

中性化によるコンクリートの粗大空隙構造変化の評価

金沢大学工学部

○白上 新

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋

正会員 石川 裕一

金沢大学大学院

学生員 DANG Giang Hoang

金沢大学理工学域

正会員 五十嵐 心一

1. はじめに

コンクリートの経年劣化にともない内部構造も変化し、その結果として、コンクリートの性能が加速度的に低下していくことがある。コンクリートの劣化現象は様々であるが、その一つとして中性化現象が挙げられる。中性化は鉄筋腐食を生じる誘因となる一方において、コンクリート中に炭酸カルシウムの結晶が生成されて空隙構造が変化し、これがコンクリートの物質移動抵抗を改善することも知られている。そのような中性化による空隙構造の変化はこれまで水銀圧入法¹⁾により明らかにされているが、空間構造としての特徴を定量的に評価した例はない。

本研究では、供用中の実構造物から採取したコンクリートコアに対し、反射電子像の画像解析法を適用し、中性化に起因した粗大空隙構造の変化を空間統計量の変化から評価することを目的とする。

2. 実験概要

(1) コアの取得および中性化深さ試験

現在供用中の橋梁の床板からコンクリートコア(Φ55mm×120mm)を採取し、その中性化程度を把握するために JIS A 1152 に準じて中性化深さ試験を行った。

(2) 反射電子像観察用試料の作製

表-1 はコンクリートの配合およびその中性化試験結果を示したものである。表中の中性化深さを参考に、表面付近の劣化を考慮した深さ 5mm の中央部から中性化部試料を、健全部の中央から健全部試料を切り出し

表-1 配合および中性化深さ試験結果

竣工年度	W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m ³)					中性化深さ(mm)
			W	C	S	G	混和剤	
S48	50.0	36.0	160	320	663	1180	0.8	28

た。その後、傾斜溶媒置換により内部水分を除去し、さらに α -ブタノールによる置換を行った。その試料に対し凍結真空乾燥装置を用いて水分を除去した後、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注意深く研磨し、金-パラジウム蒸着を行い反射電子像観察用試料とした。

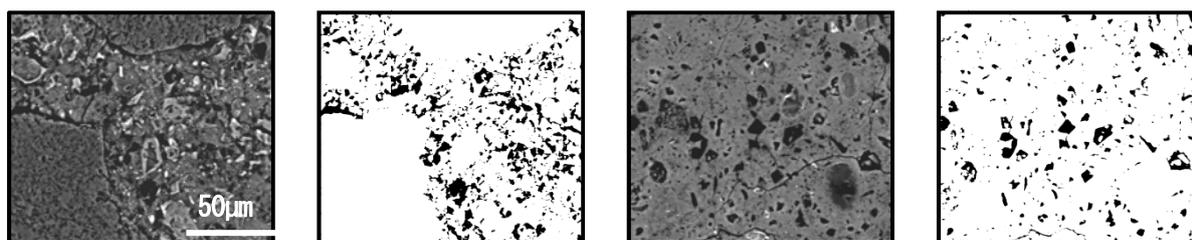
3) 反射電子像取得および画像解析

走査型電子顕微鏡を用いて、観察倍率 500 倍で無作為に 10 枚の画像を取得した。このとき 1 画像は 1148×1000 画素からなり、1 画素は 0.221 μ m に相当する。取得した画像に対し、グレースケールに基づく 2 値化処理を行い粗大空隙 (径 0.221 μ m 以上) のみを抽出した 2 値化画像を得た。

(4) 2 点相関関数

2 点相関関数 ($S_2^{(Y)}(r)$) とは、ある一定の長さ (r) の線分をランダムに落としたときに、その両端が同一相 (Y) に載る確率関数である、なお、初期値 ($S_2^{(Y)}(0)$) は着目相の面積率を表わす。

