

論文 超吸水性ポリマー混入モルタルのレオロジー特性に関する基礎的研究

桑原 寛司*1・五十嵐 心一*2

要旨: 超吸水性ポリマー(SAP)の混入がモルタルのレオロジー特性に及ぼす影響をセルロース系増粘剤と比較しながら論じた。また, SAP の種類によるレオロジー特性の相違についてもセメント粒子の空間配置の観点から考察を行った。その結果, SAP の混入は塑性粘度や降伏値を大きくするが, SAP がこれらのレオロジー特性値に及ぼす影響は増粘剤よりも顕著ではないことが示された。また使用する SAP の吸水能が大きいほどレオロジー定数の変化は大きくなった。さらに, 吸水能が同程度であっても混入する SAP 粒子の形状および寸法が異なればモルタルのレオロジー特性は相違するようである。

キーワード: 超吸水性ポリマー, レオロジー, 塑性粘度, 降伏値

1. はじめに

超吸水性ポリマー(SAP: Superabsorbent polymers)は, 練混ぜ水に溶解することなく周囲の水分を素早く吸収し, 飽水時の形状を保持する高分子ゲルである。SAP は製造時にその粒度分布を調節することが可能であり, コンクリートの練混ぜから締固めの一連の過程においても安定して存在できる。これらの SAP の性能を内部養生材として利用するだけでなく¹⁾, コンクリートの凍結融解抵抗性の改善策およびレオロジー調整剤として用いることに関する研究も進められているが²⁾, 研究はどちらかというところについたばかりで, 報告例はかなり限られている。

コンクリートのレオロジー調整に広く用いられているものに分離低減剤がある。そのうちの一つであるセルロース系増粘剤は, セメントペースト中に溶解することで疎水会合により高分子ミセルを形成し^{3), 4)}, 懸濁液に粘性をもたせる材料である。一方で, SAP をコンクリートに混入すると, セメントペースト中で SAP が周囲の水分を吸収し, セメントペーストマトリックス中の自由水(SAP に吸水されない水分)の量を減少させて⁵⁾, 増粘効果を発現すると考えられる。このように, これらの材料によるフレッシュコンクリートの増粘機構は大きく異なるため, 所要の調整効果を得るための添加量は大きく相違すると考えられる。

SAP をレオロジー調整剤として用いることに関して, Filho ら⁶⁾が, コンクリートやモルタルに SAP を添加している既往の研究を統括した解説を行っている。彼らによると, 高強度コンクリートに対して SAP を混入すると系の水量を減少させるに等しい効果があり⁵⁾, 塑性粘度や降伏値を増大させると述べている。さらに, 飽水した SAP 粒子がコンクリート中に存在することは, 単にマトリックスの水セメント比を低減する以上の効果もあると

指摘しているが, そのメカニズムは明確ではない。また, Paiva ら⁷⁾は, SAP およびメチルセルロース系の増粘剤が外壁用モルタルのレオロジー特性に及ぼす影響を比較検討している。彼らは, 同量を混入した場合に, SAP の方が増粘剤よりも練混ぜ直後のモルタルの降伏値および塑性粘度に関連するレオロジー特性値の増加量は大きいと報告している。

一方, SAP 粒子は吸水前の粒子径と吸水能に応じて, 吸水後の粒子径が数百 μm から数 mm のものまであり, その粒度分布も単一粒度のものや幅広い粒度のものなど様々である。よって, フレッシュ特性への影響を一概に論ずることは適切ではないと思われる。さらに, SAP の粒子形状はその製造方法によって球状および不規則形状のものがあり, 使用目的に応じた選択を行うことも考えられる。結局, レオロジー調整材としての SAP の適用性を検討していく上で, SAP の吸水能や種類, 形状および寸法がレオロジー特性に与える効果に関してより多くのデータを蓄積し, それを基にコンクリート混和材製品としての最適化を図っていくことが必要がある。

本研究においては, 比較的高い水セメント比のモルタルへの SAP の混入が, フレッシュモルタルのレオロジー特性値である降伏値や塑性粘度に及ぼす影響をセルロース系増粘剤と比較しながら論ずることを目的とする。さらに, SAP 混入モルタルの塑性粘度および降伏値の変化に関して, SAP の種類による相違についても実験的に検討し, SAP の混入が固体粒子であるセメント粒子の分散に及ぼす影響との関連から考察を試みる。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製および養生条件

