

# 論文 分割練混ぜにより製造したモルタルのブリーディングに及ぼす細骨材特性の影響

伊達 重之<sup>\*1</sup>・長谷川 聖史<sup>\*2</sup>・池田 正志<sup>\*3</sup>・辻 幸和<sup>\*4</sup>

要旨：分割練混ぜ工法は，モルタルやコンクリートのブリーディングの低減に有効であることが知られている。しかしながら，この品質改善効果が，製造条件によって大きく変化し，かつ変動の要因が多岐にわたるため，効果を安定化させるに十分な知見が得られているとはいえない現状である。本研究では，モルタルのブリーディングに及ぼす細骨材の諸特性の影響を評価した。その結果，細骨材の粒度や微粒分量および表面水率により，ブリーディング率および分割練混ぜによる品質改善効果に差があることが認められた。同じく，細骨材の種類に拘らず拘束水率（ $w_{oh}$ ）と相関があることも明らかになった。

キーワード：分割練混ぜ，モルタル，ブリーディング，骨材，粒度分布，表面水，微粉末

## 1. はじめに

分割練混ぜ工法は，コンクリート中の骨材とセメントペーストの付着性状を良好にし，強度の改善に有効である<sup>1)</sup>。また，材料分離に伴うブリーディングなどによる内部欠陥を減少させる練混ぜ方法である。実施工においては，ポンプ圧送性の向上<sup>2)</sup>や吹付けコンクリートにおけるリバウンドの低減などのメリットが報告されている。しかしながら，前述の品質改善効果の現れ方が，ミキサ，材料，配合などの製造条件によって大きく変化し，場合によっては逆の結果を呈することもあり，品質改善効果を安定化させるに十分な知見が得られているとはいえないのが現状である。

一方，コンクリートのブリーディング水は，その一部が粗骨材の下面に補足される。そのため，同じ水セメント比のモルタルに比べて，ブリーディング率は小さくなる傾向にある。

本研究では，コンクリートの品質改善効果に及ぼす分割練混ぜの影響を解明するため，ふるい分けにより粒度を調整し，必要に応じて微粒

分を除去した細骨材を用いたモルタルの練混ぜ試験により，ブリーディングに及ぼす細骨材の種類・粒度分布・微粒分・表面水率などの諸特性の影響を明らかにすることを目的としている。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

使用材料を表 - 1 に示す。細骨材には吸水率の異なる 3 種類を用いた。茨城県鹿島産のもの（以下“陸砂”と略す），静岡県大井川産のもの（以下“砕砂 1”と略す），神奈川県津久井産のもの（以下“砕砂 2”と略す）である。

### 2.2 実験条件

実験条件と水準を表 - 2 に示す。

表 - 1 使用材料

材料	記号	種類	密度 ( $g/cm^3$ )	吸水率 (%)
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16	—
細骨材	S	茨城県鹿島産(陸砂)	2.60	1.54
		静岡県大井川産(砕砂1)	2.62	1.67
		神奈川県津久井産(砕砂2)	2.60	1.95
混和剤	Ad	ホリカルボン酸系高性能減水剤	1.04	—

\*1 石川島建材工業（株） 技術研究所課長代理（正会員）

\*2 石川島建材工業（株） 技術研究所研究員（正会員）

\*3 群馬大学 工学部建設工学科技官（正会員）

\*4 群馬大学 工学部建設工学科教授 工博（正会員）

表 - 2 実験条件と水準

実験条件		水準
練混ぜ方法		一括練混ぜ, 分割練混ぜ
細骨材	種類	陸砂, 砕砂1, 砕砂2
	粒度	細目, 中目, 粗目
	除去	なし, 150 μm以下, 300 μm以下
	含水状態	表乾状態を含む7水準

