

V-78

超微細な高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの細孔分布と耐久性

大林組技術研究所 正会員 三浦 律彦

大林組技術研究所 正会員 十河 茂幸

大林組技術研究所 正会員 芳賀 孝成

1. ま え が き

粉末度が $6,000 \sim 8,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 程度の超微細な高炉スラグ微粉末を混入使用したコンクリートは、材令初期の強度発現が従来の高炉セメントを用いた場合に比べてかなり促進され、長期材令においても十分な強度増進が得られることから、寒中コンクリート工事や圧縮強度が $800 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 程度以上の超高強度コンクリートに適用できることを既報^{1), 2)} で示した。本報告はこの超微細なスラグ微粉末を用いたコンクリートの耐久性について、細孔分布の測定結果と関連させて検討を加えたものである。

表-1 使用材料とその特性

種 類	略 号	名 称	銘柄・産地	比重	特性・主成分など
セメント	NP	普通ポルトランド	C 社 製	3.16	比表面積 (ブレン) $3,240 \text{ cm}^2/\text{g}$
	DM	特殊プレミックスドライモルタル	N T 社 製	2.94	早強ポルトランド (30%) 8,000 クラススラグ微粉末 (30%) 1.2mm アンダースラグ細骨材 (40%)
混 和 材	Sg	高炉スラグ微粉末	D C 社 製	2.91	比表面積 $8,230 \text{ cm}^2/\text{g}$, 塩基度 1.79
	SF	シリカフェーム	N J 社 製	2.22	平均粒子径 $0.36 \mu\text{m}$, $\text{SiO}_2 = 92.6\%$
混 和 剤	No.70	標準型AE減水剤	P Z 社 製	1.25	リグニン系・ポリオール系
	No.303A	空気連行助剤	P Z 社 製	—	特殊アニオン系
細 骨 材	S	山 砂	木更津産	2.63	吸水率 1.74 %, FM 2.68
粗 骨 材	G	砕 石	青 梅 産	2.64	$G_{\text{max}} 20\text{mm}$, 吸水率 0.79 %, FM 7.68

2. 実 験 概 要

2.1 使用材料と配合

実験に使用した各種材料の種類と性状を表-1に示す。スラグ微粉末 (Sg) は粉末度 $8,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ クラスのものをを用いた。また、比較のために高炉スラグ微粉末とスラグ細骨材を含む早強系の特殊プレミックスモルタル (DM) やシリカフェーム (SF) も使用した。

コンクリートの配合を表-2に示す。この配合は材令28日の強度がほぼ等しくなるように定めたもので、高炉スラグ微粉末の混入率は30%と60%、シリカフェームの混入率は20% (共にセメント重量一部と置換して使用) とした。

2.2 耐久性に関する試験項目

試験項目は急速水中凍結融解試験 (ASTM C 666: 材令14日開始)、気泡分布 (画像解析装置を用いた面積比法) 及び細孔分布 (水銀圧入法) の測定 (共に材令 7, 28, 91日)、透水試験 (水圧 $10 \text{ kgf}/\text{cm}^2 \times 96 \text{ hr}$ インプット法: 材令 28, 91日後1ヶ月空中養生して開始) 塩分浸透試験 (Cl^- 濃度1.8%の人工海水に2ヶ月浸漬後フェノールナトリウムの変色で判定) 中性化促進試験 ($\text{CO}_2=5\%$, 温度 30°C , 湿度40%に2ヶ月間: 材令28日開始) である。

表-2 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
			W	C	Sg	SF	S	G	AE減水剤 No. 70	AE助剤 No. 303A
NP-55	55	42.5	162	294	—	—	800	1,088	Cx0.25%	1.0 A
NP-60	60	43.5	162	270	—	—	827	1,080	Cx0.25%	1.0 A
Sg(0.3)-60	60	43.5	168	196	84	—	814	1,062	Cx0.25%	3.5 A
Sg(0.6)-60	60	43.0	170	113	170	—	798	1,064	Cx0.25%	4.5 A
SF(0.2)-60	60	43.0	174	232	—	58	777	1,038	Cx0.25%	4.0 A
DM-65	65	43.0	188	DM 446 (134)	—	—	634 (+178)	1,068	Cx0.25%	2.5 A

表-3 フレッシュ性状と強度発現性状

配合名	フレッシュ性状				圧縮強度 (kgf/cm ²)		
	温度 (°C)	Air (%)	スラブ (cm)	単重 (t/2)	7日	28日	91日*
NP-55	18.8	2.7	9.0	2.325	301	405	495
NP-60	19.0	2.5	8.0	2.329	276	384	464
Sg(0.3)-60	18.2	2.5	12.5	2.325	230	406	437
Sg(0.6)-60	18.3	2.0	12.5	2.320	227	413	473
SF(0.2)-60	19.4	4.4	6.0	2.254	243	418	439
DM-65	19.0	2.6	13.0	2.309	302	435	443

