

PC構造物の施工と施工管理

6

PC施工研究会

グラウト工

(執筆担当 荒川敏雄*)

1. 概 説

(1) PC鋼材の保護とグラウト

PC鋼材は、プレストレスト コンクリート部材にプレストレスを与えている重要な材料であるうえ、常に高い引張応力をうけ、応力腐食をうけやすい状態にあり、一般に径が小さくさびの影響をうけやすい、など厳しい条件下にある。したがって、PC鋼材をさびさせないように保護することがまず基本的に重要なことである。

PC鋼材の保護の方法としては、セメントを主材料とし、付着を期待するPCグラウト工法と、いわゆるアンボンド工法がある。

プレストレスト コンクリートの部材、またはグラウトされるべきPCケーブルの施工の状況によっては、従来のグラウト工法には疑問があるので、積極的にアンボンド工法を採用すべきであるという意見がある。本誌の「プレストレスト コンクリートの現況と諸分野」¹⁾の中で、樋口博士は「PCグラウトは本質的に骨の折れるやっかいな作業を現場に強制するものであり、このような作業をなるべく原点にたちかえって考察を加えることが工学的には最も重要」であり、「アンボンドとして十分な部分はできるだけそのようにし、できるだけPCグラウト作業を減少したのちに始めて慎重かつ入念なPCグラウト作業の実施を現場に要求すること」が志向すべき姿であると述べられている。

土木学会で現在審議されている「プレストレスト コンクリート標準示方書(案)」²⁾では、従来のPCグラウトをさらに拡張した「PC鋼材の被覆」に関する項を設け、付着を生じさせない場合についても検討されてい

る。

以上のようにPCグラウトに対する考え方は徐々に前進しつつある状況にあるが、ここでは、ポストテンション方式のプレストレスト コンクリートに、従来より一般に用いられているPCグラウトの品質、施工、試験について述べるものとする。

(2) グラウトの目的

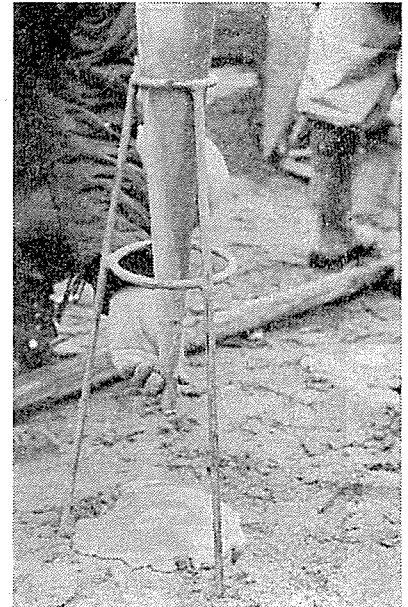
土木学会の「P

Cグラウト指針案」³⁾(以下、学会グラウト指針案という)では、「グラウトは、十分にPC鋼材を包み、これをさびないように保護し、確実に十分な付着が得られるような品質のものでなければならない」と規定している。すなわち、PCグラウトの目的はPC鋼材の保護と付着である。

PC鋼材の保護については冒頭に述べたとおり、グラウトに課せられた基本的な役割である。

グラウトの付着性については、静的荷重のもとでは良好な付着を示しても、高い応力の繰返し作用のもとでは数回の繰返しで著しく付着強度は低下するといわれ、グラウトの目的はPC鋼材の防錆にしぼられるべきであるという意見が強くなりつつある⁴⁾。しかし、一般にプレストレスト コンクリートでは、PC鋼材に付着のない場合は付着のある場合に比較して、曲げ破壊耐力の低下、ひびわれ幅の増大、定着部を含めた疲労の問題があり⁵⁾、これら破壊に対する安全度、ひびわれ分布の改善などのため現在のPCグラウト工法では付着を起こさせることにしている。

上記のグラウトの目的を達成するために、グラウトには、① グラウト自体に腐食性の物質を含まないことはもちろん、② まだ固まらないグラウトが注入作業が終わるまで良好な流動性とてん充性を保持し、③ できるだけ小さいブリージング率および適量の膨張率をもつこと、④ 硬化したコンクリートがPC鋼材・シース等との間に十分な付着強度をもつとともに、⑤ 水密性に富み、PC鋼材がさびるのを防ぐこと、⑥ 寒冷時に施工するグラウトは初期の材令において予期される範囲の低



[写真-1] グラウトのコンシステンシー試験(流下方法)

* ピー・エス・コンクリート(株)技術部主任研究員

温で凍結した場合に有害な程度に膨張しないこと、などが要求される。

2. グラウトの品質

(1) コンシステンシー

学会グラウト指針案では、後に述べる流下方法によるコンシステンシー試験で、流下時間が10～30秒の範囲にあるのを標準とすると定めている。

ダクト内を完全にてん充するということが、グラウトの最大の課題であり、グラウトのコンシステンシーは、てん充が完全に行えるかどうかを決める重要な要素であるので、現場の状況（注入量、注入路の断面積や長さ・気温・注入器具等）を十分考慮してコンシステンシーを決めなければならない。

グラウトの流動性に関係するのは、水セメント比、ミキシングの時間、アジテートをふくむ放置時間、気温、水温、湿度、セメントの温度、練り上がりの温度、ミキサの形式、回転数、セメントの種類などであるといわれ、水セメント比、使用機器、使用材料が一定の場合、練り上り温度に関係するといわれている⁹⁾。

あまり濃すぎるグラウトを採用して、ダクトがつまることのないよう注意しなければならない。また注入時間が長くかかる場合は、コンシステンシーが悪くなるので注意しなければならない。

フレシネー工法、BBRV工法、SEEE工法、等、鋼線束を用いる工法は、注入路が比較的大きいので、注入口から排出口へのグラウトの通過は比較的容易である。しかし、このことは、必ずしも空げきを残さないということではない。注入時に空気が混入されないとしても、ダクトの径が大きく、高低差が大きい場合、ブリージングによる空げきができると報告されている。これに対しては、膨張混和剤を用い、ダクトの頂部は開放しておき、グラウトの膨張とともにブリージング水を排除するのがよいとされている¹⁾。

