

事例解析에 의한 斜面解析의 比較 研究*

A Comparative Study on Slope Stability by Case Examination

白 榮 植**

Paik, Young-Shik

金 一 憲***

Kim, Il-Heon

金 基 雄****

Kim, Ki-Woong

梁 禹 植*****

Yang, Woo-Shik

Abstract

The accuracy of a limit equilibrium analysis of slope stability depends on the accuracy with which the strength properties and geometric conditions can be defined, and on the inherent accuracy of the method of analysis. Most of the slope stability analysis method have been computer coded, and this is a comparative study on the accuracy of these programs.

Comparative analyses have shown that for the slopes with relatively simple conditions most of the programs which are widely used in this country result in the same value of safety factor with an accuracy no worse than $\pm 5\%$.

Similar results can be obtained from the examination of the several slope failure for which accurate information is available on the strength and geometric conditions of the earth slope.

The critical failure surface, however, can be different from the actual slip surface, although nearly the same factors of safety are obtained from the analyses of each surface.

要 旨

斜面安定解析의 正確度는 흙의 強度特性和 斜面의 幾何學的 條件의 把握程度와 解析方法 本末의 正確度에 支配된다. 그리고 大部分의 斜面安定解析方法은 컴퓨터 프로그램으로 作成되어 있다.

* 이 論文은 1988 年度 文敎部 支援 韓國學術振興財團의 自由公募課題 學術研究 助成費에 의하여 研究되었음.

** 正會員, 慶熙大學校 工科大學 土木工學科 教授

*** 正會員, 仁川大學校 工科大學 土木工學科 教授

**** 正會員, 仁川專門大學 土木工學科 副教授

***** 正會員, 東新工科大學 土木工學科 專任講師

는 國內에서 實用되고 있는 프로그램의 正確性을 比較한 것이다. 比較的 簡單한 條件의 試驗에서 各 프로그램으로 얻은 安全率의 差異는 5% 以內이다.

斜면에 관한 正確한 情報入수가 可能한 破壞事例 研究에서도 類似한 結果를 얻었다.

그러나 컴퓨터가 찾아낸 臨界破壞面과 實際 破壞面은 약간 相異한 경우도 있었다. 이 때에도 두 滑動面을 解析하여 구한 安全率 값은 大差 없이 거의 同一하였다.

結局 國內에서 使用되고 있는 斜面安定解析 컴퓨터 프로그램은 그 實用性이 認定된다고 할 수 있다.

1. 序 論

現在 慣用되고 있는 斜面安定解析 방법은 限界平衡法(limit equilibrium method)이다. 이 방법은 現在까지 蓄積된 많은 經驗을 通하여 有用하고 信賴性이 있는 것으로 評價되고 있다. 限界平衡理論에 基礎를 둔 斜面安定解析 방법은 各 방법을 考案할 때 設定한 假定的 差異에 따라 여러 方法이 發表되었고, 거의 모든 방법은 프로그램 되어 實用上 便利한 段階에 와 있다.

斜面安定解析 結果의 正確度는 斜面의 幾何學的 條件과 強度特性의 파악 程度에 一次的으로 支配된다. 또한 同一한 問題에 대해서도 各 방법은 相異한 安全率과 破壞面을 提示하게 되는데 이것이 때로는 重要한 意味를 가지게 된다. 이는 各 地方의 地質 및 地形學의 特性에 따라 適合한 斜面解析方法이 存在할 수 있다는 示唆이 될 수 있는데 예를 들어 Hong Kong에서는 Janbu의 方法이 가장 많이 사용되고 있다. 우리나라의 경우에는 斜面破壞 前後의 狀態를 正確히 測定한 資料가 드물어서 이러한 判斷을 내리기는 어려운 實情이다.

