

# 船明ダムの護岸カーテングラウト

## ——粘土グラウト工法について——

竹内直彦\* 齊田英二\*\*

### 要 約

カーテングラウトとして粘土グラウト工法を採用した例は外国での施工例はあるが、我国で大規模に行ったのは今回の船明ダムが最初である。電源開発(株)ではローカルクレーを主体とする粘土グラウト工法に早くから注目し、種々の実験を重ね、船明ダムにおいて左岸護岸盛土部のカーテングラウトに粘土グラウト工法を採用した。

本報告は粘土グラウト工法の施工法と、その施工実績を簡単に紹介するものである。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 護岸カーテングラウトの概要
- § 3. 粘土精製プラント及びグラウトプラント
- § 4. 粘土スラリー及びグラウトの品質管理
- § 5. 穿 孔
- § 6. 孔壁グラウト
- § 7. 粘土グラウト注入工
- § 8. 透水試験
- § 9. 使用機械及び設備
- § 10. おわりに

### § 1. はじめに

粘土グラウトが採用されることになった船明発電所新設工事は、農林省、静岡県、電源開発(株)が共同事業として実施する天竜川下流域域のかんがい、上工用水供給を含む総合開発の一環として建設された。

本工事は高さ24.5mの越流型重力式コンクリートダムを築造し、有効貯水量360万m<sup>3</sup>の調整池を設け、右岸ダム直下に最大32,000kwの船明発電所ならびにかんがい上工用水取水口及び導水路の一部を建設するものである。

粘土グラウト工法によるしゃ水壁は、左岸護岸のダム上流部に延長約410mにわたって施工した。工事全体の工期は昭和47年10月～52年3月、粘土グラウトの施工時期は昭和49年4月～50年11月であった。

建設地点、主要構造物の位置、ダム本体構造図等を図-1、図-2、図-3に示す。また主要構造物、機器、

諸設備の概要は表-1に示す。

### § 2. 護岸カーテングラウトの概要

#### 2-1 目的

船明ダムの左岸上流護岸盛土部はもともと天竜川の本流で、河床全般に深い堆積砂礫層が存在し、最深部では60mに及び、砂礫層の下の岩盤は黒色片岩または緑色片岩である。堆積砂礫層の透水係数は $k=10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ cm/s}$ であり、粒度は最大粒径30cm、砂分15～30%で、表層の一部を除き大きな砂層、シルト層は存在しない。岩盤は

