

論文

[1014] 異種粒度の結合材を用いたフレッシュコンクリートの性質

正会員 ○近松竜一（大林組技術研究所）
 正会員 竹田宣典（大林組技術研究所）
 正会員 十河茂幸（大林組技術研究所）

1. まえがき

近年、高炉スラグ微粉末（以下、スラグ微粉末と略称）やフライアッシュの使用効果が再認識され、混和材としての活用が注目されている。例えば、これらを従来の混合セメントとしての混合率よりも大きい範囲で用いた場合には、コンクリートの発熱特性の改善に有効であることが報告されている¹⁾。また、スラグ微粉末に関しては、これをセメントと適当量置換することにより塩害やアルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化抑制にも効果があり、最近では、初期の強度発現の改善を目的として、従来よりも細かく粉碎したスラグ微粉末が製造されるようになって²⁾いる。コンクリートの品質向上のためには、これらの混和材のより積極的な活用が期待され、今後は従来の置換域よりも大きい範囲での使用が増えるものと考えられる。しかしながら、この場合のコンクリートの諸性状については未だ不明な点が多い。本論文は、スラグ微粉末やフライアッシュを混和材として高置換した場合を対象として、特にこれらの粒度や置換率の違いがフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響についてまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験に用いた各結合材の物性および化学成分を表-1に示し、これらの粒度分布を図-1に示す。混和材を併用した場合の結合材中のセメント（以下、ベースセメントと呼称）には、主として通常の粉末度（3300cm²/g程度）のものをを用いたが、一部のケースでは、微粉の割合が減少するように粒度調整したベースセメントも使用した。スラグ微粉末は、同種の水砕スラグを粉碎した後、分級操作により粉末度を3段階に変化させたものである。また、混和材には、国内産のフライアッシュ（ig.loss :1.2%, メンブール吸着量：0.28 mg/g）も使用した。

細骨材には、木更津産陸砂（比重：2.58, 吸水率：2.19%, 粗粒率：2.80）を用い、粗骨材には、青梅産碎石（最大寸法：20mm, 比重：2.65, 吸水率：0.68%, 粗粒率：7.02）を使用した。

表 - 1 結合材の物性および化学成分

結合材の種類	略号	比重	ブレーン比表面積 (cm ² /g)	化 学 成 分 (%)						備 考
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
普通ポルトランドセメント (混合材無混入)	C3	3.17	3320	20.7	5.0	3.3	63.9	2.6	2.1	R ₂ O :0.66 %
	C2	3.19	1930	21.0	5.1	3.3	64.5	2.6	1.6	0.56 %
	C1	3.19	1100	21.1	5.1	3.3	64.7	2.7	1.1	0.53 %
高 炉 スラグ微粉末	B4	2.91	4240	33.9	14.4	0.4	41.0	7.1	—	塩基度: 1.84
	B6	2.91	6520	34.5	13.9	0.3	41.8	6.8	—	1.81
	B8	2.91	8370	34.8	13.6	0.3	42.5	6.4	—	1.79
フライアッシュ	F	2.27	3350	52.5	26.5	5.8	6.8	1.6	0.7	

また、混和剤は、リグニン・ポリオール系のAE減水剤およびアルキルアリルスルホン酸塩を主成分とする空気連行助剤を使用した。

2.2 試験方法

各コンクリートの配合は、単位結合材量を 320kg/m^3 と一定にし、スランプ： $8\pm 1\text{cm}$ 、空気量： $4\pm 0.5\%$ となるように定めた。混和材の置換率は、35, 55, 70および85%とし、スラグ微粉末は85%、フライアッシュは50%を上限として使用した。各種結合材の種類および

