

論文

[1040] フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの諸性質

戸川一夫\*1・庄谷征美\*2・高津行秀\*3・斎藤賢三\*4

1. 本研究の目的

フェロニッケル細骨材を用いたコンクリートの諸性質に関してはこれまで多くの研究成果があり、圧縮強度等の強度特性は普通骨材コンクリートとほとんど変わらないこと[1]、さらに単位容積質量は普通骨材より大きく、質量を必要とするコンクリートを造るのに有効であること[2]等が報告されている。しかしながら、フェロニッケルスラグ細骨材混合率（フェロニッケルスラグ細骨材と普通細骨材を混合して使用する際、フェロニッケルスラグ細骨材と細骨材全量との絶対容積比を百分率で表わしたもの）が50%以上になると普通骨材コンクリートに比較してブリーディングが多くなること、そしてブリーディングが大きい場合には耐凍害性が低下すること[3]等、問題点が指摘されている。

本研究はフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートのブリーディング特性とブリーディングを抑制する目的で、高性能減水剤および高炉スラグ微粉末の効果を実験的に検討したものである。さらにフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの水密性についても検討を加えた。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント（比重3.16）を用いた。使用した細骨材は5種のフェロニッケルスラグ細骨材とそれぞれに対する粒度調整用の相手砂および比較用の川砂であり、表-1に物理試験成績等を示す。混合使用状態でのそれぞれの細骨材の粒度分布曲線を図-1に示す。ここではフェロニッケルスラグ細骨材混合率は、各種強度および耐凍害性が普通骨材コンクリートのそれらと大略同等であると報告されている[3]混合率の範囲の上限のところの50%とした。なお、一部に100%使用も実験している。粗骨材は全実験を通じて八戸市松館産の石灰岩碎石（最大寸法20mm, 比重2.70）を用いた。混和剤はリグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体のAE減水剤とポリカルボン酸エーテル系の高性能減水剤を使用した。ブリーディングの抑制効果を検討する目的で高炉スラグ微粉末（比表面積4000

