한국지반공학회논문집 제18권 4호 2002년 8월 pp. 127 ~ 135

군산점토의 2차압밀 감소를 위한 Surcharging 평가

Evaluation of Surcharging to Reduce Secondary Consolidation for Kunsan Clay

주 종 진*1	Joo, Jong-Jin	임 형 덕*2	Lim, Hyung-Duk
이 우 진*3	Lee, Woo-Jin	김 대 규*4	Kim, Dae-Kyu
김 낙 경*5	Kim, Nak-Kyung	김 형 주*6	Kim, Heoung-Joo

Abstract

The accurate evaluation of settlement is important to every steps in the constructions involving soft soils. Relating with those constructions, especially, it has been emphasized recently that the influnce of secondary settlement is important. The ratio of C_α/C_c and the surcharging tests can be applied collaboratively to predicting and reducing secondary consolidation. A series of incremental loading consolidation test and surcharging tests for undisturbed samples of Kunsan clay were performed in this study. As a result of the tests, the ratio of C_α/C_c for the clay was found to be 0.0329. Also, the relationship between void ratio and t/t_p was shown to be linear. Accordingly, the secondary compression index, C_α, for a long term loading had a constant value regardless of time. When the total surcharge ratio was 0.4 and the dissipation ratio of excessive porewater pressure was in the range from 80% to 100%, secondary settlement was effectively reduced for Kunsan clay.

요 지

연약지반에서의 건설은 각 단계별 정확한 침하량 예측이 중요하다. 특히, 최근 2차침하의 중요성이 강조되고 있다. 2차침하를 예측하고 조절하는 하나의 합리적인 접근방법으로서 2차침하 감소를 위한 surcharging 시험과 경험적인 C_α(2차압축지수)/ C_c(1차압축지수)비를 활용할 수 있다. 본 연구에서는 군산지역의 연약지반에서 채취된 불교란 시료를 이용하여 단계압밀시험과 surcharging 시험을 수행하였다. 시험 결과 군산점토의 C_α/C_c 값은 0.0329이며, 간극비 -t/t_p 관계가 선형관계를 구해지므로 장기간 하중 조건에서 2차압축지수는 시간에 관계없이 일정한 것으로 볼 수 있었다. 또한 군산점토에 대해서는 전체 surcharge 비가 0.4이고 과잉간극수압 소산비가 80~100%일 때, 2차침하량을 효과적으로 감소시킬수 있는것으로 나타났다.

Keywords : Consolidation, Kunsan clay, Secondary compression, Surcharging

*1 (주)만영엔지니어링 사원 (Engineer, ManYoung Engrg., Construction Consultants)
*2 정회원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정 수료 (Memger, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Korea Univ., hdlim@korea.ac.kr)
*3 정회원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Korea Univ.)
*4 정회원, 상명대학교 토목환경공학부 전임강사 (Member, Instructor, Dept. of Civil & Environmental Engrg., SangMyung Univ.)
*5 정회원, 성균관대학교 건축 조경 및 토목공학부 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., SungKyunKwan Univ.)
*6 정회원, 군산대학교 토목공학부 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., KunSan National Univ.)

1. 서 론

연약지반에서의 압밀침하가 인접 구조물에 큰 피해를 미치는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 최근 국내에서 계획 혹은 진행중인 대규모 프로젝트가 연약지반에서 수행되는 경우가 증가함에 따라, 지반의 압밀특성을 정확하게 파악하여 지반을 효율적으로 개량하는 작업은 프로젝트의 성패를 좌우하는 중요한 요소로서 받아들여지고 있다. 특히 해안 인근의 연약지반에 대해서는 현장시험이나 실내시험결과를 이용하여 2차압밀을 예측하고 효과적으로 대처하는 것이 중요하다. 이를 위하여 현장시험이나 실내시험결과를 이용한다. 2차압밀은 오랜 기간 동안 발생하므로, 이를 현장에서 실측하는 방법은 시간적, 경제적으로 많은 어려움이 따른다. 따라서 실측방법보다는 대상지반에 기 수행된 압밀시험 결과의 데이터 베이스를 이용한 경험적인 C_α(2차압축지수)/C_c(1차압축지수)비를 이용하여 간편하게 2차압밀량을 추정하고, 2차압밀을 감소시키기 위한 surcharging 시험을 이용하여 효과적으로 2차압밀을 조절하여 침하량을 감소시키는 방법의 활용을 기대해 볼 수 있다.

이러함 배경으로 본 연구에서는 서해안 인근의 군산지역에서 채취한 불교란 시료에 대해서 시료 바닥면에서 간극수압을 측정하는 단계재하압밀시험과 2차압밀량을 적절히 감소시키기 위한 방법을 시험하는 surcharging 시험을 실시하였다. 단계재하압밀시험에서는 각 압밀하중단계별로 2차압축지수와 1차압축지수를 산정하여 두 압축지수간의 선형관계를 평가하였으며, 장기간 하중에 대한 2차압축지수의 변화를 살펴보았다. Surcharging 시험에서는 1차압밀이 완료된 시점에서, 또는 1차압밀이 발생하는 기간내에서 surcharge를 제하는 조건에 대한 2차압밀 거동을 살펴보았다.

2. 2차압밀

2차압밀은 일반적으로 과잉간극수압이 대부분 소산된 후 추가로 발생하는 체적 변화로 정의된다. 흙의 체적 변화는 간극비의 변하량 (Δe)로 나타낼수 있고, 흙의 침하량(s)은 식 (1)로 정의 할수 있다.

$$s = \frac{\Delta e}{1+e_o} H_o \qquad (1)$$

여기서 H_o: 압축되는 지반의 두께, e_o는 초기간극비이다.

