

실내압밀시험에 의한 남해안 해성점토의 C_a/C_c

C_a/C_c for Marine Clay at Southern Part of Korea
by Laboratory Consolidation Tests

김 규 선^{*1}
Kim, Kyu-Sun

임 형 덕^{*2}
Lim, Hyung-Duk

이 우 진^{*3}
Lee, Woo-Jin

Abstract

Consolidation settlements on soft clay are often greatly and potentially damaging to structures. Currently, large-scale projects are in planning or progressing in Korea. These structures will be constructed on both thick and soft clay layers, and so the accurate evaluation of magnitude of settlement is required at every step in design and construction. Especially, secondary compression may play an important role in consolidation settlements of soft clay. Generally, the magnitudes of secondary compression are evaluated by laboratory and in-situ consolidation tests. The empirical C_a/C_c may be economical, fast and powerful tool in estimating secondary consolidation settlement. However, the databases of the C_a/C_c at construction site in Korea are insufficient. The purpose of this study is to investigate the relationship of C_a/C_c on marine clay near the southern sea in Korea. A series of incremental loading consolidation tests (measuring base pore water pressure) is performed. It was found that the C_a/C_c on undisturbed marine clay is 0.0397.

요 지

연약지반에서의 압밀침하는 종종 구조물에 큰 피해를 미친다. 최근 국내에서는 대규모 프로젝트들이 계획 혹은 진행중인데, 이들 구조물들은 두꺼운 연약지반상에 건설되므로 설계나 시공에 있어서 각 단계별 정확한 압밀침하량 예측이 필요하다. 특히, 이러한 연약지반상의 이차압밀은 전체 압밀침하량에서 상당량을 차지하게 된다. 일반적으로 이차압밀은 실내 혹은 현장압밀시험을 통해 산정된다. 경험적인 C_a/C_c 의 비

*1 정회원, (주)건일엔지니어링 기술연구소 연구원

*2 정회원, 고려대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정

*3 정회원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수

는 이차압밀량을 예측하는데 있어서 경제적이고 효율적인 수단이 될 수 있을 것이나, 국내의 C_a/C_c 는 그 데이터 베이스가 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 간극수압을 측정하는 단계재하 압밀시험을 이용하여 남해안 해성점토에 대한 C_a/C_c 의 비를 0.397로 제시하였다.

Keywords : End of primary, Secondary compression, Compression index, Incremental loading

1. 서론

최근 항만, 공항, 택지, 산업기지 등의 수요가 확대됨에 따라 해안 인근 연약지반 상의 건설이 늘어나고 있다. 이러한 연약지반의 활용이 증가함에 따라 이들 지반의 압밀특성을 정확하게 파악하는 것이 지반의 효율적인 개량을 위해서 매우 중요하다. 특히, 해안 인근의 연약지반에는 상당량의 이차압밀량이 발생할 것으로 예상되며, 이차압밀량을 예측하기 위해, 일반적으로 현장 시험이나 실내 시험 결과를 이용한다. 이차압밀은 오랜 기간동안 발생하므로, 이를 현장에서 실측하는 방법은 시간적으로나 경제적으로 많은 어려움이 따른다. 그러나, 대상 지반에 대해 기 수행된 압밀시험 결과의 데이터 베이스를 이용한 경험적인 C_a/C_c 를 이용한다면, 간편하게 이차압밀량을 추정할 수 있는 방법이 될 것이고, 이차압밀량 산정에 있어서 경제적으로나 시간적으로 강력한 도구가 될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 수많은 시험을 통한 데이터 베이스의 구축이 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 남해안 인근의 해성 퇴적층에서 채취된 불교란 시료를 이용하여 바닥면의 간극수압을 측정하는 단계재하 압밀시험을 이용하여, 각 압밀하중 단계별로 이차압축지수 (C_a)와 압축지수 (C_c)를 산정하여, 두 압축지수간의 선형관계를 평가하였다. 그와 동시에 일차압밀종료(End of Primary, EOP) 시점을 예측하는 기법인 기존의 Casagrande와 Taylor의 도해법과 바닥면의

간극수압을 측정한 방법을 서로 비교하고, 일반적으로 사용되는 도해법과 간극수압을 실측한 방법에 의해 C_a/C_c 를 산정할 경우 이들 관계에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

2. 기존의 연구

이차압밀은 일반적으로 과잉간극수압의 대부분이 소산된 후 발생하는 체적의 변화로 정의된다. 그러나, 이차압밀의 발생하는 시점에 대한 논의는 Terzaghi가 압밀이론을 발표한 후 수 십년 이상 지난 지금까지 논란이 되고 있는 주제이기도 하다. Jamiolkowski 등(1985)은 과잉간극수압의 소산 이후, 즉, 일차압밀 종료시점(EOP) 이후에 이차압밀이 발생한다고 주장하는 Hypothesis A를, Leroueil 등(1985), Kabbaj 등(1988)은 과잉간극수압의 소산이 발생하는 동시에 이차압밀이 유발된다고 하는 Hypothesis B를 지지하고 있으며, 이는 지금까지도 결론을 내지 못하며 계속 연구 중인 과제이기도 하다.

2.1 이차압밀침하

흙의 압축은 간극비의 변화로 표현되며 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s = \frac{de}{1 + e_0} H_0 \quad (1)$$

압밀과정에서 이차압밀 단계에 접근하게되면 압축율은 서서히 줄어든다. 시간에 따른 간극비나 체적변형의 비를 이차압축지수($C_a = \Delta e / \Delta \log t$)로 정의하는데, 이 값은 주어진 하중단계에 따라 일정한 값을 가진다고 가정한다(Mesri와 Godlewski, 1977). 일정한 이차압축지수를 이용하여 시간-침하량 곡선의 관계로부터 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$s_s = \frac{C_a}{1+e_0} H_0 \log \frac{t_f}{t_p} \quad (2)$$

여기서, H_0 : 압축되는 지반의 두께
 t_p : 일차압밀이 종료되는 시점
 t_f : 이차압밀 발생후의 압밀량을 추정 하고자 하는 대상 시간.