レオンハルト工法は、1回に注入する量が多いので、途中に流れにくいところや、水のもれるところがあると、閉塞事故を起しやすいといわれている⁷⁾。

ディビダーク工法、等、鋼棒を用いるものは、一般に注入路断面積が小さいので、注入路が長い場合などは、閉塞する恐れがあるので、比較的やわらかいグラウトの使用を許している⁸⁾。この工法の場合には他工法に比較して慎重にグラウトを行う必要がある⁹⁾。

土木学会の工法別統計施工指針案⁹⁾では、流下方法によるコンシステンシー試験で、鋼線束を用いる工法（フレシネー、BBRV、SEEE、VSL、フープコーン、OSP A、OBC、MDC、レオンハルト、レオバ工法等）で10

～23秒、または、10～30秒、ディビダーク工法で7～12秒の範囲にあるのを標準とすると定めている。

(2) 強度

学会グラウト指針案では、圧縮強度は、後述する型わく方法に従って試験する場合、1週強度で150 kg/cm²、4週強度で200 kg/cm²以上であるのを標準とすると規定している。

硬化したグラウトは、PC鋼材およびシースとの十分な付着強度を持ち、PC鋼材がさびるのを十分に防ぎ、十分に水密的でなければならないが、グラウトの圧縮強度は、これらの品質が適当なものであるかどうかを総合的に判断しようとするものである。

グラウトを施した、付着のあるポストテンションPC桁は、グラウトを注入しない桁に比べて、破壊荷重、ひびわれ分布などの構造特性が良好であることは、すでに確かめられている。しかし、曲げを受けるPCばりでは、広範囲にグラウトの品質を変えても、はりの構造特性には影響しないという実験結果もあり¹⁰⁾、確実に十分な付着が得られるグラウトは強度の高いグラウトでなければならないということではないようである。定着部を解放して、グラウトの付着により定着するような特殊な場合を除いて、高強度のみ強調することは疑問である。要するに、かたすぎるグラウトを注入することによってPC鋼材周辺に未てん充部分を残すようなことは本末転倒である¹⁰⁾。

レオバ工法では、最終的に定着鋼片または定着円筒がグラウトによって定着される構造となっているので、工法別指針案⁹⁾では、グラウトの圧縮強度は前記学会の指針案の規定より高くして、型わく方法に従って試験した場合、1週強度で200 kg/cm²、4週強度で250 kg/cm²以上であるのを標準とすると定めている。

(3) 膨張率

学会グラウト指針案では、膨張率は、0～5%を標準とすると定めている。

さらに同指針案解説では、PCグラウトは、アルミニウム粉末を混和して膨張させた方が沈下収縮の防止、付着強度の増大、凍結に対する安定性の増加、等の点で有利であるので、適量の膨張を起すことを推奨するとしている。

発泡剤としてアルミニウム粉末を用い、グラウトを膨張させることは、グラウトのてん充性を自動的に高めるという意味で一般に認められている。

膨張グラウトによりブリージング水を自動的に排除することについてはコンシステンシーの項でも述べた。このとき、排出口を密閉し、膨張圧力下にあってもブリージング水がたまり、空げきを残すことがあるので最上端

のスタンドパイプは膨張が終わり、凝結が始まるまで開放しておくのがよいといわれている。

膨張によって拘束圧縮強度が増加するので付着を改善することも期待できる。

PCグラウトに起因するPC部材の凍害としてシー스에沿った縦ひびわれがある。これについてはPCグラウトそのものの凍結膨張によるものであることが実験により明らかにされた。これらの縦ひびわれは常にPCグラウトの凍結だけによって生ずるものではないことも実験や調査で認められたが、PCグラウトが凍結に対して安定であるのが望ましいのは当然のことである。PCグラウトの凍結については単位水量の低減、初期の養生のほかにAE剤、発泡剤などによる気泡の存在が重要な役割を演ずるといわれている。

発泡剤のガス発生による圧力が前述したPC部材の縦ひびわれ発生を助けるのではないかという心配がある。樋口博士の研究¹⁰⁾によれば、桁違いの量のアルミ粉末を混和し、シース全体を気密にすれば高压を生ずるのは確かであるが、セメント重量の1/10000以下とした常用のアルミ粉末を混和したPCグラウトの膨張によって生ずる圧力は、注入圧と比べても小さいし、10%程度の自由膨張を起すグラウトについても同様のことがいえるものと判断されるとしている。

しかし、PC部材の縦ひびわれについては決定的な結論がないので、施工にたずさわる者としては、

- ① シースのかぶりが比較的小さい場合
- ② シースの膨張に抵抗する鉄筋が少ないと判断される場合

には膨張率を低くとる方がよいと思われる。

膨張率の小さいグラウトを用いる場合はブリージング率の小さいグラウトを選ぶことが重要である。

3. 材料および配合

(1) セメント

学会グラウト指針案では、「セメントはJIS R 5210ポルトランドセメントを用いるのを標準とする」と規定している。

PCの本体工事に用いるセメントは、普通の場合、前記規格(ポルトランドセメント)に合うものを用いる³⁾ことになっているので、本体工事のセメントを用いるのが便利であるが、近年、本体にはほとんど生コンクリートが使用されるため、グラウト用セメントは別に購入しなければならないことが多い。

グラウトに使用するセメントは、良質なセメントであれば、普通ポルトランドセメントあるいは早強ポルトランドセメントのどちらを使用してもよい。しかし、新鮮

なものを用い、保存中に風化しないように十分注意しなければならない。

一般にグラウト用セメントとして、早強セメントより普通セメントが好んで用いられているのは、水セメント比を等しくした場合、普通セメントの方が流動性のよいグラウトが得られるからである。冬期施工の際には普通セメントを使用すると、グラウトの養生日数が長くなるので早強セメントを使用する方が有利である¹¹⁾。

