

고유기질토의 반복압밀특성

Consolidation Characteristics of Repeated Loading for Highly Organic Soils

김 재 영*¹ Kim, Jae-Young
주 재 우*² Ju, Jae-Woo
박 성 희*³ Park, Sung-Hee

Abstract

A series of standard consolidation tests and repeated loading consolidation tests were performed with 2 kinds of highly organic soil sampled in Chonbuk area to study the consolidation characteristics of the organic soil. The samples had following physical properties : 58% and 72% of organic content, 487% and 635% of natural moisture content and 7.02 and 9.72 of initial void ratio, respectively. At the standard consolidation test, coefficient of permeability K , coefficient of volume compressibility M_v and coefficient of consolidation C_v decreased more steeply than those of normal clay with the increase of consolidation load. But, the K and M_v at the repeated consolidation test with second and third stage gradually decreased and terminated to smaller values than those of standard test. The C_v at the repeated consolidation test with second stage was 10-12 times larger than that of standard one in the domain of normal consolidation. And compression index C_c and coefficient of secondary consolidation C_α were increased steeply when the consolidation loads reach 2.5 and 3 times of each preload as is usually seen in the case of highly organic soil. The dependance on consolidation pressure of C_c and C_α in highly organic soil and the maximum values, 2.9-3.8 and 0.3-0.4 were larger than those of normal clay, respectively. The C_α decreased with the increase of over-consolidation ratio(OCR) and the decrease was enlarged when the OCR is 1-2. As a results of this study, it can be said that the coefficients related with the consolidation in highly organic soil are largely dependent on the number of tests and the amount of the load and the amount of over consolidation deeply affect the C_α in highly organic soil. But, an additional research would be needed for the practical use of the results.

요 지

고유기질토의 정규압밀과 과압밀에 대한 압밀특성을 연구하기 위하여 전북지역에서 채취한 2종류의 고유기질토 IS와 YJ를 사용하여 일련의 실내 표준압밀시험과 반복압밀시험을 수행하였다. 전북지역 대표적인 고유기질토의 물리적 특성은 유기물함량이 각각 58%와 72%, 자연함수비 487%와 635%, 초기공극비 7.02와 9.72이었다. 표준압밀시험결과 K , M_v , C_v 는 압밀하중이 증가함에 따라 선형하중을 경계로 일반 점토보다 크게 감소하는 특성을 보였다. 또한 2단계, 3단계 반복압밀 시험결과 K , M_v 는 압밀하중이 증가함에 따라 완만하게 감소하였으며 표준압밀시험결과보다는 작게 나타났다. 2단계 반복압밀의 경우 C_v 는 정규압밀영역에서 표준압밀시험결과보다 약 10-12배정도 크게 나타났다. C_c , C_α 는 압밀하중이 증가함에 따라 각각 선형하중의 약 2.5배, 3배하중을 정점으로 크게 증감하는 고유기질토 고유의 특성을 나타냈다. 고유기질토의 C_c , C_α 는 일반 점토보다 압밀압력 의존성이 큰 특성을 나타냈으며 최대값도 각각 2.9-3.8, 0.3-0.4로 일반 점토보다 큰 값을 보였다. 2단계, 3단계 반복압밀시험결과 C_c , C_α 는 압밀하중이 증가함에 따라 약간 증가하였다. C_α 는 OCR이 증가함에 따라 감소하였으며 특히 OCR이 1-2범위에서 감소폭이 크게 나타났다. 고유기질토의 제압밀계수는 반복회수 및 하중의

*1 정희원, 전북대학교 농과대학 농공학과 교수

*2 정희원, 순천대학교 공과대학 토목공학과 교수

*3 전북대학교 대학원 농공학과 석사과정

크기 등에 따라서 큰 영향을 받으며 또한 과압밀 크기의 대소는 고유기질토의 C_a 에 큰 영향을 미치는 것으로 생각되어 이 분야에 대한 더 많은 연구가 필요하다.

Keywords : Highly organic soil, Consolidation, Repeated loading, Secondary compression, Settlement, Over consolidation ratio

1. 서론

유기물 성분이 약 50% 이상 함유한 고유기질토 지반은 주로 식물체가 미분해된 상태로 퇴적하여 이루어진 지반이다. 고유기질토는 다량의 섬유성 유기물을 함유하고 있으며 보수력 및 팽창성이 특히 크며 탈수시에는 수축성이 큰 특성이 있어(木暮, 1995) 고유기질토 지반은 토질공학상 대표적인 연약지반으로 알려져 있다.

최근 국가적 정책사업인 간척, 준설, 매립에 의한 도로, 주거단지, 임해공업단지 조성사업 등이 활발히 진행되고 있다. 이 지역은 대부분 연약점성토로 이루어져서 여기에 축조되고 있는 토목공사 중 부분적으로 일부 지반이 완전히 침하되지 않은 상태에서 진행되는 경우 공사 후 과도한 압밀침하에 대한 충분한 검토가 필요할 것이다. 특히 연약지반 상에 제방 및 도로 등을 축조한 경우 그 위에 차량하중이 반복해서 작용할 때 이 반복하중으로 인한 압밀거동은 표준압밀하중의 거동과는 차이가 있을 것이다. Fujiwara 등(1985, 1987)은 지진력, 차량하중, 유류저장탱크하중 및 해안구조물에 작용하는 풍하중과 파도하중을 반복하중 및 간헐적(斷續的) 하중으로 언급한 바 있으며, 그 밖에도 연약지반 상의 일시적인 반복성토하중, 저수지의 수위 점감 및 점중에 따른 수압, 적설하중 등도 있다. 반복하중을 받는 점성토의 압밀량은 하중의 크기, 재하기간, 하중중분비 및 재하 반복수 등에 따라서 주로 결정된다(Fujiwara, 1985). 그러나 반복하중을 받는 점토층 내는 정규압밀과 과압밀영역이 시간에 따라 변화하기 때문에 복잡한 응력상태가 되어 이론적으로 이를 뒷받침하기 위해서는 많은 실험에 의한 검토가 필요하다(白子 등, 1997).

