

# EARTH DAM의 비탈면 기울기 決定에 關한 研究

## A Study on Side Slope Determination of Earth Dam

李 原 熙\* · 金 始 源\*\*  
Weon Hee Lee, Shi Won Kim

### Summary

The soil test data of 28 earth dams, scheduled to be constructed in Korea, were selected for this study. The safety factors of their side slopes were computed using Fellenius' "slice Method" by computer.

The results summarized in this study are as follows:

1. Dam sections can be easily determined by fig.10 without a time consuming trial and error calculations of assumed sections.
2. For the economical design of earth dam sections, it was found that more cohesive soil was suitable for lower dams(dam height less than 25m) and soils with a higher friction angle was better for higher dams.
3. In the case that used soil materials have the same Internal friction angle, side slope increase was almost same.
4. The relationship between side slope and friction angle was found as  $\log S = a \tan \phi + b$ . (Fig. 7)
5. The relationship between side slope and cohesion (c) was also found as  $\log S = a c + b$ . (Fig. 8)
6. The change of safety factors due to the change of central core materials was very little (Table-2)
7. The decrease of safety factors according to the unit weight increase of embankment materials was negligible.
8. In general the relationship between the wet unit weight and the saturated unit weight was  $\gamma_{sat} = \sqrt{(\gamma_t)^2 + 0.140}$ .

This study will contribute to the determination of economic and safe planning and designing of earth dams, embankments and cutting side slopes.

### I. 緒 論

土木工事에서 水資源 開發을 爲한 Dam建設은 專門家들과 關係人들의 많은 研究와 經驗으로 急進的

으로 發展되고 있다.

Dam은 發電, 灌溉, 洪水調節, 上水, 觀光 等の 利水 및 治水를 目的으로 河川이나 溪谷을 橫斷하여 人工으로 築造한 構造物로서 特히 Earth Dam은 堤體를 構成하는 材料를 가까운 곳에서 쉽게 求得

\* 農業振興公社 設計1部

\*\* 建國大學校 農科大學

할 수 있어 經濟的이고 比較的 施工이 簡便하게 建設할 수 있기 때문에 一般의으로 많이 採擇되고 있으며 그 中에서도 Dam中央部에 不透水性의 止水壁을 設置하여 漏水를 防止하고 兩側에는 強度定數가 높은 材料를 使用하는 中心Core型 Dam이 가장 많이 築造되고 있다.

Earth Dam의 細部 標準斷面(Dam높이, 餘裕高, Dam길이, 동마루幅, Core斷面, Filter斷面 等)은 諸般 設計條件下에서 數式 또는 經驗으로 決定 可能하나 內·外堤의 비탈면 기울기는 盛土材料의 力學的性質( $\phi, c, r$ )에 따라 많은 變化를 가져오며  $\phi, c, r$ 相互間에는 재료에 따라 다르나 一般的으로 一定한 相關關係가 없으므로 이들 特性을 正確히 안다 해도 Earth Dam 비탈면 기울기의 決定은 매우 어려운 일이다.

비탈면 기울기 決定法으로 日本 農業土木學會 一般公式이 있으나 이것은 日本國內 既 施工 Dam들의 비탈면 기울기에 對한 平均値의 經驗式으로서 築堤材料의 性質과는 無關하며 이 公式의 使用은 合理的인 安定度 決定에 不適合한 것으로 思料된다.

斜面安定에 關한 解析法은 圓弧法, 分割法,  $\phi$ -圓法, Moment法 等으로 오랫동안 많은 學者들로부터 研究되어 이 結果를 利用 實際設計 및 施工을 하여 왔다.

그러나 이들 結果의 利用은 모두가 斷面을 假定하고 그 斷面에 對하여 安全率을 試算法으로 決定하여 왔는데 近來에는 이 試算過程의 複雜性을 EDPS에 依하여 處理하고 있다.

EDPS作業過程에서 必要한 安全率을 얻기까지는 設計者가 斷面을 假定하고 이 斷面에 對한 Input資料를 作成하여 電算處理하며 이 過程을 數次 反復하여 最終 Output를 얻게 되므로 高價의 機械를 比較的 長時間 利用하게 되고 電算機 利用이 不可能할 境遇에는 많은 計算過程을 手作業으로 處理하여야 하므로 長時間의 高級人力이 必要하게 된다.

이에 따른 費用, 時間, 勞力 等을 節減하고자 土質試驗 成果의  $\phi, c$ 와 堤高단으로 簡便하게 Earth Dam의 內·外側 비탈면기울기를 決定할 수 있는 方法을 究明하고자 本 研究를 試圖하였다.

## II. 研究史

本 研究와 關係되는 文獻을 살펴보면 다음과 같다.

Coulomb(1773)은 剪斷強度 試驗에서  $\tau = \sigma \tan \phi$

+C의 公式<sup>8)</sup>을 提案한 以來 Harr<sup>9)</sup>(1966)는 "Foundation of Theoretical Soil Mechanics"에서 Taylor와 Fellenius의 研究 結果를  $F.S = \frac{\sigma \tan \phi_a + C_a}{\sigma \tan \phi_r + C_r}$ 로 定義하였다.

斜面安定 解析方法은 崩壞形狀에 따라 여러 學者들이 研究한 바에 依하면 Petterson<sup>10)</sup>(1916)은 均質하지 못한 土質에 對해서 崩壞形狀을 圓弧로 보고 滑動圓內의 土塊를 여러개의 切片으로 나누어 解析하는 分割法을 提案하였고 그 後 Fellenius<sup>11)</sup>(1927)는 分割法을 使用하여 數次의 研究 끝에 圖式解를 通하여 剪斷強度의 媒介變數인 斜面角, 斜面高, 흙의 單位重量 等으로 부터 安全率을 求하는 方法을 報告하였다.

Fellenius<sup>11)</sup>(1936), Taylor<sup>12)</sup>(1948), Bishop<sup>13)</sup>(1955), John<sup>14)</sup>(1967), 金<sup>15)</sup>(1974), 玉<sup>16)</sup>(1980) 등은 土質이 比較的 均質한 境遇에 崩壞形狀을 圓弧로 보고 研究한 바 있고 Taylor는 Mohr의 強度 理論을 利用하여 어떤 材料가 外力을 받아 破壞될 때 破壞面의 方向은 最大 主應力面과  $45^\circ + \phi/2$ 의 角度를 이룬다고 하였으며 Bishop은 各 切片의 側面에 作用하는 橫力을 無視한 簡易Bishop方法을 發表하였고 Morgenstern<sup>17)</sup>(1963), Whitman<sup>18)</sup>(1967), Wolfskill<sup>19)</sup>(1969) 등은 簡易Bishop方法으로 安全率을 求한 값이 實際와 더욱 一致한다고 報告하였다.

John은 斜面安定 解析을 分割法에 重點을 두어 安定度가 減退하는 要因들을 研究 分析하였고 玉은 Earth Dam에서 堤高가 約 25M를 超過한 境遇 內部摩擦角이 큰 材料를 使用하는 것이 經濟的인 Dam 斷面이 되고 비탈면 기울기의 增加에 따른 安全率의 變化는 直線的으로 變化하며 單位重量의 變化는 安全率에 거의 影響을 주지 않는다고 究明하였다.

Tschebotarioff<sup>20)</sup>(1951), Fang and Hirst<sup>21)</sup>(1970) 등은 崩壞形狀이 한個의 直線을 이룬다고 報告하였고, Seed & Sultan<sup>14) 25)</sup>(1967)은 傾斜Core型 Dam에서 崩壞形狀이 두個 또는 세個의 直線이 이루어지는 解析方法을 發表하였으며 Rendulic<sup>22)</sup>(1935), Fröhlich<sup>23)</sup>(1953), Jumikis<sup>24)</sup>(1965) 등은 對數螺旋曲線(Logarithmic Spiral Curve)으로 滑動面을 假定하여 研究하였다. 여기서 Fröhlich는 對數螺旋曲線 方程式을  $r = r_0 e^{a \tan \phi}$ 로 나타냈고 Jumikis는 對數螺旋의 重要한 性質을 表로 作成하여 發表하였다.

Janbu<sup>10)</sup>(1954), Sherard<sup>17)</sup>(1963), Nonveiller<sup>18)</sup>(1965), Bell<sup>19)</sup>(1968)<sup>20)</sup>(1969) 등은 斜面內에 많은

地層이 있는 境遇의 崩壞形狀은 任意로 이루어진다고 報告하였다.

또한 Sokolovski<sup>10)</sup>(1965)는 剛性 壁體가 破壞될 때 그 壁體 背面 附近에서는 Slip Line이 曲線을 이룬다고 하였고, Edicott<sup>11)</sup>(1973)는 거의 平面인 境遇 最大 主應力의 方向은 垂直이나 一般的인 斜面에 있어서는 傾斜面에 가까워 질수록 그 方向은 漸次 기울어져 傾斜面과 平行하게 되어 崩壞될때의 Slip Line은 曲線이 된다고 發表하였다.

Lumb<sup>21)</sup>(1966)<sup>20)</sup>(1975), Schultze<sup>28)</sup>(1972), Singh<sup>19)</sup>(1972) 등은 斜面安定에 關한 要素들(粘着力, 内部摩擦角, 單位重量, 斜面高, 비탈面 기울기, 地下水位 등) 中에서 가장 重要한 것이 強度定數이며 이 값은 實際에 있어서 立體的으로 많이 變化한다 하였고, 特히 Lumb<sup>21)</sup>(1970)는 強度定數의 立體的 變化性은 粘着力이 内部摩擦角보다 크다고 發表하였다.

