

論文 モルタルの振動下のフレッシュ性状に及ぼす分割練混ぜの効果

伊達 重之^{*1}・伊藤 祐二^{*2}・長谷川 聖史^{*3}・辻 幸和^{*4}

要旨: 振動下におけるモルタルの流動性ならびにブリーディングに及ぼす分割練混ぜの効果について検討を行った。その結果、分割練混ぜの採用によってモルタルの塑性粘度が低減され、その効果が加振環境下でも保持されることが確認された。ブリーディング挙動に関して、一括練混ぜの場合は初期の振動によってブリーディング速度ならびに終局の値が大きくなる傾向にあった。一方、分割練混ぜの場合は加振の影響をほとんど受けないことが明らかになった。

キーワード: モルタル, 分割練混ぜ, 塑性粘度, 振動, J漏斗, ブリーディング

1. はじめに

分割練混ぜ工法¹⁾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、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効果がある。また、強度改善に有効である。分割練混ぜによって製造されたコンクリートは、加圧ブリーディング値が小さいため、ポンプ圧送性に優れていると報告されている²⁾。ポンプ圧送性においてその作業性の優劣を左右する因子のひとつとして、圧力損失が挙げられる。圧力損失はスランプが一定の場合塑性粘度に比例するため、低粘度のコンクリートの方がポンプ圧送性に有利であるといえる。

分離抵抗性とブリーディングの抑制の観点からは、前述とは逆に塑性粘度が高いコンクリートの方が有利である³⁾。しかしながら、コンクリートの充填方法は特殊な場合を除いて現場打ち、プレキャストコンクリートの製造のいずれにおいても、振動締固めが主流である。高粘性のコンクリートは、一般的に振動の粘性減衰によるエネルギーの伝播効率の低下⁴⁾によって締固めに要する時間が長くなる。これにより生産性の低下につながることは言うまでもなく、コンク

リート中の気泡の除去や表面仕上げが困難となり、ブリーディング率の増加⁵⁾によって引き起こされる骨材下面の強度低下⁶⁾や耐久性低下など、コンクリートの品質低下の原因ともなる。そのため、自己充填コンクリートや水中不分離性コンクリートのような特殊な用途以外においては、歓迎されないケースが多い。したがって、振動締固めを前提としたコンクリートにおいては、骨材の分離を起こさない必要最小限の降伏値をもち、塑性粘度が低いコンクリートが良好な施工性を有するといえる。このことは、コンクリートだけでなく、モルタル中詰めスチールセグメントなどに用いられる充填モルタルについても同様である。

コンクリート工場製品の製造においては、一日に2回転や3回転での製造も珍しくない。この場合には、蒸気養生プロセスを導入することが一般的である。その際、蒸気養生開始までの前置き時間は30～120分が一般的であり、ブリーディングの終了まで室温中に滞留させることはほとんどない。このため、蒸気養生コンクリートにおいては、ブリーディング率は終局値よりも短時間での値の方が重要であるといえる。

*1 石川島建材工業（株） 技術研究所 主任研究員 博士（工学）（正会員）

*2 石川島建材工業（株） 技術研究所 所長 工修（正会員）

*3 石川島建材工業（株） 技術研究所 研究員（正会員）

*4 群馬大学 工学部建設工学科 教授 工博（正会員）

モルタルのブリーディング性状を対象にした研究は数多くあるが、塑性粘度が及ぼす影響に関する研究は少ない。これについて筆者らは、モルタルの塑性粘度低減に分割練混ぜが有効であることを報告した⁷⁾。一方、分割練混ぜによってモルタルのブリーディング率が低減することは多くの研究者⁸⁾らによって見出されている。しかしながら、これらの事例はほとんどが静置状態において実施した結果であり、振動を与えた状態でのブリーディング率の低減効果についてはほとんど報告されていない。前述したとおり、実際の施工においてはほとんどの場合で振動締固めを行う。したがって、静置状態におけるモルタルのフレッシュ性状のみならず、加振時の挙動をも評価することは重要である。

