

日本의 軟弱地盤 處理

(Treatment of Soft-Ground in Japan)

永 井 雄 一

序 言

現在 日本에서의 軟弱地盤關係의 技術圖書는 多數가 出版되어 있으나今回 여기에서는 現場技術者가 알아둘 必要가 있는 實戰的인 軟弱地盤 處理技術에 대하여 體驗에 依據하여 講義錄으로서 整理하고 있다.

이 때문에 事前의 調査法이나 設計法에 대하여는 現場技術者가 常識으로서 알고 있지 않으면 안될 程度의 最少限의 記述에 그치고, 主로 各種의 軟弱地盤處理工法의 適用條件 및 施工管理에 있어서의 注意点, 動態觀測의 重要性과 觀測 Data의 思考方法 等의 實際의in 問題에 대하여敍述한다.

따라서 調査法이나 設計法에 대한 詳細는 別途로 市販되고 있는 參考圖書를 읽어 주기 바랍니다.

1. 軟弱地盤의 概念

1-1. 日本의 地質構成의 特徵

日本은 Plate, Technics 處理에서 말하는 亞細亞大陸(韓國)을 包含하는 Eurasia, Plate, Philippine 海 Plate, 太平洋 Plate의 境界部에 位置하기 때문에 韓國과는 달리 매우 複雜한 地質로 되어 있다. 即 活火山이 많이(最近의 噴火: 九州의 雲仙, 普賢岳, 伊豆大島 三原山) 存在하고 또한 地震이 많은 것으로도 알려져 있다. 이것을 地質學의으로 보면前述한 3個의 Plate가 서로 衝突하거나, 貫入하거나 하고 있기 때문에 매우 複雜한 地質構造로 되어 있다.

即 洪積層이나 古生層이 褶曲하거나 亂入하고 다시 이 위에 沖積層이 덮여 있다. 이 때문에 平野部의 大部分은 地質的으로 새로운 沖積層의 軟弱地盤을 形成하고 臨海工業地帶의 大部分이 軟弱地

盤上에 造成되어 있는 것이다. 이러한 立地條件때문에 臨海工業地帶의 產業基盤 整備에는 軟弱地盤處理技術이 不可欠하게 된 것이다.

한편 이러한 複雜한 地質과 地震의 많음은 土木構造物의 設計나 施工에 큰 影響을 미치게 하고 이 때문에 耐震設計의 進步나 施工技術의 進步, 發展을 促進하였다. 또한 日本에서 多發하고 있는 地震의 被害는 構造物設計에 Feed back되어 耐震設計의 進步를 促進하여 世界各國의 地震災害의 復舊時에 이 經驗이 貢獻하고 있다.

極言하면 日本이 工業立國(貿易立國)의 國家로서 緊縮하고 發展하기 위해서는 軟弱地盤 處理技術은 不可欠한 技術이라고 말할수 있는 것이다.

1-2. 軟弱地盤의 定義

「土木構造物이나 建築의 基礎로서, 含水比가 높고 軟弱하기 때문에 構造物을 支持할 수 없고 流動化하거나沈下되기 쉬운 地盤을 말한다.」

따라서 構造物의 目的과 種類에 따라 當然히 軟弱地盤의 對象도 달라지게 된다.一般的으로는 液性限界 100以上, 塑性限界 50-100%, 間隙比 2-12를 나타내고 N值(標準貫入試驗) 4-5以下인 것을 軟弱地盤으로 보나, 目的으로하는 構造物의 種類를 高麗할 경우에는 下記와 같이 된다.

構造物의 種類에 따른 軟弱地盤의 概略的 判定基準

種 類	高速道路			鐵 道		建 築
	含水比 (%)	N值 —	一軸壓縮 kgf/cm ²	層두께 (m)	N值 —	
物理特性值						許容地耐力 (tf/m ²)
有機質土層	100< 4>	0.5>	0< 0>	10以下		
粘性土層	50< 4>	0.5>	2< 2>	10以下		
砂質土層	30< 10>	÷0	4< 4>	10以下		

本 報文은 1月 27日 永井雄一 技術士를 本 學會가 招請하여 Seminar한 內容이다.

2. 日本에서의 軟弱地盤 處理工法의 歷史

日本에서의 軟弱地盤 處理工法의 歷史는 1955年代의 高度成長期를 契機로 本格的인 發展이 始作되었다고 해도 좋다. 즉 國內에 天然資源이 없는 日本은 重化學工業의 發展에 의한 施工貿易에 活路를 찾는 外에 選擇의 余地가 없었던 것이다.

이들 重化學工業의 工場用地는 臨海部에서 求하여지고 今日의 臨海工業地帶를 形成하고 있으나 이 것을 地質의 觀點에서 보면 全部가 軟弱地盤地帶에 工業用地가 造成되어 있는 것이다.

高度成長期에 있어서 廣大한 臨海工場用地의 needs는 必然的으로 軟弱地盤處理의 技術을 필요로 하고 이것이 日本의 軟弱地盤處理의 發展을 促進시켰던 것이다, 다시 東京 Olympic 開催를 契機로 하는 東海道 新幹線, 東明高速道路 等의 建設 root도 軟弱地盤地帶를 避해서는 通過할 수 없고 이때문에 軟弱地盤의 處理技術의 進步 發展은 다시 加速되었던 것이다.

이것을 技術面에서 보면 小規模的인 것으로 부터 大規模的인 工事が 됨에 따라 人力主體의 施工에서 重機械力에 의한 施工으로 移行되고, 다시 最近에는 Electronics(Computer)를 利用한 設計, 施工管理 또한 施工機械에 있어서도 Electronics化가 企圖되고 있고 이 面에서의 高度化가 急速하게 進行되고 있는 것이다. 特히 地震時의 FEM에 의한 動的解析 等은 Computer의 進步 發展 없이는 생각할 수 없다.

3. 土質調查의 目的과 調查, 試驗의 種類

3-1. 土質調查의 目的

여기에서 우선 먼저敍述해 두지 않으면 안될 것은 軟弱地盤處理의 設計는 鋼이나 Concrete를 材料로 하는 橋梁이나, Concrete 構造物에 비해 훨씬 設計精度가 떨어진다는 것이다.

그 理由는 軟弱地盤에는 下記와 같은 不確實 條件이 있기 때문이다.

① 土質試料 採取時에 嚴密한 意味에서의 不攪亂試料를 얻을 수 없는 것.

* 試料採取時의 影響을 전혀 받지 않는 理想的인

採取 方法은 없다.

② 地層이 複雜하기 때문에 地盤의 層構成을 單純화하고 定型化 하지 않으면 안되고 이 때에 誤差가 들어가는것.

* 예; 上部粘土層(AC1), 下部粘土層(AC2), 上部砂層(AS1), 下部砂層(AS2)

③ 施工時에도 施工誤差가 생기는 것.