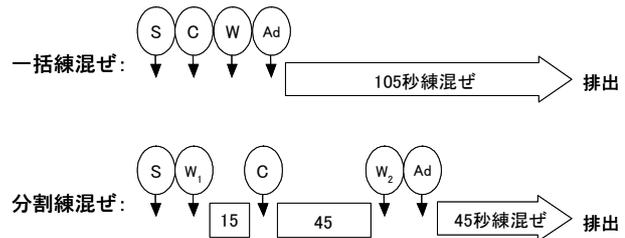


図 - 1 練混ぜ方法

練混ぜには10リットルのホバートミキサを用い、練混ぜ時間は一括練混ぜ・分割練混ぜともに105秒間とした(図-1参照)。また、分割練混ぜにおける一次水量( $W_1$ : kg/m<sup>3</sup>)<sup>3)</sup>は、セメントのキャピラリー状態に必要な水セメント比( ; %)と細骨材の拘束水率( $\omega_{OH}$ ; %)を用いて、(1)式により求めた。

$$W_1 = \omega_{OH}/100 \cdot C + \omega_{OH}/100 \cdot S \quad (1)$$

ここで、C: 単位セメント量 (kg/m<sup>3</sup>)

S: 単位細骨材量 (kg/m<sup>3</sup>)

骨材の粒度分布の調整は、天日での乾燥後ふるい分けを行なったのち、図-2に示す3種類の粒度分布になるよう混合した。さらに、一部の骨材については2種類のふるい(150, 300 μm)を用いて微粒分を取り除いた。また、表面水率の調整は、微粒分の逸散を防止するため、乾燥状態の骨材に所定の水量を霧吹きにて加えた後、3日間保持し、含水状態の確認を行った上、必要に応じて再度同様の水量調整を行った。

また、高性能減水剤の添加率の決定は、一括練混ぜによって製造したモルタルのJIS R 5201に従って測定したフロー値(以下“15打フロー値”と略す)が230 ± 20mmとなるよう設定した。同配合の分割練混ぜでは、一括練混ぜと同じ高性能減水剤の添加率で行った。

なお、すべての配合における水セメント比(W/C)および砂セメント比(S/C)は、それぞれ55%および3とした。

### 2.3 測定項目

細骨材の拘束水率(以下“ $\omega_{OH}$ ”と略す)は、辻ら<sup>3)</sup>によって提案された遠心力試験によって求めた。この方法は、図-3に示す容器に細骨

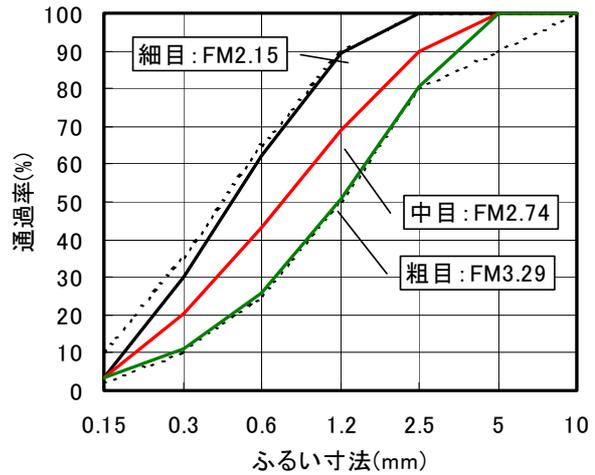


図 - 2 細骨材の粒度分布

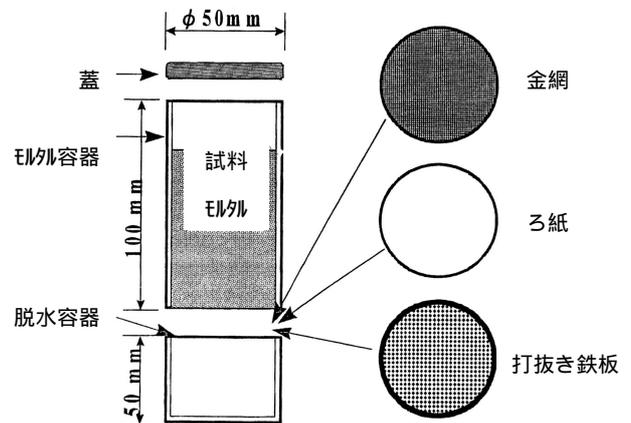


図 - 3 遠心試験用モルタル容器

材および分散材(水セメント比45%のセメントペースト)を混合したものを充てんし、所定の遠心力(438G)を作用させて脱水したのちの細骨材の保水量を評価するものである。

