

## ボーリング孔からのグラウティングの話

グラウティング(grouting)とは 地盤の中にセメントベントナイト あるいは特殊な薬液を注入して地中で凝結させ 空洞 空隙を充填して地盤を強固にすること あるいは地中の水脈の一部を充填材で埋め 地盤の開さく 掘さく有害な湧水 漏水を防止し 工事の安全を容易にすることである。

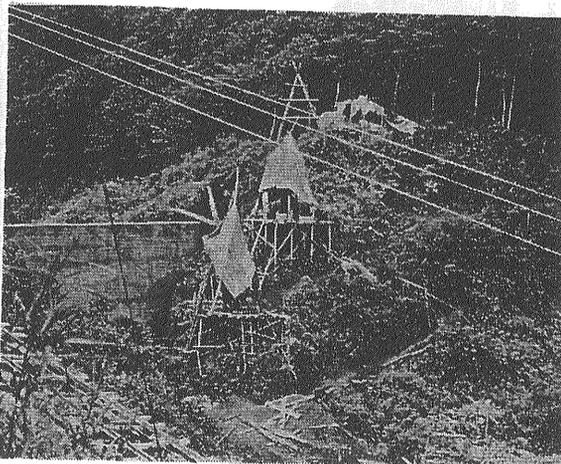
近年産業の著しい発展に伴い土木・建築工事が盛んに行なわれているが それらの工事を完成させるためにボーリングおよびグラウト工法が果たしている役割はきわめて大きいものがある。たとえば黒部第4ダム建設工事の際に行なわれた第2号トンネル(長さ約3,530m)の掘さくにおいて ほぼその中間地点でフォッサマグナとして知られている大規模の破砕帯に遭遇し 一時は全箇所からの最大湧出量が 660 l/sec(約40t/min)という大出水に見まわれたこともあり 約7ヵ月間も足ぶみしたことは有名な話である。この際の突破工事において 地質調査用 グラウト用 水抜き用として掘ったボーリングは124本 延べ約2,900mにも達している。そして湧水防止法としてセメントグラウト ケミカルグラウトが種々研究を重ねられつつ実施された結果 頂設導坑における豪雨状の2,700 l/minの湧水がポタポタ程度にまで減退させることができたと報告されている(結果的には融雪期が峠を越したこと 水抜き孔が効果的であったことも原因していた)。

もう1つの特例として海底トンネルの掘さくが挙げら

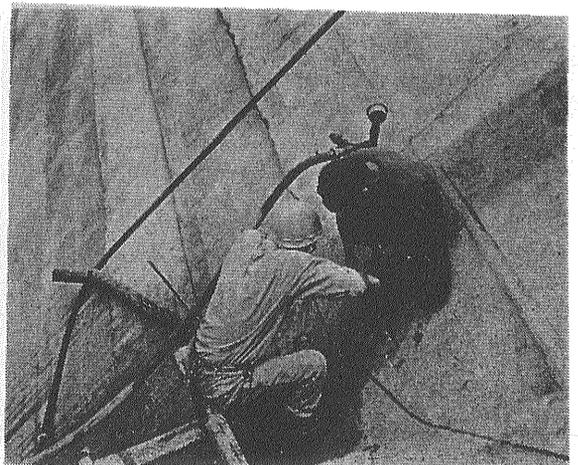
野口 勝・河内 英幸  
れる。前記のように陸上のトンネルの場合 適当な上り勾配で掘さくすれば自然に湧水はトンネル外に排水されるし 湧水源も限られた範囲内にあるが 海底の場合は湧水源のリザーバーは無量大であり しかも坑内湧水はすべてポンプで地上に排出しなければならない。このようなことから先進ボーリングで前方の状況をまず察知し 必要があれば止水グラウトをどんどん行なって安全を確認したうえで開さくを進めていかなければならない。このようにボーリングおよびグラウト工法はきわめて重要かつ大切なことである。

