

微細な空げきてん充のためのセメント注入に おける混和材料に関する研究

樋 口 芳 朗*

1. 緒 論

セメント注入に始まった注入工法が土木工事において占める比重は近年いよいよ大きくなりつつある。すなわち、各種の地盤注入、変状構造物への補強注入、裏込注入、などにより広範囲にわたり重要な箇所に対して施工されるに到っている。注入は普通の工法で到達するとのできない箇所に存在する空げきをてん充するために考えられたものであるが、最近では機械類下部への注入、プレパックドコンクリートの場合の注入、PC導孔への注入、というように、計画的につくられた人工の空げきをてん充するというような注入工法自体に信頼をおき、グラウトの強度に期待した施工も行なわれるに到っている。

しかしながら、従来は個々の注入工事に対する検討が独立して行なわれてきたため、各専門分野の研究としてはある分野で相当の発展が見られてきても、それがほかの分野に浸透してゆくのに多大の日時を要していたきらいがある。すなわち、対象がきわめて複雑であるため注入は従来、現場の“かん”に頼ってきた点が多い。このようなことは決して望ましいものではなく、注入工法を合理的に改善する必要が認められてくる。対象とする空げきは確かに多種多様であるが、空げきの発生原因、周壁の強度や状態、注入目的、注入効果確認の可能性、温度、有害物の有無、など考えて空げきの組織的な分類を試み、各空げき間の定性的ないし定量的な類似点、ないし相違点を見出した上で、さきにあげたような土木工事で行なわれている種々の注入工事において最も適当と思われるグラウトにつき全般的な考察を加え、未解決の問題について解明を試みた。

すなわち、まずセメントおよび薬液注入についての既往の研究、特にセメント注入における混和材料ないし併用材料に関する既往の研究を調査し、調査結果を整理して注入対象となる空げきの特質について全般的な考察を加えた結果、満足な注入を行なうためにはセメントだけを用いたのではセメント粒子が大きいために微細な空げきに浸入せず注入目的を達成しえない点、水セメント比の大きいセメントグラウトを用いる場合、注入圧をあげてグラウト中の水を追放する必要があるが、この高められた注入圧のためグラウトが注入予定区間に逸出する点、水セメント比の小さいセメントグラウトを用いる

場合でも材料の分離の一例である沈下収縮によって空げきが再発生する点、などを解決することがきわめて重要であることを明らかにした。これらの問題の解決方法としては、セメントより小さい粒子あるいは溶液、グラウトから脱水しないでも自体で固化する材料、沈下収縮に對抗してグラウトを膨脹させる材料といったような混和材料、ないし併用材料の利用が最も実用的であると判断し、これらの利用方法について基礎研究を行なった。さらにその成果を砂層、砂利層、砂礫層、断層破碎帯、などの軟地盤に対する注入およびプレパックドコンクリートあるいはPC導孔に対する注入に応用して確認するとともに、セメントだけを注入するために生ずる欠かんを補なうところの最も実用的と思われる混和材料の使用方法についての提案を行ない、またこれを工事現場に応用する場合の諸注意事項を明らかにした。

以上、各種の実験および試験を実施する機会を与えられた国鉄上司、実験および試験実施に当って御協力頂いた現場および鉄道技術研究所の各位に衷心より御礼申し上げるものである。

最後に本論文の作製に当り、懇切な御指導と貴重な御示唆を頂いた国分正胤先生に謹んで厚く御礼申し上げる次第である。

2. セメント注入における混和材料に関する既往の研究

建設工事における注入工法の応用は Tietjens が「立坑掘削時の湧水防止工法¹⁾」として、割目にセメントペーストを圧入する工法につき案出し、特許を 1885 年に出願したことから始まった。わが国で最初にセメント注入が応用されたのは長崎県松島炭坑の立坑工事においてであった。その後、注入は土木の先覚者によても取りあげられ、有名な難工事であった旧丹那トンネル²⁾の掘削に当ってセメント注入が効力を発揮したし、第 2 次大戦中における国鉄関門海底トンネル³⁾の掘削に当ってもセメント注入は著効を表わした。ダム建設に付随した各種のセメント注入がセメントだけで実施され成功を収めていることは周知のとおりである。

微細な空げきをてん充するのについてセメント注入より適當な薬液注入⁴⁾について Fran^{çois}, Joosten などによって提唱され、1922 年頃から実施されたしたが、わが国でも旧丹那トンネル建設時に上記の 2 つの薬液注入が試みられた。しかしあまり好成績を収めたとはいえ

* 正員 工博 国鉄鉄道技術研究所 主任研究員

なかったようである¹⁾。

François 工法は水ガラスと硫酸ばん土を用いるが、後者の酸性が強いため取扱いに不便であるとともにセメント注入との併用に難点を残していた。Joosten 工法は水ガラスと塩化カルシウムを用いるが、両薬液が瞬時に分離するため2工程方式(両薬液を同時にミキサで練り混ぜた後注入する1工程方式ではなく、別々の注入孔から地域的に分離して注入するか、1つの注入孔から前後にわけ時間的に分離して注入する方法)を取りざるを得ず、注入有効範囲が小さくなるため注入孔間隔を小さくする必要もあり経済的でなかった。

以上の2工法以外に以下に述べるような種々の工法があるが各欠点を有している。

Mills, Joosten, Lemaire-Dumont, Lager などにより提案され発達させられたところの水ガラスと酸を用いる工法は酸として塩酸、硫酸、などが用いられ、現場の事情に応じて1工程方式ないし2工程方式のいずれを取ることも可能であるが、酸が扱いにくいし、また高価であること、セメント注入と併用した場合セメントを害するおそれのあること、などの欠点を有していた。

Rodio は水ガラスと消石灰溶液を用いる工法を提唱し実際の工事に用いたといわれるが詳細は不明である。次に述べる Jähde の不安定水ガラスと同系統のものと思われる。

Jähde は水ガラスとセメント懸濁液を混合し一定時間をおいたのち上ずみを注入しており、1工程方式を取ること、安価なこと、セメント注入と併用するのに適していること、などの点で有利であると思われるが、現場で大量の注入を行なうには不便であるという欠点を有していた。

Malamberg は水ガラスと重炭酸ソーダを用いる工法を提唱したが、この工法は1工程方式を取れるという利点を有するが固結度はやや弱かった。わが国で実施されているところの石川氏提唱のハイドロロック工法は珪沸化ソーダをさらに加えたものである。

Vail は水ガラスとアルミニン酸ソーダを用いる工法を提唱したが、この工法はわが国では丸安、今岡両博士により提案されケミシェクト工法として実施されている。注入管直前で2薬液を合流させるという1工程方式と2工程方式の中間の方式が取られており、固結度および止水効果の点ですぐれているが、注入ポンプ2台を要し施工に熟練を要するし、アルミニン酸ソーダを高アルカリとしている点で取扱いに注意を要する点がある。

最近では水ガラス系以外の薬液も大分用いられるようになってきた。

Cornell 大学ではリグニンと重炭酸ソーダを用いる工法⁵⁾を提唱したが、このグラウトは微細な空げきに対する浸透という点ですぐれているが、水中における固結度

が特に弱いという欠点を有している。塩化第2鉄を加えることにより固化時間を変えることができる。リグニンは廃液であるから安価であるが重クローム酸ソーダは高価であるし、また有害なクロームイオンを出すという欠点を有している。

最も新しく提唱されたものは Cyanamid 社で提唱されたところのアクリルアミドとメチレンビスアクリルアミドをアモニウムパーサルフェイトとジメチルアミノプロピオニトリルで重合させる AM 9⁶⁾ 工法であり、固化前は水よりやや粘性が高い程度であるから最も微細な空げきに注入することができると主張されている。1工程方式が取れるし、固化時間も自由に選べるという利点を有しているので有望なグラウトであるとは思われるが材料費が相当高いという欠点を有している。

薬液は一般に材料費が高くまた強度が小さいのでセメント注入と併用することが望まれるが、この場合セメント粒子で大きい空げきをてん充し溶液のようなもので小さい空げきをてん充するということが同時に行なわれ、しかもこの溶液は一定時間がたったのち固化するものであることが望まる。このことによって従来セメントだけで注入目的を達成することができなかつた地盤止水注入の分野をも合理的に解決することができる。セメントだけを注入したのでは満足できない点を改善するという意味でのセメント注入における混和材料ないし併用材料の研究がさらに望まれていると判断される。

なお、セメントを用いた地盤止水注入における混和材料として従来用いられてきたものとしては、增量材としての粘土、ポゾラン、急結剤としての塩化カルシウム、粗粒としての砂、おがくず、などであった。

プレパックドコンクリートおよび P C 導孔への注入におけるグラウトは 1952 年より鉄道技術研究所⁷⁾で検討され、セメント分散剤とアルミニウム粉末を混和材料として採用してきたが、この組合せは米国のプレパクトコンクリートで採用されていたのと同様のものであったことが判明したし、あとになってドイツで P C グラウトを膨張させるための混和材料として推しようされたもの⁸⁾もこの分散剤とアルミニウム粉末の組合せであった。

従って強度を必要とし、しかも沈下収縮の起こることが望ましくないところのセメント注入における混和材料としては、この分散剤とアルミニウム粉末を取りあげるのが最適と思われ、この両者を組合せた場合の種々の問題について検討することが望まれると思われる。

空気を多量にふくんぐソフクリーム状のグラウトを裏込注入、レンガ目地の補強注入、などに用いることは英國でエロセムという名前で実施され、わが国にも 1957 年頃から技術が導入されている。この場合、強力な起泡剤を混和材料として用いている。

3. 空げきの特質と適当なグラウトの選択についての考察

注入を必要とする空げきがどのような特質を有するかということによって、どのような注入材料をどのような配合で用い、どのような注入工法を取るべきかがきまるのであるから、注入対象として考えた場合の空げきの特質の分析は、注入に関するすべての研究を始めるに当って、まず最初に詳細に行なわれるべきものであると思われる。このようにして問題としている空げきの特質を把握したのちは、過去の経験や同種の特質を有する空げきに対する処理方法の最近の発達を念頭におきつつ、適当なグラウトを選択すればよいわけである。以下順を追って考察を加えることとする。

空げきの特質は主としてその大きさ、長さ、一様性、周壁の状態によって決まるが、そのほか注入する目的が止水であるかあるいは強化であるか、空げきの含水状態がどのようにあるか、空げきの温度や有害物の有無、空げきの実態をどのような程度まで把握することができるか、ある箇所をてん充するグラウトが原則としてある時に注入されたものだけからなるか、数回にわたって注入されたものからなるか、などの事情によって取るべきグラウトを変えなければいけない。

空げきの大きさが小さければ小さいほど注入する材料を小さくしなければならないことは明らかである。従ってセメント粒子よりもさらに小さい粒子あるいは溶液の混和材料ないし併用材料を適当に用いる必要が認められる。空げきが大きい場合にセメントだけを注入するのはもちろん不経済であり、セメント粒子よりもさらに大きい粒子の混和を考える必要がある、また大きい空げきを通じてグラウトが注入予定区域外に逸出するのを防ぐためにはグラウトに急結性を帯びさせる混和材料を用いる必要が認められる。

注入しなければならない空げきの長さが長いほど、グラウトが流動状態にある時間が長くなるようにしなければならない。このためセメント粒子の沈降を妨げる混和材料を用いる必要が認められる。

空げきが一様であるほどグラウトの選択が容易であるが、一様でなければ単純な組成でないグラウトを用いる必要を生ずる。

空げきの周壁の状態もグラウトの選択に大きい影響をおよぼす。すなわち、周壁が粗であれば滑なときより潤滑作用に富んだグラウトが得られるよう適当な混和材料を用いる必要がある。周壁の強度が弱く、水流あるいは注入圧によって空げきが無限に広がる可能性のあるときは空げきをあまり広げないでてん充するため、グラウトの固化が注入圧の上昇と無関係に起こるようなグラウトを得るよう適当な混和材料を用いる必要がある。

注入の目的が強化であればすべての空げきをてん充する必要はなく要所を強力にてん充すれば足りるが、注入の目的が止水であればほとんどすべての空げきをてん充する必要があり、しかもこのグラウトの強度はそれほど大きくなくてもよい。このような意味で強度は小さくても微細な空げきへ浸入する材料の要所を強力に固めるセメントとともに用いる混和材料、ないし併用材料として用いる必要がある。また強化を目的とする注入の場合で、わずかの沈下収縮が大きい悪影響をおよぼす場合はグラウトが膨張性を帯びるよう適当な混和材料を用いる必要がある。

空げきの含水状態もグラウトの選択に大きい影響をおよぼす。グラウト中からの脱水現象が起こればグラウトは固化し十分空げきに浸透しないからグラウトからの脱水を減少させる混和材料を用いる必要がある。この問題は注入前に空げきに十分吸水させておくという手段によって解決することが多い。空げき中の水が流動しているときはグラウトの流失を防ぐため粗粒材料を混和することも考えられるが、細粒グラウト用の注入ポンプを用いる場合は、グラウトに急結性を帯びさせる混和材料を用いる方が適当と考えられる。

空げきの状態がどの程度まで把握されているかということはグラウトの選択に大きい影響をおよぼすものであり、人工の空げきに比較してより実態の把握しにくい天然の空げきに対しては単純なグラウトではなく混和材料を用いたより巾の広いグラウトを用いる必要が認められる。

ある箇所をてん充するグラウトが原則としてある時に注入されたものだけからなる場合は、グラウトの沈下収縮によって空げきが再発生するのを防ぐため、グラウトに膨張性を帯びさせるような混和材料を用いる必要が認められる。

空げきの温度の高低、有害物の有無、などに対応して適当な混和材料を用いることによりグラウトの硬化速度を加減したり、有害物による被害を軽減することができる。

以上で空げきの特質とそれに対応してグラウトの満たすべき基本条件について述べたが、グラウトの基本材料としてのセメントに重点をおきつつこれに適当な材料を混和ないし併用することにより満足すべき結果の得られる可能性のあることを指摘した。

このような混和材料ないし併用材料としては種々のものが考えられるが、安価であること、セメント注入と併用した場合有利な作用の期待できること、注入作業が容易なものであること、有害物でないこと、などの条件にかなうものを選び出し、これらの最も有利な組合せについて実験的検討を加えることが望まれていると判断される。

1. 述べたように土木工事において注入工法の応用される分野は広汎であるが、分野別にそれまでに取られてきた方法にとらわれず、本章で述べたように対象とする空げきの特質に着目して適当なグラウトを選択するという原則で考察を加えれば、例えばプレパックドコンクリートの場合、対象とする空げきとPCグラウトの場合対象とする空げきが共通点を有することが明らかとなり、前者において発達した技術をもっと早く後者に導入することが可能になったと思われる。またダムの縦目注入その他は従来地盤注入用グラウトに近い考え方でグラウトが決められていたが、空げきの大きい時はプレパックドコンクリートのさいのグラウトやPCグラウトに近いグラウトを選択する方向に向うのが適当ではないかと判断を下すことも可能となる。

4. セメント注入の適用限界

(1) 空げきが小さいために生ずるセメント注入の適用限界

セメント注入が、注入作業の容易なこと、強度の大きいこと、材料入手が容易でありまた安価であること、などの諸点から考えて、注入工法中最も広く用いられており最も重要なものであることは明らかである。しかしながら、特に地盤注入の場合のように砂の間の空げきなどといった微細な空げきをてん充しようとする場合には、セメント粒子が浸入しえないために注入目的を達成できないことになる。このような場合は普通のセメント粒子より小さい粒子、あるいは溶液を混和材料ないし併用材料として用いる必要が認められる。