2.2 EOP 간극비-유효응력

일반적인 침하해석에 있어서, 압밀의 과정은 일차압밀과 이차압밀의 부분으로 구분한다. 이러한 구분은 실내압밀시험의 결과로부터 직접적으로 일차압밀 침하량을 산정하는데 매우 유용하다. 식 (3)은 일차압밀 기간의 간극비의 변화를 나타낸 것이다.

$$(\Delta e)_p = \int_0^{t_p} \left[\left(\frac{\partial e}{\partial \sigma'_v} \right) \frac{d\sigma'_v}{dt} + \left(\frac{\partial e}{\partial t} \right)_{\sigma'_v} \right] dt \quad (3)$$

Mesri와 Choi(1985b)는 EOP 간극비와 유효응력간의 관계를 연구한 결과 EOP 압밀곡선은 흙의 종류에 따라 특정한 거동을 하고 일차압밀 기간동안 독립적이라고 결론지었다. 이는 e_p 는 흙의 두께와 일차압밀 기간에 대해 독립적이라는 개념이므로, 실험실의 얇은 시료로부터 구한 EOP 압밀곡선은 현장의 두꺼운 토층에 대한 EOP 압축 예측에 이용할 수 있다.

2.3 C_a/C_c 개념

C_a/C_c 개념은 특정 지반의 일정한 C_a/C_c 와 EOP $e-\log p'$ 곡선의 이차압밀 거동을 정의한 것으로, 이는 압밀시험으로부터 이차압밀량 산정과 데이터 해석에 유용한 역할을 한다. C_a 는 일차압밀단계에 대해 독립적이므로, 실험실에서의 결과를 현장에 직접적인 적용이 가능하다. 지반의 종류에 따라 특정의 선형 관계를 가지므로, 어떠한 최종 하중에서든지 EOP 압밀곡선의 모양으로부터 C_a 의 거동을 예측할 수 있다.

Mesri와 Godlewski(1977)은 C_a 와 C_c 사이의 관계에 대한 연구를 통하여, 일차압밀과 이차압밀은 동일한 메커니즘에 기인한다고 결론지었다. 따라서 C_a/C_c 의 개념을 제안하였으며, 특정한 흙에 대하여 시간, 유효응력, 간극비에 관계없이 C_a/C_c 의 비는 일정하다고 결론지었다.

Mesri와 Castro(1987)는 여러 종류의 흙에 대해서 C_a/C_c 가 0.02~0.1의 값을 가진다고 하였다. 무기질 점토에 대해 $C_a/C_c = 0.04 \pm 0.01$, 유기질 점토에 대해서 $C_a/C_c = 0.05 \pm 0.01$ 의 범위에 존재한다고 제시하였다.

초기의 이차압밀에 해당하는 C_a 는 EOP $e-\log p'$ 곡선에서의 C_c 와 C_a/C_c 로부터 추정 가능하다. 식 (4)에 의해서, 최종 압밀하중에 의존하는 이차압밀량을 C_c 의 값을 이용하여 추정할 수 있다.

$$s_s = \frac{C_a/C_c \times C_c}{1+e_0} H_0 \log \frac{t}{t_p} \quad (4)$$

3. 시료준비 및 압밀시험

3.1 시료준비

본 시험에 사용된 불교란 시료는 남해안 인근의 해성 퇴적층의 9~16m 지점에서 직경이 100mm 인 피스톤 샘플러로 채취되었다. 압밀시험을 위한

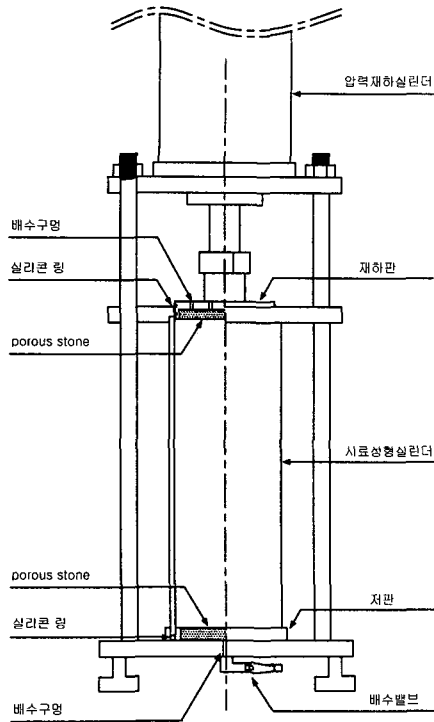


그림 1. 슬러리 압밀기(Slurry Consolidometer)

표 1. 사용된 시료의 실내시험결과

물성치	비교란 시료	재성형 시료
w_n	55~60	30~35
LL	56~58	35~40
PL	26~28	25~30
G_s	2.70~2.76	2.71
e_0	1.49~1.69	0.85~0.94
USCS	MH	ML

시료 추출시, 시료통 벽면 마찰로 인한 교란을 막기 위해 커팅 방법을 사용하였다. 비교란 시료는 양 끝단을 파라핀으로 봉하여 보관 기간동안 수분 증발을 억제하고, 실험 기간동안 자연상태의 위치를 유지하기 위해서 연직으로 보관하였으며, 매 실험 때마다 시료통을 커팅하여 사용하였다. 재성형 시료는 15~25m지점에서 채취된 시료를 슬러리 상태로 만들어 그림 1의 슬러리 압밀기를 이용하여 100~120kPa의 압력으로 압축하여 사용하였다.

