

前節に於ける相関係数の吟味は長短軸が正規分布に従うと云う仮定の上に立つて居る。それ故長短軸が真に正規分布に従うか否かの吟味を行う必要があるその為長短軸が正規分布に従うと仮定して $\chi^2$ を計算して次の表を得た。

$\chi^2_e$  : 長軸の  $\chi^2$      $n$  : 自由度  
 $\chi^2_s$  : 短軸の  $\chi^2$

	1	2	3	4	5	6	7
$\chi^2_e$	$\frac{n=9}{8.10}$	$\frac{n=8}{13.04}$	$\frac{n=7}{18.69}$	$\frac{n=6}{14.89}$	$\frac{n=5}{5.45}$	$\frac{n=4}{13.79}$	$\frac{n=3}{8.05}$
$\chi^2_s$	$\frac{n=7}{73.35}$	$\frac{n=5}{38.76}$	$\frac{n=7}{11.01}$	$\frac{n=5}{36.28}$	$\frac{n=7}{5.77}$	$\frac{n=4}{38.05}$	$\frac{n=4}{34.69}$

	8	9	10
$\chi^2_e$	$\frac{n=8}{41.74}$	$\frac{n=7}{48.98}$	$\frac{n=6}{29.57}$
$\chi^2_s$	$\frac{n=6}{63.17}$	$\frac{n=6}{85.91}$	$\frac{n=6}{70.61}$

	11	12	13
$\chi^2_e$	$\frac{n=4}{19.14}$	$\frac{n=4}{21.69}$	$\frac{n=4}{25.51}$
$\chi^2_s$	$\frac{n=3}{62.05}$	$\frac{n=3}{98.86}$	$\frac{n=2}{86.24}$

之等の値より大グループの長軸は正規分布に従うものと仮定してさしつかえない事がわかる又小グループの長軸は大体正規分布に従うと考えられるが中グループの長軸は正規分布に従うとは考えられない又短軸の分布は何れも正規分

布に従うとは考えられない併し短軸に於て平均値の大きいほど正規分布に近く成る故に正規分布の仮定の上に立つ前節の取扱いは問題があるが長短軸の従う分布曲線が明確にわからなので長軸の大グループと小グループが大体正規分布に従う事がわかつたので近似的に理論を立てる事にした。

V 結 言

チオ硫酸ソーダの結晶の長短軸の間に存在する相関係数の程度を知る事が出来た併し之の結論を得る為には長短軸が正規分布に従うと云う仮定があるが之れの吟味の結果短軸は正規分布に従うとは結論出来なかつたが一応近似的に之の仮定を又承認して理論を立てた。又大グループの長軸は明かに正規分布に従う事がわかつたがそれ以外は正規分布に従うとは云われぬ事がわかり化学的に製造される結晶の大きさの分布が単能に正規分布を成すと断定出来ない事が明かになつた。

終りに資料を提供された日産化学小野田工場に感謝する。

参考文献

- (1) 佐藤良一郎 数理統計学
- (2) ガラス生成反応に於ける数理統計的考察第3報 山口大学工学部学報 4巻 第1号

コンクリートの封緘養生に関する研究

大 濱 文 彦

I 緒 言

コンクリート構造物の諸性質を左右する重要な因子は、配合及び養生状態であることは、言うまでもないことである。気候のよい時期、春秋における工事は別として、暑中、寒中の工事では、特に養生の問題に種々の難点が存在した。寒中コンクリートの養生については、すでに電気養生の実施によつて、いくつかの難点は解決されたと称して差支えないようである。

然るに、暑中工事では、未だに、多大の労力と費用を費し、絶えざる監視を怠らないように

して始めて、完全な養生がなされる状態である。

最近、米国の示方書には、コンクリートの封緘養生に関する仕様、又は、全封緘剤に関する規定が見うけられる。これよりみて、米国ではすでに封緘剤を使用して、暑中コンクリートの養生の問題を簡単に解決しているようである。

著者は、昨年、京大松尾新一郎氏を介して某社製品のビニール乳剤たるビニテックスと称する封緘剤を入手して、その基礎的実験を行った。以下、その結果につき、簡単に概要を報告

したい。

コンクリートの封緘養生というのは、一口に言えば、コンクリート構造物に塗料のようなものを塗布して、一定期間水分の蒸発、即ち乾燥を防ぎ、セメントの水和作用に必要な水分が散逸するのをさけることにより、強度、耐久性、その他の諸性質のよいコンクリートが得られるように保護育成するものである。