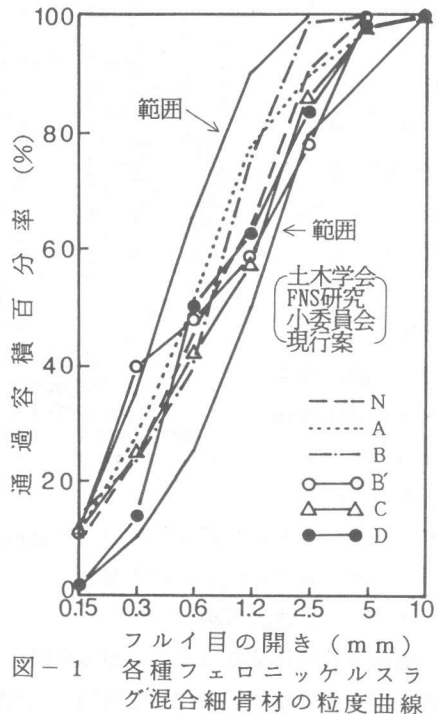


図-1 各種フェロニッケルスラグ混合細骨材の粒度曲線

\*1 和歌山工業高等専門学校教授 土木工学科、工博（正会員）

\*2 八戸工業大学教授 土木工学科、工博（正会員）

\*3 ㈱ポゾリス物産 大阪支店主査

\*4 山宗化学㈱ 技術開発部長（正会員）

表-1 使用細骨材

細骨材種類	比重	吸水率(%)	F. M	混合率	記号*	FNS細骨材の特徴
川砂(大井川産)	2.62	1.46	2.67	100%	N	
キルン水砕(1.2mm)	3.15	0.38	1.72	50%	A	半熔融状態のスラグを水で急冷し、粒度調整したもの、角ばる
同上相手砂(円山川産)	2.58	2.24	3.19	50%		
電炉風砕の破砕(5mm)	3.02	2.20	2.49	100%	B	熔融状態のスラグを空気で急冷し、破砕して、粒度調整したもの、角ばる
電炉風砕(5~0.3mm)	2.89	1.22	4.15	50%	B'	熔融状態のスラグを空気で急冷し、粒度調整したもの、球状である
同上相手砂(三沢産)	2.82	1.15	2.18	50%		
電炉徐冷砕(5mm)	3.05	1.21	2.90	50%	C	熔融状態のスラグを大気中で徐冷し、粒度調整したもの、角ばる
同上相手砂(大井川産、川砂)	2.62	1.46	2.67	50%		
電炉水砕(5mm)	2.84	0.73	3.94	50%	D	熔融状態のスラグを水で急冷し、粒度調整したもの、ガラス質、針状多い
同上相手砂(愛知県長浜町産)	2.60	2.25	1.84	50%		

\* 使用細骨材記号(混合細骨材を含む)

cm<sup>2</sup>/g, 比重2.90)

表-2 コンクリートの示方配合(基礎実験シリーズ)

を使用した。なお、一部に比表面積6000および8000cm<sup>2</sup>/gのものも用意した。

2. 2 各種試験と実験計画

2. 2. 1 ブリーディング試験

ブリーディング試験は表-1に示す6組の細骨材に対して、スランプ10cmで単位セメント量280kg/m<sup>3</sup>とスランプ5cmで380kg/m<sup>3</sup>の2ケースを計画した。そし

てその組合せをA E減水剤を用いる場合と高性能減水剤を用いる場合について実施した。ブリーディング試験はJIS A 1123に準じた。

2. 2. 2 透水試験

透水試験用供試体はφ10×20cmの円柱供試体であり、同一種類につき3本用意した。供試体は材令28日まで水中養生(20±3°c)し、以後10日程度気中養生して試験に供した。透水試験はインプット法によった。試験条件は水圧10kgf/cm<sup>2</sup>, 加圧時間48時間である。

2. 2. 3 ポロシチー測定方法

モルタルの細孔径分布を測定するためにカルロエルバ社製水銀圧入式ポロシメータ(測定圧力: 1~2000bar)を用いた。試料は透水試験用供試体を粗粉碎した後、モルタル部分をベンチ等で

使用細骨材種類	スランプ(cm)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤*	A E 助剤等**	
			C	W	FNS細骨材	相手砂			G
A E 減水剤	10	44	280	155	814(川砂)		1067	1.68(2a)	
		A		44	168	480	393	1048	1.68(2a)
		B		45	167	942	0	1031	1.26(1.5a)
		B'		44	160	462	428	1026	0.84(1a)
		C		44	167	465	400	1050	2.10(2.5a)
		D		44	160	437	400	1061	0
	5	N	40	380	148	707(川砂)		1104	4.56(4a)
		A	40		160	422	346	1085	3.99(3.5a)
		B	41		159	831	0	1069	4.56(4a)
		B'	42		151	408	378	1064	2.85(2.5a)
		C	40		161	408	351	1083	4.46(4a)
		D	40		152	385	352	1099	0
高性能減水剤	10	44	280	145	825(川砂)		1083	0.84(1a)	
		A		44	155	490	401	1067	0.168(0.2a)
		B		45	155	960	0	1048	0
		B'		47	143	481	446	1012	0.252(0.3a)
		C		44	155	474	407	1040	0
		D		45	149	454	416	1058	1.68(2t)
	5	N	40	380	133	723(川砂)		1129	1.14(1a)
		A	40		144	432	353	1112	0.57(0.5a)
		B	41		138	858	0	1102	1.14(1a)
		B'	43		134	428	396	1072	0
		C	40		145	418	359	1110	1.14(1a)
		D	41		138	403	369	1102	1.52(2t)

\* A E 減水剤 : セメント100kg当り1000ml(4倍液)使用

高性能減水剤 : C×1.1%使用(原液)

\*\* A E 助剤 : C×0.003%(実際は100倍液使用、セメント1kg当たり3ccが1a)

消泡液 : C×0.002%(実際は100倍液使用、セメント1kg当たり2ccが1t)