上記のトンネル掘進の時ばかりでなく 鉱床探査のボーリングにおいても 止水グラウトは重要な使命を帯びている。特に坑内からの探鉱ボーリングでは多量の湧水に遭遇することが多く 時には折角の孔を放棄しなければならないことも起こる。各鉱山における坑内探鉱ボーリングにおいて 多くの湧水例を見うけるが その中で特に大量湧水のもの数を挙げてみると 東邦亜鉛・南越鉱山では斑礫岩中の水平ボーリングにおいて15~30kg/cm<sup>2</sup> 1t/min(46mm 孔径)の湧水に遭遇することがある。この場合 従来のホイスタング スイベルでは掘進できないので 特殊の簡易ロッドリフターを考案し 高圧湧水層でも掘進可能となった。

日本鉱業・日立鉱山の太雄鉱床の北域では緑色片岩層が広く発達しており その北西域には圧砕石英閃緑岩の



ダム工場のボーリング



ダム壁のキレツにセメントミルクの注入中

貫入が見られるが この個所の水平探鉱ボーリングではしばしば多量の湧水に遭遇する。ある試錐孔では深度27m個所では80ℓ/min 14kg/cm<sup>2</sup>であったのが49m個所では遂に900ℓ/min 18kg/cm<sup>2</sup>にまで達した。また別の試錐孔では深度150m付近で1500ℓ/min 32kg/cm<sup>2</sup>に達する湧水に遭遇したが 両者とも保安上の立場から錐進作業を中止せざるを得なかった。しかしこの間 ロッド昇降装置・ロッド突出保護具などを考案し 作業の安全を確保しながら能率向上を計っている。

三菱鉱業・生野鉱山では石英粗面岩・凝灰質岩の中を錐進中 深度30m付近から100ℓ/minの湧水が始まり 深度100m付近では1200ℓ/min 23kg/cm<sup>2</sup>(AX孔)に達する個所もあった。この際 新規の逆水工法を考案し利用したところ 普通工法の2倍近い能率を挙げながら400mを無事完工させたといわれている。

三井鉱山・神岡栃洞坑の坑内探鉱ボーリングでは300~500ℓ/min 15~20kg/cm<sup>2</sup>の湧水をみることがある。坑道掘進につれてこの湧水は前へと移動するので セメンテーションは余り効果がないようである。このため 所定深度のボーリングを達成するために 湧水個所の突破には 一時ポンプを止めて 湧水の逆利用によって成功を収めている。

接触鉱床の同和鉱業 赤金鉱山では3,500ℓ/min 10kg/cm<sup>2</sup>の湧水に遭遇したことがある。この際セメンテーション ケミカルグラウティング 泥水工法 ケーシング工法などいろいろと試みてみたが 結局何れの場合も錐進不可能のようであった。

以上は大湧水個所の数例をあげたのであるが このような多量湧水の場合には何れもセメンティング グラウティングは無理であって 一時的に突破しているにすぎない。しかしグラウティング工法(材料・器具共)の技術が現在より一段と進歩し 上記のような湧水を簡単に止めることができるようになれば 試錐作業の安全確保ばかりでなく 探鉱ボーリング 坑道・トンネル掘進の上で大きな飛躍を遂げるものと思われる。

この外 試錐孔の逸水(泥)現象も掘進上 また地質論査・検層の面で困った問題である。一般的にいえば 堆積岩の場合 泥水濃度を一段と濃く調合するか 各種の逸水防止材を添加して防止している例が多いが 火成岩類の小さな亀裂では適当濃度のセメントミルクを注入するか これに逸水防止材を添加して防止しているのが普通である。大きな亀裂の場合には その大きさにもよるが セメンティング・ケーシングの外に適量の大豆を利用して成功した鉱山もある。また別の鉱山ではセメントミルクに水ガラスを適量調合して成功した例もあ

る。これによると

- (i) 2液注入のためゲルタイムが自由に調整できること
- (ii) 硬化待ち時間が省けること
- (iii) 追切り作業が不要になること
- (iv) 注入材料がセメントのみの場合よりも少量ですむこと

