

ポルトランド・セメントの規格

並に試験法に就ての考察 (四)

三 木 榮 三

三 粉末の程度測定法に就いて

前號に於いて、ポルトランド・セメントの粉末の程度に關して、甚だ不完全ながら、其の概念を得ることが出來た。

素より粉末の程度に關しては、之を數學的に取扱つて其の強度との關係を探究せるものや、粉碎方法及と化學成分との關係を研究せるもの等、諸種の方面より其の意味を考究してゐるが、之等に關しては、又時期を見て論及することとし、暫くこの點に關しては筆を擱き、直接之と最も關係深き所の、粉末程度の測定方法について少しく調べて見るこ

と、する。

粉末の程度測定法としては、凡そ次の四種に之を分別することが出来る。即、

- (1) 篩分による方法
- (2) 沈降法によるもの
- (3) 水簸法によるもの
- (4) 風簸法によるもの

これである。この四種は各特徴を有し、試験の目的によつて其の適當なるものを選びて、之を用ふるをよしとする。而して、この四種の方法は、いづれも粉末の程度の比較に

は便利であるが、直接に粉末の粒子の大きさ、形状等を知るには、稍不精確にして不便なるをまぬがれない。粉末粒子の大きさ、形状等を特に精確に且つ直接之を知らんとすれば、顕微鏡によるをよしとするが、各種の大きさの粒子の量を知るには検鏡法は不便である。

今、上記四種の測定法に就て略述することとする。

(A) 篩分に依る方法

現今のポルトランド・セメント粉末程度の規格は各國共、篩分試験に依つて之を行ふこととして居るが、この方法は、既説の如く、理想的のものではなく、むしろ極めて、便宜のものである。然し篩以外に特別の裝置を要せず、其の操作も比較的簡單なるが爲に、舊來の習慣上使用せられて居るものである。もし之に代る適當な方法が見當るならば極めて微細粉に富む現今の製品に對しては、篩分法を廢して、他の方法を以つてする方がよろしからうと思はれる。

篩の細かさは、通常一平方糎當りの目の數、或は一時當りの目の數等によつて大體の比較がなされて居るが、其の

實際の効力は、篩の目自身の大きさに存することは勿論である。每平方糎當りの目の數が同一であつても、篩に使用せる針金の徑が異なる時は、篩目の大きさは異なる譯で、前號所載の第二表を見るに、各國多くは、平方糎當り九〇〇孔或は四九〇〇孔篩を使用してはるるが、其の針金の徑は必ずしも同じくないから、各篩の目の大きさ即篩の細さは、同表五行目及八行目の如く夫々多少異つて居る。従つて、之等の篩によつて試験せる結果を彼此比較するに當つては、殘滓量の百分率のみによつて判斷を下す譯にはゆかない。今諸種の篩を比較するに便なる様下記に之を表示すれば、第一表第二表及第三表の如くである。

即、第一表は、平方糎當りの數、長一糎當りの數及長一時當りの數を比較せるもので、第二表は、各國に於てセメント試験用に供せらるる九〇〇孔篩の種類（針金の太さ及目の廣さ）を示せるもの、第三表は、同様にして四九〇〇孔篩及二〇〇番篩（六二〇〇孔篩の種類を示せるものである。第四表は、北米合衆國標準局（材料試験協會）採礦治

第一表 篩の目數比較表 No./cm²—No./cm—No./in

研

究

No./cm ²	No./cm	No./in	No./cm ²	No./cm	No./in
0.155	0.394	1	256	16.0	40.7
0.62	0.788	2	314	17.7	45.0
2.48	1.575	4	388	19.7	50.0
3.88	1.969	5	400	20.0	50.8
5.58	2.363	6	559	23.63	60.0
7.57	2.757	7	576	24.0	61.0
9.93	3.150	8	625	25.0	63.5
15.51	3.94	10	760	27.58	70.0
16.0	4.00	10.2	900	30.0	76.2
22.3	4.73	12	993	31.5	80.0
25.0	5.00	12.7	1256	35.4	90.0
30.4	5.516	14	1551	39.4	100.0
36.0	6.00	15.2	1600	40.0	101.6
39.7	6.30	16	2235	47.2	120.0
50.2	7.088	18	2500	50.0	127.0
60.0	7.74	19.65	3040	55.2	140.0
62.0	7.88	20	3500	59.2	150.0
64.0	8.0	20.32	3600	60.0	152.5
89.3	9.45	24	3970	63.0	160.0
96.9	9.844	25	4480	66.9	170.0
100.0	10.00	25.4	4900	70.0	177.8
105.2	10.25	26	5020	70.9	180.0
120.0	10.95	27.8	6200	78.8	200.0
121.5	11.02	28	6400	80.0	203.0
140.0	11.82	30	8230	90.6	230.0
144.0	12.00	30.48	9690	98.4	250.0
149.0	12.2	31.0	10000	100.0	254.0
190.0	13.775	35.0	11300	108.3	270.0
196.0	14.00	35.6	14000	118.2	300.0
225.0	15.00	38.1	16400	128.0	325.0
248	15.75	40.0			

