

軟弱地盤의 土工 設計例

A Design of the Earth Work on Soft Foundation

韓 相 昱* · 林 炳 鎭*

Sang Uk Han · Byung Ho Lim

I. 序 論

軟弱地盤에 築造되는 土工은 現在까지는 載荷重에 依한 地盤應力 增加를 고려하지 않고 自然狀態의 地盤을 調查 및 試驗하여 設計에 直接 利用하므로써 斷面이 過大하여지는 경우도 있었다. 여기서는 榮山江 河口堰 設計에 있어서 河口右側 軟弱地盤을 對象으로 土工을 設置할 경우 施工期間中의 載荷重에 依한 基礎 地盤 應力 增加를 고려한 過程을 記述코져 한다.

本地區는 海成 沖積土로써 干潟地가 잘 발달되어 있다. 干潟地軟弱層의 평균 深度가 6.0m이며 그중

4~5m 深度까지는 含水比가 平均 70%이고 그 以下는 平均 35%로서 100% 飽和 되어있다. 이 層은 粘土粒子의 含量이 20% 以上으로서 高壓縮性이며 統一 分類로는 CH에 屬하고 塑性圖 A線위에 位置한다(그림 1).

II. 現場 調查 및 試驗

軟弱地盤調查의 區間은 延長이 1,160m이며 潮水의 影響으로 항상 潮位가 變動되고 水深이 깊어 海上에 큰 배(Barges)을 띄워 PLS-1型 試錐機로 5個所를 調查하였다. 地盤이 너무 軟弱하여 標準貫入 抵抗試驗은 實施하지 못하고 Osterberg Piston Sampler로 直徑 35mm 길이 50cm 씩 不攪亂 試料를 連續 採取하여 現場에서 密閉시킨후 다음과 같은 室內 試驗을 實施하였다.

1. 比重 試驗(KSF 2308)
2. 粒度分析(KSF 2302)
3. 液性限界(KSF 2303)
4. 塑性限界(KSF 2304)
5. 一軸壓縮 試驗
6. 三軸壓縮 試驗

III. 試驗 數值의 分析

1. 試驗 數值의 決定

現場에서 採取한 不攪亂 試料를 深度別로 11點을 試驗하여 그림 2와 같이 深度(D)와 一軸 壓縮 試驗值

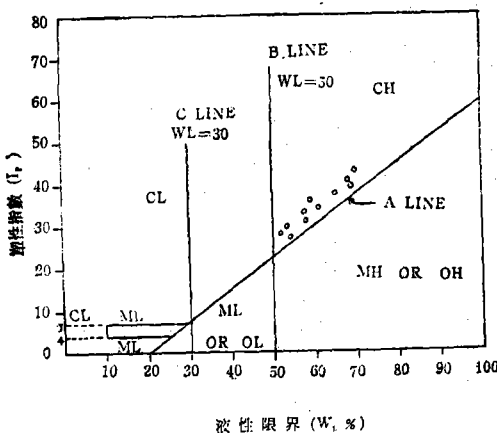


그림 1. 塑性圖

* 農振公 榮山江 事業所

(q), 濕潤密度(γ_t)와 強度 增加率(C_u/P)의 關係를 分析하여 粘着力 C_0 는 $\frac{q_u}{2}$ 의 平均值 0.1 kg/cm^2 現場密度($\gamma_t=1.61+0.022D$) 1.68 g/cm^3 , 壓密係數 $9 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 와 體積變化率 $8 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g}$ 역시 平均值를 適用하였으며 C_u/p 는 0.3 으로 하였다.

2. 試驗數値의 응용

壓密에 따른 地盤 強度 增加는 다음 公式에 依한다

$$C = C_0 + m\Delta P$$

여기서 C; 壓密後 粘着力

C_0 ; 壓密前 粘着力

m; $\frac{C_u}{\Delta P}$ 強度 增加率

ΔP ; 載荷重에 따른 有效 應力의 增加

$m = C_u/\Delta P$ 는 壓密 非排水 直接 剪斷試驗 또는 壓密 非排水 三軸 壓縮試驗에 依하여 求한다.