* 例; 打設位置, 間隔 등의 施工精度

이러한 不確定要素가 있기 때문에 沈下量의 計算時에, 아무리 嚴密히 調査하고 또한 正確히 壓密沈下量을 計算時의 土30% 以內로 實測值가 얻어지면 매우 優秀하다고 判斷될 程度의 計算精度밖에 얻을 수 없다.

따라서 전혀 沈下量計算을 하지 않고 施工하는 것도 어리석은 일이나, 그렇다고 하여 莫大한 費用을 들어 地質調查 · 沈下의 設計計算을 하는 것도 이것도 또한 軟弱地盤技術者로서는 問題이다.

그러나 前項의 土質調查 없이는 軟弱地盤對策工法의 選定, 設計, 施工管理 모두가 전혀 不可能하고 이 土質調查가 大前提가 되므로 經濟性을 高麗하여 必要로 하는 設計值를 얻는 努力이 軟弱地盤에 同伴하는 技術者の 資質로서 必要하다.

*軟弱地盤에서의 計測關係 報告書에 沈下量의 計算豫測值와 實測值가 매우 잘 合致되어 있다는 報告가 많으나 筆者は 疑問을 느끼지 않을 수 없다.

過去에 施工한 工事의 沈下測定의 體驗에서 생각해 보아 즉 測值의 土30% 以內에 들어가면 매우 優秀한 結果란 것을 實感하고 있기 때문이다.

3-2. 土質調查의 種類

土質助詞의 種類는 여러가지가 있으나 어떤 것이라도 目的으로 하는 構造物의 種類, 規模의 大小, 隣近에 대한 影響 等을 綜合的으로 考慮하여 計劃할 必要가 있다.

장난적으로 過大한 調査나 또한 逆으로 調査費가 아까워, 그 結果로서 工事費를 急增시키는 어리석음은 技術者로서 嚴하게 삼가야 하지 않으면 안된다.

ⓐ 現地調查:

이 調査는 모든 軟弱地盤調查의 原點이며 全體의 地形, 水文, 氣象狀態 等을 現地에 가서 把握하는 것은 매우 重要하다. 最近 이러한 定石의in 調査를

輕視하여 定量的(數值)情報만 重視하여 Computer로 處理하였기 때문에 正確하다고 評하는 傾向이 있다.

그러나 結局 土木工學은 經驗工學이고 그 現場狀況의 把握 없이는 正確한 設計, 施工을 할 수 없는 것을 特히 強調해 두고 싶다.

즉 最近과 같이 業務 分業化에 隨伴하여 現場을 보지 않고 設計하는 傾向도 一部에서 볼수 있으나 이러한 사람은 技術者로서의 適性을 疑心하지 않을 수 없고 또한 合理的이고 適正한 設計 等이 이루어 질리가 없다.

⑥ Sounding 調查

土質調查의 Sounding에는 Sweden式 Sounding과 Austria式 貫入試驗이 있으나 어느것이나豫備調查(簡易調查)에 많이 利用되고 있다. 따라서 軟弱地盤의 設計時에는 本格的인 調查는 Boring 孔을 利用한 標準貫入試驗과 採取資料에 의한 室內試驗을 行할 必要가 있다. 그리고 이 Boring調查의 情報量을 補完하는 것으로서 前記한 簡易調查를 數 많이 實施하는 것이 가장 效果의이다.

⑦ Sampling 調査 : Sampling이란 흙의 分類나 力學特性을 알기 위하여 試料를 採取하는 것이다.

簡易的으로 行할 경우에는 ②의 Sweden式 Sampling時에 Point Screw에 附着하는 흙을 採取하거나 Austria式의 貫入Cone에 附着한 흙을 採取한다.

그러나 本格的인 Sampling을 行함에는 Boring 時에 See Wall Sampler 또는 쥐일 Sampler에 의해 攪亂되지 않은 試料의 採取를 行하는 것이 必須條件이 된다.

(* See Wall Sampler 쥐일 Sampler에 의해서도 理想的인 不攪亂資料는 採取할 수 없는 것이나 ...)

⑧ 原位置試驗 調査 :

이 調査와 室內試驗의 結果에 의해 定量的인 數值情報를 얻어 軟弱地盤 對策工法의 檢討나 壓密沈下 等의 設計計算의 Data로 하는 것이다.

Sweden式 Sounding 試驗 - Screw 貫入試驗

AUSTRIA式 2重管 Cone 貯入試驗 - 圓錐 Cone의 貯入抵抗測定

N值 测定 - 動的 貯入抵抗測定

⑨ 其他 : 平板載荷試驗, PS檢層, 電氣檢層

3-3. 室內試驗의 種類

室內試驗은 여러가지 있으나 『粒度試驗』, 『土粒子의 比重試驗』, 『흙의 含水量試驗』, 『液性限界試驗』, 『性限界試驗』, 『密度試驗』, 『一軸強度試驗』, 『三軸壓密試驗』 等이 있으나 이들 試驗은 比較的 費用도 싸고 採取한 試料에 의해 될 수 있는데로 많은 項目을 實施하는 것이 要望된다. 以上과 같은 試驗值에 의해 우선 對象이 되는 軟弱地盤의 層의 두께, 地質構成과 N值를 整理한 地質柱狀圖を作成한다.

다음에 이 柱狀圖와 土質試驗 Data를 考慮하면서 層區分을 行하고 單純화한 後에 各層의 土質定數를 決定하여 以後의 設計에 使用한다.

(* 土質定數의 決定은 단지 平均하는 것이 아니라 異常值의 排除, 層 두께에 의한 影響을 評價한 後에 決定한다.)

4. 軟弱地盤의 概略設計에 대하여

軟弱地盤의 設計에 있어서는 다만 土質調查나 室內試驗에서 얻어진 數值만에 左右되는 일 없이 地盤의 成層에 關한 地質學의 檢討나 上載構築物의 工學的인 特性 等을 綜合的으로 高麗하여 設計值를 評價하고 決定하지 않으면 滿足 할만한 結果는 얻을 수 없다.

이를 위해서는 注意깊은 통찰력을 바탕으로 한 豐富한 試驗이 必須條件이 된다.

軟弱地盤設計에는 다음의 條件을 充分히 檢討하여 定해 둔다.

① 地盤條件 : 地盤의 成層狀態, 排水條件, 地下水位, 各層의 土質定數(壓密條件, 強度特性, N值等)

② 施工條件 : 盛土의 形狀, 工程, 原地盤의 地耐力(t/m^2), 材料의 物理特性(單位體積重量, 強度特性等)

③ 設計條件 : 殘留沈下量, 許容安全率, 盛土의 可能放置期間 等

* 上載構築物의 種類에 따라 각각 다른 值가 된다.

5. 軟弱地盤 處理公法의 分類

軟弱地盤 處理公法의 分類에는 各種의 工法이 있으나 여기에서는 下記와 같은 分類로 하고 以下 그概要를 說明한다.

