

**표준 · 일정변형률속도 압밀시험을 이용한 해성점토 · 화강암질
풍화토의 압밀특성에 관한 연구**

**A study on the Consolidation Characteristics of remolding Marine Clay
and Weathered Granite Soil by SCT and CRSC**

기완서(Wan Seo Ki)	조선이공대학 토목과
주승완(Seung Wan Joo)	서강정보대학 토목과
김선학(Sun Hak Kim)	조선대학교 토목공학과
심태섭(Tae Sup Shim)	조선대학교 토목공학과

요약 / ABSTRACT

제성형된 해성점토 시료를 연직·수평방향으로 채취하여 표준압밀시험(SCT)과 일정변형률속도 압밀시험(CRSC)을 실시하여 연약 해성점토지반에 대한 압밀정수들의 구성관계를 확인하였다. 또한, 불교란·교란 화강암질 풍화토의 표준·일정변형률속도 압밀시험을 통하여 화강암질 풍화토에 대한 압밀정수들의 특성과 적용성을 고찰하였다.

그 결과 해성점토 시료의 연직·수평방향과 표준·일정변형률속도압밀시험 방법에 따라 선행압밀응력, 압축지수, 과잉간극수압, 간극수압비 등이 달리 산정됨을 알 수 있었다. 또한, 불교란·교란 화강암질 풍화토 시료에서도 해성점토와 유사하게 과압밀·정규압밀 구간에서 압밀정수들의 변화를 확인하였다.

주요어 : 일정변형률속도 압밀시험, 해성점토, 화강암질 풍화토, 간극수압비, 선행압밀압력

We have remolded marine clay sample collected along the vertical and horizontal directions and investigated the characteristics of the consolidation constants by SCT and CRSC methods. We have studied also on consolidation characteristics and application for weathered granite soil using SCT and CRSC methods for undisturbed and disturbed samples.

As the result, values of pre-consolidation stress, compression index, excessive pore pressure, pore water pressure ratio of the marine-clay were different due to different test methods(SCT and CRSC) and sampling directions(vertical and horizontal directions). Disturbed and undisturbed samples of the weathered granite soil have showed similar change aspect like marine clay during over-consolidated and normally consolidated stages.

Key Words : CRSC(Constant Rate of Strain Consolidation test), Marine-clay, Weathered granite soil, Pore pressure ratio, Pre-consolidation stress

서 론

최근 들어 국내에서 남·서해안을 중심으로 대규모의 간척사업 및 부지조성을 위한 해안의 준설, 매립공사를 많이 실시하고 있다. 이러한 현장의 토질은 대부분 해상점토 등과 같은 연약지반으로 구성되어 있어서 상부 구조물 및 기타 토류 구조물을 시공시 연약지반의 침하에 관련된 문제가 토질공학적인 측면에서 매우 중요 관심사항으로 대두되고 있는 실정이다. 특히, 연약해성점토의 경우 지반공학적으로 매우 불안정한 상태이므로 이용목적에 맞는 지반개량이 선행되어야 하고, 대상지반의 물리·역학적인 특성을 정확히 파악하지 못한 상태에서 시공을 할 경우 지반의 안정성 및 경제적인 측면에서 크나큰 손실을 보게 된다. 그러므로 지반에 주어진 환경과 조건에 따라 기본물성치를 바탕으로 보다 정확한 압밀정수들의 산정과 연약점토 지반의 거동을 파악하는 것은 대단히 중요한 사항이다. 그리고 화강암질 풍화토는 교란·불교란 상태를 막론하고 이를 설계에 반영할 때 최초의 강도특성이나 변형특성이 시험시료의 취급이나 또는 시공과정에서 파쇄에 의하여 역학적 특성이 얼마든지 달라질 수 있다.

박순규(1993)는 일정변형률속도 압밀기법 및 해석법을 바탕으로 연약점토의 압밀정수 산정에 있어서 그의 타당성 및 유효성에 대하여 해석적 고찰을 수행함으로써 일정변형률속도 압밀시험기법의 유효성을 검증하였고, 채영수 등(1997)은 일정변형률속도 압밀시험을 통한 한강 오니토의 압밀정수들을 산정하여 압밀특성에 관한 연구를 수행하였다. 또한, 최근 정우철(2001)은 재성형된 해상점토시료에 이방성을 도입한 일정변형률속도 압밀시험을 수행하여 압밀정수들의 차이가 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 재성형된 해상점토시료를 연직·수평 방향의 이방향으로 채취하여 여러 가지 다양한 압밀시험 방법 중 Terzaghi (1936)가 제안한 단계하중 압밀시험 방법과 Wissa et al.(1971)

이 제안한 일정변형률속도 압밀시험(CRSC)을 실시하여 연직·수평방향에 따른 시료의 압밀정수 구성관계를 확인하고 그 결과 및 해석법을 기초로 하여 연약 해상점토지반에 대한 정확한 압밀정수를 결정하는데 목적이 있다. 또한, 불교란·교란 화강암질 풍화토의 표준·일정변형률속도 압밀시험을 통하여 화강암질 풍화토에 대한 압밀정수들의 압밀특성과 적용성을 살펴보고자 한다.