などの利点を挙げている。

## 1) 目的による分類

### A) トンネル・坑道工事

#### i) 止水グラウティング

トンネル・坑道の開さくにおいて 前例のごとく掘進切羽が多量の湧水・漏水に遭遇し 掘さく作業が著しく阻害されることがある。この弊害を除くために先進ボーリングを多方面に多数行ない この孔からグラウト材を圧入し 湧水を止めることを止水グラウティングといっている。また鉱床探査のボーリングでも多量の湧水に遭遇し錐進に支障をきたす場合もあるがこのときに行なう湧水止めのグラウティングもこの分類に入る。

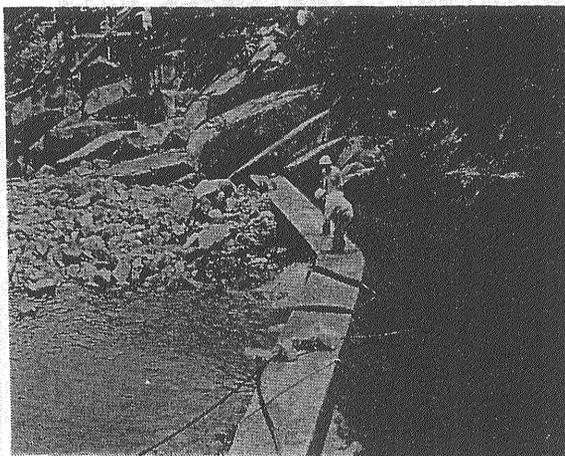
#### ii) 裏ごめグラウティング(充填グラウティング)

トンネル・坑道の開さくにおいて 掘さく後の落石 落盤を防止するために全面コンクリートの巻きたてを行なっているが この際岩盤との間に生じた空洞・空隙をセメントミルクその他で充填する工法を裏ごめグラウティングといっている。(第1図)

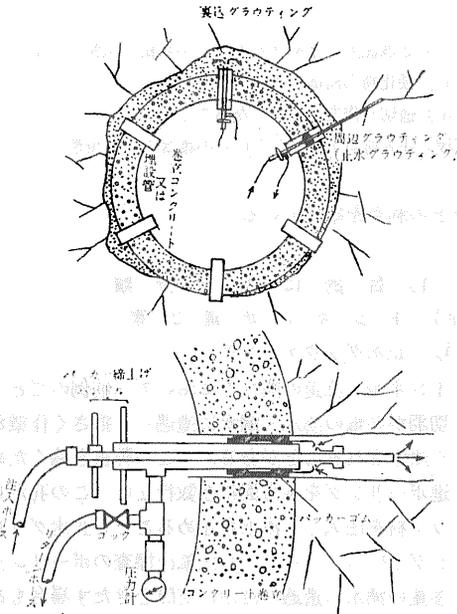
### B) ダム工事

#### i) カーテングラウティング プランケットグラウティング

ダムの基底部およびその両岸で ダムのアーチに沿っ



ダム工事における漏水調査(色赤による調査)



第1図 周辺グラウンド工法

て 平行に数列のボーリング孔をあけ 基礎岩盤内にグラウティングすることによって止水カーテンを形成し 貯水池からの浸透水を防止する工法をカーテングラウティングといている。この際注入材の漏水を防ぐ目的で施工されるのがブランケットグラウティングで これは常に浅い注入孔を掘り表層注入を行なうことをいっている。

ii) コンソリデーショングラウティング

ダム基礎の支持力の強化 漏水防止およびシーム処理を目的とし ダム底面および左右両岸全般にわたって施工するグラウティングのことで ダムコンクリート打込み後の自重による不等沈下を防ぐため 打込み直後に施工する第1次コンソリデーションと その後に

