

시멘트 石灰系 材料를 使用한 地盤改良의 現況과 將來

金 敬 澤(譯)

1. 地盤改良工法과 그 分類

一般的으로 地盤改良이란 흙의 力學的 및 水理學的 性質을 改善하고 地盤을 그 使用目的에 適合하도록 하는 것이다. 따라서 地盤을 改良하는 것은 여러가지 作用力에 對하여 가능한 限 反應이 둔한 安定한 것이 되도록 흙에 物理的 또는 化學的 處理를 하여 흙構造物에 要求되는 剪斷強度變形에 對한 抵抗耐水性 등을 改善하는 것이다. 地盤改良의 方法은 그 目的 對象地盤의 土質에 따라 多様な 것으로 된다. 더구나 火山灰土를 비롯하여 不良土가 널리 分布하고있는 限 수많은 地盤改良工法이 開發되고 施工되고 있다.

한편 海岸의 沖積粘土層이라든가 埋立地盤 등에 構造物을 築造하는 일이 많아진 오늘날에 있어서 그 對象地盤의 土質條件은 더욱 더 惡化되는 傾向에 있다. 또한 環境保全이나 公害問題 등에 의하여 工法의 選擇에 制約이 加해져 이제까지의 工法으로는 그 目的을 充分히 발휘하지 못한다. 따라서 地盤改良工法은 앞으로도 꼭 널리 研究되어 보다 새로운 工法開發이 期待되고 있다. 地盤改良工法은 다음과 같이 分類된다.

- (1) 흙의 改良: 不良土를 良質土로 改良하여 바꾸어 놓는다.
- (2) 粒徑의 調整: 흙의 粒徑分布가 좋지못해 密度가 높아지지 않은 흙이나 含水比의 變化에 따라 支持力이 低下되는 흙에 不足한 粒徑部分을 補足한다.
- (3) 締固: 機械轉圧이나 水締 등에 의하여 흙

의 密度를 높인다.

- (4) 排水: 餘分の 土中水를 빼고 強度를 높인다.
- (5) 安定材의 添加注入: 시멘트나 石灰에 의하여 흙을 安定化한다.

등을 들 수 있지만 이들은 廣義의으로는 어느 것도 地盤改良이라고 할 수 있다. 위의 分類 가운데 (1)~(4)는 物理的·機械的 地盤改良工法 (5)는 化學的 地盤改良工法이라고 할 수 있다. 從來는 (1)~(4)의 어느 것이나 그 配合에 의하여 改良되지만 經濟性 環境 등의 諸條件에서, 그것을 이용할 수 없는 경우에 (5)의 工法이 이용되어 왔다. 그러나 環境保全 등의 問題에 의하여 最近의 化學的 地盤改良工法은 널리 利用되고 있다.

2. 地盤改良工法의 現況

地盤改良工法의 現況에 대하여 對象土의 深度別 또 特殊土地盤에 대하여 말한다.

가. 淺層

淺層에 있어서 地盤改良工法의 特徵은 直接機械的으로 흙을 파헤치면서 添加材를 混合한 다음 굳히는 것이다. 따라서 淺層에 있어서 代表的인 工法은 다음의 添加材를 混合하고 굳히는 工法이다. 淺層處理에 使用하는 添加材는 아래와 같이 區別된다.

(1) 시멘트系 材料

單味시멘트(生石灰, 消石灰, 石膏, 드로마이트質石灰)

複合시멘트(普通 포틀랜드시멘트)

其他(水碎系, 보조란質配合石灰 등)

(2) 瀝青系材料

(아스팔트乳劑, 컷백아스팔트, 加熱用아스팔트, 타일 등)

(3) 化學的 材料

(珪酸소다, 크롬리크닝, 多價카치온酸, 소다鹽, 아니온性界面活性劑, 폴리머, 潮解性材料, 有機카치온 등)

上記 單味시멘트는 흔히 石灰類라고 부르고 있고 生石灰나 消石灰 등을 純粹에 單味로 使用하는 경우와 處理效果에 增進 시키기 위하여 石灰類에 其他 添加材를 混合하여 使用하는 경우가 있다. 石灰에 의한 地盤改良은 反應의 相對가 土粒子 그 자체이며 特히 軟弱한 粘性土에는 다른 地盤改良보다 有利하다고 할 수 있다.

나. 深 層

深層地盤改良工法에서의 代表的인 工法은 注文工法, 드레인工法, 콘파크션工法이고 各各 特徵 있는 工法이다.

시멘트 石灰系材料에 의한 深層地盤改良工法은 이들 工法과 같은 目的이고 그 適用範圍에 關한 限界 其他 問題點을 解消하여 더욱 效果的으로 軟弱地盤을 改良하는 工法으로서 期待되어 開發 進行되고 있다. 特히 海上施工에 있어서 海水汚濁 등의 問題를 수반하지 않은 工法開發에 對한 要請은 많고 當面의 開發目標은 이것에 있다고 생각된다.

從來工法은 所謂 物理的인 工法으로서 發展하여 온데에 對하여 시멘트 石灰系材料에 의한 深層地盤改良工法은 시멘트 石灰系材料와 흙 및 土中水가 主로 化學反應에 의하여 地盤을 強化하는 工法이다. 따라서 載荷盛土나 強力한 締固力을 必要로 하지 않고 그 대신 흙 및 土中水와 시멘트石灰가 化學反應하는 條件을 만들어 내어주는 것이 主要目的이 되고 現今에 새로운 工法으로서 注目된다.