일정변형률 압밀이론

Terzaghi의 일차원 압밀이론은 장기간 소요된다는 단점과 많은 가정을 두어 실제와 잘 맞지 않는 부분이 있어 이러한 문제점들을 해결하기 위해 여러 가지의 압밀시험이 대두되었다. 이 중 Wissa et al.(1971)은 Janbu(1965)의 압밀이론을 이용하여 해를 유도해 내었다. 또한 배압을 주어서 시료를 포화시킬 수 있는 일정변형률속도 압밀시험용 시험기를 개발하고 일정변형률 압밀이론을 적용하여 검증하였다. Wissa et al.(1971) 등이 실시한 일정변형률속도 압밀시험의 하중재하 단계에서 특이할 점은 흙에서 전이상태(transient condition)가 발생하고 정상상태(steady state)가 되기 전에 소산된다는 것이며, 다음과 같은 몇가지 기본가정 하에 식 (1)과 같은 기본 압밀식을 전개하였으며 이는 간극비(void ratio)가 변형률(strain)로 대체된 것 이외에는 Terzaghi의 압밀방정식과 유사하다.

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} \quad (1)$$

여기서, C_v : 압밀계수

z : 시료길이에 대한 임의점의 연직좌표

t : 압밀경과시간

ε : 연직변형률

미소변형률이론은 변형이 큰 경우와 작은 경우

에 대하여 적용이 가능한 이론이다. 식 (1)의 지배방정식을 바탕으로 거리와 시간의 다음의 무차원 변수를 도입하여

$$\text{좌표에 관한 무차원 변수 : } X = \frac{z}{H} \text{ (좌표)} \quad (2)$$

$$\text{시간에 관한 무차원 변수 : } T_v = C_v \frac{t}{H^2} \quad (3)$$

$$\text{무차원 변위변수 : } V = \frac{v}{H} \quad (4)$$

경계조건과 초기조건을 고려한 무차원 변형률은 식 (5)와 같다.

$$\epsilon(X, T_v) = \gamma [1 + F(X, T_v)] \quad (5)$$

$$\text{여기서, } F(X, T_v) = \frac{1}{6T_v} (2 - 6X + 3X^2) - \frac{2}{\pi^2 T_v} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi X}{n^2} \exp(-n^2 \pi^2 T_v)$$

이 식의 우변은 두 부분으로 나눌 수 있는데 첫째 항은 평균변위를 나타내며, 두 번째항 역시 둘로 나뉘는데 첫 항은 정상상태(steady state)에서의 평균변형의 변화를 나타내고 시간에 독립적이며, 둘째항은 전이상태(transient state)의 해가 된다. 실험으로부터 바로 얻을 수 있는 자료는 평균 변형률, 단위중량, 시료의 상부와 하부에서의 간극수압, 시료상부에서의 전응력이며 이로부터 시료상부와 하부에서의 유효응력을 구할 수 있다.

또한, 정상상태에서 응력-변형률의 가정조건을 통해 선형 및 비선형으로 구분하여 다음식을 통해 압밀정수를 산정할 수 있다. 시료가 선형거동을 하는 경우 평균유효응력과 압밀계수는 각각 식 (6), (7)과 같다.

$$\overline{\sigma_{v_{av}}} = \frac{1}{3} [2\overline{\sigma_v}(H, t) + \overline{\sigma}(0, t)] = \sigma_v - \frac{2}{3} u_b \quad (6)$$

$$C_v = \frac{H^2}{2u_b} \left(\frac{\Delta\sigma_v}{\Delta t} \right) \quad (7)$$

여기서, u_b : 시료하부에서의 과잉간극수압
($= \Delta\overline{\sigma_v}$)

시료가 비선형 거동을 하는 경우 평균유효응력과 압밀계수는 식 (8), (9)와 같다.

$$\overline{\sigma_{v_{av}}} = (\sigma_v^3 - 2\sigma_v^2 u_b + \sigma_v u_b^2)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

$$C_v = \frac{0.434\gamma H^2}{2\overline{\sigma_v} m_v \log\left(1 - \frac{u_b}{\sigma_v}\right)} \quad (9)$$

시료준비 및 실험방법

시료준비

본 연구에서 사용된 시료는 전라남도 울촌공단 준설·매립부지에서 채취한 해성점토로서 조류에 의하여 이동, 정착하면서 패각류가 혼재되어 있는 암회색의 시료이다. 패각류 등 불순물이 압밀시험에 미치는 영향을 감소시키기 위해 No.40체에 통과시켜 불순물을 제거하고, 완전 슬러리상태로 만든 후 두께 2cm의 아크릴판으로 가로×세로×높이 각각 1m로 제작된 압밀토조에 3개월동안 자중압밀시킨 뒤 물하중 0.2 kg/cm²의 압력으로 24개월간 재하시켜 성형하였다. 이 성형된 해성점토를 샘플러를 통해 연직·수평방향의 이방향으로 채취하여 압밀시험에 사용하였다. 그리고 화강암질 풍화토는 광주근교에서 불교란시료를 채취하였으

Table 1. Physical properties of specimens

Sample	Water content (%)	Specific gravity	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plastic index	No.200 passage (%)	Unified Soil Classification System
Marine clay	43.0~50.3	2.62	44.5	24.7	19.8	96.3	CL
Weathered Granite Soil	25.0~29.3	2.68	35.0	30.0	5.0	37.8	SM

며, 현장응력상태와 같은 하중을 가하여 재성형 화강암질 풍화토를 성형하였다. 본 연구에 사용된 시료의 기본 물리적 성질은 Table 1과 같다.

