3. 軟弱地盤技術의 基本的 問題

軟弱層에 土木構造物을 만들 경우

1. 沈下 (壓密沈下)
2. 미끄러짐 (斜面의 安定)
3. 支持力
4. 變形 (側方流動 等)

이들의 理論的 說明은 專門書에 맡기고 技術者로서 머리에 넣어 두어야할 事項에 대하여 技術한다. 미끄러짐도 支持力도 地盤의 破壞時의 塑性平衡을 問題로 하고있는 點에서는 전혀 같은 일이나 一般的으로 미끄러짐의 경우는 安全率 Fs ≥ 1.2로 하고 支持力의 경우에는 Fs ≥ 3.0으로 하고있는 點, 構築하는 土木構造物의 重要度, 構造物의 許容되는 變形의 정도에서 設計의 安全性을 考慮한다고 하는 技術的 感覺으로 나누어 생각하고 있다.

또한 軟弱地盤에 무었인가를 만들려면 破壞에는 이르지 않더라도 地盤은 반드시 變形한다. 近年 이 變形이 問題로 되어왔다. 設計時에 考慮해둘 問題이다.

3-1. 沈下

沈下量

$$S = \frac{e_1 - e_0}{1 + e_0} \cdot H$$

또는

$$S = \frac{H}{1 + e_0} Cc \cdot \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

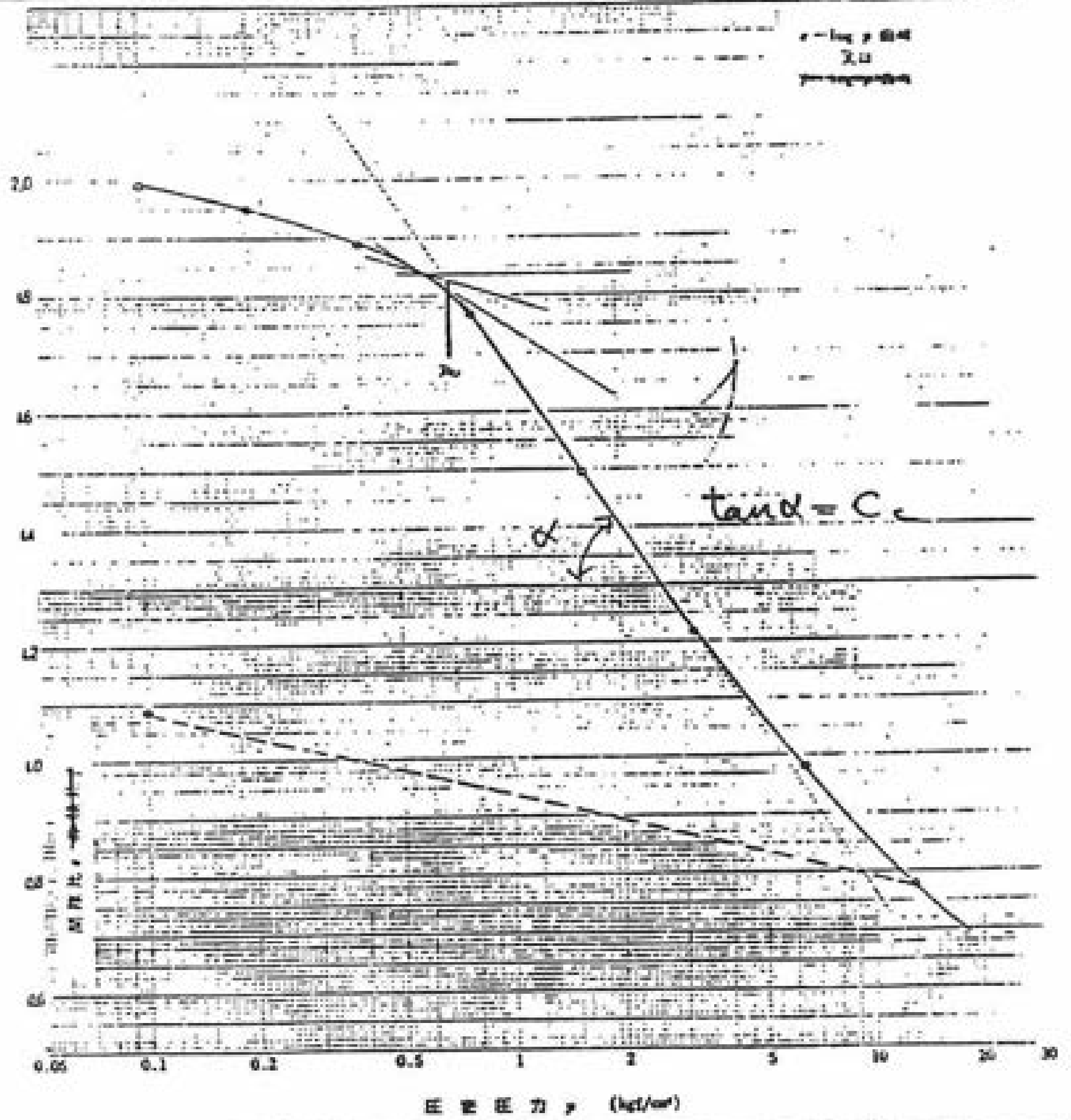
e_0 : 圧密層의 初期間隙比
e_1 : 圧密層의 圧密後의 間隙比
H : 圧密層의 層 두께
Cc : 圧縮指數
P_0 : 圧密層의 土被圧
ΔP : 圧密層의 圧力增分

JIS A 1217	圧密試験 (e-log p 曲線 / f-log p)	報告用紙

調査名・試料採取地点 [illegible]　　試験年月日 60 年 12 月 日

試験者

試料番号	採取深さ	液性限界 w_L %	初期体積比 f_0	初期間隙比 e_0	圧縮指数 C_c	圧密降伏応力 p_c kgf/cm²	記号
No. 3-1	2.00 m ~ [illegible] m	65.5	3.040	2.040	0.921	[illegible]	
No.	m ~ m						
No.	m ~ m						
No.	m ~ m						



