

金南地區 干拓工事의 防潮堤斷面檢討

邊 普 燁*

1. 序 論

(1) 研究檢討의 目的 및 概要

慶尙南道 金南灣에 그 灣口를 締切하여 約 600 町步의 面積을 陸地化하여 畚作用地로 하기 위하여 延長 約 2,000m의 防潮堤工事を 施工하고 있다. 金南灣의 海底地盤은 灣內의 既往의 構造物의 調査 및 土質調査報告書에 의하면 대단히 軟弱한 것으로 判明되어 있다. 工法으로서는 置換工法, Sand drain 工法이 적합하다고 思料되나 現地條件上 置換工法 및 Sand drain 工法이 相當히 곤란하다. 그 理由는 드레자(dreger)가 있어야 하고 工費가 增大되고 모래 採取가 隣近에 없을뿐만 아니라, 있다하더라도 거리가 멀어 送土거리가 遠거리이므로 不可能하여 不得已 押拾石築造工法으로서 施工해 왔다. 第2號 防潮堤 築造後 1個月內에 2.0m 程度의 沈下 및 斜面崩壞가 일어나서 이 區間에 대한 地質調査를 實施하여 그 對策을 講究하기 위하여 斷面을 檢討하여 補強하는데 그 目的이 있고 또 最終締切區間에 대하여 堤防締切後에 內外水位差가 일어나기 때문에 堤體內에 浸透流가 일어나고 堤體에 대하여 浸透壓이 作用하게 된다. 따라서 圓弧滑動計算할 때 浸透壓에 의한 滑動모멘트를 고려하여 堤體의 安定性을 檢討하는 데 그 目的이 있다.

(2) 研究檢討의 對象

本 研究檢討의 對象은 現在 實施中에 있는 第1號 防潮堤의 築造斷面 및 實施한 第2號 防潮堤의 沈下 隆起個所에 限하였다.

*技術士(建設部門)

서울대학교 農科大學教授

(3) 研究檢討의 根據

本 研究檢討에 所要되는 基本根據는 1969年 韓國水資源開發公社發行인 金南地區 水利干拓事業의 地質調査 報告書 및 現地 답사에 依據하였다.

2. 檢 討

(1) 地 形

金南干拓地區의 防潮堤는 慶尙南道 河東郡 金南面 갈사리 가덕리 地內에 있으며 河東郡 노량리와 南海郡 노량리 西방 約 10~15km 地點에 있다. 이 地點은 韓國西南海岸에 發達된 沈降海岸이며, 소위 多島海地形을 構成하고 있다. 또 西南海岸에서 일어나는 特有인 甚한 干滿의 差가 있다.

이 地域을 構成하는 地質을 편의상 韓國地質地統의 分類하면 中生代 白堊紀 上部 大同素에 속한다. 퇴적암중으로서 구성된 岩石은 主로 頁岩(철암) 또는 砂岩이며 간혹 泥灰岩이 이들 사이에 렌즈(lense)狀으로 끼어 있다.

이들의 走行은 大體로 N'70°~80°E 傾斜는 10°SE로서 거의 正연한 단사구조를 이루고 있다.

이 같은 단조로운 地質構造는 거의 눈에 띄지 않는 수 많은 斷層으로 因하여 局部的으로는 下降과 上昇을 거듭하면서도 全體적으로 그 傾斜는 南으로 완만한 斜面을 이루고 北으로는 急傾斜의 地模를 形成하고 있다.

(2) 보오링 結果

보오링 結果를 요약하면 第2號 防潮堤에서는 中心과 外側 또는 內側에서 基盤岩까지의 深度는 標高 (-)24.55m 와 (-)24.00m 또는 24.70

m로서比較的平坦하다. 泥土層의 두께는 26~27m에 달하며 泥土層의 表面의 標高는 中心部에서 (-)3.35m와 外側에서 (+)3.2m, 內側에서 (+)3.3m로서 中心部에서는 양쪽에 비하여 약 6.5m 內外 낮다. 이것은 中心部の 沈下와 양쪽 隆起에 基因한다.

第1號 防潮堤 1-1-1(No 5의 中心) 1-1-2(No 5의 外側)에서는 基盤岩까지의 深度는 (-)3.35m와 (-)2.9m 또는 (-)3.1m에서 모두 砂礫과 風化岩을 거쳐 岩盤에 達하고 있다.

1-2-1(No 6의 中心), 1-2-2(No 6의 外側) 1-2-3(No 6의 內側)에서는 基盤岩까지의 深度는 -16.20m, -15.50m, -13.60m로서 No 6의 中心部の 中間에 泥土層이 있다. 1-3-1(No 7+40의 中心)에서는 基盤岩까지의 深度가 (-)15.30m이며 두꺼운 泥土層으로 推積되어 있다. 1-5-1(No 13의 中心), 1-5-2(No 13의 外側)의 基盤까지의 深度는 모두 -18.00m로서 平坦하여 두꺼운 泥土層으로 推積되어 있다.

以上の 보오링 結果에 의하면 第一號 防潮堤 延長方向에는 凸凹이 있으나 橫斷面의 方向에 平坦하다.

3. 土質試驗結果의 檢討

(1) 粒度

흙을 A. casagrande 分類法에 依하면 SM, SW가 되며, 흙의 三角座標分類法에 依하면 粘土에 속한다. 建設部 構造物 基礎設計基準(案)에 依하면 모래의 含有量이 80% 以下인 고로 粘土로 보고 흙의 粘着力만이 있다고 計算한다.

(2) 比重

흙의 比重은 2.62~2.717 범위에 있고 平均比重은 2.631로 한다. 捨石의 比重은 2.624~2.660이며 그 吸水率은 0.583~0.857%이고 安定性은 6.57~11.67%가 된다.

(3) 흙의 稠度

試驗結果에 依하여 第1, 2號堤의 液性限界 및 塑性指數를 分析하여 壓縮指數 및 粘土 強度 增加率을 決定한다. 第2號堤에서 設計液性限界는 56%로 하고 設計塑性指數는 28.73%로 취한다.

Skempton 公式에 依하여 第2號堤의 경우 흙의 粘土強度增加率은

$$\begin{aligned} \frac{C_u}{P} &= 0.11 + 0.0037 \times I_p \\ &= 0.11 + 0.0037 \times 28.73 \\ &= 0.216 \end{aligned}$$

$$\therefore C_u = 0.216 p = 0.216 r_{sub} \cdot Z$$

水中單位重量 $r_{sub} = 0.6 + 1m^3$ 인고로

$$C_u = 0.216 \times 0.6 Z = 0.13 Z$$

따라서 粘土 強度增加率 k 는 0.13으로 決定한다.

Skempton 公式에 依하여 壓縮指數 C_c 를 구하면 $C_c = 0.009(WL - 10)$

$$= 0.009(56 - 10)$$

$$= 0.009 \times 46$$

$$= 0.44$$

第1號 最終縮切部分에서 粘土 強度增加率은 Skempton 公式에 依하면

$$\frac{C_u}{P} = 0.11 + 0.0037 \cdot I_p$$

$$= 0.11 + 0.0037 \times 57.92$$

$$= 0.334$$

$$\therefore C_u = 0.334 r_{sub} Z$$

$$= 0.334 \times 0.6 Z$$

$$= 0.19 Z$$

粘土強度增加率 k 는 0.19로 決定한다.

Skempton 公式에 대하여 흙의 壓縮指數 CC 를 구하면

$$CC = 0.009(WL - 10)$$

$$= 0.009(85.14 - 10) = 0.67$$

흙의 壓縮指數 C_c 는 0.67로 決定한다.

(4) 間隙比

直接 剪斷試驗結果에 依하여 平均間隙比를 구하면 흙의 間隙比 $e = 1.528$ 이고 壓密試驗結果에 依하여 平均間隙比를 구하면 흙의 間隙比 $e = 2.05$ 가 된다.

