

ロックフィルダムの上流側斜面のすべり安定性に与える貯水位の影響

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一、中村 真、佐藤弘行、富田尚樹

1. はじめに

ロックフィルダムの堤体断面設計においては、貯水位が発生して継続する状態の頻度と、地震が発生する頻度を考慮したうえで、常時満水位やサーチャージ水位などの貯水位ごとに地震時に作用させる慣性力を変化させている¹⁾。しかし、現行設計法である震度法¹⁾や堤体の地震時応答を考慮した修正震度法²⁾を用いて、地震荷重を一定とし、貯水位を変化させて、すべり安定性に与える影響を体系的に検討された事例はない。また、現在、大規模地震に対するダムの耐震性能照査についての検討^{3),4)}が鋭意進められているが、照査に用いる貯水位の設定は重要な課題である。

本論文では、ロックフィルダムのすべり安定性に与える貯水位の影響についての基礎的検討として、中央土質遮水壁（コア）型ロックフィルダムをモデルとして、堤体の地震時応答を考慮した修正震度法を用いて、貯水位とすべり安全率およびそれを与えるすべり面位置をもとめ、貯水位の影響を考察する。

2. 解析モデルと解析条件

モデルダムの堤高 H は 30、60、90、120、150m の 5 種類とし、天端幅は堤高によらず 10m とした。また、上下流のロックゾーンとコアゾーンのみをモデル化した。コアゾーンの上下流勾配はともに 1:0.2 とした。また、ロックゾーンの上下流勾配は、現行設計法である震度法により、強震帯における震度 $k_s=0.15$ 、貯水位 $h=0.92H$ （常時満水位相当）という条件で、最小安全率が 1.2 程度（ただし、1.2 以上）になる勾配として上流側 1:2.7、下流側 1:1.9 と決定した。なお、震度法における設計値として、コア材料、ロック材料とも表-1⁵⁾中の粘着力 c と、内部摩擦角 ϕ を用いた。また、解析に用いたモデルダムのうち堤高 90m のモデルの断面を図-1 に示す。

堤体の地震時応答を考慮した修正震度法を用いて貯水位の影響を検討するが、基準となる貯水位 h は、常時満水位相当の $0.92H$ とした⁵⁾うへで、堤高 H の 0、25、50、70、80、85、90、92、95、97、100%と変化させた。また、修正震度法によるすべり安定解析に用いるロック材料のせん断強度定数は、表-1 中の（A、b）である。

修正震度法における震力係数 k の分布としては、図-2 のとおり、堤高 100m 以下のダムについては「フィルダムの耐震設計指針（案）」²⁾で規定されている分布を、また堤高 100m を超えるダムについては「フィルダム設計合理化検討分科会報告書」⁶⁾で提案されている分布を用いた。

地盤震度 k_F としては、修正震度法における強震帯での値 $k_F=0.18$ と、貯水位 h が $0.92H$ の条件下で修正震度法による最小安全率が概ね 1.0（ただし、1.0 以上）となる地盤震度の 2 種類を設定した。なお、この地盤震度は 0.27～0.30 の範囲の値であった。

3. 解析結果

堤高 H と地盤震度 k_F の組合せごとに整理した h/H と最小安全率 SF_{min} の関係を図-3 に示す。また、図-3 における最小安全率を常時満水位相当条件の $h/H=0.92$ の時の最小安全率で正規化したものとの関係を図-4 に示す。これらの図より以下のことがわかる。

キーワード ロックフィルダム，安定性，貯水位，円弧すべり解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 TEL029-879-6781

表-1 すべり安定解析に用いた入力物性値の一覧

コア材料 物性値				ロック材料 物性値				A ^{a)}	b ^{a)}
湿潤密度 ρ_t (kN/m^3)	飽和密度 ρ_{sat} (kN/m^3)	粘着力 c (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	湿潤密度 ρ_t (kN/m^3)	飽和密度 ρ_{sat} (kN/m^3)	粘着力 c (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)		
21.8	21.9	0	35	18.4	20.4	0	42	4.367	0.804

