

ポルトランドセメントの規格

並に試験法に就ての考察 [五]

三 木 榮 三

C 水簸法、風簸法

沈降法と同様に、液中に、微細末の懸留せらるゝ性質を應用して、粉末の程度を試験するに用ひらるゝ方法に水簸法がある。水簸法は、液の流れを利用し、沈降法は主として液の静止せる状態を利用する點に於て、稍々其の趣を異にするに過ぎぬが、其の實驗操作の上に於ては全く異なるものがある。

水簸法の結果を左右する條件の中下記に列擧する所のは比較的重要なものである。

1 液の性質 液は試料たる微細粉に、化學的に作用し

ないもので、其の粘度の適當なるものなること。

2 液の溫度 溫度は試験中一定なるべく、又各試験を通じて一樣なるべきこと。

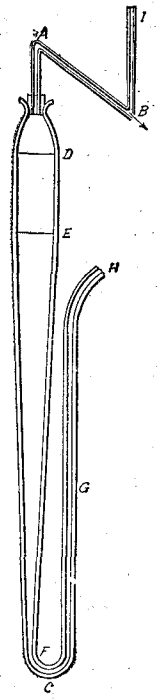
3 液の速度 一試験中は速度に變化なきこと。

4 微細粉の比重、粒子の形状大さ等等しきものを取りて考ふるも、比重の小なるものは大なるものに比し流出し易きこと。

5 微細粉の形状、比重及質量等しき粒子にありては其の形状、球形をなすものと、扁平状をなすものにては流出に對する狀況を異にすること。

6 試料の量 測定器の形状、大小、液量に比し試料の量は多きに過ぐべからず。

上記諸種の條件を考慮に入れたる上、一定流速の下にて流出せらるゝ微細末の大きさは、ある限界以下のものゝみなることを利用して、粒子を大小二部分以上に分割せんとするのが水簸法である。



第一圖 シエーネ氏水簸器

水簸法に用ゐらるゝ装置は種々あるが、シエーネ氏水簸器 (Schone's Elutriator) は、第一圖の如き形状を有し、ガラス製にして、全高約六〇〇耗。D E間は、距離一〇〇耗徑約五〇耗の圓錐形をなし、E Fは圓錐形をなし、徑五〇耗乃至五耗、管C G Hの内徑は五耗である。Hより送入せらるゝ液は、エデイーカレント或はサイドカレントをなる

べく起さぬ様造られてある。上部には、ゴム栓を施し、之に流出管A B Iが附せられて居る。A B Iは壓力計の役目をもなし、B部に徑一・五耗の孔を有し、B Iは高約一米にして一種毎に目盛が施され、其の最下部の一〇耗は更に耗まで細分せられて居る。即ちHより液を送入する場合、B Iの液の高さが一定なる時は、圓錐部D E間を流るゝ液の

速度は一定となる。かくして得たる一定速度の流液を以つて、器内に豫め入れおきたる、試料中の細粉をBより流出せしめ、流出液が全く清澄となるまで分別を行ふのである。(實驗方法の詳細は省略

す)。
水簸器には、この他、クレーベルの水簸器、シユレージシクの水簸器等あり、各其の特徴を有するが、水簸法は、概して、多量の液を費し、且つセメントの如く、水に作用せらる物質に對しては、水以外の液を使用しなければならぬ。

第三圖 ウキーグネル沈降試験装置



第二圖 ロトリイ氏水簸器

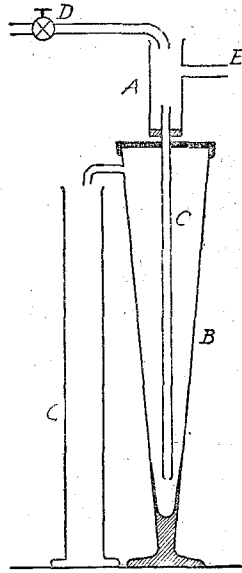
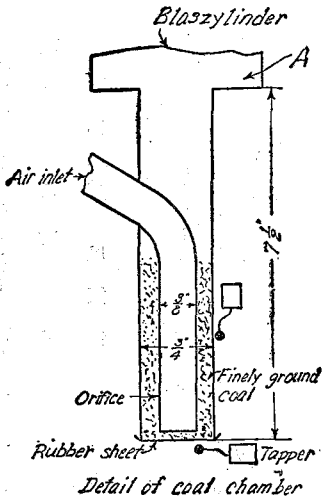


