

論 說 報 告

土木學會誌 第十卷第四號 大正十三年八月

ポルトランド・セメント 糊状體(ペースト)の研究

會 員 工學博士 吉 田 德 次 郎

内 容 梗 概

與へられたるポルトランド・セメント及混凝材を使用してある混凝土の割合を決定するに必要なる條件は大體二とすることを得べし。即ち要求せらるる強度と流動性とこれなり。而して此二者に對して最も重大なる關係を有するものはセメントと水とよりなるセメント・ペーストの性質なり。

本文はこのポルトランド・セメント・ペーストの出來上り高、強度、流動性及凝結時間に関する實驗報告にして著者の混凝土の割合に関する研究の一部なり。

目 次

第一章 緒 論	1
第二章 實驗の方法及結果	3
第一節 材 料	3
第二節 セメント・ペーストの使用水量に對する容積の變化	4
第三節 セメント・ペーストの耐壓強度	6
第四節 セメント・ペーストの流動性	8
第五節 セメント・ペーストの凝結時間	10
第三章 結 論	11

第一章 緒 論

混凝土中にありてポルトランド・セメントと水とよりなるセメント・ペーストの果すべき役目は 第一混 凝材の間隙を填充すると同時に其表面を覆ひて混凝材を

互に固着せしむること 第二 混凝土の製作に當り混凝土材間の整滑液として働き混凝土の施行を容易ならしむるに必要な流動性を與ふことにあり、若し第一の役目が完全に満足せらるるならば良質の混凝土材を使用し適當に施工せられたる混凝土の強度及其他の性質は或る程度まで之に使用したるセメント・ペーストの性質によるものと考ふことを得べし、然れども實際に於てはセメント・ペーストが完全に混凝土材の間隙を充填し且其表面を完全に覆ふことは一般に不可能なり。其理由は 第一 セメント及混凝土材に附着せる空氣を完全に追出すと實際上不可能なるによる、假令捏混及搗き固め等を充分にするも多少の空氣を混凝土中に存するを免れず 第二 混凝土材の粒の最大寸法、形狀及粒の大小の混ぜる程度によりて混凝土の取扱ひにつきて非常なる難易の差を生ずるによる、今一定容積のある混凝土材に對してあるセメント・ペーストの一定容積を使用するとすれば出來上りたる混凝土の強度、水密度等は其混凝土材の形狀、大小粒の混ぜる程度によりて大なる差違を生ずることは勿論にして之れは混凝土材の最大寸法、形狀、粒の大小の混ぜる程度及表面粗滑の程度等によりて其空隙及表面積に大なる差異あるによるなり。然れども或一定容積の混凝土材に對して其空隙を充填し表面を覆ふに足る丈のセメント・ペーストの量を使用することは不可能ならざるのみならず又出來上りたる混凝土の強度並に經濟上の見地よりして混凝土材の空隙及表面積を事情の許す限り小ならしめ使用セメント・ペースト從つてセメントの量を節約しうる如くに混凝土材の調合を撰ぶことも或程度まで可能のことにして此點につきては種々の方法が混凝土研究者により考案せられたること人の知る所なり。第三 セメント・ペースト自身の性質による、甚だ濃きセメント・ペースト即ち使用水量小なるセメント・ペーストに於ては通常の工法によればセメント・ペースト自身中に空隙を有すること大なるのみならず其凝集力大なるが故に實際に混凝土を施工する程度に於ては如何に捏混を充分に行ひよく搗き固めをなすともセメント・ペーストが甚だ細かさ砂の間隙を充填し表面を覆ふことは甚だ困難なり、又甚だ薄きペースト即ち使用水量大なるものにおいてセメント・ペーストは捏混及搗き固めの際にはある程度までよく混凝土材の間隙を充填し表面を覆ひ居るならむもセメント・ペーストは澱粉と水とを以て作れる如きコロイド性のものと異なり普通 3.05以上の比重を有せるセメントは間もなく水中に沈澱す可きを以て混凝土中に水隙を生じ水分蒸發後には空氣隙となる可し、之等の事實の外に粉末程度の高きセメントに