다. 特殊土地盤

特殊土地盤은 그 對象의 組成이 複雜하고 自然 含水比가 높은 경우가 많고 現場狀態變化가 豐富한 것이 特徵이다.

레드로나 超軟弱地盤에서는 粒子가 잘고 含水比가 크며 따라서 一般的으로 脫水에 의한 方法이 主要工法이다. 從來 센드드레인이나 갈아놓기

工法이 많이 使用되었지만 環境規制가 어려워지고 그에 대신할 工法으로서 시멘트·石灰에 의한 急速固結工法이 注目되어 왔다.

火山灰質粘土 및 有機質土의 경우는, 脫水效果와 흙特有的 鑛物組成에 對한 化學效果를 目的으로 하고, 시멘트·石灰를 主로하여 各種 添加物에 의하여 處理하는 工法이 많이 使用된다. 正土 白砂 등의 軟弱砂層의 改良에 대해서는 組成物의 差異보다는 透水性이 큰 것에 着眼하여 安定劑의 添加·注入에 의하여 充填, 固結 및 粒度를 改良하는 工法이 一般的으로 使用된다.

3. 시멘트安定處理工法

시멘트安定處理工法은 加하는 水量에 따라 決定되는 콘시멘션의 大小 시멘트量의 多少에 따라 多様하다. 一般的으로는 「흙과 시멘트와 물의 均質한 混合物」이라고 定義할 수 있다.

本工法은 土質安定處理라고 하는 觀點에서의 用途를 가질 뿐 아니라 經濟的으로 安價한 土木材料라는 點에서 소일·시멘트로서 이미 多方面에 使用되어 또 새로운 適用分野가 開發되고 있다. <表-1>의 各種시멘트 安定處理土의 用途 및 工法の 포인트에 대하여 말한다.

가. 소일·시멘트 및 시멘트添加法

粉碎된 흙과 포트랜드시멘트와 물의 조밀한 混合物를 機械的으로 締固시켜 養生하여 形成되는 딱딱한 材料를 狹義의 소일시멘트라고 하고 道路에 使用될 때는 版作用에 의한 交通荷重의 分擔을 어느 程度 期待한다. 이에 對하여 시멘트量이 적은 시멘트 添加土로는 力學的인 強度는 거의 期待 못한다고 하는 立場으로 使用되어 있고 本質的으로 소일시멘트와 같다. 主要用途를 들면 다음과 같다.

- ① 剛性, 撓屈性 兩鋪裝道路, 街路, 飛行場의 下層路盤이나 土層路盤
- ② 週期的, 連續的으로 浸水나 波濤의 作用을 받는 斜面의 表面處理
- ③ 아스페의 코어
- ④ 貯水池의 라이닝

이들 가운데 實際에는 ①의 用途가 가장 많다 그러나 最近 美國에서는 水理構造物의 斜面保護

應用이 注目되어 있는 것 같으며 소일시멘트로는 積石의 半 以下 工費로 施工 可能한 點이 큰 魅力이다. 또 最近 美國에서는 소일시멘트층의 建設이 큰 흥미거리가 되어 있으며 計劃進行中인 것 같다.

소일시멘트의 定義에서도 分明한것처럼 特히 本工法에서는 粉碎, 混合, 締固의 難易가 施工上의 要諦가 된다. 그 경우 現場土의 種類에 따라 施工性도 달라진다. 元來 粒子間의 結合력이 弱한 粗粒子土에서는 갑자기 시멘트를 加하여 機械的으로 混合함으로써 粉碎와 混合이 同時에 이루어지지만 粘性土 경우에는 그 粉碎可能한 程度가 즉각 시멘트 安定處理工法의 成否의 열쇠가 되는 경우가 많다.

強度에 대해서는 使用土에 따라 크게 變化한다. 工費와의 關係에서 考察하면 粉碎, 混合에 費用이 과다히 소요되는 흙은 一般的으로 소일시멘트로서는 適合하지 않다. 그러나 자갈이 섞인 砂質土로는 經濟的으로 可能한 範圍內의 시멘트量으로 相當한 強度를 얻을 수 있다.

普通 路盤用으로는 適當한 흙이면 시멘트量 2%程度로 機械的 安定處理에 匹敵하는 力學的 安定性을 얻을 수 있다. 시멘트處理의 工費는 機械的 安定處理의 %程度이므로 적당한 土材料를 利用할 수 있는한 더욱더 有利한 工法이라고 말할 수 있다.

나. 原 理

시멘트安定處理土를 粉碎된 흙과 適量의 포트랜드시멘트 및 물의 混合物를 締固시킨 것에 限한다면 흙이 시멘트에 의하여 安定化되는 理論

은 粗粒子土의 경우와 실트(Silt) 및 粘土分을 主成分으로 하는 細粒子土의 경우는 다르다. 여기에서는 소일시멘트의 硬化原理 및 力學的 性質에 對하여 말하겠다.

