

PC グラウト について

横 道 英 雄*

ポストテンションング プレストレスト コンクリートにおけるPCグラウトの重要性については、従来、正しく認識されなかったきらいがあり、その施工上の欠陥によるものと推定される被害、とくにシーす方向のひびわれ発生を見た例が各地に生じている。北海道土木技術会PC研究委員会では、数年前よりこれに関する広汎な実地調査と実験的研究を行なった結果、昭和34年2月に“PCグラウト注入施工指針”の改正を行なった¹⁾。これは同年度より北海道開発局および道所管のPC工事に適用され、各地においても漸次用いられるようになっていく。以下この指針制定の基礎となった、PCグラウトの品質試験方法および品質に影響をおよぼす事項についての実験結果を中心にして述べて見よう。

PCグラウトの目的は、PC鋼の付着を確実に保証し、これを腐食より防護し、必要によってはPC鋼の定着に対して直接安全に支持することであるが、このためには、(1) 適当な流動性を有すること、(2) 収縮の少ないこと、(3) 必要な強度を有すること、(4) 必要によっては連結安定性が可であること、の条件を満足することが必要である。一般に上記のうち、(2)~(4)の品質を向上しようとする、(1)の流動性が悪くなって、注入作業が困難もしくは不可能となる傾向を示す。従って流動性が適当な標準範囲にあり、しかも他の条件を満足するようにグラウトの配分を定めなければならない。またこの場合、上記4項目の品質に関して、その標準試験方法をまず定めることが必要である。

1. 流動性試験

後に述べるようにPCグラウトとしての必要な品質を確保するには、水セメント比を45%以内としなければならない。従ってプレパックドコンクリートその他に用いられるグラウトに比して、いちじるしく粘性の大きいものである。またシーす内に注入されるPCグラウトの流れは、これを狭い間げきを有する二重管内を一定の圧力によって流れる粘性流と見ることが出来る。このような粘性流の流動性を測定する方法としては、ドイツ指針²⁾による沈入試験がある。標準試験方法に対する最も

大切な要件は、その測定値が理論的根拠を有し、かつその試験装置の検定方法が確立されることである。著者らはこれを検討した結果その適当であることを確認した。沈入試験方法は、前記の土木技術会制定の指針(以下単に指針と呼ぶ)に述べてあるが、図-1はその試験装置を示す。粘性流体の層流理論によれば、比重 ρ 、粘性 μ' (ポアーズ)の液に対する沈入 e (秒)は

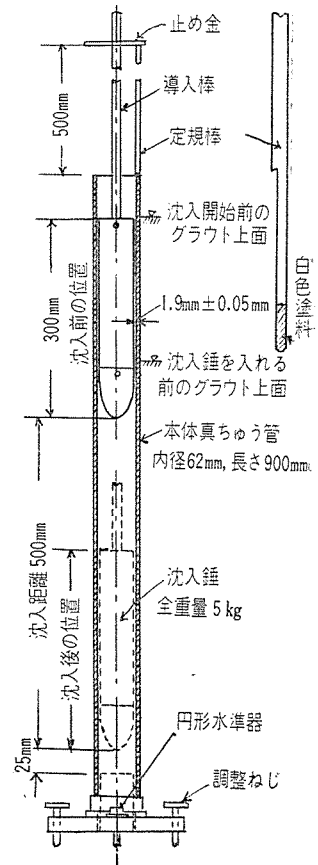
$$e = 3.452 \mu' / (187.9 - 25.79 \rho)$$