一
九

第二表 900孔/cm² 篩網目の大きさの種類

番號	網目の大きさ	篩針金の徑	備	考
1	mm	mm		
2	0.234	0.099		
3	0.235	0.100		
4	0.229	0.104	この六種は事實 上は大差なかる べし。	
5	0.223	0.110		
6	0.222	0.111		
7	0.221	0.112		
	0.183	0.150		

第三表 4900孔/cm² 篩網目の大きさの種類

番號	網目の大きさ	篩針金の徑	備	考
1	mm	mm		
2	0.097	0.046		a 1は6200孔/cm ² 即 200 番篩である。
3	0.093	0.050		
4	0.0922	0.0508		
5	0.089	0.054		
6	0.088	0.055		
7	0.074	0.053		

金協會、獨逸トーンインダストリー社等の各種篩を其の目の大きさの順位に配列せるもので、本表に依れば、各種の篩の實際の効果を知り得べく、篩の細さを平方種當り目の數或は一時當り目の數等で表したものは、極めて大體の觀念を與ふるのみで、實際の細さを示すものでない事が明瞭になる。例へばトーンインダストリー社四九〇〇孔篩（一七八番）とI・M・M一六〇番（三九七〇孔/cm²）とを比較するに夫々の目の廣さは、〇、〇八八耗、及〇、〇七八耗で、一七八番の方が、却つて一六〇番よりも粗であることが分る。篩の如き比較的簡單なものにあつても、少しく仔細に之を調べて見ると、斯くも區々複雑にして、之が爲に、或は誤解を惹き起し易く、或は之に無益な考慮を費さなければならぬのは、全く意外とする所であり、規格の萬國共通化の必要を感じしむる一理となることと思ふ。

上記の如き（第二表及第三表参照）篩を用ゐて篩分試験を行ふに當りては、理論上は、篩の網目の大きさ以下の細さの粒子は、全部篩を通過すべき筈であるが、實際試験に於

第四表(A) 各種篩網目の大きさ順位

No/cm ²	No/in	北米標準局		I. M. M.		Tonindustrie		名稱
		網目の 大きさ	針金の 徑	網目の 大きさ	針金の 徑	網目の 大きさ	針金の 徑	
1.0	2.58	mm	mm	—	—	—	—	A 2 $\frac{1}{2}$
1.44	3.03	8.00	1.85	—	—	—	—	A 3
1.96	3.57	6.73	1.65	—	—	—	—	A 3 $\frac{1}{2}$
2.89	4.22	5.66	1.45	—	—	—	—	A 4
3.88	4.98	4.76	1.27	—	—	—	—	A 5
5.29	4.98	4.00	1.12	—	—	—	—	A 6
7.30	5.81	3.36	1.02	—	—	—	—	A 7
3.88	6.30	2.83	0.92	—	—	—	—	A 7
9.00	5.00	—	—	2,540	2,540	—	—	5 I
12.2	7.89	2.38	0.84	—	—	—	—	A 8
16.0	9.21	2.00	0.76	—	—	—	—	A 10
16.0	10.72	1.68	0.69	—	—	—	—	A 12
9.93	8	—	—	1,574	1,600	—	—	8 I
16.0	10.2	—	—	—	—	1.5	1.00	4
25.0	12.85	1.41	0.61	—	—	—	—	A 14
15.51	10	—	—	1,270	1,270	—	—	10 I
25.0	12.7	—	—	—	—	1.2	0.80	5
36.0	14.66	1.19	0.54	—	—	—	—	A 16
22.3	12	—	—	1,056	1,059	—	—	12 I
36.0	15.2	—	—	—	—	1.02	0.65	6
49.0	17.15	1.00	0.48	—	—	—	—	A 18
64.0	20.16	0.84	0.42	—	—	—	—	A 20
39.7	16	—	—	0,792	0,795	—	—	16 I
64.0	20.3	—	—	—	—	0.75	0.50	8
81.0	23.47	0.71	0.37	—	—	—	—	A 25
62.0	20	—	—	0,635	0,635	—	—	20 I
100.0	25.4	—	—	—	—	0.60	0.40	10
121.0	27.62	0.59	0.33	—	—	—	—	A 30
121.0	28	—	—	—	—	0.54	0.37	11
169.0	32.15	0.50	0.29	—	—	—	—	A 35
144	31	—	—	—	—	0.49	0.34	12
196	35.6	—	—	—	—	0.43	0.28	14
140	30	—	—	0,421	0,424	—	—	30 I
225	38.02	0.42	0.25	—	—	—	—	A 40

