

# 均一形土堰堤

金 慶 鎮

## 머 리 말

現今의 土堰堤의 設計, 施工, 技術은 主로 經驗 特히 事故復舊에 있어서의 技術改良에 依함이 많고 이 經驗的 土堰堤의 設計, 施工, 技術이 土質力學的 知識에 基準함이 없다 하더라도 偶然히 그 結果가 이에 合致하는 境遇도 있고 全然 不合理한 結果가 되어 事故發生의 根源이 되는 境遇도 있는듯 하다.

年前 우리 道內 有數한 數個 貯水池가 夏期長霖에 外堤가 崩落되어 應急排水裝置를 하므로서 大事에 이르지는 않았으나 貯水位가 急低下된 關係로 內堤의 相當區間이 崩壞된 事例가 있다. 이들 貯水池의 堤體構造樣式을 觀察해 볼 때 두꺼운 不透性 地盤上에 粘質이 豊富한 均一形土堰堤가 構築되어 있었으며 事故發生의 原因은 이 均一形 土堰堤로서의 設計施工이 不合理함에 있었다고 본다.

以下 均一形 土堰堤에 對하여 文獻에 나타난 資料를 紹介하여 諸位의 參考에 조금이라도 도움이 된다면 筆者의 多幸으로 生覺하는바이다

### I 우리나라 土堰堤堤體의 形式

土堰堤를 堤體의 構造樣式에 依하여 分類하면  
A. 均一形 土堰堤: 堤體의 大部分을 同質材料로서 形成하는것

B. 心壁形 土堰堤: 堤體의 中心部 或은 上流 側接水부에 堤體의 他部分보다 透水性이 적은 材料(粘土, Concrete)로 遮水壁을 設置한것.

C. Zone式 土堰堤: 安定度와 透水도가 相異한 二種以上의 材料로서 堤體가 安定되도록 構築한 것.

로 大別할 수 있다. 現今 우리나라 土堰堤의 大

部分이 上記 B 形인 心壁形 土堰堤에 屬하며 其中 實地 施工面으로 봐서는 均一形 土堰堤가 相當한 數에 達하리라 推測된다.

設計上의 心壁形 土堰堤가 施工에 있어서 均一形 土堰堤로 變更된 主要原因을 살펴보면 아래와 같다고 본다. 即, 堰體는 粘質이 豊富한 土質로서 盛土되면 漏水憂慮가 적고 安全하다는 見解로서 主로 堤體의 水密性에만 置重한 結果로 土質力學이 發達한 今일에 있어서도 이러한 觀念이 拭拂되지 않고 粘土만 豊富하다면 均一形 土堰堤로 築造되고 있는 現實이다.

### II 均一形 土堰堤의 特性

A. 이 形式의 土堰堤는 貯水池를 構築해야 할 位置로부터 合理的이라고 生覺되는 圈內에 均一한 材料밖에는 取土가 不能할 때 採擇

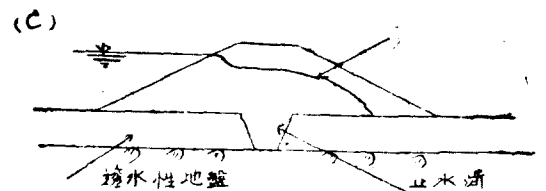
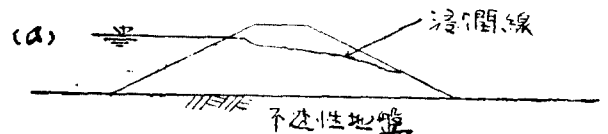


Fig. 1 均一性土堰堤의 浸潤線

되는 形式이다. 이 形式의 土堰堤의 材料는 搗固하여 透水係數가 적고 또 물에 飽和 되어도 比較的 安全해야 한다. 이와같은 性質(水密성과 安全性)이 相反하는 要素를 一種의 材料에서 求한다는것은 困難한 問題이다.

