

論文 同一地域で産出された砂を使用したモルタルの流動性について

西 元央^{*1}・齋藤 尚^{*1}・小田部裕一^{*1}

要旨：コンクリートの流動性は、同一地域、同一産地の砂を使用した場合であっても異なる場合がある。本研究では、同一地域で産出された 5 種の山砂を使用し、モルタルを対象として流動性への影響と、砂の混和剤吸着の観点より要因について検討した。その結果、砂への高性能 AE 減水剤の吸着量が高いほどモルタルの流動性が低下することを示し、高性能 AE 減水剤の吸着は砂の微粉分だけでなく、0.6mm~2.5mm の砂粒子への吸着も流動性に影響を及ぼす可能性を示唆した。

キーワード：砂、モルタル、流動性、混和剤吸着

1. はじめに

近年、都市圏における建築構造物の高層化、大スパン化や柱部材の小断面化に伴い、高強度コンクリートや超高強度コンクリートが適用されている。これらのコンクリートでは、水セメント比が低く、粘性が高いため、所要のワーカビリティのために高い流動性が求められる。また、免震基礎、鋼管充填コンクリート (CFT) などの締固め作業が困難な部材への適用と施工省力化・効率化のための高流動コンクリートの使用実績も増えつつある。

これらのコンクリートの流動性は、セメントペーストの流動性・容積、骨材の種類・産地、配合、材料特性により変化する。その中でも、骨材はコンクリートの構成材料の約 60%を占めるもので、骨材の粒子形状¹⁾、粒度²⁾、微粉分³⁾などの特性がモルタルやコンクリートの流動性に影響を及ぼすことが知られている。骨材のうち、細骨材の砂については、産地によって流動性は変化する⁴⁾が、同一地域や同一産地であっても、それを使用したモルタルやコンクリートの流動性が異なる場合がある。

そこで本研究では、細骨材の砂がコンクリートの流動性に及ぼす影響に関する基礎的検討としてモルタルを対象に実施することとし、同一地域で産出された砂を使用したモルタルの流動性への影響と、砂の混和剤吸着の観点より要因を検討した。さらに筆者らが考案するコンクリートのワーカビリティを簡易的に判定するためのモルタル貫入抵抗値⁵⁾について、砂の違いによる影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントには普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm³) を使用した。細骨材には同一地域で産出される 5 種の山砂を使用した。それらの物性値を表-1、粒度分布を図-1、外観を写真-1 に示す。外観からはいずれ

表-1 実験に使用した砂の物性値

項目 \ 砂の名称	A	B	C	D	E
表乾密度 (g/cm ³)	2.57	2.60	2.61	2.62	2.62
絶乾密度 (g/cm ³)	2.51	2.54	2.57	2.58	2.55
吸水率 (%)	2.26	2.18	1.68	1.70	2.85
粗粒率	2.17	1.68	2.38	2.12	1.66
単位容積質量 (kg/L)	1.56	1.58	1.73	1.70	1.53
実積率 (%)	62.2	62.2	67.1	65.9	59.8
微粉分量 (%)	2.3	1.5	1.6	2.0	2.2
粘土塊量 (%)	0.22	0.93	0.42	0.28	6.52

