

土木建築 工事基本知識講座

昭和2年 第4編の2

高級セメントの短期高強度に就て

東京帝國大學助教授 永井彰一郎

所謂高級ポルトランドセメントと言ふものは何んなものであるか、何んな種類があるか、種々な新しいセメントが輸入せられ、又内地でも製造せらるゝに至つて、工事関係者が其名稱種別にすらマゴツク有様である。専門的な立場から永井氏に御願ひして三月號から平易に解説してあるものである。工事関係者の基本常識として必讀の要あるものである。(編者)

礬土セメント短期高強度…の續き

尙礬土セメントは此の凝結の際に於けるセメント成分と水との間に起る化學反應は發熱反應にて著しく發熱するものなり。諸種の礬土セメントに就て試験したる結果に依れば、水と混捏後5—6時間にして攝氏70—80度の上昇を來し、甚だしきものは常溫攝氏20度にて水と混捏して五時間にして實に攝氏113度に上昇したるものあり。斯くの如く礬土セメントの凝結が著しき發熱を伴ふことは、又礬土セメントに依るコンクリート施工上極めて重要な點なり。即ち嚴寒の候に於ても此の礬土セメントコンクリートの施工後數時間にして著しき發熱を伴ふため、コンクリートが凍結の恐れなく、其の發熱狀態の儘にて凝結をなし、次いで硬化を遂げ前述の如く短期にて高強度を發生するものにして、或る實例に依れば

攝氏零下實に20度の露天に於て何等の凍結を起さずしてコンクリート施工をなし、施工後二日を経ずしてトラック其の他重荷車の運行を許可し得たる道路工事ありたり

こいふに至りては、實にコンクリート道路工事は嚴冬の候も尙通行禁止の制札を用るすして、何等の故障なく連續施工作業をなし得らるるに至るべし。

高級ポルトランドセメントの短期高強度

前述の礬土セメントが佛國に於て成立したるに對し、高級ポルトランドセメントが獨逸及び獨國に於て發達したることはセメント界の好對照なり。而も更に興味あるは、從來のポルトランドセメントとは全く其の類を異にしたる礬土セメントが、天才國なる佛國人に依りて發明せられしに對し、高級ポルトランドセメントが、刻苦勉勵を以て科學を築き上げたる獨逸人種に依りて、普通のポルトランドセメントの一大改良品として守り立てられたる所を見れば、更に更に興味の深きものあり。

高級ポルトランドセメントは、スペシャルセメントともいひ、或はシューパーセメント高級セメントとも稱せらる。茲にいふ高級セメントとは狹義にいふものにて、ポルトランドセメント系の高級メント或は獨逸系の高級

セメントにして、廣義にいふ高級セメントは前記の佛國系高級セメントなる礮土セメントと、獨逸系高級セメントなる高級ボルトランドセメントを初めとして、總べての高級セメントを總稱するものなり。

現今高級セメントなる言は世間既に混同して使用せられ、高級セメント即ち礮土セメントのみを考へ、今回設立せられんことを淺野超高級セメントを礮土セメントと誤解するものすらあるは、前記の高級セメントが廣義の高級セメントと狹義の高級セメントとの混同に依るものなるを以て、吾人は是等の混同を避けて、高級セメントは高級なるセメントの總稱として廣義に使用し、狹義のものは面倒にてもやはり高級ボルトランドセメントとして用ゐらる。

高級ボルトランドセメントは、1912年獨逸國鐵道橋梁建築技師スピンドル氏が、市販セメントが其の品質著しく上下あるに拘らず同一價値のものにせらるるをイ都合さし、種々の研究の結果、1913年漸く特別に高強度を發するセメントの製造に成功して、最初瑞西、次いで獨逸にて製造に着手せられたるも、歐洲大戰のため充分廣まるに至らざりしが、歐洲大戰の終熄後より1923年頃にかけて、獨逸にて漸く此の説が盛になり、丁度セメント百年祭舉行の1924年獨逸のゲーラー教授の講演が一大烽火となり、一年ならずして獨逸セメント會社の此の高級ボルトランドセメントの製造を開始するもの相次ぎ、1925年、1926年には其の工場數二十餘となり、