本邦における封緘養生の施工は、大阪市の道路工事に行われた他、最近ぼつぼつ実施されているが、失業救済その他の関係で、未だ充分普及しているとは言い難い。

## II 実験概要

本実験に使用したビニテックスは、前述の如く、乳白色の醋酸ビニールのエミュルジョンで、水分蒸発後は、無色殆んど透明なビニール薄膜を形成する。

封緘養生の対象とした供試体は、すべて、重量比1:2モルタル、水量65%のもので、供試体寸法4×4×16cm、JISセメント規格の強度供試体と全一であつて、強度試験方法も、JISに準じて行つた。使用砂は産地不詳の花崗岩砂である。

封緘剤は、当初、農業用噴霧器で撒布したが相当多量を施さないと、効果が少いことに気づいたので、これが使用を中止し、ビニテックスを洗面器様の容器に入れ、供試体をそれに浸した後引上げ、しづくを切つて室内乾燥せしめた。

本実験の実験項目は次の通りである。

- a. 供試体の乾燥の進行による、重量の時間的变化
- b. 封緘剤の施工期を異にする場合
  - (1) 供試体重量の変化
  - (2) 曲げ強度の変化
  - (3) 圧縮強度の変化
- c. 封緘剤施工回数を変化せしめた場合
  - (1) 曲げ強度の変化
  - (2) 圧縮強度の変化

## III 供試体の乾燥進行

コンクリート表面より水分の蒸発する場合、その表面の水分蒸発量は、その表面に存在する

単位体積あたりの水分含有量に比例し、その内部における水分の移動速度は水分含有率の勾配の変化に比例するものとして差支えない。

この取扱いについては、Lord Kelvin, Scheresefsky, Carlson, 吉田彌七氏等の理論展開とその検討がなされて居り、実用上充分妥当であることが広く認められている。

勿論、温度の影響も存在するが、本実験に用いたような小型供試体を室内乾燥させる場合には、当然無視できよう。

今、 $x=0$ ,  $x=a$ ,  $y=0$ ,  $y=b$ ,  $z=0$ ,  $z=c$  で囲まれた直六面体の表面より、水分が蒸発する場合を考える。

前述の取扱いを、これに適用するものとすれば、単位体積のコンクリートに含まれる水分を  $w$  とするとき、次の基本方程式が成立する。

$$\frac{\partial w}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

式中、 $t$  は時間、 $x$ ,  $y$ ,  $z$  は座標、 $a$  は乾燥の進行にともない、水分の伝播する際の係数で水分伝播率とよばれる。

表面における境界条件は次の通りである。

$$\left. \begin{array}{l} x=0 \text{ のとき} \quad \frac{\partial w}{\partial x} - aw = 0 \\ x=a \quad \quad \quad \frac{\partial w}{\partial x} + aw = 0 \\ y=0 \quad \quad \quad \frac{\partial w}{\partial y} - aw = 0 \\ y=b \quad \quad \quad \frac{\partial w}{\partial y} + aw = 0 \\ z=0 \quad \quad \quad \frac{\partial w}{\partial z} - aw = 0 \\ z=c \quad \quad \quad \frac{\partial w}{\partial z} + aw = 0 \end{array} \right\} \quad (2)$$

式中、 $a$  はコンクリート表面の水分伝達率である。

又、 $t=0$  のとき、 $w=W$  (一定) とする。

この直六面体に関する熱伝導と全一の式は、すでに解が求められて居る。即ち、 $W$  を (2) を満足する形に展開し、その形に注目して、 $w$  を夫々  $t$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  のみの函数の積として表されるものと仮定して解けば、

$$W = 64a^3 a^2 b^2 c^2 W$$

$$\begin{aligned} & \times \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{q=0}^{\infty} \sum_{r=0}^{\infty} \frac{\cos \frac{\mu_{2p+1}}{a} x + \frac{aa}{\mu_{2p+1}} \sin \frac{\mu_{2p+1}}{a} x}{(\mu_{2p+1}^2 + a^2 a^2) a^2 - 2aa^2} \\ & \times \frac{\cos \frac{\mu_{2q+1}}{b} y + \frac{ab}{\mu_{2q+1}} \sin \frac{\mu_{2q+1}}{b} y}{(\mu_{2q+1}^2 + a^2 b^2) b^2 - 2ab^2} \\ & \times \frac{\cos \frac{\mu_{2r+1}}{c} z + \frac{ac}{\mu_{2r+1}} \sin \frac{\mu_{2r+1}}{c} z}{(\mu_{2r+1}^2 + a^2 c^2) c^2 - 2ac^2} \\ & \times \exp \left\{ -a \left( \frac{\mu_{2p+1}^2}{a^2} + \frac{\mu_{2q+1}^2}{b^2} + \frac{\mu_{2r+1}^2}{c^2} \right) t \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

