

土堰堤의 安定度

鄭 泰 正

概 說

現在 韓國에 構築된 堰堤로서는 灌溉用 上水道用 動力用等에 必要한 土堰堤 乃至 콘크리트 堰堤이고 그 大部分이 灌溉用으로 利用되는 土堰堤貯水池이며 또한 앞으로 經濟的인 條件과 其他 우리나라의 實情에 비추어 土堰堤의 增設이 不可避한 問題이므로 우리는 이에對한 科學的인 檢討를 加하여 所期의 目的을 가장 效果的으로 達成한다는 것은 極히 重要하고 時急한 課題일 줄로 안다.

從來의 踏習的인 方法에서 벗어나 綿密한 材料의 檢討를 하고 各種 物理的 條件을 考慮하여 設計된 土堰堤는 長期間의 安定狀態를 期할수 있고 不必要한 經費를 節約할수 있는 것이다. 여기에 材料의 強度試驗은 앞으로 韓國에 所要試驗 裝備가 導入되면 美國에서와 같이 實施할수 있을것이로되 于先 本題目이 指摘하는 範圍內에서 堰堤의 安定條件만을 다음과 같은 順序로써 Hinds, Creager, Justin 共著인 Engineering for Dam에 說明되어 있는 事項을 紹介하기로 한다.

- (1) 一般의 考察
- (2) 水壓에 對한 土堰堤의 安定度
- (3) 堰堤下流側水平剪斷力
- (4) 堰堤上流側水平剪斷力
- (5) 水平剪斷力에 對한 土堰堤安全率
- (6) 下流側水平剪斷力에 對한 安定
- (7) 急滲透에 對한 安定. 上流側 水平剪斷力
- (8) 勾配設計의 概略的인 方法
- (9) 概略基礎剪斷應壓力
- (10) 概略基礎剪斷 應壓力例題
- (11) 基礎剪斷力에 對한 概略安全率
- (12) 基礎剪斷力決定에 對한 彈性 理論.
- (13) 可塑性基礎剪斷力—Jürgenson 公式
- (14) 安定度分析의 瑞典式地球物理的方法
- (15) 傾斜下端을 통한 不安定面 危險圓 分析
- (16) 傾斜下端下部不安定面 危險圓分析
- (17) 切片危險圓分析例題
- (18) Taylor 安定度數

- (19) 危險圓分析簡略法
- (20) 上流勾配分析滲透條件

1. 一般의 考察

堰堤의 安定度는 安定된 位置에 靜止할수 있는 性質을 말한다 堰堤는 堰堤에 作用하는 모든 合力이 靜止狀態에 있을때 安全하다고 볼수 있다. 이러한 安定은 다음과 같은 程度의 差異가 있다. 卽 運動에 對抗하는 耐荷力이 運動을 招來하는 힘과 正確하게 均衡된다면 堰堤는 겨우 安定된 狀態에 있으며 그때의 安全率은 1 이다 이는 萬若에 作用力이 若干의 增加를 招來한 境遇에 均衡條件을 喪失하는 故로 매우 危險한 것이다. 反對로 萬若에 耐荷力과 作用力의 比率이 1.5라 하면 安全率은 1.5인 故로 이는 一般的으로 흙과 岩塊 構造物에 對하여 適合하다고 할것이다. 콘크리트나 鐵筋의 一般的인 安全率과 比較하여 土堰堤 設計에 許容할수 있다고 看做되는 安全率은 매우 낮다고 볼수 있다. 土堰堤設計에 있어서 許容安全率이 낮다는 理由로서는 다음과 같은 例證을 들수 있다.

a. 地盤材料強度에 對한 數値는 最小限度로 取할수 있으며 어떠한 失敗에 對備하기 爲한 強度는 通常 훨씬 이보다 크다.

b. 普通 安全率은 壓密 乃至 其他條件으로 因하여 時間의 經過와 더불어 增加되므로 元來 1.3 이었던 安全率이 終局에 가서는 2로 될 可能性이 있다.

c. 大體的으로 作用力은 되도록이면 크게 取하지만 事實上 假定數値보다 적게 된다.

그러므로 結果的으로 調査와 分析을 通하여 決定된 安全率은 通常 期待할수 있는 最小值가 된다는 確實한 證據를 얻게 되는 것이다.

Caulomb 과 Rankie 의 方法은 이미 모든 土木 技術者에게 널리 알려져 있는 故로 本論에서는 于先 土堰堤의 安定度를 決定하는 簡單하고 概略的인 方法을 紹介한다. 이러한 方法은 平面만을 取扱할뿐이며 또한 一般的으로 剪斷耐荷力이

比較的 적은 曲面이 있으므로 이러한 方法을 使用할때 所要 安全率이 2보다도 적으면 안된다 이러한 方法은 最初調査에 使用하는 것이 適合하나 얻게되는 結果는 後述하게 될 보다 精密한 方法에 依하여 安定度의 最後分析을 爲하여 檢討되어야 한다.

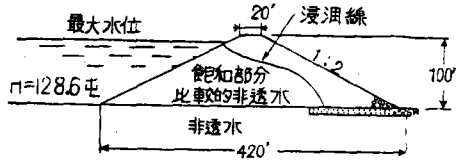


Fig1 安定度에 미치는 水壓의 影響
堰堤材料重量

飽和重量	137封度立方呎
乾燥重量	118封度立方呎
浸水重量	74.5封度立方呎
水重量	122封度立方呎

斷面積은 $\frac{20+420}{2} \times 100 = 22,000$ 平方呎

堰堤斷面의 1呎 넓이 有效重量은

$\frac{22,000 \times 91.1}{2,000} = 1,002.1$ 噸이고 1平方呎當

$\frac{1,002.1}{420} = 2.4$ 噸의 平均壓力을 갖게 된다.

堰堤의 構成된 材料의 $\tan\phi$ 는 0.3 그리고 粘着力을 無視하여 剪斷耐荷力을 $1,002.1 \times 0.3 = 300.6$ 噸 이라고 假定 하자

(注意; $\tan\phi$ 가 0.3보다 훨씬 적다고 할때 勾配는 그만큼 더 平坦해진다)

水壓은 上流 側面 勾配에 對해서 鉛直이어야 한다. 然而나 이 水壓의 水平分力은

$H = \frac{wh^2}{2} = \frac{62.5 \times 90 \times 90}{2} = 251,000$ 封度 = 122.5噸

故로 水壓에 基因된 水平剪斷力에 對한 安全率은 $\frac{300.6}{125.5} = 2.41$ 이다. 水壓에 基因된 平均剪斷力은

$\frac{125.5}{420} = 0.297$ 噸 (1呎當)

通常 土堰堤에 있어서의 水壓은 石礫堰堤에 있어서와 같이 上流側面에서 이루어진 것이 아니라 構造物을 通하는 全流路에 있어서 摩擦되어 消散된다.

3. 堰堤下流部面水平剪斷力

土堰堤의 任意標高에 있어서의 概略 水平剪斷應力決定法은 다음과 같다.

Fig 2에 있어서 어떠한 垂直面이 土堰堤橫斷面을 通하여 지나 갔다고 할때 于先 그 橫斷面의 下流部面만 考慮하기로 하자.

$w =$ 堰堤中央斷面 築堤材料의 平均單位重量

2. 水壓에 對한 土堰堤의 安定度

石礫堰堤設計에 있어서의 主要點은 水壓에 對하여 全的으로 安全을 期하여야 하지만 土堰堤는 水壓에 對한 그와같은 考慮를 하지 않아도 좋다. 이러한 理由는 下記 土堰堤設計 所要條件을 滿足하기만 하면 水壓에 對하여 安全하기때문이다.

(1) 溢流의 危險이 없도록 함 (即 充分한 餘水吐와 最高水面上 餘裕를 들것)

(2) 浸潤線은 下流側面下에 位置하도록 함

(3) 上流側面勾配(內法)은 急滲透水에 對하여 安全할것.

(4) 上流側面 및 下流側面 勾配는 充分히 平坦하여 堤防에 使用된 材料에 對하여 堅固하며 充分한 安全率을 갖도록 함.

(5) 基礎工에 適用된 剪斷應力이 適合한 安全率을 維持할수 있게끔 基礎工에 使用한 材料의 剪斷應力 보다 적을수 있도록 上流側面 및 下流側面勾配를 充分히 平坦히 하여야 함.

(6) 上流側面에서 下流側面으로 물이 隨時로 흘러 가지 않도록 함.

(7) 洪水水位에 到達했을때 堰堤의 上部 或은 下部로 흐르는 물이 적은 水壓과 速度를 갖게끔 하여 堰堤와 基礎工에 使用된 物質을 移動除去시키는 일이 없도록 함.

(8) 上流側面은 水波作用 또한 下流側面은 降雨作用으로 부터 保護되도록 함.

Fig 1에 例示한 그림은 이러한 條件을 說明하고 있다. 堰堤의 높이 100呎 勾配 1對2 그리고 最高水位는 飽和 및 浸水된 全斷面의 65%인 자리에 位置하고 있다. Fig 1에 나타난 諸元으로 부터 平均單位重量을 計算할수 있다.

飽和된 65%의 材料 $0.65 \times 74.5 = 48.5$ 封度 水分에 찬 35%의 材料 $0.35 \times 122 = 42.6$ 封度 斷面의 平均有效重量 91.1封度立方呎

w의 値를 求할려면 浸水(浮力) 單位重量으로서 浸潤線 아래에 나타난 材料의 높이 또한 濕氣와 乾燥單位重量으로서 堰堤中心에 있어서 浸潤線上部에 나타난 材料의 높이를 測定하여 그 平均을 取하면 된다.