軽くはつり出し混合して、骨材を除いた部分だけを5~2.5mmに粒度調整し、Dドライ法で乾燥した。試験には乾燥試料を約3.0g使用した。

### 2. 3 コンクリートの配合

表-2はA E減水剤と高性能減水剤を用いたフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートのブリーディング

特性を検討するためのコンクリートの示方配合を示す。目標空気量は5%である。

表-3はブリーディングを低減するために高炉スラグ微粉末の効果を検討したシリーズのコンクリートの示方配合である。目標スランプ10cm, W/C=60%, 目標空気量5%でありA E減水剤を使用している。高炉スラグ微粉末の使用量は全細骨材量の容積内割で5%と10%である。

表-4は透水試験シリーズのためのコンクリートの示方配合を示す。目標スランプ10cm, W/C=55%, 目標空気量5%でありA E減水剤を使用した。

## 3. 実験結果と考察

### 3. 1 コンクリートの単位水量

フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの単位水量と川砂コンクリートのそれを比較して考察する。表-5はスランプおよび単位セメント量を同一にして川砂コンクリートの単位水量に対する各種フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートのその増減率を示している。A E減水剤お

表-3 コンクリートの示方配合(高炉スラグ微粉末シリーズ)

コンクリート種類	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )							
		C	W	FNS細骨材	相手砂	高炉スラグ <sup>*</sup>	G	混和剤	A E助剤
N - 0	44	258	155	814(川砂)		0	1077	2.58	1.60(2a)
A - 0	44	280	168	480	393	0	1048	2.8	1.68(2a)
A - 5				456	373	44			
A - 10 <sup>*</sup>				432	353	88			
B - 0	45	278	167	945	0	0	1031	2.78	1.25(1.5a)
B - 5				898	0	45			
B - 10				851	0	91			
B' - 0	46	263	158	466	432	0	1034	2.63	0.79(1a)
B' - 5				447	437	47			
B' - 10				419	389	95			
C - 0	44	278	167	467	396	0	1050	2.78	2.09(2.5a)
C - 5				444	376	44			
C - 10				420	356	89			
D - 0	44	267	160	442	404	0	1067	2.67	0
D - 5				420	384	45			
D - 10				398	364	90			

コンクリート種類の読み方 (例) A-5: キルン水砕使用、高炉スラグ微粉末置換率5%

\* A-10シリーズでは高炉スラグ比表面積6000cm<sup>2</sup>/gと8000cm<sup>2</sup>/gのものも追加実験している。

表-4 コンクリートの示方配合(透水試験シリーズ)

使用細骨材種類	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						
		C	W	FNS細骨材	相手砂	G	混和剤	A E助剤
N	44	282	155	815(川砂)		1067	2.82	1.69(2a)
A	44	305	168	474	388	1037	3.05	1.83(2a)
B	45	304	167	933	0	1021	3.04	1.37(1.5a)
B'	46	287	158	465	454	1023	2.87	0.861(1a)
C	44	304	167	461	396	1040	3.04	2.28(2.5a)
D	44	291	160	436	399	1056	2.91	0

表-5 フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの単位水量の増減率

スランプ (cm)	細骨材種類	A E減水剤		高性能減水剤		減水率** (%)
		単位水量	増減率(%)*	単位水量	増減率(%)*	
10	N	155	—	145	—	6.5
	A	168	8.4	155	6.9	7.7
	B	167	7.7	155	6.9	7.2
	B'	158	1.9	143	-1.4	9.5
	C	167	7.7	155	6.9	7.2
	D	160	3.2	149	2.8	6.8
5	N	148	—	133	—	10.1
	A	160	8.1	144	8.3	10.0
	B	159	7.4	138	3.8	13.2
	B'	151	2.0	134	0.8	11.3
	C	161	8.8	145	9.0	9.9
	D	152	2.7	138	3.8	9.2

\* 川砂コンクリートに対する各種フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの単位水量の増減率、(-)は減少

