

藥液注入에 의한 透水性地盤의 止水效果에 關한 研究

A Study on the Effect of Intercepting Water
by Chemical Grout in Pervious Soils

※ 姜 信 業 郭 鍾 現
Sin Up Kang Jong Hyun Kwak.
姜 乂 默 朴 春 洙
Yea Mook Kang Choun Soo Park.

1. 緒 論

現在 國家施策에 副應한 道路 및 各種建設事業에서 土質工學이나 基礎工學에 關한 여러問題를 取扱하는 경우 흙의 透水性이 問題가 될때가 적지않다. 例로써 Earth Dam, Tunnel, 河川堤防, 干拓堤防의 堤體나 基礎地盤속을 通하는 浸透, 透水性 地盤上에나 또는 地下水位 밑에 構築한 構造物에 미치는 揚壓力, 灌溉用水路 等으로부터의 透水及 水路의 라이닝設計, 비탈面安定에 影響을 미치는 浸透水路, 路盤의 排水, 安定 및 維持와 凍上防止工法等의 設計 또는 地下水位가 높은 곳에서 地下工事を 하는 경우의 排水方法의 選定 等의 問題에는 흙의 透水性이 큰 影響을 미친다. 이 影響으로 因하여 土木建設事業에 있어서 計劃 施工地區의 地質이 不良한 경우에는 良好한 地質로 工事位置를 變更하는 것이 得策일 것이다. 그러나 既存 構造物이 있을경우나 또는 良好한 地盤이 없어서 不良한 地盤上에 工事を 하지 않으면 안될 경우는 特殊工法을 適用하여 構造物의 技能을 發揮하도록 하여야 할것이다. 이러한 경우 地盤의 改善工法으로서는 Cement 注入法, 珪化法, 地下水位降下法 等의 工法이 採擇되고 있는 데 現在 우리나라에서 使用하고 있는 方法은 주로 Cement 注入工法인바 이 工法은 凝固時間의 調節이 不可能하고 微小한 龜裂까지 注入함이 困難하므로 이러한 경우에는 特殊工法인 藥液注入工法을 採擇 하는 것이 좋을 것이다.

藥液注入은 1906 年에 Cement 注入의 創始者인 A.Framcois⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾氏가 Cement 注入만으로 滿足한 結果를 얻지못한 곳에 藥液注入을 考察한데서 부터 始作하여 A.Cassagrande 및 Joosten, 丸安隆和⁽¹⁰⁾等 多數의 學者에 依하여 이에 關한 研究가 繼續되어 特許를 얻고 施工에 適用한 例도 있으며 注入藥液

※ 忠南大學校 農科大學

의 種類에 關해서도 많은 研究가 이루어 지고 있다. 第二次大戰 以來, 所謂 化學의 材料를 主로한 많은 安定材料가 發明되었고 最近 化學工業, 特히 合成 化學의 發達에 따르는 樹脂材料 및 各種 工場廢液을 土質安定에 利用하는데 關한 研究가 活發히 繼續되고 있다. 本研究에서는 透水性의 試料 3種類(잔모래, 굵은모래, 자갈 섞인 굵은 모래)에 對하여 定水位 透水試驗을 하여 透水量을 測定하고 이들 試料에 對하여 注入藥液第一液(Na_2SiO_3)과 第二液($CaCl_2$)의 濃度 및 比率를 달리하여 注入하고 그의 透水度를 試驗하여 透水遮斷에 가장 合理的인 藥液의 濃度 및 比率를 求하였다.

2. 使用材料 및 試驗方法

가. 試驗裝置

(1) 藥液注入機具

모터 1/2HP의 自動水壓機로써 容量은 136Kg이고 完全 壓力調節裝置가 되어 있어 必要한 壓力를 隨時 任意로 變更하여 使用할 수 있도록 되어있고 先端에는 藥液注入用 nozzle이 고무hose로 連結되어 있으며 配置圖는 그림 1과 같다.

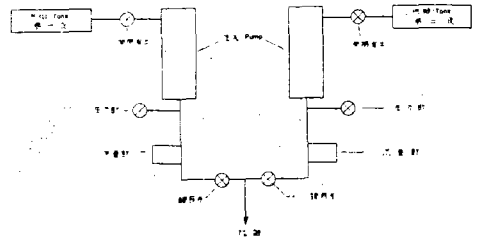


그림 1. 藥液注入 設備 配置圖

(2) 試料의 透水圓筒

안지름 9.4cm인 金屬製의 圓筒(두께 1.5mm)으로 上下面이 水平으로 되어있으며 바닥으로부터 27cm의 上端에 지름 1cm의 越流口가 있다.