실내시험으로 판별된 시료의 물성치는 표 1과 같으며, 압밀시험 시료의 직경과 높이는 각각 6.35cm와 2.54cm이다.

표 2. 단계재하 압밀시험

구분	시험번호	시험종류	σ'_{vo} (kPa)	w_n (%)	e_0	OCR	재하기간
비교란 시료	IL-1	IL ₂₄	105	55.3	1.625	1.01~1.57	24시간
	IL-2	IL _{EOP}	104	57.2	1.634	0.92~1.25	EOP
	IL-4	IL _{EOP}	104	57.0	1.655	0.93~1.06	EOP후 일정기간
	IL-5	IL _{EOP}	104	57.9	1.628	0.73~1.14	EOP후 일정기간
	IL-6	IL ₂₄	66	60.2	1.490	0.91~1.21	24시간
	IL-8	IL _{EOP}	65	54.3	1.519	-	EOP후 일정기간
	IL-9	IL _{EOP}	64	62.8	1.694	-	EOP후 일정기간
재성형 시료	IL-R1	IL _{EOP}	123	31.0	0.877	0.75~0.97	EOP
	IL-R2	IL ₂₄	123	30.7	0.850	0.80~1.06	24시간
	IL-R3	IL ₂₄	103	47.5	1.304	0.98~1.38	24시간
	IL-R4	IL ₂₄	103	48.7	1.275	0.98~1.19	24시간
	IL-R5	IL _{EOP}	123	32.5	0.891	0.95~1.07	EOP
	IL-R6	IL _{EOP}	123	33.5	0.924	1.06~1.63	EOP
	IL-R7	IL _{EOP}	103	33.1	0.913	0.95~1.17	EOP
	IL-R8	IL _{EOP}	103	33.6	0.924	0.74~0.96	EOP

3.2 시험기기 및 방법

본 연구에서 사용된 압밀시험기는 재하장치, 압밀셀, 압력조절장치로 구성된 자동화 압밀시험기이다. 재하장치는 Geocomp사에서 제작된 것으로 단계재하, 일정변형률, 일정동수경사, 일정하중률, 일정압력비 등의 압밀시험을 수행할 수 있는 다기능 시험기이다. 압밀셀은 하중재하시 바닥면에서 발생하는 간극수압을 측정하기 위해 연속재하시험시 사용하는 밀폐된 압밀셀을 사용하였다. 압력조절장치로는 Trautwein사의 panel을 사용하였다. 사용된 압밀시험의 종류는 시료 바닥면에서 간극수압을 측정하는 단계재하 압밀시험으로 시간에 따른 침하량과 간극수압을 측정하였다. 본 시험에서는 간극수압 측정의 정확도를 요하기 때문에 시료 포화시 배압(back pressure)를 가하여 포화도가 98% 이상이 됨을 확인한 후 시험을 시작하였으며, 실험에 사용된 물에 녹아있는 공기를 제거하기 위해 증류수를 Walter-Nold사의 Deaerator를 이용하여 시험전 공기를 최대한 제거하였다. 이차압축수 측정을 필요로 하는 단계에서는 간극비-시간 곡선에서 직선부가 나타나는 시간까지 재하시간을 유지시켰으며, 바닥면에 연결된 Transducer로부터 발생하는 과잉간극수압을 측정하였다. 압밀셀에 가해지는 cell pressure는 유효상재하중에 해당하는 압력을 가하였다.

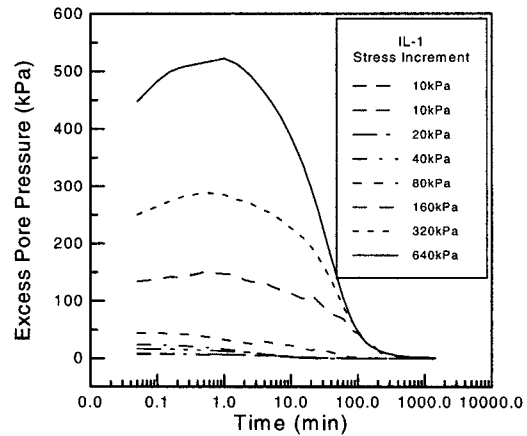
본 연구에서 수행된 시험방법은 단계재하(incremental loading) 압밀시험으로, 압밀하중의 재하기간이 24시간인 IL₂₄시험과 간극수압의 소산직후 다음 단계의 하중을 재하하는 IL_{EOP}시험으로 구분하였으며, 각 시료별 시험조건은 표 2와 같다.

각 시험에 대한 과압밀비의 산정을 위해 기존의 Casagrande방법, Log-Log방법 Strain energy 방법 등으로 선행압밀하중을 추정하여, 각 시료에 대한 과압밀비의 범위를 제시하였다.

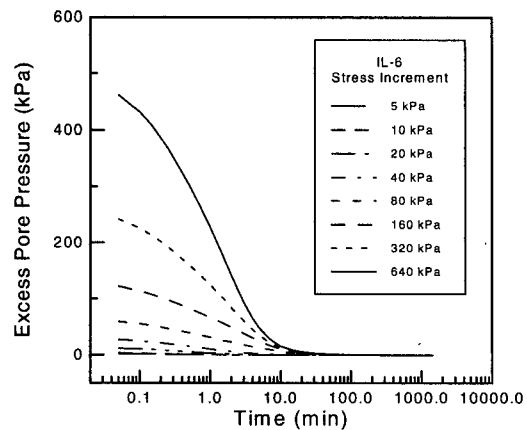
4. 실험결과 및 분석

4.1 간극수압비

일차원 압밀이론에서는 하중재하시 발생하는 과잉간극수압은 가해진 하중 증분만큼 즉시 발생한다고 정의한다. 그러나 Crawford(1964)는 실내압밀시험시 가해진 하중의 80~85%의 과잉간극수압이 발생한다고 보고하고, 그 이유로는 시료 내 존재하는 gas와 시료와 링의 벽면 마찰에 기인한다고 설명하였다.

