

## PC 用 グラウト の 品質 試験 について

正員 北海道大学大学院工学研究科

藤田嘉夫

正員

同

上

尾崎 昶

## 1. 緒 言

プレストレストコンクリート施工において目下問題となっているものにグラウトモルタルがある。わが国にはまだこれに関する標準規格も制定されておらず、研究面においても二、三の実験例\*が示されているに過ぎない。そこで現場施工において多くの難点があり、特に凍害の危険にさらされる北海道などの寒地の PC 橋には、グラウトの凍結によつて生じたと思われるシースに沿つたクラックが発生している例が多く、PC 鋼線の腐食する恐れがあり、目的に十分適つた品質のグラウトが得られるような標準規格の制定が望まれている。

この期に及んで、当研究室でも数年来これに関する実験を行つてきたので、ここに発表する次第である。

## 2. 品質試験方法および規格

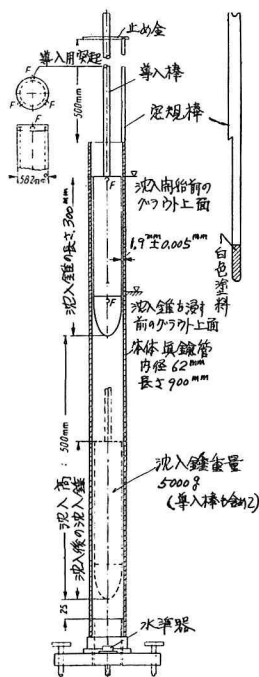
グラウトモルタルの目的は、グラウト注入路内の空隙を完全に埋めて、PC 鋼線の保護と付着が確実に得られることにあるが、このためには適当な流動性と十分な強度を有し、かつ、収縮が少ないもので凍害に対する抵抗の大きいものが要求されるから、試験も 4 項目に分かれる。

以下、各試験別に説明する。

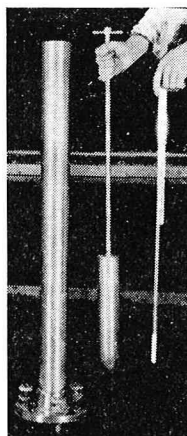
### (1) 流動性試験

グラウトの流動性は、グラウトがシースなどの注入路の隅々までゆきわたつて空隙をすつかり埋め、PC鋼線を十分取囲むようにするために必要な性質である。この流動性を測定する方法として、従来用いられてきたフローコーンによる方法は、PCグラウトのように比較的粘着力のある濃いグラウトの場合には、実験の結果、フローを測定した後にフローコーンに付着して残っている量が、一般に用いられる程度のフローでも、大体20~370gと非常に差があつて、このようなフロー値を基準とするのは不適當であることがわかつたので、ドイツ規格に準じた試験方法によつて注入(秒)を測定することにした。

図-1 および 写真-1 は沈入試験器と呼ぶもので、本体は



図—1 沈入試験器の寸法



写真—1  
沈入試験器

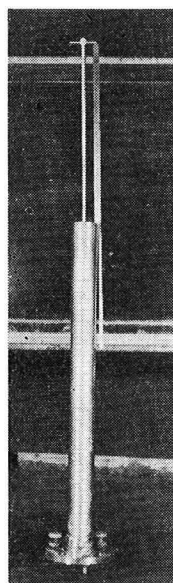


写真-2 沈入開始前の状態

真鍮製の管より成り、気泡管にて正しく鉛直に調節できるようになっている。まず、約1.9ℓのグラウトを入れ、次に沈入錘を所定の高さに入れて定規棒で支えたとき、その上端とグラウト面が一致するようにする(写真-2)。定規棒を外すと、沈入錘はグラウト中を沈入し、管本体の上面に止め金が接触して止まる。この時間を測定し、これを3回繰返して、2回目と3回目との平均値を沈入(秒)

※ 猪股俊司：プレストレストコンクリート用グラウトの研究；（セメントコンクリート 1958 年 8 月）  
菅原 操：プレストレストコンクリートのグラウティング；（セメントコンクリート 1955 年 5 月）

