

# 試料의 두께, 荷重增加率 및 載荷時間이 壓密特性에 미치는 影響

## Studies on the Influence of Sample thickness, Load Increment Ratio and Load Increment Duration on Consolidation Characteristics.

柳 能 桓\* · 姜 又 默\*\*

Neung hwan Ryu , Yea Mook Kang

### Summary

Under the various variations of the sample thickness, the load increment ratio and the load increment duration, this consolidation test of the clay in the Asan Bay was tried for the comparison with the standard consolidation test. The results gained are as follows;

1. The void ratio variations of the leached-clay samples were increasingly high, according as the sample thickness thinned and the load increment duration and the load increment ratio increased.
2. The coefficient of consolidation were increased with the increment of the sample thickness, of the load increment ratio and of the load increment duration. Near the pre-consolidation load, the coefficient of secondary consolidation had the maximum value and lessened with the increment of the sample thickness, and of the load increment duration.
3. The value of the pre-consolidation load increased in proportion to the increment of the sample thickness and the decrease of the load increment ratio and the load increment duration.
4. The compression indices increased as the increment of load increased and decreased as the sample thickness increased.
5. The initial compression ratio increased as the sample thickness, the load increment ratio and the load increment duration decreased. The ratio of primary compression to the secondary decreased with the increment of the sample thickness and of the load increment ratio.
6. The time at the completion of primary consolidation increased with the increment of the sample thickness and of the consolidation load, and with the decrease of the load increment ratio.
7. The compression indices increased as the sample thickness lessened and decreased

\* 江原大學校 農科大學 農工學科

\*\* 忠南大學校 農科大學 農工學科

as the load increment ratio increased. The coefficient of consolidation increased according as the sample thickness, the load increment ratio and the load increment duration went up. The settlement at the construction site should be calculated highly in proportion as the sample thickness lessened and the load increment ratio increased. The consolidation ratio is thought to be accelerated if the sample thickness and the load increment ratio becomes higher and the load increment duration longer.

## I. 緒 論

地盤上에 荷重이 作用하면 沈下가 일어나고 이들 沈下의 양상은 그 地盤을 構成하고 있는 흙의 組成, 含水比, 飽和度 및 載荷條件에 따라서 다르게 된다. 특히 飽和된 粘土地盤인 境遇에는 沈下 期間도 길고 沈下量도 크게 되기 때문에 土木構造物의 安定에 큰 問題를 惹起 시키고 있다.

軟弱地盤의 沈下는 여러가지 複合的인 要素를 包含하고 있으나 大部分은 空隙에 包含되어 있는 물의 排水에 의하여 일어나고 이와 같은 壓密作用은 地盤에 築造된 構造物에 의한 地盤沈下의 크기, 沈下進行의 계속 시간의 推定 및 壓密進行에 따른 흙의 力學的 強度의 增大等의 重要한 問題를 內包하고 있다. 이와 같은 문제점을 解決하기 위해서 壓密試驗이 實施되고 있으나 이들 試驗結果를 適用하는 妥當性與否는 試驗結果의 精密度 및 試驗條件이 問題가 된다. 卽, 實際의 地盤沈下는 壓密荷重의 時間的 變化, 剪斷變形에 의한 沈下, 地盤의 不均一性, 等이 問題가 되고, 實驗室에서 實施되는 壓密試驗에 있어서는 側面摩擦, 載荷時間, 荷重增加率, 測定時의 外界溫度, 試料의 初期 空隙比 및 試料의 두께에 따라서 壓密試驗結果가 서로 다르게 나타날 수 있기 때문에 現場條件을 實驗室에서 그대로 再現한다는 것도 극히 힘든 일이다.

現場에서 試料를 採取할 때 直接 間接으로 試料에 攪亂이 發生하나 最近에는 試料 採取器의 開發로 物理的 攪亂은 거의 除去할 수 있으나 地下水位以下에서 試料를 採取할 때 는 靜水壓의 減少에 의한 影響은 完全히 除去하지 못하고 있다.

實驗室에서 壓密試驗을 할 때 供試體와 壓密 ring 內的 接觸面에서 發生하는 摩擦抵抗을 無視해서는 안된다. 또 壓密試驗에서 한 段階의 壓密時間을 24 時間으로 規定하고 있으나 實際로 壓密理論이 適用되는 一次壓密終了點까지의 時間은 몇 시간 程度로 되고 壓密時間의 大部分이 二次 壓密에 屬하기 때

문에 急速壓密試驗法이 提案되고 있다. 一定한 有效應力에 따라 進行되는 粘性土의 骨格의 Creep 現象인 二次壓密의 크기는 壓密層의 두께나 載荷時間에 따라 變化되기 때문에 標準壓密試驗法에서 規定하고 있는 壓密時間, 試料의 치수도 土層의 두께에 따라 補正하는 方法이 必要 할 것으로 생각된다.

또 壓密試驗法에서 荷重增加率  $\left(\frac{\Delta P}{P}\right)$ 을 1로 規定하고 있으나 實際土層에서는 荷重增加率이 一定하지도 않고 오히려 이보다 작은 境遇가 많다. 따라서 室內試驗에서도 實際의 現場條件과 同一하게 荷重增加率을 取하지 않으면 이로 因한 影響은 避할 수 없을 것이다.

空隙水의 흐름은 Darcy의 法則에 따르고 流量은 透水係數 및 動水傾斜에 反比例하며 또 透水係數는 空隙水의 粘性係數에 反比例하고 물의 粘性係數는 溫度에 따라 變化하나 實際의 土層에서는 地表面 近處를 除外하면 年中 地溫은 大略 큰 差異가 없기 때문에 壓密試驗에서도 一定한 溫度를 維持할 수 있는 室內에서 實施한다면 큰 差異는 없을 것으로 생각된다.

以上 論한 바와 같이 標準壓密試驗法에서 規定하고 있는 壓密試驗條件은 現場條件과 다르기 때문에 實驗室에서 壓密試驗에 依하여 推定한 沈下量과 實際의 地盤의 沈下量은 差異가 있을 것으로 예상된다.

이와 같은 點에 着眼하여 本研究에서는 試料의 두께가 壓密의 特性에 미치는 影響을 調査하기 위해서 試料의 두께를 25mm, 20mm, 15mm 및 10mm로 제조하여 壓密量과 試料의 두께와의 關係를 調査하였고 荷重增加率이 壓密特性에 미치는 影響을 調査하기 위해서 荷重增加率을 各各 3, 2, 1, 0.5로 하여 壓密特性을 比較하였고 載荷時間이 壓密特性에 미치는 影響을 調査하기 위해서 載荷時間을 48 時間, 24 時間, 12 時間, 6 時間 및 3 時間으로 壓密試驗을 實施하여 壓密 諸係數와의 相互關係를 調査分析하였다.

## II. 研究史

壓密에 의하여 地盤沈下를 促進시켜 土木工事に 利用한 最初의 例는 1810년에 Telford가 Caledonia 運荷의 河床工사에서 55ft의 흙으로 Pre-loading을 實施하여 沈下시킨 후 工事를 한 일이 있고 壓密沈下現象에 對하여 實驗의으로 解明을 試圖한 사람은 Frontard이며 그는 直徑 14 inch, 두께 2 inch의 粘土試料를 만들어 荷重을 加한 結果 載荷後 5日만에 沈下가 끝났다고 報告했고, (41) 그 後 1914년에 Forchheimer도 여러가지 實驗 Data로 부터 簡單한 計算公式를 만들었다고 한다.

壓密의 嚴密한 數學的 解析은 1923년에 Terzaghi (42)가 最初로 壓密理論을 發表한 後 Cassagrande (43)는 先行荷重의 決定法을 發表했고, Taylor (44)의 壓密係數 決定法, Skempton (45)의 二次壓密係數와 的關係 및 Merchant와 Taylor의 二次壓密, Barton의 Sand drain에 의한 二次元放射流에 관한 壓密論 및 Biot의 三次元壓密等의 研究가 試圖된 것이나 아직까지 Terzaghi의 理論을 反證 할만한 理論은 대두되지 않고 있다. 川上 (46)等은 載荷後 經過時間에 따른 壓密沈下現象은 土粒子가 Random構造에서 配向構造로 變化되는 現象이라고 하였다.

Brinch-Hansen (47)은 2個의 同一試料에 對하여 載荷重을 100→110→120→130t/m<sup>2</sup>와 100→130t/m<sup>2</sup>로 區分하여 試驗을 하였을 때 前者가 沈下量은 작았다고 報告 한 바 있다.

石塚 (48)는 荷重增加率이 크면 同一壓密度에 이르는 데 要하는 時間은 짧다고 했고 沢田 (49, 50)는 다짐 不飽和土에 對한 壓密試驗에서 二次 壓密係數와 荷重增加率은 關係가 별로 없고 初期壓縮比는 荷重增加率의 增加에 따라 커지며 空隙水壓의 消散量도 많다고 하였다.

Singh (51)은 塑性이 큰 有機質粘土에 對한 壓密試驗에서 類似先行荷重은 荷重增加率이 增加함에 따라 커지고 自然堆積粘土에서는 陰이온인 粘土鑛物과 Na<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>, Fe<sup>+++</sup> 등의 陽이온 鑛物이 中和되어서 堆積된 후 時間이 經過함에 따라 陽이온 鑛物이 溶脫作用에 의하여 土粒子가 不均衡狀態로 되고, 이와 같은 土層에 荷重이 作用하면 그 粒子構造는 安定狀態로 變化된다고 하였다.

網干 (52, 53)은 荷重增加率의 壓縮指數에 對한 影響은 荷重增加率이 1/4보다 적은 境遇 이외에는 큰

影響을 받지 않는다고 報告 한 바 있고, Newland (54)는 壓縮指數의 값은 試料의 두께나 荷重 增加率에 影響을 받지 않으며 二次壓密係數는 荷重增加率이 커짐에 따라 減少 하고 荷重增加率이 10以上으로 되면 二次壓密係數의 값은 0에 收斂한다고 發表 한 바 있다.

Altschaeffl (55)等은 荷重增加率이 작을 때 土粒子 사이의 滑動作用은 어느 制限된 부분에서 단 일어나기 때문에 壓縮量은 荷重增加率이 클때보다 작게 되고 持히 荷重增加率이 0.4보다 작으면 壓密曲線은 原來的 處女曲線에서 分離되므로 Cassagrande의 方法으로는 先行荷重을 求하기 어렵다고 하였다 Taylor (56)에 의하면 壓密過程에서 荷重增加率이 작으면 壓密이 徐徐히 進行되므로 沈下量도 現場條件과 實驗室에서의 載荷條件이 同一하지 않으면 相當한 差異가 일어난다고 하였다.

Burmister (57)에 의하면 軟弱粘土에 荷重增加率을 작게 하여 壓密試驗을 하면 沈下量에 큰 影響을 주지 않으며 Boston Blue Clay에 對한 壓密試驗에서 7段階의 荷重을 一週日間に 걸쳐 載荷하였을 때와 85日間に 50段階의 荷重을 載荷하였을 때의 空隙比 荷重曲線은 별 差異가 없었다고 發表 한 바 있다.

Terzaghi (58)는 生成過程에 徐徐히 荷重이 增加된 堆積粘土가 攪亂되지 않았을 때에는 그 粒子를 둘러 싸고 있는 吸着水膜 사이에서 rigid bond를 나타내며 이때 土粒子의 吸着水膜은 강한 結合력을 나타내므로 e-log $p$  曲線은 荷重 增加에 따라 平平한 曲線狀을 이루며 攪亂이나 過重한 荷重, 即 室內試驗에서는 rigid bond state를 破壞하여 lubricated bond state로 變化시키기 때문에 荷重增加에 대한 空隙比의 減少는 自然狀態보다 훨씬 커서 e-log $p$  曲線의 기울기는 훨씬 크게 나타난다고 하였다.

Bishop (59)은 Pancone 粘土에 對한 壓密試驗에서 loge-log $t$ 의 關係는 直線狀을 보였고 容積變化와 軸方向 變形量은 100日까지는 log $t$ 와 直線狀을 이루나 長期間에 걸쳐 載荷할 境遇에는 荷重 增加率이 큰 便이 壓密量도 크게 나타났다고 報告 한 바 있다.

