

壓密特性에 關한 研究 (I)

(先行荷重이 壓密特性에 주는 影響)

A Study on the Characteristics of Consolidation of Soils (I)

(The Influence of Pre-consolidation Load of
Soils on Consolidation Characteristics)

柳 能 桓* · 姜 久 默**
Neung Hwan Ryu, Yea Mook Kang

Summary

The determination of the pre-consolidation load known to have a great effect on the consolidation characteristics of the soil have been researched and discussed in detail by many other researchers. A study was undertaken to investigate and compare the effect of pre-consolidation loads on the coefficient of permeability and the consolidation characteristics of soil through the consolidation test on the three types of soil samples. The results of this study are follows;

1. Large compression index is dependent on initial void ratio of the sample being used and the pressure-void ratio curve shows a curved linear relationship in over-consolidated area but a linear relationship in normally consolidated area.
2. Settlement-time curve is S-shaped where the pressure is larger than pre-consolidation load and regardless of over-burden pressure, it is a similar straight line respectively in the secondary consolidation area.
3. Primary consolidation ratio of the sample increases almost linearly with the increase of over-burden pressure but the coefficient of volume compressibility decreases linearly with the increase of it.
4. Time factor of a certain degree of consolidation increases with over-burden pressure but the coefficient of consolidation decreases with it in over-consolidated area. There is a linear relationship between them in normally consolidated area.
5. The void ratio of completion point of primary consolidation decreases linearly

*忠南大學校 大學院

**忠南大學校 農科大學

with over-burden pressure.

6. The coefficient of permeability of sample decreases linearly with over-burden pressure in normally consolidated area, also it increases linearly with increment of the void ratio of the sample.

I. 序 論

흙은 一般物體와는 달리 土粒子와 물 그리고 空氣로 構成되어 있기때문에 荷重을 加하면 土粒子間隙에 있는 물 공기 등이 排出되어 體積이 減少되므로 力學的 強度가 增大된다. 이와같은 現象이 飽和된 土層에서 長期間에 걸쳐 進行될 때 壓密(Consolidation)이라고 하며 Terzaghi⁽¹⁰⁾가 1923년에 飽和粘土의 壓密過程에 있어서의 壓密速度에 對한 理論的 解析方法을 最初로 發表한 以來 基礎地盤設計에 對한 重要性이 認定되어 土質力學的의 重要한 一分野를 占하게 되었다. 1923년에 Casagrande^(6, 10, 11)는 粘土試料에 液性限界程度의 물을 加하여 반죽한 試料의 壓密試驗結果를 半對數用紙에 圖示하여 先行荷重(Pre-consolidation load)을 圖解의 方法으로 求하는 方法을 提案했다. 當初 壓密에 對한 研究은 바다속에 있는 堆積粘土에 對하여 시작되었고 이들 粘土에 對한 先行荷重은 主로 上層土가 浸蝕으로 除去되었거나, 地下水位의 降下 및 氷河時代에 氷層에 依한 壓力을 받았던 것으로 推定되며, 흙의 力學的 性質은 이들 先行荷重의 狀態에 따라 크게 다르다. 어느 地層에 對한 先行荷重의 決定方法은 여러 학자들에 依하여 提案되었으나 이들은 大部分이 主觀的인 解析方法이었다. Leonards^(22, 20) 등은 粘土試料을 攪亂시켜서 再壓密할 때 荷重增加率을 아주 작게하여 壓密을 繼續하면 載荷重-壓密關係는 좀 다른 樣相을 띄는 所謂 類似先行荷重이 發生한다고 했다. Schmertman⁽⁴⁰⁾은 試料가 攪亂되면 先行荷重과 壓縮指數는 크게 減少한다고 했고 또한 壓密에 對한 圖解的 解析方法을 提案했다. Altschaeffl⁽¹⁾은 荷重增加率($\frac{\Delta P}{P}$)이 0.4以下로 되면 壓密曲線은 原來의 處女曲線에서 分離되어 先行壓密荷重이 求해지지 않는다고 했다. 三笠^(4, 20) 등은 $e-\log p$ 曲線上에서 求한 先行荷重은 間隙比 및 載荷時間의 縮尺을 여러가지로 變化시키면 다르게 나타난다고 했다. Brinch-Hansen⁽⁷⁾은 試料의 狀態가 二次壓密에 주는 影響을 研究하여 先行荷重은 $4 \cdot e_0^{-4}(t/m^2)$ (e_0 : 初期間隙比)임을 提案했고, Novais-Ferreira⁽³⁷⁾는 細粒