(3) 有孔板

두께 5mm, 斷面 15cm×15cm의 金屬製板으로 지

를 10 cm의 圓內에 단 1.5mm의 小孔 330個가 들어 있는 多孔板인데 다리의 길이가 1.5cm全體의 높이 2.0cm로 되어 있다.

(4) 黃銅製網

지름이 透水圓筒의 안지름보다 若干크게 잘라낸 圓形의 黃銅製網으로서 눈금의 크기는 試料가 通過하지 않을 程度의 420 μ 인 것을 使用하였다.

(5) 受水器

지름 24.0cm, 높이 5.5cm인 합석製의 圓筒으로 有孔板의 上面에서 約1.0cm의 높이를 維持할 수 있도록 바닥으로부터 3.0cm의 높이에 지름 0.8cm의 排水口가 있다.

(6) 물탱크

합석製의 四角筒(100cm \times 60cm \times 45cm)으로 바닥으로부터 43.0cm의 높이에, 水道로부터 고무hose로 連結시킨 안지름 2.0cm의 流入口가 있고 水槽內의 一定한 水位를 維持시키기 위하여 41.0cm의 높이에 안지름 1.5cm인 越流口가 있으며 下部에는 바닥으로부터 1.0cm의 높이에 0.8cm의 流出口가 10個 있고 따라서 과도한 壓力水를 피하기 위하여 물탱크의 높이를 最大한 41.0cm로 制限하였다.

(7) 다짐래

試料를 透水圓筒에 넣고 다지는 金屬製棒으로서 지름 5.0cm, 무게 3.0kg로 그 한쪽 끝에는 0.5cm 두께의 고무를 씌었다.

나. 使用材料

(1) 試料

試料는 大德郡 儒城面 儒城川에서 採取하여 物理的 性質을 調査한 結果 表-1과 같다.

表-1. 試料의 物理的 性質

種別	試料種類		
	잔모래	굵은모래	자갈섞인 굵은모래
Clay	2%	1%	0.0%
Silt	4"	2"	0.0"
Sand	94"	97"	100"
Specific gravity	2.47"	2.66"	2.50"
Dry density	1.47"	1.55"	1.62"
Void ratio	0.68"	0.72"	0.54"
Porosity	40.5"	42.0"	35.0"

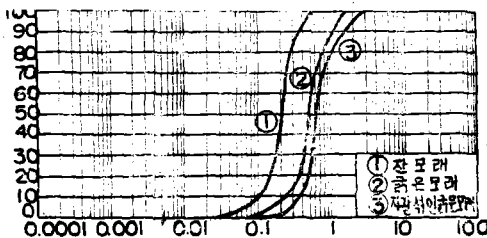


그림 2. 粒徑加積曲線

(2) 濾過砂(Filter)

粒徑 3~4mm의 均等하고 精選한 작은 자갈을 使用하였다.

(3) 試藥

試藥은 第 1液 Na_2SiO_3 와 第 2液 $CaCl_2$ 를 使用하였다.

다. 試驗方法

本試驗의 定水位 透水試驗은 試料筒 內面에 clay를 바른 試料筒을 黃銅製網을 간 有板孔위에 올려 놓고 밑바닥에 濾過砂를 두께 1.3cm로 깔은 다음 試料를 三層으로 나누어 넣고 3.0kg의 다짐래으로 30cm의 높이에서 每層마다 25회씩 落下시켜 다지고 表面에 濾過砂를 두께 1.8cm로 덮어 같은다음 試驗台위의 受水器에 올려놓고 물탱크 流出口의 고무hose로부터 一定量의 水量을 透水圓筒에 供給하고 透水圓筒은 一定水位를 維持하기 위하여 바닥으로부터 27cm의 높이에 지름 1cm 流出口를 만들었다. 이때 試料를 通過한 透水量은 受水器의 排出口를 通하여 排出되는데 이透水量이 一定하게 될 때까지의 時間을 알기 위하여 48時間 測定한 結果 24時間 後에 대략 一定值가 됨을 알았다. 그리하여 24時間 後에 60秒 동안의 越流하는 水量(Q)를 mes_s cylinder로 測定하고 同時에 水槽內의 水温을 測定하고 Darcy의 法則을 適用하여 透水係數 K_f 를 求하고 溫度 15°C에 對한 透水係數 K_{15} 로 換算하기 위한 補正係數 μ/μ_{15} 를 곱하여 透水係數를 求하였다. 但 試料의 높이 l 는 23.3cm, 水頭 h 는 26.5cm 動水勾配 i 는 1.14, 試料筒의 斷面積은 69.36 cm^2 이다. 注入藥液의 濃度는 重量比로 하였고 Na_2SiO_3 와 $CaCl_2$ 의 濃度는 表-2와 같다. 이때의 注入壓力, 注入時間, 注入量, 注入깊이 등은 各各 數回에 걸친 豫備 模型試驗을 通하여 表-3과 같이 決定하였다. 藥液 注入은 自動水壓機 2台로서 試料筒은 24時間透수시킨후 斷水하고 10分 經過後 第 1液(Na_2SiO_3)의 水壓機에 連結된 nozzle을 11.0cm의 길이로 박고 注入한後 第 2液을 第 1液과 같은 方法으로 注入하

