

## 軟弱地盤上 排水場基礎의 設計 · 施工

柳 基 松\* · 李 在 平\*\* · 徐 炯 洙\*\*\*

### 1. 緒 言

軟弱地盤은 粘土, 실트와 같은 細粒土, 有機質土가 大略 5,000년가량 堆積된 沖積層으로서 土粒子의 大部分이 綿毛構造 및 蜂巢構造를 이루고 있으므로 壓縮性이 크고 剪斷強度가 매우 적다.

따라서 이러한 地盤上에 構造物을 施工하면 支持力不足으로 滑動破壞를 이르기거나 過大한 침하로 構造物의 機能을 잃게 되는 경우가 많다.

고로 構造物設計時는 地形條件에 適合한 土質調査를 하고 地盤條件에 따라 適切한 設計 및 施工을 해야 한다.

물론 基礎地盤이 良好하면 構造物基礎는 簡單하고 施工도 容易하며, 工事費도 低廉하게 된다. 그러나 1970年代以後 國家經濟의 急成長으로 干拓事業, 臨海工業團地造成 등 軟弱地盤을 對象으로 하는 構造物 施工이 活潑히 展開됨에 따라 이에 대한 여러가지 技術的인 問題가 擡頭되고 있으며, 이러한 技術的인 問題點解決이 우리 技術者의 宿命的인 課題라 할 수 있다.

따라서 本 稿에서는 軟弱地盤上 構造物 設計時의 留意事項과, 排水場基礎의 設計 · 施工에 대하여 簡單히 紹介하고자 한다.

### 2. 設計時 留意事項

一般的으로 地盤은 構造物自重에 의하여 變形되므로 어떠한 構造物이나 地盤이라도 多少間의 沈下는 있게 마련이다. 그러나 沈下量이 過多하면 構造物의 機能에 支障을 주며, 특히 軟弱地盤의 境遇에 이러한 問題가 많이 생긴다.

따라서 不等沈下의 原因을 要約하면 다음과 같다.

- 1) 下部地盤이 軟弱할 경우
- 2) 軟弱層의 두께가 相異할 경우
- 3) 構造物이 異種地盤에 걸쳐 施工된 경우
- 4) 異種基礎構造로 施工된 경우
- 5) 基礎의 諸元이 顯著히 다를 경우
- 6) 基礎의 施工이 不良할 경우

上記와 같은 경우는 設計時 細心한 注意를 하여 不等沈下對策을 세워야 하며 이를 上部構造, 基礎構造 및 基礎地盤으로 나누어 간단히 說明하면 다음과 같다.

#### 가. 上部構造

##### 1) 構造物의 輕量化

基礎地盤은 構造物自重에 의한 地中應力增加로 인하여 壓密沈下 및 側方流動이 생기므로 構造物을 輕量化해야 한다.

##### 2) 構造物길이의 短縮

構造物이 同一構造形式으로서 單位面積當 荷重이 같아도 基礎가 平面上으로 좁고 길게되어 있으면 不等沈下가 더 많아지므로 構造物길이를 짧게 해야 한다.

\* 農漁村振興公社 農漁村研究院 農工研究室長

\*\* 農漁村振興公社 調査設計處 設計課長

\*\*\* 農漁村振興公社 慶南支社

3) 構造物의 剛性增加

上部構造物의 剛性 특히 보(Beam)의 剛性을 크게 하여 不等沈下를 減少시키고 이에 대한 抵抗性을 增進시킨다.

4) 構造物의 適切한 重量分配

軟弱地盤의 두께가 다를 경우 構造物自重에 의한 基礎底面의 地盤反力을 等分布로 하면 構造物 兩端部의 沈下量이 다르므로 그림. 1과 같이 軟弱層이 두꺼운 쪽은 構造物自重이 적게 作用하도록 重量을 分配하여 不等沈下量을 減少시킨다.

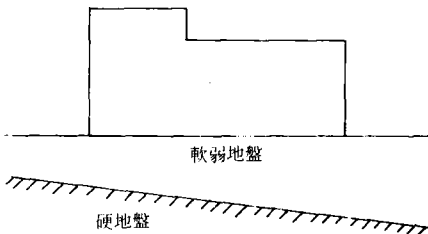


그림. 1. 軟弱地盤上 構造物의 荷重分配

5) 構造物間의 間隔을 넓게 配置

構造物自重에 의한 地中增加應力이 重疊되지 않도록 隣接構造物의 間隔을 넓게 한다.

