

図-4.4.67 円弧すべりの地すべりブロック中のスライス*i*に作用している力とその作用点

スライス①の底面にBDの下方から作用している力 \bar{R}_i によって底面に発生するせん断抵抗力 \bar{T}_i は、最大限（すなわち、安全率 $F_s=1.00$ のとき）

$$\bar{T}_i = c' \ell_i + (N_i - U_i) \tan \phi' \quad \dots\dots\dots(5)$$

までしか発揮できない。 $F_s > 1.00$ の場合は(6)式の力が底面BDに作用していることになる。

$$\bar{T}_i = \frac{c' \ell_i + (N_i + U_i) \tan \phi'}{F_s} \quad \dots\dots\dots(6)$$

したがって、 N_i 、 U_i 及び F_s が決まれば、 \bar{T}_i の大きさも決まる。

結局、地すべりブロックの*n*個のスライスに作用している力と、その作用点に関する未知数は表-4.4.2に示すとおり $(5n - 2)$ 個となる。それに対して、各スライスごとの力の釣合い方程式は、

$$\sum H_i = 0, \quad \sum V_i = 0, \quad \sum M_i = 0$$

の3個であり、*n*個の全スライスについては $3n$ 個成立する。すなわち、表-4.4.2にまとめて示すように、方程式の数より $(5n - 2) - 3n = (2n - 2)$ 個だけ未知数が多いから、上記の方程式から N_i 、 F_s 、 E_i 、 X_i 、 a_i 、 b_i などの未知数を確定することは不可能なのである。(4)式の分子の N_i を正しく求めることが困難なのは、このような理由による*1。

*1 Lambe, W.T. & Whitman R.V. (1969) : Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York, pp.364~366

表-4.4.2 地すべりブロックを n 個のスライスに分割した場合の未知数とその数

(I) 力の平衡に関する未知数	備 考	地すべりブロック全体についての未知数の数
① N_i (又は $N_i=N-U$)	間隙圧 U は流線網が描ければ求められるので未知数ではない。	n 個 (スライスの数だけ N_i がある)
② 安全率 F_s	スライス底面に作用するせん断抵抗力 T_i は $T_i = \frac{C'_i \ell_i + N'_i \tan \phi'}{F_s}$ だから、 N'_i と F_s が決まれば求まる。	1 個
③ E_i	各スライス側面の法線方向に作用する力	$(n-1)$ 個 (スライスとスライスの境界の数だけある)
④ X_i	各スライス側面に作用するせん断力であるが、 $X_i=E_i \tan \theta_i$ として θ_i を未知数としてもよい。	$(n-1)$ 個 (同上)
	小 計	$(3n-1)$ 個
(II) モーメントの平衡に関する未知数		
① a_i	各スライス底面に作用するの作用点の位置	n 個 (スライスの数だけある)
② b_i	E_i の作用点の位置	$(n-1)$ 個 (スライスとスライスの境界の数だけある)
	小 計	$(2n-1)$ 個
	総 計	$(5n-2)$ 個

一方、 E_i 、 X_i 等は、ブロックのスライス間に相互に作用している力であるが、ブロックの全体を見た場合、その内部に発生している力（内力）であるから、図-4.4.68に示すように、互いに打ち消し合い、ブロック全体をすべらせようとする力のモーメントには関係がなくなる。すなわちブロックをすべらせようとする力は各スライスに作用している重力 W_i のスライス底面の接線方向成分 $T_i=W_i \sin \alpha_i$ のみであり、円弧の中心に関するモーメントは、 $RW_i \sin \alpha_i$ であるから、(4)式の分母は力学的に正しく、特段問題を含まないといえる。

N_i の正しい評価が上記のように困難なので、斜面の安定解析の実務計算では以下に述べる「標準スライス法」と呼ばれる簡便法がこれまで広く用いられてきた。 N_i をより正しく求める方法として、Bishop法*1、Morgenstern・Price法*2等、種々の方法が提案され、Bishop法が標準スライス法よりは正確な値を与えることが判明している*3。しかし、実際には、手法による誤差よりも入力すべり面位置や $c-\phi$ の設定の誤差の方が大きいので、本基準では計算が簡便な標準スライス法を採用している。

*1 Bishop, A.W. (1955) : The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, Geotechnique, 5, pp. 7~17

*2 Morgenstern, N.R. & Price, V.E. (1965) : The analysis of the stability of general slip surfaces, Geotechnique, 15, 1, pp. 79~93及び A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces, The computer Journal, Great Britain, 9, 4, pp. 388~393

*3 Whitman, R.V. and Bailey, W.A. (1967) : Use of Computers for Slope Stability Analysis, Proc. A.S.C.E., SM4, pp. 475~498

