

## 洛東江 河口堰의 基礎處理工法

金 桂 鎬\*

### 1. 概 要

韓半島의 동남부에 위치한 洛東江 流域面積은 전국토의 1/4에 해당하는 23,656km<sup>2</sup>이며 流域의 동남부에 연한 臨海地域을 포함한 流域圈의 면적은 전국토 면적의 약 1/3에 해당한다. 洛東江 流域의 用水需給上의 특징으로는 河口地域에 大容量用水需要地의 집중과 지형상으로 大容量댐 開發適地의 빈곤을 들 수 있다.

洛東江 河口地域에는 국내제 1의 항구도시이며 臨海工業벨트地域의 중심지인 부산직할시와 울산, 온산, 마산, 창원공업기지가 위치하며 洛東江 流域圈 生工用水需要의 80% 이상을 점하고 있으며 더욱이 洛東江本流灌溉面積의 약 30%를 차지하는 金海곡창지대가 이곳에 위치하고 있다.

洛東江 流域內에 多目的댐 開發地點으로 陝川댐, 臨河댐을 들 수 있으나 用水需要에 비하여 開發規模가 적을 뿐만 아니라, 1976년 준공하여 운영되고 있는 安東多目的댐과 같이 用水需要중심지인 河口地域으로부터 원거리에 위치하여 막대한 量의 물의 손실이 불가피하여 用水의 安定供給을 보장 할 수 없다.

이에 대한 對策으로서 政府에서는 洛東江河口堰建設을 위한 基礎調査를 1974~1977년간 시행하였으며, 1980년에는 產業基地開發公社와 화란 NEDECO가 공동으로 實施設計를 착수, 1982년에 완료하였으며 1983. 4. 23 起工式을 갖고 현재 建設중에 있다.

洛東江 河口堰은 河口地域의 鹽水侵入을 완전 차단함으로써 鹽水侵入防止用水를 절약하여 이를 用水需要에 充當하게 된다. 河口堰의 特徵으로는 貯水容量이 적기 때문에 自體調節能力이 적고 上流多目的댐과의 共同操作없이 河口地域의 물不足量을 充足시킬 수 없다. 또한 河口堰은 用水需要地가 집중되어 있는 河口地域에서 上流댐의 조작상의 잘못으로 인한 물의 損失을

방지하는 一種의 調節池로서의 역할도 담당하게 된다.

여기서 洛東江 河口堰의 諸元을 간단히 요약하면 總延長 2,400m로서 溢流部 511m, 非溢流部 1,889m로 구성되고 溢流部에는 47.5m幅의 Radial Gate 10門이 설치되며, 附帶施設物로서 內陸舟運用閘門, 生態保全을 위한 右岸調節水門 및 魚道(Fish Ladder)가 설치되며 堰堤上端에는 4차선의 橋梁을 建設하게 된다.

本稿에서는 洛東江河口堰이 위치하게 될 河口地域의 地質條件을 概括하고, 이 地域과 같이 軟弱地盤上에 적용가능한 基礎工法을 比較檢討함으로써 洛東江 河口堰의 基礎形式 選定過程을 略述하였다.

### 2. 河口地域의 基礎地盤條件

河口堰이 位置하게 될 洛東江 河口地域은 두꺼운 沖積層地盤으로 有名하며 精度 및 塑性狀態로 모야 실트 粘土, 모래, 실트質粘土 및 砂礫層등 적어도 6個의 層이 번갈아가며 나타나고 있다.

一般的으로 上部層은 軟弱하거나 느슨한 狀態의 粘土, 실트, 및 細砂層으로 區分되며 下部層으로 내려가면 견고하거나 稠密한 狀態의 흙이 나타나나 地盤下 60m정도에서도 岩盤이 나타나지 않고 있다. (圖3 參照)

6~7個層으로 構成된 河口地域 基礎地盤의 特性中 가장 주의하여야 할 부분은 20~30m의 두께를 가지고 곳곳에 모래포켓을 포함하고 있는 上部의 軟弱粘土層과 下部의 다소견고한 粘土層上部에 4~8m 두께로 形成되어 있는 砂礫層의 出現이며 同層은 E.L-30m 정도에 層의 中心이 位置하고 있다. 견고한 粘土層 下部에는 대개 粗密한 모래層 或은 砂礫層이 나타나고 있다.