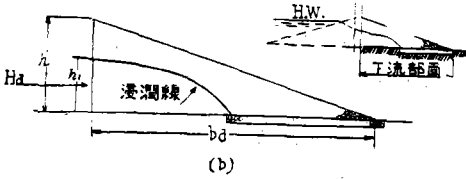


Fig2 堰堤下流部剪斷力

$W_1 = W \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)$ = 堰堤構成物質1立方呎에 該當되는 液體重量

$Ww = 1$ 立方呎當 62.5封度 = 물의 單位重量
 $h =$ 堰頂으로부터 該當 底面 或은 水平面까지의 垂直距離

$h_1 =$ 浸潤線으로 부터 該當 底面 或은 水平面까지의 垂直距離

$b_d =$ 堰頂으로부터 下流側底面까지의 水平距離

$S_d =$ 堰堤의 1呎幅에 對하여 堰堤를 통한 水平面上 堰堤底面 下流側 半部에 作用하는 平均單位 剪斷力

$S_{m,d} =$ 堰堤底面 下流側半部 或은 h 와 一致하는 堰堤를 통한 水平面上에 作用하는 最大單位剪斷力

$\phi =$ 堰堤內材料內部摩擦角

$H_d =$ Rankine 法에 따라 堰堤下流部에 作用하는 全水平剪斷力

以上과 같이 假定하면

$$\frac{Wwh_1^2}{2} = \text{水壓}$$

$$H_d = \frac{W_1 h^2}{2} + \frac{Wwh_1^2}{2}$$

$$H_d = \frac{W_1 h^2}{2} + \frac{Wwh_1^2}{2}$$

$$H_d = \frac{h^2 W \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)}{2} + \frac{Wwh_1^2}{2} \dots [1]$$

$$S_d = \frac{h^2 W \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)}{2b_d} + \frac{Wwh_1^2}{2b_d} \dots [2]$$

따라서 最大單位剪斷力은 平均値의 2倍이다. 故로

$$S_{m,d} = \frac{h^2 W \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)}{b_d} + \frac{Wwh_1^2}{b_d} \dots [3]$$

上記 [1] [2] [3]은 土堰堤下流側半部에만 直接 適用되는 公式이다.

4. 堰堤上流部面水平剪斷力

堰堤上流部面에 나타나는 最惡條件은 急激히 또는 瞬間적으로 물을 貯水槽밖으로 滲透케하는 것이다. 이러한 일이 이러나는 限 構造物에 支障을 招來할것이나 이러한 너무 過大視한 理論은 때때로 支持를 받지 못한다.

然而나 完全한 非滲透材料를 使用하면 假令 1週日에 7呎 程度 滲透함으로써 土堰堤上流部面에 招來되는 內部壓力은 瞬間적으로 10呎 滲透했을때 보다 별로 큰 差異를 이르지 않는다 萬若에 反對로 堰堤上流部面材料가 比較的 깨끗한 岩塊나 礫石이라면 貯水槽를 통하여 滲透되는 것이다. 또한 빨리 排水 되리라고 看做되는 것이다.

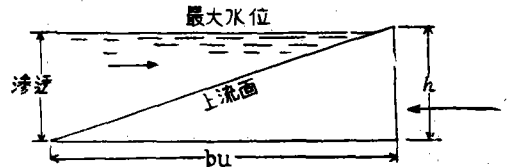


Fig3 急滲透時의 堰堤上流部面剪斷力

一般적으로 急滲透(Fig3)에 있어서는 堰堤上流部面은 滲透가 끝나자 곧 飽和되는 故로 剪力을 計算할때는 最大浸潤線以下の 모든 材料에 對하여 그飽和重量을 考慮適用하여야 한다. 反對로 剪斷耐力를 計算할때는 最大浸潤線以下の 모든 材料에 適用될 單位重量은 材料의 浸水(或은 浮力)單位重量이 될 것이다. 然而나 깨끗한 岩塊나 거치른 礫石은 그의 剪斷力과 耐荷力을 計算하는데 乾燥 및 濕氣單位重量을 取하면 된다.

$W_b =$ 堰堤上流部面 材料의 浸水單位重量

$W_s =$ 堰堤上流部面 材料의 飽和單位重量

$b_u =$ 堰頂에서 上流側底面까지의 水平距離

$H_u =$ 斷力堰堤上流部面에 作用하는 全水平 剪斷力

$S_u =$ 堰堤上流部面에 作用하는 平均單位剪斷力

$S_{m,u} =$ 堰堤上流部面에 作用하는 最大單位剪斷力

(h_1, h, Ww 에 對해서는 3項을 參照)

$$Hu = \frac{h^2 W w \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)}{2} + \frac{W w h_1^2}{2} \dots [4]$$

$$Su = \frac{h^2 W s \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)}{2bu} + \frac{W w h_1^2}{2bu} \dots [5]$$

最大單位剪斷力 $Smu = 2Su$

$$= \frac{b^2 W s \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)}{bu} + \frac{W w h_1^2}{bu} \dots [6]$$

最大單位剪斷應力の 位置는 甚한 誤差를 招來하지 않고 勾配面의 頂上으로 부터 그勾配 水平面乃至 該當底面과 交叉하는 點까지의 水平距離에 對하여 40%인 點에 取할수 있다.

5. 水平剪斷力에 對한 土壩堤安全率

Fig2에 있어서 土壩堤 下流部面에 作用하는 水平剪斷力에 對한 耐荷力은

$$Ra = Wed \times \tan\phi + cbd \dots [7]$$

但 Ra = 壩堤下流部面의 剪斷全耐荷力

We = 壩堤下流部面의 該當全重量

c = 粘着力

其他 記號는 3項 4項과 같다.

We 를 計算하기 爲하여 浸潤線以下 材料의 單位重量은 侵水單位重量(Wb)을 取하고 浸潤線上 或은 밖에 在어서는 乾燥單位重量을 取하여야 한다. 그리하여

$$Fa = \frac{Ra}{Ha} \dots [8]$$

但 Fa = 壩堤 下流部面 剪斷力에 對한 平均安全率

Ha = 3項에 在어서와 같이 壩堤 下流部面에 作用하는 全水平剪斷力

水平面은 一般的으로 가장 脆弱한 部分은 아닌 故로 [8] 公式은 完全한 設計에 要求되는 最小限度 2의 安全率을 갖게 되는 것이다.

壩堤上流部面에 在어서 急滲透가 가장 甚한것은 Fig3에서 보는바와 같다.

$$Ru = Weu \times \tan\phi + cbu$$

但 Ru = 壩堤上流部面의 剪斷全耐荷力

Weu = 壩堤上流部面의 全有效重量

Weu 를 計算하는데 在어서 浸潤線以下 壩堤上流部面의 材料 單位重量은 浸水(或은 浮力)單位重量을 取하되 거칠고 깨끗한 礫石은 單位 乾燥乃至 濕氣重量을 取한다 그리고 浸潤線以上에 恒常 在는 材料는 乾燥乃至 濕氣單位重量을 取한

다. 그리하여

$$Fu = \frac{Ru}{Hu} \dots [10]$$

公式 [10]에 在어서 Fu 는 壩堤上流部面의 水平剪斷力에 對한 平均安全率이다.

Fu 는 또한 急滲透에 對한 安全率이라고도 할수 있다. 一般的으로 水平面 보다도 若干 脆弱한 點이 在는 故로 公式 [10]에 表示한 安全率은 圓滿한 設計를 期하기 爲해서 적어도 2³이어야 한다.

6. 下流側水平剪斷力에 對한 安定 (例題)

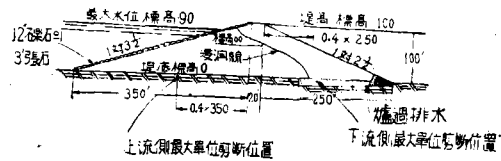


Fig4 水平剪斷力安全率決定假想設計

通常 어떠한 設計圖를 假想하여 所要의 條件을 滿足하는지를 分析하면 된다. 따라서 Fig4에 表示한 斷面을 가진 壩堤를 檢討해보기로 한다. 이는 6吋 張石中間에 쌓인 中粘土로서 만드러진 壩堤인 故로 比較的 簡單한 境遇이다. 上流側勾配(內法)는 1對 3¹/₂ 下流側勾配(外法)는 1對 2¹/₂이다. 堤高는 100呎이고 比較的 堅固하며 不滲透性 基礎地盤이다.

假定

壩堤材料空隙率 $e = 0.43$

或은 百分空隙率(隔孔率) $n = \frac{e}{1+e} = 0.30$

比重 = 2.65

立方呎當單位重量(乾燥) =

$$62.5 \times 2.65 \times (1 - 0.30) = 116 \text{ 封度立方呎}$$

$$\text{飽和時間隙內含水量 } 0.30 \times 62.5 = 18.8$$

$$\text{飽和單位重量 } 134.8$$

同一水量의 重量을 減하면 62.5封度立方呎立方呎當侵水 或은 浮力重量 72.3封度立方呎

立方呎當濕氣重量은 120封度立方呎이라고 假定한다.

