반복압밀하중을 받는 저유기질토의 압밀특성

Consolidation Characteristics of Lowly Organic Soil under Repeated Loading

김 재 영* · 주 재 우** · 송 윤 철***
Kim, Jae Young · Ju, Jae Woo · Song, Yoon Chul

Abstract

When the repeated loading, such as vehicle etc, acts on soft ground, consolidation behaviors due to repeated loading will show different from standard one.

A series of tests was performed to investigate the characteristics of consolidation of lowly organic soil subjected to repeated loadings. Lowly organic soil with Lig. 23.5% was sampled in Chonbuk Province and tested using a partially and a fully repeated loadings.

From test results it was found that void ratio, volume change, consolidation coefficient, permeability and secondary consolidation coefficient were greatly affected according to the repetition number and the load weight.

The secondary consolidation coefficient was decreased with increase of the repetition number.

The results obtained from this research can be used as basic data for the improvement of soft ground.

I. 서 론

유기질토 지반은 변형해석이 복잡한 초연약지반으로 알려져 있으며 우리나라를 비롯하여 카나다, 일본 등 전세계에 약 2억 3천만ha의 면적에 분포되어 있다.[6,11] 유기질토란 습지, 늪 등에 수생식물, 소태류 등과 같은 식물체가 부식화 되어 쌓인 것으로 공학적 분류명칭으로서는 Pt, OH, OL 등이 있다.

유기질토는 일반 점토에 비해 비중이 작고, 공극비, 함수비 및 압축성이 매우 크기 때문에 이러한 유기질토가 압밀될 때에는 공극비나 투수계수의 감소율이 큰 특성을 가지고 있다.[15-18]

유기질토의 1차압밀은 비교적 단시간내에 끝나지만, 2차압밀은 장기간에 걸쳐 진행되고 압밀량도 크게 나타난다.[14] Wardwell(1980)[13]은 섬유질분해가 유기질토의 2차압밀에 끼치는 영향에서 섬유질분해에 따른 섬유질체적의 감소로 인해 2차압축량을 증가시킨다고 발표하였다. 유기질토의 압밀에서 실제 문제가 되는 것은 과잉공극수압이 영

* 전북대학교 농과대학
** 순천대학교 공과대학
*** 전북대학교 대학원

키워드 : 유기질토, 반복압밀, 압밀계수, 압축지수, 2차압밀계수, 체적압축계수

(寨)이 되어도 압밀이 끝나지 않고 현저하게 계속되는 소위 일정 유효응력하에서 발생하는 2차압밀현상이라 할 수 있다.

山內(1969,1970)[28-30]는 유기질토의 압축특성에 관한 일련의 연구를 통해서 유기질토의 특이성과 함께 2차압밀시험과 단일하중압밀시험을 통하여 유기질토의 압밀특성을 발표하였다.

최근 국가적 정책사업인 간척 및 준설매립에 의한 임해공업단지 조성사업 등이 활발히 진행되고 있으며 여기에 축조되고 있는 구조물공사나 농업토목공사는 부분적으로 지반이 완전히 침하되지 않은 상태에서 진행되고 있다.

연약지반상의 도로, 유류저장시설 및 해안구조물 등에 반복하중 또는 간헐(단속)하중 등[7]이 작용할 때 기초지반의 침하에 대한 세심한 검토가 필요하다.

반복압밀에 관한 연구는 Casagrande(1936)[6]가 이 방법으로 점토의 선행하중 결정방법을 제안하였고, Tschebotarioff(1948,1973)[11,12]는 팽창성이 큰 점토에 있어서 실측침하량에 비해 예측침하량이 과대함을 줄이기 위해 반복압밀을 이용하여 새로운 압밀특성치를 구했다. 佐(1974)[22]는 점감재하압밀에 관한 연구에서 단계적 반복압밀방법을 부분적으로 이용하여 압밀특성을 구하였다. 白子(1997)[23]는 반복하중을 받는 실트질 점토의 압밀특성에 관한 연구에서 압밀하중과 압밀체계수와의 관계를 발표하였다. 주(1982)[4]는 해성점토(LL: 77%, 60%)의 반복압밀에 관한 연구에서 공극비, 압축지수 및 체적압축계수는 압밀하중의 반복에 따라서 감소하는 경향을 보였다고 하였다. 반복하중을 받는 점토층내는 정규압밀과 과압밀영역이 시간에 따라서 변화하기 때문에 복잡한 응력상태가 되어 이론적으로 이를 뒷받침하기 위해서는 더 많은 실험에 의한 분석과 검토가 필요하다.[23]