斜面安定解析法을 比較하는 最善의 方法은 實際 破壞가 發生한 現場 事例를 分析하여 安全率과 破壞面을 比較해 보는 것이다. 事實上 各 解析方法으로 구한 安全率의 數值的 比較에 關한 研究가 報告되기도 했으나(Bishop, 1955; Wright, 1969; Duncan and Wright, 1980) 이들은 極히 單純化된 斜面을 理想化된 條件에서 解析하였다. 그리고 比較에 사용된 解析方法의 數도 制限되어 있다.

本 研究은 理想化된 單純斜面에 대하여 各

方法의 結果를 比較하고, 다음에는 實際 破壞가 일어난 實例를 分析함으로써 斜面安定解析方法을 比較하였다. 安全率과 함께 破壞面의 形態도 比較하였다. 특히 우리나라에서 흔히 使用되고 있는 프로그램을 多數 包含시켰으며 參考를 위해 斜面安定解析 圖表(chart)도 一部에서는 使用하였다. 對象 斜面은 信賴性 있는 資料가 具備된 外國의 事例로 하였는데 우리나라의 경우 이러한 破壞例의 實測資料 入수가 極히 困難하였다.

2. 斜面安定 解析 方法 및 프로그램

限界平衡理論에 立脚한 斜面安定解析 方法은 斜面의 形狀과 破壞面의 幾何學的 條件, 土層의 不均質性을 감안한 切片法이 大部分이다. n 個의 切片에 대하여 힘과 모멘트의 平衡條件을 考慮하면 이 問題는 結局 $2n-2$ 次 不靜定이 된다(白, 1988). 따라서 이 不靜定 次數를 극복하기 위하여 假定을 設定할 必要가 생기게 된다.

切片의 側面에 作用하는 垂直力과 剪斷力 사이의 關係, 또는 作用線의 位置를 假定하는 方法에 따라 여러 사람의 斜面安定解析法이 發表되어 있다. 이 方法들의 概要는 여러 文獻에 提示되어 있으며(예를 들면 白, 1988), 보다 자세한 事項은 原著者들의 原典을 보면 알 수 있다.

本 研究에서 比較한 斜面安定解析 方法은 Bishop의 簡便法(Bishop, 1955), Janbu의 方法(Janbu, 1954), Spencer의 方法(Spencer, 1968), Morgenstern and Price 方法(Morgenstern and Price, 1965)이다. Fellenius 方法은 이제는 널리 使用되지 않으므로 除外하였다.

各 斜 面 安 定 解 析 方 法 是 프 로 그 램 師 實 用 되 고 있 다. 그 중 에 는 同 一 한 方 法 을 여 러 사 람 이 프 로 그 램 한 것 도 있 다. 따 라 서 本 研 究 은 斜 面 安 定 解 析 方 法 의 比 較 인 동 시 에 프 로 그 램 의 比 較 라 고 도 할 수 있 다.

本 研 究 에 使 用 된 斜 面 安 定 解 析 프 로 그 램 은 國 內 에 서 흔 히 쓰 이 고 있 는 것 으 로 STABL 5(Siegel, 1975), STABR(Duncan and Wong, 1984), SSTAB II(Wright, 1969), REAME(Huang, 1983) 그 리 고 MALE(Schiffman and Jubenville, 1975) 이 다. 이 프 로 그 램 에 관 한 概 略 의 인 情 報 은 白(1988) 에 收 錄 되 어 있 다.

STABL 은 円 弧 滑 動 面 에 대 하 여 서 는 Bishop 의 簡 便 法 을, 그 리 고 一 般 滑 動 面 에 대 해 서 는 Janbu 의 方 法 을 採 擇 하 고 있 다. STABR 은 円 弧 滑 動 面 을 Bishop 의 簡 便 法 과 Fellenius 方 法 으 로 解 析 하 는 프 로 그 램 이 다. 또 한 SST-AB II 는 Spencer 의 方 法 에 의 한 斜 面 安 定 解 析 프 로 그 램 으 로 UTEXAS 와 同 一 하 다. REAME 은 Bishop 의 簡 便 法 이 며 MALE 은 Morgenstern and Price 方 法 이 다.

