

第二編 水硬性セメント

第十一章 總 説

§ 59 緒 言

水は普遍的に至る所に得られる材料であるから、鑛物質材料を水と混じて結合して塊體を造成せしむるセメント質材料は古來廣く用ひられたが、水中に於ても化學變化を起し硬化して塊體をなすセメントを水硬性セメントと稱し、土木材料中主要なる化學製品である。水硬性を有しないセメントもその目的用途に應じて用ひられる。

是等を大別すれば次の如し。

(1) 單純なる化學變化をなすもの

原料に熱を加へ含有する瓦斯又は液分を除去し、更に是等に液又は瓦斯分を加へて原組成を造るもので多くは水硬性がない。

(a) 水酸化物 凝結は水分を加へて起るものでプラスター類之に屬す。

(b) 炭酸鹽類 石灰岩苦灰石より CO_2 を除去したるもので凝結は水分及 CO_2 の再吸収により起るもので石灰及マグネシア之に屬す。

(2) 複雑なる化學變化をなすもの

製造及其の使用の際に全く別の化學物質を造るもので水硬性がある。

(a) 珪酸鹽類 水硬性石灰、セレンチツク石灰、グラブピールセメント、天然セメント、ポートルランドセメント、火山灰セメント等。

(b) 礬土質鹽類 アルミナセメント。

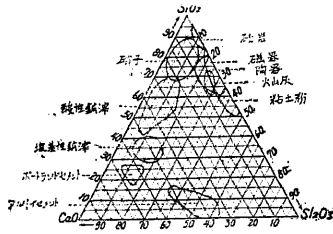
(c) オキシクロライドセメント、マグネシアセメント、ソーレルセメント、オキシクロライドセメント等。

セメントの需要の激増は近代文化の特徴であつて鐵、石炭、石油、硫酸等の主要工業と比較してその増加特に著しく、従て物質文明の尺度と考へられて居る。

§ 60 セメントの示性係數

各種セメントの化學成分は變化極めて大であり、珪酸、石灰、礬土の三成分より考ふれば大凡第 27 圖の如し。

第 27 圖



セメントの成分は大凡第 138 表の如し。勿論是等は相當の範圍に變化するものである。その組成成分が水と化合してなす化學變化は古來幾多の研究あるが何れも一定の結論なく、近年科學的研究が著しく進歩したけれど組成成分の複雑なる到底之を單純に取扱ひ得ない。従て是等組成成分の相關的數値を求め之より示性係數をとり、一の概念を得んと試みられてゐる。主なるもの次の如し。

第 138 表

組成成分	ポルトランドセメント	天然セメント	火山灰	水硬性石灰	石灰
SiO ₂	21.31	20.42	28.95	21.70	1.12
Al ₂ O ₃	6.89	4.76	11.40	3.19	0.68
Fe ₂ O ₃	2.53	3.40	0.54	0.66	—
MgO	2.64	12.00	2.96	0.85	39.69
CaO	12.89	46.64	50.29	60.70	58.51
SO ₃	1.34	2.57	1.37	0.60	—
灼熱減量	1.39	6.75	3.39	12.20	—
その他	0.75	3.74	0.30	0.10	—

水硬率	Hydraulic Modulus	$CaO / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)$
	Hydraulic index	$(SiO_2 + Al_2O_3) / CaO$
珪酸鹽率	Silica Modulus	$SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$
活動係數	Activity index (Silica-Alumina ratio)	SiO_2 / Al_2O_3
鐵率	Iron Modulus	Al_2O_3 / Fe_2O_3
	Cementation index	$(2.8SiO_2 + 1.1Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3) / (CaO + 1.4MgO)$
	Index of activity	$2.8SiO_2 / (1.1Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3)$
	Lime factor	$CaO / (2.8SiO_2 + 1.1Al_2O_3) = 1$ $(CaO - 1.1Al_2O_3) / SiO_2 = 2.8$

Kalk-kieselsäure factor

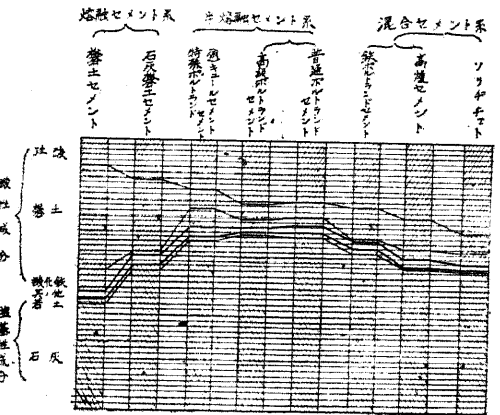
$$\frac{CaO - (1.65Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3 + 0.7SO_3 + \text{free lime})}{SiO_2 - 0.8 \times (\text{不溶性分})}$$

Hydraulic index は石灰 0.10~0、水硬性石灰 0.10~0.40 で水硬性強き程大となり、ポルトランドセメントは 0.40~0.60、天然セメントは 0.60~1.50 となり之以上のものは水硬性弱い。ポルトランドセメントは Hydraulic modulus 2.0~2.2 珪酸鹽率 2.05~2.93 で大なるものは凝結時間遅い、活動係數は 3.26~5.19 で耐鹼率 2.8 以上と規定する場合もある。鐵率は 1.09~1.71 Cementation index は 1~1.2 である。

近年科學の進歩に伴ひ工學の要求に應ずる各種のセメントが現れ、早期高強度を得るものと強度大なるものとを造り、1 は礬土分を増大し、1 は化學成分の結合状態を改め以て社會の要求に應じつゝあり、是等の成分を圖示すれば第 28 圖の如し。是等の趨勢を考ふる

第 28 圖

に在來セメントが石灰分を主として 1 は礬土系、1 は珪酸系に各特色ある發達を遂げつゝあるものゝ如し、然れども水を混するは何れも同一にして、その強度も著しく増大したりと雖も鐵鋼又は木造構造が組立を了りて直に荷重を加へ得るに



比してセメントコンクリートは必ず數日の硬化養生期間を要するは本質的の缺陷である、將來水の代りに化學溶液を混じ同時に現在分れつゝある礬土及珪酸系が融合して可工性を保ちつゝ施工後迅速に硬化するセメントの發達を見るに至るべきを信ずる。

第十二章 ポートランドセメント

§ 61 概 説

本邦のセメントは原料を外國に求めざる主要工業の一で、近年著しく發達し工場 30 以上に及びその産額は世界第五位を占め、米(30,011,000 ton)獨(7,570,000)佛(5,100,000)英(4,950,000)に次ぎ 3,820,000 ton に及び、國內消費は 3,560,000 ton に達し、年々の増額は次式により表はされ得ると考へられてゐる。

$$y = 606 + 8.45x_n + 6.6x_n^2 + 0.08x_n^3$$

x_n 大正七年を 0 として經過年數

y セメント橋數 單位 10,000

その用途別は昭和 4 年に於て凡そ第 139 表の如し。

第 139 表

本邦セメント用途別

鐵道工事	13.9(%)	建築工事	23.6(%)
水力工事	10.3	鑛山業	1.0
道路橋梁	6.2	セメント工業	2.2
港灣工事	3.9	私用	29.7
その他公共工事	9.3	雜	0.8

§ 62 セメントの製法

セメントは石灰石と粘土とを微粉状となしその組成分に應じて適當の割合に配合し、之を燒成窯でシンターリング溫度まで灼熱し、クリンカーとなし冷却し粉砕し石膏粉を加へて製造するものである。

(1) 原 料

原料は石灰分のものと珪酸礬土分のものゝ二で次の如き種類がある、第 140 表の如し。

第 140 表

種 別	硬質のもの	軟質のもの	粉状のもの	人造材料
石灰質 (CO_2Ca 80%以上)	純硬質石灰石	{純チヨーク 純軟質石灰石	{純マール 貝殻	アルカリ廢物
礬土石灰質 (CO_2Ca 40~80%)	粘土質石灰石	{軟質石灰石 粘土質チヨーク	粘土質泥灰岩	鐵滓
礬土質 (CO_2Ca 40%以下)	粘板岩	頁岩	粘土	灰燼

石灰石は CO_2Ca より成り CO_2Mg の含有量 4% 以上のものはよくない。チヨークは細粒の純 CO_2Ca で無数の有機物質貝殻を含み、優秀な原料で容易に破碎粉砕され、泥灰岩は湖底に堆積した細粒の比較的純 CO_2Ca で白色のものは有機物を含まないが褐色のものは 5~10% の不純物を含み、軟質で破碎粉砕し易く良好の原料である。アルカリ Waste は $NaOH$ 製造工場の廢物で硫黄含有量大なるものは用ひられない。粘土質石灰岩は米國等でセメント岩 (Cement rock) と稱し CO_2Ca 50~80% CO_2Mg 4% 以下で良好の原料である。粘土は岩石の風化して生じた二次生物質で § 203 で之を述べる。頁岩は粘土の固結したもので化學組成成分は同一である。鐵滓は製鐵工業の副産物で § 37 で述べたるが如し。

本邦は純石灰石の産出多いから多くは之を用ひ、僅かに鐵滓及化學廢物を利用するものあるに過ぎない。

化學工場の廢物の利用されるものは第 141 表の如し。

第 141 表

$NaOH$ 工場廢物

組成分	ルブラン法	組成分	アムモニア法
CO_2Ca	41.20	CaO } + CO_2	48.29 } + 39.60
SO_2Ca	2.53	MgO }	1.51 }
$(OH)_2Ca$	8.72	SiO_2	1.98
S_2Ca	5.97	Al_2O_3	1.41
SCa	25.79	Fe_2O_3	1.38
Na_2S	1.44	アルカリ	0.64
$MgSiO_3$	3.63	SO_3	1.26
磷酸鹽	8.91	S	n.d.
		水分	3.80

(2) 製 造 法

乾濕二法あり、前者は日獨に多く後者は英米に多かつたが近年濕式が次第に増加する様になつた。

乾式は始めは原料を混合し水を加へ型を造り、燒成して燒塊 (Clinker) とした半濕式をとつたが後總て現在行はるゝ如く、原料を微粉となし Rotary kiln の一端より之を供給し他端より熱を送り窯の廻轉に伴ひ勾配に應じて原料が送らるゝ間に燒成し他端に於て Clinker となりて出づるものである。

石灰石をそのまゝ粉砕して微粉として用ふる原石焼成法と、一旦之を焼きて生石灰として用ふる石灰焼成法とがある。

濕式は多く英國に用ひられたが近年セメントの發達に伴ひ此の方法を用ふるもの多く Goreham その他の特許法がある。原料を一定比で混合し水を加へ攪拌して乳狀スロリー (Milky slurry) となし、始めは之を漉へて沈澱せしめて煉瓦型として焼成せしめたが沈澱の前後により不均質の恐あるが故に Johnson 等の特許あり、原料に少量の水を加へて粘濁液状となし焼成窯中にポンプを以て送入して焼成せしむる方法をとつてゐる。

(3) 原料の配合

原料の配合はその組成分、焼成法及求むるセメントの組成分により定まるもので、今 Cementation index を基として第 142 表の石灰石と頁岩を用ひてその割合を求める。

$$C.I. = \frac{2.8SiO_2\% + 1.1Al_2O_3\% + 0.7Fe_2O_3\%}{CaO\% + 1.4MgO\%} = 1.0$$

$$\text{而して} \quad \frac{SiO_2\%}{Fe_2O_3\%} = 2.0 \sim 2.2 \quad \frac{Al_2O_3\%}{Fe_2O_3\%} = 2.2 \sim 3.3$$

$$\frac{SiO_2}{Al_2O_3} = 2.75 \sim 3.0 \quad \text{とす。}$$

組成分(%)	石灰石	頁岩
SiO_2	1.22	56.38
Al_2O_3	0.34	20.00
Fe_2O_3	0.44	5.52
CaO	54.46	0.74
MgO	0.48	2.33
SO_3	0.03	1.64
灼熱減	42.95	14.00

之から酸性分と鹽基性分とは第 143 表の如く、各 187.82 と 59.13 なるが故にその比 3.16 となり C.I. から考へて頁岩 1 に對し石灰石 3.176 の配合比となる。

第 143 表

	酸性分		鹽基性分	
石灰石	SiO_2	$2.8 \times 1.22 = 3.416$	CaO	$1 \times 54.46 = 54.46$
	Al_2O_3	$1.1 \times 0.34 = 0.374$	MgO	$1.4 \times 0.48 = 0.67$
	Fe_2O_3	$0.7 \times 0.44 = 0.308$		
	計	4.098	計	55.13
頁岩	SiO_2	$2.8 \times 56.38 = 157.86$	CaO	$1 \times 0.74 = 0.74$
	Al_2O_3	$1.1 \times 20.00 = 22.00$	MgO	$1.4 \times 2.33 = 3.26$
	Fe_2O_3	$0.7 \times 5.52 = 3.86$		
	計	183.72	計	4.00
	酸性分計	187.82	鹽基性分計	59.13

此の配合比を有する原料を焼成して生ずる焼塊の組成分は次の如くなる。

$$SiO_2 \quad (1.22 \times 3.176 + 56.38) / 4.176 = 14.43(\%)$$

$$Al_2O_3 \quad (0.34 \times 3.176 + 20.00) / 4.176 = 5.05$$

$$Fe_2O_3 \quad (0.44 \times 3.176 + 5.52) / 4.176 = 1.65$$

$$CaO \quad (54.46 \times 3.176 + 0.74) / 4.176 = 41.59$$

$$MgO \quad (0.48 \times 3.176 + 2.33) / 4.176 = 0.94$$

$$SO_3 \quad (0.03 \times 3.176 + 1.64) / 4.176 = 0.41$$

$$\text{灼熱減} \quad (42.95 \times 3.176 + 14.00) / 4.176 = 36.00$$

セメントは焼塊 64 分と石炭灰分 2.5 分とよりなり、灼熱減の部分は除去されるからその組成分は遂に次の如くなる。

$$SiO_2 \quad (14.43 + 1.00) / 0.665 = 23.20(\%)$$

$$Al_2O_3 \quad (5.05 + 0.25) / 0.665 = 7.97$$

$$Fe_2O_3 \quad (1.65 + 0.25) / 0.665 = 2.85$$

$$CaO \quad (41.59 + 0.75) / 0.665 = 63.66$$

$$MgO \quad (0.94 + 0.25) / 0.665 = 1.78$$

$$SO_3 \quad (0.41 + 0.00) / 0.665 = 0.61$$

更に石膏 3% を混加すれば出来上りセメントの組成分は次の如し。

$$SiO_2 \quad (23.20 + 0.19) / 1.03 = 22.70(\%)$$

$$Al_2O_3 \quad (7.97 + 0.03) / 1.03 = 7.76$$

$$Fe_2O_3 \quad (2.85 + 0.06) / 1.03 = 2.82$$

$$CaO \quad (63.66 + 0.79) / 1.03 = 62.57$$

$$MgO \quad (.178+0.00)/1.03 = 1.73\%$$

$$SO_2 \quad (.061+1.25)/1.03 = 1.83\%$$

$$H_2O \quad (.000+0.58)/1.03 = 0.56\%$$

かくの如くしてポルトランドセメントの組成分は定まるのである。

(4) セメントプラント

土木工事にセメントを用ひないものは極めて少く、そのセメントが豫期する性質を具備するか否かは構造物の生命に關するから之を試験して用ふるが、その試験は代表的試料につき之を行ふもので之が代表的か否かは重要な問題で4分法でも沉んや選べるセメント樽でも代表的性質を現すと限らない。故に先づ工場設備その製法工程を見て始めて全般的性質の概念を得なくてはならぬ。例へば粒度の試験結果は工場の粉碎設備及其の操作を見て始めて批判が出来る。此見地に立つて今セメントプラントを記す。