セメントおよび細骨材には, 普通ポルトランドセメン

*1 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (学生会員)

*2 金沢大学 理工学域環境デザイン学類 教授 (正会員)

ト (密度: 3.15g/cm^3 , 比表面積: $3310\text{cm}^2/\text{g}$) および石川県手取川産の川砂 (密度: 2.61g/cm^3 , 吸水率: 1.48%) を用いた。水セメント比を 0.60 とし、セメント砂比 $1:2$ (質量比) のモルタルを作製した。使用した超吸水性ポリマー(SAP)は、その製造過程の違いにより、表-1 に示すように平均径 (D_{50})、形状およびコンクリート中での吸水能がそれぞれ異なる 4 種類の SAP-A, B, C, D (図-1) である。また、SAP-A に関しては、原粉の SAP-A を乾燥時の粒子径が $300\mu\text{m}$ 未満と $300\mu\text{m}$ 以上の 2 組の SAP にそれぞれ分級したのもも用意した。使用した吸水前の SAP の粒度分布を図-2 に示す。比較のために、水溶性セルロース系の増粘剤を添加したモルタル供試体も作製した。SAP および増粘剤の混入量が等しくなるようにした配合では、増粘剤のブリーディング抑制のための標準的な添加量を参考にして、練混ぜ水の質量に対して 0.25 、 0.5 および 1% とした (表-2)。また、表-3 に示すように、それぞれの SAP の吸水量 (単位水量に対して 8.3% および 16.6%) が等しくなるように、SAP の混入量を調節したモルタルも作製した。モルタルの練混ぜは、JIS R

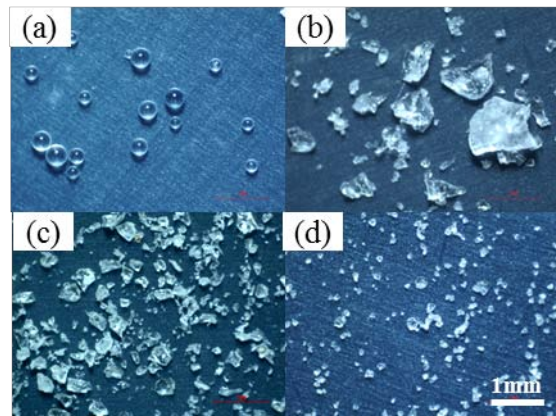


図-1 使用した SAP の写真
((a)SAP-A, (b)SAP-B, (c)SAP-C, (d)SAP-D)

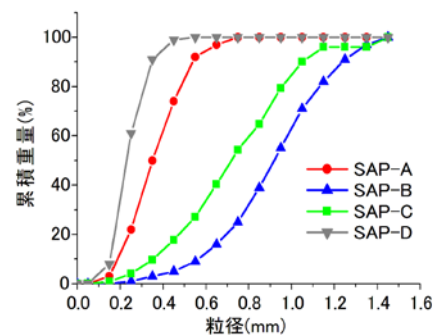


図-2 使用した SAP の吸水前の粒度分布

使用 SAP	製造方法	平均径 D_{50} (mm)		形状	吸水能 (g/g)
		吸水前	吸水後		
SAP-A	逆相懸濁重合法	0.35	0.83	球状	13.3
SAP-B	水溶液重合法	0.95	2.05	不規則形状	10
SAP-C	水溶液重合法	0.75	2.41	不規則形状	33
SAP-D	水溶液重合法	0.25	0.80	不規則形状	33

吸水能(g/g): 1g の SAP のコンクリート中における吸水量(g)

表-2 SAP および増粘剤の混入量を等しくした場合のモルタルの配合

使用混和剤	単位量(kg/m^3)					
	W	C	S	Ad (SAP または増粘剤)		
				W×0.25%	W×0.5%	W×1.0%
SAP 無混入	356	593	1187	0	0	0
SAP(-A, B, C, D)	356	593	1187	0.89	1.78	3.56
増粘剤	356	593	1187	0.89	1.78	3.56

表-3 SAP による吸水量を等しくしたモルタルの配合

使用 SAP	単位量(kg/m^3)					
	W	C	S	Ad (SAP)		
				W×8.3%	W×16.6%	
SAP 無混入	356	593	1187	0	0	
SAP-A	356	593	1187	2.23	4.47	
SAP-B	356	593	1187	2.97	5.94	
SAP-C	356	593	1187	0.90	1.80	
SAP-D	356	593	1187	0.90	1.80	