『軟弱地盤 處理工法의 分類』:

① 表層處理工法 : 表層排水工法, Sand mat工法, 敷設材工法, 添加材工法

② 置換工法 : 掘鑿 置換工法, 強制 置換工法

③ 押盛土工法 :

④ 緩速載荷 盛土工法 :

⑤ 載荷 盛土工法 ; 盛土荷重 載荷工法(Pre-load)

: 地下水位 低下工法(Deep-well)

: 大氣壓 載荷(Well-point)

⑥ Vertical-Drain工法

: Sand-Drain工法

: Paper-Drain工法

⑦ Sand compaction Pile工法

⑧ Vibro floatation工法

⑨ 深層混合處理 ; (Soil cement工法, 石灰 pile工法)

⑩ 其他의 工法 ; 藥液注入工法, 凍結工法, 補強土工法, 動壓密工法.

* ①은 主로 假說工事を 위한 軟弱地盤處理工法이다. 즉 施工用의 重機械가 進入하기 위한 working table로서 地盤改良이다. ②~⑩까지가 本工事의 軟弱地盤處理工法이다.

5-1. 表層 處理工法, Sand mat工法, 敷設材工法, 添加材工法

5-1-1. 表層排水工法 :

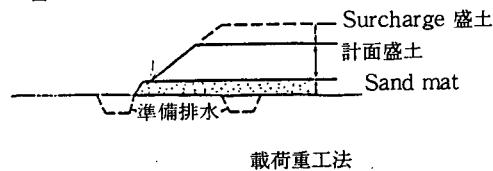
어떤 現場에서도 通常의 으로 行하고 있는 方法으로 特別한 說明을 要하는 工法은 아니다. 重機等이 進入할 수 없는 軟弱한 trench를 設置하여 表層의 地下水位를 低下 시켜 支持力を 增加시키는 方法이나 粘性土의 境遇에는 效果가 적은 것과 어느 程度의 排水期間이 必要하게 된다. 그러나 費用을 要하지 않기 때문에 크거나 작은 現場에서 實施되고 있으나 施工上의 注意点으로서, trench內에 滞水시키면 逆效果가 되므로 maintenance에 注意할 必要

가 있다

5-1-2. Sand mat工法(그림-1 參照)

施工用의 重機械의 발판을 確保하기 위하여 原地盤上에 50cm-1m 程度의 砂層을 시공한다. 이 砂層은 後述하는 Vertical drain工法과 組合하여 水平方向의 排水層으로서의 役割도 한다. 이때문에 施工에 있어서는 地表面의 接着部에 있어서도 砂層의 水平方向의 排統性이 保持되도록 留意하지 않으면 안된다.

그림-1



載荷重工法

5-1-3. 敷設材工法(그림-2)

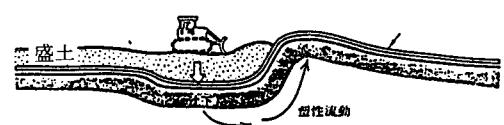
軟弱한 地表面에 合成纖維의 Sheet 또는 net를 敷設하여 進入路를 確保하는 工法이나一般的으로 前項의 Sand Mat工法의 모래를 直接 뿐릴 수 없을 정도의 超軟弱地盤에 敷設되는 것이 많다.

施工上의 注意點으로서 Sheet의 Joint部의 強度와 Joint部에서의 真흙의 샘이 생기지 않도록 할 必要가 있다. 또한 軟弱地盤上에 Sand mat를 뿐릴 경우에는 Jet conveyor를 使用하여 될 수 있는 대로 廣範圍하게 얇게 均等히 뿐리는 것도 필요하다.

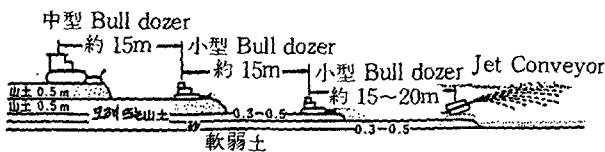
그림-2



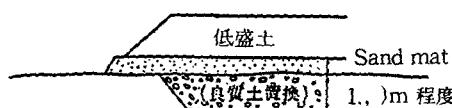
段階盛土의 層間距離를 接近했을 때의 塑性流動



모래의 두께를 크게 했을 때의 局部的沈下와 塑性流動



超軟弱地盤을 대상으로 한 흙과 모래의 조합으로의施工方法의 예



5-1-4. 添加材工法

軟弱地盤 表層에 生石炭, 消石炭, 普通 Cement 를 添加 \Rightarrow 混合攪拌하여 改良을 圖謀하는 工法이다. 施工��에는 添加材의 飛散에 의한 Smoking에 注意하지 않으면 안된다.

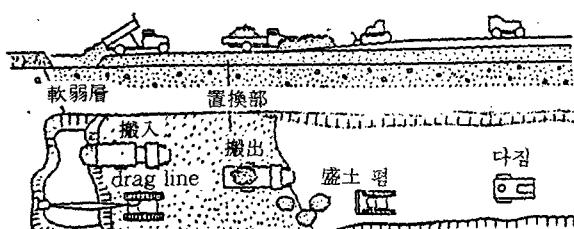
이때문에 現在 施工中의 東京, 羽田空港(國內線), 沖合展開工事에 있어서는 超軟弱地盤(마요네즈 狀)의 진흙에 Cement系 Slurry로 하여攪拌하여 中機械의 Working table을 造成하고 있다.

5-2. 置換工法 : 挖鑿置換工法, 強制置換工法

5-2-1. 挖鑿置換工法(그림-3 參照)

軟弱地盤層이 얕을 경우(油壓 Shovel의 挖鑿範圍 3~4m)에는 挖鑿하여 捨土한 후에 良質材로 置換한다고 하는 가장 確實한 工法이다. 이 경우에 問題가 되는것이 不良土의 捨土場所이고 또한 施工에 대하여는 軟弱不良土와 置換用 良質材가 섞이지 않도록 施工法을 考慮할 必要가 있다.

그림-3

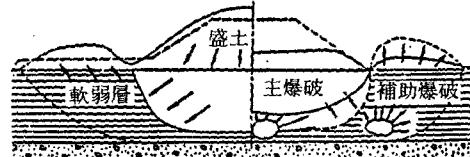


掘鑿置換工의 施工例

5-2-2. 強制置換工法(그림-4 參照)

軟弱地盤에서 한편에서 良質材를 쌓아 올리고 前方으로 軟弱層을 밀어 내면서 置換하거나 爆破에 의하여 強制的으로 置換하는 方法이 參考書에 記述되어 있으나 실제로는 거의 採用되고 있지 않다. 그理由는 밀어내는 置換도 爆破置換도 良質土와 不良土가 섞여 있어 아무리해도 理論대로 改良效果가 얻어진다고는 생각되지 않기 때문이다.

