

土木研究所資料 第八二八号



土木研究所資料

第 828 号

軟岩基礎のグラウチング



軟岩基礎のグラウチング



昭和四十八年三月

昭和 48 年 3 月

建設省土木研究所
ダム構造研究室

建設省土木研究所ダム構造研究室

TM-84 FT-4 F-410

軟岩基礎のグラウチング

ダム構造研究室 柴田 功

1. ま え が き

軟岩という言葉の定義は明らかではないが、例えば第三紀層の砂岩のように固結度が低く、土木技術者が受ける“岩”という印象からは程遠い砂層のようなものも含まれる。岡本隆一地質研究室長によれば、地下水の滲出状況が硬岩では節理などの割れ目から水が出るが、軟岩では押せば水が出ると定義しているが、ダム基礎をとおしてみる限り非常によく表現しているものと考えられる。

最近、このような軟岩にもダムを建設することが要求されるようになってきたことは前にのべたとおりであるが、たいていは透水性が大きいのにグラウトは入らないので、その処置をどのようにすればよいか

が問題となっている。

普通の岩盤のグラウチングでは、主材料としてセメントが用いられるが、軟岩での注入では、粒子間隔が小さいこともあって、効率がよくない。土地盤に対するグラウチングには種々のケミカルグラウトが用いられており、小さな粒子間の間隙に対する滲透はセメントに比し良好であるが、安定性および耐久性には疑問があり、ダムのように長い寿命をもち、かつグラウトカーテンの前後で大きな水頭差を生じるため大きな水圧のかかる工作物に主材料として用いることには未だ無理があるように考えられる。もちろん、水と反応するウレタン系ケミカルグラウトとか、種々の材料の研究が、化学的に進歩してきているが、その水圧に対する安定性、長期の寿命を要する耐久性などについての、ダム技術者側の調査研究は遅々としてはかどっていないのが現状である。しかし、基礎の悪条件を克服して建設しなければならないダムが殖えていくことは必至のすう勢であって、これらの研究を促進しなければならないことはいうまでもない。

さて、現状にもどって、グラウトの主材料をみるかぎり、未だケミカルグラウトを採用するのは時期尚早であるとみなさざるをえず、しばらくはセメントを主材料として軟岩のグラウチングが行なわれると考えられるので、今後の議論は後者に限定して進めることにしたい。

グラウチングという観点から軟岩をみると、特に、固結度の低い砂岩、礫岩、あるいは溶結度の低い溶岩やシラスなどの火山降下物が、いろいろの点で厄介である。

注入に先立ってボーリングをするが、固結度の低いもの程、孔壁は崩れ易いし、さらに粒子が大きくなると孔壁を荒して、グラウト孔の維持がむずかしくなる。セメンテーションをするわけにはいかないので、注入ステージ長を短かく分けて施工しなければならない。さらに、パッカーが使えないので、地表口元のニップルなどで長い区間の注入を行わなければならないため、効率が低下すると同時に、深い部分に対して高い注入圧力を採用すれば、浅い部分の地山を持上げてしまうことが多くなり好ましくない。

注入の対象となる軟岩が地下水面下にあると、注入はますますむずかしくなる。それは、粒子の間隙に入っているある水頭を持った水をしぼり出してグラウトを注入しなければならないからで、どのようなプ

TM-84 .FT-4 .F-411

ラクティスをとればよいのか、この種のダム基礎のグラウチングがいくつか行なわれているのだが、まだよくわかっていない。

固結度の低い軟岩にダムをつくったとき、うまく止水できなかったとしたら、どんなことになるのだろうか。よくいわれるパイピングという現象はどんなものだろうか。この点もよくはわかっていない。

そこで、我々がいま問題にしているような軟岩のうち、低固結砂岩と泥岩の互層になっている地質の基礎の上につくった低いダムの周辺を観察したところ、地表近くに無数の穴があいているのが認められた。割れ目に沿った所では深さが1.8 mに達するものがあるが、それ以外の大多数の穴では約60 cmの深さで落着いている。この種の地質では、ダムのない所でも同様の規模の穴が多数認められている。

写真-1.1は漁川流域の支笏の火山降下物にできた深さ約70 cmのパイピングホールで、かぶりの小さい所にできている。写真-1.2は房総半島小櫃川のダム予定地点のパイピングホールで泥岩と固結度の低い砂岩の互層に多数発達しており、いずれも約30 cmの深さで安定している。写真-1.3は房総半島馬喰川につくった高さ約20 mのダムの下流に発達しているパイピングホールで、泥岩と固結度の低い砂岩の互層を横切る割れ目沿いに発達しており、大きな割れ目沿いのものは深さ170 cmに達している。写真-1.4は岩瀬川流域のシラス崖の溶結度の低い地層にみられるパイピングホールで、やはり割れ目に沿うものが深く75~180 cmの深さである。なおこれらの穴には、ほとんどのものに地下水の滲潤が認められ、写真-1.2のように苔が生えることが多く、地下水の湧出が生成したものと推定されるので、正しいかどうかは別として、ここではパイピングホールと呼ぶことにした。



写真-1.1 漁川流域のパイピング
ホール
(深さ 70 cm)

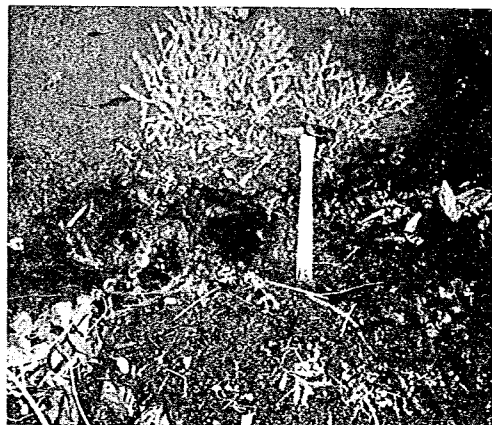


写真-1.2 小櫃川のパイピングホ
ールと苔
(深さ 30 cm)

TM-84 FT-4 F-412



写真-1.3-1

馬喰川のダム左岸



写真-1.3-2

馬喰川のダムの左岸
ガイドウォール上のパイピング
ホール（深さ50～70cm）



写真-1.3-3

馬喰川のダムの左岸
ガイドウォール上のパイピン
グホール（深さ50～120cm）



写真-1.3-4 馬喰川のダムの左岸
ガイドウォール上のパイピングホール
（深さ120cm）

TM-84 .FT-4 .F-413



写真-1.3-5

馬喰川のダムの左岸
ガイドウォールの下流50mの
パイピングホールの砂流出状況
(深さ170cm)



写真-1.3-6

馬喰川のダムの左岸
ガイドウォールの下流50mの
パイピングホールの砂流出状況
(深さ170cm)
(写真-1の拡大)

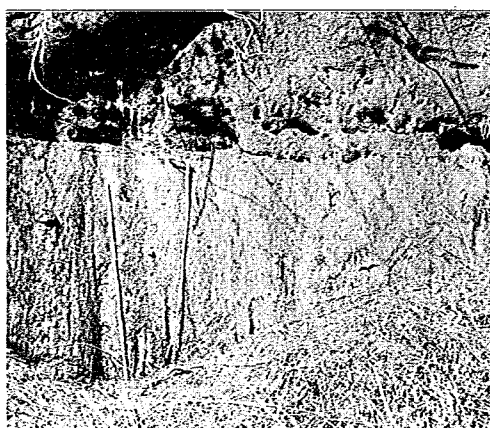


写真-1.4-1 岩瀬川左岸
シラスのパイピングホール
(深さ75~180cm)



写真-1.4-2 岩瀬川左岸
シラスのパイピングホール
(深さ75~180cm)

TM-84 .FT-4 .F-414

このようなパイピングホールの安定の機構は解明できていないが、地表近くの浸透流の流速、地盤構成材料の粒径分布や密度、組成（かみ合わせ）の状況などに対応したドーム状の三次元的なアーチアクションが出現して落着くものと推察される。これが、高いダムによる大きな浸透流を生じさせたときでも、そんなに深くないパイピングホールができる程度でおさまればよいのだが、そのようにはいかないように考えられる。したがって、この問題について調査研究することは、軟岩上でのダム築造の可否を論ずるための1つの重要な課題であろう。

しかし、軟岩のグラウチングについて、全くわからないというわけではない。決して完全で満足すべきものではないが、いくつかの例をあげてみよう。それらをとおしてみると、この種の軟岩のグラウチングはかくあるべきであるというイメージがでてくる。最後にそれをまとめてみたい。

TM-84 FT-4 F-415

2. 軟岩基礎のグラウチングおよびルジオンテストの例

1) A ダム

(1) 地形、地質

新潟県鯖石川上流のダム地点は、新第三紀鮮新世最上部の魚沼層群に属する固結度のきわめて低い砂岩および礫岩、泥岩の互層から成り、兩岸に河岸段丘を有する深さ約40mの急峻な侵蝕谷である。

砂岩、礫岩層は固結度が低く、岩というイメージからは程遠く、むしろ砂層と呼んだ方が適切である。泥岩は新鮮なものでもナイフで容易に削り取れるもので、ほぼ均質である。

地層は、図-2.1.1～図-2.1.2に示すように走向E-W(ダム軸方向)、傾斜15°～30°N(下流下り)の単斜構造をなしており、ダム地点付近では8枚の地層が顕著である。河岸付近の砂岩の露头には、最大径60cm以下のパイピングホールがみられ、流水の影響もあろうが、地下水の滲潤の認められるものが多いことから、地下湧出によって生成したものといなされる。

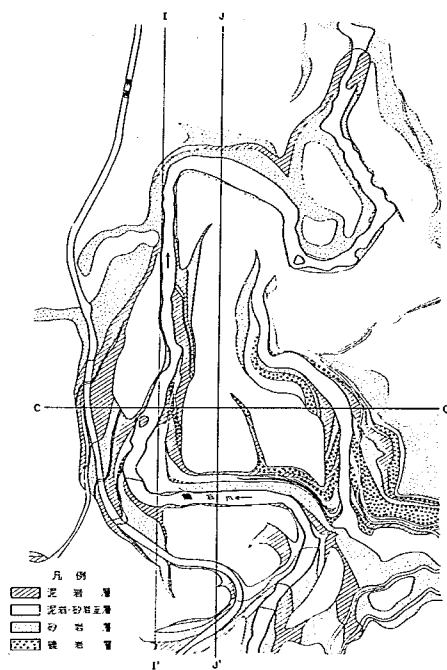


図-2.1.1 Aダムにおける地質図

TM-84 FT-4 F-416

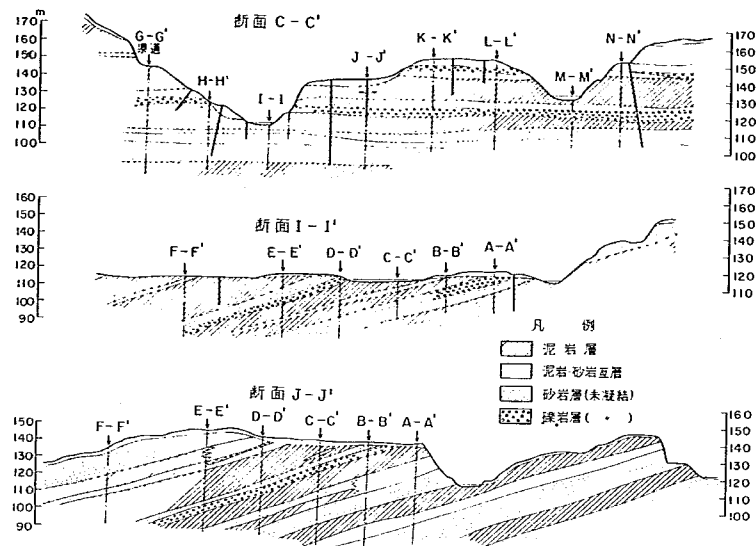


図-2.1.2 Aダムにおける地質断面図

当初の地質調査では、ダム軸付近の横断面を示す図-2.1.3にみられるように、地表に近い10～20mの区間に、 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ のオーダーの割合大きな透水係数の分布がみられ、ところによっては、さらに深い所までこの透水度の大きな範囲が広がっているため、前述のような固結度の低い砂岩の止水が非常に難しいものと考えられていた。

ここで、透水係数は

$$k = \frac{Q}{2\pi LH} \log e \frac{L}{R}$$

k : 透水係数 (cm/sec)

H : 試験水頭 (cm)

R : ボーリング孔の半径 (cm)

L : 試験長 (cm)

Q : 透水量 (cm^3/sec)

で換算したものである。

そこで、予備的なテストグラウチングが数回に分けて行なわれ、表-2.1.1のような結果をもとにして、慎重な計画をたて本工事に移された。

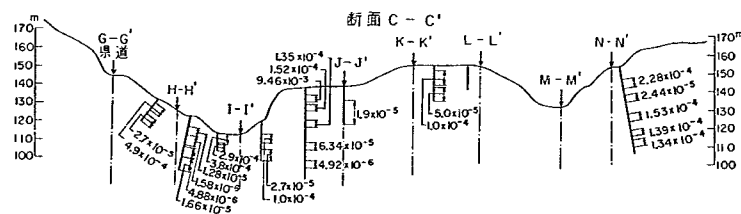
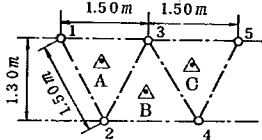
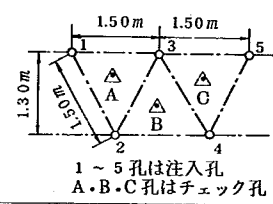


図-2.1.3 Aダムにおける透水係数分布図

表- 2.1.1 Aダムにおける中央地下段グラウチングテスト時透水試験の実績例

条 件			透 水 試 験 結 果						
ステ ージ	地 質	地 点	試験 深度	ポンプ圧力 (kg/cm ²)	単位透水量 (ℓ/min/m)	透水係数K (m ³ /s)	記 事		
第 一 ス テ ー ジ	泥	5-1	500 }	1.0	3.40	300×10 ⁻⁴			
			1000	1.5 2.0	4.04 5.12	267×10 ⁻⁴ 274×10 ⁻⁴			
	岩	4-1	500 }	3.0	0	0	0.5kg/cm ² ~ 30kg/cm ² では注入量 0		
			1000	4.0	1.76	5.40×10 ⁻⁵			
		3-1	505 }	0.5	0	0	0.5kg/cm ² ~ 20kg/cm ² では注入量 0		
			1050	2.0 2.5 3.0	0 0.16 3.08	0 6.77×10 ⁻⁶ 1.12×10 ⁻⁴			
泥 礫	チェック C-1	550 }	2.0 3.0 4.0	0 0.04 0.64	0 1.43×10 ⁻⁵ 1.62×10 ⁻⁵	圧力 50kg/cm ² で 30" リターンなし。1" 後に 5 孔 に吹き出す  1 ~ 5 孔は注入孔 A・B・C 孔はチェック孔			
第 二 ス テ ー ジ	泥 岩 未 凝 結 砂 岩	5-2	1000 }	4.0	0	0	10~40kg/cm ² の圧力で注入量 0		
			1250	5.0	2.4	484×10 ⁻⁵			
	4-2	1100 }	2.0	2.6	892×10 ⁻⁵	10kg/cm ² の圧力で注入量 0			
		1350	4.0 5.0 5.5	2.9 2.2 2.2	625×10 ⁻⁵ 367×10 ⁻⁵ 376×10 ⁻⁵				
	3-2	1000 }	6.0	0.3	60.4×10 ⁻⁶	10~50kg/cm ² の圧力で注入量 0 に近し			
		1300	6.5 7.0	0.6 1.0	6.62×10 ⁻⁶ 2.70×10 ⁻⁵				
チェック C-2	1100 }	7.0	0	0	圧力 7kg/cm ² までは全く通水量なく 8kg/cm ² で 2 分後に通水量大となり更に 4分後に 4孔へ吹き出す				
1350	8.0	1.20	1.59×10 ⁻⁵						
第 三 ス テ ー ジ	未 固 結 砂 岩	5-3	1300 }	2.0	0.33	9.85×10 ⁻⁶	10kg/cm ² で注入量 0		
			1700	3.0 5.0 7.0	1.75 2.77 3.48	5.21×10 ⁻⁵ 5.64×10 ⁻⁵ 5.34×10 ⁻⁵			
			4-3	1300 }	1.0	0		0	10kg/cm ² では注入量 0
				1700	2.0 3.0 5.0 6.5 7.0	0.50 1.60 1.10 2.39 2.40		224×10 ⁻⁵ 352×10 ⁻⁵ 240×10 ⁻⁵ 413×10 ⁻⁵ 485×10 ⁻⁵	
	3-3	1300 }		1.0	0	0	2kg/cm ² で流入量 0 5.5kg/cm ² で 3 分間通水後パッカー持ち上げられ 約 5 ℓ 程度漏水する。		
		1700		2.0 4.0 5.0 7.0	0.18 1.00 1.73 1.41	7.38×10 ⁻⁶ 2.46×10 ⁻⁵ 3.55×10 ⁻⁵ 2.19×10 ⁻⁵			
		チェック C-3	1350 }	1.0	0	0		2kg/cm ² から少量ながら通水量を見る。	
			1700	2.0 4.0 6.0 7.0	0.31 1.63 2.03 2.25	1.34×10 ⁻⁵ 4.11×10 ⁻⁵ 3.63×10 ⁻⁵ 3.53×10 ⁻⁵			



TM-84 FT-4 F-418

(2) テストグラウチング

(i) テストの方法

主ダムと補助ダムの中間の台地で、カーテングラウチングの本工事の一部の20孔について、テストグラウチングとして先行して計画の適否を検討することにし、その中に、さらにチェック孔を施工した。

注入材料は、よく検討するための時間がなかったので、青函トンネルで好成績を得ているといわれるコロイドセメント（住友、八戸工場）を使った。

孔配列は、孔間隔1mの千鳥で、1次孔、2次孔、3次孔という順序の中央内挿法をとって、効果の確認ができるようにした。また、ステージグラウチングを採用することとし、第1～第4ステージは5m、第5ステージは10mのステージ長をとった。

ルジオンテストおよびグラウチング

の注入圧力は表-2.1.2のとおりである。

各ステージの注入前のルジオン値として報告されたものの分布状況は表-2.1.3に示されており、また、単位長さ当りのセメント注入量（単位セメント注入量と呼ぶことにする）は、表-2.1.4のとおりである。

これらの表は、サンプル数が多いので、地質に応じた区分がされていない欠点があるが、これらの結果をおしてみると、ルジオン値は約半分が5Lu以上あるのに、セメント注入量は約2/3が20kg/m以下で異常といえるほど小さい。換言すれば、水は通すのにセメントは入らないということになる。しかし、これらは中央内挿法を行なった結果であって、注入回数、1、2次孔から3次孔にあがると、ルジオン値も、セメント注入量も確実に減少することが認められる。

