

グムの基礎岩盤グラウト施工基準の定め方に関する一提案

正員 吉田 勝 英*

1. 総論

(1) 緒論

近來ダム技術の進歩にともない、ダムの高さが100mを越えるものが多くなり、さらにアーチ型のものが採用されるようになってきた。このため基礎岩盤を適当に処理することは、現代のダム建設工事の大きな問題の一つとして注目されるようになったのである。基礎岩盤より上部にある構造物が設計どおりにその機能を果たすためには基礎岩盤がその上に載荷している最大荷重を完全に支持しなければならぬ。もし基礎岩盤が自然のままでは不適当であるならば、その欠陥を取除くか、所要の支持力を持つように岩盤の改良を行なわねばならぬ。ダムに限らず土木構造物の破壊の原因の多くが基礎処理の軽視に基因することは多くの実例の示すところであるので、十分慎重に基礎の問題を取扱うべきである。

基礎岩盤に対してグラウトを施工することは欠点のある基礎を改良する最も実用的な方法の一つとして、現在多くのダム建設工事において用いられているものであり、その目的によって2つに大別される。

その1は、ダム底部の岩盤を強固にし、これにより一層単一化した単体的基礎を確保することであり、その2は透水に対する有効な障壁を設けて、これによりダムの底部に働く揚圧力を減ずるものである。前者の目的のためのものをコンソリデーショングラウト、後者に対するものをカーテングラウトと称する。

いずれの場合においても、基礎岩盤中に注入されるミルクの状態を直接目で見ることはできないし、もちろん岩盤内部の諸性態を当初より確認する方法はない。したがってグラウトの施工を行なう場合、その工事を担当する技術者は、その付近の地質構造、採取したコアの状態、水圧テスト時の透水量の大きさ、およびその位置などのほかに類似した地点の先例などを参考にして自己の経験より割出した判断により一応の作業基準を定め、とりあえず工事に着手し、工事中の経験より順次作業方法を改良し、いつとはなしにその地点に適した施工基準を作りあげているのが現在一般に行なわれている方法と思われる。したがって施工基準に関しては現場ごとに多くの説があつて定説とみなし得るものはほとんど見当らない。

この結果、ダム工事が終了し、貯水した後の結果を見てはじめて基礎グラウト工事の良否の判定をつけること

ができるのであつて施工途中においてはある程度その成果に対して疑問を持っているか、疑問を持たぬ場合には過度と思われるほどていねいに作業を行ない不経済な場合が多く、常に適正な基礎グラウトを施工できるような施工基準の定め方は見当らないのが現況である。これらのことが長い間放置されたままかえりみられなかったのは、すべて地表面下のことであり、実際やってみなければわからないという考え方がグラウト工事を支配する一般の概念であつたためと思われる。

本研究は以下このような現況に対して基礎グラウト施工上の見地より実験的に水圧テスト時の透水量の傾向を求め、また現場における各種実績を整理することにより透水量のもつ意義を巨視的に推論し、これらのことより施工基準のうち、特に問題となる注入圧力、注入セメント量などの決定、およびグラウトの完了、グラウトの効果などの判定はいずれも透水量に基準を置くことにより解決し得るものであり、透水量こそ基礎グラウトの施工を行なう場合、根底をなす一つの基準であることを提案するものである。

(2) 本研究の概要

セメント注入工事はグラウト孔を削孔し、水洗、透水テスト、グラウトの順に施工するものである。従来この透水量を測定する目的は岩盤内の透水容易な位置の発見とか、非常に大ざっぱにセメント注入量とか、岩盤の良否の見当をつけるなどの資料を得るにすぎなかったのである。グラウト孔を用いて透水量を測定するときグラウト孔深も注入圧力もまったく同じ場合に透水量の示す値はそれぞれ差ができ、ほとんど同一のものは見当らないことは多くの実例の示すところである。筆者はこの点に着目し、透水量の性質を解明すればグラウト工事施工基準のうちある程度の指針となるものを求めることができるのではないかと考え、検討することとした。

グラウト孔より透水するためには、グラウト孔を中心としたある範囲内の基礎岩盤に透水可能な大きさの間げきが存在する。

この間げきはグラウト孔につながっていて、その大きさ、深さ、形状、数、長さ、あるいは間げき壁面の状態および間げき中の挟雑物などはそれぞれ異なっている。したがって、この影響により透水量に差異が生ずるのであると推論した。

次に同一母岩より構成される岩盤において、弾性波テストや載荷試験を行なった場合、巨視的に考えれば、その速度や沈下量はどこをとってもほとんど同じ値を示す

* 電源開発KK田子倉建設所土木課長

べきであるのに実例によるとある場所ごとにその値は異なってくるのが普通である。このことより同一母岩により構成された岩盤でさえ、各場所ごとに岩盤の性態が異なるものであることが推定でき、この原因も主として岩盤内に存在する間げきの大きさ、深さ、形状、数、長さ、間げき壁面の状態および狭雑物などの差異によるものと推論されるのである。上述のように岩盤間げきの状態に応じて透水量と岩盤の諸性態に差異が生ずると考えるならば透水量を手がかりとして岩盤の諸性態の比較をある程度推測できると思う。

透水量がこのような傾向を持つと考えられるならば、岩盤諸性態の差異に応じて吸収される度合いが違うと考えられる注入セメント量、あるいは差異に応じて変化すると考えられる弾性波速度も透水量にある関係をもつものと考えられ、岩盤の間げきをセメントで填充した結果、すなわちセメント注入の効果あるいはグラウト注入の完了なども岩盤の透水量を求めることにより判定できると考えられる。したがってグラウト工事に関する種々の基準のうちある程度は透水量を基準とすることにより求められるのではないかと推論するのである。

ここにおいて田子倉ダム基礎グラウト工事を実施するにあたり、各グラウト孔に対して必ず水圧テストを行ない、透水量測定精度の上昇をはかり、グラウト完了の判定にあたっては、必ず水圧テストを行ない、透水量が0となるまでグラウトを実施する方針を採用したのである。これらの方針により得られた資料を整理し、次に示すような結果を求めることができた。

注入圧の決定に関してはコンソリデーショングラウトの場合、注入圧—透水量関係曲線を求めることにより、岩盤破損圧の生ずる限界を見いだす方法を考え、カーテングラウトの場合は岩盤破損圧をコンソリデーショングラウトの場合より類推するとともにその点における静水圧および注入圧力の変化に応ずる透水量と注入セメント量の増加率の比較より注入圧を決定する方法を解明した。

セメント注入量の推定は透水量—注入セメント量の関係式を実績を解析することより求め、その地点の平均透水量が決まるならば、この関係式よりその地点の平均注入セメント量が推定でき、総割孔本数を仮定することにより注入セメント総量を求める方法を考えた。

コンソリデーショングラウト効果の判定、ならびに弾性波速度の大きさの推定はダム地点の代表的と考えられる範囲に対し、弾性波テストを実施する。ついでこの結果より範囲内を弾性波速度別に区分し、次にグラウトの資料を用い、この区分内の平均透水量を求め、これらを利用して透水量—弾性波速度関係式を求める。

これらの関係式ができれば透水量を知ることにより、その付近の弾性波速度を推定でき、グラウト前後の平均

透水量を比較することにより、弾性波速度の比較を行なうことができ、このことよりグラウトの効果の判定を行なう方法を解明した。

また田子倉ダムの基礎岩盤と異なる岩質の滝、風屋、御母衣などのダム基礎岩盤の資料を解析し、透水量—注入セメント量の関係は田子倉ダムにおけるものと同様の傾向を持つものであることを立証した。

以上の結果より直接目で確認できない岩盤内部の諸性態を類推し、基礎グラウト施工に対する考え方を取りまとめる手がかりとして基礎岩盤に関する透水量はいかに大きな役割を果たすものであるかを明らかにできたと考え、施工基準を定める場合に十分この点を考慮に入らすべきことを提案するものである。

2. 田子倉ダムの基礎グラウトについて

(1) ダムの工事概要

田子倉発電所は只見川電源開発計画の重要な一環をなすもので福島県南会津郡只見町大字田子倉地内において阿賀野川水系只見川を横断して堤頂 462 m、堤高 145 m の重力式コンクリートダムを構築、その貯水をダム直下に設ける発電所に導水して最大使用水量 420 m³/sec、基準落差 105 m により最大出力 380 000 kW の発電を行ない、再び只見川に放流せんとするものである。工事は昭和 28 年暮に着手し、昭和 35 年 10 月 6 日に竣工式を行ない、現在第一期工事の 285 000 kW の発電を行なっているが、昭和 36 年 11 月には第二期工事も終了して 380 000 kW の発電所となる予定である。

ダムの掘削は昭和 29 年 12 月初めに着手し、中央部の掘削の終了を待って 31 年 8 月末よりコンソリデーショングラウト工事に着手し、コンクリートの打上りにつれ、カーテングラウトを行ない、左右岸の山止めグラウト工事をふくめて 35 年 6 月にその工事を一応終了した。なおダム本体のコンクリートは昭和 31 年 11 月 16 日に初打設を開始以来丸 3 年の昭和 34 年 11 月 15 日に 1 980 000 m³ のコンクリートの打込みを完了したのであるが、本地点は冬期 3 カ月は積雪量 3 m におよぶ豪雪地帯であるので、その実働期間は 27 カ月であった。

(2) ダムの地質概要

ダム地点は下部は凝灰岩、火山礫凝灰岩、その上部に厚さ 6~7 m におよぶ松脂岩があり、さらにその上部に石英粗面岩類があって、ダムの基礎のはほぼ 70% 以上の面積を占めている。石英粗面岩は流理構造が発達しており、部分的にそれは毛状きれつにまで発達している。また重なり層のある部分は風化変質し、薄い粘土をはさま場合もあるが岩質そのものは硬く良好である。左右岸の取付部付近には、石英粗面岩の異相である斜長石英粗面岩や角礫状石英粗面岩が分布していて、これらの岩類はきれつが発達しているがきわめて硬い黒雲母石英粗面岩

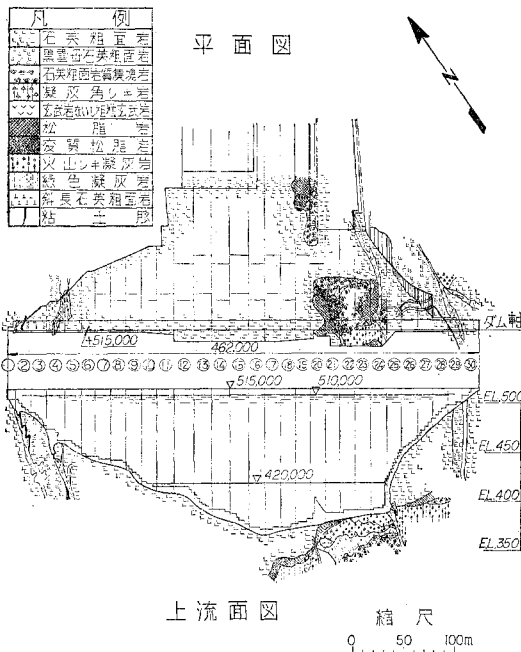
の岩脈で兩岸各1カ所において貫ぬかれている。この岩脈は左岸では巾20m、N45°E、80°SEの走行傾斜を有し、右岸では巾10mでN-S垂直の走行傾斜をもっている。また分岐した細脈をともなった粗粒玄武岩岩脈がダム基礎の範囲内に4本存在していて、その走行傾斜は一般にNE-SWほぼ垂直である。この岩脈は表土付近においては完全に風化し粘土化しているが掘削が進むにつれ硬くなり、表層より10m以上になると新鮮な岩質となる。新鮮なものは非常に硬質であるが、きれつはかなり発達している。凝灰岩類および松脂岩はNo. 21~No. 24ブロック上流部においてダム基礎掘削面に露出したのみで、右岸に階段状をなしNo. 21ブロック左岸側付近において急に深く突込んでいる。

粘土脈は松脂岩の上、下面と黒雲母石英粗面岩脈の両側、時には粗粒玄武岩岩脈の側面に存在する。これらの粘土脈は熱水あるいは風化変質によってできたものである。厚さは最も厚い部分で約40cmで場所により消滅している。方向は母岩のそれに一致していて大部分は非常によく密着している。他の岩石にはほとんど粘土をともっていない。断層は掘削後の詳細な調査の際にも全然見あたらなかった(図-1参照)。

調査のために実施したボーリング、試掘横坑、立坑載荷試験方法による支持力試験などの概要は次のごとくである。

① ボーリング			
位置	数	総延長 (m)	
ダム	79	2800	
仮排水路	32	669	

図-1 田子倉ダム地質図



放水路	10	349
上流仮縮切	6	118
計	127	3936
② 試掘横坑および立坑		
種類	数	総延長 (m)
試掘横坑	17	426
立坑	2	18
計	19	444
③ 支持力試験 (載荷試験方法による)		
位置	岩石	弾性係数 (kg/cm ²)
上流排水トンネル	石英粗面岩	230000
仮排水路下	火山礫凝灰岩	48000
④ 耐圧試験 (採取コアーによる)		
種類	耐圧強度 (kg/cm ²)	
凝灰岩	586~1261	
石英粗面岩	669~1489	

(電力技術研究所報 土木第3巻第18号より)

(3) 田子倉ダム基礎グラウト工事の概要

ダムのグラウト工事はコンソリデーショングラウト工事、カーテングラウト工事、取付部グラウト工事、ジョイントグラウト工事、冷却管充填工事、およびドレンホールボーリング工事などであり、その作業の概要は表-1のごとくである。

使用機械は、ボーリングマシンは利根式を、グラウトマシンは利根式、東邦式およびデンバー型を使用、年別使用台数は表-2のごとくである。

(4) コンソリデーショングラウトについて

a) 施工時期 時期については種々議論のあるところであるが、当建設所においては次に述べる場合以外にはダムコンクリート打ち込み前に実施するのを原則とした。

① 地形が急峻でボーリング作業にはなほだしく大段取りを要し、ひいてはコンクリート打ち込み工程に影響を与える場合。

② 基礎岩盤が凝灰岩質で急速に乾燥して風化しやすい場合。

③ 弾性波テストを利用してグラウトの効果テストを行なった場合に岩盤面の近くが広範囲にわたり効果の上っていない場合など。

また、コンクリート打ち込み前に実施すると次のような利点がある。

① 露出岩盤面を見つつグラウトを行なうのでその効果を確認し得るとともに施工を失敗した場合にもただちに対策を立てることができる。

② 一般に基礎岩盤面に毛状きれつが非常に発達している場合にはミルクの漏洩が多く、表面近くにまで十分にグラウトをすることは困難である。

このような場合には岩盤面より少なくとも50cm以上深いところにバッカーをセットしてグラウトを行なうから、コンクリート打ち込み前にピックハンマーなどを使用して表面に近くグラウトが不十分な箇所を徹底的

表-1 ダムグラウト工事概要

区 分	孔数(本)	孔 長(m)	注入セメント (袋)	注入セメント (袋/m)	注入セメント (kg/m)	注入ミルグ (m ³ /m)	総工事費(円)	工 事 費 (円/m)
(低 圧)								
コンソリデーション	6 068	72 835.34	(F 3 848.35)	1.62	81	0.306	332 889 745.40	4 570.44
ダム右岸取付部	273	10 103.97	118 014.40	2.44	122	0.412	50 257 848	4 974.06
本川流切上流	16	286.13	24 719.50	7.677	383.85	0.739	1 714 639	6 209.53
小 計	6 357	83 215.44	144 853.70	1.73	86.50	0.319	384 862 232.40	4 624.89
(外 部)								
カーテングラウト	586	33 008.86	(F 672.63)	3.42	171	0.839	24 1227 650	7 307.97
(内 部)								
カーテングラウト	630	26 945.02	(F 100)	1.43	71.50	0.413	169 273 055	6 282.16
小 計	1 216	59 953.88	38 767.80	2.54	127	0.647	410 500 705	6 846.95
共用設備							2 781 500	
内部排水	174	4 265.55	12				20 494 933	4 804.75
冷却管填充		929 170(m ²)	26 112.00	0.028	1.40	0.0029	22 577 300	24.29
継目グラウト		149 450(m ²)	34 996	0.233	11.65	0.026	37 682 276	252.13
ダム背面排水	22	1 396.83	694.60	0.497	24.85	0.249	4 848 968	3 471.40
ダム継目補強	115	750	1 854.80	1.95	97.50	0.34	3 285 776	3 471.58
水害復旧							151 000	
總 合 計	7 884	149 781.70	36 1230.00				887 184 690.40	

表-2 使用機械年別集計表

工 事 名	区 分	31 年		32 年		33 年		34 年		35 年		計
		m	m	m	m	m	m	m	m			
低 圧 グラウト	工事数量	5 644.33	1706.512	18 051.70	7 959.890	37 063.7	10 288.828	22 455.01	6 450.527			83 214.94
	設備台数	698	990	2 863	3 270	5 694	2 818	3 034	1 810			12 288
	稼働台数	343	340	1 747	1 246	2 688	1 335	1 452	853			6 230
外部カーテングラウト	工事数量			42 08.16	44 83.895	13 601.9	11 212.148	13 588.09	9 730.658	1 608.71	2 145.632	33 006.86
	設備台数			883	735	2 704	1 963	2 620	1 556	251	268	6 458
	稼働台数			546	418	1 643	975	1 300	906	120	94	3 609
内部カーテングラウト	工事数量							19 438.54	8 726.999	7 506.48	2 388.236	26 945.02
	設備台数							5 788	3 360	1 373	1 058	7 161
	稼働台数							2 276	1 460	787	596	3 063
ダ ム 排 水 孔	工事数量							4 265.55		1 396.83	348.244	5 662.38
	設備台数							831		201	60	1 032
	稼働台数							445		134	23	579
冷 却 管 填 充	工事数量					693.757		1 034.408		997.903		2 726.068
	設備台数					320		168		100		588
	稼働台数					83		115		77		275
ジョイントグラウト	工事数量							2 253.206		950	1 837.365	4 090.571
	設備台数							274		173	560	173
	稼働台数							73		49	196	49

