

材料分離のない高品質 PC グラウトに関する研究

A FUNDAMENTAL STUDY ON NON-SEGREGATING HIGH-QUALITY PC GROUT

十河 茂幸*・玉田 信二**

By Shigeyuki SOGO and Shinji TAMADA

The ability of PC grout to fill voids is an important property which governs the durability of a prestressed concrete structure. It cannot be said, however, that voids are always completely filled in actual constructions, and it is necessary for research work to be done to develop a high-quality PC grout. In the present study, therefore, retarded-foaming type aluminum powder, super-plasticizer, and segregation-inhibiting water-soluble high polymer were used as admixtures, while combinations of various types of cement, flyash, and silica fume were made and the qualities of the mixes were compared.

This report is on the results of laboratory tests which indicate the direction to be taken for PC grout of more complete void-filling capability.

Keywords : PC grout, silica fume, flyash, water-soluble high polymer, super-plasticizer, aluminum powder

1. 緒 言

PC グラウトは、セメントあるいは混和材などの微粉末材料を、水、混和剤に溶解させ、流動性のあるスラリーとしてシース内に注入し、PC 鋼材あるいはケーブル間を充填するものである。PC グラウトの必要な条件は、緊張材とコンクリートを一体化させることと、緊張材を完全に充填して、さびないように保護することにある。そのため、注入作業時の流動性、充填性および硬化後の強度が要求される。しかし、高性能減水剤などを有効に利用したとしても、PC グラウトに適切な流動性を要求するとブリージングが生じる。そのため、ブリージングによる沈降を、アルミニウム粉末（以下アルミ粉末と称す）とセメントの反応で発生する水素ガスによる膨張によって補うことが通常行われる。ところが、ブリージングの進行は通常 3～5 時間継続するのに対し、アルミ粉末の発泡は気温によって異なるが一般に早く、発泡を遅延させる特別な処置をしたアルミ粉末¹⁾を用いたとしても、完全な充填は困難である。特に、実構造物においては、グラウトの自重や、注入圧力の影響で予想以上の加

圧脱水が生じるため、欠陥を残す事例が多いようである^{2), 3)}。

より完全な PC グラウトの充填性を追及するには、グラウトの組成であるセメント結合材、流動性、充填性を助ける混和材、混和剤の改善、あるいは、それらのより効率的な組合せ、そして、その効果を発揮させる練りませ方法等の研究が必要である。しかし、従来の技術を大きく改善し、完全充填を行うことを目的とした研究は比較的少ない。

本報告は、PC グラウトを完全に充填することを目的とし、材料、配合、練りませ方法等について実験的に検討した結果を述べたものである。

2. 既往の研究

PC グラウトに関する既往の研究としては、セメント、混和剤などに関する材料面の研究、配合に関するもの、性質に関するものがほとんどで、それについて、PC グラウトの施工に関するもの、練りませに関するもの、PC グラウトの充填度の検査に関するものがある。

グラウト材料に関する研究としては、グラウトの品質を改善するための減水剤と膨張剤について研究された結果を示すものが多い。減水剤については高性能減水剤を用いて水セメント比を減少させ、硬化後の空隙や、ブリー

* 正会員 工修 (株)大林組技術研究所 主任研究員
(〒204 清瀬市下清戸 4-640)

** 正会員 工修 (株)大林組技術研究所 (同上)

ジングの低減を目標としたもの⁵⁾、シース内に充填後に発泡膨張するよう、アルミ粉末を改善したもの¹⁾、アルミ粉末と減水剤を適切な混合により施工時の温度条件に対応できるように製品化したもの⁶⁾、あるいは、アルミ粉末のかわりに CSA 系膨張材などを混和し膨張が生じる時期を遅らせて、付着力の改善などの効果を調べたもの^{7),8)}、超微粒子シリカなどの混和材により PC グラウトの耐久性を改善するもの⁹⁾ などがある。

高性能減水剤の使用により水セメント比は 35 % 程度まで低減でき、ブリージング率は 0.3~0.5 % 程度まで抑制できる。また、アルミ粉末の発泡を遅らせて、グラウト充填後に発泡し、ブリージングにより生じた空隙を充填する工法については、完全に近いグラウトの充填が期待できるようである。

練りませ方法に関する研究は少なく、練りませ性能の異なるミキサを用いての一般のグラウト配合についての報告¹⁰⁾では、圧縮強度に差は認められないが、高性能なミキサの方がブリージングは少なく、保水性が高く、収縮が小さいとされている。

充填されたグラウトの状況について述べられたものも数件ある。注入が不十分なことが PC グラウト構造物の事故から明らかとなった例²⁾、欠陥の発生例を挙げ、注入技術の必要性について述べたもの³⁾、不十分な注入によって PC 鋼材の腐食の危険性が大きいことを示唆したもの⁴⁾がある。トラブル例が一般に公開されることが少ないことを考え合わせると、過去の施工で、かなり多くの不完全な充填となった施工例があるものと予測される。

