

新冠ロックファイルダム

二次締切の施工管理

正員 酒井 寛 一*
正員 ○阿 曾 康 夫**

1. ま え が き

新冠水力発電所新設工事は新冠川中流部に高さ102.8mのロックファイルダムを築造し、最大使用水量 234 m³/sec、有効落差99.6mをもってダム右岸地下発電所で 200MWを発電したのち、長さ 2,988m、内径 7.1mの放水路トンネルで下流の下新冠調整池に放流する。この発電所は新冠貯水池を上方池とし、下新冠調整池を下方池とする北海道では初めての揚水式発電所である。その計画の概要を図1および表1に示す。

北海道電力(株)は昭和46年4月、本工事に着手、同年6

月に二次締切の盛立てを開始し、同年9月 64,500 m³の盛立てを完了した。

2. ダムの概要

2-1 ダム付近の地形・地質

ダムサイトは左右両岸やや対象的なV字峽をなし、構成する岩石は輝緑凝灰岩である。露頭が多く、河床部では非常に堅硬で一軸圧縮強度は 1,300kg/cm²の強度を有している。

左岸のダムセンターから上流二次締切までは河成段丘および崖すい形成され、その厚さは約7m程度である。

表-1 計画概要一覧

發電所名		新冠			
項 目		新 冠			
發 電 方 式		ダ ム 式 揚 水 式			
流 域 面 積 (km ²)		310.7			
出 力	取 水 位 (m)	381.0			
	放 水 位 (m)	270.0			
	總 落 差 (m)	111.0			
	最大 (m)	99.6			
	常時 (m)	94.0			
	常尖 (m)	71.9			
	使用水量	最大 (m ³ /S)	234.0		117.0×2 台
		常時 (m ³ /S)	15.8		
		常尖 (m ³ /S)	88.0		
	出 力	最大 (K W)	200,000.0		
常時 (K W)		—			
常尖 (K W)		53,000.0			
電 力 量	年間 (M W h)	235,745.0	自分流 散水分 下流分		
	冬期 (M W h)	100,775.0	144,039	56,152	35,554
			41,019	11,939	47,817
	設備利用率(%)	13.4			
貯	満 水 位 (m)	390.0			
水	洪水面積 (km ²)	4.35			
池	利用水深 (m)	40.0			
諸 元	貯水容量 (10 ⁶ m ³)	145			
	有効容量 (10 ⁶ m ³)	117			
水 路 延 長 (m)		放水路	2,987.791		

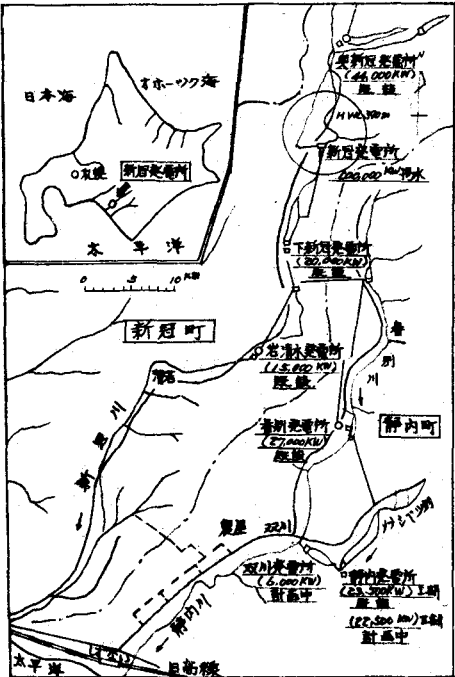


図-1 新冠発電所計画概要

* 北海道電力(株)新冠水力発電所建設所 第1課長
** 北海道電力(株)新冠水力発電所建設所 第1工区

右岸中段部には市約2mの断層1条と30cm以下の小断層が数条認められる。

2-2 ダムの構造

新冠ダムは、ダムサイトの条件を総合的に考慮し、経済的に優れかつ、安全性において劣らないと判断されロックフィル型式を採用した。

ダムの諸元を表-2にまた、ダムの平面と標準断面を図-2、図-3に示す、

表-2 ダムの諸元

型 式		中央土質遮水壁型 ロックフィルダム	
高	さ (m)	102.8	
高	さ (m)	386.0	
堤 頂 長 (m)		11.0	
盛立数量 (㎡)	ダム本体	土質コア	357,500
		フィルタ	175,000
		ロ ッ ク	2,463,000
	上2次流締切	土質コア	11,500
		フィルタ	7,000
		ロ ッ ク	46,000
		計	3,060,000