5201 に従って行い、吸水させていない SAP、セメントおよび細骨材を投入して所定時間の練混ぜを行った後、練混ぜ水を投入し、さらに練り混ぜた。また、無混入モルタルと SAP-C および SAP-D (混入量: 単位水量に対して 16.6%) 混入モルタルに関しては、JIS R 5201 に従い、 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ の角柱供試体も作製した。打ち込み後 24 時間にて脱型し、材齢 3 日まで水中養生を行った。

2.2 モルタルフローおよびブリーディング試験

JIS R 5201 を参考にし、0 打および 15 打のモルタルフロー試験を行った。さらに、JIS A 1123 に準拠し、直径 $100\text{mm} \times$ 高さ 200mm の円柱型枠に練混ぜ後のモルタルを打設し、ブリーディングが認められなくなるまでモルタル上面の水を採取し、モルタルのブリーディング率を得た。

2.3 凝結試験

JIS R 5201 に従い、使用するモルタルの配合上から細骨材を除いたセメントペーストの凝結試験を行った。

2.4 レオロジー試験

練混ぜ後、恒温環境 (温度: $20 \pm 2^\circ\text{C}$) にて 500ml ビーカー内にモルタルを採取し、レオロジー一定数の測定を行った。市販の内円板型回転粘度計を用いて、回転速度 2, 6, 12, 20, 30, 50rpm にてそれぞれ約 20 秒ずつ、回転速度の上昇および下降過程においてせん断応力を測定した。ビンガム流体を仮定し、セメント粒子の凝集の影響を考慮して回転速度の下降過程の測定値を用い⁸⁾、せん

断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ およびせん断応力 τ の関係を直線回帰し、式(1)によりモルタルの降伏値 τ_0 および塑性粘度 η を得た。

$$\tau - \tau_0 = \eta \dot{\gamma} \quad (1)$$

ここに、 τ はせん断応力(Pa)、 τ_0 は降伏値(Pa)、 η は塑性粘度(Pa・s)、 $\dot{\gamma}$ はせん断ひずみ速度(1/s)を表す。

2.5 反射電子像観察および画像解析⁹⁾

材齢 3 日にて角柱供試体の中央部から切り出した試料を用いて、走査型電子顕微鏡試料を作製し、観察倍率 60 倍にて 1148×1000 画素の反射電子像を取得した⁹⁾。取り込んだ反射電子像に対し、グレースケールに基づく 2 値化処理を行い、未水和セメント粒子の 2 値画像を得た。なお、予備試験においてこのような低倍率の画像を用いたときの未水和セメント粒子の面積率が過小評価される程度は大きくないことを確認した。

2.6 点過程統計量^{10),11)}

画像解析ソフトウェアを用い、着目相粒子である未水和セメント粒子の重心の座標(x_i ; $i = 1 \dots n$)を求め、これを点過程 $X = \{x_n\}$ とした。

(1) K 関数^{10),11)}

任意の未水和セメント粒子の重心点 $x_i \in X$ を中心とする半径 r の 2 次元球 $b(x_i, r)$ を描き、その中に他の粒子重心点 $x_j \in X (i \neq j)$ が存在するかどうかを判定し、K 関数 $K(r)$ を定義式(3)より求めた。本関数により、対象領域の点密度 λ に関わらず、2 次元ランダム分布に比べて分布している重心点に規則性や凝集性があるのかどうか判定することができる。

$$\begin{aligned} K(r) &= \frac{1}{\lambda^2} \sum_{i \neq j} \frac{\mathbf{1}(\|x_i - x_j\| \leq r)}{s(\|x_i - x_j\|)} \\ &= \frac{1}{\lambda} \sum_{i \neq j} \frac{\mathbf{1}(\|x_i - x_j\| \leq r)}{s(\|x_i - x_j\|) / ab} \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、 $\mathbf{1}(\cdot)$ は (\cdot) が真のときの 1、偽のとき 0 を与える指示関数である。また、 $s(x)$ はエッジ補正のための項で式(4)で与えられる。

$$s(x) = ab - x(2a + 2b - x) / \pi \quad (4)$$

ここに、 a 、 b は長方形画像視野の辺長を表す。

(2) 最近傍距離関数

任意の点 $x_i \in X$ から最も近い点過程の他点 $x_j \in X (i \neq j)$ までの距離が r より小さい累積確率であり、式(5)により

