

分割片 境界內力 收斂에 의한 斜面安定 解析

Analysis of Slope Stability by Applying the Convergence of the Interslice Forces

金 八 圭*

Kim, Pal-Kyu

金 奎 文**

Kim, Kyu-Moon

Abstract

The purpose of this paper is to develop a method of slope stability analysis, using slice method.

The direction of interslice forces was assumed in two ways:

- 1) inclined interslice force parallel to the base of slice,
- 2) normal interslice force normal to the boundary surface of slice being used in the existing slice method.

The deviation from the value of interslice force caused by assumption was removed in the processing of analysis, and the factor of safety was obtained more accurately by deciding the location of interslice force acting on each slice. More rational validity of the method with inclined interslice force was proved *by performing slope stability analyses with both methods*. The factor of safety obtained by the proposed method was compared with that by the existing methods, and the influence of seismic coefficient was also analyzed.

要 旨

本 論文은 分割法을 이용한 斜面安定 解析方法에 관한 것으로서 分割片에 작용하는 內力을 境界面에 鉛直인 垂直內力과 底面에 平行인 傾斜內力으로 相異하게 假定하여 각각에 대한 解法을 개발하였다. 本 解法에서는 假定으로 인하여 발생하는 內力誤差를 解析過程에서 消去하였으며 內力의 作用位置를 결정하므로써 보다 精確한 安全率을 구하였다.

解析方法의 妥當性 檢討를 위해 斜面모델을 설정하여 分析한 結果, 本 解法 中 傾斜內力으로 假定한 解析方法이 보다 合理的이며 妥當함을 立證할 수 있었다. 또한 既存解法의 安全率과 比較하여 相互關係를 조사하였으며 地震係數에 의한 影響도 分析하였다.

* 正會員, 忠南大學校 教授

** 正會員, 全州工業專門大學 助教授

1. 序 論

分割法을 이용한 斜面安定 解析方法은 分割片에 대한 平衡方程式을 全體 滑動面에 적용하여 安全率을 구하므로 복잡한 斜面에도 활용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 方法은 連續體인 斜面을 分割하여 독립된 構造로 解析하기 때문에 分割片 境界面에는 內力이 발생한다. 일반적으로 既存解法에서는 內力을 分割片 面에 平行한 剪斷內力과 鉛直方向으로 假定한 垂直內力으로 분류하고 힘의 平衡條件을 이용하여 方程式을 誘導한다.^{2,3,10,11)} 그러나 斜面安定 解析에 활용할 수 있는 方程式은 3個인데 비하여 未知數는 4個——安全率, 剪斷內力, 垂直內力, 垂直內力의 位置——이므로 安全率을 제외한 未知數中에서 1個를 解析過程에서 假定해야 한다.⁶⁾ 그러므로 Janbu 解法^{9,10)}에서는 垂直內力의 位置를, Bishop 解法²⁾에서는 剪斷內力을 假定하고 解析하였다.

本 研究에서는 既存解法에서 일반적으로 사용하는 垂直內力의 方向을 두가지 경우로 분류하여 解析方法을 개발하였다. 分割片 底面에 平行한 方向의 內力 즉 傾斜內力을 이용하여 平衡方程式을 誘導하고 解析한 것이 첫번째 方法이며, 두번째는 既存의 方法과 同一한 垂直內力을 이용하였으나 既存의 것과는 다른 새로운 方程式을 誘導하고 解析한 것이다. 이와 같은 平衡方程式을 이용한 解析過程에서는 內力 作用位置를 계산할 수 있도록 하였으며 假定으로 인하여 발생될 수 있는 內力誤差에 대한 消去方法을 개발하므로써 分割片의 剪斷內力이 初期條件에 收斂되도록 補正한 후에 安全率을 구하였다. 또한 最終의 安全率은 解析過程의 反復遂行을 통하여 결정하였다. 이와같은 解析方法은 滑動面에 대한 平衡條件이 충족되어도, 妥當性을 立證하기 위해서는 內力 作用位置를 연결한 作用線이 滑動面內에 位置하고 作用線 方向이 平衡方程式 誘導時에 假定한 內力方向과 일치됨을 확인하여야 한다. 그러므로 52個의 斜面모델에 傾斜 또는 垂直內力에 의한 本 解法을 각각 적용하여 內力作用線을 구하고 그 結果를 分析하였으며

安全率을 既存方法에 의한 結果와 비교하여 相互關係를 조사하였다. 또한 地震係數를 解法에 적용하므로써 地震力이 斜面의 安全率에 미치는 影響을 分析하였다.

2. 斜面安定 解析方法

本 研究에서는 作用方向이 다른 傾斜內力 및 垂直內力을 사용하여 2種의 平衡方程式을 誘導하였으며 이를 이용한 각각의 解析方法을 개발하였다.

