

斜面安定計算における水圧 の考え方の相違について

富士通エフ・アイ・ピー(株) 中村修治

○高井喜浩

長坂昌洋

1. はじめに

一般に、斜面の安定性評価は、すべり面を円弧と仮定してその面上での起動力と抵抗力の比をもって行っている。主な成分としては、土塊の重量・上載荷重・水圧・地震力が考えられ、土の特性として、内部摩擦角・粘着力が考えられている。

当社では、昭和40年代より円弧すべりプログラムを開発して多くの安定計算を行ってきたが、適用する基準ごとにプログラムの修正が生じ、幾種類もの円弧すべりプログラムが存在する事となった。そこで、これらのプログラムをまとめ、使用頻度が高いと思われる9種類の設計基準に対応した円弧すべりプログラム開発を行った。

このプログラムを用いていくつかのモデルで安定計算を行ったところ、適用する基準によって水圧の考え方及び、地震力の考え方に相違があるため安全率が違ってくる事が分かった。本報では、その中でも特に水圧に問題を絞り、その相違を明らかにするとともに試算した結果を報告する。

2. 水圧の考え方

水圧の考え方の一例として、(社団法人)日本道路協会が発行している道路土工指針の中の有効応力法による安定計算式について示す。それぞれの安全率は以下の式で定められている。

(1) のり面工・斜面安定工指針¹⁾

$$\text{〔常時〕} \quad F_s = \frac{\sum \{C \ell + (W - u b) \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、C：粘着力(tf/m²)

ℓ：分割片で切られたすべり面の弧長(m)

W：分割片の全重量(tf/m)

u：間げき水圧(tf/m²)

b：分割片の幅(m)

α：分割片で切られたすべり面の中心とすべり円の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角(度)

φ：せん断抵抗角(度)

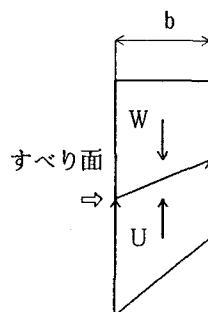


図-1 間げき水圧の向き

図-1のように、間げき水圧は鉛直上向きと考えている。また、有効応力法による安定計算に用いる強度定数と間げき水圧は、次のように考えている。

①施工直後 : C', φ', u_o, u_r

②施工後長期間後: C', φ', u_o, u_i

ここに、C', φ':間げき水圧の測定を伴う圧密非排水試験(CU)より求められる強度定数

- u_o : 通常の地下水による間げき水圧
 u_1 : 降雨などの浸透流による間げき水圧
 u_r : 施工直後の残留間げき水圧

また、同様に地震時の有効重量は $(W - u_b) \cos \alpha \cdot \tan \phi$ で表され、間げき水圧は鉛直上向きと考えている。

(2) 軟弱地盤対策工指針²⁾

$$F_s = \frac{\Sigma \{C' \ell + W' \cos \alpha \cdot \tan \phi'\}}{\Sigma W' \cdot \sin \alpha} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 C' 、 ϕ' : 有効応力に関する土の粘着力 (tf/m^2) およびせん断抵抗角 (度)
 W' : 地下水位以下の浮力を考えた細片の有効重量 (tf/m)

ここでは、間げき水圧を有効重量 W' を用いることによって考慮している。

$$F_s = \frac{\Sigma \{C' \ell + (W - u_{ob} - u_{rb}) \cos \alpha \cdot \tan \phi'\}}{\Sigma W \cdot \sin \alpha + k_h W \cdot h/R} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

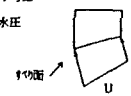
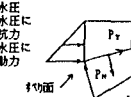
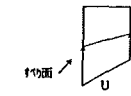
- C' : 有効応力に関する土の粘着力 (tf/m^2)
 ϕ' : せん断抵抗角 (度)
 ℓ : 細片の底面の長さ (m)
 W : 分割細片の全重量 (tf/m)
 b : 細片の幅 (m)
 u_o : 常時地下水によって発生する間げき水圧 (tf/m^2)
 u_r : 地震によって発生する過剰間げき水圧 (tf/m^2)
 k_h : 設計水平震度
 R : すべり円の半径 (m)
 h : 細片の重心からすべり円の中心までの高さ (m)

ここでは、間げき水圧は鉛直上向きと考えている (図-1 参照)。

このように、同じ基準でも適用する土構造物や常時・地震時によって間げき水圧の考え方が異なっている事が分かる。

そこで、数多い設計基準の中から、使用頻度が高いと思われる9種類の設計基準について水圧の考え方をまとめたものを表-1に示す。これら9種類の設計基準では、水圧は大きく分けて5種類に分類できている。

