



土木工事用セメントの化學的考察 (一)

西川 榮三

土木工事と建築工事とは種々の點で其の性質が違ふが、土木工事中に於ても、道路、堰堤、其の他種々の場合に於ては夫々工事の性質を異にし、従つてこれ等工事に用ふるコンクリート……更にそのコンクリートに用ゐるセメントの性質に對しても其の要求せらるゝ所は必ずしも等しくない。

本邦に於ては、通常用のセメントに對しては、日本ポルトランド・セメント規格及高爐セメント規格なるものがあり、又早強ポルトランド・セメントに對しては新に規格を必要とする機運にあるが、之等の規格に合格するセメントの全部が必ずしも、土木工事用各種セメントとして良好なるものであるか否かは自ら別問題である、今土木工事に於て遭遇すべき二三の場合を考へ、それ等に對して果して如何なるセメントが要求せらるゝものであるかを概観してみたいと思ふ。

第一節 耐有害水セメント (特に耐硫酸鹽セメント)

本邦の如く火山脈に富み、従つて温泉、冷泉に富み、又地下湧水に膾まざるゝと共に、四周環海の状態にありて、屢硫酸鹽其の他の有害物を含有する水に浸漬せらるゝ可能性多き土地に於て、コンクリート築造物を建設するに當りては、或は隧道工事に於て、或は堰堤の工事に於て、或は海水中の工事に於て、コンクリートは、常に硫酸アルカリ、硫酸マグネシウム、硫酸カルシウム其の他種々の有害物によりて、化學的影響を受ける事が多い。既報の「セメントの化學的抵抗力について」に於て述べたるが如く現今の規格に定められたる標準試験法にて、大なる強度を有するセメントを用ふるも、かゝる状況下に於ては、セメントは必ずしも、其の強度をいつまでも持続するものに非ずして、長日月の間には、或は其の強度が著しく低下し、或は甚しき場合には崩壞に導かるゝことなしとしない。カナダ及北米合衆國中の或る地方に於ては、(例へば Medicine Lake, Saskatchewan 等)、種々の有害水存在の下に土木工事を行はざるを得ざる場合多く、幾多の失敗を重ねたる後、10 數年以前より其の對策について、土木技師、化學者、セメント製造家、等により眞剣に考究せらるゝに到り、有害水のセメント浸蝕に關する幾多の研究が繼續せられ、現今に至る迄、多くの貴重なる貢獻がなされて居る。而して最近 (1930 年以後)、過去 10 數年間の努力の結果の結晶として、耐有害水セメントを試製し、其の性状を研究して、遂に「地下水水中、及海水水中に屢存在し且つセメントに對して甚だ有害なりとせらるゝ硫酸ナトリウムに對して特に抵抗力がよく、又硫酸マグネシウムに對しても、普通のホルトランド・セメントよりも遙かに抵抗力の大なるホルトランド系セメント」の製造に成功し、之にカリクリート (Kalikreite) なる名稱を附し、Winnipeg 市に於ては既に之を下水管の製造に使用して居る。

カリクリート及有害水に對するセメント處理法の發達について、こゝに一瞥を興ふることは、本邦の如き土地柄に於ては無益の事ではないと考へられる。

(1) カナダに於けるセメントの耐久研究及耐久性増加方法發達の経路概略

1920年6月 Canada Engineering Institute の西部地方會員中の數氏の發起に依り、Winnipeg 市に於て、一つの協議會が開かれたるを以つて、こゝに該問題に對する興味は多方面に向つて喚起せらるゝこととなつた。

この協議會に於ては「アルカリ性土壌中のコンクリート基礎、地下導管等の崩壞について、其の原因を探索し、其の對策を考究すべく、完全なる研究計畫を樹立すべきこと」が提議せられた。W. G. 及 B. S. McKenzie 兩氏はこの計畫の樹立について多大の努力を以つて當り、セメント製造家、セメント使用者兩方面より、技術家、化學者等を集め、該問題について討議を行つた。その討議に参加せるものは、ホルトランド・セメント協會の重要人物たる Duff Abrams 氏、Freeman, E. Ashton 氏、米國標準局の G. M. Williams 氏、Winnipeg 市の化學技師 Archibald Blachie、カナダセメント會社の A. A. Young, H. S. Van Scoyoc, 及 A. G. Fleming 等である。

