

SEM-BSE 画像解析による実構造コンクリートの毛細管空隙率と強度の比較

Comparison of compressive strength and capillary porosity in real structural concrete using SEM-BSE image analysis

苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科○学生員 曾根佳祐(Keisuke Sone)

苫小牧工業高等専門学校 正会員 渡辺暁央(Akio Watanabe)

苫小牧工業高等専門学校 正会員 土門寛幸(Hiroyuki Domon)

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。とく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。コンクリート中の空隙構造を評価する手法はいくつかあるが、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。この原因は、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たいして、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

JIS A 1149 の静弾性係数試験を行い、コンクリートコアの圧縮強度を得た。

2.2 供試体の作製方法及び実験方法

強度試験後のコンクリートコアを 10×10×5mm 程度の寸法で精密カッターを用いて切り出して、エタノール浸漬した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を行い、試料を作製した。試料に白金蒸着を施して、反射電子検出器を備えた電界放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 二値化について

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り、図-1は反射電子像の濃度ヒストグラムを示したものである。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。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手動による解析範囲指定の画像処理を行った。

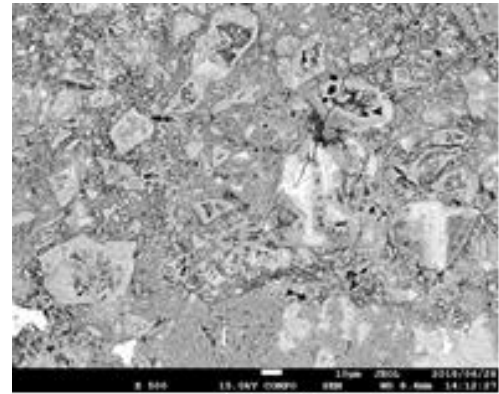


写真-1 二値化前の画像

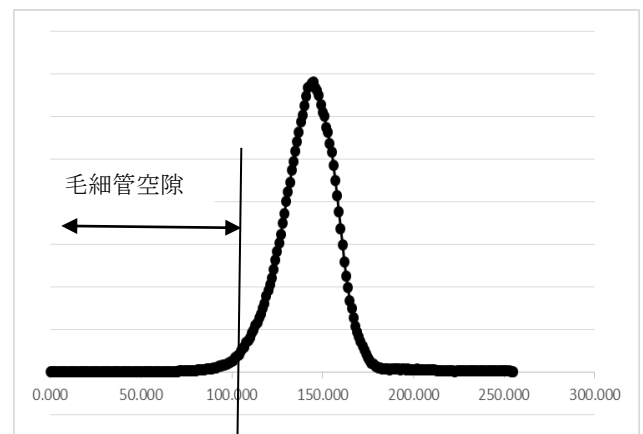


図-1 二値化のグラフ

