

東京工業大学 学生員 梅木 秀郎
 東京工業大学 正会員 長瀧 重義
 東京工業大学 正会員 大賀 宏行

1. まえがき

本研究は微粉末化した高炉スラグをコンクリート用混和材として用いるための基礎資料を得ることを目的として、高炉スラグ微粉末の粉末度及び石こう添加量がモルタルの圧縮強度と乾燥収縮に及ぼす影響について検討し、さらにコンクリートにも適用してその強度特性に検討を加えた。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメントであり、高炉スラグ微粉末（以下“スラグ”とする）は、産地別にX、Yの2種を用いその物理化学的性質を表-1に示す。モルタルでは、相馬砂と豊浦砂を重量で2:1の割合で混合した砂を用い、 $W/(C+Sg)=50\%$ (Sg はスラグを表す)、 $Sg/(C+Sg)=50\%$ として、フロー値が 190 ± 5 になるように $S/(C+Sg)$ を決定した。圧縮強度の測定は、材令 3, 7, 28, 91日で行い、乾燥収縮については水中養生を1週および4週行い、その後温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室で乾燥し乾燥材令1, 4, 8, 13, 26週の収縮量を測定した。なお、モルタル圧縮強度の測定には $\phi 5 \times 10\text{cm}$ 、乾燥収縮の測定には $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の供試体を用いた。コンクリートに用いたセメントは銘柄の異なる3種類の普通ポルトランドセメントを混合したものであり、配合は表-2に示すように単位結合材量を 330kg/m^3 とし、スラグ混和率を0, 30, 50, 70%に変化させ、スランプ $8 \pm 1\text{cm}$ 、空気量 $4 \pm 1\%$ となるように単位水量及びAE補助剤量を決定した。なお、コンクリートに用いた粗骨材は西多摩産の碎石（比重2.63, FM6.66）、細骨材は相模川狼島産の川砂（比重2.55, FM2.49）である。

3. 実験結果及び考察

(1) 粉末度及び石こう添加量がモルタルの圧縮強度に及ぼす影響

図-1にY種のスラグを用いた場合の粉末度とSAI（スラグ活性度指数）の関係を、図-2には石こう添加量とSAIの関係を示す。なお、図-1におけるSAIは石こう添加量0.70%の場合の値を図-2より求めたものである（ただし、Y8は石こう添加量が0.51%である）。ここでいうSAIとはスラグ無混和の場合に対する強度の比率である。図-1より粉末度を大きくすることが、材令3日程度の初期強度に対し非常に有効であることが認められる。この原因として、スラグ粒子の比表面積が大きいため反応が活発に進み、早期において潜在水硬性により強度が発現されたことが考えられる。しかし、粉末度の小さいスラグでも長期的には強度の伸びが大きく材令91日程度になると粉末度の影響はあまり顕著でない。一方、石こう添加量が強度に及ぼす影響については、図-2のようにX種のような初期強度の発現が遅いスラグにおいて、初期強度が若干改善されるが、長期的には石こう添加量が増えるにつれ強度は小さくなる傾向にある。このように石こうの添加は、初期強度の発現が遅いスラグに対しては有効

表-1 各スラグの物理化学的性質

名称	比表面積 (cm^2/g)	石こう 含有 (%)	圧縮強度 (kg/cm^2)	ガラス化 率 (%)
X	G0	3230	0.07	1.79
	G2	3160	1.55	1.83
	G3	3100	2.89	1.86
	G0	4290	0.11	1.78
	G2	4300	1.86	1.82
	G3	4190	2.30	1.85
	G0	5160	0.13	1.80
	G2	5030	2.00	1.84
	G3	5020	3.00	1.86
Y	G0	3230	0.13	1.91
	G2	3230	1.53	1.91
	G3	3250	1.85	1.91
	G0	4410	0.54	1.96
	G2	4500	1.75	1.96
	G3	4390	2.25	1.96
	G0	5580	0.70	1.96
	G2	5580	2.05	1.96
	G3	5580	2.68	1.94
Y8	7880	0.51	1.94	

表-2 コンクリートの配合

使用した スラグ	単位結合 材量 (kg/m^3)	W/(C+Sg) (%)	s/a (%)	AE 減水剤 (g/m^3)	AE 補助剤 (g/m^3)
無混和	0	50	42		4.6
Y4G2	30	49	42		11.9
	50	48	41		17.2
	70	48	40		22.4
	90	48	42	42.5	11.9
Y5G2	30	48	41		17.2
	50	46	41		22.4
	70	47	40		19.8
	90	46	41		27.9
Y8	70	48	40		