3. ダム盛立用材料

土質コア材料はダムサイト上流1.5kmの通称、札内平と呼ばれる地区に散在する風化頁岩の破碎細角礫と、これに付帯する細粒土との混合土を使用する。

材料の主な性質を表-3および、図-4に示す。

フィルタ材料は主として昭和45年に築造した上流砂防ダムに堆積している砂礫を使用する。この粒度分布曲線をコア材料およびロック材料の粒度分布曲線とともに図-5に示す。

また、ロック材料の採取地としてはできるだけダムサイト付近に産する天然材料を利用することを旨とし、一般にダムサイトから3～5kmの範囲が経済限界とされている。当所では、ダム直下流左岸が量的にも充分で表土被りも少なく、質的にも優れた原石山であると結論され計画した。

この原石山は輝緑凝灰岩、チャート、細粒砂岩、粘板岩よりなっている。この他に付近の構造物、およびトンネルなどの良質な掘削岩ブリは努めてロック材料として流用することにした。

上述の各材料の材料試験に基づく設計数値は表-4に示すとおりである。

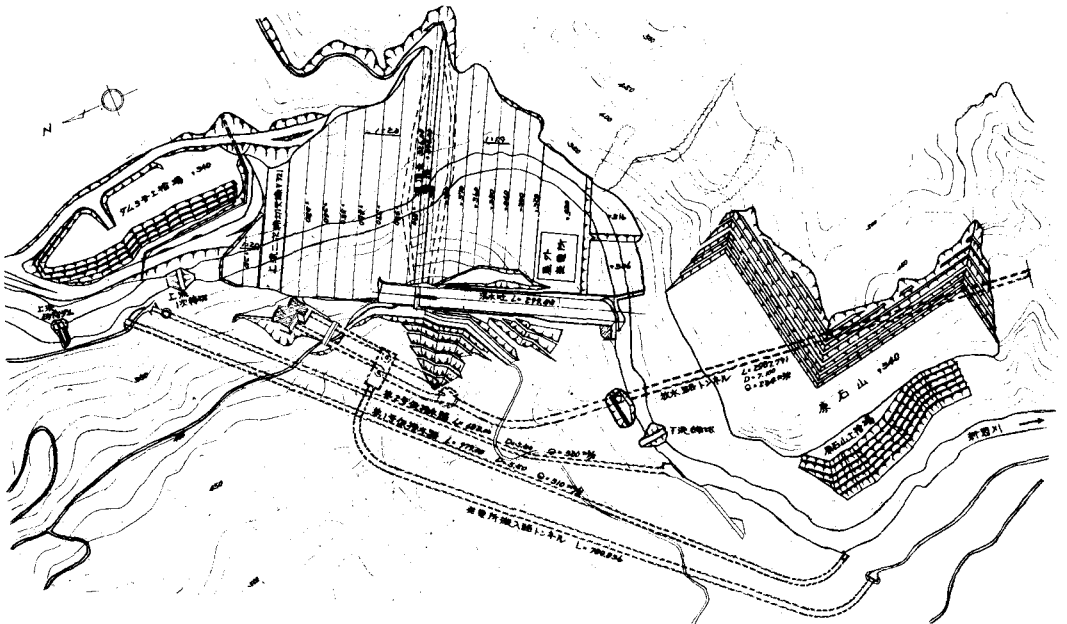


図-2 ダムの平面

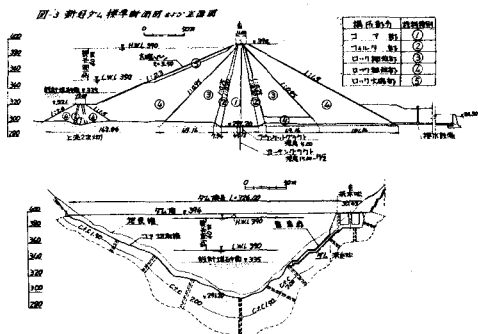
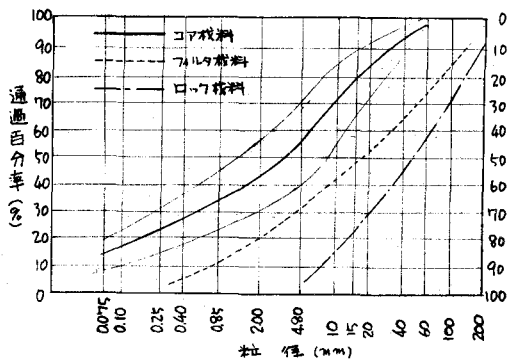


