

論文 自己充填コンクリート用モルタルの配合修正システム

大内 雅博*¹・土谷 正*²

要旨: コンクリートの自己充填性能を実現するためには、モルタルが所要の変形性と粘性の両方を有する必要がある。本研究では、最適な変形性と粘性のモルタルを実現するために、水/粉体比と高性能減水剤添加量の調整量を、試験練りしたモルタル試験結果から定量的に推定する方法の構築を目指し、水/粉体比と高性能減水剤添加量の変化がフロー面積とロート流下速度に及ぼす影響について、定量評価を行った。

キーワード: 自己充填コンクリート, フレッシュモルタル, 配合修正, 高性能減水剤

1. はじめに

1.1 研究の背景

フレッシュコンクリートが自己充填性能を得るためには、高い流動性と分離抵抗性が同時に要求される。自己充填性能は使用材料や環境条件の影響を大きく受ける。また、若材令や硬化後の高度な品質への要求から多様な材料が使用される可能性がある。普通コンクリートの配合設計法では対応が不可能であり、任意の材料から自己充填性能を実現する配合設計法の確立が必要である。

自己充填コンクリートの配合設計法の確立を目的とした既往の研究においては、まず、コンクリート中のモルタルについて、使用材料の特性から自己充填性能を実現するための大まかな配合を推定する。そして、得られた配合のモルタルについてフロー試験とロート試験を行い、目標となる最適なフロー値とロート速度とのずれから、配合中の水/粉体比と高性能減水剤添加量を調整することとしている[1]。しかし、これらの水/粉体比と高性能減水剤添加量の調整量を推定するには、現状ではある程度の技術と経験が要求されている。

1.2 本研究の位置づけ

本研究の最終的な目標は、与えられた配合のモルタルのフロー試験とロート試験の結果から、最適な性状のモルタルを実現するための水/粉体比と高性能減水剤添加量の調整量を推定するシステムの構築である。今回は、フレッシュモルタルの水/粉体比と高性能減水剤添加量の変化が変形性と粘性に及ぼす影響を、実験結果から定量的に把握した。その上で、最適な配合を得るための水/粉体比と高性能減水剤添加量の調整量の推定方法の概要を作成した。また、調整量の定量的な推定に当たって必要な値について、使用材料による違いの有無について検討した。

2. 配合修正システム作成のための前提条件

2.1 対象とするモルタル

自己充填コンクリート用モルタルの細骨材量は、粒径 0.09mm 以上の粒子がモルタル中に体積で 40% が適当であるとされている[1]。本研究においても、細骨材量をこの値に固定した。

2.2 モルタルの変形性と粘性の評価方法

自己充填コンクリートで使用されるモルタルは、所要の変形性と粘性が同時に実現されなけれ

*1 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻, 工修(正会員)

*2 (株)エヌエムビー 中央研究所 混和剤開発第2グループ (元東京大学受託研究員)

ばならない。フレッシュモルタルの変形性は落下衝撃を与えないフロー試験によって、また、粘性はロート流下試験を用いて評価することが提案されている[1]。これらの試験結果を用い、モルタルの変形性を表す指標として相対フロー面積 Γ_m が、粘性を表す指標として相対ロート速度比 R_m が定義されている。すなわち、

$$\Gamma_m = (F^2 - F_0^2) / F_0^2 \quad : F \text{ はモルタルのフロー値, } F_0 \text{ はフローコーンの直径.}$$

$$R_m = t / 10 \quad : t \text{ はロート流下時間(秒).}$$

である。

小澤・永元らは、粉体として中庸熟セメントを用い、粗粒細骨材が体積で40%を占めるモルタルを用いた、実積容積に対して50%の粗骨材量のコンクリートは、モルタルの(Γ_m, R_m)が(5, 1)の際に得られる自己充填性能が最も良いことを実験的に示した[2]。本研究においても、実現すべきモルタル性状の目標値を(Γ_m, R_m)=(5, 1)に設定する。

2.3 配合修正の手順

開発を目指す配合修正システムの概要を示す(図-1)。初期値としてのモルタル配合は、粉体や細骨材の材料特性から得られたものである[1]。この配合のモルタルのフロー・ロート試験より得られた(Γ_m, R_m)が、(5, 1)を中心とした許容範囲、すなわちモルタルの変形性と粘性が自己充填コンクリートを実現出来る範囲内に収まっていけば終了。収まっていなければ、(Γ_m, R_m)より水/粉体比と高性能減水剤添加量の修正量を推定する。以降、(Γ_m, R_m)が許容範囲に収まるまで水/粉体比と高性能減水剤添加量を調整し、モルタルの混練と試験を繰り返すものとする。