Abb. 3. Sedimentationsapparat nach Wiegner

第四圖 a. 風簸器



セメントに使用する目的を以つて、水簸法の液の代りに
 空気を使用するものは、風簸法である。風簸法に關しては
 多くの研究があるが、こゝにはすべて省略し、たゞ諸種の
 風簸器の略圖を掲ぐるにとどむる。(粉末程度及其の測定法
 の項目のみ冗長となる嫌あるを以つて、風簸法に關しては
 更に別の表題の下に機を見て説くことゝしたい。)

Abb. 4a. Unterer Teil des Windsichters nach Perrott u. kimney (Wiedergabe nach der Abb. im Original).

第四圖 b. 風簾器

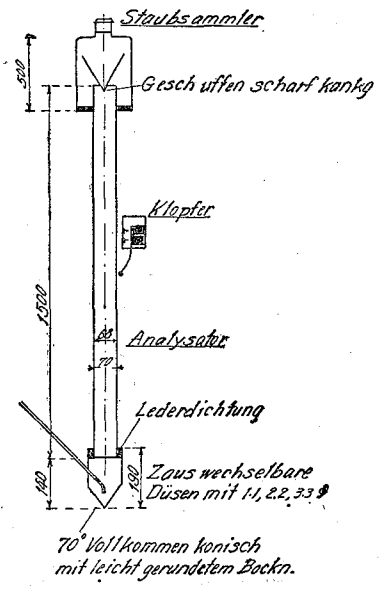


Abb. 4. Windsichtapparat nach Pearson u. Slight

上記の如く、粉末の程度は、セメントの效力に重大なる影響のあることは勿論であるが、粉末の程度は等しくとも其の化學的の性状を異にする場合は、セメントの效力に差違のあること言はふまでもない事柄である許りでなく、等質のクリンカーを粉碎して微細粉となすに當りて、クリンカーの所理方法、粉碎方法を異にする場合には、セ

メントの性状をも異にすることがあるから、單に粉末の程度のみによりてセメントの性状を云爲することの出来ないことは素よりである。

第五圖 風簾器

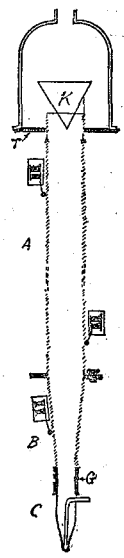
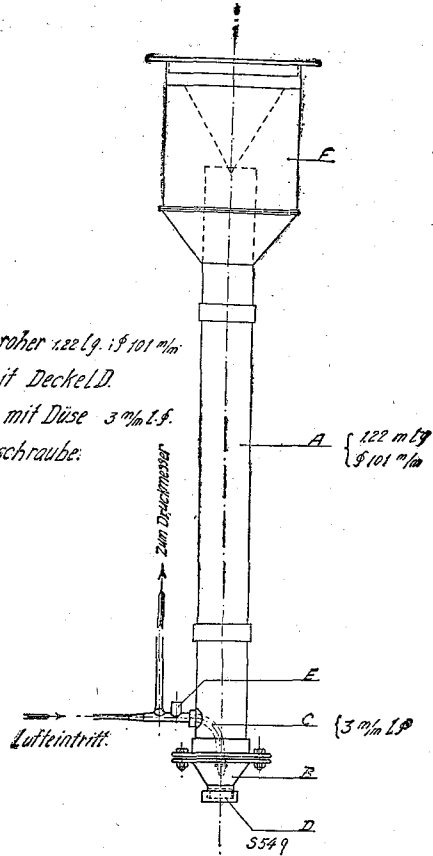