第四表(B) 各種篩網目の大きさ順位

No/cm ²	No/in	北米標準局		I. M. M.		T. industrie		名稱
		網目の 大きさ	針金の 徑	網目の 大きさ	針金の 徑	網目の 大きさ	針金の 徑	
256	40.7	mm	mm	mm	mm	mm	mm	16
324	44.44	0.35	0.22	—	—	0.385	0.24	A 45
248	40	—	—	0.317	0.317	—	—	40 I
400	50.8	—	—	—	—	0.300	0.20	20
425	52.36	0.297	0.188	—	—	—	—	A 50
388	50	—	—	0.254	0.254	—	—	50 I
594	61.93	0.250	0.162	—	—	—	—	A 60
576	61	—	—	—	—	0.250	0.17	24
559	60	—	—	0.211	0.211	—	—	60 I
813	72.46	0.210	0.140	—	—	—	—	A 70
900	76.2	—	—	—	—	0.200	0.13	30
760	70	—	—	0.180	0.180	—	—	70 I
1133	85.47	0.177	0.119	—	—	—	—	A 80
1600	101.6	—	—	—	—	0.150	0.10	40
1580	101.01	0.149	0.102	—	—	—	—	A 100
1256	90	—	—	0.139	0.139	—	—	90 I
1551	100	—	—	0.127	0.127	—	—	100 I
2245	120.48	0.125	0.086	—	—	—	—	A 120
2500	127	—	—	—	—	0.120	0.08	50
2235	120	—	—	0.107	0.104	—	—	120 I
3170	142.86	0.105	0.074	—	—	—	—	A 140
3600	152.5	—	—	—	—	0.102	0.065	60
3040	140	—	—	0.091	0.091	—	—	140 I
4300	166.67	0.088	0.063	—	—	—	—	A 170
4900	177.8	—	—	—	—	0.088	0.055	70
3970	160	—	—	0.078	0.078	—	—	160 I
6400	203	—	—	—	—	0.075	0.050	80
6200	200	0.074	0.053	—	—	—	—	A 200
5020	180	—	—	0.071	0.071	—	—	180 I
6200	200	—	—	0.063	0.063	—	—	200 I
8800	238.1	0.062	0.046	—	—	—	—	A 230
10000	254	—	—	—	—	0.060	0.040	100
11500	270.26	0.053	0.041	—	—	—	—	A 270
16200	323	0.044	0.036	—	—	—	—	A 325

道路の改良 第十二卷 第五號

ては、之には極めて長時間を要し、定まれる時間内に於ては、篩分を繼續すればする程、微細粉の通過を見、一見其の停止する所を知らざるが如く觀受けられる。従つて、篩分を如何なる程度迄つゞくるかに依つて試験の結果に相違を生ずるもので二—三%位の差は容易に起り得るのである。之が爲に本邦の規格に於ては一分間篩分を行ふ間に、其の通過量〇・一瓦に達したる時を以つて試験を終了すべきものとして居る。然しながら實際には、これでも尙、試験者を異にする時は、其の結果に相當の差違を生ずる事をまぬがれないのは次の一例を見ても分る。

即同一セメントを二八人の異なる試験者が四九〇〇孔篩を以つて篩分試験を行ひたる結果、篩上殘滓量最低二・二〇%、最高六・〇〇%平均三・二一%の成績を示して居る。この内極端に差異の大なるもの三、四を除きても猶二・四〇%より三・八〇%迄の開きがある。之によつて見るに少くも±1%位の差はあるものと見なければならぬ。

