

P~t Chart에 根據한 固結形狀의 豫測에 關한 研究

柳澤榮司* 崔允吉**

1. 研究의 目的

地盤改良(Soil Stabilization)의 手法은 주로 軟弱한 地層의 置換 혹은 除去, 軟弱地盤의 特性 改善 (化學的·熱的固化, 壓密·排水, 다짐), 鋼이나 纖維에 의한 補強으로 大別할 수 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 藥液注入工法은 地盤特性의 改善중 한가지의 工法으로서 주로 都市內의 地下空間을 形成시킬 때 사용되는 各種 工法, 즉 開鑿工法, Tunnel工法 切取面(막장)에서의 補強工法으로서 有效하게 이용되고 있다.

특히, 大都市에서의 土木工事は 地盤內에 既存의 各種 埋設物이나 建築物의 基礎, 通信網 등이 不規則하게 存在하고 地盤이 不安定化하기 쉬운 狀況에 있는 바 이것을 安定化시키기 위하여 藥液注入이 빈번히 이용되고 있다. 또한 地下水의 對策工으로서 溶出을 防止하는 止水나 壓縮·壓密效果에 의해 軟弱地盤의 強度를 增加시키는 것 등의 目的으로도 採用되고 있다.

대개 藥液注入工法은 地上 혹은 淺層地盤보다 深層地盤에서의 軟弱地盤對策工으로 利用되고 있는 工法으로서 深層地盤을 構成하고 있는 軟弱한 沖積地盤이나 洪積層, 新第三紀 岩盤이 風化된 帶水性의 風化土, 風化岩層까지 注入의 對象이 되고 있다. 最近 大都市에서의 地下鐵이나 共同構 등 深度가 깊은 地盤에서의 施工이 增加함에 따라 從來에 비해 確實한 注入效果의 期待가 커지고 있고 注入에 의한 地盤改良의 信賴性 向上에 의하여 恒久的 工事에도 많이 사용되는 등 藥液注入의 重要性이 넓게 認識되고 있다.

* 日本 東北大學 工科大學 土木工學科 教授

** 日本 東北大學 大學院 博士課程

藥液注入工法을 適用함에 있어, 注入前에 對象地盤의 基礎土質調査의 手法에 의해 性狀을 正確하게 把握하는 것이 가장 重要하다. 그 調査結果에 의해 注入의 目的에 副應한 改良範圍, 注入方式, 注入量, 注入效果認識方法 등의 檢討를 할 必要가 있다. 그러나 實際는 이와 같은 檢討의 過程이 생략되고 地盤改良만 의 意味로 注入이 行하여지고 注入後의 地盤의 性狀確認이 되지 않고 있는 것이 現象이다.

藥液에 關한 많은 注入條件에 의한 注入效果의 差異點에 대하여 有機的인 檢討가 아니고, 一般的인 注入條件중, 한가지를 上程하여 注入效果를 判斷하여 버리는 경우가 많다. 예를들면 深度에 의한 注入效果, 注入形態, 흙의 密度에 의한 注入壓 P 의 經時變化, 固結體의 形狀이나 體積간의 差 등에 대하여 實際面에서의 檢討가 되지 않고 있다. 또한 施工중에 있어서 地盤條件이나 藥液의 Gel-time이 關係하고 있기 때문에 注入壓 P 의 舉動이 무엇을 表現하고 있는가 등 基本的인 檢討가 되고 있지 않다. 이러한 理由로 注入중에 반드시 記錄되는 注入壓 data($P \sim t$ Chart)와 注入效果와의 關係가 明確하게 되지 않고, 效率이 좋으며 또한 效果向上에 連繫되는 壓力管理의 注入方法이 採用될 수 없는 것이 現象이다. 이러한 觀點으로부터 본 研究에서는 藥液注入에 의한 改良效果를 土質定數나 注入效果의 關係를 考慮하여 評價하는 方法에 대하여, 基礎的인 研究를 하고 있다. 上載壓 σ_v , 느슨한 또는 調密한 供試體나 藥液의 Gel-time을 急結·瞬結로 變化시키면서 그것에 의해 浸透注入과 割裂注入의 두가지의 形狀을 再現시켜서, 注入條件에 의한 注入壓 $P \sim t$ 經時變化, 固結體의 形狀이나 體積간의 差, 最終的으로 $P \sim t$ Chart에 의한 固結體形狀의 豫測에 關한 基礎的인 研究를 하고 있다.

2. 實驗概要

2.1 序論

藥液注入의 많은 注入條件에 의한 注入效果의 差異點에 대하여 有機的인 檢討를 위하여 直徑 300mm×높이 300mm의 圓筒型 Mold내의 砂質土에 대하여 上載壓을 加한 狀態로 Gel-time을 急結·瞬結로 變更함에 의하여 實驗을 하였다. 實驗에 이용한 모래와 矽砂6호, 矽砂7호, 阿武외川砂의 3種類이다. 供試體의 2種類로 上載壓은 0.5, 1.0, 2.0kg/cm²의 3種類로 藥液의 Gel-time은 5秒, 5分の 2種類로서 注入速度q는 500cc/min, 1000cc/min, 1500cc/min, 2000cc/min의 4種類로서 注入量은 每日 1200cc(A液 600cc, B液 600cc)이다.

