

強度の不均質性を考慮したフィルダムの安定解析に関する基礎的検討

土木研究所 正会員 ○佐藤 弘行

土木研究所 正会員 山口 嘉一

1. 目的

フィルダムの設計は円弧すべり法による安定解析により行われている。近年、種々の構造物の設計において、性能設計や信頼性設計を基本とした設計法の導入あるいは検討がなされており、フィルダムの設計においてもその検討を行う必要がある。本論文ではそのための基礎的な検討として、強度のばらつきを考慮した円弧すべり解析のモンテカルロシミュレーションを行い、強度のばらつき等が安全率の分布に及ぼす影響の基礎的な検討を行った。

2. 解析モデル

解析モデルを図-1 に示す。堤高 100m のフィルダムを模擬しており、上流面勾配は 1:2.5、下流面勾配は 1:2.0 とロックフィルダムとして一般的な値を設定した。なお、簡単のため貯水はモデル化していない。図-1 の解析モデルについて、図-2(a)から(e)に示すように、格子状の要素に分割し、各要素に内部摩擦角 ϕ を正規乱数として与え、円弧すべり解析のモンテカルロシミュレーションを行った。表-1 に解析条件を示す。粘着力 c はゼロとし、地震力として水平震度 $k=0.15$ を与えた。表-1 のとおり、 ϕ の標準偏差 σ の異なる 3 ケースについて検討を行った。各ケースについては、安定した統計量が得られるよう、シミュレーションの回数は 1 万回とした。

表-1 解析条件

	湿潤単位体積重量(kN/m^3)	内部摩擦角(度)	
		平均値 μ	標準偏差 σ
Case1	21.8	45	0.7
Case2			1.0
Case3			1.3

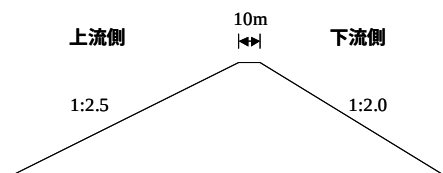


図-1 解析モデル

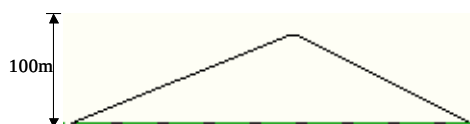


図-2(a) 分割なし

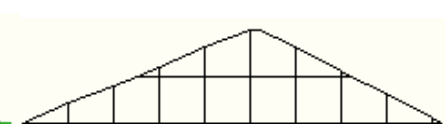


図-2(b) 50m の格子に分割

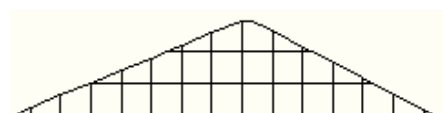


図-2(c) 33m の格子に分割

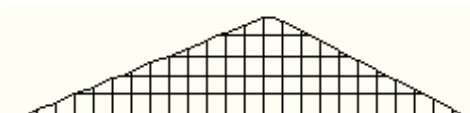


図-2(d) 20m の格子に分割

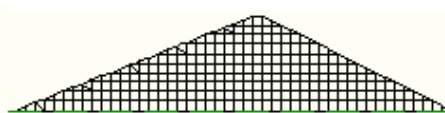


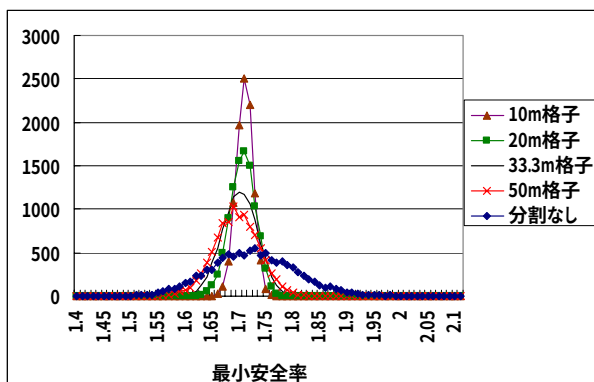
図-2(e) 10m の格子に分割

3. 円弧の堤体表面からの最低深度の影響

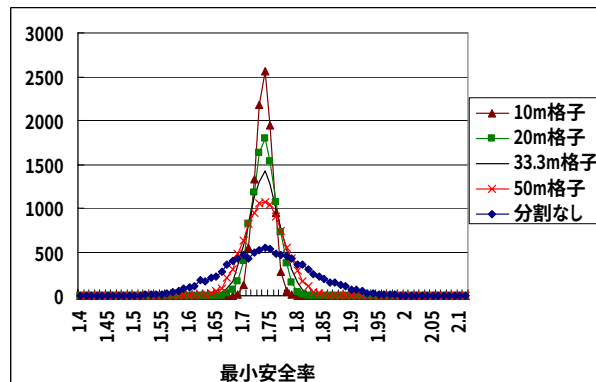
一般的に、ロックフィルダムのロック材は粘着力 $c=0$ として円弧すべり解析を行うため、最小安全率の円弧は堤体表面を切る円弧となり、図-2 のような堤体内部の物性のばらつきの影響を適切に評価することができない。そこでここでは、円弧の堤体表面からの最低深度を設定した時の最小安全率の分布を検討した。表-1 の Case3 の条件について、図-3(a)に円弧の深度が堤体表面からの 10m 以上に設定した場合の最小安全率の頻度分布、図-3(b)に円弧の深度が堤体表面からの 20m 以上に設定した場合の最小安全率の頻度分布を示す。どちらの場合についても、最小安全率の分布は概ね正規分布となる。地表面からの深度を 10m 以上にした時には、格子分割の大きさによって最小安全率の平均値に差が見られるが、地表面からの深度を 20m 以上にした時には、格子の大きさによらず最小安全率の平均値はほぼ一定値になる。また、図-4 に 10m 格子の時の最小安全率の円弧を示すが、堤体表面からの最低深度が 20m の方が、半径の小さい円弧が多いことがわかる。