このような実情のためか、充填性を改善するための施工法の研究も多い。グラウトの注入後にブリージング水をシース外に排出させるよう特殊フィルターを用いたもの¹¹⁾、グラウトの注入口と排出口の構造を改善し、排気口を設けたもの^{12),13)}などがあり、PC グラウトの変状調査にファイバースコープが有効であることを示すもの¹⁴⁾もある。

従来の技術をまとめると、かつて PC グラウトの施工欠陥が多く確認されたため、グラウト材料、配合の改善が行われ、さらに、より完全な充填のための注入技術の研究も多くなされた。しかし、プレストレストコンクリート工法の発達と PC より線使用の増大により、さらには構造物の大型化により PC ケーブルの長大化が進み、より高品質な PC グラウトの開発が望まれるものと思われる。

3. 研究の概要

実験の概要を表-1 に示す。

シリーズ I は使用するセメントの影響について調査す

るのが目的である。粉末度の異なる普通セメント、早強セメント、コロイドセメントを用いて粉末度、セメントの種類がグラウトの流動性、膨張性、分離性に及ぼす影響を比較した。

シリーズ II は混和材として、フライアッシュ、シリカフュームを用いて、グラウトの材料分離抵抗性を高めることを検討するものである。

シリーズ III は高性能減水剤により、グラウトの流動性を改善し、単位水量を減じたグラウト配合とし、ブリージングを低減することを検討するものである。

シリーズ IV は、練りませ方法がグラウトの流動性とその経時変化に及ぼす影響を比較したものである。練りませ性能の異なるミキサを用いてグラウトの流動性を確認した。これは、練りませ性能の良いミキサでセメントを高分散できるため、材料分離が生じにくくなると考えられるためである。

シリーズ V は、特殊水中コンクリート用混和剤で知られる水溶性高分子を PC グラウト用の混和剤として用い、粘性は高くなるが、加圧しても分離せず、長尺な鉛直 PC グラウトでもブリージングが生じない PC グラウトとすることを検討したものである。

表-1 実験の概要

シリーズ	検討項目	内 容
I	セメントの種類の影響	粉末度の異なる普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、コロイドセメントを用い、グラウトの基礎的性質を比較
II	混和材の影響	フライアッシュ、シリカフュームによるグラウト性状の改善効果を混和材の添加率をパラメータとして比較
III	高性能減水剤の影響	高性能減水剤の使用によるブリージング、流動性などの品質改善効果を確認、AE減水剤と比較する。
IV	練りませ方法の影響	小規模の場合や、室内実験用として使用される羽根回転式ミキサーと高性能な練りませ機能の柱ミキサーとベスミキサーを用いて比較
V	分離低減剤の影響	ブリージング抑制効果の高いセルロース系の分離低減剤を PC グラウトに適用することを検討、添加率を主なパラメータとして比較

表-2 使用セメントの性質

名 称	比 重	比表面積 (cm^2/g)	凝結 (h-min)		圧縮強度 (kgf/cm^2)	
			始 発	終 結	7 日	28 日
普通ポルトランド	3.16	3150	2-32	3-36	260	422
早強セメント	3.14	4160	2-00	3-01	399	488
コロイドセメント	3.00	6280	3-58	5-45	329	541

表-3 混和材の種類と性質

種 類	比重	比表面積 (cm^2/g)	湿分 (%)	強熱減量 (%)	シリカ (%)
フライアッシュ	2.27	3,700	0.2	3.0	51.5
シリカフューム	2.23	200,000	1.5	1.9	87.8

4. 実験方法

(1) 使用材料

使用セメント、混和材の種類とその品質をそれぞれ表一2および表一3に示す。

混和材は、フライアッシュおよび超微粉のシリカフェウムを用いた。

混和剤としては通常使用されている AE 減水剤遅延形 (以下 R と略記する) のほかに、グラウト内の余剰水となる水分をできるだけ減少させるための高性能減水剤 (ナフタリンスルホン酸塩系のもとメラミンスルホン酸塩系のもの。以下 PSR および SP と略記する) を用いた。これらの高性能減水剤は、使用量を増加しても比例的に減水効果は向上しない。そこで、実験では標準的使用範囲で用いることとした。

水溶性高分子としては、主成分がセルロースエーテルで、2% 水溶液の粘度が約 50 000 cps となるものを用いた。その性質を表一4に示す。なお、膨張剤としてアルミ粉末を用いたが、アルミ粉末はセメント溶液と接触すると即座に反応が始まるため、表面に油膜を形成した反応遅延性のアルミ粉末を用いた。

