

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 -

独立行政法人土木研究所 (正)山口 嘉一, (正)佐藤 弘行, ○(正)富田 尚樹, (正)水原 道法

1. まえがき

ロックフィルダムの大規模地震時の耐震性能照査では、堤体のすべり変位量（広義には塑性変形量（沈下量））を予測することが重要である¹⁾。これまで著者らは、すべり変位量を地震動に対する堤体応答を考慮した Newmark 法により算出してきている¹⁾。この際、すべり変位量を算出する円弧として、既往の大規模地震によるロックフィルダムの損傷形態を考慮し、堤体の天端中央を通る複数の円弧を採用してきた^{1),2)}。しかし、これらの円弧が最大すべり変位量を与えるいはそれに近い値を与える円弧という保証はなく、特に進行性破壊が懸念される遮水（コア）ゾーンを上下流に切るすべり変位量との比較が重要である。

本論文では、既報¹⁾に引き続き、地震動に対する堤体のすべり変位量を、その上端部（以下、始点と呼ぶ）を天端中央のみならず幅広い範囲で設定した数多くの円弧について堤体応答を考慮した Newmark 法により算出し、最大すべり変位量を与える円弧の検討を行った。

2. 解析条件と想定すべり円弧

中央土質遮水壁型ロックフィルダムで、堤高 H が 110m のモデルを設定した。図 1 に示すモデルダムの有限要素分割を用い、材料物性を等価線形で評価して時間領域における直接積分を行う QUAD-4 により動的解析を行った。貯水位 h は、堤高 H の 92% とした。なお、解析条件や入力物性値は、文献^{1),2)}において用いたものと同じとした。

入力地震動は、図 2 に示す、兵庫県南部地震で箕面川ダムにおいて観測された地震波形を、その水平動の最大加速度が 600、800、1,000gal の 3 種類に引き延ばしたもの、また、鉛直方向地震動も、水平方向地震動の倍率に合わせて引き延ばしたものをを用いた^{1),2)}。すべり変位量を算定する円弧は、図 3 に示す、すべり安全性が相対的に小さい上流側斜面を対象とし、 $y/H=0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ それぞれに対して、すべり円弧の始点が天端上流のり肩より下流側の $L/L_0=0.8 \sim 1.4$ 程度の間で数多く設定した。なお、始点が天端上流端より上流側の円弧は、上流側ロックのみを通る円弧であり、ある程度大きいすべり量が発生しても、堤体に致命的な損傷とはならないと考えられるため、 L/L_0 は天端上流のり肩部の値より大きい値を設定した。

3. 解析結果

y/H ごとに L/L_0 とすべり変位量との関係、および $L/L_0=1.0$ でのすべり変位量で正規化した値との関係を整理したものを図 4 に示す。これらの図から以下のことがわかる。

- 1) 水平最大加速度の値によらず、 $L/L_0=1.0$ において、すべり変位量は $y/H=0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ では単調減少傾向にあり、 $y/H=0.1, 0.2$ では若干の増加傾向にあるが、 $L/L_0=1.3 \sim 1.4$ でほぼ収束していると判断される。
- 2) 水平最大加速度の値によらず、 $L/L_0=1.0$ 、つまり始点が天端中央にある円弧でのすべり変位量の最大値と全円弧でのすべり変位量の最大値との差は、全円弧でのすべり変位量の最大値の 2 割程度以内である。Newmark 法によるすべり変位量

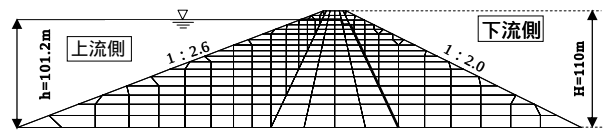
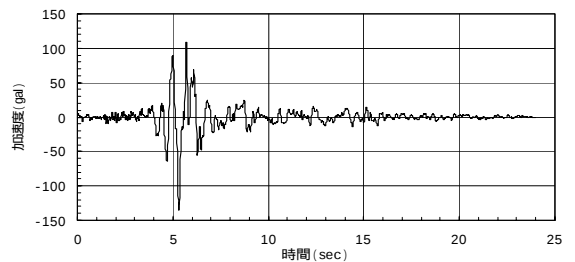
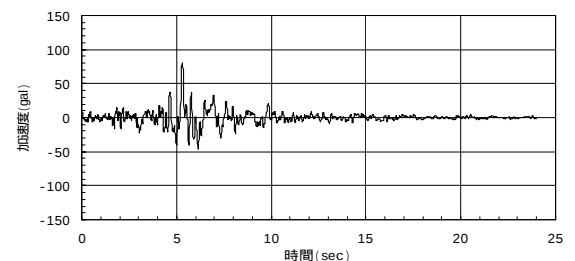