清水 (60)는 正規壓密粘土에 對한 沈下量과 理論式에 의한 沈下量을 比較檢討하기 위하여 土粒子의 構造骨格 模型을 만들어 荷重增加率과 沈下量과의 關係를 調査 한 바 있다.

Singh (61)은 側面摩擦의 影響을 調査하기 위하여 試料의 두께를 1 inch와 8 inch로 하여 壓密試驗을 할 때 壓密 ring內에 silicon grease를 使用해서 試驗 事實이 있고 石井 (62)는 二次壓密 現象은 壓密

層의 두께에 따라 현저히 다르게 나타난다고發表하였다.

島田<sup>(63)</sup>는 흙댐 築堤用土에 含水比를 最適含水比前後로 調節하여 一定 期間 放置 한 후 壓密試驗을 한 結果 試料의 두께가 작을 때 二次 壓密比는 크게 나타난다고 하였다.

이외에도 Karol<sup>(64)</sup>, Mesri<sup>(65)</sup>, Mac Farlane<sup>(66)</sup> 山内<sup>(67)</sup>, 山本<sup>(68)</sup>, Northey<sup>(69)</sup>, (Moh)<sup>(70)</sup> 등도 시료의 두께와 二次壓密 特性에 對하여 研究 한 바 있다.

Brinch-Hansen<sup>(71)</sup>은 반죽된 冰河粘土에 對한 壓密試驗에서 二次壓密은 載荷時間과는 無關함을發表하였고 Singh<sup>(72)</sup> 등은 Kerala의 有機質粘土(LL: 172%, PL: 57%, Clay: 65%)에 對한 壓密試驗에서 先行荷重은 載荷期間이 길수록 크게 나타났다고發表하였다.

Thompson<sup>(73)</sup>은 Cambridge 粘土에 對한 壓密試驗에서  $\sqrt{P}$ 法으로 表示한 壓密壓은 載荷初期에는 直線的으로 增加하고, 時間이 經過함에 따라서 土粒子 構造粘性 때문에 沈下率은 減少現象을 나타냈다고 報告 한 바 있다.

Leonards<sup>(74)</sup>는 Mexico의 Black clay를 地下 6.4m 와 7.5m에서 採取하여 7×7×12 inch의 試片을 만들어 壓密試驗을 한 結果 載荷期間이 길때 二次壓密은 先行荷重에 의한 影響을 더 많이 받는다고 하였다.

Tan<sup>(75)</sup>은 深層粘土의 沈下量을 載荷量과 時間의 函數로 表示하는 理論式을 提示 한 바 있다.

Mesri<sup>(65)</sup>는 廣範圍한 壓密試驗結果의 資料 分析에서 二次壓密은 空隙水壓 消散率과는 거의 無關하고 變形指數( $C_u/C_c$ )가 增加되고 또 過壓密比( $P/P_c$ )가 減少함에 따라서 壓密度-時間係數 곡선에서 그 末端部分의 屈曲現象 및 S字形의 壓密曲線은 나타내지 않는다고 報告 한 바 있다.

Moh<sup>(68)</sup>는 Bangkok 附近의 Chao Phraza 平野의 地下 33m 地點에서 採取한 粘土의 壓密試驗에서 載荷期間을 길게 할 수록 壓密試驗結果에서 얻어진 先行荷重의 값은 작아지는 傾向을 나타냈다고 報告하였다.

Deskar<sup>(76)</sup>는 Kuttanad의 有機質粘土에 對한 壓密試驗에서 類似先行荷重은 壓密後 相當한 時間이 經過된 後에 發生 된다고 하였다.

三田<sup>(77)</sup>는 420 $\mu$ 계 通過試料를 攪亂시킨 후 一箇月 程度 放置 한 후 50×120mm의 크기로 供試體를 製作하여 載荷時間을 各各 1日, 3日, 1週日, 3週日의 4種類로 하여 荷重-變形量을 求한 바 있다.

Harvey<sup>(78)</sup>에 의하면 一次壓密은 時間係數의 값이 2보다 작은 範圍에서 完了되고 二次壓密은 時間係數가 2를 超過하였을 때 發生되며 log  $T_v$ 와 直線關係를 이룬다고 하였다.

Buisman<sup>(79)</sup>은 長期間의 實驗結果에 의하여 沈下 量-時間 曲線으로 부터 二次 壓密을 求하는 方法을 提案하였다.

Rutledge<sup>(80)</sup>에 의하면 側方向의 變位에 의한 沈下量은 매우 크고 側面拘束을 하고 壓密試驗을 하면 이 拘束力 때문에 壓密의 機構를 正確하게 파악하기 곤란하다고 했다.

우리나라에서는 1964년에 秦<sup>(81,82)</sup>이 軟弱 粘土地盤의 空隙水壓을 測定하여 有効應力에 의한 安定解析法을 紹介 한 바 있고, 姜<sup>(83,84)</sup>은 방죽지방의 海成 沖積粘土(LL: 80%, PL: 48%,  $W_L$ : 86%)에 대한 압밀시험에서 載荷時間을 1時間으로 한 急速壓密試驗結果를 標準壓密試驗結果로써 使用할수 없다고 하였다.

金<sup>(85,86)</sup>은 地下 4.5m에서 採取한 Bangkok Clay(LL: 87%, PL: 33%)에 對한 壓密試驗에서 各 단계마다 測定된 空隙水壓은 加해진 압력의 97%이었고 이들 空水壓은, 載荷比 혹은 載荷時間에 影響을 받지 않았다고 하였다.

### Ⅲ. 試料의 두께가 壓密特性에 미치는 影響

#### 1. 實驗方法

本 實驗에 使用한 試料는 牙山灣 防潮堤內 地下 1m 地點에서 採取하였으며 供試體의 두께는 標準壓

Table-1. Physical properties of soil used.

Specific gravity	Atterberg Limit(%)			Coefficient of uniformity	Coefficient of grading	Moisture content of natural state (%)	unified soil classification	Clay content (%)	Initial void ratio
	L.L	P.L	P.I						
2.60	33	21	12	36	4	55	CL	20	1.470

密試驗에서 規定하고 있는 20mm 와 10mm, 15mm 및 25mm 의 크기로 區分하여 만들었고 載荷方法은 0.05~12.8kg/cm<sup>2</sup> 까지 9段階의 荷重을 24時間씩 加하였고 除荷는 載荷의 逆順으로 하여 標準壓密試驗器에 의하여 實施하였으며, 各供試體에 對하여 9回反復하여 總36回試驗한 結果의 平均値를 比較分析하였다. 또 側面摩擦을 最大로 減少시키기 위하여 silicon grease 를 使用하였다.

이 흙의 物理的 性質 및 粒度分布는 表 1 및 그림 1 과 같다.

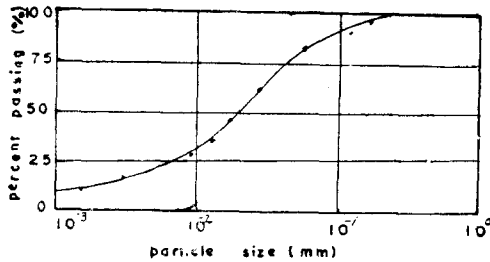


Fig. 1. Grain size distribution curve.

## 2. 結果 및 考察

供試體의 두께를 여러가지로 變化시켜 壓密試驗한 結果를 要約하면 그림 2 및 그림 3 과 같다.

### (1) 試料의 두께와 沈下量과의 關係

그림 2는 試料의 두께의 變化에 따르는 荷重과 空隙比와의 關係를 나타내는 曲線으로 試料의 두께

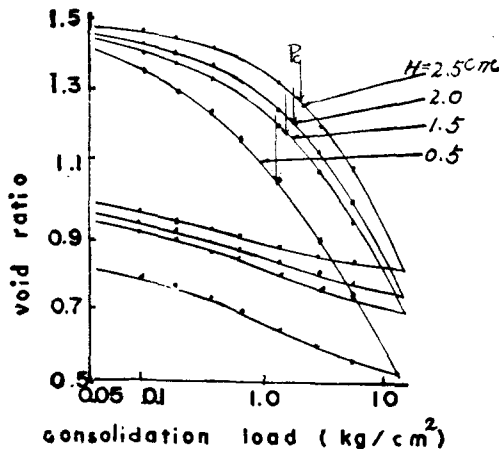


Fig. 2. Relationships between void ratio and consolidation load for various sample thickness.

가 클수록 先行荷重의 값은 크게 나타났고 試料의 두께가 작을 수록 空隙比의 減少量과 膨脹量은 크게 나타났다.

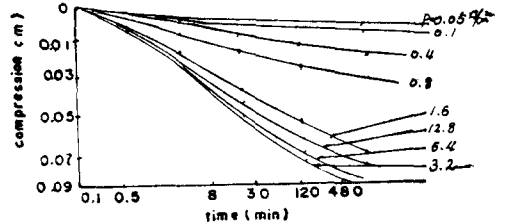
이는 試料의 두께가 작을수록 排水長이 짧아져서 同一荷重下에서 應力傳達이 良好하여 二次壓密이 크게 發生되기 때문이다.

先行荷重附近에서 曲線의 모양이 크게 變化되는 것은 先行荷重에 의하여 土粒子의 構造配列이 變化되는 現象이라고 생각되며, 이와같은 現象을 Nelson<sup>(48)</sup>은 土粒子의 塑性變形으로 定義한 바 있다.

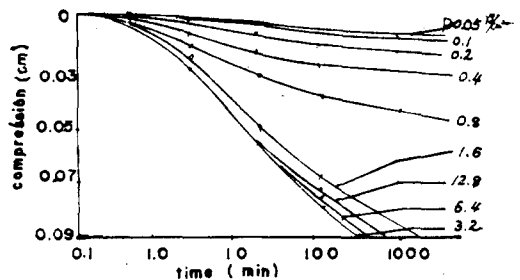
Altschaeffl<sup>(47)</sup>에 의하면 土粒子構造는 先行荷重보다 큰 荷重이 作用할 때 變形이 일어나기 때문에 先行荷重은 一次壓密範圍內의 曲線으로부터 求해야 妥當하다고 하였다.

Northey<sup>(48)</sup>는 溶脫作用을 받은 흙에서는 electrokinetic potential이 增加되어 土粒子의 安定性이 減少되고 壓密量도 크며 特히 試料의 두께가 작을수록 空隙比의 減少率이 크게 일어난다고 하였다.

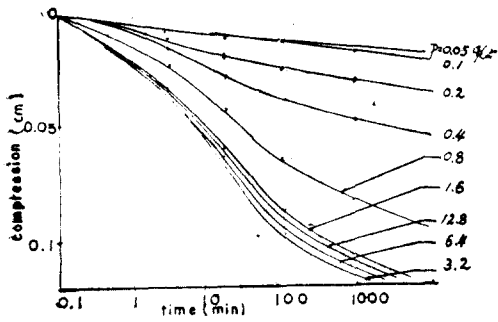
그림 3의 (a), (b), (c), (d)는 試料의 두께를 여러가지로 變更시켜 壓密試驗한 結果를 logt法에 의하여 沈下量과 壓密時間과의 關係를 表示한 것으로 先行荷重(1.8kg/cm<sup>2</sup>)보다 작은 荷重에서는 S字形的 反向曲線이 確實하게 이루어 지지 않았으나 先行荷重 以上에서는 確實하게 나타났고 一次壓密은 大略 30分~100分 以內에 종료되었다.



(a) thickness: 1.0cm

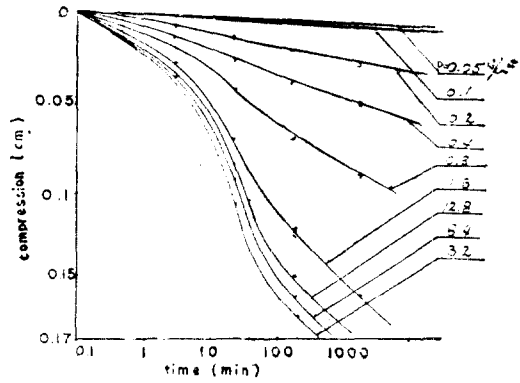


(b) thickness: 1.5cm



(c) thickness: 2.0cm

表2 및 그림 4는 壓密量과 試料두께와의 關係를 壓密荷重에 對하여 表示한 것으로서 試料의 두께가 클수록 沈下量은 增加하고 壓密荷重이 各各 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8kg/cm<sup>2</sup>일 때 壓密量



(d) thickness: 2.5cm

Fig. 3. Relationships between compression and time for various sample thickness

Table-2. Total Compression for consolidation loads.