總 107孔, 2,850m에 달하는 Boring 과 現場試驗 및 室內試驗을 통하여 얻은 資料를 分析한 結果 同地域의 代表的 土質柱狀斷面에 對한 흙의 特性은 다음表와 같이 要約해 볼 수 있다.

\* 本學會 理事 產開公 水資源理事

表 1. 代表的柱狀斷面 土質特性

層別	分類	一般				土質性			前斷強度			壓密特性			透水性							
		粒徑( $\mu\text{m}$ )	軟硬度		密度 ( $\text{KN}/\text{m}^3$ )	含水量 (%)	空隙比 ( $e_0$ )	$\phi^\circ\text{C}$	$C$ ( $\text{KN}/\text{m}^2$ )		$C_u$ ( $\text{m}^2/\text{year}$ )	$C$ (%) (壓縮比)		最大 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	最小 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )							
			LL	PI					LL	PI		最大	最小			最大	平均					
I	SM/SP/SC	$D_{10}$ 15~35	100~200	NP	NP	13.5	18.0	35	0.95	30	10~15	—	—	9	36	25	20	60	35	$2.6 \times 10^{-4}$	$14.2 \times 10^{-6}$	
II	CL	—	—	42	22	13.0	18.0	39	0.85	15~20	—	15~25	13 t 0.160 k	—	2.5	30	15	13	23	17	$3 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-9}$
III	C	—	—	63	38	11.2	17.0	52	1.05	15~20	—	15~25	—	—	1.5	20	8	7	15	11	$10^{-9}$	—
IV	GM	15~100	150~200	NP	NP	—	20.0	—	—	37.5	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$2.6 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^{-4}$
V	CL(CH)	—	—	40	20	15.0	20.0	33	0.65	—	—	—	100~170	—	2.5	30	8	20	47	30	$2 \times 10^{-10}$	$10^{-9}$
	SM-SP	30~100	250~350	NP	NP	—	20.0	—	—	35	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-4}$

### 3. 基礎形式의 選定

軟弱地盤에 河口堰과 같은 大型構造物을 設置하기 위해서는 基礎의 形式 選定과 設計는 構造物 全體의 安全性과 成功如否를 가름하는 主要한 部分이 된다. 河口堰本體 基礎는 그 地盤條件 및 上部構造의 機能上 다음의 諸條件을 만족 시킬 수 있어야 한다.

- 가) 充分한 支持力을 가진 下部砂礫層까지 荷重을 傳達할 수 있어야 한다.
- 나) 構造物의 過多變形에 의한 水門 및 橋梁의 機能上 支障을 招來치 않도록 橋臺 및 橋脚에 充分한 刚性 부여
- 다) Sill의 基礎는 建設期間中 橋梁의 支持荷重을 砂礫層까지 傳達하고 揚力을 감당할 수 있어야 한다
- 라) 基礎는 地震에 의한 地盤의 變形에 따른 曲모멘

트에 抵抗할 수 있어야 한다.

마) 橋臺部의 基礎는 15m깊이에 달하는 水平土壓과 載음 土砂에 의한 負마찰력을 지탱할 수 있어야 한다.

이러한 設計條件과 地表下 約 40m에 걸쳐 나타나는 軟弱粘土 및 Silt 질粘土地盤을 고려할 때 一般的 軟弱地盤處理工法에 의한 얇은 基礎의 適用은 어렵고, 따라서 河口堰 本體構造에 대해서는 깊은 基礎形式중 하나를 擇하여야 했다.