施工する第2次コンソリデーショングラウティングとに分けられる。一般にグラウト孔の深度は5~15mのことが多く 注入圧も岩質によって異なるが 10 kg/cm<sup>2</sup> 以下が普通である。

iii) コンタクトグラウティング

ダム本体と基礎との密着部に注入するグラウティングのことであって 河床部分ではカーテングラウティングおよびブランケットグラウティングの一部とも考えられる。注入孔の深度は2~3m程度で これを多数掘り止水壁にかわるべき止水帯を作りあげる。同時にダム本体と基礎の間にも注入材を流入して漏水を防ぐのである。

iv) 収縮ジョイントグラウティング

ダム本体の収縮を防ぐため注入孔を施工途上で設けておき グラウティングにより工事を完成させる目的に使われる。

C) 基礎改良グラウティング

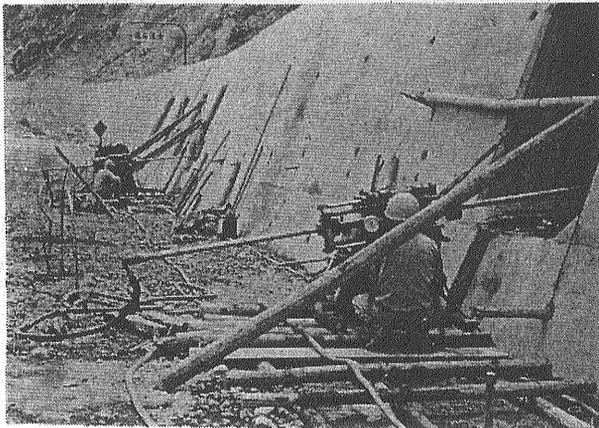
各種構築物の基礎の支持力を増強させるために行なうグラウティングのことを改良グラウティングと呼んでいる。

i) 空隙グラウティング

地盤の空隙に対して注入材を滲透させ 土壌粒子を注入材で固結させる方法を空隙グラウティングと呼んでいる。

ii) 空洞グラウティング (補強グラウティング)

基礎の下部にある土壌の一部を水または空気などによるジェットで排除し そこにグラウト材を注入する方法をいう。



モルタル注入工法



壁道坑内セメント注入

### iii) 混和法

基礎予定地の軟弱土壌を一時取り除いてこの土壌と安定剤とを混和しふたたび元のところに戻し基礎地盤を強化する方法をいう。

## D) 注入材料による分類

i) 粘土系：モンモリロナイト質のベントナイトが使用されるのでベントナイトグラウトと呼ばれている。

ii) セメント系：ポルトランドセメントがおもなのであるがこのほかにも高炉セメント シリカセメント フライアッシュセメントが材料として使用される。この系列の中に次のようなグラウトが含まれる。

セメントペーストグラウト：セメント・水  
セメント・粘土グラウト：セメント・水・ベントナイト  
セメントモルタルグラウト：セメントモルタル・砂・ベントナイトまたはフライアッシュ・水  
エアモルタルグラウト：セメント・砂・ベントナイトまたはフライアッシュ・水・発泡剤または起泡剤

iii) アスファルト系：アニオン系乳剤とカチオン系乳剤とがある。

アスファルト乳剤は比較的軟かい石油アスファルトを乳剤や安定剤を含んでいる水中で分散させたものである。乳剤粒子の粒径は一般に0.5～6.0 $\mu$ である。乳剤中にはアスファルトを50%以上含有している。使用目的に応じて乳化剤・安定剤により分解時間を調整することができる。比重は1.00～1.04 粘度は約10<sup>4</sup>ポアズ。乳剤を長く貯蔵したり凍結させると分解する。乳剤が骨材と接したとき水分の吸収 蒸発などが起こり分解する。以下(iv～vii)は第①表ケミカルグラウト一覧表参照

### viii) その他

セロハングラウト：セロハンその他逸水防止剤・水  
スライムグラウト：選鉱スライム・水

## 3) 工法による分類

### i) 一段式グラウティング(シングルステージ法)

最初に予定深度までさん孔し口元パッカーを使用して全深度に対して一気に注入剤を注入する方法をいう。小さな割れ目をふくむ比較的堅硬な岩石に適し次の利点がある。

- ① 設備費が安い
- ② セメントの損失が少ない
- ③ グラウト圧の調整が容易である

しかし割れ目の大きさや地層の種類に応じて注入材の種類を変えたり深度の変更ができないので割れ目の多いところではある割れ目に全然注入されないことも生じる。

### ii) ステージ法およびパッカー法

ステージ法はある一定の深さまでせん孔してセメント注入を行ないさらにその孔を深くせん孔して一定の深さでセメント注入を行ない最終深さに達するまでこれをくり返して行なう方法である。これに対してパッカー法は一段式グラウティングと同様に目的の深度まで一気に掘さくしてしまうのであるが注入材の注入はパッカーを使用し孔底から上部に向かって数段階にわけて行なう方法をいう。この方法は注入する割れ目の種類により注入材の種類濃度を変更することができるので効果が高い。

