

深層混合處理工法

釜山大學校 工科大学 教授
工学博士 朴 性 栽

머릿말

最近 國內外 建設業界의 不況에도 不拘하고 그런대로 그 規模나 技術水準이 날로 向上되어 가면서 새로운 技術의 開發과 外國으로 부터의 新技術導入이 속속 많아져 가고 있는 단계에 와 있다.

그 一例로 軟弱地盤改良工法 중에서 光陽製鐵團地에서의 大規模 샌드 드레인工法 釜山の 水營下水終末處理場의 大規模 深層混合處理工法의 適用등은 우리 土質 및 基礎工學技術者들에게 상당한 관심을 갖게 하고 있다.

특히 軟弱地盤이 많이 散在한 釜山을 中心으로 한 東南 臨海地域에 各種 軟弱地盤改良工事が 많이 施工되고 있으며 앞으로 더 增加될 것으로 본다. 이러한 때에 軟弱地盤 改良工法의 하나인 “深層混合處理工法”에 관하여 概略적이긴 하지만 여기에 소개하고자 한다.

目 次

* 머릿말	
1. 序 論	.....
1.1 軟弱地盤의 深層改良工法	.....
1.2 深層混合處理工法の 概要	.....
2. 安定處理土의 特徵	.....
2.1 安定處理 効果에 影響을 미치는 諸 要因	.....
2.2 安定處理土의 室內配合試驗	.....
2.3 安定處理土의 工學的 特性	.....
3. 深層混合處理 地盤의 設計	.....
3.1 改良形態	.....
3.2 設計의 基本的인 考慮事項	.....
3.3 安定處理土의 許容應力度	.....
4. 設計 施工上의 技術課題	.....
5. 맺는 말	.....
6. 參考文獻	.....

1. 序 論

1.1 軟弱地盤의 深層 改良工事

基礎地盤 改良工法の 種類는 表1-1에 表示한 바와 같이 수없이 많다. 各種工法の 適正을 改良對象 흙의 粒徑으로 表示하면 表1-2가 얻어진다.

粘性土로 된 基礎地盤을 改良할 目的으로 하는 工法에서, 가장 單純明快한 工法은 原位置의 軟弱한 粘性土를 除去하고, 良質의 모래로 바꾸어 넣는 置換工法이다. 原位置의 粘性土를 利用하기 위해서는 構造物을 建設하기 前에 軟弱地盤에 荷重을 加하여 粘性土를 壓密시키는 方法(preloading 工法)이 있다. 그러나, 粘性土의 壓密에는 長期間을 要하는 경우가 많기 때문에, 一般的으로 鉛直方向의 排水路를 形成하여 壓密을 促進하는 方法을 프리로드와 併用하는 경우가 많다. 샌드 드레인工法(Sand drain 工法), 페이퍼드레인工法(paper drain 工法)이 그 代表的이며, 生石灰杭工法, 浸透壓工法, 眞空壓密工法도 載荷盛土를 必要로 하지 않는 壓密促進工法으로 생각할 수 있다.

〈表-1〉 各種 地盤 改良工法

粘性土의 改良工法

- 1) 置換工法機械的인 方法
- 2) 프리로딩工法(preloading 工法)壓密工法
- 3) 샌드 드레인工法(Sand drain 工法)
- 4) 페이퍼 드레인工法(paper drain 工法) }壓密促進工法
- 5) 浸透壓工法 }
- 6) 石灰杭工法 }

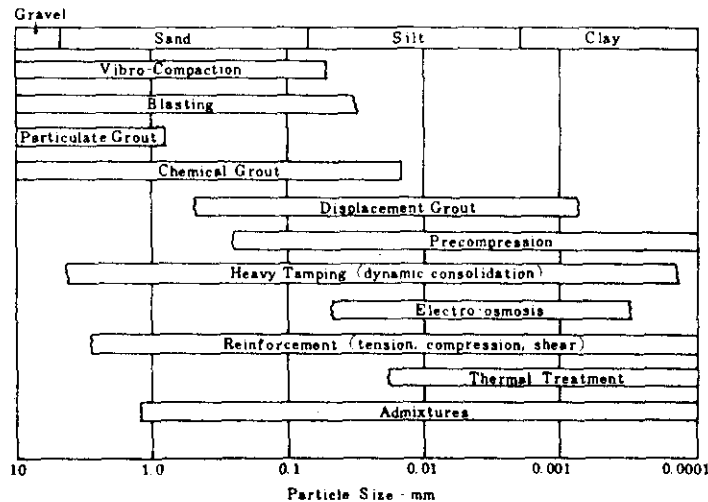
짐砂杭工法の 實施例가 많다.

그러나, 土捨揚의 確保難, 大量의 良質의 모래 確保難, 急速施工의 要請, 隣接構造物이나 環境에의 惡影響 防止라는 觀點에서 從來의 工法에 制約이 加해지는 경우가 많이 있다.

한편, 軟弱地盤의 改良에 있어서 흙의 狀態뿐만 아니고, 흙의 性質을 變化시키도록 하는 方法도 있으며, 그 代表例가 熱的處理와 化學的 安定處理가 있다. 熱的處理는 흙을 冷却하며 凍結시키는 方法과, 역으로 加熱하는 方法이 있다. 前者는 凍結工法이라 불리우는 假設的인 目的으로 各地에서 利用되고 있다. 後者는 加熱을 위한 單價가 높기 때문에, 用例는 限定되어 있어, 소련이나 東歐에서 恒久的으로 珶스(loess)을 改良하기 위하여 使用되고 있다.

深層에 이르기까지 大規模로 軟弱한 粘性土에 化學的 安定處理를 하는 試圖는 극히 最近으로서 日本과 北歐의 一部에서 實用化되고 있다. 이것이 本文에서 記述하는 深層 混合處理 工法이다.

〈表-2〉 各種 地盤 改良工法과 適用粒徑



1.2 深層混合處理工法の 概要

深層混合處理工法(Deep Mixing Method)는 石灰, 시멘트系를 主로 하는 塊狀, 粉末狀 또는 懸濁液狀의 化學的 安定材를 原位置의 흙에 添加하여, 原位置에서 強制的으로 混合하므로써, 地盤中の 深層에 이르도록 安定處理土를 形成하는 工法이다.

