半月地域 海成粘土의 非排水 剪斷強度 特性에 관한 硏究

Study on the Undrained Shear Strength Characteristics of Marine Clay in Banwol

張 秉 郁* · 朴 永 坤**
Chang, Pyoung Wuck · Park, Young Kon

Summary

To investigate the undrained shear strength characteristics of marine soils with high water content, high compressibility and weak bearing capacity, a series of undrained triaxial tests with pore pressure measurements on undisturbed and disturbed Banwol marine clay in normally consolidated and overconsolidated states is carried out.

The results and main conclusions of this study are summarized as follows :

1. When the consolidation pressure is increased, the maximum deviator stress of disturbed and undistubed clay in normally consolidated state is increased. Pore pressure parameters and internal friction angle of undisturbed clay are greater than those of disturbed clay.

2. The relationship between pore pressure and axial strain of undisturbed clay in normally consolidated state can be expressed as a hyperbolic function like stress-strain relation proposed by Kondner.

3. In the pore pressure-axial strain relation of disturbed clay in normally consolidated state, failure ratio R_f' is greatly deviated in the range of 0.7~0.9 proposed by Christian and Desai.

4. For overconsolided clay, when overconsolidation ratio (OCR) is increased, normalized maximum deviator stress is increased and maximum pore pressure is decreased gradually.

5. Cohesion of overconsolidated clay is greater than that of nomally consolidated clay and internal friction angle slightly is decreased.

6. Pore pressure parameter at failure (A_f) of overconsolidated clay is varied with OCR, A_f becomes negative values with increment in OCR

* 서울大學校 農業生命科學大學
** 서울大學校 大學院

키워드 : Deviator stress, Pore pressure parameter Failure ratio, Overconsolidation ratio

I. 緖 論

흙이 다른 구축재료, 예컨대 강철이나 콘크리트와는 이것이 不連續體로 토립자들이 쉽게 분리되며 外力을 받았을 때 變形이 쉽게 일어난다는 점에서 근본적으로 다르다[19]. 이와 같은 성질을 지닌 흙의 강도는 토립자 마찰에 의한 內部摩擦角과 粘着力에 기인하며, 외부하중재하로 인해 토립자 상호간에 작용하는 有效應力과 토립자 공극내에서 발생되는 孔隙水壓에 의존한다. 투수계수가 아주 작은 점토나 실트는 급작스런 재하시 공극내에 過剩空隙水壓이 발생하며 이에따라 地盤變形, 지지력저하 등이 초래된다. 특히 강하구나 바다에 퇴적된 海成土는 토립자의 고유성질과 해수의 영향 등에 의해 함수량이 많고 압축성이 크며 지지력이 약한 獨特한 특성을 지니고 있어 각종 토목공사시 過度한 지반침하나 파괴 등을 일으킬 수 있다. 이와 같은 흙의 전단강도, 특히 점토층이 외적하중을 받을 때 흙 내부에서 발생되는 과잉공극수압과 응력, 그리고 변형과의 관계를 규명하기 위한 연구는 많이 이루어져 왔는데, Skempton[13], Henkel[8], Henkel과 Wade[9] 등은 과잉공극수압을 토체내의 主應力 성분의 변화량으로 취급하는 '應力理論'에 의한 공극수압 함수들을 제시하였고, Schofield와 Wroth[12], Atkinson과 Bransby[2] 등은 한계상태 개념에 의해서 과잉공극수압을 산정하는 방법을 제시하였다. 그후 Lo[17]는 '應力理論'의 문제점을 지적, 공극수압을 응력의 함수가 아닌 變形의 함수로 보는 '變形理論'을 제시하였지만 그 구체적인 함수는 제시하지 않았다.

Kondner[13]는 점토와 모래에 대한 비선형 응력-변형률 곡선이 높은 정도를 가지고 쌍곡선에 해당함을 보였고, Duncan과 Chang[7]은 이를 바탕으로 有限要素 해석에 편리한 비선형 응력-변형률 분석과정을 제시하였다. Sridharan과 Rao[15]는 응력-변형률에 대한 Kondner의 雙曲線 방정식을 공극수압과 변형률의 관계에도 적용, 정규압밀된 점토의 경우 상당히 잘 일치함을 보였다. 그밖에 Koutsoftas와 Fischer[11]는 현장 및 실내시험으로 부터 측정된 해성점토의 非排水 強度를 상호 비교, 검토하였다.