Abb. 5. Windsichtapparat D. R. G. M. Nr. 1 036 337 Kl. 50d

三 マグネシアの量

本邦規格中、第二章試験法第十二條に於て、セメント中に含有せらるゝ、苦土 (マグネシア MgO) は三・〇%を超えざることを要す。

との意味の制限が掲げられて居る。昔時に於ては、苦土の量がある點以上多くなれば、セメントは其の安定度を失ひかゝるセメントを以つて造つた、モルタル乃至混凝土は、膨脹、龜裂等の爲に破壊せらるゝに至るものと考へられて



第六圖 風箏器

一 五%迄許容せるもの
 獨逸。エストランド。オランダ。ユーコスロヴァキア。オースタリア。スウェーデン。スペイン。チエツコスロヴァキア。北米合衆

居た。獨逸のドイツカーホフはこの點に於て特に力説し、

一九〇八年乃至一九〇九年頃に於て、苦土の影響について述べ、當時セメント中の苦土の量は三・〇%を超ゆべからずとの規定が設けられた。然るに近時苦土の量に就ては、多くの人は、かくの如き厳しき考へを持たず、或は四・〇

國。

二 四%迄許容せるもの

英國。ノールウェー。アルゼンチン。オーストラリア。カナダ。

三 三%迄許容せるもの

日本。ベルギー。イタリア。ポーランド。ロシア
ブラジル。チリー。

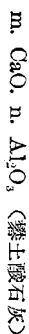
四 規格に明示せざるもの

デンマルク。フランス。スウキス。ジャマイカ。
クウキンスタンド。

即、許容の最高は五%、最低は三%であり、本邦規格は其の最低を守つて居るが、之を少くとも、四%位迄ゆるめようといふ意見が多い様である。果して、之を如何なる程度に定めたならばよろしきか、この點について苦土の存在がセメントに對して如何なる意味をもつものなるかを調べて見る必要を生ずる。

凡ポルトランドセメントの原料は、石灰岩にしても、粘土にしても、全く苦土を含まないものは稀である。従つて之等を焼成して造りたるセメント中には、少量ではあるが苦土の含有せらるゝのは當然である。而して、クリンカー焼成後は約三%以内の石膏の外何物も添加せられざるを以つて、ポルトランド・セメント中の苦土は、クリンカー中

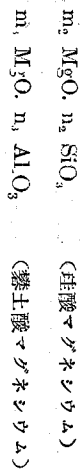
より來るものと見るを至當とする。今苦土が、セメント中に如何なる形式に於て入り來り、如何なる作用をなすものなるかを考へることとする。一般にポルトランド・セメントの主成分は、現今多くの人々に認めらるゝ所に依れば、石灰 (CaO) と珪酸 (SiO_2) との化合物、及石灰 (CaO) と礬土 (Al_2O_3) との化合物の二者である。勿論、ポルトランド・セメント中には上記以外の諸種の成分が存在して居るが、上記二者を以つて最も主要にして普通なる成分とする。之が一般式を示せば



(茲に m, n, m₁, n₁ は種々に變化し得る數値にして、之等の値の異なる時は、其の化合物の性質も異なるものであるが、今こゝには其説明は後にゆづり、之を省略する。)

而して、苦土 (MgO) は化學的に見て、比較的石灰 (CaO) に近似の性質を有する點より考ふれば、上式中の石灰の代

りに苦土を以つて置換したる化合物



を想像する事が出来る。而して反應充分ならざる時は、上記の化合物の外に遊の苦土としてセメント中に残るであらう。實際に於て、上述の如き MgO による CaO の置換作用は行はれ得る所にして、唯、かゝるセメントは、其の水硬性甚だ弱きものである。