注入対象となる地盤の空げきは、砂礫そのほかの粒子の間げきと岩の割目そのほかの2面間の間げきの2種類である。砂の間げきにセメント注入を行なう場合、Marchis, A.¹⁰⁾ は空げき径と粒径の比が5以上でなければならないとしている。Kennedy, T.B.¹¹⁾ は2枚のコンクリート板の間に岩の割目と類似したものを形成させて実験した結果、割目巾と粒径の比が1に近いと水セメント比を非常に大きくしても割目の途中で閉そくが起こること、割目巾と粒径の比が1以下になると水セメント比をいくら大きくしても注入は不可能であること、また割目面の粗滑によって注入の難易が大いに影響されること、などを指摘し安全を考えると、この比は3以上とするべきことを主張している。

砂の間げきは4方向からかこまれた空げきであるため、岩の割目のように2方向だけからかこまれた空げきにくらべて粒子群のアーチ作用が起り閉そくが起りやすいということはいえるが、しかし割目にくらべて流路が多いということもできる。

天然の地盤は決して一定の大きさだけの砂が一定の空げきを形成するように配置されているものとは限らない

し、粗滑の程度が一定な割目面により一定巾の割目が相当の長さにわたって形成されているわけでも決してない。また実際の地盤は注水注入の過程において変化する可能性のあることも考慮しておかなければならぬが、地盤模型をつくって各種注入材の浸透状況を調べた結果は表-1,2,3,4に示すとおりである。

表-1 粒度別にふるいわけた天然砂で構成させた地盤模型に対する注入

グラウト	w/c	グラウト 温度 (°C)	グラウトが表面へ上がるまでの時間 (秒)あるいは浸透深さ(cm)		
			5~1.2mm	1.2~0.6mm	0.6~0.3mm
セメント	1000	12.8	6.3	14.5	(4.5~5.5cm)
	700	13.6	6.7	17.5	(3.0~4.5cm)
	500	13.8	6.8	22.5	(3~5cm)
	300	13.5	7.0	(8.5cm)	(3cm)
	200	13.2	10.5	(7cm)	(3cm)
	100	12.5	15.7	(5.5cm)	(4.5cm)
	75	12.5	31.2	(4.5cm)	(3.5cm)
	50	12.5	(3.4cm)	(2.5cm)	(3cm)
	40	12.5	(1.3cm)	(0.7cm)	(1cm)
セメント +ボゾリス8	1000	14.3	8.9	15.8	(9.3cm)
	700	14.5	10.8	19.8	(6.4cm)
	500	15.0	10.8	22.6	(8cm)
	300	15.8	7.7	22.2	(8.3cm)
	200	20.2	7.1	20.4	(5.7cm)
	100	20.0	15.3	(5.3cm)	(4.5cm)
C水ガラス (水ガラス 1000cc) (水 1000cc) セメント70g	4号全量	12.0	11.2	29.7	(4.5cm)
	上ずみ	11.5	15.0	32.2	103
	3号全量	12.0	12.2	30.7	(3cm)
	上ずみ	10.8	11.4	22.2	61
	2号全量	10.4	13.7	43.3	(8cm)
	上ずみ	11.0	11.3	36.1	350
4号水ガラス 水:水ガラス 7:3 5:5 3:7 0:10	水:水ガラス				
	7:3	10.8	8.6	14.2	31.4
	5:5	10.2	8.6	19.0	47.0
	3:7	9.5	12.4	26.5	45.0
	0:10	8.2	34.2	312	(8.6cm)
3号水ガラス 7:3 5:5 3:7 0:10	7:3	10.5	7.5	15.4	39.2
	5:5	10.0	8.0	16.0	70.0
	3:7	9.5	10.8	36.2	240
	0:10	8.6	113	22分	80分
2号水ガラス 7:3 5:5 3:7	7:3	10.5	14.0	34.6	50.0
	5:5	9.5	11.4	80.7	209
	3:7	9.5	19.6	328	(8cm)
1号水ガラス 7:3	7:3	10.2	9.6	17.6	65.8
		11.2	13.3	46.6	218
		10.5	42.8	144	13分

地盤模型：比重2.62の川砂を5~1.2mm, 1.2~0.6mm, 0.6~0.3mmの3種類にふるいわけ、それをφ10×20cmの型わくに高さ10cmまでめた。空げき率は各38.7, 44.2, 45.2%透水係数は2.56, 0.53, 0.18cm/secであった。

注入材料：セメントはチップ社普通ポルトランドセメント、水ガラスは日本化学工業社1,2,3,4号品、分散剤はボゾリス8

注入方法：地盤模型中央に内径3cmのブリキ管をたてグラウトを54cmの一定高さに保持した。

表-1からわかるとおり砂の粒子が0.6~0.3mmというように細かくなれば水セメント比を1000%というように大きくしても砂中への浸透状況はきわめて悪い。砂の粒子が1.2~0.6mmというようにやや粗粒になると水セメント比を500%にしても砂中へ割合よく浸透す

るようになるが分散剤を混和材料として用いセメント粒子を分散させると水セメント比を小さくし200%としても浸透状況は割合よいことがわかる。しかしながら水セメント比が200%のセメントグラウトでも大量の余分の水を持っており、大きい沈下収縮が起こるものであることを考へると2.5~1.2mm以下の砂で構成される地盤に対しセメント注入だけで満足なてん充を行なうことは無理であると判断される。

表-2 天然の粒度のままの明石層の砂で構成された地盤模型に対する注入

地盤模型	注入材料	配合	透水状況	注入圧	固結状況
No. 1 $\phi 15 \times 30$	KZ	$w/c = 500\%$	0.2K で通水 0.5K で通水	2~4K	約1/2固結
〃 $15 \times 15 \times 53$	〃	$w/c = 300\%$	—	1.5K	〃
〃 〃	Z	〃	—	—	幾分浸透
No. 2 〃	KZ	$w/c = 500\%$	—	2K	あまり浸透せず
〃 〃	Z	〃	—	2K	〃
〃 〃	LW	{ 水ガラス 20L 水20Lセメント4K }	—	4K	約1/2固結
〃 $\phi 15 \times 30$	LW	{ 水ガラス 20L 水20Lセメント2K }	4~5K で通水	4~5K	浸透し固結度良好

地盤模型	各ふるいに止まる重量の累計(%)								
(mm)	40	20	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
ふるい目の開き	40	20	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
No. 1 粗砂	0	3.7	9.3	15.6	23.8	41.8	75.7	95.2	99.3
No. 2 粗細砂	0	0	0	1	2	2	5	65	91

粗粒率はNo.1が3.64, No.2が1.66, 透水係数はNo.1が 0.13 cm/sec , No.2が 0.05 cm/sec であった。地盤はモールド内に手で突き固めた。

注入材料: セメント(Z)はイワキ社普通ポルトランドセメント, コロイドセメント(KZ)は日本セメント社製試作の微粉末セメント, 水ガラスは東洋ソーダ製1号品を用いC水ガラス(不定定水ガラス, LW)をして用いた。

注入方法: 構型プランジャー式ポンプで注水注入を行なった。

表-3 コンクリート中に形成させた割目模型に対する注入(その1)

割目の大きさ (mm)	注水試験	注水状況
0.8	実施せず	水セメント比を200%からはじめ100, 75, 50と変化させ最終注入圧は 23 kg/cm^2 とした。空けき上側にはブリーリングによる空けきが見られた。
0.5	実施	水はよく通ったが、水セメント比を200%はじめたら閉そくが起こった。
0.8	実施せず	水セメント比を100%はじめたら2分後閉そく

割目模型: $15 \times 15 \times 53 \text{ cm}$ の注入用型わく内に厚さ0.8, 0.5mmの薄鉄板によって割目を形成させた。

注入材料: 小野田社白色ボルトランドセメント

注入方法: 高圧模型プランジャー式注入ポンプで注入した。

表-3に示した割目模型に対する注入試験結果には、割目巾が0.5mm程度であれば水セメント比を200%以下として注入するのは閉そくを起こす危険があつて適当でないこと、割目巾が0.8mm程度であれば水セメント比を段々と小さくしてゆき最終的には水セメント比を75%として注入圧を 20 kg/cm^2 以上とするこつも可能であり順調な注入経過をたどることも可能であること、

この場合でも水セメント比を200%以下とすると閉そくを起こすこともあること、注入経過が順調な場合でも後で供試体を割ってみると上面には空けきあるいは水げきが相当残っていること(0.5~0.8mm程度の割目に対してC水ガラスを注入しても空けきは閉そくされない), などが明らかに示されている。

表-4に示した割目模型に対する注入試験結果からは $0.2 \sim 0.1 \text{ mm}$ 以下の割目に対してはセメント粒子の侵入がきわめて困難なこと、水ガラスはこのような割目に対して容易に侵入すること、などがわかる。

さきにも述べたように天然の地盤に対して注入するときの状態は以上に述べたようなモールド内につめた地盤模型に対して注入するときの状

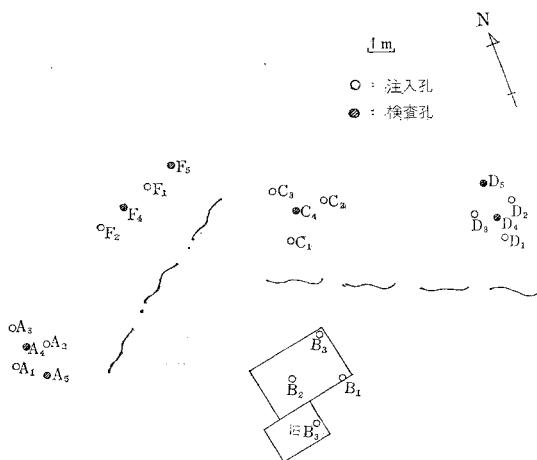
表-4 コンクリート中に形成させた割目模型に対する注入(その2)

底面における	注水	グラウト	注水	浸透状況
割目巾(mm)	圧力 (kg/ cm^2)	水が出て くるまで の時間 (分)	圧力 (kg/ cm^2)	グラウトが 出でるまでの 時間 (分) (割って求めた)
0.1, 0.15, 0.2 0.05	3 3	3 3	$w/c = 250\%$	6 5
0.1, 0.2 0.1, 0.2 0.2, 0.3	1 1 1	$1\frac{1}{2}$ 4 1	$w/c = 300\%$	8 17 25
0.2, 0.5 0.1, 0.4 0.1, 0.8	1 1 1	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	$w/c = 500\%$	不明確 〃 6
0.1, 0.4 0.01, 0.1, 0.2	1 1	1 $\frac{1}{2}$	水ガラス50%液 につづき $w/c = 500\%$	5 13
0.1, 0.3 0.15 0.1, 0.3	1 3 1	1 3 1	水ガラスにつづき $w/c = 1250\%$	18 21 23
0.1, 0.2 0.1, 0.2, 0.3 0.05, 0.1	1 1 1	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	水ガラスにつづき $w/c = 2500\%$	18 14 10
実験装置	型わく; 内径22cm, 高さ20.5cm 上下ふた付き内面に若干の傾斜をもつ。 くさび; 幅12cm, 長さ15cm, 上部厚5mm		13 17 4	全般に水ガラスは浸透, セメントは不明確

表-5 水抜きおよび止水材注入試験結果一覧表

態と相当異なることを期待し、軟地盤からなる明石層に注入した結果は表-5、図-1に示すとおりである。表-5中A群のセメント注入に当っては最終注入圧を高くし相当の高圧を地盤中に形成させたわけであるから、3つの注入孔の中心にボーリングして注水した場合低圧で相当量の水が注入されたことはセメント粒子の浸透が満足に行なわれなかつたことを示すものである。

図-1 注入孔および検査孔配置図(大蔵谷)



現場では実験室での小さい一定の材料から成る抑制された供試体と違い、もっと広範囲で変化の大きい地層を対象としているから、セメント注入の不可能な部分もセメント注入の可能な部分でかこんでしまえば結局一応の止水効果を得ることができるのでないかという期待をもったわけであるが、このA群の試験結果からは2.5~1.2mm以下の粒子を相当量ふくむ地盤に対してはセメントよりさらに微粒のグラウトを用いない限り、てん充を満足に行ない止水効果を得ることが一般に不可能であることが判明したといえる。

(2) 注入予定範囲から逸出するためには生ずるセメント注入の適用限界

地盤を対象とするセメント注入に当っては相当水セメント比の大きいグラウトが用いられる。大量の余分な水はセメント粒子の到達距離を大きくするための運搬用の水として役立つわけであるが、注入の最終期においてはこの余分の水を高圧によりしぼり出さなければならぬ。そうでないといったん充された空げきが大きい沈下収縮のため再び開くようになるし、水セメント比の大きいグラウトの強度は非常に小さくて信頼できないものとなるからである。この最終注入を高くとる必要があることからもセメント注入の適用限界を生じてくる。すなわち、注入圧をあげると容易に破壊する地層でグラウトの脱出路ができるような場合にはセメントがてん充しようとする区域外に逸出してしまい、注入予定範囲をてん充することが不可能となるからである。表-5に示し

た明石層に対する現場試験のB群においては、グラウトが脱出路を通じて地表へ逸出したため満足な注入の行なわれなかつた経過が掘削の結果明らかとなつた。

(3) セメント注入後の沈下収縮による悪影響

セメントグラウトの場合、セメント粒子の沈下が原因となってグラウトの沈下収縮を起こすことはある程度やむをえないことである。この沈下収縮は材料、配合、施工方法によっても大きい影響を受けるが、水セメント比を小さくすると顕著に減少することは表-6、15および図-10に示すとおりである。

表-6 地盤注入用セメントグラウトの沈下収縮

セメント種類	w/c(%)	混和材 (C×%)	流下時間 (秒)	収縮率 (%)
普通ポルト	500	—	14.7	79
コロイド	〃	—	15.1	80
普通ポルト	〃	ペントナイト 5	14.6	67
コロイド	〃	〃	15.2	67
普通ポルト	300	—	15.0	72
コロイド	〃	—	15.0	65
普通ポルト	〃	ペントナイト 5	15.0	52
コロイド	〃	〃	15.4	48
普通ポルト	100	—	15.5	34
コロイド	〃	—	16.8	6
普通ポルト	〃	ペントナイト 5	25.0	1
コロイド	〃	〃	22.2	1
普通ポルト	70	ボゾリス 8, 0.25	15.2	
コロイド	〃	〃	19.0	
普通ポルト	75	—	19.0 (30秒後再練)	
コロイド	〃	〃	14.8	
			19.4	
			25.4 (1分放置)	
			26.5 (2分放置)	