表-1 適当な流動性を与える沈入の値

| グラウト注入路の状態          | 沈 入       |                   |
|---------------------|-----------|-------------------|
|                     | グラウト混合後の値 | 混合後 30 分以上経過した時の値 |
| 比較的断面が小さいか、または、長い場合 | 約 30 秒    | 80 秒 以 内          |
| 比較的断面が大きい場合         | 約 40 秒    |                   |

とする。この沈入については表-1の値を標準とする。

## (2) 収縮率試験

沈澱凝結硬化などによつて生ずる収縮は、PC 鋼線の保護および付着を確実にし凍害を防ぐためにもできるだけ少ないのが良く、収縮率は2%を越えないようにすべきである。従来、この趣旨のもとにグラウトのブリージングを測定する方法が用いられたこともあるが、これは収縮率測定の基準とはならない。また、シース内に溜つた分離水の量を推定することは凍害の危険を防ぐのに意味があるが、この目的に対しても従来の方法は適当ではない。上面に溜る分離水の量は一般に、低温時には2~5時間、高温時あるいはミキサーの混合効果の大なる場合などは1~4時間位が最大で、これ以後は凝結硬化の進行に伴ない、内部に再び吸収されるため漸次減少し、遂には消失してしまう。したがつて、実際の分離水の量は、コンクリートのブリージング測定方法に準じた場合の全量よりも小さな値である。しかし、密閉した容器のため蒸発による損失がないから、グラウトの種類によつては2~3日、もしくは、それ以上の長期間、消失しないで残っていることがあり、凍害の原因となる恐れもあるから、分離水の最大値および残存時間を測定することは有意義である。なお、普通の品質のグラウトでは3時間を最大値と見て測定しても大差はない。また、収縮は24時間後に測定する。

測定方法は、3個の1kg 罐詰用押蓋 2号罐 (φ99×120 mm) にグラウトを高さ 100 mm になるように満たし(写真-3)、写真-4 のような測定用蓋とデップスゲージを用いて、写真-5 の要領で 6 点のグラウト面の高さを測定し、その平均値を求める。測定後、気密になるように蓋をし、所要温度(予測される現場の温度)に放置してお

き、24 時間後に同様の方法でグラウト面の高さを測定し、最初の値との差を収縮量とする。収縮率は最初の容積に対する%にて示すが、高さ 100 mm の円筒供試体であるから、mm で表わした収縮高さが、そのまま収縮率を表わしている。