表-2.1.2 Aダムにおける注入圧力

ス テ ー ジ		1	2	3	4	5
ルジオンテスト圧力 (kg/cm ²)		2	3	4	5	5
グン入 ラグ圧 チ注力	1, 2 次 孔	3	3～5	5～7	7～9	7～10
	3 次 孔	3	5	7	9	10

表-2.1.3 Aダム台地部におけるルジオン値の分布百分率(%)

ルジオン値	次数	1次および 2次 孔	3 次 孔	チェック孔
2 以 下		19	31	40
2 ~ 5		25	23	40
5 ~ 10		20	27	20
10 ~ 20		20	13	—
20 以 上		16	6	—

表-2.1.4 Aダム台地部における単位セメント注入量(kg/m)の分布百分率(%)

単位セメント注入量 kg/m	次数	1次および 2次 孔	3 次 孔
10 以 下		46	68
10 ~ 20		20	18
20 ~ 50		22	6
50 以 上		12	8

TM-84 FT-4 F-419

(ii) ルジオンテストによるチェック

先行するテストグラウティングとして本工事の一部が開始されたが、前述のように、注入に先立って行なうルジオンテストの結果、10 Lu 以上の大きなルジオン値が報告されたのに、その割にはセメントの注入量が少ないので、工事計画全体が再検討された。

大きいルジオン値を示す原因として、岩盤が透水しやすいことの他に、パッカーが不確実であること、岩盤を持ち上げていることが考えられる。そこで、本当に透水性が大きいかどうかを調べるため、後の2者の要因について確実にチェックできる方法でルジオンテストを行なうことにした。その位置は図-2.1.4に示すとおりである。

砂岩部のパッカーは、セットする位置で、約1 mの長さにならってボーリング孔をリーミングして拡孔した後、セメントペーストの注入を行ない、その後リーミングして、その部分にパッカーをセットすることにした。

岩盤の浮き上りは、グラウトゾーンより深い位置にアンカーしたアップヒールゲージを設けて監視することにした。

ステージ長は5 mで、9ステージについて実施した。

この結果を、注入圧力と透水量の関係を示すよう図示($p \sim q$ 曲線と呼ぶことにする)すると図-2.1.5のようになる。この曲線が折れ曲がる圧力(限界圧力と呼ぶことにする)は比較的明瞭で、(3.3)でのべる定義にしたがって、限界圧力以下の曲線の勾配を 10 kg/cm^2 の圧力まで外延してルジオン値を算出すれば、ほとんどすべての地層が1~2 Luであって、透水性はきわめて低く、セメント注入量が少ないことの説明ができる。したがって、グラウティングの結果として報告されたルジオン値は、限界圧力を超えて、送水量が不安定になっている状態での p 、 q をもととして、 10 kg/cm^2 の圧力まで外延して算出したことになる。

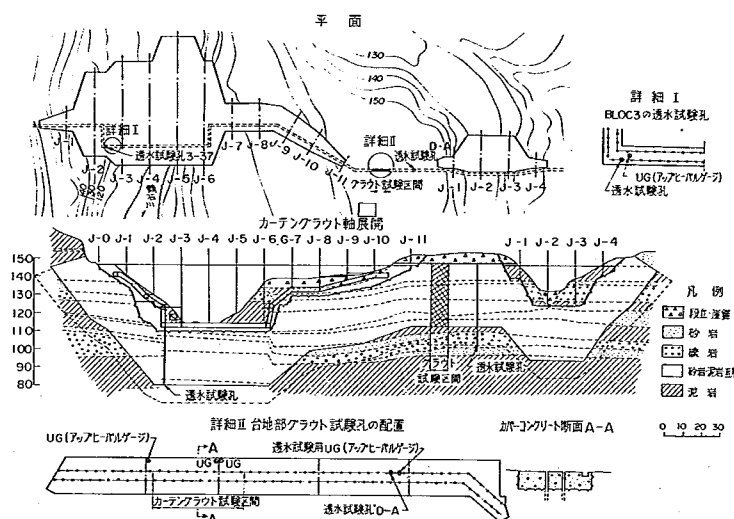


図-2.1.4 Aダムにおけるテスト孔位置図

TM-84 FT-4 F-420

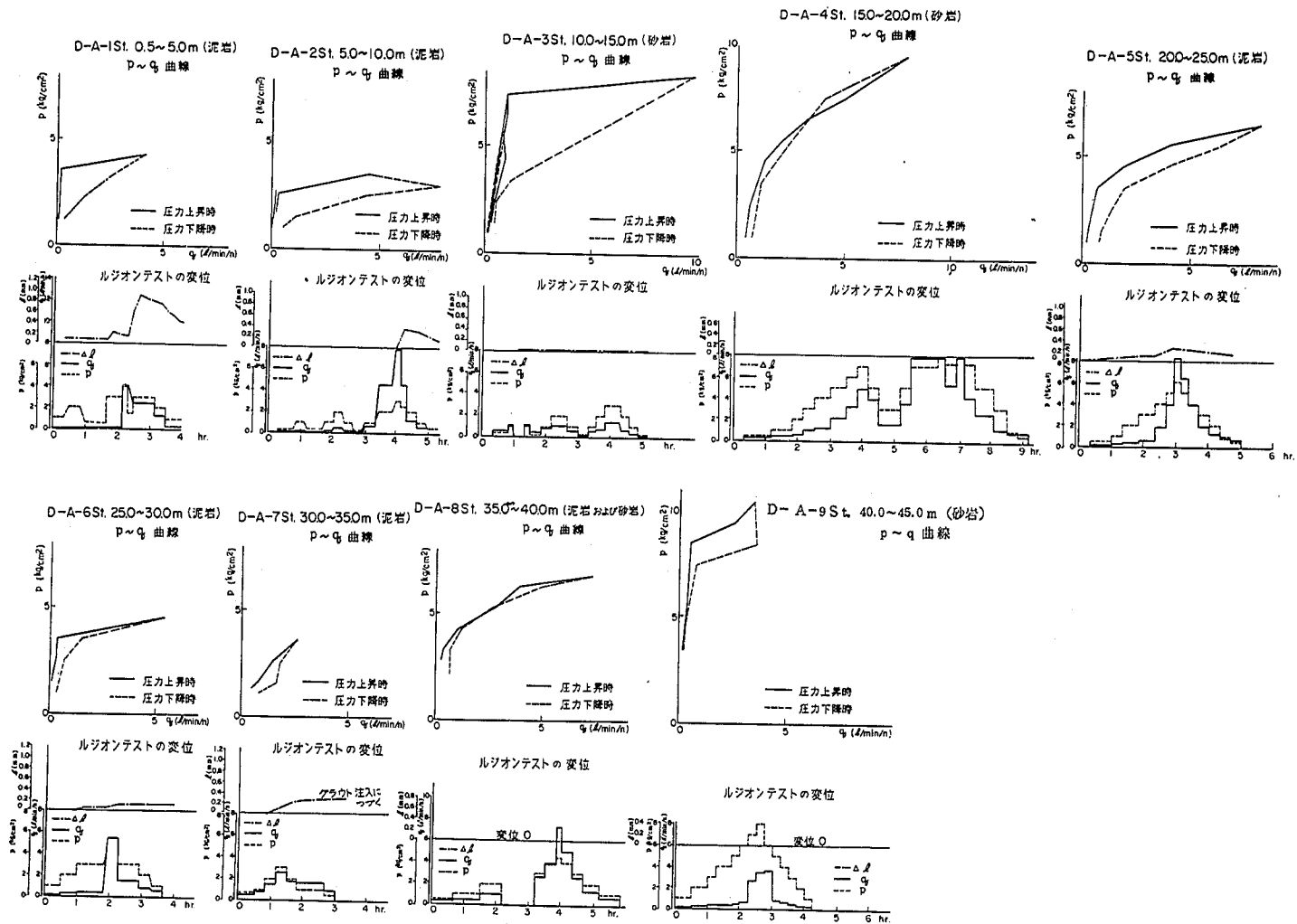


図-2.1.5 Aダム台地部チェック孔における $p \sim q$ 曲線および変位量

また、図-2.1.5に併記したように、9ステージ中の5ステージで、地表面の浮き上り現象を示しており、第1ステージで0.9mm、その他で0.1～0.4mmとなっている。分離すべき要素の関係は明瞭でなく、その原因の推定はむづかしい。

透水量が急増するときの注入圧力、浮き上りが生じたときの圧力、グラウチング圧力を示すと表-2.1.5のようになる。

表-2.1.5 Aダム台地部チェック孔における
限界圧力とグラウチング圧力 (kg/cm²)

ステージ	透水量が急増する圧力	浮き上がりを生じたときの圧力		グラウチング最終圧力	セメントグラウトが急増する圧力
		ルジオンテスト	グラウチング		
1	3.5	4(0.9)	2(0.4)	3	—
2	2.5	3(0.35)	—	5	—
3	7.5	—	—	5	—
4	6.0	—	—	7	—
5	3.5	5(0.2)	—	7	—
6	3.5	4(0.1)	6(0.05)	6	6
7	3.5	3(0.25)	—	3	—
8	4.0	—	—	6.5	6.5
9	8.5	—	—	8.5	8.5

(注) ()内数字は浮き上り量 (mm)

(iii) 河床部砂岩についてのテスト

河床部では、ダムの直下13mまで砂岩であり、ダム本体No.3ブロックの下で、本工事の一部として、浮き上りに注意したテストグラウチングを先行した。

このテストでは、バッカーを使用せず、ダム本体のグラウトギャラリのニップルで注入を行なった。

浮き上り量を測定しながら行なったルジオンテスト (No.3 7孔) から得た限界圧力は表-2.1.6のとおりで、ルジオンテスト時に0.1～0.2mm、グラウチング時に0.1mmの浮き上りを示しただけであるが、ルジオン値は、右岸台地に較べるとかなり大きい。

注入前のルジオン値は表-2.1.7、セメント注入量は表-2.1.8に示す分布が得られた。

この結果を右岸台地部に較べると、限界圧力がかなり低く、ルジオン値が大きいのに、

表-2.1.6 Aダム河床部No.3ブロックにおける
限界圧力とグラウチング圧力 (kg/cm²)

ステージ	透水量が急増する圧力	浮き上がりを生じたときの圧力		グラウチング最終圧力	セメントグラウトが急増する圧力
		ルジオンテスト	グラウチング		
1	1以下	2(0.1)	2(0.1)	4	—
2	1以下	—	—	6	5
3	2以下	1.9(0.2)	—	7	4
4	4	—	—	8	—
5	6	—	—	10	—
6	1以下	6(0.1)	—	10	—

(注) ()内数字は浮き上り量 (mm)

TM-84 FT-4 F-422

セメント注入量も少ない。したがって、グラウチングの効率はよくない。

そこで、ルジオン値が大きく表される原因として、パッカーを使わずにダム内に設置したニップルが支障を及ぼしている可能性があると考え、固結度のきわめて低い砂岩に対しパイプの埋設による周辺との固定を行ない、各ステージの区分を確実にしたルジオンテストを実施した。その概要は、図－2.1.6に示すとおりで、河床部の№4, 5, 6ブロックにそれぞれ1～2本行なった。

その結果として得られた $p \sim q$ 曲線は図－2.1.7のとおりで、第2ステージを除けば、大部分が低いルジオン値が示されている。

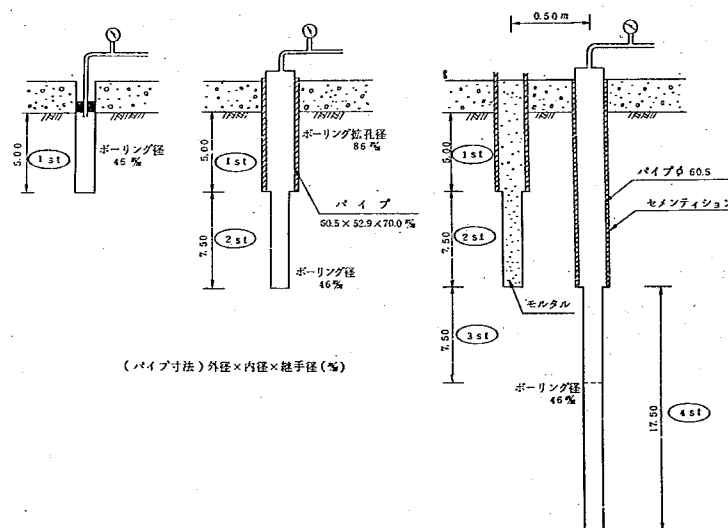
表－2.1.7 Aダム河床部№3ブロックにおけるルジオン値分布百分率(%)

ルジオン値	回数	1次および2次孔	3次孔
2以下		5	18
2～5		20	25
5～10		13	36
10～20		30	21
20以上		32	—

表－2.1.8 Aダム河床部№3ブロックにおける単位セメント注入量(kg/m)の分布百分率(%)

