

不飽和 粘性土의 剪斷強度 特性에 關한 研究

A Study on the Characteristics of Shear Strength in Unsaturated Cohesive Soils

劉 範 植* · 都 德 鉉**
Beom Sik Yoo, Duk Hyun Do

Summary

In order to investigate the characteristics of the shear strength of the unsaturated cohesive soils which has mean characters of sand and clay widely used for banking, I selected soil samples from An-sung district and, against it, performed direct shear test and unconfined compression test changing grain size, compaction energy and moisture content and also performed triaxial compression test under optimum moisture content.

The results are as follows;

1. As the passing percent of the No. 200 sieve increased from 23.6% to 56.1%, cohesion increased from 0.202kg/cm² to 0.398kg/cm² under the direct shear test and from 0.38 kg/cm² to 1.05kg/cm² under the triaxial compression test, internal friction angle decreased from 44.78° to 34.34° under the direct shear test and from 31.88° to 13.31° under the triaxial compression test.
2. Cohesion showed it's maximum value around OMC and internal friction angle showed a tendency to increase according to the decrease of water content but it's increasing ratio was relatively slow.
3. Decreasing ratio of cohesion and internal friction angle was relatively sensitive according to the decrease of compaction energy.
4. The smaller of the vertical stress and the coarser of the grain size of samples, changing of the volume showed a tendency to increase and as the increase of water content, the shear displacement (d_h) at failure shear stress (τ_f) showed maximum and the τ_f-d_h curve was gentle.
5. To synthesize the results of the direct shear test and the triaxial compression test, cohesion showed higher under the triaxial compression test and internal friction angle showed a tendency to appear higher under the direct shear test.

It seems that we can get correspondent results by removing the side friction of mold with soils and adjusting the vertical stress and shearing speed under the direct shear test.

*安城農業專門大學

**建國大學校 農科大學

I. 緒 論

흙의 變形과 破壞에 關한 여러가지 現象의 解明은 斜面의 安定, 基礎地盤이나 말뚝의 支持力, 土壓等 工學的인 實際問題의 解決을 위한 重要한 課題로 從來 實驗的으로나 理論的으로 이에 대한 研究가 많이 이루어져 왔다.

그러나 흙은 工學的으로 狀態와 構造가 매우 複雜한 材料이므로 이의 力學的 性質의 全貌를 明白히 究明하는 것은 어려운 일이며 現在로서도 解決치 못한 많은 問題點이 남아 있는 實情에 있다.

또한 土體의 安定計算에 必要한 強度定數는 그 흙에 대하여 固有한 것이 아니고 條件에 따라서 變化되는 것으로서 흙의 性質이라기 보다는 흙의 舉動 또는 外的 條件에 대한 응답과도 같은 것이기 때문에 같은 흙에 대하여도 密度, 含水比, 有效應力 및 흙의 構造骨格 등에 따라 變化하는 것이다.

強度定數를 求하는 方法으로서 直接剪斷 試驗은 三軸壓縮 試驗에 比하여 흙의 強度에 直接影響을 주는 間隙水壓을 測定하기에 어려움이 있고 剪斷箱子 內面과 供試體 사이에 作用하는 摩擦力 때문에 砂質土에서는 剪斷 抵抗角이 過大하게 일어지는 등의 問題點이 있으나 試驗裝置가 簡單하고 操作이 容易하며, 試料가 적게 所要되어 良質의 均一한 供試體를 製作하기 쉬운뿐 아니라 供試體가 薄片狀 이므로 壓密이 容易하여 排水剪斷時의 試驗時間이 短縮되고, 力學的 關係를 理解하기 쉬우며 結果 整理도 容易하다는 등의 利點이 있으므로 이들 長點을 살리어 實用化하도록 試驗方法을 開發함이 바람직 할 것으로 생각된다.

또한 直接剪斷 試驗에서 求한 剪斷 抵抗角이나 粘着力이 三軸壓縮 試驗에서의 結果와 大差가 없다면 直接剪斷 試驗을 採擇하는 편이 有利할 것이다.

특히 人工的으로 다짐 施工하는 不飽和 狀態의 흙은 三軸壓縮 試驗으로서도 間隙水壓을 正確히 測定하기 어려우므로 全應力法에 의하여 試驗結果를 解析하게 되며 따라서 實用目的上 實際와 꼭 一致한 다고는 볼 수 없는 反面, 直接剪斷 試驗에서 測面 摩擦이 적고, 剪斷中 過大한 膨脹이 發生하지 않을 境遇에는 直接剪斷과 三軸壓縮 試驗 結果는 相互 大差가 없으리라 생각된다.

本論文은 盛土用 특히 土堰堤의 코어用土로 많이 利用되고 있는 砂質土와 粘土의 中間的 性質을 띠

고 있는 粘性土에 대하여 粒度, 다짐에너지 및 含水比의 變化에 따른 剪斷強度 特性을 究明하고자 直接剪斷, 三軸壓縮 및 一軸壓縮 試驗을 하여 이들의 相互關係를 調査 分析하였다.

II. 研究史

本 研究와 關聯하여 흙의 剪斷強度에 關한 文獻을 調査한바, 1773年 coulomb이 흙의 剪斷強度 公式를 發表한 以來 Terzaghi (1936), Rendulic (1937), Taylor (1944), Bishop (1950) 등은 有效應力과 間隙水壓의 概念을 導入하여 그 關係를 各各 實驗的으로 立證한 바 있으며, Hvorslev (1937)는 Coulomb의 公式에 眞粘着力과 眞內部摩擦角의 概念을 導入하였고, Casagrande (1941)는 排水條件을 區分하여 試驗하였다¹⁾.

