高硫酸塩スラグセメントの構成成分の粉末度 がその性能におよぼす影響

山内 俊吉・近藤 連一・中島 節治

(東京工業大学)

Effects of Fineness of Raw Materials on the Qualities of Sulfated Slag Cement

By Toshiyoshi YAMAUCHI, Renichi KONDO and Setsuji NAKAJIMA
(Tokyo Institute of Technology)

Experiments were carried out with view to find the influence of the fineness of the raw materials on the properties, especially on the strength of sulfated slag cement.

The higher the fineness of slag and calcium sulfate, the greater the mechanical strength and the setting time became shorter to some extent. It is desired for slags having basicity $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ of about 2.0; that their grain size distribution be narrow and that their specific surface as well as that of calcium sulphate to be admixed should not be less than $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ on measurement by Blaine's apparatus.

The required amount of portland cement clinker as an alkaline exciter lies in a certain narrow range, but the effect of its fineness is not so significant.

The slag is 5 or alternatively 2 times harder to be ground than sulphate or clinker respectively. Because sulphate powder is adhesive, its grindability decreases in course of grinding, separate grinding is preferable because it gives somewhat stronger cement than by a combined grinding to the same specific surface.

緒 言

高硫酸塩スラグセメントの性能に大きな影響を与える因子として、原料スラグの組成と刺戟剤の配合の外に粉末度に関するものがあげられる。本研究はこのセメントの各成分の粉末度とそれらの組合わせあるいは粒度分布、粉砕方式などの粉末度に関する要因が性能に及ぼす効果について調べた。この種セメントはポルトランドセメントと異り混合系のものであり、主成分のスラグは被粉砕性が低くしかも水和の際の反応性が小さく特に粉砕度を高めなければならないこと、および製造は粉砕工程が主となるのを考慮すればこの問題の重要性が予期される。

高硫酸塩スラグセメントの粉砕に関する従来の研究によると粉砕動力はトン当たり $70 \text{ kWh}^{(1)}$ 或は $95 \sim 100 \text{ kWh}^{(2)}$ 程度と見積られており、同時粉砕は分離粉砕に比べ刺戟剤が微粉砕され過ぎて性能を害するであろう、と述べられている⁽³⁾が実験的裏付けに乏しい。スラグの Al_2O_3 含有量が低いと得られるセメントの初期強度は低下するが、このようなスラグでも微粉砕によってこの欠点はカバーされ品質を管理出来るとの報告もある⁽⁴⁾。しかし、各成分の粉末度についての要因実験は今まで行われていない。

1. 実験方法

高硫酸塩スラグセメントの性能はアルカリ刺戟剤の量によって著しい影響を受けるが、その粉末度の影響

は著しくないという傾向をすでに見出している⁽⁵⁾、⁽⁶⁾がここでは更に2元配置要因実験を行った。この結果から適量のポルトランドセメントクリンカーを刺戟剤とし、分離粉砕および同時粉砕で同一粉砕度のセメントを造り、JIS 試験を行った。粉砕方式による性能の差異の原因を明らかにするため成分を分離してその粉末度を求めた。さらにスラグの粉末度、スラグの粒度分布、石膏の粉末度およびこれらの交互作用について一挙に検討する3元配置の要因実験を行った。

実験に用いた原料は前報⁽⁶⁾に記したのと同じ八幡製鉄KK副成水砕スラグ、秩父セメントKK製普通ポルトランドセメントクリンカーおよび旭硝子KK副産2水石膏である。

これら原料の粉砕は $\phi 18 \text{ cm}$, 117 cm の鋼製ミルを用い被粉砕物 700 g , $\phi 2.5 \text{ cm}$, 12.5 cm のシルベップ 3.8 kg 入れ 90 rpm で回した。