単位セメント注入量(kg/m)	回数	1次および2次孔	3次孔
10以下		63	82
10～20		37	11
20～50		—	7

地表変位 Δl 、注入圧力 p 、単位透水量 q 、全透水量 Q と注入時間 t を示した図－2.1.8による



図－2.1.6 Aダム河床部におけるルジオンテスト再試験の方法

TM-84 FT-4 F-423

14-84
 11-4
 1-424

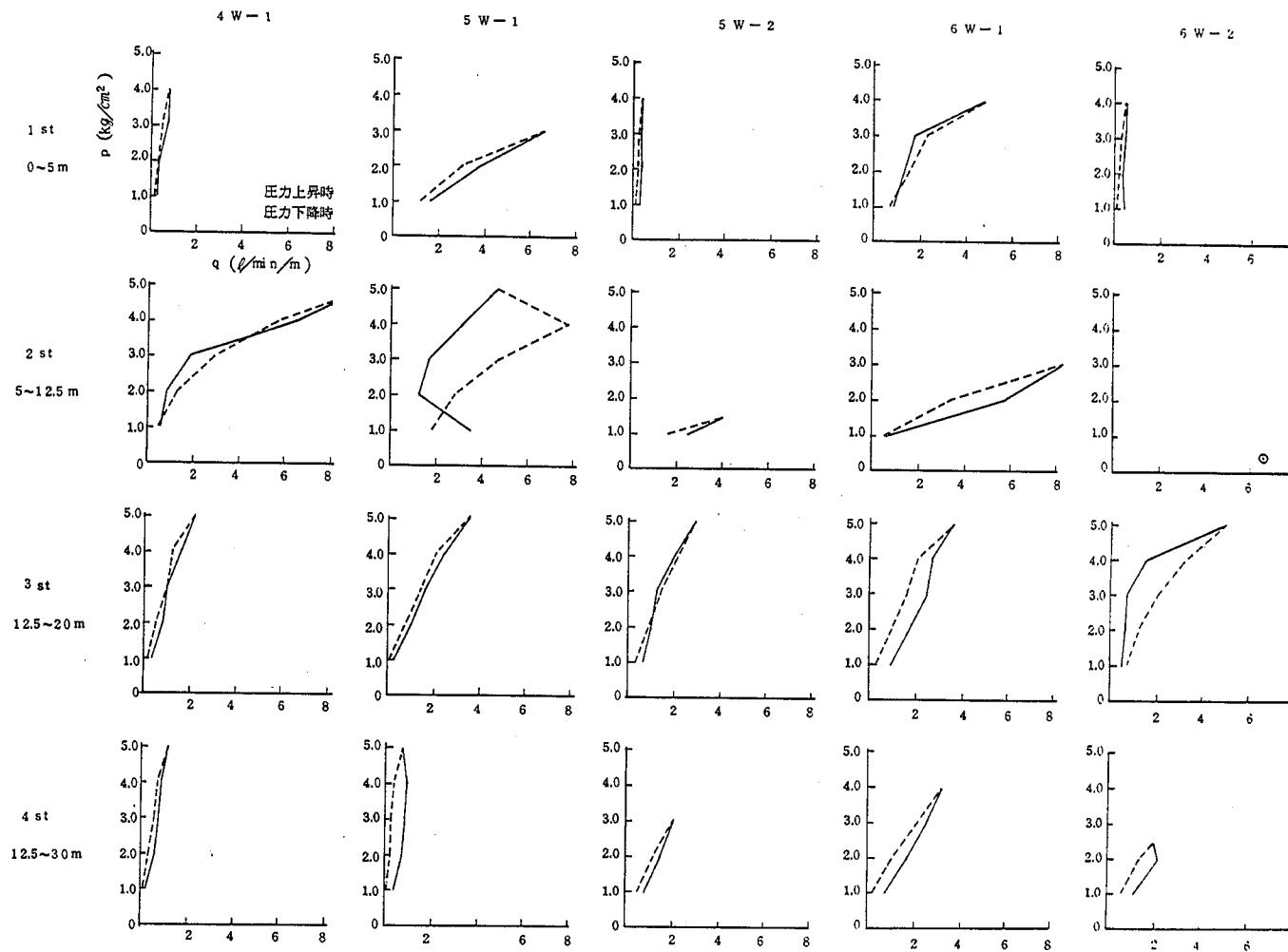


図-2.1.7 Aダム河床部におけるルジオンテスト再試験の $p \sim q$ 曲線

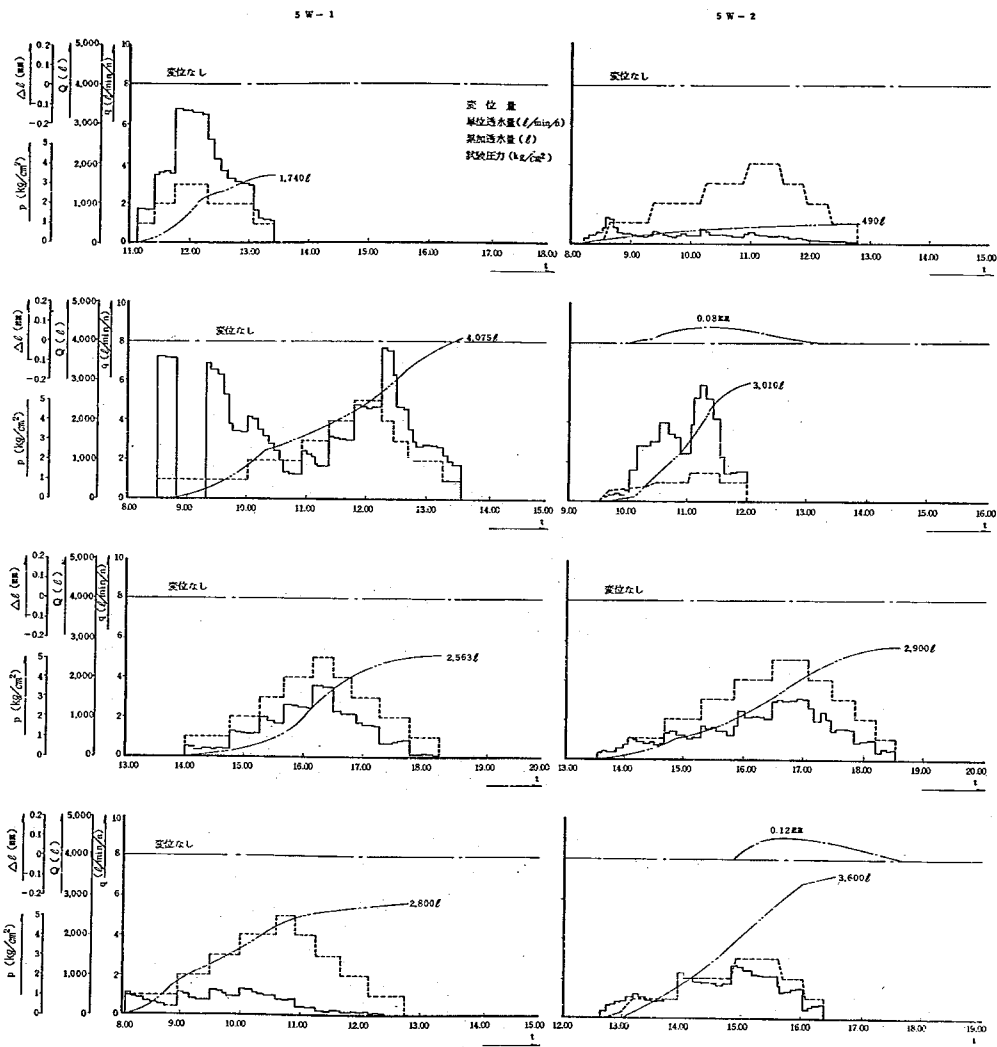


図-2.1.8(2) Aダム河床部におけるルジオンテスト再試験の $\Delta \ell$, p , q , Q , t の関係

TM-84 FT-4 F-426

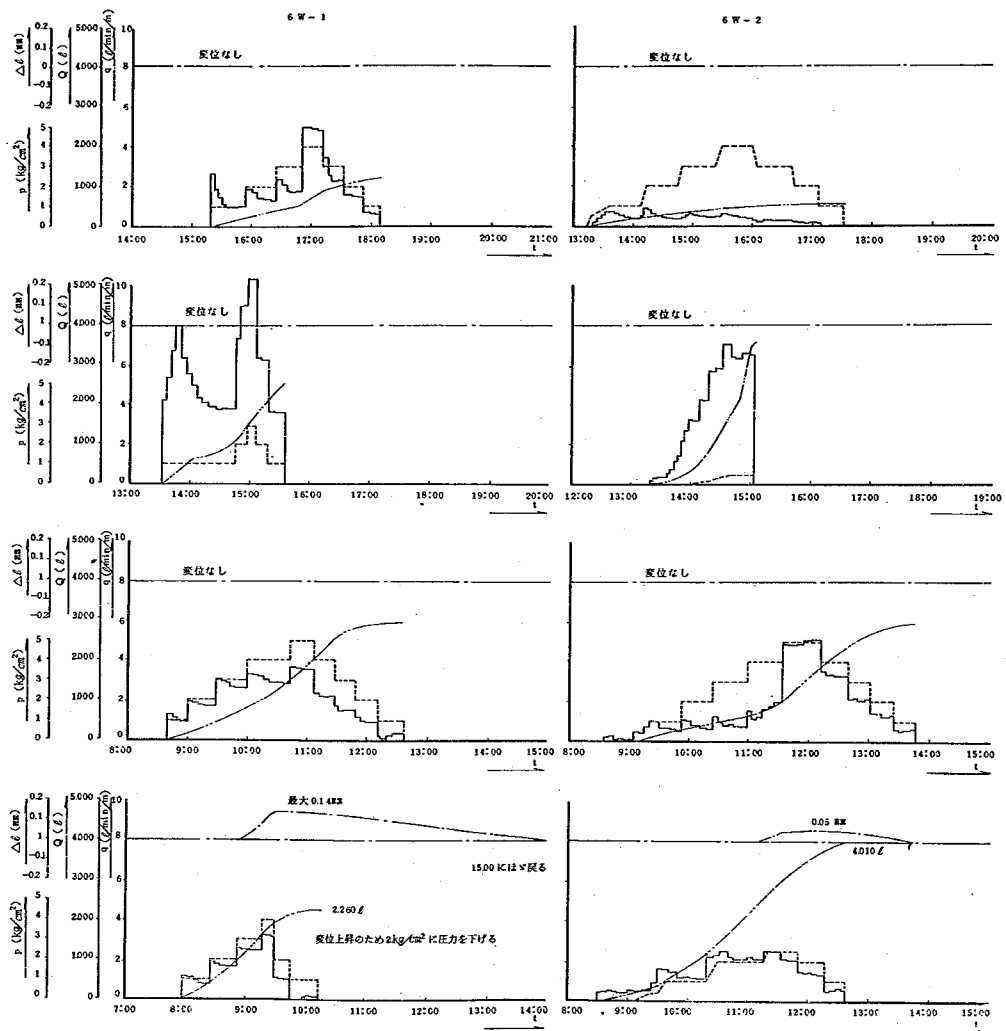


図-2.1.8(3) Aダム河床部におけるルジオンテスト再試験の $\Delta\ell$, p , q , Q , t の関係

TM-84 FT-4 F-427

と、第2ステージでは、とくに単位透水量が多く、さらに注入時間が短いことが示されている。また、昇圧の段階をよくみると、一段上の圧力に昇圧した最初に単位透水量が急激にふえ、徐々に減少するようなポンプの運転をしており、これが種々のトラブルを起している可能性があるので、改めたテストを再び実施することになっている。また、地表変位のあるステージについて図-2.1.7の $p \sim q$ 曲線と対比してみると、何らかの乱れがあるように見受けられるのは興味深い現象である。

このような条件に加えて、河床部では地下水位が高いため、工事中に、いくつかのステージで施工の回数に無関係に湧水がみられ、多いものは $10 \sim 30 \text{ l/min}$ に達した。チェック孔でも $0.2 \sim 0.5 \text{ l/min/m}$ の湧水がみられ、この孔のグラウチングのリポーリングでは $0.5 \sim 1.8 \text{ l/min/m}$ に増える現象がみられた。

これから、地下水面下の固結床の低い砂岩のグラウチングは、地下水をしばらく出してセメントなどと置き換えるのがむずかしく、さらに、注入によって本来の強さを乱す恐れもあるので、現在その処置が研究されている。

(iv) 本工事への反映

台地部の透水性は大きくないが、ダムという重要構造物であることから、念のためのグラウチングを施工すればよいと判断される。グラウチングは、岩盤を浮き上がらせすぎる程の過大な注入圧力の採用は避け、限界圧力よりやや高い圧力を採用すれば効率がよい。

地下水面下の河床付近ではあまり良好な結果を得なかったが、兩岸に較べ特に異なる地層ではないので、ルジオンテストを続行し、透水性を再調査することになっている。

また、湧水のある河床の固結度の低い砂岩に対しては、ケミカルグラウト(OH-1A)を使用した注入も行なっている。

2) B ダム

(i) 地形および地質

このダムは、千葉県房総半島の中央部から東京湾に流れる小櫃川に計画されているもので、ダム地点付近では蛇行が著しく、大きな河岸段丘が形成されている。

地質は第三紀鮮新世の砂岩および泥岩の互層から成り、その上の段丘堆積物が覆っている。地層は図-2.2.1に示すように $N60^\circ \sim 80^\circ E$, $10^\circ \sim 20^\circ NW$ の走向傾斜で、ダム地点ではほぼ下流下りの単斜構造である。

砂岩が優勢な部分と、泥岩が優勢なものがあるが、そのうち砂岩は固結度がきわめて低く、ダムを築造するにあたって、その止水をどうするかが問題となっている。

TM-84 FT-4 F-428

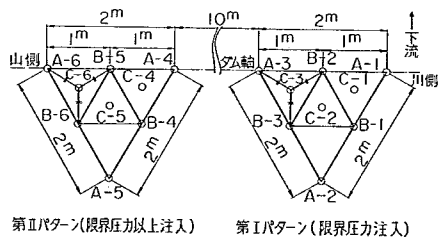
(2) テストグラウチング

(i) 方法

テストグラウチングの孔配置は図-2.2.2のとおりで、A孔、B孔、C孔の順序に施工することとし、表層から10mをウェイトにとって、その下10～35mの区間に、5mステージのステージグラウチングを行なった。

まず、ルジオンテストを行なって、注入圧力と透水量の関係を整理して

p～q曲線をかき、それから限界圧力を求めた。第Ⅰパターンではこの限界圧力以内の注入圧力で注入することとし、第Ⅱパターンでは、限界圧力より1 kg/cm² 高い圧力で注入することにした。



第Ⅱパターン(限界圧力以上注入) 第Ⅰパターン(限界圧力注入)

図-2.2.2 Bダムにおける孔配置図

予想に反してパッカーが比較的良好で、主としてエキスパンションパッカーを使用した。

地盤の浮き上りを測定するため、図-2.2.3に示すような岩盤変位測定装置を設けた。当初は自記記録変位計(差動トランス)だけを用了が、記録紙を取外したときの変動の総計を知るため、ダイヤルゲージを追加設置した。なお、この

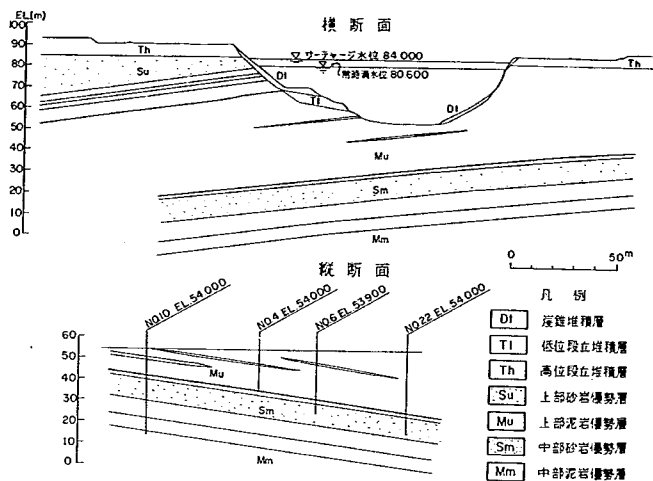


図-2.2.1 Bダムにおける地質断面図

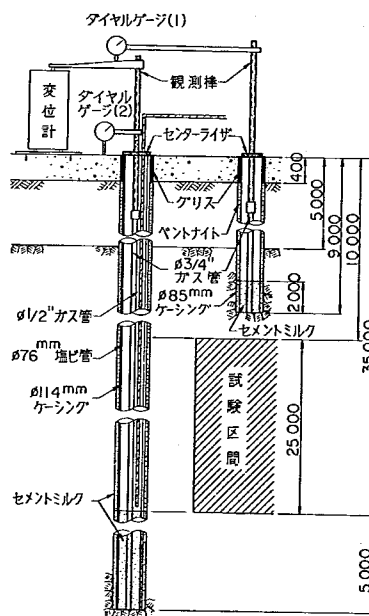


図-2.2.3 Bダムにおける岩盤変位計

ダム地点の最初のテストグラウチングでは、作業スペースの関係で、片持梁式の変位計を用いたが、気温変化による梁のたわみの影響が大きく出て、精度は好ましくなかった。

(ii) ルジオンテスト

表-2.2.1にルジオン値の分布を示すが、試験前に同様な基礎をもつ他ダムで大きなルジオン値が報告されていたので同様の結果となるものと考えていたが予想に反して

表-2.2.1 Bダムにおけるルジオン値分布百分率(%)

ルジオン値	パ タ ン I		パ タ ン II	
	1次および2次孔	3次孔	1次および2次孔	3次孔
2以下	93	87	90	86
2～5	7	13	7	7
5以上	—	—	3	7

きわめて小さく、ほとんどの部分で2 Lu以下の値となっている。これより大きいものは、表-2.2.2の各地層の透水性をあげたもののように、上部泥岩優勢層下部にみられるだけである。

表-2.2.2. Bダムにおける地質と透水性

深 度 (m)	地質柱状図	地 質 区 分	岩 相	ルジオン 値	限界圧力 (kg/cm ²)	備 考
5.20		段丘堆積層	粘土、砂、砂礫よりなり、軟質、礫はφ3cmの風化泥岩の円礫	—	—	—
14.40		上部砂岩優勢層の風化砂岩	粗粒均質で未固結状。下部はやや固結している。	0.9	最大 19 kg/cm ² 以上	明確な限界点を示さず徐々に透水量が増大
22.50		上部砂岩優勢層の新鮮な砂岩	20m付近に約3m厚の泥岩を挟みその上部は半固結状	0.7	9.9	泥岩優勢層と同様に明確な限界点を示す。
27.40		上部砂岩優勢層下部の未固結砂岩	細粒、均質で未固結状	1.4	10.8	〃
35.00		上部泥岩優勢層の上部	処々に砂岩の薄層を挟み全体的に均装少なく、良好な岩盤	0.1	10.3	前回試験の泥岩優勢層の限界圧力は3～5 kg/cm ²
60.00		上部泥岩優勢層の下部	〃	14.0	1.7	G.L.-35m～40m間はルジオン値0.9 限界圧力 5.6 kg/cm ²

p～q 曲線は、図-2.2.4 にみられるように、よく立っており、限界圧力を示す折れ曲りが非常に顕著である。このテストの結果として示したルジオン値は、折れ曲りの出る以前の急な勾配から換算したもので、Aダムの再調査ルジオンテストと同様の方法によっている。

TM-84 FT-4 F-430

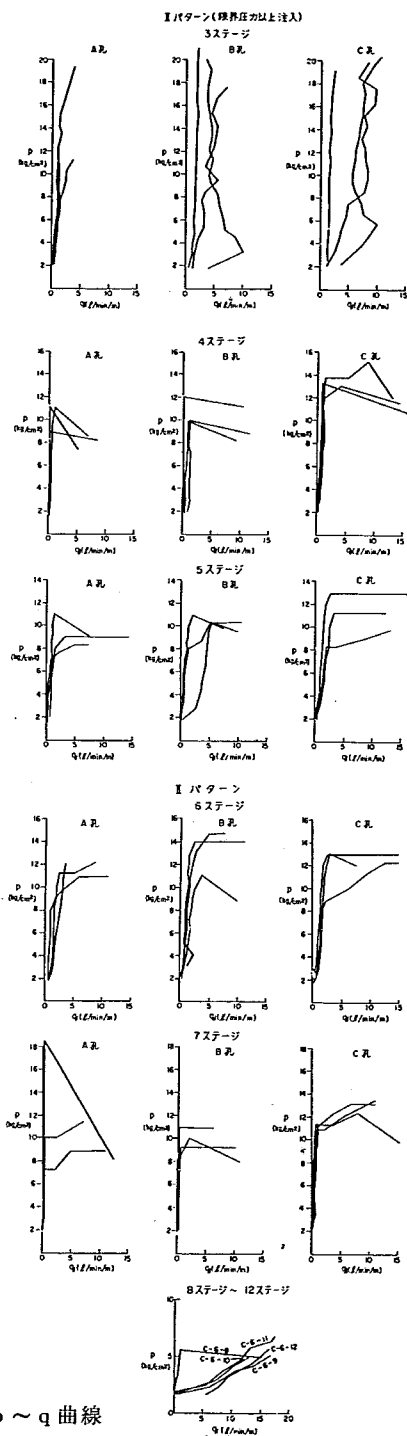
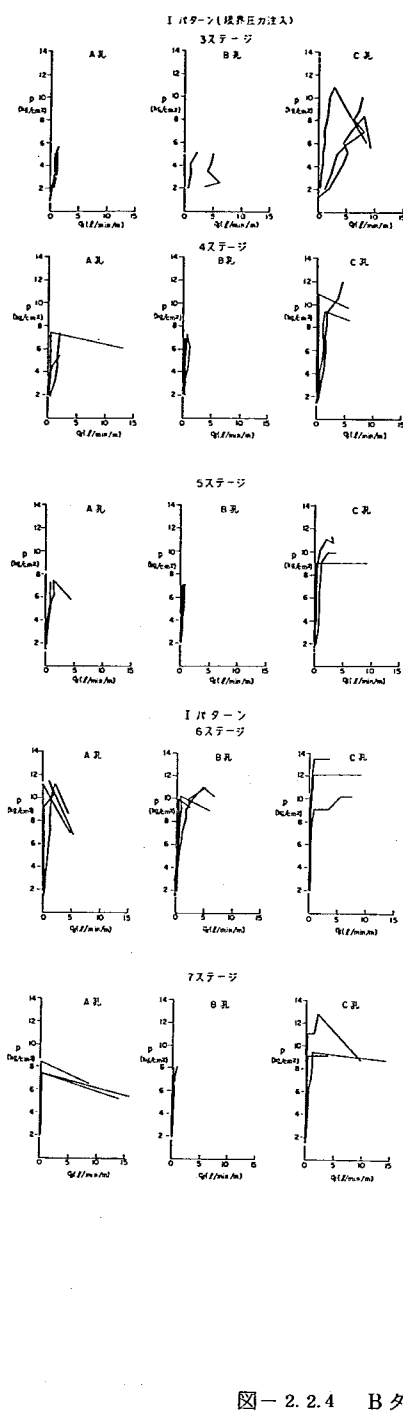


図-2.2.4 Bダムにおける $p \sim q$ 曲線

TM-84 FT-4 F-431

(iv) 岩盤の浮き上り

ルジオンテストでは、限界圧力以内の注水時の地表面浮き上りの変位は全く認められなかったが、限界圧力に達すると必ず変位を生じた。また、原因はよくわからないが、浮上りではなく、沈下を生じたものがいくつかある。

グラウチングでは、第3ステージ（10～15m）で、注入量が650ℓ以上のときに変位が生じたが、注入圧力が限界圧力より低いためか、これ以下では生じていない。それ以外のステージでは、表-2.2.4に示すような変位が生じている。

測定された最大変位量は、ルジオンテストで0.6mm、グラウチングで1.15mmである。グラウチングでは1mmに達する変位があると、注入量は著しく増大する。また、図-2.2.5に示すように現場作業時に、単位注入量を1ℓ/min/mにおさえると、変位を0.2mmに止めることができるのを確かめている。

測定に際して、自記録装置の記録紙を取り替えているので、前後の注入の間の連続性は、残念ながらよくわかっていない。途中でダイヤルゲージを設置したが、これも途中で動かしており、よくつながらない。