伊藤<sup>24)</sup><sup>25)</sup><sup>26)</sup>(1961)은 空隙水壓을 彈·塑性理論에 適用시켜 堤體內 應力을 算定하여 安定解析을 하는 方法을 研究하였고, Bishop<sup>3)</sup>(1955)<sup>4)</sup>(1960)<sup>5)</sup>(1960)은 空隙水壓을 決定하는 方法과 空隙水壓比를 求하는 式  $\gamma_w = \frac{u}{\gamma_t \cdot h}$ 를 發表하였다.

白<sup>6)</sup>(1978)은 여러 種類의 滑動面에 各各 다른 假定을 設定하여 Fellenius, Taylor, Collins, Hellan, Peterson, Bishop, Morgenstern and Price, Seed and Sultand, Janbu 등의 解析法으로 安全率을 計算하여 比較해 본 結果 그 차이는 7~10% 程度였다고 究明하였다.

또한 日本 發電水力協會에서 發行한 “最新월댐工學”<sup>27)</sup>(1972)에 依하면 Morgenstern은 水平應力과 垂直應力과의 關係에 適當한 函數關係를 假定하고 安全率을 計算하여 簡易Bishop方法 및 複合 滑動面法의 Janbu方法과 比較했을때 前者는 ±2% 程度 差異가 있었고 後者는 Janbu方法보다 8% 程度 크게 나왔다고 하였다.

尹·等<sup>28)</sup>(1973)은 大草댐 斜面安定度 計算을 中心으로 電子計算의 Input資料作成과 Output에 대한 解析 및 應用方法에 關하여 發表한 바 있다.

### Ⅲ. 資料 및 方法

#### 1. 使用 資料

本 研究에 使用한 資料는 1979年 農業振興公社에서 土質試驗한 成果中 앞으로 築造될 全國 28個

Earth Dam의 88點을 選定하여 利用하였다.

#### 가. 内部摩擦角과 粘着力

土質試驗 成果에서  $\phi$ 는 2~14°의 範圍였고 C는 0.19~0.90kg/cm<sup>2</sup>의 範圍였으며  $\phi$ 와 C의 關係는 Fig. 1에서 나타나는 바와 같이 相關關係가 없으므로  $\phi$ 는 5~35°까지 10°間隔으로 4區分(5°, 15°, 25°, 35°)하였고 C는 0.25~0.70kg/cm<sup>2</sup>까지 0.15kg/cm<sup>2</sup> 間隔으로 4區分(0.25kg/cm<sup>2</sup>, 0.40kg/cm<sup>2</sup>, 0.55kg/cm<sup>2</sup>, 0.70kg/cm<sup>2</sup>)하여 使用하였다.

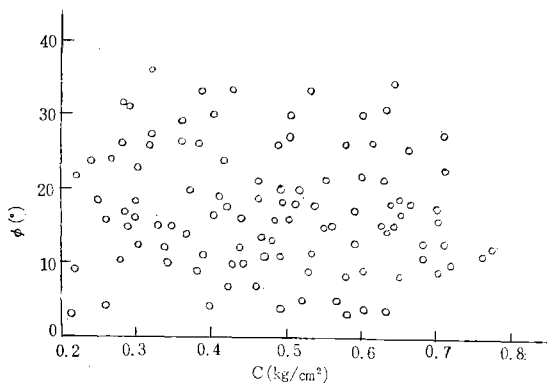


Fig. 1. Relationship between friction angle and cohesion

#### 나. $\gamma_t - \gamma_{sat}$

標準다짐 시험한 試料에서  $\gamma_t$ 는 1.670~2.217g/cm<sup>3</sup>의 範圍였고  $\gamma_t$ 가 Dam 斜面安定에 미치는 影響을 把握코져  $\gamma_t$ 와  $\gamma_{sat}$ 와의 關係式((1), Fig.2)을 誘導하여  $\gamma_{sat}$ 로 使用하였다.

$$\gamma_{sat} = \sqrt{(\gamma_t)^2 + 0.140} \quad (\text{g/cm}^3) \dots \dots \dots (1)$$

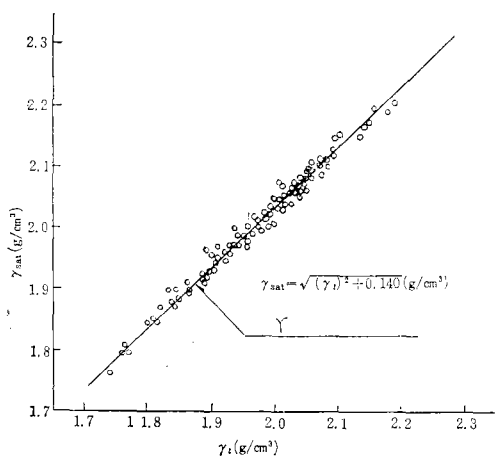


Fig. 2. Relationship between wet unit weight and saturated unit weight

$\gamma_t$ 를 1.70~2.10g/cm<sup>3</sup>까지 0.10g/cm<sup>3</sup> 間隔으로 5區分(1.70g/cm<sup>3</sup>, 1.80g/cm<sup>3</sup>, 1.90g/cm<sup>3</sup>, 2.00g/cm<sup>3</sup>, 2.10g/cm<sup>3</sup>)하여 H=25.0M, 內堤 1:3.0, 外

堤 1:2.5,  $\phi=25.0^\circ$ , C=0.40kg/cm<sup>2</sup>인 斷面으로 安全率을 計算한 結果 Table-1과 같았다.

Table-1에서 單位重量 0.10g/cm<sup>3</sup> 增加에 따른 安

Table-1. Relationship between unit weight and safety factor

Unit Weigh		Upstream of Dam				Downstream of Dam			
$\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	S.F.	X(M)	Y(M)	R(M)	S.F.	X(M)	Y(M)	R(M)
1.700	1.741	1.707	-50	75	75	2.364	48	75	75
1.800	1.838	1.701	"	"	"	2.313	"	"	"
1.900	1.936	1.696	"	"	"	2.267	"	65	65
2.000	2.035	1.691	"	"	"	2.223	"	"	"
2.100	2.133	1.687	"	"	"	2.183	"	"	"

全率의 變化는 內堤에서 S.F=0.005程度, 外堤에서 S.F=0.045정도의 減少로서 單位重量의 變化가 安全率에 미치는 影響이 微少하므로 本 研究에서는 盛土材料의 試驗 成果中 單位重量의 集中이 가장 많은  $\gamma_t=2.000g/cm^3$ ,  $\gamma_{sat}=2.035g/cm^3$ 를 使用하였다.

다. 中心 Core 材料

$\phi$  및 C를 各各 4區分하여 H=25.0M, 內堤 1:3.0, 外堤 1:2.5, 中心 Core( $\gamma_t=2.000g/cm^3$ ,  $\gamma_{sat}=2.035g/cm^3$ ), 其他 材料( $\gamma_t=2.000g/cm^3$ ,  $\gamma_{sat}=2.035g/cm^3$ ,  $\phi=25.0$ , C=0.40kg/cm<sup>2</sup>)로 安全率을 計算한 結果 Table-2와 같았다.

Table-2. Relationship between core materials and safety factor

Materials		Upstream of dam				Downstream of dam			
$\phi$ ( $^\circ$ )	C(kg/cm <sup>2</sup> )	S.F.	X(M)	Y(M)	R(M)	S.F.	X(M)	Y(M)	R(M)
5	0.25	1.656	-50	70	70	2.186	50	75	75
5	0.40	1.669	"	75	75	2.198	"	"	"
5	0.55	1.685	"	"	"	2.214	"	"	"
5	0.70	1.695	"	"	"	2.233	"	"	"
15	0.25	1.664	"	"	"	2.194	"	"	"
15	0.40	1.680	"	"	"	2.210	"	"	"
15	0.55	1.695	"	"	"	2.226	"	"	"
15	0.70	1.710	"	"	"	2.242	"	"	"
25	0.25	1.676	"	"	"	2.207	"	"	"
25	0.40	1.691	"	"	"	2.223	"	"	"
25	0.55	1.705	"	65	65	2.242	"	"	"
25	0.70	1.715	"	"	"	2.256	"	"	"
35	0.25	1.691	"	"	"	2.228	"	65	65
35	0.40	1.697	"	"	"	2.239	"	75	75
35	0.55	1.707	"	"	"	2.251	"	65	65
35	0.70	1.760	"	55	55	2.263	"	"	"

Table-2에서  $\phi$ 가 10 $^\circ$ 增加하는데 따라 安全率의 變化는 內堤에서 S.F=0.011程度, 外堤에서 S.F=0.012程度 增加되었고, C가 0.15kg/cm<sup>2</sup> 增加하는데는 內堤의 경우 S.F=0.016程度, 外堤의 境遇 S.F=0.014程度 增加로서 中心 Core 材料가 Dam安全率에 미치는 影響이 微少하므로 本 研究에서는 中心Core 材料를 均質로 보고 計算하였다.

라. Dam 斷面 決定

1) Dam 높이

우리나라의 境遇 Earth Dam은 一般的으로 Dam 높이 30M 以上되는 것은 적고 이미 築造된 것이나 現在 施工 및 設計中에 있는 것의 大部分이 20~30M 程度이므로 本 研究에서는 Dam 높이 15.0~35.0M까지 5.0M 間隔으로 5區分(15.0M, 20.0M,

25.0M, 30.0M, 35.0M)하여 計算하였다.