그림-4



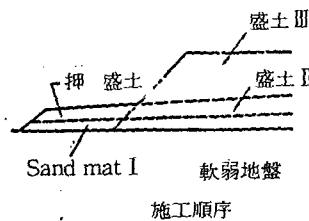
(a) 盛土自動置換工法 (b) 爆破置換工法

置換工法

5-3. 押盛土工法(그림-5 參照)

抽盛土工法은 主로 施工中의 盛土의 『미끄러짐破壞』에 대하여 必要한 安全率을 얻을수 없을 경우, 本體 盛土의 側方에 低盛土로 둘러 安定을 圖謀하는 方法이다. 그러나 用地의 幅이 增加하므로 基礎의 軟弱地盤의 改良이 進行되어 地盤強度가 增加한 後에 撤去하는 것이 普通이다.

그림-5



5-4. 緩速載荷 盛土工法

이工法은 盛土를 急速하게 施工하면 軟弱地盤이剪斷破壞가 생기므로 破壞되지 않도록 地盤의 強度增加에 따라 段階적으로 盛土하는(盛土速度를 制御) 工法이다. 따라서 다른 工法에 비해 經濟의이긴 하나 工事期間이 長期化한다는 缺點이 있다.

옛날과 같이 入力施工(도록고와 스콤프)에 의한埋立造成工事의 경우에는 結果的으로 緩速載荷盛土工法이 되었었으나 現在 이와 같은 세월없는 느린 공법은 거의 採用되고 있지 않다.

5-5. 載荷盛土工法 :

土載荷重은 土粒子의 有效應力과 過剩間隙水壓에 의하여 支持되어 있는 것이므로 粘性土의 경우에는 過剩間隙水壓을 消滅시켜 土粒子로 應力を 支持하면 軟弱地盤이 改良된다.

또한 砂質土의 경우에는 間隙水를 排水하거나 振動으로 密度를 높여 強度를 增加시킬 必要가 있다.

이 壓密은 促進시키는 工法으로서 다음과 같은 점이 있다.

① 盛土에 의해 全應力を 增大시켜 沈下를 促進하는 方法

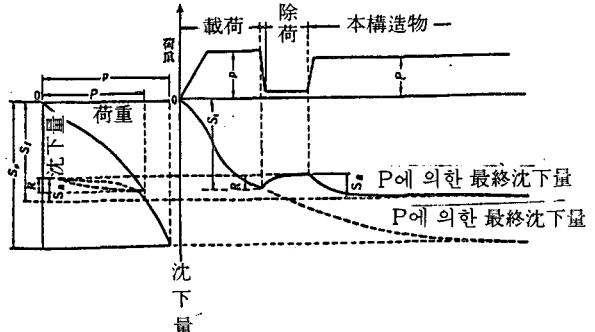
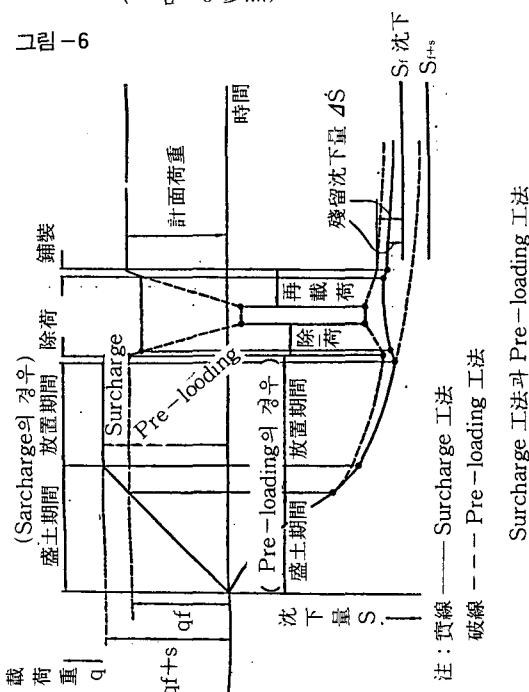
② 地下水位를 低下시켜 空中重量을 空中重量으로 變化시킴에 의해, 有效載荷量을 增加시켜 壓密을 促進하는 方法

③ 改善하는 區域을 真空으로 하여 大氣壓의 作用에 의해 有效載荷重을 增加시키는 方法

5-5-1. 盛土荷重載荷工法(Pre-load Method)

(그림-6 參照)

그림-6



여기에서 p : 載荷重

P : 本構造物荷重

S_r : 載荷重除荷時の 沈下量

S_p : 載荷重에 의한 最終壓密沈下量

S_f : 本構造物에 의한 最終壓密沈下量

R : 除荷에 의한 膨上

R_r : 本構造物建設以後의 殘留沈下

載荷重工法의 手順

이 工法은 地盤의 壓密沈下를 促進시켜서 미리軟弱地盤의 有害한 결말짓고 또한 壓密에 의해 地盤強度를 增加시키는 工法이다.

이 工法은 高速道路의 軟弱地盤 改良에 가장 많이 採用되고 있는 工法이나 이概要是 우선 道路의 計劃盛土높이까지 盛土를 하여 放置하여도 壓密沈下完了까지에는 農 年月을 要한다.

여기에서 計劃盛土높이보다 2~3m 더 盛土(過載荷盛土)를 施工하여 이 過載荷土에 의해 壓密을 促進시켜 短期間에 計劃盛土高(PH盛土)의 最終沈下量까지 沈下시킨 後에 過載荷盛土를 撤去한 後鋪裝을 行한다는 方法이다.

이와같이 이 工法에서는 本體盛土를 過載荷盛土에 一時的으로 轉用하여 施工할 수 있으므로 高速道路 等의 帶狀의 盛土인 경우에는 有效한 工法이다.

5-5-1. 地下水位低下工法(Deep-Well Method, Well-point Method)

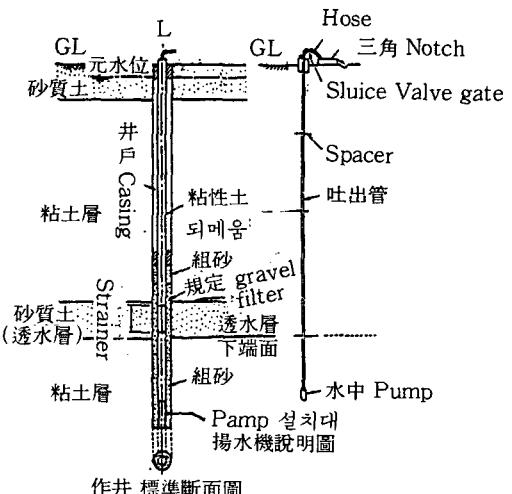
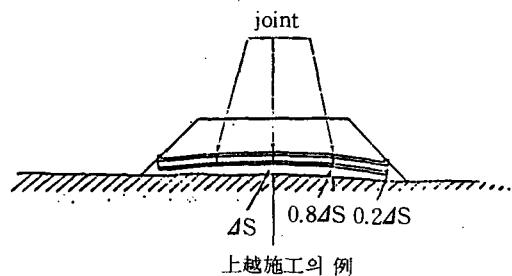
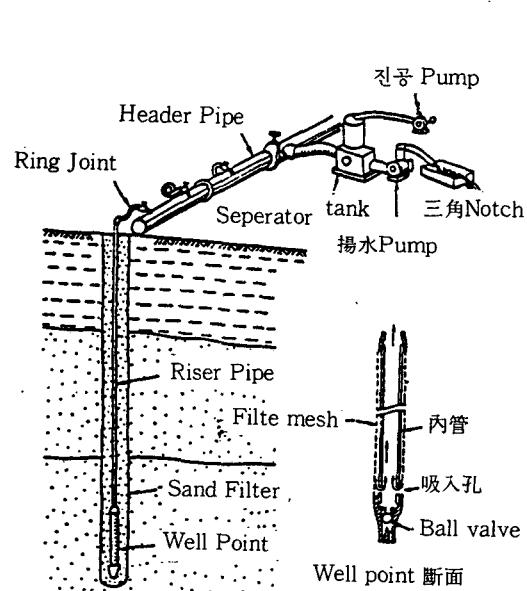
(그림-7 參照)