본 연구에서는 현재 서남해안 간척지 확대와 그 지반 위에서의 구조물 건설등을 고려해 볼 때 중요시되는 해성토의 제반 物理的 性質과 공학적 특성을 파악하고, 점토시료속에 발생되는 과잉공극수압 발생기구를 밝히기 위해 반월지역 해성토를 채취하여 비배수 삼축시험을 통해 지반의 正規壓密狀態와 過壓密狀態의 지반의 전단강도 특성을 조사하고, 시험시 포화점토내에서 발생되는 과잉공극수압과 시료의 축방향 변형과의 관계를 찾아내며, 여러가지 전단강도 계수들의 相互關係를 비교, 검토하였다.

II. 試料 및 試驗方法

1. 試 料

본 시험에 사용된 시료는 半月지역 해성토로서 실트분이 대부분이고 회색의 塑性度가 낮은 재료이다. 실험실에서 再成形한 교란시료는 시료의 정도를 높이기 위해 200번체로 모래와 조개껍질을 제거하여 사용하였고 不攪亂試料는 동일지역(반월 수리시험장 부근)에서 직경 5cm, 길이 25cm의 PVC관을 이용하여 채취하였다. 시료의 기타 물리적인 성질은 Table 1에 나타나 있으며 정제된 교란시료와 현장에서 채취한 불교란시료의 粒度分布曲線은 Fig. 1과 같다.

2. 試料의 形成

교란된 시료는 Fig. 2와 같은 壓密裝置를 이용하여 다음과 같은 순서로 압밀시켰다.

(1) 200번체를 통과한 흙에 液性限界의 약 1.3배[1]가 되게 물을 붓고 덩어리 없는 죽으로 만든 다음 교반기를 사용하여 공기를 제거하

Table -1. Physical properties of soil tested

Specific gravity	Liquid limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index	Activity	Classification
2.63	41	25	16	1.82	CL

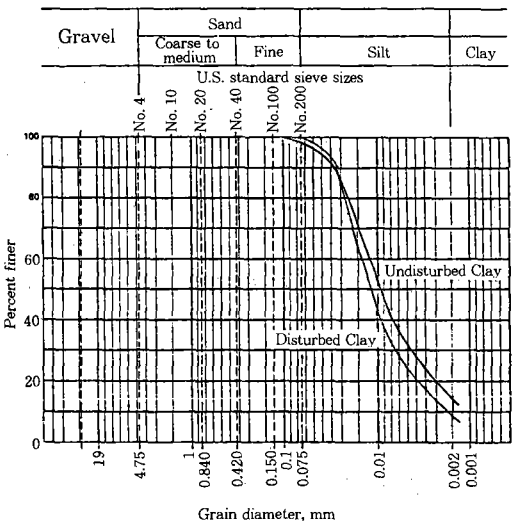

Fig. 1. Grain size distribution curves

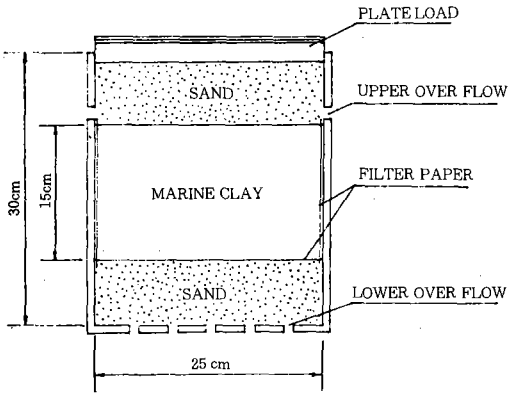

Fig. 2. Consolidation apparatus

고 24시간 방치한다.

(2) 시료의 압밀을 촉진하기 위하여 압밀장치 측면에 필터를 설치한 후 시료를 압밀장치

Table -2. Type of test

Symbol	Initial Consolidation Pressure (kg/cm²)	Final Consolidation Pressure(kg/cm²)	OCR
UCIU*	1	1	1
	2	2	1
DCIU*	1	1	1
	2	2	1
	2.5	2.5	1
DCIOU**	2	1.6	1.25
		1.2	1.67
		0.8	2.5
		0.4	5

UCIU** : *Isotropically consolidated undrained test (Undisturbed)*

DCIU** : *Isotropically consolidated undrained test (Disturbed)*

DCIOU*** : *Isotropically overconsolidated undrained test (Disturbed)*

속에 넣은 뒤 壓密應力이 0.35kg/cm²이 되도록 단계하중을 가한다. 이때 압밀장치 상부에 설치된 게이지로 압밀이 완전히 이루어졌는지 확인한다.

(3) 약 1개월간 압밀시킨 후 시료의 컨시스턴시를 높이기 위하여 2개월간 그대로 放置한다.

