

## 内部養生用の超吸水性ポリマーの凝集性空間分布と自己収縮抑制効果の対応

金沢大学大学院 学生会員 ○横田 光一郎  
 金沢大学理工学域 正会員 五十嵐 心一

### 1. 序論

近年、超吸水性ポリマー(Superabsorbent polymer : SAP)を内部養生材として使用した研究が進められている。自己収縮低減を目的とした内部養生法の配合設計では、自己乾燥を補償するのに必要な内部貯水量から SAP の吸水能に応じて混入量を決定するのみであり、SAP 粒子の空間配置は考慮されていない。しかし、SAP 粒子の空間配置は、最適な SAP 粒子寸法や水分到達距離を考えるうえで重要な要因となり得る。

本研究では、SAP 混入量による自己収縮低減効果の比較を行うとともに、その相違を SAP 粒子の空間分布の特徴と関連づけながら論ずる。

### 2. 実験概要

#### 2. 1 使用材料および配合

結合材として普通ポルトランドセメント(密度 : 3.15g/cm<sup>3</sup>, 比表面積 : 3310cm<sup>2</sup>/g)およびシリカフェーム粉体(密度 : 2.20g/cm<sup>3</sup>)を用いた。細骨材には珪砂(密度 : 2.62g/cm<sup>3</sup>, 最大骨材寸法 : 5mm)を使用し、水結合材比が 0.28 のモルタル供試体(40×40×160mm)を作製した。また、比較のためにセメントペースト供試体も作製した。使用したコンクリート用の SAP の平均径は吸水前後で 200μm および 500μm であり、アルカリ性細孔溶液中での吸水能が 13g/g として提供されたものである。また、SAP の混入量はセメント質量に対して 0.3%、0.5% の 2 条件とし、SAP の混入量に応じて骨材量を調節した。モルタルの配合を表-1 に示す。

#### 2. 2 長さ変化試験

ASTM C 1698-09 に従って、ポリエチレン製のコルゲートチューブ(直径 : 約 30mm, 長さ : 約 420mm)内にモ

表-1 モルタルの配合

SAP 混入	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
	C	SF	W	S	SAP	SP
無	688	65	211	1298	-	11.3
0.3%	688	65	233	1226	2.1	11.3
0.5%	688	65	251	1178	3.4	11.1

SP : 高性能減水剤

ルタルを注ぎ、長さ変化測定用供試体とした。これを 20℃の恒温室にて水平に静置し、長さ変化を継続的に測定した。予備試験にて別途、セメントペーストの凝結試験を行い、凝結始発時を自己収縮の始点とした。

#### 2. 3 試料作製および画像解析

養生終了後、供試体から厚さ 10mm 程度の板状試料を切り出し、耐水研磨紙を用いて切断面の研磨を行った。研磨終了後、50℃の乾燥炉にて試料を 10 分間程度乾燥させた。断面画像はスキャナーにより取得し、試料中央から 30mm×30mm を観察領域とした。また、このときの解像度は 1200dp とし、1 画素は 21.2μm に相当する。取得した画像に対して RGB 情報に基づく抽出法を適用し、骨材相、セメントペースト相および空隙相の 3 つの 2 値化画像を取得した。取得したそれぞれの相の 2 値化画像に対して以下の解析を行い、評価を行った。

##### (1)セメントペーストマトリックスの空間構造の評価

セメントペースト相の 2 値化画像に対して 2 点相関関数(共分散)を求め、2 次元断面内での分布特性を評価した。ここに、2 点相関関数  $S(r)$  とは、画像上にランダムに落とした線分の両端が同一相上に載る確率関数である。点  $x_1$  がセメントペースト相(P)上にある確率を  $P\{I(x_1)=1\}$  と書くことにすると、任意の距離  $r = |x_1 - x_2|$  離れた 2 点  $x_1, x_2$  が同一相上にあることにより、2 点相関関数は式[1]のように定義される。

$$S(r) = \langle I(x_1)I(x_2) \rangle \quad [1]$$

$$= P\{I(x_1)=1, I(x_2)=1\}$$

##### (2)SAP 粒子の K 関数<sup>1)</sup>

K 関数とは任意の点から半径  $r$  以内に存在する他の点個数の期待値を反映する。点密度  $\lambda$  で正規化されているため、点の個数に関わらず、凝集性の有無を判定することができる。SAP 粒子の 2 値化画像に対して、個々の SAP 粒子をその重心点で代表させ、これを点過程  $X = \{x_i \mid i=1,2,\dots,n\}$  とみなした。この点過程  $X$  に対して式[2]に定義される K 関数を求めた。