Consolidation load (kg/cm <sup>2</sup> )	Sample thickness (mm)				Slope of Compression line
	10	15	20	25	
0.2	0.144	0.204	0.233	0.261	0.07
0.4	0.199	0.286	0.354	0.430	0.16
0.8	0.368	0.474	0.561	0.654	0.21
1.6	0.659	0.867	1.070	1.265	0.40
3.2	0.814	1.034	1.220	1.596	0.53
6.4	0.765	0.987	1.180	1.550	0.47
12.8	0.720	0.936	1.139	1.462	0.42

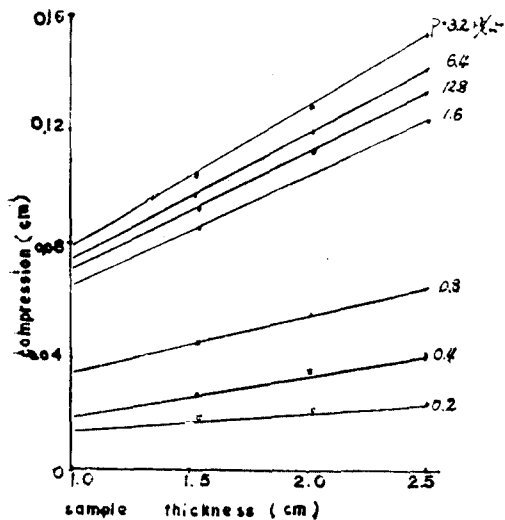


Fig. 4. Relationships between compression and sample thickness for various consolidation load.

과 試料의 두께는 다음과 같은 關係式이 나타났다.  
 $R(0.2) = 0.07H + 0.09$   $R(0.4) = 0.16H + 0.04$   
 $R(0.8) = 0.21H + 0.14$   $R(6.4) = 0.47H + 0.26$  ...  
 $R(1.6) = 0.40H + 0.26$   $R(12.8) = 0.42H + 0.29$  (1)  
 $R(3.2) = 0.53H + 0.29$

그림 4에서 壓密荷重 1.6kg/cm<sup>2</sup>를 經후하여 壓密의 양상은 현저한 差異를 나타냈고 이는 先行荷重에 의한 土粒子의 構造變更에 의한 것으로 생각 된다.

그림 5는 그림 4의 各 直線의 기울기와 壓密荷重과의 關係를 表示한 것으로 3.2kg/cm<sup>2</sup>까지는 기울기의 變化가 크나 그 以上の 荷重으로 되면 거의 一定하게 되었다.

이와 같은 事實은 Schmertman<sup>(41)</sup>이 發表한바와 같이 아무리 큰 荷重으로 壓密을 한다해도 土粒子를 둘러 싸고 있는 吸着水는 除去할 수 없으며 또 先行荷重보다 큰 荷重이 作用하면 土粒子間的 거리가 더욱 密着된 狀態로 되어 土粒子 사이에 어떤 電氣化學的 結合력이 作用하여<sup>(42)</sup> 沈下量은 減少되고,

이와같은 結合力과 壓密應力 사이에는 힘의 均衡을 維持하는 土粒子間的 平均距離가 存在하기 때문이라고 생각된다.

實際 壓密試驗에서는 壓密過程은 初期壓縮까지 合하여 3個의 過程으로 區分된다.

初期壓縮(initial compression)은 主로 試料과 多孔板 및 濾過紙 等의 不完全한 接觸이나 試料과 壓密 ring 的 側面摩擦, 空隙內氣泡의 壓縮 및 試料의 攪亂 等에 의한 正初期壓縮(positive initial compression)과 外力에 의하여 土粒子 骨格構造內에 發生하는 어떤 構造結合에 依한 負初期 壓縮(negative initial compression)으로 區分된다.

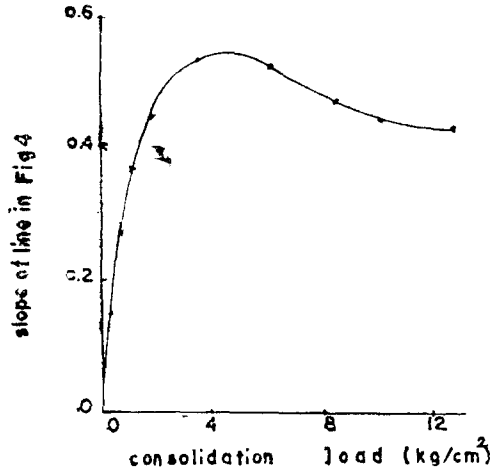


Fig. 5. Relationships between slope of compression line and consolidation load.

그림 6은 試料의 두께와 初期壓縮과의 關係를 나타낸 것으로 初期壓縮은 試料의 두께가 작을 수록

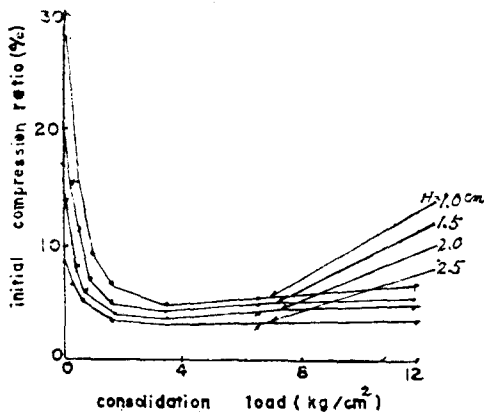


Fig. 6. Relationships between initial compression and consolidation load for various sample thickness.

큰 값을 보였고 載荷重이 增加함에 따라서 減少되며, 2kg/cm<sup>2</sup> 前後에서 다시 增加되는 傾向을 보였다.

이와 같은 理由는 試料과 壓密 ring 的 接觸에 의한 側面摩擦의 影響은 初期段階의 荷重에서 크게 나타나고 荷重段階가 增加 할 수록 그의 影響은 작아지고 또 空隙 속에 있는 gas 等이 氣泡의 狀態로 存在하다가 荷重이 增加되고 壓密時間이 經過함에 따라서 氣泡가 分解되고, 先行荷重을 超過하면 土粒子 自體의 構造結合에서 오는 負初期壓縮이 增加되기 때문이라고 생각된다.

그림 7은 一次壓縮比와 試料의 두께와의 關係를 表示한 것으로 一次 壓縮比는 試料의 두께가 클 수록 큰 값을 나타냈고 載荷重이 增加하면 一次壓縮比는 커지나, 先行荷重 前後에서는 약간 다른 양상을 나타냈다.

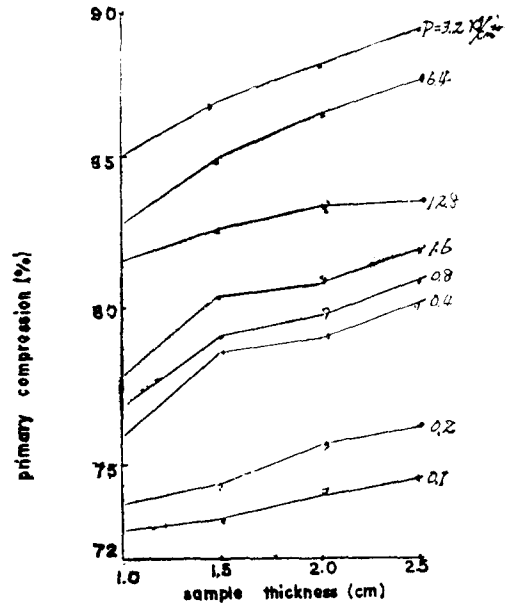


Fig. 7. Relationships between primary compression and sample thickness for various consolidation load

그림 8은 二次壓縮比와 試料의 두께와의 關係를 表示한 것으로 二次壓縮比는 試料의 두께와 載荷重이 增加할수록 減少되는 傾向을 나타냈다.

이는 試料의 두께가 클수록 二次 壓密은 一次 壓密에 包含되어 나타나고(2,3,22) 또 載荷重이 크고 試料의 두께가 클수록 二次 壓縮比도 減少現象을 나타내고 있다.

그림 9는 二次 壓密係數와 試料의 두께와의 關係를 表示한 것으로 二次 壓密係數는 先行荷重을 頂

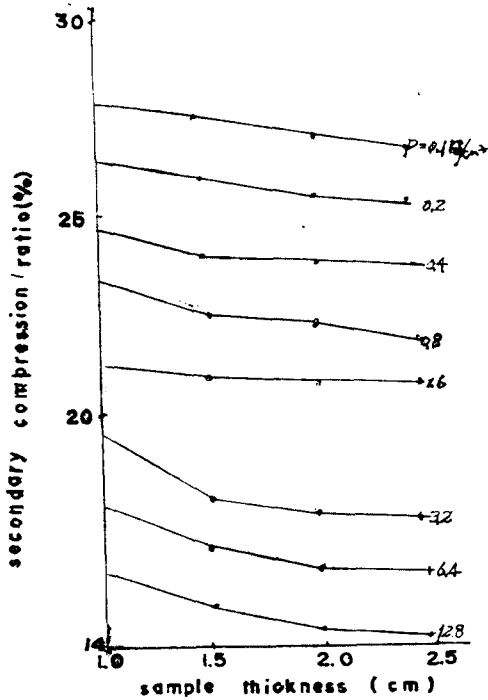


Fig. 8. Relationships between secondary compression and sample thickness.

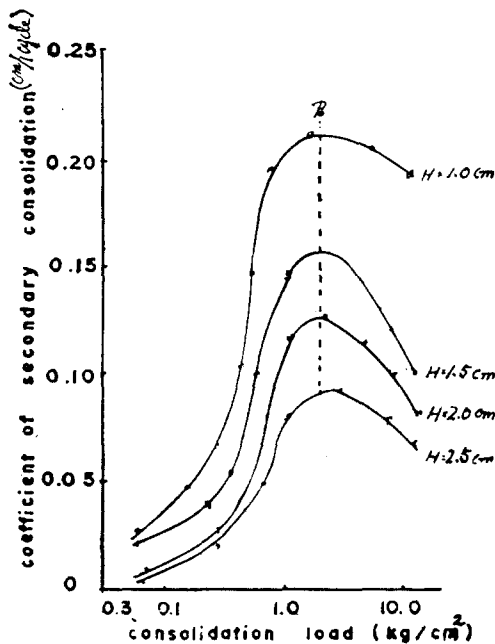


Fig. 9. Relationships between coefficient of secondary consolidation and consolidation load.

點으로 하여 漸次增加 하다가 다시 減少 하는 現象을 나타냈다. 이는 土粒子의 構造가 不安定狀態에서 安定狀態로 變化하는 現象이라고 생각된다.

또한 二次壓密係數는 試料의 두께가 增加함에 따라 減少하였다.

二次 壓密은 어느 物體가 過大한 應力에 의하여 塑性狀態下에서의 Creep 現象과 같고<sup>(81)</sup> 둥근 粒子나 鱗片狀의 粒子가 外力을 받으면 보다 緻密한 狀態로 되어 相對的으로 滑動하기 때문에 發生하며<sup>(81,83)</sup> 土粒子骨格의 塑性變形이나, 土粒子의 滑動이 空隙의 體積減少로 因한 空隙水의 排水作用보다 느릴때 二次壓密現象은 더 크게 나타 난다고 한다<sup>(80)</sup> 二次 壓密은 試料의 두께와 密接한 關係가 있으며<sup>(40, 83, 88)</sup>

試料의 두께가 작을 때는 排水作用이 促進되므로 一次壓密이 早期에 完了되어 二次壓密이 더 크게 發生된 것으로 생각한다.

