

論文

[1017] 高流動コンクリートのフレッシュ性状に関する基礎的研究

浅井 洋*¹・藤田 学*²・永元 直樹*³・西本 好克*⁴

1. はじめに

近年、施工不良による欠陥の低減、省力化施工、施工環境の改善が叫ばれており締固めが不要でかつ高強度、高耐久性を有する高性能コンクリートが研究されている。これら高性能コンクリートの配合は、構成するセメント、骨材、および混和材料によって多種多様である。また、対象とする構造物によっても要求される性能は異なる。

本研究では、高性能コンクリートが有する性能の中でも特に流動性に着目し、普通ポルトランドセメントに高性能A E減水剤を用いてスランプフロー60±5cmとした高流動コンクリートについて各種評価試験を行った。さらに、混和材に高炉スラグ微粉末を用いたものと無混入のものについて比較検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

実験に使用した材料を表-1に示す。100リットルパン型強制練りミキサを使用し、図-1に示す順序で練り混ぜを行い、練り上がり温度は20℃とした。

表-2に配合を示す。Iシリーズは、単位水量一定として水粉体比(W/P)を30~45%とし単位粗骨材かさ容積を50~56%の間で変化させた。また、W/P=36%においては単位粗骨材かさ容積を53%としてセメント重量の70%を高炉スラグ微粉末で置き換えたものについても行った。IIシリーズでは、セメント単体およびスラグ置換率50%について単位粗骨材かさ容積およびs/aを一定としてW/Pを変化させた。各々の配合は、スランプフローが60±5cmになるように高性能A E減水剤の使用量を調整した。空気量は4±1%に調整した。

表-1 使用材料

セメント C	普通ポルトランドセメント (3社等量混合) 比重3.16 粉末度3290cm ² /g
細骨材 S	大井川水系産陸砂 比重2.58 FM2.73
粗骨材 G	青梅産碎石 最大寸法20mm 比重2.65 FM6.63 実積率59.3%
混和材 Sg	高炉スラグ微粉末 比重2.92 粉末度5820cm ² /g
混和剤 SP	ポリカルボン酸系高性能A E減水剤

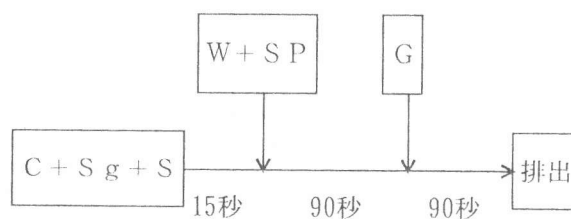


図-1 練り混ぜ方法

* 1 住友建設(株)技術研究所主任 (正会員)
 * 2 住友建設(株)技術研究所主任 (正会員)
 * 3 住友建設(株)技術研究所 (正会員)
 * 4 住友建設(株)建築本部建築部技術課課長 (正会員)

表-2 配合表

シリーズ	水粉体比 W/P (%)	粗骨材かさ容積 (%)	細骨材率 s/a (%)	スラグ置換率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					高性能 AE減水剤 SP (%)*			
					水 W	セメント C	スラグ S _g	細骨材 S	粗骨材 G				
I	30	50	51.4	0	170	567	0	810	787	1.8			
		53	48.6					766	832	1.8			
		56	45.7					720	880	1.7			
	36	50	53.7					888	787	2.3			
		53	51.0					844	832	2.3			
		54.5	49.5					819	856	2.1			
		56	48.2					797	880	1.8			
	45	50	55.7					962	787	2.3			
		53	53.1					918	832	2.3			
		56	50.4					872	880	2.0			
	36	50	53.0					70	142	330	864	787	1.5
		53	50.3								820	832	1.4
56		47.5	774	880	1.3								
II	27	53	49.9	0	153	568	0	808	832	3.5			
	30				162	540				2.6			
	33				170	515				2.1			
	36				177	492				1.9			
	45				195	435				1.4			
	25		49.4		50	147	294	294		2.1			
	27					153	284	284		1.9			
	30					162	270	270		1.8			
	33					170	258	258		1.6			
	36					177	246	246		1.5			