で表わされる。正しく製作された沈入試験装置を用いて

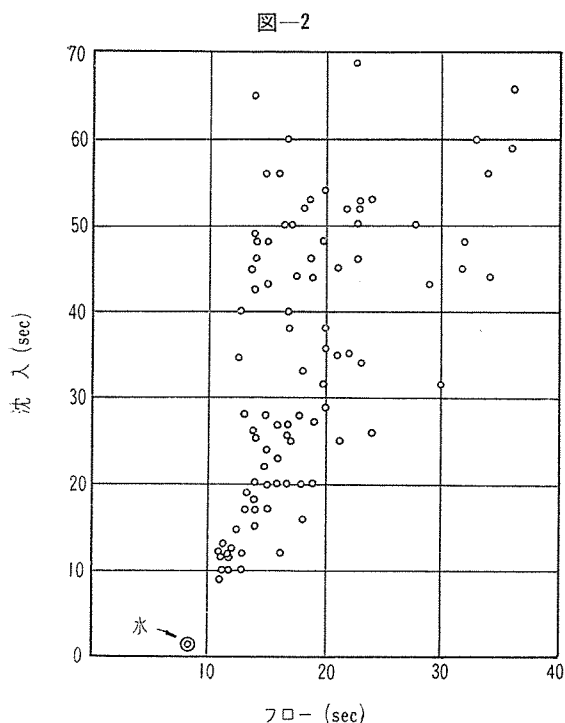
標準の方法により測定した沈入の値は、 μ' および ρ の既知な液体については上記の式による計算値と ± 1.0 秒以内の誤差で一致することがわかった。またこの試験装置の形状寸法の誤差が沈入の値におよぼす影響は、本体と沈入錘との間げきの誤差 ± 0.05 mmは約 $\pm 0.8\%$ 、沈入錘の有効長の ± 1.0 cmは約 $\pm 5.0\%$ 、その重量の ± 120 gは約 $\pm 1.0\%$ の影響をおよぼす。とくに間げきは 1.9 ± 0.05 mmとする規定であるが、その規定は容易でない。しかし、PCグラウトに類似の粘性を有する局方グリセリン(20°Cで比重1.226、 $\mu' = 1.44$)を使用し、標準検定方法により室温+19°Cにおいて測定値が、 ± 1.0 秒の誤差で計算値と一致するものを合格とすればよいことがわかった。

従来使用されたフローコーンの方法は、PCグラウトのように粘性の大きいものに対しては、正しい流動性を示さないものである。図-2は各種条件のグラウトについて測定した沈入とフローの関係を示す実験結果であるが、これによって両者の間には定関係を有しないことが

図-1 沈入試験装置



* 北海道土木技術会検定の沈入試験装置は、早坂工業所(札幌市)より一式69000円で販売されている(収縮試験装置をふくむ)。



わかる。この中から、フローが 20 秒内外のものを取り

表-1

| 沈入 (sec) | フロー (sec) | フロー コーン内残量 (g) |
|----------|-----------|----------------|
| 25 | 21 | 15 |
| 35 | 20 | 40 |
| 38 | 17 | 65 |
| 40 | 17 | 65 |
| 44 | 18 | 110 |
| 46 | 19 | 185 |
| 54 | 20 | 105 |
| 69 | 23 | 75 |
| 141 | 20 | 85 |

出して見ると、表-1 のごとく、沈入は25~141 秒に大きく変化している。すなわち沈入値が示すように、もともと流動性を異にするものであるのに対し、フロー試験ではこれを同一のものと誤認することになるのである。その原因としては、PCグラウトのように粘性の大きい場合には、コーン内に付着して不規則に残る量があること(表-1)、フロー試験方法そのものが適当な方法でないことがあげられる。

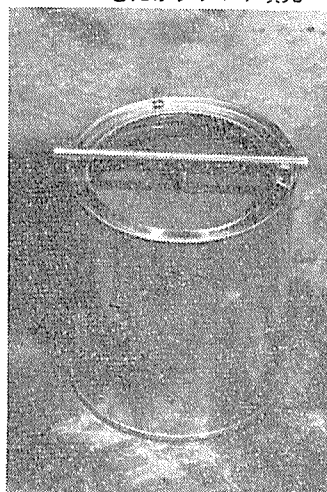
2. 収縮試験

シースのような密閉容器内に注入されたPCグラウトでは、乾燥による収縮はほとんど起こらないが、しかし沈殿、凝結および硬化による収縮を全く避けることはできない(膨張剤を混和しない場合)。収縮が大きいと空げきが生じ、PC鋼の付着に悪影響をおよぼすだけでなく、PC鋼の腐食するおそれがあり、もし空げきに分離水が集中すれば凍害の原因ともなる。従って収縮率をある値以下に押えることが必要となってくる。PCグラウトの収縮率を直接測るかかわりに、コンクリートのブリージング測定方法に似た方法によって、開いた容器内のグラウトの分離水を吸い上げてその全量を測定して、これによって収縮の程度を推定することも行なわれたが、