表-2.2.4 Bダムにおける限界圧力と浮上り量

パタン	ステージ	孔番号	限界圧力 (kg/cm ²)	浮上り量 (mm)		グラウチング 最終圧力 (kg/cm ²)	パタン	ステージ	孔番号	限界圧力 (kg/cm ²)	浮上り量 (mm)		グラウチング 最終圧力 (kg/cm ²)	
				ルジオン テスト	グラウチ ング						ルジオン テスト	グラウチ ング		
I	3(10~15m)	C 1	8.4	0.1	—	8	II	5(20~25m)	B 4	10.3	0.3	—	12	
	4(15~20m)	A 2	7.4	0.5	0.25	7			B 5	10.3	0.25	0.2	12	
		A 3	7.3	0.1	0.2	7			B 6	10.3	0.15	0.5	12	
		B 1	—	—	0.15	7			C 4	8.2	0.45	0.1	12	
		C 1	9.4	0.25	1.15	9			C 5	11.2	0.3	0.1	12	
		C 2	12.0	0.1	—	10			C 6	12.9	0.3	0.2	14	
		C 3	10.9	0.2	0.2	11		6(25~30m)	A 4	12.0	0.5	0.3	13	
	5(20~25m)	A 2	7.4	0.1	0.4	7			A 5	11.2	0.3	—	15	
		C 1	9.0	0.15	0.15	10			A 6	9.1	0.25	—	12	
		C 2	11.1	0.1	—	10			B 4	11.1	0.3	—	15	
		C 3	9.9	0.1	—	10			B 5	14.7	0.1	—	15	
	6(25~30m)	C 1	12.1	-0.1	-0.2	12			B 6	14.0	0.1	—	15	
						C 4	8.9	0.35	—	15				
II	4(15~20m)	A 4	8.9	0.1	0.9	12	II	7(30~35m)	C 5	13.0	0.25	—	15	
		A 5	11.1	0.25	0.1	12			C 6	10.9	0.15	—	15	
		A 6	11.1	0.35	0.45	12			A 4	7.3	0.3	0.3	10	
		B 4	9.9	0.1	0.2	12			A 5	18.5	0.2	—	19	
		B 5	9.9	0.15	0.65	12			A 6	10.1	0.3	1.0	13	
		B 6	12.0	0.2	—	12			B 4	10.0	0.3	0.35	19	
		C 4	13.2	0.3	0.1	14			B 5	10.9	0.15	0.15	19	
		C 5	13.7	0.35	0.1	16			B 6	9.2	0.35	0.1	19	
		C 6	13.0	0.25	0.2	14			C 4	12.5	0.5	—	19	
		5(20~25m)	A 4	8.3	0.3	0.25			12	C 5	11.2	0.3	—	19
			A 5	11.0	0.1	-0.4			12	C 6	11.3	0.3	—	19
			A 6	9.0	0.6	0.3			10					

TM-84 FT-4 F-432

M-84
 FI-4
 F-433

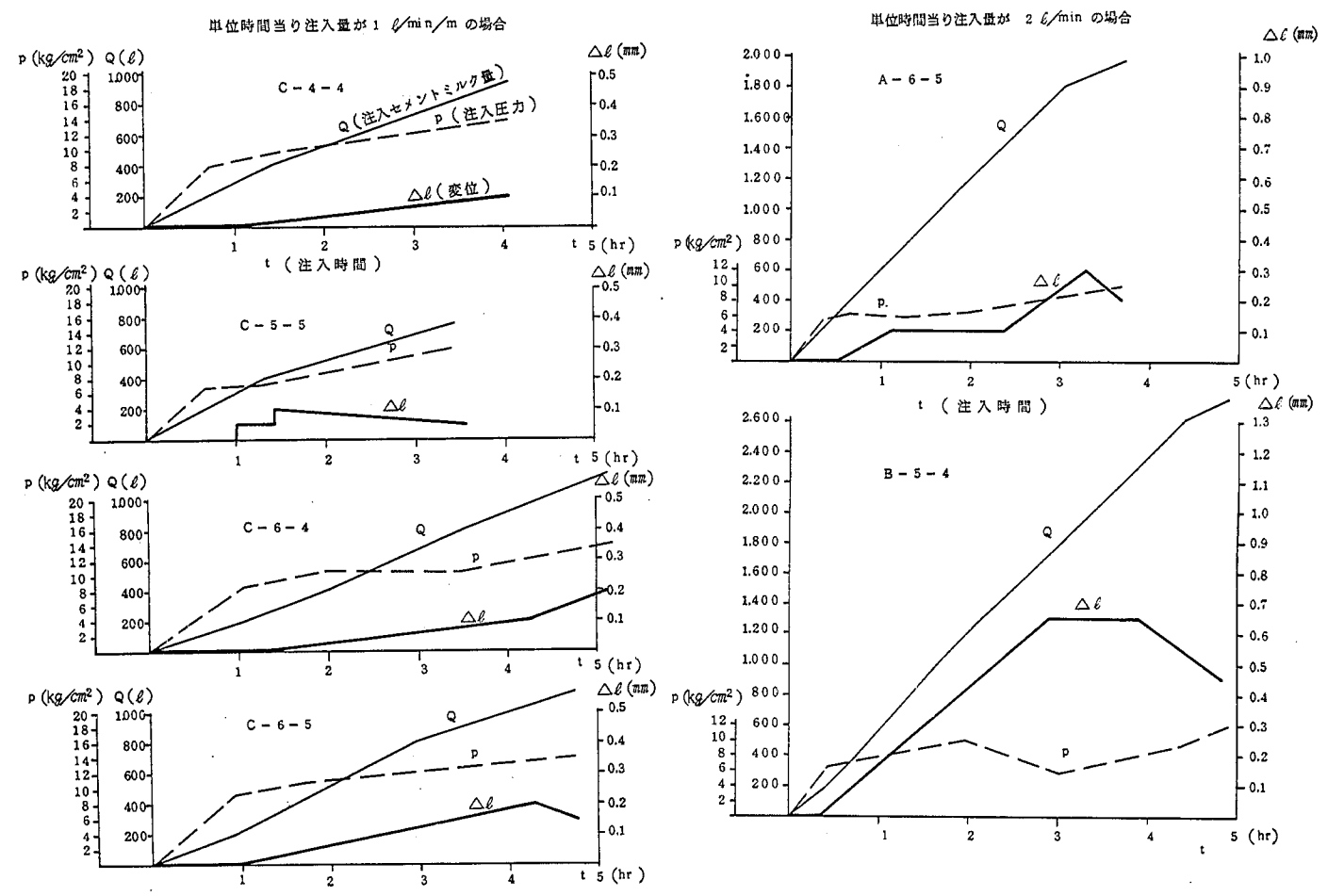


図-2.2.5 Bダムにおける p , q , Q と地盤の浮き上りの関係

図-2.2.6に限界圧力の分布を示したが、この値も、上部泥岩優勢層下部の 1.7 kg/cm^2 を除けば、 $7\sim 12\text{ kg/cm}^2$ のものが多く、高い値を示している。

(v) 注 入

前にあげた図-2.2.4の $p\sim q$ 曲線によると、注入次数の増加に伴なうルジオン値の低下や限界圧力の上昇は、いく分あるようにも見受けられるが明瞭ではない。

セメント注入量を示した

表-2.2.3をみると、約半数のステージで 20 kg/m 以下の注入量であり、あまり入らない。残りの半数についてみ

ると、やや高压を用いたパタンⅡの方が注入量が多く、かつ、注入次数の高い3次孔で約85%が 50 kg/m 以下の注入量となっており、グラウチングの効率のよいことが示されている。低压を用いたパタンではこのような傾向はない。

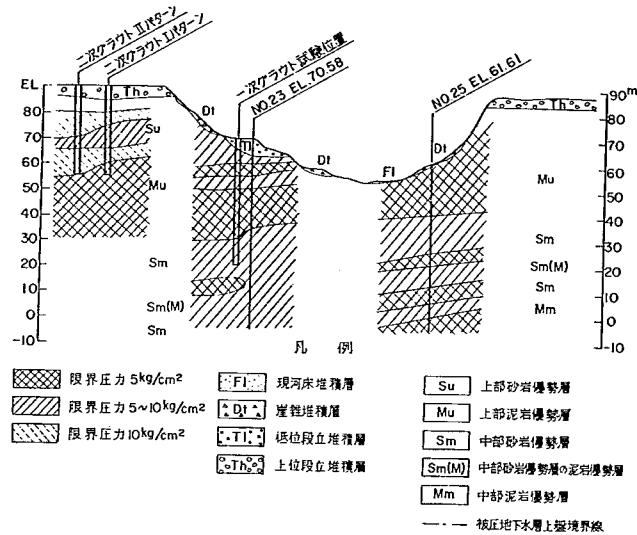


図-2.2.6 Bダムにおける地点限界圧力分布図

表-2.2.3 Bダムにおける単位セメント注入量 (kg/m) の分布百分率 (%)

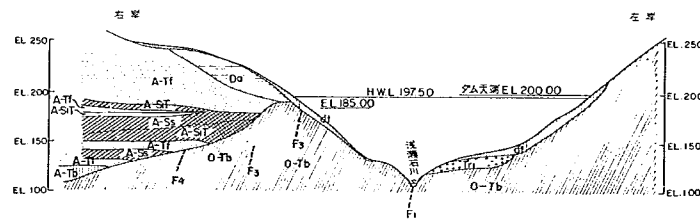
次 数 単位セメント 注入量 (kg/m)	パ タ ン Ⅰ		パ タ ン Ⅱ	
	1次および 2次孔	3次孔	1次および 2次孔	3次孔
10 以下	67	26	30	34
10 ~ 20	—	20	10	13
20 ~ 50	17	20	3	40
50 ~ 100	13	20	30	13
100 ~ 200	3	7	24	—
200 以上	—	7	3	—

3) C ダム

(1) 地形，地質

青森県岩木川上流のダム地点は，第三紀層上部沖浦層の凝灰角礫岩の上に，青荷層と呼ばれる十和田，八甲田付近からの軽石質凝灰岩を主とした種々の凝灰岩が重なっている。

ダム地点では，図－2.3.1にみられるように，河床から左岸にかけては凝灰角礫岩が分布し，強度，遮水性とも満足すべきものであるが，右岸側の山側に広く凝灰岩類が分布し，かつ山側に向って急激に下って厚くなっている。さらに，満水面標高ではあまり厚くない尾根を形成しており，この軽石質凝灰岩類の透水性とパイピングが大きな問題となっている。



図－2.3.1 Cダムにおける地質断面図

なお，この青荷層の凝灰岩類は，ダム地点付近では上位から，軽石質，シルト質，礫混りシルト質，軽石質，砂（軽石）質，シルト質の凝灰岩となっており，透水性はそれぞれ異なっているようであるが，詳細はまだよくわかっていない。

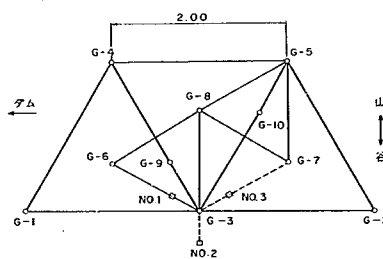
(2) テスト グラウチング

(i) 方法

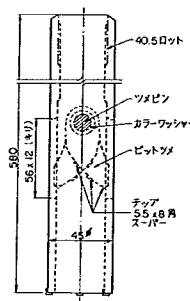
孔配置は，図－2.3.2のように2mの正三角形を並べたものとし，その中央に2次孔を設けた。

注入は，地表（EL. 220m）から行なうステージグラウチングとした。

パッカーは，図－2.3.3に示すビットの高速回転による拡孔を行ない，セメントペースト注入後リボーリングして，その位置にセットした。



図－2.3.2 Cダムにおける孔配置図



図－2.3.3 Cダムにおける45φ拡孔ビット
(全開100φ)

TM-84 FT-4 F-435

(ii) 結 果

ルジオン値は限界圧力以内の透水量を使った値ではないが、報告されているものをあげると表－2.3.1のとおりである。

セメント注入量は、表－2.3.2に示すとおりであるが、半数以上のステージで400kg/mという大きな値を示している。しかし、2次孔になってもルジオン値もセメント注入量も低下せず、これまでの結果ではグラウチングの効果は認められていないようである。

その理由の1つとして、図－2.3.4のp～q曲線の例にみられるように限界圧力がかなり低いのに、表－2.3.3に対比して示したような高いグラウト注入圧力を採用したことがあげられる。

表－2.3.1 Gダムにおけるルジオン値分布百分率(%)

ルジオン値 \ 次 数	1 次 孔	2 次 孔
2 以 下	20	—
2 ～ 5	7	—
5 ～ 10	20	11
10 ～ 20	23	89
20 以 上	30	—

表－2.3.2 Gダムにおける単位セメント注入量(kg/m)の分布百分率(%)

次 数	1 次 孔	2 次 孔
50 以 下	3	—
50 ～ 100	10	16
100 ～ 200	16	8
200 ～ 400	25	16
400 以 上	46	60

このテスト グ라우チングに関するかぎり、注入次数があがっても限界圧力の上昇は認められていない。

テストの途中で、2m間隔で行なった中央孔(図－2.3.2のG-3孔)をリボーリングして、図－2.3.5および写真－2.3.1のように枯竹を用いた変位計を設置し、地表面の浮き上りを測

TM-84 FT-4 F-436

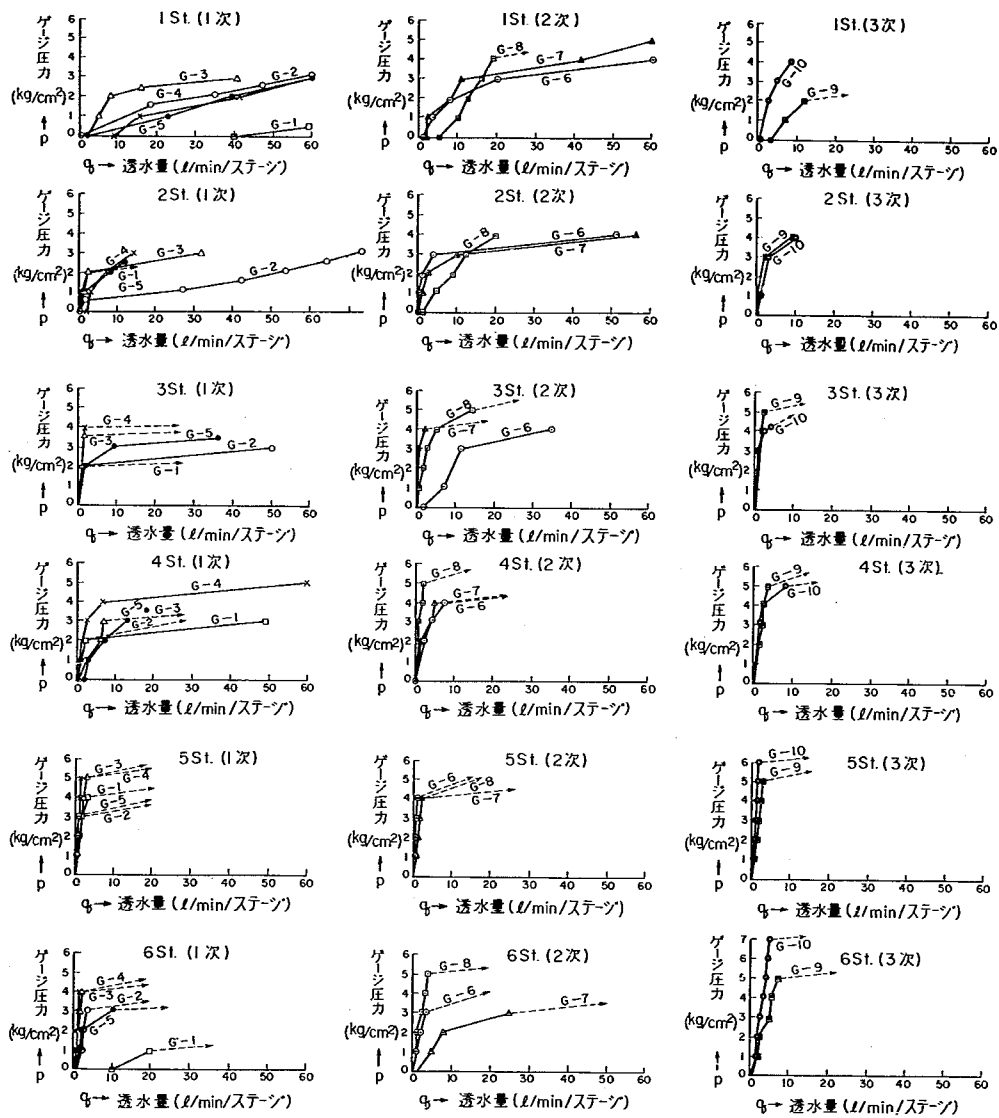


図 - 2.3.4 Cダムにおける $p \sim q$ 曲線

TM-84 FT-4 F-437

表-2.3.3 Cダムにおける限界圧力とグラウチングの圧力

	限 界 圧 力	グラウチング圧力
1	0 ～ 3	5 ～ 9
2	0.6 ～ 3	5 ～ 7
3	2 ～ 4	5 ～ 8
4	2 ～ 4	5 ～ 8.5
5	3 ～ 4	5 ～ 10
6	2 ～ 4	5 ～ 11

定した。その中には1mmを越すものが相当ある。(この計測は、その後、ケーシングパイプに隙間ができてグラウトの漏洩を生じ、測定不能となった。)

図-2.3.6および2.3.7に地表の浮き上り測定例を示すが、注入圧力が大きいだけでなく、グラウトの注入速度が大きいものと、全注入量が多いものほど浮き上りの変位が大きいたことが明瞭に記録されている。とくに連続した測定記録を示す図-2.3.7によると、時間の経過とともに浮き上りは減少することが認められる。全注入を通じて少しずつ累積されていく、ものと予想されるが、その値についてはよくわかっていない。

(Ⅲ) 今後の調査の方針

軟岩を基礎とする他のダムの例と比較してみると、試験位置が地表斜面に近くグラウトが漏洩しやすいことに加えて、注入ステージの上載荷重が小さいため限界圧力が低いことが、この地点のグラウチングをむずかしくしている。

技術的には、高すぎない注入圧力の採用、適正な注入速度(単位時間当たり注入量)とステージ当り全注入量が、主要な因子となって、岩盤に大きな変位を生じさせ、グラウチングの効率の低下を招いたものと考えられるので、これらの要素を分離できるような調査試験の続行が検討されている。

