

ロックフィルダムの地震時すべり変形量に与える等価逸散減衰率の影響

独立行政法人土木研究所（正）山口 嘉一，○（正）富田 尚樹，（正）三笠 真吾

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震、2000 年鳥取県西部地震などの大規模地震の発生を契機に、ダムにおいても、レベル 2 地震動に対する所要の耐震性能を確保することが強く求められようになった。これを受けて、国土交通省河川局は、2005 年 3 月に「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」^{1),2)}（以後、指針（案）と呼ぶ）をまとめた。

この指針（案）によると、ロックフィルダム本体の耐震性能照査は、個々のダムサイトにおいて設定されたレベル 2 地震動を用いて、等価線形化法による動的解析とすべり変形解析を組み合わせた方法などにより、すべり変形量などの塑性変形量を算定し、その結果を用いて、変形に伴う沈下が貯水の越流を生じるおそれがないほどに小さく、かつ地震後において浸透破壊を生じるおそれがないことを確認することで実施している。

いま、等価線形化法などの動的解析の実施に際して、堤体材料や基礎地盤の各種動的物性は、当該ダムでの強震観測記録をもとに同定することが望ましい。しかし、適切な記録がない場合、堤体底面剛結として基礎地盤をモデル化しない解析モデルを用いる際には、堤体材料の履歴減衰定数に波動の逸散を考慮した等価逸散減衰率を既往の検討事例などを参考に付加することで対応している。

本研究では、中央土質遮水壁型ロックフィルダムの堤高 100m モデルを用いて、等価逸散減衰率を変化させた動的解析を行い、等価逸散減衰率とすべり変形量の関係を求め、その影響度について検討した。

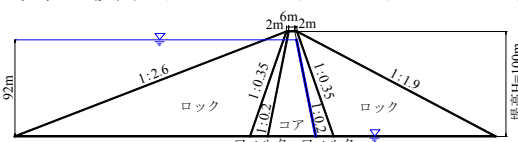


図1 解析モデル

2. 解析モデルとすべり変形解析方法

解析モデルは、図1に示す堤高 $H=100\text{m}$ の中央土質遮水壁型ロックフィルダムとした。また、ロックゾーンの下流斜面勾配は、現行設計法である震度法^{3),4)}によるすべり安定解析で、強震帯における震度 $k=0.15$ を与え、貯水位は堤高 H の 92% ($0.92H$)（常時満水位相当）という条件で最小安全率がほぼ 1.2（ただし 1.2 以上）になる勾配とした。断面決定に用いた物性値のほか、以下の動的解析に用いる物性値なども含めて、我が国のロックフィルダムの標準的な堤体材料と判断した七ヶ宿ダム⁵⁾の物性値や設計値を基本として設定した。また、本研究では堤体底面を剛結（固定境界）として堤体のみをモデル化した。

ここでは、複素応答法による等価線形解析により、入力地震動に対する堤体の応答加速度の時系列を求めた。そのうえで、設定したすべり土塊の入力地震動に対する応答加速度の平均値の時系列を求め、Newmark 法^{6),7)}によりすべり変形量を算出した。

堤体のみをモデル化した場合に、基礎地盤でのエネルギー逸散を適切に考慮するための等価逸散減衰率は、5%、10%、15%の3ケースを設定した。その他、断面決定、動的解析およびすべり変形量算出に用いた入力物性値は筆者らの既往の研究⁸⁾において用いたものと同じとした。

検討の対象とするすべり円弧は、事前検討で上流側斜面の方が下流側斜面に比べてすべり変形量が大きく相対的に安全性が低いことがわかったため、図2に示す、上流側 20 円弧とした。4 つの設定円弧グループにおいて、それぞれ円弧の無次元高さ y/H を 0.2、0.4、0.6、0.8 および 1.0 の 5 円弧設定した。ここに、 y は天端から円弧最深部までの深さである。

入力地震動は、図3に示す、あるダムサイトを想定し、最も大きな地震動を与えると想定される断層に対して、ダムの距離減衰式⁹⁾を適用して求めた加速度応答スペクトルに、兵庫県南部地震時に箕面川ダムで観測された地震動を合致させるように補正した地震動を用いた。なお、地震動は、水平方向（上下流方向）の地震動とともに鉛直方向の地震動も考慮し、水平方向の地震動については原種波形の箕面川ダムで観測された地震動の加速度符号を反転した地震動についても対象とした。地震動の減衰定数 $\zeta=5\%$ とした加速度応答スペクトルを図4に示