2.1. 平衡方程式

2.1.1. 傾斜內力에 의한 平衡方程式

Fig. 2에 나타난 바와 같이 傾斜內力(E_i)은 分割片 底面에 平行한 方向으로 作用하며 境界面 左·右側의 傾斜角(α_i, α_{i-1})이 同一하다는 假定과 地震力($K_h dW_i$)이 分割片 中央에 作用한다는 假定下에, 分割片 底面 中央點에 대한 모우먼트 平衡($\sum M_0=0$)으로 剪斷內力(T_i) 및 傾斜內力의 作用位置(h_i)에 대한 方程式을 誘導하면 다음과 같다.

$$T_i = A_i - T_{i-1} \tag{1}$$

여기에서

$$A_i = \frac{2}{dx} \left[(E_i h_i - E_{i-1} h_{i-1}) \cos \alpha_1 + \frac{y_i}{2} K_h dW_i \right]$$

$$h_i = \frac{1}{2E_i \cos \alpha_i} \left[(T_i + T_{i-1}) dx - K_h dW_i y_i \right] + \frac{E_{i-1} h_{i-1}}{E_i} \tag{2}$$

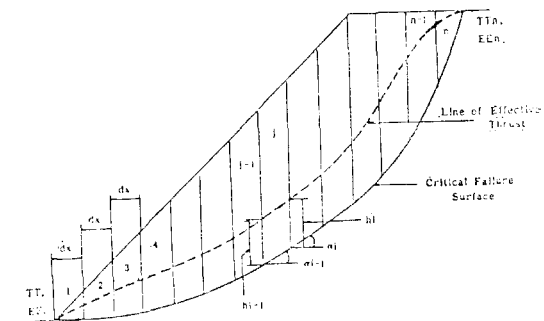


Fig. 1. Cross-Section of Slope.

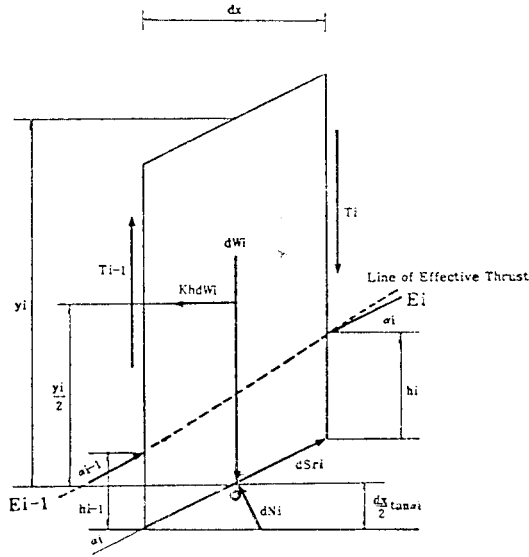


Fig. 2. Basic Forces Acting upon Individual Slice for I.I.F.

Fig. 2에서鉛直 및 水平方向에 대한 힘의 平衡條件($\sum V=0$, $\sum H=0$)을 이용하여 傾斜內力差(dE_i)를 구하면

$$dE_i = dS_{ri} - (dW_i + dT_i) \sin \alpha_i - K_h dW_i \cos \alpha_i \quad (3)$$

Bishop 解法^{2),6)}에서는 剪斷抵抗力(S_r)에 대한 方程式에 有效垂直力(dN')을 사용하였으나 本解析方法에서는 有效垂直應力(σ_n')을 이용하였다.

$$S_r = \frac{c' + \sigma_n' \tan \phi}{F} \quad (4)$$

垂直方向에 대한 平衡條件($\sum V=0$)으로 有效垂直應力을 구하면

$$\sigma_n' = \frac{dW_i}{dx} - \frac{dU_i}{dx} + \frac{dT_i}{dx} + \frac{dE_i}{dx} \sin \alpha_i - S_r \tan \alpha_i \quad (5)$$

式(5)를 式(4)에 代入하고 S_r 에 대하여 整理하면 다음과 같다.

$$S_r = \frac{c' + \left[\frac{dW_i}{dx} - \frac{dU_i}{dx} + \frac{dT_i}{dx} + \frac{dE_i}{dx} \sin \alpha_i \right] \tan \phi'}{F + \tan \phi' \tan \alpha_i} \quad (6)$$

式(6)을 分割片 底面에 작용하는 剪斷抵抗力(dS_r)으로 나타내면

$$dS_{ri} = S_r dx \sec \alpha_i = \frac{c' dx + (dW_i - dU_i + dT_i)}{(F + \tan \phi' \tan \alpha_i)} + \frac{dE_i \sin \alpha_i \tan \phi'}{\cos \alpha_i} \quad (7)$$

式(7)을 式(3)에 代入하여 分割片 左·右側에 작용하는 傾斜內力이 差를 구하면

$$dE_i = \frac{1}{F} [(c' dx - dU_i \tan \phi') \sec \alpha_i + (dW_i + dT_i) (\tan \phi' \cos \alpha_i - F \sin \alpha_i) - K_h dW_i (F \cos \alpha_i + \tan \phi' \sin \alpha_i)] \quad (8)$$