砂와 粗粒砂에 各各 粘土의 含有量을 달리하여 混合한 후 다짐시험을 하여 다시 壓密試驗을 하였을 때 이 다짐하중을 先行荷重으로 간주했다. 또 日本 建築學會⁽⁴⁸⁾에서는 基礎말뚝의 沈下量 解析에서 縱軸에 沈下速度($\frac{ds}{d \log t}$), 橫軸에 荷重(p)을 取하여 表示했을 때 急激히 屈折하는 點에 對應하는 點의 荷重을 先行荷重이라고 했고 또 橫軸에 沈下量, 縱軸에 荷重을 取하여 表示했을 때 急激히 屈折하는 部分의 荷重을 先行荷重이라고 發表한 바 있다. 森田⁽³¹⁾ 등은 攪亂에 依하여 先行荷重은 實際보다 커진다고 했고 또 試料의 攪亂이 先行荷重에 주는 影響을 除去하려면 試料採取時에 先行荷重의 2-4倍程度의 荷重을 加하여야 한다고 發表했다. 梶島⁽⁴⁰⁾ 등은 先行荷重은 粘土構造에 對한 一種의 強度로 取扱하여 그 흙의 一軸壓縮強度의 2배($P_0=2qu$)程度로 되고 壓縮指數(C_c)와는 $P_0=0.355-\frac{C_c}{2.066}$ 의 關係가 나타남을 發表한 바 있다. Hamilton 및 Crawford⁽²¹⁾ 등은 變形制禦式 壓密試驗器를 使用한 壓密試驗에서 變形率을 아주 작게한 結果, 先行荷重 以下의 荷重狀態에서는 變形率이 거의 一定하게 되나 先行荷重을 超過하면 先行荷重以前과는 아주 다른 形態의 變化를 하게 된다는 點에, 착안하여 이들 變曲點의 荷重이 先行荷重임을 發表했다. Moh^(23, 42) 등은 壓密荷重과 二次壓縮係數(C_e)를 圖示한 結果 二次壓縮係數의 最高點에 該當하는 荷重이 $e-\log p$ 曲線에서 變曲點荷重의 2배에 該當한다고 發表했다. Janbu⁽⁴⁴⁾는 荷重 載荷時間 및 沈下量에 對한 抵抗의 概念을 導入하여 先行荷重을 求한 바 있다. 本研究에서는 以上の 여러가지 方法으로 求한 先行荷重 가운데서 類似한 것만을 取하여 그의 平均값을 先行荷重으로 決定하고 그 先行荷重 前後에서의 壓密特性을 考察해 왔다. 앞으로 계속하여 壓密特性에 影響을 주는 要素中, 載荷重增加率, 載荷期間, 初期間隙比, 載荷重을 받는 地層에 두께의 影響에 對하여 研究코자 한다.

II. 材料 및 實驗方法

本實驗에 使用한 試料은 京畿道 平澤郡 賢聖面 牙

Table-1 Physical properties of soil

Numbers of sample	Atterberg Limit(%)			Specific Gravity	Coefficient of Uniformity	Coefficient of Curvature	Moisture Contents of natural State (%)	Soil Classification
	LL.	PL.	PI.					
A	29	16	13	2.59	13	1.5	23	CL
B	33	21	12	2.59	16	4.0	54	CL
C	32	30	12	2.53	24	2.0	28	CL

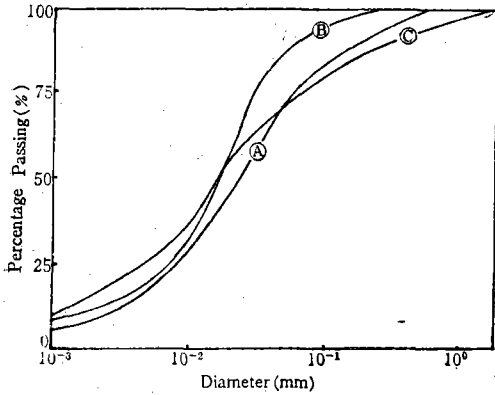


Fig. 1. Grain size distribution curve of soil

山灣地內(A, B) 및 大田市 桃馬洞(C)에서 採取硯고(채취심도 1.2m), 實驗方法은 KSF 2316에 依한 것으로 흙의 物理的 性質은 표-1 및 그림-1과 같다.

III. 實驗結果 및 考察

1. 載荷重-間隙比

森田⁽²¹⁾는 軟弱粘土에 對한 壓密試驗에서 初期間隙比가 큰 試料에서 沈下量은 크다고 發表한바 있고, 壓密曲線에서 後期部分에 直線의 勾配인 壓縮指數(C_c)^(6, 12, 18, 19)는 Skempton⁽⁴⁴⁾에 依하면 攪亂되지 않은 試料에서는 $C_c=0.009(LL.-10)$ 로 提案했고 Cozzolino⁽¹²⁾ 등은 $C_c=0.0186(LL.-30) \pm 0.4$ 및 $C_c=1.21+1.055(e-187) \pm 0.34$ 로 提案한바 있다. Penta⁽⁴⁰⁾ 등은 $\frac{1}{C_c}$ 은 初期間隙比의 增加에 따라 直線의 으로 減少한다고 發表했고 高山⁽¹⁴⁾ 등은 攪亂되지 않은 試料의 壓縮指數는 攪亂된 試料의 壓縮指數보다 約 1.3倍 크다고 했고, 小川⁽¹⁷⁾도 初期間隙比와 壓縮指數와의 關係를 發表한바 있다.

