統計解析ソフト「R」によるコンクリート中の構成相の空間分布の評価

1. 序論

画像解析技術の向上にともないコンクリート中の微 視的構造の評価に対する要求はより高度化し,高次の 空間統計量の計算やシミュレーションによる信頼性判 定など,独自のプログラム開発が必要とされるように なった.一方で,これが微視的構造から有意な空間情 報を抽出する上での妨げとなり,結果として,例えば 面積率などの単純な画像パラメータだけを用いた評価 にとどまってしまう場合も多い.しかし,その一方に て現在では統計解析ソフト「R」が広く普及し,その 中にはコンクリートにも適用しうる空間統計量の計算 やグラフ化を行えるパッケージも提供されている¹⁾.

本研究では、より高度な画像解析を簡便に行うこと を目的とし、Rの積極的な導入を図った.ここでは耐 凍害性を検討するうえで重要な気泡の空間分布をRに より評価した例を示し、その有用性について述べる.

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメントを使用し, 骨材には川砂利 (G_{nax}: 25mm),川砂を使用した.混 和剤には AE 減水剤および AE 剤をそれぞれ希釈して 用いた.示方配合を表-1 に示す.100mm×100mm× 400mm の型枠にコンクリートを打ち込み,打ち込み後 24 時間にて脱型し,材齢7日まで水中養生を行った.

2.2 試料作製および画像取得

養生終了後,供試体から厚さ15mm程度の板状試料 を切り出し,切断面の研磨を行った.研磨終了後,ス キャナを用いて等倍率の断面画像を10枚取得した.こ のときの解像度は847dpiであり,1画素は約30µmに 相当する,なお,断面中央の60mm×60mmを観察領 域(W)とした.その後,試料断面に対して,1%フェ ノールフタレイン水溶液を用いてセメントペースト相 のみが呈色された断面画像を取得した.また,同試料

主_1	ーデモ	ᆞᇑᇫ
11 1	・ハノ	日し口

w/c ^s	Slump (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			1 ³)	単位量(cc/m ³)	
				W	С	G	S	AE	AE
								減水剤	助剤
55	15 ± 2	4.5 ± 0.5	43	175	318	1008	754	3180	636

金沢大学	学生会員	〇山本	瑞希
金沢大学	正会員	五十嵐	心一



図-1 画像解析ソフトウェアとRによる評価の組合せ

手法のフローチャート

断面を黒色インクで塗り潰し,気泡を白色粉末で充填 した断面画像を取得した.取得したそれぞれの画像を 重ね合わせ,気泡が赤,骨材が緑,セメントペースト マトリックス領域が青となる RGB 画像を作成した.

2.3 空間分布評価手順(図-1)

画像解析ソフトウェアを用いて, RGB 画像からセメ ントペースト相および気泡の2値画像を取得した.ま た,気泡の2値画像から重心点位置座標を求め,点過 程Xとした.また,観察領域W中の点に関して,単位 面積当たりの点の個数である点密度λを求めた.取得し た気泡に関するデータを R に読み込み,パッケージ 「spatstat」¹⁾を用いて以下の評価を行った.

(1)気泡の分布の再現

重心点座標および気泡径データをRに読み込み,画像の気泡分布を再現した.

(2)気泡の空間分布のランダム性の評価

重心点座標から K 関数²⁾および L 関数²⁾を計算し, 気泡の空間分布のランダム性の評価を行った.

(3)L 関数による分布の有意性検定

点密度λから決まる点数を所定領域内にランダムに



発生させ、L 関数を求めるシミュレーションを 200 回 繰り返した.これより 95%信頼区間を決定し、気泡の L 関数のランダム分布からの偏差の有意性を判定した. (4)間引き過程のK 関数²⁾

点密度λをコンクリート中のセメントペースト領域 に対する気泡の点密度に変換した.この点密度に相当 する点がセメントペースト中に分布しているとして,

(3) と同様に基本点過程X_bを発生させ、その K 関数K_b を求めるシミュレーションを 200 回繰り返した. 点過 程X_bのうち骨材位置にある点が間引かれ、残った点過 程X_pをコンクリート中のセメントペースト相中の気 泡分布とみなす.このときの K 関数K_Pをセメントペー ストマトリックス相の共分散関数を用いて求めた²⁾. 間引き過程の関数K_Pとコンクリート中の気泡の関数 K_cを比較し、骨材が気泡分布に与える影響を評価した.

結果および考察

図-2に気泡画像の一例を示す.画像解析から得た気 泡の2値画像とRにより再現した気泡の画像は概ね一 致しており,点座標および気泡径データをRに読み込 ませれば,2値画像を簡単に再現できることがわかる.

図-3 にコンクリート中の気泡のL 関数を示す. コン クリート中の気泡はポアソン分布よりも大きな値を示 しているが、ランダムな変動の範囲の可能性もあり、 必ずしも凝集分布であるとは単純には判定できない. しかし、図中に示したモンテカルロシミュレーション の信頼区間と比較すると明らかなように、関数値は信 頼区間から大きく外れており、この偏差は供試体中の 気泡の点密度と同じ点密度でランダムに発生させるだ けでは起こりえない分布であったと判断される.これ より、コンクリート中の気泡は骨材の存在によりその 分布が大きく制限されるため、結果的に凝集性を有す ることが定量的に評価できたことになる.同様に、距 離の短い範囲にてみられるポアソン分布よりも関数値 が小さい領域もランダムの変動の範囲では起こりえな いと判断され、これは気泡の径の影響によりその範囲 には点が存在できないためと考えられる.

図-4 に気泡の K 関数K_Cおよび,間引き過程の K 関数K_pを示す.より大きな観察スケールに立つと,両関数は一致していると判断される.これより,気泡間隔係数や最近傍距離などのより高度な空間分布に関するパラメータを R によって簡便にシミュレートされた空間分布からの推定が十分に可能であると判断される.

4. 結論

画像解析ソフトから得た気泡の空間データをRに読 み込むことで、気泡の分布のランダム性、凝集性およ び分布の偏差の有意性を簡便に評価できた.計算処理 時間も短く、高度なプログラミングも不要であり、画 像データとRとの組み合わせはコンクリートの内部構 造の定量評価の強力な解析手段になると考えられる.

参考文献

1) Baddeley, A. et al : Springer, 2006

2) Stoyan, D. et al : JOHN WILEY & SONS, 1995