

下ス保ダムに於ける岩盤観測試験について

水資源開発公団・下ス保ダム建設所

小山 要之介

まえがき

下ス保ダムは利根川右支川神流川の中流に位置し、洪水調節、かんがい、水道用水補給を兼ね多目的ダムで利根川総合開発の一環をなすものである。形式は直線重力式コンクリートダムとし、ダム高は129m、堤体積は約1,400,000 m^3 である。施工主体は本年10月より建設省から水資源開発公団に受継がれており、予定総工費180億円、打設開始は昭和40年、竣工は昭和43年の見込みである。

本文は概ね昭和34年から36年の間に調査を行った中で基礎岩盤の観測又は試験に関するものを中心にまとめたもので、内容を大別すると

1. 試掘及び試錐による直接肉眼観測
2. 試掘横坑を利用した耐圧試験
3. 地表弾性波試験と横坑内弾性波試験
4. 岩盤剪断試験(施工中)
5. 岩盤改良のためのグラウト試験と効果確認の二、三の試み

となる。以下順を追ってその概要と結果の考察について述べる。

①試掘及び試錐による直接肉眼観測について

試掘、試錐の外に「トレンチカット」をも併用した。右岸アバウトがダム高より低く、半島状に突出して、ダム軸はその半島状アバウトの先端に近いため、補助ダムとして高さ30～50m長さ300m程度のものが右岸側に必要となる。このため通常のダムサイト部の外に半島部全般に亘つても調査を必要とする。試掘、試錐の位置は「グリッド」方式によつて20m格子の各交点に於て実施した。勿論試錐は河床部に、トレンチカットは右岸の尾根に施工し、その他の斜面には平均20～30m深さの横坑を掘削した。横坑観測の分類は凡化、龜裂、断戸、破壊などの状況に応じて良好な岩盤から順にA・B・Cの3クラスとした。Aは極めて堅硬な岩、Bは若干節理や方理にそつて凡化の進んでいる堅硬な岩、Cは断戸や地表に近い軟質になっている岩である。

②試掘坑内の岩盤耐圧試験について

150 cm 耐圧試験用オイルジャッキを使用して横坑内の選定した箇所に於いて垂直方向に載荷して下盤の変形量を測定し、計算式を用いて静弾性係数を求めた。先づ試験方法の概要を述べる。

準備として載荷箇所の仕上げを行う。之は浮石を除去して、不陸を1～2 cm 程度迄是正して洗滌し、2:1モルタルで載荷板のためりベースを作り水準器で水平を保つ。載荷板は50 cm と40 cm のものを準備し、沈下量測定用としてはベースから板径50 cm の3倍離れた所で(1.5m)測定し得る様に

セットした100分の1mm単位のダイヤルゲージ4個を対稱の位置に用意した。測定の手順は、

- 1) 載荷速度は加圧5 $\frac{\text{ton}}{\text{min}}$ 、減圧10 $\frac{\text{ton}}{\text{min}}$ とする。
- 2) 載荷板は径50cmを主とし、この場合の最大荷重は100ton(50.9%)までとする。
- 3) 加圧の最大値での放置時間は5分とする。又加圧は1サイクル終了後5分間放置してオ2サイクルに入る。
- 4) ダイヤルゲージの読み採りは毎分とする。
- 5) 加圧の繰返しは3サイクル以上とする。最終加圧の最大値では6時間放置し、岩盤のクリープ観測を行う。
- 6) 沈下量は対角線上にセットされたダイヤルゲージの読みの平均を採る。この場合モルタルベース、載荷板等の変形は岩盤の変形に対して無視出来るものとする。