(4) 압밀장치내에서 시료를 채취하기 전에 3段階로 하중을 除去하여 하중이 제거된 상태하에서도 시료의 응력상태가 平衡을 유지하도록 한다.

3. 試驗種類 및 方法

가. 試驗種類

본 연구에서는 Table 2와 같은 조건에서 정규압밀 및 과압밀 시료에 대한 비배수 삼축시험을 행하였다.

나. 供試體의 製作

재성형된 교란시료를 직경 35mm, 높이 87.5mm의 공시체를 제작하여 측면배수를 위한 필터를 두른 후 삼축시험기에 위치시키고 멤

브레인을 씌운다. 이때 멤브레인과 공시체 사이에 기포가 끼이지 않도록 0.05kg/cm^2 정도의 부압을 진공펌프로 시료상부에 가하였으며 상·하부재하반의 둘레에 O-Ring을 씌우기에 앞서 水密性을 좋게 하기 위하여 그리스를 발랐다.

다. 載荷方法

삼축시험기의 조절밸브를 열어 압력실 내부에 소요의 측압을 가해 공시체를 等方壓密시킨 후 變形率制御試驗(strain controlled test)으로 매분 0.35% 정도의 變形[18]이 일어나는 速度인 0.3mm/min로 축방향 載荷하였다.

Ⅲ. 試驗結果 및 考察

1. 正規壓密 試料에 대한 試驗 結果

가. 軸差應力과 軸變形率의 關係

불교란시료와 실험실에서 재성형한 교란시료를 等方壓密시킨 후 軸差應力을 가하면서 소요의 변형률까지 시험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1kg/cm^{2}로 등방압밀시킨 불교란시료는 축변형율이 10% 근처에서 최대응력이 0.77kg/cm^{2}일 때 파리가 일어났으며, 2kg/cm^{2}으로 등방압밀시켰을 경우에는 14.2%에서 1.61kg/cm^{2}의 최대응력으로 파괴되었다. 교란시료의 軸差應力과 軸變形率 시험결과 또한 불교란시료와 마찬가지로 압밀응력이 증가할수록 最大應力은 증가하였는데 압밀응력이 1kg/cm^{2}일 때는 축변형률이 11% 근처에서 0.73kg/cm^2, 2kg/cm^{2}일 때는 축변형률 15%에서 1.48kg/cm^2, 2.5kg/cm^{2}일 때는 축변형률 17%에서 1.86kg/cm^{2}의 최대응력을 나타냈다.

위 결과로부터 不攪亂試料와 攪亂試料 모두 압밀응력이 커질수록 최대응력은 증가하며, 동시에 최대응력을 발생시키는 축변형률 또한 증가됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 壓密應力이 클수록 입자간의 점착력과 마찰력, 그리고 흙의 剛性이 증가되어 파괴에 抵抗하는 힘이 커지기 때문에 일어난다고 判斷된다.

본 시험에 이용된 반월지역 해성토의 銳敏比는 1.1이며 Rosenqvist(1953)의 분류표[5]에서 "약간 예민한 영역"(slightly sensitive)에 속한다.

Fig. 3과 Fig. 4는 정규압밀 시료의 축차응력과 축변형률 관계 곡선을 압밀응력에 대해 定規化시킨 것으로 이를 Kondner의 雙曲線 함수식으로 變換시킬 경우 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\varepsilon}{\lambda_s} = \frac{1}{E_i'} + \frac{\varepsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}'} = a_s + b_s\varepsilon \cdots (1)$$

여기서, λ_s : 전단응력비 $(=(\sigma_1 - \sigma_3)/\sigma_c)$

E_i' : E_i/σ_c

$(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}'$: $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}/\sigma_c$

σ_c : 압밀응력

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 불교란시료와 교란시료의 軸差應力-軸變形率 곡선을 식 (1)을 사용하여 직선식으로 변환한 것으로 각각의 a_s와 b_s의 값은 Table 3에 나타내었다.

