

[15] スラグ-セッコウ-石灰系セメントの強度に関する研究

正会員 笠井 芳夫 (日本大学生産工学部)

正会員 ○近 藤 勝 哉 (同大学院)

1. はじめに

高炉水砕スラグ-排脱セッコウ-石灰(またはセメント)系混合セメントに関する研究は、これまで多くの報告がある。^{1)~5)} 本報告は、初期強度の改善を図るため、半水セッコウを用いた高炉水砕スラグ-半水セッコウ-消石灰混合セメントについて混合割合を変え、モルタルにより圧縮、曲げ強度など試験したものである。

2. 使用材料

(1) スラグ (S) 高炉水砕スラグ粉末市販品 S (符号 SS) および C (符号 SC) を使用した。物理的性質および化学成分を表-1 に示す。

(2) セッコウ (G) α 型半水セッコウ (α - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$),

β 型半水セッコウ (β - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) および 排煙脱硫セッコウ

($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) を用いた。比重、比表面積を表-2 に示す。

(3) 石灰 (L) 消石灰一級試薬 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) を用いた。

(4) セメント (PC) 普通ポルトランドセメント

(比重 3.15) を用いた。

(5) 細骨材 豊浦産標準砂を用いた。

(6) スラグ-セッコウ-石灰系セメントの調整 上記の材料のうち三成分を、V 型混合機で 30 分間混合したセメントを結合材として用いた。

3. 実験方法

(1) 調合 α 型半水セッコウを用いた場合を表-3 に β 型半水セッコウを用いた場合を表-4 に、排脱セッコウを用いた場合を表-5 に示す。

(2) 供試体製作方法 水/結合材比を 0.55, 結合材:砂を 1:2 と定めた。練り混ぜ成形は JIS R 5201 (セメントの物理試験方法) に準じ、 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ の 3 連型枠を用いた。フローの違いは、成形に支障がなかった。

(3) 養生方法 供試体製作後、 20°C , 80% の恒温室内に静置し 1 日後に脱型した。養生方法は 20°C , 70% の空气中養生と、 20°C 水中養生の 2 種類とした。

(4) 試験項目 圧縮強度、曲げ強度および、一部硬化

表-1 スラグの物理的性質および化学成分

項目 品名	物理的性質			化学成分 (%)								
	比表面積 cm ² /g	比重	結晶率	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₂₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	Total
スラグ S	3760	3.06	2.53	150	11.8	30.80	44.35	6.69	0.31	20.36	—	95.842
スラグ C	4080	2.90	2.03	420	14.40	70.41	50.62	—	—	—	1.09	8.0

表-2 セッコウの比重・比表面積

種類	比重	比表面積 cm^2/g
α 型半水セッコウ	2.78	3490
β 型半水セッコウ	2.59	5790
排煙脱硫セッコウ	2.31	—

表-3 α 型半水セッコウを用いたモルタルの実施調査表

供試体 NO.	スラグ S %	α 型半水セッコウ α G %	消石灰 L %	水 結合材 重量比	結合材 : 砂 重量比	フロー 値
1*	94.8	5				172
2*	91.8	8	0.2	0.55	1:2	165
3*	89.8	10				165
4*	87.8	12				177
5*	94.5	5				168
6*	91.5	8	0.5	0.55	1:2	169
7*	89.5	10				155
8*	87.5	12				165

表-4 β 型半水セッコウを用いたモルタルの実施調査表

供試体 NO.	スラグ S %	β 型半水セッコウ β G %	消石灰 L %	水 結合材 重量比	結合材 : 砂 重量比	フロー 値
1	94.9	5				162
2	91.9	8	0.1	0.55	1:2	145
3	89.9	10				164
4	87.9	12				157
5	94.8	5				165
6	91.8	8	0.2	0.55	1:2	156
7	89.8	10				157
8	87.8	12				168
9	94.7	5				175
10	91.7	8	0.3	0.55	1:2	164
11	89.7	10				169
12	87.7	12				167
13	94.5	5				166
14	91.5	8	0.5	0.55	1:2	165
15	89.5	10				145
16	87.5	12				158
17	89.8	10	0.2	0.55	1:2	159
18	89.5	10	0.5			162