斜 面 安 定 圖 表 (slope stability chart) 는 주 로 豫 備 設 計 段 階 에 서 의 略 算 이 나, 本 格 的 인 斜 面 解 析 結 果 의 概 略 의 인 檢 討 에 使 用 되 고 있 다. 多 數 의 斜 面 安 定 圖 表 가 發 表 되 어 있 으 나 本 研 究 에 서 는 適 用 範 圍 의 廣 凡 性 과 機 能 의 多 樣 性 을 감 안 하 여 Cousin(1978), Janbu(1954b), 그 리 고 Bishop and Morgenstern(1960) 圖 表 를 使 用 하 였 다.

앞 에 서 말 한 것 처 럼, 一 例 로 Bishop 의 簡 便 法 은 STABL, STABR, REAME 등 多 數 의 프 로 그 램 으 로 發 表 되 어 있 다. 그 런 데 同 一 한 問 題 를 이 들 프 로 그 램 으 로 解 析 하 면 各 各 의 結 果 가 약 간 씩 相 異 할 수 있 다. 물 론 相 異 한 解 析 方 法 을 프 로 그 램 化 한 경 우 에 도 解 析 結 果 는 相 異 할 수 있 다. 斜 面 安 定 圖 表 들 사 이 에 서 나, 斜 面 安 定 圖 表 와 프 로 그 램 사 이 에 서 도 同 一 한 傾 向 이 存 在 하 게 된 다.

다 음 에 實 際 事 例 에 대 하 여 프 로 그 램 과 安 定 圖 表 를 適 用 하 고 그 結 果 를 比 較 함 으 로 써 各 프 로 그 램 의 相 對 的 特 性 把 握 에 도 움 이 되 게 하 였 다. 여 기 서 注 意 할 것 은 解 析 對 相 斜 面 이 實 際

破 壞 되 었 다 는 것 은 事 實 이 지 만 安 全 率 에 관 한 正 答 은 未 知 로 남 아 있 다 는 點 이 다. 즉 本 研 究 가 許 容 安 全 率 의 값 을 求 出 할 수 는 없 다 는 點 이 다.

實 際 破 壞 面 과 프 로 그 램 이 查 找 내 는 臨 界 破 壞 面 의 一 致 程 度 를 比 較 하 는 것 은 重 要 하 고 도 興 味 있 는 일 이 다. 특 히 이 런 種 類 의 研 究 는 發 表 事 例 가 極 小 數 에 不 過 한 實 情 이 다. 事 實 上 安 全 率 이 아 무 리 合 當 한 값 으 로 算 定 되 더 라 도 臨 界 破 壞 面 이 實 際 破 壞 面 과 大 差 가 나 면 解 析 結 果 는 二 次 的 意 味 를 가 지 는 點 이 다. 이 는 特 히 自 體 破 壞 面 探 索 機 能 을 가 진 프 로 그 램 의 評 價 와 比 較 에 큰 意 義 를 가 지 게 된 다.

3. 斜 面 安 定 解 析 프 로 그 램 의 比 較

3.1 比 較 方 法

同 一 한 斜 面 을 여 러 가 지 프 로 그 램 으 로 安 定 解 析 을 하 면 相 異 한 臨 界 滑 動 面 과 相 異 한 安 全 率 이 얻 어 진 다. 또 한 주 어 진 滑 動 面 에 대 해 相 異 한 프 로 그 램 을 適 用 하 면 各 各 서 로 다 른 安 全 率 이 算 定 된 다. 斜 面 의 安 全 率 이 가 지 는 本 質 的 意 味 를 생 각 해 보 면 安 全 率 의 比 較 란 最 小 安 全 率 의 比 較 를 뜻 하 는 것 임 을 알 수 있 다.

