

プレストレスト コンクリートの 諸分野における現況と展望

PC グラウト

樋 口 芳 朗*

1. はじめに

PCグラウトについては本誌1966年2, 4, 8月の3号にわたり講座を連載したことがある。当時指摘したとおり、PCグラウトについての研究的関心はすでに峠を越した感が強かった。改めてここ数年来の関連論文を調査しても当時指摘したことを本質的な点で訂正する必要はほとんどないといつてよいようである。このように花でいえばとうに盛りを過ぎた分野について編集部ご要求の「現況と将来の展望」を書くことは気乗りがしなかつたので、さらに範囲をひろげPC鋼材被覆材料として執筆することを考えたが、締切り間ぎわにならないと手をつけられないという悪習がわざわいしてPCグラウトを主体とするように後退せざるをえなかつた。最初にお詫びするとともに、次節で一部をご紹介するが、PCグラウトにつき特にご関心の深い読者諸兄は約6年前の前記の講座を読み返して頂くようお願いする次第である。

1) 確実に十分な付着が得られる品質という点から考えると、定着具を除去してしまうといった特殊なケースを除外した場合、表-1にも例示するとおり、PCグラウトの品質にあまり神経質になる必要は認められないこと(かたすぎるグラウトを用いることによってPC鋼材周辺に未てん充部分を残すなどといったことは本末転倒であること)。

2) 凍結に対する安定性(PCグラウトが凍結のさい膨張してPC桁に縦ひびわれを生じさせることがない性質)という点から考えると、空気量/未結合水の値を9~12%以上としたグラウトを注入後一定期間一定温度以上(たとえば3日間10°Cとか5日間5°C以上)に保てば十分であること¹⁾。

3) てん充が不十分であることはもっとも注意しなければならない問題点であり、このようなことのないよう最大の努力を払う必要のあること²⁾(ガスを発生する混和剤を用いてグラウトを膨張させててん充性を改善する

2. 数年前本誌上に掲載した講座の主な内容

以前本誌上に連載した講座の内容は次のとおりである。

まずPCグラウトに要求される役割を振り返ったのち、各国でオーソライズされたプラクティスを概観する意味で、主要国のPCグラウトに関する施工指針類を紹介している(4.で再び紹介する)。

ついで明らかにされてきた問題点として、

* 工博 国鉄鉄道技術研究所 構造物研究室長

表-1 PCグラウトの品質と付着強度 (Geddes, Soroka)

主 材 料	混 和 剤		w/c	ブリージング率		沈降あるいは膨張率 (%)	圧 縮 単 位 量 (kg/cm ³)	単 位 量 (kg/m ³)	付 着 強 度 (kg/cm ²)*	
	種 類	C×%		最 大	24h				滑 動 時	破 壊 時
普通ポルトランドセメント			0.42	2.2	0	- 2.4	255	2030	5.7	9.9
			0.45	3.4	0	- 3.5	240	1990	6.2	6.2
			0.50	4.7	0.4	- 5.1	220	1960	5.9	5.9
			0.60	10.1	5.8	-10.0	200	1920	5.9	5.9
			0.75	16.9	14.6	-18.0	180	1870	7.8	7.8
普通ポルトランドセメント 2:細砂1			0.51	3.0	0	- 3.4	245	1980	8.6	9.4
普通ポルトランドセメント 2:中砂1			0.47	2.1	0	- 2.2	300	2100	8.8	9.8
			0.60	6.2	3.6	- 6.5	190	1980	9.0	10.7
早強ポルトランドセメント			0.50	1.7	0	- 2.0	230	1890	3.8	6.4
			0.63	5.1	2.2	- 5.3	160	1810	7.4	9.6
普通ポルトランドセメント	アルミニウム粉末	0.20	0.45	3.0	0	- 0.1	220	1880	4.8	7.6
		0.35	0.43	1.9	0	+ 4.2	205	1820	7.9	11.5
		0.60	0.41	0	0	+11.1	150	1700	8.4	9.9
	アルミ粉末減水剤	0.35	0.38	0	0	+ 7.5	155	1820	10.5	10.8
		1.00								
	減水剤	1.00	0.41	2.1	0	- 2.5	245	1980	6.0	9.1
		A E 剤 (空気量 4%)	0.25	0.45	3.2	0	- 3.2	235	1880	7.8

* 5 mm 鋼線を引き抜いて求めた。

とともにブリージング水などはオートマチックに追放するのが有利であること)。

の3点を指摘している。

最後に施工にあたっての注意事項を述べている。

3. 最近行なわれた注目すべき実験の紹介

前記の講座を連載した時点以降にP Cグラウトに関して行なわれた注目すべき実験としては Morris Schupack が原子炉用圧力容器を念頭において行なったものが眼につくだけといってよい。目ぼしい研究結果の少ないのは先に指摘したとおり研究者のP Cグラウトに関する関心が薄れたことから当然予想されたことであったが、この Schupack の論文³⁾は非常に興味深い内容を含んでいるので、ややくわしく紹介したいと思う。