今一例としてマグネサイト(炭酸マグネシウム MgCO_3)を主成分とする()とスレートとより造りたる一種のセメントを分析して見ると。

SiO_2	27.84%
Fe_2O_3 及 Al_2O_3	11.16
CaO	2.02
MgO	56.20
SO_3	1.42
灼熱減量	0.86

研 究

なる組成を示し、殆ど CaO の全部を MgO を以つて置換したるもの即、マグネシア・ポルトランド・セメントとも見らるべきものを生じた。其の抗張強度は、

普通セメント 7日 2.18kg/cm²

1年 3.19 "

であつて、普通セメントの抗張強度(少くとも五〇kg/cm²以上)に比較して、餘りに弱いものたる事が分る。然し安定度を試験して見ると、煮沸試験にも、蒸氣試験にも堪へ、又空氣中及冷水中に、供試體を二ヶ年放置したる場合にも、膨脹、龜裂等が見られなかつた。之によつて見るにセメント中の石灰の一部を苦土によつて置換するも、其の安定度を害する虞は先づないもので、唯苦土の量の餘りに大なる時は、セメントの強度を幾分低下するに過ぎないものと想像せられる。従つて膨脹、龜裂等を顧慮して定めた、苦土量の制限は、之をもつとゆるめても差支ないのではなからうか。

更にドロマイイト (MgCO_3 , CaCO_3 を主成分とする) 及ス

レートより造りたるセメントの例を見るに、其の強度は純石灰岩 (CaCO_3) 及スレートよりつくりたるセメントの強度の二〇%に過ぎなかつたと言ふ。

上記の事實より、セメント中の苦土の影響について大略の推察を行ふことが出来るが、之をもつと數量的に調べようとしたのは、米國の P. H. Bates である。同氏は、苦土含有量を異にする十數種に互る原料混合物を造り、之を燒成してセメントを得、其の各について極めて詳細なる研究

を行ひ、苦土含有量とセメントの性質との關係を明瞭なるものとなした。同氏の研究はこの點に於て甚だ貴重にして有益なるものと思はれるから、其の要點を摘録することゝする。

同氏の實驗に用ゐたる試料は、次の如き組成を有する一八種のものにして、苦土含有量は一・七七%より二五・五三%迄種々に變化せしめて居る。(第一表參照)

第一表 組成

試料番號	苦土 % (MgO)	石灰 % (CaO)	MgO 及 CaO 總量 %	他物質總量 %	MgO 及 CaO 以外の物質組成概略 %
16	1.27	64.54	66.31	33.69	SiO_2 21.49 ~ 23.12
25	3.27	62.68	65.95	34.27	Al_2O_3 6.77 ~ 7.93
26	4.20	61.37	65.57	34.71	Fe_2O_3 2.57 ~ 3.41
27	5.12	60.16	65.28	34.92	SO_3 1.70 ~ 1.65
28	6.49	59.60	66.09	24.12	Na_2O 0.07 ~ 0.28
29	7.41	56.88	64.29	36.03	K_2O 0.26 ~ 0.57
30	9.50	55.54	65.04	35.32	灼減 0.36 ~ 1.35
31	14.07	48.00	62.07	37.62	
32	18.98	44.09	63.07	37.04	
					計 33.69 ~ 37.62

33	25.53	36.32	61.85	38.07	SiO_2 21.22~22.35 Al_2O_3 7.85~8.95 Fe_2O_3 3.10~2.43 SO_3 1.43~1.83 Na_2O 0.00~0.38 K_2O 0.08~0.56 計 34.95~38.07
34	19.45	43.92	63.37	36.39	
35	13.96	49.30	63.26	36.77	
36	10.33	53.77	64.10	35.90	
37	8.03	56.30	64.33	35.53	
38	7.80	57.20	65.06	35.36	
39	6.62	58.02	64.64	35.30	
40	3.59	61.40	64.99	34.93	
41	2.01	62.67	64.68	35.29	