剪斷力試驗은 주어진 密度 1乃至 立方呎當重量에 對하여 實施하였으며 c (單位粘着力)의 値는 너무 작어서 無視할수 있고 內部摩擦角은 26°라고 하면 $c = 0$ 이어서

$$\phi = 26^\circ \tan \phi = 0.488$$

첫째 公式 [1]에 對한 平均 W 를 求하고자 한다. 標高 60까지에 있어서 材料는 浸潤線以下에 있을때 72.3封度立方呎의 浸水(浮力) 單位重量을 가지게 될것이며 浸潤線以內 및 以외의 單位重量은 濕氣로써 120封度立方呎를 取한다.

$$W = \frac{40 \times 120 + 60 \times 72.3}{100} = 91.50 \text{ 封度立方呎}$$

(公式 [1]에 依하여)

$$Hd = \frac{10,000 \times 91.50 \tan^2(45^\circ - 13^\circ)}{2} + \frac{Wwh_1^2}{2}$$

$$45^\circ - 1/2\phi = 45^\circ - 13^\circ = 32^\circ$$

$$\tan 32^\circ = 0.625, \tan^2 32^\circ = 0.379$$

$$\frac{Wwh_1^2}{2} = \frac{62.5 \times 60 \times 60}{2} = 112,600 \text{ 封度}$$

$$Hd = 5,000 \times 91.50 \times 0.391 + 112,600 = 291,600 \text{ 封度} = 145.8 \text{ 吨}$$

이는 1呎幅當 水平剪斷力이며 堰堤 下流斷面을 下流側으로 移動케 하는 傾向을 가지고 있다 Fig5는 $W_1 = W \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)$ 를 求하는데 便利한 圖表이다.

다음 下流側耐荷力을 決定하고자 한다. 堰堤 下流部全面積은 $\frac{100 \times 250}{2} = 12,500$ 平方呎 이고 浸潤線以下는 $60 \times 100 \times 0.67 = 4,030$ 平方呎의 浸水 材料를 갖게 되니 8,470 平方呎의 濕氣材料의 殘留面積을 얻는다. 故로 幅의 呎當重量은

$$8,470 \times 120 \text{ 封度} = 1,017,000 \text{ 封度}$$

$$4030 \times 72.3 \text{ 封度} = \frac{291,000}{1,308,600 \text{ 封度}} = 654.3 \text{ 吨}$$

이되며

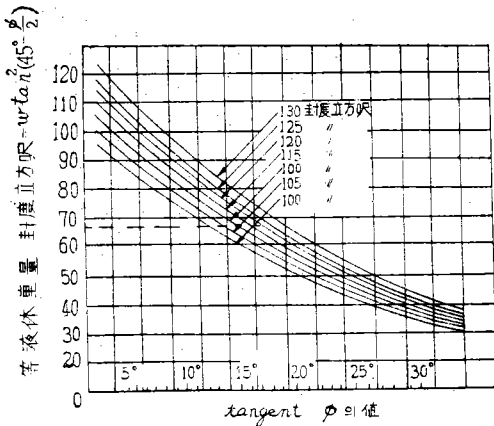


Fig5 各種摩擦角(ϕ)에 對한 該當液體重量을 表示한 曲線(Rankine 公式에서 液體重量 = $W \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)$ W는 立方呎當土 壤重量)

公式 [7]에서 下流側面運動에 對한 全耐荷力은

$$R_d = 654.3 \text{ 吨} \times 0.488 + 0$$

$$R_d = 314 \text{ 吨}$$

故로 下流側面剪斷力에 對한 平均 全面安全率은

$$Fd = \frac{314}{145.8} = 2.16$$

이는 이미 指摘한바와 같이 安全한 狀態가 되 겠다.

이제 最大剪斷力 作用點의 安全率을 檢討하면 公式 [2]를 適用하여 平均單位剪斷力은

$$\frac{145.8}{250} = 0.583 \text{ 吨平方呎이며 公式 [3]의 最大單位}$$

剪斷力은 $0.583 \times 2 = 1.17$ 吨平方呎임을 알수 있다

最大單位剪斷力의 作用點은 下流側勾配(外法) 頂上에서 約 0.4×250 呎이다. 最大剪斷力 作用點의 單位剪斷力은

$$60 \times 120 \tan \phi = 60 \times 120 \times 0.488 = 3,520 \text{ 封度,}$$

$$1.76 \text{ 吨 平方呎이고}$$

$$\text{最大剪斷力 作用點} = \frac{1.76}{1.17} = 1.51 \text{에 있어서의}$$

安全率 = $\frac{\text{作用點單位剪斷力}}{\text{最大單位剪斷力}}$ 이며 이는 最大剪斷力 作用點에 對하여 安全하다고 볼 수 있다.

7. 急滲透에 對한 安全과 上流側水平剪斷力

Fig 4에 表示된 斷面을 가진 堰堤에 있어서 貯水池內 물의 急滲透에 對한 堰堤上流部面의 安全率을 決定하는 方法을 論하기로 한다. 上流側面에는 有事時에 매우 有效하게 使用될수 있는 張石이 必要하지만 여기에서는 無視하기로 한다.

材料重量의 假定은 6項과 같다는 條件下에서 4項의 公式 [4]를 適用하면 全上流側剪斷應力은 다음과 같다.

$$W_s = 134.8 \text{ 封度立方呎}$$

$$Hu = \frac{10,000 \times 134.8 \tan^2(45^\circ - 1/2\phi)}{2} +$$

$$\frac{62.5 \times 60 \times 60}{2}$$

$$\phi = 26^\circ, 45^\circ - 1/2\phi = 45^\circ - 13^\circ = 32^\circ \tan^2 32^\circ = 0.391$$

$$Hu = 5,000 \times 134.8 \times 0.391 + 112,600$$

$$= 375,000 \text{ 封度} = 187.5 \text{ 吨}$$

側面傾斜上部의 9呎는 事實上 飽和되지 않았 음에도 不拘하고 完全한 狀態에 있는 것으로看 倣한것에 注意하여야 한다. 勿論 이는 安全한 側

에 屬하는 것이다. 이제 上述한 剪斷力에 對한 耐荷力을 決定하려고

堰堤上流部面積 = $\frac{350 \times 100}{2} = 17,500$ 平方呎인 故로 急滲透狀態에 있어서의 有效單位重量은 72.3 封度立方呎이며 이는 材料의 浸水單位重量이라고 볼수 있을 것이다.

$$\begin{aligned} \text{總有效重量} &= 17,500 \times 72.3 = 1,265,000 \text{ 封度} \\ &= 632.5 \text{ 屯} \end{aligned}$$

$$Ru = \text{全剪斷力} = 632.5 \times 0.488 = 309.0 \text{ 屯}$$

故로 急滲透에 對한 平均 全面安全率은

$$Fu = \frac{309}{187.5} = 1.65$$

即 이는 安全한 狀態라고 볼수 있다. 前述한 바와 같이 水平剪斷力에 對한 平均 全面 安全率은 이 方法을 擇했을때 적어도 2 이 어야만 하는 故로 다른 方法에 依하여 繼續的인 檢討를 하여야 한다.

堰堤上流部面의 最大單位剪斷力 作用點의 安全率을 이제 求하고자 한다. 公式 [5]에 따르는 平均單位剪斷力은 $\frac{187.5}{350} = 0.536$ 屯平方呎이고 公式 [6]에 依하여 最大單位剪斷力은 이것의 2배가 되어 1.07 屯平方呎이 된다. 前述한바와 같이 最大剪斷力의 作用點은 大略 堰頂에서 傾斜 下端까지의 水平距離의 0.4 되는 地點이다.

이 點에 있어서의 單位剪斷力은

$$60 \times 72.3 \times 0.488 = 2,120 = 1,060 \text{ 屯平方呎이다.}$$

$$\text{最大剪斷力作用點의 安全率} = \frac{1.06}{1.07} = 0.99$$

最大剪斷力의 作用點에 있어서의 安全率이 알아도 合理的이라고 보는데 이는 그點에 있어서의 安全率이 單位率보다 적은 境遇에 全面的 安全率이 實際적으로 單位率을 超過하는 限 若干의 運動을 招來하여 應壓力이 其他의 地點으로 轉換하기 때문이다.

8. 勾配設計의 大略的인 方法

萬若에 3項에서 7項까지의 計算方法을 採擇하여 下流或은 上流側面勾配에 對한 全面安全率이 2 보다 훨씬 적고 또한 最大剪斷力 作用點의 安全率이 1.5 보다 훨씬 적다면 勾配는 더 平坦하여야 하고 安定度를 다시 計算하여야 한다.

前例에 있어서도 粘着力을 無視하였는데 萬若에 이를 必要에 따라 考慮하여야만 한다면 若干 修正된 ϕ 의 值를 $\tan^2(45^\circ - \frac{1}{2}\phi)$ 에 適用하면

된다. Fig 5에서 同一液體重量 $w_1 = w \tan^2(45^\circ - \frac{1}{2}\phi)$ 를 直接 求할수 있는 故로 前記問題를 包含한 計算을 하는데 便利하다. w_1 을 決定하기 爲한 ϕ 의 修正值는 9項을 參照하면 된다.