### iii) ゾーン法(反覆法)

グラウティングすべき割れ目が多数ある場合にグラウト孔の掘さくは予定深度より浅いところで止めそこで第一段階の注入を行ないグラウト材が固結すると引続いて同一孔をさらに掘り下げてグラウティングし掘さくと注入を繰り返しながら目的深度を完成させる方法をいう。この場合比較的高い注入圧が用いられるし注入材の種類を第1回セメント第2回は薬剤というように場所に依りて変えることができるなどの特長をもつ。通常1つの注入孔からは3回以上繰り返すことはまれである。

### iv) 誘導法(真空法)

土質改良のためのグラウティングにおいて不透水性の地層では注入孔のほかにウエルポイント孔を設け注入孔から注入材を注入すると同時にウエルポイント孔から真空吸水を行ない注入材の浸透性を高める方法を行なっているがこの方法を誘導法といっている。やや硬質の地盤でも割れ目の多いところではこの方法が応用されることがある。

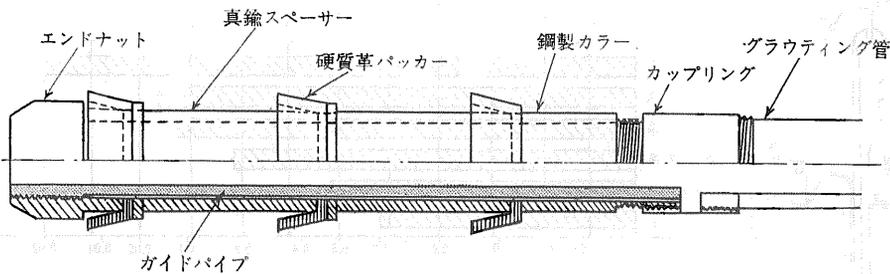
## E) パッカーの種類

- a カップレーザ型パッカー
- b ゴムリング型パッカー
- c エアパッカー

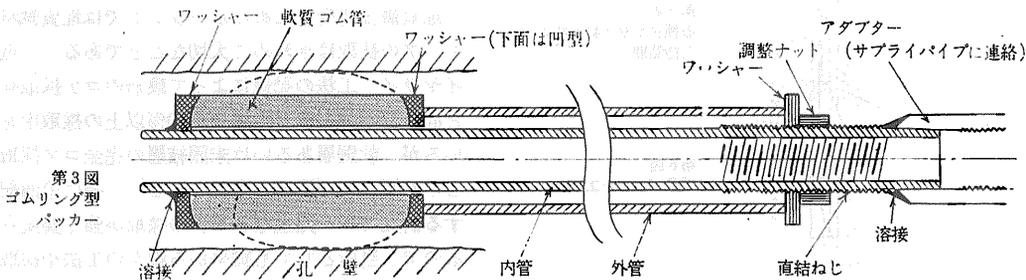
第1表 ケミカルグラウト用材料一覧表

(参考文献 1) 2) より)