정규화된 축자응력의 극한값 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}'$은 파괴율 R_f를 이용하여 파괴 시의 흙의 압축강도 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$와 식 (2)로 나타낼 수 있으며 시험

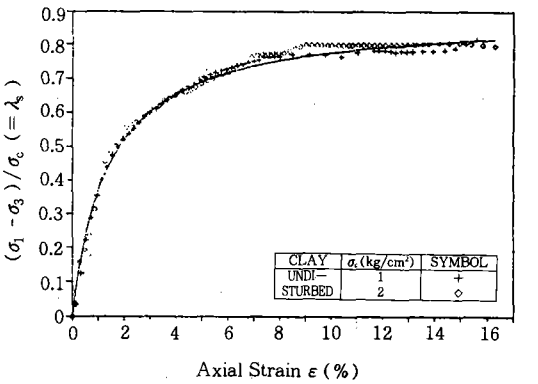

Fig. 3. Normalized stress-strain curves for undisturbed clay

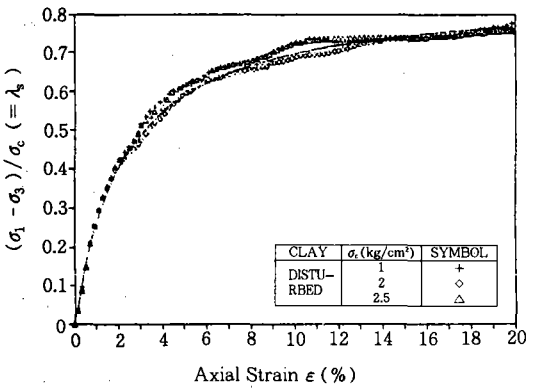

Fig. 4. Normalized stress-strain curves for disturbed clay

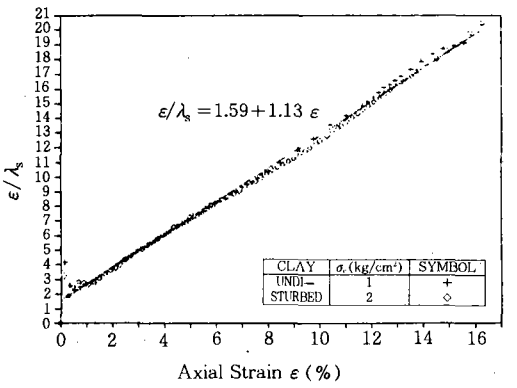

Fig. 5. ε/λ_s vs. axial strain curves for undisturbed clay

Table-3. Values of coefficients a_s and b_s for stress-strain relationship

Type of Test	a_s ($\times 10^{-2}$)	b_s
UCIU	1.59	1.13
DCIU	2.65	1.17

Table-4. Values of shear stress at failure and ultimate state

Type of Test	Consolidation Pressure (kg/cm²)	$(\sigma_1-\sigma_3)_f$ (kg/cm²)	$(\sigma_1-\sigma_3)'_f$ (kg/cm²)	$(\sigma_1-\sigma_3)'_{ult}$ (kg/cm²)	R_f
UCIU	1	0.77	0.79	0.88	0.90
	2	1.61			
DCIU	1	0.73	0.74	0.85	0.87
	2	1.48			
	2.5	1.86			

에 이용된 시료의 $(\sigma_1-\sigma_3)'_f$, $(\sigma_1-\sigma_3)'_{ult}$ 및 R_f값은 Table 4에 요약 整理하였다.

$$(\sigma_1-\sigma_3)'_f = R_f(\sigma_1-\sigma_3)'_{ult} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

반월지역 해성점토의 破壞率 R_f값은 0.9 이하이며, 이는 Christian과 Desai[4]가 제시한 0.7~0.9 범위에 포함된다.

나. 孔隙水壓과 軸變形率의 關係

불교란시료와 교란시료의 축차응력에 대한 시료내의 공극수압을 측정한 결과, 1kg/cm²로

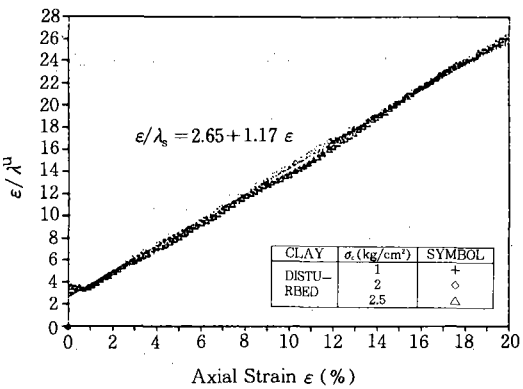

Fig. 6. ε/λ_s vs. axial strain curves for disturbed clay

등방압밀시킨 불교란시료는 파괴점 10% 근처에서 공극수압이 0.51kg/cm²로 나타났으며, 2kg/cm²일 경우는 14%에서 1.1kg/cm²의 공극수압에서 破壞되었다. 교란시료는 압밀응력이 1kg/cm²일 때 축변형률 11% 근처에서 0.36kg/cm², 2kg/cm²일 때 15%에서 0.84kg/cm², 2.5kg/cm²일 때 17%에서 공극수압이 1.17kg/cm²일 때 파괴되었다.

