

超吸水性ポリマーの空間分布特性と内部養生効果との関係

金沢大学工学部 ○荒金 延明
金沢大学理工学域 正会員 五十嵐 心一

1. 序論

高強度コンクリートの自己収縮を抑制する手法として、内部に保水性粒子を分散させる内部養生法がある。その保水性粒子として、超吸水性ポリマー:SAP(Super Absorbent Polymer)の使用が検討されている。微細で保水能の大きな粒子をマトリックス全体に均一に分布させられるという観点から、SAPは効果的な内部養生効果をもたらすと考えられる。しかし、SAPの空間分布を評価して、水分到達距離との関連から内部養生効果を検討した例は少ない。

本研究では、SAPの空間構造を点過程理論を用いて評価し、セメントペーストの自己収縮抑制効果を空間構造の特徴との関連から論ずることを目的とする。

2. 実験概要

(1) セメントペースト供試体の作製

水セメント比(W/C)が0.25のセメントペースト円柱供試体(直径50mm, 高さ100mm)を、JIS R 5201に準じて作製した。SAP混入量は、W/C=0.25で達する最大水和時の自己乾燥を抑制するのに必要な量として計算し、セメント質量の0.35%およびその2倍量の0.70%とした[1]。また、比較用としてSAP無混入の供試体を作製した。なお、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を、SAP無混入および混入供試体について、セメント質量の0.6%を添加した。材齢1日にて供試体を10mm程度の厚さで切り出し、エタノールに浸漬して内部水の置換を行った。さらに、赤染料含有エポキシ樹脂を含浸し、樹脂の硬化後に試料表面の研磨を注意深く行い、画像解析用試料とした。

(2) セメントペースト供試体断面の画像解析

(1)で作製したSAP混入供試体に対し、スキャナを用いて供試体断面の画像を解像度800dpiで取得した。1画像は1100×1102画素からなり、1画素は31.75μmに相当する。得られた画像に対して画像解析ソフトを用いて2値化処理を施し、染色部のみを抽出した2値画像を取得した。SAP無混入の供試体についても同様の染色を行った。これにより、空気泡および毛細管空隙に相当する染色部の粒度分布を求めた。得られた粒

度分布を用いて、SAPを含む断面画像からSAP以外の染色部を除去するための画像演算を行い、残った染色部をSAPとして抽出した。このようにして得られたSAPの重心点位置をあらためて点過程 $X=\{x_i; i=1, \dots, n\}$ とした。

(3) 最近傍距離関数

最近傍距離関数とは、任意の点 $x_i \in X$ から距離 r 離れた位置に最近傍点 $x_j \in X (i \neq j)$ が存在する確率を求め関数であり、式(1)より計算される。

$$\hat{G}(r) = \frac{\sum_{i=1}^N 1(s_i \leq r) \cdot 1(s_i \leq b) \cdot w(s_i)}{\sum_{i=1}^N 1(s_i \leq b) \cdot w(s_i)} \quad (1)$$

ここに、 s_i は最近傍距離、 b_i は各点 x_i から画像縁までの最短距離である。 $w(s_i)$ はエッジ補正係数であり、前述の s_i を半径とする領域だけ縮退させた、観察領域面積の逆数で、観察視野 W の辺長を x, y とすると、次式により与えられる。

$$w(s_i) = \{(x - 2s_i)(y - 2s_i)\}^{-1} \quad (2)$$

(4) 接触分布関数

接触分布関数とは、点過程 $X=\{x_i; i=1, \dots, n\}$ が与えられたとき、画像内の任意の点 $u \in W \setminus X$ から最も近い点過程の点 $x_i \in X$ までの距離の確率関数である。本研究においては、セメントペースト相中にランダムに10000個の点を落とし、その点からSAP重心点までの最短距離をそれぞれについて求め、接触分布関数を統計実験的に求めた。

