

ポルトランドセメント品質の主要特性に及ぼす諸要因 の効果 (第1報)

古 谷 俊 明

On the Effects of Various Factors Influencing Some Important Properties of Portland Cement [1]

Toshiaki Furutani

Some important properties of portland cement, that is, grindability, setting and strength, are considered to be due to various factors.

It often becomes necessary for daily quality control to estimate the effect of factors, particularly chemical component and fineness of cement, in order to obtain an optimum level of each factor.

In this paper, the effects of each factor were estimated by analysing the data obtained for half a year using the sorting method for analysis of variance.

It was found from these results that:

- (1) SO_3 content in cement is the most important factor for the strength of cement.
- (2) Addition of gypsum improves the grindability.
- (3) Degree of fineness changes the setting time.
- (4) The effects of hydraulic modulus (HM), silica modulus (SM) and iron modulus (IM) were found to be comparatively less.

1. ま え が き

ポルトランドセメントの品質に影響をおよぼすと考えられる要因は非常に多い。例えば石灰石、粘土等個々の原料の性状、原料調整過程での粉末度、均斉度、および焼成工程での加熱過程、冷却過程、更に添加セッコウの性状等が、製品の化学成分、粉末度等と共にその品質を左右する。これらの中には、容易に変更できないものもあるので、日常の管理、調節は主に化学成分、粉末度等に限られるが、これらの効果も他の要因と結びついているため、その現われ方も常に一定しているわけではない。すなわち、工程上に大きな変化があったような場合には、ある要因の効果が大きくなり、品質特性の現われ方が変わってくる場合も多い。当社セメント工場は湿式ロングキルン5基を有し、これまで重油、石炭混焼で焼成を行って来たが、昨年3月より重油専焼に切換え、またほとんど同じ頃から、ダストの全量回収をおこない原価低減に大いに寄与したが、セメント品質はちょうどこの

頃から、従来からの短期強度に劣り、長期強度に勝るタイプから逆のタイプになってきた。

セメント品質のように、通常、要因が多く重なって影響をおよぼしているような場合、個々の要因のみをとり出して検討してもその効果ははっきりしないので、同時に何個かの要因を組合せて検討する方法が有効である。ここでは、この諸要因の効果について過去半年間のデータを解析することによって検討し、今後の管理および品質向上への資料とした。

2. 解 析 方 法

用いたデータは40年5月より11月までの挽入セメントで、化学成分と強さを同時に試験した108組である。特性および要因には次のものをとった。

特性 圧縮強度 3日, 7日, 28日各材命 (kg/cm²)
凝結始発時間 (min)
粉砕性 (-)

- 要因 原料関係 1) 石灰石割合 (%)
 2) 夜市粘土割合 (%)
 クリンカ関係 3) 容重 (g/l)
 4) SO₃ (%)
 セメント関係 5) SO₃ (%)
 6) $HM = CaO / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)$
 7) $SM = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$
 8) $IM = Al_2O_3 / Fe_2O_3$
 9) プレーン法粉末度 (cm²/g)
 10) (セメントSO₃) - (クリンカSO₃)
 11) 1号ミル製品割合 (%)

- ト HM
 3) 製造時期 ≤ クリンカ SO₃ ≤ (セメント SO₃) - (クリンカSO₃) ≤ 1号ミル製品割合
 第二次解析 (修正後の特性値使用)
 製造時期 ≤ プレーン ≤ SM ≤ IM
 第三次解析 (再修正後の特性値使用)
 製造時期 ≤ 夜市粘土割合 ≤ 石灰石割合 ≤ HM

3. 解析結果

各特性値は9個のクラスに分けたが、その分布状況は第1表に示した。また要因の各水準における各特性の母平均推定値を第2表及び第1図に示した。

4. 考察

各要因ごとにその効果を検討してみる。

1) 製造時期

この期間において、凝結始発時間は、8月以降著しく短くなっており、また、粉砕性は次第に低下している。これは何か別の原因と交絡しているものと思われる。また製造時期との交互作用が有意となっている要因は、ある時期にはその効果が著しいが、他の時期にはそれがみられないという場合が多く、別に検討する必要があるようである。

2) 原料関係

石灰石純度が悪い時には石灰石割合が増加するが、28日強度で使用割合が多い時良いという傾向がみられる。夜市粘土は戸田粘土に比べ SiO₂ が高いが、特にはっきりした効果はみられない。原料関係はセメントとの対

注 1) 粉砕性はミル粉砕量より算出した。

2) 各組のデータは原料関係で2~3日、クリンカ関係は0~1日のタイムラグをとった。

3) 容重は平均値の修正をした後、加重平均した。

以上の11要因については各々3水準をとり、そのほか層別要因として製造時期(4水準)をとった。各要因は分類による分散分析法により、次のように分類し 4×3×3×3=108 の四元配置分散分析をおこない、有意となった要因については、その効果を除くよう特性値を修正し解析を進めた。

第一次解析

- 1) 製造時期 ≤ 石灰石割合 ≤ 夜市粘土割合 ≤ クリンカ容重
 2) 製造時期 ≤ クリンカSO₃ ≤ セメント SO₃ ≤ セメン

第1表 特性値のデータ分布状況 (下段はデータ個数)