2) 餘裕高

餘裕高는 다음 2가지 式으로 求한 平均値를 使用하였다. (Table-3)(Fig.3)

$HF=0.03h+1.5$ .....(2)<sup>41)</sup>

$HF=0.05h+1.0$ .....(3)<sup>42)</sup>

Table-3. Freeboard of dam Unit:Meter

Method	Height of dam					Remarks
	15	20	25	30	35	
(2)	1.89	2.04	2.19	2.34	2.49	
(3)	1.65	1.90	2.15	2.40	2.65	
Average	1.77	1.97	2.17	2.37	2.57	
Decision	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	

3) 堤頂幅 및 小段

堤頂幅은 다음 4가지 式으로 求한 平均値를 使用하였다. (Table-4)(Fig.3)

$W=H/5+1.5$ (Merriman).....(4)<sup>43)</sup>

$W=H/5+3.0$ (U.S.B.R.) .....(5)<sup>44)</sup>

$W=0.6+1.1\sqrt{H}$ (Traut Wine) .....(6)<sup>45)</sup>

$W=3.6H^{1/3}-3.0$ (日本舊設計基準) .....(7)<sup>46)</sup>

Table-4. Crest width of dam Unit:Meter

Method	Height of dam					Remarks
	15	20	25	30	35	
(4)	4.50	5.50	6.50	7.50	8.50	
(5)	6.00	7.00	8.00	9.00	10.0	
(6)	4.86	5.52	6.10	6.62	7.11	
(7)	5.88	6.77	7.53	8.19	8.78	
Average	5.31	6.20	7.03	7.83	8.60	
Decision	5.50	6.50	7.00	8.00	9.00	

小段은 外堤에 堤高 13.0M마다 幅 2.0M를 두었다. (Fig.3)

4) 中心Core 斷面

實際 設計 施工에 準하여 Table-5 및 Fig.3과 같이 定하였다.

5) 浸潤線 및 空隙水壓

浸潤線에 對해서는 一般의으로 上流側 盛土材料와 中心Core 材料의 透水係數 比가 10倍 以上이므로 上流側 盛土部는 透水性으로 看做하였고<sup>47)</sup> 中心Core部에 對하여만 A. Casagrande의 試驗公式<sup>23)48)</sup>으로 計算하였다. (Fig.3)

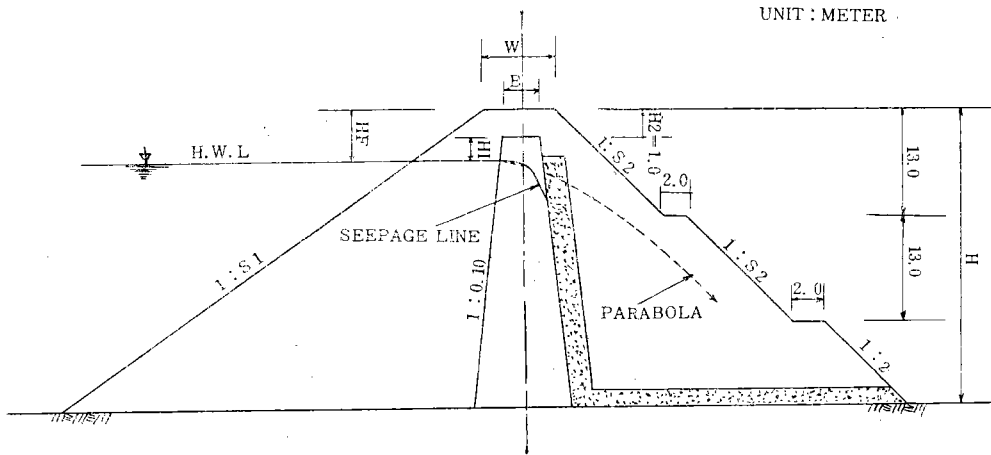


Fig. 3. A standard section of dam

Table-5. Section of core Unit:Meter

Section	Height of dam					Remarks
	15	20	25	30	35	
Crest width(b)	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	
Slope (Sc)	1:0.1	1:0.1	1:0.1	1:0.1	1:0.1	

空隙水壓은 分割된 各 切片의 假想 滑動面 低面에서부터 浸潤線 또는 비탈面까지의 靜水頭에 물의 單位重量을 곱하여 處理<sup>49)</sup>하였다.

2. 方法

가. 計算 方法

一般의으로 實際에 널리 利用되고 있는 Fellenius

의 分割法(8)<sup>1)4)</sup>을 適用하여 電算處理하였다.

$$S.F = \frac{(\sum N - \sum U - \sum NE) \tan \phi + C.L}{\sum T + \sum TE} \dots \dots \dots (8)$$

여기서

- $\sum N$  ; 盛土 材料에 따른 垂直分力の 合
- $\sum T$  ; 盛土 材料에 따른 接線分力の 合
- $\sum NE$  ; 地震力에 따른 垂直分力の 合
- $\sum TE$  ; 地震力에 따른 接線分力の 合
- $\sum U$  ; 空隙水壓의 合
- $\phi$  ; 盛土 材料의 内部摩擦角
- $C$  ; 盛土 材料의 粘着力
- $L$  ; 滑動面의 길이

地震에 對하여 1972年 日本 SANYU 用役團에서 提供한 資料에 依하면 韓國에서 Dam 敷地의 地震 係數(g:gravity)는 100年 週期의 平均値인 0.05g를 使用하는 것이 適當하다하였으나 土質試驗 成果의 安全度 및 (8)式에서 空隙水壓 및 浸潤線 등이 實際보다 安全하게 算定되었으므로 考慮하지 않았다.

나. 安全率 決定

滑動에 對한 安全率は 材料 試驗 및 安全計算의 精密度가 不充分하고 軟弱地盤 위의 Dam과 같은 不定 要素가 包含될 境過에는 1.50, 精密度가 不充分할 때엔 Table-6 以上으로 規定<sup>4)2)</sup>되어 있어 本研究에서는 水位 急 降下 時(內堤)와 滿水 時(外堤)의 1.20로 決定하였다.

Table-6. Safety factor

The terms of dam	Storage of water level	A quake	S.F		Remarks
			Up-stream	Down-stream	
完成直後 (間隙壓 最大)	空 虛	無	1.3	1.3	—
	部分貯水	無	1.3	—	—
常 時	急 降 下	無	1.2	—	採 擇
	滿 水	有	—	1.2	採 擇
	部分貯水	有	1.15	—	—

IV. 結 果 및 考 察

1. 盛土材料 및 堤高別 기울기

盛土材料 및 堤高別 기울기는 Fig.5와 같다.

Fig.5에서 보는 바와 같이 비탈面 기울기의 安全率은 直線 變化를 하므로 S.F=1.20일 때의 盛土材料에 따른 堤高別 비탈面 기울기는 Table-7과 같다.

이 結果는 玉<sup>4)1)</sup>의 結果와 比較할 때 本 結果가 若

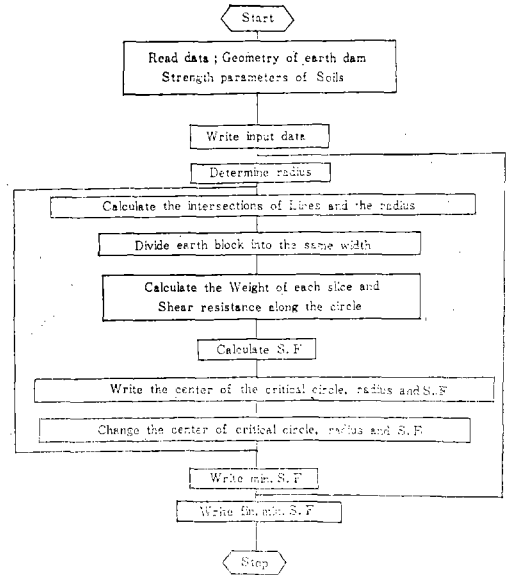


Fig. 4. General flow chart of the program

干 次계 나타났는데 이는 粘着力 區分과 堤高 區分의 差異에서 나타난 것으로 思料된다.

2. 單位重量과 安全率과의 關係

單位重量과 安全率과의 關係는 Table-1에서 보는 바와 같이 單位重量 0.10g/cm<sup>3</sup> 增加에 따른 安全率의 變化는 內堤에서 0.005, 外堤에서 0.045程度의 減少로 微少하였고 이는 Lamb<sup>27)30)</sup> Schultze<sup>28)</sup> Singh<sup>29)</sup> 등이 發表한 바 있는 安全率은 強度定數에 가장 크게 影響을 받는다는 것과 같은 結果를 알 수 있었다.

3. 中心Core 材料와 安全率과의 關係

中心Core 材料와 安全率과의 關係는 Table-2에서 보는 바와 같이  $\phi$ 가 10° 增加하는데 따른 安全率의 變化는 內堤에서 0.011, 外堤에서 0.012程度 增加하였고, C가 0.15kg/cm<sup>2</sup> 增加하는데 對해 內堤의 境遇 0.016, 外堤의 境遇 0.014程度로 微少하였으며 이를 보기 爲하여 Table-2의 代表值를 作圖하던 Fig.6과 같다.

Fig.6에서 보는 바와 같이 中心Core 材料가 安全率에 미치는 影響이 微少한 原因은 臨界圓 內의 中心Core와 中心Core 外에 築造한 盛土材料의 力學的 性質의 差가 臨界圓 內의 全面積中에서 中心Core面積단한 크기로 安全率에 影響을 미치지 爲하기 때문에 그 原因이 있다고 思料된다.