試験結果は一般に載荷の初期では沈下量は荷重強度に比して大きく急勾配であり、20%附近で変化して以後最大荷重まで大体直線的となる様である。

試験結果比較一覧

比較項		下久保		二瀬		鳴子		奥只見	
条件	ゴム型式	重力ゴム		A-4ゴム		A-4ゴム		重力ゴム	
	ゴム高と天端板高	129m(EL.300m)		94m(EL.545m)		94.5m(EL.259.5m)		157m(EL.750m)	
	岩質	緑色変岩		珪質千枚岩		花崗肉緑岩		南礫質粘板岩 斑板岩	
	載荷板直径	50cm		30cm		30cm		50cm	
	最大荷重	100ton		30ton		60ton		100ton	
	加圧(減圧)速度($\frac{\text{t}}{\text{min}}$)	加 5t	減 10t	加 2.5t	減 5t	加 2.5t	減 5t	加 5t	減 10t
試験結果	$E = \frac{P(1-\nu^2)}{2aw}$ ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)	上下 標高 対(0)の深	E 左(L)右(R)岸	上下 標高 対(0)の深	E 左(L)右(R)岸	上下 標高 対(0)の深	E 左(L)右(R)岸	上下 標高 対(0)の深	E 左(L)右(R)岸
		270.9 12.9	L 15,890	535 37	L 49,900	200 24	R 12,800	11.8	31,000
	E: 弾性係数	244.2 21.5	L 44,310	535 58	L 58,200	196 28	R 12,800	24.7	28,000
		P: 板の自重(%)	210.0 29.2	L 33,600	505 40	L 11,400	176 10	R 17,200	48.7
	a: 板の半径(m)	209.7 13.8	L 17,800	498 74	L 14,800	180 32	R 15,700	16.3	160,000
		W: 沈下量(cm)	241.8 35.1	R 24,280	490 23	L 8,700	180 18	R 27,000	4.5
	v: 板厚比	224.2 22.9	R 29,400	490 40	L 45,700	216 10	R 11,100	14.2	468,000
		198.8 19.5	R 54,860	470 34	L 42,200	178 19.5	R 22,650		

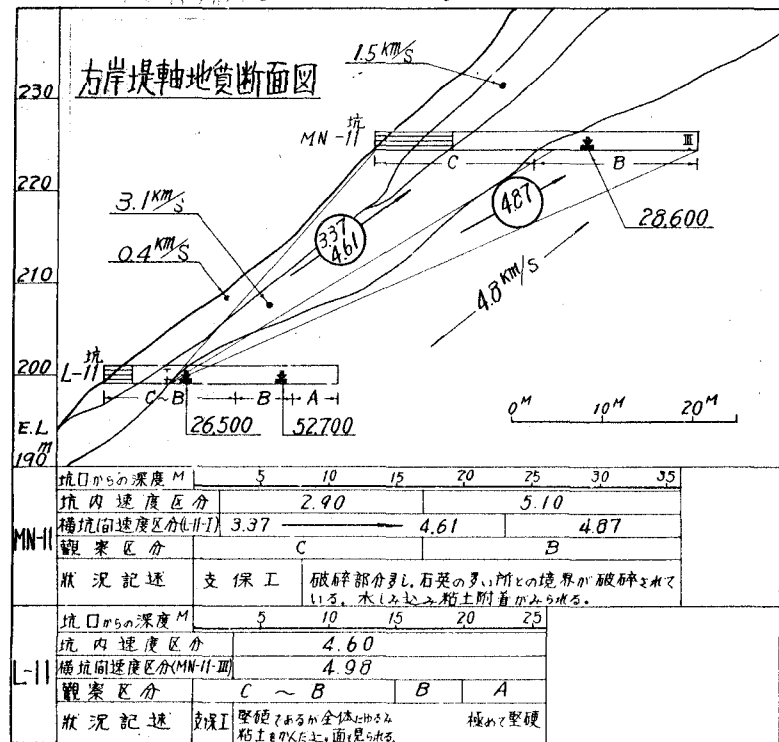
注. 奥只見ゴムの値は極めて高いのであるが、上三段は南礫質粘板岩、下三段が斑板岩であって岩自体の弾性係数が大きく、ゴム基盤として30,000~40,000 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 程度が対象となる。

③ 地表弾性波試験と坑内弾性波試験

ゴムサイトに於ける速度分布を概括的に知る目的で、地表弾性波探査を行い、岩盤内の局所的な速度値を平均的に知る為に横坑間での震探を実施した。地表震探の結果得られる速度 V は、概略的ではあるけれども、その他の調査結果と共に速度 V の地質状態、局所的な差異等を考えるとより有効である。一方横坑間震探では岩盤内の局所的な速度分布を比較的良好に知ることが出来る。この場合波の伝播経路が2つ以上の速度値の異なる V を通過する様な場合には、その境界を知ることは困難で、それ等の V の平均的な値が得られる。しかし速度 V の境界は一般に明瞭ではなく漸移していると考えられるので、波の伝播経路が広い範囲でなければ、平均的な速度でもそれ自体充分意味をもつものと考えら