測定の時、分離水がある場合には、その水面の高さと、レイタンスの皮膜を寄せて写真-6 のようにデップスゲ

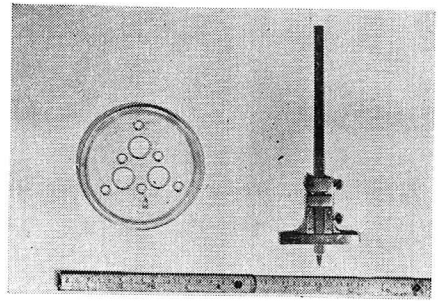


写真-4 収縮測定用蓋とデップスゲージ

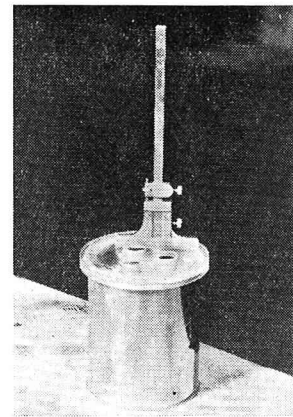


写真-5 収縮測定状態

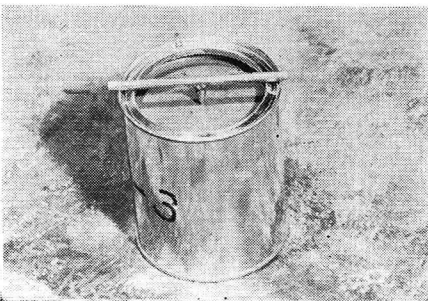


写真-3 100 mm の高さに填充

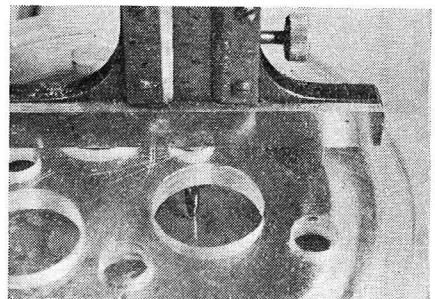


写真-6 モルタル面(分離水中)にタッチ

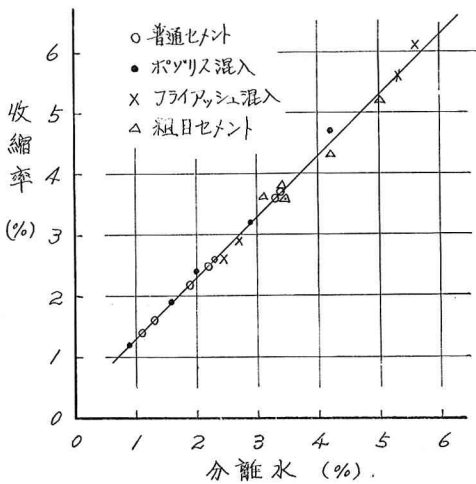


図-2 分離水と収縮率との関係

ージの先端を入れてグラウト面の高さを測定すれば、分離水率と収縮率を測定し得る。この両者の関係は、膨脹剤を用いない場合はほとんど一定で、図-2のような直線で示すことができ、分離水率は収縮率より 0.1~0.5% 小さな値であるが、膨脹剤を用いた場合は一定していない。

### (3) 圧縮強度試験

圧縮強度は、 $\phi 99 \times 100$  mm の試験供試体を容器のまま、現場予想温度で養生し、試験の前日に取出して、写真-7 のようにキャッピングを施して行う。この場合、7

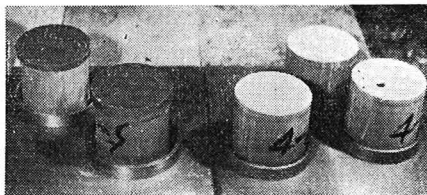


写真-7 硫黄によるキャッピング

日で  $250 \text{ kg/cm}^2$ 、28 日で  $300 \text{ kg/cm}^2$  の強度を有しなければならない。実験の結果、粉末度 2,890 および  $2,570 \text{ cm}^2/\text{g}$  (88  $\mu$ 残分 5.1 および 9.1%) という粗いセメントを用いた場合でも  $300 \text{ kg/cm}^2$  以上の強度であり、収縮率

を改善させるためにアルミを用いた場合でも過度の膨脹を防ぐ意味でアルミ粉の量を 0.0025% 以下に押えると  $250 \text{ kg/cm}^2$  位は得られるので、一般にこの規定に合格するには、それほど困難ではない。ただし、必要以上の混和剤を入れたら、異状な硬化をなし、流動性、収縮率の規定には合格しても、 $\sigma_t$  が  $200 \text{ kg/cm}^2$  以下となることがあるので注意を要する。

### (4) 凍結安定性試験

凍結安定性は冬期に凍結気温となる地方では特に重要な事項である。既往の PC 桁においてグラウトの凍結によつて生じたものと推定されるコンクリートのひびわれがシースに沿つて発生した例が非常に多く、この種のひびわれは、曲げモーメントによつて生じた横断方向の亀裂と同様に危険である。この凍結安定性のために要求されるグラウトの性質は、水量が少なく、収縮の小さなもので、内部収縮の大きなものである。この内部収縮が大きければ大きいほど凍結に対し安定である (図-3)。

凍結安定性試験方法については省略する。

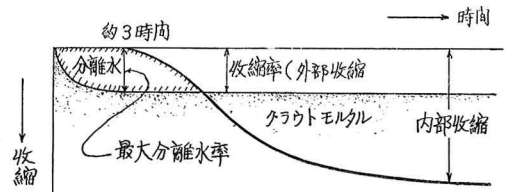


図-3 グラウトの時間的容積変化 (膨脹剤なき場合)