Deep-Well 또는 Well-point에 의해 軟弱地盤中의 地下水位를 低下시키는 것에 의해 有效荷重의 增大를 圖謀하는 工法이다.

(* 例 : 水中重量 = 1.2~1.3 t/m³, 空中重量 1.8~2.0 t/m³)

但 Well-point 工法은 真空揚水를 위해 6~7m라는 揚程의 制約이 있다.

그림-7



Deep Well 工法概念圖

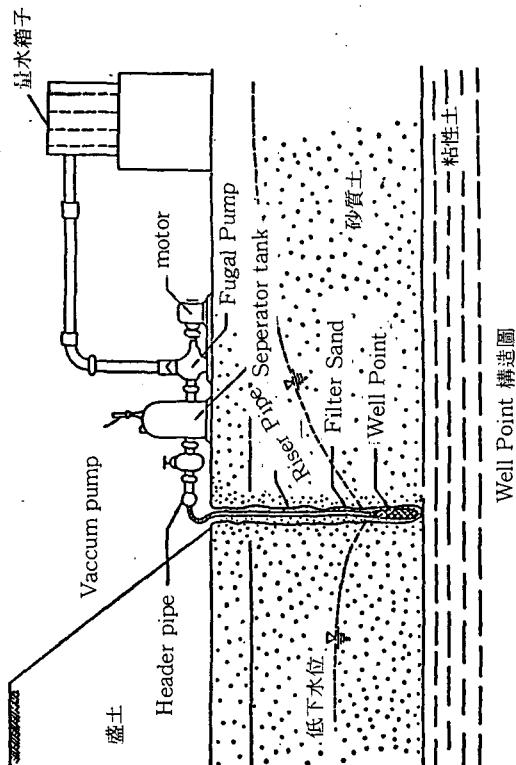
또한 Deep-Well 工法은 水中 Pump를 使用하기 때문에 揚程의 制約은 없으나 最下部 또는 中間層에 透水層(砂層)이 없으면 影響範圍가 좁아지므로 砂層의 存在가 必須條件이 된다.

Well-point의 適用은 原油 TANK나 建築物 等의 比較的 좁은 面積의 地盤改良에 採用되고 또한 Deep-Well은 下水處理場이나 燒却場, 原材料의 Stock yard와 같은 比較的 넓은 面積의 地盤改良에 採用되는 例가 많다. 어느것이나 3個月 - 6個月 程度 運轉된다.

또한 注意할 點은 Well-point의 경우에는 真空度의 保持이고, Deep-Well의 경우에는 Filter材의 눈막힘 및 近接構造物에 대한沈下의 影響이다.

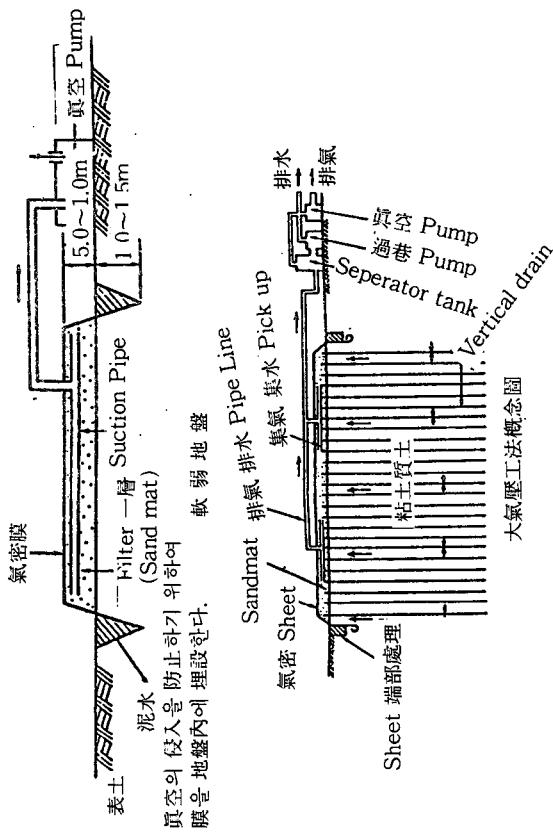
5-5-3. 大氣壓 載荷工法 (그림-8 參照)

이 工法은 地表面에 敷砂層과 氣密膜을 設置하여 敷砂層을 減壓하여 大氣壓(理論值=10 t / m²)에 의해 載荷하는 方法이다. 設備가 적고 經濟的인 方法이나 機密膜의 端末處理가 어렵고 이것이 나쁘면



Air의 샘(Leak)때문에 效果가 激減한다. 이 点 Well-point工法은 地中에 真空으로 하는 Point가 있기 때문에 Air Leak에 대하여 信賴性이 크다.

그림-8



5-6. Vertical Drain 工法(그림-9 參照)