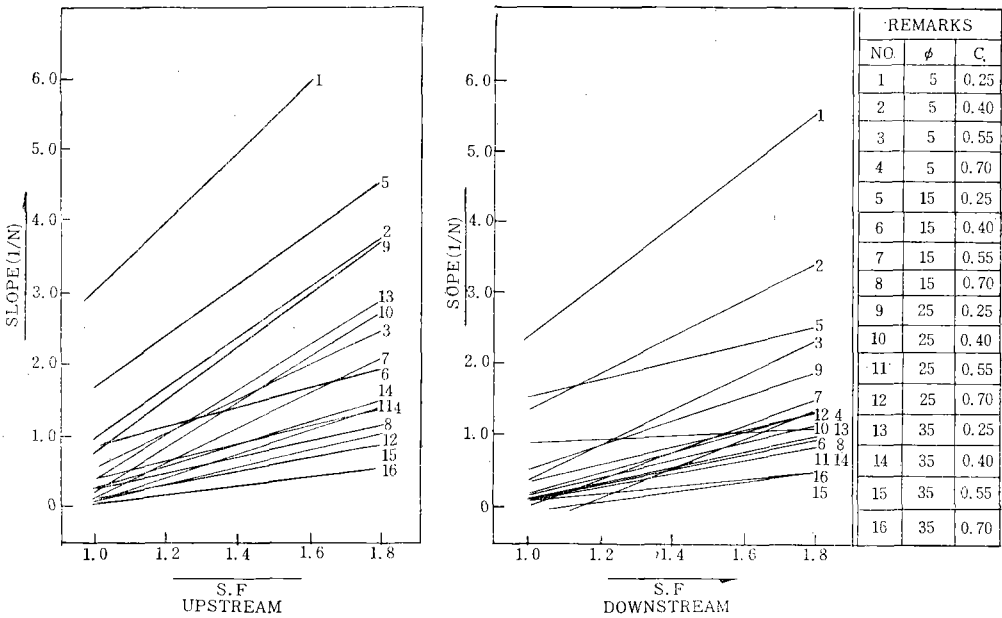


Fig. 5-1. Relationship between side slope and safety factor (H=15.0M)

4. 堤高와 비탈면 기울기와의 關係

堤高와 비탈면 기울기와의 關係는 Fig.7과 같다. Fig.7에서 보는 바와 같이 비탈면 기울기는 堤高

의 增加에 따라 比例하고 있으나 그 增加形態는 漸次 緩和하여 지고 있으므로 堤高에 따른 비탈면 기울기는 比例法으로 計算 可能할 것으로 본다.

또한 堤高에 따른 비탈면 기울기의 增加形態는 内部 摩擦角이 같은 값을 使用한 境遇 거의 類似하게

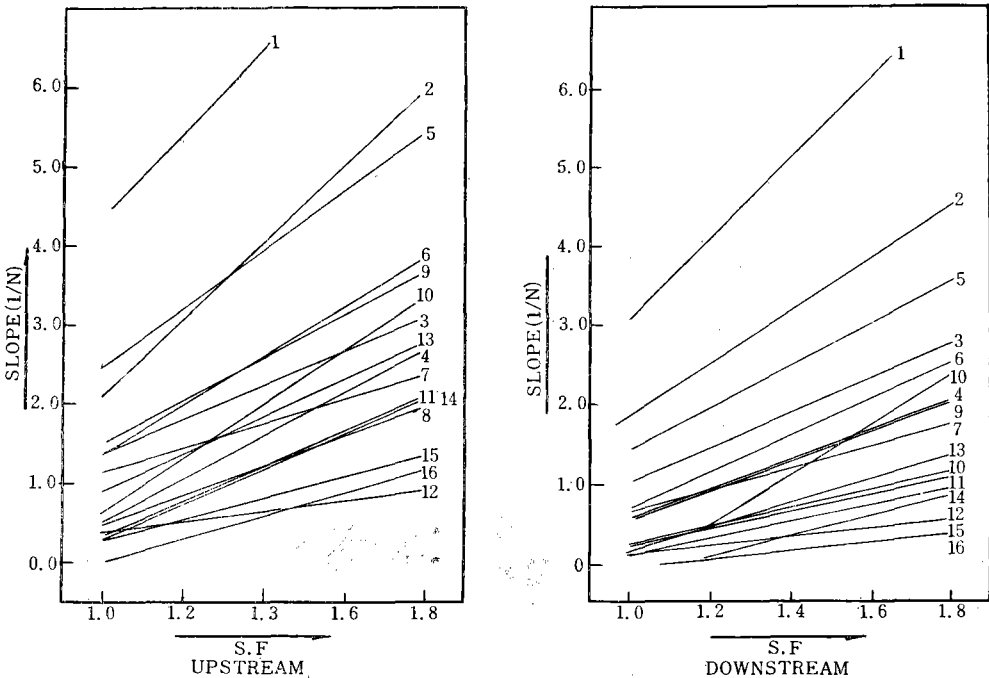


Fig. 5-2. Relationship between side slope and safety factor (H=20.0M)

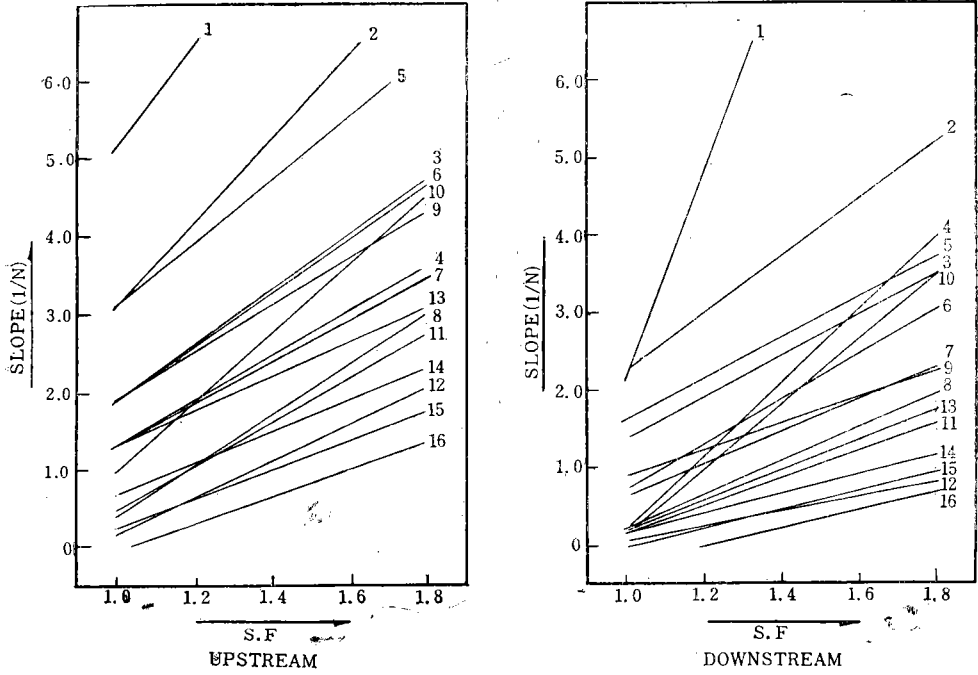


Fig. 5-3. Relationship between side slope and safety factor(H=25.0M)

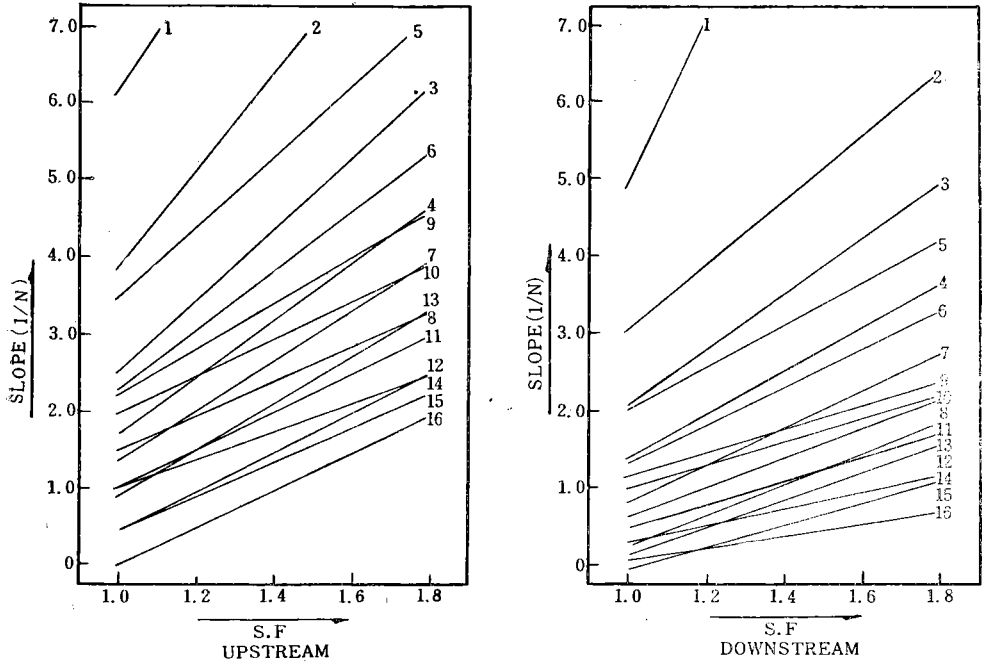


Fig. 5-4. Relationship between side slope and safety factor(H=30.0M)



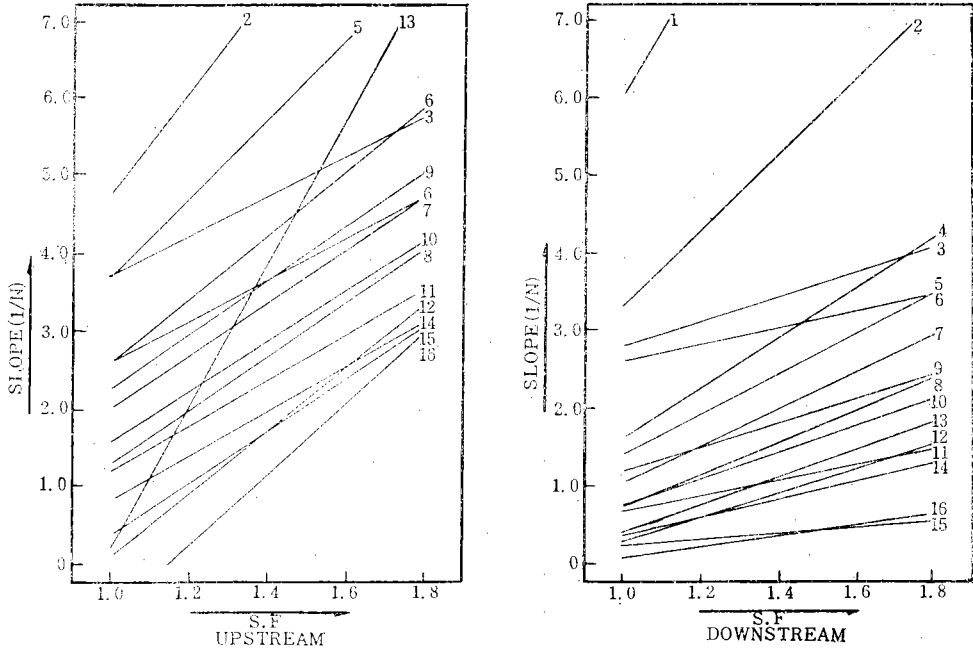


Fig. 5-5. Relationship between side slope and safety factor (H=35.0M)

Table-7. Side slope to embankment materials and dam height.

