

# 地下ダムの遮水工法

## Cutoff construction methods for underground dams

おか 岡	もと 本	りゅう 隆	いち 一*	すが 菅	はら 原	はやし 捷**
くわ 桑	はら 原	けい 啓	ぞう 三***	なか 中	むら 村	やす 康
						お 夫****

### 1. はじめに

地下ダムとして最も基本的な条件は、限られた範囲内に良質な地下水が多量に貯留できるとともに、貯水やかん養が容易にできることである。更に、取水に伴う地盤沈下等環境へ悪影響を与えないことが要求される。一般的に、このような条件に合致するのは、扇状地、段丘、盆地、旧河道、埋積谷等に堆積した未固結の砂礫層である。しかしながら、地下ダムは礫性石灰岩のような多孔質岩盤や、き裂に富む溶岩のようなき裂性岩盤等その地域特有の地質に対して計画される場合もある。更に、離島のように水需要がひっ迫している地域では、帯水層に細粒分が多かったり、砂層と粘土の互層が発達していたり、上部に粘性土が堆積していたりするような地質条件が悪い場合でも地下ダムが計画され得る。このように、計画段階で地下ダムの対象として考慮される地盤は多種多様であるので、それぞれの地盤条件に最適な遮水工法を選定する必要がある。このため、筆者らは、まず、地下ダム遮水壁の築造に利用可能と考えられる各種遮水工法の地盤への適用性について「地盤、規模、品質、仮設、環境、経済」等の諸条件を考慮してそれぞれの地盤に最適な遮水工法を選定するための手順を示した。

砂礫層を対象として地下ダムを建設する場合の遮水工法としては、地中連続壁工法や一部の注入工法が適すと考えられる。鋼矢板工法は大粒径の礫を多量に含んだり、固く締まった砂礫地盤には本質的に不適である。地中連続壁工法は、元来ヨーロッパで未固結地盤上のダムの基礎処理を目的として開発されたものであり、我が国でも施工実績が数多くあって、それらの結果は専門書等に公表されている。その施工に当たっては特に大きな困難さは認められないが、施工機械は大型で重量も大きいので、大規模工事ではないと経済的でないといえる。

一般的な地下ダムの貯水池として最適と考えられる砂礫層は、硬質で崩壊しやすいため注入孔の掘削と保持が困難であり、パッカーを用いた加圧注入が不可能であることや、粒径の相異により注入材の流失や逆に注入不可能を生じやすい等の理由により、従来の注入工法を適用することは極

めて困難であった。これに対して、二重管ダブルパッカー注入工法は、このような欠点をほぼ克服し、都市土木の分野では沖積層を対象とした小規模工事においてかなり普及しているので、地下ダム遮水壁の建設にも十分適用できると考えられる。

更に、一般の注入工法は砂礫層のマトリックス（砂、シルト、粘土等）が多い場合には遮水効果が上がらないが、このような場合、加圧水流でマトリックスを除去するか、浮遊状態にしたうえで礫間に固化材を充てんする方法が考えられる。本来、軟質地盤を対象としていた高圧噴射注入工法は、このような機能をもつので、比較的細粒分を多く含む砂礫層に適用可能ではないかと考えられる。しかしながら、両工法とも一般的な地下ダムの対象として考えられるような透水係数および有効間隙率の大きい砂礫層に対して大規模に施工された例はほとんどなく、注入特性等について解明されているとは言い難い。このため、筆者らは砂礫層における地下ダム遮水壁の建設に関して、新たに適用性を検討すべき工法として二重管ダブルパッカー注入工法と高圧噴射注入工法をとりあげ、現地注入実験を行った。

本文では以上の内容を報告するとともに、地下ダムの実用化をめざして長崎県野母崎町で実施された地下ダムに関する総合実験のうち遮水壁改良工事の概要について紹介する。

### 2. 地下ダム遮水壁の施工条件と遮水工法の適用

現在各分野の土木工事に伴って実施されている遮水工法あるいは止水工法には、土留め工法として発展してきた矢板工法および地中連続壁工法と、元来止水を第一義として発展してきた注入工法がある。本文ではこれら三つを遮水工法の基本と考え、地下ダム遮水壁に適用する際の問題点等について検討した。

#### 2.1 施工条件

具体的にある地点に遮水壁によって地下ダムを築造する場合に考慮すべき条件を表-1に示す<sup>1)</sup>。表-1に示す各条件はそれぞれのサイトによって重要度が異なるのが普通であるから、工法の選定に際してもその優先順位が重大な影響を与える。しかし、これらの条件のうち、どのようなサイトでも最も重要で最優先されるのが地盤条件である。それは、地盤条件が各サイト固有のもので、それ自体はほ