(5) 單位重量

水中單位重量을 흙의 比重과 間隙比로 구하면 直接剪斷試驗結果로서

$$r_{sub} = \frac{GS - 1}{1 + e} = \frac{2.631 - 1}{1 + 1.528} = 0.645 t/m^3$$

壓密試驗結果로서

$$r_{sub} = \frac{GS-1}{1+e} = \frac{2.631-1}{1+2.05} = 0.534 \text{ t/m}^3$$

平均水中單位重量

$$r_{sub} = \frac{0.645+0.534}{2} = 0.589 \approx 0.6 \text{ t/m}^3$$

飽和單位重量

$$r_{sat} = 1.0 + 0.6 = 1.6 \text{ t/m}^3 \text{ 로 취한다.}$$

捨石의 單位重量(捨石의 間隙率 $n=34\%$ 로 보코)

$$rt = G_s(1-n) = 2.642 \times 0.66 = 1.7 \text{ t/m}^3$$

로 취한다.

4. 設計計算方法

(1) 堤體의 安定計算에서 抵抗모멘트 計算法에 $\phi=0$ 法을 使用했다. 이 方法은 圓形滑動面을 생각함으로서 計算을 簡單化할 수 있다. 地盤을 非排水強度와 深度와의 關係는 直線적으로 變化하면 一般으로 非排水強度 C_u 는 다음과 같다.

$$C_u = C_0 + kz \quad \text{但 } z: \text{深度}$$

C_0 는 $z=0$ 에서 非排水強度 k 는 密度와 같은 次元을 갖는 常數이며 深度의 方向에 따르는 強度의 증감의 비율을 表示한 것이다.

(2) 最終締切後에 內外水位差로 因한 堤體內에 浸透流가 일어나고, 堤體에 對한 浸透壓이 作用하는 경우에는 境界中立力의 變化에 따른 破壞모멘트의 增加 또는 抵抗모멘트의 減少에 의한 安全率의 低下를 檢討해야 한다.

(3) 堤防沈下의 原因은 基礎捨石 및 제체성토의 壓縮, 基礎捨石이 地반에 패어 들어 가는 形狀, 地盤 흙의 側方向流動, 地盤의 壓縮 等이나 堤防의 設計에 있어서 是 들을 積極防止할 수 있는 構造로 하고 堤防에 直接 또는 堤防築造의 目的에 對해 나쁜 影響을 주지 않도록 對策을 고려한다.

沈下의 主된 原因은 地盤 흙의 壓密이며 設計 施工方法에 따라 어느 程度 억제할 수 있다.

그러나 總沈下量은 即刻沈下와 左密沈下와의 合計로 한다.

① 抵抗모멘트의 計算式의 誘導

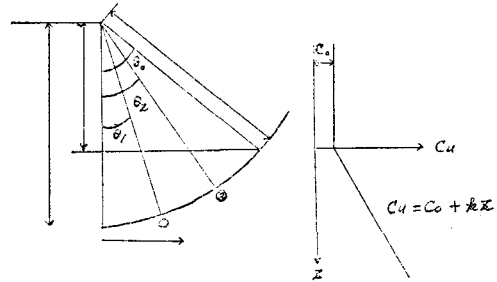


圖 1 에 表示한 圓形滑動面에서 ①~② 사이의 C_u 에 의한 抵抗모멘트는

$$\begin{aligned} M_r)_1^2 &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} R \cdot R \cdot d\theta \cdot (C_0 + kz) \\ &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} R^2 \{C_0 + k(R \cos \theta - R \cos \theta_0)\} d\theta \\ &= R^2 [C_0 \theta + k R (\sin \theta - \theta \cos \theta_0)]_{\theta_1}^{\theta_2} \\ &= R^2 \cdot C_0 (\theta_2 - \theta_1) + k R^3 \left[\sin \theta \right. \\ &\quad \left. - \theta \cos \theta_0 \right]_{\theta_1}^{\theta_2} \end{aligned}$$

上式 右邊 第 2 項의 括弧內는 모멘트 係數라 칭하고, 上式에서 θ 로 積分한 것이고 이것을 深度 Z 의 積分으로 쓰면

$$\begin{aligned} M_r)_1^2 &= \int_{z_1}^{z_2} R \cdot R \cdot d\theta (C_0 + kz) \\ R \cdot d\theta \cdot \sin \theta &= dz \cdot \sin \theta = \frac{\sqrt{R^2 - (k+Z)^2}}{R} \text{ 으로} \\ &= \int_{z_2}^{z_1} R \cdot (C_0 + kz) \frac{R \cdot dz}{\sqrt{R^2 - (k+z)^2}} \end{aligned}$$

$h+z=t$ 로 놓으면

$$\begin{aligned} &= \int_{t_2}^{t_1} R_2 [(C_0 - kh) + kt] \frac{dt}{\sqrt{R^2 - t^2}} \\ &= R^2 \left[(C_0 - kh) \left(-\cos^{-1} \frac{t}{R} - k \sqrt{R^2 - t^2} \right) \right]_{t_2}^{t_1} \\ &= R^2 \left[(C_0 - kh) \left(\cos^{-1} \frac{t_2}{R} - \cos^{-1} \frac{t_1}{R} \right) \right. \\ &\quad \left. + k (\sqrt{R^2 - t_2^2} - \sqrt{R^2 - t_1^2}) \right] \\ &= R^2 [(C_0 - kh)(\theta_2 - \theta_1) + k(l_2 - l_1)] \end{aligned}$$

上式을 $(o-\theta_1)$, $(o-\theta_2)$ 의 사이로 計算하여 加하면 되고, 一般으로

$$\Delta M_r = R^2 [(C_0 - kh) \Delta \theta + k \cdot \Delta l]$$

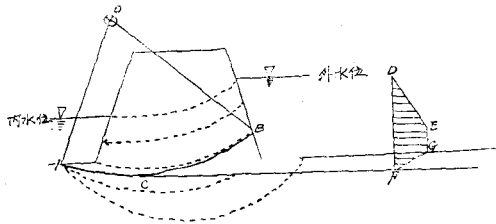
로 쓸 수 있다.

上式을 사용하여 計算하는 경우에 注意할 것은 一組의 (C_0, k) 로 表示한 強度를 갖는 領域에 關하여 計算할 때 h 는 C_0 를 表示하는 面(地表面)에서 滑動圓의 中心까지 높이가 된다.

各 領域마다 다른 地表面을 갖는 경우에는 $\pm Om$ 의 水平規準面으로 취하고, 그 計算上의 地表面上에서 各 領域의 C_0 를 구하고(k 는 地表面位置에 無關係) 또 이 地表面에서 滑動圓의 中心까지의 높이 h 를 測定하면 된다.

(2) 干拓後의 間隙水壓을 고려하는 경우 滑動모멘트 계산 方法은 堤防縮切後에 內外水位差가 일어나기 때문에 堤體內에 浸透流가 일어나고, 堤體에 대하여 浸透壓이 作用하게 된다.

따라서 圓弧滑動을 計算할 때 浸透壓에 의한 滑動모멘트를 고려해야 한다. 圖 2에서 內外水位差가 있어서 浸透壓을 고려하는 경우에 어떤 圓弧 ACB 에 關하여 圓弧滑動에 의한 安定性을 檢討하는 경우에 關하여 생각하여 보면 浸潤線 以下의 各部分에 대하여 흙의 單位體積當 다음 浸透壓이 流線方向에 作用하고 있다.



$$p_w = i \cdot r_w$$

여기서

p_w : 單位體積當의 浸透壓

i : 그 位置의 動水傾斜

r_w : 浸透水の 密度

圓弧滑動上에서 浸透壓에 의한 滑動모멘트를 精確히 구하는데, 圓弧 ACB 以內에 含有하는 浸潤線 以下의 各部分에 대하여 上記 浸透壓의 圓弧의 中心 O 에 關한 모멘트를 積分하여 구할 必要가 있다.

그러나 一般으로 圓弧滑動의 計算은 多數의 圓弧에 對하여 行할 必要가 있다.