(5) セメントペーストの長さ変化試験

直径約30mm, 長さ約400mmのポリエチレン製のコルゲートチューブを振動台の上に鉛直に保持し、振動

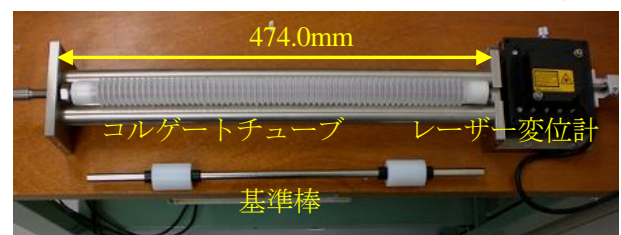


図-1 長さ変化測定装置

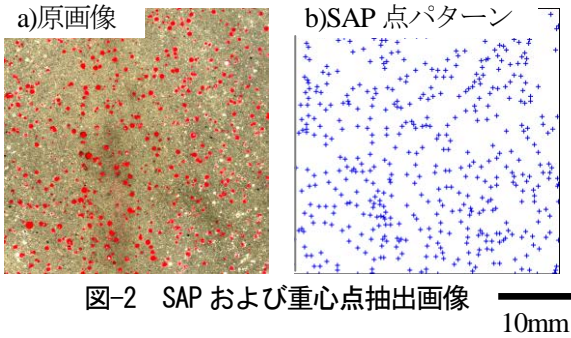


図-2 SAP および重心点抽出画像

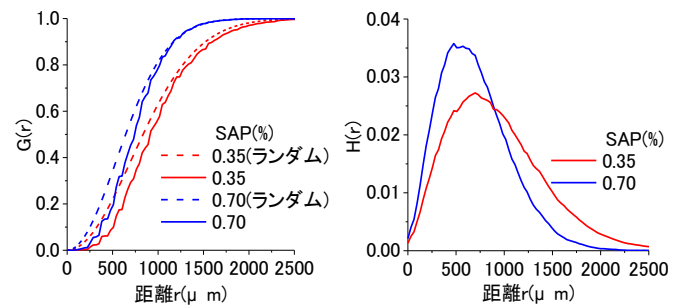


図-3 最近傍距離関数

図-4 接触分布関数

を加えながら上部からセメントペーストを静かに注ぎ込んだ。十分に空気を追い出した後、テフロン製の栓をして、長さ変化測定用供試体とした。これを $18 \pm 1^\circ C$ の恒温室内にて水平にして保管し、図-1 に示す長さ変化測定装置を用いて所定材齢にて長さ測定を行った。供試体数は、それぞれの配合に対して3本であり、別途予備試験にて求めておいた凝結始発時を始点として、自己変形ひずみの平均値を求めた。

3. 結果及び考察

図-2 に、SAP 混入量 0.35%における画像解析用試料の原画像、および空隙と気泡に関する処理を行った後のSAP 点パターンを示す。

図-3 は、SAP 重心点に関する最近傍距離関数を示したものである。図中の破線は、点が完全ランダム分布を形成する時の最近傍距離関数を表わす。SAP 混入量 0.35%、0.70%共に、距離の小さい範囲にて関数値は破線の値よりも小さく、SAP はセメントペースト中でランダム分布に比べて規則的に分散している。また、両配合とも、ほぼ距離 1.5mm 以内に他の SAP 重心が必ず存在するような分布となっている。

図-4 は、SAP 重心点に関する接触分布関数を頻度分布として示したものである。SAP 0.35%の場合、セメントペーストの任意の位置から 700 μm 程度の位置に SAP 重心が存在する確率が高い。一方、SAP 0.70%では関数分布がより狭い範囲に制限されるようになり、500 μm 付近に SAP 重心が存在する確率が高くなっている。使用した SAP はほぼ単一粒径で、吸水後の球径が 500 μm 程度であることを考慮すると[1]、セメントペースト中の任意の位置から最近傍の SAP 表面までの平均距離は、SAP 混入量が 0.35%では 450 μm 、0.70%では 250 μm 程度と推察される。

図-5 は、長さ変化試験の結果を示したものである。SAP を 0.35%混入すると、自己収縮ひずみが著しく低減しており、SAP による内部養生効果が得られているが、初期

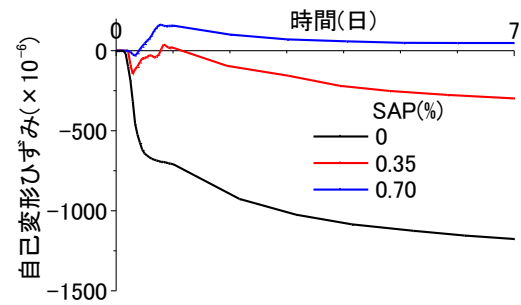


図-5 セメントペースト長さ変化試験結果

の膨潤以降の収縮は抑制されていない。さらに、SAP を 0.70%混入した場合には、内部養生効果がより顕著である。しかし、SAP 混入量 0.70%時においても、材齢 1 日以降には収縮傾向が認められ、自己収縮は完全には抑制できていない。

図-4 および図-5 の結果から、SAP から供給された水分の到達距離は 250 μm 程度以下であろうと推察される。本供試体においては、SAP 混入量に関わらず内部水分の供給を受けない領域が存在し、これが収縮に影響したと考えられる。しかし、実際のコンクリートの骨材による希釈を考えると、SAP 混入によりかなり小さい値にまで収縮は低減され、内部養生の効果は得られていると考えられる。自己収縮を完全に抑制するためには SAP 混入量をさらに増やす必要があり、コンクリートの強度低下を招くことや、内部養生の材料設計の根拠となる最大水と度到達には時間を要することなども考慮すれば、自己収縮を完全に抑制するための SAP の混入量を求めることよりも、むしろ本研究にて得られた低減効果の評価することの体系化が必要であると思われる。

4. 結論

内部貯水槽である SAP 粒子からセメントペースト全断面に水分を供給できなくとも、自己収縮は著しく低減され、この低減効果を適切に評価することの必要性が示唆された。

参考文献[1]Jensen, O.M. and Hansen, P.F., Cement and Concrete Research, Vol.31,pp.647-654,2001.