

フィルダムの斜面安定計算手法に関する検討 Study for methods on slope-stability analysis of a fill dam

青木 謙治、太田 知之、松浦 正一
Kenji Aoki, Ota Tomoyuki, Matsuura Masakazu

1. はじめに

フィルダムの設計では、円弧すべりを対象にして震度法によるレベル 1 地震動の静的解析(斜面安定計算)を行い、最小安全率が所要の基準を満足するように設計される。農業用フィルダムの場合、静的解析は「土地改良事業計画設計基準ダム；以下、農水省基準と記載」に準じて実施される。従来から農水省基準で算定される最小安全率は、「建設省河川砂防技術基準(案)設計編；以下、国交省基準と記載」と若干異なる場合があることが指摘されていた。本報では、簡易的なフィルダムの検討モデルを設定(Fig.1.)し、農水省基準と国交省基準の安全率算定式における抵抗力と起動力(Fig.2.)に対して、両基準の差(抵抗力_農 - 抵抗力_国、および起動力_農 - 起動力_国)を貯水位条件ごとに求め、これらの差による安全率への影響を比較することにより、両基準で算定される安全率に差を生じる原因を検証した。

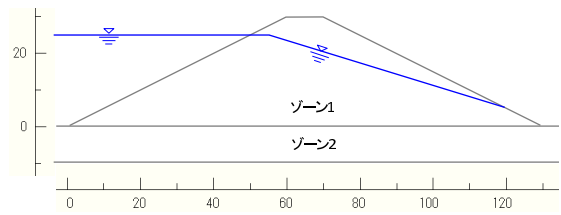


Fig.1. 検討モデル
Calculation Model

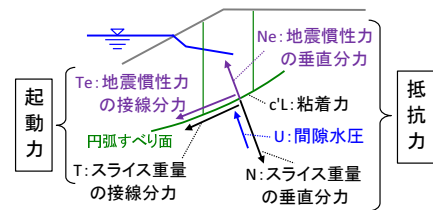


Fig.2. 円弧すべり面に作用する力
Forces working in a circular slip

2. 安全率の算定方法

安全率を求める算定式は、農水省基準と国交省基準の両基準ともに、円弧すべり面でスライス法を適用する次式で表される。

$$\begin{aligned} \text{安全率} &= \frac{\sum_{\text{スライス}} (\text{抵抗力})}{\sum_{\text{スライス}} (\text{起動力})} \\ &= \frac{\sum_{\text{スライス}} (c' L + (N - U - Ne) \tan \phi')}{\sum_{\text{スライス}} (T + Te)} \end{aligned}$$

両基準で安全率の算定式は同じであるが、荷重の取り扱いが異なる(Fig.3.)。農水省基準では、水位下にあるスライス内の土塊重量に水中重量を用いることで、スライスに作用する間隙水圧を間接的に考慮する。一方、国交省基準は水位下にあるスライス内の土塊重量に飽和重量を用い、スライスに作用する間隙水圧と静水圧、および貯水の水重量を別途計上する(農水省基準と異なる箇所を Fig.3.の赤色で示す)。このため、今回の検討では、円弧すべり面のスライス区分を水位条件に応じて①貯水箇所のスライス、②浸潤線が一定のスライス、③浸潤線が低下するスライスに区分した(Fig.4.)。

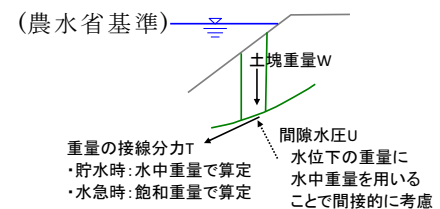


Fig.3. 荷重条件
Load condition

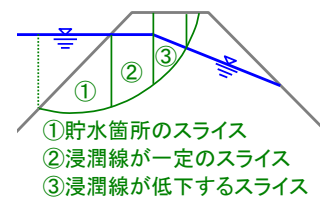


Fig.4. スライスの区分
Categorization of slices

3. 両基準で算定される安全率の検証結果

(1) 抵抗力と起動力の比較結果

①貯水箇所のスライスと②浸潤線が一定のスライスでは、両基準で重量や間隙水圧等の取り扱いが異なっているものの、スライスに対する荷重条件が結果的に同等になるため、抵抗力と起動力は同値になる。一方、③浸潤線が低下するスライスの場合、抵抗力の差は、上流側円弧すべりで $-2\gamma_w h_{sat} \Delta h \sin \theta$ 、下流側円弧すべりで $2\gamma_w h_{sat} \Delta h \sin \theta$ と算定される。また、起動力の差は抵抗力と逆符号で算定される。したがって、水位低下(Δh)により、両基準で抵抗力と起動力に差分量が生じることを確認した。