B. 均一形 土堰堤의 가장 不利한 條件은 基礎地盤의 不透水性에 있다.

또 透水性이라도 特別한 排水裝置를 하지 않고서는 下流傾斜面에 浸潤面이 露出되는 것이다. (Fig.1 (a), (b) 參照)

이러한때는 浸潤面 以下에 있는 下流側 傾斜面勾配를 充分히 주어서 安定性を 維持할 수 있도록 緩하게 할 必要가 있다. 適當한 材料만 求得 된다면 下流側 法尻에 法尻「Rock fill」 또는 透水性「Filter」를 設置해서 浸潤線趾를 堰體 內部에 收置토록 할 이 좋을 것이다.

C. 「실트」質粘土나 粘土와 같은 透水도가 낮은 흙을 使用하면 安定성이 적고 施工하기도 困難하다. 그러나 堤塘 全體의 土質과 施工要領을 變更치 않는故로 施工計劃이 簡單함에 小規模의 土堰堤에 適合할 것이며 堤體內部의 材質變化에 隨伴하는 安定上 缺陷이 적다.

D. 施工速度가 높고 施工直後, 堤體內部에 큰 間隙水壓이 發生할 危險이 있다.

III. 均一形 土堰堤의 浸潤線

浸潤線은 築堤用土가 貯水의 影響을 받어서 浸潤되어 그 上部에는 靜水壓이 없고 下部에는 靜水壓이 存在하는 境界線이다. 毛細管現象의 影響이 적은 때에 浸潤線은 飽和線 即 流線網의 最上線과 一致한다. 不透水性 基礎上에 均一한 材料로 築造한 堤體의 浸潤線의 形狀은 拋物線 形이라 한다.

堤體 또는 基礎地盤에 特別한 排水設備를 하지 않으면 그 浸潤線은 堰堤의 基礎地盤面 보다 上部에서 下流側 傾斜面과 交叉된다. 이 浸潤線의 位置 및 浸潤線의 下流側 傾斜面과의 交叉點은 材料가 均一한限 그 透水性의 如何에 關係없이 堤體 橫斷面의 形態에 依해서 決定된다. 이 浸潤線의 形狀을 近似的으로 描寫하는 方法은 A. Casagrande 에 依해서 提示되었고 그 要領

은 다음과 같다.

(Fig.2)에서

B<sub>2</sub>: 理論 浸潤線(拋物線)과 貯水面과의 交點

A: 下流側 法尻 또는 堤體內 排水設備의 上流端

C: 浸潤線과 下流側 法面과의 交點

C<sub>0</sub>: 理論上의 浸潤線(拋物線)과 下流側 法面과의 交點

d: A B<sub>2</sub> 間의 水平距離

h: 滲透水頭 (A, B<sub>2</sub> 間의 沿直距離)

a: 下流側 法面上的 濕潤部分의 長 (AC 間의 距離)

△a: C, C<sub>0</sub> 間의 距離

α: 下流側 法面과 基礎地盤(水平)과의 角度

m: 上流側 法面의 浸潤部分長의 水平距離

k: 堤體의 透水係數

라고 하면 理論浸潤線은 B<sub>2</sub>로 부터 A點을 焦點으로하는 拋物線이다. 이것을 基本 拋物線이라 한다. 이 拋物線은 Darcy 公式을 基礎로 하여 計算된다.

$$d = \text{堤體底面} - 0.7m$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0} \text{ 로써 나타낸다.}$$

即 y<sub>0</sub>는 AB<sub>2</sub>와 d와의 差인故로 第二圖에 있어서 圖式으로도 求할 수 있다. 또 基本 拋物線과 下流側 法面과의 交點 C<sub>0</sub>는 次式에 依하여 求한다.

