

III-15 斜面安定解析の計算表(その1)

法政大学 正会員 山門 明雄

〃 〃 牟田 親弘

東京都特別区 〃 〇矢野伸二郎

1. まえがき

著者の一人が斜面安定解析のプログラム SLOPE のデバック中に Taylor の計算図表を用いて演算を実行したところ、土の内部摩擦角 $\phi = 0^\circ$ の場合、分割法による安全率と Taylor による安全率はほぼ一致するが、 $\phi \neq 0^\circ$ の場合は差がみられた。

簡便分割法は通常的设计基準に用いられており、そのすべり面の安全率 F_s は、中心 O なる円弧すべり面を仮定し、次式のように表わされる。

$$F_s = \frac{\text{0点まわりの抵抗モーメントの和 } M_r}{\text{0点まわりの滑動モーメントの和 } M_f} \quad (1)$$

本研究は(1)式を使用したものが、どのような傾向になるかを検討したものである。

2. 計算方法

計算に使用した断面は、Taylor が仮定した理想状態の単純断面とし、簡便分割法を採用した。斜面傾斜角 $\beta = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ 、土の内部摩擦角 $\phi = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ 、土の粘着力を C (t/m^2)、単位体積重量を γ (t/m^3) としたときの C/γ を 0.3 m から 4.0 m 、斜面高さ H は 5 m を中心に 2.5 m 、 7.5 m 、 10 m 、深さ係数 $N_d = 1.0, 1.2, 1.5, 2.0$ とするインプットデータとした。

すべり面の安全率の算出にあたっては、通常斜面安定解析に使用されている(1)式を用いた。またその斜面の最少安全率の算出にあたっては、シンプレックス法を使用した。シンプレックス法については専門書にまかせることにするが、ローカルミニマムに収束しないように、初期値としてすべり円の中心点のゾーンを四つのブロックに分け、そのブロックごとに安全率をシンプレックス法で計算し、それぞれ収束した四つの点から再度シンプレックス法で精度をあげてその斜面の最少安全率を求め、グローバルミニマムを算出した。

3. 演算結果と考案

一例ではあるが、 $\phi = 0^\circ$ 、 $\beta = 60^\circ$ 、 $H = 2.5\text{ m}$ 、 5 m 、 7.5 m 、 10 m 、 $N_d = 1.2$ の場合、横軸に C/γ (m)、縦軸にシンプレックス法で求めた安全率 F_s をプロットすれば図-1のように直線関係になるようである。また限界高さ H_c (m) を $H_c = F_s \cdot H$ として、横軸に C/γ (m)、縦軸に H_c (m) をプロットすれば図-2のようになる。 $\phi = 5^\circ$ 、 $\beta = 60^\circ$ 、 $H = 2.5\text{ m}$ 、 5 m 、 7.5 m 、 10 m 、 $N_d = 1.2$ の場合、同様にプロットすれば図-3、図-4のようになる。

内部摩擦角 $\phi = 0^\circ$ の場合、斜面高さ H が変化しても O 点を通る直線で近似できるが、 $\phi = 0^\circ$ の場合は、切片がある直線となる。

図-1および図-3から安全率 F_s は、一次方程式として(2)式のように表わされる。

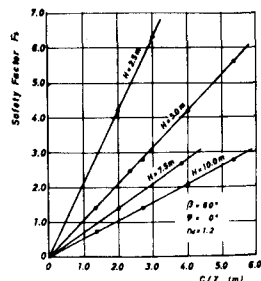


図-1

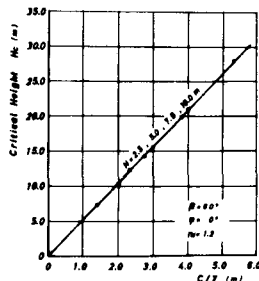


図-2

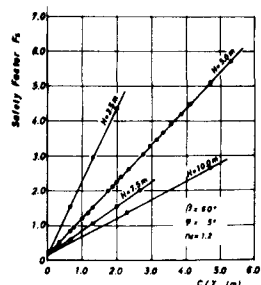


図-3

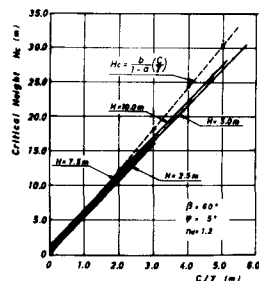


図-4

$$F_s = a' + b' \left(\frac{C}{r} \right) \quad (2)$$

(2)式で表示した a' は、 $\phi = 0^\circ$ 、 β および N_d が一定の場合、斜面高さ H が変化しても $a' \neq 0$ となる傾向があり、 $\phi \neq 0^\circ$ 、 β および N_d が一定のとき H が変化しても a' は一定値 ($a' > 0$) となるようである。また b' は、いずれの場合にも H が大きくなるに従って小さくなる傾向がある。