適用이 可能한 깊은 基礎工法으로는 Caisson, Pneumatic Caisson, Slurry Trench, 鋼管 Pile 및 P.C Pile 등을 考慮할 수 있으며 이에 對한 比較檢討을 위해 各工法別로 概略設計를 施行하였고 各工法別 比較檢討는 許容變位(圖4 參照), 施工의 難易度 및 工期, 費用 및 耐震의 面에서 分析하였다. 同比較檢討結果를 要約하면 다음 表2와 같다.

表 2. 基礎工法別 比較檢討

工 法	變 位		施 工 側 面				費 用	
	水 門	橋 梁	窠井排水	經 驗 度	危 險 負 擔	工期(週)	費用(18 \$)	比率(%)
Caisson	*	*	*	*	*	50	5.8	100
Pneumatic Caisson	○	○	*	*	*	40	10.2	176
Slurry trench	*	*	*	*	*	80	13.2	228
鋼管 Pile	○	○	○	○	○	30	6.1	105
P.C Pile	○	○	○	○	*	30	5.5	95
區 分	○	許容限度內	不 要	普 通	普 通			
	*	許容限度外	必 要	高 度	多			

表에서와 같이 設計, 施工 및 費用面에서 가장 適合한 基礎形式은 Pile 基礎인 것으로 나타났으나 鋼管 Pile과 P.C Pile사이에는 뚜렷한 優劣이 가려지지 않고 있다.

다음으로 構造物의 耐震側面이 考慮되었으며 耐震設計中 반드시 檢討되어야 할 것은 地盤의 水平變形에 따른 Pile軸에 發生하는 曲모멘트의 크기이다.

Pile의 極限曲 모멘트는 地震係數, 鋼管의 材質, 斷面 및 支持層으로의 根入깊이등에 따라 달라진다. 地震係數 0.11g, 鋼管두께 20mm, 鉛直荷重 3700KN의 경우 鋼管 Pile의 極限모멘트는 約 2300KN.m로 계산되었으며, 콘크리트의 경우 鉛直荷重을 2500KN, 기타 조건은 同等하다고 볼 때 壓縮破壞에 이르는 曲모멘트는 最大 150KN.m정도 밖에 되지 않는다. 따라서 耐震側面에서 볼 때 콘크리트 Pile은 不適合하며 더우기

言及된바 있는 中間 砂礫層을 通過하기 爲한 莫大한 打入 에너지는 施工上 確實性을 保障할 수 없음에 비추어 河口堰本體(水門部)의 基礎는 直徑 609mm, 두께 20mm의 鋼管 Pile로 設計하였다. (Pile배치도 圖 5參照)

그러나 附帶施設物인 內陸舟運用 閘門, 生態保全을 위한 右岸排水門, 道路의 平面 交叉를 피하기 위한 Box형 터널 및 乙淑島상에 位置할 操作場 등은 本體構造에 比較的 變位量의 許容範圍가 크고 操作室을 除外한 他構造物은 乙淑島를 橫斷하는 EL+9.0~+6.0m의 盛土部를 側壓으로 받게 됨으로서 Pile을 基礎로 이용할 경우 水平土壓에 의한 Pile의 水平荷重이 過大할 뿐만 아니라 盛土部의 沈下에 따른 負摩擦力으로 因하여 非經濟的인 基礎形式이 되는 것을 防止하기 위해 Preloading 工法과 Poly Prophylene drain 工法을

併行하여 地盤의 壓密을 促進 장차 上部 構造에 依한 沈下量을 미리 達成케 한후 全面基礎를 適用토록 하였다. P.p drain 은 地盤下 30~40m 에 位置한 砂礫層에 1m정도 관입하도록 하여 裏面 排水가 可能토록 하였다. P.p drain의 施工上的 問題點은 上部層으로 形成되어 있는 느슨한 細砂層을 통과하여 現在까지의 施工 經驗보다 다소 打設深度가 깊은 40m 길이로 根入시켜야 하므로 打設機械로는 jetting method 를 이용한 장비를 使用하여야 할 것이다.