이 러 한 事 實 이 表-1 에 提 示 되 어 있 다 (Duncan and Wright, 1980). 즉 任 意 의 滑 動 円 에 대 한 安 全 率 을 比 較 하 게 되 면 두 方 法 에 의 해 算 定 되 는 安 全 率, F_1 과 F_2 는 다 음 세 가 지 중 어 는 경 우 도 될 수 있 다: $F_1 < F_2$, $F_1 = F_2$, $F_1 > F_2$ 一 般 의 으 로 이 세 가 지 가 운 데 正 答 은 하 나 뿐 임 이 明 白 하 다. 斜 面 의 條 件 과 解 析 方 法 이 決 定 되 고 나 면 普 遍 의 意 義 를 가 지 는 것 은 最 小 安 全 率 뿐 이 므 로 安 全 率 의 比 較 은 最 小 安 全 率 을 比 較 하 는 것 이 妥 當 하 다.

斜 面 安 定 解 析 方 法 을 比 較 함 에 있 어 서 安 全 率 과 함 께 破 壞 面 을 比 較 하 는 것 도 대 단 히 重 要 하 다. 特 히 實 際 破 壞 事 例 를 研 究 함 에 있 어 서 는 비 록 妥 當 한 安 全 率 이 얻 어 졌 다 할 지 라 도 臨 界 滑 動 面 이 實 際 破 壞 面 과 크 게 다 른 경 우 에 는 解 析 結 果 는 無 意 味 해 진 다. 이 러 한 事 實 은 不 均 質 土 層 으 로 이 루 어 진 斜 面 에 대 해 서 는 円 弧 滑 動 面 이 制 約 性 이 있 음 을 意 味 한 다.

표 1. Illustration of the necessity of comparing minimum factors of safety

		Factor of safety calculated by :	
		method 1	method 2
Circle A(critical for method 1)		$F_1=1.5(\text{min})$	$F_2=1.7$
Circle B(not critical for either method)		$F_1=1.6$	$F_2=1.6$
Circle C(critical for method 2)		$F_1=1.8$	$F_2=1.4(\text{min})$
Comparisons :	circle A :	$F_1 < F_2$	
	circle B :	$F_1 = F_2$	
	circle C :	$F_1 > F_2$	
	min. values :	$F_{1 \text{ min}} > F_{2 \text{ min}}$	

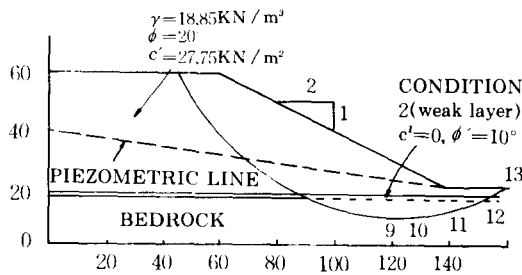


그림 1. Example problem.

3.2 單純斜面 解析結果의 比較

各 프로그램의 相對的 差異를 檢證하기 위하여 그림 1과 같은 斜面에 대하여 다음 6개의 條件을 解析하였다. 또한 安定圖表도 함께 사용하여 그 結果를 比較하여 보았다.

Case 1 : $\phi' = 20^\circ$, $c' = 600 \text{psf} (28.75 \text{KN}/\text{m}^2)$, $\gamma = 120 \text{pcf} (18.85 \text{KN}/\text{m}^3)$ 인 單純斜面의 경우

Case 2 : $\phi' = 20^\circ$, $c' = 28.75 \text{KN}/\text{m}^2$ 이고 軟弱層의 $\phi' = 10^\circ$, $c' = 0$ 인 경우

Case 3 : $\phi' = 20^\circ$, $c' = 28.75 \text{KN}/\text{m}^2$ 이고 $\gamma_u = 0.25$ 인 경우

Case 4 : Case 2와 같은 條件에 $\gamma_u = 0.25$ 인 경우

Case 5 : Case 1과 같은 條件에 piezometric head가 주어진 경우

Case 6 : Case 2와 같은 條件에 piezometric head가 주어진 경우

各 경우에 대한 安全率 算定結果는 表 2와 같다.