2.2 試料의 物理諸量과 使用藥液의 物性

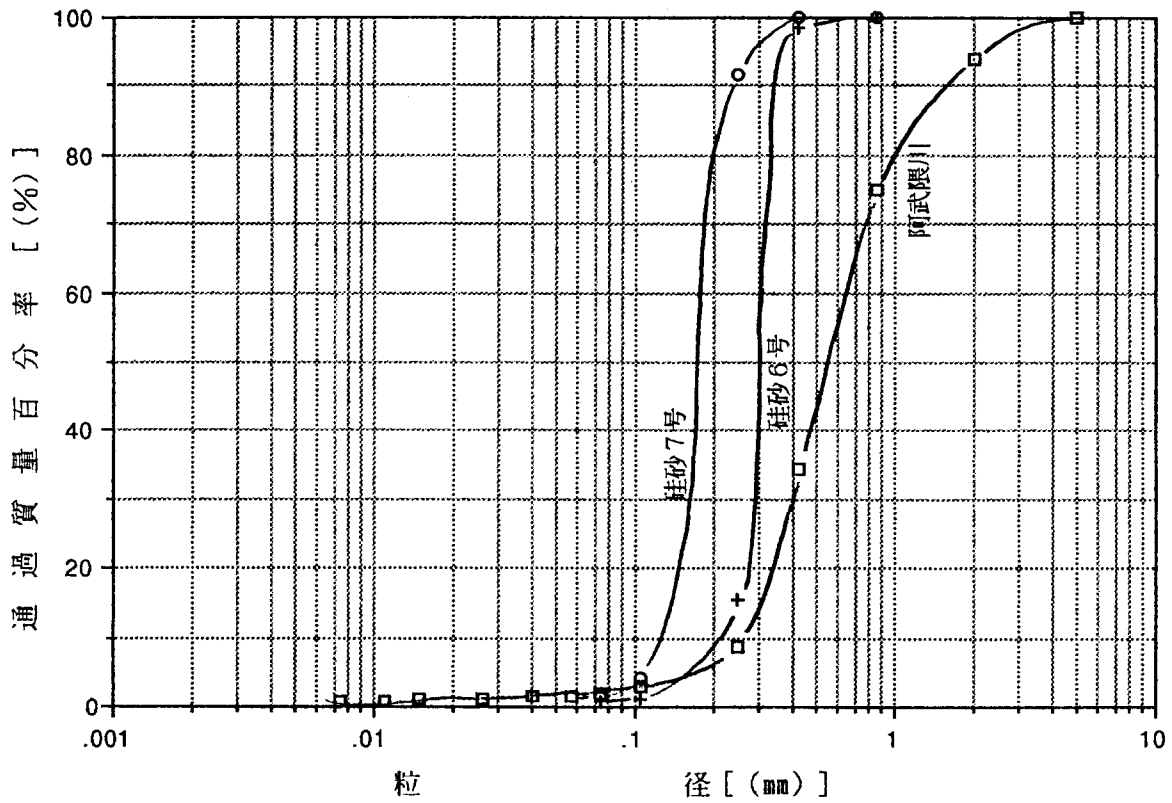
2.2.1 試料의 物理諸量

實驗에 利用한 矽砂 6호, 矽砂 7호, 阿武畏川砂의 粒徑加積曲線을 그림 2.1에 나타내었다. 또한 表 2.2에 物理諸量을 표시하였다. 最適含水比를 구하기 위한 다짐試驗은 반복법을 이용하였다.

2.2.2 使用藥液의 物性

實驗에 利用한 藥液은 注入材의 分類上 藥液係-水Grass係-비알칼리계-溶液形-실리카졸+Gel化 促進材로서 東亞合成化學工業株式會社의 藥液으로 主劑로서는 3호케이산 소다로서 有機反應劑의 硬化劑로서는 SR-Hi 急結材로서는 Aron, SR-B을 使用했다. 藥液의 性狀은 表 2.3에 表示하였다.

즉, A液은 主劑+水, B液은 硬化劑+急結材+水이다. 藥液의 配合基準은 表2.4에 나타내었다. 注入量은 각각 藥液 1000cc중 100cc는 Gel-time 測定用으로 900cc를 탱크에 넣어서 그 中 600cc로서, A, B液을 합쳐 1200cc 定量注入을 한다.



粘	土	シ	ル	ト	細	砂	粗	砂	細	礫	礫
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

그림 2.1 試料砂의 粒徑加積曲線

2.3 供試體의 製作方法

供試體의 치수는 內徑 300mm, 外徑 307mm, 높이 300mm의 中空圓筒形을 利用했다. 供試體의 形態를 그림 2.2에 나타낸다. 供試體의 製作方法은 Mold를 넣어서 底部中央으로부터 注入管(內徑 D=6mm, 外徑 D=10mm, 二重管 룯드)를 넣어서 設置한다. 注入管 先端에 Line Mixer(D=7.62mm L=35.56mm)를 테이프로 싸서 넣는다. 그 다음 試料의 砂를 각각 最適含水比의 狀態로 하여 ϕ 300몰드내에서 느슨한 供試體는 2.5kg람마를 利用하여 5層에 걸쳐 각각 50회 稠密한 供試體는 2.5kg람마를 利用하여 10層에 걸쳐 각각 50회로 다짐한다.

또한 느슨한 供試體의 경우는 3층(稠密한 供試體의 경우는 6층) 다짐後에 사의 注入管内로의 流入을 防止하기 위하여 룯드 先端部에 金網의 cap을 씌우는 한편 그 주위에 粒徑 2~4.75mm의 적은 粒子의 자갈을 濾터재로 插入한다. 또한 供試體의 頂部 및 底部에는 供試體 上下의 porus stone의 막힘을 防止하기 위하여 不織布를 插入하여 設置했다.

2.4 實驗裝置의 概要

본 實驗에 利用하는 實驗裝置의 概略圖를 그림2.3에 나타낸다. 實驗器上部의 壓密탱크에 의해 고무주머니에 물을 注入하여 供試體에 上載壓을 加한다. 또한 注入壓 變化의 變化狀態를 디지털 指示計로 確認하면서 인텔리전트 레코다로 記錄하였다.

表 2.2 各試料의 物理諸量

內 容	單 位	硅砂 6호	硅砂 7호	阿武?川砂
土粒子의 密度 ρ_s (비 중) G_s	g/cm^3	2.637	2.640	2.715
最適 含水比 W_{opt}	%	14	19	14.5
最大乾燥密度 γ_{dmax}	g/cm^3	1.573	1.483	1.654
最大 密度 ρ_{dmax}	g/cm^3	1.608	1.512	1.686
最小 密度 ρ_{dmin}	g/cm^3	1.279	1.171	1.379
均等係數 U_c	—	1.36	1.46	2.33
曲率係數 U_c'	—	1.10	1.04	0.94

表 2.3 藥液의 性狀

區 分	外 觀	比 重	臭	PH
3호 규산소다 (主劑)	液體	1.4	없음	12
Aron SR-Hi (硬化劑)	白色의 粒 flake狀	부피 比重 0.7	芳香	7
Aron SR-B (硬化劑)	白色의 粉末	부피 比重 1.4	없음	8

表 2.4 藥液의 配合基準

區分	品名	計	5秒	5分
主劑	3호 규산소다	1000cc	700cc + 水300cc	700cc + 水 300cc
硬化劑	Aron SR-Hi	1000cc	$\frac{30g}{110g}$ + 水 (殘)	$\frac{60g}{35g}$ + 水 (殘)
急結劑	Aron SR-B			
計		2000cc	1000cc	1000cc
Gel-time 測定水溫은 20℃ 基準이다. Gel-time의 基準은 5秒±2秒, 5分±30秒				

實驗의 順序는 밸브를 開閉하는 要領에 의거 이하와 같은 段階를 거쳐 進行된다.

- 제 1 段階 : 供試體(φ 300) 製作
- 제 2 段階 : 上載壓의 加壓
- 제 3 段階 : 試料飽和를 위한 通水
- 제 4 段階 : 藥液配合 및 Gel-time 測定
- 제 5 段階 : 透水試驗
- 제 6 段階 : 藥液의 注入
- 제 7 段階 : 上載壓의 除荷
- 제 8 段階 : 養生 (24시간후)
- 제 9 段階 : 注入固結體의 觀察
- 제 10段階 : 強度試驗 및 充填率 α 測定