\* (財)ダム技術センター 技師長

\*\* 水資源開発公団試験所 第三試験課長

\*\*\* 建設省土木研究所 地質研究室長

\*\*\*\* 建設省土木研究所 地質研究室主任研究員

表-1 遮水壁の施工条件

施工条件	条件の要素	細目
地盤条件	地質	地質構成 最大粒径 N値(強度)
	地下水	地下水位 透水係数 流速 水質
規模品質条件	遮水壁の規模	深さ 幅または厚さ 延長 遮水断面積
	遮水性	目標透水係数
	耐久性	供用年数
仮設条件	搬入路および足場まわり	許容機械重量 許容車両等
	作業空間	許容面積 許容高さ
	用水および動力	供給可能用水量 供給可能電力量
	廃液および廃泥	廃液処理 廃泥処理
環境条件	騒音および振動	騒音規制 振動規制
	安全性	地下水汚濁汚染 周辺地盤構造物への影響
経済条件	経済性	工事規模と工法 遮水効果と工事費

(注) 具体的な遮水壁サイトにおいては、それぞれの条件の重要度と優先順位について検討すること。

とんど変更できないものであるため、この条件により遮水壁の規模品質条件が規制されるからである。これに対してその他の条件は、選択や変更等の自由度が比較的大きいので、場合によっては遮水工法に合致するように条件づくりをすることもできる。

## 2.2 遮水工法の適用性

ここでは前節で述べた遮水壁の施工条件に対してそれぞれの遮水工法がどのように適用できるかを考察し、適用性の大小を相対的に評価した。ただし、ここでの評価は、それぞれの工法の一般的特性を明らかにしたものにすぎず、適用性がたとえ評価された工法がある特定のサイトに最も良く適合するとは限らない。表-1に示されたそれぞれの条件に対する各工法の適用性の詳細について表-2~5に示す。各表における不等号は適用性の大小を示している。

地下ダムの貯水層としては、一般的に砂礫層または割れ目や空洞の多い岩盤等が考えられるが、実際に遮水壁を築造する地点は砂以下の細粒な地盤や普通の軟岩や硬岩の場合もあり得るので、表-2はこれらを総合した評価になっている点に注意する必要がある。

表-3の規模品質条件については、地下ダムの貯水池および遮水壁サイトの水理地質的検討から導き出される遮水

表-2 地盤条件に関する適用性

区 分	適用性の大小
地質条件 地下水条件	注入>地中連続壁>鋼矢板 鋼矢板>地中連続壁>注入

表-3 規模品質条件に関する適用性

区 分	適用性の大小
施工深さ 遮水性 耐久性	注入>地中連続壁>鋼矢板 鋼矢板・地中連続壁>注入 特に優劣なし

表-4 仮設条件に関する適用性

区 分	適用性の大小
搬入路および足場まわり 作業空間 用水 動力 廃液および廃泥 騒音および振動	注入>地中連続壁・鋼矢板 注入>地中連続壁>鋼矢板 鋼矢板>地中連続壁・注入 注入>地中連続壁・鋼矢板 鋼矢板>注入>地中連続壁 注入>地中連続壁>鋼矢板

表-5 経済条件に関する適用性

工 法 区 分	高い信頼性と優れた経済性が期待できる地質
鋼矢板工法 地中連続壁工法 注入工法	粘性土、砂質土、緩い細礫 締まった砂、硬質粘土、礫 玉石、軟岩、硬岩

(注) どの工法も施工可能な深さで、地下水の影響は考慮しない。

壁の規模と必要な遮水性能、および投資効果や利水の面から決定される供用年数に対して十分な耐久性を確保できるかという点を検討したものである。

表-4の仮設条件については、一般に選択や変更が可能であるので場合によっては遮水工法側の適用性に合わせるよう条件づくりをすることも必要になる。

表-5に関しては、経済的な工法とは単に工事費絶対額が小さいということではなく、所定の費用で遮水効果が高いということであり、それは主として遮水工法の地質条件に対する適用性によって決定されるという点に留意する必要がある。

## 2.3 遮水工法の選定

ここでは遮水壁サイトが決められた場合にどの工法が最もよく適合するか判定し、適切な遮水工法を選定するための手順を示した。表-1は遮水壁の施工条件と遮水工法の適用性を比較するためのチェックリストとしても使用できる。まず表-1に従い、それぞれの条件に対する各工法の適用性を検討し、例えば適、可、不可等と評価する。その後各条件の評価結果を工法ごとに集計して総合判断するが、その場合各条件の重みは同一でないから、重要度に応じた優先順位により判定すべきである。例えば海岸近くに建設される地下ダムの遮水壁には地下水の貯留とともに塩水の浸入防止が要求されるので遮水壁は完全な止水性能を有することが必要であるが、内陸部の盆地等に建設される地下ダムの遮水壁には、遮水壁下流の極端な水位低下を防ぐた

め、一定量の地下水の流下が望まれる。したがって、遮水壁は完全な止水性能を有することは必要でなく、ある程度の透水性をもつものが望まれる。このようなことを考慮して最終的に選定されるべき遮水工法は以下のようなものであろう。

- ① 重要度の高い条件については「不可」のない工法
- ② 重要度の低い条件については「適」の多い工法
- ③ 全体として「不可」が最も少ない工法、あるいは「適」が最も多い工法

