

# ダム用土としての泥岩について

## —三重県企業庁山村ダムの例—

たね 種 村 村 たか 喬 郎\* お 郎\* しろ 城 もと 本 きた 定 ひろ 宏\*\*  
 いそ 磯 がい 貝 ひろ 洋 ひさ 尚\*\*\*

### まえがき

山村ダムは三重県四日市市の東北部 20km に位置する山村町に建設したもので、その主目的は四日市臨海工業地帯に 72 万 m<sup>3</sup>/日 の工業用水を効率的に供給するための調整池である。堤体は軟岩に属する泥岩（固結シルトと呼ぶこともある）と砂の互層よりなる基礎に構築されたフィルダムで、築堤材料の大部分は泥岩を破碎して使用した。

本報告は、ダムサイトの地形、地質の概要と築堤材料としての泥岩の性質およびその処理対策、施工方法などについて紹介する。

### 1. ダムの概要

図-1 に示すとおり本ダムは谷部に構築した本堤部と右岸部地山からの漏水対策を目的としたブランケット部からなる。また、左岸部地山に対しては、地形上、ケミカルグラウトをその漏水対策として行なった。

- 型式 傾斜コア型フィルダム
- 堤高 37 m
- 堤頂長 748.6 m (本堤部 257.1 m, ブランケット部 491.7 m)
- 堤体積 496,150 m<sup>3</sup> (本堤部 391,420 m<sup>3</sup>, ブランケット部 176,730 m<sup>3</sup>)

\* 三重県企業庁 北勢水道事務所 山村ダム出張所所長  
 \*\* 〃 〃 宮川水力調査事務所  
 \*\*\* 日本技研株式会社主任技師

### 2. 地形、地質

池敷は標高 60 m~80 m の洪積台地の浸食谷で、ダム軸より上流約 150 m の地点で東谷および西谷の二つに分かれている。そして東谷の右岸部地山は極度に薄く、満水位 (EL 58.00 m) 付近では 20 m 程度の所もある。また地質は第三紀鮮新世に属する奄芸層群の泥岩、砂質泥岩、砂、砂レキからなっている。ダムの建設計画にあたって地形地質上特に問題となった点は

- ①貯水池を構成する地質が泥岩、砂などの互層よりなりさらに左右の地山部が薄いためこの部分に対する漏水対策が必要である。
- ②本堤基礎には軟弱な粘土層が約 4 m タイ積しているためこれの除去が必要である。また粘土層の下位には、厚さ 1.5 m~3.0 m の泥岩層があるが随所で浸食されており下部の砂層が露出するため工事中の湧水や貯水

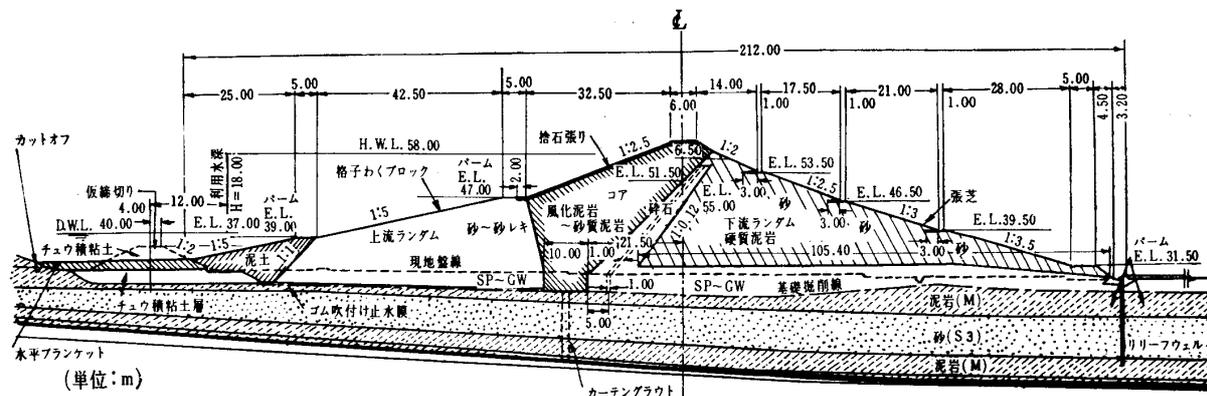
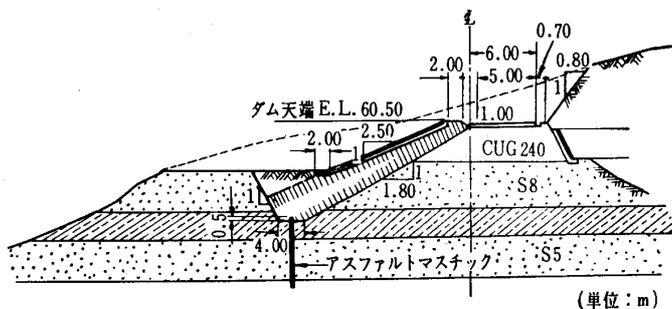


図-1 本堤標準断面図および右岸ブランケット標準断面図

表-1 浄水場掘削土の分類

材 料	採取可能量 (m <sup>3</sup> )	一軸圧縮強度 $q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	泥 岩 材 料 の 肉 眼 観 察
風化~弱風化泥岩	64,000	2~15	地山の状態は良く締まった固結状であるが、掘削により未風化の固結粒子が60~80%程度混入する。
砂質泥岩	130,000	2~8	地山の状態は良く締まった固結状である。手で触れるとさらっとしている。粒子がシルト~細砂程度の大きさに見える。色調は黒色~灰色。固結度弱く容易に破碎できる。
硬質泥岩	205,000	≒ 25	色調は緑色系統、水をかけると表面に光沢が出る。非常に硬く、ハンマーにより砕ける。天日にさらし水をかけると、タマネギ状に風化する。
砂 (SP~SM)	103,000	—	
砂レキ (GW~SW)	10,000	—	