商 品 名	成 分	標 準 配 合 液 の 性 質				一軸圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	透水係数 cm/sec	メーカ	
		比 重	粘 度	P H	ゲルタイム				
IV 水 ガ ラ ス 系	ケイ酸ナトリウム 9種あり							大阪硅酸曹達	
	M-I(ケミセクト)	A液:(主剤)ケイ酸ソーダ B液:アルミン酸ソーダ	1.30	5 ~ 7 cps	>13	数秒~数分	直後 8.0kg	日本綜合防水	
	L-W(不安定水ガラス)	A:(主剤)ケイ酸ソーダ B:(A剤)セメント(B剤)ベントナイト	(配合1) 1.15 1.20 (配合2) 1.15 1.15	7 ~ 10 2 ~ 3	>13	数秒~数分	直後 8.0 4.2	10 <sup>-4</sup> 日本綜合防水、三環建設、ケミカルグラウト、日工業が実施工事、日本硅酸工業	
	F・W	A:(主剤)ケイ酸ソーダ B:(A剤)セメント(B剤)リン酸と酢酸						同上	
	コンソリダー	A:(主剤)ケイ酸ソーダ(B液)硫酸アンモ B:(B剤)炭酸カルシウム		初期 2.4~2.8 (20℃)			6 ~ 7	3.5×10 <sup>-7</sup>	大阪防水建設
	ハイドロック	A:(主剤)ケイ酸ソーダ(A剤)重炭酸ソーダ B:(B剤)ケイ沸化ソーダ					5 ~ 6		三井建設
	ロックヒル	A:(主剤)ケイ酸ソーダ B:(硬化剤)(促進剤)	1.10~ 1.30	3 ~ 5	9.5~ 10.0	10分(20℃)	12.14(I型)直後 3.05(II型) 10.08(III型)	10 <sup>-5}~10<sup>-7</sup></sup>	フルーザー工事
	三洋サンソルト (G.C.S)	A:(主剤)ケイ酸ソーダ(A剤)過マンガン酸カリ B:特殊有機硬化促進剤	1.127	2.4	1.13	20分(20℃)	直後 2.55	10 <sup>-4}~10<sup>-5}</sup></sup>	三洋化学工業
	ポリビニールアルコール (P.V.A)	A:(主剤)PVA水溶液(ゲル化助剤)a,b,c剤 B:ケイ酸ソーダ	1.07 (20℃)	100~200	3.8	瞬時~24時間 (10%で5~6時間)			倉敷レイヨン
	エムケークリート 1号	A:(主剤)無機塩硬化剤(助剤)ゲル化抑制剤 B:ケイ酸ソーダ溶液	1.15 (10℃)	4.5 (10℃)	7.8	2分(20℃)	直後 0.5 3.2(直後6時間)	10 <sup>-5}~10<sup>-7</sup></sup>	二井金属鉱業
エムケークリート 2号	A:(主剤)セメント B:ケイ酸ソーダ化学処理液	1.42 (10℃)	5.1 (10℃)	12.0	1分~2分 (20℃)	51(直後6時間)	10 <sup>-5}~10<sup>-7</sup></sup>	三井金属鉱業	
V リ グ ニ ン 系	サングラウト	A:(主剤)変性リグニンスルホン酸塩 B:(硬化剤)重クロム酸ソーダ (促進剤)塩化第二鉄、他に硫酸銅など	1.105	2.5	4.0	15秒~90分	5.4(直後)	10 <sup>-8}</sup>	山陽バルブ
	スマライトレジン	A:(主剤)フェノールホルムアルデヒド樹脂 B:(硬化剤)(促進剤)	1.144 (25℃)	0.9 (25℃)	7.9	5時間 (15℃~18℃)	3.06(直後)	10 <sup>-3}</sup>	住友デュレズ
VI 尿 素 系	エスロック U	A:(主剤)(助剤)変性尿素系合成樹脂 B:(硬化剤)	1.05 (20℃)	1.4 (20℃)		数10秒~ 数10分	7(直後)	10 <sup>-5}~10<sup>-6}</sup></sup>	積水化学工業
	エスロック K	A:(主剤)(助剤)変性尿素系合成樹脂 B:(硬化剤)	1.03 (20℃)	1.9 (20℃)		数10秒~ 数10分	2.5(直後)	10 <sup>-7}</sup>	積水化学工業
	コーグライト	A:(主剤)尿素系樹脂 B:(硬化剤)無機複塩(抑制剤)有機複塩 (浸透剤)界面活性剤	1.05 (20℃)	2.5 (20℃)	4.2	10分(20℃)	7.03(直後)	4×10 <sup>-5}</sup>	高分子化学工業
	ユリコック	A:(主剤)変性尿素ホルムアルデヒド樹脂 B:(助剤)尿素(硬化剤)無機酸塩類	1.05 (20℃)	2.0 (20℃)	2.0		10 ~ 11	10 <sup>-5}~10<sup>-6}</sup></sup>	東洋高压工業
VII ア ミ ド 系	アクミン 800	A:(主剤)アクリルアミド B:(抑制剤)(觸媒A・B)					5 ~ 6 kg	10 <sup>-8}</sup>	東海製油工業
	アロンA-40シリーズ	A:(主剤)アクリル酸金属塩類 B:(触媒)(添加剤)A-C, E-G	1.04~ 1.18	1.3~5.5	4~ 7.5	3分~10分	直後 3.3~4.2kg	3×10 <sup>-5}~ 3×10<sup>-8}</sup></sup>	東亜合成化学工業
	スミソイル	A:(主剤)アクリルアミド B:(助剤)(促進剤)(抑制剤)(開始剤)	1.01 (20℃)	1.2 (20℃)	6~9	数秒~数10分	7.02(直後)	10 <sup>-7}~10<sup>-8}</sup></sup>	住友化学工業
	スミソイル L	A:(主剤)アクリルアミド(抑制剤L) B:(促進剤L)(助剤L)(開始剤L)(安定剤L)	1.01 (20℃)	1.2 (20℃)	6~8	数秒~数10分	3 ~ 4	10 <sup>-7}~10<sup>-8}</sup></sup>	住友化学工業
	日東-SS	A:(主剤)アクリルアミド B:(開始剤)過硫酸アンモン(抑制剤)赤血塩 (促進剤T)トリエタノールアミン(促進剤B)硫酸 第一鉄(促進剤D)β-ナメチルアミノプロピオニトリル	1.007 (20℃)	1.195 (20℃)	8~9	4分	9.07(直後)	10 <sup>-8}</sup>	日東化学工業
	日東-SS-30	A:(主剤)アクリルアミド B:日東-SSと同じ	1.02	1.20	6~7		9.07(直後)	10 <sup>-8}</sup>	日東化学工業
	東洋ポリアミン	A:(主剤)陽性ポリアミド B:(硬化剤)A・B	1.03		1.2 (20℃)		3.2(直後)	10 <sup>-7}~10<sup>-8}</sup></sup>	東洋高压工業