また「不可」となった条件については、遮水壁サイトの施工条件の変更や他工法との組合せ等を考慮し、その工法の有意性を生かすことを検討する必要がある。

### 3. 砂礫層の遮水に関する現地実験

#### 3.1 二重管ダブルパッカー注入工法

二重管ダブルパッカー注入工法は外管の構造の相異により、ソレタンシュ注入工法、スリーブ注入工法、ダブルストレーナー注入工法の3種に分類されるが、セメント-ベントナイト系注入材による砂礫層の遮水工法の中からスリーブ注入工法を選び、注入の形態、注入材の広がり方、(1)式で与えられる注入量の補正係数の関係等について検討するため、段丘堆積層を対象として現地注入実験を実施した<sup>2)</sup>。

##### (1) 実験地盤の性質

実験地盤は最大径1.2mに達する玉石を含む砂礫層を主体とし、厚さ20~30cmの細礫層、厚さ20cm程度の川砂層や粘土層を挟在している。砂礫層の密度は2.1g/cm<sup>3</sup>、間隙率30%、透水係数10<sup>-2</sup>cm/s程度を示している。図-1に代表的な粒度分布曲線を示す。

##### (2) 実験方法

実験は表-6に示すように、注入条件を変えて単孔注入、群孔注入、単三角形注入の3ケースについて行った。表中の注入量Qは(1)式で求めた。

$$Q = n(\pi r^2 h) \alpha \cdot \beta \dots \dots \dots (1)$$

ただし、n：地盤の間隙率

r：想定注入半径(m)

h：注入区間長(m)

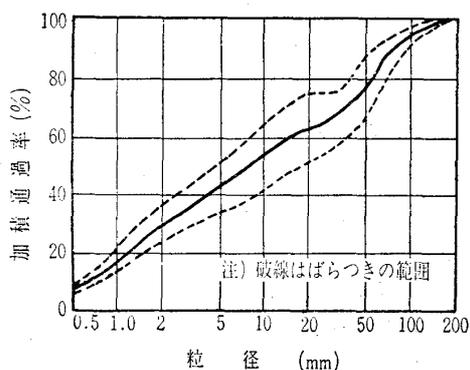


図-1 実験地盤の粒度分布 (二重管ダブルパッカー注入工法)

表-6 注入条件 (二重管ダブルパッカー注入工法)

項目	単孔注入				群孔注入				単三角形注入					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	再	2	
規定注入圧力 P (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.8H+P <sub>d</sub>				0.8H+P <sub>d</sub>				H+P <sub>d</sub>		0.8H+P <sub>d</sub>		H+P <sub>d</sub>	
最大注入速度 F (l/min)	10		5		15				15					
1バルブ当たり注入量 Q (m <sup>3</sup> )	0.84	0.42	0.84		0.42		0.63		0.42	0.84				
充てん率 α	1				1				1					
補正係数 β	2	1	2		1		1.5		1	2				
注入範囲	3~5m				3~8m				3~10m					
パターン														

注) H：注入深度(mをkgf/cm<sup>2</sup>に読みかえた値)  
P<sub>d</sub>：水押し圧力(kgf/cm<sup>2</sup>)

α：間隙に対する充てん率

β：補正係数

実際の注入に当たっては、(1)式で示される規定注入量に達した時点で注入完了としたケースがほとんどである。また、注入材料はセメント(普通ポルトランドセメント)、ベントナイト(250メッシュ)、混和材(セメント分散減水剤)を以下のように配合して使用した。

セメント：ベントナイト=1：0.15

水：(ベントナイト+セメント)=2.5：1

混和材=セメント量の0.25%

現地注入実験作業の流れを図-2に示す。同図に示されるように、各実験終了後、掘削を行って注入状況を観察し、各種土質試験を実施した。

##### (3) 実験結果および考察

i) 注入状況 グラウトの注入状況について、はぎとり調査および観察たて坑の掘削結果から以下のようにまとめられる。(口絵写真-5参照)

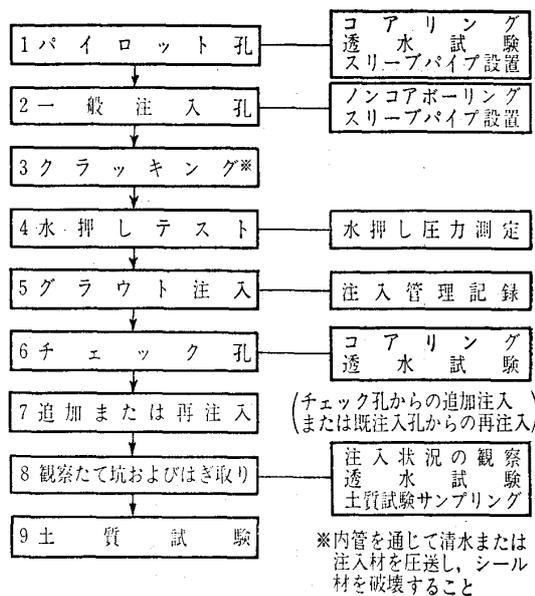


図-2 現地注入実験作業の流れ (二重管ダブルパッカー注入工法)