그림 10은 壓縮指數와 二次壓密係數와의 關係를 試料의 두께에 對하여 表示한것으로 壓縮指數의 값이 커짐에 따라서 二次壓密係數의 값도 增加하고 다음과 같은 直線關係를 나타냈다.

$$\left. \begin{aligned} H=1.0\text{cm} &: C_a=1,712 C_c+0.025 \quad (r=0.89) \\ H=1.5 &: C_a=1,527 C_c-0.002 \quad (r=0.84) \\ H=2.0 &: C_a=1,340 C_c-0.016 \quad (r=0.82) \\ H=2.5 &: C_a=0.98 C_c+0.001 \quad (r=0.93) \end{aligned} \right\} \dots(2)$$

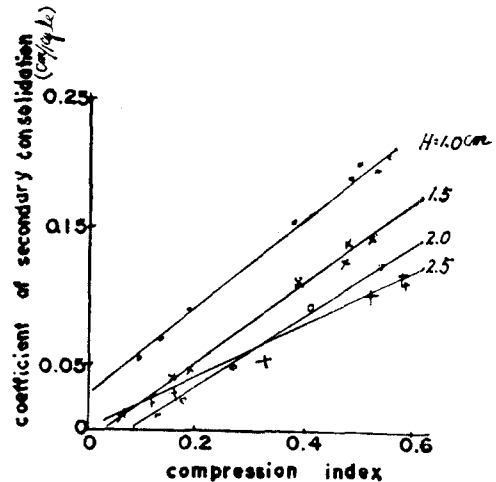


Fig. 10. Relationships between coefficient of secondary consolidation and compression index for various sample thickness.

그림 11은 壓縮指數와 載荷重과의 關係를 試料의



높이에 대하여 表示한 것으로 2kg/cm<sup>2</sup> 附近에서 壓縮指數의 變化는 가장 컸고 載荷重이 增加함에 따라 다시 減少되는 現象을 나타냈다.

先行荷重 以上の 載荷重에서 壓縮指數가 減少되는 것은 銳敏比가 變에 基因하는 것으로 생각된다.

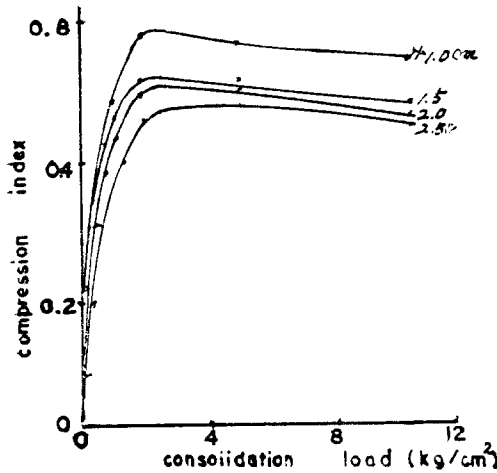


Fig. 11. Relationships between compression index and consolidation load for various sample thickness.

그림 12는 壓密進行에 따른 土粒子 構造의 安定化過程을 定量的으로 表示한 것으로<sup>(15,16,17)</sup> Kozeny, Carman의 식을 변형한 構造係數( $K_0 S^2 = \frac{1}{K} \cdot \frac{e^3}{1+e}$ )와 空隙比와의 關係를 나타낸 것으로 構造係數의 값은 空隙比가 減少함에 따라 增加되고, 空隙比가 1.2 附近에서 거의 一致되는 傾向을 보였다.

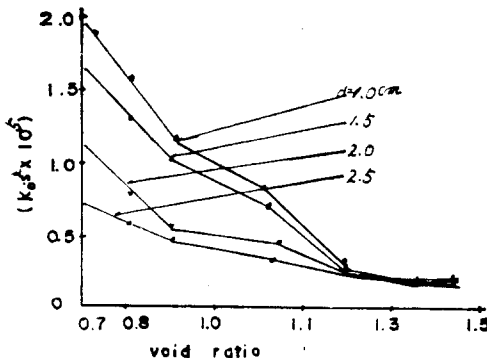


Fig. 12. Relationships between  $K_0 S^2$  and void ratio for various sample thickness.

그림 2에서 보면 先行荷重下에서의 空隙比는 1.1 ~ 1.2 정도이고 이와 같은 先行荷重下에서 土粒子 構造는 配向性을 이루며 空隙比가 減少됨에 따라 土粒子의 配向性은 增大되고, 試料의 두께가 작을 수록 이들 現象은 더욱 促進된다고 생각된다.

(2) 試料의 두께와 壓密時間과의 關係

壓密解析은 壓密沈下量의 算出뿐만 아니라 壓密로 因한地盤의 強度增加를 파악함에 있다.

그림 13은 一次 壓密終了時의 時間과 試料의 두께와의 關係를 나타낸 것으로 壓密初期에는 一次 壓密終了時의 時間은 試料의 두께와 載荷重이 클수록 增加율은 크게 나타 났으나 2kg/cm<sup>2</sup>보다 큰 荷重下에서는 거의 一定한 變化를 나타냈다.

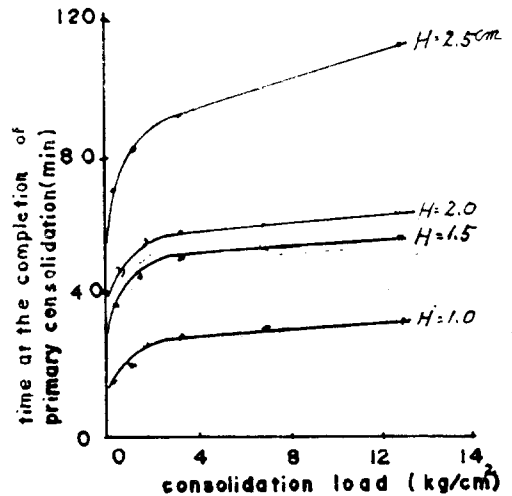


Fig. 13. Relationships between time at the completion of primary consolidation and consolidation load.

그림 14는 試料의 두께에 따른 一次 壓密終了點의 時間과 壓縮指數와의 關係를 나타낸 것으로, 이들 사이에는 다음과 같은 直線關係가 成立되었다.

$$\left. \begin{aligned} H=2.5\text{cm} : t_{100} &= 100Cc + 21 \quad (r=0.92) \\ H=2.0\text{cm} : t_{100} &= 30 Cc + 15.5 \quad (r=0.90) \\ H=1.5\text{cm} : t_{100} &= 24 Cc + 5 \quad (r=0.89) \\ H=1.0\text{cm} : t_{100} &= 16 Cc + 1.5 \quad (r=0.90) \end{aligned} \right\} (3)$$

試料의 두께가 클수록 平均 排水長도 커지고 排水에 要하는 時間 遲滯現象도 增加되기 때문에<sup>(18)</sup>  $t_{100}-Cc$  關係圖의 직선 기울기는 試料의 두께가 클수록 急한 變化를 나타내고 있다.

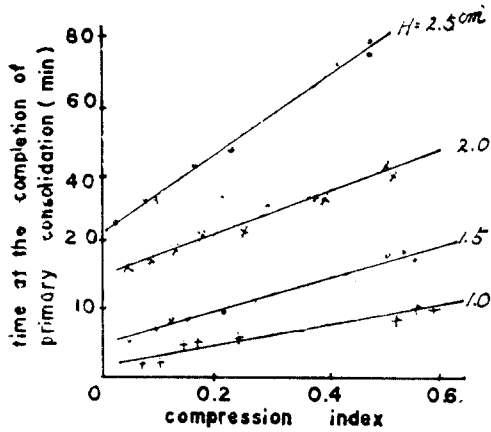


Fig. 14. Relationships between time at the completion of primary consolidation and compression index for various sample thickness.

(3) 試料의 두께와 壓密速度와의 關係

壓密의 速度性分을 支配하는 要素는 壓密係數이고 壓密係數의 값은 그 흙의 透水性과도 密接한 關係가 있다<sup>(8), 18, 22, 28, 42)</sup>

그림 15는 여러가지 壓密荷重에 對한 壓密係數와 試料의 두께와의 關係를 나타낸 것으로서 壓密係數는 試料의 두께가 커지고 또 載荷重이 작아질에 따라 增加되는 傾向을 나타냈다.

壓密進行에 따른 試料 두께의 減少率은 試料의 두께가 클수록 작아지며<sup>(8)</sup> 載荷重이 增加할수록 어는 壓密度에 이르는데 所要되는 時間이 커지므로 이들 試料의 두께와 時間은 壓密係數의 決定에 重要な 要素가 된다고 할 수 있다.

그림 16은 壓密試驗에서 計算한 透水係數와 空隙比와의 關係를 表示한 것으로 다음과 같은 直線關係가 成立되었다.

$$\left. \begin{aligned} H=2.5\text{ cm} : e &= 0.424 \log_{10} K + 3.15 \quad (r=0.90) \\ H=2.0\text{ cm} : e &= 0.364 \log_{10} K + 2.81 \quad (r=0.89) \\ H=1.5\text{ cm} : e &= 0.293 \log_{10} K + 0.17 \quad (r=0.91) \\ H=1.0\text{ cm} : e &= 0.248 \log_{10} K + 2.08 \quad (r=0.93) \end{aligned} \right\} (4)$$

試料의 두께가 클수록 透水指數(그림 16의 기울기)의 값은 增加하고 壓密이 進行됨에 따라 透水係數도 減少되었다. 이는 試料의 두께가 클수록 壓密係數가 커지기 때문이다.

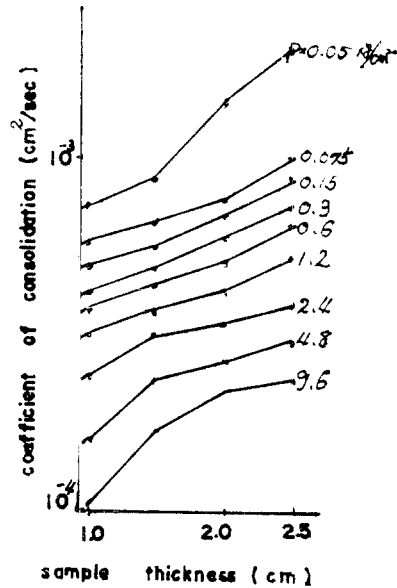


Fig. 15. Relationships between coefficient of consolidation and sample thickness for various consolidation load.

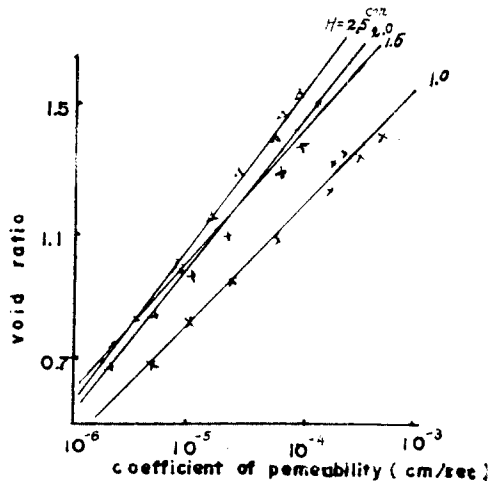


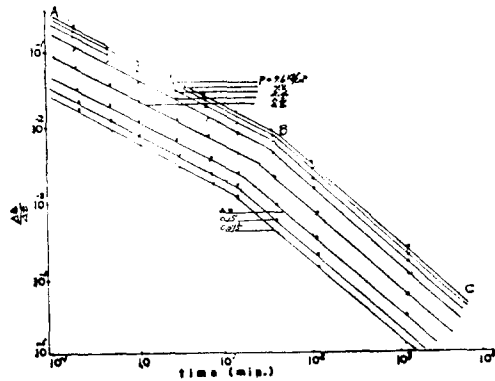
Fig. 16. Relationships between void ratio and coefficient of permeability for various sample thickness.

