

V-60

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

(株)大林組技術研究所 正会員 三 浦 律 彦
 (株)大林組技術研究所 正会員 十 河 茂 幸
 (株)大林組技術研究所 正会員 芳 賀 孝 成

1. ま え が き

近年、高炉スラグ微粉末の使用量は高炉セメントの使用量の増加と相まって増加する傾向にある。また、粉砕・分級技術の向上により、高炉スラグ微粉末自体も従来のものよりさらに微粉末化されるようになり、最近では粉末度が 8,000～10,000 cm^2/g クラス以上のものも生産されるようになってきた。これらの超微細な高炉スラグ微粉末をコンクリートに混入使用した場合、材令初期の強度発現が従来の 3,000～4,000 cm^2/g クラスのものを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^{1)・2)}、圧縮強度が800kgf/ cm^2 程度以上の超高強度コンクリートへの適用性も高いと思われる。本報告はこの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の各種の強度特性について実験的に検討を加えたものである。

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。このうち、高炉スラグ微粉末は高炉セメントB種にブレンドされている粉末度4,000 cm^2/g クラスのもの他に 6,000、8,000 cm^2/g クラスの超微粉末を用いた。なお比較のために、高炉スラグ微粉末 (8,000 cm^2/g クラス) とスラグ細骨材を含む早強系の特殊ブレミックスモルタル (DM) やシリカフェーム (SF) も用いた。

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	N P	普通ポルトランド	C 社 製	3.16	比表面積 (ブレーン) 3,240 cm^2/g
	H P	早強ポルトランド	C 社 製	3.14	比表面積 4,180 cm^2/g
	B B	高炉セメントB種	N H 社 製	3.05	比表面積 3,780 cm^2/g
	D M	特殊ブレミックスドライモルタル	N T 社 製	2.84	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%)
細骨材	S	山 砂	木更津産	2.60	吸水率 1.68 %, FM 2.68
粗骨材	G	砕 石	青 梅 産	2.64	Gmax20mm, 吸水率 0.58 %, FM 7.68
混和材	Sg(A)	高炉スラグ微粉末	D C 社 製	2.91	比表面積 6,200 cm^2/g , 塩基度 1.81
	Sg(B)	高炉スラグ微粉末	D C 社 製	2.81	比表面積 8,230 cm^2/g , 塩基度 1.79
	SF	シリカフェーム	N J 社 製	2.25	平均粒子径 0.36 μm , SiO_2 88.6%
混和剤	SP	高性能減水剤	S F 社 製	1.15	リグニン系・ナフタレン系
	AE助	空気連行助剤	P Z 社 製	—	特殊アニオン系

表-2 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-2に示す。水結合材比は25%と30%の2種類で、高炉スラグ微粉末の混入率は50%、シリカフェームの混入率は15% (共にセメント重量の内割) と一定にした。単位水量は160kg/ m^3 と一定にして、十分な施工性を保つためにスランブが23±1.5 cm程度となるよう高性能減水剤の添加量を調整した。

粗骨材最大寸法	空気量	スランブ	水・結合材比	細骨材率	単位セメント量	混和材
20 mm	2±0.5 %	23±1.5 cm	25%	36～37%	640 kg/m^3	Sg(A) : 50%
			30%	37～38%	533 kg/m^3	Sg(B) : 50% SF : 15%

2.2 試 験 項 目

試験項目は圧縮、割裂引張 (以上は円柱供試体 $\phi 10 \times h 20\text{cm}$)、曲げ、2面せん断 (以上は角柱供試体 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$) の4種類とし、供試体の養生は標準水中養生とした。

3. 実 験 結 果 と 考 察

高炉スラグ微粉末と高性能減水剤を使用した超高強度コンクリート (水結合材25, 30%) の圧縮強度、引張強度、曲げ強度、せん断強度の試験結果の一例を図-1～4、表-3に示す。

これらの結果より以下のことが明らかである。

- ①超微細な高炉スラグ微粉末を混入したものでは、材令7日でNPと同程度の圧縮強度 (600～700kgf/ cm^2) が得られ、その後1,000kgf/ cm^2 程度までは比較的大きな強度増進を示し、材令91日程度ではDMやシリカフェームを混入したものとほぼ同等な高い強度が得られる。