나. 基礎構造

構造物을 깊은 基礎로 硬地盤에 支持시켜 沈下를 防止하거나 浮基礎의 一種으로서 地下室을 設置하여 地下室掘鑿土의 有效 重量에 의한 지중 증가應력을 減少시켜 沈下量을 줄인다.

다. 基礎地盤

地盤自體를 다짐, 脫水, 固結 및 置換工法 등으로 人工的인 改良을 한다. 地盤改良工法은 모래다짐말뚝, 바이브로후로테이션 등의 다짐工法, 샌드드레인, 페이퍼드레인, 웰포인트 등의 脫水工法, 시멘트그라우트 등의 固結工法 및 置換工法이 있다.

라. 許容沈下量

軟弱地盤上에 築造되는 構造物의 不等沈下는 構造物을 堅固한 地盤에 支持시키지 않으면 피할 수 없는 것이다. 따라서 構造物에 構造的으로 어느 程度의 沈下를 許容하고 있는데 이 許容限界는 沈下量 또는 變形角으로 標示하며, 直接基礎에 대한 例를 들면 表-1과 같다.

表-1. 許容沈下量 및 變形角

基礎의 種類	許容沈下量(cm)		許容變形角
	標準值	最大值	
푸팅基礎	5	10	1/300~1/500
全面基礎	15	30	

林柄祚 著 “基礎工學”에 의한

3. 排水場基礎의 設計

가. 排水場概要

- 1) 地區名: 花木地區
- 2) 位置: 慶南 金海市 花木洞
- 3) 流域面積: 1,479ha
- 4) 灌溉面積: 869ha
- 5) 排水場規模:

排水펌프: 200HP× $\phi$ 1,400mm×4臺  
 40HP× $\phi$ 700mm×1臺(揚排水兼用)

