

論文 各種混和材を用いた硬練りモルタルの振動条件下における流動性に関する研究

小島 明^{*1}・堂園昭人^{*2}・藤原浩巳^{*3}・富田六郎^{*4}

要旨：本報告は、振動条件下における硬練りコンクリートの流動性に及ぼす各種混和材の効果について研究を行う一環として、振動条件下におけるモルタルの流動性向上に効果的な混和材料の粒子形状およびセメントを含めた粉体の粒度分布について検討を行ったものである。その結果、振動条件下のモルタルの流動性向上には、粒子形状が真円に近い混和材を用いることと、高炉スラグ微粉末および粗粉材料を組み合わせることが効果的であることがわかった。この結果をもとに、振動条件下のモルタルの流動性を増加させる材料の組合せを選定した。

キーワード：モルタル，流動性，混和材，粒子形状，振動フロー，拘束水量，粒度分布

1. はじめに

即時脱型製品等に用いられている硬練りコンクリートは、単位水量が少量であるために流動性が悪く、即時脱型後の充填性、表面仕上り性に問題が生じやすい。また、充填性や表面性状を改善しようとする、若干軟らかめのコンクリートとしなければならず、脱型後の保形性が低下する。この問題を解決するためには、振動条件下においてコンクリートが高い流動性を有し、振動停止後においてはゼロランプ状態に戻る(チクソトロピー性状)ことが必要となる。本報告は、このようなコンクリートを達成するための研究の一環として、振動条件下におけるモルタルの流動性を向上させるための材料条件について検討を行ったものである。[1]

2. 実験 I：混和材粒子形状が振動条件下のモルタルの流動性に及ぼす影響の評価実験

2.1 目的

混和材料の粒子形状が振動条件下におけるモルタルの流動性に及ぼす影響について検討を行い、流動性の増加に効果的な最適粒子形状について検討を行った。

2.2 実験概要

2.2.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント(比重：3.15, ブレン値：3530cm²/g)、細骨材は青梅産硬質砂岩系砕砂(比重：2.60, 粗粒率：2.60)、混和剤は高性能減水剤(以下 S P、β-ナフタリンスルホン酸系)を用いた。また、混和材には、表-1 に示す粒子形状の異なる 7 種類を用いた。

*1 日本セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部、(正会員)

*2 日本セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部、工修(正会員)

*3 日本セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部 副主任研究員、工博(正会員)

*4 日本セメント(株) 中央研究所 セメント・コンクリート研究部 主席研究員、工博(正会員)

表-1 混和材の特性[2]

混和材種類	比重	ブレーン値 (cm^2/g)	結晶形態	平均粒径 (μm)
珪石微粉末	2.68	3370	六方晶系	14
高炉スラグ微粉末	2.90	7020	単斜、正方、斜方、三斜晶系	4
フライアッシュ	2.26	2810	球状	20
炭酸カルシウム	2.70	5920	六方晶系	7
ワラストナイトA	2.91	1760	三斜晶系	21
ワラストナイトC	2.91	5210	三斜晶系	10
カオリン	2.56	17460	三斜晶系、六角板状	4

2.2.2 モルタルの配合条件

一般的な硬練りコンクリートの配合をもとに、本実験に用いるモルタルの配合条件として、単位粉体容積を $184.8(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、S P 添加率を粉体重量比 1.2%、空気量を 0% とした。また、拘束水比の考え方 [3] より練上がり時のモルタル 0 打フロー値が 100mm となる水量(以下、拘束水量)を選定した。各粉体に含まれる混和材の容積は、全粉体容積に対する割合を 5、10 および 30% の 3 水準とした。

2.2.3 測定項目

(1) 混和材料の円形度

各混和材料の粒子形状を定量的に把握するため、電子顕微鏡により撮影した混和材料粒子の写真を画像処理し、粒子の円形度 ($4\pi \text{面積} / \text{周囲長}^2$) を測定した。なお、円形度とは、1 に近いほど真円に近づく係数である。