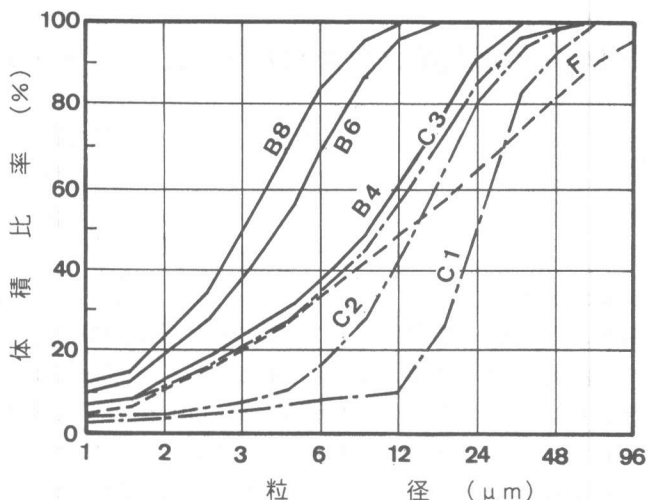


図-1 各種結合材の粒度分布

混合比率の組合せについては表-2に示した。コンクリートの練りまぜには、二軸強制練りミキサ（公称容量 100l ）を用い、1バッチ当たりの練りまぜ量を 80l とした。練りまぜは、全結合材および全骨材を投入後30秒間空練りを行ない、均一に混合されたことを確認した後、練りまぜ水を加え90秒間練りまぜた。なお、混和剤は、予め練りまぜ水に溶解させておいた。練り上り温度は、約 $20\pm 1^\circ\text{C}$ とした。フレッシュコンクリートの各試験は、それぞれのJIS規格に準じて行なった。

表-2 コンクリートの配合

配合NO.	結合材の種類*			W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m^3)					スラブ (cm)	空気量 (%)	
	スラグの種類 (Sg)	混合比率 (%)				W	C+Sg+F	S	G	AE助剤 cc/m^3			
		C	Sg										F
1	—	100	—	—	46.6	44.0	149	803	1054	9.6	7.0	4.2	
2	B4	45	55	—	46.9	43.5	150	790	1054	12.8	7.5	4.0	
3		15	85	—	48.8	43.0	156	771	1050	16.0	8.5	4.1	
4		45	55	—	48.1	43.5	154	786	1048	22.4	8.0	3.5	
5	B6	30	70	—	50.3	43.0	161	768	1045	28.8	8.0	3.5	
6		15	85	—	52.2	42.5	167	750	1042	32.0	8.5	4.5	
7		65	35	—	48.1	43.5	154	788	1051	16.0	7.0	3.8	
8	B8	45	55	—	50.0	43.0	160	770	1048	25.6	8.0	3.6	
9		70	—	—	52.2	42.5	167	752	1045	32.0	9.0	4.0	
10		30	55	15	48.8	43.0	156	774	1054	51.2	7.5	4.5	
11		35	35	—	46.6	43.5	149	778	1038	70.4	8.5	4.5	
12		85	—	—	54.7	42.0	175	733	1039	32.0	9.0	3.6	
13		70	15	—	50.9	42.5	163	750	1042	51.2	7.5	3.7	
14		55	30	—	48.4	43.0	155	762	1038	83.2	7.0	4.5	
15		35	50	—	45.0	43.5	144	778	1038	99.2	9.0	4.4	

* セメント：C3使用 ** AE減水剤： 640cc/m^3

3. 実験結果および考察

3.1 各種混和材の粉末度および置換率の影響

ベースセメントとして普通ポルトランドセメント(C3)を用い、各種混和材を混合したコンクリートの配合を表-2に示す。このうち、混和材としてスラグ微粉末のみを用いたコンクリートの所要単位水量と混和材比率の関係を図-2に示した。既往の研究によれば、スラグ微粉末は、通常の微粉末とは異なり、粉碎の程度を大きくして用いても水量が増加することはほとんどなく、むしろ減水効果があるという報告³⁾が数多く、本研究の当初の段階では、スラグ微粉末を高置換した場合にも同様な傾向が得られることが予想された。しかしながら、図-2にも認められるように、同一スランプを得るための単位水量は、結合材中のスラグ微粉末の割合が増すにつれて逆に増加する結果となり、特に粉末度の大きいスラグ微粉末を高置換した場合には、著しく水量が増大することが判明した。この結果は、スラグ微粉末の置換に伴って結合材中の微細な粒子の割合が増加することによる水量への悪影響が顕著に表われたものと考えらる。また、本研究のように高置換域においては、スラグ微粉末自体の物性の影響が顕著となることを考慮すると、上述のスラグ微粉末の減水効果に関しては、山本ら⁴⁾が指摘しているように用いるスラグの形状や粉末度等によって相当に異なるものとする方が妥当であると思われる。

図-3は、粉末度の最も大きいスラグ微粉末とフライアッシュを併用した場合の所要単位水量を示したものである。この図において注目すべき点は、各混和材の混合比によって所要単位水量には大きな差異が認められることである。すなわち、混和材比率が同じ場合でも、フライアッシュの割合の増加（スラグ微粉末の割合の減少）とともに単位水量が減少しており、特に混和材比率が85%の場合には約 30 kg/m³もの差が生じているのである。これらの結果は、フライアッシュおよびスラグ微粉末のそれぞれの水量への相反する効果によってもたらされたも