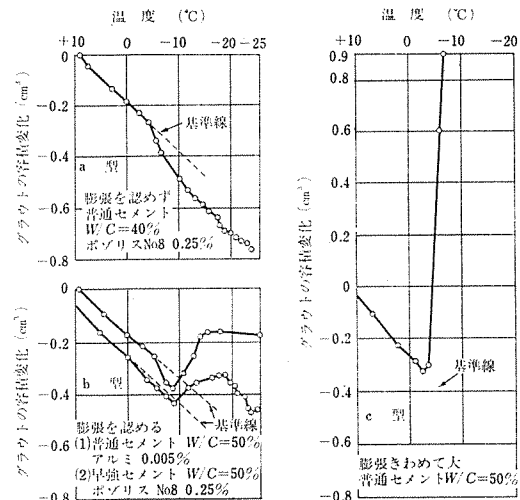
(2) 水および水セメント比

学会グラウト指針案では、「水はグラウトおよびPC鋼材に影響を及ぼす物質の有害量を含んでいてはならない。水セメント比は35~45%を標準とする」と規定している。

PC鋼材を腐食から保護することは、グラウトの基本的な役割であるから、グラウトの水はコンクリート用のものより、いっそうその水質については慎重な配慮を払う必要がある。

グラウトのコンシステンシーは、水セメント比、セメントの種類、気温、ミキサの形式、練り混ぜ時間などによって異なることは前にも述べたが、水セメント比は所要のコンシステンシーが得られる範囲でできるだけ小さくすることが望ましい。グラウトの水セメント比が大きくなると、グラウトの強度が低下し、付着強度が弱くなるほか、ブリージング、収縮が大きくなり、シース内を完全に充填することが困難になる。ただし、注入路断面面積が小さいとき、注入路が長いとき、グラウトの温度が高くなるおそれのあるとき、グラウトから水が取られやすいときなどは不当に水セメント比を小さくしすぎないように注意しなければならない。

寒冷地ではさらに、グラウトの凍結に対する安定性が要求される。シー스에沿った縦ひびわれについては前に



図一 凍結安定性試験におけるグラウト容積変化の例(横道英雄)

も述べたが、これは必ずしも凍結によるものでないにしても、これまで北海道のような寒冷地に多く発生したことから、これらひびわれの大部分はグラウトの凍結によるのが原因であると考えられ、横道博士等の研究でそのことが推定される(図-1 参照)。

すなわち、グラウトの水セメント比が 50% 程度になり、凍結温度以下に温度が下がると、グラウトが急激に膨張する。この際の膨張圧がコンクリートのひびわれ発生の大原因であると考えられるからである。

したがって、冬期グラウトが凍結温度以下になる地方においては、グラウトの水セメント比は 45% 以下におさえておく必要がある。グラウトを練り混ぜるときの W/C が 45% 以下であっても、ブリージングの大きいグラウトを使用した場合には、部分的に W/C の大きいところもできるので、冬期寒冷地で使用するグラウトの W/C は 40% 以下におさえておくのが望ましい¹¹⁾。

グラウトに必要な流動性は、シースの直径、シース内の PC 鋼材の配置状態、PC ケーブルの長さ、等によって異なるものであるが、表-1 に示す流動性をもたせれば十分に注入を行うことができる。

表-1 グラウトの流動性の範囲

	ロータ方法による 流下時間の範囲 (秒)	水セメント比 の範囲 (%)
一般の場合 (比較的注入容易な場合)	10~30	38~42
比較的注入の困難な場合 (PC 鋼棒を使用した場合)	8~20	40~45

この程度の流動性を得るために必要な水セメント比は、セメントの性質、減水剤の使用の有無、グラウトの温度、等によって影響されるが、一般には表-1 に示す範囲の値で必要なグラウトの流動性を達することができる¹¹⁾。

土木学会の工法別指針案では⁹⁾、フレッシュ工法等鋼線束を用いる工法に対しては W/C=38~43% を標準とし、ディビダーク工法については、やわらかいコンシステンシーのグラウトを用いるので、W/C=42~47% を標準とするとしている。

(3) 混和剤

学会グラウト指針案では、「混和材料の使用の可否、使用方法、および品質については責任技術者の承認を得なければならない」と規定している。

グラウト用混和材料としてとくに有効であり、実際によく用いられているものは遅延剤を兼ねた減水剤と、膨張剤としてのアルミニウム粉末である。

a) 減水剤 できるだけ小さい水セメント比で、所定の流動性を得るためには、減水剤を使用することが

望ましい。

減水剤の使用にあたって注意しなければならないのは、硬化促進用に塩化カルシウムなど鋼材に有害な影響を与える成分を含んでいるものがあるので、このような減水剤は絶対に使用しないことである。鉄筋コンクリートにおいては、セメント量の 2% 程度の塩化カルシウムを用いることは許されているが、PC 鋼材は、冒頭に述べたように応力腐食を受けやすい状態にある。ある実験¹²⁾によれば、塩化カルシウムの使用量が 2% で鋼材の強度に相当の影響を与えている。PC 部材の耐久性を考えた場合、塩化カルシウムの混入は絶対にやめるべきである。

減水剤としては、ポゾリス、プラスチックメントといったものが、しばしば用いられている。ポゾリスの No. 8 以外は塩化カルシウムを若干量含有しているものもあり、グラウト用の減水剤にポゾリスを用いる場合は、分散作用のみを有する No. 8 を用いるのがよい。

フライアッシュを混和材として用いることがしばしばある。この特徴は、粒子の形状が球形であるため、これをセメントに混和して用いると、グラウトの流動性を増大することを始めとして、材料の分離、ブリージングの減少、長期強度の増大、等がある。また遅延作用を得ることなどにより暑中施工により有利である。