^{a)}A,bについては、応力単位を kN/m^2 として求めた数値である。

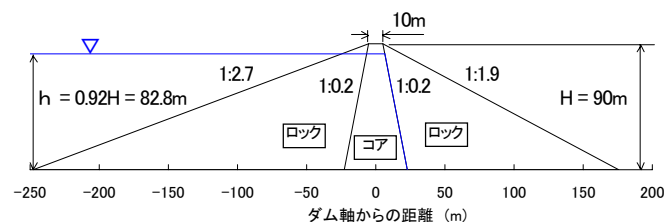


図-1 モデルダム断面（H=90m）

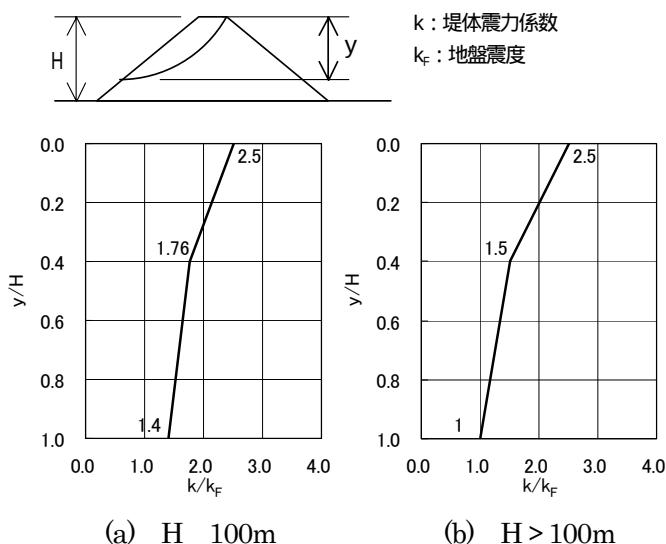


図-2 修正震度法における震力係数分布

- (1) H と k_F の組合せによらず、 h/H が大きい、つまり貯水位が高くなるほど最小安全率は小さくなる。
- (2) h/H の増加に伴う最小安全率の減少率は $h/H=0.85 \sim 0.9$ あたりから大きくなっている。このことは、貯水位が高い部分での貯水位の上昇による最小安全率の低減が相対的に大きいことを示している。
- (3) 常時満水位相当の $h/H=0.92$ に対し、 $h/H=0.95$ 、 0.97 をサーチャージ水位相当と考え、作用する地震荷重が同じであれば、最小安全率は $k_F=0.18$ の場合でそれぞれ $2.5 \sim 4.4\%$ 、 $4.0 \sim 6.5\%$ 低下し、 $h/H=0.92$ で最小安全率が 1.0 となる地盤震度の場合でそれぞれ $4.0 \sim 5.6\%$ 、 $6.7 \sim 9.4\%$ 低下することがわかる。フィルダムのすべり安定計算に基づく断面設計における所要安全率が 1.2 であることを考えると、 $5 \sim 10\%$ 程度の低下は比較的大きな低下であるといえる。

また、最小安全率を与える円弧形状の一例として、 $H=90\text{m}$ 、 $k_F=0.18$ の場合の結果を図-5 に示す。なお、他の H と k_F の組合せでもほぼ同様な結果となっている。この図および他の結果も踏まえると、以下のことがわかる。

- (1) 貯水位が存在しないか、きわめて低い $h/H=0.0 \sim 0.25$ では、 y/H は小さい、つまり堤高の標高の高い部分を切る円弧が最小安全率を与えるが、 $h/H=0.25 \sim 0.50$ あたりで y/H がかなり大きい円弧が最小安全率を与えるようになり、その後 h/H が大きくなるにしたがって y/H が小さくなることからわかる。
- (2) 常時満水位程度より高い貯水位条件に相当すると考えられる h/H が 0.90 以上の部分では、全体的に y/H の小さい、つまり標高の高い部分を切る円弧が最小安全率を与えること、また h/H が大きくなるにしたがって y/H が小さくなる傾向があることがわかる。

いま、大規模地震時に大きなすべり変位量（広義には塑性変形量）が発生する部分が上記の最小すべり安全率を与える円弧に概ね合致すると考えると、地震時の貯水位が高くなるほど安全率は低下するとともにすべり変位量は大きくなると考えられるが、一方でその損傷領域は標高の高い部分に限定されるとも考えられる。そのため、今後の大規模地震時のロックフィルダムの耐震性照査に際しては、貯水位が発生して継続する状態の頻度と地震が発生する頻度との関連のほか、貯水位に対応した最大すべり変位が発生すると予想される領域も踏まえて、解析時の貯水位条件を設定する必要があると考える。