\*\* A E減水剤に対する高性能減水剤を使用した場合の単位水量の減水率

よび高性能減水剤を使用した場合、いずれも電炉風砕Bを用いたコンクリートの単位水量は川砂を用いた場合と同等もしくは低減できることがわかる。これは電炉風砕Bが球状粒子を原形としているためと考えられる。電炉水砕D、キルン水砕A、電炉風砕の破碎Bおよび電炉徐冷砕Cを用いた場合の単位水量はいずれの場合も同等もしくは増加する。また表-5にはA E減水剤を使用した場合の単位水量に比較して高性能減水剤を使用した場合の単位水量の減水率を示している。減水率はスランプ値によって少し異なるが、スランプ10 cmの場合で平均7.5%、スランプ5 cmの場合で平均約10.5%である。スランプ10 cmの場合、単位セメント量が280kg/m<sup>3</sup>と低めであるので、高性能減水剤の減水効果が少なかったと考えられる。

### 3. 2 ブリーディング特性

図-2はA E減水剤を用いた時の各種コンクリートのブリーディング量に関する実験結果を示す。この結果は相手砂がスラグ毎に変わり、フェロニッケルスラグ細骨材の影響だけを分離して示すことはできないが川砂コンクリートのブリーディング量に比べてフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートのブリーディング量が多いことは明らかであり他の研究報告[1]と同様である。中でも電炉風砕の破碎Bと電炉風砕Bはブリーディングが多い。Bは球状で保水性が悪いためと考えられる。少ないのはキルン水砕Aで、電炉徐冷砕Cと電炉水砕Dがそれらの中間にある。ブリーディング終了時間は川砂に比べて各種のフェロニッケルスラグ細骨材は長くなる。

図-3は高性能減水剤を用いた場合の各種コンクリートのブリーディング率について示している。高性能減水剤を用いた場合もA E減水剤を用いた場合と同様に各種のフェロニッケルスラグ細骨材は川砂よりブリーディング率は高くなり、中でも電炉風砕Bが最も高い。しかしながら、

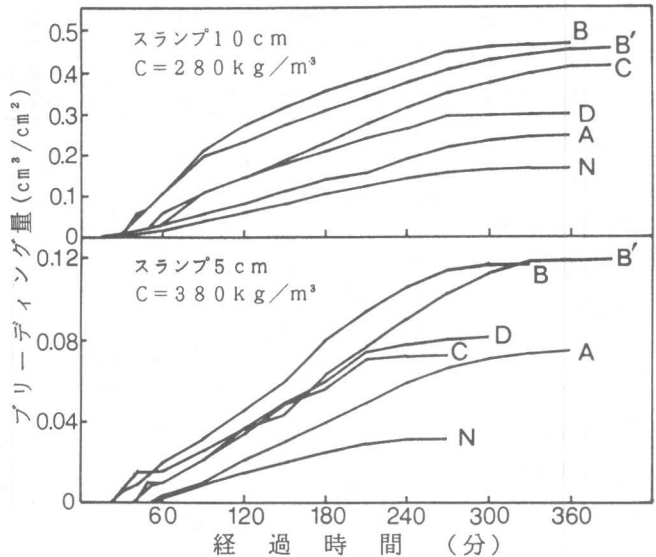


図-2 各種コンクリートのブリーディング量に関する実験結果 (A E減水剤使用)

