

論文

[1065] 球状細骨材を用いた超流動化コンクリートの配合に関する研究

正会員○出光 隆 (九州工業大学)

正会員 山崎竹博 (九州工業大学)

正会員 高山俊一 (九州共立大学)

1. まえがき

近年、東大で発表された「ハイパフォーマンスコンクリート」[1]を嚆矢とする、超流動化コンクリートに関する研究が各所で盛んに行われている。筆者らも、この数年同様な研究を続行してきた。

北九州地方では大手企業の進出に伴ない、コンクリート関連産業の人手が急減することが予測され、省力型の生産方式として超流動化コンクリート技術の確立は焦眉の課題の一つにあげられている。また、同地方では、鉄鋼産業からの廃棄物としてこれまで種々のスラグが排出されてきており、その有効利用に関する研究の歴史は古く、技術水準も高いものがある。

以上の地域的な事情も考慮して、本研究では主な検討項目として次の3点を掲げて、実験的研究を実施した。

- ①現在用いられている材料の品質およびプラントでの生産方式をほとんど変えることなく、締め固め不要かつ高品質の高流動コンクリートが得られないか。
- ②フライアッシュの代用として細骨材の一部を球状風砕スラグと置換し、そのベアリング効果を有効に利用できないか。
- ③超流動化コンクリートの配合を定め、それを実際にプレキャスト製品の型枠に打設して、流動状況および材料分離の程度等を調べる。

以下、順を追って実験方法および結果等について述べる。

2. 球状風砕スラグについて

鉄鋼産業からは種々のスラグが多量に排出されている。周知の通り、高炉スラグはすでに水砕として十分に有効利用されている。未だ十分に利用されていないものとして製鋼スラグ、フェロクロムスラグ、フェロニッケルスラグ等があげら

表-1 風砕スラグの物理的性質

項目	平均値
表乾比重	2.87
絶対比重	2.84
吸水率(%)	0.91
かさ比重	3.00
真比重	3.17

れる。製鋼スラグは高炉スラグに次いで量が多く、これまで多くは埋め立て地に投棄されてきたが、それに要する費用も年々増大している。そのリサイクル技術の一つとして、高風速で飛ばして球状化する、いわゆる風砕スラグの製造が試みられてきた。しかしながら、製鋼スラグにはフケにより、膨張するものが多く、それをなくすためには成分調整が必要である。現在、その方法が鋭意

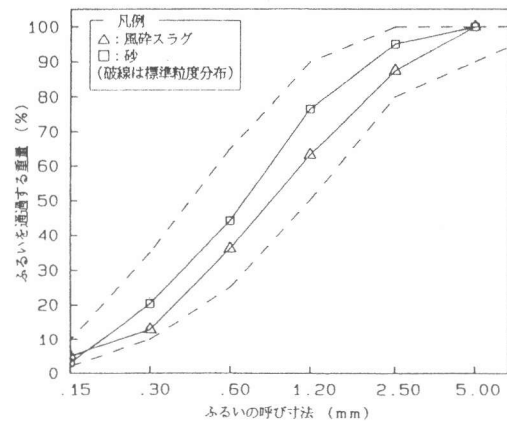


図-1 細骨材の粒度分布

検討されている。

本実験には、化学的に安定な材料として原発にも用いられたことのあるフェロクロム風砕を用いた。その粒度、物理的性質等をそれぞれ図-1、表-1に示す。フェロクロム風砕が超流動化コンクリートに利用可能となれば、製鋼スラグもフケの問題を克服しさえすれば同様に利用できることになる。現在、フケの生じない電気炉風砕スラグを用いた実験も計画している。

3. 超流動化コンクリートの配合に及ぼす細骨材率および単位水量の影響

3.1 使用材料および試験方法

本研究で用いた材料をまとめて表-2に示す。昨年度の研究結果[2]では、風砕スラグの砂との置換率は50 Vol%が適当と判断された。そこで以下の実験では、細骨材容積の50%を風砕スラグで置換することとした。

