

PC グラウト

(1)

樋 口 芳 朗*

1. はじめに

PCグラウトの占める位置がPC界の片すみに極限されていることは確かである。しかし、PC定着具についての技術が、PCのほんの片すみに位置しているといえどそのとおりであるにもかかわらず、PC工業界を制しているのにある点で類似しており、現場施工の成否を制する面を多くの場合に有していることも確かである。

わが国でPCグラウトが施工され始めた頃は、世界的にみてもこの方面の技術水準は低かったようであり、水セメント比の非常に大きいグラウトをさっとおしておしまいにしてきたようである。

PCグラウトを軽視したために生じたのではないかと思われる現象が見られるようになったため、いちじこの方面の研究が世界各国で行なわれるようになり、わが国でも種々貴重な研究がなされたことは周知のとおりである。現在のところ研究段階は一応終り、現場で実施する実用性と調和させながらPCグラウトの品質を所定の範囲におさめること、個々の現場で実施するPCグラウトに対して要求されるもっとも大事な性質について判断すること、余り要求されていない品質を必要以上に高めるために顕著な努力を払うなどといった非工学的思想から脱却することなどが要請される段階にはいったと思われる。

各国の標準プラクチスを示すと思われる施工指針や示方書類も一応出そろったので、これらも紹介しつつ施工にあたって注意すべき点について考察することにした。

御参考になるところがあれば幸いである。

2. PCグラウトに要求される役割

「PC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」と土木学会のPCグラウト指針案に述べられている。PCグラウトに要求され

る役割を簡潔にまとめた表現として尊重されるべきであるが、解説をみるとさらにくわしく、

1) まだ固まらないグラウトは、良好な流動性および浸透性が、注入作業が終るまで保持され、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持つこと。

2) 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、十分に水密的であること。

3) 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温で凍結した場合、有害な程度に膨張しないこと。

と記されている。

以上のPCグラウトに要求される役割を念頭におきながら施工しなければならないわけであるが、この「PCグラウトの期待像」についても大分訂正しなければならない点——少なくとも軽重の判断について付加的説明を要することが目立ってきつつある。これらについては4.の「明らかにされてきた問題点」で詳説することとし、まず各国の標準プラクチスを示すと判断されるところを紹介することから始める。

3. 主要国のプラクチス

世界各国の主要工事例でも御紹介すると参考になると思われるが、とうていその余裕もないし、個々の工事例が必ずしも満足すべきプラクチスを示しているとも思われないので、各国で一応オーソライズされたところを簡潔にまとめた判断される施工指針や示方書類をべつ見することにする。

(1) 西ドイツ指針(1957. 12)

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らっておられ、「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。

(2) アメリカ指針(1960. 6)

アメリカPC協会(PCI)が制定したものであり、本

* 工博 国鉄鉄道技術研究所

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。

アメリカコンクリート協会 (ACI) の建築基準では高速ミキサを用いるよう規定している。

(3) 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。

(4) 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。

(5) アメリカ指針に対する現場経験報告 (1962. 8)

(2) のアメリカ指針に対する補足として P C I 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が後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つぎのとおりである。

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るが, 新鮮なものを用いることが有利である。一般的に言って砂を用いない方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進められるべきである。フライアッシュは, 材料の分離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しないにもかかわらずグラウトがミキサから離れてポンプに達するまでにふるいをとおすことは, 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。

最小の練りまぜ時間で均一なグラウトを得るためには練りまぜのさい, せん断作用を生ず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 のエアーモータを持ち 1600 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, 高速練りまぜ時間は約 2 分に制限するべきである。エアーモータミキサを用いると練りまぜ速度を広範囲に変えることができるので, 十分な練りまぜが終わったあとは速度を落とし, 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ことも起こりうる。硬化したグラウトの小片が, 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。注入前に水压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。この水压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よう水をふくまなくなっ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。

(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 39.8 で宮田氏が紹介)の特徴を紹介するとつぎのとおりである。

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 2 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、沈澱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 9 mm とする)、1 l 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。

4. 明らかにされてきた問題点

さてここで 2. にのべた PC グラウトに要求される役割のうち最近明らかにされてきた 3 つの重要な問題点についてのべる。

1) 「確実で十分な付着が得られる品質」という点から考えると、定着部を解放するというような特殊の場合を除外した場合、PC グラウトの品質に余り神経質になる必要は認められないこと。

PC グラウトを注入したポストテンション方式のはりは注入しない はりにくらべて良好な構造特性を示すことが実験によって確かめられている。すなわちグラウトによって得られた付着のため、ひびわれ間隔は小と

