

# 論文 自己充填コンクリート中の粗骨材・モルタル粒子間相互作用の簡易評価法

大内 雅博<sup>\*1</sup>・枝松 良展<sup>\*2</sup>・小澤 一雅<sup>\*3</sup>・岡村 甫<sup>\*4</sup>

**要旨**：フレッシュコンクリートが変形する際の粗骨材・モルタル構成粒子間相互作用によるモルタルの変形性の減少度合いを評価する簡易試験法を開発した。模擬粗骨材の有無によるモルタルのロート速度の比較を行い，相互作用の程度を定量評価する。模擬粗骨材混入／無混入ロート速度比を，モルタル自身の変形性・粘性とは独立した，コンクリート中の粗骨材・モルタル構成粒子間相互作用の指標として提案した。本指標がコンクリートの自己充填性試験による細骨材容積比の評価の代用となり得ることを実験により確認した。  
**キーワード**：自己充填コンクリート，フレッシュモルタル，粒子間相互作用，ロート試験

## 1. はじめに

### 1.1 既存のモルタル試験の限界

フレッシュコンクリートの自己充填性は使用材料および配合に大きく影響されるため，決定した配合について実際にコンクリートを練混ぜ，その配合を自己充填性試験により評価することが必要である。その際，試験を省力化するために，岡村らはモルタルのフロー試験やロート試験を用いることを提案した。コンクリートに適切な自己充填性を付与するための水粉体比と高性能 AE 減水剤添加量の目安を，モルタルの適切な相対フロー面積比  $\Gamma_m$  と相対ロート速度比  $R_m$  とに対応させることにより得るものである(図-1, 2)<sup>1)</sup>。

しかし，モルタルの使用材料の種類または細骨材容積比が異なれば，たとえ粗骨材の物理的特性および粗骨材量が同一であっても，モルタルとコンクリートの性状が一對一に対応しないことが報告されている<sup>2)</sup>。フレッシュコンクリートの自己充填性は，フロー試験やロート試験で評価可能なモルタル自身の変形性と粘性のみならず，粗骨材とモルタル構成粒子間との相互作用にも大きく影響される。この相互作用の度合いは，たとえ粗骨材の特性と量が同一であっても，粉体や細骨材の物理的特性および細骨材容積比にも影響されるが，モルタル単体の試験のみからでは評価不可能である。

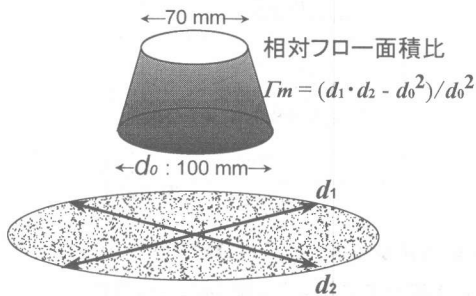


図-1 モルタル用フロー試験と指標  $\Gamma_m$

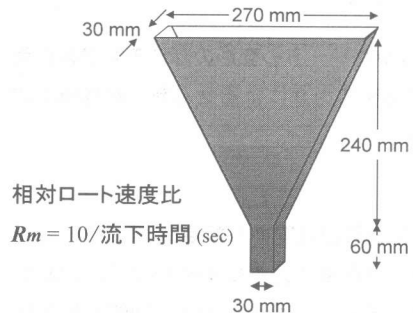


図-2 モルタル用ロート試験と指標  $R_m$

<sup>\*1</sup> 高知工科大学専任講師 工学部 社会システム工学科 博士(工学) (正会員)  
<sup>\*2</sup> 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究員 博士(工学) (正会員)  
<sup>\*3</sup> 建設省 土木研究所 建設マネジメント技術研究センター 主任研究員 工博 (正会員)  
<sup>\*4</sup> 東京大学教授 大学院工学系研究科 社会基盤工学専攻 工博 (正会員)