最大單位剪斷力의 位置는 이러한 計算에 依하는 限 實驗值에 依하여 判斷된다. 事實上 이것은 寫眞彈性決定法 乃至 其他計算方法과 實際的으로 一致되는 것이다. 最大單位剪斷力이 平均值的 2 倍로 된다는 假定은 三角荷重의 單純彈性理論에 依據한 것이다. 寫眞彈性法에 依하면 이는 比率 $\frac{\text{最大單位剪斷力}}{\text{平均單位剪斷力}}$ 이 1.4인 模型實驗에 있어서와 같이 合理的인 假定이라 볼수 있다.

前記 土堰堤勾配安定度를 分析하는 概略的인 方法은 簡便迅速하고 또한 다른 適合한 方法으로 얻은 結果와 잘 合致된다. 이는 堰堤의 어느 水平面에 있어서도 適用된다.

9. 基礎剪斷應壓力의 概略

土壤材料가 그 材料自體와 同一한 剪斷力을 갖게 될 同一液體單位重量을 갖는다는 假定은 이미 前項에서 利用되었다. 이제 이러한 假定이 基礎剪斷應壓力를 概略的으로 求하는데 適用되는 것이다.

거치른 모래 자갈 또는 完全히 壓密된 沈泥 或은 粘土로서 構成된 基礎는 通常 큰 剪斷力을 갖지만 纖細하고 무른 材料나 或은 壓密되지 않은 粘土는 剪斷力에 缺陷이 있으며 完全한 檢討를 하지 않으면 안된다.

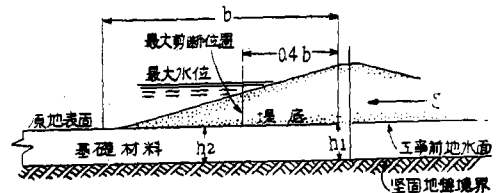


Fig 6. 堰堤基礎剪斷力의 概略

Fig 6에서는 다음과 같은 安定度를 갖인 基礎 위에 構築한 土堰堤의 折半 斷面 만을 表示하고 있다.

$$S = \frac{(h_1 - h_2)^2}{2} w \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \dots\dots [11]$$

S = 堅固層境界線까지의 總水平剪斷力

h_1 = 堰上에서 重疊材料와 比較하여 剪斷力이 큰 岩層 또는 砂礫地層과 같은 堅固層境

界線까지의 水平距離

h_2 = 堰底(原來地表面)에서 堅固層 境界線까지의 垂直距離

b = 勾配頂上에서 勾配下端까지의 底面에 沿하는 水平距離

w = 實際條件下에서 材料의 當有重量

堰堤의 基礎材料 單位重量은 同一하다고 假定한다. 萬若에 다르던 그들의 깊이에 比例하여 測定한 平均重量을 擇하면 된다.

ϕ_1 = 다음과 같이 決定되는 內部 摩擦角의 相等角度

$$\tan \phi_1 = \frac{c + w h_1 \tan \phi}{w h_1} \dots\dots\dots [12]$$

여기에서 c 는 決定된 粘着力 或은 封度平方呎으로 表示한 非荷重剪斷力이고 ϕ 는 試驗에 依하여 決定되는 內部摩擦角이다. $\tan \phi_1$ 을 決定하면 ϕ_1 의 値는 Fig 5 或은 「正切眞數表」에서 求할수 있는 것이다.

前記 S 는 全水平基礎剪斷力인 故로 平均單位剪斷力은

$$S_a = \frac{S}{b} \dots\dots\dots [13]$$

여기에 S_a = 平方呎當 平均水平基礎剪斷力

S = 平方呎當 全水平剪斷力

b = 勾配頂上에서 下端까지의 水平距離

最大單位剪斷力은 實質的으로 寫眞彈力分折法으로 調査할수 있었는데 다음과 같은 關係式으로 알수 있다.

$$S_{max} = 1.4 S_a$$

여기에 S_{max} 는 基礎平方呎當 最大剪斷力이다.

最大 水平單位剪斷力の 位置를 알려면 傾斜面 上部에서 $0.4b$ 인 點을 取하면 된다. 이것은 寫眞彈力模型試驗으로서 그 位置를 밝히는데 無妨한 概略的인 方法임을 알수 있다.

10. 概略的基礎剪斷應壓力(例)

Fig 9 과 公式(11)의 各種該當事項에 數值를 假定함으로써 概略的인 剪斷應壓力를 計算하고 11項에서 論하는 基礎安全率을 決定하고자 한다.

Fig 6의 堰高는 100呎 이라고 하자.

- $h_1 = 160$ 呎
- $h_2 = 60$ 呎
- $b = 400$ 呎
- $w = 120$ 呎

$$\phi = 17^\circ$$

$$\tan \phi = 0.306$$

$$c = 0.20 \text{ 吨平方呎} = 400 \text{ 封度平方呎}$$

公式 [12]에서

$$\tan \phi_1 = \frac{400 + (160 \times 120 \times 0.306 \times 0.306)}{160 \times 20} = 0.326$$

Fig 5에서 $\phi_1 = 18^\circ$ 이고 $w = 120$ 封度立方呎 및 $\tan \phi_1 = 0.326$ 에 對한 $w \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$ 의 値는 63.5封度(同一液體單位重量)임을 알수 있다.

公式 [11]에서 b (Fig 6)에 沿하는 基礎全剪斷力은 $S = \frac{160^2 - 60^2}{2} \times 63.5 = 698,500$ 封度 = 349.3 吨

이고 또한 公式 [13]에서 基礎平均單位剪斷力은 $S_a = \frac{349.3}{400} = 0.875$ 吨 平方呎

公式 [14]에 依據 最大單位剪斷力은

$$1.4 \times 0.875 = 1.23 \text{ 吨 平方呎이다.}$$

11. 基礎剪斷力에 對한 概略的 安全率(例)

本項에서는 常水位에 물이 이르기 前에 堰堤 完成時의 安全率을 論하기로 한다. 10項에서 주어진 c 와 ϕ 가 材料壓密時에 作用하는 値로써 基礎工事に 適用되는 것으로 假定하자 10項과 같은 例를 들어 堰堤가 完成된 即後의 基礎剪斷力에 對한 安全率을 決定하고자 한다.

W_1 이 材料의 有効單位重量일때 傾斜面下端의 基礎單位剪斷力은 $c + w_1 h_2 \tan \phi$ 이다 地下水位는 이 境遇에 地表面과 같다고 하면 浸水單位重量은 $120 - 62.5 = 57.5$ 封度立方呎이다. 勾配面 下端側의 單位剪斷力은 $400 + (60 + 57.5 \times 0.306) = 1,455$ 封度 = 0.73吨平方呎이다.

勾配面上側 下部基礎工의 任意點에 있어서의

$$w_1 = \frac{60 \times 57.5 + 100 \times 120}{160} = 96.5 \text{ 封度立方呎이 된다.}$$

이 點에 있어서 剪斷力은

$$400 + (160 \times 96.5 \times 0.306) = 5,140 \text{ 封度} = 2.57 \text{ 吨立方呎}$$

平均單位剪斷力은 $\frac{0.73 + 2.57}{2} = 1.65$ 吨 平方呎이다.

基礎剪斷力에 對한 全面平均安全率은 $\frac{1.65}{0.875} = 1.9$ 이다.

(0.875吨平方呎는 10項에 依하여 基礎平均 單

位 剪斷力임)

勾配面上部에서 Fig 6의 0.4 b의 位置하고 있는 最大單位剪斷力의 作用點에 있어서 그 剪斷力에 對한 基礎安全率을 檢討하면 다음과 같다.

平均有效單位重量 w_1 은 $\frac{57.5+120}{2} = 88.8$ 封度立方呎이다. 이는 이點에 있어서 地下水位 아래로 60呎 地下水位 위로 60呎의 材料가 있는 까닭이다.

最大剪斷力이 作用하는 點의 單位剪斷力은 $C + wh \tan \phi$, $400 + (120 \times 88.8 \times 0.306) = 3,670$ 封度 = 1.84屯

最大剪斷力이 作用하는 點에 對한 安全率은 $\frac{1.84}{1.23} = 1.5$ 이고 이는 最大單位剪斷力이 作用하는 點에 對하여 安全하다고 볼수 있다.

最大單位剪斷力의 作用點에 있어서 1.0 보다도 적은 安全率을 가질수 있다고 看做되어야만 한다 그와같은 境遇에 이點에 있어서 局部運動이 있을 것이나 平均安全率이 單位率을 超過했을때는 耐荷力이 일어나고 이로써 安全을 維持하게 된다.

本項에서 取扱한 計算方法은 堰堤가 完成된 卽後 常水位에 물이 이르지 못했을때의 境遇에 適用된다. 물이 常水位에 이르면 새로운 條件下에서 設計分析과 關聯하여 再檢討만을 한다. 이리하여 剪斷力이 $C + w_1 h \tan \phi$ 인 堰堤上流部面과 基礎工에 있어서 滲透線下 모든 材料는 侵水單位重量으로써 取扱하여야만 한다. 또한 常水位에 물이 이르면 後에 堰堤上流部面의 安定을 檢討할 때 急滲透의 假定이 利用되어야만 한다. 3項에서 7項까지 그리고 10項과 11項의 原理를 適用하여 물이 常水位에 이르렀다는 假定下에서 基礎工의 安定을 決定하기 爲한 分析을 쉽게 할수 있다.

많은 境遇에 있어서 10項 및 11項에 있어서와 같이 堰堤가 完成된 때는 基礎安定에 對하여 가장 重要한 境遇이다.