第2図  
取り外しのできる  
カップレザ-  
型パッカー



第3図  
ゴムリング型  
パッカー

この外は短管パッカー（シングルパッカー）と長管パッカー（ダブルパッカー）の分け方もある。

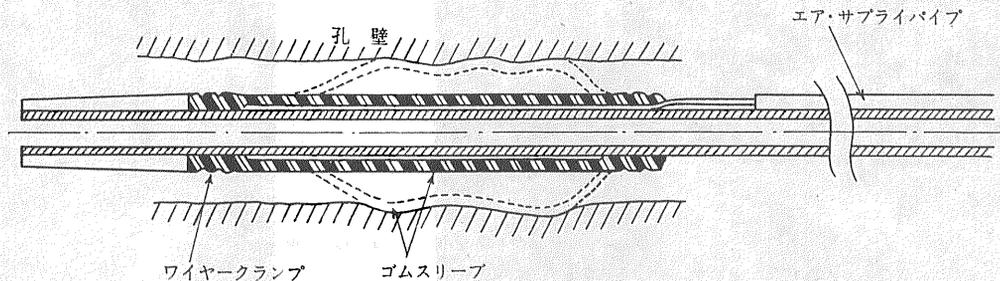
- a カップレザ-型(第2図)：この装置は孔壁がまっすぐで滑らかな場合に適し  $7\text{kg}/\text{cm}^2$  以下の低圧で使用される。構造が非常に簡単で修理が容易であること、パイプが1本だけであるため作業が速いことが利点とされている。しかし引抜きが困難になることが多く、このため孔のなかに先端部を放棄する場合もある。レザ-はスペーサーによって適当な間隔を保たれるし取りつけも取りはずしも簡単である。
- b ゴムリング型(第3図)：内外管の2本のパイプから構成され、その先端部にゴム製リングが取り付けられている。図に見られるように内管をナットによって引っ張るとゴムリングが圧縮されて膨張し壁に密着するのである。