表-1 PC グラウトの品質と付着強度

主 材 料	混 和 剤		w/c	ブリージング率		沈降あるいは膨張率 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	単位重量 (kg/m ³)	付 着 強 度 (kg/cm ²)*	
	種 類	C×%		最 大	24 h				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	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	10.2	

* 5 mm 鋼線を引き抜いて求めた。

なり破壊荷重も上がるという好ましい結果が得られる。このことからグラウトの品質の相違によってPCばりの性状が異なるのではないかということがばく然と信じられていたので、「確実に十分な付着が得られる品質」のグラウトは、強度の高いグラウトでなければならぬとの観念が一般に持たれていたようである（このことが間違っていたのではないかということを示す実験結果がないわけではなかった）。

表-1 はイギリスの Geddes および Soroka の実験結果であるが、いままで信じられていた観念の誤まっていたことを明瞭に示している点で興味ぶかい。この実験では表に示したように広範に品質を変化させたグラウトを注入した長さ 3m のはり(PC鋼材は 5mm 8本を用いた)に曲げを加え、破壊荷重、はり破壊時のPC鋼材応力とPC鋼材引張強度との比、ひびわれの幅と数と間隔につき測定しており、つぎのような結論を得ている。

a) 曲げを受けるPCばりの構造特性は、広範囲にPCグラウトの品質を変化させても(配合を変えても)影響を受けない。

b) PC鋼材がグラウトによって完全に包まれている限り、ダクト(PC導孔、シーすを用いる場合はシーすといつてよい)がグラウトで完全にてん充されているかどうかはPCばりの構造特性に影響をおよぼさない(この実験においては部分的に埋め込まれたPC鋼材といったものは取り扱われていない)。

c) 凍結作用を考える必要のないときは——またPC鋼材が完全にグラウトで囲まれている限り防錆は保証されていると仮定すると——グラウトの精密な品質などというものは一般に限られた重要性しか有しない。

d) 以上の実験結果から見ると、PCグラウトについての示方書は過度に厳格なものがあるといえるかも知れない。

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などというのは本末てん倒であったといえる。

もちろんブリージングによって生ずる空げきなどは、たとえ構造特性に影響しないとしても避けるべきことは明らかであるし、凍結に対する安定性についても考慮を払うべきであるから適当な空気量を最終的に持ち、ブリージングが小さく(たとえ大きくてもグラウトの膨張作

表-2 伝達長試験のPCグラウトの品質

記号	主材料	混和剤		w/c	コンシステンシー(秒)	ブリージング率		沈降あるいは膨張率(%)	圧縮強度 σ_7 (kg/cm ²)	
		種類	C×%			最大	24h		自由	抑制
I-1-1	普通ポルトランドセメント			0.42	94	2.3	0	- 2.8	224	
				0.42	93	2.3	0	- 2.8	248	
I-2-1				0.45	51	2.6	0	- 3.1	173	
				0.45	56	2.8	0	- 3.4	208	
I-3-1				0.50	30	4.5	1.7	- 5.0	159	
				0.50	34	4.6	1.9	- 5.0	170	
I-4-1				0.60	9	8.2	5.7	- 8.6	127	
				0.60	13	7.9	5.6	- 8.3	128	
I-5-1				0.75	4	13.6	11.5	-14.0	89	
				0.75	5	15.9	13.9	-16.2	87	
II-1	同上	アルミニウム粉末	0.2	0.45	48	3.9	0	+ 1.0	159	170
II-2			0.4	0.45	35	3.7	0	+ 7.2	115	210
II-3			0.6	0.42	59	1.0	0	+14.6	91	257
III-1	普通ポルトランドセメント：砂 (FM1.7 =2:1)			0.50		3.5	1.4	- 3.8	212	
III-2				0.60		5.8	3.9	- 6.2	143	
III-3				0.70		9.0	7.3	- 9.3	116	
IV-1	同上	アルミニウム粉末	0.2	0.50		3.9	0.3	+ 0.1	182	202
IV-2			0.4	0.48		2.4	0	+ 4.3	158	181
IV-3			0.6	0.46		1.8	0	+ 8.6	103	246

* ドイツの試験方法をとっている。したがって、コンシステンシーは土木学会PCグラウト試験方法案2章によっているもので、モルタルに対しては測定不能である。ロートやワイヤー方法ではモルタルに対してもコンシステンシーが求められているが、測定方法の詳細が不明であるから紹介しなかった。

