

大型三軸試験装置を用いた留萌ダム粗粒材の品質管理試験

Quality Control Tests on Coarse Granular Materials for Rumoi Dam Using Large-scale Triaxial Test Apparatus

西元守人^{※1} 嶋本栄治^{※1} 伊藤 淳^{※2} 沼田淳紀^{※3}
Morito Nishimoto Eiji Shimamoto Atsushi Ito Atsunori Numata

【要旨】

H17年度留萌ダムにおけるフィルタ材・トランジション材・ロック材の3つの粗粒盛立材料について、品質管理を当社の技術研究所内において大型三軸試験装置を用いて行った。

粗粒盛立材料は、一般に直径30cm×高さ60cmの供試体を用いた大型三軸試験機によりせん断強度が求められる。供試体の最大粒径は、このような大型の試験装置を用いても、堤体で実際に盛り立てる材料の粒径に比べればはるかに小さいため、試験に供する際には供試体の密度や粒度の設定方法に工夫が必要である。

ここでは、供試体の密度や粒度組成の設定方法について理論を説明し、当社の大型三軸試験装置について仕様と試験方法を概説する。また、実際に実施した留萌ダムの試験結果について報告する。

【キーワード】 留萌ダム 粗粒材料 大型三軸試験 密度 粒度組成 せん断強度

1. はじめに

留萌ダムは、コア、フィルタ、トランジション及びロックのゾーンに分けられ、各々の機能に応じた材料が盛立られる。この内、フィルタ部、トランジション部、ロック部の各粗粒盛立材は、当社技術研究所保有の大型多目的三軸試験装置（以下、大型三軸試験装置と呼ぶ。）を用いて強度試験を実施した。本稿では、実際に現在実施中の品質管理方法に基づき、供試体条件の設定方法、試験方法の詳細を述べるとともに、留萌ダムにおける平成17年度の三軸圧縮試験の品質管理結果を報告する。

2. 留萌ダムの概要と品質管理項目

留萌川は、北海道の北西部、札幌と稚内のほぼ中央に位置する留萌市を流れる天塩山地を源として、日本海に注ぐ、流域面積約270km²、幹線流路長約44kmの一級河川である。留萌ダムはこの留萌川水系チバベリ川に建設され、洪水調整、流水の正常な機能の維持、留萌市への水道用水の供給を目的とした多目的ロックフィルダムである。

留萌ダムの堤体標準断面図を図-1に、工事概要を表-1に示す。

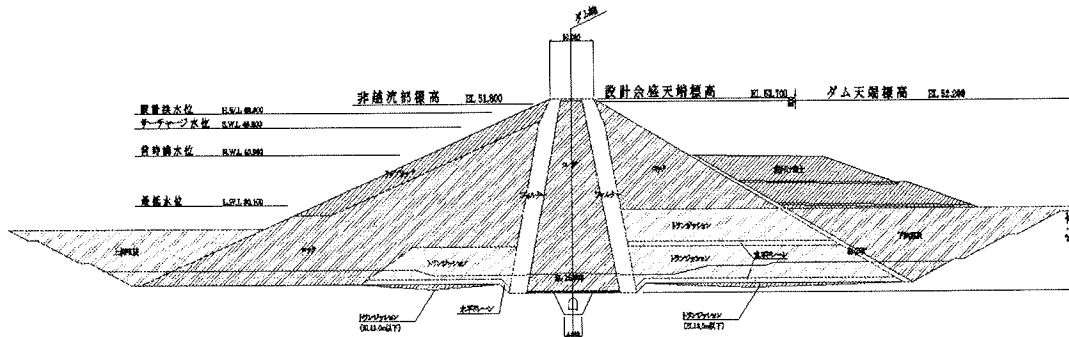


図-1 留萌ダム堤体断面図

1. 札幌支店 留萌ダム作業所 2. 土木本部ダムグループ 3. 防災R&Dセンター 技術研究所

次に、留萌ダムにおけるフィルタ材・トランジション材・ロック材の品質管理試験項目一覧を表-2に、留萌ダム粗粒材のせん断強度に対する品質管理基準値を表-3に示す。

表-2に示されるように、留萌ダムではフィルタ材、トランジション材、ロック材の強度試験が特記に示されており、その条件は、頻度(年1回)、供試体直径($\phi 30\text{cm}$)、試験条件(圧密排水(CD)状態、飽和状態)、拘束圧(50, 100, 200, 400kPa)および供試体の最大粒径(63mm)である。

粗粒材のせん断強度に対する品質管理基準値はCD試験より求められる ϕ_d が定められている。CD試験は、圧密の完了した供試体について、排水条件で試験を行うが、せん断試験時に過剰間隙水圧が発生しないことが条件となる。フィルダムの粗粒材料に対するせん断強度はこのような圧密排水条件となることから、 ϕ_d で規定されている。

表-1 工事概要

発注者	国土交通省 北海道開発局 留萌開発建設部
施工者	飛島・鉄建・岩田 特定建設工事共同企業体
ダム形式	中央コア型ロックフィルダム
堤高	41.2m
堤頂長	440.0m
堤体積	1,225,000m ³
集水面積	42.0km ²
湛水面積	2.20km ²
総貯水容量	23,300,000m ³
工期	平成14年2月22日 ～平成21年12月17日

表-2 留萌ダム粗粒材のせん断強度に対する品質管理基準値

	フィルタ	トランジション	ロック
せん断抵抗角 ϕ_d	$\phi_d \geq 41\text{deg}$	$\phi_d \geq 33\text{deg}$	$\phi_d \geq 41\text{deg}$

