

論 說 報 告

土木學會誌 第十二卷第五號 大正十五年十月

Portland Cement Paste の凝結並に流動性に就て

准員 吉 田 彌 七

On the Consistency and Induration of Portland Cement Paste.

By Yashichi Yoshida, Assoc. Member.

内 容 梗 概

本實驗論文はポートルランド・セメント・ペーストの凝結並に流動性に關する研究にして、併せて混凝土の其等の性質の推論及びポートルランド・セメント試験規程の一部の修正の提案に及べるものなり。

ポートルランド・セメント混凝土の主要性質はその強度と凝結並に流動性となり。元來混凝土は粗粒混凝土材とモルタルより成り、モルタルは細粒混凝土材とセメント・ペーストより成るものなり。果して然らば混凝土の性質はセメント・ペーストの性質の或函数なりと稱するを得。

本文はセメント・ペーストの凝結並に流動性を究めたるものにして、一つは以つて混凝土の凝結並に流動性を推論し、他は以つて現行のセメント試験方法中の不備の點を指摘しその修正を提案せるものなり。

Synopsis.

This experimental paper is the investigations on the consistency and induration of Portland cement paste; and also the conclusion of those properties of concrete, and the proposal for partial corrections of Standard Specification and Tests for Portland Cement.

目 次

緒 論	2
第一編 Cement Paste の凝結	4
第一章 概 説	4
第二章 實驗の方法及び結果	6
第一節 セメント・ペーストの凝結に及ぼす湿度及び使用水量の影響	6
第二節 セメント・ペーストの凝結に及ぼす湿度の影響	10

第三節	セメント・ペーストの凝結に及ぼす時間の影響	18
第三章	約説	20
第二編	Cement Paste の流動性	21
第一章	概説	21
第二章	實驗の方法及び結果	22
第一節	セメント・ペーストの流動性に及ぼす使用水量の影響	22
第二節	セメント・ペーストの流動性に及ぼす温度の影響	23
第三章	約説	27
第三編	Cement Paste の捏直しがその凝結時間並に流動性に及ぼす影響	28
第一章	概説	28
第二章	實驗の方法及び結果	28
第一節	セメント・ペーストの捏直しがその凝結時間に及ぼす影響	28
第二節	セメント・ペーストの捏直しがその流動性に及ぼす影響	30
第三章	約説	32
結	論	34

緒 論

土木建築工事に普通使用せらるゝ混凝土は粗粒混凝材とその空隙より多量なるモルタルより成り、そのモルタルは細粒混凝材とその空隙より多量なるセメント・ペーストより成るものなり。果して然らば混凝土の性質は或程度までセメント・モルタルの性質によりて支配さるゝものと考えらるを得。此問題に關しては米國・Illinois 大學教授 Arthur N. Talbot 氏及び Frank E. Riehart 氏が精密なる實驗を完結され同大學工科實驗室紀要第一三七號の「The Strength of Concrete, its Relation to the Cement, Aggregates, and Water」なる論文にその結果を發表されたり。之に由れば混凝土の強度はモルタル内の空隙（水隙及び空氣空隙との和）の或函數にして所謂 Cement—Space Ratio に殆んど正比例する事を知るべし。此 Cement—Space Ratio とは混凝土内のセメントの絶對容積をそれと絶對空隙との和にて除したるものゝ謂にして、取りもなほさず混凝土内に於けるセメント・ペーストの濃さを示すものなり。故に Talbot 教授の説は混凝土の強度はセメント・モルタル中のペーストの濃度によりて支配さるゝの謂なり。又同國 Chicago の Lewis Institute の Duff A. Abrams 教授は同研究所紀要第一號の「Design of Concrete Mixtures」に於て混凝土の強度は普通の施工の状態の場合なれば同一條件の許にありては混和水量によりて支配さるゝものなる事を確めたり。即ち強度は使用水量とセメントの容積比即ち水、セメント比の函數なる事を知れり。最

後に我九大教授吉田徳次郎博士は土木學會誌第十卷第四號の「ポルトランド・セメント糊状態の研究」なる論文に於て“大體に於て混凝土の強度がセメント・ペーストの強度によるものと考ふることは今日の程度に於ては左程不都合ならざるは多くの實驗の示せる所なり”と述べられたり。以上は凡ての場合に適用し得べき理論とは思考せざるも之より推論する時は混凝土の強度のみならず他の性質もセメント・ペーストの性質如何によりて支配さるゝと考ふるも左程不都合に非ざるべし。之著者がセメント・ペーストの凝結並に流動性を研究して以つて混凝土の其性質を推論せんとする所以なり。

元來或溶液より溶質が結晶體として得らるゝものは大なる彌散力を有し、反之して普通に無定形として知らるゝものは小なる彌散力を有する事は T. Graham 氏によりて發見せられたる事實にして彼は前者を Crystalloid (結晶質) 後者を Colloid (膠質) と名付けたり。而して此膠質の溶液は結晶質の溶液と著しく差異あるものにして之を Sol 即ち膠質溶液と呼べり。元來此結晶質の溶液 (普通眞の溶液と稱す)、膠質溶液 (懸濁質と乳濁質の別あり) 及び懸濁液或は乳濁液と稱するは溶媒中に溶解せる溶質の粒子の大きさによりて區別せらるゝものにして、粒子の大き 1μ より小なるものは眞の溶液、 $0.1\mu \sim 1\mu$ のものは膠質溶液、 0.1μ 以上の粒子のものは固體なると液體なるとにより夫々懸濁液或は乳濁液と稱す。但し μ は $1/1,000$ m.m., $\mu\mu$ は $1/1,000,000$ m.m. なりとす。

溶液は大體に於て上述の如く分類することを得。而して夫々特別なる性質を有するものなり。故にある溶液が存在する場合にはそれが何れに屬するかを知り然る後その性質の研究をなすべきなり。

ポルトランド・セメントは之を Tyler の標準篩にて篩分くる時はその約 80~90% が 200 番の篩を通經す。而して 200 番篩の孔眼は 0.074 m.m. なり。故に之より小なる粒度のものも含有され居るも大體に於て 200 番程度の粒度のものと想像することを得。然る時は此セメントに水を加へて捏混せるセメント・ペーストは、その最初に於ては懸濁液と考ふる事を得。而して水化作用の進行と共に各粒子の表面の部分は膠質の溶液となり之が變化して他の物質となるものゝ如し。故にセメント・ペーストにありては各分子が均等に配布せらるゝ事なく各粒子ごとに分離し、たゞ其相互の接觸面に於てのみ融合し其他は水隙及び空氣空隙にて充さるゝが如き結果となる。かくの如くセメント・ペーストは其質不均等にして、其作り方、時間の關係等により尙變化を受くるものなり。故に實驗によりて其性質を知るは困難なる事にして之によりて得たる結論は凡てのペーストに適用し得ざるは明なる事なり。

故に著者は出來得る限りの注意の許にセメント・ペーストの凝結及び流動性が溫度、使用水量、溫度、時間、捏直しによりて如何に支配さるゝか、又其變化の様態如何を研究し、一つは以つて混凝土の其等の性質を推論し他は以つてセメント試験規程の不備の點即ち標準稠度と

温度の関係、凝結時間と温度の関係に就て多少の修正の要なきやを提案せるものなり。

本文は熊本高等工業學校土木工學教室混凝土實驗室に於て實驗せる報告にして著者の混凝土に關する研究の一部なり。此實驗は大正十三年十月一日より同十四年六月二十一日までの間に於て施行せるものゝ一部にして助手辻次夫君、淺井省吾君並に白木源藏君の勞による所甚だ多し。尙本實驗に着手せし當時は未だ吉田徳次郎博士のセメント・ペーストの研究なる論文は發表され居らざりしも其後之に貢ふ所甚だ大なり。著者は此處に感謝の意を表す。

第一編 Cement Paste の凝結

第一章 概 説

1 概 要

混凝土工事の際その凝結及び硬化は工事進行上緊要なる問題なり。元來混凝土はセメントを結合材として成立せるものなれば、その凝結時間は略々セメント自身のそれに隨ふものと見て差支へなかるべし。勿論混凝土及びモルタルは凝結材を含む故、セメントが凝結に際して出す熱量は一部そのために吸収さるゝにより、その凝結作用はセメント・ペースト自身の場合より遅るゝは明なる事なり（但し若し凝結材がセメントが凝結する際の温度より高温の場合には上記の結果と相反す）。此點に關しては九大教授吉田徳次郎博士の Studies on Cooling of Fresh Concrete in Freezing Weather, (Bulletin No. 123, University of Illinois, Engineering Experiment Station, 1921, P. 23~25) 中の實驗、或は Rise of Temperature in Setting (Hool and Johnson: Concrete Engineers' Handbook P. 259~261) に就て参照されたし。

ポルトランド・セメントの凝結及び硬化は主としてセメント中の 3 成分即ち $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 及び $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ の水化に基因するものと考へらる。セメントに水を加ふれば第一 $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ が急激に凝結を始め硬化を來す。次に $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ が凝結をなし $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ の作用は最も遅るゝものなり。セメントの初結は疑もなく $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ の水化に基因し若齡のセメント・ペーストの硬度並に強度は $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ の水化に因ること大にして、長期間に亘る強度の増進は前二者の水化の繼續と $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ の水化に因るものと考へらる。即ちセメントの凝結はその各成分の水化にあるものなれば、セメントの凝結を研究するには先づその水化の支配條件を摘出し而る後之等に就て試験せざるべからず。然らばその支配條件は如何と言ふに

第一に擧ぐべきは、その水化を起すために加ふる水にしてその量の如何はその凝結の如何に大影響を及ぼすものなり。化學的に計算すればセメントが充分水化するためには理論的に論ずる時は水、セメント重量比は 0.08 内外たるべく、尙且色々の條件を考へに入れても同

0.10 以下にて足るべし。故に之以上水を加ふる時はそのために熱量が奪はるゝのみならずセメントが分解して乳皮 (Laitance) を生ずるの故を以つて勢力の損失を來し、延ては凝結時間の遅延を來すものと思考せらる。大氣中の空氣の濕度も亦凝結時間に關係するものなり。故に本實驗にありては實驗設備の都合上溫度を一定に即ち標準溫度に保ち、尙全く乾燥状態と飽和状態の濕度の各條件の許にて水、セメント重量比を變じて凝結時間と水、セメント比の間に如何なる關係あるかを調べたり。

第二は溫度にして、セメントの水化作用の進行に重大なる關係を有するものなり。故に水、セメント比を一定にし大氣の溫度を變じ凝結時間と大氣の溫度との間に如何なる關係あるかを檢せり。此場合本實驗の性質として、乾燥状態は水分の蒸發を來せば水、セメント比を一定に保つこと困難なると、實驗上の困難のため飽和状態の濕度の場合に就て實驗を施工せり。

第三にセメント・ペーストの凝結又は硬度は時間と共に變ずるものなり。即ち凝結作用が時間と共に如何に變ずるか換言すれば凝結の進行状態は如何と言ふ問題に就て研究せるものなり。此第三の問題に關しては理學士内田黍郎氏の ヴィーカー氏の装置を用ひてポートルランド・セメントの凝結時間の測定 (仙臺高等工業學校紀要, 研究第二冊, 大正十三年三月 P. 145~146) なる論文をも参照されたし。

以上の實驗の中 Series I と稱するは飽和状態の許の實驗にして Series II は乾燥状態の許の實驗なり。

本實驗は Vicat の稠度計を使用し截面 1 平方釐長さ 4.5 釐の金屬の標準針を使用しその透入度によりて決定するものにして、凝結時間の終りに近づけば約 10 分間毎に針の透入を測定しその前後測定之差が實際上認められざるに至りたる時を以つてその凝結の終りとせり。尙供試體の透入度はその位置によりて異れば本實驗に於ては正確を期するためその中央附近に於て測定をなせり。