表-3 伝 達 長

記号	プレストレス力(t)		伝 達 長 (cm)						解放時における平均付着応力度(kg/cm ²)	
	解放前	解放後	解放後	7日	28日	90日	8ヵ月	1年		
I-1-1	15.7	13.8	99	99	99	99			19.9	
	2	15.6	14.0	81	91.5	91.5	94	99	96.5	24.7
I-2-1	17.0	15.3	231	236	236	236			9.5*	
	2	16.0	13.8	89	89	81	81	89	89	22.3
I-3-1	16.7	14.9	175	178	175	175			12.2	
	2	14.5	12.7	112	117	117	114	109	112	16.2
I-4-1	13.4	12.1	145	145	145	145			12.0	
	2	15.2	13.5	140	140	140	137		145	13.9
I-5-1	15.1	13.2	244	234	234	236			7.7	
	2	15.1	13.6	236	228	228	228		234	8.2
II-1	15.8	13.7	99	107	104				99	19.8
II-2	15.1	13.5	79	79	79				84	24.5
II-3	15.7	13.2	71	71	71				71	26.6
III-1	16.0	14.0	89	84	89				91.5	22.6
III-2	16.0	13.8	140	140	140				155	14.1
III-3	15.2	13.6	190	188	196				193	10.3
IV-1	13.7	12.0	79	76	79				81.5	21.8
IV-2	15.4	13.6	101.5	109	109				107	19.1
IV-3	14.5	13.0	68.5	73.5	73.5				71	27.1

* データは信頼できない。

用その他によって追い出せればよい), 容易にシーズ内をてん充ができるようなコンシステンシーのグラウトを空げきの残らないようにてん充することが大切であるといえる。また混和剤として減水剤と発泡剤を用いグラウトを膨張させることの有利なことも明瞭にうかがうことができる。

同じく Geddes, Soroka によってなされたところの定着を部分的に解放する際の伝達長を求めた実験結果 (マッカロイの 22 mm 鋼棒が用いられた) は表-2, 3 のとおりである。結論としてはつぎのようなものが得られている。

1) 定着部解放により求められたグラウトの付着強度はグラウトの強度に直接関連している。

2) したがって伝達長からいえば, グラウトの配合は圧縮強度に影響をおよぼさない限りどうでもよいといえ

る。

3) アルミ粉末を発泡剤として混和するとワーカビリティが良くなり, 拘束圧縮強度が増加するので付着を改善し伝達長を減ずる。

4) 当初の引張応力度を約 3 900 kg/cm² とした径 22 mm のマッカロイ鋼棒を用いた場合 1 年までの間で伝達長が変化することはなかった。

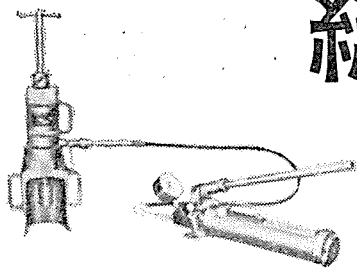
端部の定着具を除去するといった特殊な場合, 伝達長を小さくしようとすればグラウトの圧縮強度をあげる必要のあることがわかる。アルミニウム粉末混和がきわめて有効なことも明らかである。

用いたコンクリート供試体の長さは約 3 m であり, コンクリート強度は材令 6 日で 347~405 kg/cm², 材令 8 日で 484~565 kg/cm² であった。

御 転 居 先 連 絡 お 願 い

最近会誌御送りして受取人不明および住所 (勤務先) 見当らず返送されてくる数が相当あります。当協会では変更の御通知があれば名簿を整理訂正して手落ちないように努めております。一回の郵送料が 40 円もかかり会誌作製費の増大とともに協会の経理面において非常な負担となりますので, それらの点を御考察のうえ連絡先が変更になった場合は, ただちにご連絡下さいますようお願いいたします。

PC 用 油 圧 機 器 の 総 合 メ ー カ ー



製 造 元

K.K 平林製作所

京都府宇治市槇島町目川 8
TEL 宇治 3 7 7 0

センターホールジャッキ・モリプレー
PAT.No. 4 6 7 1 5 4

住友 DWジャッキ
PAT.No. 2 2 6 4 2 9

発 売 元

草 野 産 業 株 式 会 社

本 社
大阪市東区備後町 1 丁目 11 番地
TEL 大阪 (261) ~ 8 7 1 0 - 8 7 2 0
東京事務所
東京都千代田区神田錦町 3 丁目 21 番地
柴田錦橋ビル TEL (201) ~ 3546