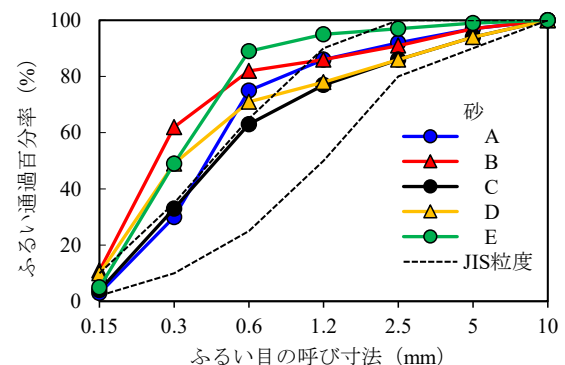


図-1 実験に使用した砂の粒度分布

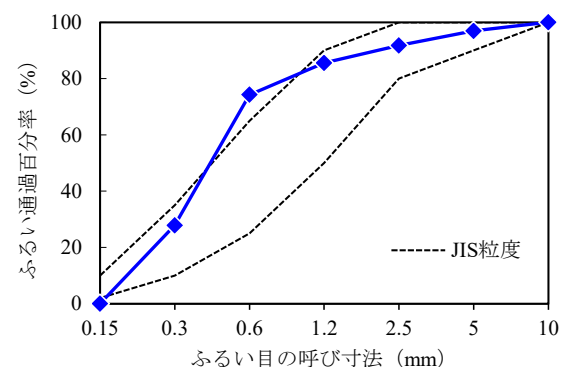
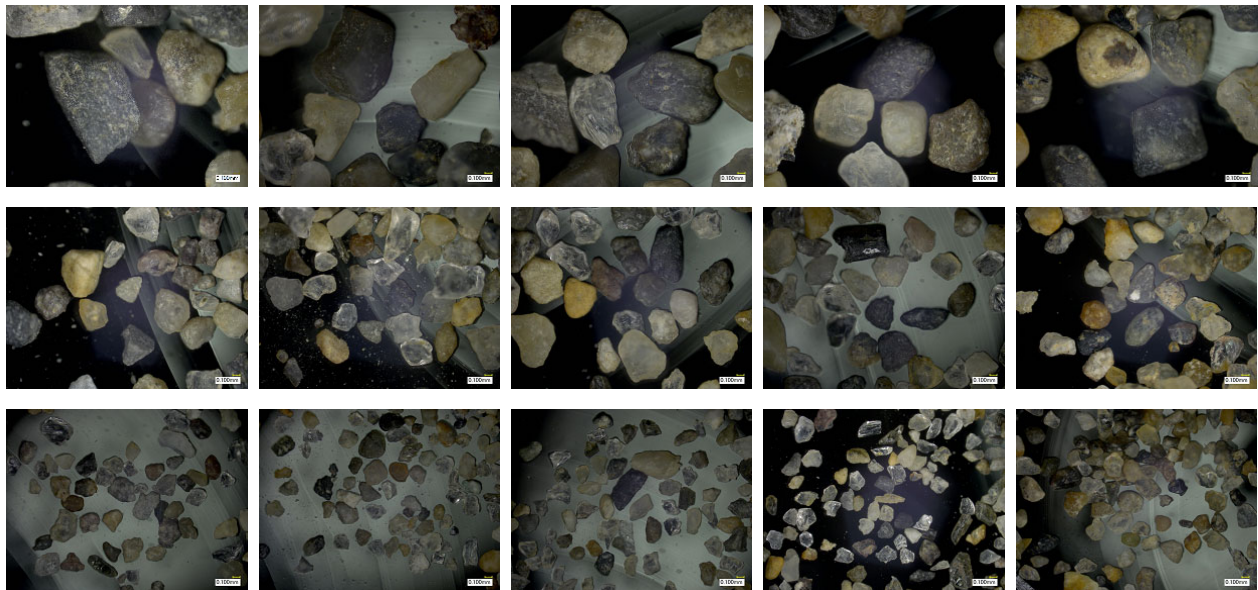


図-2 同一粒度のための粒度分布

*1 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 コンクリート技術センター 博(工) (正会員)



(a) 砂 A (b) 砂 B (c) 砂 C (d) 砂 D (e) 砂 E

写真-1 各砂の外観（上段：0.6~1.2mm，中段：0.3~0.6mm，下段：0.15~0.3mm）

の砂も形状に大きな差異は見られなかった。

実験に使用した砂の粒度は、砂 A~E のそれぞれの原粒度ならびに図-2 に示す粒度の 2 種類とした。図-2 の粒度の砂については、粒度分布および微粒分の影響を取り除くために、いずれの砂も 0.15mm 未満分（以下、微粒分）を同ふるいで水洗によって除去し、各ふるいを用いて分級したものを混合して同一粒度になるよう調整した。化学混和剤にはポリカルボン酸エーテル系化合物を主成分とする高性能 AE 減水剤を使用した。

2.2 モルタル配合

モルタル配合を表-3 に示す。水セメント比は 30%，砂セメント容積比（s/c）は 1.50 とし、高性能 AE 減水剤の添加量は原粒度では $C \times 1.5\%$ ，同一粒度では $C \times 1.0\%$ とした。モルタル貫入抵抗値の検討では、モルタルフローを一定にするために高性能 AE 減水剤の添加量を砂毎に調整した。