この討議の結果として、西部地方に於ける重要な築造物中の或るものは、土壌中の硫酸アルカリ及セメント中の成分の相互作用により崩壞せられたるものにして、この事實は、同地方の技術家全部に取つて、甚だ重大なる問題であることが明かとなつた爲、アルカリ作用に抵抗し、この重大なる困難に打勝たんが爲に其の根本的研究を目的として完全なる組織を形成すべく、Institute に對して提議すべきことが決議せられた。

ついで同年初秋 Institute は、上記の提議を容れ、完全なる組織を形成し、委員を設け、委員に對して研究を委任する

こととなつた。委員會は、Saskatchewan 大學の Dean, C. J. Mackenzie を委員長として研究を開始することとなつたが、この研究に對しては、カナダ研究會は最も力強き援助を與へ、且つ研究費として 10 萬弗を提供した。其の他 Canadian Pacific Railway, Winnipeg 市, Saskatchewan, Alberta, Manitoba 諸州及カナダ、セメント會社等もこの研究遂行に對して協力援助を與ふるに至つた。

この研究は Saskatchewan 大學に於て行はるゝこととなり、G. M. Williams は、かつて米國標準局に於て野外試験の指揮者としての經驗あるを以つて、本研究に關する野外試験を指導することとなつた。而して本問題の最重要部分は、化學的研究にあるとの考察より、T. Thorvaldsen 氏が、化學的方面の研究を引き受けることとなつた。

(2) 野 外 試 験

野外試験は Deakin (Manitoba 州, Winnipeg 市附近)、Granflora 湖 (Saskatoon 附近)、及 Cassils (Albata 州, Calgary 附近等) のアルカリ性つよき土地或は水中に供試體を埋設して行つた。やゝ後れて Antelope Creek (Albertas) に於ても野外試験を行つた。

これ等の供試體は、諸種の配合よりなるコンクリートを包含し、セメントとしては種々なるものを用ひ、この中には Duff Abrams の監督の下に、ポルトランド・セメント協會にて作製せる供試體をも含み、又アルミナ・セメント・コンクリートをも含んで居る。これ等の供試體については、一定の村齡毎に試験を行ひ、其の成績については、Engineering Institute の雜誌上に發表せられて居る。

野外試験の成績に依れば、配合 1:2 は、セメント量多き程化學的抵抗性つよく、耐久性が大である。セメント混合劑

及防水塗膜については、多くのものは、或は却つて有害であつたり、又無害ではあるが無効力であつたりしたが、煮亞麻仁油の塗膜中には、約10年間保護の目的を達したのもあつた。然しながら一般的には、これ等のものに對しては、未だ充分の信頼をおくには疑問の點が多い様である。

(3) 實驗室に於ける研究

A. G. Fleming のカナダセメント會社に於ては、純セメント及1:2より1:4に至る種々の配合の砂入セメントを以つて、同様の試験を行つた。又種々重要な化合物についても試験を行つたが、其の結果は未だ充分でなかつた。然しながら、1922~1923に亘り Exshaw に於て行ひたる試験の結果、沈降性硫酸 H_2SiO_3 ……白色膠質の粉末……は、之を多量に使用すれば、モルタルの崩壊を防護する性狀あることが認められた。即ちセメントのみによる1:3モルタルは10% Na_2SO_4 溶液中に於て數週の中に崩壊するも、膠質硫酸 $10\sim 50\%$ (セメントに對する重量%)を混じたるものは、6ヶ月迄強度の増進することが認められた。この事柄は、同様の實驗を施行中の T. Thorvaldson に傳へられ、Thorvaldson は其の指導の下に多くの實驗を行ひ、其の結果を Canadian Journal of Research に發表して居るが、沈降性膠質硫酸は、實用的にはあまり高價にすぐる弊があつた。