압밀과정에서 2차압밀 단계에 접근하게 되면 압축률은 서서히 줄어든다. 2차압밀단계에서 시간에 대한 흙의 체적변화율 혹은 간극비의 변화율은 2차압축지수(C_α)로 정의되며 C_α는 다음식으로 표현된다.

$$C_\alpha = \Delta e / \Delta \log t \qquad (2)$$

Mesri와 Goldlewski(1977)에 따르면 2차압축지수는 주어진 하중단계에서 일정한 값을 갖는 것으로 알려져 있다. 이러한 경우에 2차압밀량은 시간-침하량 곡선의 관계로부터 2차압축지수를 이용하여 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

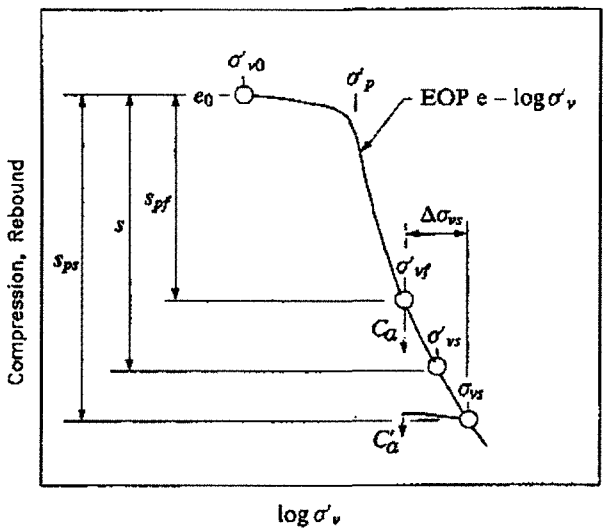
$$s = \frac{C_\alpha}{1+e_o} H_o \log \frac{t}{t_p} \qquad (3)$$

여기서, H_o : 압축되는 지반의 두께
t_p : 1차압밀이 종료되는 시점
t : 2차압밀 발생후의 압밀량을 추정하고자 하는 대상시간

위 식을 이용하여 2차압밀량을 계산하기위한 C_α의 추정에 있어서, Mesri와 Godlewski(1977)은 2차압축지수(C_α) 와 1차압축지수(C_c) 사이의 관계에 대한 연구를 통하여 1차압밀과 2차압밀은 동일한 메커니즘에 기인한다고 결론지었다. 따라서 C_α/C_c의 개념을 제안하였으며, 특정한 흙에 대해서 시간, 유효응력, 간극비에 관계없이 C_α/C_c의 비는 일정한 값을 갖는 것으로 제안하였다. Mesri와 Castro(1987)는 여러 종류의 흙에 대해서 C_α/C_c가 0.01~0.07의 값을 가진다고 하였으며, 예를 들어 무기질 점토와 실트의 경우에 C_α/C_c는 0.04±0.01, 유기질 점토의 경우에 C_α/C_c는 0.05±0.01의 분포를 보인다고 제시하였다. 2차압밀양을 구하는 식 (3)에서 C_α/C_c 와 C_c 값을 이용하여 다음 식 (4)로로 표현할 수 있으며, 상기한 바와 같은 선행연구결과에 근거해서 C_α/C_c와 C_c값들을 대입하여 이차압밀량을 구할 수 있다.

$$s = \frac{C_\alpha/C_c \times C_c}{1+e_o} H_o \log \frac{t}{t_p} \qquad (4)$$

최종압밀하중이 선행압밀하중보다 작은 경우 t_p와 C_c(C_r에 해당됨)는 작기 때문에 2차압밀침하는 중요하지 않다. 최종압밀하중이 선행압밀하중과 비슷한 경