실험방법

해성점토의 연직·수평방향의 이방향 채취시료에 대해 압밀특성을 비교하고 화강암질 풍화토의 교란·불교란시료의 압밀특성을 비교하고자 표준 압밀시험(KS F 23 16)과 일정변형률속도 압밀시험(ASTM D 4186)을 실시하였다. 표준압밀시험은 시료의 높이와 직경을 각각 2cm, 6cm로 성형하여 24시간 수침상태로 두어 포화 시킨 후 하중증가비($\Delta P/P$)를 1로 하여 각 단계 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8 kg/cm^2 의 압밀압력으로 재하를 하였다. 각 하중단계에 대하여 측정간격을 8초, 15초, 30초, 1분, 2분, 4분, 8분, 15분, 30분, 1시간, 2시간, 4시간, 8시간, 24시간으로 하였으며, 제하단계에서 압밀압력은 3.2, 0.8, 0.2 kg/cm^2 으로 하여 시료의 팽창량을 측정하였다. 또한, 일정변형률속도 압밀시험은 아직까지 우리나라에 표준화된 규정이 없으므로 미국 ASTM규정에 의한 시험을 실시하였다.

일정변형률속도 압밀시험을 수행하는데 있어서 과잉간극수압비의 한계와 변형률 속도 적용은 매우 중요한 부분이다. 그러므로 일정변형률속도 압밀시험을 수행하기전 Smith & Wahls(1969), Larsson and Salfors(1986), ASTM(1982) 등에서 제안된 방법에 의해 변형률속도를 선정하였다. Table 2, 3은 최대간극수압비의 제한치와 액성한계에 따른 변형률속도의 제한치를 나타내고 있다.

Table 2. Maximum Pore pressure ratio(u_b/p')

References	Pore pressure ratio limit(%)
Smith & Wahls(1969)	50
Wisa et al(1971)	5
Gorman et al(1978)	50
Janbu et al(1981)	70
Lee(1981)	70
Armour and Drnevich(1986)	40~50
Larson and Salfors(1986)	15
Sandbaekken et al(1986)	5~10
Znidaricic et al(1986)	30~50
ASTM D4186(1989)	3~30

Table 3. A limit of strain velocity on CRSC of ASTM D 4186

Liquid limit range (%)	Rate of strain (%/min)
0~40	0.04
40~60	0.01
60~80	0.004
80~100	0.001
100~120	0.0004
120~140	0.0001

Table 4. Performed Consolidation tests

Test	Sampled direction	Marine clay		Weathered Granite Soil	
		Vertical direction	Horizontal direction	Undisturbed specimens	Disturbed specimens
Standard Consolidation Test		SCT~V1	SCT~H1	SCT~U1	SCT~D1
		SCT~V2	SCT~H2	SCT~U2	SCT~D2
Constant Rate of Strain Consolidation Test		CRS~V1	CRS~H1(0.01%/min)	CRS~U1	CRS~D1(0.02%/min)
		CRS~V2	CRS~H2(0.02%/min)		
		CRS~V3	CRS~H3(0.04%/min)	CRS~U2	CRS~D2(0.04%/min)

표준압밀시험에서 얻어진 결과와 일정변형률속도 압밀시험의 결과치와의 객관적인 비교검토를 위하여 시험시 발생될 수 있는 오차를 최소화시키고 일관성 있는 시험을 실시하였으며 ASTM D4186-89의 시험규정을 준수하고 동일한 조건으로 시험을 수행하였는데 100KPa의 배압을 가하여 시료를 완전포화시키고 액성한계에 따른 변형률 속도 0.01, 0.02, 0.04%/min으로 최대 축하중 1,255KPa (12.8 kg/cm^2)까지 시험을 수행하였다. 일정변형률속도 압밀시험에 사용된 시료는 높이와 직경을 각각 2.54cm, 6.35cm로 성형하여 사용하였으며, 본 연구에서 수행된 해성점토·화강암질 풍화토의 채취방향과 변형률속도에 따른 실험의 종류는 Table 4와 같다.

