

斜面安定(V)

白 榮 植* 譯編

2.1.3 斜面安定解析 Manual(Ⅱ)

(4) 斜面安定 解析方法

現在 慣用되고 있는 斜面安定解析方法은 대부분 限界平衡方法(limit equilibrium method)이다. 이 方法에 對해서는 本 講座에서 이미 取扱한 바 있다(白, 1988).

限界平衡方法에서는 臨界圓을 찾아내기 위하여 數 많은 試行錯誤를 되풀이 하여야 하므로 컴퓨터 사용이 積極 권장되며 때로는 不可避하기도 하다. 本格的인 斜面安定解析法은 여러 가지가 發表되었으나 各 方法에 의한 安全率의 差異는 그렇게 크지 않다.

즉 斜面安定解析에는 強度定數의 正確한 推定과 幾何學的 條件의 把握이 解析方法의 選定 보다 훨씬 더 重要하다.

아래에 손 計算이 可能한 몇 가지 方法을 說明하였다.

① $\phi=0$ 解析法

이 方法은 $\phi=0$ 條件下에서 圓弧滑動面을 假定한 斜面安定解析法으로서 대단히 簡便하지만 理論的으로는 正確하다.

주어진 圓弧滑動面에 대한 安全率은 다음과 같이 定義된다.

$$F = \frac{M_r}{M_0} = \frac{\text{resisting moment}}{\text{overturning moment}}$$

$$M_r = R \sum c_u l, \quad M_0 = \sum W x$$

여기서, R ; 滑動圓의 半徑,

c_u ; 各 土層의 剪斷強度

l ; 各 土層內의 圓弧길이

W ; 各 土層斷面의 重量

x ; 各 土層斷面의 모멘트 팔길이

$\phi=0$ 解析法에 의한 安全率 算定順序는 다음과 같다.

① 假想 圓弧滑動面을 그린다(Fig. 4.1).

② 廻轉土體를 土層 境界面을 따라 多數의 斷面으로 分割한다. 斜面外側에 물이 있으면, 물을 重量은 있으나 剪斷強度는 零인 흙으로 取扱하여야 한다.

③ 各 土層斷面에 대하여 面積, 重量, 모멘트 팔길이, 모멘트를 計算한다. 面積은 求積器(planimeter)를 利用하거나 斷面을 直四角形, 三角形, 梯形으로 近似化하여 計算한다.

모멘트 팔길이는 圓의 中心과 斷面의 圖心 사이의 水平거리를 재어서 구한다. 그림 4.1에 例示된 것 처럼 모멘트 팔길이는 陰의 값이 될 수도 있다.

各 土層斷面의 모멘트를 合한 것이 轉倒 모멘트 M_0 이다.

④ 各 土層斷面에 對하여 圓弧의 길이, 剪斷強度, 抵抗力(圓弧길이×剪斷強度), 모멘트(抵抗力×圓의 半徑)를 決定한다. 各 土層斷面의 모멘트를 合한 것이 抵抗 모멘트 M_r 이다.

⑤ 주어진 滑動圓에 對한 安全率을 計算한다.
즉

$$F = M_r / M_0$$

① 計算順序 ②에서 ⑤까지를 多數의 假想圓弧에 對하여 되풀이 하여 安全率이 最小가 되는 圓을 찾아낸다. 이 때 各 圓은 最初의 假想滑動

* 正會員·慶熙大學校 工科大校 土木工學科 教授

圓이 接한 깊이에 모두 接하도록 한다.

㉔ 다른 깊이에 接平面을 設定하고 위의 과정을 反復하여 그 斜面的 臨界圓 즉 安全率이 絶對最小가 되는 圓을 찾아내면 이 安全率이 그 斜面的 安全率이 된다.

例題 4.1 그림 4-1에 보인 圓弧滑動面에 對한 斜面的 安全率을 구함.

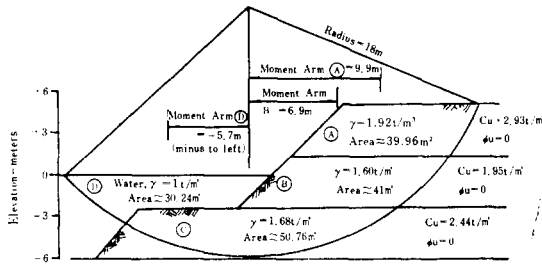


Fig. 4.1 Method of moments for $\phi=0$

$\phi=0$ 解析法의 順序대로 表를 作成하여 計算하면 다음과 같다.

Section (1)	Area (m ²) (2)	Unit weight γ (t/m ³) (3)	Weight (t/m) (4)=(2)(3)	Moment arm(m) (5)	Moment (t-m/m) (6)=(4)(5)
A	39.96	1.92	76.72	9.90	759.53
B	41.04	1.60	65.66	6.90	453.05
C	50.76	1.68	85.28	0	0
D	30.24	1.00	30.24	-5.70	-172.37

Total overturning moment $M_o = 1040.21$

Section (1)	Average length (m) (2)	Shear strength cu(t/m ²) (3)	Force (t/m) (4)=(2)(3)	Moment arm = radius (m) (5)	Moment (t-m/m) (6)=(4)(5)
A	4.20	2.93	12.31	18.0	221.58
B	4.95	1.95	9.65	18.0	173.70
C	20.70	2.44	50.51	18.0	909.18
D	5.40	0	0	18.0	0

Total resisting moment $M_r = 1304.46$

$$F = \frac{1304.46}{1040.21} = 1.25$$

㉔ **Fellenius 方法**

이 方法은 圓弧滑動面을 假定하는 切片法 (method of slices) 가운데 가장 간단한 것이다. Fellenius 方法에 의한 安全率은 다음과 같이 計算된다.

$$F = \frac{\sum (W \cos \alpha - ul) \tan \phi + \sum cl}{\sum W \sin \alpha}$$

여기서, F ; 安全率 c ; 粘着力
 ϕ ; 内部摩擦力 W ; 切片의 무게
 α ; 切片底面의 傾斜角
 u ; 切片底面의 平均間隙水壓
 l ; 切片底面의 길이

이 方法은 보다 正確하다고 評價되는 他方法에 비해 安全率을 過小하게 算定한다. 대부분의 경우 誤差는 10% 以內이지만, 斜面的 傾斜가 완만하고 間隙水壓이 큰 경우에는 60%의 誤差가 生길 수도 있다. 이러한 경우에는 Bishop의 簡便法 등 다른 方法을 使用하는 것이 좋다.