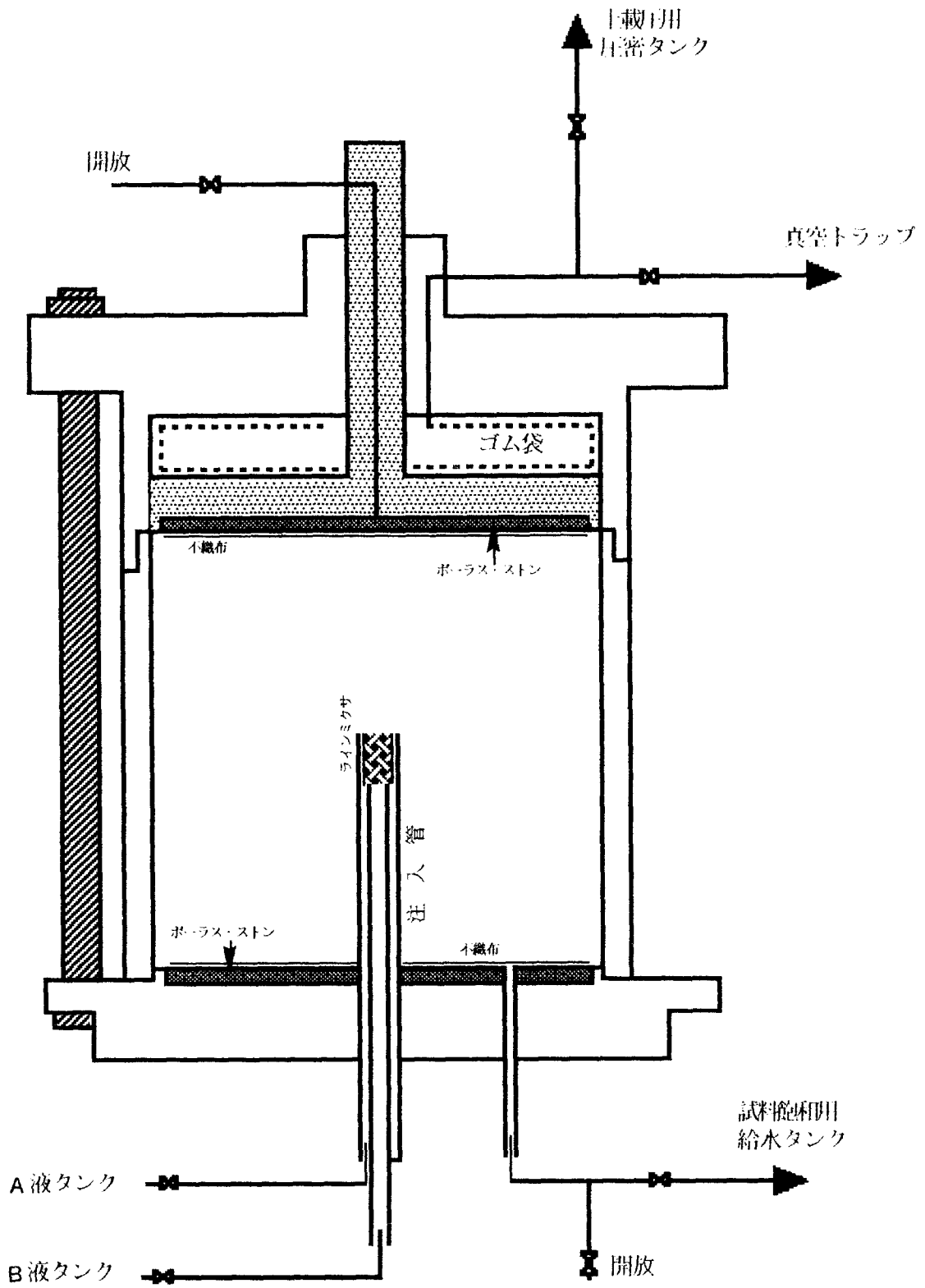


그림 2.2 Mold의 概要圖

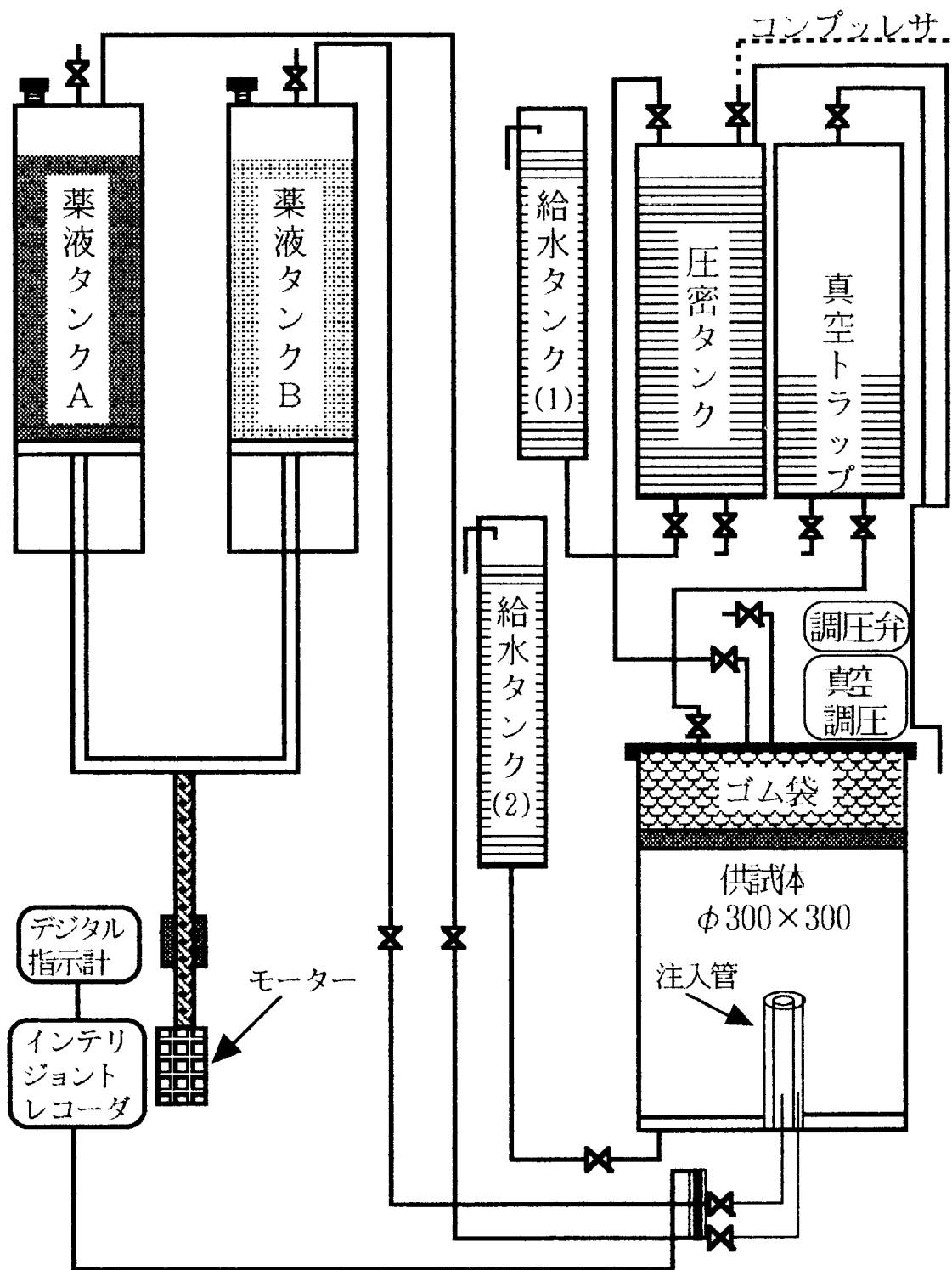


그림 2.3 實驗裝置 概要圖

3. P~t Chart에 근거한 固結形狀의 豫測에 關한 室內實驗 結果의 考察

3.1 序論

砂質土를 對象으로 한 藥液注入에는 藥液의 Geltime의 長短, 注入速度 q의 大小 등에 의하여 浸透注入만이 아니고 割裂注入이 될 可能性이 있다. 浸透注入과 割裂注入의 原理的인 差異點에 대하여는 다음과 같이 정의되고 있다. 浸透注入이 된 場所(地點)의 흙은 原地盤 自然狀態의 構造密度를 갖고 게다가 間隙이 注入材로 充填되어 粒子간에 結合된 狀態가 되기 때문에 強度는 增加하여 地盤은 不透水化되어 改良效果는 확실하게 된다. 한편 割裂注入으로 注入材는 Homogel, 즉 固結한 藥液自身만이 割裂된 空隙을 充填하는 바 割裂注入으로 形成된 脈狀部에 접한 周邊의 土中에는 注入材가 어느 정도 浸透한 形態가 되고 있다.