高岡²⁾ (1966) 등은 同一 條件으로 다짐 때 粒度가 良好한 試料일수록 內部摩擦角이 크며 粒形이 內部摩擦角에 미치는 影響도 크게 나타났다고 하였으며, 石堂³⁾ (1977) 등은 標準砂와 0.42mm 以下の 細粒土를 混合하여 一軸壓縮 試驗을 한 結果, 細粒土의 含有率이 20% 以上에서는 強度가 急激히 增加하였다고 한다.

內田⁴⁾ (1969) 등은 粘性土와 砂質土를 靜的으로 다져 三軸壓縮 試驗을 한 結果, 含水比가 적을 때에는 작은 變形에서 큰 強度를 나타내며, 飽和度의 增加에 따라 剪斷 抵抗角은 減少하나 粘着力은 飽和度 40~60%에서 最大値를 나타 내었다고 한다.

朴⁵⁾ (1971) 등은 花崗岩質 風化土에 대한 三軸壓縮 試驗 結果, 飽和度 35% 內外에서 最大 粘着力을 나타내었고 剪斷抵抗角은 飽和度가 커짐에 따라 減少하였다고 한다.

谷本⁶⁾ (1957) 등은 砂質土의 剪斷抵抗에 關한 研究에서 含水比의 變化에 따른 剪斷抵抗角의 變化는 작으며 相對密度가 클수록 剪斷抵抗角은 컸다고 하며, 內田⁷⁾ (1968) 등은 다져진 不飽和土에서 겉보기 粘着力은 間隙比에 支配되며 飽和度의 影響은 크지 않았다고 報告하였다.

中瀬⁸⁾ (1973) 등은 剪斷試驗 結果의 適用과 限界에 대한 報告에서 粘性土의 拘束壓 除去에 따른 一軸壓縮 強度의 影響 및 直接剪斷 試驗 結果의 解釋上의 問題點等을 考察하였고, 眞井⁹⁾ (1962) 등은 砂質土의 境遇, 試料의 直徑과 높이에 따른 內部 摩擦角의 差異는 거의 없으나 密度가 느슨한 境遇에

는 이의 影響이 컸고 供試體가 작을수록 內部摩擦角은 컸다고 한다.

山村²⁵⁾ (1965)는 一面剪斷 試驗에서 試料의 치수를 크게 할수록 內部摩擦角은 작았고 側面摩擦의 影響은 試料의 間隙比가 작을수록 컸다고하며, 山田²⁶⁾는 上箱 可動型 直接剪斷 試驗機는 三軸壓縮 試驗에서와 거의 같은 程度의 內部摩擦角이 얻어지며 試驗結果의 分散이 작았다고 報告하였다.

小野²⁷⁾ (1976) 등은 粘土質, silt質 및 砂質花崗岩質 風化土에 대한 試驗에서 間隙率의 增加에 따라 內部 摩擦角이 減少하였다고 하며, 李²⁸⁾는 飽和 粘土에 대한 試驗에서 變形速度와 一軸壓縮 強度에 대하여 試驗한 바 있다.

松尾²⁹⁾ (1966) 등은 關東 loam의 一面剪斷과 三軸壓縮 試驗에서 剪斷應力-水平變位(d_h)曲線은 繼續 增加하여 peak가 나타나지 않으므로 現地狀態에 따라 垂直應力 0.5kg/cm² 以下에서는 d_h 가 1~3mm 0.5kg/cm² 以上에서는 5~7mm 일때의 剪斷強度를 擇하는 것이 바람직 하다고 하였다.

內田²⁴⁾ (1980) 등은 다진 kaoline 粘土의 含水比와 變形速度가 強度定數에 주는 影響에 대한 試驗에서 內部摩擦角은 飽和度 60%의 境遇, 軸變形度 0.1%/min까지는 增加하고 그 以後는 一定하며 飽和度 에서는 0.1%/min에서 最大值를 나타내었고 粘着力은 飽和度 60%, 90% 모두 0.1%/min에서 最少值를 보였다고 한다.

Bishop¹⁷⁾ (1950) 등은 硬質粘土에 대한 一軸壓縮 試驗結果는 三軸壓縮에 比하여 約 30% 낮은 값을 나타내며, 不飽和 粘土에서는 $\phi > 0$ 이므로 強度가 작게 나타난다고 하였고, 眞井¹⁸⁾ (1959) 등은 모래와 粘土에 대한 直接剪斷, 一軸壓縮 및 三軸壓縮 試

驗에서, 直接剪斷과 三軸壓縮 試驗 結果는 實用上大差없는 結果를 얻었으나 一軸壓縮 試驗에서는 直接剪斷 및 三軸壓縮 試驗에 比하여 작은 값이 얻어졌다고 한다.

倉田⁹⁾ (1960) 등은 粘土에 대한 壓密 非排水 直接剪斷 試驗에서 全 剪斷強度와 一軸壓縮 強度의 比는 0.8~1.2倍 이었다고 報告하였다.

Ⅲ. 試料 및 試驗方法

1. 試料

本 研究에 使用된 試料는 安城農業專門大學 構內 1~2m 深度에서 採取한 盛土用材로 많이 利用되는 最大粒徑 2.0mm 以內의 砂質土와 粘土의 中間의 性質을 띠고 있는 粘性土로서 이중 2.0~0.149mm 의 粒徑 範圍를 A試料, 0.149mm以下를 B試料로 하여 A試料에 대한 B試料의 混合率을 30, 40, 50, 60, 70%의 5種으로 調劑하여 使用하였다. 이들 各 試料의 粒度分布 및 物理的 性質은 Fig.1 및 Tabel-1과 같다.