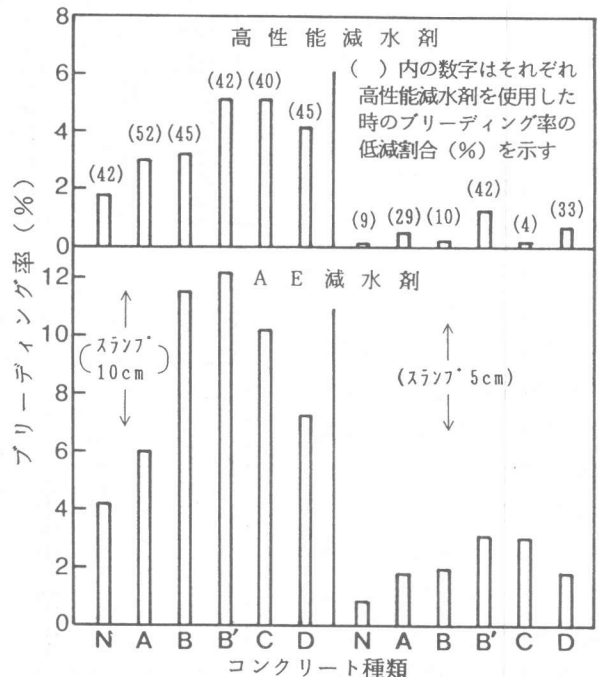


図-3 高性能減水剤を用いた場合のブリーディング率の低減効果に関する実験結果

高性能減水剤を用いることでフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートのブリーディング率はA E 減水剤を用いた場合と比べて大幅に低減できることがわかった。

図-4 は高炉スラグ微粉末を細骨材に容積内割で置換えて使用した時のブリーディング率の低減状況を示したものである。いずれのフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートについても高炉スラグ微粉末を細骨材に置換えて使用することでブリーディング率を

低減できることがわかる。置換率が高いと、ブリーディング率の低減効果も大きくなる。置換率が10%で、いずれのフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートのブリーディング率も川砂コンクリートと同程度かそれ以下になることがわかった。

### 3. 3 水密性

図-5 に透水試験を行って得られた各種コンクリートの拡散係数を示す。いずれのフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートも川砂コンクリートより、拡散係数は低く、フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの水密性は川砂コンクリートより高くなっている。この原因を明らかにするために、各種コンクリートのモルタル部分についての細孔径分布を測定した。その結果を図-6 に示す。また図-5 には拡散係数の値とモルタルの細孔容積等の値を示している。

図-5 より各種モルタルの細孔の平均径および中心径の大小関係は各種コンクリートの拡散係数の大小関係に良く似ていることがわかる。すなわち、細孔の平均径および中心径の小さいものほど拡散係数は小さくなっている。なお、拡散係数は総細孔容積との関係で、説明しにくいことがわかった。この原因は明白でないが、フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートが川砂コンクリートよりも水密性が高くなるのはモルタルの細孔の平均径や中心径が小さくなることに