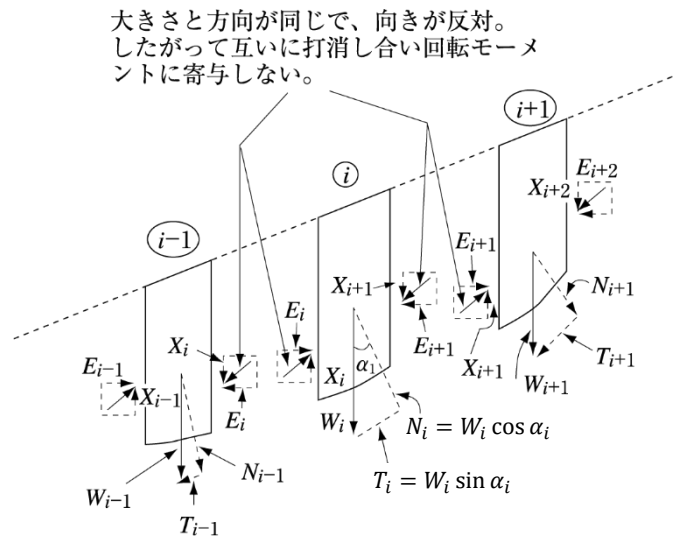


図-4.4.68 スライス側面に作用する力が滑動モーメントに対して寄与しないことの説明図

4.3.2 2次元断面の標準スライス法(簡便法)と修正標準スライス法(修正簡便法)による安定解析

(1) 地すべり斜面中を水が浸透していない場合

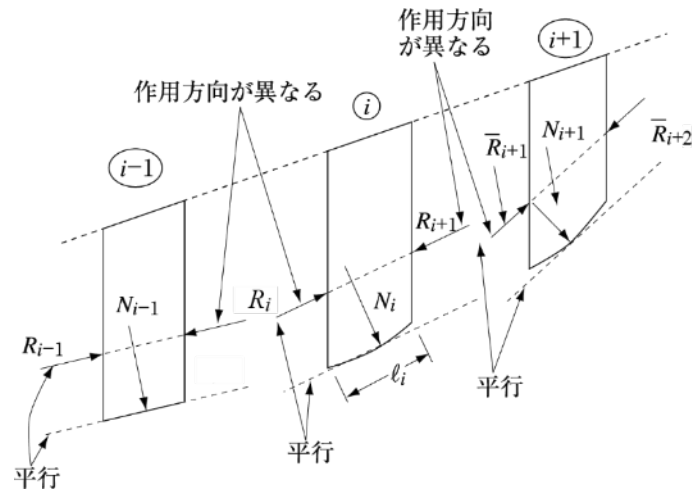


図-4.4.69 標準スライス法におけるスライス側面に作用する力の作用方向の仮定

簡便法は、スライスの側面に作用する力 E_i 、 X_i は N_i に何の影響ももたないとする考え方である。言い換えれば、図-4.4.69に示すように、スライス側面に作用する E_i と X_i の合力 R_i 、 E_{i+1} と X_{i+1} の合力 R_{i+1} は、その円弧底面の中心で引いた接線と同じ方向に作用し、法線方向の成分をもたないと仮定するものである(記号の意味は前述参照)。

したがって、

$$N_i = W_i \cos \alpha_i \dots\dots\dots(7)$$

となり、極めて簡便となる。

しかし、この仮定により図-4.4.69に示すように、たとえばスライス $i-1$ からスライス i の側面に

作用している力の合力 R_i と、逆にスライス i からスライス $i-1$ の側面に作用している力の合力 R_i は、同じ作用線上にないこととなり、力学的な矛盾を生ずる。斜面にほぼ平行にすべり面があるような浅い円弧すべりについては、このような仮定をしてもあまり実際とは違わないが、斜面内に深く入り込む円弧すべりでは、上記のような仮定は実際の力の作用状況と大きく異なってくる。そのため、標準スライス法によって求めた安全率は誤差を含むことになる。

それにもかかわらず、この方法が広く用いられているのは、計算が簡便であり、かつ、 c' 、 ϕ' が、実験などにより正しく求められていれば、安全率が真の安全率より常に小さめ（工学的には安全側）評価されるからである。

この簡便法によれば、安全率 F_s を求める式は、

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \{c'_i l_i + (N_i - U_i) \tan \phi'_i\}}{\sum_{i=1}^n T_i} \dots\dots\dots(8)$$

となる。ただし、ここで、

$$T_i = W_i \sin \alpha_i, \quad N_i = W_i \cos \alpha_i, \quad U_i = u_i l_i, \quad l_i = \text{スライス } i \text{ の底辺の長さ}$$

(2) 地すべり斜面中に浸透水がある場合

この場合は、流線網を描くことにより、**図-4.4.70(a)**に示すように、等ポテンシャル線がスライス側面を切る点で間隙水圧の大きさを求めることができる。たとえば**図-4.4.70(a)**で、点B及びDでの間隙水圧は、それぞれの水深を H_2 、 H_1 、水の単位体積重量を γ_w とすると、それぞれ $H_2 \cdot \gamma_w$ 、 $H_1 \cdot \gamma_w$ である。