て作れるモルター (セメント・ペーストに砂を加へたるもの) は反つてニート・セメント・ペーストより比較的強度の大なることあること、又混凝材の性質によりセメント・ペーストと其表面との粘着強度の大小等を考ふるときは單にセメント・ペーストの濃さ (例へば D.A. Abrams 教授の使用水量の容積と使用セメントの容積との比の如し) のみによりて混凝土の強度が定まるものとするは理論上正しからざることは明白なれどもセメント・ペーストが出来るだけ前に述べたる第一の役目を果す様に製作せられたる混凝土につきては (又必ず此條件を充す様に製作す可きものなれば) 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ことは今日の程度にて左程不都合ならざるは多くの實驗の示せる所なり。尙又混凝土の流動性、出來上り高、凝結時間等もセメント・ペーストの性質によること大なるを以て此セメント・ペーストの性質を一層明かにすることは混凝土調合の理論研究に於て有意義のこと、信ずるものなり。

本文は九州帝國大學工學部土木教室の實驗室に於てポルトランド・セメント・ペーストの使用水量に對する容積の變化、強度、流動性、凝結時間等につきての實驗報告にして混凝土の調合に關する研究の一階梯なり。

この實驗は大正十二年四月より約1箇年を要したるものにして補助員青木利一君の勞による所甚だ多し、又此研究に對し研究費を寄附せられたる大阪毎日新聞社長本山彦一氏に對して深厚なる感謝の意を表す。

第二章 實驗の方法及結果

第一節 材 料

ポルトランド・セメント 本實驗に使用したるポルトランド・セメントは淺野、小野田、豊國の3種にして直接會社より購入せるか又は寄贈せられたるものなり。

この3種セメントの試験成績は第一表に示せるが如し。

第一表 使用ポルトランド・セメント試験成績

セメントの種類	淺野	小野田	豊國		
比重	3.03	3.13	3.13		
粉末の程度 (篩番號200(穴の大き0.0029mm)を通過せるものの百分率)	71.6	82.6	81.3		
凝結終り	6時25分	7時15分	6時20分		
標準水量	27%	27%	27%		
膨脹性龜裂	なし	なし	なし		
強度 (1:3モルター)	耐伸強 耐伸強 耐壓強	一週間後	22.78kg/cm ²	16.46kg/cm ²	17.84kg/cm ²
		四週間後	27.74	21.53	22.55
		四週間後	211.3	146.0	153.8

水は九州帝國大學工學部水道の清水を使用したり。

第二節 ポルトランド・セメント・ペーストの使 用水量に對する容積の變化

一定重量のポルトランド・セメントに一定重量の水を混ざる時如何程の容積のセメント・ペーストを生ずるやを知ることはセメント・ペーストをして前に述べたる第一の役目を果さしむるに足る丈の使用量を決定する上より必要なることなり、これがために次の實驗を行へり。