## 3. 実験結果

(1) セメント 本実験に用いたセメントは表-2 のような 5 種のセメントであるが、結果から見て粗いセメントの方が流動性にとつて有利である。この場合、収縮や分離水は粗い方が大きく不利であるが、ポリリス No. 8 の添加により、この点も改良され、理想的なグラウトが得られる。また、非常に細かい粉末度の早強セメントと普通セメントを比較すると、前者は流動性がはなはだしく悪く、所要の流動性を得るためには多くの水量を要するために収縮も良くなく、ポリリスの使用によつても規

表-2 セメントの品質

| セメント<br>略 号    | セメント種類   | 88 $\mu$ 残分<br>(%) | ブレン<br>( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) | 比 重  | 凝 結  |      |      |
|----------------|----------|--------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|
|                |          |                    |                                   |      | 水 量  | 始 発  | 終 結  |
| C <sub>1</sub> | 普通ポルトランド | 2.4                | 3,230                             | 3.13 | 27.0 | 2-35 | 3-50 |
| C <sub>2</sub> | "        | 5.1                | 2,890                             | 3.13 | 27.2 | 3-03 | 5-43 |
| C <sub>3</sub> | "        | 9.1                | 2,570                             | 3.14 | 27.0 | 4-03 | 6-04 |
| C <sub>4</sub> | 早強ポルトランド | 0.4                | 4,480                             | 3.12 | 31.8 | 2-39 | 4-04 |
| C <sub>5</sub> | "        | 0.2                | 4,260                             | 3.10 | 30.5 | 2-32 | 3-52 |

定量位では大した良い点も見当らない。したがって、このような粉末度の細かい早強セメントの使用は不適当である。

(2) 使用水量 PC グラウトの使用水量は  $w/c=36\sim 45\%$  を標準とする。 $C_1$  というもつとも普通のセメントを用いた場合は、混和剤なしの時  $40\sim 45\%$ 、ポゾリス No. 8 を用いる時  $36\sim 40\%$  で所要の流動性が得られた

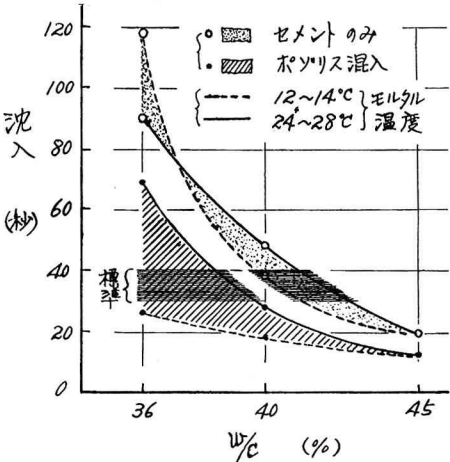


図-4 水セメント比と流動性  
(温度変化による分布)

(図-4)。また、粗いセメントを使用する時は、セメントだけの時で  $38\sim 40\%$ 、ポゾリス添加時には  $33\%$  の水セメント比も可能となる。しかし、この程度の水量でも収縮率は  $1\sim 3\%$  である。一方、 $C_4$   $C_5$  の細かい粉末度の早強セメントでは、流動性の点では、混和剤なしの時  $w/c=60\%$  前後、ポゾリス混入によつても  $w/c=49\sim 54\%$  を必要とする。