#### 4. 軟弱地盤 Pile基礎의 支持力算定

特別한 支持層이 나타나지 않는 基礎地盤에서의 Pile 에 의한 支持力은 Pile 先端에 形成되는 Sand Plug 에 의한 先端支持力과 週邊摩擦力으로 算定된다.

基礎의 形式 問題와 關聯한 또 하나의 問題는 Pile이 EL-30m 길이에서 두 粘土層 사이에 나타나는 砂礫層을 통과하여 EL-40~50m 에 位置한 砂質 또는 砂礫層까지 比較的 깊은 深度로 打入되어야 한다는 點에서 抗打에너지에 대한 배려는 絕對的이라 할 수 있겠다. 따라서 鋼管 Pile은 先端이 막힌 Pile보다 約 60%의 打入에너지를 節約할 수 있는 속이 빈 空洞鋼管 Pile로 採擇하였다.

또한 Sand Plug의 形成은 Pile의 直徑이 600mm정도일때 가장 效率의이며 또한 根入깊이의 增加에 따른 支持力의 增加 比率이 가장 높은 것으로 研究된 바 있으므로 Pile의 直徑을 600mm로 設計하였던 것이다.

이와같이 軟弱地盤上에 導入된 空洞 鋼管 Pile의 先端支持力, 週邊摩擦力 및 負摩擦力은 一般的으로 다음과 같은 方式으로 算定될 수 있다.

가. 先端支持力

- 1) 極限先端支持力計算 : Koppejan 方式適用
- 2) 空洞 Pile의 경우 : 上記計算值의 90%適用
- 3) 支持層으로의 最少根入깊이 : 10D (Pile 直徑) 以上
- 4) 모래層의 最大限界支持力 : 15KN/mm<sup>2</sup>
- 5) 動荷重條件下에서는 計算值의 1.2배 適用

나. 週邊摩擦力

1) 極限週邊摩擦力은 A. P. I 공식 使用

$$\tau = \delta_v \cdot k \cdot f + \alpha \cdot c \text{ 或은 } \tau = \alpha \cdot C_u \text{ 중 적은 값}$$

여기서  $\tau$  : 極限 週邊摩擦力

$\delta_v$  : 有効鉛土壓

$k$  : 水平荷重係數(砂礫層 : 0.7~2)

(粘土 : 1-sin $\phi$ )

$f$  : 摩擦係數(tan 0.7  $\phi$ )

$c$  : 粘着力(排水條件)

$C_u$  : 粘着力(非排水條件)

$\alpha$  : 減少係數 : 粘着力이 클경우 : 0.4

〃 적을경우 : 1.0

- 2) 空洞鋼管 Pile의 경우 상기 計算值의 80%適用
  - 3) 群杭일 경우 Pile 간격에 따라 減少率 適用, Pile간격이 0.6×直徑 보다 클경우 減少率 없음
  - 4) 모래 : 자갈層의 경우 最大週邊摩擦力 : 120KN/m<sup>2</sup> 適用
  - 5) 動荷重 條件하에서는 週邊摩擦力은 砂質土의 경우 1~1.2배, 粘性土의 경우 1.8배 增加 適用
- 나. 負摩擦力

- 1) 橋脚部分 Pile 에 對해서는 負摩擦力은 發生치 않음
- 2) 橋臺部分 Pile 은 높은 沈下量 幅의 減하여 따른 負摩擦力 減少方案 별도고려
- 3) 算定方法은 週邊摩擦力과 同一
- 4) 摩擦係數 : tan  $\phi$  適用

#### 5. 小規模 構造物 基礎處理

基礎形式의 選定에서 言及된 바와같이 河口堰 本體와 併行하여 開門, 生態保全目的인 右岸排水門, Box形 道路터널 및 操作室이 建設되어야 하며 同構造物은 本體에 比하여 基礎地盤에 미치는 影響이 面積上으로 보아 小規模이고 또 變位의 許容範圍도 本體보다는 크므로 土壤堤의 側壓과 盛土部의 沈下에 의한 負摩擦力을 지탱하여야 하는 깊은 基礎形式을 止揚하고 地盤改良方式에 依한 全面基礎를 適用토록 하였다.