モルタルの練混ぜにはホバートミキサを用い、1 バッチ当たりの練混ぜ量を 1 リットルとした。セメントと砂を 15 秒間ドライミキシングした後、高性能 AE 減水剤を含む練混ぜ水を投入して、低速で 1 分間、さらに高速で 2 分間練り混ぜた。

2.3 試験項目・方法

(1) ミニスランプフロー

モルタルの流動性測定では、練上り直後に JIS A 1171 に規定されるミニスランプクーン（上端内径 50mm，下端内径 100mm，高さ 150mm）を用いたミニスランプフローを測定した。

(2) 高性能 AE 減水剤の吸着量

各砂によるモルタルの流動性に及ぼす要因の検討と

表-3 モルタル配合

砂	W/C (%)	s/c (%)	単位量 (kg/m ³)		
			W	C	S
A	30.0	1.50	266	887	1086
B	30.0	1.50	266	887	1098
C	30.0	1.50	266	887	1107
D	30.0	1.50	266	887	1102
E	30.0	1.50	266	887	1107

して、高性能 AE 減水剤の砂への吸着量（以下、混和剤吸着量）を測定した。混和剤吸着量の測定では、全有機炭素含有量測定装置を用いた。測定試料は、表-3 に示すモルタル配合の 250mL 分からセメントを除いたものであり、表乾状態の砂（271.4~276.6g），水 66.5g，高性能 AE 減水剤 3.3g を 500mL の広口ポリビンに入れ、3 分間振とう機で振とうした後、試料を吸引ろ過によって液分を抽出した。また、各ふるいで分級した粒度毎の砂への混和剤吸着量についても測定した。粒度毎の含有割合は異なっているので、試験条件を統一するために、粒度毎に分級した砂と高性能 AE 減水剤を含む練混ぜ水の比（S/W）を 1.0 とした。ただし、0.075mm 未満の微粒分については、試料の採取量の制約により、S/W=0.2 とした。なお、高性能 AE 減水剤はモルタル配合の $C \times 1.5\%$ に相当する量として 5%濃度の練混ぜ水を使用した。

抽出した液分中の有機炭素含有量を測定し、液中からの有機炭素喪失量より、高性能 AE 減水剤の砂 1g に対する吸着量を算出した。

(3) モルタル貫入抵抗値

高強度コンクリートや粉体系高流動コンクリートでは、水セメント比が低く、粉体量が多くなり、粘性が高

くなるため、所要のスランプ、スランプフローを満足しても、ポンプ圧送性や充填性に影響を及ぼすことがある。圧送性や充填性を回転粘度計による塑性粘度や間隙通過性試験、各種充填性試験などによって評価する場合がある⁹⁾。しかし、これらの試験は大掛かりであり、現場で容易にできるものではないため、経験的にスランプ試験やスランプフロー試験に併せて、目視や実際にコンクリートに触れた際の手応え、感覚、扱いやすさで評価されているのが実状である。そこで、スランプ試験やスランプフロー試験のみでは評価できないフレッシュコンクリートに触れた際の手応え、感覚、扱いやすさを簡易的に定量化できれば、ワーカビリティの判定のための指標となり、生コン工場や現場において簡便に評価が可能となる。筆者らは、フレッシュコンクリートのワーカビリティを判定するための指標として、モルタルのプロクター貫入試験による貫入抵抗値を考案した⁵⁾。

ここでは、各砂を用いたモルタルの貫入抵抗値を検討した。モルタル配合には表-3を使用し、ミニスランプフローの目標値を200mm、250mmおよび300mmとなるよう高性能 AE 減水剤の添加量を調整した。モルタルの貫入抵抗値の測定には、プロクター貫入試験装置を用い、貫入針断面を $\phi 75\text{mm}$ (断面積 4418mm^2) として測定した。モルタルを $\phi 100 \times 75\text{mm}$ 容器に詰めて、貫入針を10秒間で25mm貫入させた際の最大値を読み取り、断面積で除して貫入抵抗値とした。