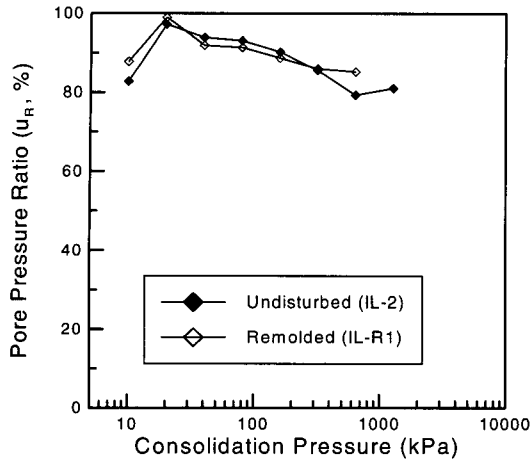


(a)

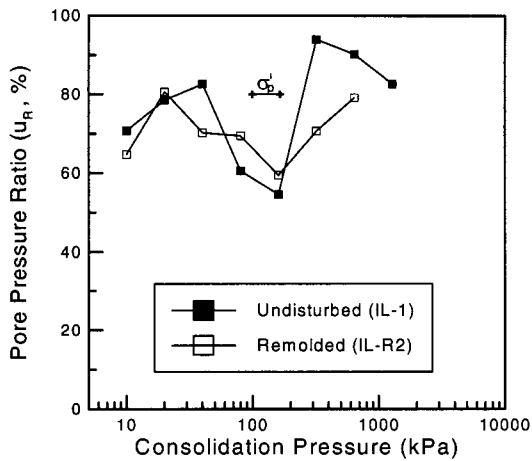


(b)

그림 2. 압밀단계에 따른 과잉간극수압 분포



(a)



(b)

그림 3. 압밀하중에 따른 간극수압비

그림 2는 압밀하중 단계별 시간에 따른 과잉간극수압의 분포를 도시하였다. 가해진 하중 증분 zw (stress increment)보다 다소 작은 과잉간극수압이 발생하였으며, 투수성이 낮은 경우(IL-1)는 과잉간극수압의 최고점 도달까지 1~2분의 지체시간이 나타났다.

그림 3은 압밀하중별로 발생한 간극수압비 ($u_R = \Delta u / \Delta p'$)를 나타내었다. 그림 3(a)는 하중 단계가 증가할수록 간극수압비가 점점 감소함을 나타내고 있다. 그림 3(b)는 선형압밀하중 부근

에서 급격한 간극수압비의 감소를 나타낸다. IL-1의 경우는 급격한 감소 후 회복되고, 하중단계가 더 진행함에 따른 감소의 경향을 나타낸다. IL-1이 1280kPa의 압밀하중까지 시험된 것에 비해 IL-R2는 시험이 640kPa의 압밀하중에서 종료되었으므로 IL-1에서 보이는 높은 하중단계에서의 감소현상은 나타나지 않았다. 표 2에서 나타내었듯이, IL-2와 IL-R1 시험은 IL_{EOP} 시험이고, IL-1과 IL-R2 시험은 IL_{24} 시험으로, 그림 3(a)와 (b)의 경향성의 차이는 각 단계의 재하기간에 기인한다. IL_{EOP} 시험에서는 약간의 간극수압이 남아있을 때, 다음 단계의 하중이 가해지면서 간극수압의 손실이 적게 발생하여 가해진 하중증분에 대한 과잉간극수압이 발생 가능하지만, IL_{24} 시험에서는 EOP 이상 재하됨으로서 과잉간극수압이 완전히 소산되어 선형압밀하중 부근에서 발생하는 흙의 구조적 파괴(structural breakdown) 현상이 간극수압비에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Crawford(1964)가 제시했던 발생 과잉간극수압 저감 현상을 줄이기 위해서는, 압밀링 주변에 실리콘 그리스를 바르고, 배압(back pressure)과 Deaerator를 이용하여, 물의 공기를 제거하는 것이 필요시 된다.

4.2 일차압밀 종료시점 결정법

일반적으로 일차압밀 종료시점(EOP)를 결정하기 위해서 $\log t$ 법(Casagrande 방법)과 \sqrt{t} 법(Taylor 방법)의 도해법이 사용된다. 그러나, 이들 경험적인 방법은 시간-간극비 곡선이 도해법으로 추정하기 힘든 모양을 나타낼 경우에는 적용시키기 어렵다. 또, Taylor 방법은 시간-간극비 곡선에서 도시하는 매우 작은 각으로부터 결정됨에 따른 오차, Casagrande 방법은 log scale로 인해 생기는 오차 등을 가지게 된다. 압밀시험에서 시료의 바닥면의 간극수압을 측정할 때는 아주 작