超流動化コンクリートのワーカビリティ評価試験として、スランプフロー試験および充填試験[3]を実施した。2つの試験を採用した理由は、フロー値によって流動性を判断することは可能であるが、実際の打設の際に問題となる材料分離の影響はフロー値だけでは判断し難いためである。鉄筋が密に配置された型枠への打設し易さは、材料分離の影響も含めて、鉄筋間を通過させる充填試験[4]によって、よりの確に評価できるものと考えられる。

3.2 細骨材率の影響

充填性の良い骨材を用いれば、コンクリート中の余剰ペーストが増し流動性が良くなると言われている。そこでまず、 s/a を変えて、骨材の実績率試験を実施し、最密充填されるときに s/a を求めてみた。実験結果を図-2に示す。同図から、適当な s/a の範囲は50~55%程度と考えられる。

次に、 s/a を49%から55%まで変化させてコンクリートを打設し、スランプフローおよび充填試験を実施した。コンクリートの配合を表-3に示す。なお、ペーストの粘性を変える目的で水結合材比 $W/P = 29.2\%$ と W/P

$= 25.4\%$ の2種類のコンクリートについてそれぞれ実験を行った。その結果を図-3(a)、(b)および図-4(a)、(b)にそれぞれ示す。両試験結果とも試験開始から20秒後の値と最終値とを示しているが、実際の現場では作業スピードが要求されるため、20秒後の値を基準として、ワーカビリティを判断することとした。なお、練混ぜ後の経時変化を調べるため、練混ぜ後5、15および30分でそれぞれ試験を行った。

表-2 使用材料の諸特性

使用材料種別		比重	ブレン値 (cm^2/g)	粗粒率
結合材	普通ポルトランドセメント	3.14	2500	---
	高炉スラグ	2.90	6270	---
細骨材	海砂	2.57	---	2.61
	風砕スラグ	2.87	---	3.04
粗骨材	碎石	2.78	---	6.52

		主成分	添加量(重量比)
混和剤	高性能減水剤	ナフソルホネ酸 ナリソリン高縮合物塩	$P \times 1.68\%$
	AE減水剤	リゲニン系脂肪酸化合物 ポリオール複合体	$P \times 0.18\%$
	AE剤	変性アクリル系脂肪酸化合物系 陰イオン界面活性剤	$P \times 0.01\%$
	増粘剤	多糖類β-グルカン 1グレード	$W \times 1.18\%$

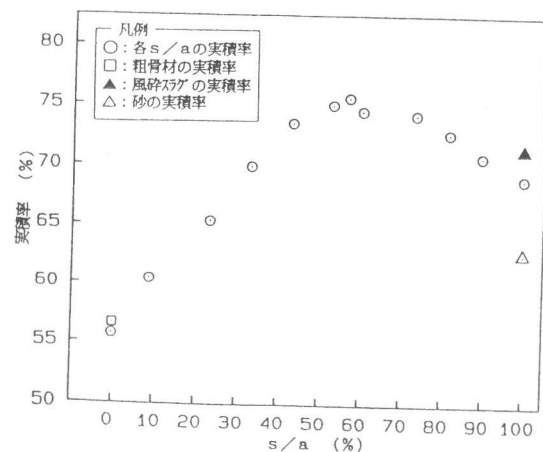
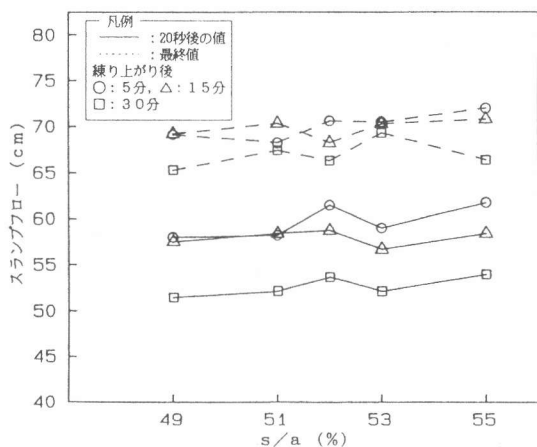