3. 結果と考察

3.1 砂の物性による流動性への影響

砂 A～E によるモルタルのミニスランプフローを図-2に示す。ミニスランプフローは100~400mm程度で、砂の種類による流動性の差は大きかった。

砂の物性のうち、吸水率、粗粒率および実積率とミニスランプフローの関係を図-3～図-5に示す。吸水率が高いほど、ミニスランプフローは低下傾向であった。微粒分に粘土鉱物が含まれる場合には吸水率が高くなる場

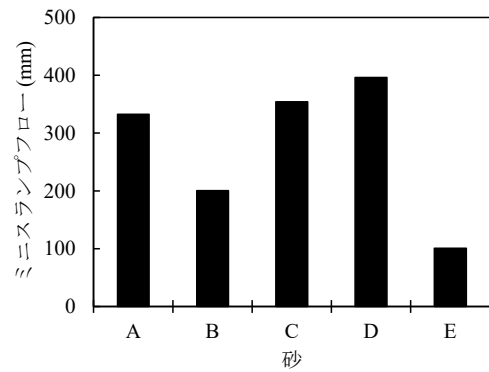


図-2 砂 A～E によるモルタルのミニスランプフロー

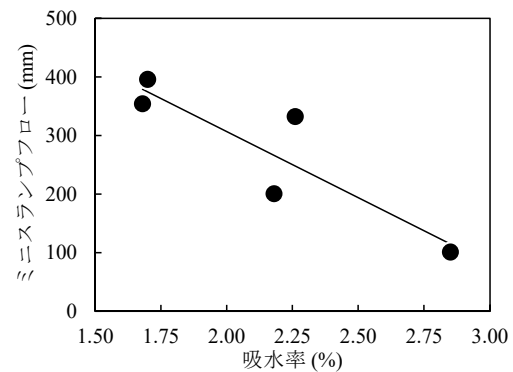


図-3 吸水率とミニスランプフローの関係

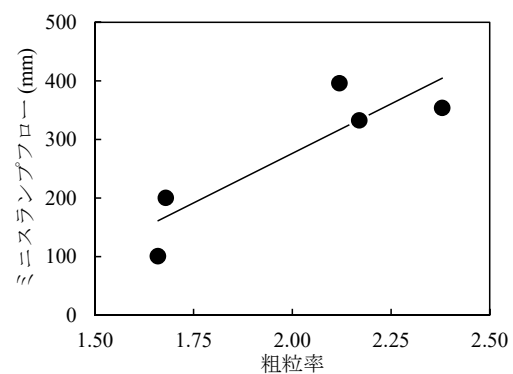


図-4 粗粒率とミニスランプフローの関係

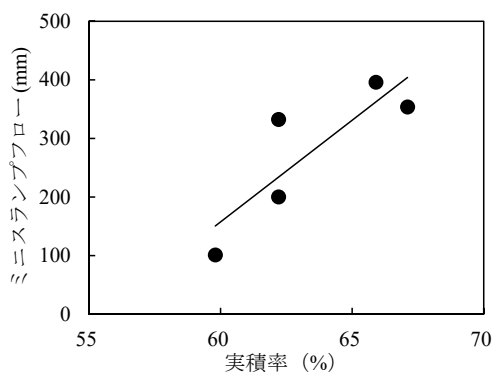


図-5 実積率とミニスランプフローの関係

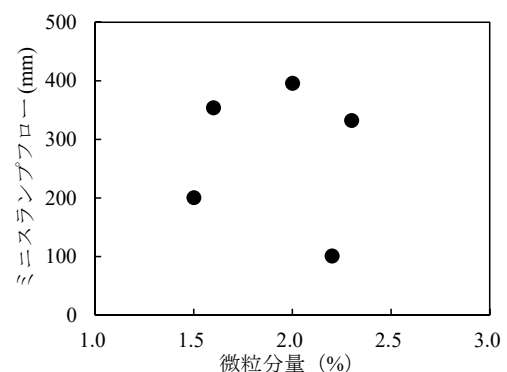


図-6 微粒分量とミニスランプフローの関係

合があるが、粘土鉱物の吸水、混和剤の吸着によって流動性が低下した可能性が考えられる。粗粒率および実積率とミニスランプフローにおいても傾向は認められ、粒度が細かいほど⁸⁾、充填性が小さいほど⁹⁾、流動性は低下となった。微粒分量とミニスランプフローの関係を図-6に示す。微粒分量と流動性の相関は見られなかった。