図 1 モデルダムの有限要素分割



(a) 上下流方向(最大加速度 135.0gal)



(b) 鉛直方向(最大加速度 80.2gal)

図 2 箕面川ダム地震動観測記録（兵庫県南部地震）

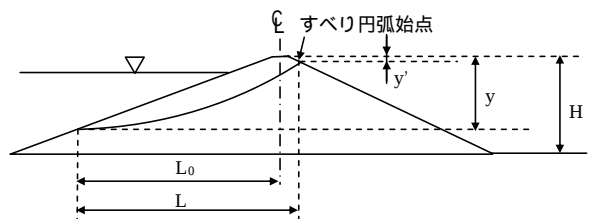
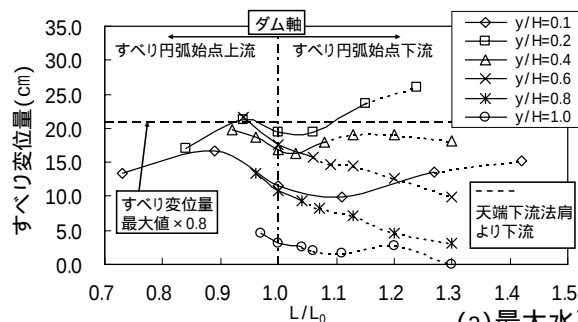


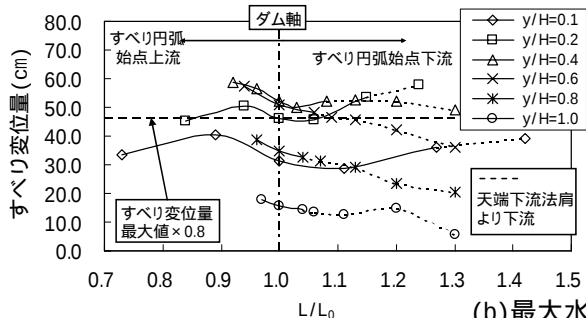
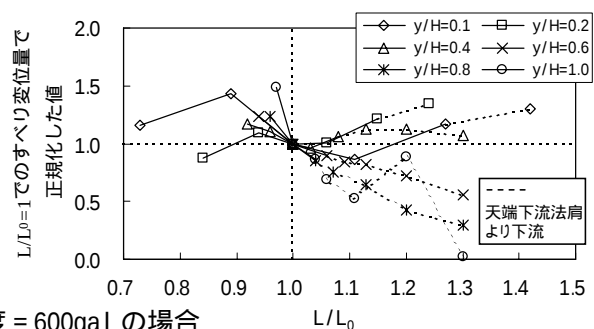
図 3 想定すべり円弧形状