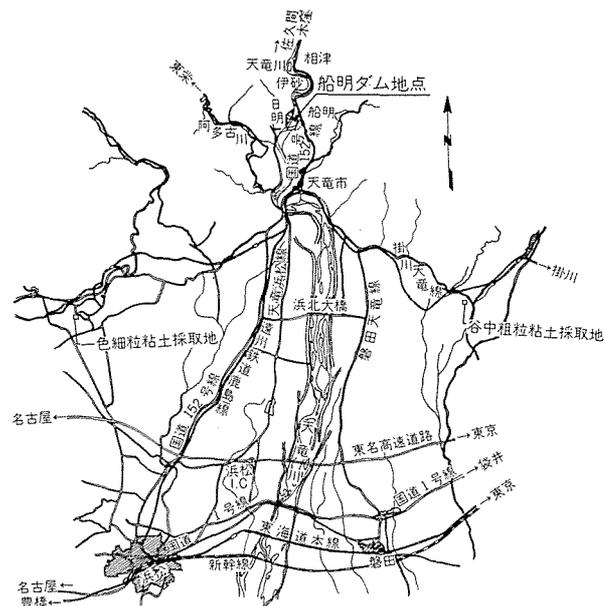


図-1 船明ダム位置図

\* 中部支店奥矢作(出)工事係長  
\*\* 中部支店土木課長

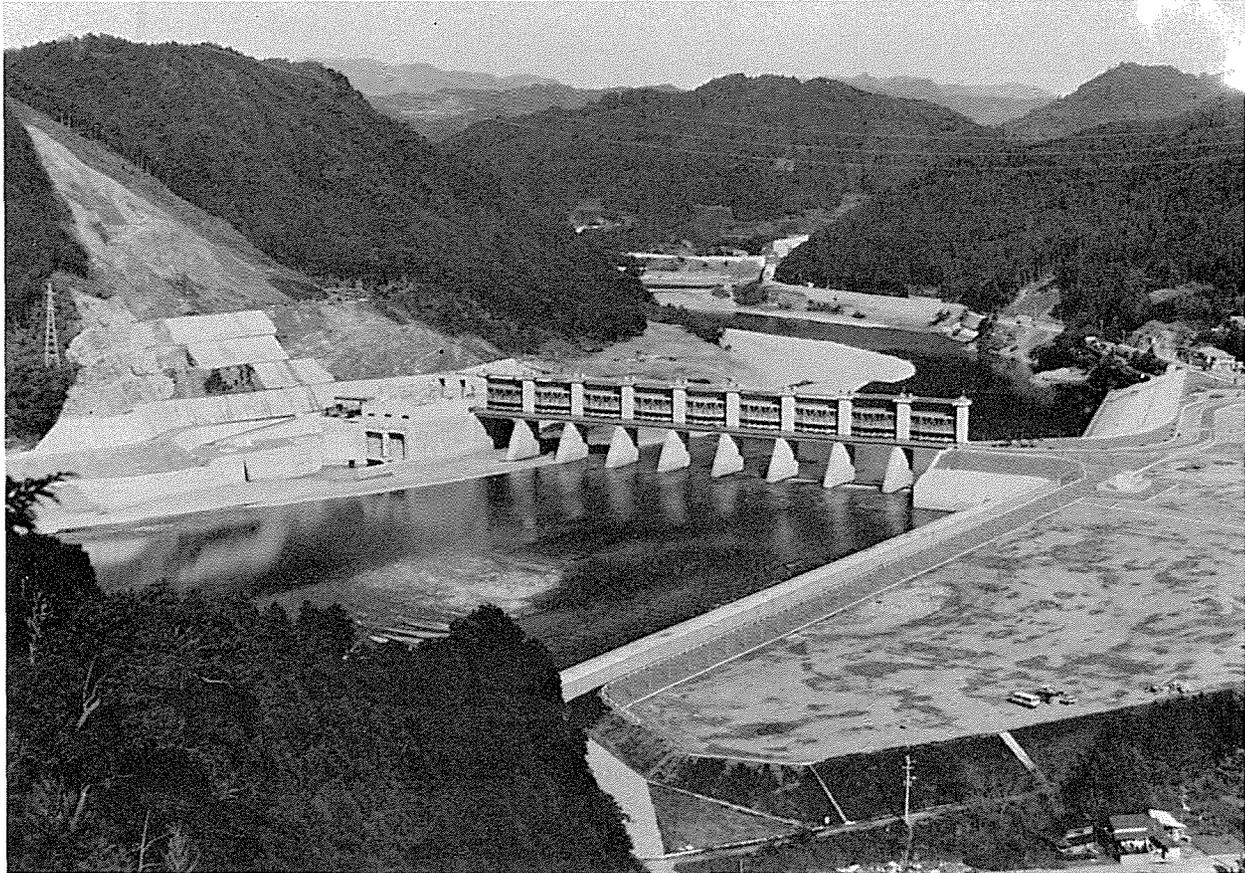


写真-1 船明ダム全景

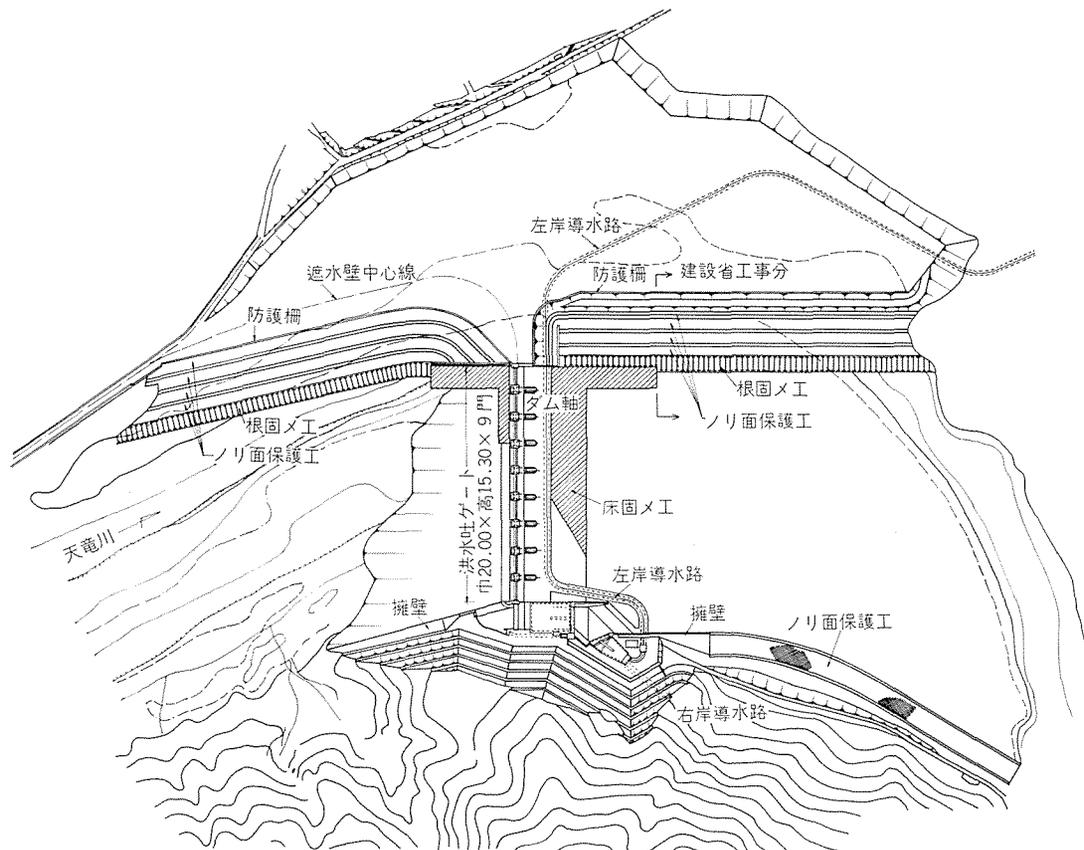


図-2 船明ダム一般平面図

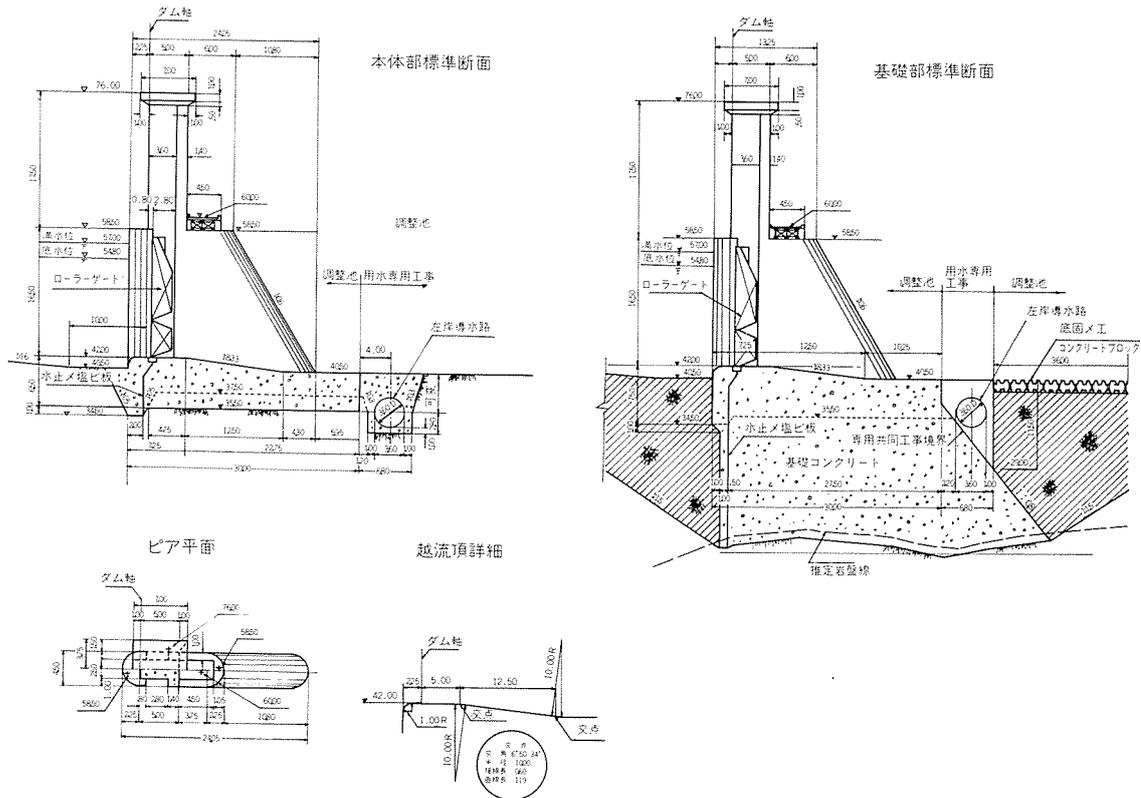


図-3 船明ダム本体標準断面図

表-1 船明発電所主要構造物、機器の概要

位置	静岡県天竜市船明	
船明ダム	型式 満水位標高 低水位標高 ダム頂標高 ダム高 ダム頂長 ダム体積 計画洪水量	越流型 方式コンクリートダム 57.00m 54.80m (利用水深2.20m) 60.00m 24.50m 216m 本体 67,060m <sup>3</sup> (ピア基礎コンクリートを含む) 11,130m <sup>3</sup> /S
護岸 (ダム上流部)	型式 長さ	中央土質しゃ水壁、法面コンクリート張 407.19m
取水口	型式 取水量 寸法	鉄筋コンクリート造り、開きよ 最大 270m <sup>3</sup> /S 巾 27.0m、高さ 15.0m
発電所	型式 寸法 水車 発電機	半地下式 巾26.0m、奥行43.0m、高さ37.5m 立軸カプラン水車、出力34,000kw1台 立軸回転界磁全閉内冷型同期発電機 出力34,000KVA
放水口	型式 寸法	鉄筋コンクリート造り開きよ 巾20.5m、高さ18.33m
用水取水設備 (イ)取水工	型式 寸法	鉄筋コンクリート造り開きよ 巾16.0m、高さ9.9m
(ロ)導水路	左岸導水路 型式 寸法 右岸導水路 型式 寸法	円型及び馬蹄型暗きよ 内径3.6m 馬蹄型暗きよ 内径4.0m

上流部の浅い個所を除き、ほとんど風化されておらず堅硬である。

この深い堆積砂礫層の止水が完全でない、湛水時に漏水することは明らかであり、止水工法として粘土グラウト工法が採用された。粘土グラウトが採用された理由は以下の如くである。

- (1) 近年諸外国、特にヨーロッパにおいて、粘土を主材料とし、セメント、水ガラス等を加えたグラウトが開発され、深い砂礫層の止水工法として実績がある。
- (2) 従来のセメントグラウトと異なり、流動性がよく分離や沈澱の生じない安定グラウトであり、ほぼ練上りの容積でゲル化する性質を持っている。
- (3) セメントの添加量によって、適当なゲルタイムをとることができる。
- (4) 注入対象地盤の粒度分布、空隙率等に応じて、試験を行うことによって最適の配合が決定できる。
- (5) セメントグラウト、ケミカルグラウトに比較して安価である。ただし、工事現場の近くで主材料となる粘土が採取可能であるということが条件となる。

## 2-2 施工法

図-4、図-5、図-6にグラウト施工位置及び断面、グラウト配置を示す。図中A型グラウト及びB型グラウト

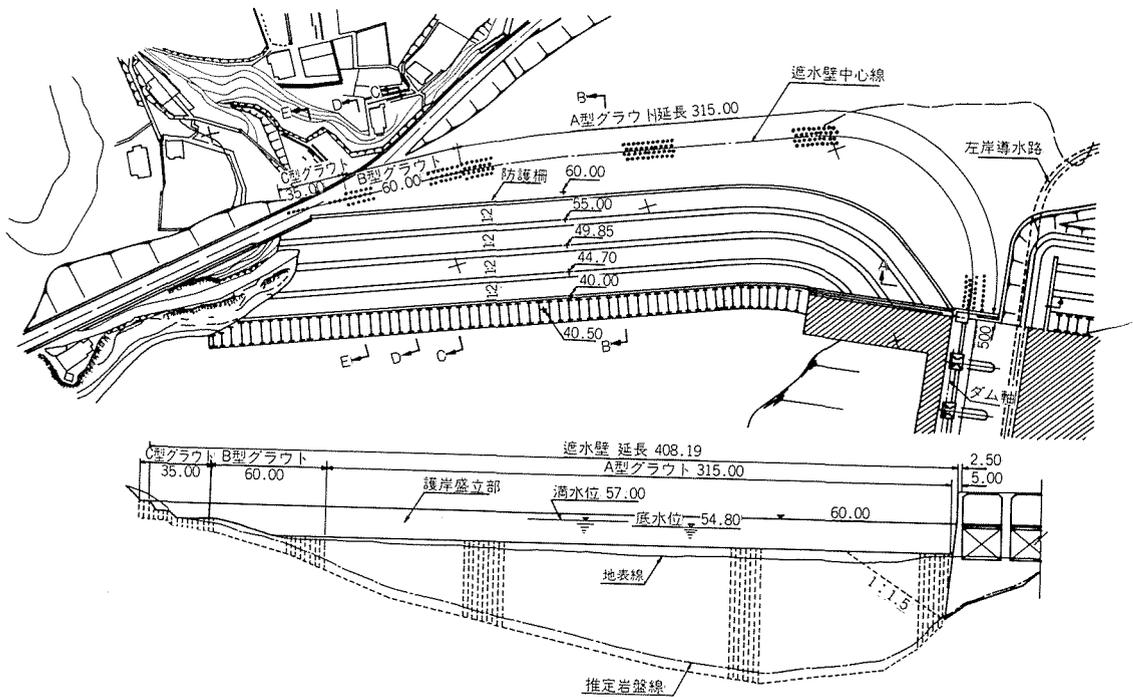


図-4 グラウト位置平面図, 断面図

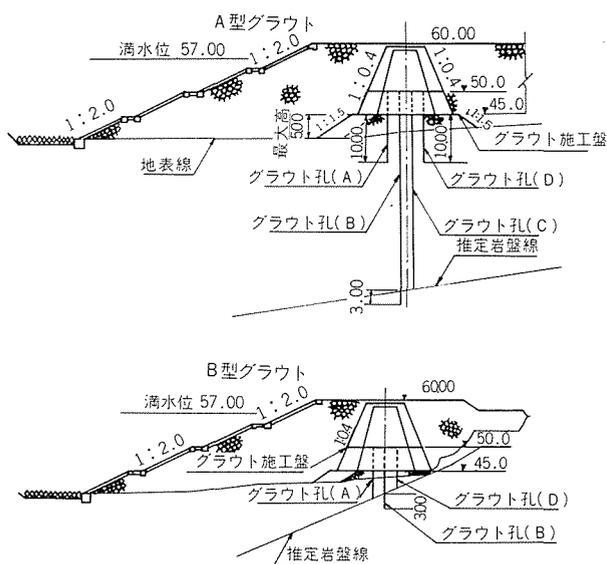


図-5 グラウト横断面図

トは粘土グラウト工法であるが、C型グラウトは従来のミルク注入工法である。施工順序の概要を以下に示す。

- (1) EL40.0~42.0にある地表線からEL45.0迄、5mm以下が20%以下の砂礫ゾーン盛土を行い、その両側には5mm以下が25%以上の砂礫盛土を行う。EL45.0~50.0迄、土質しゃ水壁とその両側のフィルター盛土及び周辺盛土を施工し、EL50.0をグラウト工の施工盤とする。(図-5)
- (2) EL50.0より所定の位置へケーシング穿孔を行い、

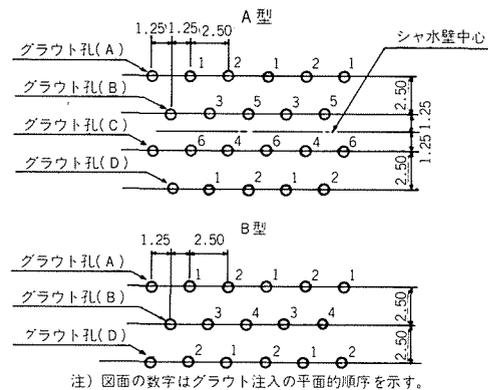


図-6 グラウト孔の標準配置

所定の深度に達したらケーシングを残してインナーロッドを引きあげ、ケーシング内へスリーブパイプを入れ、ケーシングとスリーブパイプの間を孔壁グラウト(ゲイン)で満たす。(図-7 a, b) スリーブパイプには50cmピッチに小孔を明け、ゴムスリーブが小孔を被っている。次にケーシングを撤去し、ゲインを補充した後ゲインの硬化を待つ。(図-7 c) ゲインが養生された後、スリーブパイプの中にダブルバッカー管を入れ各スリーブの位置で水押しによりゲインに水平方向のクラックを入れる。(図-7 d)

次にダブルバッカー管を用いて、所定の圧力で粘土グラウトを注入する。所定の注入が終了後透水試験を行い、必要ならば再グラウトを実施する(図-

7 e)。全注入工程完了後スリーブパイプ内にゲインを充填する。(図-7 f)  
 なお、グラウト注入層はE L45.0以下であり、E L45.0~E L50.0は押え盛土の役目をする。

2-3 工事数量

船明ダムの護岸カーテングラウト工事の内、粘土グラウトの工事数量は表-2の通りである。表-2において計画数量と実施数量に多少の相違があるが、その理由としては、しゃ水壁中心が少し変更になったこと、岩盤線が計画と多少異ったこと、不確定要素による配合の修正等がある。