但し、 $\mu_{2p+1}$ ,  $\mu_{2q+1}$ ,  $\mu_{2r+1}$  は夫々、

$$\begin{aligned} \tan \mu_x &= \frac{2aa\mu_x}{\mu_x^2 - a^2 a^2}, \quad \tan \mu_y = \frac{2ab\mu_y}{\mu_y^2 - a^2 b^2}, \\ \tan \mu_z &= \frac{2ac\mu_z}{\mu_z^2 - a^2 c^2} \quad (4) \end{aligned}$$

の、 $2p+1$ ,  $2q+1$ ,  $2r+1$  ( $p, q, r=1, 2, 3, \dots$ ) 番目の根である。\*

$$\begin{aligned} Q &= -256a^6 a^2 b^2 c^2 W \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{q=0}^{\infty} \sum_{r=0}^{\infty} \frac{1}{(\mu_{2p+1}^2 + a^2 a^2) a^2 + 2aa^2} \\ & \times \frac{1}{(\mu_{2q+1}^2 + a^2 b^2) b^2 + 2ab^2} \times \frac{1}{(\mu_{2r+1}^2 + a^2 c^2) c^2 + 2ac^2} \\ & \times \frac{\exp \left\{ -a \left( \frac{\mu_{2p+1}^2}{a^2} + \frac{\mu_{2q+1}^2}{b^2} + \frac{\mu_{2r+1}^2}{c^2} \right) t \right\}}{a \left( \frac{\mu_{2p+1}^2}{a^2} + \frac{\mu_{2q+1}^2}{b^2} + \frac{\mu_{2r+1}^2}{c^2} \right)} \\ & = -256a^6 a^4 b^4 c^4 \frac{W}{a} \sum_{p=0}^{\infty} \sum_{q=0}^{\infty} \sum_{r=0}^{\infty} \frac{1}{\mu_{2p+1}^2 \{ (\mu_{2p+1}^2 + a^2 a^2) a^2 + 2aa^2 \}} \\ & \times \frac{1}{\mu_{2q+1}^2 \{ (\mu_{2q+1}^2 + a^2 b^2) b^2 + 2ab^2 \}} \times \frac{1}{\mu_{2r+1}^2 \{ (\mu_{2r+1}^2 + a^2 c^2) c^2 + 2ac^2 \}} \\ & \times \left[ \exp \left\{ -a \left( \frac{\mu_{2p+1}^2}{a^2} + \frac{\mu_{2q+1}^2}{b^2} + \frac{\mu_{2r+1}^2}{c^2} \right) t \right\} - 1 \right] \quad (9) \end{aligned}$$

直六面体供試体よりの蒸発水量は、式(9)より明らかな如く、時間  $t$  の指数函数として表される。著者の実験における非封緘供試体の重量減少量は図-1の通りであつて、明らかに指数函数形を示している。

尚、封緘剤を施したものは、24時間において計量できる程の重量の減少を示していない。これは、式(9)より明らかな如く、 $a$ の値の変化が水分蒸発量に及ぼす影響の大なることを示すものである。

\*このとき、表面より失われる水量  $Q$  は、時刻 0 より  $t$  までの間において、次式に示す通りである。

$$Q = 2a \int_0^t \left\{ \int_0^b \int_0^c (w)_{x=0} dy dz + \int_0^c \int_0^a (w)_{y=0} dz dx + \int_0^a \int_0^b (w)_{z=0} dx dy \right\} dt \quad (5)$$

式(4)より、

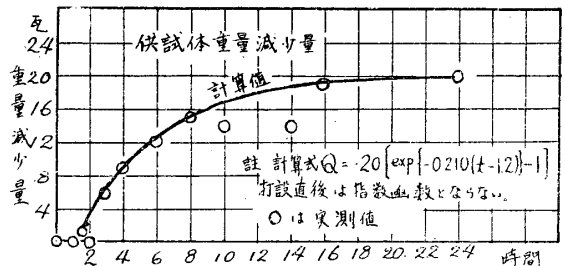
$$\begin{aligned} \cos \mu_{2p+1} &= \frac{\mu_{2p+1}^2 - a^2 a^2}{\mu_{2p+1}^2 + a^2 a^2} \\ \sin \mu_{2p+1} &= \frac{2aa\mu_{2p+1}}{\mu_{2p+1}^2 + a^2 a^2} \quad (6) \end{aligned}$$

