

# 基礎岩盤の強度の変動を考慮した重力式コンクリートダムの安全性に関する一考察

独立行政法人土木研究所 正会員○佐々木 隆、正会員 山口 嘉一、正会員 千葉 淳哉

## 1. 目的

土木構造物における設計基準は、信頼性設計の考え方を基本とした部分安全係数設計法への移行が進められつつある。日本のコンクリートダムの設計ではいまだ許容応力度法を採用しており、具体の限界状態を考え性能規定に基づいた照査・設計が導入されていないのが現状である。また海外においても、強度評価、荷重の組合せなどの一部に部分安全係数に相当する安全率を導入しているだけである。一方、近年の大地震の頻発を背景に、2005年3月に、国土交通省によりレベル2地震動に対するダムの耐震性能を照査する指針（案）<sup>1)</sup>が策定された。この指針（案）では、限界状態および性能規定の考え方が導入されたものの、信頼性設計の考え方は含まれていない。今後、レベル2地震動への対応を含めて、重力式コンクリートダムの設計に信頼性設計の考え方を導入することが必要とされるが、本報告では、将来の重力式コンクリートダムの限界状態設計法（部分安全係数法）を提案することを目的として、基礎岩盤の強度の変動がダムの安全性に及ぼす影響を、モンテカルロシミュレーションによって検討した結果を報告する。

## 2. 解析モデルと検討条件

解析モデルは、図-1に示すように堤高100mで上流面勾配が異なる3種類の重力式コンクリートダムを設定した。現行設計基準<sup>2)</sup>では、重力式コンクリートダムの安定条件として(1)外力の合力が堤体水平断面のMiddle Thirdに入ること、(2)Hennyの式でせん断摩擦安全率が4以上あること、(3)堤体中に生ずる応力が許容応力度を超えないことがあげられている。(3)の条件については一般に堤高150m以上のダムでなければ問題となることはないことから、本研究においては現行設計基準の(1)、(2)を満足する設計定数を設定し、基礎岩盤の強度を変動させてモンテカルロシミュレーションにより安定性の検討を行った。解析にあたっては、重力式コンクリートダムを対象としたモンテカルロシミュレーション解析プログラム「CADAM」<sup>3)</sup>を用いた。解析モデルの計算条件を表-1に示す。堤体に作用する荷重としては、自重、静水圧、地震時動水圧、地震時慣性力、揚圧力を考慮した。揚圧力については排水孔を考慮しないものとして設定した。表-1に示す基礎岩盤強度は、各モデルにおいてせん断摩擦安全率4となる値である。

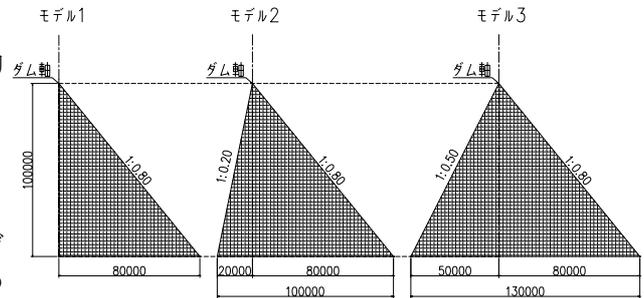


図-1 解析モデル

表-1 計算条件

単位容積	水	1,000
質量 (kg/m <sup>3</sup> )	コンクリート	2,300
	堆泥(水中)	-
堆泥圧係数		-
揚圧力係数		0.333
基礎岩盤 内部摩擦係数f		1.0
基礎岩盤 せん断強度(kPa)	モデル1	2,030
	モデル2	1,490
	モデル3	980
設計震度		0.15
貯水位(m)		90.0

表-2 入力パラメータ諸元

検討項目	単位	モデル	変動係数	平均値	標準偏差	備考		
せん断強度	kPa	モデル1	10%	2,230	200	正規分布 設計値=2030		
			20%	2,430	400			
			30%	2,630	600			
		モデル2	10%	1,640	150	正規分布 設計値=1490		
			20%	1,790	300			
			30%	1,940	450			
			モデル3	10%	1,080		100	正規分布 設計値=980
				20%	1,180		200	
				30%	1,280		300	
内部摩擦係数	-	モデル1~3	10%	1.10	0.10	正規分布 設計値=1.0		
			20%	1.20	0.20			
			30%	1.30	0.30			