Fellenius 方法으로 安全率을 算定하는 順序는 다음과 같다.

㉑ 假想滑動을 選定한다(그림 4.4 參照)

㉒ 滑動土體를 多數의 鉛直切片으로 分割한다 이 때 各 切片의 底面이 單一 土層 內에 있도록 分割하여야 한다. 손 計算을 위해서는 切片의 數는 8~12個이면 充分하고 컴퓨터 使用을 위해서는 30個 程度의 切片을 만든다.

斜面的 外側에 물이 있는 경우에는 물을 무게만 있고 剪斷強度가 零인 흙으로 取扱하여 切片으로 만들어야 한다.

㉓ 各 切片의 무게를 計算한다. 切片이 單位重量이 相異한 2個 以上の 土層에 걸쳐 있으면 各 土層의 무게를 合하여 切片의 總重量을 算定한다.

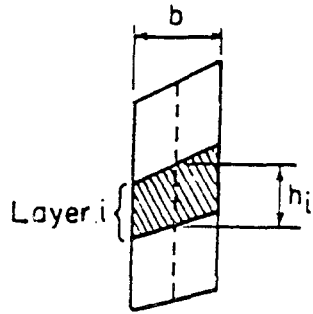
이러한 計算은 그림 4.2에 보인 表의 形態로 수행하는 것이 편리하다. 뒤에 나오는 例題 4-3에 대해서 이 表를 使用한 數值例가 그림 4.5에 나타나 있다.

㉔ 各 切片에 대하여 底面의 길이 l , 底面의 傾斜角 α , 底面의 粘着力 c , 底面의 内部摩擦角 ϕ , 底面의 間隙水壓 μ 를 決定한다(단, 全應力 解析에서는 $u=0$ 로 둔다).

이 값들과 切片의 무게를 그림 4.3의 해당란에 記入한다.

㉕ 그림 4.3에 提示된 計算順序에 따라 安全率을 算定한다. 例題 4-2를 이 方法으로 算定한 것이 그림 4.6이다.

㉖ 計算順序 ㉑에서 ㉔까지를 多數의 假想滑



γ_i = unit weight of layer i
 h_i = height of layer at center of slice
 W_i = partial weight = $bh_i\gamma_i$
 ΣW_i = total weight of silce

Slice No.	b (m)	h_i (m)	γ_i (t/m ³)	W_i (t/m)	ΣW_i (t/m)
1	4.5	1.5	1.76	11.88	11.88
2	4.5	3.9	1.76	30.89	30.89
3	4.5	1.2	1.68	9.07	
		5.25	1.76	41.58	50.65
4	4.5	3.45	1.68	26.08	
		5.85	1.76	46.33	72.41
5	4.5	1.2	1.76	9.50	
		4.5	1.68	34.02	
		5.85	1.76	46.33	89.85
6	4.5	3.45	1.76	27.32	
		4.5	1.68	34.02	
		5.25	1.76	41.58	102.92
7	4.5	4.5	1.76	35.64	
		4.5	1.68	34.02	
		4.5	1.76	35.64	105.30
8	4.5	4.5	1.76	35.64	
		4.5	1.68	34.02	
		1.5	1.76	11.88	81.54
9	4.8	4.5	1.76	38.02	
		2.25	1.68	18.14	56.16
10	3.3	2.25	1.76	13.07	13.07

Fig. 4.5 Example of use of tabular form for computing weights of slices

㉔ F 의 값을 假定하고 各 切片의 m_a 를 구하여 該當欄에 記入한다. 이 때에 그림 4.8을 利用해도 좋다.

㉕ 그림 4.7에 提示된 順序에 따라 安全率 F 를 計算한다.

㉖ 만약 算定된 安全率が 假定한 값과 相異하면 다른 安全率의 값을 假定한다.

㉗ 새로히 假定된 安全率로 ㉔~㉕를 되풀이한다.

㉘ 그림 4.7의 오른쪽 아래에 보인 것 처럼 假定安全率과 算定安全率 間의 關係를 그리고 45°線과 交點을 찾아 낸다.

㉙ 이 安全率을 假定值로 하여 同一한 安全率이 算定되는지 ㉔~㉕ 計算을 반복하여 確認한다.

㉚ 만약 誤差가 충분히 적으면 이를 安全率로 하고, 그렇지 못하면 誤差가 許容範圍 內에 올 때까지 試算을 계속한다.

Bishop의 簡便法에 의한 斜面安定解析이 例題 4-3에 提示되어 있다.

例題 4-3 그림 4.9에 보인 斜面의 주어진 滑動圓에 대한 安全率을 Bishop의 簡便法으로 구함. 단 各 切片 底面의 間隙水壓은 주어지지 않고 흙의 全體單位重量은 $2.0t/m^3$, $c=1.0t/m^3$, $\phi=29^\circ$ 이다(鄭·金, 1979).

滑動土體는 그림에 보인 것처럼 8개의 切片으로 分割하였다.

各 切片의 重量은 計算과정은 省略하고 그림 4.10에 記入하였다. 그림 4.10에서 14番Column까지 計算을 수행하고, 安全率을 1.50로 假定하고 나머지 計算을 하여 安全率이 1.58로 算定되었다.