表-1 有効応力法における水圧の考え方

分類	基 準	水 圧 の 考 え 方
1	○日本道路公団 (設計要領 第一集) ** ○建設物設計標準 **	間げき水圧のみ考慮 U : 間げき水圧 
2	○改訂ダム設計基準 ** ○建設省河川砂防技術基準 (案) **	間げき水圧と側方静水圧考慮 U : 間げき水圧 P_v : 側方静水圧による抵抗力 P_h : 側方静水圧による起動力 
3	○道路土工のり面工・斜面安定工指針 ** ○道路土工軟弱地盤対策工指針 (地震時) ** ○通産省立地公害局 堆石・鉱さいたい積場建設基準 ** ○日本住宅都市整備公団 宅地附設設計指針 (案) **	間げき水圧のみ考慮 U : 間げき水圧 
4	○港灣の施設の技術上の基準 **	抵抗力のみ水中重量を用いる事により考慮
5	○道路土工軟弱地盤対策工指針 (常時) ** ○農林水産省土地改良事業集計面設計基準 (水位急低下以外) **	抵抗力・起動力ともに水中重量を用いる事により考慮

3. 計算例

(1) 計算モデル

図-2に示す簡単な2層モデルを仮定し、次の3ケースについて計算した。

①CASE-1: 水位線がない

②CASE-2: 水位線が水平 (図-2(a))

③CASE-3: 水位線が傾斜 (図-2(b))

また、使用した材料特性を表-2に示す。

(2) 任意円弧の計算

円の中心をのり面中心上にとり、のり尻付近を通る1つのすべり面を設定し、各基準式で計算した結果を表-3に示す。

水位線がない場合、全ての基準式とも安全率が等しくなっているが、水位線が水平な場合には安全率が3.13~3.33、水位線が傾斜している場合には2.18~3.04となった。

このように安全率が違うのは、表-1のように、基準式によって水圧の考え方が違うことによるものと考えられる。

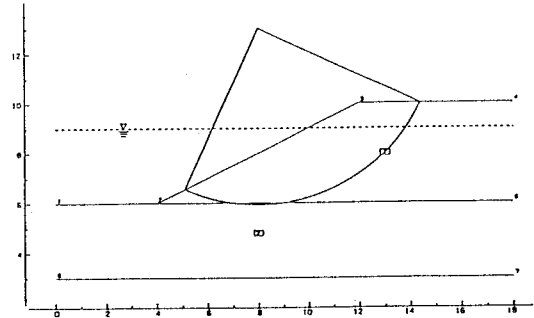
(3) 最小安全率の計算

円の中心に $\times 5$ の格子を組み、円弧がのり尻付近を通るように1格子当たり8半径を設定して安定計算を行った。

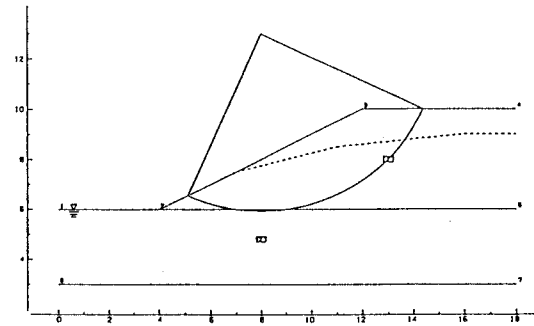
この結果求めた最小安全率を表-4に、水位線が傾斜している場合の等安全率線を図-3示す。これより、水位線が水平な場合には最小安全率は1.73~1.94、水位線が傾斜している場合には1.22~1.77となり、最小安全率が求めた格子の位置も違うことが分かる。

表-2 地盤の材料特性

地層	粘着力 (tf/m ²)	内部摩擦角 (度)	飽和重量 (tf/m ³)	湿潤重量 (tf/m ³)
地盤	5.0	25.0	2.0	2.0
盛土	0.5	20.0	1.8	1.8



(a) 水位線が水平な場合



(b) 水位線が傾斜している場合

図-2 計算モデル

表-4 最小安全率

分類	CASE-2		CASE-3	
	Fs min	円の中心座標	Fs min	円の中心座標
1	1.73	(8.0, 11.0)	1.22	(7.0, 12.0)
2	1.94	(7.0, 14.0)	1.23	(7.0, 12.0)
3	1.94	(7.0, 14.0)	1.30	(6.0, 14.0)
4	1.94	(7.0, 14.0)	1.30	(6.0, 14.0)
5	1.94	(7.0, 14.0)	1.77	(7.0, 13.0)