그림 17의 (a), (b), (c), (d)는 壓密速度와 壓密時間과의 關係를 試料의 두께에 對하여 表示한 것으로 各荷重段階에 對한 壓密速度는 壓密過程의 前半(即 그림에서 A에서 B까지)과 後半(B에서 C까지)는 다르게 나타났다<sup>(81)</sup>

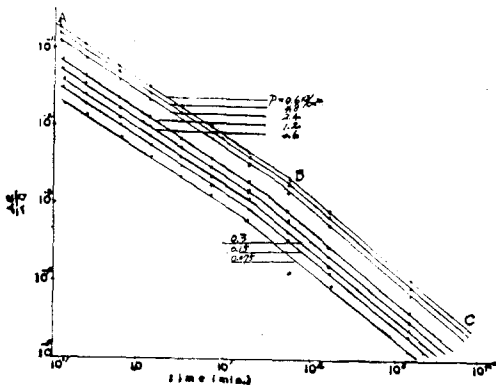
$$\left. \begin{aligned} \text{領域 } A \sim B \text{는 } \log_{10} \frac{de}{dt} &= \beta \log_{10} t + \alpha \\ \text{領域 } B \sim C \text{는 } \log_{10} \frac{de}{dt} &= \sigma \log_{10} t + r \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

의 式으로 表示되고 B~C區間이 A~B區間보다 急한 變化를 보였다. A~B區間은 一次 壓密 部分에 해당되고 B~C區間은 二次 壓密에 該當되는 것으로 생각되며 試料의 두께가 작을 수록 二次 壓密 部分의 기울기는 더 急하게 나타났다.

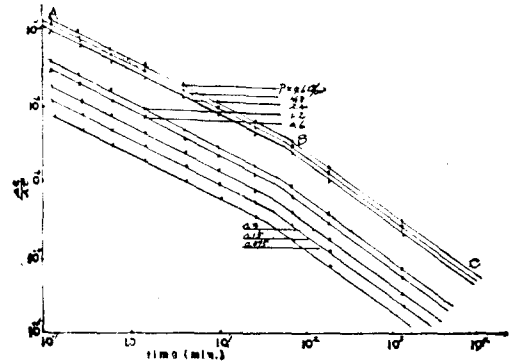
二次 壓密은 土粒子骨格의 Creep 現象이므로<sup>(81)</sup> 一次 壓密部分보다 急한 變化를 하며 試料의 두께가 작고 載荷重이 클수록 二次 壓密 効果는 크게 나타나므로<sup>(83, 87)</sup> 壓密速度도 增加 되었다고 생각된다.



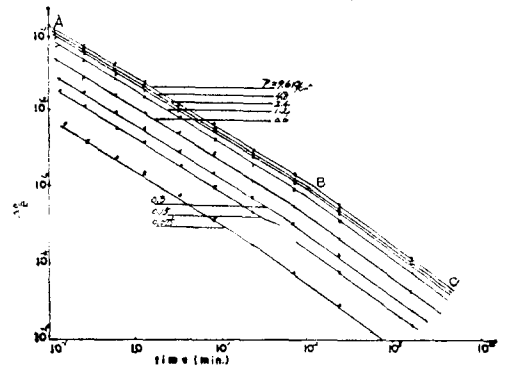
(a) thickness: 1.0cm



(b) thickness: 1.5cm



(c) thickness: 2.0cm



(d) thickness: 2.5cm

Fig. 17. Relationships between ratio of consolidation and time for various consolidation load.

#### IV. 荷重增加率이 壓密特性에 미치는 影響

##### 1. 實驗方法

그림 1 및 표 1 과 같은 試料를 使用하여 荷重增加率( $\Delta P/P$ )를 各各 0.5, 1.0, 2.0, 3.0의 4段階로 區分하여 實施했고 試料의 크기는 標準 壓密試驗에서 規定하고 있는 直徑 60mm, 높이 20mm로 하였고 載荷時間은 24시간으로 해서 標準 壓密試驗器에 의하여 實施하였다.

##### 2. 結果 및 考察

위의 實驗方法에 의하여 壓密試驗을 各 試料에 對하여 8回 반복시험해서 그의 平均값을 使用하였다.

다.

(1) 荷重增加率과 壓密量과의 關係

標準壓密試驗에서는 荷重增加率을 1로 하고 있으나 實際의 軟弱地盤에 壓密이 發生할 경우 荷重增加率은 一定하지 않고 오히려 1보다 작은 境遇가 많다.

따라서 압밀시험에 의하여 推定한 沈下量과 實際의 地盤의 沈下量은 상당한 差異가 있을 것으로 예상되어 이들 차이점을 규명하기 위하여 荷重增加率을 여러가지로 變更해서 壓密試驗을 實施하였다.

Altschaeffl (13)에 의하면 時間-沈下曲線은 그림 18과 같이 3가지의 形態가 있는데 (I)의 曲線은 荷重增加率이 매우크고, 또 Terzaghi의 理論이 適用될 수 있기 때문에 壓密係數의 값은 空隙水壓을 測定하여 求한 것과 壓密試驗으로 求한 것이 一致된다고 하였으며, 또 (I)의 曲線은 二次壓密도 크며 Casagrande 方法에 의하여 一次壓密終了時의 時間( $t_{100}$ )을 比較의 正確하게 求할수 있다고 發表하였다

(II)와 (III)의 曲線은 荷重增加率이 比較의 작을 때로써 이와같은 극선에서는 壓密係數의 近似값도 求할 수 없다.

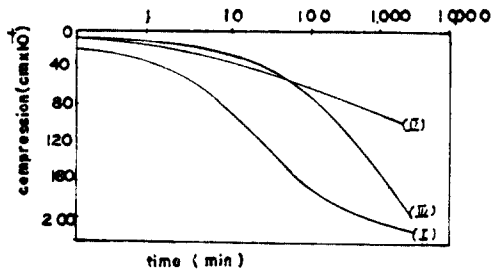


Fig. 18. Relationships between compression and consolidation time. (1)

本研究에서는 荷重增加率이 0.5~3에서 (II) 및 (III)과 같은 曲線은 나타내지 않았고 (I)과 類似한 曲線이 얻어져서  $t_{100}$  과  $t_{50}$ 을 쉽게 求할수 있었으며, 壓密係數一次 및 二次)의 값도 正確하게 推定할수 있었다.

그림 19는 荷重增加率을 여러가지로 變化시켰을 때 壓密荷重의 變化에 對한 空隙比의 變化狀態를 나타낸 것으로써 荷重增加率이 클수록 壓密量은 크게 일어났다.

荷重增加率이 작을 때에는 荷重이 徐徐히 加해짐

에 따라서 土粒子 內部的 空隙水壓의 消散도 徐徐히 이루어 지므로 土粒子 骨格構造의 配列性도 徐徐히 增大되고 (10, 11) 土粒子 骨格이 強度를 增加시키는데 要하는 時間的 餘裕를 充分히 가질 수 있어 (7, 14) 荷重增加率이 클 때 보다 載荷重에 對한 構造抵抗이 크게 나타나기 때문에 沈下量도 작게 나타난 것으로 생각된다.

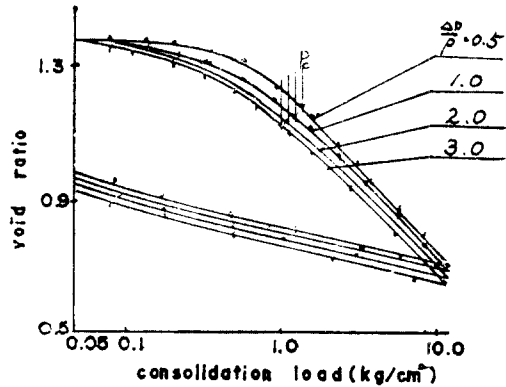


Fig. 19. Relationships between void ratio and consolidation load for various load increment ratio.

그림 20은 荷重增加率을 各各 0.5, 1.0, 2.0, 3.0으로 하여 壓密試驗한 結果를 logt 法으로 表示한 것

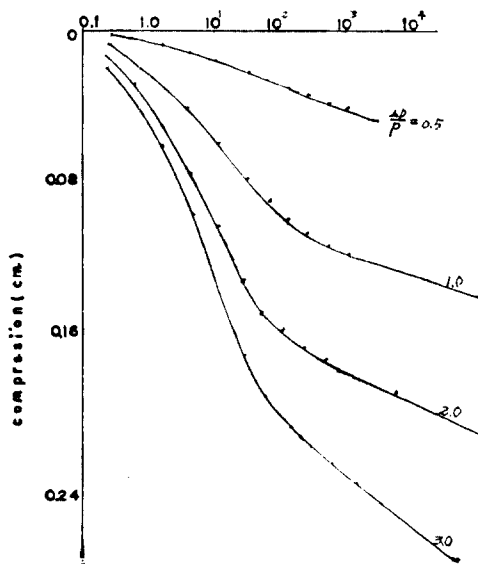


Fig. 20. Relationships between compression and time for various load increment ratio ( $P=12.8\text{kg/cm}^2$ ).

으로 荷重增加率에 클 때에는 작은 段階의 荷重에서도 完全한 S字型的 反向曲線이 이루어졌으나 荷重增加率이 작을 때에는 比較的 큰 段階의 荷重에서 S字型的 反向曲線이 이루어 졌다.

그림 21은 여러가지 荷重增加率에 對한 壓縮指數와 壓密荷重과의 關係를 表示한것으로 壓縮指數는 荷重增加率에 클수록 增加하고, 어느 頂點에 達했다가 다시 減少되는 現象을 나타냈다.

初期段階의 荷重에서 土粒子 構造가 多孔性的의 random 狀態로 되어 있으므로 荷重이 增加함에 따라서 土粒子間的 空隙이 작아져 粒子間的 接觸點 사이에 存在하는 吸着水膜이 얇아지므로<sup>(41)</sup> 先行荷重까지는 壓縮指數의 增加는 Peak를 이루나 正規壓密領域으로 되면 土粒子가 더욱 接近되므로 吸着水膜의 相互融合에 의하여 粘着力이 發生하여 土粒子 構造抵抗이 크게 作用하기 때문에<sup>(41)</sup> 壓縮指數가 減少되고 壓密現象은 鈍化된다고 생각된다.

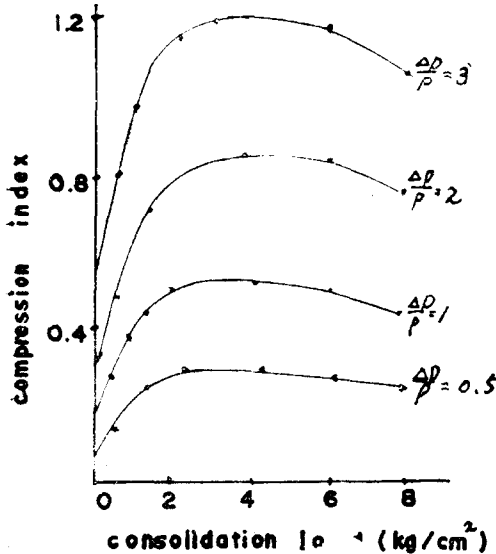


Fig. 21. Relationships between compression various. index and consolidation load for load increment ratio.

그림 22 및 23은 各 荷重段階에 있어서 荷重增加率과 初期壓縮比 및 二次壓密에 對한 一次壓密의 比를 나타낸 것으로, 初期壓縮은 荷重增加率에 클수록 減少되며 載荷重이 작을 때 더 크게 나타난 것은 側面摩擦에 의한 影響이라고 생각된다.

二次壓密에 對한 一次 壓密의 比는 荷重增加率에 클수록 減少되었다.

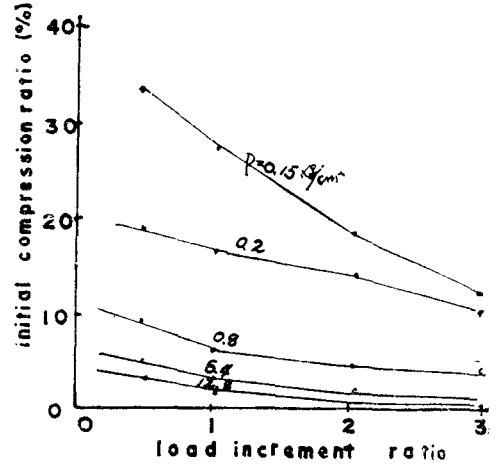


Fig. 22. Relationships between initial compression and load increment ratio for various consolidation load.