備 考

低圧グラウト (ワゴン ボーリング, 右岸取付部, ダム上流流切, 遮廊内低圧をふくむ)

外部カーテングラウト (補足グラウトをふくむ)

ダム排水孔 (背面排水孔をふくむ)

ジョイントグラウト (継目補強をふくむ)

工事数量 ボーリング (m), グラウト (m²)

図-2 注入孔配置図 (その 1)

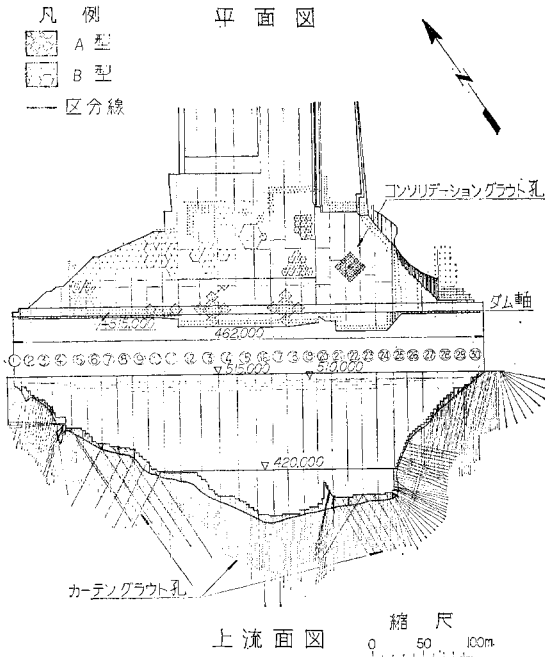
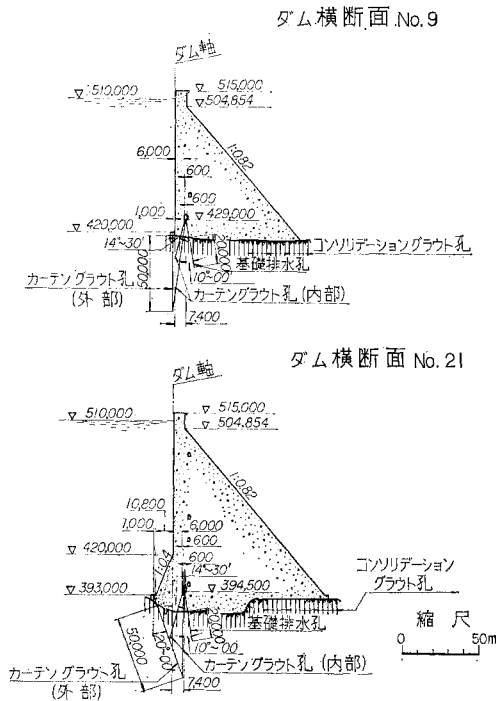


図-3 注入孔配置図 (その 2)



に掘削することにより、グラウトの効果が十分行なわれた岩盤にコンクリートを打ち込むことができる。

③ コンクリート リフト面よりグラウトを行なうとコンクリート打ち込み工程に、一部混乱を来し、リフト面の立ち上りにアンバランスを生ずる。またリフト面

は廃棄モルタルや油類により非常によごされ、グラウト作業が終了してよりコンクリート打ち込みに入るまでに非常に日数と労力を要する。

b) グラウト孔の配置 削孔深は一般に 10 m とし、場合によりこれより深いものも使用した。この場合はステージ グラウト工法を用いた。ステージ グラウトを行なうと工期がかかり、しかもボーリング マシンが注入中の孔に固定され、工事費と機械台数、工期の点を考慮し、できるだけこれの使用はさげた。注入圧力はいずれの場合も 5 kg/cm² とした。

削孔間隔は岩質に応じて A 型、B 型の配置とした(図-2, 3, 4)。

A 型においては、孔間隔を 3 m および 1.5 m, B 型では 6 m または 3 m とした。

A 型を使用するか、B 型を使用するかは主として、地質の状況により決定された。本ダムの中央部 16 B より右岸 24 B 付近までは A 型を、16 B より左岸は B 型を使用した。

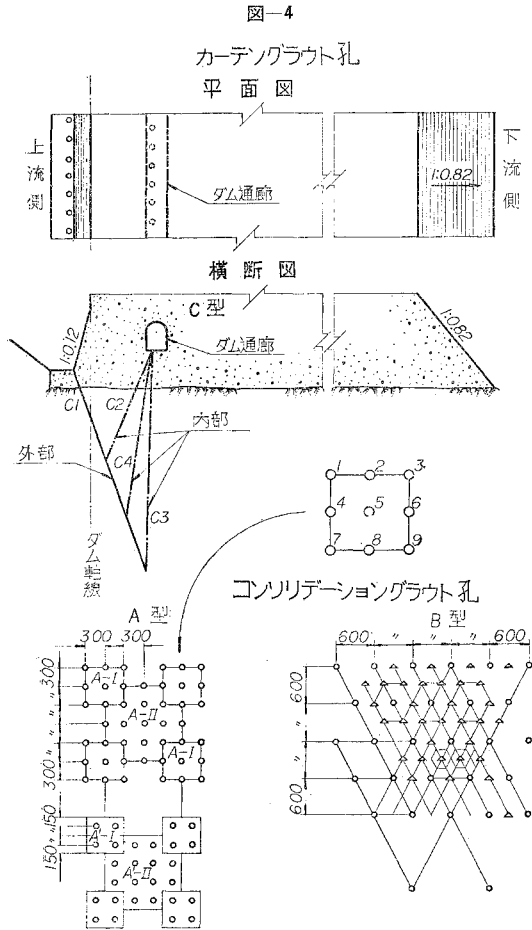
中央部 16 B より 24 B の間の岩盤の特徴をあげると、石英粗面岩は毛状きれつが発達していて、しかも重なり層のある部分は風化変質し薄い粘土をはさむ場合があり、削孔テストを行なうと 6 m 間隔においても各孔ともに完全に共通し、水洗を 24 時間実施するも清水とならない。したがってこのような地域には A 型を採用した。

A 型で施工する場合には、まず A-I のグループを削孔して完全に水洗した後注入を行ない、4 つの A-I グループの施工を終了してより A-II のグループをまとめて施工した。その後 A-I および A-II のグループのおおのりにテスト ホールを削孔してテストの結果により、なお孔間隔をつめる必要を認めた場合には A'-I, A'-II の順序に施工を行なった。

B 型を使用した範囲にあっては孔間隔 6 m の千鳥にテスト ホールを削孔してテストを行ない、その結果いづれも共通孔とならない場合に B 型を採用することとした。A 型とは違ってグループとして施工せず単孔単位の施工である。6 m の間隔を 3 m につめるには 6 m 孔の中間にテスト ホールを入れ、この透水量の多少に応じて 3 m の千鳥型とするかどうかの判定をつけた。

c) 注入作業 注入作業は水洗い、透水テスト、セメント注入の順序に実施した。すなわち、削孔作業が終了したならば、圧さく空気と水を併用して、各孔よりの洗水が清水となるまで完全に水洗いをした。

A 型においてはグループ内の各孔は大概共通孔となるので、各孔より出る洗水が完全に清水になった場合にグラウトを始めた。この場合には、まず①③孔に圧さく空気を、②に水を、⑥を開放し、④⑥⑦⑧⑨を密栓にし、①③よりの圧さく空気は三方コックを操作して、交互に



通気した(図-4)。このような取り付けをグループ内の各孔にまんべんなく実施した。圧さく空気の圧力は圧力調節器をとおして 5 kg/cm² (注入最大圧力) より大きくなぬようにした。

このようにして水洗が終了したならば注入作業を開始した。注入孔はできるだけグループ内の各孔より同時に施工するようにつとめた。これは各孔につらなるところの間げきを他の孔よりもれてくるミルクによりつめられることを防ぐためである。

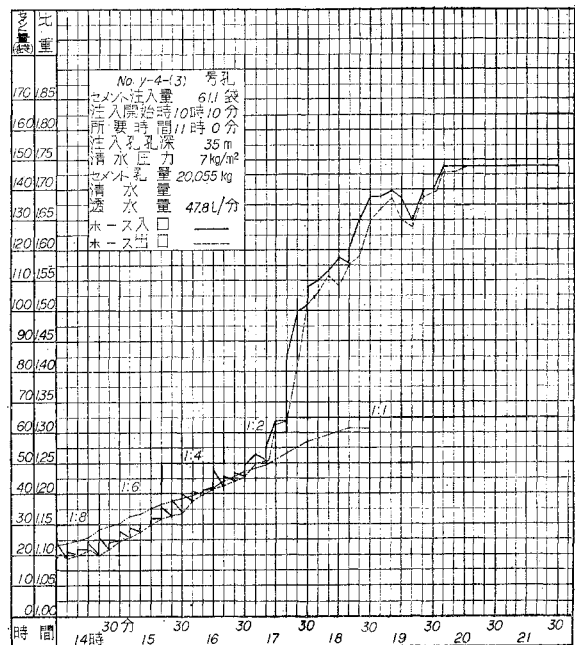
注入方法はすべてリターン方式を採用し、直接方式は実施しなかった。直接方式は注入圧力の管理が非常に困難で常時注入圧のゲージを監視するために人員を配置しなければならないし、またグラウトの終局近くにおいては急に注入圧力が上昇し、時には大切な基礎岩の一部を浮上させるおそれがあるからである。水洗いを行なっている場合に、a孔より注水するとb孔には連絡するが、この逆にb孔より注水するとa孔には連絡しないような現象が生ずることがあるが、これはa孔とb孔の間に通ずる岩盤の間げきよりb孔より他に通ずる間げきの方が大きいために容易にb孔より他

に水が逃げるためである。ミルクの濃度は透水テストの結果を考慮に入れ、1:20 より始め、1:1 までの間を変化させ、また圧力も 1~5 kg/cm² の間を用いた。

d) 注入作業の完了 ①注入作業実施孔: 注入作業を実施している孔に対するグラウトの完了については一定の基準はなく、国内はもとより諸外国においても、おのおの独自のものを使用しているようである。例えば単位時間当りのミルク吸収量の度合によるものとか、あるいはゲージテストによりある定められた時間内に定められた注入圧力が低下しない場合に完了とみなすとか、種々の方法が用いられている。ミルク量の吸収の度合による判定はミキサのモルタルタンク内におけるミルクの減量によるので正確につかむことは困難であるし、ゲージテストはゲージより注入側においてミルクがわずかでも漏出すると圧力がすぐ降下し、所要時間中規定圧を保つことができず、なかなか成功しないものである。このためにバック側のコックおよびその他の付属品に常に新品を使用し、継手を確実にし、ミルクの漏出を防がねばならない。このことは非常に不経済であり繁雑であるが、これを実行しないと正確な判断は得られないのである。したがって田子倉ダムにおいては透水テストによる方法か、ミルクの濃度の変化を比重計を用いて測定する方法か、いずれかの方法によりグラウトの完了を決定した。

注入作業の終了時期近くなるとアジテーターのミルクの吸収量は非常に少なくなり、目では判定しにくくなるので、この時期に透水テストを行ない、水の吸収量が0となったならば、注入を中止する。0でない場合には、さらに注入を行ない0となるまで実施する。またミルク

図-5 比重変化曲線図



の濃度の変化の比較によるものは、注入の中期頃よりミルクのサプライ側およびリターン側のおおのについてミルクの比重をボーマ比重計を用いて30分ごとに測定し、横軸に時間を縦軸に比重を記入し、両者の比重が一致してより約2時間以上比重の変化がない場合に注入は完了したものとした(図-5, 6, 7)。

② グラウト施工区域内：注入施工区域内のグラウト

図-6 比重変化曲線図

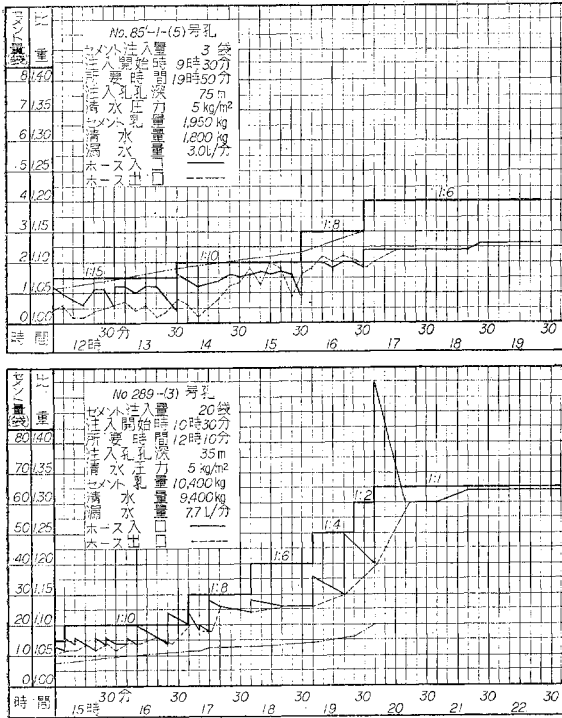
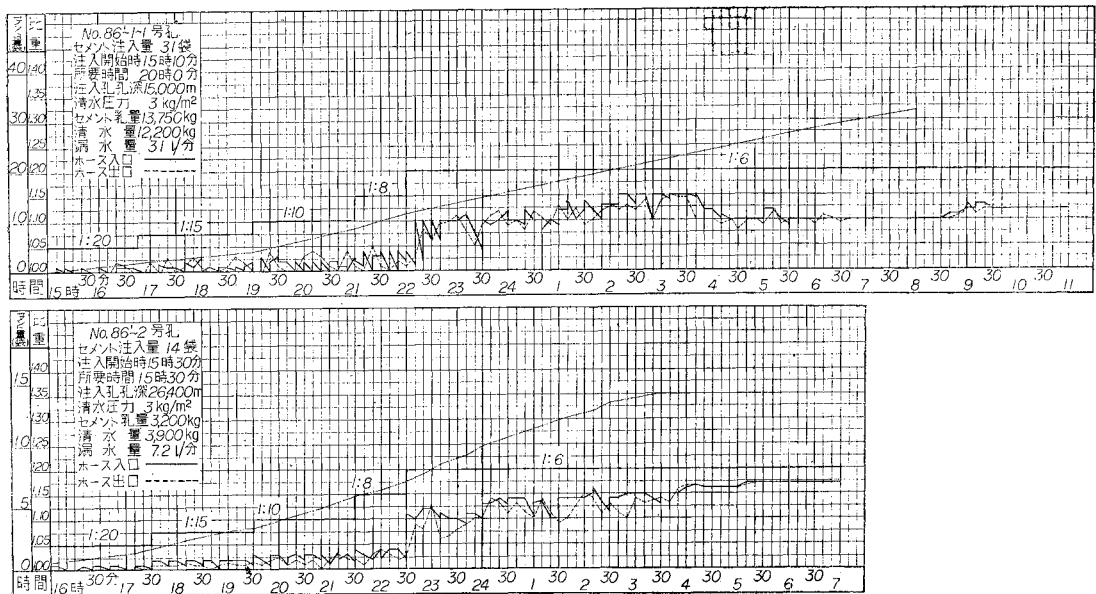


図-7 比重変化曲線図



の完了は、テストホールを削孔してこの孔に対する平均透水量の過多により判定した。すなわち基準注入圧 $P = 5 \text{ kg/cm}^2$ の水圧において、透水量 5 l/min 以下の場合にそのグラウト エリヤは注入完了と認め 5 l/min の基準より大きい透水量がある場合には、そのエリヤに追加グラウトを施工するを原則とした。A型においてA'孔グループのグラウトが終了してもなお不合格の場合には、B型の3m間隔を採用して追加グラウトを実施した。

テストホール位置の決定はグラウト中のミルクの漏洩箇所、ボーリング作業中の排水色、およびグラウト前のろう水の過多、グラウトミルクの注入量の過多などを考慮に入れて決定した。

③ 弾性波テストの応用：ダム中央部の石英粗面岩の広く分布している箇所と右岸側の地質の複雑な箇所において、表土掘削が終了し、コンソリデーショングラウト工事を施工する直前に測線を定め、物理的地下探査法を用いて岩盤の自然の状態のままの弾性波速度を測定し、一応グラウト工事が終了した直後に再び同一の測線を用いて弾性波速度の測定を行ない、前者と後者の岩盤中を伝わる弾性波速度の値を比較し、グラウトによる基礎岩盤の改良の度合いを判定した。これらの結果は次に示すごとくである。なお、後者の測定により十分な結果が得られないときには不十分と考えられる箇所に対しては再度グラウトを追加施工した。

e) コーキング作業 一般の場合には、木片、ウエス、まきはだ、糸鉛、硫黄などの使用に併用して急硬剤をセメントに混合して実施するが、漏洩箇所が非常

表-3

第一次調査の速度	第二次調査による 速度上昇分	最終速度
3.0 km/sec	1.3 km/sec	4.3 km/sec
3.6 "	0.6 "	4.2 "
3.7 "	0.3~0.8 "	4.0~4.5 "
4.0 "	0 ~0.2 "	4.0~4.2 "
4.1 "	0.1 "	4.2 "
4.2 "	0	4.2 "

に広い場合、あるいはベンチ カットを行なった川側などで労務者が取りにくい場合には次のごとき工法を採用した。

① 漏洩箇所が非常に広範囲の場合：当初よりミルクの漏出が広範囲におよぶと予想される場合にはジャックハンマーを使用し、孔深は0.5~1.0m、孔間隔は1.0m以下のこうしに漏洩箇所全般をおおむねとくに削孔し、濃度1:1のミルクをこの範囲にすべての孔より同時に注入し、ミルクが漏洩しはじめたならば中止し、このセメント ミルクが硬化するのを待って本孔の削孔に着手した。ただ1回において不成功の場合は上記の方法を効果のあがるまでくりかえし行なった。