浸透壓에 의한 모멘트를 이와 같은 方法으로 計算하는 것은 대단히 번잡하다. 따라서 다음에 表示하는 簡略計算法에 의하여 計算하고 있다. 即 圖 2에서 圓弧 ACB 以內의 흙에 대하여 內外水位差間의 部分에 대하여 靜水壓 DE 는 地表面 G 까지 作用하고 地表面 以下의 部分에 대하여 圓弧의 下端의 깊이 F 에서 零이 된다.

GF 間은 直線分布되고 水壓은 사다리꼴 DEG F 分布로 水平하게 作用하는 것으로 생각하고 圓弧의 中心 O 에 대한 모멘트를 浸透壓에 의한 滑動모멘트로 생각한다.

이 方法에 의한 경우에는 積分에 의한 方法에 比較하여 安全側의 結果를 주어지게 된다.

沈下量의 計算方法

Skempton-Bjerrum의 三次元的 沈下計算法 Skempton 등은 Cooling의 使用한 方法을 精密化하여 다음과 같이 半經驗的인 計算法을 誘導했다. 部分載荷를 받는 粘土地盤의 三次元的인 沈下는 때때로 三次元壓密의 問題로 말하고 있으나 실제 경우에는 間隙水의 排出에 의하여 體積이 縮小하여 壓密現象以外 粘土骨組의 剪斷變形에 의한 早期沈下, 이것을 側方移動에 의한 沈下라고 한다. 即 이들은 二次元 또는 三次元의 部分荷重을 받는 粘土層의 沈下를 다음과 같은 2個部分으로 區分하여 生覺한다.

$$S = S_i + S_c$$

S_i (即刻沈下)는 壓密現象과 관계없이 載荷時에 일어나는 沈下이고, 壓密現象에 의하여 일어나는 沈下 S_c 와 독립적으로 일어나는 것으로 하고 있다. 彈性論에 依하면 半無限彈性體의 表面에 等分布로 部分載荷하는 경우에 表面의 沈下量은

$$S = q - B \frac{1 - \nu^2}{E} I_p$$

여기서 q : 等分布荷重強度, B : 載荷幅

E, ν : 各各 彈性係數, Poisson

I_p : 영향係數

飽和된 粘土에서 間隙水의 流出이 없으면 體積 變化는 일어나지 않는고로 上式에서

$\nu = 0.5$ 로 높으면

$$\therefore S_i = \frac{3}{4} \frac{q - B \cdot I_p}{E}$$

다음 三次元 壓密에 의한 沈下量 S_c 는 標準壓密 試驗에 의한 沈下量 $Soed$ 와 比較하면 應力 상태가 다른고로 一般의으로 같지 않다.

$S_c/Soed$ 의 比는 半理論的으로 誘導하여 다음 式으로 表示한다.

$$\frac{S_c}{Soed} = \mu = A + \alpha(1-A)$$

여기서 A : 間隙水壓係數

$$\alpha = \frac{\Delta\sigma_3 dz}{\int_0^z \Delta\sigma_1 dz}$$

α 는 大體 D/B 만에 依하여 定하는 定數로 생각해도 좋다. 따라서 μ 值는 A 및 D/B 에 依하여 定해지는 고로 D/B 를 Parameter로서 μ 와 A 의 關係를 圖表로 表示하면 그림 3과 같다.

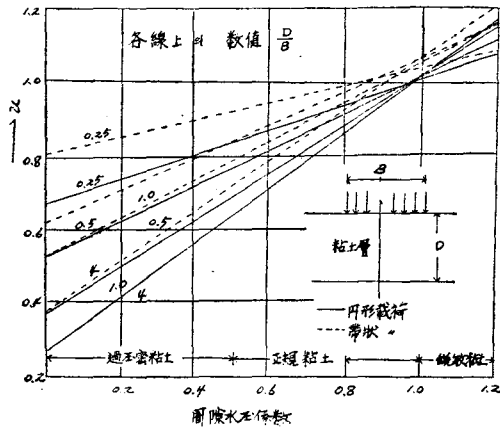


그림 μ 와 A 와의 關係

以上에 依하여 部分的인 載荷에 의한 粘土層의 三次元的인 沈下量은 $S = \frac{3 \cdot q \cdot B \cdot I_p}{4E} + \mu \cdot Soed$

6. 斜面의 安全率計算表

斜面의 安定計算表(分割法) II

(2호 방조제 내측)

細分 NO.	w (t)	θ (度)	$\sin \theta$	$\cos \theta$	w sin θ	a(m)	w · a (t, m)	w cos θ	w cos $\theta \cdot \tan \theta$
1	1.04			0.672		25.2	26.21		0.59
2	3.45					24.2	83.49		
3	11.22					22	246.84		
4	14.83					19	281.77		
5	18.72					15.7	293.90		
6	40.98					10.9	446.68		
7	53.55					4.45	238.30		

式으로 表示한다.

彈性係數와 間隙壓係數 A 를 定하면 $Soed$ 만이 취하는 一次元 壓密에 依한 方法보다 合理的으로 算定할 수 있다.

壓密沈下量 $Soed$ 는 正規壓密粘土에서 先行壓密應力, p_0 는 有效上載壓 p_1 와 같은 고로 이것에 載荷하면 壓縮은 恒常 p_0 에서 直線部分에 따라서 일어난다. 따라서 이 경우에 沈下量計算은 다음 式으로 구한다.

$$Soed = \sum \frac{C_c}{1+I_0} \times 0.435 \times H_i \frac{\Delta p}{p_0 + \frac{\Delta p}{2}}$$

5. 設計條件 및 標準斷面

堤防의 設計條件으로서

(1) 堤防쪽 마루 높이는 潮位, 異常 高潮, 波浪을 고려하여 +10.0m로 한다.

(2) 最終締切後에 堤內의 水位는 +6.15m, 堤外의 水位는 +4.23m로 한다(滑動方向은 內→外의 경우).

(3) 最終締切後에 堤外의 水位는 +7.32m, 堤內의 水位는 +3.80m로 한다(滑動方向은 外→內의 경우).

捨石의 單位重量: $r_s = 1.7 t/m^3$

捨石 水中單位重量: $r_{sub} = 0.7 t/m^3$

粘土의 單位重量: $r_c = 1.6 t/m^3$

粘土의 水中 重量: $r_{sub} = 0.6 t/m^3$

泥土의 水中單位重量: $r_{sub} = 0.6 t/m^3$

泥土 및 粘土의 平均粘着力: $C = 0.4 t/m^2$

泥土 및 粘土의 內部 마찰각: $\phi = 0^\circ$

捨石의 內部 마찰각: $\phi = 40^\circ$

8	7.75			0.5	3.88
9	31.15			1.95	-60.74
10	36.98			6.4	-236.67
11	38.58			11.8	-455.24
12	12.10			16.35	-196.62
13	5.23			19.15	-100.15

$$M_o = \sum_1^8 wa - \sum_9^{13} wa = 571.65 \quad M_r = 37.7^2(-0.13 \times 31.9 \times 71.5 \times 0.01744 + 0.13 \times 43)65 + 0.59 = 716.92$$

$$F = \frac{M_r}{M_o} = \frac{716.92}{571.65} = 1.25 > 1.23 \quad O.K.$$

回轉中心; 2 OR 31

回轉半徑; 37.9 m $\theta = 73^\circ$

圓張의 길이; 48 m

斜面的 安定計算表(重量)

(방호방조제 내측)