備考

(社)土質工学会 544

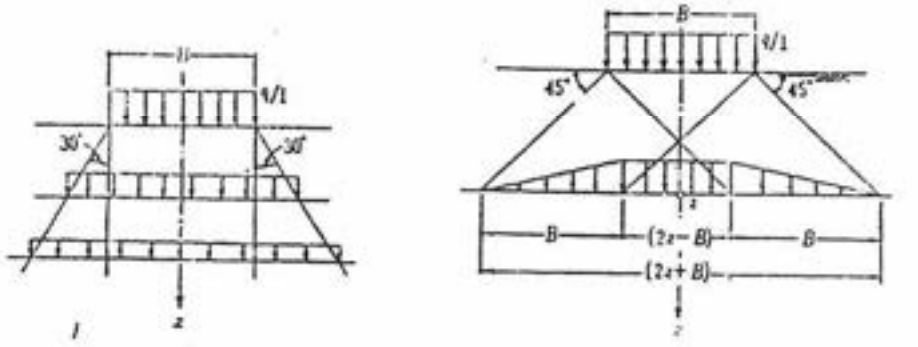
그림-17 e-log P曲線

沈下時間　　$t = \frac{(H_0/2)^2}{C_v} \cdot T_v$

Tv：定数
H：圧密層
Cv：圧密係数

地盤內의 應力分布

부시네스크, 뉴마크, 오스타바크 等의 式, 圖表가 提案되어 있다. 槪念的으로는 다음의 方法이 알기쉽다.

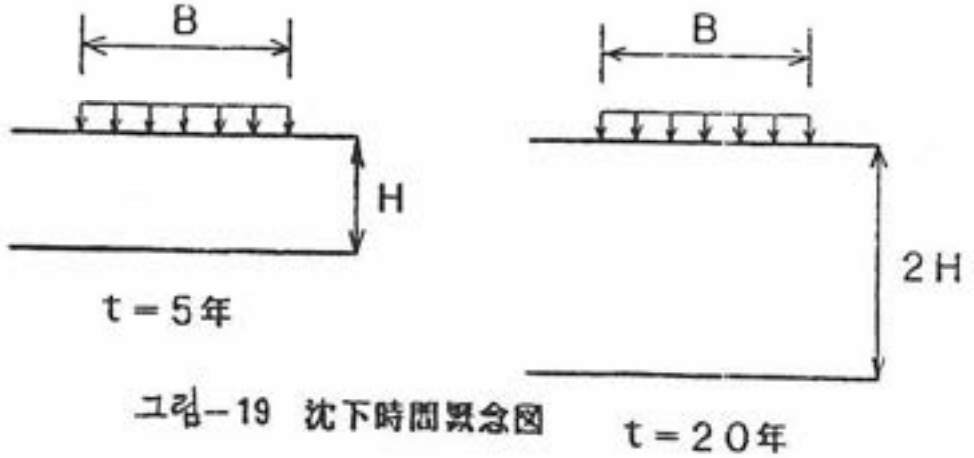


그림－18 地盤內応力分布槪念図

沈下에 關한 注意點

1) 正規壓密인가 過壓密 인가?

2) 沈下時間은 壓密層 두께의 2乘에 比例한다. 즉 粘土層 두께가 2倍가 되면 時間은 4倍가 된다.



그림－19 沈下時間槪念図

3) 沈下의 側方으로의 影響의 範圍는 깊이 H의 範圍이다.

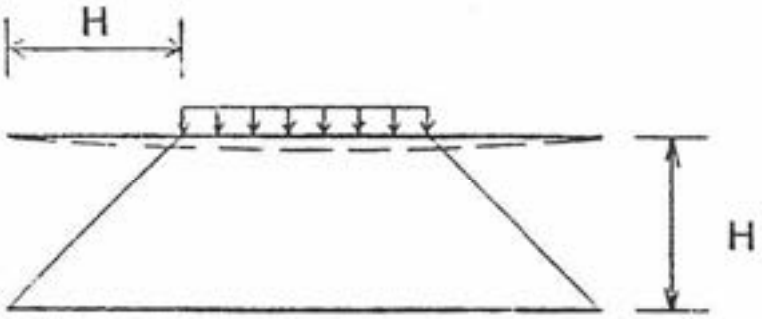


그림 -20 沈下範囲概念図

3-2. 미끄러짐 (省略)

3-3. 支持力

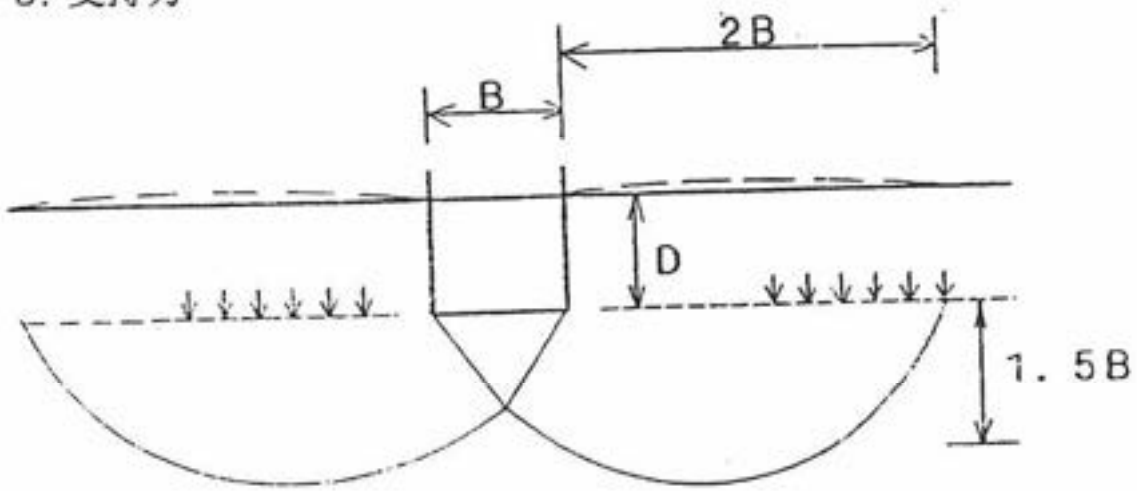


그림 -21 支持力機構概念図

$$q_u = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \tau \cdot B \cdot N_\tau + \tau \cdot D_f N_q \quad \cdots\cdots\cdots (2\text{-}6)$$