獨逸の全セメント産額の二割五分以上三割はこの高級ボルトランドセメントの製造額にして、實に世界的工業上の大變動にて

獨逸に於けるセメントに關する雜誌には、高級ボルトランドセメントの研究を、將又試験結果を發表するものを以て滿つる盛況を呈したり。

此の大變動は海を越え英、米國の大セメン

ト製造會社は勿論、世界各國に其の波動を及ぼし來り、此の革命は本邦セメント界にも一昨年來大刺激を與へ、今や本邦セメント業者は愈々運命の膺を固めて此の革命の波濤を乗り切るか、又は現狀に甘んずるかとの二途の中其の一を選ばざるべからざる破目に遭遇せるものにして、

今後數年間に將に起らんとする大變動は本邦セメント界空前絶後のものたらんと思惟せらる

高級ボルトランドセメントの製造にスピンドルの採用したる主要點は、原料の嚴選、原料配合上の絶對的均齊、燒成爐に於ける高温燒成の努力と、燒塊の極微粉碎等多數の改良を加へたるものにして、是等の諸條件の満足には現在のセメント工場設備を以てしては或る條件は或る程度迄は満足し得べきも、他の或る條件は殆ど満足し難きものあり。例へば燒成温度の上昇は燒成爐の耐火材料及び燃料等の點より、現在の回轉爐を以てしては現在より攝氏30—50度の上昇は殆ど絶對に不可能なり。又原料調合の絶對的均齊は現在の乾式法に於ては極めて困難にして、米國及び獨逸にても近年盛になれる濕式法に於て、絶對均齊と極微粉碎とを兼ね行ふを得策さす。更に燒塊の粉碎に依るセメントの粉末度を上昇せしむることに於ても、現在の粉碎機に於ては幾多の不備なる點を有して、極微粉碎を要求する高級ボルトランドセメントの經濟的製造には適當ならず、斯くの如き現在セメント工場に對しては高級ボルトランドセメントの製造が一大改造を要求するところは經濟的大恐慌といはざる可らず。

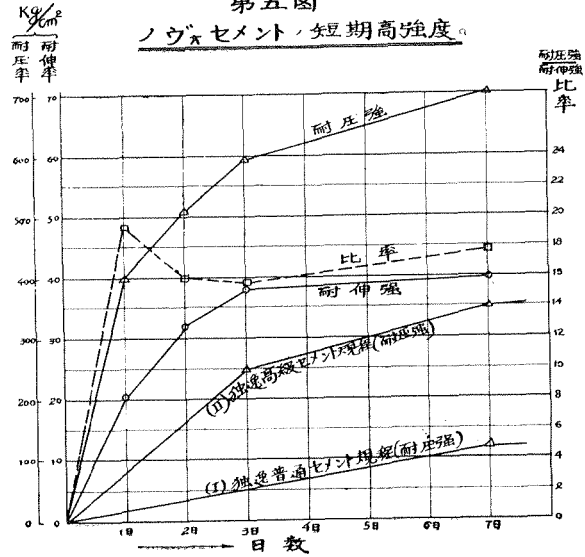
高級ボルトランドセメントの研究には獨逸のセメント研究學者及び技術者の擧つて研究試験を行ひつつあるものにして、1924—1925年頃のもの尚幾分礮土セメントに及ばざるものありしも、日進月歩の長足の進歩に依り1926年中の諸種の研究報告に依れば、殆ど礮土セメントと其の強度は相伯仲するものあり

り。更に今後數年間の進歩こそ誠に世の活目して俟ちつつあるものなり。

高級ボルトランドセメントの化學成分は普通のボルトランドセメントに比して大差なく、唯僅かに石灰分多く即ち水硬率稍大なるのみなり。然らば其の高強度を發生せしむる主原因如何につき探究するに、原料配合の絶對均齊燒成度の上昇等に起因するセメント中の化合物の組成の差異、及びセメントの極微粉碎等が主なる原因をなし、殊に高級ボルトランドセメントの短期高強度はセメント中の主要成分なる珪酸石灰鹽(カルシウムシリケート)中の諸種の石灰鹽(ダイカルシウムシリケート及びトリカルシウムシリケート等)の割合及び粉末度の大なる點等は最も主要なるものの如し。

高級ボルトランドセメントの短期高強度は、尙礬土セメントの夫れに比しては稍遜色あり、即ち第一圖の礬土セメントモルタルの成形後時 24 間以内に著しく高強度を發生するが如きものには及ばざるも、成形後一週間