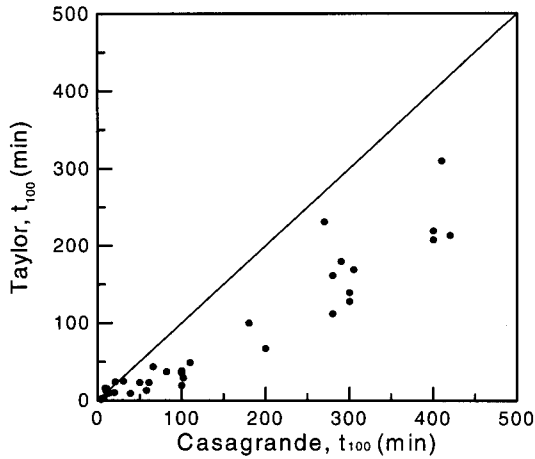


그림 4. Casagrande방법과 Taylor방법의 비교

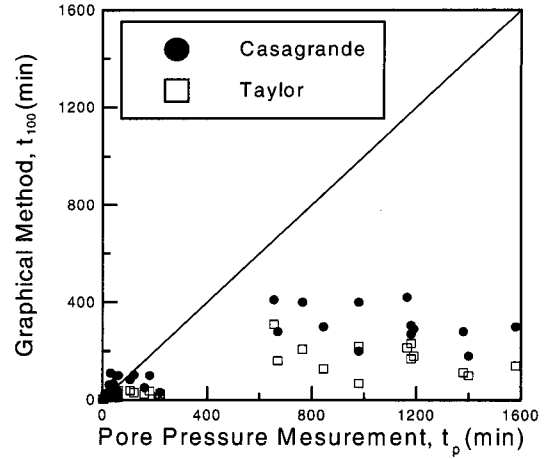
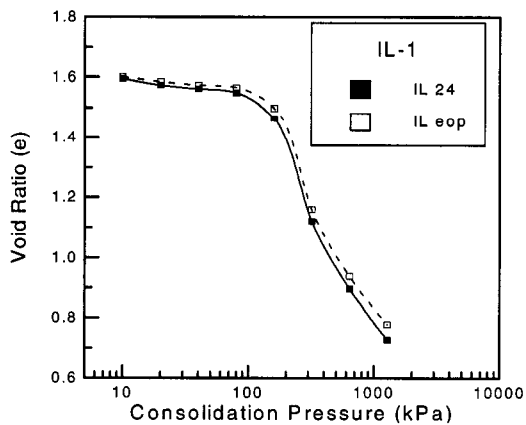
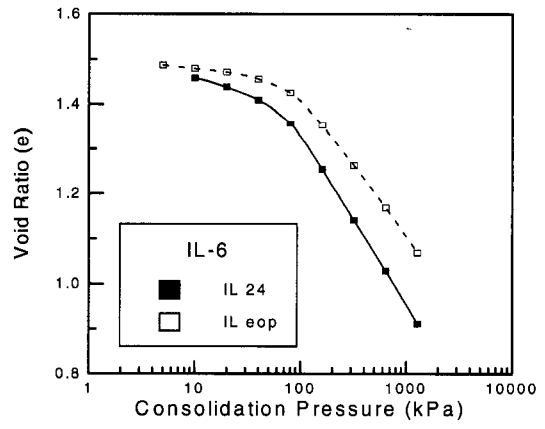


그림 5. 간극수압 측정법과 도해법의 비교



(a)



(b)

그림 6. IL₂₄와 IL_{EOP}의 압밀곡선 비교

은 과잉간극수압, 즉, 약 1kPa까지 소산이 이루어졌을 경우를 EOP에 도달한다고 정의하고 기존의 도해법의 결과와 비교하였다.

두 종류의 도해법에 의한 결과를 비교해 보면, 그림 4에서 보는 바와 같이 Casagrande 방법이 Taylor의 방법에 비해 하중단계가 커짐에 따라 과대 평가됨을 알 수 있다. 이는 $c_v = TH^2/t$ 의 관계에서 Casagrande 방법에 의한 c_v 가 Taylor방법에 의한 c_v 보다 작게 예측될 수 있음을 나타내며, 이는 기존의 연구 결과와 일치한다(Olson, 1986).

그림 5에서는 간극수압을 측정한 방법과 도해법과의 비교를 나타내었다. 낮은 하중단계에서는 도해법과 간극수압측정법과 비슷한 결과를 나타내었으나, 하중단계가 커질수록 차이는 점점 커짐을 알 수 있다.

4.3 EOP e-log p'곡선

일차압밀 거동을 대표하는 EOP 압밀곡선을 산정하기 위해, 바닥면의 간극수압이 1kPa까지

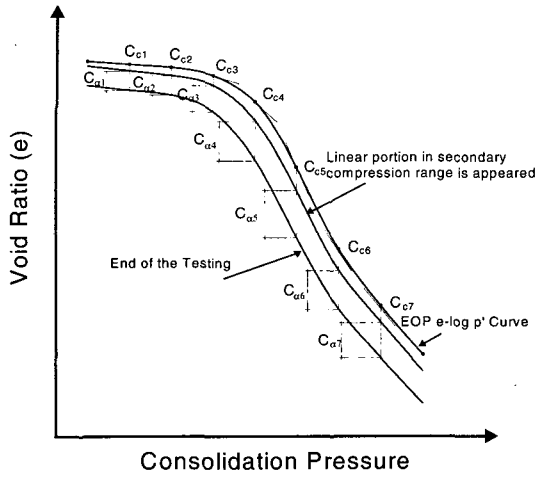
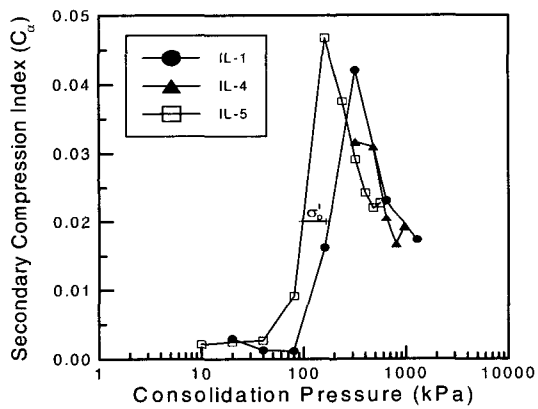
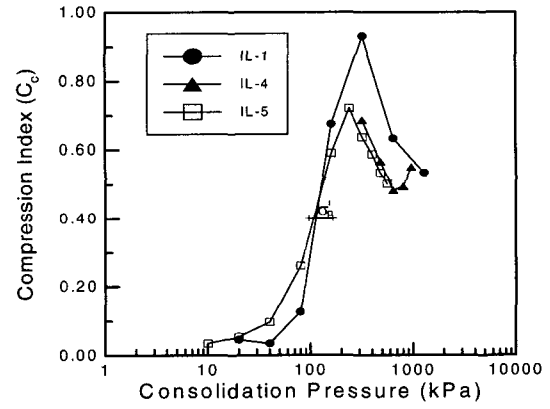