다시 安全率을 1.70으로 假定하고 나머지 計算을 한 結果 安全率 1.61을 얻었다. 그림 4.10의 오른쪽 아래에 보인 것처럼 假定安全率과 算定安全率이 같아지는 값이 1.60일 가능성이 크므로 이 값을 假定安全率로 하여 計算한 結果 $F=1.60$ 임을 確認하였다.

④ Wedge 方法

Wedge 方法은 臨界滑動面이 非圓弧임이 明白한 경우에 주로 適用하는 斜面安定解析法이다. 例를 들어 그림 4.11에 보인 堤防은 얇은 軟弱

粘土層 위에 設置되어 있는데, 이 경우 滑動面의 대부분이 軟弱層을 지날 것이 確實하므로 圖示된 滑動面이 圓弧滑動面 보다 더 危險하다고 생각된다.

이 方法에서는 滑動土體를, 그림 4.11과 같이, 鉛直線에 의해 몇 개의 썩기 또는 切片으로 分割하고 水平 및 鉛直方向 힘의 平衡을 생각한다.

鉛直切片의 힘의 平衡을 考慮함에 있어서 切片間에 作用하는 힘은 水平으로 作用한다고 假定한다. 이러한 假定下에 算定되는 安全率은 보다 正確한 方法에 의한 값 보다는 더 적게 된다 그러나 이 假定에 의한 誤差는 15% 以下이다.

鉛直切片 代身 傾斜切片을 假定하거나, 切片間 作用力의 方向을 水平으로 假定하는 代身 特定한 傾斜로 가정하면 더 正確한 解가 얻어진다는 研究도 있다. 그러나 特히 正確한 結果가 必要하면 Janbu의 方法, Spencer의 方法 또는 Morgenstern and Price 方法 등을 사용하는 것이 좋다고 생각된다.

Wedge 方法은 試行錯誤法(Trial and Error)으로 安全率을 算定한다. 즉 먼저 安全率로 特定한 값을 假定하고 이 假定值가 힘의 平衡條件을 滿足시키는지 檢討한다. 이 方法은 圖解法과 解析의 方法 모두가 可能하다.

A) 圖解法의 順序

㉑ 假想滑動面을 決定한다(그림 4.11).

㉒ 滑動土體를 썩기 또는 切片으로 分割한다. 이때 各 切片의 底面은 單一 土層에 있도록 해야 한다. 切片의 數는 3~5個이면 充分하다.

만약 斜面外側에 물이 있으면, 물을 重量은 있으나 強度가 零인 흙으로 取扱하여 切片으로 만들어야 한다.

㉓ 各 切片의 自重을 計算한다. 切片의 上下面이 모두 直線이면 Fellenius 方法과 같은 表를 사용할 수 있다. 만약 切片의 表面이 절곡된 경우에는(그림 4.11의 切片 ㉒) 그림 4.12의 切片 2와 같이 左右 2個의 部分으로 나누어 計算하면 便利하다.

㉔ 安全率 F 를 假定하고, 이 때에 發揮되는 粘着力 c_m 과 內部摩擦角 ϕ_m 을 다음과 같이 구한다.

$$c_m = \frac{c}{F}$$

$$\tan \phi_m = \frac{\tan \phi}{F}$$

여기서 c 와 ϕ 는 각 흙의 粘着力과 内部摩擦角이다.

㉔ 흙 썩기 1에 대하여 힘 多角形을 그린다. 한 예가 그림 4.11에 提示되어 있다.

흙 썩기에 작용하는 힘은 다음과 같다.

自重 W : 크기와 方向 모두 既知.

粘着力 c : 크기와 方向 모두 既知.

크기 = $c_m \times$ 底面의 길이 (이 경우는 0)

方向은 底面의 方向

間隙水壓 U : 크기 方向 모두 既知

크기 = $u \times$ 底面의 길이

方向은 底面に 垂直한 方向

(단 全應力解析에는 $U=0$)

摩擦抵抗力 R : 크기 未知, 方向 既知

方向은 底면에 對한 垂直線과 ϕ_m 만큼 傾斜.

切片間 作用力 E : 크기 未知, 方向 既知

方向은 水平으로 假定함.

未知 成分이 2個이므로 힘 多角形 閉合條件에서 R 과 E 를 구할 수 있다. 그림 4.11은 全應力 解析이므로 $U=0$ 이다.

㉕ 흙 썩기 2에 대해서 힘 多角形을 閉合시킨다. 이 때 흙 썩기 1과 2사이의 作用力은 ㉔에서 구한 것과 크기는 같고 方向은 反對이므로 既知力이 된다.

힘 多角形 閉合條件에서 흙 썩기 2와 3사이의 作用力을 구할 수 있다.

㉖ 나머지 흙 썩기에 대해서도 차례대로 힘 多角形을 그린다. 만약 假定한 安全率이 正確하면 마지막 흙 썩기의 힘 多角形이 閉合될 것이다. 한 편 安全率의 假定值가 不正確하면 이 힘 多角形을 閉合시키기 위해서는 追加力이 必要하게 된다.

만약 마지막 흙 썩기의 힘 多角形을 閉合시키기 위해 必要되는 追加力의 作用方向이 斜面을 더 安全하게 하는 方向이면 假定한 安全率이 너무 크다는 것을 意味한다. 그 逆도 成立한다. 따라서 그림 4.11의 $F=1.50$ 는 너무 작은 값이

된다.

㉗ 새로운 安全率을 假定하고 ㉔ 단계에서 ㉕ 단계까지를 되풀이 한다. 이것이 그림 4.13에 提示되어 있다.

다시 새로운 安全率을 假定하고 試行을 거듭 하되 마지막 흙 썩기의 不平衡力의 크기가 다른 힘에 비해 無視할 수 있을만큼 적을 때 까지 계속한다. 이렇게 하여 얻은 最終安全率이 假想滑動面에 대한 安全率이 된다.