유기질토에 관한 반복압밀하중에 의한 압밀특성에 관한 연구는 국내외적으로 아직 미흡한 실정이다. 일본지반공학회[32]에 의하면 5% 이상의 유기물성분을 포함한 흙을 유기질토로 규정하고 있으며 특히 유기물함량이 50% 이하인 경우를 저유기질토로 분류하고 있어 본 연구에서도 이 기준치를 적용하였다. 본 연구에서는 100만톤 이상 매장되어 있는 전북지역에서 채취한 저유기질토(Lig: 23.5%)를 사용하여 물리적 특성시험을 실시하였다. 또한 저유기질토에 대한 반복압밀하중이 압밀특성에 어떠한 영향을 미치는가를 조사 분석키 위해서 전단계 반복압밀시험과 부분단계 반복압밀시험을 실시하여 공극비와 압밀시간 및 압밀하중과의 관계, 압밀하중과 체적압축계수, 압밀계수, 압축지수, 투수계수 및 2차압밀계수와의 관계 등을 분석하여 연약지반인 유기질토 지반개량을 위한 연구의 기초자료로서 제공코자 실시하였다.

Ⅱ. 재료 및 시험방법

1. 재 료

본 시험에 사용된 시료는 전북 김제 용지 지역의 저유기질토로서 지표 아래 1m 지점에서 불교란 시료를 채취하였다. 유기물함량시험은 JSF T9-68에 의해서 실시하였으며 그 결과 유기물함량은 23.5%로 나타났다. 저유기질토의 물리적 특성은 Table 1과 같으며 시험분석은 KS F 및 USDA 분석법에 준하여 실시하였다.

Table 1. Physical properties of lowly organic soil

Contents	Sample
Organic matter content(Lig.)(%)	23.5
Water content(%)	98.2
Specific gravity	2.32
Liquid limit(%)	95.0
Plastic limit(%)	64.0
Plastic index	31.0
Initial void ratio	3.30
Degree of saturation(%)	100
Preconsolidation pressure(kgf/cm^2)	0.35
PH	5.0

2. 시험방법

압밀시험은 KS F 2316에 준하여 실시하였으며

1) 표준압밀시험방법으로 연속 3회 반복한 경우를 전단계 반복압밀시험으로 하였으며, 2) 압밀하중을 마지막 단계까지 재하시키지 않고 어느 단계까지만 재하하고 다시 초기상태로 제하시킨 후, 다시 반복단계 횟수를 증가함에 따라서 재하하중을 증가시키면서 반복하는 경우를 부분단계 반복압밀시험으로 분류하였으며 위에서 언급한 반복압밀방법을 Table 2로 다시 요약하였다.

Table 2. Consolidation test conditions

Repeating steps	Cyclic numbers	Loading procedures
		(kgf/cm^2)
Full repetition	1st	0.5-1.0-2.0-4.0-8.0-4.0-2.0-1.0-0.5
	2nd	0.5-1.0-2.0-4.0-8.0-4.0-2.0-1.0-0.5
	3rd	0.5-1.0-2.0-4.0-8.0-4.0-2.0-1.0-0.5
Partial repetition	1st	0.5-1.0-0.5
	2nd	0.5-1.0-2.0-1.0-0.5
	3rd	0.5-1.0-2.0-4.0-2.0-1.0-0.5
	4th	0.5-1.0-2.0-4.0-8.0-4.0-2.0-1.0-0.5

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 공극비와 압밀하중

Fig. 1은 저유기질토의 전단계 반복압밀시 각각의 압밀하중에 따른 공극비의 변화를 나타낸 것이다. 1단계 압밀시 압밀하중이 증가함에 따라서 공극비가 크게 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 유기질토 고유의 특성인 보수력, 팽창성 및 압축성이 큰데 기인되며 유기물 함량이 많을수록 함수비가 크기 때문에 재하로 인한 공극비가 크게 감소하는 것으로 생각된다. 鈴木(1972)[19]은 유기질토(GS:1.86, 2.38)의 공극비와 압밀하중과의 관계에서 유기물 함량에 따라서 공극비의 감소에 차이를 보였다고 하였다. 류(1985)[3]는 저유기질토(Lig.:11-21%)를 사용한 물리적 특성에 관한 연구에서 초기공극비가 비교적 높게 나타났다고 발표하였다.