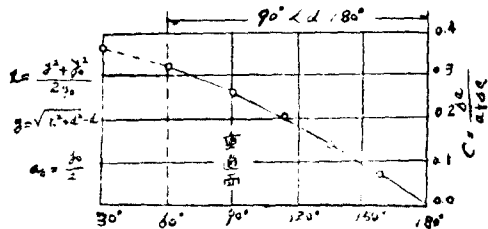
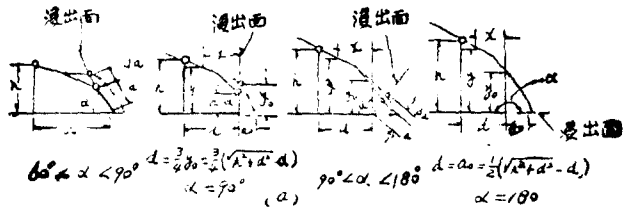


Fig. 3

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha}$$

$a + \Delta a$ : C<sub>0</sub>로부터 A點까지의 距離

上式의 a를 求하기 爲하여

$$c = \frac{\Delta a}{a + \Delta a} \text{ 라 하면}$$

$$a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} (1 - c) \text{ 이고}$$

c의 값을 Fig.3에서 求한다.

時日 降雨가 繼續될때 斜面的 雨水로 因한 滲透水가 漸次 法尻에 集中하여 終末에는 흙의 剪斷力이 低下되어 崩壞되고 만다.

그러나 排水設備構造如何에 따라 滲透水路長을 短縮시키는 故로 그構造에 特別히 留意해야 한다.

#### V. 現存 均一形 土堰堤의 檢討

(a)形 우리나라의 現存 均一形 土堰堤를 分類하면 (Fig.5)와 같은듯 하다. 이런 種類의 堤

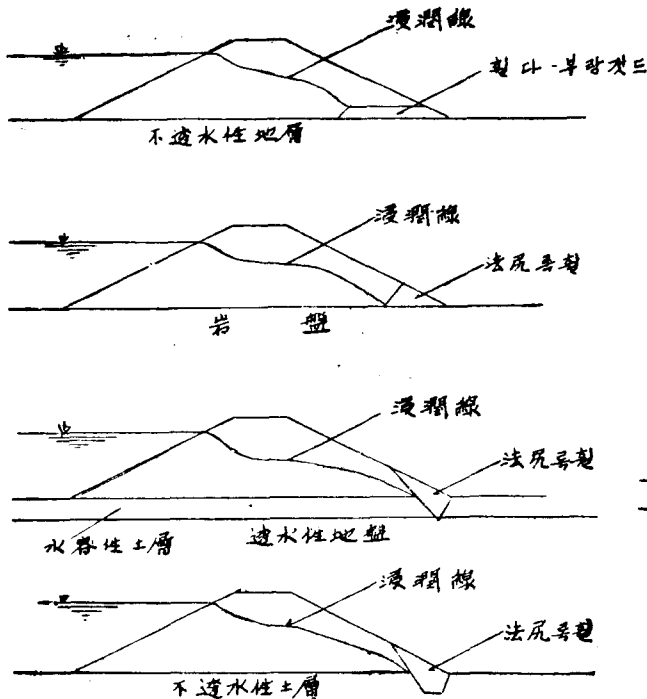


Fig 4

#### IV. 均一形 土堰堤의 堤體內의 排水設備

均一形 土堰堤(比較的 水密性인 均一材料로 築造한 土堰堤)의 浸潤線은 堤體內에 特別한 排水設備을 施工치 않는限 下流側法尻보다 相當히 높은 位置에 法面과 交叉한다. (Fig.2)

이러한 堤體의 底面에 排水層(Filter blanket)을 設置하든지 下流側 法尻에 「Rock fill」을 設置하면 堤體內의 浸潤線面은 低下되고 Fig.4와 같이 下流側 法面보다 相當히 內部에 있게 된다.