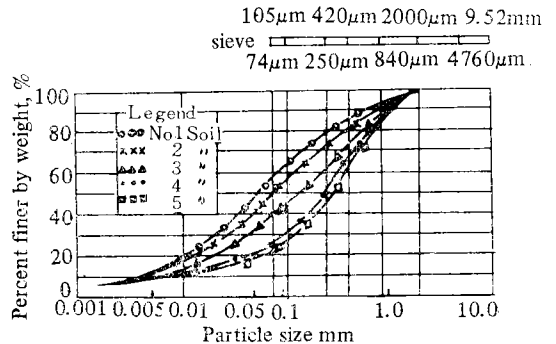


Fig. 1. Grain size distribution curves

Table-1. Physical properties of soils used

Test item Sample No.	Specific gravity	Atterberg limit			Sand (2.0~0.074 mm)	Silt (0.074~0.005 mm)	Clay (below 0.005 mm)	Percent passing of No. 200 sieve	Coefficient of uniformity (D_{90}/D_{10})	Unified soil classification system
		LL (%)	PL (%)	PI						
1	2.68	39.3	26.7	12.6	43.9	44.1	12.0	56.1	20.5	ML
2	2.68	37.7	25.7	12.0	50.7	38.3	11.0	49.3	27.4	SM
3	2.68	34.0	23.5	10.5	59.5	31.0	9.5	40.5	36.9	SM
4	2.68	—	—	NP	71.2	19.8	9.0	28.8	37.8	SM
5	2.68	—	—	NP	76.4	15.6	8.0	23.6	42.2	SM

2. 試驗方法

가. 다짐試驗

다짐試驗은 便宜上 다짐 에너지를 KS F 2312의

다짐試驗 方法中 A-1다짐 方法과 同一하도록 製作한 Table-2와 같은 miniature 다짐 試驗機를 使用하였다.

Table-2. Details of soil compaction test equipment

mold diameter (cm)	mold height (cm)	rammer weight (kg)	rammer dropping (cm)	layers	blows	Compaction energy (kg·cm/cm ³)
6.25	12.6	1.7	24.3	4	14	5.987

나. 直接剪斷 試驗

直接剪斷 試驗은 上箱 可動型 一面剪斷 試驗機로 實施하였으며 剪斷速度는 1.0mm/min, 垂直應力은 0.13, 0.26, 0.52, 1.04kg/cm²로 하였다.

剪斷試驗用 供試體는 直徑 6.18cm, 두께 1.9cm 의 몰드에 前述한 標準 다짐 試驗 에너지의 90% 및 80%의 다짐 에너지로 最適 含水比와 이의 乾燥 側 및 濕潤側等 4種類의 含水比 狀態로 다져넣어 試驗 하였다.

다. 三軸壓縮 試驗

三軸壓縮 試驗은 KS F 2346에 準해서 最適 含水比가 되도록 供試體를 製作하여 變形 制御型 三軸壓縮試驗機를 使用, 非壓密 非排水 試驗을 하였다. 이 때의 壓縮速度는 1%/min로 하였다.

라. 一軸壓縮 試驗

一軸壓縮 試驗은 KS F 2314에 準하여 直接剪斷 試驗時와 同一하도록 다짐 에너지와 含水比를 變化시키면서 供試體를 製作하여 壓縮速度 1%/min로 試驗하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 粒度와 c, φ, q_u의 關係

흙의 剪斷強度는 粒度, 乾燥密度, 含水比等의 影響을 받는다.

粒度와 粘着力(c) 및 内部摩擦角(φ)의 關係를 나타내면 Fig.2와 같으며 No.200체 通過率이 增加됨에 따라 c는 增加되나 φ는 減少하는 傾向을 보이고 있다.

河上⁹⁾도 이와같은 事實을 밝힌 바 있으며 이는 細粒土의 含有量이 많을수록 吸着水나 間隙水로 因한 큰 毛管壓力에 의하여 剪斷에 대한 抵抗이 커지기 때문이다. 한편 細粒土 含有量이 增加됨에 따라 φ가 減少함은 剪斷面에 接하는 土粒子의 摩擦이 작기 때문인 것으로 생각된다.

또 粒度配合이 良好하여 均等係數가 큰 試料일수록 同一 다짐 에너지에서 φ는 큰 傾向을 나타내고 있다.

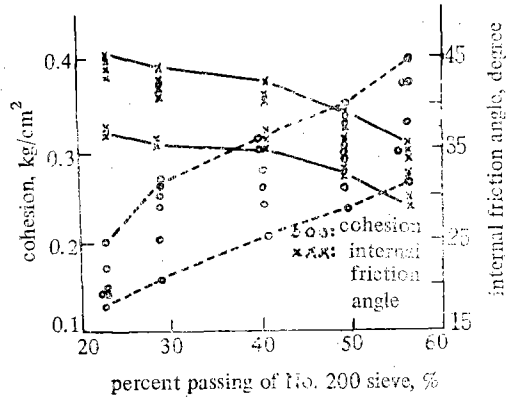


Fig. 2. Relationships of c vs. gradation and φ vs gradation

No.200체 通過率과 一軸壓縮 強度(q_u)의 關係를 圖示하면 Fig.3과 같으며 q_u가 φ=0 解析法에 適用되는 強度定數 c=q_u/2라고 할 때 前述한 바와같이 細粒土含有量이 增加됨에 따라 c가 增大 되었으므로 q_u도 커짐을 알 수 있다.