最近傍距離関数 $G(r)$ を求めた。

$$G(r) = \frac{E \sum_{x_i \in X \cap W} \mathbf{1}\{\text{dist}(x_i, X \setminus x_i) \leq r\}}{EN(W)} \quad (5)$$

ここに、 $\text{dist}(x_i, X \setminus x_i)$ は点過程中の任意の点 $x_i \in X \cap W$ から X の最近傍点 x_j までの距離を表す。

3. 結果および考察

3.1 混入量とモルタルフローの関係

図-3 は SAP および増粘剤の混入量と 0 打および 15 打のモルタルフローの関係を示したものである。SAP および増粘剤の混入により、フローが逓減していく。等量の SAP を混入した場合、比較的吸水能の小さい SAP-A および B はモルタルフローの低減効果が小さいが、吸水能がそれらの 3 倍程度と大きい SAP-C および D はフローを大きく低減した。増粘剤を混入した場合、混入量とともに 0 打と 15 打のフロー差が小さくなっている。また、等量を混入した場合、増粘剤を混入したモルタルの 15 打フローは SAP-A および B 使用モルタルよりも小さく、SAP-C および D 使用モルタルよりも大きな値となっている。しかし、0 打フローはいずれの SAP を用いた場合も増粘剤のものより小さくなっている。これらの結果より、増粘剤と SAP では流動特性が大きく異なることは明らかである。

3.2 混入量とブリーディング率の関係

図-4 は SAP および増粘剤の混入量とブリーディング率との関係を示したものである。SAP および増粘剤の混入量の増大に伴いブリーディング率が減少した。吸水能が小さい SAP-A および B の場合は、ブリーディングの減少量が小さく、混入量の増大に伴う減少傾向はほぼ同様となっている。一方、吸水能が大きい SAP-C および D に注目すると、粒径の小さい SAP-D の方が、粒径の大きい SAP-C よりもブリーディングを抑制している。しかし、本研究の範囲内の SAP 混入量では、いずれの SAP を混入しても、モルタルのブリーディングは大きく抑制されることはなかった。一方、増粘剤を混入した場合は、0.5% の混入量でブリーディングが認められなくなった。すなわち、増粘剤と今回使用したコンクリート用 SAP では、ブリーディングの抑制効果は大きく異なるといえる。

3.3 混入量と凝結時間の関係

図-5 は SAP および増粘剤の混入量と凝結時間の関係を示したものである。SAP を混入した場合は、混入量によらず始発および終結ともに凝結時間の差はかなり小さいが、吸水能の大きい SAP-C および D を使用した場合は、凝結時間がわずかに早くなる傾向が認められた。一

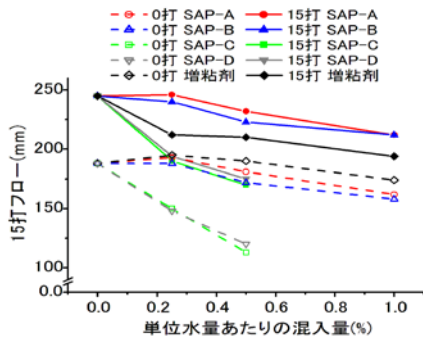


図-3 0打および15打モルタルフロー

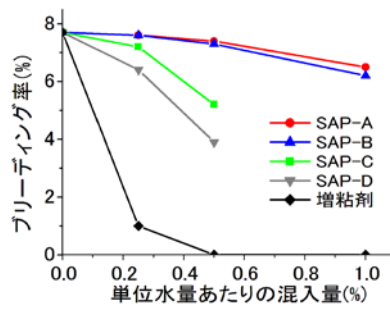


図-4 ブリーディング率

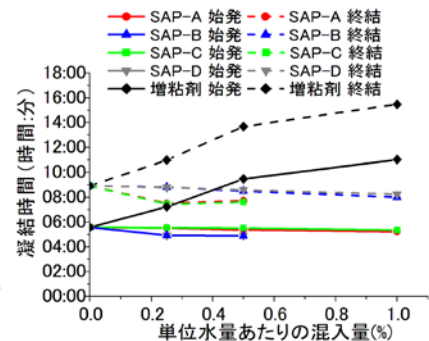


図-5 凝結時間

方、増粘剤を混入した場合には、混入量の増大とともに始発および終結時間が遅延された。セルロース系増粘剤はセメント粒子表面に吸着することでセメントの水和の進行を妨げる^{3), 4)}のに対して、SAPはセメントの水和にはほとんど影響を及ぼさないようである。