分割片에 대한 式(8)을 全體 滑動面에 적용하고 初期安全率(F_0)에 대한 方程式을 誘導하면 式(9)와 같다.

$$F_0 = \frac{\sum [c' dx \sec \alpha_i + (dW_i \cos \alpha_i - dU_i \sec \alpha_i - K_h dW_i) \tan \phi']}{\sum (dW_i \sin \alpha_i + K_h dW_i \cos \alpha_i) + E_n - E_0} \quad (9)$$

2.1.2. 垂直內力에 의한 平衡方程式

Fig. 3과 같이 E_i 를 分割片 面에 鉛直方向으로 假定하고 剪斷內力(T_i) 및 垂直內力($E_{i(h)}$)의 作用位置(h_i)에 대한 方程式을 誘導하면

$$T_i = A_{i(h)} - T_{i-1} \quad (10)$$

여기에서

$$A_{i(h)} = \frac{2}{dx} \left[E_{i(h)} \left(h_i + \frac{dx}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i-1(h)} \left(h_{i-1} - \frac{dx}{2} \tan \alpha_i \right) + \frac{y_i}{2} K_h dW_i \right] \\ h_i = \frac{1}{E_{i(h)}} \left[\frac{dx}{2} (T_i + T_{i-1}) + E_{i-1(h)} \left(h_{i-1} - \frac{dx}{2} \tan \alpha_i \right) - \frac{y_i}{2} K_h dW_i \right] - \frac{dx}{2} \tan \alpha_i \quad (11)$$

分割片 左·右側에 작용하는 垂直內力의 差($dE_{i(h)}$)와 初期安全率(F_0)에 대한 方程式은

$$dE_{i(h)} = \frac{c' dx + (dW_i + dT_i - dU_i) \tan \phi'}{(F + \tan \alpha_i \tan \phi') \cos^2 \alpha_i} - (dW_i + dT_i) \tan \alpha_i - K_h dW_i \quad (12)$$

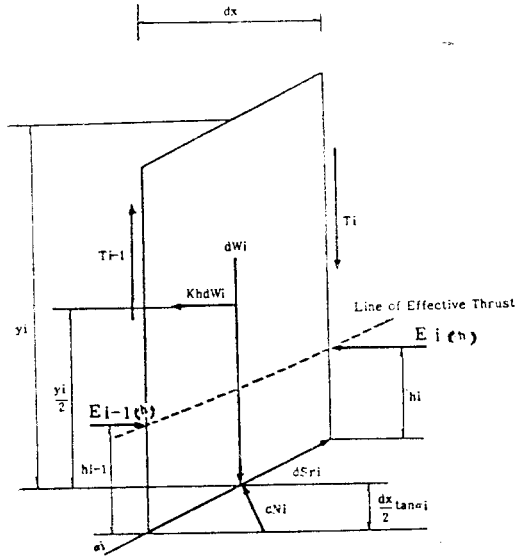


Fig. 3. Basic Forces Acting upon Individual Slice for I.N.F.

$$F_0 = \frac{\sum [c' dx \sec^3 \alpha_i + (dW_i - dU_i \sec \alpha_i - K_h dW_i \tan \alpha_i) \tan \phi']}{\sum (dW_i \tan \alpha_i + K_h dW_i) + E_n - E_0} \quad (13)$$

2.2. 解析過程

分割片에 작용하는 傾斜內力(E_i)은 Fig. 1에 나타나 있는 初期條件(EE_0)을 이용하여 式 (8), (9)로 구하고, Fig. 4와 같이 安全率을 調節하여 滑動面 上端部에 위치한 分割片의 傾斜內力(E_n)이 初期條件(EE_n)에 收斂되도록 하였다.

$$E_0 = EE_0$$

$$E_1 = EE_0 + dE_1$$

$$E_2 = E_1 + dE_2$$

.....

.....

$$E_i = E_{i-1} + dE_i$$

.....

.....

$$E_n = E_{n-1} + dE_n = EE_n$$

剪斷內力(T_i)은 單位距離로 假定한 內力作用位置($h_i=1$)와 補正된 E_i 를 式 (1)에 대입하여 구한다. 그러나 結果値는 作用位置에 대한 假定으로 인하여 誤差(M)가 발생하므로 각 分割片의 剪斷內力를 補正하였다.

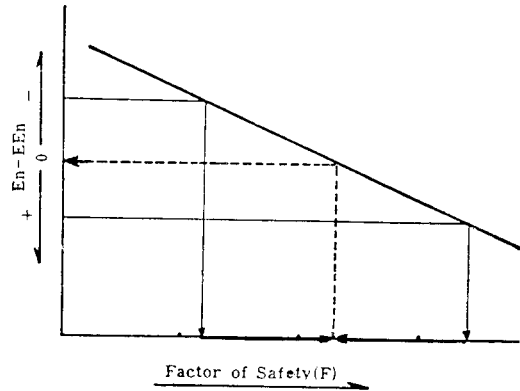


Fig. 4. Relationship Between Initial conditions and Factor of Safety.