(S.F=1.20)

No	Soil Test		H=15M		H=20M		H=25M		H=30M		H=35M		Remarks
	( $\phi$ )	(kg/Cm <sup>2</sup> ) C	(1/N) U	(1/N) D	(1/N) U	(1/N) D	(1/N) U	(1/N) D	(1/N) U	(1/N) D	(1/N) U	(1/N) D	
1	5	0.25	4.02	3.22	5.44	4.20	6.50	4.80	7.78	6.96	9.19	7.90	
2	5	0.40	2.07	1.60	3.14	2.62	4.27	3.00	5.06	3.85	6.06	4.32	
3	5	0.55	1.13	0.89	1.76	1.43	2.64	1.86	3.45	2.75	4.22	3.15	
4	5	0.70	0.59	0.43	1.06	0.97	1.88	1.20	2.47	1.88	3.11	2.29	
5	15	0.25	2.48	1.56	3.45	2.00	3.89	2.20	4.36	2.48	4.66	2.80	
6	15	0.40	1.10	0.90	2.05	1.23	2.64	1.56	3.04	1.79	3.39	1.96	
7	15	0.55	0.60	0.40	1.42	0.92	1.83	1.12	2.31	1.31	2.67	1.52	
8	15	0.70	0.45	0.34	0.81	0.54	1.05	0.73	1.50	1.01	1.97	1.23	
9	25	0.25	1.50	0.80	2.07	0.99	2.52	1.25	2.76	1.42	2.97	1.50	
10	25	0.40	0.80	0.60	1.30	0.69	1.80	0.91	2.07	1.01	2.20	1.10	
11	25	0.55	0.43	0.35	0.77	0.45	1.06	0.58	1.46	0.67	0.60	0.81	
12	25	0.70	0.35	0.22	0.49	0.25	0.56	0.30	0.90	0.49	0.95	0.57	
13	35	0.25	1.02	0.40	1.35	0.50	1.75	0.59	1.90	0.74	2.09	0.76	
14	35	0.40	0.57	0.33	0.77	0.37	1.10	0.41	1.33	0.48	1.40	0.57	
15	35	0.55	0.29	0.24	0.54	0.25	0.60	0.27	0.80	0.29	0.90	0.36	
16	35	0.70	0.20	0.12	0.33	0.13	0.34	0.14	0.50	0.20	0.55	0.25	

나타났고 粘着力이 같은 값을 使用할 때에는 相異한 形態로 나타났다.

특히 內堤의 境遇 提高가 約 20.0~25.0M에서 各線들이 交叉하는 것을 볼 수 있으며 이것은 提高가

約 20.0~25.0M以下일 境遇는 内部摩擦角에 큰 材料보다 粘着力이 큰 材料를 使用하고 그 以上일 境遇엔 粘着力이 큰 材料보다 内部摩擦角이 큰 材料를 使用하는 것이 比斜面 기울기를 縮小시키는데 더

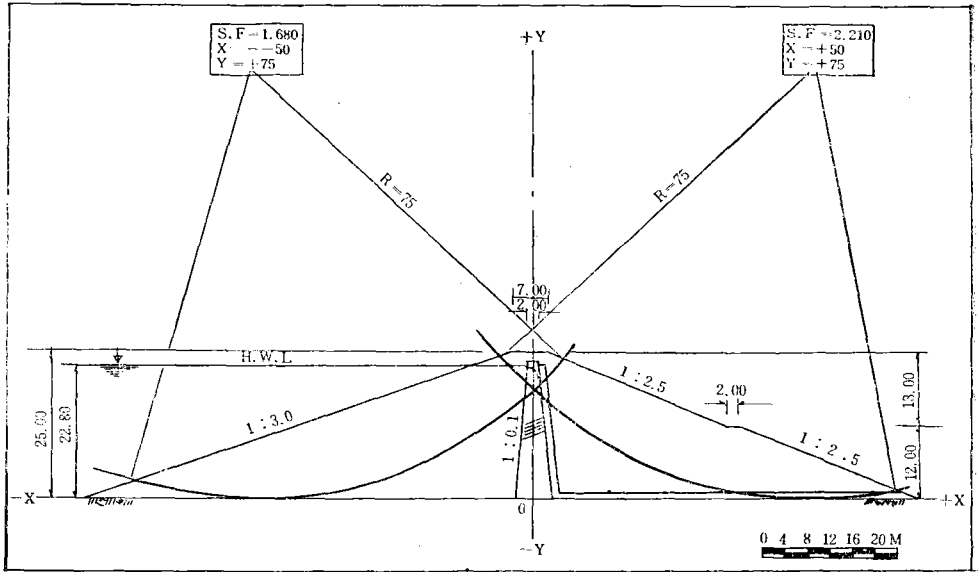
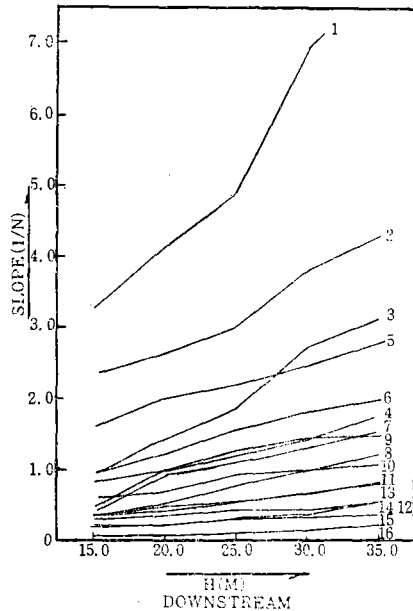
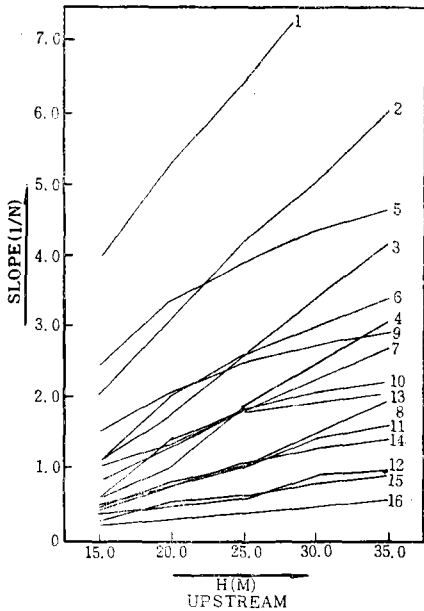


Fig. 6. Critical circle of dam



REMARKS		
NO.	$\phi$	C
1	5	0.25
2	5	0.40
3	5	0.55
4	5	0.70
5	15	0.25
6	15	0.40
7	15	0.55
8	15	0.70
9	25	0.25
10	25	0.40
11	25	0.55
12	25	0.70
13	35	0.25
14	35	0.40
15	35	0.55
16	35	0.70

Fig. 7. Relationship between dam height and side slope

속 效果의 임을 알 수 있었다.

이는 玉<sup>41)</sup>의 研究에서 堤高가 約 25.0M를 超過할 境遇 内部摩擦角이 큰 材料를 使用함이 經濟的인 Dam斷面이 된다고 하였고 本 研究에서는 堤高가 約 20.0~25.0M에서 이러한 現象이 나타났는데 이와 같은 結果는 높이 區分에서 玉은 10.0M 間隔으

로 區分하였고 本 研究에서는 5.0M 間隔으로 區分 한데 그 原因이 있다고 思料된다.

### 5. $\tan\phi$ 및 C와 비탈面 기울기와의 關係

$\tan\phi$  및 C와 비탈面 기울기와의 關係는 Fig.8 및 Fig.9와 같다

Fig.8에서 보는 바와 같이 一般의으로

$\text{Log}s = a \tan\phi + b$ 의 關係가 있었고,

Fig.9에서는 一般의으로

$\text{Log}s = a + b$ 의 關係가 있었으며

따라서

$\text{Log}s = f(\tan\phi, c)$ 임을 알 수 있었다.

이는 玉<sup>(1)</sup>과 類似한 形態를 보여주고 있다.

### 6. $\phi$ -C-H에 依한 비탈面 기울기 決定

$\tan\phi$  및 C는  $\text{Log}s$ 에 陰의 相關關係가 있었으므로 이 關係를 應用하여 비탈面 기울기를 決定할 수 있는 Fig.10을 考案할 수 있었다.