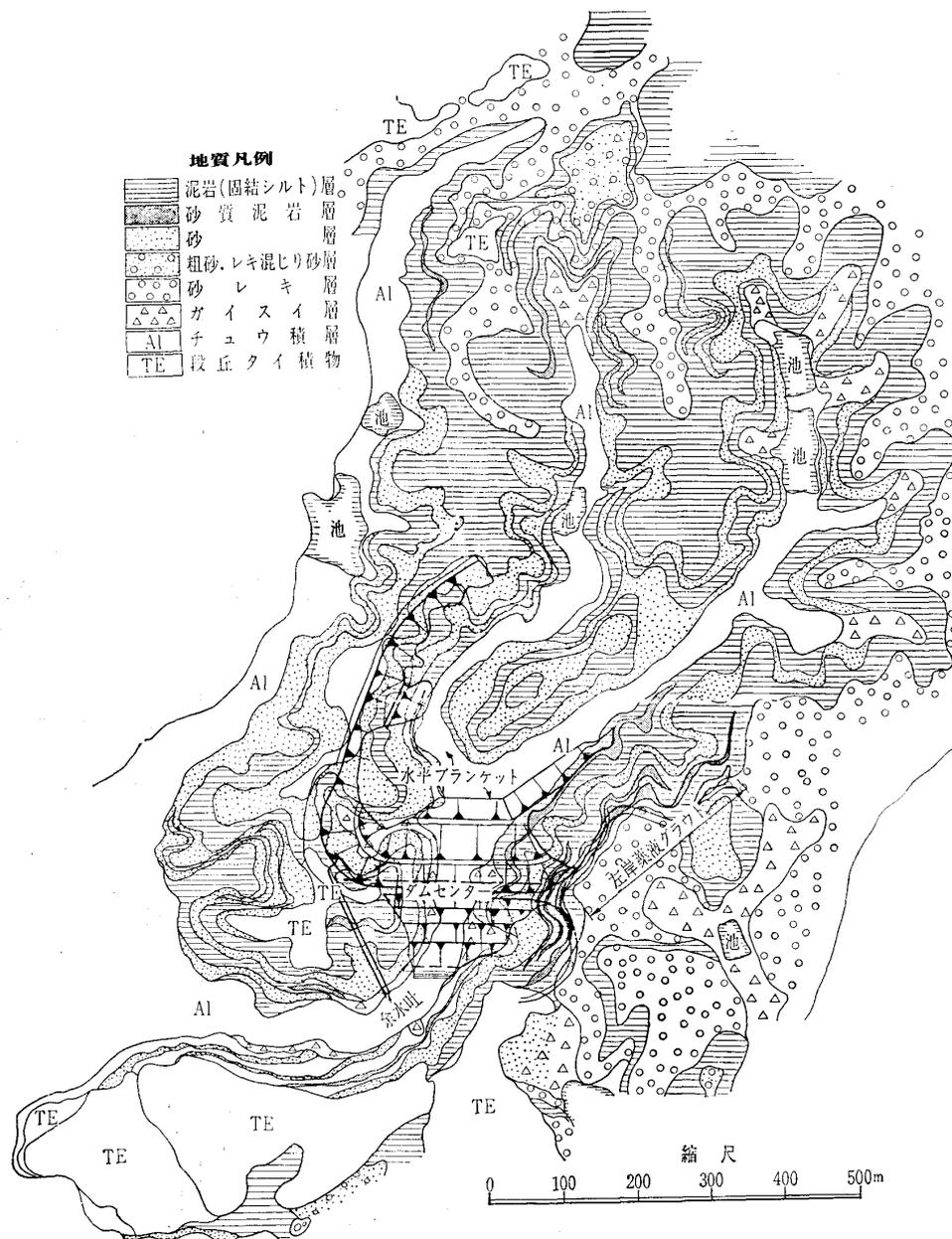


図-2 地質平面図

後の漏水が心配される。

- ③泥岩層下部の砂層は均等係数3程度の均質な半固結状であり、さらにき裂が多く貯水後のパイピングが懸念される。

を助長し、せん断強度の低下をきたし、工学的に好ましくない状態となる。しかしいったん風化した泥岩はこれを十分締め固めることによって、その安定性は逆に向上する。したがって泥岩類を築堤材料として使用する場合は、築堤

などである。図-2にダムサイト付近における透水層(砂層)の分布を示す。

### 3. 築堤材料

#### 3.1 土取場

フィルダムの特徴は何といってもダムサイト近傍の材料を無駄なく有効に利用できることにある。本ダムの場合、ダムサイト上流約1kmの台地に並行して建設する浄水場で敷地造成のため約520,000 m<sup>3</sup>の掘削が必要であるためこれを使用するのが最も経済的である。しかしこの掘削土砂は一般にフィルダムの材料としては好ましくないといわれている泥岩および粒度分布の悪い砂である。そこで多くの土質実験を行なった末に、全面的に使用することにした。なおこれらの材料は肉眼判定より表-1のように分類した。

#### 3.2 泥岩類の工学的性質

地山状態での泥岩は盤状であるからこれが施工段階でどのような粒度分布で採取され、さらに締固めによってどの程度まで変化させうるかが大きな問題である。すなわち、泥岩は地山状態での安定性は比較的高いがこれを掘削し塊状に分解することによって風化