2 材 料

本實驗に於ては全部淺野セメント株式會社門司支店の製品を使用したり。實驗記號は A₂ にして會社より直送せるものにして、大正十三年十月一日に開口し同十四年七月二十日まで實驗に使用したり。數量は 2 樽にして、之を均等に混合し然る後金屬製罐中に貯藏し出來得る限りその性質の變化を避けたり。かくの如く空氣と殆んど絶縁して貯藏する時はその性質は 10 箇月間位は殆んど變化を受けざる事は Duff A. Abrams 教授の Effect of Storage of Cement (Bulletin No. 6 Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, June 1920), 東京帝國大學工科大學紀要第六冊第一號に報告されたる廣井勇博士のセメントの風化に對する論文並に茂庭忠次郎博士のセメントの貯藏法に就て (土木學會誌第三卷第一號) 等の文獻によりて推論し得るも尙萬全を期するため著者は 2 回のセメント試験

を施行せり。即ち第一回試験は本實驗に着手する以前に施行せるものにして、第二回試験は本實驗終了後に行へるものなり。その結果より見るも實驗結果の修正を行ふの要なきものゝ如し。次にその結果を示さん。

第 一 表

試験項目	第一回 (實驗着手直前) 大正十三年十月二日乃至同十一月十五日	第二回 (實驗終了直後) 大正十四年六月十六日乃至同七月二十日
比重	3.0879 (at 23°C)	3.0888 (at 23°C)
粉末の程度	# 65 に止りたるもの	0.24
	# 65 を通過し # 100 に止りたるもの	1.36
	# 100 " # 200 "	10.84
	# 200 " 網 "	87.40
合計	99.84	行はず
凝 結	初 結	1 ^時 40分 (at 23°C)
	終 結	5 ^時 15分 (at 23°C)
膨張性龜裂	異状なし	2 ^時 0分 (at 21°C)
強 度	耐伸強 1 週間後 (1:3 モルタル)	22.20 kg/cm ² (at 15°C)
	" " "	27.70 " (at 13°C)
	耐壓強 " "	174.53 " (at 8°C)
		23.80 kg/cm ² (at 21°C)
	26.15 " (at 24°C)	
	行はず	異状なし

以上の試験に於て粉末の程度は Tyler's Standard Sieves を用ひ Ro-Tap Testing Sieve Shaker にて 15 分間篩へり。上表中の温度は試験中の平均温度を示すものにして、之に關する修正は行はざりき。本試験は大體に於て商工省のセメント試験規程に隨ひたり。但し粉末の程度及び耐壓強度試験は亞米利加材料試験協會の標準規程によれり。水は熊本高等工業學校水道の清水を使用せり。

3 實 験 期 日

本實驗は大正十三年十二月一日より同十四年三月十五日までの間に於て主として熊本高等工業學校土木教室混凝土實驗室に於て施行せるものなり。

第二章 實 験 の 方 法 及 び 結 果

第一節 セメント・ペーストの凝結に及ぼす湿度及び使用水量の影響

4 概 要

セメント・ペーストの凝結を測定するに當り空中の湿度の影響も相當に吟味するの要あり、故に本節に於ては最大湿度と乾燥状態とに分ちて實驗を行へり。

湿度とは空氣が含有する水蒸氣の多少を言ふ。湿度にも絶対湿度、關係湿度等の別あるが本論に於ては都合上關係湿度に依ることゝせり。關係湿度とは現在含有され居る水分とその温度に於ける飽和状態にある水分即ち最大氣張力の時の湿度との比を通例百分率にて表した

るものなり。此關係濕度（以下單に濕度と稱す）は1日中には日出の際最大にして午後早く即ち一時頃最小となる、即ち九州地方には大略年平均午前五時頃の 90 内外が最大にして、午後一時頃の 60 内外が最小なり。1 年内の濕度は氣温が降下し始めた場合又は冬期に於て最大にして春期氣温の上昇し始めた際又は夏期に於て最小なり、即ち九月の 80 内外が最大にして二月の 70 内外が最小なり。

セメント・ペーストの凝結と濕度との間に如何なる關係の存するかを知るに當り、豫めセメント・ペーストの如き複雑なる化學作用の伴はざる供試體を取り之に關して濕度の影響を簡單に確めたり、即ち常溫乾燥器と最大氣張力の濕度を保つ常溫蒸氣室とを用意し、此中に直徑 10 糎高さ 6.5 糎の金屬性底附圓筒に石英砂 700 瓦を入れたるものを各 2 個宛用意し一方の二つは乾燥器に、他の二つは蒸氣室に入れ充分注意して 50°C（別に意味を有せず）の常溫に保ちその砂の溫度の上昇の模様を検したり。その結果は第二表に示すが如し。

實驗記號 經過時間	蒸 氣 室		乾 燥 室	
	A	B	C	D
0 ^時 00分	19.4	19.4	19.4	19.4
0 30	43.0	41.0	36.0	33.0
1 00	48.0	48.0	42.3	38.6
2 00	48.8	49.2	47.8	46.2

注意 蒸氣室の砂は表面 1 糎位濕氣を帯びたり。溫度の測定は $\frac{1}{5}^{\circ}\text{C}$ 讀みの寒暖計を用ひ砂中に挿入し 2 分間の後その示讀を取れり。

此結果より論ずる時は濕度大なるもの程熱の傳導良好なりと推斷するを得、乾燥器を使用せる場合の濕度は非常に低きものにして本實驗に於て之を假に乾燥状態と稱す。

本實驗は飽和状態と乾燥状態の兩極濕度に於て施行し、セメント・ペーストの凝結時間と使用水量との關係を求めたれば其他の濕度状態に於ては大略上述の理論に基き推定するを得べし。

5 試 験 設 備

本實驗に於てはポルトランド・セメント標準試驗用の器具を使用せり。Vicat の稠度計は 2 個を使用せり。其他瓦斯常溫乾燥器及び蒸氣室を使用せり。寒暖計は攝氏 $\frac{1}{5}$ 度讀みを用ひたり。セメント・ペーストを入れるべき型は漏水を防ぐため徑 8 糎高さ 5.5 糎の薄鐵板製の底附圓筒罐を利用せり。本實驗は上述の如く冬期に行ひたるものなれば室内溫度を略一定に保つためストーブを用ひたり。實驗室内は實驗の種類に應じ乾燥状態に或は常に撒水して濕潤の状態に保てり。

6 實 験 の 方 法

(イ) 飽和状態の濕度に於ける實驗 實驗室に注意して略 18°~21°C の標準溫度に保

ち常に撒水して湿度は可成的飽和状態に保てり、而してストーブの直射を避けて常温蒸気室を安置しその室内を常温 20°C に保てり。

供試體は全部同上實驗室内にて製作するものとす。水、セメントの重量比が 0.10~0.35 まではセメント 400 瓦を秤量し之を鐵皿に移し 20°C の水を所要の量だけ注ぎ第二編 21 に説明する一定の標準の許に捏混し之を型に入れその深さを 40 耗に均すものとす。0.35 以上の水量となれば供試體表面の浮水多量となれば先づ容積變化の試験の結果より推定して、型に注入後の出來上りペーストの深さが 40 耗になるが如くセメントを秤量し、之をピーカーに移し所要の水量を加へて充分攪拌捏混し然る後型に注入す。かくして製作せる供試體を蒸氣室に入れその凝結を検す、而して凝結は初結、終結及びその進行状態を調べたり。此處に注意すべきは標準針の示讀を取るには針は極めて靜かに供試體の中央附近に下しその透入度安定したる後にすることなり。

(ロ) 乾燥状態に於ける實驗 (イ) と異なるは湿度の條件のみなれば、室内を出来る限り乾燥状態に保つため水分を遠ざけ供試體は乾燥器内に安置せり。此場合供試體の水分は乾燥状態の故を以つて自由に蒸發するものとす。

7 實驗の結果

(イ), (ロ) 即ち Series I 及び II の場合共にセメント・ペーストの終結時間と水、セメント重量比との間の關係は Fig. 1 に示すが如く略拋物線曲線にて表すことを得。

今 t ; 終結時間 (時)

x ; 水、セメント重量比

A, B 及び C ; 常數

とすれば $t = A + Bx + Cx^2$ (1)

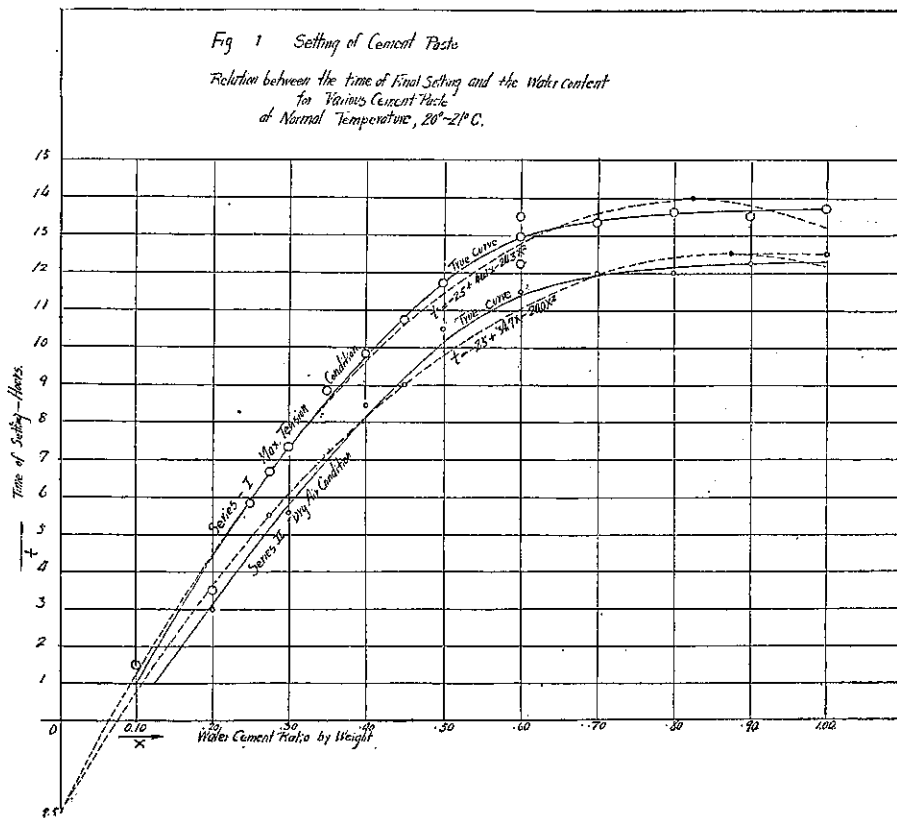
にて表すことを得。次に實驗の結果より各の場合に就て最小自乗法の理論より方程式を誘導すべし。

(イ) 飽和状態の場合 (Series I)

第 三 表			
番 號	水、セメント重量比 (x)	終結時間 (t)	$t - A = t + 2.5$
1	0.10	1.50	4.00
2	0.20	3.50	6.00
3	0.25	5.83	8.33
4	0.275	6.67	9.17
5	0.30	7.33	9.83
6	0.35	8.83	11.33
7	0.40	9.83	12.33
8	0.45	10.75	13.25

9	0.50	11.75	14.25
10	0.60	12.25	14.75
11	0.60	13.00	15.50
12	0.60	13.50	16.00
13	0.70	13.33	15.83
14	0.80	13.67	16.17
15	0.90	13.50	16.00
16	1.00	13.67	16.17

注意 A の値は圖より略 (-2.5) を得たり。



第三表より 16 の観測式を得。之を解き次の正等式を得たり。

$$\left. \begin{aligned} 5.03265B + 3.62740C - 11.347525 &= 0 \\ 3.62740B + 2.85815C - 75.87066 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

之を解きて $B=40.06$ 及び $C=-24.297$ を得。

$$\therefore t = -2.5 + 40.06x - 24.297x^2 \dots\dots\dots(3)$$

或は簡単に

$$t = -2.5 + 40.1x - 24.3x^2 \dots\dots\dots(3a)$$

(ロ) 乾燥状態の場合 (Series II)

第 四 表

番 號	水, セメント重量比 (x)	終結時間 (t)	$t - A = t + 2.5$
1	0.20	3.00	5.50
2	0.275	5.50	8.00
3	0.30	5.58	8.08
4	0.40	8.50	11.00
5	0.45	9.00	11.50
6	0.50	10.50	13.00
7	0.60	11.50	14.00
8	0.70	12.00	14.50
9	0.80	12.00	14.50
10	0.90	12.25	14.75
11	1.00	12.50	15.00