여기에는 α, β 形状係数로서 表-2-2에 表示되어있다

表-2-2 테라자키 公式의 形状係数

基礎形状	連続	正方形	円形	長方形
α	1.0	1.3	1.3	$1+0.3B/L$
β	0.5	0.4	0.3	$0.5-0.1B/L$

支持力에 관한 注意點

1) 支持力 (t/m2) 은 흙 自身의 强度 以外에 構築하는 構造物의 幅(B) 과 根入(Df)에 의하여 變한다.
2) 上記한 支持力 公式은 깊이가 1.5B, 幅 2B의 範圍가 거의 均一한 때에 成立한다.
3) 또한 上式은 地表面이 水平인 경우이므로 地表面이 傾斜된 경우에는 1/2 以下로 減少한다.

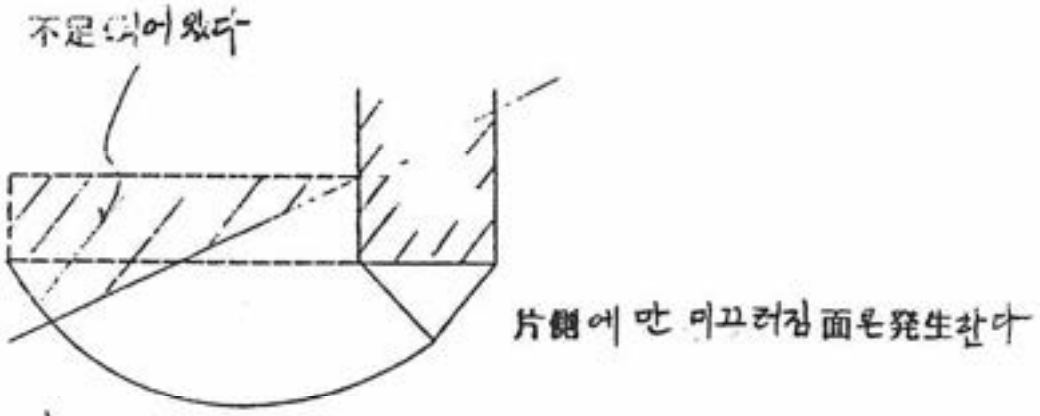


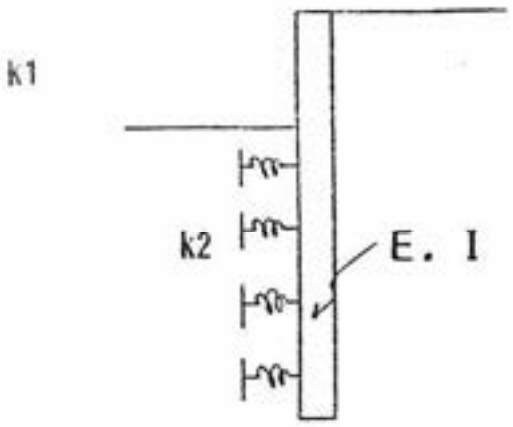
그림-22 傾斜地支持力機構槪念図

彈性変形
(即時沈下)

$$S = qB \frac{1-\mu^2}{E} I_p$$

q : 基礎의 荷重强度
B : 基礎幅
E : 흙의 彈性係數
μ : 同 Poisson 比
Ip : 影響値

(矢板의 変形)



弾性支承上의 beam으로서 変形量과 部材의 応力을 求한다。

그림-23 Spring支持力機構概念図

塑性変形(縦方流動)

粘土帯域이 塑性化하는 限界圧(마이야호프의 式)

$$q_{cv} = \left(\alpha \frac{B}{H} + \frac{\pi}{2}\right) C_u$$

α : 帯載荷で 1/2

円形 〃 1/3

矩形 〃 B ×L

$\alpha = (1-B/3L)\ 1/2$

Cu : 粘土의 非排水強度

變形에 대한 注意點

1) 變形量은 理論的으로 計算은 되어도 실제는 거의 一致하지 않는다. 따라서 반드시 계측에 의해 Check해야 한다.
2) 變形을 적게 抑制하기 위하여 現狀에서는 安全率을 크게 취하던지 强度를 낮게 見積하는 以外에 確信을 갖게하는 方法은 없다.

4-1. 軟弱地盤對策의 要點

軟弱地盤對策은 1) 地盤上에 새로 建設을 行할 경우와 2) 自然災害에 대하여 地盤의 保全을 圖謀한다는 경우가 있다.

여기에서는 1) 의 경우에 대하여 敍述한다.

이 경우 計劃하고 있는 構造物을 安全하게 地盤上에 만드는가 하는것이 문제가 된다. 安全이라는 意味는 1) 地盤이 構造物의 重量을 充分히 支持할수가 일을것 2) 將來도 構造物의 沈下나 傾斜 等 使用上 形便이 좋지 않을것이 생기지 않는 것을 意味하고 있다.

어떤 地盤上에서 構造物의 建設이 計劃된 경우에는 우선 그 地盤의 調査를 行하여 支持力과 沈下 傾斜의 檢討를 行한다. 이 結果 不安이 있을 경우에는 構造物의 設計變更을 行한다.

支持力에 관하여는 單位面積當 荷重을 減少시키는 것이고, 沈下에 대하여는 荷重의 減少와 載荷面積의 減少를 考慮해야 한다.

荷重을 減少시키려면 構造物의 높이를 減少시킬것, 構造物의 材料의 計量化를 圖謀하는 것이 생각되나 地盤을 掘鑿하여 地下部分을 增加시키는 것도 有效한 手段이다. 이것을 Floating 基礎라고 부르고 最近의 分布가 變化하는 距離를 크게하여 荷重 臨海地域의 大規模 工事에서 잘 使用하고 있다.

