

始



臺灣總督府工業研究所報告 第五十六號  
同所編  
特種火山灰セメントの製造に關する研究  
藤澤國太郎



臺灣總督府工業研究所報告

第五十六號

(臺灣建築會誌第十三輯第五號別刷)

特種火山灰セメントの製造に關する研究

藤澤國太郎

Kunitarō Fujisawa :

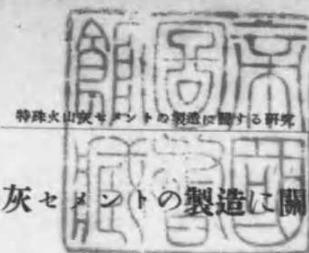
Studies on the Special Puzzolane Cement  
Manufacture

Report No. 56

THE INSTITUTE OF RESEARCH ON CHEMICAL INDUSTRY,  
GOVERNMENT-GENERAL OF TAIWAN, JAPAN.

臺灣總督府工業研究所

昭和十六年十二月



特殊火山灰セメントの製造に関する研究

## 特殊火山灰セメントの製造に関する研究

賛助員 藤澤國太郎

火山灰に消石灰を混合したものは水硬性を有するので火山灰セメントと稱して、ローマ時代から多く使用せられたものであるが、ポルトランド・セメントの發達に連れて段々と減少し火山灰のみをポルトランド・セメントに混合して海水工事等使用せられて來た。又珪酸質や粘土質の不純物を含有する低品位の石灰石を焙燒したものは水硬石灰と稱せられ、特に珪酸質の多い石灰石を焙燒し微粉末としたものは天然セメントと稱せられて、古來多くの築造物に使用せられたのみならず、ポルトランド・セメントの發明の端緒をなしたものであるが又ポルトランド・セメントの發達に依つて其の影を潛めたものである。本島には北部地方大屯火山帯一帯に多量の火山灰を埋藏するので、之が利用に關して二三の試験をなし其の結果は既に報告した通りである。又珪酸質や粘土質の不純物を多量に含有する低品位の石灰石は本島到る所に産出するので、之を有利に活用することを考慮して居つたのであるが、此火山灰に之等の低品位の石灰石を焙燒した水硬石灰を混合して粉碎し特殊な火山灰セメントを造つたならば火山灰セメントとしての硬化機構と天然セメントとしての硬化機構とを結合して、兩方の機能を發揮せしむることが出来て相當高い強度を有するセメントを製造することが出来るであらうと思ひ付いたので以下の諸試験をなした。因より長足の進歩發達を遂げたポルトランド・セメントには及ばないがセメント不足に悩む現時に於て天與の資源を有利に活用することは甚だ有意義なことと考へる次第である。

### 1 原料の産地及性質

本研究に用いた火山灰は臺北州七星郡北投庄江頭産の原礦を薄く撒布して乾燥し軽く叩きて小塊となし手當りの硬い石塊様の夾雜物を除去し、尙十分に乾燥したもので第1表の如き成分を有するものである。又水硬石灰は新竹州桃園郡龜山庄兔子坑及塔寮坑に産する石灰石で其の平均試料は同じく第1表の如き組成を有するものを攝氏1000度乃至1200度に焙燒したものである。

第1表 原料の化學組成

試料	灼熱減量	SiO <sub>2</sub>	SoLSiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	So <sub>3</sub>
火山灰	14.85	40.24	35.52	27.48	15.14	0.39	0.26	0.22
石灰石	34.71	15.32	—	2.36	3.02	43.58	1.43	—

發行所寄贈本



## 2 豫備試験

前記石灰石を焙焼した水硬石灰石を共々粉碎して所謂天然セメントに類するものを造り、之に水を加へて混練したが甚だしく急硬性であつた、又之と火山灰とを等分に混合して粉碎し特殊火山灰セメントを造つて之に水を加へて混練したのも甚だ急硬性であつたので、凝結を緩和調節しなければならないことを知つた。そこで凝結を緩和調節する方法として普通に考えられることは微粉碎後之を薄く擴げて風化せしむること、少量の石膏を加へて粉碎すること、今一つは水硬石灰に少量の水を注加して一部分消化せしめたものを混合して粉碎することの三つである。此の三つの方法に就て各々試料を造り凝結時間を測定したが孰れも目的を達することが出来たので次に簡単な強度試験をなしたが其結果は第2表の通りである。