Rutledge^(13, 28, 41, 52) 등은 試料가 攪亂되면 壓縮指數가 減少되고 初期間隙比가 1.5보다 크면 壓縮指

數는 直線이 되지않고 上向曲線狀을 이룬다고 했다. 그림-2는 間隙比와 荷重과의 關係를 半對數用紙에 表示한 것으로서 初期間隙比가 큰 試料에서 沈下量과 壓縮指數는 높고 膨脹指數는 그 反對로 작게 나타났으므로 初期間隙比와 壓縮 및 膨脹은 密接한 關係가 있는 것으로 思料되며 先行荷重을 進후하여 壓密曲線의 모양도 曲線에서 直線의 形態로 바뀌는 傾向을 보였으며 先行荷重의 값은 표-2와 같이 Casa-grande⁽¹¹⁾ 의 여러學者들의 方法에 依한 값을 平均했다.

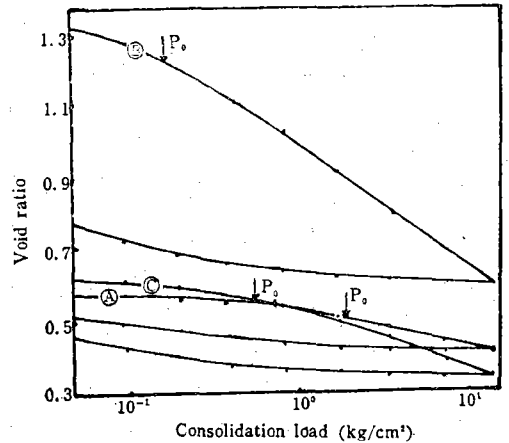


Fig. 2. Relationship between void ratio and consolidation load.

2. 沈下量-沈下時間

佐佐木⁽⁴⁵⁾는 眞空壓密試驗과 普通壓密試驗을 比較分析한 結果 一次壓密領域에서는 眞空壓密試驗의 便이 壓密이 빨리 이루어지고 $\log e \sim \log t$ 曲線은 勾配가 $\frac{1}{2}$ 인 直線狀을 나타낸다고 했다. Lowe⁽²⁷⁾ 등은 漸增載荷壓密試驗에서 先行荷重보다 작은 荷重에서는 二次壓密現象은 나타나지 않고 先行荷重 以上の 荷重에서 $e \sim \log p$ 曲線은 反向曲線狀을 이루며 沈下時間도 短縮된다고 했다. 本實驗에서는 沈下量과 沈

下時間과의 關係를 半對數用紙에 表示한 結果 그림-3과 같이 A試料에서는 1.6kg/cm², B試料에서는 0.2kg/cm², C試料에서는 0.4kg/cm²以上の 荷重에서 反向曲線이 이루어졌으며 이들의 값은 先行壓密荷重과 大略 비슷했고, 同一試料에서 各荷重段階에 對한 曲線群의 二次壓密部分은 直線으로 되어 거의 一致 되어가는 現象을 보였다.

Table-2 The values of pre-consolidation load.

method	Sample	A (kg/cm ²)	B (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)
Casagrande ⁽¹¹⁾		1.9	0.16	0.65
Janbu ⁽²⁴⁾		2.2	0.18	0.69
Brinch-Hansen ⁽⁷⁾		2.3	0.19	0.70
Kawa Shima ⁽²⁰⁾		2.0	0.17	0.66
土質工學會セン斷試驗 法委員會案 ⁽⁴⁸⁾		2.4	0.16	0.68
Average		2.1	0.17	0.67

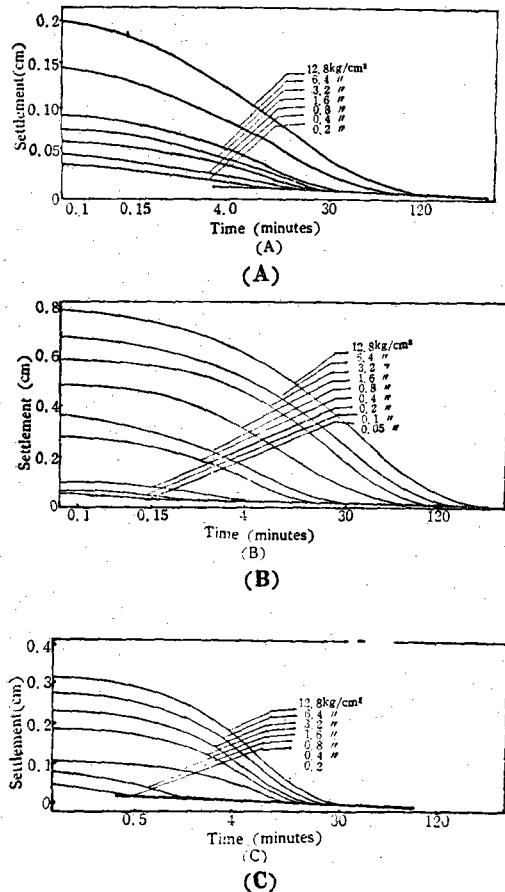


Fig. 3. Relationship between settlement and time.

