

III-226 フィルダムの安定解析におけるせん断強度と地震力

建設省土木研究所 正会員 正国 之弘 安田 成夫 松本 徳久

1. はじめに

フィルダムのすべりに対する安定計算に用いる円弧すべり計算は、河川砂防技術基準等によって計算式、設計震度などが規定され、フィルダムの設計計算法として定着している。本稿では、計算式に含まれる種々の仮定および設計震度の与え方について検討してみた。

2. 円弧すべり計算の仮定

円弧すべり計算では、一般にスライス法が用いられる。このときスライス間には未知の不静定力が働いているが、この不静定力の合力の方向をすべり面に平行であると仮定するか、すべり面に関係なく水平方向であると仮定するかで、安全率の式が異なってくる。前者は簡便法、後者は簡便ビショップ法と呼ばれている。

震度法の場合、地震力は正確にはスライスの重心位置に作用すると考えるが、河川砂防基準などの安全率の定義式などでは、近似的にすべり面上に作用するとしている。以下、前者を円弧中心のモーメントの比率で表現されているためモーメント法、後者をすべり面のせん断力の比によって表現されているためせん断力法と記す。

せん断強度 τ_f は、ロックフィルダムのロック材などでは、モール・クーロン式（ $\tau_f = \bar{c} + \bar{\sigma}_n \cdot \tan \bar{\phi}$ ）の粘着力成分を無視したものが用いられている。しかしロック材料の三軸試験を実施してみると、破壊時のモールの包絡線は直線よりも曲線で近似され、べき関数（ $\tau_f = A \cdot \bar{\sigma}_n^b$ ）で表わすことができる。図-1に、有効垂直応力とせん断強度の関係を示す。 $\bar{c}\bar{\phi}$ および A, b の値は土木研究所におけるロック材の実験結果の平均的な値である。

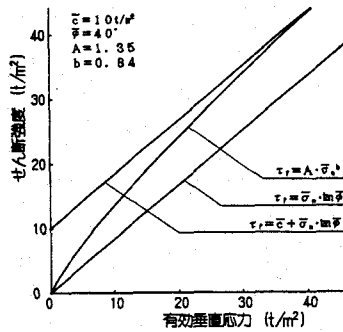


図-1 有効垂直応力とせん断強度

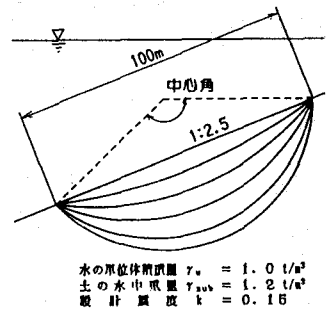


図-2 円弧の形状

3. 計算例

図-2に示すような条件で、円弧の中心角のみを変化させたときの安全率を図-3に示す。中心角が小さいと円弧は浅く、中心角が大きいと円弧は深くなる。ただしビショップ法に A, b 法を適用すると、数値計算が複雑となるため省略した。

結果として、全体的にビショップ法が簡便法よりも安全率は大きい。しかし、ビショップ法は数回の繰り返し計算が必要であり、また、円弧上流端付近において計算される有効垂直応力が、マイナスとなってしまうことがある。このため、実務的には簡便法を用いた方が便利であると考えられる。

せん断力法に比べ、モーメント法が大きい安全率になるのは、円弧中心からすべり面までの鉛直距離が、円弧中心からスライス重心までの鉛直距離よりも長くなるため、その差だけせん断力法は地震力による滑動

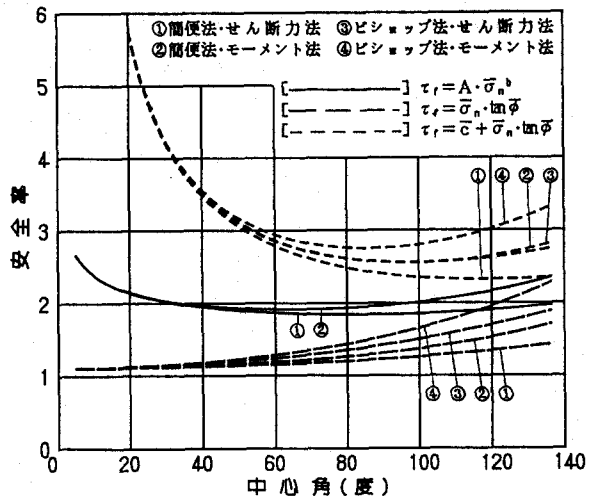


図-3 中心角を変化させたときの安全率

モーメントを大きく計算しているためである。したがって両者の差は、すべり円弧が深くスライスが高くなるほど大きくなる。

せん断強度の違いによる安全率への影響は、すべり円弧が浅いほど大きい。 $\bar{c}=0$ 法では、円弧が浅ければ浅いほど安全率は小さくなり、 $\bar{c}\neq 0$ 法では逆に円弧が浅くなると著しく安全率が大きくなる。