이는 물이 常水位에 이르고 急滲透가 나타날 때까지 材料는 追加的인 壓密을 하게 됨으로써 內部摩擦角 ϕ 와 粘着力 c 의 增加를 招來하게 된다.

12. 基礎剪斷力을 決定하는 彈力理論

Lerzaghi, Jürgenson, Carothers, Timoshenko 其他 諸氏는 基礎應壓力에 關聯된 問題解決에 彈力理論을 適用하였다. 彈力理論과 더불어 應力과 歪力(運動)사이에서 比較的 決定的인 關係가 있으며 土壤이 彈力作用狀態에 있을때 應力은 歪力과 더불어 增加한다. 反對로 土壤이 可塑性狀態에 있을때 剪斷應壓力은 剪斷力에 이르렀고 歪力(運動)은 增加하며 應力은 常數로써 取扱된다.

堰堤勾配側面下에 있어서 의 基礎剪斷應力分布圖는 Fig 7에 表示되어 있다. Jürgenson 은 이 圖表에 對한 計算을 하는데 無限의 깊이를 가진 同一均質性 材料를 假定하였다. 여기에 平方呎當 最大荷重은 無限定의 距離에 나타나고 土堰堤에 있어서는 平方呎當最大荷重은 그것이 反對勾配頂上에 到着하기 前에 比較的 짧은 距離에 나타난다 所謂 段層荷重을 使用하는 理由는 三角荷重보다도 最大單位剪斷應力이 作用하는 것보다 近似한 眞 水平位置를 表示하게 되는 까닭이다. 그러므로 三角荷重에서 最大單位剪斷力은 堰堤中央線에 있으며 段層荷重에서는 勾配의 中央點(二勾配上端에서 下端까지 距離의 $\frac{1}{2}$)에 있다

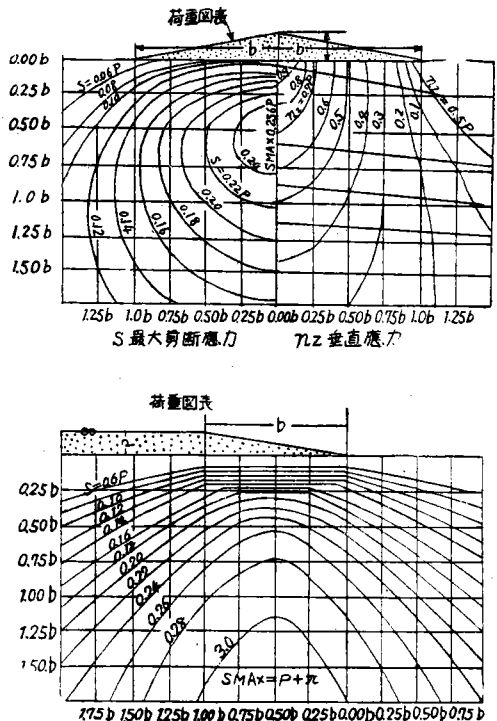


Fig 7. 無限으로 適用되는 同一均質性材料基礎의 最大剪斷應力應用分布圖

b = 勾配上端에서 下端까지의 呎單位水平距離
 p = 堰堤中央線基礎의 平方呎當荷重
 $\pi = 3.1416$
 S = 平方呎當剪斷力

a = 可塑性地層厚게의 $\frac{1}{2}$
 L = 構造物 底幅의 $\frac{1}{2}$

寫眞彈力試驗에 依하면 亦是 近似한 (0.4에서 0.5) 結果를 얻게 된다.

이리하여 Fig 7의 境遇는 많은 土堰堤 基礎工의 境遇와 恰似하다.

100呎 堰堤의 깊은 同一均質基礎의 安全率을 알고져 한다. 基礎材料는 粘着力이 없는 纖細한 泥土라고 하자 (Fig 7 參照) 安全率을 求하기 爲하여 基礎基準下 0.5b 되는 깊이의 平面을 擇한다. 其他 깊이에 있어서의 安全率도 亦是 計算 하여야 한다.

其他 假定으로 서는

$$\tan \phi = 0.4$$

材料의 單位有效重量 = 120 封度立方呎

堤高 = 100呎

傾斜面은 1對2 或은 b = 200呎

Fig 7에 에서 $\frac{1}{4}$ 地點인 0.5b에 있어서의 基礎單位剪斷力은 0.25 P 이고 또한 이때

$$S = 0.25 p = \frac{0.25 \times 100 \times 120}{2,000} =$$

1.5 屯平方呎이다.

이 點에 있어서의 單位剪斷力을 計算하는데 있어서 $\frac{1}{4}$ 地點 材料의 全體 깊이를 適用한다. 剪斷力 = 勾配中點 全體깊이 \times 單位重量 $\times \tan \phi = \frac{150 \times 120 \times 0.4}{2,000} = 0.36$ 屯平方呎 勾配面中點 및 基礎의 깊이에 該當되는 安全率은

$$0.5b = \frac{3.6}{1.5} = 2.26 \text{ 이다.}$$

最小基礎安全率을 決定하기 爲하여 몇가지 類似한 計算이 必要하다. 이 方法을 適用하는데 있어 이는 다만 無限의 깊이를 가진 同一均質基礎에 直接 該當되는 것이다.

13. 可塑性基礎剪斷力 — Jürgenson 公式

Jürgenson 은 三角橫斷面을 가진 土堰堤基礎上 可塑性材料의 概略의 剪斷應力을 求하는 簡單한 公式를 誘導하였다.

$$S = \frac{P_a}{L} \dots \dots \dots [15]$$

여기에 S = 最大單位剪斷力

P = 基礎可塑性材料의 最大單位壓力

이 公式은 簡單하다는 理由로 많이 使用된다. 이는 勿論 Jürgenson 이 假定한 條件에 對해서만 適用된다.

이 公式은 間或 事實과는 若間相異한 結果를 招來하지만 最初의 分析에 是 適合하다고 볼수있다. 著者의 意見으로서는 Jürgenson 公式은 두꺼운 可塑性材料 卽 $\frac{1}{2}L$ 보다도 두꺼운 材料에 使用하면 안된다고 본다. 可塑性基礎의 完全하고 最終的인 分析에 對해서는 寫眞彈力方法이 좋다.

Jürgenson 公式을 使用하는데 있어서는 材料가 過重한 應力을 받은 다음에 一般의 條件을 나타내는 것으로 看做되어야만 한다. 그때에 材料가 彈性狀態에서 可塑性 狀態로 돌아 가면 歪力은 常數로써 머뭇러 있으면서 運動이 繼續한다. 이러한 條件에서는 可塑性材料 全 面에 걸쳐서 單位應力은 同一하다.

14. 安定分析에 對한 瑞典式地球物理的方法

K. E Petterson 은 처음 1916年 瑞典 Göteborg 採石場壁의 不安定에 關聯하여 土壤不安定分析에 圓形方法을 使用했다. 瑞典國立委員會는 屢次의 不安定에 關한 研究를 하 다음 1922年에 報告書를 發表하여 大概의 이러한 分裂不安定線은 圓의 周圍를 따른다는 것을 指摘하였다. 그의 調査한 結果에 依하면 不安定線은 勾配下端의 위로 或은 그를 通하여 或은 그 아래로 지나간다는 것이다. 이러한 많은 圓의 孤들을 따라 作用하는 힘을 調査하여 봄으로서 剪斷力에 對하여 最低耐荷力을 주는 圓을 찾아 낼수 있다. 이 一般의 方法은 堰堤 勾配 또는 그 基礎安全率을 決定하는데 大略의 正確한 方法으로써 널리 認定되어 왔었다.

이 方法을 適用하는데 初期에 있어서 困難했던 點은 分析하여야 할 推測不安定圓 들이 매우 많았다는 것이다. 그 후에 W. Fellenius, Terzaghi, Gilboy, Casagrande, Taylor 其他 諸氏 들은 이 分析하는 方法을 發展시켜 그 結果로서 危險圓方法에 依한 勾配面과 堰堤基礎工 安定度의 圓滿한

分析을 하게 되며 이제는 더 以上 不合理 하거나 繁雜한 節次를 거치지않아도 좋게 되었다.

實質的으로 이 方法은 勾配面을 通하여 或은 傾斜面과 其礎面을 通하여 圓을 이루어 圓周에 따라 作用하는 中心에 나타난 모든 힘의 力率을 取하면 된다. 모든 힘은 그 지렛대(挺子)에 對하여 圓의 半徑을 갖는故로 半徑은 計算에 省略된다. 結果的으로 安全率을 求하는데 必要한 것은 圓周에 따르는 모든 耐荷力을 加하여 이 值를 圓周에 따라 運動을 招來케 하는 모든 힘의 總和로 나누면 된다.

15. 勾配面下端을 通한 不安定面 危險圓 分析

最危險圓을 找는데 必要한 切土量과 努力을 最小로하기 爲한 節次는 다음과 같다.

土堰堤 上流 或은 下流側面에 提示된 勾配를 알고 傾斜角 i 의 餘切을 自變數로서 使用하여 Fig 8을 適用, α 와 β 角에 相應하는 數值를 取한다.

