

양산·물금지역의 충적점토에 대한 일정변형률 압밀특성

Characteristics of constant rate of strain consolidation on Yang-San clay

이남기¹⁾, Nam-Ki Lee, 이대명²⁾, Dae-Myeong Lee, 유갑용³⁾, Gap-Yong Yoo, 정성교⁴⁾, Sung-Gyo Chung

¹⁾ 동아대학교 토목공학과 대학원 석사과정, Graduate student, Dept. of Civil Eng., Dong-A Univ.

²⁾ 동아대학교 토목공학과 대학원 박사과정, Graduate student, Dept. of Civil Eng., Dong-A Univ.

³⁾ 한국토지공사 양산사업단 과장, Manager, Korea-Land Corp.

⁴⁾ 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Dong-A Univ.

SYNOPSIS : To investigate the characteristics of consolidation on the Yangsan-Moolgeum clay, the CRSC test with different strain rates was performed, and its result was compared with the result of the conventional oedometer test(COT).

From the test results, it is found as follows ; i) The strain rate of 2.78×10^{-6} /sec is appropriated to this clay, however, this rate is slightly different from the recommended one by ASTM. ii) Preconsolidation pressure (σ_p') is similar to both kinds of tests. The σ_p' is more increased with increasing the strain rate in the CRSC test. σ_p' is estimated by the Japanese(1969), the Silva(1970) and the Casagrande(1936) methods in the order of their magnitude. And saturation is important when σ_p' is evaluated from the COT result. iii) It is difficult to find the effect of sample disturbance using the Schmertmann construction method(1975) when the sample is nearly saturated. iv) The coefficient of consolidation is not showed the general trend.

key words : strain rate, constant rate of strain consolidation(CRSC), Yang-San clay

1. 서 론

최근 부산을 중심으로 낙동강 하류의 전역에 걸쳐서 대단위 매립사업이 추진중에 있다. 본 지역은 25~100m(?)두께의 두터운 충적층이 분포하고 있으며, 이 층 내에는 연약한 점성토가 상당 두께에 이르고 있다. 그리고 본 지역에 분포하고 있는 점성토는 미완속압밀점토 내지는 정규압밀점토에 속하여 있으므로 압밀특성을 정확히 파악하는 것이 아주 중요하다(권기호 등, 1996).

일반적으로 압밀해석에 이용되고 있는 Terzaghi의 일차원 압밀이론은 많은 가정하에서 성립되어 있으며, 적용범위 역시 제한성을 띠고 있다. 특히 압밀시 큰 변형을 일으키는 연약점토층에 대하여 미소변형이라 가정한 Terzaghi의 이론을 적용하는 것은 적절하지 못하다. 따라서 상기의 문제의 해결을 위하여 투수계수(k)와 체적변화계수(m_v)가 압밀시간이 경과함에 따라 변화하는 것을 고려한 유한변형압밀이론(finite strain consolidation theory)이 Mikasa(1963)와 Gibson et al.(1967)에 의하여 제안되었다.

Terzaghi이론에 적합한 시험법으로 표준압밀시험이 널리 이용되어지고 있으나 장기간의 압밀시간이 요구되는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위하여 Hemilton-Crawford(1959)에 의한 일정변형률압밀시험(Constant Rate of Strain Consolidation test ; CRSC)과 일정하중률압밀시험(Constant Rate of Stress Consolidation)이 제안되었으며, Wissa et al.(1971)에 의하여 유한변형 압밀이론을 이용한 CRSC시험법이 제안되었다.

본 연구는 낙동강 하류지역인 양산·물금지역의 택지조성현장에서 채취된 불교란 시료를 이용하여 일정변형률압밀 및 표준압밀시험을 수행하여 이 지역의 충적점토에 대한 압밀특성을 얻고자 하는데 목적이 있다.

2. 이론식

일반적으로 널리 이용되고 있는 압밀이론으로 Terzaghi의 일차원 압밀이론은 많은 가정을 두었으며 실제와는 잘 맞지 않는 부분이 있다. 그 중에서 특히 문제가 되는 것은 투수계수(k)와 체적변화계수(m_v)가 압밀중에도 일정하다는 것이다.