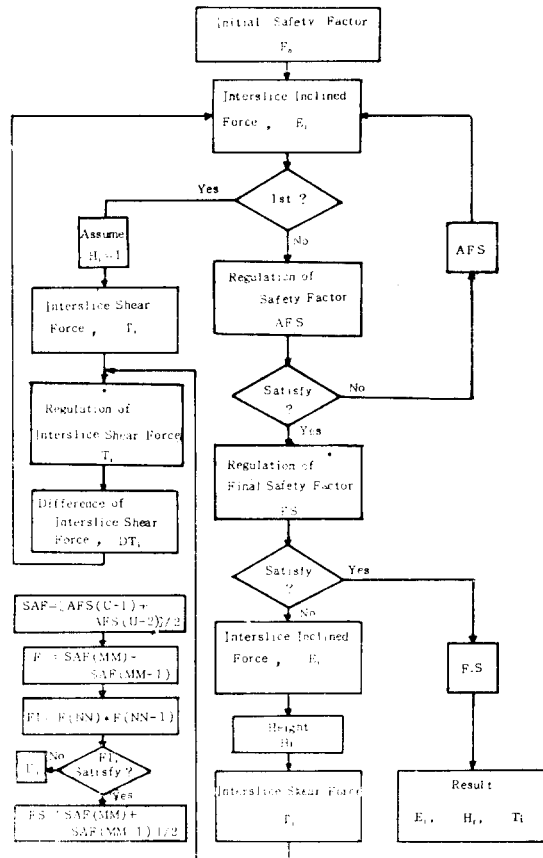


Fig. 5. Procedure of Analysis.

$$T_0 = TT_0$$

$$T_1' = T_1 \pm M \quad M = T_n - TT_n$$

$$T_2' = A_2 - T_1'$$

.....

.....

$$T'_1 = A_i - T'_{i-1}$$

.....

.....

$$T'_n = A_n - T'_{n-1} = TT_n$$

傾斜內力の初期値算定時에는 剪斷內力이 무시되었으므로 補正된 剪斷內力(T'_i)을 고려하여 E_i 를 再調定하여야 한다. 그러므로 T'_i 를 剪斷內力差($dT' = T'_i - T'_{i-1}$)로 나타내고 式 (8)에 代入하여 初期條件에 일치되는 傾斜內력과 安全率을 구하였다. 또한 內力 作用位置는 補正된 E_i , T'_i 를 式 (2)에 代入하여 구하였고 最終安全率은 Fig. 5와 같은 解析過程을 통하여 결정하였다. 垂直內力에 의한 解析方法은 解析過程이 傾斜內力에 의한 解法과 동일하며 式 (10), (11), (12), (13)을 사용한다.

3. 모델의 設定

斜面모델은 美, 道路局⁶⁾에서 적용한 바 있는 것으로서 Fig. 6에 나타난 바와 같이 斜面의 高

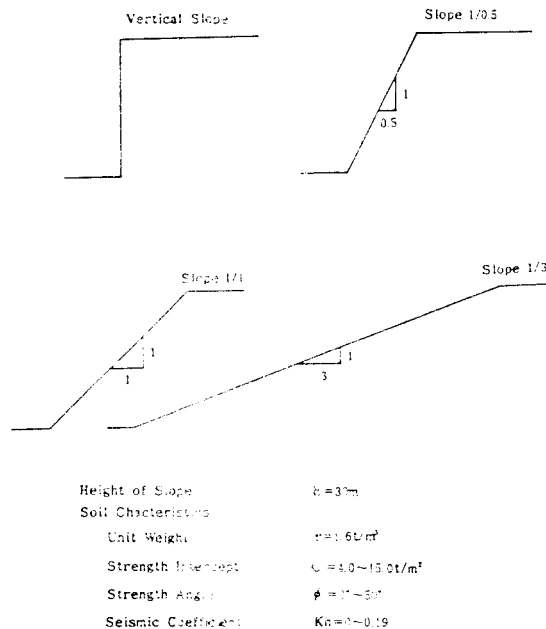


Fig. 6. Range in Variables for Homogeneous Slopes.

이가 30m이며 傾斜角이 90° (垂直斜面), 36.4° (1/0.5), 45° (1/1), 18.4° (1/3)이다. 또한 흙의 單位重量은 1.6t/m^3 이며 粘着力이 4.8t/m^2 , 9.6t/m^2 , 14.4t/m^2 이고 摩擦角이 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 50° 인 均質土이다. 이와같은 各各의 定數는 다른 種類의 土質 및 幾何定數와 결합하여 52個의 斜面모델을 구성하였으며 解法의 妥當性 分析에 이용되었다.