NO	地下水位 以上捨石 rs 1=1.7			地下水位 以下捨石 rs 2=0.7			地下水位 以上粘土 rc 3=1.6			地下水位 以上粘土 rc 4=0.6			地下水位 以上シルト rsj 5=1.6			地下水位 以下シルト rsi 6=0.6			全重量 w: (Ton)
	bs1 (m)	hs1 (m)	ws1 (Ton)	bs2 (m)	hs2 (m)	ws2 (Ton)	bc3 (m)	hc3 (m)	wc3 (Ton)	bc4 (m)	hc4 (m)	wc4 (Ton)	bsi5 (m)	hsi5 (m)	wsi5 (Ton)	bsi6 (m)	hsi6 (m)	wsi6 (Ton)	
1			1.04																1.04
2												3.45							3.45
3												11.22							11.22
4			0.68									12.67			1.48				14.83
5			10.47			0.33						3.37			4.55				18.72
6			24.48			8.82												7.68	40.98
7			28.56			10.29												14.7	53.55
8			4.08			1.30												2.37	7.75
9			16.32			4.62												10.21	31.15
10			20.4			2.80												13.78	36.98
11			24.48			2.94												11.16	38.58
12			8.16			1.78												2.16	12.10
13			4.19			1.04													5.23

回轉中心; 2 OR 31

回轉半徑; 37.7 m $\theta = 73^\circ$

圓弧의 길이; 48 m

斜面的 安定計算表(重量) I

(2호 방조제 외측)

NO	地下水位 以上捨石 rs 1=1.7			地下水位 以下捨石 rs 2=0.7			地下水位 以上粘土 rc 3=1.6			地下水位 以下粘土 rc 4=0.6			地下水位 以上シルト rsj 5=1.6			地下水位 以下シル트 rsi 6=0.6			全重量 w: (Ton)
	bs1 (m)	hs1 (m)	ws1 (Ton)	bs2 (m)	hs2 (m)	ws2 (Ton)	bc3 (m)	hc3 (m)	wc3 (Ton)	bc4 (m)	hc4 (m)	wc4 (Ton)	bsi5 (m)	hsi5 (m)	wsi5 (Ton)	bsi6 (m)	hsi6 (m)	wsi6 (Ton)	
1												9.63							9.63
2			4.99									13.28			1.22				19.49
3			19.72									3.52			6.96				30.20
4			16.32			3.76									8.76				28.84

5	19.58	12.93						8.06	40.57
6	21.21	8.37						17.47	47.05
7	20.40	8.05						18.75	47.20
8	20.40	6.47						19.80	46.67
9	24.48	2.35						26.06	52.89
10	8.16	0.84						11.34	20.34
11	12.24	3.64						19.20	35.08
12	1.37	1.44						0.99	3.80

回轉中心; 20 L 28

回轉半徑; 41.70 m $\theta=79.70^\circ$

圓弧의 길이; 57.96 m

斜面的 安定計算表(分割法) II

(2호 방조제의측)

細分 NO.	w (t)	θ (度)	$\sin \theta$	$\cos \theta$	w sin θ	a(m)	w, a (t, m)	w cos θ	w cos θ tan 40
1	9.63	40° 48'	0.653		6.28	26.5	255.19		
2	19.49	36° 06'	0.589		11.47	24.2	471.65		
3	30.20	33° 54'	0.557		16.82	21	634.20		
4	28.84	24° 24'	0.413		11.91	16.9	487.39		
5	40.57	17° 54'	0.307		12.45	12.5	507.12		
6	47.05	10° 42'	0.185		8.70	7.5	352.87		
7	47.20	3° 30'	0.061		2.87	2.5	118		
8	46.67	3° 30'	0.061		-2.84	-2.5	-116.67		
9	52.89	11° 12'	0.194		-10.26	-8	-423.12		
10	20.34	17° 45'	0.304		-6.18	-12.6	-256.28		
11	35.08	26° 06'	0.439		-13.42	-17.7	-620.91		
12	3.80	34° 33'	0.567		-2.15	-23	-87.40		

$$M_0=1,322.04 \quad M_2=41.7^2(-0.13 \times 33 \times 78.8 \times 0.01744 + 0.13 \times 528)=1,738.89 \times 0.96=1,669.33$$

$$C' = \frac{w \sin \theta - w \cos \theta \tan \phi}{L} = \frac{35.65}{57.96} = 0.61 \quad F = \frac{M_2}{M_0} = \frac{1,669.33}{1,322.04} = 1.26 \quad OK$$

$$\Sigma w \sin \theta \quad 35.65$$

回轉中心; 20 L 28

回轉半徑; 41.7 m $\theta=79.7^\circ$

圓弧의 길이; 57.96 m

斜面的 安定計算表(分割法) II

(최중체질 의측)

細分 NO.	w (t)	θ (度)	$\sin \theta$	$\cos \theta$	w sin θ	a(m)	w, a (t, m)	w cos θ	w cos θ tan 40
1	12.87					21.50	276.70		
2	20.17					19.15	386.25		
3	32.97					16.0	527.52		
4	40.93					11.45	468.64		
5	45.60					6.45	294.12		
6	28.21					2.50	70.52		

간극수압에 의한 Moment Mu
H.W.L=6.15
L.W.L=4.23 h=1.92
 $\Delta P=1,023 \times 1.92=1.96$
 $P=\frac{9.11+0.93}{2} \times 1.96=9.839$

7	9.01				0.50	4.50	$Mu=9.839 \times 25.4$
8	21.58				-1.45	-31.29	$=249.91$
9	28.60				-5.40	-154.44	$F = \frac{2,180.25}{1,235.58 + 249.91}$
10	24.55				-10.35	-154.09	$= \frac{2,180.25}{1.485.49} = 1,468$
11	20.11				-65.50	-311.70	
12	2.10			0.766	-17.60	-41.16	41.48

$$M_0 = \sum^7_1 wa - \sum^{12}_8 wa = 2,028.25 - 792.68 = 1,235.58$$

$$M_2 = R^2 [(C_0 - kh)\theta + kl] + R w \cos \theta \tan \phi$$

$$= 30.92^2 [(-0.19 \times 20 \times 87.5 \times 0.01744) + 0.19 \times 42.3] + 30.9 \times 1.6 \times 0.839 = 954.81 \times 2.24 + 41.48 = 2,180.25$$

回轉中心; 10 L 25 $\theta = 87.5^\circ$

回轉半徑; 30.9 m

回弧의 길이; m

斜面的 安定計算表(重量) I

(최종제결 외측)

NO	地下水位 以上捨石 rs 1=1.70			地下水位 以下捨石 rs 2=0.70			地下水位 以上粘土 rc 3=1.60			地下水位 以下粘土 rc 4=0.60			地下水位 以上실트 rsi 5=			地下水位 以下실트 rsi 6=0.60			全重量 w: (Ton)
	bs 1 (m)	hs 1 (m)	ws 1 (Ton)	bs 2 (m)	hs 2 (m)	ws 2 (Ton)	bc 3 (m)	hc 3 (m)	wc 3 (Ton)	bc 4 (m)	hc 4 (m)	wc 4 (Ton)	bsi 5 (m)	hsi 5 (m)	ws i 5 (Ton)	bsi 6 (m)	hsi 6 (m)	ws i 6 (Ton)	
1									12.70			0.17							12.87
2			1.02						16.38			2.65						0.12	20.11
3			9.78			2.52			13.09			3.38						4.20	32.97
4			21.04			7.70			0.19									12.0	40.93
5			21.25			7.70												16.65	45.60
6			12.75			4.62												10.84	28.21
7			3.78			1.54												3.69	9.01
8			6.12			4.62												10.84	21.58
9			4.25			7.70												16.65	28.60
10			4.25			7.70												12.60	24.55
11			4.93			8.93												6.26	20.11
12			0.42			1.68													2.10

回轉中心; 10 L 25

回轉半徑; 30.9 m $\theta = 87.50$

圓弧의 길이; m

斜面的 安定計算表(重量) I

(최종제결 내측)