이러한 設備을 放置하면 法尻가 浸蝕되고 長

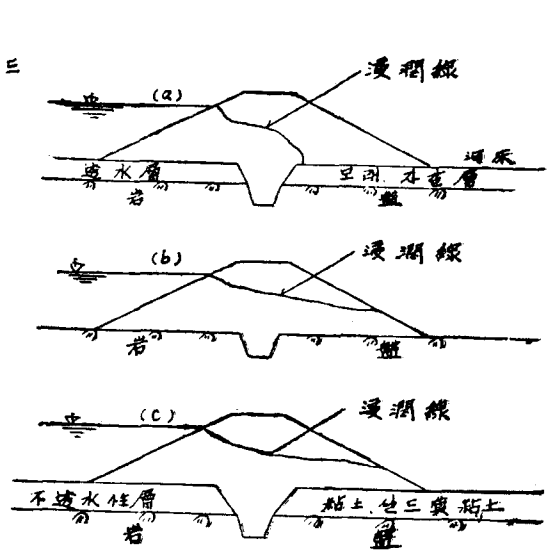


Fig 5

體中 (a), (b)形은 河川을 遮斷하여서 築堤할 境遇이고 (c)形은 三面池(待池)로서 河川水를 導水하여 平野 或은 小丘陵 盆地에 三面堤를 築造할때 분수 있다. 이 中 (a)形은 두꺼운 透水層(모래 或은 자갈層)이 底面에 介在하므로 圖示한바와 같이 浸潤線을 低下시키고 滲透水 或은 降雨로 因한 法面 滲透水를 透水層으로 自然排水하므로 安全하였던 것이다. 이러한 地盤上에 土堰堤를 築造할때는 別段 堤體內 排水設備을 必要로 하지 않는다. 그러나 이러한 地盤일찌라도 透水性層이 얇아서 滲透水의 排水能力이 不足함과 施工時 不合理한 材料使用方法으로 外堤下部 및 法表面層이 水密性인 흙을 使用하고 中腹部 以上 堤頂까지

는 比較的 滲透性材料를 使用하면 長期降雨로 堤頂 및 法面 滲透水가 外堤內部에 飽和되어 法面이 崩壞가 된다.

(b)形 이러한 地形은 小溪谷에 흔히 볼수있다 溪谷 縱斷面은 「Fig.6」과 같은것이 大部分이고 貯水로 因한 滲透水와 降雨로 因한 斜面 滲透水가 矢印의 方向으로 中央 凹部 0點에 集中됨으로 0點附近에 滲出水를 볼수 있고 安全上 極히 不利하며 堤內 排水設備가 絶對必要하다. 이러한 地形에는 床堀 및 餘水吐 切取 岩量이 많은 故로 이材料로서 「Rock Fill」를 挿入하여 浸潤線을 低下시키 安全히 排水시켜야 한다.

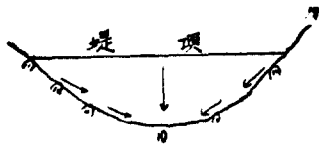


fig 6

(c)形 이런 地盤은 三面池에 흔히 볼수 있으며 堤塘盛土는 大概 堤內에서 採取하므로 基礎地盤이나 堤體가 完全均一性이 됨이 常例이다. 이런 堤塘의 縱斷面은 「Fig.7」과 같이 延長이

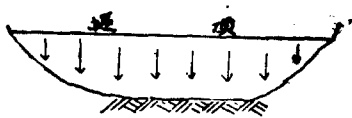


fig 7

長大함이 常例인 故로 (c)形과 같은 滲透水의 一點集中의 憂慮는 稀少하나 長期降雨로 因하여 基礎地盤의 軟弱化로 底部 崩壞와 堤內 滲透水 및 斜面 滲透水의 排水不能으로 法面이 崩壞되는 例가 많다. 年前 道內에서 發生한 土堰堤事故도 이러한 基盤上에 築造된 均一形 土堰堤였다. 이런 때는 特別外堤排水에 留意해야 할것이다.