시험결과 및 분석

간극비 및 유효응력 상관관계

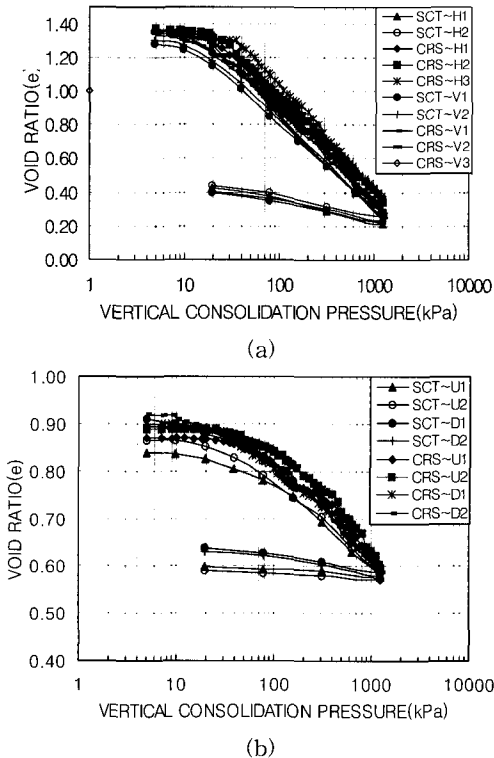


Fig. 1. Void ratio vs. Effective pressure. (a) Marine clay (b) Weathered granite soil

Fig. 1의 (a)는 해성점토의 압밀시험결과 간극비와 유효응력의 실험 결과를 나타낸 것으로 표준압밀시험의 압축곡선이 좌측에 나타나 일정변형률속도 압밀시험보다 동일 압밀하중에서 더 많은 압밀량을 보이고 있으며, 연직방향 채취시료의 경우 과압밀구간에서 정규압밀구간보다 더 많은 차이를 보이고 있는 반면에 수평방향 채취시료의 경우 정규구간에서 거의 유사한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 일정변형률속도 압밀시험에서 변형률속도가 빠를수록 오른쪽으로 이동하는 경향을 보이고 있는 것은 동일한 간극비에서 보다 큰 유효응력을 받을 수 있음을 의미하는 것으로, 이러한 경향은 Sallfor(1975)와 Lero ueil et al.(1985)의 연구보고와 동일한 경향을 나타내고 있다.

Fig. 1의 (b)는 화강암질 풍화토에 대한 간극비와 유효응력의 관계를 나타낸 그림이다. 표준압밀시험에 의한 결과 과압밀구간에서는 현장응력상태로 재성형된 시료가 불교란 시료보다 동일하중에서 더 큰 간극비로 나타나다 정규압밀구간에서는 간극비의 차가 감소됨을 알 수 있었다. 그리고 일정변형률속도 압밀시험결과 불교란시료의 경우 표준압밀시험에 비해 압밀량이 작게 나타났으며, 교란시료의 경우 시험방법에 관계없이 거의 유사한 압밀량을 나타내었다.

Table 5는 재성형된 해성점토의 연직·수평방향 채취시료와 화강암질 풍화토의 불교란·교란시료에 대한 표준압밀시험과 일정변형률속도 압밀시험을 수행한 결과 산정된 선행압밀압력과 압축지수를 비교·분석한 것이다. 해성점토시료의 압밀시험 결과 선행압밀압력은 연직방향시료의 경우 19~25KPa, 수평방향시료의 경우 15~20KPa의 범위로 나타났으며, 시료의 조건에 관계없이 일정변형률속도 압밀시험에서 나타난 선행압밀압력이 표준압밀시험에서 산정된 값보다 5~33%정도 크게 나타났다. 그리고 압축지수는 연직방향 채취시료의 경우 0.521~0.544, 수평방향 채취시료의 경우 0.592~0.612의 범위로 나타나 시험조건에 관계없이 수평방향 채취시료가 연직방향 채취시료보다 약 12%정도 크게 산정 되는 경향을 보여 동일 연직유효압력을 받는 연약 점토지반에서 연직·수평방향에 따라 압밀응력에 차이가 있

Table 5. Result of Standard Consolidation Test(SCT) and Constant Rate of Strain Consolidation Test(CRSC)

Sample	Test no.	Strain (%/min)	Compression index (C_c)	Pre-consolidation pressure (σ_p) (kPa)	Maximum Pore pressure ratio (u_u/σ_v) _{max} (%)	
Marine clay	Vertical direction	SCT~V1	-	0.521	19	-
		SCT~V2	-	0.544	19	-
		CRS~V1	0.01	0.532	20	22
		CRS~V2	0.02	0.540	22	30
		CRS~V3	0.04	0.538	25	59
	Horizontal direction	SCT~H1	-	0.601	15	-
		SCT~H2	-	0.592	15	-
		CRS~H1	0.01	0.598	18	26
		CRS~H2	0.02	0.592	19	39
		CRS~H3	0.04	0.612	20	70
Weathered Granite Soil	Undisturbed specimens	SCT~U1	-	0.189	75	-
		SCT~U2	-	0.177	80	-
		CRS~U1	0.02	0.201	80	27
		CRS~U2	0.04	0.220	75	25
	Disturbed specimens	SCT~D1	-	0.212	59	-
		SCT~D2	-	0.204	63	-
		CRS~D1	0.02	0.208	60	17
		CRS~D2	0.04	0.210	70	3