本研究では、画像上のペーストマトリックス相に複数の箇所から 10000 本の線分をランダムに落とし 2 点相関関数を求めた。



a) 健全部原画像

b) 健全部空隙の 2 値化画像

c) 中性化部原画像

d) 中性化部空隙の 2 値化画像

図-1 空隙構造相違の例

表-2 空隙率

	中性化部	健全部
空隙率 (%)	0.105	0.157

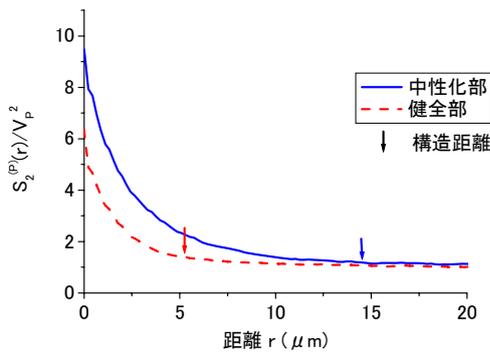


図-2 正規化した 2 点相関関数

3. 結果および考察

図-1 にコンクリートコア研磨面の反射電子像および粗大空隙を抽出した 2 値化像の例を示す。画像より健全部では粗大な空隙の周囲に微細な空隙が凝集するような分布を示しているのに対し、中性化部ではセメントペースト部における粗大空隙量が減少し、また微細な空隙の分布もまばらであり、比較的粗大な空隙同士は離れて点在しており、明らかに両者の空間分布の特徴は異なる。

表-2 はコンクリート中のセメントペーストマトリックス領域に対する粗大空隙率の平均を示したものである。図-1 にて目視により判断されたように中性化部では空隙率は健全部に比べてかなり小さく、炭酸カルシウムの析出により空隙が充填されたものと考えられる。中性化による空隙率の減少は、これまでも水銀圧入法により確認されているが¹⁾、そのような空隙の減少は、本研究にて検出されるような粗大な毛細管空隙径の範囲においても生じているといえる。

図-2 に空隙率の影響を除くため、理論上の収束値である面積率の自乗で正規化した 2 点相関関数を示す。統計的変動のため、関数値は必ずしも理論値である 1 に収束しないことから、関数の勾配から定めた構造距離を図中に矢印で示した。健全部の構造距離は 5μm 程度、中性化部の構造距離は 15μm 程度となり、中性化部において構造距離が増大している。これは中性化の進行にともない小さい空隙は充填され消失していくことから空隙間の距離が大きくなり、かつ粗大な空隙は残存することによって、粒子同士の正の相関性がなく

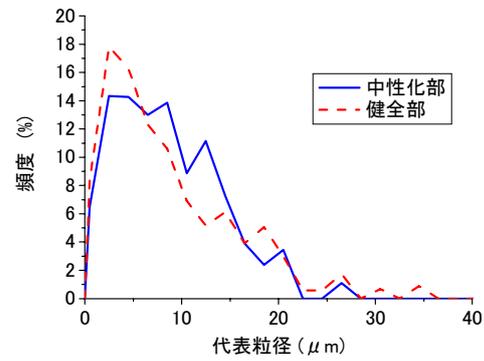


図-3 粗大空隙の粒度分布

なるまでの距離である構造距離が増大したと考えられる。すなわち、粗大空隙の空間配置の記述には、より広範囲の組織観察が必要であり、不均質な空隙空間分布になることを示している。なおこのような不均質性の増大は、図-2 において中性化部の 2 点相関関数が、距離の小さい範囲にて健全部よりもかなり大きな値を示し、完全なランダム分布状態との差が大きいことから理解される。

図-3 は抽出した粗大毛細管空隙の円相当径の粒度分布を示したものである。中性化にともない、粒径 7μm 以下の空隙率に減少傾向が見られる。一方、径 7~15μm 程度の空隙率は中性化部において増加する傾向が見られ、より粗大な空隙への炭酸カルシウム析出により、それより小径領域の空隙が増加したものと考えられる。

以上の結果より、中性化の進行により空隙径分布が全体的に小さい粒径側にシフトすることは明らかである。前述のように、これまでの中性化の進行による細孔構造の変化は、水銀圧入法の結果に基づいて論じられる場合がほとんどであり、比較的小さい粒径の細径化も報告されている。しかし、本研究の結果は、水銀圧入法によるそのような分布の変化が、本研究にて対象としている水銀圧入法では正確に測定できないような粗大な空隙領域における空隙径分布の変化の影響を強く受けたものであることを示唆している。

4. おわりに

反射電子像の画像解析を用い、中性化による空隙構造の変化について検討した。その結果、中性化による空隙径の細径化は、比較的低倍率にて観察しうる粗大な空隙範囲にも生じることが明らかとなった。

参考文献

1) 佐伯竜彦, 大賀宏行, 長滝重義, 土木学会論文集, 第 420 号, V-13, pp.33-42, 1990.