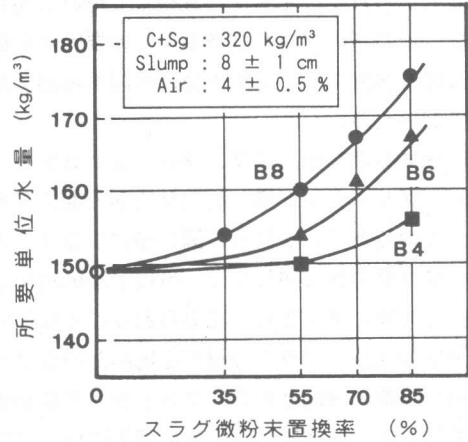


図-2 スラグの置換率と所要単位水量の関係

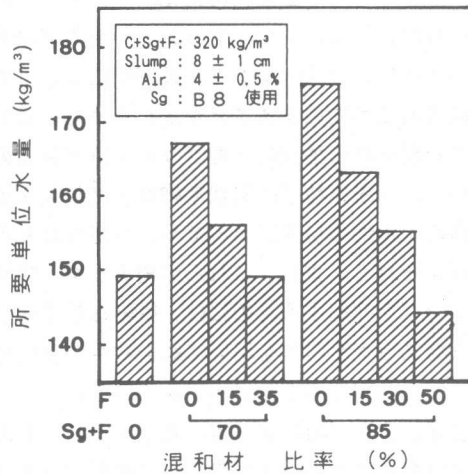


図-3 スラグとフライアッシュを併用した場合の所要単位水量

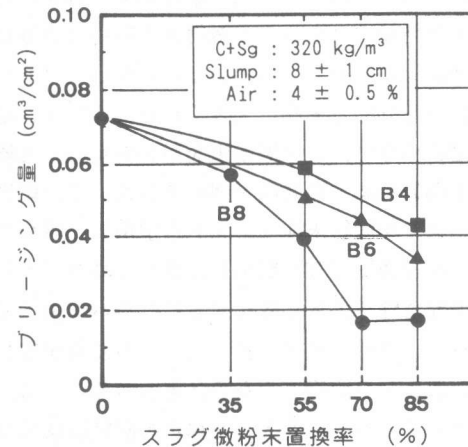


図-4 スラグの置換率とブリージング量の関係

のと考えられ、混和材を高置換して用いる場合には、それらの物性や置換率などの要因が水量に及ぼす影響についても十分に検討する必要があるといえる。

図-4および図-5は、フレッシュコンクリートのブリージング量と混和材比率の関係を示したものである。これらの図を参照すると、ブリージング性状に関しては、単位水量の結果とは逆の傾向にあることが認められる。すなわち、粉末度の大きいスラグ微粉末を用いた場合ほど、その置換率の増加とともにブリージング量が減少する一方、フライアッシュの混入に伴ってブリージング量は増加する結果となっている。また、ブリージング量の経時変化の一例を示した図-6によれば、フライアッシュの混入率が大きいものほどブリージングが長時間にわたって継続される傾向にあることが認められる。このような混和材の種類によるブリージング性状の違いは、微粉末粒子の形状や細かさに起因する粉体の保水性の相違によってもたらされたものと考えられる。また、これらの結果より、ブリージングを抑制するためには、微細な粒子を多く含むスラグ微粉末を用いて結合材中の微粒分を増すことが極めて効果的であるといえる。

各種のスラグ微粉末を用いたコンクリートの凝結試験結果を図-7に示す。この図によれば、スラグ微粉末の置換率が70%以下の範囲においては、凝結性状には有為な差は認められず、始発・終結時間ともスラグ微粉末を用いない場合とほぼ同じ結果となっている。しかしながら、置換率を85%と極端に大きくした場合には、粉末度の小さいスラグ微粉末を用いたものほど終結が顕著に遅れる傾向が認められた。この結果は、スラグ微粉末をセメントと併用した場合には、高置換域(70~85%)において結合材としての反応性が大きく変化することを示すものであって、発熱・硬化性状に関しても差異が生じていることを示唆するものと思われる。一方、フライアッシュを混入した場合の凝結性状について示した図-8によれば、フライアッシュの