第五圖
ノゾセメント、短期高強度



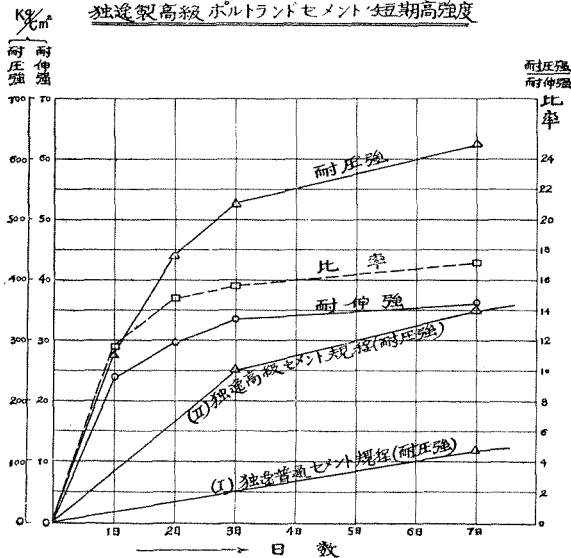
以内の高強度發生狀態に就て比較する場合には、第二圖礬土セメントと第四圖以下の高級ボルトランドセメントの夫れを比較して大差なく、寧ろ第五圖のノゾセメントの如きは一層優良なるものなり。

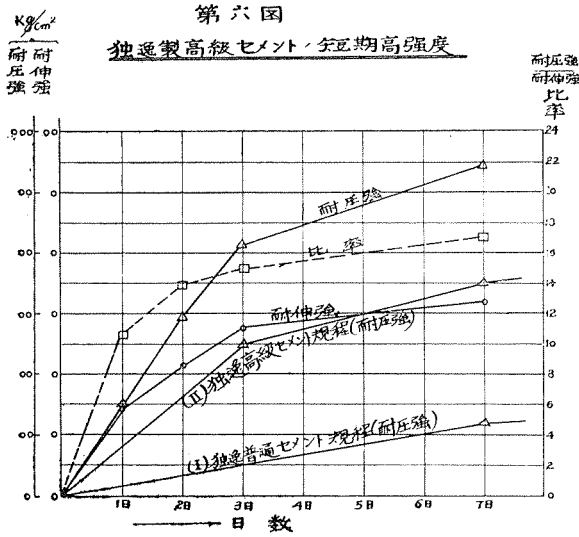
第四、第五、第六圖は獨逸製高級ボルトランドセメントの類例にして、是等の圖表中には獨逸の普通セメント規程中の耐壓強度及び獨逸高級セメント現程中の耐壓強度をも表示して、如何に優秀なる短期高強度を發揮せるかを示したり。

高級ボルトランドセメントは短期に於て高強度を發揮するのみならず、其の強度の増加が比較的長く持續するところは礬土セメントよりも優秀なる性質にして、結局長期試験に於ては礬土セメントを凌駕するものあることは既に第一表、第二表及び第三圖を以て指示したる所なり。

又高級ボルトランドセメントの短期高強度は、諸種の重要な條件を何れも満足したる結果に於て初めて得らるるものにして、何れの一つをも缺くべからざるは勿論なれども、化學的組成

第四圖
獨逸製高級ボルトランドセメント、短期高強度





品は4,900メツシュ筋の残渣は實に3-5%に及び、この粉末度に於ては獨逸高級ポルトランドセメント以上にも至らんとしつあり

然れどもセメントの強度は粉末度のみによるものにあらずして、他の重要な條件の閑却に依りては到底達し得るものにあらずして、今や粉末度以外に重要な改良條件の尙殘されたるものあるは、本邦普通セメントが粉末度に於ては獨逸高級ポルトランドセメントには及べるも、尙強度に於て遠く及ばざるものある事實が最も有力に此の間の事情を物語るものといはざるべからず。

粉末度を更に上昇して4,900メツシュ筋の残渣を2%、1%或は1%以下にすときは如何に考ふるに、

耐伸強度はこの粉末度の上昇に依りて餘り増大せず、然るに耐壓強度は粉末度の上昇に平行して増大し、殊に短期高強度發揮を認め得るが如し

然れども此の平行は或る極限を有するものの如く、恐らくは残渣が1%又は0.5%位をこまりこなすものの如し。然れども斯くの如く粉末度を高めて迄強度の増加を計るや否やに就ては大なる疑問ありを信ず。如何にすれば本邦の如き濕氣多き國土に於て、又近年麻袋入りセメントの使用次第に盛なるに於て、斯かる極微粉末のセメントはそれだけ不安定にして、空氣中の水分、炭酸瓦斯に依る自然風化を受ける速度大なるを以て、製造直後に於ては著しく短期高強度なる極微粉碎セメントも、貯藏幾らもなくして自然風化のために使用に際しては著しく強度の減殺せらるるものなり。