### 1.2 粗骨材・モルタル構成粒子間相互作用

粉体・細骨材粒子の物理的特性およびモルタル中の細骨材容積比の違いによる粗骨材・モルタル構成粒子間の相互作用に及ぼす影響は、コンクリートが狭い間隙を通過するために変形する際に顕著となる。コンクリートが変形する際にはモルタル相の変形が必要であるが、同時に粗骨材粒子どうしの接近を伴う。その際、モルタルに発生する直応力 $\sigma$ がモルタルのせん断変形抵抗性 $\tau$ を増加させる(図-3)。その度合いが、モルタル構成粒子の特性と細骨材容積比に影響される。細骨材容積比が大きい程、また、粉体や細骨材の粒形が悪い程、モルタルのせん断変形抵抗性の増加、すなわち変形性の減少の程度が大きいことが報告されている<sup>3)</sup>。

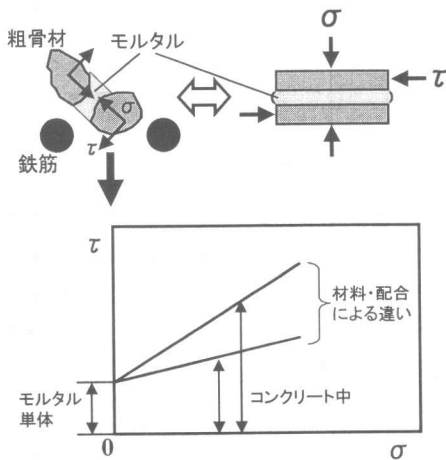


図-3 コンクリートの変形の際にモルタルに発生する直応力 $\sigma$ によるせん断変形抵抗 $\tau$ の増加

### 1.3 簡易評価法開発の意義

直応力の作用によるモルタルのせん断変形性の減少は粗骨材とモルタルとの動的な相互作用であり、モルタルのみの試験から評価することは不可能である。任意の粉体・細骨材を用いた場合、現状では、設定したモルタル中の細骨材容積比の妥当性を、コンクリート試験によって検証する必要がある。

しかし、自己充填コンクリートの配合設計に際しての時間を軽減する立場からは、簡易な試験から評価可能であることが望ましい。今後、コンクリートの使用材料はますます多様化するものと予想されるからである。特に、近年必要性が高まっているリサイクル等、資源の有効利用の観点から規格外材料の利用を促進する必要がある。従って、自己充填コンクリートについては、より広い範囲の性状の材料に適用可能な配合設計法の開発が望まれている。そこで、なるべく試験練りの手間の少ない配合設計法を確立する必要がある。

この観点から、モルタルを構成する粒子について、粗骨材との相互作用を簡単な試験から定量評価する方法を開発することとした。

## 2. 簡易評価法の構築

### 2.1 位置付け

今回構築する評価法は、任意の粉体・細骨材を用いて自己充填コンクリート用モルタルの細骨材容積比を設定した上で用いるものである。決定した配合のモルタルについて試験を行い定量的に評価し、設定した細骨材容積比の妥当性を評価することを目的としている(図-4)。

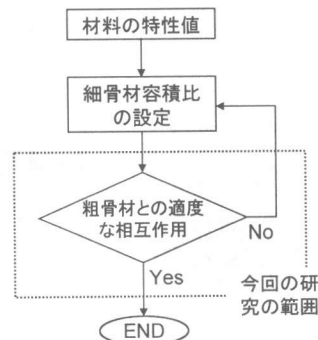


図-4 モルタル中の細骨材容積比決定のプロセスと本研究で構築する評価法の位置付け

最終的には、粉体・細骨材個々の材料特性値からモルタルの適切な細骨材容積比を推定する方法を構築することが必要であるが、今回はその第一段階として、実験による評価手法を構築

することとした。

## 2.2 簡易評価法の概要

小澤・永元は、二種類の細骨材容積比(40%と49%)のモルタルと、同じ配合のモルタル相を有するコンクリート(粗骨材量はすべて実積容積に対して50%)について、フロー面積( $\Gamma_m$ と $\Gamma_c$ )とロート流下速度( $R_m$ と $R_c$ )を比較した(図-5, 6)<sup>3)</sup>。細骨材容積比が大きくなるほど、同じコンクリートのフロー面積・ロート速度を得るのに必要なモルタルのフロー面積やロート速度が大きいことが示されている。