NO	地下水位 以上捨石 rs 1=1.7			地下水位 以下捨石 rs 2=0.7			地下水位 以上粘土 rc 3=1.6			地下水位 以下粘土 rc 4=0.6			地下水位 以上실트 rsi 5=1.6			地下水位 以下실트 rsi 6=0.6			全重量 w: (Ton)
	bs 1 (m)	hs 1 (m)	ws 1 (Ton)	bs 2 (m)	hs 2 (m)	ws 2 (Ton)	bc 3 (m)	hc 3 (m)	wc 3 (Ton)	bc 4 (m)	hc 4 (m)	wc 4 (Ton)	bsi 5 (m)	hsi 5 (m)	ws i 5 (Ton)	bsi 6 (m)	hsi 6 (m)	ws i 6 (Ton)	
1			0.26						5.88										6.14
2									15.60			0.72							16.22
3									28.28			8.40							36.68
4			8.39			6.32			14.56			1.38							30.65
5			8.36			3.52													11.88

$$M_2 = 32^2 [(-0.13 \times 17.8 \times 99 \times 0.01744) + 0.13 \times 48.7] + 0.32 \times 32 = 2,406.4$$

간곡수압을 고려할 경우

$$Mu = 334.77 \quad F = \frac{Mr}{M_0 + Mu} = \frac{2,406.4}{1,602.75 + 334.77} = 1,242$$

回轉中心 10 L 28
 回轉半徑 32.0 m
 圓弧의 길이 _____ m

$$\theta = 99^\circ$$

斜面的 安定計算表(重量) I

(준체질 의측)

NO	地下水位 以上捨石 rs 1=1.7			地下水位 以下捨石 rs 2=0.7			地下水位 以上粘土 rc 3=1.6			地下水位 以下粘土 rc 4=0.6			地下水位 以上실트 rsi 5=1.6			地下水位 以下실트 rsi 6=0.6			全重量 w: (Ton)
	bs 1 (m)	hs 1 (m)	ws 1 (Ton)	bs 2 (m)	hs 2 (m)	ws 2 (Ton)	bc 3 (m)	bc 3 (m)	wc 3 (Ton)	bc 4 (m)	hc 4 (m)	wc 4 (Ton)	bsi 5 (m)	hsi 5 (m)	ws i 5 (Ton)	bsi 6 (m)	hsi 6 (m)	ws i 6 (Ton)	
1									13.53			0.50							14.03
2			1.02						16.70			3.82							24.09
3			3.78			3.79			12.68			3.78					5.40		35.63
4			26.31			12.6			0.19								18.72		57.82
5			30.94			14.70											31.50		77.14
6			10.88			8.40											20.28		39.56
7			6.12			12.60											34.44		53.16
8			9.18			18.9											32.67		60.75
9			0.51			9.61													10.12
10						0.24													0.24

回轉中心 10 L 28
 回轉半徑 32.0 m
 圓弧의 길이 _____ m

$$\theta = 99^\circ$$

斜面的 安定計算表(分割法) II

(준체질 내측)

細分 No	w (t)	θ (度)	$\sin \theta$	$\cos \theta$	w sin θ	a(m)	w, a (t, m)	w cos θ	w cos θ tan 40
1	6.14					18.5	113.59		
2	16.32					16.05	261.94		
3	36.68					11.1	407.15		
4	30.65					5.1	156.32		
5	11.88					1.25	14.85		
6	-5.07					0.8	-4.06		
7	-24.9					6.6	-164.34		
8	-3.41					12.6	-42.97		
9	-0.83	38° 15'		0.796		14.15	-11.74	0.66	0.55

$$M_0 = 730.74 \quad M_2 = 23.8^2 (-0.19 \times 12.8 \times 92.5 \times 0.01744 + 0.19 \times 34.45) + 23.8 \times 0.55 = 1498.86$$

間隙水壓을 고려할 경우

$$b = 19.5m$$

$$\Delta P = (7.32 - 3.80) \times 1,023 = 3,601$$

$$Pr = 4.35 \times 3,601 = 15,664$$

$$Mu = 15 \times 664 \times 19.50 = 305.45$$

$$F = \frac{1,498.86}{730.74 + 305.45} = 1.447 > 1.24 \quad OK$$

回轉中心 10 R 24

回轉半徑 23.8 m

$$\theta = 92.5^\circ$$

圓弧의 길이 _____ m

斜面的安定計算表(分割法) II

(준체질 내측)

NO	地下水位 以上捨石 rs 1=1.7			地下水位 以下捨石 rs 2=0.7			地下水位 以上粘土 rc 3=1.6			地下水位 以下粘土 rc 4=0.6			地下水位 以上실트 rsi 5=			地下水位 以下실트 rsi 6=0.6			全重量 w: (Ton)
	bs 1 (m)	hs 1 (m)	ws 1 (Ton)	bs 2 (m)	hs 2 (m)	ws 2 (Ton)	bc 3 (m)	hc 3 (m)	wc 3 (Ton)	bc 4 (m)	hc 4 (m)	wc 4 (Ton)	bsi 5 (m)	hsi 5 (m)	wsi 5 (Ton)	bsi 6 (m)	hsi 6 (m)	wsi 6 (Ton)	
1			0.26						5.88										6.14
2									15.60			0.72							16.32
3									28.28			8.40							36.68
4			8.39			6.32			14.56			1.38							30.65
5			8.36			3.52													11.88
6			2.72			2.35													5.07
7			10.20			14.70													24.90
8			0.56			2.85													3.41
9			0.83																0.83

回轉中心 10 R 24

回轉半徑 23.8 m

$$\theta = 92.5^\circ$$

圓弧의 길이 _____ m

7. 沈下量計算

(1) 第2號防潮堤

$$S_i = \frac{3qB}{4E} I_p, \quad E = 50 \times C = 50 \times 0.4 = 20 \text{ t/m}^2$$

$$\therefore S_i = 0.037 q, B, I_p$$

$$a = 3.8 \text{ m} \quad z = 14.4 \text{ m} \quad \frac{a}{z} = \frac{3.8}{14.4} = 0.26$$

$$I_1 = 0.078 \quad b = 0 \quad z = 14.4 \text{ m} \quad \frac{b}{z} = 0 \quad B = 8 \text{ m}$$

$$a = 0.26$$

$$\frac{b}{z} = \frac{8.0}{14.4} = 0.55 \quad I_2 = 0.33$$

$$I_p = 0.08 + 0.33 = 0.41$$

$$\Delta P = 0.41q = 0.41 \times 2.06 = 0.84 \text{ t/m}^2, \quad B = 8 \text{ m}$$

$$S_i = 0.0375 q, B, I_p = 0.0375 \times 0.84 \times 8.0 = 0.25 \text{ m}$$

$$S_c = \frac{0.694}{1 + 1,862} \times 0.435 \times \frac{0.84}{9.17 + \frac{0.84}{2}} \times 14.4$$

$$= 0.13 \text{ m}$$

$$S = S_i + S_c = 0.25 + 0.13 = 0.38 \text{ m}$$

$$a = 11.0 \text{ m} \quad z = 14.4 \text{ m} \quad \frac{a}{z} = \frac{11.0}{14.4} = 0.76$$

$$I_1 = 0.20$$

$$b = 0 \quad \frac{b}{z} = 0 \quad B = 30 \text{ m}$$

$$\frac{b}{z} = \frac{30}{14.4} = 2.09$$

$$I_p = 0.2 + 0.485 = 0.685$$

$$\Delta P = 0.685q = 0.685 \times 4.78 = 3.27 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = 0.00375 \times 3.27 \times 30 = 3.57 \text{ t/m}^2$$

$$S_c = 0.1054 \times \frac{3.27}{9.17 + \frac{3.27}{2}} \times 14.4 = 0.46 \text{ m}$$

$$S = S_i + S_c = 3.57 + 0.46 = 4.03 \text{ m}$$

$$a = 44.8 \text{ m} \quad z = 14.4 \text{ m} \quad \frac{a}{z} = \frac{44.8}{14.4} = 3.11$$

$$I_1 = 0.39$$

$$b = 0 \quad \frac{b}{z} = 0 \quad b = 2.0 \quad \frac{b}{z} = 0.138$$

$$I_2 = 0.45$$

$$I_p = 0.39 + 0.45 = 0.84$$

$$\Delta P = 0.84q = 0.84 \times 7.8 = 6.55 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = 0.0375 \times 6.55 \times 2.0 = 0.0375 \times 13.1 = 0.49 \text{ m}$$