表-3 留萌ダム品質管理試験項目

材料	場所	試験項目	試験仕様	品質管理試験実施頻度	
フィルタ	ストロークハイル搬出時	土粒子の密度	-19mm	1回/10,000m ³ 1点/1回	
		骨材の密度及び吸水率	19~37.5mm, 37.5~63mm, +63mm	1回/10,000m ³ 1点/1回	
		粒度	ふるい	1回/1000m ³ 1点/1回	
		締固め	$\phi 30\text{cm}$, Dmax63mm	1回/10,000m ³ 1カーブ/1回	
		室内透水	$\phi 30\text{cm}$, 5点測定	1回/20,000m ³ 5点/1回	
		三軸圧縮	$\phi 30\text{cm}$, CD, 飽和, Dmax63mm 側圧0.05, 0.1, 0.2, 0.4MPa	1回/1年	
	盛立場	土粒子の密度	-4.75mm	1回/3層 3点/1回	
		骨材の密度及び吸水率	4.75~19mm, 19~37.5mm, 37.5~63mm, +63mm	1回/3層 3点/1回	
		粒度	ふるい	1回/1層 1点/1回 1回/3層 3点/1回 (現場密度試験孔)	
		現場密度	水置換法	1回/3層 3点/1回	
		現場透水	変水位法	1回/3層 3点/1回	
		トランジション	原石山搬出時	土粒子の密度	-19mm
骨材の密度及び吸水率	19~37.5mm, 37.5~63mm, +63mm			1回/7,500m ³ 1点/1回	
粒度	ふるい			1回/7,500m ³ 1点/1回	
締固め	$\phi 30\text{cm}$, Dmax63mm			1回/1年	
三軸圧縮	$\phi 30\text{cm}$, CD, 飽和, Dmax63mm 側圧0.05, 0.1, 0.2, 0.4MPa			1回/1年	
盛立場	土粒子の密度			-4.75mm	1回/30,000m ³ 3点/1回
	骨材の密度及び吸水率		4.75~19mm, 19~37.5mm, 37.5~63mm, +63mm	1回/30,000m ³ 3点/1回	
	粒度		ふるい	1回/30,000m ³ 3点/1回	
	現場密度		水置換法 ($\phi 100\text{cm}$, H160cm)	1回/30,000m ³ 3点/1回	
	現場透水		変水位法 ($\phi 100\text{cm}$, H160cm)	1回/30,000m ³ 3点/1回	
	ロック		原石山搬出時	土粒子の密度	-19mm
骨材の密度及び吸水率				19~37.5mm, 37.5~63mm, +63mm	1回/30,000m ³ 1点/1回
粒度		ふるい		1回/30,000m ³ 1点/1回	
締固め		$\phi 30\text{cm}$, Dmax63mm		1回/1年	
三軸圧縮		$\phi 30\text{cm}$, CD, 飽和, Dmax63mm 側圧0.05, 0.1, 0.2, 0.4MPa		1回/1年	
盛立場		土粒子の密度		-4.75mm	1回/30,000m ³ 3点/1回
		骨材の密度及び吸水率	4.75~19mm, 19~37.5mm, 37.5~63mm, +63mm	1回/30,000m ³ 3点/1回	
		粒度	ふるい	1回/30,000m ³ 3点/1回	
		現場密度	水置換法 ($\phi 120\text{cm}$, H120cm)	1回/30,000m ³ 3点/1回	
		現場透水	変水位法 ($\phi 120\text{cm}$, H120cm)	1回/30,000m ³ 3点/1回	

3. 供試体の設定方法

3.1 試料の物理的性質

(1) 含水比の算出

図-2に土の成分モデルを示す。

土は、通常土粒子と水と空気に分けられる。土粒子の質量を W_s 、体積を V_s 、水の質量を W_w 、体積を V_w 、空気の質量を $W_a=0$ 、体積を V_a 、土全体の質量を W 、体積を V とすると、含水比は式 (1) で表される。

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 w : 含水比 (%)

なお、試験に際しては、土の含水比試験方法 (JIS A 1203) に従った。

(2) 粗粒材の比重及び吸水率

図-3に粗粒材の成分モデルを示す。

ここで、粗粒材が完全飽和状態であると仮定すると、

空気が無いため、礫部分と水に分けられる。

礫の質量を W_{Sg} 、体積を V_{Sg} 、水の質量を W_{Wg} 、体積を V_{Wg} 、粗粒材全体の質量を W_g 、体積を V_g としたとき、比重及び吸水率の意味は式 (2) ~ 式 (5) となる。

$$G_a = \frac{W_g}{V_g} \quad (2)$$

$$G_b = \frac{W_{Sg}}{V_g} \quad (3)$$

$$G_g = \frac{W_{Sg}}{V_{Sg}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{W_{Wg}}{W_{Sg}} \times 100 \quad (5)$$

ここで、 G_a : 表乾比重

G_b : 絶乾比重

G_g : 真比重

Q : 吸水率 (%)

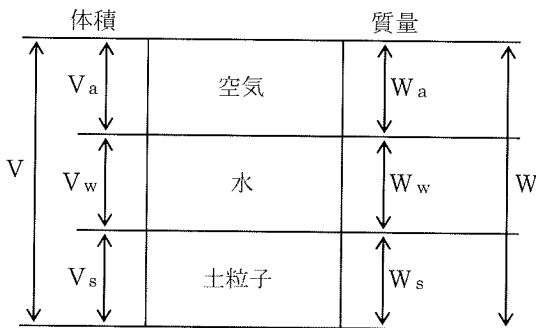


図-2 土の成分モデル

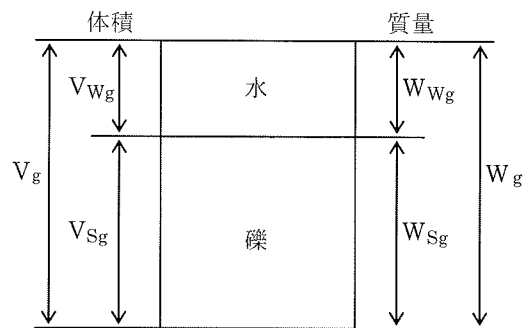
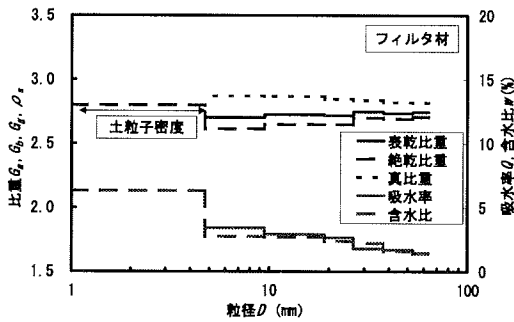
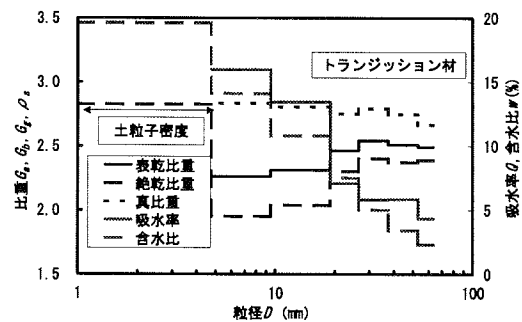