モルタル強度は前報⁽⁶⁾に述べた小形試験によって求め、各条件について曲げ4、圧縮6の繰返し測定を行ったが場合によってはさらに繰返しを大きくとった。同時粉砕セメントの各粒度について分離するには技術協会型風篩器を用い、各粒度について光電管方式による平間式光電比色計を用い SO_3 の比濁定量を行い、石膏量を、またアルミノン法によって Al_2O_3 を比色定量しスラグ量を求めた。同時粉砕セメントの各成分特にスラグ部分を分離するには石膏を溶かすがスラグをほとんど溶かさない条件で EDTA (Ethylen diamine

tetra acetate disodium salt) 溶液により石膏を溶解除去し、残ったスラグの粒度分布を測ることが出来た。粒度分布はスリットその他アタッチメントを自作し、同じく光電比色計で、光の散乱を利用し測定し、その一部はアンドリアゼン法によっても測定しチェックした。本方法は試料 10 mg 以下であり、秤量の必要がなく、1 hr で 3μ までの測定が出来る。また湿式粉碎の場合は乾燥せずそのまま測れるなどの利点もある。

一般に実験はなるべく効率を上げるため要因実験として組み、確度を高めるようランダムイズに留意し、さらに結論に客観性を得るため分散分析によった。

II. 実験結果

本研究はほぼ 3 つの実験系列に分けられる。次に順を追って得られた結果を述べる。

1) ポルトランドセメントクリンカーの適量と粉末度 本実験に用いたスラグに対するクリンカーの適量値を定め、併わせてその粉末度の影響を調べるため、クリンカーの粉末度を Blaine (以下すべて Blaine で表示) 2090, 3080, 4060 cm^2/g の 3 水準とし、添加量をそれぞれ 2, 3, 4% と変えた 2 元配置実験を行った。ただし石膏は 4750 cm^2/g のもの 10% に固定し、残りをスラグとしその粉末度は 5050 cm^2/g であった。以下粉末度はすべて近似値をもって表わす。測定結果より平均値を求め Table 1 に示しさらに後に述べる分散分析によって有意となる要因に関してグラフ化し Fig. 1~2 に示した。有意でない因子の影響のあるものについても参考までに点線で記した。

Table 1 Quantity and fineness of clinker

Fineness Blaine cm ² /g	Amount of clinker	2 %			3 %			4 %		
		Strength kg/cm ²	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d
2000	Bending	45.5	75.6	86.2	47.8	59.9	71.4	54.0	61.8	66.4
	Compressive	57	103	245	69	112	186	75	96	183
3000	Bending	50.8	65.3	78.7	43.5	55.5	76.4	43.5	53.0	76.3
	Compressive	91	116	247	57	73	182	66	86	191
4000	Bending	44.3	68.2	76.2	50.8	62.7	71.7	46.7	54.9	73.4
	Compressive	79	127	239	77	105	198	79	98	192

2) 粉碎方式 高硫酸塩スラグセメントの粉碎方式として分離粉碎と同時粉碎によって同一粉末度の試料を作り、両者の性能に関し特に JIS による強度試験を行った。セメントの配合はクリンカー 2%、無水石膏 10%、スラグ 88% とし、分離粉碎したものの粉末度はクリンカー 4060 cm^2/g 、無水石膏 5260 cm^2/g 、スラグ 5430 cm^2/g で、これを $\phi 30$ cm, $\phi 21$ cm の鋼製ミル中で媒体としてゴム製シリンドラーを入れ 95 rpm で 2 hrs 混合し、出来た分離粉碎セメントの粉末度は 5530 cm^2/g であった。一方未粉碎原料、クリンカーの

Fig. 1 Effect of portland cement clinker on bending strength

Fig. 2 Effect of portland cement clinker on compressive strength

Fig. 3 Effect of grinding process

Fig. 4 Grindability of slag and anhydrite

みは 2 mm 以下とし、これを上と同じミル中で 1.6 kg とり、シルベップ 8.65 kg, ボール 1.2 kg とともに粉末度が 5450 cm^2/g となるまで粉碎し、この操作を 2 回繰返し、分離粉碎の場合と同様にして充分よく 2 hrs にわたって混合を行い、出来た同時粉碎セメントは粉末度が 5500 cm^2/g で分離粉碎セメントの粉末度に一致させることが出来た。JIS にしたがいいしにも各操作はランダムに行い、風化の影響などとともに充分注意し実験を行った。測定結果は Fig. 3 に平均

