

九州工業大学 正 員 出 光 隆
同 学 生 員 岡 部 成 光
同 学 生 員 高 倉 篤

1. まえがき

近年、産業廃棄物を有効に利用しようとする気運が高まっているが、筆者らはその一環として製鉄所の溶鉄炉から副産する高炉スラグを水で急冷した水さいおよび火力発電所の排煙脱硫装置から生成される脱硫石膏を混合したスラグ、石膏混合セメントの実用性について研究を続けている。本報告は水さい、脱硫石膏およびアルカリ刺激剤として消石灰を混合した成分系のスラグセメントを用いたセメントペースト、モルタルおよびコンクリートの諸性質に関する試験結果である。また、比較のため高炉セメントC種についても同時に試験を行なった。

2. 使用材料

実験に使用した水さいおよび脱硫石膏の分析結果をそれぞれ表-1、表-2に示す。

表-1 水さいの分析結果

比重	粉末度 (cm^3/g)	化学分析 (%)						塩基度
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	計	
2.90	3920	32.6	15.7	0.7	42.1	5.0	96.1	1.93

表-2 脱硫石膏の分析結果

比重	PH	化学分析 (%)					付着水 (%)
		CaO	SO_3	SiO_2	$2\text{H}_2\text{O}$	計	
2.24	9.3	31.9	45.7	0.2	20.7	98.5	5.5

3. 実験結果および考察

(1) 凝結試験 表-3に凝結試験結果を示す。ここ

に示す消石灰の百分率は水さいと石膏の和に対する比率である。スラグセメントの始発、終結はそれぞれ約4～5時間、6～8時間であり、凝結の比較的遅い高炉セメントC種と比べても始発は約1～2時間、終結は約1～3時間遅いようである。また、始発、終結ともに消石灰添加量割合および水さいと石膏の割合に対する明瞭な差異は見い出せなかった。

表-3 凝結試験結果

水さい:石膏	消石灰(%)	凝 結 時 間 (分)										水量(%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7:3	0											33.6
	0.5											33.7
	1											34.0
	2											34.4
	5											35.2
	10											36.1
8:2	0											33.5
	0.5											33.6
	1											33.9
	2											34.5
	5											35.1
	10											36.5
9:1	0											33.2
	0.5											33.4
	1											33.7
	2											34.3
	5											34.9
	10											36.3
高炉セメントC種	15											39.2
	20											39.7
												31.3

(2) 水和熱測定試験 表-4に水和熱測定試験結果を示す。現在、実験続行中のため材令7日のみしか実験結果が得られていないが、材令7日の場合について高炉セメントC種と比較すると、スラグセメントはいずれも高炉セメントC種の半分以下という良好な結果が得られた。

表-4 水和熱測定試験結果

水さい:石膏	消石灰(%)	水和熱 (cal/g)	
		7日	28日
9:1	0	23.1	
8:2	0	25.1	
高炉セメントC種		54.0	65.4

(3) モルタルの強度試験 表-5はモルタルの強度試験結果を示す。スラグセメントの強度は一般的に石膏に対する水さいの割合が多くなるほど、また、消石灰添加量が減少するほど強くなる傾向にある。したがって、水さい:石膏=9:1、消石灰添加量0%が最も強度が大きく、これと高炉セメントC種と比較すると、スラグセメントの方が材令7日においては曲げ、圧縮強度ともに40%ほど上回り、材令28日においては曲げ強度は20%ほど大きく、圧縮強度は同程度の値を示した。

(4) コンクリートの最適配合 モルタルの強度試験結果より、最も強度の大きい、水さい:石膏=9:1、消石灰添加量0%について最適配合を求めた。まず、細骨材率36～52%について水セメント比を55%と一

定にした場合の単位水量とスランプの関係を求め、次に、その結果よりスランプ10cmにおける単位水量と細骨材率の関係を求めた。その結果より、最小の単位水量と与える細骨材率およびそのときの単位水量を求めると、それぞれ4.0%、191 kg/m³となった。

(5) コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの諸性質 表-6にコンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの試験結果を示す。コンクリートの配合は水セメント比55%の最適配合を基準とし、水セメント比が5%増加(減少)するごとに単位水量を1.5%増加(減少)、細骨材率を1%増加(減少)して補正を行なった。フレッシュコンクリートの空気量はスラグセメントの方が高炉セメントC種に比べてすべて小さい値を示し、また、ブリージングは逆にすべて大きい値を示した。