$\phi = 0^\circ$ 、 $\beta = 6^\circ$ および $N_d = 1.2$ のとき、図-2の C/r と H_c の関係を見ると、その直線は 0 を通り、 H が変化しても一致している。また $\phi = 5^\circ$ のときを表わした図-4の直線は、その勾配はほとんど同じであるが、切片は H が大きくなるに従って大きくなる傾向がある。これらのことから F_s および H_c は一般に次式で表わせる。

$$F_s = a + \frac{b}{H} \left(\frac{C}{r} \right) \quad (3)$$

$$H_c = aH + b \left(\frac{C}{r} \right) \quad (4)$$

Taylor の計算図表は $F_s = 1$ の場合であるので、(3)式か(4)式の H の中へ H_c を代入し、限界高さ H_c (m) を求めてみると次式のようにになる。

$$H_c = \frac{b}{1-a} \left(\frac{C}{r} \right) \quad (5)$$

$\phi = 0^\circ$ の場合は $a \neq 0$ であるので、(4)式と(5)式は一致するが、 $\phi \neq 0^\circ$ の場合は式からも明らかなように、 $a \neq 0$ であるので違いがみられる。(5)式で求めた係数 $b/(1-a)$ は Terzaghi の安定係数 N_s に相当するものである。この係数を表わしたものが表-1である。なお $\phi = 5^\circ$ 、 $\beta = 6^\circ$ 、 $N_d = 1.2$ の場合、(5)式の限界高さ H_c と C/r の関係は、図-4の点線で示してある。

(3)式が通常の設計基準に用いられている最少安全率を表わしたものであり、各インプットデータに対して計算した a 、 b をそれぞれ表-2に示した。

またすべり円の中心点は、 $\phi = 0^\circ$ 、 β および N_d が一定のとき、 C/r が変化しても一定点になるが、 $\phi \neq 0^\circ$ 、 β および N_d が一定のときは、 C/r が変わると曲線的に移動する傾向がみられた。

4. むすび

表-2を使用すれば、通常の設計基準に用いられている簡便分割法の最少安全率を求めることができる。

謝 辞 本研究を行うにあたって御助言いただいた本学教授大地羊三先生に深謝の意を表します。

β	N_d	ϕ					
		0	5	10	15	20	25
20	1.0	9.565	13.817	25.398	130.883	-----	-----
	1.2	9.834	14.107	25.880	132.474	-----	-----
	1.5	10.103	14.397	26.362	134.065	-----	-----
30	1.0	9.565	13.817	25.398	130.883	-----	-----
	1.2	9.834	14.107	25.880	132.474	-----	-----
	1.5	10.103	14.397	26.362	134.065	-----	-----
40	1.0	9.565	13.817	25.398	130.883	-----	-----
	1.2	9.834	14.107	25.880	132.474	-----	-----
	1.5	10.103	14.397	26.362	134.065	-----	-----
50	1.0	9.565	13.817	25.398	130.883	-----	-----
	1.2	9.834	14.107	25.880	132.474	-----	-----
	1.5	10.103	14.397	26.362	134.065	-----	-----
60	1.0	9.565	13.817	25.398	130.883	-----	-----
	1.2	9.834	14.107	25.880	132.474	-----	-----
	1.5	10.103	14.397	26.362	134.065	-----	-----
70	1.0	9.565	13.817	25.398	130.883	-----	-----
	1.2	9.834	14.107	25.880	132.474	-----	-----
	1.5	10.103	14.397	26.362	134.065	-----	-----
80	1.0	9.565	13.817	25.398	130.883	-----	-----
	1.2	9.834	14.107	25.880	132.474	-----	-----
	1.5	10.103	14.397	26.362	134.065	-----	-----
90	1.0	9.565	13.817	25.398	130.883	-----	-----
	1.2	9.834	14.107	25.880	132.474	-----	-----
	1.5	10.103	14.397	26.362	134.065	-----	-----