グラウトの硬化をさらに遅らせる必要があるときは、遅延剤の採用を考えるべきである。

減水剤としては上記の外に種々のものがあると思われるが、PC 鋼材に有害な影響を与えないか、セメントとの組合せにおいて異常現象が認められないか、十分に検討して使用の可否を決定すべきである。

b) 膨張剤 膨張剤として一般に用いられているものは、アルミニウム粉末である。アルミニウム粉末は、セメントペースト中のアルカリ成分と反応し、水素ガスを発生することによってグラウトの膨張を生じさせると考えられている。しかしグラウトは注入したあと膨張させることが非常に重要なことであり、アルミニウム粉末の反応が早過ぎてグラウトの注入前に終わってしまっても、遅すぎて硬化後に生ずるのでは膨張の意味がない。アルミニウム粉末の作用は急激に起こる可能性があるもので、材料の面からは粉末度、粒子の形状等、施工の面ではアルミニウム粉末の投入時期、量、練り混ぜから注入までの時間等を十分に検討し適切なものを用いるようにすべきである。

アルミニウム粉末は、一般にセメント重量の 0.005~0.015% 程度が用いられる。これによって膨張率は 2~7% 程度となる。

その他、膨張セメントの使用も考えられるが、これに

表-2 配合設計例

配 合 例		グ ラ ウ ト 性 状						
W/C 混 和 剤 (セメント重量当り)	42 % 0.25 %	温 度 (°C)	流下時間 (秒)	ブリージング率		膨 張 率 20 時 間 (%)	圧 縮 強 度	
				3~5 時 間 (%)	20 時 間 (%)		7 日 (kg/cm ²)	28 日 (kg/cm ²)
アルミニウム粉末 (セメント重量当り)	0.007 %	25	12	0.6	—	+2.7	242	320

表-3 配合設計例

水セメント 比 W/C (%)	水 W (kg)	セメント C (kg)	混 和 剤 (ボゾリス No. 8) (g)	アルミニウ ム粉末 (g)
45	45	100	250	7.5

表-4 配合設計例

水セメント 比 W/C (%)	水 W (kg)	セメント C (kg)	混 和 剤 (ボゾリス No. 8) (g)	アルミニウ ム粉末 (g)
40	40	100	250	—

表-5 配合設計例

水セメント 比 W/C (%)	水 W (kg)	セメント C (kg)	混 和 剤 (ボゾリス No. 8) (g)	アルミニウ ム粉末 (g)
42	21	50	125	3.5

表-6 配合設計例

水セメント 比 W/C (%)	水 W (kg)	セメント C (kg)	混 和 剤 (ボゾリス No. 8) (g)	アルミニウ ム粉末 (g)
44	22	50	125	3.5

表-7 配合設計例

水セメント 比 W/C (%)	水 W (kg)	セメント C (kg)	混 和 剤 (ボゾリス No. 8) (g)	アルミニウ ム粉末 (g)
39	19.5	50	125	3.5

についてはさらに今後の研究が必要であろう。

(4) 配 合

日本道路協会のプレストレスト コンクリート 道路橋 施工便覧⁷⁾では、上表に記す配合例を推薦している。これらは実際の現場で使用され良好な結果を示したものであるが、各現場では、使用材料、施工方法、現場の状況、等が異なるので、あくまでも配合の目安を示すものである(表-2~6)。

a) 工 法 例

① シースとPC鋼材の空げきの大きい場合(フレン

ネー工法, BBRV 工法等)(表-2)

② シースとPC鋼材の間の空げきの小さい場合(ディビダーク工法, その他PC鋼棒使用工法)(表-3)

③ レオンハルト工法(表-4)

b) 季節別(シースとPC鋼材の空げきの大きい場合)

④ 一般(春秋)(表-5)

⑤ 夏季(表-6)

⑥ 冬季(表-7)

4. 施 工

グラウト施工の最大の問題は、所要の品質のグラウトでダクト内を完全にてん充することである。このことは一見簡単なようであるが、適切な機器の選定、ケーブル組立てからグラウト注入、養生に至るまで慎重な配慮を要するものである。

(1) 施 工 器 具

近年、注入工法の分野はますます拡大され、グラウト機械もより万能、より専門的な方向に開発が進められている。したがって、グラウト機械には数多くの機種があり、それぞれ特長が異なるので、PCグラウトの品質、および現場の条件にあった機械を選択しなければならない。

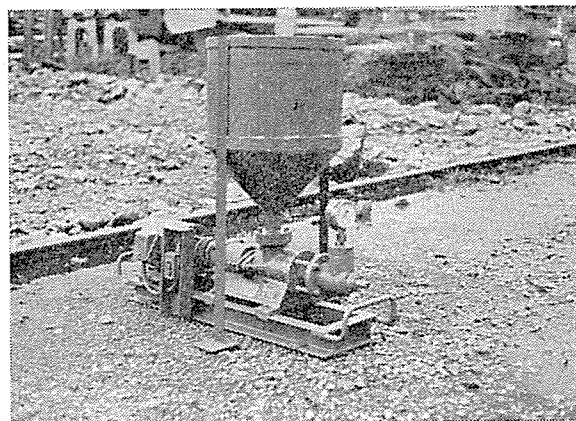
a) グラウトミキサ 学会グラウト指針案では「グラウトミキサは5分以内に濃いグラウトを十分練り混ぜることのできるものでなければならない。また注入作業を中断しないで続けられるよう十分な容量を有していなければならない」と規定している。

グラウトミキサがグラウトの品質に与える影響は大きい。グラウトミキサが適当でない場合には、注入に必要な流動性を得るためのW/Cが大きくなり、またブリージングも大きくなる。

低速回転のミキサはセメント粒子を十分に分散させることができないので、高速回転に比較して流動性がわるい。高速練りまぜは微細な空げきに対する浸透性をよくし、同じ配合でも流動性がよくなるので高性能ミキサを使用すべきであろう。しかし、高速で長く練り混ぜるとグラウトの温度が上昇し、特に夏期など好ましくない現