図-3 ダムの標準断面

表-3 土質コア材料の主な性質

	-50.8	-15.9
自然含水比 (%)	12.0~20.8	13.1~24.0
比 重	2.71~2.75	
液性界限 LL (%)	35.8~52.4	
塑性界限 PL (%)	21.5~31.8	
塑性指数 PI (%)	10.7~22.7	
最適含水比 (%)	11.7~18.4	12.8~18.8
最大乾燥密度 (t/m^3)	1,779~2,007	1,731~1,968
最小透水係數 (cm/S)	$1.0 \times 10^{-7} \sim 5.6 \times 10^{-7}$	
內部摩擦角 (度)	33°~40°~38°~00'	35°~00'~39°~00'
粘 著 力 (kg/cm^2)	0.8~0.9	0.3~0.7



図一5 盛立材料の粒度分布

表-4 材料の設計諸数値

材 料 種 別		土 質	フィルタ材		ロ ッ ク 材	
諸 元	記 号	コ ア 材			細 粒	粗 粒
乾燥密度 (t/m ³)	γ_a	1.75	1.90		1.80	1.86
湿潤密度 ("	γ_t	2.01	1.99		1.80	1.86
飽和密度 ("	γ_s	2.09	2.16		2.13	2.17
水中密度 ("	γ_b	1.09	1.16		1.13	1.17
内部摩擦角 (度)	ϕ	30°~00'	35°~00'		40°~00'	42°~00'
内部摩擦係数	$\tan \phi$	0.577	0.700		0.839	0.900
粘 着 力 km/cm ²	C	0	0		0	0

4. 二次締切の設計と施工

4-1 二次締切の設計

新冠川の各種水間資料から新冠ダムサイトにおける設計洪水量を確率計算で求めると、 $1,500 \text{ m}^3 / \text{sec}$ となる。また、仮排水トンネルは25年に1回の洪水量 $630 \text{ m}^3 / \text{sec}$ (第1号仮排水トンネル $330 \text{ m}^3 / \text{sec}$, 第2号仮排水トンネル $300 \text{ m}^3 / \text{sec}$) が通水可能な断面とした (図一6 参照)

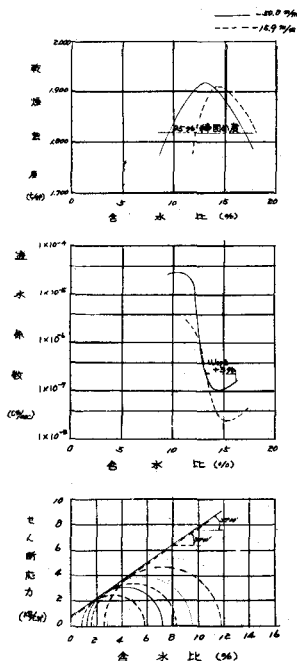
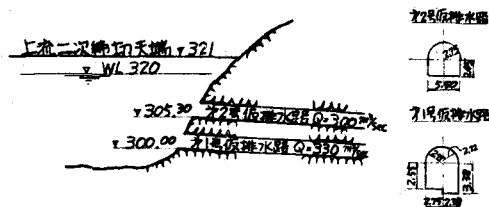


図-4 土質コア材料の主な試験結果



このときの上流水位は $EL\ 320\text{m}$ となり、したがって二次締切天端は 1m の余裕を見て $EL\ 321\text{m}$ とした。

4—2 基礎掘削

ロックファイル部の基礎は表土、ゆるんだ砂礫層、腐蝕

河床部についてはかなり凹凸があったため、岩盤清掃後、降雨時の排水の便をも考え、平均50cmの厚さにコンクリートを打設し、その上にコアを盛立てた。

図一7 積込時における材料混合法

4-3-1 土質コア材料

土取場の土の含水比は施工管理限界より高い部分があり、この含水比の低減策として、土取場の周囲と中央部に排水溝を設けて地下水位の低下と雨水および地区外からの流入水を遮断している。