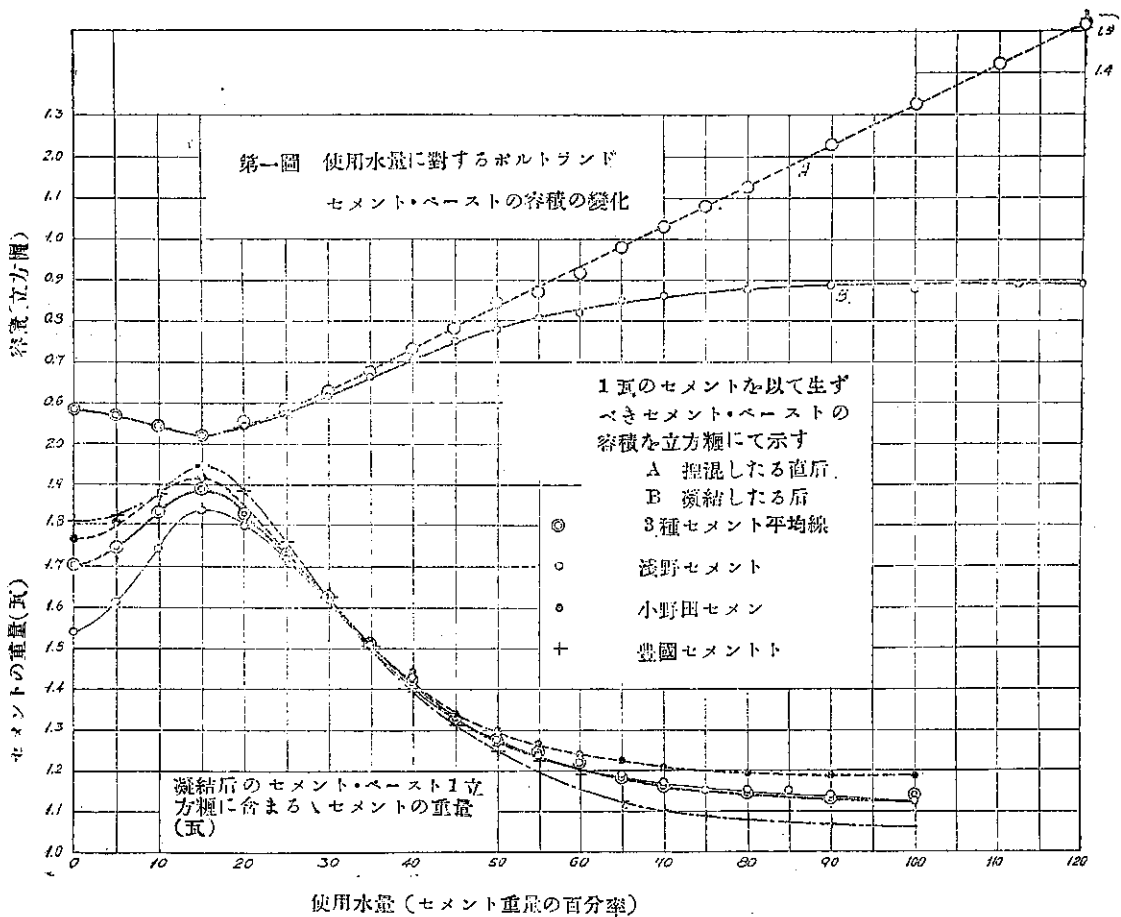
(一) 器具 容積を測定するに用ひたる容器は硝子製のコップにして大約の内測寸法は高さ65耗、底部及頂部に於ける直径は夫々47耗及37耗にして容積約90立方糎なり、之れは農商務省檢定済の5勺入の掬なれども多少の差ありたるを以て使用前に凡て水及び油を充たし重量によりて其容積を精確に測定したり、尙各コップにつきて5糎平方にして厚さ約2耗の硝子板を備ふ。重量測定に用ひたる天秤は1/20瓦迄の感光度を有するものなり。

(二) 試験方法 まづ豫備試験によりて使用水量に應じて硝子容器を充すに足るセメント・ペースト(セメントと水とを捏混したる直後の容積)を生ずるに必要なセメントの量を測定し置きこれに少量の餘裕を見込みたるセメントを秤取し其重量の百分率に相當する水量を加へ、一人はビーカー中にてセメントが水と分離せざる様充分注意して攪拌しつつこれを硝子容器に充すと同時に他の一人は硝子板の一端を容器の頂縁にあて居り注入し終るや空氣の入らざる様充分注意して硝子板を水平に動かしセメント・ペーストを容器に完全に充す如く容器の蓋をなしたる後餘分のセメント・ペーストは布を以て拭ひ去り天秤によりて容器に入りたるセメント・ペーストの重量を測定せり。

大約平均5時間の後(使用水量甚だ少きものにて1時間位後、水量甚だ多きものにて十一、二時間位後)にセメントの沈澱す可きものは充分に沈澱し且凝結を初め硝子容器を倒にするもセメント・ペーストは流れ出でざるを以てこの時に表面に出で來りたる凡ての水を取り去りたる後、再び重量を測定し除去したるこの水の容積を測定するために前にセメント・ペーストを注入したる時と同じ要領を以てこの部分に器械油を充たし重量を測りて容積を計算したり、但し油は其溫度に於ける比重を同時に測定し之れより容積を算出したり。依つて硝子容器に出來上

りたるセメント・ペースト(凝結したる後のもの)の容積とこれを生ずるに使用したるセメントの重量が既知となるを以て使用水量の變化に對し1瓦のポルトランド・セメントを以て生ず可きセメント・ペースト(凝結したる後)の容積及出來上りたるセメント・ペーストの1立方糎に含まるるセメントの量を計算し得たり。

但し以上はセメント・ペーストが流動しうる場合の方法にして水を加へざる時のセメントの容積はこれを硝子容器に充たして上に硝子板をあて靜かに容器を机上に打ちつけて震盪すればセメントは容積を減ずるが故にセメントを加へ前の如く震盪しこれを繰返すこと約30分位にして全く容積を減ぜざるに至りたる時に其