4. 解析方法의 妥當性 分析

本方法은 臨界滑動面에 대한 힘의 平衡條件을 만족하고 있으나 平衡方程式 誘導時에 內力方向을 假定하였기 때문에 이에 대한 檢討가 필요하다. 그러므로 相異한 斜面모델에 解法을 적용하여 內力 作用位置를 구하고 그 結果를 內力 作用線(Line of Effective Thrust)으로 나타내어 妥當性을 分析하였다.

4.1. 內力作用線

本 研究에서 分析한 52個의 斜面모델 中 유사한 傾向을 나타내는 일부를 제외한 內力作用線의 結果를 Fig. 7, 8, 9에 圖示하였다. 傾斜內力에 의한 解法(I.I.F.)으로 구한 內力作用線은 전반적으로 境界範圍인 滑動面內에 있으며 滑動面 형상에 따라 變化하였으나 垂直內力에 의한 경우(I.N.F.)는 대부분 滑動面 底部에 位置하였다. 그러나 傾斜內力에 의한 解法도 Fig. 7, 8의 (b)와 (c)에 나타난 바와 같이 境界範圍를 부분적으로 이탈하는 경우가 있다. 이와같은 현상은 分割片 左·右側의 傾斜內力(E_i , E_{i-1})이 동일한 方向인 경우에 발생되었으며 비교적 傾斜가 급한 斜面(Slope, 1/0.5, 1/1)에서 빈번하였고 완만한 斜面(Slope, 1/3)에서는 발생되지 않았다. 또한 分割片의 平均길이(y_i)와 內力 作用位置의 比(h_i/y_i)는 완만한 斜面이 급한 斜面에 비하여 작으며 전반적으로 滑動面 兩端部가 中央部에 비하여 크다. Fig. 9의 (c)와 같이 粘着力이 없는 砂質斜面의 경우, 傾斜內力에 의한 解法은 摩擦角에 따른 影響이 거의 없었고 垂直內力에 의한 解法은 滑動面 上端部에서 差異를 나타내었다. 이와같이 分析한 結果, 分割片 境界面에 作

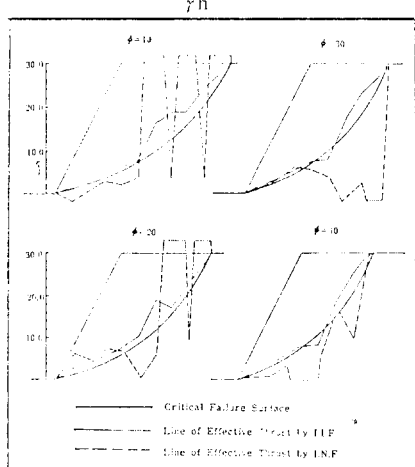
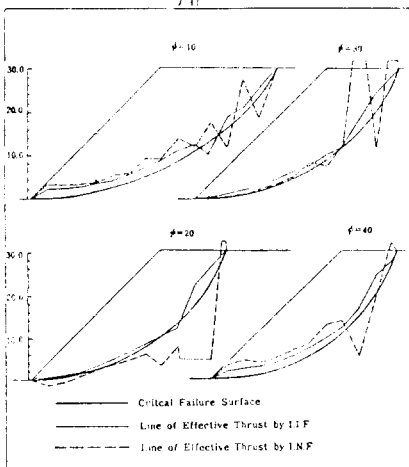
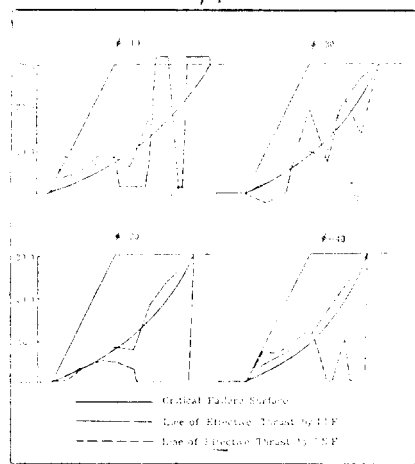
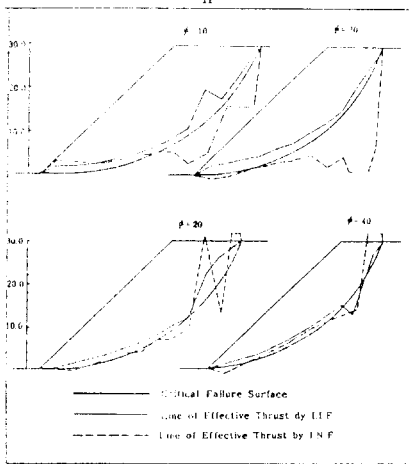
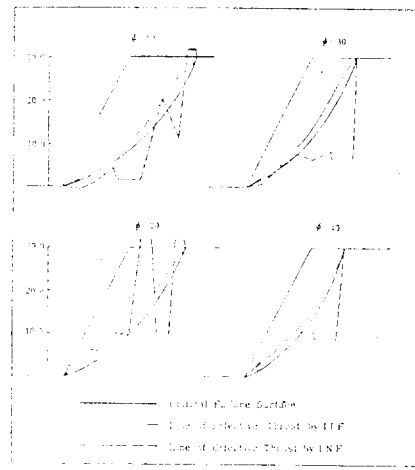
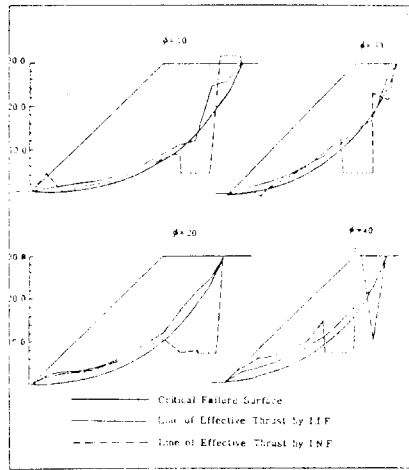
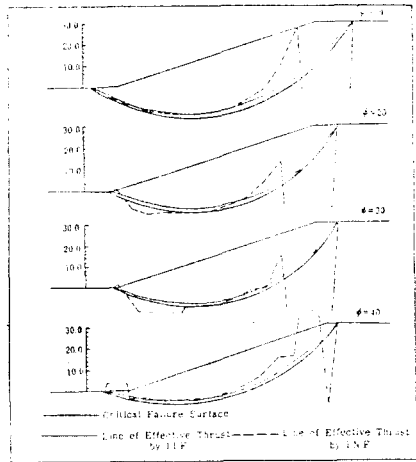
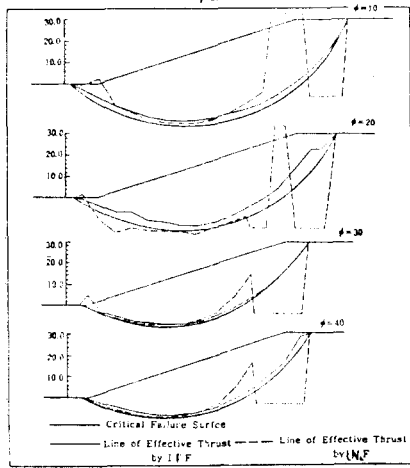