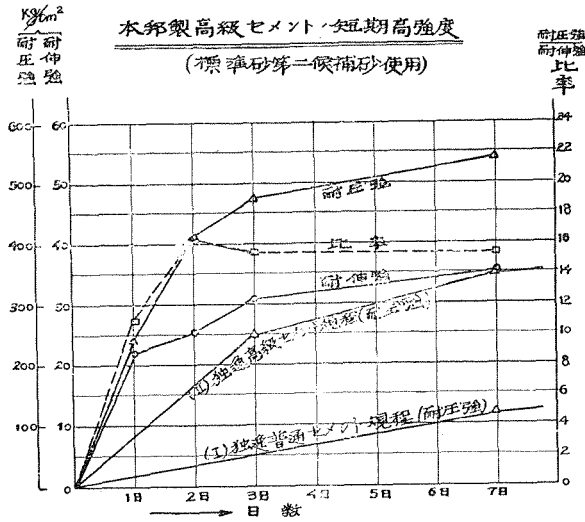
故にセメントの粉末度は適當の程度(恐らくは3-5%残渣)に止めて、他の諸

及び極粉砕は最も重要な要素なるここは一般に認めらるる所なり。化學的組成に就ては他日に譲り、粉末度の大なるを要する點に就て少しく述べん。普通セメントに於ては其の粉末度は近來著しく高められたれども、尙1平方糎に4,900メツシュ筋にて篩別殘渣が約10-15%なり。本邦ポルトランドセメント規格改正案は17%なり、然るに此の殘渣を更に少くし、即ち粉末度を高むる時は強度は夫れに比例して増大す、殊に耐壓強度に於て最も效果大なり。故に現今の獨逸高級ポルトランドセメントは、多くは4,900メツシュ筋に依る殘渣3-5%又は10,000メツシュ筋にて漸く10-15%殘渣の如き極めて微細なるものなり。

本邦に於けるポルトランドセメントも近年著しく其の強度を高めたり。其の主原因は多々あれども、殊に粉末度の上昇は最も主要なるものにして、

現行規格は900メツシュ筋にて3%以内の殘渣なれども、一般の製品は殆ど900メツシュ筋にては0.1%以内の殘渣にて改良案にて4,900メツシュ筋にて17%以内の殘渣と規定せられんとするも、現在に於ては更に粉末度高く2.3の會社の製

第七圖



條件を満足せしめて、高級ボルトランドセメントの製造を計ることに付て、今や我が帝都の復興途上にあるに際して目下の急務中の急務たるべし

著者は昭和元年十二月二十六日宮内省内匠寮工務課長の御問ひ合せに依り、恐れ多くも大正天皇の神饌りまします多摩陵の御造營に關し、昭和元年十二月より昭和二年一月の嚴寒の候、急速を要する御大事の玄宮御造營用コンクリートのセメントは、高級セメントなるを要する旨申し上げたるごころ、淺野セメント株式會社川崎支店工場に其の製造御下命あり、著者に其の製造監督、セメントの試験、及びコンクリート施工に就ての注意等に關する御依頼ありたり。

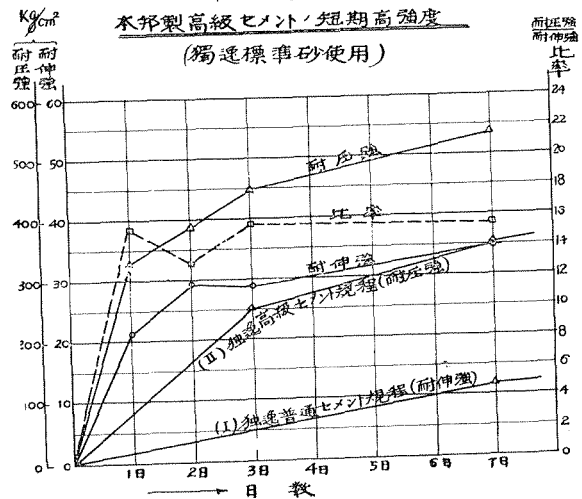
現今の本邦セメント工場の設備は何れも普通のボルトランドセメント製造を目的とするものなるを以て、本質的に同一の高級ボルトランドセメントの製造に適せざるは何人も知悉する所なり。然るに前記の如き御陵用セメントの製造に當り、工場設備全般の改造等は到底望み得べきものにあらざるを以て、現在設備の儘にて出來得るだけ短

