

論文 分離低減剤を用いた高流動コンクリートの調合に関する基礎的実験

五味信治^{*1}・岡本将昭^{*2}・榊田佳寛^{*3}・宮野和樹^{*4}

要旨: 分離低減剤を用いるタイプの高流動コンクリートを対象にして、モルタル中の細骨材容積比と粗骨材絶対容積を変化させて調合要因による影響とレオロジー特性を測定し、それらの調合要因がコンクリートの流動性に与える影響を実験的に検討した。その結果、細骨材容積比、粗骨材絶対容積、ウェットスクリーニングして得られたモルタルの降伏値と塑性粘度を使用し、高流動コンクリートのスランプフローと 500mm フロー到達時間の逆数を推定する予測式を実験的に導くことができた。

キーワード: 細骨材容積比、粗骨材絶対容積、ウェットスクリーニング、降伏値、塑性粘度

1. はじめに

高流動コンクリートをビンガム流体とみなすと、その流動性は降伏値および塑性粘度によって評価され、これらの指標の代用特性としてスランプフローおよび 500mm フロー到達時間が測定される。しかし、それらの特性値を使用して高流動コンクリートの流動性を評価するための降伏値と塑性粘度の両者を同時に満足する一般的な調合方法は確立されていない¹⁾。高流動コンクリートの流動性を満足する調合方法を確立するためにはモルタル中の細骨材容積比やコンクリートの構成要素である粗骨材絶対容積の影響について明らかにしておくことが重要である。筆者らは、コンクリートを構成するモルタルのレオロジー的性質と粗骨材の絶対容積との関係について検討を重ねてきたが、その際コンクリートの調合から粗骨材を除いて練り混ぜたモルタルよりもウェットスクリーニングにより得られたモルタルのレオロジー的性質の方が高流動コンクリートの流動性と比較的良好な関係にあった²⁾。

本研究は、分離低減剤を用いるタイプの高流動コンクリートを対象に、それを構成するモルタル

のレオロジー的性質と流動性に及ぼす調合要因の影響を細骨材容積比と粗骨材絶対容積を変化させることにより実験的に検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および調合条件

本研究で対象とした高流動コンクリートは、普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を質量比で 1:1 に混合したものを結合材とし、細骨材は川砂を使用し、さらに分離低減剤によって材料分離抵抗性を付与するタイプである。水結合材比は 45% で、モルタル中の細骨材容積比を 49% から 55% まで 3% 刻みで、粗骨材絶対容積を各細骨材容積比において 240 l/m^3 から 360 l/m^3 まで 30 l/m^3 刻みで変化させた。分離低減剤および高性能 AE 減水剤の添加率は、粗骨材絶対容積が 300 l/m^3 の時、スランプフローが 650 ± 50

表-1 実験要因と水準

要因	水準
細骨材容積比 (%)	49, 52, 55
粗骨材絶対容積 (l/m^3)	240, 270, 300, 330, 360

*1 日産建設(株) 技術研究所 主席研究員(正会員)

*2 日産建設(株) 技術研究所 工修

*3 宇都宮大学教授 工学部建築工学科 工博(正会員)

*4 宇都宮大学 大学院工学研究科 工修(正会員)

表-2 使用材料

材料名	種類	特性・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	比表面積 3320cm ² /g, 密度 3.16g/cm ³
水	水道水	
細骨材	川砂	表乾密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 2.12%
粗骨材	硬質砂岩	表乾密度 2.65 g/cm ³ , 吸水率 0.67%, 実積率 60.1%
混和材	高炉スラグ微粉末	密度 2.89 g/cm ³ , 比表面積 4000cm ² /g
混和剤	高性能 AE 減水剤 分離低減剤	ポリカルボン酸系 メチルセルロース系

表-3 調合表の例

水結合材比 (%)	細骨材容積比 (%)	単位量(kg/m ³)					高性能 AE減水剤 (%)	分離低減剤 (%)	空気量(%)	
		水	セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材			目標値	測定値
45	49	217	241	241	933	638	1.10~1.15	0.16~0.19	2.0	1.1
		207	230	230	901	718				1.3
		199	221	221	859	798				2.6
		191	212	212	818	878				1.7
		182	202	202	781	958				2.8
	52	205	228	228	987	638	1.45	0.13	2.0	2.0
		197	219	219	945	718				1.8
		188	209	209	908	798				2.4
		180	200	200	867	878				1.8
		172	191	191	825	958				2.2
	55	192	213	213	1045	638	1.80	0.10	2.0	1.8
		185	206	206	999	718				1.9
		177	197	197	957	798				2.4
		169	188	188	916	878				1.9
		161	179	179	875	958				1.9