(2) モルタルの拘束水量

JIS R 5201 に準じた方法で求めた落下運動を加える前のフロー値を 0 打フローとし、この 0 打フローが 100mm となる水量を拘束水量として求めた。求め方は 4 水準の水量のモルタルの 0 打フローを求め、その結果より近似式を求めて 0 打フローが 100mm となる水量を算出したものである。

(3) 振動フロー

図-1 に示す振動フロー試験機を用い、0 打フロー100mm のモルタルに回転数 5500rpm、振動時間 5 秒間の条件で振動を加え、振動停止後のフローを振動フローとし測定した。

2.3 実験結果および考察

各混和材料の円形度を表-2 に示す。この結果、フライアッシュが最も真球に近く、ワラストナイトA が最も円形度が小さいことがわかった。また、図-2 に拘束水量、図-3 に各混和材料を混和したモルタルの振動フローを示す。拘束水量は円形度が高くなるに従い少なくなる傾向が認められる。振動によるモルタルの流動性向上に効果的な混和材料の条件として、無混和の場合よりも、①拘束水量が少なく②振動後のフロー値が大きいこと、が挙げられる。これらの観点から、フライアッ

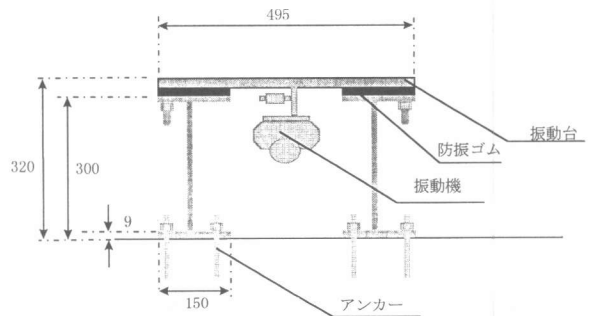


図-1 振動フロー試験機 (単位: mm)

表-2 各材料の円形度

珪石微粉末	0.71
高炉スラグ微粉末	0.70
フライアッシュ	0.91
炭酸カルシウム	0.69
ワラストナイトA	0.55
ワラストナイトC	0.59
カオリン	0.63

シュを混和したモルタルは、その混和率が増加するに伴い拘束水量は減少し、なおかつ振動後のフロー値は増加していることが認められる。したがって、円形度の高い混和材はボールベアリング効果により、モルタルの流動性改善に効果的であると考えられる。

各実験において得られた結果をもとに、説明変数を混和材の円形度、平均粒径および混和材混和率、目的変数を振動フローとした重回帰分析を行った。その結果、円形度のみが有意な要因となった。図-4に円形度と振動フローの関係を示す。これより、粒子形状の円形度が高くなるに伴い、振動フローが大きくなる傾向が確認された。

2.4 実験 I のまとめ

混和材料の粒子形状と振動フローおよび拘束水量との関連について解析を行った結果、各材料の粒子の円形度が高くなる(粒子が円に近づく)に伴い、振動フローは大きくなり、拘束水量は少なくなる傾向を示した。

以上より、振動条件下におけるモルタルの流動性を増加させるには、フライアッシュのような粒子形状が球形の材料を混和するのが効果的であると判断された。

3. 実験 II : 粉体の粒度分布が振動下のモルタルの流動性に及ぼす影響の評価実験

3.1 目的

実験 I で混和材料の粒子形状が振動条件下のモルタルの流動性に及ぼす影響について検討を行った。本実験では、セメントを含めた粉体の粒度分布が振動条件下におけるモルタルの流動性に及ぼす影響について検討を行い、その向上に効果的な粒度分布を明らかにすることを目的に行った。

3.2 実験概要

3.2.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント(比重: 3.15, プレーン値: 3530cm²/g)、細骨材は青梅産硬質砂岩系砕砂(比重: 2.60, 粗粒率: 2.60)、混和剤は高性能減水剤(β -ナフタリンスルホン酸系)を使用した。本実験で使用した混和材を表-3に示す。