또한 Fig. 1에서 2단계 압밀, 3단계 압밀시 재하

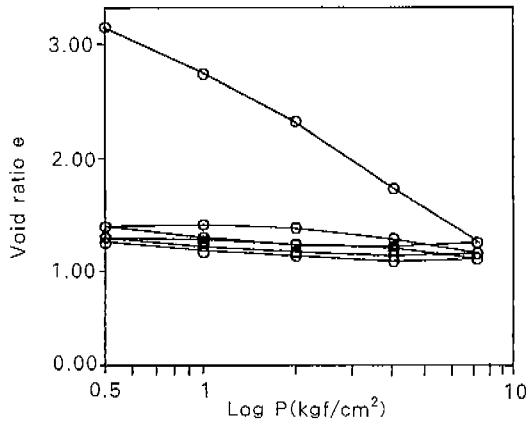

Fig. 1. e-log P curves due to the full repeated loading for lowly organic soil

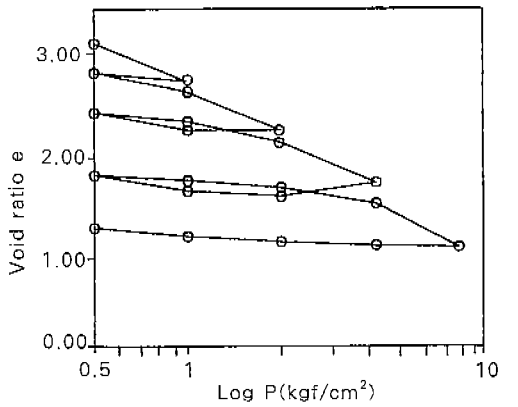

Fig. 2. e-log P curves due to the partial repeated loading for lowly organic soil

및 제하가 거듭됨에 따라서 공극비는 계속 소폭으로 감소하는 경향을 나타냈다. Fig. 2는 부분단계 반복압밀의 경우 압밀하중과 공극비의 관계를 나타낸 것으로서 Fig. 1의 전단계 압밀(0.5~8.0kgf/cm^2)에 비해서 압밀하중이 작은 1단계(0.5~1.0kgf/cm^2), 2단계(0.5kgf/cm^2) 압밀하중의 영향이 작게 나타났다. 초기에 공극비 감소가 작은 현상은 전단계에 비해서 초기에 작은 부분하중만 받았기 때문으로 생각된다.

2. 공극비와 압밀시간

Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5는 전단계 반복압밀시 1

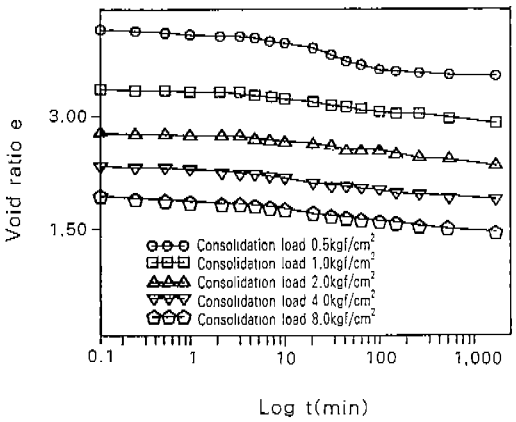

Fig. 3. Relationship between void ratio and consolidation time by the full repeated loading for lowly organic soil(1st cycle)

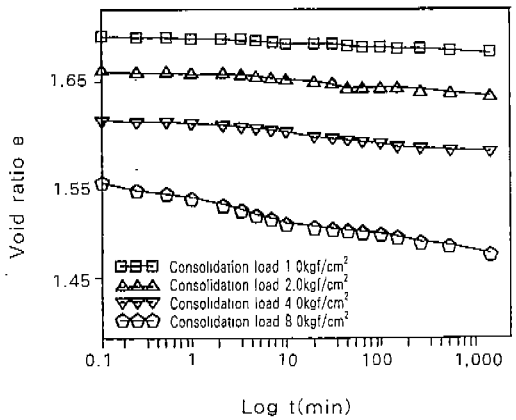

Fig. 4. Relationship between void ratio and consolidation time by the full repeated loading for lowly organic soil(2nd cycle)

단계 압밀, 2단계 압밀, 3단계 압밀시 각각에 따른 공극비와 압밀시간과의 관계를 나타낸 것으로서 반복단계가 거듭될수록 공극비 감소량은 작아지는 경향을 나타냈으며 또한 감소율은 초기압밀하중에서 크게 나타냈다. 또한 1단계의 경우 압밀시간에 따른 0.5kgf/cm^2, 1.0kgf/cm^2, 2.0kgf/cm^2, 4.0kgf/cm^2, 8.0kgf/cm^2 각 압밀하중별 공극비 감소경향은 완만하게 나타냈다. 2단계, 3단계 압밀의 경우는 8.0kgf/cm^{2}에서 감소경향이 크게 나타냈다.