위의 結果에서 알 수 있는 것과 같이 各 프로그램의 解析結果 사이에는 큰 差異는 없다. 一般的으로 單純斜面의 경우 Fellenius 方法을 除外한 斜面安定解析의 結果는 5% 程度의 差異가 있는 것으로 알려져 있는데 (Duncan and Wright, 1980; Lambe and Whitman, 1969) 本 문제의 경우에도 이 範圍를 크게 벗어나지 않음을 알 수 있다.

표 2. Comparison of factor of safety for slopes in simple conditons.

Case No.	computer program					Stability chart		
	STABL 5	REAME	SSTAB II	STABR	MALE	Cousin	Janbu	Morgenstern
1	1.968	2.096	2.132	2.105	2.130	2.03	1.80	2.08
2	1.430	1.449	1.458	1.456	1.493	1.53	1.49	1.69
3	1.685	1.808	1.820	1.800	1.846	1.78	-	1.55
4	1.196	1.205	1.205	1.197	1.245	1.27	-	1.37
5	1.820	1.937	1.947	1.975	2.006	1.93	1.67	1.57
6	1.392	1.319	1.336	1.326	1.352	1.40	1.53	1.38

MALE과 SSTAB II는 사실상 거의 동일한 안전율을算定하고 있는데 이는 Morgenstern and Price 방법과 Spencer 방법을比較한 他研究結果와 잘 一致하고 있다(Fredlund and Krahn, 1977). 한편 STABL은 가장 慎重한 안전율을算定하고 있으나 이는 普遍性 있는 傾向은 아닌 것을 알 수 있다. 그러나 STABL과 다른 프로그램으로 구한 안전율의 差異는 實用上 큰 問題가 될만큼 심각한 것은 아닌듯하다. 類似한 傾向은 REAME과 STABR에서도 나타나는데 이는 本例가 斜面條件이 單純하고 거의 円弧滑動面에 가까운 解析結果일 뿐이므로 複雜한 條件의 斜面에 대해서도 그대로 適用된다고 速斷할 수는 없다.

그러나 각 프로그램이算定한 안전율이 大差가 없다는 것은 프로그램 內容과 使用過程에서 重要的 誤謬는 없다는 間接的 證據가 된다고 생각할 수 있다.

同一한 問題를 斜面安定解析 圖表로 解析하였다. 이 때 不可避하게 近似法을 사용한 경우도 있는데 여기에 關해서는 다른 文獻에 紹介되어 있다(例를 들어 白, 1989).

Cousin의 圖表가 컴퓨터 프로그램의 解析結果와 가장 一致하고 있으며 다른 방법은 안전율의 값이 크고 작은 領域으로 振動하는 傾向이 있다. 따라서 條件이 複雜한 斜面을 安定圖表로 解析할 때에는 注意가 必要하다.

3.3 破壞된 斜面의 解析

斜面安定解析 프로그램의 適合性을 判別하는 直接的인 방법은, 實際 破壞가 發生한 斜面에 대하여 안전율을算定하여 이를 評價하고 實際 破壞面과 臨界滑動面을 比較해 보는 것이다. 이를 위해서는 斜面의 幾何學的 條件과 土性值에 關한 正確한 情報가 必須的이다.

3.3.1 Houston 地域 IH 610과 Scott街 交叉點의 斜面

이 斜面에 關한 자세한 情報는 Stauffer and Wright(1984)의 報告書에 收錄되어 있다. 이 斜面은 傾斜가 1:2.6(約 21°)이고 높이가 19 ft(5.79m)인 單純盛土斜面으로 強度定數 $\phi = 18.8^\circ$, $\bar{C} = 8.2 \text{psf}$ (0.392KN/m^2)이고 單位重量 $\gamma = 120 \text{pcf}$ (18.85KN/m^3)이다. 이들 強度定數의 값은 Stauffer and Wright가 UTEAS를 이용하여 back-calculation한 것이다.

이 斜面의 實際 破壞面이 円弧에 近似하므로 여러 프로그램으로 이를 解析해 보면 檢證이 可能하다고 생각된다.