3. 一次壓密比—載荷重

現在 壓密沈下量을 求하는데 二次壓密을 一次壓密에 包含시켜서 적용하는 例가 있다. 網干⁽⁴⁾는 地層의 厚度가 2m이상으로 되던 二次壓密은 完全히 一次壓密에 包含된다고 했다. 實驗室에서 一般粘土의 一次壓密은 載荷後 한時間內에 完了되고 그 以上の 壓密은 二次壓密에 該當하는 土粒子 骨格의 Creep 現象으로써 이는 粘土層의 厚度나 載荷時間에 따라 다르다고 했다. ^{(8), (9)} 그림-4는 試料 A, B, C에 對한 一次壓密比와 荷重과의 關係를 表示한 것으로서 過壓密領域에서는 載荷重의 增加에 따른 一次壓密比는 不規則的이나 正規壓密領域에서는 荷重增加에 따라 直線的인 增加 現象을 보였다. 그림-5는 一次壓密比(r)와 一次壓密終了點의 間隙比(e_{100})와의 關係를 表示한 것으로 $r-e_{100}$ 은 直線關係가 成立하고 一次壓密終了點의 間隙比가 클수록 一次壓密比는 減少하는 直線關係가 成立한다.

이와같은 事實은 同一試料에서 荷重이 增加되면 一次壓密終了點까지의 時間이 延長되어 沈下量이

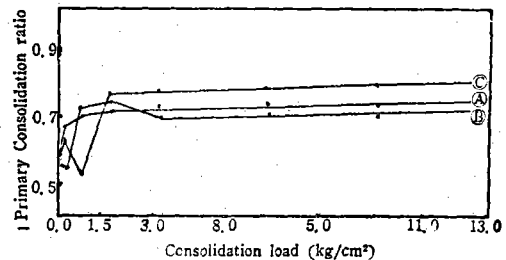


Fig. 4. Relationship between primary consolidation ratio and consolidation load.

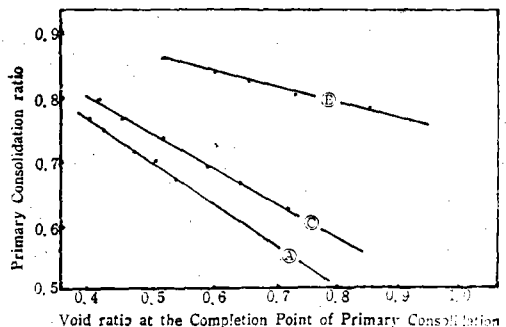


Fig. 5. Relationship between void ratio of completion point of primary consolidation and primary consolidation ratio.

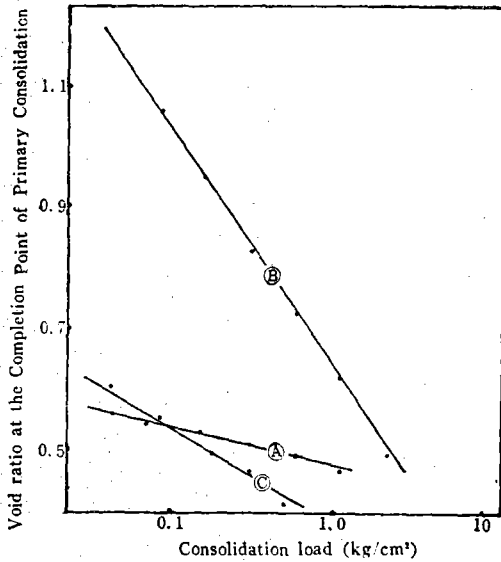


Fig. 6. Relationship between void ratio at the completion point of primary consolidation and consolidation load.

增加되므로 間隙比가 減少되는 現象이라고 할수 있다. 그림-6은 載荷重과 一次壓密終了點의 間隙比와의 關係를 表示한 것으로 荷重增加에 따라 一次壓密終了點의 間隙比는 減少되는 直線關係를 보였고 그 直線의 기울기는 自然含水比가 높았던 試料에서 急한 경사를 보였다.

4. 壓密度—時間係數

Terzaghi⁽⁵⁰⁾의 理論에 依하면 壓密度는 間隙水壓의 分布狀態를 表示하는 것이라고 하였고^(8, 20, 22, 23) 三笠⁽⁵¹⁾에 依하면 새로운 壓密理論에서 間隙水가 排除될 때 여러가지 水理學的 時間延遲現象을 감안할 때 壓密度는 變形率의 分布狀態로 表示함이 妥當하다고 했다. Thompson⁽⁵²⁾은 荷重增加率을 크게 하면 壓密度는 減少된다고 提案한바 있고 또 Fox⁽⁵³⁾는 Terzaghi의 壓密理論式을 修正하여 壓密度(u) 50% 以下($0 < T_v < 0.2$)에서는 $u = \sqrt{\frac{T_v}{\pi}}$ 에 該當하고 壓密度 50% 以上에서 ($T_v > 0.2$)는 $u = 1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot e^{-\pi^2 \frac{T_v}{4}}$ 임을 提案했다. 그림-7은 여러가지 荷重에 對한 壓密度와 時間係數와의 關係를 表示한 것으로 A試料에서는 實驗曲線은 理論曲線보다 上位에 있고 B試料에서는 3.2kg/cm²에서 理論曲線과 一致되었고 C試料에서는 理論曲線보다 下位에 있었다. 이는 初期間隙比와 密接한 關係가 있는 것으로 思料되며