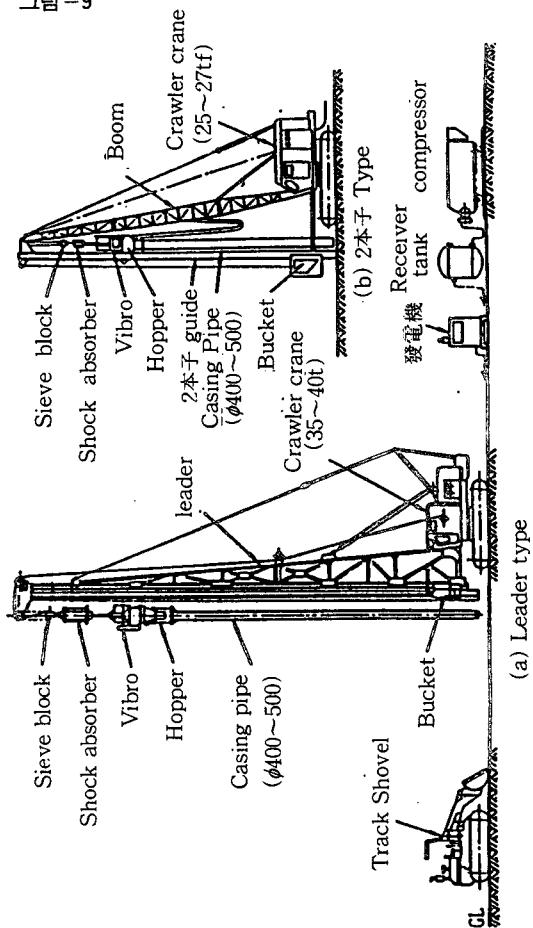
: Sand Drain 工法

: Paper Drain 工法

粘性土地盤에 있어서는 過剩한 間隔水壓 또는 含水比를 低下시키는 것이 地盤改良이 된다. 그러나 地中の 排水는 그 距離의 2乘에 比例하여 排水時間을 要하므로 粘性土質盤에서沈下가 收斂할 때 까지에는 長期間을 要한다. 여기에서 軟弱地盤中에 鉛直排水柱를 設置하여 排水距離를 짧게 하면 壓密이 促進되게 된다.

이 原理를 應用한 것이 Vertical Drain工法이나 排水材料를 差異에 의해 Sand Drain工法과 Paper Drain工法의 2種類로 大別된다.

그림-9



5-6-1. Sand Drain 工法

가장 오래전부터 採用되고 있는 軟弱地盤의 信賴性이 크기 때문에 現在도 翼성하게 施工되고 있다.

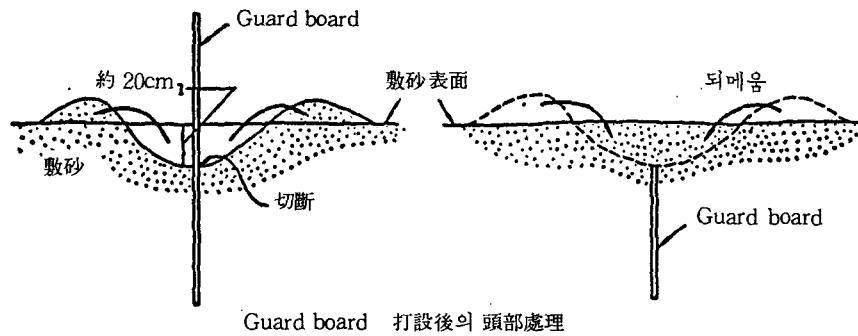
原理는 單純하여 우선 軟弱地盤層에 Pipe를 打設하고 이 中에 모래를 投入한 후에 Pipe를 빼고 모래의 排水柱를 軟弱地盤中에 設置한다.

施工上의 留意点으로서 가장 重要한 것은 打設間隔의 精度와 砂柱의 連結性이다. 즉 排水距離의 長短이나 排水의 難易度에 關係되기 때문이다. 또한 施工機械 大型이 되므로前述한 Sand mat를 뿐만 아니라 施工하는 것이一般的이다.

5-6-2. Paper Drain工法(그림-10 參照)

Sand Pile工法은 大量의 良質砂가 必要하기 때문에 이 代替로서 初期에는 Guard Board로 종이(Paper)를 使用하고 또한 最近에는 合成樹脂性의

그림 - 10

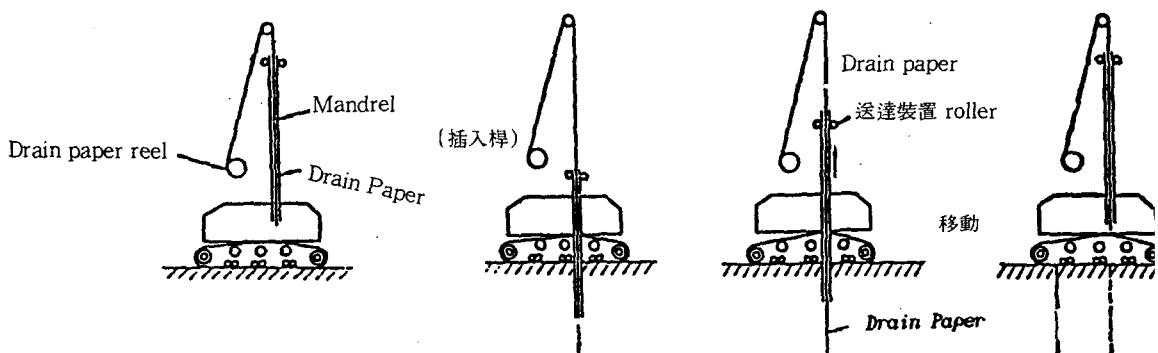


①

②

③

④



Mandrel 式 Paper Drain의 施工順序

guard board를 사용하고 있다. 어느것이나 얇기 때문에 打設間隔은 Sand Drain工法보다 짧게 된다. 施工에 관한 注意点은 Guard Board의 中途 切斷, Paper가 Mondrel과 함께 올라오지 않도록 또한 端末은 Sand Mat中에 注意깊게 매워넣는 等의 配慮가 必要하다.

5-7. Sand Compaction Pile 工法(그림 - 11 參照)

이工法은 軟弱地盤中에 振動 또는 衝擊荷重에 의해 모래를 壓入하는工法이다. 이 壓入된 砂柱에 의해 砂質地盤에서는 다짐 效果에 의한 地震時의

液狀화의 防止 또한 粘性土軟弱地盤에 있어서는 砂柱와의 複合地盤으로서의 支持力增加와 排水의 兩方의 效果가 期待되는 것이다.

粘性土地盤에 있어서는 모래말뚝인 편이 支持力과 剪斷力이 크므로 粘性土地盤과 複合化하여 全體적으로 보면 地盤이 改良된다. 또한 Vertical Drain으로서의 排水效果에 의해 粘性土地盤의 改良도 期待할 수 있다.

砂質土인 경우에는 平常時의 支持力이 充分하여도 地震時에 流動화가 생길 경우에는 Sand Compaction Pile에 의한 地盤改良이 必要하게 된다.