* 28日以降気中養生

3. 実 験 結 果 と 考 察

3.1 フレッシュ性状、強度発現性状

表-3 に各種コンクリートのフレッシュ性状と圧縮

強度の結果を示す。空気量はSF だけ少し多く、それ以外は2~3%の範囲にある。材令28日の圧縮強度はDMがやや高く、NP-60がやや低くなった。

表-4 気泡分布、細孔分布の測定結果と耐久性に関する試験結果一覧

配合名	材令	気泡分布測定結果			ペースト部の細孔分布測定結果					各種の耐久性試験結果		
		空気量 (%)	間隔係数 (μm)	全細孔量 (cc/g)	M細孔量 (cc/g)	M細孔率 (%)	L細孔量 (cc/g)	L細孔率 (%)	平均半径 (μm)	透水深さ (mm)	塩分浸透 (mm)	中性化深 (mm)
NP-55	7日	2.58	159	0.1951	0.0859	44.0	0.0279	14.3	0.0079	—	—	—
	28日	1.54	231	0.1527	0.0593	38.8	0.0253	16.6	0.0068	9.7	20.0	17.6
	91日	1.71	224	0.1388	0.0572	41.2	0.0228	16.4	0.0073	10.4	—	14.6
NP-60	7日	2.03	156	0.2142	0.1014	47.3	0.0262	12.2	0.0082	—	—	—
	28日	1.23	190	0.1881	0.0685	36.4	0.0292	15.5	0.0066	10.5	20.5	18.4
	91日	1.66	191	0.1586	0.0568	35.8	0.0238	15.0	0.0067	10.2	—	17.1
Sg(0.3)-60	7日	2.46	141	0.2695	0.1166	43.3	0.0402	14.9	0.0079	—	—	—
	28日	1.45	171	0.1889	0.0261	13.8	0.0339	17.9	0.0047	10.9	15.5	20.6
	91日	1.75	202	0.1619	0.0160	9.9	0.0297	18.3	0.0040	12.7	—	20.8
Sg(0.6)-60	7日	2.18	152	0.2453	0.0640	26.1	0.0284	11.6	0.0059	—	—	—
	28日	1.47	168	0.1751	0.0148	8.5	0.0190	10.9	0.0040	9.7	9.2	26.4
	91日	1.60	209	0.1620	0.0114	7.0	0.0186	11.5	0.0034	7.5	—	21.3
SF(0.2)-60	7日	2.34	155	0.2198	0.0979	44.5	0.0281	12.8	0.0085	—	—	—
	28日	2.29	124	0.1698	0.0280	16.5	0.0288	17.0	0.0053	7.6	5.3	33.4
	91日	1.64	192	0.1521	0.0166	10.9	0.0286	18.8	0.0048	10.8	—	28.0
DM-65	7日	2.20	185	0.2322	0.0699	30.1	0.0258	11.1	0.0063	—	—	—
	28日	1.63	174	0.1905	0.0217	11.4	0.0274	14.4	0.0044	12.4	16.8	23.6
	91日	1.87	228	0.1716	0.0149	8.7	0.0269	15.7	0.0039	7.7	—	21.3

(注) *M細孔量とは細孔半径が $0.014 \sim 0.24 \mu\text{m}$ の範囲にある中間サイズの細孔の容積を、M細孔率はその全細孔量に対する比率を意味する
 †L細孔量とは細孔半径が $0.24 \sim 10.0 \mu\text{m}$ の範囲にある比較的大きな細孔の容積を、L細孔率はその全細孔量に対する比率を意味する

3. 2 気泡分布、細孔分布と耐久性

表-4に試験結果の一覧を、また図-1に凍結融解試験の結果を示す。図-1の結果より、耐凍結融解性は何れのものも良好であるが、NPだけは210サイクル程度から劣化のきざしが見られ、表-4で気泡分布に差がないことからL、M細孔量の差によると推察できる。

スラグ微粉末を使用したものはその他の耐久性も良好である。このうち、水密性は平均細孔半径でほぼ評価でき、遮塩性は平均細孔半径の他100ワグストローム以下の超微細な細孔の量³⁾と関係があると言える。なお、中性化速度は水密性や遮塩性とは逆の性状を示し、スラグ微粉末の量の多いものほど大きくなったが、これは細孔径分布に関係する透気性の違いだけでなく、水酸化カルシウムの多少に因るマトリクスのpHの影響などの化学的要因によると判断される。

4. ま と め

以上に示した結果より、超微細な高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは耐凍結融解性、水密性、遮塩性が改善される反面、中性化速度が若干促進されることが明らかになった。また、これらの耐久性は細孔分布と関連が深く、耐凍結融解性はL+M細孔量、水密性は平均細孔半径、遮塩性は100ワグストローム以下の超微細な細孔の量と相関が高いこと、中性化速度は細孔分布だけでは評価できないことなどが明らかになった。

【参考文献】

- 1) 三浦 ほか：超微細な高炉スラグ微粉末を用いた超高強度コンクリートに関する基礎研究，土木学会第44回講演会
- 2) 三浦 ほか：超微細な高炉スラグ微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，JCI講演会1989年
- 3) 後藤 誠史：セメント硬化体と空隙，《講座》セメントコンクリート化学とその応用 No. 5, 6, セメントコンクリート No. 462, 464

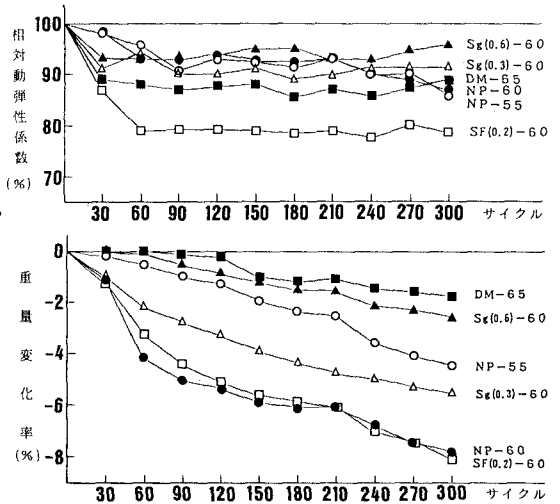


図-1 凍結融解試験結果