材 料: アサノ普通ポルトランドセメント

日本社試作の微粉末コロイドセメント

ブレーン 4550cm²/g, 88μ 残 0.5%, 40μ 残 12.1%

豊順洋行製ペントナイト シリカライトA ボゾリス8

練り混ぜ: ジュースミキサにより約7000rpmで、はじめの12配合は3分、あとの4配合は30秒練り混ぜた。グラウトの温度は21~25.5°Cの範囲にあった。

流下時間: 内径4mm、長さ10mmの流出管を有するガラス製ロートに200ccのグラウトを入れ流下する時間を測った。

収縮率: 1Lのメスリンダーに投入して測った。

地盤注入においては、グラウトの沈下収縮によっていったん充された空げきが再び顕著に開くことになるが、注入は反覆して行なわれ最後には高圧で水がしぼり出されるからよいとして、このような注入作業の反覆や周囲への脱水が行なわれにくい場合、例えばプレパックドコンクリートにおける注入や、PC導孔への注入においては一般的には2次ないし3次注入を実施することが困難である(プレパックドコンクリートおよびPC導孔への注入に当り2次注入を行なうことを推しようする場合もないわけではないが、一般にはこの作業が困難であり、特殊の場合、局部的効果をねらって実施されただけであるといつてよいようである)。

PC導孔へ注入されるグラウトはPC鋼材をよく包んできび止めの効果をあげるとともに、PC鋼材あるいはPC導孔壁とグラウトとの間に十分な付着強度の得られ

ることを期待して注入される。しかし、このグラウトが沈下収縮を起こすと大体水平に近く配列されているPC鋼材や、PC導孔壁の下面とグラウトの間に空げきを生することになり、さび止め、付着強度、その他の点からいって好結果の得られないことは当然である。

プレパックドコンクリートの場合も同様のことかがいえるが、鉄筋を有しない場合でもグラウトの沈下収縮はプレパックドコンクリートの圧縮強度の低下という悪結果を招来する。このことについてはMenzel, K.¹²⁾の研究結果も発表されているが、Menzelの場合グラウトの圧力を十分保持していないので、圧力を十分保持できるようにして行なった実験結果を示すと図-2のとおりである。この実験結果も適当な混和材料を研究する必要のあることを示している。

5. 空げきが小さいために生ずるセメント注入の適用限界を拡張するための混和材料

(1) 微粉状混和材料の利用

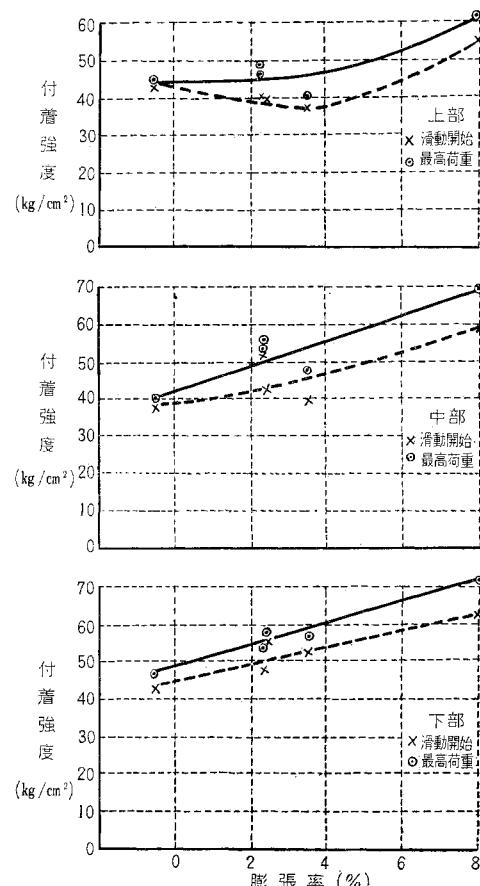
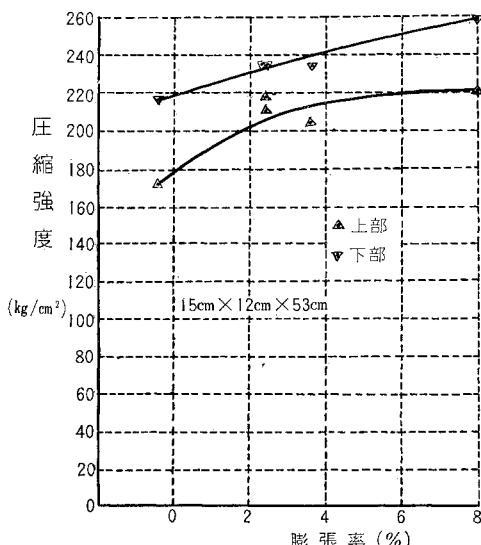
セメントだけを用いたのでは4.(1)で述べたように空げきが小さい場合に空げき中へ浸透させることができ

ない。分散剤を混和すると空げき中への浸透状況が改善されることは表-1中に示したとおりであるし、普通のセメントをさらに微粉砕することによっても浸透状況が改善されることは表-2中に示したとおりである。しかしながらセメントだけを用いたのでは根本的に浸透状況を改善できないこともすでに述べたとおりであり、セメントより1けた小さい微粉状の材料を用いることを検討する必要が認められる。

このようなセメントより1けた小さい微粉材料としては粘土をあげることができるが、この粘土の中でも懸濁性その他で特にすぐれており、また品質の均一な製品の得られるベントナイトをとって表-1に示したと同様の実験を行なったところ、10%の水溶液程度としておけば0.6~0.3mmの砂中へ徐々に浸透させることができたが、強度の点では脱型後くずれるというようにほとんど期待できないことがわかった。ほとんど水圧のかからない場合に止水しようとするときで、止水壁を厚くとれるとき以外はベントナイトだけを用いた注入では満足な結果は得られないし、微細な空げきへの浸透という点で

図-2

材 料：第一社普通ポルトランドセメント
日本社 フライアッシュ
荒川産砂 1.2mm以下、吸水率 1.5%，粗粒率
1.75，ボゾリス 8
200メッシュアルミニウム粉末 ステアリン酸
1.8~2.0% 相模川産 15~30mmの砂利
配 合：C:F:S=3:1:4 $w/c + F = 0.53$
ボゾリス 8 = $C \times 0.25\%$
アルミニウム粉末 = $C \times (0, 0.02, 0.025, 0.03,$
0.04%)
供 試 体：15×15×53cm
上中下の3段にφ9mmの鉄筋を3本埋め込んだ。巾15mmの木板に穴を開けたものを配置して鉄筋両端をさしこみ鉄筋の位置を保持した。
練り混ぜ：ASTM型モルタルミキサ（万能ミキサA）
225 rpm 5分
注 入：重力利用
養 生：2日後脱型し、ただちに水中に入れ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の温度で材令91日まで



は粉状物を材料とする限り中途半端な改善しかできないと思われるが、ペントナイトを混和した場合セメントグラウト中のセメント粒子の沈降を防ぐ効果を確かめるにとどめた。地盤注入用セメントグラウト中のセメント粒子の沈降を防ぐのにペントナイトが有効であることは表-6に示したとおりである。

なお、ペントナイトはセメント注入の最終期にも有効に利用することができる。すなわち、セメント注入の最終期に近くなると水セメント比を小さくし注入圧をあげて終了するわけであるが、終了後ただちに注入孔を開放すると地盤に注入されたグラウトが逆噴してくるため満足な注入効果を期待することができない。従って注入後、一定時間注入孔を閉じておき圧力を保っておく必要がある。このため注入孔内で硬化したセメントを再ボーリングしなければならないし、注入管の清掃にも不便を感じる点が多くあった。セメント注入の最終期にペントナイト注入に切り換え、少なくとも注入管、注入孔内のセメントグラウトをペントナイトグラウトに切り換えておけば、以上の不つごうがなくなることは試験工事のさいに確かめられた（一部のペントナイトグラウトが地盤中に注入されたとしても、すでにセメントによって満足に注入された地盤をあまり弱化することはないと判断される）。

(2) 液状混和材料の利用

前節においてセメント注入の限界を大巾に破るために溶液である化学薬液を併用する必要のあることを指摘したが、化学薬液としてはどのようなものを選択すべきであるかということについて検討しなければならない。

従来薬液注入はセメント注入と比較して高価なものであるとされているが、この観念を破ることのできるような化学薬液を用いることが望ましい。またセメント注入と併用した場合有利な作用の期待できるものであることはセメント注入がすべての注入の基本であることを考えると重要である。セメント粒子の浸透を容易にしたりセメントグラウト中の水の逸出を防止するものであると有利であることは明らかである。またその薬液を用いた場合注入作業が容易であるということもきわめて重要な問題である。注入には周知のとおり1工程方式と2工程方式の2つの施工方式がある。前者はミキサ内部で全部の薬液を混合したのち注入する方式で、グラウトは一定時間が経過すると固化するように配合が決められる。後者は全部の薬液を混合すると瞬結を起こすため、薬液を2群に分け別々の注入孔から注入するか、あるいは1つの注入孔から交互に注入される。一般に1工程方式で注入できる方が注入孔の間隔を大きくとれること、固化しないままで残ったり逸出したりすることがないこと、施工が簡単で容易であること、などの利点を有しているので、できるだけ1工程方式で注入できるものであることが望まれる。

図-3
材 料：第一セメント社普通ポルトランドセメント
豊順洋行社 ペントナイトシリカライトA
日本化学工業社 水ガラス

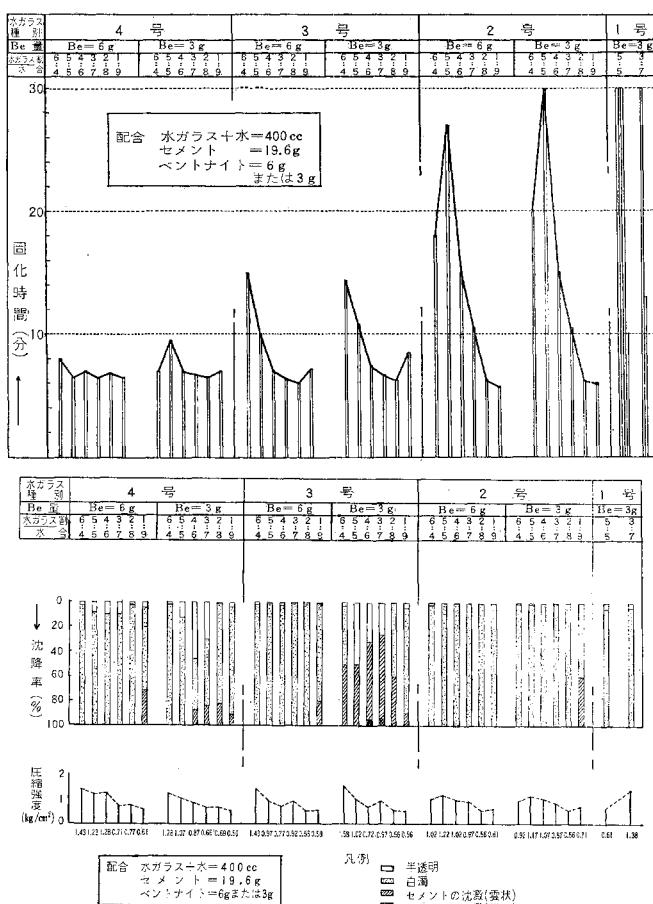
	1号	2号	3号	4号	4.5号
比重(20°C)Be	1.692	1.598	1.385	1.305~1.295	1.220
	59.5	54.0	42.1	33.6~32.8	26.0
Fe ₂ O ₃	36.44	34.93	29.14	23.44	0.008
SiO ₂	17.43	14.43	9.39	6.12	19.94
T. Na ₂ O	2.16	2.50	3.20	3.95	4.60
モル比					4.47

練り混ぜ：手で練り混ぜた。グラウト温度約20°C。

流下時間および固化時間：

内径4mm、長さ10mmの流出管を有するガラス製ロートに200ccのグラウトを入れ流下する時間を測った。流下しなくなる時間をもって固化時間とした。

沈降率：200ccのメスシリンダーに投入して測った。



配合 水ガラス+水=400cc
セメント = 19.6g
ペントナイト = 6g
または3g

凡例 透明
白濁
セメントの沈殿(雲母)
セメントの沈殿(溶岩)

図-4

材 料: 第一セメント社普通ポルトランドセメント
豊順洋行社 ベントナイトシリカライトA
日本化学工業社 水ガラス

	1号	2号	3号	4号	4.5号
比重(20°C)Be	1.692	1.598	1.385	1.305~1.295	1.220
	59.5	54.0	42.1	23.6~32.8	26.0
Fe_2O_3					0.008
SiO_2	36.44	34.93	29.14	23.44	19.94
T. Na_2O	17.43	14.43	9.39	6.12	4.60
モル比	2.16	2.50	3.20	3.95	4.47

練り混ぜ: 手で練り混ぜた。グラウト温度約 20°C

流下時間および固化時間:

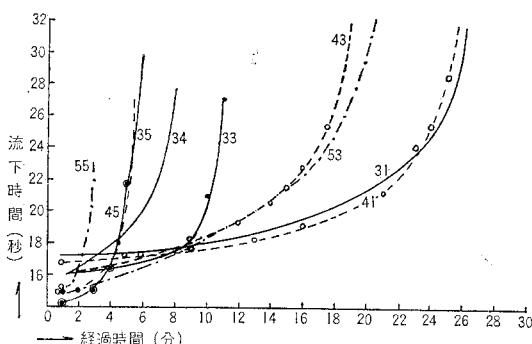
内径 4 mm、長さ 10 mm の流出管を有するガラス製ロートに 200 cc のグラウトを入れ流下する時間を測った。流下しなくなる時間をもって固化時間とした。

沈降率: 200 cc のメスシリンドラーに投入して測った。

w/c 2000 % のセメントペーストに水ガラス原液を投入
乾球 20°C 21°C, 湿球 19°C 20.5°C, 水温 20°C 20°C

2000 % ペーストに水ガラス原液投入

No.	水(cc)	Be(g)	C(g)	水ガラス(cc)	固化時間
31	200	3	10	(3号)	186 28分~0秒
32					140 —
33					100 12~20
34					60 9~20
35					20 6~40
41				(4号)	180 30~0
43					100 21~30
45					20 6~30
53				(4.5号)	100 26~30
55					20 3~20



以上の諸点を考えると、やはり液状珪酸ナトリウムである水ガラスが最も有望なものとして浮び上ってくる。従来から水ガラスは薬液注入の主材としてよく用いられており、中でも水ガラスに少量のセメントを加えた Jähde の不安定水ガラス⁴⁾がわめて有望なことはすでに 2. で指摘したところであるが、この上ずみだけを注入する不安定水ガラス工法にも改善を要する点が認められるので、水ガラスとセメントを組合せたグラウトを見出すために行なわれた実験については表-1, 2, 4 に示してある。これらの実験結果から水ガラスは 0.05 mm 以下の割目、0.6 mm 以下の砂粒間に多く浸透する

こと、特に表-1 からは C水ガラス（水ガラスにセメントを加えたグラウトをこのように略称することにする）全体を注入するとモールド内に拘束された 0.6 mm 以下の砂粒間に浸透しないことがわかった。しかし C 水ガラス中のセメント粒子は少量であるから、モールド内の砂のように注入にさいして地盤の状態に変化が起こらないといったような拘束を受けていない天然の砂地盤にあっては C水ガラス全体を注入しても十分止水効果をあげることができるのでないかということに着眼して行なった試験結果は表-5 の F 群に示すとおりであり、期待したとおり満足な止水効果をあげることができた。

以上の実験および現場試験の結果からセメントおよび水ガラスを組合せることにより、セメント注入だけでは止水効果をあげることのできない地盤に対して、経済的に所期の目的を達成することのできるグラウトを得ることが可能なることであるとわかった。