① 全体的傾向として、砂層では脈状の割裂注入が卓越しているが、粗粒部では浸透注入に漸移している。砂礫層においては、ほぼ浸透注入となっており、よく固結されている。

② グラウトは水みち等が存在すると予想外の遠方まで集中的に逸走する。このような場合、無制限に注入を続けるのは無駄であるが、ある程度大きな余裕を見込まないと水みちが閉そくされず、注入孔周辺に計画どおりグラウトが存在しない場合もありうる。

③ 同量を注入しても単孔注入と群孔注入では注入形態が異なっている。すなわち、注入孔はそれぞれから注入されたグラウトがお互いに干渉しあって、次第に均一な注入領域を形成するような配置にすることが必要である。

i) 注入効果 注入効果は透水係数の変化、注入圧力の推移、注入量の多少等によって判定されるが、今回の実験では、ほとんど規定量注入されているので、注入量については考慮の対象から除外した。

図-3は単三角形注入試験地点における注入前後の透水係数の変化を示している。同図に示されるように、岩盤部を除いて、ほぼ  $k=1 \times 10^{-1}$  cm/s 程度の低下が認められる。初期注入では補正係数を1としているが、注入対象外への逸走や、地下水による流失等を考慮して1以上の補正係数を与えれば、更に透水係数は低下すると考えられる。事実、再注入では補正係数2としているが、後述する圧力比はすべて0.6以上、そのうち0.8以上が80%を占めており、間隙がかなり充てんされていることを示している。また、再注入後のピット法による透水試験結果では  $k=1 \times 10^{-5} \sim 10^{-4}$  cm/s の値が得られており、顕著な効果が現れているといえる。

最終注入圧力 ( $P_f$ ) と規定注入圧力 ( $P$ ) の比を圧力比(2)式と定義し

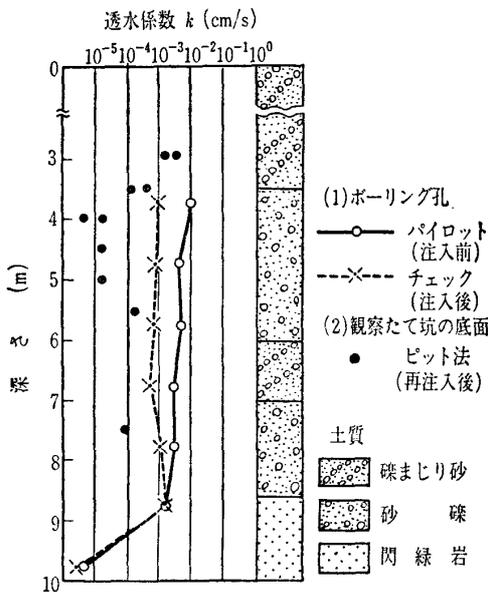


図-3 注入前後の透水係数の変化(単三角形注入)

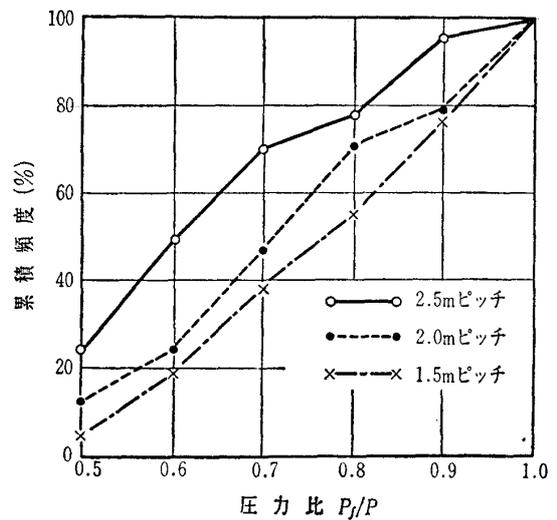


図-4 圧力比の累積頻度分布(群孔注入)

圧力比  $= P_f/P$  .....(2)

圧力比の累積頻度分布を注入孔間隔ごとに群孔注入の場合について示したのが図-4である。同図より、注入孔間隔が小さくなるに従って圧力比が1に近づく、すなわち、規定注入圧力に達する割合が大きくなっていることが分かる。したがって孔間隔が小さい程地盤中の間隙に対する充てん効果が高いといえる。

ii) 補正係数 補正係数は地盤の間隙率  $n$  や、想定注入半径  $r$  の変動を考慮して決定される。土質試験の結果から、単三角形注入試験地点の間隙率  $n$  は0.3~0.4の範囲にあることが示されている。実験は  $n=0.4$ 、補正係数  $\beta=1.0$  としているので設計値としては妥当である。しかし、実際にはグラウトがあまり認められない部分や斑状に点在するグラウトが多い点等を考慮すると、更に注入量を増やす必要、すなわち、補正係数を大きく(1.5~2.0程度)とる必要があったと考えられる。