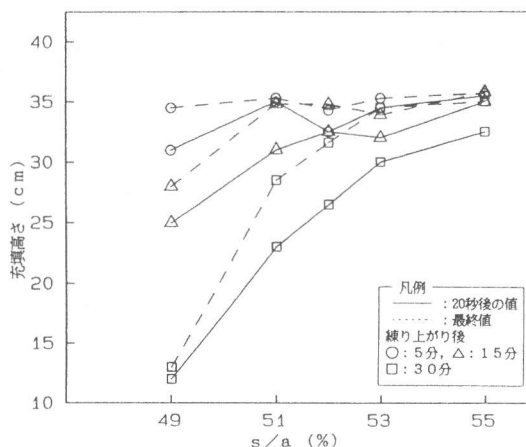
図-2 骨材の実績率試験結果

表-3 コンクリートの配合

	水結合材比 W/P (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)									
			水 W	結 合 材 P		細 骨 材 S		粗骨材 G	AE剤	AE 減水剤	高性能 減水剤	増粘剤
				セメント	高炉スラグ	砂	風砕スラグ					
配 合	25.4	4.9	146	288	288	411	459	925	0.058	1.04	9.67	1.73
		5.1				428	463	889				
		5.3				445	496	853				
		5.5				461	515	817				
選 定	29.2	4.9	146	250	250	428	478	963	0.05	0.9	8.4	1.73
		5.1				445	497	925				
		5.2				454	507	906				
		5.3				463	517	888				
		5.5				480	536	850				
実大 型枠 打設	29.2	5.2	146	250	250	454	507	906	0.05	0.9	8.4	1.73
	27.5		137.5			460	513	918				1.62

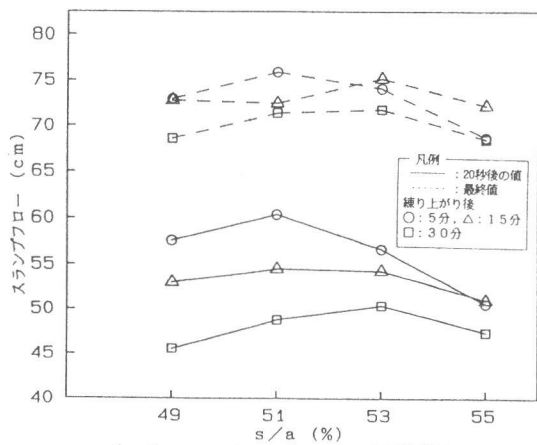


(a) スランプフロー試験結果

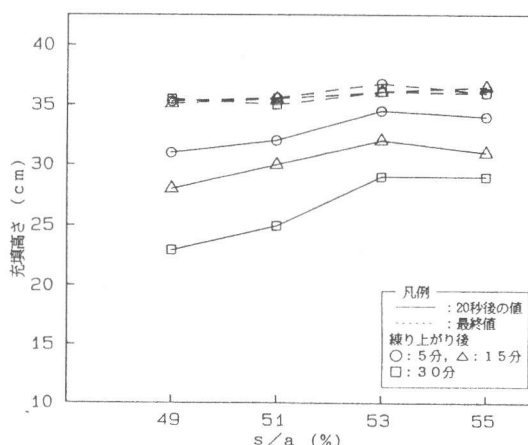


(b) 充填試験結果

図-3 W/P=29.2%の場合の試験結果



(a) スランプフロー試験結果



(b) 充填試験結果

図-4 W/P=25.4%の場合の試験結果

全般的な傾向として、 $W/P = 29.2\%$ のコンクリートはフロー試験の際、中央部に粗骨材が若干残り、材料分離気味であった。それに対し、 $W/P = 25.4\%$ のコンクリートは材料分離の傾向はほとんど見られなかった。図-3と図-4とを比較すると、 $W/P = 25.4\%$ の場合、フロー値、充填高さともに s/a の変化によって一定の傾向がみられるのに対し、 $W/P = 29.2\%$ の場合はペーストの粘性が低いため、材料分離の影響が測定値に含まれてきて、 25.4% の場合ほど明確な傾向が表れていない。