② ベンチ カット部：ベンチ カットの川側より多量に漏洩を予想される場合にはベンチ カットの肩より1.0mほどのところに孔間隔1.0m以下、深きベンチ カットの高さ以上の孔を一列または二列の千鳥に削孔し、削孔終了と同時に①と同様の方法で注入を行ない、ある程度ミルクを漏出させてのち中止し、ミルクが硬化後完全にミルクの漏出がなくなるまでくりかえしこの作業を実施し、その後本孔の作業を行なった。

③ グラウト作業中に生ずる場合：グラウト作業を開始したのちに途中より多量のミルクの漏出が生じた場合にはグラウトを中断することができないので、この場合には種々の手段を用いて漏出箇所を1ないし数箇所にまとめてここに適當のパイプを設置し、漏出するミルクを全部このパイプに集める。パイプを設置した以外の漏出箇所のミルクがある程度硬化したならば、パイプの排出孔をウエスで被覆する。被覆する厚さは付近のミルク漏出箇所の状況に応じて決定し、被覆することによって付近の漏出箇所の硬化した部分を破壊せぬように注意する。このようにするとミルク中の水分は外部に排出され次第にその量を減じ、ついには完全にミルク漏出は止まるのである。

また木片やまきはだその他を打込むことができないほど小さなクラックより無数にミルクが噴出して、急硬剤を用いてもコーキングができていく場合には、これらの漏出箇所をウエスをひろげ、二、三枚の厚さにして被覆し、このウエスの周囲を急硬剤を用いて、岩盤にはりつける。このようにすると漏出したミルクはウエス内で次第に硬化してついに漏出はなくなるのである。

f) 地層の重なりとA型、B型採用の可否 A型を使

用する場合に特に考慮を要する点は施工区域内の地層の重なり工合である。

これはミルク通過可能面が地層の重なりによって多く発達しているからである。これらの配置が水平面に近いような重なりを持つ箇所において、A型を使用すると水洗およびグラウト作業のさいに使用圧が作業区域面一杯にかかり、上部の基礎岩盤を浮き上がらせるおそれが多分に生ずる。このような場合にA型を使用して完全に施工範囲の不純物をミルクで置き換えたい場合には各グラウト孔削孔時に得たデータより、それらの層の位置、特に深さおよび数を確認の上、グラウト圧を決定し、岩盤を損傷せぬように努めねばならない。

地層の重なり方が垂直に近いような場合には、グラウト圧の岩盤層に対する作用線の方向は水平方向に近くなり、圧力が地山に吸収されて岩盤を浮上がらせる作用は減少するので心配はなくなる。このような地層の重なりを持っている場所はミルクの岩盤面への漏出する状態は線状をなしてくるのでただちに判断がつくものである。

また垂直に近い地層の重なりを持つ範囲の注入にB型を採用した場合、ある注入孔に対しては注入ミルク量が少ないのにすぐ近くに設けたテスト孔よりの注入量は非常に多く、しかも非常に速い箇所にミルクが漏出してきくような現象が生ずることがある。これは前者の注入孔が重なり目を横切らず、同体の岩塊の内を削孔したためである。

したがって、このような重なり層の地質にたいしては、グラウト孔をある程度傾斜させ、重なり層を数多く横切るように特に努めるべきである。

田子倉ダムの中央部より右岸側の岩盤は右岸より左岸に70° くらいの角度で落込み、石英粗面岩においても何回となく重なり合って流下しているため、A型を採用してもなならぬ危険を感じることがなかったのである。

(5) カーテン グラウトについて

当ダムのカーテン グラウトの方法は、一般のダムと同様に上流面ファイレットおよびダム通廊内より施工する計画であった(図-3, 4)。

a) 施工時期 上流面ファイレットよりの施工は、作業圧力の最高を使用するところの中央部に対しては、ダムのAブロックが少なくとも15.00m以上打上った時期に着手し、一部湛水前までに一応の計画を終了させた。

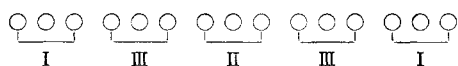
テスト ホールによるテストの結果より追加を必要とする場合にも工程上より上流面よりのグラウトは打ち切らねばならない場合も一部に生じた。このような場合には外部よりの施工の不足を内部通廊よりのグラウトを完全に施工することにより補足することとし、外部よりの施工は打ち切りとした。

内部通廊よりのグラウトは上流面よりのグラウト終了後湛水前に施工するのを原則としたが、工程上やむを

得ない場合には一部湛水後に実施せざるを得ない場合も生じた。

b) グラウト孔の配置 図-2, 3, 4 に示す配列とし、各孔の間隔は原則として 3 m とした。C₁ 孔は上流面フレットより、C₂ 孔は通廊内より施工し、C₁ 孔は着岩後 50 m、C₂ 孔は着岩後 20 m を標準とし、C₁、C₂ 孔はダム軸線上において交るごとくした。一応グラウト終了後の透水テストの結果により C₂ 孔の間隔を 1.5 m または 0.75 m までせばめて施工しても、なお不十分と考えられた場合に C₃、C₄ 孔を追加することとした。C₁、C₂ 孔はともに 3 m の間隔に 3 本同時に削孔し、共通孔の生ずる地質においては下図に示すごとくグループ工法を採用し、十分水洗いができるように努めた。

すなわち、第 1 回目Ⅰグループ、第 2 回目Ⅱグループ、第 3 回目Ⅲグループの順序である。



先例によると C₂ 孔は長尺で、C₁ 孔は短尺とするのを普通とするようであるが、せまい通廊内で長尺を削孔するのは非常に不経済であるので長尺はできるだけ外部より実施するようにした。なお、本グラウト作業はすべてステージグラウト工法を採用した。これは

①現場における実験の結果 100 m 以内の孔深でダム上流面で削孔を行なう場合、連続して予定深度まで削孔するのも、またステージグラウトを採用して削孔、グラウト、削孔をくり返して実施する場合も削孔費にはあまり差異を認め得なかった。

②パッカーを各ステージの所要箇所セットする場合、パイプの連結に案外時間を要し、しかも高深度、高圧力の箇所にセットすることは案外面倒である。高深度におけるパッカーのセットが、うまくゆかなかった場合には、漏洩ミルクのためにパッカーが深部に固着し、これを引抜くために、思わぬ時間を要した場合にはパッカーが引抜けられないために、この孔の再削孔が不可能となり、やむを得ずこの孔を廃棄して別に新しくグラウト孔を削孔せねばならないなどの不利が生ずること。

③ステージグラウトを採用することにより最後にはダムコンクリートと基礎岩盤の接着部に所定の最高圧をかけ得るのでダム底面と基礎岩盤面との密着をより十分なものとなし得る。

などの理由であったが、ボーリングマシンが注入作業実施孔に固定されるためにボーリングマシンの稼働率が減じ、その結果としてボーリングマシンの設備台数にある程度の余裕を持たねばならない不利な点もあった。

c) 注入作業 一つのグループの削孔が全部終了したならば、ボーリングマシンはその位置にすえつけたままにして、ただちに水洗作業を実施した。ボーリングマシンを移動すると、この孔の注入が終了して、再び削孔を始める場合、前回削孔の方向にロットを正しく位置させることが非常に困難なことで、たとえうまく合わせたと考へても再び削孔を開始した場合に狂いを生じて孔曲りやマシンにむりがくる原因となるからである。水洗には圧強く空気と水とを混合して使用し、グループ内の各

孔が共通の場合にはグループの両側より水と空気を入れ、中間孔より洗水を噴出させるか中間孔に水と空気を交互に入れ両側孔より洗水を噴出させるかした。

一応各孔の水洗いが終了したならば、各孔の最低部にパイプを下し、これより空気と水を注入してスライムなどをすべて外部に排出させた。水洗いは洗水が完全に清水となるまで実施した。水洗作業が終了したならば各孔ともに透水量の調査を行ない、その圧力はその孔の注入圧力と同一とした。その後ただちにコンクリートの最低部、すなわちダムコンクリートと基礎岩盤の打込面より上部のコンクリートにパッカーを取りつけ注入を開始した。グループ内の注入孔は必ず同時に注入を行ない、注入順序に差をつけないようにした。これはコンソリデーショングラウトの A 型の注入において述べたと同様に隣接注入孔の注入ミルクの漏洩により、その孔の目づまりを起こさせるのを防ぐためである。

注入孔のステージ別注入圧力は下記のもの標準とした。

	第 1 ス テージ	第 2 ス テージ	第 3 ス テージ	第 4 ス テージ	第 4 以上
区間孔長	10 m	10 m	15 m	15 m	15 m
注入圧力 kg/cm ²	0~10	10~20	30	40	40

注入ミルクの濃度はグラウト直前に行なう透水テストの結果より判断して 1:20 より 1:1 の間の濃度の物を適時変化せしめて使用した。注入方法はリターン方式を用い直接方式は用いなかった。

d) 注入作業の完了

① グラウト作業孔：注入実施中の孔に対するグラウトの完了はコンソリデーショングラウト孔にたいして用いた方法と同様である。

② グラウト施工範囲の注入完了の判定：グラウト施工範囲の判定はすべてテストホールを削孔して、その孔に対する透水テストの結果により決定した。注入圧力 30 kg/cm² 以上の孔深においては 20 kg/cm² の水圧において透水量が 5 l/min 以下ならば完了とみなし、注入圧力 20 kg/cm² 以下の孔深の箇所においては、そのステージにおける使用最大圧力を使用した場合に透水量が 5 l/min 以下の場合に完了とした。テストホールは注入直前に実施した各孔別の透水テスト図および注入後のセメント使用量図などを基準にして位置、方向および孔深などを決定した。

e) カーテングラウト施工後の結果 田子倉貯水池の湛水は昭和 34 年 3 月 23 日にダム内仮排水路の締切を行ない、貯水を開始し、その後ダムの打ち上がりに応じて順次水位を上昇させ、昭和 35 年 7 月 13 日待望の満水を見、その後約 1 カ月の間はほぼその状態を続け現在に至っている。基礎通廊に設けたドレーンホールは、その間隔 3 m、孔深 20~10 m、孔径 65 m/m で合計ろう

水量は最高水位時において孔数約 120 本のときに約 11 l/min を示し、非常に僅少である。ドレーン ホールよりのろう水量と貯水位の 変化との関係は 図-8 に示すとおりである。また測定用ブロック No. 7, 16, 22 の各ブロックに設けた揚圧力測定器の示す値と、貯水位の関係は 図-9 に示すごとくであり、ダム上流面付近に設けた測定器の示す値がもちろん最大であるが、作用水頭の 35% か、あるいはそれ以下の値を示しており、当ダムの設計に用いた値は 40% であるので、設計の条件を満たしているものと思われるのである。

図-8 田子倉ダムろう水状況図

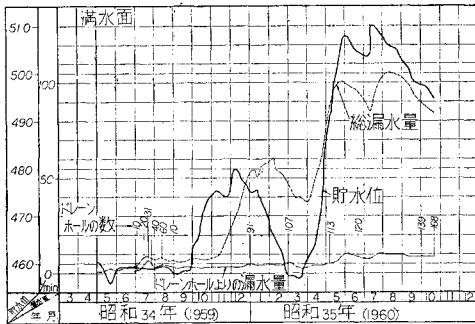
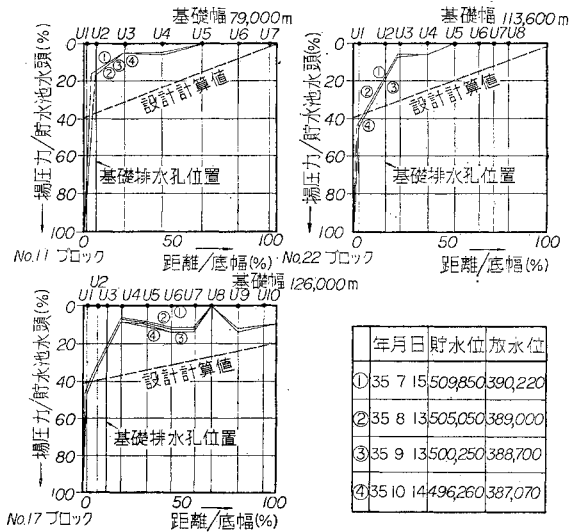


図-9 基礎岩盤面の揚圧力



前項において記述したごとくに No. 22 ブロックの基礎岩盤は凝灰岩でその下部に玄武岩があり、一部に松脂岩が存在して非常に複雑な地層であり、当ダムの基礎岩盤としては一番弱点と考えられた箇所であった。この箇所における揚圧力測定器はダム軸上流 7 m に 1 箇所、軸下流 7 m, 17m, 32 m, 47.5 m, 62.5 m, 70 m, 77.5 m, 7 箇所に各 1 個、計 8 個の配置となっており、満水位における揚圧力は全水頭の 43%, 0, 6%, 7%, 0, 0, 0, 0 である。この記録の示すように揚圧力の値が 0 を示すことは、この箇所の岩盤の性状よりして疑問に思われ、

計器の破損によるものと考えてこれらの測定器設置箇所の近くに着岩後 50 m の深さにおよぶテスト ホールを削孔し観測中であるが、削孔後約 12 箇月におよぶろう水量は皆無であり、なんら変化が認められない。したがって揚圧力 0 を示す箇所には浸透水はないものと思われるのである。

ただし、これらの箇所のカーテン グラウトは孔間隔 0.75 m で C₁, C₂, C₃ および C₄ の各グラウト孔を削孔して施工した範囲に属している (図-4)。

以上の結果よりして当ダムのカーテン グラウトの効果は満足し得る状態にあるものと思われるのである。

3. 田子倉ダム基礎グラウト資料の解析

(1) 岩盤内間げきへのセメントの填充

岩盤内の間げきへセメントを填充するにはセメントを乳状にしてポンプを用いて、この間げき内に圧入するのであるが、圧力あるセメント ミルクは岩盤の間げきにそって次第に奥へと浸透して行く。この場合ミルクの到達する距離は間げきの壁面とミルクとの摩擦とか、湧水のある場合には湧水圧とかに影響を受け決ってくると思われる。すなわちミルクはミルクの有する圧力と摩擦力、あるいは湧水圧などの外力と平衡を保つところで奥へ浸入する力を失って沈殿を開始し、セメントは奥より入口へと填充されてくるのである。

ただし、ミルク中に存在する水はミルクよりはるかに摩擦力が小さいのでセメントをある点に置いたまま、さらに奥へと浸入して大地に吸収されるものと考えられる。すなわちセメント ミルクは岩盤の間げきにそい最小抵抗の方向に浸透拡散するのである。

岩盤の間げきにセメントが填充する状態を考察するに上記のように外力と平衡を保つ点までくるとミルクは停止し、沈殿を始めるのでミルクの流速は 0 に近くなるのであるが、この末端までの間においてはある大きさの流速を持っているのである。この流れている状態においてもセメントが凝結を開始するにつれて粘着力を増し、ミルクの通路の壁面に沈殿、付着し、凝結、硬化するのである。セメントが壁面に沈殿付着し、凝結、硬化を始めると流水断面積が小となり、注入圧力が上昇し始めるし、硬化するに要する水分以外のものはミルクより分離し、さらに奥へと逃げていわゆるシボリ水の現象を生じてくる。間げきの壁面あるいは凝結しはじめたミルクとミルクの間の摩擦力よりは注入ミルク内相互の摩擦力は小さいので中心部付近のミルクはさらに奥へと浸透するのである。

注入ミルクの浸透した末端付近よりさらに奥に分離した水分が浸入する場合にはセメントの粒子のうち、大きいものより次第に小さいものへと順にともなっていく、ついには水分のみとなる。いまセメント注入作業を行な

いながらグラウト ポンプの送りの濃度とリターン ホースの出口における各ミルクの比重をボーメ比重計を用いて実測してみると 図-5, 6, 7 のごとき変化をたどるグラフが得られる。すなわち注入作業の初期においては岩盤の間げきは空虚でなにもつまっていないのでミルクはある割合で吸収されて行き、脱水作用も沈殿作用も生じていないので、送り、帰りの各ミルクの濃度にはなんら差が見られないのである。この時期がすぎ間げき内にミルクが一応充填されると脱水、沈殿の各作用が始まり、両者の濃度は明らかに差が出てくる。帰りの濃度はある場合は濃く、ある場合は薄く、そのときの岩盤間げき内に生ずるところのセメントの沈殿および脱水作用の状況に応じて変化を続けて行くのである。

上記のごとき変化を続けて与えられた圧力のもとでは、これ以上脱水、沈殿の両作用が進まなくなると、送り、帰りの両濃度とも同一となり全然変化は認められなくなる。すなわちこの時期がグラウト作業の終了のときである。

注入の最後の時期において帰りの濃度が濃くなる場合は、ある箇所において急に岩盤内への脱水作用が生じた場合であって、帰りの濃度が薄くなるのは注入孔および岩盤の間げきのある部分に沈殿作用が生じて浮き水ができたものが、この時期に急に上部に浮き出てきて水と交代にセメントが沈殿した現象と考えられるのである。

