

既設フィルダムの安定性評価のための堤体材料調査事例

大阪工業大学

正会員 ○藤本 哲生

エイト日本技術開発

非会員 野谷 正明

1. はじめに わが国では、1995年の兵庫県南部地震を契機として大規模地震に対する構造物の耐震安全性に関する様々な検討がなされている。ダム分野においても大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説¹⁾等が試行され、それらに準じた耐震性能照査が行われているところであるが、その一方で2011年東北地方太平洋沖地震による藤沼ダムや2016年熊本地震による大畑ダムのように大規模地震によりダムの貯水機能が失われ、下流域に甚大な被害が生じた事例も報告されている^{2), 3)}。本文では、フィルダムのうち国内における施工事例の少ないコンクリート表面遮水型ロックフィルダムを対象とし、施工後45年が経過した現時点での安定性、さらに、大規模地震に対する安定性を評価するにあたり、堤体の材料特性を把握することを目的として実施した原位置及び室内試験の事例について述べる。



写真-1 ダム天端のトレンチ掘削状況



写真-2 SRIDによる現場密度測定状況

2. ダム概要 調査対象のダムは洪水調節を目的とし、竣工後約45年が経過したコンクリート表面遮水型ロックフィルダムである。堤高は38m、上下流面勾配はそれぞれ1:1.0~1.3、1:1.3であり、遮水を目的としたコンクリートスラブ、その下位の粗石積層、最下部の本体ロックにより構成されている。なお、本体ロックは投石射水工法により盛り立てられている点が特徴として挙げられる。

3. 調査概要 原位置では、写真-1に示すようにダム天端をバックホウによりトレンチ状に掘削し、粗石積層はGL-1.0m、本体ロックはGL-2.3mの深度において写真-2に示す自動走査式RI密度水分計(SRID)により現場密度を測定した。その後、室内試験に供するために各材料の攪乱試料を採取し、大型土嚢に封入のうえ試験所へ搬送した。室内では、攪乱試料を用いて表-1に示す各種試験を実施した。なお、図-1に示す粒径加積曲線より粗石積層及び本体ロックともに採取試料(原粒度)の最大粒径 D_{max} が300mmであることから、大型締め試験及び三軸圧縮試験に用いる試料は原粒度の粒径加積曲線をタルボット指数で近似し、それを試験の許容最大粒径($D_{max} = 53\text{mm}$)に平行移動した試料⁴⁾(相似粒度による粒度調整後の試料)とした。

表-1 室内試験項目(本体ロック, 粗石積層)

分類	試験項目	準拠基準等	備考
物理試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202	・対象粒度: <9.5mm
	土の含水比試験	JIS A 1203	・対象粒度: 原粒度 <53mm
	石分を含む地盤材料の粒度試験	JGS 0132	・対象粒度: 原粒度 ・試料質量: 約2.1t
	土の粒度調整(相似粒度)	参考文献4)	・最大粒径 $D_{max}=53\text{mm}$ ・試料質量: 約2.1t
材料試験	粗骨材・細骨材の密度及び吸水率試験	JIS A 1110 JIS A 1109	・合成比重算出用 ⁵⁾ ・分級数: 8
安定化試験	突固めによる土の締め試験	JIS A 1210	・対象粒度: 相似粒度($D_{max}=53\text{mm}$) ・供試体直径: $\phi 30\text{cm}$ ・締めエネルギー: 1Ec
力学試験	土の圧密排水三軸圧縮試験(不飽和条件)	JGS 0520 JGS 0524	・対象粒度: 相似粒度($D_{max}=53\text{mm}$) ・初期間隙比: 原位置を再現 ・供試体寸法: $\phi 30\text{cm} \times \text{H}60\text{cm}$ ・せん断速度: 0.25%/min

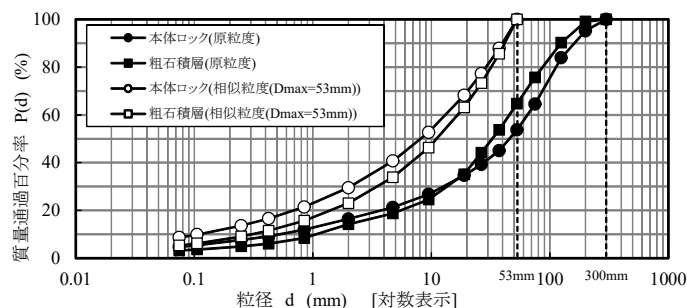


図-1 粒径加積曲線(原粒度及び相似粒度)

キーワード: フィルダム, 築堤材料, 三軸圧縮試験

連絡先: 〒535-8585 大阪市旭区大宮5丁目16番1号 大阪工業大学 工学部 都市デザイン工学科 TEL 06-6954-4141

4. 調査結果 本文では、紙面の都合上、試験結果のうち物理特性及び三軸圧縮特性について述べる。

(1) 物理特性 表-2(a)に現場密度試験及び物理・材料試験結果から求めた堤体材料(原粒度)の物理定数を示す。

このうち、含水比 w は透水性材料としては比較的大きな値となっているが、これは試料採取時の降雪の影響によるものであると推察される。また、表-2(b)に後述する大型三軸圧縮試験の供試体の初期条件を示すが、その間隙比 e は原粒度(原位置)と同一となるように設定した。