製造工場は原料の採石、破碎、粉碎及混合、焼成、冷却及焼塊の粉碎石膏混合の順序をとりて之を設備し、工場の規模及地況により各特質がある。

a. 原料粉碎

採石場よりの原石を通常2段に破碎し1~2cm大とし之を粉碎機にかけるBall mill, tube mill, 更に特に造られた Compeb mill 尙近年 Unidan mill を用ふる様になつた。

是等は Belt conveyer, Screw conveyer, Bucket elevator を用ひて順次運ばれてゆく。

粉碎して微粉とすれば均質に焼成され、燃料を節約し得ると同時に焼塊の品質を優良ならしめる。

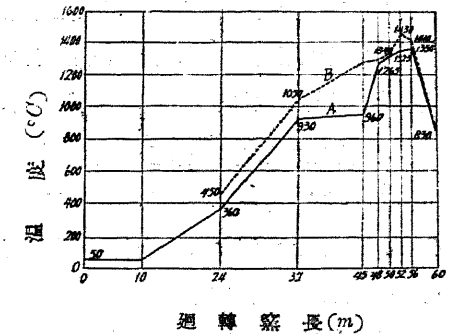
b. 焼成窯 (Kiln)

古くは直立窯 (Bottle kiln, Vertical intermittent kiln) (Shaft kiln, Vertical continuous kiln) あつたが今は石灰焼成に用ふる外は總て廻轉窯 (Rotary kiln) を用ふる。

廻轉窯は1877年 Crampton に始り當時徑5呎長26呎に過ぎなかつたが

エチソンの考案により150呎のものが出来、その後次第に長大となり通常200呎徑9呎のもの多く、更に300呎徑12呎のものもある。傾斜通常4%で速度は1~2.5 R. p. m. である。

第 29 圖



燃料は微粉炭(Pulverized coal) 重油及瓦斯で前者が多く用ひられる。焼成温度は原料をシスターする迄熱するにあつて1,500°C内外である、水硬率大なれば温度高きを要し、粒度が小であれば低くてよい。延長短きものは高温が必要である。

長さ60mの窯の温度を例示すれば第29圖の如し。

c. 冷却及仕上

焼塊が窯を出づる際の温度は800°C以上で之を廻轉型冷却筒を通じ、その特別装置によりて冷却し100°C以内に下げ窯に供給する空気も茲を通じて行ふ。冷却した焼塊は静置するを要し、後に粉碎せる石膏をその2~3%混合し Tube mill, Compeb mill, Unidan mill で再び微粉としてセメントとするものである。

之を Silo に貯へ袋又は樽に入れて供給す、袋は50kg入、樽は170kg入である。

§ 63 セメントの化學的性質

セメント製造の際の化學變化は極めて複雑にして之が硬化する際の化學變化と共に從來幾多の研究あるが定説なく、近年本邦に於て永井助教授、米國に於てボーク博士、獨逸のヘーゲンマン博士その他の研究あり、一段の進歩を見つゝある。然し是等の理論を述ぶるは本編の目的でないから今單にその作用を説明するに止める。

(1) 製造中の化學作用及反作用

之は原料に及ぼす熱作用に基くものである。セメントは主として基性石灰分と酸性礬土珪酸質の結合から成るが、是等原料の化学作用を考ふに當り粘土を礬土質珪酸(Alumino-silicic acid)遊離珪酸(Free silica)其他に分ちて考へ、是等が熱作用により化学變化を受け更にまた是等が親密に接觸する場合の反作用を考へる。

焼成中に於て原料は水分の蒸發、結晶水の分離、有機物の消失、硫酸鹽、アルカリ炭酸鹽の分解を生じ SiO_2 , Al_2O_3 , CaO 等の化学的結合作用をなすものである。

(a) 粘土に及ぼす熱の作用

粘土は粘土質物 (Clay substance, Aluminosilicic acid) 遊離珪酸及酸化鐵、硫化物、石灰及マグネシヤ化合物その他の岩石破片を含有し、熱作用により含水量及結晶水を消失する。

粘土質物は一般に $xSiO_2 \cdot yAl_2O_3 \cdot zH_2O$ (例 $12SiO_2 \cdot 6Al_2O_3 \cdot 12H_2O$) の形を有し熱を受ければその温度及時間の關係により安定なる化合物に分解し、 $6Al_2O_3 \cdot 12SiO_2$ 又は $6Al_2O_3 \cdot 10SiO_2$ 又は $5Al_2O_3 \cdot 12SiO_2$ 等に分れ、更に高温では Sillimanite $SiO_2 \cdot Al_2O_3$ の如き型に分解する。

粘土中の遊離珪酸は第一編に述べたる如く、高温により Tridymite に變じ重化作用を行ふ。

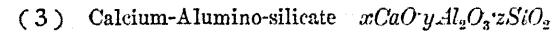
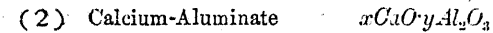
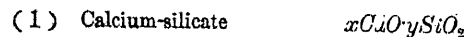
(b) 石灰石に及ぼす熱作用

第一編に述べたるが如く石灰石は Calcine して生石灰となり、之が高温を受けたるものは沸化するに長時間を要す。従つてセメントに遊離石灰を含むものは長年月の後に沸化して容積膨脹しコンクリートの崩壊を生ずる虞あるから、常に規格で之を限定してゐる。

(c) 粘土と石灰との化学反作用

之は前記の熱作用に基く化学變化よりも重要な化学變化である。石灰石と粘土は熔融し難い礦物質であるが高温 $1,400^\circ C$ 位では、半ば熔融し所謂 Sinter され、その際の化学變化でセメントが生成される。

是等は一般に次の如き化合物となる。



是等の結合はその配合比、温度及時間により異なる、更に顕微鏡で之を岩石學的に研究して Tornebohm が結晶學から4種に分類した Alite, Belite, Celite, Felite 之である。

Alite と Celite 殊に前者は主要部分で Celite は Alite の粒子間の填充材若くは Matrix と考へられ Alite はロンビツク結晶形を有し、 $3CaO \cdot SiO_2$ 中に $3CaO \cdot Al_2O_3$ の固體溶液 (Solid solution) で無色透明で光澤あり Celite は $2CaO \cdot SiO_2$ 中に $2CaO \cdot Al_2O_3$ の固體溶液で半透明の暗褐色のものとして考へられた。

Belite は Alite に類似し只暗綠色で Calcium-ortho-silicate $2CaO \cdot SiO_2$ で粗粒が網状をなし Felite は無色のロンビツク結晶を有し Ca 又は Mg 若くは兩者の Ortho-silicate の水硬性なき部分で暗綠色の小立方形ものを云つてゐる。

Richardson 氏説は是等の4成分と岩石學上の石基 (Grund mass) ($CaO \cdot SiO_2$, $CaO \cdot Al_2O_3$, $2CaO \cdot SiO_2$, $2CaO \cdot Al_2O_3$, $3CaO \cdot SiO_2$, $3CaO \cdot Al_2O_3$) から成り斑晶を有し淡黄雜色を呈すると云つてゐる。

是等は定説でないが只 $3CaO \cdot SiO_2$ 及 $2CaO \cdot Al_2O_3$ 等の化学式の關係から英國の規格として $CaO / (SiO_2 + Al_2O_3) = 2.85$ の如きものが定められた。

$2CaO \cdot Al_2O_3$ 殊に $Al_2O_3 \cdot CaO$ の如き礬土分多きものは、凝結硬化速かたで且膨脹性龜裂の虞ないと考へられ茲にアルミナセメントの考案がある。

石灰と粘土中の珪酸とは $800^\circ C$ 以上に作用し次第にその速度促進され Soluble silica が生じ $CaO \cdot SiO_2$, $2CaO \cdot SiO_2$, $3CaO \cdot SiO_2$ が出来る。

礬土は同様に $xCaO \cdot yAl_2O_3$ が生じ、是等がまた作用して $xCaO \cdot yAl_2O_3 \cdot zSiO_2$ となること Clay substance の場合と同様である。

(2) 凝結及硬化の際の化学變化

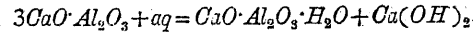
セメントに水を混じたる場合の化学變化及之に伴ふて起る物理的變化は土木材料としての基本的性質である。

水を混じて可塑性のものとし之を放置すれば化学變化を生じて可塑性を失ふを

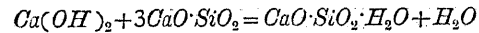
凝結 (Set) と稱す。凝結後は水を更に加ふるも可塑性を完全に回復し得ない、凝結後尚水を加ふれば粒子の結合を破壊するからいけない。凝結後時の経過に伴ひ次第に硬化が進み強度増進す之を硬化 (Hardening) と稱する。

凝結は 3 段に分つ (a) 過飽和の状態から結晶岩漿 (Magma) の生成 (b) コロイド質の乾化 (c) 水の爲の各種物質間に起る化學作用

凝結の始めは礬土を含む石灰分の加水作用により、硬化は珪酸を有する石灰分の加水によると考へられてゐる。始めは



を生じて凝結を始め次に $Ca(OH)_2$ が珪酸鹽に作用して硬化を促進する。即ち



CaO と SiO_2 、 CaO と Al_2O_3 との結合は極めて複雑でその比も異なるが何れにしても礬土含有量の多いものが凝結硬化速く、珪酸分多いものが終局の強度増進は大である。

クリンカーの微粉は極めて急結であるから凝結を遅滞せしめて適當のウラカビリテイを與ふる爲に通常石膏 2~3% を混する、その作用は媒觸 (Catalytic) 劑の作用をすと考へられ、Candlot 氏は硫酸石灰とセメントとの作用で $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 30H_2O$ の型を有する複鹽を生じ、之は水に不溶解性で凝結に當り何等の作用なき形に礬土鹽を變質せしめて之を遅滞せしむるものと説明した。

遅滞作用を起すものとして風化若くは蒸氣法があつたが、従來のセメントに於ては之により炭酸石灰を遊離せしめ、含有せる遊離石灰を沸化せしむるものであるが現在はその必要を見ない。

始めの 24 時間の間の化學變化は $3CaO$ 、 Al_2O_3 、 $5CaO$ 、 $3Al_2O_3$ 若くは之より礬土分大なるものが水の作用に基き、その後 7 日間の間は $3CaO \cdot SiO_2$ に基き、7 日以後は $2CaO \cdot SiO_2$ に基くもので、是等は水分ある場合にのみ起る變化である。

§ 64 セメントの化學成分

化學成分は一定しないがその範圍を例示すれば第 144 表の如し。組成分は計算により求めたもので確定的のものでなく單に 1 例にすぎない。

第 144 表

成分(%)	ポートランドセメント (A)	高級セメント	ノボセメント
SiO_2	22.08	21.22	20.26
Al_2O_3	5.32	5.84	4.93
Fe_2O_3	2.88	2.56	2.75
CaO	64.24	65.48	66.16
MgO	1.64	1.54	1.76
SO_3	1.18	1.30	1.51
灼熱減	2.00	2.02	2.52
水硬率	2.09	2.18	2.32
珪酸率	2.69	2.53	2.64
礬土鐵率	1.85	2.28	1.76
石灰限度	2.68	2.80	3.01
組成分(%)			
$3CaO \cdot SiO_2$	49.5	57.9	73.0
$2CaO \cdot SiO_2$	23.2	15.0	0.5
$3CaO \cdot Al_2O_3$	14.0	15.4	13.0
$3CaO \cdot Fe_2O_3$	5.9	5.2	5.6
$3MgO \cdot SiO_2$	1.8	1.8	2.7
$2MgO \cdot SiO_2$	0.8	0.4	0.0
$CaO \cdot SO_3$	2.0	2.2	2.6

混合セメントは之により容易に識別し得られるが之によりセメントの性質を知る事は出来ない。性質は焼成、混合、粉碎の操作により成分の結合を異にするから單なる分析では知り得ない。

製造が完全なるものとして成分の性質に及ぼす影響は次の如し。

(1) 石灰分

含有率大なるものは焼成温度高ければ強度大で膨脹性龜裂も生じない、小にして粗粒で低温なれば強度小である。含有率大のものは凝結遅いが硬化促進率大である。

(2) 珪酸分

含有量比較的大のものは礬土分の少きを意味し、凝結硬化遅く初期強度小なるもその増進率は大である。

(3) 礬土分

含有量比較的小なれば焼成温度低く、焼塊の凝集力大で破碎困難であり、凝結硬化速く、強度増進率比較的小く海水では Cal-sulpho-aluminate $Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4$

$30H_2O$ を生じ侵蝕さるゝ虞あり Al_2O_3/SiO_2 耐鹼率 2.8 以上は安全と考へらる。

(4) 酸化鐵分

含有量大のものは SiO_2 と CaO との結合を助けて比較的低温で焼成し得らる。故に過熱の虞あり焼塊は硬く破碎困難で粗粒となり易くセメントの色は之に基くものが多い。

(5) その他の含有分

苦土分は佛國の橋梁及アーデン港工事の破壊がその含有量によると考へられてから何れも制限されてゐる。石灰分と同様の化合物を作り之より尙高温を要す。然しその存在は遊離石灰よりも害が少いと考へられてゐる。

硫酸分は CaS , FeS の少量を含む事ありて硫化物は酸化されて硫酸鹽となり容積膨脹し硫酸鹽の少量は急結を遲滞ならしめ膨脹性を減ずるも限度を超せば危険で殊に海中工事では特に著しい。

§ 65 物理的性質

セメントの性質の研究及試験は古來發達し來つたが未だ科學的根據に立ち得ない、強度以外の物理的性質を見れば次の如くである。

(1) 比重

之はセメントの性質に對する決定的判斷を與ふるものでなく、他の試験と共に主要なる鑑定の補助条件となり、一般的概念を與ふるものである。

一般に比重大なれば強度大である。その小なるものは焼成の不充分のもの、不純物を混加せるもの、風化せるもの等である。

試験器は Maun, Keate, Schumanr, Le chatelier 等があり後者が廣く用ひられてゐる。

標準試験法では本邦、米國、埃太利、露西亞は規定あるも英、獨、佛、丁抹、瑞典は規定しない。

(2) 色調

原料の焼成度と酸化鐵含有量により定り、灰綠白色を良好とし黃赤灰色は焼成不充分のものである。

白色セメントは酸化鐵 Fe_2O_3 を含有しない陶土等を用ひ焼成に重油等を用ひ粉碎するにフリント球を用ひて造る。

(3) 粉末の程度

之も性質の決定的條件でなく重要な補助条件である。セメントは粉碎機で粉磨したるものであるから、その内部の球の表面の衝突により粉碎され一般に扁平狀葉狀の形を有し、接觸する場合の面積は廣いが空隙率は 45% 内外で極めて大である。