(2) 実験方法

a) 練りませ方法

グラウトの練りませは、原則的には粉体材料を投入後混和剤の混入された練りませ水を投入し、所定の時間練りませる方法とした。練りませ時間は 180 秒とした。な

表一4 水溶性高分子の性質

項目	内容
主成分	セルロースエーテル
外観	白色粉末
水分	3.7%
粘度	50 000 cps (2%濃度水溶液)
粒度	4.25 μm 0.5%以下

お、練りませ性能を比較するためのシリーズⅢ実験では図一1に示す高性能ペーストミキサのほか、遊星運動により練りませるオムニミキサ、羽根の回転により練りませる羽根回転式ミキサを用いた。練りませに関する実験以外はすべてペーストミキサを用いた。

b) 測定項目

練り上がったグラウトの性能評価のため、グラウトは表一5に示す項目について試験した。

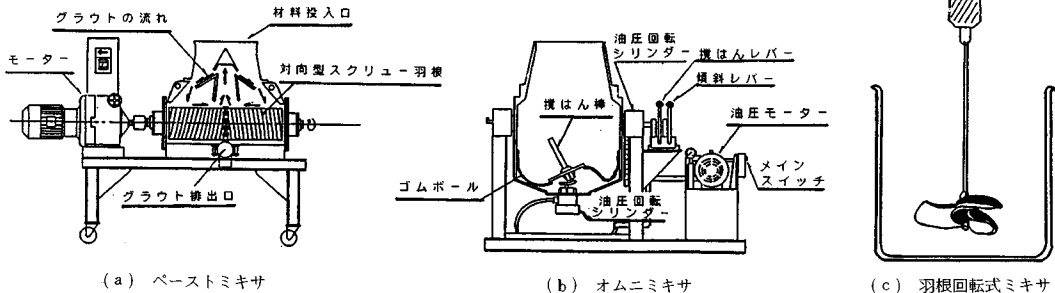
5. 実験結果

(1) セメントの種類の影響

普通、早強、コロイドの各セメントを用いたグラウトの流下時間を、同一水セメント比で比較すると、粉末度の高い順に流下時間は大きく、流動性は悪くなるが、高性能減水剤を用いてほぼ同程度の流下時間とすることによって、図一2に示すように流下時間の経時変化の少ないグラウトとすることができる。ただし、同一の流下時間とするためには、粉末度の高いセメントほど、高性能減水剤の添加率が多く必要となる。また、高性能減水剤をあまり多量に使用すると流下時間の経時変化が大きくなり、使用量を限定すると水セメント比も必然的に高くなり、そのため、グラウトの強度が低くなる。JA ロートによる流下時間の目標を 15~20 秒にすると、図一3

表一5 試験項目

測定項目	試験方法
流下時間の経時変化	土木学会標準「PCグラウト試験方法」に準じ、練り上げ後90分まで測定
空気量の経時変化	JIS A 1128に準じ、空気室圧力法により測定
フリージング率	土木学会標準「PCグラウト試験方法」に準じ、測定
膨張率	土木学会標準「PCグラウト試験方法」に準じ、測定
加圧フリージング率	土木学会「コンクリートポンプ圧送指針(案)」に準じ、測定
温度	アルコール棒状温度計により測定
圧縮強度	土木学会標準「PCグラウト試験方法」に準じて供試体を作成、試験はJIS A 1108に従った。



図一1 各種ミキサ

に示すように、コロイドセメントは粉末度が高いため、普通、早強セメントと同程度の高性能減水剤の使用量では、目標の流下時間が得られず、単位水量が多くなり水セメント比は約10%大きくなる。

図-4、図-5は各種セメントを用いたグラウトの膨張率を示したものである。同一のアルミ粉末の添加率の場合、セメントの種類によって、その膨張率に大きな差は認められず、アルミ粉末の添加率にほぼ比例するが、水セメント比が小さくなるにつれ若干膨張率が大きくなる傾向がある。これは、グラウトの初期沈降の差が最終的な膨張率に影響を与えたものと考えられる。

ブリージング率についてみると、図-6に水セメント比との関係を示すが、いずれのセメントを用いた場合も、水セメント比が小さくなるにつれブリージング率は小さくなり、同一水セメント比で比較すると粉末度の高いセメントほど、すなわち、コロイド、早強、普通の順でブリージング率は小さくなる。実施工ではグラウトの流下時間を一定とするのでグラウトの流下時間とブリージング率を比較する必要がある。この結果を図-7に示すが、

セメントの種類に影響なく流下時間（すなわち流動性）を一定にすると、ほぼ、ブリージング率は等しくなる。以上の結果、粉末度の高いセメントを用いることは、ブリージングを低減することにはあまり効果的ではなく、高性能減水剤を多く必要とし、強度も低くなる。したがって、セメント粒子の大きさが問題になるような狭い間隙