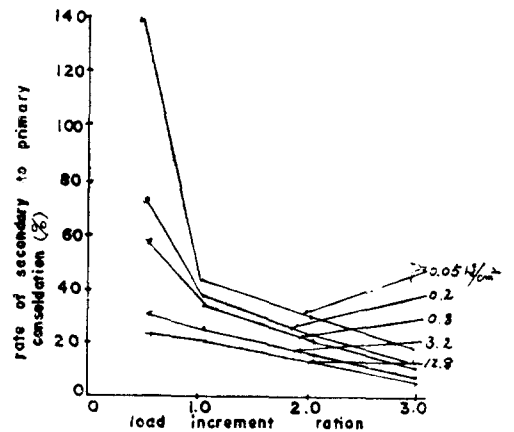


Fig. 23. Relationships between ratio of secondary to primary consolidation and load increment ratio.

粘土 試料에 荷重을 加하면 土粒子는 其의 構造가 安定狀態로 되기 위하여 運動을 일으키고 時間이 經過됨에 따라 土粒子 間的 距離가 더욱 緻密해져서 그 接觸點에서 結合력이 發生되고 이들 結合

力을 破壞시키려면 結合力보다 큰 荷重이 必要하며 이 附加 荷重은 大略的으로 Gauss의 正規分布曲線을 이룬다<sup>(44)</sup>

따라서 粘土粒子가 不均衡狀態에서 荷重을 받으면 空隙水壓의 消散으로 因한 結合力의 破壞는 試料中에서 排水가 먼저 일어나는 表面附近에서 시작되고 表面에서 먼곳으로 傳播될 것이다.

그림 24는  $C_a/\Delta P \cdot H_i$ 와 ( $C_a$ :=次 壓密係數,  $\Delta P$ : 荷重增加率,  $H_i$ : 壓密後의 試料의 두께) 載荷重과의 關係를 여러가지 荷重增加率에 對하여 表示한 것으로  $C_a/\Delta P \cdot H_i$ 의 값은 荷重增加率이 커짐에 따라 減少하는 傾向을 보였고 荷重增加率이 0.5에서 3.0로 6倍 增加함에 따라  $C_a/\Delta P \cdot H_i$ 는  $\frac{1}{6}$  程度로 減少되어 二次 壓密係數와 荷重增加率과의 깊은 相關性을 보여 주고 있다<sup>(25, 37, 44)</sup>

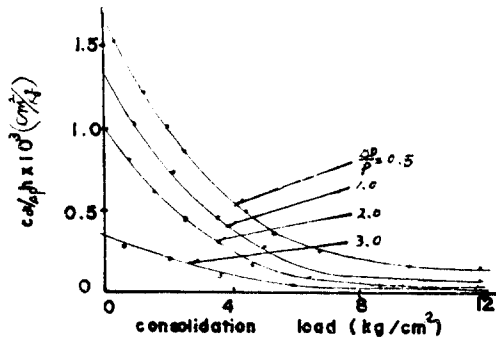


Fig. 24. Effect of secondary consolidation for various load increment ratio.

(2) 荷重增加率과 壓密速度와의 關係

그림 25는 荷重 增加率의 變化에 따르는 壓密荷重과 一次 壓密終了點까지의 時間과의 關係를 表示한 것으로 一次 壓密終了點의 時間은 荷重增加率이 減少함에 따라 커지고 先行荷重 前後의 荷重下에서 그 變化 양상이 현저히 다르게 나타났다.

그림 26의 (a), (b)는 荷重增加率의 變化에 따른 壓密係數와 壓密荷重과의 關係를 表示한 것으로  $\sqrt{t}$ 法에 依하여 求한 壓密係數의 값이  $\log t$ 法으로 求한 것보다 약간 크게 나타났고 荷重增加率이 클 수록 壓密係數의 값도 크게 나타났다.

그림 25에서 나타난바와 같이 荷重增加率이 클 수록 一次 壓密終了點까지의 時間이 짧아지기 때문에 壓密係數는 커지며 先行荷重 이상의 荷重에서는 壓密係數는 거의 一定하게 나타났다.

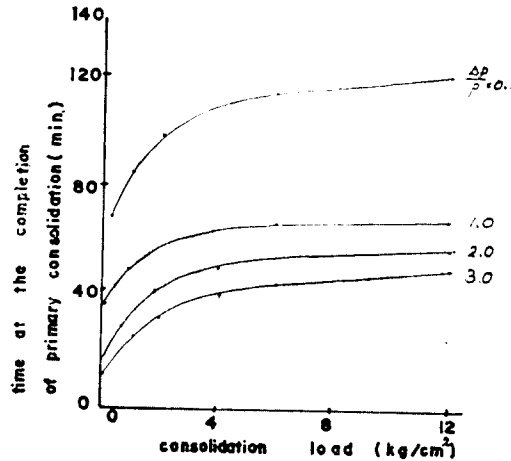
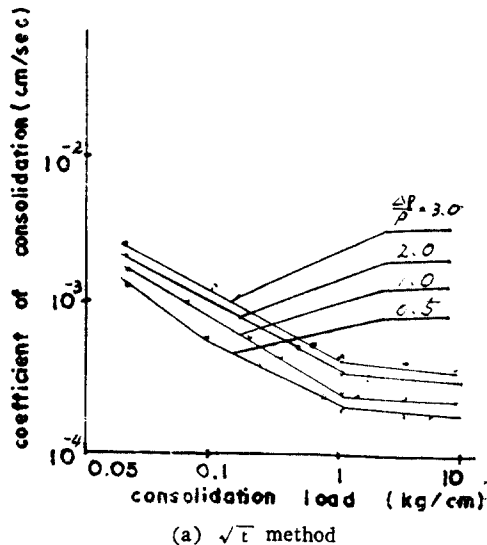
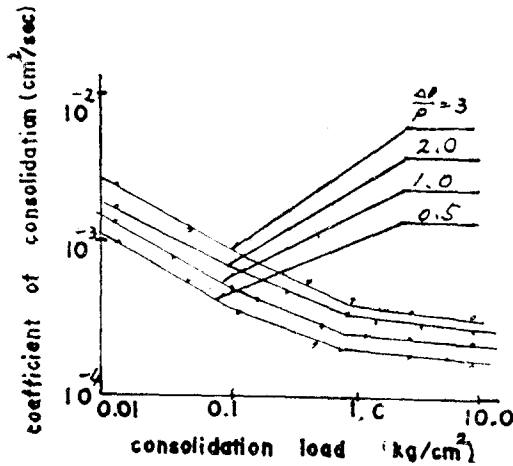


Fig. 25. Relationships between time at the completion of primary consolidation and consolidation load.



(a)  $\sqrt{t}$  method



(b) logt method

Fig. 26. Relationships between coefficient of consolidation and consolidation load for various load increment ratio.

그림 27은 載荷重 8.0kg/cm<sup>2</sup> 일때의 荷重增加率의 變化에 따르는 壓密速度와 壓密時間과의 關係를 나타내는 것으로 荷重增加率을 클 수록 壓密速度도 크게 나타났고 B點의 位置도 그림 25에서 求한 一次壓密 終了點의 時間과 비슷한 값을 보였다.

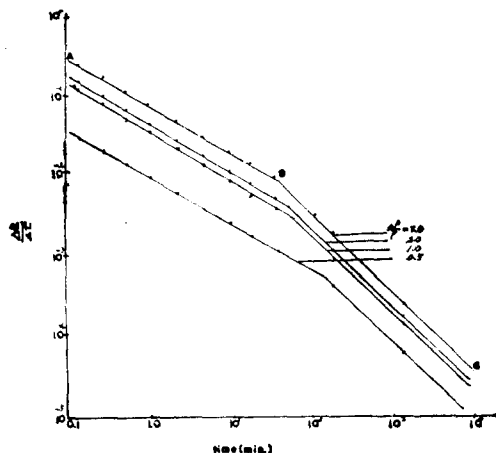


Fig. 27. Relationships between ratio of consolidation and time for various load increment ratio. (P=8.0kg/cm<sup>2</sup>)

그림 28은 荷重增加率의 變化에 따른 壓密荷重

과 構造係數와의 關係를 表示한 것으로서 荷重增加率을 클 수록 構造의 安定化가 促進되었다.

壓密이 進行되는 동안 有效應力은 solid bond stress와 film bond stress로 區分된다<sup>(21)</sup> 前者는 吸着層의 固體部分사이의 結合作用에 의하여 支持되고 후자는 吸着水膜의 강한 粘性抵抗에 의하여 支持되는 것으로 載荷初期段階에서는 solid bond stress와 film bond stress에 의하여 荷重을 支持하나 時間이 經過함에 따라서 film bond stress는 solid bond stress로 變換되고,<sup>(15,17,19)</sup> 이때 荷重增加率이 크면 土粒子間的 慣性抵抗 때문에 空隙水壓의 發生이 促進되어<sup>(22)</sup> 土粒子의 配向性이 良好해 지므로 荷重增加率을 클 수록 構造係數의 값도 커진다고 생각된다.

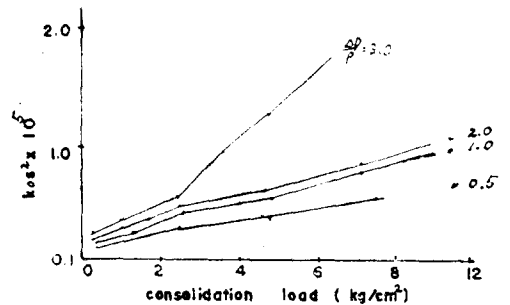


Fig. 28. Relationships between consolidation load and  $K_o S^2$  for various load increment ratio.

## V. 載荷時間이 壓密特性에 미치는 影響

### 1. 實驗方法

그림 1 및 表 1과 같은 試料를 使用하였고 載荷時間은 3時間, 6時間, 12時間, 24時間, 48時間으로 하고 試料의 規格 및 荷重增加率은 標準壓密試驗法에 準하고 各 載荷時間에 對하여 5回 反復 試驗한 平均值를 擇하였다.

### 2. 結果 및 考察

載荷時間을 여러가지로 變化시켜 壓密試驗한 結

果는 그림 29와 같다.

(1) 載荷時間이 壓密量에 미치는 影響

그림 29는 載荷時間의 變化에 따른 空隙比와 載荷重과의 關係를 나타낸 것으로서 載荷時間이 커짐에 따라 壓密量도 컸고 先行荷重 附近에서 空隙比의 變化가 크게 나타났다.

荷重을 加한 후 時間이 經過됨에 따라 粘土粒子의 一部分은 平衡狀態에 到達하고 一部分은 계속 움직이게 된다. 壓密時間이 더 길게 되면 平衡狀態에 到達되는 土粒子는 많아지고 土粒子間의 接觸面積은 점점 더 커져서 土粒子間의 粘着力이 增加된다 (1, 14, 10, 88) 이와 같은 現象은 時間이 經過함에 따라 더욱 促進되어 壓密時間이 길수록 壓密量도 커진다고 생각된다.

또 載荷時間이 길어짐에 따라 空隙比의 變化가 심하게 나타난 것은 二次壓密에 의한 것으로 생각된다.

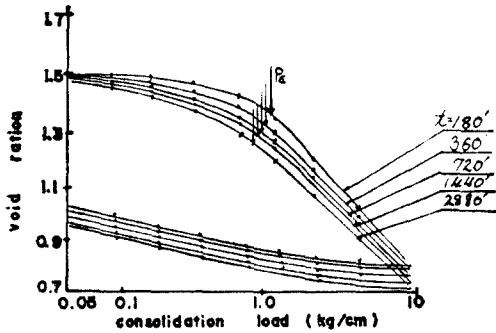


Fig. 29. Relationships between void ratio and consolidation load for various consolidaton duration.

그림 30은 載荷重이 12.8kg/cm<sup>2</sup> 일때 載荷時間과 壓密量과의 關係를 나타낸 것으로 載荷時間이 길수록 壓密量도 크게 나타났다.

그림 31은 載荷時間의 變化에 따르는 初期壓縮과 載荷重과의 關係를 나타낸 것으로 初期壓縮은 載荷時間이 짧을수록 크게 나타났고 先行荷重을 超過하면, 다시 增加되는 傾向을 보였다. 이들 初期壓縮은 大部分 正初期壓縮으로 나타나고, 側面摩擦의 影響이 큰 것으로 생각된다.