$$S_c = 0.1054 \times \frac{6.65}{9.17 + \frac{6.65}{2}} \times 14.4 = 0.8 \text{ m}$$

$$S = S_i + S_c = 0.49 + 0.8 = 1.29 \text{ m}$$

盛土 + 6.80m에서

$$S = 0.25 + 0.8 \times 0.13 = 0.33 \text{ m}$$

盛土 + 7.80m에서

$$S = 0.33 + 3.57 + 0.86 \times 0.46 = 4.30 \text{ m}$$

盛土 + 10.00m에서

$$S = 4.30 + 0.49 + 0.86 \times 0.8 = 5.48 \text{ m}$$

(2) 最終締切區間の 沈下量

$$S_i = \frac{3}{4} \frac{q_1 B}{B} I_p, \quad E = 20 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = 0.037q, B, I_p$$

$$a = 5.20 \text{ m} \quad z = 10.7 \text{ m} \quad b = 16 \text{ m}$$

$$\frac{a}{z} = \frac{5.2}{10.7} = 0.48 \quad \left. \right\} I_1 = 0.12$$

$$\frac{b}{z} = 0$$

$$\frac{b}{z} = \frac{16}{10.7} = 1.49 \quad \frac{a}{z} = 0.48 \quad I_2 = 0.45$$

$$I_p = 0.12 + 0.45 = 0.57$$

$$\Delta P = 0.57q = 0.57 \times 2.56 = 1.46 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = 0.0376 \times 1.46 \times 16 = 0.864 \text{ m}$$

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \times 0.435 \frac{\Delta P}{P + \Delta P/2} = \frac{1.020}{1 + 2.131}$$

$$\times 0.435 \times \frac{1.46}{6.42 + \frac{1.46}{2}} \times 10.7 = 0.34$$

$$S = S_i + S_c = 0.86 + 0.34 = 1.20 \text{ m}$$

$$a = 25.2 \text{ m} \quad z = 10.7 \text{ m} \quad b = 13 \text{ m}$$

$$\frac{a}{z} = \frac{25.2}{10.7} = 2.35 \quad \frac{b}{z} = \frac{13}{10.7} = 1.21$$

$$I_2 = 0.48$$

$$\frac{b}{z} = 0 \quad I_1 = 0.34 \quad \frac{a}{z} = 2.35$$

$$I = 0.34 + 0.48 = 0.82$$

$$\Delta P = 0.82q = 0.82 \times 3.39 = 2.78 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = 0.0375 \times 2.78 \times 13 = 1.36 \text{ m}$$

$$S_c = \frac{1.02}{3.131} \times 0.435 \times \frac{2.78}{6.42 + \frac{1}{2} \times 2.78}$$

$$\times 10.7 = 0.54 \text{ m}$$

$$S = S_i + S_c = 1.36 + 0.54 = 1.90 \text{ m}$$

$$a = 38.2 \text{ m} \quad z = 10.7 \text{ m} \quad b = 0$$

$$\frac{a}{z} = \frac{38.2}{10.7} = 3.57 \quad \frac{b}{z} = 0 \quad I_1 = 0.41$$

$$\frac{a}{z} = 3.57 \quad b = 2.0 \quad \frac{b}{z} = \frac{2.0}{10.7} = 0.186$$

$$I_2 = 0.45$$

$$I = 0.41 + 0.45 = 0.86$$

$$\Delta P = 0.86 \times 8.68 = 7.46$$

$$S_i = 0.0375 \times 7.46 \times 2 = 0.56$$

$$S_c = \frac{1.02}{3.131} \times 0.435 \times \frac{7.46}{6.42 + \frac{7.43}{2}}$$

$$\times 10.7 = 1.11$$

$$S = S_i + S_c = 0.56 + 1.11 = 1.67 \text{ m}$$

$$\Sigma S_i = 0.86 + 1.36 + 0.56 = 2.78 \text{ m}$$

$$\Sigma S_c = 0.34 + 0.54 + 1.11 = 1.99 \text{ m}$$

泥土의 深度 $D = 2H = 21.4 \text{ m}$, 堤幅 $B = 78.8 \text{ m}$

$$\frac{D}{B} = \frac{21.4}{78.8} = 0.27 \quad \text{일때 } \alpha = 0.75$$

間隙水 係數 $A = 0.5$ 이면 $\mu = 0.86$ 된다.

最大泥下量 S 는

$$S = \Sigma S_i + \alpha \Sigma S_c = 2.78 + 0.86 \times 1.99 = 4.49 \text{ m}$$

盛土標高 + 6.80m에서

$$S_i = 0.86 + 0.86 \times 0.34 = 1.15 \text{ m}$$

盛土標高 + 8.00m에서

$$S_2 = 1.36 + 0.86 \times 0.54 + 1.15 = 2.97 \text{ m}$$

盛土標高 + 10.00m에서

$$S_3 = 2.97 + 1.11 + 0.86 \times 0.56 = 4.56 \text{ m}$$

(3) 準締切區間の 沈下量

$$S_i = \frac{3}{4} \times \frac{q \cdot B}{E} I_p, \quad E = 20 \text{ t/m}^2$$

$$S_i = 0.0375, q, B, I_p$$

$$a = 7.2 \text{ m} \quad z = 12.7 \text{ m} \quad \frac{a}{z} = \frac{7.2}{12.7} = 0.57$$

$$I_1 = 0.14$$

$$b = 0 \quad \frac{b}{z} = 0$$

$$b = 18 \text{ m} \quad \frac{b}{z} = \frac{18}{12.7} = 1.4 \quad I_2 = 0.47$$

$$I_p = 0.14 + 0.47 = 0.61$$

$$\Delta P = 0.61q = 0.61 \times 3.12 = 1.90 \text{ t}$$

$$S_i = 0.0375 \times 1.9 \times 18 = 1.28 \text{ m}$$

$$S_c = 0.0154 \times \frac{1.9}{7.62 + \frac{1.9}{2}} \times 12.7$$

$$= 0.1054 \times 2.815 = 0.3m$$

$$a = 29.2m \quad z = 12.7m \quad \frac{a}{z} = \frac{29.2}{12.7} = 2.29$$

$$I_1 = 0.06$$

$$b = 0 \quad \frac{b}{z} = 0 \quad b = 13m \quad \frac{b}{z} = \frac{13}{12.7} = 1.02$$

$$I_2 = 0.43$$

$$I_p = 0.06 + 0.43 = 0.49$$

$$\Delta P = 0.49q = 0.49 \times 6.52 = 3.2t$$

$$S_i = 0.0375 \times 3.2 \times 13 = 1.54m$$

$$S_c = 0.1054 \times \frac{3.2}{7.62 + 1.6} \times 12.7 = 0.46m$$

$$a = 46.2m \quad z = 12.7 \quad \frac{a}{z} = \frac{46.2}{12.7} = 2.6$$

$$I_1 = 0.38$$

$$b = 0 \quad \frac{b}{z} = 0 \quad b = 2.6 \quad \frac{b}{z} = \frac{2.6}{12.7} = 0.204$$

$$I_2 = 0.175$$

$$I_p = 0.38 + 0.175 = 0.555$$

$$\Delta P = 0.555q = 0.555 \times 9.16 = 5.08t$$

$$S_i = 0.0375 \times 5.08 \times 2.6 = 0.5m$$

$$S_c = 0.1054 \times \frac{5.08}{7.62 + \frac{5.08}{2}} \times 12.7 = 0.67m$$

$$\frac{D}{B} = \frac{25.4}{92} = 0.27 \quad A = 0.5 \text{ 이면 } \mu = 0.86$$

盛土標高 + 6.00m에서

$$S = 1.28 + 0.3 \times 0.86 = 1.28 + 0.26 = 1.54m$$

盛土標高 + 8.00m에서

$$S = 1.54 + 1.54 + 0.86 \times 0.46 = 3.44m$$

盛土標高 + 10.00m에서

$$S = 3.44 + 0.5 + 0.86 \times 0.67 = 4.52m$$

上記 沈下量은 完工과 同時에 일어나는 數值로 思料됩니다.