여기서, Rs = 전 Surcharge 비

$= (\sigma_{vs}/\sigma'_{vf}) - 1$

σ_{vs} = $\sigma'_{vf} + \Delta\sigma_{vs}$

R's = 유효 Surcharge 비

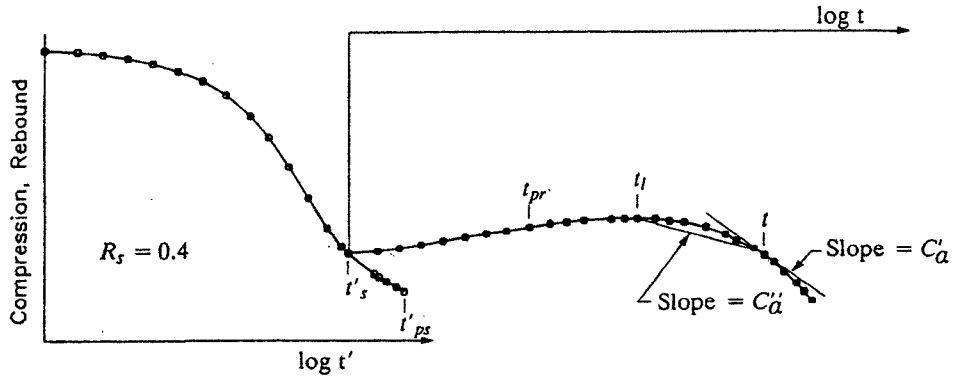
$= (\sigma'_{vs}/\sigma'_{vf}) - 1$

σ'_{vs} = surcharging 시간동안 도달된 최대유효응력

그림 1. 전 surcharge비와 유효 surcharge비의 정의

우에는 t_p는 여전히 작지만 C_c는 크게 증가한다. 따라서 2차압밀침하는 전체침하량에 상당한 부분을 차지하게 된다. 최종압밀하중이 선행압밀 보다 클 경우, 연직배수재가 없다면 t_p는 대부분 구조물의 설계수명보다 상대적으로 크다. 그러므로 2차압밀침하는 전체침하량에 비해 작은 값을 갖는다. 연직배수재가 설치되어 있다면 t_p는 구조물의 설계수명보다 작기 때문에 2차압밀침하는 전체침하량에 상당량을 차지하게 된다. 2차압밀 침하량을 제거시키기 위하여 surcharging에 의한 방법이 제안되었다. Surcharging의 특성은 total surcharge ratio인 $R_s = (\sigma_{vs}/\sigma'_{vf}) - 1$과 surcharging time ratio인 t'_s/t'_{ps}로 표현된다. 여기서 σ_{vs}는 $\sigma'_{vf} + \Delta\sigma_{vs}$이며, σ'_{vf}는 surcharge 제거 후의 유효수직응력이고, $\Delta\sigma_{vs}$는 전surcharge 응력이다. t'_s는 surcharge가 재하되는 시간이며, t'_{ps}는 surcharge 재하에 의하여 1차압밀종료 EOP(End of Primary Consolidation)에 도달하는 시간이다(그림 2 참조). 한편, surcharging은 유효응력개념인 effective surcharge ratio인 $R'_s = (\sigma'_{vs}/\sigma'_{vf}) - 1$으로 표현되어 진다.(그림 1참조) 여기서 σ'_{vs}는 surcharge가 제거되기 전의 최대 유효수직응력이며, t'_s/t'_{ps}의 비가 1인 경우에 $R_s = R'_s$이다. 그림 1에서 t_{pr}는 surcharge 제거 후 리바운드하여 EOP에 도달하는 시간, t_l는 2차 압축이 다시 나타나는 시간, t는 surcharge 제거 후 경과된 시간이다.

그림 2와 같이 surcharge 제하 후 t_{pr}에 도달하는 1차팽창과 2차압밀이 발생하는 t_l까지 지반은 팽창하게 되며, t_l 이후에 2차압축은 surcharge가 제거된 후의 t_l을 시점으로 시간으로 측정되어진다. Surcharge 제거 후 2차압축지수인 C_a'는 t_l 이후 초기에는 작으나 점차 증가하는



t'_{ps}=Time to EOP compression under surcharge

t'_s=Surcharging time

t_{pr} =Time to EOP rebound after removal of surcharge

t_l =Time at which secondary compression reappears

t =Elapsed time after removal of surcharge

그림 2. Surcharge 제하에 의한 침하 변화 양상

양상을 보인다. 장기간 시간에서는 증가를 계속하다가 점점 완만히 증가한 후에 감소하게 된다. 그러나 C_a'는 시간에 따라 일정하지 않기 때문에 2차압밀침하를 실질적으로 측정할 수 있는 C_a'' 방법이 도입되었다. 그림 2에서 보인 바와같이 C_a''는 t_l에서 시간 t에 대한 secant 기울기로 표현된다. Surcharge 제거 후 2차압밀 침하량은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있으며,

$$s_a = \frac{C_a''}{1+e_o} H_o \log\left(\frac{t}{t_l}\right) \quad (5)$$

C_a''을 C_α로 표준화시켜서 C_α/C_c, C_c 값을 포함한 식 (6)으로 다시 표현할 수 있다.

$$s_a = \frac{C_a''/C_\alpha \times C_\alpha/C_c \times C_c}{1+e_o} H_o \log\left(\frac{t}{t_l}\right) \quad (6)$$

연약한 점토의 경우 R's 값에 따라 C_a''/C_a - t/t_l 관계는 일정한 형태를 나타내며, 또한 $R's$ - t_l/t_{pr} 관계는 식 (7)과 같이 경험식을 사용하여 추정할 수 있다(Feng, 1991).

$$\frac{t_l}{t_{pr}} = 100\ R's^{1.7} \quad (7)$$

3. 2차압밀시험

3.1 연구대상지반

본 연구 대상지반은 최근 개발이 활발히 진행되고 있는 서해안 군산일대의 해성점토지반으로서 기지반조사 결과를 이용할 수 있는 군산시내 수송 택지개발단지 내 일부 지반을 대상지반으로 선정하였다. 본 지역은 행정구역상 전라북도 군산시 수송동 일원에 위치하고 있으며, 금강수계의 말단에 위치한 관계로 충적지가 넓게 분포하고 있고 현재는 주로 농경지로 이용되고 있다.

표 1. 군산점토의 기본 물리적 특성

항 목	물리적 특성
w_n(%)	33.5~41.5
LL(%)	29.2~38.8
PL(%)	6.0~15.6
Gs	2.67~2.71
e_o	0.85~1.28
Clay fraction(%)	6.3~14.8
USCS	CL or ML

군산 인근 지역에 분포하는 암상은 크게 선캄브리아기의 변성암류인 서산층군과 편마암 복합체가 분포하고 있으며 대부분의 지역은 신생대에 퇴적된 제 4기의 충적층이 분포하고 있다. 본 지역의 지층 상태는 대체로 전답토층, 상부 퇴적층, 하부 퇴적층, 풍화암층 및 연암층 순으로 분포하고 있으며, 위치별로 지층 상태가 차이가 나는 매우 불균질한 지반이다.