第2表 規格堅練モルタルの強度 kg/cm<sup>2</sup>

試製セメント	凝結時間調節方法	耐 圧 力				抗 張 力			
		水中養生		空气中養生		水中養生		空气中養生	
		1週	4週	1週	4週	1週	4週	1週	4週
天然セメント	自然消化後粉碎	6	16	10	26	脆弱	脆弱	脆弱	脆弱
同	粉碎後2晝夜風化	8	22	15	37	脆弱	脆弱	脆弱	脆弱
特殊火山灰セメント	粉碎後1晝夜風化	45	122	60	147	8.1	19.1	10.0	22.6
同	石膏3%添加粉碎	84	176	92	198	9.1	19.6	10.8	19.8
同	1部消化後混合粉碎	84	173	100	194	9.2	21.8	10.0	19.6

此結果から観る時は風化する方法は強度に悪影響があるから、石膏を添加して粉碎する方法と、水にて一部分消化したる後混合して粉碎する方法とが良いことを知つたが石膏を添加することは生産費が高くなるので、水にて一部分消化したる後火山灰と混合して粉碎する方法を探ることとした。

## 3 本 試 験

凝結の緩和調節方法は前記の如く水硬石灰に少量の水を注加して一部分消化したる後、火山灰と混合して粉碎することとしたが、火山灰と水硬石灰との混合割合は理論的に決定し難いので、之を實驗的に決定することとし火山灰と水硬石灰との割合を下記の如くに混合しボールミルにて粉碎して特殊火山灰セメントを造り一般の物理試験をなした。尚比較的爲め水硬石灰のみを粉碎し所謂天然セメントに類するものと、火山灰に普通の消化石灰を混合したる火山灰セメントとに就ても同様の試験をなした。

記 號	試製セメント	混合割合(重量)		備 考
		火山灰	水硬石灰	
天	天然セメント	—	10	微粉末となす
火	火山灰セメント	7	3	火山灰に普通の消石灰を混合す
特	特殊火山灰セメント	8	2	混合後粉碎して微粉末とす
特	火 7	同	3	同
特	火 6	同	4	同
特	火 5	同	5	同
特	火 4	同	6	同

第3表 比重、粉末度、凝結時間、膨脹性龜裂

記 號	比 重	粉末度 1cm <sup>2</sup> に4900 孔眼面上の 残存	凝 結 時 間			平均温度 攝 氏	膨脹性龜裂	
			水 量 %	始凝時分	終凝時分		浸 水 法	煮 沸 法
天	2.52	4.1	30	2.20	6.16	29.3	完全	完全
火	2.42	7.6	35	3.39	7.39	同	同	同
特	火 8	2.48	6.6	32	4.17	8.17	同	同
特	火 7	2.48	7.1	33	3.29	7.11	同	同
特	火 6	2.49	5.6	34	1.51	6.56	同	同
特	火 5	2.50	5.2	35	1.35	3.20	同	同
特	火 4	2.50	4.8	36	1.15	2.41	同	同

此の結果に依れば粉末度は未だ十分微細とは云えない。凝結時間は火山灰と水硬石灰との割合に比例して、水硬石灰の量を増す程早くなる。膨脹性龜裂は無く全部完全であるから安全なセメントと云ふことが出来る。只養生時間中急激なる乾燥に依つて収縮性の龜裂を生じたものがあるが之は骨材を混合して使用する場合は少くなり養生に注意すれば防ぎ得るものである。

第4表 規格堅練モルタル耐圧力 kg/cm<sup>2</sup>

記 號	製型 水量 %	水 中 養 生						空 気 中 養 生					
		1週	4週	8週	13週	26週	52週	1週	4週	8週	13週	26週	52週
天	8.0	8	22	184	157	148	159	15	37	158	174	162	187
火	8.5	81	129	144	154	146	151	94	131	136	141	134	136