また、場内に13孔（1本の長さが5m）のRI（ラジオアイソトープ）測定孔を設け、挿入型水分計による含水比の季節変化をも測定している。

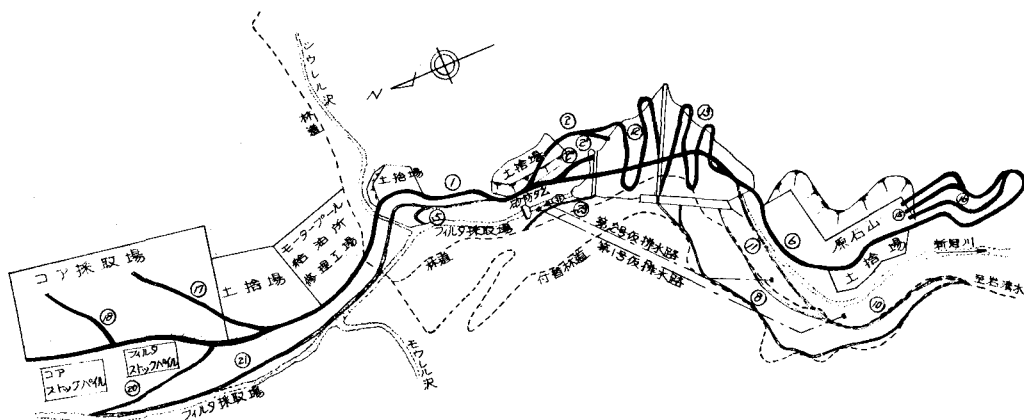
4-3-2 フィルタ材料

二次締切のフィルタ材料は、昭和43年に下流岩清水調整池をしゅん設した砂利が右岸上流にストックされていたのでこれを使用した。

4-3-3 ロック材料

昭和45年度準備工事の仮排水トンネル、地下発電所搬入路トンネルの良質な掘削岩ブリ 25,000m³ をストックしておき、これを使用した。また、不足分については洪水吐、地下発電所などの掘削岩ブリを盛立現場に直送し流用した。

各材料採取位置と運搬道路を図-8に示す。



図一8 材料採取位置と運搬道路

4-3-4 盛立材料の運搬

コア材料の運搬にあたってはホイローダ AC 745 / 1 台と 8t ダンプトラック / 5～6 台 1 セットによる作業とした、フィルターおよびロックの運搬はコア材料と交互に行っている。また、流用ロックの直送分については、32t および 20t ダンプやホイローダ 988、ドーザショベル 983 などの大型機械を本体切取工事と共用した。

4-3-5 主要工事用機械

盛立てに使用した主要工事用機械を表 5 に示す。

表-5 主要工事用機械一覧

機 械 名	仕 様	台数	使 用 区 分
ホイローダー	cat 988	1	ロック材料積込
"	" AC 745	1	遮水壁材料積込
ドーザーショベル	cat 983	1	ロック材料積込
"	小松 D-60S	1	遮水壁材料積込
"	" D-30S	1	フィルター材料まき出し
ブルドーザー	" D-150A	2	ロック遮水壁材料採取
"	" D-85A	1	遮水壁材料盛立
"	" D-80A	3	" " "
"	cat D-6C	1	ロック材料盛立
ダンプトラック	cat 32t	3	ロック材料運搬
"	cat 三菱 20t	6	"
"	8t	10	遮水壁材料 フィルター材料運搬
シープスフトローラー	RF-14	1	遮水壁材料盛立
エアタンパー		6	"
タンピングランマー	三笠 RF80	1	"

4-4 盛立て

4-4-1 盛立て実績

基礎掘削を終え、昭和46年6月11日岩盤検査を受検し、6月15日上流ロックフィル部の盛立てを最初として各ゾーンの盛立てに着手し、9月2日二次締切 64,500m³ の盛立てを完了した。

二次締切およびそれに付帯する構造物の工程を図-9 に、盛立て実績を図-10、表-6 に示す。

4-4-2 盛立て

土質コア材料は土取場で粒度および含水比についてチェックし、合格したものは 8t ダンプによりダムに搬入する。荷卸しされた材料は、厚さ20cmの均一な厚さになるようにブルドーザ (D 85A) によりはき出した。まき出し厚さのチェックはその日のコア転圧面積に応じた 1 層当りの材料の所要量をダンプ台数に換算して管理した。施工は夏季に行なわれたため、材料の乾燥が非常に早く、

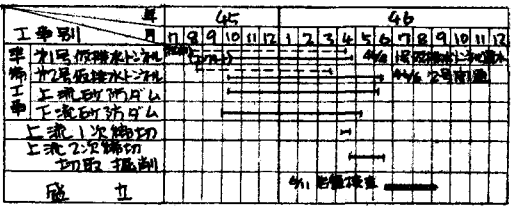


図-9 二次締切および関連工事工程

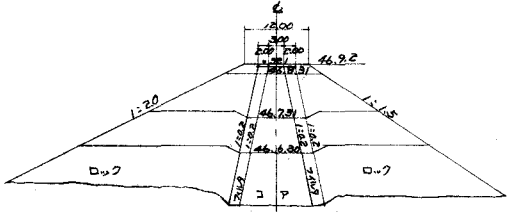


図-10 二次締切盛立実績

土取場でやや湿潤側であってもまき出し後は乾燥側になりがちであったので水ホースにより散水しながら施工する場合が多かった。

岩盤との接さい部は中央部のように大型ローラによる転圧ができないため、エアタンパーにより締固めた。タンパーのまき出し厚さは 5cm とし、D 30S と人力によった。なお、着岩部は材料をまき出す前に、岩盤表面を軽く散水して材料の水分が岩盤に吸収されるのを防ぐとともに岩盤とのなじみをよくしている。