この論文は大容量で 60 m 程度の長さで鉛直方向に配置されたP C鋼材、大容量で 60 m といった鋭い曲率を有するP C鋼材などといったような、ブリージングの悪影響が拡大されて極端に出てきたり、てん充もれを生じやすい場合に起こる現象を解明したものであり、次のような点を明らかにしている。

1) 普通寸法で水平方向に配置されたP C鋼材断面の上部に小さな空げきの目立つことがあり、従来は一般に空気が閉じ込められたと報告されていたが、これは誤まりであり、ブリージング水が閉じ込められたものであることが確かめられた。したがって、P C鋼材の鉛直高さが大きい場合は、ブリージングを生じないグラウトを用いるか、ブリージング水を追放する方法を考える必要がある。

2) ブリージングは、実用上無視できると報告している論文が従来多かったが、径が大きく高さが低いシリンダーを用い、蒸発を防がないで実施した実験結果から結論を得ており、径 5~10 cm、高さ 1 m 以上といった細い管で試験をしないと実情から離れた結論を得やすいこと、上面を密封して試験しなければならぬこと、最初の8~10時間の測定を連続して行なわないと再吸収現象をキャッチできず、ブリージング現象の把握が不明になること等の点に注意する必要がある。

3) セメントの種類、混和剤、ミキサ、コンシステンシー、水セメント比が膨張や沈殿に及ぼす影響を求めたところ(ブリージング 0.5~1.1%、膨張率 6~36% と変化)、これらは沈殿現象にそれほど大きな影響を及ぼさないことが確かめられた。注入速度やポンプの種類もあまり影響を及ぼさなかった。

4) 注入されたグラウトを圧力下(7 kg/cm²以下)に封入しておくことはよいプラクチスとされてきたが、透明なプラスチックの密閉チューブを用いて試験したとこ

ろによると、アルミニウム粉末により圧力を生じること、圧力下でもブリージングを生じ上端に空げきを残すこと、中間部にブリージング水のたまることがあること等が確かめられた。

5) 7本P C鋼より線は中心の線と周囲の6本の線との間の空げきがセメントをほとんど含まない水を運搬するメカニズムを有するため、20%にも達する大空げきを上方に生じさせるというまったく新しい現象が見いだされた。この水運搬メカニズムは、ゆるくよった鋼より線ではセメント粒子のろ化作用を欠くため生じないことも確かめられた。

6) ゲル化混和剤(セメント粒子を懸濁させチクトロピーを与える混和剤)を用いても鋼より線の水運搬メカニズムはなくなるので、他の方法も考える必要がある。

7) 膨張性グラウトを用いるとともに上端の定着キャップに排出口を設け(圧力を保持してもあまり利点のないことについてはすでに述べたとおり)、ブリージング水を膨張して流出するグラウトとともに追放するのがもっともよい方法である。

8) 膨張作用が終ったあとにブリージングが起こることも考え、なるべくブリージングを少なくする手段を検討したが、ゲル化剤を混和するのが、もっともよいことがわかった(セメントは早強性のものを用いるほうが有利であった)。

9) 窒素ガスを発生する膨張混和剤は、水素ガスを発生する混和剤と異なりセメント種類の影響をほとんど受けない。

10) 径 13 cm、高さ 42 m のP C鋼材を入れたシースを鉛直にたて 4.5~10°C といった寒い日に水セメント比 0.47 のグラウトを用いて注入試験を行なった(チクトロピーを有するグラウトのコンシステンシーをロットで測るのは非常に困難であった)。上端までグラウトが達したら注入作業を終了させた。注入作業が1時間もかかったので膨張の大部分が終ってしまい、流出グラウトの膨張率をはかったところ 0.5% しか示さなかった。目視その他の調査の結果きわめてすぐれたグラウトの得られていることが確かめられた。

11) 多数のP C鋼線を鋭い曲率で密にシース内に配置すると鋼線間の空げきを満足にてん充することはできないが、7本鋼より線を用いると満足にてん充状態が得られる。

以上の実験結果から、かなりの高さのシースにたいして空げきを残さないように注入しようとするときこれまでのプラクチスはだめであるとし、一般指針として次のように述べている。

プレストレスト コンクリートの現況と展望

1) 鋼線や鋼棒を用いる場合はゲル化混和剤と膨張混和剤を用いるべきである。減水剤は遅延タイプでないものがよい。シースを閉じて圧力下に保つことはやめて最上端は自由に開放し、適当なコンシステンシーのグラウトが上端のスタンドパイプから流出するまで注入を続ける。スタンドパイプは膨張が終り凝結が始まるまで開放しておく、小さなシースの場合はゲル化混和剤を省略してよい。

2) 7本鋼より線の場合は遅延タイプでない減水剤を混和した純セメントグラウトを用い、すべての頂部にはスタンドパイプを設け、膨張グラウトによりブリージング水を排除するのがよい。

4. 各国の PC グラウトに関する指針類

各国の PC グラウトに関する大勢を概観する意味で指針示方書類中の PC グラウト関連部分を紹介すると次のとおりである。

(1) 西ドイツ指針 (1957)