ブリーディング試験は、JSCE-F532-1999に従った。

### 3. 実験結果および考察

細骨材の吸水率および拘束水率，ならびに 15 打フロー値およびブリーディング率の測定結果を表 - 3 に示す。

練上り直後において所定の流動性（15 打 $\alpha$ -値）を得るために調整した高性能減水剤の添加率は，3 種類の細骨材いずれについても粒度が粗くなるほど小さくなる傾向にあった（図 - 4 参照）。また，微粒分を除去した場合も同じく添加率が減少するが，300  $\mu\text{m}$  以下の粒子の含有量が概ね 20% 程度なので，粒度の違いの効果よりも影響が小さいと考えられる（図 - 5 参照）。一方，流動性（15 打 $\alpha$ -値）に関しては，一括練混ぜに較べて分割練混ぜによって製造したモルタルの方が若干小さい傾向にあった。

#### 3.1 モルタルのブリーディング率に及ぼす一次水率の影響

粒度が中目で微粒分を除去しない表乾状態（以下“標準”と略す）の 3 種類の細骨材について，モルタルのブリーディング率に及ぼす一次水率（ $W_1/C$ ）の影響について調査した。結果を図 - 6 に示す。

いずれの骨材を使用したモルタルについても，コンクリートでの既往の研究<sup>4)</sup>と同じく， $W_1/C$  が 20% 弱の領域でブリーディング率がほぼ最小となり，さらに概ね 30~35% 程度までほぼ同じ水準を維持した。

これに対して，本研究で使用した材料に関して(1)式により求めた最適  $W_1/C$  は 27~29% であった。したがって，分割練混ぜを生コンクリート工場や製品工場に適用する場合，適切な  $W_1/C$  を設定していれば細骨材の表面水率が最大で  $\pm 3\%$  変動した場合でもブリーディングにはほとんど変化を及ぼさないことが確かめられた。

#### 3.2 モルタルのブリーディング率に及ぼす細骨材の表面水率の影響

モルタルのブリーディング率に及ぼす細骨材の表面水率の影響を，3 種類の標準細骨材についてそれぞれ評価した。結果を図 - 7 に示す。

いずれの細骨材を使用したモルタルについて

表 - 3 細骨材の物性値とフレッシュ特性

細骨材種	粒度分布	微粒分の除去	吸水率 (%)	$\beta_{OH}$ (%)	減水剤添加率 (%)	15打フロー値 (mm)		ブリーディング率 (%)	
						一括	分割	一括	分割
陸砂	細	なし	1.54	0.96	0.6	235	235	2.4	2.7
	中	なし	1.54	0.91	0.1	248	230	6.4	5.1
	粗	なし	1.53	0.90	0.0	248	230	8.4	6.5
	中	<150	1.53	0.81	0.0	235	230	7.8	6.6
	中	<300	1.47	0.84	0.0	245	245	9.9	8.0
砕砂1	細	なし	1.70	1.22	0.8	215	218	0.6	1.0
	中	なし	1.67	1.17	0.3	225	230	4.3	3.3
	粗	なし	1.67	1.13	0.0	225	220	6.9	5.0
	中	<150	1.62	1.13	0.2	235	225	5.3	4.1
	中	<300	1.54	1.02	0.1	225	225	7.1	4.8
砕砂2	細	なし	1.98	1.64	1.2	218	210	1.7	0.9
	中	なし	1.95	1.54	0.6	233	215	2.0	1.9
	粗	なし	1.87	1.53	0.2	215	210	4.5	3.5
	中	<150	1.87	1.46	0.5	215	213	2.8	2.0
	中	<300	1.84	1.40	0.4	215	210	3.6	3.1