1) 粗粒子土의 시멘트에 의한 安定化理論

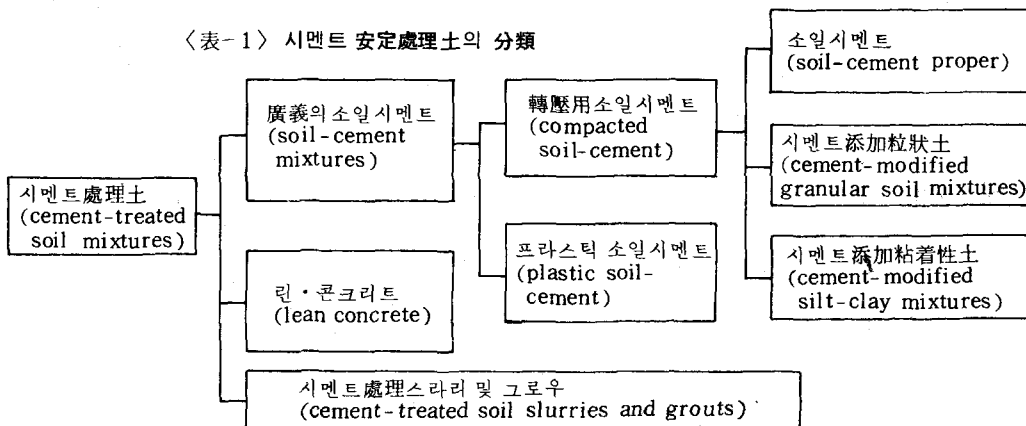
粗粒子土에 있어서 土粒子의 시멘트에 의한 結合理論은 시멘트콘크리트와 本質的으로 다르지 않다. 이에 대하여 Handy는 다음과 같은 思考方式을 하고 있다. 一般的으로 소일시멘트는 콘크리트보다도 長期에 걸친 強度增加를 보이지만 Handy는 이 現象을 시리카(Silica) 表面 가까운 이온(ion)分極에 關한 Weyl의 理論에 根據한 假說에 의하여 說明하고 있다. 即 石英粒子의 表面에 있어서 比較的 不活性인 分極層에서도 알카리環境下에서는 溶解하고 珪酸鹽겔(Gel)이 되어 그 Gel이 石英과 直接 結合하게 된다고 생각했다.

2) 粘性土의 安定化理論

2 μ m 以下の 土粒子가 많은 흙에서는 粘土鑛物과 시멘트의 物理化學的 相互作用이 흙의 시멘트에 의한 安定化에 重要한 役割을 한다.

이에 關하여 最近 몇개의 實驗的研究가 나타났다. Herzog들은 粘土鑛物(가오리나이트 및 몬모리나이트)와 C₃S 및 포트랜드시멘트와의 反應에 대하여 實驗을하고 이들의 粘土鑛物의 底面 反射 強度가 養生時間과 함께 clay-cement 混合物의 組織이 變化하는 것을 電子顯微鏡에 의하여 觀察하고 가오리나이트粒子의 端部가 시멘트의 水和에 의하여 생기는 Ca(OH)₂에 의하여 侵犯 당하는 것을 發見하였다.

<表-1> 시멘트 安定處理土의 分類



<表-2>

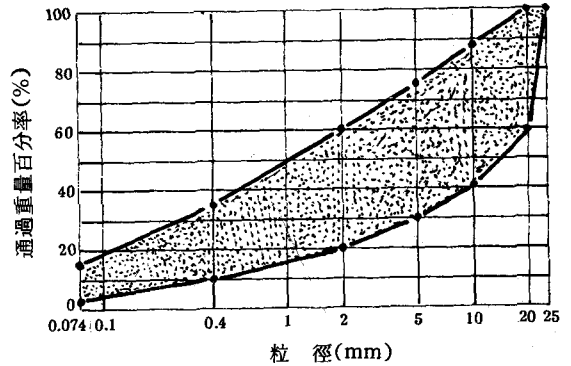
흙의 종류에 의한 소일·시멘트의 효과 (Catton)

흙의 종류	P R 法	A-2, A-3	A-4, A-5	A-6, A-7가 있는것	A-6, A-7가 있는것, A-8
	改訂 P R 法	A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4 A-2-5	A-2-6, A-2-7, A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	-
	A C 法	GF, SF, GW, SW, GP, SP	ML, C1, CL, MH	ML, C1, CL, CH	pt, OH, OL, CH
	構 成	砂利質土, 砂質土	실 트 質 土	粘 土 質 土	泥炭土, 有機質土, 重粘土
시멘트의 효과		극히 현저함	현저함	피있다	적다
最小許容壓縮強度		17.5 kg/cm ²	17.5 kg/cm ²	17.5 kg/cm ²	-
耐久試驗(濕潤乾燥, 凍結融解)에 있어서의 最大許容容積變化		2%	2%	2%	-
耐久試驗(濕潤乾燥, 凍結融解)에 있어서의 最大許容損失量		14%	10%	7%	-
普通시멘트使用量		6~10%	8~12%	10~14%	-

必要的인 시멘트량을 決定하는 條件

<表-3>

舗裝의 種類	交通條件	必要的인 壓縮強度 (kg/cm ²) 6日養生 1日浸水	必要的인 壓縮強度의 許容範圍
아스팔트舗裝	重交通	30	30 ± 5 kg/cm ²
	中交通	25	25 ± 5 kg/cm ²
	輕交通	20	18 ~ 25 kg/cm ²
콘크리트舗裝	交通量에 關係없음	10	10 ~ 35 kg/cm ²

