

拘束圧依存性を考慮したロック材料の合理的設計強度の設定方法

(独) 土木研究所 正会員 山口嘉一, 正会員 〇林 直良, 正会員 吉永寿幸

1. はじめに

現在, ロックフィルダムのロック材料のせん断強度は, 一般に三軸圧縮試験を実施し, 現行の震度法に基づく設計法によりモール・クーロンの破壊規準から得られた内部摩擦角のみを設計値として用いている¹⁾. これに対し, 1991年6月に「フィルダムの耐震設計指針(案)」²⁾が策定され, ロック材料のせん断強度の拘束圧依存性を考慮した ϕ_0 法等を組み合わせた修正震度法に基づく安定解析方法が提案されている. しかし, 三軸圧縮試験では約50kPa以下の拘束圧条件における試験を適切な精度で実施することが困難である. それゆえ, ロック材料の拘束圧依存性を考慮したせん断強度の評価を適切に行うためには, 三軸圧縮試験以外の試験もあわせた低拘束圧条件下でのロック材料のせん断強度の評価を行う必要がある³⁾.

本研究では, 実ダムのロック材料を用いた低拘束圧条件下での三軸圧縮試験に加え, 一面せん断試験および表層すべり試験を実施して50kPa以下の低拘束圧条件下での ϕ_0 を評価し, 低拘束圧条件下での所要精度を確保したうえで拘束圧依存性を考慮したロック材料の強度評価方法について検討を行う. さらに, ロックフィルダムの設計の合理化を目指した, 合理的な設計強度の設定方法について基礎的な検討を行う.

2. ロック材料の低拘束圧条件下における強度評価と合理的な設計強度の設定

2.1 評価・設定方法の概要

ロック材料の内部摩擦角の拘束圧依存性と低拘束圧域での評価, さらに合理的な設計強度の設定については, 内部摩擦角のみで強度を評価する ϕ_0 法²⁾を基本として, 既往の筆者らの実験的研究成果⁴⁾に基づいて図-1のように整理することができる.

まず, ロック材料に対する最も一般的な強度試験である三軸圧縮試験により, ロック材料の堤体内における拘束圧状況を踏まえて設定する数個の拘束圧条件における ϕ_0 を求める. しかし, 50kPa程度以下の低拘束圧域については三軸圧縮試験の実施が難しいため, 一面せん断試験および表層すべり試験により低拘束圧域での内部摩擦角 ϕ_0 および ϕ_i を求める. 得られた ϕ_0 , ϕ_i が, 三軸圧縮試験の最も低い拘束圧50kPaでの ϕ_0 と同等かそれ以上の値であることが確認できれば, 拘束圧50kPa以下の領域における強度として拘束圧50kPaでの ϕ_0 を与えるという強度設定方法を適用することも可能となる.

このように, 内部摩擦角を求め, 複数の試験値の下限や平均値をロックフィルダムのレベル2地震動に対する耐震性能照査に適用し, また, 試験下限値に適切な材料安全率を見込んで将来的な合理的設計における設計強度として適用することも可能であると考えられる.