写真—2 グラウトミキサの一例



写真—3 グラウトポンプの一例

象を起こすので、注入を迅速に完了するか、低速練りまぜに変えられるようにしておく必要がある。

グラウトミキサは大別して、翼が回転する回転翼ミキサとローラーが高速回転するローラーミキサがある。

回転数は 1 500~3 000 回/min がよいといわれている¹⁰⁾。回転速度はできるだけ可変式のものがよい。

b) アジテータ グラウトミキサでゆるやかな練りまぜに移ることができる場合、グラウト注入が短時間で完了する場合、等においてはアジテータを備える必要はないが、大量に注入する場合や、貯蔵槽に移して注入する場合には、注入完了まで流動性が低下しないようにアジテータを用いて、ゆっくり攪拌するのがよい。

c) グラウトポンプ グラウトはダクトの最も低い位置から、液面がダクトをふさいで静かに上昇するようにゆっくり注入するのが理想的な方法である。このような注入が行えない場合でもグラウトの注入はできるだけゆっくり行うのが空気を混入しにくいよい方法である。グラウト液が高い位置からいきよよく、または、ノズルの先から噴射状に吹き込まれる場合、ノズルと注入口の接続またはその付近が気密でないと空気を呼び込みやすい。

手動ポンプはグラウトの流れを敏感に感じ、吐出量を自動的に調整できる利点がある。しかし大きなケーブルでは時間がかかる。

電動ポンプは大きな P C ケーブルの場合に注入作業が簡単で時間も短くなる。しかし、手動ポンプのようにグラウトの流れを感覚的につかめないため、グラウトをつまらせるというトラブルが起きやすくなる。このためマンオメーターは注入圧力の変化が十分正確に読めるようにし、あらかじめキャリブレーションしておかなければならない。また一定圧以上になったら、バイパスからグラウトが逃げられるような装置があるのがよい。

グラウト機器は、特に使用前にはよく点検し、空気の混入するおそれのある部分は十分補修し、使用後は清掃

し、器具をつまらせたりしないようにしておかなければならない。

(2) グラウト注入作業と注意事項

グラウト作業は、終始、細心の注意を払わなければならない。このような作業については、現場にチェックリストを置いておくのが便利であろう。以下に P C 建設業協会のグラウト工チェックリスト¹³⁾を紹介する。

一般的注意

1) この Check は誰が使うのか (現場作業員)

① 部材およびそのケーブルに番号を付し、これを図によって明確にする。

製作した部材には適当な箇所に部材番号を墨記し、後日の点検に便する。

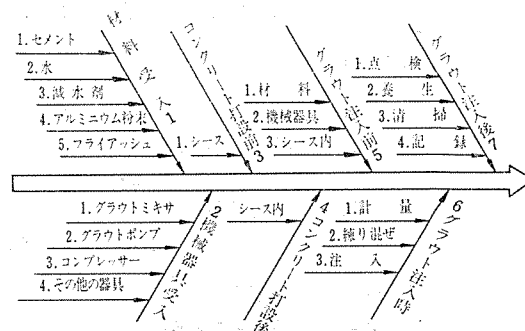
② 現場にグラウト責任者を置きグラウトはこの責任者立会の下に実施する。

③ グラウトの施工に当っては、グラウト工記録表 (特に定めない場合は別紙様式による) に所要事項を記録する。

なお必要ある場合は写真を添付する。

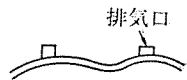
④ グラウト責任者は跡埋に先立ち針金の先にて突いて見る等十分点検を行い、その状況を摘要欄に記載する。

すなわち、グラウト責任者はもちろんのこと、そ



図—2 グラウト作業手順

表-8 グラウト工チェックリスト (その1)

名 称	チ ェ ッ ク 事 項	処 置 また は 注 意 事 項
1. 材料の受入		
1. セメント	種類は良いか 古くないか	普通または早強ポルトランドセメントを使用する。 夏期に早強を使用する場合には流動性に注意する。 古いものは使わない。
2. 水	飲料水か その他の水は	飲料水なら間違いはないであろう。 試験練りをして見るか、または水質検査を行う。
3. 減水剤	種類に間違いはないか。 グラウトおよびPC鋼材に害はないか	ボゾリス No. 8 または プラスチメント 等を使用する。 使いなれない材質は害のないことを確める。
4. アルミニウム粉末	品質は間違いはないか 計量はしてあるか	セメントと混ぜて膨張を確かめる。 現場での計量は割合困難なのであらかじめ1回分ずつ計量分割しておく。
5. フライアッシュ	品質は良いか	
2. 機械器具の受入		
1. グラウト・ミキサ 2. グラウト・ポンプ 3. コンプレッサー 4. その他の器具	具合はどうか、修理の必要はないか 具合はどうか、修理の必要はないか 具合はどうか、修理の必要はないか はかりはあるか ふるいはあるか 試験用器具はそろっているか 修理工具はそろっているか	試運転を行い、必要あれば修理をする。 水を通し圧力を加えてみる。 予備部品を用意する。 試運転を行い、必要あれば修理する。
3. コンクリート打設前		
シース	穴があいていないか つぶれたり、ほぐれていないか ジョイントは良いか 定着具とのジョイントはよいか 排気口を設ける場合その位置は良いか、また取付けに間違いはないか シースの支持はしっかりしているか 定着具の口はペーストが入らないように保護してあるか	ブラックテープでふさぐ。 取り替えまたは修理する。 ブラックテープで巻く。 ブラックテープで巻く。 
4. コンクリート打設後		
シース内	PC鋼材は動くか 定着具付近にセメントペーストのもれがありふさがっていないか 雨水などたまる恐れはないか	動かない場合はセメントペーストが侵入したかを調べ、侵入した場合には水を通し、シース内を清掃する。 ふさがっている場合には水を通してシース内を清掃する。 注入作業までの間シートその他で十分おおっておく。
5. グラウト注入前		
1. 材料 セメント 減水剤 アルミニウム粉末 フライアッシュ 水	必要量あるか かたまりはないか 必要量あるか 粉末減水剤は水に解いてあるか 必要量あるか 必要量あるか 十分使用できるか	あればふるいでふるう。 ボゾリス No. 8 は水にとけるのに時間がかかるので注意する。