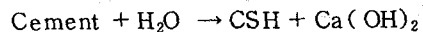


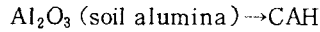
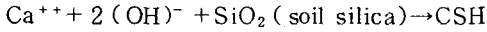
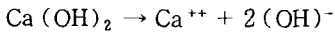
<그림-1> 시멘트 安定處理에 效果的인 흙의 粒度範圍

最近에는 Noble 및 Croft 는 대단히 미세한 土粒子에 의하여 시멘트의 水和反應이 抑制된다고 하는 見解를 가지고 있다. 最近의 研究로는 粘土鑛物과 시멘트間的 相互作用은 시멘트 安定處理土의 微視的構造의 形成 및 그 強度發現에 重要的인 役割을 하고 있는 것과 그와 같은 相互作用의 特徵이나 強度의 根元이 되는 物質은 粘土鑛物의 種類에 따라 다르다는 것을 明白히 하고

있다. 結局 다음의 化學反應式에 보이는 바와 같이 시멘트의 水和 및 그에 대하여 放出되는 Ca(OH)₂와 粘土鑛物의 反應에 의하여 생기는 接着性의 反應生成物이 粘土 및 未水和시멘트 粒子와 複雜하게 엉켜서 剛性構造를 形成해 가는 것이라고 생각된다.

Soil-cement





이 점에서 시멘트安定處理土의 物理的構造는 시멘트페스트와 本質的으로 다르지 않으나 空隙이 시멘트페스트보다도 아주 큰 것과 生成되는 CSH(gel)의 石灰シリカ比가 養生時間 및 使用粘土 鑛物에 保持되어 있는 이온의 種類에 따라 다른 것이 시멘트安定處理土에 있어서 特徵인 것이 研究에 의하여 확실해졌다.

다. 効 果

이 工法의 效果는 흙의 종류에 따라 다르며 粘土나 有機質土에서는 그다지 效果가 없다(〈表-2〉 參照). 또한 흙의 粒度는 〈그림-1〉의 範圍의 것이 바람직하다. 시멘트 添加量은 普通 흙의 乾燥重量에 對하여 2.5 ~ 15%이지만 가령 鋪裝路盤에 使用하는 경우는 시멘트 添加量을 여러가지 바꾸어 各各 最適含水量에 있어서 6日 養生 1日 水浸의 試料에 對하여 一軸壓縮 強度를 求하여 〈表-3〉에 보이는 所要強度에 應하는 시멘트 添加量을 決定한다.

4. 石灰安定處理工法

가. 石灰處理土

石灰安定處理工法은 흙에 石灰를 3~20% 添加하여 흙의 安定性, 耐久性을 增大시키는 工法이다. 이 工法은 옛날부터 中國, 유럽, 美國 등에서 利用되어 二和土, 三和土 등의 형태로 使用되어 왔다. 따라서 새로운 工法이라고는 말할 수 없으나 最近에는 石灰 品質의 改良, 多量生産 및 施工法의 새로운 開發이 이루어져 새로운 형태로 흙의 安定處理에 使用되고 있다.

이 工法이 適用되는 範圍는 道路의 路床, 路盤, 取土場의 흙과 같은 表層部의 安定處理와 軟弱地盤 같은 深部의 安定處理의 두가지 分野를 생각할 수 있다.

具體的으로는

- 1) 強度 혹은 安定性이 不足하는 路盤材料의 改良
- 2) 高含水比 粘性土를 路床材料로 改良한다.
- 3) 高含水比의 흙을 盛土材料로 改良한다.

4) 高含水比 粘性土 등의 트라피카피리티의 改良

5) 在來의 道路 路床, 路盤 補修, 자갈道路의 補修

6) 凍上防止를 위하여 遮斷層으로서 利用한다.

7) 道床 등의 噴泥防止層으로서 利用

8) 石灰파일 地盤을 만들어 軟弱地盤을 改良한다.

는 適用範圍가 있다.

이 工法의 特徵으로서는 흙을 化學反應의 相對로서 利用하는 것이며 土中の 粘土分을 質的으로 變化시켜서 흙을 安定化하는 點에서 시멘트 瀝青 등과 다른 것이다. 따라서 石灰와 反應하기 쉬운 細粒粘土分이 不可缺하며 이것은 高含水比 粘性土 土質에 好適한 條件이 된다. 그러나 어느 程度 接着機能도 있으므로 砂質土에도 適用될 수 있는 것은 물론이다.

나. 原 理

石灰를 흙에 添加한 경우 複雜한 反應이 생겨 흙의 性質이 改良된다. 그들 중 主要한 것에 대하여 말 하면 다음과 같다.

1) 이온交換

흙에 石灰를 加하면 石灰속의 Ca^{++} 가 粘土粒子 表面의 이온과 交換하여 吸着하고 土粒子 表面의 帶電狀態가 變하여 粘土粒子는 凝集하여 團粒化한다. 이 作用은 알카리 霧圍氣下에서 促進되어 흙의 性質을 變化한다.