透水試験については、当初注入前、注入後ともドライブパイプ打込みによる穿孔、試験の繰返しを考慮していた

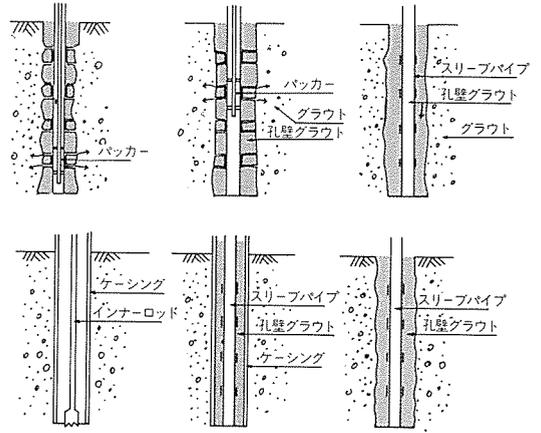
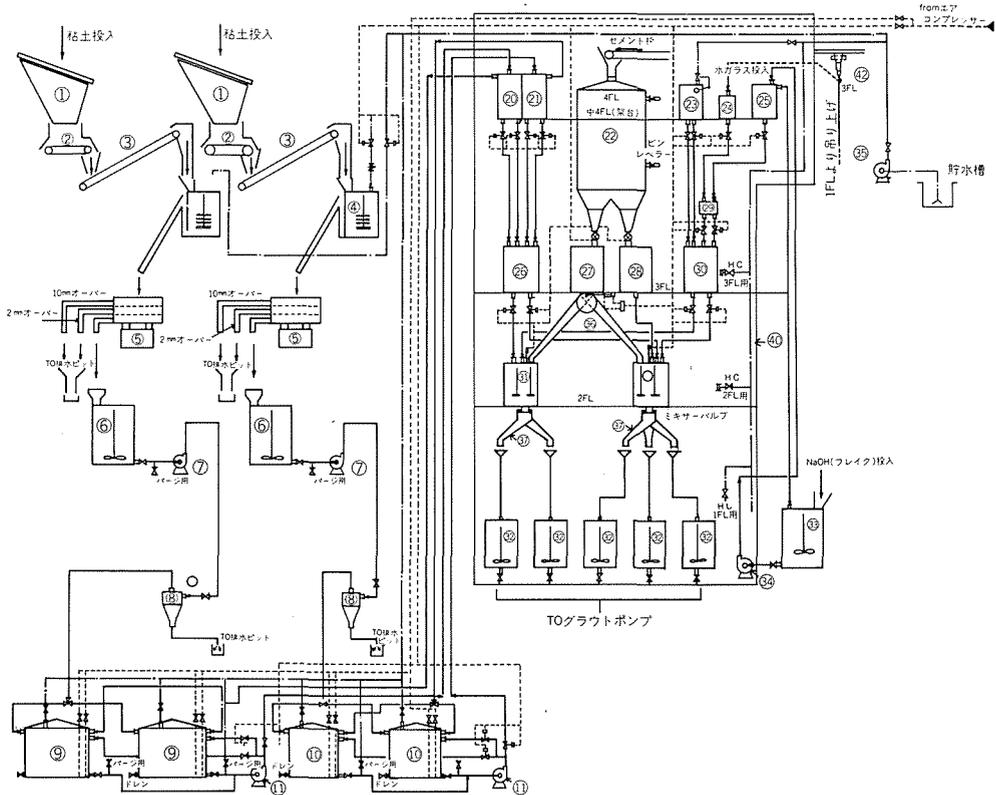


図-7 粘土グラウトの手順



符号	名称	数量	形式	機器仕様	電機機	備考	符号	名称	数量	形式	機器仕様	電機機	備考	
1	グリズリ	2	固定橋斜形	10m <sup>2</sup> スクリーン目 100mm寸法中2500×長3400			28	セメント計量機	2	1	設定秤指示複合式	25 ℓ × 0.02kg~ 5kg	0.20W 2 P	スケーラー付
2	エフロンフィーダ	2	重荷重水平形	5m <sup>2</sup> /h 寸法 有効巾1000 機長3000(カッター付)	3.20W 4 P 3.20W 4 P	3段変速	29	NaOH水ガラス計量機	1	2	2種累積指示複合式	10ℓ × 2 × 0.05kg~ 5kg		
3	ベルトコンベアー	2	20'トラフ形	5m <sup>2</sup> /h 寸法 ベルト巾400 機長(種別) 32400	1.50W 4 P		30	水計量機	1	2	2種累積指示複合式	440 ℓ 計測範囲 1kg~400kg		
4	アトリクションマシン	2		150 ℓ/min 連続吐出	30W 4 P		31	グラウトミキサー	2		高速グラウトミキサー	600 ℓ	7.50W 4 P	
5	パイプフィーダスクリュー	2	2段式	500 ℓ/min スクリュー目 10mm&2mm	0.75W 6 P		32	中間グラウトタンク	5		円筒立形 (ロータリー式アジテーター付)	1200 ℓ	0.75W 4 P	
6	中国スラリータンク	2	円筒立形	3000 ℓ 寸法1600φ×高1700	2.25W 4 P	機内電機、上下両口付	33	NaOH溶解槽	1		円筒立形 (ロータリー式アジテーター付異材質SUS304)	1000 ℓ	0.40W 4 P	
7	3in1スラリポンプ	2	うず巻ポンプ	300 ℓ/min 揚程30m	7.50W 4 P		34	NaOH移送ポンプ	1		うず巻ポンプ(立式)	100 ℓ/min 揚程15m	0.75W 4 P	
8	サイクロンセパレーター	2		300 ℓ/min			35	送水ポンプ	1		うず巻ポンプ	600 ℓ/min 揚程20m	5.50W 4 P	
9	SYスラリ-スレージタンク	2	コルゲートプレート	190 m <sup>3</sup> 寸法7000φ×高4750		機内、ミッドアンプ、ボトムスライダ付、マンホール式付	36	セメント切替ダンパー	1		エアアシスト駆動方式			
10	SIスラリ-スレージタンク	2	コルゲートプレート	90 m <sup>3</sup> 寸法5000φ×高4750			37	スイベルシューター	2		ロータリー駆動方式	シューター内径 120.8φ 回転半径 500mm		
11	Na2スラリポンプ	2	うず巻ポンプ	150 m <sup>3</sup> 揚程30m	5.50W 4 P		40	クワトロフィーダ	1	式				
20	SYスラリ貯槽	1	円筒立形(半形)	1000 ℓ 寸法1400φ×高1500(半円)			41	架台関係	1					
21	SIスラリ貯槽	1	円筒立形(半形)	1000 ℓ 寸法1400φ×高1500(半円)			42	電動ホイスト	1		積動走行形 吊上荷重 500kg 揚程 12m		0.75W 4 P	
22	セメントタンク	1	鋼板円筒形	1.5 m <sup>3</sup> 寸法1000φ×高2200		マンホール、上下両口付	50	粘土スラリ配管	1	式				
23	水貯槽	1	円筒立形	1000 ℓ 寸法1000φ×高1500			51	水	1	式				
24	水ガラス貯槽	1	円筒立形	200 ℓ 寸法800φ×高550			52	空気	1	式				
25	NaOH液貯槽	1	円筒立形	500 ℓ 寸法800φ×高1200		ヒーター付	53	NaOH	1	式				
26	粘土スラリ計量機	1	2種累積指示複合式	850 ℓ 計測範囲 2kg~ 800kg			54	グラウト配管	1	式				
27	セメント計量機	1	設定秤指示複合式	150 ℓ 計測範囲 0.5kg~100kg										

図-8 粘土精製・グラウトプラント系統図

表一 2 工事数量

名称	単位	計画数量	実施数量	備考
穿孔 (A)コア一部 (B)砂礫部 合計	m m m	2,900 14,600 17,500	3,060 14,294.5 17,354.5	岩盤部を含む
グラウト注入 (A)粗粒 (B)細粒 (A-1)粗粒 (B-1)細粒 (B-2)細粒 合計	m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	36,700 15,500 0 0 0 52,200	32,861.4 13,307.3 4,222.4 1,067.8 1,120.5 52,579.4	$v=35 \text{ l/min}$ $v=30 \text{ l/min}$ $v=20 \text{ l/min}$ $v=20 \text{ l/min}$ $v=15 \text{ l/min}$
注入材料 (A)粗粒粘土 (B)細粒粘土 合計 セメント	t t t t	15,800 2,900 18,700 5,200	15,946 2,882 18,828 5,293	乾燥重量 " "
透水試験 (A)注入前 (B)注入後 (C)注入後	m m 回	500 1,000 0	552.5 1,468.1 575	
粒度調査資料採取	回	160	173	
注入対象土量 単位グラウト 上部 下部	m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	約87,000 0.72 0.48	約87,000 0.72 0.48	EL35 ~ EL45 EL35 以下

が、現場で不都合が生じ、試験方法の改良、変更等を行ったため、実施数量がかなり変わったものである。

2-4 工期

昭和48年11月よりゾーン盛土を開始し、12月よりプラント設備に着手した。粘土グラウト工事は昭和49年4月より着工し、50年11月に完工した。

§ 3 . 粘土精製プラント及びグラウトプラント

グラウトに使用する原粘土は、産地名をとって谷中粘土(SY粘土、粗粒)、一色粘土(SI粘土、細粒)の二種類がある。この原粘土を粘土精製プラントで精製し、スラリー状にして貯蔵し、グラウトプラントでセメント、水、水ガラス、苛性ソーダ等と粘土スラリーを混合して注入孔迄送る。図-8、図-9に粘土精製プラント及びグラウトプラントの系統図、機器仕様、配置を示す。

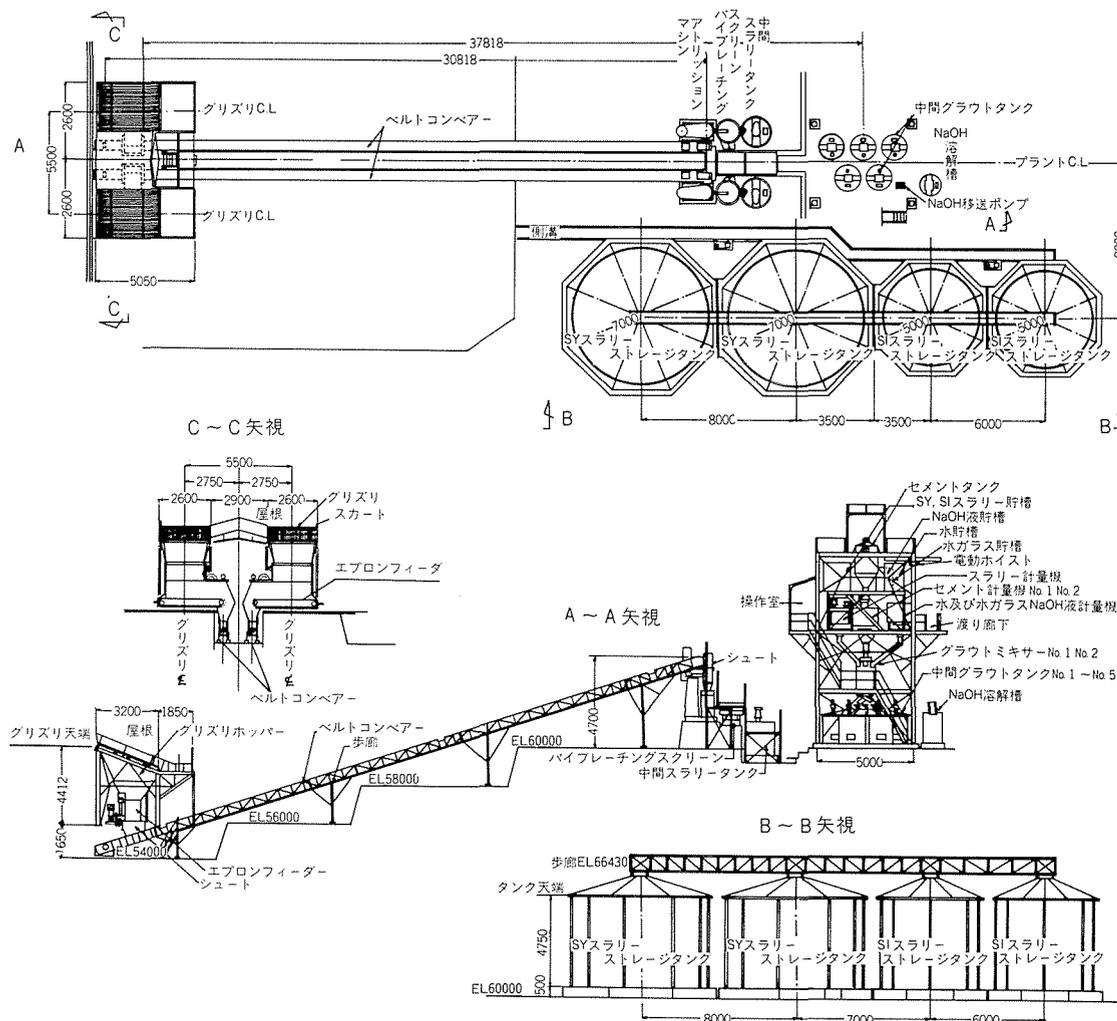
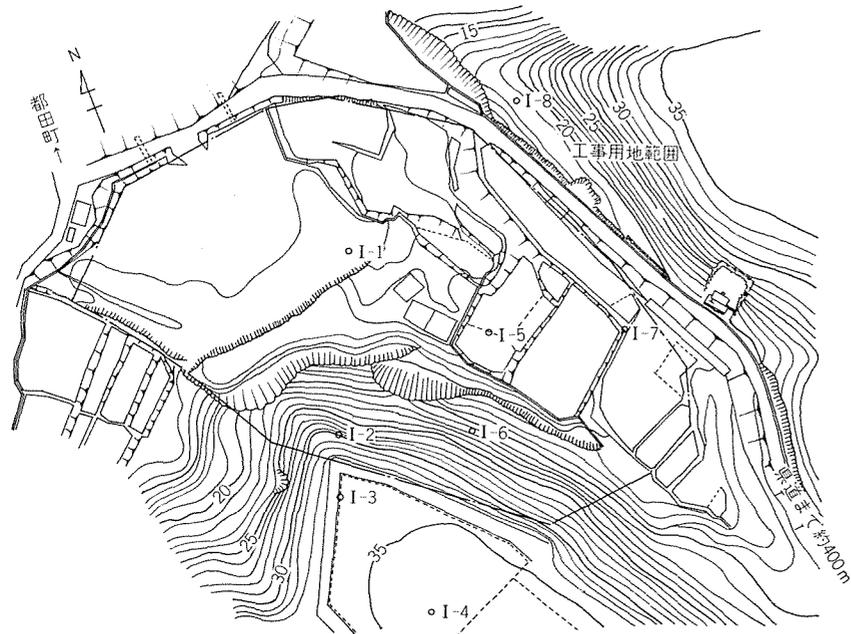
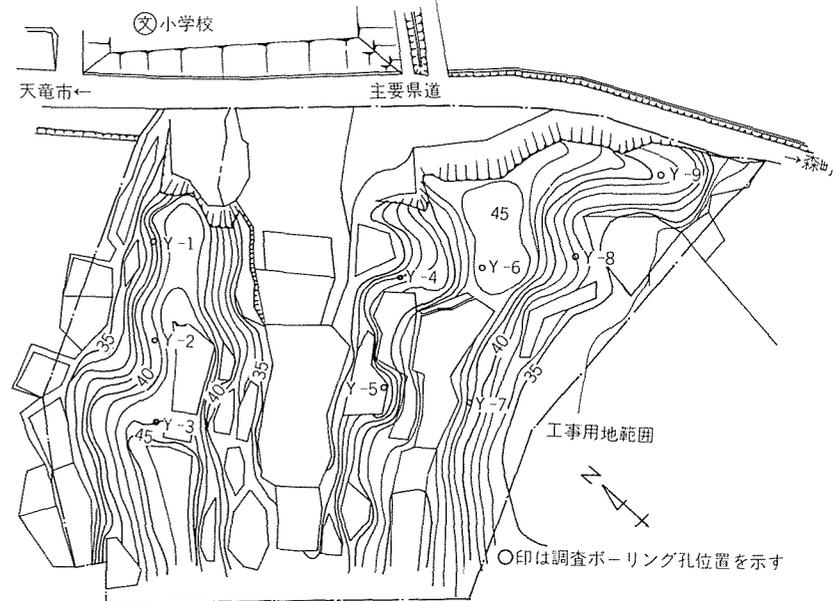