硫酸ナトリウム或は硫酸マグネシウム溶液中の通常耐久性試験に於ては、各種のセメント間に、其の耐久性に相異なることが認められ、 SiO_2 に富むセメントは、之等の溶液に對しては、比較的抵抗性の大なることが分つた。

(4) T. Thorvaldson の促進膨脹試験

コンクリート或はモルタル中のセメントの耐久性を試験するに、供試體をアルカリ性土壤中或は、其の溶液中に浸漬す

ことは、甚だ長日月を要するので、比較試験上不便が多い。T. Thorvaldson は、この缺點を除去する爲に、セメント量少きモルタル供試體をつくり、之を硫酸アルカリ、硫酸マグネシウム或は硫酸カルシウム等の溶液に浸漬し、其の線膨脹を測定して試験日數の短縮を企圖し、セメントの耐久性の比較を容易にした。

(5) アルミ酸カルシウムに對する硫酸マグネシウム及硫酸ナトリウムの作用

1925年に至り G. R. Shelton (Industrial and Eng. Chem, Dec 1925)は諸種のアルミ酸カルシウム ($3CaO, Al_2O_3, 5CaO, 3Al_2O_3, CaO, Al_2O_3, 3CaO, 5Al_2O_3$ 等) 及其の水和生成物について、 Na_2SO_4 及 $MgSO_4$ 溶液の作用を顯微鏡的に比較研究し、其の結果を報告して居る(本誌セメントの化學的抵抗力に就て参照) 硫酸鹽含有水のセメントに及ぼす影響中最も重大なるは、アルミ酸カルシウムのうくる作用であるから、この研究は大いに意義あるものとしなければならぬ。即ち $3CaO, 5Al_2O_3, CaO, Al_2O_3$ 及 $5CaO, 3Al_2O_3$ の3種のアルミ酸カルシウムは其の水和生成物として $3CaO, Al_2O_3, xH_2O$ 及無定形 Al_2O_3 とを生じ、この中の無定形アルミチ (Al_2O_3) は、硬化セメントの中に介在して、其の外果よりうくる悪作用を緩和するものであるが、これ等のアルミ酸カルシウムはポルトランド・セメント中には存在しないものとせられて居る。ポルトランド・セメント中に存在するものと考へらる、 $3CaO, Al_2O_3$ の水和生成物としては Al_2O_3 を生ぜず、單に $3CaO, Al_2O_3, xH_2O$ のみが生ずる。

然しながら、すべてのアルミ酸カルシウムは硫酸鹽存在の下にスルフォアルミ酸カルシウム (一名セメント・バチルス) の結晶を生ずることは共通で、セメント・バチルス生成に際しては、結晶水として多量の水を取り、大なる容積の膨脹を起し、崩壞の原因を形成するものであるが、Ashton の研究によれば、 Na_2SO_4 の各濃度の溶液及 $MgSO_4$ の 0.1 mol 以下

(1~2%以下)の溶液によれば、すべてのアルミ酸カルシュームはセメント・バチルスを生成するものであり、 0.1 mol^1 以上の MgSO_4 は、 $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ を生ずる。

上記の事實は、アルミニウム・セメントと、ポルトランド・セメントとの硫酸鹽含有水に對する作用の相異を説明すると共に、 Na_2SO_4 と MgSO_4 とは殊しくセメントに有害なる硫酸鹽なるも、其の作用に於ては稍異なる所のあることが認められる。Dean Mackenzie の指導の下に行はれた。野外試験の結果は 1927 年に發表せられて居るが、12 種のアルミニウム・セメントコンクリート中唯 2 個のみが良好であつた。この二個はセメント量多く、Deakin に於て試験せられたもので、Deakin に於ける有害物は主として Na_2SO_4 であつた。

