

堤高 100m 以上のロックフィルダムの震力係数に関する検討

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一, 正会員 佐藤弘行,
 正会員 ○大川孝士, 林 直良

1. はじめに

1991年に「フィルダムの耐震設計指針(案)」¹⁾(以下, 指針(案)という)が発刊され, 堤高100m以下のフィルダムを対象に修正震度法による耐震設計方法が提案された. その後, 1995年の兵庫県南部地震をはじめとする大規模な地震が頻発し, ダムサイトにおいて多くの加速度の大きい地震記録が収集されている.

このような状況に鑑み, 修正震度法に基づくフィルダムの合理的設計法の提案を目的とし, 近年のダムサイトの地震動記録を用いた修正震度法における震力係数の見直し検討が必要となる. また, 指針(案)では「高さが100m以上となると堤体の固有周期が長くなり, 岩盤における地震動の周波数特性を考慮すると本指針(案)で示した地震力を減ずることができる可能性がある」¹⁾と記述されているものの, 堤高100mを超えるフィルダムを対象とした震力係数の提示までには至っておらず, 研究委員会の成果²⁾として堤高110mのフィルダムを対象とした震力係数(以下, 委員会例示の震力係数という)の例示にとどまっている. そこで, 本論文では, 100mよりも高い堤高のフィルダムについて修正震度法の適用を拡張するための震力係数についての基礎的検討の結果を報告する.

2. 解析方法および解析条件

2.1 解析方法

ロックフィルダムモデルに対して複素応答法による等価線形解析を行い地震時の堤体応答を求め, 図-1 に示す上流側²⁾の20円弧を対象とし, それぞれの円弧土塊の平均応答加速度を入力地震動の最大加速度で除することにより震力係数 k/k_F を求めた. ここで, k : 堤体震力係数, k_F : 設計地盤震度である¹⁾. 基本的な解析方法は既報³⁾のとおりである.

2.2 解析モデルと物性値

解析モデルは, 図-1 に示す堤高 125m の中央土質遮水壁型ロックフィルダムモデルで, 堤体のみをモデル化した. 既報³⁾における検討では, 堤高 100m と 150m のモデルを用いた.

等価線形解析に用いた主な物性値を表-1 に示す. この物性は, 我が国の内部土質遮水壁型ロックフィルダムの標準的な堤体材料と判断した設計値ないしは試験値を基本として設定した. なお, 等価線形解析に用いた動的変形特性は既報³⁾のとおりとした. また, 本研究の等価線形解析は堤体のみをモデル化しているため, 基礎地盤でのエネルギー逸散は等価逸散減衰率として材料減衰率に一律 15% を上乗せして考慮した.

2.3 入力地震動

入力地震動は, 1966 年から 2008 年にダムサイト岩盤またはダム堤体監査廊で記録された上下流方向の水平地震動で, 最大加速度が 100gal 以上を記録した 48 地震動とした. なお, 解析では同時に観測された鉛直地震動も考慮した.

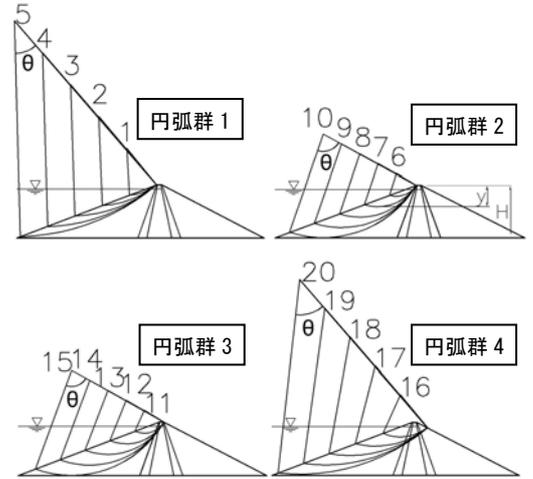


図-1 解析の対象とした想定すべり円弧(20円弧)

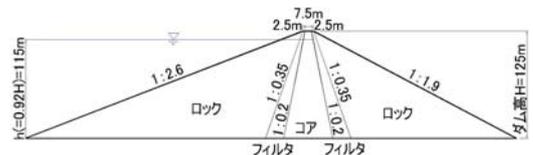


図-2 解析モデル(堤高 H=125m)

表-1 等価線形解析に用いた物性値(一部)

材料	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	飽和密度 ρ_{sat} (g/cm ³)	初期せん断剛性 G_0 (MPa) ^{**}
コア	2.22	2.23	$\{60(2.17-e)^2/(1+e)\} \sigma_m^{0.7}$
フィルタ	2.13	2.24	
ロック	1.94	2.15	$\{93(2.17-e)^2/(1+e)\} \sigma_m^{0.6}$

^{**} e: 間隙比, σ_m : 平均有効主応力 $\sigma_m = \{(1+2k)v\}/3$
 k: 主応力比(0.5), v : ボアソン比(0.35)

選定した 48 地震動の水平地震動の最大加速度が 196gal (0.2G) となるように一様に引き伸ばした。鉛直地震動については、水平地震動の引き伸ばし比率と同じ比率で引き伸ばした。