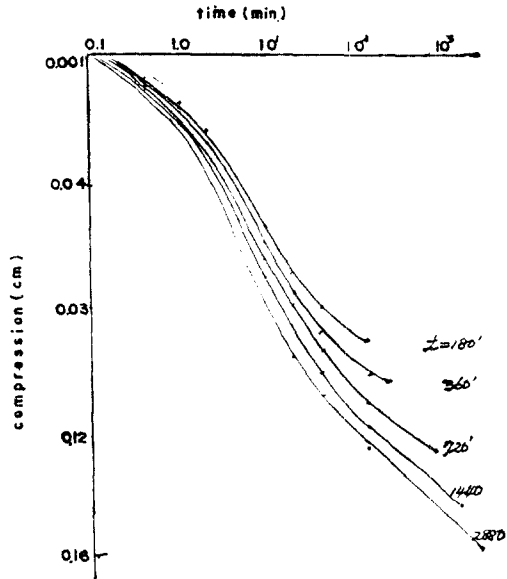


Fig. 30. Relationships between compression and load increment duration. (P=12.8kg/cm<sup>2</sup>)

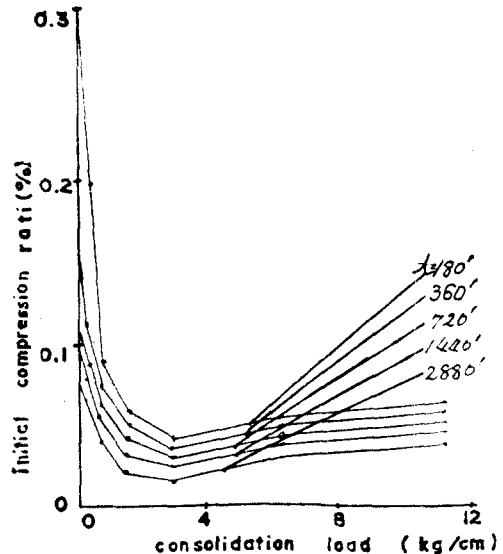


Fig. 31. Relationships between initial compression and consolidation load for various load increment duration.



그림 32 및 33 은 載荷時間의 變化에 따르는 載荷重과 一次 및 二次 壓縮比와의 關係를 表示한 것으로 一次 壓縮比는 載荷時間이 짧고 載荷重이 增加함에 따라 커지는 傾向을 보였고 二次 壓縮比는 그의 反對現象을 나타냈다. 載荷時間이 짧을수록 前段階의 載荷에서 完全히 消散되지 않은 殘溜空隙 水壓이 累積되므로 一次 壓密 終了點까지의 時間이 길어져서 一次 壓縮比는 크게 되고 또 그림 33에서 載荷時間이 길게 되면 全 壓密量은 크게 되어 이에 포함되는 二次 壓密의 값은 크게 되므로 二次 壓縮比도 載荷時間이 길수록 크게 나타났다고 생각된다.

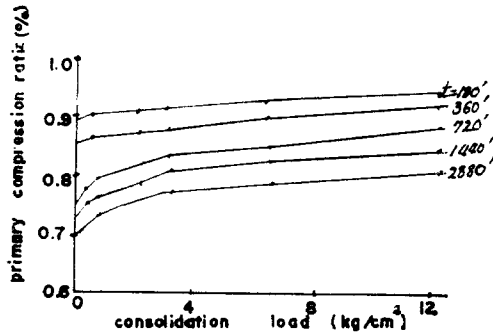


Fig. 32. Relationships between primary compression ratio and consolidation load for various load increment duration.

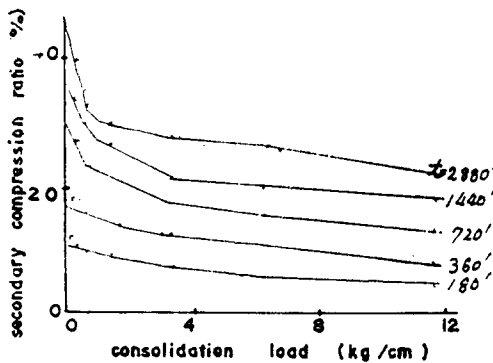


Fig. 33. Relationships between secondary compression ratio and consolidation load.

(2) 載荷時間과 壓密速度와의 關係

그림 34 는 壓密時間의 變化에 따르는 壓密係數와 壓密荷重과의 關係를 表示한 것으로 載荷時間이 길수록 壓密係數가 크게 나타났다.

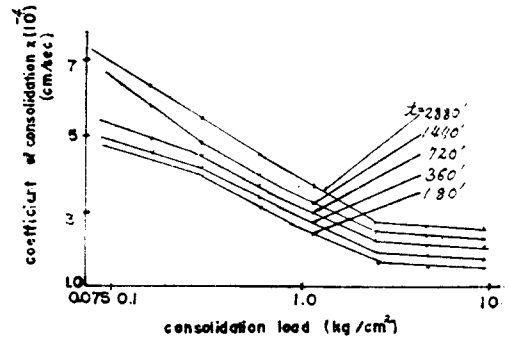


Fig. 34. Relationships between coefficient of consolidation and consolidation load for various load increment duration.

그림 35 는 載荷時間의 變化 따르는 一次 壓密 終了點의 時間과 載荷重과의 關係를 表示한 것으로 載荷時間이 길수록 一次 壓密 終了點의 時間은 작게 나타나므로 壓密係數는 載荷時間이 길수록 큰 값을 나타낸다.

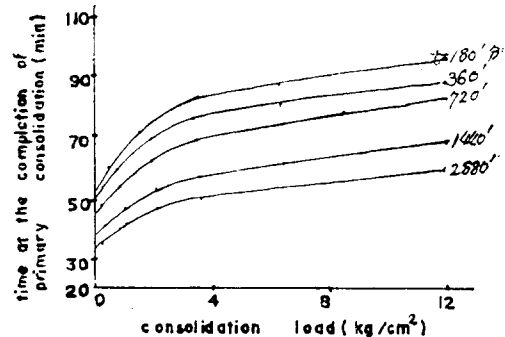


Fig. 35. Relationships between time at the completion of primary consolidation and consolidation load.

그림 36 은 載荷時間의 變化에 따르는 二次 壓密 係數와 載荷重과의 關係를 表示한 것으로 載荷時間이 길수록 二次 壓密係數는 增加하고 先行荷重 附近에서 最高點에 達했다가 다시 減少하는 傾向을 나

타났다.

그림 33에서 나타낸바와 같이 載荷時間이 길게 되면 二次壓密이 增加되어 土粒子骨格의 creep 沈下現象 때문에 二次 壓密係數도 커진다고 생각된다

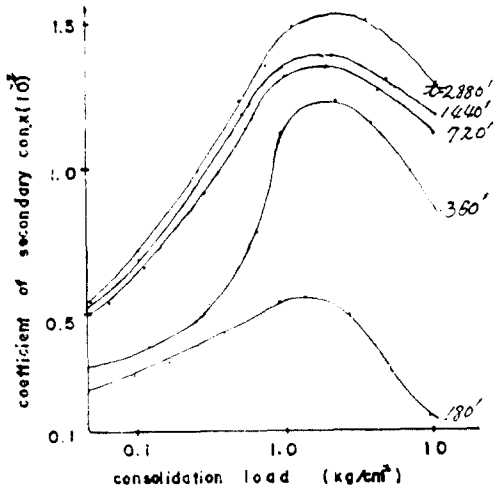


Fig. 36. Relationships between coefficient of secondary consolidation and consolidation load for various load increment duration.

또한 二次壓密係數의 最高點의 荷重이 先行荷重과 같고 載荷時間이 길수록 크게 나타났다. 이는 그림 29에 나타낸바와 같이 先行荷重은 載荷時間과 密接한 關係가 있는 것으로서 載荷時間이 길수록 一次 壓密終了點까지의 時間은 짧아지므로 二次 壓密係數는 큰 값을 나타내고 또 先行荷重은 작은 값을 나타냈다.

## VI. 綜合考察

軟弱地盤上에 土木構造物을 設置하고자 할때 그 構造物에 의한 豫想沈下量을 推定하여 設計에 反映한 構造物의 安全上 重要한 일이고 이와 같은 沈下量을 計算하기 위하여 標準壓密試驗에서 壓密係數를 求하여 沈下解析을 하고 있다. 그러나 實際의 現場條件은 實驗室의 條件과는 다르기 때문에 壓密試驗에서 試料의 規格과 載荷條件을 變化시켜 壓密試驗을 實施하여 壓密 諸係數를 求하고 標準壓密試

驗과 比較해본 結果 壓縮指數는 試料의 두께가 標準狀態보다 큰 25mm에서 가장 컸고 이보다 작을 때는 15mm, 10mm의 順序로 작아졌다.

또 荷重增加率이 標準值보다 큰 3에서 壓縮指數의 값은 가장 컸고 荷重增加率이 작을수록, 壓縮指數의 값은 減少되었다. 工事現場에서는 標準壓密試驗에서 求한 壓縮指數를 使用하여 土層의 沈下量을 求하고 있으나, 實驗結果에 의하면 試料의 두께, 載荷時間, 荷重增加率이 變化함에 따라 壓縮指數의 값도 變化되므로 試驗結果를 利用하여 土層의 沈下量을 算定하고자 할때는 荷重增加率을 크게 할수록 또 試料의 두께가 작을 수록 沈下量은 크게 算出된다.

先行荷重은 試料의 두께가 커짐에 따라 큰 값을 나타냈고, 荷重增加率과 載荷時間이 클수록 작은 값을 나타냈다. 現在 先行荷重은 主로 Cassagrande<sup>(13)</sup>의 方法에 의하여 求하고 있으나 그 외에도 Leonards<sup>(37)</sup>, Burmister<sup>(8)</sup>, Schmertman<sup>(42)</sup>, Crawford<sup>(14)</sup> 및 Janbu 等의 方法도 있다.

本 實驗에서는 이들 各各의 方法에 의하여 求한 값의 平均值가 Schmertman의 方法에 의하여 求한 값과 제일 가까웠고 또 試料의 두께 20mm, 荷重增加率 1 및 載荷時間 2,880분 일때 Schmertman의 方法에서 求한 값에 接近 되었으므로, Schmertman의 方法에 의하여 先行荷重을 求함이 좋을 것으로 생각된다.

二次 壓密係數는 試料의 두께가 클 수록 減少되었고, 載荷時間과 荷重增加率이 클 수록 큰 값을 나타냈다. 試料의 두께가 작으면 土粒子의 配向性이 增大되고<sup>(38)</sup>, 土粒子 構造의 安定化現象이 促進되므로 二次壓密係數는 커지며, 荷重增加率과 載荷時間이 크게 되면 二次壓密係數의 값도 크게 나타났다.

標準壓密試驗에서 壓密係數가 載荷重에 따라 變化하는 것은 주지의 사실이나, 試料의 두께, 荷重增加率 및 載荷時間이 클 수록 크게 나타나는 경향이 있다.

實際沈下速度를 計算함에 있어서 壓密係數는 一次 壓密範圍內에서 取扱되므로 그림 17 및 그림 27에 나타낸 바와 같은 壓密速度-時間曲線에서 一次 壓密終了點의 時間을 求하고 이 時間內에서 壓密試驗을 하여 求한 壓密係數의 값으로 沈下速度를 推定하는 것도 하나의 方法으로 생각 할 수 있다.