重量を測定して1立方糎に含まるる重量を計算したり、又使用水量がセメント重量の15%迄のものは極く少量づつ充分に搗き固めて詰込みたり。

セメント重量の20%位迄の水量を加へて得らるるセメント・ペーストにてはセメントが水中に沈澱し水が表面に出で來ることなきもこれ以上の使用水量を加ふるときは漸次水が表面に出で來り4.50%以上を加へたるものにおいて水の表面にパラフィン質の皮膜を生ずるに至れり。

(三) 試験の結果 3種のポルトランド・セメントに對する試験の結果は第一圖に示せるが如くにしてこれは各6回乃至12回測定の平均値を示せるものなり。圖に於て下部の曲線は各種のセメントにつき出來上りたるセメント・ペースト(凝結したる後)の1立方糎に含まるるセメントの量を瓦にて示せるものにして、上部のB曲線は之等3種のセメントに對する平均値につきて1瓦のセメントを以て生ずべきセメント・ペーストの容積(凝結したる後)A線は捏混したる儘の容積を立方糎にて示せるものなり。

第一圖によりて見るに3種のセメントに對して使用水量に應ずる出來上りセメント・ペーストの容積の變化は大體同様にして使用水量15%位までは水量の増加に従ひ容積を減じ(但しこれは充分に搗き固めたるものなること既に述べたるが如し)約15%に於て容積が最小となり、それより約50%に至る迄は殆んど直線的に増加す。

即この範圍に於てはセメント・ペーストの出來上り高は使用水量に比例し50%以上においては出來上りたるセメント・ペーストの容積は略一定なり。

第三節 セメント・ペーストの耐壓強度

第一章に於て論じたる如く若しセメント・ペーストの強度が混凝土の強度を判断す可き一つの標準を與ふるものとせばセメント・ペースト自身の強度を知ると必要なり、現今混凝土の調合を定むるには之に使用するポルトランド・セメントは之が農商務省のポルトランド・セメント試験法に合格するものならば其セメントの優劣に關せず一定の調合を用ゆるを普通とす。之は混凝土の性質の如何に關せず一定の調合を用ゆると同様誠に不合理の事たるや明白なれども過去に於ける混凝土の施工は頗る粗雑にして之等の事項が混凝土に及ぼす影響を論ずる迄に進歩し居らざりしに據るが如し、然れども今日に於ける混凝土施工の進歩は昔日の比にあらざるを以てなるべく合理的の方法によりセメントの強弱に應じて調合を定

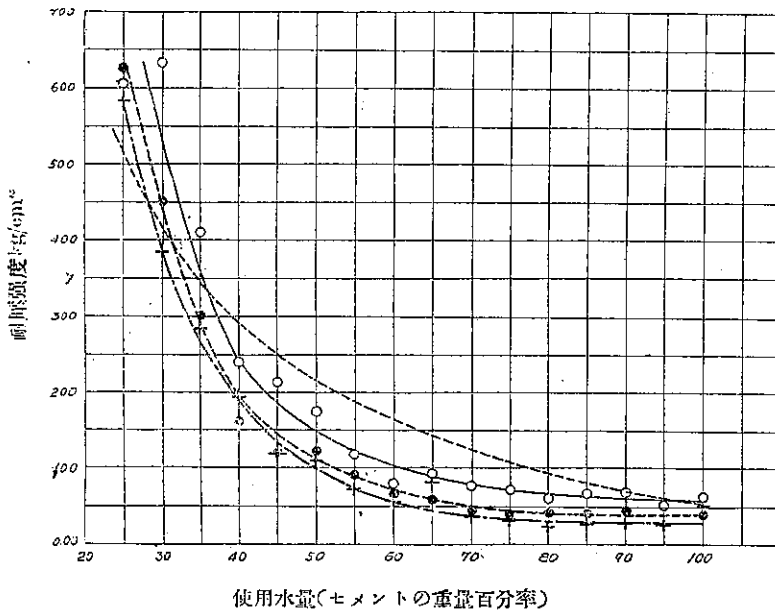
むるを至當とすべし、セメント・ペーストの強度を以て混凝土の強度を判断するの一助となすとは完全ならずと雖もこの點につきての解を興ふるもの如し。