음을 알 수 있다. 또한 화강암질 풍화토에 대한 선행압밀압력은 불교란시료의 경우 75~80KPa, 교란시료의 경우 59~70KPa로 나타났으며, 압축 지수는 불교란시료의 경우 0.177~0.220, 교란시료의 경우 0.204~0.212로 교란시료가 비교적 큰값으로 나타났는데 이는 재성형시 현장상태 응력과의 차에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

간극수압 및 유효응력 상관관계

Fig. 2(a)는 연직·수평방향 채취시료에 대해 각각 다른 변형률속도의 일정변형률속도 압밀시험을 통하여 압밀응력의 증가에 따른 과잉간극수압의 변화를 나타내고 있는데 과잉간극수압곡선은 공통적으로 세 구간으로 나누어지는 특징을 보여주고 있다. 첫 번째 구간은 초기 압밀응력의 증가에 따라 과잉간극수압이 선형적으로 미소하게 증가하는 구간이며, 두 번째 구간은 선행압밀

응력구간에서 과잉간극수압이 약간 감소하거나 일정하게 유지되는 구간이다. 마지막 세 번째 구간은 다시 과잉간극수압이 압밀응력에 따라 선형적으로 증가하는 구간이다. 이러한 특징이 느린 변형률 속도에서는 과잉간극수압의 발생량이 작아 뚜렷하게 나타나지 않지만 변형률 속도가 빠를수록 과잉간극수압 발생량이 커 이러한 구간은 뚜렷하게 나타나고 있다.

그리고 과잉간극수압이 증가하는 변곡점을 통해 연직방향 채취시료의 선행압밀응력은 20~25KPa, 수평방향 채취시료는 18~20KPa로 산정할 수 있었는데 산정된 선행압밀압력 값은 표준 압밀시험에 의해 산출된 값과 마찬가지로 연직방향 채취시료의 경우가 수평방향 채취시료보다 약간 큰 값으로 산출되었다. 또한, 채취방향(연직·수평)에 관계없이 변형률 속도가 빠를수록 과잉간극수압이 크게 발생된 반면에 수평방향 채취시료

가 연직방향 채취시료보다 과잉간극수압이 약간 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 2(b)는 화강암질 풍화토의 불교란시료와 교란된 채성형시료에 대한 일정변형률속도 압밀 시험 결과 유효응력에 따른 과잉간극수압의 변화를 나타내는 곡선으로 해상점토와 비슷하게 세 구간으로 나누어지는 특징을 보이고 있는데 교란 시료에 비해 불교란시료의 간극수압 증가가 조금 더 크게 발생되고 있다.

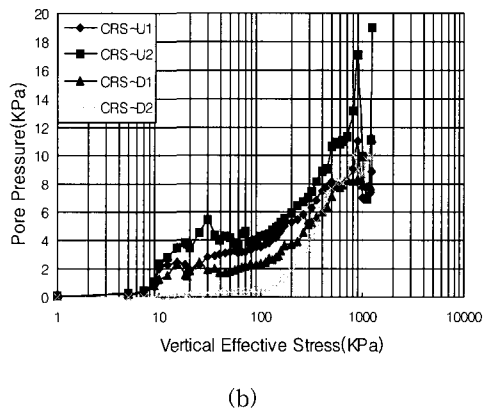
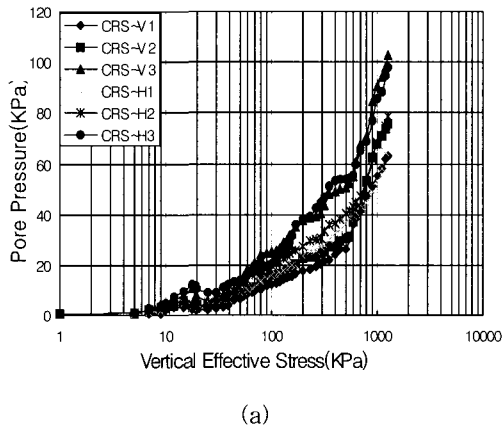


Fig. 2. Pore pressure vs. Effective stress. (a) Marine clay (b) Weathered granite soil

간극수압비 및 유효응력 상관관계

Fig. 3(a)는 연직 · 수평방향 채취시료의 변형률 속도에 따른 압밀하중과 간극수압비($\log \sigma_v' - u_b/\sigma_v'$)의 변화를 나타낸 그림이다.