*粉体(C+S_g)に対する割合を示す。

2. 2 試験方法

フレッシュコンクリートの試験方法を表-2に示す。なお、空気量はJIS A 1128によって測定した。

表-2 試験項目

試験項目	評価方法
スランプフロー試験	土木学会規準「コンクリートのスランプフロー試験方法(案)」 測定項目：広がり, 変形速度(20~50cmの変形時間)
鉄筋メッシュ通過試験	メッシュサイズ：φ19mm鉄筋, 純間隔5cm格子 容器サイズ：30×30×深さ40cm, 底面メッシュ コンクリート容積 27リットル (30×30×深さ30cm) 測定項目：通過質量
Vロート試験	Vロート試験方法(案)[1] 流出口寸法 7.5×7.5cm 測定項目：流下時間
L型フロー試験	充填高さ40cm, 流出口高さ16.5cm コンクリート容積 6.4リットル 測定項目：流動距離, 時間

3. 実験結果及び考察

3. 1 高性能AE減水剤の添加率

図-2にIIシリーズにおけるW/PとSP添加率の関係を示す。単位ペースト容積を一定とした場合、SP添加率はW/Pを小さくするにしたがって増加傾向を示す。セメント単体では30%以下においてその傾向は顕著であるが、スラグ置換率50%では低W/PにおけるSP添加率の増加は認められなかった。セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置き換えることによりW/Pの小さい領域で大幅にSP添加率を低減することができる。

図-3にIシリーズにおけるs/aとSP添加率の関係を示す。ここに示したSP添加率は、実測したスランプフローとSP添加率の関係からスランプフローが60cmになるよう算出した値である。単位ペースト容積およびW/Pが同じ場合、同一フローを得るにはs/aが大きいほど添加率は増加する傾向を示し、細骨材率を大きくする程ペーストのコンシステンシーを小さくする必要がある。s/aの変化がSP添加率に影響をおよぼす程度はW/Pあるいは単位ペースト容積(Pv)によって異なり、W/P=36, 45% (Pv=0.319, 0.289m³/m³) に比べW/P=30% (Pv=0.349m³/m³) はs/aによる影響は小さい。スラグ置換率70%はセメント単体に比べSP添加率を24~29%低減することができる。また、SP添加率はW/Pが大きいほど増加傾向を示し、図-2の結果と相反するが、これはW/Pが大きいほど単位ペースト容積が小さいことが原因していると考えられる。[2]

3. 2 鉄筋メッシュ試験

図-4にIシリーズにおける各W/P別のs/aと鉄筋メッシュ通過率の関係を示す。いずれのW/Pにおいてもs/aが大きくなるにつれ通過率は上昇しており、W/P=30, 36%についてはs/a=50~54%で80%以上の通過率を示し、スラグ置換率70%についても同様な傾向が認められる。一方、W/P=45%ではs/a=50%以上においても通過率は50%以下にとどまっている。