図-9 粘土精製・グラウトプラント全体配置図

一色地点調査ボーリング孔位置平面



谷中地点調査ボーリング孔位置平面



グラウト粘土採取地位置平面



孔名	採取深さ (m)	色調	地分類	対等時 含水比 (%)	比率	アツターベルク限界			粒径分析(通過百分率)			有機物 含有量 (%)	PIH
						L.L. (%)	P.L. (%)	P.I. (%)	2000μ (%)	75μ (%)	15μ (%)		
I-1	2.2-2.6	黄褐色	CH	45.8	2.77	72.5	34.0	43.5	100	98	39	2.06	5.9
	2.6-3.6	黄褐色	MH	43.6	*	64.5	22.3	32.7	100	93	21	3.09	6.8
	3.6-4.0	黄褐色	CH	29.3	*	56.5	29.5	27.0	98	72	14	4.71	5.9
	4.0-4.7	黄褐色	SM	17.5	*	54.0	36.3	17.7	85	43	8	3.68	6.4
I-2	11.5-12.0	暗褐色	SM	24.5	*	35.4	21.3	11.0	100	48	8	2.36	4.7
	12.0-13.0	黄褐色	-	20.3	*	24.8	-	-	-	39	8	1.77	6.9
	13.0-14.0	黄褐色	-	24.1	*	27.5	-	-	-	30	7	1.77	6.6
	15.3-16.5	黄褐色	MH	37.3	*	64.0	34.4	30.2	*	94	29.5	3.33	5.7
I-3	18.0-23.0	灰白色	MH	57.2	*	64.0	34.4	30.2	*	94	29.5	3.33	5.7
	18.7-18.9	赤褐色	CL	25.0	*	41.2	18.1	23.1	*	97	18	4.42	7.3
	18.9-19.8	暗褐色	CL	26.2	*	27.8	20.7	7.1	*	89	16	2.60	7.0
	19.8-23.0	暗褐色	MH	55.3	*	71.0	41.0	30.0	*	96	25.5	3.39	5.7
I-4	23.0-24.0	黄褐色	-	34.6	*	-	-	-	-	16	7	2.65	8.3
	24.0-28.3	暗褐色	MH	55.3	*	71.0	41.0	30.0	*	96	25.5	3.39	5.7
	19.0-19.5	黄褐色	CL	24.3	*	42.0	21.8	20.2	*	94	23.5	0.99	6.7
	19.5-21.0	黄褐色	CH	24.2	*	58.5	23.5	27.0	*	95	21	1.77	7.4
I-5	21.0-26.5	暗褐色	CH	54.5	*	70.8	27.5	43.3	*	98	25	4.71	5.9
	28.5-30.5	暗褐色	CL	22.9	*	35.5	18.3	17.2	*	58	17	1.77	4.8
	30.5-32.0	暗褐色	CH	55.6	*	81.5	31.7	49.8	*	98	31.5	2.50	6.4
	4.0-4.5	黄褐色	CH	57.0	*	76.1	34.7	41.4	*	96	30.5	2.65	4.4
I-6	4.5-9.0	黄褐色	MH	73.9	*	66.9	33.7	33.2	*	94	29.5	3.88	6.1
	9.0-15.0	黄褐色	CH	41.3	*	47.1	-	-	*	70	20	0.74	5.6
	3.5-4.5	黄褐色	CH	30.7	*	55.5	25.0	30.5	*	96	22	0.48	6.1
	4.5-5.0	黄褐色	CH	30.7	*	59.8	24.4	35.4	*	98.5	30	2.36	5.9
I-7	5.0-6.3	暗褐色	CL	26.7	*	38.0	23.9	14.1	*	90	15	2.21	6.2
	6.3-8.0	暗褐色	-	30.9	*	21.7	-	-	*	43	15	1.62	7.3
	8.0-13.0	黄褐色	CH	49.1	*	66.5	26.4	40.1	*	99	38	4.71	6.2
	13.0-20.0	黄褐色	MH	63.5	*	63.9	31.7	32.2	*	99	41	4.12	6.0
I-8	3.0-4.7	黄褐色	CH	33.4	*	47.1	25.1	42.4	*	70	20	0.74	5.6
	4.7-14.4	暗褐色	MH	49.3	*	62.7	49.3	36.8	*	96	33	3.31	5.6
	14.4-15.0	黄褐色	CL	64.7	*	34.9	16.2	18.7	*	98	30	3.39	4.2
	0.6-1.0	黄褐色	CH	44.8	*	57.0	23.6	33.4	*	90	32	2.41	4.7
I-8	1.0-3.5	黄褐色	CH	33.8	*	58.7	23.2	35.5	*	95	17	0.17	5.8
	3.5-5.0	茶褐色	MH	34.6	*	64.4	36.6	27.8	*	96	16	1.37	5.6
	5.0-15.0	暗褐色	CH	53.0	*	69.0	28.5	40.5	*	99	29.5	1.89	5.7

孔名	採取深さ (m)	色調	地分類	対等時 含水比 (%)	比率	アツターベルク限界			粒径分析(通過百分率)			有機物 含有量 (%)	PIH	
						L.L. (%)	P.L. (%)	P.I. (%)	2000μ (%)	75μ (%)	15μ (%)			
Y-1	0.5-1.5	茶褐色	CL	19.6	*	2.719	46.9	22.1	24.8	100	93	18	0.50	6.0
	1.5-5.0	黄褐色	CL	23.3	2.694	44.8	24.8	20.0	*	93	14.5	1.64	5.6	
	0.5-1.6	茶褐色	CH	20.7	2.719	53.6	24.7	28.9	*	93	18	0.50	6.0	
Y-2	1.6-6.3	黄褐色	ML	37.1	2.694	42.1	27.5	14.6	*	90	11	1.72	5.7	
	6.5-8.0	黄褐色	CL	25.6	2.694	48.2	23.4	24.8	*	90	11	1.72	5.7	
	0.5-1.8	茶褐色	ML	27.3	2.719	45.6	29.9	15.7	*	93	18	0.50	6.0	
Y-3	1.8-10.0	黄褐色	ML	24.7	2.694	38.2	25.2	13.0	*	88	11	1.62	5.5	
	0.5-1.7	茶褐色	CL	26.0	2.670	46.1	27.3	20.8	*	84	11	0.37	6.0	
	1.7-2.7	黄褐色	ML	24.3	2.610	41.2	31.0	10.2	*	90	11	1.36	4.7	
Y-4	2.9-3.8	黄褐色	CL	23.2	2.610	46.3	32.1	24.2	*	90	11	1.32	4.7	
	0.6-2.1	茶褐色	ML	25.6	2.670	43.4	27.2	16.3	*	84	11	0.37	6.0	
	2.1-4.0	黄褐色	ML	25.7	2.610	42.2	28.6	13.7	*	90	15	1.46	5.4	
Y-5	0.8-1.5	茶褐色	MH	23.6	2.720	62.6	32.0	20.6	*	84	11	0.37	6.0	
	1.5-4.5	黄褐色	CL	28.3	2.610	43.6	22.0	21.6	*	90	9	0.95	5.7	
	4.7-11.0	黄褐色	CL	23.6	2.610	43.1	24.1	19.0	*	88.8	12	0.30	5.9	
Y-6	0.5-1.0	黄褐色	CL	28.5	2.641	58.6	27.4	31.2	*	97	9	0.87	5.7	
	1.0-4.0	黄褐色	CH	28.5	2.610	51.2	25.8	28.4	*	96	3	1.23	4.4	
	0.8-1.8	茶褐色	ML	20.6	2.720	42.4	26.4	16.0	*	88	9	0.50	5.0	
Y-7	1.8-7.0	黄褐色	CL	18.3	2.729	49.0	26.4	22.6	*	96	7	1.64	5.6	
	0.5-3.0	茶褐色	ML	23.3	2.670	47.0	28.7	18.3	*	88	13	0.37	5.4	
	3.0-5.8	黄褐色	ML	22.6	2.729	42.4	26.7	15.7	*	90	14	1.66	5.0	
Y-9	6.0-8.8	黄褐色	CL	24.1	2.729	41.6	21.3	20.9	*	76.8	17	0.33	5.0	
	9.1-10.0	黄褐色	CL	25.1	2.729	44.6	23.7	20.9	*	90	14	0.66	5.0	

図-10 グラウト用粘土試験結果

## § 4 . 粘土スラリー及びグラウトの品質管理

### 4-1 粘土スラリーの品質管理

原粘土のボーリング調査結果を図-10に示す。粘土スラリーの管理基準値を表-3に、品質管理試験の要領を表-4に示す。表-4の要領により行った品質管理実績を以下に記す。

#### (1)粘土の比重

粘土粒子の比重は原粘土，粘土スラリー共大差なく以下の通りであった。

粗粒粘土  $\gamma_y = 2.71 \sim 2.75$  (平均2.73)

