

이탄토의 반복압밀특성

Consolidation Characteristics of Repeated Loading for Peat

김 재 영(전북대) · 주 재 우(순천대) · 박 성 희(전북대)*

Kim, Jae Young · Ju, Jae Woo · Park, Sung Hee

Abstract

A series of standard consolidation tests and repeated loading consolidation tests were performed with 2 kinds of peat sampled in Chonbuk area to study the consolidation characteristics of peat. The samples had following physical properties : 58% and 72% of organic content, 487% and 685% of natural moisture content and 7.02 and 9.72 of initial void ratio, respectively. And compression index C_c and coefficient of secondary consolidation C_α were increased steeply when the consolidation load exceed about 2.5 and 3 times of each preload as like the characteristics of peat. The dependance on consolidation pressure of C_c and C_α in peatl and the maximum values, 2.9-3.8 and 0.3-0.4 were larger than that of normal clay, respectively.

1. 서 론

유기물 성분이 약 50% 이상 함유한 고유기질토에 속한 이탄토 지반은 주로 식물체가 미분해된 상태로 퇴적하여 이루어진 지반이다. 이탄토는 다량의 섬유성 유기물을 함유하고 있으며 보수력 및 팽창성이 특히 크며 탈수시에는 수축성이 큰 특성이 있어 이탄토 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 과대한 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 표준 압밀하중의 거동과는 차이가 있을 것이다.

白子 등(1997)은 반복하중을 받는 실트질 점토의 압밀특성에 관한 연구에서 압밀하중과 압밀계수와의 관계를 발표하였으며, 국내에서는 주(1982), 김(1999) 등이 해성점토와 저유기질토를 각각 사용하여 반복압밀특성을 발표한 바 있다.

본 연구에서는 이탄토에 대한 반복압밀이 압밀특성에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 전북지역에서 채취한 이탄토를 사용하여 압밀시험을 실시하였다.

2. 재료 및 시험방법

2.1 재료

본 시험에 사용한 시료는 전북도내에 분포되어 있는 유기질토 중에서 그 대표적인 김제 용지 지역(YJ) 과 익산지역(IS)의 이탄토로서 지표 아래 1.5m 지점에서 불교란시료를 채취하였다. 유기물 함량시험은 KSF 2104에 의해서 실시하였으며 그 결과 유기물 함량은 58%(IS), 72%(YJ)로 각각 나타났다. 이탄토의 물리적 특성분석은 표 1과 같으며 시험분석은 KSF 및 USDA 분석법에 준하여 실시하였다.

표 1. 이탄토의 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

2.2 시험방법

반복압밀에 의한 이탄토 YJ, IS의 압밀시험은 KSF 2316에 준하여 실시하였다. 이탄토의 압밀 특성을 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 반복압밀 조건은 표 2와 같다.

표 2. 이탄토의 반복압밀시험 조건

Repeating steps	Cyclic numbers	Loading procedures(kgf/cm ²)
Full repetition	1st	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

3. 결과 및 고찰

3.1 공극비와 압밀하중

그림 1은 압밀시험에서 구한 이탄토 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 이탄토의 e-log P 곡선은 정규압밀영역에서 직선상이 되지 않고 역S자와 같은 곡선형을 보이고 있으며 곡선의 기울기가 압밀하중의 크기에 따라서 크게 변화하였다.

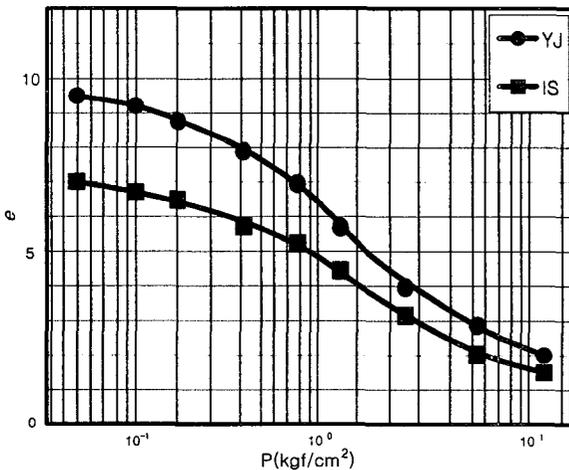


그림 1. 이탄토의 공극비-하중곡선

3.2 압밀하중과 압밀계수

그림 2는 YJ, IS시료의 전단계 반복압밀시 1단계, 2단계, 3단계 압밀에 대한 각단계별 압밀하중과 압밀계수와의 관계를 나타낸 것이다. 보통 일반 점토의 정규압밀영역에서는 압밀계수가 거의 일정한 값을 보이고 있지만 이탄토에서는 정규압밀영역에서 압밀하중이 증가함에 따라서 압밀계수는 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 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 이탄토 고유의 특성을 보였다. 2단계 압밀시는 정규압밀영역에서 1단계 표준압밀에 의한 압밀계수의 약 10-12배정도 크게 나타났으며 압밀계수의 변화폭은 1단계에 비해서 작았다.

