

フィルタ剛性に着目したロックフィルダムの水圧破碎に関する研究

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一
 独立行政法人土木研究所 正会員 富田尚樹
 独立行政法人土木研究所 正会員 佐藤弘行
 独立行政法人土木研究所 正会員 水原道法

1. まえがき

土質遮水壁型ロックフィルダムの建設において、遮水材料であるコア材料の確保が困難であったり、多雨あるいは寒冷地域ではコアの施工日数が短く、コアの施工が施工全体のクリティカルパスとなることがしばしば見られ、これらの問題を解決するためにコア幅の縮小が検討されることがある。既往の研究^{1), 2)}より、コア幅やフィルタ幅を減少させた場合に、水圧破碎に対する安全性が低下することが判明している。本研究では、フィルタの剛性（弾性係数）を変化させた築堤・湛水解析を行い、フィルタ剛性とコアの水圧破碎に対する安全性の関係について検討を行った。

2. 検討概要

本研究では、図-1に示す中央土質遮水壁型ロックフィルダムのモデルを対象に検討を行った。

解析モデルは、堤高 100m、上流・下流斜面勾配はそれぞれ現行設計法である震度法³⁾によるすべり安全率 1.20 以上をぎりぎり満たす 1:2.6 および 1:1.9 とした。

コアおよびフィルタの勾配 n_c 、 n_f は、表-1に示す 6 とおりの組み合わせ（ n_c 3 種類、 n_f 2 種類）に、フィルタ剛性は 5 とおりに設定した。

すべり安定解析における入力物性値は、表-2に示す七ヶ宿ダムの堤体材料の設計値⁴⁾を参考に設定した。

築堤解析は Duncan-Chang モデルによる非線形弾性解析により行った。Duncan-Chang モデルにおける、弾性係数 E は次式で定義される。

$$E = K \cdot P_a \cdot \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n \cdot \left\{ 1 - \frac{R_f \cdot (1 - \sin \phi) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2 \cdot c \cdot \cos \phi + 2 \cdot \sigma_3 \cdot \sin \phi} \right\}^2 \dots (1)$$

ここで、 σ_1 :最大主応力、 σ_3 :最小主応力、 P_a :大気圧、 c :粘着力、 ϕ :内部摩擦角、 K :弾性係数を定義する係数、 n :拘束依存性を定義する係数、 R_f :破壊比である。解析における入力物性値は、すべり安定解析同様、表-3に示す七ヶ宿ダムの堤体材料の試験値⁵⁾を参考に設定した。

湛水解析では、築堤解析終了後の堤体上流斜面に静水圧を与え、上流側ロック、フィルタ部分およびコア部分に土被り厚分の飽和重量と湿潤重量の差分を浸透力として与えることにより、湛水時の全応力を算出した。貯水位は、常時満水位相当の水位として堤高の 92% の 92m とした。算出されたコア部分の最小主応力(全応力)と間隙水圧より、次式より水圧破碎に対する安全率 SF_{hf} を評価した。

$$SF_{hf} = (m \cdot \sigma_3 + n) / u \dots (2)$$

ここで、 σ_3 :最小主応力(全応力)、 u :間隙水圧、 m 、 n :定数である。なお、式(1)の分母が水圧破碎に対する抵抗力を表している。

【キーワード】フィルダム、コア、水圧破碎、フィルタ剛性

【連絡先】〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 Tel.0298-79-6781 Fax.0298-79-6737

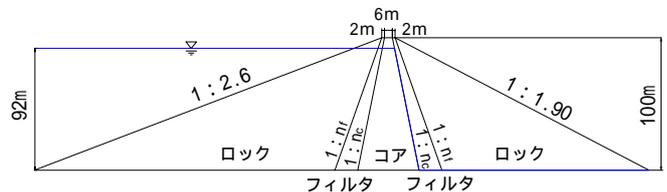


図-1 解析モデル

表-1 解析ケース

解析ケース	コア勾配 n_c	フィルタ勾配 n_f	フィルタ剛性に関わる定数K
ケース1	0.2	0.2	200
ケース2		0.35	400
ケース3	0.15	0.15	608
ケース4		0.35	800
ケース5	0.1	0.1	1000
ケース6		0.35	

表-2 すべり安定解析の条件

項目	モデル条件		
堤高(m)	100		
貯水池水位	堤高の92%		
設計震度	0.15		
湿潤、飽和密度 (t/m ³)	コア	2.22, 2.23	
	ロック	1.94, 2.15	
	フィルタ	2.13, 2.14	
堤体材料のせん断強度	粘着力 (kN/m ²)	コア	0
		ロック	0
		フィルタ	0
	内部摩擦角 (°)	コア	35
		ロック	42
		フィルタ	36