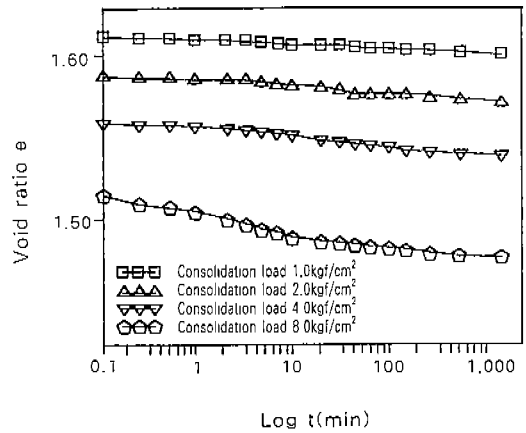

Fig. 5. Relationship between void ratio and consolidation time by the full repeated loading for lowly organic soil(3rd cycle)

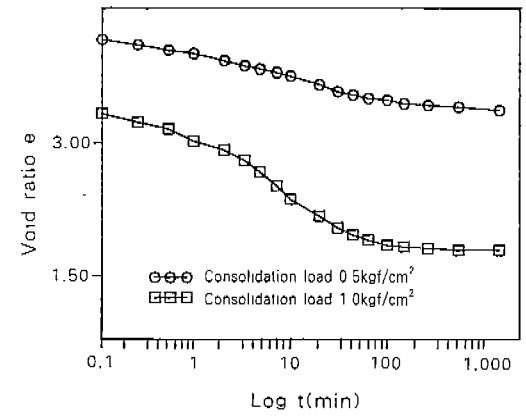

Fig. 6. Relationship between void ratio and consolidation time by the partial repeated loading for lowly organic soil(1st cycle)

券內(1997)[27]는 카오린 점토(LL:87.8%, PL:56.3%)를 사용한 정적압밀시험과 반복압밀시험에 관한 연구에서 반복압밀의 최종침하량은 정적압밀보다 큰 값을 나타냈다고 발표하였다.

Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9는 부분단계 반복압밀시 1단계 압밀, 2단계 압밀, 3단계 압밀시 각각에 대한 공극비와 압밀시간과의 관계를 나타낸 것으로서 반복단계가 거듭될수록 공극비 감소량은 작아지는 경향을 나타냈으며, 또한 감소율은 압밀

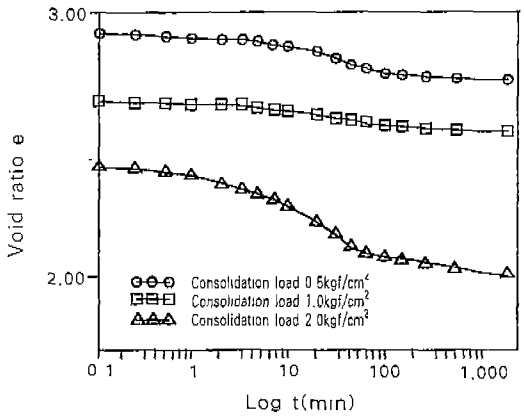

Fig. 7. Relationship between void ratio and consolidation time by the partial repeated loading and unloading for lowly organic soil(2nd cycle)

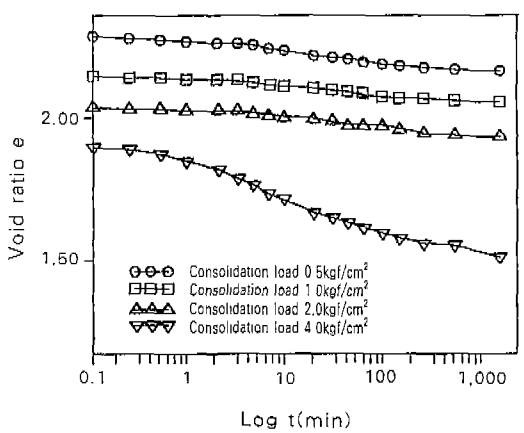

Fig. 8. Relationship between void ratio and consolidation time by the partial repeated loading for lowly organic soil(3rd cycle)

초기에 크게 나타났다. 1단계의 경우 압밀시간에 따른 공극비 감소경향은 1.0kgf/cm^{2}에서, 2단계의 경우는 2.0kgf/cm^{2}에서, 3단계의 경우는 4.0kgf/cm^{2}에서, 4단계의 경우는 8.0kgf/cm^{2}인 부분단계별 최종하중에서 감소경향이 크게 나타났다. 따라서 부분단계 반복압밀의 경우는 부분단계별 최종하중이 공극비에 미치는 영향이 큰 것으로 생각된다. 神谷(1988)[20]은 유기질토의 반복압밀은 반복회수의 증가에 따라서 반복효과는 작았다고 하였다.

