

実構造物および実験室供試体における SEM-BSE 画像解析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。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、毛細管空隙率と圧縮強度との対応を検討することを目的とする。実構造物と、実験室で行ったセメントペースト供試体とのデータを比較して考察を行った。

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 セメントペースト供試体の圧縮強度試験

W/C=0.25, 0.4 および 0.6 のセメントペーストを、直径 50mm×高さ 100mm の型枠に打設した。養生は 5°C, 20°C, 40°C で密封および水中養生を行った。材齢 7 日, 28 日, 91 日において圧縮強度試験を行った。

2.3 反射電子像観察用試料の作製

圧縮強度試験後のコンクリートコアから精密カッターを用いて 10×10×5mm 程度切り出し、エタノール浸漬を行った。この破片に真空含浸装置で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粒度 1/4 μm まで研磨し、反射電子像観察用の試料とした。

2.4 反射電子像の観察

2.2 節で作製した試料に白金蒸着を施し、反射電子検出器を備えた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。この反射電子像は 256 段階のグレーレベルで構成されており、白色の相が未水和セメント、灰色の相が C-S-H 等の水和物、黒色の相が粗大毛細管空隙である。

2.5 反射電子像の解析

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。取得した反射電子像について汎用画像処理ソフトを用いて二値化を行い、空隙の面積率を算出した。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

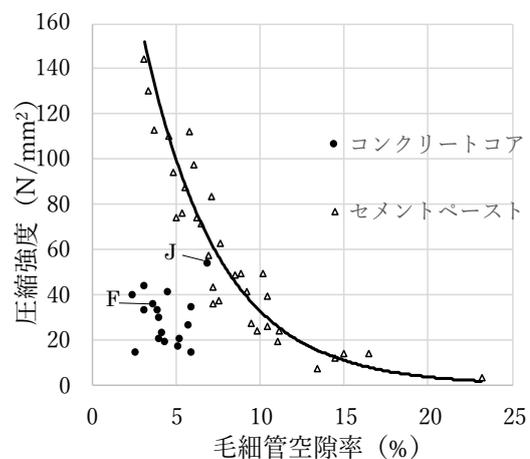


図-1 毛細管空隙率-圧縮強度

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

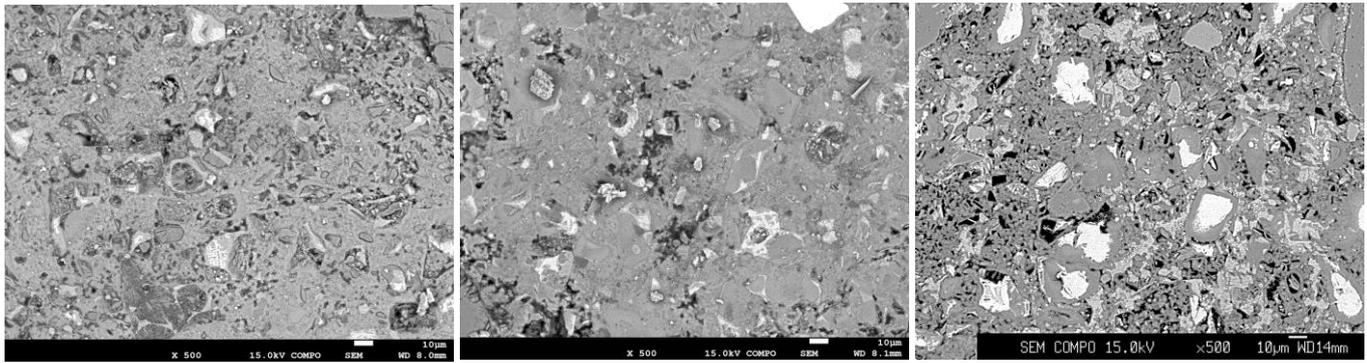


写真-1 コアFの反射電子像例 写真-2 コアJの反射電子像例 写真-3 W/C=0.5の反射電子像例

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 コアの空隙率と圧縮強度

	毛細管空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
A	5.9	14.5	10.7
B	5.1	17.0	5.4
C	2.6	14.6	12.
D	3.9	32.7	
E	2.5	39.5	23.8
F	3.7	35.5	23.6
G	4.0	29.6	16.4
H	5.7	26.1	14.3
I	4.3	18.8	
J	6.9	53.8	38.4
K	3.1	43.8	31
L	5.2	20.2	8.1
M	3.1	33.3	17.4
N	4.2	23	8.5
O	5.9	34.5	23.3
P	4.0	20.3	16.7
Q	4.5	40.9	21

3. 結果および考察

図-1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。実験室で養生されたセメントペーストの空隙率と圧縮強度には強い相関がある。コンクリートコアはセメントペーストより左下側にプロットされている。これは、空隙率が同じとき、セメントペーストよりコアの強度が小さいことを意味している。

写真-1および写真-2はコアFおよびJの反射電子像の例である。また、写真-3はW/C=0.5の材齢7日の反射電子像の例である。実構造物は何十年も経過しているため、写真では未水和セメントが少なく、全体的に灰色の画像となっている。一方、写真-3のように実験室で行う1年未満の比較的短い材齢では未水和セメントが多く、空隙が明瞭に観察される。そのため、コアの空隙率は比較的小さく評価された可能性がある。

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、コアNおよびコアL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。すなわち、圧縮強度に与える骨材の影響が大きいことを意味しており、セメントペーストと異なる関係性となった要因として骨材の存在も一因と考えられる。

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には相関はみられず、同じ空隙率ではセメントペーストより強度が小さい傾向にある。