キーワード フィルダム、円弧すべり、信頼性解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所水工研究グループ TEL029-879-6781 E-mail:h-sato@pwri.go.jp



(a) 堤体表面からの深度 10m 以上に設定した場合

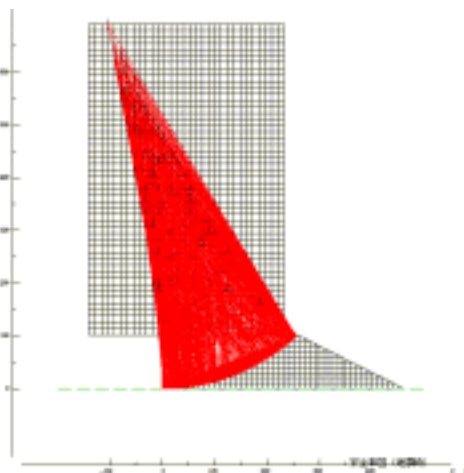


(b) 堤体表面からの深度 20m 以上に設定した場合

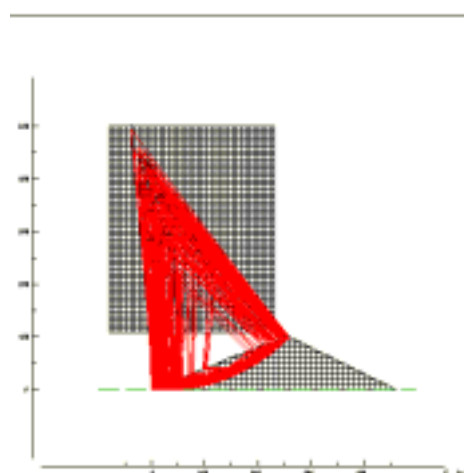
図-3 堤体表面からの最低深度を変化させた時の最小安全率の分布

4. 内部摩擦角の標準偏差と格子サイズの影響

堤体表面からの深度を 20m 以上とした時の、最小安全率の平均値と標準偏差を表-2(a)(b)に示す。3. の結果のとおり、安全率の平均値は、格子の大きさや ϕ の標準偏差によらずほぼ一定値となっているが、当然のことながら最小安全率の標準偏差は格子の大きさや ϕ の標準偏差に依存



(a) 堤体表面からの深度 10m 以上の場合



(b) 堤体表面からの深度 20m 以上の場合

図-4 最小安全率の円弧（最初の 1000 回のみ）

しており、 ϕ の標準偏差が小さく、あるいは格子の大きさが小さければ、最小安全率の標準偏差は小さくなる。表-2(b)の標準偏差を見ると、最小安全率の標準偏差の比率 (Case2/Case1, Case3/Case1) は、格子の大きさによらず、 ϕ の標準偏差の比率 ($1.0/0.7=1.429$, $1.3/0.7=1.857$) にほぼ近い値となっており、他の解析条件が等しければ、 ϕ のばらつきが変化した時の最小安全率のばらつきの変化は、 ϕ のばらつきの変化の比率から推定できるものと考えられる。

5. おわりに

フィルダムの設計における性能設計、信頼性設計の基礎的な検討として、強度のばらつき等が安全率の分布に及ぼす影響の検討を行った。一般にロックフィルダムの設計においてはロック材の粘着力を考慮しない安全側の設計が行われているため、堤体内部の物性のばらつきを考慮するために円弧の堤体表面からの最低深度の影響についての検討を行った。また、その結果を踏まえて、内部摩擦角のばらつきや、ばらつきの空間的なスケールが、最小安全率の分布に与える影響の検討を行った。今後は、既設フィルダムの堤体の物性に関するデータ分析や引き続き解析による検討を行いたい。

表-2(a) 最小安全率の平均値

	分割なし	50m格子	33.3m格子	20m格子	10m格子
Case1	1.738	1.738	1.738	1.737	1.737
Case2	1.739	1.737	1.737	1.737	1.736
Case3	1.740	1.734	1.734	1.735	1.733

表-2(b) 最小安全率の標準偏差

	分割なし	50m格子	33.3m格子	20m格子	10m格子
Case1	0.042	0.019	0.016	0.012	0.009
Case2	0.061	0.028	0.022	0.018	0.012
(Case2/Case1)	(1.439)	(1.439)	(1.431)	(1.419)	(1.398)
Case3	0.079	0.037	0.029	0.023	0.015
(Case3/Case1)	(1.890)	(1.890)	(1.869)	(1.839)	(1.780)