表-6 二次締切月別盛立実績

年 月	土 質 遮 水 壁			フ イ ル タ ー			ロ ッ ク		
	月盛立量	移動日数	日盛立量	月盛立量	移動日数	日盛立量	月盛立量	移動日数	日盛立量
46. 6	1,600	11	145	700	9	78	8,100	15	540
7	4,500	10	450	2,700	9	300	18,600	27	689
8	4,800	11	436	3,000	11	273	17,200	23	748
9	600	2	300	600	2	300	2,100	2	1,050
計	11,500	34	338	7,000	31	225	46,000	67	687

盛立て開始当時は河床部の幅が狭かったため、ブルドーザ (D 80リッパ付) 転圧としたが極力シープスフトローラーを使用した。ローラーの索引にあたっては各回ごとに少しづつローラーの位置をずらせながら転圧し、ローラーの踏み残しを生じないように注意し、転圧方向はダム軸に平行を原則とした。なお転圧後の厚さは約15cmであった。また、150mm 以上の大きな礫や、材料中の樹根、木片などの有害物は人力により取り除いた。

フィルタの盛立ては、施工幅が2mと狭いため、D30 Sによりまき出し、D80ブルドーザで4回転圧後、コア転圧後、コア転圧と併行してシープスフトローラでも転圧を行なった。

表-7 ゾーン別盛立方法

ゾーン	盛立 リフト	締固め方法	
		転圧機械	通過回数
土質コア	20cm以下	20t シープスフトローラ	12回
フィルタ	40cm以下	D8級ブルドーザ	4回
ロック	1m	まき出しD8級ブルドーザ 8t ダンプの自然転圧	1回以上

ロック材料は流用ロックのため、粒度がやや細く、まき出し厚さは1mに制限し、コアの標高とできるだけ同じになるように水平にまき出し、材料運搬トラックによる自然転圧の効果を期待した。

各ゾーンの主な盛立て方法を表-7に示す。

4-5 盛立て材料の品質管理

ダム材料の品質管理は盛立て施工で出来上がったものの品質検査を行ない、十分に安全なダムを築造することを目的としている。そのため、設計値を満足する管理基準値を定め、これに適合するように材料の採取、締固めなどの事項について管理しなければならない。

表-8 施工管理基準

材料	項目	粒 径	通 過 百 分 率
コ ア	粒 度	0.075mm以下	10%~20%
		4.8mm以下	40%~70%
		15mm以下	70%~95%
		50mm以下	85%以上
		150mm以下	100%
コ ア	含 水 比	下記の突固め試験による最適含水比の0~+3%	
	締め固め百分率	最大乾燥密度の95%以上	
	突固め試験条件	試 料	15.9mm以下の試料
		ラン マー	2.5kgランマー
		落 下 高	30cm
フ ィ ル ター	粒 度	モールド	直径10cm高さ12.7cm容量1,000 ³
		エ ネ ル ギ ー	5.42kg・cm/cm ² (standard prdtor)
		粒 径	通過重量百分率
		0.075%	50%以下
		4.8%以下	10%~50%
フ ィ ル ター	最大粒 径	300mm	
		フィルタ-材料の15%粒径/コア材料の15%粒径>5 フィルタ-材料の15%粒径/コア材料の85%粒径<5	
ロ ッ ク	粒 度	2%以下の砂、岩粉が5%以下	

品質管理試験は本体に準じて行なった。試験の担当区分として、採取場における試験とダム転圧前の試験は請

負業者が実施し、転圧後の諸試験は当社が行なった。盛立材料の主な管理基準を表-8にまた、盛立工事の試験回数と試験項目を表-9に示す。

表-9 ダム盛立品質管理試験一覧

材料	試験項目	試 験 場 所	
		材料採取場	盛立現場
土 質 遮 水 壁	粒 度	1回/日	1回/日
	含 水 比	迅速法 1回/4時間	数回/日
	突 固 め	数回/月	数回/月
	透 水	必要に応じて行なう	1回/月
	現場密度	—	砂置換 1回/1層 R1法 1回/1層
	現場透水	—	1回/月
フ ィ ル ター	粒 度	1回/日	1回/月
	比重吸水率	数回/月	—
	現場密度	—	1回/月
ロ ッ ク	粒 度	1回/数ヶ月	—
	比重吸水率	1回/月	—
	現場密度	—	1回/数ヶ月