- c エアパッカー(ニューマチックパッカー)(第4図)：ゴム製スリーブを圧縮空気によってふくらませてそれを孔壁に密着させる装置である。これらのパッカーが1つのものをシングルパッカー（短管パッカー）といい、2ついたものをダブルパッカーといっている。

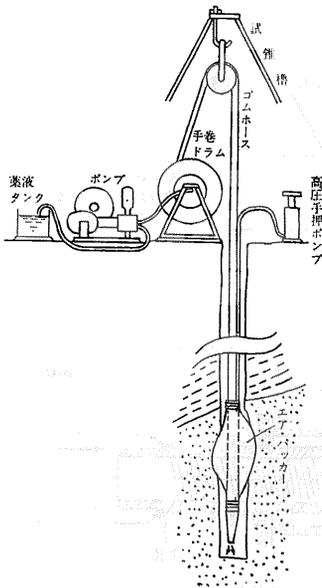
### まとめ

今回はグラウト工法の基礎的部分を概括的に述べたにすぎないが、使用目的によってこれらの注入材・機器・工法が種々組みあわされて目的が有効適切に遂行されるように工夫されている。

鉋床探査の垂直孔については泥水比重の適切な管理によって湧水やガス蒸気の湧出を防止することができるが、水平孔または上向きボーリングでは、止水グラウトが重要な役割を果たすことになる。



第4図 エアパッカー



	礫		砂				シルト							
	粗	細	粗	中	細	粗	中							
アミド系	10.0	6.4	4.0	2.0	1.0	0.6	0.4	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	0.006
尿素系														
リグニン系														
水ガラス系														
ベントナイト														
セメント														

第2表 各種グラウト材の注入可能範囲

第5図 簡易パッカー工法

地質調査研究のためのボーリングでは地質試料すなわちコアの採取はきわめて大切なことである。近時ワイヤライン工法の発達によって硬岩のコア採取率は一段と向上しほとんどの場合が90%以上の採取率を示しているが軟弱層あるいは未固結層の完全コア採取は相変わらずむずかしい問題とされている。特に第四紀層に関する研究では完全なるコアの採取が強く要望されているので当所としても従来から種々の工法や採取器具の研究試作が行なわれてきた。第5図はその研究の一環として考えられた簡易グラウディング装置を模式的に示したものであるが今後このような構想のもとにケミカルコアリングの研究を進めていく計画である。

(筆者らは技術部試験課)

探鉱ボーリングは湧水とは逆に逸水(逸泥)現象も大きな問題をかかえている。すなわち逸水はスライムの排除が十分に行なわれないためスライムは孔底にたまり勝ちとなり従ってロッド抑留や孔曲りが生じやすくなり掘進時間も多くなるようになる。またはなほだし逸水層に遭遇すると全然排水がないためスライム採取ができなくなりスライムによる地質判定が不可能になるばかりでなく電気検層もできなくなる。このように逸水は探鉱ボーリングにとつてもっとも嫌われる現象であるのでその原因を究明し適切な防止策を講じなければならない。この防止策の1つとして逸水防止材のグラウティングが行なわれているのであるが広い意味では逸水防止もグラウト工法の分類に含まれるであろう。

参考文献

- 1) 浜野一彦：グラウトハンドブック 昭和42年 朝ラテイス
- 2) 日本材料学会土質安定材料委員会薬液注入工法(指針と解説) 昭和43年9月 鹿島研究出版会
- 3) 関西電力：黒部川第4発電所工事報告 土木学会
- 4) 持田 豊：青函トンネル調査工事の注入工法と問題点 コンストラクション 6巻5号 1968
- 5) 中村小四郎：試錐Ⅱ(グラウト孔のためのボーリング) 昭和38年 試錐研究会
- 6) カタログ：住友化学 日本総合防水 日東化学 積水化学 三井金属鉱業の各社
- 7) 土屋礼三：高圧グラウティング：昭和37年 二葉印刷