一 供試體及試験法 供試體製作の型として使用せる鋼製圓筒は内徑 5.75 糎高さ 11.5 糎にして使用水量大なるセメント・ペーストにありては型と底鋳との間隙より水が逃げ去るを以てこれを防ぐために底鋳と型との接合部には外部に多量の石膏を塗りて水密を得しめたり、型にセメント・ペーストを充填したる後約 24 時間後にキャッピングを施し約 48 時間後に型を取去りこれを濕砂中に貯藏して 28 日後に於て耐壓試験を行へり。供試體製作にあたり等齊質のセメント・ペーストを作ること等の注意は前節に述べたるが如くにして搗き固めキャッピングの方法等は大體米國材料試験協會の標準方法に據れり。

二 試験の結果 3種のポルトランド・セメントにつき28日後の耐壓強度は第二圖に示すが如くにして何れも使用水量の増加による強度の減少著しきを示せり。

第貳圖 セメント・ペーストの耐壓強度

○浅野セメント ●小野田セメント +豊國セメント ——— Abrams 教授の曲線



尙参考のため D. A. Abrams 教授の使用水量の容積と使用セメントの容積との比に對する混凝土の強度曲線 (Bulletin 1. Structural Materials Research Lab-

oratory. Lewis Institute Chicago. P.3.) を示せり。

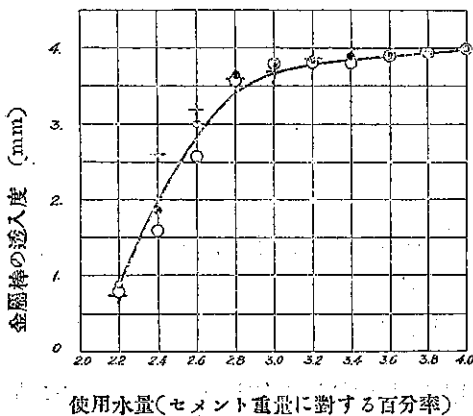
第四節 セメント・ペーストの流動性

混凝土材料を捏混してよりこれを打ち終るまでの間に於ける混凝土の流動性、カタサ又はこれを作業するの難易を表はすため Consistency, plasticity, flowability, mobility, workability, 等種々の語ありこれ等の語は殆ど同意義に使用せらるることもあり又夫々異なる意味に使用せらるることもあれども茲に云ふ流動性とは次の如き諸装置にて測りうるカタサを意味するものとす。

混凝土の流動性に関する研究は比較的新しきものなれどもこれは混凝土の施工上よりして最も重大なるものなること論を要せず。混凝土の流動性に關係する事項甚だ多しと雖もセメント・ペーストの流動性が混凝土の流動性に甚大なる影響を有することは明白にしてこれは先きに述べたる如くセメント・ペーストが果すべき重要なる第二の役目なりとす。よりにてセメント・ペーストの流動性を測定するの必要を認め次の實驗を行へり。

(一) Vicat の稠度計による試験 ポルトランド・セメント500瓦を秤取しこれを捏鍋に移し中央に凹部を作りこれに所要の水を加へて靜かにセメントを水の上にかぶせ約 30 秒水を吸収せしめたる後2分間劇しく捏混したる後鍋より取り出し

第參圖 Vicat稠度計によるセメント・ペーストの流動性
○淺野セメント ●小野田セメント + 豊國セメント



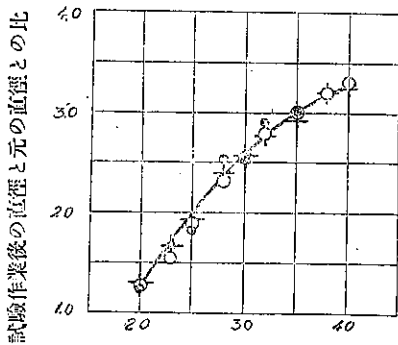
直ちに圓筒に填充したり。3種のポルトランド・セメントに對する試験の結果は第三圖に示せるが如くにして曲線は3種

て球形を作り、兩手の間隔を約 40 種に保ちて左右に投げ渡すと 6 回にしてこれを圓筒に填充して硝子板上に置き剩餘を除去し表面を軽く鏝にて均らし直徑 1 種 of 金屬棒を除々に降下せしめこれが止まる迄の透入度を求めたるものなり。但しセメントの重量の 30% 以上の水量を加へたるセメント・ペーストにありては左右の手の間に投げ渡しをなす作業は不可能なるを以て捏混後

のセメントに対する平均値なり。此器にては使用水量約40%以上のものゝ流動性を測定するを得ざるのみならず、所謂標準水量以上の使用水量に對しては使用水量の變化に對する透入度の變化僅少なるを以て普通の混凝土に使用せらるゝセメント・ペーストの流動性を測定することを得ず。