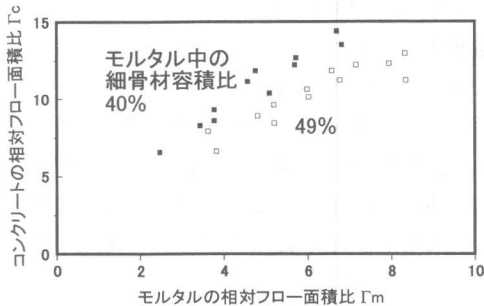


図-5 モルタルとコンクリートのフローの比較

$$\Gamma_c = ((\text{スランプフロー値}(\text{cm}))^2 - 400) / 400$$

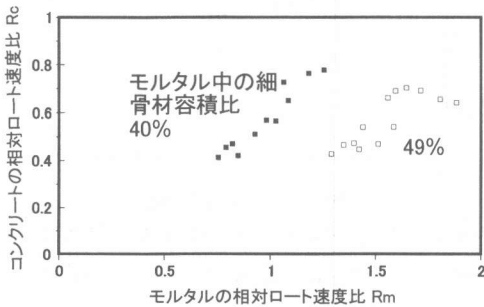


図-6 モルタルとコンクリートのロート速度の比較 (V65 ロート,  $R_c=10/\text{流下時間}(\text{秒})$ )

そこで、粉体・細骨材の種類または細骨材容積比の違いが粗骨材との相互作用によるせん断変形性の減少度合いの程度に及ぼす影響を、モルタルとコンクリートの試験結果を比較することで定量的に評価が可能であると考えた。特にロート試験は、流れが狭められることにより相互作用の影響が顕著となるため、今回構築する

試験方法にとって有用である。

粗骨材・モルタル構成粒子間相互作用は双方の特性により決定されるが、各々の特性を独立して評価することが、使用材料個々の特性値から配合を決定可能な方法を構築する観点から必要である。モルタルを評価する際には、一定品質の粗骨材を用いることによる手段の共通化が望ましい。そこで、粗骨材として、ガラスビーズを用いることとした。対象とするモルタルのロート流下速度と、模擬粗骨材としてガラスビーズを混入したモルタルのロート流下速度とを比較する(図-7)。混入した模擬粗骨材によるロート速度の減少度合いが大きいほど、粗骨材とモルタル構成粒子間の相互作用が大きく、コンクリート変形時のモルタル相の変形性の減少度合いが大きいということになる。

本方式は、実質的にコンクリート試験を行っているが、試験に要する手間はモルタル試験と大差ないという利点も有している。

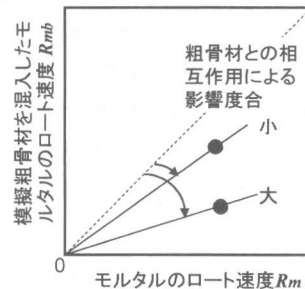


図-7 今回構築する評価方法の概念 (模擬粗骨材を混入して減少したモルタルロート速度  $R_{mb}$  を、無混入のロート速度  $R_m$  と比較することにより定量評価する)

## 3. 評価方法の詳細の決定

### 3.1 既存のモルタル用ロートを利用

試験器としては、既存の自己充填コンクリート用モルタルロート(図-2)を用いることとした。高性能 AE 減水剤添加量・水粉体比を調整する際に、設定した細骨材容積比の評価も同時に可能となり、配合設計の手間の効率化につなげるためである。

なお、模擬粗骨材混入試料の調整は、一度ロート試験を行ったモルタルにガラスビーズを混入することにより行うこととした。同じ配合のモルタルを二回練混ぜることによる、計量誤差等により同じモルタルとなり得ない可能性を考慮したためである。

### 3.2 評価指標としてロート速度の比を採用

相互作用は、モルタル自身の変形性または粘性とは独立して評価する必要がある。実験の手間を考慮すると、任意の変形性や粘性のモルタルから評価可能であることが望ましいからである。