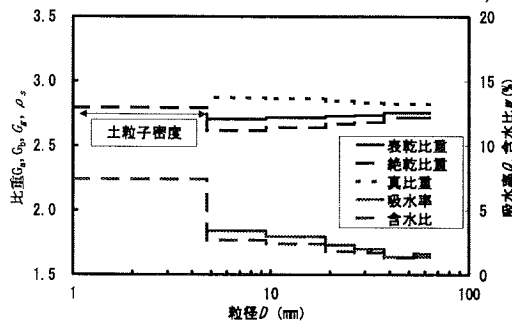
図-3 飽和時の粗粒材の成分モデル



a) フィルタ材



b) トランジション材



c) ロック材

図-4 粗粒材の密度・比重・含水比・吸水率試験結果

なお、試験に際しては、粗粒材の比重及び吸水率試験方法 (JIS A 1110) に従った。粗粒材の比重試験は、粒径が小さくなると水の拭き取りが困難となり、表乾状態を作りにくくなるので、データがばらつく傾向にある。そのため、粒径 4.75mm 以上のみを対象として試験を行うことが多い。

(3) 土粒子の密度

図-2より、土粒子の密度は式(6)で表される。

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (6)$$

ここで、 ρ_s :土粒子の密度 (g/cm³)

なお、試験に際しては、土粒子の密度試験方法 (JIS A 1202) に準拠した。

図-4に試験に供した留萌ダムの各材料の含水比、粗粒材の比重及び吸水率・土粒子の密度試験結果を示す。

なお、絶対比重については粒径 4.75mm 以下における土粒子の密度試験結果を示した。

同図より、粗粒材の比重・吸水率は粒径によって異なることが分かる。このように比重が粒径依存性の為、後述するように、堤体密度に合わせた供試体密度を設定する際に、乾燥密度ではなく、間隙比を一致させるという考えが必要となる。

(4) 粒度試験

粒度試験方法については、JIS A 1204 に従った。

3.2 粒度組成の設定

留萌ダムにおけるフィルタ材、トランジション材、ロック材の最大粒径はそれぞれ 150mm, 400mm, 700mm である。一方、三軸試験用の供試体の寸法は直径 $\phi 300\text{mm} \times$ 高さ $h600\text{mm}$ であり、供試体の最大粒径 D_{max} は、均等係数 5 以上の粗粒配合が良い場合、供試体直径の 1/5 程度までが一般的に許容されるため¹⁾、63mm 程度である。このように大型の試験装置を用いても、堤体で実際に盛り立てられる最大粒径で直接試験することは不可能である。したがって、何らかの方法で堤体と力学的に等価な供試体を作製し、試験を実施する必要がある。

以下にこの考え方について説明する。

実際の盛立材料を室内試験の供試体に粒度調整する方法としては、粒度組成図上で粒度分布曲線を平行移動する相似粒度と、供試体に使用する最大粒径以上の粒径をカットするせん頭粒度がある²⁾。

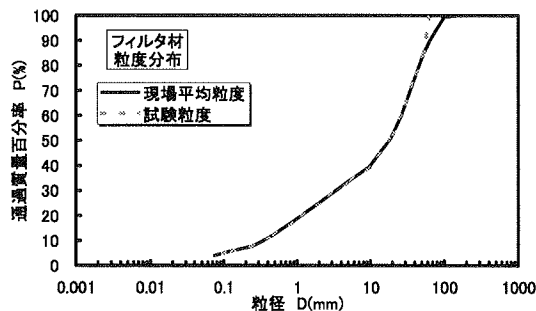
相似粒度は A と B の 2 つの粒度組成が互いに式(7)の関係であることを指す。

$$\alpha = \frac{D_{Bi}}{D_{Ai}} \quad (7)$$

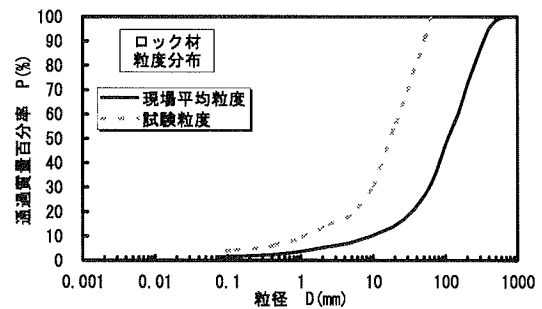
ここで、 α : 相似比

D_{Ai} : A材料通過率*i*%時の粒径 (mm)

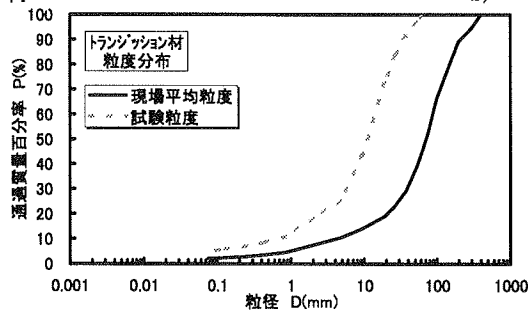
D_{Bi} : B材料通過率*i*%時の粒径 (mm)



a) フィルタ材



b) トランジション材



c) ロック材

図-6 現場における平均の粒度組成と試験粒度

式(7)より明らかなように両者の粒度曲線は粒度組成図上で互いに平行であることを意味している。これは以下のような考え方に基づくものである。

任意の立方体 A に $D_{A1} \sim D_{An}$ の粒径の球が詰まっているものと仮定する。これを何倍かに拡大した立方体を考える。この立方体には $D_{B1} \sim D_{Bn}$ の粒径の球が入ることとなるが、この場合、i 番目の粒径と立方体の一边の長さとの比は i 番号の粒径では A も B も同じとなるように粒度調整を行うことで、どの粒径についても、立方体の一边の長さ L_A と球の直径との比 β_i は、

$$\beta_i = \frac{D_{Ai}}{L_A} = \frac{D_{Bi}}{L_B} \quad (8)$$

となる。

一边が L_A の立方体における球体の間隙比は、

$$e = \frac{L_A^3}{\frac{3}{4}\pi \sum_{i=1}^n D_{Ai}^3} - 1 \quad (9)$$

で表されることから式(8)を代入すると、

$$e = \frac{1}{\frac{3}{4}\pi \sum_{i=1}^n \beta_i^3} - 1 \quad (10)$$

となり、 L_A や D_{Ai} といった寸法には依存せず、粒径の相対的大きさの比のみによって間隙比が定義されることが分かる³⁾。

このような考え方に基づき、実際は堤体における粗粒材の相似粒度として式(11)より試験用の供試体の粒度組成を求めている。

$$D_{Bi} = \frac{D_{Ai} \cdot D_{B \max}}{D_{A \max}} \quad (11)$$

しかし、実際に供試体を作成する場合、小さな粒径では分級が困難であるため、全ての粒径を相似粒径とすることは難しい。そこで、留萌ダムの品質管理試験では、粒径 4.75mm を境に、それ以上の粒径については相似粒度とし、それ以下の粒径については搬入試料をそのまま用いた。