VI. 均一形 土堰堤의 安定

上流側部分과 下流側部分으로 區別해서 剪斷力에 對해서 檢討해 보면 (農業土木會誌 第二 第84頁 參照)

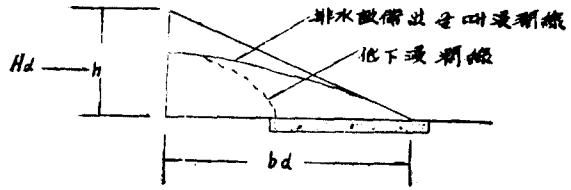


fig 8

「Fig.8」에서 下流側 平均安定率  $F_a$ 는

$$F_a = \frac{R_a}{H_a}$$

$$F_a \geq 2$$

式中  $R_a = w \cdot a \times \tan \phi + C b_a \dots \dots \dots$  下流側 全剪斷抵抗力  $\dots \dots \dots$  (1)

$$H_a = \frac{w \tan^2(45^\circ - \frac{1}{2} \phi) h^2}{2} + \frac{p h_1^2}{2}$$

Rankine 土壓論에 依한

下流側全剪斷力

$$w_{ca} = \left( W_s \times \frac{K_t}{100} + W_w \times \frac{K_m}{100} \right) \times \frac{b_a h}{2} \dots \dots \dots$$
 (2)

$W_w$ ; 堤體材料의 濕潤狀態의 單位重量 ( $t/m^3$ )

$W_s$ ; 堤體材料의 水中狀態의 單位重量 ( $t/m^3$ )

$K_u$ ; 下流側部分의 浸潤線以上部分의 割合 (%)

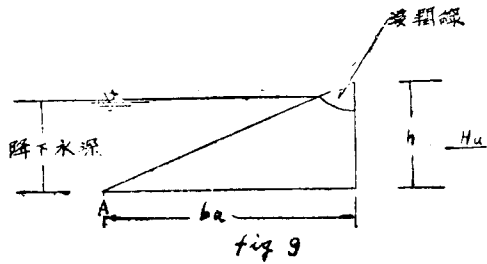
$K_i$ ; 下流側部分의 浸潤線以下部分의 割合 (%)

式에서 보는바와 같이  $R_a$ 의 값을 增大키 爲해서는 (1)式의  $W_{ca}$ 가  $\tan \phi$ 를 增加시켜야 하며 兩者의 값을 增大키 爲해서는 排水設備를 해서 浸潤線을 低下시키고  $K_t$ 의 斷面을 縮少하는 同時에 内部摩擦角을 增大시켜야 할을 알 수 있다.

上流側 水平剪斷力에 對한 平均安全率  $F_u$ 는 「Fig.9」에서

$$F_u = \frac{R_u}{H_u}$$

$$F_u \geq 2$$



해야 한다.

VII. 排水設備가 있는 均一形 土壤堤의 浸潤線 및 滲透水量

土壤堤의 堤體의 滲透水量을 探究하는 것은 堤體의 構造를 水理學上으로 檢討하고 또 Dam의 貯水目的에 合當如否를 判斷하는데 도움이 된다.

a. 堤體의 滲透水量을 計算하는 方法은 Darcy의 法則 即

$$q = RiA$$

q: 堤體의 單位延長當의 流量

K: 合水係數

i: 動水勾配

A: 流水斷面積

[Fig.3]에 있어서 浸出面의 勾配  $\alpha$  가  $30^\circ < \alpha < 180^\circ$ 의 範圍內는 滲透水流의 平均路長과 그 斷面積이 큰 差異가 없는故로 이런 境遇는

$$q = ky_0 = kc\sqrt{h^2 + d^2} - d$$

式으로서 充分히 精密한 滲透水量을 計算할 수 있다.

b. 不動性 基礎地盤上에 均一形 土壤堤의 底部에 水平排水設置를 施工하였을 境遇에 浸潤線을 求하는 方法은 (3)에서의 方法과 同一하다. 但 排水層의 上流端이 均一形 土壤堤의 法尻에 相當하고 이 境遇에 浸出面勾配  $\alpha = 180^\circ$ 로 하면 된다.