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研究の一環として、振動下におけるモルタルのフレッシュ性状に及ぼす分割練混ぜの効果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。細骨材には茨城県鹿島産のもの（以下“LS”と略す）と神奈川県津久井産のもの（以下“CS”と略す）の2種類を用いた。なお、細骨材の拘束水率（ β_{OH} ）は、辻ら⁹⁾によって提案された遠心力試験によって求めた。

2.2 実験条件

練混ぜ条件と水準を表-2に示す。

練混ぜには容量が20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）。なお、W1やW2の設定等は既往の文献¹⁾による方法に従った。

各配合条件におけるモルタルは、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185～250mmとなるように、それぞれ高性能減水剤の添加率を調整した。なお、評

表-1 使用材料

材料	記号	種類	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	拘束水率 (β_{OH} %)
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16		
細骨材	LS	茨城県鹿島産砂(表乾)	2.60	1.54	0.91
	CS	神奈川県津久井産砕砂(表乾)	2.60	1.95	1.54
混和剤	Ad	ポリカルボン酸系高性能減水剤	—	—	—

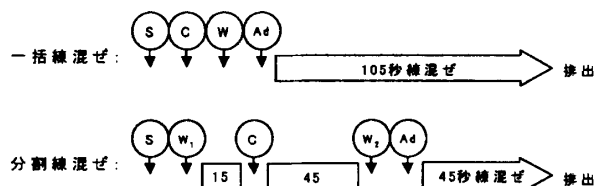


図-1 練混ぜ方法

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
細骨材の種類	LS, CS
水セメント比(%)	30 ~ 55
砂セメント比	2.0 ~ 2.7

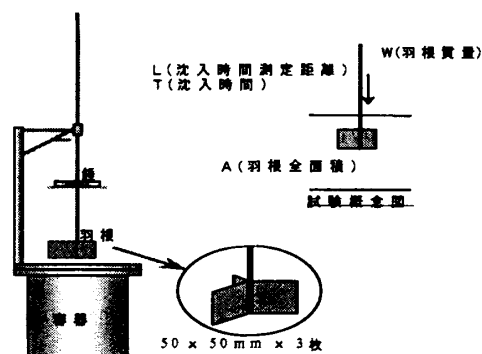


図-2 羽根沈入式粘度計

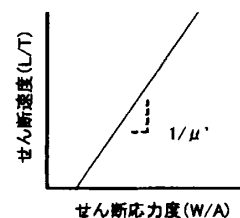


図-3 モルタルの塑性粘度と測定値の関係

価試験において適切な評価が可能であるように⁷⁾、ある程度の範囲に流動性を調整した。

2.3 モルタルの塑性粘度の測定

モルタルの粘度の測定については、比較的水

セメント比が小さく、漏斗もしくは管方式では閉塞して測定できないようなモルタルにも適用可能で操作が簡便な羽根沈入型粘度計¹⁰⁾を用いた。本粘度計は、図-2に示すとおり、3枚の羽根を有する治具をモルタルに自重で沈入させて粘性を測定するものである。1試料について、沈入羽根の質量 W を段階的に変えて沈入速度を測定し、図-3に示すせん断速度 $\dot{\gamma}(=L/T)$ とせん断応力度 $\tau(=W/A)$ の関係から、塑性粘度を求めるものである。本粘度計によって得られた結果を図-3に示す関係に整理して、見かけの塑性粘度(η')を求め、この η' と粘度が既知の流体(シリコンオイル;塑性粘度が10~300Pa·s)を用いた実験結果とを比較する方法(検量線方式)により、塑性粘度を算出した。

2.4 振動下におけるモルタルの流動性

振動下におけるモルタルの流動性を、テーブルバイブレータの上に固定したJ₁₄漏斗によって測定した(図-4参照)。なお、テーブルバイブレータの振動が安定して供試体に伝わるよう、漏斗を支持するフレームの脚をテーブルバイブレータに溶接してしっかりと固定したうえ、フレームと漏斗も溶接した。