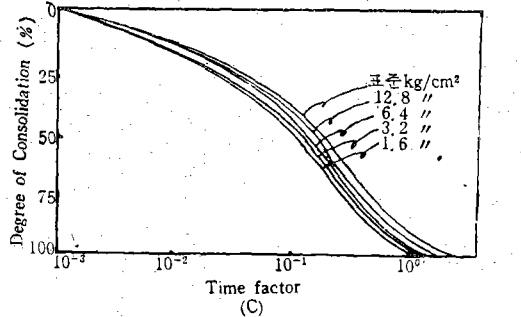
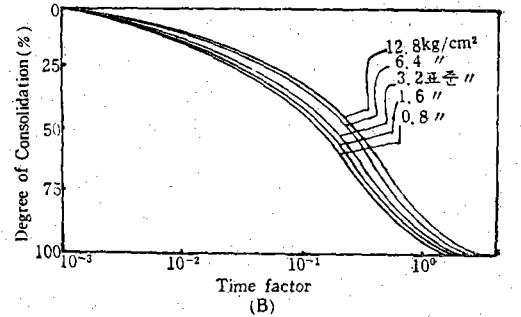
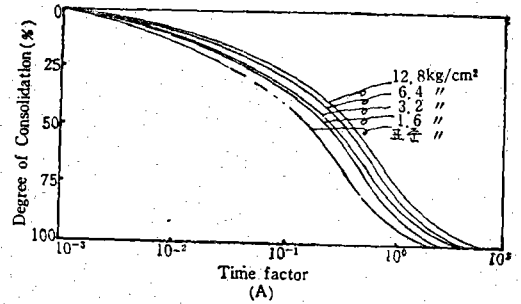


Fig. 7. Relationship between degree of consolidation and time factor.

어느 壓密度에 이르는 時間係數는 荷重이 增加할 수록 커진다는 것도 알 수 있었다.

5. 載荷重—體積壓縮係數

淺川⁽⁵⁾는 體積壓縮係數(m_v)는 先行荷重近處에서 가장 큰 값을 나타내며 載荷重이 先行荷重보다 크면 어느 一點에 수렴하는 傾向이 있다고 했다. 森田⁽⁵¹⁾ 등은 silt質粘土에 對한 壓密試驗에서 載荷重이 增加하면 體積壓縮係數는 어느 一定한 點에 모이는 傾向을 보였다라고 했고($m_v = 0.8 \sim 1.2 \text{ cm}^2/\text{g}$) 또 先行荷重 以上에서는 直線變化를 한다고 報告했다.^(6, 14, 17) 그림-8은 體積壓縮係數와 載荷重과의 關係를 表示한 것으로 正規壓密部分에서는 $\log m_v \sim \log p$ 의 關係는 直線이 되고 過壓密部分에서는 荷重 增加에 따

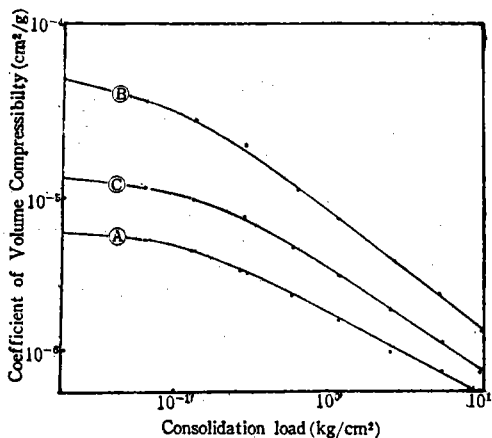


Fig. 8. Relationship between coefficient of volume compressibility and consolidation load.

은 體積壓縮係數의 變化는 작아서 正規壓密領域에서와 같은 一般의 傾向은 나타나지 않았다.

6. 載荷重-透水係數

Jimenez⁽²⁵⁾는 Madrid地方의 粘土에 Li, Na, K, Ca, Ba 등의 鑛物性분을 混合하여 壓密試驗을 한 結果 $\log K \sim e$ 曲線은 直線變化를 하고 그 直線의 기울기는 Ba가 가장 크고 Ca, K, Na, Li의 順으로 되었다고 發表했다. 石川⁽²⁸⁾는 正規壓密部分에서 間隙比와 透水係數사이에는 $e_0 - e = -C_c \cdot \log_{10} \frac{K}{K_0}$ 의 關係式을 發表했고 그 外에도 初期間隙比와 透水係數에

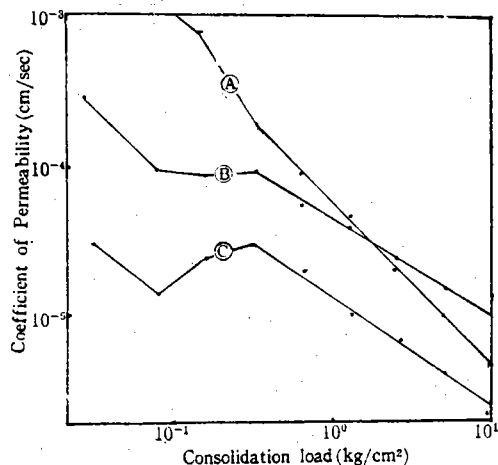


Fig. 9. Relationship between coefficient of permeability and consolidation load.