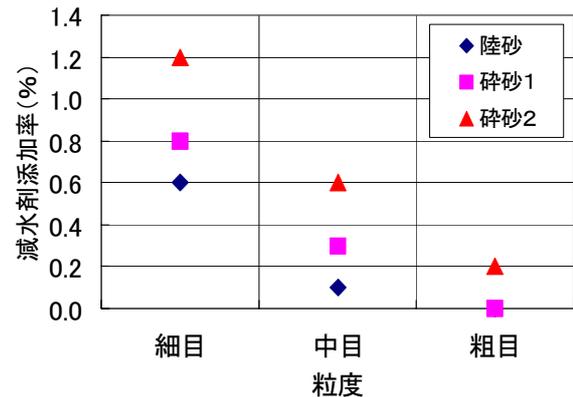


図 - 4 混和剤添加率と細骨材の粒度の関係

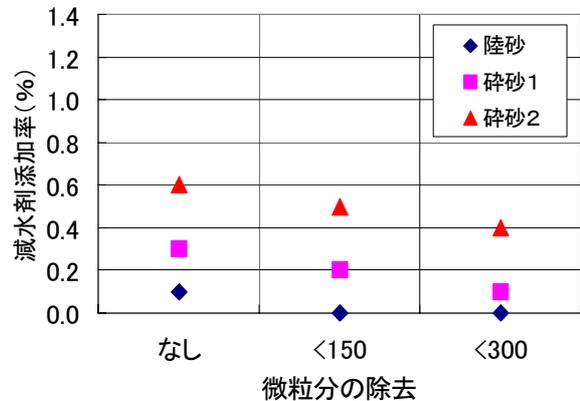


図 - 5 混和剤添加率と微粒分の関係

も，表面水率の増加にともなうブリーディング

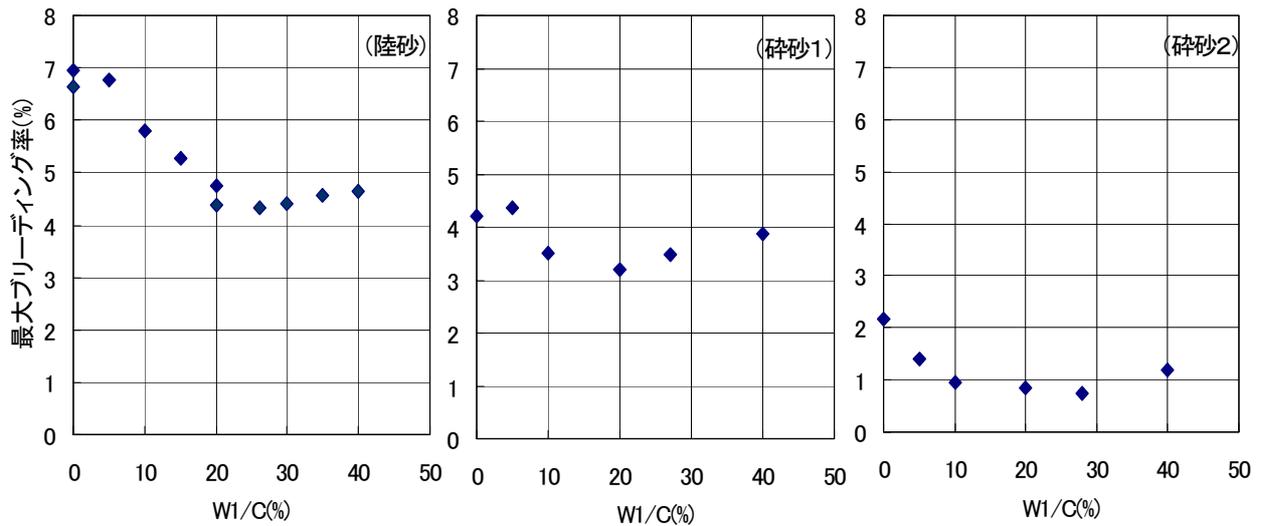


図 - 6 ブリーディング率に及ぼす一次水率 ( $W_1/C$ ) の影響

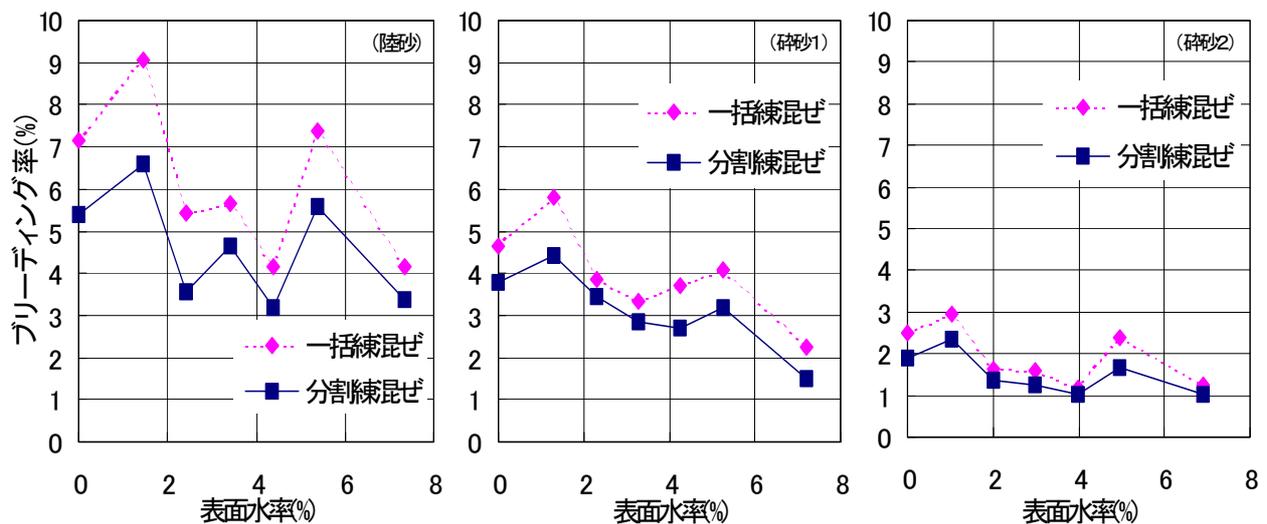


図 - 7 ブリーディング率に及ぼす細骨材の表面水率の影響

率の減少が認められるものの、この傾向は単調減少を示す既往の研究結果<sup>5)</sup>とは異なり、表面水率が2%手前と5%前後の個所で極大値を示しているのが興味深い。3種類ともに同様の傾向を示していることから、この現象は細骨材固有の特性によるものでない可能性もあるが現在のところは不明である。表面水率の影響に関する既往の研究は充分とはいえず、表面水率とブリーディング率の関係は負の相関<sup>5)</sup>と正の相関<sup>6)</sup>それぞれの報告がなされている。今後は、拘束水率 $_{OH}$ が大きく異なる細骨材(1%未満および2%以上)を用いて実験を行い、検討を継続する予定である。

分割練混ぜによるブリーディング率の低減効果については、前項の結果と同様に、細骨材の $_{OH}$ の違いによる影響は認められるものの、表面水率の違いによる影響は本研究の条件の範囲では明確にはならなかった。これについて、コンクリートでの研究成果<sup>7)</sup>によれば、用いる細骨材は表乾状態のものに較べて表面水率(5%)を持ったものの方がブリーディング率の絶対値および分割練混ぜによる低減効果が小さくなると報告されている。