矢部²⁷⁾에 의하면 粘土와 silt의 含有量이 40% 以上이면 粘土의 性質을 나타내므로 c는 q_u/2를 取할 수 있으나 塑性指數가 10~30인 中間的 性質을 가

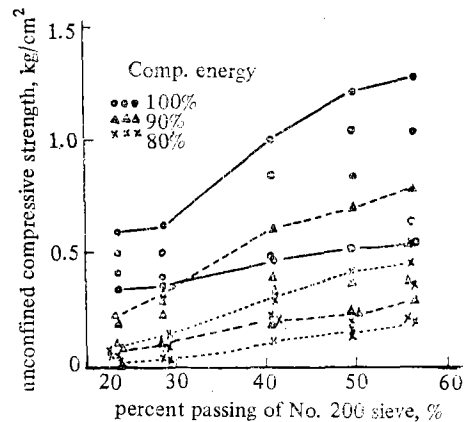


Fig. 3. Relationship between unconfined compressive strength and percent passing of No.200 sieve for various compaction energy

진 粘性土에서는 $c=q_u/2$ 를 使用하는데 注意를 要한 다고 하였다. 本 研究에 使用된 試料은 silt 以下의 含有量이 23.6~56.1%로서 砂質土와 粘土의 中間의 性質을 띠고 있는 粘性土 이므로 $c>q_u/2$ 의 傾向을 나타내고 있는 것으로 생각된다.

2. w 와 c , ϕ , q_u 의 關係

含水比(w)와 c , ϕ 의 關係를 나타내면 Fig.4와 같으며 c 는 最適 含水比(OMC)附近에서 가장 큰 값을 나타내었고 이로부터 w 가 濕潤側 또는 乾燥側으로 增減됨에 따라 점차 減少되는 傾向을 보이고 있으며, ϕ 는 OMC보다 w 가 적을수록 큰 값을 나타내었다.

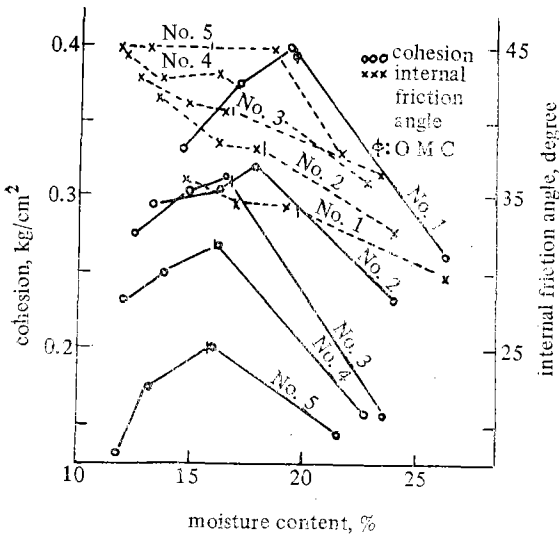


Fig. 4. Relationships of c vs. w and ϕ vs w

Gibson²³⁾ 河上⁶⁾, 朴¹⁴⁾, 內田²³⁾ 等도 類似한 結果를 報告하였고, 谷本⁵⁾은 最大粒徑 2.0mm 以下의 砂質土에서 w 의 變化에 따른 ϕ 의 變化는 比較的 작았고 乾燥側의 含水比에 比하여 濕潤側에서 ϕ 는 작았다고 한다.

Fig.5는 w 와 q_u 의 關係를 나타낸 것으로 q_u 는 OMC 보다 약간 乾燥側에서 最大値를 나타내고 있다.

Pagen¹⁶⁾, 內田²³⁾도 이와같은 結果를 發表한바 있는데, 이것은 Lambe¹⁰⁾이 指摘한 바와같이 OMC 보다 乾燥側에서는 土粒子 配列이 보다 random하며, 큰 suction이 存在하고 多量의 水分不足으로 電氣的 斥力이 작기 때문이라 생각된다.

3. 다짐 에너지 및 e 와 c , ϕ , q_u 의 關係

다짐回數를 變化시켜 다짐 에너지를 標準 다짐의

90% 및 80%로 減少시켰을 때 c 와 ϕ 의 變化를 나타내면 Fig.6 (a)와 같고, 다짐 에너지가 減少되었을 때 間隙比(e)의 變化에 따른 c 와 ϕ 의 關係는 Fig.6 (b)와 같다.

다짐 에너지를 減少시키면 e 가 增加되고 따라서 c 와 ϕ 는 減少되며 특히 c 는 e 의 增減에 따라 敏感하게 變化되고 있다.

內田^{22,23)}도 이와같은 結果를 報告한 바 있으며 Bjerrum 等¹⁾은 2.0mm 以下의 細砂에 대한 三軸壓縮 試驗에서 間隙率이 44% 以上으로 되면 ϕ 는 急激히 減少하였다고 한다.

다짐 에너지를 90%, 80%로 變化시켰을 때의 e 와 q_u 의 關係를 나타내면 Fig.7과 같으며 다짐 에너지가 減少하여 e 가 增加되면 q_u 는 減少하였다. 梶島²⁾는 e 가 增加하면 q_u 가 減少하는 直線關係가 있다고 하였는데 이는 本 試驗 結果와 一致된다.