各材料の留萌ダムにおける平均の粒度組成と上述の方法によって求めた各材料の試験粒度を図-6に示す。ただし、フィルタ材については、現場における平均の粒度組成が、粒径 53mm 以上の質量百分率で 10%程度であったことから、現場での粒度のばらつきを考慮すると最

大粒径 63mm のせん頭粒度²⁾としても問題は無いと判断した。

次に、間隙比の設定方法について述べる。

間隙比は、式(12)によって定義され、堤体と三軸試験用供試体の間隙比が一致するように供試体を作製する。

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \text{ または } e = \frac{G_b}{\rho_d \cdot \rho_w} - 1 \quad (12)$$

ここで、e : 間隙比

ρ_s : 土粒子密度 (g/cm^3)

ρ_d : 乾燥密度 (g/cm^3)

ρ_w : 水の密度 (g/cm^3)

G_b : 絶乾比重

式(12)より、間隙比は粗粒材の比重と堤体における各材料の乾燥密度より求めることができる。堤体の乾燥密度は堤体における現場密度試験結果より求める。一方、前述したように、粗粒材の比重は、粒径依存性があるので、堤体における絶乾比重 G_b と三軸試験用供試体の絶乾比重 G_b は異なる。

そこで、後述するが、実際には堤体における間隙比と三軸試験用供試体の粒径 63mm 以下の合成絶乾比重を用い供試体を作製することになる。このように求められた供試体の乾燥密度は、当然のことながら G_b が堤体と供試体で一致する時以外は堤体の乾燥密度と異なることになる。これが、三軸試験用密度として乾燥密度を堤体と一致させるのではなく間隙比を一致させる理由である⁴⁾。

3.3 合成絶乾比重及び合成含水比

以下に、合成比重の求め方を示す。

図-7において、飽和状態を仮定し土粒子の体積を V_s 、水の体積を V_w 、土粒子の質量を W_s 、水の質量を W_w とした。

同様に、任意の粒径で区分した土粒子の体積を V_{si} 、質量を W_{si} 、水の体積を V_{wi} 、質量を W_{wi} と表した。この時、任意の各粒径での残留率 $P(\%)$ は、

$$P_i = \frac{W_{si}}{W_{s1} + W_{s2} + \dots + W_{si}} = \frac{W_{si}}{\sum W_{si}} \quad (13)$$

となる。絶乾比重 G_{bi} は、

$$G_{bi} = \frac{W_{si}}{V_i} \quad (14)$$

含水比 $w_i(\%)$ は、

$$w_i = \frac{W_{wi}}{W_{si}} \times 100 \quad (15)$$

となる。

これより合成絶対乾比重 \bar{G}_b は、

$$\bar{G}_b = \frac{\sum W_s}{\sum V_s} = \frac{1}{\frac{1}{100} \sum \frac{P_i}{G_{bi}}} \quad (16)$$

と表される。同様に合成含水比 \bar{w}_s (%) は、

$$\bar{w}_s = \sum \left(\frac{P_i}{100} \times w_{si} \right) \quad (17)$$

ここで、 \bar{G}_b : 合成絶対乾比重

\bar{w}_s : 合成含水比 (%)

P_i : 各粒度階における残留率 (%)

G_{bi} : 各粒度階における絶対乾比重

となる。

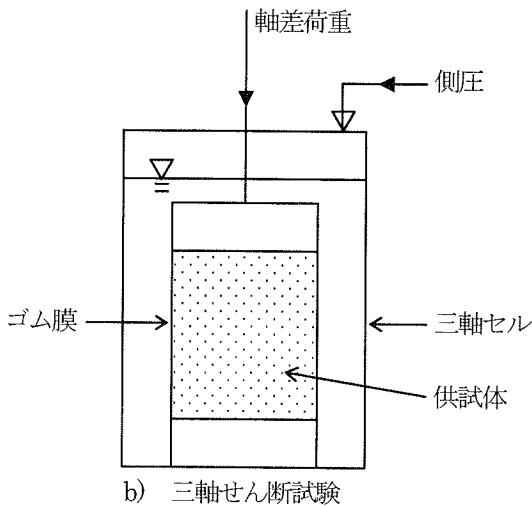
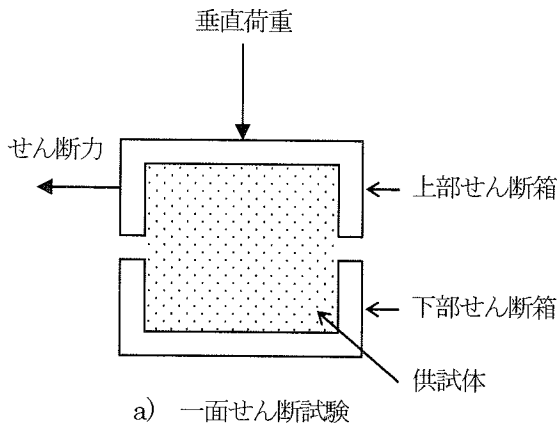


図-8 せん断試験概略図

試験用供試体の間隙比が求められると、式(18)より乾燥密度が求まる。

$$\rho_d = \frac{G_b}{1+e} \quad (18)$$

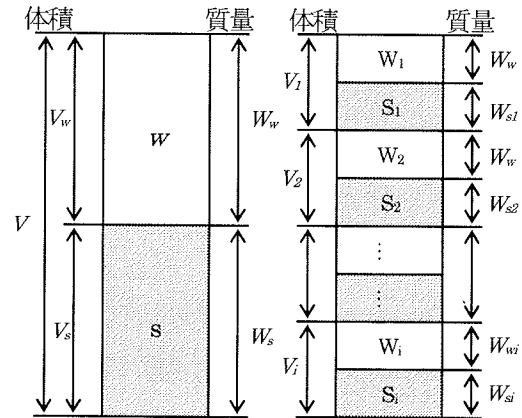
これより、この乾燥密度となるように供試体作製用の容積 V を計測し、これに必要な質量分の材料を準備し、目標の容積 V となるまで供試体を締固めることで目標の密度を得る。