3.2 高圧噴射注入工法

高圧噴射注入工法は、噴流体の種類によって CCP 工法(噴流体:固化材のみ)、JSG 工法(噴流体:固化材+空気)、パネルジェットグラウト、コラムジェットグラウト工法(噴流体:水+空気)の3種に大きく分類されるが、今回、地盤の切削力が強く噴流の強化も容易なパネルジェットグラウト工法およびコラムジェットグラウト工法を選び、砂礫地盤における噴流の切削能力や形成される遮水体の形態と品質等について検討するため、現河床堆積層を対象として現地注入実験を行った<sup>3)</sup>。

(1) 実験地盤の性質

実験地盤の砂礫層は、表層に直径10~30cmの玉石を含む部分があるが、下部には玉石はほとんどみられず、相対的に粗砂分が多くなる傾向がある。全体的に礫は直径10cm以下、特に5cm以下が多く、密度2.0g/cm<sup>3</sup>、間隙率35%、透水係数10<sup>-2</sup>cm/s程度を示している。図-5に代表的な粒度分布曲線を示す。

(2) 実験方法

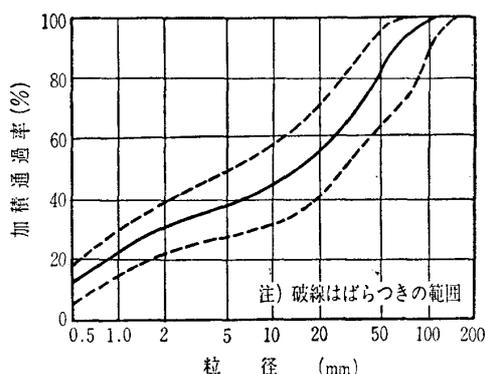


図-5 実験地盤の粒度分布 (高圧噴射注入工法)

実験は以下の3種類実施した。

① 噴流の流量やノズル引揚げ速度と地盤の切削距離の関係を調査するため、表-7に示すように、噴流流量70 l/minの標準型と同140 l/minの噴流強化型の2タイプについて、ノズル引揚げ速度を3段階変えて計6ケースのパネルジェットグラウト試験

② 噴流による地盤の切削の均一性と注入条件の関係を調査するため、表-8に示すように、噴流流量70 l/minの標準型、噴流を用いないJGP (No. 2)、噴流流量140 l/minの強化型 (引揚げ速度3種) の計5ケースについて単体コラムジェットグラウト試験

③ 単体コラムを連続して遮水壁を築造する場合のコラム間の連続性や遮水壁全体としての遮水性等を調査するため、表-8のNo. 4の条件 (本地盤の最適注入条件) で、直径2mの円周上に8本、底部に4本のコラムを築造してモデル遮水壁とするグループコラムジェットグラウト試験

以上の実験を図-6に示すような流れに沿って実施し、各実験終了後、掘削を行って注入状況を観察し (口絵写真-6参照)、土質試験を実施した。

固化材は、実験場所が河床で流水があるため遮水体を早期に固結させる必要があるため、水:セメント=1:1、比重1.5以上のセメントミルクを用いた。

(3) 実験結果および考察

i) 地盤の切削距離 図-7はパネルジェットの到達距離をガイドホール間隔と土質の種類ごとに示したものである。同図において $v$ はノズルの引揚げ速度を、距離到達率 $A$ は、グラウトの到達距離 $L$ とガイドホール間隔 $l$ の比 ( $A=L/l$ ) を表す。図-8は単体コラムジェットグラウトの仕上がり直径 $D$ を土質の種類ごとに示したものである。同図における仕上がり直径 $D$ は図-7におけるグラウトの到達距離 $L$ に対応するものである。図-7, 8より、噴流による地盤の切削距離に関して以下のようにまとめることができる。

① 噴流の流量を従来型 (70 l/min) の2倍の140 l/minとした噴流強化型はパネルジェットの到達距離が従来型の1.2~1.8倍、コラムジェットの仕上がり直径が従来型の軟質地盤におけるコラム、あるいは通常の薬液注入工法によ

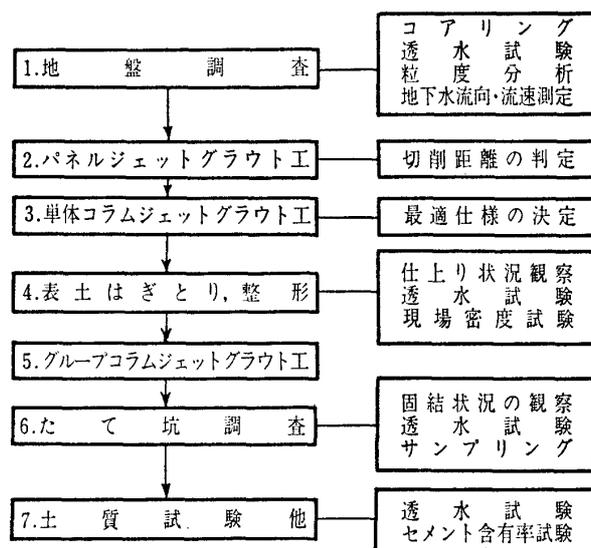


図-6 現地注入実験作業の流れ (高圧噴射注入工法)