これはしかし適当ではない。シースのような密閉された容器内のグラウトを観察すると、注入後間もなく固形分の沈殿によってグラウト面は収縮降下をはじめ、これにともなって分離水が上面に浮上がってくる。この収縮はかなり早い速度で行なわれ、分離水の深さは3時間くらいで最大値に達する。ついで、グラウトの凝結、硬化の開始および進行にともなって、水和物の絶対容積が、水和作用前におけるセメント分子および水の絶対容積の和よりも小さくなることから、硬化収縮が生ずるが、これは可測的な外部収縮となるよりもむしろ内部収縮となつて、グラウト内部に無数の微細な空げきをつくることに役立つ。従って分離水はグラウト内に再吸収され、分離水は漸次減少し、普通は10時間以内には消失してしまうが、配分の種類によっては7~28日間またはそれ以上も残存することがある。分離水の吸収によって、グラウト面はいくぶん膨張を示すが、しかし硬化収縮を継続して、約24時間でほぼ一定値に達する。一般に収縮量は分離水の最大値よりやや大きい値であり、またこれは、前記のコンクリートに準じたブリージング量とは大分異なる値となる。ことに、膨張剤(アルミ粉など)を混和した場合には、グラウト面は膨張を示すが、分離水はそのまま押し上げられるので、分離水の最大値は膨張剤を用いない場合とほとんど同じであるから、分離水を測定してもグラウトの容積変化量を推定することができないのである。それであるからPCグラウトの収縮率を制定するには、密閉容器内のグラウトの容積変化を直接に測定するのが最も確実な方法である。

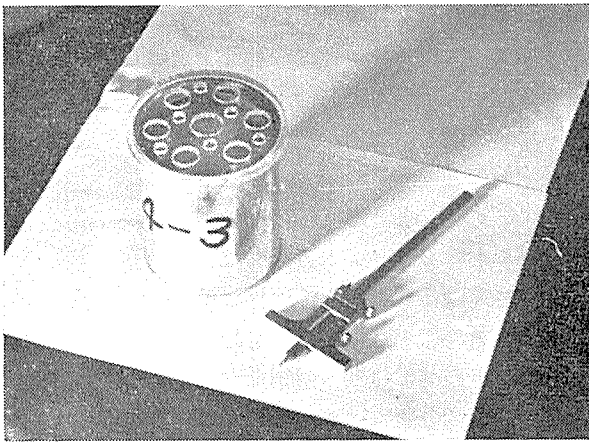
われわれは、安価で確実かつ簡便な密閉容器として、缶詰用の2号押ぶた缶(内径99mm、高さ120mm)を用いることにした。これならグリスを塗って押ぶたをすれば、十分気密に保つことができるからである。グラウトはこの中に高さ100mmだけ満たす。これは写真-

写真-1 缶の中に100mmの高さだけグラウト填充

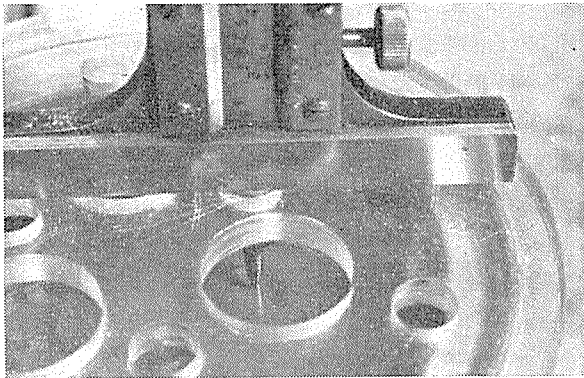


1のごとく定規棒を用いれば簡単である。グラウト上面の高さは、アクリライト製の透明な測定板と、精度0.1mmのポイントゲージ(写真-2)を使用する。すなわち、測定板の刻点を、缶の継目線に一致させるようにして載せ、6個の測定孔にポイントゲージを挿入して測定するのであるが(写真-3)、こ