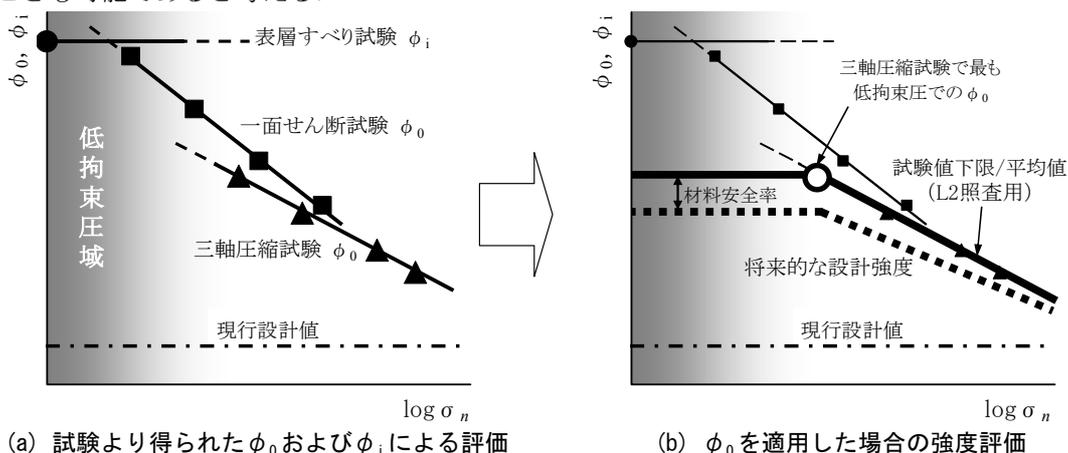


図-1 ロック材料の内部摩擦角の拘束圧依存性と低拘束圧域での評価および設計強度設定の概念

2.2 実材料に対する試験結果を用いた検討

拘束圧依存性を考慮したせん断強度を低拘束圧条件下も含めて適切に評価するため, 実ダムのロック材料(以下, 「A材料」という)を用いた三軸圧縮試験の他に一面せん断試験, 表層すべり試験を実施した⁴⁾. なお, 材質の違いについても検討するために, 笠間産砕石(以下, 「B材料」という)を用いて同様の試験を実施した.

各種試験の諸元は表-1のとおりである。また、各試料の物理特性を表-2に示す。なお、材料強度のとりまとめ方法は、三軸圧縮試験および一面せん断試験については ϕ_0 法を適用し、表層すべり試験については試料の表面が一部崩壊したとき、および試料が全面的に崩壊したときの安息角 ϕ_i を適用する。

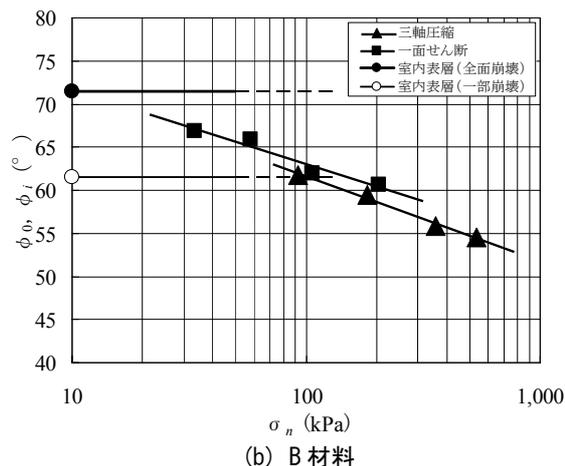
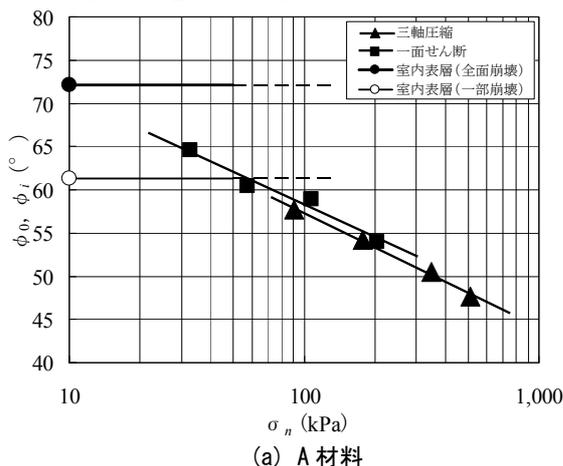
表-1 各種試験一覧