即 壓密 非排水 直接剪斷試驗을 할 境遇는 壓密 應力과 剪斷強度와의 關係를 나타내면 그림 3과 같으며 壓密非排水 三軸 壓縮試驗의 경우는 液壓(σ_c)과 剪斷強度와의 關係를 나타내며는 C_u/P 의 값을 얻는다. 그림 3에서 破壞應力圓 A의 直徑의 1/3點에 해당하는 P點이 壓密壓力 σ_c 의 바로 위에 오게끔 應力圓을 옮겨 B圓을 그리면 이 圓이 平均 主應力一定의 條件에 있어서의 破壞應力圓이다. mohr

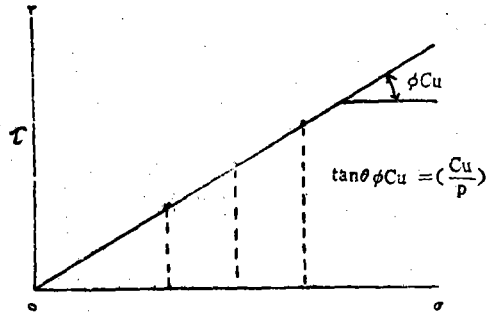


그림 3. (a) 直接剪斷試驗의 경우

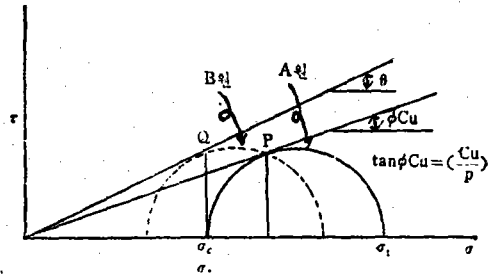


그림 3. (b) 三軸 壓縮試驗의 경우

부분에서 계속 붕괴가 일어날 것이다. 그러므로 본 軟弱地盤 捨石堤築造에는 인근 海底 모래를 使用하는 地盤의 置換法 및 緩速工法을 兼하는 것으로 計劃하였다.

1. 設計條件

盛土材料(捨石); $\gamma_{sat} = 1.933 \text{ t/m}^3$

$$\gamma_t = 1.6 \text{ t/m}^3, \phi = 40^\circ$$

置換材料(모래); $\gamma_{sat} = 2.0 \text{ t/m}^3, \gamma_{sub} = 1.0 \text{ t/m}^3$

基礎地盤(mud); $\gamma_{sat} = 1.68 \text{ t/m}^3,$

$$C_v = 9.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$$

$$m_v = 8 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{g},$$

$$C_u/P = 0.3, \phi = 0$$

基礎地盤의 泥土層을 모래로 2m 置換하여 盛土 高 3.521m 까지 盛土하고 2年이 經過한 後에 殘餘의 斷面을 連續 施工할 경우의 捨石堤의 斷面을 設計한다.

2. 2年後 泥土層에 對한 壓密率計算

$$H = 4.0 \text{ m} = 400 \text{ cm}, C_v = 9.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$$

$$t = 2 \text{ 年} = 63,072,000 \text{ sec}$$

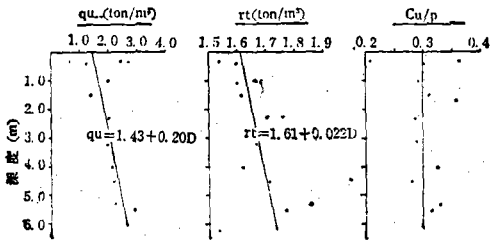


그림 2. 基礎地盤의 力學的性質

圓의 直徑의 1/3點의 σ_n 는 $(\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ 이며 C_u/p 值를 求하기 爲한 剪斷強度로서는 應力圓 Q點의 剪斷應力을 고려하였다.