特	火	8	8.5	76	131	145	152	164	168	86	141	144	155	152	154
特	火	7	8.5	102	163	206	224	238	240	123	170	182	177	181	185
特	火	6	8.5	127	212	241	256	263	276	152	226	237	246	241	240
特	火	5	8.0	84	173	243	568	282	289	100	194	233	244	241	240
特	火	4	8.0	66	180	237	264	296	287	90	216	250	257	257	264

但し規格堅練モルタルとは重量に依りセメント1に對し標準砂3の割合に混合したものであり、以下凡て同じ。上表に依れば1週及び4週の初期強度は空气中養生のもの強度が高いが、材齡の進むに従つて水中養生のもの強度が高くなる、之は長期に亘つて化學變化を起し硬化の機能を發揮し強度を高めるには水分の必要なることを示すものであらう。實地使用の場合にも水の浸潤する所に用ふるのが得策であることを意味するものであるが全然水に濡れないと云ふ場合は少ないのであるから餘り心配することは無いと思はれる。

火山灰と水硬石灰との混合割合は火山灰6に對し水硬石灰4のものが初期の強度は優秀であるが、材齡の進むに従つてそれよりも尙多く水硬石灰を混合したものが強度の増進が多く却つて高強度を示す様である、尙全體を通じて強度の増進は13週までに多くそれ以後は極めて僅少である。

第5表 規格堅練モルタル抗張力 kg/cm<sup>2</sup>

記	號	製型 水量	水 中 養 生						空 氣 中 養 生					
			1週	4週	8週	13週	26週	52週	1週	4週	8週	13週	26週	52週
天		7.8	脆弱	脆弱	14.5	18.7	24.1	27.0	脆弱	脆弱	14.4	17.9	21.5	23.4
火		8.2	12.3	17.6	19.1	20.1	20.0	11.3	12.0	13.2	13.6	13.3	13.5	
特	火	8.2	12.7	18.4	21.5	22.1	23.2	24.1	13.2	13.6	14.8	15.2	15.0	14.8
特	火	8.2	13.8	19.4	22.4	23.2	24.5	24.9	14.2	15.8	16.4	17.1	16.8	17.2
特	火	8.2	13.1	22.4	25.9	26.1	29.8	29.4	14.1	20.6	20.4	19.8	19.6	20.1
特	火	7.8	9.2	21.8	26.2	26.5	29.7	29.8	10.0	19.6	18.3	18.4	19.1	18.9
特	火	7.8	8.2	19.9	26.1	26.8	28.6	28.8	8.7	14.0	16.3	16.8	19.1	21.4

抗張力も殆んど耐圧力と同様な関係を見ることが出来るが、殊に空气中養生の成績は悪い様である。水中養生の抗張力は耐圧力に比較して割合に大であつて抗張力を以て耐圧力を除した脆度係数は10以下である。之はボルトランド・セメントの脆度係数が13乃至16なるに比すれば甚だ小である。このことは本セメントの特徴として注目すべきである。

第6表 軟練モルタルの強度 kg/cm<sup>2</sup> (水中養生)

記	號	水セメ ント比 (重量)	抗 折 力						耐 壓 力					
			1週	4週	8週	13週	26週	52週	1週	4週	8週	13週	26週	52週
天		64	脆弱	9.0	13.9	20.7	21.5	22.3	4.5	8.8	42	62	65	68
火		74	脆弱	9.4	12.1	13.1	13.4	13.2	12	41	43	49	50	50
特	火	74	脆弱	7.5	11.5	12.8	13.6	13.3	7.7	26	43	47	51	52
特	火	73	6.0	14.8	15.8	17.3	18.1	18.4	20	46	61	69	73	71
特	火	72	12.1	15.9	19.5	21.2	21.8	21.5	38	61	68	78	82	85
特	火	71	7.9	14.9	19.7	23.4	24.2	24.5	21	61	78	98	101	106
特	火	70	7.6	14.5	23.2	25.2	26.1	26.0	17	54	88	110	114	112