4. 試験方法

4.1 せん断試験

(1) せん断試験方法の選定

粗粒材の強度定数を求めるためのせん断試験としては、一面せん断試験と三軸せん断試験が多く用いられてきた。一面せん断は、図-8 a) に示すように、上部及び下部



任意の粒度ごとに区分

図-7 粗粒材構成の模式図

表-4 試験条件⁵⁾

試験条件の名称	外力の載荷過程		得られる強度定数	現地の様式条件
	圧密過程	せん断過程		
非圧密非排水 (UU) 試験	非排水	非排水	c_u, ϕ_u	粘土地盤の急速施工
圧密非排水 (CU) 試験	排水	非排水	S_u / p	現地盤を圧密させてから、急速施工
圧密非排水 (CU _β) 試験		定体積		
圧密排水 (CD) 試験	排水	排水	c_d, ϕ_d	砂地盤など透水性のよい地盤の施工、地盤の長期安定問題

表-5 大型三軸試験機の仕様

項目	使用
三軸セル	一室式
載荷用ピストンの貫入量補正(見掛の体積)	機械的にピストンの貫入量分を排水することにより補正
試験器制御	設定機およびパソコンにて制御
測定項目	内部荷重、軸変位、拘束圧、体積変化

表-6 使用センサーの仕様

使用センサー	メーカー名	型番	方式	容量	制度 [※]
圧力変換器	共和電業	PG-10KU	ひずみゲージ式	1Mpa	±0.02%F.S
加重変換器	共和電業	LCH-100TEGS	ひずみゲージ式	1MN	±0.2%F.S
変位変換器(軸変位)	SONY	SR-10S	デジタルリアージ式	200mm	0.0036mm
変位変換器(体積変化量)	コバル	JCL-500	直線変位計	500mm	±0.05%F.S

※非直線性

せん断箱に供試体を作製し、供試体に垂直荷重を与えながら、片方のせん断箱を水平に移動させることによりせん断力を発生させ、せん断強度を求める。

ただし、一面せん断試験は、垂直応力と供試体内の応力状態が不明瞭であるなどの欠点がある。

三軸せん断試験は、図-8 b)に示すように、三軸セル内に供試体を設置し、ゴム膜をかぶせ、セル内部に一定の圧力を载荷した状態で、軸差荷重を载荷することで供試体内部にせん断力を発生させ、せん断強度を求める。

この三軸せん断試験は主応力面が固定され応力状態が明瞭であるとともに、供試体も円柱状のものを準備すれば良く、取り扱いも容易であることから、最近では三軸試験が多く用いられている。

(2) 三軸圧縮試験条件の選定

三軸圧縮試験はせん断前の圧密条件とせん断時の排水条件により、その条件が4つに分類される。試験条件と得られる強度定数の関係を表-4に示す⁹⁾。

粗粒材は透水性が高いので、せん断過程において排水条件を満足するようにせん断試験を実施する。

(3) 拘束圧の設定

三軸試験時の拘束圧は、試験仕様を示されているよう

に、50, 100, 200, 400kPaである。拘束圧については、堤高を考慮して5種類程度で設定することが望ましいとされ⁹⁾、一般的に最大拘束圧は対象材料堤体内で受ける最大鉛直応力の0.5倍とすることが多い⁷⁾。

留萌ダムの堤高は41.2mであり、湿潤密度を 2.0g/cm^3 と仮定すると、底部での鉛直応力は約800kPaとなり、この半分の400kPaを最大拘束圧に設定されたと考えられる。

4.2 試験装置

本試験で使用した大型三軸圧縮試験装置の仕様を表-5に、使用センサーの仕様を表-6に示す。また、試験機の概略を図-9に示す。

本装置の大きな特徴は、载荷重と拘束圧をそれぞれ別の油圧サーボ弁を用いて载荷できることである。別々のサーボ弁をパソコンによって制御可能であり、複雑な経路の载荷や長期の自動制御ができるようになっている。

4.3 試験手順

三軸圧縮試験の手順を図-10に示す。

供試体の密度は初期密度が目標密度となることを目指した。ここで、初期密度とは図-10に示す、30kPaの負圧で供試体を自立させた時の密度である。

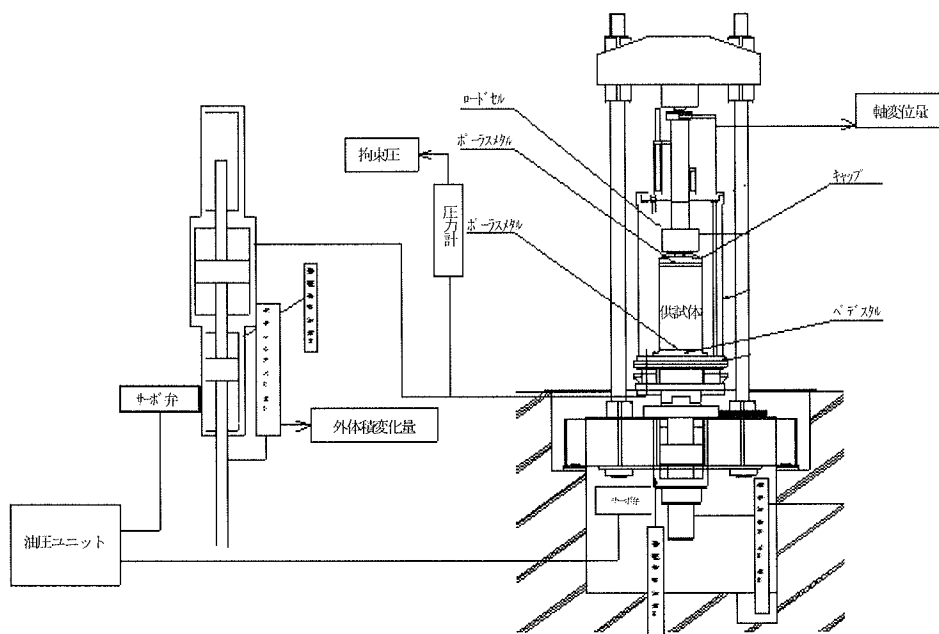


図-9 試験機の概略図

供試体の圧密方法については、拘束圧を 100kPa/min の速度で、試験拘束圧 $\sigma_3 = \sigma_c = 50, 100, 200, 400\text{kPa}$ の各ステップまで増圧し、到達後、試験拘束圧を一定に保った。この時、体積変化量を測定し、圧密量を求めた。