細粒粘土  $\gamma_i = 2.75 \sim 2.79$  (平均2.77)

表-3 粘土スラリーの管理基準

	粘土粒子の通過百分率 (%)					液性限界 (%)	スラリーの比重(t/m <sup>3</sup> )
	0.420	0.250	0.105	0.074	0.001		
粗粒	99以上	98以上	95以上	90以上	15~25	45以上	1.28以上
細粒	99以上	99以上	98以上	95以上	35~45	55以上	1.11以上

表-4 粘土スラリー試験要領

試料の種類	試験項目	試料採取場所	試験回数	試験方法
原粘土	74 $\mu$ 通過分	トラック又は採取場	2回/日	74 $\mu$ ふるい洗い
粘土スラリー	"	サイクロン出口	2 "	"
"	粒度分析	スラリータンク	スラリータンクごと	JIS・A1204
"	塑性指数	"	"	JIS・A1205 JIS・A1206
"	粘土の比重	"	"	JIS・A1202
"	液比重	"	"	マッドバランス
"	保存試料	"	"	PHその他

#### (2)原粘土及び粘土スラリーの粒度分布

図-11に粗粒粘土の粒度範囲を、図-12に細粒粘土の粒度範囲を示す。

#### (3)原粘土及び粘土スラリーの74 $\mu$ 通過率

図-13に原粘土，スラリーの74 $\mu$ 通過率の月平均値を示す。図で見て分かるように、細粒スラリー基準値(95%)，粗粒スラリー基準値(90%)をほぼ満足している。(表-3)

#### (4)粘土スラリーの液比重

図-14に粘土スラリーの液比重の月平均値を示す。図で明らかなように、粗粒，細粒共バラツキは少なく，管理基準値をほぼ満足している。

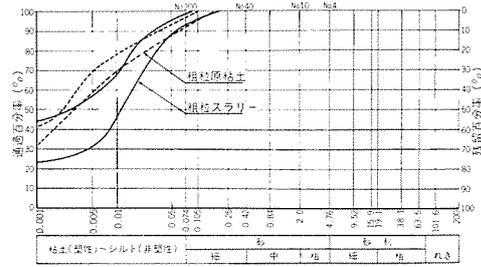


図-11 粗粒粘土の粒度範囲

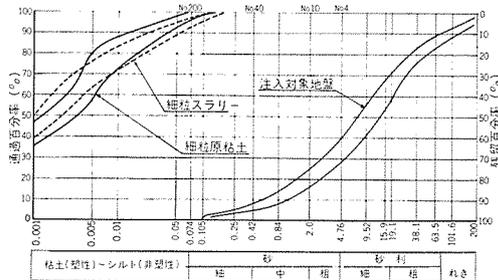


図-12 細粒粘土の粒度範囲

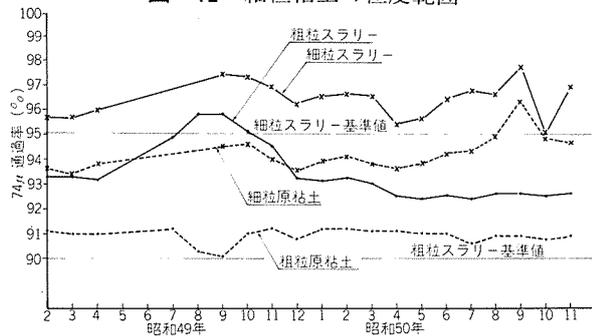


図-13 原粘土及び粘土スラリーの74 $\mu$ 通過率

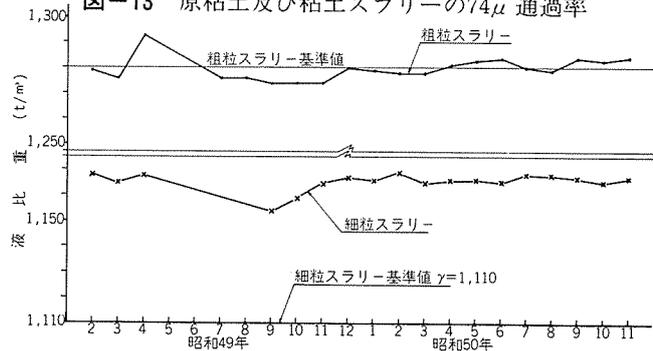


図-14 粘土スラリーの液比重

### 4-2 グラウトの品質管理

#### (1)グラウトの配合

表-5に示方配合を、表-6に現場配合(1 m<sup>3</sup>当り)を示す。

#### (2)品質管理基準

表-7に管理基準値を、表-8に試験要領を示す。

#### (3)品質管理実績

##### (a)グラウトの液比重

図-15に液比重月平均値を示す。全体としては

表-5 グラウトの配合 (ホ方配合)

グラウトの種類	グラウトの配合
粗粒グラウト	G/W=0.70 C/S=0.30
細粒グラウト	G/W=0.20 C/S=0.05 水ガラス/S=0.0075 苛性ソーダ/S=0.005

ただし、W：水の重量  
G：グラウトに含まれるセメントと粘土の重量  
S：グラウトに含まれる粘土の重量  
C：グラウトに含まれるセメントの重量

表-6 グラウトの配合 (1m当り現場配合)

材 料	粗 粒 グ ラ ウ ト			細 粒 グ ラ ウ ト		
	重 量 (kg)	重量比率 (%)	容積比率 (%)	重 量 (kg)	重量比率 (%)	容積比率 (%)
※乾燥粘土	429	31.5	15.7	180	16.1	6.5
※ 水	800.8	58.9	80.1	929	82.9	92.9
セメント	130	9.6	4.2	9	0.8	0.28
水 ガ ラ ス	—	—	—	1.34	0.12	0.10
苛性ソーダ	—	—	—	0.89	0.08	0.03
	計 1360kg			計 1120kg		
※※ 粘土スラリー	958ℓ	液比重1.283 粒子比重2.729		697ℓ	液比重1.165 粒子比重2.771	
※※追加水量	—	—	—	297ℓ	—	—

表-7 グラウトの管理基準値

グラウトの種類	比 重 (t/m <sup>3</sup> )	フリージング率 (%)	プレバクトフロー (秒)	粘性係数
粗粒グラウト	1.363±0.015	5以下	11±2	別 途
細粒グラウト	1.120±0.006	5以下	9±2	"

表-8 グラウトの試験要領

試験項目	試料採取場所	試験回数	試験方法
比 重	ミキサ又はアジテータ	1回/20~40バッチ	マッドバランス
フリージング率	"	1回/日	メスシリンダー
プレバクトフロー	"	1回/20~40バッチ	プレバクトコーン
粘 性 係 数	"	1回/日	V・Gメーター
ゲルタイム	"	1回/日	ピーカー法
グラウト温度	"	1回/20~40バッチ	温度計

多少バラツキはあるが、問題となる程ではなかった。細粒グラウトの液比重が全体的に大きい、計量ビンへ残留するセメントを見込んで多少多目

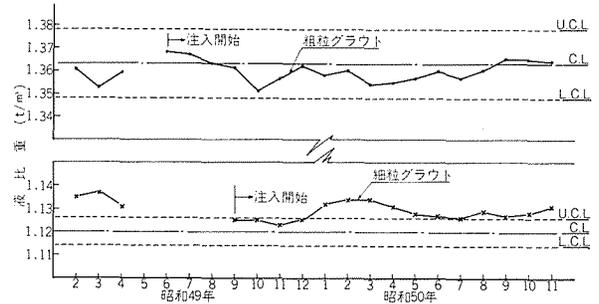


図-15 グラウトの液比重 (t/m<sup>3</sup>)

にしたためである。

(b)フリージング率

図-16にフリージング率の月平均値を示す。細粒グラウトのフリージング率が大きい。特に7月から10月の間に大きな山ができた原因としては、この間の原粘土、スラリー共pHが3~6の酸性(通常は7.5~9.5)となったため(原因は不明)、グラウト中のセメントの効果が薄められたものと思われる。細粒グラウト中のセメント量を2倍(%)にしてフリージング率を改善した。

(c)プレバクトフロー

図-17にプレバクトフローの月平均値を示す。多少のバラツキはあるが、管理基準値に十分入っている。

(d)粘性

V Gメーターによる測定結果を表-9に示す。

(e)ゲルタイム

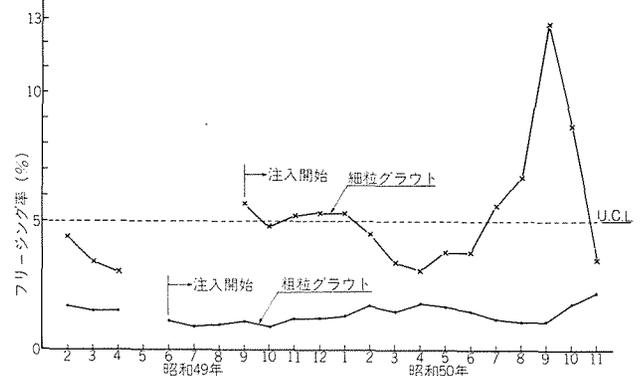


図-16 グラウトのフリージング率

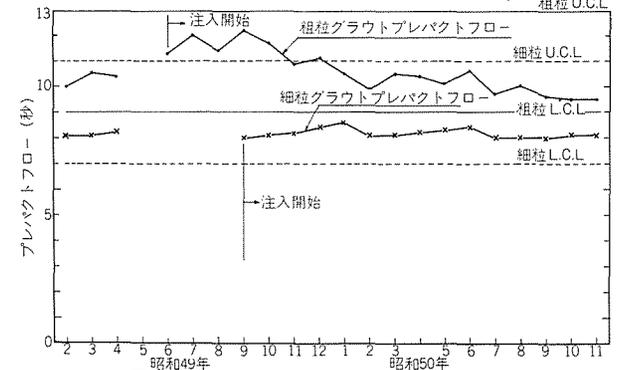


図-17 グラウトのプレバクトフロー

表-9 グラウトの粘性

	粗粒グラウト	細粒グラウト
見掛け粘性(A・V)	42~57(平均48.5) C. P.	10~15(平均13.4) C. P.
プラスチック粘性(P・V)	9~12(平均10.7) C. P.	6~8(平均6.7) C. P.
イールドバリュウ(Y・V)	65~95(平均75.7) lb/100ft <sup>2</sup>	9~17(平均13.4) lb/100ft <sup>2</sup>
ゲルストレングス(30秒G・S)	22~32(平均26.3) lb/100ft <sup>2</sup>	7~11(平均9.4) lb/100ft <sup>2</sup>

ゲルタイムは粗粒グラウトで40分~1時間半(平均55分)、細粒グラウトで13時間半~18時間(平均16時間半)とかなりのバラツキがある。これはグラウトの温度変化によるものが大きいと思われるが、それ以外では、セメントの計量誤差、放出誤差によるバラツキも多いと思われる。

### § 5. 穿孔

穿孔配置及び断面は図-5、図-6に示してあるが、穿孔深度については、押え盛土部(土質しゃ水壁、EL45.0~50.0)を除きA列、D列は10m、ただし10m未満で岩着する場合は岩着迄であり、B列は岩着よりさらに3mをインナービットのみで岩盤穿孔を行う。C列については岩着迄である。

なお押え盛土部(EL45.0以上)は土質しゃ水壁となるため、この層をみださないよう原則として無水掘りを行い、やむをえず水を使用する場合には使用水量、水压をできるだけおさえるように施工した。

粘土グラウトの全体工事としては昼夜施工を行ったが、

オーバーバーテンドリルによる穿孔はかなりの騒音を伴うため、夜間の穿孔工事は中止した。

穿孔に使用した主な機械及び設備を表-10に、穿孔工

表-10 穿孔に使用した主な機械及び設備

名称	仕様・型式	台数	摘要
オーバーバーテンドリル(O.D機)	φ3½'及びφ5½'	BBE-57型	2台
		BBE-53型	1台
コンプレッサー	127.5KW,3300V,北越PMS-125S	2台	
グラウトポンプ	NAS-850 NAS-500	1台	
		1台	
鋼製水槽	1m <sup>3</sup>	2基	
給水ポンプ	水中ポンプ φ6"	1台	透水試験、雑用水にも兼用