注意 A の値は第三表の場合同様 (-2.5) とす。

第四表より 11 の観測式を得れば之を解きて次の正等式を得。

$$\left. \begin{aligned} 4.11810B + 3.13590C - 80.22400 &= 0 \\ 3.13590B + 2.57993C - 57.26345 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

之を解きて $B = 34.66$ 及び $C = -19.93$ を得。

$$\therefore t = -2.5 + 34.66x - 19.93x^2 \dots\dots\dots(5)$$

或は簡単にして

$$t = -2.5 + 34.7x - 20.0x^2 \dots\dots\dots(5a)$$

第二節 セメントペーストの凝結に及ぼす温度の影響

8 概 要

セメントペーストの凝結時間は又捏混當時の大氣の温度並に加水の温度に依りて支配されるものなり。同一水、セメント重量比の場合を考へんに、セメントペーストの化學變化は温度高き程急激に進行するものなれば延てその凝結時間は温度の上昇に比例して短縮するものなり。此事實に就ては 1:3 セメント・モルタルに關して、Tedmajer 氏が行ひたる實驗あるも詳細不明なり。(Johnson's Materials of Construction, 1897 P. 616 参照) 前節に於て説明せる如く水量、温度は一定なるも而も温度の如何によりて凝結時間は多少の變化を受けるものなれば本實驗に於てはその正確と容易を期するため飽和状態の湿度を標準とせり。即ち Series I に屬するものなり。即ち標準温度 20°C 以上の温度に關しては常溫蒸氣室を利用し、それ以下の低温度の時は實驗室を利用し、室内は撒水を充分にして湿度を高め且空氣の自

由流通を断ち尙その室内に設けたる水蒸室の中に供試體を安置して實驗を行へり。普通1日中の關係濕度の變化は 90~60 の範圍なれば上記の如き實驗設備なれば殆んど飽和状態と考ふるを得るなるべし。

本實驗は溫度の影響を正確に知るため施行したるものなれば上記の如く他の條件を出來得る限り一定せり、而して實驗は標準稠度(水、セメント重量比 0.275)及び普通の混凝土工事の場合の加水分量(水、セメント重量比 0.60)に就て各溫度の許にて施行し、その他の稠度に對しては僅少の實驗を行ひ併せて前2者の場合より推定せり。

9 實驗設備

前節5同様常溫蒸氣室を利用し各溫度に對して調節したり。室溫は 20°C 以上の溫度に對しては常に 20°C 内外に保てり。低溫の場合の常溫設備を少しく説明すれば底面 1 平方米、高さ 45 糎の混凝土水槽に約 1/4 水を充し此中央に 30 糎立方の混凝材重量測定用眞鍮鍍製容器を安置し、尙熱が直接容器より傳導するを防ぐため底に板を敷きその床板の上に前同様の供試體を安置せり、而して容器及び水槽は夫々蓋をなすものにして溫度は 1/5 度讀みの攝氏寒暖計を取付けたり。本實驗は冬期に行ひたるものにして割合に好結果を得たり。溫度の測定は一定時間隔に行ひその平均を取りたり。

10 實驗の方法

20°C 以上の實驗には實驗室内は前同様 20°C 内外に保ち、常溫蒸氣室を利用す。供試體を製作するには標準稠度のペーストの場合は鐵皿、鏝を用ひ用具、加水全部同一溫度の許にて行ふ。以上の如くして捏混すれば供試體は製作後その溫度が下降するは止むを得ざる處なり。水、セメント重量比 0.60 のペーストの試験は直接型の中にセメントを入れ之に水を加へ匙にて充分捏混せり、10°C 以下の實驗は氣溫により大體その平均溫度を推定し、所定の溫度の供試體を作れり、甚だしき低溫は熊本地方にては得られざれば可成的寒冷の時を選び水槽中には氷、食鹽を入れ溫度の低下を人工的に計れり。

本實驗は 0°C 乃至 90°C の間の溫度に關して行へり、90°C 以上となれば供試體内の水分の蒸發甚だ盛んにしてその凝結を害すること大なればそれ以上の溫度に關する實驗は行はざりき、本實驗は前節の結果をも採用したり。

11 實驗の結果

(イ) 水、セメント重量比 0.275 即ち標準稠度の場合 Fig. 2. 及び Fig. 2a. は實驗の結果を圖示したるものにして大略次の關係あることを知る。

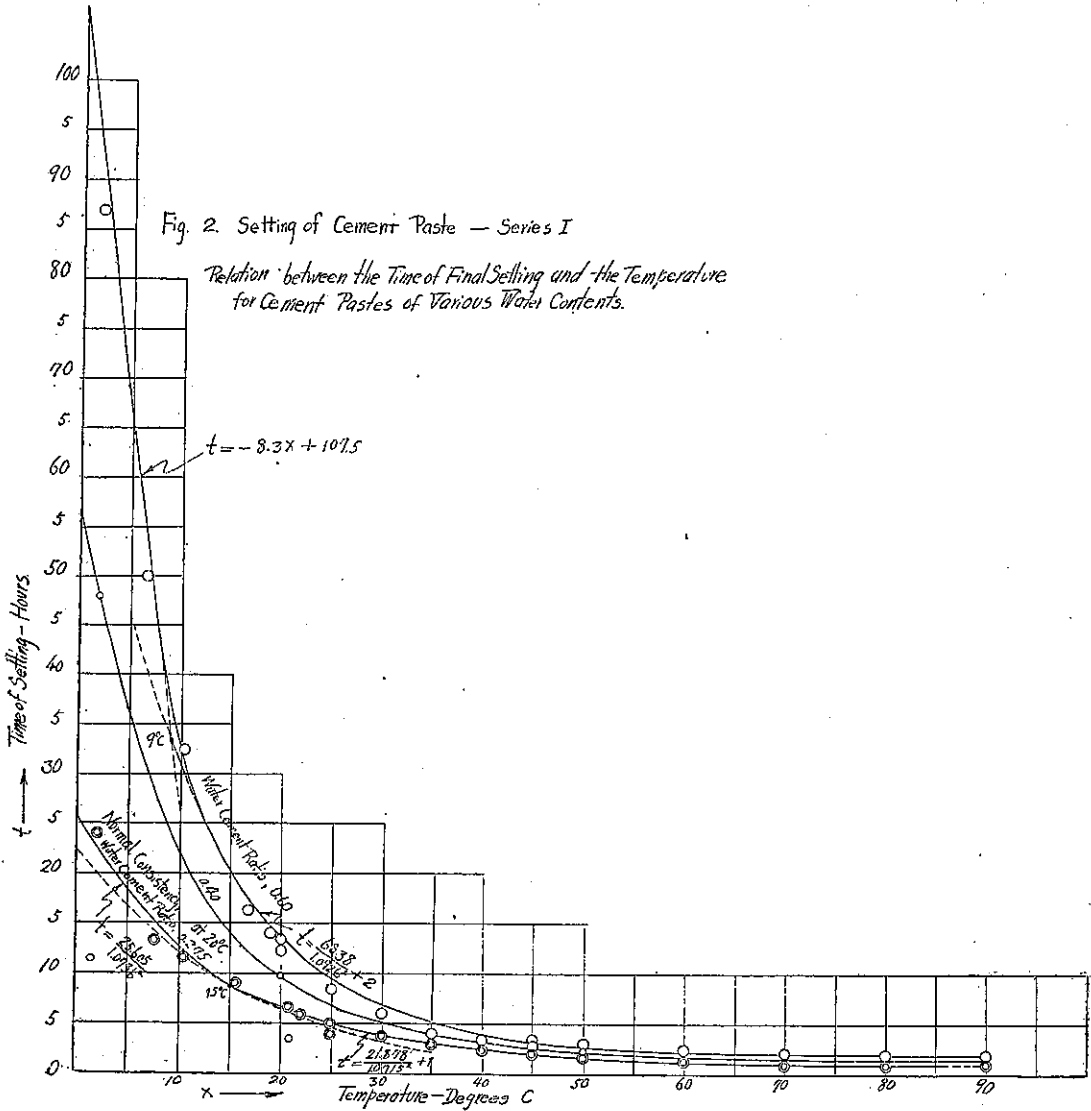
$$t = \frac{A}{B^n} + C \dots\dots\dots(6)$$

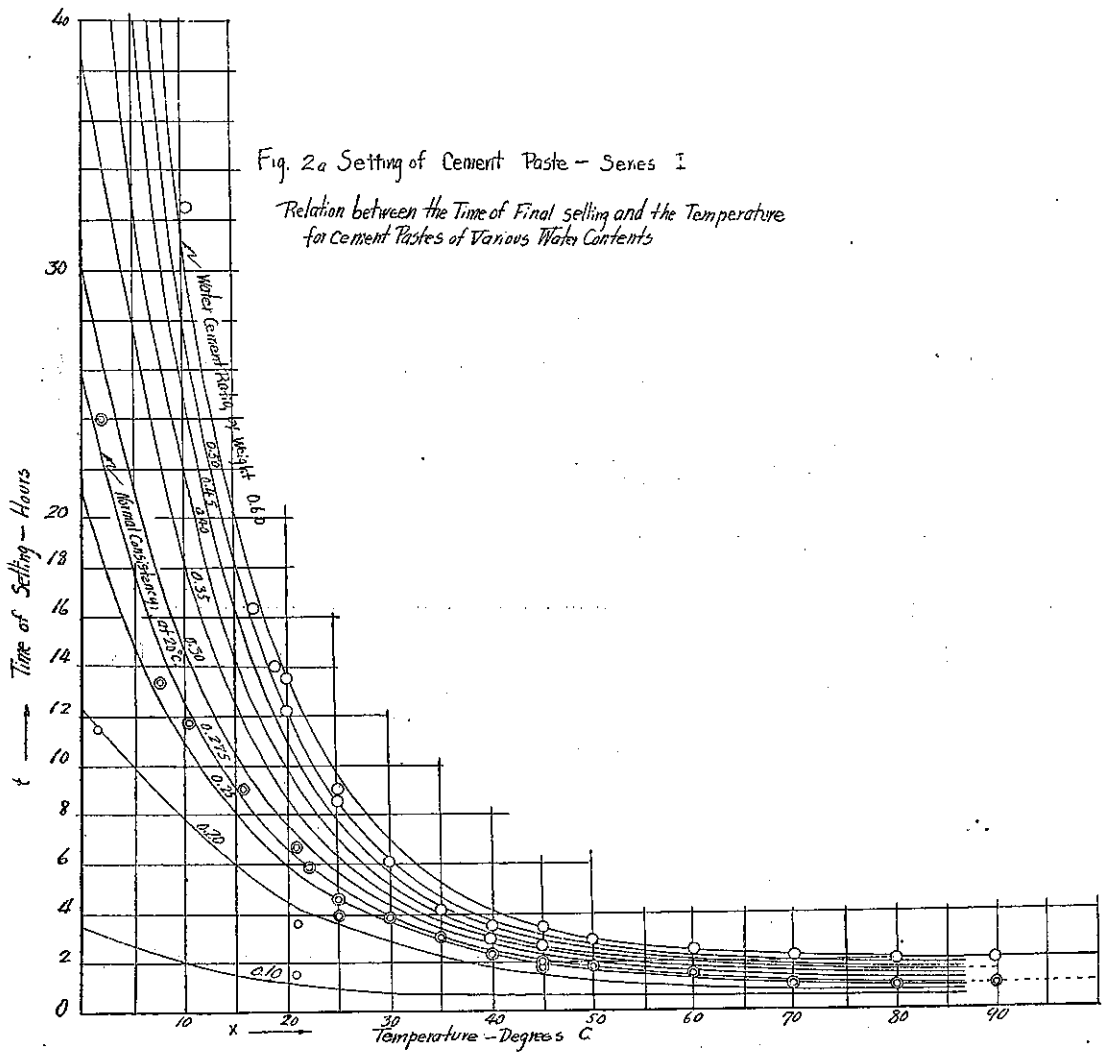
但し t ; セメント・ペーストの凝結時間 (時)

x ; 温度 (攝氏, 度)

A, B 及び C ; 常數

次に實驗の結果を用ひ方程式の誘導をなすべし, 實驗の結果は第五表の如し。





第 五 表

實驗番號	溫度 (攝氏, 度)	凝結時間 (時)
1	2	24.00
2	7.7	13.33
3	10.5	11.67
4	15.7	9.00
5	21.0	6.67
6	22.3	5.83
7	25	4.88