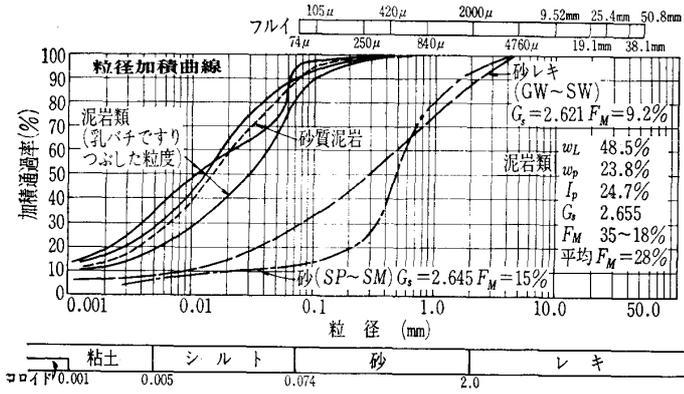


図-3 築堤材料の粒度加積曲線

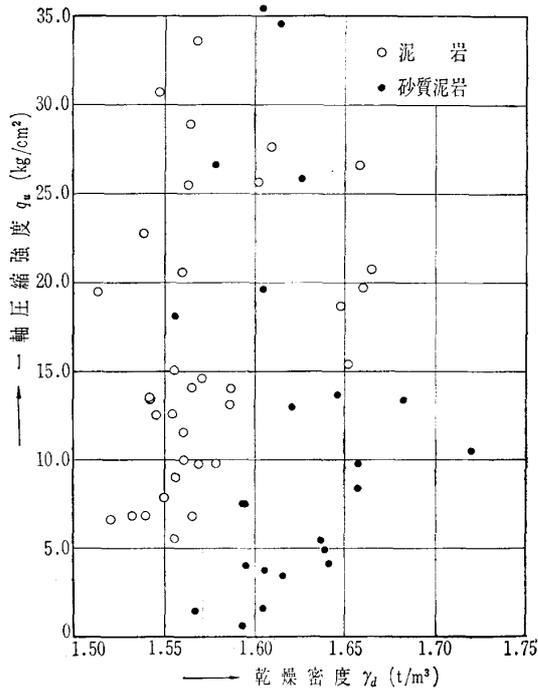


図-4 泥岩の一軸圧縮強度

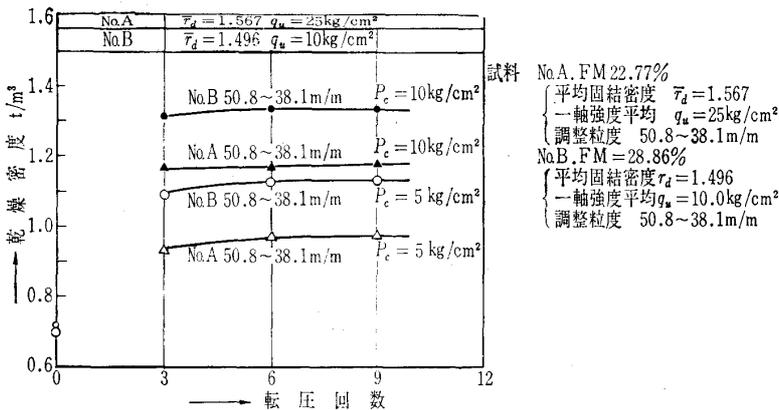


図-5 硬質泥岩の静的締固め試験

前に十分風化させるか、あるいは築堤後の風化を防止するかのいずれかである。そしてこのことは工学的につぎの条件を満たすことである。

- ① 自然状態の密度に対して 95% 以上の盛土密度を確保する。

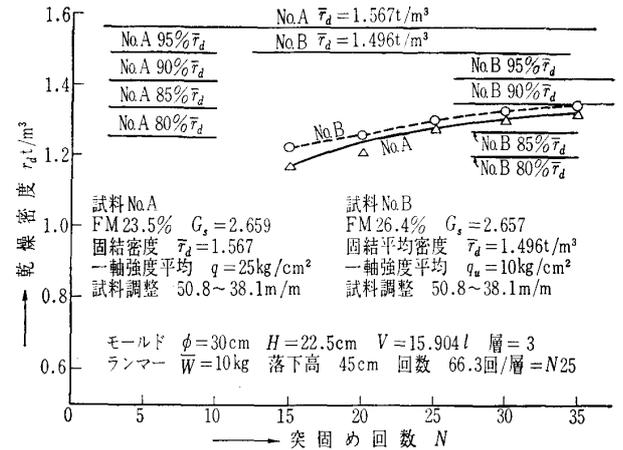


図-6 硬質泥岩の動的締固め試験

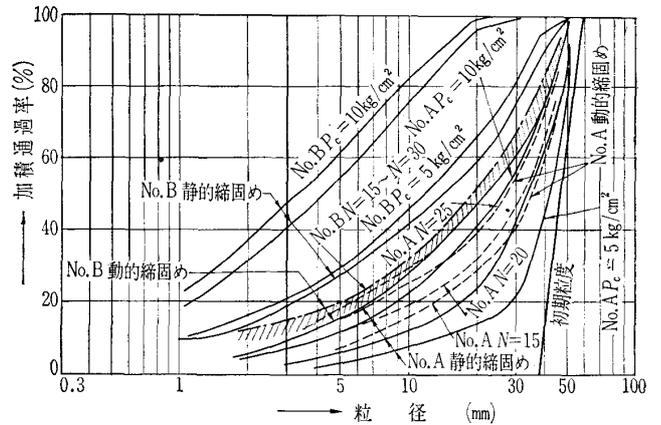


図-7 硬質泥岩の締固め後における粒度分布

- ② ①により透水係数を  $10^{-5}$  cm/sec 以下にする。
- ③ 乾湿を繰り返させないこと。

3.3 室内試験

図-3は築堤材料の粒度加積曲線であり、図中、泥岩は乳バチを用いて細粒化したものを示した。また図-4は泥岩（自然状態）の一軸圧縮強度の分布を示すもので風化の度合によって 2~35 kg/cm<sup>2</sup> の範囲に分布している。また図-5は硬質泥岩 ( $q_u = 25$  kg/cm<sup>2</sup>) について締固め回数と乾燥密度との関係を調べたものである。この試験においては泥岩採取時の最悪粒度を想定し粒径 50.8~38.1 mm の試料を用いるとともに、締固めはタイヤローラー系の転圧機械を想定し2種類の静的圧力による。また、これと対比するため動的圧力を与えた試験も行なった。試験は  $\phi = 30$  cm のモールドを用いさらに動的締固めの場合は10kgランマーで5種類のエネルギーを与えた。なおここで採用した静的圧力および動的エネルギーは実際の施工において、大型転圧機械により与える範囲を対象としたものである。試験結果を図-6に示す。図-7は静的、動的締固めによって生ずる細粒化の程度を比較したものである。図で明らかのように細粒化に関し