(二) Flow table による試験 Flow tableは北米合衆國 Bureau of Standards の考案にかゝるものを使用し試験作業後の直徑に對する初めの直徑の比を以てセメント・ペーストの流動性を示せば第四圖の如し、但し使用せる截頭圓錐管は眞鍮製にして内側寸法は底及頂に於て夫々 12 及び 8

第四圖
Flow table による
セメント・ペーストの流動性
○淺野セメント ●小野田セメント
+ 豊國セメント



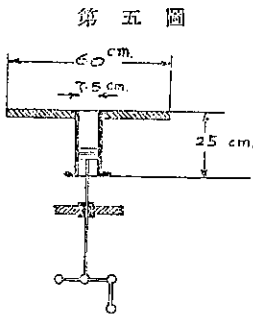
糎、高さ 6 糎鍍製平圓盤の落下距離 12.6 糎落下の回數 15 回なり。

(三) 著者の考案せる流動性計による試験

この器は著者が混凝土の流動性を測定する目的にて考案せるものにして改良の餘地多々ありと雖もモルター及びセメント・ペーストに應用して良好なる結果を得たり、この器は一種の粘性計にして流動性小なるものにつきては Slump test により大なるものにつきては Flow table の如く試験作業後に流動して生ぜ

る圓の直徑と元の直徑との比を以て流動性を

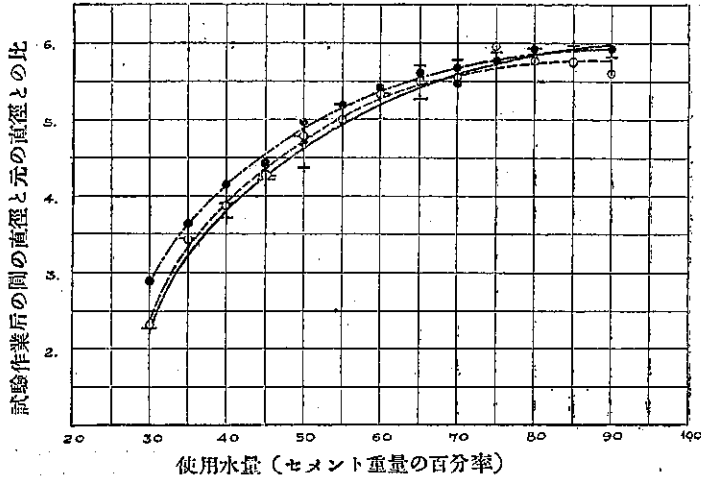
測定せむとするものなり。セメント・ペーストの流動性を測定するに用ひたる器の大體の構造は第五圖に示せるが如くにして鑄鐵製圓筒の深さを直徑の 2 倍となし圓筒内にセメント・ペーストを填充したる後下方の柄を回轉して底鍍の面が上部圓板面と一致するまで押し上げセメント・ペーストが流動して生ぜる圓の直徑を測定しこれと圓筒の直徑 7.5 糎との比を以て流動性を示せば第六圖の如し。上部の圓板は檜にして溶解せる



パラフィン中につけ充分これを吸収せしめたる後削りこの表面に更にパラフィンを流し固まりたる後鋼製定規にて平面にけづりたり。但し使用のパラフィンは溶解

第六圖 著者考案の流動性計によるセメント・ペーストの流動性

○淺野セメント ●小野田セメント +豊國セメント

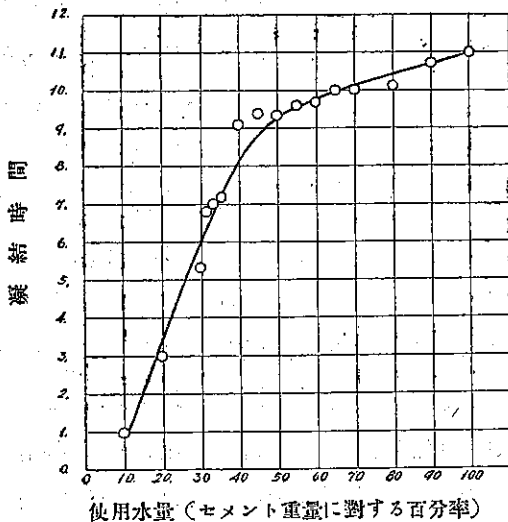


點攝氏 48 度のものなり。

第五章 セメント・ペーストの凝結時間

混凝土面の仕上げをなす場合等に其凝結時間を知る必要あり。元來混凝土の凝

第七圖 セメント・ペーストの凝結と時間
使用水量との関係
(小野田セメント)