注入用材料として水ガラスは重要な役割を果たすものであるが、水ガラスの種類は多く、日本工業規格に記されているものでも 1 号、2 号、3 号、4 号の 4 種がある。一般には 1 号、3 号の 2 種が市販されているが、これらはモル比 ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) を異にしているし、価格および粘性は号数の増加につれて低くなる。従って水ガラスを C水ガラス用として用いる場合、どの水ガラスを用いるのが有利か検討する必要がある。試作した 4.5 号の水ガラスもふくめ、各種水ガラスを用いて行なった実験結果は図-3, 4 に示すとおりである。

温度によって C水ガラスの固化時間は相当変化するが水ガラスのモル比によっても大きい相違のあることは注目しなければならない。C水ガラスの固化時間を 30 分以上というように長くする必要のある場合を除き、安価で粘性の小さいところのモル比の大きい水ガラスを用いる方が有利である。モル比の大きい水ガラスを用いると、水ガラスと水の比によって固化時間が鋭敏に左右されないという利点も得られる。

(3) 混和材料選定のための簡易試験方法についての提案

従来は注入量と地盤の構成材料から注入材料として何を選択すべきかを決定していたが、さらに水より粘性の高い水ガラスをふくんだ液を注入したときの試験結果を加えて考察を加えることにより地盤の空げきをより正確に推定することができ、より適確な注入材料の選択が行なえると思われる。すなわち、一定圧のもとにおける注水量が同じであっても、注入する液体の粘性を高めた場合の注入量の減少が大きいほど空げきは小さいと判断でき、セメントより微細な混和材料ないし併用材料を用いる必要を知ることができるからである（一定容積一定圧の圧縮空気を空げきに連結し、圧力の降下状況をみると空げきの大きさその他を調べるのに有効であろう）。

このような判断資料を得ることによる利点以外に、水ガラスによる潤滑作用と保水性（グラウトより注入路周壁への逸水軽減）および微細な空げきに対する良好な浸透作用を考えると、セメント注入を行なう場合、まずC水ガラスの上ずみを注入して注入量を試験してみることはきわめて有効と思われる。単に水ガラスだけを注入するよりもC水ガラスはそれ自身で固化するという長所をもっているし、またこの固化した水ガラスは水圧にはたえるが圧力を高めたセメント注入によって破ることができないほど強度の高いものではないこともむしろ利点の一つとして数えることができる。

なお、注水量が注入圧の増大とともに直線的変化を越えて増大し周壁がけずられたり変化しやすいことを示している場合や大小空げきが共存する場合はC水ガラス全体を注入して有利な結果の得られることが多い。というのはC水ガラス中のセメント粒子による閉そくが起こっても注入圧をあげることにより容易に突破できることが多く粒子で空げきの大きい部分、溶液で空げきの小さい部分をてん充するという好結果を得ることが可能だからである。さきに述べたところの表-5に示した現場試験のF群についても以上の原理によって有利な結果が得られたものと判断される。なお、C水ガラス全体を注入する場合セメント粒子の沈降によってホースがつまったりすることがあるが、ペントナイトの適量を加えることによりこの欠点をなくすことができることは図-3に示した実験のさい確かめられた。

6. 注入予定範囲から逸出するためには生ずるセメント注入の適用限界の拡張について

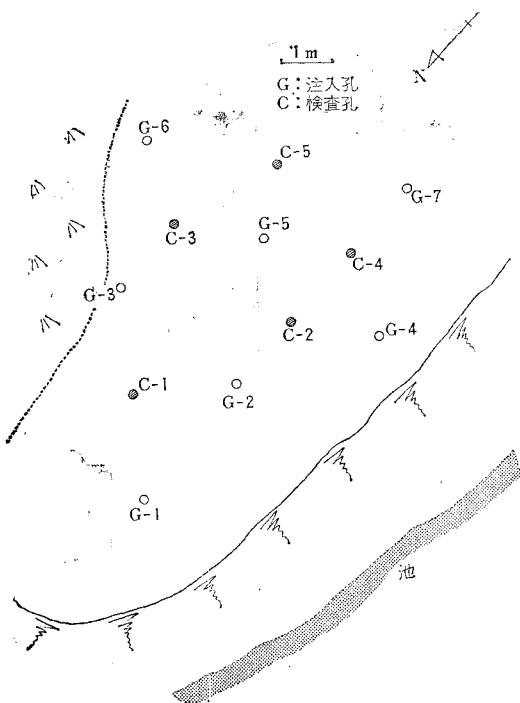
グラウトが注入予定範囲から逸出する原因は、セメントグラウトを圧密するために必要な注入圧、注入予定範囲外まで続いている大きい空げき、流水、などをあげることができる。

これらの対策としては注入圧があがらなくても一応注入作業を中断すること、粗粒混和材料を用いること、急結剤を混和材料として用いること、の3つの方法が考えられるので以下順を追って検討してみたいと思う。

(1) 注入作業を中断しセメント粒子の沈殿硬化を待つ方法

連続して注入する場合際限なくグラウトが注入予定範囲から逸出する場合は注入作業を中断してセメント粒子の沈殿硬化を待つ方法をとるのが一般に一番先に考えられる方法である。図-5、表-7に示した黒松内層の割目および断層破碎帯における注入現場試験においては注入圧が予定した22~30 kg/cm²に達するまでに注入量が予定量を大巾に突破する場合が多かったが、このような場合注入作業を中断し、日を変えて再ボーリングし再注入することは確かに注入材料を節約しながら注入圧を高め

図-5 注入孔および検査孔配置図（渡島当別）



るのに効果はあった。しかしながらこの方法は流水によってグラウトが流出するような場合にはほとんど効果がないと思われる所以、ほかの方法を検討しておく必要がある。

(2) 粗粒材料を混和材料として用いる方法

次に考えられるのはおがくず、大豆、などの粗粒材料を混和材料として用いる方法であり、従来からこの方法はよく取られてきた。

表-7に示した現場試験においてもグラウトが所定量を大巾に越えて注入される場合、おがくずを混和すると容易に注入圧をあげることが可能となった。しかし細粒グラウト用に設計してある注入ポンプのバルブにおがくずがつまりやすく作業は難渋した。また粗粒を注入した場合つごうよくいった場合は注入予定範囲を少しつぶれた範囲で粗粒がとどまり、以後のセメント注入で注入予定範囲をてん充することができるようになるが、つごうよくいかない場合は注入孔の近くで粗粒がとどまってしまい、注入予定範囲をてん充する事が不可能となることも起こりうる。

以上のような難点を考えると粗粒材料を混和材料として用いる方法も常に最善の方法とはいえないといふ判断される。

(3) 急結剤を混和材料として用いる方法

結局グラウトとしては粗粒をふくまずしかも普通のセメントグラウトより急速に硬化するようにされたところのグラウト——すなわち急結剤を混和材料として用い

表-7(a) 水および止水材注入試験結果一覧表

ボーリング孔	深さ(m)	注入地層	注入端深度(m)	注入有効長さ(m)	水注入量 L/min	() 内は注入圧力 kg/cm ²	備考	注入量		セメント(kg/cm ²)	注入水ガラス量(L)	注入水ガラス量(L)	備考		
								最終時	最高圧	注入圧	注入材料				
上段	G-1	15 粘質砂岩, 貝岩および細粒砂岩	12.2	2.8	0(0~1) ビ(0~9)	42(2) 2(10)	70(35) 60(10)	日開式	Z Z,LW	2 7~12	3 22	1,330 1,849	—	3,130 3,850	
	G-2	15 粘質砂岩	14	1.0	0(0~2) 0(0~7)	2(3) ビ(8)	10(12) 4(7)		Z	9~13	30	2,550	—	2,745 注入材不足で終了	
	G-3	15.1 貝岩および細粒砂岩	14.5	0.6	0(0~20) 0(0~6)	1.5(7) 1(7)	18(8) 2(9)							w/c=50% で②バッヂで中止	
	C-1	15 細粒砂岩	14.5	0.5	0(0~4) 0(0~6)	32(5) 1(7)	60(7) 5(8)	日開式	Z Z	9~11 6~7	30 30	4,900 4,775	—	4,965 w/c=50% で終了	
中段	G-1	20 細粒砂岩	19	1.0	0(0~4) 0(0~20)	32(5) 21(21)	120(8) 30(9)	日開式	Z Z	5 6~7	6 30	3,350 4,705	—	3,955 終了	
	G-2	20 細粒砂岩	18.9	1.3	0(0~1) 0(0~20)	ビ(2~6) 21(21)	2.5(9)		Z	9~11	30	4,900	—	4,965 w/c=50% で終了	
	G-3	20 シルト質細粒砂岩	19.5	0.5	0(0~6)	1(7)	5(8)	日開式	Z Z	6~7	30	4,775	—	4,705 終了	
	C-1	20 シルト質細粒砂岩	19.7	0.3	0(0~6)	1(7)	5(8)	日開式	Z Z	5 6~7	6 30	3,350 4,705	—	3,955 w/c=50% で②バッヂで中止	
下段	G-1	25 細粒砂岩	24.5	0.5	0(0~6) 0(0~11)	1.5(7) 10(12)	13.5(9) 10(12)	22(7) 20(6)	Z,LW Z,LW	8~9 12	22 30	505 89	480	1,595 ③バッヂにて中止	
	G-2	25 細粒砂岩および頁岩	22.9	2.1	0(0~6) 0(0~13)	15(7) 11(14)	30(11)		Z	10~16	30	6,100	—	205 再注入②バッヂで終了	
	G-3	25.1 細粒砂岩	24.5	0.6	0(0~8)	ビ(9)	7(10)		Z	12~13	18	3,475	—	5,875 ④バッヂで終了	
	C-1	24.9 シルト質細粒砂岩	24.2	0.7	0(0~8)	—	25(10)							3,580 ⑤バッヂで終了	
上段	(G-2)	15 細粒砂岩	14	1.0	ビ(0~9)	2(10)	10(12)	60(10)	Z,LW LW,Z	7~12 10~11	22 16	1,849 1,770	660	3,850 注入材不足で中止	
	G-4	15.4 シルト質細粒砂岩	15	0.4	0(0~7)	9(8)	10(7)	20(10)	G-6 孔に漏水	LW,Z	7~10	14	761	360	3,060 G-4 孔に漏水 中止
	G-5	15 シルト質頁岩	14.25	0.75	0(0~1)	1.5(2)	12(7)	40(8)	本孔ドライより漏水	LW,Z	7~10	14	761	360	2,170 注入管先端つまり中止
	C-2	15 シルト質頁岩	14.4	0.6	0(0~8)	4(9)	15(8)	26(8)							
中段	(G-2)	20 細粒砂岩	18.7	1.3	0(0~1) 0(0~4)	ビ(2~6) 2(10)	1.5(7) 7.5(11)	25(9) 62(11)	Z LW,Z	9~11 10~15	30 15	4,900 1,970	—	4,965 w/c=50% で終了	
	G-4	20.2 シルト質細粒砂岩	19.7	0.5	0(0~4) 0(0~8)	ビ(5~8) ビ(3~9)	1.5(9) 20(10)	62(16) 50(11)	LW	12	15	30	180	2,825 ③バッヂで中止	
	G-5	20.1 シルト質細粒砂岩	19.85	0.25	0(0~2)	—	—	—	LW,Z	9~11	11	(白色) 68 (白色) 1,507	180	390 セメント不足のため③バッヂにて中止	
	C-2	19.3 細粒砂岩	18.8	0.5	0(0~7)	1(8)	11(8.5)	32(10)	LW,Z	10~15	18	(白色) 550 (白色) 60	60	645 午前有効長変更再注入③バッヂにて中止	
下段	(G-2)	25 細粒砂岩	22.9	2.1	0(0~6)	15(7)	20(6)		Z	10~16	30	6,100	—	5,875 ④バッヂで終了	
	G-4	25 シルト質細粒砂岩	24.3	0.7	0(0~9)	9(10)	10(6)	60(16)		Z	10~15	22	1,600	—	2,450 バルブつまり⑤バッヂにて中止
	G-5	25 細粒砂岩	23.8	1.2	0(0~9)	24(10)	60(8)			Z	8~11	30	4,900	—	5,125 ⑥バッヂで終了
	C-2	24.8 シルト質頁岩	24.5	0.3	0(0~14)	1.5(16)	22(15)	47(16)							

表-7 (b)