各拘束圧での圧密終了は 3t 法⁴⁾を目処としたが、最低でも 60min は圧密を行った。

供試体のせん断は、供試体内に過剰間隙水圧が発生しないように載荷速度を検討する必要がある。今回の品質

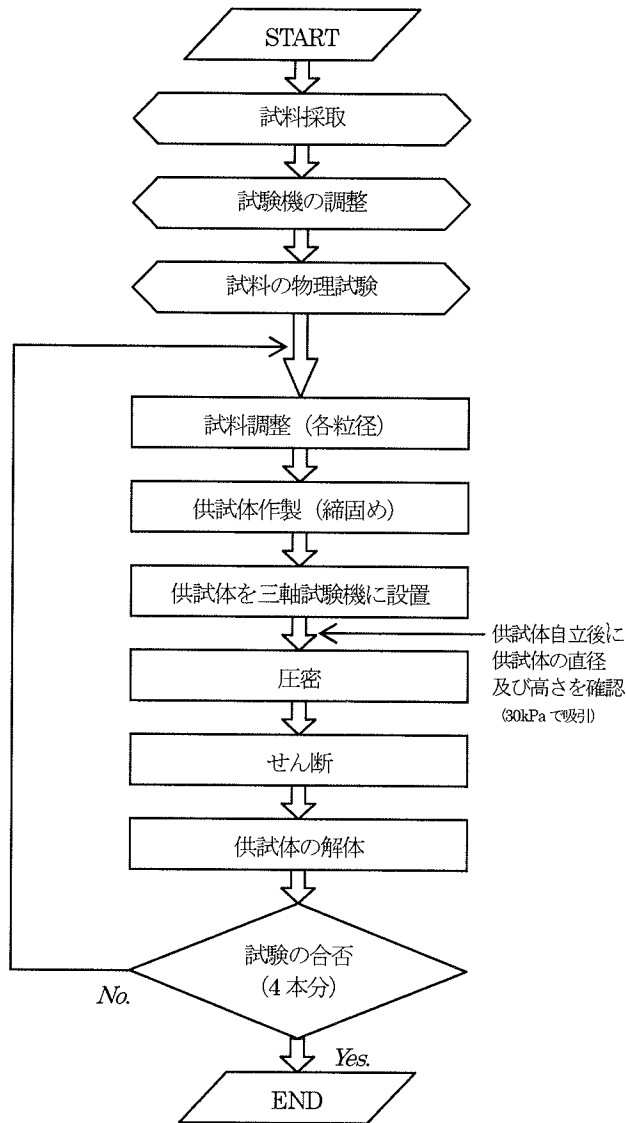
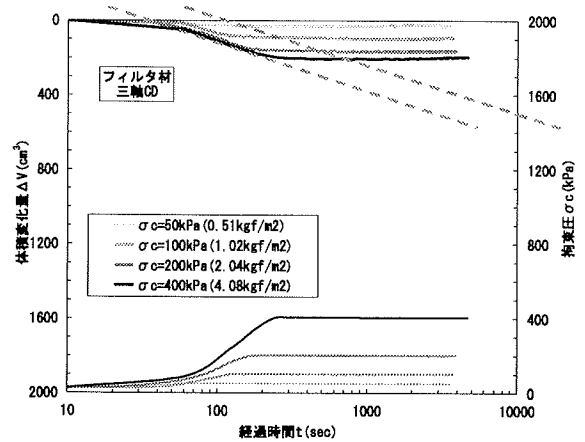
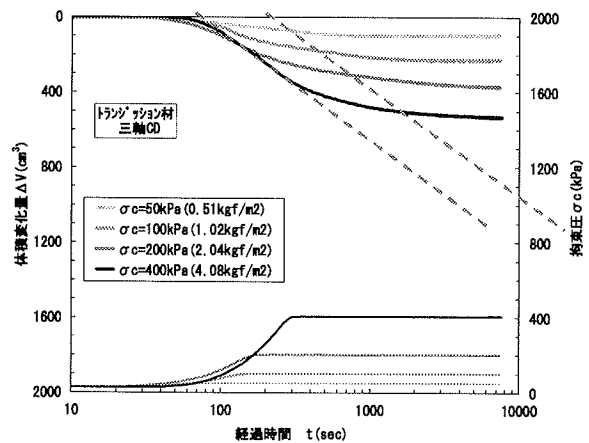


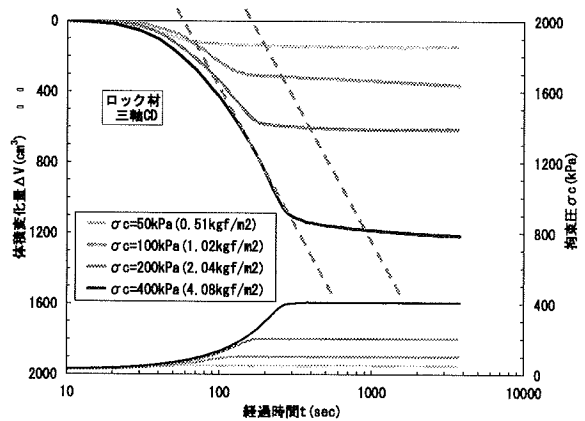
図-10 試験手順フロー



a) フィルタ材



b) トランジション材



c) ロック材

図-11 圧密過程

表-7 平均密度及び平均間隙比

	フィルタ材	トランジション材	ロック材
データ数 n	39	12	24
平均合成比重 G_b	2.669	2.495	2.644
平均乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	2.232	2.023	1.963
平均間隙比 e	0.20	0.23	0.35

管理試験では、フィルタ材及びトランジション材については載荷速度 0.25%/min(1.7mm/min), フィルタ材・トランジション材に比べ、透水性の良いロック材については載荷速度 0.50%/min(2.9mm/min)とした。