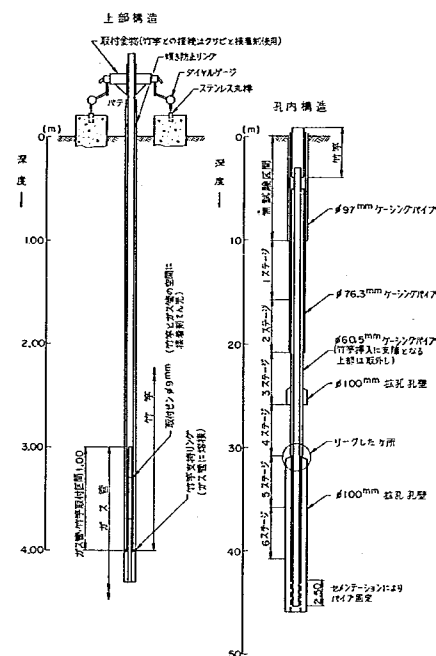


図-2.3.5 Cダムにおける岩盤変位計

TM-84 FT-4 F-438



写真-2.3.1-1 Cダムにおける岩盤変位計の上部
ロッドに用いた枯竹

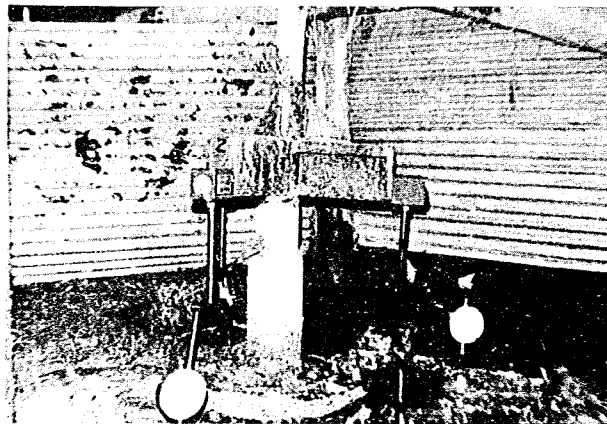


写真-2.3.1-2 Cダムにおける岩盤変位計の3ケのダイヤルゲージ

TM-84 .FT-4 .F- 439

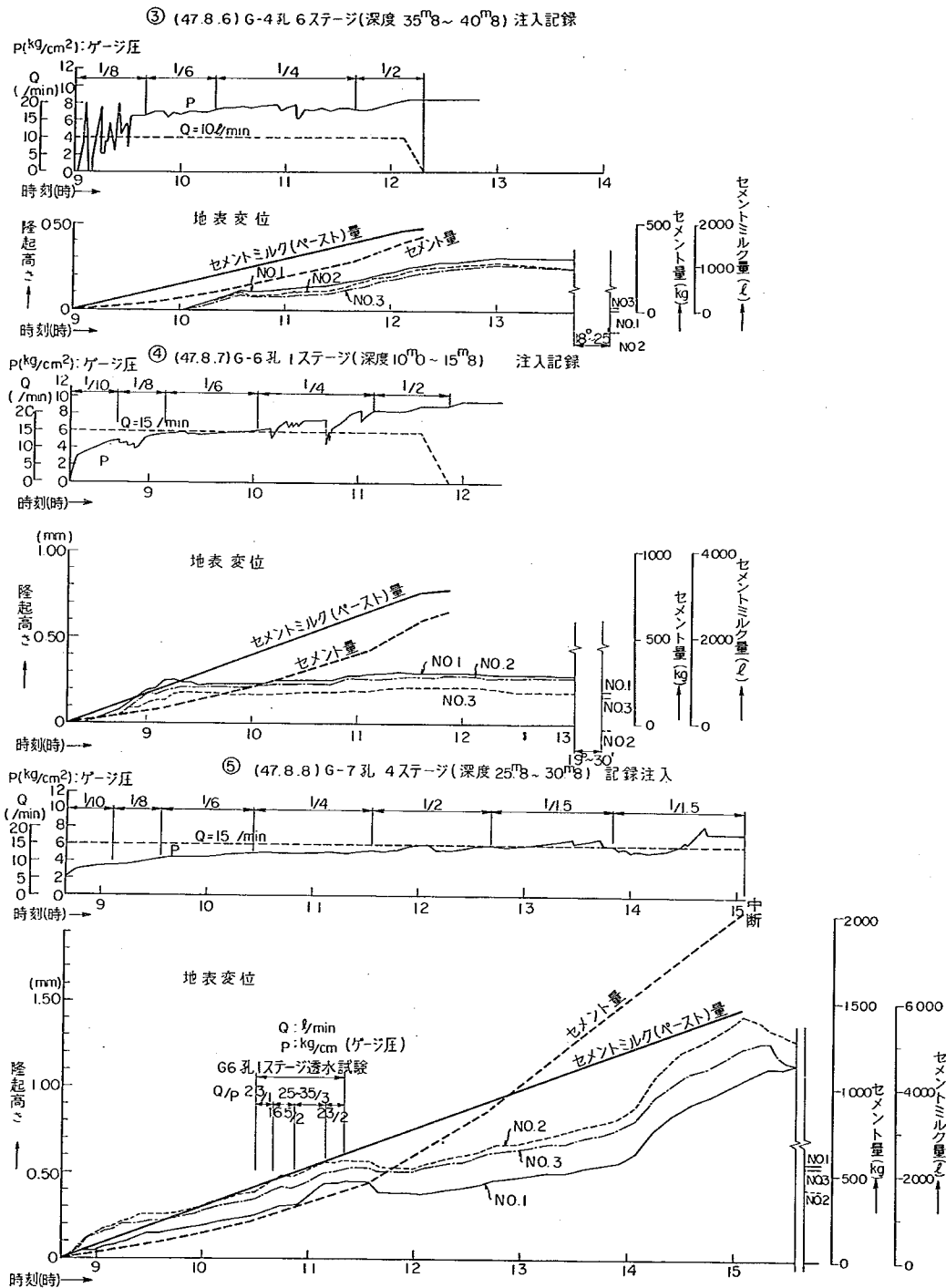


図 - 2. 3. 6 O ダムにおける岩盤変位

TM-84 FT-4 F-440

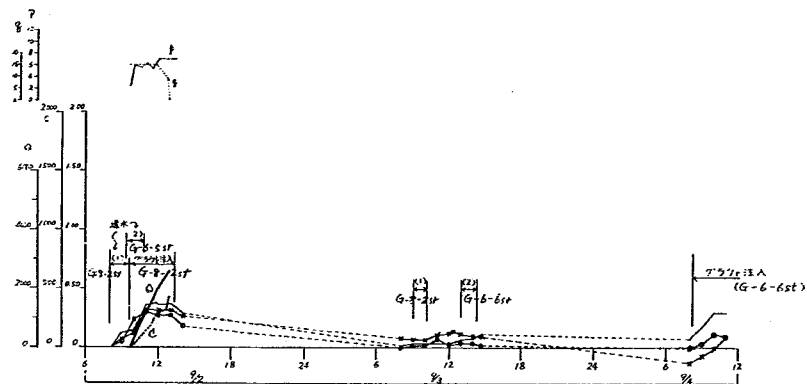


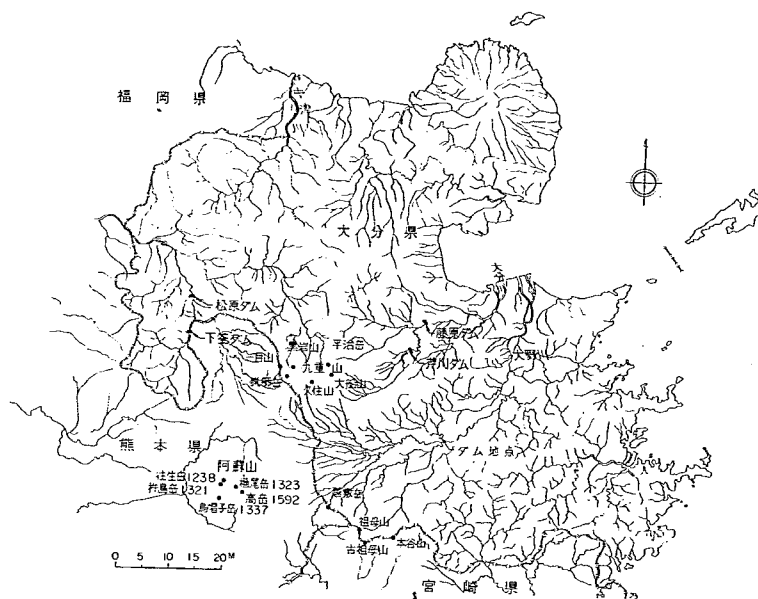
図-2.3.7(2) Cダムにおける p , q , Q と岩盤変位の連続記録

TM-84 .FT-4 .F-442

4) D ダム

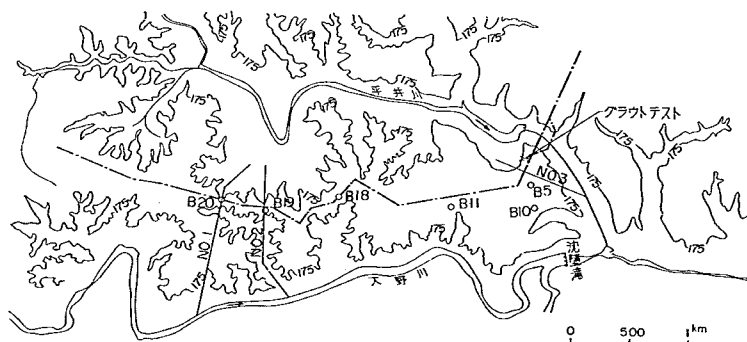
(1) 地形，地質

このダムの予定地点は，図－2.4.1 に示すように大分県大野川左支川平井川にあって，標高200 m程度の低い丘陵が連なっており，上部は平地化したものが多いが，河川に沿って，阿蘇溶岩に特有な崖がみられる。



図－2.4.1 Dダムにおける位置図

左岸は問題がないが，右岸側は本川の大野川との距離が図－2.4.2 のように比較的小さく，尾根の薄い地形が数 kmにわたって続いており，あとで述べる地質上の大きな問題がある。



図－2.4.2 Dダムにおける右岸尾根地形図

TM-84 FT-4 F-443

図-2.4.3～5の凡例

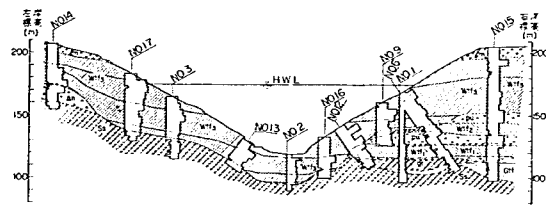


図-2.4.3 Dダムにおける地点地質断面図

地質年代	地質記号	地質説明
新第三紀	di	角礫と粘土質土(砂礫土)未固結
	Wf3	いりゆるローム、軽石層をはいも未固結
	Wf2	熔結凝灰岩、砂礫結~無結核
	Wf1	軽石、凝灰質砂、シルト(砂礫)未固結~低固結
	Wf0	熔結凝灰岩、砂礫結~低固結
	Wf-1	軽石、凝灰質砂、シルト(砂礫)未固結~低固結
	Wf-2	熔結凝灰岩、砂礫結~低固結
	Wf-3	軽石、凝灰質砂、シルト(砂礫)未固結~低固結
	Wf-4	熔結凝灰岩、砂礫結~低固結
	Wf-5	軽石、凝灰質砂、シルト(砂礫)未固結~低固結
第四紀	Am	安山岩~石英安山岩、粗面岩、堅硬
	Ab	太田岩質安山岩、多孔隙、堅硬
	Ss	砂礫、砂、未固結
	Gr	凝灰質の泥岩、シルト、砂岩、凝灰岩、ピートなど、低固結
	Ir	砂岩を主とし、泥岩、頁岩をはいも固結、新鮮部堅硬
	Gr	凝灰質の泥岩、シルト、砂岩、凝灰岩、ピートなど、低固結
	Gr	凝灰質の泥岩、シルト、砂岩、凝灰岩、ピートなど、低固結
	Gr	凝灰質の泥岩、シルト、砂岩、凝灰岩、ピートなど、低固結
	Gr	凝灰質の泥岩、シルト、砂岩、凝灰岩、ピートなど、低固結
	Gr	凝灰質の泥岩、シルト、砂岩、凝灰岩、ピートなど、低固結

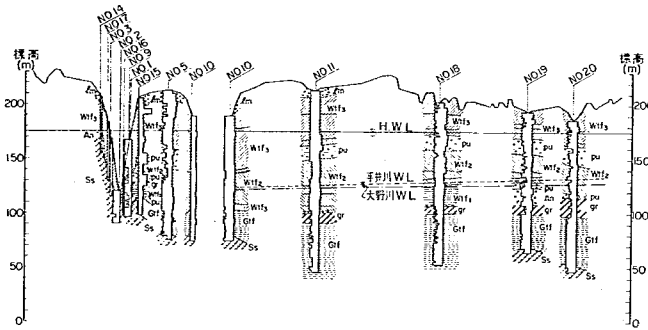


図-2.4.4 Dダムにおける右岩尾根部沿い地質断面図

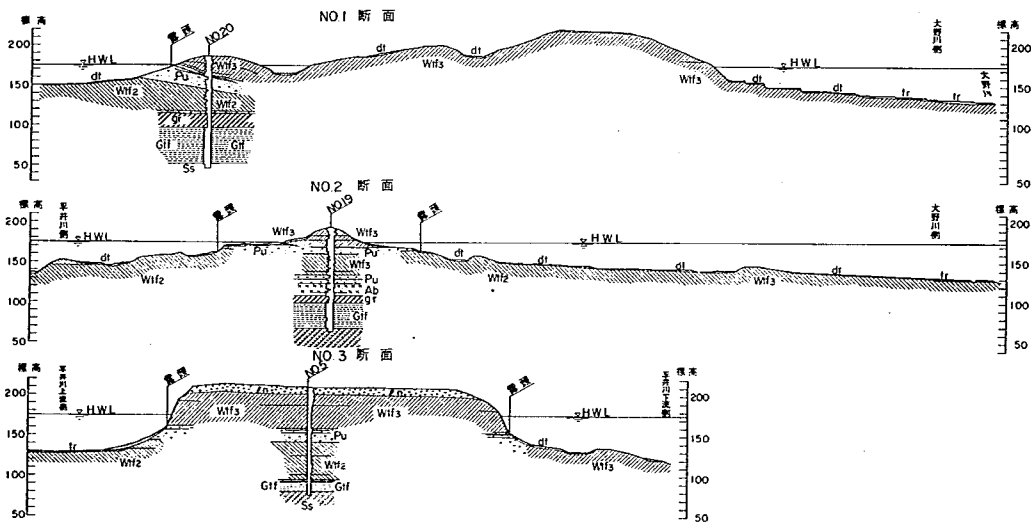


図-2.4.5 Dダムにおける右岸尾根横断地質図

TM-84.FI-4.F-444

ダム地点付近の基盤は、白亜系に属する大野層群と呼ばれる砂岩と頁岩の互層である。その上に、顕著な噴出は3回とみなされる阿蘇溶結凝灰岩が図-2.4.3～図-2.4.5に示すように不整合にのっている。上位のものから概要を示すと次のようである。

(i) 溶結凝灰岩 (Wt₃)

軽石および黒曜石を含む溶結度の比較的低い黒灰色の阿蘇溶岩である。テスト グラウチング川作業坑はこの中に掘った。あまり多くはないが、縦亀裂がある。

(ii) 軽石質凝灰岩 (Pu₃)

火山灰や軽石が運搬されてきて堆積したものである。典型的な層序は上からスコリヤ、軽石層、ローム、砂礫となっている。周辺には、これが形成する鉛直な崖がみられるが、深さ30～50cmのパイピング ホールが並んでいる所があって、比重が小さいうえ、透水性の大きいことが予想される。

その上、この層が右岸尾根のダム満水面よりやや下に位置しており、薄い尾根の中にあるため、その止水がダム築造上の最大の難問となる。

(iii) 溶結凝灰岩 (Wt₂)

Wt₃と同様の鉱物組成であるが、溶結度は低い。上部と下部には薄い未溶結層がある。

(iv) 軽石質凝灰岩 (Pu₂)

Pu₃とほとんど同じ性質のもので、上から砂質ローム、軽石層、ローム、砂礫となっている。砂礫を埋めているロームはいく分固結しており、崩壊はほとんどない。

尾根の厚みはPu₃より大分大きくなるが、貯水池底部に位置するので水頭も大きくなるため、止水はやはりむずかしい問題となる。

(v) 溶結凝灰岩 (Wt₁)

黒曜石のレンズを含むガラス質の灰色な阿蘇溶石で、亀裂が所々にあり、その面は風化が進み粘土もみられる。

(vi) 軽石質凝灰岩 (Pu₁)

Pu₃, Pu₂と同じであるが、貯水池の底に位置する。

(vii) 緑色凝灰岩 (Tf)

2～3cmの安山岩、砂岩、頁岩の礫を含む緑色凝灰岩で、固結度は低い亀裂はほとんど認められない。

(viii) 砂岩と頁岩の互層 (Alt)

これまでにあげた阿蘇溶岩の下の基盤で、表層の風化は著しい。

(2) テスト グラウチング

(i) 試験位置

ダム地点付近の軽石質凝灰岩および溶結度の低い阿蘇溶岩の止水を得るためのテストであるから、

TM-84 FT-4 F-445

図-2.4.6に示すように、最上部の Pu_3 に対する注入が十分に行なうことができ、かつ、その直上の Wt_3 をよく固められるようにすることが望ましい。このため、 Pu_3 の上に10 m離れた位置からボーリングして注入を行なうことにし、EL. 165 mに作業坑を設け機械配置は図-2.4.7のようにした。この地点では、幸いEL. 210 m付近が地表であって、約50 mのかぶりをとってグラウチングができるので、地表の浮き上りによる問題を避けることができた。

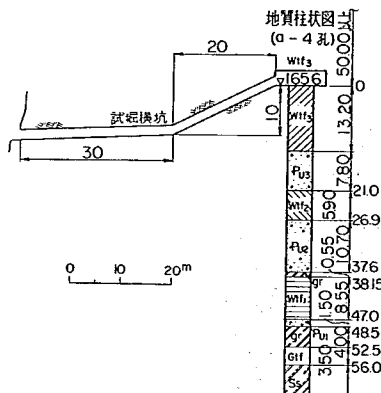


図-2.4.6 Dダムにおけるテスト位置断面図

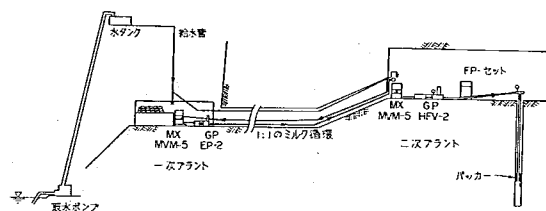


図-2.4.7 Dダムにおける機械配置図

(ii) 方法

孔配置は図-2.4.8に示すパターンとし、パターンIでは $8 \sim 15 \text{ kg/cm}^2$ の比較的低圧力の注入、パターンIIでは $20 \sim 35 \text{ kg/cm}^2$ の高圧で注入を行なうことにし、それぞれ、1次孔、2次孔、3次孔の順に、ステージグラウチングによって施工した。