축차응력과 축변형률의 관계에서와 마찬가지로 孔隙水壓-軸變形率 관계곡선 또한 Kondner의 쌍곡선 함수로 변환할 경우 식 (3)과 같다.

$$\frac{\varepsilon}{\lambda_u} = \frac{1}{U_i'} + \frac{\varepsilon}{\Delta U_{ult}'} = a_u + b_u \varepsilon \cdots\cdots (3)$$

여기서, λ_u : 孔隙水壓比 ($=\Delta U/\sigma_c$)

U_i' : U_i/σ_c

$\Delta U_{ult}'$: $\Delta U_{ult}/\sigma_c$

식 (3)을 이용하여 공극수압과 축변형률 관계곡선을 직선식으로 변환한 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타냈다. 이때 係數 a_u와 b_u의 값은 Table 5와 같다.

마찬가지로 파괴시의 공극수압과 그 극한값과의 비를 R_f'로 나타내면 이는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta U_f' = R_f' \Delta U_{ult}' \cdots\cdots (4)$$

또한 각 시료에 대한 $\Delta U_f'$, $\Delta U_{ult}'$, R_f'는 Table 6에 수록되어 있다.

반월지역 해성점토의 불교란시료와 교란시료의 R_f'값은 큰 차이를 보이고 있는데 이는 이값이 응력-변형관계에서 파괴가 일어나는 변형의 크기에 크게 의존되기 때문이다. 교란시료의 경우는 박[17]이 시험한 R_f'값보다는 크게 낮으며 또한 Christian과 Desai[4]가 제시한 0.7~0.9의 범위를 상당히 벗어나 있는데 이는 파괴 후에도 공극수압이 계속적으로 증가

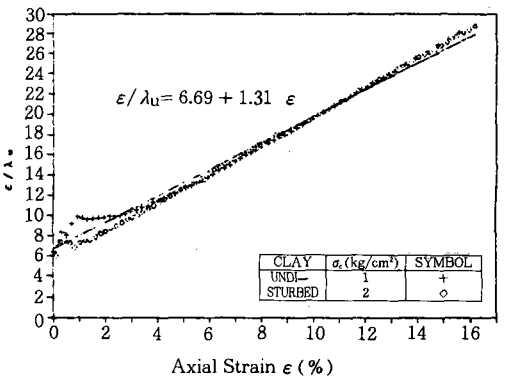

Fig. 7. ε/λ_u vs. axial strain curves for undisturbed clay

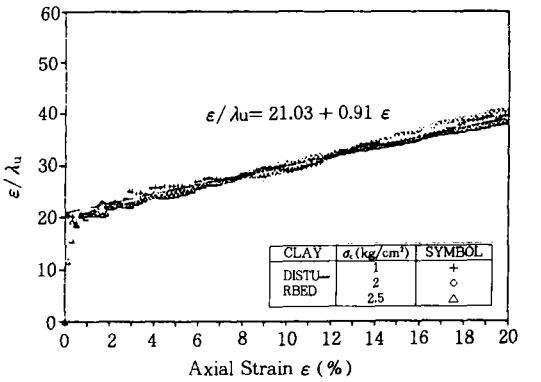

Fig. 8. ε/λ_u vs. axial strain curves for disturbed clay

Table -5. Coefficients a_u and b_u

Type of Test	a_u ($\times 10^{-2}$)	b_u
UCIU	6.69	1.31
DCIU	21.03	0.91

Table -6. Values of shear stress at failure and ultimate state

Type of Test	Consolidation Pressure (kg/cm²)	ΔU_f (kg/cm²)	$\Delta U_f'$ (kg/cm²)	$\Delta U_{ult}'$ (kg/cm²)	R_f'
UCIU	1	0.51	0.53	0.71	0.75
	2	1.10			
DCIU	1	0.36	0.42	1.10	0.38
	2	0.84			
	2.5	1.17			

하여 공극수압의 극한값이 크게 나타나기 때문이다.

다. 孔隙水壓係數(A)와 內部摩擦角

불교란시료와 교란시료의 孔隙水壓係數 A와 축변형률의 관계는 각각 Fig. 9와 Fig. 10에 나타나 있으며 파괴시의 孔隙水壓係數 A_f는 不攪亂試料의 경우 0.67, 교란시료의 경우 0.57의 값을 가진다. 이 두 값은 Skempton[13], Skempton과 Bjerrum[14]이 정규압밀 점토에 대해 제시한 파괴시의 공극수압계수 A_f의 범위에 包含됨을 알 수 있다.