キーワード 自己収縮, 内部養生, 超吸水性ポリマー, 画像解析, 空間統計量

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科環境デザイン学専攻 TEL076-264-6373

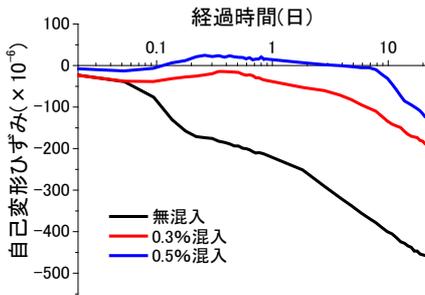


図-1 自己変形ひずみ

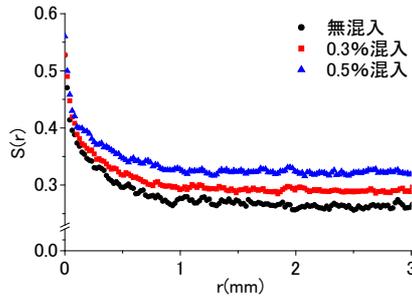


図-2 セメントペースト相および SAP の 2 点相関関数

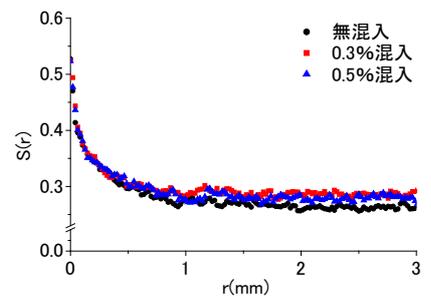


図-3 セメントペースト相の 2 点相関関数

$$\hat{K}_b(r) = \frac{1}{\lambda^2} \sum_{i \neq j} \frac{1(|x_i - x_j| \leq r)}{s(|x_i - x_j|)} \quad [2]$$

ここで、 $s(x)$ はエッジ補正係数である。

(3) 骨材粒子による間引きを受ける場合の K 関数<sup>1)</sup>

骨材粒子の存在により SAP の分布が制限を受けるとき、SAP 粒子が単純に骨材の占める空間に相当する分の間引きを受けるならば、K 関数はセメントペースト相の2点相関関数  $S(r)$  およびセメントペースト供試体中の SAP の K 関数  $K_b$  を用いて式[3]により与えられる。

$$K_p(r) = \frac{1}{p^2} \int_0^r S(x) dK_b(x) \quad [3]$$

ここに  $p$  はセメントペースト相の面積率を表す。

3. 結果および考察

図-1 は自己収縮ひずみの経時変化を示したものである。SAP を混入することにより、初期に膨潤が生じ、自己収縮が低減されている。SAP の混入量を増やすほど優れた効果を得られ、セメント質量に対して 0.5% の SAP を混入すると、材齢 1 週程度にわたって完全に自己収縮を抑制することができる。

図-2 はモルタル中のセメントペーストと SAP 粒子を合わせた領域の 2 点相関関数を示したものである。SAP の量に応じて骨材量を変化させているため、関数の  $y$  切片値は SAP 量とともに増大するが、関数が収束するまでの距離はいずれの配合もほぼ等しい。図-3 はセメントペースト相のみの 2 点相関関数を示したものである。配合上セメントペーストの体積を一定にしているため、2 点相関関数はほぼ一致し、SAP の混入によってセメントペースト相の空間構造は変化していない。

図-4 はセメントペースト供試体における SAP 粒子の K 関数と SAP が骨材による間引きを受けるとした場合の SAP 粒子の K 関数を比較して示したものである。いずれの配合も骨材による間引きを受けるとした場合の

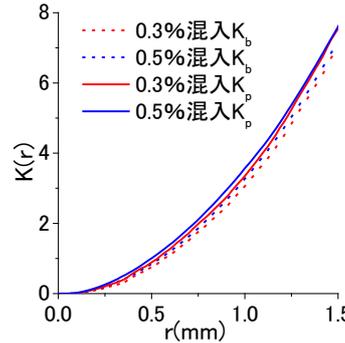


図-4 間引き前後の SAP の K 関数

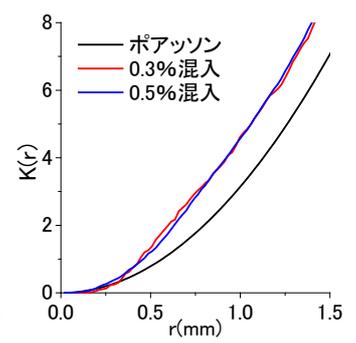


図-5 モルタルにおける SAP の K 関数

方が関数値は大きくなっているが、その変化は小さい。

一方、図-5 は実際のモルタルにおける SAP 粒子の K 関数を示したものである。0.3mm 以上の距離において、ポアソン分布よりも明らかに大きな関数値となっており、SAP 粒子は凝集性を有した配置となっている。したがって、骨材は SAP 粒子の分布を制限し、強い凝集性を有した配置にさせる効果を持っていることになる。また、セメントペースト相の相関距離内にて、そのような凝集性がいずれの混入量においても存在するという事は、断面全体においては疎な部分が存在することを示す。よって、その局所的に内部養生効果が低下している領域の自己乾燥を低減するには、SAP 混入量を増す必要があることを示している(図-1)。

4. 結論

骨材粒子の存在により、SAP 粒子は凝集性を有した空間配置を形成し、これに対応して自己乾燥の抑制効果も不均質な分布になると推察される。

謝辞

本研究の実施にあたり日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(c), 課題番号 21560482)の交付を受けた。

参考文献

1) Stoyan D., Kendall W. S. et al. : Stochastic Geometry and Its Applications, Wiley, 1995