以上の結果から、直ちに最適 s/a の値を求めることは難しいが、材料分離しなかった $W/P = 25.4\%$ の場合の結果から、経時変化も考慮して、最適な s/a の範囲は $51 \sim 53\%$ 程度と判断した。

3.3 単位水量の影響

次に、 $s/a = 52\%$ と一定にして、単位水量を $135 \text{ kg/m}^3 \sim 150 \text{ kg/m}^3$ と変化させて、スランプフロー、充填試験を実施した。実験結果を図-5(a)、(b)に示す。同図にはフライア

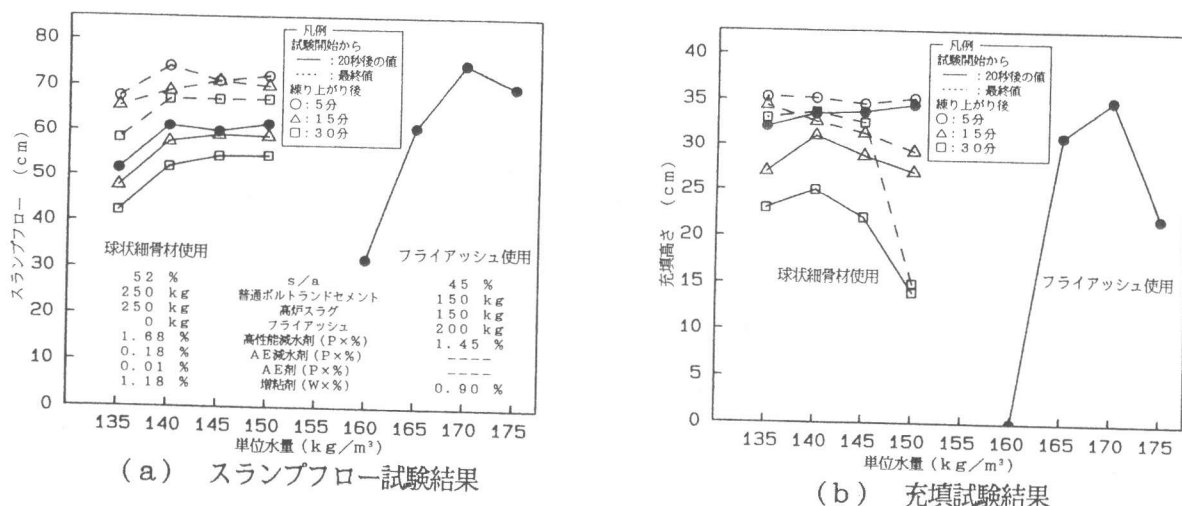


図-5 単位水量と各測定項目との関係

ッシュを用いた文献[3]の結果も併記した。球状細骨材の場合、 $W > 145 \text{ kg/m}^3$ ではペーストの粘性が低く、若干材料分離の傾向がみられたのに対し、 $W \leq 140 \text{ kg/m}^3$ ではペーストの粘性が高く、材料分離は全く見られなかった。フロー値は $50 \sim 60 \text{ cm}$ とかなり小さくなっているものの、20秒後の充填高さは 30 cm 以上となっており、必ずしも型枠への充填性は悪くないものと考えられる。このように、コンクリートの粘性が高くなっても、充填性は悪くならないことが超流動化コンクリートの一般的な特徴であるが、球状細骨材を使用すると、フライアッシュを用いる場合より特にその傾向が強いようである。また、単位水量がフライアッシュを用いた場合より $20 \sim 30 \text{ kg/m}^3$ 程度小さくても同等のワーカビリティが得られていることも注目に値する。これらの原因は風砕スラグのベアリング効果にあるものと考えられる。