본 硯고에서는 壓密 非排水 三軸 壓縮試驗을 하여 上記 要領에 의거 그림 2의 結果를 얻었다.

IV. 設 計

現在の 基礎地盤위에 對策없이 捨石堤를 築造할 경우 斜面 기울기를 상당히 완하게 하여도 表面 間

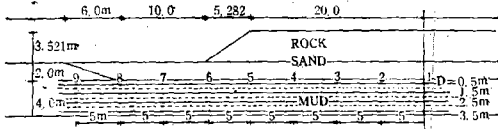


그림 4. 設計假定 斷面

$$\text{時間係數 } T = \frac{C_v \cdot t}{H^2} = \frac{9.0 \times 10^{-4} \times 6.0372 \times 10^4}{(4.0 \times 100)^2} = 3.55 \times 10^{-1}$$

Terzaghi 理論에 따른 壓密曲線(그림 5)에 의거 壓密率(U)=65%를 求하였으며 T-U_s에 의한 壓密率은 그림 6에서 求한다.

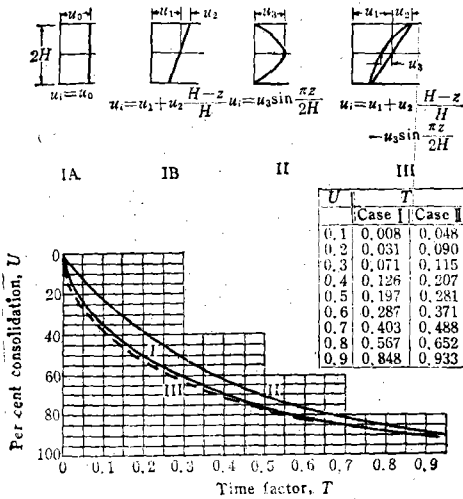


그림 5. Terzaghi 理論에 따른 壓密曲線

3. 載荷重에 의한 地盤內 應力(σ_z)計算

모래 載荷重; 1.0 - 0.68 = 0.32

$$q_s = 0.32 \times 2 = 0.64 (t/m^2)$$

捨石 載荷重; q_r = 0.933 × 3.521 = 3.275 (t/m²)

$$q_o = q_s + q_r = 3.915 t/m^2$$

그림 4에서와 같이 基礎地盤을 적당한 間격으로 格子 방안을 釐후 그림 7 Osterberg의 載荷重에 依한 地盤內 應力 影響值曲線에서 各格子別 應力을 計算한다.