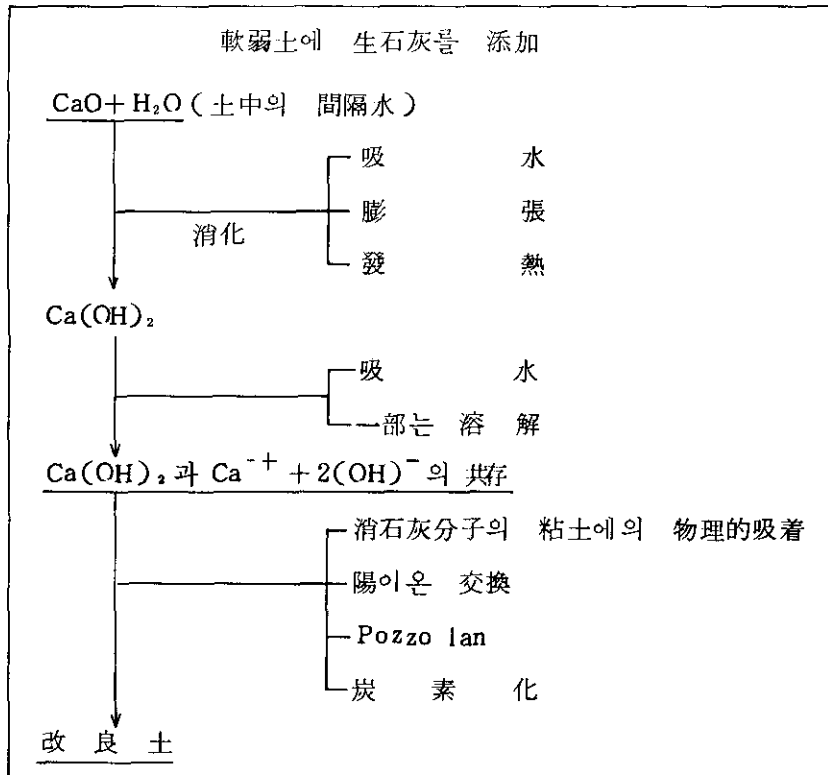
本 工法の 改良對象 地盤은 主로 粘性土 地盤이다. 深層混合處理工法の 開發研究는 日本 運輸省 港灣技術研究所에서 塊狀의 生石灰와 微粉末의 消石灰를 安定材로써, 1967年頃부터 開始되어 1975年頃부터 實用化되었다. 그후, 各 施工社의 研究로 前述한 바와 같이 各種의 安定材 使用을 試圖하여 現在로서는 시멘트 밀크를 安定材로써 大規模 港灣工事業의 適用도 할 수 있도록 되었다.

그 간의 經緯에 對해서는 反復하여 記述하게 되므로 여기서는 省略한다. 한편, 이것과 거의 같은 時期에 北歐에서는 微粉末의 消石灰를 安定材로 하는 비슷한 工法이 開發되어, 主로 輕量 構造物의 基礎地盤 改良이나 假設的인 目的에서 實用化되고 있다.

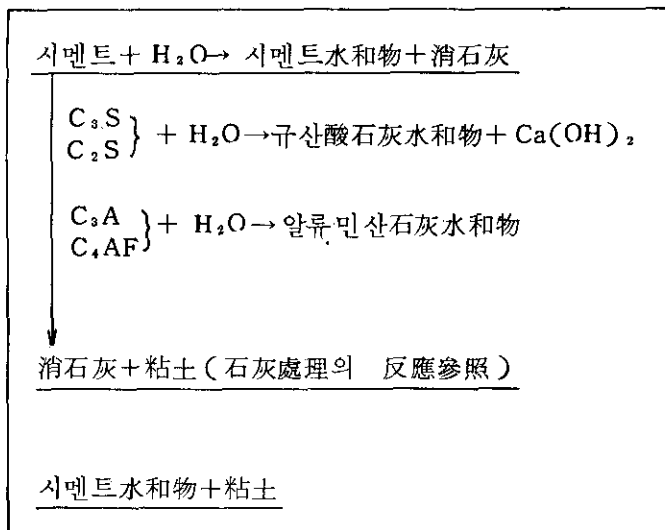
深層混合處理法의 改良原理는 石灰, 시멘트系 安定材의 水和反應과 그후 長期間에 걸쳐서 繼續되는 安定材와 粘土의 化學反應으로 說明할 수 있는데, 詳細한 것은 文獻에 넘기고 概要를 表-3, 表-4에 나타냈다.

石灰, 시멘트를 安定材로써 利用하는 深層混合處理工法の 施工機械(處理機)에 要求되는 機能은 基本的으로 安定材를 地盤中에 供給하는 것과, 原位置에서 強制的으로 攪拌의 方式은 프로펠라(Propella) 形態의 攪拌날개에 의하여 機械的으로 混合하는 方法과 流体의 高壓噴射에 의하여 地盤을 切削하는 것으로 混合하는 方式으로 大別할 수 있다.

〈表-3〉 生石灰安定處理의 原理



〈表-4〉 시멘트 安定處理의 原理



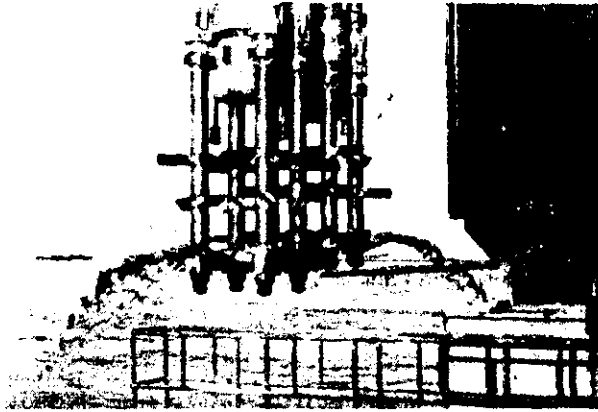
本文에서는 前者로 話題를 限定한다. 機械的 混合處理 方式의 深層 混合 處理工法은 使用하는 安定材의 種類, 形態, 安定材의 供給方式의 相違나 實施하는 企業에 따라서, 예를 들면 DLM, Lime Column CMC, SEC, DCCM, DEMC, POCM, DJM, DICOM 등으로 불리우고 있다.

〈表 - 5〉 機械的混合處理方式의 深層混合處理工法

(安定材의 供給方法)	
石灰系 深層混合處理	screw feeder(塊狀生石灰)..... DLM
	空氣搬送(消石灰粉末)..... Lime Columns DJM
시멘트系 深層混合處理	空氣搬送(시멘트微粉末)..... DJM SEC
	slurry의 pump 壓送(시멘트 물 탈).....DMC SEC
	(시멘트 밀크).....CMC, DCM, DCCM, Demic, POCM, DECOM, SEC 等

海上 施工用 處理機의 攪拌날개의 例를 사진 1.2에 나타내었다. 一般的인 施工順序는 그림 1과 같이 ①處理機를 所定の 位置에 셋트(set) 하고, ②-③攪拌날개를 回轉시켜서 未處理地盤를 攪亂하면서 所定の 改良 深度까지 貫入시키고, ④機種에 따라서는 攪拌날개를 逆回轉시켜서 安定材의 供給을 開始하고, ⑤安定材의 供給과 攪拌混合을 同時에 하면서 處理機를 引上하여, ⑥地表面 또는 所定の 深度까지의 改良을 完了한다.