그림 7. 압밀하중에 따른 C_c 와 C_α 산정방법

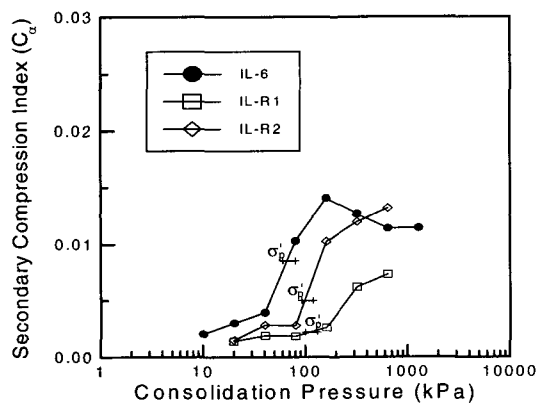
소산된 시점으로 EOP 시점을 결정하는 방법에 따라 EOP 압밀곡선을 정의하였다. 각 하중단계 별로 24시간동안 재하하는 표준압밀시험에 의한 압밀곡선은 이차압밀 거동도 포함하고 있으므로 EOP 압밀곡선과는 차이가 있으며 그림 6에 나타 내었다. IL-1과 IL-6는 시료의 특성이 다른 시험 으로, IL-6는 시료에 실트질 성분이 다수 포함되어 있어 발생하는 과잉간극수압도 그림 2(b)에 나타내었듯이 상대적으로 빨리 소산됨을 알 수 있 다. 그림 6에서 알 수 있듯이, 각각의 방법에 따라 C_c 값을 산정하는데 있어서 차이가 생기게 된다. IL-1시험에서는 각 단계의 EOP시점이 거의 24 시간에 가깝기 때문에 두 곡선간의 차이가 크지



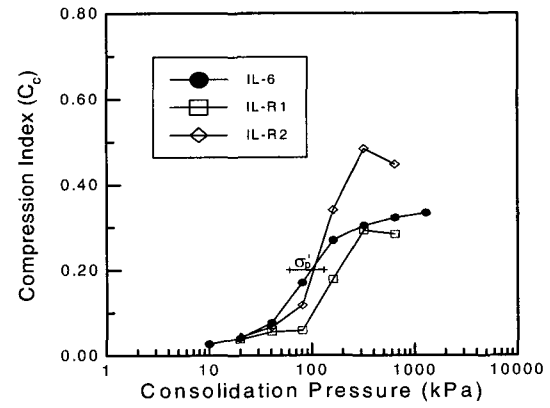
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. 압밀하중에 따른 C_α 와 C_c

않지만, EOP 도달시점이 빠른 IL-6의 경우에는 압축구간, 재압축구간 모두 C_c 값(재압축구간에서는 C_r)의 차이가 크게 날 수도 있음을 나타내고 있다.

4.4 압밀하중에 따른 C_a 와 C_c

그림 7에 나타내었듯이 압밀시험을 통해서 얻어지는 EOP 압밀곡선에서 각 하중단계의 접선에 해당하는 C_c 를 구하고, 각 하중단계별로 이차압밀 유발부분에 대한 C_a 를 구하였다. C_a 는 시간-간극비 곡선에서 직선부가 나타나는 부분에서의 간극비와 시간의 관계로부터 구하였다.

그림 8(a), (b)는 그림 7과 같은 방법에 의하여 얻어진 결과로서, 압밀하중에 따른 이차압축지수(C_a)와 압축지수(C_c)의 변화를 도시하였다. 각 시험에 대해서 압밀하중에 따른 각각의 지수의 거동 양상을 살펴보면, 초반에는 일정한 값을 보이다가 선행압밀하중에 가까워짐에 따라 급격한 증가이후 선행압밀하중 부근을 지나면서 다시 감소하여 평형을 이루는 경향을 보인다. 그림에서 알 수 있듯이 두 지수는 서로 비슷한 거동을 보이며, 동일한 시료에 대해서는 지수의 분포가 압밀하중

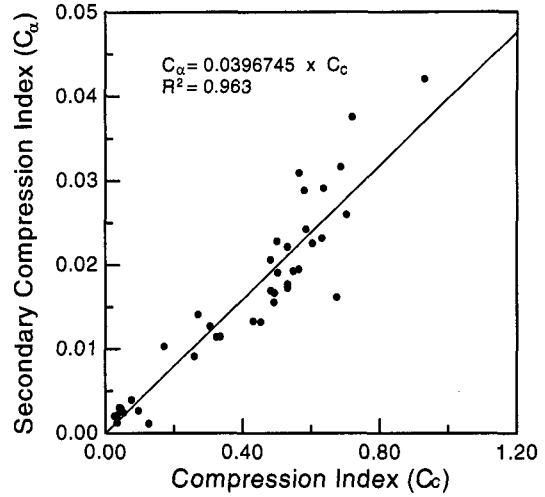
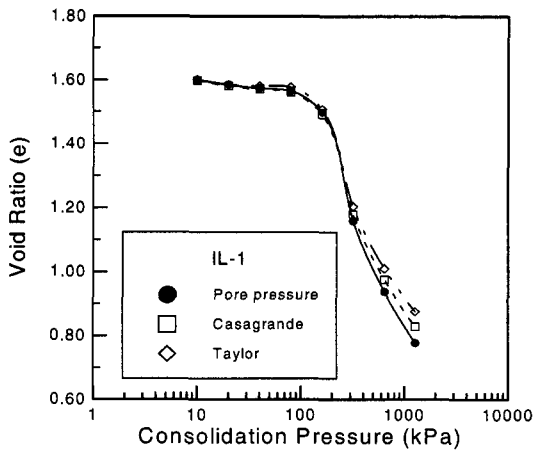