Fig. 5 Effect of grinding process on grain size distribution

Fig. 6 Grain size distribution of ground slag

値を示し、併わせて有意差検定結果と95%信頼区間を記した。これより比表面積で粉末度を合わせた場合は分離粉砕の方が各材令の各強度で優れていた。

兩種セメントの凝結とフロー測定値をTable 2に示した。凝結時間については両者ほとんど差が認められないがペーストの標準軟度を与える水量とモルタルのフロー値より見て分離粉砕の方が流動性大で好ましい結果を与えている。

Table 2 Setting time and flow

Type of grinding	Water of consistency %	Setting time (hr-min)		Mortar flow
		Initial	Final	
Separate	24	2 45	4 29	279
Simultaneous	26	2 35	4 19	246

高硫酸塩スラグセメントの粉砕方式による性能の差違の原因は全体としての比表面積は一致させても各成分の粉末度の著しい偏りに基づくのではないかと予想され、クリンカーの粉末度の影響は先の実験から小さいことがわかっているのでスラグと石膏の粉末度が問題となる。同時粉砕セメントの各成分を分離してそれぞれの粉末度を測定するに先立ち後の実験の参考のためスラグと無水石膏およびその混合物について被粉砕度の測定を行いその結果をFig. 4に示した。ただし粉砕条件はφ22cm, 121cmの鋼製ミルに試料500g, シルパップ3.0kg装入して粉砕し、約20分ごとに比表面積測定試料約3gを系外にとり出して行った。この実験で正常粉砕の行われる範囲では比表面積の増加は時間によく比例する。この範囲内ではスラグの被粉砕度を1.0とすると無水石膏のそれは5.3倍に達し、スラグ90%と無水石膏10%混合物のそれは1.4倍となり、両成分を別々に粉砕した場合と一致し、交互作用は認められない。無水石膏単独で粉砕した場合は

4000~5000 cm²/gの間にコーティングを生じ被粉砕度を低下し、この異常粉砕で被粉砕度は1.3倍まで低下する。スラグと無水石膏の粉砕曲線から先の配合混合物の粉砕曲線を推定すれば、図の点線で示されるように60分付近に屈曲が現われるべきであるが実測結果は直線となる。

この実験が示すようにスラグと無水石膏の被粉砕度は著しい差があり、したがって同時粉砕した場合はスラグは粗く無水石膏は細かく偏って砕かれるものと考えられる。したがって同時粉砕を行ったセメントをまず風篩で粒度を分け、それを化学分析してスラグと石膏分の量を測った。風篩はセメント技術協会型を用い>40μ, 40~30μ, 30~20μ, <20μ, <12μに分けた。本装置付属のノズルでは15μ以下の分離は不可能なので12μ以下の分離は内径1.3mmのガラス管を用い顕微鏡で限界粒径を確認した。各粒度についてAl₂O₃を定量しスラグ量を、SO₃を定量して無水石膏量を算出しその結果をTable 3に示した。

Table 3 Fractional distribution of grain size

Component(%)	>40μ	40~30μ	30~20μ	<20μ	<12μ	Total
Slag	99	98	95	86	86	90
Anhydrite	1	2	5	14	14	10

これより石膏分はほとんど20μ以下に濃縮しているのが知られる。

次に粉砕方式を異にして粉砕されたスラグ部分の粒度を調べた。それには同時粉砕セメントから石膏部分を除かねばならないので、EDTA溶液に少量のpH10緩衝溶液を加えた混合液で石膏部分を溶解させ、濾紙(東洋濾紙5C)で濾し乾燥した。この処理でスラグ部分はほとんど溶解しないが極微粒子部分が僅かに失われる。したがって比較の対照である分離粉砕物も同じ処理を行った。粒度は光電比色計を応用し透過率測定法によって粒度分布を測定した。キュベットは厚さ10mm, 媒体に99%アルコールを用い懸濁液の初の濃度は透過率60%に一定とした。解膠剤にはCaCl₂など用いられるが効果を認め難かったので用いなかった。液面よりスリットまでの粒子落下距離は28mmとした。時間の経過と共に透過率が増して行くが、これを測定すれば粒径は時間の函数であり、ある粒径範囲の量は透過率の差と粒径比EH factorの積の函数であるのを原理として粒度分布が算出される。Fig. 8でスラグ粉末をEDTA処理前後の粒度分布を比較し、Fig. 5で分離粉砕と同時粉砕のEDTA処理後のスラグ部分の粒度分布を示した。EDTA処理でスラグは細かい部分が幾分減少するが石膏は完全に溶解される。粉砕方式の差はFig. 5に明かなように粒度曲線のピークが分離粉砕で4μ, 同時粉砕で12μとなり、同時粉砕ではスラグが粗いのが判る。