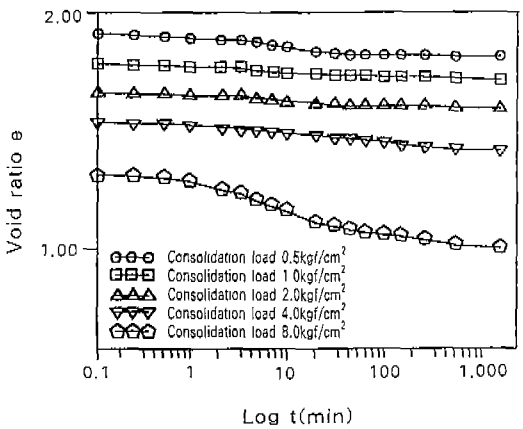

Fig. 9. Relationship between void ratio and consolidation time by the parial repeated loading for lowly organic soil(4th cycle)

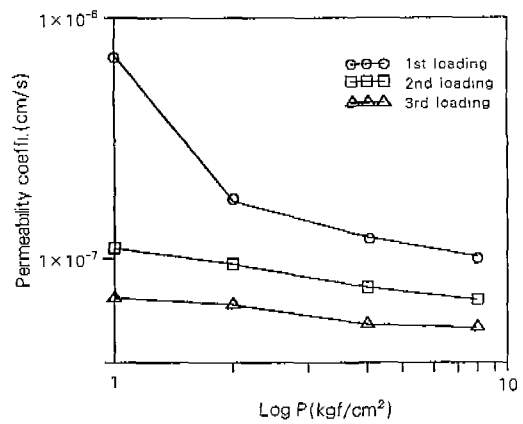

Fig. 10. Relationship between permeability and consolidation load by the full repeated loading for lowly organic soil

3. 압밀하중과 투수계수

Fig. 10은 전단계 반복압밀시 1단계 압밀, 2단계 압밀, 3단계 압밀 각각에 대한 투수계수와 압밀하중과의 관계를 나타낸 것으로서 일반 점토와 같이 하중이 증가함에 따라서 투수계수가 감소하는 경향을 나타냈으며, 2단계, 3단계의 경우보다 1단계 압밀시에 감소경향이 크게 나타났다. 또한 1단계 압밀에 비해서 압밀단계가 반복될수록 투수계수는 감소하는 경향을 나타났다. 이러한 현상은 공극비

와 투수계수와의 상관관계에 의한 것으로 생각된다.

4. 압밀하중과 체적압축계수

Fig. 11은 전단계 압밀시 1단계 압밀, 2단계 압밀, 3단계 압밀 각각에 대한 체적압축계수와 압밀하중과의 관계를 나타낸 것으로서 압밀하중이 증가함에 따라서 체적압축계수는 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 1단계 압밀의 경우는 감소경향이 크게 나타났으나 반복단계가 거듭됨에 따라서 감소량은 작게 나타났다. 이러한 현상은 단계가 거듭될수록 과압밀상태로 인하여 체적압축계수의 변화가 둔화되는 것으로 생각된다.

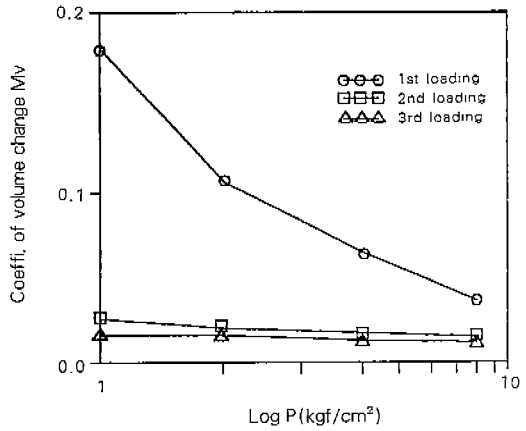

Fig. 11. Relationship between coefficient of volume change and consolidation load by the full repeated loading for lowly organic soil.

5. 압밀하중과 압밀계수

Fig. 12는 전단계 반복압밀에 대한 각 단계별 압밀하중과 압밀계수와의 관계를 나타낸 것으로서 1단계 재하의 경우 압밀하중이 증가함에 따라서 압밀계수는 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 현상은 압밀진행에 따른 투수계수의 저하에 기인되는 것으로 생각된다. 그림에서 또한 2단계, 3단계 재하시는 1단계에 비하여 압밀계수는 크게 증가하였으며 압밀하중이 증가함에 따라서 거의 일정한

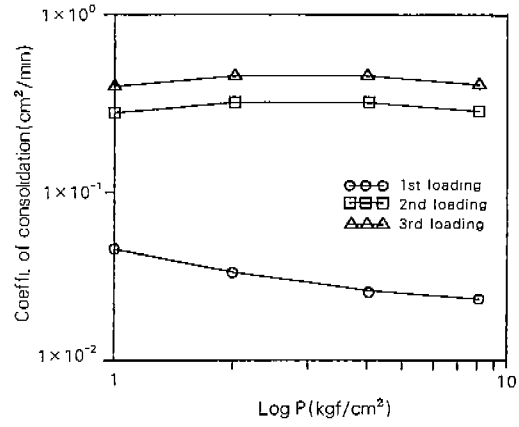

Fig. 12. Relationship between coefficient of consolidation and consolidation load by the full repeated loading for lowly organic soil

값을 나타냈다. 한편 보통의 점토에서는 정규압밀 영역에 있어서 압밀계수는 대개 일정한 경향을 나타내는 데 비하여 투수성이 큰 유기질토는 압밀압력의 증가에 따라서 압밀계수는 크게 증가한다.[31] 白子(1997)[23]는 실트질 점토의 반복재하압밀시험에서 재재하(2단계)시의 압밀계수는 표준압밀(1단계)의 10배 정도였다고 본 연구와 비슷한 결과를 발표하였다.