但し軟練モルタルとは重量に於てセメント1に對し九味浦砂2の割合に混合したもので、軟度は小型フロー試験機で測定して凡て200としたものである。

此の結果から觀れば軟練モルタルの強度も火山灰6に對し水硬石灰4の割合のものが初期の強度は高いが材齡の進むに従つて、之れよりも尙多く水硬石灰を混合したものが強度の増進が多く高強度を示す様である。之は天然セメントの成績が初期の強度低く材齡の進むに従つて増進の大なることに關聯するものと思はれるが、本セメントを製造するに當りては初期の強度と期々強度とを考慮して火山灰と水硬石灰との混合割合を定むべきである、概して軟練モルタルの強度は規格堅練モルタルの強度に比して初期に於て低く、材齡の進むに従つて増進が大である、之は此種のセメントの特徴であつてコンクリートの強度も斯かる傾向にあることは止むを得ないことである。

#### 4 コンクリート試験

以上の諸試験に依つて火山灰6乃至4に對し水硬石灰4乃至6を混合して微粉末とすれば従來知られたる天然セメントや火山灰セメントよりは遙に強度の高い安全なるセメントを製造し得ることを知つたので稍々大量に造つてコンクリートとしての試験をなすこととした。火山灰と水硬石灰との割合は5:5とし、ボールミルで粉砕して特殊火山灰セメントを造り、コンクリートの調合比は第7表の如くにした。此の調合比は凡て容量比に依つたので特殊火山灰セメントの單位容量の重量を如何に定むべきかは甚だ厄介な問題であつた、即ちボルトランド・セメントは1立の重量を1.5疋とすることは土木學會でも建築學會でも確定して居るのであるが、此特殊火山灰セメントは幾何と定むべきかに迷つたのであるが二三の方法で測定した結果から1立の重量を1.0疋とすることが適當の如く考へられたので、本コンクリート試験には1立の重量

を1.0疋として計算した、従つてポルトランド・セメントに比較して容量では同じであるが重量では3分の2しが使用して居ないこととなり、若し重量で同じ分量を使用したとすれば括弧内の割合となるものである。

第7表 コンクリートの強度

記 号	調 合 比 (容 量)			水セメント比 (重量)	施工軟度		供試體の重量 kg	耐 圧 力 kg/cm <sup>2</sup>					
	特殊火山灰セメント	砂	砂利		スラック	フロー		1週	4週	8週	13週	26週	52週
1	1 (1)	1 1.52	2 3.03	66	15	196	11.9	36	85	89	92	102	111
2	1 (1)	1 1.52	3 4.54	78	16.0	196	12.0	18	59	72	75	81	90
3	1 (1)	1.5 2.27	3 4.54	88	15.5	194	12.0	16	42	52	73	76	79
4	1 (1)	1.5 2.27	4 6.06	92	15.5	192	12.1	15	43	50	67	74	87
5	1 (1)	2 3.03	3 4.54	97	15.5	196	12.0	14	43	50	58	71	86
6	1 (1)	2 3.03	4 6.06	104	15.5	198	12.1	10	32	44	58	70	87
7	1 (1)	3 4.54	5 7.58	151	15.0	194	12.0	4	14	18	25	53	61
8	1 (1)	3 4.54	6 9.1	163	15.0	196	12.0	3	8	10	19	45	47

但し砂及び砂利は臺北附近に於て普通に使用されて居るもので其の粒度率は砂1.57砂利7.0で単位容量の重量は砂1立が1.44kg砂利は1.70kgである。

此結果に依ればコンクリートとしての強度は初期に於ては比較的低いが材齢の進むに従つて増進が多く富調合のものは相當高い強度を示すことが知られる、尙富調合と云つてもポルトランド・セメントと重量に於て同様に使用すれば括弧内の割合となることは前に述べた通りであるから此コンクリートの強度を以てすれば使用の途は十分にあると思はれる。

### 5 特殊火山灰セメント硬化機構の考察

以上の試験の結果から此の特殊火山灰セメントは相當の硬化力を有することが知られるが、此の硬化機能を發揮する化學的機構を考察して觀るに、前にも述べた如く本セメントは天然セメントと火山灰セメントとの兩機構を結合することを根本原理としたものであるが、先づ珪酸質や粘土質の不純物を多量に含有する低品位の石灰石を成る可く高温度に於て焙焼したものであるから、出來た水硬石灰は石灰中の珪酸及び礬土が石灰と化合して珪酸石灰及礬土酸石灰を