鉄筋メッシュ通過率とモルタル容積に対する細骨材容積の比(細骨材容積比)の関係について表示しなおしたものが図-5である。同一W/Pでは細

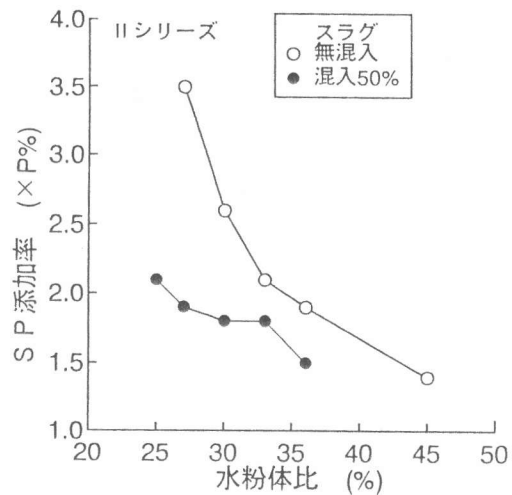


図-2 水粉体比とSP添加率の関係

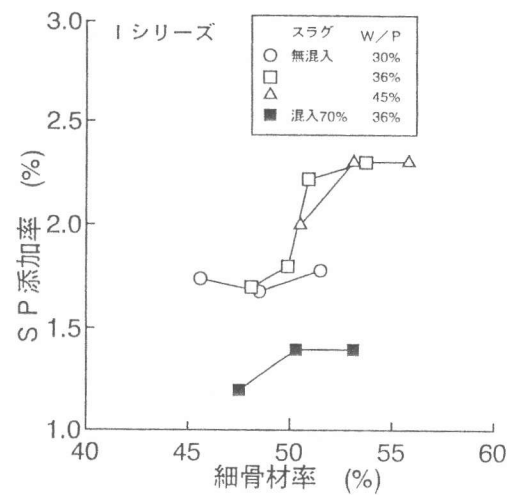


図-3 s/aとSP添加率の関係

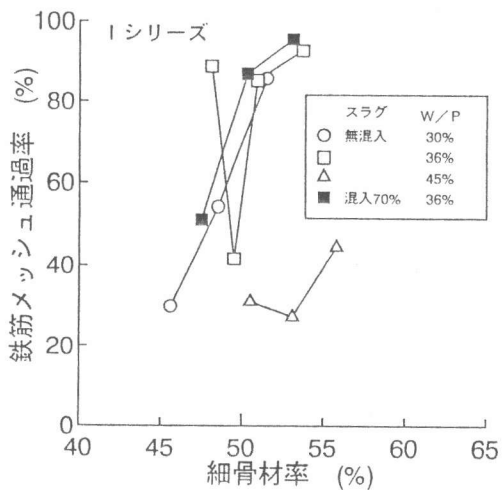


図-4 s/aと鉄筋メッシュ通過率の関係

骨材容積比が大きいほど粗骨材が減少するため通過率は上昇する。細骨材容積比は、Iシリーズの配合の範囲では47~52%程度が最も通過率が良好である。次に、同一粗骨材かさ容積に着目するとW/P=36%の通過率が最も良く、30%、45%の順に良い通過率を示した。W/P=30、36%に比べW/P=45%は単位ペースト容積(0.280m³/m³)が小さく、細骨材容積が大きい上にペースト濃度が低いため骨材間のかみあいを十分緩和することができないことが通過率低下の原因と考えられる。W/P=30%については、ペーストの濃度が高く骨材の流下速度が小さいため比較的骨材のかみあいが形成されやすいものと思われる。

図-6にIIシリーズにおけるs/aおよび単位ペースト容積を一定としたW/Pと鉄筋メッシュ通過率の関係を示す。セメント単体およびスラグ置換率50%のいずれについても低W/P域を除いてほとんどが80%以上の通過率を示す。特に、Iシリーズでは良好な通過率が得られなかったW/P=45%についても単位ペースト容積を0.333m³/m³とすることで良好な通過率を示した。

3. 3 Vロート試験

図-7にIシリーズの単位水量一定におけるW/P、細骨材容積比とVロート流下時間の関係を示す。流下速度はW/Pが大きいほど速く、同一W/Pでは粗骨材かさ容積が小さいほど速くなる傾向を示す。それらの傾向は細骨材容積比に対し直線上に位置する。次に、スラグ置換率70%では流下速度は速くなり細骨材容積比による顕著な差は認められない。