また、せん断応力がピークに達しない場合でも、地盤工学会基準に基づき軸ひずみが 15%に達した時点で軸圧縮過程を終了とした。

5. 留萌ダムにおける品質管理試験結果

5.1 留萌ダム堤体における現場密度試験結果

供試体の目標間隙比は、H17年度盛立期間中における品質管理試験結果より平均間隙比を設定した。表-7に期間中の合成絶対乾比重、乾燥密度、間隙比のそれぞれの平均値を示す。

5.2 大型三軸試験結果

(1) 圧密過程

圧密過程における試験結果を図-11に示す。なお、それぞれの図には、400kPaにおける3t法より求めた圧密終了の目安を破線で示した。フィルタ材では、全ての拘束圧において目標の拘束圧に達すると、体積変化もほぼ一定となる結果となった。

トランジション材では、拘束圧が目標値に達した後も、体積変化量は徐々に増加し、例えば拘束圧 400kPa の場合では、体積変化量がほぼ一定となるのに約 5000sec (1時間 40分) を要した。これは、他の材料に比べトランジションの絶対乾比重が低いことから、骨材強度が他と比べ小さく、等方圧縮による粒子破砕が進行的に発生したということも1つの原因と考えられる。

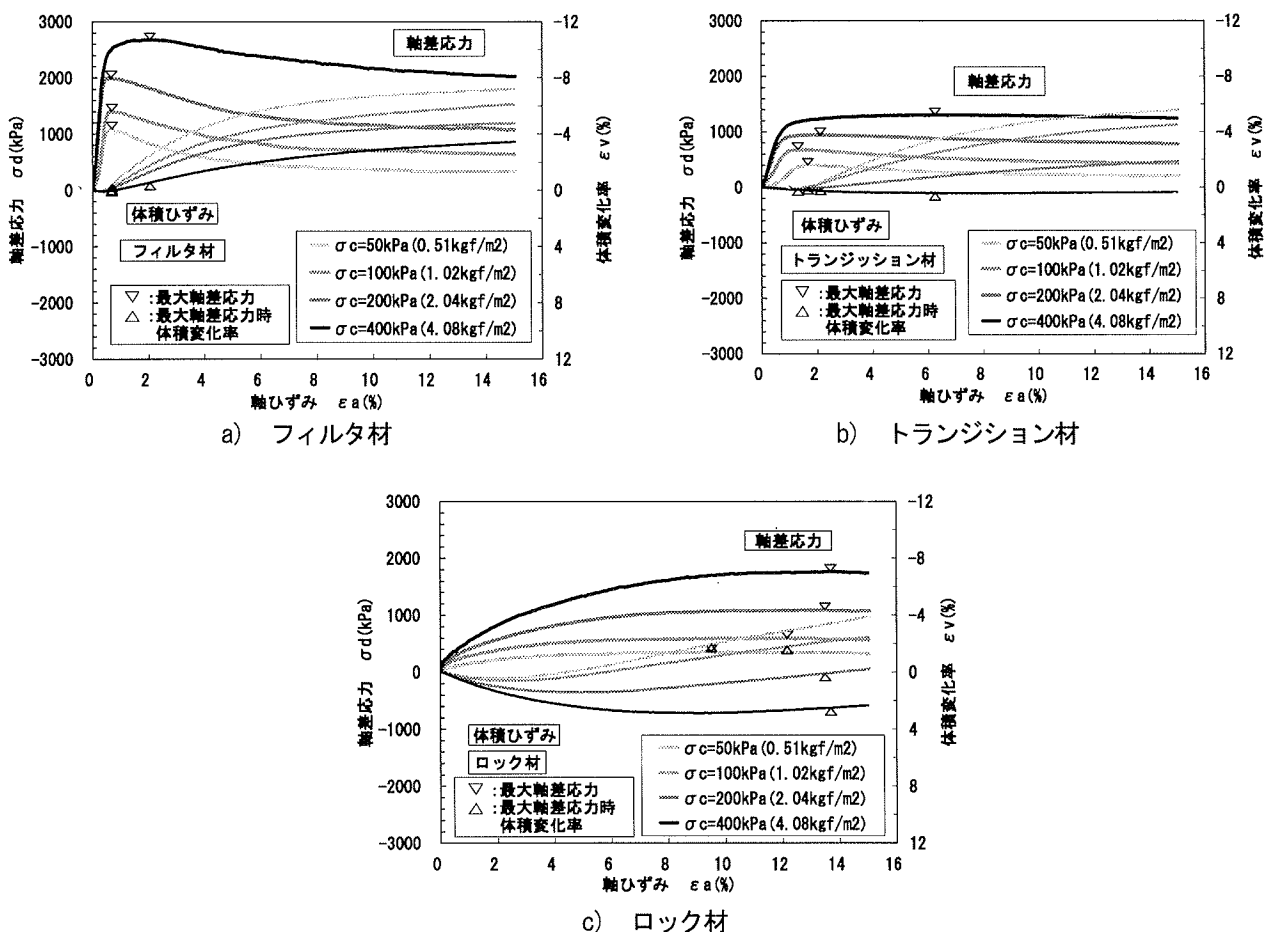


図-12 せん断過程における軸ひずみと軸差応力及び体積変化率の関係

ロック材では、拘束圧が目標値に達するとほぼ同時に、体積変化も一定となった。

圧密試験の結果をそれぞれの材料毎に比較すると、体積変化はロック材>トランジション材>フィルタ材となっていることが分かる。また、目標間隙比もロック材>トランジション材>フィルタ材となっている。このことより、圧密での体積変化は、間隙比の影響が大きいと言える。

(2) せん断過程

せん断過程における軸ひずみと軸差応力及び体積変化率の関係を図-12に示す。同図に最大軸差応力と最大軸差応力時の体積変化率のポイントも併記した。

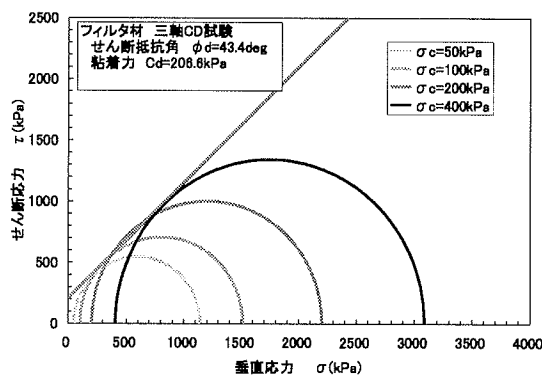
フィルタ材では、軸ひずみの増加により急激に軸差応力が大きくなり、軸ひずみ 2%以下で軸差応力のピーク