Mikasa(1963)에 의하면 연약점토에서는 시간에 따른 두께의 변화가 크기 때문에 k 와 m_v 가 일정하다고 볼 수 없고 압밀이 진행됨에 따라 감소하지만, 그 비(k/m_v)가 작기 때문에 압밀계수 $C_v (= k/m_v \gamma_w)$ 는 일정하다는 가정을 두고 시간에 따른 두께의 변화를 변위의 함수로 식 (1)과 같이 기본압밀방정식을 나타내었다.

$$c_v \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \quad (1)$$

유한변형압밀이론은 변형이 큰 경우와 작은 경우에 대하여 적용이 가능한 이론이다. 이 이론을 실제에 적용하기 위하여 Wissa et al.(1971)은 변형이 작은 경우에 대하여 식 (2)와 같이 구하여 일정변형압밀시험(CRSC)에 적합하도록 나타내었다.

$$\varepsilon(X, T_v) = rt [1 + F(X, T_v)] \quad (2a)$$

$$F(X, T_v) = \frac{1}{6T_v} (2 - 6X + 3X^2) - \frac{2}{\pi^2 T_v} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi X}{n^2} \exp(-n^2 \pi^2 T_v) \quad (2b)$$

본 해석에서는 체적변화계수(m_v)가 일정하다고 가정한 선형 및 압축지수(C_c)가 일정하다고 가정한 비선형으로 각각 나누어 해석을 하였다.

먼저, 선형해석일 경우의 유효응력과 압밀계수를 나타내면,

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{ave.} &= \frac{1}{3} [2 \bar{\sigma}_v(H, t) + \bar{\sigma}_v(0, t)] \\ &= \sigma_v - \frac{2}{3} u_h \end{aligned} \quad (3)$$

$$C_v = \frac{1}{2} \frac{rH^2}{u_h m_v} \quad (4)$$

과 같이 표현할 수 있다.

그리고 비선형해석일 경우의 유효응력과 압밀계수를 나타내면,

$$\bar{\sigma}_{ave.} = (\sigma_v^3 - 2\sigma_v^2 u_h + \sigma_v u_h^2)^{1/3} \quad (5)$$

$$C_v = -(0.434 H^2 \Delta \bar{\sigma}) / [2 \Delta t \log(1 - \frac{u_h}{\sigma_v})] \quad (6)$$

로 표현할 수 있다.

3. 실 험

3.1 시 료

본 연구에 사용된 시료의 채취장소는 경남 양산시 남부동 일원의 양산·물금지역 택지개발 조성사업 현장으로서 시추위치는 < 그림 1 >과 같다.

본 지역의 지질은 경상남북도 일대에 널리 분포하고 있는 가장 대표적인 백악기의 불국사 화강암류로 기반암을 형성하고, 그 위에 제 4기의 충적층이 넓게 분포하고 있다. 충적퇴적물은 주로