이와같이 砂質土에 있어서도 藥液의 Geltime의 長短등에 의해서는 浸透注入만이 아니고 割裂注入이 될 可能性이 있고 實現場에서도 脈狀 Homogel이 觀察되는 일이 있다. 그러나 脈狀 Homogel이 觀察되는 경우가 注入效果의 不充分한 것이라고 반드시 斷定되는 것이 아니라고 여겨진다.

現時點에 있어서는 砂質土에 있어서 浸透·割裂注入의 差異點에 의한 注入效果의 差에 대하여는 明確하게 정의되어 있지 않다. 藥液注入의 着手전에 注入效果를 精度 높게 豫測할 수 있다면 目標置를 겨냥한 注入의 施工 및 效果確認이 가능하게 되어 信賴性이 높은 注入設計·施工으로 發展되어 갈수 있다고 생각된다.

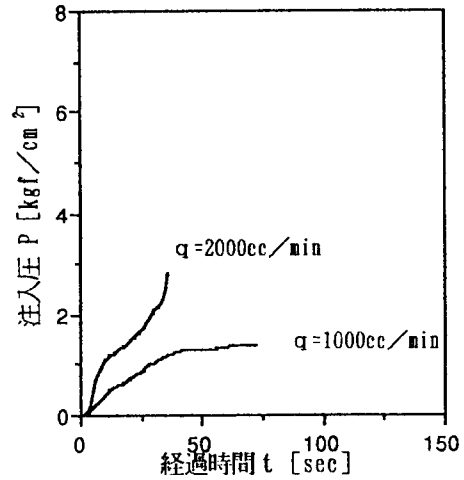
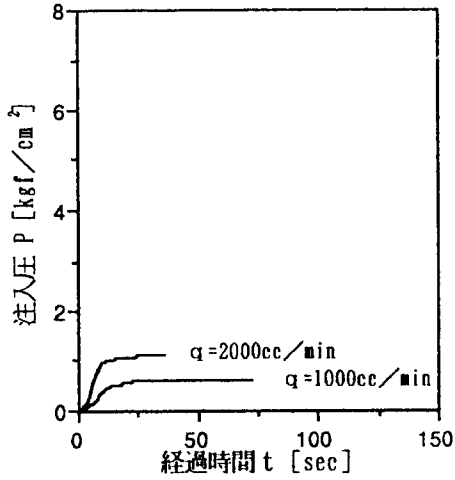
이를 위한 注入效果의 評價指標로서 固結砂에 注入藥液의 注入狀態, 즉 注入中の 注入壓 P의 變化에 基礎를 둔 固結形狀의 豫測에 관한 研究를 하였다.

3.2 注入中の 注入壓變化

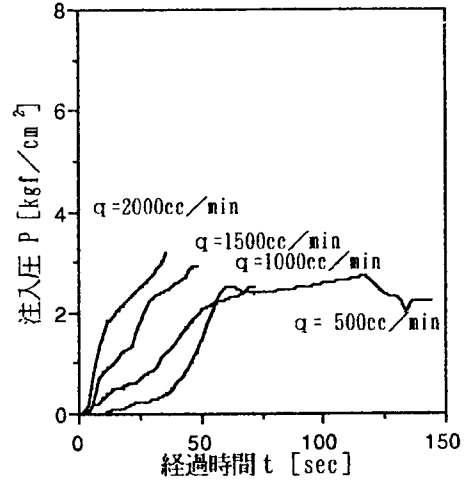
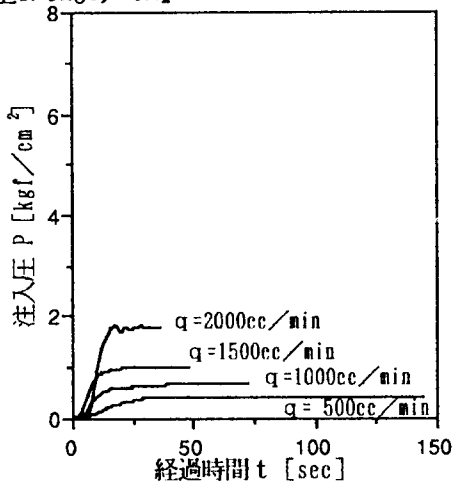
그림 3.1은 느슨한 供試體에 注入하였을때의 注入壓 P의 經時變化(P~t Chart)의 例이다.

緩結性薬液 ← ● → 瞬結性薬液

【上載圧0.5kgf/cm²】



【上載圧1.0kgf/cm²】



【上載圧2.0kgf/cm²】

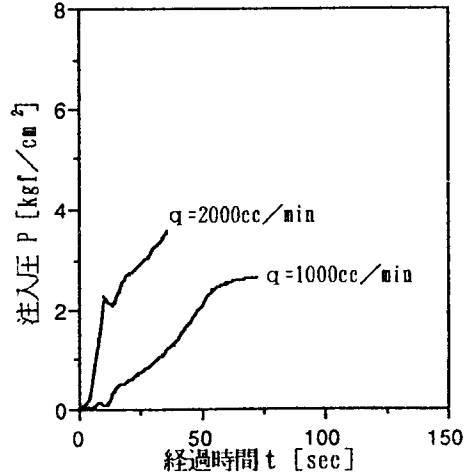
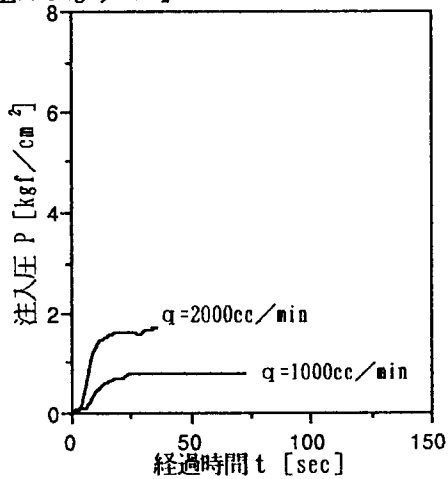


그림 3.1 注入壓의 徑時變化(P~t Chart)

-느슨한 供時體-

그림 右側의 注入中에 Gel化가 생기지 않는 緩結性藥液의 경우는 上載壓 σ_v 가 0.5kgf/cm²부터 2.0kgf/cm²까지 크게 됨과 동시에 注入速度 q가 빠를수록 注入壓 P가 큰 바 어떤 條件에서도 注入開始후 빠른 시기에 注入壓 P가 上昇하여 그 후에는 漸增하고 있을 뿐이다.