第一表に依れば、試料は、Aに於ては、九種にして苦土

含有量一・七七乃至一八・九八%、之に應じて置換せらるべ

き石灰を考へ、石灰含有量は、六四・五四乃至四四・〇九%

として居る。苦土及石灰以外の成分は、合計三三・六九乃

至三七・六二%で、其の内譯を見ると略同様なる組成を有

して居る。Bにありては、苦土含有量二五・五三乃至二・〇

一%にして、之に應じて石灰の量を變化させて居る。苦土

及石灰以外の成分は、合計三四・九五乃至三八・〇七%で、

其の内譯組成の略同様なることはAと同様である。同氏は

上記十八種の試料の各について試験を行つて居る。先づ豫

想の如く、苦土が石灰の一部を置換して

$m_1 \text{ MgO}$, $n_1 \text{ SiO}_2$

$m_2 \text{ MgO}$, $n_2 \text{ Al}_2\text{O}_3$

を造るものなるか否かを見んが爲に、各クリンカーを顕微

鏡によつて調べた結果を概観するに、遊離石灰は殆どなく

試料の成分中、石灰は何等かの形に於て化合状態にあり、

各クリンカーの主成分は、

$3\text{Ca}_2 \text{ SiO}_3$, β , β' , γ 2CaO , SiO_2 , 3CaO , Al_2O_3

であつて、苦土の百分率が八を超ゆるに至り、始めてモン

テイセライト (MgO , CaO , SiO_2) を認め、之より其の量多

き時は、スピネル (MgO, Al_2O_3) を認めたらに過ぎない。而して、最も苦土の量の大きな二試料についてのみ遊離の苦土を認むることが出来たに過ぎず、従つて、苦土は殆ど完全に化合し盡して、上記の石灰の一部を置換して居るものと考へられる。

上記十八種のクリンカーの各に約三%の石膏を加へて、粉碎して得らるゝセメントに就て、凝結時間、安定度、純セメント抗張力、耐壓力、一・三標準砂モルタル抗張力、耐壓力及一・一・五・四・五砂利混凝土、耐壓力等の試験を行ひたる結果は次の如くである。

(一) 安定度

a 煮沸試験試料二五 (MgO 三・二七%) 二六 (MgO 四・二%) は崩壊し、三三 (MgO 一八・九八%) 三三三 (MgO 二五・五三%) が軟化龜裂を來した外、他の試料は異状がなかつた。(試料二五、二六は焼成に稍不完全な所があるものと思はれる。)

b 蒸氣試験 煮沸試験の結果と略同様である。

c 空氣中二八日放置試験 試料三三 (MgO 二五・五三%) を除く外、すべて異状なし。

d 水中二八日放置試験 すべての試験異状なし。

上記四種の安定度試験の中、異状を示したる試料二五及二六は焼成よろしきを得ざるもので、充分シンターせるものでは、 MgO 九・五%以下に於ては、安定度試験にはすべて合格するを見る。尙、十八種のセメントを以つて一・一・五・四・五混凝土の二ケ年に互る腺膨脹係數測定の際に於ても、試料三三 (MgO 一八・九八%) 三三 (MgO 二五・五三%) 三四 (MgO 一九・四五%) 三五 (MgO 一三・九六%) の如き MgO 含有量の過多なるものを除き、他のすべては、其の状況通常のセメントに異ならず。之を要するに、焼成適當にして MgO の量が過多ならざる場合には、苦土量三—五の範圍を越ゆるも、セメントの安定度について懸念を要しないものと考へらる。

(二) 凝結時間

苦土の量一〇%以下に於ては、標準稠度、凝結時間等に

大なる變化がない。一〇%以上は凝結の初發が短縮せらるると同時に發熱を伴ふを見る。

(三) 強度

a 純セメント。

一日濕氣中に貯藏せる後、水中に於て養生したるものは、苦土約七・〇%迄は強度の減少、鮮く、一〇%以上に至りては、初期の強度少く、一四%以上は著しく強度の低下するを見る。而して之等の高苦土含有セメントは、一年或は三年に至つて膨脹、龜裂、歪曲を生じ、崩壊せしものもある。(第二表及第三表参照)

b 一・三標準砂モルタル(オツタハ砂)