VII. 摘 要

標準壓密試驗의 結果와 比較하기 위하여 牙山灣에서 採取한 粘土를 使用해서 試料의 두께와 荷重增加率 및 載荷時間을 여러가지로 變化시켜 壓密試驗을 하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 本試驗에 使用된 試料는 溶脫作用을 받은 粘土로써 試料의 두께가 작을수록 또 荷重增加率과 載荷時間이 커짐에 따라서 空隙比의 變化는 크게 나타났다.
2. 壓密係數는 試料의 두께, 荷重增加率 및 載荷時間이 클 수록 큰 값을 나타냈다. 二次壓密係數는 先行荷重附近에서 가장 큰 값으로 되고 또 試料의 두께와 載荷時間이 커짐에 따라 減少되었다.
3. 先行荷重의 값은 試料의 두께가 클 수록 또 荷重增加率과 載荷時間이 작을 수록 크게 나타났다.
4. 壓縮指數는 荷重增加率이 크면 增加되고 試料의 두께가 커짐에 따라 減少되었다.
5. 初期壓縮比는 試料의 두께, 荷重增加率 및 載荷時間이 작을 수록 큰 값을 나타내었고, 二次壓密에 對한 一次壓密의 比는 試料의 두께 및 荷重增加率이 커짐에 따라 減少되었다.
6. 一次壓密終了點의 時間은 試料의 두께가 클 수록 또 荷重增加率이 작을수록 크게 나타났으며 載荷重이 클 수록 큰 값을 나타냈다.
7. 壓縮指數는 試料의 두께가 작을 수록 컸고 또 荷重增加率이 클 수록 작게 나타났으며 壓密係數는 試料의 두께와 荷重增加率이 크고 載荷時間이 길어짐에 따라 크게 나타났으므로 現場에서의 沈下量算定은 實驗室에서의 試料의 두께가 작을 수록 또 荷重增加率이 클 수록 큰 값으로 되며 壓密速度는 試料의 두께와 荷重增加率이 크고 또 載荷時間이 길어짐에 따라 빨라질 것으로 생각된다.

以上과 같은 結論은 極히 制限된 一部 試料에 對하여 標準壓密試驗과 比較實施한 結果를 간추린 것으로 이것을 現場條件에 適用시키려던 보다 더 많은 研究가 계속되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. Altschaeffl, A.G. Leonards G.A, Compressibility of clay. Jour of soil Mech. & Foud. Div, Proc. of Am. Soc. of Civil Engr. 90 : 133 (1964)
2. 網干壽夫, 三笠正人, 土의 壓縮 と 壓密, 土質力學ハンドブック 技報堂, 135(1965)
3. 網干壽夫, 壓密試驗, 土質試驗法, 土質工學會, 304(1969)
4. 網干壽夫, 吉國洋, 丸州誠一郎, 定率漸增壓密試驗法, 土と基礎 18(4) : 49(1970)
5. 網干壽夫 壓密試驗結果의 適用と限界, 土と基礎 21(4) : 25(1973)
6. 赤石勝, 稻田倍徳, 森田定市 現場壓密特性について, 第8回 土質工學研究發會, 117(1973)
7. Buisman, K. Results of long duration settlement tests, proc, 1st Intl. conf. on SMFE, Boston, 1 : 103(1936)
8. Burmister, D.M. Suggested Methods of American Society of Testing, D-18 pp. 287-295, (1958), qated by ASTM, SR, No254, pp. 255
9. Bishop, A.W., Lovenburg, H.T, Creep characteris of two undisturbed clays, proc, 7 Intl, Conf, SMFE Mexco-city 1 : 27(1969)
10. Barden, L., Primary and secondary consolidation of clay and peat, Geotechnique, 18(1) : 1(1968)
11. Barden, L., Consolidation of clays compacted dry and wet of optimum water content Geotechnique, 24(4) : 605(1974)
12. Brinch-Hansen J., Tests and formulas concerning secondary consolidation, Proc. of the 6th Int. Conf on SMMFE, 1 : 45(1965)
13. Cassagrande A., The determination of the Preconsolidation load and principal significance, proc 1st Intl. Conf. on SM & FE, 3 : 34(1936)
14. Crawford C.B. Interpretation of the consolidation test, Proc. ASCE. 90(9) : 87(1964), quated by 土質試驗法 pp. 137
15. Croce A. Jappli R. Rzllegrind A., Compressibility and Strength of stiff Intacted Clay, proc of the 6th. Intl. Conf, on SMFE., 9 : 81

- (1969)
16. Conforth D.H. One-dimensional consolidation Curves of Medium Sand, *Geotechnique* 24(4) : 678(1974)
  17. Cozzolino, E.V.M., Statical forecasting of compression Index, *Proc. of the 5th Int. Conf. on SMFE*, 1 : 51(1961)
  18. 竹中準之介, 軟弱粘土の壓密計算における一提案, *土木學會 第17回 講演會*, 7(1962)
  19. De Bruijn, C.M.A., Swelling characteristics of a transported soil, *Profile at Leeu-hof engineering, proc of the 5th Int. conf on Soil Mech. & Found. Engr.*, 1 : 43(1961)
  20. Frondard. J. Notice Surl, accident dela dique decharmes. *Am ponts et chaussées*, 23(1914) quoted by *土質力學, 技報堂*, 444(1969)
  21. Gray, H., Progress report on Research on the consolidation fined-grained soils, *proc, Intl. conf. S.M. Boston*, 2 : 139(1936)
  22. 川崎浩司, 土の乾燥と壓密性との相關性, 第3回 土質工學研究發表會, 147(1968)
  23. 川上浩・阿部慶史 不飽和土の壓密性, 第8回 土質工學研究發表會講演集 133(1973)
  24. Hamilton J.J. and Crafordw C.B., Imporved Determination of Pre-consolidation pressure of a sensitive clay, *ASTM*. 254 : 254(1916)
  25. Harrey. E. Wahls, A.M. Analysis of primary and Consolidation, *Journal of the soil Mech and Found. Divi.* 6 : 207(1962)
  26. 石井靖丸, 土の 壓密試驗, 土と 基礎 3 : 35 (1955)
  27. 石塚幹剛, 壓密過程において 壓密特性の變化する 粘土の 一次元壓密について, 第4回 土質工學研究發表會 講演集, : 343
  28. 秦柄益, 粘土地盤의 空隙水壓, *大韓土木學會誌* 12(1) : 41(1964)
  29. —, 壓密에 依한 時間沈下曲線의 計算圖表, *大韓土木學會誌* 14(1) : 56(1966)
  30. 鄭寅峻 軟弱地盤의 沈下에 關한 研究, *大韓土木會誌* 18(3) : 1(1970)
  31. —, 試料와 地層의 두께가 二次 壓密에 주는 影響, *大韓土木學會誌*12(2) : 1(1972)
  32. Karol; R.H., Rapid technique of consolidation testing, *symposium on consolidation testing of soils S.T.P* 126 : 53(1963)
  33. 金翔圭, 壓密試驗時의 空隙水壓, *大韓土木學會誌* 18 : 15(1970)
  34. —, 載荷條件에 따르는 粘土의 壓沈特性, *大韓土木學會誌* 18(3) : 20(1971)
  35. 姜秉熙, 荷重條件이 軟弱粘土의 壓密에 미치는 影響, *大韓土木學會誌* 15 : 27(1971)
  36. —, Back pressure 가 海性軟弱粘土의 壓密에 미치는 影響, *大韓土木學會誌* 20(4) : 32(1972)
  37. Leonards G. A. and Girault. G. A. study of the one-dimensional consolidation test. *proc 6th, Intl. conf, on SMFE.*, 1 : 198(1961)
  38. Lowe, J., New concepts in consolidaton and settlement Analysis, *J. of Geotechnical Engr. Division, proc. ASCE.* 100 : 547(1974)
  39. Mac Farlane, I.C., The consolidation of peat, A literature riview, technical paper, 195, Division of Building Research, National Council, Ottawa, Ontario, Canada, quoted by Div, *Proc. ASCE*, 99 : 126(1965)
  40. 丸山誠一郎, 網干壽夫・吉國洋 土質試驗法に關する研究 第4回 土質工學研究發表會 講演集 349(1969)
  41. 森鹿葵, 壓密壓力にもとづかない 粘着力が鋭敏比におよぼす 影響, *土と基礎*, 10(8) : 3 (1962)
  42. 松尾新一郎, 木暮敬二, 細粒土の 透水性 に與える影響, 第4回 土質工學研究發表會, 297(1969)
  43. Moh, E.C., Nelson J.D., and Brand, E.W., Strength and deformation behaviour of Bangkok caly, *proc. 7th International, conf. SMFE, Mexco.* 1 : 287(1969)
  44. Moh, E.C., Brand E.W., and Teves A.S., Mechanical interpretation of compression characteristics of a soft marine clay, *Geotechnique Engr. J. of south East Asian Soc., Soil Engin. Bangkok* 3(1) : 21(1972)
  45. Mesri, G. Coefficient of secondary compression, *Soil Mech, Pound. Div. proc., ASCE*, 99 : 123(1973)
  46. Mesri, G. Rokhsar. A., The theory of consolidation of clays, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 1740(8) : 889(1974)
  47. 三田地利之, 北郷繁, 廣牛義夫, 粘性土の強度特性におよぼす 壓密時間の影響, 第8回 土質

- 工學研究發表會, 299(1973)
48. Northey, R.D., Rapid consolidation tests for Routine investigations, Christchurch No.2, 2nd Australia-Newzealand: 20(1956)
  49. Newland, P.L and Alley, B.H. A Study of the consolidation characteristics of a clay, *Geotechnique*, 9(2) : 62(1960)
  50. Rutledge, P.C, Relation of undisturbed sampling to laboratory testing, *Trans, ASCE*, 109 : 1155(1944) quoted by foundation Analysis and design: 27(1968)
  51. Schmertman, J.H., Estimating of the true consolidation behaviour of a clay from Laboratory test results, *Proc. Am., Soc. Civil Engr.* 79 : 311(1955)
  52. —, Undisturbed consolidation behavior of clay. *Trens, ASCE*.120(2) : 1201(1955) quoted by 第8回 土質工學研究發表會, 118(1973)
  53. 島田光司, 澤田敏男, 締固め不飽和土の二次壓密について, 第4回 土質工學研究發表會 講演集, 343(1969)
  54. —, 最適含水比以上の 締固め不飽和土の 壓密について, 第3回 土質工學研究發表會講演集 129(1968)
  55. Schultze, E. Kotzias, P. Geotechnical properties of lower Rhine silts, *proc. 5th Intl. conf.* 1 : 329(1961)
  56. 佐佐木伸・寺川誠・柳瀬隆 真空壓密の諸特性について, 第10回 土質工學研究發表會 講演集, 105(1975)
  57. Singh, B., Narain, J. and Deskar, S.R Quasi-pre-consolidation Effects and pore pressure dissipation during consolidation, *proc. of the 7th. Intl. conf. on SMFE.*, 1 : 311(1969)
  58. Taylor D.W, Research on the consolidation of clay, *Mass. Ist technology, Serial* quoted by ASTM., S.R 254 : 254(1942)
  59. Terzaghi K., Die Berechnung der Durchlaessigkeitsziffer das tones aus dem verlauf der hydrodynamisches Spannungsercheinungen, *sitzungsberichte der Akademie der wissenschaften Abt. II a, viena*, 123(1923) quoted by G.P.T. *Soil Mechamics*, 101(1969)
  60. Jan, J. K., Consolidation and Secondary time effects of homogeneous, Anisotropic, Saturated clay strata, *proc.,5th, Intl., conf.* 1 : 367(1961)
  61. 土質工學會 壓密試験, 土質試験法 492(1969)
  62. Thompson, W.J Some Deformation characteristic of a Saturated Remoulded silty clay *proc. of 6th Intl. conf. on SMFE*, 6 : 373(1965)
  63. Thurairajah, A., One-dimensional consolidation characteristics of Thunukkai clay *proc. 3rd Asian, Regional Conf., Hai-Pai*, 318(1967)
  64. Tschebotarioff, G.P., *Soil Mechanics*, McGraw-Hill, 59(1951)
  65. 大嶺正紀, 清水博樹, 粘土の一次元壓密に及ぼす 荷重増加比の影響について, 第10回土質工學研究發表會, 91(1975)
  66. Tien-Hsing Wu, Laurits, Bjerrum, Fundamental Shear-strength Properties of the Lilla Edet Clay, *Geotechnique*, 10(1) : 101(1960) No. 1~4, pp. 101~107.
  67. Walker, L.K., and Raymond, G.P., The prediction of consolidation rates in a cemented clay., *Canadian Geotechnical Jour.* 5(4) : 193(1968)
  68. 吉中龍之進・久保島信行・風間秀彦, 壓密過程における コオリンの構造變化, 第8回 土質工學研究發表會講演集 : 97(1973)
  69. 山本武夫・森克彦, 軟弱地盤の壓密度を求める簡易計算圖表, 土と基礎, 18(12) : 27(1970)
  70. 山内豊聰, 安原一哉, 有機質粘土の Ko 壓密と排水クリーブについて, 第8回 土質工學研究發表會講演集 : 129(1973)