検討を行う強度は、基礎岩盤せん断強度、内部摩擦係数とし、これらの入力パラメータの諸元を表-2に示す。計算ケースは、入力パラメータの変動の大きさによる安定計算結果への影響を確認するために、変動係数（標準偏差/平均値）10%、20%、30%の3種類を設定した。せん断強度、内部摩擦係数はそれぞれ完全独立のパラメータとして考え、モンテカルロシミュレーションにおいては、どちらか1つのパラメータのみばらつきを考慮した。なお、材料強度試験結果のばらつきを考慮して、せん断強度および内部摩擦係数の設計値を決定した場合を想定し、表-2の平均値は設計値（表-1に示した値）と標準偏差の和として設定した。試行回数は50,000回として解析を行った。

## 3. 解析結果

モンテカルロシミュレーションで発生させたモデル2におけるせん断強度の確率密度分布の例を図-2に、それに対応したHenny式による堤体全体のせん断摩擦安全率の確率密度分布を図-3に示す。同様に、モデル2における内部摩擦係数の確率密度分布を図-4に、それに対応したせん断摩擦安全率の確率密度分布を図-5に示す。なお、確率密度関数のピークが、変動係数が高くなるにつれて高くなるのは、入力値の平均値を設計値と標準偏差の和としているためである。せん断強度をばらつかせた場合に安全率4を下回る確率をまとめたグラフを図-6に、内部摩擦係数をばらつかせた場合に安全率4を下回る確率をまとめたグラフを図-7に示す。図-6および図-7より、上流面勾

キーワード 重力式コンクリートダム、性能規定、モンテカルロシミュレーション

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 Tel 029-879-6781 Fax 029-879-6737

配が急傾斜、つまり底面幅の狭いモデルほど安全率 4 を下回る確率が増大する傾向が見られる。変動係数が小さいほど、その傾向は顕著である。

次に、微視的なダム の安定性検討として、局所せん断摩擦安全率の検討を行う。重力式コンクリートダムにおいて、局所せん断摩擦安全率が問題となるのは堤趾部であることから、解析により求められた堤趾部応力を、水平方向の応力値と任意の方向における最小の応力値に分解し、それぞれの応力値から水平方向の局所せん断摩擦安全率、最小局所せん断摩擦安全率を算出<sup>4)</sup>した。

水平方向の局所せん断摩擦安全率の算出結果例として、モデル2におけるせん断強度の変動係数と水平方向の局所せん断摩擦安全率の関係を図-8 に示す。また、安全率 2 を下回る確率に着目して、変動係数ごとにまとめたグラフを図-9 に示す。図-9 より底面幅の広いダムほど安全率 2 を下回る確率が増大するが、その傾向はせん断強度の変動係数が大きいほど顕著になる。

最小局所せん断摩擦安全率の例として、モデル2におけるせん断強度のばらつきと局所せん断摩擦安全率の関係を図-10 に示す。また、安全率 1.5 を下回る確率に着目して、変動係数ごとにまとめたグラフを図-11 に示す。最小局所せん断摩擦安全率についても水平方向同様に底面幅の広いダムほど安全率 1.5 を下回る確率が増大するが、その傾向はせん断強度の変動係数には大きく影響されない。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下のである。(1)Henny 式による堤体全体のせん断安全率の検討においては、底面幅の狭いダムは、底面幅の広いダムに比べて、せん断強度、内部摩擦係数のばらつきの影響を受けやすく、底面幅の広いダムは底面幅の狭いダムに比べて安全余裕度が高い。(2)局所安全率の検討においては、底面幅の広いダムの方が安全余裕度が低い、水平方向のせん断安全率と最小方向のせん断安全率で、せん断強度、内部摩擦係数のばらつきの影響度が異なる。

これらの結果を踏まえ、今後は堤体全体および局所的なせん断安全性のバランスを考え、部分安全係数の検討をしていく必要がある。

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)」、2005.3
- 2) 社団法人日本河川協会「改訂 解説・河川管理施設等構造令」、2000.1
- 3) Martin Leclerc, Pierre Léjer, René Tiwani : CADAM User's Manual, 2001.4
- 4) 永山功:重力式コンクリートダムの構造設計における安全率についての考察 1989.8