段 段	ボ リ ン グ 孔 (m)	深 さ (m)	注 入 地 層	注 入 端 深 さ (m)	注 入 有 効 長 (m)	水 注 入 量 () 内 注 入 圧 力 kg/cm ²	水 注 入 量 l/min	止 水 材 料	止 水 考 考	注 入 圧 力 (kg/cm ²)	セ メント (kg)	注 入 量 kg/グラム (L)	備 考		
上 段	(G-3) 15.1	頁岩および細粒砂岩	14.5	0.6	0(0~2)	2(3)	4(7)	18(8)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	9~13 7~10	30 14	2,550 761	—	2,745 2,170
	(G-5) 15	シルト質および頁岩	14.25	0.75	0(0~1)	1.5(2)	12(7)	40(8)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	LW,Z	9~11 10~15	30 18	4,775 1,507	—	4,705 645
	G-6 9.7	細粒砂岩	9.45	0.25	0(0~7)	1.5(8)	4(14)	40(15)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	LW,Z	10~15 12~14	30 15	60 527	60	2,675 1,175
	" 15.2	"	14.7	0.5	0(0~1)	1.5(2)	21(5)	60(6.5)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	LW,Z	12~14	30 15	180	180	木孔G-1孔に漏出一たん中止 午後有効部つまり@パッヂにて中止 午後注入続行中、注入端つまり中止
	C-3 14.8	シルト質細粒砂岩	14.3	0.5	0(0~10)	1.5(11)	35(10)	37(8)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	6~7 9~11 10~15 12~14	30 11 18 20	4,775 68 1,507 1,507	—	4,705 645 2,675 1,175
	(G-3) 20	細粒砂岩および頁岩	19.5	0.5	0(0~20)	21(21)	30(0)	50(11)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	6~7 9~11 10~15 12~14	30 11 18 20	4,775 68 1,507 1,507	—	4,705 645 2,675 1,175
中 段	(G-5) 20.1	シルト質細粒砂岩	19.85	0.25	0(0~2)	2(3~9)	20(10)	—	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	6~7 9~11 10~15 12~14	30 11 18 20	4,775 68 1,507 1,507	—	4,705 645 2,675 1,175
	C-6 20.1	細粒砂岩およびシルト質細粒砂岩	18.5	1.6	—	—	—	50(15)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	6~7 9~11 10~15 12~14	30 11 18 20	4,775 68 1,507 1,507	—	4,705 645 2,675 1,175
	" 19.5	"	19.6	0.5	0(0~10)	5(11)	16(3)	—	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	6~7 9~11 10~15 12~14	30 11 18 20	4,775 68 1,507 1,507	—	4,705 645 2,675 1,175
	C-3 19.7	細粒砂岩	19.1	0.4	0(0~20)	2(23)	4(17)	10(15)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	13~18 16~25	20 15	150 1,150	—	210 1,260
	" 19.8	"	19.5	0.5	0(0~8)	8(9)	20(10)	32(10)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	13~18 16~25	20 15	150 1,150	—	210 1,260
	" 19.5	"	19.2	0.3	0(0~13)	1(14)	6(20)	6(20)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	13~18 16~25	20 15	150 1,150	—	210 1,260
下 段	(G-3) 25.1	細粒砂岩	24.5	0.6	0(0~13)	11(14)	30(11)	60(8)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	12~13 8~11 6.5~8	18 30 29	3,475 4,900 —	—	3,580 5,125 —
	(G-5) 25	"	23.8	1.2	0(0~9)	24(10)	60(10)	60(10)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	12~13 8~11 6.5~8	18 30 29	3,475 4,900 —	—	3,580 5,125 —
	G-6 25	"	24.5	0.5	0(0~5)	1.5(6)	22(9)	60(10)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	12~13 8~11 6.5~8	18 30 29	3,475 4,900 —	—	3,580 5,125 —
	C-3 24	"	23.5	0.5	0(0~25)	—	—	60(10)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	12~13 8~11 6.5~8	18 30 29	3,475 4,900 —	—	3,580 5,125 —
	(G-4) 15.4	細粒砂岩および細粒砂岩	15	0.4	0(0~7)	9(8)	10(7)	20(10)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	10~11 7~10 10~12	16 14 30	1,770 761 420	—	3,060 2,720
	(G-5) 15	シルト質頁岩	14.25	0.76	0(0~1)	1.5(2)	12(7)	40(8)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	10~11 7~10 10~12	16 14 30	1,770 761 420	—	3,060 2,720
上 段	G-7 15.1	頁岩	14.75	0.35	0(0~3)	1.5(4)	5(7)	53(15)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	10~11 7~10 10~12	16 14 30	1,770 761 420	—	3,060 2,720
	C-4 14.7	"	14.2	0.5	15(9)	16(8.5)	38(9)	45(10)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	10~11 7~10 10~12	16 14 30	1,770 761 420	—	3,060 2,720
	(G-4) 20.2	細粒砂岩	19.7	0.5	0(0~4)	2(10)	7.5(11)	62(11)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	10~11 7~10 10~12	15 14 30	1,970 761 420	—	2,825 3,390
	(G-5) 20.1	シルト質細粒砂岩	19.85	0.25	0(0~2)	2(3~9)	20(10)	62(16)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	10~11 7~10 10~12	15 14 30	1,970 761 420	—	2,825 3,390
	(G-4) 20.1	シルト質頁岩	18.5	1.6	—	—	—	50(11)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	10~11 7~10 10~12	15 14 30	1,970 761 420	—	2,825 3,390
	G-7 20	細粒砂岩	19.6	0.4	比(0~8)	6(9)	4.5(15)	40(20)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	25 18	943 450	—	2,035 640
中 段	C-4 19.8	"	19.3	0.5	0(0~9)	10(10)	31(11)	—	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	25 18	943 450	—	2,035 640
	" 19.8	"	19.3	0.5	0(0~13)	12(14)	30(14)	—	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	25 18	943 450	—	2,035 640
	" 19.8	"	18.8	0.8	0(0~7)	1(8)	3(14)	40(16)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	25 18	943 450	—	2,035 640
	(G-4) 25	シルト質細粒砂岩	24.3	0.7	0(0~9)	9(10)	10(16)	60(16)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	22 20	1,600 4,960	—	1,630 3,730
	(G-5) 25	"	23.8	1.2	0(0~9)	24(10)	60(8)	60(13)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	22 20	1,600 4,960	—	1,630 3,730
	G-7 25	"	24.3	0.7	0(0~12)	比(13~14)	2.5(15)	60(13)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	22 20	1,600 4,960	—	1,630 3,730
下 段	C-4 24.8	"	24.3	0.5	0(0~25)	—	—	0(26)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	22 20	1,600 4,960	—	1,630 3,730
	(G-4) 25	シルト質細粒砂岩	23.8	1.2	0(0~9)	24(10)	60(8)	60(13)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	22 20	1,600 4,960	—	1,630 3,730
	(G-5) 25	"	24.3	0.5	0(0~25)	—	—	0(26)	木孔ドライブより漏出 15KからDP-3を日開式に切替 200(20)以上	Z LW,Z	8~11 10~15	22 20	1,600 4,960	—	1,630 3,730

表-7 (c)

段	ボーリング孔 (m)	注入地層	注入端深さ (m)	注入端有効長 (m)	水注入量 /min		備考	止水材 料	注入圧力 (kg/cm²)	注入圧力 常圧 最高圧	注入量 (L)	注入管先端つまり中止	
					() 内注入圧力 kg/cm²	最終時							
上	(G-5) 9-1	シルト細粒砂岩	14.25	0.75	0(0~1)	1.5(2)	12(7)	40(8)	本孔ドライブより漏水 式に切替200(20)以上	LW,Z	7~10 14	761	360
	(G-6) 9-10	細粒砂岩	9.45	0.25	0(0~7)	1.5(8)	4(14)	40(15)	15KからDP-Sを日開	LW,Z	5~7 8	普 512 白 200	80
	(*) 9-15	"	14.7	0.5	0(0~1)	1.5(2)	21(5)	60(6.5)	15KからDP-Sを日開	LW,Z	10~12 30	1 162 420	1 255 2 720
	(G-7) 9-4	頁岩	14.75	0.35	0(0~3)	1.5(4)	5(7)	53(15)	式に切替100(20)以上	LW,Z			
中	C-5 11-2	"	14.5	0.3	0(0~12)	3(13~10)	2(20~23)	0(26)	完全止水効果	LW,Z			
	(G-5) 9-3	シルト質細粒砂岩	19.85	0.25	0(0~2)	2(3~9)	20(10)	50(11)		LW,Z	9~11 11	白 68 白 507	180
	(*) -	"	18.5	1.6	-	-	-	-		LW,Z	10~15 18	白 650	60
	(G-6) 9-17	細粒砂岩	19.6	0.5	0(0~10)	5(11)	16(13)	50(15)		LW,Z	12~14 15	527	180
下	(*) 9-20	"	19.1	0.4	0(0~20)	-	-	-		Z	13~18 20	150	-
	(*) 9-20	"	19.0	0.5	0(0~22)	2(23)	4(17)	10(15)	バックガ一位置変更	LW,Z	8~11 25	943	300
	(G-7) 9-7	細粒砂岩	19.6	0.4	2(0~8)	6(9)	14.5(15)	40(20)	20K以降DP-3より日 開式に切替100(20)	Z	13~18 20	150	-
	C-5 11-3	"	19.2	0.3	0(0~25)	-	-	0(26)	完全止水効果	LW,Z			
上	(G-5) 10-4	細粒砂岩	23.8	1.2	0(0~9)	24(10)	60(8)	60(8)		Z	8~11 30	4 900	-
	(G-6) 10-2	"	24.5	0.5	0(0~5)	15(6)	22(9)	60(10)		Z	6.5~8 29	2 100	-
	(G-7) 10-6	"	24.3	0.7	0(0~12)	2(13~14)	2.5(15)	60(13)		Z	12 32	3 900	-
	C-5 11-5	"	23.75	0.25	0(0~13)	7.5(14)	14(12)			LW,Z			
中	G-8 9-21	細粒砂岩	13	1.0	0(0~9)	2(10)	11.5(3)			LW,Z	2~4 7	1 509	220
	" -	細粒砂岩	0	13.6	-	-	-			LW,Z	8~9 12	1 860	360
	9-25	細粒砂岩	14.3	1.2	0(0~3)	60(4)	65(4)						
	" 9-26	"	14.3	1.2	0(0~32)	-	-						
下	" 9-27	"	15.0	0.3	0(0~7)	7.5(10)	30(6)			LW,Z			
	C-6 11-4	"	14.6	0.2	0(0~10)	-	7(11)						

木澤謙 第 81 号 (昭. 37.5)
 トガラク体積
 パッヂで終了
 トガラク中止
 トガラクつまり中止
 トガラクで終了

2回に分けて注入、中止

2回に分けて注入、中止

たグラウトを取りあげるのが一般に便利でありすぐれていると判断される。

このような目的で塩化カルシウムを用いることは従来から行なわれてきたが、吹き付けその他の場合にペーストあるいはモルタルの急結剤として用いられてきた水ガラスを用いることにしておれば、5. で述べたC水ガラスとの移り変わりが容易にできて有利であると判断される。

水セメント比のあまり大きくなないセメントグラウト

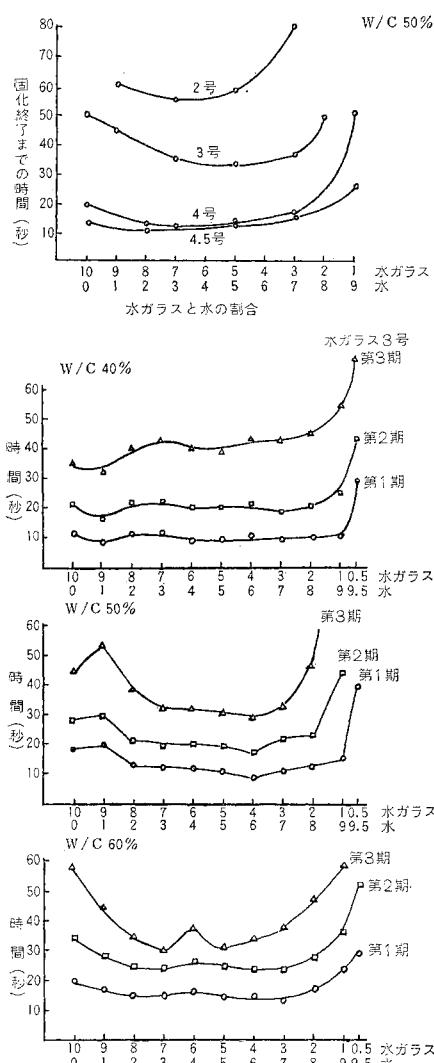
図-6 水ガラスを用いた場合のセメントの急結性

材 料：第一セメント社普通ポルトランドセメント
日本化学工業社 水ガラス 2, 3, 4, 4.5 号
試験実施要領：セメントペースト 40 cc に水ガラス水溶液 10 cc をなるべく早く投入し急結状態を手ごたえで観察した。手ごたえはφ2 mm の真ちゅう棒で軽くグラウトをかくはんして求めたが急結状況はおむね次の3期に分けることができた。

第1期 最初に手ごたえを感じたとき

第2期 全般に手ごたえが行き渡った感じのとき

第3期 全部固化したとき



と水ガラス原液を同じ容器に注ぐと瞬結し、しかもその強度は漸液系グラウトの強度よりはるかに大きい。しかしこのように水ガラスをセメントグラウトの急結剤として用いる場合もモル比によって相当の差があるのではないかと思われるが、試作した4.5号の水ガラスもふくめて急結剤としての水ガラスの比較試験を行なった結果は図-6に示すとおりである。これから見るとモル比の大きいほどすなわち号数の大きい水ガラスほど急結剤として有効であることがわかる。前にも述べたとおりモル比の大きいほど粘性は小さく注入しやすいし、また安価であり表-8にも示すとおり強度に対する悪影響も一番

表-8 水ガラスを用いた場合のモルタル強度

水ガラス セメント 1kgに対する セメント量 (cc)	曲げ引張強度 (kg/cm²)						圧縮強度 (kg/cm²)					
	1日	3日	7日	28日	56日	91日	1日	3日	7日	28日	56日	91日
0	25.2	40.6	60.8	62.5	68.5		93	173	328	386	409	
3号 5.8	5.2	19.4	32.1	56.4	61.3	67.2	21	64	127	289	348	395
4号	5.7	21.8	32.3	58.0	64.4	68.8	24	74	134	303	361	399
4.5号	5.5	22.2	34.8	58.5	66.0	66.6	23	82	153	322	390	418
3号 19	12.6	23.9	48.1	56.6	58.1		42	88	219	276	313	
4号	18.4	30.4	57.5	61.3	62.0		64	124	280	340	374	
4.5号	19.8	33.9	58.6	62.7	65.3		79	140	309	359	384	
0*	33.7	49.6	63.3	74.5	73.0		124	224	392	424	425	

* 標準砂使用

材 料：第一セメント社普通ポルトランドセメント
0.6 mm ふるいてふるった荒川産砂、FM 1.71、吸水率 2.1
%，比重 2.67

日本化学工業社 水ガラス 3, 4, 4.5 号

配合：	セメント (g)	砂 (g)	水 (cc)		水ガラス (cc)
			338	328	
	520	1 040	338	0	
	520	1 040	335	3	
	520	1 040	328	10	

試験：JIS R 5210 に従った

小さいから、できるだけモル比が大きく号数の大きい水ガラスを用いるのがあらゆる意味で有利であることがいいよいよ明白にされたといえる。もっともモル比をあまりあげると水ガラス中でシリカが折出されやすくなるのでモル比は実用上 3.8 程度（4号品）とするのが適当と思われる。

モル比の大きい水ガラスをセメントグラウトに混和して注入予定範囲をはずれたあたりでグラウトが硬化するようにはすればよいわけであるが、実際の施工に当っては安全を見て注入予定範囲をややはずれたあたりでグラウトが硬化するようにし、順次注入予定範囲をてん充するべきであると判断される。

7. 注入後における空げき再発生防止のための混和材料

(1) グラウトの沈下収縮を防止するための各種の手段

グラウトの沈下収縮はブリージングを小さくすればするほど小さくなる。このブリージングを少なくする最もよい手段は単位水量を減少することであることはすでに

認められているところである。従って単位水量を減少するための最も良い手段として良質のセメント分散剤を用いることは良いグラウトを得るための第1条件として絶対的希望されるところである。セメント分散剤はセメント粒子を分散させセメントグラウトが微細な空げきに浸入することを容易ならしめるという点と一般に分散剤はレターダーを兼ね注入作業を容易ならしめる点からも用いることが望まれるものである。

次にグラウトの沈下収縮を防止する手段として一般的に認められているものには、練り混ぜを遅らせたり長びかせたりする方法¹³⁾がある。確かにこの方法はグラウトのコンシスティンシーが温度上昇、硬化作用の進展その他によって顕著に悪化しない範囲で行なえばきわめて効果的な手段であることが判明している。しかしながら現場の注入作業においてこのような手段をとることは大がいの場合不便をともなうものであり、特に注入量が相当量に上る場合この手段を採用することは不可能といってよいほど困難である。一般的にこの手段は推しようできないゆえんである。セメントは風化現象によってブリージングを増加するといわれているが、軽微な風化を受けた場合ブリージングが減少し配合によってはほとんど0になることもあることが確かめられた。この実験結果は表-9に示してあるが、この場合グラウトのコンシスティン

表-9 軽微な風化を受けたセメントを用いた場合のグラウトの品質

セメント入荷年月日	試験年月日	入荷後 の日数	w/c+F (%)	グラウト 温 (°C)	流下時間 (秒)	収縮率 (%)	ブリージ ング率 (%)
33.5.12	33.7.29	78	56	24	27.0	0.8	1.1
			58		20.2	1.2	1.1
			60		17.6	1.3	1.2
			62		15.2	1.6	1.5
33.5.12	33.9.3	114	54	23.5 ~24.5	20.8	0	0
			56		18.0	0	0
			58		15.8	0	0
			60		14.4	0	0
33.5.12	33.10.1	142	54	22.2	22.0	0	0
			56		20.0	0	0.1
			58		17.2	0	0.2
			60		15.0	0	0.2
33.8.12	33.9.3	21	54	24.5 ~25	29.0	2.2	2.3
			56		21.4	2.5	2.4
			58		18.0	4.0	3.6
			60		16.2	4.2	4.0
			62		14.6	5.0	4.9
33.8.12	33.10.1	49	54	22.5 ~25	33.4	1.1	1.1
			56		24.0	1.7	1.8
			58		20.2	2.2	2.0
			60		17.2	2.2	2.4