したがって同図に示すように、スライスの両側に作用している水圧の分布を求めることができるから、その面積を求めることによりその合力も求めることができる。**図-4.4.70(a)**でスライス i の側面ABに作用している水圧の合力を $H_2' \cdot \gamma_w$ 、側面CDに作用している水圧の合力を $H_1' \cdot \gamma_w$ とすれば、その差の力

$$H \gamma_w = (H_2' - H_1') \gamma_w \dots\dots\dots(9)$$

によって、スライス i は \overline{AB} 側から \overline{CD} 側に向かって「押されて」いることになる（ただし、スライス底面の法線方向に作用している間隙水圧に起因する力 U_i も水平方向成分 $U_i \cdot \sin \alpha_i$ を持っているので、この場合の例のように斜面上方から法尻方向に地下水が浸透している場合には、 $(H_1' \gamma_w + U_i \sin \alpha_i) > H_2' \gamma_w$ であり、この力も考慮すれば、スライス i は、実際には $\{(H_1' \gamma_w + U_i \sin \alpha_i) - H_2' \gamma_w\}$ の力で、法尻方向に「押されて」いることになる）。

したがって、この(9)式の力のスライス底面の法線方向分力 $H_n \gamma_w = H \gamma_w \sin \alpha_i$ (α_i : スライス面の接線方向と水平方向とのなす角) は、同じ方向に作用する力 N_i に寄与するはずである。本来の標準スライス法では、この $H_n \gamma_w$ の N_i への寄与を無視することになっているが、その場合、 α_i が大きくなると、次のような矛盾が生ずる。すなわち、**図-4.4.70(b)**に示すように、スライスの高さを h （浸潤線から上の高さを h_1 、下の高さを h_2 ）とし、地山材料の湿潤単位体積重量を γ_t 、飽和単位体積重量を γ_{sat} とすると、 $W_i = (h_1 \gamma_t + h_2 \gamma_{sat}) b_i$ 、 $l_i = b_i / \cos \alpha_i$ （記号の意味は前述参照。ただし、 b_i はスライスの幅とする）であるから、標準スライス法の考え方によれば

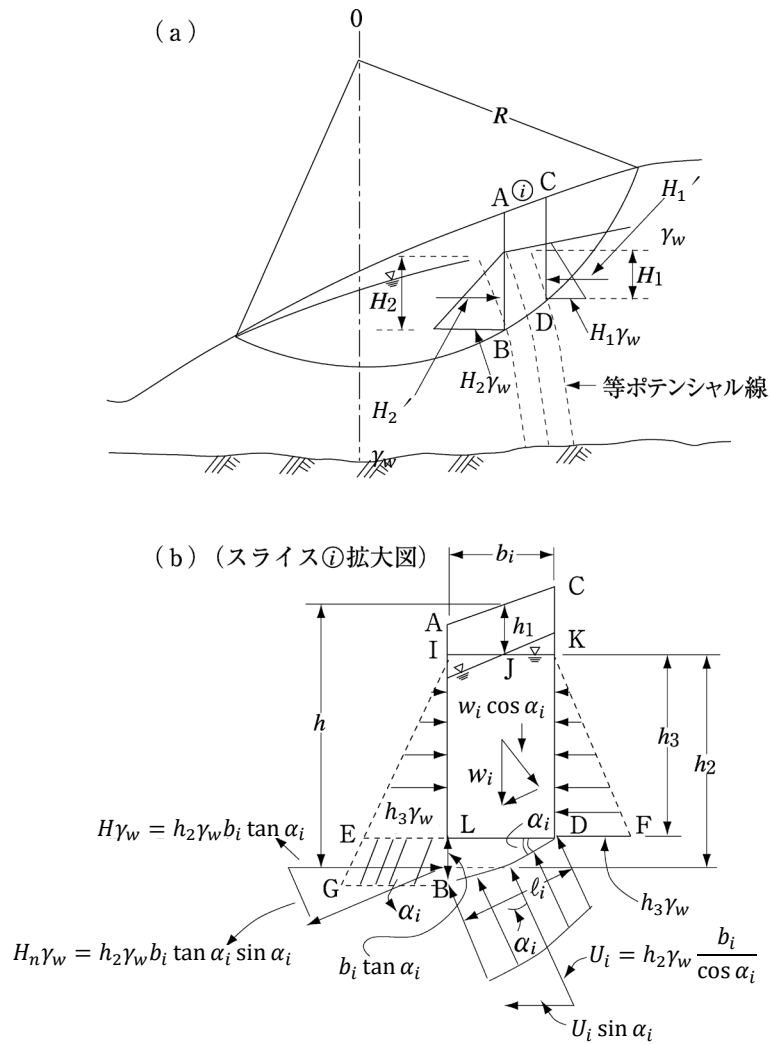


図-4.4.70 地すべり斜面中に浸透水がある場合

$$\begin{aligned}
 N_i' &= N_i - U_i = W_i \cos \alpha_i - u_i l_i \\
 &= W_i \cos \alpha_i \left\{ 1 - \frac{u_i}{(h_i \gamma_t + h_2 \gamma_{sat}) \cos^2 \alpha_i} \right\} \dots\dots\dots (10)
 \end{aligned}$$