이리하여 Fig 9에서 提示된 堰堤勾配는 1對3 이고 \cot 는 3.0이다. 그리하여 Fig 8에서 i 는 18.43° (或은 $18^\circ 26'$) 이 되고

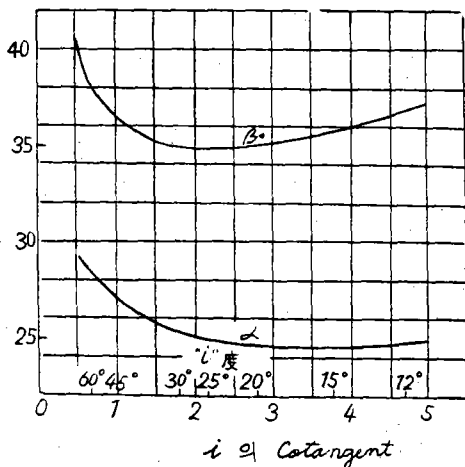
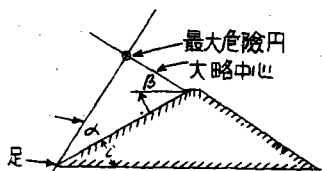


Fig 8 勾配面下端을 通한 最危險圓中心을 決定하는데 있어서 相異한 勾配에 對한 α 및 β 角度.

$\alpha = 25^\circ 00'$

$\beta = 35^\circ 00'$

이리하여 Fig와 같이 勾配面下端에서 α 角度를 이루고 勾配 上端 水平線上에서 β 角度를 이루도록 測設한다. 그리면 이 兩直線은 O에서 交叉하게 된다. 이 O를 中心으로 하여 AO의 半徑으로서 圓을 그린다. 이때 圓周과 堰堤外郭線에 둘러 쌓인 面積을 Fig9같이 몇개의 垂直線으로 切斷分割한다. 이 垂直切片은 되도록이면 同一한 幅을 갖도록 함이 좋다. 切斷片數는 5 보다 적으면 안되고 또한 12 以上으로 될 必要는 없다. 各 垂直切片의 面積과 有效重量이 決定되고 切片의 全 有效重量에 比例하는 垂直線을 重心으로부터 그린다. 圓周上에서의 이 重量은 垂直 및 切線分力으로 分解된다. 이러한 過程이 모든 垂直切片에 對하여 行하여 진다.

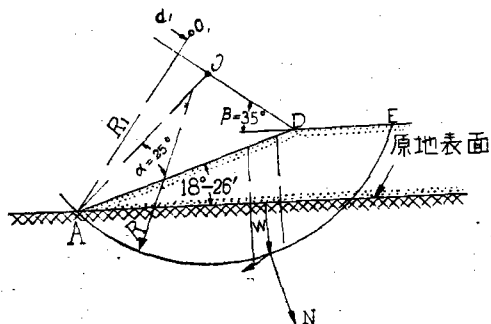


Fig 9. 危險圓이 勾配面下端을 通過할때의 分析方法

다음 段階는 各切片의 모든 切線分力(或은 T分力이라고도 함)을 加한다. 이때 符號에 對하여 注意하여야 한다. 그리고 또한 모든 垂直分力을 加한다.

ΣT = 圓周에 沿한 運動을 일으키는 힘(剪斷). 運動을 阻止하는 힘은

$\Sigma N \tan \phi + Lc$ 이고 이는 孤 AE에 따르는 材料의 全剪斷力이다.

ΣT 는 運動을 일으키는 切線分力의 總和

ΣN 은 모든 切片에 對한 垂直分力

ϕ 은 試驗에 依하여 決定된 材料의 內部摩擦角

L은 堰堤를 交切하는 孤 AE의 길이

C는 平方呎當 粘着力

Fs는 調査中에 있는 圓弧에 沿한 剪斷力의 不安定에 對한 安全率

$$F_s = \frac{\sum N \tan \phi + Lc}{\sum T} \dots \dots \dots [17]$$

萬若에 圓滿한 安全率을 얻었다고 할때 이는 다만 剪斷不安定이 假定한 圓에 沿하여서 만은 일어나지 않으리라고 推測되지만 現在 調查中에 있는 圓이 가장 危險한 것으로 알려져 있지 않은 限 어떠한 다른 圓周上에서 不安定狀態가 招來될지 모른다. 그러므로 많은 圓을 그려보고 또한 分析해 보아야만 한다.

勾配面下端을 通過하는 追加 試行圓의 中心을 求하기 爲하여 다음과 같이 하면 된다.

Fig 9에서 OD線을 위로 延長하여 一 直線에 對하여 鉛直이 되고 또한 O_{d1} 이 $\frac{1}{2}OD$ 보다 크지 않고 O_{d1} 은 大略 $\frac{1}{3}O_{d1}$ 과 相等하도록 할때 O_1 은 半徑 R_1 을 가진 새로운 試行危險圓의 中心이 되는것이다.

이 새로운 圓은 前述한바와 같이 分析하고 安全率을 決定한다. 이러한 節次를 圓이 最低安全率을 나타낼때까지 反復한다.

주어진 條件中에서 最後의 圓이 勾配面下端을 通過하는 境遇가 가장 危險하다고 볼수 있다. 堰堤基礎가 그 堰堤自體와 同一한 或은 보다 적은 剪斷力을 가지고 있다고 假定한다면 勾配面의 下端을 通過하지 않은 더 危險한 다른 圓이 있을수 있는 것이다. 試行圓의 中心을 고르는데 너무 過度하게 原則에만 執着할것이 아니다. 16項은 이러한 圓의 中心을 찾는데 도움이 되는 方法이다.

16. 勾配面 下端下部에 있어서의 不安定面의 危險圓分析

理論上으로는 萬若에 堰堤와 基礎材料가 全的으로 同一한 境遇에 如何한 實用的土堰堤勾配面이라 할지라도 勾配面下端下部의 最危險不安定面을 가질수 있다.

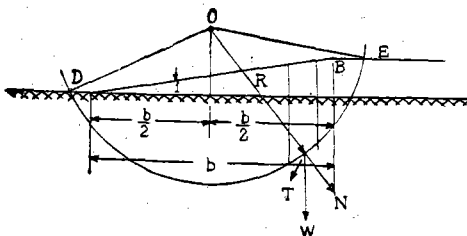


Fig 10. 危險圓이 勾配面下端下部를 通過時 分析方法

Fellenius는 이러한 境遇에 Fig 10의 O에 交叉한 角이 約 133.5°임을 發見하였다. 勾配面下端下部의 最危險圓을 求하기 爲하여 다음과 같은 方法에 따른다.

萬若에 堰堤勾配面이 Fig 10에 表示된 바와 같다고 할때 于先 勾配中點에서 垂線을 세운다. 이 垂線上에 最初試行危險의 中心 O가 位置하게 된다. 試行圓을 그리기 爲하여 堰堤와 基礎表面에 圓이 交叉되도록 하는 2個의 半徑사이의 角 133.5°를 利用한다. 最初試驗危險圓을 그린 다음 分析하는 方法은 14, 15項과 같다.

最初危險圓을 分析하면 이어서 試行中心이 左側으로 若干 移動되고 半徑은 짧아져 새로운 試行圓을 그려서 14項과같이 分析하면 試行危險追加中心을 求하게 됨으로써 이렇게하여 얻은 圓은 14項에 論한바에따라 分析하게 되는 것이다. 많은 圓이 分析된 다음에 그의 計算된 安全率을 表記하여 比較한다. 最低安全率을 表示하는 圓은 最危險圓이다.

前述한 方法은 全的으로 同一材料에만 直接適用되는 것이나 圓滿한 判斷을 期한다면 同一材料로 構成되지 않은 堰堤와 基礎에 充分한 精密度와 더부러 適用된다.

17. 切片危險圓의 分析例題

Fig 11에 있어서 非飽和土堰堤의 下流勾配分析에 關한 簡單한 例題를 表示하고 있다. 構造物은 同質로서 110封度立方呎의 有效重量을 가진 泥土이며 堰高는 62.5呎 勾配는 1對3이다. 그 材料內部摩擦角 ϕ 는 30°이며 $\tan \phi$ 는 0.58이다. 그리고 50封度平方呎에 이르는 若干의 粘着力이 있다.

Fig 11의 危險圓中心은 15項 16項에 明示한 方法으로 求한다. 圓위의 面積은 小切片面積으로 分割되었다. 이 切片이 同一한 幅이어야만할 必要는 없으나 Fig 11에서와 같이 幅이 같으면 便利하다. 이 境遇에 9個의 切片으로 나누어 每幅을 20呎로 하였다. 卽 第6切片에서 그 切片重量은 $28 \times 20 \times 10 = 6,160$ 封度 = 6.16 깊이다. 이 重量은 切片의 重心에 놓인것으로 看做할수 있으며 垂直分力 N와 切線分力 T로 分解하게 된다. 本例에 있어서와 같이 材料가 同質이라면 各切片重量은 切片깊이에 正比例한다. 그리하여 Fig 11

斷面	D 斷面깊이	D의 분力	
		T	N
1	5.0	- 0.8	5.0
2	15.5	- 1.0	15.0
3	21.5	+ 1.2	21.4
4	25.8	+ 4.2	25.3
5	28.0	+ 7.4	27.0
6	28.0	+11.0	26.0
7	25.0	+12.0	22.0
8	18.5	+11.5	15.3
9	7.0	+ 4.7	5.0

$\Sigma T = 50.2$ $\Sigma N = 162$
 切片重量 = $\Sigma D \times 20 \times 110 \#$
 ΣT 合力 = ΣT 分力 $\times 20 \times 110 \#$
 $= 50.2 \times 20 \times 110 \# = 110.5k$
 ΣN 分力 = ΣN 分力 $\times 20 \times 110 \#$
 $= 162 \times 20 \times 110 \# = 356k$
 安全率 = $\frac{\Sigma N \tan \phi + 粘着力}{\Sigma T}$
 $\frac{356k \times 0.58 + 10k}{110.0} = \frac{216.5}{110.5} = 1.96$