흙을 쌓아 堤防을 만들 경우 (또는 흙깎이하여 斜面을 만들경우)에는 荷重을 減少시키는 것도 重要하나 構造物의 本體가 地盤과 그다지 다름없는 흙이기 때문에 例를들면 흙쌓기의 端部만 이 地盤과 함께 破壞되는 일도 있고, 地表面의 荷重變化로 하는것도 重要하다. 이것들을 考慮한후 더구나 不安이 있을경우 基礎工을 硏究하게 된다. 一般的으로 말뚝基礎, Pier基礎 等을 考慮하고 있다. 또 弱한 地盤을 强하게 한다는 생각에서 地盤改良이 많이 行해지게 되었고 軟弱地盤對策이라고 말하면 地盤改良을 意味하는 것이 되고 있다.

이것에는 置換工法과 補强工法이 있다. 近年 環境問題에 대한 配慮에서 置換工法은 行해지지 않게 되었고 흙을 置換하지 않고 强化한다고 하는 地盤改良이 一般的인 것이 되고 있다.

粘性土地盤을 强化하기 위해서는 地盤上에 荷重을 加하고 흙中의 물을 짜내는 壓密工法이 가장 Orthodox하다. 그러나 壓密에는 時間이 걸리는 것이 실제상의 缺點이다. 이 點을 克服하기 위하여 使用되는 것이 Vertical drain 等에 의한 壓密促進工法이다.

但 Drain施工의 信賴性, 地盤內의 흙의 不均質性 問題가 있다. 또 한편으로는 粘性土地盤의 Cementation 效果를 短時間에 終了시키기 위하여 固化劑를 흙에 混入하여 科學的 으로 흙을 强化하는 科學的 改良工法도 많이 使用하게 되고 있다.

이 工法의 問題點은 强化의 정도를 豫測대로 Control 할수 없는것이다. 또 이 工法이 壓密工法과 決定的으로 다른點은 壓密工法이 面을 Cover 하는 工法에 대하여 이것은 改良工法을 實施한 部分의 흙만을 强化하는 말하자면 點을 對象으로 하고 있는 點이다.

또 强化部分과 未改良部分이 分離되어 混在하는 소위 複合地盤이 되고 이 複合地盤의 全體的인 性格의 把握에 대하여도 今後 解明하여야할 問題이다.

지금까지 敍述한바와 같이 計劃된 構造物에 대하여 地盤의 强度에 不安이 있으면 地盤에 손을 加하지 않고 基礎工의 硏究에 의하여 解決하는 方法과 地盤의 흙을 地盤改良에 의하여 强化한다고 하는 2가지 方法이 있다.

이 2가지 方法은 실제로는 서로 補完하면서 檢討를 進行시켜야 할것이다.

4-2. 橋梁의 留意點

軟弱地盤에서 各種의 原因으로 생기는 壓密沈下에 의하여 말뚝에 作用하는 負의 摩擦力이나 基礎말뚝으로 부터의 荷重에 의한 地盤의 壓密沈下에 의하여 생기는 沈下被害, 또는 橋台나 盛土에 近接한 橋脚 等 偏土壓에 기인되는 地盤의 側方流動에 의한 被害가 생기는 일이 많다.

① 摩擦말뚝
支持말뚝에 비해 長期間의 支持力 特性 等의 不明한 點이 있으므로 信賴性이 떨어지는 것으로 되어왔다. 그러나 長期載荷試驗도 수많이 行하여지고 長期의 沈下性狀에 대하여도 明白하게 된것으로 부터 摩擦말뚝을 고쳐보게 되었다.

② 負의 摩擦力에 대한對策
말뚝基礎에서는 最近 負의 摩擦力을 低減하는 工法이 많이 使用되게 되고 있다.