(2) 注入作業施工前の透水テストの意義

ミルク注入作業を行なう前に注入圧力と同一の圧力を用いて透水テストを行なうことはすでに記述したとおりである。

グラウト作業においてセメントが充填さるべき岩盤内の間げきのもろもろの状態や性状は実際に目で見ることにはできないし、削孔したコアーを見ても点としてのみその状態を知り得るにすぎなく、このコアーを手がかりとしても内部奥深くつながるところの岩盤内間げきの状態を適確に判断する資料とはなり得ない。注入圧力と同一の圧力のもとで行なったテストによる透水量は各孔ごとに差がある。これはその注入孔よりつながるところの岩盤内部の間げきの数やその大きさ、深さ、広さ、あるいは間げき内面の性状などがおのおの異なっていて透水量はこれらの影響をそのまま受け、その圧力のもとにおける総合の結果が透水量としてあらわれると考えられるからである。

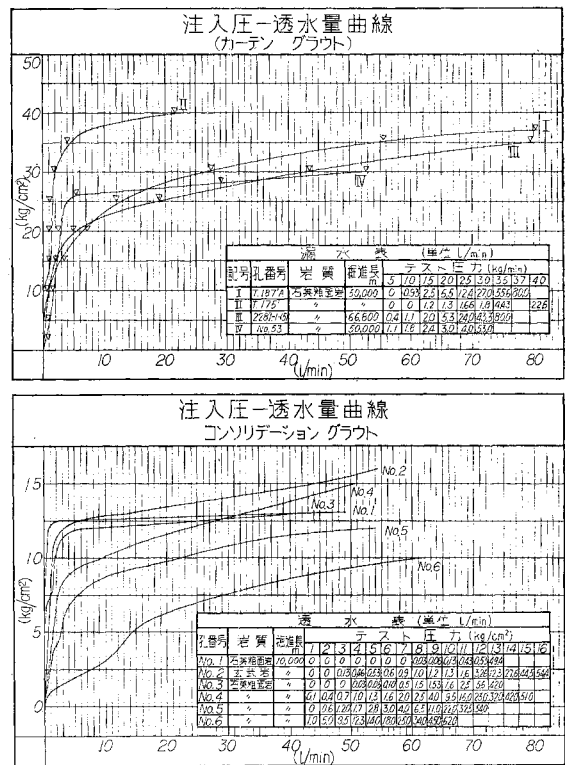
すなわち透水量はセメント注入すべき岩盤内の間げきのもろもろの事象を総括して表現するところの唯一の手がかりといいうると考える。

(3) テスト透水量と注入圧力の関係

グラウト孔を削孔して透水テストを行なう場合に注水圧力を順次高め、この圧力に対応するところの透水量を求め、これらの関係を図示すると 図-10 のごとなる。

コンソリデーション グラウト孔のような浅孔に対するものは (図-10 下段)、カーテン グラウト孔のごとくに 30 m 以上の深孔におけるものが (図-10 上段) のごときである。いま注入圧力と透水量の関係をみるにいずれの場合もある圧力までは注入圧力とそれに対応する透水量はほぼ直線比例に近い関係を示しているが、この圧力を越えると急激に透水量が増加してきている。すなわち注入圧と透水量の関係には比例限界を持つことを示している。また、この圧力までは岩盤内の間げきに浸透する水の通路の状態は自然に近い状態を維持しているが、この圧力を越えると通路の状態は人為的な圧力のために破壊されて変化を起こすものと思われるのである。したがって岩盤間げきに対する透水量を考える場合には比例限界点の前後により区分して検討する必要があると考えるのである。

図-10



(4) テスト透水量と注入セメント量および注入ミルク量の関係

前述のごとくにセメント注入を実施する直前に透水テストを行ない透水圧と注入圧を等しくするか、あるいは透水圧を一定 (20 kg/cm²) とし、注入圧を 30 kg/cm², 40 kg/cm² と変え、セメント注入を行ない 1 分間当りの透水量と注入セメント量、注入ミルク量の関係を求めると次記のごとくなる。ただしこの場合透水テストは 30 分間行ない、これより 1 分間当りの透水量を求め、この

透水量当りの注入セメント量, 注入ミルク量と透水量の関係式を求めるものとする。これらの回帰方式は式(1)~(8), 式(1')~(8'), 図-11~22 に示すごとくなる。

a) 外部カーテン グラウトにおいて透水テスト圧と注入圧の等しい場合ならびに透水テスト圧一定 (20 kg/cm²) とし, 注入圧を 20 kg/cm², 30 kg/cm², 40 kg/cm² と変えた場合

① テスト透水量と注入セメント量の関係方程式 (図-11~16)

表-4

透水テスト圧 (kg/cm ²)	注入圧 (kg/cm ²)	回帰方程式	相関係数 (r)	番号	摘要
3	3	$\log C/W = 1.016 - 0.890 \log W$	-0.954	1	C=セメント量 (袋) W=透水量 (l/min)
5	5	$\log C/W = 1.035 - 0.896 \log W$	-0.948	2	
10	10	$\log C/W = 0.971 - 0.668 \log W$	-0.842	3	
20	20	$\log C/W = 1.026 - 0.705 \log W$	-0.847	4	
30	30	$\log C/W = 0.928 - 0.756 \log W$	-0.690	5	
40	40	$\log C/W = 0.992 - 0.634 \log W$	-0.665	6	
20	30	$\log C/W = 1.234 - 0.746 \log W$	-0.754	7	
20	40	$\log C/W = 1.844 - 1.085 \log W$	-0.730	8	

② テスト透水量と注入ミルク量の関係方程式 (図-17~22)

表-5

透水テスト圧 (kg/cm ²)	注入圧 (kg/cm ²)	回帰方程式	相関係数 (r)	番号	摘要
3	3	$\log M/W = 3.514 - 0.776 \log W$	-0.798	1'	M=ミルク量 (kg) W=透水量 (l/min)
5	5	$\log M/W = 3.542 - 0.805 \log W$	-0.938	2'	
10	10	$\log M/W = 3.479 - 0.515 \log W$		3'	
20	20	$\log M/W = 3.450 - 0.624 \log W$		4'	
30	30	$\log M/W = 3.380 - 0.680 \log W$	-0.641	5'	
40	40	$\log M/W = 3.484 - 0.581 \log W$	-0.651	6'	
20	30	$\log M/W = 3.792 - 0.699 \log W$		7'	
20	40	$\log M/W = 4.472 - 1.096 \log W$		8'	

ただし, これらの回帰方程式に用いたセメント量やミルク量は前項に述べたようにセメント注入作業終了時に

図-11 C-W 曲線 (外部)

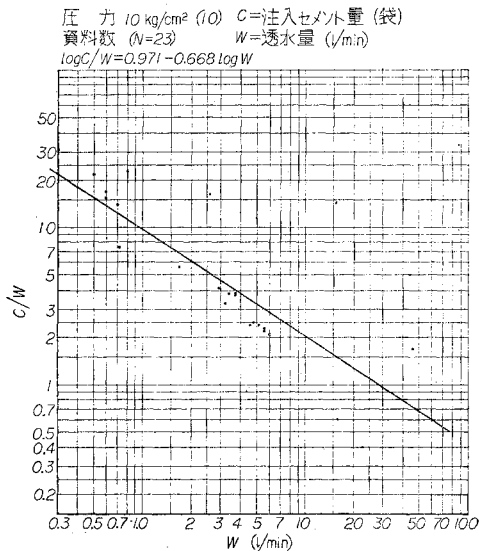
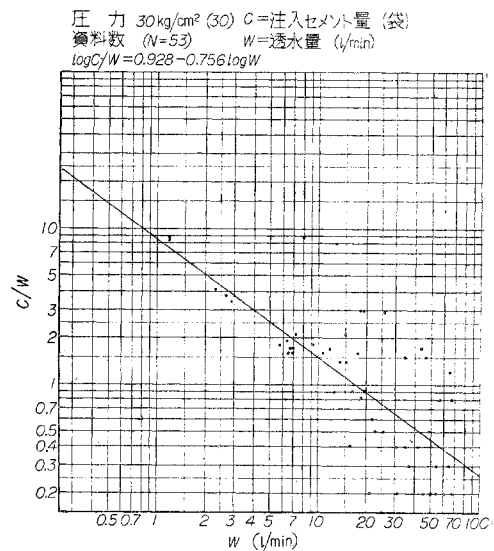


図-13 C-W 曲線 (外部)

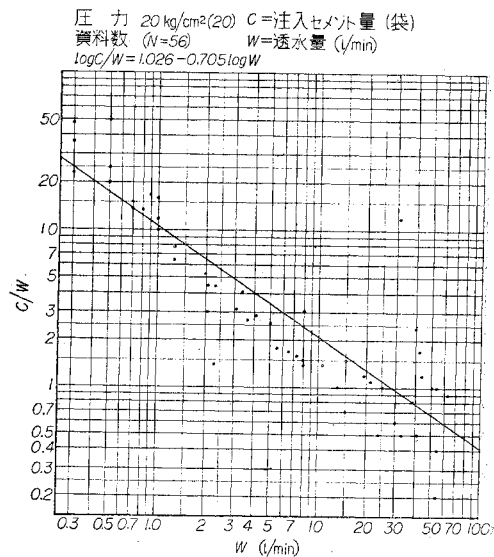


実施する透水テストにおいて透水量が皆無になるまで注入を継続した場合の値である。すなわち, セメント注入を実施している注入孔に続く岩盤の間げきにある圧力のもとでこれ以上セメントが吸収できない極限に近い値を表わしているのである。したがって注入完了時をゲージテストによる方法とか, または注入作業終末期のセメントミルク吸収量の度合いにより判定する方法などより明らかに大きな値を示すものと思う。

b) 前記場合の注入セメント量および注入ミルク量の推定式

① 透水テスト圧と注入圧の等しい場合: a)において求めた回帰方程式 (3), (4), (5), (6) および (3'), (4'), (5'), (6') を直交展開を応用して推定式を求めると式

図-12 C-W 曲線 (外部)



(9), (9') および 図-23, 図-24 が得られる。

$$\log C/W = 0.980 - 0.692 \log W \dots\dots\dots(9)$$

$$\log M/W = 3.448 - 0.600 \log W \dots\dots\dots(9')$$

ただし、 C =セメント量 (袋), M =ミルク量 (kg),
 W =透水量 (l/min)

② 透水テスト圧一定 (20 kg/cm²) とし、注入圧を変化した場合: 上記と同一の方法により式 (4), (7), (8) および式 (4'), (7'), (8') より式 (10), (10') および 図-25, 図-26 が得られる。

$$\log C/W = 0.428 - 0.655 \log W + P(0.0313 - 0.00623 \log W) \dots\dots\dots(10)$$

$$\log M/W = 2.727 - 0.573 \log W + P(0.0392 - 0.00777 \log W) \dots\dots\dots(10')$$

ただし、 C =注入セメント量 (袋), M =注入ミルク量

(kg), P =注入圧力 (kg/cm²), W =透水量 (l/min)

③ 式 (9), (9') および (10), (10') の持つ意義: 式 (9), (9') より透水テスト圧と注入圧の等しい場合には、注入セメント量、注入ミルク量は注入孔に対する1分間当りの透水量を知れば求めることが明らかとなった。一見注入圧に無関係にみえるが、実は透水量は圧力の変化に対応して変わっているのである。したがって圧力をいかに変えても、おのおのの圧力のもとにおける透水量が一定の場合には、注入されるセメント量およびミルク量は同じであることを示している。

次に式 (10), (10') は透水テスト圧を 20 kg/cm² と一定にして透水量を求め、注入圧を変化させた場合である。この場合には同一の透水量を示す注入孔に対して注

図-14 C-W 曲線 (外部)

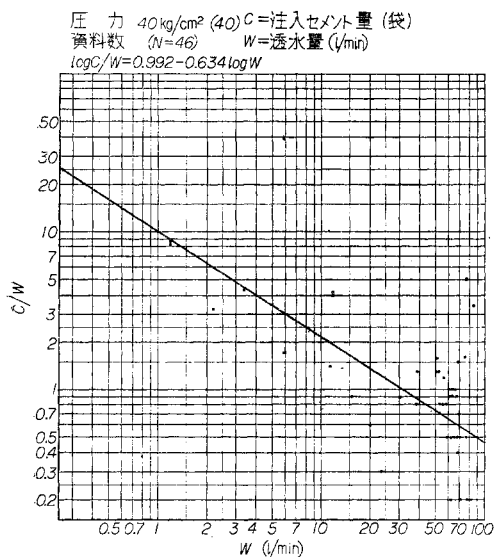


図-15 C-W 曲線 (外部)

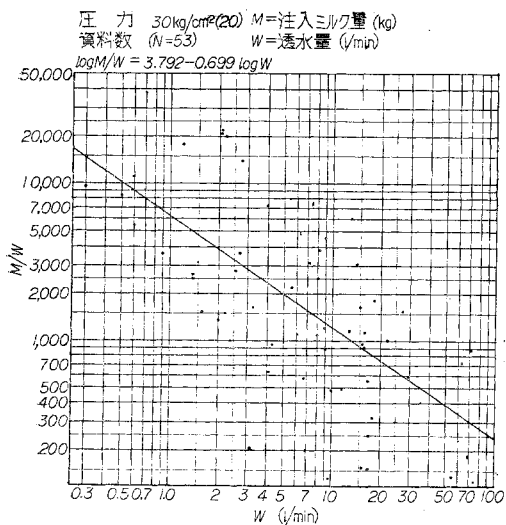


図-16 C-W 曲線 (外部)

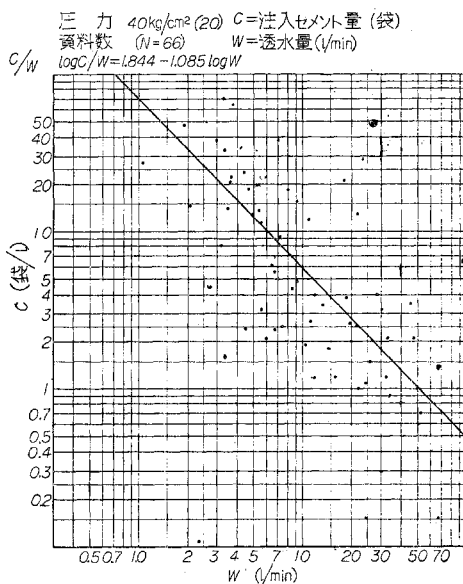


図-17 M-W 曲線 (外部)

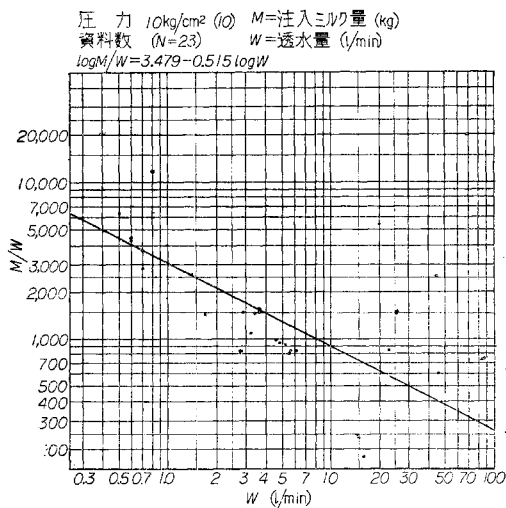


図-18 M-W 曲線 (外部)

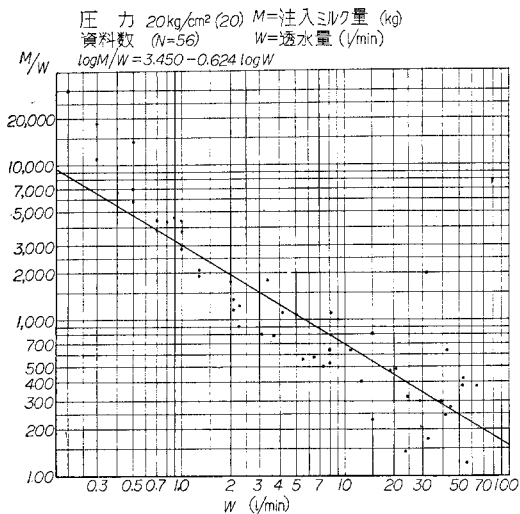


図-19 M-W 曲線 (外部)

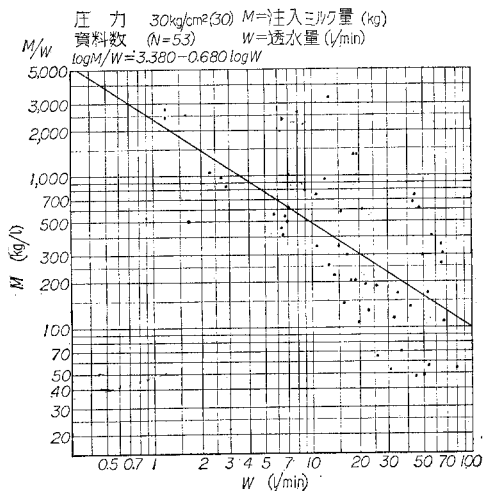


図-20 M-W 曲線 (外部)

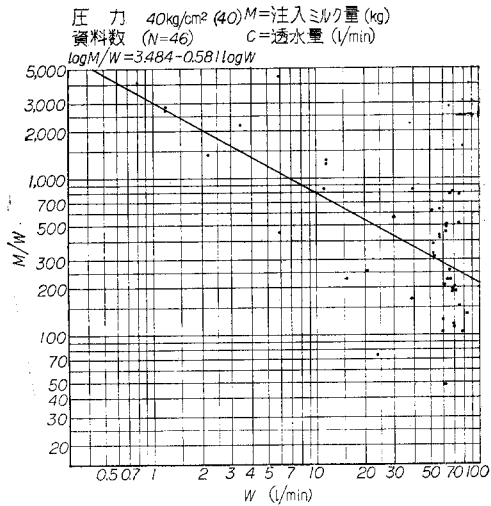


図-21 M-W 曲線 (外部)

