

ロックフィルダム表面劣化がすべり安全率に与える影響

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一, 正会員 ○大川孝士

1. はじめに

ロックフィルダムの表面は、波浪、風、雨、気温の変化、貯水位の変動などの苛酷な条件下におかれるため、侵食作用及び堤体材料の風化を防止することを目的にリップラップ層（法面保護工）が形成されている¹⁾。リップラップには堅固で耐久性に優れた岩塊を用いられることになっているが、一部のダムではリップラップの岩塊が風化、劣化して細片化している事例²⁾が見受けられる。リップラップが風化、劣化しているダムでは、リップラップの補修が検討される場合があり、この際、補修の時期が議論となる。このような状況を鑑み、本研究ではリップラップの風化、劣化がロックフィルダム堤体のすべり安定性に与える影響を数値解析により検討する。

2. 解析方法および解析条件

1) 解析モデル

解析モデルは、図-1 に示す堤高 100m の中央土質遮水壁（コア）型ロックフィルダムモデルで、堤体のみをモデル化した。

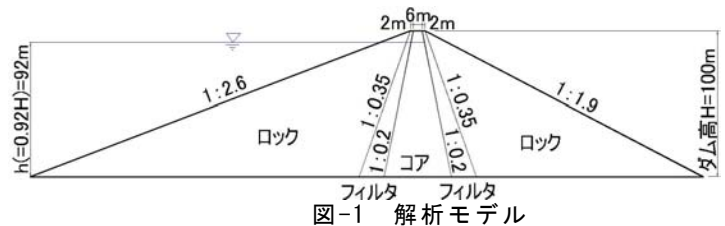


図-1 解析モデル

表面保護層であるリップラップの劣化が堤体のすべり安定性に与える影響を検討するに際し、設計上安全側の立場から、表面劣化を上下流の法面表層を一樣厚で断面欠損させることによりモデル化した。なお、断面欠損（劣化）の厚さは、図-2 に示すように法面に直交する方向の厚さで定義する。実際のリップラップの厚さは、既往事例¹⁾によると、上流面で0.6～3.5m、下流面で0.3～3.5mの範囲にあることから、ここでは上下流面のほぼ平均的な厚さである2.0mと

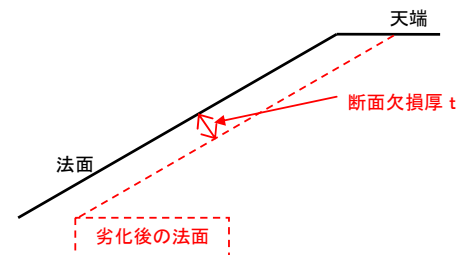


図-2 断面欠損（劣化）の厚さの定義

表-1 すべり安定解析に用いた主な物性値

ゾーン	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	飽和密度 ρ_{sat} (g/cm ³)	解析に用いる材料強度			
			$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$		$\tau_f = A \sigma_n^b$	
			c (tf/m ²)	ϕ (°)	A (kgf/cm系)	b (kgf/cm系)
コア	2.22	2.23	0	35	-	-
フィルタ	2.13	2.24	0	36	-	-
ロック	1.94	2.15	0	42	1.778	0.804

2) 解析に用いた物性値

すべり安定解析に用いた主な物性値を表-1 に示す。これらの物性値は、我が国の内部土質遮水壁（コア）型ロックフィルダムの標準的な堤体材料と判断した材料の設計値ないしは試験値を基本に設定した。

表-2 解析ケース

ケース名	すべり安定解析方法	表層劣化による断面欠損厚 t (m)
case I-1	震度法 (強震帯 $k=0.15$)	0.0
case I-2		0.5
case I-3		1.0
case I-4		2.0
case II-1	修正震度法 (強震帯 $k_F=0.18$)	0.0
case II-2		0.5
case II-3		1.0
case II-4		2.0

3) 解析ケース

ロックフィルダムの表層部の劣化がすべり安定性に与える影響を確認するために、表-2 に示すように表層の断面欠損厚 t を 0.0m、0.5m、1.0m、2.0m の 4 ケースで設定し、それぞれの t に対し震度法と修正震度法に基づく 2 種の安定解析方法を用い、上下流法面のすべり安全率を算出した。

なお、震度法における設計震度は $k=0.15$ （強震帯）を用い、修正震度法では設計地盤震度 $k_F=0.18$ （強震帯）と図-3 の堤体震力係数分布を組み合わせて用いた。

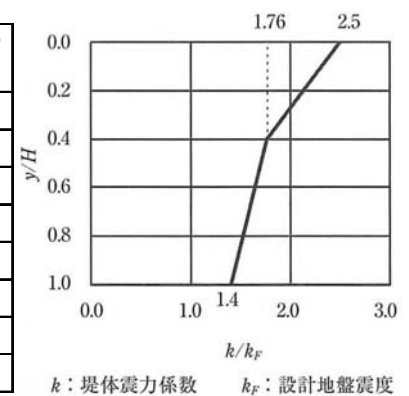


図-3 堤体震力係数分布¹⁾

キーワード ロックフィル, リップラップ, 表層劣化, すべり安定解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 TEL029-879-6781 FAX029-879-6737