Fig. 7. Line of Effective Thrust for Slope, 1/0.5.

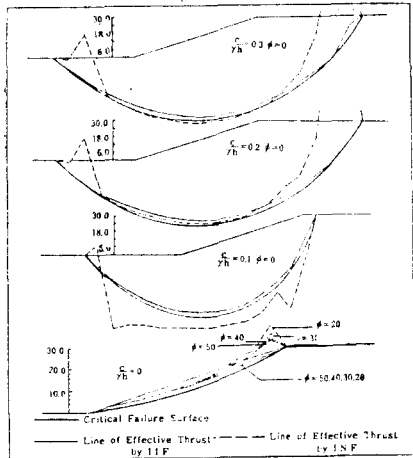
Fig. 8. Line of Effective Thrust for Slope, 1/1.



a) $\frac{c}{\gamma h} = 0.1$



(b) $\frac{c}{\gamma h} = 0.2$



(c)

Fig. 9. Line of Effective Thrust for Slope, 1/3.

用하는 內力 作用方向은 分割片 底面に 平行하게 假定하는 것이 合理的이라는 것이 확인되었으므로 傾斜內力에 의한 本解法의 妥當性을 立證할 수 있었다.

4.2. 安全率

本 解析方法과 既存方法에 대한 安全率 비교는 Eva Vortrup의 資料를 이용하였다. Eva Vortrup⁶⁾은 Wright¹⁸⁾가 이용한 모델과 자신이 제안한 모델에 既存解法과 STABL Algorithm을 적용한 바 있다. 本 研究에서는 새롭게 개발한 Algorithm에 Eva Vortrup의 斜面모델을 적용하여 얻은 安全率과 STABL II에 의한 結果值 및 Wright의 資料를 比較 分析하였다.¹⁸⁾ 그 結果 Bishop의 修正解法과 摩擦圓法 및 本 解法은 STABL-II에 비하여 각각 5.5%, 3.1%, 4.0%가 平均적으로 크며 Janbu의 簡便解法은 1.3% 적은 값을 나타내었다(Table 1.). 이와같은 分析은 本 解法의 安全率이 摩擦圓法과 Janbu의 簡便解法에 비하면 각각 0.9%, 5.3% 크며