ては静的な締固めの方がより効果的である。しかし締固め密度の増加はあまり期待できず、自然状態の密度と比較して80%程度である。このことは締固めエネルギーのほとんどが岩塊の破碎に費やされるものと理解することができる。

一方、せん断強度については試験の結果を乾燥密度と内部摩擦角、粘着力の関係にまとめ、図-8、9に示す。図-8は完成直後時のせん断強度（非圧密、非排水条件によるもの）であり、図-9は完成後のせん断強度（圧密非排水条件によるもの）を示すものである。図から明らかなように完成直後の内部摩擦角はおおむね18°~25°の範囲にあり、完成後は大半が27°~35°になっている。また粘着力についてみると、完成直後時には3 t/m<sup>2</sup>~7 t/m<sup>2</sup>であるが完成後には大半が2 t/m<sup>2</sup>~5 t/m<sup>2</sup>の範囲にある。なお試験はつぎのような方法で行なった。すなわち、風化泥岩については試料の最大粒径を19.1 mmとしてφ=10 cmの三軸試験機を用い、粗粒な硬質泥岩については試料の最大粒径を50.8 mmとし浸水、飽和させたのち30 cm×30 cmの

- × ガイスイ
- 泥岩
- 泥岩
- 泥岩
- △ S P材
- △ S W材
- 砂質土
- 砂質土
- 砂質土
- △ 砂質土

(非圧密・非排水急速せん断試験結果)

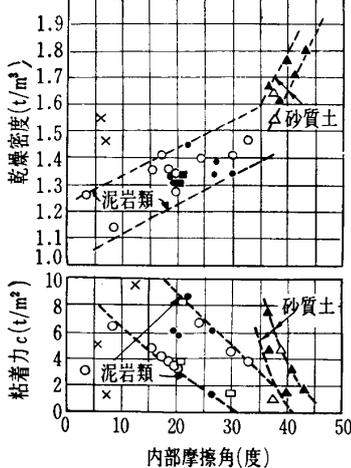


図-8 乾燥密度φ~c

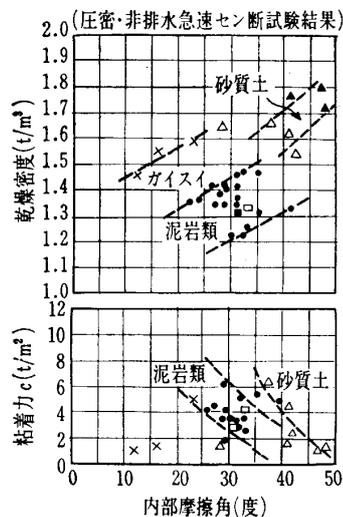


図-9 乾燥密度φ~c

大型一面せん断試験機を使用した。

図-10はレキ率による透水係数の変化を調べたものである。施工現場では盤状の泥岩を人工的に破碎して使用するものであるから、その粒度やレキ率などには相当のバラツキがあると考えなくてはならない。この試験結果から透水係数を1×10<sup>-5</sup> cm/sec以下とするためにはレキ率が50%程度以下でなくてはならないことがわかる。またレキ率が50~60%以上になると透水係数が急激に大きくなりパイピングを起こしやすいことがわかる。

### 3.4 現場盛土試験

室内試験の結果、泥岩の締固め密度、せん断強度、透水係数などの工学的性質は粒度、レキ率、粒度に大きく左右されることがわかった。したがって築堤用土（泥岩）が採取、まき出し、転圧の過程でどのような粒度に