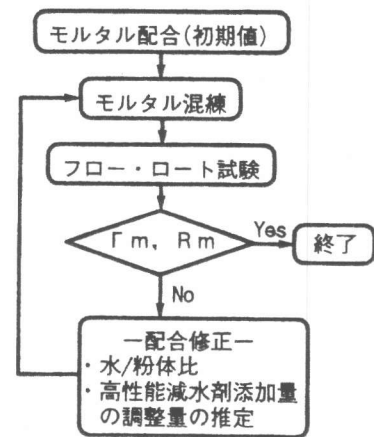


図-1 配合修正システムの全体像

3. 水/粉体比と高性能減水剤添加量を変化させたモルタルのフロー面積比とロート速度比

水/粉体比と高性能減水剤添加量がフレッシュモルタルの変形性と粘性に及ぼす影響を定量的に把握するため、一例として、高炉スラグ微粉末(比重2.9, プレーン値4,000cm²/g)、細骨材(富士川産川砂, 表乾比重2.58, 粗粒率2.92, 以下「細1」と呼称)を用い、高性能減水剤(ポリカルボン酸系, 以下SP1と呼称)添加量を変化させ、さらにそれぞれの高性能減水剤添加量に対して水/粉体比を変化させた配合のモルタルを練混ぜ、フロー試験とロート試験を行った。なお、本研究においては、「水/粉体比」は体積比、「高性能減水剤添加量」は、粉体に対する高性能減水剤の重量比とした。練混ぜ方法は、自己充填コンクリート用モルタル配合設計法の混練方法[3]に従い、練混ぜ終了30分後に、相対フロー面積比と相対ロート流下速度比を求めた。試験ケースは(Γ_m, R_m)=(5, 1)を中心としたデータ分布となるように設定した。なお、練混ぜと試験はすべて室温が約20℃に保たれた恒温室内で行われた。

試験結果(図-2)から、以下の5つの事柄が明らかとなった。

- (1) 高性能減水剤添加量を一定とした場合、水/粉体比の変化に対して相対フロー面積比と相対ロート速度比は直線関係にある。以下、これを「 Γ_m - R_m 直線」と呼ぶ。
- (2) 任意の相対フロー面積比と相対ロート速度比との組合せを満足する水/粉体比と高性能減水剤添加量の組み合わせは、ただ1つだけ存在する。

- (3)高性能減水剤添加量を増加させるに従い、同一のフロー面積比に対してロート流下速度が小さくなる。
- (4)直線の傾きは高性能減水剤添加量が大きくなるに従って小さくなる。
- (5)直線どうしの間隔は高性能減水剤添加量が大きくなるに従って小さくなる。

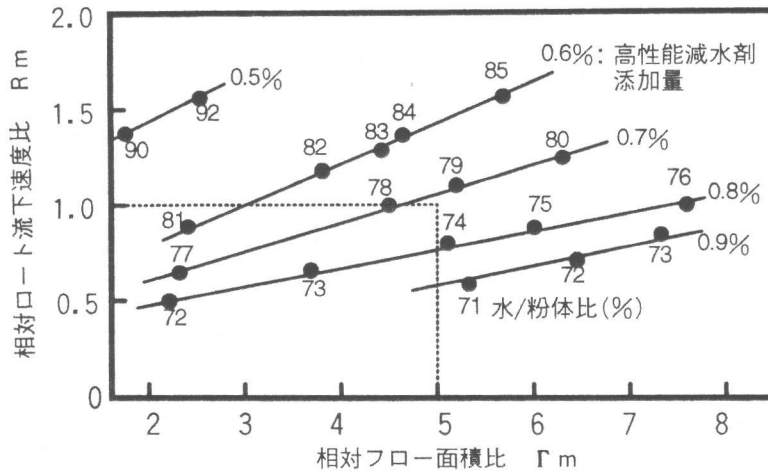


図-2 水/粉体比と高性能減水剤添加量が変形性と粘性に及ぼす影響(高炉スラグ微粉末)

図-3 は中庸熱ポルトランドセメント(比重 3.19)を使用した同様な実験の結果である。高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの実験結果(図-2)と同様の傾向を読み取ることが出来る。