表-3 各 試料에 對한 藥液의 注入壓力 注入量 및 注入時間

種別	잔모래	굵은모래	자갈섞인 모래
注入藥液 溫度	27°C	27°C	27°C
藥液注入 壓力	0.31 kg/cm ²	0.26 kg/cm ²	0.25 kg/cm ²
藥液注入 量	310cc	530cc	530cc
藥液注入 時間	50秒	25秒	25秒
藥液注入 深	11.0cm	11.0cm	11.0cm

表-2.

各試料에 對한 注入 藥液의 濃度 및 比率

잔 모래			굵은 모래			자갈섞인 굵은모래		
Treatment. No	Na ₂ SiO ₃ (%)	CaCl ₂ (%)	Treatment. No.	Na ₂ SiO ₃ (%)	CaCl ₂ (%)	Treatment. No.	Na ₂ SiO ₃ (%)	CaCl ₂ (%)
1-3-3	3	3	2-3-3	3	3	3-3-3	3	3
1-3-5	3	5	2-3-5	3	5	3-3-5	3	5
1-3-10	3	10	2-3-10	3	10	3-3-10	3	10
1-3-15	3	15	2-3-15	3	15	3-3-15	3	15
1-5-3	5	3	2-5-3	5	3	3-5-3	5	3
1-5-5	5	5	2-5-5	5	5	3-5-5	5	5
1-5-10	5	10	2-5-10	5	10	3-5-10	5	10
1-5-15	5	15	2-5-15	5	15	3-5-15	5	15
1-10-3	10	3	2-10-3	10	3	3-10-3	10	3
1-10-5	10	5	2-10-5	10	5	3-10-5	10	5
1-10-10	10	10	2-10-10	10	10	3-10-10	10	10
1-10-15	10	15	2-10-15	10	15	3-10-15	10	15
1-15-3	15	3	2-15-3	15	3	3-15-3	15	3
1-15-5	15	5	2-15-5	15	5	3-15-5	15	5
1-15-10	15	10	2-15-10	15	10	3-15-10	15	10
1-15-15	15	15	2-15-15	15	15	3-15-15	15	15

고서 또 10分 經過後에 透水시켰으며 이렇게하여 繼續 55時間 동안에 透水量을 測定한 結果 대략 20時間 後에는 一定值를 나타내고 있다는 事實을 發見하고 本試驗에서는 24時間까지만을 測定하였다. 이 試驗의 測定時間은 2時間 10分까지는 15分 間隔으로, 12時間後 24時間까지는 2時間 間隔으로 測定하여 定水位 透水試驗과 같은 方法으로 整理하였다.

라. 試驗結果

藥液注入을 하기 前에 各試料에 對하여 時間을 따라 變化하는 透水量을 測定한 結果 그림4와 같은 結果를 얻었고 이 結果에 依하여 24時間 透水시킨

後에 藥液注入을 하였다. 또 藥液注入 直後부터 55時間 동안의 透水量 變化와 藥液注入을 하고 20時間 經過後에 透水시킨것에 對한 透水量의 測定結果는 그림5와 같다. 그림5에서 藥液注入後 20時間 透水量을 얻었으므로 藥液注入한後 24時間 동안의 透水係數 變化過程만을 測定하였다. 各試料에 對하여 藥液의 濃度 및 比率를 變化시키면서 注入後 24時間 동안의 透水係數 變化過程만을 測定한 結果 잔모래에 對해서는 그림6~9, 굵은모래에 對하여는 그림 10~13, 자갈섞인 굵은모래에 對하여는 그림14~17과 같다.