生成し、尙且つ化合しない餘分の生石灰とから成るものと見るべきである。之に可溶性の珪酸や礬土を多量に含有して居る火山灰を混合して共に微粉末として本セメントを造るのであるから、兩者は極めて緊密に混合して能く化合し易い状態に置かれてあることは言を俟たない。そこで本セメントに水を加へて混練すると最初に水硬石灰中に含まれて居つた礬土酸石灰の水和作用を起して礬土酸石灰水和物を作り、同時に餘分に含まれて居る石灰は水酸化石灰として火山灰中の礬土と結合して礬土酸石灰水和物を作り、之が本セメントの凝結及び初期の強度を司るものであらう。又一方に於ては水硬石灰中に含まれて居つた珪酸石灰も水和作用を起して珪酸石灰水和物を作り尙餘分に含まれて居つた石灰は水酸化石灰として火山灰中の可溶性珪酸と結合して珪酸石灰水和物を作り之が硬化の主要素となつて強度を發揮するものと思はれる。しかも此作用は初期より相當の長期に亙つて連続するものであるから初期の強度は比較的低いが材齢の進むに従つて段々と増進して來るものである、又此の爲めには水分の存在が必要であるから餘り早く乾燥してしまつては此の作用が停止する譯である。それ故に至然水に濡れない空氣中養生のものは初期の強度は高いが材齢が進んでも増進しない、之に反し水中養生のもの或は水を多量に使用した軟練モルタルやコンクリートは初期の強度は幾分低いが段々と増進して却つて高強度を示すに至る譯である。

### 結 言

以上諸種の試験結果及び前述の硬化機構の考察から火山灰に斯の如き水硬石灰を適當に混合して微細に粉碎した特殊火山灰セメントは從來知られた天然セメントや火山灰セメントよりは適かに優れたセメントであつて、ポルトランド・セメントには及ばないが相當の強度を有する安全なセメントであるから高層建築や重要土木工事には用ひられないにしても、木造住宅の下廻りや煉瓦壁、下水溝等の簡易な築造物には十分使用し得るを以て適材を適所に使用することにすれば相當の用途を見出し得るから本島の天然資源を活用する見地から有利な事業と信ずるのである。

尙本セメントはポルトランド・セメントに混用して何等の障害なきのみならず相當量混用しても該セメント固有の強度を下さざるものである。

(因みに本研究に對し御懇篤なる指導を賜りたる無謬化學工業部長中塚博士に感謝の意を表し、熱心に助力せられたる李益興氏に謝意を表す)

工業部  
C88  
臺灣總督府  
工業研究所

### 關係出版物

臺灣總督府中央研究所工業部報告

第 1 號 臺灣產火山灰試驗報告(第 1 報)  
(大正 11 年 8 月)

藤澤國太郎

臺灣總督府工業研究所報告

第 19 號 同上(第 2 報)  
(昭和 15 年 6 月)

同上

昭和十七年三月二十六日印刷  
昭和十七年三月三十一日發行

臺灣總督府工業研究所  
(臺北市幸町一)

印刷人 加藤豐吉  
臺北市榮町二丁目十五番地  
印刷所 小塚本店印刷工場  
臺北市京町一丁目四三番地

關係出版物

臺灣總督府中央研究所工業部

第 1 號 臺灣產火山灰試  
(大)

臺灣總督府工業研究所報告

第 19 號 同  
(四)

備 考	14.5	冊	982	號	年	月	日
	臺灣總督府工業研究所報告						
	1冊						

製本控

深 園 表 部

昭和十七年三月二十六日印刷  
昭和十七年三月三十一日發行

臺灣總督府工業研究所  
(臺北市幸町一)

印刷人 加藤豐吉  
臺北市榮町二丁目十五番地  
印刷所 小塚本店印刷工場  
臺北市京町一丁目四三番地



14

98

14. 21-982



1200501164241

21

2

終