2) 포조란反應

上記 이온 交換中 材齡이 진행하면 코로이드시리카, 코로이드알미나가 石灰와 反應하여 複雜한 化合物을 形成한다. 反應生成物로서는 드파모라이트 등의 珪酸칼슘 水和物이나 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ 등의 알민酸칼슘 水和物 및 게레나이트 水和物 ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 등이 發見되어 있다. 이들의 反應生成物은 長期에 걸쳐 生成되어 이들이 結合材가 되어 흙이 固化하고 強度·耐久性이 發見된다. 이 反應의 또 다른 材料로는 處理하기 어려운 아로펜, 加水하로이사이트, 몬모리노나이트 등의 粘土鑛物과의 사이에도 보인다고 한다.

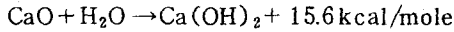
3) 石灰의 炭酸化

石灰가 空氣中の 炭酸가스와 反應하여 炭酸칼

슌(CaCO₃)의 모양이 되는 反應이며 이 反應은 포조란反應만큼 重要視되어 있지 않지만 알민酸칼슌과 炭酸칼슌이 反應하여 흙을 固結시키는 作用이 있다고 한다.

4) 吸水·膨脹·發熱作用

生石灰의 경우 다음과 같은 反應機構에 의하여 흙 속의 물을 化合物의 形式으로 만든다.



分子量	56	18	74
比重	3.3	1	2.2
重量比	1	0.32	1.32
體積比	1		1.99

따라서 1kg의 CaO의 水和에 의하여 280kcal의 發熱이 있고 土中水와 反應하여 體積이 2배 가까이 膨脹한다. 그리고 이 反應은 흙의 圧密을 促進한다. 또한 發熱에 의하여 水分의 蒸發이 일어나고 土中水를 減少시킨다.

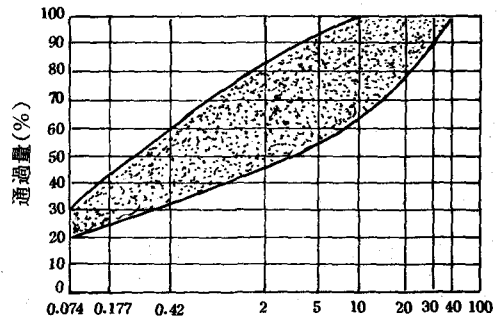
다. 効 果

地盤을 安定處理하는 경우 石灰의 反應效果가 현저한 地盤과 그렇지 않은 地盤이 있다. 一般的으로 加水하로사이트, 몬모리로나이트, 가오라나이트의 反應性を 놓고 이들의 粘土鑛物을 이라이트系, 크로라이트系, 아로펜粘土는 處理하기 어렵고 細粒分이 적은 地盤, 有機物을 多量으로 포함한 地盤, PH가 낮은 地盤은 改良하기 어렵다. 初期 含水比의 大小도 改良效果에 영향을 받는다.

石灰의 使用量(混合率)도 石灰의 使用法을 充分히 考慮하여 設計되지 않으면 안된다. 가령 石灰의 吸水·膨脹效果에 의하여 地盤을 脫水·壓密하는 경우에는 石灰의 흡수량과 膨脹率 및 膨脹壓과 地盤에서의 脫水量, 間隙率의 變化는 密接한 關係가 있고 石灰의 使用量은 이들의 相互關係에서 定해진다. 포조란反應은 陽이온 交換에 必要한 Ca⁺⁺量 以上の Ca⁺⁺가 存在하고 있으며 그 위에 시리카(SiO₂)나 알미나(Al₂O₃)등의 反應物質이 存在하지 않으면 일어나지 않으므로 混合率이 過少해서는 充分한 效果를 얻지 못하며 過大한 것은 不經濟가 된다. 이와 같은 것은 混合이 均一하게 成立이 되느냐 않되느냐에 대해서도 말할 수 있다. 均一하게 混合하려면 石灰의 粒徑은 작은 편이 分散하기 쉽고 效果的이다.

石灰의 品質도 改良效果를 支配하는 要因이 된

다. 石灰는 酸化칼슌(CaO)의 含有量이 많은 것이 有利하다. 石灰의 燒成溫度는 一般으로는 1,000 ~ 1,200 °C이지만 燒成溫度가 낮은 편이 活性이 풍부하고 改良效果를 左右하는 要因에는 흙의 性質, 石灰의 使用法 및 使用量, 均一混合의 程度, 石灰의 性質, 粒徑이 있고 이들의 相互效果가 있으므로 각각 充分히 調査하는 것이 重要하다. 또한 흙의 粒徑은 <그림-2>에 範圍의 것이 바람직 하다.



<그림-2> 石灰安定處理에 效果의인 흙의 粒徑 範圍
 체의 눈(mm)

체 (mm)	40	30	20	10
通過量 (%)	100	90~100	80~100	65~100
체 (mm)	5	2	0.4	0.074
通過量 (%)	55~95	45~85	30~60	20~30

石灰를 使用하여 흙을 安定化하는 方法의 특징은 前述한 바와 같이 흙을 化學反應의 相對로서 利用하는 것이며 흙 속의 細粒分을 質적으로 變化시키는 것에 있다. 다른 安定處理工法인 소일시멘트工法, 瀝青系安定處理工法 등은 포트랜드시멘트, 瀝青材 그 자체의 接着力을 利用하는 것이고 그 때문에 對象土의 粒徑에 의하여 어느 程度의 制約을 받아 一般的으로 粘性土에는 石灰를 利用하는 편이 적당하다고 생각된다. 따라서 近來 環境保全이 논의되고 또한 軟弱한 粘性土 地盤이 널리 分布되어 있는 石灰와 粘土粒子와의 化學的反應을 利用한 石灰安定處理工法은 갈아놓기를 위한 良質土나 排出土의 處分이 必要가 없고 또한 現地材料를 有效하게 使用하는 點 등에서 地盤改良工法으로서 대단히 有利하다고 할 수 있다.