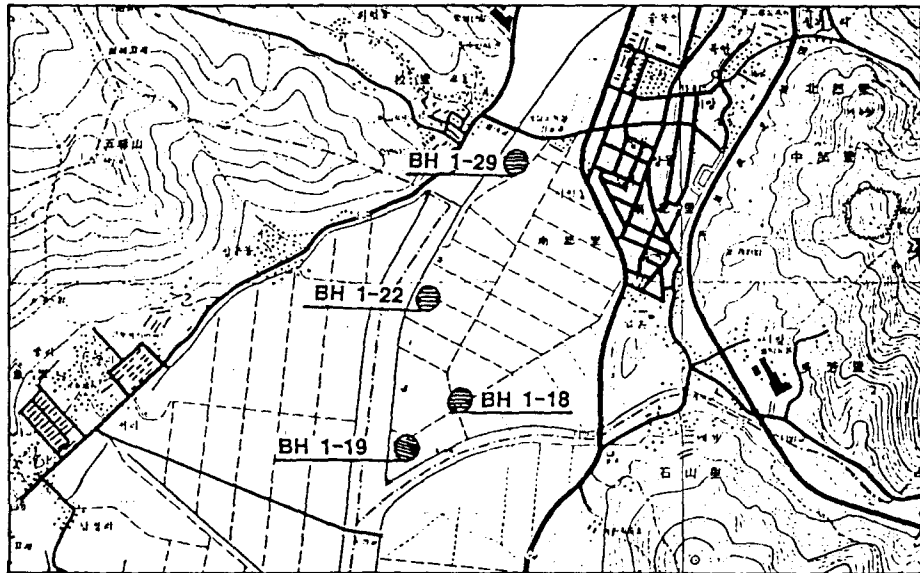
점성토와 가는 모래로 구성되어 있으며, 하천변을 따라 대소의 자갈들이 점성토 및 모래와 혼재되어 있는 형태를 나타내고 있다. 그리고 퇴적점성토 지반에서 채취된 시료내에서 점성토 이외에 연직 및 수평방향의 sand seam, 조개껍질 및 나무 등이 발견되었으며, 대략 5.0~16.3m의 지반에서 지하수와 점토광물이 화학적 반응을 일으켜 생성된 직경 1.0~3.0cm, 길이 1.0~5.6cm가량의 경화흙(Nodule)이 발견되는 등 불균질한 지층형태를 보이고 있다.

시료는 76mm직경의 thin wall tube로 채취하여 양단을 파라핀으로 봉합된 상태로 보관 및 운반되었다. 그리고 본 압밀실험에 사용된 시편의 직경은 6.35cm, 높이는 1.9cm였다.

본 연구에 사용된 시료의 물리적 특성은 아래의 < 표 1 >과 같다.

< 표 1 > 물리적 특성

시료 번호	깊이 (m)	G_s	e_o	$\omega_o(\%)$	$\gamma_t (t/m^3)$	LL (%)	PI (%)
BH 1 - 18	21.2~22.0	2.668	1.513	40.30	1.607	41.0	27.6
BH 1 - 19	14.7~15.5	2.682	1.440	45.70	1.627	43.8	21.1
BH 1 - 22	20.5~21.3	2.663	1.527	42.50	1.648	46.4	18.3
BH 1 - 29	7.6~8.4	2.655	1.318	43.10	1.651	37.5	19.7



< 그림 1 > 불교란 시료 채취도

3.2 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 시험법은 Manchest 대학의 P.W. Rowe교수(1966)에 의하여 고안된 Rowe Cell을 이용하여 일정변형률압밀시험(CRSC)을 수행하였으며, 일정변형률압밀시험 결과의 비교를 위하여 표준압밀시험기(ELE type)를 이용하여 병행하였다.

Rowe Cell의 구조에 대하여 살펴보면, 3개의 압력조절기(controller)와 본체, 연직방향 변형측정기(LVDT), 상부로 배수를 시키면서 저판중양부에서 간극수압을 측정 할 수 있는 간극수압측정기로 구성되어 있다. 본 시험기를 이용한 일정변형률압밀시험은 일반적인 표준압밀시험기에 비하여 실험기간을 상당히 단축할 수 있으며 수압을 이용하여 압력을 일정하게 전달할 수 있도록 고안되어져 있다. 본 실험에서는 일정변형률압밀시험에서 상당히 크게 영향을 미치는 측면마찰(skin friction)을 줄이기 위하여 silicone grease를 압밀링의 주변부에 얇게 발라서 측면마찰을 최소화하였다. 본 시험에서는 변형률에 따른 영향을 관찰하기 위하여 변형률 ASTM(1985)에서 권장하는 범위 내에서 다양하게 변화시키면서 실험을 수행하였다. 그리고 비교를 위하여 표준압밀시험기(ELE type)를 이용하여 포화정도에 따른 압축곡선의 경향에 대하여 고찰하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 영향인자에 따른 고찰

Leroueil(1996)에 의하면, 압밀특성에 영향을 미칠 수 있는 요소로는 시료채취관의 직경, 자연상태와 실험상태의 온도차, 변형률, 포화상태, 시편의 크기, 보관 및 운반에 따른 교란정도, 응력이완 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 상기의 영향인자 중에서 변형률과 포화도에 따른 영향을 관찰하고자 한다.