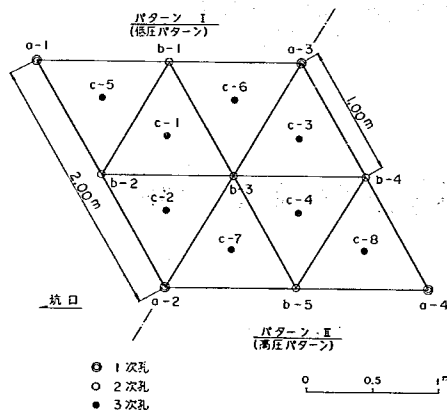


図-2.4.8 Dダムにおける孔配置図

溶結度の低い岩は弱いものなので、パッカーは、各ステージ下端付近のボーリング孔をリーミングして拡孔し、セメント注入後硬化を待ち、リボーリングしてその部分にセットした。

拡孔ビットは写真-2.4.1のようなもので、中央の写真手前のパイプを通して水圧をかけることによって刃先が開くようになっている

材料は、十分検討するだけの時間的余裕がないため、定性的にはよいと考えられるコロイドセメント(住友セメント、

TM-84 FT-4 F-446

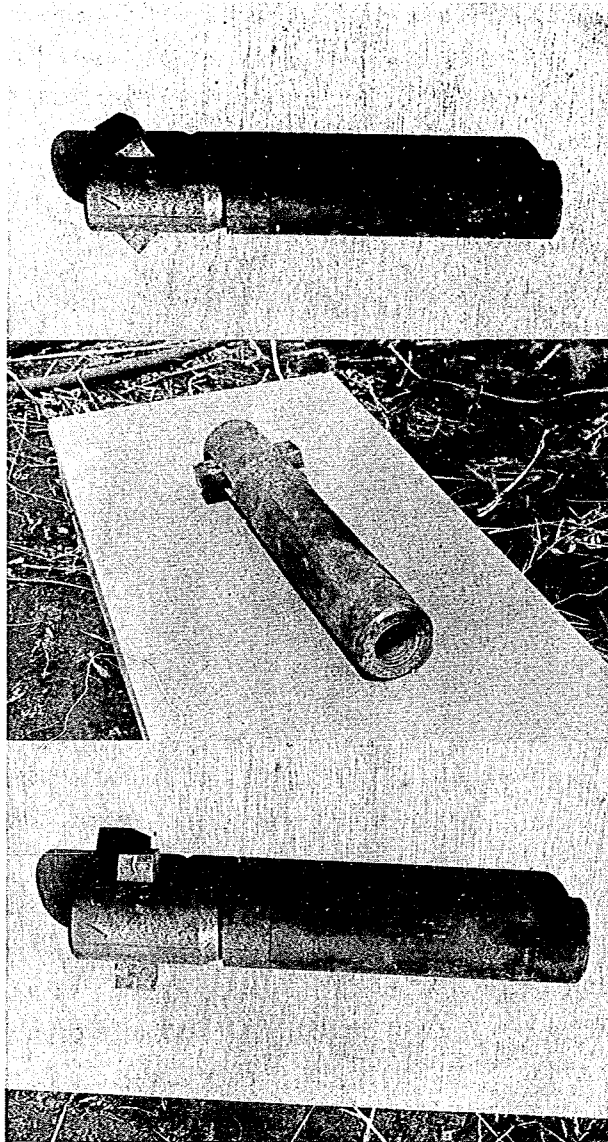


写真-2.4.1 Dダムにおける拡孔ビット

TM-84 FT-4 F-447

表-2.4.1 コロイドセメント試験成績表

出荷日: 7月3日

出荷数量: 15t

昭和46年7月12日

強熱減量 (%)	不溶分 (%)	シリカ (%)	アルミナ (%)	酸化第二鉄 (%)	酸化カルシウム (%)	マグネシア (%)	無硫酸 (%)	合計 (%)	水硬率	珪酸率	鉄率	活動係数
1.0	0.7	21.4	5.1	3.4	63.5	1.3	2.7	99.1	2.06	2.5	1.5	4.2
備考												

物理的性質

比 重	粉 末 度		凝 結			安 定 性	強							
--------	-------	--	----------------------	--	--	-------------	---	--	--	--	--	--	--	--

粉末の粒度分布 -各粒径累積残分(%) -

風篩				沈降法(光透過式)						
40 μ	30 μ	20 μ	15 μ	40 μ	30 μ	20 μ	15 μ	10 μ	5 μ	2 μ
1.2	3.8	8.0	23.6	0.0	3.2	9.3	23.9	36.4	72.5	92.7
備考										

LW試験(W/O 100%)

ゲルタイム (秒)	LW強サ (kg/cm^2)		
	6時間	24時間	3日
20.3	17.8	70.5	145.2
備考			

八戸工場)を使った。

直接注入用のグラウトポンプは、吐出量調整型ポンプ(ヤマトHFV2)で、 P_u に対しては、 $W/C = 1.0$ の配合から注入を開始し、一定の基準で濃いものに切換えた。

(iii) 結果

i) 阿蘇溶岩(Wtf)に対する結果

最上層の Wtf_3 では、他の低溶結層とは異なり、図-2.4.9のように、 10kg/cm^2 の圧力での透水量が、1次孔で 20 l/min/m 以上あったものが、2次孔で半減し、さらに2次孔では 5 l/min/m 程度まで低下しており、効果が顕著である。しかし、これ以下の透水度にするには相当な高圧注入を要し、実際の工事のためには今後の研究を要する。

Pu_3 の下にある Wtf_2 は低溶結で、限界圧力は 6kg/cm^2 程度と推定される。パタンIの低圧注入(15kg/cm^2)ではこれより高い注入圧力であったが、次数の上昇につれ、セメント注入量が減少するの、透水度は変化しない(図-2.4.9参照)。これに反して、パタンIIの高圧注入では、透水度も減少がみられる。

Wtf_1 はルジオン値が小さいので、止水上の問題は少ない。

ii) 軽石質凝灰岩(Pu)に対する結果

Pu_3 は、図-2.4.10にみられるように、限界圧力が大きいものもあるが、全体としては $2 \sim 3\text{kg/cm}^2$ で、きわめて低い。注入次数別の $p \sim q$ 曲線の収斂性は、低圧注入のパタンIの方がよい。しかし、図-2.4.9にみられるように、高圧のパタンIIでは、注入セメント量が、2次孔、3次孔になっても 400 kg/m という大きな値を示している。

Pu_2 は、 Pu_3 よりいく分水を通しにくい、ほぼ同様の傾向を示す。

これらからみれば、高圧で注入すると、セメントは多量に吸収されるが、 $p \sim q$ 曲線が収斂しないことから地山を乱している恐れ

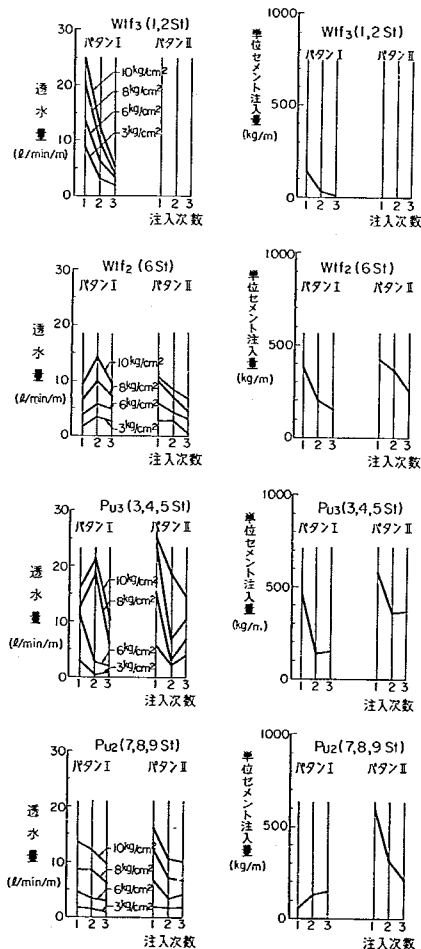


図-2.4.9 Dダムにおける注入次数別の透水量および単位セメント注入量の変化

TM-84 FT-4 F-449

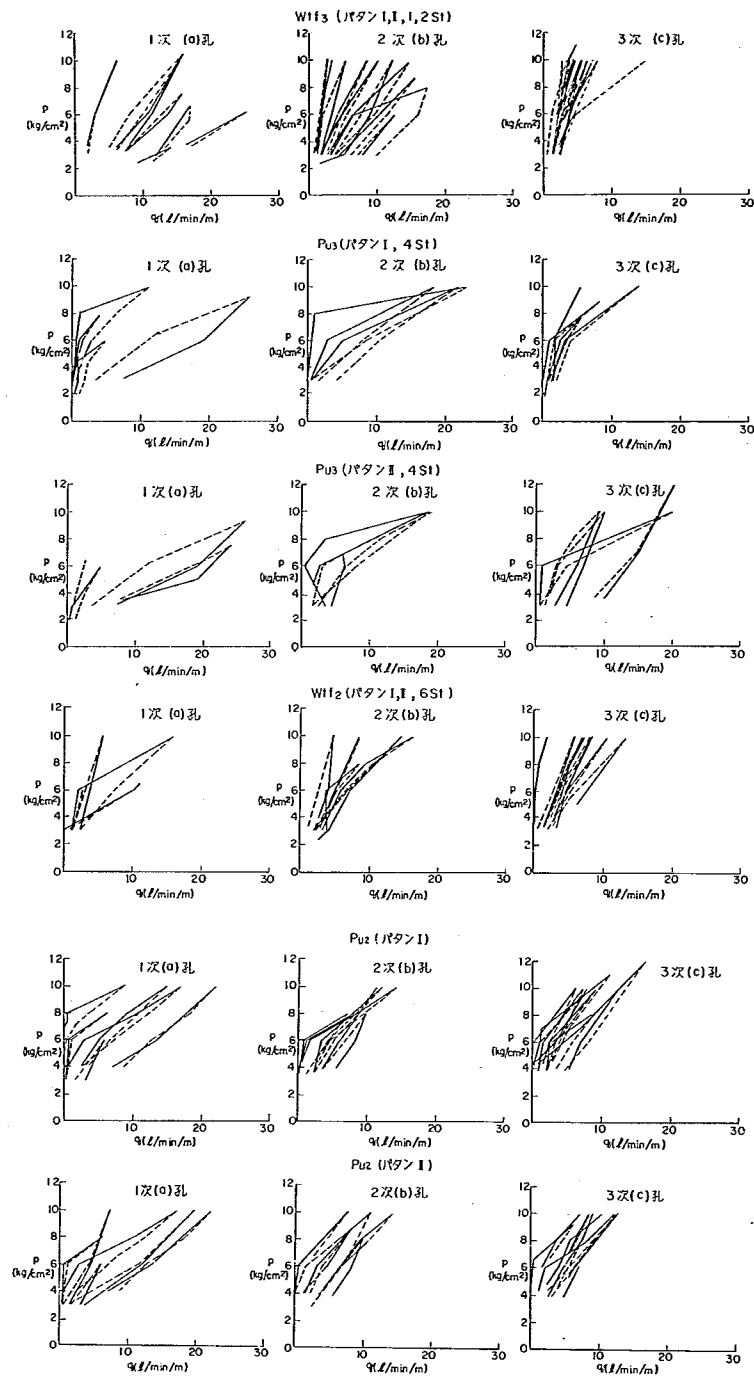


図-2.4.10 Dダムにおける注入次数別の $p \sim q$ 曲線の変化

TM-84.FI-4.F-450

もあり、逆に低圧注入では $p \sim q$ 曲線は収斂するが、セメント注入量が少ないのでグラウトの行きわたる範囲がせまくなりグラウト孔の間隔を小さくする必要があるものと予想されるため、効果的なグラウチングの工法は、今後の研究をまたなければならない。

コアの観察では、セメントがよくゆきわたっているのがみられるが、薄い板状のものだけでなく、混ぜ合わせたようにゾーンとして入っているものが多く見られるのが興味深い現象である。

(次項参照)

iii) 軽石質凝灰岩 (Pu_2) の注入状況に対する X 線回析

写真 2.4.2 ~ 6 に例を示すように、ボーリングコアの外見ではよくわからないがこれを割ってみると白濁したものが混じって、一見すると全部にセメントが行きわたっているかに見える。そこで、住友セメントに依頼して X 線回析を行なった。

資料は粉末状としエックス線回析試験をおこなった。

セメントはこの場合 $CaCO_3$ を検出することによってその存否を判定した。

セメントは水和している上、岩石中に混在しているので残留セメントクリンカー鉱物は検出しにくい。また主要水和生成物であるトバモライトもゲル状物であるために検出しにくい。ただ水和に際し生成する $Ca(OH)_2$ は、空气中で $CaCO_3$ になり、これは検出し易い。

ただし母岩中に $CaCO_3$ を含むと、この判定方法を用いることができないので、セメントを検出した試料については母岩中に $CaCO_3$ がないことをたしかめた。

母岩は α -石英、長石、雲母鉱物などを含んでいる。

注入されたペーストの水セメント比推定はセメント部分が薄くて試料を採取しにくく、測定できなかった。

X 線回析試験の結果による検出鉱物は表 2.4.2 のとおりである。

以上のように、この試験では、 $CaCO_3$ によってセメントを検出したが、肉眼観察ではグラウトが入っているように見受けられるのに、一部で反応のないものがあるので岩石中にセメントミルクが注入された場合、生成した $Ca(OH)_2$ が直接岩石中の SiO_2 、 Al_2O_3 などと反応し、 $CaCO_3$ を生成しないこともあるのではないかと疑問がでた。そこで、このような場合でもセメントが存在すれば HCl 可溶性の CaO が存在するところから、エックス線回析において $CaCO_3$ (従ってセメント) を検出しなかった試料について 1 : 1 HCl 可溶性 CaO を定量しおのおのその母岩と比較した。

結果は表 2.4.3 の通りで、やはり試料 1.4 にはセメントは含まれていないものと推定される。

TM-84 FT-4 F-451

IM-84.FI-4.F-452

-43-

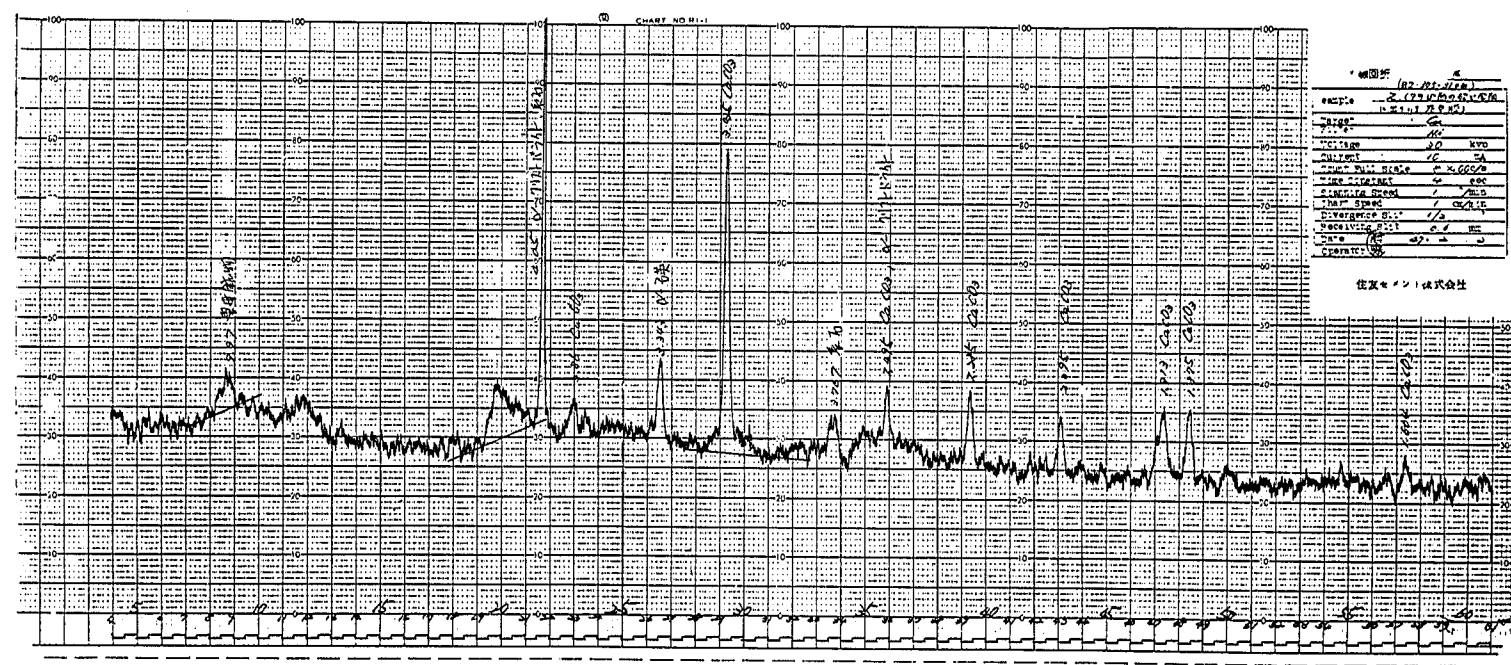


図-2.4.1.1-1 DダムにおけるコアのX線回折 (B2 30.5~31m 綫状注入部)