写真—2 収縮試験用測定ふたとポイント ゲージ



写真—3 分離水下のグラウト面にポイント ゲージをタッチさせたところ



の6個の測定孔は2つの同心円上に設けたもので、おのおの6等分面積の代表点となるようにしてある。測定板にはこのほかに、3~7個の少し大きい観測孔があり、(写真—2)、ポイントゲージの先端が正しくグラウト面または分離水面に接触するのを確認するために利用される(写真—3)。測定が終わればただちに押ふたをして、気密状態において、現場温度と同じ温度でそのまま養生し、24 時後に再び取り出して測定を行ない、グラウト面の高さの変化量を求めて、これを収縮率とするのである。分離水の最大値を測定したい場合には、3時間の観測を行なうのがよく、また24 時間のときの測定の際に、分離水の残留があれば、もちろんこれを測っておくと、凍害発生の参考資料となる。指針において規定したのは24 時間における収縮率の測定だけであるが、一般にはこれで十分である。

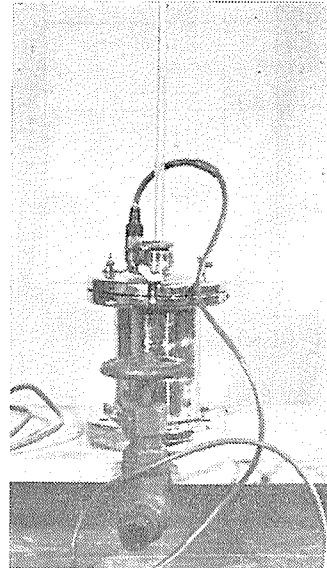
3. 圧縮強度試験

これは前述の、収縮試験用の供試体(3個以上)をそのまま、缶の中の気密状態で養生し、所定の材令に達したとき、缶を切り開いて中味を取り出し、上下の両面を硫黄キカッピングを行なって圧縮試験を行なうものである。

4. 凍結安定性試験

冬期に凍結温度以下に低下する地方において、とくに室中PCグラウトを施工する場合には、あらかじめこの試験を行なって凍結安定性を確かめなければならない。供試体は、缶詰用1号押ふた缶(φ50mm×85mm)またはモルタル試験用型枠(φ50mm×100mm)を用いてつ

写真—4 凍結安定性試験用容積変化測定装置



くり、 $10 \pm 2^\circ\text{C}$ の温度で5日間養生したものを1個ずつ、容積変化測定装置(写真—4)に入れ、3個の供試体を同時に低温室内に入れて、現物予想最低温度(北海道では -20°C 以下)まで低下させたとき、容積変化を水銀柱の目盛りによって読み、容積変化曲線を求める。この場合、容積膨張の傾向があるとはならないのである。

5. PCグラウトの品質規格

以上に述べた試験方法によって測定した品質の規格はつぎのごとくである。

- a) 流動性 混合直後の沈入の値は、30~40秒を標準とし、注入時間が30分以内のときは30分、それ以上のときはその作業終了時において再試験をしたとき80秒を越えてはならない。
- b) 収縮率 24時間測定において収縮率は $\pm 2.0\%$ 以内でなければならない。
- c) 圧縮強度 材令7日間で 250 kg/cm^2 以上、28日で 300 kg/cm^2 以上であること。
- d) 凍結安定性 前述のとおりである。

以上において述べた標準試験方法にもとづくPCグラウトの品質規格を満足するにはどのような配合とすべきであろうか。あるいはまた、品質に影響をおよぼす事項はなんであろうか。以下これに関して、いままでに判明した実験結果をもとにしてその概要を述べてみよう。

(1) 混合

十分な混合を行ない、均一なグラウトをつくるには、PCグラウト専用のミキサを使用することが必要である。最近よく用いられるものとしてはプロペラミキサがある。これは高速回転による混合に適しており、一般

に好成績を収めているものが多いが、しかしミキサには限界速度があり、それ以上に高速とすることは、効果があまりないばかりでなく、かえって悪影響をおよぼす傾向がある。そのおもな原因はグラウト温度の上昇である。図-3 は1分間の回転数が500, 1000, 2000, 3000の4段に切替えられるプロペラミキサについて行なった実験結果の一部であるが、