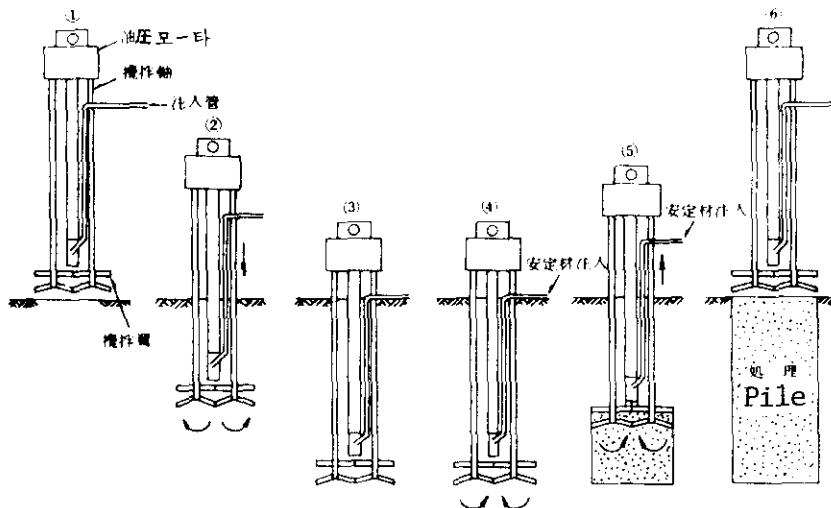
〈寫眞-1〉DCM處理機
 (8軸의攪拌翼)



〈寫眞-2〉DCC處理機
 (2軸의攪拌翼)



〈그림-1〉深層混合處理의 一般的인 施工手順



安定材의 供給을 上記의 處理機를 貫入시키는 時點(②-③)에서 하는 것도 있다. 하여간, 이 사이클(Cycle)의 施工에서 地中에 安定處理土의 柱體가 形成된다. 地中에다 安定處理土에 의한 連續된 壁體를 形成할 必要가 있는 경우는, 이 柱體를 相互 오우버 램(over lap)시켜서 施工하면 된다. 日本의 경우 1981年 3月 時點의 調査에 의하면, 大規模 海上工事 用의 深層混合處理 作業船은 14隻 存在하며, 그 公稱能力은 攪拌面積 (處理土 柱體의 斷面積)으로 $2.0 m^2$ 에서 $9.48 m^2$, 海面下의 改良深度에서 $-20 m$ 에서 $-65 m$ 로 다양하다.

深層 混合處理工法の 特徵은

- ① 短期間에 큰 強度가 얻어지며 壓縮性도 改善된다.
- ② 周邊의 環境에 미치는 影響이 적다.
- ③ 捨土의 必要가 없다.

등이 있는 反面에 地盤改良을 要하는 直接 工費만을 他工法과 比較하면 高價이나 建設工事 全般에 대하여 全體的으로 볼때는 經濟的으로 되는 경우가 많다.

2. 安定處理土의 特徵

2.1 安定處理 效果에 影響을 미치는 諸要因

石灰, 시멘트系의 安定處理 效果는 安定材와 粘性土의 化學反應에 依存하기 때문에 從來의 力學的 地盤改良에 비하여, 많은 要因에 影響을 받는다. 改善效果에 影響을 미칠 可能性이 있는 要因은,

(A) 對象土의 性質

(B) 混合處理의 條件

(C) 養生의 環境

3개로 大別된다.(表-6 參照)

(A)로 分類된 項目은 改良의 對象으로 된 軟弱地盤 固有의 性質 또는 狀態에 있어서 實際의 施工할 때에 變更할 余地가 거의 없는 것도 있다.

(B)로 分類된 項目은 容易하게 變更할 수 있어서 施工上의 point 로 된다.

(C)로 分類된 項目은 地盤, 條件, 季節, 改良의 形態에 의하여 左右 되는것도 있다.

(A)로 分類된 要因은 含水比를 除外하고, 반드시 相互 獨立된 要因이 아니기 때문에, 그 影響을 定量的으로 把握하기 위해서는 各種의 粘土를 對象으로 實驗데이터를 集積하여 統計的 手法으로 整理하여야 한다.

〈表-6〉安定處理效果에 影響을 미치는 諸要因

(A) 對象土의 性質	(a) 粘土礦物의 種類 (b) 鹽基交換能 (c) silica alumina 比 (d) 有機物含有量 (e) 土·水의 pH (f) 粒度組成 (g) 含水比 (h) 液性限界·塑性限界
(B) 混合處理條件	(a) 安定材의 種類 (b) 安定材의 品質 (c) 添加量 (d) 材令 (e) 混合度
(C) 養生環境	(a) 溫度 (b) 濕度

이 때문에, 現時點에서는 여기에 記述한 要因에서 效果를 推測할 수 있는 段階는 아니다.

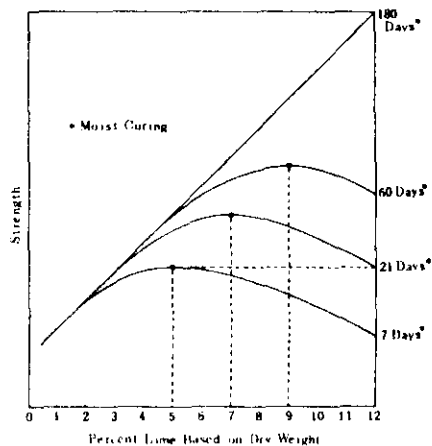
Thompson은 路盤材의 石灰安定處理를 前提로 大規模의 實驗을 實施하여, 主要한 影響要因으로써 PH와 有機炭素量을 들고 있다. 또 中村 등은 시멘트系 深層混合處理를 前提로 한 많은 實際 試驗結果로 부터, $PH < 8$ 의 粘土에서는 改良效果가 PH에 影響을 미치는 것으로 提示하고 있다.

(B)로 分類된 要因에 對해서는 最近 數없이 많은 研究成果가 各 方面에서 發表되고 있지만, 總括적으로 整理한 것으로서, 寺師 등이 參考될 것이다.

石灰系의 安定材料에서는 그 活性度가 改良效果에 影響을 미치며, 懸濁液狀의 시멘트系 安定材料로서는 물-시멘트 比가 改良效果에 影響을 미친다.

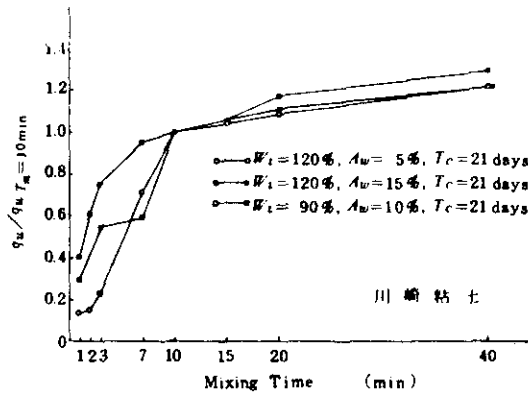
添加量과 材畧의 關係에 對해서도 McDowell이 模式的으로 나타낸 傾向이 認定되고 있다.(그림-2 參照)

〈그림-2〉改良效果와 混合比, 材畧의 模式的關係
(McDowell¹⁵)



시멘트 安定材의 경우는 數時間이라는 短期材令를 除外하면, 材令이 긴쪽, 安定材의 添加量의 많은 쪽이 改良效果는 크다. 混合度에 대해서는 混合의 比率이 높은 편이 改良效果는 크다.(그림 - 3 參照)

〈그림 - 3〉 시간에 따른 混合도와 改良效果의 關係(石灰)

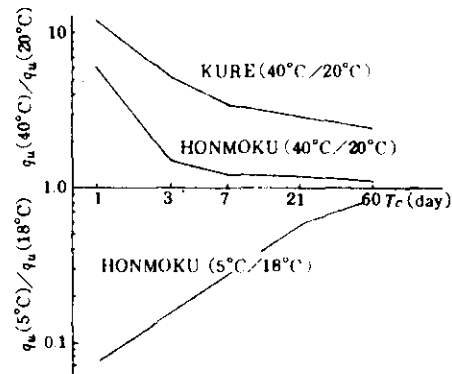


最近에는 施工上の 觀點에서 短期强度의 發現을 抑制하기 위한 遲延劑에 關한 研究가 各 方面에서 實施되고 있다.