4. 壓密에 따른 C_u 計算

$$P = q_o \times U_z \quad C_u/P = 0.3 \quad C_u = 0.3P$$

$$C = \frac{q_u}{2} + C_u = 1.0 + C_u$$

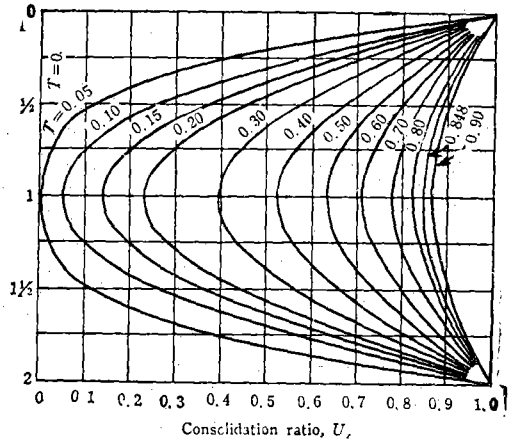


그림 6. 時間係數와 深度에 따른 壓密

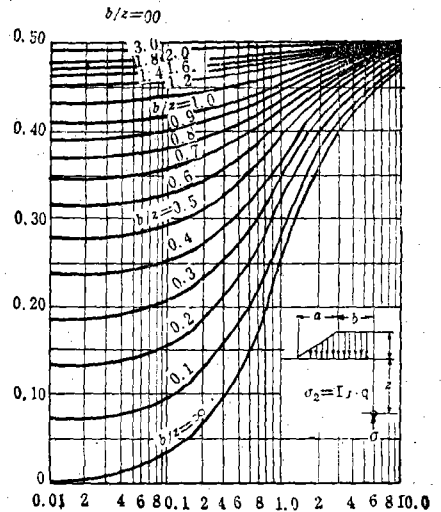


그림 7. 載荷重에 의한 地盤內 應力 影響值

V. 安定度 分析

앞에서 計算한 基礎地盤 粘着力(C)을 各 格子 마다 記入하여 임의의 假設圓을 그렸을 때 基礎地盤을 지나는 圓弧의 粘着力은 格子마다 4개의 粘着力을 平均하여 適用한다.

安定度 分析 結果 假定斷面의 安定 係數가 0.933 이므로 堤體가 不安全하여 設計斷面과 基礎地盤 置換깊이를 變化시킴으로서 所要의 安全을 求할수 있으나 본 原稿에서는 반복 計算을 하지않고 計算過程만을 說明 하였다.

軟弱地盤の土工設計例

表-1.

σ_{z1} 計 算

(모래)

Grid No.	$\frac{b}{z}$	$\frac{a}{z}$	I_1	$\frac{b}{z}$	$\frac{a}{z}$	I_2	I_1+I_2	σ_{z1}
D=0.5m								
1	$\frac{41.282}{0.5} = 82,564$	0.01	0.50		0.01	0.50	1.0	0.64
2	$\frac{36.282}{0.5} = 72,564$	0.01	0.50	$\frac{46.282}{0.5} = 92,564$	0.01	0.50	1.0	0.64
3	$\frac{31.282}{0.5} = 62,564$	0.01	0.50					
4								
5								
6								
7								
8	$\frac{6.282}{0.5} = 12,562$	0.01	0.50	$\frac{76.282}{0.5} = 152,564$	0.01	0.50	1.0	0.64
9	$\frac{1.282}{0.6} = 2,562$	0.01	0.486	$\frac{81.252}{0.5} = 162,564$	0.01	0.50	0.986	0.631
D=1.5m								
1	$\frac{41.282}{1.5} = 27.52$	0.01	0.50		0.01	0.50	1.0	0.64
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8	$\frac{6.282}{1.5} = 4,188$	0.01	0.50	$\frac{76.282}{1.5} = 50,855$	0.01	0.50	1.0	0.64
9	$\frac{1.262}{1.5} = 0,855$	0.01	0,385	$\frac{81,282}{1,5} = 54,188$	0,01	0,50	0,885	0,57
D=2.5m								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7	$\frac{11,282}{2,5} = 4,513$	0,01	0,50	$\frac{71,282}{2,5} = 28,513$	0,01	0,50	1,0	0,64
8	$\frac{6,282}{2,5} = 2,513$	0,01	0,485	$\frac{76,282}{2,5} = 30,513$	0,01	0,50	0,985	0,63
9	$\frac{1,282}{2,5} = 0,513$	0,01	0,285	$\frac{81,282}{2,5} = 32,513$	0,01	0,50	0,785	0,50
D=3.5m								
1								

軟弱地盤の土工設計例

2								
3								
4								
5								
6								
7	$\frac{11.282}{3.5} = 3.22$	0.01	0.495			0.50	0.995	0.64
8	$\frac{6.282}{3.5} = 1.795$	0.01	0.477	$\frac{76.282}{3.5} = 21.795$	0.01	0.50	0.977	0.625
9	$\frac{1.282}{3.5} = 0.366$	0.01	0.215	$\frac{81.282}{3.5} = 23.223$	0.01	0.50	0.715	0.458

表-2.