これによれば混合によるグラウト温度の上昇は、1000回/min以内では上昇速度も比較的小さく、5分以後は上昇速度が急に減少して

いるのに対し、2000~3000回/minでは上昇速度が大でしかも速度の減退があまり見られない。3000回/minでは20分後に11°Cも上昇している。一般に5分間以上の混合は流動性に効果がないだけでなく、かえって悪影響があり、とくに高速回転のものほどいちじるしい。従って混合は5分で十分である。また混合時間を同じにした場合、回転数の変化の影響については表-2に示すごとくで、水セメント比の比較的大きい45%の場合には回転数の増加とともに流動性(沈入)はよくなるが、しかし1000回/min以上の効果はあまりいちじるしくない。40%の場合には1000回/min以上の効果がほと

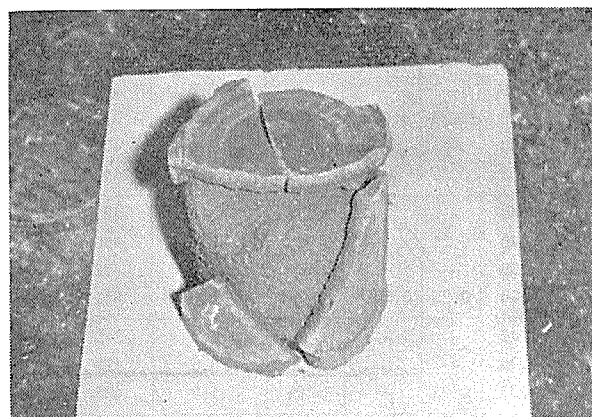
表-2 プロペラミキサの回転数の影響

| w/c (%) | 回転数 (回/min) | 沈入 (秒) | 収縮率 (%) | 圧縮強度 (kg/cm ²) | |
|---------|-------------|--|---------|----------------------------|---------------|
| | | | | σ_7 | σ_{28} |
| 45 | 500 | 25 | 3.7 | 341 | 488 |
| | 1000 | 19 | 3.7 | 369 | 545 |
| | 2000 | 13 | 3.2 | 319 | 515 |
| | 3000 | 12 | 2.6 | 322 | 505 |
| | 500 | 68 | 2.6 | 409 | 525 |
| 40 | 1000 | 48 | 2.2 | 408 | 444 |
| | 2000 | 43 | 1.9 | 425 | 471 |
| | 3000 | 45 | 1.6 | 435 | 604 |
| | 500 | 228 | 1.7 | 505 | 602 |
| | 1000 | 90 | 1.4 | 455 | 650 |
| 36 | 2000 | 97 | 1.3 | 467 | 521 |
| | 3000 | 110 | 1.1 | 532 | 573 |
| | 備考 | 普通ポルトランドセメント使用、混和剤なし、室温 20~22.5°C、混合時 5分 | | | |

んどなく、比較的硬ねりの36%の場合ではかえって悪くなっている。つぎに回転数を増加すれば一般に収縮率は減少する傾向を示すが、圧縮強度についてはいちじる

しい影響はない。しかし、セメント拡散剤(ポゾリス No.8)を規正量の倍量を使用した場合、3000回/minの高速回転のとき写真-5のごとき異常硬化を示し、圧縮

写真-5



強度がいちじるしく低下することがある。以上により回転速度の増加は流動性および収縮率をよくするが、ある限界速度以上ではその効果はあまりいちじるしくなく、かえって悪影響をおよぼすことがある。この限界速度はこの例では1000~2000回/minであるが、これはそのミキサによって差があり、あらかじめ確かめることが必要である。

(2) セメント

セメントの種類が異なればグラウトの品質が異なり、また同じ種類でも、製造会社、工場、製造年月によっても差異があるので、実際に使用するセメントについてあらかじめ試験を行なう必要がある。セメントの粉末度の影

表-3 実験に使用したポルトランドセメント (日本セメントKK)

| 記号 | セメントの種類 | 粉末度 | | 圧縮強度 (kg/cm ²) | | |
|----------------|---------|--------------|-----------------------------|----------------------------|------------|---------------|
| | | アミフルイ法残分 (%) | ブレン(%) (cm ² /g) | σ_3 | σ_7 | σ_{28} |
| C ₁ | 普通 | 2.4 | 3230 | 148 | 241 | 423 |
| C ₂ | 同、粗目 | 5.1 | 2890 | 92 | 203 | 354 |
| C ₃ | 同、極粗目 | 9.1 | 2570 | 63 | 157 | 298 |
| C ₄ | 早強 | 0.4 | 4480 | 237 | 237 | 438 |