試験	大型三軸圧縮試験	大型一面せん断試験	表層すべり試験
特徴	・ロック材料のせん断強度評価に最も一般的に使用 ・50kPa以下の低拘束圧条件下では適切な精度の実施が困難	・三軸圧縮試験よりも低拘束圧条件の試験が可能 ・試験方法の原理が単純	・試料にほぼ拘束圧が作用していない状態を再現可能 ・試験装置は簡易だが、試験方法は基準化されていない
試験条件	CD条件、飽和・不飽和	定圧条件、飽和・不飽和(せん断箱周辺摩擦除去 ⁵⁾)	試料表乾状態
供試体寸法(mm)	直径600×高さ300	縦400×横400×高さ400	縦(上面600, 底面400)×横600×高さ200
相対密度 D_r (%)	90	90	90
拘束圧または垂直応力(kPa)	49, 98, 196, 294	25, 49, 98, 196	無し

表-2 試料の物理特性

試料	A材料	B材料
最大粒径(mm)	37.5	37.5
絶乾密度(g/cm^3)	2.391	2.661
吸水率(%)	4.66	0.66
$D_r=90\%$ 時乾燥密度(g/cm^3)	1.816	2.230

A材料およびB材料において実施した試験のうち、締め固めた試料を用いて不飽和条件で行った試験結果について、せん断面に作用する垂直応力 σ_n と内部摩擦角(ϕ_0 あるいは ϕ_i)との関係を図-2に示す。この図より、一面せん断試験は三軸圧縮試験よりも低拘束圧条件下での試験結果が得られ、また三軸圧縮試験で得られた ϕ_0 の結果のほぼ延長上にあると見なすことができ、三軸圧縮試験とともに三軸圧縮試験では実施できない低拘束圧条件下で一面せん断試験を実施することにより、かなり小さい低拘束圧域までのロック材料の強度増加を見込むことができる可能性が見いだせる。さらに、表層すべり試験の結果を加えると、室内せん断試験では難しい、より低拘束圧域においてもせん断試験結果の延長上に安息角がプロットでき、ロックフィルダムのロック材料の表層付近のせん断強度はかなり大きいことがわかる。

図-2 $\sigma_n - \phi$ の関係

以上より、三軸圧縮試験で得られた拘束圧に依存した ϕ_0 を基準として図-2を見れば、一面せん断試験および表層すべり試験の結果は、三軸圧縮試験の最も低拘束圧条件(50kPa)下で得られた ϕ_0 と同等以上の値となっていることから、安全側を見て、低拘束圧域においては三軸圧縮試験における最も低拘束圧の条件での ϕ_0 を与えるという強度設定方法を適用することが可能であると考えられる。

3. まとめ

ロックフィルダムのロック部の表層付近に相当する低拘束圧条件下においては、表層すべり試験および一面せん断試験を実施することにより、三軸圧縮試験では再現することが難しい低拘束圧条件下でのロック材料強度を評価することが可能であるといえる。これにより、せん断強度の設定については、最も一般に実施されている三軸圧縮試験を実施して拘束圧に依存した内部摩擦角 ϕ_0 を評価し、低拘束圧域については拘束圧が最も低い条件での ϕ_0 を与えるという強度設定方法を適用することが考えられる。

参考文献

- (財) 国土開発技術研究センター編：改定 解説・河川管理施設等構造令，(社) 日本河川協会，2000年1月。
- 建設省河川局開発課：フィルダムの耐震設計指針(案)，(財) 国土開発技術研究センター，1991年6月。
- 山口嘉一，佐藤弘行，中村洋祐，林 直良，倉橋 宏：低拘束圧条件下におけるロック材料強度の評価，ダム技術，No.249，pp.22-37，2007年6月。
- 山口嘉一，林 直良，吉永寿幸：拘束圧依存性を考慮したロック材料の設計強度に関する基礎的研究，ダム技術(投稿中)。
- 山口嘉一，佐藤弘行，林 直良，吉永寿幸，スレン ソッキアン，下村幸男：フィルダムのロック材料用大型一面せん断試験機の開発，第43回地盤工学研究発表会，2008年7月(投稿中)。