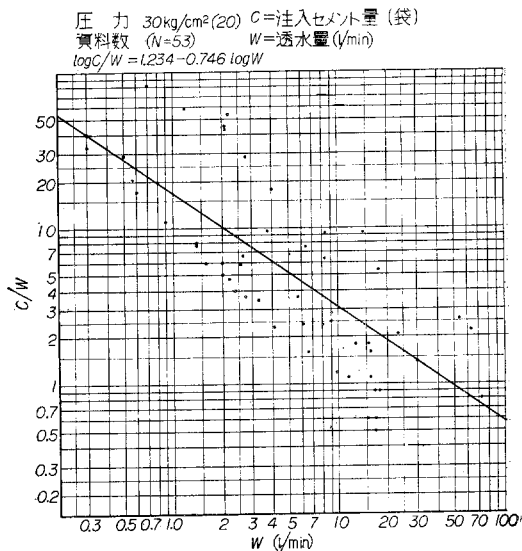


図-22 M-W 曲線 (外部)

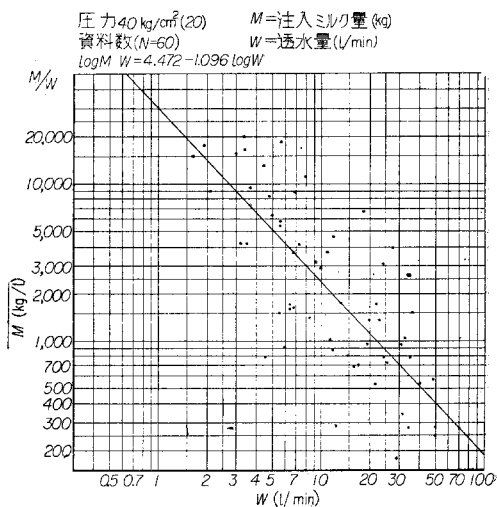


図-23 注入圧と透水テスト圧の等しい場合
 セメントの推定量 (外部)

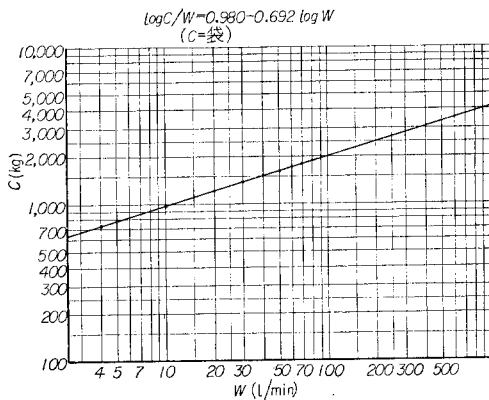


図-24 注入圧と透水テスト圧の等しい場合
ミルクの推定量 (外部)

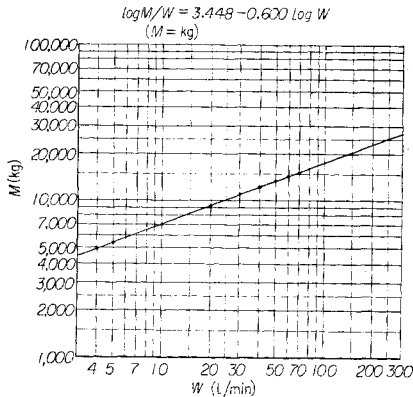


図-25 透水テスト圧が一定 (20 kg/cm²) の場合
セメントの推定量 (外部)

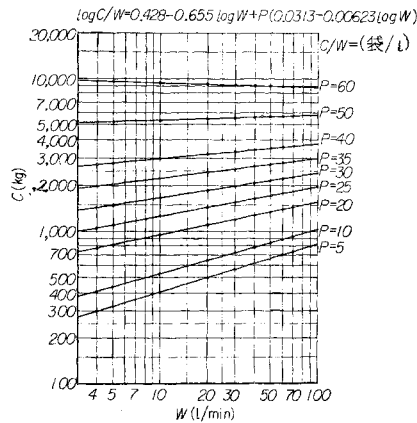
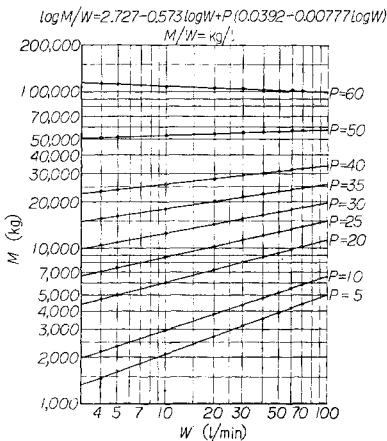


図-26 透水テスト圧が一定 (20 kg/cm²) の場合
ミルクの推定量 (外部)



入圧力を変えて注入を行なうと、圧力の増減に応じて注入セメント量および注入ミルク量も増減することを示しているのである。

c) 内部カーテングラウトにおいて透水テスト圧と

注入圧を等しくした場合、ならびに透水テスト圧一定(20 kg/cm²)とし、注入圧を 20 kg/cm², 30 kg/cm², 40 kg/cm² と変化した場合 内部カーテングラウトは基礎通廊より外部カーテングラウトとダム軸線上において岩盤深 20 m のところにおいて交るごとくに配置し、外部カーテングラウトが終了し、ある程度ミルクが硬化したと考えられる時期に施工した。

① テスト透水量と注入セメント量の関係方程式 (図一略)

表-6

透水テスト圧 (kg/cm ²)	注入圧 (kg/cm ²)	回帰方程式	相関係数 (r)	番号	摘要
20	20	log C/W = 1.025 - 0.986 log W	-0.966	11	C = セメント量 (袋) W = 透水量 (l/min)
30	30	log C/W = 0.970 - 0.833 log W	-0.896	12	
40	40	log C/W = 0.963 - 0.818 log W	-0.833	13	
20	30	log C/W = 1.070 - 0.768 log W	-0.897	14	
20	40	log C/W = 1.153 - 0.871 log W	-0.917	15	

② テスト透水量と注入ミルク量の関係方程式 (図一略)

表-7

透水テスト圧 (kg/cm ²)	注入圧 (kg/cm ²)	回帰方程式	相関係数 (r)	番号	摘要
20	20	log M/W = 3.561 - 0.896 log W	-0.829	11'	M = ミルク量 (kg) W = 透水量 (l/min)
30	30	log M/W = 3.443 - 0.734 log W	-0.756	12'	
40	40	log M/W = 3.395 - 0.729 log W		13'	
20	30	log M/W = 3.618 - 0.745 log W		14'	
20	40	log M/W = 3.712 - 0.796 log W		15'	

d) 上記場合の注入セメント量および注入ミルク量の推定式

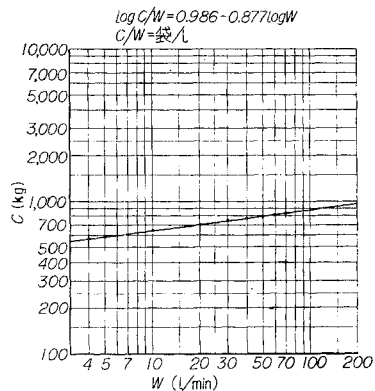
① 透水テスト圧と注入圧の等しい場合：回帰方程式 (11), (12), (13) および (11'), (12'), (13') を直交展開を応用して推定式を求めると式 (16), (16'), および 図-27, 図-28 が得られる。

$$\log C/W = 0.986 - 0.877 \log W \dots\dots\dots(16)$$

$$\log M/W = 3.466 - 0.784 \log W \dots\dots\dots(16')$$

ただし、C = 注入セメント量 (袋)、M = 注入ミルク量

図-27 注入圧と透水テスト圧が等しい場合
セメントの推定量 (内部)



(kg), W =透水量 (l/min)

② 透水テスト圧一定 (20 kg/cm²) とし, 注入圧を変化した場合: 上記と同一の方法により回帰方程式 (11), (14), (15) および (11'), (14'), (15') より式 (17), (17'), 図-29, 図-30 が得られる。

$$\log C/W = 0.766 - 0.874 \log W + 0.0106 P \dots (17)$$

$$\log M/W = 3.297 - 0.809 \log W + 0.0111 P \dots (17')$$

ただし, C =注入セメント量 (袋), M =注入ミルク量

図-28 注入圧と透水テスト圧が等しい場合
ミルクの推定量 (内部)

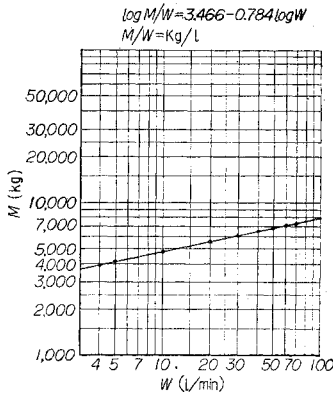


図-29 透水テスト圧が一定 (20 kg/cm²) の場合
セメントの推定量 (内部)

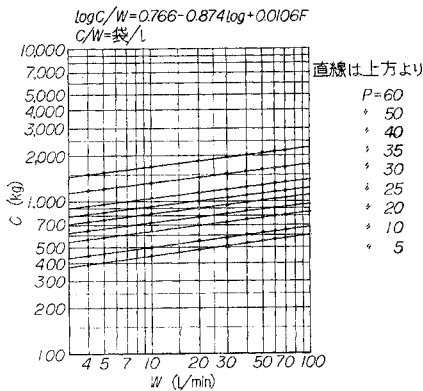
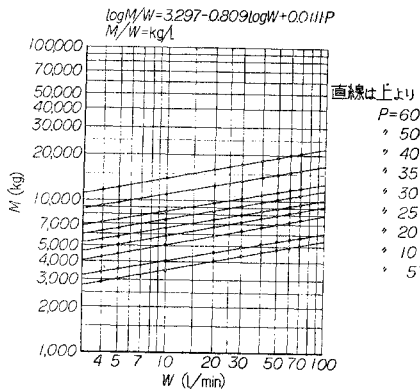


図-30 透水テスト圧が一定 (20 kg/cm²) の場合
ミルクの推定量 (内部)



(kg), P =注入圧 (kg/cm²), W =透水量 (l/min)

③ 式 (16), (16') および式 (17), (17') の持つ意義: 外部カーテン グラウトの場合と同様である。

(5) テスト透水量と弾性波テストの関係

a) テスト透水量と弾性波速度の関連について 前項においてテスト透水量はテストを行なった付近の岩盤の諸性質すなわち岩盤を構成する母岩石のかん合状態, 岩石と岩石の間の間げきの状態, 間げきの間に介在する夾雑物などの関係を一括して表現しているものと推論したのであるが, 同一の種類 of 岩石よりなりたつ岩盤中を伝わる弾性波速度に大小の変化が生じる原因について考えてみると, この速度の変化もまた岩盤を構成する岩石の種々の状態に影響を受け, その平均の値を示すものと推論し得られるのである。したがってテスト透水量と弾性波の速度はともに岩盤の平均的諸性質を表現する一つの手掛りと考え得られるので, 同一の現象を表現する方法が二つ存在するならば, これらの間には相互関係が必ず存在するものと考え得られるのである。

b) 田子倉ダムの基礎岩盤に対する弾性波テスト 田子倉ダムの基礎岩盤に対して弾性波テストを実施した目的はコンソリデーション グラウトの効果を判定するためであった。そしてその作業は前後2回にわたり区域を変えて行なったのである。第1回目はダム中央部の完全に石英粗面岩に属する区域に対してであり, 第2回目は地質の複雑なダム右岸部の地区に対するものであった。各回の測線総延長はそれぞれ1,276 m, 1,684 mである。

いずれの場合もダム基礎部の表土削削がほぼ終了してコンソリデーション グラウト工事に着手する直前に弾性波テストのための測線を決め, 弾性波テストを実施しこのテストが終了してより後にグラウト工事に着手した。グラウト工事をこれらの区域に対して施工中に弾性波テストの結果が出たならば, この記録を見て特に弾性波速度の小さい区域に対してはグラウト孔の配置を密にしてグラウトを施工した。一応これらの区域に対してグラウト作業が終了したならば, 前回設定したと同一の位置に測線を設置して弾性波テストを実施した。

なお, 第1回目のテストの範囲は大部分が岩盤面より100 m 以上も深いところまで石英粗面岩のみであることがわかっていたので, 感震器および爆破点の位置はともに基礎岩盤表面としたのであるが, 第2回目の範囲は地質構造が複雑な上にコンソリデーション グラウトを実施する場合の漏出ミルクに対するコーキングの一部に代用する意味で, 旧仮排水路敷コンクリートを除去せず, そのままにして弾性波テストを行なったので, コンクリート面上に感震器および爆破点を取ったのでは岩盤の速度解析は不可能と思われたので, 感震器はコンクリートをワゴン ドリルで削孔し岩盤面下約 20 cm のところに設

置し、爆破点は約 10 m のボーリング孔の中に上, 中, 下 3 段にとって爆破を実施したのである。

c) 透水量と弾性波速度の関係式の求め方

① データ整理の方法: グラウト施工前に行なった弾性波テストにより各測線別の弾性波速度断面図を求めることができるのであるが, この断面図を参考にして弾性波速度別区域平面図を作製する。この場合, 断面的に見

図-31 弾性波速度断面図 (B 地区の場合)

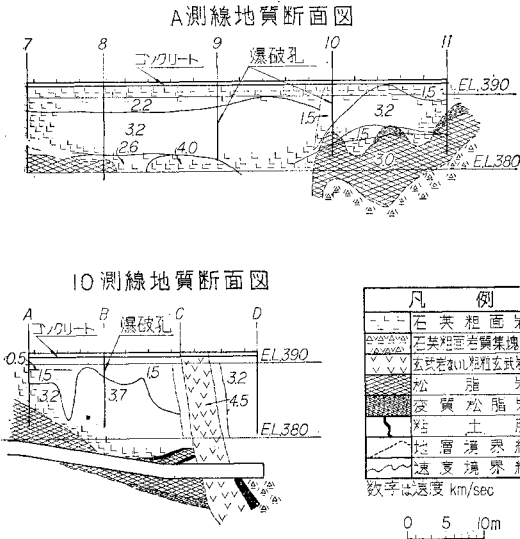
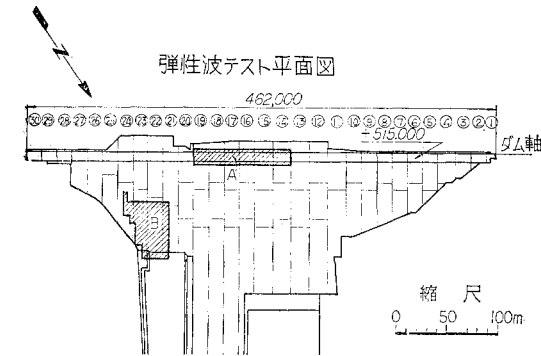
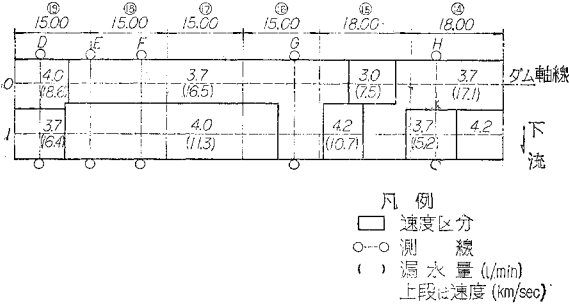


図-32



A 地区における弾性波速度別区域別平面図



て速度が 2 種類以上ある場合には, その平均値を以てその平面的区域内の速度とした。一応弾性波速度別区域平面図ができたならば, これら区域内に施工したグラウト孔おのこの透水量を求め, これらを算術平均して, この値をその区域内の平均透水量とした。この場合透水テスト圧は, いずれも 5 kg/cm² である。図-31 および図-32, 図-33 が弾性波速度断面図および弾性波速度別区域平面図である。

② 弾性波速度と透水量の関係方程式: 区域内の平均透水量と弾性波速度より平均透水量 1 l/min 当りの弾性

図-33

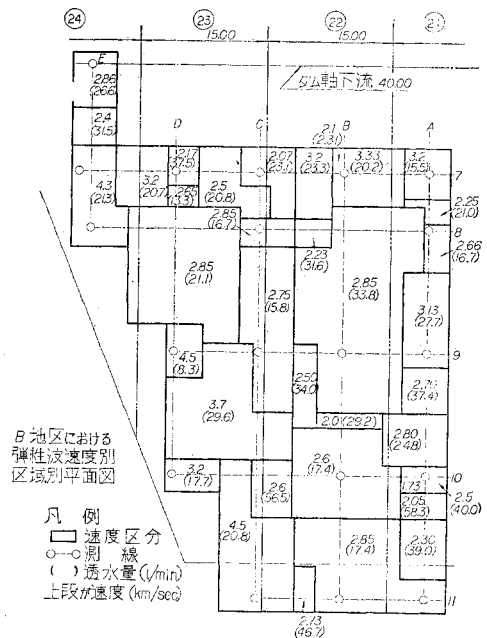
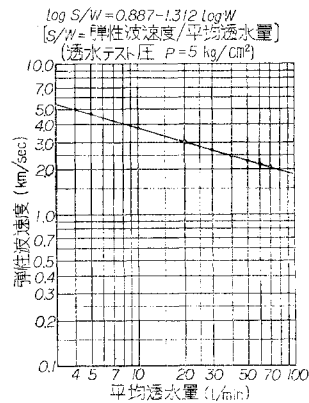


図-34 平均透水量と弾性波速度の関係



波速度の値を求め、平均透水量とこの値の関係式を求めると次のごとくなる(図-34)。この場合、各資料の相関係数は $r = -0.952$ となり 1 l/min 当りの弾性波速度は、その区域内の平均透水量に対して非常に有意なことを示している。

$$\log S/W = 0.887 - 1.312 \log W \dots\dots\dots (18)$$

ただし、 S =弾性波速度 (km/sec)、 W =透水量 (l/min) この場合のろう水テスト圧は 5 kg/cm^2 とする。

4. 田子倉ダム基礎グラウト資料解析結果の利用

(1) グラウト圧の決定

a) コンソリデーショングラウト 前項に述べたごとく透水テストを行ない、比例限界点の前後の状況につき、基礎岩盤に表われるところの状況の変化を直接視察により観察すると次のごとくなる。