實驗番號	溫度 (攝氏, 度)	凝結時間 (度)
8	25	3.92
9	30	3.75
10	35	3.00
11	40	2.33
12	45	1.72
13	50	1.62
14	60	1.50
15	70	1.00
16	80	1.00
17	90	1.00

上表に於て實驗番號 15 ~ 17 は之を棄却す。圖より $c=1.00$ と定む。然らば (6) 式は次の如くなる。

$$t - c = \frac{A}{B^x}, \quad c=1.00 \text{ を代入して}$$

$$t - 1 = \frac{A}{B^x}, \quad \text{此式の對數を取りて}$$

$$\log A - x \log B - \log (t - 1) = 0 \dots\dots\dots(7)$$

(7) 式に隨ひ第五表より 1~14 の 14 個の觀測式を得。之を解き次の正等式を得。

$$\left. \begin{aligned} 14.00 \log A - 389.20 \log B - 7.08295 &= 0 \\ -389.20 \log A + 14476.32 \log B + 87.19731 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

之を解き $\log A = 1.34001$ 及び $\log B = 0.03000$

$\therefore A = 21.878$ 及び $B = 1.0715$

隨つて (6) 式は次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{21.878}{1.0715^x} + 1 \\ \text{但し } 15^\circ &< x \leq 90^\circ \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

即ち (9) 式は 15° 以下の溫度に對しては適合せざればその溫度に對しては方程式の形を

變じて用ふべし。即ち

$$t = \frac{A}{B^x} \dots\dots\dots(10)$$

にて表すを可とす。第五表の實驗番號 1~4 の 4 個を取り觀測式となし之を解きて

$A = 25.606$ 及び $B = 1.0736$ を得。

故に (10) 式は次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{25.606}{1.0736^x} \\ \text{但し } 0^\circ &\leq x \leq 15^\circ \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

(9) 及び (11) 式を用ひ各温度に對する凝結時間を計算すれば第六表の如し、同表には標準温度即ち攝氏 20° の時の凝結時間を單位として各温度の場合のそれに関する訂正係數をも示せり。故にセメントの凝結時間の檢定に當り室温を標準にする要なく、只其時の温度に對する時間を測定すればそれに上表の係數を乗ずる時は直ちに標準温度に於ける時間を推定するを得べし。

今 k ; 凝結時間の訂正係數とし、 k を方程式にて示せば次の如し。

$$k = \frac{6.50}{\frac{21.878}{1.0715^x} + 1} \dots\dots\dots(12)$$

但し $15^\circ < x \leq 90^\circ$

及び

$$k = \frac{6.50}{\frac{25.606}{1.0736^x}} \dots\dots\dots(13)$$

但し $0^\circ \leq x \leq 15^\circ$

(12) 及び (13) の結果を圖示すれば Fig. 3 (p. 18 参照) の如し。

第 六 表

温度 (攝氏, 度)	凝結時間 (時)	訂正係數	備 考
0	25.61	0.254	(11) 及び (13) 式による標準温度
1	23.85	0.272	"
2	22.22	0.292	"
3	20.69	0.314	"
4	19.27	0.337	"
5	17.95	0.362	"
6	16.72	0.389	"
7	15.57	0.417	"
8	14.51	0.448	"
9	13.51	0.481	"
10	12.59	0.516	"
11	11.72	0.554	"
12	10.87	0.597	"
13	10.17	0.639	"
14	9.47	0.686	"
15	8.82	0.736	"
16	8.24	0.788	(9) 及び (12) 式による標準温度
17	7.76	0.837	"
18	7.31	0.889	"
19	6.90	0.941	"

温度 (攝氏, 度)	凝結時間 (時)	訂正係数	備 考
20	6.50	1.000	(11) 及び (13) 式による標準温度
21	6.13	1.060	"
22	5.79	1.123	"
23	5.47	1.188	"
24	5.17	1.257	"
25	4.89	1.328	"
26	4.63	1.403	"
27	4.39	1.480	"
28	4.16	1.560	"
29	3.95	1.644	"
30	3.75	1.730	"
31	3.57	1.819	"
32	3.40	1.911	"
33	3.24	2.006	"
34	3.09	2.103	"
35	2.95	2.202	"
36	2.82	2.304	"
37	2.70	2.407	"
38	2.58	2.513	"
39	2.48	2.602	"
40	2.38	2.729	"

(ロ) 水, セメント重量比 0.60 即ち普通稠度の場合 Fig. 2 に示すが如く略 (イ) の場合に相似なる関係あり。實驗の結果は第七表の如し。

第 七 表

實驗番號	温度 (攝氏, 度)	凝結時間 (時)
1	2.0	87.00
2	6.7	50.00
3	10.4	32.50
4	16.8	16.33
5	19.0	14.00
6	20.0	13.50
7	20.0	12.25
8	25.0	8.50
9	25.0	9.00
10	30.0	6.00
11	35.0	4.08
12	40.0	3.50
13	50.0	2.83
14	60.0	2.50
15	70.0	2.17
16	80.0	2.00
17	90.0	2.00

上表に於て實驗番號 1 ~ 15 を採り 16 及び 17 は之を棄却し (6) 式を用ひて方程式を誘導すべし、然る時は (15) の觀測式より最小自乗法に依り常數の値を決定す。但し $\alpha = 200$ と定む、即ち (イ) の場合と同様にして

$$A=68.38 \quad \text{及び} \quad B=1.0926$$

を得。故に求むる式は

$$t = \frac{68.38}{1.0926^x} + 2 \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(14) \\ \text{但し} \quad 9^\circ \leq x \leq 90^\circ \end{array} \right\}$$

然るに (14) 式より計算せる値を検するに 9°C 以下の溫度に對しては不合なれば (10) 式の形により、第七表の實驗番號 1~4 を取り方程式を誘導すれば

$$t = \frac{107.5}{1.1^x}$$

を得。然るに此形の式も面白からざれば $t=107.5, x=0$ 及び $t=32.818, x=9$ なる 2 點を通る直線式を求むれば之が最も適合するものゝ如し。即ち次式を得。

$$t = -8.3x + 107.5 \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(15) \\ \text{但し} \quad 0^\circ \leq x \leq 9^\circ \end{array} \right\}$$

水、セメント重量比 0.60 のセメント・ペーストの凝結時間の訂正係數は (14) 及び (15) より (イ) の場合と同様に次の 2 式を得。

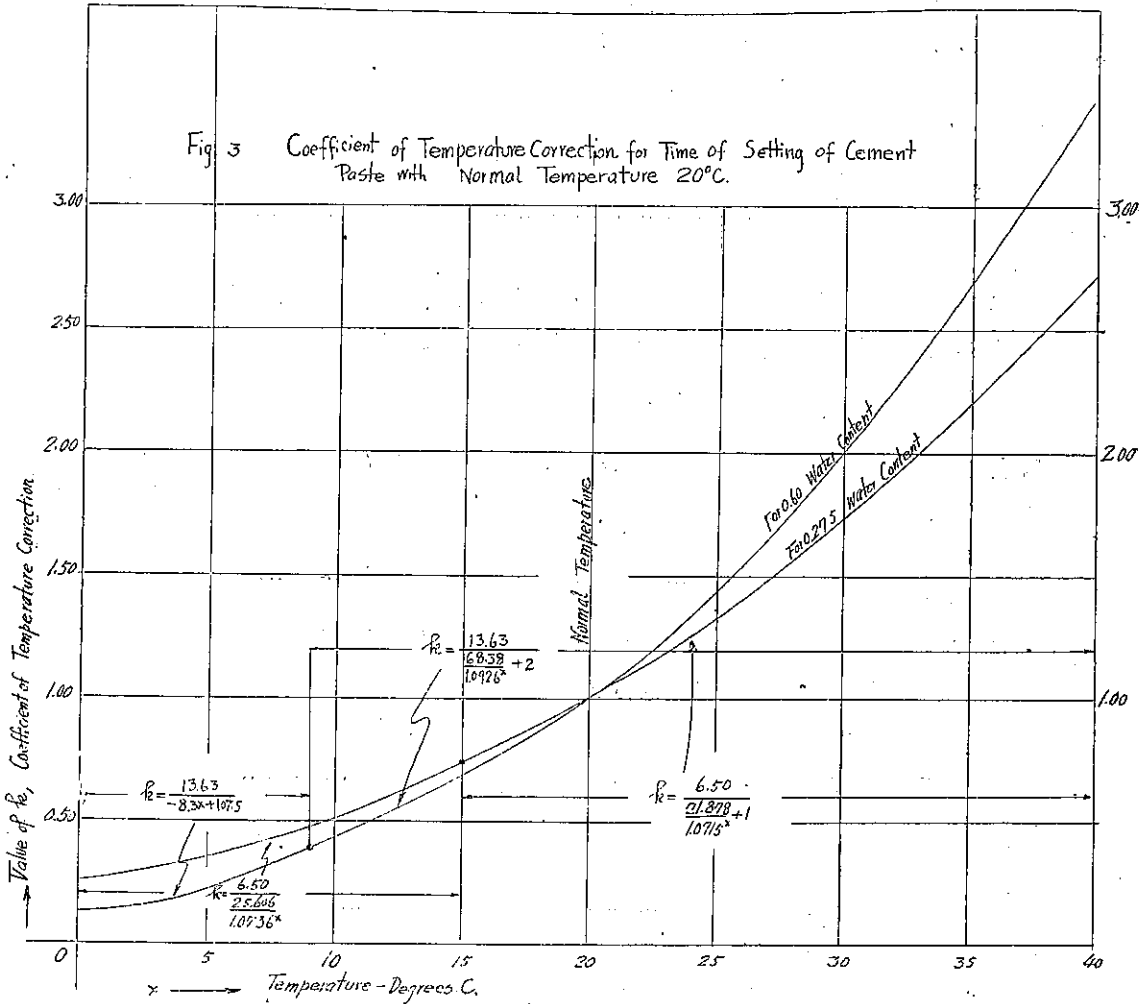
$$k = \frac{13.63}{\frac{68.38}{1.0926^x} + 2} \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(16) \\ \text{但し} \quad 9^\circ \leq x \leq 90^\circ \end{array} \right\}$$

$$\text{及び} \quad k = \frac{13.63}{107.5 - 8.3x} \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(17) \\ \text{但し} \quad 0^\circ \leq x \leq 9^\circ \end{array} \right\}$$

上述の方程式を用ひ、凝結時間及び訂正係數を計算すれば第八表の如し。

溫度 (攝氏, 度)	第 八 表 凝結時間 (時)	訂正係數	備考
0	107.50	0.127	(15) 及び (17) 式による標準溫度
5	66.00	0.207	"
9	32.82	0.415	(14) 及び (16) 式による標準溫度
10	30.21	0.451	"
15	20.11	0.687	"
20	13.63	1.000	"
25	9.47	1.439	"
30	6.80	2.004	"
35	5.08	2.683	"
40	3.98	3.425	"