3) 強度に及ぼす粉末度に関する要因実験 以上の実験から粉砕方式を異にした場合スラグと石膏部分の粉末度の異なることが明かされたが、これらの粉末度に関する要因がセメントの性能、特に強度に如何なる影響を及ぼすかを検討しておかねばならない。とり上げた因子はスラグの粉末度と無水石膏の粉末度の他に単なる繰返しの代わりにスラグの粒度分布をとり、3元配置の要因実験とした。粒度分布巾の狭い粉末を得るにはセパレーターを用いたり、ミルを遅回したりして得られるであろうが、今回はその手数を省き影響の有無あるいは傾向の概要をうかがうために通常粉砕した粗いものと細かいものを粒度配合してむしろ粒度分布巾の広い試料を得て通常粉砕物に対比した。Table 4 に粒度配合して得た粒度分布巾の広いスラグの粉末度を示す。粉砕したままの分布巾の狭いスラグを N, 配合した分布巾の広いスラグを W の記号で示す。

Fig. 7 Fineness of slag

Fig. 8 Fineness of gypsum

Table 4 Preparation of slags with aimed grain size distribution

Wide distribution mixture aimed fineness (cm ² /g)	Fineness of slag used (cm ² /g)							Obtained fineness Sb (cm ² /g)
	2200	3080	3950	4970	6050	6970	8050	
4000	130	—	—	—	55	—	35	4060
5000	60	55	—	—	—	51	55	4910
6000	36	—	56	—	—	—	128	6020

スラグの粉末度は 4000, 5000, 6000 cm²/g にとり粒度分布巾は狭いものと広いもの 2 水準を組合わせるので 6 種類の試料を用意し、

それらの粒度分布は Rosin-Rammler 式によって Fig. 6 に $\log[-2.30 \log h(x)]$ — $\log x$ 直線をもって現わした。一般に分布の狭いスラグの分布のピークは 6- μ にあるが、広い方は 3- μ 付近にあって分布の狭い方が粗粒は少いが微粒もまた少い。

た粗いものと細かいものを粒度配合してむしろ粒度分布巾の広い試料を得て通常粉砕物に対比した。Table 4 に粒度配合して得た粒度分布巾の広いスラグの粉末度を示す。粉砕したままの分布巾の狭いスラグを N, 配合した分布巾の広いスラグを W の記号で示す。

Fig. 9 Grain size distribution of slag

Fig. 10 Fineness of slag and of gypsum

強度実験の配合は先に記したスラグの細かさ 3 水準と分布 2 水準の外に 2 水石膏の粉末度を 1250, 4750, 8700 cm²/g の 3 水準とり、3 元配置大きさ 18 の要因実験としスラグ 83%, 石膏 15%, ポルトランドセメントクリンカーは 4060 cm²/g に一定とした。強度は小形試験で材合 3, 7, 28, 91 日にそれぞれ曲げ 4 個, 圧縮 6 個, 特に 28 日曲げだけは 8 個の繰返し測定を行った。これらの平均値を Table 5, 6 に示した。強度測定の結果は後に述べるように分散分析を行い、有意な要因に関してグラフ化し、交互作用が有意でなければ有意な因子について水準ごとの平均値によってプロットした。これらの結果を Fig. 7~18 に示した。曲げ圧縮両強度ともスラグの粉末度, 石膏の粉末度が細かいほど大であり, 交互作用として前者が細かいと後者の影響が小となる傾向がある。これらに比べて粒度分布巾の影響はこの実験の水準差程度では大きくない。しかしスラグの粒度分布巾とスラグの粉末度あるいは石膏の粉末度との交互作用が大体いずれも同じ傾向をとり, 粗いときは分布の広い方がよく, 細かいと分布の狭い方がよい。