材料: 第一セメント社 普通ポルトランドセメント
関電フライアッシュ 豊浦標準砂 日曹ボゾリス8
配合: C:F:S=3:1:4
w/c+F=0.54, 0.56, 0.58, 0.60, 0.62

シーも非常に改善されていたから、このような状態のセメントを用いることがきわめて望ましいものであることは明らかである。しかしながらこのよう望ましい状態

がどのような現象によってもたらされたか明瞭でないのと、将来セメントの研究が進み無収縮セメントが市販されるまで待つ必要が認められる。

次にセメントの微粉末あるいはベントナイトその他微粉末の混和によってブリージングの減少することも確かめられた。前者は表-6に示した実験で明らかであるが高価であり単位水量の増加その他の悪影響をともなうし、後者は表-10に示したとおり強度の減少、コンシスティンシーの悪化、などの悪影響をともなうから好ましくない。また水ガラスを混和することによりブリージ

表-10 ブレパックドコンクリート用グラウトの沈下収縮

混和材 料 ガラス ナイト ス 8	C ×% 8	w/c (%)	流下時 間 (秒)	収縮率 (%)	温度 (°C) 穀 上 り	温度 (°C) 終 り	圧 縮 強 度 (kg/cm ²) 7 日	圧 縮 強 度 (kg/cm ²) 28 日
2	0	0.25	55.9	19.6	1.6	17.6	19.3	191
4	0	〃	58.8	19.5	2.0	17.0	19.0	125
6	0	〃	64.7	19.4	2.5	17.0	19.0	96.3
0	0	56.0	19.0	3.8	17.2	19.7	244	484
0	2	0	67.6	18.4	1.7	17.3	19.6	194
0	4	0	79.3	19.0	2.1	18.2	19.5	135
0	6	0	93.3	19.0	1.5	18.3	19.2	100
0	0	0.25	53.0	19.6	2.0	17.5	19.5	257
0	2	〃	59.4	18.5	2.0	18.0	19.6	242
0	4	〃	64.1	19.4	1.2	18.3	19.7	229
0	6	〃	70.6	18.6	1.2	18.3	19.5	169

材料: 第一セメント社 普通ポルトランドセメント

豊浦標準砂 日曹ボゾリス8

東洋ソーダ 水ガラス1号

豊順洋行ベントナイトシリカライトA

配合: C:S=1:1

水セメント比は1725ccのロートで測った場合流下時間が約19秒になるようにした。

ングの減少することも表-10に示すとおり確かめられたが、強度の減少コンシスティンシーの悪化、などの悪影響をともなうから推しようできない。

鉄粉と塩化物を混和し鉄粉がさびるときの膨張作用を利用してグラウトの収縮を防止する方法¹⁴⁾もあるが、鉄筋やPC鋼材をさびさせる点で一般的な使用は好ましくない。また硬化後膨張するということは、いわゆる膨張セメントをもふくめグラウトに対してはとるべきでないと判断される。グラウトが硬化する前に膨張するのであれば沈下収縮に対応する柔軟に膨張して空げきをてん充することが期待されるが、硬化後の膨張は周囲のコンクリートのひびわれその他の好ましくない現象を起こす可能性があつて望ましくない。

結局ガス発生剤として從来から用いられてきたアルミニウム粉末が最も有望なものとして浮び上ってくる。従ってこのアルミニウム粉末について從来明らかにされていなかった点を検討することは重要と考えられる。

(2) 膨張性グラウトに用いるアルミニウム粉末の品質について

アルミニウム粉末としては、フレーク状(鱗片状)、針状、粒状、アトマイズド状など種々のものが考えられる。これらのうち主として市販されているのはフレー

ク状のアルミニウム粉末であるが、前記の各種アルミニウム粉末が膨張剤として有効かどうかを調べるために行なった実験結果は表-11に示すとおりである。

表-11 ガス発生剤としての各種アルミニウム粉末の比較

形 状	粒 度 (メッシュ)	油 脂 分 (%)	膨 張 率 (%)	
			C×0.1%	C×0.2%
フレーク (No.1) 〃 (〃2) 〃 (〃3) 〃 (〃4) 〃 (〃5) 〃 (〃6) 〃 (〃7) 〃 (〃8) 〃 (〃9) 〃 (〃10)	100	1.5~1.8	0.7	4.0 (2.0)
	150	0.6~0.7	0.3	2.3 (0.8)
	150	2.5	1.0	4.5 (2.8)
	200	1.8~2.0	2.0	5.1 (5.4)
	200	3.0	0.9	5.6 (5.3)
	280	4.0	2.0	5.0 (5.6)
	300	1.5	1.2	5.6 (6.0)
	300	4.0	1.3	5.2 (4.4)
	325	4.5	1.1	5.6 (4.3)
	500	5.0	0.5	3.3 (6.3)
針 状	90~150	0.5以下	膨 張 せ ず	
〃	150	0.5以下	〃	
粒 状	20	0.5以下	〃	
〃	200	0.2以下	〃	
アトマイズド	200	なし	〃	
〃	200	〃	〃	
〃	325(90%通)	〃	〃	

材 料：第一社 普通ポルトランドセメント

日本セメント社 フライアッシュ
豊浦標準砂、山石金属社アルミニウム粉末

配 合：C:F:S:W=0.5:0.5:1:0.485

練り混ぜ：ASTM C305による

膨張率：1lのメスシリンダーに入れて測定

この結果、予想に反してフレーク状以外のアルミニウム粉末は、すべて膨張剤として無効なことがわかった。フレーク状のアルミニウム粉末でも、ステアリン酸被膜の少ないものは膨張剤としての有効度が落ちていた。従って膨張剤としてアルミニウム粉末を用いる場合は、適量のステアリン酸被膜を有するフレーク状のものを用いることにならなければならないことが明瞭となった。

アルミニウム粉末が酸化すると膨張剤としての有効度が落ちることは表-11でステアリン酸被膜の少ないアルミニウム粉末を用いると、膨張剤としての有効度が落ちることからも推察することができたが、この点をもつとくわしく検討するために、膨張剤として有効なアルミニウム粉末を取り、湿度の高い所で貯蔵して有効度が落ちるかどうかを調べた結果は表-12に示してある。

この結果、湿度の高い室内に長期間放置しておいてもガス発生剤として有効なアルミニウム粉末は無効にならないこと、従って普通の状態で貯蔵された場合、有効度が落ちるということは到底考えられないことが明らかとなつた。

(3) 膨張性グラウトを得るための混和材料として

アルミニウム粉末を用いる場合の注意事項

膨張剤として有効なアルミニウム粉末を用いても、グラウトの温度、圧力、などによってグラウト膨張率が異なるし、分散剤と併用することによっても影響をうける。また、アルミニウム粉末の投入順序その他によって

表-12 アルミニウム粉末の貯蔵条件が膨張率におよぼす影響

アルミニウム粉末	貯蔵 状況	膨張率 (%)	貯蔵 状況	膨張率 (%)	貯蔵 状況	膨張率 (%)	貯蔵 状況	膨張率 (%)
No. 1	かん 内	0	封 筒	0	封 筒	0	封 筒	-2.5
	1.2	1.3	封 筒	1.4	封 筒	1.7	封 筒	1.6
	1.0	1.2	入 れ	0.9	入 れ	1.0	入 れ	0.8
	2.8	1.5	れ	2.1	れ	1.7	れ	1.1
	2.2	1.7	地	1.7	地	2.0	地	2.1
	3.4	3.0	室	3.7	室	3.0	室	3.1
	2.2	1.5	内	1.9	内	2.2	内	4.7
	3.1	2.7	1	2.5	1	2.4	1	4.1
	2.4	2.9	月	3.0	月	2.9	月	3.3
	3.3	2.4	放	2.6	放	3.3	放	2.3
	3.0	2.4	置	2.6	置	2.2	置	1.2

グラウト温度 21±3°C、流下時間 15~19秒 (1725 ccのロート使用)

材 料：第一セメント社普通ポルトランドセメント

関西電力 フライアッシュ 豊浦標準砂

日曹 ポゾリス8

山石金属社 フレーク状 アルミニウム粉末

配 合：C:F:S:W=3:1:4:4×0.58

Al=C×0.02% ポゾリス8=C×0.25%

膨張率：1lのメスシリンダーに入れて測定した

表-13 温度が膨張率におよぼす影響

アルミニウム粉末	熱り上り 度 (°C)	流下時間 (秒)	グラウト 保管温度 (°C)	試験終了時 のグラウト 温度 (°C)	膨 張 率 (%)	ブリーザ ング率 (%)
No. 4	24.5	15	24	25	1.3	3.2
			35	35	4.1	4.3
	24.5	15.2	24	25	2.4	3.2
			35	35	5.8	3.2
	31.5	15.2	24	25	1.3	3.6
			35	35.5	4.4	4.3
	37.5	15.6	24	25.5	4.8	3.7
			35	35.5	7.6	3.7
	24	14.8	24	25.5	2.2	2.9
			30	30.5	2.1	4.1
6	24	15.2	24	25.5	3.3	3.8
4	32	14.6	24	26.0	2.0	4.2
6	31	15.4	24	26.0	3.3	4.6
4	16	16.4	15.5	—	-0.6	3.8
6	16	16.2	15.5	—	-1.9	4.2
4	15	16.8	14.5	—	0.3	4.7
6	15	16.4	14.5	—	-2.2	6.1
4	15	16.8	14.5	—	-1.3	4.1
6	15	16.4	14.5	—	-2.7	3.9
6	15	16.4	14.5	—	0.7	4.9
			5	—	-1.1	4.2

材 料：第一セメント社 普通ポルトランドセメント

関西電力 フライアッシュ 豊浦標準砂

フレーク状 アルミニウム粉末 No. 4 (200 メッシュ)
No. 6 (280 メッシュ)

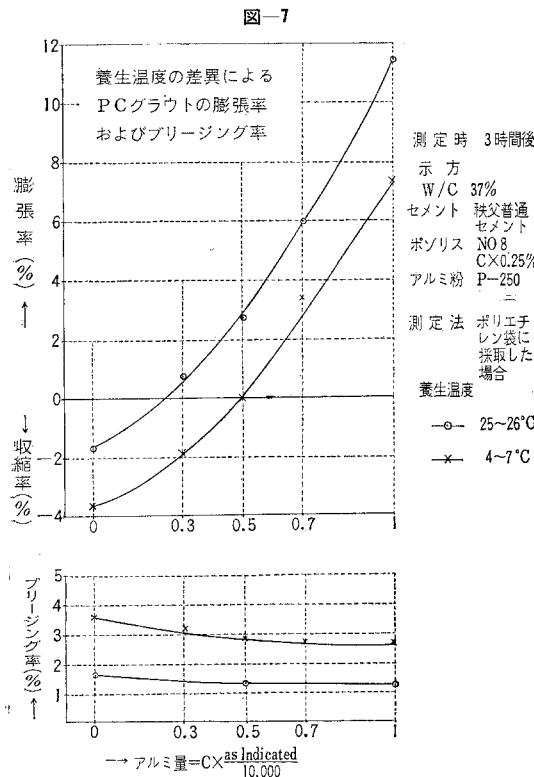
ポゾリス8

配 合：C:F:S:W=3:1:4:4×0.58 Al=C×0.02%

アルミニウム粉末分布の一様性がどのように影響されるかなどというような問題について検討しておく必要が認められる。

プレパックドコンクリート用グラウトの保管温度を5°Cから40°Cと変えてブリーザング率と膨張率を求めた実験結果を示すと表-13に示すとおりである。この結果およびPCグラウトに対して行なった実験を示した表-13、図-7を見てもグラウトの温度がおよぼす影

響の非常に大きいことは明らかである。グラウトの温度とブリージング率の関係はきわめて複雑であり、温度が上がるとブリージング率が減るというような簡単な結論を下すことはできないようである。表-13の実験結果からは 15°C を境として温度が高くなても低くなてもブリージング率は増えている。温度が低くなった場合ブリージング率の増えることは低温のため化学変化の遅れることが原因と思われるが、温度の高くなつた場合膨



張率が大きくなっていることが一つの原因になつてゐるよう思われる。すなわち膨張率が大きいためグラウト内の圧力が高くなり、水が追い出されるというわけである。この現象が加わってくるため、ブリージング率について簡単に結論を下すことが困難であるわけであるが、しかし表-6ではガス発生剤を混和していないが温度が高くなつた場合、必ずしもブリージング率は減つておらず、一般にいわれているようにグラウトの温度が高くなればブリージング率は減ると簡単に結論を下すことは誤りであると結論することはできる。

グラウトが受ける圧力によって膨張率は当然変化すると思われるが、この点を検討するため行なつた実験結果は表-14に示した。これで見ると圧力下ではグラウトの過大膨張は抑制され膨張率は頭打ちとなること、ブリージング率は圧力をかけることにより増えることの多いこと、などが明らかにされた（実際には膨張率が0とな

るように抑制されていることが多いが、この場合グラウトは圧力を受けるようになり、この圧力によってグラウトからの自動脱水が促進されることになる）。

地盤注入において、セメント系グラウトを用いる場合、分散剤を用いることが空けきへのセメント粒子の浸透を容易にすること、グラウトの硬化を遅らせグラウト

表-14 圧力が膨張率におよぼす影響

種類	アルミニウム粉末量 (%)	保管中加えた圧力 (kg/cm ²)	膨張率	
			ブリージング率 (%)	膨張率 (%)
No. 1	0.01	0	4.5	1.6
		5	2.6	-0.2
	0.03	0	4.4	13.6
		5	7.0	-0.8
	0.05	0	3.1	22.8
		5	7.3	2.8
4	0.01	0	5.6	1.3
		5	2.6	-2.1
	0.03	0	4.0	16.5
		5	6.8	0.5
	0.05	0	4.6	21.9
7	0.01	0	4.6	0
		5	2.6	-0.2
	0.03	0	4.4	13.7
		5	6.6	0.5
	0.05	0	4.0	19.8
なし		5	7.2	0.7
		0	0	0
		5	1.0	-1.0

材 料：第一普通ポルトランドセメント
日本セメント社 フライアッシュ 豊浦標準砂
フレーク状アルミニウム粉末 No. 1 (100メッシュ)
No. 4 (200メッシュ), No. 7 (300メッシュ)
ポゾリス

配 合: C:F:S:W=3:1:4:2.2

練り混ぜ: ASTM C305による

室温 $19\sim20^{\circ}\text{C}$, グラウト温度 $20\sim22^{\circ}\text{C}$

流下時間: プレバクトコンクリート用のロードで測定

ブリージング率および膨張率: 200ccメスシリダーに投入して測定

のコンシスティンシーが悪くなるのを防ぐことができる点で有効なことはすでに指摘したところであるが、プレパックドコンクリートやPC導孔への注入に用いられる膨張性グラウトにおいては、単位水量を減らすことができ強度を高めることができること、アルミニウム粉末は水に浮いてしまうが分散剤を溶かした水には浮かないで水中に分散するためグラウト中の分布が均一になることが期待できること、などの有利な点も生じてくるので分散剤を用いることは特に推しようされる。しかし、分散剤とアルミニウム粉末を併用することにより、注意するべき現象を生ずる可能性があることが表-13および表-15に示す実験の結果判明した。すなわち分散剤を混和すると、混和しないときにくらべて、膨張率が小さくなるから、加えるアルミニウム粉末を増加する必要が認められる。また、膨張率は水セメント比が大きくなると減少する。このことは表-15からも明らかに看取される。