첫번째와 두번째 試行結果를 그림 4.15와 같이 假定安全率—不平衡力間의 直線關係로 表示하면 不平衡力 零에 對應하는 安全率이 正解에 대단히 接近한 近似解가 된다. 만약 이 方法으로 구한 安全率이 처음 두 假定值 모두와 큰 差異가 나면 세번째 試行이 必要하게 될 수도 있다.

㉘ 새로운 滑動面을 假定하고 ㉔~㉗를 반복한다. 數個의 追加 滑動面에 對해서 이러한 과정을 反復하여 最小의 安全率을 찾아내면 이것이 그 斜面의 安全率이라고 생각한다.

例題 4-4 그림 4.11에 提示된 斜面의 주어진 滑動面에 대한 安全率을 圖解法으로 구하라.

그림에 보인 것처럼 滑動土體를 4個의 흙 썩기로 分割하고 각 흙 썩기의 重量은 그림 4.12와 같이 算定하였다.

처음에 安全率을 1.50으로 假定하였다. 따라서 上部土層의

$$c_m = 0, \tan \phi_m = \frac{\tan 30}{1.5} \quad \phi_m = 21^\circ$$

下部土層은

$$c_m = \frac{2.44}{1.5} = 1.63 \text{t/m}^2, \phi_m = 0^\circ$$

흙 썩기 1부터 차례로 힘 多角形을 그려 閉合條件에서 R 을 구한다. 마지막 흙 썩기 4의 힘 多角形이 閉合되지 않으므로 假定한 安全率 1.50은 正답이 아니다. 그런데 흙 썩기 4의 不平衡力의 作用方向이 斜面을 더 不安定하게 하는 方向이므로 다음에는 安全率을 더 크게 假定하여야 한다.

따라서 安全率을 2.10으로 假定하고 두번째 試行을 실시한다. 이 때에는 上部土層의 發揮強度 定數는

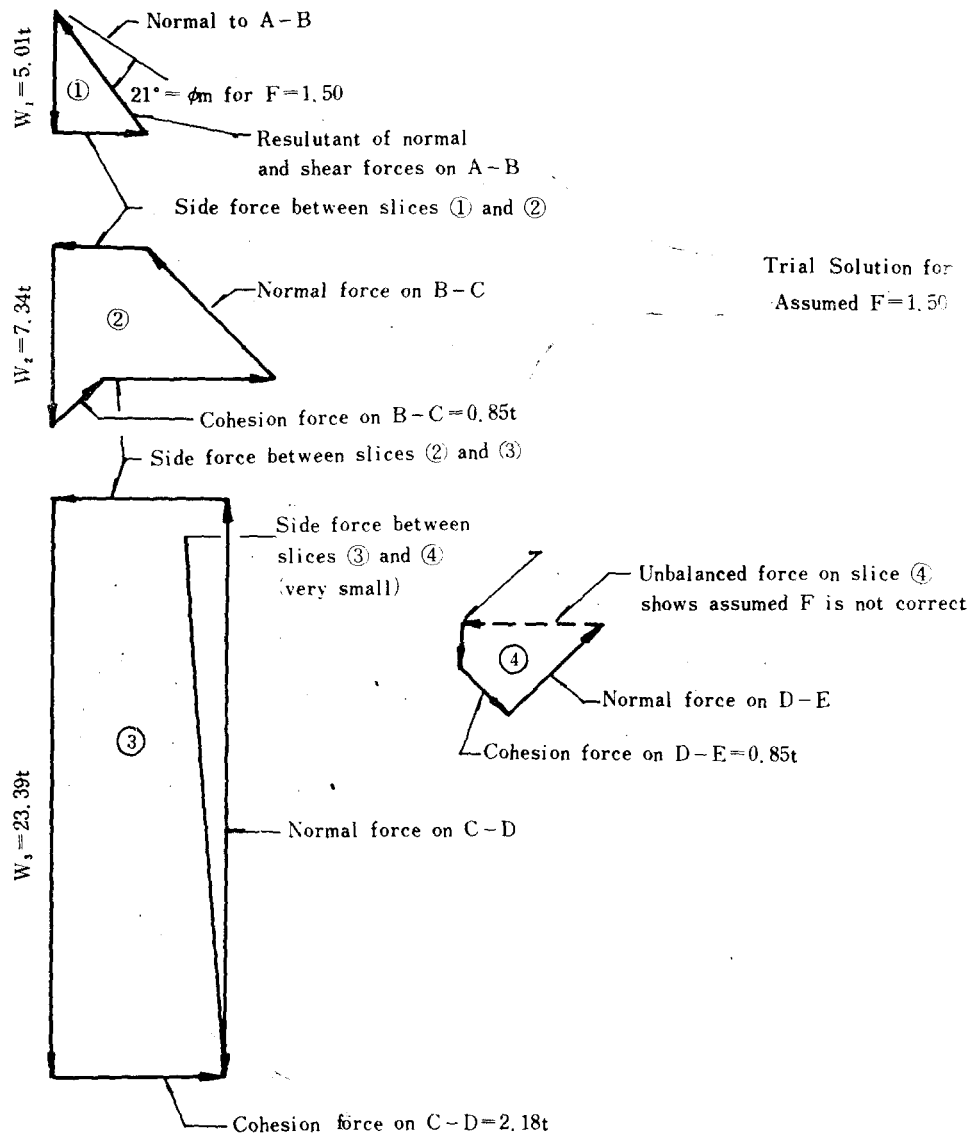
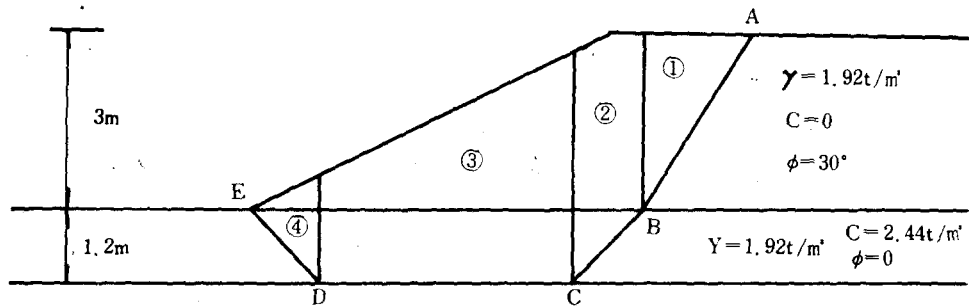