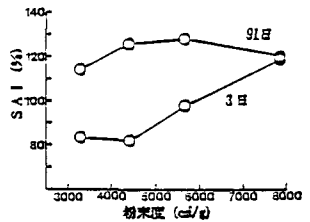


図-1 粉末度とSAIの関係

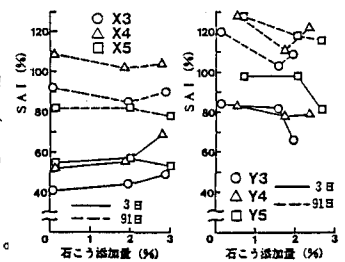


図-2 石こう添加量とSAIの関係

であるが、長期的には強度の増進を妨げるため、スラグの品質及び使用目的に応じて石こうの添加量を調整する必要がある。

（2） 粉末度及び石こう添加量がモルタルの乾燥収縮に及ぼす影響

図-3に水中養生を1週行った場合のY種のスラグの粉末度と乾燥収縮量の関係を、図-4に石こう添加量と乾燥収縮量の関係を示す。なお強度の場合と同様に、図-3では石こう添加量が0.70%の場合の収縮量を図-4より求め用いている（ただしY8は石こう添加量0.51%である）。図-3より粉末度を大きくすると収縮量は多くなるが、粉末度を8000cm²/g程度まで大きくすると逆に収縮量が少なくなることが認められる。これは前述したように粉末度が非常に大きいので反応が活発に進み、1週間の水中養生期間中に非常に大きな強度を得たためと考えられる。一方、図-4よりX種、Y種の両スラグとも石こう添加量が多いほど収縮量が少なく、乾燥収縮に対しては石こうの添加が有効である。

（3） 水中養生期間と乾燥収縮の関係

図-5に水中養生期間が1週と4週の場合の収縮量を示す。水中養生期間が1週あるいは4週でも、スラグを混和した場合は無混和の場合よりも大きな収縮を示す。しかし水中養生期間の影響は、無混和の場合に比べ、スラグを混和した場合に大きく、どのスラグを混和した場合にも収縮は低減している。これは長期間の水中養生によってスラグの潜在水硬性が進行し強度が増大したためと考えられる。

（4） コンクリートの強度特性

図-6に材令7,28,91日におけるコンクリート及びモルタルのSAIの関係を（ただし、Sg/(C+Sg)=50%であり、モルタルにおいても3種混合のセメントを用いている）、図-7に各スラグのSAIと混和率の関係を示す。コンクリートにおけるスラグの活性は、モルタルの場合に比べるとかなり劣り、SAIの値にして約30%程度小さくなっている。また、Y4G2、Y5G2のスラグを混和した場合は、材令91日においても無混和の場合の強度を下まわっている。しかし粉末度の大きいY8のスラグを混和した場合は、混和率及び材令に関係なくほぼ無混和の場合と同等の強度が得られた。

4. まとめ

スラグに対する石こうの添加は、初期強度の改善に効果を発揮する場合もあるが、長期的な強度の増進を若干妨げる。しかしながら、石こうは乾燥収縮を抑える効果があり、強度及び乾燥収縮の両面からみて、約2%程度の石こうの添加が望ましい。スラグの粉末度を大きくすることは初期においては強度を改善するものの長期的な強度には有効でない。さらに、粉末度を大きくすると収縮も大きくなり、スラグの粉末度は使用目的に応じて決定すべきである。一方、Y8のように極端に粉末度の大きいスラグは、強度の発現が早く、コンクリートに適用した場合にも無混和の場合と同等の強度を示すことから、強度の面からみると、その利用価値は非常に高いものと考えられる。なお本研究は、土木学会・コンクリート委員会・高炉スラグ混和材研究小委員会の委員会活動の一環として実施したものである。

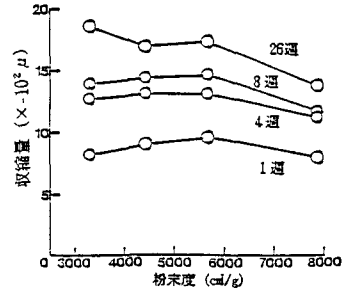


図-3 粉末度と収縮量の関係

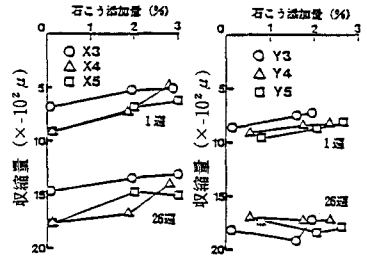


図-4 石こう添加量と収縮量の関係

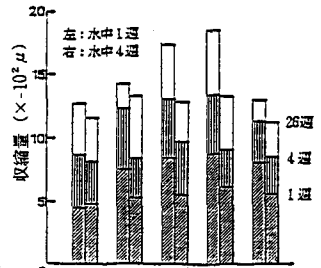


図-5 水中養生期間と収縮量の関係

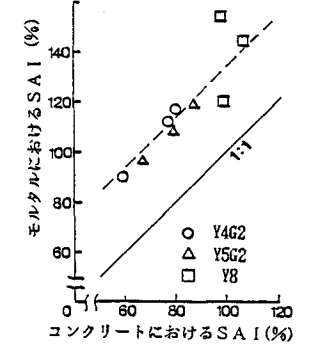


図-6 コンクリートにおけるSAIとモルタルにおけるSAIの関係

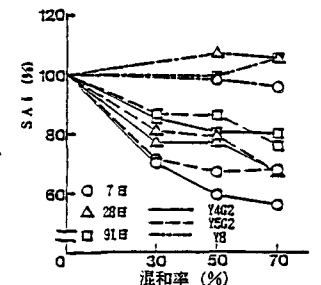


図-7 各スラグのSAIと混和率の関係