同 軟弱地盤改良은 Preloading만으로는 工期達成에 問題가 있어 壓密促進을 위한 Poly Propylene drajn 공법을 併行토록 하여 1年~1.5年 정도的 Preloading으로 所定의 壓密效果를 얻을 수 있도록 設計 할 수 있어야 하며 이는 Kjellman 方式을 利用하여 目的을 達成할 수 있다.

Kjellman 方式의 利用方法을 살펴기 위해 同公式을 간단히 說明하자면

$$t = \frac{D^2 \cdot \alpha}{8C_h} \ln \frac{1}{1-U_h}$$

여기에서  $t$  : 壓密時間(年)

$D$  : drain 影響權 直徑(m)

$C_h$  : 水平壓密係數(m<sup>2</sup>/year)

$$\alpha = \frac{N^2}{N^2-1} \ln(N) - 3/4 + \frac{1}{N^2} \left\{ 1 - \frac{1}{4N^2} \right\}$$

$$N = \frac{D}{d}$$

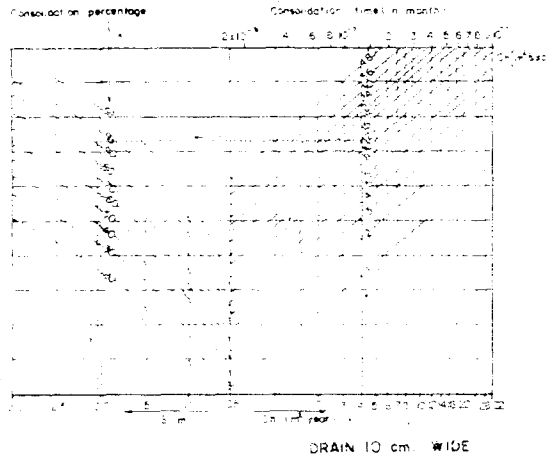
$U_h$  : 水平方向 平均壓密度

$d$  : P.P. drain의 等值換算圓 直徑.

同公式의 適用에 있어  $N = \frac{D}{d} > 8$ 인 경우 즉 Sand drain이 아닌 P.P. drain의 거의 모든 경우에 있어서  $\alpha$  値는  $\ln\left(\frac{D}{d}\right) - 3/4$ 으로 간주 할 수 있으므로 上記 公式은 略하여  $t = \frac{D^2}{8C_k} \left(\ln\left(\frac{D}{d}\right) - 3/4\right) = 3/4 \ln \frac{1}{1-U_h}$ 로 適用할 수 있다.

同公式에서 壓密度, 壓密을 위한 工期上의 여유기간 壓密係數 및 必要한 drain간격에 對한 相關關係를 아래 그림과 같은 圖表로 作成할 수 있어 必要한 期間내에 所要壓密을 達成시키기 위한 Drain의 間隔을 결정할 수 있게 된다.

따라서 計劃沈下度가 所要工期내에 이루어지는 것을 假定한 時間~ 沈下率 關係와 地盤條件別 總沈下量으로부터 必要한 Preloading 荷重이 決定되게 된다.



### 6. Pile의 負摩擦力 減少對策

基礎의 具備要件중 橋脚部基礎는 15m에 達하는 尺 越음 土砂에 기인한 水平土壓과 尺越음土砂 및 下部地盤의 沈下에 따른 負摩擦力을 支持할 수 있어야 한다는 것은 이미 3章에서 言及한 바와같다.