Fig. 4.11 Example of graphical procedure for wedge method

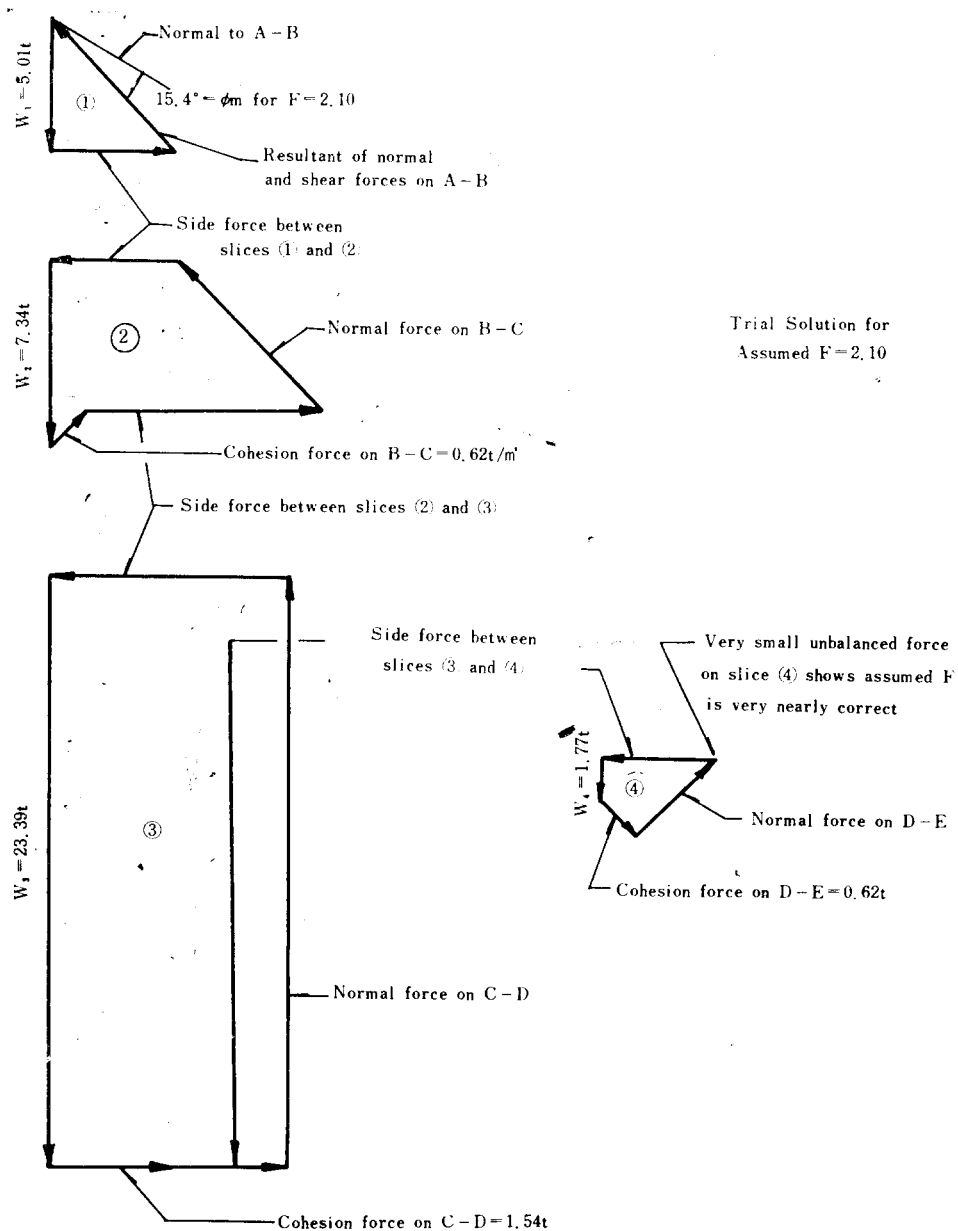


Fig. 4.13 Example of graphical procedure for wedge method. (continued from Fig. 4.11)

$$c_m = 0, \tan \phi_m = \frac{\tan 30}{2.10} \quad \phi_m = 15.4^\circ$$

下部土層에 대해서는

$$c_m = \frac{2.44}{2.10} = 1.16t/m^2, \phi_m = 0$$

各 흙 썩기에 대한 힘 多角形이 그림 4.13에 提示되어 있다. 이제 마지막 흙 썩기의 힘 多角形

이 거의 閉合되어 不平衡力이 零에 가까우므로 安全率의 假定值 2.10은 거의 正解임을 알 수 있다.