表-5 排脱セッコウを用いたモルタルの実施調査表

供試体 NO.	スラグ	排煙脱硫セッコウ	刺激剤	水 結合材 重量比	結合材 : 砂 重量比	フロー 値
19	S 89.8	10	L 0.2	0.55	1:2	168
20	88.0	10	PC 2.0			168

物についてセッコウのX線回折強度の測定を行った。

4. 結果および考察

(1) α 型セッコウと β 型セッコウを用いた場合の強度の比較 圧縮強度と材令との関係を図-1に、曲げ強度と材令との関係を図-2に示す。圧縮強度、曲げ強度ともに、消石灰混入率0.2%の場合 α 型、 β 型両セッコウの間に殆んど差がなかった。消石灰0.5%の場合、圧縮・曲げ強度とも β 型セッコウの方が大きかった。したがって経済的にも有利な β 型セッコウを使用するのがよい。

(2) スラグSとCを用いた場合の強度の比較 圧縮強度と材令との関係を図-3に、曲げ強度と材令との関係を図-4に示す。スラグCを用いた場合、消石灰混入率0.2%、0.5%とも強度にあまり差がなかったのに対し、スラグSを用いた場合は、消石灰混入率0.5%の方が0.2%に比し、強度が小さかった。初期強度は、圧縮・曲げともスラグSの方が大きかった。これは、スラグSとCの化学成分の内、CaOの含有量がそれぞれ、44.35%、41.50%となっており、鉱物組成の相違によるものであろう。一般にこの種セメントは、初期強度が小さいので、スラグSを用い、消石灰混入量を0.2%とするのがよい。

(3) β 型セッコウを用いた強度と排脱セッコウを用いた強度の比較 圧縮強度と材令との関係を図-5に、曲げ強度

表-8 β 型セッコウを用いたモルタルの強度

養分方 N0法		圧縮強度 kgf/cm^2				曲げ強度 kgf/cm^2			
		1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日
1	水中	33.0	91.1	169	221	14.4	27.9	48.4	55.8
	空气中	33.0	109	165	226	14.4	33.5	30.9	45.4
2	水中	22.5	80.5	202	281	9.68	23.4	47.4	66.2
	空气中	22.5	107	221	325	9.68	26.1	52.1	55.7
3	水中	19.7	105	227	369	9.05	26.1	50.8	70.3
	空气中	19.7	111	223	339	9.05	30.6	46.9	50.2
4	水中	32.3	121	223	422	13.2	29.9	58.1	79.8
	空气中	32.3	131	229	374	13.2	33.9	48.6	69.8
5	水中	31.0	128	159	274	13.0	49.0	51.3	65.7
	空气中	31.0	134	186	257	13.0	39.4	58.8	45.2
6	水中	30.9	145	203	328	14.3	39.6	60.0	71.4
	空气中	30.9	117	240	319	14.3	34.8	45.3	50.1
7	水中	27.9	122	233	329	11.2	35.0	59.7	78.0
	空气中	27.9	115	227	353	11.2	35.4	49.6	61.5
8	水中	29.3	113	227	341	13.0	36.1	63.5	82.2
	空气中	29.3	111	222	343	13.0	27.6	50.5	71.6
9	水中	20.4	82.4	118	197	8.37	28.2	42.8	54.6
	空气中	20.4	77.4	118	179	8.37	28.3	34.2	26.9
10	水中	22.1	92.6	181	290	9.10	31.0	49.9	72.8
	空气中	22.1	98.8	162	240	9.10	28.1	36.9	31.9
11	水中	34.4	102	181	291	13.5	30.6	53.3	72.8
	空气中	34.4	117	183	282	13.5	35.3	31.2	51.6
12	水中	37.2	108	212	294	15.0	30.4	58.6	76.8
	空气中	37.2	124	190	291	15.0	34.5	42.2	39.1
13	水中	28.3	66.3	91.3	116	10.9	29.3	37.5	44.7
	空气中	28.3	66.3	90.0	127	10.9	28.0	26.2	25.9
14	水中	35.5	118	158	263	13.3	37.9	50.1	68.9
	空气中	35.5	101	150	200	13.3	34.0	35.7	33.3
15	水中	29.8	85.6	136	231	13.0	29.9	43.8	58.3
	空气中	29.8	78.1	127	213	13.0	28.6	35.2	41.9
16	水中	10.5	69.9	102	128	5.11	25.5	39.4	48.8
	空气中	10.5	59.6	108	141	5.11	21.0	29.6	27.6