期高強度セメントの製出に向つて努力したるものなり。

淺野セメント川崎支店の第一工場は歐洲大戰直前の輸入にかかる獨逸式設備にして、青梅石炭ミ、大船粘土ミに依る、原石焼成法に依る乾式焼成に依るものなり。此第一工場に於て前に述べたる高級ボルトランドセメント製造に緊要なる數個の條件に關して出來得る最善の努力を拂ひ、即ち原料配合の絶對的均齊、原料粉碎の完全、回轉爐に於ける焼成温度を出來るだけ上げ、且つ焼成時間を充分にして、クリンカー(燒塊)の燒成度を出來るだけ充分にし、最後にセメントの粉末度は極度に高め、所謂極微セメントとなしたり。右の如き諸條件に就ての努力の結果多くの條件は半ば高級ボルトランドセメント製造條件を満足せしめ最後の粉碎に於ては寧ろ高級ボルトランドセメント以上に達せしめて、他の諸條件の不足を補ひたり。

斯くの如くして淺野セメント川崎支店に於て謹製せられたる今回のセメントは、現在の普通ボルトランドセメント製造設備を以てせられたる特製セメントにして、其の強度試験

第八圖



結果に於ては、獨逸の高級ポルトランドセメントの 1925 年乃至 1926 年初めの製品を比較して殆ど遜色なきものたることは、第七圖及び第八圖に示したるが如し。故に超高級セメント或は準高級セメントと稱するも可なり。

前記の如く焼成温度の上昇に努力したる結果、原料配合に於て石灰分を幾分増加することを得て、水硬率は約 2,16 の極めて成分均齊なる製品となり。獨逸の高級ポルトランドセメントの多くのものの水硬率に迄及び得たり。又粉末度に於ては極度に高めて嚴寒中の短期高強度發揮を計りたるを以て、粉末度は 4,900 メッシュ篩にて篩別殘渣は 1.0% 以下に及び 0.6—0.7% に達せしめたり。

此の高級ポルトランドセメントを嚴正なるに試験掛けたるに極めて優秀なる結果を得、殊に強度試験に於ては本邦ポルトランドセメント試験規程に依り、モルタル試験の使用砂は現行標準砂、標準砂第二候補砂及び獨逸標準砂を用ひて平行試験をなしたる結果の内、短期試験は第七圖及び第八圖に示せる如し。殊に獨逸標準砂を使用したる結果(第八圖)は直ちに第四、第五、第六圖の獨逸の高級ポルトランドセメントの試験結果を直接比較し得て全く遜色なき製品なるを一目瞭然たらしめ得たり。長期試験結果は他日に譲る。

第七圖及び第八圖に於て(I)及び(II)の線は第一圖以下に於けるものと同様にして、獨逸普通セメント規格の耐壓強度及び高級セメント規定の耐壓強度を擧げて、今回の御陵用の特製セメントが如何に優秀なるものなるかを示したるものなり。因みに近く制定せられんことを、本邦ポルトランドセメント試験規定の改正案に於て、使用せんことを標準砂、即ち現在は標準砂第二候補砂と稱せらるるものは、獨逸標準砂と殆ど相等しきものなり。故に第七圖と第八圖とは殆ど同様の結果を與ふるなり。故に第七圖にも獨逸試験規定に依る(I)及び(II)線を入れたるものにして、本邦規定には未だ耐壓強度の一週間の強度指示

なきは甚だ遺憾とする所にして、近年の如く短期強度試験を高唱する場合に於て、殊に高級セメントの如く、短期高強度セメントの次第に發達普及せらるるに於ては日も早く是が制定を必要とするものなり。

第七圖及び第八圖を第四圖第五圖及び第六圖と比較する時は、耐壓強度及び耐伸強の各々がよく近似せるのみならず、耐壓強と耐伸強との比率に於ても殆ど等しく、16—17 の指數を示せることに依りても、高級セメントたることに何等の遜色なし。因に此の耐壓強と耐伸強との比率は使用砂に依りて異なるも、茲には獨逸標準砂及び本邦標準砂第二候補砂に就て論ずれば、礮土セメントに於ては 18—20 にして、普通ポルトランドセメントに於ては約 10—11 にして、高級セメント及びフリヂチットの如き混合セメントに於ては約 9—10 なり。更に最も興味あるは獨逸高級ポルトランドセメントに於て、此の耐壓強と耐伸強との比率は成形後二日迄は 10 以内二—三日にて 10 を確實に越え、七日以後は 15—16 なりといふ、是を前記第四、第六圖及び第七、第八圖に於て見るに、何れも成形後一日にして 10 を越え、二日にして既に 13—14、三日以後は何れも 15—17 を保持し居るものにして此の點に於ても今回の特製セメントは獨逸高級ポルトランドセメントと同等の高級セメントたるを失はず。