北海道土木技術会 PC 研究委員会の制定された PC グラウト 注入施工指針は だいたいこの西ドイツ指針になっており、「セメント コンクリート」No. 158 (昭 35.4) に発表され、昭和 36 年 4 月に改訂されているので、くわしくはそちらを参照されたい。

この指針はドイツ式の整然としたものであり、コンシステンシー試験方法、ブリージング率および膨張率試験方法、強度試験方法は土木学会 PC グラウト試験方法の 2 章、4 章、6 章 として採用されている。グラウトの収縮率は 2% を越えてはならない、と収縮を認めるような定め方をしていること、7 日強度 200 kg/cm² 以上、28 日強度 300 kg/cm² 以上と相当の高強度を要求していること、凍結安定性試験を行なった場合、膨張を起してはならないと定めていること、ミキサの高速回転に対し警戒的であることなどの特徴を有している。

構造物の温度が +5°C を下がる場合は、PC グラウトの注入を中止しなければならない。注入後寒冷がおとずれた場合は、適当な手段によって PC 鋼材周辺の温度が最初の 5 日間 +5°C を下らないよう注意しなければならない。

+5°C 以下の気温のもとで注意しなければならなかった場合は、注入後 5 日間は十分暖かく (注入路領域を少なくとも +5°C) しなければならない。

(2) アメリカ指針 (1960)

アメリカ PC 協会 (PCI) が制定したものであり、本誌 1960.10 (原文は JI. PCI 1960.6) に松野氏が紹介している。試験方法は西ドイツ指針と異なり、膨張および圧縮強度について現場向きの簡単なものを示しているに

過ぎない。膨張率として最大 10% を示すことを推しよ うしていること。7 日強度を 5 cm 立方体で 175 kg/cm² 以上と低めに定めていることなどの特徴を有している。

注入時のコンクリート温度は約 7°C 以上とし、現場養生を行なった 5 cm 立方体の強度が約 56 kg/cm² に達するまで、この温度に保たなければならない。

(3) アメリカ指針に対する現場経験報告 (1962.8)

アメリカ指針に対する補足として PCI から発表されたものであるが、ある指針あるいは示方書類が出された場合、このような現場経験報告ののちになって出されることは有意義と思われるので、ややくわしく紹介すると次のとおりである。

いいかげんな施工をすることが不満足な結果を生む原因であり、適切な監督のもとに熟練した作業員により、適当な材料と器具を用いて注入作業を行なうことが至上命令であると、まず強調されている。

セメントは普通、中庸熱、早強のどのポルトランドセメントを用いても満足な結果を得ることができ、新鮮なものを用いることが有利である。一般的にいて砂を用いないほうが作業は容易であり、砂自身は安価であるにもかかわらず結局全体工事費を増大させるようである。しかし大きい注入路に注入するときなどは 0.6 mm 以下の砂を用いることが望ましい。

暑中施工の場合や長い注入路ないし注入困難な注入路に注入するときは、遅延剤を混和するべきである。減水剤を用いると単位水量を減少させることができ、強度を高め収縮を小とすることを可能ならしめる。アルミ粉末は発泡剤として用いることができるが、フレーク状のものをいれ注入したあと膨張させることが非常に重要である。常用量はセメントの 0.01~0.03% であり、安価で望ましい特質を持っていることを考えると、アルミ粉末の使用は強く推しよされるべきである。フライアッシュは、材料の分難を減らすのに有効である。

グラウト中の異物や塊りは注入中の閉塞事故の主原因たりうるから、ミキサに入れる前に、1.2 mm ふるいですべての材料をふるうことはよいプラクティスである。しかし、このことが行なわれたといないにもかかわらずグラウトがミキサから難れてポンプに達するまでにふるいをとすことは、注入路内に異物や塊りをいれないためきわめて重要である。

最小の練りませ時間で均一なグラウトを得るためには練りませのさい、せん断作用を生じさせることが必要である。このことはパドル、ディスク、ドラムなどを鉛直あるいは水平位置で高速回転させることにより可能となる。このようなミキサで満足すべき結果を示した一例をあげると、2 組の 3 ブレードをもった 15 cm 径のプロ

ペラを 55 cm 径の容器内の鉛直シャフトの上に、15 cm 離して配置したミキサで、2 HP のエアモーターを持ち 1 600 rpm で回転するものをあげることができる。せん断作用のためかなりの熱を発生するから、高速練りませ時間は約 2 分に制限するべきである。エアモーターミキサを用いると練りませ速度を広範に変えることができるので、十分な練りませが終わったあとは速度を落し、アジテータとして用いることも可能である。

ホース、バルブなどから水がもるとグラウトからの脱水現象によって閉塞事故を起こす恐れがあるから、水を用い予想される最大圧力をかけてテストしておく必要がある。

機具をよく清掃し、よく整備しておくことは重要である。故障のため P C 桁受取り拒否という事態を招いたら、高価な修繕工事を必要とするかも知れりうる。硬化したグラウトの薄片が清掃不十分の結果として閉塞事故の原因となることは、しばしば見受けられる。ミキサとポンプだけでなくすべてのホース、バルブも十分清掃しなければならない。