이 斜面의 安定解析 結果는 表 3과 같고 實際 破壞面과 각 프로그램이 찾아낸 臨界滑動面을

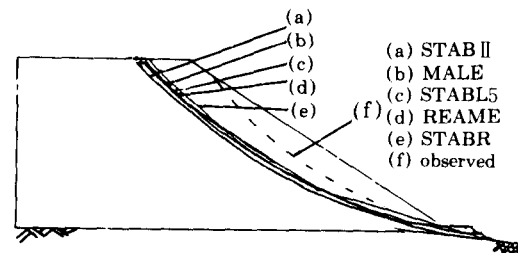


그림 2 Failure surfaces at IH 610 and Scott Street.

比較한 것이 그림 2에 提示되어 있다.

安定解析의 結果는 모두 破壞로 判定되었으며 안전율 相互間의 差異는 5% 未滿임을 알 수 있다. UTEXAS의 解析結果는 0.99인데 이는 臨界滑動面의 探索 精度에도 關係된다고 생각된다.

그러나 實際 破壞面과 臨界滑動面 사이에는 약간의 差異가 있음을 알 수 있다. 이 差異는 土性值의 空間的 分布의 把握이 絕對的으로 重要함을 意味한다. 물론 破壞面에 대해서도 안전율은 1.0 以下로 算定되기는 하지만 土性值의 正確한 決定이 斜面解析의 最大 要件임을 거듭 確認할 수 있다.

표 3. Factor of safety for embankment at IH 610 and Scott Street

program	STABL 5	REAME	SSTAB II	STABR	MALE
Fs	0.946	0.957	0.956	0.963	0.951

3.3.2 Kimola Floating Canal의 경우

이 運河의 破壞에 관한 자세한 事項은 Kankare (1969)가 報告하였다. 그의 論文은 $\phi=0$ 解析法의 非現實性을 究明하는 것으로서, 安全率 算定對象斷面의 實際 破壞面은 明白하게 提示되어 있지 않다.

이 運河의 安全率을 Kankare는 0.97로 보고하였는데 本 研究에서 各種 프로그램으로 算定한 結果는 表 4와 같다.

표 4. Factor of safety for Kimola Floating Canal

program	STABL 5	REAME	SSTAB II	STABR	MALE
Fs	0.97	1.04	1.07	0.96	1.04

이 斜面은 土性値가 $\gamma=1.8t/m^3$ $c'=490$ kg/m^2 $\phi=27.7^\circ$ 이고, 2段으로 된 斜面이다. Kankare의 報告에는 斜面 破壞 後의 形狀만 提示되어 있을 뿐이므로 破壞面의 比較는 不可能하다. 그런데 本 研究에서 使用한 프로그램들이 探索해 낸 臨界滑動面에는 서로 약간의 差異가 있다.

安全率 算定 結果에서 알 수 있듯이 이 斜面은 實際 破壞된 斜面임에도 不拘하고 安全率이

1.0 보다 크게 算定될 수 있다. 그 理由는 여러 가지를 생각할 수 있으나, 土質調查, 土性値測定 및 安定解析方法이 現在의 水準인 경우 許容安全率 概念의 使用은 不可避함을 알 수 있다. 安全率의 값들은 앞의 例들과 類似한 傾向을 나타내고 있다.

3.3.3 Carsington Dam의 경우

이 댐의 破壞에 관하여서는 Skempton(1985)

이 報告한 바 있다. 이 댐의 斷面은 그림 3과 같다.

원래의 設計에는 黄色粘土(yellow clay)層은 分離된 土層으로 考慮되지 않은듯 하며 破壞後의 精密調查 結果로 이 흙의 存在가 確認되었다. 本格的인 試驗 結果 黄色粘土와 코아의 強度는 미리 存在하고 있던 剪斷力과 剪斷變位에 의하여 영향을 받았음이 밝혀졌다.

破壞時의 土性値와 間隙水壓은 表 5와 같다.