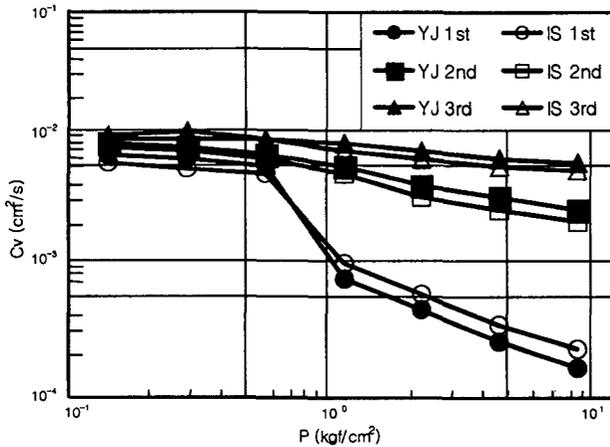


그림 2. 전단계 반복압밀에 의한 압밀계수와 하중과의 관계

3.3 압밀하중과 압축지수

그림 3은 YJ, IS시료의 전단계 반복압밀시 1단계, 2단계, 3단계 압밀에 대한 각단계별 압밀하중과 압축지수와의 관계를 나타낸 것이다. 1단계 표준압밀시 압밀하중이 증가함에 따라서 압축지수는 크게 증가하였으며 선행하중의 약 2.5배 부근인 $1.2 \text{kgf}/\text{cm}^2$ 하중을 정점으로 압축지수는 크게 감소하였다. 일반적으로 일반 점토에 대한 압축지수의 압밀압력 의존성이 작은 것에 비하여 압밀압력 의존성이 큰 고유기질토의 특성을 볼 수 있다. YJ시료가 IS시료보다 C_c 값은 크게 나타났으며 고유기질토의 압축지수의 최대값은 약 2.9-3.8정도로 C_c 값이 대부분 1.0미만인 일반 점토에 비하여 큰 값을 보였다. 2단계, 3단계 압밀시는 압밀하중이 증가함에 따라서 압축지수는 소폭 증가하는 경향을 나타냈으며 압축지수는 0.1-0.8의 범위를 보였다.

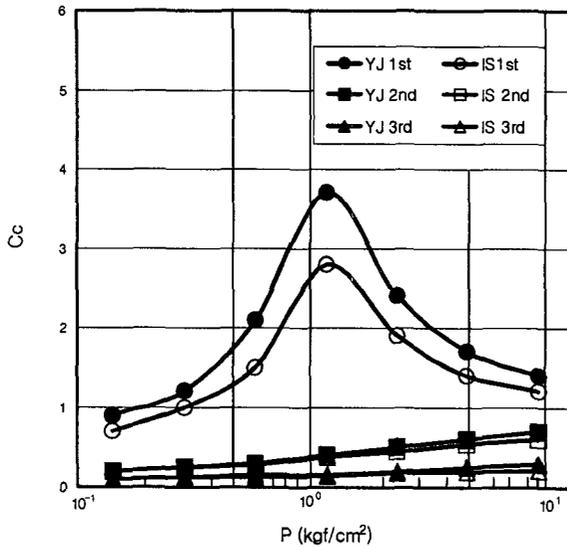


그림 3. 전단계 압밀에 의한 압축지수와 하중과의 관계

3.4 압밀하중과 2차압밀계수

그림 4는 YJ시료, IS시료에 전단계 반복압밀시 1단계, 2단계, 3단계 압밀에 대한 각단계별 압밀하중과 2차압밀계수와와의 관계를 나타낸 것이다. 1단계 표준압밀시 선행하중의 약 3배 하중인 1.6kgf/cm^2 까지는 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_a 가 최대값을 보였다고 하였으며 김(1999)은 저유기질토에 대한 연구에서 본 연구와 유사한 실험결과를 발표하였다. 이탄토의 최대2차압밀계수는 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.

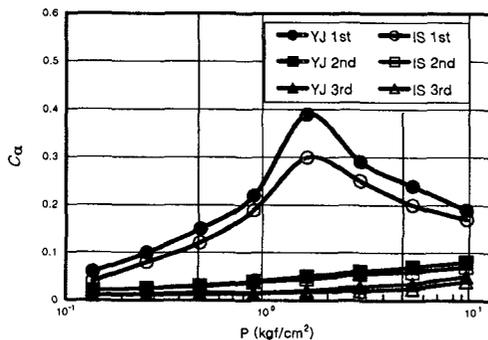


그림 4. 전단계 압밀에 의한 2차압밀계수와 하중과의 관계

그림 5는 YJ, IS 이탄토의 부분단계 반복압밀시험에 대한 1단계, 2단계, 3단계, 4단계 압밀시의 압밀하중과 2차압밀계수와와의 관계를 나타낸 것이다. 각각의 압밀단계에서 압밀하중이 증가함에 따라서 2차압밀계수는 증가하는 경향을 나타냈으며, 압밀단계가 반복됨에 따라서 2차압밀계수는 감소하는 경향을 보였다.