Table.1. 抵抗力と起動力の差分量
Difference of working forces

項目	① 貯水箇所のスライス ② 浸潤線が一定のスライス	(上流側円弧すべり) ③ 浸潤線が低下するスライス	(下流側円弧すべり) ③ 浸潤線が低下するスライス
抵抗力 N-U-Neの差	(農水省基準) - (国交省基準) = 0	(農水省基準) - (国交省基準) = $-2 \cdot \gamma_w \cdot h_{sat} \cdot \Delta h \cdot \sin \theta$ ほとんどのスライスで $\theta > 0$ より差分量 < 0	(農水省基準) - (国交省基準) = $2 \cdot \gamma_w \cdot h_{sat} \cdot \Delta h \cdot \sin \theta$ ほとんどのスライスで $\theta > 0$ より差分量 > 0
起動力 T+Teの差	(農水省基準) - (国交省基準) = 0	(農水省基準) - (国交省基準) = $2 \cdot \gamma_w \cdot h_{sat} \cdot \Delta h \cdot \cos \theta$ ほとんどのスライスで $\theta > 0$ より差分量 > 0	(農水省基準) - (国交省基準) = $-2 \cdot \gamma_w \cdot h_{sat} \cdot \Delta h \cdot \cos \theta$ ほとんどのスライスで $\theta > 0$ より差分量 < 0
安全率の差	分子と分母の各項で差がないため 安全率は同じになる	分子と分母の各項で差があるため 安全率に差が生じる	分子と分母の各項で差があるため 安全率に差が生じる
安全率	(上流側円弧)農水省基準 = 0.895 国交省基準 = 0.906	(下流側円弧)農水省基準 = 0.917 国交省基準 = 0.626	

(2) 上流側円弧すべりに対する安全率

①と②のスライスでは、両基準で起動力と抵抗力に差はないため安全率は同値になる。一方、③浸潤線が低下するスライスの場合、抵抗力は農水省基準 < 国交省基準、起動力は農水省基準 > 国交省基準である。したがって、農水省基準は安全率の算定式において抵抗力は小さくなり、起動力は大きくなるため、安全率が小さく現れる。また、上流側の円弧すべりでは、水位低下(Δh)が生じるスライス範囲が小さいため(Fig.5.)、両基準で起動力と抵抗力の差の影響は小さく、安全率は比較的に同等の結果が得られる。

(3) 下流側円弧すべりに対する安全率

①と②のスライスでは、両基準で起動力と抵抗力に差はないため安全率は同値になる。一方、③浸潤線が低下するスライスの場合には、抵抗力は農水省基準 > 国交省基準、起動力は農水省基準 < 国交省基準である。したがって、農水省基準は安全率の算定式で抵抗力は大きくなり、起動力は小さくなるため、安全率が大きく現れる。また、下流側の円弧すべりに対しては、水位低下(Δh)が生じるスライス範囲が大きいため(Fig.5.)、両基準で起動力と抵抗力の差の影響が顕著に現れ、安全率は異なる結果が得られる。

4. おわりに

安全率算定式に基づき農水省基準と国交省基準で算定される安全率を検証した結果、貯水時の下流側円弧すべりの場合には、水位が低下するスライス範囲が大きく、起動力と抵抗力の差の影響が現れることを確認した。今回の結果は、検討に用いた簡易的なモデルに対するものであるため、現実のダムでは円弧すべり面の位置や浸潤線の状況等により水位低下(Δh)の様相が変化し、算定される安全率は種々変化することに留意する必要がある。

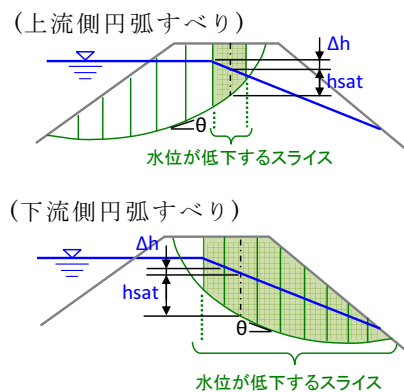


Fig.5. 水位が低下するスライス範囲
Slices with falling of water level