본 연구에서는 고유기질토에 대한 반복압밀이 압밀특성에 미치는 영향을 조사분석하는 것을 목적으로 전북지역에서 채취한 고유기질토를 사용하여 먼저 물리적 특성 시험을 실시하였다. 반복압밀시험 결과를 이용하여 압밀하중 변화에 따른 공극비, 투수계수, 체적압축계수, 압밀계수, 압축지수, 2차압밀계수 등과의 관계를 각각 반복단계별로 비교 분석하였다. 또한 과압밀상태에서의 고유기

질토의 반복압밀에 대한 압밀특성을 조사하기 위해서 과압밀비를 변화시킨 경우 과압밀비와 팽창률 및 2차압밀계수와의 관계 등을 분석하여 연약지반인 고유기질토지반 침하해석을 위한 기초자료로서 제공코저 한다.

2. 문헌연구

고유기질토 지반은 대부분 고함수비 상태의 연약한 지반을 형성하고 있어 압밀침하량이 크며 1차 압밀은 비교적 단시간 내에 끝나지만 2차 압밀은 장기간에 걸쳐 진행되는 특성을 갖고 있다(Yamanouchi, 1973). 유기질토의 압밀에서 실제 문제가 되는 것은 과잉공극수압이 영(零)이 되어도 압밀이 끝나지 않고 현저하게 계속되는 소위 일정 유효응력 하에서 발생하는 2차 압밀현상이라 할 수 있다. Adams(1961), 大平(1969) 등은 유기질토의 압밀시험 결과 5분경에 침하가 크게 나타났다고 하였으며, Arman(1969)은 유기물함량이 20%이하인 저유기질토의 경우 Terzaghi(1927) 압밀이론이 잘 적용된다고 하였다. 山内(1969)는 유기질토에 관한 일련의 연구를 통해서 유기질토의 특이성과 함께 2차압밀의 탁월성을 인정하였으며, Mesri(1977)는 여러 학자들에 의하여 수행되었던 유기질토의 2차압밀계수와 압축지수와의 상관관계를 발표하였다. Mesri(1973)는 점토 및 유기질토의 2차압밀계수는 초기함수비에 비례하여 증가한다는 직선식을 제안하였다. 또한 Mesri(1977)는 점토 및 유기질토의 C_a/C_c 의 값은 0.025-0.10의 값을 나타냈으며 고유기질토일수록 C_a/C_c 의 값은 크다고 발표하였다. 松尾 등(1986)은 고유기질토에 대한 압밀시험에서 $C_a/C_c=0.046-0.065$ 의 값을, 김 등(1989)은 $C_a/C_c=0.072$ 의 값을 발표하였다. 또한 김 등(1996)은 저유기질토에 대한 압밀시험에서 $C_a/C_c=0.005-0.017$ 의 값을 발표하였으며, Patrick 등(1999)은 이탄토의 압밀시험결과 $C_a/C_c=0.052$ 의 값을 발표하였다.

반복 재하-제하(反復載荷-除荷)압밀에 관한 연구는 Casagrande(1936)가 이 방법으로 점토의 선행하중 결정 방법을 제안하였고, Tschebotarioff 등(1948)과 Tschebo-

tarioff(1973)는 팽창성이 큰 점토에 있어서 실측침하량에 비해서 예측침하량이 과대함을 줄이기 위해 반복압밀을 이용하여 새로운 압밀특성치를 구하였다. 佐佐(1974)는 점간 재하압밀에 관한 연구에서 단계적 반복압밀방법을 부분적으로 이용하여 압밀특성을 구하였으며, 白子등(1997)은 반복하중을 받는 실트질점토의 압밀특성에 관한 연구에서 압밀하중과 압밀 체계수와 관계의 발표하였다.

深澤 등(1989)은 과압밀 상태의 고유기질토의 반복압밀에 따른 압밀특성을 발표하였으며, 국내에서는 주재우 등(1982), 김재영 등(1999)이 해성점토와 저유기질토를 각각 사용하여 반복압밀특성을 발표한 바 있다. 고유기질토에 관한 반복압밀에 의한 압밀특성 연구는 국내외적으로 아직 미흡한 실정으로 이 분야에 대한 계속적인 연구가 요청된다.