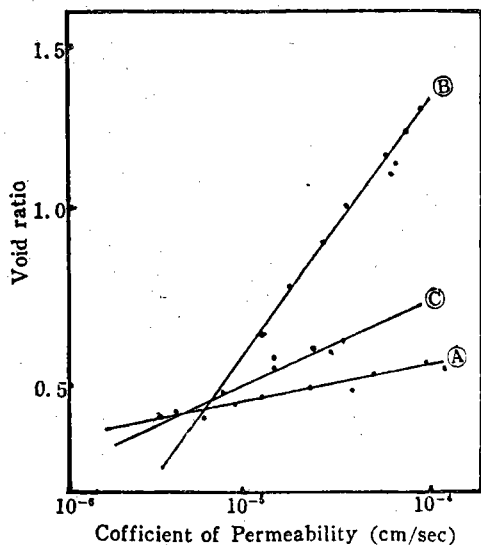


Fig. 10. Relationship between void ratio and coefficient of permeability.

對하여 여러 學者들이 發表한바 있다.^(11, 26, 30, 46)

그림-9는 透水係數와 壓密荷重과의 關係를 表示한 것으로 透水係數는 體積壓縮係數와 같이 正規壓密領域에서는 載荷重의 增加에 따라 直線의 減少하며 過壓密領域에서는 큰 變化가 없었다. 그림 10은 間隙比(e)와 透水係數(k)와의 關係를 表示한 것으로서 $e - \log K$ 는 直線關係를 나타내며 A試料에서 $e = 0.0467 \log K + 0.708$, B試料에서 $e = 0.518 \log K + 3.265$, C試料에서 $e = 0.2148 \log K + 1.275$ 의 關係式을 나타냈고 初期含水比가 높은 試料에서 直線의 기울기가 크게 나타났으므로 初期含水比와 透水係數는 密接한 關係가 있는 것으로 思料된다.

7. 載荷重-壓密係數(C_c)

川崎⁽¹⁶⁾ 등은 品川地區에 沖積粘土에 對한 壓密試驗에서 $C_c = 0.05LL + 0.88$ 의 關係式을 提案했고 竹中⁽¹⁸⁾는 壓密係數의 값은 同一한 흙에서도 攪亂에 依하여 減少한다고 했다.

Novais-Ferreira⁽²⁷⁾는 壓密係數는 粒度分布와도 關係가 있다고 했다. 高田⁽¹⁴⁾는 壓密係數는 泥炭土에서 荷重이 增加함에 따라 減少함을 主張했고 赤石⁽²¹⁾ 등은 壓密係數에 對한 攪亂의 影響은 不分明하다고 했다. 網子⁽²⁾ 등은 \sqrt{t} 法에 依하여 求한 壓密係數는 $\log t$ 法에 依하여 求한 壓密係數보다 크며 標準 壓密試驗에 依한 壓密係數는 漸增荷重에 依한 壓密係數보다 크다고 했다. Moh⁽²³⁾ 등은 Bangkok Clay에 對한 壓密試驗에서 壓密係數는 載荷重의 增加에

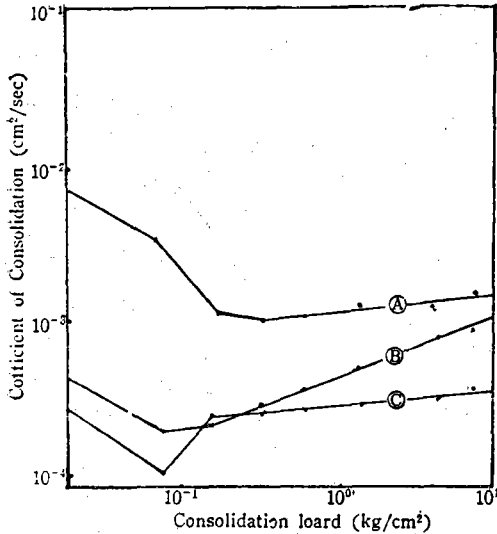


Fig. 11. Relationship between coefficient of consolidation and consolidation load.

따라 曲線的 으로 減少한다고 했고 Wilson⁽⁴⁴⁾ 등은 壓密은 全過程을 通하여 前半 後半 二過程으로 나누워지고 그 狀態가 매우 다르기 때문에 特히 有機質粘土에서는 在來의 壓密試驗方法으로 求한 壓密係數의 값을 그대로 적용함은 無의미한 일이라고主張했고 Rutledge⁽⁴⁵⁾는 先行荷重에서 壓密係數의 값은 가장 크다고 했다. 그림-11은 載荷重과 壓密

係數와의 關係를 表示한 것으로 過壓密領域에서는 不規則한 變化를 하고 있으나 正規壓密領域에서는 直線的인 變化를 보였다.