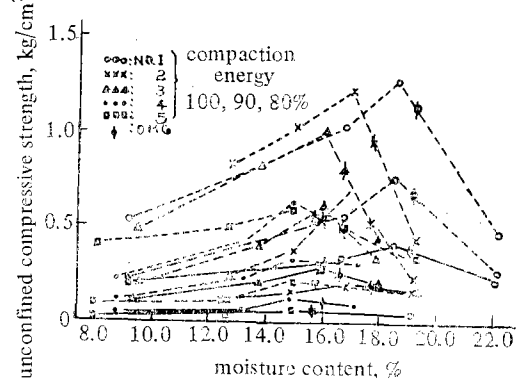


Fig. 5. Relationship of unconfined compressive strength and moisture content for various compaction energy

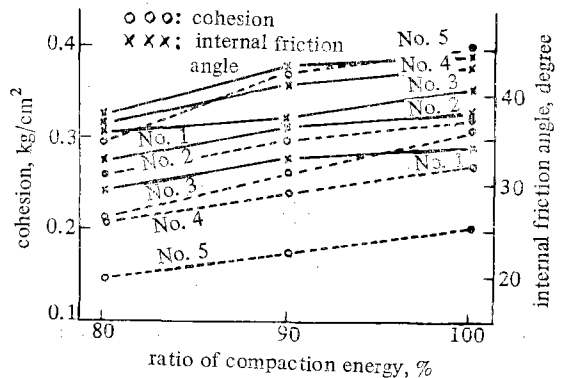


Fig. 6 (a). Relationships of c vs. ratio of compaction energy and ϕ vs. ratio of compaction energy in direct shear test

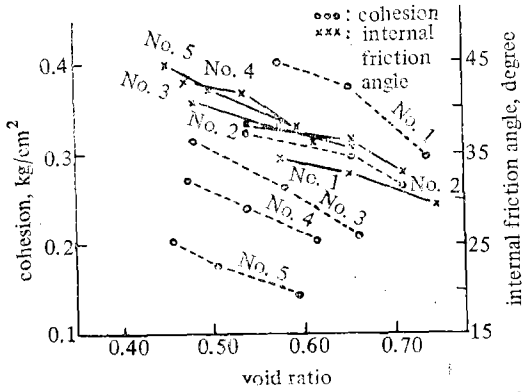


Fig. 6 (b). Relationships of c vs. void ratio and ϕ vs. void ratio

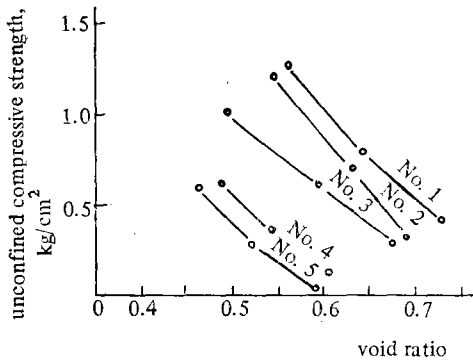


Fig. 7. Relationship of unconfined compressive strength and void ratio in various compaction energy.

4. 變位量과 剪斷強度의 關係

直接剪斷 試驗의 垂直應力(σ_N)이 0.26 및 1.04kg/cm²일 때의 剪斷變位(d_h) 및 體積變化(d_v)와 剪斷應力의 關係를 圖示하면 Fig. 8 (a) 및 (b)와 같다.

σ_N 이 작을수록 最大 剪斷應力(τ_f)이 發生될 때의 d_v 는 큰 傾向을 보이고 있으며 d_h 는 σ_N 이 작을수록 작은 傾向을 보이고 있다.

또한 w 가 작을 때에는 τ_f 가 發生時의 d_h 는 작은 傾向을 나타내었으며 w 가 클수록 應力-變位 曲線은 緩慢한 傾向을 보였고 內田等²³⁾도 本 試驗과 類似한 結果를 報告한 바 있다.

Fig.9는 本 試驗에 使用된 모든 供試體에 대한 τ_f 가 發生時의 d_h 와 d_v 의 關係를 나타낸 것으로 d_h 는 대부분 2.5~3.2mm로서 比較的 작은 값을 나타내었고, d_v 는 0.1~0.5mm의 範圍로서 比較的 큰 값을 나타내었다. 이는 다짐을 한 不飽和 粘性土는 剪

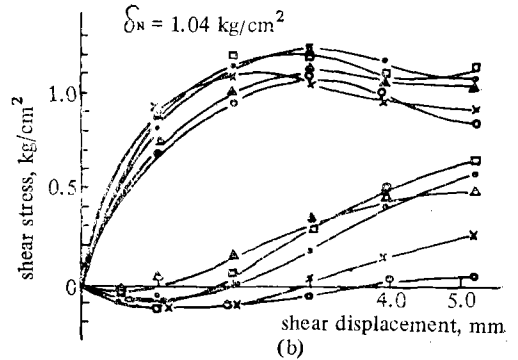
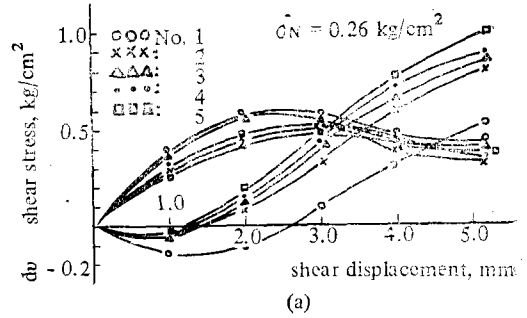


Fig.8. Relationships of shear stress vs shear displacement and volume change vs. shear displacement

斷變形量이 작을 때에 體積 膨脹은 큰 傾向을 나타내는 特性을 가지고 있으며 이는 切土나 上載荷重을 除去時에 急激한 強度低下의 憂慮가 있음을 意味하는 것이라 생각된다.