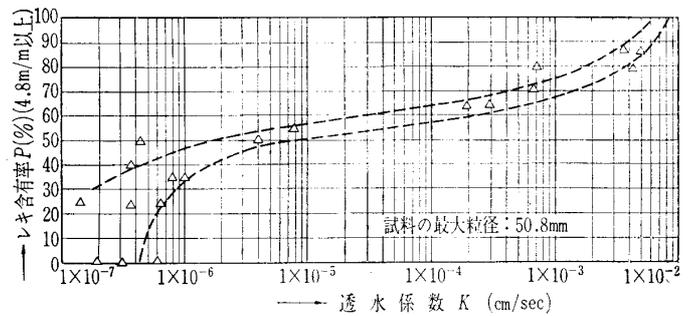


図-10 突固め後レキ率と透水係数

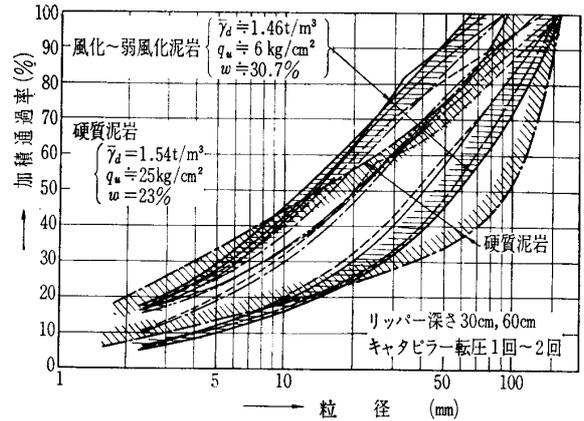


図-11 泥岩の土取場採取粒度

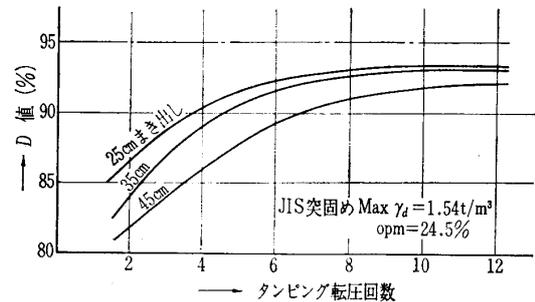


図-12 タンピングローラーによる転圧回数とD値の関係

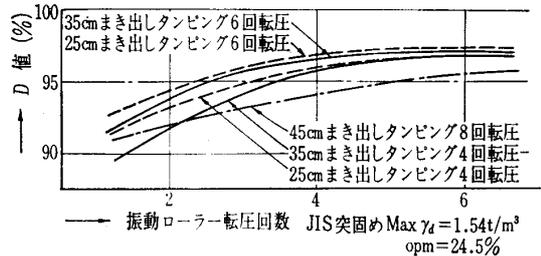


図-13 複合転圧試験結果

なり、性質がどう変化するかを知るため本施工に使用する機種を用いて現場盛土試験を実施した。

#### (1) 泥岩の採取粒度

図-11は一軸圧縮強度  $q_u$  が 25 kg/cm<sup>2</sup> および 10 kg/cm<sup>2</sup> 程度の泥岩盤をリッパ-でかき起こしたときの粒度を調べたものである。試験に使用したリッパ-は2本爪のもので爪の根入れは30 cmと60 cmとし、さらに泥岩の最大粒径を10 cm程度にするためキャタピラ-による破碎を行な

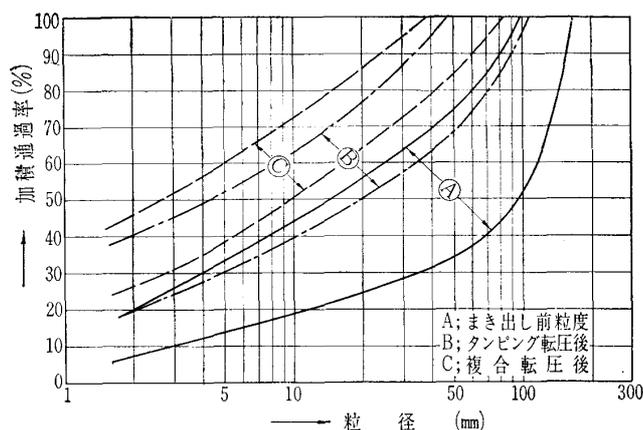


図-14 作業工程に伴う粒度の変化

った。

## (2) 転圧試験

図-11のような粒度で採取された泥岩材料を用いて転圧試験を実施した。なお転圧機械はタンピングローラー（脚長 20 cm, 接地圧 50 kg/cm<sup>2</sup>）と振動ローラー（自重 8 ton, 起振力 32 ton）の 2 種である。

図-12はタンピングローラー転圧による転圧回数と  $D$  値の関係を示すもので、いずれのまき出し厚さ、転圧回数においても  $D$  値は 95% 以下である。

つぎに図-13はタンピングローラー転圧と振動ローラー転圧を複合させた場合の試験結果で、まき出し厚さを 25 cm としタンピング転圧を 6 回行った後に振動ローラーで 4 回転圧した場合には  $D$  値 97~98% が得られた。

以上の試験結果から泥岩類は現場施工の段階でも比較的粒度の良い状態で採取され、また締め密度も自然密度の 95% 以上が得られることがわかった。

## 4. 設 計

### 4.1 ダム型式

風化または弱風化泥岩あるいは砂質泥岩はせん断試験や透水試験結果によると不透水材料としてさしつかえない。しかし固結度の高い硬質泥岩は、機械的に細粒化してもなお、浸水による強度低下の可能性がある。そのため、この種の材料は乾湿の変化が少ない下流部に使用するのが適切と考えられる。また、砂は粘着力が期待できず粒度も悪いため耐震性に欠けることから堤頂付近に使用するのは好ましくない。このため押え盛土用としてノリ先付近に使用する。土取場上部にある砂レキ材は粒度分布もよく、せん断強度も大きい滑動に対して最も効果的な部分（上流側下部）に使用する。

以上のことがらを使用区分の基本的な条件とし、さらに賦存量ならびにブランケットとの取付けを考慮して図-1に示す標準断面を決定した。

### 4.2 設計数値

設計値を決定するにあたって特に注意を要する点はその

材料を現場においてどの程度まで締め固めうるかであり、泥岩材料の場合締め固め度の目標値を自然密度の 95% 以上とした。この値は試験結果によると  $E_c = 5.625 \text{ kg} \cdot \text{cm/cm}^3$  のエネルギーを与えて突き固めた最大密度の 95% とおおむね一致するものであるが現場試験の結果からみて十分可能な値である。しかし泥岩類は表-1 に示したように固結度や構成粒子が異なり、また現場施工においては粒径、粒度などにもバラツキがあるであろうし施工条件も日々変化する。このため設計数値はこれらの不確定要素に対する余裕を見込んだ。