れる。

地表震探の結果概要は次り様になる。即ち基盤は4つの速度 V に分けられる。才1速度 V は(0.35 ~ 0.6 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$)被覆 V に相当し、その厚さは数m程度で薄い。才2 ~ 才4速度 V は凡化、亀裂、断 V 、破碎の影響によって分けられる。才2速度 V は(1.4 ~ 1.7 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$)、被覆 V の下に著しく凡化の進んだ岩盤と考えられ、横坑観察による岩盤区分Cに相当するものと思える。B岩盤はほぼ才3速度 V に相当するものであろう。なお地質断面図と走時曲線及び解析図を比較すれば速度 V と観察区分とは必ずしも一致しない。これは震探であらわされる概略的な境界に対して観察による岩盤区分は局所的な岩盤状況をよくあらわし得るからであらう。



左図は以上の諸調査を総合的に示した地質断面図で坑内の $\uparrow$ 記号は耐圧試験の施工箇所を示し、数字は静弾性係数である。又 $\bigcirc$ 記号は坑間震探の平均速度値を示す。L-II坑のI点からMN-II坑に向っての震探値を動弾性係数で示すと、

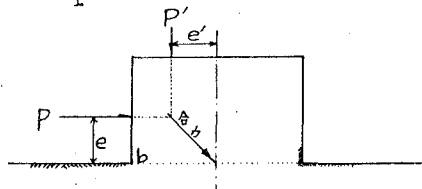
$$\begin{aligned}
 & 3.37 \sim 4.61 \frac{\text{km}}{\text{s}} = (29.3 \sim 54.9) \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \\
 & 4.87 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 61.2 \times 10^4 \\
 & \text{— 才 MN-II 坑の II 点から} \\
 & \text{L-II 坑に向っての値は} \\
 & 4.98 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 64.0 \times 10^4
 \end{aligned}$$

④岩盤剪断試験(試験中のため計画の紹介に止める)

岩盤の剪断抵抗を測定する方法として岩片によるテストから考え方を一歩進めて基盤に持続する岩塊の接断面に於ける一面剪断試験を行うこととした。

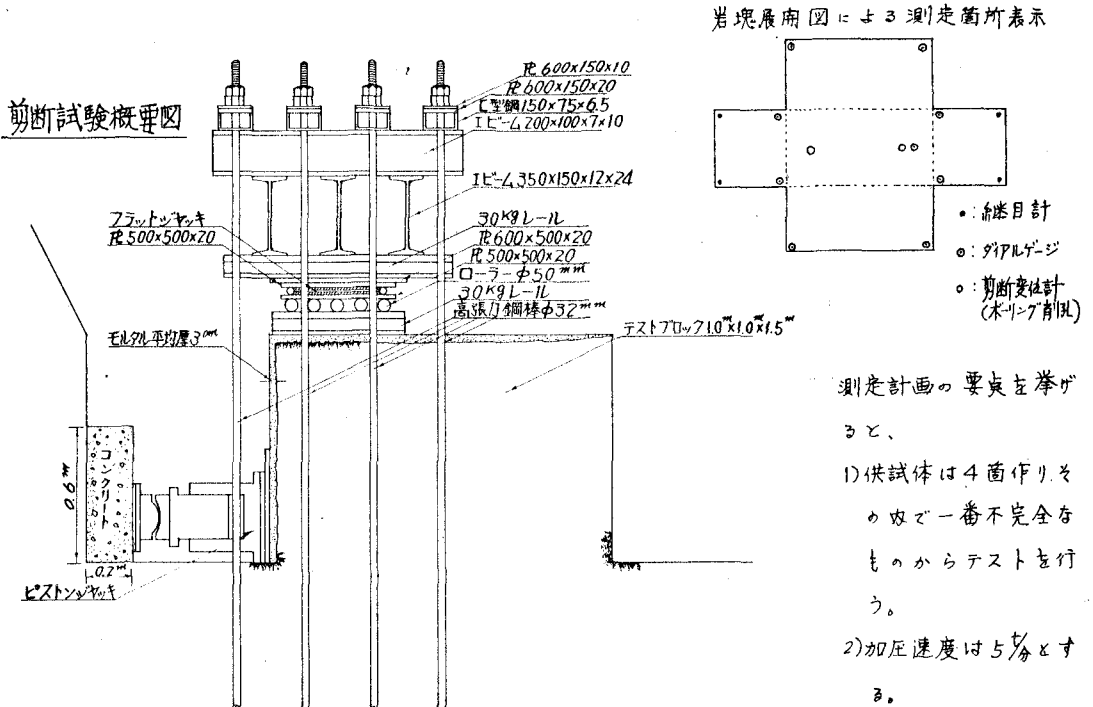
剪断抵抗の理論として Henny の式 $n = \frac{fP + \sigma A}{H}$ 及び $\tau = \sigma_0 + f\sigma$ がある。実験によって、 τ , f 値を知って、 σ を求め n を計算することが出来る。