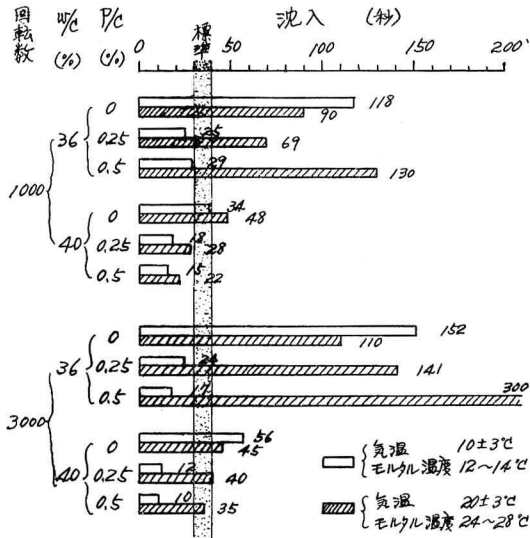


図-5 各種条件下の流動性

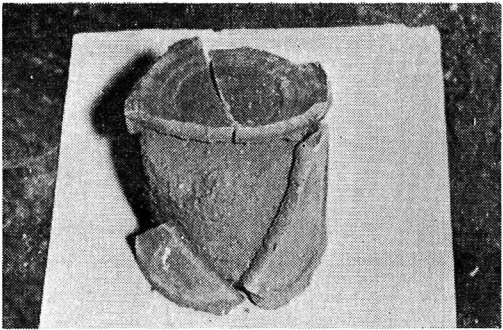


写真-8・a  $w/c=36\%$  (7 日)

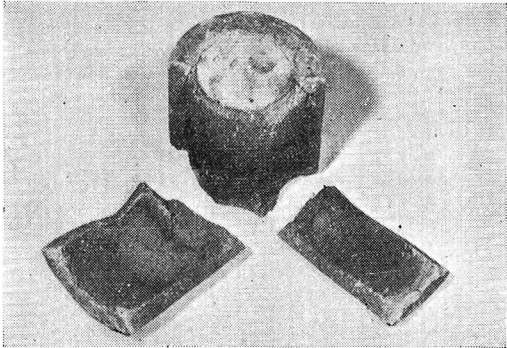


写真-8・b  $w/c=36\%$  (28 日)

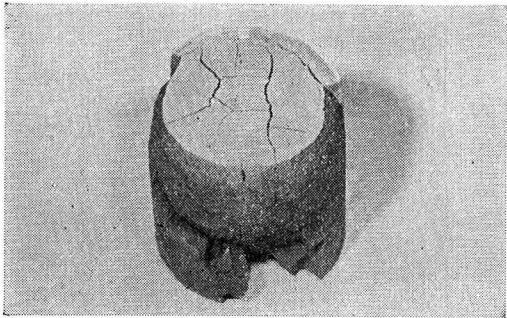


写真-8・c  $w/c=40\%$  (28 日)

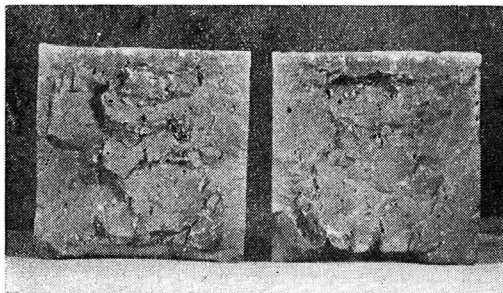


写真-8・d  $w/c=45\%$  (28 日)

ポゾリス量過多 ( $P/C=0.5\%$ ) }  
 写真-8 高温 (グラウト温度  $25^{\circ}\text{C}$  以上) の悪例  
 高速 (ミキサー 3,000 回転)

(3) 混和剤 流動性を良くするため、あるいは、膨脹作用によつて収縮を改善するための混和剤は、塩化物を含まないことが必要である。したがつて、ポゾリスは No. 8 が良い。これは 図-5 に見るように  $w/c=36\%$  の硬い場合で温度が高い時は、例外的にその効果が認められないが、他の場合には流動性を良くし、特に温度があまり高くない時にその効果は著しい。一方、混和剤の添加により収縮は大きくなるが、粗いセメントでは、むしろ収縮が小さくなる傾向を示し、好都合である。また、普通の粉末度 ( $C_1$ ) の場合でもポゾリス No. 8 を規定量の 2 倍 ( $P/C=0.5\%$ ) 入れることによつて、収縮を小さくする効