8. 結 論

(1) $\phi=0$ 法에 의한 안전率은 1.25 이나 浸透壓을 고려한 安全率은 1.05 로 한다.

(2) 即刻 沈下量과 壓密沈下量을 합한 全沈下量은 最大 4.50m 이며 最小 1.15m 로 推算한다.

(3) 現斷面으로서 不充分하며 最終縮切直後 浸透壓에 의한 丹孤滑動모멘트를 고려해야 한다.

(4) 軟弱地盤에서 계단식 盛土設計施工圖를 作成하여 完遂할 必要성이 있다.

(5) 따라서 工事施工期間을 되도록 延長하는 것이 有利하다고 思料된다.

(6) 堤體의 마루높이는 潮位, 異常高潮, 波浪을 고려하여 +10.0m 로 計算하였다.

(7) 堤內의 水位는 縮切直後 +6.15m 로 決定했으나 縮切後에 漸漸 低下되는 것으로 豫상된다.

(8) 以上과 같은 諸般 現地 條件을 考察하여 볼 때 合理的인 工法은 다음과 같다.

(가) 축제방식은 漸高方式을 취할 것이며

第1段 盛土高는 1.5m 以下로 함을 原則으로 한다.

(나) 載荷 期間에 等速度로 盛土해야 한다.

(다) 沈下計算, 安全率의 計算은 一段階의 盛土 所要時間의 1/2 의 時間 經過後에 순간 載荷하는 것으로 計算한다.

(라) 潮汐의 出入에 의한 침식을 방지하기 위하여 事前에 바닥 다짐이 必要하다.

(마) 干滿差에 의한 流速이 過大(3m/sec)되지 않도록 충분한 斷面을 주어질 必要가 있다.

(9) 장차 시공도중 地반변화 상태가 豫상되므로 계단식 盛土設計施工圖를 作成하여 대책을 세워서 보강하는 것이 좋을 것이다.