## 5. 盛土の施工

### 5.1 施工基準

泥岩類の盛土はつぎの基準にしたがって行なわれた。

#### (i) コア部

使用材料：風化～弱風化泥岩、もしくは砂質泥岩でまき出し時の最大粒径 100 mm

まき出し厚さ：20 cm 以下

転圧機械：タンピングローラー、脚長 20 cm, 接地圧 50 kg/cm<sup>2</sup> および振動ローラー、自重 7 ton 級

転圧回数：タンピング 4 回転圧の後、振動ローラー 3 回転圧

管理基準

密度： $D$  値  $\geq 95\%$ （ただし突固めエネルギーは  $5.625 \text{ kg} \cdot \text{cm/cm}^3$ ）

透水係数： $k \leq 1 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$

転圧後のレキ含有率：4.8 mm 以上の粗粒分  $\leq 40\%$   
または 19.1 mm 以上の粗粒分  $\leq 20\%$

#### (ii) 下流ランダム部

使用材料：土取場の硬質泥岩およびダム、その他構造物の基礎掘削土砂などでまき出し時の最大粒径 200 mm

まき出し厚さ：25 cm 以下

転圧機械：(i) と同様のタンピングローラー、および振動ローラー（自重 7 ton 級）

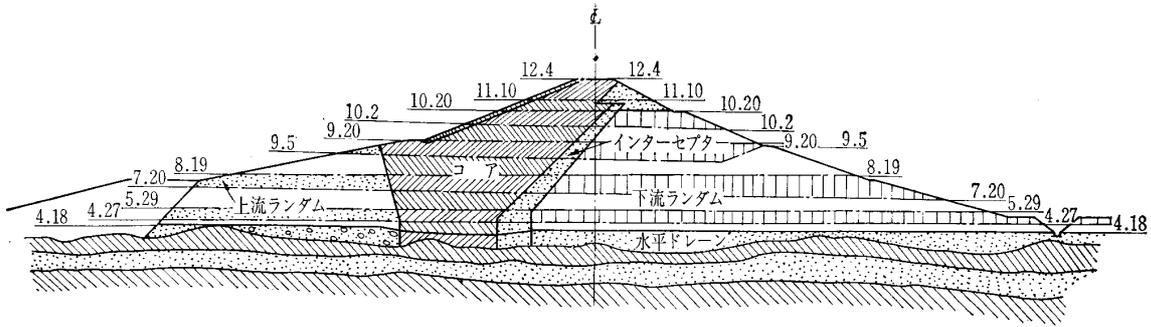
転圧回数：タンピング 4 回転圧の後、振動ローラー 3 回転圧

管理基準

密度： $D$  値  $\geq 95\%$ （さらに泥岩の場合  $\gamma_a \geq 1.49 \text{ t/m}^3$ ）

### 5.2 採取運搬

築堤現場と土取場（浄水場）との距離は約 1,000 m であり、経済性について種々検討した結果、風化泥岩および弱風化泥岩などの採取、運搬は主としてモータースクレーパー 11~21 m<sup>3</sup> 積（19 ton 級ブルドーザーによりプッシング）を使用した。また硬質泥岩については 23 t 級リッパードー



盛土管理結果総括表

施工期間	上流ランダム				コア				下流ランダム						
	材 料	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	w (%)	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (%)	材 料	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	w (%)	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (%)	材 料	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	w (%)	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (%)
~ 4.18	砂 (SW)	2,086	9.57	1,906	30.69	ガ イ ス イ	1,844	30.70	1,411	—	(水平ドレーン) 砂 (SP)	2,108	11.38	1,893	16.06
~ 4.29	" (SP)	2,108	11.38	1,893	16.06	風 化 泥 岩	1,751	33.33	1,361	—	泥 岩	1,894	25.59	1,504	18.30
~ 5.29	" "	2,057	11.27	1,849	20.49	"	1,861	30.70	1,423	—	"	1,944	22.65	1,546	16.50
~ 7.20	" "	2,081	12.49	1,833	17.08	"	1,887	27.86	1,476	—	"	1,936	24.13	1,560	14.00
~ 8.19	" "	2,056	14.43	1,797	4.69	風 化 ・ 砂 質 泥 岩	1,905	27.03	1,499	11.78	"	1,940	23.90	1,566	15.70
~ 9.5	" "	1,957	12.94	1,733	12.28	砂 質 泥 岩	1,844	26.42	1,459	16.40	"	1,878	23.57	1,520	13.50
~ 9.20	—	—	—	—	—	"	1,861	25.69	1,481	11.94	"	1,868	23.98	1,507	14.70
~10.2	—	—	—	—	—	"	1,905	26.50	1,506	11.45	"	1,903	25.52	1,516	15.50
~10.20	—	—	—	—	—	"	1,916	24.31	1,541	12.86	"	2,012	21.14	1,661	11.00
~11.10	—	—	—	—	—	"	1,901	21.76	1,561	26.44	砂 (SP)	1,956	18.86	1,688	14.05
~12.4	—	—	—	—	—	"	2,016	19.60	1,686	18.81	" "	1,953	20.58	1,596	12.04

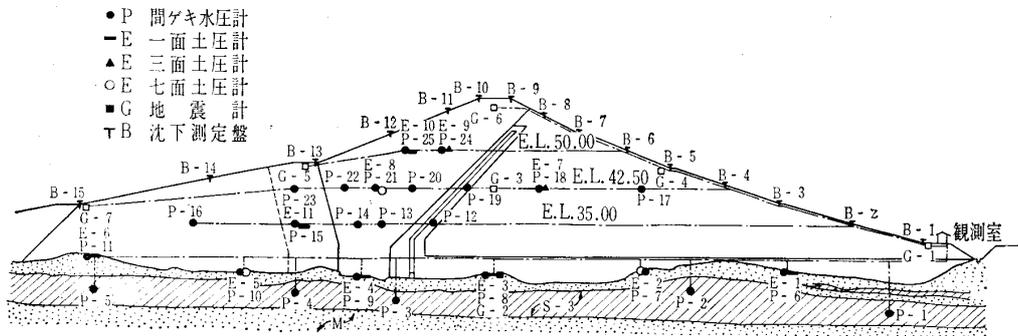


図-15 盛土の施工管理結果

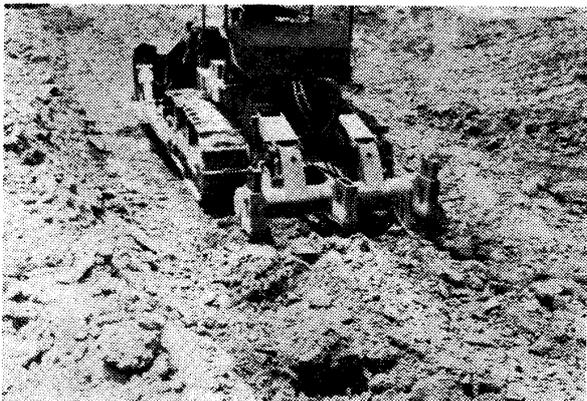


写真-1 土取場にてリッパーによる泥岩掘起こし作業

ザー（3本爪）でかき起こし粒径の大きいもの（施工基準より $\phi > 100$  mm）はその場でキャタピラーによりできるだけ破碎してからモータースクレーパーで運搬することにした。