前掲 [Fig.3] (b)에서  $\Delta a = 0$ ,  $a = a_0 = \frac{Y_0}{2}$

가 되고 浸潤線(基本拋物線)은 (Fig.10)에 있어서 上流側 法面接水點으로 부터 上流側으로  $0.3 \times m$ 點 B<sub>2</sub> 부터 水平排水層 上流端 A의 上方 Y<sub>0</sub>의 高를 經由해서 上流端 A로부터 Y<sub>0</sub>/2, 下流點에서 排水層에 流入한다.

$$R_u = W_{eu} \cdot \tan \phi + Cb_u \dots \text{剪斷抵抗力} \dots (1)$$

$$W_{eu} = \left( W_s \cdot \frac{K_s}{100} + W_w \cdot \frac{K_w}{100} \right) \times \frac{b_u h_u}{2} \dots \text{上流側}$$

全有效重量 ..... (2)

$$H_u = \frac{W \cdot \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) h^2}{2} + \frac{ph^2}{2} \dots \text{上流側 全水平剪斷力}$$

堤體 上流部分의 가장 不利한 狀態는 貯水位가 急激히 降下하여 上流側 法面に 水壓이 除去되어도 堤體材料가 飽和狀態에 있을 境遇이다. 透水度가 낮은 粘土質 材料로서는 1日 數m의 割合으로 水位가 降下하여도 急激하다고 할 수 있다.

貯水位가 急降下 했을時 堤體 上流部分은 完全飽和狀態에 있고 浸潤線以上의 斷面이 極少하므로 (2)式의  $W_{eu} = \frac{W_s b_u \cdot h}{2}$ 가 된다. 그리고 (1)式의 內部摩擦角  $\phi$ 는 材料의 飽和狀態時의 摩擦角이 되며 粘着力 C는 無視될 程度인 故로 이런 條件下에 所要安全率을 얻기에는 困難하다.

近距離內에 雜石等이 安價로 取得될때는 이를 利用하여서 上流側法面に 相當한 두께(厚)의 透水層을 設置해서 所要安全을 取하든지 不然이면 法面勾配를 材料의 飽和息角以上으로 緩하게

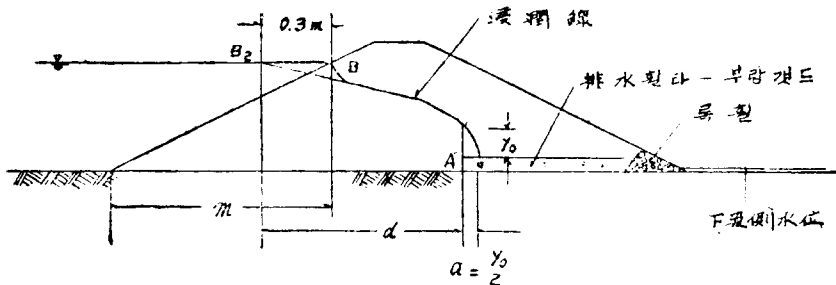


fig 10

c. 이 排水層은 堤體內를 流下하는 最大滲透水量을 充分히 處理할 수 있는 容量이 必要하다. 即 排水層의 容量이 前示한 Darcy 公式에서 求한 滲透水量의 2倍 以下로서는 排水層이 填塞될 憂慮가 있는故로 充分한 容量을 갖는 設備을 해야 된다.

[Fig. 10]에 있어서 排水層의 두께를  $h$ , 排水層의 거리(長)를  $l$ 로 하면 排水層中을 流過하는 水量  $q_1$ 은

$$q_1 = k_i \left( \frac{h_1}{l} \right) A$$

$k_i$ ; 排水層의 透水係數

$h_1$ ; 下流側 水深  $h_2$  以上의 排水層 두께  
即  $h_1 = h - h_2$

$A$ ; 排水斷面 即 單位幅에 對하여

$$A = h_1/2 + h_2$$

$q_1$ 은 VII, a에서 計算한 堤體內 滲透水量  $q$ 보다 充分히 커야 한다.