粉末の小なるものは比面大で水との化學作用促進され凝結硬化速かであり、且充分の加水作用を受くるが故に時日を経過して化合して生ずる膨脹性龜裂の虞ない。通常 No. 200 目又は 4,900 目篩で試験するも粉碎機の發達により現在は僅かに之に残留するのみで、その粒徑の平均は 20μ の級を保つ微粉である。第 145 表に之を示す。

第 145 表

粒徑(μ)	Aセメント(%)	Bセメント(%)	Cセメント(%)
60以上	12.2	9.2	14.2
60~50	} 13.3	6.8	8.6
50~40		12.9	8.7
40~30	} 26.4	12.3	12.0
30~20		11.9	11.8
20~10	15.6	15.2	15.7
10~5	15.4	} 31.7	} 29.0
5~0	17.1		
平均粒徑	21μ	23μ	23μ

(4) 比熱 Hartner 氏が測定したのは第 146 表の如し。水分 25% を加へ凝結せるセメントモルタルの比熱は 0.333, 之を $110^{\circ}\sim 115^{\circ}C$ に加熱せるものは 0.44 となる。

第 146 表

溫度 $^{\circ}C$	比熱	溫度 $^{\circ}C$	比熱	溫度 $^{\circ}C$	比熱
$18^{\circ}\sim 130^{\circ}$	0.205	$18^{\circ}\sim 500^{\circ}$	0.258	$18^{\circ}\sim 835^{\circ}$	0.278
$18^{\circ}\sim 230^{\circ}$	0.223	$18^{\circ}\sim 610^{\circ}$	0.266	$18^{\circ}\sim 930^{\circ}$	0.281
$18^{\circ}\sim 390^{\circ}$	0.247	$18^{\circ}\sim 720^{\circ}$	0.277	$18^{\circ}\sim 1035^{\circ}$	0.310

§ 66 凝結及硬化 (Setting hour and hardening)

セメントのウラカビリティを表す基本的性質である。急結のものは特別の用途の外は適しない。通常加水後1時間以内で凝結を始め10時間内で結了を規定してゐる。

凝結はセメントの性質とその風化の程度、尙温度、湿度、加水量により異り、(a) 温度高ければ組成成分の固體溶液中の結合力が弱められ、礬土の一部を遊離して急結にすると説明せるものあり、何れにするも高温は化學作用を促進する。(b) 加水量大であれば遅い、一般に化學變化に必要な水量よりも操作に必要な過剰な水量を用ふるから少いだけ化學變化が速である。従つて標準稠度 (Normal Consistency) の状態で之を測定する。(c) 石膏の2~3%は緩結ならしめる。

凝結は標準試験方法に記すが如く Vicar 針を用ひて測定し、米國は Gilmore 針を用ふる。是等は平頭を有する等徑の圓筒でその穿入の如何によりて定むるから一の便宜法に過ぎない。第147表の如し。

セメントに加水すれば直に化學變化を起し可塑性となり、之が次第に固化するは化學變化に伴ふ時間的關係であつて漸進的に起る物理的性状の變化である。之を單に Vicar 針を以て一の劃期を定むるに過ぎない。

化學變化に伴ふ温度も上昇する。従つて凝結の現象を明かにする爲に電氣抵抗の測定法もある。

第 147 表

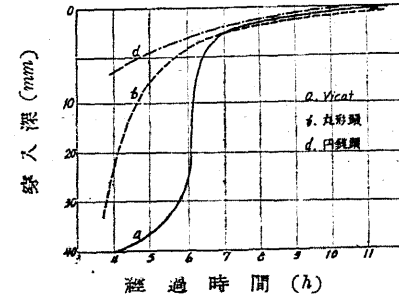
項目	英國 Vicar 針		米國 Gilmore 針	
			初結用	終結用
重量	300 gm		40 z	160 z
針徑	1 mm ²		1/12 吋	1/24 吋
荷重	30 kg/cm ²		3.2 kg/cm ²	52 kg/cm ²

Vicar 針で凝結現象の漸進状態を測定せる例は第30圖に示すが如く、試料では4時間目で凝結を始め、

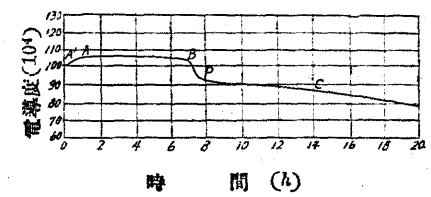
化學變化に伴ふ物理性状の變化は機械的に測定する方法の不都合は明である。故に Gary 氏は凝結の終りに相當する時温度が急に上昇するを觀測し、熱的測定法をとつて發熱量の最高の時を凝結の了りと定めた。内田教授は最高發熱量の時

を熱電對で測り凝結時間を測定し、清水教授は電導度の變化を測定した。第31圖に示すが如く18°Cの場合に於てはPが最高發熱量の時で凝結の終りである。

第 30 圖



第 31 圖



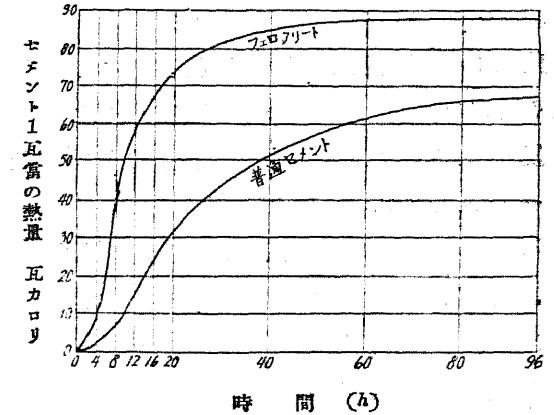
凝結硬化の間の發熱量を試験したものは幾多の實驗あるが1:3モルタル(水量12%)に就て試験した例は第32圖の如く、急硬セメントは發熱量大なるを特徴とする。

硬化 (Hardening)

凝結せる後更に化學作用は漸進的に促進して硬度強度増進するを硬化と稱し、耐壓強度抗張強度等を測定してその性質を表す。

此の場合ニートセメントの性質はモルタル又はコンクリートの性質と全く異り前者より後者を豫想する事困難である。従つて常に骨材と混じてその性質を求めてゐる。

第 32 圖



§ 67 膨脹性龜裂の有無 (Soundness test, constancy of Volume)

原料の組成成分及其配合、燒成の不完全なるセメントは遊離石灰又は不安定なる成分が凝結後に空中より水分を吸收して沸化し容積膨脹して龜裂を生ずる事がある。他の性質が如何に優秀なるも此缺點を有すれば使用に堪へない。故に材質

の基本的性質で決定的判断を與ふるものである。

近年高强度を目的とするセメントは石灰含有量大であるが焼成の完全なるにより遊離石灰極めて微量にしてかゝる虞あるもの少し。然れども従來は幾分量を含み、是等は風化させ又は微粉として風化を受け易からしめ若くは石膏を加へて緩結ならしめ、豫め沸化せしむる餘裕を與へて之を除き得たのである。

本邦セメントの遊離石灰をボーク氏法により測定したものは第148表の如く、1.0% 内外にして近年セメントの石灰含有量大なる爲に幾分多し。

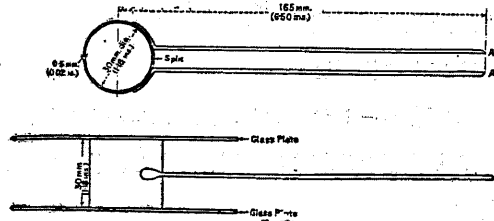
第 148 表

年 度	遊離石灰 (%)	石灰珪酸 (分子比)	Silica 2CaO (a)	Silica 3CaO (b)	a/b
1926 前期	0.93	2.51	49	51	1.02
1927 前期	1.04				
後期	1.45				
1928 前期	1.32	2.59	41	59	1.44
ベロセメント	2.74	26	74	74	2.85

試験は標準試験方法に示すが如く饅頭型による Pat test で行ふが、煮沸法は最も嚴であつて之に不合格のものも浸水法では合格する場合が多い。而して是等の観測による試験方法よりも膨脹量を測定する方法は英國の標準方法でルシャテル法を採つてゐる。

Le chatelier 法は第 33 圖の如き眞鍮製圓筒に試料を入れ、圓筒は縦に割目あり、此部分に二本の針を

第 33 圖



有し試料の膨脹に應じて針の先端が開かれ、その量により膨脹度を測定するものである。試料を 24 時間 15°C の水に浸

し兩針端の開きを測り、次に之を 6 時間沸騰せしめて更にその開きを測り、前後の差を求めて膨脹度とする。セメントを 24 時間風化したものは 10 mm 以下、7 日間風化したものは 5 mm 以下と規定してゐる。

§ 68 モルタルの強度に及ぼすセメントの影響

セメントペーストはコロイドであるから自身の凝集力は他の鑛物質材との附着力と異り、従つて自身の強度でモルタルの強度を指示し得ない。故に常にモルタル強度を以てセメントの強度を示す。而して之に用ふる砂の性質により異なるから各國共に標準砂を規定し、之を用ひ一定配合通常 1:3 モルタルを造り、水量及試験體作成法を一定してセメントの強度の相關的數値を求めてゐる。本邦は従來茨城縣助川附近の珪石を破碎せるものを用ひたりしが現在福島縣相馬の天然珪砂を用ひ、米國は Illinois Ottawa sand, 英國は Leighton Buzzard sand, 獨逸は Freieawald 産、佛國は Leucate sable を用ひてゐる。その試験法は卷末に擧げた。是等の試験法に於ては加壓して試験體を作るものであるから、セメントの化學變化と同時に加壓の影響著しきものあり、之をコンクリートに用ふる場合にモルタルの強度でコンクリートの強度を指示し得ないから軟練りモルタルの試験法が考究されつゝある。

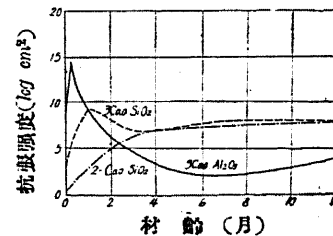
モルタルに関しては已に多く説かれたから、今セメントの化學勢力がモルタルの位置的力學勢力に變化する状態及其増進率等につき特殊なる状態につきて述べる。

(1) 組成成分の影響

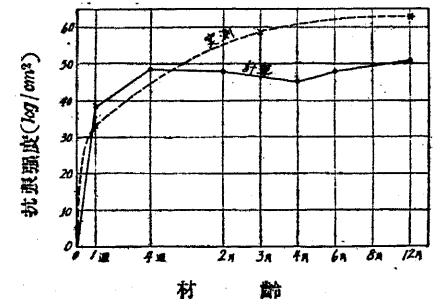
セメントの組成成分の強度に及ぼす影響を I. O. Draffin 氏が測定したのは第 34 圖に示すが如し。

之と同様の方法を以て組成成分を定め、その強度を算定し實際の強度との關係を比較すれば第 35 圖の如く、初期に於ては略一致してゐる。

第 34 圖



第 35 圖



(2) 強度の増進率

先に述べたるが如くセメントモルタルは時日の経過に伴ひ強度増進するもので

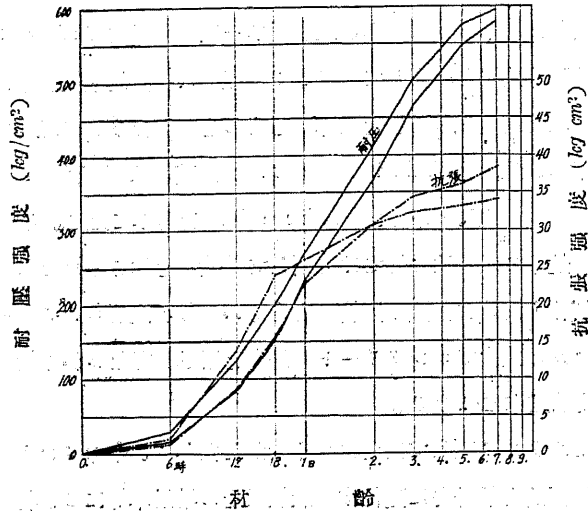
あるが、弱材齢即加水後6時間目より7日間に至る増進は第36圖に示すが如し。耐圧強度の増進は特に著しいものがある。

(3) 風化の影響

セメントを相当期間貯蔵したものは幾分風化を受け

凝結時間長くなり強度は遞減するもので、新鮮のものは6箇月貯蔵したものとの比較は第149表の如し。従つて貯蔵に當り相當の保護を加へ品質の低下を防止しなくてはならない。

第 36 圖



第 149 表

貯蔵期間	粒度通過%		凝結時間		2日		7日		28日	
	No. 900	No. 4900	始	終	耐圧	抗張	耐圧	抗張	耐圧	抗張
新鮮	0.15	6.5	3.50	8.25	100	100	100	100	100	100
1箇月	0.18	6.2	4.05	9.20	100	105	100	105	100	103
2箇月	0.22	6.4	4.35	9.25	94	102	96	102	97	101
3箇月	0.24	6.52	3.50	8.40	90	98	92	98	94	98
6箇月	0.33	7.15	4.40	10.35	84	87	87	90	91	92

(Zement 1928—10—25)

(4) レイタンス (Laitance)

レイタンスはモルタル、コンクリートの表面に生ずる強度を有しない浮滓であつて試験すれば、モルタルは水比 0.50~0.60 の場合 1:2 モルタルでは同

0.60~0.80 の場合殊に後者に多く表れる。その成分を考へる爲に 1:2 モルタル比 0.70 のもの、21 日放置せる状況を觀察すれば、(a) 表面に生ずるレイタンスは羽毛を以て掃き取り得る部分。(b) 硝子又は竹棒等でとり得るカステラ状の部分。(c) 小刀を以て取り得る部分を生じ是等は總てレイタンスで SiO_2 , CaO , SO_3 , CO_2 の含有量各異り (a) は殆ど CO_2 がより成りセメントの加水分解生成物の 1 なる $Ca(OH)_2$ が水に溶解し空中より CO_2 を吸収して生じたるのである。尙是等の部分に SO_3 分多きはセメントの石膏分を溶解せるもので、石膏がセメントより比重小にして表面に上昇せるものと考へらる。而して CaO 分が多く SiO_2 分は少い。灼熱減量も多量に含まれてゐる、混加水の多い場合に生ずるから施工の際に注意を要する。

(5) セメントガンのモルタル

セメントガンを用ひて噴射せるモルタルはその強度小である。第150表に示すが如し。本表は 1:4 配合で $1.76 kg/cm^2$ の壓力を以て施工した實例である。