3. 재료 및 시험방법

3.1 재료

본 시험에 사용한 시료는 전북도내에 분포되어 있는 유기질토 중에서 그 대표적인 김제 용지지역(YJ) 과 익산지역(IS)의 고유기질토로서 지표 아래 1.5m 지점에서 불교란시료를 채취하였으며 시료채취 위치는 그림 1과 같다. 전북지역 중에서 김제, 익산지역 저습전답토, 소류지 및 소하천 등에 유기질토가 많이 분포되어 있으며, 이들 지역은 하해혼성층적물을 모재로한 토층(농촌진흥청, 1971)으로 점토질 표층, 흑갈색을 띤 흑이토층(Muck), 이탄토층(Peat)과 하부에 청회색 점토층 등으로 구성된 초연약지반 지역이다. 본 시료채취지역과 인접한 익산시 월성동, 임성동 등 도로노선 예정지역에서 실시된 시추조사 결과

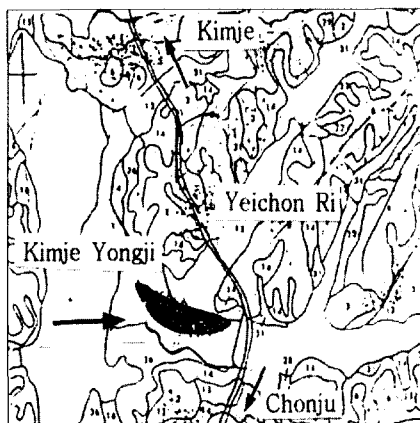
표 1. 고유기질토의 물리적 특성

Contents	IS	YJ
Organic matter content(Lig., %)	58	72
Natural water content(Wn, %)	487	635
Specific gravity(Gs)	1.82	1.68
Initial void ratio(e_0)	7.02	9.72
Degree of saturation(Sr, %)	100	100
Preconsolidation pressure(P_c , kgf/cm ²)	0.44	0.48

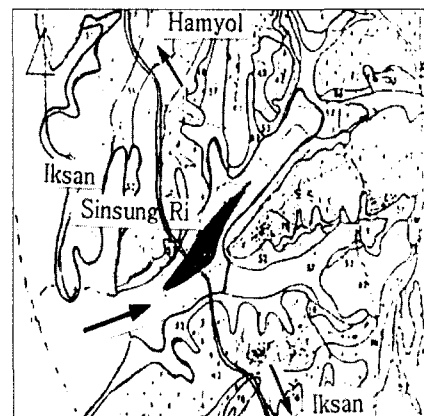
(익산시, 1999)에 의하면 표층과 상부퇴적층에 실트섞인 점토가 분포되어 있으며, 하부퇴적층에는 실트섞인 점토층 중간에 초연약층인 이탄층이 발견되었으며, 10m 이하에서는 주로 풍화암이 나타났다. 유기물 함량시험은 KSF 2104에 의해서 실시하였으며 그 결과 유기물 함량은 58%(IS), 72%(YJ)로 각각 나타났다. 고유기질토의 물리적 특성분석은 표 1과 같으며 시험분석은 KSF 및 USDA 분석법에 준하여 실시하였다.

3.2 시험방법

반복압밀에 의한 고유기질토 YJ, IS의 압밀시험은 KSF 2316에 준하여 실시하였다. 고유기질토의 압밀특성을 구하기 위하여 1) 표준압밀시험방법으로 연속 3회 반복한 경우를 전단계 반복압밀시험으로 하였으며, 2차압밀특성을 구하기 위하여 2) 압밀하중을 마지막 단계까지 재하시키지 않고 어느 단계까지만 재하하고 다시 초기 상태로 재하시킨 후, 다시 반복단계회수를 증가함에 따라서 재하하중을 증가시키면서 반복하는 경우를 부분단계 반복압밀시험으로 분류하여 실시하였으며, 각각의 반복압밀조건은



(a) 용지지역



(b) 익산지역

그림 1. 시료채취 위치도

표 2. 고유기질토의 반복압밀시험 조건 (I)

Repeating steps	Cyclic numbers	Loading procedures
Full repetition	1st	(kgf/cm ²) 0.05-0.1-0.2-0.4-0.8-1.6-3.2-6.4-12.8
	2nd	0.05-0.1-0.2-0.4-0.8-1.6-3.2-6.4-12.8
	3rd	0.05-0.1-0.2-0.4-0.8-1.6-3.2-6.4-12.8
Partial repetition	1st	0.4-0.8-0.4
	2nd	0.4-0.8-1.6-0.8-0.4
	3rd	0.4-0.8-1.6-3.2-1.6-0.8-0.4
	4th	0.4-0.8-1.6-3.2-6.4-3.2-1.6-0.8-0.4

표 3. 고유기질토의 반복압밀시험 조건(II)

Sample	P ₀ (kgf/cm ²)	P ₁ (kgf/cm ²)	P ₀ +P ₁ (kgf/cm ²)	ΔP (kgf/cm ²)	P ₂ (kgf/cm ²)	OCR (P ₀ +P ₁)/P ₂
IS, YJ	0.4	0.8	1.2	0.0, 0.2, 0.4, 0.6 0.7, 0.8, 0.9, 1.0	1.2, 1.0, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2	1-6

표 2와 같다. 또한 과압밀비(OCR) 변화에 따른 2차압밀특성을 구하기 위해서 표 3과 같은 조건 하에서 압밀시험을 실시하였다. 표 3에서 선행하중에 상당하는 P₀ 하중은 초기하중으로 24시간 압밀을 실시하였으며 P₁은 과재하중으로 P₀ 하중 압밀 후에 추가로 재하시킨 하중으로 재하시간은 60분으로 하였다. ΔP는 P₀+P₁ 하중상태에서 제하하중이며 P₂는 ΔP 하중 제하 후에 남은 최종하중으로 재하시간은 7일로 하였다. 압밀하중 P₀+P₁ 과 하중 제하 후의 하중 P₂와의 비를 과압밀비(OCR)로 하였으며 팽창률(ε_R)은 제하에 따른 팽창량과 시료두께의 비로 구했다.