따라서 어떠한 盛土材料 일지라도  $\phi$ , C 및 H만 주어지면 Fig.10을 利用하여 Earth Dam의 비탈面

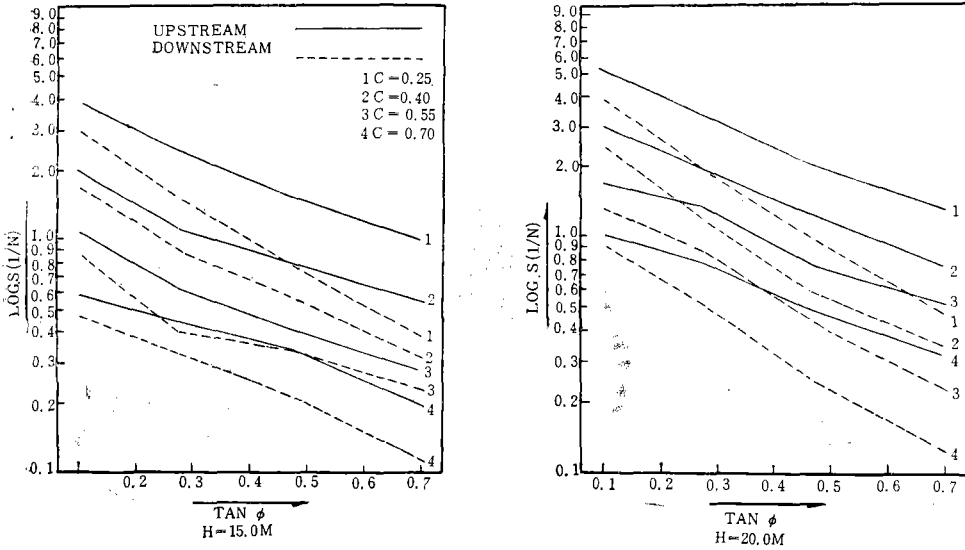


Fig. 8-1. Relationship between  $\tan\phi$  and side slope

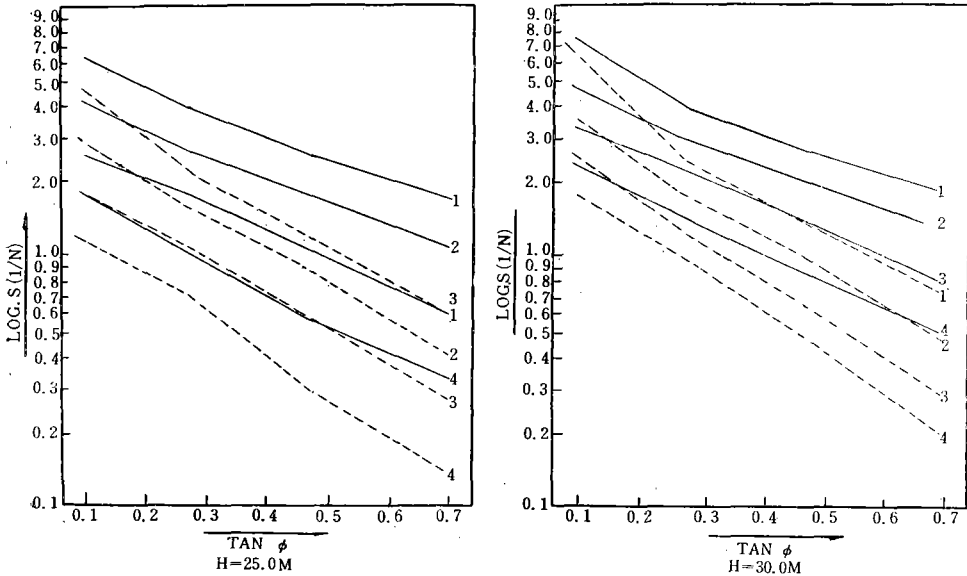


Fig. 8-2. Relationship between  $\tan\phi$  and side slope

기울기를 決定할 수 있다.

여기서 H의 變化에 따른 비탈면 기울기는 H의 比에 따라 比例로 計算된다.

V. 摘要

우리나라에서 앞으로 Earth Dam 建設에 築造될 全國 28個 地區의 土質試驗 成果를 選定하여 Fellenius의 分割法으로 電算 處理하고 그 結果를 應用하여 Earth Dam 비탈면 기울기 決定에 關해서 研究한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) Dam 斷面을 假定하여 試算法으로 決定하던 것을 Fig.10을 利用하여 簡便하게 決定할 수 있었다.

2) 內堤에서 堤高가 20.0~25.0M 以下인 境遇는 粘着力이 큰 材料를, 그 以上인 때에는 內部摩擦角이 큰 材料를 使用하는 것이 經濟的인 Dam 斷面이 됨을 알 수 있었다. (Fig.7)

3) 內部摩擦角이 같은 材料를 使用했을 때 비탈면 기울기의 增加는 거의 同一한 形態로 나타났다. (Fig.7)

4) 비탈면 기울기와 內部摩擦角과의 關係는 一般적으로  $\text{Log.S} = a \tan \phi + b$ 로 나타낼 수 있었다. (Fig.8)

5) 비탈면 기울기와 粘着力과의 關係는 一般적으로  $\text{Log.S} = a C + b$ 로 나타낼 수 있었다. (Fig.9)

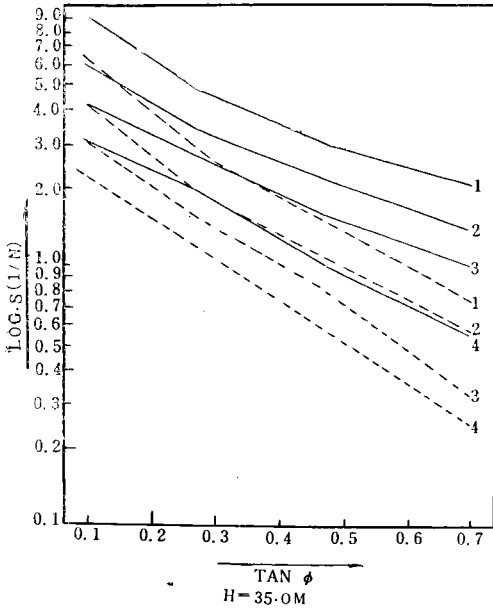


Fig. 8-3. Relationship between  $\tan \phi$  and side slope

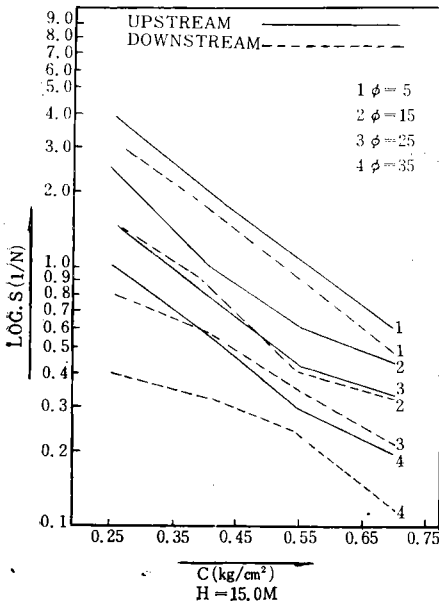
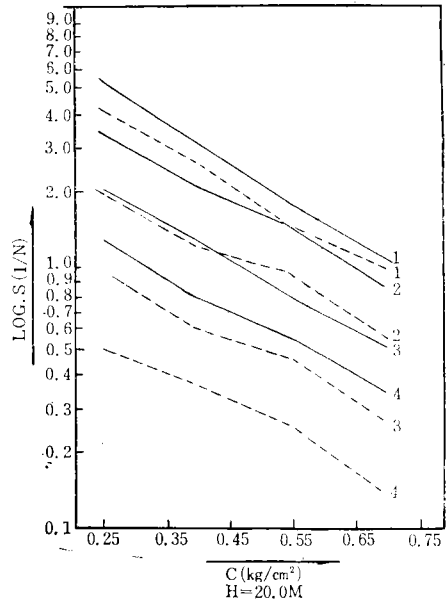


Fig. 9-1. Relationship between cohesion and side slope



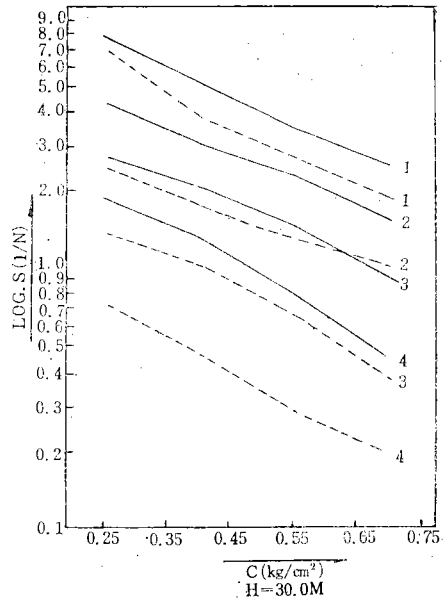
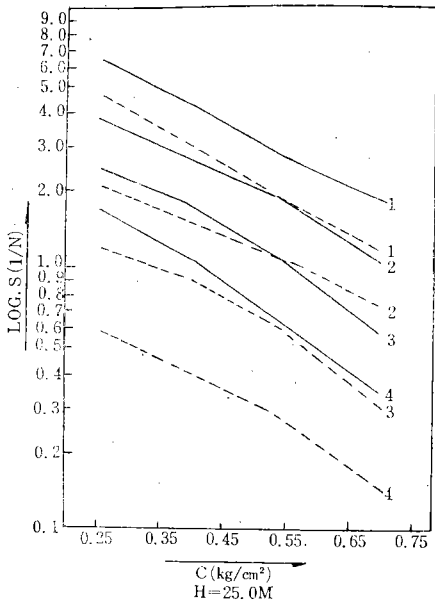