3. 解析結果

すべり安定解析結果の一覧を表-3 に、また最小すべり安全率 SF_{min} と表層劣化による断面欠損厚 t との関係を図-4 に示す。

これらの結果から、震度法によるすべり安全率は表層劣化による断面欠損厚の大小関係にほとんど影響されないことがわかる。一方、修正震度法では断面欠損厚が大きくなるとすべり安全率が低下する傾向があり、相対的に下流側で安全率の低下が大きいことがわかる。

case I -2 (震度法、 $t = 0.5m$) の最小すべり安全率を与えるすべり円弧を図-5 に例示している。現行の設計法である震度法で、図-1 に示す単純なゾーニングのロックフィルダムでは、ダムの安定性は表層すべりで決定する。そのため、一様に表層を断面欠損させた場合、ダムの上下流勾配に変化がなく、その安全率はロック部の表層すべりで規定されるため、最終的にすべり安全率が変化しない。したがって、現行の設計法である震度法による限り、リップラップ材の風化・劣化による断面欠損が本研究で想定する厚さまでであれば、直ちに安定性の低下に作用することはないと言える。

一方、図-6 に case II -2 (修正震度法、 $t = 0.5m$) の最小すべり安全率を与える円弧を例示している。修正震度法では震度法に比べて天端付近の円弧半径の小さいすべりで安定性が決定している。なお、全ケースで修正震度法における最小すべり安全率は震度法の最小すべり安全率を上回っている。ここで、震度法は現行の設計法で、修正震度法は将来の設計法を見通した耐震性の照査法と位置付けられている。例えば、震度法においては材料強度に安全率を見込んで設計強度を設定しているが、修正震度法では耐震性照査方法という観点から材料強度に安全率を見込まないことが一般的である。そのため、両者のすべり安全率の定量的な比較にはあまり意味がない。

ここで重要なことは、修正震度法は震度法に比べより実際に近い震度分布、材料強度特性（特に、ロック材料）を用いた安定解析法であることから、地震時には高標高部でのすべりの発生が懸念され、その部分におけるすべり安全率は、リップラップ材料の風化・劣化による断面欠損が地震時、特に大規模地震時のすべり安全率あるいは耐震性能に大きな影響を与えられとされる。

4. まとめ

本研究における検討結果から、現行の設計法である震度法における設計地震レベルの地震動では、表面劣化による断面欠損がすべり安定性にほとんど影響を与えないと言える。しかし、リップラップ材料の風化・劣化は景観上、あるいは長期の安定性上、ある段階で何らかの対応が議論されることになる。

また、レベル2地震動などの大規模地震時にはすべり安定性に影響する可能性が高く、今後、更なる検討が必要である。

参考文献

- (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設－平成17年版 第4巻 設計I編，2005年6月。
- 山口嘉一，大川孝士，上阪恒雄：ロックフィルダムのリップラップの劣化調査事例，平成22年度 土木学会東北支部 技術研究発表会 講演概要集，2011年3月。

表-3 すべり安定解析結果の一覧

ケース名	表層劣化による断面欠損厚 t (m)	すべり安定解析方法	最小すべり安全率 SF_{min}	
			上流側法面	下流側法面
case I -1	0.0	震度法 (強震帯 $k=0.15$)	1.209	1.229
case I -2	0.5		1.209	1.228
case I -3	1.0		1.209	1.227
case I -4	2.0		1.208	1.226
case II -1	0.0	修正震度法 (強震帯 $k_F=0.18$)	1.380	1.577
case II -2	0.5		1.364	1.497
case II -3	1.0		1.348	1.414
case II -4	2.0		1.321	1.330

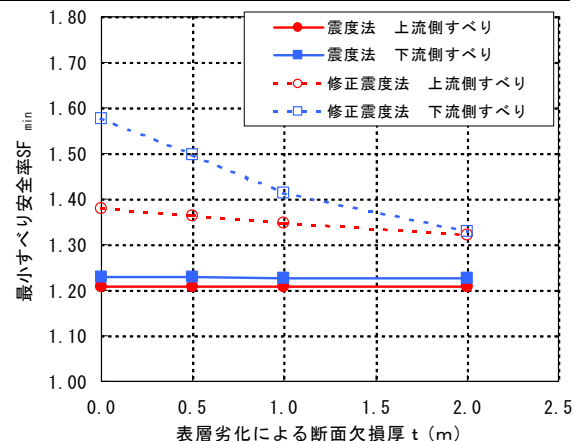


図-4 最小すべり安全率と表層劣化による断面欠損厚 t との関係

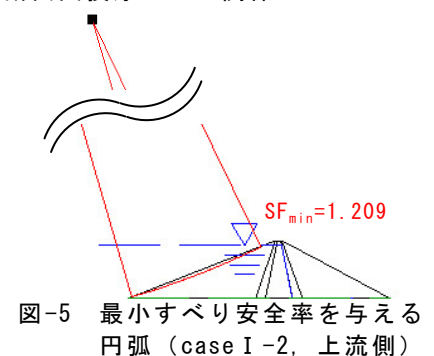


図-5 最小すべり安全率を与える円弧 (case I -2, 上流側)

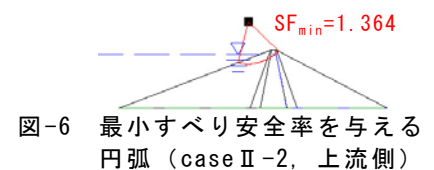


図-6 最小すべり安全率を与える円弧 (case II -2, 上流側)