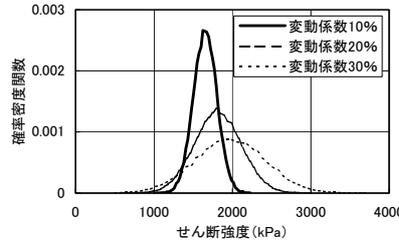


図-2 せん断強度の確率密度関数 (モデル 2)

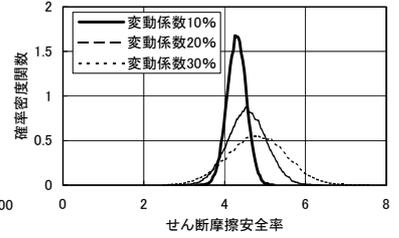


図-3 せん断摩擦安全率の確率密度関数 (モデル 2、せん断強度)

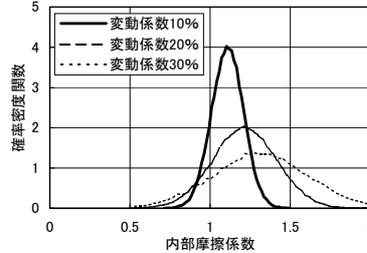


図-4 内部摩擦係数の確率密度関数 (モデル 2)

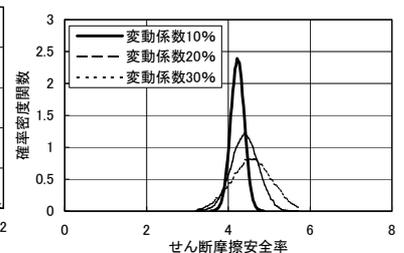


図-5 せん断摩擦安全率の確率密度関数 (モデル 2、内部摩擦係数)

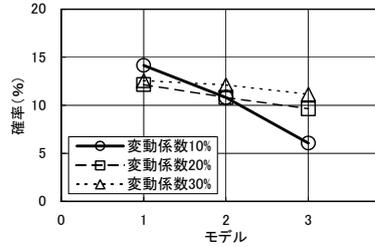


図-6 安全率 4 を下回る確率 (せん断強度)

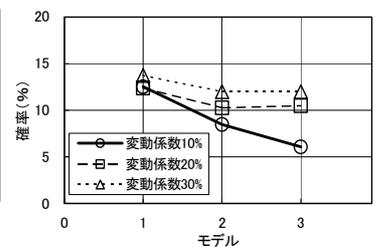


図-7 安全率 4 を下回る確率 (内部摩擦係数)

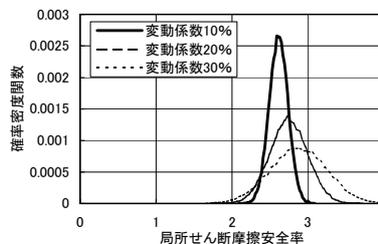


図-8 水平方向の局所せん断摩擦安全率の確率密度関数 (モデル 2、せん断強度)

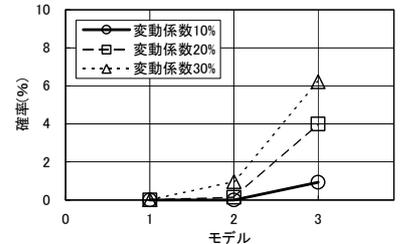


図-9 水平方向の局所せん断摩擦安全率 2 を下回る確率 (せん断強度)

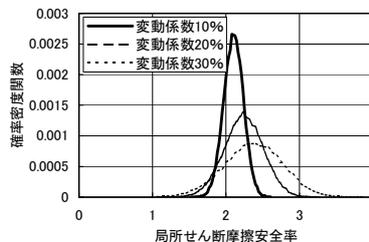


図-10 最小局所せん断摩擦安全率の確率密度関数 (モデル 2、せん断強度)

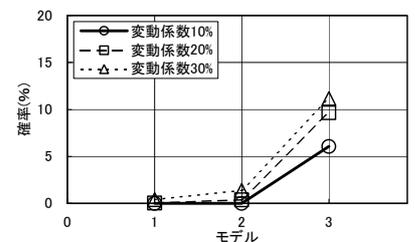


図-11 局所せん断摩擦安全率 1.5 を下回る確率 (せん断強度)