表-7 注入条件 (パネルジェットグラウト)

条件	ケース	標準型			噴流強化型		
		A-1, A-2, A-3			B-1, B-2, B-3		
噴流	圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	400			400		
	流量 (l/min)	70			140		
固化材	圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧送圧力のみ			圧送圧力のみ		
	流量 (l/min)	60			60		
ノズル引揚げ速度 (cm/min)		3.0	4.5	6.0	3.0	4.5	6.0
ガイドホール間隔 (m)		1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5
		1.5	1.0	1.3	2.0	1.5	1.5

表-8 注入条件 (コラムジェットグラウト)

条件	ケース	標準型	JGP型	噴流強化型		
		No. 1	No. 2	No. 3, No. 4, No. 5		
噴流	圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	400	—	すべて 400		
	流量 (l/min)	70	—	すべて 140		
固化材	圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	30	200	すべて 30		
	流量 (l/min)	180	70	すべて 200		
ノズル引揚げ速度 (cm/min)		4.5	10.0	6.0	4.5	3.0

表-9 モデル遮水壁の固結状況

固結状況	面積	比率
ほとんどセメント塊の部分	4.5m <sup>2</sup>	18%
固結している部分	18.0	72
ほとんど固結していない部分	2.5	10
合計	25.0	100

表-10 モデル遮水壁の平均的透水係数

たて坑内の水位 GL-m	平均透水係数 (cm/s)
1.5 のとき	2×10 <sup>-3</sup>
2.5 のとき	7×10 <sup>-4</sup>
3.5 のとき	5×10 <sup>-4</sup>