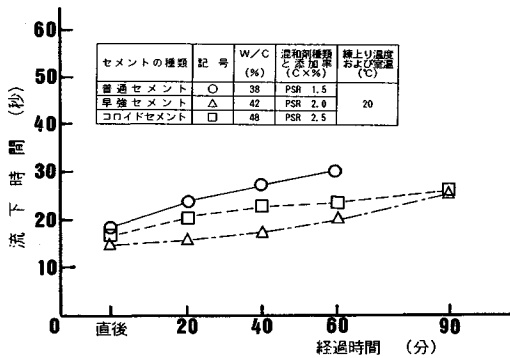


図-2 各種セメントグラウトの流下時間の経時変化

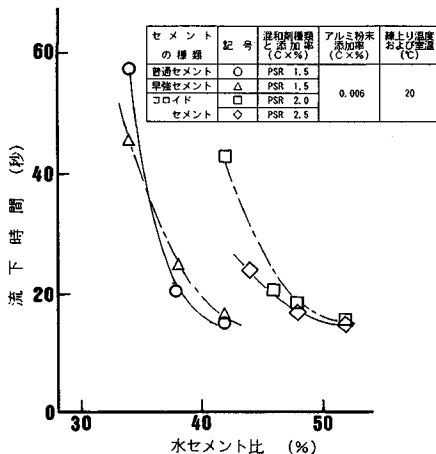


図-3 水セメント比と流下時間

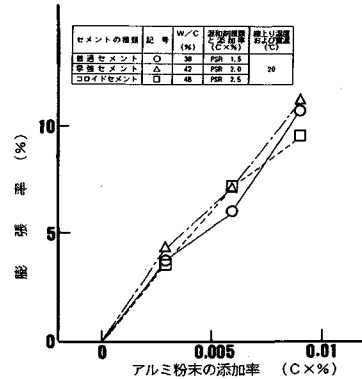


図-4 アルミ粉末の添加率と膨張率

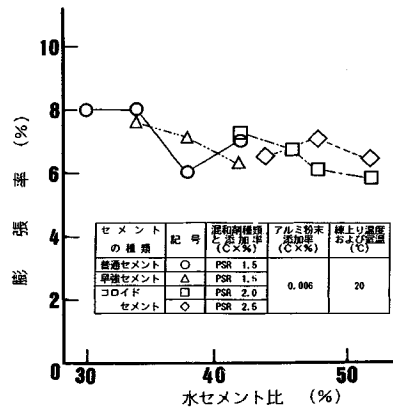


図-5 水セメント比と膨張率

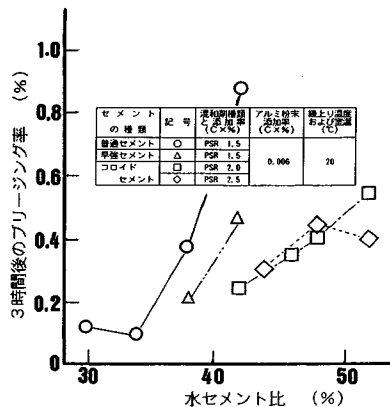


図-6 水セメント比とブリージング率

を充填するのでなければ普通セメントを用いる方が有利と思われる。

(2) 高性能減水剤の効果

混和剤の減水率の違いは、グラウトを同一流下時間にする場合、明確な差となる。AE 減水剤遅延形を標準量使用した場合と高性能減水剤を標準的な添加率で用いた場合では、水セメント比は約 4% 異なり (図-8)、強度増加だけでなく、ブリー징の低減にも効果的である (図-9)。これは、減水効果の違いにより、単位水量が減少することによるものと思われる。

図-8 は、異なる混和剤を用いたグラウトの流下時間の経時変化を比較したものであるが、練上り直後の流下時間が同じ場合、その後の流下時間の経時変化は、混和剤によって大差ないが、練上り直後の流下時間が JA ロートで 20 秒の場合、約 40 分後に測定不能となるため、目標とする流下時間は、施工時のロスタイムなどを考えると練上り直後で 15 秒程度とするとよい。ただし、流下時間を短くすることは単位水量を増すことになり、ブリージング率が大きくなる。したがって、高性能減水剤を可能な範囲で多く用いて、できるだけ水セメント比を小さくすることが好ましい。