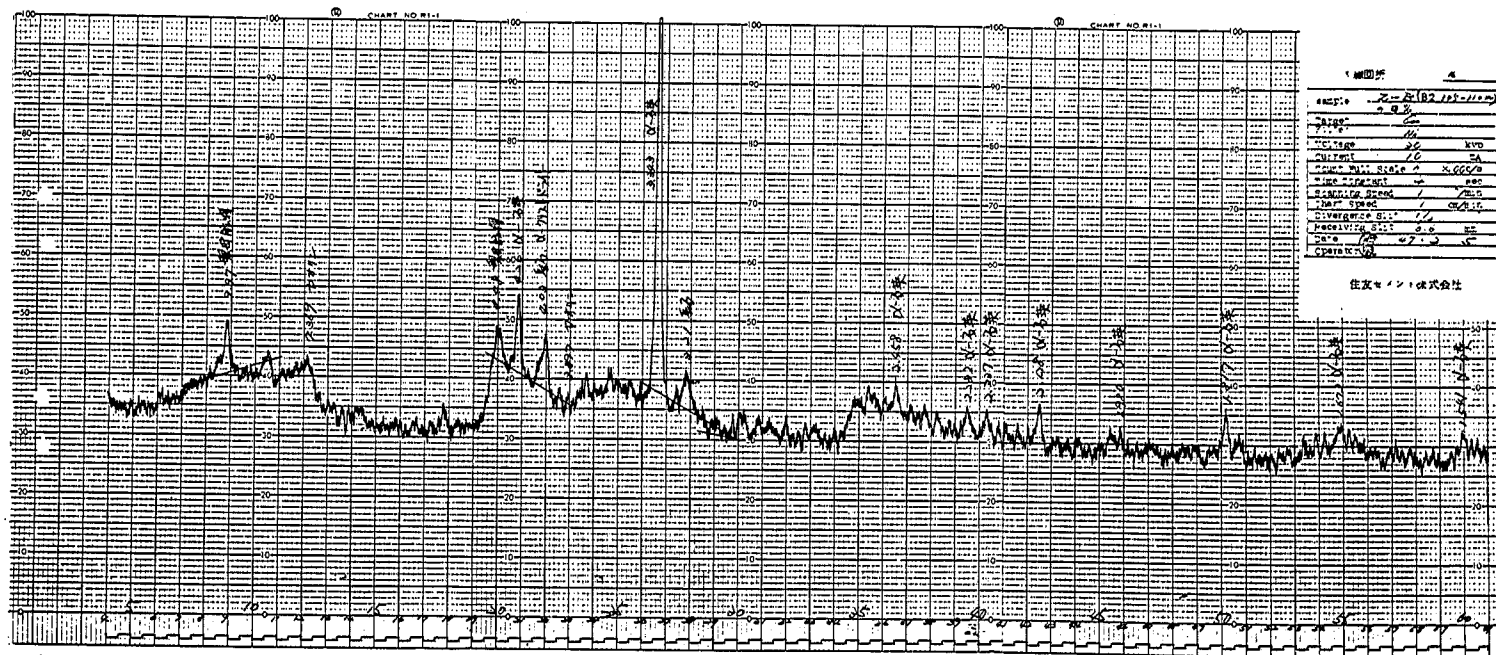


図-2.4.1 1-2 DダムにおけるコアのX線分析 (B2 30.5~31.0m母岩部)

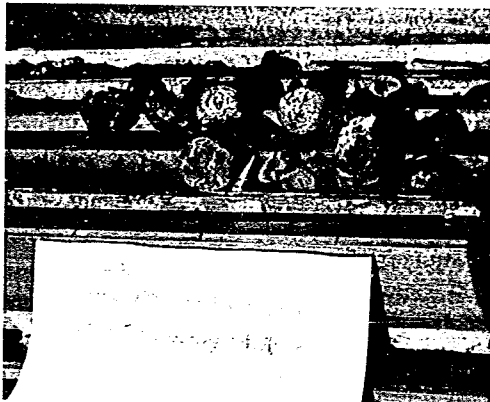


写真-2.4.1 Dダムにおけるグラウトの注入状況
A-4孔 3.3.3m ~ 3.3.8m 資料No.1

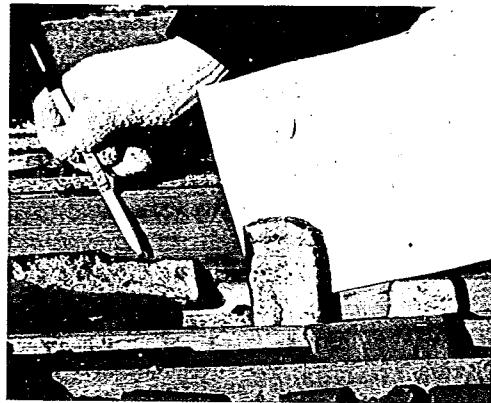


写真-2.4.2 Dダムにおけるグラウトの注入状況
B-2孔 3.0.5m ~ 3.1.0m 資料No.2

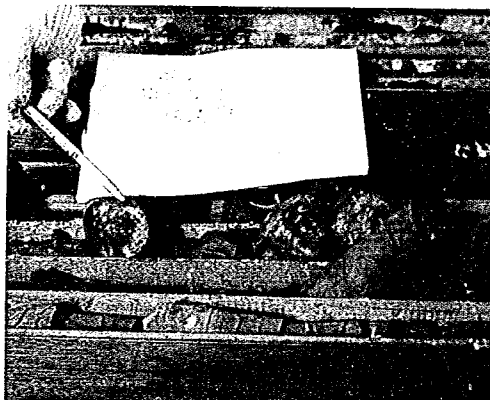


写真-2.4.3 Dダムにおけるグラウトの注入状況
B-2孔 3.2.0m ~ 3.2.5m 資料No.3

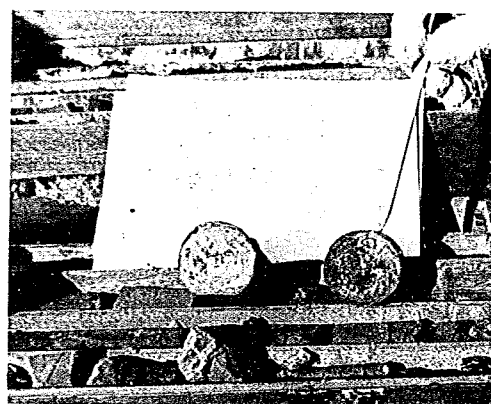


写真-2.4.4 Dダムにおけるグラウトの注入状況
B-2孔 3.2.5m ~ 3.3.0m 資料No.4

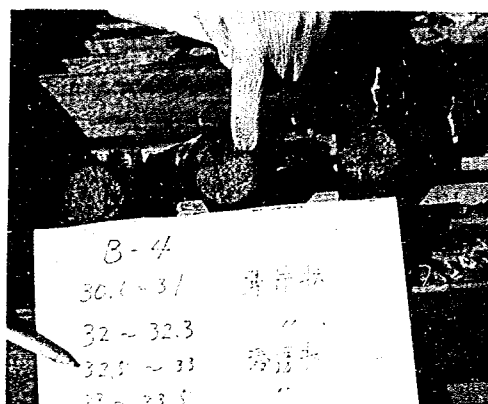


写真-2.4.5 Dダムにおけるグラウトの注入状況
B-4孔 3.2.5m ~ 3.3.0m 資料No.5

TM-84 FT-4 F-454

表-2.4.2 DダムにおけるコアのX線回折の結果

試料 No	CaCO ₃ (セメント)	α 石英	長 石	雲母鉱物	
1 - 1	-	++	++	+	
1 - 2	-	+++	++	++	
2	+++	+	+	+	
2-B (母岩)	-	++	+	++	
3	++	+	+++	+	
3-B (母岩)	-	+	++	++	
4	-	+++	+	+	
5 - 1	++	+++	+	+	
5 - 2	-	+++	++	++	
5-B (母岩)	-	+++	+	++	

+++ 検出強度大なるもの
 ++ " 中位のもの
 + " 小さいもの
 - 検出できず

表-2.4.3 Dダムにおけるコアの化学分析の結果

試料 No	CaO (%)	摘 要
1 - 1	0.15	1-1, 1-2は1-B (母岩) に比べて, また4は4-B (母岩) に比べてCaOが多いとはいえない。従ってセメントがあとから加っているとは考えられない。
1 - 2	0.17	
1-B (母岩)	0.32	
4	0.31	これに反して2は2-Bに比べて明らかにCaOが多い。 (2はX線回折でもセメントを検出している)
4-B (母岩)	0.28	
(参考) 2	9.91	
2-B (母岩)	0.22	

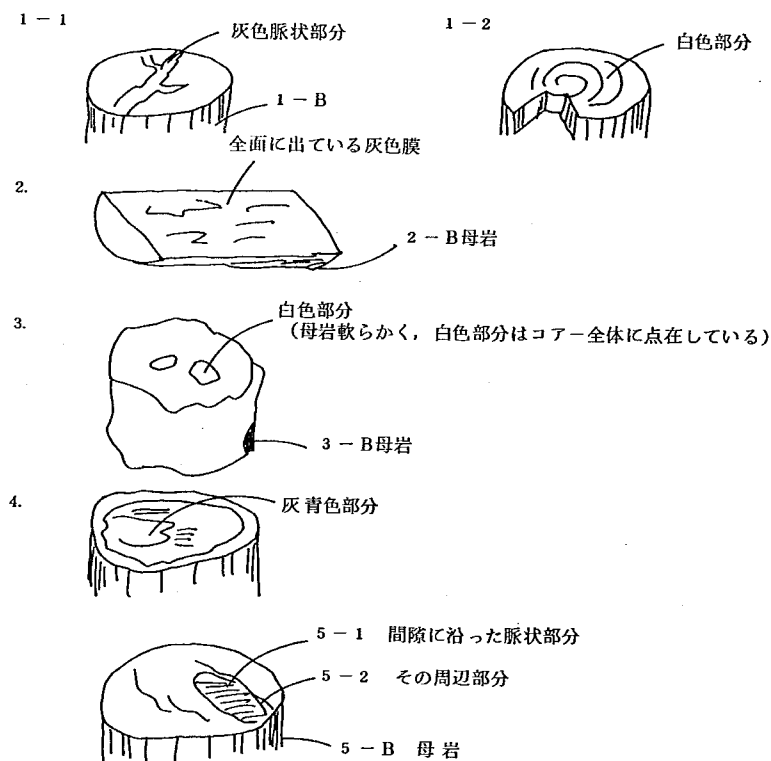
これらの結果をまとめると表-2.4.4のとおりである。

TM-84 FT-4 F-455

表-2.4.4 DダムにおけるコアのX線回折のまとめ

資料番号	コアの種類	採取位置	X線回折によるセメント検出状況
1-1	A4 3.3.3-3.3.8 m	断面の灰色脈状部分	検出できず。
1-2	同上	断面の白色部分	検出できず。
2	B2 3.0.5-3.1.0 m	タテ断面の殆ど全面に出ている灰色膜	縦断面上の灰色膜中に多量検出した。
3	B2 3.2.0-3.2.5 m	白色部分（コア全体に英在）	白色物中に検出したコア全体に浸透している。
4	B2 3.2.5-3.3.0 m	断面の灰青色部分	検出できず。
5-1	B4 3.2.5-3.3.0 m	間隙に沿った脈状部分	間隙に沿った灰白色物中に検出した。
5-2	同上	その周辺部分（灰色）	周辺部では検出できず。

（セメントを検出した2, 3, 5は母岩もしらべた）



TM-84 FT-4 F-456

5) E ダム

(1) 地形、地質

宮城県鳴瀬川水系のこのダムサイトでは、右岸の段丘が広く、現在の河谷は左岸側に片寄ったせまい峡谷をなしている。なお、この河谷はダムサイトのすぐ下流で蛇行し、右岸に曲がる。

右岸の段丘の山側端には、かなり大きな断層があり、これより右の山側では流紋岩、川側では灰色～緑色の凝灰岩から成る。とくに後者は、断層や風化の影響が強く、広い部分で軟弱岩となっている。

(2) ルジオンテスト

上述の軟弱岩と断層部では図-2.5.1に示すように、大きなルジオン値を示す部分が広いことが報告されていた。もし、その値が正しければ、ロックフィルダムの土質遮水壁の基礎としては透水性が大きすぎるので、当初計画より深い掘削を行なう必要があるものと判断された。

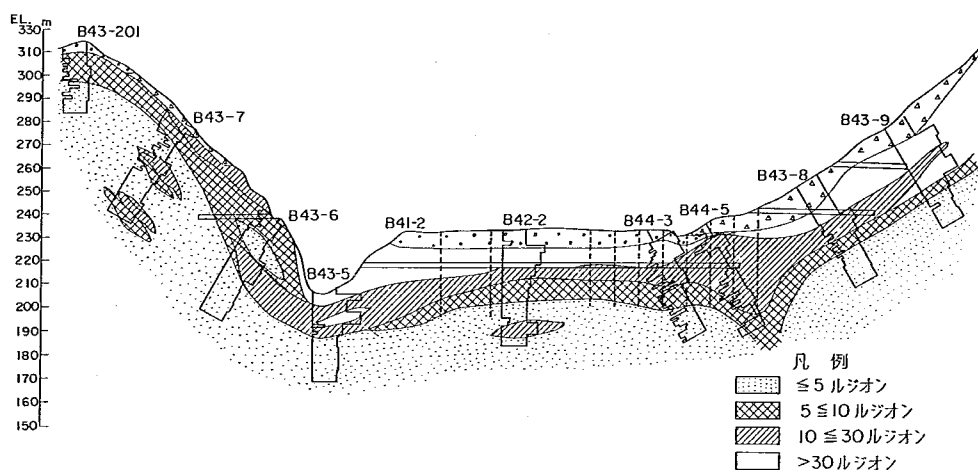


図-2.5.1 Eダムにおけるルジオンマップ

しかし、段丘の下をとる試掘横坑の観察を慎重に行なった結果、さほど大きな透水性はないものと推定されたので、これを再調査するため、ルジオンテストを再び行なうことにした。

その結果として得られたp～q曲線は図-2.5.2に示すとおりである。この曲線によると、大部分のものの限界圧力が明瞭で、これ以下の圧力で透水度をもととしたルジオン値からルジオンマップを作成すると、図-2.5.3のようになる。なお、図-2.5.3に示したように、No 9孔の4ステージと、

TM-84 FT-4 F-457

No. 10 孔の 5 および 6 ステージでは、地質が軟弱であったため、パッカーセット位置をリーミングして拡孔し、モルタルで固めた後リボーリングしてパッカーセットを確実にしたが、ルジオン値が小さく、かつ限界圧力が幾分上昇することが認められている。

再試験の結果として得られたルジオン値の中には大きな値を示すものもあるが、その大部分はパッカーが不確実なためと判断され、このダムの当初設計の掘削線は変更しないこととした。

TM-84 .FT-4 .F-458

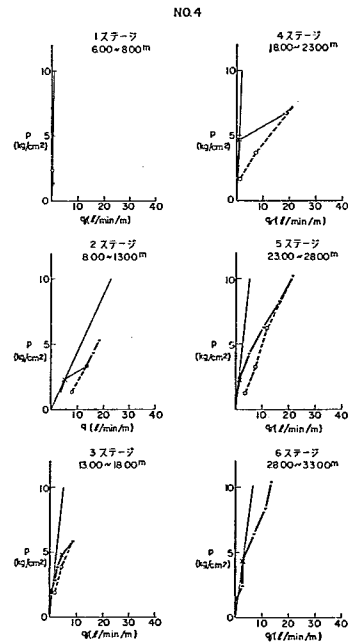
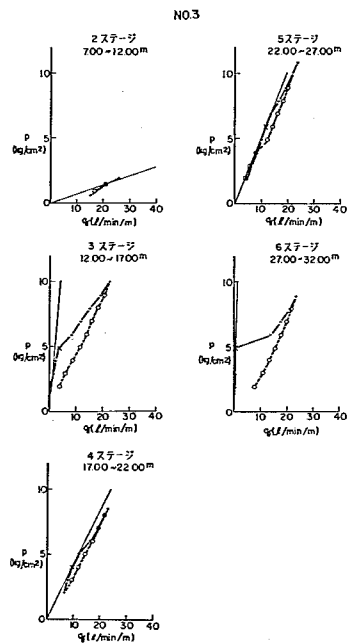
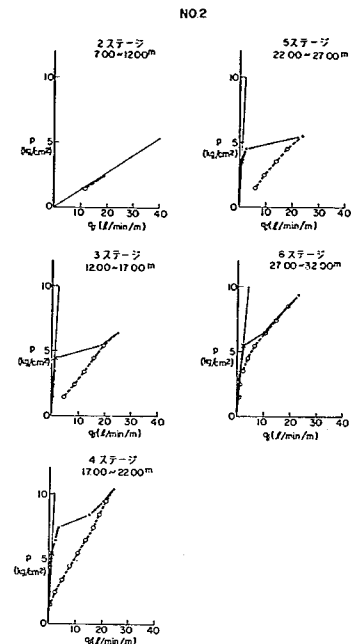
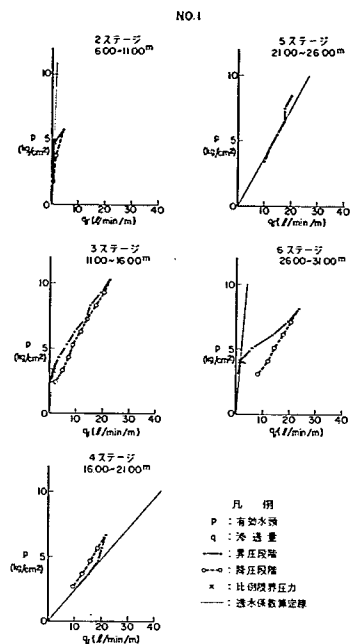
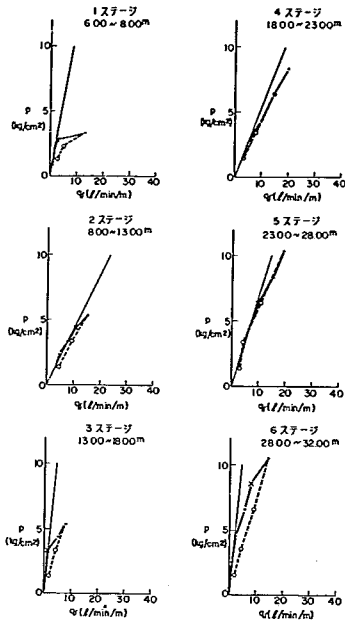