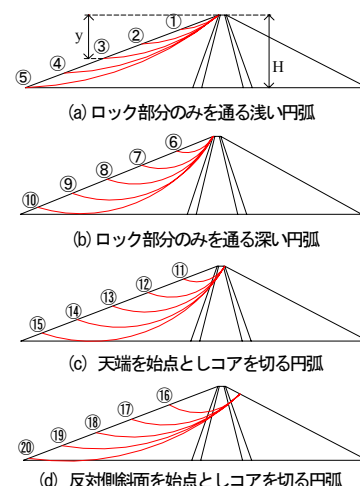
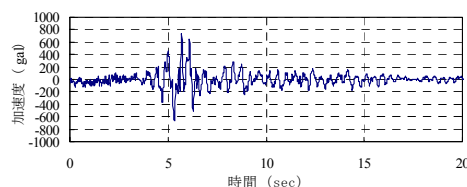
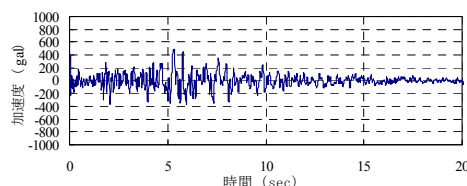


図2 解析の対象とした円弧



(a) 水平（上下流）方向（最大加速度 +744gal, -672gal）



(b) 鉛直方向（最大加速度 +488gal, -370gal）

図3 入力地震動

す。水平方向の地震動の加速度時刻歴の正の符号は、下流方向への加速度を表す。

貯水位は常時満水位相当として、堤高 H の 92% に相当する水位とした。

3. 解析結果

等価逸散減衰率と、等価逸散減衰率ごとの最大すべり変形量 SL_{max} と等価逸散減衰率 15% のケースでの最大すべり変形量 SL_{max15} の比である

SL_{max}/SL_{max15} の関係を図 5 に示す。図 5 より、等価逸散減衰率が小さくなるほど、 SL_{max}/SL_{max15} は大きくなり、等価逸散減衰率が 10% の SL_{max} は SL_{max15} の約 2 倍、等価逸散減衰率が 5% の SL_{max} は SL_{max15} の約 3.5~4 倍である。水平方向の地震動の加速度符号を反転していないケースにおいて最大すべり変形量となる円弧の、すべり変形量および応答加速度の時刻歴を図 6 に示す。図 6 より、等価逸散減衰率が大きくなると、応答加速度が大きくなり限界加速度を超えてから角速度が 0 になるまでに発生するすべり変形量が大きくなるとともに、等価逸散減衰率 5% のケースでは応答加速度が限界加速度を超える回数も多くなっている。同様な傾向が、水平方向の地震動の加速度符号を反転したケースにおいてもみられた。また、最大すべり変形量は、全てのケースで円弧⑪において発生しており、いずれの円弧も天端下流端を始点とし、コアを切る高い標高に位置する円弧において発生している。

本研究で得られた結果、および箕面川ダム観測波形の振幅のみを引き伸ばした地震動を用いた筆者らの既往の研究結果⁸⁾のうち、水平方向の入力地震動の最大加速度と最大すべり変形量の関係を図 7 に示す。なお、既往の研究では等価逸散減衰率は 15% を用いた。図 7 より、本研究で得られた等価逸散減衰率 15% の最大すべり変形量は、既往の研究結果の約 40~50% の値となった。図 4 に示すように、堤体の 1 次固有周期では距離減衰式を適用して求めた加速度応答スペクトルは、既往の研究で用いた箕面川ダム観測波形の加速度応答スペクトルより小さくなっており、入力地震動により、最大すべり変形量に差がでていることは、これらの入力地震動の周波数特性と関係していると考えられる。