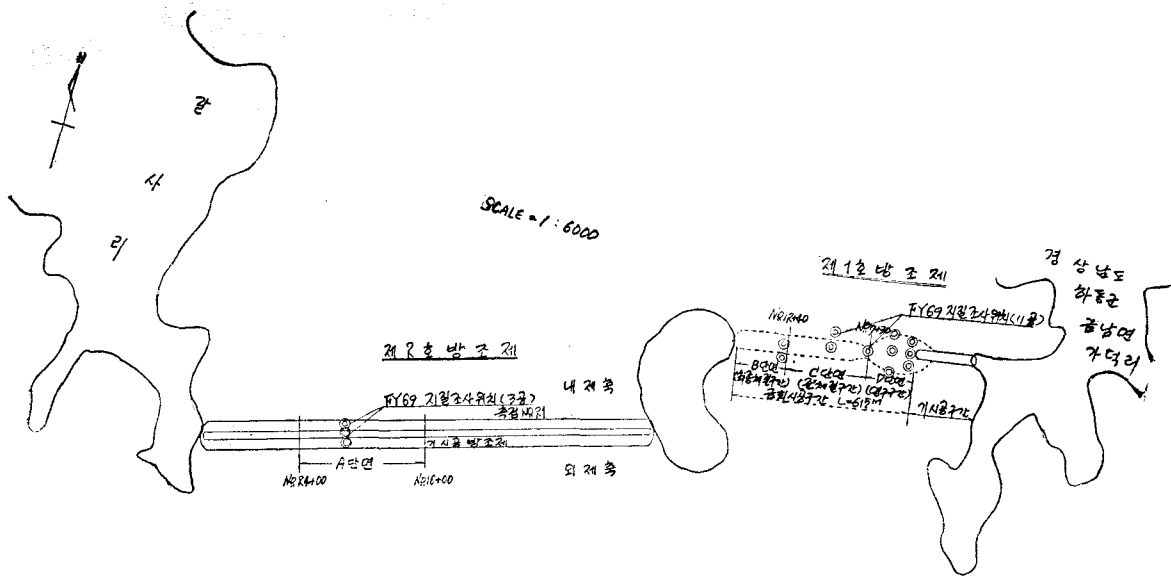


fig. 1 錦南地區 水利干拓事業 地區 平面圖

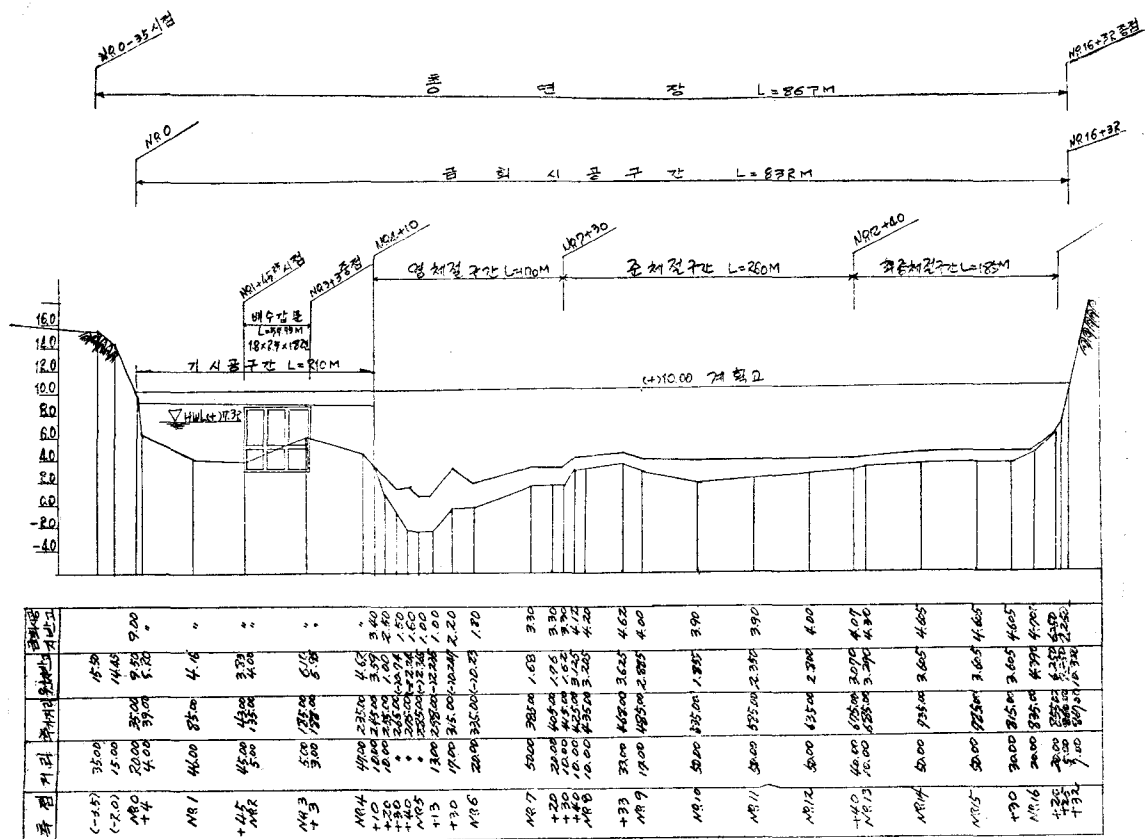


fig. 2 第1號 防潮堤 縱斷圖

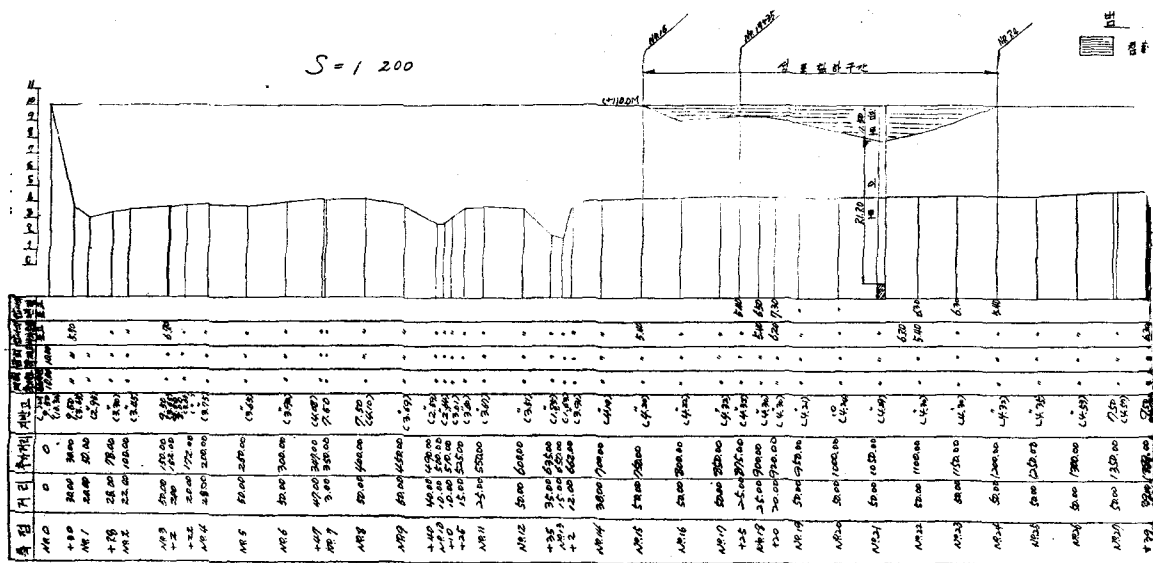


fig. 3 第2號 防潮堤 縱斷圖

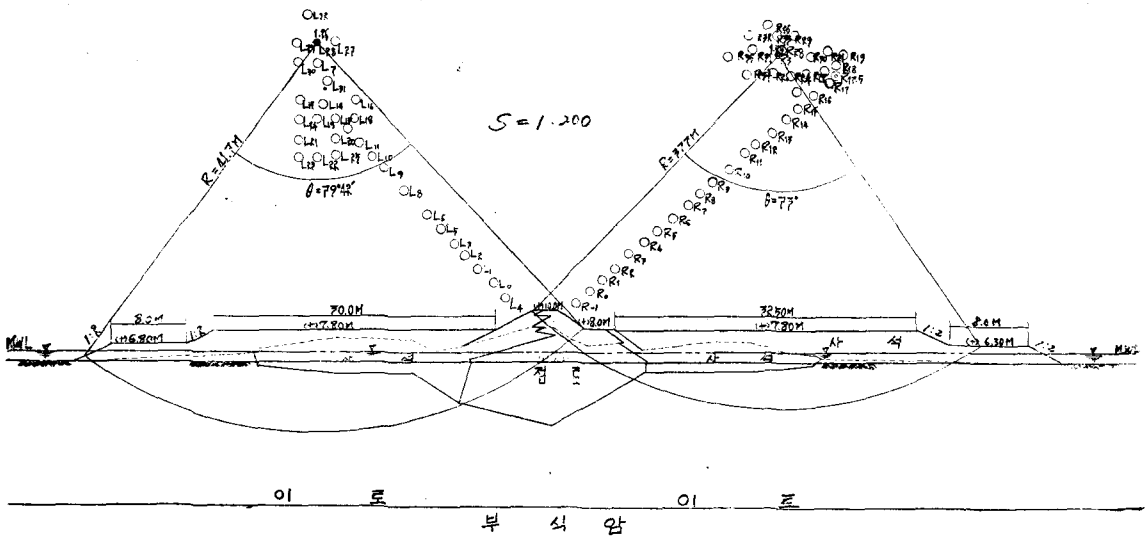


fig. 4 第2號 防潮堤(測點 No.21) A斷面

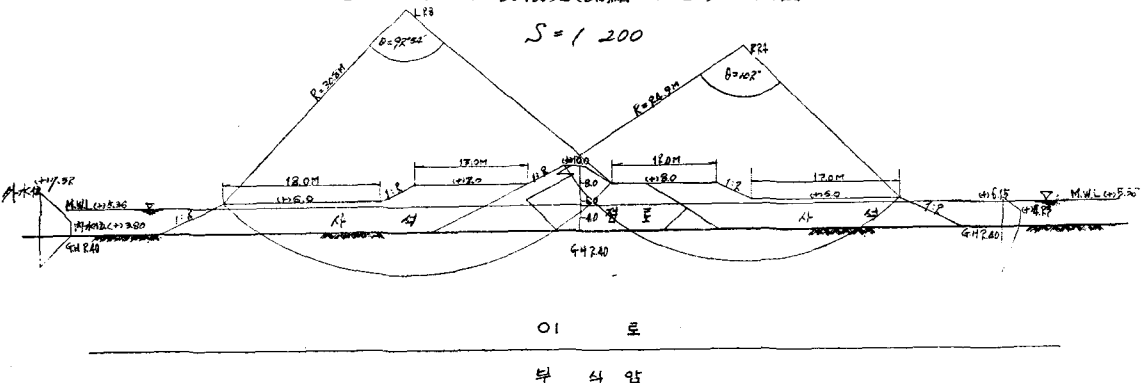


fig. 5 第1號 防潮堤 準縮節區間斷面圖(No. 12) C斷面

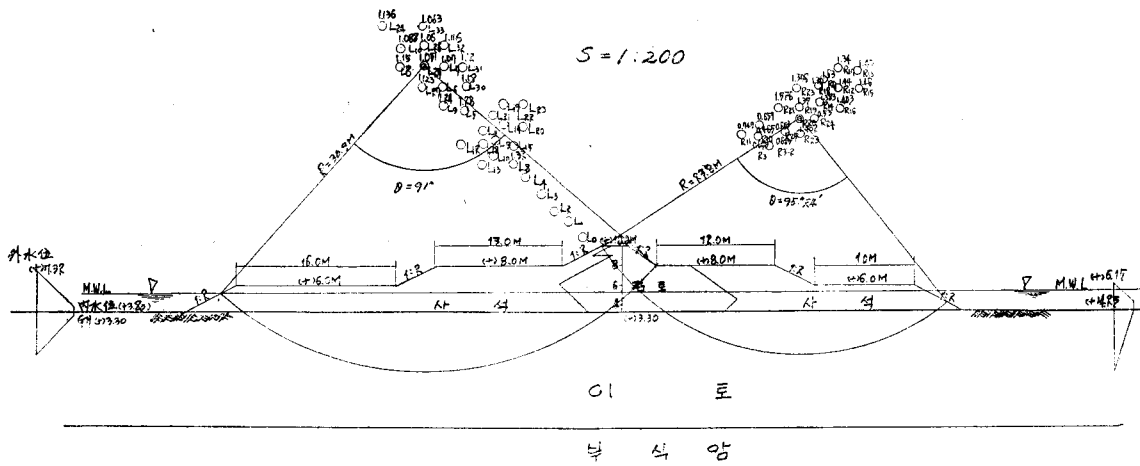


fig. 6 第1號 防潮堤(測點 No. 13) B斷面

寄 稿 歡 迎

本誌의 內容을 더욱 充實하게 하기 爲하여 다음과 같이 會員 및 讀者 諸位의 寄稿를 歡迎합니다.

- 1) 200字 原稿紙를 使用하고 題目 및 姓名은 國漢文 및 英文으로 記載하여 주시기 바랍니다.
- 2) 筆者의 寫眞一枚와 本文記事와 關係있는 寫眞 및 圖解를 添付하여 주시기 바랍니다.
- 3) 採擇된 原稿에 對해서는 所定の 稿料를 드리겠습니다.
- 4) 提出期間: 隨時로 接受함
- 5) 보내실곳: 韓國技術士會事務局編輯室

서울特別市 中區 明洞 2街 5-5

電話 ㉔ 8265 ㉔ 5866