(イ), (ロ) の各場合に於ける訂正係数を圖に示せば Fig. 3 の如し。



第三節 セメントペーストの凝結に及ぼす時間の影響

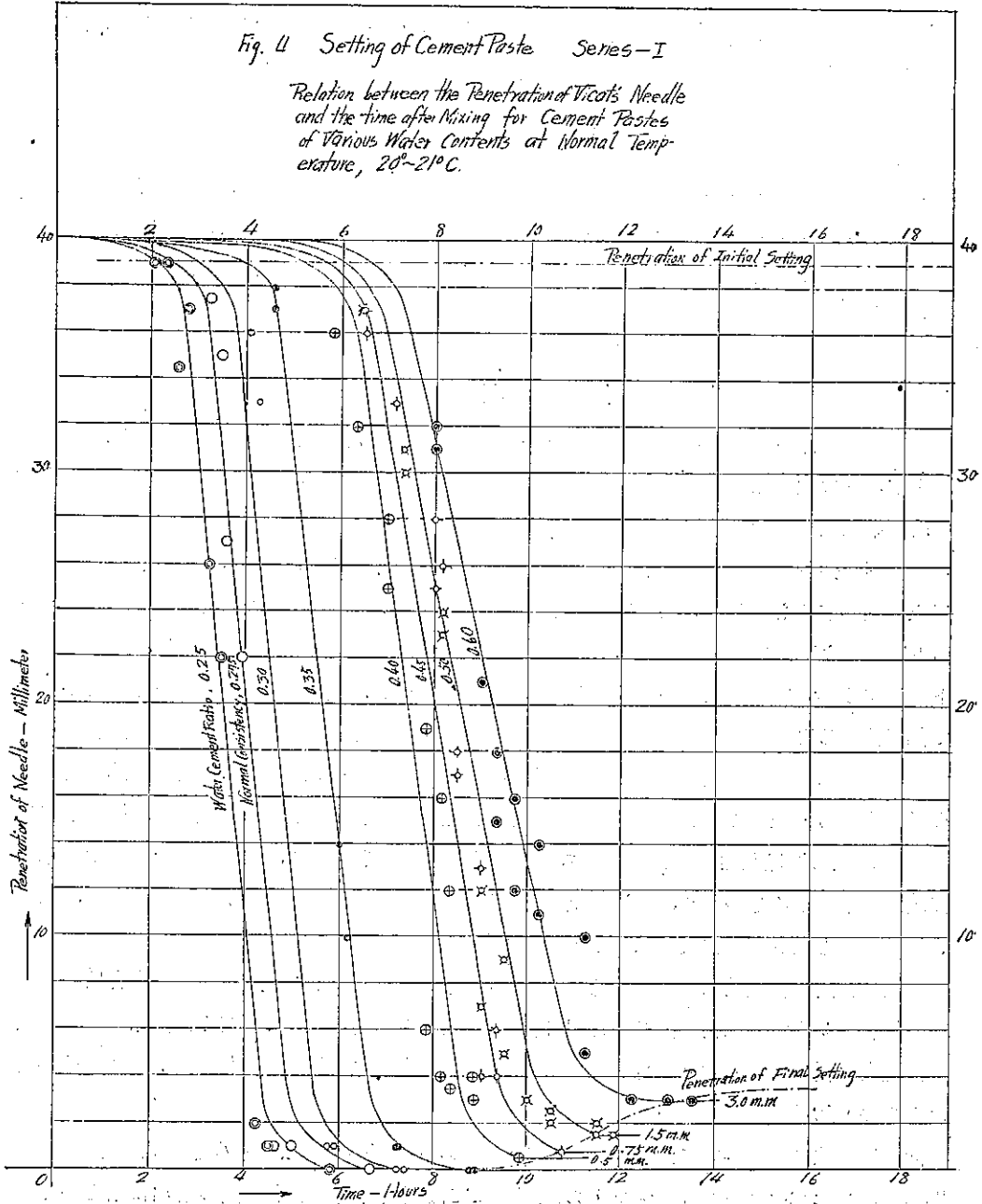
12 概 要

セメント・ペーストの凝結作用は時間と共に進行するものなれば之を Vicat の稠度計を以つて測定する時はその針の透入度は時間の経過に比例して減するものなり、而してその減度が實際上認むる能はざる時を以つて終結とす。本実験は第一節の実験と相連關して飽和状態の許にて施行せり、即ち Series I に屬するものにして温度を殆んど標準即ち 20°~21°C に保ち水、セメント重量比が 0.25~0.60 の場合に就き實驗せり。之によりその凝結と時間との

間に如何なる關係の存するかを推定するを得べし。

13 實驗設備

本試験は前述の如くセメント・ペーストの凝結に及ぼす使用水量の影響を研究する實驗と



相連關して行ひたるものなれば設備も亦同一なり。實驗は乾濕兩場合に就て施行せるも大體の傾向は同一なれば飽和狀態の濕度に關するものゝみを擧げたり。

14 實驗の方法

第一節の場合と同様なり。針の透入度は最初は略 30 分間隔に測定し終結に近づくに隨ひ必要に應じ 10 分間隔に測定しその變化を認めざる時を以つて終結とせり。

15 實驗の結果

本實驗の結果を圖示すれば Fig. 4 の如し。同圖より推定する時は水量の如何に關せず針の透入度に現はるゝセメント・ペーストの凝結は初結までは緩にして、それ以後は急に進行し終結に近づきて又緩となる。水量多き程凝結の進行狀態も緩となるものなり。

第三章 約 説

16 濕度及び使用水量の影響

第二章第一節の實驗より明なる如く大氣中の濕度高き程凝結は遲延するものなり、その理由とする處は次の如し。

略標準狀態の實驗に於ては捏混直後に於けるセメント・ペーストの溫度は $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 位なるも約 4 時間を経過すれば溫度は急激に高まり 8 時間目には 70°C 、16 時間目には 85°C 以上に上昇するものなり。然るに今標準溫度の場合を取りて考ふるに大氣の溫度は常にペーストの溫度より低きが故にペーストが有する熱量は常に空中に逃ぐるものなり、即ちペーストの有する熱量は輻射及び傳導によりて失はるべし。然るに輻射作用は物質の力を借らずして熱が傳はるものなれば濕度の如何に關せざるなり、故に熱量損失の多少は單に傳導によりて變化すべし。而して濕度高き程熱の傳導は良好なればペーストの發する熱量は濕度高き程多量に失はるゝ理となる。隨つてその化學作用の進行を妨げ延ては凝結時間の遲延を來すものなり。次に乾燥狀態にあればペーストの水は蒸發するものなり、然らば水分の減少を來せば凝結は早くなるものなり、尤も水分蒸發のため熱量の損失を來すも此量は僅少なり。此點より論ずるも濕度高き程凝結は遅るゝものゝ如し。

要之濕度高き程凝結は遲延するものにして、實驗の結果によれば飽和狀態の場合は乾燥狀態の場合より水量の如何に關せず略 1 時間 30 分遅るゝものとす。然るに實際の場合に於ては溫度の變化は左程大ならざればセメント試験の場合凝結時間の濕度に關する修正は必要なものゝ如く思考す。

同一溫度並に濕度の許に於てはセメント・ペーストの凝結時間は水量少き程短きものなり。即ち水、セメント重量比 $0.10\sim 0.60$ の範圍内にては凝結時間は加水分量の増加に殆んど正比

例して急激に遅延し、同 0.60 以上となればその變化は殆んど認めず。此 0.60 は Abrams 教授の Water-Cement Ratio 0.90 に相當す。水量多き程凝結が遅延する理由は 1 に説明したれば重ねて贅せず。

17 温度の影響

第二章第二節の實驗より推斷するにセメント・ペーストの凝結は温度の影響を受くる事大なるものなり。90°C 以下の氣温なれば氣温はセメント・ペーストの温度より低ければ氣温高き程熱量の發散少く、凝結の初期に於ては却つて大氣より熱量を奪ふが故にその化學作用は急激に進行す、随つて凝結時間は氣温高き程短縮するものなり。40°C 以上の氣温なれば加水分量の如何によりて多少の變化はあるも大體に於て凝結時間は殆んど一定と考へて差支なかるべし。然るに 0°~40°C 即ち普通混凝土工事が施工さるゝ程度の氣温の場合に於ては凝結時間は温度の降下に随ひ急激に遅延するものにして、その割合は加水分量の多き程甚しきものとす。此事實よりのみ論ずるも氣温低き際の混凝土工事の場合は出來得る限り加水分量を減ぜざるべからず。而して強度は勿論水量少き程大にして、流動性は氣温低き程良くなるものなれば、是等の點より考ふるも冬期の混凝土工事に於てはその水量は施工上差支なき限り減少すべきなり。

18 時間の影響

第二章第三節の實驗より推斷するにペーストが初結に達する迄は甚だ遅々たるものなるもそれ以後は急激に進行し遂に終結に達す。此事實は吉田徳次郎博士の Studies on Cooling of Fresh Concrete in Freezing Weather の論文中にあるセメント・ペーストの凝結の際の温度上昇に關する實驗よりも推定し得べし。

第二編 Cement Paste の流動性

第一章 概 説

19 概 要

混凝土の流動性はその主要性質の 1 にしてその良否は施工の難易に直接關係あるものなり元來混凝土の性質は主としてセメント・ペーストの性質によりて支配さるゝものなればその流動性も亦ペーストの流動性の如何によりて變化するものと考ふるを得、故に本編に於ては混凝土の流動性を研究するの資料としてセメント・ペーストの流動性を知らんとする者なり。緒論に於て説明せる如くセメントに水を加へて捏混して生じたるセメント・ペーストは複雑なる溶液なれば、その流動性の支配條件は種々雜多にして摘出に苦むも大略次の主なるものを擧ぐるを得べし。即ちセメントの種類及びその配率、加水分量、捏混後の經過時間、捏混

當時の気温並に水温等なり。粒度は小なる程流動性は良好となる。然るに現今我國にて製造さるゝセメントの粒度配率は左程の差異なければ此點に就ては特別に試験を行はず只其他に就て實驗せり。セメント・ペーストの捏混後の経過時間がその流動性に影響を與ふるは明なる事實にして、その理由はセメントは水に會ふ時は直ちに化學作用を起し、随つて凝結の進行と共にその流動性は悪くなるものなり。然るに Vicat 氏の稠度計を使用して試験する時は凝結の場合と同様なれば特別に試験を行はざりき。只第三編に於て捏直しに及ぼす影響を知る實驗に於て 0.275 及び 0.60 の水、セメント重量比に對し試験したれば其方を参照ありたし。故に本編に於ては加水分量及び捏混の際の温度の 2 項に關して試験する事とせり、而して流動性の測定は本意ながらも Vicat の稠度計を使用せり。此問題に關しては尙吉田徳次郎博士のポルトランド・セメント糊狀體の研究（土木學會誌第十卷第四號 P. 770 ~ 772）をも参照されん事を望む。かくしてセメント・ペーストの流動性の研究をなし、その結論より混凝土に關しても大體の推論をなし得る者と思考す。只兩者の間の正確なる關係を知るを得ざるは著者の遺憾とする處なり。

20 材料及び實驗期日

本實驗は第一編の凝結の試験と相連關して行ひたれば實驗材料及び期日は前同様なり。

第二章 實驗の方法及び結果

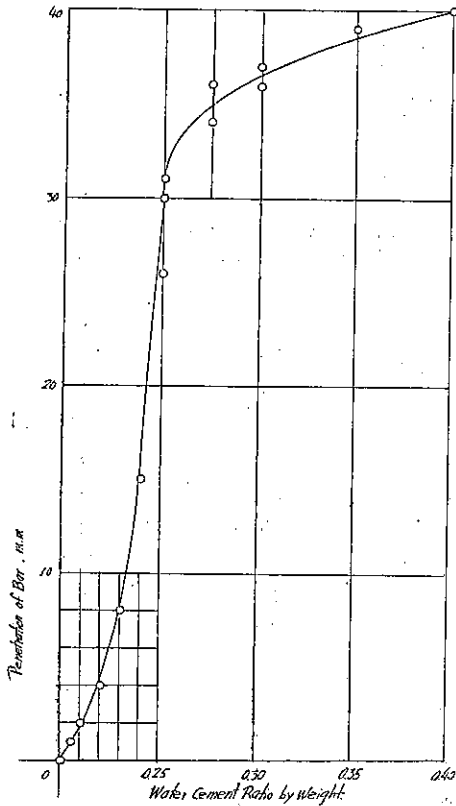
第一節 セメント・ペーストの流動性に及ぼす使用水量の影響

21 實驗の方法

本實驗に於ては實驗器具はポルトランド・セメント標準試験用の器具を使用せり。詳細は第一編の凝結の場合と同様なれば 5 を参照さるべし。

次に實驗の方法に就て説明すべし。先づポルトランド・セメント 400 瓦を取り之を鐵皿に移し尤も均等に潤ふる如く秤量して水を加ふ、而して 30 秒位水を吸収せしめたる後 2 分間位劇しく捏混し然る後之を手に取りて球狀となし兩手の間隔を 40 纏位に保ち、左右に投渡すこと 6 回にして圓筒に填充し、之を硝子板の上に置きその剩餘を除去し鏝にて均すものとす。此際硝子板と圓筒の間より漏水の恐れあればワゼリンを塗りて萬全を期せり。尙温度の變化の影響を避くるため 20°C を標準とし室内は殆んど 20°~21°C の常溫に保ち又水分の蒸發を防ぐため時々床上に撒水して濕度を高めたり。かくて Vicat の稠度計により徑 1 纏の金屬棒を降下しその透入度を求めたり。然るに透入度は時間に關係あれば本實驗に於ては暫く透入度を檢し變化なきと認めたる場合之を最後の透入度とせり。此時間は水量によりて異なるも 0~3 分位なり。以上は水量少き標準稠度程度のものなるも加水分量がセメント