(C)로 分類된 要因中, 濕度는 海面下나 地下水面下の 改良에서는 要因이 되지 않는다. 그러나 陸上の 工事에서 安定處理土가, 乾燥한 條件下에서는 處理土의 耐久性 面에서 難點이 크다. 溫度條件은 長期强度에는 큰 影響이 없지만, 效果의 發現速度에는 큰 影響을 미치는 것으로 알려져 있다.

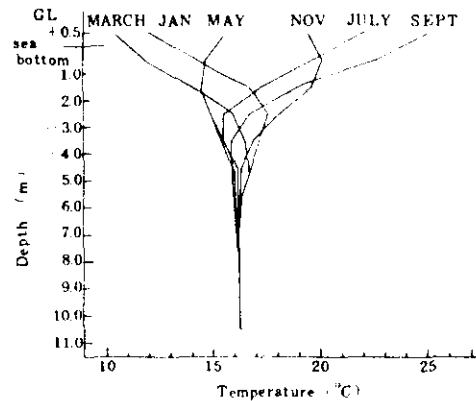
그림 - 4 는 石灰 安定處理의 例이지만, 시멘트 安定處理土에 對해서도 비슷한 傾向이 認定되고 있다.

〈그림 - 4〉 養生溫度의 改良效果에 미치는 影響(石灰)



安定處理土의 養生溫度는 Back ground 로서의 地盤溫度(그림 - 5 參照)에, 安定材의 反應熱에 의한 溫度上昇分이 더 하여져 定해진다. 反應熱에 의한 溫度上昇은 安定處理土의 形狀이나 安定材의 添加量에 의하여 左右되는 것으로써, 今後의 調査가 必要하지만, 많은 예의 報告는 알려져 있다.

〈그림 - 5〉 月間地中溫度 平均値의 深度方向分布



2.2 安定處理土의 室內配合試驗

前項에서 記述한 바와 같이 安定處理效果는 對象土의 性質에 의하여 크게 變化한다. 이 때문에 處理效果를 判定하기 위해서는 實際로 對象으로 하는 흙에 安定材를 添加하여 安定處理土의 供試體를 作成할 必要가 있다. 그러나, 處理效果는 混合方法, 養生方法에 의하여서도 크게 左右되기 때문에 室內配合 試驗方法을 標準化하는 것이 바람직하다.

日本 土質工學會에서는 安定處理土의 基準化委員會를 設置하여 審議를 進行하였는데, 조만간 學會(案)로서 試驗法을 提案할 予定으로 있다고 한다. 그때까지는 港灣技術研究所의 方法에 準하는 것이 바람직하다고 한다.

이 方法은 港灣研究所에서 數次의 改訂을 거쳐서, 各 方面에 利用을 건의하고 있어서, 日本 土質學會(案)의 것도 基本的으로는 大差가 없을 것으로 본다.

2.3 安定處理土의 工學的 特性

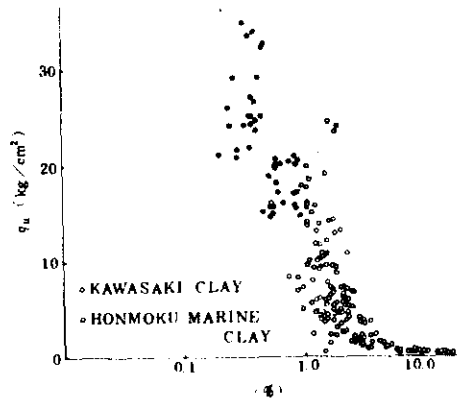
安定處理土는 高含水比의 粘性土가 갖는 큰 空隙을 배제하지 않고 그대로 固結된 새로운 土木材料이다. 深層 混合處理工法이 實用화된 1975年頃부터 室内的으로 作成된 安定處理土의 工學的 特性에 關한 研究는 活發化하여, 여러가지의 觀點으로 究明이 가해지고 있다. 그 結果를 要約하면,

- ① 일반으로, 軟弱한 粘性土를 安定處理하면 粒度組成, 液性限界, 塑性限界, 比重 등 흙의 固有의 性質이 變化한다.
- ② 安定處理에 의한 含水比와 密度의 變化는 初期條件과 安定材의 混合比(물-시멘트비), 安定材의 水和를 위한 理論 吸水量 등에서

計算으로 予測 可能하다. 密度的 變化는 一般적으로 크지 않다.

③ 一軸壓縮 試驗에 의한 強度는 容易하여, 數 10 kgf/cm^2 의 差異로 되며, 破壞變形率은 극히 적다. (그림-6 參照)

< 그림 - 6 > 安定處理土의 一軸壓縮強度와 破壞變形率



이 結果, 安定處理土의 彈性係數는 一般의 흙에 비하여 極히 크게 된다. 比較的 낮은 強度 $qu < 15 \text{ kgf/cm}^2$ 의 安定處理土에서는 $E_{s0} = (75 \sim 200)qu$, 高強度의 安定處理土에서는 $E_{s0} = (200 \sim 1000)qu$ 정도이다. 非排水條件에서의 포아손(Poisson)比 $u \approx 0.5$ 로 생각해도 좋다.

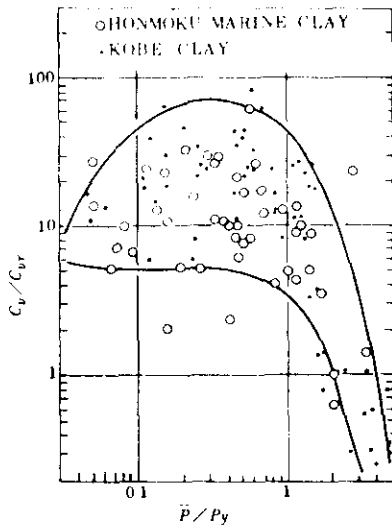
④ 安定處理土의 壓密試驗에 의하여 얻어진 $e - \log p$ 曲線은 降伏以前의 平平한 彈性範圍와 壓密降伏應力 Py 에서의 銳敏한 屈曲, 그래서 $P > Py$ 에서의 큰 壓縮指數로 特徵지워진다.

⑤ 安定處理土의 $Py/qu = 1 \sim 2$ 의 範圍이며, 平均적으로 $Py = 1.2qu$ 정도이다.

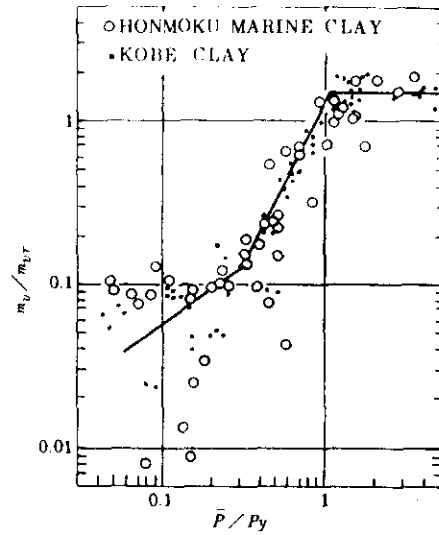
⑥ 同一의 壓密壓力에서 處理土와 未處理土의 壓密常數의 比率을 취하며, 處理土의 壓密降伏 應力에서 無次元化된 壓密壓力에 對하여 整理하면, 安定

材의 種類, 混合比, 對象土의 相違에도, 비슷한 傾向이 얻어진다. (그림-7, 그림-8 參照)