となる。したがって、 α_i が大きくなると、 $\cos \alpha_i$ が小さくなり、 $N_i' = N_i - U_i < 0$ となる場合が生じ得る。これは地山の構成材料が法線方向に浮き上がることを意味しているが、現実にはこのようなことは起こり得ない。これは、スライス側面に作用している水圧差を無視したために生じた矛盾である。

しかし、この水圧差を厳密に考慮に入れようとする、前述のように、等ポテンシャル線を描き、スライス両側面に作用している水圧分布を求めなければならないので、非常に面倒である。そこで実務計算では図-4.4.70(b)に示すように、スライスの中央を通る鉛直線と浸潤線との交点の位置Jから下に、スライス両側に水圧が静水圧的に分布するものと考え、その静水圧差のみを考

慮に入れる方法がとられている。この場合の水圧差は、同図(b)を見れば明らかのように、 $\triangle I E L$ と $\triangle K F D$ は相殺されることから、側面 \overline{AB} 下方の $\square E G L B$ のみである。その大きさは、

$$H \gamma_w = h_2 \gamma_w b_i \tan \alpha_i \quad \dots\dots\dots(11)$$

であり、その法線方向成分は、

$$H_n \gamma_w = h_2 \gamma_w b_i \tan \alpha_i \sin \alpha_i \quad \dots\dots\dots(12)$$

である。

したがって、スライス i の底面 BD より上の部分に作用している力の、法線方向成分の合力 N_i は、

$$N_i = W_i \cos \alpha_i + h_2 \gamma_w b_i \tan \alpha_i \sin \alpha_i \quad \dots\dots\dots(13)$$

である。ここで $W_i = b_i (h_1 \gamma_t + h_2 \gamma_{sat})$ であり、スライス底面には間隙水圧に起因する $U_i = h_2 \cdot \gamma_w (b_i / \cos \alpha_i)$ が作用しているから、底面の法線方向に作用している有効圧力 N_i' は、

$$\begin{aligned} N_i' &= N_i - U_i \\ &= b_i (h_1 \gamma_t + h_2 \gamma_{sat}) \cos \alpha_i + h_2 \gamma_w b_i \cdot \tan \alpha_i \sin \alpha_i - h_2 \gamma_w \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

となる。ここで、 $\gamma_{sat} = \gamma' + \gamma_w$ (ここで γ' : 地山構成材料の水中重量) とおいて、上式を整理すれば、

$$N_i' = b_i (h_1 \gamma_t + h_2 \gamma') \cos \alpha_i \quad \dots\dots\dots(15)$$

となる。すなわち、浸潤線下の部分については、水中重量に $\cos \alpha_i$ を乗ずれば、間隙水圧を考慮したすべり面の法線方向に作用する有効圧力 N_i' となることが分かる。この場合は、 $N_i' < 0$ となることは決して生じない。この方法は、本来の意味の標準スライス法又は簡便法とは異なるので、「修正標準スライス法」又は「修正簡便法」と呼んでいる。

4.3.3 ビショップ法 (Bishop method) *1及びその他の厳密法

図-4.4.71に示すように斜面中に浸透水がある一般的な場合について説明する。間隙水圧計などにより間隙水圧が多数点で測定され、等ポテンシャル線が図に示すように描けているものとする(流線はそれに直交するものとして描ける)。スライス i を代表として取出し、それに作用している外力を描けば、図-4.4.67(b)の場合と同じように、図-4.4.72(a)に示すようになる。

ここで W_a 、 W_b スライスの自重による外力で、

$$W_a = \gamma_t A_1$$

$$W_b = \gamma_{sat} A_2$$

である。ただし、 γ_t は浸潤面より上の地山材料の湿潤単位体積重量 (kN/m^3)、 γ_{sat} は浸潤面より下の地山材料の飽和単位体積重量 (kN/m^3)、また、 E_{i+1} 、 T_{i+1} 、 E_i 、 T_i はスライス側面に作用している力(内力)で、土圧及び浸透水の水圧によるものである。スライスの底面には、その法線方向に、

*1 Bishop, A.W. (1955): The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, Geotechnique, 5, pp. 7~17