第 150 表

材 齢	抗張強度 (kg/cm^2)		耐圧強度 (kg/cm^2)	
	セメントガン法	普通モルタル	セメントガン法	普通モルタル
3 日	7.5	20.5	36	292
7 日	8.8	27.9	58	293
28 日	13.1	29.8	94	230
連結法	16.8	37.8	105	225

§ 69 セメントに及ぼす化学品の影響

セメントに及ぼす酸アルカリ及鹽類の影響、その性質を施工條件合致せしむる様改良するもの、凝結促進又は遅滞劑等に就て述べる。

(1) 酸の影響

先に述べたる如くセメントは三石灰珪酸鹽、二石灰珪酸鹽及三石灰礬土酸鹽等から成り、是等の鹽基性化合物は酸に極めて作用され易く、硫酸、鹽酸、硝酸等の無機酸は勿論他の醋酸、乳酸等の有機酸にも容易に侵され易いから、是等酸の製造工場及之を使用する火薬、纖維素工場は勿論その廢水を流出する附近の工事は特に考慮を要する。

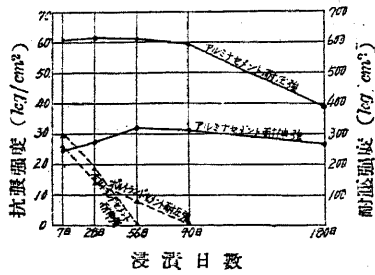
ポルトランドセメントは石灰分多く鹽基性大なるだけ酸に對して弱く、他種の高爐又はアルミナセメントはその影響著しからず、茲にその特質がある。

モルタル、コンクリートに及ぼす酸溶液の作用は骨材間に凝結硬化せるセメントを侵して成分を分解し、糊状珪酸を游離して表面を被ひ進んで作用せむとする分解作用を妨ぐる傾向があり、分解した石灰分は酸鹽を生じ硫酸石灰は沈澱し、鹽化石灰硝酸石灰は水に溶解し、凝結を失へる骨材の崩壞に伴ひ酸液は次第に内部に侵蝕するに至る。有機酸も同様で醋酸石灰は可溶性で蓆酸石灰は難溶性で沈澱する。

是等の影響は第 37 圖及第 38 圖に示すが如し。

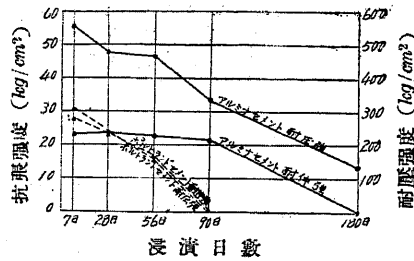
第 37 圖

1% 硫酸液に依る試験



第 38 圖

1% 鹽酸液に依る試験



鹽酸硝酸の影響が硫酸より幾分大なるは、後者が硫酸石灰の自沈澱を有する爲で、何れの場合もポルトランドセメントは弱い。

有機酸は下水溝等では有機物の腐敗により生じ醋酸、乳酸、酪酸、蓆酸は最も普通のものである。今是等の影響を前記同様に永井助教授が測定したものは第 151 表、第 152 表の如し。

蓆酸は難溶性の蓆酸石灰を生じ、自沈澱を生ずるから影響少い。

第 151 表

5% 醋酸溶液の影響

材齡 日	抗張強度 (kg/cm ²)		耐壓強度 (kg/cm ²)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
7	32.3	26.0	493	274

28	25.8	20.3	259	284
56	0	0	0	160
90	0	0	0	0
180	0	0	0	0

第 152 表

5% 蓆酸溶液の影響

材齡 日	抗張強度 (kg/cm ²)		耐壓強度 (kg/cm ²)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
7	28.2	34.2	583	272
28	29.5	35.3	594	347
56	29.4	37.2	535	409
90	35.0	39.0	703	370
180	42.2	40.2	724	380

(2) 鹽基溶液の影響

セメントは鹽基性のものであるから、アルカリ溶液に對しては一般に可成り安定であつて苛性曹達、苛性加里の稀薄液又は水酸化石灰の飽和液、アンモニア液等の影響は極めて少く、殆ど水と大差ない。第 153 表及第 154 表の如し。

石灰孔液では殆ど影響なく、苛性曹達液も亦 1% のアンモニア溶液もその影響少し。

第 153 表

苛性曹達 1% 溶液に浸漬せるもの

材齡 日	抗張強度 (kg/cm ²)		耐壓強度 (kg/cm ²)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
7	22.0	25.3	615	295
28	24.6	30.1	611	341
56	25.1	36.4	693	386
90	27.9	39.3	654	408
180	27.6	37.5	729	410

第 154 表

水酸化石灰飽和溶液に浸漬せるもの

材齡 日	抗張強度 (kg/cm ²)		耐壓強度 (kg/cm ²)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
7	24.6	32.1	562	348

28	24.5	35.2	633	416
56	26.3	37.5	710	460
90	30.5	37.6	723	503
180	34.4	40.2	807	438

(3) 鹽類溶液の及ぼす影響

海水、温泉、鹹泉その他工場廢水に含まるゝ鹽類溶液の影響はその種類により異なる。

海水は約 3% の鹽類を含み § 21 に示すが如し。鹽類中鹽化物と硫酸鹽殊に後者は最も影響が大である。是等の硫酸基又は鹽素基は石灰と礬土に作用して Cal-sulpho-aluminate 又は Cal-chlor-aluminate の如き礬土酸となり溶解し、コンクリートに空隙を造り更にその作用が進捗して次第に内部に及ぶものである。更にセメントが加水分解して生ずる遊離の $(HO)_2Ca$ は硫酸鹽と作用して硫酸石灰となり、結晶水をとつて石膏となり膨脹して亀裂を生ずるか、又は炭酸鹽、炭酸に作用して炭酸石灰、重炭酸石灰となり溶解して空隙を生ずる。

硫酸鹽として SO_4Na_2 , SO_4Mg 等の 5%, 7.5%, 10% 及 SO_4Ca の飽和液に浸漬せる結果は第 155 表、第 156 表の如し。ポルトランドセメントはアルミナセメントに比して一般に弱い。

第 155 表

硫酸石灰飽和液

材齡	抗張強度 (kg/cm^2)		耐壓強度 (kg/cm^2)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
日				
7	22.7	28.5	380	269
28	28.8	34.1	451	348
56	36.2	35.6	—	369
90	39.5	30.1	419	345
180	37.8	11.4	440	345

第 156 表

硫酸苦土 7.5% 溶液

材齡	抗張強度 (kg/cm^2)		耐壓強度 (kg/cm^2)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
日				
7	25.0	29.8	547	271

28	33.4	31.4	634	327
56	32.2	25.2	656	334
90	38.0	22.0	677	358
180	39.5	5.0	827	357

高爐セメントは是等の影響はアルミナセメントに劣るも、ポルトランドセメントに優つてゐる。第 158 表の如し。

第 157 表

硫酸曹達 10% 溶液

材齡	抗張強度 (kg/cm^2)		耐壓強度 (kg/cm^2)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
日				
7	25.1	26.8	497	217
28	28.8	27.1	591	291
56	30.3	25.6	628	363
90	30.4	11.8	666	350
180	35.6	0	725	246

第 158 表

耐壓強度 (kg/cm^2)

材齡	硫酸苦土 5% 溶液		硫酸曹達 5% 溶液	
	高爐セメント	普通セメント	高爐セメント	普通セメント
28日	224	154	241	167
3月	266	264	302	199
7月	325	228	322	55
12月	337	172	331	43

鹽化物の影響は硫酸鹽程著しくなくアルミナセメントは殆ど作用を受けない。

海水に含有量多い鹽化物溶液の影響は第 159 表第 160 表の如し。

第 159 表

鹽化ナトリウム 10% 溶液

材齡	抗張強度 (kg/cm^2)		耐壓強度 (kg/cm^2)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
日				
7	23.0	28.3	601	307
28	22.8	33.0	657	383
56	26.2	31.7	712	406

90	24.6	29.6	759	442
180	26.5	30.5	846	458

第 160 表

鹽化カルシウム 10% 溶液

材齢	抗張強度 (kg/cm ²)		耐壓強度 (kg/cm ²)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
7	29.6	25.3	559	242
28	31.3	29.7	594	271
56	34.9	29.8	684	269
90	36.9	35.0	694	357
180	36.4	26.3	773	391

第 161 表

鹽化苦土 32% 溶液

材齢	抗張強度 (kg/cm ²)		耐壓強度 (kg/cm ²)	
	アルミナセメント	普通セメント	アルミナセメント	普通セメント
7	25.4	33.5	457	263
28	32.1	29.7	542	323
56	38.2	32.6	616	407
90	43.3	31.1	685	383
180	41.7	24.7	814	419

鹽化アンモニア 5% 溶液も同様で著しくなり、故に恐るべきは硫酸鹽である。海水中には 0.3~0.8% に過ぎないが長年月の間に次第に侵蝕せられ液の破壊作用を伴つて遂に崩壊する事がある。茲にポートルランドセメントに比しアルミナセメントの特質がある。

上記の鹽類の外炭酸鹽硝酸鹽等は地下水、下水、池、沼水等に含まれ、特に炭酸鹽溶液及遊離炭酸を溶した水は、セメントの加水分解で珪酸石灰、礬土酸石灰が生じ一方に遊離水酸化石灰を生じて之に作用し、炭酸石灰又は重炭酸石灰となり溶解し、爲に空隙を生じ之を反覆してコンクリートの崩壊を起すものである。是等の水分はコンクリートの微細なる間隙を毛管現象で吸上られ、表面は蒸發して溶液が濃厚となり、その作用が促進するものである。故に水位面に近き部分は特に設計施工に注意を要する。

硫酸鹽類に關して獨逸 Probst 及 Dorsch 博士の實驗は硫酸鹽類が各種セメントに接觸した場合、崩壊の始まる迄の月數を觀測した。第 162 表の如し。硫酸アンモニウム最も影響甚しく、硫酸曹達之に次ぐ。

第 162 表

1:3 モルタル 耐久日數

	普通セメント		高級セメント		高爐セメント		アルミナセメント	
	標準砂	ライン砂	標準砂	ライン砂	標準砂	ライン砂	標準砂	ライン砂
アンモニウム サルフェート (NH ₄) ₂ SO ₄	10	30	6	3	25	41	190	190
Na ₂ SO ₄	58	72	41	41	152	220	190	190
CaSO ₄	安全	安全	305	328	安全	安全	安全	安全
MgCl ₂	異狀なし		異狀なし		異狀なし		異狀なし	

蔗糖 一般に糖分はセメントの強度を脆弱ならしめるものである。蔗糖の水溶液 0.01~1% のものは凝結を緩にし 2~10% は却つて促進するも、強度は劣り脆弱なるが故に是等の風袋をコンクリート養生席代用とすべきでなく、果物の汁も同様の影響がある。ドイツ国立材料研究所の結果は第 163 表の如し。

第 163 表

1:3 モルタル 耐壓強度 (kg/cm²)

材齢	A セメント		B セメント		C セメント	
	1:3モルタル	同砂糖1%	1:3モルタル	同砂糖1%	1:3モルタル	同砂糖1%
3	—	—	—	—	197	7.1
7	260	26	220	龜裂	264	8.5
28	353	42	317	—	382	12.1
90	—	—	420	—	473	33.2
365	—	—	—	—	543	55.5

(Gonell Materialprüfungsammt Berlin-Dahlem)

米國では此特性を利用し 1:2:4 コンクリートに 1 時の褥を置きてコルク床板を配列する設計を變へて褥を止め下層を午前施工し、上部 1 吋を午後施工し、之に始め 1% の砂糖を混じて用ひた。此部分は翌朝迄も凝結せず床板となじみよく敷設し得たが後 0.12% を用ひても成功した。硬化後 1% 混入の部分は容易に

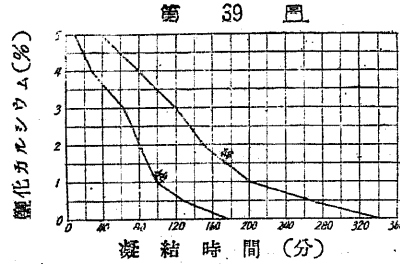
破壊され、0.50%以上は有害と考へられ、0.12%の部分は敷設の際に施工容易で後は強度は殆ど劣らぬ様になつた。

SiO_3Na_2 凝結は 1% 溶液は緩となり 3~7% は促進され 15% は却つてまた緩となり、強度は弱くなる。

(4) 凝結促進劑 (Accelerating agency)

短時間に凝結を了らしむる爲セメンに添加する化學製品は、その種類極めて多く、その主なるものは Cal-chloride $CaCl_2$, Al-chloride $AlCl_3$, Potassium sulphide K_2S , Sodium carbonate Na_2CO_3 , Pot-Carbonote K_2CO_3 , Al-sulphate $Al_2(SO_4)_3$, Alum $AlK(SO_4)_2$ 等がある。その

内鹽化カルシウムはその硬化をも促進するが故に廣く用ひらる。その影響は第 39 圖の如く、添加量により著しく異れり。



市場品としては是等の化學製品を原料とする急結マノール、クイツクウヲタイト、クイツクハイプロ、 $K.T.O.$ 、クイツク、セメント急結劑、急硬セメント防水劑等の特許名で供給されてゐる。

(5) 凝結遲滯劑 (Setting retarder)

凝結を緩にする目的には次の如きものが用ひられ、仕上面にある加工を施す場合例へば床コンクリート面の硬化せる後、モルタル褥を置いて床塊を列ぶるに當りコンクリート表面の凝結緩なれば褥を要せずして直に翌日その上に床塊を列ぶる場合等に用ふる。Pot-dichromate $K_2Cr_2O_7$, Boric acid $B_2O_3 \cdot H_2O$, Forax Br_2O_3 , Sodium sulphate Na_2SO_4 , Pat-sulphate K_2SO_4 , Col-sulphate $CaSO_4$ の如し。石膏の影響は第 164 表の如し。

第 164 表 石膏の凝結に及ぶ影響

	室内試験		野外試験	
	凝結始時分	同終時分	凝結始時分	同終時分
クリンカー その儘	0~1	0~15	0~1	0~25

石膏混加	1 (%)	2~00	6~00	3~00	6~30
	1.5	3~30	7~00	4~00	7~30
	2	4~30	8~00	4~30	8~30
無水硫酸カルシウム					
1 (%)	0~1	0~15	0~1	0~5	
2	0~2	0~20	4~1	0~5	
3	0~4	0~25	0~1	0~6	
4	3~15	9~15	0~15	0~35	
5	3~30	9~00	0~45	3~00	

(Filling 試験 Zement 1929-2-28)

§ 70 標準規格

日本標準規格は附録に擧ぐるが如く、その要項は第 165 表の如し。

第 165 表

	ポートランドセメント	高爐セメント
比 重	3.05 以上	2.85 以上
粉末程度 4900孔/cm ²	12% 以下	同
凝結時間 15°~25°C	1時間~10時間	同
膨脹性龜裂	龜裂又歪曲を生せず	同
強度 kg/cm ² 耐圧力	3日 150 以上	同
	7日 220 以上	
	28日 300 以上	
抗張力	7日 20 以上	同
	28日 25 以上	
苦 土 分	3% 以内	5% 以内
硫 酸 分	2% 以内	3% 以内
灼 熱 減 量	4% 以内	4% 以内