る有効径にも匹敵する1.5~2.3mとなっており、噴流の流量が多い方が地盤の切削距離が大きくなる。

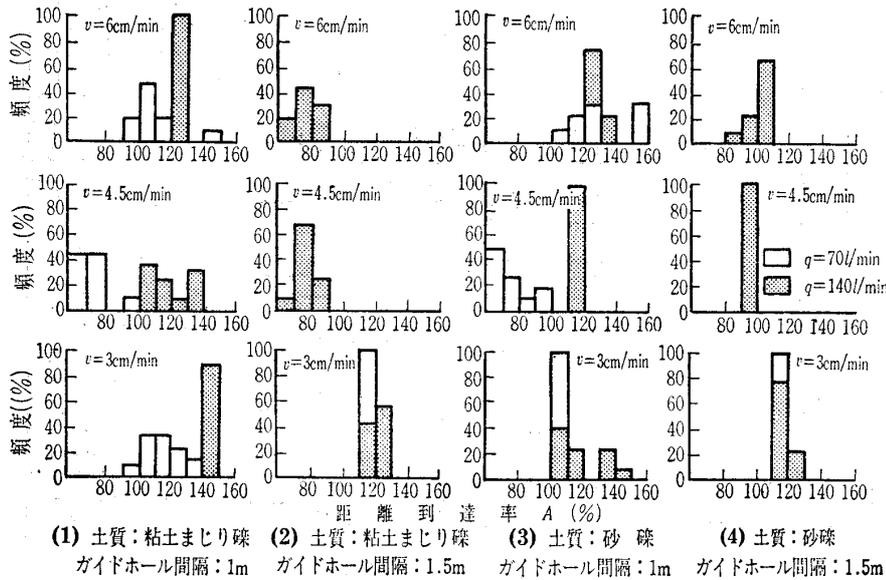


図-7 パネルジェットの到達距離

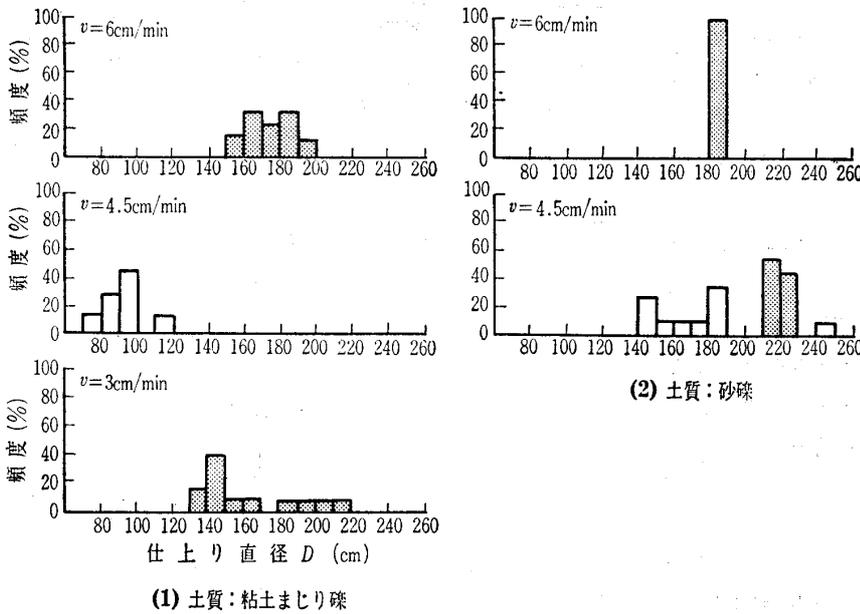


図-8 コラムがジェットの仕上り直径

- ② ノズルの引揚げ速度は一定値(4~5cm/min)以下になると切削距離との相関が認められなくなる。
- ③ 地盤中の礫分が少ない程切削距離は大きくなる。また礫の含有量が同程度であれば、マトリックスが砂から成る地盤の方が粘土から成る地盤より切削距離が大きくなる。
- ii) モデル遮水壁    表-9はグループコラムジェット

グラウト試験における観察用たて坑の掘削壁面における固結状況を分類し、各々の面積および比率を求めたものである。同表に示されるように、全体の90%が十分固結しており、その部分からの漏水は全く認められなかった。また、継手部は強度的にも、透水係数の点でもコラム本体と区別できない程全体に均一な遮水壁が築造されていた。

図-9は、コラム本体2本、継手部2本計4本実施されたチェックボーリング孔において、パッカー法により求めた透水係数の累積頻度分布を示したものである。同図より原地盤と比較して2オーダー強改良されており、 $10^{-5}$  cm/s 台以下のものが75%であることが分かる。また表-10は遮水壁全体としての遮水性を評価するため、たて坑掘削中のポンプ排水量から透水係数を求めたものである。チェックボーリング孔における透水係数は図-9に示されるように、 $10^{-5}$ cm/s台以下が全体の75%占めるものの、遮水壁全体としての平均的な透水係数は、残り25%の $10^{-4}$ cm/s 台を超える部分によって大きく影響を受け、 $10^{-3}$ ~ $10^{-4}$ cm/s台になっている。

#### 4. 長崎県樺島における地下ダムの実用化試験

樺島は長崎半島先端の野母崎町南端、脇岬の南方350mの海上に浮かぶ周囲4km、面積2.2km<sup>2</sup>の離島であり、夏季になるとしばしば渇水にみまわれてきた。このため野母崎町では西側海岸平地部に地下ダムを計画し、昭和49年に地下ダム遮水壁を施工した。しかし、この時の施工範囲や施工方法は不十分であり、昭和53年の異常渇水時には十分にその機能を果たさなかった。このため建設省では当地における地下ダムの実用化をめざして昭和53~55年にかけて

表-11 野母崎地下ダム遮水壁の主要諸元<sup>4)</sup>

	昭和49年施工遮水壁	昭和55年施工遮水壁
施工位置, 長さ	海岸より50m上流地点, 60m	同左, 74m
工法	ロッド引抜き工法(普通グラウト工法)	ソレタンシュ工法(二重管ダブルパッカー注入工法)
遮水範囲	砂礫まじり粘土層, 腐植土層(1部), 右岸側に未施工部	砂礫まじり粘土層, 腐植土層, 片岩強風化帯
配列	孔間隔2m, 列間隔1m, 4列千鳥配列	孔間隔2m, 列間隔1m, 2列千鳥配列
注入圧力	2~3kgf/cm <sup>2</sup>	8~30kgf/cm <sup>2</sup>
注入量	68.86~127.72kg/m	300~600l/m
注入材	セメント・ペントナイト C:B=2:1(質量比)	セメント・ペントナイト C:B=10:1
注入孔数	95孔	75孔

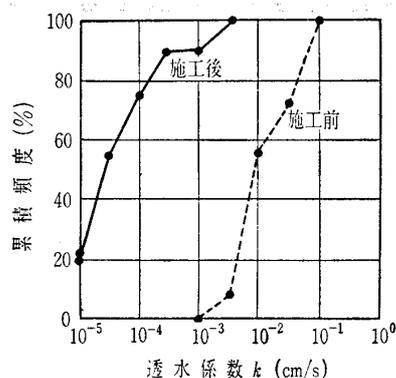


図-9 モデル遮水壁の透水性係数の累積頻度分布

一連の調査を実施し、その結果をふまえて昭和55年に遮水壁の改良を実施した。表-11は両遮水壁の主要諸元を比較したものである。野母崎地下ダム一連の調査の概要については既に報告されている<sup>4),5)</sup>ので、ここでは遮水壁改良工事の概要についてのみ簡単に紹介する。以下の記述は主として文献4),5)による。

#### 4.1 地質概要

遮水壁サイトの地質横断面を図-10に示す。同図に示されるように、当サイトの基盤は古生代の結晶片岩から構成されているが、少なくとも上部5mは風化が著しく割れ目は赤褐色を呈している。その上に第四紀の礫まじり粘土層、腐植土層・粗砂互層が堆積しており、海岸線から約500m上流地点まで分布している。これらの透水性係数は一般に $1 \times 10^{-3} \text{cm/s} \sim 1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ である。