注入開始하여 처음에는 地盤의 間隙水壓에 對抗하기 위하여 또는 粘性抵抗에 의해 어느 정도의 注入壓 P가 必要하지만 그후는 그 狀態의 壓力으로 충분히 浸透가 可能하기 때문에 壓上昇이 적다고 생각되어진다. 특히 上載壓 σ_v 가 2.0kgf/cm²에서의 注入壓 P는 上載壓 σ_v 가 0.5kgf/cm²에서의 注入壓 P에 의한 注入速度 q에 의한 注入壓 P간의 差가 크다. 따라서 上載壓 σ_v 가 큰 경우의 注入壓 P의 管理에는 主意가 必要하다고 생각되어 진다.

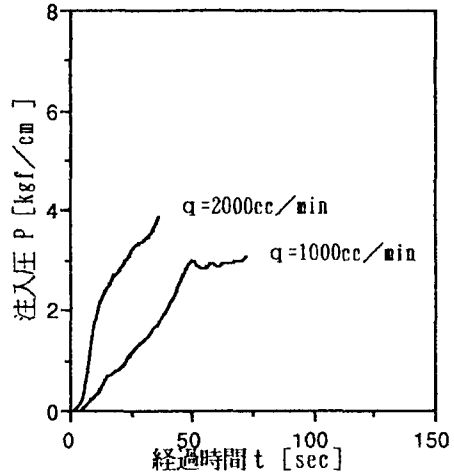
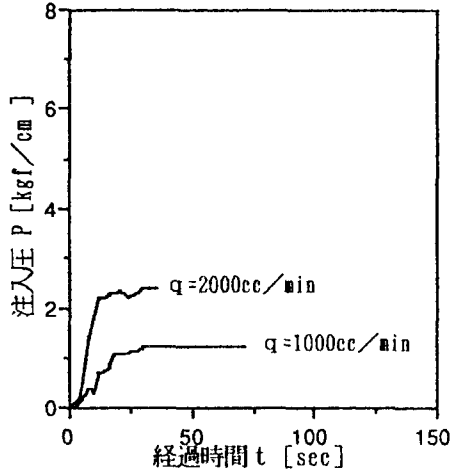
그림 右側의 注入中에 Gel化가 생기는 瞬結性藥液의 경우는 上載壓 σ_v 가 0.5kgf/cm²부터 2.0kgf/cm²까지 크게 됨과 동시에 한편 注入速度 q가 빠를수록 壓上昇은 緩結性藥液에 비하면 急激하거나 急傾斜이다.

어떤 경우에도 注入開始후부터 終了까지 上昇하고 있는 바 흐트러짐과 一時的인 注入壓 P의 低下가 보인다. 특히 上載壓 σ_v 가 2.0kgf/cm²의 경우 約 8秒부터 10秒 時點에서의 注入壓 P는 일단 低下하여 그후는 急上昇하고 있는 바 그때부터 Gel化에 의한 注入壓 P의 增加가 생기고 있다고 생각되어 진다. 瞬結性藥液의 경우 注入形態는 먼저 注入된 藥液으로 固結한 部分을 後續의 藥液이 貫入하여 藥液은 浸透가 進行되어 그것에 의해 壓力은 上昇傾向을 계속하고 있고 塊狀으로 固結하여 割裂注入이나 割裂浸透注入으로 된다고 생각되어 진다.

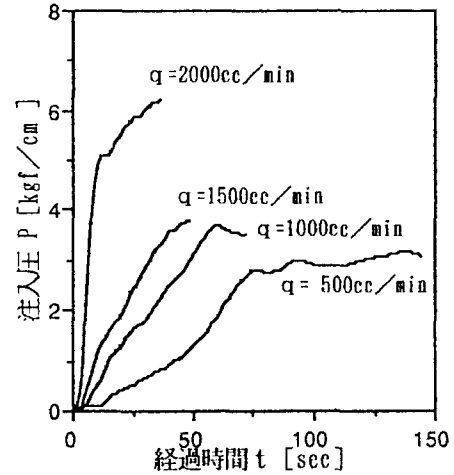
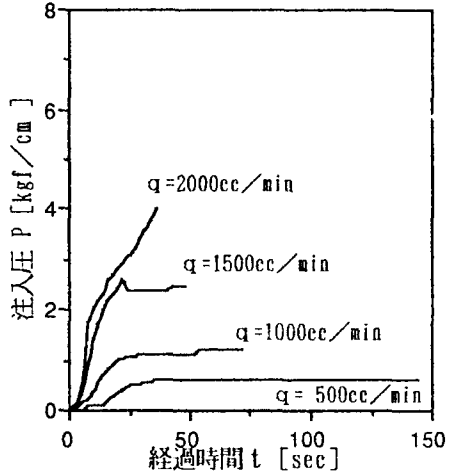
그림 3.2는 조밀한 供試體에 注入했을때의 注入壓 P의 經時變化(P~t Chart)의 例이다. 그림 左側의 注入中에 Gel化가 생기지 않는 緩結性藥液의 경우는 느슨한 供試體의 注入壓 P의 經時變化와 同一한 傾向인 바 上載壓 σ_v 가 1.0kgf/cm²의 注入速度 q=2000cc/min부터 上載壓 σ_v 2.0kgf/cm²까지의 注入壓 P는 注入開始후부터 終了까지 上昇하고 있다. 또한 上載壓 σ_v 가 2.0kgf/cm²에서의 注入壓 P는 上載壓 σ_v 가 0.5kgf/cm²에서의 注入壓 P보다 注入速度 q에 의한 注入

緩結性薬液 ← ● → 瞬結性薬液

【上載圧0.5kgf/cm²】



【上載圧1.0kgf/cm²】



【上載圧1.0kgf/cm²】

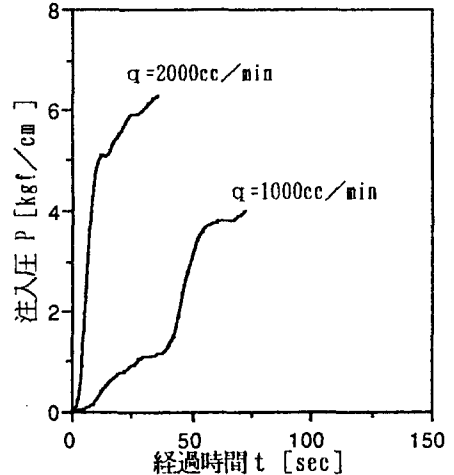
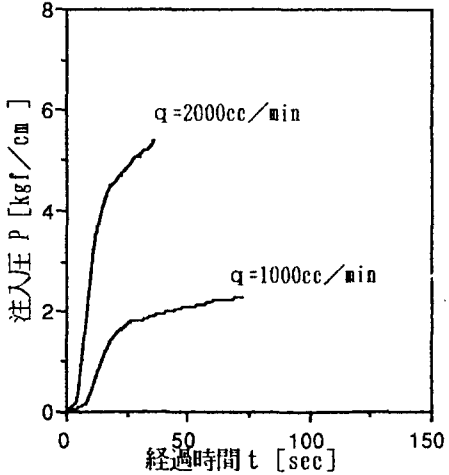


그림 3.2 注入壓의 徑時變化(P~t Chart)