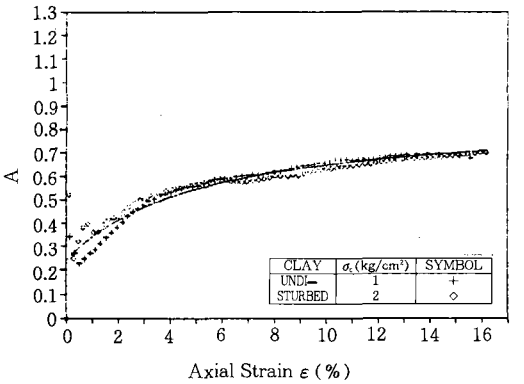

Fig. 9. Pore pressure parameter A vs. axial strain curves for undisturbed clay

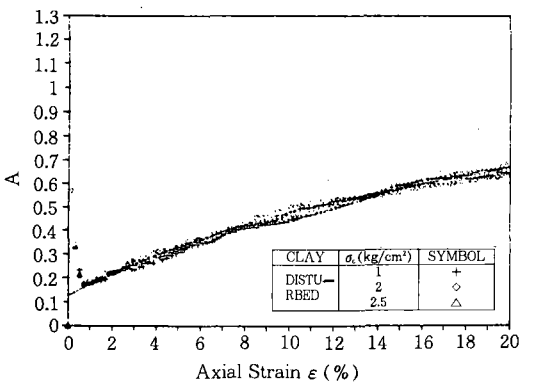

Fig. 10. Pore pressure parameter A vs. axial strain curves for disturbed clay

Fig. 11과 Fig. 12는 正規壓密된 두 시료의 Mohr 破壞包絡線으로, 불교란 해성점토의 ϕ'는 攪亂된 해성점토의 ϕ'보다 크게 나타났다. 이와 같이 不攪亂試料와 교란시료의 ϕ'이 차이가 나는 것은 각 시료의 초기상태 공극비와 壓密狀態 등의 차이에서 기인한다고 판단된다.

2. 過壓密된 試料에 대한 試驗 結果

가. 軸差應力, 孔隙水壓과 軸變形率의 關係

교란시료를 2kg/cm^{2}으로 等方壓密시킨 후 과압밀비가 각각 1.25, 1.67, 2.5, 5가 되게 압

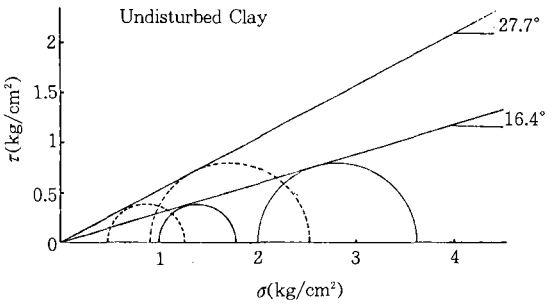

Fig. 11. Mohr circle and failure envelope for undisturbed clay

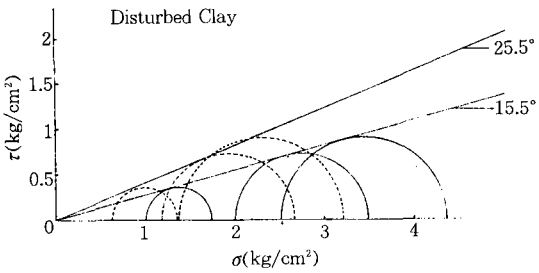

Fig. 12. Mohr circle and failure envelope for disturbed clay

밀응력을 감소시킨 후 비배수 삼축시험을 행하면 過壓密比가 1.25가 시료는 축변형률 15%에서 1.83kg/cm^{2}의 최대응력으로, 과압밀비가 1.67일 때는 축변형률 10.9%에서 1.48kg/cm^{2}의 최대응력으로 파괴되었다. 과압밀비가 2.5일 경우는 축변형률이 20% 이상 되어도 응력이 계속 증가하여 15%의 축변형률일 때의 응력인 1.05kg/cm^{2}를 최대응력으로 보았으며, 과압밀비가 5일 때는 축변형률 5% 근처에서 0.55kg/cm^{2}의 최대응력으로 파괴되었다.