6. 압밀하중과 압축지수

Fig. 13은 전단계 반복압밀시 1단계 압밀, 2단계 압밀, 3단계 압밀 각각에 대한 압축지수와 압밀하중과의 관계를 나타낸 것으로서 1단계 압밀시 압밀하중이 증가함에 따라서 압축지수는 완만하게 증가하다가 4kgf/cm^2 압밀하중 이후에는 감소하는 경향을 나타냈으며, 압밀단계가 2단계, 3단계로 압밀이 반복됨에 따라서 압축지수는 감소하는 경향을 나타났다. 2단계, 3단계 반복압밀의 경우는 압밀하중이 증가함에 따라서 미소한 증가경향을 보였다. 초기단계의 하중에서 토립자 구조가 다공성의 random 상태로 되어 있으므로 하중이 증가함에 따라서 토립자간의 공극이 작아져 입자간의 접촉점사이에 존재하는 흡착수막이 얇아지므로[24] 압밀현상은 둔화된다고 생각된다. 류(1978)[2]는 해

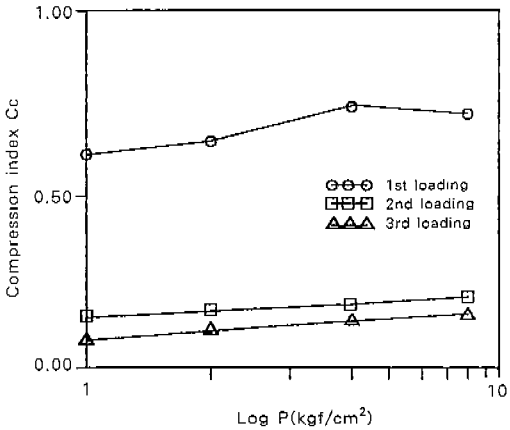

Fig. 13. Relationship between compression index and consolidation load by the full repeated loading for lowly organic soil

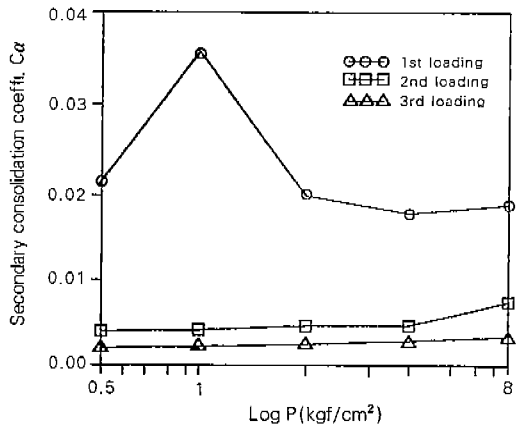

Fig. 14. Relationship between secondary consolidation coefficient and consolidation load by the full repeated loading for lowly organic soil

성점토(LL:33%)를 사용한 표준압밀시험에서 압축지수는 하중증가율이 클수록 증가하였고 어느 정점에 달하였다가 다시 감소하는 현상을 나타냈다고 하였다. 口比(1989)[26]는 압축지수의 압밀압력 의존성은 공극비가 큰 고유기질토가 크고 공극비가 작은 보통점토는 작았다고 하였으며 본 연구의 저유기질토는 고유기질토에 비하여 압력 의존성이 작게 나타났다.

7. 압밀하중과 2차압밀계수

2차압밀에 대한 이론은 많은 학자들이 Reology로 설명하고 있으나 아직도 정립된 이론은 없으며 유기질토의 경우 2차압밀을 추정하기 위해서 Mesri(1977)[8]는 2차압밀계수($C\alpha = \Delta e/\log t$)와 2차압밀비($C\alpha/1+ep$)를 사용하였다. 2차압밀은 공극비의 감소로 발생된 점토입자의 구조적 교란으로 인하여 좀더 안정된 배열을 이루려는 점토입자의 점진적 재조정 현상으로 등근입자나 인편상(鱗片狀)의 입자가 외력을 받으면 보다 치밀한 상태로 되어 상대적으로 활동하기 때문에 발생하며[9,21] 토립자 골격의 소성변형이나 토립자의 활동이 공극의 체적감소로 인한 공극수의 배수작용보다 느릴 때 2차압밀현상은 크게 나타난다.