No.200체 通過量과 d_v 의 關係를 나타내면 Fig.10과 같으며 No.200체 通過量이 적을수록 d_v 는 큰 값

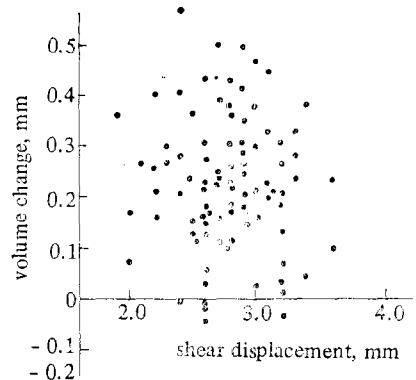


Fig. 9. Relationship of volume change and shear displacement

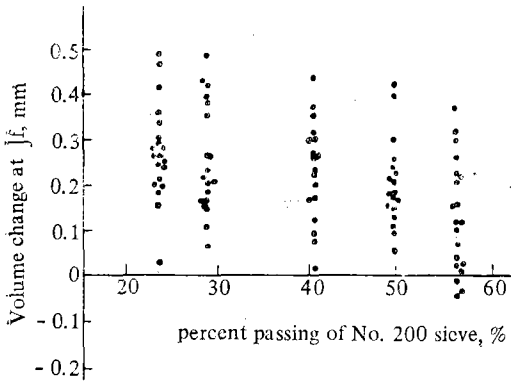


Fig. 10. Relationship of volume change and percent passing of No.200 sieve

을 나타내는 傾向을 보이고 있다. 이것은 粘着力이 작은 粗粒土에서의 剪斷抵抗은 摩擦抵抗에 의한 것이므로 큰 膨脹을 同伴하는 것이라 생각된다.

朴¹⁵⁾은 正의 dilatancy인 境遇 ϕ 가 크게 나타난다고 하였고 井上¹⁶⁾도 같은 結果를 報告하였다.

또 一軸壓縮 試驗에서 No.200체 通過率과 壓縮變位量의 關係는 Fig.11과 같이 細粒土 含有量이 많을수록, 또한 含水比가 增加할수록 破壞時的 變位량이 큰 傾向을 나타내고 있다. 이는 石堂等¹⁷⁾이 報告한 바와 같으며 細粒土는 흙속에서 潤滑作用을 하여 土粒子의 配向轉位가 容易하기 때문인 것으로 생각된다.

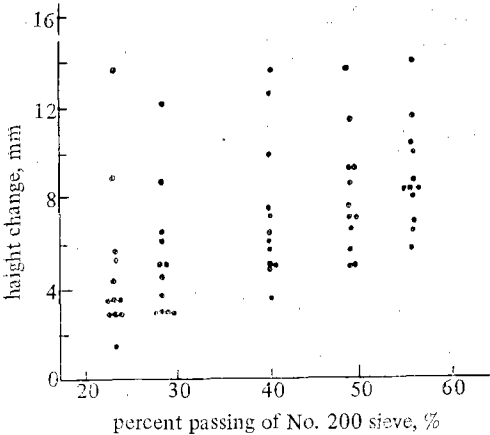


Fig. 11. Relationship between height change and percent passing of No.200 sieve for various compaction energy in unconfined compression test

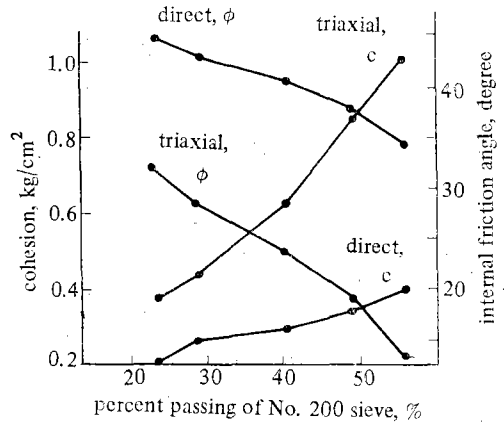


Fig. 12. Relationships of c vs. passing percent of No.200 sieve and ϕ vs. passing percent of No. 200 sieve

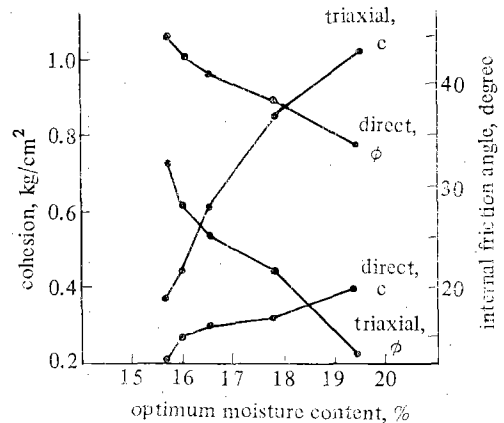


Fig. 13. Relationships of c vs. moisture content and ϕ vs. moisture content

5. 直接剪斷 試驗과 三軸壓縮 試驗結果의 比較

No.200체 通過率과 c , ϕ 의 關係를 나타내면 Fig 12와 같으며 No.200체 通過率의 增加에 따라 三軸壓縮 試驗은 直接剪斷에 比하여 c 의 增加率 및 ϕ 의 減少率이 더욱 큰 傾向을 보이고 있다.