之を用いて、

$$\int_0^a \left( \cos \frac{\mu_{2p+1}}{a} x + \frac{aa}{\mu_{2p+1}} \sin \frac{\mu_{2p+1}}{a} x \right) dx = \frac{2aa^2}{\mu_{2p+1}^2} \quad (7)$$

$$\left. \cos \frac{\mu_{2p+1}}{a} x + \frac{aa}{\mu_{2p+1}} \sin \frac{\mu_{2p+1}}{a} x \right|_{x=0} = 1 \quad (8)$$

(7), (8)を用いて、式(5)を計算すれば、



第1図 非封緘供試体の乾燥による重量減少  
打設直後は固体とは言い難いので理論式と一致しない、2時間以後で始めて一致している。

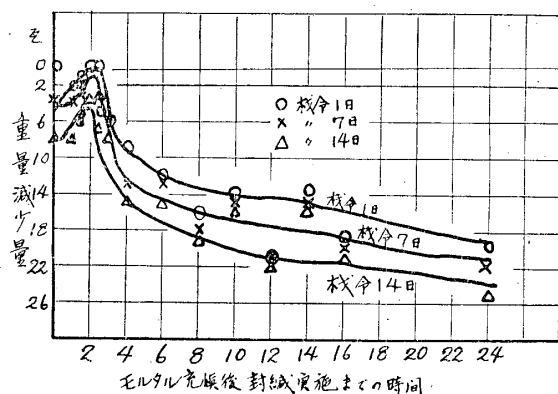
#### IV 封緘剤施工の時期

封緘剤施工の時期によつて、その効果に大差が認められる。コンクリート打設後、如何なる時期に施すべきかについては、米国開発局その他の実験があつて、セメント凝結の終了 (F. S.) 後、なるべく早く施すべきであるとされている。その理由としては、凝結終了までの水分の損失は、セメント混和水の減少となり、w/c を低下せしめるからとされている。しかし、w/c の強度その他に及ぼす影響は、水隙量の変化によるものであるから、ブリーディング、その他から考えても、F. S. までの乾燥によつて、かゝる認められる程の好影響を生ずるものであるか否かは、大いに疑問である。

著者は、前述の如く、次項の如き実験を行い、一検討を試みた。

##### a. 施工時期の変化による供試体重量減少量の変動

打設後24時間において、封緘実施の時期を異にした場合の、材令1日、7日、14日における供試体重量の減少量の変化を測定した結果は図-2に示す通りである。

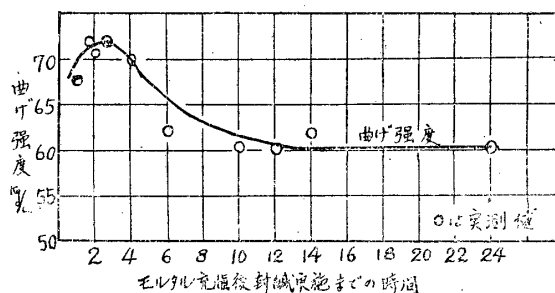


第2図 封緘時期と重量減少量

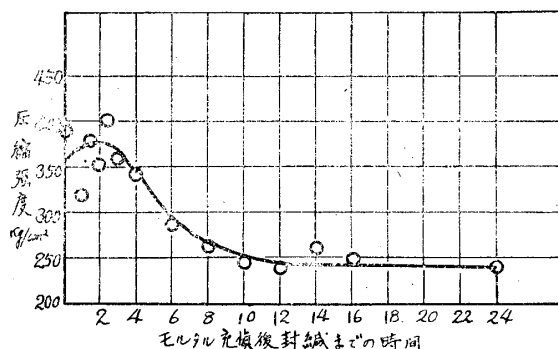
この結果は、後に示す、強度の変化と明らかに関連があり、セメントの凝結開始 (I. S.) と思われる時期のわづか前後に施工の最適期が認められた。

##### b. 施工時期と強度の変化

a. と全しく、封緘実施時期を異にした場合の曲げ及び圧縮強度の変化の測定結果を、図-3、図-4に示す。



第3図 封緘時期と曲げ強度



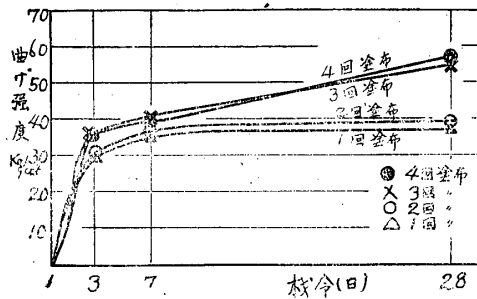
第4図 封緘時期と圧縮強度

これらは明らかに、図-2と平行関係があり強度は水分蒸発、即ち、重量減少量の多いもの程低下することを示している。著者は、この封緘剤をガラス板に塗布して、水分乾燥につれてその薄膜形成の過程の進行を観察したが、薄膜形成の瞬間に無数の毛細管状のキレツが発生するのを認めた。恐らく、封緘剤を施す時期が早きに失すれば、かゝるキレツがより多数発生して、コンクリート表面の水分伝達率  $\alpha$  を充分小ならしめず、その結果乾燥量大となり、ひいては強度の低下を来すのではないかと想像される。