名 称	チ ェ ッ ク 事 項	処 置 また は 注 意 事 項
2. 機 械 器 具 グラウト・ミキサ グラウト・ポンプ コンプレッサ は か り ふ る い 水 槽 そ の 他	回転方向は良いか 十分清掃されているか ホースのジョイントはもらないか 回転方向は良いか ゲージは良いか ホースは十分の長さがあるか 修理工具・安全眼鏡等	特に吐出部等にペースト等が残っていることが多いので注意する。
3. シ ー ス 内	水が通るか 良く洗ったか コーンの口のまわりを綿などでふさいだか ビニール管等の取付けは良いか 木栓は必要か	水が通りにくい場合は閉そく部分を正確に探りあて、コンクリートにせん孔して、新しい出入口を設ける。 排出口から出る水がきれいになるまで洗う。冬期には水が残っていないように十分排除する。
6. グラウト注入時		
1. 計 量	配合に間違いはないか 計量は正確か	
2. 練 り ま ぜ	アルミニウム粉末は少量のセメントに混ぜたか 材料投入の順序はよいか 練り混ぜ時間は良いか グラウトミルクの温度は高くないか	水→減水剤→(アルミニウム粉末・セメント)標準を5分とする。あまり長いと温度が上昇して流動性を悪くする。 夏期は温度が高くなりやすいので直射日光をさけ、水の温度を下げるなどの処置が必要である。
3. 注 入	ふるいを通したか 流動性は適当か 注入は手早く行う 注入速度はゆっくりしているか 容器内のグラウトミルクの量は十分か 排出口よりミルクが出たか やむなく途中で作業が中断した場合は 中食その他で長時間作業を中断する場合は 排出口のミルクの濃度をたしかめたか 排出口を閉じたか	あやしい場合には試験する。 沈殿しないようにゆっくりかくはんする 遅くとも練ってから、30分以内に完了する。夏期は特に注意を要する。 注入速度を早めると、とかく圧力を上げ過ぎるきらいがあるので注意を要する。 出なければ、直に注入を中止し排出口より圧さく空気または水を送ってグラウトをシース外に出し、シース内を良く水で洗い原因を改め再注入する。 前項にならないシース内を良く洗った上再注入する。 器具をよく洗って置く。 ミルクの濃度が一樣となるまで注入を続ける。
7. グラウト注入後		
1. 点 検	注入忘れはないか	
2. 養 生	養生はよいか	冬期には凍結しないように十分保温養生の必要がある。
3. 清 掃	ミキサの洗いは良いか ミキサ・ポンプ内にグラウトの残りはな 注入ホース・ノズル内にグラウトの残りはな バケツその他をきれいに洗ったか	
4. 記 録	グラウト工記録表に所要事項を記入したか 記入に間違いはないか 写真を撮ったか	記録表は特に指示あるもののほか別紙様式による。

表-10 グラウトの試験

	使用器具	試験方法と表示	注意事項
コンシステンシー試験方法案 (流下方法)	1. ロート 2. 有溝コーン 3. ロート支持台 4. グラウト上面をならすもの 5. ストップウォッチ (注) 流下時間はロートの製作上の寸法誤差とか内面仕上げの程度等によって非常に影響を受けるので試験器具は整備されたものを使用すること。	1. ロートを台で鉛直に支持し、有溝コーンを所定の位置にそう入する。 2. 試料のグラウトをロート内に注ぎ、流出管から少量のグラウトを流出させた後、指で流出口をおさえ、グラウトをロート上面まで注ぎ上面をならす。 3. 指をはなしてグラウトを流出させ、グラウト面がコーンの柄の先端を流下するまでの時間をストップウォッチで測定する。 4. 表示 コンシステンシーは、上記流下時間を何秒として表示する。	1. ロートにグラウトを注ぐ前に、水を通してぬらしておく。 2. グラウト内に異物があると、有溝コーンの溝につまり測定結果に影響するので、グラウトはふるいを通して異物を除いたもので試験する。 3. グラウトが比較的に細かい場合、グラウトの面が柄の先端を流下する前に盛り上がるときは、針金などで柄の先端をさぐり、必要なときは、この盛り上がりを軽く除きながら測定するとよい。
ブリージング率および膨張率試験方法案 (体積法)	1. 1000 cc メスシリンダー 2. 20 cc メスシリンダー 3. ポリエチレン製袋 $d=5\text{ cm } l>50\text{ cm}$ 4. ガラス製ピペット (注) ブリージング率の測定精度があまり要求されないときは 20 cc メスシリンダーとピペットは不要。 ポリエチレン袋の厚さは 0.05 mm 程度のものがよい。底は角底とする。底から 20 cm のところに印をつけておくと便利である。	1. 袋の中にグラウトを約 20 cm の高さまで空気を混入しないように満たす。 試験は 3 個以上の供試体について行う。 2. 400 cc の水を入れたメスシリンダーにグラウトを入れた袋を空気を混入しないようにそう入する。 3. メスシリンダー中の水面とグラウト面が一致するまで袋を下げ、このときの読みから 400 cc を差し引いてグラウトの体積 V cc を求める。 4. 3 時間経過後、ピペットを用いてグラウト上面のブリージング水を吸い、20 cc のメスシリンダーに入れて測定し B cc とする。この水は静かにグラウト上面に返す。 5. 20 時間経過後 4. と同様な測定をし B' cc とする、また 2, 3 と同様な測定をし V' cc を求める。 6. 表示 $\text{ブリージング率(3時間後)} = \frac{B}{V} \times 100\%$ $\text{(最終)} = \frac{B'}{V} \times 100\%$ $\text{膨張率} = \frac{V' - V}{V} \times 100\%$	1. ロート、管等を用い袋の底の方からグラウトを流し込むと空気が混入しにくい。空気が混入したら追い出さなければならぬ。 2. 水の代りにアルコールを用いると袋に気泡が付きにくい。 3. 袋の上端はしっかり結び、蒸発しないようにする。なるべく施工されたグラウトと同一の環境に保管する。 4. セメントの粒子などをなるべく吸わないように静かに吸うこと。数回に分けて吸うとよい。この水を返すとき、グラウト上面を乱ささないよう、ピペットの先端をグラウト面に近い袋の内面につけながら返す。ブリージング率を正確に測る必要のないときはピペットを用いる必要はない。
強度試験方法案 (型わく方法)	1. 型わく 2. 重り約 3.6 kg	1. 供試体 $\phi 5 \times 10\text{ cm}$ 3 個以上。 2. 供試体の製造 2.1. グラウトを空気が混入しないよう型わくに満たす。型わくの上面を静かにならしながら押板を載せ、重りを置く。 2.2. 供試体は 1~2 日後に型わくをはずし、24 時間水中に置いたのち、できるだけ現場に近い状態で養生する。 2.3. 圧縮試験前に供試体の上面は軸に直角的な平面に仕上げる。 3. 表示 圧縮強度 = 最大荷重 / 供試体断面積	1. 型わくは JIS A 1108 に適合するもの。 2.1. 重りの代りに $\phi 10 \times 20\text{ cm}$ の供試体を用いてもよい。 2.2. 養生に、ポリエチレン布その他でおおい、できるだけコンクリート中のグラウトの状態に近い状態で行う。 2.3. 仕上げ面に 0.02 mm 以上の凹凸があってはならない。