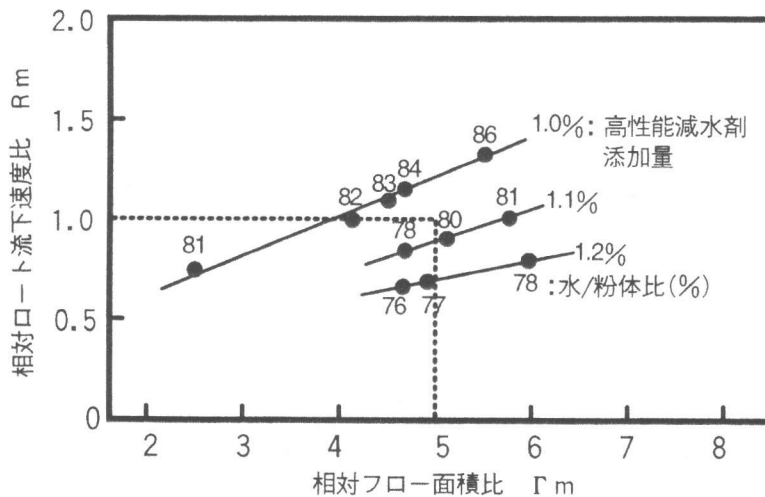


図-3 水/粉体比と高性能減水剤添加量が変形性と粘性に及ぼす影響(中庸熱セメント)

以下、粗粒細骨材率 40%のモルタルについて、(1)から(5)までの項目が成り立つものとし、水/粉体比と高性能減水剤添加量の変化が Γ_m と R_m に及ぼす影響を定量化のための考察を行った。

4. 配合修正の具体的手順と必要となる値

4.1 配合修正の手順

第3章で得られた、試験結果から明らかとなった事柄をもとに、モルタルの配合修正の具体的な手順を考案した(図-4)。

(1) 試験結果の点(Γ_m, R_m)から、高性能減水剤添加量一定の Γ_m-R_m 直線上を、 $\Gamma_m=5$ となるまで水/粉体比を調整する。

(2) 直線 $\Gamma_m=5$ 上を、 $R_m=1$ となるまで高性能減水剤添加量と水/粉体比を調整する。

4.2 配合修正に必要な情報

4.1で述べた配合修正のための道筋の移動に必要な、水/粉体比と高性能減水剤添加量の調整量を推定するために必要とされる情報(値)は、以下の通りである。

- (a) Γ_m-R_m 直線の傾き
- (b) 水/粉体比の変化量に対する、 Γ_m の変化量
- (c) 高性能減水剤添加量の変化に対する、 Γ_m-R_m 直線の移動量
- (d) 高性能減水剤添加量の変化に対応する、水/粉体比の変化量と R_m の変化量の関係

これらの4つの値について、以下、第5,6,7,8章において、使用材料による違いまたは共通点について検討し、配合修正システムを完成させるための課題について述べる。

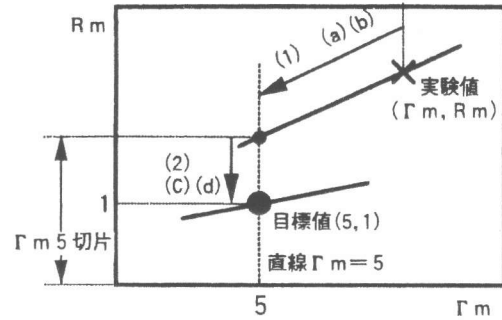


図-4 配合修正の手順

5. Γ_m-R_m 直線の傾き

高性能減水剤添加量一定の条件下で水/粉体比を変化させると Γ_m と R_m が直線関係にあることから、その傾きを配合修正に利用するために、「 Γ_m-R_m 直線の傾き」として定義した[4.2(a)].