(2) 三軸圧縮特性 図-2 に相似粒度による粒度調整後の試料を用いた不飽和大型三軸 CD 試験のせん断過程より得られる軸差応力 q 、体積ひずみ ε_v と軸ひずみ ε_a の関係を示す。なお、圧密圧力 σ_3 は本体ロックについては最大土被り圧が約 400 kN/m² であることから $\sigma_3 = 100, 200, 400$ kN/m²、粗石積層については本体ロックの 1/2 として $\sigma_3 = 50, 100, 200$ kN/m² とした。図-2(a)に示す粗石積層の q は $\varepsilon_a = 1.5 \sim 4$ %程度で明瞭なピークがみられ、 ε_v も密な砂に見られるような膨張の挙動(正のダイレタンス)を示した。一方、図-2(b)に示す本体ロックの q はせん断過程の打ち切りとなる $\varepsilon_a = 15$ %まで増加傾向を示し、 ε_v も緩い砂に見られるような圧縮の挙動(負のダイレタンス)を示した。これらの材料による挙動の差異は、供試体の乾燥密度 ρ_d と別途実施した大型締固め試験による最大乾燥密度 ρ_{dmax} より算出した締固め度 D_c が粗石積層は $D_c = 95.6$ %であるのに対し、本体ロックは $D_c = 89.2$ %であることから締固め度の影響によるものであると推察される。また、最大軸差応力 q_{max} と σ_3 により作成したモールの応力円の包絡線から算定した見掛けの粘着力 c_d 、内部摩擦角 φ_d は、粗石積層は $c_d = 94.1$ kN/m²、 $\varphi_d = 42.8^\circ$ 、本体ロックは $c_d = 29.4$ kN/m²、 $\varphi_d = 38.7^\circ$ であった。

5. おわりに 本文では、施工後 45 年が経過した既設フィルダムの現状の安定性、さらに、大規模地震に対する安定性を評価するにあたり、堤体の材料特性を把握することを目的として実施した原位置及び室内試験の事例について述べた。今後は、別途実施した高密度表面波探査の結果も踏まえ、ダムの型式を考慮した安定性評価を行うことが望まれる。

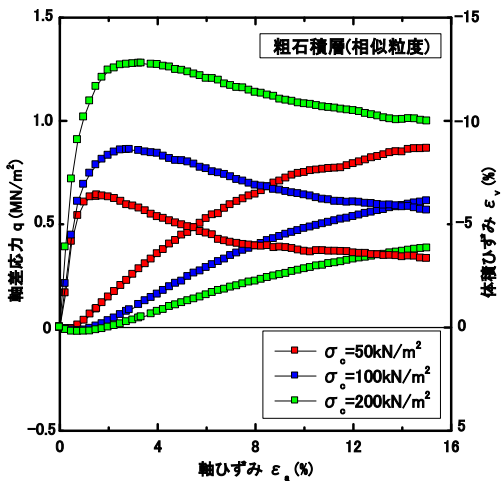
【参考文献】1)国土交通省河川局: 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説, 2005.3. 2)福島県農業用ダム・ため池耐震性検証委員会: 藤沼湖の決壊原因調査報告書, 2014.1. 3)藤本ら: 平成 28 年(2016 年)熊本地震による農業用ダムの被害調査報告, 平成 28 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.6-1, 2016.8. 4)農林水産省農村振興局: 土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」技術書, pp.I-288-I-290. 2003.6. 5)(財)ダム技術センター: 多目的ダムの建設-平成 17 年版 第 5 巻 設計II編, pp.106, 2007.6.

表-2(a) 堤体材料の物理特性(原粒度)

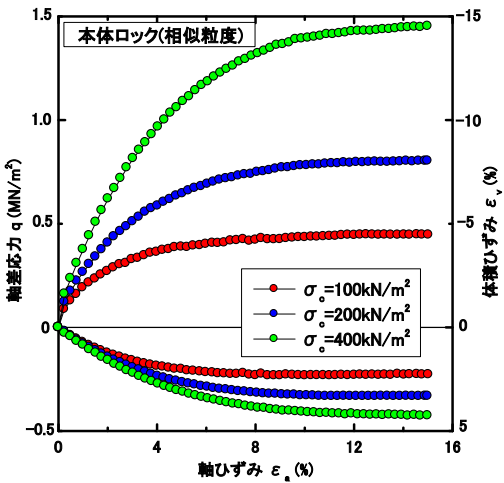
項目	記号	単位	原粒度($D_{max}=300$ mm)		設定根拠
			粗石積層	本体ロック	
土粒子の密度	ρ_s	g/cm ³	2.661	2.610	合成比重 ⁵⁾ より設定
湿潤密度	ρ_t	g/cm ³	1.974	1.877	現場密度試験
乾燥密度	ρ_d	g/cm ³	1.821	1.716	ρ_t, w より設定
含水比	w	%	8.4	9.4	土の含水比試験
間隙比	e	-	0.461	0.521	ρ_d, ρ_s より設定
飽和密度	ρ_{sat}	g/cm ³	2.136	2.058	ρ_s, ρ_w, e より設定

表-2(b) 堤体材料の物理特性(相似粒度)
※大型三軸圧縮試験の供試体の初期条件

項目	記号	単位	相似粒度($D_{max}=53$ mm)		設定根拠
			粗石積層	本体ロック	
土粒子の密度	ρ_s	g/cm ³	2.693	2.643	合成比重 ⁵⁾ より設定
湿潤密度	ρ_t	g/cm ³	2.063	1.947	ρ_d, w より設定
乾燥密度	ρ_d	g/cm ³	1.842	1.737	e, ρ_s より設定
含水比	w	%	12.0	12.1	締固め曲線より設定
間隙比	e	-	0.461	0.521	原粒度の間隙比より設定
飽和密度	ρ_{sat}	g/cm ³	2.158	2.079	ρ_s, ρ_w, e より設定



(a) 粗石積層



(b) 本体ロック

図-2 軸差応力 q ・体積ひずみ ε_v と軸ひずみ ε_a の関係