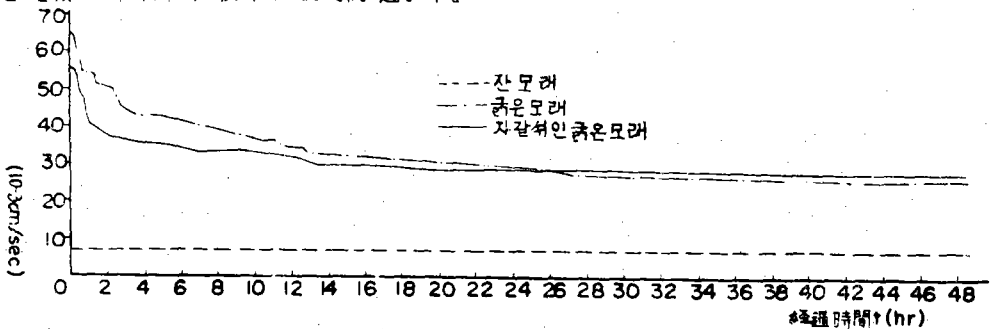


그림 4. 各試料에 對한 透水係數와 經過時間과의 關係 잔모래, 굵은모래, 섞인모래 굵은모래)

3. 試驗結果의 考察

Cement 粒子의 浸透限度는 $K=5 \times 10^{-4} \text{cm/sec}^{(10)}$ 程度의 地盤으로 되어있고 이것을 粒子의 有效徑으로 表示하면 $D_{10}=0.6 \sim 1.2 \text{mm}$ 로되어 本試驗에서 使用

한 試料의 K 및 D_{10} 이 잔모래에서는 $K=6.7 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$, $D_{10}=0.12 \text{mm}$, 굵은모래에서는 $K=27 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$, $D_{10}=0.23 \text{mm}$, 자갈섞인 굵은모래에서는 $K=28 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$, $D_{10}=0.35 \text{mm}$, 이어서 Cement 注入의

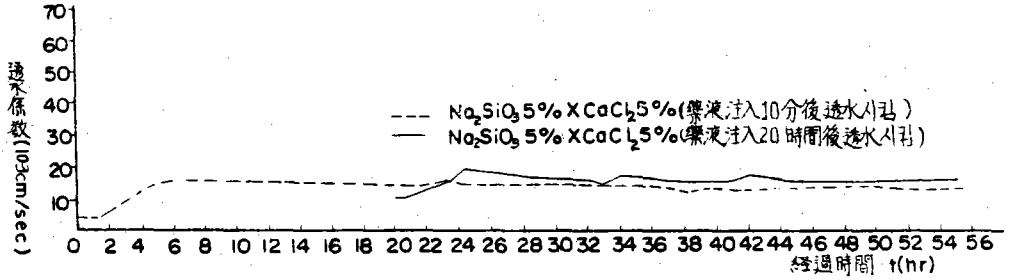


그림 5. 藥液注入後의 透水時間에 따른 透水係數와 經過時間과의 關係(굵은모래)

理想的인 效果는 期待하기 困難한 材料이다. H.R. B. (19)(20)(21)에 依하면 藥液注入工法은 silt나 粘土質보다도 砂質土에서 適應性이 높고 砂質土의 경우는 6% 以上の Water glass가 必要하여 細粒土에서는 塩化 Calcium과 같은 無機鹽을 添加하면 더욱 좋은 結果를 얻을수 있다고 하였으며 石英砂粒이 (22) 包含되어 있지 않는 地層에서는 應用할 수 없다. 그림 4에서 보는 바와 같이 透水係數는 透水的 繼續時間에 따라 減少한다. 이 減少率은 透水시험後 24時間이 經過하면 거의 一定한 透水量을 維持하며 粗粒에 가까울수록 더욱 큰 變化를 일으킨다. 이의 理由는 最適含水比로서 다치지 않고 自然乾燥狀態에서 다졌기 때문이라고 생각되며 透수를 開始하면 土粒子는 水分을 吸水하며 容積膨脹을 일으키기 때문이라고 生覺된다. 粗粒質의 試料가 細粒質의 試料보다 透水量이 많은 原因은 $Q = \frac{\pi R^4 \gamma_{oi}}{8\eta}$ 의 關係 (23)에 依하여 說明된다. 測定中 透水係數가 一律的으로 變化하지 않는 것은 흙中의 空氣 그리고 透水시키는 물속의 空氣의 含有量에 關係된다고 生覺된다. 그림 5에서 보는 바와 같이 藥液注入直後의 透水初期는 相當히 작은 透水係數를 나타내고 漸漸 增加하여 定常的인 透水係數를 維持함은 共通的인 結果로 나타난다. 이 理由는 過度한 藥液注入을 하여 餘分의 藥液이 흙中에 堆積되어 있기 때문이라고 生覺된다. 透水時間이 經過함에 따라 漸次 注入된 餘分의 藥液은 流失되어 透水係數가 增大되는 것으로 生覺된다.