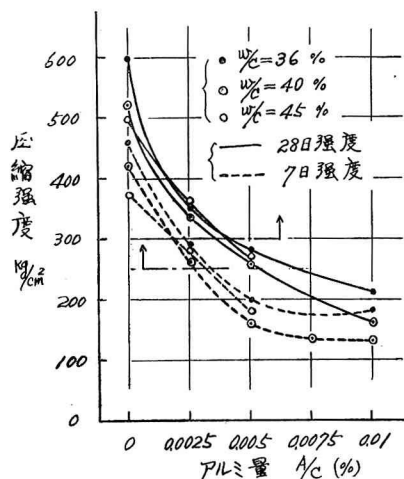


図-6 アルミ粉混入による強度の低下

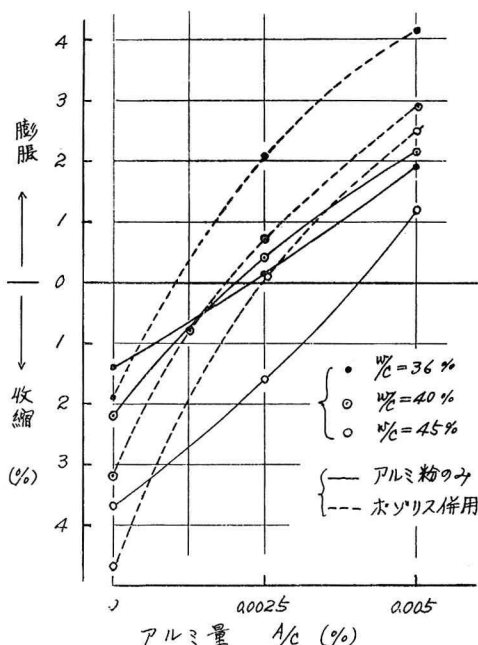


図-7 アルミの膨脹効果

果が認められるが、グラウトの温度が  $25^{\circ}\text{C}$  を越えると、写真-8 に見るようなおそるべき結果を招くので、絶対に避ける必要がある。

膨脹剤にはアルミ粉末を使用した、ミキサー内で早くも膨脹作用が発生するので注意を要する。このためポゾリスを併用して見たが著しい効果はなかつた。アルミ粉末は流動性に関してはなんらの影響なく、強度には図-6 のような悪影響を及ぼす。膨脹の効果は 図-7 のように、アルミ単独の場合 (実線) は曲線の交差など不規則であるが、ポゾリス併用の場合 (点線) は、平行曲線にて、やや規則的な膨脹作用を示す。

(4) フライアッシュおよび石粉 フライアッシュと石粉はほとんど同様に取扱つてよい。一般にフライアッシュを混和すると、流動性を悪くし、収縮率も悪くなる傾向があり、ポゾリス併用により少し改善されるが、セメント節約以外の効果は余り期待できない。

(5) グラウトミキサーについて 混合には必ずグラウトミキサーを用うべきである。グラウトミキサーは必要以上の高速回転を避け、一様な品質のグラウトが得られる範囲内で、なるべく遅い回転のものとし、グラウトに機械的な破壊、あるいは大きな温度上昇などによる異状な凝結を起させることを避けなければならない。

本実験に用いたミキサーは 写真-9 のような 20 l 容量のもので、実験のため回転数は 1 分間に 500, 1,000, 2,000, 3,000 回転の 4 種類に変速するようにした。写真-10 はその混合翼である。回転数の影響は、流動性では 図-3 のように極軟ねりでは回転数の増大とともに良くなるが、標準の流動性のものでは回転数に限界 (この場合は 2,000 回転) が生ずる。次に収縮は 図-9 のように回転数の増加とともに少なくなる。しかし、圧縮強度には大して影響はない。