IV. 結 論

本試驗結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 初期間隙비가 큰 試料에서 壓縮指數의 값은 컸고 荷重-間隙比曲線은 過壓密領域에서는 曲線狀을 이루나 正規壓密領域에서는 直線狀을 이룬다.
2. 沈下量~時間曲線은 先行荷重以上の 荷重에서 S字形曲線이 되고 二次壓密部分은 時間이 增加함에 따라 荷重의 크기와 關係없이 비슷한 直線이 되었다.
3. 正規壓密領域에서는 荷重의 增加에 따라 一次壓密比는 直線的으로 增加하고 體積壓縮係數는 直線的으로 減少한다.
4. 어느 壓密度에 이르는 時間係數의 값은 載荷重이 增加할 수록 커지며 壓密係數는 過壓密領域에서는 載荷重이 增加함에 따라 減少되고 正規壓密領域에서는 直線變化를 한다.
5. 一次壓密終了點의 間隙比는 載荷重增加에 따라 減少되며 이들사이에는 直線關係가 成立한다.
6. 透水係數는 正規壓密領域에서 荷重增加에 따라 直線的으로 減少되고 間隙비가 增加하면 透水係數도 增加하여 直線關係가 나타난다.

參 考 文 獻

1. Altschaeffl, A.G., Leonards., G.A.(1944) : Compressibility of clay, The Soil Mechanics and Foundation Design, ASCE, Vol. 90, No. SM 5, Proc. Paper 4049.
2. 網干壽夫, 吉國洋, 丸山誠一郎(1969) : 壓密試驗法에 關する 研究, 第4回 土質工學研究發表會, pp. 349~354.
3. 網干壽夫, 三笠正人(1965) : 土의 壓縮と 壓密, 土と 基礎, 土質工學 핸드북, 技報堂, pp. 135~166.
4. 網干壽夫(1973) : 壓密試驗法の 適用と 限界, 土と 基礎, vol. 21, pp. 25~32.
5. 淺川美利(1966) : 壓密에 及ぼす 粘土構造의 影響, 土木學會 第21次 學術講演會, pp. 391~394.
6. Akai, K., Adachi, T.(1965) : Study on the one-dimensional Consolidation and the Shear Strength Characteristics of fully saturated Clay in terms of effective Stress, Proc. of 6th Intl. Conf. on Soil Mech. & F.E., Vol. 1, pp. 145~150.
7. Brinch-Hansen, J.(1969) : Tests and Formulas concerning secondary Consolidation, Proc. of 6th Intl. Conf. on Soil Mech. & F.E., Vol. 1, pp. 45~53.
8. Barden, L.(1974) : Consolidation of Clays compacted "dry" and "wet" of optimum water Content, Geotechnique 24, No. 4, pp. 605~625.
9. Casagrande, A.(1932) : Research on the Atterberg Limits of Soils, Public Records.
10. Casagrande, A.(1932) : The Structures of Clay and its Importance Information Engineering,

- Contrib. SM., Bost. Soc., C.E.
11. Casagrande, A.(1936) : The determination of the Pre-consolidation Load and practical Significance, Proc. 1st Intl. Conf. on SM. & FE., Vol. 3rd., pp. D-34 D-36.
 12. Cozzolino, E.V.M.(1965) : Statistical forecasting of Compression Index, Proc. 6th Intl. Conf. SM. & FE. Montreal Vol. 1, pp. 51~53.
 13. Croce, A., Jappelli, R.(1969) : Compressibility and Strength of Stiff Intact Clays, Proc. 7th, Intl. Conf. Soil Mech. & FE. Mexico City, Vol. 1, pp. 81~89.
 14. 高山昌熙(1973) : 有名粘土の鋭敏比一壓縮指數について, 第8回土質工學研究發表會 pp. 117~120.
 15. 高田直俊, 松本善夫(1975) : 泥炭土の壓密過程について, 第10回土質工學研究發表會, pp. 99~100.
 16. 竹中準之介(1962) : 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, pp. 7~14.
 17. 小川富美子(1969) : 載荷時間の壓密係數に及ぼす影響, 港灣技術研究報告, Vol. 8, No. 2.
 18. 小崎浩司(1973) : 土の乾燥性と壓縮性との相關性, 第8回土質工學研究發表會, pp. 147~152.
 19. 山崎浩司(1968) : 土の乾燥性と壓密性との相關性, 第3回土質工學研究發表會, pp. 147~152.
 20. 梶島孝, 油田敬吾(1969) : 有明軟弱土における壓密特性値の相關性について, 土と基礎, Vol. 17, No. 1, pp. 39~42.
 21. Hamilton, J.J., Crawford, C.B.(1959) : Improved Determination of Pre-consolidation Pressure of A sensitive Clay, ASTM, special Technical Publication, No. 254, pp. 254~271.
 22. Iyer, N.V., Deskar, S.R.(1967) : Quasi-Preconsolidation effects and Pore-pressure Dissipation during Consolidation, Journal of the Soil Mech. & FD., ASCE, Vol. 94 SM, pp. 311~315.
 24. Janbu, N.(1968) : The Resistance concept Applied to Deformations of Soils, Proc. of the 7th Intl. Conf. on Soil Mech. & FE. Vol. 1, pp. 191~196.
 25. Jimenez, J.A., Seratosa, J.M.(1953) : Compressibility of Clays, Proc. of the 3rd Intl. Conf. on Soil Mech. & FE. witzerland, Vol. 1, pp. 192~198.
 26. Leonards, G.A., Ramiah, B.K.(1959) : Time effects in Consolidation of Clay, American Society testing Materials, STP, No. 254~116, pp. 116~130.
 27. Lowe, J.(1974) : New Concepts in Consolidation and Settlement Analysis, Geotechnique, Engr. Div., Proc. ASCE 100, No. GT6, pp. 574~612.
 28. 三笠正人(1964) : 壓密現象の見方について一過剰水壓から壓縮指數ヒズミー, 土と基礎, Vol. 12, No. 3, pp. 19~25.
 29. 三笠正人, 高野(1966) : 粘土の壓密特性について, 土木學會 第21回年次學術講演會, pp. IV~42.
 30. 三笠正人(1973) : 軟弱粘土の壓密, 鹿島出版社.
 31. 森田定市, 稻田信徳, 赤石勝(1973) : 現場壓密特性について 第8回工質工學研究發表會, pp. 117~120.
 32. Mesri, G., Rokhsan, A.(1974) : Theory of Consolidation for clays, Journal of the Geotech. Engr. Div., GT' 8, 10740, pp. 889~903.
 33. Moh, Z.C., Nelson, J.D., Brand, E.W.(1968) : Strength and Deformation Behaviour of Bangkok Clay, Asian Ins. Tech. Research Report No. 4, pp. 287~295.
 34. Martins, J.B.(1965) : Consolidation of Clay Layer of Non-uniform Coefficient of Permeability, Proc. 6th Intl. Conf. SM & FE., Montreal, Vol. 1, pp. 308~212.
 35. Newland, P.L., Allely, B.H.(1960) : A Study of the Consolidation Characteristics of a Clay, Geotechnique, Intl. Jour. of Soil Mech., Vol. 10th, No.2, pp. 62~74.
 36. Northey, R.D.(1956) : Rapid Consolidation Tests for Routine investigation, Christ Church, No. 2, Australia Newzealand, pp. 20~26.
 37. Novais-Ferreira, H.(1969) : Clay content and Consolidation, Proc. 7th Intl. Conf. on Soil Mech. & FE. Mexico, Vol. 1, pp. 317~325.
 38. 大平至徳, 小谷章(1968) : 壓密試驗結果の整理法, 第3回土質工學研究發表會, pp. 115~120.
 39. 大平至徳, 小谷章, 加登文士(1969) : $\log \sim \log$ 曲線定規にする壓密沈下一時間關係の整理法, 土と