σ_{zz} 計 算

(サ석)

Grid No.	$\frac{b}{z}$	$\frac{a}{z}$	I_1	$\frac{b}{z}$	$\frac{a}{z}$	I_1	I_1+I_2	σ_{zz}
	D=0.5m							
1	$\frac{20}{0.5} = 40.0$	$\frac{5.282}{0.5} = 10.564$	0.50			0.50	1.00	3.275
2	$\frac{15}{0.5} = 30.0$	$\frac{5.282}{0.5} = 10.564$	0.50	$\frac{25.0}{0.5} = 50.0$		0.50	1.00	3.275
3	20.0		0.50			0.50	1.00	3.275
4	10.0		0.50			0.50	1.00	3.275
5	0.0		0.47			0.50	0.97	3.177
6	$\frac{45,282}{0.5} = 90.564$	$\frac{5,282}{0.5} = 10,564$	0.50	$\frac{0.0}{0.5} = 0.0$	$\frac{5,282}{0.5} = 10.564$	0.47	0.03	0.098
7	$\frac{50,564}{0.5} = 101.13$	$\frac{5,282}{0.5} = 10,564$	0.50	$\frac{5,282}{0.5} = 10.564$	$\frac{5,282}{0.5} = 10.564$	0.50	0.00	0.000
8								
9								
	D=1.5m							
1	$\frac{20}{1.5} = 13.33$	$\frac{5.282}{1.5} = 3.52$	0.50			0.50	1.00	3.275
2	10.00		0.50			0.50	1.00	3.275
3	6.67		0.50			0.50	1.00	3.275
4	3.33		0.495			0.50	0.995	3.259
5	0.00		0.412			0.50	0.912	2,987
6	$\frac{45,282}{1.5} = 30.19$	$\frac{5,282}{1.5} = 3.52$	0.50	$\frac{0.0}{1.5} = 0.0$	$\frac{5,282}{1.5} = 3.52$	0.413	0.087	0.285
7	$\frac{50,564}{1.5} = 33.71$	$\frac{5,282}{1.5} = 3.52$	0.50	$\frac{5,282}{1.5} = 3.52$		0.50	0.00	0.000
8								
9								
	D=2.5m							
1	$\frac{20.0}{2.5} = 8.0$	$\frac{5.282}{2.5} = 2.11$	0.50			0.50	1.00	3.275
2			0.50			0.50	1.00	3.275

3			0.50			0.50	1.00	3.275
4	$\frac{5.0}{2.5} = 2.0$	$\frac{5.282}{2.5} = 2.11$	0.492			0.50	0.992	3.249
5	$\frac{0.0}{2.5} = 0.0$		0.362			0.50	0.862	2.823
6	$\frac{45.282}{2.5} = 18.11$		0.50	$\frac{0.0}{2.5} = 0.0$	$\frac{5.282}{2.5} = 2.11$	0.362	0.138	0.452
7	$\frac{50.564}{2.5} = 20.23$		0.50	$\frac{5.282}{2.5} = 2.11$		0.492	0.008	0.026
8								
9								
D=3.5m								
1	$\frac{20.0}{3.5} = 5.71$	$\frac{5.282}{3.5} = 1.509$	0.50			0.50	1.00	3.275
2			0.50			0.50	1.00	3.275
3	$\frac{10.5}{3.5} = 2.86$		0.495			0.50	0.995	3.259
4	$\frac{5.0}{3.5} = 1.429$		0.483			0.50	0.983	3.219
5	$\frac{0.0}{3.5} = 0.00$		0.322			0.50	0.822	2.692
6	$\frac{45.282}{3.5} = 12.938$		0.50			0.322	0.178	0.583
7	$\frac{50.564}{3.5} = 14.45$		0.50	$\frac{5.282}{3.5} = 1.509$		0.481	0.019	0.062
8								
9								