図-8にIIシリーズにおけるP/Wと流下時間の関係を示す。Iシリーズ同様、流下時間はP/Wに大きく影響を受け、特にセメント単体の場合はP/Wの影響が著しい。スラグ置換率50%ではVロート流下時間はセメント単体の約1/2~1/3になる。いずれもP/Wが小さくなるに従い流下時間は減少して5~10秒に近づく傾向を示す。一方、若干粗骨材の分離が観察されたセメント単体P/W=2.21およびスラグ置換P/W=2.77は流下時間が5秒以下となり曲線より逸脱した傾向を示す。これより、Vロート流下時間により材料分離抵抗性を評価することが可能であると考えられる。

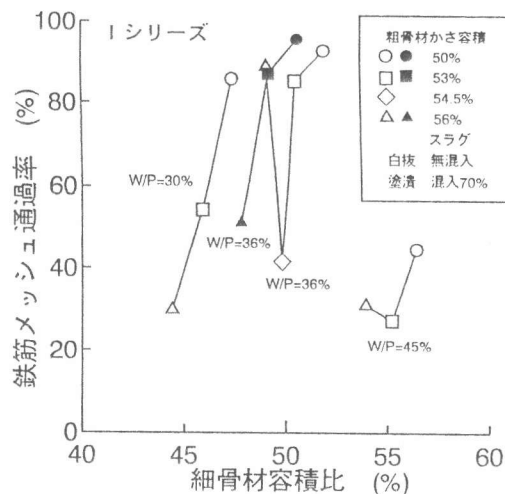


図-5 細骨材容積比と鉄筋メッシュ通過率の関係

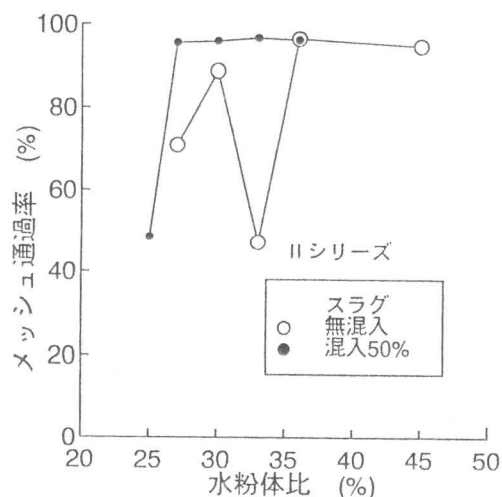


図-6 水粉体比とメッシュ通過率の関係

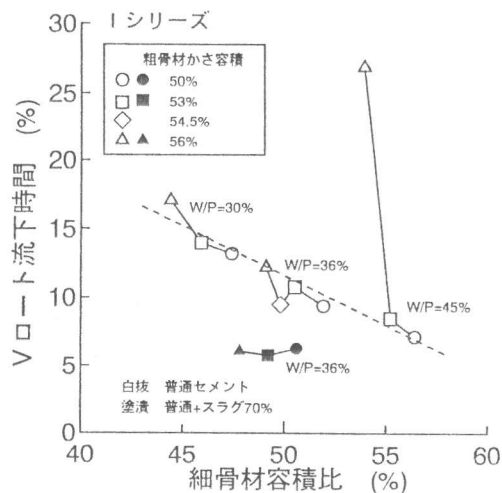


図-7 細骨材容積比とVロート流下時間の関係

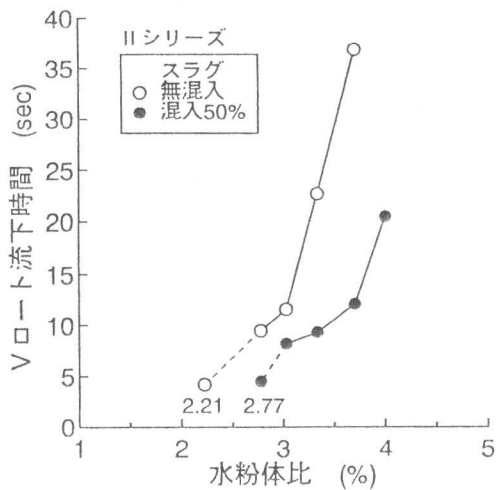


図-8 W/PとVロート流下時間の関係

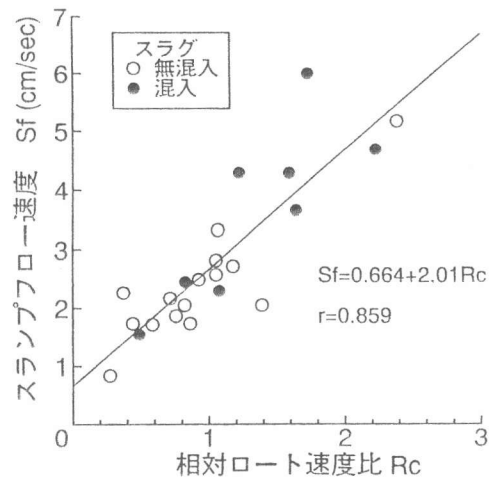


図-9 相対ロート速度比とスランプフロー速度の関係

図-10にVロート流下時間と鉄筋メッシュ通過率の関係を示す。通過率80%以上の流下時間はセメント単体については顕著な傾向は認められないが、Vロート流下時間が10秒前後に集中している。スラグで置き換えた場合は、スランプフローが60cm以上のものについて良好な通過率を示した。

3. 4 L型フロー試験

IシリーズにおけるW/P=36%のL型フロー流動距離と時間の関係を図-11にスラグの混入の有無を比較して示す。セメント単体では開口から10秒の間にL型フロー流動距離は40~60cmに至り、以後停止まで漸次流動速度は遅くなる。一方、スラグで置き換えたものは初期の流動速度はセメント単体に比べ速いが比較的短い時間で停止に至る傾向を示す。

L型フローと時間の関係を式(1)で表すことができるものとして各配合別に回帰した。

$$L f(t) = a \cdot t^b \quad (1)$$

$L f(t)$: 時間 t におけるL型フロー(cm)

t : 時間(sec), a, b : 定数

この結果を表-3に示す。各配合の定数 b の平均値 $b_{av} = 0.279$ であり、標準偏差は0.039となりほぼ一定値を示した。式(1)における定数 b を上記平均