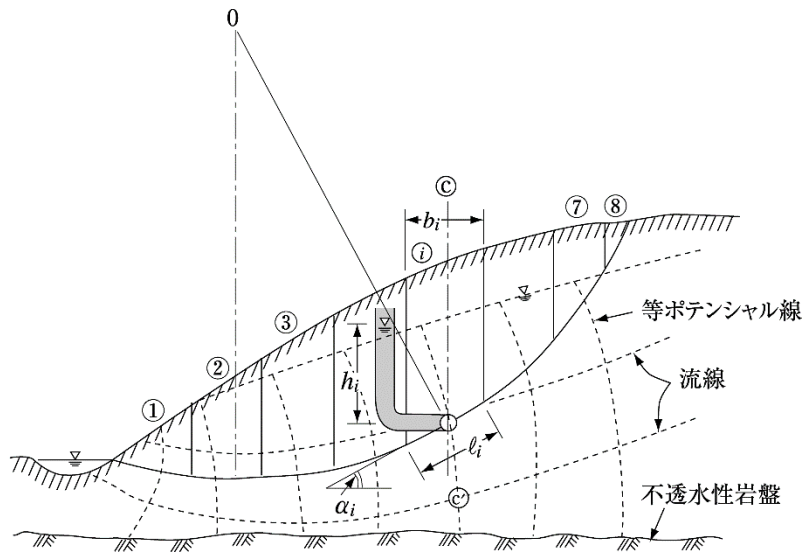


図-4.4.71 斜面中に浸透水がある場合の流線網と円弧すべり説明模式図

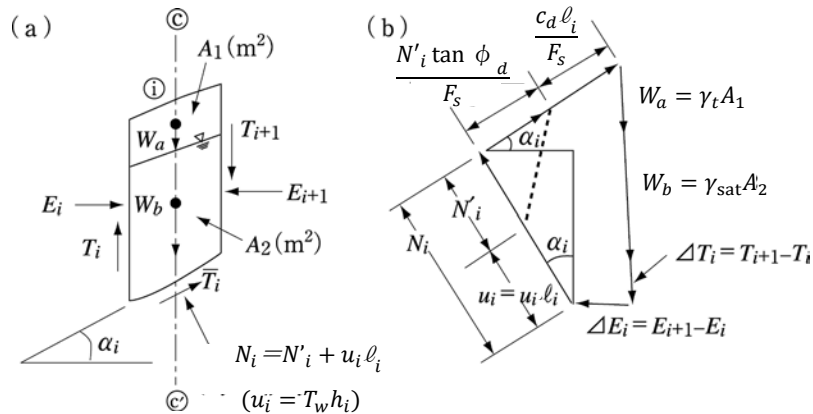


図-4.4.72 スライスに作用する外力（自重、水圧、底面反力など）と力の多角形

$$N_i = N'_i + u_i \ell_i \quad \dots \dots \dots (16)$$

が作用し、接線方向には、

$$\bar{T}_i = \frac{1}{F_s} (c_d \ell_i + N'_i \tan \phi_d) \quad \dots \dots \dots (17)$$

が作用していることは前述したとおりである。

これらの力が作用してスライス*i*は釣り合っているのであるから、その力の多角形は、図-4.4.72(b)に示すように閉じていなければならない。

これらの力を鉛直線（スライス*i*の線CC'）に投影すると、

$$W_a + W_b + \Delta T_i = (N'_i + u_i \ell_i) \cos \alpha_i + \frac{N'_i \tan \phi_d + c_d \ell_i}{F_s} \sin \alpha_i \quad \dots \dots \dots (18)$$

となる。ここで $\ell_i \cos \alpha_i = b_i$ とおいて（図-4.4.71参照）、 N'_i について解けば、

$$N'_i = \frac{W_a + W_b + \Delta T_i - u_i b_i - \frac{c_d \ell_i}{F_s} \sin \alpha_i}{\left(1 + \frac{\tan \phi_d \tan \alpha_i}{F_s}\right) \cos \alpha_i} \dots\dots\dots (19)$$

ここで

$$\left(1 + \frac{\tan \phi_d \tan \alpha_i}{F_s}\right) \cos \alpha_i = m_i \dots\dots\dots (20)$$

とおけば、

$$N'_i = \frac{W_a + W_b + \Delta T_i - u_i b_i - \frac{c_d \ell_i}{F_s} \sin \alpha_i}{m_i} \dots\dots\dots (21)$$

これが、スライス*i*のすべり面の法線方向に作用する有効力である。これを前述の4.3.1の(4)式に代入すれば、安全率は、下つきの添字*i*を省略して、

$$F_s = \frac{\sum \left\{ c_d b + (W_a + W_b + \Delta T - ub) \tan \phi_d \right\}}{\sum \frac{m_i}{(W_a + W_b) \sin \alpha}} \dots\dots\dots (22)$$

ここで、 $\Delta T = 0$ とおいた式を「簡便ビショップ法」と呼ぶ。 ΔT を求めることは一般に困難なので、実務計算にはこの「簡便ビショップ法」が用いられている。

(22)式に(20)式の*m_i*を代入すれば、(22)式は両辺に安全率*F_s*が入っていることになるので、最初に*F_s*を仮定して右辺を計算し、その値が仮定の*F_s*と異なれば、仮定値を変化させて再び右辺の計算を行い、両者が一致するまで計算を繰り返す。電子計算機を用いれば、短時間に結果を得ることができる。

また、 $W_a + W_b = W$, $r_u = ub/W$ において、簡便ビショップ法を、

$$F_s = \frac{\sum \frac{c_d b + W(1 - r_u) \tan \phi_d}{m_i}}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (23)$$