結時間は主としてこれに使用せるセメント・ペーストの凝結時間によるべきなればセメント・ペーストの凝結時間を以て標準となし得るにあらざやと思考す。而してセメント・ペーストの凝結時間に影響する事項はセメントの性質の外に温度使用水量、湿度等なれど一定のポルトランド・セメントと温度とに對しては凝結時間も亦使用水量が最も大なる影響を及ぼすものなるが如し、第七圖は此點につ

きて著者のなしたる實驗中にて種々の點より標準的と考へらるゝ結果の一つを示したるものにして Vicat の稠度計

を使用し凝結終りに近づきては約10分毎に鍼の透入を測定し透入の曲線を畫き凝結終りの時間を定めたるものなり。

各種のセメントにつき使用水量の増加によりて凝結時間遅延すれども約使用水量40%迄の間に於て特に著しきを示せり。

第三章 結 論

普通混凝土に使用せらるゝ如き水量により生ずるセメント・ペーストに於ては捏混の際に於けるセメントと水の混合物の容積は第一圖のA線に示せる如く使用水量に正比例すれども、出來上りたるセメント・ペーストの容積はB線にて示さるゝものなるが故にA線とB線との間に示さるゝ容積は捏混の際に於けるセメント・ペーストより分離せる水量を示せるものにしてこの水の一部分は混凝土中に存在し後には混凝土中の空隙となり他の部分は表面に出て來りて蒸發するか又は除去せらるるものなり。

使用水量比較的多き混凝土を以て作れる供試體又は混凝土構造物に於ける破壊の斷面を検するに著者が知れる殆ど凡ての場合に於て該混凝土の施工の際上部にありし方に砂利が附着して其凸面を表はすを示せり、これ混凝土中に於てセメントが水中に沈澱して砂利の下面に水の薄層を残すによるものにあらざるか、又時として破壊面の砂利面に乳皮(Laitance)の附着せるを見ることあるも以上と同様の原因なるべしと思はる。故に使用水量の大なる混凝土の強度少なることの理由は第二圖に示さるゝが如くセメント・ペースト自身の強度の小なるによることの外に混凝土中に残れる水が空隙を生じセメント・ペーストをして先に述べたる第一の役目を果さしむる障礙となるによるものなるが如し第一圖及第二圖の結果を與ふる本實驗に於てはセメント・ペーストを容器又は模型に填充したる後之等に震動を與えざるものなれども若しこれを與ふれば一層多量の水を表面に生ず可く出來上りたるセメント・ペーストの密度を増加し従つて強度も増加す可きは明白なり。故に使用水量大なる混凝土に於ても混凝土の詰込みに際し一層の厚さを餘り厚くせず適當なる搗き固めを行ひ又事情之を許せば型枠を外部より適當に叩くか、混凝土に壓力を加ふるか等の方法によりて混凝土の沈下を充分ならしめセメントを失はざる様に注意して表面に出でたる水を除去することは過分の水を使用

したるために混凝土の強度に於て失ふ所を幾分回復するにつきて有效なるべし。兎に角従來使用水量多き混凝土に於ては單に空氣を追ひ出す目的にて少しく棒にて搗く位にて殆ど搗き固めを要せずとせる點につきては改良の餘地あるべしと思考せらるゝなり。

これを要するに本實驗の結果を應用して與へられたる混凝土材に對しセメント・ペーストをして空隙を填充し表面を覆ふと云ふ役目を果さしむるには如何にすべきか、又これに必要な量は如何にして計算すべきか、混凝土材の空隙を填充し表面を覆ふに足る丈のセメント・ペーストを使用するものとしてセメント・ペーストの強度と混凝土の性質とが混凝土の強度に如何なる關係ありや、與へられたる混凝土材に對してあるセメント・ペーストの使用量の過不足は混凝土の強度及流動性に如何なる影響ありや、セメント・ペーストの凝結時間と混凝土の凝結時間との關係は如何等を明かにせんとする事著者が研究の目的とする所にして本實驗報告は僅かに其第一歩に過ぎずと雖も幸に此點につきて諸先輩各位の御指導を仰ぐを得ば著者の幸甚とする所なり。(完)