Fig. 5 Relation between the Penetration of Bar of Vicat's Tester and Water-Cement Ratio
(Temperature, 20°~21° C)



重量の 0.30 以上となれば非常に流動し易ければ捏混後直ちに圓筒に充したり。加水分量 0.40 以上となれば Vicat の稠度計にては試験困難なれば之は他日に譲れり。之に関しては吉田徳次郎博士考案の方法を参照あるべし。以上の実験は甚だ困難にして充分注意して施行するも尙變化の範圍大なれば數回の實驗を行ひ最眞實と思はるゝものを探れり。

22 實驗の結果

淺野セメント (實驗記號 A₂) に對する實驗の結果は Fig. 5 の如し。

Fig. 5 に就て見るに水、セメント重量比が 0.20 までは捏混に際してペーストの表面に水が浮くが如きことなく稠度は甚だ固く金屬棒の透入度は 0 なり。0.20~0.25 の水比の時は透入度は殆んど水量に正比例して増加す、而して 0.25 以上の水比となれば透入度の増加は左程大ならず。

元來 Vicat の稠度計は 0.25 以上の水比のペーストの流動性測定器としては面白からず然るに實際工事の混凝土の水比は殆んど 0.25 以上なれば本實驗は不適當の如く思考さるゝ

も只概念を得るため参考に供せるのみ。

第二節 セメントペーストの流動性に及ぼす温度の影響

23 實驗の方法

實驗用器具は第一節に使用せる者の外常溫蒸氣室を利用せり。本實驗は大正十四年三月中に施行したれば外氣溫度は 18°C 内外なり。故に外氣より高き溫度に對する實驗の際は鐵皿、型、加水、鏝等は常溫蒸氣室にて規定溫度に熱し、又外氣より低き溫度に對しては氷又は水を用ひて規定溫度に冷却し然る後第一節同様の試験方法により實驗せり。但しセメントのみは外氣溫の儘を使用せるは止むを得ざる處なりとす。ペーストの溫度は變化すれば金屬棒を降下して透入度を驗したる直後に於て試験體の中に寒暖計を挿入しその溫度を測定せり。

以上の實驗に所要の時間は約3分間なりとす。此實驗も條件の統一が甚だ困難なればその結果に於ても多少の差異は免れず、故に著者は數回の實驗を行ひ最も良好状態と思考さるゝものゝみを取れり。

本實驗用ペーストの水、セメント重量比は 0.275 即ち標準稠度なり。

24 實驗の結果

上述の試験によりて施行したる實驗の結果次の如し。

實驗日	溫度 (攝氏, 度)				金屬錘の透入度 (耗)
	實驗中の氣温	混和用水の溫度	鐵皿, 型等の溫度	セメント・ペーストの捏混後の溫度	
大正十四年 三月十三日	24	60	60	43	18
"	24	50	50	40	21
"	24	40	40	35	25.5
同三月十四日	18	25	25	23	33
"	18	20	20	20	34 (標準 溫度)
"	18	18	18	19	35
"	18	45	45	36	25
"	18	30	30	25	32
"	18	70	70	45	16.5
"	18	80	80	50	9
"	18	90	90	53	5
同三月十五日	18	2	0	2	37.5
"	18	8	不明	7	36
"	18	不明	不明	9	35
"	18	18	不明	15	34
"	18	不明	不明	4.5	36
"	18	0	不明	4.5	36.5
"	18	0	0	0	37

注意 上表に於て十五日の實驗は氷を使用し低溫度の水及びペーストを作れり。尙捏混の際は鐵皿の底部を冷却せり。

第九表よりセメント・ペーストの捏混後の溫度と金屬錘の透入度との關係を圖示すれば Fig. 6 の如し。尙混合水の溫度と金屬錘透入度との關係は Fig. 7 に示すが如し。

Fig. 6 に就て見るにセメント・ペーストの捏混後の溫度と金屬錘の透入度との關係は大略拋物線にて表さるゝものゝ如し。次にその方程式を求めん。

今 y ; 金屬錘の透入度 (耗)

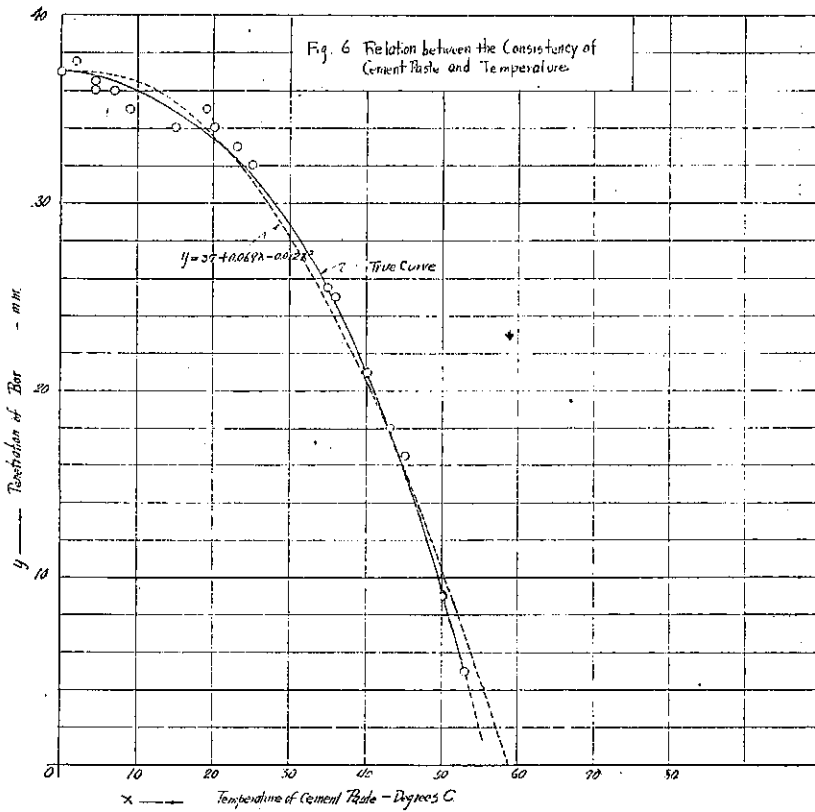
x ; セメント・ペーストの捏混後の溫度 (攝氏, 度)

とすれば

$$y = A + Bx + Cx^2 \dots\dots\dots(18)$$

但し A, B 及び C ; 常數

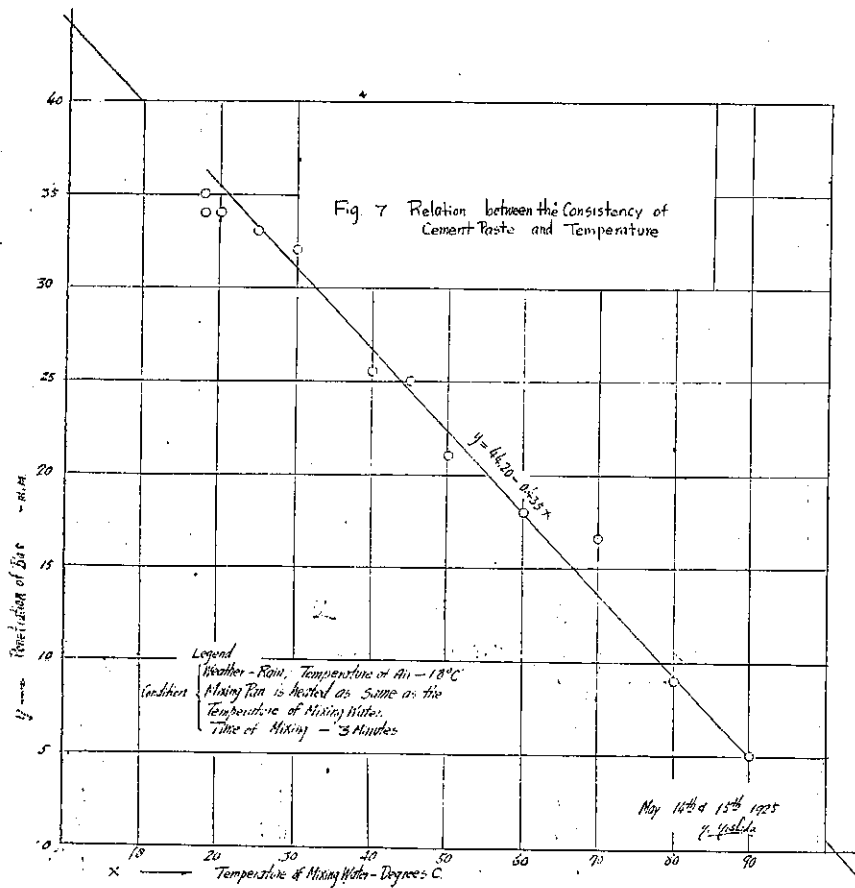
なる關係あり。今 Fig. 6 より $A=37$ を得れば、第九表を第十表の如く整理して (18) の觀測式を得。之を最小自乗法の原理により解きて二つの正等式を得。之より B 及び C の値を求むるを得。



第十表

番 號	セメント・ペーストの捏混後の 溫度 (攝氏, 度)	金屬錐の透入度 (耗)	$A - y = 37 - y$
	x	y	
1	0	37	0
2	2	37.5	-0.5
3	4.5	36	1
4	4.5	36.5	0.5
5	7	36	1
6	9	35	2
7	15	34	3

番 號	セメントと水との摺混後の 温度 (攝氏, 度)	金屬棒の透入度 (耗)	$A-y=37-y$
	x	y	
8	19	35	2
9	20	34	3
10	23	33	4
11	25	32	5
12	35	25.5	11.5
13	36	25	12
14	40	21	16
15	43	18	19
16	45	16.5	20.5
17	50	9	28
18	53	5	32



$$\left. \begin{aligned} \text{上表より } 155,182.275B + 641,829.250C + 6,700.750 &= 0 \\ 641,829.250B + 28,420,620.125C + 299,848.375 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

之を解て

$$B = 0.06915 \quad \text{及び} \quad C = -0.01188$$

を得。

$$\therefore y = 37 + 0.06915x - 0.01188x^2 \dots\dots\dots(20)$$

或は簡単に

$$y = 37 + 0.069x - 0.012x^2 \dots\dots\dots(20a)$$

Fig. 7 より混和用水の温度と金属錘の透入度との関係式は大略直線にて表すを得ることを知る。即ち

$$y = 44.20 - 0.435x \dots\dots\dots(21)$$

但し y ; 金属錘の透入度 (耗)

x ; 混和用水の温度 (攝氏, 度), $20^\circ\text{C} \leq x \leq 90^\circ\text{C}$ なる関係あり。

第三章 約 説

25 使用水量並に温度の影響

セメント・ペーストの流動性を研究するに當り Vicat の稠度計による試験は前述の如く良法と稱し難きも而も略次の如く推論するを得べきか。

即ちセメント・ペーストの流動性は水量に大關係あるものにして水量の増加に随ひ良くなるものなり。

又此流動性は加水分量のみならず温度によりて支配さる、即ちペーストの流動性はその温度が 20°C 以上となれば急に悪くなるものなり。而して $0^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ の間に於ては流動性は温度低き程良しきもその變化の程度は 20°C 以上の場合の如く甚しからず。

要之にセメント・ペーストの流動性は水結せざる範圍内に於て温度低き程、又加水分量が多き程良好となるものなり。故にセメント試験の際の標準稠度に對する加水分量は温度により變ずるものなり。

以上の理由はペーストの温度高ければ水化作用が急激に進行し随つて凝結を誘起し、又加水分量少ければセメント・ペーストの内部摩擦を増し而も水化作用が急激に進行すべく、爲めに流動性は悪くなり、温度低く加水分量多ければ上に反するの故なるべし。