と表すこともある。ここで*r_u*は「間隙圧比」である。

また、地下水面の位置は判明しているが、流線網が描けない場合は、4.3.2の(2)で述べた理由により、図-4.4.72(a)において、

$$W_a = \gamma A_1$$

$$W_b - ub \doteq \gamma' A_2$$

と近似的に置くことがある（ただし、 γ' : 地山材料の水中単位体積重量、また*A₂*はスライスの水面下の面積）。

ビショップ法は、力の多角形が閉じる条件、

$$\sum H_i = 0, \sum V_i = 0$$

のみを用いて導かれており、モーメントの釣合い条件式

$$\sum M_i = 0$$

は考慮されていない。それに対し、モーゲンスターン・プライス法 (Morgenstern-Price method) *1、ベル法 (Bell method) *2、サルマ法 (Sarma method) *3、*4、スペンサー法 (Spencer method) *5、*6、*7等は、この条件も考慮して導かれた厳密な方法であり、「一般性を有する方法 (Generalized method)」(以下「一般法」という。)と呼ばれている。

これらの厳密な方法は、下記の6つの条件をすべて満たすことを前提として導かれたものである。

- ① 各スライスでの水平 (又は、スライス底面に平行) 方向の力の平衡
- ② 各スライスでの鉛直 (又は、スライス底面に垂直) 方向の力の平衡
- ③ 各スライスでのモーメントの平衡
- ④ 地すべりブロック全体での水平方向の力の平衡
- ⑤ 地すべりブロック全体での垂直方向の力の平衡
- ⑥ 地すべりブロック全体でのモーメントの平衡

前述したように、極限平衡法による斜面の安定解析問題は、未知数の数が方程式の数より多い不静定問題である。したがって、上記の条件をすべて満たす解を得るためには、たとえば地すべりブロックをスライスに分割した場合、スライス両側に作用する X_i , E_i の大きさ (又はその合力 R_i と、その作用方向 θ_i) などについて何らかの仮定をせねばならず、かつ求めた結果も許容し得るものでなければならない。

すなわち、得られた解は下記の条件を満たしていなければならない。

- ① スライス間力が張力でないこと。間隙水圧がある場合には、水平方向のスライス間力は有効応力で表した E をこの判定に用いる。
- ② 有効応力で表示したスライス間力の作用線の位置がスライス間境界上で、地表面とすべり面の間にあること。
- ③ スライス間境界に沿ってのすべりの安全率が1より大きく、スライス間境界でせん断破壊を生じないこと。

この3つの条件を満たす解を得るには X_i , E_i 等の分布についての仮定を種々に変えて試行錯誤的に計算を繰返さなければならないのが普通であり、電子計算機を使用しても合理的な解を得るのは容易ではない。

簡便ビショップ法は、標準スライス法や修正標準スライス法よりも繰返し計算を必要とする分

*1 Morgenstern, N. R. & Price, V.E. (1965): The analysis of the stability of general slip surfaces, *Geotechnique*, 15, 1, pp.79~93及び A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces, *The computer Journal*, Great Britain, 9, 4, pp.388~393

*2 Bell, J.M. (1968): General slope stability analysis, *Proc. A. S. C. E.*, 94, SM (6), pp.1253~1270

*3 Sarma, S.D (1973): Stability Analysis of Embankments and Slopes, *Geotechnique*, 23, 3, pp.423~433

*4 Sarma, S K. (1979): Stability Analysis of Embankments and Slopes, *A. S. C. E.*, GT12, pp.1511~1525

*5 Spencer, E. (1967): A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces, *Geotechnique*, 17, pp.11~26

*6 Spencer, E. (1973): Thrust line criterion in embankment stability analysis, *Geotechnique*, 23, pp.85~100

*7 Spencer, E. (1969): Circular and logarithmic spiral slip surfaces, *A. S. C. E.*, 95, No.SM1, pp.227~234

だけ厄介ではあるが、円弧すべりに関しては、モーゲンスターン・プライス法やスペンサー法等と比較すれば計算ははるかに容易である。しかも、ホイットマンらの研究^{*1}によれば、極端に地山の中に入り込む円弧すべりの場合（円弧の両端と円弧の中心を結んだ線が挟む角度が極端に大きい場合）を除いて、通常生ずるような円弧すべりの地すべりや斜面崩壊では、厳密な一般法の一つであるMorgenstern-Price法に比べて、わずか5%程度の誤差しかないと報告されている。地震力を考慮しない「円弧すべり」の実務計算には、現時点では、簡便ビショップ法が適していると考えられる。

一方、非円弧型の地すべりに関しては、Bishop法を非円弧型すべりにも拡大して適用し得るよう修正したNonviller法^{*2}や、スライスに関するモーメントの釣合い条件のみを満たすようにして導かれたJanbu法^{*3}が簡便スライス法よりは優れているが、より厳密に行うには前述した一般法を用いなければならない。