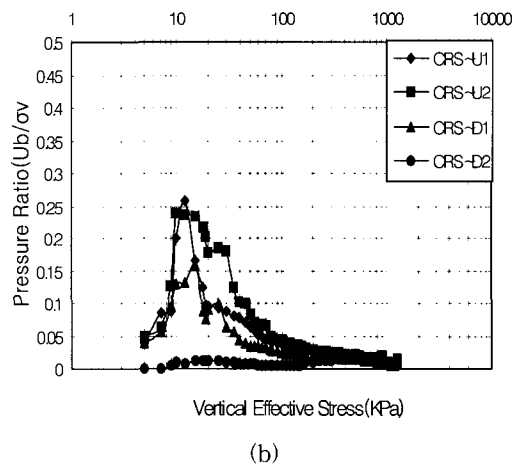
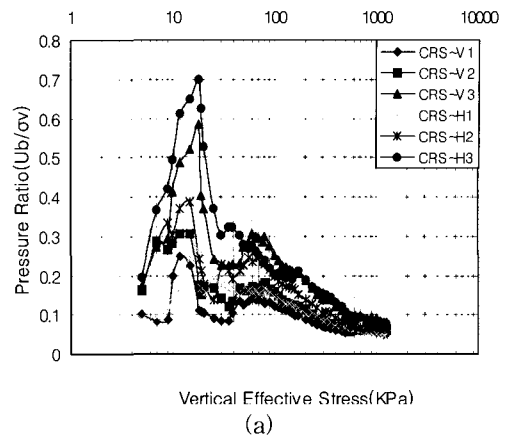


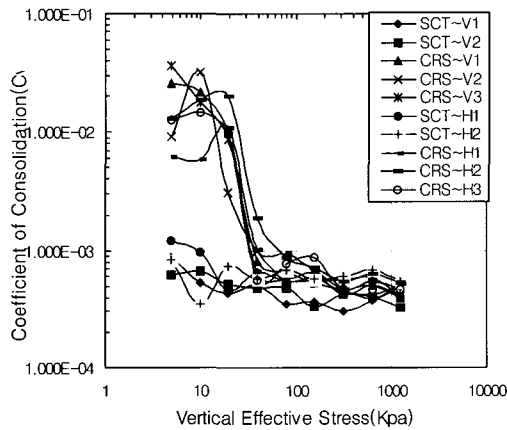
Fig. 3. Pore pressure ratio vs. Effective stress. (a) Marine clay (b) Weathered granite soil

압밀응력이 작은 초기에는 세 가지 변형률 속도에서 간극수압비가 불규칙한 분포를 보이지만 연직유효응력이 증가할수록 일정한 값으로 수렴해 가는 것을 알 수 있다. 또한, 수평방향 채취시료의 경우가 연직방향 채취시료의 경우보다 간극수압비의 수렴부분이 빨라짐을 알 수 있는데 이는 수평방향의 시료가 연직방향 시료보다 낮은 압밀응력에서 간극수압의 증가량이 감소하기 때문이다. 그리고 정규압밀영역에서는 선행압밀응력과 관계 없이 간극수압비는 CRS~V(1·2·3)의 경우 5~30%, CRS~H(1·2·3)인 경우 8~35%로 Table 2의 허용범위 내의 값을 유지하고 있으며 이는 Wissa et al. (1971), Gorman et al.(1978)이 제안

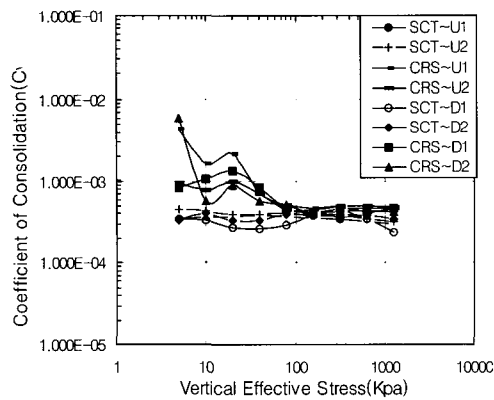
한 영역안에 해당하는 값이므로 CRS~V와 CRS~H시료에 적용된 변형률 속도 0.01~0.04%/min은 압밀정수 산정에 적합함을 알 수 있고, 변형률 속도에 관계없이 선행압밀압력이 결정되는 부분에서 간극수압비가 급격한 변화를 나타냈다.

Fig. 3(b)는 화강암질 풍화토의 경우 해성점토와 유사하게 불교란·교란시료 모두 과압밀구간에서 불규칙적인 분포로 나타나다가 선행압밀압력을 지나 정규압밀 구간에서 수렴되어지는 경향을 보였다.

압밀계수 및 유효응력 상관관계



(a)



(b)

Fig. 4. Coefficient of consolidation vs. Effective stress. (a) Marine clay (b) Weathered granite soil

압밀계수는 Fig. 4(a)와 같이 해성점토의 수평방향 채취시료의 경우 $SCT\sim H$ $3.520 \times 10^{-1} \sim 1.196 \times 10^{-3} cm^2/sec$, $CRS\sim H$ $4.03 \times 10^{-1} \sim 2.01 \times 10^{-2} cm^2/sec$, 연직방향 채취시료의 경우 $SCT\sim V$ $3.02 \times 10^{-4} \sim 8.82 \times 10^{-4} cm^2/sec$, $CRS\sim V$ $4.00 \times 10^{-4} \sim 3.67 \times 10^{-2} cm^2/sec$ 로 나타났다. 일정변형률속도 압밀시험에서 산정된 압밀계수는 시료채취 방향과 변형률속도에 관계없이 초기에는 불안정한 상태로 나타나다가 선행압밀압력을 넘어서 정규압밀 구간에서는 거의 유사한 값을 나타내었고, 또한, 평균적으로 수평방향 채취시료가 연직방향 채취시료보다 약 40% 크게 나타나는 경향을 보였다.