(6) ポルトランド・セメントの蒸氣處理

1928 年 T. Thorvaldson 及 Dalton Miller は Concrete の蒸氣處理法 (Engineering J. March 1928 p 174) について廣范なる實驗を行ひたる結果、沸騰點以上に於て、コンクリート或はモルタルの蒸氣處理を行ふ時は、其の硫酸ナトリウム溶液に對する抵抗力を増大し、硫酸マグネシュームに對する抵抗力をも幾分改善し得べき事を認めた。而して、沸騰點以下、例へば 50°C に於て之を行ふ時は、却りて抵抗力を減ずる。即蒸氣處理法は、高温に於ける高壓蒸氣 (飽和) を用ゐ、時間を相當に費したる場合に有効にして、コンクリート管、コンクリートパイプ、その他コンクリート製品に對しては應用しうべき方法である。1932 年に至り Winnipeg 市に於ては、遂にこの方法を實際に應用し、コンクリート管を高壓蒸氣中に數日間養生して、其の化學的抵抗力を増大したる後、之を下水管として用ふるに至つた。

この蒸氣處理の効果の原因について Thorvaldson は尙研究を行ひ、化學的抵抗力に關して最も重大なる影響を及ぼすア

ルミ酸カルシウムの水和作用を調べ、 3CaO 、 Al_2O_3 を室温に於て水和せるもの、 150°C に於て水和せるものを比較せるに、其の水和生成物はいづれも、 3CaO 、 Al_2O_3 、 $6\text{H}_2\text{O}$ にして同一化学組成及構造を有するも、其の物理的性状を見るに、室温に於けるものは膠質状態にあるに反し、 150°C に於けるものは結晶状をなして居る點が相異して居るので、兩者の化學的抵抗性の差異は、この物理的性状の相異より來るものとして居る。

(7) 珪酸カルシウムの硫酸鹽に對する抵抗性

T. Thorvalsson の膨脹試験によりて、硫酸ナトリウム、硫酸マグネシウム、硫酸カルシウムの珪酸カルシウム (3CaO 、 SiO_2 、 2CaO 、 SiO_2) 對する作用を比較するに、珪酸 2 カルシウム (β - 2CaO 、 SiO_2) は殆ど何等の影響を受けて居ない。珪酸 3 カルシウム (3CaO 、 SiO_2) は硫酸マグネシウム (MgSO_4) 溶液に對しては抵抗性が少いが、其の水和物は 2CaO 、 SiO_2 、 $2\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生ずる。

(8) 耐硫酸鹽セメントの發達

上記の如き経路を辿つて、硫酸鹽溶液の硬化ポルトランドセメントに及ぼす影響の本質、原因、程度等が次第に明瞭となるに従つて、耐硫酸鹽溶液セメントの製造に對する方策が暗示せらるゝに至つたが、セメント製造者にとつて最も困難とせらるゝ所は、之を如何にして技術的に製造するか又製造費を如何にして低廉ならしむるかにあつた。

周知の如くポルトランドセメントの最主要成分は 3CaO 、 SiO_2 、 2CaO 、 SiO_2 、 3CaO 、 Al_2O_3 であるが、この中 3CaO 、 SiO_2 はセメントに對し初期並に長期強度を與へるもので、硫酸ナトリウムによりては殆ど作用せられないし、又硫酸マグネシウムに對しても比較的抵抗しうる。而して現今のセメント中には 3CaO 、 SiO_2 35~70% が含有せられて居る。 2CaO 、

SiO₂ は、水和作用をせけれども、長期に至つて強度を發揮する。而して硫酸鹽によりては作用せられない。結局上記の二者は、耐硫酸鹽セメント中の成分として存在しうるものである。