排水量: 18m<sup>3</sup>/s

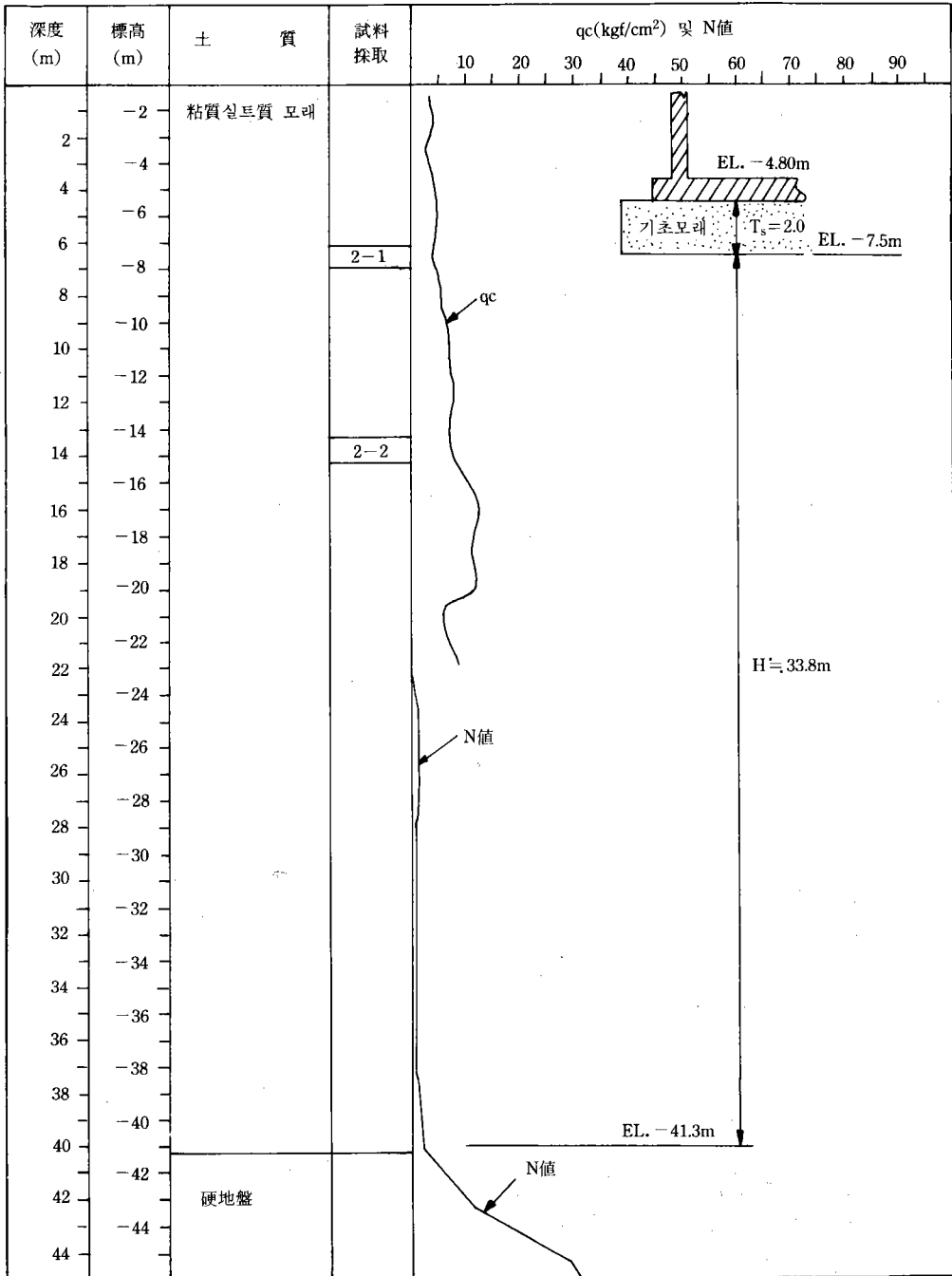
建物: B×L×H=18.2×38.4×14.5m

나. 土質條件

排水場 基礎地盤은 含水比가 많은 軟弱한 沖積土로서 土質은 粘土 섞인 砂質실트(실트質砂)이고 그 深度는 約 40m이며, 土質調査試驗結果는 그림. 2 및 表-2와 같다.

다. 作用荷重

構造物基礎에 作用하는 鉛直荷重의 偏心距離가 最小로 되도록 排水펌프 및 配電盤 등의 施設을 配置하고 偏心距離를 구하였으며, 水平力은 無視하였다.



(주) qc值(농진공 조사자료)  
 N值(김해분뇨 종말처리 조사자료)

그림. 2. 排水場基礎地盤의 콘支持力 및 N值圖

表-2. 土質試驗結果表

試料名	2~1	2~2	
深度 (m)	3.0~3.4	13.0~13.4	
粘 度	모래 (74~4,760μ), (%)	43.5	45.0
	실트 (5~74μ) (%)	44.7	43.2
	粘土 (<5μ) (%)	11.8	11.8
租 度	液性限界, LL (%)	-	-
	塑性限界, PL (%)	NP	NP
統 一 畵 分 類	ML	ML	
比 重 Gs	2.706	2.717	
自然狀態	含水比, W <sub>n</sub> (%)	32.5	36.2
	單位重量, γ (gf/cm <sup>3</sup> )	1.813	1.813
三 軸 試 驗	試 驗 條 件	UU	UU
	粘着力, C (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.31	0.20
	內部摩擦角, φ (°)	6	15
壓 密 試 驗	先行壓密荷重, P <sub>c</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	0.34	1.00
	壓縮指數, C <sub>c</sub>	0.143	0.154
	間隙比, e	0.831	0.949
變形係數, E <sub>s</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,250	1,180	

表-3. 工法別 工事費比較

('87年 現在)

工 法	鋼管말뚝基礎	JSP基礎	全面基礎
工事費 ( 圓 )	423,252,000	212,496,000	98,419,000
順 位	3	2	1

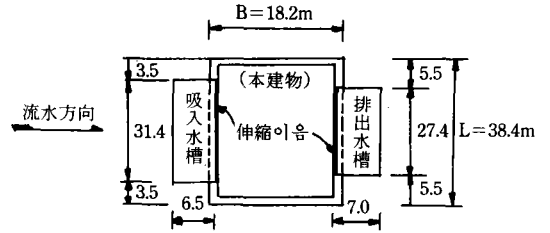


그림. 3. 排水場 一般平面圖

모래가 軟弱地盤土로 混入되는 것을 막기 위하여 분리재로서 透水性이 있는 土木纖維를 모래基礎 底面의 軟弱地盤上에 敷設토록 하였다.