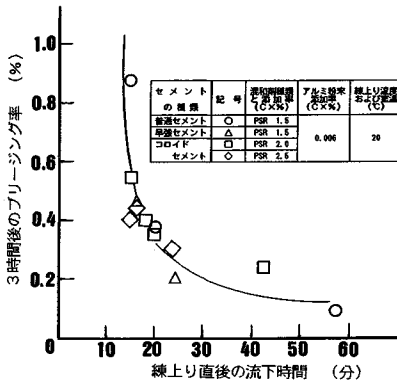


図-7 流下時間とブリージング率

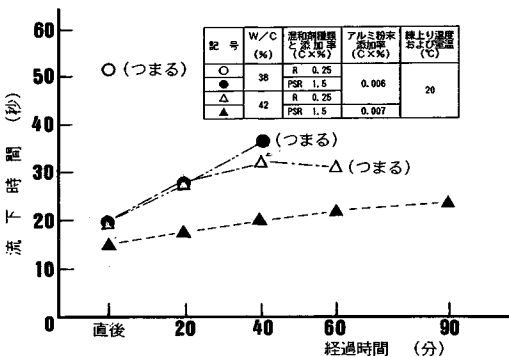


図-8 各種混和剤を用いたグラウトの流下時間

(3) 混和材の効果

フライアッシュをセメントに対し、10% および 20% 置換した場合と、シリカフェームをセメントに対し、3, 5, 10% 置換した場合のグラウトの性状について述べる。

図-10 は、グラウトの流下時間を一定とするために必要な高性能減水剤の添加率を示したもので、シリカフェームは、置換率 3~5% の場合が流動性が良い。これは、超微粒分とセメントの粒子の最適な混合状態によるものと思われる。一方、フライアッシュは置換率による影響はほとんどないが、これは、フライアッシュの粒子がセメント粒子とほぼ同じ大きさであるためと考えられる。

ブリージング率についてみると、図-11 に示すごとく、シリカフェームの置換率を増すと、微粒分の増加により、急激にブリージング率が減少する。一方、フライアッシュは 10% 置換で若干減少するものの、20% 置換の場合はむしろ増加する。このことは、フライアッシュの保水性が比較的小さいことに起因するものと思われる。