上記の如く篩分の試験は、一見簡單の様でありながら、

之を實行する上には相當の用意と熟練とを要するものである。之を空氣中に於て行ふかはりに、化學的にセメントに作用せざる流動性液體——例へばガソリンの如きもの——の中にて行ふ時は、其の操作を容易ならしめ、粉末の飛散による不便を少くし、試験時間を短縮する等の利益がある。この方法は、道路材料たる石粉（シートアスファルト填充材用）に對しては、既に北米合衆國で行つて居る所であり、之をセメントの如きものに應用することは當を得たものであらうと思はれる。

而してセメントが細くなればなる程、之が篩分試験に用ゐる篩の目は益細きものでなければ間に合はなくなる道理であるが、篩の目が細くなればなる程、篩分試験の操作は困難となる。従つて篩分法によりて行ひうる程度には、自ら限度がある。而してセメント中に於て實際に有効に働く部分は、四九〇〇孔篩を通過する部分即、徑約〇・〇九耗以下の部分で、之れ以下の粒子の粉末の程度を更に比較しようとするれば、篩分以外の方法によらなければならぬ。

(B) 沈降法 (Sedimentation; Sedimentieren)

沈降法は、微細粉が水或は其の他の液體中に、或る時間中懸留状態に置かれ得る性質を利用せるものである。凡そ液體中に固體の微細粉が存在する時は、其の粉末粒子の沈降の速度は、ストークスの法則により、次の式で示される。

$$V = \frac{2(D-d)}{9\gamma} \cdot gr^2$$

上式中 V は粒子の沈降速度 cm/sec

γ は液の粘度 C. G. S. system

r は粒子の半径(粒子を球状のものと思はず)

g は重力の加速度約 980cm/sec²

d は液の比重

D は粒子の比重

上式によれば、常に一定の温度に於て、一定の液を使用する場合には、γ及dは一定である。ポルトランド・セメントにありてはDは3.10+0.05位である。gは略一定と見做して差支ない。即上式中γ、g、dを一定と見做せば、次の如き關係が成立つ。

$$V = Cr^2 \quad C = \frac{2(D-d)}{9\gamma} \cdot g = \text{定數}$$

即粒子沈降の速度は、粒子の半径の二乗に正比例するものと考へることが出来る。粒子が一定の距離m(m)を、t秒間に沈降したものとすれば、

$$S = Vt = Cr^2$$

$$t = \frac{S}{C} = \frac{1}{r^2} = \text{定數} \times \frac{1}{r^2} = k \cdot \frac{1}{r^2} \quad \text{即ち } k = \text{定數}$$

$$\text{或は } r = \sqrt{\frac{k}{t}}$$

即粒子の大きさは沈降時間の平方根に逆比例することとなる。今、セメントをある液中に投じて、充分攪拌すれば、粒子の殆ど全部は懸留状態におかれる。次に攪拌を止めて之を静置すれば、半径(r)の大なる粒子程即大なる粒子程早く沈降する。一定時間(t₀秒間)静置後、既に沈降せる部分と懸留せる部分とを分てば、沈降部分は比較的大なる粒子を含み(大體 $\sqrt{\frac{k}{t_0}}$ 以上の半径を有するもの)、懸留部分は比較的小なる粒子を含むこととなる。懸留部分については、更に以前よりも長き時間(t₁秒間)之を静置し同様に粗細の二部分に分つことが出来る。かゝる操作を繰り返して

へば、次第に粗より細へ進む數種の部分にセメントを分割することが出来る。かゝる方法を沈降法と名づける。今一例をあぐれば、比重二・六の物質が水中に於て沈降する場合、靜置の時間と、粒子の大きさとの關係は大略次の如くであるといふ。

沈降時間と粒子の大きさとの關係一例

粒子の大きさ(直徑)	靜置時間	沈降距離
0.1 mm	14.3 sec	100 mm
0.05	50.0	100
0.01	666.6	100

而してこの方法は、(1) 粒子の大きさが、液の分子よりも遙かに大なること、(2) 粒子の量に比し、液の量の充分多きこと、(3) 粒子の表面は平滑にして、剛體たること、(4) 粒子と液との間にスリップシグのない事、(5) 速度があまり大ならざること、(6) 粒子は小なるも、甚しく小に失せざること等の假定のものに成り立つものにして、膠狀のサスペンションをなすものには適用できない。尙、セメント