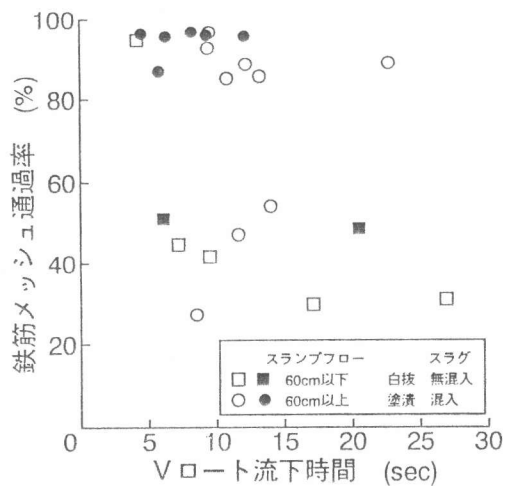


図-10 Vロート流下時間と鉄筋メッシュ通過率の関係

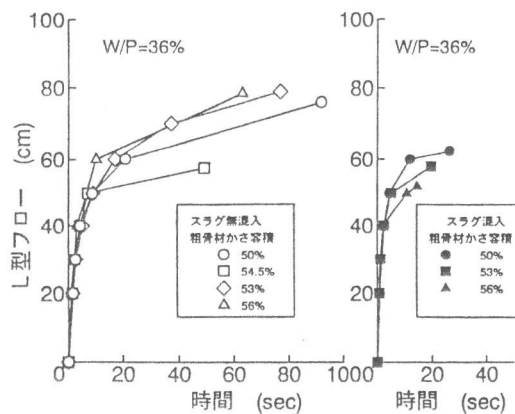


図-11 L型フロー流動距離と時間の関係

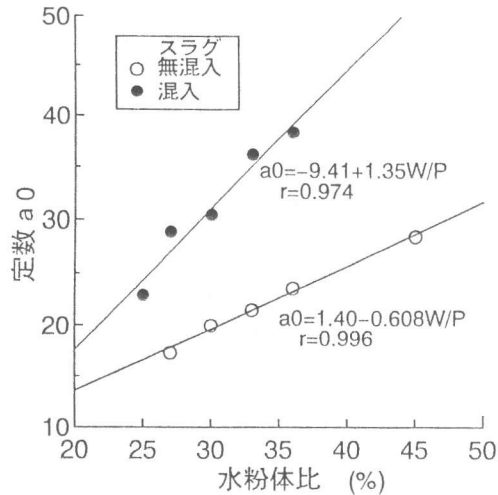


図-12 水粉体比と定数 a0 の関係

値 b_{av} を用いて各配合について再度定数 a を求めた結果を表中に a_0 として示した。単位ペースト容積および細骨材率を一定とし W/P を変化させた Π シリーズについて W/P と定数 a_0 の関係を表示したものが図-12 である。スラッグの混入の有無により傾向は異なるがそれぞれ良い相関性を示した。この結果より、L型フロー試験における $L_f(t)$ はセメント単体に比べスラッグで置き換えたものは W/P の影響を大きく受ける。

4. まとめ

普通ポルトランドセメントを用い、高性能 A E 減水剤によりスランプフローを $60 \pm 5 \text{ cm}$ とした高流動コンクリートのフレッシュ性状について 4 種類の評価方法を組み合わせて実験を行った。その結果、本実験の範囲内で以下のことが明らかとなった。

- (1) 鉄筋メッシュ通過率は粗骨材量が減少すれば通過率は良好であるが、水粉体比や単位ペースト容積によっては通過率が低下する場合がある。
- (2) V ロート流下時間は細骨材容積比や水粉体比の影響を受け、スラッグで置き換えるとその影響は小さくなる。
- (3) L 型フロー流動距離と時間の関係は水粉体比の影響を受ける。指数関数で回帰した結果、スラッグで置き換えたものはセメント単体に比べその影響は顕著である。

本試験結果は同一材料を用い、 20°C 、スランプフロー $60 \pm 5 \text{ cm}$ の条件下における結果であり、使用材料等の試験条件が変化すればこれらの評価も異なるものと思われる。このため、使用材料やコンクリート温度を変化させて実験を継続中である。

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, pp.192~193
- 2) 坂井, 万木, 岩井, 坂田: 締固め不要コンクリートの充填性に及ぼす骨材量の影響, 土木学会第47回年次学術講演会

表-3 L型フロー回帰結果

W/P (%)	粗骨材かさ容積 (%)	a	b	a0	
30	56	14.0	0.330	16.4	
	53	19.3	0.424	27.4	
	50	23.0	0.278	22.9	
36	56	28.4	0.254	26.4	
	54.5	21.2	0.271	20.7	
	53	22.4	0.296	23.6	
	50	25.7	0.258	24.0	
45	56	24.5	0.274	24.1	
	53	27.6	0.269	26.8	
	50	25.0	0.274	24.7	
27	53	17.0	0.283	17.3	
30		22.9	0.243	20.0	
33		22.8	0.261	21.5	
36		24.4	0.269	23.6	
45		27.6	0.293	28.5	
36		56	27.4	0.251	26.0
36		53	29.4	0.248	27.7
36	50	30.4	0.244	28.1	
25	53	21.5	0.286	22.9	
27		26.7	0.298	28.9	
30		29.1	0.284	30.5	
33		33.8	0.299	36.2	
36		38.4	0.224	38.4	
平均値			0.279		