一面剪断の場合水平力 P と底面(剪断面)までの距離 e との関係から $P \cdot e$ なる曲げモーメントが生ずるので岩塊底面には底面積を A とすると $\frac{P}{A}$ なる剪断応力の他に $\frac{P \cdot e}{I}$ という曲げモーメントによる応力が生ずる。この為底面の端 b 点では引張りとなって剪断応力で破壊する以前に曲げによる引張り応力で破壊する結果になる。従って一面剪断の場合にはこの曲げ応力を消去する為 $P \cdot e$ と同じ大きさで反対方向の



P・Eなるモーメントをあたえる必要がある。PとP'の合力の作用点が底面の中央に来る場合には底面に働く応力は剪断応力 $\frac{P}{A}$ と圧縮応力 $\frac{P'}{A}$ だけとなりモーメントの影響を消去することが出来る。
 実際のテストについてはP及びP'に見合う夫々の加圧ジャッキの大きさと能力、岩塊の製作手間と工期等の関係を考慮して諸元を次のように決めた。

- 1) テストブロックの製作位置は右岸補助ダムの岩盤面附近のうち、最も亀裂、継目等の少ないと思われる部分に定めた。
- 2) テストブロックの大きさは水平力を加える面 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ 、垂直力を加える面 $1.0\text{m} \times 1.5\text{m}$ の長方形岩塊とする。
- 3) 測定に使用する計器は「多変式自動平衡記録器」に継目計、剪断変位計を接続する外、ダイヤルゲージを挟りつけて直読する。



- 3) 繰返し荷重は原則として加えない。
 - 4) 荷重状態は4箇の供試体のうち夫々2箇づつを同一状態として、 σ 及び τ を知るものとする。
 - 5) 圧力変動を明確に測定するため油圧ジャッキに対してはブルドン管と併用して記録装置に繋る測定器(圧力変換器と稱す)を使用する。
- 図グラウト効果の測定の一〜三の手段について

下ス保ダムの調査段階に於けるグラウトテストを取まとめると次の通りとなる。テストの目的は申すまでもなく注入量と効果の概畧を知る事に意味がある。

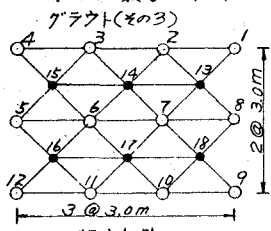
工 事 名	施行箇所	施 工 量	施 工 概 要
地質調査グラウト (その1)	河床 ダム底趾部	ボーリング 24孔・433.3m セメント注入量 86袋 (グラウト 12孔・163.0m)	辺長3mの正六角形のみ隅角と、中心 点の計7英にグラウトを行い、その前 後に於ける透水量と E_R の変化を検べる。

工 事 名	施行箇所	施 工 量	施 工 概 要
地質調査グラウト (その2) A	河床 岸壁カチン部	ボーリング・19孔・760.0m セメント注入量 126袋 (グラウト・13孔・485.0m)	辺長 1.5m及び2mの正三角形を夫々3組づつ直線上に並べ、各隅奥にグラウトを行って、その前後に於ける透水量を調べる。
地質調査グラウト (その2) B	右岸 ダム軸附近 E.L.230m~240m コンクリーション部	ボーリング・16孔・328.0m セメント注入量 39袋 (グラウト・11孔・172.0m)	辺長 3.0mの正三角形5組を斜面添いに連続的に並べ、その各隅奥にグラウトを行ってその前後に於ける透水量と E_R の変化について検べる。
地質調査グラウト (その3)	左岸 ダム軸附近 E.L.250m~260m コンクリーション部	ボーリング・18孔・459.5m セメント注入量 93袋 (グラウト・12孔・207.0m)	3行4列で夫々の間隔3mの格子を設け各格奥に15mと20m深さの孔を交互に削孔してグラウトを行い、中隔奥に於ける透水量のテストを実施する。
地質調査グラウト (その4) — 施工中 —	左岸 断戸処理 坑内(4H-13C)	ボーリング・27孔・321.0m セメント注入量(設計) 560袋 (グラウト・26孔・2800.0m)	列間隔1.5mの2列とし、各列の孔間隔1.0m 左岸最大の断戸に対する注入量のチェック。 中央部にコアボーリングを1孔施工する。