表-15 各種の配合のPCグラウトの品質

w/c (%)	ポゾリス 8 粉末 (%)	アルミニウム 粉末 (%)	流下時間(秒)			ブリージング率 (%)		膨張率 (%)		圧縮強度 (kg/cm ²)			
			φ8, 1/3	φ8, 1/2	Jロート	3h	20h	3h	20h	7日 自由 抑制	28日 自由 抑制		
34	あり	0	11~12.1	17.4~20.0	16.6	1.6	0	-2.2	-2.9	569			751
		0.005				2.4	0.4	7.7	6.8	234			
		0.007				3.6	0.7	10.9	10.3	190			
		0.01				2.0	0	14.7	12.7	166			
40	あり	0	5.3~5.5	8.0~8.5	6.5~7.2	1.2	0	-2.5	-2.5	334			525
		0.005				4.3	4.2	2.6	2.6	183	250	198	300
		0.007				4.6	3.3	7.1	6.7	155	283	165	405
		0.01				4.1	0.7	11.3	11.0	95	202	141	303
40	なし	0	11~12.3	18.1~20.3	17~18.6	2.5	0	-2.0	-2.9	262			425
		0.005				1.7	0	5.7	4.5	220	336	247	388
		0.007				1.7	0	10.9	9.2	164	298	199	358
		0.01				1.8	0	14.2	13.6	147	288	160	371
46	なし	0	5.3~6.1	8.5~9.5	6	4.2	1.8	-2.5	-3.5	200			379
		0.005				4.6	0	3.8	5.3	161	254		
		0.007				3.3	0	7.5	7.6	139	255		
		0.01				3.1	0	8.0	7.8	135	207		

材 料: アサノ普通ボルトランドセメント ブレーク状 アルミニウム粉末 200 メッシュ 日曹 ポゾリス 8

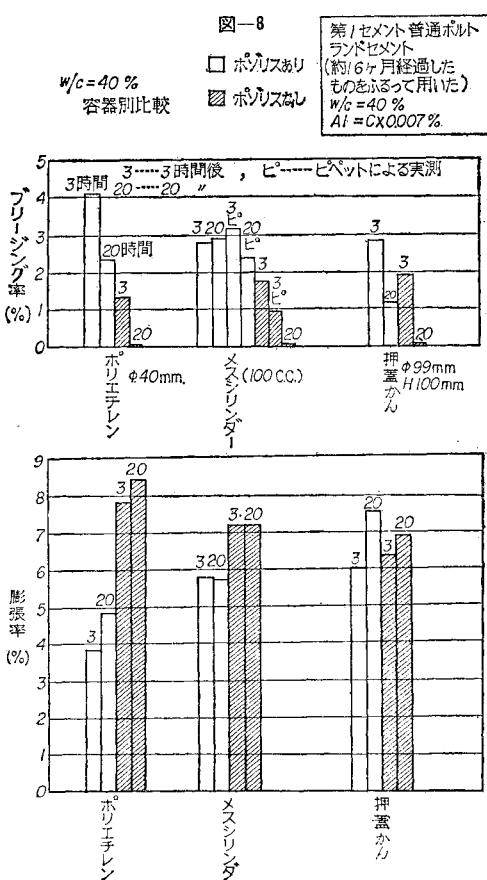
練り混ぜ: 万能ミキサ A 225 rpm 5 分練り混ぜ 室温 23~25°C グラウト温度 24~26°C

流下時間: 内径 8 mm の流出管を有するロートにグラウトを 800 cc 入れ 1/3 および 1/2 が流下するときの時間を測定した。J ロートも使用

ブリージング率: ポリエチレン袋に入れたグラウト上部に集まつた水をビペットで吸い、これを最初のグラウト体積で割って求めた。

膨張率: ポリエチレン袋に入れたグラウト体積の変化を一部水を入れたメス シリンダーを用いて測った。

図-8



以上に述べたとおり、膨張率は種々の要素により微妙に変化するから実際に用いる材料を用い、現場で施工される条件に近い状況で試験を行なって、アルミニウム粉

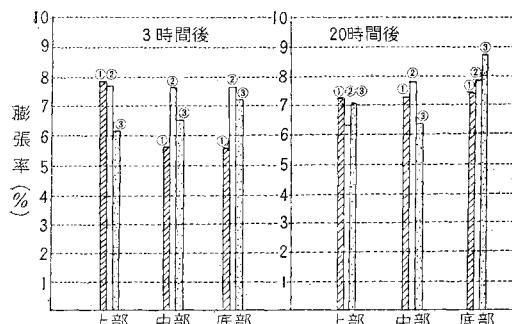
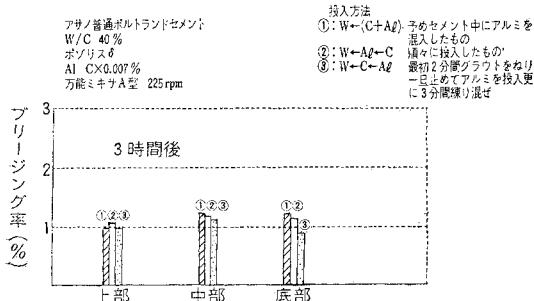
末の混和量を決めなければならないことは明らかである。アルミニウム粉末は、グラウト中で均一に分布することが必要であるが、アルミニウム粉末の投入順序によってどのように影響されるかを調べた結果は図-8 に示してある。この結果を見ると適当なミキサにより十分練り混ぜると、アルミニウム粉末の投入順序を変えてもグラウト中のアルミニウム粉末の分布の均等性に大きい影響はおよばされないことがわかる。

(4) 膨張性グラウトの試験方法についての提案

膨張性グラウトを用いる場合、実際施工されたグラウトは自由な膨張をしないことは確かであるが、膨張性グラウトの性質をきめる指標として、ブリージング率や膨張率を 20 時間以上にわたって測定するのが望ましい。この測定を行なうのに従来は、メス シリンダーを用いたり、“かん”，これにかぶせて測定基点を設ける押し込んだ、測定基点からグラウト面およびブリージングによる水面までの深さを測るためのポイントゲージを組み合せて用いたりする方法がとられてきたが、前者は、メス シリンダーの消耗がはげしいし、後者は、メス シリンダーより安いといえ “かん” が消耗すること、測定が面倒で時間がかかること、ポイントゲージの先端がグラウト面に到達したことの判定がきわめて困難であること、などの欠点を有していた。従ってメス シリンダーを用いて測るのと同様の容易さで測定することができ、しかも消耗する器具費の安価な測定方法の現われることが望ましいわけであるが、このような方法として安価なポリエチレン袋（1枚1円～2円）内にグラウトを入れ、このグラウト入りポリエチレン袋を一部水を入れておいて

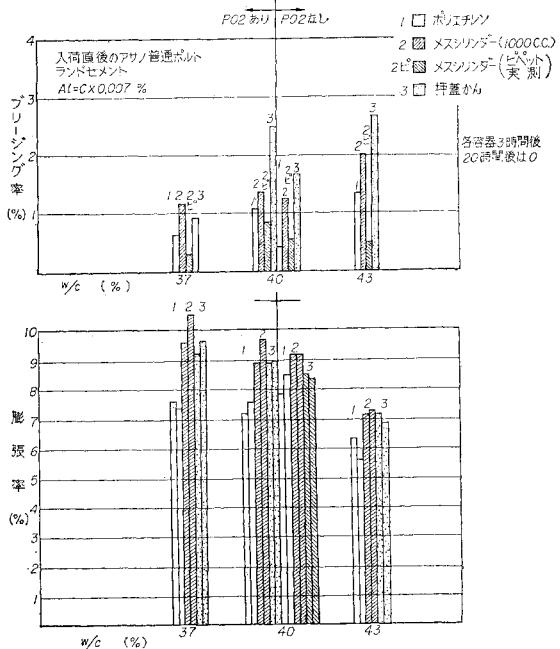
たメス シリンダーに入れ、上昇してきた水面とグラウト面あるいはブリージング面が一致したときの読みをとり、最初に入れておいた水量を差し引いて、グラウトの容積を求めることにすれば便利にまた安価に長時間にわたる測定を行なうことができる。メス シリンダー内にあらかじめ入れておく水はアルコールとしておいた方が、ポリエチレンに気泡がつきにくい点では有利である。ブリージング率を正確に求めようとすればピペットでブリージングによる水を吸い、小さいメス シリンダーに入れて測ったのち再びグラウトの上部にもどしておくことにすればよい。この新しい試験方法と従来の2測定方法を比較した実験結果は図-9および10に示してある。この結果を見ても、この新しい試験方法は十分採用できるものであると判断される。膨張性グラウトの強度を求める場合、グラウトを自由に膨張させたときと、膨

図-9



脹が起らぬよう抑制し脱水を起こさせたときとで非常に大きい差を生ずることは表-15に示されているとおりである。膨張を抑制した場合脱水を起こさせた理由は脱水を完全に防ぐことが、膨張性グラウトの試験の場合、特にむずかしいことと、実際に施工されたグラウトのおかれている状態は脱水を完全に防ぐほど水密気密には封入されていないことを考慮に入れたからである。実際のグラウトのおかれている状態はもちろん膨張が起らぬよう抑制された場合に近いこと、またそうあるべきことは明らかであるが、しかし、脱水の程度は場所ごとに相違すると思われる所以完全に同じ状態におかれたとはいえない。このことを調べるためにコンクリート

図-10



内に埋め込まれていない金属シース（縫目を有したがこの部分にはペーストを塗り、両端は栓をした）の中に封入したグラウトを後で切断し、シースを除去して圧縮強度を求め、 $\phi 5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ のモールド内で自由に膨張させた場合と、抑制し脱水させた場合の強度を比較すると表-16のとおりであった。コンクリート中に埋め込まれたシース内で抑制されるよりも抑制の程度が弱かったことと、脱水は相当起つたことが原因となったのか、シース内のグラウトの強度は自由膨張と抑制の中間に入っていた。膨張性グラウトの強度試験を行なうに当っては、上に述べた2つの方法のうち、いずれかを取るのが便利であると思われるが、得られた強度を判断する場合自由膨張の場合は実際施工されたグラウトの強度より小さい値を示していること、抑制の場合は実際施工されたグラウトの強度より大きい強度を示している可能性のあることを考慮に入れておく必要がある。

ガス発生作用による膨張圧によってコンクリートにひびわれかはいるかどうかを検討するために水セメント比37%のP C グラウトについて試験した結果によると、アルミニウム粉末をセメントの0.3%も入れ膨張率を120%近くにしたグラウトを密閉したところ $45 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上もの圧力を形成させることができることは確かめられた。しかし膨張率を10%以内とすれば圧力は大体2~3 kg/cm^2 以下であること、過大の膨張をするグラウトをかぶりの小さいコンクリート中の孔に封入してもシースの有無に関せず無筋コンクリートに何らのひびわれも生じないことも確かめられたので普通用いられる膨張性

表-16 抑制の程度を変えた場合のPCグラウトの強度

アルミニウム粉末量(%)	グラウト温度(°C)	流下時間(秒)	ブリージング率(%)		膨張率(%)		圧縮強度(kg/cm²)		曲げ引張強度(kg/cm²) ポリエチレン	
			3h		24h		φ5×10			
			3h	24h	3h	24h	自由	抑制		
0	18	8.2	1.8	1.3	-2.6	-1.7	279		上 424 449 中 460 424 下 364 30.6 上 444 33.4 中 320 385 下 314 460 上 464 27.6 中 299 351 下 440 387/399	
			2.3	3.5	-1.8	-0.9	258			
			1.8	1.7	-4.1	-3.0	276			
			2.0	2.2	-2.8	-1.9	271			
0.007	17	7.7	2.0	0	7.8	5.4	193	268	上 274 206 中 195 243 下 295 232 上 164 中 195 214 下 265 上 358 中 193 284/247 下 297	
			1.7	0	5.4	5.6	214	350		
			1.5	0	5.8	5.0	198	372		
0.014	18	8.0	0.8	0	20.1	19.1	110	302	上 237 205 中 210 221 下 233 203 上 114 188 中 185 185 下 276 277 上 175 208/205 下 195	
			1.3	0	19.6	20.0	102	308		
			1.1	0	20.1	20.9	93	361		

材 料: チヂブ社 普通ポルトランドセメント ポゾリス 8 200メッシュ アルミニウム粉末
配 合: 水セメント比 40% ポゾリス 8 C×0.25% Al=C×0.007, 0.014%

練り混ぜ: 万能ミキサ A型 225 rpm 3分練り混ぜ

流下時間: ブリージング率、膨張率の測定は土木学会PCグラウト試験方法 1,3 章によった

抑制方式:

自由: φ5×10 cm の型わく内に投入し抑制せず

抑制: φ5×10 cm の型わく内に投入し鉄板ボルトで抑制、脱水は起こる

シース内; 内径約 3.2 cm のシース内に封入、縫目その他から脱水

ポリエチレン; グラウトを入れたとき径が約 5 cm になるポリエチレン袋に入れて抑制しない

グラウトがひびわれの原因になることは一般に考えられないといってよいと思われる。しかし過大の膨張圧を生ずることは避けるように注意しなければならない。

プレパックドコンクリートにおいては、従来 φ15×30 cm あるいは 15×15×53 cm のモールド内に粗骨材をつめたのち、グラウトを注入し圧力を保持した状態において、プレパックドコンクリートについて強度を求めて品質管理を行なっていたが、しかしこの試験は面倒であるから試験の回数を減らし、常時の品質管理は自由に膨張させたグラウトについて求めた膨張率について行なうことに対するのが便利であると判断される。このことは、

図-2を見ても可能であると判断できる。

8. 結論

微細な空げきてん充のための注入工事全般について総合的な考察を加え、注入対象としての各種の空げきの分類を試みた結果、工事の種類ごとに別々に取扱われていた注入分野を空げきとしての共通性に着目して考えることによりグラウトの選択に関する限り次の 10 の見地から分類して論ずるのが適當であると思われた。すなわち (1) 空げきの大きさ、(2) 空げきの長さ、(3) 空げきの一様性、(4) 周壁の状態、(5) 注入目的、(6) 含水状態、(7) 温度、(8) 有害物の有無、(9) 実態把握の程度、(10)ある箇所のてん充を反覆注入によることが可能かどうか、などの諸見地である。

グラウトとしてはセメントだけを用いると一般に最も施工が容易で経済的であり強度も高くなるのであって、岩盤その他の硬地盤の割目にはこの種のグラウトが適する。しかし、セメントだけを用いたのでは注入予定範囲の空げきをてん充し満足な注入効果を得ることが不可能となる場合も多い。このような場合、特に対象とする空げきが小さいためセメント粒子が浸入しえないような微細な空げき、注入圧をあげるとセメントグラウトが逸脱する空げき、