Fig. 4(b)에서 화강암질 풍화토의 경우 일정변형률속도 압밀시험(불교란·교란)이 표준압밀시험(불교란·교란)의 압밀계수 값보다 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

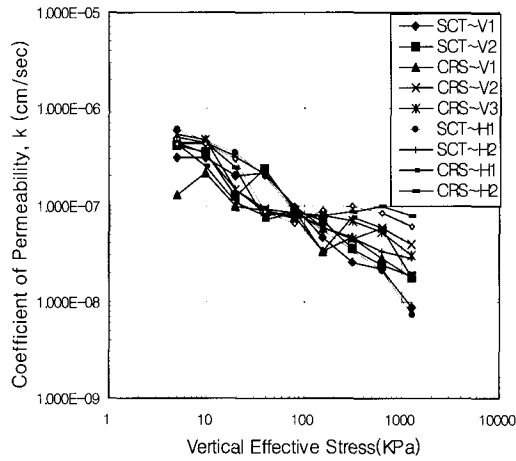
투수계수 및 유효응력 상관관계

해성점토에 대한 표준·일정변형률속도 압밀시험에서 구한 유효응력과 투수계수의 관계를 연직·수평방향에 대해 Fig. 5(a)에 나타냈다. 두 방향시료 모두에서 유효응력이 증가함에 따라 투수계수가 감소하는 경향을 보여주고 있는데 이것은 압밀이 진행됨에 따라 간극비가 감소하여 투수계수가 감소됨을 나타낸다.

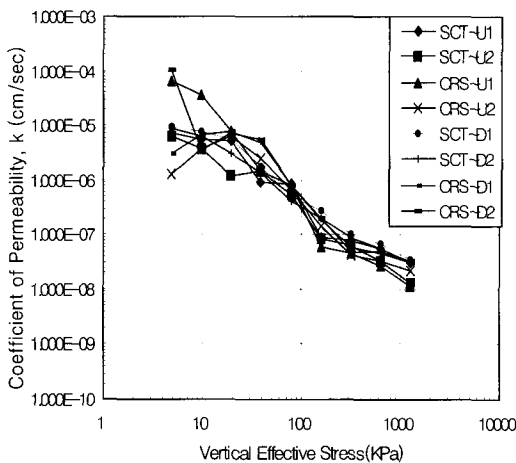
연직방향 채취시료의 투수계수는 $SCT\sim V$ $8.620 \times 10^{-9} \sim 4.123 \times 10^{-7} cm/sec$, $CRS\sim V$ $1.768 \times 10^{-8} \sim 5.340 \times 10^{-7} cm/sec$ 이며, 수평방향 채취시료의 투수계수는 $SCT\sim H$ $7.460 \times 10^{-9} \sim 6.130 \times 10^{-7} cm/sec$, $CRS\sim H$ $1.768 \times 10^{-8} \sim 4.450 \times 10^{-7} cm/sec$ 의 범위로 산정되었는데 표준·일정변형률속도 압밀시험결과에 의한 정규압밀구간의 평균투수계수는 표준압밀시험의 경우 수평방향 채취시료가 연직방향 채취시료보다 약 10%정도 크게 산정되었다.

Fig. 5(b)의 화강암질 풍화토에서도 해성점토의 경우와 유사하게 유효응력이 증가함에 따라 투수계수가 감소하는 경향을 나타내었으며 불교란·교란시료 모두 과압밀 구간에서 투수계수의 변화가 심하게 나타나다가 정규압밀 구간에서는 거의

유사한 값으로 수렴하여 나타났다.



(a)



(b)

Fig. 5. Coefficient of permeability vs. Effective stress. (a) Marine clay (b) Weathered granite soil

결론

본 연구에서 재성형된 해성점토 시료는 연직·수평방향의 이 방향으로, 화강암질 풍화토는 불교란·교란시료로 채취하여 표준·일정변형률속도 압밀시험을 수행한 결과를 바탕으로 압밀정수들의 구성관계를 확인하고 그 결과 및 해석법을 기

초로 하여 비교·분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연직방향의 해성점토시료의 경우 SCT와 CRSC의 결과 과압밀구간에서 정규압밀구간에서보다 더 많은 압밀량의 차이를 보였으며, 화강암질 풍화토의 경우 일정변형률속도 압밀시험결과 불교란시료의 경우 표준압밀시험에 비해 압밀량이 작게, 교란시료의 경우 시험방법에 관계없이 거의 유사한 압밀량을 나타내었다.

2. 선행압밀압력은 해성점토의 경우 시료의 채취방향에 관계없이 일정변형률속도 압밀시험에서 산정된 값이 표준압밀시험에서 산정된 값보다 5~33%정도 크게 나타나며, 정규압밀 구간에서의 압축지수는 평균적으로 수평방향 채취시료가 연직방향 채취시료보다 약 12%정도 크게 산정되는 경향을 보여 동일 연직유효응력을 받는 연약점토 지반에서 연직·수평방향에 따라 압밀응력에 차이가 있음을 알 수 있다.