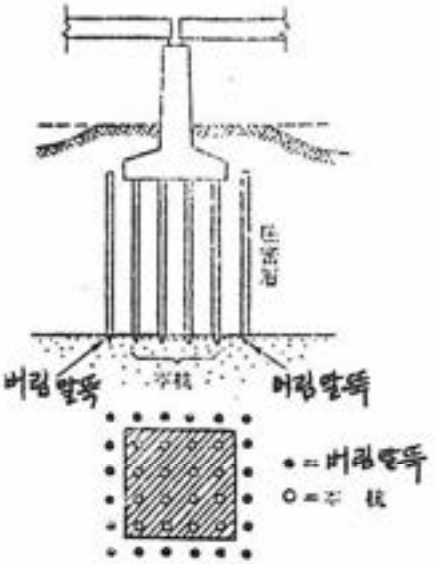


그림-24 버림말뚝

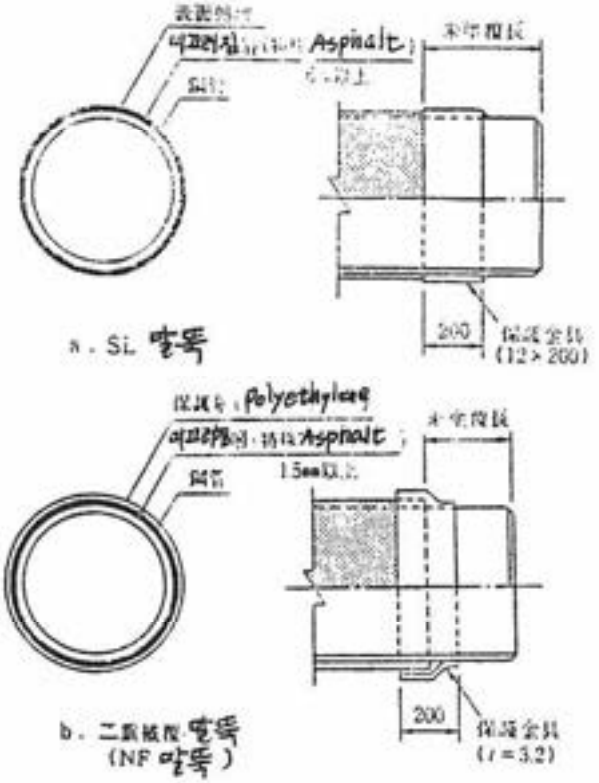


그림-25 二重被覆管杭

③ 側方移動対策工

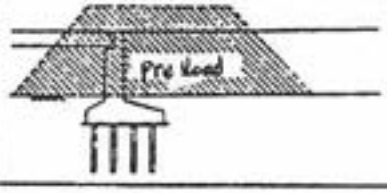
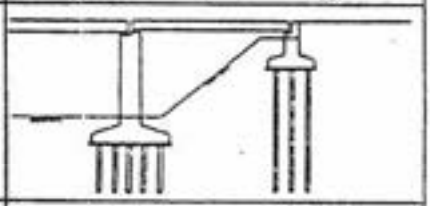
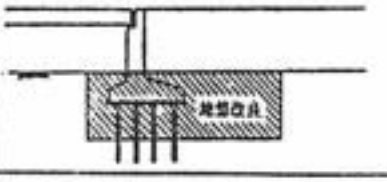
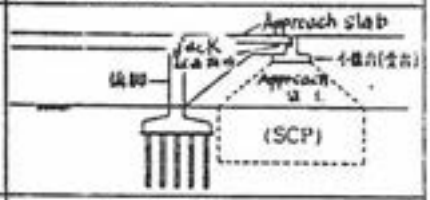
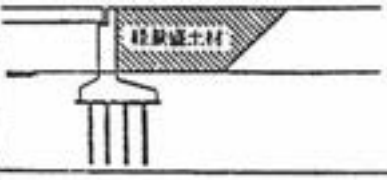
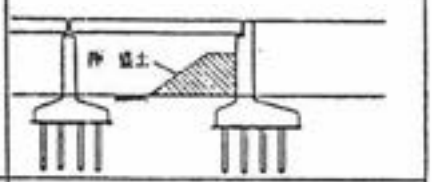
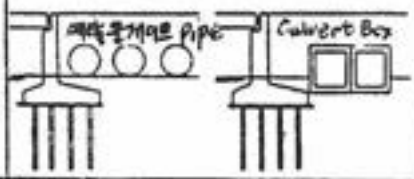
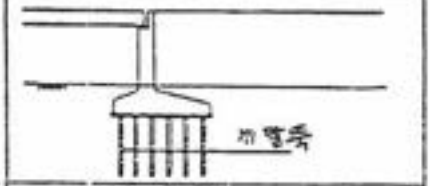
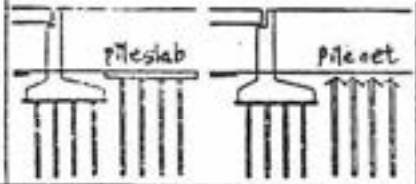
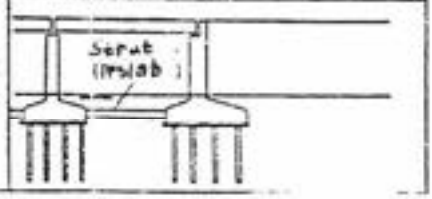
対策工法	概念図	対策工法	概念図
Preloading 工法		살아돌림式 施工	
其他의 地盤改良工法		Approach Cushion 式施工 (ACK)	
軽量盛土材		押 盛土工法	
Pipe(Box)等 埋設物施工法		地中壁対策	
pileslab工法 pilenet工法		Strut 工法 (押slab 工法)	

그림-26 側方移動対策工法의 概念図

4-3. 地下鐵의 留意點

軟弱地盤에서의 建設工法은 開鑿工法이든지 Shield에 거의 限定된다.

設計上의 留意點

① 土壓과 連續壁의 本體利用

軟弱地盤에서는 側方土壓이 커지기 때문에 部材의 剛性을 높일 必要가 있고 그 對策의 하나로서 흙막이工에 設置한 連續壁을 本體壁에 利用하는것도 今後의 課題이다.

② 地盤沈下對策

一般的으로 排除한 흙의 重量보다 Tunnel 의 重量이 가볍기때문에 Tunnel 축조에 수반하는 沈下는 없다.
그러나 自然沈下가 進行되고 있을 경우에는 補强對策이 問題가 된다. Tunnel 밑에 基礎를 設置하고 沈下를 防止하는 方法과 Tunnel을 沈下에 追從시키는 方法이 있고 一般的으로는 後者의 工法이다. 이경우 Flexible Joint를 設置하던지 內空斷面을 擴大하여 將來 調整을 할수 있도록 해둘 必要가 있다.

③ 地震對策

橫斷方向 보다도 縱斷方向의 檢討ㅏ 問題가 있다. 箱子形 斷面에서는 斷面剛性을 올리고, Shield의 경우에는 Flexible에 대응하는 대책이 된다.

施工上의 留意點

① 開鑿工法인 경우의 周邊地盤의 沈下

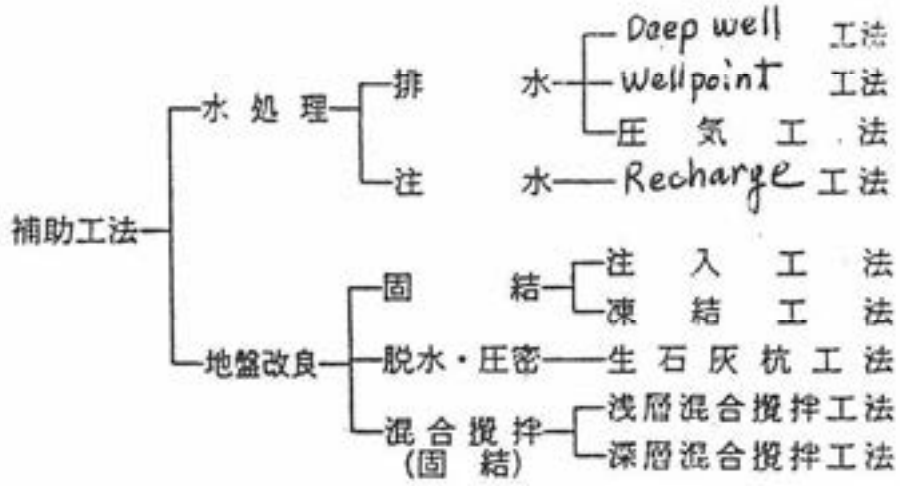
沈下原因으로서는 흙막이壁의 變形에 隨伴하는 沈下와 地下水 低下에 隨伴하는 壓密沈下가 있다. 土留壁의 腹起 變形量의 算出에는 FEM解析이 사용되게 되고 計測管理手法을 併用하는 것에의해 重要構造物의 近接施工의 豫測解析이 可能하게되었다.