3.4 混入量とレオロジー一定数の関係

図-6は降伏値と塑性粘度の関係において、SAPおよび増粘剤の混入量による変化を示したものである。SAPと増粘剤では増粘機構が大きく異なるため、SAPを混入したモルタルのレオロジー一定数の変化は、増粘剤を混入したものよりも明らかに小さい。図-7は、図-6のSAP混入モルタルの値を拡大して示したものである。SAPの種類により、モルタルのレオロジー一定数に及ぼす影響が大きく異なる。特に吸水能の大きいSAP-CおよびDは、SAP-AおよびBと比較してレオロジー一定数の変化が大きい。いずれの場合も、SAP混入量の増大とともに塑性粘度は増大するが、その程度はSAPの種類により異なる。また、SAPの混入が降伏値に及ぼす影響はSAPの粒子径により異なり、粒子径が小さいSAP(A, D)を用いると降伏値は混入量とともに低下する傾向がある。

3.5 異なるSAPがレオロジー一定数に及ぼす影響

図-7より、SAPの吸水能がレオロジー特性の変化に大きな影響を及ぼしていることが推察されるが、必ずしもSAPの吸水能のみによりレオロジー特性が決定されているわけではないようである。そこで、SAPの吸収する水量が等しくなるようにSAP混入量を調節したモルタルを作製し、吸水量とレオロジー特性の関係について検討した。図-8は、SAPの吸水量が等しくなるように個々のSAP混入量を調節したモルタルの降伏値と塑性粘度の関係を示したものである。この場合は、SAPが練混ぜ中に所定量の吸水を行っているとするれば、SAPに吸収されないマトリックス中に存在していた初期水量も等しいことになる。吸水後の平均粒径が最も大きいSAP-Cでは、混入量の増大とともに降伏値および塑性粘度が増大している。吸水後の平均粒径が次に大きいSAP-Bは、降伏値はわずかに増大する程度であるが、塑性粘度は混入量とともに増大している。一方、平均粒径が小さく、ほぼ単一粒度である球状のSAP-Aの場合は、塑性粘度はやや増大するが、混入量とともに降伏値は低下する傾向を示した。さらに、吸水後の粒径がSAP-Aと同程度に小さいSAP-Dでは、降伏値の変化は単調ではないが混入量とともに低下する傾向があり、塑性粘度は大きく増大した。したがって、同じ粒径の場合、不規則形状のSAPを用いた方が塑性粘度の増加割合は大きくなるようである。SAP-Aは球状粒子であるため、SAP-A混入モルタルの比較的小さな塑性粘度はボールベアリング作用による内部摩擦の低減によるものと推測される。また、種類の異なるSAPでも同じ形状であれば、小さい粒径のSAPの方が塑性粘度の増大が顕著であり、大きい粒径のSAPを用いると、降伏値も増大すると考えられる。したがって、同じ種類のSAPを用いて、SAPの粒子寸法がモルタルのレオロジー特性に及ぼす影響につい

タルを作製し、吸水量とレオロジー特性の関係について検討した。図-8は、SAPの吸水量が等しくなるように個々のSAP混入量を調節したモルタルの降伏値と塑性粘度の関係を示したものである。この場合は、SAPが練混ぜ中に所定量の吸水を行っているとするれば、SAPに吸収されないマトリックス中に存在していた初期水量も等しいことになる。吸水後の平均粒径が最も大きいSAP-Cでは、混入量の増大とともに降伏値および塑性粘度が増大している。吸水後の平均粒径が次に大きいSAP-Bは、降伏値はわずかに増大する程度であるが、塑性粘度は混入量とともに増大している。一方、平均粒径が小さく、ほぼ単一粒度である球状のSAP-Aの場合は、塑性粘度はやや増大するが、混入量とともに降伏値は低下する傾向を示した。さらに、吸水後の粒径がSAP-Aと同程度に小さいSAP-Dでは、降伏値の変化は単調ではないが混入量とともに低下する傾向があり、塑性粘度は大きく増大した。したがって、同じ粒径の場合、不規則形状のSAPを用いた方が塑性粘度の増加割合は大きくなるようである。SAP-Aは球状粒子であるため、SAP-A混入モルタルの比較的小さな塑性粘度はボールベアリング作用による内部摩擦の低減によるものと推測される。また、種類の異なるSAPでも同じ形状であれば、小さい粒径のSAPの方が塑性粘度の増大が顕著であり、大きい粒径のSAPを用いると、降伏値も増大すると考えられる。したがって、同じ種類のSAPを用いて、SAPの粒子寸法がモルタルのレオロジー特性に及ぼす影響につい