#### 4.2 遮水壁の施工

遮水壁の施工に当たっては、表-1に示す各種施工条件を勘案することが必要であることは既述のとおりであるが、本サイトの場合、離島であるため大型の機材の搬入が困難な点から注入工法が選定された。当サイトは表-11に示すように、海岸より50mのところの位置しているので、地下水の貯留に加え、塩水浸入を防止することが遮水壁築造の大きな目的となっており、できるだけ確実な施工が期待できる注入工法の選定が望まれた。また図-10に示すように層相変化が激しいので、これに対処可能な工法として二重管ダブルパッカー注入工法の一つであるソレタンシュ注入工法が採用された。注入仕様は表-11に示すとおりであり、結晶片岩強風化部から上限は潮位の影響を考慮して T.P.+3.0m の範囲に注入を行った。注入改良目標値は $k < 5 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ とした。

#### 4.3 遮水効果

造成された遮水ゾーンについて、ルジオンテストを行った結果、今回対象とした改良範囲については一般的に改良目標値 $5 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ を上まわる結果が得られた。しかしながら、当初の注入仕様では腐植土層の粗砂部分、および結晶片岩の強風化部の一部に改良目標値に達しない部分が残ったので追加注入を実施した。また岩着部への追加注入はソレタンシュ注入工法ではスリーブ割りが困難であるた

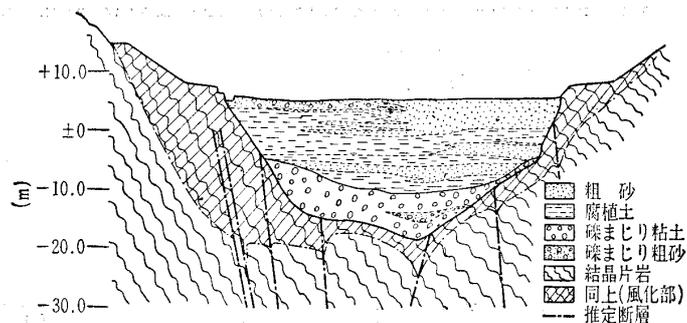


図-10 遮水壁サイトの地質断面

めロッド注入とした。以上の追加グラウトで施工を完了したが、注入は割裂注入であり、岩盤の注入対象境界部に $10^{-4} \text{cm/s}$ 台の部分が存在する場所もあるので、これらが遮水壁全体の遮水性に与える影響を調査するため、遮水壁上、下流の取水井を用いて揚水試験が実施された。その結果遮水壁の透水性係数は $6 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 程度と計算された。また、今回の試験によって取水井の水位が T.P.-5.5m まで低下したが、塩分濃度は 200 ppm を越えることはなく、過去に T.P.-4.0m 程度の内水低下時に塩分濃度が 1000 ppm を越えていたことを考慮すると、遮水壁は塩水浸入の防止に関しては有効であると評価できる。

#### 5. おわりに

地下ダム遮水壁の施工に当たっては表-1に示すような各種施工条件をそのサイト独自の優先順位を考慮して工法を選定する必要がある。特に離島等必ずしも地質的に最適とは言えない場所に計画される場合には、地下水の貯留に加えて、塩水浸入の防止および機材の搬入等仮設条件が重要な制限条件となる。したがって最適な遮水壁を築造するためには、単一の工法のみでなく、本文の野母崎地下ダムの例に示したように2種類以上の工法を組み合わせることが必要になることも考慮しなければならない。

また二重管ダブルパッカー注入工法および高圧噴射注入工法は今回の現地注入実験や地下ダムの実用化試験の結果から、地下ダムの対象となるような砂礫層に対して有効であることが判明した。ただし、両工法とも遮水壁サイトであらかじめ注入試験を行い、補正係数や噴流流量等について検討することが重要である。

#### 参考文献

- 菅原 捷・中村康夫：遮水技術の現況と地下ダム遮水壁への適用性，土木技術資料，Vol. 22, No. 12, pp. 39-44, 1980.
- 菅原 捷・中村康夫：二重管ダブルパッカー注入工法による砂礫層の遮水に関する現地実験，第17回土質工学研究発表会講演集，pp. 2513-2516, 1982.
- 菅原 捷・中村康夫：高圧噴射注入工法による砂礫層の遮水に関する現地実験，第17回土質工学研究発表会講演集，pp. 2517-2520, 1982.
- 石崎勝義・佐合純造・難波嘉幸：地下ダムの実用化に関する調査(1)，土木技術資料，Vol. 23, No. 10, pp. 35-41, 1981.
- 鈴木茂昭・佐合純造・石崎勝義：地下ダムの実用化に関する調査(2)，土木技術資料，Vol. 23, No. 10, pp. 42-48, 1981.

(原稿受理 1982.11.1)