い。

試験は土木学会のグラウト試験方法³⁾により、コンシステンシー試験、ブリージング率および膨張率試験、強度試験のそれぞれを行わなければならない。表-10 は同試験方法に示された 2 方法のうち、一般に用いられているものである。

(2) 管理のための試験

施工中、所要の品質のグラウトができているかどうかを確かめるためには、前述の試験を行わなければならない。

グラウトの品質は気温、材料の変化等、現場の状況により微妙に異なるので、管理のための試験を行なう必要

がある。グラウトの品質管理の試験は、下記の時期に行うことを原則とする。

- ① グラウト工事開始前
- ② グラウト工事をする日は最低 1 回
- ③ 責任技術者が必要と判断したとき

コンシステンシー試験は、上記以外にも試験することが望ましい。

6. グラウト工に関するトラブル

(1) 注入作業中のトラブル

高速道路調査会が行なった、昭和 47, 48 年度に施工された PC 道路橋の施工管理に関するアンケート調査¹⁵⁾に

講 座

注入困難な場合があったか。	資料数 118
(イ) あった	58 件
(ロ) なかった	65 件
(ハ) 不明	0 件

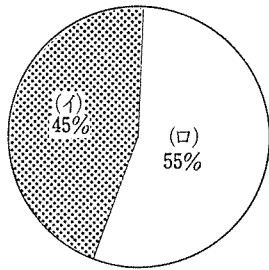


図-4 グラウト注入のトラブル

よると、注入困難な場合があったと解答したものが、件数で45%あった。この調査は5000万円/件以上の工事を対象としているので、ある程度まとまった工事であり、施工管理の面では標準的あるいはそれ以上の工事と思われる。したがって、一工事あたりのPCケーブルもかなりの数にのぼると思われるが、約半数の工事は作業中のトラブルが少なくとも1回はあったことになり、かなりやっかいな作業であることを物語っている(図-4参照)。

これらトラブルは注入機器に関するものが最も多く、種々の理由によって凝結が始ってしまったと思われるもの、コンシステンシーの不良、コンクリート等によるダクトの閉塞などがこれに続いている(図-5参照)。

またこれらの場合の処置としては、注入機器のトラブル等、注入作業が中断されたと思われるものについてはダクトの洗浄、再注入、コンシステンシー不良については配合変更、ダクトの閉塞についてはその部分の除去などの処置がとられている(図-6参照)。

(2) 施工後のトラブル

施工後発見されるグラウトに関する事故は(グラウト注入困難の原因

注入困難の原因	資料数 71
(イ) コンクリートが詰っていた	12 件
(ロ) グラウトが途中で固くなっていた	14 件
(ハ) 圧力の不足	4 件
(ニ) グラウトのコンシステンシーの不適當	12 件
(ホ) 注入機械のトラブル	27 件
(ヘ) 水通しを作業前に行わなかった	1 件
(ト) 気温が高かった	1 件

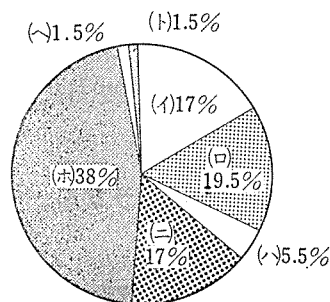


図-5

この場合の処理	資料数 55
(イ) 水通しを行ない再注入	24 件
(ロ) グラウトのコンシステンシーを変えた	9 件
(ハ) コンクリートをはつりシースの詰った部分を取除いた	8 件
(ニ) 圧力を上げた	3 件
(ホ) その他	11 件

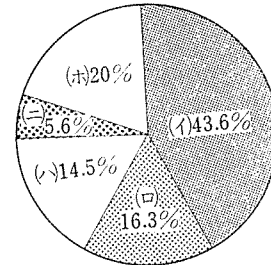


図-6

以外が原因の場合もあるが)、グラウトの凍結によるPCケーブルに沿った縦ひびわれと、てん充不十分によるPC鋼材の応力腐食がある。

前者については、わが国でPC工事が本格的に施工された比較的初期の頃から問題にされ^{16), 17), 18)}、横道・林・藤田博士の研究により解明された。グラウトの凍結に対する安定性については前に述べた。