ラウトが逸脱する空げき、例えば圧力をかけることにより空げきが容易に地表まで通ずるような空げき、セメントグラウトの沈下収縮によって悪影響が起こる空げき、例えば、プレパックドコンクリートの注入のようにある箇所のてん充を反覆注入によって行なうことが一般に困難な空げき、などの 3 つの場合において重要な問題が未解決のまま残されている。このような場合のグラウト選定について実験および現場試験をくり返した結果、セメント粒子が浸入しえないような微細な空げき、注入圧をあげるとセメントグラウトが逸脱する空げき、などに対しては複合グラウトを用いるのが最も有利である

ことが明らかにされた。また、セメントグラウトの沈下収縮によって悪影響が起る空げき、などに対しては膨張性グラウトを用いるのが適当であることが確かめられたのであって、本研究の範囲内で次のようなことがいえると思われる。

複合グラウトについて

(1) 満足な注入を行なうためには空げきの実体をより正確に判断することが重要であることはいうまでもない。一般に注入前空げき洗滌、周壁飽水の目的で注入を行なうが、この注水によってある程度まで空げきの状態を推定できる。この注水に引き続き固化時間の長い少量のセメントで処理した水ガラスの上ずみをさらに注入すれば、空げきの状態を一層正確に把握するための資料が得られる。それは粘性の違う2種の流体の注入量から空げきの大きさを診断できるからである。なお、水ガラスをあらかじめ注入しておけば、事後のセメント注入にさし、潤滑作用と周壁への逸水軽減という効果を得ることができるので有利であると思われる(空気の注入量から空げきの大きさその他を調べるのも有効であろう)。

(2) 微細で複雑な空げきに対する注入としては地盤注入、特に軟地盤注入をあげることができるが、これらに対する注入には一般にセメントグラウト用併用材料として水ガラスを加えた複合グラウトすなわちC水ガラス、さらに混和材料としてペントナイトを加えた複合グラウトすなわちBC水ガラスを用いるのが適当である。この場合注入可能であれば上ずみだけでなく以上に述べた複合グラウト全体を注入するのが有利である。適当な配合のC水ガラス系グラウトとセメントグラウトとを併用することにより広範囲にわたる複雑な地盤注入の分野をカバーすることができる。

(3) 水ガラスはモル比によって粘性その他に大差があるが一般にC水ガラス系グラウトに対してはモル比の大きい水ガラスを用いる方が効果がすぐれている。経済的見地からいってもモル比の大きい水ガラスを用いることは格段に有利である。ただし固化時間を30分以上というように長くしたいときにはモル比の小さい水ガラスを用いる方が適当なこともある。C水ガラスの配合としては水ガラスが多いと不経済であるし、水が多すぎると固結度が弱いので水ガラスと水の比を5:5から3:7の範囲とするのが適当である。セメントの使用量はセメントの種類、固化に要する時間、温度、などによって変化するので注入工事に先立ち実験によって定めておかなければならぬ。固化に要する時間を判定するには内径4mmの流出管を有するロートを流下させる場合の流下時間の増大、および流下の停止から判定するのが便利であることが現場試験の結果明らかにされた。

(4) グラウトが注入予定範囲から逸出するとき、例えば空げきが地表まで連続している場合逸出をとめる手

段としては注入作業を中断するのもよい方法であるが、特に流水がある場合にはおがくず、大豆その他の粗粒を混ぜて注入するのも有効である。しかし注入用ポンプのバルブやホースにつまる危険性が大きくなる。細粒グラウト用に設計された注入ポンプを用いる限り水ガラスを混和材料ないし併用材料として用い、セメントグラウトが地盤中で急結するようにするのが適当と判断される。水ガラスはモル比の大きいものを用いる方が急結効果や経済の点ですぐれているが余りモル比の大きい水ガラスを用いると沈殿物を生じる懼があるので実用的にはモル比を3.8(4号)程度とするのが適当と判断される。

(5) 注入最終期に当ってセメントグラウトその他の固化するグラウトで注入孔が満たされていると再ボーリングの必要を生ずるので最終期には固化しない純ペントナイトグラウトに切り換えて圧力を保持しておくと有利である。

(6) 注入が満足に行なわれたかどうかを判定するのにはきわめて重要であるが、コアによって判断することは一般にきわめて困難であるし、また掘削によって判断することも肉眼で観察できる点では有利であるが一般には実施が困難である。止水を目的とする場合、この判定には水圧試験によって所期の水圧にたえる止水壁が形成されているかどうかを試験して判定するのが最も適当であることが明らかにされた。なお、コアを取ってアルカリ反応を調べることはセメントグラウト中から逸出した水が到達したかどうかを示すだけであって、セメント粒子が到達したかどうかを必ずしも示さないから決定的な意味は持たないと判断された。

膨張性グラウトについて

(1) セメントグラウトの沈下収縮によって悪影響が起る空げきに対しては膨張性グラウトを用いるのがよいと判断される。グラウトはまだ固まらない間の適当な時間までに適量の膨張を示さなければならないが、このためにはガス発生剤としてアルミニウム粉末その他を用いるのが最も有利である。すなわち、これを用いたものはアルミニウム粉末を変えることにより膨張率を容易に変えることができること、小さい気泡が一様に分布されること、膨張率が適当な範囲内にあれば膨張を抑制された場合にも周囲に悪影響をおよぼさないこと、などの諸点においてすぐれている。

(2) アルミニウム粉末にはフレーク状、粒状、針状およびアトマイズド状のものがある。これらについて比較検討した結果、フレーク状を除く市販品はすべてガス発生剤として無効であること、ステアリン酸被膜を適量有するアルミニウム粉末は湿度の高い室内に放置してもガス発生剤としての効果を失わないこと、などが明らかにされた。

(3) アルミニウム粉末をグラウト中で均一に分布さ

せるためには水中で分散させる必要があるが、このためにはセメント分散剤を併用するのが有効である。アルミニウム粉末のミキサへの投入順序は練り混ぜを十分に行なう限り、アルミニウム粉末分布の均一性に大きい影響をおよぼさないようである。アルミニウム粉末と分散剤との両者を混和したグラウトは膨張性グラウトとして現在のところ最もすぐれたものと判断される。

(4) グラウトの膨張率が小さすぎては膨張性グラウトとして特性を十分發揮しない恐れがある。また膨張の抑制が十分である場合には膨張率がいくぶん大きくても支障のないことは実験的に確かめられた。しかし余り大きい膨張率を許すと周囲のコンクリートその他に悪影響をおよぼす恐れもあるので、例えばプレパックドコンクリートの場合には約5%まで、PCグラウトの場合には約10%まで、とするのが一般に適當であると思われる。

(5) グラウトの膨張率は温度、水セメント比、などによって大巾に変化するので、アルミニウム粉末の混和量はなるべく現場に近似した状況のもとで行なった実験から定める必要がある。膨張率の測定に当っては従来は一般に3~4時間で打ち切られていたが、20時間以上にわたって測定することが必要なことが確かめられた。この測定を行なう場合、グラウトを入れた容器が回収不能となる不便がある。この不便を解消するための方法としてポリエチレンの袋にグラウトを入れたものを用い水を一部満たしたメスシリンダーの中にこの袋をそう入してグラウトの体積変化を測る方法を提案したが、この方法の信頼性その他について実験を重ねた結果、精度もほぼ満足なものであり操作も簡単であることが確かめられた。

(6) 膨張性グラウトを実用する場合、特にPCグラウトの場合などでは自由な膨張が妨げられているばかりでなく、ガス発生作用にもとづく圧力によって自動排水作用も起こるのでグラウトは強化される傾向にある。従って自由に膨張させて求めたグラウトの膨張率が相当大きくても実用上には支障のない場合の多いことが実験的に確かめられている。しかし抑制の程度および脱水の程度を現場におけると全く同様にして試験を行なうことは一般に困難であるから、グラウトの品質管理に当ってはグラウトのコンシステンシー、自由に膨張させた場合の膨張率および強度をパラメーターとするのが適当であると思われる。PCグラウトのコンシステンシー測定装置としては数種の方法が慣用されてきたが、ロート内に有溝コーンをそう入したJロートを用いる方法がグラウトのコンシステンシーの変化を鋭敏に反映すること、グラウトの粘性が大きく全部が流下しないときにも測定できること、測定が簡単であること、などの点で従来の方法よりも有利であることが実証された。

(7) グラウトの強度試験を行なう場合に、供試体のグラウトに対して膨張抑制の程度、脱水の程度および温

度を現場におけるグラウトと全く同じ状態に保つことは(6)でも述べたようにほとんど不可能である。従って得られたグラウトの強度試験値を論ずる場合には供試体グラウトの抑制の程度、脱水の程度および温度、などについて考慮を払う必要がある。

参考文献

- 1) 渡辺賀・有馬宏・石川九五:「セメント注入」,(昭和29年)
- 2) 鉄道省熱海建設事務所:「丹那隧道工事誌」,(昭和11年)
- 3) 土木学会:閑門隧道,(昭和24年)
- 4) ハンスイエーデ著・樋口芳朗・吉田迪雄訳:「セメント薬液注入工法」,(昭和35年)
- 5) Chemical Grouting : Proc. ASCE, Paper 1426 (1957)
- 6) Karol R.H. : "AM-9 Chemical Grout and its Application in Underground Mine Workings", Annual Meeting of the National Western Mining Conference, (1959)
- 7) 樋口芳朗:「注入コンクリート」,鉄道技術研究所中間報告1954-3.
- 8) Oska Völter : "Der Einpressmörtel, die Einpresstechnik und die Spanngliedkonstruktion", B.u. Stahlbetonbau (1959-3).
- 9) 杉本六郎・吉田迪雄:「エロセム工法に用いる多量の空気を含んだモルタルの性質に関する実験」,鉄道技術研究所報告 39 (1958).
- 10) Machis, A. : "Experimental Observation on Grouting Sands and Gravels", Trans. ASCE, 113 (1948)
- 11) Kennedy, T.B. : "Pressure Grouting Fine Fissures", ASCE, Paper 1731 (1958).
- 12) Menzel, C.A. : "Some Factors influencing the Strength of Concrete containing Admixtures of Powdered Aluminum", Journal ACI (1943-1).
- 13) Concrete Manual (1955).
- 14) エンベッコという名称で市販されている。
- 15) "Vorläufige Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spannknäle," B.u. Stahlbetonbau (1957-12)

本論文の詳細は以下にあげる鉄道技術研究所報告上で発表する予定である。

「地盤注入用グラウトについての研究」、「PCグラウトについての研究」、「プレパックドコンクリート用グラウトについての研究」

なお、鉄道技術研究所速報上では以下のように報告すみである。

- 1) 樋口芳朗:「セメント注入用混和材料としての各種アルミニウム粉末の比較試験」,速報 No. 58-242 (昭和33.12).
- 2) 樋口芳朗:「セメント注入用ガス発生剤としてのアルミニウム粉末の有効度に及ぼす酸化ならびに温度の影響」,速報 No. 59-113 (昭34.1).
- 3) 構造物研究室・地質研究室:「本土四国連絡鉄道の内明石塩谷附近注入試験報告」,速報 No. 59-133 (昭34.4)
- 4) 構造物研究室:「津軽海峡連絡鉄道調査報告渡島当別地区における昭和34年度注入試験」,速報 No. 59-322 (昭34.12).
- 5) 樋口・西郷・杉山・吉田・小沢:「地盤注入用グラウトとしての改良不安定水ガラス」,速報 No. 60-6 (昭35.1).
- 6) 樋口・二宮・杉山:「建設工事における水ガラス使用にあたっての注意」,速報 No. 60-139 (昭35.6)
- 7) 樋口・池田・石井・白井:「北陸トンネルにおける破碎帶突破の止水注入について」,速報 No. 60-143 (昭35.6).
- 8) 樋口・西郷・杉山:「プレパックドコンクリートの強度」,速報 No. 60-185 (昭35.7).
- 9) 樋口・二宮・西郷・杉山:「PCグラウトについての諸実験」,速報 No. 61-17 (昭36.1).

(原稿受付: 1961.9.15)

STUDIES ON ADMIXTURES OF CEMENT GROUT FOR FILLING FINE VOIDS

By Dr. Eng., Yoshiro Higuchi, C.E. Member

After reviewing the whole scope of grouting work in civil engineering, it is pointed out that proper classification of voids to be grouted is most important to treat the grouting technique as a branch of science. And after the survey of the history of cement and chemical grouting, it is concluded that the study of admixtures or co-operating materials for cement grout which will facilitate the penetration into fine voids or expand the grout before it hardens is especially essential. As the co-operating material to improve the penetrability and water-retentivity of grout, sodium silicate (commonly called water-glass) is adopted and thoroughly investigated. The author claims that by combining cement and sodium silicate (called hereafter C-water-glass), cracks larger than about 0.01 mm or voids among soil particles larger than about 0.1 mm can be treated successfully. It is made clear that sodium silicate with higher mol. ratio is less viscous, inexpensive and the hardening time of C-water-glass varies less with the change of waterglass/water ratio. However, sodium silicate with lower mol. ratio should be used, when the hardening time is requested to be longer than about thirty minutes. In laboratory test using steel mould, it is found that the C-waterglass penetrates into fine voids better, when cement particles as sediment are removed, however in field test in sandy layers successful water stop effect can be obtained, even if C-waterglass is used as a whole, this is probably due to the fact that the void in the ground will vary in the course of grouting and eventually larger voids are mainly filled with cement particles and smaller voids are filled by waterglass. When C-waterglass is to be used as a whole, bentonite will be useful to prevent the settling of cement particles. It is also pointed out that sodium silicate with higher mol. ratio is more effective as quick-setting admixtures for cement grout.

Quick-setting cement grout is referred to as most effective, when the grout escapes from the area to be grouted. Hitherto, the amount of water injected into a boring hole has been regar-

ded as the only criterion for guessing the groutability of the ground, but the amount of C-waterglass with longer hardening time is claimed to be a valuable means for guessing the groutability more accurately. (So also the pressure-dropping rate of a certain amount of compressed air when connected to void.)

Expansive grout is especially recommended for prepacked concrete or P C grout (grout for filling voids around high tension steel for prestressing), and many tests were done with various aluminium powder. It is concluded as follows, the combined use of cement dispersing agent and aluminum powder is essential, and that only the aluminum flake powder with stearic acid coating is effective as gas producing admixtures (grain-, needle- and atomized-shaped aluminum powder were all ineffective), such aluminum powder will not become ineffective by moist storage condition (even immersion of the powder in water for a few days does not affect the effectiveness, this fact together with the fact that cement dispersing admixtures also disperse aluminum powder in water may be advantageously utilized for obtaining good distribution of aluminum powder in the grout), the amount of expansion of grout increases with the rise of temperature (such simple conclusion cannot be obtained for bleeding), water will be extracted from the grout, when the expansion is restrained, thus decreasing the so-called freezable-water/air ratio, although pressure exceeding 45 kg/cm² can be obtained in closed vessel by gas producing effect of excessive amount of aluminum powder, no crack will be caused by pressure produced with the usual amount of aluminum powder, the amount of expansion can be conveniently and economically obtained by measuring the volume change of grout poured in cheap polyethylene bag, by inserting the bag into glass measuring cylinder with some water, the degree of restraint and leakage should be carefully taken into consideration in judging the strength data of expansive grout.