### 3.3 モルタルのブリーディング率に及ぼす細骨材の粒度および微粒分の影響

図 - 8 および図 - 9 に、3種の細骨材それぞれ

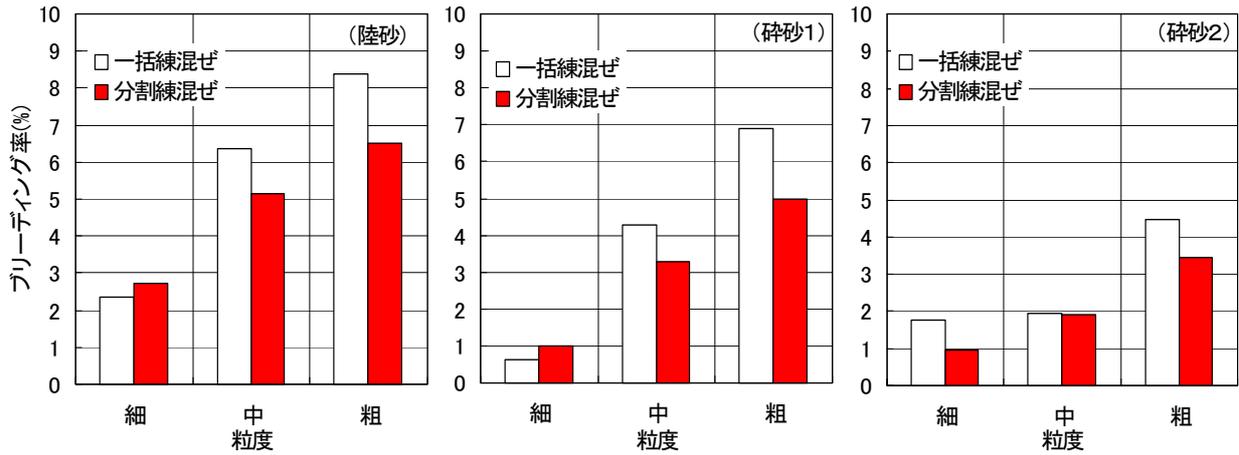


図 - 8 ブリーディング率に及ぼす細骨材の粒度の影響

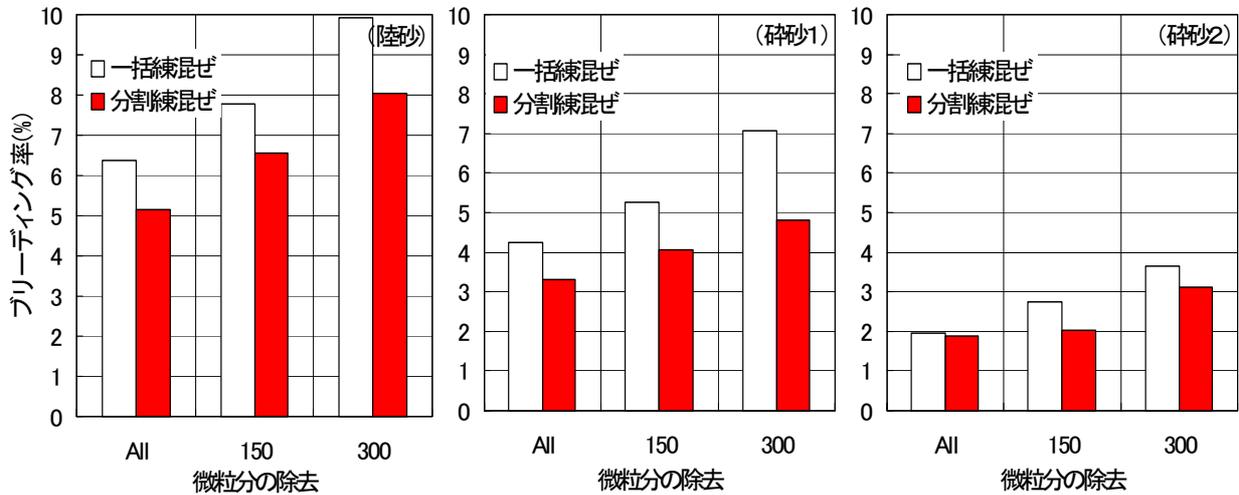


図 - 9 ブリーディング率に及ぼす細骨材の微粒分の影響

れについてモルタルのブリーディング率に及ぼす粒度および微粒分の影響を示す。この結果、いずれの細骨材においても、粒度が粗くなるほど、あるいは微粒分の量が少なくなるほど、ブリーディング率が大きくなる傾向にあった。粒度に較べて微粒分の影響が小さい原因は、混和剤の添加率の結果と同様の理由であるものと推察される。

これらの結果により、とりわけ粒子間液架橋にともなう保水力向上の効果が小さい粗目シリーズの結果を比較することにより、ブリーディング率に及ぼす細骨材の種類（岩種）の違いの影響をも評価できる。2種の砕砂に較べて陸砂のブリーディングが大きい値を示したのは、主として粒子の形状係数がより1.0に近く、粒子間の

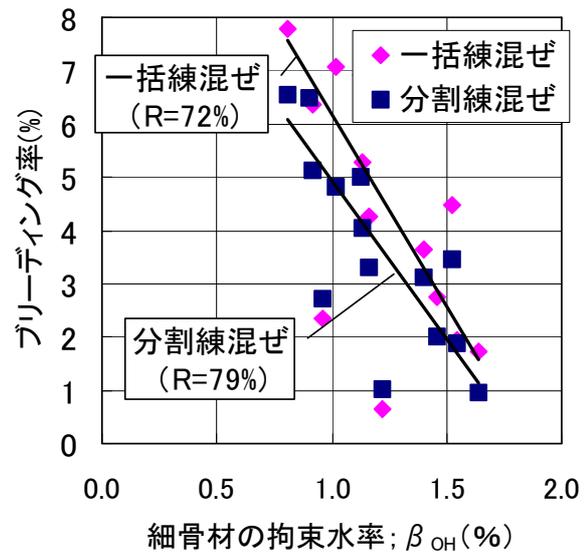


図 - 10 モルタルのブリーディング率と細骨材の拘束水率  $\beta_{OH}$  の関係

液架橋効果が小さいことが主原因と推察される。その他の理由として、水との化学的親和性の差や、表面の微細な空隙・溝なども考えられる。しかしながら、これらの影響をそれぞれ定量的に評価することは困難である。