表 - 1

β	ϕ	N_d	a	b	ϕ	N_d	a	b
20	0	1.0	0.0	9.565	5	1.0	0.311	9.588
		1.2	0.0	7.971		1.2	0.310	7.995
		1.5	0.0	6.834		1.5	0.307	6.861
30		1.0	0.0	6.168		1.0	0.309	6.240
		1.2	0.0	5.512		1.2	0.306	5.578
		1.5	0.0	4.805		1.5	0.302	4.984
40		1.0	0.0	4.464		1.0	0.301	4.488
		1.2	0.0	3.834		1.2	0.299	3.887
		1.5	0.0	3.274		1.5	0.296	3.353
50		1.0	0.0	3.757		1.0	0.295	3.781
		1.2	0.0	3.162		1.2	0.292	3.204
		1.5	0.0	2.614		1.5	0.289	2.704
60		1.0	0.0	3.248		1.0	0.290	3.267
		1.2	0.0	2.688		1.2	0.287	2.715
		1.5	0.0	2.163		1.5	0.284	2.215
70		1.0	0.0	3.248		1.0	0.285	3.267
		1.2	0.0	2.688		1.2	0.282	2.715
		1.5	0.0	2.163		1.5	0.279	2.215
80		1.0	0.0	3.248		1.0	0.285	3.267
		1.2	0.0	2.688		1.2	0.282	2.715
		1.5	0.0	2.163		1.5	0.279	2.215
90		1.0	0.0	3.248		1.0	0.285	3.267
		1.2	0.0	2.688		1.2	0.282	2.715
		1.5	0.0	2.163		1.5	0.279	2.215
20	10	1.0	0.622	9.609	15	1.0	0.926	9.649
		1.2	0.619	8.016		1.2	0.925	8.050
		1.5	0.619	6.883		1.5	0.923	6.930
30		1.0	0.447	7.782		1.0	0.720	7.782
		1.2	0.447	6.558		1.2	0.717	6.558
		1.5	0.447	5.562		1.5	0.714	5.562
40		1.0	0.360	6.140		1.0	0.660	6.140
		1.2	0.360	5.100		1.2	0.656	5.100
		1.5	0.360	4.144		1.5	0.652	4.144
50		1.0	0.308	5.076		1.0	0.558	5.076
		1.2	0.308	4.076		1.2	0.553	4.076
		1.5	0.308	3.188		1.5	0.548	3.188
60		1.0	0.268	4.302		1.0	0.458	4.302
		1.2	0.268	3.302		1.2	0.453	3.302
		1.5	0.268	2.302		1.5	0.448	2.302
70		1.0	0.228	3.502		1.0	0.385	3.502
		1.2	0.228	2.502		1.2	0.380	2.502
		1.5	0.228	1.502		1.5	0.375	1.502
80		1.0	0.188	2.702		1.0	0.328	2.702
		1.2	0.188	1.702		1.2	0.323	1.702
		1.5	0.188	0.702		1.5	0.318	0.702
90		1.0	0.148	1.902		1.0	0.271	1.902
		1.2	0.148	0.902		1.2	0.266	0.902
		1.5	0.148	-0.102		1.5	0.261	-0.102
20	20	1.0	1.238	9.697	25	1.0	1.564	9.751
		1.2	1.241	8.087		1.2	1.576	8.124
		1.5	1.241	6.993		1.5	1.576	7.086
30		1.0	0.875	7.691		1.0	1.177	7.747
		1.2	0.875	6.693		1.2	1.177	6.776
		1.5	0.875	5.695		1.5	1.177	5.805
40		1.0	0.729	6.287		1.0	1.091	6.368
		1.2	0.729	5.287		1.2	1.091	5.368
		1.5	0.729	4.287		1.5	1.091	4.368
50		1.0	0.594	5.856		1.0	0.901	5.929
		1.2	0.594	4.856		1.2	0.901	4.929
		1.5	0.594	3.856		1.5	0.901	3.929
60		1.0	0.498	5.409		1.0	0.731	5.499
		1.2	0.498	4.409		1.2	0.731	4.499
		1.5	0.498	3.409		1.5	0.731	3.499
70		1.0	0.424	4.940		1.0	0.619	5.039
		1.2	0.424	3.940		1.2	0.619	4.039
		1.5	0.424	2.940		1.5	0.619	3.039
80		1.0	0.359	4.451		1.0	0.513	4.541
		1.2	0.359	3.451		1.2	0.513	3.541
		1.5	0.359	2.451		1.5	0.513	2.541
90		1.0	0.296	3.949		1.0	0.358	4.039
		1.2	0.296	2.949		1.2	0.358	3.039
		1.5	0.296	1.949		1.5	0.358	2.039

表 - 2