따라서 河口堰 設計에서는 水平土壓에 依한 過大한 Pile軸의 曲모멘트에 抵抗할 수 있는 方案으로 橋臺 제일 안쪽線의 Pile을 工型 Pile과 결합한 Sheet pile로 하였으며 (圖 5參照) 이 경우 水平土壓問題는 해결되나 地盤沈下에 依한 最大 2900KN에 달하는 負摩擦力은 역시 同複合 Pile의 支持機能에 과대한 負擔을 주게되므로 負摩擦力을 減少할 수 있는 方案이 檢討되었다.

負摩擦力은 地盤沈下에 기인한 것이므로 地盤의 下向運動을 Pile에 크게 傳해지지 않도록 Pile과 地盤사이의 剪斷層을 마련 해주면 해결될 수 있으므로 約 10mm 두께의 瀝青層(Asphalt layer)을 被覆하는 方法을 考慮 하였다.

同 剪斷層은 다음의 條件을 만족할 수 있어야 한다.

- 1) 瀝青剪斷層의 剪斷應力은 充分히 적어야 한다.
- 2) 打入時 剪斷層이 충격이나 剪斷力으로 分離되거나 損傷되지 않아야 된다.
- 3) 水平土壓으로 因해 밀려나지 않아야 한다.
- 4) 자갈, 砂礫등이 瀝青層을 침투하여 Pile 면에 닿지 않아야 한다.

이러한 條件을 滿足시키기 위해 使用될 瀝青材料의 示方은 아래와 같이 주어질 수 있다.

○ 夏節期 材料 浸入度(25°C) 45~55

軟化點 65°C~75°C

○ 冬節期 材料 浸入度(25°C) 60~70

軟化點 60°C~70°C

○ 瀝青層은 負摩擦力은 다음 式으로 計算된다.

$$\tau_v = r \cdot G \text{ (KN/mm}^2\text{)}$$

$$r = S / l$$

$S$  : 地盤沈下量

$l$  : 瀝青層 두께

$G$  : 瀝青剪斷係數(KN/m<sup>2</sup>)  $\approx 1.3S$

$S$  : V.d.Pedl 瀝青剛性係數(N/mm<sup>2</sup>)

河口堰의 경우 同 瀝青層의 負摩擦力은 最大 150KN/m<sup>2</sup>으로 나타나 同材料의 使用에 依한 效果는 負摩擦力을 約 95%정도는 줄일 수 있을 것으로 豫想된다. 그러나 本工法의 適用은 施工上 特別한 注意가 必要하며 따라서 工法의 適用性을 調査하기 爲하여 施工前 별도의 現場試驗을 計劃중에 있어 軟弱 地盤上 Pile 基礎의 負摩擦力 減少對策에 좋은 參考資料를 提供하게 될 것으로 期待하고 있다.

—78페이지에서 계속

Int. des Associations Scientifiques, Comité Scientifique sur les problèmes d'Environnement (SCOPE), Paris 1972.

SYMONS, J.H. : (Water Quality Behaviour in Reservoirs), U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, (\*) Cincinnati 1969.

《Qualité de l'eau dans les retenues》, Ministère Américain de la Santé, de l'Education et des Services Sociaux, (\*) Cincinnati 1969.