歐米各國は普通セメント及高級アルミナセメント規格を制定せるものあり主なるものは第 166 表の如し。

第 166 表

強度 kg/cm ²	獨逸		和 蘭		塊太利	
	普通	高級	普通	高級	普通	高級
抗張	1927年		1926年		アルミナ	1926年
1日	—	—	—	—	25	—
2日	—	—	—	—	—	12 18
3日	—	25	—	20	26	—

7日	18	—	18	25	28	18	27
28日	—	—	—	—	—	—	—
聯結 28日	30	40	25	35	30	—	—
耐壓 1日	—	—	—	—	400	—	—
2日	—	—	—	—	—	130	220
3日	—	250	—	250	450	—	—
7日	180	—	200	350	475	220	400
28日	275	—	—	—	—	—	—
聯結 28日	350	500	350	450	500	—	—

強度 kg/cm^2	抗張	瑞 西		英 特	米 1929年	伊 高級 1927年	太 利		アルミナ	
		B. 1924年	A. 1924年				高級 1.	高級 2.		
1日	—	—	—	—	—	19.4	—	—	—	
2日	—	—	—	—	—	—	—	—	25	
3日	—	—	28	—	141	26.5	—	20	—	
7日	14	20	35	23	15.8	—	20	18	25	30
28日	20	30	—	25	—	—	25	25	30	35
聯結 28日	25	35	45	—	22.9	—	—	—	—	—
耐壓 1日	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2日	—	—	—	—	—	—	—	—	—	350
3日	—	—	325	—	—	—	—	250	—	—
7日	140	250	500	—	—	—	250	180	350	450
28日	200	350	—	—	—	—	400	250	500	500
聯結 28日	250	450	600	—	—	—	—	—	—	—

第十三章 急硬性セメント

§ 71 概 説

ポルトランドセメントは之をコンクリートに用ふ場合通常 1 箇月後の強度を設計に用ふるから急施を要する場合に不満足的事が多い、始め 1907 年奥太利鐵道技師スピンドルが市販セメントの強度の差大なるも使用價値を同一に取扱へるを不都合として特殊の高級セメント發明に成功し、1913年同國ロリュンエ工場で製造を始め、次に瑞西のホルダーバンク工場も之を始めたが歐洲大戰に際し之を中止し戦後復興し 1924 年以後は急激なる發達を見、殊に獨逸はその進歩著しく

1924 年高級セメント工場 15、翌年 23 に達し、英國之に倣ひ米國も同様にして本邦に於ても已に數工場の設立を見た、是等は早期の強度大なるものと強度大なるものとの目標を有し普通セメントの化學成分の結合状態を異にする急硬又は高級セメントとアルミナを主成分とする超高級性のものとある。

§ 72 高級セメント(急硬セメント)(High early strength cement)

高級セメントは急硬性と高强度とを具備するもので通常ポルトランドセメントの 4 週後の強度を 3 日に於て得られ 4 週後に於ては 2 倍以上の強度に達するものと考へられ、更に超高級セメントは同じく 4 週後の強度を 2 日に於て得られ 4 週後に於ては 3 倍以上に達するものと考へられてゐる。

是等は原料配合及焼成に於て特殊の設計を要するもので原料としては (1) 遊離石灰分を減ずる爲に苦土分を減ずる (2) 珪酸分の粘土及頁岩を多く用ふ (3) 石灰分は比較的多くす (4) 遊離珪酸分を加へる (5) 原料混合及粉碎を微細ならしめ濕式焼成法をとるもの多い (6) 石膏分を少しく増す。

組成分から分類すると次の如し

- (1) 礬土分多きもの アルミナセメント
- (2) 珪酸石灰 (a) 珪酸分多きもの ペロセメント(丁抹)
- (b) 礬土分多きもの フェロクリート(英國)
- (c) 礬土分最も多いもの キュールセメント(獨逸)
- (d) 混加劑を加ふるもの ノボセメント(獨逸)

アルミナセメントは高級セメントであるが高級ポルトランドセメントでない、ペロ及フェロクリートは微粉としたる機械的加工法を加へ、ノボは比較的粗粉であり、キュールは全く化學的組成成分を異にしたものである。

此外 Doppel, Standard, Adel, Permia cement 及 Tannerite holpolo, Caesar rapid harding, Lightening aluminous cement 等あり、是等の内急硬性を有するも高强度を有せざるものもあるフェロクリートの如きは之に近い、従つてその組成分及製造方法は極めて區々で種別極めて多い。

大正 14 年の淺野ポルトランドセメントと高級セメントとの比較試験を内務省

土木試験所に於て行へるものは第 167 表の如く、普通セメントに比しよく高級セメントの特質を表はしてゐる。

第 167 表

各種高級セメント比較表

	シマンフョ ンヂエ	ラムナイト セメント	ダイカーホーフ ドツベルセメント	フェロク リート	浅野セ メント	水硬率	
						0.71	0.73
						2.38	2.37
						2.68	2.38
水硬率	1日	45.4	45.8	10.8	10.4	3.7	3.7
	2日	52.9	50.0	19.9	19.2	7.9	7.9
	3日	62.3	60.2	34.2	35.8	17.5	17.5
	7日	62.4	41.5	48.8	53.0	33.1	33.1
	4週	60.2	62.7	58.2	57.6	47.2	47.2
13週	63.7	67.1	61.4	62.7	59.1	59.1	59.1
	52週	54.2	66.0	71.5	67.4	63.1	63.1
	1日	487	402	91	77	32	32
	2日	568	505	151	144	61	61
	3日	575	567	240	207	83	83
7日	606	644	366	388	189	189	189
	4週	624	615	550	405	350	350
	13週	695	674	666	506	461	461
	52週	508	601	702	639	558	558
	靱性	7.5	7.3	6.3	6.3	4.8	4.8

各國の規格は第 165 表に擧げたるが如く獨逸、和蘭、澳太利、瑞西、伊太利等に制定されてある。

各國共標準砂を異にしてゐるから直に之を比較する事は出来ないが今小野田セメントに於て比較したものは第 168 表の如し。

第 168 表

小野田セメントの標準砂を異にするもの、強度

	耐壓強度 (log/cm ²)		耐壓強度 (log/cm ²)	
	3日	28日	3日	28日
東京砂	220	369	獨逸砂	308
相馬砂	373	533		517

第 169 表

種別	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	灼熱減
普通セメント%	22.22	5.36	3.92	63.40	2.45	1.66	1.00
高級セメント	19.89	6.83	3.22	62.39	2.60	1.79	2.19

第 170 表

高級ポルトランドセメントの強度

種別	抗張力 (log/cm ²)				耐壓力 (log/cm ²)				
	3日	7日	28日	28日聯結	3日	7日	28日	28日聯結	
外國品	C	38.1	38.6	37.2	41.4	545	571	650	681
	D	29.4	32.8	37.2	48.5	414	505	546	665
	E	31.6	33.6	36.3	45.8	514	553	638	705
本品邦	F	34.5	38.3	40.6	45.7	469	581	677	744
	G	32.4	34.0	37.2	44.1	502	594	674	750

§ 73 アルミナセメント

之はポルトランドセメントと全く組成成分を異にする特殊の水硬性セメントで急硬性と高強度を有し、石灰礬土鹽 65~95% を含み完全に熔融して造るものである。

原料として石灰石と礬土鹽を用ひ、之を熔融燒成せしめ急激に冷却し微粉としたもので電氣爐又は熔鑄爐の如きものを用ひ石膏は混加しない。

一般に礬土鹽は次の如きものがある。

- (1) 無水物 Corundum (Al₂O₃ 結晶質) Spinel (Al₂O₃ + MgO) Hercyrite (Al₂O₃ + FeO) Emery (Al₂O₃ + Fe₂O₄)
- (2) 含水物 Diaspore (Al₂O₃ + H₂O) Bauxite (Al₂O₃ + 2H₂O) Gibbsite (Al₂O₃ + 3H₂O) Laterite (Al₂O₃ + Fe₂O₃ + SiO₂ + nH₂O)
- (3) 硫酸鹽 Alunite (Al₂O₃ + K₂O + 4SO₄ + 6H₂O)
- (4) 弗化物 Cryolite (Al₂N₃F₆)
- (5) 珪酸鹽 Allophone (Al₂O₃ + SiO₂ + 5H₂O) Kaolinite (Al₂O₃ + 2SiO₂ + 2H₂O) Halloysite (Al₂O₃ + 2SiO₂ + 3H₂O) Glauconite (AlKFe₂Si₂O₈ + H₂O)

而してボーキサイトが最も普通に得られて用ひらる。佛國 Baux のものが水分 20~24% を含み純粹のものを産するからその名を取つたものである。

アルミナセメントは始め佛國の Inles Biedla が La Farge Cement 工場で造り英國も Essex の Burrock 工場で佛國より原料を輸入して造り、米國は Atlas Luminite Co が Lumnite Cement として造りアルカセメントは米國のスパツクマンが石灰と天然セメントとの急硬劑を得る爲にアルカの名で礬土質急硬劑を造つたのが始めである。

その組成分は第 171, 172 表の如し。

組成分%	普通セメント	アルミナセメント
CaO	60~65	35~45
Al ₂ O ₃	5~10	35~45
SiO ₂	18~25	3~15
Al ₂ O ₃ /CaO	0.08~0.16	0.80~1.25

普通セメント	アルミナセメント		平均	
	アルカセメント	シマンフォンヂユ		
SiO ₂	18~26	10.11	9.03	10~12
TiO ₂	—	1.74	—	
FeO	1~6	4.25	5.60	15~20
Fe ₂ O ₃		1.80	0.97	
Al ₂ O ₃	4~12	42.31	40.48	40~45
CaO	58~66	38.80	41.50	35~40
MgO	—	0.61	0.56	
SO ₃	—	—	0.66	
S	0.5~2	0.24	0.42	

普通セメントは $3CaO \cdot SiO_2$ が主成分であるが之は $CaO \cdot Al_2O_3$ である Le Fuma 氏は $2CaO \cdot Al_2O_3 + 10H_2O = Al_2O_3 \cdot 2CaO \cdot 7H_2O + Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ の化學變化をなすとし、之により Al_2O_3 の 88% の水を水和作用に吸収する、 $CaO \cdot SiO_2$ がその儘に残ると假定するも必要水量はセメントの 40% にして普通セメントの 2 倍である此多量の水を吸収する爲にそのモルタルは密度大で強度強く硫酸溶液に對する抵抗も大である。

化學作用の速度はその結晶化の大きさにより一般に長はその徑の 100 倍に達し糖液は粒子縁に不透性膜を造り此結晶の伸長を妨ぐから硬化が遮られる。加水によ

る化學變化は上記の (1) $Al_2O_3 \cdot 2CaO \cdot 7H_2O$ と (2) $Al_2O_3 \cdot 4CaO \cdot 12H_2O$ とあり (1) は安定で始めから生じ (2) は一時的形で水和作用終ると消失する。

アルミナセメントの強度は高級ポルトランドセメントに優り第 173 表に示せるが如く大である。

強度	標準砂	1日	2日	3日	7日	28日	28日聯結
抗張強度 kg/cm ²	日本標準砂	29.4	32.3	30.8	31.7	30.5	40.6
	獨逸標準砂	26.3	29.5	30.7	29.3	28.8	43.8
耐壓強度 kg/cm ²	日本標準砂	463	497	510	523	590	618
	獨逸標準砂	513	555	572	602	653	750

第十四章 其他の水硬セメント

§ 74 概説

以上述べたるセメントの外の水硬性セメントは多く混合セメントである。その特質を擧ぐれば

- (1) 耐壓強度に對して抗張強度が比較的大である。
- (2) 酸、アルカリ及鹽類に對する抵抗性大である。
- (3) 耐壓強度はポルトランドセメントに比して劣る。
- (4) 比重小である。
- (5) 石灰含有量少い。

之には次の如きものがある。

§ 75 ソリデイチツト (Solidität)

ソリデイチツトは伊太利獨逸佛國に用ひられ本邦でも十年前より造られ、ポルトランドセメントクリーカーと花崗岩とを粉砕し石膏を混じたる混合セメントである。花崗岩は 800~1000°C に加熱し破碎粉砕して加へ燒塊は礬土分の多いものを用ひその配合比は CaO/SiO_2 を通常 1.5 として定めてゐる。

花崗岩中のアルカリ分が燒塊の CaO, SiO_2 と作用して $K_2O \cdot 2SiO_2 \cdot CaO \cdot 2Al_2O_3$ の如き化學變化をなし、そのモルタルが粘稠性を帯ぶるを特質とする。

その組成分は第 174 表の如くその強度を試験したものは第 175 表の如し。

第 174 表

種別	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	アルカリ	SO ₃	石灰/珪酸
ソリディチット	32.41	7.56	3.80	51.68	1.19	1.45	0.83	1.57
同	34.26	8.16	4.32	49.12	1.27	1.75	1.06	1.47
ポルトランドセメント	21.84	7.98	2.09	64.72	1.53	0.04	1.32	3.05
同	21.69	7.50	2.78	62.39	1.50	—	1.90	2.95

第 175 表

ソリディチットモルタルの強度

種別	抗 張 力 (kg/cm ²)				耐 圧 力 (kg/cm ²)			
	3日	7日	28日	28日聯結	3日	7日	28日	28日聯結
A	19.8	26.5	28.7	—	178	276	335	411
B	19.4	25.4	31.7	—	166	316	389	444
C	19.5	21.3	27.5	34.0	190	282	460	503
D	17.3	24.4	30.9	34.9	171	274	483	521

ネオソリディチット(Neosoliditit)は近年改良製造されたもので焼塊に花崗岩粉と他の珪酸分を混合したもので殊に可溶性珪酸分含有量の多いものを用ふれば強度大である。可溶性珪酸としては珪藻、珪酸白土、抗火石、軽石、多珪酸火山土等を用ふるその組成分は第176表の如し、是等の内可溶性珪酸を多く含むものを用ふればポルトランドセメントと同様の高強度の混合セメントを得る事が出来る。

第 176 表

多 珪 酸 質 原 料

種別	灼熱減%	不溶解残渣	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
珪酸白土	12.56	77.83	67.30	10.70	4.54	2.97	1.62	0.08
珪藻土	13.04	36.87	81.82	(1.58)	—	1.92	0.99	1.43
白砂	3.25	89.39	68.46	13.70	3.76	3.68	3.17	0.11
抗火石	0.77	95.51	73.93	13.08	1.72	1.33	0.68	0.14
軽石	3.10	86.93	63.53	15.39	4.44	6.97	2.80	0.07

§ 76 高爐セメント (Hoch ofen zement)