流下時間の測定は、まず始めに漏斗下部を塞いだまま、無振動状態で漏斗にモルタルを充填し、5秒間静置したのちに下部を開放と同時に振動を付加した。なお、本試験の場合、テーブルの振動数と実験装置の固有振動数との関係で、モルタルが漏斗中で回転して流下しない状態や、漏斗上部から飛び散る状態が起こる場合がある。したがって、本実験における振動数は、すべての配合においてこのような不具合の発生を防止でき、さらに製品工場にて実際に使用している型枠振動機と近い値(1800rpm)に設定した。また振幅は、1.0mmであった。

2.5 振動を受けたモルタルのブリーディング率の測定

振動を受けたモルタルのブリーディング率を、図-5に示す直方体の容器を用いて測定した。モルタルの水セメント比は細骨材の種類にかか



図-4 振動下におけるモルタルの流動性測定装置の外観写真

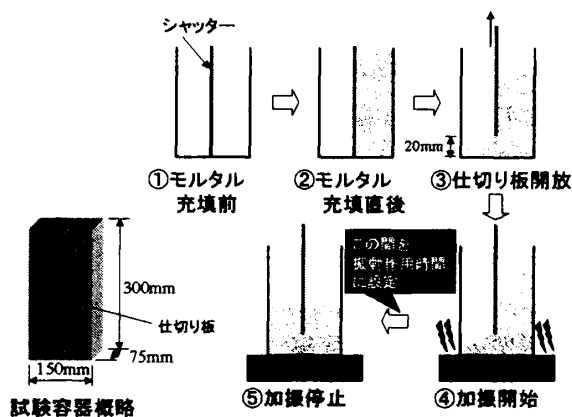


図-5 モルタルの振動作用時間の設定方法

表-3 振動作用時間

水セメント比(%)	45	50	55
振動作用時間(秒)	30	25	20

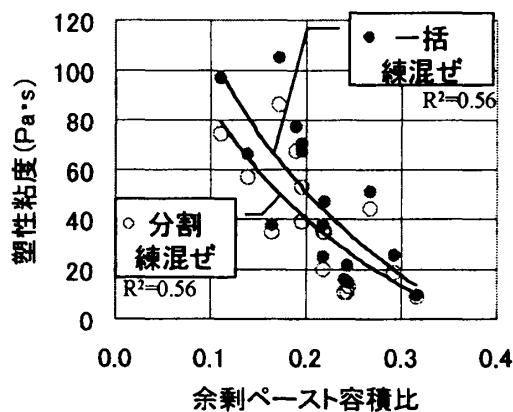


図-6 モルタルの塑性粘度と余剰ペースト容積比の関係⁶⁾

ならず、45、50 および 55% の 3 水準とした。3 種類のモルタルは流動性が異なるため、実際の施工環境では適切な振動締固め時間が異なることが考えられる。そこで、それぞれ必要最小限の振動時間を設定するため、図-5 に示す手順によって、モルタルの充てんが概ね完了する時間を計測した。供試体への加振は、前項 (J₁₄ 漏斗試験) と同じテーブルバイブレータを用いた。これにより、設定した振動作用時間を表-3 に示す。

測定対象のモルタルを 1.7 ㍑分それぞれ質量計量し、仕切り板を外した状態の図-5 の容器に一括投入した。突き棒で 10 回ならしたのち、それぞれ所定の時間加振し、ただちに蓋をして 20℃-65%RH の雰囲気にて静置した。

ブリーディング率は JSCE-F532-1999 に準拠して測定した。なお比較のため、振動を付与しない供試体についても併せて測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 モルタルの塑性粘度に及ぼす分割練混ぜの効果

LS および CS の細骨材を用いたモルタルの、静置状態における塑性粘度に及ぼす分割練混ぜの効果を図-6 に示す。モルタルの塑性粘度および分割練混ぜによる低減効果は、モルタルの配合ならびに用いた細骨材の実積率から算出した“余剰ペースト容積比 (= (モルタル容積-細骨材かさ容積) / モルタル容積)”が大きい配合ほど、それぞれ小さくなる⁶⁾。