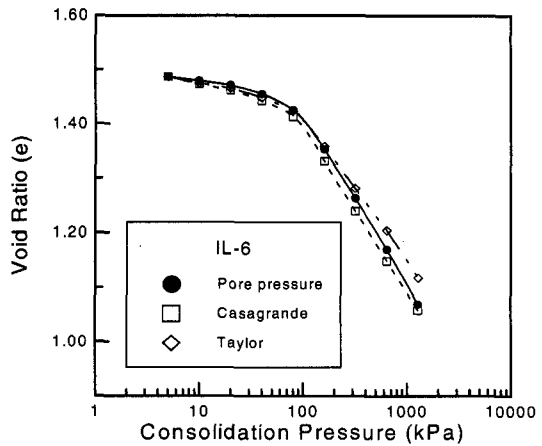
그림 9. 남해안 해성점토의 C_a/C_c

에 따라 비슷한 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 두 지수간의 관계가 선형관계를 가진다는 것을 의미한다.

그림 8(c), (d)는 앞의 경우와 거동양상이 다른 경우이다. 시료의 내부에 실트층이 존재함을 시험 후 확인할 수 있었던 IL-6의 경우는 (a), (b)의 경우와는 달리 급격한 정점이 나타나지는 않았다. 압축성이 작은 재성형시료의 경우도 마찬가지로의 결과를 나타내었다. 이들은 초기일정부분후 선행



(a)



(b)

그림 10. EOP 산정방법에 따른 EOP 압밀곡선비교

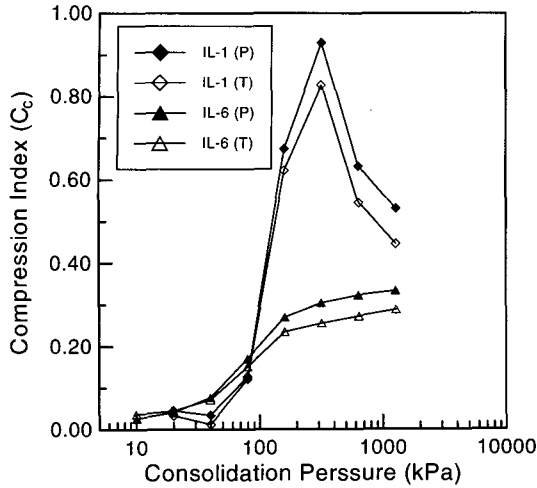


그림 11. EOP 산정방법에 따른 C_c 의 거동 비교

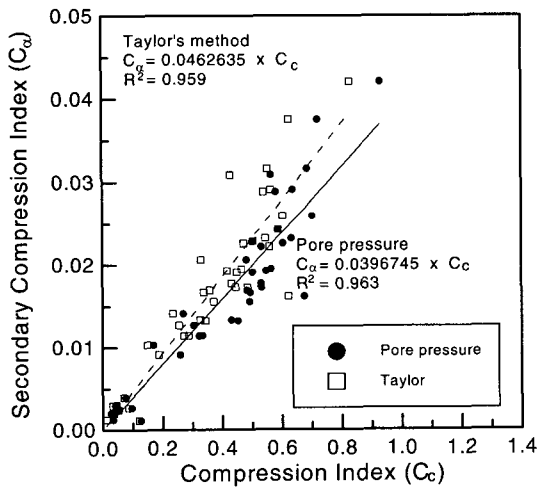


그림 12. EOP 산정방법에 따른 C_a/C_c

압밀하중까지 증가하고, 일정한 값으로 평형을 이루려는 거동 특성을 나타내고 있다.

이러한 일련의 실험을 통해 각 하중단계별 일차 압축지수와 이차압축지수의 관계를 불교란 시료에 대해 도시한 결과는 그림 9와 같다. C_a/C_c 는 0.0397의 값을 나타내었으며, 이는 Mesri와 Castro(1987)가 제안한 비유기질 점토에 대한 값 $C_a/C_c=0.040\pm 0.01$ 과 유사한 결과를 나타내었다.

4.5 EOP 압밀곡선 산정방법에 따른 비교

4.5.1 EOP 산정방법에 따른 압밀곡선

높은 하중단계에서는 간극수압을 측정해서 결정한 t_p 와 도해법으로 추정된 t_{100} 과는 큰 차이가 있음을 그림 5에 나타내었는데, 이는 EOP 압밀곡선에 큰 영향을 미칠 수 있다. 그림 10은 각각의 EOP 산정방법에 따른 EOP 압밀곡선을 나타내었다. 재압축구간에선 편차가 크게 나지 않으나, 압축구간에서는 각각의 방법에 따라 차이가 있음을 보이고 있다.

4.5.2 EOP 결정법이 C_a/C_c 에 미치는 영향

동일한 시료에 대해 도해법인 Taylor 방법과 간극수압 측정법을 비교한 결과, 그림 11에서 나타나는 바와 같이 Taylor 방법이 간극수압 측정법에 비해 C_c 값을 약간 과소평가 함을 알 수 있다.