② 地下水 對策

周邊의 沈下防止 및 井戶枯渴防止를 위해서 止水性이 높은 土留壁을 使用하도록되어있다. 止水性 흙막이를 使用한 경우에는 背面의 水壓이 作用하기 때문에 土流壁의 變形이 커지고 地盤沈下를 增大시키게 된다. 또한 根入部에서의 boiling, heaving이 發生할 憂慮가 있고 充分히 主意할 必要가 있다.

③ 補助工法과의 balance

最近 軟弱地盤의 開鑿工法에 있어서는 補助工法이 不可缺의 要素로 되어있다. 이 採用에 있어서는 安全性과 工事費를 包含한 全體的인 balance가 必要하다. 地下鐵工事에서의 補助工法의 分類는 다음과 같다.


補助工法
水処理
排水
Deep well 工法
Wellpoint 工法
圧気工法
注水
Recharge 工法
地盤改良
固結
注入工法
凍結工法
脱水・圧密
生石灰杭工法
混合撹拌(固結)
浅層混合撹拌工法
深層混合撹拌工法

4-4. 道路의 留意點

① 敷砂 (Sand mat) 工法
1. 軟弱層의 壓密을 위한 上部排水層
2. 施工機械의 Trafficabiliy 의 確保의 目的으로 使用한다.
一般的으로 50~100cm의 두께로 다시 trafficability의 確保를 할수없는 경우에는 敷設鐵板, 敷設材를 併用한다.

② 緩速 載荷工法
軟弱地盤에서의 흙쌓기 工法의 基本工法으로 動態觀測을 併用한다.

③ 押盛土 工法
本體 盛土外側에 對荷重으로서 作用하는 小盛土를 行하고 基礎地盤의 미끄러짐에 抵抗 시키는 것이다.
側道 또는 工事用 道路로서 유효하게 利用할 必要가 있다. 施工에서는 반드시 押盛土部分을 先行시키는 것이 重要하다.

④ 載荷重工法(Surcharge 工法, Floating 工法)
計劃高 以上으로 盛土를 載荷하고 一定의 放置期間을 두었다가 餘分의 荷重을 除去하는 工法
計劃高 以上으로 盛土를 行하기 때문에 安定에 대하여 充分히 檢討하는것이 重要하다. 또 Floating工法에서는 盛土의 除去에 따라 地盤이 Rebound 되는일이 있고 Box의 施工 높이를 決定할 時에 注意가 必要하다.

⑤ Vertical drain 工法
모래말뚝 等의 銳直排水柱를 設置하여 排水距離를 短縮하는 것으로 壓密을 促進시키는 工法이다.
盛土 法面 밑에서 中心部를 向하여 施工하는 것, 모래나 guard board가 途中에서 잘라지지 않도록 引拔速度를 充分히 管理할 必要가 있다.

⑥ Sand compaction工法
衝擊荷重이나 振動荷重에 의해 모래를 地盤中에 壓入 다짐하여 基礎地盤의 支持力 向上을 圖謀하는 것이다.
施工時에는 振動, 騷音對策에 配慮할 必要가 있다.
또 周邊地盤으로의 밀어냄 等 近接構造物로의 影響에 대해서도 考慮할 必要가 있다.

⑦ 深層混合處理工法
Cement나 石灰 等의 安定材를 原位置의 軟弱土와 强制混合하는 것으로 그 科學的 固結作用으로 地盤을 强化하는 것이다.
다른 工法보다 施工時의 騷音, 振動 等의 影響이 적고 더구나 큰 改良效果가 얻어지므로 最近 많이 使用되게 되었다. 그러나 현재 다른 공법에 비해 比較的 높으므로 使用場所에 대하여는 檢討할 필요가 있다.

4-5. 空港의 留意點

空港建設에 큰 障害가 되는것에 騷音問題가 있다. 이때문에 空港의 立地는 사람들과 洞里에서 떨어진 山의 奧地던가 海岸에서 멀리 떨어진 앞바다의 人工섬에 制限된다.

東京國際(羽田) 空港·關西國際空港에 代表되는 앞바다의 인공섬은 軟弱地盤 對策이 重要한 point가 된다.

1. 滑走路, 誘導路나 Apron 部分은 嚴한 平坦性이 要求되므로 不等 沈下는 거의 허락되지 않는다.

羽田空港의 경우, 아래의 土層圖에 表示하는 Ac 1層을 Vertical drain 工法으로 改良하였다. 이 結果 約 1年間에 Ac 1 層의 압밀은 끝나고 이것을 기다려서 鋪裝하면 Ac 2層에 의한 沈下는 最初의 10년간에 40Cm, 다음의 10년간에 20Cm, 다시 다음의 10年間에는 10수Cm로 된다. 이 정도의 沈下이면 不等沈下가 생겨도 이年間에 1~2回에 陸地가 아니곳을 修正하기 위한 高尙을 行하는 것으로 充分히 對處할수 있다.