写真-1 はリッパードザーによる硬質泥岩類のかき起こしの状況である。

### 5.3 まき出し、転圧

泥岩類の築堤上へのまき出しに当たっては各ゾーンごとに2,000 m<sup>2</sup>程度のブロック割りを行ない搬入台数をチェックしながらまき出し厚さの厳正をはかった。まき出し作業には19t級ブルドーザーを使用して整形するとともに泥岩塊の細粒化につとめた。なお、まき出し前の盛土面は振動ローラー転圧により平滑になっているためタンピングロー

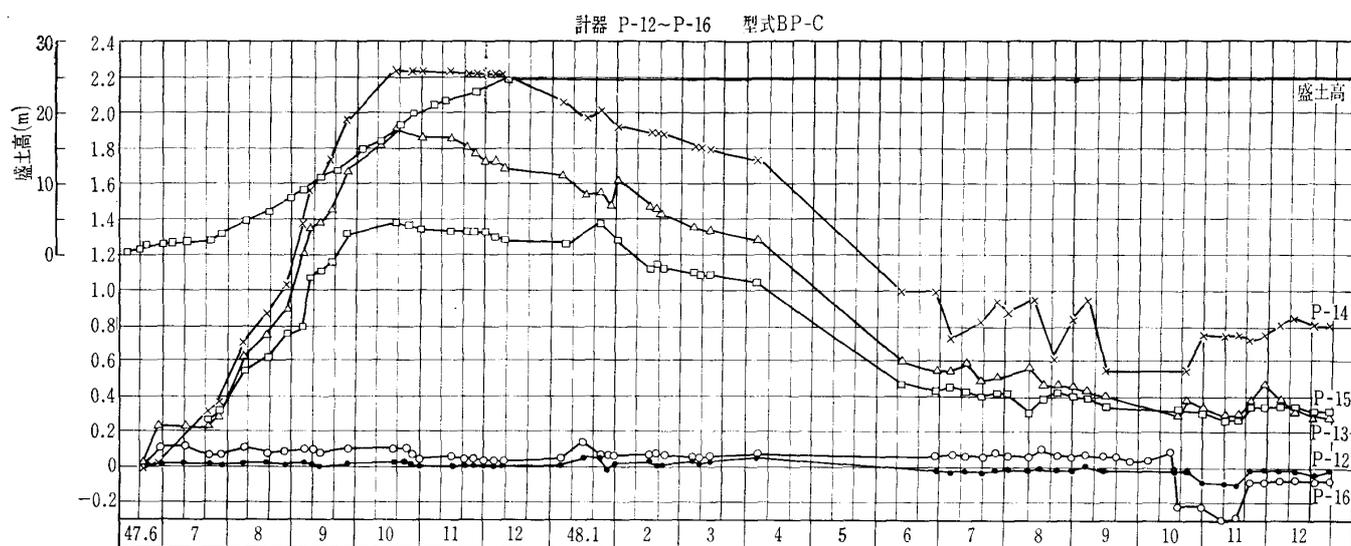


図-16 間ゲキ水圧計測結果

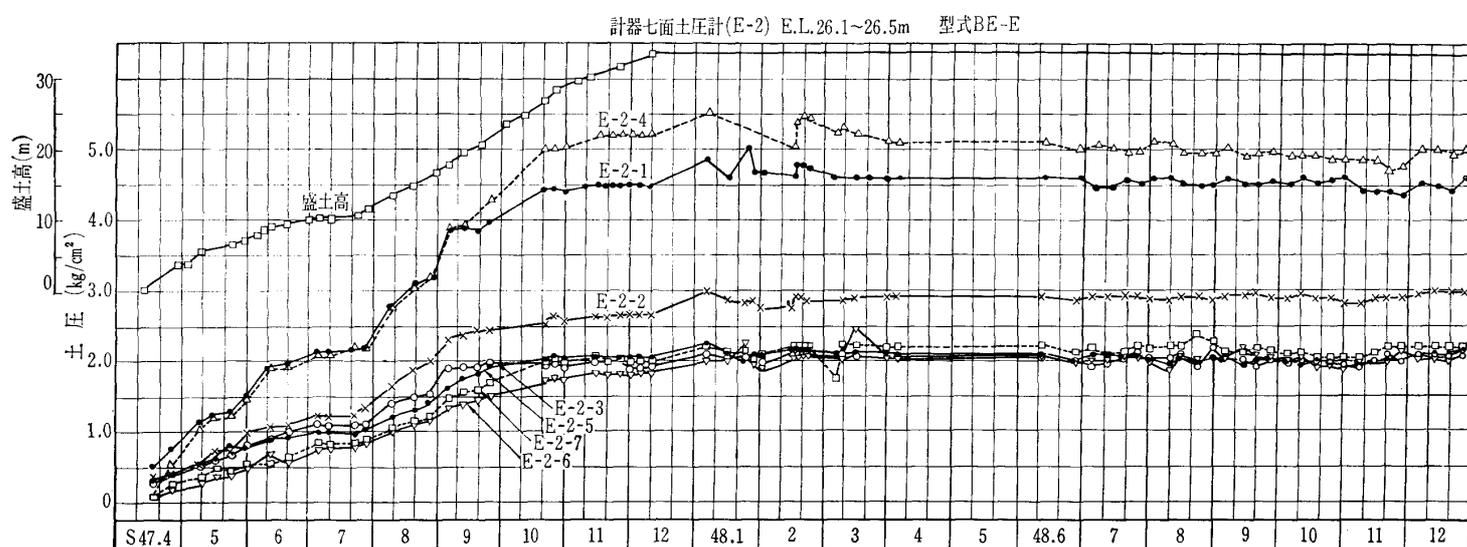


図-17 土圧計測結果

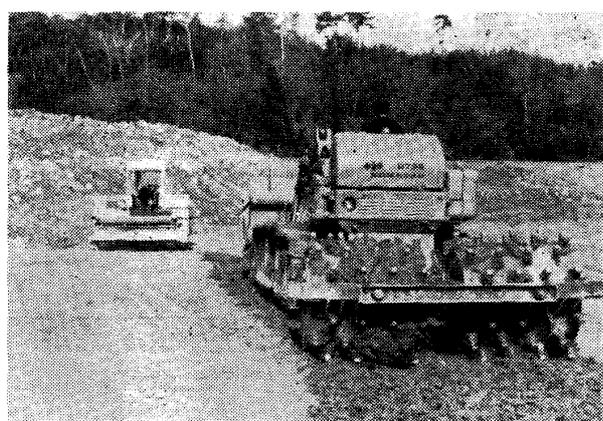


写真-2 転圧作業(左…振動ローラー, 右…タンピングローラー)

ラーを走行させ次層とのなじみをよくした。

また、転圧は5.1で述べたとおり、コア部についてはタンピングローラーで8回、下流ランダム部については泥岩の破碎を目的としたタンピングローラーによる転圧4回と、締固めのための振動ローラー転圧を3回行なった。これらの転圧を終えてから、さらに前述のとおり、次層とのなじ

みをよくするためタンピングローラーを1回あてて走行させることにした。写真-2は転圧作業風景である。

#### 5.4 管理結果

一般に土構造物の設計に使用する土質定数を求めるための試料は構造物全体の何十万~何百万分の一にも満たない量を対象にしており、採取場所も局所的なものである。このようなかたちで求められた試験値は必ずしも、材料全体を代表するとは限らない。また、いかに精密な試験を行なってもその値は、あくまでも使用した試料、条件下での値であって、これがそのまま現場に適用できるものではなく、あくまでも参考値に過ぎない。さらに施工条件によっても大きく左右される。

そこで現場の品質管理では、設計時に推定した土質定数が現場において得られているかどうかをチェックすることはもちろん、施工中の変化に伴い必要に応じて構造物を変更するために欠かすことのできない業務である。

山村ダム品質管理では含水比、レキ含有率、密度、せん断強度、透水性などについて行なったが、これら工学的

## No. 801

性質を判定するための有力な尺度である密度について、管理結果を図-15に示す。