XRD실험 결과, 석영, 일라이트, 녹니석, 몬모릴로나이트가 주를 이루고 있으며, SEM 결과에서는 육각형 결정인 카올리나이트, 클로라이트, 유공충 등이 보이고 있다. 자연함수비는 33.5~41.5%, 액성한계는 29.2~38.8%, 소성지수는 6.0~15.6%로 나타났으며, 비중은 2.67~2.71이고 통일분류법상 흙의 종류는 CL 또는 ML이다. 실내시험에 의한 물리적 특성은 표 1에 나타난 바와 같으며, 깊이별 분포는 그림 3에 나타난 바와 같다. 실내압

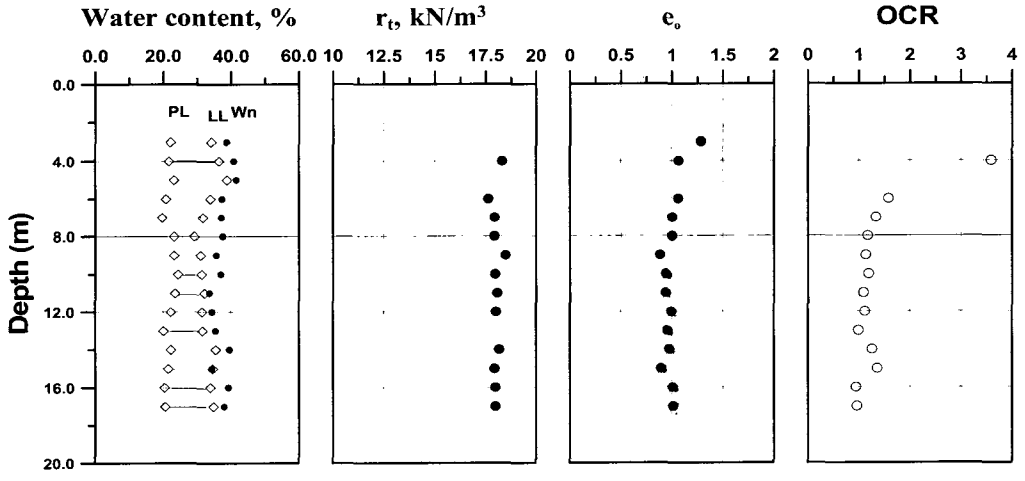


그림 3. 군산점토의 깊이별 물리적 특성

밀시험 결과, 지표하 6m 까지는 과압밀된 것으로 보이며, 6m 하부에서는 정규압밀 상태인 것으로 나타났다.

3.2 시험방법

본 연구에서는 단계재하압밀시험과 surcharging 시험을 수행하였다. 단계재하압밀에서는 압밀하중의 재하기간이 24시간인 IL_{24} 시험과 간극수압의 소산직후 다음 단계의 하중을 재하하는 IL_{EOP} 시험으로 구분하였다. 그리고 2차압축지수의 장기간 거동을 파악하기 위하여 IL_{EOP} 시험에서, 최종압밀단계에서 장기간 하중을 가하는 $IL_{longterm}$ 시험을 수행하였다. 각 시료별 시험조건과 하중단계는 표 2와 같다. Surcharge 시험은 단계하중을 최종하중단계까지 가한 후 surcharge 하중을 주어 과잉간극수압 소산직후, 즉 1차압밀이 종료되는 시점에 surcharge 하중을 제거시킨 경우와 과잉간극수압이 소산되는 동안, 즉 1차압밀이 진행되는 동안에 surcharge를 제거시킨 경우로 구분하여 수행하였다. Surcharge에 의한 시료별 시험조건과 하중조건은 표 3과 같다.

표 2. 단계재하압밀 시험 조건

시험번호	시험종류	깊이(m)	하중단계 (kPa)	재하기간
IE6	IL_{EOP}	6	10-20-40-80-160-320-640-1280	EOP*
IE8	IL_{EOP}	8	10-20-40-80-160-320-640-1280	EOP
IE13	IL_{EOP}	13	10-20-40-80-160-320-640-1280	EOP
IE15	IL_{EOP}	15	10-20-40-80-160-320-640-1280	EOP
IL6	IL_{24}	6	10-20-40-80-160-320-640-1280	24시간
IL8	IL_{24}	8	10-20-40-80-160-320-640-1280	24시간
IL13	IL_{24}	13	10-20-40-80-160-320-640-1280	24시간
IL15	IL_{24}	15	10-20-40-80-160-320-640-1280	24시간
ILT1	$IL_{longterm}$	9	10-20-40-80-160-320	Long term(100%)
ILT2	$IL_{longterm}$	9	10-20-40-80-160-320-448	Long term(40%)
ILT3	$IL_{longterm}$	9	10-20-40-80-160-320-512	Long term(60%)
ILT4	$IL_{longterm}$	6	10-20-40-80-160-320	Long term(100%)
ILT5	$IL_{longterm}$	13	10-20-40-80-160-320	Long term(100%)
ILT6	$IL_{longterm}$	15	10-20-40-80-160-320	Long term(100%)

*EOP=End of Primary Consolidation
*%= (최종하중-전단계하중)/(전단계하중)