〈그림-7〉安定處理에 의한 壓密係數의 變化



〈그림-8〉安定處理에 의한 體積壓縮係數의 變化

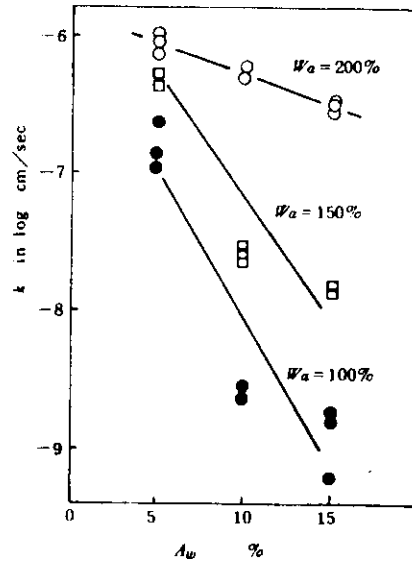


이 結果를 利用하면 安定處理土의 強度에서 壓密常數의 概略值 推定이 可能해진다. 後述하는 바와 같이 安定處理土는 큰 安定率로 使用되는 경우가 많기 때문에, 安定處理土의 겉보기 過壓密領域에서 使用되는 것으로 된다. 이 狀態에서는 安定處理土의 壓密係數는 未處理土의 10倍 以上으로 體積 壓縮係數는 1/10 以下로 改善되고 있다.

⑦ 安定處理土의 透水係數는 未處理土의 그것과 大差 없거나, 아니면 매우 低下하여 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ cm/sec 의 크기이다.

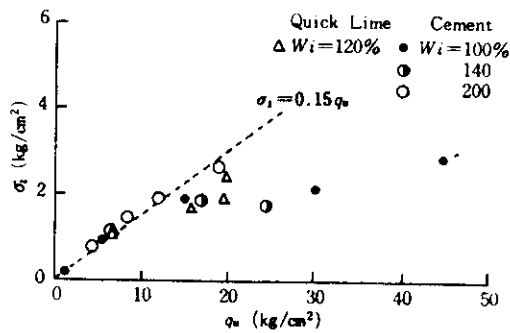
(그림-9 參照)

< 그림 - 9 > 安定處理土의 透水係數와 安定材混合比 (시멘트處理土)



⑧ 割裂試驗에 의하여 구한 引張強度 σ_t 는 q_u 의 0.15 ~ 0.2 배이지만, q_u 의 增加에 따라서 그 比率은 적어진다. (그림 - 10 參照)

< 그림 - 10 > 引張強度와 一軸壓縮強度의 關係

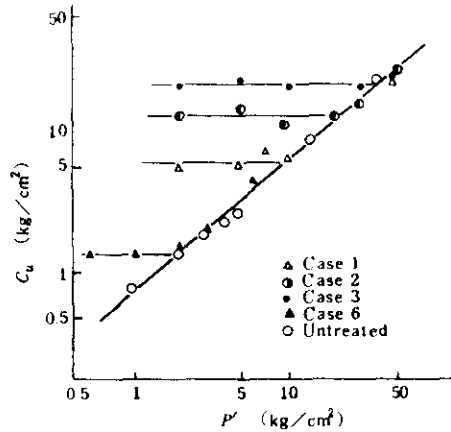


⑨ 非壓密 非排水 剪斷條件에서의 內部 摩擦角은 實用上 $\phi_u = 0$ 로 생각하여도 좋다. 그러나 殘留強度는 拘束壓의 增加에 따라서 增加하는 傾向이다.

⑩ 等方壓密 非排水 剪斷條件에서 얻어진 非排水 剪斷強度 C_u 는 겉보기 過壓密領域에서는 一定하지만, 겉보기 正規壓密 領域에서는 壓密壓力의 增加에 대해서 增加한다. 또 그 값은 同一의 壓密壓力에서 壓密된 未處理土의 強度와 잘 一致한다. (그림 - 11 參照)

剪斷時는 어떠한 應力狀態에서도, 어떠한 軸 變形率에서도 正의 空隙水壓을 發生한다.

<그림 - 11> 壓密壓力과 非排水 剪斷強度



⑪ 剪斷變形率 速度가 剪斷強度에 미치는 影響은 通常의 粘性土의 경우와 같은 程度로 적다.

⑫ 返復荷重에 의한 疲勞強度는 콘크리트 보다 적지만, 다짐하여 만든

소일 시멘트(Soil-Cemnt) 와 같은 程度이다.

⑬ 安定處理土는 그 養生環境에 의해서는 表面보다 劣化하는 것이 있으며, 安定處理土의 PH 나 Ca 含有量의 變化가 그 尺度가 된다. 그러나, 그 速度는 室內試驗의 結果에서 推定하는 한 극히 完滿하며, 海水에 完全히 露出된 條件에서 20年에 수 cm의 差異이며 地中에 埋設된 條件에서의 速度는 매우 적은 것으로 생각된다.

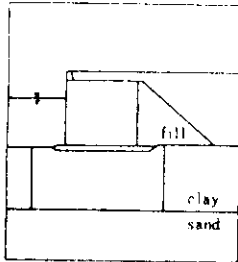
室內試驗에 의하여 얻어진 安定處理土의 工學的 特性을 要約하면, 安定處理土는 低拘速 應力下에서는 微少한 變形率 레벨에서 最大強度(Peak Strength)가 發揮된후, 剪斷抵抗의 大部分을 잃으며, 또 引張에 對해서는 적은 抵抗도 發揮되지 않는 脆性材料이다. 壓密特性은 過壓密粘土의 그것과 類似하지만, 걸보기 過壓密 領域에서의 非排水 塑斷強度는 過壓密 비에 상관없이 一定하며, 現場에서 形成된 安全處理土에 대해서도 金후의 Data 를 集積하여 上記의 諸 特性을 確認할 必要가 있겠다.

3. 深層 混合處理地盤의 設計

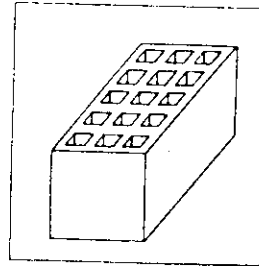
3.1 改良形態

深層 混合處理工法은 實用으로 供給되기 시작한 것이 日本의 경우 겨우 10年의 歷史에 지나지 않기 때문에, 調査, 設計, 施工, 施工管理의 側面에서 今後의 知識의 集積에 따라서 改善의 余地를 남겨두고 있다.

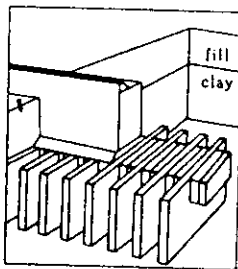
〈그림 - 12〉 深層 混合處理工法의 改良形態



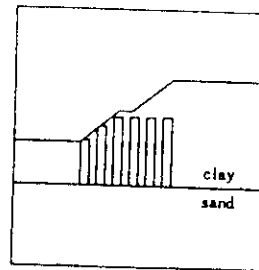
(a) Block 式



(b) 格子 式



(c) 壁 式



(d) 杭 式

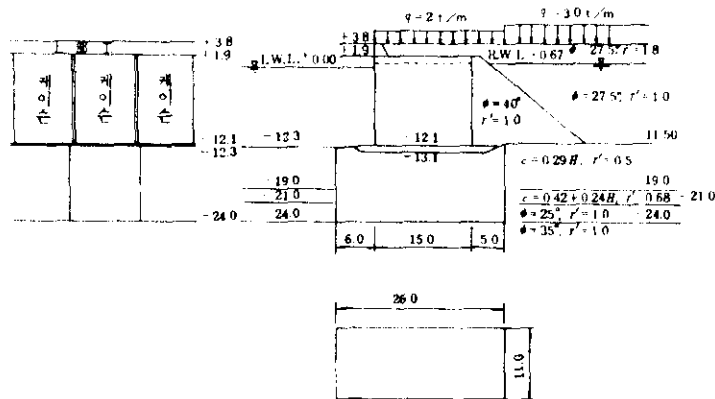
安定處理土의 利用의 形態도 今後의 努力으로 다양하게 返展하게 될 것으로 생각되지만, 現在의 狀態에서도 그림 - 12와 같은 改良으로 大別한다.