事の稼働率、能率等を表-11に示す。表中の能率A、B、Cは次の意味である。

能率A = 穿孔長 / 実穿孔時間

能率B = 穿孔長 / (実穿孔 + 故障 + 段取その他)時間

能率C = 穿孔長 / 合計時間

### § 6. 孔壁グラウト

#### 6-1 孔壁グラウトの手順

図-7-a、b、cに示した如く、注入孔の穿孔完了後、OD機のケーシングを残してインナーロッドを引抜き、ゴムホースを孔底までおろしケーシング内に孔壁グラウト(ゲイン)を満たす。スリーブパイプを建込み、

表-11 穿孔所要時間比率及び能率

孔の種別	深度の範囲(m)	平均深度(m)	所要時間の比率(%)				能率(m/時間)			孔数(本)
			実穿孔	故障	段取・その他	スリーブパイプ孔壁グラウト	A	B	C	
A・D列	8.5~15.0	14.69	38.8	2.8	30.0	28.4	11.07	6.00	4.29	小計269
B列	0~20	14.08	47.4	0	25.9	26.7	4.33	2.80	2.05	9
	20~40	33.99	59.4	3.1	15.6	21.9	7.09	5.39	4.21	32
	40~50	43.70	58.5	2.4	16.1	23.0	5.84	4.43	3.42	23
	50~65	60.78	69.4	3.2	12.0	15.4	3.63	2.98	2.52	73
	B列平均	48.59	66.4	3.0	13.2	17.4	4.22	3.39	2.80	小計137
C列	0~20	16.75	56.3	0	22.8	20.9	6.02	4.28	3.39	4
	20~40	32.18	57.7	1.9	18.3	22.1	8.34	6.18	4.81	40
	40~50	45.31	60.1	1.0	12.5	26.4	5.89	4.81	3.54	16
	50~65	58.17	70.8	1.6	9.5	18.1	3.79	3.27	2.68	71
	C列平均	47.39	66.9	1.6	11.5	20.0	4.71	3.94	3.15	小計131
合計の平均		31.22	61.8	2.4	15.5	20.3	10.22	3.99	3.18	計537

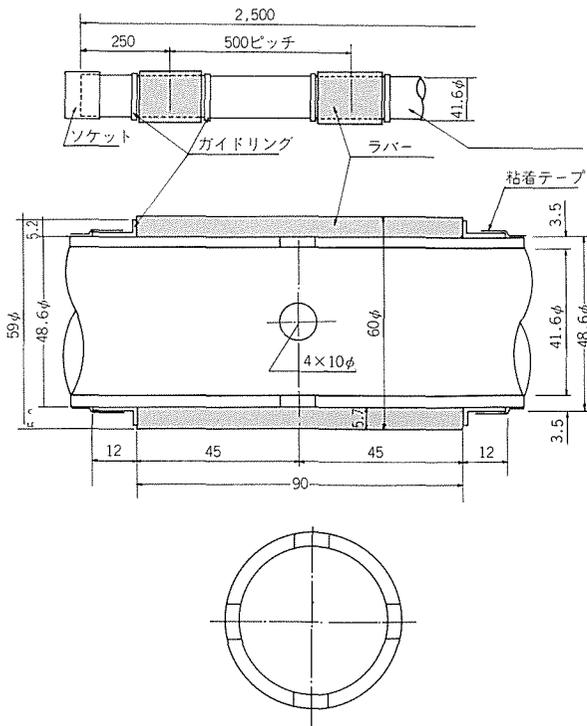


図-18 スリーブパイプ詳細図

ケーシングを徐々に引き抜き、補充しながら最終的にゲイン天端を地表面と等しくする。

6-2 スリーブパイプ

スリーブパイプは孔壁グラウトの水割り及び粘土グラウト注入において重要な役割りをはたすが、その構造を図-18に示す。

6-3 孔壁グラウトプラント

プラントは注入現場近くに設置したが、主な機械は、グラウトポンプMG-5(3.75KW)、グラウトミキサーLM-250(2.2KW, 200ℓ)を使用した。細粒スラリーをグラウトプラントよりゲインプラント迄圧送し、ゲインプラントで水とセメント(袋詰)を加えミキサーで混合し、グラウトポンプで注入孔へ圧送した。

6-4 孔壁グラウトの使用実績

設計使用量は $V_0=127.6m^3$ 、使用実績は $V=440.5m^3$ で、設計使用量に対する比率は345%であった。この数値より逆算すると、孔壁グラウトの平均浸透距離は、周辺地盤の空隙率を30%と仮定すると、約23cmとなる。

6-5 孔壁グラウトの品質管理

孔壁グラウトの標準配合を表-12に、品質管理基準値を表-13に、品質管理試験要領を表-14に示す。管理実

表-12 孔壁グラウト配合

材 料	重 量 (kg)	重量比率 (%)	容積比率 (%)
乾燥粘土	210	14.2	7.6
セメント	530	35.9	16.7
水	757	49.9	75.7
計	1,478	—	—
粘土スラリー-814ℓ 液比重1.165 粒子比重2.771 追加水量 18.7ℓ G/W=0.98 C/S=2.52			

表-13 孔壁グラウトの管理基準値

比 重 (t/m <sup>3</sup> )	ブリージング率 (%)	プレバクトフロー (秒)	硬化後の収縮率 (%)	圧縮強度 (σ <sub>14</sub> kg/cm <sup>2</sup> )
1.478±0.020	5以下	14~16	2以下	25±5

表-14 孔壁グラウトの品質試験要領

試験項目	試料採取場所	試験回数	試 験 方 法
1.比 重	ミキサー	1回/日	マッドバランス
2.ブリージング率	"	"	メスシリンダー
3.プレバクトフロー	"	"	プレバクトフローコーン
4.硬化後の収縮	"	"	ブリージング率を利用
5.圧 縮 強 度	"	"	JIS(φ5cm×10cm)

績を図-19、図-20、図-21、図-22に示す。図で分かるようにブリージング率、収縮率を除いて相当大きなバラツキがあるが、この理由としては、ゲインプラントが簡

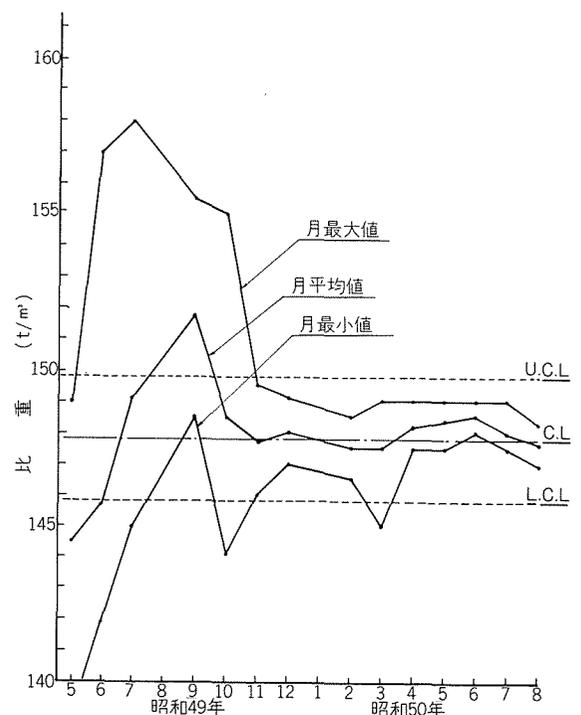


図-19 孔壁グラウトの液比重

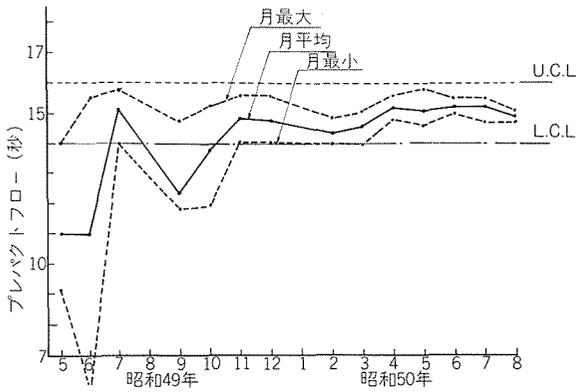


図-20 孔壁グラウトのプレバクトフロー

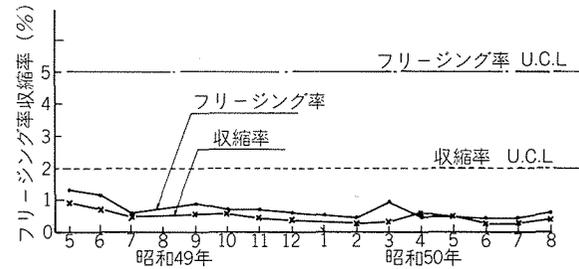


図-21 孔壁グラウトのフリージング率・収縮率

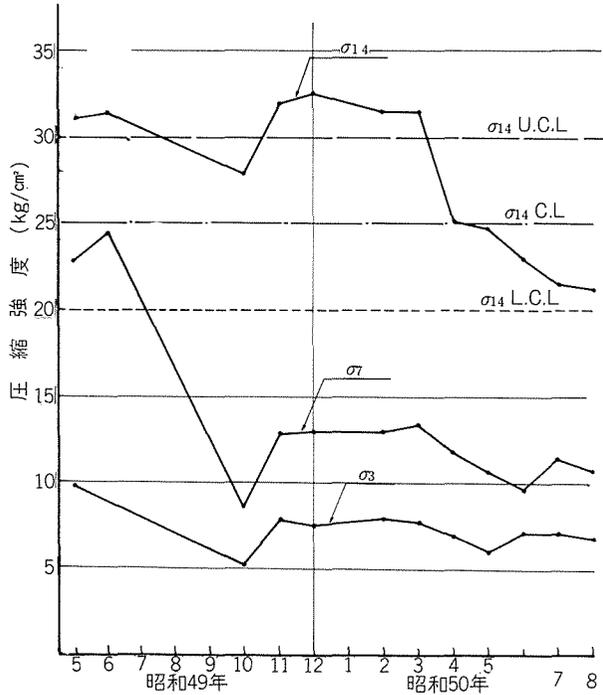


図-22 孔壁グラウトの圧縮強度

易的なもので、計量が不正確であったことと、細粒スラリーの管理が不十分であったことが考えられる。しかしこの程度のバラツキでは実施工上特に問題にはならなかった。

なお図-23に孔壁グラウトの圧縮強度経時変化を示すが、 $\sigma_{14}$ の管理基準値 $25 \pm 5 \text{ kg/cm}^2$ の範囲には十分入っていることが分る。

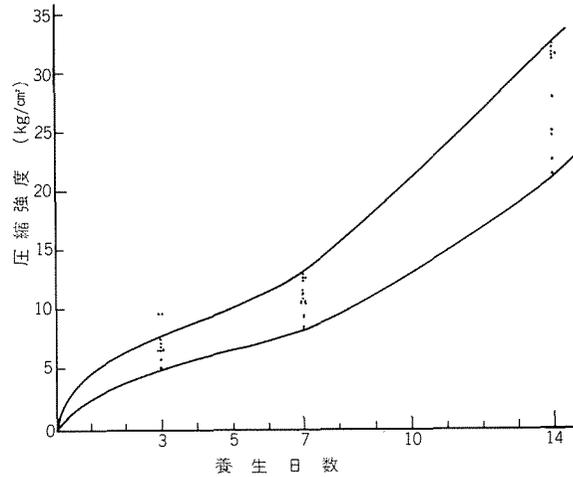


図-23 孔壁グラウトの圧縮強度経時変化

### 6-6 孔壁割り

孔壁割りは孔壁グラウト填充後1~2週間て孔口から孔底に向って各バルブごとに加圧水によって行った。孔壁割りの所要圧力は、周辺地盤の状態、ゲインの配合、養生日数、浸透距離等によって変ると思われるが、原則として $10 \text{ kg/cm}^2$ で行い、 $50 \text{ kg/cm}^2$ の圧力でも割れない場合もあったが、これはバルブの位置が転石等を貫通している場合であると思われ、このバルブは孔壁割りを中止した。