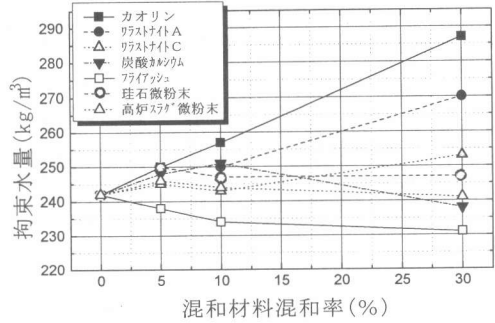


図-2 混和材混和率と拘束水量の関係

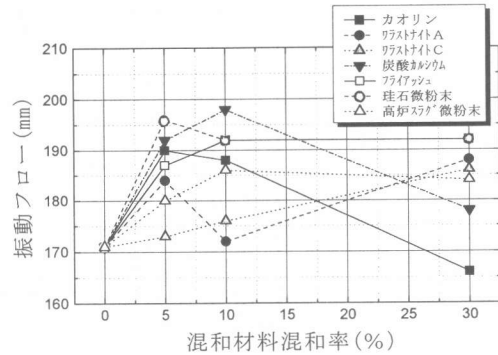


図-3 混和材混和率と振動フローの関係

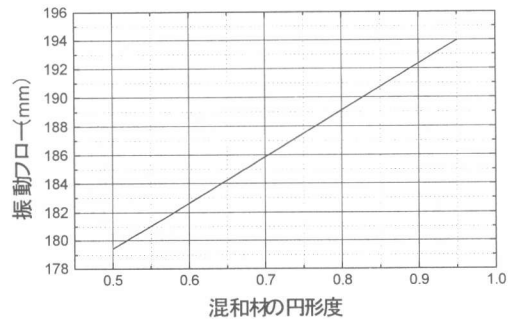


図-4 円形度と振動フローの関係

3.2.2 モルタルの配合条件

モルタルの配合条件は単位粉体容積を $184.8(\text{l}/\text{m}^3)$ とし、SP添加率を 0.8、1.2 および 1.5% の 3 水準とした。また、表-4 に粉体の構成、図-5 および 6 に各粉体の粒度分布を示す。

3.2.3 測定項目

- (1) 拘束水量
- (2) 振動フロー
- (3) 粉体のタッピング

グ充填率
 パウダーテスターを用い、各粉体(配合1～10)を500回タッピングさせた後、容積および重量測定し充填率を算出した。[4]

表-3 混和材

混和材料	比重	ブレン値 (cm^2/g)	平均粒径 (μm)
高炉スラグ微粉末	2.90	7020	4
シリヒューム	2.21	200000	0.15
N P 珪砂粉砕品 A	2.30	1060	71
N P 珪砂粉砕品 B	2.30	1550	59

表-4 粉体の構成

配合	全粉体容積に対する割合(%)					タッピング 充填率 (%)
	セメント	高炉スラグ 微粉末	シリヒューム	珪砂 A	珪砂 B	
1	80	20	---	---	---	52.4
2	64	16	---	20	---	57.6
3	72	18	---	10	---	54.6
4	60	30	10	---	---	46.3
5	48	24	8	20	---	51.1
6	54	27	9	10	---	48.2
7	64	16	---	---	20	57.3
8	72	18	---	---	10	55.0
9	48	24	8	---	20	51.2
10	54	27	9	---	10	48.7

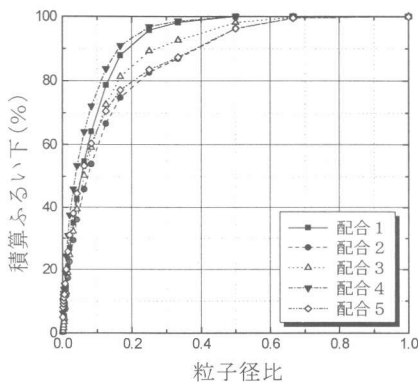


図-5 粉体の粒度分布(配合1～5)

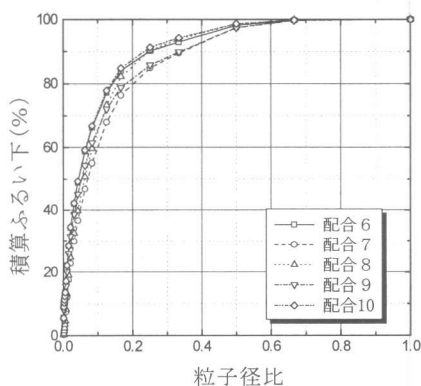


図-6 粉体の粒度分布(配合6～10)