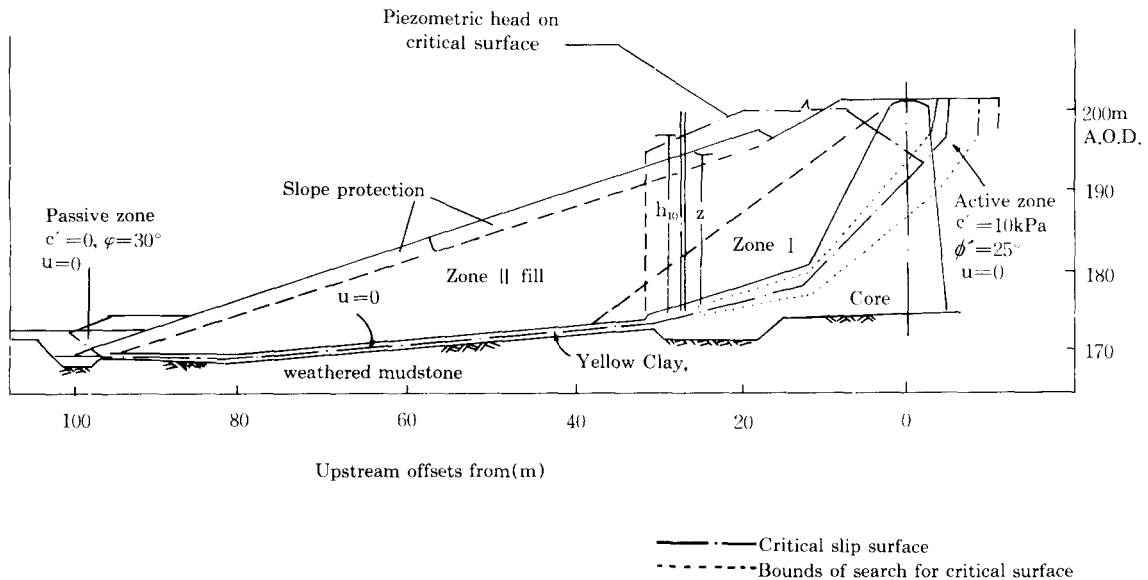


그림 3. Cross section of Carsington Dam.

표 5. Soil properties of Carsington Dam.

material	unit weight (KN / m ²)	c' (KPa)	φ' (degree)	pore pressure ratio γ _u
core	18.5	0	22	0.42
zone I and II	21.0	0	25	0
"Boot"*	18.5	0	22	0.53
slope protection	18.5	0	35	0
weathered mudstone	18.0	100	30	0
yellow clay	21.5	0	18	0

* The "boot" is the upstream projection of the core.

표 6. Comparison of factor of safety for Carsington Dam

program	STABL 5	REAME	SSTAB II	STABR	MALE
Fs	0.964	0.960	1.09	—	1.03

이 斜面에 대한 安定解析 結果는 表 6과 같다. 이 경우 軟弱한 薄層이 存在하므로 円弧破壞面을 假定하는 프로그램은 非現實인 結果를 算出하므로 除外하였다. 臨界滑動面은 약간의 差異는 있으나 모두 黃色粘土層을 지나게 되어 圖示하면 區別되지 않을 程度로 一致한다.

이 結果에서도 安全率 사이에는 若干의 差異는 있으며 許容安全率의 必要性이 再確認되고 있다.

4. 結 論

國內에서 흔히 活用되고 있는 프로그램으로 文獻에 報告된 斜面을 解析하고 그 結果를 比較하였다. 使用한 프로그램은 STABL 5, REAME, SSTAB II, STABR, MALE이며 參考로 Cousin, Janbu, Morgenstern의 安定圖表도 簡單한 경우에는 適用하였다.