アルミ粉末の作用は急激に起こる可能性があるので、練りませを開始したのち 15 分以内に注入を完了しない場合は注意しなければならない。膨張率試験によって練りませ時間を伸ばすことができるかどうかを判定することができる。練りませを過度に行なうとグラウトの温度が上がりすぎ、注入完了前に凝結する恐れがある。高速練りませにおける練りませ時間は一般に 2 分以内とすべきである。

微砂を用いた場合は、水セメント比を 49% 以上とすることが必要になるかも知れない。しかし、もっとも満足すべき結果は、最小の水量を用いたときに得られることを忘れてはならない。注入路壁面がコンクリートのときは注水したのち空気で吹きとばさなければならない。このことは壁面がすでに湿潤状態にあるときも異物除去を目的として行なうことが望ましい。注入前に水圧を加えてグラウトのロスを調べたり、所望される最高圧が得られるかどうかを確かめることが望ましい。この水圧試験にさいしての少々のもれは、注入のさい普通格別の手段をほどこさなくても閉じるものである。

グラウトをウェットスクリーニングすることは注入路が閉塞事故を起こさないためにきわめて重要である。出口から出るグラウトが大きな気泡や余じょう水を含まなくなつてから出口を閉じるよう注意しなければならない。経験によると変動しない低圧注入が望ましく、高圧注入は局部的閉塞を起こしやすい。注入作業の中断はできるだけ避けるべきである。

寒中の施工にあたっては、注入路の最下部に排水口を

設け、水が注入路内に残らないようにしておかないと桁が破損され受取りを拒否される原因となる。

アメリカコンクリート学会 (ACI) の建築基準では、水セメント比を 50% 以下とすること、高速ミキサを用いること、注入時の部材の温度は約 10°C 以上であり少なくとも 48 時間はこの温度に保つこと等を規定している。

ACI の 349 委員会が原子力発電容器用の基準として定めたところによると、P C グラウト中には、Cl イオンは 650 ppm 以下、SO₄ イオンは 800 ppm 以下、窒化物などの有害物は別に定める量以下としている (JI-ACI 1972. 1)。

(4) イギリス指針 (1962. 4 に猪股博士が紹介、本誌 1962. 4)

P C 開発グループ (Prestressed Concrete Development Group, イギリスではまとまったコンクリート協会がないため、P C、混和材料その他の開発グループが研究を推進しているようである。現在コンクリート協会設立の動きがあるようである) が定めたものであり、試験方法はアメリカ同様、膨張 (ブリージングもふくむ) および圧縮強度について現場向きの簡単なものを示しているだけである。アルミ粉末を用いる場合、全膨張が 8 ~ 10% を越えるようにしなければならないとしていること、7 日強度を 10 cm 立方体強度で 175 kg/cm² 以上と低めに定めていることなどの特徴を有している。

約 7°C 以下の温度のときにグラウトを注入する場合は、コンクリート部材を氷結から完全に防ぐ準備をする必要がある。非常に気温が低い場合には注入を延期することが望まれる。

(5) 国際指針 (1962. 8 に猪股博士が紹介、本誌 1962. 8)

国際材料試験協会 (RILEM) と国際 P C 協会 (FIP) の合同委員会で定められたものであるが、コンシステンシー試験の必要を認めており、ブリージング率および強度の試験方法も定めている。28 日強度で 300 kg/cm² という高めの強度を高さと直径あるいは辺の比が 1 の供試体について要求していること、膨張剤を用いる場合、全自由膨張率は 10% を越えてはならないとしていることなどの特徴を有している。

特別な用意をしないならば寒中のグラウト注入は延期する必要がある。引き続き 48 時間にわたって 5°C 以下に構造物の温度が下がらないことが確実な場合には、空気量 6 ~ 10% のエアレントレインドグラウトを用いて注入を維持してもよい。48 時間以内に凍結の起こるおそれのあるときは部材を加熱し、注入後 48 時間にわたってグラウトの温度が 5°C 以下とならぬようにしなければならない。

(6) フランス国鉄指針 (1963. 9)

フランス国鉄の施工したPC橋は多くないが、PCの発祥地であるにもかかわらずフランスで発表されたPCグラウト指針のようなものが他に見受けられないので、暫定案として示されたもの(本誌昭. 39.8 で宮田氏が紹介)の特徴を紹介すると次のとおりである。

STUP がセメント研究所のレオロジー研究室に依頼してつくられたものであるため、フレッシュ工法にだけ原則として応用されるとしていること、PCグラウトは流動性および安定性の二点で満足なものであり、あらゆる空げきを注入のさい満たすとともに、沈殿のため空げきが残ったりしないよう完全な充填を期待していること、コンシステンシー測定にはロートをを用い、流出管の径を注入圧、シース長、シースの換算径などに応じて取り換え(普通 9mm とする)、1lのグラウトが20秒以内(17~25秒)に流出する場合コンシステンシー良好としていること、グラウトの粘性係数は 1.5 cp 以上としていること、注入圧力をコンシステンシー測定に用いたロートの流出管径、シースの換算径、ホースの径、ホース長、シース長の関数として示し、このようにして計算された注入圧力が 10 kg/cm² を越えてはならないとしていることなどを特徴としている。