然るにアルミ酸 3 カルシウム 3 CaO, Al₂O₃ は、水和作用急激にして、セメントの初期強度に寄與する所多きも、硫酸鹽により最作用せられやすく、セメントのバチルスを形成し、膨脹、崩壊等の主要原因をなすものである。故に 3 CaO, Al₂O₃ をセメントより除去することを得ば、硫酸鹽に對する抵抗性を高めうべきことは想像に難くないが、この事は、セメントの原料として、粘土(粘土は SiO₂ 及 Al₂O₃ 兩者を含有する)を用ゐる以上、行はれ難い事である。而して粘土の代りに珪酸質の原料を用ゐる時は、其の燒成は事實上頗る困難にして、ことに珪酸質の砂を用ゐる時は、セメント原料混合物の燒成不完全に陥り、到底、豫期する燒成を行ひ難く、商品として充分なるセメントを得ることが出来ない。而してかゝる製品を以つてしては、充分なる強度を有するコンクリートをつくることは望み得ない所である。

アルミ酸カルシウムを單にポルトランド・セメント中より全然除去することの困難なるは上述の如くであるが、之を酸化鐵を以つて置換せんとする方法は、即ち鐵セメントである。鐵セメントは其の凝結、硬化おそく、又強度低く、之れ又よき解決法となし難い。

ポルトランド・セメントの三主成分は上記の如くであるが、其の後の 4 CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ なる成分がすべてのポルトランド・セメント中に必ず存在するものなることが確認せらるゝに至り、セメント中の Al₂O₃ を 3 CaO, Al₂O₃ の形とせず 4 CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ として形成せしめ、其の中に Al₂O₃ 及 Fe₂O₃ を共に含むも、3 CaO, Al₂O₃ の悪作用を除去しうべしとの豫想をいだくに至り、カナダ・セメント會社に於ては、白堊質石灰岩を原料とし、適當量の鐵を混合し、

セメント焼成爐の溫度を適當に調節し、セメント中の Al_2O_3 を出來うるだけ $4CaO$, Al_2O_3 , Fe_2O_3 と形として有するホルトランド・セメントを製造せんと企てるに至つた。

1930年3月に至り、Flemming は、目的とする製品を試製し、Saskatchewan 大學に送り、其のセメントの耐久試験を行つてもらつた。この試験の結果は、該セメントは、 $MgSO_4$ 及 Na_2SO_4 の溶液に對して甚だ抵抗力大なることが認められたので、次いで1931年6月再び同様なるセメントを試製し、折しも、ヨーロッパより歸來せる T. Thorsvaldson と語り、試験を行つた所、通常セメントに比し遙かに耐久性の大なることがあつた。

上記の試験の結果、この新セメントは Kalierete と名づけられ、其の耐久性の大なるを知られたため、1931~1932の交、Saskatchewan 大學の認むる所となり、遂に Saskatoon 市の下水管製造の原料として使用せらるゝに至つた。

1931年6月以後、同年11月、及1932年更に、高珪酸にして低礬土の頁岩を原料として Kalierete の製造が行はれた。

1930~1931に製造せられたる Kalierete について 1:5 標準砂モルタルによる耐久性試験を綜合すれば大體に於て普通セメントに比し、 Na_2SO_4 に對しては格段の耐久性を有し、殆ど全く膨脹を示さず、 $MgSO_4$ に對しても膨脹の程度は遙かに低いものである。

第二節 Kalierete の性質

(1) Kalierete の化學的成分

Kalierete 發達の經路を見ると、全く其の化學的成分を人為的に調節し、 $3CaO$, Al_2O_3 の量を極端に減じ、之に代ふる

に 4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 を以つたもので、果して如何なる成分を有するものなりやは根本的重要事項である。Flaming の報する所に依れば次の如くである。

第一表 Kaliorrete の化学的成份比較

成 分	Kaliorrete				普通ポルトランド	
	1930年3月	1931年6月	1931年11月	1932年7月	No.12	No.1
不溶解残渣	.....	.....	0.19	0.31	0.20	0.12
遊離石灰— CaO}	.....	.....	0.10	0.10	0.10	.....
灼 減	1.22	0.94	0.95	0.76	1.06	1.12
MgO	3.10	2.56	2.43	2.03	2.36	3.10
3CaO , Al_2O_3	4.90	7.97	3.98	3.24	12.48	12.46
4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3	11.60	13.09	13.01	12.95	6.13	7.87
3CaO , SiO_2	44.97	42.57	50.66	42.39	42.78	52.02
2CaO , SiO_2	31.00	30.51	27.07	35.98	31.65	19.59
CaSO_4	2.94	2.12	1.88	2.17	2.85	3.28
メリヤソ氏砂糖石灰溶液法崩壊係数	1.76	.....	1.68	1.50	6.46	5.30