3.4 配合の定め方

以上の結果から、超流動化コンクリートの配合を定める場合は、単位セメント量は当初から与えられるものとして、上記の手順をそのまま用いて、細骨材率・単位水量を求めれば配合は求まってくる。単位セメント量が定まっていない場合は、その量を適当に数個仮定し、それぞれについて同様な方法で配合を定め、その中から要求性能を満足する配合を選定すればよいと考えられる。

以上の実験が示すように、この種のコンクリートは、 s/a 、 W の変化に対し比較的鈍感であり、最適 s/a 、 W を決める際は、フロー値・充填高さなどの測定値だけでは判断できず、経験の浅いものにとっては少々厄介である。しかしながら、そのことは現場の材料のばらつきに対してもワーカビリティの変化が少ないことを示すものであり、実用的にはむしろ有利な特徴ではないかと考えられる。

4. プレキャスト部材型枠への打設実験

4.1 使用コンクリート及び実験方法

3章で述べた実験結果を基にして、若干材料分離気味のコンクリートと材料分離し難いコンクリートの2種類を選び、実型枠への打設実験を行った。それらの配合を表-3に併記した。打設実験に用いた型枠は比較的小断面のボックスカルバート用型枠である。図-6にその形状寸法を示す。部材厚さは80mmで、その中央に鉄筋D13が配置されている。実験要領は、まずコンクリートを練り混ぜ、スランプフロー・充填試験を実施する。その際同時に、型枠の上部(I)からコンクリートを流し込み、流動状況を観察する。コンクリート面が他方の壁上部のハンチ部分(II, III, IV)に達したとき打設実験を終了した。同図の斜線部分にコンクリートが打設されることになる。打設終了後、分離状況を調べるためI~IVの部分からコンクリートを採取し、洗い試験を行った。