3.3 実験結果および考察

各粉体配合を用いたモルタルの拘束水量を図-7、振動フローを図-8に示す。また、表-4に各粉体のタッピング充填率を示す。これら結果より、配号2および7の粉体を用いたモルタルの振動フローは、他配合のモルタルと比較して大きくなり、拘束水量は少なかった。また、各粉体のタッピング充填率と拘束水量の関係、および振動フローとの関係を図-9 および 10 に示す。タッピング充填率の増加に伴い、振動フローは増加し、拘束水量は減少する傾向を示した。したがって、粉体の充填率を高める混和材料が振動条件下のモルタルの流動性向上に効果的であることがわかった。

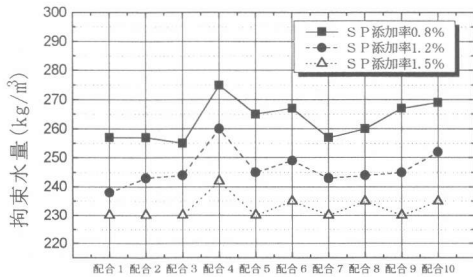


図-7 各粉体の拘束水量

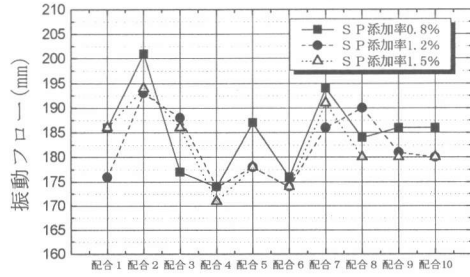


図-8 各粉体の振動フロー

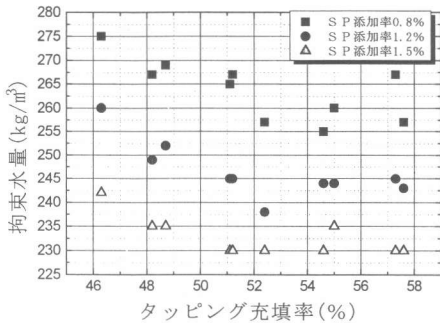


図-9 タッピング充填率と拘束水量の関係

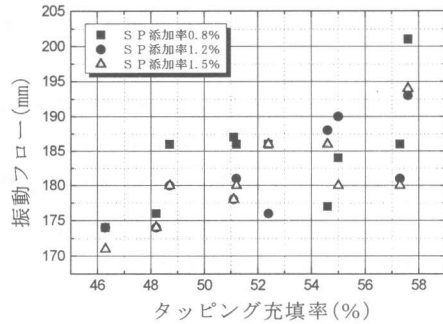


図-10 タッピング充填率と振動フローの関係

4. 実験Ⅲ：最適な材料の組合せおよび組成割合の選定

4.1 目的

実験Ⅱの結果より、最適粒度分布と選定された粉体の配合2をベースとして、セメントの一部を実験Ⅰで選定された最適粒子形状を持つ混和材料(フライッシュ)で置換した時の振動条件下におけるモルタルの流動性への影響を確認し、その改善に効果的な最適な材料の組合せおよび組成割合材料を選定した。

4.2 実験概要

4.2.1 使用材料

セメント、細骨材、混和材および高性能減

水剤は、前述の普通ポルトランドセメント、は青梅産硬質砂岩系砕砂、高炉スラグ微粉末、N P珪砂粉砕品A、フライアッシュおよびβ-ナフタリンスルホン酸系を使用した。

4.2.2 モルタルの配合

モルタルの配合条件は、単位粉体容積 184.8 (kg/m³)とし、混和剤添加率は全粉体重量に対して1.2%とした。粉体の配合を表-5に示す。

表-5 粉体の配合

配合	全粉体容積に対する割合 (%)				タッピング充填率 (%)
	セメント	高炉スラグ微粉末	フライアッシュ	珪砂粉砕品	
非置換	64	16	---	20	57.6
5%置換	59	16	5	20	58.2
10%置換	54	16	10	20	58.6
20%置換	44	16	20	20	59.9
30%置換	34	16	30	20	60.9