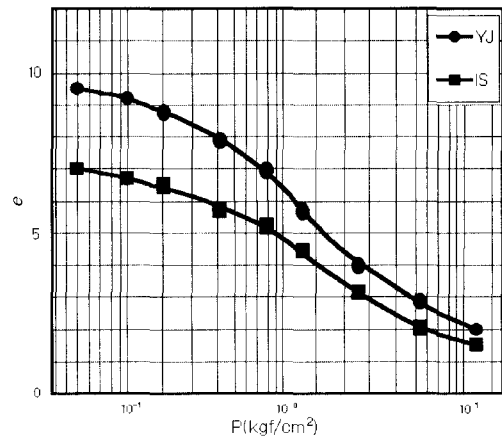


그림 2. 고유기질토의 공극비-하중곡선

4. 결과 및 고찰

4.1 공극비와 압밀하중

그림 2는 압밀시험에서 구한 고유기질토 YJ, IS의 공극비와 압밀하중과의 관계를 나타낸 것이다. 보통 점성토에 있어서는 대부분의 경우 e-log P 곡선의 정규압밀부분에서 거의 직선적이 되어 C_c가 일정한 값을 보이는 것에 비하여 고유기질토의 e-log P 곡선은 정규압밀영역에서 직선상이 되지 않고 역S자와 같은 곡선형을 보이고 있으며 곡선의 기울기가 압밀하중의 크기에 따라서 크게 변화하였다. 이러한 현상은 고유기질토의 일반적인 특성으로서 松尾(1986), Oikawa(1987) 등도 유사한 결과를 발표하였다. 고유기질토의 초기공극비는 점성토에 비하여 큰 값을 나타내고 있으며 압밀하중이 증가함에 따라서 공극비가 크게 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 고유기질토 고유의 특성인 보수력, 팽창성 및 압축성이 큰데 기인되며 유기

물 함량이 많을수록 함수비가 크기 때문에 재하로 인한 공극비가 크게 감소하는 것으로 생각된다. 鈴木(1972)는 유기질토의 공극비-압밀하중과의 관계에서 유기물 함량에 따라서 공극비 감소에 차이를 보였다고 하였다.

류능환 등(1985), 김상규 등(1996), 김재영 등(1999)은 저유기질토를 사용한 압밀특성에서 초기공극비가 2.5-4.9, 3.4, 3.3 등으로 일반 점성토에 비해서 큰 값을 보였지만 본 시험에서 사용한 고유기질토의 7.02, 9.72에 비해서는 작았다.

4.2 압밀하중과 투수계수

그림 3은 고유기질토 YJ, IS의 전단계 반복압밀시 1단계, 2단계, 3단계 압밀에 대한 투수계수와 압밀하중과의 관계를 나타낸 것으로서 하중이 증가함에 따라서 투수계수가 감소하는 경향을 나타냈으며 1단계의 경우 감소폭은

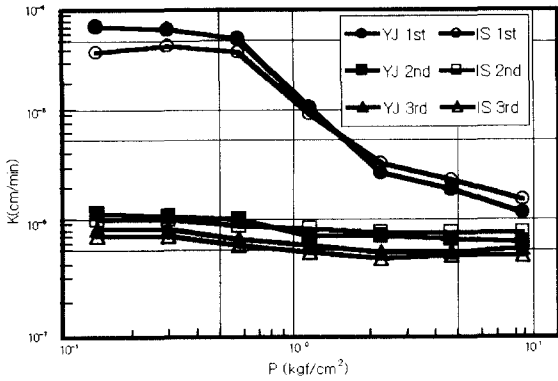


그림 3. 전단계 반복압밀에 의한 투수계수와 하중과의 관계

일반 점토보다 큰 경향을 보였으며 투수계수는 대략 $1 \times 10^{-6} - 7 \times 10^{-5} \text{cm/min}$ 범위를 보였다. 1단계 표준압밀의 경우 과압밀된 선행하중(YJ: 0.48kgf/cm^2 , IS: 0.44kgf/cm^2) 부근까지는 거의 일정한 값을 나타냈으나 선행하중을 경계로 투수계수가 급격히 저하하는 특성을 나타냈으며 유기물 함량이 더 큰 YJ시료가 IS시료보다 감소폭은 약간 컸다. 2단계, 3단계의 경우는 감소하는 경향이 완만하게 나타났으며 투수계수는 대략 $1 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-7} \text{cm/min}$ 이었다. 이러한 현상은 공극비 감소와 투수계수와 상관계에 의한 것으로 생각된다.

4.3 압밀하중과 체적압축계수

그림 4는 YJ, IS시료의 전단계 압밀시 1단계, 2단계, 3단계 압밀에 대한 체적압축계수와 압밀하중과의 관계를 나타낸 것으로서 1단계 표준압밀의 경우 체적압축계수는 초기하중에는 일반 점토에 비하여 큰 경향을 보였으며 압밀하중이 증가함에 따라서 체적압축계수는 1단계의 경우 선행하중 부근까지는 증가하다가 선행하중을 경계로 정규압밀영역에서 급격히 감소하는 경향을 보였다. 압밀하중 변화에 따른 체적압축계수는 대략 $2 \times 10^{-2} - 2 \times 10^0 \text{cm}^2/\text{kgf}$ 로 일반 점토보다 큰 값을 나타냈다. 2단계, 3단계의 경우는 감소하는 경향이 완만하게 나타났으며 체적압축계수는 대략 $9 \times 10^{-3} - 2 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{kgf}$ 이었다.