効果の測定方法と実験の概要並びに結果について以下に述べる。

1) グラウト孔の附近に観測孔を設けて注入の前後に於ける透水量の変化を検べる方法。

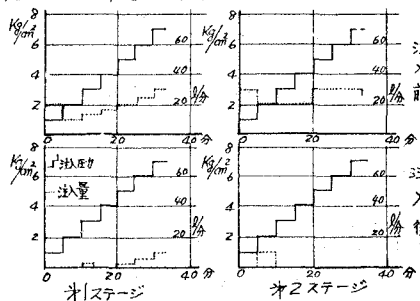
この方法は最も一般的に用いられてゐる検査法であるが範囲が局部的であるというところがある。



○ グラウト孔
● 観測孔
N0.6, 12の2ステージは10m,
他のステージは5m

N0.16孔(透孔2孔)に於ける状況表			
テスト状態		1ステージ	2ステージ
N0.5, 6, 12, 11	圧力 kg/cm^2	7	10
各孔のグラウト 施工前	透水量 分	24	20
全施工後	圧力 kg/cm^2	0.5~7	0~7
	透水量 分	0	10

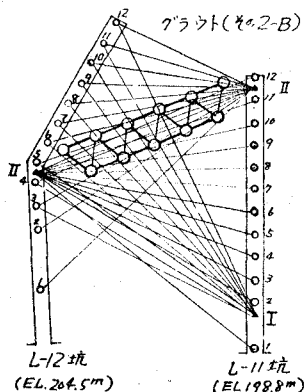
※1, 2ステージ 何れも5m



(上図) N0.16孔の透水圧力と透水量図

2) グラウト施工部分を狭んで注入の前後の弾性波探査による速度値の変化から効果を検べる方法。

この方法は1)の場合とは逆に巨視的であるが、最近相当各地で試みられて来た。この方法では速度値が3.0%程度以上の場合には測定誤差を考えれば効果測定の定量的な判断が困難な場合がある。



▲: 爆破点, 坑内パネは測点

グラウト前後に於ける速度値の比較表
(観測機坑L-12) (測坑 L-12) (測坑 L-11)

爆破点 L-11-I				爆破点 L-11-II				爆破点 L-12-II						
グラウト前	グラウト後	差	増加率	グラウト前	グラウト後	差	増加率	グラウト前	グラウト後	差	増加率			
1	2.91	3.04	+0.13	+4.5%	3.72	3.88	+0.16	+4.3%	1					
2	3.60	3.67	+0.07	+1.9	4.03	3.90	-0.13	-3.2	2					
3	3.58	3.58	±0.00	±0.0	3.86	3.86	±0.00	±0.0	3	4.65	4.96	+3.1	+6.7%	
4	3.69	3.87	+0.18	+4.9	3.83	3.76	-0.07	-1.8	4	4.23	4.49	+0.26	+6.1	
5	3.78	4.17	+0.39	+7.8	4.04	4.39	+0.35	+8.7	5	4.71	4.71	±0.00	±0.0	
6	3.92	3.98	+0.06	+1.5	4.40	4.60	+0.20	+4.5	6	4.64	4.44	-0.20	-4.3	
7	3.90	4.23	+0.33	+8.5	4.46	4.46	±0.00	±0.0	7	4.39	4.68	+0.29	+6.6	
8	4.42	4.42	±0.00	±0.0	4.38	4.60	+0.22	+5.0	8	4.56	4.77	+0.21	+4.6	
9	4.47	4.55	+0.07	+1.6	4.46	4.85	+0.37	+8.3	9	5.10	4.98	-0.12	-2.3	
10	4.42	4.56	+0.14	+3.2	4.79	4.94	+0.15	+3.1	10	5.33	5.07	-0.26	-4.9	
11	4.44	4.50	+0.06	+1.4	4.72	4.74	±0.02	±0.0	11	5.22	5.22	±0.00	±0.0	
12	4.56	4.70	+0.14	+3.1	4.81	4.97	+0.16	+3.3	12	5.08	5.16	+0.08	+1.6	
平均値					平均値					平均値				
					+0.17				+2.7	+0.06				2.4