式(1)において、 $m=1$ 、 $n= \sigma_t$ (引張強度)としたものが、式(2)のSeedの基準⁵⁾に対応する。

$$SF_{hf} = (\sigma_3 + \sigma_t) / u \dots (3)$$

本検討では、田頭⁶⁾が既往の研究成果を整理した結果に基づき、 $m=1$ 、 n については安全側の対応として 0 kN/m^2 とした。

3. 検討結果

解析により得られた、各コア勾配、フィルタ勾配におけるフィルタ弾性係数を定義する係数 K と水圧破碎に対する安全率の関係を図 - 2 に示す。

これらの図より、以下のことがわかる。

コアの勾配が急になると、水圧破碎に対する安全率が小さくなっている。

フィルタの勾配が小さくなると、水圧破碎に対する安全率が小さくなっている。

フィルタ剛性が大きくなると、水圧破碎に対する安全率が小さくなっている。

、については、フィルタの弾性係数を定義する係数 K を 608 とした既往の研究²⁾でも同様の傾向が確認されていた。

図 - 3 に、今回検討を行った中で最もコア勾配の緩やかなケース 2 (コア勾配 1:0.2、フィルタ勾配 1:0.35) および最もコア勾配の急なケース 6 (コア勾配 1:0.1、フィルタ勾配 1:0.35) のうち、フィルタの弾性係数を定義する係数 K が 200 および 1000 である場合のコア上流面要素の最小主応力の分布を示す。図 - 3 より、コア勾配が急であるほど (コア幅が狭いほど)、コアにおける最小主応力 (全応力) が小さくなっていることがわかる。このことがコアの勾配が小さくなるほど、水圧破碎に対する安全率が小さくなる要因であると考えられる。また、フィルタ剛性が大きいほど、コアにおける最小主応力 (全応力) が小さくなっており、このことがフィルタ剛性が大きくなるほど、水圧破碎に対する安全率が小さくなる要因であると考えられる。紙幅の都合上示していないが、フィルタ勾配が小さいほど (フィルタ幅が狭いほど)、コアにおける最小主応力 (全応力) が小さくなっており、このことがフィルタ勾配が小さいほど、水圧破碎に対する安全率が小さくなる要因と考えられる。

4. まとめ

本研究では、中央土質遮水壁型ロックフィルダムを対象に、コア幅やフィルタ幅とともにフィルタ剛性も組み合わせて変化させた築堤・湛水解析を行い、水圧破碎に対する安全性について検討を行った。今後は、水圧破碎に伴う進行的破壊などを考慮し、中央土質遮水壁型ロックフィルダムの水圧破碎に対する安定性についてさらに詳細に検討していく予定である。

<参考文献>

- 1) 石黒 健、内田善久、鶴田 茂、中野 靖、太田秀樹：大型ロックフィルダムの浸透破壊現象の評価に関する検討、地盤の浸透破壊のメカニズムと評価手法に関するシンポジウム発表論文集、pp.163~172、2002年11月。
- 2) 山口嘉一、富田尚樹、佐藤弘行、水原道法：水圧破碎に着目したロックフィルダムのコア幅に関する研究、第40回地盤工学研究発表会（投稿中）。
- 3) 建設省河川局監修：改訂新版 建設省河川砂防技術基準（案）同解説、設計編 [1]（社）日本河川協会、1997年10月。
- 4) 松本徳久、安田成夫、大久保雅彦、境野典夫：七ヶ宿ダムの動的解析、建設省土木研究所資料、第2480号、1987年3月。
- 5) Seed, B. and Duncan, J.M : The Teton Dam Failure-A Petrospective Review, Proc., 10th Int. Conf. S.M.F.E., 1981.
- 6) 田頭秀和：既往研究例による水圧破碎圧と最小拘束圧との関係を表す線形近似式の比例定数および定数項の値について、地盤の浸透破壊のメカニズムと評価手法に関するシンポジウム発表論文集、pp.141~148、2002年11月。

表 - 3 築堤解析の条件

項目	モデル条件		
	ロック	フィルタ	コア
材料の種類			
湿潤密度 ρ_s (t/m^3)	1.94	2.13	2.22
粘着力 c (kN/m^2)	0	0	0
内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	42	36	35
弾性係数を定義する係数 K	850	200 ~ 1000	141
拘束依存性を定義する係数 n	0.371	0.419	0.941
破壊比 R_f	0.387	0.998	1.039
初期ポアソン比 G	0.324	0.252	0.397
ポアソン比に関わる係数 F	0.269	0.173	0.098
ポアソン比に関わる係数 D	13.82	11.16	7.96

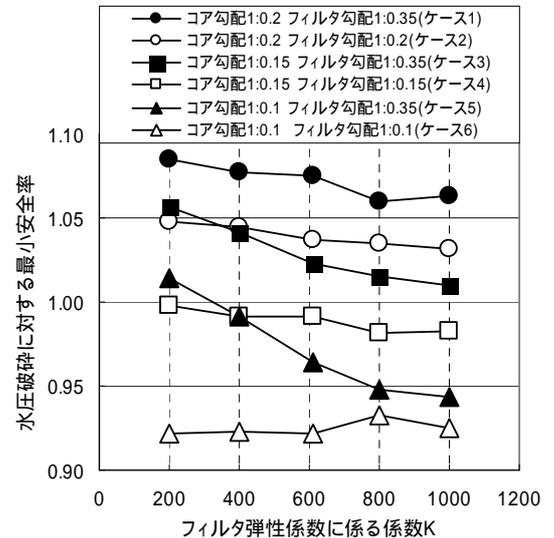


図 - 2 水圧破碎に対する最小安全率の分布

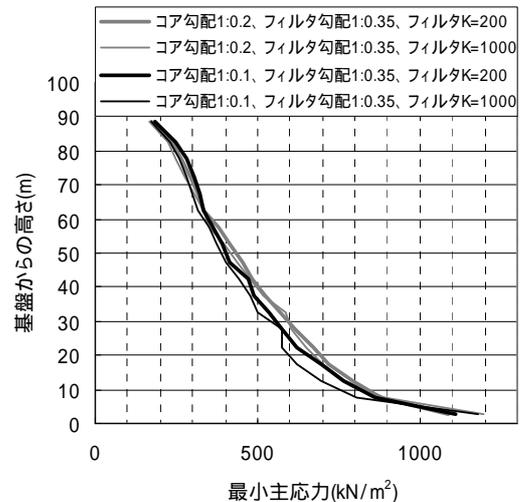


図 - 3 最小主応力の分布