마. 基礎의 支持力

1) 直接基礎의 支持力

가) 基礎地盤의 反力

ㄱ) 平常時

$$\sigma = \frac{V}{B \cdot L} \left( 1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right)$$

$$= \frac{5,461}{18.2 \times 38.4} \left( 1 + \frac{6 \times 0.54}{18.2} \right) = 9.20 \text{tf/m}^2$$

여기서, σ : 基礎地盤의 反力 (tf/m<sup>2</sup>)

V : 鉛直荷重 (tf)

B : 基礎의 幅 (m)

L : 基礎의 길이 (m)

e : 偏心距離 (m)

ㄴ) 펌프稼動時

$$\sigma = \frac{5,461}{18.2 \times 38.4} \left( 1 + \frac{6 \times 1.14}{18.2} \right) = 10.75 \text{tf/m}^2$$

나) 直接基礎의 支持力

Terzaghi修正公式로 基礎의 支持力을 計算

鉛直荷重, V=5,461tf

모멘트, 평상시; M=2,949tf · m

펌프稼動時; M=6,225tf · m

偏心距離, 평상시;  $e = \frac{M}{V} = \frac{2,949}{5,461} = 0.54\text{m}$

펌프稼動時;  $e = \frac{M}{V} = \frac{6,225}{5,461} = 1.14\text{m}$

라. 基礎工法の 檢討

排水場構造物의 沈下를 許容치 않은 鋼管말뚝 및 高壓噴射注入工法에 의한 말뚝(JSP)基礎와 沈下를 許容하는 全面基礎로 概略設計를 하여 工事費를 比較한 結果는 表-3과 같다. 따라서 鋼管말뚝과 JSP 基礎는 工事費가 過多하므로 排水場의 吸入, 排出水槽와 本建物을 그림. 3과 같이 伸縮이음으로 分離시켜 沈下에 順應할 수 있게 하고 本建物은 全面基礎構造의 모래基礎로 置換하였다. 한편, 基礎모래부설시 基礎

하면 다음과 같다.

$$q_a = \frac{1}{3}(\alpha c N_c + \beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_f N_q)$$

$$= \frac{1}{3}(1.142 \times 2.5 \times 5.3 + 0.453 \times 0.813 \times 18.2 \times 0 + 0.813 \times 3.3 \times 3.9)$$

$$= \frac{1}{3}(15.13 + 0 + 10.46) = 8.53 \text{tf/m}^2 < \sigma_{\max}$$

$$= 10.75 \text{tf/m}^2, \text{ No.}$$

여기서,  $q_a$  : 許容支持力(tf/m<sup>2</sup>)

$\alpha, \beta$  基礎形狀係數

$$\alpha = 1 + 0.3 \frac{B}{L} = 1 + 0.3 \frac{18.2}{38.4} = 1.142$$

$$\beta = 0.5 - 0.1 \frac{B}{L} = 0.5 - 0.1 \frac{18.2}{38.4} = 0.453$$

$C$  : 粘着力(tf/m<sup>2</sup>)

表-2에서 試料名 2-1과 2-2의 平均值를 適用

$\phi$  : 内部摩擦角(°)

表-2에서 試料名 2-1과 2-2의 平均值를 適用

$N_c, N_r, N_q$  : 支持力係數

$\phi = 10^\circ$ 일때  $N_c = 5.3, N_r = 0, N_q = 3.9$

$\gamma_1$  : 基礎底面 下部地盤土의 有效單位重量(tf/m<sup>3</sup>)

$\gamma_2$  : 基礎底面 上部地盤土(되메움 흙)의 有效單位重量(tf/m<sup>3</sup>)

$D_f$  : 基礎의 最少根入深度(m)

上記의 計算結果 基礎地盤의 支持力이 不足 하므로 모래基礎로 設計한다.