3. 解析結果

堤高 H=125m モデルの円弧群 3 に対する解析結果を、ダム天端からすべり円弧の堤体内最下点までの鉛直距離を円弧高さ y とし、堤高 H で無次元化した y/H と震力係数 k/k_F の関係として整理したものを図-3 に示す。また、すべり円弧の始点上端の異なる 4 円弧群 20 円弧について検討を行っているが、4 円弧群の解析結果に大きな差異はなかった。ここでは、4 円弧群のうちほぼ最大の震力係数を示した円弧群 3 の結果を例示している。堤高 100m 以下に適用する指針(案)の震力係数および堤高 110m を対象とした委員会例示の震力係数は、全 48 地震動の結果を概ね上回っている。また、4 円弧群 20 円弧の結果として得られた震力係数を y/H ごとに統計処理した結果を図-4 に示す。この結果と指針(案)の震力係数を比較すると、平均値(μ)および μ + 標準偏差(σ)は y/H の全範囲で指針(案)を下回っており、さらに委員会例示の震力係数も下回っている。分布形状については、指針(案)および委員会例示の震力係数と非常に類似している。また、μ + 2σ は最大値包絡線に近接しているが、y/H が 0.4 より小さい高標高部において、指針(案)の震力係数をやや上回っている。

また、既報³⁾の堤高 100m、150m モデルと本検討結果である堤高 125m モデルの μ + σ の結果を図-5 にあわせて示す。堤高 125m の震力係数は堤高 100m と 150m の間にあり、堤高が高くなるにつれ震力係数が小さくなることを示唆している。これらを y/H ごとに堤高と震力係数との関係で整理したものを図-6 に示すが、いずれの y/H でも堤高が高くなるにつれ震力係数は直線的に低下しており、両者の相関が高いことがわかる。

4. まとめ

近年の大規模地震動を用いた修正震度法における震力係数は、堤高 H=125m で指針(案)および委員会例示の震力係数をほぼ下回る結果であった。また、震力係数と堤高との間に高い相関が見られ、堤高が 100m よりも高い場合に震力係数を低減できる可能性がある結果が得られた。今後は、検討の対象とする堤高モデルのケースを増やして同様の検討を行うことにより、震力係数についての検討を継続し、堤高に制約のない修正震度法によるフィルダムの合理的設計法の提案を目指す。

参考文献

- 1) 建設省河川局開発課監修：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年6月。
- 2) (財)ダム技術センター：ダム構造・設計等検討委員会 フィルダム設計合理化検討分科会 報告書，2001年3月。
- 3) 大川孝士，山口嘉一，佐藤弘行，林 直良：近年の大規模地震動を用いたロックフィルダムの震力係数の検討，第45回地盤工学研究発表会発表講演集，2010年8月。

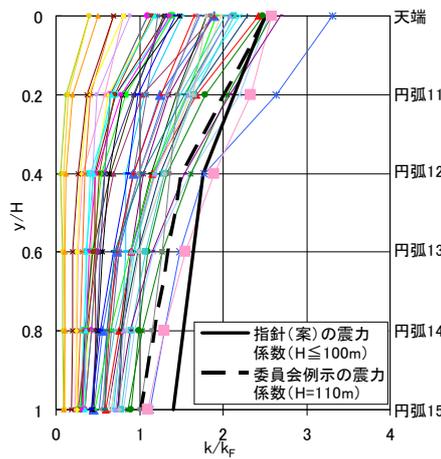


図-3 y/H と k/k_F の関係 (H=125m) (全解析結果, 円弧群 3)

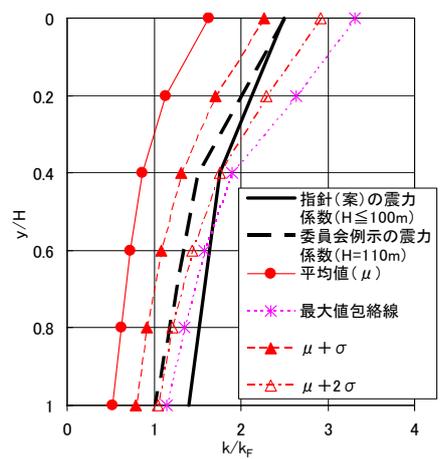


図-4 y/H と k/k_F の関係 (H=125m) (統計処理結果)

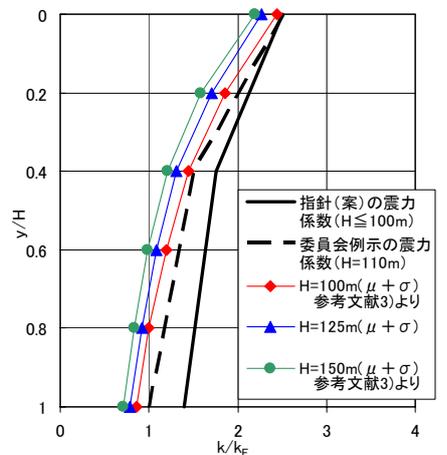


図-5 y/H と k/k_F の関係 (μ + σ) (H=100, 125, 150m)

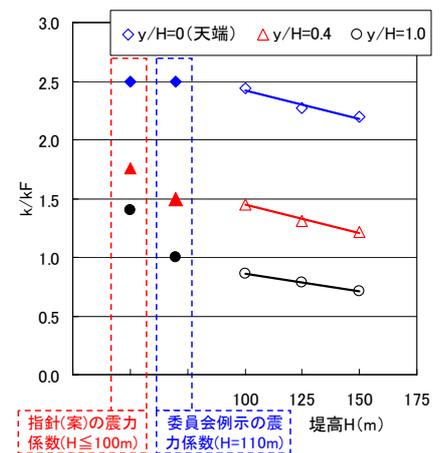


図-6 堤高と k/k_F の関係 (μ + σ) (H=100, 125, 150m)