그림 6~9는 잔모래에 注入藥液의 濃度 및 比率을 變化시킨 것으로 第1液(Na_2SiO_3)의 濃度を 15%로 한 그림 9에서 가장 透水係數가 작은 값을 나타냈고 그중 第2液($CaCl_2$)의 濃도가 5%인 treat 1-15-5에서 透水係數가 가장 작은 값을 나타내고 있다. 그림 10~13은 굵은모래에 對하여 藥液의 濃度 및 比率을

變化시킨 것으로 第1液의 濃度を 10%로 한 그림 12와 15%로 한 그림 13에서 가장 理想的인 結果가 나타났다. 그중 第2液의 濃度を 3%로 한 treat 2-10

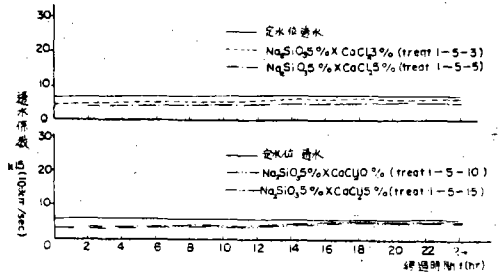


그림 6 藥液比率에 따른 透水係數와 經過時間과의 關係(잔모래)

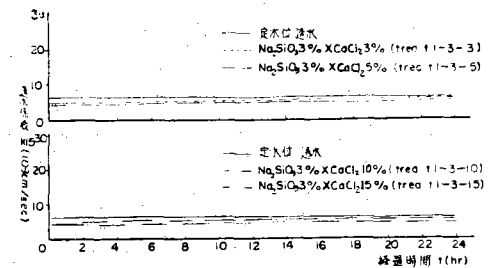


그림 7 藥液比率에 따른 透水係數와 經過時間과의 關係(잔모래)

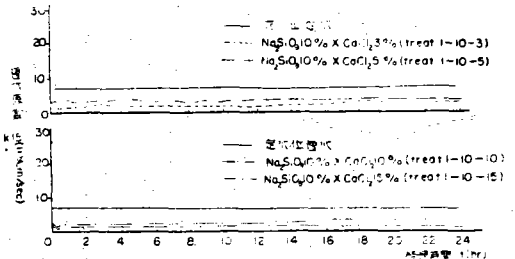


그림 8 藥液比率에 따른 透水係數와 經過時間과의 關係(잔모래)

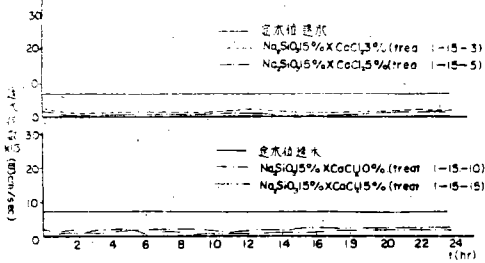


그림 9 藥液比率에 따른透水係數와 經過時間과의 관계(잔모래)

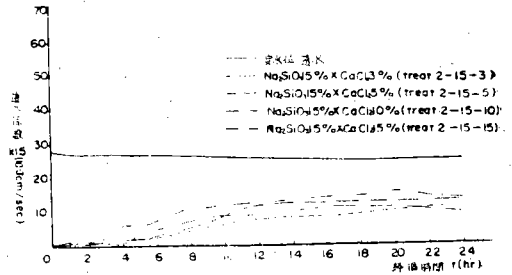


그림 13 藥液比率에 따른透水係數와 經過時間과의 관계(굵은모래)