그림-11

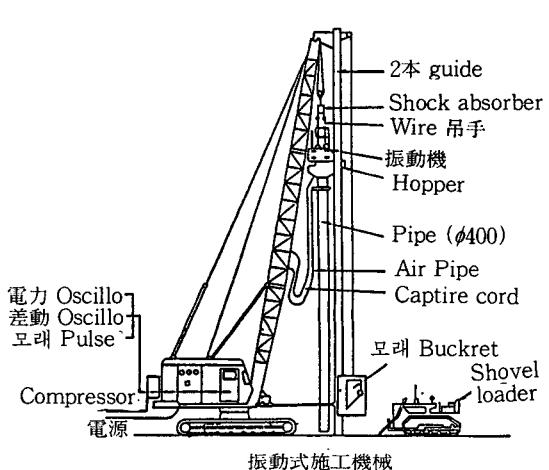
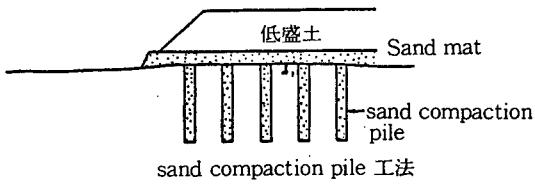
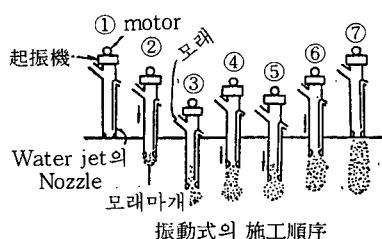
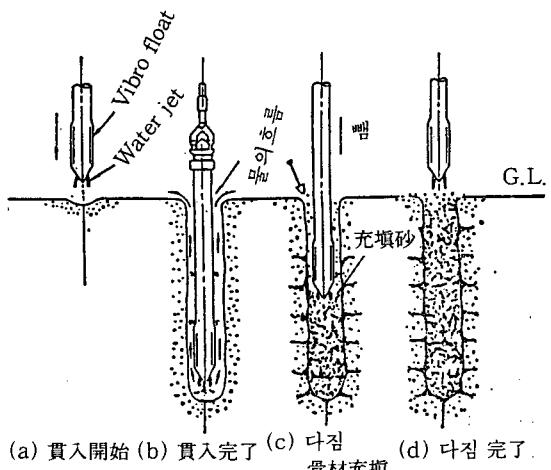
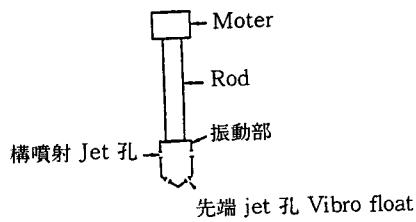


그림-12



5-8. Vibro Floatation 工法(그림-12 參照)

Pump船에 의한 埋立地 等에 있어서 表層이 완만한 砂層을 다지기 위하여 Water jet nozzle를 가진 棒狀의 振動機에 의해 穿孔후 補給材(碎石, 高爐滓……Slug)를 投入하여 다지는 方法이다.

이것은 모래의 다짐 原理인 振動과 물다짐을 同時に 行하는 것에 의해 다지는 것이나 原地盤의 粒度造成과 分布狀態를 確認하고 計劃하지 않으면 逆效果가 된다. 즉 粘性土에 施工하면 逆으로 地盤을 液狀化시키는 일이 있다.

5-9. 深層混合處理(Soil Cement Pile工法, 石灰 Pile工法)

이工法은 Cement 또는 石灰를 地中에 噴射하여 原地盤과 搅拌混合하여 기둥(Pile)을 地中에 造成하는 工法이나 Sand Compaction Pile工法과 달라 排水效果는 없다. 地下水의 移動이 있을 경우에는 混合이 不良하게 되고 현저하게 效果가 나빠지므로 留意하지 않으면 안된다.

5-10. 其他의 工法 :: 藥液注入工法, 凍結工法, 補強土工法, 動壓密工法

其他의 工法으로서 最近의 採用例가 많아진 것 및 施工頻道가 적은 것에 대하여敍述한다.

5-10-1. 藥液注入工法

軟弱地盤에 있어서 藥液의 注入은 地盤中의 間隙에 gel狀의 藥液를 注入한 후 Sol化하여 地盤強度를 增加시키는 工法이다.

注入에는 浸透性이 優秀한 Acryl Amid系, 尿素系, Urethane系가 있으나 過去에 Acryl系藥液에

의한 井戸水의 汚染公害가 發生했기 때문에 現在는 물 glass系의 藥液이 主體로 되어 있다.

藥液注入工法의 特징은 設備가 小規模하고 좁은 空間에서도 施工可能하며 韻音, 振動도 적고 工期도 짧다. 特히 鋼失板 等의 『이빠진部의』 補強, 止水에는 效果가 크다.

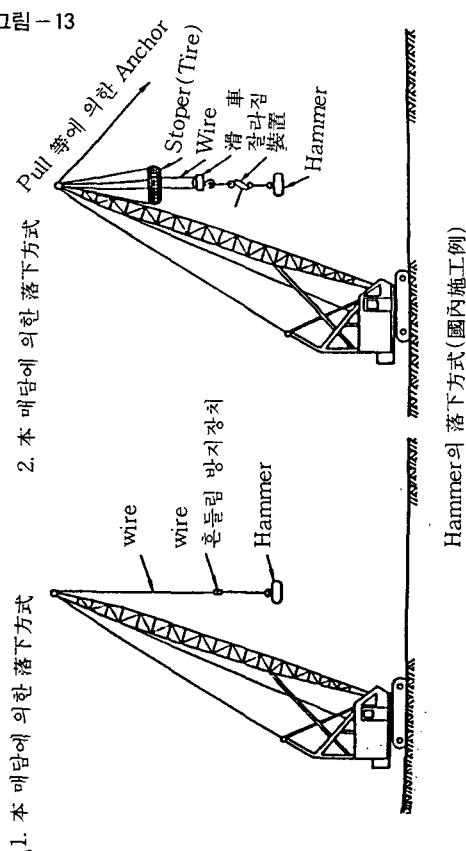
그러나 注入效果의 確認이나 改良後의 強度가 작은것이 訣點이다.

5-10-2. 凍結工法

凍結工法은 改良範圍가 確實하고 信賴性이 있기 때문에 最近 잘 採用되고 있으나 凍結에 隨伴하는 盤이나 解凍時의 沈下公害가 생기므로 이面의 對策이 必要하게 된다.

또한 工事費가 높아지는 것과, 凍結까지 1~3個月의 期間을 要하나 改良後의 凍土는 物理特性도 優秀하여 今後에도 採用事例가 增加할 것이라고 생각된다.

그림-13



5-10-3. 動壓密工法 : (Dynamic Consolidation method) (그림-13 參照)

重錘(重量 10~50t)를 超大型, 移動式 Crane에 의해 달아 올려서 高所(20~30m)에서 自由落下시켜 衝擊 Energy(衝擊波)에 의해 地盤改良한다. 適用範圍는 岩碎盛土, 廢棄物, 砂質盛土 等에서 採用된다. 短期間에 效果的인 改良이 可能해지나 重錘의 脫着時間이 要하기 때문에 能率이 낮고 또한 改良後의 整地等의 費用이 높다.

6. 軟弱地盤의 施工管理 :

軟弱地盤의 施工管理의 適否는 改良의 效果에 直接 影響되므로 慎重한 管理가 必要하게 된다. 特히前述한 바와 같이 設計計算의 信賴性이 작으므로 確實한 施工, 動態觀測에 의한 改良效果의 Check 및 施工管理技術者의 技術의in 判断이 軟弱地盤處理의 成功, 失敗를 정하게 된다.