注) 高性能 AE 減水剤の添加率はセメント量に対する百分率, 分離低減剤の添加率は水量に対する百分率を示す。

mm, 500mm フロー到達時間が 5~8 秒となる添加量とした。実験の要因と水準を表-1に, 使用した材料を表-2に, 調合例を表-3に示す。

2.2 試験項目および試験方法

高流動コンクリートの流動性を評価する試験項目は, スランプフロー, 500mm フロー到達時間およびウエットスクリーニングしたモルタルの降伏値と塑性粘度とし, 降伏値および塑性粘度は内円盤型回転粘度計を用いて試験した。高流動コンクリートの練混ぜは, 温度 20±1℃の室内で, 容量 50l のパン型強制練ミキサを用いて行い, 1回の練り混ぜ量は 40l とした。練り混ぜ手順は, 細骨材, セメントおよび高炉スラグを 15 秒空練りし, 水と混和剤を入れてモルタルを 90 秒練混ぜ後, 粗骨材を投入し 90 秒練混ぜた。コンクリート練混ぜ後, 5 分静置してスランプフローおよび

500mm フロー到達時間の試験を行った。

また, 高流動コンクリートから 5mm のフルイを用いてウエットスクリーニングで採取したモルタルの降伏値と塑性粘度を測定した。これらの試験は, 練混ぜ後の約 15 分から開始した。降伏値および塑性粘度の測定は, 直径 35mm のローターを用いて, 2.5 rpm → 5 rpm → 10 rpm → 20 rpm → 50rpm → 20rpm → 10 rpm → 5 rpm → 2.5 rpm の順序で, それぞれ 60 秒間回転し, 下降域のせん断速度(ずり速度)およびせん断応力度(ずり応力度)を直線回帰し, その切片を降伏値, 勾配を塑性粘度とした。

3. 実験結果

高流動コンクリートの調合要因として細骨材容積比と粗骨材絶対容積を変化させ, コンクリートの性質としてスランプフロー, 500mm フロー到

表-4 調査と実験結果の例

調 合		コンクリートの性質		ウエットスクリーニングしたモルタルの性質	
細骨材容積比 (%)	粗骨材絶対容積 (l/m ³)	スランブフロー (mm)	500mmフロー到達時間 (sec)	塑性粘度 (Pa·s)	降伏値 (Pa)
49	240	915	1.06	2.23	4.92
	270	735	3.41	4.93	7.48
	300	680	4.57	5.43	8.35
	330	663	5.31	4.96	9.15
	360	603	8.54	5.83	10.69
52	240	750	3.09	3.70	6.68
	270	715	3.37	3.42	6.85
	300	690	4.91	4.79	7.38
	330	625	6.05	4.61	8.81
	360	580	10.10	5.88	9.22
55	240	805	3.22	3.64	7.61
	270	730	3.87	3.42	6.66
	300	690	4.39	3.76	7.43
	330	635	8.05	4.16	6.79
	360	573	10.01	4.82	7.74

達時間, ウエットスクリーニングしたモルタルの性質として降伏値と塑性粘度についての実験結果の例を表-4に示す。

表-4 から同一細骨材容積比であれば粗骨材絶対容積が増加するにつれてスランブフローは低下し 500mm フロー到達時間は長くなる傾向があり, 降伏値は増加し塑性粘度はわずかであるが増加している傾向がみられる。

4. 考察

4.1 解析概要

コンクリートの流動性を表す指標として, スランブフローと 500mm フロー到達時間を考えると, これらに影響を及ぼす調査要因として細骨材容積比, 粗骨材絶対容積, モルタルの降伏値と塑性粘度が考えられる。スランブフローと 500mm フロー到達時間に及ぼす各種要因の影響は, 以下のような考え方で解析することにした。 $f_i()$, $g_i()$ は関数型を示し $()$ の中はその変数を示す。 C_i は定数を表す。

$$S_F = f_0(S/M, G, Y, Z) \\ = f_1(S/M) + f_2(G) + f_3(Y) + f_4(Z) + C_1 \quad (1)$$

$$F_T = g_0(S/M, G, Y, Z) \\ = g_1(S/M) + g_2(G) + g_3(Y) + g_4(Z) + C_2 \quad (2)$$