比例限度圧付近までの圧力のもとにおいては、岩盤面に現われる透水状況はあまり目立っていないし、その他特別の徴候も見られないが、比例限度圧付近を過ぎてなお圧力の上昇を続けるとところどころにろう水を始め、そのうちにそのろう水量がポンプの送水量と等しくなるほどに急増したり、あるいは岩盤の目にそって相当に遠距離までろう水を始めたり、場合によってはある部分の岩盤が圧力のために浮き上り、ダム基礎岩盤を破壊するようになるのである。これらの現象よりしてこの比例限度圧をコンソリデーショングラウトを実施する場合の基礎岩盤破壊圧と考えても差つかえないものと思うのである。

したがって上記方法をコンソリデーショングラウト注入圧力の決定に利用する場合には、ダム基礎以外の箇所でも基礎岩盤と特に類似した場所を選び、ここにでき得る限り多くのテストホールを削孔して上記透水テストを実施し、透水量-注入圧関係曲線(図-10)を求め、これらの曲線の比例限界圧力を考慮に入れて、注入圧を決定すれば簡易にしかも確信をもって注入圧を決定できるのである。

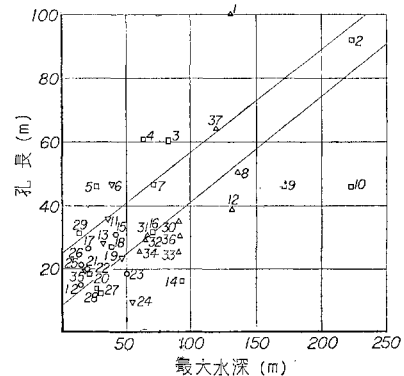
しかしながらテストより求めた曲線が、基礎岩盤のすべての点の条件を常に満足しているものとは断言し得ないので、ある程度の安全率を考慮に入れることはもちろん必要なことと思う。田子倉ダムにおいてはこれらの実験により安全率を 2~3 として、一般の岩盤面に対しては注入圧力を 5 kg/cm^2 としたのである。従来注入圧力の決定を行なう場合には、アップヒールゲージとか傾斜計を用いる方法のほか、グラウト孔削孔作業時の透水量、排水色、および採取したコアの状態、あるいはその地点の地質学的考慮などの経験的な方法により注入圧力を決めたのであるが、いずれも一長一短があり、簡単に経済的にしかも確信を持って注入圧力を決定できな

かったのである。

b) カーテングラウト 3. (4) において求めたところの透水量と注入セメント量の関係を考慮に入れてカーテングラウト圧の考察を行なうこととする。カーテングラウト圧を決定するにあたり、従来種々の実験式や試みが提示されて来たが、定説とすべきものはいまだ見当らず、常に経験的なものであった。本ダムのグラウト圧を決定するに際しても先例にならって(図-35、図36)、最終圧 40 kg/cm^2 と決定したのである。しいて理屈を述べるならば最大静水圧は 14.5 kg/cm^2 、普通孔深 50 m 、したがって孔底に静水圧が完全にかかるものとするれば $14.5 + 5 = 19.5 = 20 \text{ kg/cm}^2$ となるので、安全率を 2 として 40 kg/cm^2 としたのである。しかしながら注入圧に対して安全率なるものを考えに入れたということは疑問があると思う。ただし最大静水圧 20 kg/cm^2 であるので、グラウト完了判断に使用する透水テスト圧は 20 kg/cm^2 を使用することとした。

田子倉ダムの前面に削孔したグラウト孔の孔長を 50 m とする場合、完全にこの範囲まで貯水した水が飽和状態になるとするとここにかかる最大静水圧は前記のごとくに 20 kg/cm^2 であり、この圧力以上の大きな静水圧

図-35 岩盤に対するカーテングラウトにおけるカーテングラウトホール長と最大水深の関係 (第5回ダム会議レポート, Grundy, C.F.)

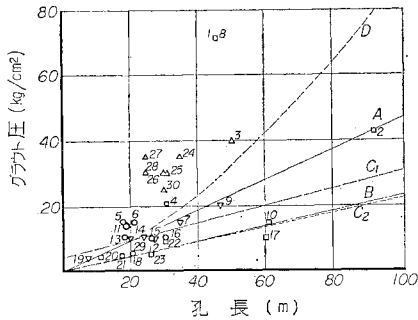


$$D = \frac{1}{3} H + C, \quad C = 8 \sim 25 \text{ cm}$$

- 英国
- 米国
- △ フランス
- ▽ その他

- | | | |
|-----------------------|--------------------|------------------|
| 1. Sautet | 14. Hiwasee | 27. Guntersville |
| 2. Hoover (Final) | 15. Erochty | 28. Watts Bar |
| 3. Norris | 16. Beer Creek | 29. Chickamauga |
| 4. Douglas | 17. Cod Beck | 30. Aigle |
| 5. Fort Loudoun | 18. Kentucky | 31. La Selve |
| 6. Ayalon | 19. Agua Fria | 32. Couesque |
| 7. Tygart | 20. Wheeler | 33. Mareges |
| 8. Chambon | 21. Glen Shira | 34. Castelnau |
| 9. Shasta | 22. Meig | 35. Louros |
| 10. Hoover (Original) | 23. Sloy | 36. Chastang |
| 11. Ein Karem | 24. Woronora | 37. Bort |
| 12. Guar | 25. North Craudach | |
| 13. Karapiro | 26. Sutton Bingham | |

図-36 グラウト圧力と孔長の関係
(第5回大ダム会議レポート, Grundy, C.F.)



A: $P=0.45 D$, C.C.L. Specification
 B: $P=0.25 D$, Rule of Thumb.
 C と C₂: $P=7+H-G$ Hiwassee Dam
 ただし H=満水面と孔底間の静水圧
 G=ゲージ レベルと孔底間のグラウト圧
 D: $P=h+1.33 h \left(\frac{h}{400} + \frac{3\sqrt{h}}{40} \right)$ creager
 P=ポンド/in²
 h=孔長 (ft)

- 英国
- 米国
- △ フランス
- ▽ その他

- | | | |
|----------------------|--------------------|------------------|
| 1. Shasta | 11. Sloy | 21. Guntersville |
| 2. Hoover (Final) | 12. Karapiro | 22. Chickamauga |
| 3. Chambon | 13. Meig | 23. Kentucky |
| 4. Bear Creek | 14. Agua Fria | 24. Aigle |
| 5. Glen Shira | 15. Cod Beck | 25. La Selve |
| 6. North Craudach | 16. Errochty | 26. Couesque |
| 7. Ein Karem | 17. Norris | 27. Mareges |
| 8. Hoover (Original) | 18. Sutton Bingham | 28. Castelnau |
| 9. Ayalon | 19. Woronora | 29. Louros |
| 10. Douglas | 20. Watts Bar | 30. Chastang |

は作用し得ないはずである。

また式 (10) および 図-25 より透水テスト圧 20 kg/cm² における透水量 4 l/min の注入孔に対して注入圧力を 20 kg/cm², 30 kg/cm² および 40 kg/cm² と変えてセメント注入をした場合の注入セメント量を求めると 769 kg, 1 449 kg, および 2 736 kg となり, 式 (9) および 図-23 より, これらの注入セメント量に対応するところの透水量を求めると, この透水量は透水テスト圧 20 kg/cm², 30 kg/cm², および 40 kg/cm² の場合の透水量を示すものである。すなわちそれらの値は 4.8 l/min, 38 l/min および 260 l/min となる。

これらにより注入圧および透水テスト圧ともに 20 kg/cm² で透水量 4 l/min の孔に注入圧, 透水テスト圧ともに 30 kg/cm², または 40 kg/cm² でセメント注入を行なうとセメント量は 20 kg/cm² の場合の 1.9 倍, および 3.6 倍となり, 透水量は注入セメント量より非常に大きく, 7.9 倍, および 54 倍となることからわかる。この場合, 注入されるセメント量が, 透水量の増加に比例して増加せず圧力が高くなればなるほどその差は大きくなっていく。このことは圧力 20 kg/cm² の場合には岩盤の間げきは透水を問題とした時になら 支障がないのに 30

kg/cm², 40 kg/cm² と圧力を上げると無理に 透水可能な大きさに間げきをひろげ, しかもその間げき内にセメントが入り得ないことを示している。

またコンソリデーション グラウトの場合の 透水圧-透水量の関係曲線において 10 kg/cm² 以上に圧力を高めると岩盤の破損現象が生じ, 圧力の変化以上に透水量が増加して来ている。このことよりカーテン グラウトにおける注入圧-透水量の関係曲線図 (図-10) における注入圧 20 kg/cm² は目で見て確認することはできないが, 地下の深い場所において岩盤の間げきにたいしてなんらかの不具合な現象を生ぜしめているのではないかと推論できると思う。

したがってグラウト カーテンに対する静水圧の大きさ, 注入圧力を増加させる場合の注入セメント量と透水量の関係, コンソリデーション グラウトおよびカーテン グラウトにおける 注入圧-透水量の関係曲線などより考え, 最も経済的にしかも十分に必要の注入圧の大きさは貯水池水深に注入孔深に相当する静水圧を加えた値を用いればよいのではないかと考えるのである。

今, 注入最大圧 P kg/cm², 貯水池最大水深の静水圧 H kg/cm², 注入孔長に等しい静水圧 h kg/cm², とすれば次式を得る。

$$P=H+h \dots\dots\dots(19)$$

しかしながら, 上式による注入圧を用いてカーテンを形成した場合の厚さに自信を持ってぬと考えるならば, 一応の計画どおりにセメント注入を 施工した後にテストホールをできるだけ多く設けて上記圧力を用いて透水テストを実施し, その結果が思わしくない場合にのみセメント注入孔をさらに追加することの方が, 注入孔の間げきを普通一般に採用している以上に大きくし, 注入圧力を式 (19) より求める圧力の 2 倍以上にすることよりも望ましい方法と思うのである。

図-35, 図-36 に示すところのいろいろのグラウト圧力の決定の方法は注入孔の深さ, すなわちセメント注入を実施すべき岩盤の厚さを圧力決定の基準としていと思われ, ある場合には岩盤を損傷しない限界圧を採用しているのではないと思われるのである。カーテン グラウトに関する限りダムにより貯水された水がダムの安定に対して害となるほどの大きさの揚圧力を生ぜしめなければ十分であるから, 前述のごとくに貯水池の静水圧よりセメント注入圧を決定する方法を採るべきではないかと考えるのである。

(2) 注入セメント量, および注入ミルク量の推定

グラウト計画を立てる場合一番問題となるもののひとつに注入セメント量と注入ミルク量をいかに推定するかということがある。従来岩盤に対してセメント注入を行なう場合, 注入されるセメント量は実際に施工してみなければ, 正確な数量はわからないし, 当初予想した

量に多くの過不足が生じ、その結果施工予算が非常に変動しても直接目で見て確認できない岩盤内部のことであるので、やむを得ないことであると見のがされているのが現況である。式(9)および(9')は透水テスト圧と注入圧を等しくした場合、透水量と注入セメント量、注入ミルク量の関係はその地点の岩盤に対する平均値で表わされることを示しているのである。したがって、この関係を利用して概算数量を推定しておくならば、従来の方法で見当をつけたものほどに誤差は大きくないと考えるのである。

まず、ダム基礎岩盤付近に 適当数のテスト ホールを定め、この地点の注入工事の仕様書に定める通りの方法を用いて削孔、水洗、透水テスト、注入の各工事を実施する。ただし、透水テスト圧と、注入圧力は必ず同一とし、グラウトの完了は透水テストにより判断し透水量が0となるまでグラウトを継続する。

以上の方法により、テスト ホールに対する 注入工事がすべて終了したならばこれらの資料より注入1回当りの平均透水量、平均注入セメント量、平均注入ミルク量を求める。次にこの地点の注入本数より総注入回数を計算し、この値を平均注入セメント量、平均注入ミルク量に乗ずることによりおのおのの総量を推定することができる。従来用いられた方法は注入1回当りの平均セメント量、平均ミルク量を使用する代りに単位注入孔長当りの値を求め、これに注入孔総長を乗じておのおのの値の総量を概算していたのであるが、この考え方は意味がないものと思うのである。

なんとなれば、透水量は注入孔につながる岩盤間げきが存在するために起こり、注入セメント量も注入ミルク量もこの間げきに対して行なわれるのである。岩盤の間げきは各注入孔に対して平均に存在するものでなく、その大きさ、長さ、数等々はすべて異なっていることは前に述べたとおりである。したがって注入セメント量、注入ミルク量も注入孔ごとに異なるし、一つの注入孔内であってもその位置ごとに異なってくるので、単位孔長当りの考え方には意味がないことと思われるのである。

次に、岩盤の良否の比較を注入セメント量より求めるには、岩盤の平均透水量を求め、この透水量当りの平均注入セメント量を算出してこの値を基準にして行なえば、単位孔長当りの注入セメント量の値で比較するよりより確実性があると思う。

(3) テスト透水量およびセメント注入量とセメント注入孔長の関係

セメント注入を実施する直前に行なう透水テストにより求めた透水量を用いて、その注入孔に連なるところの岩盤の間げきの諸性質や注入されるであろうところのセメント量を推定することは前項に述べたとおりである。

従来注入孔に対する透水量を用いて基礎岩盤の透水性

の問題を検討する場合に、単位時間、単位長当りの透水量の値、すなわち $l/\text{min}/\text{m}$ を取り上げ、その基準として来ており、場合によってはダルシーの法則の原理を用いている場合がある。

しかしながら、セメント注入孔よりの透水路の数、大きさ、方向などは注入孔ごとに異なり、注入孔周辺の岩盤を形成する岩石自身に対する浸透は考える必要がないので、単位長について、透水量を考えるのは意味のないことと考えるのである。

すなわち、ある定められた長さの注入孔を削孔してこの孔に対してセメント注入すべきかどうかの判断を透水テストを用いて行なう場合、単位長当りの透水量を基準とするならば非常に小さな値となり、注入は必要としないのでよい場合に仮に透水する間げきが1箇所とするならばこの孔に対しては当然セメント注入が必要となる場合も生じて来るのである。例えば、透水テストを10分間、圧力 $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ のもとで実施し、透水量が $1 l/\text{min}/\text{m}$ 以下の場合には、岩盤の透水性として好ましい状態にあるとする例があるが(第5回大ダム会議 レポート、M.N. C.F Grundy)、この場合注入孔長が 10 m で、しかも透水する箇所が1箇所と仮定すると、この1箇所よりの透水量は $10 l/\text{min}$ となり、もちろんセメント注入を必要とするのである。

したがって透水量に関する限り、その絶対値を基準として取り上げるべきと考えるのである。

(4) コンソリデーション グラウトの効果判定

従来弾性波テストを応用してコンソリデーション グラウトの効果判定を行なう場合には、前項において述べたようにまずグラウトを施工する直前に弾性波テストを実施し、グラウト終了後に前回と同一の位置に測線を設置して、再び弾性波テストを行ない、前後の弾性波速度の大きさを比較することによりその効果を知ることができたのである。しかるに弾性波テストの解析には高度の技術と熟練を要し、その方法も複雑であるので短時間のうちにテストの結果を知ることがむずかしく、テストの結果が得られた頃には、すでにダムのコンクリートの打込みはある程度進んでおり、打込みの工程を変更してコンクリート工事を中止しない限り不満足な箇所に対する再注入を行なうことはできないのである。このことは現場を混乱に落とし入れ、決して望ましいことではない。

今、グラウト施工前に実施するところの弾性波テストとグラウト施工中の透水テストの結果を用いて前記のごとき関係方程式を求めるならば、弾性波速度別区域平面図内にテスト ホールを数本削孔して、グラウトの施工を一応実施した時期に各孔に対しておのおの透水テストを行なうだけでグラウトの効果の判定をただちに付けることができるのである。したがって不十分な範囲に対してはただちに追加グラウトを行なうことができ、その

結果コンクリート打込み工程を混乱させることがないのである。

(5) コンソリデーション グラウト完了基準の決定

ダム基礎岩盤に対してコンソリデーション グラウトを施工する場合にグラウト施工範囲内のグラウトを継続するか、あるいは打ち切るかの基準は従来経験によるものと考えられ、ミルクの入るうちは次々とグラウト孔を追加削孔して施工したものである。また基礎岩盤の弾性係数は、その基礎岩盤を形成する母岩の弾性係数以上にグラウトをいくら行なっても上昇せしめ得ないものである。

したがってダム基礎岩盤に対する前記関係方程式を求めたならば、母岩の弾性係数より弾性波速度を求め、この値に対応する透水量を、関係方程式を利用して知ることによりグラウト完了の基準とすることができるのである。すなわち、グラウト孔を削孔して透水テストを実施した場合の透水量の値が、この基準値より下まわる場合には、そのグラウト孔に対してセメント注入を行なうことは不経済である。またグラウト施工範囲内の注入を打ち切る場合にはテスト ホールをある程度この範囲内に削孔して透水量を求め、その平均値がこの基準値より小さい場合にはそれ以上セメント注入を施工する必要はないのである。

田子倉ダムのコンソリデーション グラウトを行なう場合には、テスト ホールの透水量が注入圧力 5kg/cm²の場合、5 l/min 以下となったならば注入工事を打ち切るものとしたのであるが、このことは他地点において従来実施されたものを参考にして決定したものであって、確信をもって決定したものではなかったのである。今本ダムにおける関係方程式より、透水量 5 l/min に対応する弾性波速度の値を求めると、4.7 km/sec となり、石英粗面岩の固有速度は 4.5 km/sec と考えられるので、やや過大な基準のようであるが、関係方程式も誤差をふくんでいると考えられるので、一応満足すべき基準と考えられるのである。