第二表 純セメント抗張試驗成績 kg/cm^2

試料番號	M _g O %	抗張						
		1日	7日	4週	13週	26週	1年	2年
16	1.77	19.4	65.2	68.4	67.1	62.9	67.0	56.3
25	3.27	23.2	45.4	44.0	42.8	49.6	48.8	49.4

一・三オツタハ砂モルタルの試験についても、略ぼ純セメントの場合と同様の傾向を認め得べく、苦土量七%以下にては、材齡一ケ年位迄は、強度に著しい變化はないが、一ケ年より三年の間に於て、苦土量九・五%のものは、其の抗張強度は一二五 kg/cm^2 より一〇 kg/cm^2 に急落して居る。

c 一・一・五・四・五砂利混凝土の耐壓強度

混凝土に對しては濕潤及乾燥を行ひたる場合には、單に水中或は空氣中に於て養生せる場合よりも、其の受くる影響大なるものがあるを以つて、本試験に於ては、濕潤乾燥を交互に作用せしめ、試料の一半は通常の水を用ひ、他の一半は

26	4.20	21.5	42.9	53.4	67.1	48.5	59.4	57.4
27	5.12	23.2	46.3	64.2	67.5	71.4	66.1	70.3
28	6.49	20.6	44.2	57.8	58.3	57.2	66.0	64.7
29	7.41	18.2	31.4	46.7	54.4	50.9	74.8	70.7
30	9.50	14.7	21.1	32.7	38.3	45.7	56.3	52.0
31	14.07	12.0	13.8	25.3	21.9	26.5	46.0	46.0
32	18.98	1.9	2.1	2.7	5.4	5.1	b	b
33	25.53	1.8	1.8	7.0	5.6	5.2	3.1	b
34	19.45	4.2	11.6	13.4	19.7	18.2	14.5	b
35	13.96	10.4	14.8	10.0	14.8	17.2	19.5	b
36	10.23	16.2	17.1	30.4	45.3	44.0	48.4	54.8
37	8.03	16.6	26.8	41.3	50.3	50.2	51.2	60.4
38	7.80	24.3	26.9	41.9	46.2	55.9	60.3	65.7
39	6.62	25.3	34.9	44.4	51.7	50.6	58.9	63.1
40	3.59	22.0	45.3	52.4	57.2	59.8	97.9	62.9
41	2.01	24.9	47.6	50.6	51.7	5.80	59.8	61.6

備考 1は別表せるもの。

第三表 純セメント耐試験成績 kg/cm²

試料番號	M % O	耐 壓 力						
		1日	7日	4週	13週	26週	1年	3年
16	1.77	17.8	79.8	94.8	110.0	104.0	111.0	115.0

25	3.27	20.1	36.8	48.2	53.6	64.5	66.9	62.9
26	4.20	21.8	41.0	69.4	76.5	82.4	95.0	102.0
27	5.12	21.9	53.6	76.1	83.2	108.0	96.0	108.0
28	6.49	19.9	39.1	50.8	72.9	92.8	80.0	85.2
29	7.41	16.0	29.4	47.8	66.5	76.9	72.7	90.0
30	9.50	9.3	21.7	33.7	57.1	64.0	68.5	86.4
31	14.07	a	—	—	—	—	—	—
32	18.98	20.5	23.2	22.6	39.7	66.7	b	b
33	25.53	8.9	21.9	31.9	50.6	15.2	66.8	b
34	19.45	62.8	96.0	17.5	36.4	34.0	49.4	b
35	13.96	10.0	12.0	13.4	24.4	33.1	36.2	b
36	10.33	12.5	20.4	30.4	41.5	44.9	57.9	c 46.6
37	8.03	15.1	35.1	49.1	58.0	69.7	86.7	c 73.8
38	7.80	15.3	32.2	54.1	60.1	71.7	82.7	c 53.2
39	6.62	19.3	32.1	53.4	59.0	66.9	75.5	55.5
40	3.59	21.5	47.3	64.1	77.5	82.8	98.0	67.7
41	2.01	24.8	57.0	64.1	75.8	87.3	107.0	70.2