## § 7. 粘土グラウト注入工

グラウト注入孔の配置及び断面は図-5、図-6のとおりである。グラウトはバッチャープラントで所定の配合に混合され、グラウトプラントのポンプで注入現場に圧送される。グラウトの場合、品質管理については§4で述べたので、ここではグラウトの注入作業について記す。

表-15 注入管理表

孔列名	グラウトの種類	注 入 量 ( $\ell$ /バルブ)	最大注入速度( $\ell$ /分)		最大注入圧力 ( $H \times \text{kg/cm}^2$ )
			標 準	その他	
A・D列及び B・C列下部	粗粒グラウト	累計注入量 1,500	35	20	0.8
	細粒グラウト	又は細粒が リヒューズ	30	20, 15	
B・C列上部	粗粒グラウト	累計注入量 3,000	35	20	1.0
	細粒グラウト	又は細粒が リヒューズ	30	20, 15	

ただし、 $H = \text{EL}50.0$ (注入孔天端)からバルブまでの深さ(m)  
B C列の上部、下部の境界はA,D列の孔底の深さ。  
最大注入速度のうち“その他”とは構造物に近接する個所である。

### 7-1 注入管理

グラウトの注入量、注入速度、注入圧等の基準は表-15の通りである。コントロールはすべてグラウトプラントで行い、自記流量・圧力記録計で記録した。注入現場においては、バッカーの上げ下げ、注入圧及びリークの監視を主として行った。

### 7-2 グラウトの注入順序

#### (1)平面順序

注入の平面順序は図-6に示すように、上流よりA、B、C、Dの4列の内、外側のA、D列を先行注入し、A、D列注入終了後、内側のB、C列を注入する。ここでいう注入終了とは粗粒あるいは細粒グラウトのいずれか一種類のグラウト注入が終了したことを意味し、注入完了を意味するものではない。従ってA、D列の粗粒グラウトが終了すれば、B、C列の粗粒グラウトを行ってもよい。

#### (2)孔深方向の順序

孔深方向の注入順序は孔口より孔底に向うフォーステップ注入法である。

#### (3)配合別の順序

配合別の注入順序は粗粒グラウトを先行する。

### 7-3 グラウト注入の手順

最初に粗粒グラウトを注入孔のバルブごとに注入し、規定の注入量に達したバルブは注入完了とする。規定量に達しないでリフューズしたバルブは粗粒グラウトを終了とし、ついで細粒グラウトを注入し、粗粒及び細粒グラウトの累計注入量が規定の量に達したバルブ及びリフューズしたバルブは注入完了とする。この場合、同一バルブについて粗粒グラウトと細粒グラウトは継続して行う必要はなく、粗粒グラウト終了区間がある程度先行した後細粒グラウトの注入を行う。先行した粗粒グラウトが固結し、孔壁割りを必要とする場合は、原則として水は使用せず、直接加圧した細粒グラウトで孔壁割りを行う。

なお孔壁割りのできなかったバルブについては、孔深方向に隣接するバルブより補充グラウトを行い、注入完了したバルブでも透水試験の結果によっては、再グラウトを行った。

### 7-4 作業間隔

穿孔作業及び注入作業が同時に行われる場合は作業の繁雑あるいはグラウトの漏洩を避けるため、下記の作業間隔を保持することを原則とした。

#### (1)穿孔作業孔と注入作業孔の間隔

穿孔作業と注入作業を同時に行う場合は、穿孔中もしくは穿孔後孔壁グラウト未充填の孔と注入作業孔との間隔は10m以上とする。

#### (2)注入作業孔間の間隔

注入作業を2孔以上同時に行う場合は、2孔間の距離を5m以上離す。ただし注入バルブの標高差が5m以上あれば、隣接した注入孔でも同時に注入してもよいこととした。

## § 8. 透水試験

グラウト注入の結果を確認するため、注入前、注入後に透水試験を行った。グラウト注入前の透水試験は、止水カーテン沿いに30mピッチに1ヵ所で11ヵ所、注入後

表-16 主要機械と設備

名称	製作会社	型式・仕様	台数	摘要
粘土精製プラント	讃岐鉄工	5 t/h	1 式	図-7.8参照
バッチャープラント	"	10m <sup>3</sup> /h	1 式	"
グラウトプラント				
グラウトポンプ	ヤマト ボーリング	HFV-2A	8 台	
自記記録計	"	FM-150	8 台	
オーババーチンドリル	アトラス	BBE-57 BBE-53	3 台	1台は予備、穿孔
ボーリングマシン	利根 ボーリング	UD-5	2 台	透水試験、孔ザラエ
"	日本 ロングイヤ	L-24	2 台	"
グラウトポンプ	利根 ボーリング	NAS-850	1 台	O.D機給水
"	"	NAS-500	1 台	"
"	鉦研試椎	MG-15	1 台	透水試験・ゲイン測り
"	"	MG-10	1 台	"
"	"	MG-5	1 台	ゲインプラント
モルタルミキサ	"	LM-250	1 台	"
水中ポンプ	ツルミ	KT-75 φ4"	2 台	1台プラント給水 1台洗殿池
"	"	KT-55 φ3"	2 台	1台プラント給水(中間) 1台現場給水
"	"	KN	1 台	予備
"	"	GP-80	1 台	現場排水
"	"	KH-85	2 台	1台現場排水 1台洗殿池
コンプレッサー	北越工業	電動PMS-125S	3 台	1台精製プラント 2台O.D機給気
ドーザショベル	小 松	D60S	1 台	粗粒粘土山
ドーザショベル	"	D30S	1 台	原粘土投入 雑工
バックホウ		0.5m <sup>3</sup>	1 台	細粒粘土山
ダンプトラック		8t	5 台	原粘土運搬
セメントサイロ	住 友	30t	1 基	バッチャープラント
トラック		2t	2 台	雑運搬
仮 建 物				
試験室		6坪	1 式	プラント内
倉庫・休憩室		8坪	1 式	プラント内
"		2坪	3 式	簡易・注入現場
ウイッチ		DF-15	4 台	透水試験

は同じく15mピッチに1カ所で22カ所の計画であったが、注入後の透水試験方法に問題が生じたり、再グラウト、追加グラウト等のため、注入後の透水試験箇所はかなりふえた。

透水試験はストレーナ管を用いた注入法により行い、試験孔長はグラウト注入地域全区間とし、孔深方向の試験間隔は3mとした。グラウト注入後の透水試験はグラウト完了後48時間以降に行った。

透水試験結果によると、透水係数kは

注入前  $k = 5 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$

注入後  $k = 5 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$

であり、所期の目的を達したことがわかる。

また透水試験の他に、直径2.5mの観測立坑を数カ所掘って肉眼で止水効果を確認した。EL30.0(水面下14m)迄開削したが、漏水はなく、グラウトが空隙を埋めた状態が観察された。(写真-17)

### § 9. 使用機械及び設備

護岸カーテングラウトに使用した主な機械及び設備を表-16に示す。

### § 10. おわりに

船明ダム護岸カーテングラウトとして、我国ではじめて大規模な粘土グラウト工法が採用され、所期の目的を達成した。施工現場近くに、所定の品質の原粘土があり、当工事のように施工数量がまとまっている場合は粘土グラウト工法がかなり有利であると思われ、今後種々の利用法が期待される。なお施工に当って気のついたことを以下に列挙する。

- (1) 原粘土の品質(粒度、含水比等)によって、粘土精製の能率が大きな影響を受けるので、原粘土の選定には十分注意する必要がある。

- (2) 粘土スラリーは、同濃度のベントナイトスラリーよりも沈澱しやすいので、貯蔵方法には留意する必要がある。
- (3) 粘土を主体としたグラウトは、セメントに対して敏感であるため、セメントの計量誤差はできるだけ小さくするよう留意すべきである。
- (4) グラウト配合は、粗粒、細粒の2種類であったが、注入対象地盤の条件に応じて、配合の種類を多くした方がよいと思われる。
- (5) 当現場においては、泥水処理は沈澱池で行い、あまり問題にならなかったが、市街地で施工する場合は、泥水処理装置等が必要となる。
- (6) 騒音については、OD機、コンプレッサー以外は大した問題にならない。

#### 参考文献

- (1) 電源開発(株):「船明発電所新設工事土木工事仕様書」
- (2) 磯山泰造:「船明ダム取付部砂礫層基礎の止水壁の施工について」第9回ダム技術講演討論会テキスト
- (3) 村上省一、遠山奈須男:「船明ダム護岸カーテングラウトの施工について」発電水力、1976年5月号、No.142