の如く、諸種の化合物の混合物よりなるものと見做さるゝものにありては、其の各成分の比重は、多少異なるを以つて嚴密には、問題は稍複雑化して來る譯である。例へば、セメントの本體の比重(三・一五)位と石膏の比重(二・三一位)との相違を考ふる時は、この兩者が同一時間に沈降する時、夫々の粒子の大きさは等しくない譯である。唯常に同一條件のもとに試験を行ふものとすれば、異種のボルトランド・セメント間の粒度を彼此比較するの目的は略達し得らるゝことと思ふ。更にこの方法を用ふるについて不便を感じる點は、既に沈降せる部分と懸留部分との分別操作である。この不便より生ずる誤差を少くする爲には、同一時間の沈降を二回以上繰りかへすにある。今本方法を用ゐて試験したる例を示せば次の如し。(第五表)

第五表の(1)の部分は二〇〇番篩上に殘留する部分についての篩分試験成績にして、(2)の部分は二〇〇番篩通過の部分について更に二五〇番及三〇〇番篩を以て篩分試験を行ひたるもの、(3)の部分は二〇〇番篩通過の部分について、沈

第五表 沈降法及篩分法比較

項目	シヤノブホソヂユ	ルムナイト	テイトツツカーホフル	ラセツトハンド ニシガフエロク リート	淺野ボルトランド	
(1) 比 900fl/cm ² 殘滓、 900fl/cm ² ~200番	重	3.02	3.13	3.14	3.07	3.14
		0.32%	0.02%	0.04	0.03	0.04
		9.15	6.77	4.64	0.79	5.96
(2) 200~250番 250~300番 300番通過		4.01	5.61	4.84	1.01	4.42
		4.36	7.30	5.47	1.51	5.18
		85.13	82.69	85.54	96.83	84.42
(3) 1分間静置後殘留せる部分 1分間静置後懸留し30分間 静置後殘留せる部分 30分間静置後懸留せる部分		39.5	31.8	28.8	25.3	27.9
		40.8	40.3	36.1	37.9	43.7
		102	16.1	30.2	36.0	22.9

備考

(1)の部分は通常の試験。(2)の部分は200番篩を通過せる部分について更に篩分を行ひたるもの。(3)の部分は200番篩を通過せる部分について沈降法を行ひたるもの

降法に依つて試験せるものである。今、(3)の試験成績を(2)の夫れと比較して見れば、粉末の程度の比較法として其のいづれが有効であるか一見明瞭である。即、(2)の篩分法に依る時は、フロクリートを除く他の四者の間には、多少の相違はありとするも、大なる差違を認むるには困難であるが(3)の沈降法に依る時は、五者間の粉末程度の別が甚だ明かに知られる。

第五表の試験に於て用ゐられたる沈降法の試験方法を略記すれば、次の如くである。

沈降試験方法の一例。

先づ試料一〇瓦を約二五〇珎のビーカー(C)に採り、之に苘麻子油及石油揮油(日石ボーマ八八度)等量混液二〇〇珎を注入し、良く攪拌し、三〇分間放置したる後、上部の液一〇〇珎をサイホンによりて靜かに流出し、更に混液一〇〇珎を加へて同様の操作を繰り返し、前後二回の流出液を同一ビーカー(A)に收め、次に元ビーカー(C)中の殘留液に混液一〇〇珎を加へ攪拌後一分間靜置し、前同様に上部一

〇〇珎を流出し、更に同じ操作を繰り返し、前後二回の流出液を同一ビーカー(B)に收む。かくして得たる前後二種の流出液(A)(B)とビーカー(C)中に殘留せるものとの三種の液を各別に濾過し、濾紙上の殘留物をエーテルを以て充分洗滌したる後、乾燥冷却後秤量し、試料をA、B、C三部分に分ち、其の元セメントに對する百分率を算出したものである。

上記の方法は最も簡單に沈降試験を行ひたるものであるが、この爲に特種の裝置も考案せられて居る。尙沈降法を行ふに當りては、使用液の選定よろしきを得ることが最も重要な問題である。即、セメントに對して化學的作用なく、適當の粘度を有し、細粗分別後、セメントと液との濾過分離、液の洗滌蒸發、乾燥等に便なるものを探求する必要がある。(未完)