-조밀한 供時體-

試料: 硅砂6号 · GT 5分

上 載 圧	注入条件	緩	詰	密	詰
	Q=1200cc	p~tチャート	固結体形状	p~tチャート	固結体形状
0.5	q=1000 cc/min Dr : 33 % V : 2840cc ³ α : 83 % Dr : 65 % V : 2670cc ³ α : 97 %				
	q=2000 cc/min Dr : 35 % V : 2740cc ³ α : 86 % Dr : 68 % V : 3030cc ³ α : 97 %				
2.0	q=1000 cc/min Dr : 40 % V : 2750cc ³ α : 87 % Dr : 73 % V : 2870cc ³ α : 99 %				
	q=2000 cc/min Dr : 42 % V : 2760cc ³ α : 84 % Dr : 71 % V : 2650cc ³ α : 82 %				

사진 3.1 注入條件에 따른 P~t Chart 및 固結體 形狀
- 硅砂 6號 · Gel-time 5分 · 上載壓 0.5, 2.0kgf/cm² -

試料: 硅砂6号 · GT 5分

上 載 壓	注入条件	緩 結		密 結	
	Q=1200cc	p~t Chart	固 結 体 形 状	p~t Chart	固 結 体 形 状
1.0	q = 500 cc/min Dr : 42% V : 2930cc ³ α : 82% Dr : 71% V : 2928cc ³ α : 104%				
	q = 1000 cc/min Dr : 34% V : 2870cc ³ α : 90% Dr : 69% V : 2930cc ³ α : 97%				
	q = 1500 cc/min Dr : 46% V : 2650cc ³ α : 85% Dr : 65% V : 2740cc ³ α : 95%				
	q = 2000 cc/min Dr : 36% V : 2380cc ³ α : 96% Dr : 69% V : 2860cc ³ α : 107%				

사진 3.2 注入条件에 따른 P~t Chart 및 固結體 形狀
-硅砂 6號 · Gel-time 5分 · 上載壓 1.0kgf/cm²-

試料: 硅砂6号 · Gel-time 5秒

上載 圧	注入条件	緩	詰	密	詰
	$Q=1200\text{cc}$	$p \sim 1\text{チャート}$	固結体形状	$p \sim 1\text{チャート}$	固結体形状
0.5 kg/cm ²	$q=1000$ cc/min Dr : 29 % V : 2690 cm ³ α : 85 % Dr : 72 % V : 2530 cm ³ α : 73 %				
	$q=2000$ cc/min Dr : 28 % V : 2630 cm ³ α : 69 % Dr : 71 % V : 2580 cm ³ α : 73 %				
2.0 kg/cm ²	$q=1000$ cc/min Dr : 33 % V : 2330 cm ³ α : 82 % Dr : 73 % V : 2610 cm ³ α : 74 %				
	$q=2000$ cc/min Dr : 34 % V : 2720 cm ³ α : 73 % Dr : 88 % V : 2620 cm ³ α : 88 %				

사진 3.3 注入條件에 따른 P~t Chart 및 固結體 形狀
- 硅砂 6號 · Gel-time 5秒 · 上載壓 0.5, 2.0kgf/cm² -

試料: 硅砂6号・GT 5秒

上 載 圧	注入条件	緩	詰	密	詰
	Q=1200 cc	p~tチャート	固結体形状	p~tチャート	固結体形状
1.0 kg/cm ²	q = 500 cc/min Dr : 32 % V : 2680 cm ³ α : 66 % Dr : 72 % V : 2780 cm ³ α : 74 %				
	q = 1000 cc/min Dr : 32 % V : 2480 cm ³ α : 66 % Dr : 73 % V : 2490 cm ³ α : 81 %				
	q = 1500 cc/min Dr : 31 % V : 2860 cm ³ α : 64 % Dr : 70 % V : 2697 cm ³ α : 84 %				
	q = 2000 cc/min Dr : 34 % V : 2610 cm ³ α : 73 % Dr : 72 % V : 2490 cm ³ α : 81 %				

사진 3.4 注入條件에 따른 P~t Chart 및 固結體 形狀
- 硅砂 6號・Gel-time 5秒・上載壓 1.0kg/cm² -

試料: 矽砂7号
阿武隈川砂

CT 5分

上 載 圧	注入条件	緩	詰	密	詰
	Q=1200cc	p~tチャート	固結体形状	p~tチャート	固結体形状
1.0	$q=1000$ cc/min Dr: 65% V: 2650cc ³ α: 103% Dr: 92% V: 3120cc ³ α: 84%				
	$q=2000$ cc/min Dr: 70% V: 2700cc ³ α: 91% Dr: 93% V: 3180cc ³ α: 93%				
	$q=1000$ cc/min Dr: 78% V: 3920cc ³ α: 58% Dr: 92% V: 4130cc ³ α: 76%				
	$q=2000$ cc/min Dr: 78% V: 4135cc ³ α: 72% Dr: 92% V: 4090cc ³ α: 64%				

사진 3.5 注入條件에 따른 P~t Chart 및 固結體 形狀
-矽砂 7號, 阿武隈川砂 · Gel-time 5分 · 上載壓 1.0kgf/cm²-

1. 緩結性薬液

[条件]

上載圧 : 0.5、1.0、2.0 kgf/cm²
 相対密度 : 緩詰め : 39 %
 密詰め : 69 %
 注入速度 : 500、1000、1500、2000
 (cc/min)



[結果]

p~tチャート : 単調増加
 固結形状 : 球状
 体積 : 2790cm³
 (±15%)

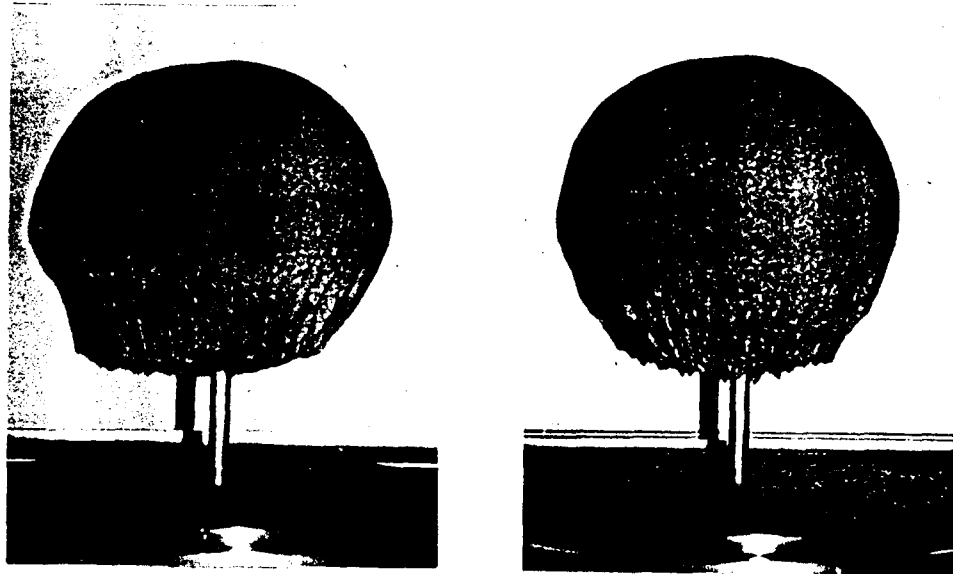
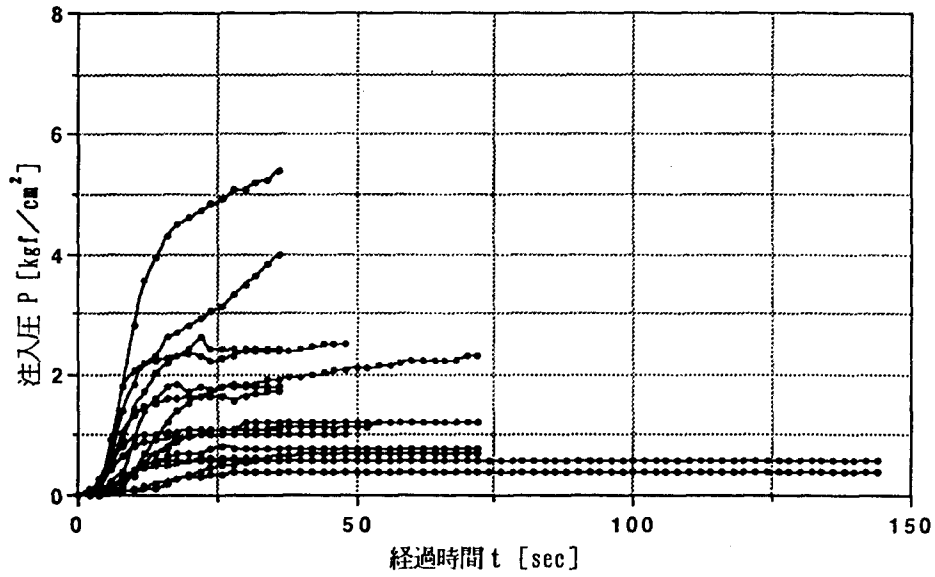