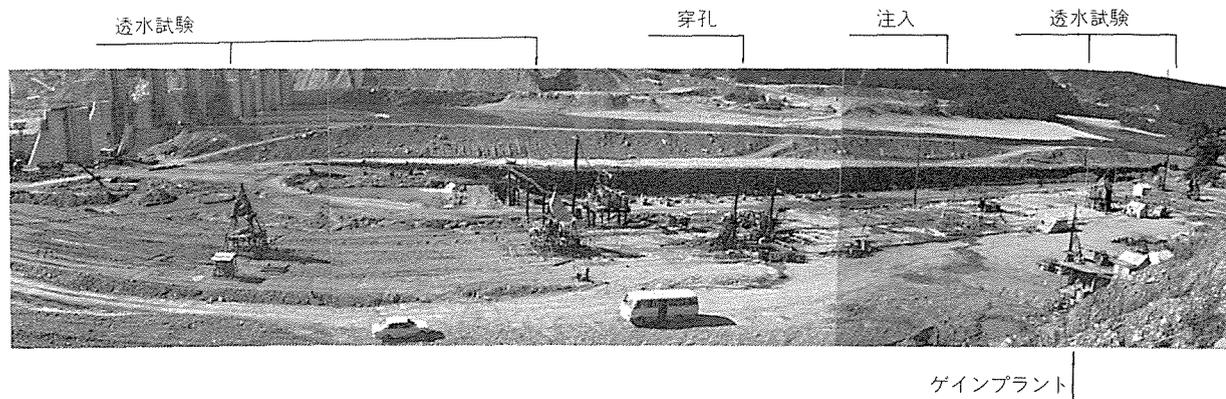


写真-2 注入現場全景

中間タンク スクリーン アトリッションマシン

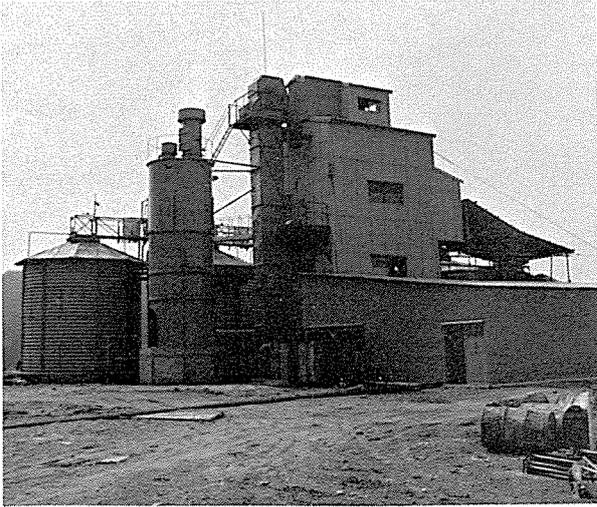


写真-3 プラント全景

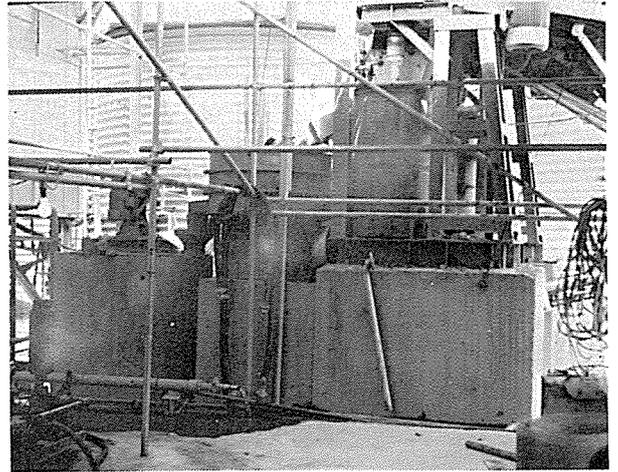


写真-6 精製設備

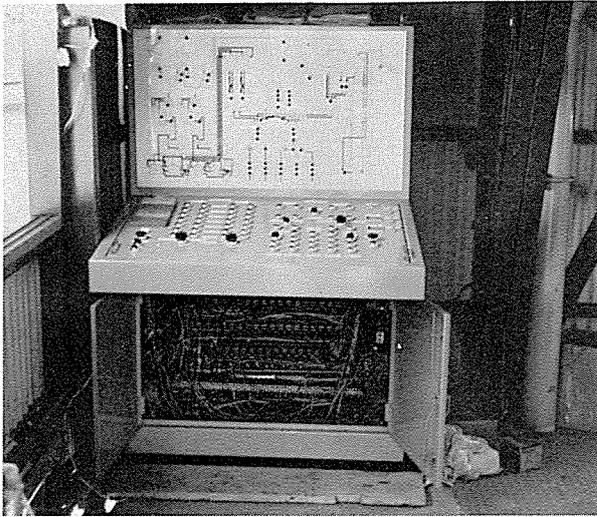


写真-4 プラント操作室

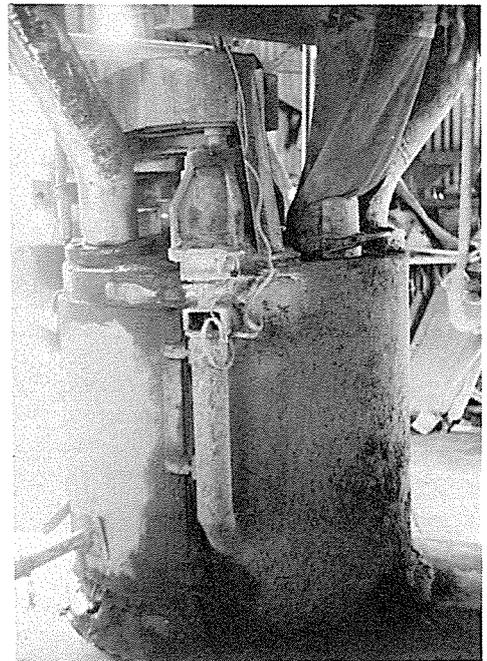


写真-7 ミキサー

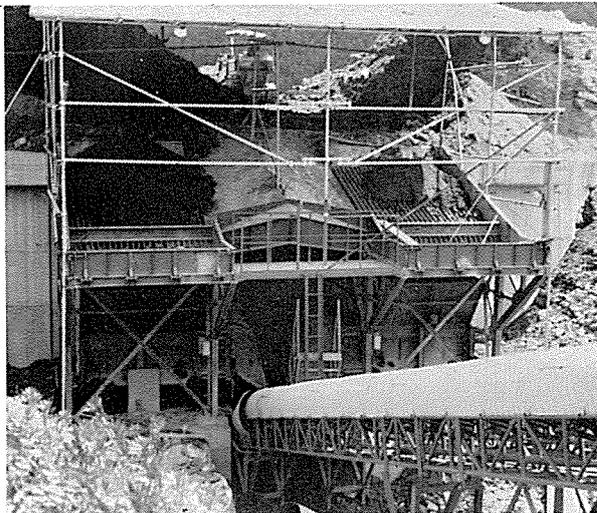


写真-5 グリズリ, エプロンフィーダー

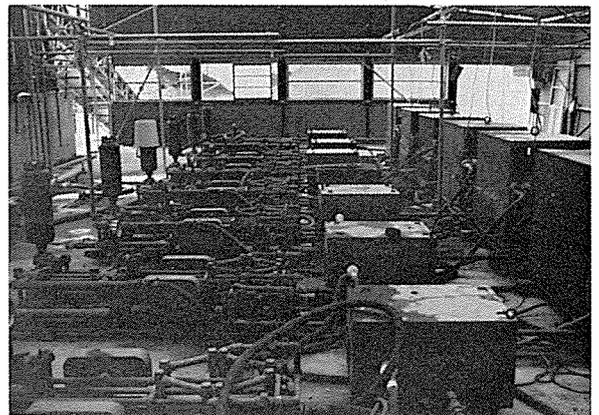


写真-8 グラウトポンプ室

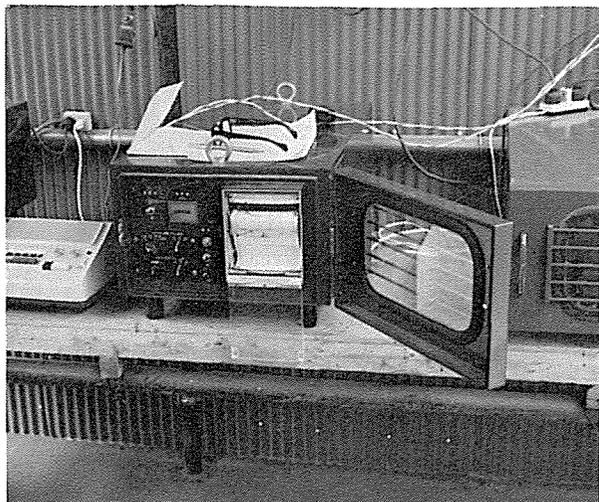


写真-9 自記流量・圧力記録計

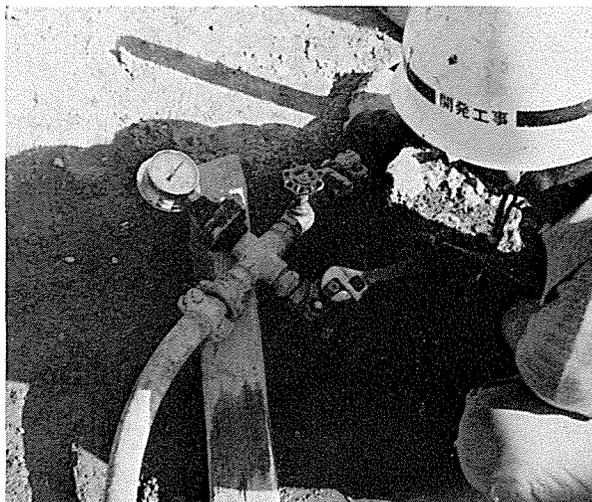


写真-12 孔壁グラウト割り

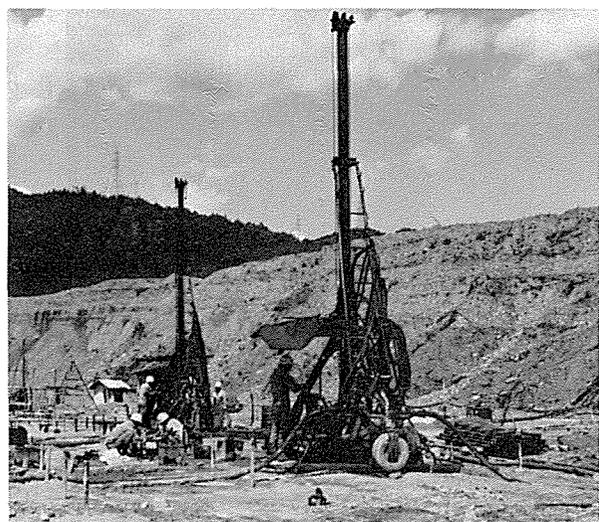


写真-10 穿孔機 (オーバーバードリル)



写真-13 スリーブパイプ

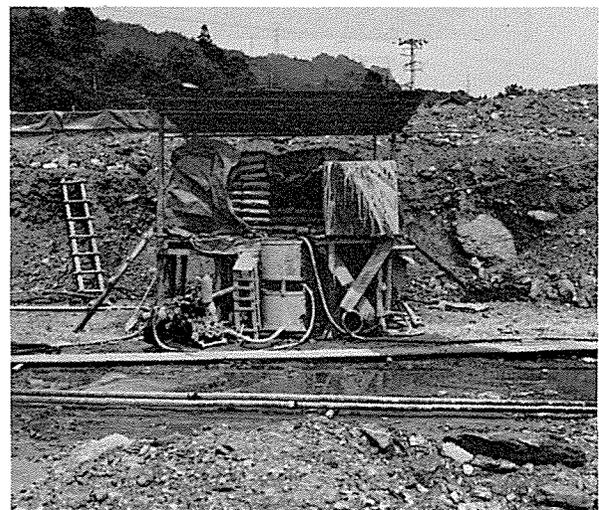


写真-11 孔壁グラウトプラント

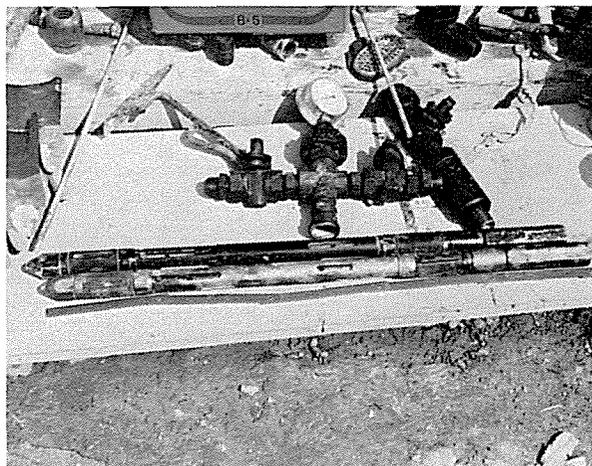


写真-14 パッカー

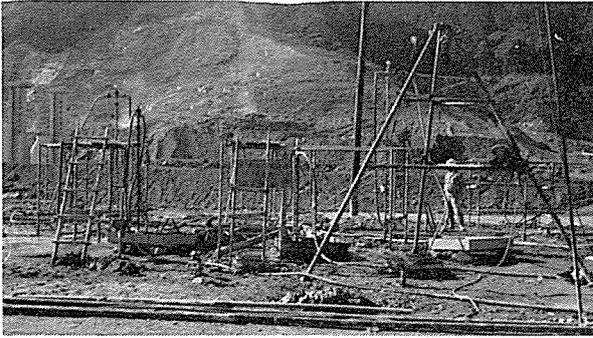


写真-15 注入状況

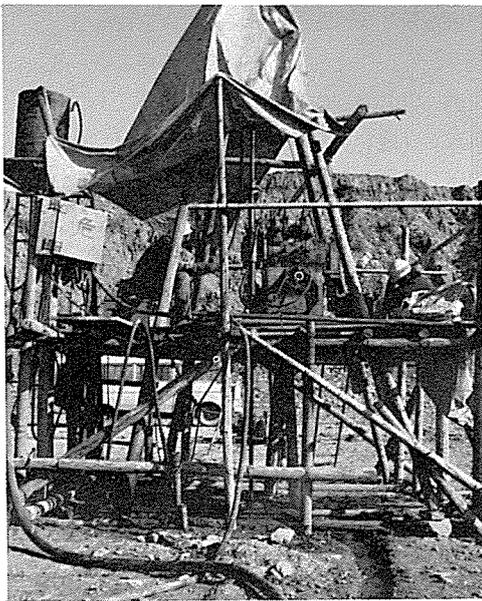


写真-16 透水試験



写真-17 グラウト浸透状態 (GWL-14.0m)