축변형과 공극수압의 관계에서 과압밀비가 1.25인 시료는 축변형률 15%에서 0.75kg/cm^{2}의 공극수압으로 파괴되었으며, 과압밀비가 1.67인 시료는 축변형률 10.9%에서 0.34kg/cm^2, 과압밀비가 2.5인 시료는 축변형률 15%에서 0.06kg/cm^2, 과압밀비가 5인 시료는 축변형률

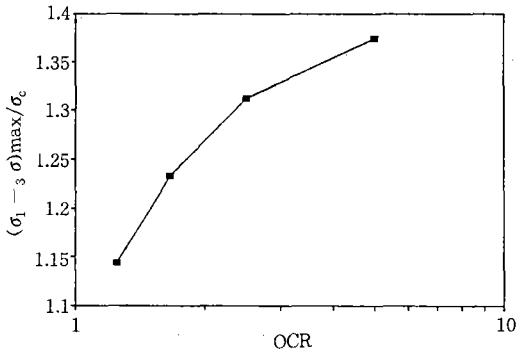

Fig. 13. Normalized max. deviator stress-OCR for overconsolidated clay

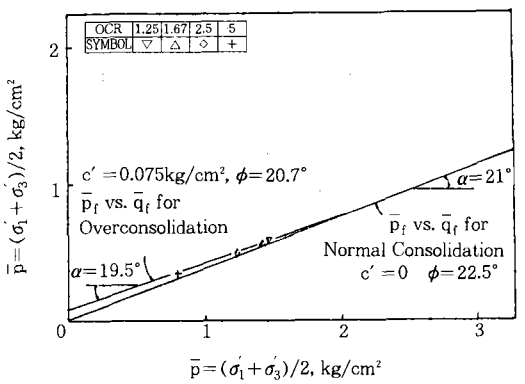

Fig. 14. Relationship between p and q for overconsolidated clay

5% 근처에서 -0.08kg/cm²로 파괴되었다.

이렇게 OCR이 증가할수록 축차응력이 감소하는 이유는 본 시료를 2kg/cm²의 선행압밀하중으로 압밀시킨후 각각의 OCR에 해당하는 압밀응력으로 감소시킴에 따라 흙이 상대적으로 이완되기 때문이다. 또한 시료의 축변형에 따른 공극수압의 변화는 압밀응력 감소에 따른 시료의 체적 증가로 孔隙水壓이 점차 감소하였다.

압밀응력에 대해 정규화한 축차응력과 OCR의 관계를 나타내면 Fig. 13과 같다.

나. 粘着力과 內部摩擦角

Fig. 14는 유효축차응력이 최대$((\sigma_1'+\sigma_3')_{max})$일 때의 $(\sigma_1'+\sigma_3')/2$와 $(\sigma_1'-\sigma_3')/2$의 관계를 나타낸 것으로 최대 선행 압밀응력이 2kg/cm²인 경우의 Mohr envelope을 나타낸다. 그림에서 Mohr envelope은 곡선지만 이를 직선으로 변환하여 強度定數를 구하면 과압밀된 해성점토의 ϕ'값은 정규압밀된 ϕ'값보다 약간 작게 나타났고 粘着力은 정규압밀된 경우보다 크게 나타났다. 이 값을 정리하면 Table-7과 같다.

다. 孔隙水壓係數 A

Fig. 15는 최대 선행 壓密應力이 2kg/cm²인 경우의 A_f-OCR 관계 曲線으로 OCR이 증가할수록 A_f의 값은 적어져서 負의 값이 되는 것을 알 수 있다.

Table -7 Cohesion and internal friction angle for overconsolidated clay

Maximum Pre-consolidation Pressure	Cohesion	Internal Friction Angle
2kg/cm²	0.075kg/cm²	20.7 °

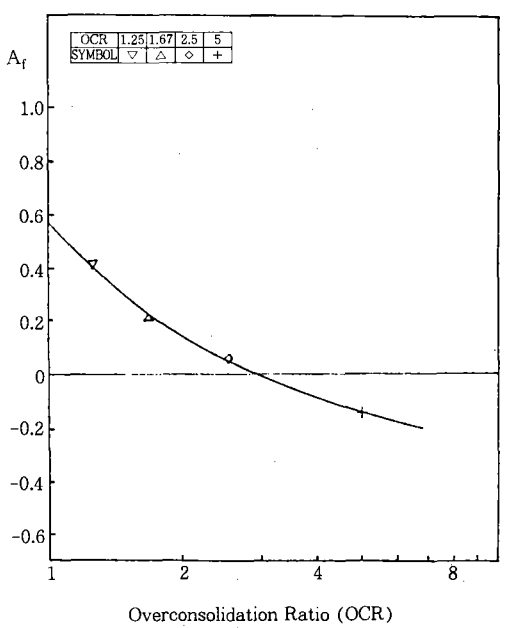

Fig. 15. Pore pressure parameter at failure A_f vs. OCR curve

IV. 結 論

해성토의 전단강도 特性을 硏究하기 위하여 반월지역 해성토를 選定하여 壓密 非排水試驗을 행한 결과, 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 正規壓密 점토의 경우, 교란시료와 불교란시료 모두 압밀응력이 증가할수록 입자간의 점착력과 마찰력이 증가하여 파괴에 도달하는 최대응력이 증가하였다.