即 Kaliorrete 中の 3CaO , Al_2O_3 は 3~5% ; 4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 は 11~13% にして之に比し通常ポルトランド・セメントは 3CaO , Al_2O_3 , 12% 前後、 4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 は 6~8% である。メリヤソ氏砂糖石灰溶液法による崩壊係數(本誌……セメントの化学的抵抗性について参照)を比較するも其の間に格段の差がある。

(2) Kaliorrete の一般的物理性質

Kaliorete の強度其の他の物理性を見るに次の如し。

第二表 Kaliorete の物理的性質の比較

性 質	Kaliorete				通常ホルトランド	
	1930	1931—6	1931—11	1932	No. 12	No. 1
粒度 200 番篩通過 %	84	85	93.5	92.2	82	84.8
凝結	始凝	4.05	2.40	2.17	2.50	2.45
	終凝	7.0	5.05	4.50	5.35	4.45
安定度 5% 蒸氣	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
抗張強度 1 : 3	3 日	184	225	209	.....	228
	7 "	248	318	275	382	314
	28 "	393	448	408	440	464
	3 月	.....	.....	466	462	467
	6 月	.....	.....	457	469	432
	耐壓強度 1 : 3	.....	.....	.....	.....	.....
3 日	1237	1076	1311	972	1082	1907
7 "	1550	1876	2508	3053	1700	2393
28 "	2870	3550	4080	5379	2705	3353
6 月	.....	.....	4512	6300	3367	4300

粒度、凝結時間、安定度等は通常ホルトランド・セメントと大差がない、強度は、表中の通常ホルトランド・セメント、

同様の程度にあるが、通常ホルトランド・セメントとしては耐壓強度大なるものもあるから、Kalierete は、強度に於て誇ることとは出来ないが、規格には外れない。

(3) Kalierete の化學的抵抗性

Kalierete は、其の硫酸鹽抵抗性を大ならしむるを目的として造られたものである。T. Thorvaldson の耐久性試験即セメント量少きモルタル(1:5モルタル)を用い、セメント各粒子に對して、溶液が充分作用しうる様な状態の供試體を作り、之を Na_2SO_4 , MgSO_4 等の濃溶液 (0.15 M 溶液) に浸漬し、其の膨脹を測定比較したるものを見るに第三表の如し。

即 0.15 モルの濃度を有する Na_2SO_4 溶液中に於て、通常のホルトランド・セメントは、10~42 日にして 1.0% の膨脹を起すに Kalierete は 357 日に至るも膨脹は 0.034% に過ぎず、其の差異は其の桁を異にし、これを實際的に考ふれば、Kalierete にありては殆ど膨脹せざるものと考へてよろしい。

MgSO_4 溶液 (0.15 モル) 中には、 Na_2SO_4 溶液中程好成績ではないが、通常のホルトランド・セメントが 9~33 日にして 1.0% の膨脹を起すに對し、Kalierete は 357 日を要するもので、其間に格段の差がある。

第三表 硫酸鹽溶液中 Kalierete 耐久性比較

下 Thorvaldson の膨脹試験		一定の膨脹を起すに要する浸漬日數	
0.15 モル溶液中にての線膨脹 %	ホルトランド No. 127	ホルトランド No. 326	Kalierete
0.15 M- Na_2SO_4			

0.01 %	1	4	3	91
0.02	3	6	6	147
0.05	5	7	10	
0.10	6.5	8	14	357 日に L/C
0.20	7.5	9	20	0.034 % の
0.50	9	11	30	膨脹
1.00	10.7	13	42	
0.15 M-MgSO ₄				
0.01 %	1	2	1	
0.02	1	3.5	3	
0.05	3	5.5	7	
0.10	4	7	9	49
0.20	5	9	12	56
0.50	6.5	11	18	87
1.00	9.5	14	33	357