そこで、前述の各要因の効果を包括的に示すものと予想されるインデックスである  $\omega_{OH}$  に着目し、図 - 10 にモルタルのブリーディング率と細骨材の  $\omega_{OH}$  の関係を整理した。この結果、練混ぜ方法に拘らず、 $\omega_{OH}$  の増加にともなうモルタルのブリーディング率の減少が認められた。一般にブリーディングは、モルタル中の余剰水量に大きく依存する。したがってこの結果は、 $\omega_{OH}$  の増加による余剰水の減少からと推察される。

一方、同様に  $\omega_{OH}$  の増加にともない分割練混ぜによるブリーディング率の低減効果も小さくなる傾向にある。この原因としては、細骨材独自の保水効果と、細骨材表面に形成されるセメント粒子と水の造殻層による保水効果との2つの異なる効果には累加則は成立せず、“粒子が保持可能な水（拘束水）には限りがある”ということから説明される。すなわち、 $\omega_{OH}$  が小さな細骨材の場合はペースト層による保水能力の向上の効果が大きく、相対的に  $\omega_{OH}$  が大きな細骨材の場合はセメント層による保水能力の効果が小さくなるのが推察される。

#### 4. まとめ

モルタルのブリーディングに及ぼす細骨材の種類・粒度分布・微粒分・表面水率などの諸特性の影響、および細骨材の保水力（ $\omega_{OH}$ ）と分割練混ぜの効果の関係について調査した結果、以下の知見を得た。

- (1) 所定の流動性を得るために必要な高性能減水剤の添加率は、細骨材の粒度が粗くなるほど、また、微粒分の量が少なくなるほど減少する。
- (2) 細骨材の粒度が粗くなるほど、また、微粒分の量が少なくなるほど、ブリーディング率は

大きくなる。

- (3) 練混ぜ方法に拘らず、モルタルのブリーディング率は使用する細骨材の拘束水率（ $\omega_{OH}$ ）の増加にともなって減少する。
- (4) 分割練混ぜによるブリーディング率の低減効果は、同じく  $\omega_{OH}$  の増加にともなって減少する。
- (5) 表面水率の増加にともなってブリーディング率は減少するものの、分割練混ぜによるブリーディングの低減効果への影響はほとんどなかった。
- (6) ブリーディング率に及ぼす  $W_1/C$  の影響については、細骨材の種類によらず 10~20%の領域でブリーディングがほぼ最小となり、さらに概ね 30~35%程度までほぼ同じ水準を維持した。

#### 参考文献

- 1) Tamimi, A. K.: The Effect of A New Mixing Technique on the Properties of the Cement Past-Aggregate Interface, Cement and Concrete Research, Vol.25, No.7, pp.1299-1034, 1994
- 2) 山本康弘ほか: SEC コンクリートのポンプ圧送性に関する研究, 大成建設技術研究所報 16号, pp.3~9, 1983
- 3) 辻幸和ほか: 遠心力を利用した細骨材の保有水試験方法, 土木学会論文集, No.384, pp.103-109, 1987
- 4) 伊東靖郎: 骨材の表面状態がコンクリートに及ぼす影響に関する研究, 東京大学学位論文, 1982年
- 5) 早川光敬: 水を分割添加するコンクリートの練混ぜ技術に関する研究, 東京大学学位論文, 1999年
- 6) 扇啓祐ほか: SEC 工法により製造されたコンクリートの性質, セメント・コンクリート, No.492, pp.26-35, 1988
- 7) 魚本健人: 水を分割添加して練り混ぜたコンクリートの諸性質, セメント・コンクリート, No.429, pp.10-15, 1982