Table 5 Bending strength

Fineness of slag		4000(S ₄) 5000(S ₅) 6000(S ₆)					
Fineness of gypsum (cm ² /g)	Width of distribution	N	W	N	W	N	W
Age							
3 days		45.4	44.8	53.7	55.7	65.3	64.5
1250 (G ₁)	7 "	52.1	66.4	68.6	59.9	79.0	72.8
	28 "	65.1	73.4	72.1	72.0	80.1	84.9
	91 "	74.3	74.0	83.0	58.8	95.7	87.8
3 "		53.1	49.4	62.4	59.9	64.6	64.6
4750 (G ₅)	7 "	62.7	64.4	81.8	62.1	75.5	72.1
	28 "	70.0	65.6	82.6	75.0	87.1	80.8
	91 "	80.3	70.7	89.8	79.7	90.3	83.8
3 "		50.3	52.1	58.8	66.0	65.9	60.7
8700 (G ₉)	7 "	61.0	65.4	71.3	73.5	76.1	69.9
	28 "	76.6	81.9	90.3	85.0	89.1	90.7
	91 "	78.8	73.8	86.3	81.2	94.7	87.5

Table 6 Compressive strength

Fineness of slag		4000(S ₄) 5000(S ₅) 6000(S ₆)					
Fineness of gypsum (cm ² /g)	Width of distribution	N	W	N	W	N	W
Age							
3 days		57.8	63.3	89.3	75.6	105	78.4
1250 (G ₁)	7 "	76.0	100	104	114	127	140
	28 "	147	169	196	223	270	275
	91 "	161	191	224	245	310	324
3 "		71.1	80.2	99.1	80.6	107	88.0
4750 (G ₅)	7 "	104	114	101	123	153	158
	28 "	192	191	251	227	314	304
	91 "	227	222	277	279	346	303
3 "		69.8	70.4	87.2	92.9	113	114
8700 (G ₉)	7 "	107	130	118	127	146	146
	28 "	228	212	285	298	325	308
	91 "	256	264	330	319	350	321

Fig. 11 Fineness of slag and grain size distribution of slag

Fig. 12 Fineness of gypsum and grain size distribution of slag

Table 7 Mortar flow

Fineness of slag (cm ² /g)		4000		5000		6000	
Fineness of gypsum (cm ² /g)	Width of distribution	N	W	N	W	N	W
1250		258	—	—	—	261	—
4750		265	267	270	265	265	261
8700		264	—	—	—	259	—

Table 8 Setting time

Fineness of slag (cm ² /g)		4000		5000		6000	
Fineness of gypsum (cm ² /g)	width of distribution	N	W	N	W	N	W
1250	Consistency water(%)	26.6	—	—	—	24.0	—
	Initial hr.-min.	425	—	—	—	347	—
	Final "	1220	—	—	—	1002	—
4750	Consistency water(%)	26.0	24.0	25.7	24.0	24.6	24.0
	Initial hr.-min.	420	318	305	328	340	315
	Final "	1150	918	1102	943	850	735
8700	Consistency water(%)	25.4	—	—	—	25.0	—
	Initial hr.-min.	343	—	—	—	315	—
	Final "	12.03	—	—	—	948	—

次に強度試験に用いたと同じ試料の一部についてフロー及び凝結を測ったが、その結果を Table 7~8 に示す。この結果フローには差を認めにくく、凝結時間はスラグおよび石膏の粉末度が高まるとやや短くなる傾向が見られた。

III. 考 察

高硫酸塩スラグセメントの配合については、アルカリ刺戟剤の種類と量を適当に選ぶことは最も重要であるので、これに関し実験を行い Table 1 の結果を得ている。分散分析結果を Table 9 に示した。分散分析は分割法によって測定誤差より一次誤差 + 交互作用を検定し有意でなければプールし、有意であれば一次誤差から主効果を検定している。本実験はクリンカー添加量最低 2% で始めたが、これはいく分多い目であったので従来の経験の通り初期ではほとんど差がなく長期では多いほどよくない結果が明らかにされている。一方粉末度の影響は小さく 7 日の曲げ強度以外有意差を認めなかった。これによってこの問題についてすでに報告したところは再確認された⁵⁾。