	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
3日強度	~112 8	113~117 5	118~122 19	123~127 18	128~132 21	133~137 15	138~142 9	143~147 7	148~ 6
7日強度	~206 3	207~212 10	213~218 14	219~224 13	225~230 26	231~236 17	237~242 16	243~248 5	249~ 4
28日強度	~383 6	384~391 8	392~399 7	400~407 20	408~415 20	416~423 21	424~431 16	432~439 8	440~ 2
凝結始発時間	~133 4	134~139 10	140~145 16	146~151 15	152~157 13	158~163 20	164~169 10	170~175 9	176~ 11
粉砕性	~110.0 4	110.1~114.0 7	114.1~116.5 12	116.6~118.5 22	118.6~120.5 22	120.6~121.5 15	121.6~123.0 9	123.1~124.5 10	124.6~ 7

303) -

FM

片次型は
特性の母

軽しく
こいる。
ひる。ま
引は、あ
れがみ
はあるよ

か、28
られる。
片にはつ
、との対

4
3
6
4
2
11
1.6
7

特性	要因	第一次解析										第二次解析			第三次解析							
		5-6 H	6-7 H	8-9 H	10-11 H	石灰石割合 %	燐石膏割合 %	シリカ含量 %	シリカSO ₃ %	セメントSO ₃ %	セメントHM %	セメントSO ₃ %	シリカ製品割合 %	セメント7-レ-ン %	セメントSM %	セメントIM %	燐石膏割合 %	石灰石割合 %	セメントHM %			
粉砕性	121	** (13.7)										(1.8)	** (3.3)	(2.4) (*)	(0.3) (**)	(1.7)						
凝結開始時間	160	** (19.1)										(0.8)	(**)	** (6.4)	** (5.7)	(0.4)	** (13.7)	(0.3)	(1.7)	(**)	** (0.5)	** (2.3)
28日強度	420											(2.8)	(*)	(*)	(*)	(2.2)						
7日強度	230	* (4.6)																				
31日強度	135												** (6.6)	** (15.5)	** (10.7)	(0.9)	(2.1)	(0.4)			(3.1)	

第1図 要因の各水準における各特性値の母平均推定値と検定結果

** : 1%有意 * : 5%有意 () : 符号差 = (S_A - φ_A · S_B / φ_B) / S_E × 100, [] : 製造時期との交互作用の有意差

第2表 要因の各水準における各特性値の母平均推定値と検定結果

要 因	特 性	水 準		3日強度		7日強度		28日強度		凝結始発時間		粉 碎 性	
		推 定	検 定	推 定	検 定	推 定	検 定	推 定	検 定	推 定	検 定	推 定	検 定
		母平均	結果	母平均	結果	母平均	結果	母平均	結果	母平均	結果	母平均	結果
層別要因	製造時期	1	6~6月	129.9	—	226.5	—	411.9	—	160.7	* *	121.7	* *
		2	6~7月	127.9	—	225.3	—	408.2	—	160.7	—	119.9	—
		3	8~9月	130.8	—	231.2	—	412.4	—	152.0	(19.1)	119.1	(13.7)
		4	10~11月	129.4	—	225.8	—	415.1	—	151.7	—	118.4	—
第 一 次 解 析	石灰石割合	1	78.4	130.8	—	228.0	—	410.4	—	154.2	—	120.2	—
		2	79.9	128.9	—	225.3	—	408.8	—	158.7	—	119.8	—
		3	80.9	128.6	—	228.2	—	416.6	(2.8)	156.7	(0.8)	119.4	—
	夜市粘土割合	1	25	130.4	—	227.3	—	412.4	—	156.0	—	119.5	—
		2	57	128.5	—	225.0	—	409.5	—	156.7	—	119.8	—
		3	94	129.4	—	229.2	—	413.9	—	156.8	[**]	120.1	—
	クリンカ容重	1	1166	128.9	—	226.7	—	411.3	—	156.2	—	119.8	—
		2	1200	130.7	—	227.2	—	410.4	—	155.8	—	119.9	—
		3	1222	128.7	—	227.7	—	414.2	—	157.5	—	119.8	—
	クリンカSO ₃	1	0.22	126.8	* *	226.7	—	412.6	—	151.8	* *	120.6	—
2		0.43	128.2	(6.6)	226.7	—	413.3	—	157.2	(6.4)	119.9	(1.8)	
3		0.65	133.3	—	228.2	—	409.9	[**]	160.5	[*]	118.8	—	
セメントSO ₃	1	1.64	124.2	* *	226.7	—	417.7	*	156.2	—	118.5	*	
	2	1.82	129.7	(15.5)	227.5	—	410.1	(5.7)	157.7	—	120.3	(3.3)	
	3	2.01	134.4	—	227.3	—	407.9	—	155.7	—	120.5	[*]	
セメントHM	1	2.112	129.0	—	226.8	—	410.4	—	156.8	—	119.7	—	
	2	2.129	129.3	—	227.3	—	411.5	—	156.8	—	119.7	—	
	3	2.153	130.0	—	227.3	—	413.9	—	155.8	—	120.0	—	
(セメント)SO ₃ (クリンカ)SO ₃	1	1.11	124.9	* *	—	—	415.7	—	155.0	—	118.7	—	
	2	1.40	129.0	(10.7)	—	—	410.8	(2.2)	158.8	(0.4)	120.1	(2.4)	
	3	1.61	133.1	—	—	—	408.8	—	155.3	—	120.6	[*]	
1号ミル製割合	1	35	131.2	—	—	—	409.7	—	156.2	—	120.4	—	
	2	51	129.3	(0.9)	—	—	411.7	—	154.8	(0.4)	119.8	—	
	3	61	127.8	—	—	—	414.4	—	158.7	—	119.2	—	
第 二 次 解 析	セメントブレン	1	3065	127.4	—	—	410.6	—	162.7	* *	119.3	—	
		2	3141	127.2	—	—	410.6	—	155.7	(13.7)	119.8	—	
		3	3210	129.6	—	—	413.3	—	150.2	[*]	119.6	—	
セメントSM	1	2.64	130.6	—	—	—	409.8	—	156.7	—	119.6	—	
	2	2.74	127.8	(2.1)	—	—	413.3	—	154.8	—	120.1	(0.3)	
	3	2.82	125.8	—	—	—	411.1	—	156.7	—	118.8	[**]	
セメントIM	1	1.48	130.0	—	—	—	411.9	—	157.7	—	118.8	—	
	2	1.55	126.5	(0.4)	—	—	413.5	—	155.0	—	120.4	(1.7)	
	3	1.65	127.6	—	—	—	409.1	—	155.8	—	119.3	—	
第 三 次 解 析	夜市粘土割合	1	24	128.4	—	—	411.3	—	156.0	—	119.5	—	
		2	57	127.7	—	—	408.2	(0.5)	158.2	—	119.6	—	
		3	95	129.2	—	—	413.7	—	155.3	[**]	119.3	—	
	石灰石割合	1	78.5	129.4	—	—	—	409.9	—	154.8	—	119.5	—
		2	79.8	127.7	—	—	—	410.6	—	156.3	(0.5)	119.9	—
		3	80.9	128.7	—	—	—	412.6	—	158.3	[**]	118.6	—
セメントHM	1	2.112	126.2	—	—	—	411.5	—	154.5	*	119.5	—	
	2	2.128	127.8	(3.1)	—	—	413.1	—	159.7	(2.3)	119.1	—	
	3	2.150	131.3	—	—	—	408.6	—	155.3	[*]	119.7	—	