響を調べるために表-3の4種類について実験を行なった。C₁の普通セメントおよびC₄早強セメントは一般に市販されているものであるが、C₂およびC₃はとくに粗いものを注文して製造したものである。その実験結果の代表的な傾向は表-4に示すごとくである。これによれば、粉末度の最も細かい早強セメントC₄は、一般に収縮率は小さいが、沈入が大で流動性は悪くなり、混和剤なしでは水セメントw/cを50%以下とすることができない。ポゾリスなどの混和剤を使用して45%の水セメント比が可能となるが、アルミ粉を使用すると圧縮強度が低下する。また今日市販されている普通セメント

表—4 セメントの種類とグラウトの品質

| セメント | w/c (%) | 混 和 剤 | | 沈 入 (sec) | 収 縮 率 (%) | 圧 縮 強 度 (kg/cm ²) | |
|-----------------------------|---|---------|---------|-----------|-----------|-------------------------------|---------------|
| | | P/C (%) | A/C (%) | | | σ_7 | σ_{28} |
| C ₄ (早強) | 55 | — | — | 63 | 2.9 | 383 | 390 |
| | 50 | 0.25 | — | 49 | 1.5 | 411 | 473 |
| | 45 | 0.375 | 0.0025 | 23 | -1.0 | 262 | 277 |
| C ₁ (普通) | 45 | — | — | 19 | 3.7 | 367 | 545 |
| | 40 | — | — | 48 | 2.2 | 408 | 444 |
| | 40 | 0.25 | 0.00125 | 38 | 0.8 | 371 | 468 |
| | 36 | — | — | 90 | 1.4 | 429 | 650 |
| C ₂ (普通, 粗目) | 40 | — | — | 53 | 3.6 | 427 | 546 |
| | 40 | 0.25 | — | 15 | 2.1 | 420 | 575 |
| | 36 | — | — | 102 | 2.6 | 472 | 538 |
| C ₃ (普通, 極粗目) | 40 | — | — | 27 | 5.2 | 375 | 548 |
| | 36 | — | — | 50 | 3.6 | 418 | 611 |
| | 36 | 0.25 | — | 20 | 1.3 | 428 | 570 |
| 規 格 | 36~45 | | | 30~40 | -2.0~+2.0 | ≥250 | ≥300 |
| 備 考 | P: ポゾリス No.8, A: アルミ粉, プロペラ ミキサ使用, 回転数 1000 回/min, 5 分間混合, 室温 20~22°C | | | | | | |

C₁ 級のものは C₄ にくらべると粗目ではあるがそれでもふるい法残分 2% 内外もしくはそれ以下のものが多く、まだ比較的細かい方の部類に属しているの、混和剤なしでは水セメント比 40% 以下は困難であり、混和剤を用いても 36% 付近まで w/c を下げることは困難である。これに対し粉末度の粗いものは流動性がよくなり、ふるい法残分 5% の C₂ では混和剤使用により w/c = 36% が可能であり、さらにふるい残分 9% の C₃ では w/c = 36% で沈入が 21 秒に減少するので、36% 以下でも規格範囲の流動性をうるることができる。収縮率は粉末度の粗目のものほど大きくなる傾向を示すが、混和剤使用によってこれを救うことができるので問題とはならないようである。また表—3 によって見ると、粗目のセメント C₂, C₃ は普通市販の C₁ に比してセメント強度が低下するが、これをグラウトに用いた場合の強度では表—4 によつて明らかなごとく、C₁ と同等と見てよいので心配はない。ドイツの指針²⁾では 90 μ フルイ残分 5% 以上のセメントを推せんしている。