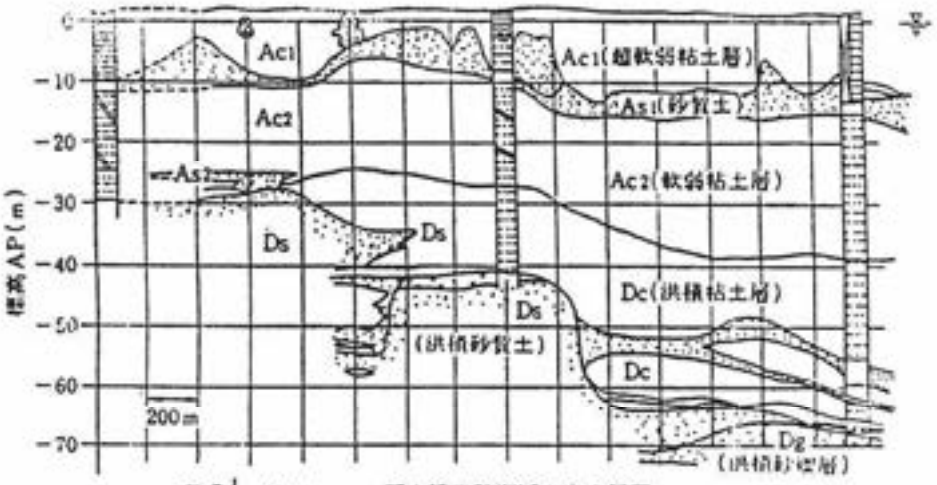


그림-27 新A滑走路縱斷方向土層圖

2. 埋立두께가 크고 埋立面積이 크기때문에 沈下의 影響이 깊다.
關西空港의 경우 土層構成은 羽田과는 다르고 海岸에서 앞바다를 향하여 傾斜된 單斜構造로 되어있다. 代表的인 土質柱狀圖를 그림-28에 表示한다.

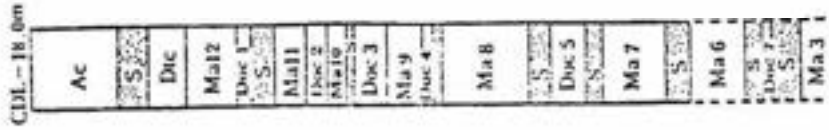


그림-28 [illegible]

水深 16.5 ~ 19m의 해저에서 16~20m의 두께의 沖積粘土層 (AC)이 堆積되고 그밑에 粘土層과 얇은 砂層과의 互層으로 된 洪積層이 수백m 繼續되어 있다.

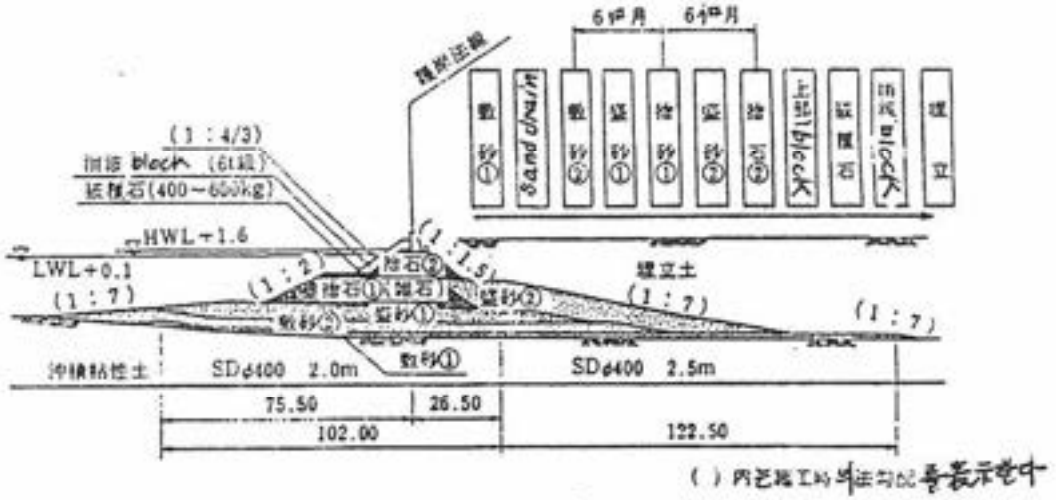


그림 -29 緩傾斜石積 護岸의 標準斷面圖

沖積層은 正規 壓密粘土이고 洪積粘土層은 過壓密層이다. 埋立두께가 30m나 달하고 面積이 넓으므로 洪積層의 沈下도 無視할수가 없고 깊이 150m 정도까지 沈下에 關係된다고 豫測하고 있다.

4-6. 宅地造成의 留意點

宅地造成에 있어서의 軟弱地盤對策은 다만 地盤改良 等의 技術的인 處理에 멈추지 않고 土地利用 計劃의 立案을 始作하여 供給計劃 工事竣工後의 維持管理에 이르기 까지의 綜合的인 檢討가 必要하다. 技術的으로는 地盤의 安定과 沈下에 대한 對策으로 一般的으로 다음과 같은 工法이 使用되고 있다.

- o 盛土荷重 載荷工法 (pre-load, surcharge工法)
- o Vertical drain 工法
- o Sand compaction pile 工法
- o 深層安定 處理工法
- o 淺層安定 處理工法

4-7. 建築의 留意點

軟弱地盤에 대하여는 이 軟弱層을 貫通하여 굳은 確固한 地盤까지 말뚝을 打設하고 이 위에 構造物을 만들고 沈下가 생기지 않도록 하는것이 一般的이고 建築構造物에 있어서도 이것은 例外는 아니다. 그러나 近年의 海邊의 埋立地盤 等에있어서는 軟弱한 層이 두꺼워져서 支持말뚝으로 하면 매우 긴 말뚝이 必要하므로, 特히 中低層의 建物에는 基礎工事에 相對的으로 莫大한 費用이 들고 매우 不經濟的인 建築物이 된다.