5.1 高性能減水剤添加量による違い

高性能減水剤添加量が大きいほど、 Γ_m-R_m 直線の傾きが小さい[3.(3)]. 高性能減水剤添加量の増加に伴い、水/粉体比の変化に伴うロート速度比の変化が鈍感になるということである。

5.2 使用材料による違い

図-5に、数種類の粉体を用いたモルタルの Γ_m-R_m 直線の傾きを示す([3]の実験データからも引用した)。 Γ_m-R_m 直線の傾きは高性能減水剤添加量によって異なっており、 Γ_m-R_m 平面上の位置を何らかの形で定義しなければならない。そこで、 $\Gamma_m=5$ の直線との切片(以下、「 $\Gamma_m 5$ 切片」と呼称)を Γ_m-R_m 直線の「位置」と定義し、 Γ_m-R_m 直線の傾きとの関係を示した。使用材料の違いによる大きな違いは見られず、ある範囲内に収まっているが、これが一般的かどうかの判断は現時点では不可能である。

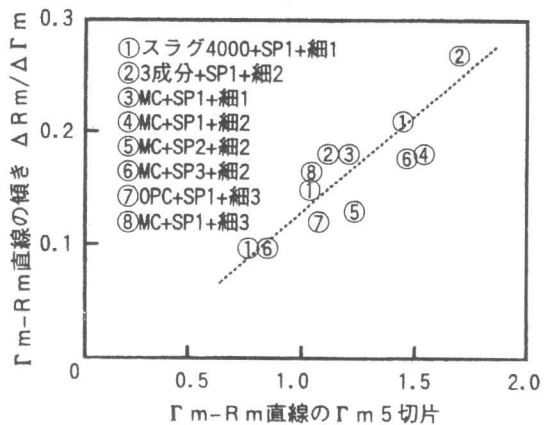


図-5 Γ_m-R_m 直線の切片と傾きの関係

なお、「①」は図-2の実験を、「3成分」は中庸熟ポルトランドセメント+フライアッシュ+高炉スラグ微粉末の三成分系粉体、「MC」は中庸熟ポルトランドセメント、「OPC」は普通ポルトランドセメント、「SP2」は芳香族アミノスルホン酸系高性能 AE 減水剤、「SP3」は β ナフタレンスルホン酸系高性能 AE 減水剤、「細骨材2」は富士川産川砂(表乾比重 2.58, 粗粒率 2.92)、「細骨材3」は陸砂(表乾比重 2.60, 粗粒率 2.18)をそれぞれ示す。

6. 水/粉体比の変化量に対する Γ_m の変化量

混和剤添加量一定の条件下で、水/粉体比の増加に対する相対フロー面積比 Γ_m の増加量の比として定義する[4.2(b)].

6.1 高性能減水剤添加量による変化

高性能減水剤添加量の増加に伴い、水/粉体比の変化量に対する Γ_m の増加量はある程度まで大きくなる。例えば、図-2においては、高性能減水剤添加量が0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9%と増加するに従い、水/粉体比の変化量に対する Γ_m の増加量は、0.47, 0.83, 1.39, 1.36となる。

6.2 使用材料による違い

既往の研究[3]によれば、最適な自己充填性能を実現するための高性能減水剤添加量において、中庸熱セメントを使用したモルタルと三成分系粉体(中庸熱ポルトランドセメント, フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末)を使用したモルタルを比較し、水/粉体比1%の変化に対し、 Γ_m の変化量が、中庸熱セメント使用の場合で0.74, 三成分系で0.65であったと報告している。本研究で行った実験では、高炉スラグ微粉末で1.05, 中庸熱セメントでは0.60であった。使用材料によって値が異なることが明らかとなった。

7. 高性能減水剤添加量の増加に対する $\Gamma_m - R_m$ 直線の移動量

高性能減水剤添加量の増加に対して $\Gamma_m - R_m$ 直線が $\Gamma_m - R_m$ 平面の下方に移動することは、変形性を維持しながら粘性が増大することであり、その移動量が大きいほど高性能減水剤の効き目が大きいということが出来る。本研究では、 $\Gamma_m - R_m$ 直線の、 $\Gamma_m = 5$ 直線との切片を「直線の位置」として定義し、高性能減水剤添加量の増分に対する $\Gamma_m - R_m$ 直線の位置の移動量を「高性能減水剤の効き目」と定義した[4.2(c)].