ここで,

S_F : 高流動コンクリートのスランブフロー[mm],

F_T : 高流動コンクリートの 500mm フロー到達時間

の逆数 [1/sec], S/M : モルタル中の細骨材容積比

[%], G : 粗骨材の絶対容積[l/m³], Y : ウエットモ

ルタルの降伏値[Pa], Z : ウエットモルタルの塑性

粘度[Pa·s]。

4.2 粗骨材絶対容積が高流動コンクリートの流動性に及ぼす影響

スランブフローおよび500mmフロー到達時間の逆数と粗骨材絶対容積との関係を細骨材容積比で層別したものを図-1, 図-2に示す。粗骨材絶対容積が小さい場合と大きい場合で多少のばらつきはあるが粗骨材絶対容積が大きくなるほどスランブフローと 500mm フロー到達時間の逆数は減少する挙動を示し, 細骨材容積比が変化してもその挙動はあまり変わらない。これらの挙動は粗骨材の容積に比例しているため粗骨材絶対容積の変化とコンクリートの流動性の間には大きな関係があると考えられる。ここでは, いずれの関係も比例関係にあると仮定した。

次に, ウエットスクリーニングして得られたモルタルの降伏値および塑性粘度と粗骨材絶対容積と

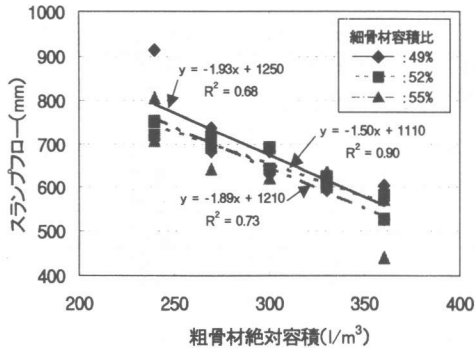


図-1 粗骨材絶対容積とスランプフローの関係

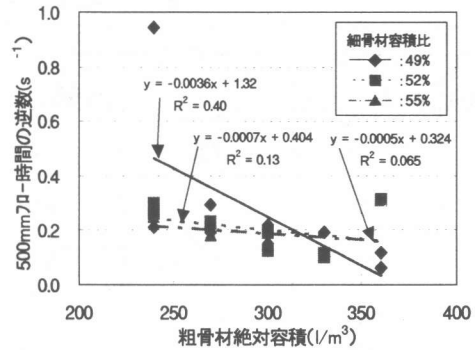


図-2 粗骨材絶対容積と500mmフロー到達時間の逆数との関係

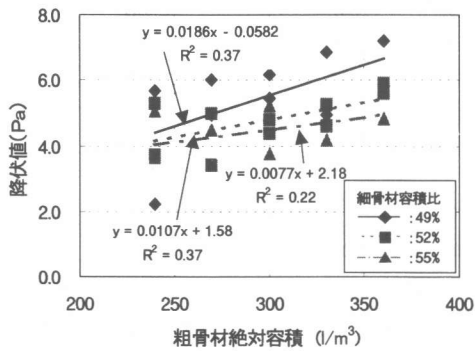


図-3 粗骨材絶対容積と降伏値の関係

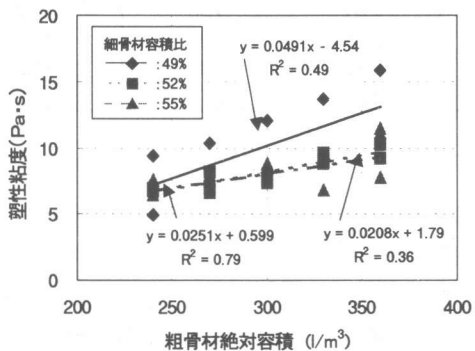


図-4 粗骨材絶対容積と塑性粘度の関係

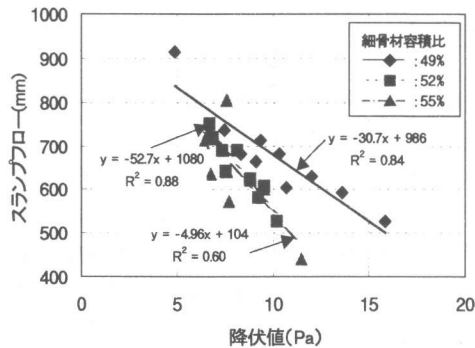


図-5 降伏値とスランプフローの関係

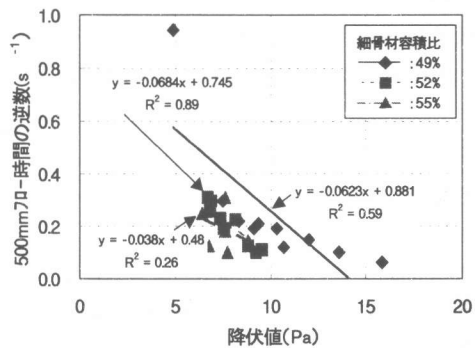


図-6 降伏値と500mmフロー到達時間の逆数との関係