그것만이 아니라 埋立造成後 얼마되지 않은 時機에 建設하는 일도 많고 이와 같은 경우에는 建物竣工後의 地盤沈下가 1m以上에나 이르는 일도 있다. 이와 같은 場所에서 支持말뚝을 使用하면 經濟的인 面 外에 말뚝에 대한 負의 摩擦力, 構造物의 뽑아올림, 設備配管 等과의 沈下量의 差 等 여러가지 技術的, 環境的인 問題가 생겨난다.

이러한것을 背景으로하여 最近의 建築에서는 支持말뚝을 使用하지 않고 침하나 不等沈下를 적게하는 공법이나 또는 沈下를 補正하는 裝置를 가진 工法이 採用되기 始作하고 있다.

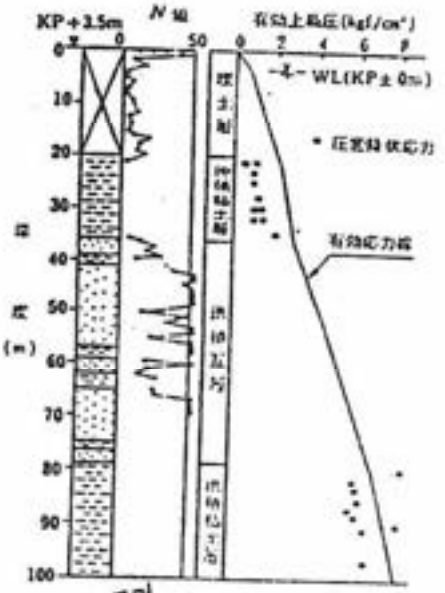


그림-5

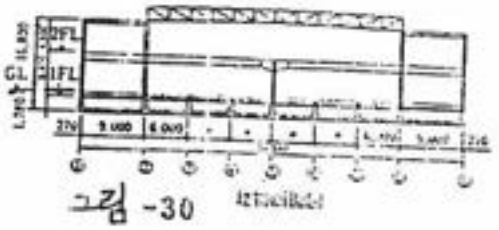


그림 -30

다음에 그 事例를 表示한다.

敷地는 海面의 埋立地로서 그림-30 에 表示하는 柱狀圖이고 殘留沈下는 約 2.5m로 豫測되었다. 建物은 그림에 表示하는바와 같이 地上 2層, 平面規模 55×50m의 體育館이다.

沈下量이 2.5m나 되면 豫期할수없는 不等沈下가 생기는 것도 充分히 생각되고 이를 위한 對策도 考慮한 工法을 하지 않으면 안된다. 또 2.5m의 地盤沈下에 대하여 5.5m의 崇尙을 行하였다. 이 盛土重量과 建物重量을 考慮한 粘土層의 最終沈下는 約 300cm로 計算되었다.

이 沈下量에 견딜수 있는 建物을 築造하기 위하여 다음의 對策이 施行되었다.

① 計算되어 있지 않은 埋土層의 沈下를 最小限으로 하기 위하여 埋土層을 Sand compaction pile에 의하여 地盤改良한다.

② 排土重量과 建物重量을 balance 시키는 floating 基礎工法으로 한다.

③ 基礎beam과 基礎底盤의 龜裂을 防止하기 위하여 prestress를 導入한다.

④ 管理限界를 超過하는 不等沈下를 修正하기 위하여 基礎beam과 1層床과의 사이에 jack up 機構를 設置한다. (그림-31 참조)

⑤ 上部架構를 鐵骨造의 大span 架構로 하여 不等沈下에 의한 變形에 뒤를 따라 좇아갈수 있도록 한다.

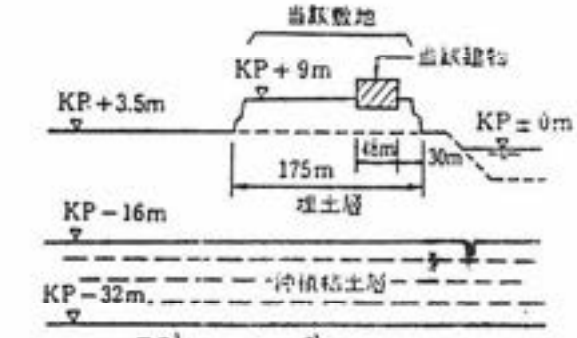


그림-7 敷地의 狀況

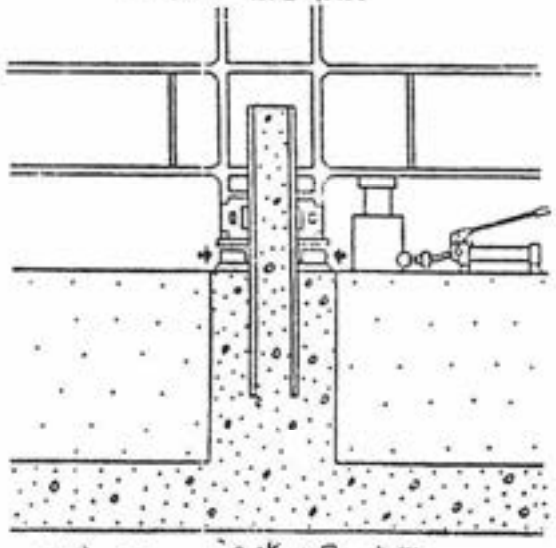


그림-31 jack up 敷設

5. 맺는말

지금까지의 經驗과 硏究의 成果덕분으로 軟弱地盤에 대한 對策의 種類나 數도 增加하고 또한 그 豫測의 精度도 向上되어 왔다. 日本의 지금까지의 軟弱地盤對策은 高度成長期에 가로막혀 힘들여 問題를 解決한다는 印象이 强했다.

그러나 攻擊에만 치우치는 것이 아니라 때로는 逃亡쳐서 相對의 勢力을 꺾는다는 技術도 있어서는 좋을 것이다. 具體的으로는 地盤에 無理한 負擔을 주지 않는것 같은, 例를 들면 發泡 styrol 等의 輕量材를 使用 하는것 같은 일도 今後 크게 檢討하여야 할것이다.

또한 地域의 中小規模 工事에서는 보다 flexible하게 多樣한 對策을 檢討하여야 할것이다.