【キーワード】大規模地震、ロックフィルダム、耐震性能、すべり変位量

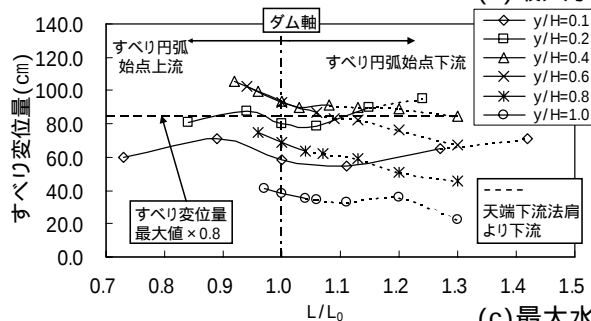
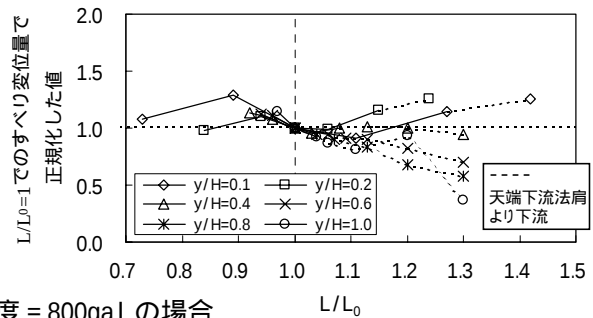
【連絡先】〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 Tel.0298-79-6781 Fax.0298-79-6737



(a)最大水平加速度 = 600gal の場合



(b)最大水平加速度 = 800gal の場合



(c)最大水平加速度 = 1000gal の場合

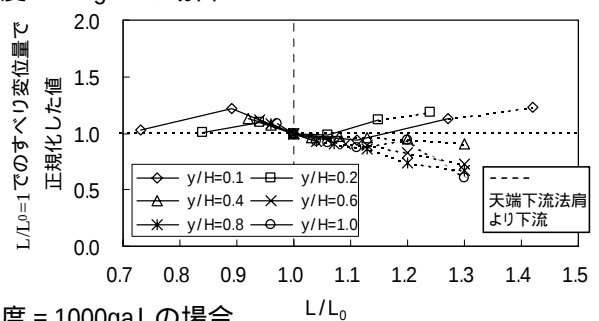


図4 L/L_0 とすべり変位量の関係

算定の精度を考慮すると、この差は大きな差ではなく、 $L/L_0=1.0$ で複数の円弧を設定してすべり変位量を算出しても、すべり変位量の最大値を概ね推定できると考えられる。

- 3) 水平最大加速度の値によらず、遮水（コア）ゾーンを上下流に切る円弧におけるすべり変位量の最大値は、 $y/H=0.2$ と比較的高標高部での円弧で発生している。いま、別途検討の結果として、堤高 30m、60m、90m、120m、150m のモデルダムに対して修正震度法³⁾により算出される最小安全率が、 $y/H=0.22 \sim 0.28$ の範囲で遮水（コア）ゾーンを上下流に切る円弧で発生している⁴⁾。このことと、今回の検討結果は整合している。
- 4) 以上の結果より、大規模地震時のロックフィルダムの耐震性能照査解析を Newmark 法を用いて実施する場合、天端中央を始点とする円弧などに加えて、始点がすべりを検討している斜面の反対側斜面上にあり、遮水（コア）ゾーンを上下流に切る円弧も対象とする必要があることがわかる。今回の解析では、すべり変位量の最大値が、後者の円弧のうち $y/H=0.2$ 、 $L/L_0=1.3 \sim 1.4$ の円弧で得られていることから、ダム天端からこの円弧始点までの標高差 y を算出すると 5～8m、また堤高 $H=110$ m に対する比 y/H は 4.5～7.5% の範囲となる。

4. まとめ

大規模地震による中央土質遮水壁型ロックフィルダムのすべり変位量を数多くの円弧について Newmark 法により算定し、最大すべり変位量を与える円弧の検討を行った。その結果、耐震性能照査解析では、天端中央に始点のある円弧などに加えて、 $y/H=4.5 \sim 7.5\%$ 程度の位置に始点を持つ円弧を設定する必要があると考える。今後は、Newmark 法のほか、動的弾塑性 FEM 解析も併せて実施し、ロックフィルダムの大規模地震に対する耐震性能照査に関する検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 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 回年次学術講演会講演概要集（CD-ROM）2003 年 9 月。
- 2) 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、1995 年 7 月。
- 3) 建設省河川局開発課：フィルダムの耐震設計指針（案）、1991 年 6 月。
- 4) 独立行政法人土木研究所水工研究グループダム構造物チーム：修正震度法によるロックフィルダムのすべり安定解析における最小安全率を与える円弧形状（未定稿）。