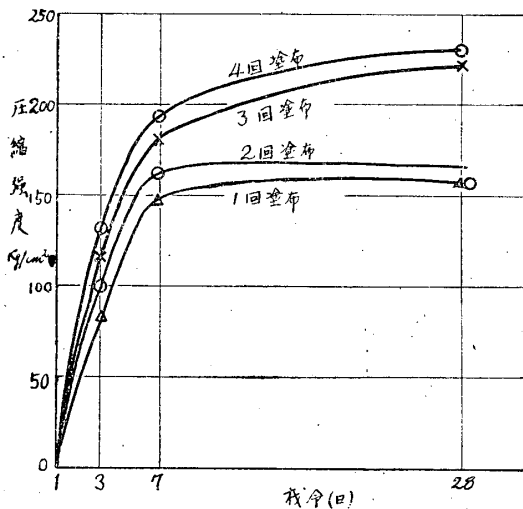
#### V 封緘実施回数を増加した場合

封緘薄膜にキレツの発生することより、封緘実施が一回のみよりも、その回数を増加して、封緘効果を高めることが可能ではないかと考えて、施工回数を4回まで増加してみた。然る後、供試体の強度を試験した処、図-5図-6の如き結果を得た。

之によれば、回数を重ねる毎に強度は増大するが、3回施工と、4回施工とでは、圧縮強度でも大差なく、曲げ強度では殆んど差異が認められない。従つてこの封緘剤では、大体3回程度反復実施すべきであると認められる。



第5図 封緘実施回数と曲げ強度



第6図 封緘実施回数と圧縮強度

## VI 結 語

コンクリートの封緘養生は、我邦においては比較的新しい工法であるが、米国においては、すでに広く実用化されている模様である。本稿にはふれていないが、封緘剤のあるものは輝白色を呈し、日射による加熱乾燥をある程度防止するものも存在する由である。

本研究に使用した国産封緘剤は、相当すぐれた効果を有することが認められたが、施工時期及び反復回数を選定に相当の慎重さを必要とする点、又、無色透明な薄膜を生ずるため、反射による日射防止作用を有しない等の点で、未だ充分改良を要する様である。

しかし、本実験結果で明らかな如く、施工時期をセメントのI. S. 前後にえらび、3回

度反復実施すれば、充分その効果をあげることができると思われる。而して、現在我国に見られるように、むしろや砂で之を覆い、更に労力により、絶えず撒水して湿潤に保つ等の労を払わずして、良好な結果を得ることができる。人件費を考慮すれば、大体现在の暑中の湿潤養生(撒水によるもの)の1/3以下の費用にてことたりると言われている。

又、前述の如く、コンクリート内部においても、乾燥が進行する場合、その乾燥により、比較的材令の若い、弱い時期に収縮応力を生じてキレツの一因となる。これを封緘養生は、最も有効に防止することができるものと思われる。

尚、本稿における、直六面体の乾燥機構の理論的展開は、今のべた、収縮応力の研究に関連するものであり、現在著者の別途研究中の熱応力の問題をも含み、所謂コンクリート構造物の初内応力の問題に綜括されるものである。しかも、乾燥機構が、熱伝導理論と、全く同一な取扱いを許すことは、その前途に広い分野が急速に開ける可能性のあることを暗示している。

これらについては、更に、今後の研究成果に期待している。

## 参 考 文 献

- (1) 「熱伝導論 川下研介」河出書房、応用数学講座
- (2) 「コンクリート便覧、米国開発局」近藤泰夫訳 国民科学社
- (3) 熊本大学工学部 コンクリート研究第一号、「コンクリート及鉄筋コンクリート収縮キレツ概論」吉田彌七
- (4) Carlson, Prof Roy W. "Drying Shrinkage of Large Concrete Members" Proc. ACI vol 33. 1937
- (5) Schweite H. E. und H zur Strassen" Über Schwind und die Wasser-abgabe von Zementen" Zement 27. 1938.