備考 Dは崩壊せるもの。

Cは供試鹽結晶に富めるも、膨脹、龜裂等は認められなかつたもの。

水の代りに、鹽類溶液を使用して居る。鹽類溶液としては

食鹽、硫酸ナトリウム、鹽化マグネシウム、及硫酸マグネ

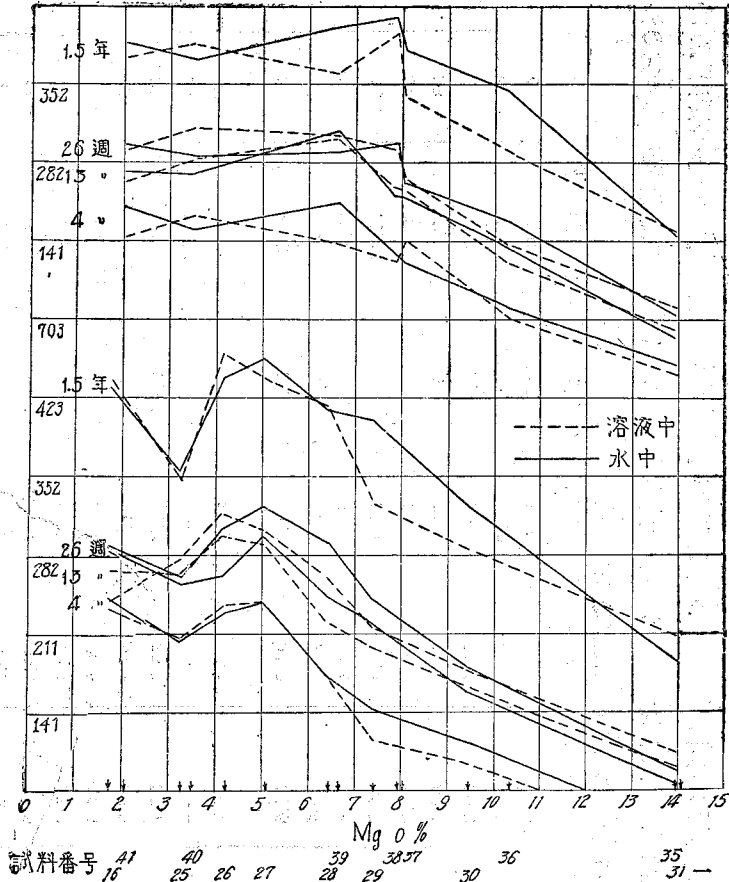
シウムの等量を含む二%溶液を選んだ。

養生方法は次の如くである。

二八日試料 一週間毎に液中空氣中に交互に養生す、

九〇日試料 二八日試料と同様。

耐 压 強 度 Kg/cm^2



第七圖 — 1:1.5:4.5 混 凝 土 耐 压 強 度

第七圖 苦土焦性磷酸マグネツウムの量試料の量

一六週試料

九〇日試料と大體同様なるも、最後の二週間は、其の中三週間を溶液中に浸漬すること二回、

三八

四週間浸漬一回
其の浸漬の間は
各一週間空氣中
養生。

一・五年試料 二六週までは前
同様、其の後一
年までは四週間
液中、二週間空
氣中を交互に繰
り返し、其の後
空氣中養生。

本試験の結果は第七圖に示
すが如く、苦土量八%に達す
る迄は、大なる變化なきこと

を示して居る。(苦土量八%はモンテイセライトのはじめで認めらるゝ點である。)