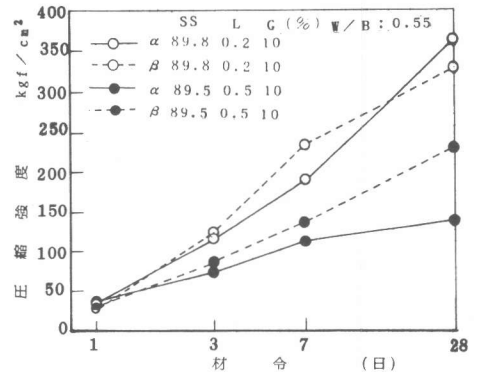


図-1 圧縮強度と材令との関係

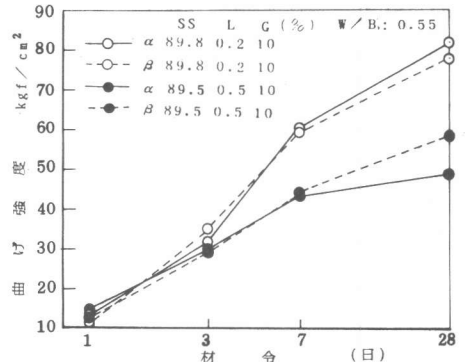


図-2 曲げ強度と材令との関係

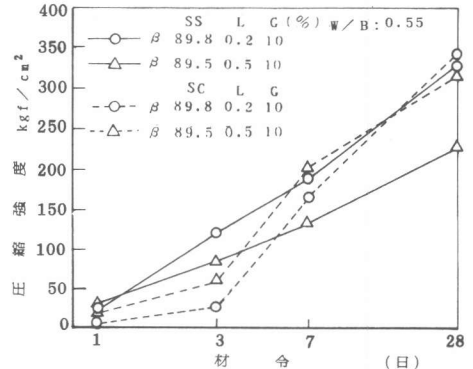


図-3 圧縮強度と材令との関係

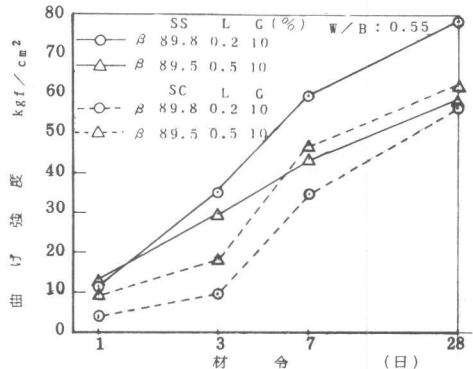


図-4 曲げ強度と材令との関係

と材令との関係を図-6に示す。圧縮強度において、排脱セッコウを用いたものは、 β 型セッコウを用いたものより、初期・長期強度ともに小さかった。また、刺激剤として消石灰（0.2%混入）の代りにセメント（2%混入）を用いたものは、初期・長期強度とも著しく小さな値を示した。

曲げ強度においては、排脱セッコウを用いたものは、 β 型セッコウを用いたものに比し、初期強度（材令1日から3日）は、差がないようでもあるが、長期強度は小さかった。三成分系セメントには、 β 型セッコウを用いるのがよい。

(4) β 型セッコウ混入率と強度との関係 β 型セッコウ混入率と圧縮強度との関係を図-7に、曲げ強度との関係を図-8に示す。材令1日において、L:0.1%は、G:10%のとき圧縮・曲げ強度とも小さかった。L:0.3%では、Gを大きくするにつれて強度が大きくなった。L:0.5%は、G:8%で最も大きく、G:12は極端に小さな強度となった。

材令28日において、圧縮・曲げ強度ともL:0.1%では、Gを5%から12%に変化させると直線的に大きくなっているが、L:0.2, 0.3%では、Gの量による強度の差があまりなかった。図-7, 図-8から、初期・長期強度ともに優れている調査は、G:8%-L:0.2%, G:10%-L:0.2または0.3%, G:12%-L:0.1または0.2%であった。G:12%-L:0.1%の材令28日圧縮強度は、 400 kgf/cm^2 を