図-6より、粗骨材の種類と量が同一であれば、変形性や粘性に関わらず、コンクリートとモルタルのロート速度の比がほぼモルタル構成粒子の物理的特性のみで決定されるものと考えた。そこで、ガラスビーズを混入したモルタルの相対ロート速度比( $Rmb$ )と混入しないモルタルの相対ロート速度比( $Rm$ )の比を、変形性や粘性とはほぼ独立した、粗骨材との相互作用の程度を表す指標と定義した。以下、 $Rmb/Rm$ と表す。 $Rmb/Rm$ の値が大きいほど粗骨材との相互作用が小さいためモルタルのせん断変形性の減少度合いが小さく、 $Rmb/Rm$ の値が小さいほど粗骨材との相互作用が大きいためモルタルのせん断変形性の減少度合いが大きいことを示す。

以下に、本指標の定義の妥当性および適用範囲について検討した。

### 3.3 粒径 10 mm のガラスビーズを使用

実際にコンクリートに使用される粗骨材の粒径は概ね 5~20 mm の範囲内に分布しているが、今回構築する試験法では、試験の手間を考慮し、単粒度のガラスビーズを模擬粗骨材として使用することとした。

ここで、使用するモルタル用ロートの厚さが 30 mm である。閉塞の危険性を考慮し、ガラスビーズの粒径は 15 mm 以下が望ましいと考えた。そこで、粒径 10 mm のガラスビーズを模擬粗骨材として使用することとした。

### 3.4 ガラスビーズ混入率を 20% に決定

モルタル中のガラスビーズ混入量が大きいとロート速度がモルタルの性状に敏感に反応するが、モルタルの性状によっては流下せずに閉塞する可能性がある。一方、混入量が小さい場合、閉塞の危険性は小さく、幅広い性状のモルタルがロートを流下し測定可能であるが、モルタル特性の変化に対して測定値が鈍感となる可能性がある。そこで、今回構築する試験方法の目的が、自己充填コンクリート用モルタルの細骨材容積比の妥当性を検証することであることに鑑み、細骨材容積比 40%+10%程度まではモルタルが安定してロートを流下するようなビーズ混入率の最大値を採用することとした。

最初に、自己充填コンクリート用モルタルとして推奨されている細骨材容積比 40%のモルタルについて、ガラスビーズ混入率を変化させ、 $Rmb/Rm$ を求めた(図-8)。その結果、混入率(モルタル中の体積割合)30%では必ず閉塞した。閉塞からの余裕を見込むと、混入率 20%程度が妥当であると判断した。

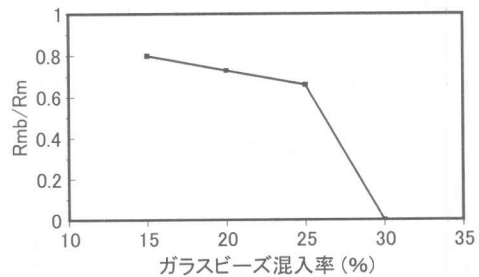


図-8 ガラスビーズ混入率(モルタル中体積割合)と  $Rmb/Rm$  との関係(ガラスビーズ粒径 10mm, 普通ポルトランドセメント+川砂使用,  $Im = 3 \sim 5$ ,  $Rm = 1.4$ , 細骨材容積比 40%)

次に、ガラスビーズ混入率を 20%に固定し、モルタル中の細骨材容積比を 40%から徐々に増やして試験を行い、混入率 20%の妥当性を検証した。その結果、適切な細骨材容積比を大きく越えた 55%でも、測定可能であることが分かった。また、粗骨材との相互作用が比較的大きい砕砂を用いた場合でも、細骨材容積比 50%のモ