3.2 砂の混和剤吸着量と流動性

砂 A～E の混和剤吸着量を図-7に示す。混和剤吸着量は砂毎に大きく異なり、砂 E が最も高く、砂 D が最も低い値を示した。この混和剤吸着量とミニスランプフローの関係を図-8に示す。混和剤吸着量が高いほど、ミニスランプフローが低下する傾向を示した。既往の研究¹⁰⁾では、砂への混和剤吸着量は練上り直後のフロー値よりも経時低下量との相関性を示しており、本研究結果と傾向は異なったが、砂およびセメントが高性能 AE 減水剤を競争的に吸着したことによって、セメントへの吸着量が減少して流動性が低下したものと推察される。

つぎに、砂中の微粉分への混和剤吸着量を検討するため、同一産地でモルタルの流動性に差が認められた砂 A および砂 B について、0.15mm 未満の微粉分の混和剤吸着量を測定した。微粉分の混和剤吸着量の結果を図-9に示す。0.075mm 未満の微粒分への混和剤吸着量は同等でも、0.075mm～0.15mm の微粉分の混和剤吸着量は砂 A の方が高かった。同粒度範囲の含有率は砂 A が 0.7% に対して、砂 B が 9.5% と高いため、0.15mm 未満の混和剤吸着の総量としては砂 B の方が高くなることがわかる。砂 B では、微粉分の混和剤吸着量が高くなり、セメントへの混和剤吸着が減少して、流動性低位となったと考えられる。

3.3 同一粒度による流動性への影響

0.15mm 未満の微粉分を取り除き、同一粒度に調整した場合のモルタルのミニスランプフローを図-10に示す。砂 A、C、D のミニスランプフローは概ね同等であった。一方、砂 B および E では、同一粒度条件においても原粒度のミニスランプフロー同様に低かった。微粉分を取り除いた砂の場合でも、流動性が異なることから、微粉分への混和剤吸着とは他の要因が考えられる。

3.4 粒度毎の混和剤吸着量

3.3 の結果より、砂 A および砂 B について、0.15mm 以上の粒度毎の混和剤吸着量を検討した。粒度毎の混和剤吸着量を図-11に示す。0.6mm 未満および 2.5mm 以上の砂粒子の混和剤吸着量は概ね同等であったが、0.6mm～2.5mm の砂粒子では砂 B の方が高かった。