Block 式은 構造物의 基礎로 되는 軟弱地盤을 흡사 置換하는 것과 같
이 全面的으로 改良하는 方法이다. 그러나, 安定處理土의 強度는 相當히
큰 것으로 할 수 있기 때문에, 改良土量을 줄이기 위한 努力으로 格子
式으로 하거나 아니면 壁式도 있다. 杭式의 改良은 輕量 構造物을 위한
基礎地盤의 改良이나 壓密 沈下量을 低減할 目的으로서 利用되는 것이 많
은 形態로써 北歐의 Lime Column 工法の 適用도 이 形態에 의하
고 있다.

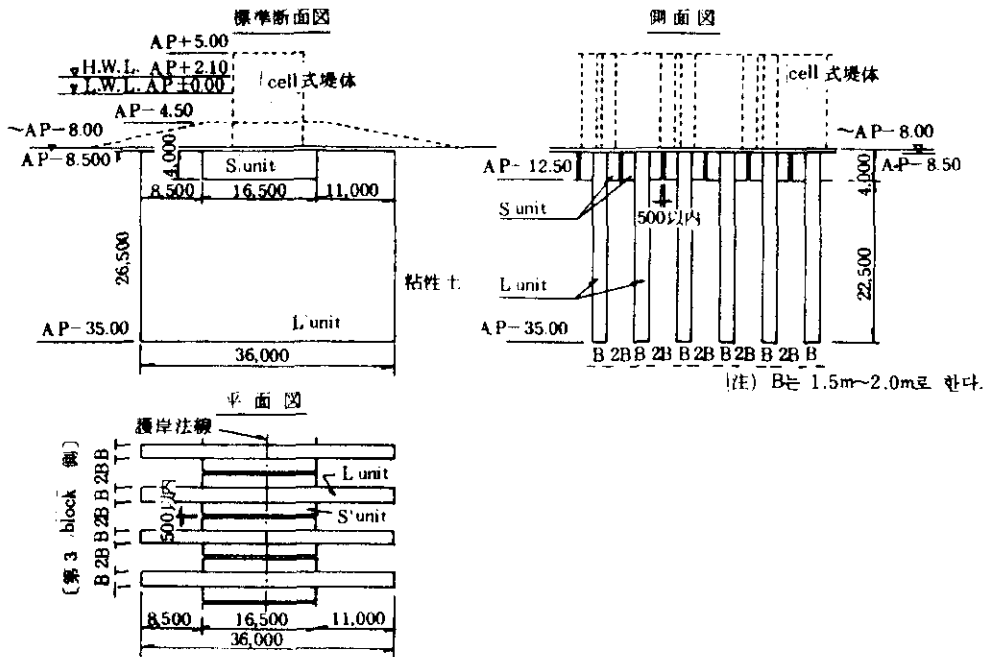
各各의 形態의 實施例로서는 Block 式 改良이 日本 橫濱港 大黒埠頭
岸壁의 基礎地盤 改良에 利用되었으며, (그림 - 13 參照) 壁式改良이 東京
港 中央防波堤 外側의 廢棄物 處理場의 中仕切 護岸에, (그림 - 14 參照),
그리고 格子式 改良이 廣島港 甘田市 地區의 貯木場의 分離堤에 利用되었다.
(그림 - 15 參照) 杭式改良의 施工例는 數 100 件을 넘고 있다.

지금, 前述한바와 같은 深層 混合處理機의 1 回の 施工에서는 地中에 安定
處理土의 柱體가 形成될 뿐이기 때문에, Block 式, 壁式, 格子式의 改良에 있
어서는 個個의 柱體를 相互 Over lap 하여 施工하는 것으로 된다.