本 研究에서 얻은 主要 結論은 다음과 같다:

(1) 諸般 條件이 單純한 斜面의 경우 各 方法으로 算定한 安全率의 값은 거의 同一하며 그 差異는 5% 以內라고 할 수 있다. 安定圖表를 使用한 結果도 큰 差異는 없으나 土層이 不均質한 경우 近似解法으로 얻은 安全率은 프로그램으로 구한 값에 비해 큰 값 또는 적은 값으로 不規則하게 變하므로 사용에 注意할 必要가 있다.

(2) 實際 破壞가 일어난 斜面의 安全率이 1 보다 약간 크게 算定되는 경우가 있으므로 慣用의 許容安全率 概念은 必要하다.

(3) 힘과 모멘트의 平衡을 모두 考慮하는 方法 가운데 STABL이 가장 적은 安全率을 算定하는 傾向이 있으나, 이를 確認하기 위해서는 더 많은 研究가 必要하다.

(4) 實際 破壞面과 臨界滑動面은 完全히 一致하지는 않는다. 이는 土質調査의 制約에 基因한다고 一次的으로 생각되나 限界平衡方法의 欠點으로도 判斷된다.

(5) 國內에서 實用되고 있는 斜面安定解析 프로그램은, 土性和 幾何學的 條件이 合當하게 把握된 경우, 그 實用性이 認定된다.

參考文獻

1. Bishop, A.W.(1955). "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes." Geotechnique, Vol. V, No.1.
2. Bishop, A.W. and Morgenstern, N.R.(1960). "Stability coefficients of earth slopes." Geotechnique, Vol.10, No.4.
3. Cousins, B.F.(1978), "Stability charts for simple earth slopes." Proc. ASCE J. Geotech. Engrg. Div., Vol. 104, No. GT2.
4. Duncan, J.M. and Wright, S.G.(1980), "The accuracy of equilibrium methods of slope stability

- analysis." Proc. Int. Symp. Landslides, New Delhi.
5. Duncan, J.M. and Wong, K.S.(1984) "STABR : A computer program for slope stability with circular surfaces. Geotechnical Engineering Report No. UCB/GT/84-09, Univ. of California, Berkeley.
 6. Fredlund, D.G. and Krahn, J.(1977). "Comparison of slope stability methods of analysis." Can. Geotech. J. 14.
 7. Huang, Y.H.(1983). Stability analysis of earth slopes, Van Nostrand Reinhold Company.
 8. Janbu, N.(1954a). "Application of composite slip surfaces for stability analysis." European Conf. Stability Earth Slopes, Stockholm, 3.
 9. Janbu, N.(1954b). "Stability analysis of slopes with dimensionless parameters." Harvard Soil Mechanics Series No. 46.
 10. Kankare, E.(1969). "Failures at Kimola Floating Canal in Southern Finland." Proc. of the Seventh Int. Conf. SMFE, Vol. 2, Mexico.
 11. Lambe, T.W. and Whitman, R.V.(1969). Soil Mechanics, John Wiley.
 12. Morgenstern, N.R. and Price, V.E.(1965). "The analysis of the stability of generalised slip surfaces." Geotechnique, 15.
 13. Siegel, R.A.(1975). STABL User manual, Joint Highway Research Project (JHRP) No.75F-9, Purdue University, West Lafayette.
 14. Schiffman, R.L.(1972), MALE- I, A computer program to analyze the stability of slopes by Morgenstern's method. Computing Center, University of Colorado, Boulder.
 15. Skempton, A.W.(1980). Cited from J.K. Mitchell lecture note.
 16. Spencer, E.(1968). "A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces." Geotechnique, 17.
 17. Stauffer, P.A. and Wright, S.G.(1984). "An examination of earth slope failure in Texas." Research Report 353-3F, Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, The University of Texas at Austin.
 18. 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.
 19. 白榮植(1988). "斜面安定(Ⅱ)" 大韓土質工學會誌 第4卷 第2號
 20. 白榮植(1989). "斜面安定(Ⅳ)" 大韓土質工學會誌 第5卷 第1號
 21. 白榮植(1989). "斜面安定(Ⅴ)" 大韓土質工學會誌 第5卷 第2號

(접수일자 1990. 3. 21)