グラウトの施工もれによりシース内に水がたまり凍結して縦ひびわれを発生させたという報告もある。

グラウトの施工が不十分であったことに起因する応力腐食によるPC鋼棒切損の報告¹⁹⁾がある。これらはT型断面桁を並列した形式のPC鉄道橋の床版を横締めしたPC鋼棒であり、グラウトが直接の原因でないものもある。例えば、定着部の跡埋めコンクリートや、床版の間詰めコンクリートのすき間から水が浸入して腐食させたものなどである。しかし、せっかく注入したグラウトが、定着部のすき間や桁間目部にそう入るシースのシール不十分、注入、排出口の位置の不良(シース位置より下)などによって漏洩してしまったと思われるものもある。また、桁間シースの桁とのジョイント部から間詰めコンクリートのペーストなどが流入してダクトを閉そくしたものなどがある。さらに、注入もれなどの例もある。これらの処置としては、PC鋼棒を新品と交換し、グラウトを再注入している。

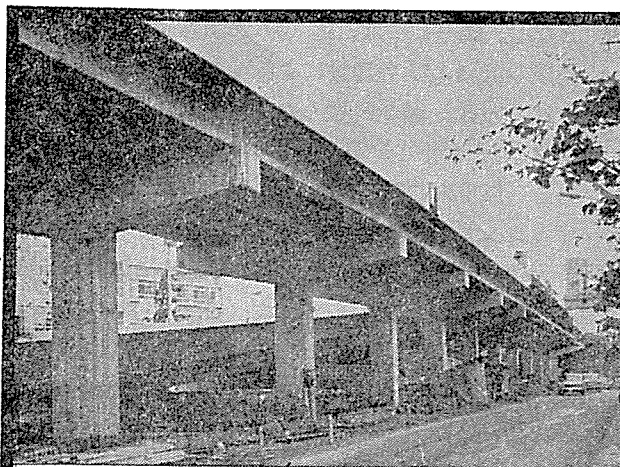
施工後に発見される事故は(当然ではあるが)事前の発見が困難であり(X線透過などの方法もあるが費用がかかる)、事後の補修も難しい。「画竜点睛を欠く」結果となつては施工にたずさわる者として、きわめて遺憾なことであり、いかにやっかいな作業とはいえ施工中に細心の注意を払わなければならない。

また、材料、品質面での先輩諸先生の輝かしい業績に対して、施工面でのもう一步の努力が必要のように思わ

れる。すなわち、注入圧、吐出量、注入ノズルおよびその注入口とのジョイントなどを含めた機器の改良、開発、注入、排出口の位置や大きさなどの注入に関する具体的研究が残されているように思われる次第である。

参 考 文 献

- 1) 樋口芳朗：P Cグラウト、プレストレスト コンクリート、Vol. 15, No. 1, 1973
- 2) 土木学会：プレストレストコンクリート標準示方書（案）材料・施工篇，昭和48年12月
- 3) 土木学会：昭和36年度改訂プレストレストコンクリート設計施工指針，1961年8月
- 4) 猪股・岡田・神山・中野・六車：プレストレスト コンクリート構造物の設計法と現況，プレストレスト コンクリート技術協会講習会テキスト，昭和46年11月
- 5) 樋口・宮本・鳥居：アンボンドP C桁の静的曲げ試験，プレストレスト コンクリート，Vol. 14, No. 4, 1972
- 6) 小林明夫：東北本線荒川P C下路橋におけるグラウトに関する試験，プレストレスト コンクリート，Vol. 9, No. 2, 1967
- 7) 日本道路協会：プレストレスト コンクリート 道路橋施工便覧，昭和48年9月
- 8) 土木学会編：コンクリートライブラリー
第15号 デイビダーク工法設計施工指針（案）
第17号 MDC 工法設計施工指針（案）
第21号 バウル・レオンハルト工法設計施工指針（案）
第22号 レオンバ工法設計施工指針（案）
第23号 BBRV 工法設計施工指針（案）
- 9) 宮口尹秀：P C鋼棒用シースへのグラウト注入について，プレストレスト コンクリート，Vol. 5, No. 1, 1963
- 10) 樋口芳朗：P Cグラウト，プレストレスト コンクリート Vol. 8, No. 1~No. 3, 1966
- 11) 野口 功，近藤・坂 監修：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店
- 12) H.J. Godfrey：Corrosion Tests on Prestressed Concrete Wire and Strand, Journal of the P.C.I., Vol. 5, No. 1, March 1960
- 13) プレストレスト コンクリート 建設業協会：プレストレストコンクリート道路橋施工基準，昭和44年1月
- 14) 宮口尹秀：温床線によるグラウトの養生について，プレストレストコンクリート，Vol. 6, No. 5, 1964
- 15) 高速道路調査会：P C橋工事の施工管理に関する調査報告書，昭和49年2月
- 16) 友永和夫：わが国におけるP C鉄道橋の問題点について，プレストレスト コンクリート，Vol. 2, No. 2, 1960
- 17) 横道英雄：P Cグラウトについて，プレストレスト コンクリート，Vol. 2, No. 3, 1960
- 18) 横道英雄：友永博士の論説に関して，プレストレスト コンクリート，Vol. 3, No. 2, 1961
- 19) 田村章一：P C橋梁における横じめ工法の問題，構造物設計資料，No. 31, 32, 1972



首都高速度道路高架橋

プレストレスト
コンクリート
建設工事 フレシネー工法
MDC工法
設計・施工
部 材
製造・販売

豊田コンクリート株式会社

取締役社長 西田 赫

本 社	愛知県豊田市亀首町向イ田65	電話 0565(45)1888(代)
名古屋販売本部	名古屋市中村区笹島町1-221-2	電話 052(581)7501(代)
東京販売本部	東京都港区西新橋2-16-1 全国タバコセンタービル2階	電話 03 (436)5461~3
工 場	豊田工場，海老名工場	