- 基礎, Vol. 17, No. 9, pp. 17~23.
40. Penta, F., Croce, A.(1961) : Engineering Properties of Volcanic Soils, Proc. 5th Intl. Conf. Vol. 1, pp. 285.
 41. Rutledge, P.C.(1944) : Relation of undisturbed Sampling to laboratory testing, Trans. ASCE, Vol. 109, pp.1155~1216. quoted by Foundation Analysis and Design, pp. 27~35.
 42. Schultze, E., Kotzias, P.(1961) : Geotechnical Properties of lower Rhine Silts, Proc. 5th Intl. Conf. Vol. 1, pp. 329~333.
 43. Skempton, A.W.(1944) : Notes on the Compressibility of Clays, Journal of the Geotechnical Society of London, pp. 119~135.
 44. Skempton, A.W.(1957) : Discussion on the planning and Design of new Hong Kong airport, Proc. Inst. Civil Eng. pp. 305~307.
 45. 佐佐木伸, 遠山茂行(1975) : 真空壓密の諸特性について, 第10回土質工學研究發表會, pp. 105~106.
 46. Schmertmann, J.H.(1953) : Estimating the true Consolition Behavior of a Clay from Laboratory test results, Proc. Am. Soc. Civil Eng., Vol. 79, No. 311.
 47. 澤田敏男, 島山暁司(1965) : 壓密係數に関する一考察, 土と基礎, Vol. 13, No. 9, pp. 19~22.
 48. 土質工學會(1968) : クイ基礎, 土質工學ハンドブック, pp. 413~484,
 49. 土質工學會(1969) : 壓密試験, 土質試験法, pp. 316~340.
 50. Terzaghi(1927) : Die Erddruckerscheinungen in Oestleich beamsprucken Schuet-tungen und die Eutstehung Von Tragkoerpern, Oesterreische Wockenschrift fuer oeffentlichen Baud-ient Viena, pp. 194~199.
 51. Thuraijah, A.(1967) : One-dimensional Conso- lidation Characteristics of thunukkai Clay* Proc. 3rd. Asian regional Conf. Haifai, pp. 318~322.
 52. Teves, A., Moh, Z.C.(1968) : Compressidility of Soft and Medium Bangkok Clay, Asian Institution Technique Research, Report No. 4.
 53. Tompson, W.J.(1965) : Some Deformation Characteristics of a saturated remoulded Silty Clay, Proc. of 6th Intl. Conf. on Soil Mech. & FE., Vol. 6, pp. 373~376.
 54. Walker, L.K., Raymond, G.P.(1969) : The Prediction of Consolidation rates, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 5th, No. 4 pp. 192~216.
 55. 渡邊進, 井元美晴(1962) : 初期間ゲギ比から壓密沈下量を求める方法, 土と基礎, No. 57, pp. 7~11.
 56. Wilson, N.e., Radfordth, N.W., Macfarlan, I.C., Lo, M.B.(1965) : The rates of Consolida- tion for peat, Proc. 6th Intl. Conf. on Soil Mech. & FE. Vol.1, Montreal, pp.409.