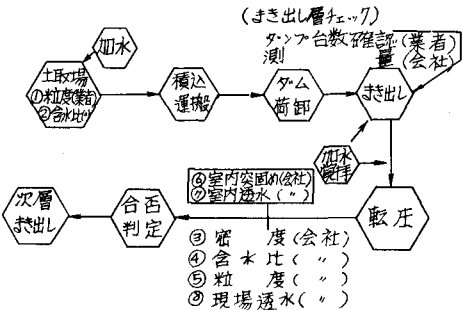


図-11 コアの品質管理工程

また、コアの品質管理工程を図-11に示した。

4-5-1 品質管理試験方法

管理試験方法の主なものについて、次に述べる。

(1) 突固め試験

標準突固め試験の他に迅速突固め試験として、USB Rの三点突固め試験を採用した。

(2) 含水比測定

含水比試験は炉乾燥によるものの他に、迅速含水比測定法として、モルタルの単位容積重量試験用メスシリンダー(約1ℓ)で約500gの湿潤試料を用いて測定するいわゆるピクノメーター法を採用した。試験時間は約10分で終了する。

(3) 盛立土の密度測定

ベントナイト置換法により測定した。ベントナイト濃

度は10%, 測定孔は直径22cm, 深さ10~15cmである。

(4) RI 法

盛立て現場で行なう密度と含水比測定法として、試験の頻度を高くとることと、試験労力を少なくするため、近年実用化が進んでいるRI 法（ラジオアイソトープ利用による γ 線密度計、中性子水分計使用）を採用した。従来の方法とRI法の測定所要時間を比較すると表-10に示すとおりである。

表-10

密 度	含 水 比	所要人員
ベントナイト法 15分	迅速測定法 10分	3人
R I 法 5分	R I 法 5分	2人

γ 線密度計の測定原理は、 γ 線が土中を透過する時に土粒子の原子と衝突して散乱する特性を利用し、 γ 線の線源を組み込んだ測定棒を土中に打ち込み、土の表面に置いた検出器に到達する γ 線の数をかぞえることによって密度を測定することができる。（図-12参照）すなわち線源から放出される γ 線量は一定であるから、土中を透過して検出される γ 線量は土粒子の量すなわち土の密度と比例関係にあることになる。この検出量をあらかじめ試験により決定した較正曲線を用いて密度に換算する。

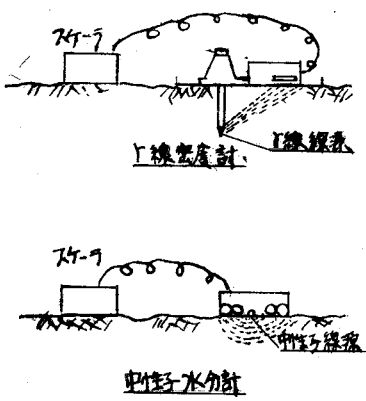


図-12 RI 法測定器

水分計は線源に高速中性子を用い、高速中性子が土中を透過するとき、土中の水素原子により弾性散乱して減速された熱中性子の数を検出器によってかぞえ、含水量に換算する。RI 測定器の概要は表-11に示すとおりである。

表-11 RI 測定器概要

	密 度 計	水 分 計
線 源	^{137}Cs 1mCi	$^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 30mCi
検 出 器	ハロゲンGM計数管 2本	BF ₃ 計数管 4本
使用電圧	350V	1.8KV
製造会社	株式会社 日立製作所	

RI 測定器は従来の測定法に比較して次のような利点がある。

- ① 測定を非破壊的に行なうことができる。
- ② 測定時間が短かく、所要人員も少ない。
- ③ 測定に個人差を生じない。
- ④ 測定方法が適切であれば、非常に高い精度が得られる。

しかし、今回使用した結果、次の点は今後検討を要するものと考えられる。

- ① 構造がせん細なので、盛立て現場ではとく取り扱いが荒いため故障しやすい。
- ② γ 線と中性子を取り扱う関係上、取扱者の健康管理には特別な注意が必要である。