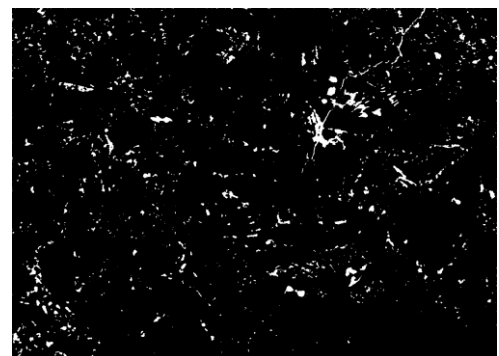


写真-2 毛細管空隙の二値化した画像

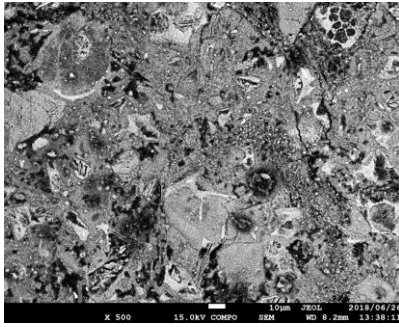


写真-3 コア 2

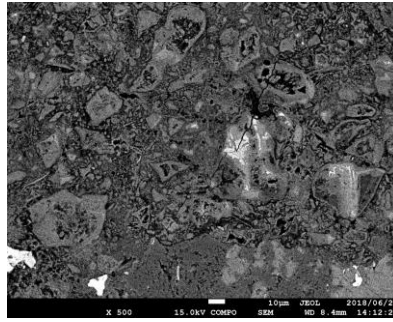


写真-4 コア 3

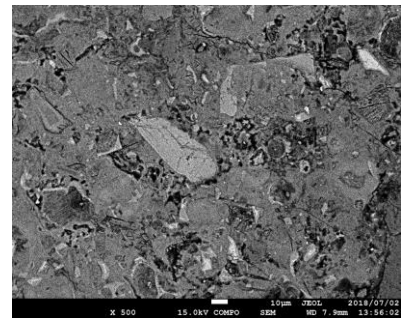


写真-5 コア 4

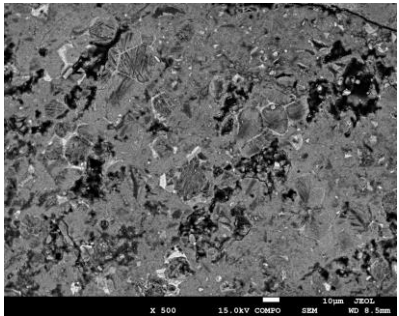


写真-6 コア 5

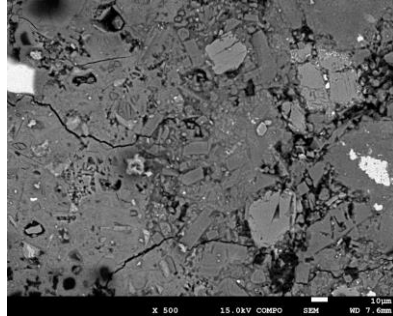


写真-7 コア 7

3.実験結果と考察

写真-3～7 は、強度試験を実施したコアの反射電子像の例である。コア 7 に若干の未水和セメントが確認できるが、他のコアには確認できず、ほぼ水和反応は完了していると推定される。コア 2 およびコア 3 は、粗大毛細管空隙が多く観察され、ポーラスな組織になっている。コア 4, 5, 7 は局所的に粗大毛細管空隙が密集している部分があるが、比較的空隙が少ないようである。

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 2～4 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 3 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 5 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 4 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。一方、コア 4 のように毛細管空隙率が低くても強度が低いものもあり、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

(1) 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。ただし、この条件に当てはまらないものも存在する。

表-1 毛細管空隙率と圧縮強度

	毛細管空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
コア 2	5.9	14.5	10.7
コア 3	5.1	17.0	5.4
コア 4	2.6	14.6	12.5
コア 5	3.9	32.7	
コア 7	2.5	39.5	23.8

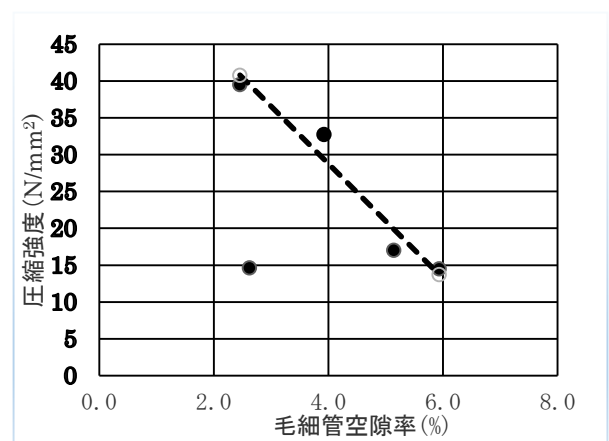


図-2 毛細管空隙率と圧縮強度

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