4.2.3 測定項目

- (1) 拘束水量
- (2) 振動フロー
- (3) 各粉体のタッピング充填率

4.3 実験結果

フライアッシュ添加率と拘束水量との関係、および振動フローとの関係を図-11 および 12 に示す。また、タッピング充填率の測定結果を表-5 に示す。フライアッシュの添加率が多くなると、振動フローは微少であるが增加し、拘束水量は大幅に減少する傾向にあった。

図-13 および 14 にタッピング充填率と拘束水量との関係、およびタッピング充填率と振動フローとの関係を示す。フライアッシュ添加率の増加に伴いタッピング充填率は増加し、それに伴い振動フローは増加し、拘束水量は減少した。

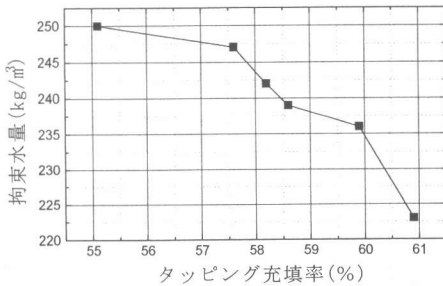


図-13 タッピング充填率と拘束水量の関係

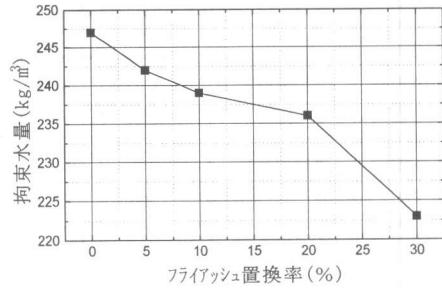


図-11 フライアッシュ添加率と拘束水量の関係

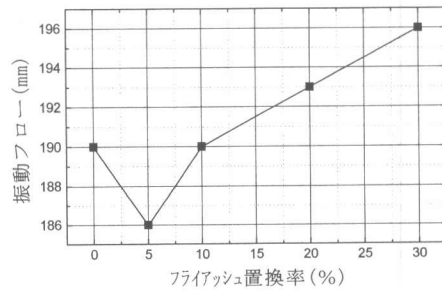


図-12 フライアッシュ添加率と振動フローの関係

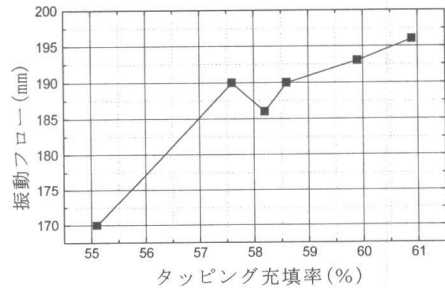


図-14 タッピング充填率と振動フローの関係

5. 結論

混和材の粒子形状が真円に近いほど、粉体自体の充填率が高いほど振動条件下におけるモルタルの流動性は増加し、拘束水量は減少する傾向が認められた。本実験では、真円に近い粒子形状を持つフライアッシュと、粉体全体の充填性を良好とするブレン1000cm²/g 程度の珪砂粉砕品と高炉スラグ微粉末を組み合わせることで、流動性は増加し、拘束水量は減少することがわかった。

参考文献

- [1] 和見広喜, 笠井 浩, 柳田克巳, 亀田泰弘: 回転翼型粘度計による高強度コンクリートの流動特性値測定方法に関する実験的研究、コンクリート工学論文集、第1巻、第1号、pp. 133-141、1990. 1
- [2] (社)日本粉体工業技術協会、粉体工学会: 粉体物性図説、日経技術図書、pp. 195-299、1985. 12
- [3] 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅: ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、pp. 172-176、1993. 9
- [4] 横山藤平, 浦山清: 粉体工学研究会誌、6、pp. 264、1964