(6) 動弾性係数の推定にさいして平均テスト透水量の利用

ダム基礎岩盤全域の動弾性係数を知ろうとすると従来の考え方からすれば全域にわたり弾性波テストを実施し、弾性波速度の値を求め、これより算出する以外に方法は見あたらなかったのであるが、基礎岩盤面の代表地域を選んで、関係方程式を求めて置けば、希望箇所の透水テストを実施することによりその付近の弾性波速度を知ることができるのでこれより動弾性係数を知ることができるのである。すなわちコンソリデーション グラウトを行ないながら基礎岩盤全地区の動弾性係数を知ることができるのである。

(7) 同一ブロック内において岩質の異なる場合のセメント注入に対する考慮

今、同一ブロック内において凝灰岩と石英粗面岩のごとく、異種の岩盤が存在する場合にはおのおのの岩種に対して関係方程式を求めることが望ましいことである。岩盤の種類が異なると母岩の弾性係数も異なるのが普通であるから、これが原因となり、ダム築造後に同一ブロックの基礎岩盤面に不等沈下の現象が生じ、ひいてはクラック発生の原因となるものと考えられるのである。

したがって同一ブロック内に異種の岩盤が存在する箇所にコンソリデーション グラウトを施工する場合にはセメント注入量を調節して極端に弾性係数が、その境界面を境として変化せぬように施工すべきと考えるのである。すなわち岩盤を形成する母岩の固有弾性係数の小さい部分に対しては母岩の弾性係数に達するまでグラウトを施工しても差しつかえないが、母岩の固有弾性係数の大きい部分に対しては関係方程式より小さい部分の固有弾性係数の値に相当する透水量を求め、この値をセメント注入判定の基準として境界面付近のコンソリデーション グラウトを施工し、境界面より遠くなるに従って順次透水量の基準を小さくして、ある距離まで達した箇所以降は固有弾性係数の大きい岩盤の透水量の極限值を基準としてグラウトを施工するならば異種岩盤の境界面において極度に弾性係数が変化しないからブロック内にクラックの発生するのをある程度防止できると考えるのである。

(5) 外部カーテン グラウトの内部カーテン グラウトにおよぼす影響

a) 透水量の大小による影響率の傾向 内部カーテングラウトはダム基礎通廊より、外部カーテングラウトはダム上流面ファイレットより行ない、外部カーテングラウトが一通り完了してより内部カーテングラウトを施工する順序とした。このため外部カーテングラウトはダム基礎岩盤内間げきの自然のままの状態に対してセメントの注入を行ない内部カーテングラウトは岩盤内間げきが外部カーテングラウトの影響をある程度受けたところにセメントの注入を行なうこととなった。

このため内部カーテングラウトによる注入セメント量は、外部カーテングラウトによるものより明らかに少量であり、その傾向も差がある。

透水圧と注入圧が等しい場合の両者の注入セメント量の比較を式 (9)、式 (16)、図—23、図—27 を用いて推

表—8

カーテン グラウトの区分	透 水 量 (l/min)				
	5	10	20	30	40
外部注入セメント量(kg)	780	980	1200	1400	1500
内部 " (kg)	590	640	700	740	770
内部 / 外部 (%)	76	65	58	53	51
影 響 率 (%)	24	35	42	47	49

定すると表-8のような結果が求められる。

すなわち表-8より透水量の小さい箇所は透水量の大きい箇所より外部カーテン グラウトの内部カーテン グラウトにおよぼす影響は小さい傾向にあるといえる。

b) 透水量の大小が注入セメント量の大小におよぼす傾向 岩盤内に透水テストを行なう場合、透水量が場所ごとに異なる原因は、その岩盤内に存在する間げきの状態、特に間げきの大小および数などの影響によるものであり、間げきの大小が注入セメント粒子の間げき内通過の難易さ浸透距離の長短を左右する一つの要素となるので、透水量に応じて注入セメント量が変わるものと考えられる。すなわち、透水量の小さい箇所の岩盤間げきは大きい箇所と比べて小さい。このため透水量の小さい箇所において外部カーテン グラウト孔より岩盤内の間げきへ注入したセメントは岩盤間げきが小さいため内部カーテン グラウト孔の近くへ浸透しにくく、このために内部カーテン グラウト孔の付近の岩盤の間げきは自然の状態に近いままでいるが、これに反して透水量の大きい箇所は浸透距離がのびるため、内部カーテン グラウト孔付近の間げきは外部カーテン グラウトの影響を相当程度受けるものと考えられる。このことは表-8より透水量の大小により、外部カーテン グラウトの内部カーテン グラウトに対する影響率に差ができて透水量の小さい部分は大きい部分より影響率が小さい結果より立証されていると思う。

c) 透水量の大きさと岩盤間げき数の傾向 式(9)、式(16)の示す透水量とセメント注入量の関係を表わす曲線(図-23、図-27)より内部カーテン グラウトの曲線勾配は外部カーテン グラウトのそれより緩勾配であり、注入セメント量ののびも少ないことがわかる。

外部カーテン グラウトを先に実施すると、岩盤間げきのうち比較的大きくセメントが入りやすい部分に先ずセメントが充填され、外部カーテン グラウト施工箇所よりある距離だけはなれた箇所における岩盤間げきは水はとおるが、セメントの粒子はとおりにくい状態に変わってくる。したがって内部カーテン グラウトにおいては透水量に比し、注入セメント量はのびないものと考えられる。また内部カーテン グラウトの透水量注入セメント量の関係曲線が緩勾配であることは透水量の変化するほど注入セメント量は変化しないことを示しており、このことより透水量の多い箇所は透水量の小さい箇所と比し、水はとおるが、セメント粒子はとおりにくいほどの小さい岩盤間げきの数が比較的多く存在する傾向にあることを示していると思う。

d) 基礎岩盤グラウトの影響範囲の推定 基礎岩盤に対して行なうセメント注入工事について、最初に行なうグラウトがどのくらいの範囲までその影響をおよぼしているか判定する方法の探究は従来よりいろいろとこ

みられたのであるが、現在にいたるまで満足すべき方法は見あたらないのである。前述のように最初の位置のグラウトが完了したのち、ある距離をおいて次のグラウトを行ない、最初のグラウトの次のグラウトに対する影響率を求めればこの影響率より、どの程度最初のグラウトが次のグラウト位置の自然の岩盤間げきにセメントを注入しているのか推定がつかうので、この点より最初のグラウトの影響範囲の見当をつけることができると考える。

5. 田子倉ダム以外の基礎岩盤における テスト透水量の傾向

田子倉ダムの基礎岩盤に対して行なった透水テストとグラウト資料を解析した結果によると前述のごとく岩盤中に注入されるセメント量やミルク量はいずれも透水量の関数となり、岩盤の平均的性質を示す弾性波速度もまたこの岩盤の平均透水量の関数で表わされるのである。これらのことより基礎岩盤に対する透水量は岩盤の構成状態を推論する一つの手がかりと見なすことができると思うのである。しかしながら、これらの傾向は田子倉ダム基礎岩盤を構成する石英粗面岩に対して施工した結果より導かれたものであり、他の岩質の基礎岩盤に対し無条件に適用できる傾向であると即断はできないので田子倉ダム以外の基礎岩盤に対して施工した資料を解析し、透水量の岩盤に対する傾向を検討することとする。

(1) 滝, 御母衣, 風屋ダムの概要

表-9

ダム別	滝 ダム	御母衣ダム	風屋ダム
位置	福島県大沼郡金山町田沢	岐阜県大野郡百川村御母衣	奈良県吉野郡十津川村風屋
着工	昭和34年7月	昭和32年6月	昭和33年6月
運開	昭和36年11月	昭和36年6月	昭和35年9月
年間発生電力量	321 000 mWh	543 753 mWh	309 000 mWh
ダム型式	重力式コンクリート	ロックフィル	重力式コンクリート
ダム高さ	46 m	131 m	100 m
ダム体積	122 300 m ³	7 950 000 m ³	615 000 m ³
ダム堤頂長	364 m	405 m	319 m
有効貯水量	4 300 000 m ³	330 000 000 m ³	8 900 000 m ³

(2) 滝, 御母衣, 風屋ダムの岩質とグラウト完了の規準

表-10

地点名	岩 質	グラウト完了の規準
滝 ダム	玄武岩, 斜長石英粗面岩	注入は透水テストを行ない透水量皆無となるまで実施する。 田子倉と同様
御母衣ダム	石英斑岩	注入ミルクの吸収量が皆無となったと思われる時期に、ゲージテストを行ない、30分間目立った圧力の降下がないと確認して完了とする。
風屋ダム	砂岩, 一部粘板岩をふくむ	同 上

(3) 滝, 御母衣, 風屋各ダムの注入セメント量および注入ミルク量の関係

a) 滝ダムの場合

① 圧力別回帰方程式

表-11

透水テスト圧 (kg/cm ²)	注入圧 (kg/cm ²)	回帰方程式	相関係数	番号	摘要
5	5	$\log C/W = 2.816 - 0.193 \log W$	-0.744	20	C=セメント量 (kg) W=透水量 (l/min)
10	10	$\log C/W = 2.375 - 0.515 \log W$	-0.539	21	
15	15	$\log C/W = 2.671 - 0.781 \log W$	-0.647	22	
5	5	$\log M/W = 3.700 - 0.954 \log W$	-0.777	20'	M=ミルク量 (kg) W=透水量 (l/min)
10	10	$\log M/W = 3.414 - 0.653 \log W$	-0.694	21'	
15	15	$\log M/W = 3.666 - 0.819 \log W$	-0.615	22'	

② ①より求めたセメント量, ミルク量の推定式

$\log C/W = 2.621 - 0.737 \log W \dots (23)$ (図-37)

$\log M/W = 3.594 - 0.809 \log W \dots (23')$ (図-38)

③ 透水圧と注入圧が等しい場合は上記より注入圧と無関係になるので, 全資料を一括して方程式を求めると次のごとくなる。

$\log C/W = 2.423 - 0.557 \log W \quad r = -0.571$

$\dots (24)$ (図-39)

$\log M/W = 3.427 - 0.671 \log W \quad r = -0.693$

$\dots (24')$ (図-40)

ただし, C=注入セメント量 (kg), M=注入ミルク量 (kg), W=透水量 (l/min), r=相関係数

b) 御母衣ダム 本ダムの資料において透水テスト圧と注入圧の等しい場合を圧力別に集めると資料数があま

り少なく, 解析の正確を期することができないので一括して考えることにした。この場合, 注入セメント量, 注入ミルク量を透水量で除したものと透水量の関係は相関度が認められないので, なまの資料をそのまま使用することにした。

注入セメント量と注入ミルク量の回帰方程式は次のごとくなる。

$\log C = 1.238 + 0.786 \log W \quad r = 0.587$

$\dots (25)$ (図-41)

$\log M = 1.950 + 0.699 \log W \quad r = 0.597$

$\dots (25')$ (図-42)

e) 風屋ダムの場合

① 回帰方程式

表-12

区分	透水テスト圧 (kg/cm ²)	注入圧 (kg/cm ²)	回帰方程式	相関係数	番号	摘要
A列 1 Step	2~3	2~3	$\log C = 0.809 + 1.103 \log W$	0.759	26	C=セメント量 (kg) W=透水量 (l/min)
A列 2 Step	5~7	5~7	$\log C = 1.029 + 0.935 \log W$	0.601	27	
B列 1 Step	5~7	5~7	$\log C = 0.934 + 1.070 \log W$	0.706	28	
B列 2 Step	7~10	7~10	$\log C = 1.154 + 1.012 \log W$	0.789	29	
B列 3 Step	20	20	$\log C = 0.488 + 1.416 \log W$	0.958	30	
C列ギャブリー	15	10	$\log C = 1.993 + 0.682 \log W$	0.475	31	

図-37 セメントの推定量 (滝ダム)

(関数形の検定よりの推定式)
 $\log C/W = 2.621 - 0.737 \log W$

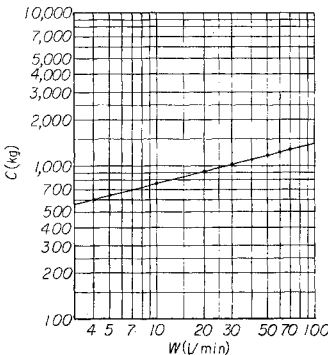


図-38 ミルクの推定量 (滝ダム)

(関数形の検定よりの推定式)
 $\log M/W = 3.594 - 0.809 \log W$

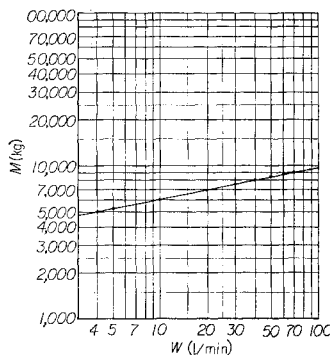


図-39 セメントの推定量 (滝ダム)

$\log C/W = 2.423 - 0.557 \log W$
N=96 r=(-)0.571 (**)

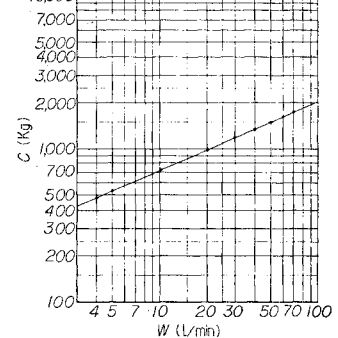


図-40 ミルクの推定量 (滝ダム)

$\log M/W = 3.427 - 0.671 \log W$
N=96 r=(-)0.693 (**)

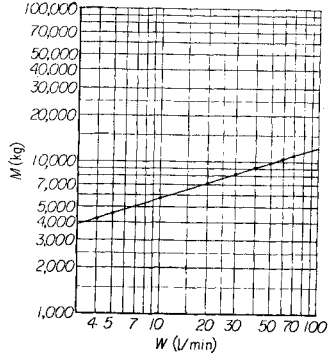


図-41 セメントの推定量 (御母衣)

$\log C = 1.238 + 0.786 \log W$
N=29 r=0.587 (**)

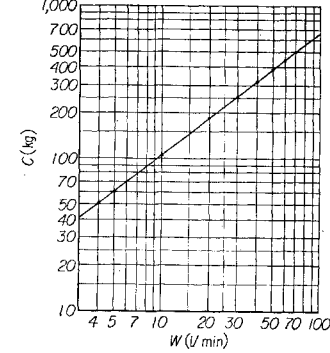
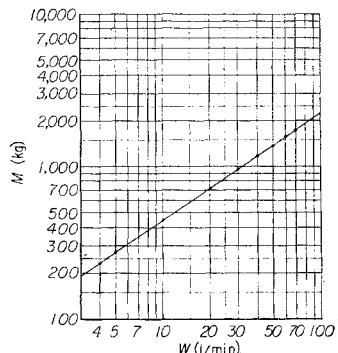


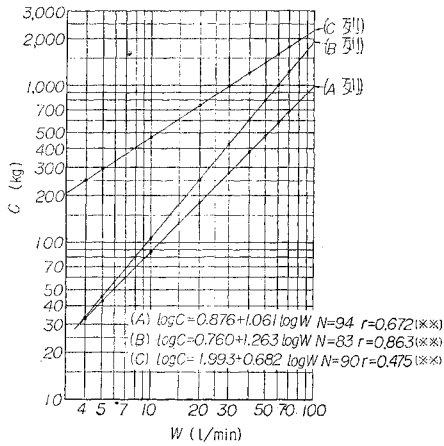
図-42 ミルクの推定量 (御母衣)

$\log M = 1.950 + 0.699 \log W$
N=29 r=0.597 (**)



② 注入ミルク量の推定式：前記方程式は圧力別の回帰直線のグラウトより田子倉の場合と同様にいずれも注入圧力の影響は見られない。したがって注入圧力の間隔が不等であって直交多変式の展開により関数形の検定ができなくとも透水テスト圧，注入圧が等しい場合には，他のダム の例からして圧力に関係なく注入セメント量の推定はできると考え，各区分ごとに一括して最小二乗法を用いて回帰方程式を算出した（図-43）。

図-43 セメントの推定量（風屋ダム）



A列の場合 $\log C = 0.876 + 1.061 \log W \quad r = 0.672$ (32)

B列の場合 $\log C = 0.760 + 1.263 \log W \quad r = 0.863$ (33)

C列の場合 $\log C = 1.993 + 0.682 \log W \quad r = 0.475$ (34)

(4) 各地点における透水量の傾向

滝，御母衣，風屋の各ダムにおける注入セメント量，注入ミルク量はいずれも透水量の関数で表わされ，方程式は透水圧と注入圧の等しい場合には注入圧とは無関係であることが明らかとなった。

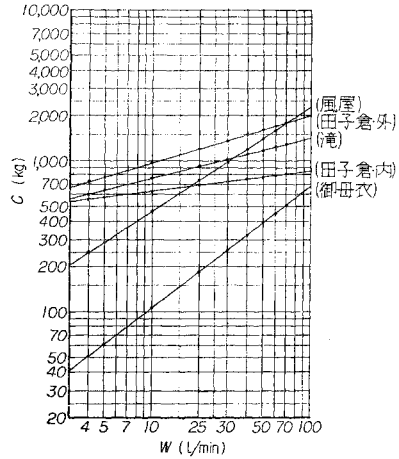
すなわち田子倉の基礎岩盤を構成する石英粗面岩より求めた透水量の傾向は田子倉の基礎岩盤と異なる岩質の岩盤を持つほかのいかなる地点の岩盤に対しても適用できると思われる。したがって岩盤の諸性態を推論する一つの手がかりとして，透水量を用いることは普遍性のあることと考えるのである。