高級セメントに依るコンクリート施工上の諸點

セメントをコンクリートに使用するに、水を以て砂、砂利と混合せられたるセメントの凝結と、次いで起る硬化とは別種のものにして、高級セメントの如き短期高強度セメントに就ては、世人往々急に固るを以て施工上著しく困難ならん、或は最も迅速に施工せざるべからざるものならんと思惟せるも、之は全く急結性と、急硬性とを誤れるものにして高級セメントは何れも緩結性にして、而も急

硬性なるものなり。即ち最初の凝結は普通セメントと毫も變る所なく、たゞ硬化のみ急硬性なるものなり。礬土セメントは充分緩結性にして、高級ポルトランドセメントに於ては石膏の添加量に依りて適宜に緩結性を與へられたるものなり。唯粉末度の高きため幾分凝結を早むるも是は石膏添加量にて加減し得るものなり。

次に高級セメントは凝結及び硬化に於て發熱を伴ふものなり。殊に礬土セメントに於ては既に述べたる如く、攝氏 70—80 度迄も上昇する位のものなり。又粉末度高きがため急硬性なるがため、一時に發熱してコンクリート身體の温度の著しく上るこゝ多し。今回特製の高級セメントに於ても製造後極めて短き間に使用せられたるを以て、自然風化したるもの殆ど皆無にして、又粉末度高き急硬セメントなりしを以て、玄宮御造營工事中の一月の彼の近年稀なる嚴寒中に於て、大氣溫攝氏零下 5—6 度或は華氏 20—22 度の際に於てすら、施工せられたるコンクリートの温度は著しく發熱して、施工後 4—5 日間は華氏 70—80 度を保ち、最高温度は實に華氏 91 度餘となりたり。

斯くの如き發熱を伴ふを以て高級セメントに依るコンクリート施工直後は、筵を以て掩ひ、水を注ぎて、完全に濕潤状態に保ち硬化を完全ならしむべきなり

(35 頁より續く)

究の結果異形鐵筋は丸鋼に比し混凝土との附着強度著しく大なるため。經濟的なるを確めたり特に床版及桁等大なる剪斷應力を受くる部分に於ては鐵筋量及混凝土量共に節約するこゝを得て、單價高き異形鐵筋の方却て經濟的なるを以て之れを使用するこゝせり。之れが納入は請負會社に對し通知より二十日以内に五十噸乃至百二十噸宛

高級セメントに依るコンクリート施工は前記の如く、多くは相當の發熱を伴ひて凝結及び急速硬化をなすを以て、嚴寒の候と雖も凍凝の恐れ全くなく、而も急速に假枠を取り除き得るの強度に達し、従つて工事の進捗極めて迅速なるを以て、高級セメントの價格が普通セメントに比して約 30—35% 高なりとするも、工事竣工の迅速又は冬季嚴寒中と雖も何等施工に不便又は中止を要せざるを思へばセメントの價格の僅かなる高價は結局工事の大局より見れば何等の不利無きのみならず、寧ろ極めて有利なるものなり。目下獨逸に於ける高級ポルトランドセメントの價格は、普通セメントに對し約 25% 高にして、佛國礬土セメントは普通セメントの約 2—2.5 倍なりといふ。是れ獨逸に於ける高級セメントの産額及び需要額が全セメント額の約 35—40% を占め、將來愈々盛大ならんこゝし、礬土セメントを凌駕して、今や高級ポルトランドセメントは全世界のセメント界の麒麟兒たる所以なり。(東京帝國大學工學部廣川化學教室)

(昭和二年三月稿)

を現場に運搬し、右岸洪水敷に設けたる建坪六十三坪の倉庫内に設計符號に準じ規則正しく區別し指定の枠内に納入せしめたり而して一回に付き各異なる直徑のもの二ケの供試片を切取り、指定の試験所に托して強度彎曲及び伸長率の試験をなし之れに合格したるものを檢收したり。之れが使用に際し其の處置及保管の方法は「セメント」と同様となりたり。(完)