4-5-2 管理試験実績

各ゾーンの管理試験結果は図-13、表-12、表-13に示すとおりである。また、含水比と密度測定におけるJIS

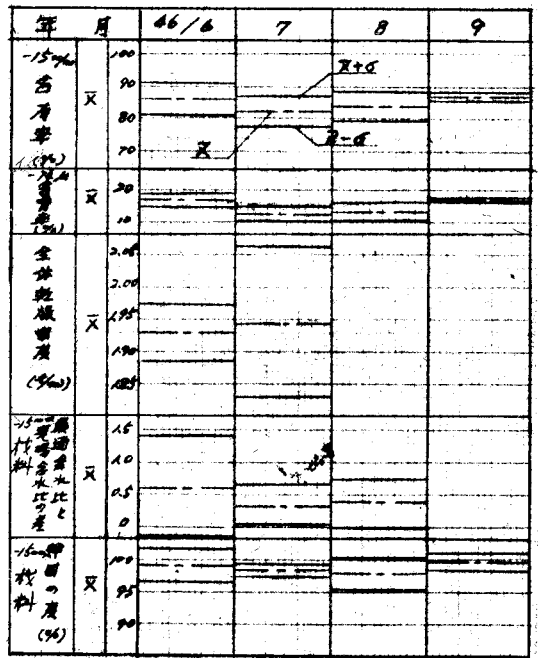


図-13 土質コア管理試験結果

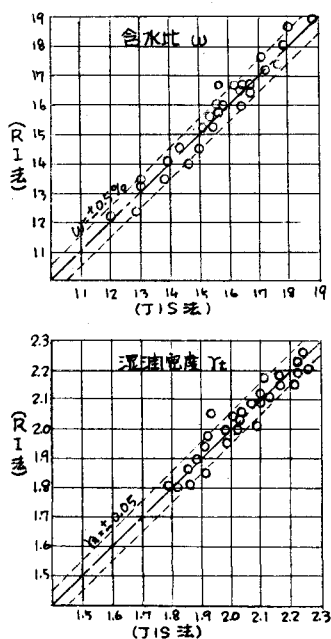


図-14 JIS法とRI法の相関

法とRI法の相関関係を示すと図-14のとおりである。この相関図中、45度の直線上にプロットされれば、RI法とJIS法は全く同一結果を与えていることになり、この直線をはさんでのバラツキが両方法の結果の差異を示す。

4-6 埋設計器

当社で初めてのロックフィルダムであり、かつこの種のダムでは築堤材料の物性が十分分らず、未解明の現象も少なくないため、室内試験から得られた築堤材料の物性値を用いて、解析的に求められた結果との比較あるいは本体の設計、施工の指針をうることを目的として、本体に先立って建設された二次締切に計器を埋設した。埋設した計器は図-15および表-14に示すとおりである。

剪断変位計以外の計器はすでに実績のあるものを用いたが、剪断変位計については特殊な設計のものを試作して埋設した。

盛立標高に対応した土圧計、間隙水圧計の観測値は図-17に示すように、E-1グループの土圧計観測値は主応力の方向がフィルター側に傾斜していることを示している。また、コア中心線上の間隙水圧は、盛土高さの約

表-12 フィルター管理試験結果

測定 年月日	標高 (m)	粒 度 (%)					湿 潤 密度 t/m ³	含 水 比 %	乾 燥 密度 t/m ³
		最大粒径 (mm)	-150 μ m	-50 μ m	-15 μ m	-4.8 μ m			
46. 6. 20	299.0	80	100	63.5	40.9	22.9	0.4	2,243	5.0
46. 7. 27	309.5	80	100	79.1	58.4	35.8	1.0	2,133	4.9
46. 8. 29	317.6	80	100	78.1	49.7	28.8	0.7	2,103	3.6
46. 9. 2	320.0	80	100	78.1	46.0	27.4	0.4	2,310	6.1

表-13 ロック管理試験結果

測定 年月日	標高 (m)	粒 度 (%)				湿 潤 密度 t/m ³	含 水 比 %	乾 燥 密度 t/m ³
		最大粒径 (mm)	-150 μ m	-50 μ m	-4.8 μ m			
46. 7. 27	310.0	150	94.1	32.0	16.2	0.3	1,997	0.95
46. 9. 2	320.0	150	98.0	56.8	16.3	1.6	1,975	1.05