** ; 1%有意 * ; 5%有意 () ; 寄与率=(S_A - φ_A・S_E/φ_E)/S_T×100, [] ; 製造時期との交互作用の有意差

応がとり難いため、充分な結果が得られないようである。

3) クリンカ関係

容重についてはその効果ははっきりしない。クリンカ SO_3 はある周期をもって変動しているので、タイムラグの問題があまりきいてこないで、3日強度、凝結始発時間に有意差がみられる。すなわち、クリンカ SO_3 が多くなるとその0.4%に対し、3日強度は約 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 上昇し、凝結始発時間は約9分遅くなる。

4) セメント関係

セメント SO_3 が多いと3日強度がよく、また粉砕性が向上するが、28日強度が低下する。すなわち、 SO_3 が0.4%増すと3日強度は約 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 上昇し、粉砕性は約2%向上する。しかし28日強度は約 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 低下する。(セメント SO_3) - (クリンカ SO_3) を添加セッコウ量によるものとすれば、添加セッコウ量が多いほど3日強度がよく粉砕性もよくなるが、28日強度は悪くなる傾向がある。しかしこの効果はセメント SO_3 の効果と交絡しているようである。

1号ミルは主に5号キルンクリンカを粉砕するので、1号ミル製品割合が多い時は、5号キルンクリンカの品質に近い。これによると5号キルンクリンカは、3日強度は悪いが28日強度はよいという傾向がみえる。

セメント・ブレンは、強度にははっきりした影響はみられないが、ブレンが大きくなると、その約 $100\text{cm}^2/\text{g}$ の増加で凝結始発時間が約10分短縮される。

HM, SM, IM 等の諸係数は、いずれも特に、はっきりした傾向はみられないが、3日強度では、HM が高く SM が低い方がよいようである。

5. 結論および今後の方針

最近のセメント品質の主要特性におよぼす要因の効果の大きさを、各特性ごとに記すと次のようになる。

3日強サ；セメント SO_3 > セッコウ添加量 > クリンカ SO_3 > セメント HM > SM

28日強サ；セメント SO_3 > 石灰石純度 > セッコウ添加量

凝結時間；ブレン > クリンカ SO_3 > HM

粉砕性；セメント SO_3 > セッコウ添加量 > クリンカ SO_3

従来の結果では、特に強度については、製造時期の影響が最も大きく、冬季に上昇し夏季に低下する周期をくりかえしており、次いで HM の効果が大きであったが、最近では、それらの影響は小さくなり、代って SO_3 の効果が著しくなった。セメント SO_3 については、今後、実験によって最適値を得たい。