Fig. 14는 전단계 반복압밀시 1단계 압밀, 2단계 압밀, 3단계 압밀 각각에 대한 압밀하중과 2차압밀계수와의 관계를 나타낸 것으로서 1단계 압밀의 경우 2차압밀계수는 1kgf/cm^{2}에서 최대값을 나타냈으며 그 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 2단계 압밀, 3단계 압밀의 경우는 압밀하중이 증가할수록 2차압밀계수는 약간 증가하는 경향을 보였다. 또한 1단계 압밀의 경우가 2단계 압밀, 3단계 압밀의 경우보다 2차압밀계수는 큰 값을 나타냈으며 압밀단계가 증가함에 따라서 2차압밀계수는 감소하는 경향을 나타냈다. 松尾(1983)[25]는 이탄의 표준압밀시험에서 선행하중의 2~3배 부근에서 2차압밀계수는 최대치를 보였다고 하였으며, 압밀하중과 2차압밀계수가 동시에 증가하는 것은 과압밀적 효과에 기인된 것이라고 하였으며 본 연구의 저유기질토는 선행하중의 3배 부근에서 최대치를 나타내고 있어 비슷한 경향을 보였다.

Fig. 15는 부분단계 반복압밀시 1단계 압밀, 2단계 압밀, 3단계 압밀, 4단계 압밀시의 압밀하중과 2차압밀계수와의 관계를 나타낸 것으로서 각각의 압밀단계에서 압밀하중이 증가함에 따라서 2차압밀계수는 증가하는 경향을 나타났으며, 압밀단계가 증가함에 따라서 2차압밀계수는 감소하는 경향을 나타냈다.

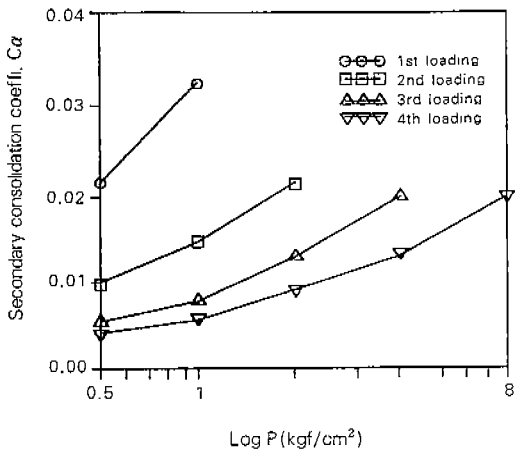

Fig. 15. Relationship between secondary consolidation coefficient and consolidation load by the partial repeated loading for lowly organic soil

Ⅳ. 결 론

저유기질토에 대한 반복압밀하중이 압밀특성에 미치는 영향을 조사분석키 위해서 전북지역에서 채취한 저유기질토(Lig.:23.5%)를 사용하여 전단계 반복압밀시험과 부분단계 반복압밀시험을 실시하여 압밀특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전단계 반복압밀시 압밀하중과 투수계수 및 체적압축계수와의 관계에서 압밀하중이 증가함에 따라서 투수계수와 체적압축계수는 감소하였으며 감소율은 1단계 재하의 경우가 2단계, 3단계 재하보다 크게 나타났다.

2. 전단계 반복압밀의 압밀하중과 압밀계수와의 관계에서 1단계 재하시 압밀하중이 증가함에 따라서 압밀계수는 감소하는 경향을 나타났으며 2단계, 3단계 재하의 경우는 1단계에 비하여 압밀계수는 큰 값을 나타냈으며 그 크기는 일정한 경향을 나타냈다.

3. 전단계 반복압밀의 압축지수와 압밀하중과의 관계에서 1단계 재하시 압밀하중이 증가함에 따라서 압축지수는 완만하게 증가하다가 어느 정점 이후에는 감소하는 경향을 나타냈으며 2단계, 3단계 재하의 경우는 미소한 증가경향을 나타냈다. 또한 재하단계가 반복됨에 따라서 압축지수는 감소하였다.

4. 전단계 반복압밀의 2차압밀계수와 압밀하중과의 관계에서 1단계 재하시 2차압밀계수는 압밀하중이 증가함에 따라서 증가하다가 어느 정점 이후에는 감소하는 경향을 나타냈으나 2단계, 3단계 재하의 경우는 미소한 증가 경향을 나타냈다.

또한 부분단계 반복압밀의 경우 각 단계에서 압밀하중이 증가함에 따라서 2차압밀계수는 증가하는 경향을 나타냈으며 압밀단계가 증가함에 따라서 2차압밀계수는 감소하는 경향을 나타냈다.