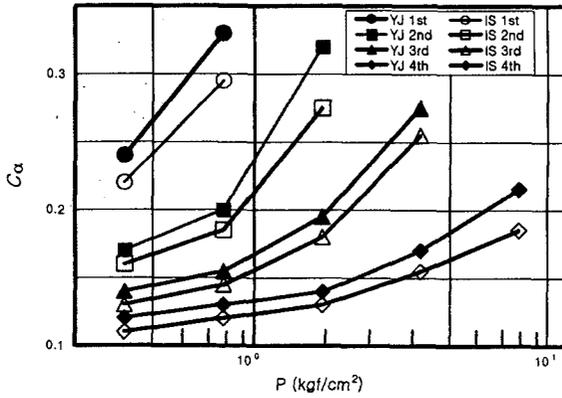


그림 5. 부분단계 압밀에 의한 2차압밀계수와 하중과의 관계

4. 결론

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

1) 전북지역 대표적인 이탄토의 물리적특성은 유기물함량이 각각 58%, 72%, 자연함수비는 487%, 635%, 초기공극비는 7.02, 9.72의 이탄토로 판명되었다. e - $\log P$ 곡선은 정규압밀영역에서 이탄토의 특성인 역S자형의 곡선형을 나타냈다.

2) C_v 는 압밀하중이 증가함에 따라서 약간 감소하였으나 선행하중을 경계로 정규압밀영역에서는 일반 점토보다 크게 감소하였으며 C_v 는 대략 1×10^{-4} - $6 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 이었다. 2단계, 3단계 반복압밀시험결과 C_v 는 압밀하중이 증가함에 따라서 압밀계수는 완만하게 감소하였으며 2단계 반복압밀의 경우 정규압밀영역에서 표준압밀결과보다 약 10-12배정도 크게 나타났다.

3) C_c 는 압밀하중이 증가함에 따라서 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. YJ, IS시료의 최대 C_c 는 대략 2.9-3.8정도였으며 2단계, 3단계 반복압밀시험결과 압밀하중이 증가함에 따라서 C_c 는 소폭 증가하였으며 대략 0.1-0.8이었다.

4) C_a 는 압밀하중이 증가함에 따라서 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. 이탄토의 최대 C_a 는 대략 0.3-0.4이었으며 2단계, 3단계 반복압밀시험결과 압밀하중이 증가함에 따라서 C_a 는 약간 증가하였으며 대략 0.01-0.08정도였다. YJ, IS 이탄토의 부분단계 반복압밀시험결과 1, 2, 3, 4단계 각각에서 압밀하중이 증가함에 따라서 C_a 는 증가하였으며 압밀단계가 반복됨에 따라서 감소하였다.

참 고 문 헌

1. 김상규, 최인걸, 박영목(1996), "삼척유기질토의 공학적 특성", 한국지반공학회지, 12(1), pp.21-32.
2. 김재영, 주재우(1989), "이탄의 장기압밀특성에 관한 연구", 한국농공학회지, 31(1), pp.106-116.
3. 김재영, 주재우, 송윤철(1999), "반복압밀하중을 받는 저유기질토의 압밀특성", 한국농공학회지, 41(2), pp.61-69.
4. 주재우, 김재영(1982), "해성점토의 반복재하 및 제하압밀특성", 한국농공학회지, 24(3), pp.84-91.
5. 赤水寛一(1989), "不攪亂粘性土の連続載荷時の一次元壓密特性について", 第24回 土質工學研究發表論文集, pp.423-426.
6. 木暮敬二(1995), 高有機質土の地盤工學, pp.87.
7. 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.
8. 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関する考察", 第32回地盤工學研究發表講演集, pp.417-418.
9. 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.
10. Adams, J. I(1961), Laboratory Compression Tests on Peat", Proc. 7th Muskeg Res. Conf. NRC. ACSSM, Tech., Vol.71, pp.36-54.
11. Arman, A(1969), "Engineering Classification of Organic Soils", Highway Research, No. 310, pp.75-89.
12. Casagrande, A.(1936), "The Determination of the Preconsolidation Load and Principal Signification" Proc. 1st Int. Conf. on SM & FE, Vol. 3, pp.34-35.
13. 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.
14. Fujiwara, H., Ue H., and Yasuhara, K.(1987), "Consolidation of Clay under Repeated Loading", Soils and Foundations, 27(2), pp.21-30.
15. Mesri, M(1973), "A Coefficient of Secondary Compression", Proc. ASCE, SM1, pp.123-137.
16. Mesri, G and Godlewski, P. M.(1977), "Time and Stress Compressibility Interrelationship", J. of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 103, GT5, pp.417-429
17. Oikawa, H.(1987), "Compression Curve of Soft Soils." Soils and Foundations,27(3), pp.99-104.
18. Patrick, J. Fox(1999), "Secondary Compression of Peat with or without Surcharging", J. of Geo. and Geoenvironmental Eng., Feb., pp.160-162.
19. Schmertman, J. H.(1955), "Estimating of Time Consolidation Behavior of a Clay from Lab. Test Result", ASCE, Vol. 79, pp.311.