2) 모래基礎의 支持力

그림. 4와 같이 모래基礎두께를 2.0m로 假定 하여 基礎의 支持力을 計算하면 다음과 같다.

가) 地盤의 反力(펌프 가동시)

$$\sigma_{\max} = \frac{5,461}{20.5 \times 40.7} \left(1 + \frac{6 \times 1.14}{20.5}\right) = 8.73 \text{tf/m}^2$$

여기서,  $B' = B + 2T_s \tan \alpha = 18.2 + 2 \times 2 \times \tan 30^\circ = 20.5 \text{m}$

$$L' = L + 2T_s \tan \alpha = 38.4 + 2 \times 2 \times \tan 30^\circ = 40.7 \text{m}$$

$30^\circ = 40.7 \text{m}$

$T_s$  : 모래基礎의 두께(m)

나) 許容支持力

$$q_a = \frac{1}{3}(1.151 \times 2.5 \times 5.3 + 0.450 \times 0.813 \times 20.5 \times 0 + 0.813 \times 5.3 \times 3.9)$$

$$= \frac{1}{3}(15.25 + 0 + 16.80) = 10.68 \text{tf/m}^2 > \sigma_{\max} = 8.73 \text{tf/m}^2, \text{ OK.}$$

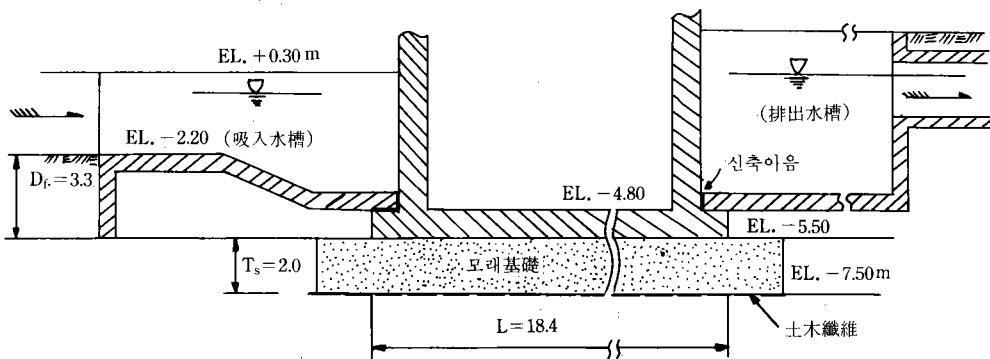


그림. 4. 排水場 一般縱斷面圖

여기서,  $q_a$  : 基礎의 許容支持力(tf/m<sup>2</sup>)

$$\alpha = 1.0 + 0.3 \frac{20.5}{40.7} = 1.151$$

$$\beta = 0.5 - 0.1 \frac{20.5}{40.7} = 0.450$$

$D_f$  : 모래基礎를 包含한 基礎의 最少 根入深度(m)

### 바. 基礎의 沈下

#### 1) 壓密沈下

가) 構造物施工前 地中應力

$$p_0 = \gamma_1 (h + Z_1) = 0.813 \times (4.6 + 18.9) = 19.10 \text{tf/m}^2$$

여기서,  $p_0$  : 構造物施工前 地中應力(tf/m<sup>2</sup>)

$\gamma_1$  : 基礎底面上部 地盤土의 有效 單位重量(tf/m<sup>3</sup>)

$h$  : 基礎底面上部 地盤土의 平均두께(m)

$Z_1$  : 基礎底面에서 壓密層 中心部까지의 土層두께(m)

나) 構造物施工後 地中增加應力

排水場自重에 의한 地中增加應力은 簡易法으로 그림. 5를 參照하여 다음과 같이 구한다.