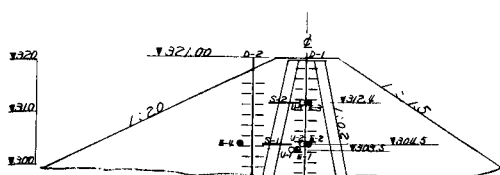


図-15 計器の配置

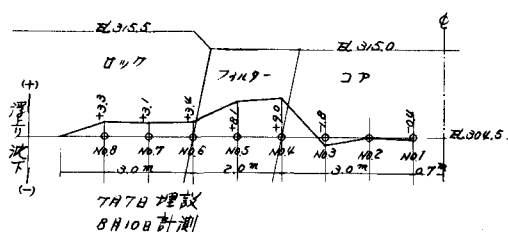


図-16 境界部における剪断変位

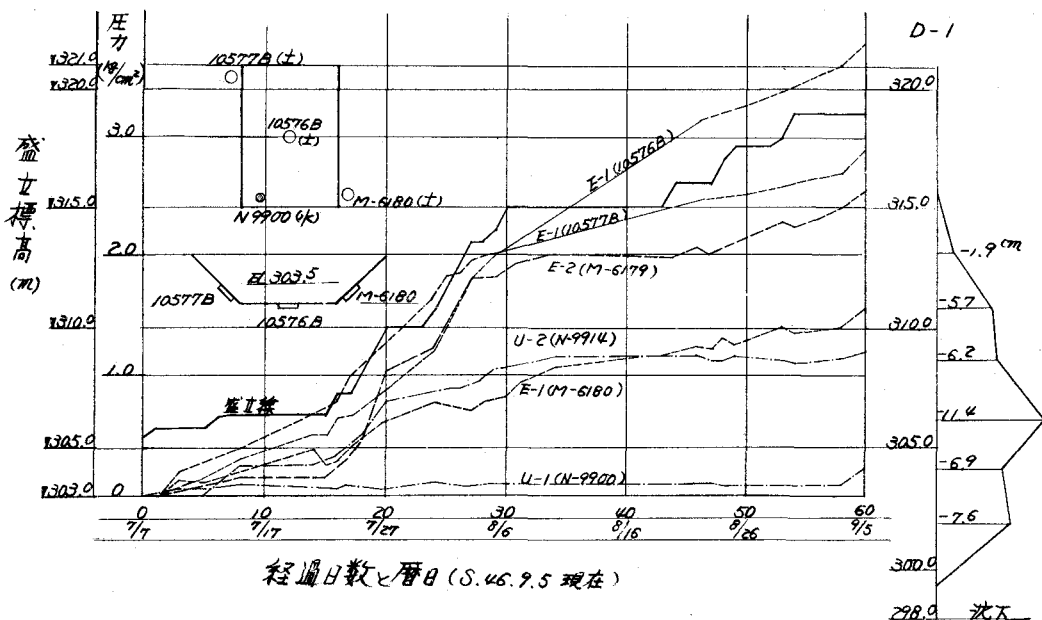


図-17 土圧計・間隙水圧計観測値

図-18 沈下計観測値

表-14 計器の種類と数量

No.	計 器	機 種	数量
E-1	土 圧 計	D T F 型	2
E-1	"	W S G 型	1
E-2	"	" "	1
E-3	"	D T F 型	1
E-4	大 型 土 圧 計	" "	1
U-1	間 隙 水 圧 計	" "	1
U-1	"	W S G 型	1
U-2	"	" "	1
D-1	鉛 直 変 位 計	クロスアーム型	1
D-2	"	" "	1
S-1	剪 断 変 位 計	プレート型	1
S-2	"	" "	1
S-3	"	直 接 型	1

50%の圧力を示し、剪断変位計記録によると各ゾーン境界部においてもかなり明瞭な剪断変位を示している。

(図-16参照)

これらのことは、図-18のコア部の沈下量と対応させ

ることができる。ただし、剪断変位の記録は、従来、概念的にもっていた傾向と逆のものを示しており、これが堤体の安全性にどう結びつくかを施工条件、材料の物性などの面から解析的に検討して行きたい。

5. あとがき

現場の施工管理については、試験結果のみで施工を推進できるものでなく、現場監督員各人の材料に対する判断が非常に大きな推進力になると思う。たとえば、極部的に粒度や含水比の不適當であることを発見しても、管理試験を行わず、迅速に適切な処理を要求される場合が多いからである。

今回、新冠ロックフィルダム二次締切の施工について簡単にとりまとめたが、資料の未整理のところもあり、詳細に記述できなかったことをお詫びする。この締切工事は本体盛立の試験工事ともいえ、したがって、種々の問題点についてはさらに検討を加えたうえで本体の盛立に向いまい進する覚悟である。