그림 4.14는 安全率의 假定值와 不平衡力 사이의 關係를 나타내고 있다. 이 關係가 直線變化라고 假想하면 不平衡力 零에 對應하는 安全率은 2.08임을 알 수 있다. 이 값은 두번째의 假定值 2.10과 거의 差異가 없으므로 주어진 滑

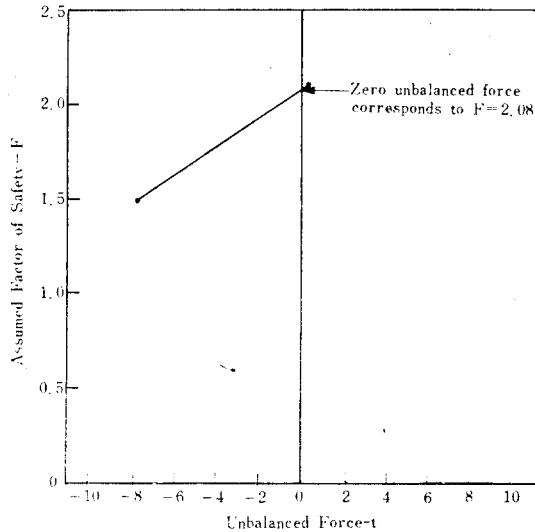


Fig. 4.14 Determining factor of safety by wedge method.

動面의 安全率은 2.08이라고 할 수 있다.

B) 解析의 方法의 順序

㉑ 圖解法의 ㉑와 同一하다.

㉒ 圖解法의 ㉒와 同一하다.

㉓ 圖解法의 ㉓와 同一하다.

㉔ 各 흙 썩기 또는 切片에 대하여 다음을 구한다 :

底面의 傾斜角 α , 底面의 길이 l , 底面의 強度定數 c 와 ϕ , 底面의 間隙水壓 u . (만약 全應力解析이면 $u=0$). 이들 값과 自重을 그림 4.15의 所定欄에 記入한다.

㉕ 다음 값을 計算하여 所定の 欄에 記入한다 :

$$N_1 = cl / \cos \alpha, \quad N_2 = W \tan \phi,$$

$$N_3 = ul \tan \phi / \cos \alpha$$

㉖ 安全率 F 를 假定하고 各 흙 썩기에 대해 ΔE 를 計算한다. 이 과정은 그림 4.16의 表에 提示되어 있다. ΔE 는 各 切片의 左右 側面에 作用하는 水平力의 差異이다. ΔE 는 다음과 같다.

$$\Delta E = \frac{FW \tan \alpha - \frac{cl}{\cos \alpha} - W \tan \phi + \frac{ul \tan \phi}{\cos \alpha}}{F + \tan \phi \tan \alpha}$$

㉗ 各 切片의 ΔE 를 모두 더한다. 즉 表에서 $\Sigma \Delta E$ 를 算定한다. 만약 假定한 安全率이 正解이면 $\Sigma \Delta E = 0$ 이 된다.

만약 $\Sigma \Delta E < 0$ 이면 安全率 假定値는 너무 적은 값이다. 반대로 $\Sigma \Delta E > 0$ 이면 安全率이 너무 크게 假定되었음을 알 수 있다.

㉘ 새로운 安全率 假定値를 가지고 ㉑, ㉕을 되풀이 한다. 이러한 計算을 數個의 安全率에 대하여 反復하되 $\Sigma \Delta E$ 가 無視할 수 있을 만큼 적을 때까지 계속한다. 이때의 安全率 假定値가 주어진 滑動面에 對한 安全率이다.

圖解法에서 說明한 그림 4.14의 方法을 쓰면 正解에 대단히 가까운 安全率을 구할 수 있다. 만약 이렇게 구한 安全率이 처음 두 假定値 모두와 큰 差異를 보이면 세번째 試算이 必要할 수 있다.

㉙ 새로운 假想滑動面에 대해 ㉑~㉕을 되풀이 한다. 數個의 追加 滑動面에 對해서 이러한 과정을 반복하여 最小의 安全率을 찾아내면 이것이 그 斜面의 安全率이라고 생각한다.

例題 4-5 그림 4.11에 提示된 斜面의 주어진 滑動面에 대한 安全率을 解析의 方法으로 구하라.

그림에 보인 것처럼 滑動土體를 4個의 흙 썩기로 分割하였다. 各 切片의 重量은 그림 4.12과 같이 산정하였다. 各 切片 底面의 傾斜角 α , 길이 l , 粘着力 c , 內部摩擦角 ϕ , 間隙水壓 u 가 自重과 함께 그림 4.16의 所定欄에 記入되어 있다(全應力解析이므로 $u=0$).

처음에 安全率 1.50를 假定하여 $\Sigma \Delta E = -3.46$ 을 얻었다. $\Sigma \Delta E < 0$ 이므로 다음에는 安全率의 假定値를 2.10으로 增加시켰다. 이때 $\Sigma \Delta E = 0.07$ 을 얻었다.

이 관계가 그림 4.14에 提示되어 있는데 $\Sigma \Delta E = 0$ 에 對應하는 $F = 2.08$ 임을 알 수 있다. 이 값은 두번째의 假定値 2.10과 매우 接近해 있으므로 正解에 극히 가깝다고 생각된다.

다시 $F = 2.08$ 로 假定하면 $\Sigma \Delta E = -0.02$ 가 되고 이는 무시할 수 있을만큼 적으므로 주어진 滑動面에 대한 安全率은 2.08이라고 생각해도 좋다.

$$\Delta E = \frac{N_4 - N_1 - N_2 + N_3}{N_5}$$

Slice No.	(t/m) W	(Degree) α	(m) l	(t/m ²) c	(Degree) ϕ	u	$\frac{cl}{\cos \alpha}$	$W \tan \phi$	$\frac{ul \tan \phi}{\cos \alpha}$
1	5.01	60	3.42	0	30	0	0	2.89	0
2	7.34	45	1.71	2.44	0	0	5.90	0	0
3	23.39	0	4.32	2.44	0	0	10.54	0	0
4	1.77	-45	1.71	2.44	0	0	5.90	0	0

Trial	F	N_4		N_5		ΔE	$\Sigma \Delta E$
		Slice No.	$FW \tan \alpha$	$F + \tan \phi$	$\tan \alpha$		
1	1.50	1	13.01	2.50	4.05	-2.17	
		2	11.01	1.50	3.41		
		3	0.00	1.50	-3.93		
		4	-2.66	1.50	-5.70		
2	2.10	1	18.22	3.10	4.95	-0.12	
		2	15.41	2.10	4.53		
		3	0.00	2.10	-5.02		
		4	-3.72	2.10	-4.58		
3	2.08	1	18.05	3.08	4.92	-0.26	
		2	15.27	2.08	4.50		
		3	0.00	2.08	-5.07		
		4	-3.68	2.08	-4.61		



c = cohesion intercept

ϕ = friction angle

u = pore pressure at base of slice

Fig. 4.16 Example of use of tabular form for calculating factor of safety by wedge method.