5. 地盤改良工法の 將來

시멘트·石灰系 地盤改良工法이 將來 어떠한 發展을 할 것인가를 正確히 전망하는 것은 어렵다. 여기에서는 이 改良工法이 앞으로의 發展을 期待하는 事項, 現況에 있어서 施工上 失敗하기 쉬운 點, 注意事項을 記述하여 將來의 目標로 하고 싶다.

가. 粉碎, 混合

자갈·砂混合物과 같이 細粒土가 적은 材料이면 直接 시멘트를 加하여 混合해도 均一하게 混合할 수가 있다. 그러나 粘土分이 相當히 섞여 있는 경우에는 細粒土가 경단처럼 굳어져 버리면 시멘트를 加해도 效果는 없다. 따라서 粘土分이 相當히 포함되어 있는 材料일 경우에는 粘性土의 崩치를 적당히 粉碎해야 한다. 소일시멘트가 成功하느냐 못하느냐는 흙이 어느 크기의 粒子까지 粉碎되느냐 안되느냐에 달려 있다.

시멘트 安定處理土의 一軸壓縮強度는 粘性土의 粉碎度에 따라 많이 다르다. <그림-3> 및 <그림-4>는 여러가지 含水比의 4cm 粒方體 粘性土塊를 回轉式 粉碎機에 의하여 여러가지 粒度로 粉碎하여 使用土의 粒度를 나타내는 指數 D·N·值(채로 試驗한 結果로 $D·N· = \sum(\text{加積殘留率})/100$ 에 의하여 計算한다)와 시멘트 安定處理土의 一軸壓縮強度는 粉碎時에 흙의 含水比에도 依存한다. 粉碎度는 시멘트 安定處理土의 收縮量에도 영향을 미친다. <그림-5>는 잘 粉碎되어서 比表面積이 큰 粘性土 試料를 使用하면 收縮量이 작아진다는 것을 보이고 있다.

地山에 安定材를 散布 또는 杭狀으로 打設하여 부르도저등으로 土塊를 移動하는 過程으로 흙과 安定材가 混合 된다고하는 소위 「地山混合」은 大規模의 土工工事に 有利하겠지만 그 適用은 地形的·地域的인 制約을 받을 것이다. 施工時 炭酸가스를 불어넣는 工法은 化學反應을 더욱 促進하고 固結力을 높이려고 하는 特異性은 있지만 施工時 그 取扱은 충분한 注意를 必要로 하며 安定材를 矢板狀 혹은 杭狀으로 打設하고 뒤에 表面을 잘라서 混合·締固하는 工法은 淺層 및 深層의 兩者를 同時에 安定處理하려고 하는 것이다.

흙·카드보드·生石灰를 샌드위치狀으로 쌓아올리는 軟弱土에 의한 盛土安定化工法은 生石灰의 吸水, 生石灰의 膨脹圧과 盛土의 自重에 의한 圧密 및 카드보드에 의한 排水를 짜서 綜合的인 效果를 획득코자 한 것이다.

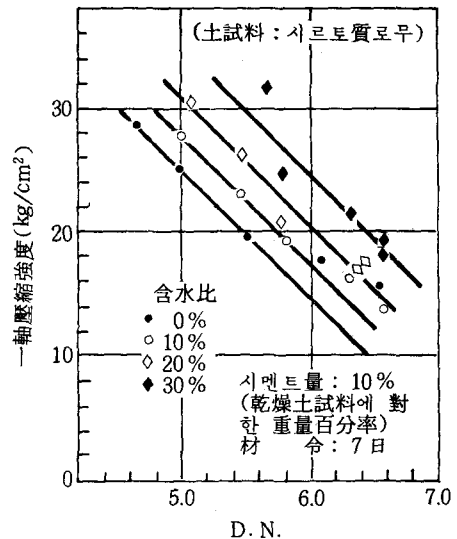
다음에 本工法에 있어서의 留意點을 아래에 列挙한다.

1) 첫째, 現地の 地域性 및 土質事情을 正確히 把握하는 것이 重要하고 工事目的, 重要度, 規模등을 생각하여 現地調査 및 土質調査를 해야 한다. 이것은 適正한 安定材, 混合率 및 施工方式을 選擇하는 基礎資料가 된다.

2) 現地の 土質이나 含水比가 同一하지 않은 경우 흙에 따라 適宜 그 混合率을 바꾸어 때로는 다른 安定材를 使用할 必要도 있다. 이와 같은 경우 事전에 室内에서 試驗을 하여 그것을 參考로 하여 判斷하는 것도 有效하다.

3) 混合時 添加材의 種類가 많아질수록 흙과 安定材와의 混合度는 一般의 低下하고 特히 water glass는 흙과 섞여지기 어려운 것이므로 注意 깊은 混合을 必要로 한다.

4) 安定處理後 흙에서의 溶出液이 農耕地, 養殖場등의 土壤이나 물의 PH를 바꾸어 農作物, 魚類 등에 害를 주지 않을지 충분한 配慮가 必要하다.