Fig.13은 試料別 OMC 狀態에서의 c 및 ϕ 의 關係를 보인 것으로 대체적으로 c 는 OMC가 큰 흙속 細粒土일수록 크며 그의 增加率은 三軸壓縮 試驗에서 더욱 큰 傾向을 나타내고 있다. 한편 ϕ 는 OMC가 작은 粗粒土 일수록 크고 三軸壓縮 試驗에서의 ϕ 가 直接剪斷 試驗에 比하여 작은 값을 나타내었

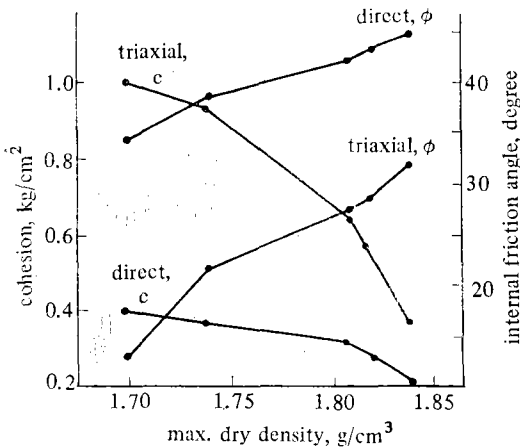


Fig. 14. Relationships of c vs. dry density and ϕ vs. dry density.

며 OMC가 增加함에 따라 그 減少率은 더욱 큰 傾向을 보이고 있다.

또한 γ_{dmax} 와 c 및 ϕ 의 關係는 Fig.14와 같으며 γ_{dmax} 가 큰 흙일수록 c 는 작은값을 나타내었고 역시 三軸壓縮 試驗 結果가 直接剪斷 試驗에 比하여 c 의 減少率이 顯著하게 크며 γ_{dmax} 가 커짐에 따른 ϕ 의 增加率은 兩 試驗에서 거의 비슷한 傾向을 보이고 있다.

이와같이 直接剪斷 試驗에서 ϕ 가 큰 값을 나타내는 傾向에 대하여 山村²⁶⁾는 剪斷時에 體積이 膨脹하면 供試體와 剪斷箱의 側面摩擦은 膨脹을 妨害하는 作用을 하므로 垂直應力을 上昇시키기 때문이라고 하였으며, 또 井上²⁷⁾는 體積膨脹에 따른 剪斷應力을 다음과 같이 나타내었다.

$$\tau_{max} = \tau_{rf} + \sigma \left(\frac{dD}{d\varepsilon} \right) \tau_{max}$$

여기서 τ_{max} 는 體積膨脹이 없었다고 할 때의 剪斷應力(τ_{rf})과 體積膨脹에 대한 抵抗($\sigma \left(\frac{dD}{d\varepsilon} \right) \tau_{max}$)을 合하여 測定되는 應力이므로 直接剪斷 試驗에서 體積膨脹 및 側面摩擦의 影響을 除去하면 三軸壓縮 試驗 結果에 거의 一致하는 값을 얻을 수 있다고 報告한 바 있다. 또한 眞井等¹⁸⁾은 剪斷速度와 試料의 높이를 적절히 調節하면 實用上 直接剪斷 試驗과 三軸壓縮 試驗은 大差없는 結果를 얻을 수 있으며 모래에서는 剪斷速度에 따른 強度의 變化는 거의 없지만 粘土에서는 變化가 크다고 하였고, 井上⁴⁾는 充分히 큰 垂直應力下에서는 三軸壓縮 試驗에 의

한 ϕ 와 거의 一致한다고 하였다.

本 試驗 結果에 따르면 ϕ 의 값은 細粒土에서 直接剪斷 試驗이 三軸壓縮 試驗보다 160%, 粗粒土에서 40% 정도 크게 나타난 反面, c 는 細粒土에서 三軸壓縮 試驗이 直接剪斷 試驗보다 160%, 粗粒土에서 60% 정도 크게 나타났다.

이는 直接剪斷 試驗機의 側面摩擦의 除去, 剪斷速度의 調節 및 垂直應力의 調整等에 의하여 兩 試驗이 거의 一致되는 結果를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

V. 結 論

盛土用으로 널리 利用되는 砂質土와 粘土의 中間의 性質을 가지고 있는 粘性土에 대하여 剪斷強度 特性을 究明하고자 安城地方에서 採取한 最大粒徑 2.0 mm 以下の 試料에 대하여 粒度, 다짐 에너지 및 含水比를 變化시키면서 直接剪斷 試驗 및 最適 含水比에서 三軸壓縮 試驗을 實施하여 分析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. No.200체의 通過率이 23.6%에서 56.1%로 增加함에 따라 粘着力은 直接剪斷 試驗의 境遇, 0.202 kg/cm²에서 0.398kg/cm²로, 三軸壓縮 試驗의 境遇 0.38kg/cm²에서 1.05kg/cm²로 各各 增加하였고 內部摩擦角은 直接剪斷의 境遇 44.78°에서 34.34°로, 三軸壓縮의 境遇 31.88°에서 13.31°로 各各 減少하였다.

2. 粘着力은 最適 含水比 附近에서 最大值를 나타내었으며 內部摩擦角은 含水比의 減少에 따라 增加하는 傾向을 보였으나 그 增加率은 緩慢하였다.