第三編 Cement Paste の捏直しがその凝結時間並に流動性に及ぼす影響

第一章 概 説

26 概 要

混凝土の捏返し施工は一般に禁止さるゝものなり。吾人は此禁止さるゝ理由を確めざるべからず。故に先づ混凝土の捏返しに際しその物理的一般性質が如何に變ずるかを知らざるべからず。此研究は歐米の文献に發表されたるもの多く、又我國に於ても此點に關する論文少しとせず。即ち日比博士著鐵筋混凝土上卷 P. 215~216 及び茂庭忠次郎博士の練直し混凝土の研究（土木學會誌第三卷第三號，大正六年六月，P. 603~649）はその主なるものなり。是等の研究によれば或程度まで凝結をなしたる混凝土を捏返すも非常なる物理的性質の變化は受けざるものゝ如し。果して然らば茂庭博士の結論さるゝが如く或場合には絶對的に練直し混凝土の使用を嚴禁するの要なきものゝ如し。然るに尙之を禁止するの要何處に存するや著者は根本的に知らんとするものなり。

混凝土は前述の如くセメント・モルタルと粗粒混凝土材，セメント・モルタルはセメント・ペーストと細粒混凝土材よりなるものと考へらるべし。然らばセメント・ペーストの捏返しその性質に及ぼす影響を知るを得ば之によりて大略混凝土の場合を推斷し得るものと思ふ。故に本編にありては凝結時間と流動性の點よりセメント・ペーストの捏直しが如何に影響するかを知らんとするものなり。

27 材料及び實驗期日

本實驗に使用せるセメントは第一編第二編と同一にして實驗記號 A₂ なり。本實驗は大正十四年三月二十八日より同六月二十一日までの間に於て捏返のその強度に及ぼす實驗と共に施行せり。

第二章 實驗の方法及び結果

第一節 セメント・ペーストの捏直しがその凝結時間に及ぼす影響

28 概 要

セメント・ペーストの凝結作用の進行中捏直しを爲す時は障阻を蒙り凝結時間は遅延するものにして、若し或程度まで凝結が進行せる時捏直しをなす時は殆んど或は全く凝結せざるに至るべし。故に著者は捏直しが如何に凝結時間に關係するかを知らんとするものなり。

本實驗に使用せる設備は第一編、第二編と同一なり。而してペーストを容るゝ型は第一編に於て述べたる圓筒罐を使用し捏返しに便せり。

29 実験の方法

実験の方法は第一編(イ),(ロ)の説明に準ず。即ち実験室は窓、戸及び其他を閉鎖し空気の流通を阻止し、室内混凝土床は常に撒水して出来得る限り濕潤の状態に保ち、供試體の水分の蒸發を防ぐものとす。供試體は2種とし標準及び普通稠度即ち水、セメント重量比夫々 0.275 及び 0.60 のものを用ひたり。本試験は割合に注意を要し而も 26 時間以上も連続観測を要すれば相當の困難を感じたり。特に普通稠度のペーストにありてはその結果に不合を來すもの多かりしかば著者は比較的正当なる結果と思はるゝものゝみを選びその平均を取れり。

供試體は全部同一実験室内にて作り、その室にて試験するものにしてその製作の方法は第一編に於て説明せる通りなり。実験室内の温度は自然の儘にして1時間隔に測定しその平均を取り実験温度とせり。

捏直しに就て少しく説明を加へんに之に2法あり。第一は初捏混より或時間の間放置し一定時間經過後捏直しをなすものにして、第二は短定時間隔に連続的に數回捏直しを繰返すものなり。但し兩場合とも供試體の水分蒸發は出来得る限り妨ぐるものとす。故に第一、第二の方法共に種々なる場合あれば此處は單に概念的性質を究むるに止めその代表的の場合に就てのみ試験せり。即ち第一法に就ては再捏混をセメント・ペーストの終結時間に於て行ひ、初捏混より初終結まで及び再捏混より再終結までの間に於て夫々凝結作用が如何に進行するかを確め、又第二法に就ては1時間隔に連続的に捏直しを繰返したる場合その捏混前後に於て如何に凝結作用が流行するかを究めたり。此處に注意すべきは捏直しの際は絶対に加水せざる事なり。

30 実験の結果

Fig. 8a 及び 8. は本実験の結果を圖示したるものなり。Fig. 8a は標準稠度に對するものにして標準針の透入度と時間即ち捏直しとの關係を示したるものなり。圖に於て ABCD なる曲線は初回終結の時に再捏混をなしたる場合の凝結の進行状態を示すものなり。之により水量少きペーストの場合に於ては一度終結に達したるものを再捏混したる時は其後の凝結は急激に進行するものなる事を知るを得べし。

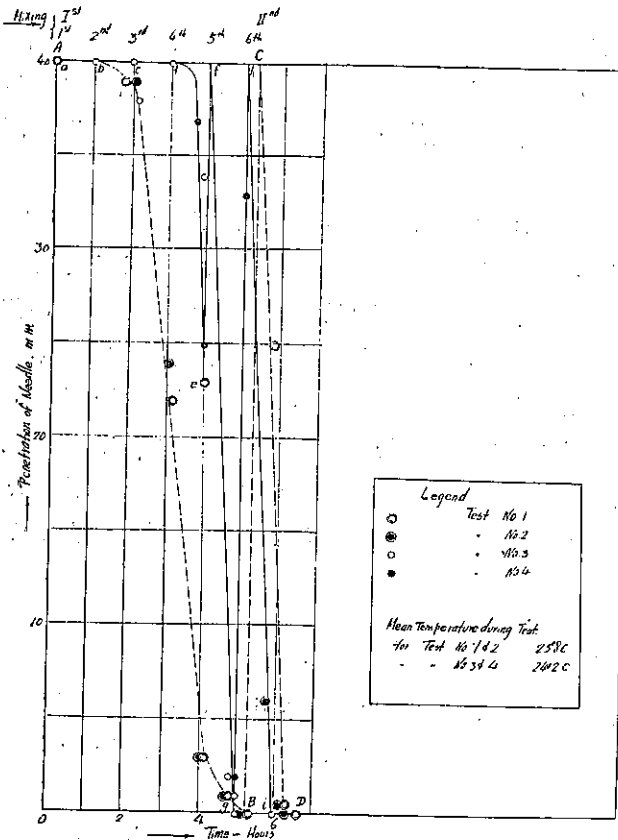
次に abc.....hi なる連続線は1時間隔に捏混を繰返したる場合の凝結の進行状態なり。此場合に於ては連続的に凝結作用が障阻を蒙るものなれば捏直しの初期に於ては凝結は遅延するも約4時間即ち第四回の捏直しを經過すれば凝結進行の状態が表れ終結に至りては捏返しを行はざるものと大差なきに至るべく、尙其以上捏返しを持續するも前同様凝結作用は進行するものなり。只如何なる程度までの捏返しに對しては凝結作用が持續さるゝものなるや、又その凝結進行の状態は如何の問題を究めざるは甚だ著者の遺憾とする所なるも、而も實際

工事の場合かくの如き場合は殆んど起らざれば之以上の研究は左程必要なかるべし。

以上二つの場合に就て見るに初捏混後4時間以上を経過せるペーストの捏直しを行ひたる後その凝結作用が急激に進行するは、標準稠度程度の水比のペーストなれば化学作用は捏混後4時間位より急激に進行し随つて温度も上昇するものなれば捏返しにより特別な障阻を

Fig. 8a. Effect of Re-mixing on the Setting of Cement Paste

Water Content 0.275 of Cement by Weight



蒙らざる限り、以上の理由に基因するものと想像し得るものなり。勿論之以上数回の捏直しを持續する時は遂に勢力の大損失を來し凝結遅延し遂には全く凝結せざるに至るべし。

Fig. 8. は普通稠度に對する捏返しの影響にして大體の傾向は Fig. 8a と同様なるも、只水量多きため捏返しの影響より來る勢力の損失大なれば凝結に及ぼす影響は割合に大なる點が異なるのみ。その4週間目の耐壓強度に及ぼす影響に至りては著者の實驗によれば僅少なるもの如く、その理由は長期間に亘る凝結作用は障阻を受けざるの故なるべし。

同圖に於て AB.....EF は初回終結の時に再捏混をなしたる場合、又 ab.....rs は 1 時間隔に捏混を繰返したる場合の凝結

の進行状態を示すものなり。

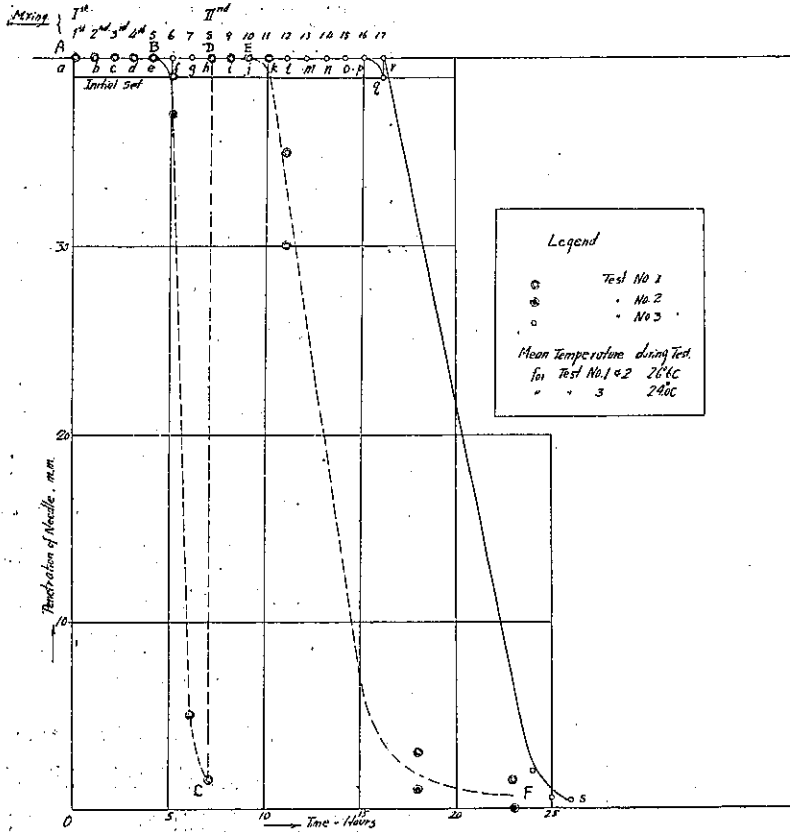
第二節 セメントペーストの捏直しがその流動性に及ぼす影響

31 概要

セメントペーストの捏直しによりその流動性が如何に影響を受くるや之に就て研究せるものなり。實驗設備、方法は本編第二章第一節及び第二編第二章に説明せるものに準ず。

Fig. 8a: Effect of Re mixing on the Setting of Cement Paste

Water Content, 0.60 of Cement by Weight



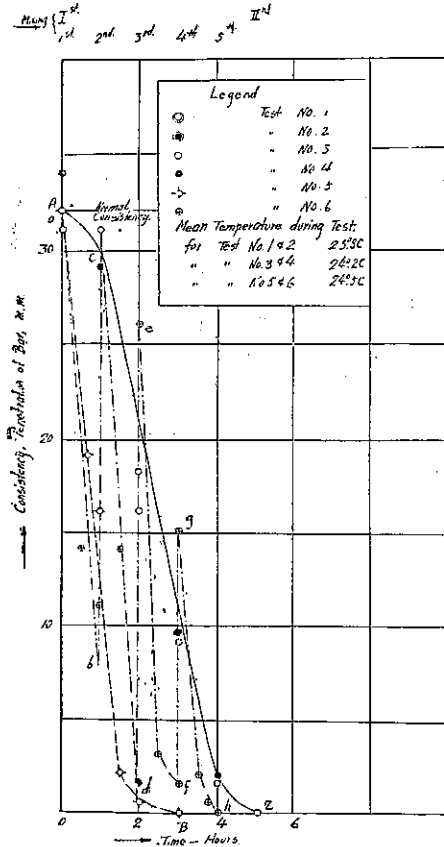
32. 実験の結果

Fig. 9a 及び 9b は夫々標準稠度及び普通稠度に對するセメント・ペーストの捏直しがその流動性に及ぼす影響なり。Fig. 9a により明なる如く水、セメント重量比 0.275 のペーストに對しては初捏混より時間の経過に隨ひ急激に流動性は悪くなるものにして 2 時間を経過すれば金屬錘の透入度は殆んど認められざるに至る。その模様は AB なる曲線にて表すを得べし。次に終結に達したる後は之を捏直すも錘の透入度は之を認むるを得ず。即ち水量少き場合に於ては一度凝結すれば捏直しを行ふもその流動性は甚しく悪くなるものなり。

然るに 1 時間隔に捏直しを行ふ時はその前後に於てはその流動性は甚だ變化するも遂には錘の透入を認めざるに至るべし。而して金屬錘の透入度と時間との關係は ab……gh なる連續線にて表され、此場合の各捏直し直後に於ける透入度は殆んど AZ なる曲線にて表はさるべし。即ち間斷なく捏直しを持續する時は水量少きセメント・ペーストと雖も或程度までは

Fig. 9a Effect of Remixing on the Consistency of Cement Paste.