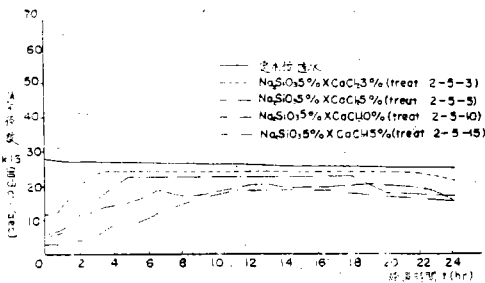


그림 10 藥液比率에 따른透水係數와 經過時間과의 관계(굵은모래)

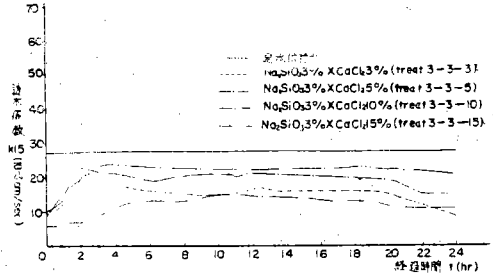


그림 14 藥液比率에 따른透水係數와 經過時間과의 관계(자갈섞인 굵은모래)

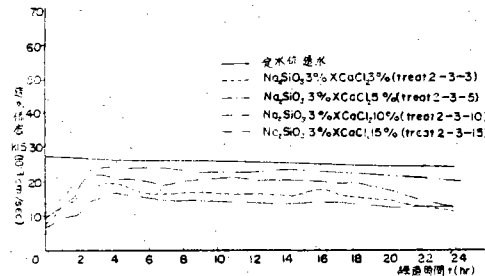


그림 11 藥液比率에 따른透水係數와 經過時間과의 관계(굵은모래)

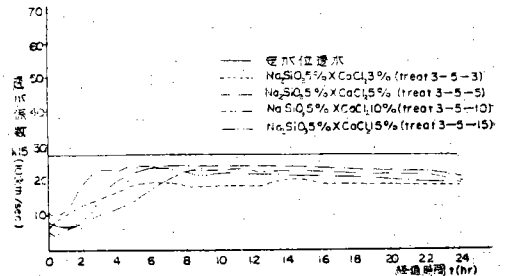


그림 15 藥液比率에 따른透水係數와 經過時間과의 관계(자갈섞인 굵은모래)

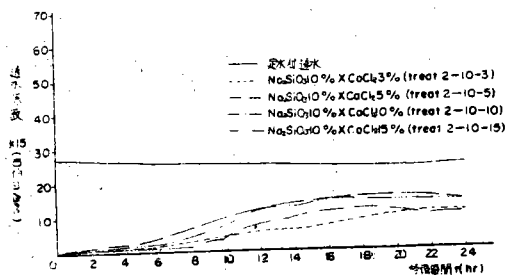


그림 12 藥液比率에 따른透水係數와 經過時間과의 관계(굵은모래)

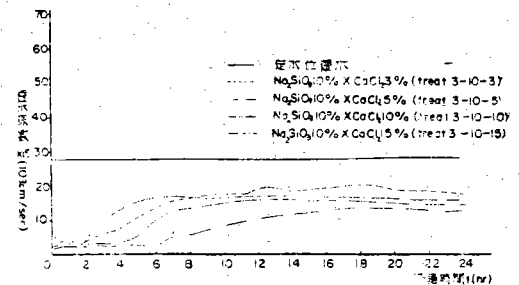


그림 16 藥液比率에 따른透水係數와 經過時間과의 관계(자갈섞인 굵은모래)

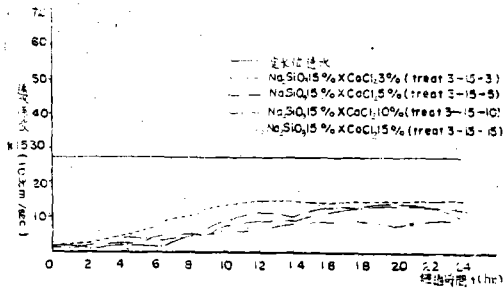


그림 17 藥液比率에 따른透水係數와 過經時間과의 관계(자갈섞인 굵은모래)

-3과 treat.2-15-3에서透水係數가 가장 작은 값을 나타냈다. 그림 14~17은 자갈섞인 굵은모래에 注入藥液의 濃度 및 比率를 變化시킨 것으로 第 1 液은 15%에서 더욱 좋은 結果를 나타내어 treat.3-15-15에서透水係數가 가장 작은 값을 나타냈다. 以上 48 個의 藥液注入區에서 나타난 것을 보면 藥液注入을 한 直後의 透水係數는 아주 작은 값을 나타내고 있으나 漸次 時間이 經過함에 따라 透水係數가 增大하여 20 時間이 經過하면 거의 定常狀態로 되고 있다. 이 透水係數가 增加하는 모양은 第 1 液의 濃度가 같으면 거의 類似한 曲線을 나타내고 있음을 알았다.