の関係性を細骨材容積比で層別したものを図-3、図-4に示す。粗骨材絶対容積が小さい場合は整合が取れないものもあるが粗骨材絶対容積が大きくなるほど降伏値と塑性粘度は増加する挙動を示し、細骨材容積比が変化してもその挙動は変わらない。いずれの関係も比例関係にあると仮定した。

4.3 降伏値と塑性粘度が高流動コンクリートの流動性に及ぼす影響

(1) 降伏値の影響

スランプフローおよび500mmフロー到達時間の逆数と降伏値の関係性を細骨材容積比で層別したものを図-5、図-6に示す。降伏値が大きくなるほどス

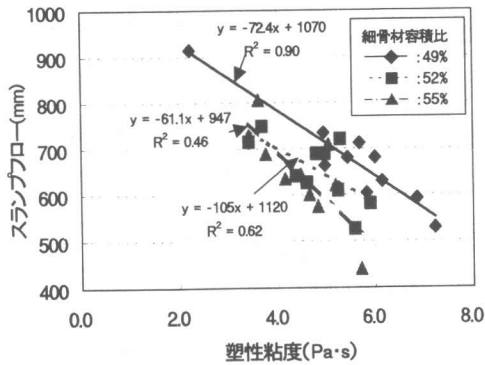


図-7 塑性粘度とスランプフローの関係

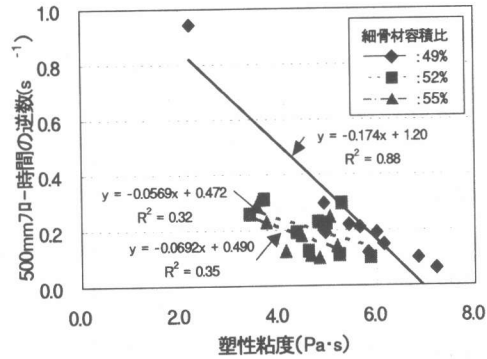


図-8 塑性粘度と500mmフロー到達時間の逆数との関係

表-5 重回帰分析結果

式	重相関係数 R^2	偏回帰係数 a_i, b_i				
		1	2	3	4	5
(3)	0.91	-132.1	-115.1	-3.97	-4.24×10^{-1}	192.3
(4)	0.80	-3.23	-1.18	-1.16×10^{-1}	260×10^{-3}	2.787

ランプフローは低下し500mmフロー到達時間の逆数は小さくなる傾向にある。スランプフローが同一の場合細骨材容積比が小さいほど降伏値は大きい傾向がみられる。同一の500mmフロー到達時間の逆数においても細骨材容積比が小さいほど降伏値は大きくなる傾向にある。いずれの関係も比例すると仮定し、直線で近似した。

(2) 塑性粘度の影響

スランプフローおよび500mmフロー到達時間の逆数と塑性粘度の関係を細骨材容積比で層別したものを図-7、図-8に示す。塑性粘度が大きくなるほどスランプフローは低下し500mmフロー到達時間の逆数は小さくなる傾向にある。塑性粘度が同一の場合細骨材容積比が小さいほどスランプフローと500mmフロー到達時間の逆数は大きい傾向が見られる。いずれの関係も比例すると仮定し、直線で近似した。