4. まとめ

あるダムサイトを想定し、最も大きな地震動を与えると想定される地震動を用いて、等価逸散減衰率を変化させて中央土質遮水壁型ロックフィルダムのモデルダムの動的解析を行い、すべり変形量を求め、等価逸散減衰率のすべり変形量への影響度を検討した。その結果、等価逸散減衰率を小さくすると応答加速度が大きくなり、最大すべり変形量は本研究で用いた入力地震動のケースでは、等価逸散減衰率 10% では経験的に用いられている等価逸散減衰率 15% での最大すべり変形量の約 2 倍、等価逸散減衰率 5% では経験的に用いられている等価逸散減衰率 15% での最大すべり変形量の約 3.5~4 倍となった。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案），2005.3
- 2) 永山功、山口嘉一、佐々木隆、猪俣純、安田成夫ら：大規模地震に対するダム耐震性能照査に関する資料，土木研究所資料，第 3965 号，2005.3
- 3) (財) 国土技術研究センター：改定 解説・河川管理施設等構造令，(社) 日本河川協会，2000.1
- 4) 建設省河川局監修：改訂新版 建設省河川局技術基準（案）同解説，設計編 [I]，(社) 日本河川協会，1997.10
- 5) 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，1987.3
- 6) 館山 勝、龍岡文夫、古閑潤一、堀井克己：盛土の耐震設計法に関する研究，鉄道総研報告，Vol.12，No.4，pp.7~12，1998.4
- 7) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計・同解説耐震設計，1998.11
- 8) 山口嘉一、富田尚樹、水原道法：ロックフィルダムの地震時すべり変形量に関する検討，ダム工学，Vol.15，No.2，pp.120~136，2005.6
- 9) 松本徳久、吉田 等、佐々木隆、安中 正：ダムサイトでの地震動の応答スペクトル，大ダム，No.186，pp.69-86，2004.1

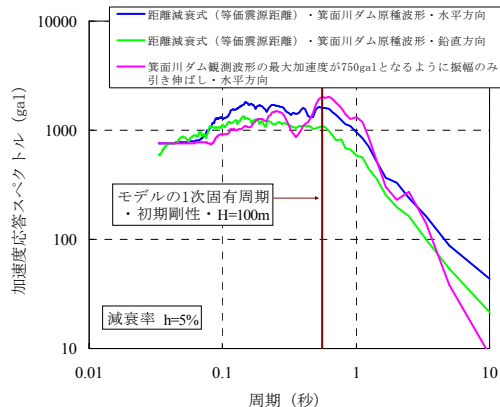


図 4 加速度応答スペクトルと堤体の一次固有周期

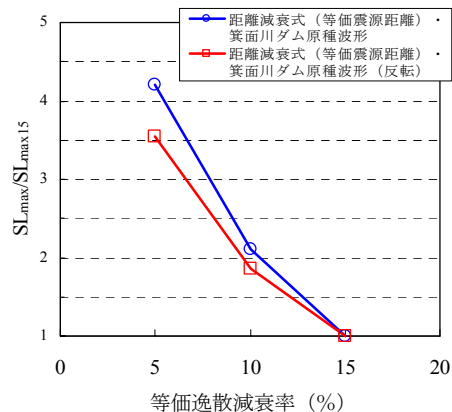


図 5 等価逸散減衰率と SL_{max}/SL_{max15} の関係

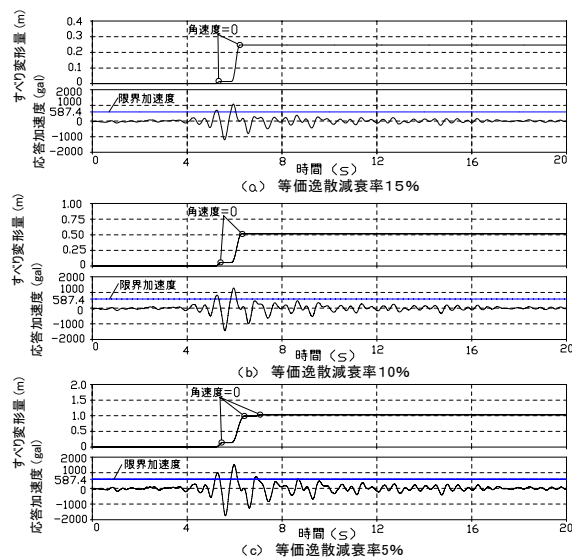


図 6 最大すべり変形量となる円弧のすべり変形量および応答加速度の時刻歴

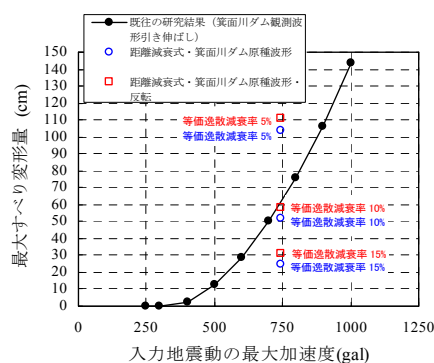


図 7 水平方向の入力地震動の最大加速度と最大すべり変形量の関係