3. 다짐 에너지가 減少함에 따른 粘着力과 內部摩擦角의 減少率은 比較的 敏感하였다.

4. 垂直應力이 작을수록, 그리고 粗粒土일수록 體積變化는 增加하는 傾向을 보였으며 含水比가 增加할수록 最大 剪斷應力(τ_f)을 나타낼 때의 剪斷變位(d_k)는 큰 값을 나타내었고 τ_f-d_k 曲線은 緩慢하였다

5. 直接剪斷 試驗과 三軸壓縮 試驗 成果를 綜合하면 粘着力은 三軸壓縮 試驗에서 큰 값을 나타내었고 內部摩擦角은 直接剪斷 試驗에서 큰 값을 나타내는 傾向을 보였다. 이는 直接剪斷 試驗機의 側面摩擦의 除去, 垂直應力 및 剪斷速度의 調節等에 의하여 兩 試驗이 一致되는 結果를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. Bjerrum, L., S. Kringstad and O. Kummeneje (1961) : The Shear Strength of a Fine Sand, Proc of 5th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., Vol.1, pp. 29-37.
2. Gibson, R.E. (1953) : Experimental Determination of the True Cohesion and True Angle of Internal Friction in Clays, Proc. of 3rd Int. Conf. SM and FE, Vol.1, pp.126-130
3. 井上廣胤(1964) : 砂の直接せん断に關する研究, 土木學會論文集, Vol. 108, pp.20-23.
4. ——— (1964) : 不飽和締固め土のせん断, 土と基礎, Vol. 12, No.10, pp. 31-36.
5. 石堂稔, 關直三郎(1977) : 砂-粘土の混合土の力學性の變化, 第12回土質工學研究發表會, pp. 105-108.
6. 河上房義(1954) : アースダム(土質工學的設計および施工法), 鹿島建設技術研究所出版部, pp.29-62.
7. 梶島孝, 油田敬吾(1969) : 有明軟弱土における壓密特性の相關性について, 土と基礎, Vol.17, No.1, pp.39-42.
8. 倉田進, 藤下利男(1960) : 粘土の壓密によるせん断強度増加の豫測, 土と基礎特集號, Vol. 2' pp.5-8.
9. 李鍾珪(1976) : 變形速度가 다짐粘土의 剪断強度에 주는 影響, 大韓土木學會誌, Vol. 24, No.2, pp.83-89.
10. Lambe, T.W. (1958) : The Structure of Compacted Clay, Journal of the SM and Found. Div., Proc. of the ASCE, Vol.84, No. SM2, paper 1654.
11. 松尾稔, 輕部大藏(1966) : 室内せん断試験結果の設計への適用に際する2,3の問題點, 第11回土質工學 Sym., pp.91-100.
12. 中瀬明男, 小林正樹(1973) : せん断試験結果の適用と限界, 土と基礎, Vol.21-4, pp.19-24.
13. 小野寺透, 小田匡寛, 南和美(1976) : マサ土の亂さない試料のせん断強度, 土質工學論文報告集, Vol. 16, No. 1, pp.17-26.
14. 朴炳基, 徐深濱, 李寬洙(1971) : Weathering Granite의 工學的性質과 施工에 관한 研究, 全南大工技研誌, Vol. 7, No. 1, pp. 13-37.
15. 朴炳基(1974) : 花崗岩 風花土의 剪断特性 研究 (dilatancy 特性을 主로), 大韓土木學會誌, vol.22, No. 3, pp.55-66.
16. Pagen, C. A. and B.N. Jagannath (1967) : Evaluation of Soil Compaction by Rheological Techiques, HRR, No. 177, pp.22-43.
17. Skempton, A.W. and A.W. Bishop (1950) : The Measurement of the Shear Strength of Soils, Géotechnique, Vol. II-2, pp.90-107.
18. 眞井耕象, 北郷繁, 土岐祥介(1959) : 各種せん断試験の比較(特に剪断度の影響について), 土と基礎, Vol. 7, No. 3, pp.27-33.
19. ———, ———, 四方哲雄(1962) : 各種せん断試験の比較(第2報)(特に砂の試料徑厚の影響について), 土と基礎, Vol .10, No.2, pp. 14-19.
20. 谷本喜一, 蔭山平八郎(1957) : 砂質土のせん断抵抗について, 土と基礎, Vol. 5, No.4, pp.10-14.
21. 高岡恭三, 守谷正博(1966) : 乾燥砂のせん断について, 土と基礎, Vol. 14, No. 11, pp.5-12,
22. 内田一郎, 松本鍊三, 鬼塚克忠(1968) : 締固めの不飽和土のせん断特性について, Soils and Found., Vol. 8, No. 3, pp.32-45.
23. ———, ———, ———, 田原覽二, 三浦功(1969) : 締固めた不飽和粘性土のせん断特性について, 土と基礎, Vol. 17, No.8, pp.31-39
24. ———, 乘安直人, 林重徳(1980) : 締固めカオリンのせん断特性に及ぼすひずみ速度の影響, 第15回土質工學研究發表會, pp.413-416.
25. 山村和也(1965) : 土の直接せん断試験に關する考察, 土と基礎, Vol. 13, No. 1, pp.21-26.
26. 山田清臣(1965) : 砂のせん断に關する一齊試験, 土と基礎, Vol. 13, No. 2, pp.89-92.
27. 矢部正宏(1976) : cとφを考ふる(3粘性土), N値およびcとφの考え方, 土質工學會, pp.65-70.