## 6. 観測計器

ダム材料として泥岩類を大々的に使用したのは本ダムが最初であり、設計時に予想されない種々の問題が発生するのではないかと懸念された。このため図-16に示すように間ゲキ水圧計、土圧計を設置して施工中の管理に当たるとともに完成後の維持管理に備えた。さらに地震時のダムの挙動を把握するため7個所に地震計を配置してある。

図-16は間ゲキ水圧計、図-17は土圧計のこれまでの観測結果である。これについては現在解析中であるが、きわめて精度の高い観測結果が得られているので結果に期待している。

## あとがき

泥岩をダム材料とする場合①築堤後の風化による強度の低下、②含水による強度の低下、などが問題となり、一般には好ましくない材料と言われているが、施工管理基準をきびしく規定することと、材料の性質に適した使用区分をすることによってその弱点は十分カバーできるものと考えられる。

本ダムは昭和48年春に完成しまだ貯水されてはいないが現在大型模型振動実験(1/100)で安定性の確認を行なっているので機会があれば報告することにしたい。

なお本ダムの調査、設計、施工を通じ終始ご指導を仰いだ愛知工業大学大根教授に誌上を借りて深く感謝の意を表する次第である。

(原稿受理 1974. 3. 26)

## 新刊紹介

## 「杭基礎の設計実技とその解説」

よし だ  
吉 田

いわお  
巖 監修

本書は、日本道路協会下部構造小委員会のメンバーが道路橋下部構造設計指針のクイ基礎の設計編を改定するにあたって集めた資料をもとに各項目ごとに分担執筆している。

内容は、来年度発行予定の前記指針の骨子にそって、設計実務者用として、設計一般、基礎地盤調査にはじまり各種のクイの設計、計算例そして問題点を詳述している。したがって、非常に具体的に現在のクイ基礎設計上の水準と流れが理解できる点では、道路橋に携わる設計者以外にも広く参考になろう。

つぎに、本書のおもな目次と担当執筆者を紹介する。

第1章 設計一般	青木 重雄
第2章 基礎地盤調査と載荷試験	吉田 巖
第3章 既製小径杭(RC, PC および鋼杭)	

の設計例	小林 勲, 石橋長和
第4章 大径鋼管杭の設計例と問題点	横山 幸満
第5章 大径PC杭の設計例と問題点	足立 義雄
第6章 場所打ち杭(機械掘削)の問題点と計算例	矢作 枢
第7章 場所打ち杭(人力掘削)の設計	林 宜熙, 高橋 道生
第8章 杭基礎の特殊問題	横山 幸満

(達下記)

定 価 6,500円 送 料 別

B5判 490ページ

発 行 (株)建設図書(東京都千代田区外神田2-2-17)

電話 03-255-6684