(7) その他

スイス指針(1966)では透水試験と注入についての詳細な指針を与えている点に特徴があるといわれる。グラウトの粘性、ブリージングおよび体積変化等について実用的な現場試験を規定している。水セメント比は 0.38~0.43 としている。混和剤としてはコンシステンシーを改善し、ブリージングを減らし、体積膨張を生ずるものをすすめており、塩化カルシウムや、窒化物その他有害なものを使用を禁じている。

ノルウェーの指針は西ドイツになっている。

ソ連では気象条件もあって、さびより凍結を心配しているようであり、部材外部に溝を設けておき、ここにPC鋼材を配置するといった方法をすすめているようである。普通の意味におけるPCグラウトについての指針類は見あたらないようである。

ベルギー指針ではシースから空気を完全に追い出すことを規定しており、注入方法について詳細に規定しているといわれる。グラウトについても単位セメント量の最小値を示していることと混和剤に塩化カルシウムを含むものを禁じている点に特徴がある。

Szilard⁴⁾はPC橋におけるPC鋼材のさびの問題を論じ世界の情勢を概観しているが、PCグラウトについて詳細な新指針が出されるまでは(5)のFIP-RILEM国際指針および(2)のPCI暫定指針に従うのがよいと

している。

5. PCグラウトはできるだけ廃したい

典型的な例をまずあげてみる。

鉛直締め鋼棒について国鉄では次のように指導している⁵⁾。

1) 埋込側および緊張側アンカープレートはコンクリート打込中常にPC鋼棒と垂直に保たれるような構造であることが必要である。

2) 埋込側PC鋼棒端の位置は鉄筋により確保する。

3) 埋込側アンカープレートをとめるナットを使用する場合は、コンクリート打ちの際のバイブレーターによる振動でゆるまないようにする必要がある。

4) 埋込側にもグラウト口(グラウト注入口または排出口)を設けて、PC鋼棒全長にそって周囲をグラウトによって囲むようにする。

5) グラウト口は、コンクリート中に配置したパイプにより外部に通ずるようにしておく。このパイプはコンクリート打ちのさいつぶれない程度の強度があり、かつフレキシブルであることが望まれる。

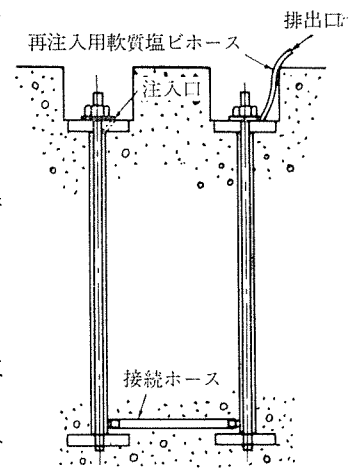
6) 鋼棒下端に設けた

グラウト用パイプを、図一1に示すように、グラウト用ホースで接続するか、グラウト用パイプに接続した注入ホースを桁外に出す。

7) 桁外に注入ホースを出した場合は、このホースからグラウトを注入し、鋼棒上部からグラウトを排出するようにする(このようにしないとシース中に空気が残る恐れがある)。

8) PC鋼棒の下端でホースによりグラウト用パイプを接続している場合は、注入口からグラウトを注入し排出口からグラウトが排出されたら注入を止め軟質塩ビ製の再注入用ホースを折曲げる。再注入口に注入ノズルをはめ込み注入を再開する。注入口よりグラウトが排出されこの中に空気が見られなくなったら注入を終了する。

以上の注意のうち1)から3)までは特にPCグラウトに関連を持たない一般的なものであり、4)以下はすべてPCグラウトのため生ずる注意であるが、コンクリート打ちその他の作業のさい損傷を受けやすい弱点を形成していることは明らかである。事実、注入路が閉塞



図一1 鉛直締め鋼棒の注入路

していて頭をなやますケースもあるし⁶⁾、さらにひどい注入忘れなどといったケースも絶無とはいえない⁷⁾。

ひとかたならぬ苦勞をして設営し、コンクリート打ちのさいも苦勞したあげく、不都合を生じてお叱りを受けるといふわけである。

上にあげた例は典型的なものであるが、一般にPCグラウトがあるために受ける不利としては次のような点があげられる。

1) PCの本体作業が終ってから相当たったのちに行なわなければならない神経を勞するウェットな作業を残すことになる、寒中工事においては特にこの不利が目立つ。

2) シース自身について肉厚や種類が適当であるが、つぶれや穴がないか、著しくさびていないか、継手のねじ込みが十分行なわれているか、継手にまいたテープからセメントペーストが侵入しないか等の検討が必要であるし、シースを配置する時期や方法も適当に定めなければならない。