尚 Kalicrete の溶液中の強度を見るに第四表の如くである。

第四表 硫酸鹽溶液中に於ける Kalicrete の強度

1 : 3 モルタル、2'×2'×2' の供試體、材齡 1 年

溶 液	Kalicrete l / in ³	1930 年 3 月 kg/cm ²	Kalicrete lb / in ²	1931 年 6 月 kg/cm ²
清 水	5125	361	6347	447

其の強度に於ても 5% 硫酸溶液中に於て殆ど清水中と變化がない。(通常ポルトランドセメントに於ては、崩壊するものと想像せられる)。

尚セメントの耐久性試験法として Thaddaus Merriman 氏の崩壊係数を以つて比較する方法がある。即ち磨石灰溶液による溶解度の比較によるものであるが、本試験によるも Kalicrete は係数甚低く、抵抗性の大なることを示して居る。CaCl₂ を混合せる場合の 0.5 M, MgSO₄ 中の抗張強度 (1 : 5 モルタル)

0.5 モル MgSO₄ 溶液中の抗張強度及 2% の CaCl₂ を混合したる場合の同液中抗張強度は第五表に示す如くである。

第五表 0.5 M—MgSO₄ 溶液中抗張強度 1 : 5 モルタル

0.5 M MgSO ₄ 中の材齢	Kalicrete		通常ポルトランド	
	Kalicrete kg/cm ²	2% CaCl ₂ を 混じたるもの kg/cm ²	Portland kg/cm ²	2% CaCl ₂ を 混じたるもの kg/cm ²
浸漬の初めに 於ける強度	15.8	14.1	19.2	19.1
2 過後	17.7	12.1	15.6	11.0
4 "	17.5	18.6	7.6	8.1
6 "	13.4	11.7	6.8	7.6
8 "	12.9	8.6	7.3	5.3
12 "	14.2	5.8	崩壊	5.0
16 "	13.8	5.6	同上	4.3
29 "	13.5	5.4	同上	.....

0.5M. $MgSO_4$ 溶液中に於て通常ホルトランドセメントのモルタルは急激に強度低下し、甚しきは 12 週にして崩壊するに反し、Kaliarete は 29 週に達するも幾分強度の低下を見るも、猶相當の耐力を有する。鹽化カルシウム $CaCl_2$ を混じたるものはかへつて成績がわるい。

第三節 耐有害水セメント要約

セメント、モルタル、コンクリートに對する有害成分として最も普通に遭遇する所のものは、上記の硫酸鹽である。之れに對して蒸氣處理法の發見、Kaliarete の發明は一道の光明を投げかけるものとして、其の發見、發明に至るまでの不斷の努力を多しなればならない。Kaliarete に對する上記の成績は製造家たる Flemming の記載せる所に依るものにして、其の發明後日尙淺きを以つて其の實績の微すべきものは未だ見がたきも、其の理論とする所及實驗室に於ける證明より見て、果して Flemming の記載の如きものならば、Kaliarete の耐久性の大なることは想像に難くないものと思はれる。本邦に於て硫酸鹽分にとめる河水中に浸漬する構造物、海水中に於ける製造物等のコンクリート作業に當り、かくの如きセメントを使用することを得ば、其の耐久性について遙かに意を安することが出来やうと思ふ。今日のセメントが單に清水中に於ける強度のみを目標としてつくらるもの多きに鑑み、一面其の耐久性についても考慮を拂はれたならば、土木工専用材料としてのセメントに一段の進歩を見るであらう。

尙耐有害水セメントとしては、耐鹽のみならず、耐酸セメントの如きも亦今後研究を要する所のもので、清水中強度に於て殆ど其の最高の値に近ける今日のセメントは更に方面を變へて、諸種の外界よりの化學作用に抗する様其の進路を開拓せらるべきものの様に考へられる。