越え、G:12%-L:0.5%のものの約3倍の強度を得た。消石灰混入率Lは、セッコウ混入率Gと同様に、強度に大きな影響を及ぼしていると言える。

(5) 水結合材比と圧縮強度との関係 水結合材比(W/B)と圧縮強度との関係を図-9に示す。

水中養生・空中養生とも、フロー値を一定(195 ± 5 と 155 ± 5 の2種類)にして、水結合材比を小さくすると、圧縮強度が直線的に大きくなった。フロー値 195 ± 5 の水中養生において、水結合材比0.45では、圧縮強度が約 500 kg/cm^2 に達した。また、水中養生においては、どの水結合材比においてもフロー値 195 ± 5 の方が、フロー値 155 ± 5 に

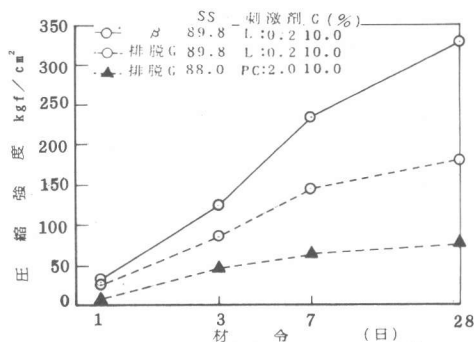


図-5 圧縮強度と材令との関係

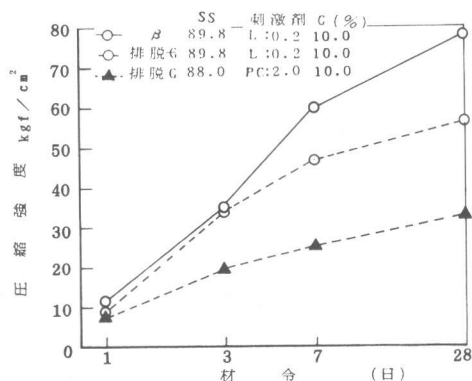


図-6 曲げ強度と材令との関係

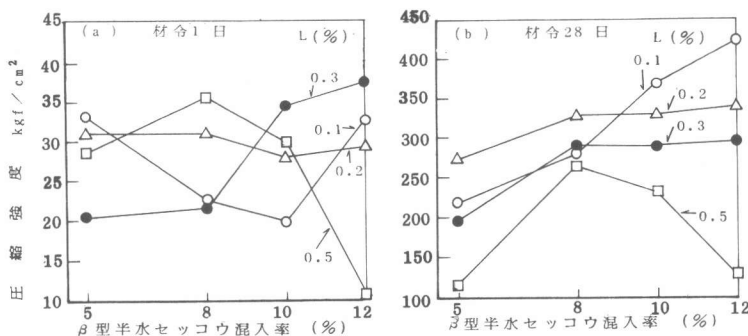


図-7 セッコウ混入率と圧縮強度との関係

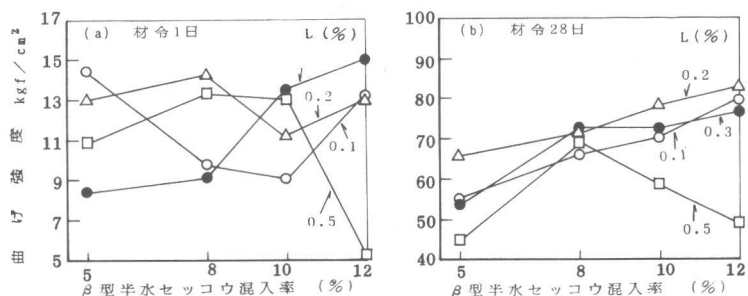


図-8 セッコウ混入率と曲げ強度との関係

比して強度が大となっているが、空气中養生においては、どの水結合材比においてもフロー値 155 ± 5 の方が、強度が大となり、しかも両者の差は大きい。この原因は明らかでないが、モルタルの密度・透気性などと密接な関係があると思われる。