3.2 振動下におけるモルタルの流動性

分割練混ぜは静置状態におけるモルタルの塑性粘度の低減に有効であるが、その効果の発現に及ぼす振動の影響を調査するため、振動下におけるモルタルの流動性をテーブルバイブレータ上に設置した J₁₄ 漏斗を用いて測定した。評価対象のモルタル配合を表-4 に示す。また、測定結果を図-7 に示す。なお、本実験における評価対象のすべてのモルタルは、無振動の状態では J₁₄ 漏斗からの流下は認められなかった。

表-4 評価対象モルタルの W/C (%)

S / C	2.5	2.7
陸砂	30, 35, 40	35, 40, 45
砕砂	40, 45, 50	

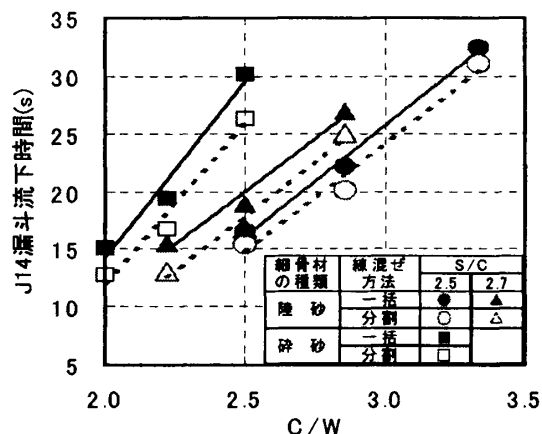


図-7 振動下の J₁₄ 漏斗流下時間に及ぼす分割練混ぜの効果

表-5 ブリーディング試験結果

細骨材の種類	S/C	W/C (%)	練混ぜ方法	15打フロー値 (mm)	ブリーディング率 (%)		
					静置	加振	加振による増分 (%)
陸砂	25	55	一括	249	8.8	9.4	6.8
		50		221	6.4	7.2	12.5
		45		193	4.1	4.2	2.4
		55	分割	232	7.4	7.6	2.7
		50		213	5.0	5.1	2.0
		45		185	2.7	2.8	3.7
	27	55	一括	249	8.1	8.4	3.7
		50		221	6.8	7.0	2.9
		45		193	3.8	3.8	0.0
		55	分割	232	6.3	6.3	0.0
		50		213	4.6	4.6	0.0
		45		185	3.1	3.1	0.0
砕砂	25	55	一括	249	5.8	6.8	17.2
		50		220	3.7	3.9	5.4
		45		193	2.9	2.9	0.0
		55	分割	232	4.9	4.9	0.0
		50		213	3.4	3.3	-2.9
		45		185	2.4	2.3	-4.2

すべての配合において、分割練混ぜによると、モルタルの漏斗流下時間が早くなることが認められた。このように、分割練混ぜの効果は振動下でも確認された。

この結果より、分割練混ぜによって形成される微細構造は、振動の作用によっても崩壊しないことが推察される。さらに、分割練混ぜによって製造されたモルタルやコンクリートは、振