鑛滓を原料とするセメントには次の如きものがある。

- (1) Slag portland Cement 鑛滓と石灰石とを一定配合に混合し粉碎し焼成して造るもの
- (2) Iron portland Cement 鑛滓と石灰石とを以て造れるセメント焼塊 70%

に乾燥せる水滓 30% を加へ粉碎して造るもの

- (3) Hoch ofen zement 前記の焼塊30%に水滓70%を混じり粉碎し造るもの
- (4) Slag Cement 乾燥せる水滓に石灰を加へ粉碎せるもので通常鑛滓煉瓦の原料である
- (5) Slag gypsum Cement 乾燥せる水滓に石膏を混じり粉碎して造るもの

本邦では高爐セメントを八幡製鐵所及神奈川縣鶴見朝鮮兼二浦に於て製造するから之に就てその性質をのべる。

獨逸では鑛滓の利用が普及し鑛滓のみを用ふる Weck-beton 工法及鑛滓セメントより鐵セメントに至る迄利用され、和蘭は石灰石の産出がないから獨逸から鑛滓を含む是等の安價なるセメントを輸入して使用してゐる。

高爐セメントは熔鑛爐から出た鑛滓を水空氣又は水蒸氣で急冷破碎しその急冷鑛滓を乾燥して之に對し別に石灰石と鑛滓で焼成して造つた焼塊をその 45% 以上を混じり粉碎して造り之に通常石膏 5% 以下石灰 3% 以内を加ふる事がある。之は緩結であるから石膏を加へて却つて凝結を促進せしめる爲で石灰は硬化の強度を増進せしめる目的である。

而して近年高爐セメントに對する強度増進の要求大となり、焼塊の混加量は 45% より次第に増加し 100% に及ぶに至り、漸次鐵ポルトランドセメントに近似するに至つた。

之に用ふる鹽基性鑛滓は潜在水硬性を有し自身には固結しないがある刺戟劑を加ふれば強き水硬性を表し普通セメントと同様に硬化する。此刺戟劑として鑛滓セメントを用ふるのである。

その粉分は第 177 表の如く高爐セメントの原料としては、その範圍を $(CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3) \geq 1$ としてゐる。

第 177 表

鑛滓系セメントの成分範圍

セメントの種類	珪酸	礬土及酸化鐵	石灰	苦土	硫酸
	SiO ₂	(Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	CaO	MgO	SO ₃
鑛滓(水砕乾燥)	30~34	16~19	44~47	2~3	—

鐵滓石膏セメント	29~30	13~16	45~48	2~3	2~5
鐵滓石灰セメント	29~31	14~17	48~51	2~3	1~1.5
高爐セメント	26~29	12~15	50~52	1.5~2	1~2
鐵ポルトランドセメント	20~26	10~12	54~62	1.5~2	1~2
ポルトランドセメント	20~24	7~9	62~66	1.5~2	1~2

その特質を擧ぐれば次の如し。

- (1) 比重は混合セメントの性質上ポルトランドセメントより小である。
- (2) 色調は褐灰白色である。
- (3) 温度係数小である。これ $CaO \cdot SiO_2$ 及 $CaO \cdot Al_2O_3$ が $Ca(OH)_2$ の爲に重化するからと考へられてる。
- (4) 海水下水等の鹽類に對する化學抵抗大であるは §69 にのべた如くであり、茲に本セメントの特質がある。その性質は第 178 表及第 179 表の如し。

第 178 表

試料	純セメント		1:3 モルタル									
	抗張強度 (kg/cm^2)		抗張強度 (kg/cm^2)				耐壓強度 (kg/cm^2)					
	清水		海水		清水		海水		清水		海水	
	1週	4週	1週	4週	1週	4週	1週	4週	1週	4週	1週	4週
昭和二年五月品	58.8	65.4	72.8	72.3	23.7	29.8	26.9	33.6	284	422	325	419
同 七月品	61.3	71.4	81.4	82.6	30.3	35.2	32.4	33.9	393	487	416	486

第 179 表

番號	高爐セメントモルタルの強度							
	抗張力 (kg/cm^2)				耐壓力 (kg/cm^2)			
	3日	7日	28日	28日聯結	3日	7日	28日	28日聯結
1	22.7	28.4	34.6		178	261	330	366
2	24.2	27.6	33.3		193	254	326	350
3	23.7	26.2	35.0		273	376	537	566

淺野鐵滓を用いたる高爐セメントを獨逸グツトマン博士の試験せるものは第 180 表の如し。

第 180 表

配合%	粒度%	凝結	耐壓強度 kg/cm^2			
			3日	7日	28日	28日聯結
燒塊 鐵滓 石膏	4900 篩	凝結 始 終	3日	7日	28日	28日聯結
10 88 2	2.0	1.15~2.35	228	284	354	355

30	68	2	2.5	2.10~3.25	345	472	547	586
50	48	2	2.5	1.50~4.10	387	530	585	656
70	28	2	2.9	急結	249	294	385	451

§ 77 その他の水硬性セメント

本邦に産出なきが故に單に名稱を記述するに止める。

- (1) Pozzolanic slag Cement 鐵滓を珪化綿の形としたるものを粉碎し之に消化石灰を加へ石灰分を 50~60% としたものである。消化には苛性曹達を用ひ急結性を與へる。
- (2) Plaster slag Cement 鐵滓を急冷し粉碎し之に石膏を混じて造るので酸及苦土鹽に對し抵抗大なるを特質とする。
- (3) Iron portland Cement セメント燒塊 70% 以上に鐵滓 30% 以下を混じたるもので高爐セメントと普通セメントとの中間に位するものである。

第十五章 石灰、天然セメント及プaster類

§ 78 概説

石灰、石膏等は天然に産するセメントにして古くから用ひられた、沸化石灰は水硬性を有しないが粘土質石灰石を燒いたものは有效なる成分を有し多少沸化性もあるが水硬性を有する、是等の水硬性は組成分の割合及性質により定まる。

§ 79 石灰 (Lime)

石灰は石灰石を煨焼 (Calcine) して得るセメント材料である。本邦は石灰石の産出豊富でその用途も廣く石灰工業、セメント工業、製鐵工業に用ひられその種類も多く用途に應じ石灰石、白雲石、粘土質石灰石、泥灰岩、大理石共に用ひられ最も純のものは白堊 (Chalk) である。

§ 17 に述べたるが如く石灰石は 800°C 以上に於て煨焼され OCa と CO_2 とに分解しその生石灰 OCa (Quick lime) は直に水分を吸収して加水作用を受けその際熱を發し蒸氣を生じ音響を發して容積膨脹し沸化石灰又は消化石灰 (Slaked lime $Ca(OH)_2$) となる之を沸化作用と云ふ。

- (1) 原料 (Raw materials)

石灰石は CaO 56% と CO_2 44% より成るも通常マグネシアを含み ($xCO_2Ca + yCO_2CaCO_3Mg$) の形を有する、尙不純物を混するものは水硬性石灰又は天然セメントとして利用される。不純物の中で珪酸分は Al_2O_3 , Fe , CaO , MgO と結合し、珪石核又は砂粒としてまた Al_2O_3 と粘土質を作りて存じ、礬土分は SiO_2 と共に粘土分を作り、鐵分は炭酸鹽又は酸化物、硫化物の形で存し硫黄は FeS_2 又は $CaSO_4$ の形をとり、アルカリ屬は複雑なる珪酸鹽として存す。

貝殻 (Shell) は 1% 以下の CO_3Mg アルカリ及磷酸の微量を含むもので殆ど純に近き炭酸石灰である。第 181 表の如し。

第 181 表

種別	有機物	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	アルカリ	SO ₃	P ₂ O ₅	CO ₂
牡蠣貝殻%	2.32	52.14	0.25	3.36	0.08	0.17	0.35	0.16	n.d	41.61
同石灰%	—	85.49	0.31	6.29	0.42	0.33	0.80	0.66	—	0.70

(2) 煨焼 (Calcination)

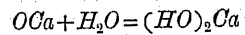
石灰石煨焼は Intermittent 又は Continuous kiln を用ひ、之に Vertical kiln (Mixed feed 及 Separate feed) 及 Ring kiln, Rotary kiln 等がある。800°C 以上で煨焼され CO_2 を發散し生石灰を生じ容積は 10~20% 増大す。白雲石は MgO 47.6% CO_2 52.4% より成り 600°C~700°C で煨焼し得られる。

(3) 生石灰 (Quick lime)

石灰石に比し比重増大する之を例示すれば原石 2.72 のものが生石灰として 3.09~3.15 となり、更に沸化すれば減じて 2.08 となり、その見掛比重は 0.960 前後となる。

(4) 沸化作用 (Slaking)

沸化作用とは生石灰に水分を加ふれば熱を發し蒸氣を生じ (Hissing) 同時に音響を發し (Decrepitate) 容積膨脹 (Swelling) し細粉となる現象を云ひ沸化石灰となる。



是等の性質の變化は第 182 表の如し。

第 182 表

成分	石灰石	生石灰	消石灰
Ca %	56.0	100	75.7
CO ₂ %	44.0	—	—
H ₂ O %	—	—	24.3
比重	2.720	3.09~3.15	2.078

容積膨脹は沸化性により異り急激に行へば 350% にも達し緩めれば 170% に止る、生石灰の純なる程消石灰の粒度細にして容積膨脹率大である。

(5) 分類

原石の組成分により生ずる石灰の性質著しく異る、第 183 表の如し。

第 183 表

石灰石	C3 強水硬性	(Blue lias lime)	水硬性石灰
	C2 中水硬性		
	C1 弱水硬性 (弱 Blue lias lime)		消石灰
	B (Grey stone lime)		消石灰
	A 高石灰質 生石灰		消石灰
	高苦土質 マグネシア石灰	
白堊	A 白色白堊 生石灰		消石灰..... } プラスターモルタル(細)
	B 灰色白堊 灰白堊石灰		消石灰 } プラスターモルタル(粗)
火山灰	燒成粘土、鐵滓		消石灰を加ふ、水硬性火山灰モルタル
	天然火山灰		

第 184 表

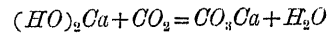
組成分	英 國 規 格		水 硬 石 灰				
	生 石 灰 Class A	生 石 灰 Class B	消 石 灰 A	消 石 灰 B	C ₁	C ₂	C ₃
CaO, MgO	95% 以上	85% 以上	95% 以上	85% 以上	60% 以上	60% 以上	60% 以上
CO ₂	10% 以下	10% 以下	5% 以下	5% 以下	10% 以下	10% 以下	10% 以下
SiO ₂ , Al ₂ O ₃	—	—	—	—	15% 以下	15~25%	25~35%
粒 度	No. 20 5% 以下	No. 20 5% 以下	No. 20 10%	No. 20 10%	No. 20 5% 以下	No. 20 5% 以下	No. 20 5% 以下
			No. 50 1% 以下	No. 50 10% 以下	No. 50 15% 以下	No. 50 15% 以下	No. 50 15% 以下
強度 1:3 モルタル							75 斤/時 ² 75 斤/時 ²

マグネシア石灰は沸化作用緩でその發熱も低く、而して可塑性も少く生ずるモルタル強度は大である。

(6) 消石灰 (Slaked lime, Hydrated lime)

生石灰の塊は粉碎して總て沸化せしめ篩 No. 50 を通過する量 80% 以上の微粉として消石灰を造る。

消石灰は空気中の炭酸瓦斯を吸収して次第に硬化し原石たる石灰石の硬度に類似するに至るものである。



石灰の硬化は此化學變化と水分の蒸發によるもので従つて表面の部は速かにその作用を受け漸次内部に及ぶ、故に表面積廣く温度高く空氣流通よき場所で厚さの薄いもの程効果大であり茲に壁材料として用ひらるゝ本領がある。消石灰には水分 10~12% を混じて用ふ。

第 185 表

種別	石灰の抗張強度 (kg/cm^2)				
	4週	8週	13週	17週	26週
マグネシア石灰	0.56	1.20	2.62	3.60	5.90
消石灰	2.16	2.57	2.76	2.82	3.57

消石灰はモルタル及セメントの混合劑若くは壁用として用ひるものとプラスターと混じて仕上用に用ふる微粉のものがあり、後者に對しては特に可塑性係數 (Plasticity figure) を考へる。是等に必要なる規格は次の如くである。

(a) 成分 CaO 及 MgO は 95% 以上のものとす。

(b) 粒度 篩 No. 30 に殘留するもの 0.5% 以下同 No. 200 に殘留するもの 1.5% 以下とする。

(c) 容積膨脹の有無 (Constancy of Volume) 試料 20 gm と標準砂 100 gm にて比較的稠度大なる可塑性モルタルを造り之を硝子板上に幅 4 吋角高 1/4 吋の均一高で縁は直立とし 18~24°C に保ち、24 時間後取出して水中に浸漬し鍍頭形が龜裂を生ずればその稠度を異にするものを更に造り試料 20 gm に水を加へて粘稠性のものを鍍頭の表面に塗り砂粒の見えぬ程度に行ひ 24 時

間放置し龜裂の有無を検す、更に沸騰する湯面上に之を支持し 5 時間繼しめ、次に之を冷却して試験體の龜裂の有無を検する。

(d) 石灰パティの稠度 (Consistency of lime putty)

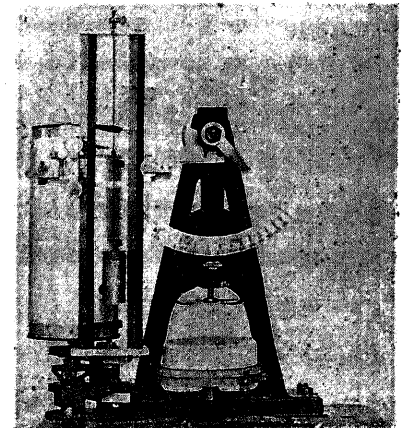
石灰に水を加へて粘稠性パティとしヴィカー針試験法に準じその針は徑 12.5 mm 重量 30 gm のアルミニウム筒とす、30 秒間に針の穿入せる深 20 mm を標準稠度とする。

(e) 可塑性係數 (Plasticity figure)

石灰 300 gm を水と混じ粘稠のものとし標準稠度 (許容差 ± 5 mm) に保ち 16~24 時間濕布で被へる後ヴィカー試験容器の内部を潤滑にして磁製板にのせたものに試料を填充し表面を平かにした後、靜に型を外し之を第 40 圖の如き Emley plasticimeter に装置し

第 40 圖

手を以て車を廻して型面が板と接觸するに至らしめ、板と底板との距離は正確に $1\frac{1}{4}$ 吋に保つ、試料を型に填充後正確に 120 後に電動機を動かし毎分毎に變形を読み、試験は (1) Scale reading が 100 に達せる場合 (2) 前の讀よりも後の讀みが減じたる場合 (3) 同讀みが一定となれる場合 (4) 試験型が破壊された場合の何れかの場合に完了するも