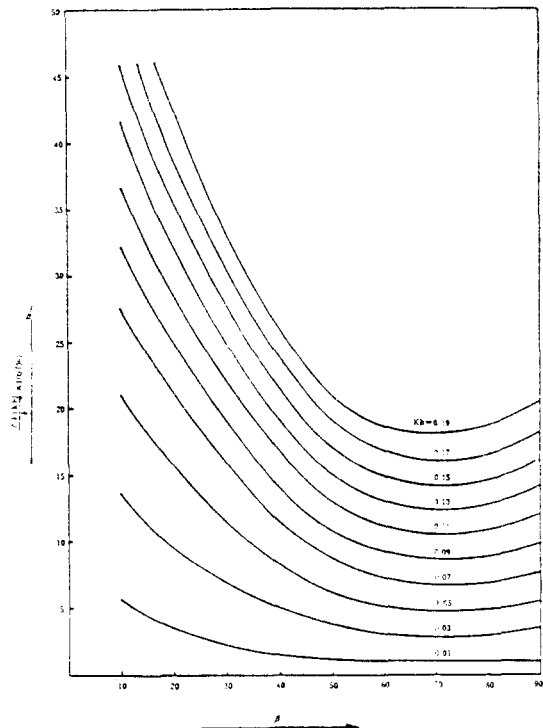


Fig. 10. $\Delta F(K_h)/F$ Vs. Slope Angles β for Various K_h

Table 1. Factor of Safety for I.I.F and STABL

$\frac{c'}{\gamma h}$	Slope Methods ϕ'	1/1			1/3			Average
		STABL	I.I.F	Dif. (%)	STABL	I.I.F	Dif. (%)	Dif. (%)
0.1	0				0.757	0.792	4.6	4.6
	10	0.936	0.948	1.3	1.388	1.404	1.2	1.2
	20	1.210	1.276	5.5	2.087	2.174	4.2	4.9
	30	1.534	1.549	1.0	2.871	2.966	3.3	2.1
	40	1.883	1.893	0.5	3.806	3.946	3.7	2.1
	50	2.331	2.345	0.6	5.011	5.182	3.4	2.0
0.2	0	1.106	1.264	9.8	1.143	1.233	9.7	9.7
	10	1.575	1.677	6.5	2.039	2.149	5.4	6.0
	20	1.891	1.909	6.2	2.819	2.839	0.7	3.4
	30	2.230	2.393	7.3	3.620	3.849	6.3	6.8
	40	2.622	2.671	1.9	4.582	4.845	5.7	3.8
	50	3.115	3.151	1.2	5.879	6.186	5.2	3.2
0.3	0	1.658	1.744	11.2	1.714	1.852	8.0	9.6
	10	2.232	2.238	0.3	2.674	2.776	3.8	2.1
	20	2.541	2.589	1.9	3.490	3.693	5.8	3.9
	30	2.888	2.981	3.2	4.354	4.536	4.4	3.8
	40	3.303	3.328	0.8	5.331	5.078	2.7	1.8
	50	3.901	3.977	1.9	6.627	6.224	1.5	1.7
Average Dif. (%)				3.6			4.4	4.0

Bishop의 修正 解法보다는 1.5% 낮다는 것을 나타낸다. 結果的으로 本 解法의 安全率은 Bishop의 修正解法과 摩擦圓法의 平均値에 近접되는 경향을 나타내었다.

5. 地震係數와 安全率

地震이 斜面의 安全率에 미치는 영향을 分析하기 위하여 傾斜內力에 의한 本 解法에 地震係數($K_h=0.01\sim 0.19$)를 적용하여 安全率의 變化百分率 $[\Delta F(K_h)/F]$ 을 구하고 土質 및 幾何定數別로 分析한 結果, 土質定數가 相異한 同 傾斜의 斜面에 대한 $\Delta F(K_h)/F$ 는 相對的인 差異가 微小하였으나 傾斜가 다른 斜面에서는 상당한 差異를 나타내었다. 그러므로 同一한 傾斜의 斜面에 대한 $\Delta F(K_h)/F$ 를 平均하고, 傾斜角과 地震係數에 따라 整理하여 Fig. 9와 같이 圖示하였다. 地震係數가 安全率에 미치는 영향은 傾斜角 감소와 더불어 크지만 63.4° 를 境界로 더 큰

傾斜를 이루는 斜面에서도 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 이와같은 경향은 地震力이 흙의 自重과 地震係數의 函數이기 때문에 底部破壞가 발생하는 完만한 斜面에서는 흙의 自重의 증가로 나타나는 현상이며 垂直斜面과 같이 傾斜가 급한 斜面은 낮은 安全率에 비하여 地震力의 영향이 상대적으로 크기 때문이라고 생각된다. 이와같은 結果는 Neumann과 Algermissen에 의하여 研究된 Modified Mercalli Intensity Scale (MM)과 地震係數와의 相互關係資料¹⁹⁾를 이용하여 分析하였다. 우리나라에서 발생할 가능성이 있는 $MM=5\sim 6$ 에 대한 $\Delta F(K_h)/F$ 는 完만한 斜面(Slope, 1/3)에서 10~20%, 垂直斜面에서 4~8%였다. 또한 심한 피해가 예상되는 $MM=7$ 이상의 경우는 完만한 斜面에서 40%, 垂直斜面에서 15%였다. 이와같은 結果를 考察하여 보면 地震係數, $K_h=0.03(MM=5)$ 이하의 弱震인 경우는 地震의 영향을 무시할 수도 있으나 그 이상에서는 상당한 安全率 감소를 나타내

므로 斜面安定 解析時에 地震力이 고려되어야 할 것이다.