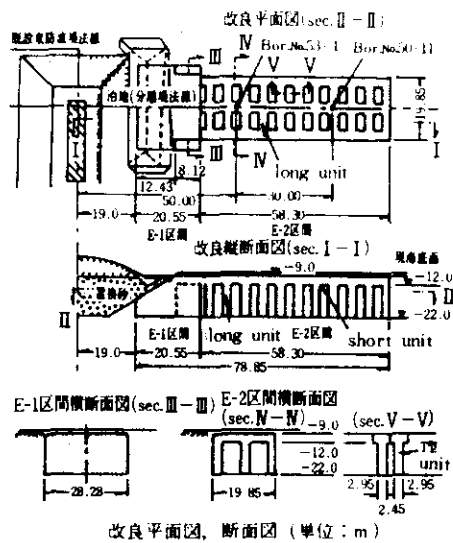
〈그림 - 13〉 Block 式 改良



< 그림 - 14 > 壁式改良



< 그림 - 15 > 格子式 改良



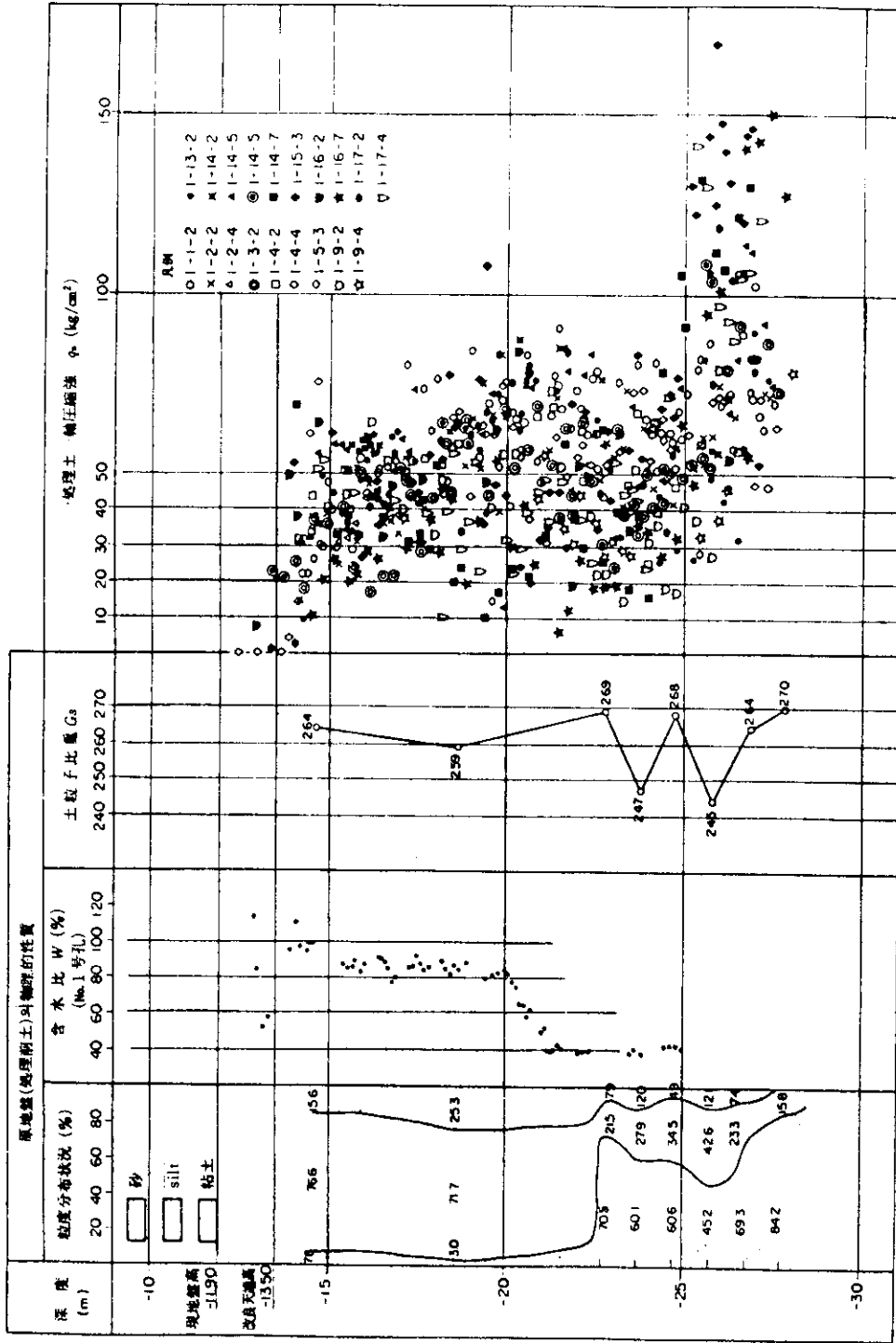
改良平面図, 断面図 (單位: m)

3.2 設計의 基本的 考慮事項

安定處理의 強度나 破壞 變形率의 크기가 周邊地盤의 그것과 크게 차이가 있으면, 安定處理土와 未處理土를 橫斷한 破壞面을 생각하여서, 각각이 그 面積比에 따라서 剪斷, 抵抗을 分擔한다고 생각한다. 그러나, 現地에서 形成된 安定處理土의 強度는 間隔이 크기 때문에, (그림 - 16 參照) 材料로서의 信賴性を 높이기 위하여, 平均的인 強度를 크게 하는 努力을 기울여서, 最近의 實施例에서는 安定處理土의 一軸壓縮 強度는 平均적으로 數 10 kgf/cm^2 에 達하고 있다.

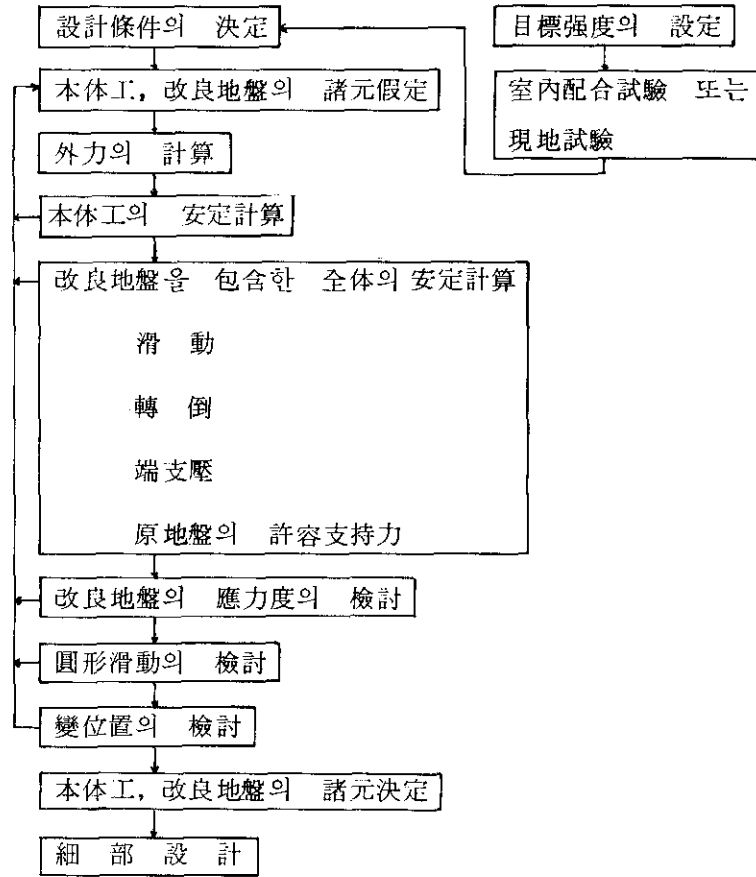
그림 - 12와 같이 地盤內的 有限의 範圍를 改良하여, 이와 같은 高強度의 安定處理土로 變化시킬때, 均一地盤의 支持力이나 安定을 생각할때의 破壞形態를 導入하는 것은 無理가 있다. 이 때문에 現行의 設計法에서는 安定處理土를 一種의 地中構造物로 볼수 있다.

즉, 安定處理土를 剛體로 假定하여 그 安定을 檢討하고, 다음으로 安定處理土가 剛體로서 舉動하는 條件으로서 內部應力이 許容應力을 초과하지 않는가를 檢討한다.



〈 그림 - 16 〉 現地 處理土의 強度實測例

〈 그림 - 17 〉 Block 式 改良의 設計順序



〈 그림 - 18 〉 Block 式改良地盤에
作用하는 設計外力
의 概念圖

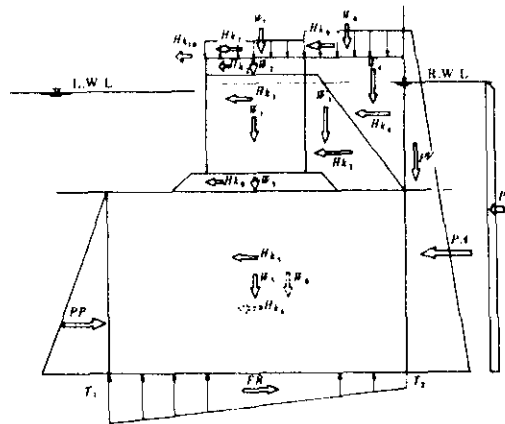


그림 - 17 에 Block 式 改良地盤의 設計順序를 나타내었으며, 이에 說明한다.

本體工(改良地盤上의 構造物)의 諸元이 決定되면, 安定處理土의 作用하는 外力을 計算한다. 地震時의 貫性力을 包含한 設計外力의 概念圖를 그림-18 에 나타내었다. 이 外力의 條件下에 安定處理土 Block 의 安定計算을 하고, 斜面活動, 轉倒, 端支壓, Block 下部 地盤의 許容支持力을 檢討한다. 다음으로, 이 外力의 條件下에 地盤改良內에 發生하는 內部應力(剪斷應力, 引張應力)을 구하고, 後述하는 許容應力을 초과하지 않는 것을 確認한다. 또, 必要에 따라서 FEM(有限要素解析)計算에 의하여 內部應力을 詳細하게 檢討하는 것도 있지만, 이 경우는 安定處理土에 作用하는 外力條件이 相違한 것에 留意할 必要가 있다. 安定處理土가 支持層에 到達하지 않은 경우는 이 F.E.M計算에 의하여 變形의 檢討를 하는 수도 있다.