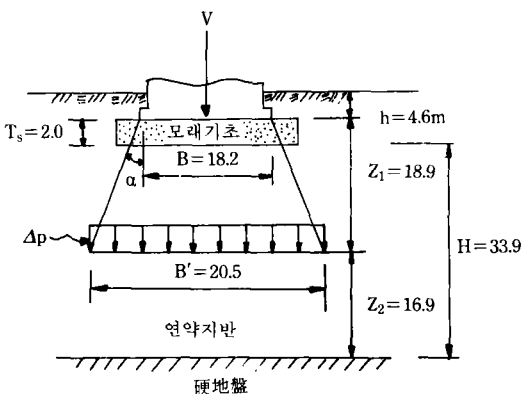


그림. 5. 地中應力分布

$$\Delta p = \frac{V - p_c}{(B + 2Z_1 \tan \alpha)(L + 2Z_1 \tan \alpha)}$$

$$= \frac{5.461 - 2.614}{(18.2 + 2 \times 18.9 \times \tan 30^\circ)(38.4 + 2 \times 18.9 \times \tan 30^\circ)}$$

$$= \frac{2.847}{40.02 \times 60.22} = 1.18 \text{tf/m}^2$$

$$p_c = \gamma_1 B L h = 0.813 \times 18.2 \times 38.4 \times 4.6 = 2,614 \text{tf}$$

여기서,  $p_c$  : 掘鑿土의 重量(tf)

다) 構造物施工後 地中應力

$$p_1 = \Delta p + p_0 = 1.18 + 19.10 = 20.28 \text{tf/m}^2$$

라) 壓密沈下量

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \frac{p_1}{p_0}$$

$$= \frac{0.154}{1 + 0.949} \times 33.80 \times \log \frac{20.28}{19.10} = 0.07 \text{m}$$

여기서,  $S_c$  : 壓密沈下量(m)

$C_c$  : 壓縮指數(0.154)

$e_0$  : 初期間隙比(0.949)

$H$  : 壓密層의 두께(m)

$p_1$  : 構造物施工前 地中應力(tf/m<sup>2</sup>)

$p_0$  : 構造物施工後 地中應力(tf/m<sup>2</sup>)

#### 2) 即時沈下量

$$S_i = qB \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_w = 9.20 \times 18.2 \times \frac{1 - 0.4^2}{1,180} \times 1.2$$

$$= 0.14 \text{m}$$

여기서,  $S_i$  : 即時沈下量(m)

$q$  : 基礎地盤의 反力(tf/m<sup>2</sup>)

$q = \sigma$  (평상시)

$B$  : 基礎의 幅(m)

$\mu$  : 포아송比

$I_w$  : 沈下에 대한 影響值

$E_s$  : 地盤土의 變形係數(tf/m<sup>2</sup>)

表-4. 壓密度, 沈下時間, 壓密沈下量의 關係

壓密度, U(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
時間係數, T <sub>v</sub>	0.008	0.031	0.071	0.126	0.197	0.287	0.403	0.567	0.848
沈下時間, t(月)	1.0	4.0	9.2	16.3	25.5	37.2	52.2	73.5	109.9
沈下量, S <sub>c</sub> (cm)	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.9	5.6	6.3

3) 全沈下量

$$S_t = S_c + S_i = 0.07 + 0.14 = 0.21m \rightarrow 21cm < S_a = 30cm, OK.$$

여기서, S<sub>t</sub>: 全沈下量(cm)  
S<sub>a</sub>: 許容沈下量(cm)

4) 沈下時間

$$t = \frac{T_v H^2}{C_v} = \frac{T_v \times 3,380^2}{0.034 \times 86,400 \times 30} = 129.6T_v$$

$$\bar{p} = p_0 + \frac{\Delta p}{2} = 19.10 + \frac{1.18}{2} = 19.7tf/m^2$$

$$\rightarrow 1.97kgf/cm^2$$

여기서, t : 沈下時間(月)  
T<sub>v</sub>: 時間係數  
H: 兩面排水時 壓密層의 두께(cm)  
C<sub>v</sub>: 壓密係數( $\bar{p} = 1.97kgf/cm^2$ 일 때  
C<sub>v</sub> = 0.034cm<sup>2</sup>/s)  
 $\bar{p}$  : 平均壓密應力(kgf/cm<sup>2</sup>)

4. 排水場基礎의 施工

花木地區의 排水場은 金海平野의 低濕地帶에 位置하며, 基礎地盤 表層의 콘支持力이 그림. 2와 같이 5kgf/cm<sup>2</sup> 程度로서 매우 軟弱하여 施工裝備가 走行을 할 수 없으므로 進入道路 및 排水場 터파기區間 전체에 花崗岩風化土(마사토)를 平均 1.5m를 盛土하고 裝備를 進入시켜 鋼널말뚝 打入, 基礎터파기 및 基礎모래 敷設 등을 하였는데 그 施工은 다음과 같은 順序로 하였다.