6. 結 論

本 研究에서 개발한 解法을 分析한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 垂直內力에 의한 解法은 內力作用線이 대부분 境界範圍를 이탈하였으나 傾斜內力에 의한 解法은 滑動面內에 位置하였다.

2. 傾斜內力에 의한 解法의 경우 內力 作用方向이 假定한 方向과 거의 일치하였다.

3. 內力 作用位置에 대한 方程式은 Bishop 方法과 동일한 精度를 얻을 수 있었으며 더 간편하게 표현되었다.

4. 本 解法의 安全率은 Bishop의 修正解法과 摩擦圓法의 平均值에 근접되는 경향을 나타내었다.

5. 地震係數가 斜面의 安全率에 미치는 영향이 土質定數가 相異한 同一 斜面에서는 微小하였으나 完만한 斜面에서는 현저하였다.

6. 弱震($MM=5\sim6$)에 대한 安全率 變化는 完만한 斜面(1/3)에서 10~20%, 垂直斜面에서 4~8%이며 더 큰 強度의 地震($MM=7$ 이상) 발생시에는 完만한 斜面에서 40% 이상, 垂直斜面에서는 15% 이상의 安全率 減소를 나타내었다.

參 考 文 獻

1. Baker, B., "Detemination of the Critical Slip Surface in Slope Stability Computations" International Journal Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 4, 1980, pp.333~359.
2. Bishop, A.W., "The Use of the Slope Circle in the Stability Analysis of Slopes", Geotechnique, Vol. 5, No. 1, March, 1955, pp.7~17.
3. Carter, R.K., "Computer Oriented Slope Stability Analysis by Method of Slices", MSCE Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1971.
4. Chen, R.H., Chamaeau, J.L., "Three-Dimension Limit Equilibrium Analysis of Slopes" Geotec-

- hnique 32. No. 1, 1982, pp.31~40.
5. Dennhardt, M., Forster, W. "Problems of Three Dimensional Slope Stability", Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, 1985, pp.427~431.
6. Eva Boutrup., "Computerized Slope Stability Analysis for Indiana Highways", Joint Highwasy Reasearch Project No. C-36-36L, File No. 6-14-12. Purdue University West Lafayette, Indiana, December, 1977.
7. Graham, T., "Methods of Stability Analysis", Slope Instability, John Wiley & Sons, 1984, pp. 171~215.
8. Homa, J. Lee, "Regional Method to Assess Offshore Slope Stability", ASCE, Vol. 112, No. 5, May 1986, pp.489~507.
9. Janbu, N., "Stability Analysis of Slopes with Dimensionless Parameters," Harvard Soil Mechanics No. 46, January, 1954.
10. Janbu, N., "Slope Stability Computations," Embankment-Dam Engineering, R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos, ed., Casagrande Volume, John Wiley & New York, 1973, pp.47~86.
11. Morgenstern, N.R. and Price, V.E., "The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces" Geotechnique, Vol. 15, No. 1, March, 1965, pp.79~93.
12. Nonveiller, E., "The Stability Analysis of Slopes with a Slip Surface of General Shape," Proceedings of the Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Vol. 2, 1965, pp.522~525.
13. Prater, E.G., "Stability of Cutting Considering Cohesion and Earthquake Effect", Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, 1985, pp.1959~1962.
14. Sarma, S.K. & Barbosa, M.R., "Seismic Stability Analysis for Rockfill Dam with Central Clay Core", Geotechnique 35, No. 3, September 1985, pp.319~328.
15. Siegel, R.A., "Computer Analysis of General Slope Stability Problems", MSCE Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1975.

16. Siegel, R.A., "STABL User Manual", Technical Report, Joint Highway Research Project, No. 75~9, Purdue University, West Lafayette, Indiana, June, 1975.
17. Spencer, E., "The Thrust Line Criterion in Embankments Stability Analysis", Geotechnique; 23, 1973, pp. 85~101.
18. Wright, S.G., "A Study of Slope Stability and the Undrained Shear Strength of Clay Shales", Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, 1969.
19. Yang H. Huang, "Stability Analysis of Earth Slopes", Van Nostrand Reinhold, 1983, pp. 18~23. (접수일자 1987. 9. 26)