표 3. Surcharging 시험 조건

시험번호	하중단계 (kPa)	*Rs*	과잉간극수압 소산비*
K82	10-20-40-80-160-320-384-320	0.2	100%
K84	10-20-40-80-160-320-448-320	0.4	100%
K86	10-20-40-80-160-320-512-320	0.6	100%
K841	10-20-40-80-112-80	0.4	100%
K842	10-20-40-80-160-224-160	0.4	100%
K843	10-20-40-80-160-320-640-896-640	0.4	100%
K846	10-20-40-80-160-320-384-320	0.4	60%
K848	10-20-40-80-160-320-384-320	0.4	80%
K132	10-20-40-80-160-320-384-320	0.2	100%
K134	10-20-40-80-160-320-448-320	0.4	100%
K136	10-20-40-80-160-320-512-320	0.6	100%
K1347	10-20-40-80-160-320-448-320	0.4	70%

*과잉간극수압 소산비=(소산된 과잉간극수압)/(발생한 총과잉간극수압)x100%

4. 시험결과 및 분석

4.1 압밀하중에 따른 C_α와 C_c

압밀시험을 통하여 얻어지는 EOP(End of Primary Consolidation) 압밀곡선에서 각 하중단계의 접선에 해당하는 C_c를 구하고, 각 하중단계별로 2차압밀 유발부분에 대한 C_α는 시간-간극비 곡선 직선구간에서 산정하였다. 그림 4에 압밀하중에 따른 1차압축지수 C_c와 2차압축지수 C_α의 변화를 도시하였다. 각 시험에 있어서 압밀하중에 따른 각 지수의 거동을 살펴보면, IE6, IE15, IL6, 그리고 IL15는 초반에는 일정한 값을 보이다가 서서히 증가하는데 선행압밀하중 부근에서는 급격한 증가이후 선행압밀하중 부근을 지나면서 다시 감소하여 평형을 이루는 경향을 보인다. 그러므로 그림에서 알 수 있듯이 두 지수는 서로 비슷한 거동을 보이며, 동일한 시료에 대해서는 지수의 분포가 압밀하중에 따른 비슷한 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 두 지수간의 관계가 선형적 관계를 가진다는 것을 의미한다. IL8과 IL13에서는 선행압밀이전에 측정이 불가능했으며 선행압밀이후 하중에 따른 2차압축지수는 비교적 일정한 형태를 보였다(기호는 표 2 참조). 일반적으로 연약점토의 경우 압축지수는 선행압밀부근에서 가장 큰 값을 보이나 IE8과 IE13에 의한 압축지수는 선행압밀하중 이후 점점 증가하는 양상을 보이고 있다. 이러한 이유는 IE6과 IE15보다 덜 연약하며 실트질이 다량 포함된 시료이기 때문인 것으로 추정된다.

이러한 일련의 실험을 통해 각 하중단계별 1차압축지수와 2차압축지수의 관계를 불교란 시료에 대해 도시한 결과는 그림 5와 같다. C_α/C_c는 0.0329로 나타났으며, 이는 Mesri와 Castro(1987)가 제안한 비유기질 점토에

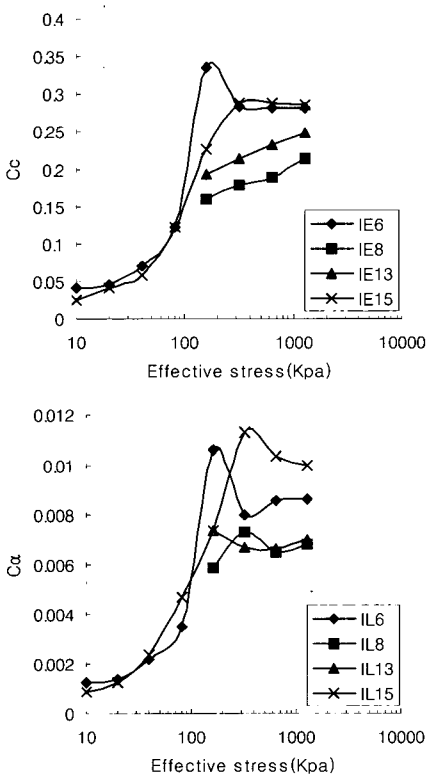


그림 4. 압밀하중에 따른 C_α와 C_c

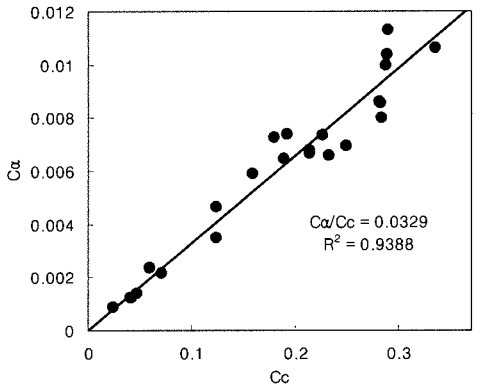
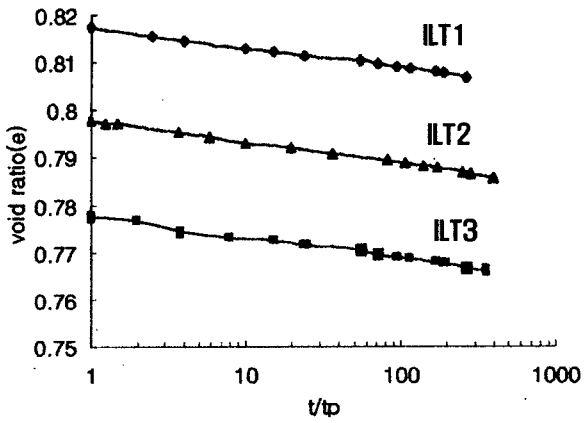
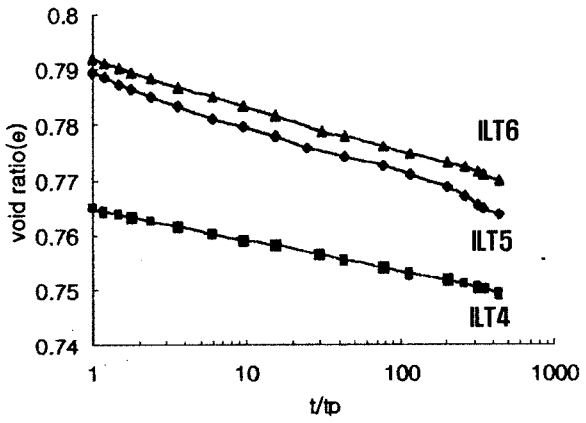