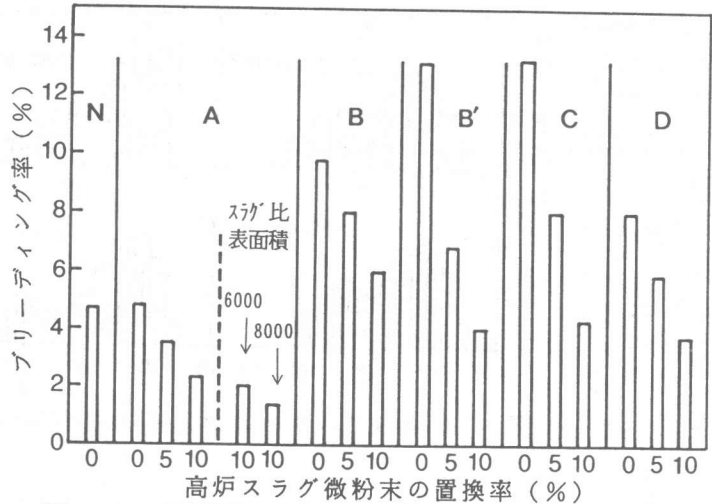


図-4 高炉スラグ微粉末によるブリーディング率の低減効果に関する実験結果

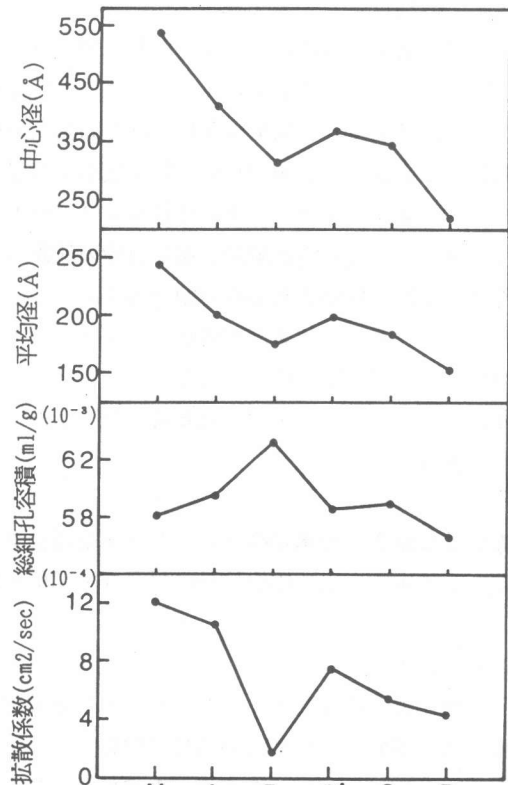


図-5 コンクリートの拡散係数およびモルタル細孔容積等に関する実験結果

一因があると  
考えられる。  
ブリーディン  
グ水は容器側  
面に沿って上  
昇する割合が  
多い[4]と言  
われており、  
コンクリート  
中に水みちを  
作る割合は少  
ないと推定さ

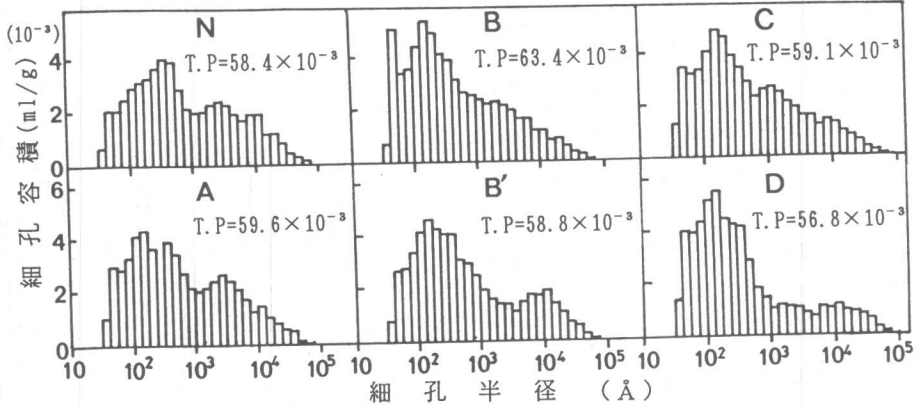


図-6 各種モルタルの細孔径分布測定結果

れ、また、ブリーディング水が多いと、結果的にペーストの水セメント比が小さくなり、その分フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの細孔径が小さくなったと考えられる。

#### 4. 結論

本実験結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 同一スランプでフェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの単位水量と川砂コンクリートのそれを比較すると、電炉風砕は川砂と同程度かそれ以下であるが、電炉風砕の破碎、電炉水砕、電炉徐冷砕およびキルン水砕は同程度かそれ以上となる。
- 2) フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートのブリーディング率は川砂コンクリートと比較して大きく、中でも電炉風砕と電炉水砕の破碎が大きく、比較的小さいのがキルン水砕で、電炉徐冷砕と電炉水砕がそれらの中間である。
- 3) フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートのブリーディング率の低減には高性能減水剤および高炉スラグ微粉末は有効である。
- 4) フェロニッケルスラグ細骨材コンクリートの水密性は川砂コンクリートと同等かそれ以上期待できる。

謝辞：本研究は土木学会コンクリート委員会フェロニッケルスラグ細骨材研究小委員会の研究課題として実施した。国府委員長ならびに関係各位に深謝します。

#### <参考文献>

- 1) 秋山淳、山本泰彦：コンクリート用細骨材としてのフェロニッケルスラグの利用，土木学会論文集，第366/V-4, PP. 103-112, 1986. 2.
- 2) 平井宏、鍋谷裕、竹内甫、板迫征二：フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリート，セメントコンクリート，No. 514, PP. 41-48, 1989. 12.
- 3) 庄谷征美、杉田修一、徳橋一樹：フェロニッケルスラグ砂を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性，土木学会第46回年次学術講演会，PP. 558-559, 1991. 9.
- 4) 辻正哲：ブリーディング水の発生機構とその処理方法に関する研究，セメントコンクリート，No. 457, PP. 25-30, 1985. 3.