つぎに、高性能 AE 減水剤の競争吸着の影響を検討するため、砂 A および砂 B について、モルタルの練混ぜ条件をセメントペースト先練りとしたもののミニスランプ

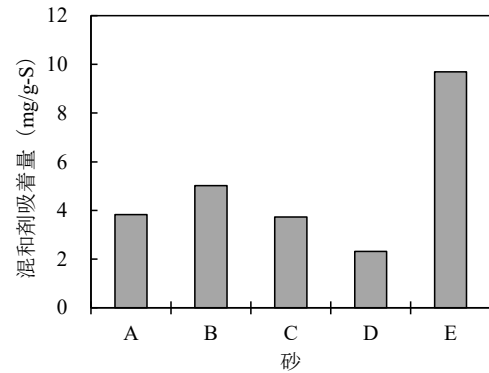


図-7 砂の混和剤吸着量

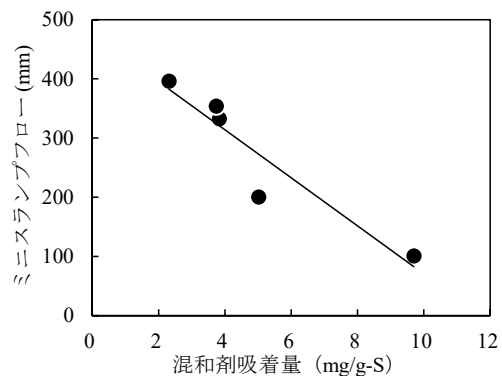


図-8 混和剤吸着量とミニスランプフローの関係

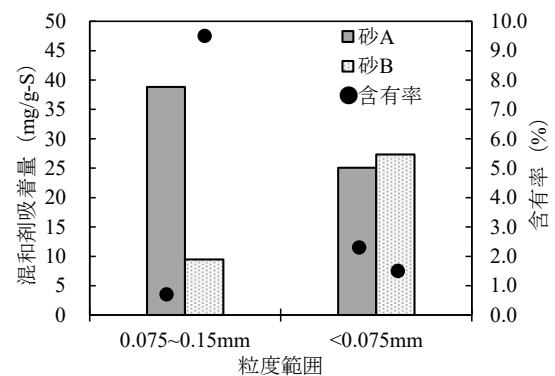


図-9 0.15mm 未満の微粉分の混和剤吸着量

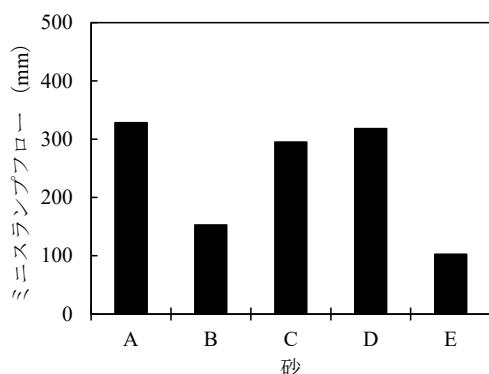


図-10 同一粒度の各砂によるミニスランプフロー

フローを測定し、全材料を一括投入したものと比較した。なお、砂の粒度は、2.1の同一粒度に調整した。その結果を図-12に示す。砂Aと砂Bのセメントペースト先練りによる流動性は同等であった。砂Bでは、セメントペーストの先練りによって、高性能AE減水剤が砂よりもセメントに先行して吸着し、砂Aと同等の流動性を得たと考えられる。よって、同一粒度条件での砂Bの流動性低下は、0.6mm~2.5mmの粒度範囲の砂粒子が混和剤を多く吸着し、セメントへの吸着が減少したことが一要因と考える。砂Bでは、表-1に示すとおり、粘土塊量が砂Aよりも高いことから、同粒度範囲に含まれる粘土塊が混和剤吸着量を高めた可能性が考えられるが、現時点では定かではなく、今後の検討課題である。

3.5 貫入抵抗値

目標ミニスランプフローのための高性能AE減水剤の添加量とそのミニスランプフローを表-4に示す。図-3に示すモルタルの流動性が低い砂ほど、高性能AE減水剤の添加量は高く、砂Eの添加量は他の砂の場合に比べてかなり大きかった。

同等ミニスランプフローに調整したモルタルの貫入抵抗値を図-13に示す。各砂によるモルタルの貫入抵抗値には差異が認められ、砂Bの場合が高い値を示した。砂Bでは、流動性が比較的低く、高性能AE減水剤の増量によって流動性は向上するものの、貫入抵抗値が高くなった。砂Bを使用した場合では、高性能AE減水剤の添加量によって同等の流動性が得られるが、ワーカビリティに影響を及ぼす可能性が考えられる。一方、流動性が最も低かった砂Eでは、同一ミニスランプフローのため

表-4 高性能AE減水剤の添加量とミニスランプフロー

目標フロー (mm)	砂	SP (C×%)	ミニスランプフロー (mm)
200	A	1.45	191
	B	1.85	197
	C	1.325	201
	D	1.30	208
	E	2.90	204
250	A	1.60	239
	B	1.975	238
	C	1.40	241
	D	1.40	246
	E	3.20	262
300	A	1.75	311
	B	2.10	313
	C	1.60	285
	D	1.50	311
	E	3.40	305