3) 外径の大きいシースはコンクリート打ちのさいじゃまになるし、2) にあげたようなデリケートさもあるので鉄筋より始末の悪い面がある。

一般的にPCグラウトに関連した失敗例の少ないことは周知のとおりであり、前にも述べたとおり、大へん苦勞したあげく手痛い目にあうことが予想外に多いことを考えると、このような作業は、なるべく少なくする方向で、もっと真剣な考慮が払われてしかるべきであると判断される。

6. PCグラウトの支配圏は縮少できる

ドイツではPCグラウトを一般に必要不可欠とみなしているが、アメリカでは建築などを主対象としてPCグラウトなしのアンボンド工法が実用されていることは周知の事実である⁸⁾。PC鋼材の使用効率が低いこと⁹⁾、終局強度・ダクチリティー・ひびわれ¹⁰⁾等の点でいくぶん劣ることなどは確かであるが、一般の使用状態においてはほとんど差異がないし、鉄筋量を少々増やすことでカバーすることができるから、施工を大幅に簡素化できるアンボンド工法が、これから志向すべき大勢にそっていてもそう不当ではないと思われる(凍結融解作用に強いコンクリートとしてヒッターのドイツはアウトバーンに非常に硬練りのコンクリートを施工し、アメリカはワーカビリティーのよいAEコンクリートを案出していずれも成功をおさめたが、30数年を経た今日どちらが主流となって世界を支配しているかは説明するまでもないところである)。

PCグラウトは注入路を完全にでん充し十分にPC鋼

材を包むことによって、1) PC鋼材のさびるのを防ぐこと、2) グラウトの受ける各種の応力に耐え、注入路壁およびPC鋼材との間の付着応力伝達を行なうことが期待されている。1) のさび防止からいうと多くの事故例もあり原子炉用圧力容器においてPCグラウトは必ずしも信頼されていないことは周知のとおりである。2) の付着応力伝達作用からいうと本節の始めに述べたとおりであるが、PCグラウトに頼ることに対して疑問を示す論文も見受けられる。たとえば六車博士ら¹¹⁾はグラウトのあるはりの場合、鋼棒とコンクリートとの付着が健全な間はアンボンドのはりより剛性が高いが、地震荷重のような低速高荷重の繰返しをうけると剛性が低下し、最終的にはアンボンドのはりより少ない載荷回数で破壊することを指摘しているし、Wascheidt¹²⁾はプレテンおよびポステンのはりの疲労試験を行ない、ボンドをあまりきかさないうポステンのはりが、もっともよい結果を示したと報告している。アメリカGeneral Atomic社¹³⁾は圧力容器にPCグラウトを用いずアンボンドにする理由として必要なときに検査できること、緊張力を調整できること、必要な時取替えられること、大きなstrain energyの吸収が全長にわたって行なわれること、さびないための保護という点でPCグラウトより信頼できること等をあげているが、定着部にたいする要請が、よりきびしくなるとしている。

この最後にあげたところのPCグラウトを廃した場合定着部に無理がかかるとする思想は一般的であり、たとえばBS 4447では繰返し荷重試験を行なうことを要求しているし、ACI-ASCE Committee¹⁴⁾では定着領域の防護につき念入りに規定している。しかしながら前者にたいしては一般にPC定着具の受ける繰返し荷重振幅は小さいこと、たとえばねじを利用した定着具の場合、雄ねじおよび雌ねじ間にエポキシその他を塗っておく

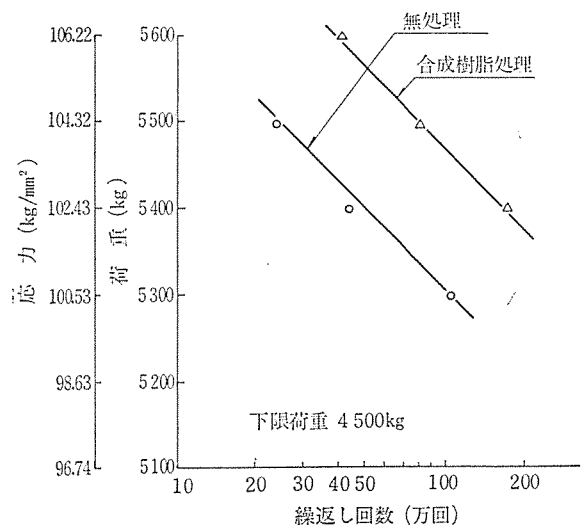


図-2 8mm 鋼棒ねじ部の疲労試験(樋口, 岩崎, 浅沼)

とにより疲労強度は顕著に改善されること(図—2), この場合, 定着具の重要部分のさび止めにも役立つこと等が指摘されなければならないし, 後者にたいしては, 定着領域の防護を入念に行なう必要性はグラウトを施工する場合も同様であり, これをなおざりにすると鋼棒破断などといった事故¹⁵⁾を起こす可能性のあることが指摘されなければならない。