1. 鋼널말뚝 打入機로 排水場基礎 周邊에 鋼널말뚝과 中間支柱를 打入한 후 버팀대를 가로 및 세로 4m 間隔으로 설치하여 鋼널말뚝을 支持토록 한다.

2. 가로 및 세로 4m의 버팀대內 區域을 1블록으로 하여 각 블록을 포크레인으로 모래基礎 바닥面까지 터파기를 하고 블록 치수보다 약간 크게 土木纖維를 잘라서 깔은 후 2m 두께로 基礎모래를 敷設하고 먼저와 같은 作業을 反復하여 그 다음 블록을 시공하며, 土木纖維는 다음 블록 터파기 후 먼저 부설한 것과 새로 敷設한 것을 중첩이음으로 接合을 한다.

3. 基礎모래敷設이 모두 끝난 후 물을 뿌려 基礎모래를 물다짐한 후 버팀대와 中間支柱를 인발, 除去한 후 中間支柱를 인발한 구멍에는 모래를 채우고 다시 물다짐을 한다.

4. 貧配合콘크리트를 5cm 打設하고 鐵筋을 配筋한 후 基礎슬래브 콘크리트를 打設한다.

5. 排水場 地下壁體의 鐵筋과 거푸집을 組立하고 콘크리트를 打設한 후 강널말뚝을 引拔하고 이어서 排水場 바닥콘크리트, 壁體 및 屋上의 슬래브 콘크리트를 打設한다.

5. 結 言

그림. 6은 排水場 竣工後의 豫想沈下量과 地下의 基礎構造物 施工中에 생긴 沈下量을 無視하고 排水펌프基礎 슬래브 上面에서 實測한 沈下量의 變化를 나타낸 것인데 이를 보면 豫想沈下量보다 實測沈下量이 적으며, 排水場의 沈下는 거의 安定된 것으로 보인다.

排水場 竣工後(工事期間 約 4個月)約 40個月

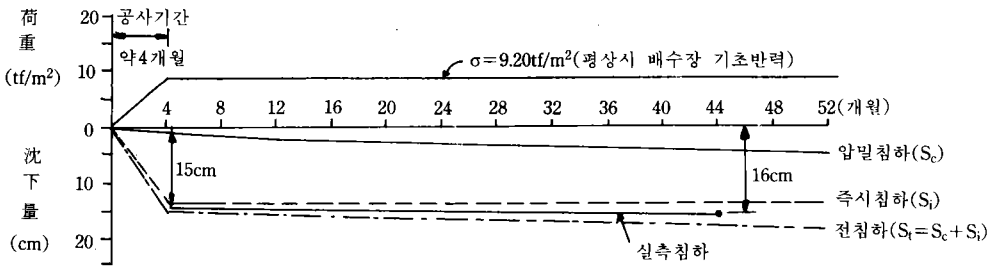


그림. 6. 荷重 · 沈下量과 經過時間의 關係

經過時 豫想沈下量(19cm)과 實測沈下量(16cm)의 差는 地下 基礎콘크리트 施工中の 沈下를 無視하고 또한 試料採取 · 運搬時의 攪亂 및 室內試驗時의 誤差에 의한 것으로 考慮된다.

따라서 沈下量이 許容範圍內일 경우는 軟弱地盤上 構造物基礎를 말뚝에 의하지 않고 浮基礎를 겸한 모래基礎로 設計, 施工을 하는 方法도 좋을 것으로 생각된다.

軟弱地盤上 構造物 設計時에 留意해야 할 事

項으로서는 施工時 地盤이 軟弱하여 重裝備 進入이 困難한 경우가 많으므로 地盤의 強度를 考慮하여 裝備가 走行할 수 있는 基礎處理 工事費를 반드시 計上하여야 한다.

한편 排水場 基礎슬래브 및 壁體 施工 後 排水펌프 基礎 슬래브의 施工時는 排水場 完工 後의 基礎沈下를 考慮하여 슬래브의 上面標高를 豫想沈下量만큼 높게 施工하는 것이 좋다.