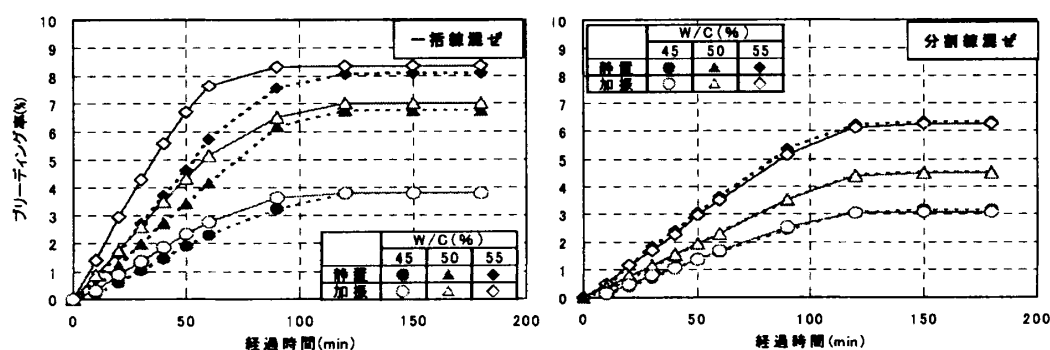


図-8 振動を受けたモルタルのブリーディングに及ぼす分割練混ぜの効果
(陸砂；S/C=2.7)

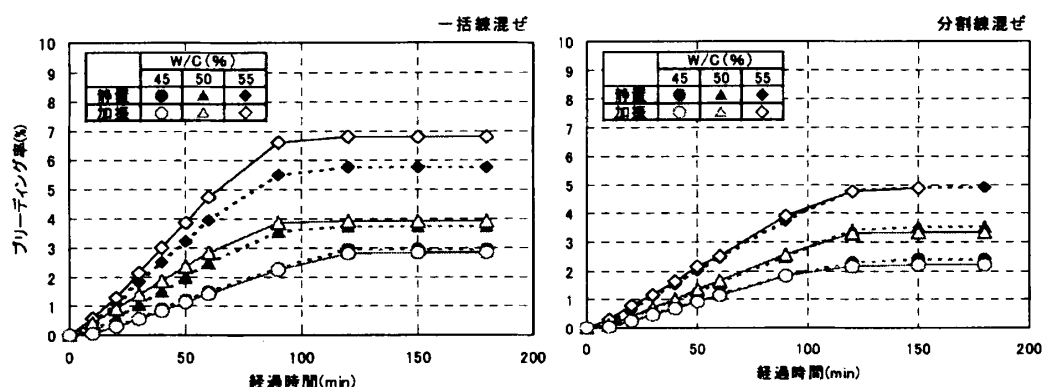


図-9 振動を受けたモルタルのブリーディングに及ぼす分割練混ぜの効果
(砕砂；S/C=2.5)

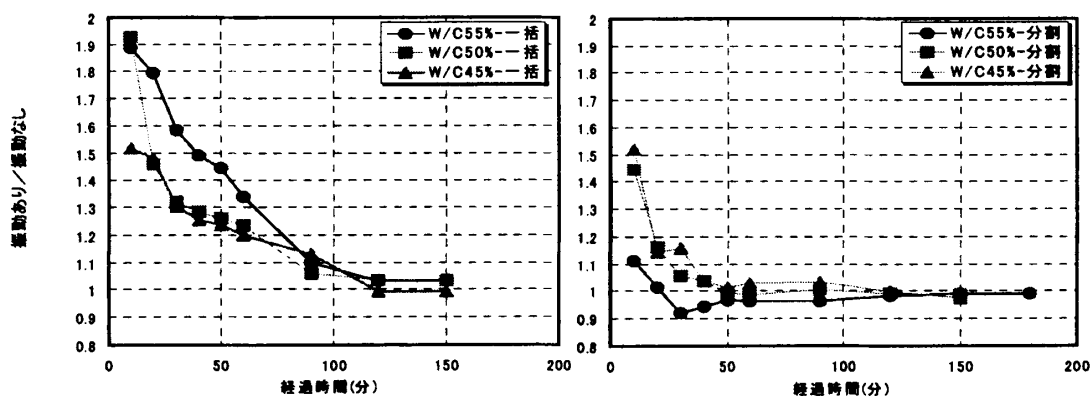


図-10 振動によるブリーディングの増加分の経時変化 (陸砂；S/C=2.7)

動締固め作業を経ても一括練混ぜによるものと比較して、強度や耐久性が改善されること知られている¹⁰⁾ことから、分割練混ぜの効果発現は振動によって阻害されないことが推察される。