<그림-3> 一軸壓縮強度와 D.N의 關係

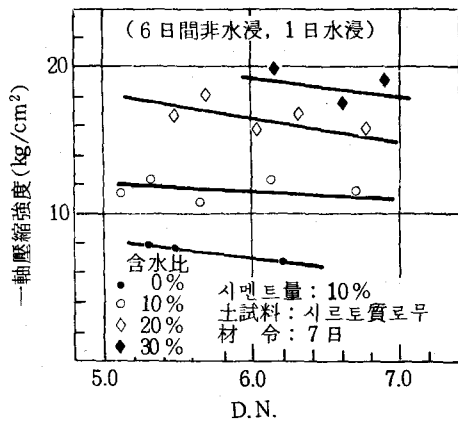
5) 카바이트등 産業廢棄物 中에는 貴重屬을 내포한 것이 있고 利用에 있어서는 檢討할 必要가 있다.

6) 轉爐 등은 膨脹性이 있고 路盤材料로서 不適當한 것이 많다.

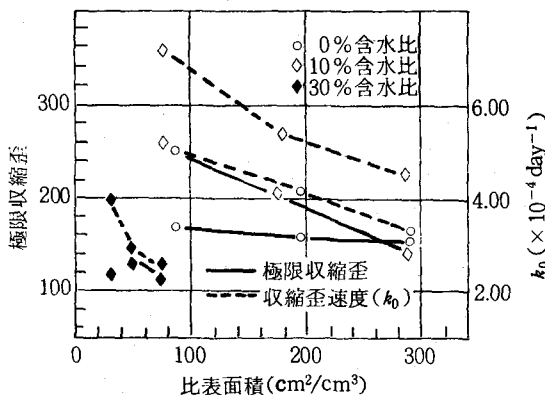
7) 스모킹등 施工時에 따르는 大氣汚染對策을 강구해야 한다.

8) 安定劑의 貯藏은 防濕性의 容器 또는 자루에 넣어 嚴重한 管理를 必要로 한다.

本工法을 適用함에 있어서는 以上의 事項을 충분히 配慮하여 工事目的에 應한 效果의 이며 또한 經濟的인 安定材, 混合率 및 施工方式을 選擇하지 않으면 안된다.



<그림-4> 一軸壓縮도와 D.N.의 關係



<그림-5> 使用粘性土塊의 比表面積과 소일시멘트의 收縮特性的의 關係

나. 締 固

시멘트, 石灰混合土의 締固에 있어서는 含水量을 最適值附近에 調整하고 締固하는 것이 좋다. 따라서 너무 건조한 흙은 普通 必要量의 散水를 하고 굳히지만 너무 습한 흙을 말리기는 一般으로 困難한 일이 많다. 乾燥시키는 普通工法은 프라우나 프리파라이자, 파르비믹서 등으로 흙의 曝氣面積을 크게 하여 氣乾을 促進시키는 것이지만 特히 後者의 混合室의 위 부분을 없애고 粉碎土를 飛散시키는 것은 有效하다. 特別히 건조한 흙을 利用할 수 있는 경우에는 너무 습한 흙과 適當히 混合하여 含水量을 調整하는 方法도 있다. 그러나 一般적으로 粘性土는 이와 같은 方法을 使用해도 좀체로 最適含水量까지 건조 시키기가 어렵다. 이와 같은 경우에는 어느 정도 너무 습해도 締固度를 그 含水量에 應하는 最大締固度의 95% 程度까지 하는 것으로 滿足해야 할 일도 생긴다. 이와 같은 경우에는 오히려 施工機械의 通過에 의한 捏返이나 지나친 締固 때문에 施工은 물론 完成한 改良地盤의 強度를 害치는 것을 考慮하지 않으면 안된다.

一般으로 施工中은 排水에 충분히 注意하지 않으면 안된다. 施工을 中止할 경우에는 表面을 平滑하게 轉壓 마무리하여 兩水의 浸透를 적게 한다든가 경우에 따라서는 地表를 不透水性 膜으로 被覆할 必要도 일어난다.

粗粒材의 締固에 있어서는 미리 기계적 또는 其他 方法으로 安定處理한 뒤 施工하면 比率이 좋다. 이 경우에 含水量을 最適值附近에 調整하는 것도 比較的 容易하다.

다. 養 生

施工中 表面이 너무 건조하지 않도록 常時 散水하는 것도 必要하다. 시멘트安定處理는 完工後 表面이 시르하여도 乾燥하여 잔금이 생기기 쉬우므로 될 수 있으면 빨리 基層·表層을 施工하도록 해야한다. 冬期 또는 寒冷地에서의 施工은 시멘트의 水和反應이 低下할 우려가 있으므로 施工表面에 돛자리를 덮는다든가 電熱등으로 溫度 低下를 막지 않으면 안된다. 이와 같은 경우의 對策으로서는 早強시멘트를 使用하기도 하고 鹽化칼슘을 添加劑로서 加하는 경우도 있다.

施工直後에 交通을 開放해도 좋으나 이 경우

다이어에 附着 않도록 굵은 모래를 散布한다. 安定處理는 路面보다 10 cm 上下로 使用되므로 安定處理層土의 混合物이 미끄러지는 일이 적다고 생각 되지만 急勾配의 언덕길등에서는 安全을 위하여 表面에 碎石을 散布하여 가볍게 埋立하고 混合物이 미끄러지지 않도록 하는 方法도 있다.