(6) X線回折によるセッコウの検出強度 材令1日、3日、7日についてのX線回折によるセッコウの検出相対強度を、図-10に示す。材令1日においては、水中養生、空气中養生ともに、セッコウ混入率8%、10%、12%でセッコウが検出された。セッコウ混入率12%では、材令7日においてもセッコウが検出されたが、混入率10%以下では検出されなかった。硬化後、長い間セッコウが残存していると、膨張ひび割れや耐水性、鉄筋の防錆などに悪影響を及ぼすため、セッコウ混入率は、10%までにするのがよい。

5. まとめ

この実験の範囲で次のことが言える。

- 1) α 型セッコウと、 β 型セッコウを比較すると、消石灰混入率0.2%の場合、両者、圧縮・曲げ強度ともにほとんど差がなく、0.5%の場合は、 β 型セッコウの方が大きい。したがって、経済的にも有利な β 型セッコウを用いるのがよい。
- 2) 水砕スラグ粉末SとCを比較すると、初期強度はスラグSの方が大きく、長期強度は両者大差がない。初期強度改善のためには、スラグSを用いるのがよい。

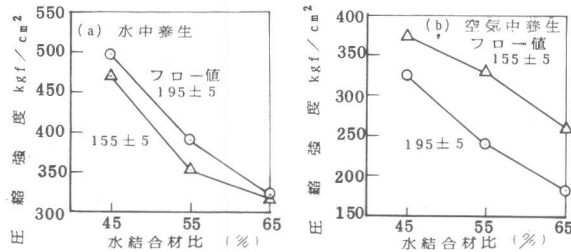


図-9 水結合材比と圧縮強度との関係

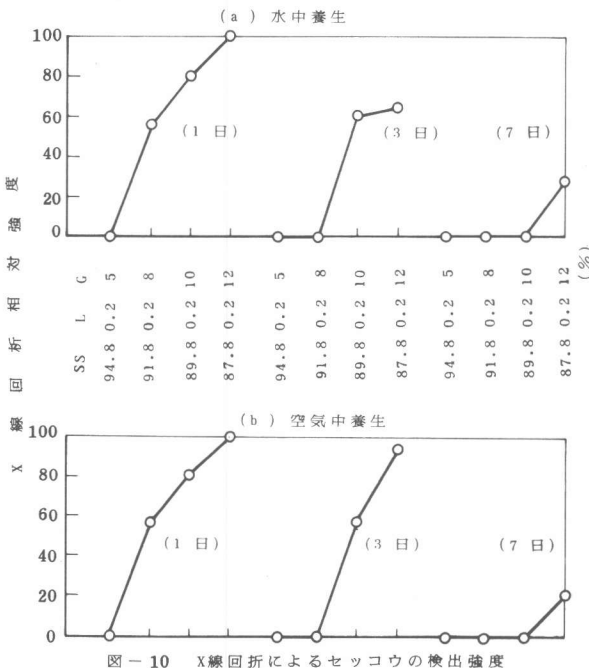


図-10 X線回折によるセッコウの検出強度

3) 刺激剤としては、セメントより消石灰の方がよい。

4) β 型半水セッコウを用いたものは、排脱セッコウを用いたものより、初期・長期強度ともに大きい。排脱セッコウは焼成が不要であり、半水セッコウは、 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ 以下で焼成が必要であるが、混入率も少なく、焼成エネルギーも少ないので、三成分系セメントには、 β 型半水セッコウを用いるのがよい。

5) セッコウ12%の場合、圧縮・曲げ強度とも大きくなったが、X線回折により、材令7日においてもセッコウが検出された。鉄筋を用いる場合、セッコウは10%程度がよい。

6) スラグS:89.8% β 型半水セッコウ10% α -消石灰0.2%とした結合材が、圧縮・曲げ強度およびセッコウの残存性から見て、よい混合割合と言える。ただし、無筋の場合スラグS:87.9% β 型半水セッコウ12% α -消石灰0.1%がよい。

参考文献

- (1) 田代・宇留島 石膏と石灰 No.147(1977)
- (2) 小林・魚本・櫻本・森 生産研究30(1978)
- (3) 加賀・藤井 セメント・コンクリート No.371(1978)
- (4) 魚本・小林・星野 第2回コンクリート工学会年次講演会論文集69-72(1980)
- (5) 笠井芳夫 石膏と石灰 No.169(1980)