4.4 압밀하중과 압밀계수

그림 5는 YJ, IS시료의 전단계 반복압밀시 1단계, 2단계, 3단계 압밀에 대한 각단계별 압밀하중과 압밀계수와 관계를 나타낸 것이다. 보통 일반 점토의 정규압밀영역

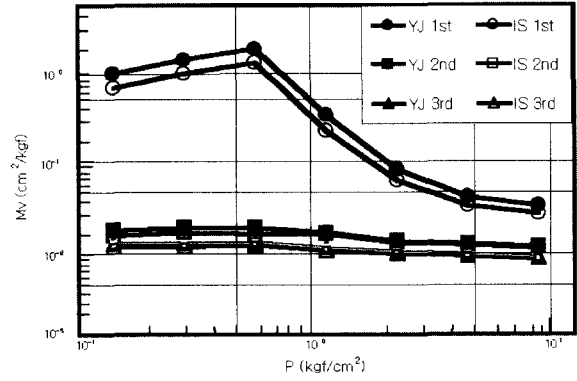


그림 4. 전단계 반복압밀에 의한 체적압축계수와 하중과의 관계

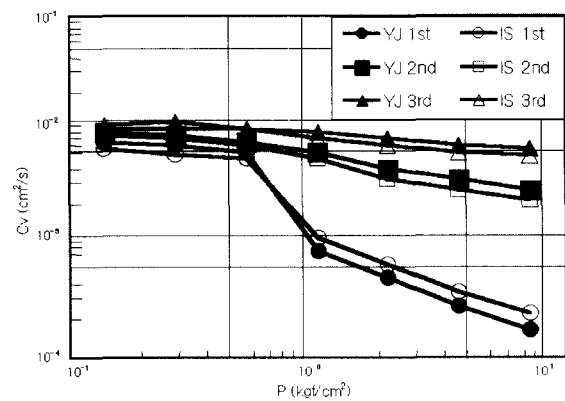


그림 5. 전단계 반복압밀에 의한 압밀계수와 하중과의 관계

에서는 압밀계수가 거의 일정한 값(三笠, 1978; 박병기 등, 1988; 赤水, 1989; 이영휘 등, 1999; 오원택 등, 1999)을 보이고 있지만 고유기질토에서는 정규압밀영역에서 압밀하중이 증가함에 따라서 압밀계수는 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 현상은 압밀진행에 따른 투수계수의 급격한 감소에 기인 되는 것으로 생각된다. 또한 선행하중 부근까지는 증감의 큰 변화가 없었으나 응력이력의 경계점인 선행하중을 경계로 감소폭이 크게 나타났으며 YJ시료가 IS시료보다 감소폭은 약간 크게 나타났다. 1단계의 경우 압밀계수는 대략 $1 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 일반 점토에 비하여 큰 폭의 변화를 보이는 고유기질토 고유의 특성을 보였다. 2단계 압밀시는 정규압밀영역에서 1단계 표준압밀에 의한 압밀계수의 약 10-12배정도 크게 나타났으며 압밀계수의 변화폭은 1단계에 비해서 작았다. 白子(1997)와 김재영 등(1999)은 실트질 점토와 저유기질토를 사용한 반복압밀시험에서 2단계에서의 C_v 는 1단계의 10배 정도였다고 본 연구와 비슷한 결과를 발표하였다.

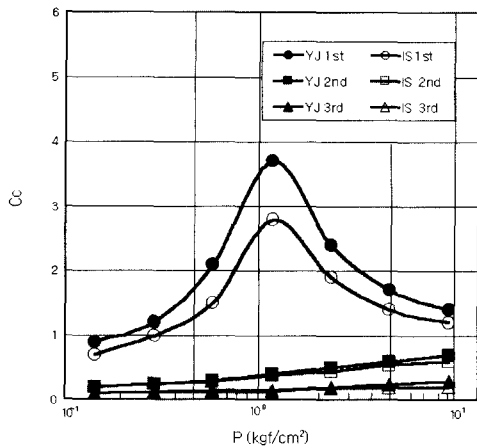


그림 6. 전단계 압밀에 의한 압축지수와 하중과의 관계

4.5 압밀하중과 압축지수

그림 6은 YJ, IS시료의 전단계 반복압밀시 1단계, 2단계, 3단계 압밀에 대한 각단계별 압밀하중과 압축지수와 의 관계를 나타낸 것이다. 1단계 표준압밀시 압밀하중이 증가함에 따라서 압축지수는 크게 증가하였으며 선행하중의 약 2.5배 부근인 1.2kgf/cm²하중을 정점으로 압축지수는 크게 감소하였다. 일반적으로 일반 점토에 대한 압축지수의 압밀압력의존성이 작은 것에 비하여 압밀압력의존성이 큰 고유기질토의 특성을 볼 수 있다. 또한 김(1999)이 연구한 저유기질토의 경우는 고유기질토에 비하여 압력의존성이 작게 나타났다. YJ시료가 IS시료보다 C_c값은 크게 나타났으며 고유기질토의 압축지수의 최대값은 약 2.9-3.8정도로 C_c값이 대부분 1.0미만인 일반 점토에 비하여 큰 값을 보였다. 2단계, 3단계 압밀시는 압밀하중이 증가함에 따라서 압축지수는 소폭 증가하는 경향을 나타냈으며 압축지수는 대략 0.1-0.8의 범위를 보였다. 반복에 따

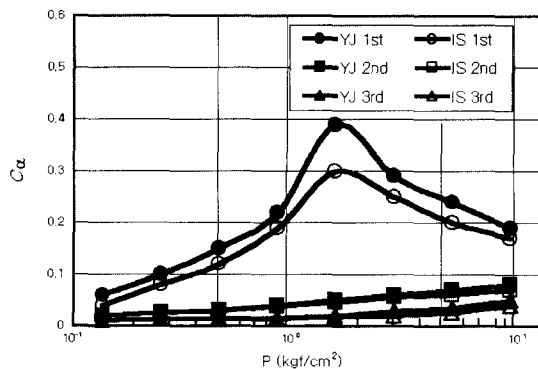


그림 7. 전단계 압밀에 의한 2차압밀계수와 하중과의 관계

른 소폭 증가현상은 고유기질토가 제하에 의한 팽창 후 반복압밀하중 증가에 따른 재압축량의 증가에 따른 것에 기인 되는 것으로 생각한다.