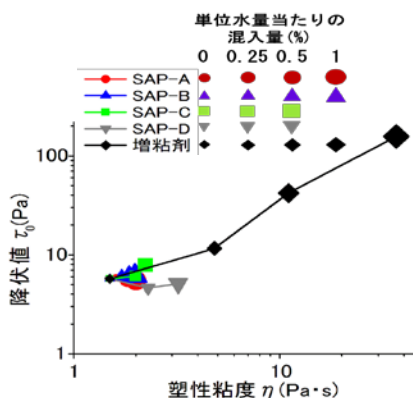


図-6 混入量による降伏値と塑性粘度の変化

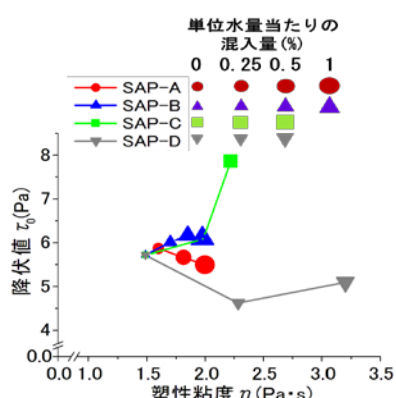


図-7 SAPの混入量による降伏値と塑性粘度の変化

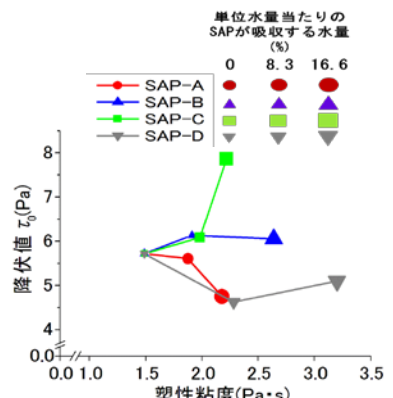


図-8 SAP吸水量による降伏値と塑性粘度の変化

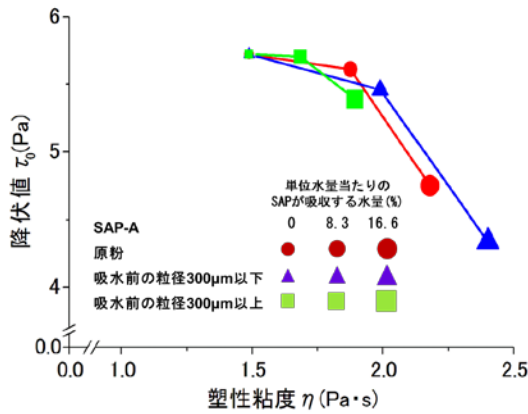


図-9 粒径の異なる SAP-A を用いた場合の降伏値および塑性粘度の関係

て検討を行う必要がある。

図-9は、ほぼ単一の粒度をもつ SAP-A を用いて、吸水前の SAP を粒径 300 μm 未満と 300 μm 以上に分級し、等量の SAP(単位水量当たり 0.62%および 1.25%)を混入し、モルタルのレオロジー特性の変化を、SAP-A の原粉を用いた場合と比較したものである。粒径の大小に関わらず、SAP-A の混入により塑性粘度は増大した。粒径の大きな SAP-A を用いた場合、原粉を用いた場合と比べて降伏値が大きい、塑性粘度は原粉のものよりも小さい値を示した。一方、吸水前の粒径 300 μm 未満の SAP-A を用いると、原粉の SAP-A よりも塑性粘度の増加割合は大きい、降伏値は小さい値を示した。同じ種類の SAP を等量用いると、粒径が小さいほどレオロジー特性の変化は大きくなり、より粒径の小さなものを混入することにより降伏値は低下するが、塑性粘度は大きくなると考えられる。

以上より、SAP による吸水量が等しくなるように配合設計した場合、SAP 混入モルタルのレオロジー特性は、用いる SAP の粒径およびその形状に影響を受けることがわかる。SAP を単純に混入した場合は、SAP 粒子が周囲の水分を吸収してマトリックスの水セメント比を低下させ、セメント粒子はより凝集して配置され、塑性粘度