の高性能AE減水剤は増量するものの、他の砂と貫入抵抗値は同等であった。砂によって流動性を同等としても貫入抵抗値が異なることがわかった。

4. まとめ

本研究では、同一地域で産出された砂を使用したコンクリートの流動性への影響に関する基礎的検討として、モルタルを対象として流動性への影響と要因について検

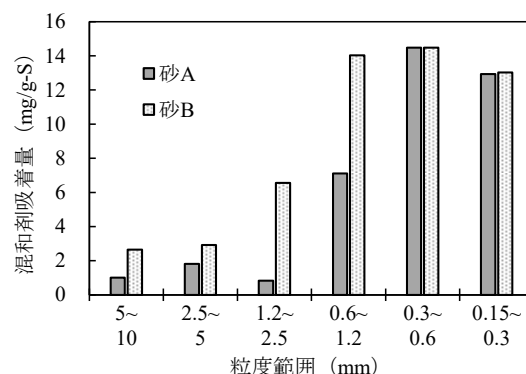


図-11 0.15mm以上の粒度毎の混和剤吸着量

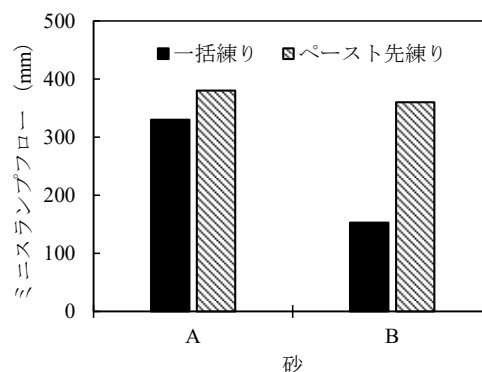


図-12 セメントペースト先練りによるモルタルのミニスランプフロー

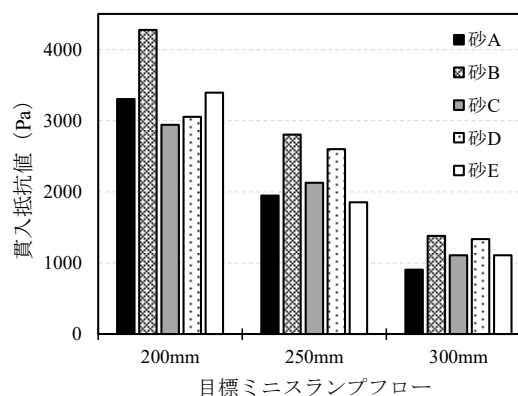


図-13 砂A~Eによるモルタルの貫入抵抗値

討した。さらに、コンクリートのワーカビリティを簡易的に判定するためのモルタル貫入抵抗値について、砂の違いによる影響を検討した。本研究の範囲内で、得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 各砂のモルタルの流動性は大きく異なり、同一粒度に調整した場合でも同様の傾向であった。
- (2) モルタルの流動性が低いものほど、砂への高性能 AE 減水剤の吸着量が高くなった。これはセメントと砂が高性能 AE 減水剤を競争吸着することによってセメントへの吸着量が減少したことが考えられる。
- (3) 高性能 AE 減水剤の吸着は砂の微粉分だけでなく、砂粒子への吸着がモルタルの流動性に影響を及ぼす可能性を示唆した。
- (4) 使用する砂によっては、モルタルの流動性を同一にした場合でも貫入抵抗値が異なることがわかった。

参考文献

- 1) 渡会正典, 寺西浩司, 野中寛之: 骨材粒形がフレッシュモルタル及びコンクリートの性質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No.1, 2012
- 2) 小出水翔平, 高巢幸二, 小山田英弘, 陶山裕樹: 粒度調整した砕砂の物性値がモルタルの流動性に与える影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.72, pp.91-98, 2018
- 3) 上野 敦, 広川隆史, 中嶋香織, 宇治公隆: 骨材微粉分の表面積がモルタル流動性および乾燥収縮に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No.1, pp.69-74, 2008
- 4) 小川彰一, 中村秀三: 各種砂を用いたモルタル流動性に及ぼす微粉分の影響, 第 54 回セメント技術大会講演要旨, pp.100-101, 2000
- 5) 齋藤 尚, 行武幸一, 西 元央, 小田部裕一: コンクリートのワーカビリティ評価に関する検討, 第 74 回セメント技術大会講演要旨, pp.88-89, 2020
- 6) 全 振煥, 依田和久, 閑田徹志, 浅岡 茂: 高粘性の CFT 構造用高強度充填コンクリートを対象としたポンプ圧送性の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1231-1236, 2013
- 7) 日本コンクリート工学協会: 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム 委員会報告書・論文集, 1998
- 8) 三船慎治, 出光 隆, 山崎竹博: 高流動コンクリートの流動性能に及ぼす細骨材粗粒率の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 2, pp.949-954, 2001
- 9) 近田孝夫, 前田悦孝, 松下博通: 細骨材の物性がフレッシュモルタルの流動性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.387-392, 1992
- 10) 中村秀三, 小川彰一: 砂の状態が流動性に与える影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.181-186, 1999