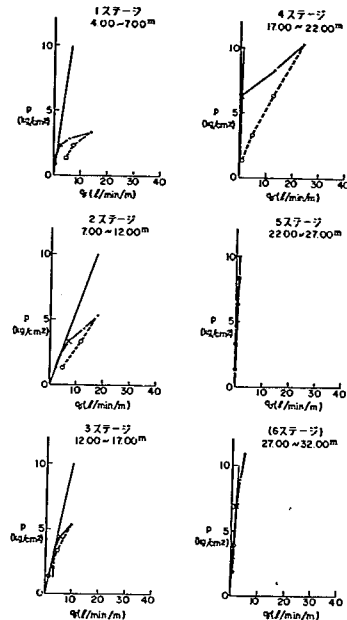
図-2.5.2-(1) Eダムにおける $p \sim q$ 曲線

TM-84 FT-4 F-459

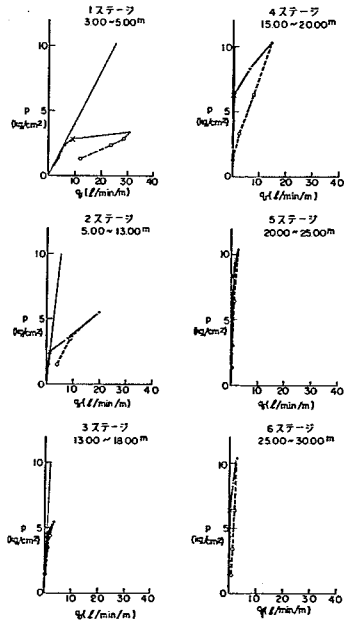
N0.5



N0.6



N0.7



N0.8

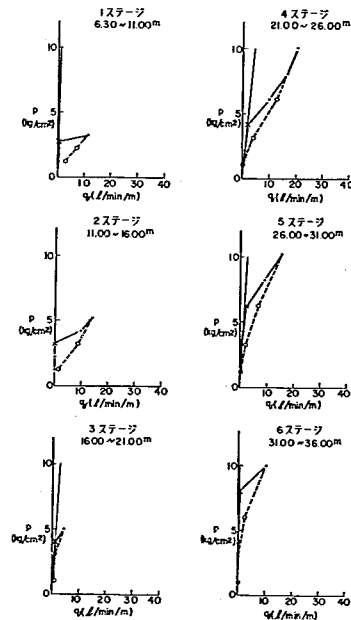


図-2.5.2-(2) Eダムにおける $p \sim q$ 曲線

TM-84 FT-4 F-460

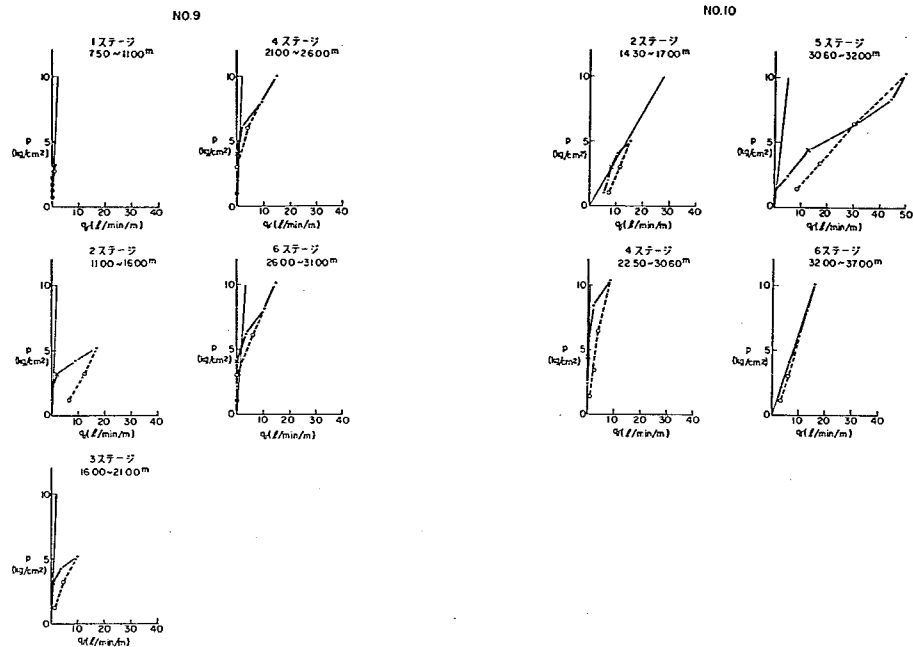


図-2.5.2-3) Eダムにおける $p \sim q$ 曲線

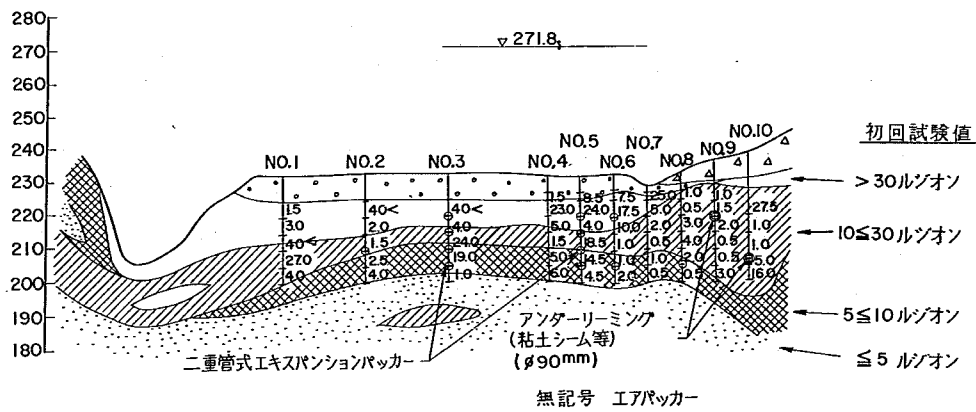


図-2.5.3 Eダムにおける再試験のルジオン値

TM-84 FT-4 F-461

3. 軟岩のグラウチングの問題点の整理

これまでにあげてきた事例は、前にも述べたように、決して完全なものではない。しかし、第一線の技術者達が、未経験の問題に対して、これまでの硬岩に対するグラウチングの経験に基づいて手さぐりで追求してきた成果である。

この成果を通してみると、問題点がかなり整理され、また、いくつかの指針が与えられるように考えられる。まず、こうすればよいという点をあげてみよう。

1) 岩盤変位測定装置の設置

軟岩では、 $p \sim q$ 曲線の折れ曲りが明瞭で、限界圧力が割合低い。その理由としては、④岩盤の透水度が高いこと、⑤グラウチングの揚圧力によって、在来の岩盤面を浮き上げて隙間を作ってしまうこと、⑥パッカー周辺の軟岩の一部が洗い流され、結果としてはパンクしたような状態になること、の3点が考えられる。

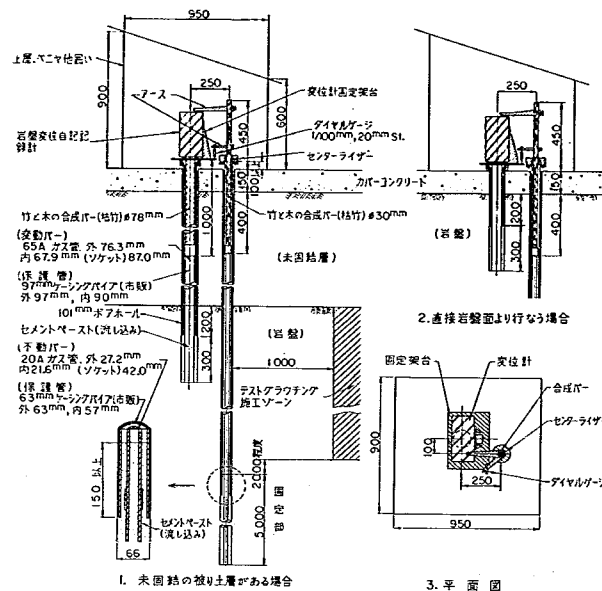
地山の透水度自体が大きい場合もある。しかし、各地のダム建設候補地点の地質の観察を行なった結果では、あまり多くないように見受けられる。これは、あまりにもゆるんでいて透水度の高い軟岩の基礎をもつ所は、ダム地点としてはとりあげられていないことを示している。

このうち、岩盤の浮き上りは、地形や地質の条件によって異なるが、割合低い圧力で簡単に起っており、軟岩の $p \sim q$ 曲線の折れ曲れの原因はこれにあるといて差支えない。したがって、軟岩のルジオンテストおよびグラウチングに際しては、岩盤の浮き上りを計測することを欠かせない。

一般に、長さの計測には温度補正や張力補正を要し、正確に測定することは非常にむずかしい。そのうえ、グラウチングでは、ある工期全体にわたる測定を要する。

工事の作業条件や計測条件を加味して考案した岩盤変位測定装置の標準設計図は図-3.1.1のようなものである。この計器は、温度変化の影響の大きい部分には枯竹（線膨脹係数は $3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で、鋼材の約 $1/4$ である）を用いるようにし、毎日のこまかい時間刻みの測定は差働トランスによる自記方式、長期の測定はダイヤルゲージの定時読取としてある。またその設置は注入範囲より深い所にアンカーし、十分なケーシングを行なう。

TM-84 FT-4 F-462



図一 3. 1. 1 岩盤変位測定装置標準図

2) 確実なパッカーセット

ルジオンテストの結果が、透水量が多かったり、限界圧力が低い場合は、その基礎の遮水は容易ではないという情報を与えられたことになる。軟岩を基礎とするダム地点では、岩盤の浮き上りをよく管理すると、次にパッカー周辺からの水の漏洩が問題となる。グラウチングの本工事で一律に行なうことは容易ではないが、調査試験では、いくらかでもパッカー位置が弱いという懸念があれば、例で述べたように、リーミングして拡孔し、セメントペースト充填後、リボーリングしてその位置にパッカーをセットするなどの確実な方法でパッカーセットを行なう必要がある。

3) ル ジ オ ン 値

ルジオン値という定義はかなりあいまいなものであるが、ダム基礎のように、ボーリング孔から注水して透水度を測るときは、直接に得られる数字であって、これまでのダム地点が良好であったことから、 10kg/cm^2 の圧力での長さ 1 m 当りの透水量として定めるのが便利であったために使われている値である。

TM-84 FT-4 F-463

軟岩を基礎とするダム地点では、初期の調査から10ルジオン、20ルジオン、あるいはそれ以上の値というように大きなルジオン値が示されて困惑することが非常に多い。これまでにあげてきたように、岩盤の浮き上りやパッカーセットなどに問題があるが、これらだけでは改善できない。それは、透水量を測定したときの圧力のとり方によるもので、大きなルジオン値として示される透水量測定時の注入圧力が限界圧力よりずっと高い圧力で、透水量が不安定になっているからである。

ダムによって生じる高い水圧に対して、これより低い注入圧力での透水量からルジオン値を決めることには疑問があるという考え方がある。軟岩では、このように高い圧力を採用すると、限界圧力が低いので、透水量は上述のように不安定度を増すことになる。

さて、引張に強い材料で作ったスチールパイプは非常に高い内圧に耐えるが、外圧に対してはきわめて低い圧力に耐えられるのみである。もし反対に、圧縮には強いが引張に弱い材料で作ったパイプを考えたらどうであろうか。圧縮応力を生じる外圧には強いが、内圧に対してはきわめて弱い管である。いま我々が考えている問題では、後者の非常に細いパイプが積重なったものと考えることができる。このように繊細なパイプ内を流れる貯水池からの浸透流の水頭損失は莫大なものになる筈である。一方、軟岩基礎自体も自重をもち、かつダム本体などの上載荷重があるので、これらによる鉛直応力は大きなものとなる。したがって、いま考えている繊細なパイプの内圧が、外圧より大きくなることは起り得ない。万一起り得るとすれば、図-3.3.1に示したように、自重が小さいのにパイピングを生じて損失水頭が少なくなって貯水池の大きな水圧が直接作用するようになったときであるが、このパイピングは透水度によって決まる浸透流の動水勾配と地山を構成する材料に支配されるもので、いま問題にしている透水度を求めるのに内圧を外圧より大きくして地盤を浮き上らせることの是非とは別の問題となる。

貯水池の水頭に相当する注入圧力を採用することは、高い圧力を用いれば注入の効率がよいので、これを採用すべきだという考え方と、これを採用しても何ら問題を起さなかった良好なダム基礎岩盤とが組合されて、慣行となっていたと云っても過言ではあるまい。

このように考えてくると、限界圧力より高い圧力での透水量は、岩盤を浮き上らせ

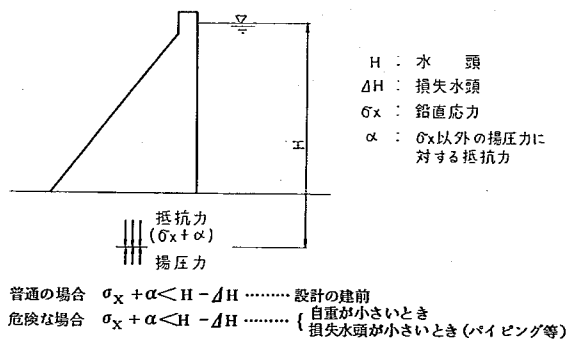
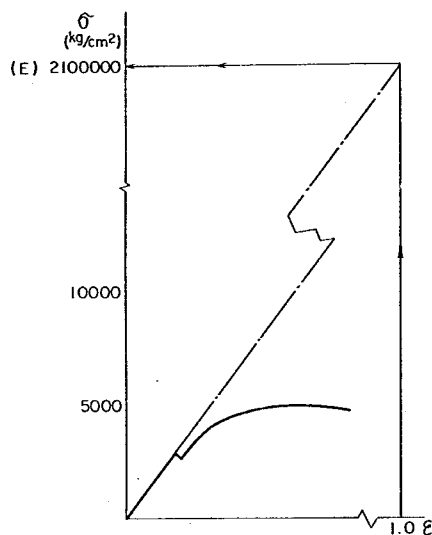


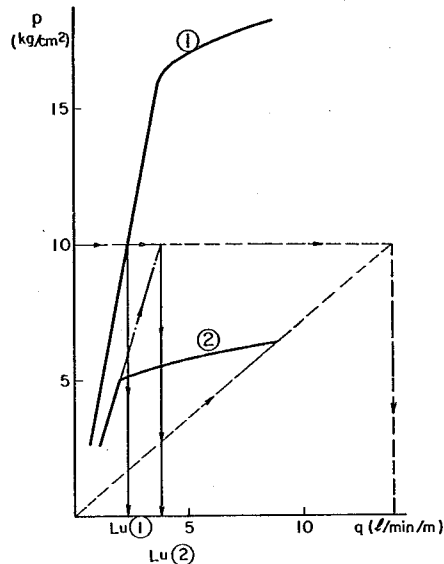
図-3.3.1 揚圧力と抵抗力の関係

ることが主原因となって過大な値を示すものとみなさざるを得ない。したがって、適正な透水度は、 $p \sim q$ 曲線の限界圧力以下の圧力の区間の接線で示すべきで、図-3.3.2に示すようにちょうど軟鋼の変形度を示す弾性係数がひずみ度が1.0すなわち元の長さと同じだけ伸ばすに要する極めて大きな引張応力度を降伏点以下の接線をずっとのばしてその値としているように、 $p \sim q$ 曲線の限界圧力以下の接線を 10 kg/cm^2 の圧力までのばして透水性を示すルジオン直としていると考えるのが合理的である。

TM-84 FT-4 F-464



軟鋼の弾性係数の決め方



ルジオン値の決め方

図-3.3.2 軟鋼の弾性係数の決め方とルジオン値の決め方

4) グラウチングの圧力

グラウチングの注入圧力が限界圧力により高過ぎれば、岩盤の浮き上りが大きくなり、場合によってはかえって透水度を増すこともある。岩盤の浮き上りは、注入圧力だけでなく、グラウトの濃度、単位時間当たり注入量、全注入量などにも関係するが、現時点では、これらの因子の組合せをある範囲内の変動におさえ、注入圧力の調節を主にして管理することが多い。一般には、グラウト注入時の浮き上りは、ルジオンテスト時に較べると数 kg/cm^2 高い圧力にならなければ生じないし、これまでの経験では、ルジオンテストの際に得た限界圧力より高目の圧力でなければ注入効果があがらないことがわかっている。

注入圧力の選定は、岩盤の状態によっても異なるが、限界圧力より $1 \sim 2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 程度高くするのがよいようである。このときの岩盤の全浮き上り量は $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ が許容値の目安となる。

5) 中央内挿法の採用

ルジオンテストおよびグラウチングは、2孔の中央に実施する中央内挿法によって、中央孔のルジオン値およびセメント注入量の低下を確認し、これによって注入効果を判定する必要がある。注入効果があるときは、ルジオン値の低下、限界圧力の上昇、およびセメント注入量の減少が組合さった現象で判

TM-84 FT-4 F-465

断できる。

次に、まだ解決されていない問題はどのようなものをまとめてみよう。

1) 限界圧力とパイピング

$p \sim q$ 曲線の折れ曲りは、硬岩に較べると非常に明瞭で、限界圧力は、現在ダムを築造しようとしている軟岩では、 $2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ というかなり低い値のものが多数ある。どのような地質条件のときに、どのような限界圧力を示すかを調査中であるが、未だ結論を得るには至っていない。

限界圧力の低い軟岩では、強度も小さいのが普通で、パイピングが問題となる。この問題は未経験のもので、今後の研究がまつれる。

2) 地下水面下のグラウチング

例にもあげたが、固結度の低い砂岩が地下水面にあるとき、粒子の間隙の水をしぼり出してグラウチングすることは非常にむずかしい。場合によっては、グラウチングによって在来の地山を乱してしまい、弱くしたのではないかという現象もみられる。硬い岩盤の隙間に対するグラウチングとは異なり、ほとんど未経験で、どのような条件のときにこのような現象が出るのかさえわかっていないのが現状である。

3) グラウト

グラウトの主材料は、現時点では、セメント、粘土、およびベントナイトが用いられている。しかし、軟岩では粒子間隙が小さいので、ケミカルグラウトが重要なものになると予想されるが、その物理的および化学的安定性は十分とは考えられていない。水と化合する材料の研究も進んできてはいるが、安定性のみならず、施工性についても未だ十分とはいえない。

また、グラウトの濃度（粘度）の選定方法や、ステージ長の選び方については、硬岩での例を踏襲しているだけで、軟岩に対してはどのようなものがよいかの検討は着手されていない。

TM-84 FT-4 F-466

4. む す び

軟岩のグラウチングでは次の事項について万全を期す必要がある。

- 1) 確実にパッカーをセットする。

必要があればCダム、Dダムの例に示したような拡孔を行なう。

- 2) 地表の浮き上りを測定する。

標準の測定装置は図-3.3.1のとおりである。

- 3) 限界圧力を測定する。

注入圧力は限界圧力よりやや高目がよい。

テストグラウチングでは限界圧力より 1 kg/cm^2 高いものと $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ 高いものに分けて行なうのがよい。

- 4) ルジオン値は限界圧力以下の $p \sim q$ 曲線の勾配から求める。

- 5) 中央内挿法を採用する。

- 6) 単位時間当り注入量を少なくして、時間をかけて実施する。

- 7) テストグラウチングの記録は図-2.3.7 および図-2.3.6のように $\Delta \ell$, p , q , Q , t の関係を示したものを作成する。

また、図-2.3.4, 図2.4.10に示す $p \sim q$ 曲線および、図-2.4.9を修正したルジオン値および単位長さ当りセメント注入量を縦軸に、注入次数を横軸にとって図示したものを作成する。

なお、作業位置と地形やダムとの関係、岩盤の強さ等の力学的性質、地質図、作業機械の種類と配置、グラウトの配合、ステージ、パッカー、その他特殊な事項を図示するのはもちろんである。

- 8) 注入材料は現状ではセメントを用いるが、微細粒径のものを用いるときは湿気等による風化に注意する。

TM-84 FT-4 F-467