4.4 解析検討

スランプフローと500mmフロー到達時間に及ぼす各種調査要因の影響を定量評価するために重回

帰分析を行った。500mmフロー到達時間は実験で500mmに満たない場合は時間が無限大となるので指標としてはその逆数を使用し、 $1/(500\text{mm}$ フロー到達時間)として解析することにした。式(1),(2)の考え方で全て一次の関数で表すことにした。スランプフローと500mmフロー到達時間が細骨材容積比、粗骨材絶対容積、降伏値および塑性粘度で説明できるとすれば、以下の重回帰分析式で表される。

$$S = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5 \quad (3)$$

$$F = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5 \quad (4)$$

ここに、 S ：スランプフロー、 F ：500mmフロー到達時間の逆数、 $a_1 \sim a_5, b_1 \sim b_5$ ：偏回帰係数、 X_1 ：細骨材容積比、 X_2 ：粗骨材絶対容積、 X_3 ：降伏値、 X_4 ：塑性粘度

分析結果を表-5に示す。各種調査要因の偏回帰係数の数値から、スランプフローは細骨材容積比と粗骨材絶対容積の影響が最も大きくそれについて塑性粘度の影響が若干認められる。500mmフロー到達時間の逆数についても細骨材容積比について粗

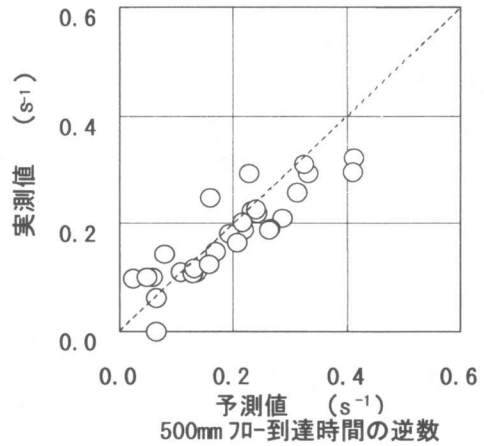
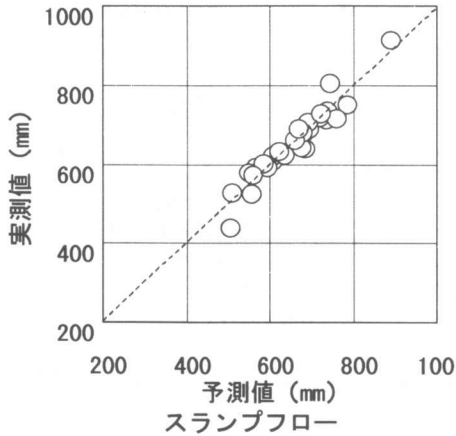


図-9 スランプフローと 500mm フロー到達時間の逆数の予測値と実測値の関係

骨材絶対容積の影響が大きく、塑性粘度の影響も少しみられる結果となった。

(3)、(4)式を用いて実験した各調合について計算した予測値と実験結果の実測値との関係を図-9に示すが、おおむね一致している。

5. まとめ

分離低減剤を用いたタイプの高流動コンクリートのスランプフローと 500mm フロー到達時間の逆数に及ぼす調合要因について、本実験の範囲内では以下の知見を得た。

(1) スランプフローは細骨材容積比、粗骨材絶対容積に大きく影響を受け、モルタルの塑性粘度にも影響を受ける。

(2) 500mm フロー到達時間の逆数は細骨材容積比、粗骨材絶対容積に大きく影響を受け、モルタルの塑性粘度にも影響を受ける。

(3) 本実験の範囲内でスランプフローと 500mm フロー到達時間の逆数に及ぼす各種調合要因の影響は細骨材容積比、粗骨材絶対容積、降伏値および塑性粘度の一次関数で表わせる。また、高流動コンクリートのスランプフローと 500mm フロー到達時間の逆数を式(3),(4)を用いて表わせる。

謝辞

本研究は、宇都宮大学との共同研究として行われたものであり、関係者に謝意を表します。

参考文献

- 1) 岩井伸彰, 梶田佳寛: 高流動コンクリートのスランプフロー時間に及ぼす調合要因の影響に関する検討, 日本建築学会構造系論文報告集, No.503, pp.9-16, 1998.1
- 2) 須藤栄治, 五味信治他: 高流動コンクリートの流動性予測に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.511-516, 1999.6
- 3) 宮野和樹, 梶田佳寛他: 高流動モルタルの調合とレオロジー特性に関する実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.493-498, 1999.6
- 4) 吉野 公, 西林新蔵他: 高流動コンクリートのレオロジー定数に及ぼす配合要因の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.343-348, 1998.6