3.3 振動を受けたモルタルのブリーディング率

振動締固めの履歴を受けたモルタルのブリーディング率に及ぼす分割練混ぜの効果について、水セメント比が45～55%のモルタルを対象

に検討を行った。測定結果を表-5に示す。また、代表的なブリーディングの経時変化を図-8および図-9に示す。

水セメント比が大きいモルタルの方が、砕砂に比べて陸砂を用いたモルタルの方が、それぞれ大きなブリーディング率を示すのは既往の研究⁷⁾と同様であった。一括練混ぜの場合は、打込み直後に振動を付与することにより、無振動

の場合と比較して初期のブリーディング率の上昇が著しくなり、かつ終局のブリーディング率が増加する傾向にあった。一方、分割練混ぜの場合にはほとんどこの現象は認められなかった。すなわち、本実験で設定した配合において、分割練混ぜによって製造されたモルタルは、ブリーディング率に及ぼす振動の影響を受けにくいことが確認された。したがってこの結果は、分割練混ぜによるブリーディング率の低減効果が、静置時に比べ実際の施工時（加振時）において、より大きくなることを示唆するものである。

一般にコンクリートに振動締固めを付与すると、静置状態に較べて初期のブリーディング率が増大する。終局ブリーディング率の低減は、コンクリートの品質向上に有効であるのは周知であるが、振動締固めによるブリーディング率増大を抑制することも、同様に品質の向上に有効であるといえる。

本研究により、分割練混ぜによって振動締固めによるコンクリートのブリーディング率増大を抑制する効果が確認された。これによってコンクリートの品質向上に供する分割練混ぜの新たな有用性が見いだされた。

4. まとめ

モルタルのフレッシュ性状に及ぼす分割練混ぜの効果ならびに加振の影響について実験した結果、以下の知見を得た。

- (1) 分割練混ぜによって製造したモルタルの塑性粘度は、一括練混ぜによるものと比べて同等以下に低減され、その効果は振動下においても維持される。
- (2) 分割練混ぜによって製造したモルタルの方が、振動下の漏斗流下時間が早くなる。
- (3) 分割練混ぜによって製造されたモルタルは、ブリーディング率に及ぼす振動の影響を受けにくい。
- (4) 分割練混ぜによるブリーディング率の低減効果は、静置時に比べ加振時において、より大きくなる。

参考文献

- 1) 土木研究センター：性能向上のために分割練り混ぜをしたコンクリート「SEC コンクリート」, 2003.
- 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，No.16, 1983
- 3) Safawi, M, I ほか：The Influence of Flowability and Viscosity in Vibration of High Fluidity Mortar,第56回セメント技術大会講演要旨, 2002
- 4) 伊達重之ほか：モルタルのフレッシュ性状に及ぼすシリカフュームの添加効果，土木学会年次学術講演会概要集（CD-ROM），Vol.57, 部門5, page.V-739, 2002
- 5) 末岡英二ほか：充填コンクリートのブリーディングと沈下に関する一考察，土木学会年次学術講演会概要集第5部, Vol.55, pp.470-471, 2000
- 6) 星野政幸ほか：コンクリートの粗骨材周辺部硬化ペーストの強度に関する研究，セメント・コンクリート論文集, No.50, pp.180-185, 1996
- 7) 伊達重之ほか：モルタルの粘性に及ぼす分割練混ぜの効果，コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.615-620, 2005
- 8) 伊達重之ほか：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，コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.615-620, 2004
- 9) 辻幸和ほか：遠心力を利用した細骨材の保水試験方法，土木学会論文集, No.384, pp.103-109, 1987
- 10) 室賀陽一郎ほか：モルタルの粘性評価試験装置の開発，土木学会年次学術講演概要集（CD-ROM），Vol.55, V-406, 2000
- 11) 園田直志ほか：SEC 湿式吹付システムと新規セメントを用いた高強度・高品質吹付コンクリートの実用化試験報告，土木学会年次学術講演概要集第3部, Vol.52, pp.126-127, 1997