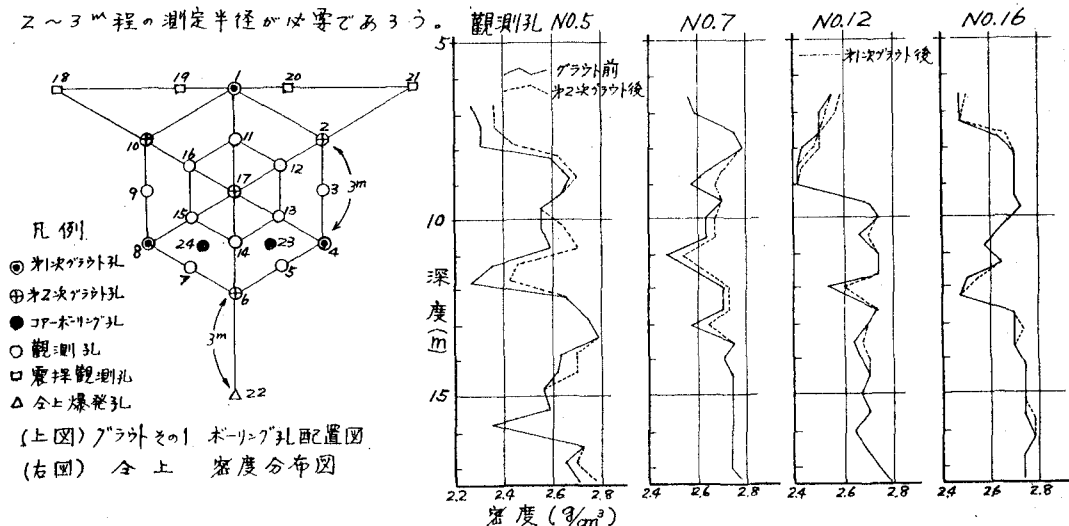
上表の場合セメント注入量はm当り 11 kg, 岩質は堅く、マッシュである為に速度値の増加率も少ないであろうことは充分考えられる。平均 2.7 という増加率は殆ど誤差の範囲内と云える値でグラウト効果を証明する値としては不充分であろう。

3) コアボーリング法

透水テスト法と共に最も一般的な検定法とされている。実地に於いてこの方法をどの部分で実施するかが問題となる。コンソリデーショングラウトに於ける破砕帯への注入検定とか、断戸処理グラウトの検定等には極めて有効と考える。(グラウトその4は断戸グラウトに対するテスト)

4) その他の場合(グラウトその1の実験から)

以上の外にアイソトープを用いてグラウトの前後に於ける密度の変化量を知りグラウト効果を測定する方法がある。この方法はかなり微少な変化を正確に検知でき、定量的に判定出来る可能性がある。この方法を将来有望な検定法と云えよう。問題は測定範囲が極めて狭いこと(有効半径は精々1.5cm程度)、局所的な検定に止まるため、グラウトの全般的な効果に対しては未開発である。実用には2~3m程の測定半径が必要であろう。



その他電気検戸法によって岩盤の性状(浸透性の地戸と不透透性の地質との判定)を推定することが出来る。

あとがき

ダムサイト現場で行うダム築造の安全性に関する基礎岩盤の諸実験は夫々の結果が實際工事に直結するだけに慎重を要するが、その精度については自ら限度があり、推定と経験に俟つ部門も相当に多い。一フーフの現場に於ける調査と実験の積み上げが如何に重要であるかは他言を要しない。この意味で下ス保ダムに於ける若干の諸調査も何らかの資料となり得る事を信ずるものである。

参考文献:「下ス保ダムに於けるグラウト効果に関する実験報告」 土研 工藤辰吉

「下ス保ダム実施計画調査報告書」 34~35年 版

36年 版

「グラウトテストについて」 「所報一下ス保一37年創刊号」 小山