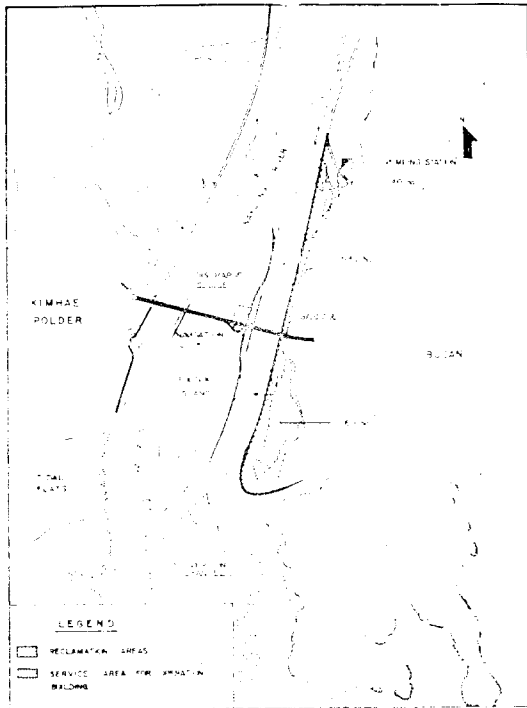


Fig. 1. Location of Barrage

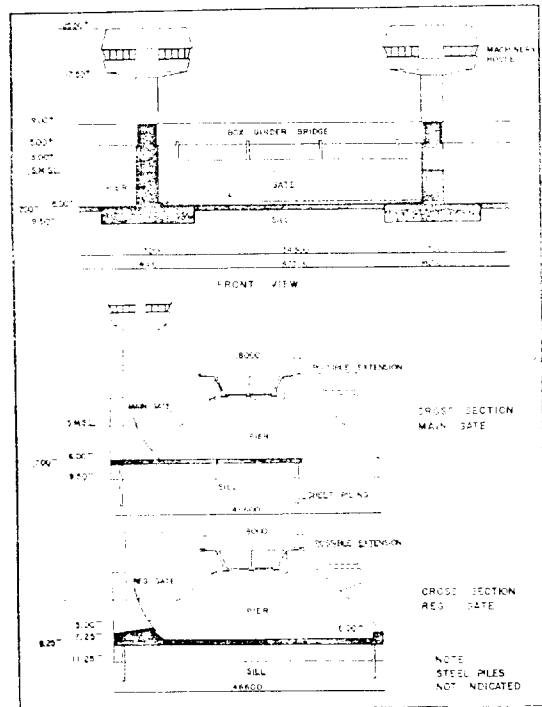


Fig. 2. Main Features of Barrage

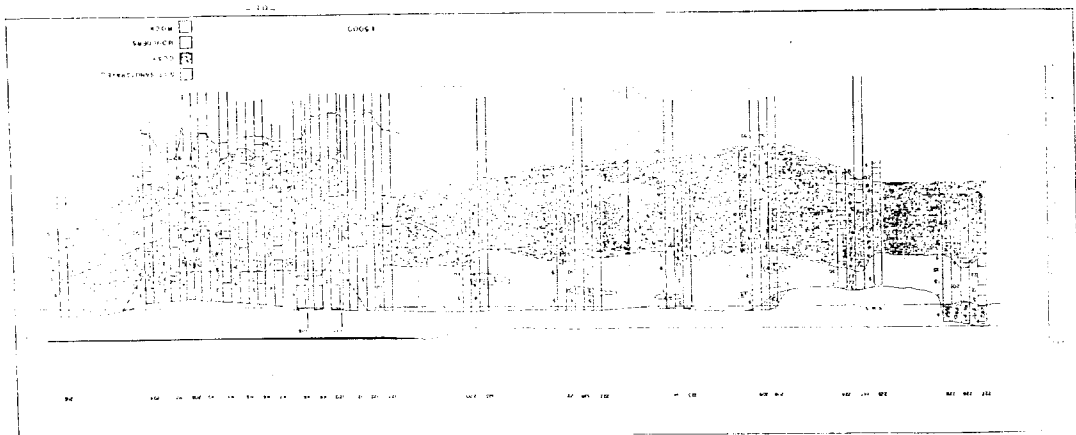


Fig. 3. Soil Profile Closure Dam