4. 結 論

아직도 試驗에 不充分한 點이 있고 今後 確認되어야 할 課題가 남아 있으나 本 試驗에서 얻은 結果만을 綜合하면 다음과 같다.

(1) 乾燥한 모래에 對하여 定水位 透水試驗을 하면 經過時間에 따라 透水量이 減少하여 大略 24 時間이 經過하면 거의 一定한 透水量을 維持한다.

(2) 試料층中의 空氣및 水中의 空氣로 因하여 恒常, 一定한 透水係數를 維持하지 않는다.

(3) 藥液注入 直後는 透水係數가 急激히 減少하나 漸次 增加하여 24 時間 後에는 거의 定常狀態를 維持한다.

(4) 注入藥液은 瞬間으로 藥固되므로 効果는 藥液注入直後부터 나타난다.

(5) 藥液注入의 効果는 主로 第一液(Na_2SiO_3)의 濃度에 左右되고 가장 理想的인 結果가 나타난것은 第一液의 濃度가 10~15%이었다.

(6) 藥液注入의 效果가 가장 理想的으로 나타난 區는 잔모래에서는 treat.1~15~5, 굵은모래에서는 treat.2~10~3, 자갈섞인 굵은모래에서는 treat.3~15~15이었다.

參考文獻

1. 神谷貞吉, 黑崎達二(1956) 藥液注入工法 土と基礎 Vol.4 No.1 pp.15

2. 三瀬貞, 鈴木健夫(1964) フェノール樹脂による藥液注入工法について 土と基礎 Vol.12 No.5 pp.11

3. 三瀬貞(1961) ケイ酸ナリトウムの 電解 固結による 土質安定法, 電氣化學的土質安定工法について, 大阪市立大學工學部 PP. 77

4. Nagaraj, T. S.(1964) Soil Structure and Strength Characteristics of Compacted Clay. Geotechnique Vol.Xiv.No.2 pp.103~114

5. Perrott W. E.(1964) Chemical Grouting on New Blank Wall Tunnel. Civ. Eng. & Public Work Review. Vol.59, No.693, pp.47~474

6. Cziglina, V.(1963). Die Grundung Von Industrie-Objekten und Wohngelauden mit Hilfe der Bodenverfestigung. proc. Int. Cont. Soil mech. & Found. Eng. Budapest, PP375~384.

7. Laguros J.G. Daridson D.T.(1963). Effect of Chemicalson Soil-Cement Stabilization Highway Res. Rec. Vol.36, pp172~203.

8. Pehre.M. C.(1962) Chemical Grout Stops Water in Pump Fill with 70 percent Voids Civil Engineering. Vol.32 No.9 pp44~46.

9. 渡邊貫 地質工學 PP.313.

10. 小貫義男 土木地質 pp.71

11. 土質工學會(日本)(1962) 外國文獻抄錄集 PP 143~145

12. 土質工學會(日本)(1963) 外國文獻抄錄集PP.275~287

13. 土質工學會(日本)(1964) 外國文獻抄錄集PP.154~158

14. 宇都宮壽夫譯(1957) 土の工學的性質PP.171~172

15. 土質工學會(日本)(1961) 土の透水試驗方法 土と基礎 Vol.9 No.5PP.51~54

16. 建設部 國立建設研究所(1967) 建設工學材料 試驗方法解説(土質編)PP.22~45.

17. Taylor:D.W.(1962)Fundamental of Soil Mecharcs pp.106

18. 藤井和(1966) 地盤注入手法に 關する考察 土木技術Vol.21 No.11

19. Laws W.D. & Page J.B.(1964) Silicate of Soda as a Soil Stailization Agent. H.R.B. Bullentin.

20. 三木五三郎, 山内豊聰(1959) 土質安定の理論と實際

21. 高橋國一郎(1961) 安定處理工法pp.111

22. 谷口三郎(1962) 土木施工法pp.280