그림 5. 군산 점토의 C_α/C_c



(a) 최종하중이 전 단계하중의 40%, 60%, 100% 경우



(b) 동일 최종하중 경우

그림 6. 장기 하중에 의한 2차압밀 거동

대한 값 C_a/C_c=0.04±0.01의 범위에 해당된다.

그림 6(a)에서는 각 하중단계를 EOP로 실험을 한 후, 최종하중단계에서 전 단계하중의 40%, 60%, 100% 하중을 더 재하한 경우에 대한 장기간 거동을 살펴보았다. 동일한 시료에 대하여 최종하중단계를 다르게 준 경우 간극비와 t/t_p는 선형적인 관계를 보이는 것으로 나타났다. 그림 6(b)는 다른 깊이에서 전단계하중을 100%(ILT4, ILT5, ILT6)로 하여 동일하게 가하여 준 경우로 간극비와 t/t_p는 선형적인 관계를 보이고 있다. 그러므로 군산점토의 경우 다른 하중조건과 σ'_{vf}/σ'_p에서 2차압축지수는 선형적인 관계를 가짐을 알 수 있다. 여기서 t_p는 과잉간극수압 소산 시점이며, t는 t_p이후의 경과시간이다.

4.2 Surcharging에 의한 시험결과

선행압밀하중과 선행압밀하중 이후에 surcharge를 재하한 후, 과잉간극소산 직후 surcharge를 제거시킨 경우에 대해서 2차압밀이 나타나는 시점(t_l)을 기준으로 C''_a/C_a와 t/t_l의 관계는 그림 7에 나타난 바와 같다. C_a''/C_a과 t/t_l 관계는 조건이 σ'_{vf}/σ'_p<1과 σ'_{vf}/σ'_p>1에 대하여 상이한 결과를 보였으며, 선행압밀하중이전에 surcharge를 가한 K841의 경우 시간에 경과에 따라 C_a''값은 크게 증가하는 경향을 보였다(표 3. Surcharging 시험 조건 참조). 그러나 비록 t_p는 작지만 C_c도 작기 때문에 2차압밀 침하는 그리 크지 않다. 한편, σ'_{vf}/σ'_p>1의 조건인 K84, K842, K843은 시간에 따른 C_a'' 값이 비슷한 양상을 보이고 있다. 그러므로 σ'_{vf}/σ'_p 크기에 상관없이 C_a''/C_a과 t/t_l의 관계는 *R's* 대하여 일정한 형태를 보이는 것을 알 수 있다.

그림 8은 선행압밀하중 이후에 surcharge를 제하한 경우 *R's*에 대한 2차압밀 거동을 나타내고 있다. 군산점토의 경우 *R's*값이 0.2~0.6의 범위 내에서, C_a''/C_a-t/t_l 값은 *R's*값이 작아짐에 따라 점차로 증가하는 양상을 보였다. 이러한 결과의 원인은 R's값이 작을 때 1차팽창량과 2차팽창량은 작아지며 2차압축이 지배적이기 때문이다. 다량의 실트질을 함유한 점토인 군산점토는 Feng (1991)이 제안한 연약점토 *R's*에 대한 C_a''/C_a의 전형적인 값과 비슷한 양상을 나타내고 있다. 따라서 군산점토는 현장에서 surcharging 적용시 적절한 *Rs*와 과잉간극수압소산비를 surcharging 시험으로 구해 적용할 수 있다.

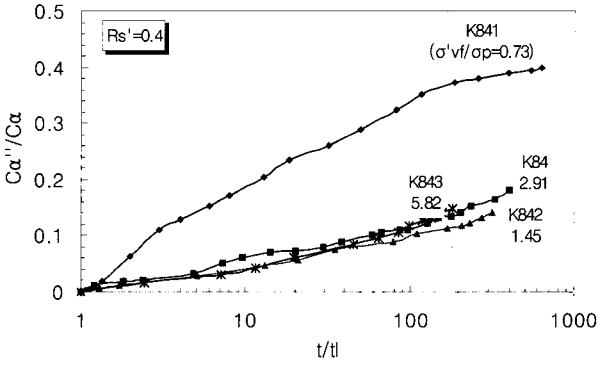


그림 7. σ'_{vf}/σ'_p 에 대한 surcharging 2차압밀

Surcharge가 1차압밀이 발생하는 동안 제거되었을 때 과잉간극수압 소산비에 따른 C_a''/C_a-t/t_l 값은 그림 9에 나타난 바와 같다. 과잉간극수압 소산비는 (소산된 과잉간극수압)과 발생한 총과잉간극수압과의 비이다. Rs가 0.4인 경우 과잉간극수압 소산비가 작을수록 1차팽창량과 2차팽창량이 작으며 2차압축에 의한 침하량은 점차로 커진다. 그 결과 과잉간극수압 소산비가 작을수록 2차압밀에 의한 침하량이 커지며 따라 C_a''/C_a-t/t_l 값은 커지게 된다. 군산점토의 경우 과잉간극수압 소산비가