特に、川本の論文^{*4}には、厳密な「一般性を有する方法」が、分かりやすく解説されている。

また、古谷の論文^{*5}にはSpencer法、Nonviller法、Morgenstern-Price法等による安定解析結果が比較検討されている。

以上述べたことに基づき、地山の構成材料の力学特性による地すべりの分類と安定解析を行い得る可能性の有無について仲野がまとめたのが表-4.4.3である。

なお、米国のルットン、バンクスらもパナマ運河の泥岩地帯での地すべりの観察と安定解析結果からほぼ同じような結論を得ている^{*6}。彼らは、初生地すべりについても、地すべり発生時には、安定解析による逆算により、 $c' = 0$ としたとき、 ϕ' は完全軟化強度 ϕ_s から、残留強度 $\phi'r$ の、ばらつきの上限值程度までの値となると報告している。

*1 Whitman, R.V. and Bailey, W. A. (1967): Use of Computers for Slope Stability Analysis, Proc. A.S.C.E., SM4, pp. 475~498

*2 Nonveiller, E. (1965): The Stability Analysis of Slopes with a Slip Surface of General Shape, Proc. Int. Conf. Soil Mech. & Found Eng., Vol. II, pp. 522~525

*3 Janbu, N. (1954): Application of composite slip surfaces for stability analysis, Proc. European Conf. on Stability of Slopes, Vol. 3, pp. 43

*4 川本 (1981): スライス間力を考慮した極限平衡法の検討と地すべり解析への適用、農土試技報 C. 22, pp. 53~86

*5 古谷 (1985): 極限平衡法を利用した斜面安定解析—Spencer-Q法と他方法との比軌、農土論集, 120, pp. 55~60

*6 Lutton, R.J. et al. (1975): Slides in Gaillard Cut, Panama Canalzone, Rock-slides and Avalanches, Vol. 2, Engineering Sites, Chapter 4, pp. 201~224

表-4.4.3 斜面地山の土（又は泥質軟岩）の材料の力学特性による
地すべりの分類と安定解析の可能性の有無

地すべり斜面崩壊の種類	斜面を構成する材料の力学特性による分類	安定解析の可能性	解析に用いる強度定数	備考
㊤初生地すべり	(a-1) ひずみ軟化をする材料からなる地山中に発達するすべり。	斜面崩壊の予測不可能。ただし、すべりが生じて、すべり面の位置が明瞭になれば解析可能。	すべりが生じた後の解析には、完全軟化強度、 c_s, ϕ_s	すべり面の位置が明瞭となり、かつ、その面に沿っての間隙水圧（又は地下水面の位置）がわかれば安全率 $F_s=1.00$ としてを ϕ_s 逆算することが可能。
	(a-2) ひずみ軟化をしない材料からなる地山中に発達する初生地すべり。	斜面崩壊の予測可能（間隙水圧分布状況や地下水面の位置がわかれば、ピーク強度を用いて安定解析を行うことが可能。最小安全率が1以下となる円弧に近似した円弧ですべるものと考えてよい）。	ピーク強度の c_a, ϕ_a	$ca \neq 0$ なので ca 又は ϕ_a のいずれかを仮定しなければ逆算によって強度定数を求めることはできない。
	(a-3) 断層、褶曲などによって形成されたせん断ゾーンや、せん断面などに規制されたゾーン（又は面）に沿ってのすべり。	① 軟弱化したせん断ゾーンはできているが、鏡肌様の連続した明瞭なすべり面は形成されていない地すべりについては、せん断ゾーン中の粘土は、完全軟化状態のせん断強度になっているものとして、解析可能。 ② 鏡肌様の連続した明瞭なすべり面が形成されている場合は、そのすべり面に沿ってのせん断強度は、残留強度になっているものとして解析可能。	① 完全軟化強度の c_s, ϕ_s ② 残留強度の c_r, ϕ_r	軟弱化したゾーン（又は鏡肌状のすべり面）の連続状況が確認でき、かつ、そのゾーン中の間隙水圧（又はそのゾーン上の地下水面の位置）が分かれば、 $F_s=1.00$ として ϕ_s, ϕ_r を逆算によって求めることが可能。
㊦再活動地すべり	旧すべり面に沿ってのすべりなので、すべり面を含む土のせん断特性はほとんどひずみ軟化を示さない。	鏡肌様の連続した明瞭なすべり面が形成されている場合は、そのすべり面に沿ってのせん断強度は残留強度になっているものとして解析可能。	残留強度の c_r, ϕ_r	すべり面の連続状況が確認でき、かつ、そのすべり面に沿っての間隙水圧又はそのすべり面上の地下水位の位置が分かれば、 $F_s=1.00$ として ϕ_r を逆算することが可能。