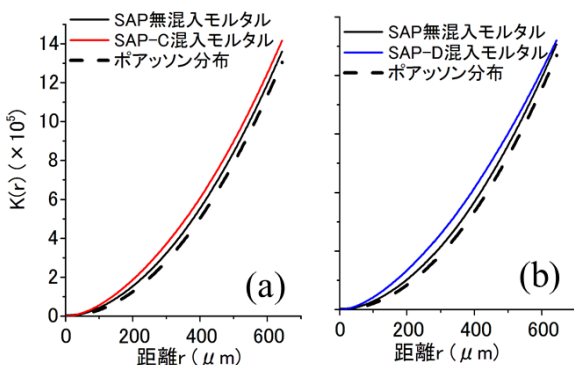


図-10 SAP 混入モルタルの未水和セメント粒子の K 関数((a)SAP-C 混入モルタル, (b)SAP-D 混入モルタル)

および降伏値は増大すると推測される。また、降伏値は、セメント粒子のブロックの破壊に関連するといわれており³⁾、本結果からは、小径の SAP を用いることによって多数の SAP 粒子が液相中に存在することが、セメント粒子の大きなブロックの形成を妨げていると考えられる。一方、モルタル中のセメントおよび骨材粒子が流動するとき、塑性粘度はこれらの粒子間の内部摩擦の影響を反映していることを考えると、粒径の大きな SAP 粒子よりも小さなものの方がこの摩擦を大きくするようであり、その影響の程度は SAP の形状により異なることになる。

3.6 セメント粒子の分散性の評価

以上の結果から、SAP の吸水によるセメントペーストマトリックス中の自由水の拘束だけでなく、使用する SAP の吸水後の空間内での分布がセメント粒子の空間配置に影響を及ぼしていることが考えられる。そのため、吸水能および粒子形状が同じであり、粒径が大きく異なる 2 種類の SAP-C および D を等量用いたモルタルにおけるセメント粒子の空間分布を比較した。図-10 は、それぞれ SAP-C および D を混入したモルタルの未水和セメント粒子の K 関数を示したものである。完全なランダム分布である 2 次元ポアソン過程および SAP 無混入の K 関数も破線にて示してある。基準となるポアソン過程よりも上方に関数値がプロットされる場合は、粒子が凝集性の分布であることを意味し、下方にプロットされる場合は規則的な分布であることを意味している。SAP 無混入の場合は、セメント粒子がわずかに凝集性の大きい分布を示す。これに対してセメント粒子よりも明らかに大きい SAP を加えると、セメント粒子はさらに凝集側の分布を示すようになる。粒径の小さい SAP-D 混入モルタルのセメント粒子は、粒径の大きい SAP-C 混入モルタルよりも、距離が 300~400 μm の範囲ではセメント粒子の凝集傾向が若干強い。しかし、距離が 500 μm 以上になると、SAP-D 混入モルタル中のセメント粒子の凝集傾向が緩和され、さらに、650 μm 程度の距離で無混入モルタルの値とほぼ同程度になっている。

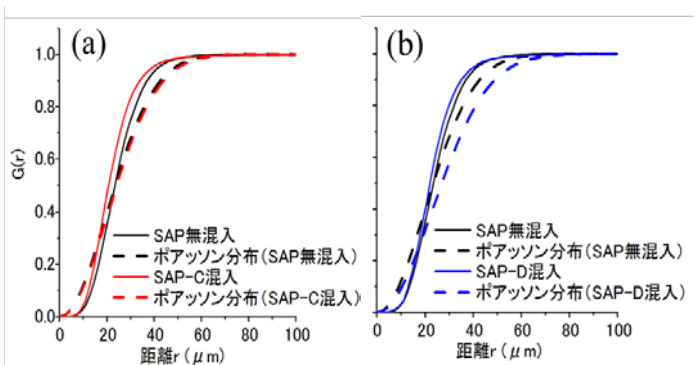


図-11 SAP 混入モルタルの未水和セメント粒子の最近傍距離関数((a)SAP-C 混入モルタル, (b)SAP-D 混入モルタル)