表-3. 載荷重에 따른 地盤 強度 計算

D=0.5m					D=1.5m				
U _x =0.9					U _x =0.7				
Grid No.	$\sigma_{x0}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}$	P	Cu	C	Grid No.	$\sigma_{x0}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}$	P	Cu	C
1	3.915	3.524	1.06	2.06	1	3.915	2.741	0.82	1.82
2	3.915	3.524	1.06	2.06	2	3.915	2.741	0.82	1.82
3	3.915	3.524	1.06	2.06	3	3.915	2.741	0.82	1.82
4	3.915	3.524	1.06	2.06	4	3.899	2.729	0.82	1.82
5	3.817	3.435	1.03	2.03	5	3.627	2.539	0.76	1.76
6	0.738	0.664	0.20	1.20	6	0.925	0.648	0.19	1.19
7	0.640	0.576	0.17	1.17	7	0.640	0.448	0.13	1.13
8	0.640	0.576	0.17	1.17	8	0.640	0.448	0.13	1.13
9	0.631	0.568	0.17	1.17	9	0.570	0.399	0.12	1.12
D=2.5m					D=3.5m				
U _x =0.56					U _x =0.48				
1	3.915	2.192	0.66	1.66	1	3.915	1.879	0.56	1.56
2	3.915	2.192	0.66	1.66	2	3.915	1.879	0.56	1.56
3	3.915	2.192	0.66	1.66	3	3.899	1.872	0.56	1.56
4	3.889	2.178	0.65	1.65	4	3.859	1.852	0.56	1.56
5	3.463	1.939	0.58	1.58	5	3.332	1.599	0.48	1.48
6	1.092	0.612	0.18	1.18	6	1.223	0.587	0.18	1.18
7	0.664	0.373	0.11	1.11	7	0.702	0.337	0.10	1.10
8	0.630	0.353	0.11	1.11	8	0.625	0.300	0.09	1.09
9	0.500	0.280	0.08	1.08	9	0.458	0.220	0.07	1.07

表-4.

捨石堤의 安定度 分析

ZONE NO.	AREA N	UNIT WEIG- HT	WEI- GHT	TO- TAL WEI- GHT	PORE PRES- SURE	FOR- CE N	Tan φ	N- Tan φ	L	C	C.L	Ntan φ + C.L	AREA T	UNIT WEI- GHT	WEI- GHT	ΣT	S.F
I	0.7	1.60	1.12	1.12			0.8391	0.94					3.0	1.60	4.80	101.32	0.933
	11.7	1.60	18.72	47.92			0.8391	40.21					14.0	1.60	22.40		
II	31.4	0.93	29.20	23.44			0.5774	13.53					17.5	0.93	16.28		
	22.3	0.93	20.74	23.44			0.5774	13.53	1.92	0.63	3.91						
III	2.7	1.00	2.70						2.31	1.82	4.19						
									3.01	1.65	4.95						
									6.61	1.48	9.77		24.8	0.93	23.06		
									6.61	1.14	7.52						
IV									3.01	1.11	3.33						
									2.31	1.13	2.60						
									1.91	1.17	2.22						
V	2.3	1.00	2.30	2.30			0.5774	1.33									
TOTAL								56.01				38.49	94.50				

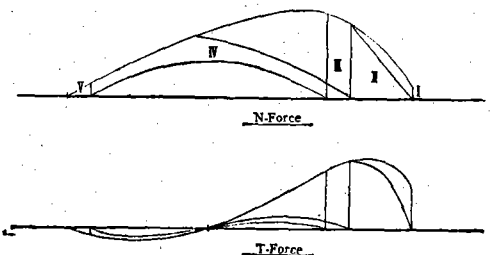
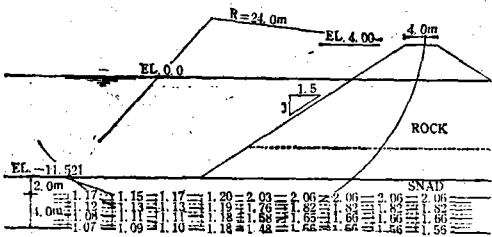