次に混合時間については、低速回転では流動性は混合

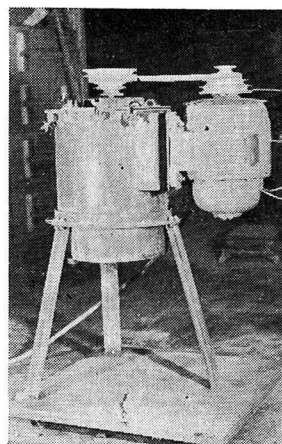


写真-9 グラウトミキサー

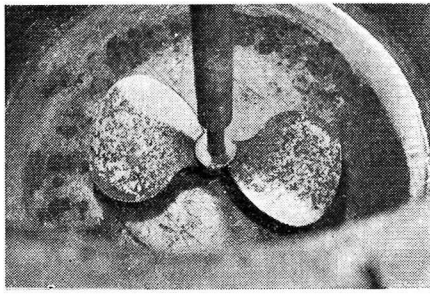


写真-10 ミキサー混合翼

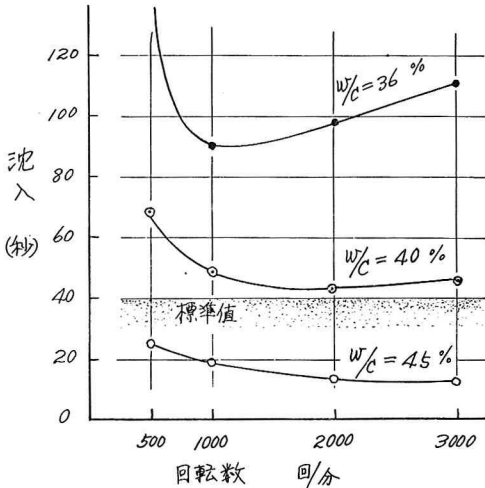


図-8 回転速度の流動性に及ぼす影響

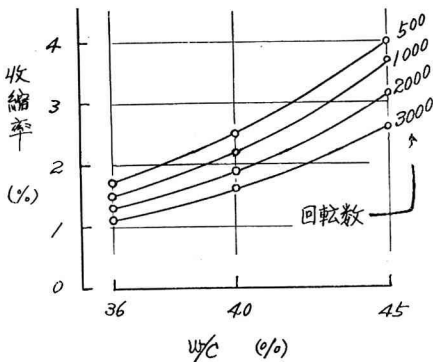


図-9 水セメント比と収縮率

時間の増大とともに良くなるが、高速回転では急激に悪くなる。また、収縮は一般に混合時間の増大につれて小さくなるが、3,000 回転では 10 分以後はあまり変化がな

い。また、圧縮強度は混合時間とともに僅か減少する傾向が見られる。したがって、混合時間は 5 分で十分である。なお、膨脹剤はその作用発生を遅くするため、他の材料投入後 2.5 分で混入するのが適当と思われる。

#### 4. 結 語

実験より得た結論として、次の点を強調したい。

- 1) 流動性の測定は沈入試験器によることが望ましい。この方法による沈入の標準値は表-1 のとおりである。
- 2) 収縮および分離水はデップスゲージの使用により目的を達せられる。なお、収縮量は 2% を越えてはならない。
- 3) 供試体型枠としての押蓋罐の利用は、シースなどの内部と同じ条件で養生ができ、しかも、収縮や分離水の測定を可能にするので便利である。
- 4) 上記の罐内で気密養生した供試体の圧縮強度は 7 日で  $250 \text{ kg/cm}^2$ 、28 日で  $300 \text{ kg/cm}^2$  以上が適当している。
- 5) 標準の流動性を得るために必要な水量は、セメントの種類によつて非常に異なる。
- 6) グラウトミキサーは所要の流動性が得られる範囲内であるべく遅くし、高速回転による混合は避けたい。
- 7) グラウトの混合時間は 5 分が適当で、膨脹剤は 2.5 分経ってから投入し、その後 2.5 分混合すると良い。
- 8) ポゾリス No. 8 は流動性を良くするが、例外としてグラウト温度があまり上昇すると水量の非常に少ない場合に効果がない。グラウト温度は  $25^\circ\text{C}$  以下としたい。
- 9) ポゾリス No. 8 の使用は規定量 (セメント重量の 0.25%) 以内とする。これ以上の添加は危険を伴う場合がある。
- 10) フライアッシュは流動性や収縮などにあまり良い影響を与えないので好ましくない。
- 11) 膨脹剤として使用するアルミ粉の量は、セメント重量の 0.0025% (1/4 万) 以下で十分であり、ポゾリス No. 8 を併用し、急速な膨脹作用を押える必要がある。このようにしても膨脹作用はかなり不規則なので、アルミなどを脂肪層で囲んだ本格的な膨脹剤の出現を期待したい。

最後に、本研究は北大横道教授の御指導によつたものであり、また、本実験については北海道開発局土木試験所の援助を受けたことを記し、ここに感謝の意を表する次第である。