Fig. 9-2. Relationship between cohesion and side slope

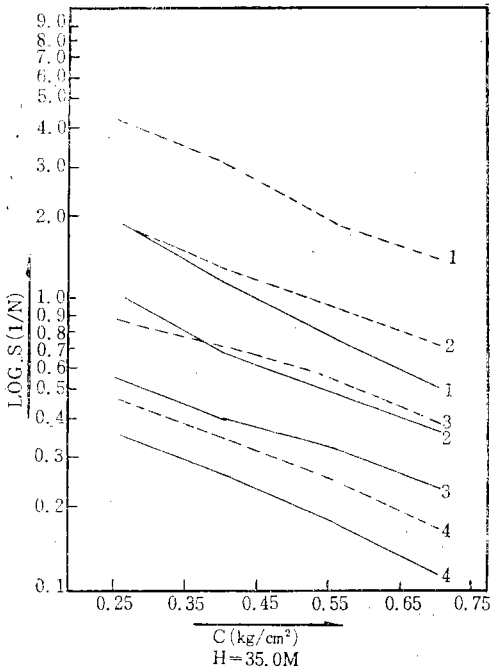


Fig. 9-3. Relationship between cohesion and side slope

6) 中心Core 材料의 變化에 따른 安全率의 變化는 微少하게 나타남을 알수 있었다. (Table-2)

7) 一定한 斷面에 單位重量만을 增加하였을 때 安全率은 內·外堤 모두 減少하였고 그 影響은 微少하였다. (Table-1)

8) 濕潤單位重量과 飽和單位重量은 一般의으로  $\gamma_{sat} = \sqrt{(\gamma_r)^2 + 0.140}$ 의 關係가 成立됨을 알수 있었다. (Fig.2)

本 研究는 Earth Dam의 計劃 및 設計時 經濟的이고 安全한 斷面 決定에 便利를 圖謀할 것으로 믿어지며 其他 構造인 堤防이나 一般 斜面의 計劃 및 設計에 參考가 될 것으로 思料된다.

끝으로 本 研究를 遂行함에 있어 많은 協助과 資料를 提供하여 주신 農業振興公社 設計部 및 試驗所 諸 職員께 深甚한 謝意를 表한다.

### 參 考 文 獻

1. Fellenius, W., "Calculation of Stability of Earth Dams", Trans, 2nd Congress on Large Dams(Washington), Vol. 4,1936, pp.445.
2. Taylor, D.W., Fundamental of Soil Mechanics, John Wiley & Scns, New York, 1948.

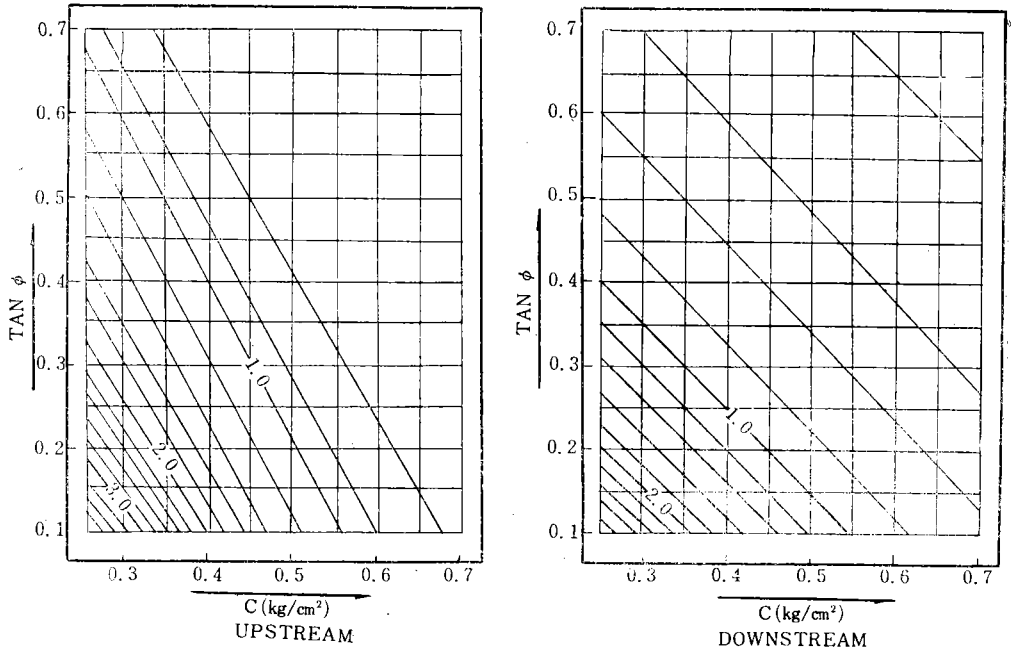


Fig. 10-1. Side slope determination by friction angle and cohesion(H=15.0M)

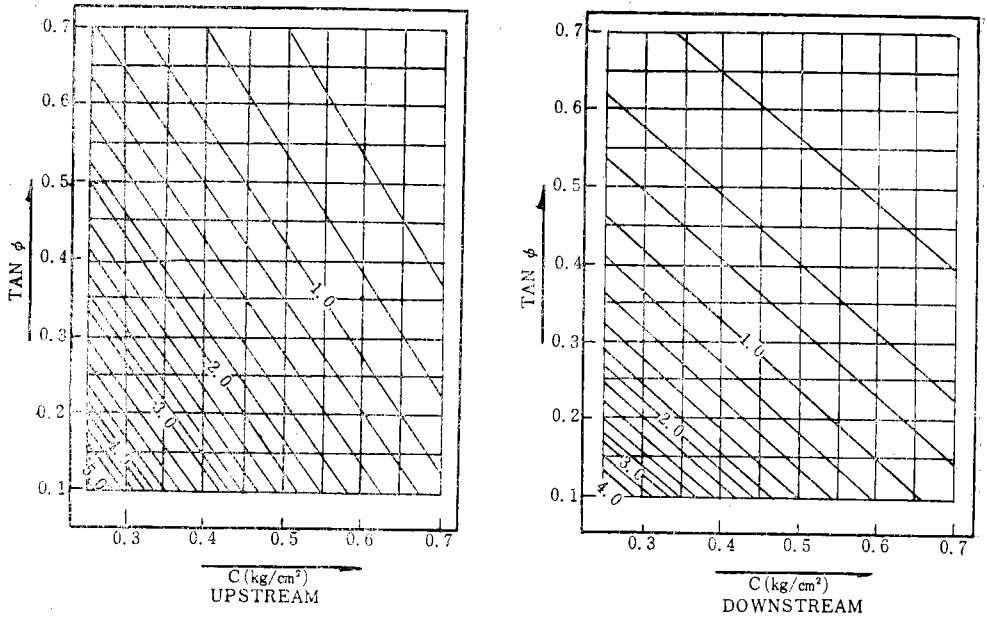


Fig. 10-2. Side slope determination by friction angle and cohesion(H=20.0M)

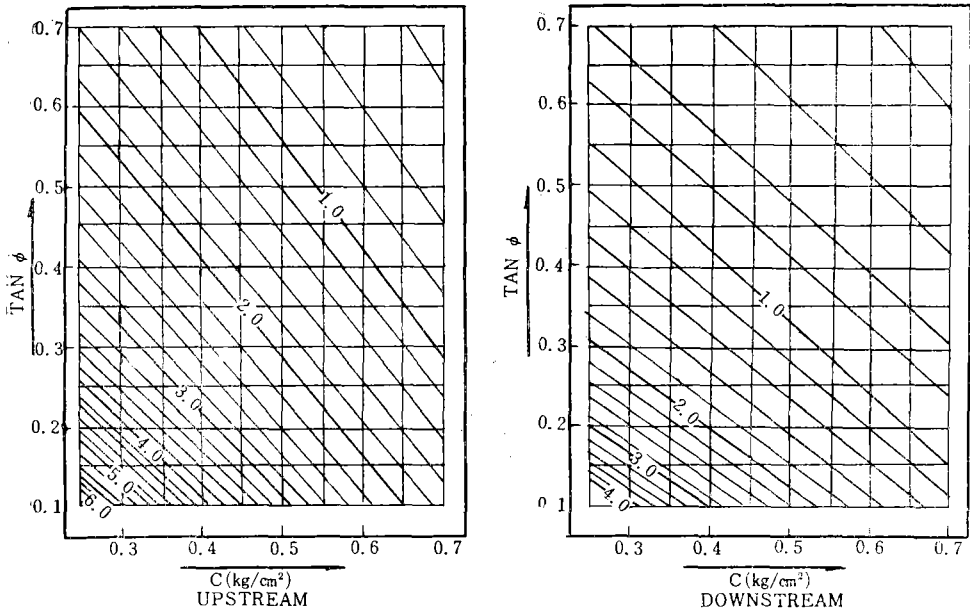


Fig. 10-3. Side slope determination by friction angle and cohesion(H=25.0M)

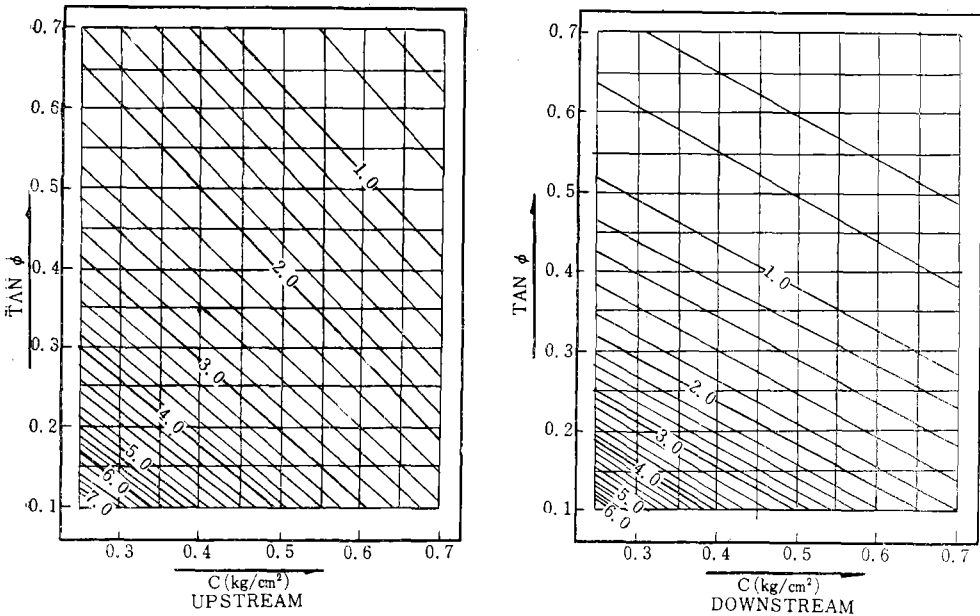


Fig. 10-4. Side Slope determination by friction angle and cohesion(H=30.0M)