7.1 高性能減水剤添加量と効き目との関係

高性能減水剤の添加量を増加させるに従い、直線の移動量が減少する様子が観察された(図-6)。高性能減水剤の効き目が添加量の増加に伴って逡減の様子が表現出来ている。

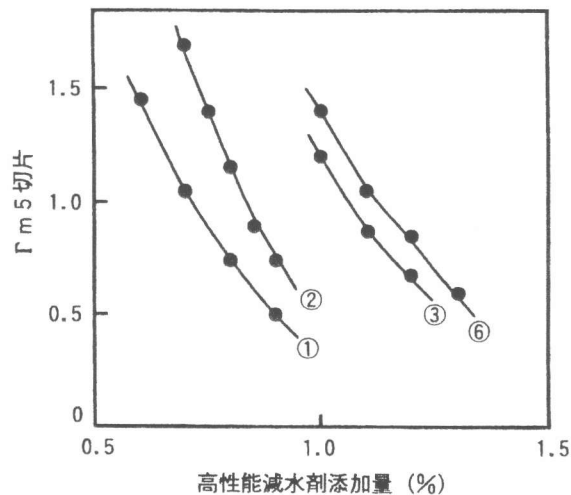


図-6 高性能減水剤添加量と $\Gamma_m - R_m$ 直線位置

7.2 使用材料による違い

高性能減水剤の効き目は、粉体をはじめとする他の使用材料との化学的相互作用によって異なるとの報告がなされており、ここで定義する「高性能減水剤の効き目」も、厳密には「他の使用材料との関係で定められる高性能減水剤の効き目」を示す。

図-5より、最適な自己充填性能を実現するための高性能減水剤添加量が使用材料によって異なっていることが分かるが、同時に、曲線の傾きの減少量、すなわち、「高性能減水剤の効き目」の逡減の度合いも異なっていることが分かる。今回使用した材料の中では三成分粉体が一番垂直に近い曲線を示しており、添加量の増加に対する効き目の逡減度合いが比較的小さいということが出来る。

使用材料の違いによる高性能減水剤の効き目の違いが明確に表れたため、モルタル配合修正システムにおいては、フロー・ロート試験結果から効き目の違いを求めるための手段が必要である。

8. 混和剤添加量の変化に起因する、水/粉体比の変化量と R_m の変化量の関係

高性能減水剤添加量の増加によって、同一の変形性を得るための水/粉体比は減少するが、これが同時に粘性の増加につながっている。そこで、 $\Gamma_m = 5$ 直線上における、高性能減水剤添加量を増加させることによる R_m の減少量と水セメント比の減少量との比を、配合修正に用いる値として着目する [4.2(d)]。

表-1 は、各粉体について、高性能減水剤添加量の増加に起因する、水/粉体比の減少量に対する R_m の減少量の関係をまとめたものである。なお、表中の「中心の R_m 」とは、 $\Gamma_m = 5$ 直線上の、高性能減水剤添加量の増加に伴う R_m の値の2つの平均値である。

また、使用材料による違いが見られ、特に3成分系で大きな値となった。

表-1 R_m の水/粉体比の減少量の関係
($\Gamma_m = 5$, 材料番号は図-5 と共通)

使用材料	$\Delta R_m / \Delta V_w V_p$	中心の R_m
①	0.08	0.65
①	0.06	0.9
①	0.07	1.25
②	0.1	1.15
②	0.13	1.6
③	0.07	0.75
③	0.07	1.05
④	0.1	1.45
⑥	0.08	0.85
⑥	0.1	1.35

9. あとがき

本研究では、自己充填コンクリートの配合修正システムの構築を目的とし、水/粉体比と高性能減水剤添加量の変化がモルタルの相対フロー面積比と相対ロート流下速度比に及ぼす影響の定量評価を行った。使用材料の違いによって大きな差が見られなかったのは、

- (a) 高性能減水剤添加量一定の条件下で水/粉体比の変化に対する $\Gamma_m - R_m$ 直線の傾きのみであった。使用材料による違いが見られたのは、
- (b) 高性能減水剤添加量の増加に伴う $\Gamma_m - R_m$ 直線の移動量
- (c) 高性能減水剤添加量一定の条件下での水/粉体比の変化に対する Γ_m の変化量
- (d) 高性能減水剤添加量の変化量に対応する、 $\Gamma_m = 5$ (一定) で比較した水/粉体比の変化量に対する R_m の変化量

の3つであった。今後は、モルタルの変形と粘性のメカニズムについて、使用材料の特性が(a)(b)(c)(d)に及ぼす影響という観点から検討していく予定である。

【参考文献】

1. 岡村 甫ほか：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，第49回セメント技術大会講演集，1995.4
3. 小澤一雅ほか：モルタル試験による自己充填コンクリートに用いる粉体の評価，第48回セメント技術大会講演集，1994.4
4. 枝松良展：モルタルの変形性を表す細骨材・粉体の材料特性の定量化，東京大学学位論文，1995.9