그림 3.3 P~t Chart와 固結形状
 -緩結性 薬液-

壓 P의 차이가 크다. 또한 느슨한 供試體보다 注入壓 P에 顯著한 차이가 보인다. 그림 右側의 注入中에 Gel化가 생기는 瞬結性藥液의 경우는 上載壓 σ_v 가 0.5kgf/cm²부터 2.0kgf/cm²까지 크게 됨과 동시에 한편 注入速度 q가 빠를수록 壓上昇은 크고 緩結性藥液에 비하면 急激하다. 어떠한 경우도 注入開始後부터 終了까지 注入壓 P는 急上昇하여 注入壓 P의 일시 低下나 흐트러짐이 보인다. 특히 上載壓 σ_v 가 2.0kgf/cm²의 경우는 上載壓 σ_v 0.5kgf/cm²보다 注入速度 q에 의한 注入壓 P에 顯著한 차이가 보인다.

3.3 P~t Chart에 의한 固結體 形狀의 豫測

3.3.1 P~t Chart에 의한 固結體 形狀의 豫測

寫眞 3.1과 3.2는 硃砂 6호에 Gel-time 5分の 緩結性 藥液을 注入한 P~t Chart에 의한 固結體의 形狀이다. 注入壓 P의 經時變化는 上載壓 σ_v 나 注入速度 q 간의 差는 있지만 흐트러짐이 거의 없는 單調增加를 나타내고 있다. 그것에 의해 固結體의 形狀은 거의 完全한 球狀이 되어 있다. 이 경우 理想的인 浸透注入이 되었다고 여겨진다.

寫眞 3.3과 3.4는 硃砂6호에 Gel-time 5秒의 瞬結性藥液을 注入했을때의 P~t Chart에 의한 固結體의 形狀이다. 上載壓 σ_v 나 注入速度 q에 의한 差나 흐트러짐이 觀察되고 있는 바 上載壓 σ_v 가 0.5kgf/cm²부터 1.0kgf/cm²까지는 不規則한 일그러진 形狀이 되고 있다. 그러나 上載壓 σ_v 가 2.0kgf/cm², 注入速度 q=2000cc/min의 경우 固結體는 거의 球狀에 가까운 形態가 되고 있다.

寫眞 3.5는 硃砂7호와 阿武외川砂에 上載壓 σ_v 가 1.0kgf/cm²일때 Geltime 5分の 緩結性 藥液을 注入했을때의 P~t Chart에 의한 固結體의 形狀이다. 圖上部의 硃砂7호의 경우 注入壓 P의 經時變化는 上載壓 σ_v 나 注入速度 q간의 差는 있지만 흐트러짐이 거의 없는 單調增加를 나타내고 있다. 그것에 의한 固結體의 形狀은 거의 完全한 形狀이 되고 있다. 이 경우에도 理想的인 浸透注入이 되었다고 여겨진다.

圖上部의 阿武畏川砂의 경우 注入壓 P의 經時變化는 上載壓 σ_v 나 注入速度

q간의 차는 있지만 흐트러짐이 거의 없는 單調增加를 나타내고 있다. 그것에 의한 固結體의 形狀은 거의 完全한 球狀이 되고 있다. 이 경우에도 理想的인 浸透 注入이 되고 있다고 여겨진다.

3.3.2 緩結性藥液에 의한 固結體 形狀

그림 3.3은 緩結性藥液을 이용했을때의 P~t Chart와 固結形狀을 나타내고 있다. 注入中에 Gel化가 생기지 않는 緩結性藥液의 경우 注入條件 즉 上載壓 σ_v · 다짐의 정도 · 注入速度 q 등에 關係없이 P~t Chart는 單調로 增加하고 있다. 그러나 빠른 注入速度 q나 上載壓 σ_v 가 클때는 적은 흐트러짐을 同伴하지만 이 적은 흐트러짐은 注入中 Gel化가 생기지 않는 것을 생각할때 느슨한 供試體의 경우는 약한 內部의 構造가 注入壓 P에 의하여 崩壞하는 것에 의해 局所的 割裂이, 조밀한 供試體의 경우도 극히 限定된 領域에서의 局所的 割裂이 發生했다고 생각된다.

注入速度 q 일정의 注入結果로서의 P~t Chart를 이용하여 固結形狀을 推定할 경우 Geltime이 注入時間보다 긴 緩結性藥液의 경우는 粒子間 浸透에 의한 均質한 固結이 可能하다고 생각되어 진다. 注入條件에 의하여 注入壓 P의 變化의 차는 있지만 實驗結果도 實로 完全한 球狀이 되고 있어 良好한 狀態에서의 浸透注入이 행하여 졌다고 생각되어진다.

3.4.3 瞬結性藥液에 의한 固結體形狀

그림 3.4는 瞬結性藥液을 이용했을때의 P~t Chart와 固結形狀을 나타내고 있다. 注入中에 Gel化가 생기는 瞬結性藥液의 경우는 注入條件 즉 上載壓 · 다짐의 정도 · 注入速度 q 등에 의하여 P~t Chart는 單調적인 增加를 나타내지 않고 Gel化에 따른 注入開始부터 終了까지 不規則적인 흐트러짐을 보이며 線形性으로부터 크게 이탈하여 上昇增加傾向을 나타내고 있다.

이 不規則적인 흐트러짐이나 注入壓 P의 急上昇은 注入中에 Gel化가 생기는 것을 생각할 때 먼저 注入된 藥液으로 固結한 部分을 다음의 藥液이 그 部分을 뚫고 들어가면서 얇은 割裂脈中이 形成되기 때문에 그 抵抗에 의한 높은 注入壓

P의 影響으로 일단 發生한 割裂이 不安定하게 進展하여 進展性 割裂이 發生했다고 생각할 수 가 있다. 注入結果로서의 P~t Chart에 의해 固結形狀을 推定한다면 注入條件에 의해 注入壓變化의 差는 있지만 거의 方向性을 갖지 않는 일그러진 形狀이 된다고 생각되어진다. 그러나 이 瞬結性藥液의 경우도 높은 上載壓 σ_v 나 빠른 注入速度 q의 경우 즉 上載壓 σ_v 2.0kgf/cm², 注入速度 q=2000cc/min 부터 거의 球狀이 되는 것은 注意가 必要할 것이다.