2. 정규압밀 점토의 孔隙水壓과 軸變形率의 관계는 Kondner의 응력과 축변형률의 관계와 마찬가지로 雙曲線 함수로 표시할 수 있다.

3. 정규압밀된 攪亂試料의 공극수압과 축변형률의 관계에서 破壞率 R_f'은 Christian과 Desai가 제시한 0.7~0.9 範圍를 상당히 벗어났다.

4. 정규압밀되었을 경우 공극수압계수는 불교란시료가 교란시료보다 크게 나타났으며, 內部摩擦角 또한 크게 나타났다.

5. 과압밀된 점토의 경우, 壓密比가 증가할수록 압밀응력에 대해 정규화한 최대축차 응력은 증가했으며 孔隙水壓은 감소하였다.

6. 과압밀된 점토의 점착력은 정규압밀된 시료의 점착력보다 크고, 內部摩擦角은 정규압밀되었을 때보다 약간 減少하였다.

7. 과압밀된 점토의 파괴시 孔隙水壓係數 A_f는 과압밀비에 따라 달라지며, 과압밀비가 增加할수록 A_f 값은 負의 값을 나타냈다.

參 考 文 獻

1. Akio Nakase and Takeshi Kamei (1988), Undrained Shear Strength of Remolded Marine Clays, Soils & Fdn., 28(1), pp. 29-40.
2. Atkinson, S. H. and P. L. Bransby, The Mechanics of Soils an Introduction to Critical State Soil Mechanics, Univ. Series in Civil Engineering.
3. Bjerrum, L. and N. E. Simons (1960), Comparison of Shear Strength Characteristics of Normally consolidated Clays, Research Conf. on the Shear Strength of Cohesive Soils, Vol. 2, ASCE, Boulder, Colorado, pp. 711-726.
4. Christian, J. T. and C. S. Desai (1977), Constitutive Laws for Geologic Media, Numerical Methods in Geotechnical Engrg., McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 65-115.
5. Das B. M. (1941), Principles of Geotechnical Engineering, PWS Publishers.
6. Das, B. M. Advanced Soil Mechanics, McGraw-Hill Book Co., New York.
7. Duncan, J. M and Chin-Yung Chang (1970), Nonlinear analysis of Stress and Strain in soils, J. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 96, No. SM5, pp. 1629-1653.
8. Henkel, D. J. (1960), The Shear Strength of Saturated Remolded Clays, Research Conf. on the Shear Strength of Cohesive Soils, Vol. 1, ASCE, Boulder, Colorado, pp. 533-554.
9. Henkel, D. J and N. H. Wade (1966), Plane Strain Tests on a Saturated Remolded Clay, J. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 92, No. SM 6, pp. 67-80.
10. Kondner, R. L. (1963), Hyperbolic Stress-Strain Response; Cohesive Soils, ASCE, 89(1), pp. 115-143.
11. Koutsoftas, D. and J. A. Fischer (1976), In-Situ Undrained Shear Strength of Two Marine Clays, J. of Geotech. Eng'g Div., ASCE, Vol. 102, No GT 9, pp. 989-1005.
12. Schofield, A. and P. Wroth (1968), Criti-

cal State Soil Mechanics, McGraw-Hill Book Co., London.

13. Skempton, A. W. (1954), The Pore Pressure Coefficients A and B, Geotechnique, Vol. 4, pp. 143-147.
14. Skempton, A. W. and L. Bjerrum (1957), A Contribution to the Settlement Analysis of Foundations on Clay, Geotechnique, Vol. 7, pp. 168.
15. Sridharan, A. and S. N. Rao (1972), New Approach to Multistage Triaxial Test, J. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 98, No. SM 11, pp. 1279-1286.
16. Terzaghi, K. (1943), Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York.
17. 朴鎔遠 (1985), 飽和 正規壓密粘土의 間隙水壓-變形의 關係, 서울大學校 大學院 博士學位 論文, pp. 3-92.
18. 林炳祚, 金泳壽 (1983), 土質 試驗法, 螢雪出版社.
19. 鄭寅晙, 金翔圭 (1979), 土質力學, 東明社.