끝으로 安定處理土를 內包하는 圓形滑動을 檢討하여 全體의 安定을 確認한다.

以上은 所謂 短期的인 檢討이다. 安定處理土의 下部에 다시 壓縮層이 存在하는 경우가 水平外力이 큰 경우는 長期的인 變形이 予想되므로, 變位量에 따른 長期的인 變形에 의한 內部應力의 變化에 대해서도 檢討한다. 以上の 檢討를 法線直角方向과 法線平行方向에 대해서, 또 常時와 地震時에 대해서 實施하는 것이 現時點에서의 一般的인 設計法이다.

Block 式에 대하여 設計의 思考方法을 提示하였는데 壁式이나 格子式에 대해서도 基本的인 思考方法은 同一하다.

但, 壁式의 경우는 壁間의 未改良土가 前面과 背面의 土壓差에 의하여

突出할 可能性의 檢討를 한다. 또 壁式, 格子式 共히 Block 式에 비하여 斷面形狀이 複雜하기 때문에 內部應力에 대해서는 詳細한 檢討가 必要하다.

杭式의 改良地盤에 대해서는 安定處理土의 強度가 적은 경우는 安定處理土의 剪斷強度와 安定處理土의 破壞 變形率의 레벨에서 未處理土가 發揮하여 얻는 剪斷 抵抗과를 面積平均하여 구하고, 이 平均的인 強度를 갖는 均一地盤이 形成된 것으로서 예를 들면, 圓形 滑動計算에 의한 安定計算이 行해질 수 있다. 그러나 安定處理土의 強度가 크게 되면, 均一地盤으로 假定하는 것은 극히 不自然스러우며, 큰 水平外力이 作用하는 條件下에서는 不安定한 改良 形態가 되기 쉽다. 이 때문에 安定處理土의 柱体を 低強度의 群杭으로 생각하여서, 群杭의 支持力과 杭材의 耐力를 檢討하므로써 鉛直荷重下의 支持力을 구하는 簡便한 計算法이 提案되어 있다.

改良地盤의 壓密沈下量의 予測에 대해서는 安定處理土에의 應力集中을 考慮한 簡便한 計算法이 提案되어 있다. 큰 水平外力이 作用하는 경우나 土壓의 計算에 대해서는 未解明의 點이 많이 있기 때문에 慎重을 기할 필요가 있다.

지금, Broms 는 杭式 改良地盤의 壓密速度의 算定에 있어서 安定處理土의 柱体を 수직배수 (Vertical Drain) 으로 보고 있지만, 安定處理土는 實用上 不透水 (그림 - 9) 이므로 드레인 (Drain) 으로 생각하는데는 疑問이 있다.

3.3 安定處理土의 許容應力度

改良地盤을 一種의 地中構造物로 생각하는 경우 安定處理土의 許容應力度는 다음 식에서 구해진다.

$$\sigma_{ca} = \frac{1}{F} \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot q_{ue}$$

여기서

F : 安全率, 常時는 3, 地震時는 2로 하는 경우가 많다

α : 斷面有効係數, 混合處理機에 의하여 100% 連續된 處理土를 形成하는 것은 不可能하다. 특히 랩(lap) 部分에서 심하다. α 는 施工機種이나 랩 幅에 의하여 정해지는 것으로서 0.7~0.9 정도로 되는 경우가 많다.

β : lap부의 信賴度係數, 오우버랩(Over lap) 部分에서는 未處理土의 卷込 등으로 信賴度の 低下가 予想된다.

β 는 施工機種이나 方法에 의하여 變化하며, 0.5~0.9程度이다.

γ : 現場強度係數 現場強度의 平均値 $\overline{q_{uf}}$ ($= \lambda \overline{q_{ui}}$)에 對한 設計基準強度의 比率 現場強度의 編差를 고려하여 정하는 것으로서, 0.5~0.7程度로 하는 경우가 많다.

λ : 現場強度의 平均値 $\overline{q_{uf}}$ 는 室內配合 試驗에서 얻어진 強度의 平均値 $\overline{q_{ui}}$ 의 比率, 施工機械의 種類, 施工精度에 의하여 크게 變動하는데 最近의 重要な 施工에서는 1.0을 취하는 것이 많다.

이러한 諸 係數는 類似의 施工條件下에 同一 處理機에서 施工된 實績에서, 또는 試驗工事に 의하여 정할 必要가 있다. 이 許容應力을 취하는 方法에 대해서는 過小 評價하여야 한다는 議論이 있는 反面, 또 過大評價하여야 한다는 議論도 있어 앞으로의 데이터를 수집, 改正해야 할 必要가 있다.

지금, 許容剪斷應力度 τ_a 는 許容壓縮應力度의 1/2로 하는 例가 많다. 許容引張應力度 σ_{ta} 는 0.15~0.2 σ_{ca} 로서 別度로 上限値를 設定하는 예가 많다.

4. 設計・施工上の 技術課題

設計法の 改善을 위해서는 그 段階의 step이 있다. 第1段階는 여기에 紹介한 現行의 設計를 생각하는 方法을 前提하여 許容應力度의 思考方法을 보다 明確하게 하는 것과 地中構造物로 보고 實施하고 있는 安定計算方法에 內包되어 있는 余裕 또는 矛盾을 究明하여 보다 合理的인 計算方法을 確立하는 것이다.

第2段階는 安定處理土로 形成된 地中構造物의 局部的인 降伏을 許容하는 方法, 바꾸어 말하면, 安定處理土를 通常의 地盤材料와 同列의 位置에 놓고 設計法을 展開한다. 하여간 이를 위해서는 現場處理土의 特性을 解明함과 改良地盤이 破壞에 이르는 舉動을 大規模 또는 信賴할 수 있는 模型實驗으로 解明하는 것이 前提되어야 한다.

施工上の 課題는 設計에서 前提된 安定處理土의 強度와 形狀을 어떻게 精度를 좋게 하고 한층더 經濟的으로 施工하는가에 集約된다.

즉, 다음 몇가지 項目을 들수 있다.

- ① 處理機의 安定性 確保
- ② 處理機의 先端 軌跡 測定
- ③ 土中の 處理機의 運動制御
- ④ 遲延劑의 開發
- ⑤ 經濟性 向上

등이다.

5. 맺는 말

深層 混合處理工法에 關한 研究는 各 方面에 精力的으로 行해지고 있으며, 나날이 進步하고 있다. 本 工法에 關하여 興味를 갖고 있는 研究 發表會나 技術情報에 絶對적인 注意를 기울일 必要가 있다.

우리나라의 경우 東南臨海地域 특히 洛東江 河口開發을 爲始해서 西海岸 大規模 간척사업에 장애가 되는 이 地域의 軟弱地盤 改良에 좋은 成果가 있을 것으로 생각하여 새로운 工法の 전모를 단 수 page에 要約한다는 것은 여기에 소개 못한 좋은 研究成果도 빠뜨리게 된 例가 많은 것으로 본다

6. 参考文献

(1) 寺師昌明

軟弱地盤 改良工法に関する現状と動向講演会

“深層混合処理工法“ 日本土質工学会・1982

(2) 韓國SEC技術指導書 韓國SEC(株)・1985