(5) 各地点における透水量とセメント注入量の関係より見た岩盤良否の推定

図-44 は田子倉の内外カーテン グラウトおよび滝，風屋，御母衣などの各ダムにおける透水量と注入セメント量の関係曲線を一括したものである。

この図より透水量に対するセメント注入量およびこの曲線の勾配は各地点ごとに異なるものであることが明らかとなった。これらの曲線の勾配が異なるのは，岩盤の間げきの状態が各地点ごとに異なっているためで，勾配

図-44 各地点における透水量と注入セメント量



が急な場合には岩盤内に存在する間げきの大小の差がはなはだしく，緩の場合には差があまりなく平均化しているためと推論される。例えば田子倉ダム，滝などは，風屋，御母衣などに比して間げき大小の差は小さく，田子倉ダムの外部カーテン グラウトが内部カーテン グラウトに比して急なのは，内部カーテン グラウトを施工する付近の岩盤間げきが外部カーテングラウトのセメント注入による影響を受け間げきのうち大きなものにセメントが填充され間げきは平均化したものと推定されるのである。

また最小透水量に対する注入セメント量の大小を比較することにより，その岩盤間げき内にふくまれる小さい部分の程度を相対的に推定できると思う。すなわち岩盤の間げきは御母衣，風屋，田子倉内部，滝，田子倉外部の順序に大きくなっていると考えられる。したがって，各地点の岩盤の良否を相対的に比較するには，透水量と注入セメント量関係曲線勾配と最小透水量付近の注入セメント量の大きさを使用することによりある程度可能であると考える。良質の岩盤とは勾配が緩で注入セメント量の値が小さい場合にいい得ると思う。

6. 結 論

田子倉ダムの基礎グラウトにおいて，グラウト孔に対する透水量を測定し，この透水量に対応する注入セメント量，注入ミルク量，弾性波速度，あるいは注入圧の関係を検討し，内外カーテン グラウト相互間の傾向を比較したのち，田子倉ダム以外の滝，風屋，御母衣などの各ダムの透水量と注入セメント量の関係を解析した結果より，田子倉ダムの透水量に関する一連の傾向は一般性を有するものであると推論し，基礎グラウトを行なう場合その対称となる岩盤の性態を解明する方法が確立されていないため，各人各様の判断と先例の模倣に立脚して基礎グラウト施工基備を定めている現況において田子

倉ダムの透水量に関する一連の傾向をその基準とすれば、ある程度確信をもって基礎グラウトの施工基準を定めることが可能であると考え、次のように結論を述べたい。

(1) コンソリデーショングラウトにおける透水テストより求めた透水圧と透水量の関係曲線より、基礎岩盤破損圧を決定することができ、この関係曲線の傾向をカーテングラウトにおける場合に適用してカーテングラウトにおける基礎岩盤破損圧の推定を行なうことができる。

(2) 透水テスト圧、および注入孔長が等しい場合に、注入孔に対する透水量に大小があるのは注入孔につながる岩盤間げきの大小ならびに数の影響によるものであり、透水量が多い箇所ほど、間げきは大きく、その数も多い。

(3) また岩盤間げきは注入孔長に対して平均に分布するとは考えられないので注入孔に対する透水量や注入セメント量、注入ミルク量を考える場合にはその絶対値を用いるべきであり、単位長当りの透水量より岩盤間げきの問題を議論するのは危険である。この場合は透水量と注入セメント量、注入ミルク量などの関係より判断すべきである。

(4) 透水量と注入セメント量の関係曲線の勾配と注入セメント量を比較することにより岩盤性態の傾向を比較できる。曲線勾配が緩な場合は岩盤内に存在する間げきの大小にあまり差がなく、平均しており、急な場合には大小の差が大きいものと推定する。曲線の勾配が緩で、透水量が小さい箇所における注入セメント量の絶対値が小さいほど岩盤間げきは小さく、岩盤として良質といい得ると思う。

(5) 透水テスト圧と注入圧と等しい場合には、注入セメント量、注入ミルク量はその圧力による透水量を知ることにより推定でき透水テスト圧を一定とし注入圧を変える場合には、透水量と注入圧を知ることにより推定できる。

透水量と注入セメント量、注入ミルク量の関係曲線の傾向は、各地点とも同じであるがその勾配は同一ではない。

(6) 基礎岩盤に対する注入セメントの到達範囲を定量的に求めることはできないが、最初のグラウトの次のグラウトに対する影響率を求めることにより、推測できる。

(7) 内外カーテングラウトの影響率の傾向より透水量の大きい箇所は小さい箇所に対しセメントの浸透は容易である。

(8) 自然の岩盤に対して、セメント注入を行なうと、その影響を受ける範囲内の岩盤間げきの大きさは自然のまま岩盤より平均してくる傾向にあると思う。

(9) コンソリデーショングラウトにおいて平均透水量と弾性波速度の関係を求めれば、この関係よりセメント注入施工範囲内のグラウト完了の基準、グラウト効果の判定、基礎岩盤内の所要箇所の弾性波速度などを定めることができる。

おわりに：ダムの基礎岩盤の改良に、セメント注入を用いるばあい、本論文で取扱った部分は、ほんの一部にすぎない。セメントミルクの濃度の問題や、テスト透水量が多いわりに、セメントの吸収が少なく、注入の効果が上らない場合には、セメントミルクの代りに、他のグラウト材料（例えば、薬液とか粘土等）を使用せねばならぬと思われるが、この場合の判定基準をいかにするか等、多くの問題が残されていると考える。

本論文の作製にあたっては、東京大学 最上教授の御指導を載いた。ここに深甚の謝意を表する。資料の収集、計算等につき、協力して下さった、田子倉建設所の佐藤新太郎、五の井保の両君、その他の諸君に深謝する次第である。

参考文献

- 1) Grundy, C.F. : Fifth international congress on large dams, The treatment by grouting of permeable foundation of dam. M.I.C.E.
- 2) The Fontana project, Technical Report No. 12 U. S.T.V.A.
- 3) The Norris Project, Technical Report No. 1 U.S. T.V.A.
- 4) Pressure grouting, Technical Memorandum, 646. U. S.D.I.B.R.
- 5) Geology and Foundation Treatment, Technical Report No. 22, U.S.T.J.A.
- 6) Engineering for Dams, Vol. 1, Creager, Justin and Hinds
- 7) Simonds, A.W., Lippold, F.H. and Keim R.E. : Treatment of Foundation for Large Dams by Grouting Methods, Proc. ASCE, Feb. 1950
- 8) Simonds, A.W. : Final Foundation Treatment at Dam, Proc. ASCE Vol. 118 1953
- 9) Chapter 9. Gravity Dams Volume X Resign and Construction, Reclamation Manual
- 10) 田中治雄：ダム地質と基礎処理，昭和34年2月発電水力協会，発電水力講習会テキスト
- 11) 渡辺 貫・有間 宏・石川九五：セメント注入
- 12) 電源開発KK：弾性波法による Consolidation Grouting の効果判定，09 G 004
- 13) 電源開発 KK 土木部地質課田子倉建設所：弾性波法によるコンソリデーショングラウディングの効果判定(その2) 1959-7
- 14) 電源開発KK土木部地質課：田子倉ダムの地質
(原稿受付：1961.3.30)

A PROPOSAL CONCERNING THE DECISION OF STANDARD OF EXECUTION IN GROUTING OF DAM FOUNDATION

By Katsuhide Yoshida, C.E. Member

Recently, as the technique of dam construction has advanced, the dams over 100 meters high are increasingly construction of and numerous irregular structures such as those of arch type have been adopted. We are, still more, obliged to develop the site with geological defects, because economical resources of development have run out. Thus, a problem concerning the remedial measure of dam foundations has been brought to the fore.

Grouting is one of the most practical methods, which are now used in many dam constructions. However, we cannot accurately inspect the path of cement injected into the rock, because there are innumerable geologic conditions which constitute the defects in dam foundation. There has been no method by which we can estimate the cement injected up to now. Generally speaking, it is the common notion that there is no way to know what may happen, prior to the execution of grouting.

Because grouting work itself is invisible, each dam has its own standard of execution of grouting, which is modeled on some precedents or obtained from the past experiences.

The author proposes a method of deciding the standard of execution in grouting of dam foundation on the basis of leakage by water pressure test. It has been obtained from a study of numerous data in the construction of Tagokura Dam. Also, he reasons the significance of the leakage. Various problems such as injection pressure, amount of cement injected, injection time and effectiveness of grouting can be solved on the basis of the leakage by water pressure test.

(1) Relation between water test pressure and leakage.

From the relation between the test pressure and leakage, with variation in the former, we may find that leakage increases rather quickly at a certain pressure. This pressure is considered to indicate the breaking strength of foundation rock in consolidation grouting in which the holes are shallow. Consequently, in curtain grouting too, this pressure seems to indicate the breaking strength of deep foundation rock which is invisible.

(2) Relation between leakage by water pressure test and the amount of cement injected.

The following equations show the relations

between leakage by water pressure test and cement injected.

Case a : Injection pressure = Water test pressure

$$\log c/w = 0.980 - 0.692 \log W \dots\dots (Eq-1)$$

$$\text{or } C = 10^{0.980} \times W^{0.692}$$

$$\log M/W = 3.448 - 0.600 \log W \dots\dots (Eq-1')$$

$$\text{or } M = 10^{3.448} \times W^{0.600}$$

Case b : Water test pressure is set at 20 kg/cm² and the injection pressure varies.

$$\log C/W = 0.428 - 0.655 \log W + P(0.0313$$

$$- 0.00623 \log W) \dots\dots (Eq-2)$$

$$\text{or } C = 10^{(0.428 + 0.0313P)} \times W^{(0.345 - 0.00623P)}$$

$$\log M/W = 2.727 - 0.573 \log W + P(0.0392$$

$$- 0.00777 \log W) \dots\dots (Eq-2')$$

$$\text{or } M = 10^{(2.727 + 0.0392P)} \times W^{(0.427 - 0.00777P)}$$

where C = cement injected the number of sacks (50 kg), W = leakage in l/min, P = injection pressure in kg/cm², M = grout injected in kg

Eq-1 shows that we can estimate the amount of cement injected from leakage when water test pressure is equal to injection pressure. When leakage is constant and the pressure varies, the amount of cement injected remains unchanged.

Eq-2 shows that we may estimate the amount of cement injected from leakage and injection pressure when water test pressure is constant. The amount of cement injected tends to change with the injection pressure when grouting is executed, varying the pressure, into the hole which has the permeation capacity of a certain value.

(3) Consideration concerning determination of cement injection pressure.

In Eqs. 1 and 2, the relations between leakage and the amount of cement injected due to the variation in injection pressure are as follows: showed.

If leakage is 4 l/min at water test pressure of 20 kg/cm² and the injection pressures are 20 kg/cm², 30 kg/cm² and 40 kg/cm², the amount of cement injected becomes 780 kg, 1,450 kg and 2,700 kg respectively as calculated from Eq-2 and shown in Table 1. However, in case the amounts of cement injected are 780 kg, 1,450 kg and 2,700 kg, if the permeation pressure and the cement injection pressure are equal, the amounts of leakage water are 4.8 l/min, 36 l/min and 250 l/min for the injection pressures 20 kg/cm², 30 kg/cm² and 40 kg/cm² respectively as obtained from Eq-1.

Table 1. shows that the rate of increase of

cement injected is much less than that of leakage. Consequently, subjects which should be considered to decide injection pressure seem to be:

Table 1.

Injection pressure	20 kg/cm ²	30 kg/cm ²	40 kg/cm ²
Amount of cement injected	780 kg	1,450 kg	2,700 kg
Ratio	1	1.86	3.46
Leakage	4.8 l/min	36 l/min	250 l/min
Ratio	1	7.5	52

1. Breaking strength of foundation rock as described in (1).
 2. Relation between leakage by water pressure test and the amount of cement injected under various injection pressures as described in (2).
 3. Hydrostatic pressure between full reservoir and the grouting hole.
- (4) Effect of initial curtain grouting on additional one.

At Tagokura Dam, curtain grouting was executed along the upstream end of the dam foundation. After the initial storing of water in the reservoir, additional grouting was executed from the inspection gallery in the dam. Eq-1 was obtained from initial grouting and the following equation was from additional one.

$$\log C/W = 0.986 - 0.877 \log W \dots\dots\dots (\text{Eq-3})$$

$$\text{or } C = 10^{0.986} \times W^{0.123}$$

$$\log M/W = 3.466 - 0.784 \log W \dots\dots\dots (\text{Eq-3'})$$

$$\text{or } M = 10^{3.466} \times W^{0.215}$$

where C=amount of cement injected in the number of sacks, M=amount of grout injected in kg, W=leakage in l/min

Effect of initial grouting on additional grouting is estimated by comparison of the amount of cement injected at equal leakage. The following table is obtained from Eq-1 and Eq-3. The factor of effect indicates the effect of initial curtain grouting on additional grouting.

Table 2.

	Leakage in l/min				
	5	10	20	30	40
Amount of cement injected at initial grouting in kg... (1)	780	980	1,200	1,400	1,500
Amount of cement injected at additional grouting in kg (2)	590	640	700	740	770
(2)/(1) in %	76	65	58	53	51
factor of effect	24	35	42	47	49

The effective range of grouting may be estimated by the factor of effect.

- (5) Relation between average leakage by water pressure test and elastic wave velocity.

At Tagokura Dam, after foundation rock had been subjected to elastic prospectings, the profile and plan of elastic wave velocities were drawn up. Prior to consolidation grouting, water pressure test had been made with equal pressure in

each area and average leakage had been obtained respectively. Relation between them at one of these area yields the following equation.

$$\log S/W = 0.887 - 1.312 \log W \dots\dots\dots (\text{Eq-4})$$

$$\text{or } S = 10^{0.887} / W^{0.512}$$

where S=elastic wave velocity in km/sec, W =average rate of permeation in l/min, water test pressure=5 kg/cm², nature of rock=Liparite

Eq-4 shows that elastic wave velocity can be estimated from average leakage of foundation rock.

- (6) Standard of estimation of grouting effectiveness.

As shown in Eq-4, there is its own relation between leakage and elastic wave velocity in each area. Therefore it is considered that the effectiveness of grouting can be estimated from the difference in leakage before and after consolidation grouting.

The velocity at which the elastic wave velocity of propagates through the foundation rock does not become faster than the average characteristic velocity of mother rock, of which the foundation is composed.

Consequently, the time when pumping should be stopped and the effectiveness of grouting can be found by comparing an average leakage at each area with one at an average characteristic velocity of mother rock. An average leakage can be obtained by drilling holes and making the water pressure test in the area of injection. The effectiveness of grouting can be estimated from the difference in kinetic modulus of elasticity before and after the consolidation grouting, too.

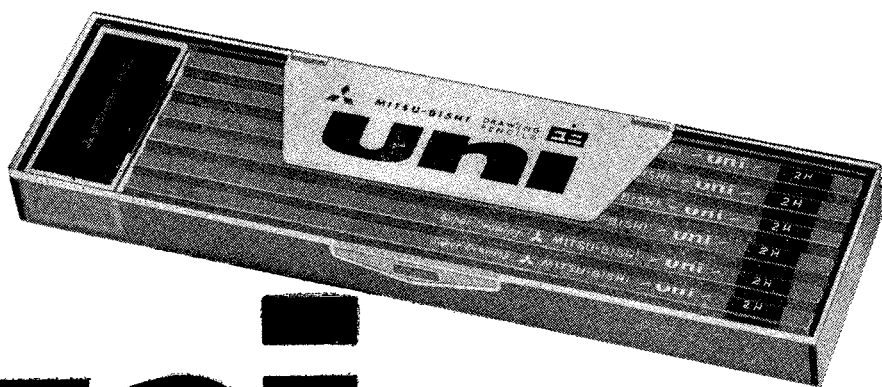
- (7) Relation between leakage by water pressure test and amount of cement injected at other dams.

The author examined the relation between leakage by water pressure test and the amount of cement injected at Taki, Miboro and Kazaya Dams. Then he found all the same as analyzed at Tagokura Dam. Estimated equations of the amount of cement injected are shown in Table 3. Namely the tendency of relation between C and W is the same, irrespective of the nature of rock.

Table 3.

Name of dam	Estimated equation	Nature of rock
Taki	$\log C/W = 2.621 - 0.737 \log W$ $C = 10^{2.621} \times W^{0.263}$	Basalt Plagio-liparite
Miboro	$\log C = 1.238 + 0.786 \log W$ $C = 10^{1.238} \times W^{0.786}$	Quartz-porphry
Kazaya	$\log C = 1.933 + 0.682 \log W$ $C = 10^{1.933} \times W^{0.682}$	Sand-stone Clay-slate

where water pressure = injection pressure
C = amount of cement injected in the number of sacks (50 kg)
W = leakage in l/min



uni

uni は三菱鉛筆の総力を挙げて完成した最高級の製図用鉛筆です。
uni とは **ONE** の意味の英語で——現代に存在する唯一のもの
 ——として敢えて名付けた次第です。

ユニの1ダース函は筆函としてのアフターユースをも考えたプラスチックと金属の美しいデザインのものです。
 この函の中には、新しい考案のグラインダーが1個ずつ入っています。

硬度 4H, 3H, 2H, H, F, HB, B, 2B, 3B, 4B. 1ダース ¥600.



ウイザワ ポンプ ブロー



製作品目

- 渦 卷 ポ ン プ
- 暖 房 用 ポ ン プ
- 真 空 ポ ン プ
- ル ー ツ ブ ロ ー
- 空 気 力 輸 送 機

株式会社 宇野澤組鐵工所

本社及び渋谷工場 東京都渋谷区山下町62
 電話 東京(441)2211(代)
 玉川工場 東京都大田区矢口町945
 電話 東京(738)4191(代)