참 고 문 헌

1. 김재영, 주재우, 1986, 유기질토의 압밀특성에 관한 연구, 대한토질공학회지, 2(2), pp. 17-27.
2. 류능환, 1978, 시료의 두께, 하중증가율 및 재하시간이 압밀특성에 미치는 영향, 충남대학교 대학원 박사학위논문집, pp. 1-22.
3. 류능환, 류연택, 1985, 영동지역 유기질토의 특성에 관한 연구, 한국농공학회지, 27(1), pp. 77-85.
4. 주재우, 김재영, 1982, 해성점토의 반복재하 및 제하압밀특성, 한국농공학회지, 24(3), pp. 84-91.
5. Allison, F. E., 1973, Soil organic matter and its role, Crop Production, Elsevier Scientific Publishing Co., USA, pp. 585-617.
6. Casagrande, A., 1936, The determination of the preconsolidation load and principa significa- tion, Proc. 1st Int. Conf. on SM & FE, Vol. 3, pp. 34-35.
7. Haruo Fujiwara, Shunji Ue and Kazuya Yasuhara, 1987, Consolidation of clay under repeated loading, Soils and Foundations, 27(2), pp. 21-30.
8. Mesri, G. and Godlewski, P. M., 1977, Time and stress compressibility interrelationship, J. of the Geotechnical Engineering Division, Vol.

103, GT5, pp. 417-429.
9. Schmertman, J. H., 1955, Estimating of time consolidation behavior of a clay from lab. test result, ASCE, Vol. 79, pp. 311.
10. Sun-Fu Shin, 1980, Some physical characteristis of organic soil related to engineering design, 6th South East Asian Conf. on Soil Engineering, pp. 19-23.
11. Tschebotarioff, G. P., 1973, Foundation, Retaining and Earth Structures, Mcgraw-Hill Kogakusa, LTD, pp. 1-200.
12. 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.
13. Wardwell, R. E., 1980, Secondary compression of organic soils with fiber decomposition, Ph. D. Thesis, Colorada State Univ., pp. 1-120.
14. Yamannouchi, T., 1973, On the properties of organic soils, Soil and Foundation, Vol. 21, No. 2, pp. 7-12.
15. 大平小谷, 1969, Log-log 曲線正規による壓密沈下-時間關係の整理法, 土と基礎, 17(9), pp. 1-70.
16. 梅田安治, 平岡秀展, 1972, 泥炭の構成植物の識別と物質的及力學的性質について, 有機質 土の試驗方法シンポジウム論文集, pp. 19-22.
17. 及川洋, 宮川勇, 1972, 泥炭壓密試驗方法の結果の整理方法, 有機質土の試驗方法シンポジ ウム論文集, pp. 85-88.
18. 川野克典, 山口晴幸, 1988, 泥炭の壓縮性に關する考察, 第23回 土質工學研究發表會講演集, pp. 293-296.
19. 鈴木敦巳, 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.
20. 神谷光彦, 1988, 泥炭の繰返し壓密における壓密時間の影響, 第23回土質工學研究發表講演集, pp. 307-308.
21. 島田朊可, 澤田敏男, 1969, 締固め不飽和土の二次壓密について, 第2回土質工學研究發表講演集, pp. 343.
22. 佐佐木伸, 1974, 漸減載荷壓密に關する研究, 第8回土質工學研究發表講演集, pp. 113-116.
23. 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.
24. 森鹿隣, 1962, 壓密壓力にもとずかない粘着力が鋭敏比におけるぼす影響, 土と基礎, 10(8), pp. 3.
25. 松尾啓, 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講演集, pp. 245-246.
26. 日比野忠史, 山口晴幸, 木暮敬二, 1989, 泥炭を主体とした高有機質土の壓縮特性, 高有機質土に關するシンぽジウム發表論文集, pp. 19-28.
27. 券內勝彦, 峯岸邦夫, 崔仁鎬, 吉岡榮, 1997, 飽和粘土の繰返し壓密特性に及ぼす壓密降伏應力の影響, 第32回地盤工學研究發表講演集, pp. 419-420.
28. 山內豊聰, 安全一哉, 1969, 壓密試驗における間ゲキ水壓測定, 九大工學集報, 43(3), pp.1-20.
29. 山內豊聰, 1970, 有機質土の壓密試驗における寸法效果について, 九大工學集報, 43(2), pp. 10-30.
30. 山內豊聰, 1970, 有機質土の壓密試驗結果の解釋と利用, 九大工學集報, 43(3), pp. 50-60.
31. 木暮敬二, 1995, 高有機質土の地盤工學, 東洋書店, 日本, pp. 101.
32. 土質工學會, 1985, 土質工學用語辭典, 日本, pp. 71.