3. 일정변형률속도 압밀시험 결과 해성점토의 경우 수평방향 채취시료가 연직방향 채취시료에 비해 과잉간극수압이 약간 크게 나타나는 경향을 보였으며, 화강토의 경우 불교란시료가 교란시료에 비해 더 큰 간극수압의 분포를 나타내었다.

4. 압밀계수는 해성점토의 일정변형률속도 압밀시험에서 산정된 값이 시료채취방향과 변형률 속도에 관계없이 초기에는 불안정한 상태로 나타나다가 선행압밀압력을 넘어서 정규압밀 구간에서는 거의 유사한 값을 나타내었으며, 수평방향 채취시료가 연직방향 채취시료보다 평균적으로 약 40% 크게 나타나는 경향을 보였다.

5. 해성점토의 평균투수계수는 표준압밀시험의 경우 수평방향 시료가 연직방향 시료보다 약 10% 정도 크게 산정 되었으며, 일정변형률속도 압밀시험에서는 약 38%정도 크게 나타났다. 또한 화강토에서는 불교란·교란시료 모두 과압밀 구간에서 변화의 폭이 심하게 나타난 반면에 정규압밀 구간에서는 일정한 값으로 수렴하여 나타났다.

사사

본 연구는 2001년도 조선이공대학 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며, 연구를 지원해 주

신 학교당국에 감사드립니다. 또한, 본 논문을 심사하여 주신 심사위원님께 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- 박순규, 1993, 일정변위압밀이론에 의한 연약점토의 압밀특성 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 강원대학교, 28p.
- 정우철, 2001, 재성형 해성점토의 이방성에 따른 압밀특성, 석사학위논문, 조선대학교, 27p.
- 채영수, 방의석, 1997, 일정변위압밀시험에 의한 한강오니토의 압밀특성에 관한 실험적 연구, 97 가을 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, 123~130.
- ASTM, 1982, Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Controlled Strain Loading, ASTM, D4186-89, 565~569.
- Armour, D.W., Drnevich, V.P., 1986, Improved Techniques for the Constant Rate of Strain Consolidation Test, Consolidation of soils ASTM, STP 892 Philadelphia, 170~183.
- Gorman, C.T., Hopkins, T.C., Deen, R.D., and Drnevich, V.P., 1978, Constant Rate of Strain and Controlled Gradient Consolidation Testing, Geotechnical Testing Journal, v. 1, n. 1, 3~15.
- Janbu, N., 1965, Consolidation of clay layers based on non-linear stress strain, Proc. 6th ICSMFE, v.2, 83-87.
- Larsson, R., and Sallfors, G., 1986, Automatic Continuous Consolidation Testing in Sweden, STP 892, ASCE, 229-328.
- Lee, K., 1981, Consolidation with Constant Rate of Deformation, Geotechnique, 31, 215~229.
- Leroueil, S., Kabbaj, M., Tavenas, F., and Bouchard, R., 1985, Stress-Strain-Strain Rate Relation for the Compressibility of Sensitive Natural Clays, Geotechnique, v. 35, n. 7, 534-543.
- Sallfors, G., 1975, Preconsolidation pressure of soft, high-plastic clays, Ph.D thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 12p.
- Sandbaekken, G., Berre, T., and Lacasse, S., 1986, Oedometer testing at the Norwegian Geotechnical Institute, STP 892, ASTM, 329~353.
- Smith, R.E., and Wahls, H.E., 1969, Consolidation under constant rates of strain, J. soil Mech. Fdns Div., ASCE, SM2, 519-539.
- Terzaghi, K., and Frohlich, O.K., 1936, Theorie der Sitzung von Tonschichten, Ein Einfuhrung in die Analytische Tonmechanik, Deuticke, Leipzig.
- Wissa, A.E.Z., Christian, J.T., Davis, E. H., and Heiberg, S., 1971, Consolidation at Constant Rate of Strain, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, v. 97, SM10, 1393-1413.
- Znidaricic, D., Schffman, R.L., Pane, V., Croce, P., and Olsen, H.W., 1986, Constant rate of deformation testing and analysis, Geotechnique, v. 36, n. 2, 227~237.

투 고 일	2002년 11월 18일
심 사 일	2002년 11월 19일
심사완료일	2002년 12월 3일

기완서
 조선이공대학 토목과
 501-744 광주광역시 동구 서석동 290번지
 Tel : 062-230-8662
 e-mail : wski@mail.chosun-c.ac.kr

주승완
 서강정보대학 토목과
 501-742 광주광역시 북구 운암동 789-1번지

표준 · 일정변형률속도 압밀시험을 이용한 해성점토 · 화강암질 풍화토의 압밀특성에 관한 연구

Tel : 062-520-5198

e-mail : swjoo@seokang.ac.kr

김선학

조선대학교 토목공학과

501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

Tel : 062-230-7093

e-mail : sun930@kebi.com

심태섭

조선대학 토목공학과

501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

Tel : 062-230-7085

e-mail : tsshim@mail.chosun.ac.kr

기완서, 주승완, 김선학, 심태섭