(3) 混 和 剤

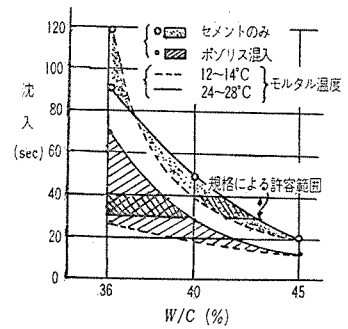
流動性を改善するものとしてはセメント分散剤と A E 剤があるが、いままでの実験結果では前者の方が有利である。前者としてはポゾリスが市販されているが、P C 鋼を腐食するおそれのある塩化物をふくまない No.8 が適当である。一般にポゾリスの添加量を増加すると流動性および収縮を改善する傾向を示すが、規正量以上にあまり多く使用すると、高速回転混合の場合に異常硬化を起こすおそれがあるので(写真—5)、規正量の 0.25% に抑えるのが安全であり、またこの添加量で相当に目的

を達することができる。図—4 はポゾリス No.8 を 0.25% 使用した場合の流動性におよぼす影響を示すもので、グラウト温度の低いときほどその効果がいちじるしくなっている。

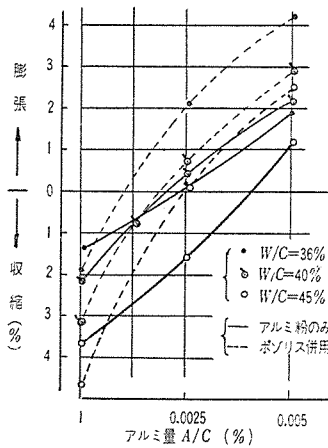
つぎに膨張剤としては一般にアルミ粉末が用いられている。アルミ粉末の膨張効果は、かなり早く発生し、注入作業終了前にその大半を終了してしまうお

それがある。ポゾリスを併用すると、少しこれを抑制する傾向があるも、なお不十分である。ドイツではアルミ粉を脂肪質膜で包み、注入後にこの膜がとけてからガス発生を見るようにしたものが使用されている。このような本格的な混和剤が望まれる。図—5 に示すごとく、アルミ粉の添加量の増加に従って膨張効果も増加するが、ポゾリスを併用すれば、その傾向は規則的となり、かつ効果は助長される。しかしアルミ粉の欠陥は強度に悪影響を有することで図—6 に示すごとく、使用量を 0.0025% におさえないと、 σ_7 および σ_{28} がそれぞれ規格

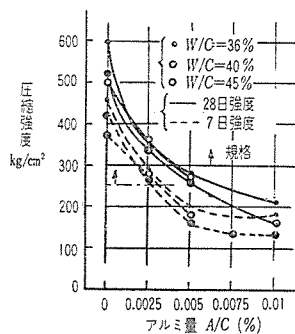
図—4 水セメント比と流動性 (温度変化による分布)



図—5 アルミニウムの膨張効果



図—6 アルミニウム粉混入による強度の低下



の 250 kg/cm² および 300 kg/cm² より低下するおそれがある。しかし図—5 によれば 0.0025% の使用量で収縮率を ±2% 以内におさえることができるので、目的に達することができるが判る。

フライ アッシュおよび石粉はほぼ同等の影響をもつもので、実験結果によると、セメントの 30% 以内の使用量では、P C グラウトの品質にいちじるしい悪影響は認められないので、セメント節約の目的で使用することはできる。しかし分離水の再吸収が一般に悪く、7 日間以上も残存することがあり、冬期に凍害の原因となるお

それがあるので注意を要する。

(4) 凍結安定性

グラウト供試体を写真-4の容積変化測定装置に収めて低温室に入れ、温度降下と容積変化の関係を求めると、多くの

実験の結果図-7に示すごとく、a, b, cの3つの型のあることがわかった。いずれも-5°Cまではほぼ直線となっているが、これはグラウトの線膨張係数から推定

される線に大体一致する。従ってこれを延長したものを基準線と呼ぶものとすれば、型aのごとく基準線より下方にあるものは膨張性を有しないものと認定してよいことになる。型bのように基準線の上方向に出ているものは膨張性を認めるものであり、型cのごとく+の区域にまで上昇しているものは膨張性がきわめていちじるしいことを示すものである。従って、a型のPCグラウトを用いて室中作業をした場合は凍結によるひびわれの発生する危険はないが、b型ではそのおそれがあり、c型ではい