Table 9 Analysis of variance of 2 way layout experiment

Source of estimate	Bending strength			Compressive strength		
	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
Fineness	0.34	8.77**	0.80	0.58	2.12	0.07
Quantity	0.05	28.3**	5.20*	0.35	5.08**	10.9**
Interaction	4.00*	1.76}	2.69}	5.75**	1.88}	0.01}
Residuals						

この実験で一般に強度が低いのは硫酸塩刺戟剤として 2 水石膏を 10% 添加しているが SO₃ 4.6% で少な過ぎたためであり、別の実験によるとこのスラグでの最適 SO₃ 量は 7~8.5% であった。

粉砕方式については同じ配合で比表面積を合わせた場合分離粉砕が同時粉砕に比べて強度において勝った結果を与えた。一応有意性の検定は行っているが繰返

しがないので工程中の誤差を分離されない点に問題がある。しかし後の 3 元配置実験その他から合理的な結果として裏付けられている。

被粉砕度の比較に関する実験から、無水石膏がスラグに比べて 5 倍余り粉砕され易いことが知られたが、特に興味ある点は混合粉砕の効率は分離粉砕の場合とほとんど差のないことであり、石膏部分は過粉砕されても全体としての比表面積が著しく高まるまでは異常粉砕とならない点である。しかし同時粉砕では Table 3 と Fig. 9 に見られるように被粉砕度の大きいものは特に細かく、小さいものは特に粗く、粒度によって組成に偏りを生ずることも明らかである。

粉末度に関する 3 元配置実験について解析した結果を Table 10, 11 に示した。測定誤差で一次誤差を検定し有意でなければプールして各効果を検定した。ただし 7 日曲げ強度だけは 3 因子交互作用が大きく現われるので、これで各効果を検定すると検出力がよくない。他の場合は全く 3 因子交互作用は小さく、残差で検定してもプールして検定してもほとんど結果は変わらない。7 日曲げ強度についてはしたがって他と比較の参考までに残差からの検定を併せ示しておいた。Fig. 11~12 はこれら解析結果に基づき有意な効果を与える要因について作図したものである。

Table 10 Analysis of variance of 3 way layout experiment on bending strength

Parameters		3 d	7 d	28 d	91 d
Source of estimate					
Fineness of slag (1)		86**	7.66*	50.3**	30.7**
Fineness of gypsum (2)		7.9**	0.71	37.8**	3.35*
Grain size distribution of slag (3)		0.02	0.88	0.13	28.9**
2 factor interaction (1) × (2)		3.32*	0.62	2.62*	4.47**
" (1) × (3)		1.76	3.32*	7.85**	2.42
" (2) × (3)		1.04	0.86	3.78*	0.88
3 factors interaction (1) × (2) × (3)		1.84}	4.16**	0.36}	2.55}
Residuals					

Table 11 Analysis of variance of 3 way layout experiment on compressive strength

Parameters		3 d	7 d	28 d	91 d
Source of estimate					
Fineness of slag (1)		53.1**	56**	248**	142**
Fineness of gypsum (2)		9.10**	13.1**	81.2**	52.4**
Grain sizedistribution of slag (3)		6.10**	16.1**	0.00	0.10
2 factor interaction (1) × (2)		2.24	2.55*	3.68**	6.82**
" (1) × (3)		5.34**	1.36	0.00	3.21*
" (2) × (3)		2.82	0.23	4.90**	5.26**
3 factor interaction (1) × (2) × (3)		2.03}	0.71}	1.57}	2.03}
Residuals					

粉末度はスラグも石膏も細かいほど良好で材令や強度の種類にかかわらない。凝結や初期の硬化および表面の硬化等考慮すればスラグ 5000 cm²/g では石膏 9000 cm²/g, スラグ 6000 cm²/g では石膏 5000 cm²/g 以上の組合わせは望ましいところであろう。交互作用によって両者が特に細かいとその効果は減ずるとはい