4.1.1 변형률

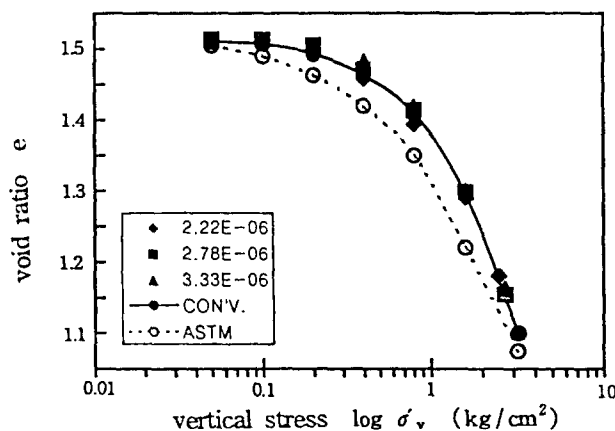
ASTM(1985)에서는 CRSC시험을 위한 변형률을 시료의 액성한계(LL)에 따라 < 표 2 >와 같이 추천하고 있다. 앞의 < 표 1 >에서 볼 수 있는 바와같이, 본 실험에 사용된 시료의 액성한계는 37.5~46.4%이므로, ASTM규정을 따르면 $1.67 \times 10^{-6} \sim 6.67 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 의 변형률을 채택할 수 있다.

< 표 2 > ASTM에서 추천하는 변형률(1985)

액성한계, LL (%)	변형률 (1/sec)
0~40	6.67×10^{-6}
40~60	1.67×10^{-6}
60~80	6.67×10^{-7}
80~100	1.67×10^{-7}
100~120	6.67×10^{-8}
120~140	1.67×10^{-8}

< 그림 2 >는 ASTM에서 규정하고 있는 변형률의 범위 내에서 4종류의 변형률, 즉 1.67×10^{-6} , 2.22×10^{-6} , 2.78×10^{-6} 및 $3.33 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 의 CRSC실험결과와 표준압밀시험결과를 나타내고 있다. 이 그림에서 ASTM으로 표기된 부분의 변형률은 $1.67 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 이다.

여기서 보면, 변형률이 $2.22 \times 10^{-6} \sim 3.33 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 사이에서는 CRSC실험에 의한 압축곡선이 표준압밀시험에 의한 것과 아주 유사하다. 그러나 < 표 2 >에서 액성한계가 40 ~ 60%일때의 추천값이 $1.67 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 의 변형률과 아주 상이하며, 압축이 훨씬 크게 발생되었음을 알 수 있다. 이들 변형률 중에서 $2.78 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 의 변형률에 의한 압축곡선이 표준압밀시험에 의한 것과 가장 유사하였다. 이러한 경향은 Hanzawa(1989)에 의한 실험결과와는 아주 상이하게 나타났다.



< 그림 2 > 변형률에 따른 압축곡선

4.1.2 포화도에 따른 영향

압밀시험에 사용되는 시료는 부주의한 시료의 보관 및 운반과정에 따라서 포화도가 자연지반의 것보다 감소하게 될 것이다. 포화도에 따라서 압축곡선에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 아래와 같은 시도가 이루어 졌다.

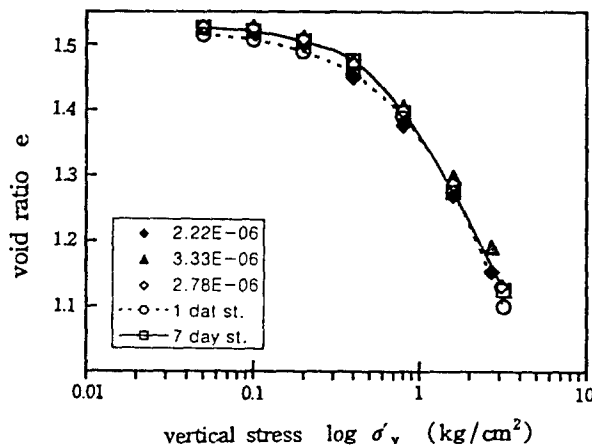
Rowe셀에 의한 CRSC시험에서는 부압(back pressure)에 의하여 포화도를 규정값인 96%이상으