表-3 任意円弧の安全率

分類	CASE-1 の Fs	CASE-2 の Fs	CASE-3 の Fs
1	2.77	3.13	2.19
2	2.77	3.33	2.18
3	2.77	3.33	2.27
4	2.77	3.33	2.27
5	2.77	3.33	3.04

注) 分類番号は、表-1の分類番号に対応している。

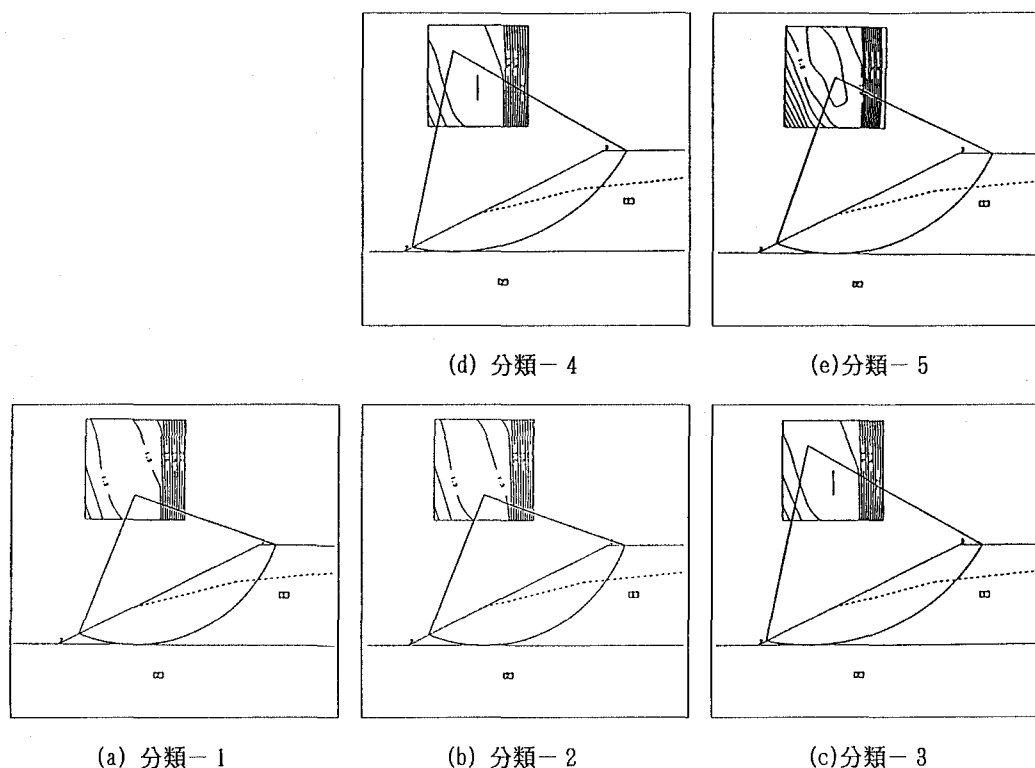


図-3 水位線が傾斜している場合の等安全率線と最小安全率が求まった円弧

4. まとめ

安全率は地盤特性、地層構成及び水位の位置によって決まるため、今回の簡単なモデルによる傾向がすべてに当てはまるとは言えないが、安全率が基準によって違うことは明らかである。対象とする構造物によって安全率の考え方が異なっている事を技術者は充分理解して安定計算及び評価を行う必要がある。また、地震力も基準によって考え方が異なっているが、その相違については別の機会に報告する予定である。

本報が、斜面安定計算を行う技術者の一助となれば幸いである。

〔参考文献〕

- 1) (社団法人) 日本道路協会, 昭和61年11月, 「道路土工 のり面工・斜面安定工指針」
- 2) (社団法人) 日本道路協会, 昭和61年11月, 「道路土工 軟弱地盤対策工指針」
- 3) 日本道路公団, 昭和58年 4月, 「設計要領 第一集 土工・舗装・排水・造園」
- 4) 日本鉄道施設協会, 昭和59年 1月, 「建造物設計標準解説 (土構造物) 日本国有鉄道編」
- 5) (社団法人) 日本大ダム会議, 昭和46年 7月, 「改訂ダム設計基準」
- 6) 建設省河川局監修 (社団法人) 日本河川協会編, 昭和60年10月, 「建設省河川砂防技術基準 (案) 設計編 [I・II]」
- 7) 通産省立地公害局, 昭和57年12月, 「捨石・鉱さいたい積場建設基準及び解説」
- 8) 住宅・都市整備公団都市開発事業部, 昭和59年11月, 「宅地耐震設計指針 (案)」
- 9) (社団法人) 日本港湾協会, 平成元年 2月, 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」
- 10) 農林水産省構造改善局, 昭和56年 4月, 「土地改良事業計画設計基準 設計ダム」