ルタルについて、ロートを安定して流下可能であることが分かった。

以上から、モルタル中のガラスビーズ(粒径 10 mm)混入率を 20%と決定した。

### 3.5 評価法の適用範囲

$Rmb/Rm$  をモルタル自身の変形性・粘性とは独立した値と見なすことが可能な範囲を確認するため、 $\Gamma_m$ 、 $R_m$  と  $Rmb/Rm$  との関係を実験により求め、検討した(図-9)。なお、同じ材料を用いた細骨材容積比 50%のモルタルでも同様の傾向を示していることを確認した。

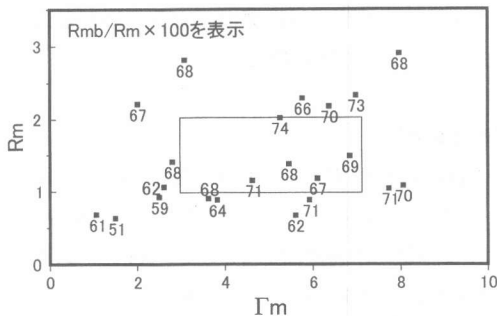


図-9 モルタル自身の変形性・粘性と  $Rmb/Rm$  との関係(普通ポルトランドセメント+川砂, 細骨材容積比 40%)

ここに、自己充填コンクリート用モルタルとして推奨されている  $(\Gamma_m, R_m) = (5, 1)$  近辺での  $Rmb/Rm$  (=約 0.7) と同一と見なすことの可能な範囲を、 $\Gamma_m = 3 \sim 7$ 、 $R_m = 1 \sim 2$  と設定した。この範囲は、自己充填コンクリート用として利用可能なモルタルの変形性・粘性の範囲とほぼ一致している<sup>2)</sup>。

なお、 $\Gamma_m$  と  $R_m$  の下限値は、ガラスビーズの混入によるロート速度の大幅な低下を避け得る範囲から、 $\Gamma_m$  の上限値はガラスビーズ沈降の防止を、 $R_m$  の上限値は流下時間の測定精度(小さすぎないこと)を考慮して決定したものである。ただし、使用材料・細骨材容積比によっては、この範囲であっても、試験に際してガラスビーズの沈降に留意する必要がある。

## 4. 実験による検証

### 4.1 モルタルの評価

様々な物理的特性を持つ粉体(OPC:普通ポルトランドセメント, FA:フライアッシュ)および細骨材(川砂, 砕砂, 陸砂)を使用し、細骨材容積比を変化させ、モルタルの  $Rmb/Rm$  を実験により求めた(図-10)。

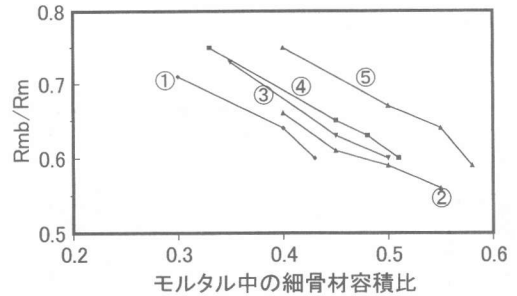


図-10 粉体・細骨材特性と細骨材容積比の違いと  $Rmb/Rm$  との関係(①OPC+砕砂, ②FA+砕砂, ③FA+川砂, ④OPC+川砂, ⑤OPC+陸砂)

細骨材容積比の大小が  $Rmb/Rm$  の値に反映されている。また、同じ細骨材容積比で比較すると、材料特性による  $Rmb/Rm$  の値の差が明確に示されている。モルタル構成粒子の特性や細骨材容積比粗骨材との相互作用に及ぼす影響の度合いが、本試験方法により定量的に評価可能であることが示されたものと考えられる。

### 4.2 コンクリート実験による検証

これまでに設定した試験条件および得られる  $Rmb/Rm$  の妥当性を検証するため、4.1 で使用したモルタルと同じ固体粒子成分を有するモルタル相を有するコンクリート(粗骨材量は実積容積に対して 50%)の自己充填性(ボックス試験上昇高さ)との関係を求めた。水粉体比および高性能 AE 減水剤添加量を調整することによりモルタル相に適切な変形性と粘性を付与し、粗骨材・モルタル構成粒子間相互作用の度合いの違いがボックス試験上昇高さの違いとなって現れることを意図したものである。