$q_1 = 2q$ 라 하면

$$2q = k_i \frac{h_1}{l} \left( \frac{h_1}{2} + h_2 \right)$$

$$\therefore \frac{4ql}{k_i} = h_1^2 + 2h_1h_2$$

此式을 풀어서  $h_1$ 을 얻으면 必要한 排水層 두께는  $h = h_1 + h_2$ 이다.

例. [Fig. 10]에서

築堤高	20m
堤頂幅	6m
內法勾配	1 : 3.0
外法勾配	1 : 2.5
最大水深	18m
滲透係數	$0.2 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$

排水層 透水係數  $0.01 \text{cm/sec}$

排水層長, 下流側 法尻로부터 25m

(1) 浸潤線을 決定함에 [Fig. 2, 3]을 参照

$$h = 18\text{m}$$

$$m = 18 \times 3 = 54\text{m} \quad 0.3m = 54 \times 0.3 = 16.2\text{m}$$

$$d = 16.2 + 2 \times 3 + 6 + 20 \times 2.5 - 25 = 53.2\text{m}$$

$$\therefore Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d = \sqrt{18^2 + 53.2^2} - 53.2 = 2.96\text{m}$$

$\therefore$  基本拋物線의 方程式은

$$y^2 = 2Y_0x + Y_0^2$$

$$y = \sqrt{5.8x + 8.41}$$

上式으로부터 下表를 얻는다.

$$\begin{cases} x & -1.45 & 0 & 5 & 15 & 25 & 35 & 45 & 53.2 \\ y & 0 & 2.90 & 6.11 & 9.33 & 12.30 & 14.23 & 16.33 & 18.00 \end{cases}$$

[Fig. 3] (b)에서 提出된 勾配  $\alpha = 180^\circ$  이면

$$\Delta a = 0 \quad a = a_0 = \frac{Y_0}{2} = \frac{2.9}{2} = 1.45\text{m}$$

$$\therefore y = \sqrt{5.8 \times (-1.45) + 8.41} = 0$$

即 [Fig. 10]에서 浸潤線은 排水層 上流端 A의 上方  $Y_0$ 의 高를 經由해서 上流端 A로부터  $Y_0/2 = 1.45\text{m}$  下流點에서 排水層에 流入한다.

(2) 排水層의 두께

$$q = kY_0 = k(\sqrt{h^2 + d^2} - d)$$

$$k = 0.2 \times 10^{-4} = 0.00002 \text{cm/sec}$$

$$h = 18\text{m}$$

$$d = 53.2\text{m} \quad h_2 = 0.5\text{m} \quad l = 25\text{m}$$

$$\text{然例 } q = 0.00002(\sqrt{18^2 + 53.2^2} - 53.2)$$

$$= 0.0000592$$

排水層 流量을 2倍로 하면

$$q_1 = 2q$$

$$\frac{4b_1}{k_i} = h_1^2 + 2h_1h_2$$

$$\frac{4 \times 0.0000592 \times 25}{0.01} = h_1^2 + 2h_1 + 0.5$$

$$0.592 = h_1^2 + h_1$$

$$h_1^2 + h_1 - 0.592 = 0$$

$$\therefore h_1 = 0.41\text{m}$$

所要 排水層 두께는

$$n = h_1 + h_2 = 0.41 + 0.50 = 0.91\text{m}$$

임을 알 수 있다.

VIII. 既設 均一形 土壤堤가 安全하였다는 것은 두꺼운 透水性地盤上에 築造되어 堤體의 浸潤線 低下作用과 堤內 排水作用이 自然的 條件下에 이루어진데 基因하며 이러한 自然的 惠澤이 없는 均一形 土壤堤를 被害를 입을수가 많은故로 均一形 土壤堤를 不透水性 基盤上에 設置한때는 그 安全度에 特히 留意해야 될 것을 強調하는바 이다.

(筆者, 大韓水聯慶北支部勤務)