4.6 압밀하중과 2차압밀계수

2차압밀에 대한 이론은 여러 학자들이 Reology로 설명하고 있으며 유기질토의 경우 2차압밀을 추정하기 위해서 Mesri(1977)는 2차 압밀계수($C_{\alpha} = \Delta e / \log t$)와 2차압밀비($C_{\alpha}' = C_{\alpha} / (1 + e_p)$)를 사용하였다. 2차압밀은 공극비의 감소로 발생된 점토입자의 구조적 교란으로 인하여 좀더 안정된 배열을 이루려는 점토입자의 점진적 재조정 현상으로 동근 입자나 인편상(鱗片狀)의 입자가 외력을 받아 보다 치밀한 상태로 상대적인 활동 때문에 발생한다(Schmertman, 1955). 토립자 골격의 소성변형이나 토립자의 활동이 공극의 체적감소로 인한 공극수의 배수작용보다 느릴 때 2차압밀현상은 크게 일어난다. 그림 7은 YJ시료, IS시료에 전단계 반복압밀시 1단계, 2단계, 3단계 압밀에 대한 각단계별 압밀하중과 2차압밀계수와 의 관계를 나타낸 것이다. 1단계 표준압밀시 선행하중의 약 3배 하중인 1.6kgf/cm²까지는 2차압밀계수가 급격히 증가하였으며 이를 정점으로 다시 하중이 증가함에 따라서 2차압밀계수는 급격히 감소하는 경향을 나타냈으며 松尾(1983) 등은 이탄에 대한 압밀시험에서 선행하중의 2-3배부근에서 C_α가 최대값을 보였다고 하였으며 김(1999)은 저유기질토에 대한 연구에서 본 연구와 유사한 실험결과를 발표하였다. 압밀항복응력(P_c) 이하의 하중에서 2차압밀계수와 압밀하중이 공히 증가하는 것은 과압밀효과에 의한 것으로 이는 토립자의 구조가 불안정 상태에서 안정상태로 변화하는 현상이라고 생각된다. 압밀하중에 따른 2차압밀계

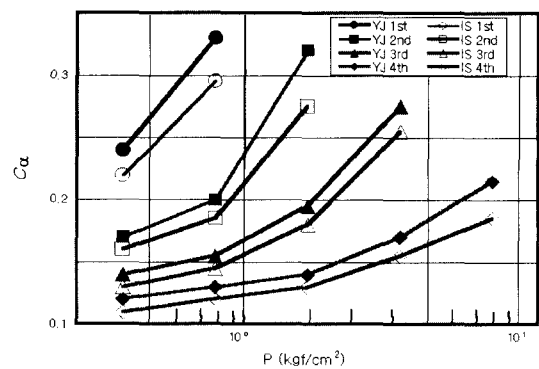


그림 8. 부분단계 압밀에 의한 2차압밀계수와 하중과의 관계

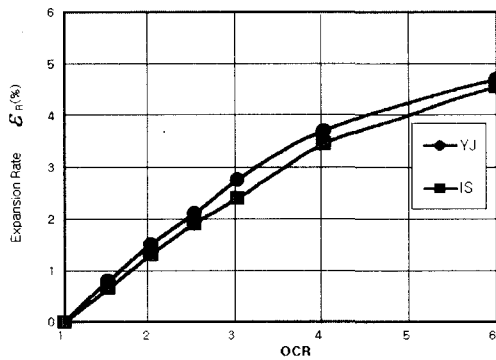


그림 9. 팽창율과 과압밀비와의 관계

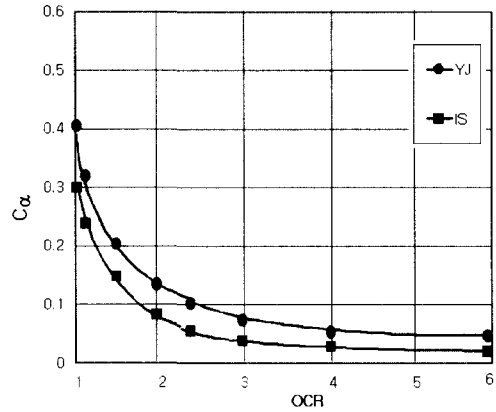


그림 10. 2차압밀계수와 과압밀비와의 관계

수의 증감폭이 크므로 2차압밀계수는 일반 점토에 비하여 압밀압력 의존성이 큰 것을 알 수 있다. 고유기질토의 최대 2차압밀계수는 약 0.3-0.4로 일반 점토보다 큰 값을 보였다. 2단계, 3단계 압밀시 2차압밀계수는 압밀하중이 증가함에 따라서 약간 증가하는 경향을 나타냈으며 2차압밀계수는 0.01-0.08 범위의 값을 보였다.