4. 地震力

入力地震動を評価する手段として、応答スペクトルを用いた。図-4に、1968～1987年までの間にダムサイト岩盤で得られた地震波加速度のうち水平成分90波を用いて求めたスペクトル応答倍率の最大値を示す。応答倍率は、地震規模、震央距離のほか、発震機構、波動伝播特性、サイトの局地的条件等の種々の要因によって影響されよう。現段階ではデータの数に限りがあり、そのうえサイトによってこれらの条件を特定することは難しい。したがって設計に用いる応答スペクトルは、図-4の破線に示すように、ある周期以下ではスペクトル値がフラットにあると考えた方がよいと思われる。ただし、ある周期以上になると応答値が減少する傾向があるのも確かである。今回の解析結果では、周期が0.5～0.75秒以上になると応答倍率が落ち始める。計算の対象とした地震波データの中に、M8クラスのデータが1つしかないことを考えると、この落ち始める周期を多少長めにとっておいた方が安全側である。

また、堤体の高さ方向での水平震度の分布を考える場合に、松村の解やFEMを利用する方法がある。図-4はFEMにより、減衰定数20%時の堤体各標高における最大応答倍率を求めた結果である。基本条件を図中に示す。また、諸条件を変化させたときの応答倍率の様子を破線で示す。図に示す通り、ダム高および法面勾配を変えても、ほとんど応答倍率の分布に影響しないことがわかる。 ν および G_0 を深さに関係なく一定とした場合にも、多少の分布形状の差はあるがそれほど違いはない。

以上のことから、共振時における振動モードはほぼ一定と見なせ、かつ、応答スペクトルの周波数特性を合わせて考えれば、ダムの材質、高さ、法面勾配に関係なく、一定の震度分布を与えることができると考えられる。

5. まとめ

フィルダムの耐震安定計算として、①基本的には簡便分割法を用い、②地震力をスライス重心位置に作用させるモーメント法を用い、③せん断強度はより忠実に材料の強度を再現できるAb法で求め、④震度分布は応答特性を考慮して決定するという方法を今後さらに検討すべきであると考えられる。この方法で、上流法面勾配1:2.5のダム断面を想定し、天端での応答倍率が4倍の震度分布形を与え、基礎での震度は0.1であるとして最小安全率を求めると1.12となる。また、同条件で応答倍率を3倍としたときの最小安全率は1.35である。このとき、震度を0.15の一樣分布とし粘着力成分を考慮しないとすると、無限長斜面の安全率は1.11となる。

参考文献

松本徳久，安田成夫，「フィルダムの耐震安定計算における地震力とせん断強度」
土と基礎，Vol.38-8，pp7-12，1988

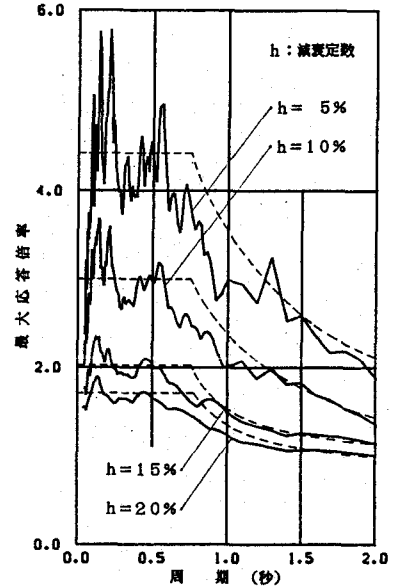


図-4 応答スペクトルの最大値

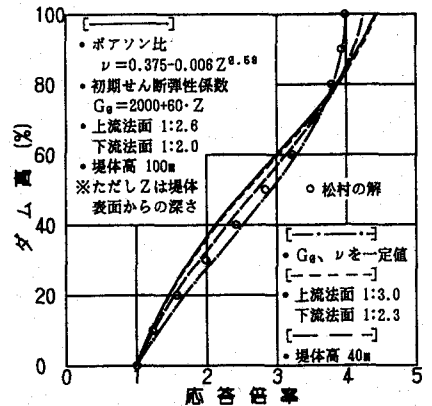


図-5 堤体各標高における最大加速度