之を要するに、苦土量に關しては次の如くに看做し得べし。即、

1. 苦土量九・五%位迄は、低苦土量の場合と略同様なクリンカーを得べく、之れ以上の苦土を含有する場合に、クリンカーの崩壊、色合の相違、成分の相違等を生ずる。即、

2. 苦土量八%位迄は、通常セメントの成分と異なりたる成分を認めず、其れ以後は、モンテイセライト、或はスピネルの生ずるを見る。而して苦土量七・五%以下に於ては、凝結時間、安定度、強度等にも大なる變化を見ない。但し苦土量の増加は、長期強度の低下或は試料の崩壊等の傾向あるを以つて、苦土量を故らに大ならしむることは、決して利益あるものではないが、現今各國規格中の最高限度五%位迄は、當然許容するも差支なきことと思はれる。

尚、ポルトランド・セメント中に於ける苦土量の測定法

は大略次の如し。

苦土定量法 (石灰、酸化鐵、礬土等の定量を必要とせざる場合)

試料約〇・五瓦を蒸發皿に秤取し、水を以つて之を濕し糊狀となし、稀鹽酸(一・二)約二〇耗を加へ、攪拌して全く溶解せしめたる後、浴湯上にて蒸發乾固し、之を少量の濃鹽酸にて濕し、再び湯浴上にて蒸發乾固し、最後に砂浴上にて少くとも一時間放置し、鹽酸瓦斯の發散せざるに至りたるを確め、然る後、之に稀鹽酸(一・二)約一五耗を加へ、數分間靜置し、熱湯を加へて一〇〇耗となして濾過し、沈澱物を濾紙上に移し、熱湯を以つてよく洗滌しつつ、洗液に鹽素イオンを認めざるに至らしめたる後、濾液を約二五〇耗となし、飽和鹽化アンモニウム溶液一〇耗と臭素水數滴を加へて煮沸し、稀アンモニア水を徐々に滴加して僅かに過剰となし、數分間煮沸して後濾過し、微弱なるアンモニア性熱湯を以つて洗滌す。沈澱は、成るべく少量の溫稀鹽酸を以つて溶解し、熱湯を以て一五〇耗とし稀アンモ

ニア水を以つて前と同様に沈澱せしめ、濾過洗滌し、洗液に鹽素イオンを認めざるに至らしむ。(以上は珪酸酸化鐵、礬土等を除去する操作である)

斯くして得たる兩濾液を合し、二〇〇ㄲとなる迄濃約し沸騰せしめつゝ、飽和礬酸アンモニウムの熱溶液二〇ㄲを加へ、一〇分間沸騰せしめ、尙湯浴上に少くとも一時間靜置して、液の清澄となるを俟ち、濾過洗滌し、洗液に鹽素イオンを認めざるに至らしむ。斯くして得たる濾液に鹽酸を加へ、微酸性となし、湯浴上にて一五〇ㄲとなる迄蒸發し、冷却後之れに一〇ㄲの強アンモニア水を加へ、若し微量の沈澱物を生じたる時は、濾過洗滌す。(以上は石灰を除く去する操作である) 其の濾液に酸性磷酸曹達液(一〇%)一五ㄲ及びアンモニア水六〇——七〇ㄲを加へ、充分攪拌して沈澱を生ずるに至らしめ、一夜冷所に放置したる後之を濾過し、(この濾紙上の沈澱は含マグネシウム化合物である) 其の沈澱をアンモニア水(約三五%)にて能く洗滌し、乾燥後坩堝に採り、初めは徐々に熱し、白色の内容物を得

るまで灼熱し、恒量に達せしめ、冷却秤量し、焦性磷酸マグネシウム(Mg₂P₂O₇)とし、次式によりて苦土の百分率を算出するものとす。

$$\text{苦土(MgO)\%} = \frac{36.31 \times \text{焦性磷酸マグネシウムの重(G)}}{\text{試料の重(G)}}$$