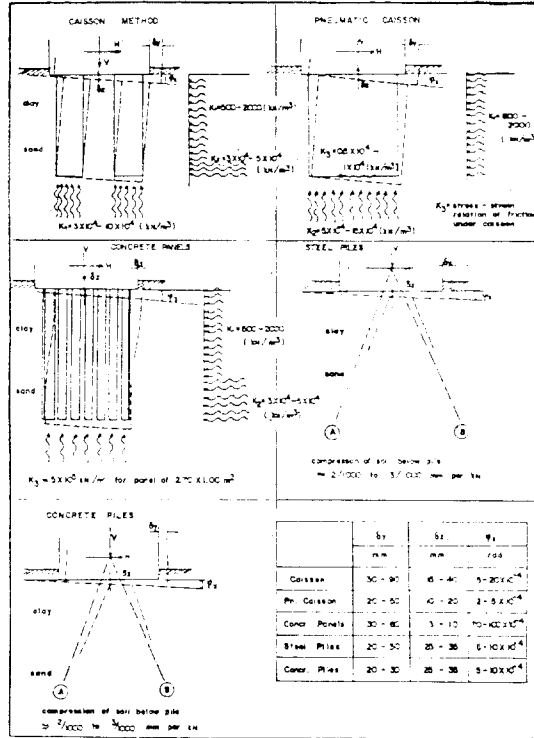


Fig. 4 Starting Points & Results of the Deformation Calculation of the Different Foundation Methods

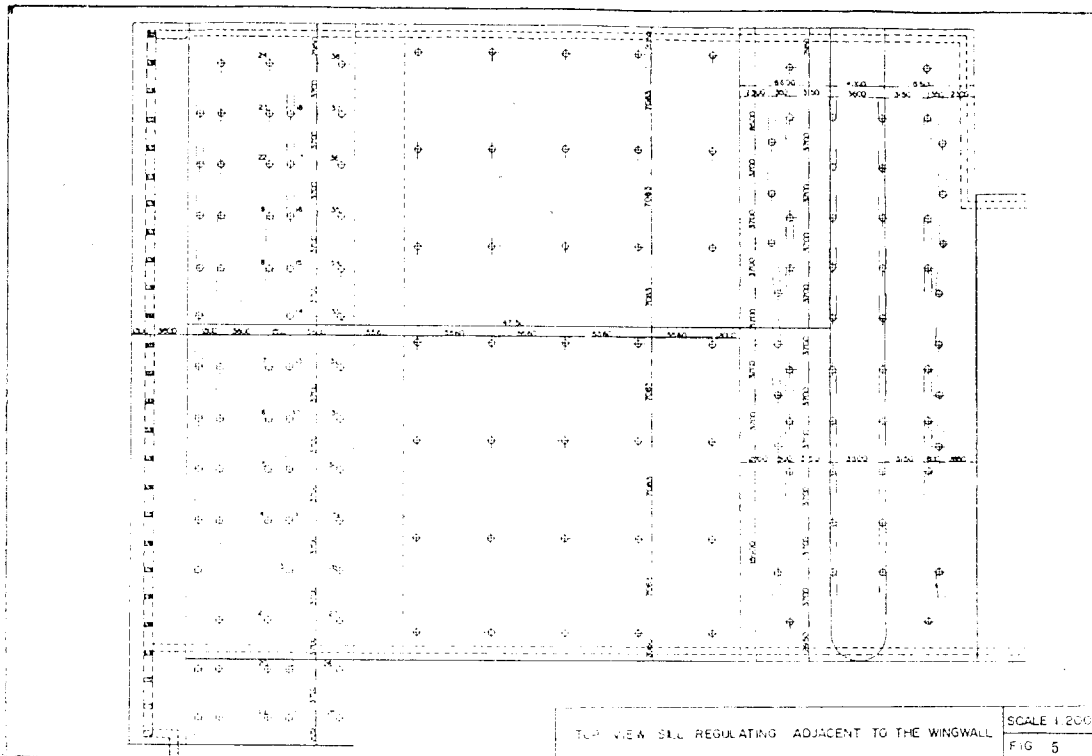


Fig. 5. Top View Sill Regulating Adjacent to The Wingwa