図-11 は、それぞれ SAP-C および D を混入したモルタルの未水和セメント粒子の最近傍距離関数を示したものである。なお、ポアソン過程および SAP 無混入モルタルの未水和セメント粒子の関数も示してある。図-10 の K 関数の場合と同様に、関数値がポアソン分布の値を上回るとセメント粒子が凝集性の配置であり、関数値が下回る場合は規則的な配置と判断される。材齢 3 日という早期材齢であってセメント粒子自身がある程度の大きさを有するため、いずれの点もそのセメント粒子が有する寸法よりも短い距離には接近できない。そのため、20 μ m 以下の距離では、セメント粒子が近距離には存在しない排他的な分布を示すようであるが、20 μ m を超えるとポアソン分布を上回るようになり凝集性分布を示す。SAP を混入することでセメント粒子は無混入のものよりも凝集していると評価される。SAP-C 混入モルタルの場合よりも SAP-D 混入モルタルの方がポアソン分布との差が大きく、より凝集性が強い。よって、本関数からも小径の SAP を用いると、任意のセメント粒子の周囲に他のセメント粒子が凝集する傾向が強いことになる。

以上の結果から、SAP を等しい吸水量になるように混入し、その周囲のセメントペーストマトリックス中の水量を同じにした場合でも、使用する SAP の粒径が異なるとセメント粒子の分布は相違することになる。すなわち、小さな粒径の SAP を用いると SAP の粒子個数が多くなるため、セメント粒子の大きなフロックの形成を妨げ降伏値の低下をもたらしたことが考えられる。しかし、その一方にて流動時には、小さな SAP 粒子が数多く入っていることにより、粒子間の内部摩擦が大きくなったものと推測される。

4. 結論

本研究では、SAP の混入がモルタルのレオロジー特性に及ぼす影響に関して増粘剤と比較検討し、SAP の種類によるレオロジー定数の相違についても考察を行った。本研究にて得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) SAP および増粘剤は増粘機構が異なり、同程度の量を混入したモルタルのレオロジー定数は大きく異なる。
- (2) SAP を等量で混入した場合、SAP の吸水能が大きいほど塑性粘度や降伏値の変化は大きい。
- (3) SAP による吸水量が等しくなるように混入すると、形状が同じであれば、SAP の粒径が小さいほど塑性粘度を増大させる。
- (4) 同程度の粒径であれば、SAP の形状が不規則なものは、球状の SAP よりも塑性粘度を増大させる。
- (5) 吸水量が等しくなるように SAP を混入すると、SAP が降伏値に及ぼす影響はその粒径により異なり、吸

水後の平均粒子径が小さい SAP ほど降伏値を減少させるが、粒径が数 mm に及ぶような SAP は降伏値を増大させる。

謝辞

本研究の実施にあたり SAP 試料の提供を受けた Ole M. Jensen 教授（デンマーク工科大学）および Viktor Mechtcherine 教授（ドレスデン工科大学）に謝意を表す。また、本研究は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）の交付を受けて執り行われたものである。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) Jensen, O.M. and Hansen, P.F.: Water-entrained cement based materials: I. Principles and theoretical background, Cement and Concrete Research, Vol.31, No.4, pp.647-654, 2001
- 2) Mechtcherine, V. and Reinhardt, H.W.: Application of Super Absorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction, RILEM State-of-the-Art-Report, 2011
- 3) 児島孝之ほか：コンクリート混和材料ハンドブック，日本材料学会，2004
- 4) 宮川美穂，西村正，渡邊清，三塚雅彦：新規な増粘剤を使用した高流動コンクリートの性状，コンクリート工学年次論文集，Vol. 26, No. 1, 2004
- 5) Jensen, O.M. and Hansen, P.F.: Water-entrained cement based materials: II . Experimental observations, Cement and Concrete Research, Vol.32, No.6, pp.973-978, 2002
- 6) Filho, R.D.T. et al., Effect of Superabsorbent Polymers on the Workability of Concrete and Mortar, Application of Super Absorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction, RILEM State of the Art Reports Volume 2, pp 39-50, 2012
- 7) Paiva, H. et al., Rheology and hardened properties of single-coat render mortars with different types of water retaining agents, Construction and Building Materials, Vol.23, No.2, pp.1141-1146, 2009
- 8) 谷川恭雄：フレッシュコンクリートの流動特性とその予測，セメントジャーナル社，2004
- 9) 五十嵐心一，渡辺暁央，川村満紀：セメント粒子径が粗大な毛細管空隙構造に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 25, No. 1, pp.533-538, 2003
- 10) D. Stoyan, W. S. Kendall. and J. Mecke.: Stochastic Geometry and Its Application, Willey, 1995
- 11) 島谷健一郎：点過程による樹木分布地図の解析とモデリング，日本生態学会誌，Vol. 51, pp.87-106, 2001