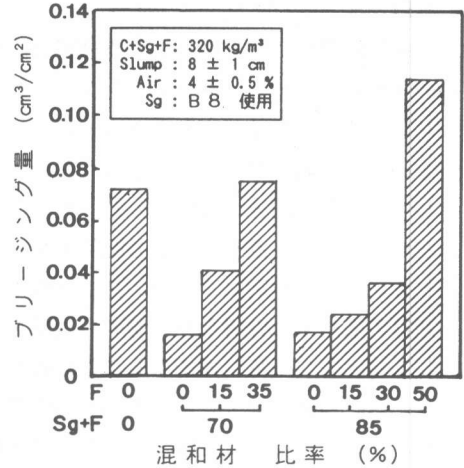


図-5 スラグとフライアッシュを併用した場合のブリージング量

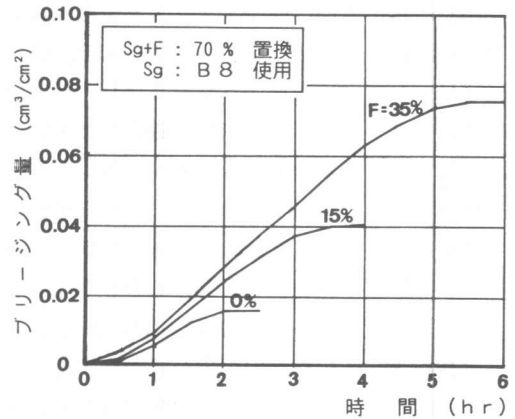


図-6 ブリージング量の経時変化

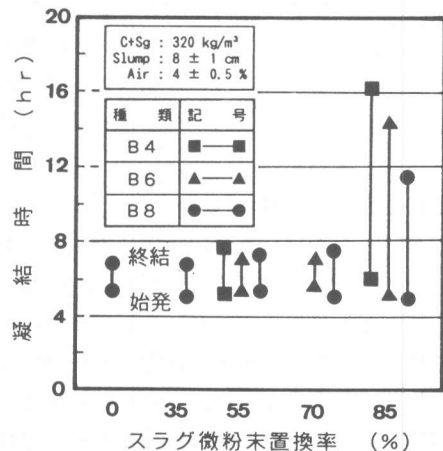


図-7 スラグを用いた場合の凝結性状

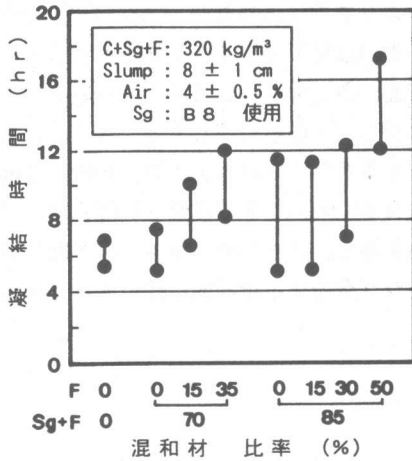


図-8 スラグとフライアッシュを併用した場合の凝結性状

置換率が高いものほど、始発・終結ともに遅延する傾向が認められる。この結果は、前述したフライアッシュの混入に伴うブリージングの継続時間の増大との相関によるものと考えられる(図-6参照)。

3.2 ベースセメントの粒度分布の影響

3.1 では、各種混和材を用いたフレッシュコンクリートの性状に関して述べてきたが、このうち、スラグ微粉末を高置換して用いる場合には、微粉量の増加に伴う水量への悪影響が問題となることが判明した。そこで、結合材中の微粉量を調整する観点から、分級操作により微細な粒子の割合を小さくしたセメントを試作し、これらを単独あるいはスラグ微粉末と混合して用いた場合のフレッシュコンクリートの性状についてさらに検討を加えた。試験結果を項目別に図-9に示す。これらの図にも認められるように、分級により微粉量を減少させたセメント(C2およびC1)を結合材として単独で用い、結合材中の微細な粒子の割合を著しく減少させた場合には、単位水量は通常セメント(C3)を用いた場合とほとんど変わらないものの、ブリージングが顕著に増加する結果が得られた。また、これらのコンクリートの練上りの状態は、いずれもプラスチシシーに欠け、全体的に荒々しい状態となることが観察された。一方、これらの微粉量の少ないセメントをベースとしてスラグ微粉末を70%置換して用いた場合には、スラグ微粉末の置換に伴う水量の増加が著しく低減され、通常セメントをベースとした場合と比較して最大約10kg/m³も水量が減少する結果が得られた。また、これらのコンクリートのブリージング・凝結性状に関しては、特に問題となる結果は認められず、ブリージング量はスラグ微粉末の置換によって著しく減少する結果となった。