図-7 PCグラウトの凍結安定性試験における容積変化曲線の3つの型

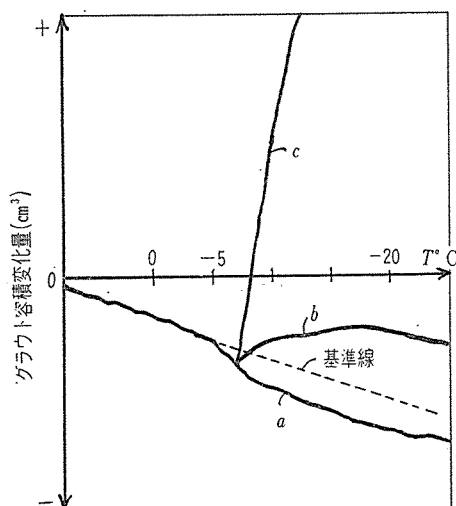
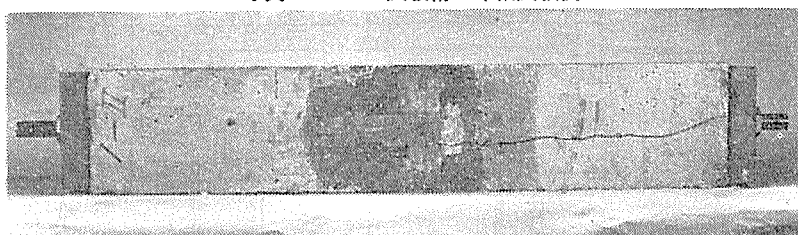


写真-6 PC試験桁の凍結試験例



グラウト：普通ポルトランドセメント，w/c=50%，混和剤なし，凍結安定性c型，膨張きわめて大のもの

ちじるしくその危険のあることが予想される。写真-6はc型の凍結安定性を有するグラウトを注入した試験用PC桁を低温室において実験した結果を示すもので、凍害によるひびわれの発生を見たものである。

現在までの実験結果によると、水セメント比を小さくすると内部収縮が大となるので凍結安定性は向上し、ポゾリスの添加もよい影響を与える。しかし混和剤を用いても普通セメントでは水セメント比を40%以下におさえることが必要で、早強セメントは一般に有利であるが水セメント比は45%以下に抑えるを要する。

(5) 水セメント比

以上までに述べたところにより、混合条件、セメント、混和剤が適当であれば、流動性、収縮、強度に関する規格に合格するPCグラウトを水セメント45~36%で得られることがわかった。また凍結安定性の点からいえば、普通セメントで40%以下、早強セメントで45%以下とすることが必要である。

以上はPCグラウトの品質試験方法および品質に影響する諸事項についての実験結果を概述したものであるが、試験方法の詳細およびグラウト注入施工上の注意については指針¹⁾を参照せられたく、また本研究の詳細な全報告は未発表であるが、部分的な発表は行なわれているのでこれを参考とせられるよう希望する^{3), 4)}。

最後に、この研究を担当した北海道開発局 林 正造技官、北大工学部 藤田嘉夫助教授、室蘭工大 尾崎 訥講師の功勞に対し深甚の敬意と謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 北海道土木技術会：“PCグラウト注入施工指針”1959，セメントコンクリート，昭35.4
- 2) Vorläufige Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spann Kanäle, Beton u. Stahlbeton 1957 Heft 12
- 3) 藤田・尾崎：PC用グラウトの品質試験について，土木学会北海道支部技術資料15号，昭34.3
- 4) 横道英雄：PCグラウトの品質とその試験方法，セメントコンクリート 昭35.4

(筆者：工博 北海道大学教授)

会費の払込みはお済みですか？

今年の2月から協会誌も年間6回、偶数月に発行することに決まりました。会員各位の御要望に答えるためと協会活動の上から当然な措置ではありますが、経理上ではかなりの犠牲をはらっている現状です。したがって会費の未納の方がありますと当然協会誌の発行にも支障をきたすこととなります。33年度、34年度会費をまだ納めてない方は至急お払込み下さいますようお願い致します。会費は年額800円です(振替口座 東京 6277 番)。