5. まとめ

本論文では、中央土質遮水壁（コア）型ロックフィルダムをモデルとして、貯水位とすべり安全率およびそれを与えるすべり面位置をもとめ、それぞれに対する貯水位の影響を検討した。今後は、ここで得られた知見も踏まえて、大規模地震時のロックフィルダムの耐震性照査解析に用いる貯水位条件を設定する必要があると考える。

参考文献

- (1) (財)国土開発技術研究センター：改定 解説・河川管理施設等構造令、(社)日本河川協会、2000。
- (2) 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。
- (3) 山口嘉一、佐藤弘行：Newmark 法による大規模地震時のロックフィルダムの沈下量予測、第 58 回土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)、2003。
- (4) 山口嘉一、佐藤弘行、富田尚樹、水原道法：大規模地震に対するロックフィルダムの耐震性能照査 - Newmark 法における最大すべり変位量を与える円弧の検討 -、第 31 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM)、2004。
- (5) ダムの耐震性に関する評価検討委員会：ダムの耐震性に関する評価検討委員会報告書、(財)国土開発技術研究センター、1995。
- (6) フィルダム設計合理化検討分科会：フィルダム設計合理化検討分科会報告書、(財)ダム技術センター、2001。

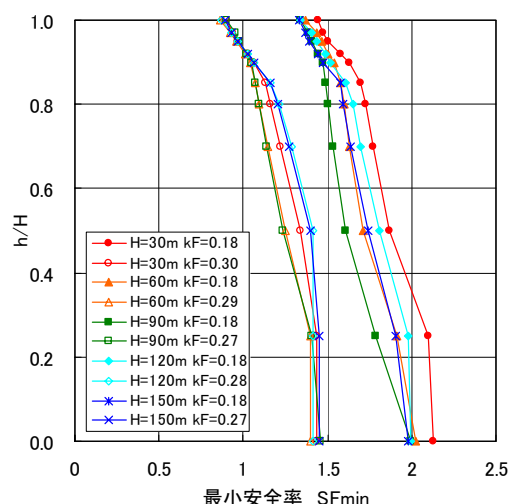


図-3 h/H と最小安全率の関係

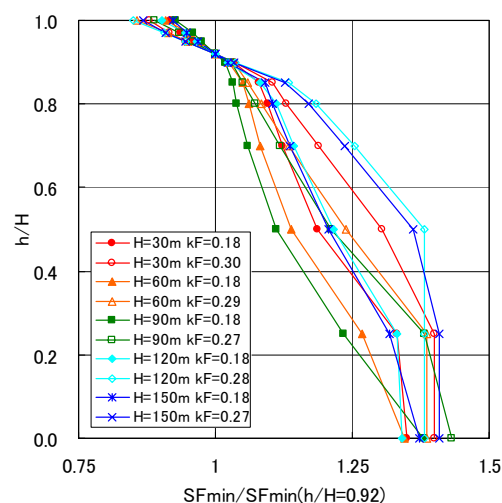


図-4 h/H と $h/H=0.92$ の時の最小安全率で正規化した最小安全率の関係

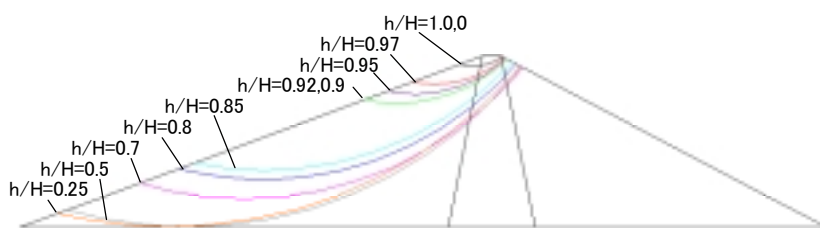


図-5 最小安全率を与える円弧形状 ($H=90\text{m}$ 、 $k_F=0.18$)