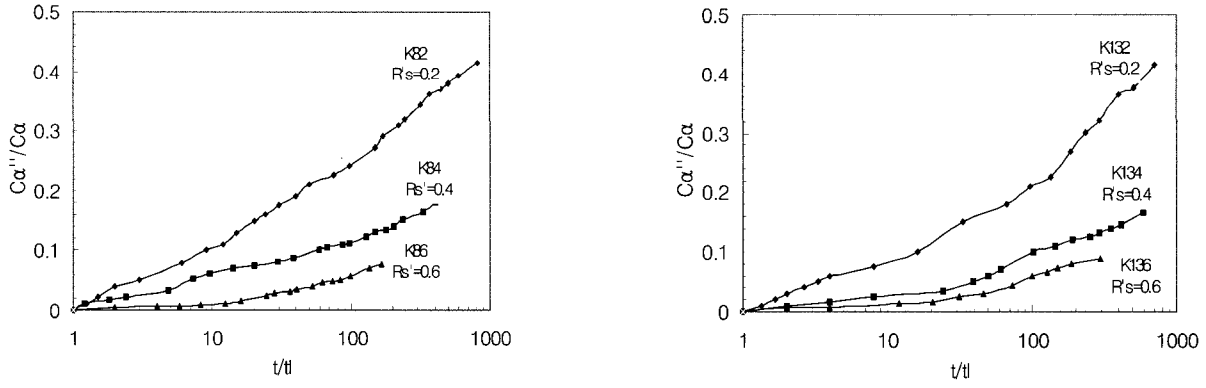


그림 8. Surcharging 시험에 의한 선행압밀하중 이후 2차압밀거동(*Rs=R's*)

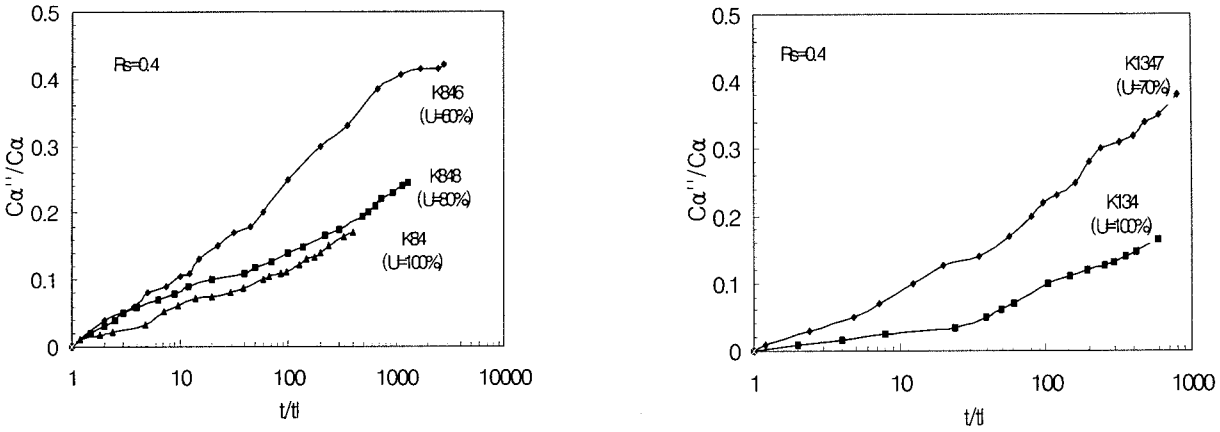


그림 9. Surcharging 시험에 의한 선행압밀하중 이후 2차압밀거동(Rs≠R's)

70%이하인 경우 80%와 100% 때 보다 C_α''/C_α-t/t_i가 크게 나타났으며, 과잉간극수압 소산비가 80%이상에서는 2차압축량이 작아지는 것을 볼 수 있다.

군산연약점토의 *R's* - t_i/t_{pr} 관계를 외국의 여러 점토에 대하여 비교한 결과는 그림 10에 나타난 바와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 *R's*가 증가함에 따라 t_i/t_{pr}은 증가하며, 군산점토의 경우 경험식(식 (7))보다 아래에 위치하는 것으로 나타났다.

*Rs*에 대한 C_α''/C_α-t/t_i와 t_i/t_{pr}의 결과를 종합했을 때, *Rs* 값이 0.2인 경우에는 t_i/t_{pr}이 작기 때문에 시간적으로 유리하지만 2차침하량이 커진다. *Rs* 값이 0.6인 경우에는 2차침하량을 크게 감소시킬 수 있지만 장시간이 소요되므로 적합하지 않으며, *Rs* 값이 0.4인 경우 0.6인 경우에 비해 2차침하가 약간 크게 나타나며 시간적으로 긴 시간이 소요되지 않는 점이 있다. 그러므로 군산점토의 경우 *Rs*값이 0.4이고 과잉간극수압 소산비가 80~100%범위에서 2차침하를 효과적으로 줄일 수 있는 것으로 판단된다.