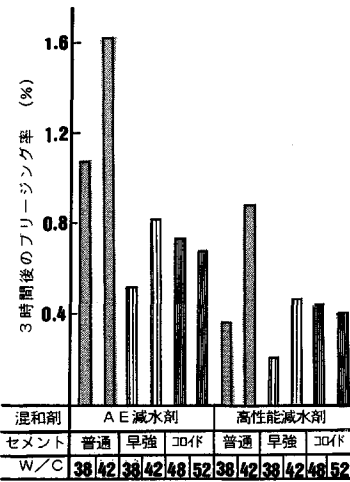


図-9 各種混和剤を用いたグラウトのブリージング率

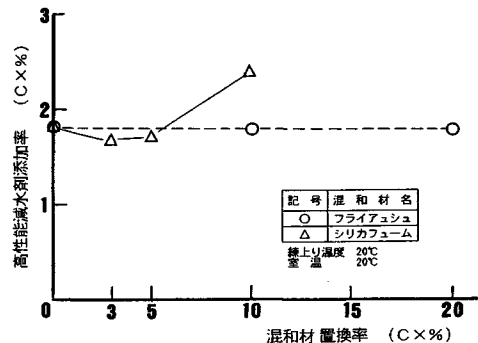


図-10 混和材置換率と高性能減水剤添加率

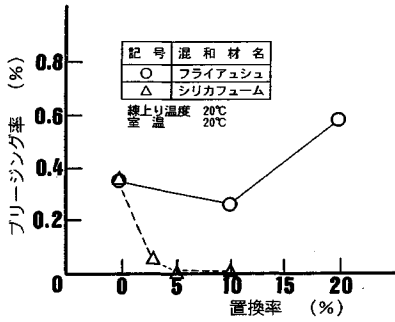


図-11 混和材の置換率とフリージング率

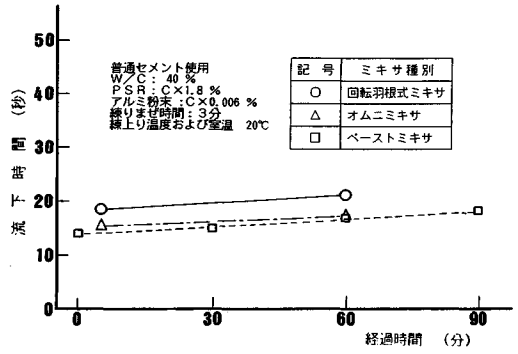


図-13 各種ミキサで練り混ぜたグラウトの流下時間の経時変化

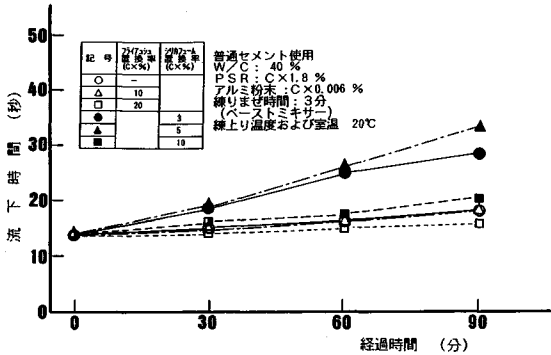


図-12 各混和材混入グラウトの流下時間の経時変化

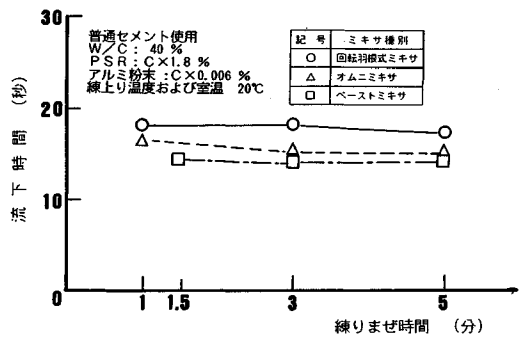


図-14 練りませ時間とグラウトの流下時間

流動性の経時変化をみると、図-12に示すように、フライアッシュ置換の場合はほとんど経時変化が認められないのに対し、シリカフェーム3~5%の場合、若干経時変化が認められた。

圧縮強度に及ぼす影響をみるとフライアッシュの場合は置換率を増加しても無添加の場合とほとんど変わらないが、シリカフェームの場合は置換率に伴い若干低下する。これは、フリージングの発生がテストピースにおける水セメント比を変えることによる見掛け上の差と思われる。

(4) 練りませ方法の影響

練りませ性能の異なる3種類のミキサを用いて、グラウトの性状を比較した結果、グラウトの流下時間はペーストミキサ、オムニミキサ、回転羽根式ミキサの順に小さく、図-13に示すように練りませ性能に若干の差が認められた。流下時間の経時変化はいずれの場合も大差なく、同一アルミ粉末添加率での膨張率もほぼ同等であった。

練りませ時間の影響を、図-14に示す。1~1.5分の練りませ時間でも5分間の練りませと同等であり、それぞれのミキサではその能力を発揮した十分な練りませがなされたものと判断されるにもかかわらず、練り上がったグラウトの流動性に若干差が認められた。これは、ミ

キサの練りませ機構の違いがグラウトの品質向上に影響するものと考えられる。

ミキサの練りませ機構はそれぞれ異なり、オムニミキサはグラウト材を遊星運動させ、せん断力によって、セメントの分散を高めるもので、ペーストミキサは、対向型のスクリー羽根でグラウト材をV形の鋼板にぶつけ、その力で分散性を高めるものである。また、回転羽根式ミキサは、羽根の回転による渦流作用によりグラウト材を分散させるものである。同一配合では、練りませ性能の良いミキサを用いた方が、流動性の良いグラウトができ、オムニミキサ、ペーストミキサでは、セメント粒子の固まりがほとんど確認されなかった。なお、いずれのミキサもグラウトの練りませには十分使用可能と思われる。

(5) 水溶性高分子の分離防止効果

水溶性高分子(以下SCAと称す)は、セメント溶液中での保水作用により、フリージングを抑制する。このフリージングの抑制効果は、水量の多いPCグラウトを均一なグラウトとするために有効である。添加量が多いほど、その効果はあがるが、添加量が増すにつれ粘性も高くなり、練りませ時間を長く要したり、ポンプ圧送に時間がかかる。また、所要の流動性を得るための単位

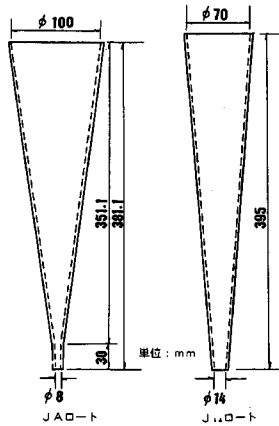
水量も多くなり、施工性および所要強度からその添加量には上限がある。

水溶性高分子の添加率をセメント重量に対し 0.2~0.4% の範囲において、混和剤、膨張剤としてアルミ粉末の添加率をパラメータとし、室内試験を行った。

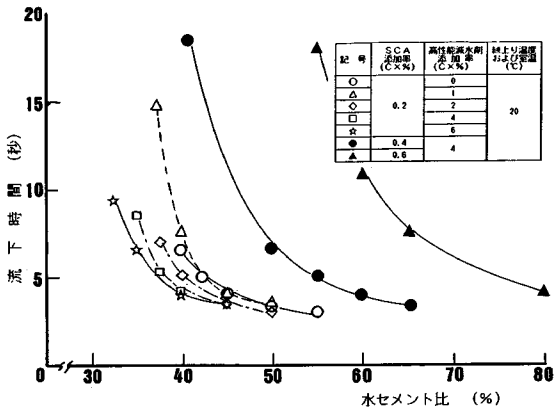
水溶性高分子を用いた PC グラウトは通常用いられる PC グラウトの品質（土木学会規準¹⁵⁾、表—6) と同様の規準では粘性が高すぎて、コンシステンシーの測定

