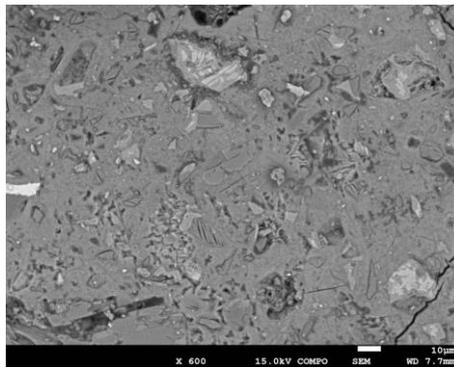


写真-3 コア E の反射電子像例

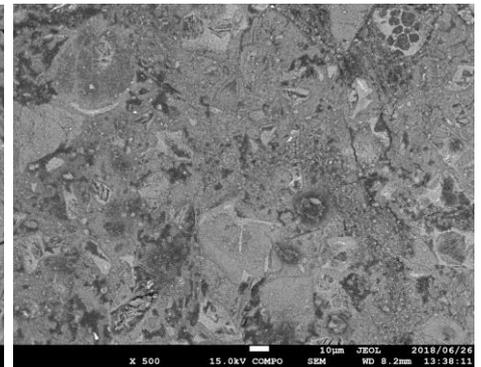


写真-4 コア A の反射電子像例

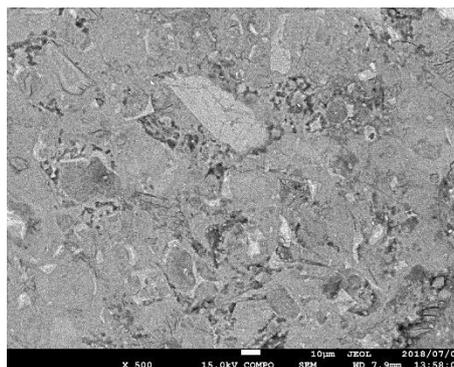


写真-5 コア C の反射電子像例

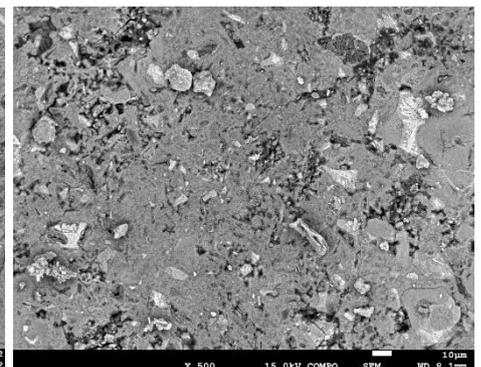


写真-6 コア J の反射電子像例