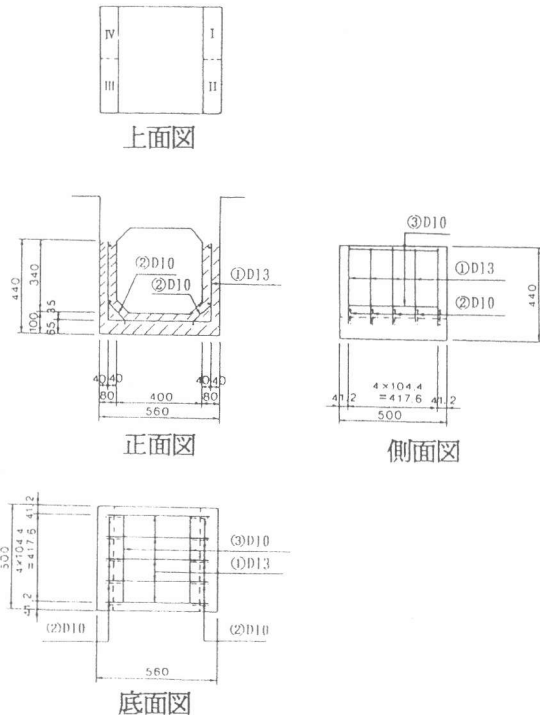


図-6 型枠概略図

4.2 実験結果および考察

コンクリート打設面の進行状況を図-7に示す。

打設に要した時間は、 $W/P = 29.2$

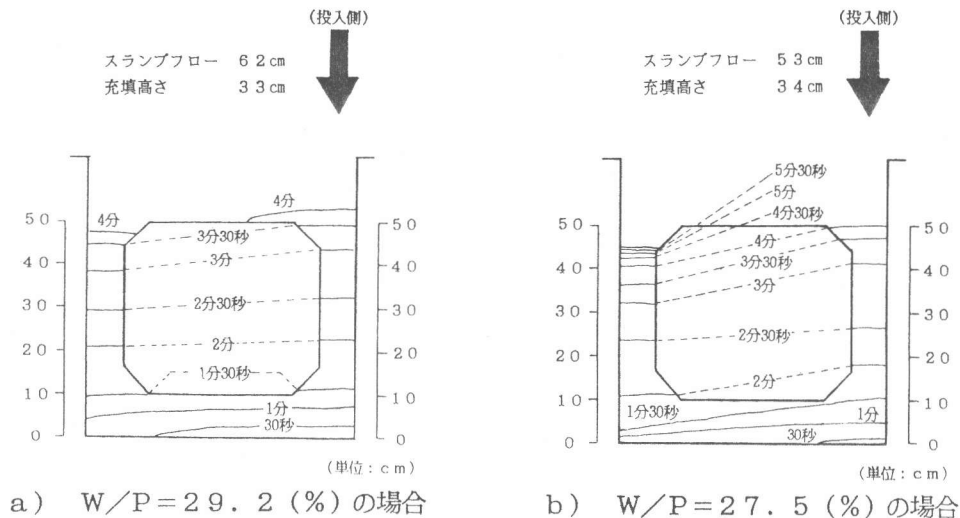


図-7 コンクリート打設面の進行状況 (II, IIIの側面で観察)

%の場合が約4分、 $W/P = 27.5$ %の場合が約5分であった。打設作業はスムーズに行われ、途中で詰まる等の支障は生じなかった。しかしながら、 $W = 137.5 \text{ kg/m}^3$ の場合は、粗骨

材が非投入側の上面にまで確実に連行されてきたのに対し、 $W = 146 \text{ kg/m}^3$ の場合は、上面から6 cmのところまでは、ペーストおよびモルタル層となっており、当初の予想通り材料分離の傾向がみられた。

I～IVの部分から採取したコンクリートの洗い試験結果を表-4に示す。 $W/P = 29.2\%$ では投入側の s/a に比べて、非投入側の s/a が大きくなっているのに対し、 $W/P = 27.5\%$ ではその差が非常に小さくなっており、両コンクリートの材料分離抵抗性の差が明確に表れている。なお、 s/a の値が配合表の値と異なっているのは、鉄筋がコンクリート採取の障害となり、打設したコンクリートをそのまま採取できなかったためと考えられる。

表-4 洗い試験結果

W/P (%)	試験箇所	s/a (%)	モルタル率 (Vol%)	ペースト率 (Vol%)
29.2	I	52.7	68.1	32.5
	II	54.9	71.0	35.5
	III	74.2	---	---
	IV	76.3	85.8	39.8
27.5	I	57.5	71.7	33.5
	II	55.1	69.4	31.8
	III	57.2	71.4	33.1
	IV	62.0	74.6	33.2

5. まとめ

以上の結果から、本研究で用いた材料と同じ材料を用いる場合、ワーカビリティがよく、実用性の高い超流動化コンクリートの配合を得るには、「20秒後のフロー値が55 cm程度、充填高さが30 cm以上で、かつ材料分離の傾向がみられないこと」をワーカビリティ評価の目安として試し練りを行えば、比較的容易に得ることができるものと考えられる。また、このコンクリートは細骨材率・単位水量等の変化に比較的<鈍感>なことから、現在のプラント設備・管理状況をほとんど変えなくても超流動化コンクリートを製造することができるものと考えられる。

[謝辞] 本研究のうち主として前半は九州工業大学と日本重化学工業株式会社との共同研究として実施されたものである。関係の方々に謝意を表す。また、後半のコンクリート打設実験に参加され、多くのご助言を頂いた大成建設株式会社新藤竹文氏および実型枠への打設実験に際し、ご協力頂いた水谷建設工業株式会社に深謝の意を表す。

- [参考文献] [1] 小沢一雅・前川宏一・岡村 甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.11, No.1, 1989.7
- [2] 浜口英樹・出光 隆・高山俊一・渡辺 明：風砕スラグを混入した細骨材によるコンクリートの高流動化、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集 第5部、pp622~623、1991.9
- [3] 新藤竹文・松岡康訓・坂本 淳・ソムック タグテルムシケル：締固め不要コンクリートのフレッシュな状態における性状、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集 第5部、pp228~229、1990.9
- [4] 高山俊一・高木実・古賀順二：高強度コンクリートのワーカビリティに及ぼす練り混ぜ方法等の影響に関する研究、セメント技術年報第33巻、pp425~428、1979.12