え、石膏部分は比較的動力を要せずに細かく出来るのである限度まではなるべく細かくするのが良いであろう。ただし先の実験のように比表面積を合わせた場合は同時粉砕で成分によって偏って粉砕されるよりは、分離粉砕で各成分がほぼ同程度に粉砕された方が好ましかった。しかし同一粉砕動力を与えるならば必ずしも同時粉砕が劣るとは限らず、恐らく大差のない性能を与えるものと予想される。

Fig. 13 Fineness of slag

Fig. 14 Fineness of gypsum

Fig. 15 Fineness of slag and of gypsum

Fig. 16 Grain size distribution of slag

Fig. 17 Fineness of slag and grain size distribution of slag

Fig. 18 Fineness of gypsum and grain size distribution of slag

スラグの粒度分布巾はむしろスラグおよび石膏の粉末度との組み合わせの交互作用が顕著

で、粗いと分布の広い方が、細かいと分布の狭い方が優れた結果を与えるのは興味ある点であり、分布の広い方が特に細かい部分は多いので全体として粗い場合はこの細かい部分が特に効果を与えるものであろう。

なお本研究で要因実験には2水石膏を用い、JIS試験には無水石膏を用いているが、別の実験から両者は

SO₃量を同じになるように配合すれば初期強度は变りなく、長期強度は僅かではあるが明らかに後者の勝ることを確かめている。この差は水和機構に本質的な相違を来すものではなく、結晶水によって実質的な水セメント比が変ることで説明がつく程度と思われる。また本研究では粉末度を主眼とし、配合中クリンカー添加量は2%に一定としているが、1%にした方が稍勝っていた。更にクリンカーの代わりにCaO, Ca(OH)₂, ドロマイト煅焼物、あるいはこれらに各種添加物を併用して著しく性能を向上し、例えばここに用いたスラグで5000~5500 cm²/gのセメントとした場合、圧縮強度は1日80 kg/cm², 3日350 kg/cm², 7日450 kg/cm², 28日550 kg/cm²程度となり、表面硬化も顕著に改善することが出来ている。硫酸塩刺戟剤の方もこの実験では2水石膏は15%, 無水石膏は10%でSO₃6~7%に一定したが最適量はSO₃7~9%とさらにやや高いところにあるのを認めている。

要 旨

高硫酸塩スラグセメントの性能、特に強度に及ぼす粉末度に関する各種要因について研究を行った。スラグと石膏の粉末度の影響は大きく、いずれも細かいほど望ましい。標準的な組成の(CaO+MgO+Al₂O₃)/SiO₂=2.04程度のスラグではBlaine比表面積はスラグ5000 cm²/g以上、石膏も同程度以上とするのが適当と思われる。スラグの粒度分布巾はスラグあるいは石膏の細かいときは狭い方がよかった。ポルトランドセメントクリンカーの添加量は著しく性能に影響するが、粉末度の影響は無視出来る。同時粉砕と分離粉砕で作られ比表面積を合わせたセメントは後者がいく分勝っていたが、これは前者によると石膏部分が特に細かくなり、スラグ部分がやや粗くなったのによるだろう。被粉砕度はスラグに対し無水石膏は約5倍に達するので、動力量を一定とするならスラグより石膏をいく分細かく粉砕するのが適当であろう。凝結はスラグおよびある程度石膏も細かい方が早くなる。フローに対する影響は著しくなかった。

文 献

- 1) G. Mußnug, *Zement-Kalk-Gips*, **1**, 24(1948)
- 2) A. Hummel, *Beton u. Stahlbetonbau*, **43**, [15/16] 85 (1944)
- 3) F. Koberich, *Zement-Kalk-Gips*, **2**, 95, 109 (1949)
- 4) J. Wohlharth, *Tonind. Ztg.*, **78** [17/18] 280 (1954)
- 5) 近藤連一, 窯協, **62** 697, 741(1954); **63**, 3(1955)
- 6) 山内俊吉・近藤連一・中村敦, 窯協, **66**, 65(1958)
- 7) R.S. Lamar, *J. Am. Ceram. Soc.*, **37**, 386 (1954)

本研究に当り研究費を援助された建設省ならびに試料の提供その他に便宜を与えられた八幡製鉄KKに感謝の意を表す。(10/31/57 受付)