동일한 시료에 대한 시험결과에 대해, Taylor 방법과 실측치(간극수압 측정법)에 의해 산정된 C_a/C_c 를 비교한 결과를 그림 12에 도시하였다. 간극수압 측정법에 의한 $C_a/C_c=0.0397$, 도해법에 의한 방법이 $C_a/C_c=0.0463$ 의 결과를 나타내었다. 도해법에 의한 방법이 실측치에 의한 방법에 비해 약 16%의 값의 증가가 있었으며, 이는 EOP 추정방법에 따른 오차를 예측 가능하게 하는 결과이다.

5. 결론

남해안 인근의 상부 해성퇴적층에서 채취한 해성점토에 대해서 바닥면의 간극수압을 측정하는 단계재하 압밀시험을 수행한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 일차압밀 종료시점(EOP)을 결정하는 방법인 $\log t$ 법, \sqrt{t} 법 및 간극수압측정법(실측치)을

비교한 결과, 하중단계가 커짐에 따라 도해법과 실측치와의 차이가 점점 커지는 경향을 보인다.

- 2) 압밀하중에 따른 간극수압비(u_R)는 전반적으로 70~90% 정도로 나타났으며, 하중단계가 커짐에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 일부 시료에서는 선행압밀하중 부근에서 감소했다가 다시 증가하는 경향을 보이기도 한다.
- 3) EOP를 바닥면에서 측정되는 과잉간극수압이 약 1kPa까지 소산된 시점으로 정의했을 때, 산정된 EOP 압밀곡선은 이차압밀부분을 포함하고 있는 표준압밀시험에 의한 압밀곡선과 차이가 있었으며, C_c 값 산정에 있어서 차이를 유발시킬 수 있다.
- 4) 압밀하중에 따른 C_α 와 C_c 의 변화 양상은 거의 동일하며, 이로부터 두 압축지수간의 관계인 C_α/C_c 의 비가 선형의 관계를 가진다는 특성을 파악할 수 있다. 이러한 관계로부터, 실내시험 결과인 C_α/C_c 와 EOP 압밀곡선을 이용하여 대상지반의 이차압밀량을 간편하게 예측할 수 있다.
- 5) 압밀하중에 따른 C_α 와 C_c 의 변화 양상은 선행압밀하중 근처에서 급격한 증가 후 감소하는 경우를 보인다. 압축성이나 투수성에 따라 선행압밀하중을 지난 시점에서 정점이 나타나지 않고 일정해지는 경향을 보이는 경우도 있다.
- 6) 본 연구에서 남해안 해성점토의 C_α/C_c 값은 0.0397로 나타났다. Mesri와 Castro(1987)가 제시한 비유기질 점토에 대한 제안치 $C_\alpha/C_c=0.040\pm 0.01$ 과 유사한 결과이다.
- 7) EOP 산정법에 따른 EOP 압밀곡선은 하중단계가 압축구간의 경우 차이가 크게 나타났으며, 이는 C_c 값 산정시 차이를 유발한다. 이를 C_α/C_c 의 관계에 적용시킨 결과 Taylor방법에 의한 값이 간극수압 측정에 의한 방법보다 16%정도 큰 값을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. Crawford, C. B. (1964), "Interpretation of the Consolidation Test", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 90, No. SM5, pp. 87-102.
2. Crawford, C. B. (1986), "State of the Art: Evaluation and Interpretation of Soil Consolidation Tests", Proceedings of Consolidation of Soils: Testing and Evaluation, ASTM STP 892, pp. 71-103.
3. Jamiolkowski, M., Ladd, C. C., Germaine, J. T., and Lancellotta, R. (1985), "New Developments in Field and Laboratory testing of Soils", Proceedings of 11th ICSMFE, San Francisco, Vol. 1, pp. 57-153.
4. Kabbaj, M., Tavenas, F., and Leroueil, S. (1988), "In Situ and Laboratory Stress-Strain Relationships", Géotechnique, Vol. 38, No. 1, pp. 83-100.
5. Kim, K. S. (1998), Evaluation of C_α/C_c for Gadukdo Soft Clay by Laboratory Consolidation Tests, M.S.C.E. Thesis, Korea University.
6. Leonards, G. A. and Altschaeffl, A. G. (1964), "Compressibility of Clay", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 90, No. SM5, pp. 133-155.
7. Leroueil, S. (1988), "Tenth Canadian Geotechnical Colloquium: Recent Developments in Consolidation of Natural Clays", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 25, pp. 85-107.
8. Leroueil, S. (1996), "Compressibility of Clays: Fundamental and Practical Aspects", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 7, pp. 534-543.
9. Leroueil, S., Kabbaj, M., Tavenas, F., and Bouchard, R. (1985), "Stress-Strain-Strain Rate Relation for the Compressibility of Sensitive Natural Clays", Géotechnique, Vol. 35, No. 2, pp. 159-180.
10. Mesri, G. (1973), "Coefficient of Secondary Compression", Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 99, No. SM1, pp. 123-137.
11. Mesri, G. and Castro, A. (1987), "The C_α/C_c Concept and K_0 During Secondary Compression", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 113, No. GT3, pp. 230-247.

12. Mesri, G. and Choi, Y. K. (1985a), "Settlement Analysis of Embankments on Soft Clays", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 111, No. GT4, pp. 441-464.
13. Mesri, G. and Choi, Y. K. (1985b), "The Uniqueness of the End-of-Primary (EOP) Void Ratio-Effective Stress Relationship", *Proceedings of 11th ICSMFE, San Francisco*, Vol. 2, pp. 587-590.
14. Mesri, G. and Godlewski, P. M. (1977), "Time and Stress Compressibility Interrelationship", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 103, No. GT5, pp. 417-430.
15. Olson, R. E. (1986), "State of the Art: Consolidation Testing", *Proceedings of Consolidation of Soils: Testing and Evaluation, ASTM STP 892*, pp. 7-70.

(접수일자 1999. 6. 29)