值線을 그린다. 한 예가 그림 5.1이다. 等值線이 最小安全率을 향해 좁혀져 들어 가면 주어진 共通性에 대한 臨界圓은 쉽게 찾을 수 있다. 만약 等值線에서 臨界圓을 찾을 수 없으면 더 많

은 圓을 解析해 보아야 한다.

© 두번째 共通性을 가지는 圓, 예를 들어 다른 깊이에 接하는 圓에 대해서도 安全率의 等值線을 그린다. 그림 5.2가 한 예이다.

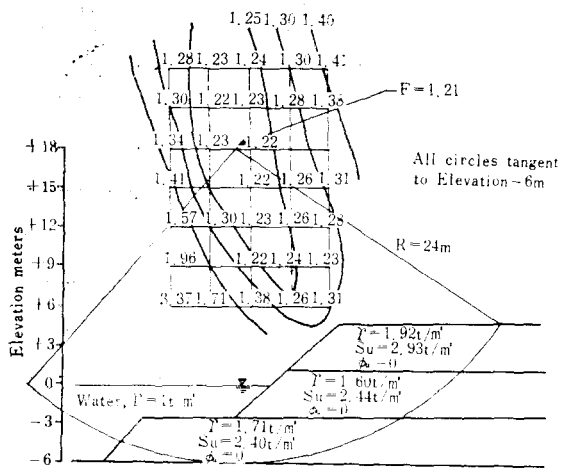


Fig. 5.1 Contours of F for circles tangent to elevation $-6m$

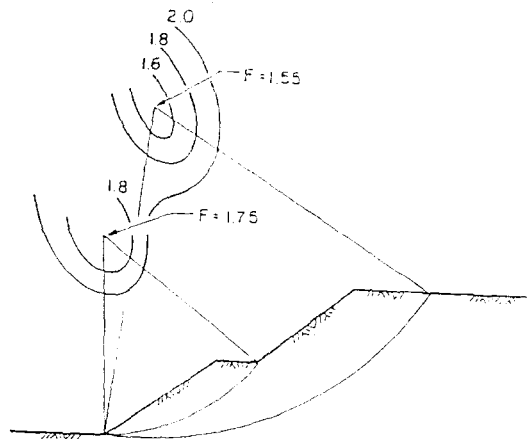


Fig. 5.3 Slope with complex factor of safety contours.

② 흙 썩기의 臨界破壞面

흙썩기 方法으로 斜面安定解析을 하는 경우에는 最小安全率을 찾아 내기 위해서 多數의 假想破壞面을 檢査해 보아야 한다. 첫번째 흙썩기로는 그림 5.4를 擇하고 그 다음에 흙썩기의 位置와 形態를 變化 시켜가면서 臨界面을 찾아낸다.

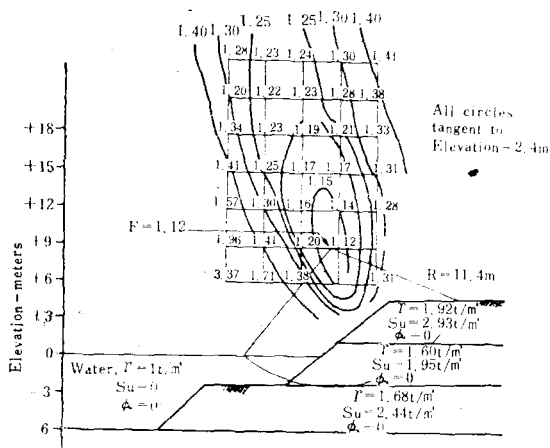
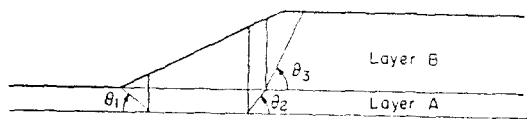


Fig. 5.2 Contours of F for circles tangent to elevation $-2.4m$



$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &\approx 45 - \frac{\phi_{mA}}{2} \\ \theta_2 &\approx 45 + \frac{\phi_{mA}}{2} \\ \theta_3 &\approx 45 + \frac{\phi_{mB}}{2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \phi_{mA} &= \text{mobilized friction angle} \\ &\text{in layer A} \\ \phi_{mB} &= \text{mobilized friction angle} \\ &\text{in layer B} \end{aligned}$$

Fig. 5.4 Trial wedge mechanism of failure.

④ 이 過程을 되풀이 하여 주어진 斜面에 대한 臨界面을 찾아 낸다. 보통 斜面先端을 지나는 臨界面을 먼저 찾아내고 그 다음 이 보다 높거나 낮은 深度에 接하는 圓의 安全率이 더 커지는가 작아지는가를 調査해 보는 것이 편리하다.