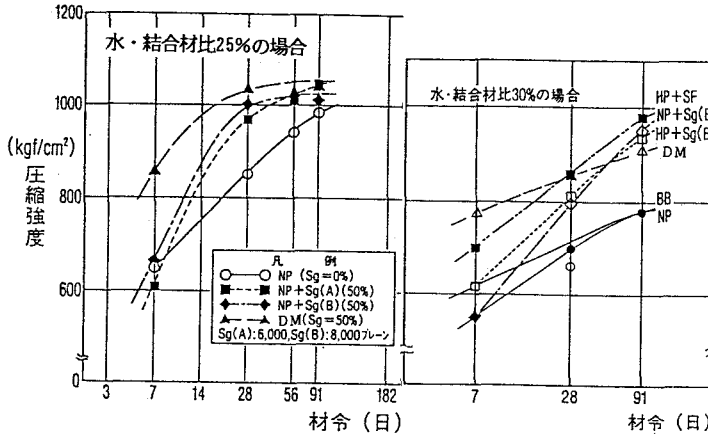


図-1 圧縮強度の発現性状
(1) 水結合材比25%

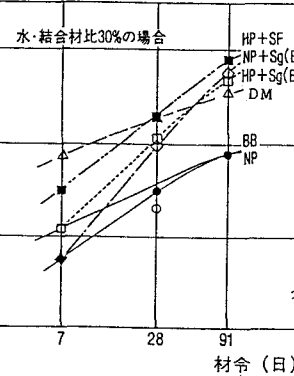


図-2 圧縮強度の発現性状
(2) 水結合材比30%

- ②高炉スラグ微粉末の粉末度の違いが圧縮強度の発現に及ぼす影響は、6,000 cm^2/g クラス以上であればあまり差が認められなくなる。
- ③高炉スラグ微粉末を混入したコンクリート（DMを含む）では、水結合材比を25%にすれば材令28日程度で、また30%にすれば材令91日程度で1,000 kgf/cm^2 程度の高い圧縮強度が得られる。
- ④材令7日から91日までの引張強度の発現が最も大きいのはNP+Sg(B)で、次いでBB、DM、HP+Sg(B)の順であり、NPが最も小さい。また、高炉スラグ微粉末を混入したコンクリート（DM、BBを含む）では、材令91日で50 kgf/cm^2 以上の引張強度が得られる。
- ⑤曲げ強度の発現が最も大きいのはDMで、材令91日で100 kgf/cm^2 程度の超高強度が得られる。それ以外のコンクリートは何れも材令91日で80~90 kgf/cm^2 程度の曲げ強度が得られる。
- ⑥せん断強度の発現が最も大きいのはDMで、材令91日で275 kgf/cm^2 もの超高強度（NPの約4割増）が得られ、次いでHP+Sg(B)、NP+Sg(B)の順に高い強度となっている。
- ⑦一般に何れの配合のコンクリートも、引張、曲げ、せん断強度は圧縮強度の増加に比例して大きくはなっておらず、通常の高強度コンクリート（NPなど）とほとんど大差ない値となっている。従って、圧縮強度に対する比率（表-3）は一般の強度のコンクリートの値に比べかなり小さくなり、脆性が大きくなることが明らかである。

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は圧縮強度が800~1,000 kgf/cm^2 程度の超高強度コンクリートへの適用性が高く、シリカフェームとほぼ同等な強度性状を示すことが明らかになった。

しかし、引張、曲げ等の圧縮以外の強度は圧縮強度ほど著しい増加を示さないことから、コンクリートとしては脆性が高く、実構造物に使用するには繊維系の新素材等による靱性の改善が必要と思われる。

[参考文献]

- 1) コンクリートライブラリー第63号：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針案，昭和63年1月，土木学会
- 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

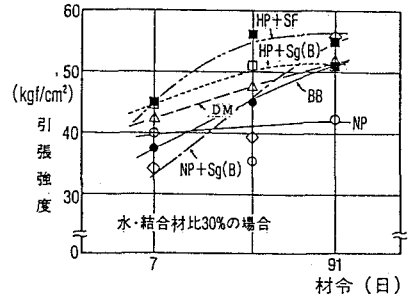


図-3 引張強度の発現性状
(水結合材比30%)

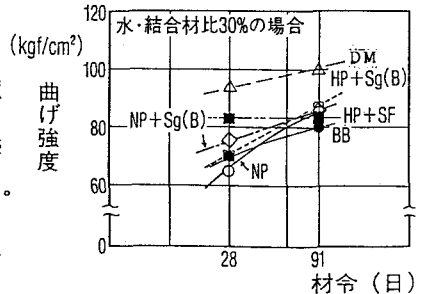


図-4 曲げ強度の発現性状
(水結合材比30%)

表-3 各種強度の圧縮に対する強度比一覧

特性値	種類	圧縮強度に対する比率		
		材令 7 日	材令 28 日	材令 91 日
引張強度	NP	1/15.5	1/19.9	1/18.5
	NP+Sg(B)	1/16.2	1/20.2	1/17.1
	HP+Sg(B)	1/13.9	1/15.9	1/18.3
	HP+SF	1/15.6	1/15.3	1/17.8
	BB	1/14.7	1/15.5	1/15.2
	DM	1/18.4	1/18.0	1/17.5
曲げ強度	NP	—	1/10.1	1/ 9.2
	NP+Sg(B)	—	1/10.6	1/11.0
	HP+Sg(B)	—	1/11.4	1/10.7
	HP+SF	—	1/10.4	1/11.8
	BB	—	1/10.0	1/ 9.7
	DM	—	1/ 9.0	1/ 9.0
せん断強度	NP	—	1/ 4.1	1/ 4.1
	NP+Sg(B)	—	1/ 5.2	1/ 4.6
	HP+Sg(B)	—	1/ 4.4	1/ 4.7
	HP+SF	—	1/ 4.4	1/ 4.6
	BB	—	1/ 3.9	1/ 3.9
	DM	—	1/ 4.1	1/ 3.3

(水結合材比30%の場合)