表—6 PC グラウトの品質

項目	品質目標	土木学会規準
コンシステンシー	5 ± 1 秒 (J ₁₄ ロート)	施工に適した値 (参考: JAO-T15~30)
膨張率	4%	10% 以下
ブリージング率	0%	3% 以下
圧縮強度	200kgf/cm ² 以上 (材令28日)	200kgf/cm ² 以上 (材令28日)
水セメント比	-	45% 以下



図—15 JA ロートおよび J₁₄ ロートの形状

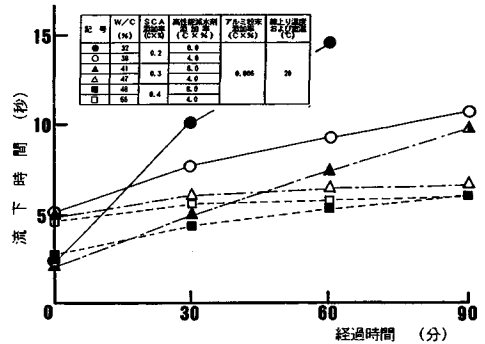


図—16 水セメント比と流下時間

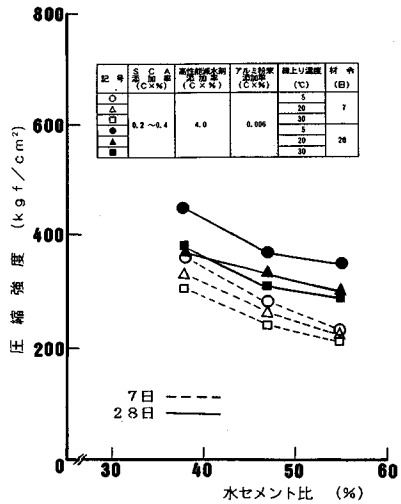
が不可能であるため、図—15 に示す J₁₄ ロート（日本道路公団土木工事試験方法¹⁶⁾）を用いて流下時間を測定した。

SCA を添加することによって粘性が増すため、流動性を向上させる目的で、高性能減水剤を用いる。図—16 に示すように、高性能減水剤の添加率を増すに従って、同一流下時間での水セメント比を小さくすることができる。図—17 は高性能減水剤の添加率を 4 および 8% とした場合の流下時間の経時変化であるが、SCA の添加率の増加により経時変化は小さく、高性能減水剤の添加率の増加により経時変化が大きくなる。高性能減水剤の添加率を経時変化の比較的小さい範囲とし、所要の水セメント比あるいは所要のブリージング抑止効果から、水溶性高分子の添加率を定めるとよい。

圧縮強度の試験結果は図—18 に示すように水セメント比との関係で求まる。なお、実構造物においてはブリージングが抑止され均一な品質となるため、水溶性高分子



図—17 水溶性高分子を添加したグラウトの流下時間の経時変化



図—18 水セメント比と圧縮強度

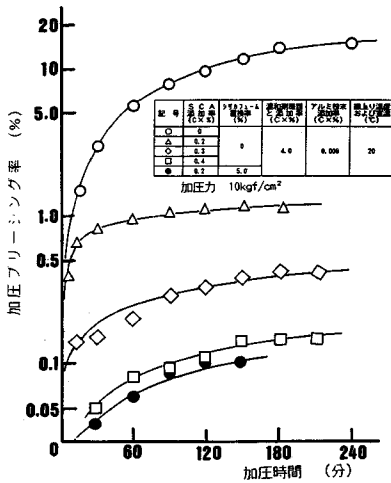


図-19 加圧ブリージング試験結果

を用いる PC グラウトにおいては必ずしも水セメント比の上限にこだわる必要はないと思われる。

PC グラウトの注入時のポンプ圧によって生じる加圧脱水（これに伴い流動性も損なわれる）や、打込み後の自重圧密による脱水（これによりグラウトの脆弱部ができる）を想定して、加圧ブリージング試験により脱水量を比較した結果を図-19に示す。SCA を添加しない PC グラウトと比較すると、SCA を $C \times 0.2\%$ 添加するとブリージング率は約 $1/10$ に減少する。SCA の添加率が増加するのに伴いブリージングは急激に減少し、シリカフュームの添加によりさらに減少することが認められた。

この結果、ポンプ圧送や、自重によって、グラウトを加圧する可能性のある実施工では、SCA が有効に作用し、ブリージングによる品質変化の少ないものとなることが期待できるものと考えられる。