복잡한 斜面의 경우에는 安全率의 等值線이 2個 以上の 最小安全率을 향해 좁혀져 들어갈 수도 있다. 그림 5.3이 한 예이다. 이 경우 처음에는 滑動圓의 中心間隔을 크게하여 廣範圍한 領域에 分布시켜 最小安全率을 찾아내어야 한다

③ 安全率 算定이 不正確해지는 原因

대부분의 경우, 斜面安定解析方法에서 採擇하는 假定과 近似化에 의한 不確實性은 剪斷強度測定에 수반되는 不確實性 보다 적다. 斜面의 條件을 單純化시켜 解析함으로써 야기되는 誤差는 15% 以下인 경우가 대부분이지만, 剪斷強度의 決定에 수반되는 오차는 훨씬 더 크다.

④ 許容安全率

斜面의 最小 許容安全率은 다음과 같은 事項에 따라 달라진다.

㉑ 剪斷強度測定, 斜面的幾何學的條件 및 기타條件에 대한不確實程度.

㉒ 斜面的傾斜를完化시키거나, 높이를 감소시키는데 소요되는비용.

㉓ 斜面破壞時的被害額과結果.

㉑ 斜面이永久構造物인가一時構造物인가의判斷.

表 5.1 은 最小許容安全率의 指針으로 提示된 값이다.

Table 5.1 Recommended minimum values of static factor of safety

Costs and Consequences of Slope Failure	Uncertainty of Strength Measurements	
	Small ¹	Large ²
Cost of repair comparable to cost of construction, No danger to human life or other property if slope fails.	1.25	1.5
Cost of repair much greater than cost of construction, or danger to human life or other valuable property if slope fails.	1.5	2.0 or greater

¹ The uncertainty of the strength measurements is smallest when the soil conditions are uniform and high quality strength test data provide a consistent, complete and logical picture of the strength characteristics.

² The uncertainty of the strength measurements is greatest when the soil conditions are complex and when the available strength data do not provide a consistent, complete, or logical picture of the strength characteristics.

參考文獻

Bishop, A.W. (1955) "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes," Geotechnique, Vol. V, No. 1, pp. 7~17.

Bishop, A.W. and Bjerrum, L. (1960) "The Relevance of the Triaxial Test to the Solution of Stability Problems," Proceedings of the ASCE Research Conference on the Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N.R. (1960) "Stability Coefficients of Earth Slopes, Geotechnique, London, Vol. 10, No. 4, pp. 129~150.

Bjerrum, L. (1973) "Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays," General Report, 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Moscow, Proc. Vol. 3, pp. 11~159(also Norwegian Geotech. Inst. Pub. 100).

Chirapuntu, S. and Duncan, J.M. (1975) "The Role of Fill Strength in the Stability of Embankments on Soft Clay Foundations," Geotechnical Engineering Research Report, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.

Cousins, B.F. (1978) "Stability Charts for Simple

Earth Slopes," Proc. ASCE, J. Geotech. Engrg. Div., Vol. 104, No. GT2, February, pp. 267~279.

Duncan, J. and Buchignani, A. (1975) "An Engineering Manual for Slope Stability Studies," Geotechnical Engineering Report, University of California, Berkeley.

Fang, H-Y. (1975) "Stability of Earth Slope," in Foundation Engineering Handbook, ed. Winterkorn, H. and Fang, H-Y. Van Nostrand Reinhold Co.

Hoek, E. and Bray, J.W. (1977) Rock Slope Engineering, Inst. of Min. and Metal., London.

Huang, Y.H. (1975) "Stability Charts for Earth Embankments," TRR 548, Transportation Research Board, Washidgton, D.C., pp. 1~12.

Huang, Y.H. (1977) "Stability Coefficients for Sidehill Benches," Proc. ASCE, J. Geotech. Engrg. Div., Vol. 103, No. GT5, May, pp. 467~481.

Huang, Y.H. (1978) "Stability Charts for Sidehill Fills," Proc. ASCE, J. Geotech. Engrg. Div., Vol. 104, No. GT5, pp. 659~663.

Huang, Y.H. (1979) "Stability Charts for Refuse Dams." Proc. 5th Kentucky Coal Refuse Disposal and Utilization Seminar and Stability Analysis of Refuse Dams Workshop, University of Kentucky,

- Lexington, Ky.
- Huang, Y.H. (1980) "Stability Charts for Effective Stress Analysis of Nonhomogeneous Embankments," TRR 749, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.72~74.
- Hunter, J.H. and Schuster, R.L. (1968) "Stability of Simple Cuttings in Normally Consolidated Clays," *Geotechnique*, Vol.13, No.3, September, 1968, pp.372~378.
- Hunter, J.H. and Schuster, R.L. (1971) "Chart Solutions for Analysis of Earth Slopes," HRB No.345, Highway Research Board, pp.77~89.
- Janbu, N. (1968) "Slope Stability Computations," Soil Mechanics and Foundation Engineering Report, The Technical University of Norway, Trondheim.
- Janbu, N. (1973) "Slope Stability Computations," Published in *Embankment-Dam Engineering*, The Casagrande Volume, John Wiley and Sons, pp.47~86.
- Kenney, T.C. (1963) "Stability of Cuts in Soft Soils," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, Vol. 89, No. SM 5, pp. 17~37.
- Lowe, J. and Karafiath, L. (1960) "Stability of Earth Dams Upon Drawdown, Proceedings of the First Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, Vol. 2, pp.537~552.
- Morgenstern, N.R. and Price, V.E. (1965) "The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces," *Geotechnique*, Vol.15, No.1, pp.79~93.
- Taylor, D.W. (1937) "Stability of Earth Slopes," *Contributions to Soil Mechanics, 1925 to 1940*, Boston Soc. of Civ. Eng.
- Turnbull, W.J. and Hvorslev, M.J. (1967) "Special Problems in Slope Stability," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division ASCE*, Vol. 93, No. SM4, July, 1967, pp.499~528.
- Wright, S.G. (1969) "A Study of Slope Stability and the Undrained Shear Strength of Clay Shales," Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.
- 鄭寅峻・金翔圭(1979) 土質力學, 東明社.