具體的으로 말하면 調査-設計-動態觀測計劃에精通한 技術者가 施工管理에 同伴하지 않으면 滿足할만한 成果는 얻을 수 없다. 즉 이와같은 優秀한 軟弱地盤技術者가 아니면 觀測結果를 보고 綜合的인 判断을 내리기가 困難하다.

요컨대 Human Factor가 매우 重要함을 強調하고 시다.

7. 動態觀測의 各種 測程器 ; (그림-14 참조)

動態觀測의 測程器에는 下記와 같은 것이 있다.
沈下測定 :

地表面沈下計 --- * 原地盤上의 設置後, 盛土
深層型沈下計(層別沈下計) --- * Screw Point에
의해 測定하는 層에 固定

(地表面變位, 地中變位測定) : 地表面變位 말뚝
--- * 盛土附近의 原地盤의 側方變位測定

地表面伸縮計 --- * 自動記錄式 水平變位測定

地中變位計 --- * 垂直方向의 變位測定, 미끄러
짐面의 位置

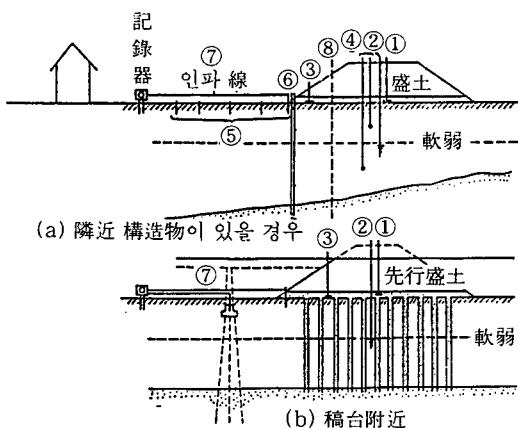
(間隙水壓測定) --- * 着動 Trans型, 칼슨型,
Manometer, 부르돈管.

이들의 測定中 沈下測定은 重要하므로 嚴正하게
行할 必要가 있다.

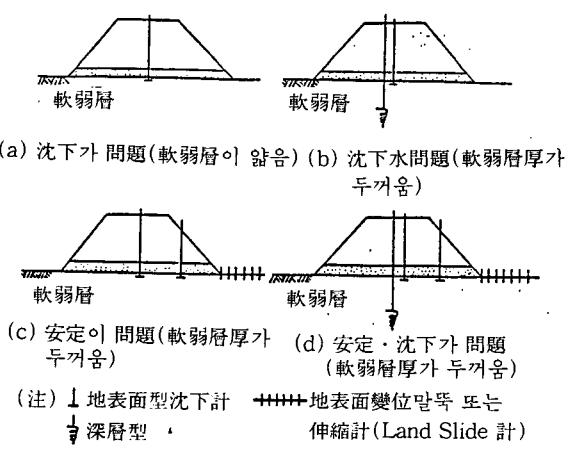
즉 1次壓密, 2次壓密 側方流動 等의 現象이 全部沈下測定值에 集約되어 나타나기 때문이다.

또한 費用도 싸므로 다른 측정을 行하지 않아도沈下測定만은 반드시 實施하여 軟弱地盤改良效果判定의 指針으로 하여야 할 것이다.

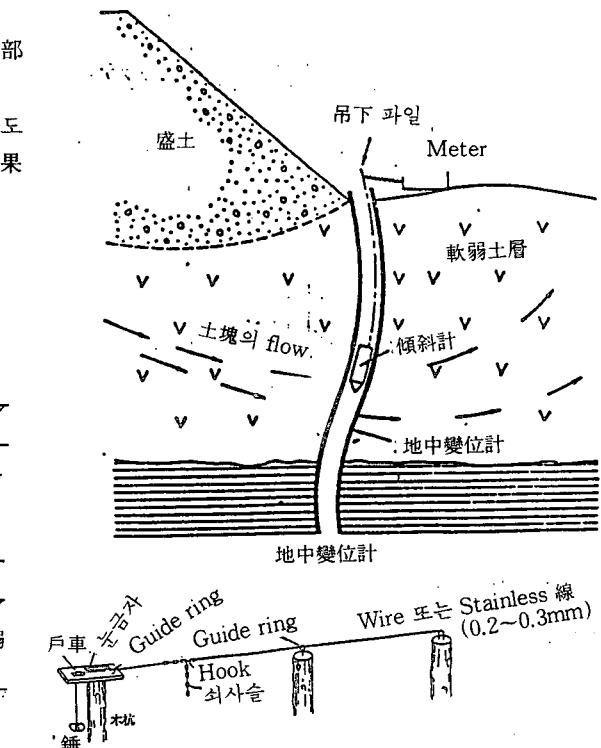
그림 - 14



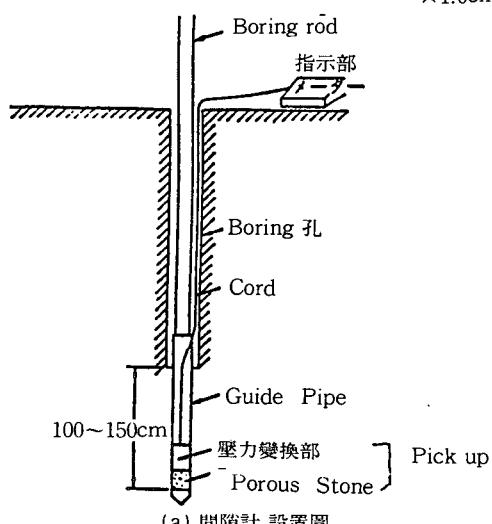
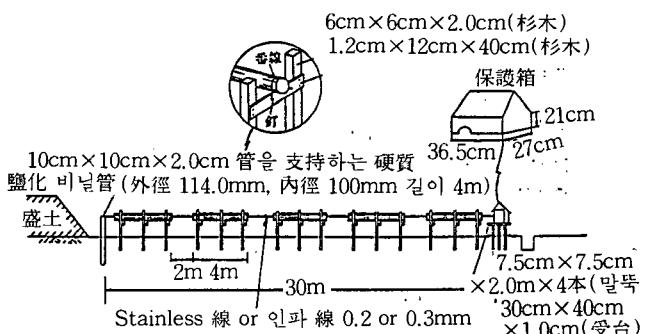
- ① 地表面型沈下計(中央部)
 - ② 深層型沈下計
 - ③ 地表面型沈下計(法面部)
 - ④ 間隙水壓計
 - ⑤ 地表面變位計
 - ⑥ 地中變位計(flexible tube 等)
 - ⑦ 地中變位計(自記式地 land slide計等)
 - ⑧ 土質調査를 위한 試料採取位置
- 特殊個所에서의 計器의 配置例



動態觀測用計器의 配置圖



附圖 2-5 簡易地表面伸縮計의 概況



(a) 間隙計 設置圖