그림 8은 YJ, IS 고유기질토의 부분단계 반복압밀시험에 대한 1단계, 2단계, 3단계, 4단계 압밀시의 압밀하중과 2차압밀계수와의 관계를 나타낸 것이다. 각각의 압밀단계에서 압밀하중이 증가함에 따라서 2차압밀계수는 증가하는 경향을 나타냈으며, 압밀단계가 반복됨에 따라서 2차압밀계수는 감소하는 경향을 보였다.

4.7 과압밀비와 팽창율 및 2차압밀계수

그림 9, 그림 10은 과압밀비(OCR)를 1-6으로 변화시켰을 때 OCR 변화에 따른 제하에 의한 팽창량과 제하에 의한 2차압밀계수와의 관계를 나타낸 것이다. 그림 9에서 고유기질토 YJ, IS시료는 OCR이 증가함에 따라서 OCR 4까지는 거의 직선적으로 팽창율도 증가하는 경향을 보였으며 그 이후에는 증가폭이 둔화되었으며 YJ시료가 IS시료보다 팽창율은 약간 크게 나타났다. 그림 10에서 YJ와 IS의 고유기질토는 OCR이 증가함에 따라서 2차압밀계수는 감소하는 경향을 보였으며 특히 OCR이 작은 1-2의 범위에서 감소폭이 크게 나타났으며 그 이후에는 완만한 감소 경향을 나타냈다. 또한 자연함수비가 큰 YJ시료(685%)가 IS시료(487%)보다 2차압밀계수는 큰 경향을 보였다. 과압밀 대소의 정도는 고유기질토의 2차압밀계수에 큰 영향을 미치는 것으로 생각한다.

5. 결론

고유기질토의 정규압밀과 과압밀에 따른 압밀특성을 조사 분석하기 위하여 전북지역에서 채취한 2종류의 고유기질토(KJ, IS시료)를 사용하여 표준압밀시험과 반복압밀시험을 실시하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 전북지역 대표적인 유기질토의 물리적특성은 유기물 함량이 각각 58%, 72%, 자연함수비는 487%, 635%, 초기공극비는 7.02, 9.72의 고유기질토로 판명되었다. e-log P 곡선은 정규압밀영역에서 고유기질토의 특성인 역S자형의 곡선형을 나타냈다.
- (2) 표준압밀시험결과 압밀하중이 증가함에 따라서 K는 거의 일정하다가 선행하중을 경계로 일반 점토보다 크게 감소하였으며 대략 $1 \times 10^{-6} - 7 \times 10^{-5} \text{cm/min}$ 이었다. 2단계, 3단계 반복시험결과 압밀하중이 증가함에 따라서 완만하게 감소하였으며 K는 $1 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-7} \text{cm/min}$ 이었다.
- (3) M_v 는 압밀하중이 증가함에 따라 증가하다가 선행하중을 경계로 정규압밀영역에서 일반 점토보다 크게 감소하는 경향을 보였으며 M_v 는 대략 $2 \times 10^{-2} - 2 \times 10^0 \text{cm}^2/\text{kgf}$ 로 일반 점토보다 큰 값을 보였다. 2단계, 3단계 반복시험결과 M_v 는 압밀하중이 증가함에 따라 완만하게 감소하였으며 대략 $9 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{kgf}$ 이었다.
- (4) C_α 는 압밀하중이 증가함에 따라 약간 감소하였으나 선행하중을 경계로 정규압밀영역에서는 일반 점토보다 크게 감소하였으며 C_α 는 대략 $1 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 이었다. 2단계, 3단계 반복압밀시험결과 C_α 는 압밀하중이 증가함에 따라 압밀계수는 완만하게 감소하였으며 2

단계 반복압밀의 경우 정규압밀영역에서 표준압밀결과보다 약 10-12배 정도 크게 나타났다.

- (5) C_c 는 압밀하중이 증가함에 따라 압축지수는 크게 증가하였으며 선행하중의 약 2.5배 부근인 1.2kgf/cm^2 하중을 정점으로 크게 감소하였다. 또한 일반 점토에 비하여 C_c 의 압밀압력 의존성이 큰 특성을 보였다. YJ와 IS 시료의 최대 C_c 는 대략 2.9-3.8 정도였으며 2단계, 3단계 반복압밀시험결과 압밀하중이 증가함에 따라서 C_c 는 소폭 증가하였으며 대략 0.1-0.8이었다.
- (6) C_a 는 압밀하중이 증가함에 따라 선행하중의 약 3배 하중인 1.6kgf/cm^2 까지는 급격히 증가하였으며 그 이후에는 감소하였다. 또한 일반 점토보다 C_a 의 압밀압력 의존성이 큰 특성을 보였다. 고유기질토의 최대 C_a 는 대략 0.3-0.4이었으며 2단계, 3단계 반복압밀시험결과 압밀하중이 증가함에 따라 C_a 는 약간 증가하였으며 대략 0.01-0.08 정도였다. YJ 고유기질토의 부분단계 반복압밀시험결과 1, 2, 3, 4단계 각각에서 압밀하중이 증가함에 따라서 C_a 는 증가하였으며 압밀단계가 반복됨에 따라서 감소하였다.
- (7) 팽창율은 OCR이 증가함에 따라 OCR 4까지는 거의 직선적으로 증가하였으며 그 이후에는 약간 증가폭이 둔화되었다. 또한 C_a 는 OCR이 증가함에 따라 감소하였으며 특히 OCR이 1-2범위에서 감소폭이 크게 나타났다. 과압밀 대소의 정도는 고유기질토의 C_a 에 큰 영향을 미치는 것으로 생각되며 이 분야에 더 많은 연구가 필요하다.