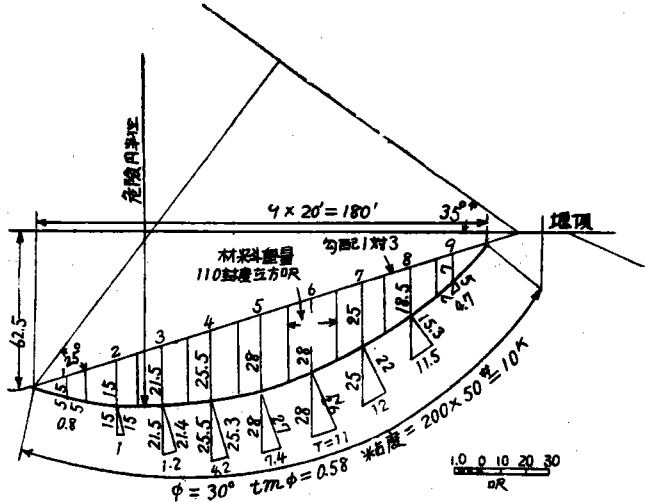


Fig 11. 切斷危險圓의 分析實例

數表에 따라 깊이 D로부터 N와 T 분力を 決定 함으로서 計算을 進行할수 있다. 또한 이 N과 T의 總和를 얻어 斷面幅과 重量을 乘하여 全 垂直 및 切線分力を 求한다.

運動에 對抗하는 힘은 모든 垂直分力を 加하고 여기에 tanφ를 乘하여 圓弧周邊에 萬若 粘着力이 있으면 이를 加함으로서 求할수 있다. 運動을 誘發하는 힘은 切線分力이다. 이는 Fig 11과 같이 累加하여 安全率은 1.96 이라고 決定된다. 數個의 相異材料가 包含되고 特히 滲透狀態를 考慮하여야만 할때는 이러한 分析은 더욱 複雜하다.

Fig 11은 飽和되지 않은 土堤의 下流部에 適用된다. 萬若에 飽和狀態에 있으면 다음과 같이 計算方法을 變更하면 된다.

- ① 浸潤線을 求한다.
- ② 押衝力을 求하는데 浸潤線下의 材料에 對해서는 飽和單位重量을 使用하고 浸潤線上 材料에 對해서는 乾燥或은 濕氣單位重量을 使用한다.
- ③ 耐荷力을 求하는데 浸潤線下 材料에 對해서는 浮力重力을 使用하고 浸潤線上 材料에 對해서는 乾燥 및 濕氣單位重量을 使用한다.

18. Taylor 安定度數

萬若에 勾配角과 盛土高와 材料의 立方呎當重

量, 內部摩擦角, 單位粘着力 등을 알면 安全率은 決定된다. 多少 繁雜한 安定度決定을 簡便히 하기 爲하여 Taylor는 廣範圍한 各種 勾配角과 內部摩擦角을 갖인 많은 勾配安定度를 安全度數라고 부르는 假想數值로써 表示하는 方法을 考案해 냈다.

$$m = \frac{C}{FwH} \dots \dots \dots [18]$$

但 $m = \text{Taylor 安定度數}$

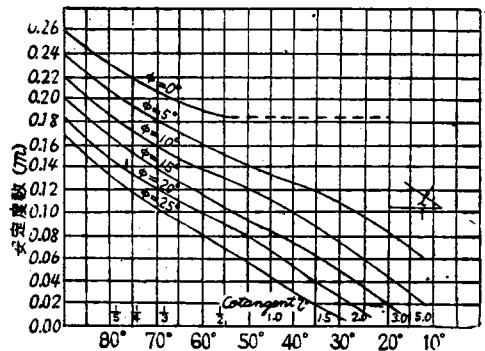


Fig 12. 各種 勾配 內部摩擦角에 對한 Taylor 安定度數

註記 : 이 曲線은 勾配 下端을 通過한 圓이고 i의 値는 53° 보다 적다 할찌라도 最危險圓은 勾配의 下端點을 通過한다. 然而나 이 曲線은 1對4 (i = 14°) 以下의 勾配를 가진 勾配面에 있어서는 極甚한 誤差없이 使用할수 있다.

C = 平方呎當封度單位粘着力
F = 安全率

ω = 立方呎當封度單位有效材料重量

H = 呎單位勾配高

移項하면

$$F = \frac{C}{M\omega H} \dots\dots\dots [19]$$

公式 [19]로써 設計問題解決에 도움이 되도록 適用하는 例를 들기 爲하여 다음과 같이 假定하기로 한다.

勾配는 1對 2 $\frac{1}{2}$

內部摩擦角 ϕ 은 15°

粘着力 C 는 750封度平方呎

材料의 立方呎當 有效重量 ω 는 120封度

H = 140呎

Fig 12를 使用하여 1 對 2 $\frac{1}{2}$ 勾配 卽 $\phi = 15^\circ$

에서 安全度數는 0.028 임을 안다. 故로

$$F = \frac{750}{0.028 \times 120 \times 140} = 1.6$$

이는 大部分의 境遇에 가장 圓滿한 安全率이다 다른變動이 없을때 材料의 有效單位重量이 적으면 적을수록 公式에 依하여 安全率은 그만큼 커져간다는 것을 알수 있다. 飽和는 安全率을 減少시킨다는 것이 確實한 故로 이 公式을 適用할 때는 操心 하여야 한다.

19. 危險圓分析 簡略法

數個危險圓을 分析하여야만 할때 切片法에 依한 普遍的인 方法은 매우 繁雜하다. 따라서 N. C. Courtney氏는 切片法으로써는 到底히 不可能한 短時間內에 할수있는 圖解簡略法을 研究하여 遜色없는 精密한 結果를 얻었다.

Fig 13은 堰堤下流面勾配를 通하는 斷面으로써 이 方法을 適用시킨 實例이다. 堰堤勾配에서 危險圓까지의 모든 垂直線은 幅이 無限히 적은 線狀材料의 重量(W)을 表示하고 이러한 位意의 垂直線의 垂直(N)및 切線(T)分力은 危險圓에 對하여 垂直및 切線方向의 힘의 分解를 表示한다. 萬若 全斷面에 걸친 모든 點에 對한 水平底面으로부터의 N 및 T 分力이 作圖한다고하면 그들의 末點을 連結하면 曲線을 얻게 되고 그 曲線下部面積은 各各 N 및 T 分力의 總和를 가르키게 된다 求積器 或은 其他의 方法으로 測定한 面積에 材料의 有效單位重量을 乘하면 特定圓上에 作用하는 全 N 및 T 分力이 되는 것이다. 內部摩擦角을

乘한 N 分力의 總和는 圓孤周邊에 作用하는 全耐荷摩擦力임을 알수 있다. 危險圓의 孤長에 따르는 材料粘着力의 數値는 N 分力에 依하여 計算된 摩擦力에 그것을 加하여 圓孤上에 作用하는 全剪斷耐荷力을 求할수있다. T分力의 總和는 材料가 圓孤에 따라 剪斷하려고 하는 全押衝力이 된다.

주어진 任意의 危險圓에 對한 安全率은 切片法에 있어서와 같이 다음公式에 依하여 求한다.

$$F_s = \frac{\sum N \tan \phi + LC}{\sum T} \dots\dots\dots [17]$$

但 F_s = 주어진 圓孤上의 剪斷力에 對한 安全率

\sum = 垂直分力의 總和

= 材料有效單位重量을 乘한 N 分力 曲線의 下部面積

$\tan \phi$ = 圓이 交切하는 部分材料의 內部摩擦角에 對한 正切

L = 圓孤長

C = 圓孤로서 交切된 部分材料의 平方呎當封度로서 表示한 單位 粘着力

$\sum T$ = 切線分力의 總和

= T 曲線下部面積에 材料의 單位有效重量을 乘한 值

이 方法은 N 및 T 分力이 各種 材料勾配 條件下에서 容易하게 作圖될수 있는 故로 如何한 複雜性을 띠은 境遇에도 適用된다. 簡單한 境遇에 이 方法을 適用시킨 例는 Fig 13을 參照하면 된다. 이 그림에 있어서 堰堤는 Fig 11과 同一하다 두 그림에 있어서 다만 하나의 差異는 分析方法 뿐이다. Fig 13의 簡略法에 依한 安全率은 1.97

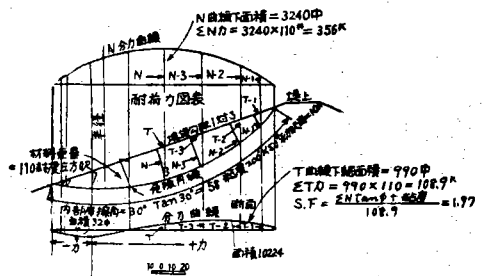


Fig 13. 危險圓의 分析簡略法

이고 Fig 11切片法에 依한 安全率은 1.96 이라는 것은 問題로 삼을 것이 못된다.