表-5 モルタルの強度試験結果

水:砂:石膏	消石灰(%)	70-値	曲げ強度(MPa)			圧縮強度(MPa)		
			7日	28日	91日	7日	28日	91日
7:3	0	202	58.2	69.4	64.0	167	252	282
	0.5	202	51.9	75.0	62.8	161	249	275
8:2	0	202	60.7	67.9	61.7	180	292	323
	0.5	203	54.0	65.4	60.6	194	332	327
9:1	0	195	63.5	71.4	96.6	217	318	344
	0.5	196	55.0	64.1	81.4	191	321	331
	1	208	53.7	69.0	69.6	207	308	316
	2	195	55.5	67.5	78.0	218	324	338
	5	182	49.5	61.4	79.7	208	287	307
	10	176	65.4	52.5	71.9	205	265	305
	15	166	54.4	54.7	69.1	179	208	247
	20	156	58.7	51.1	63.9	124	172	207
高炉セメントC種		199	38.1	56.2		132	318	

表-6 コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの試験結果

水:砂:石膏	消石灰(%)	W/C	S/A	単位量(kg/m ³)				スランプ(cm)	空気量(%)	ブリージング(%)
				水	砂	石膏	細骨材			
9:1	0	45	38	188	376	42	615	1051	8.9	1.1
		50	39	189.5	341	38	643	1053	10.1	0.9
		55	40	191	312	35	669	1051	10.3	0.9
		60	41	192.5	289	32	694	1046	12.8	1.0
		65	42	194	269	30	717	1038	13.7	0.8
8:2	0	55	40	191	278	69	666	1047	13.5	0.8
高炉セメントC種		55	47	191	347	794	938	9.0	1.6	8.1

表-7 硬化したコンクリートの諸試験結果

水:砂:石膏	消石灰 (%)	W/C (%)	圧縮強度 (N/cm ²)				引張強度 (N/cm ²)				曲げ強度 (N/cm ²)	付着強度 (N/cm ²)	拡散係数 (×10 ⁻⁶ cm ² /sec)	乾燥収縮量 (×10 ⁻⁶) 28日 (t=00)	
			7日		28日		7日		28日						
			水中	空中	水中	空中	水中	空中	水中	空中	水中	空中			
9 : 1	0	45	244	246	366	305	22.3	—	29.9	24.1	68.2	—	50.3	17.3	—
		50	241	184	332	252	19.4	22.4	32.8	26.2	56.0	—	59.9	9.8	—
		55	176	128	267	110	15.2	17.7	23.4	26.9	54.3	31.0	58.9	17.3	569 (765)
		60	197	189	274	244	—	—	22.8	14.2	50.9	—	55.9	12.5	—
		65	190	166	292	213	—	—	23.5	18.7	47.9	—	50.8	—	476 (1170)
8 : 2	0	55	190	163	331	198	17.2	16.9	27.6	15.3	54.5	—	37.9	—	—
高炉セメントC種		55	159	171	314	267	14.3	13.3	21.5	18.0	42.5	26.6	45.6	12.5	408 (494)

(6) 硬化したコンクリートの諸性質 表-7に硬化したコンクリートに関する諸試験結果を示す。スラグセメントの圧縮強度は、標準養生の場合、材令7日において高炉セメントC種よりもかなり上回っているが、材令28日になると強度の伸びが小さく逆に高炉セメントC種の方が幾分か上回っている。20℃の空中養生においても標準養生の場合と同様な傾向を示している。さらに、引張強度、曲げ強度ではほとんどすべてスラグセメントの方が強度が大きい。また、付着強度においても同様ことが言える。ただし、この値は自由端すべり量4010mmにおける平均付着応力を表わす。次に、拡散係数、乾燥収縮量は同じ水セメント比について比べると高炉セメントC種の方が多少小さい値を示した。なお、強度試験においてはスラグセメントは全般に高炉セメントC種よりもかなりバラツキが大きかった。

4. あとがき

以上の結果から、スラグ、石膏混合セメントは凝結時間、ブリージング、乾燥収縮、品質のバラツキなどに幾分問題は残っているが、廃物利用にもかわらず高炉セメントC種に比べて水和熱が小さく、同程度の強度が得られるというメリットを有しており、十分実用化できるものと考えられる。

終りに、本実験に御協力戴いた九州工業大学 衛藤嘉幸君、藤間考之君に深謝いたします。