3. Bishop, A. W., "The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes", Geotechnique, Vol. 5, No. 1, 1955, pp.7-17.  
 4. Bishop, A.W. and Bjerrum, L., "The Relev-

ance of the Triaxial Test to the Solution of the Stability Problem", Proc. ASCE Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder, Col., 1960, pp.437-501.  
 5. Bishop, A. W. and Morgenstern, N., "Stab-

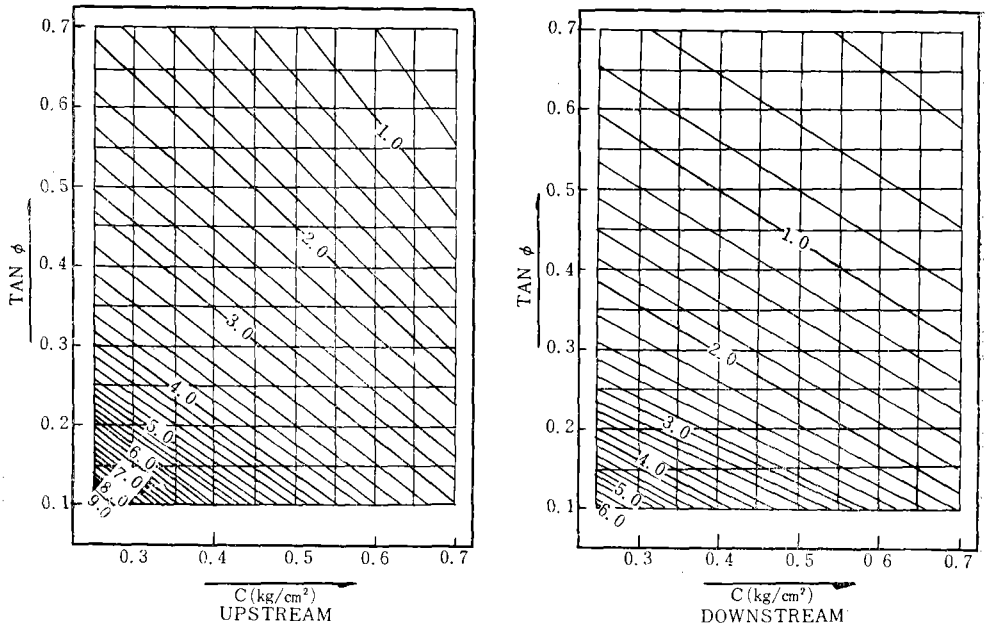


Fig. 10-5. Side slope determination by friction angle and cohesion (H=35.0M)

ility Coefficients for Earth Slopes”, *Geotechnique*, Vol. 10, No. 4, 1960, pp. 129–150.

6. Morgenstern, N., “Stability Charts for Earth Slopes during Rapid Drawdown”, *Geotechnique*, Vol. 13, No. 2, 1963, pp. 121–131.
7. Whitman, R. V. and Baily, W.A., “Use of Computers for Slope Stability Analysis”, *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, Vol. 93, No. SM4, 1967, pp. 475–498.
8. John Lowe, III, “Stability Analysis of Embankments”, *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, Vol. 93, NO. SM4, July 1967, pp. 9–33.
9. Wolfskill, L.A. and Lamb, T.W., “Slide in the Siburua Dam”, *Stability and Performance of Slopes and Embankments*, ASCE, 1969, pp. 125–151.
10. Sokolovski, V. V., *Statics of Granular Media*, Pergamon Press, London, 1965.
11. Edicott, L. J., Discussion, *Geotechnique*, Vol. 23, No. 1, 1973, pp. 137–139.
12. Tschebotarioff, G.P., *Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures*, McGraw-Hill, New York, 1951, pp.169–172.
13. Fang, F. Y. and Hirst, T.T., “Application of Plasticity Theory to Slope Stability Problems”, *Highway Research Record No. 323*, Highway Research Board, Washington, 1970, pp. 26–37.
14. Seed, H.B. and Sultan, H.A., “Stability Analysis for a Sloping Core Embankment”, *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, Vol. 93, No. SM4, 1967, pp.69–84.
15. Sultan, H.A. and Seed, H.B., “Stability of Sloping Core Earth Dams”, *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, Vol. 93, No. SM4, 1967, pp. 45–68.
16. Janbu, N., “Application of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis”, *Proc. European Conf. on Stability of Earth Slopes*, Stockholm, Vol. 3, 1954, pp. 43–49.
17. Sherard, J.L., Woodward, R. J., Gizienski, S.G. and Uevenger, W.A., *Earth and Earth Rock Dams*, John Wiley & Sons, New York, 1963, pp. 351–354.
18. Nonveiller, E., “The Stability Analysis of Slopes with a Slip Surface of General Shape”, *Proc. 6th ICSMFE*, Montreal, Vol. 2, 1965, pp. 525–552.
19. Bell, J.M., “Noncircular Sliding Surfaces” *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, Vol. 94,



- No. SM6, 1968, pp. 1253—1270.
20. Bell, J.M., "Noncircular sliding Surfaces", J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 95, No. SM3, 1969, pp. 829—844.
  21. Rendulic, I., "Ein Beitrag Zur Bestimmung der Gleitsicherheit", Bauing 16—19/20, 1935, pp. 230—233.
  22. Fröhlich, O.K., "The Factor of Safety with Respect to Sliding of a Mass Soil Along the Arc of a Logarithmic Spiral", Proc. of the 3rd Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Switzerland, Vol. 2, 1953, pp. 230—233.
  23. Jumikis, A.R., Stability Analysis of Soil-Foundation Systems, Engineering Research Publication No. 44, College of Engineering, Bureau of Engineering Research, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, 1965, pp. 34—47.
  24. 伊藤秀夫, "Brahtz의 方法にする 堤防의 安定解析 (1)", 土木技術, Vol. 16, No. 2, 1961. 2. pp. 5~9
  25. 伊藤秀夫, "Brahtz의 方法にする 堤防의 安定解析 (2)", 土木技術, Vol. 16, No 3, 1961. 3. pp. 16~22.
  26. 伊藤秀夫, "Brahtz의 方法にする 堤防의 安定解析 (3)", 土木技術, Vol. 16, No 4, 1961. 4. pp. 11~16. 31.
  27. Lumb, P., "Variability of Natural Soils", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 3, No. 2, May 1966, pp.74—97.
  28. Schultze, E., "Frequency Distributions and Correlations of Soil Properties", Statistics and Probability in civil Engineering, Hong Kong University Press, (Hong Kong International Conference), Distributed by Oxford University Press, London, 1972.
  29. Singh, A., "How Reliable is the Factor of Safety in Foundation Engineering?", International Conference of Statics and Probability in Civil Engineering, Hong Kong University Press, (Hong Kong International Conference), Distributed by Oxford University Press, London, 1972.
  30. Lumb, P., "Spatial Variability of Soil Properties", Proceedings of 2nd International Conference on Applications of Statistics and Probability in soil and strucral Engineering, Aachen, 1975.
  31. Lumb, P., "Safety Factors and the Probability Distribution of Soil Strength", Canadian Geotechnical Journal, 7, 1970, pp. 225—242.
  32. Harr, M.E., Foundations of Theoretical Soil Mechanics, McGraw-Hill, New York, 1966, pp. 184—198, 203—208.
  33. Craig, R.F., Soil Mechanics, Van Nonstrand Reinhold, New York, 1974, pp. 50—63.
  34. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Design of Small Dam, United States Government Printing office, Washington, 1977, pp. 254—239.
  35. Joseph E. Bowles, Foundation Analysis and Design, McGraw Hill, Second Edition, Tokyo, 1977, pp. 25—33.
  36. 日本 農業土木學會, 改訂四版 農業土木 ハンドブック, 東京:丸善株式會社, 昭和 54年, pp. 490~491.
  37. 日本 發電水力協會, 最新 フィノレダム工學, 東京, 昭和 47年, pp. 179.
  38. 尹在漢, 尹忠燮, "흙뎀 設計에 있어서 電子計算機利用事例", 韓國農工學會誌, 第15卷, 第四號, 1973. 12. pp. 57~71
  39. 金 翔圭, "圓弧滑動法에 依한 石築의 安定解析", 大韓土木學會誌, 第22卷, 第1號, 1974. 3. pp. 83~97
  40. 白 榮植, "斜面의 破壞可能性에 關한 研究", 大韓土木學會誌, 第26卷, 第5號, 1978. 12. pp. 67~70.
  41. 玉 致南, "흙뎀 비탈傾斜度의 決定에 關한 研究", 京亞大學校 大學院, 1980. 2. pp. 1~39.
  42. 農林部, 土地改良事業 計劃設計基準(흙뎀뎀), 서울, 1978. 12. pp. 100~152.
  43. 金 始源, 金 哲基, 羅 壽錫, 南宮 達, 閔 丙燮, 黃 垠, "農業水利造構學", 郷文社, 서울, 1976. 8. pp.29—127, 470~475.

[接受: 1981. 2. 13]