ので、その際の時間の讀みにより次式により可塑性係數を求めらる。

$$\text{Plasticity figure} = \sqrt{F^2 + (10T)^2}$$

F 讀み數、 T 試料を型に入れた後よりの経過時間分

(7) 石灰モルタルの用途

その特有なる可塑性 (Plasticity) と結合力とを利用して壁體の表面仕上、煉瓦積モルタル及ポートルランドセメントの添加劑等に用ひられる。

表面仕上用石灰モルタル

コンクリートその他の表面に壁體仕上として用ふ場合はその強度を補ひ龜裂を防止する爲に纖維質材料苧(Size)を混じて用ふる。

苧(スサ)は歐米は動物質が多いが本邦は植物質で海草が多い。動物質は牛毛を脱脂して細断せるもの若くは絨壇を用ふるが植物質はスサ(苧スサ)(マニラロープの細きもの)角又(黒色の海草で下地用)布海苔(淡色の海草で表面用)銀杏(角又の粒を有するもので高級品)等種類極めて多く、その配合應用もその範圍極めて大である。壁厚9~18 mm として例示すれば第186表の如く是等はまた工事の程度天候等によりても異なるものである。

第 186 表

材 料		下附	ムラ直し	中塗	上塗下附	上塗仕上
石 灰	lit	12.6	12.6	10.8	7.2	3.6
牡蠣石灰	lit	5.4	5.4	7.2	10.8	9.0
濱 苧	kg	0.41	0.41	0.41	0.38	0.30
角 又	kg	0.45	0.49	0.45	0.38	—
布 海 苔	—	—	—	—	—	0.26
砂	lit	—	36.0	18.0	—	—

漆喰塗は従来日本建築に用ひられたもので荒塗、大ムラ直し、中塗、チリ漆喰、上塗等があり、材料も一定しないが大凡の工法を擧ぐれば次の如し。

(a) 荒塗 粘土と藁スサ

(b) 中塗 粘土(漉土)、砂、藁(モミスサ)

(c) 上塗 本壁は黄色のものとして黄土、粘土、モミスサ、布海苔、スサ、藍色として群青、粘土、モミスサあり、また黄土(玉子黄土)石灰、布海苔、苧スサ等を用ふ。

一般に漆喰塗は石灰、布海苔、苧苧を用ひ、之に藁を加ふるものは特に南蠻漆喰と稱してゐる。

西洋壁と稱するは(a)キズリは下塗に用ひ苧苧、角又又は海苔、石灰(b)砂ズリは中塗に用ひ苧苧、海苔、石灰、砂(c)上塗として苧苧、海苔、石灰、砂、紙を用ふる。

牡蠣灰は石灰よりも白色味強きも弱く、千葉産のもの多し。海草苧は房州産多し、北海道産も良く、仙臺地方のものは最良と考へらる。

粘土は古來用ひられた材料で荒木田、久喜、徳庵、聚樂は古來産地として有名である。海土は乾燥極めて遅いが低廉で用ひられてゐる。

通常三州タタキと稱せらるゝは荒砂混りの粘土と石灰と混じてるものである。

消石灰は水硬性がないから此の特性を利用してコンクリート面に人造石仕上を行ひ得る。石灰にポルトランドセメント及原石の石屑を混じたるモルタルを以てコンクリート面に塗布しセメントが凝結せる後に濡りたる刷毛を用ひ表面を洗へば石灰分は直に洗去られて原石屑の空隙多き仕上面を現出し人造石仕上が出来。花崗岩仕上の場合には径 4 mm 以下の石屑と黒ダイヤを用ひて施工し得る。

更に歐米で用ひらるゝ方法を擧ぐれば次の如し。

Coarse stuff 消石灰と砂を 1:1~1.5 に配合し之に牛毛 30~50 gm/lit を加ふ。

Fine stuff 水簾せる消石灰を細粉として牛毛を混するもの。

Plaster putty 水簾せるものを篩別して微粉をとり牛毛を加へずして表面仕上に用ふ。

Gauged stuff 消石灰にプaster オブパリス 20~25% を加へ急結とするもの。

Rough Cast 外面仕上用でセメント砂のモルタルで粗面に仕上ぐるもの

Common stucco 内外面に用ひ Rough cast と同じく水硬石灰と砂と混ぜるもの。

Trowelled stucco 之は Fine stuff 2 と砂 1 の配合で下地塗に用ひ、その上はベイント塗に適す。

Bastered stucco Trowelled stucco に毛苧を加へたもの。

White wash 石灰モルタルで塗るもので色素を加へて色仕上を行ふ。

Patent plaster 各種の専賣品あり。

Seagliola (伊太利)は人造大理石で下地はプaster で上塗はプaster オ

ブパリス等で仕上ぐるもの。

Keen's Cement 煨焼せる石膏を明礬溶液(1封度/ガロン)に混じ乾燥せる後再び煨焼し粉碎して造るもの。

Parian Cement, Keatings Cement 礬砂と石膏とを共に煨焼し粉碎し礬砂溶液で沈澱し之を再び煨焼せるもの。

高價なるも強度大で且透水性小である。

Martan's Cement 重炭酸制を礬砂に代用し又は鹽酸を少しく加へたもので前の代用品である。

§ 80 水硬性石灰(Hydraulic lime, Grappier cement, Selenitic lime)

粘土質石灰石を焼いて得たる石灰珪酸を多く含有するもので同時に沸化する遊離石灰分を含んでゐる。従つて沸化作用と水硬性とが特質である。その有効成分の含有量によつて性質が異り極めて水硬性の強きものと弱きものとある。弱きものは Cementation index 0.3~0.7 で強きものは 0.70~1.10 に達する。

その強度は極めて小にして例をあぐれば第 187 表の如し。

第 187 表

セメント試験法による強度 (Scholch)

材齡(日)	抗張強度(kg/cm^2)	耐壓強度(kg/cm^2)	比
7	4.5	25.1	5.6
28	7.1	48.1	6.8
365	21.1	135.0	6.4

グラツピールセメントは水硬性石灰を沸化したる際残る塊の部分は過熱されたるが焼成不充分のものにして之を粉碎して造れるもので一部は石灰珪酸一部は不焼成石灰石である。

セレニツクライム又はスコツトセメントは石灰分に硫酸石灰の幾分を Plaster of paris の形で混じたもので弱き水硬性ありその強度は石灰より大である。

§ 81 天然セメント (Natural Cement)

水硬性石灰よりも有効成分を含有する粘土質石灰石をシンター温度迄焼成して粉碎したもので SiO_2 , R_2O_3 を 15~40% 含有し水硬性石灰よりもその割合多く

沸化作用を起さずして水硬性を有するを特質とし、古くより Cement rock として知られポートルランド發明迄は總て之を用ひた。

米國 Rosendale Cement は紐育州 Rosendale に 1837 年發見された現在 65 工場あり。年二百萬樽を超え、英國 Parker's Cement は 1796 年 Parker が London clay 中の石灰石を焼成して造り Roman Cement とも稱し Francis Co. で賣出してゐる。

本邦は明治の中紀迄セメント工業の幼稚なりし時代に於て之を製造使用したその産地は次の如くである。

佐渡	羽茂郡西三川村龜脇	Marl	
同	雜太郡鹿伏村	Clay	此兩原料を混合焼成せり
越中	射水郡宇波村	Marl	
能登	鹿島郡祖母神	Marl	
常陸	多賀郡元小豆畑 炭山	Marl	
相摸	横須賀 中里	Shale	

各地に於て地方的材料の利用工法を講ずべきものと考へたるが故に第 188 表に列記した。

第 188 表

組成分	佐渡産	能登産	越中産
CO_2Ca	44.66	59.08	59.4
CO_2Mg	0.16	5.24	1.38
SiO_2	3.26	23.60	22.50
Al_2O_3	2.08	4.88	7.36
Fe_2O_3	1.52	2.02	3.26
不溶解残渣	5.81	—	—
灼熱減量	44.22	—	—
K_2O	0.53	0.91	1.00
Na_2O		0.96	0.37

第 19 表

	抗張強度			
	1 週	2 週	3 週	4 週
能登産純	28	34	34	33
越中産純	33	25.5	31	35

その性質は A.S.T.M. 規格に就て見れば第 190 表の如し。凝結時間が小なるが特質であり強度は極めて小である。

第 190 表
天然セメント規格

粒 度	凝 結 時 間	抗張強度 (\log/cm^2)	
		純 1:3 モルタル	
No. 100 残留 10%以下	始 10分以内	24時	5.3
No. 200 残留 3%以下	終 30分~3 時間	7日	10.6
		28日	17.6
			8.80

獨逸産のものを Haegerman の試験せるものは第 191 表の如し。

第 191 表
獨逸産天然セメント組成分 (%)

比重	SiO_2	R_2O_3	CaO	SO_3	S	灼熱減
3.05以上	24.25~22.08	8.55~7.25	66.0~64.04	0.78~0.41	0.15~0	2.18~0.76
3.05~2.96	23.20~19.67	9.65~5.40	67.8~60.62	1.22~0.51	0.60~0	4.88~2.18
2.96~2.70	28.10~10.48	11.46~5.60	61.05~44.84	2.47~0.32	2.55~0	20.12~2.20
2.70以下	13.60~4.00	5.52~1.00	46.0~17.0	9.40~0.40	0.70~0	58.73~22.4 ⁸

粒度 篩 4900 目, 残留 0.8~16.2%

第 192 表
天然セメントの 1:3 モルタル強度 (\log/cm^2)

材 齢 日	A セメント		B セメント		C セメント	
	耐 壓	抗 張	耐 壓	抗 張	耐 壓	抗 張
7	254	20.6	194	16.6	190	23.0
28	321	24.6	279	26.3	282	30.6
28(聯結)	379	34.5	344	33.6	341	37.6

§ 82 マグネシアセメントその他

マグネシアは沸化して強き結合力を有するも比較的高價である。モルタルとして壁材料及マグネシア煉瓦工業に用ひらる。

原料は菱苦土石(Magnesite) で白雲石(Dolomite) も用ふる。その原石により品質を異にし煨焼すれば比重 3.0~3.07 となり、可塑性を有するも更に熱すれば 3.6~3.8 となり可塑性なく空中の炭酸を吸収し得ない。大連ドロマイトは白雲石から造らるゝものである。

苦土(MgO) と Cl_2Mg とを主成分とするマグネシアセメントは Cl_2Mg 溶液に珪藻土火砕灰の如き可溶性珪酸分多きもの及珪酸曹達を加へて乾燥し苦土を混合して造るものがある。

第 193 表
マグネシアセメントの強度

時間	煨 焼 法		苦汁量 (Be28%)	抗張強度(\log/cm^2)	
	温度 $^{\circ}C$	灼熱減%		7 日	28日
10	600 $^{\circ}$	40.0	40	15.9	12.9
			50	47.7	39.8
			80	35.8	23.8
			100	34.5	27.0
8	800 $^{\circ}$	48.0	48	64.8	74.5
			64	61.9	66.0
			82	50.9	64.7
			100	36.5	54.9
6	900 $^{\circ}$	50.5	51	69.9	70.1
			65	68.6	73.5
			81	42.0	61.7
			90	37.1	51.1
4	1,100 $^{\circ}$	50.5	29	12.6	44.4
			40	10.2	52.8
			50	6.5	36.4

マグネシア煉瓦は比重 3.0 内外のものと 3.6~3.8 の二種の苦土を 1:4~6 の比に混合して造り、安定なる苦土分が基をなし、軽い苦土分が可塑性を與ふるものである。水量 10~15% を加へ空中で乾燥した後、焼成すれば強度大なる煉瓦を得る。その組成分及性質は第 194 表の如し。

第 194 表
マグネシア煉瓦

組成分(%)	比重	温度係数		
		温 度	$1^{\circ}C$	
SiO_2	3.45	3.44	200 $^{\circ}C$	$10^{-4} \times 0.105$
Al_2O_3	1.30		400 $^{\circ}C$	$10^{-4} \times 0.137$
Fe_2O_3	7.60		600 $^{\circ}C$	$10^{-4} \times 0.140$
CaO	3.90		800 $^{\circ}C$	$10^{-4} \times 0.141$
MgO	83.00			

オキシクロライドセメント (Oxy-chloride Cement) 又はソーレルセメント (Sorel Cement) はソーレル氏が鹽化亜鉛と酸化亜鉛とを混合して造つたもので、その後鹽化マグネシアとマグネシアとの混合物も同様の作用を有する事を明にせられた $ZnCl_2$ と OZn との混合セメントは齒科に用ひらるゝもので、通常のソーレルマグネシアセメントは MgO と Be 25°~30° の $MgCl_2$ 溶液の混合物で、その比は略同等とし之に水分 100% を加ふ。 $MgCl_2$ は通常硫酸を少しく含有するが故に $BaCO_3$ 又は $Ba(OH)_2$ 6~10% を以て處理して除去して用ふ。

是等は可塑性を有し結合力大であるから床塊、研磨劑、エメリー Emery wheel に用ひ、又 MgO を混じたる人造石を造り後 $MgCl_2$ を以て濕潤せしめて Sorel^s tone を造る。

鋪装用マグネシアブロックは鋸屑を MgO と $MgCl_2$ との溶液と混じたるもので鋸屑にタールを吸収せしめたものと然らざるものとを造つた。土木試験所に於ける試験は第 195 表の如し。

マグネシアブロック	比重	靱性	硬変	吸水率/日
鋸屑に tar を混ぜるもの	2.012	4	18.0	0.71
同 混ぜざるもの	2.005	3	13.8	3.59

§ 83 プラスター類

石膏はプラスターオブパリス、セメントプラスター等を作る原石で石灰石と同様にその品質一定しない。従つて生ずるプラスターもその性質が一定しない。

プラスターは天然石膏を一部又は完全に脱水したセメント材料で、水を混じて速に凝結硬化するから成型、壁仕上、混加劑として用ひられる。

(1) 原石

通常石膏は岩塊状で産じアラバスター (Alabaster) は純白色の細粒岩で裝飾彫像等に用ひられ、Selenite は結晶質の白色殆ど透明に近いもので通常の石膏中に含まれてゐる。

ジブサイト (Gypsite, Earthy gypsim) は粒状をなし不純物を多く含有してゐる。

石膏砂 (Gypsum sand) は石膏の細粒状の堆積したものである。

硫酸石灰の水酸化物で $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ の式で示さるゝも多く不純物として、粘土、石灰石、苦土、酸化鐵等を含有す。

第 196 表

	純石膏	宮城県宮崎村産		摘 要
		(1)	(2)	
CaO	32.6	31.8	32.4	モース硬度 2
SO_3	46.5	45.6	46.3	比重 2.30~2.33
H_2O	20.9	20.1	20.4	無水物比重 2.92~2.93
R_2O_3	—	0.16		
MgO	—	0.59		

その産出は石灰石又は頁岩と交互に層状をなし、是等は硫酸石灰溶液が沈澱しその水に炭酸石灰、硫酸石灰、鹽化ナトリウムを含有せば蒸發した後に石灰石石膏食鹽等を残したものである。

(2) 煨焼及分類

煨成温度によりて結晶水脱水の程度を異にし、生ずるプラスターの性質全く異なる。

(a) 一部脱水 (Incomplete dehydration)