以上の結果を総合して判断すると、混和材を高置換して用いた場合のフレッシュコンクリート

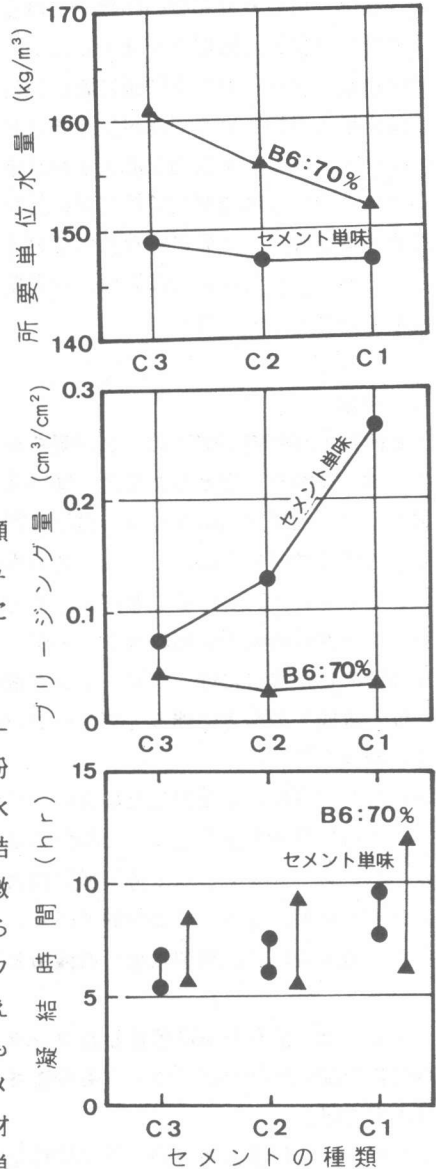


図-9 ベースセメントの粒度を変えた場合のフレッシュコンクリートの諸性状

の性状は、用いる混和材の種類やそれらの置換率によって相当に異なり、結合材全体の微粉末粒子の分布が重大な影響を及ぼすことが明白である。微細な粒子を多く含むスラグ微粉末を多量に用いれば、ブリージング抑制に著しい効果がある反面、所要のワーカビリティを確保する観点からは水量の増加という問題が生じることになる。しかし、この点に関しては、さらに混和材としてフライアッシュを適当量混入すれば十分に対処できると考えられる。また、粉碎・分級技術の向上により粒度調整が比較的容易に行なえるようになり、セメントの品質を粒度構成の観点から改善する研究⁵⁾も活発に行なわれていることを考慮すると、ベースセメントとして微粉量を減少させたセメントを用いる試みは、粉末度の大きいスラグ微粉末を積極的に活用するための一策となるものと考えられる。

4. 結論

本研究の範囲内で以下のことが明らかである。

- 1) 結合材量を一定とした場合、同一スランプを得るための所要単位水量は、混和材の粉末度や置換率によって相当に異なり、微粉の割合の多いスラグ微粉末を高置換した場合には著しく水量が増大する傾向にある。しかし、この水量の増加は、フライアッシュの混入や微粉を減少させたセメントをベースとすることによって十分に対処できる。
- 2) スラグ微粉末中の微粉はブリージング抑制効果を有しており、粉末度の大きいスラグ微粉末を高置換した場合には、ブリージング量は著しく減少する。一方、フライアッシュを用いた場合には、置換率の増大に伴ってブリージングが長時間にわたって継続され、ブリージング量も増加する傾向を示す。
- 3) スラグ微粉末を使用した場合の凝結性状は、置換率70%までは大きな差異は生じない。しかし、さらに置換率を大きくした場合には、急激に終結が遅延する。
- 4) ベースセメントとして分級操作により微粉の割合を減少させたセメントの使用は、結合材全体の粒度を調整する上で効果的であり、特に粉末度の大きいスラグ微粉末を高置換して積極的に活用する場合には、単位水量の低減策として極めて有効である。

本文では、混和材を高置換したコンクリートのフレッシュ時の性状について述べてきたが、発熱特性や硬化性状などについても今後さらに検討していく予定である。

【参考文献】

- 1) 例えば、伊藤秀敏ほか：混和材料を多量に混入したコンクリートの性状について、第40回セメント技術年報，pp.210～213,1986.
- 2) 例えば、三浦律彦ほか：超微細な高炉スラグ粉末を用いたコンクリートの凝結硬化性状と環境温度の影響，コンクリート工学年次論文報告集，第11巻，第1号，pp.349～354.
- 3) 例えば、遠藤裕悦ほか：高炉スラグ微粉末がコンクリートの配合と強度におよぼす影響について，高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集，pp.73～80,1987.
- 4) 山本泰彦ほか：高炉スラグ微粉末の水硬性と減水作用に関する考察，土木学会第43回年次学術講演会概要集，pp.181～182，1988.
- 5) 例えば、五十畑達夫ほか：低発熱セメントと粒度構成，第43回セメント技術大会講演集，pp.104～109，1988.