Water Content, 0.275 of Cement by Weight



流動性が不良となるを妨ぐる事を得べし。

Fig. 9b は水、セメント重量比 0.60 即ち普通稠度に對するものなり。圖に於て ABC は初捏混より始終結までの透入度と時間との關係なり。

次に 1 時間隔に捏返しを繰返すものありては、捏返しの前後に於ける錐の透入度の差は標準稠度の場合の如く甚しからず。即ち初捏混より 6 時間經過即ち 7 回目捏混までは金屬錐の透入度にはその變化現はれず、尙其以上に繰返す時は流動性は悪くなるも尙 12 回目の捏返しまでは透入度を以つて測定する時は變化は認められず、而してそれ以上捏返しを續くる時は透入度の變化を來すものなり。ab……tu は錐の透入度と時間或は捏返し回数との關係を示すものにして AMZ はその場合の捏混直後に於ける透入度、即ち一定時間隔に捏返しを持續せる場合の流動性と時間との關係なり。

此處に注意すべきは、セメント・ペーストはその加水分量の如何に拘らず捏混後の時間經過に隨ひ化學作用進行すればそのペーストの内部摩擦は増加す。仍て捏直しペーストは容量の増加

をなすことなり。故に本實驗に於ては再捏混以後に於ては出來得る限り密實に型に詰め、規定通り 40 耗の厚さとせるも尙容積増加し規定の厚さ以上になるものは、その剩餘だけは之を棄てたり。

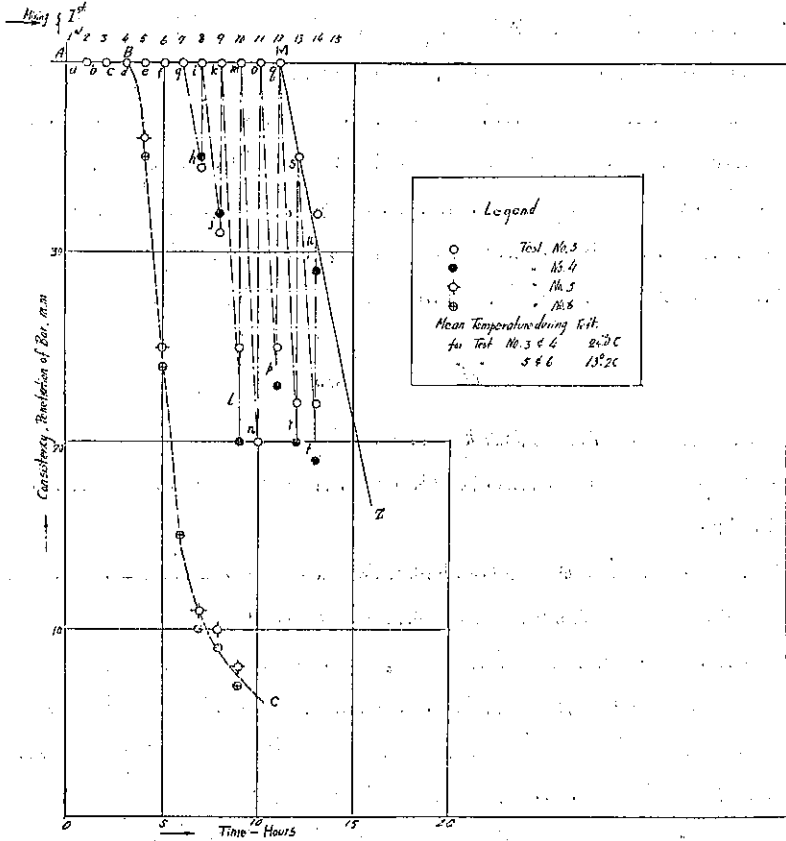
第三章 約 説

33 約 説

以上の實驗より次の約説を得。即ちセメント・ペーストは初終結の際第二回の捏混をなす時は、加水分量少き場合に於ては捏直し後の凝結の進行状態は初捏混の時より急激にして、加水分量多き場合には上に反し遅るものなり。而して終結に達する毎に捏返しを繰返す時は遂に水量の多寡に關らず凝結せざるに至るべし。

Fig. 9a - Effect of Remixing on the Consistency of Cement Paste

Water Content, 0.60 of Cement by Weight.



次に一定時間隔に捏混を繰返す時は初結は甚だ遅延するも尙捏直しを持續する時は終に終結に達するものとす、而して加水分量の多寡により凝結進行の状態は前の場合同様變化を受くるものにして水量少ければ急激に、多ければ緩に進行するものなり。

流動性も凝結と同様にして相等時間の間は良好なる状態に保つを得、但し初捏混の際の稠度に保つ事は不可能なり。

以上はセメント・ペーストに關して得たる約説なるも混凝土の場合にも或程度まで適用するを得るものと信ず。尙捏返し混凝土の場合のみに限らず、施工中常に振動を受くる混凝土の場合にも適用し得るものにして、かゝる場合凝結が多少に拘らず遅延するの事實も以上の理によりて證するを得べし。

要之にセメント・ペーストは之を捏直したる場合何等の性質の改良を來すことなし、即ち流動性は初捏混の際に比し悪くなり、水量の如何により凝結は遅延するものなり、その上容

積は大なる増加をなす。此理は混凝土にも適用するを得べし、果して然らば捏返し混凝土を使用するとせば所要の流動性を得るため捏返しの際には更に追加の水を與ふるべく、その上容積の變化を來すため空氣空隙は著しく増加し随つて全空隙は甚しく増加し、爲めに強度は著しく減ずるは Talbot 教授の Cement-Space Ratio 説より明なる事なり。此意味に於て捏返し混凝土の施工は嚴禁すべきが至當にして、況や之を許す時は工事施工の不統一を來すに於てをや。勿論實驗室に於ける如く充分入念に撞固めをなす時は問題は自ら別なり。

只表面仕上げの時上塗をかける際は初結を経たるモルタルを捏直し使用する時は流動性悪くなり爲めに附着良好となり、凝結は急激に進行し、而かも鏝にて充分壓縮して施工する時は強度も變化を受けざるべく最も元來の目的に副ふの結果となるべし。

結 論

第一編乃至第三編に於て得たる約説を約言すれば次の如し。

(1) セメント・ペーストの凝結は他の凡ての條件が一定とすれば次の條件によりて支配さる。即ち

- (イ) 濕度及び使用水量 即ち濕度高き程、加水分量多き程遅延するものなり。
- (ロ) 溫度 即ち溫度高き程急激に進行するものなり。
- (ハ) 時間 即ち時間と共に進行するものにして遂に或時間後に終結に達す。
- (ニ) 捏直し 即ち捏返しを繰返す時は凝結時間は幾分なりとも遅延するものなり。但し一定時間後ペーストが初結に達したる以後の凝結は水量少き場合に於ては急激に進行し水量多ければ之に反するものなり。

(2) セメント・ペーストの流動性はその凝結同様次の條件によりて支配さる。即ち

- (イ) 使用水量 即ち使用水量多ければ著しく良好となるものなり。
- (ロ) 溫度 即ち溫度高き程流動性は悪く、寒冷なる程（水結せざる範圍内にて）良好なり。
- (ハ) 捏直し 即ち捏返しを繰返す時は流動性は相當に良好なる状態に保ち得るも、之を初捏混の状態に保つ事は新に水を加ふるに非ざれば不可能なり。

以上の推論はセメント・ペーストの實驗によりて得たるものなるも尙之をセメント・モルタル及び混凝土に適用し得るものと信ず。即ちモルタル及び混凝土は使用水量多く又施工時の溫度寒冷なる程流動性は良好となり、凝結は遅延するものなり。故に若し同一水、セメント重量比の混凝土ありとせば、其他の條件を一定と假定すれば寒冷なる時期に施工する程流動性は良好となるも凝結は遅延し而も強度は減少す。反之高温の際に施工すれば流動性は悪くなるも凝結時間は短縮し強度は増大するものなり。然れば寒中に於て混凝土の施工をなすに

當りて一定の流動性を保たしむるためには使用水量は夏期に比して減少するも差支へなく、
延ては凝結時間を短縮せしめ同時に強度をも増大せしむるの結果となるべし。搗直しの影響
に就ても上記の如く混凝土に適用するを得べし。然らば混凝土の搗直しがその流動性及び凝
結に及ぼす影響は一つとして好結果を齎すものなし。故に單に此點よりのみ論ずるも搗直し
使用は禁止すべきが至當なり。況や搗直しを繰返す時は容積の増加を來し随つてその撞固め
には非常なる勞力を要すべく、若し此撞固めを充分行はざる時は混凝土内の空隙は増加し延
てはその強度の減少を來すに於てをや。只搗直しの影響を有効に利用し得るは表面仕上の際
上塗としてモルタルを使用する時のみ。即ち一度初結以上に凝結の進行したるモルタルを使
用する時はその附着良好にして尙流れ落る傾向少く而も充分注意して鏝にて充分壓縮施工す
る時は強度も左程の減少は受けざるべし。

次に上述の推論によりセメント試験方法の不備を補足し以つて規程の修正を提案するもの
なり。元來セメント・ペーストの流動性は温度と加水分量に随ひ變化するものなり。故に温度
の明記なき標準稠度は甚だ不徹底にして温度を指定するに非ざれば標準稠度に對する水比は
不定なるべし。凝結に關しても亦同様にして温度及び加水分量により支配さるゝが故に水比、
温度の指定なき時は凝結時間の決定は不統一なり。現試験規程によれば凝結は 10 時間以内
に終了すべしと限定せるも而も此時間は温度の相違により大差を生ずるものなれば温度の指
示なき時は 10 時間なる限界は無意味なるものと思考せらる。然るに一般の試験状態を見る
にその設備の都合上常に温度を一定例へば 20°C に保つ事は到底不可能の事に屬すれば、豫
め完全なる實驗室に於て精密なる實驗を行ひ此標準温度の時の標準稠度に對する水比を有す
るペーストの各温度に對する凝結時間を測定してその訂正係數を確め置けば、如何なる温度
の時と雖も上記の標準状態の水比を有するペーストに就て試験を行ひ之を上記の訂正係數に
随ひ修正すれば略標準状態の際の凝結時間を得べし。翻りて現試験規程を見るに温度に關す
る指定なければ、今或る温度の許に於て試験を施行すれば一定の金屬錘の透入度を與ふる水
量はその温度の高低如何によりて變ずるものなれば、その不同一なる水比の許に於て而も不
同なる温度の條件の許に試験をなし、何の修正をも爲すことなく一定の規程にセメントの良
否を決定するは少しく不徹底の嫌なき能はず。故に著者は標準温度の許に於て試験する事を
望むものなるも、之は常に行はるべきものに非ずとせば、かゝる標準状態に保つ事不能の時
は標準温度に於ける標準稠度を與へる水比を有するペーストに對し任意の気温に對する凝結
時間を測定するか或は任意の温度に於てその時の標準稠度に對する水比のペーストの凝結時
間を測定し第一編 11 に隨ひ修正を施しその標準状態に於ける凝結時間を推定せん事を提案
するものなり。

以上は著者の實驗と大家の報告とを基として得たる推論にしてその完結は淺學菲才なる著

者の能くする所にあらずと雖も之を發表して大方先輩の叱正を仰ぎ併せて今後此點に關し完全なる實驗研究の行はれん事を希望して已まざる所なり。 (完)