を迎え、その後軸差応力は低下している。体積変化率は、载荷初期に収縮傾向を示すが、すぐに膨張傾向に転じる。このようにフィルタ材は典型的な密な材料の特性を示している。

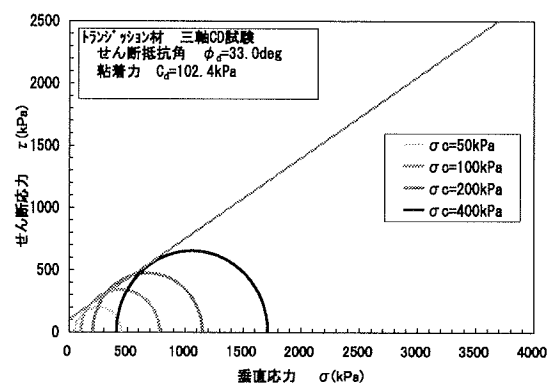
一方、ロック材は、軸ひずみの増加に伴い軸差応力が徐々に増加し、軸差応力の最大値は軸ひずみ 10%以降となっているものが多い。体積変化率は、拘束圧の大きいものほど軸ひずみが大きくなるまで収縮傾向を示し、緩詰めな材料特性を示している。トランジション材は両者の中間的な特性を示している。このように最大軸差応力となる軸ひずみは、材料によって大きく異なり、フィルタ材では密な材料に、粒径の大きなロック材では緩詰め

表-8 モールの応力円より求めたせん断強度

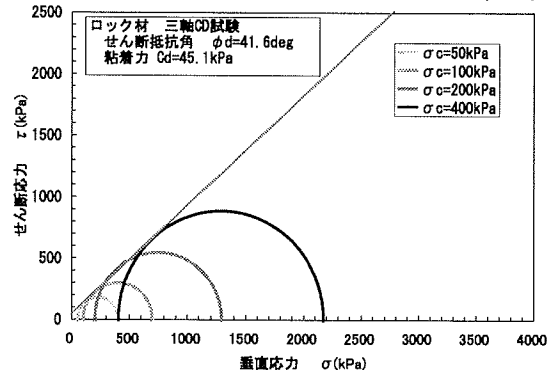
	粘着力 c_d (kPa)	せん断抵抗角 ϕ_d (deg)	品質管理基準値 ϕ_d (deg)
フィルタ材	206.6	43.4	41.0
トランジション材	102.4	33.0	33.0
ロック材	45.1	41.6	41.0



a) フィルタ材



b) トランジション材



c) ロック材

図-13 三軸試験より求められたモールの応力円

(3) 圧密排水せん断強度角 ϕ_a

図-12 に示された最大軸差応力と拘束圧より求めたモールの応力円を図-13 に示す。

図-13 に示されるモールの応力円より求められたせん断強度を表-8 に示す。同表には各材料の品質管理基準値も併記した。

フィルタ材は前述のように密な材料特性を示したため、 ϕ_a も c_a も共に大きな値を示し、大きなせん断強度を持っていることが分かる。ロック材は緩詰め材料特性を示したため、 c_a は他と比べて比較的小きな値をとっているが、 $\phi_a=41.6\text{deg}$ であることが分かる。中間的な材料特性を示したトランジション材では、 ϕ_a は他と比べて小さいことが分かる。

フィルダムの設計では、表-8 に示される粘着力 c_a は無視することとなっている。このため、 ϕ_a のみが品質管理基準値となる。いずれの材料も品質管理基準値を上回っていることが分かる。トランジション材は品質管理基準値ぎりぎりであるが、図-13 や c_a より理解できるように $\phi_a=33.0\text{deg}$ の品質管理基準のせん断強度よりも十分大きなせん断抵抗を示していることが分かる。

6. まとめ

- ① 留萌ダムの粗粒材の三軸圧縮試験を例に、最大粒径の大きな材料を小さな供試体で実施する場合の具体的な供試体の設定方法と試験方法を紹介した。
- ② 留萌ダムの平成 H17 年度盛立材料は、品質管理基準

を満たしていることが分かった。

7. おわりに

本品質管理試験を進めるにあたり、防災 R&D センター 技術研究所 地盤研究室 小林薫室長を始め、知久倫子氏、(有)TNS の染谷昇氏、現地より試料を送付して下さった留萌ダム(作)の本山寛氏には多大なる御協力をいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会：3.2.2. 地盤工学会基準「粗粒度の三軸試験の供試体作製・設置方法」、土質試験の方法と解説、pp448-454, 2000.3
- 2) 石井武美：粗粒材の室内力学試験における試験粒度の選定、土と基礎、33-6(329), pp.25-30, 1985.6.
- 3) 沼田淳紀：過去の地震による液状化土の特徴と細粒土に対する液状化評価法、とびしま技報別冊 第10号、pp146-147, 2004.7.
- 4) 赤司六哉：ロック材料の密度管理と強度確認試験、土と基礎、33-6(329), pp.19-24, 1985.6.
- 5) 地盤工学会：3.3.6 基準の解説、土質試験の方法と解説、pp.477-493, 2000.3.
- 6) 日本河川協会：建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編 [I]、山海堂、p.222, 2002.7.
- 7) 土質工学会：現場技術者のための土と基礎シリーズ7 フィルダムの調査・設計から施工まで、p.107, 1983.11

Summary Quality control tests were carried out in 2005 using large-scale triaxial testing apparatus at Tobishima's research laboratories on three coarse granular banking materials for Rumoi Dam: filter materials, transition materials, and rock materials.

The shear strength of coarse granular materials for banking is generally determined by fabricating specimens 30 cm in diameter and 60 cm in height for testing using large-scale triaxial testing apparatus. Since the maximum size of granules in the specimens is much smaller than those of materials to be actually filled in the dam, care should be exercised when determining the density and grading of specimens, even when using such a large-scale testing apparatus.

This paper explains the theoretical concept of determining the density and grading of specimens, as well as the specifications and test methods of the large-scale triaxial test apparatus. The test results for Rumoi Dam materials are also reported.

[Keywords] Rumoi Dam, coarse granular materials, large-scale triaxial testing, density, grading, shear strength