実験の結果、使用材料・細骨材容積比にかか

ならず、 $Rmb/Rm$  とボックス試験器上昇高さ(障害物  $R_1$ : D10×5 本)との間には高い相関関係が認められた(図-11)。従って、設定したモルタル中の細骨材容積比の妥当性を検証することについては、今回考案した試験方法にて  $Rmb/Rm$  を求めることにより、ボックス試験に代表されるコンクリートの自己充填性評価試験を省略することが可能であることが示されたものと考えられる。

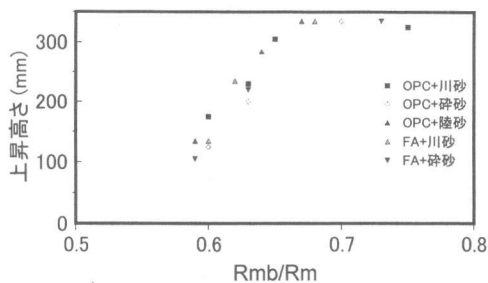


図-11 材料・細骨材容積比を変化させたモルタルの  $Rmb/Rm$  とコンクリートの自己充填性との関係(障害物  $R_1$ : 異型鉄筋 D10×5 本)

### 5. 結論

本研究では、自己充填コンクリートの配合設計の手間を簡素化することを目的とし、コンクリートが変形する際の粗骨材とモルタルモルタル構成粒子間の相互作用を、模擬粗骨材を用いた簡易なモルタル試験から評価する方法を構築した。以下に結論を示す。

- (1) 自己充填コンクリートの配合設計用としては、既存のモルタル用ロートをを用いた場合、粒径 10 mm のガラスビーズをモルタル中に容積で 20%程度混入するのが適切であると判断し、相互作用の評価試験方法として決定した。
- (2) ガラスビーズ混入/無混入ロート速度の比  $Rmb/Rm$  を、粗骨材・モルタル構成粒子間相互作用の指標として定義した。 $Rmb/Rm$  はモルタル自身の変形性・粘性とはほぼ独立して、モルタル中の粉体・細骨材の物理的特性および細骨材容積比のみから決定されることが分か

った。

- (3) 粗骨材の特性および粗骨材量を一定とした場合、指標  $Rmb/Rm$  とコンクリートの自己充填性との間には極めて高い相関関係が認められた。今回構築した方法により、任意の材料を用いてモルタル中の細骨材容積比を設定する際、コンクリートの自己充填性試験によりその妥当性を検証する手間を省くことが可能であることが示された。

【謝辞】本研究に際し、住友大阪セメント(株) 安本礼持氏・西田直樹氏に御協力頂きました。また、(財)前田記念工学振興財団より御援助を頂きました。心より御礼申し上げます。

### 【参考文献】

- 1) 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，1993.9
- 2) 小澤一雅・永元直樹：モルタル特性とコンクリートの自己充填性，セメント・コンクリート論文集，No.49, pp.832-837, 1995.12
- 3) 枝松良展・安本礼持・水越陸視・長岡誠一：細骨材特性と自己充填性，自己充填コンクリートセミナー論文報告集，コンクリート技術シリーズ，No.19, pp.25-30, 1997.5

### 【使用材料】

粉体	比重	比表面積
普通ポルトランドセメント (OPC)	3.13	3,630 cm <sup>2</sup> /g
フライアッシュ (FA)	2.34	4,220

細骨材	比重	実積率(%)		粗粒率	吸水率
			粒形判定		
川砂	2.56	66.9	60.0	3.03	1.17
砕砂	2.67	68.1	54.9	2.45	1.04
陸砂	2.64	59.1	60.8	2.42	0.82

粗骨材：高槻産砕石，最大寸法 20 mm，比重 2.7，実積率 58.6%，粗粒率 6.87

模擬粗骨材：ガラスビーズ，比重 2.55，粒径 10 mm  
高性能 AE 減水剤：ポリエーテル系