なお、凝結時間は、水溶性高分子の添加により遅延し、温度 20°C の場合に、 0.2% 添加で始発が 8 時間、 0.4% の添加で約 13 時間となったが、ブリージングが抑止されており、凝結の遅れは、グラウトの品質には悪影響を及ぼさないものと思われる。また、膨張率は、アルミ粉末の添加率に比例し、SCA の添加率にあまり影響されないが、SCA の添加によりブリージングが抑止されるため、目標膨張率を小さくすることができるものと考えられる。

6. 結 論

PC グラウトのより完全な充填を行うため、配合および練りませ方法に関する実験を行った結果、以下の結論が得られた。

(1) セメントの粉末度が高くて、同一の流動性と

した場合には、ブリージング率は変わらず、強度はむしろ低下する。

(2) 高性能減水剤の使用は、PC グラウトの品質を向上させるのに有効である。しかし、過多の使用は、経過時間に伴う流動性の低下が大きくなるので、注意を要する。

(3) 混和材としてシリカフュームを用いると、ブリージングは減少するが、経過時間に伴い流動性が低下し、強度も若干低下する。フライアッシュは、PC グラウトの品質にあまり影響しない。

(4) 練りませに用いるミキサの能力により、セメント粒子の分散性が異なり、グラウトの流動性に若干影響する。

(5) 水溶性高分子を PC グラウトに用いると、ブリージングがほとんど生じなくなり、ポンプ圧や、側圧を想定した加圧ブリージング率も減少し、均一な品質のグラウトが得られるものと考えられる。しかし、高粘性となるため、単位水量は多く、水セメント比は大きくなり、強度は若干低くなる。

以上の結論より、長尺な鉛直 PC グラウトや圧送距離の長い水平 PC グラウトなどのブリージングが生じやすい施工においては、水溶性高分子の使用と、高性能なミキサによる練りませによって、より完全なる PC グラウトの充填が可能になるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 田辺・星野・橋本：AI 粉末の発泡制御した PC グラウト注入工法，土木学会第 38 回年次学術講演会講演概要集，V-221，pp. 439-440，1983。
- 2) Nelissen, M. G. P. : Herbezinning op het injecteren van spankanalen, Cement, Vol. 38, No. 11, pp. 62-63, 1986。
- 3) Engelke, P. : Zum Stand der Einpreßtechnik im spannbetonbau Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 81, No. 6, pp. 147-150, June 1986。
- 4) Frey, R. : Korrosion von mangelhaft mit Einpreßmörtel umgebenen Spannstählen nach mehrjähriger Auslagerung, Beton-und Stahlbetonbau, Vol. 81, No. 12, pp. 332-335, Dec. 1986。
- 5) 杉山・八木・竹内：PC グラウト専用の新しい混和剤について，第 7 回コンクリート工学年次講演会論文集，pp. 677-680，1985。
- 6) 遠藤・高津・西条・宮下：PC グラウト用混和剤 GF-700 シリーズを用いた PC グラウトの諸性質について，日曹マスタービルダース研究所報，No. 7, pp. 97-103, 1986。
- 7) 西谷：膨張材を混和した PC グラウトの付着強度について，呉工業高等専門学校研究報告，第 20 巻，第 2 号，pp. 125-132, 1985。
- 8) 柿沢・岡田・尾高：高強度グラウトを利用した PC 鋼より線埋込み定着部の力学性能試験，土木学会第 42 回年次学術講演会講演概要集，V-72，pp. 182-183, 1987。

- 9) 多田・米倉・加賀・島田：超微粒子シリカを用いた耐久性グラウト材の開発，第22回土質工学研究発表会，pp.1813～1814，昭和62年6月。
- 10) Smoak, W. G. and Carter, S. : Comparison of cement grouts mixed by high-speed and low-speed grout mixers, PB Rep., No. 86-235066, 1986.
- 11) 小須田・中原・西山：PC グラウトの施工，構造物設計資料，No.78，pp.3～8，1984.
- 12) 小須田・西山・久門田：PC グラウトの注入方法および材料の検討，土木学会第38回年次学術講演会講演概要集，V-262，pp.521～522，1983.
- 13) 石橋・中原・西山：PC グラウトの配合および注入方法に関する研究，プレストレストコンクリート，Vol.27，No.6，pp.58～69，Nov.1985.
- 14) 中原・長田・高田：PC グラウトの検査方法の一例，プレストレストコンクリート，Vol.27，No.1，pp.86～89，Jan. 1985.
- 15) 土木学会編：土木学会規準，昭和61年版。
- 16) 日本道路公団：日本道路公団土木工事試験方法，昭和51年4月。

(1989.5.1・受付)