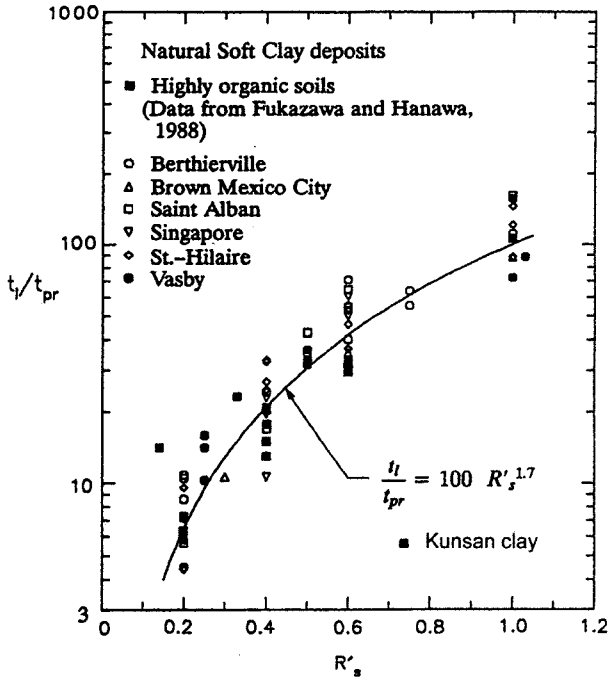


그림 10. *R's*에 대한 t_l/t_{pr}의 경험적인 관계

5. 결 론

군산점토의 퇴적층에서 채취된 불교란 시료를 이용하여 단계별압밀시험과 Surcharge시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 군산점토의 경우 압밀하중에 따른 2차압축지수 C_α와 1차압축지수 C_c의 변화 양상은 거의 동일하며 두 압축지수간의 관계인 C_α/C_c의 비가 선형적인 관계를 가진다. C_α/C_c의 값은 0.0329인 것으로 나타났으며, 이는 Mesri와 Castro(1987)가 제안한 비유기질점토와 실트에 대한 값 C_α/C_c=0.04±0.01의 범위에 해당된다.

(2) 장기하중에 의한 2차압밀 거동에 있어서, σ'_{vf}/σ'_p 등 압밀하중에 관계없이 선형적인 간극비 - 시간 관계를 보였다. 따라서 군산점토의 경우 2차압밀구간에서 시간에 관계없이 2차압축지수 C_α가 일정한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

(3) σ'_{vf}/σ'_p>1인 경우 surcharging 시험에서 σ'_{vf}/σ'_p 의 크기에 상관없이 C_α''/C_α와 t/t_i의 관계는 *R's*에 대하여 일정한 형태를 보이는 것을 알 수 있으며, *R's*

값이 0.2～0.6의 범위에서 C_α''/C_α - t/t_l 값은 *R's*값이 작아짐에 따라 점차로 증가하는 양상을 보였다. 이러한 결과의 원인은 *R's* 값이 작을 때 1차팽창량과 2차팽창량은 작아지며 2차압축이 지배적이기 때문이다.

(4) 실트질을 다량 함유한 군산점토는 기존의 Feng (1991)이 제안한 연약점토 *R's*에 대한 C_α''/C_α의 전형적인 값과 비슷한 양상을 나타내고 있으며, 군산점토는 현장에서 surcharging 적용시 적절한 Rs와 과잉간극수압소산비를 surcharging 시험으로 구해 적용할 수 있다. 이러한 데이터를 이용하여 surcharging에 의한 2차압밀량을 간편하게 예측할 수 있다.

(5) *Rs*에 대한 C_α''/C_α - t/t_l와 t_l/t_{pr}의 결과를 종합했을 때, 군산점토의 경우 Rs 값이 0.4이고 과잉간극수압소산비가 80～100%범위에서 2차침하 시간을 줄일 수 있는 등 2차침하를 효과적으로 조절할 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단에 의하여 지원되었으며 (KRF-99-042-E00145), 연구비 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. Al-Shamrani, M. A. (1997), "Application of the C_α/C_c concept to secondary compression of sabkha soils," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.35, pp.15-26.
2. Feng, T. W. (1991), *Compressibility and permeability of natural soft clays and surcharging to reduce settlements*, Ph. D. Thesis. Dept. of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana-Champaign.
3. Kim, K. S. (1998), *Evaluation of C_α/C_c for Gaduk-do soft clay by laboratory consolidation tests*, M.S.C.E. Thesis, Dept. of Civil Engineering, Korea University.
4. Mesri, G. (1973), "Coefficient of secondary compression," *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol.99, No. SM1, pp.123-137.
5. Mesri, G. and Choi, Y. K. (1987), "Settlement analysis of embankments in soft clays : closure," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol.113, No.9, pp.1076-1085.
6. Mesri, G. and Castro, A. (1987), "The C_α/C_c concept and Ko during secondary compression," *Journal of Geotechnical engineering*, ASCE, Vol.113, No.GT3, pp.230-247.
7. Mesri, G. and Godlewski, P. M. (1977), "Time and stress compressibility interrelationship," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.103, No.GT5, pp.417-430.
8. Joo, J. J. (2001), *Characteristics of secondary consolidation and permeability for Kunsan clay*, M.S.C.E. Thesis, Dept. of Civil Engineering, Korea University.

(접수일자 2002. 2. 21, 심사완료일 2002. 5. 4)