20. 上流勾配分析—滲透條件

堰堤의 上流勾配는 平常時 水壓의 影響을 받는다. 急滲透가 일어나면 이 水壓은 滲透水位 上部로 移動된다. 粗性材料는 通常 常水位 下部에서 侵水되나 滲透直後 이 粗性材料는 常水位가 下降함에 따라 곧 排水할수 있으니 濕氣를 包含하거나 或은 粗性物質自體의 自由로운 排水不可能으로 因하여 飽和되는 것이다.

滿水位狀態에서 上部堰堤勾配面의 安定度를 決定할때 任意危險圓上에 作用하는 耐荷 및 押衝力은 常水位上部에 있는 材料만을 除外하고 其他 侵水材料만을 基準으로 하여 計算한다. 萬若에 粗性材料가 깨끗한 岩塊乃至 거치른 石礫이어서 池水 降下에 따라 即時排水한다면 滲透部分耐荷 및 押衝力은 岩塊材料의 乾燥 및 濕氣重量에 對하여 計算된다.

萬若에 滲透部分의 粗性材料가 池水降下에 따라 即時 排水안되면 耐荷力은 水表面下 材料의 侵水重量 그리고 水表面上 材料의 乾燥重量에 對

하여 計算될 것이다. 押衝力은 水表面下 粗性材料의 飽和重量과 水表面上 乾燥重量에 對하여 計算될 것이다. 滲透水位下 材料는 侵水되고 滲透水位下 耐荷 및 押衝力은 材料의 侵水重量을 基準으로 하여 計算한다.

Fig 14는 標高 90에서 40까지의 普通池水로부터 急滲透된 岩塊材料 및 不滲透心壁을 가진 上流勾配의 實例이다.

N과 T面積을 둘러싼 曲線은 前項에서 說明한 바와 같이 作圖한다.

이 曲線下 面積은 岩塊材料에 對해서 該當滲透水位內에 있는바와 같이 이러한 水位上部 또는 內部에 있거나 或은 下部에 있는 N 및 T面積을 表示할수 있도록 分割된다. 여기에 나타난 例에서 粗性材料는 岩塊이며 排水하기 쉬운것이다. 耐荷力은 常水位上部 그리고 滲透水準面內部 岩塊材料의 乾燥重量을 取하여 計算한다. 細密한 計算을 함으로써 安全率을 決定하는 要領이 밝혀

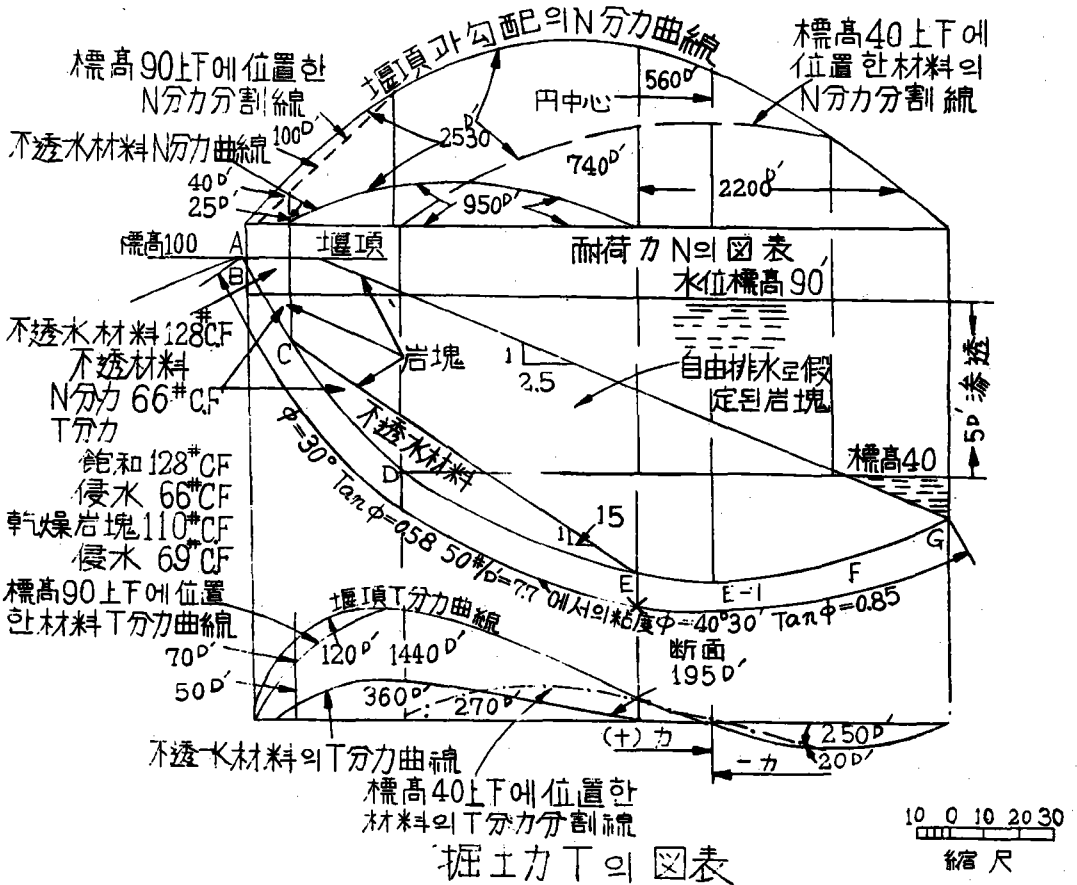


Fig 14. 滲透된 非同質堰堤의 危險圓 分析

N力

不透水材料 A-B	40 C.F.×128#	5.1k
不透水材料 B-C	25 C.F.× 66	1.6
不透水材料 C-E	950 C.F.× 66	62.7
岩塊 C-D	100 C.F.×110	11.0
岩塊 C-E	2530 C.F.×110	278.3
岩塊 D-E	740 C.F.× 69	51.3
		409.7 × 0.58 = 237.6
岩塊 E-G	2200 C.F.× 69	151.8
		61.6
岩塊 E-F	560 C.F.×110	$\frac{213.4 \times 0.85}{\Sigma N \tan \phi} = 181.4$
		$\Sigma N \tan \phi = 419.0$
粘度	154×50 =7.7
	$\Sigma N \tan \phi$=426.7

T力

不透水材料 A-B	70 C.F.×128#	9.0 k
不透水材料 B-C	50 C.F.×128	6.4
不透水材料 C-D-1	360 C.F.×128	46.0
不透水材料 D-E	270 C.F.× 66	17.8
岩塊 C-D	120 C.F.×110	13.2
岩塊 C-E-1	1440 C.F.×110	158.4
岩塊 D-1 E-1	195 C.F.× 69	13.5
		264.4
岩塊 (-1)E-I-F	20 110	2.2

岩塊 (-1)E-I-G 250 69 $\frac{17.2 (-) 19.4}{\Sigma T} = 244.9$

安全率 = $\frac{\Sigma N \tan \phi + \text{粘度}}{\Sigma T} = \frac{426.7}{244.9} = 1.74$

저있다. 萬若에 粗性材料가 池水降下에 따르는 迅速하고 充分한 排水를 못한다면 侵水重量을 使用하여 耐荷力을 計算해야할 것이다.

Fig 14에 表示된 바와 같이 非滲透斷面의 勾配는 1對 1.5 外廓勾配는 1對 2.5이다. 1對 2.5의 勾配를 가진 外廓粗性材料는 比較的 깨끗한 岩塊盛土로서 나타나 있다. 卽 모래나 細土와 같은 材料는 岩塊盛土間隙을 채우는데 量的으로 너무 不足하다 할 것이다. 이 事實은 池水面降下에 따라 迅速하게 排水할수 있다는 것을 意味한다고 볼수 있다. 따라서 여기에 滲透水準(標高 40) 上部의 岩塊를 包含하는 計算에 있어서 岩塊盛土乾燥 및 濕氣單位重量이 使用된다.

材料에 關한 完全한 諸原과 作用力 및 耐荷力의 總和는 Fig 14에 나타나 있고 주어진 條件下의 該當된 安全率은 1.74임을 立證하게 되는 것이다. 끝 (筆者, 陸軍士官學校教官)

흙의 間隙率과 間隙比의 關係

林 迎 春

흙은 普通 土粒子의 骨組로서 成立되어 있으며 粒子和 粒子 사이에 물과 空氣가 들어있다. 單位容積의 흙에 對한 空氣 물 土粒子를 右表와如히 各各 a, w, s라 하고 容積을 V로 表示하면 空氣의 容積은 V_a 이고 土粒子의 容積은 V_s 이므로 이때 全體의 容積이 V, 間隙率 $n = \frac{V_a}{V} \times 100$ 이다. 이때 V_a 는 空氣의容積 V_a 와 물의容積 V_w 를 合한 卽 間隙의 容積이다. 따라서 間隙率이란 間隙의 容積을 全體의 容積으로 除하고 100을 乘하여 퍼센트로 나타낸것이다.

空 氣 (a)
물 (w)
土粒子 (s)

間隙比를 e로 表示하면

$e = \frac{V_w}{V_s}$ 卽 間隙의 容積을 土粒子의 容積으로 除한것이다.

間隙率과 間隙比의 關係는

$e = \frac{V_w}{V_s}$ 의 兩邊에 1을 加하면

$1 + e = (V_w + V_s) / V_s = \frac{V}{V_s}$

$\therefore \frac{e}{1 + e} = \frac{V_w}{V} = n$

따라서 間隙率과 間隙比 어느쪽이고 하나를 알면 다른 하나를 上記式으로 求할수있다.