瞬結性藥液의 경우에는 深度가 깊은 地盤에 빠른 注入速度 q의 條件에서 注入하면 最大의 注入效果를 얻을 可能性이 있다는 것을 나타내고 있다.

2. 瞬結性薬液

[条件]

上載圧 : 0.5、1.0、2.0 kgf/cm^2

相対密度 : 緩詰め : 32 %

密詰め : 72 %

注入速度 : 500、1000、1500、2000
(cc/min)

[結果]

p~tチャート : 乱れがある
急上昇

固結形状 : 歪んだ形から
ほぼ球状

体積 : 2610cm^3
($\pm 12\%$)

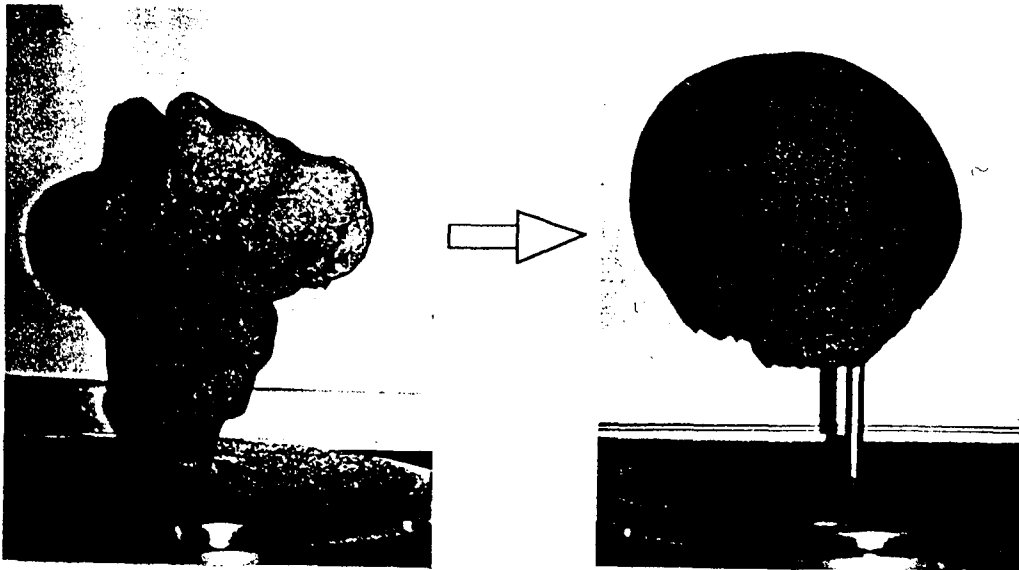
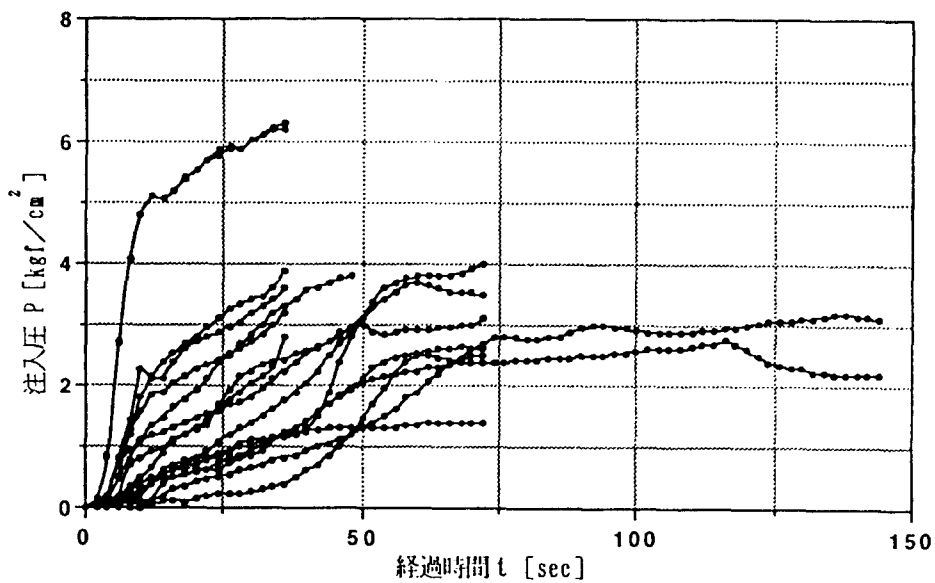


그림 3.4 P~t Chart와 固結形状
-瞬結性 薬液-

結 論

본 研究의 結果를 정리하면 다음과 같이 된다.

$P \sim t$ Chart에 의한 固結體의 形狀은 緩結性藥液의 경우 각각의 注入條件에 의하여 注入壓 P 의 差는 있지만 全體積으로 볼 때 거의 흐트러짐이 없는 線形性이다. 注入結果로서의 固結形狀은 전부 球狀이 되어 理想的인 浸透注入이 행하여 지고 있다.

瞬結性藥液의 경우 일정한 注入壓 P 의 變化는 보이지 않고 꽤 큰 起伏이 보인다. 注入結果로서의 固結形狀은 일그러진 形狀이다. 그러나 上載壓 σ_v 가 높을수록 또한 注入速度 q 가 빠를수록 固結體의 形狀은 거의 球狀이 되는 것을 증명했다.

参考文献

- 1) 土質工學會：地盤改良の調査・設計から施工まで，1981
- 2) 土質工學會：軟弱地盤対策工法一調査・設計から施工まで，1988
- 3) 土質工學會：薬液注入工法の調査・設計から施工まで，1990
- 4) 日本材料學會土質安定材料委員会：地盤改良工法便覧，1991
- 5) 日本薬液注入協會：薬液注入工法の設計・施工指針，1989
- 6) 島田俊介・佐藤武・多久質共著：最近の地盤注入工法，理工圖書，1977
- 7) 森 麟，田村昌仁，福井儀弘：ゲル化時間の短い薬液による砂地盤の割裂現象と浸透メカニズム，土木學會第43回年差學術講演會講演概要集，第Ⅲ部門，1988
- 8) 東亞合成化學：超高强度處方アロンSR-Hi,H・3-7-02-BR
- 9) 川地武，喜多大三：薬液注入地盤における注入材の分布と注入効果，土と基礎，VOL35, No5, 1987
- 10) Reuben H. Karol：Chemical Grouting, 1990
- 11) 垂水尚志，關根悦夫，荒木進，岩佐弘，關口智之：P～q曲線及び P～tチャートに基づく注入形態の検討，薬液注入工法における注入効果の豫測確認に関するシンポジウム，土質工學會，1993
- 12) 森麟，林忠，入谷剛：注入中の P～tチャートの壓力變化による割裂狀況豫測の可能性について薬液注入工法における注入効果の豫測確認に関するシンポジウム，土質工學會，1993
- 13) 森麟，田村昌仁，平野學：ゲル化時間の短い薬液による注入壓の特徴について，第22回土質工學研究發表會，1987