라. 有機物, 硫酸鹽에 對한 注意

흙의 含有有機物은 시멘트, 石灰의 칼슘이온 (遊離狀態의것)과 結合하여 處理土의 硬化를 현저히 방해한다. 對策으로서는 1~2%의 鹽化 칼슘에 의한 前處理 등이 效果의이다.

시멘트 安定處理의 경우 使用水 또는 소일·시멘트 構造物이 接하는 水中에 硫酸鹽이 存在하면 콘크리트에 있어서와 마찬가지로 시멘트·바치르스의 生成을 수반하며 극히 有害하다. 영국의 例로는 硫酸마그네슘의 경우 0.75%, 硫酸칼슘의 경우 1% 以上 함유할 때 소일·시멘트의 水浸強도가 현저하게 低下하여 있다.

마. 土質調査

미리 土質調査를 충분히 조심스럽게 하고 地盤의 強度分布, 地下水의 狀況 및 帶水砂層의 存在등을 正確히 把握해 놓아야 한다. 또 含水比, 有機物을 多量으로 함유한 腐植土 또는 有害物質 등 改良效果를 左右하는 因子에 特히 注意를 기우려야 할 必要가 있다.

바. 設計條件과 地盤改良效果의 限界

設計條件과 地盤의 強度增加와의 關連性 등을 충분히 파악한다.

사. 改良效果의 發現

改良效果가 나타나기 위하여 必要한 期間, 經年變化 및 耐久性 등에 留意하지 않으면 안된다.

아. 作業能率

作業機械의 進入, 施工등이 能率있게 이루어지는 工法을 選擇한다.

자. 施工管理

安定材의 기능이 확실하게 發探되도록 現場에 맞는 適切한 施工管理를 하지 않으면 안된다.

차. 公害對策

騒音, 振動, 粉塵등에 의하여 周圍에 惡影響을 미치는 일이 없도록 對策을 세우지 않으면 안된다.

[參考文獻]

- 1) 松尾新一郎監修, 特許에서 본 石灰安定處理工法, 日刊工業新聞社, 1977. pp. 1~2
- 2) 土質工學會編, 土質工學彙編, 技報堂, 1965, p. 741
- 3) 同上 p. 1155
- 4) 松尾新一郎編, 시멘트安定處理工法, 土質安定工法便覽, 日刊工業新聞社, 1977. pp. 175~197
- 5) Handy, R. L., Cementation of Soil Minerals with Portland Cement or Alkalis, H. R. B., Bull. No. 198, 1958, pp. 55~64
- 6) Wely, W. A., Wetting of Solids as Influenced by the Polarizability of Surface Ions, In Gomer, Robert Smith, Eds., Structure and Properties of Solid Surfaces, The University of Chicago Press. 1953, pp. 147~181
- 7) Herzog, A. and Mitchell, J. K., X-ray Evidence for Cement-Clay Interaction, Nature No. 195, 1962, pp. 989~990
- 8) Mitchell, J. K. and Jack, S. A. E., The Fabric of Soil-Cement and its Formation, proc. the 14th Natio. Conf Clay and Clay Minerals, 1966, pp. 279~305
- 9) Noble, D. F., Reactions and Strength Development in Portland Cement-Clay Mixtures, H. R. R., No. 198, 1968, pp. 39~56
- 10) Croft, J. B., The Influence of Soil Mineralogical Composition on Soil Stabilization, Geotechnique Vol. 17, No. 2, 1967, pp. 119~135
- 11) Kawamura, M., Hasaba, S. and Sugiura, S., A Role of the Interaction of Clay Minerals with Portland Cement in Soil-Cement Mixtures, Transaction of J.S. C. E., Vol. 1, Part 2, 1969, pp. 269~286
- 12) Kawamura, M., Hasaba, S. et al., A Function of Free Lime and Characteristics of Cement Hydration in Compacted Clay-Cement Mixtures, Proc. J.S.C.E., No. 191, 1971, pp. 117~131
- 13) Kawamura, M., Hasaba, S. and Sugiura, S., The Influence of Exchangeable Cation (Na⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺) Held on Bentnite-Cement Interaction, Proc. J.S.C.E., No. 192, 1971, pp. 123~129
- 14) 內藤和章外, 土質改良- (8) 시멘트安定處理工法, 土

木施工, Vol. 17, No. 4, 1976, p. 223

15) 前出 4) pp. 215~242

16) 加場重正, 川村滿紀, 소일·시멘트의 原材料로서의
粘性土의 取扱에 대하여 土木學會論文集, No.
155, 1968, pp. 25~31

17) 加場重正, 川村滿紀外, 各粘性土取扱程度가 소일
·시멘트의 収縮性 및 粘彈性性質에 미치는 影響,

土木學會論文報告集, Vol. 177, 1970, pp. 33~42

18) Kawamura, M., Fundamental Studies on the
Fabric of Soil-Cement Mixture and Its
Mechanical Properties, Dr. Eng. Thesis,
Kyoto University 1971

19) 아스팔트鋪裝小委員會, 아스팔트鋪裝要綱의 改訂
(II), 道路, 1968, p. 71