참고문헌

- 김상규, 최인걸, 박영목(1996), "삼척유기질토의 공학적 특성", 한국지반공학회지, 12(1), pp.21-32.
- 김재영, 주재우(1989), "이탄의 장기압밀특성에 관한 연구", 한국농공학회지, 31(1), pp.106-116.
- 김재영, 주재우, 송윤철(1999), "반복압밀하중을 받는 저유기질토의 압밀특성", 한국농공학회지, 41(2), pp.61-69.
- 농촌진흥청(1971), "Official Soil Series Description", Vol. 1, pp.1-100.
- 류능환, 류연택(1985), "영동지역 유기질토의 특성에 관한 연구", 한국농공학회지, 27(1), pp.77-85.
- 박병기, 김동식(1988), "세철소 연약지반개량", 광양공업단지 조성에 관한 토목공학심포지움, 대한토목학회, pp.181-244.
- 오원택, 박성제, 정경환(1999), "샘플러의 종류에 따른 점토의 토질 특성에 대한 연구", 대한토목학회 1999년도 학술발표회 논문집(II), pp.251-254.
- 이영희, 김용준, 김대길(1999), "실내시험을 통한 광양만 점토의 압밀 및 전단특성분석", 한국지반공학회논문집, 15(1), pp.154-155.
- 익산시(1999), "하나로 개설공사 실시계획 지반조사 보고서", pp.25-27.
- 주재우, 김재영(1982), "해성점토의 반복제하 및 제하압밀특성", 한국농공학회지, 24(3), pp.84-91.
- 赤木寛一(1989), "不攪亂粘性土の連続荷重時の一次元圧密特性について", 第24回土質工學研究發表論文集, pp.423-426.
- 木暮敬二(1995), 高有機質土の地盤工學, pp.87.
- 大平小谷(1969), "log-log曲線定規壓密沈下-時間關係整理法", 土と基礎, 17(9), pp.1-70.
- 三笠正人(1978), "軟弱粘土の壓密", 鹿島出版會, pp.38-39.
- 佐佐木伸(1974), "漸減荷重壓密に關する研究", 第8回土質工學研究發表講演集, pp.113-116.
- 深澤榮造, 嶋信之(1989), "プレローディング工法で過壓密状態にした高有機質土の二次壓密特性", 高有機質土に關するシンポジウム發表論文集, pp.83-91.
- 鈴木敦己(1972), "有機質火山灰土の工學的性質に對する土中水の影響", 土質工學會論文報告集, 12(2), pp.1-50.
- 松尾啓, 大平至徳, 山口晴幸(1983), "泥炭の二次壓密係數について", 第18回土質工學研究發表會講演集, 245-246.
- 松尾啓, 山口晴幸, 大平至徳(1986), "泥炭の二次壓密係數について", 土質工學會論文報告集, 26(1), pp.139-150.
- 松尾啓(1986), "對數ひずみで壓縮指數と物理的性質との相關關係について", 土質工學會論文報告集, 26(4), pp.177-185.
- 白子博明, 外崎明(1997), "繰返し荷重を受ける粘土の壓密特性に關する考察", 第32回地盤工學研究發表講演集, pp.417-418.
- 山内豊聰, 安全一哉(1969), "壓密試験における間グキ水壓の測定", 九大工學集報, 43(3), pp.1-80.
- Adams, J. I.(1961), Laboratory Compression Tests on Peat", Proc. 7th Muskeg Res. Conf. NRC. ACSSM, Tech., Vol.71, pp.36-54.
- Arman, A.(1969), "Engineering Classification of Organic Soils", Highway Research, No. 310, pp.75-89.
- Casagrande, A.(1936), "The Determination of the Preconsolidation Load and Principal Signification" Proc. 1st Int. Conf. on SM & FE, Vol. 3, pp.34-35.
- Fujiwara, H., Yamanouchi, T., Yasuhara, K., and Ue, S.(1985), "Consolidation of Alluvial Clay under Repeated Loading", Soils and Foundations, 25(3), pp.19-30.
- Fujiwara, H., Ue H., and Yasuhara, K.(1987), "Consolidation of Clay under Repeated Loading", Soils and Foundations, 27(2), pp.21-30.
- Mesri, M.(1973), "A Coefficient of Secondary Compression", Proc. ASCE, SM1, pp.123-137.
- Mesri, G and Godlewski, P. M.(1977), "Time and Stress Compressibility Interrelationship", J. of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 103, GT5, pp.417-429.
- Oikawa, H.(1987), "Compression Curve of Soft Soils." Soils and Foundations, 27(3), pp.99-104.
- Patrick, J. Fox(1999), "Secondary Compression of Peat with or without Surcharging", J. of Geo. and Geoenvironmental Eng., Feb., pp.160-162.
- Schmertman, J. H.(1955), "Estimating of Time Consolidation Behavior of a Clay from Lab. Test Result", ASCE, Vol. 79, pp.311.
- Tschebotarioff, G. P. and Schuyler, J. R.(1948), "Compression of the Extent Disturbance Produced by Driving Piles in Plastic Clay to the Disturbance Caused by an Unblanced Excavation", Proc. 2nd Int. Conf., SM & FE, Vol. 2, pp.199-205.
- Tschebotarioff, G. P.(1973), "Foundation", Retaining and Earth Structures, McGraw-Hill, Kogakusa, LTD, pp.1-200.
- Yamanouchi, T.(1973), "On the Properties of Organic Soils", Soils and Foundation, 21(2), pp.7-12.

(접수일자 1999. 11. 16)