石膏を $100^\circ C \sim 190^\circ C$ に加熱すれば結晶水の 75% を失ふ。

プラスターオブパリス (Plaster of paris) $SO_4Ca \cdot 1/2H_2O$ は純石膏を煨成して外物を混じらないものである。加水作用は數分内に起り直に凝結硬化して原石膏となる。

セメントプラスター (Cement plaster, Hard wall plaster) は不純物を含む原料を用ふるか、又は純石膏に外物を混じつたもので凝結遅くそのペーストはより可塑性である。混するものは膠、絨毛、鋸屑等である。凝結を促進するには $NaCl$ を加ふ。

(b) 完全脱水 (Complete dehydration)

温度 $190^\circ C$ 以上に加熱して生ずるもので凝結は極めて遅く、而して強度硬度は遙かに優るものである。

フロアリングプラスター (Flooring plaster) は $400^\circ \sim 500^\circ C$ に加熱したも

ので凝結が極めて遅い。

ハードフィニッシュプラスター (Hard finish plaster) は、赤熱温度以上に加熱したもので明礬礬砂等を混じて用ふ。その内 Mack's cement は SO_4Na_2 又は SO_4K_2 を僅かに混じたもので、硬化速く強度大である。Keen's cement は煨焼石膏に明礬溶液を加へ乾燥後再煨焼したもので、§ 79 で述べたるが如し。緩結なるも硬度大で研磨し得る特性を有す。Parian cement は前の明礬の代りに礬砂の飽和溶液を用ふ。Keen's cement と同様に高價なるも緻密不透水性を有し壁體に用ひる。

Dead burnt plaster は $500^{\circ}C$ 以上で煨焼したもので凝結困難である。

通常 Stucco と稱するはプラスターオブパリスと同意義である。

(3) プラスターの性質

特質は (1) 凝結速かなる事。(2) 緻密なる面を得る事。(3) 軽量で弾性を有する事及び石灰に比して、(4) 電氣の不良導體。(5) 熱の不良導體。(6) 耐火性、耐久性を有する事等である。

その主なる性質は次の如し。

(a) 凝結時間

プラスターオブパリスは速かにして 5~15 分に始め、最初容積収縮し緻密となり後僅かに膨脹する。脱水温度及時間との關係は第 197 表の如し。

第 197 表
煨焼温度と時間との性質に及ぶ影響

温度(°C)	時間(分)	プラスター性質			
		凝結(分)		強度(kg/cm^2)	
		始	終	1日	7日
150°	5	45	60	21.4	22.0
	30	40	95	18.2	18.0
	60	45	70	37.1	33.0
200°	120	45	75	27.3	31.0
	5	27	62	34.3	33.0
	30	20	60	59.0	54.0
	60	25	45	67.0	56.0

	120	22	42	58.0	52.0
	240	15	35	78.7	91.0
250°	5	13	33	76	72
	30	10	26	92	90
	60	7	27	86	90
	120	6	13	97	101
	240	4	16	87	88
300°	5	4	18	80	101
	30	4	12	72	110
	60	2.5	$8\frac{1}{2}$	65	91
	120	2	9	46	97
	240	1.5	$4\frac{1}{2}$	50	100

(Leduc chemin)

Cement plaster は 1~2 時間、完全脱水せるものは 3~12 時以上であるが強度は遙に優る。

凝結遅滞劑は有機物質 (Saw dust, blood, glue, tankage) 及非晶無機物を用ひ、同促進劑には結晶質無機物を用ふる。

(b) 強度

セメント試験法に準じて行へる結果は第 198, 199 表の如し。

第 198 表
プラスター抗張強度 (kg/cm^2)

材齡(日)	純	1:1	1:2	1:3
1	16.1	6.15	3.87	2.47
7	27.8	22.6	14.4	10.4
28	31.5	26.0	15.0	10.2
90	30.1	26.2	18.0	11.0

第 199 表
配合

プラスター	砂		水量	7日耐壓強度(kg/cm^2)
	配合	配合		
1	—	0.56	96.0	
1	0.125	0.56	96.0	
1	0.250	0.57	95.7	
1	0.50	0.58	81.0	

1	0.75	0.60	77.2
1	1.00	0.61	66.0
1	1.25	0.62	61.8
1	1.50	0.64	59.0
1	1.75	0.65	62.2

(3) 用途

プラスターの種類によりて用途を異にする。

(a) Plaster of paris は急結性を有し工學的に可工性が少く、只その白色の爲に表面塗料に用ひる。石灰又は白色セメントを混じたものは緩結となり、可塑性を有し壁材料として用ふるも之は已に Cement plaster 又は Hard wall plaster である。

(b) Cement 又は Hard wall plaster は苧を混じて石灰と共に用ふる。一般にプラスターは白色且急結であるが、石灰程に可塑性でないから表面仕上が困難である。即石灰は砂と 1:3~4 で混合し得るもプラスターは 1:2 より貧配合のものは可工困難である。故に石灰を混じて可工性を増大した肥料小屋の如き硝酸を生ずる部分に於て石灰は $(NO_3)_2Ca$ を生じ分解するも、プラスターはその影響がない。

之で亦 Plasterboard が造られる。

(c) Hard finish plaster は緩結であるが強度大であるから同様に壁材、タイル及人造大理石を造るに用ふ。

第十六章 セメントの混和劑

§ 84 鹽基性混和劑

セメントに混合する鹽基性混和物は主として石灰である。主としてそのモルタルコンクリートの可工性を増進して施工を容易ならしむる目的で用ふる。

その混和の強度に及ぼす影響はセメントの性質により異り、珪酸分の多きものは石灰の鹽基性の爲に幾分強度増進の傾向あるも、珪酸分少きものは幾分強度低

下す。標準モルタル試験の結果は第 200 表に示すが如し。

第 200 表
石灰混合に依る 1:3 モルタル強度 (kg/cm^2)

種 別	混合割合		抗 張 強 度				耐 壓 強 度					
			4 週試験		13週試験		4 週試験		13週試験			
			セメント	石灰	標準砂	普通硬化	聯結硬化	普通硬化	聯結硬化	普通硬化	聯結硬化	
高セ 珪 酸 型	1	100	—	300	32.8	44.5	36.0	46.6	578	636	665	639
		90	10	//	33.7	41.1	38.1	42.1	571	650	686	693
2	100	—	//	33.5	41.4	37.1	39.9	558	642	680	687	
	90	10	//	33.5	42.1	39.1	40.1	559	668	691	696	
低セ 珪 酸 型	3	100	—	//	28.0	46.5	30.9	41.0	522	624	588	636
		90	10	//	26.3	38.4	27.3	37.2	511	546	557	537
4	100	—	//	28.7	48.3	32.0	43.7	538	658	543	650	
	90	10	//	27.7	44.1	30.8	40.5	530	572	541	590	

§ 85 珪酸性混和劑

古來用ひられたるものは、火山灰、珪藻土及珪酸白土等がある。商品名として Celite 等がある。

I 火山灰 (Volcanic ash)

火山灰はポートルランドセメントの如き人工焼成によらずして天然焼成より造られ、古來廣く用ひられたる材料で伊太利ナポリ附近の Pozzoli より産する Pozzolana 獨逸ライン地方の Andernach より産する Trass, 希臘の Santrin earth 等名稱を異にするも何れも火山噴出物の堆積したるもので、粗粒のものは熔岩、火山礫で可溶性珪酸を多く含有し多少水硬性を現す。

本邦に於てはその産出豊富にして九州各縣を主とし、陸奥、下野、信濃、伊豆を始め全国各地に之を産出してゐる。

その組成分は第 201 表の如し。

第 201 表

種 別	火山灰 (唐津)	同 (唐津)	同 (鳴子)	同 (津輕)	同 (稻取)	珪酸白土	珪藻土	消石灰 (土佐)	同 (青梅)
比 重	2.42	2.42	2.16	2.33	2.33	2.24	2.13	2.22	2.16

粒度	900目篩	0.9	0.3	0.15	0.20	0.39	0.04	0.15	0.15	0.40
止%	4900 "	26.25	21.5	32.75	8.0	28.75	5.25	0.75	0.25	4.40
灼熱減%		13.54	11.78	8.96	5.73	8.99	8.46	—	24.19	23.97
不溶解残渣		17.07	14.12	24.74	46.74	38.02	46.57	—	0.10	0.24
SiO ₂		27.66	30.18	60.10	40.95	40.58	42.97	67.67	—	—
Fe ₂ O ₃		16.57	16.11	2.06	0.21	4.12	0.9	3.93	0.13	0.19
Al ₂ O ₃		20.87	25.38	3.18	5.55	3.2	0.78	6.56	0.11	0.06
MnO ₂		0.47	0.38	—	—	—	—	—	—	—
CaO		1.32	0.28	0.13	0.82	1.02	0.32	0.57	74.7	74.73
MgO		1.45	1.05	0.19	0.32	0.80	0.25	—	0.59	0.92
SO ₃		0.19	0.17	0.23	—	2.48	—	—	0.33	0.21
K ₂ O		0.37	0.21	0.9	0.05	0.12	0.01	—	Cl	Cl
Na ₂ O		0.27	0.49	0.10	0.21	0.61	0.21	—	tr	tr
H ₂ O		9.17	9.4	2.04	2.08	4.58	3.10	—	1.57	2.12

火山灰は可溶性珪酸を多量含有するが故にセメントの鹽基性と化合して、有效なる強度成分を作り、尙その粉末は機械的に骨材の空隙填充材として作用し緻密なる混合物を造り、是等の作用がモルタル、コンクリートの強度を促進増大せしむるものであるがその混和量には限度がある。是等混和材の強度は第202表に示すが如し。

第 202 表

酸性白土又は火山灰混和に依る 1:3 モルタルの抗張力(kg/cm²)

種類 混和物	材齡	標準試験	混和物の割合			
			3%	5%	10%	15%
酸性白土	1週	27.1	26.4	25.7	23.7	22.2
	4週	32.2	33.5	33.9	33.4	31.6
	8週	35.5	36.1	36.4	35.3	33.7
火山灰	1週	27.1	27.7	28.1	27.8	26.3
	4週	32.2	33.0	33.1	33.0	32.7
	8週	35.2	35.5	35.7	35.9	35.8

II 珪藻土 (Diatomaceous earth)

珪藻土は珪藻 (Diatom) なる單細胞植物の遺骸が堆積したもので白、黄、灰色等色々あるが何れも極めて微細なる單細胞が獨立又は群生し、球狀、棒狀、環狀又は鎖狀をなし、各粒子は何れも粗鬆であるからダイナマイトの吸収劑、保温、

研磨劑、脱脂又は鑄型にも用ふるがその可溶性珪酸分を多く含有するから、火山灰と同様にセメントの混和材に用ひられる。

珪藻土は自身に水硬性を有しないが火山灰より可溶性珪酸が多い。その組成分は第203表の如し。

第 203 表

産地	灼熱減 (%)	珪藻土 可溶性分									
		SiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	H ₂ O
下野 藤原	6.19	84.22	—	6.08	1.64	0.72	0.36	0.34	0.59	—	—
宮城 刈田	—	—	82.69	2.74	2.56	0.25	0.17	—	0.01	0.09	—
山形中櫻田	3.88	87.43	—	3.18	1.75	0.35	0.51	—	—	—	—
	2.52	80.13	—	5.36	1.47	1.17	0.13	—	—	—	—
豊後 野上	13.52	79.60	—	0.29	2.42	0.71	0.26	—	1.59	—	—
美濃 河合	11.00	81.39	—	3.56	1.24	2.46	0.48	—	0.37	0.31	—
陸奥大深内	12.17	73.82	—	8.59	1.25	1.71	0.56	—	2.17	0.41	—
宮城 刈田	14.72	7.32	67.67	6.56	3.93	0.57	0.45	0.02	0.11	0.01	2.64
Goodwin	最小%	—	65	8	—	0.10	—	0.0	—	—	4
	規格 最大%	—	95	20	—	7.0	—	5.0	—	—	15

第 204 表

熱傳導率 Calories/sec/cm² at 90°C

空 氣	10 ⁻⁸ × 1.80	珪藻土 A	10 ⁻⁸ × 0.55
フェルト	10 ⁻⁸ × 0.40	同 B	10 ⁻⁸ × 0.32
絨 毛	10 ⁻⁸ × 0.31	同 C	10 ⁻⁸ × 0.25
マグネシア	10 ⁻⁸ × 0.47	同 D	10 ⁻⁸ × 0.50
アスベスト	10 ⁻⁸ × 1.86	同 E	10 ⁻⁸ × 0.38

珪藻土は 5~10% を混入するもので、之により火山灰の作用と同様にそのモルタル又はコンクリートは

(a) 初期の強度は混入せざるものに劣るも次第に増大し 4 週後には優るに至る。然し是等の試験は多くは現在の發達せるポルトランドセメントを以て行へる試験でないから、更に研究を要する問題で殊に可溶性珪酸の及ぼす化學作用の影響と骨材の空隙填充の物理作用との影響の相關的關係は未だ明かにされない問題である。

(b) 軽量であるから均一に混合するに困難を伴ふ。然し火山灰と同様にセメントに比し價格低廉であるから經濟的施工に當り用ひられる。

Ⅱ その他の混和物

珪酸白土、粘土、酸性白土の成分及是等の混加の影響は第 205, 206 表の如し。

第 205 表

種別	珪酸 SiO_2	礬土 Al_2O_3	酸化鐵 Fe_2O_3	石灰 CaO	苦土 MgO	アルカリ	灼熱減量
酸性白土	60.71	13.18	3.68	0.64	1.54	0.38	20.04
	66.35	15.07	2.51	1.07	0.64	1.08	12.76
	64.11	13.21	2.84	1.23	0.62	3.54	15.56
	61.41	15.13	2.84	2.09	0.91	3.09	15.74
	63.17	13.28	2.20	1.44	0.42	1.09	17.95
コロイド土	55.64	18.87	1.10	0.19	0.38	2.62	22.01
	34.70	23.86	5.08	2.26	0.86	—	33.69
	43.33	33.63	3.65	1.94	0.44	0.68	17.85
	45.58	29.54	4.78	3.01	0.75	0.95	14.69

第 206 表

珪酸白土又はコロイド土混和に依る 1:3 モルタルの強度 (kg/cm^2)

混和物種類	材齡	抗張力				耐壓力			
		標準 試験	混和物の割合			標準 試験	混和物の割合		
			5%	10%	20%		5%	10%	20%
珪酸白土	1週	28.9	29.5	29.3	28.4	383	426	367	274
	4週	29.7	34.1	32.0	31.2	470	534	463	460
	8週	31.2	36.9	33.2	32.8	542	586	528	514
	13週	35.7	36.7	35.7	38.7	590	594	596	526
コロイド土	1週	28.9	26.8	25.0	20.8	383	373	344	263
	4週	29.7	33.0	31.7	30.9	470	496	517	436
	8週	31.2	34.2	35.4	32.6	542	547	543	473
	13週	35.7	35.3	35.4	37.0	590	591	571	480