그림 8. 捨石堤의 安全度 分析

$$S = m_p \cdot h \cdot \Delta p = \sum \bar{m} v_i \cdot h_i \cdot \Delta p_i \dots\dots\dots(1)$$

$$S = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot h \cdot \log \frac{P_v + \Delta P}{P_v} \dots\dots\dots(2)$$

$$= \frac{C_0}{f_0} \cdot h \cdot \log \frac{P_v + \Delta P}{P_v} \dots\dots\dots(2)$$

$$S = \frac{e_0 - e}{1+e_0} \cdot h \cdot \frac{\Delta f}{f} \dots\dots\dots(3)$$

標準斷面 (그림 9)으로 基礎地盤에 作用하는 載荷重 分布를 計算하여(그림 10) Osterberg의 載荷重에 依한 地盤內 應力의 影響值(그림 7)를 使用하여 應力을 算出하고(그림 11) 深度別로 壓密量을 計算하여 合한 값이 61.2cm이다.

또한 沈下量과 時間과의 關係(그림 12)를 求하였다

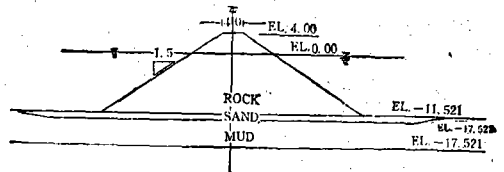


Fig. 9. 標準斷面

VI. 壓密에 따른 基礎 沈下

沈下量 計算 公式은 아래와 같이 3가지가 있으나 여기서는 (1)번 公式을 使用 하였다.

V. 結 論

① 載荷重에 依한 地盤內 粘着力 增加는 表3에서와 같이 自然狀態보다 1.06~0.07 kg/cm² 까지 平

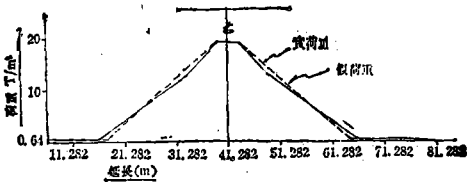


그림 10. 荷重分析

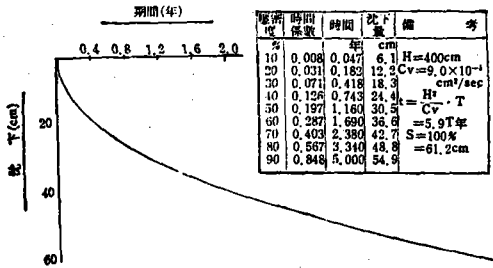


그림 12. 沈下曲線

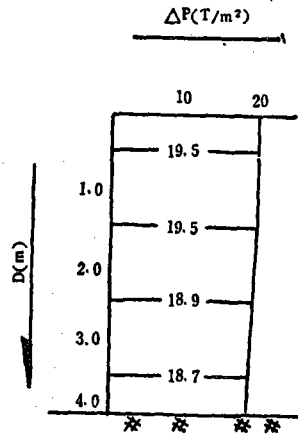


그림 11. 應力分布

均 50% 增加 함으로서 基礎地盤의 力學的 性質이 많이 改善되었다.

② 그림 8에서와 같이 地盤內 粘着力 分布를 보면 捨石堤 中央部分 即 載荷重 中央地點에서 粘着力 增加가 가장 크며 兩側 斜面上에 가까워짐에 따라 減小

한다.

③ 그러므로 基礎地盤을 置換할 수 없는 工事條件에서는 工事期間을 길게하여 事前에 先行荷重을 加함으로서 地盤條件을 改善하여 經濟的인 設計 斷面을 얻을수 있다.

參 考 文 獻

1. Hand Book of Soil mechanics and Foundation Engineering; 土質工學會
2. Fundamental of Soil Mechanics; Taylor
3. 土質試驗法; 土質工學會
4. 土質 調査法; 土質工學會
5. Soil Mechanics in Engineering Practice; Karl Terzaghi