アンボンド工法において用いられるP C鋼材被覆材料としてはグリースのようにほぼ完全にアンボンドであるもの, アスファルトのように常温以下では相当のボンドを示すもの。ポットライフのきわめて長いエポキシなどのようにプレストレス導入後相当たったのちボンドを示すものの3種に分類される¹⁶⁾。一番最後のものが望ましいことは明らかであるが, 現在のところ実用段階に入っているとはいえない。アスファルトなどの場合, 曲げ試験や鋼棒破断事故にさいし相当のボンドを示すこと¹⁷⁾はすでに明らかにされているので情勢に応じた工法を採用するべきであると思われる。

P C構造物はそのサービスライフ中にほとんど遭遇しないような大荷重のことを過度に考えすぎたあげく, 実用荷重のもとにおいて不満足な性状を示すような施工の厄介さを招くことは一般的にあってあまり得策とはいえないと思われる。大荷重の繰返しに対してP Cグラウトが予想外に弱いなどといったことが本当なら, このことはさらに強調されなければならない。少なくとも, 前節で述べた鉛直締めなどの場合は全面的にアンボンドとしてなら不都合はないと判断される。

7. おわりに

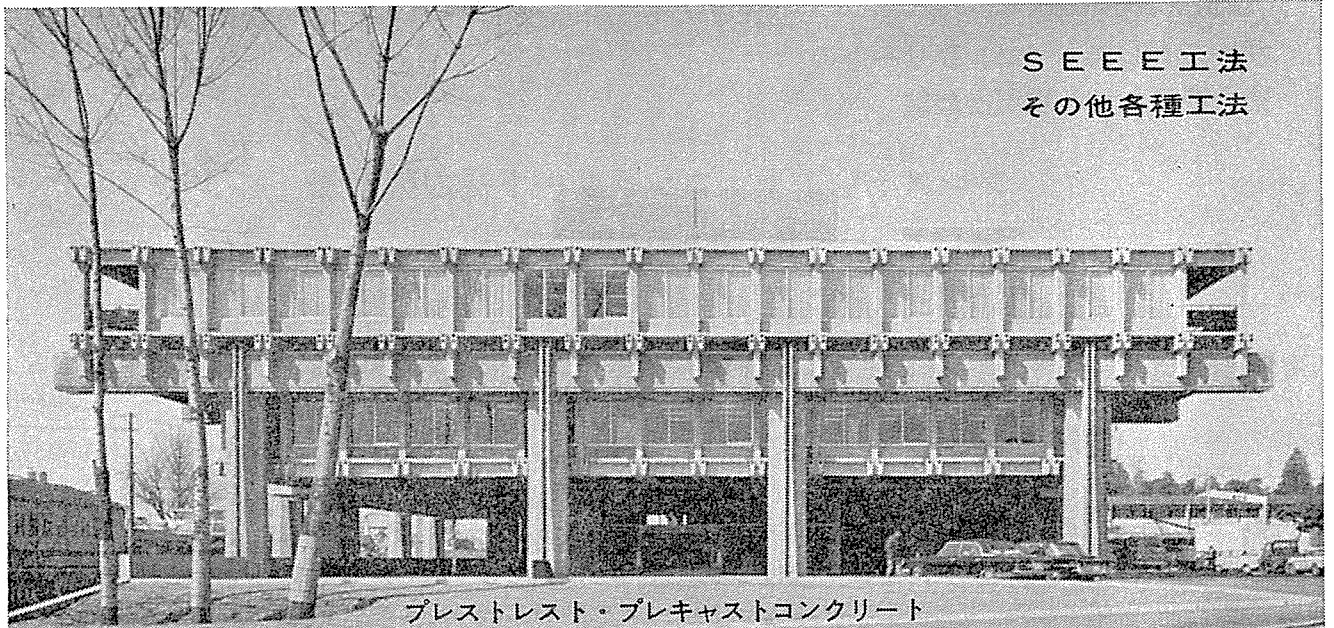
P Cグラウトについては横道, 林両博士を中心としたグラウト凍結に関する広範な研究, 実用的見地からいって世界にオリジナリティーを主張できると思われる多くのプラクチスの確立などといった点で, 注目すべき成果をわが国があげてきたことは確かである。しかしながらP Cグラウトは本質的に骨の折れる厄介な作業を現場に強制するものであり, このような作業をなるべく減少するべく原点に立ちかえって考察を加えることが工学的には最も重要と判断される。アンボンドとして十分な部分はできるだけそのようにし, できるだけP Cグラウト作業を減少したのちに始めて慎重かつ入念なP Cグラウト作業の実施を現場に要求することができるとはいえないだろうか。土木学会でP C指針を示方書に格上げする努力が払われつつあるが, この中でP Cグラウトに関する規定は大幅に簡素化される方向にあるといわれる。P Cグラウトを廃する場合のことも組み入れて将来の方向を示して頂ければ実に幸甚と思われる次第である。

注:

- 1) 高炉スラグを入れたグラウトは, 凍結融解をくり返すと特に抵抗性のある微結晶化された, カルサイトの薄いフィルムで囲まれるようになり, かえって強くなることを示した論文がある。Pierre Claude Aitcin: Freezing Behavior of Grouts Containing Granulated Slag, JI. ACI 1970. 5
- 2) 施工後6年余を経た橋長31.4 mのP C斜材つき π 型ラーメンを撤去するさい詳細に実体調査を実施した結果, グラウトに関しては一応満足であったと結論しながらも「本橋のように比較的短スパンで曲げ角度の小さいケーブルについては, グラウトはある程度完全に実施されうるが“完全にP C鋼材を包み, 注入路を完全に充つこと”となると, 長スパンでしかも曲げ角度の大きいケーブルについては, 並大抵のことではない」と述べておられるのは最近の注目すべき指摘である。松浦旭, 紙透碩彦: P C斜材つき π 型ラーメン橋の撤去に伴う調査と試験について, プレストレスト コンクリート, 1972.8
- 3) Morris Schupack: Grouting Tests on Large Post-tensioning Tendons for Secondary Nuclear Containment Structures, JI. PCI 1971, 3-4
- 4) Rudolph Szilard: Corrosion Protection of Tendons in Prestressed Concrete Bridges, JI. ACI 1969. 1
- 5) 尾坂芳夫, 橋田敏之: P C下路橋の施工上の問題点 (3), 構造物設計資料 No. 13, 1968. 3
- 6) 構造物設計資料 No. 1, 1964. 12, p. 19
- 7) 設計施工体制がしっかりしていないと, この種のことは予想以上に起こりやすいようである
- 8) 坂 静雄: プレストレスト コンクリートの発展に思う, プレストレスト コンクリート 1972.2
- 9) 熱応力その他を利用する方法も検討するべきであろう
- 10) しかしながら, ひびわれ部のP C鋼材の応力集中が緩和される傾向にあることは有利である
- 11) 六車 照, 富永 恵, 岡本 伸: 低速繰返し高荷重を受けるP C単純梁の力学的性質に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集, 号外, 昭 41.10
- 12) FIP シンポジウム 1968
- 13) プレストレスト コンクリート 1968.4
- 14) Tentative Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons, JI. ACI 1969.2
- 15) 地覆コンクリートその他があってP C鋼棒が飛び出してもわからない場合を除き, 横締め鋼棒が切断して飛び出す事故の見受けられることがある。主原因としてはP C鋼棒ねじ部の応力集中部にあと詰めモルタル(定着部のために設けた凹部に定着作業が終了のち詰めるモルタル)と本体コンクリートとの間の空げきから水が侵入し, 応力腐食を起こしてねじ部が切断することがあげられる。以上にあげた原因はよく考えてみると, P Cグラウトを施工することによって救えるといった性質のものではなく, グラウトはねじ部が切断しても飛び出すのを防ぐ役割を果して事故を教えてくれないだけである。したがって, 鋼棒の飛び出し事故から受ける教訓の第一は「グラウトを忘れるな」ではなく「ねじ部を保護せよ」であることが強調されなければならない
- 16) 樋口芳朗, 宮本征夫, 鳥居興彦: アンボンドP C桁の静的曲げ実験, プレストレスト コンクリート 1972.8
- 17) グラウトする前のP C鋼棒が切断事故を起こすことがあって危険であるが, アスファルトを用いたアンボンド工法においてはたとえ切断してもアスファルトの粘性抵抗が有効に働くため人身事故などにはつながらない

(1972.12.4・受付)

SEEI工法
その他各種工法



プレストレスト・プレキャストコンクリート

栃木県庁議会棟

黒沢建設株式会社

取締役社長 黒沢亮平

東京都新宿区三光町25番地 三立ビル TEL 03-356-3573(代)

PC工場 神奈川県秦野市三屋字川原135番地 TEL 0463-75-1324



阪神高速道路 / 守口高架橋

プレストレストコンクリート

構造物の設計・施工

(BBRV・フレシネー・SEEI工法)

製品の製造・販売

(けた、はり、パイル、マクラギ、版類)

ASG 北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社 (東京営業社)
札幌営業所
大阪営業所
福岡営業所
仙台事務所
名古屋事務所
広島事務所
美唄工場
幌別工場
掛川工場
京都工場

東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)
札幌市北三条西4丁目(第一生命ビル)
大阪市北区万才町43番地(浪速ビル西館)
福岡市大名1丁目1番3号(石井ビル)
仙台市本町1丁目1番8号(日本オフィスビル)
名古屋市中区錦3丁目23番31号(栄町ビル)
広島市立町1番20号(広島長銀ビル)
美唄市字美唄1453の65
北海道登別市千歳町130番地
静岡県掛川市富部
京都市南区久世東土川町6

☎(03)918-6171
☎(011)241-5121
☎(06)361-0995
☎(092)75-3646
☎(0222)25-4756
☎(052)961-8780
☎(0822)48-3185
☎(01266)3-4305
☎(01438)5-2221
☎(05372)2-7171
☎(075)922-1181