注) ① 実際には、初生地すべりと再活動地すべりの中間的地すべりがあり得る。

② $F_s=1.00$ として強度定数 ϕ_s, ϕ_r を逆算する場合の地すべりは、動きが非常に緩慢か、ほぼ平衡状態に達していることが必要である。

③ 強度定数、 $c_a, \phi_a, \phi_s, \phi_r$ などはすべて有効応力表示のパラメータである。

④ この表は、斜面の「長期安定問題」を検討するためのものである。

4.3.4 地すべりブロックの側面抵抗力を考慮に入れた簡便二次元解析法について・・・平面形が単純な形の場合

実際の地すべりは三次元的な広がりをもっており、地すべりブロックの両側面にはすべりに対する抵抗力が働いている。しかし、実務での解析では、これを無視して、地すべりの縦断面図を用い

て、二次元の斜面安定解析を行っているのが普通である。これは工学的には一般に安全側の仮定であるので慣習的に長く採用されて来た。地すべりブロックの両側面抵抗を考慮に入れば、より経済的な設計を行うことができるが、そのためには三次元斜面安定解析を行わねばならず、かなり面倒なうえ、前出の「(3)斜面安定解析法と内在する諸問題」で、二次元解析の場合について説明したことと同様な問題が三次元レベルで生じ、その信頼性には問題が残っている。そこで、図-4.4.73(a)に示すように、地すべりブロックの両側の側面がほぼ平行で、単純な平面形をした地すべりの場合に適用可能と思われる簡便な方法（三次元効果を考慮したスライス法による二次元解析）について紹介する。

これはスケンプトンが文献*1の中で記している方法である。この論文中では、式の誘導過程については記されていないが、以下に記すように考えれば簡単に導ける。

すなわち、地すべりブロックの代表的な横断面の面積を求め、これを同じ深さをもつ矩形に置き換えたときの平均幅を、

$$B = \frac{A}{D} \dots\dots\dots(1)$$

として求める。この地塊の底に作用するせん断強度（土のせん断試験によって求められる真のせん断強度）を τ_t (kPa) とすれば、底の単位奥行き（1m）当たりの全せん断抵抗力は $\tau_t B$ である。また、地すべりブロックの側面に作用する単位奥行き当たりの全せん断力は、側土圧係数を K とすれば（図-4.4.73(b)参照）、両側で、

$$2 \cdot \left\{ \frac{1}{2} (K \tau_t) D = K \tau_t \right\} D$$

したがって、底と側面を合わせた単位奥行き当たりの全せん断抵抗力は、

$$\tau_t B + K \tau_t D = \tau_t (B + KD) \dots\dots\dots(2)$$

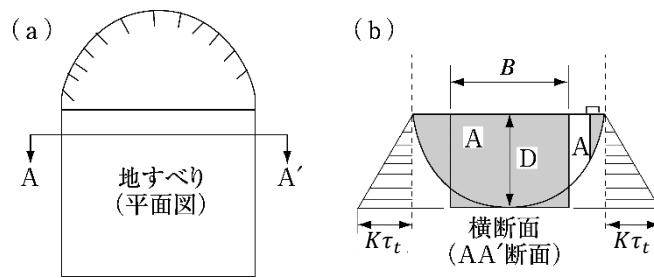


図-4.4.73 地すべりブロックの平面図と横断面図

従来の二次元解析では地すべりブロック両側の抵抗力は考慮に入れていないので、安全率 $F_s = 1$ と置いて、逆算によって求めた見かけ上のせん断抵抗力 τ_a と、土質試験によって求められる真のせん断抵抗力 τ_t は、下式を満足しなければならない。

$$B \tau_a = \tau_t (B + KD) \dots\dots\dots(3)$$

*1 Skempton, A. W. (1985) : Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory, Geotechnique, 3, 1, pp.3~18

よって、

$$\tau_t = \frac{B}{B + KD} \tau_a = \frac{1}{1 + K \frac{D}{B}} \tau_a = \beta \tau_a \quad \dots\dots\dots(4)$$

または、

$$\tau_a = \frac{1}{\beta} \tau_t \quad \dots\dots\dots(5)$$

ただし

$$\beta = \frac{1}{1 + K \cdot \frac{D}{B}} < 1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

したがって、従来一般に採用されてきたスライス法などの二次元解析法で、 $F_s = 1$ と置いて、逆算によって求めた c_a, ϕ_a と、土のせん断試験によって求めた真のせん断強度定数 c_t, ϕ_t との関係は、

$$\phi_t = \tan^{-1}(\beta \tan \phi_a), \quad c_t = \beta c_a \quad \dots\dots\dots(7)$$

または、

$$\phi_a = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\beta} \tan \phi_t\right), \quad c_a = \frac{1}{\beta} c_t \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。すなわち、従来の二次元解析から逆算して求めた c, ϕ は、真の値より過大に出ているので、土のせん断試験によって求めた真の強度定数 c_t, ϕ_t （再活動地すべりのときは残留強度 c_r, ϕ_r 、初生地すべりのときは完全軟化強度 c_s, ϕ_s ）などと比較する場合は、逆算値に $\beta < 1$ を乗じた値で比較する必要がある。また、せん断試験によって得られた強度定数を用いて三次元効果を考慮したスライス法などによる二次元解析を行う場合は、試験によって得られた強度定数に $1/\beta > 1$ を乗じて用いる必要がある。