로 조절할 수 있지만, 표준압밀시험에서는 포화도의 조절이 쉽지 않다. 따라서 표준압밀시험에 사용되는 시편에 대해서는 포화를 위하여 ELE형의 압밀링속에 시편을 넣어 물속에 잠기게 한 후, 시료의 팽창을 방지하기 위하여 팽창방지판을 고정시킨채 1일 또는 7일간 경과한 뒤에 압밀시험을 수행하였다(이하 자연포화로 함). 이러한 과정을 거친 실험의 종류는 < 표 3 >과 같다. 그리고 이들 실험종류에 따른 압축곡선은 < 그림 3 >에서 볼 수 있다.

< 그림 3 >에서 보면, 포화도가 80.60%인 표준압밀시험에 의한 압축성은 포화도가 97.30%인 표준압밀시험의 것에 비하여 작용응력이 1.0kg/cm^2 이하의 부분에서 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 후자의 경우는 96%이상으로 포화된 CRSC결과($2.78 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 의 변형률)와 좋은 일치율을 보여주고 있다. 이러한 압축곡선의 차이는 각종 압축상수에도 영향을 미치게 될 것이다.

< 표 3 > 실험시료의 포화도에 따른 분류

시험 방법	포화도, S_r (%)	비 고
Conventional test	80.60	24시간 포화
	97.30	168시간 포화
CRSC	97.40	$r = 2.22 \times 10^{-6}/\text{sec}$
	98.00	$r = 2.78 \times 10^{-6}/\text{sec}$
	98.00	$r = 3.33 \times 10^{-6}/\text{sec}$



< 그림 3 > 포화도에 따른 압축곡선

4.2 각종 압축상수에 대한 고찰

4.2.1 선행압밀응력

선행압밀응력(σ_p')는 미완속압밀, 정규압밀 및 과압밀점토의 판정기준이 되며, 압밀침하량의 산정에 크게 영향을 미치는 중요한 인자이다(조기영 등, 1996). 그러나, 일반적으로 이러한 중요성이 간과되고 있는 실정이다.

선행압밀응력을 구하는 일반적인 방법으로 Casagrande(1936)이 주로 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 압축곡선의 최소곡률점을 구하는데 상당한 개인적인 오차를 지니고 있다는 것이 단점이다. 이 외의 고전적인 방법으로 Burmister(1951) 및 Schmertmann(1955)방법이 있지만 사용의 복잡성 때문에 현재에는 거의 사용되지 않고 있다. 그 후에 Schmertmann(1975)는 선행압밀응력을 구하는 방법을 Casagrande법을 따르고 있다. Casagrande법이 갖고 있는 단점을 보완하기 위하여 일본토질공학회(1969)와 Silva(1970)방법이 제안되었는데, 선행압밀응력을 구하는데 개인적인 오차는 없앨 수 있으나 실제와 얼마나 가깝게 접근하는 지는 의문이다.

< 표 4 >는 각종 실험조건에 따라 상기의 각종 방법으로 구한 선행압밀응력을 나타내고 있다. 이 표에서 위의 값은 선행압밀응력을, 아래의 () 속의 값은 압축지수를 나타내고 있다.

< 표 4 >에서 CRSC와 표준압밀시험 결과를 통털어 관찰하면, 일본토질공학회법에 의한 σ_p 가 가장 크게 산출되고, 다음으로 Silva법과 Casagrande법의 순서이다. 여기서 Schmertmann법에 의한 값은 전술한 바와같이 Casagrande법에 의한 것과 동일하다. 그리고 Casagrande법 (Schmertmann법을 포함하여)에 의한 선행압밀응력은 최소곡률점을 선정하는데 개인적인 오차가 발생할 수도 있으므로, 이들의 값들이 정확하지는 않다. 그러나, 실제적으로 어떤 방법에 의한 선행압밀응력이 실제의 거동과 일치하는 지는 정확히 예측하기 어렵다.

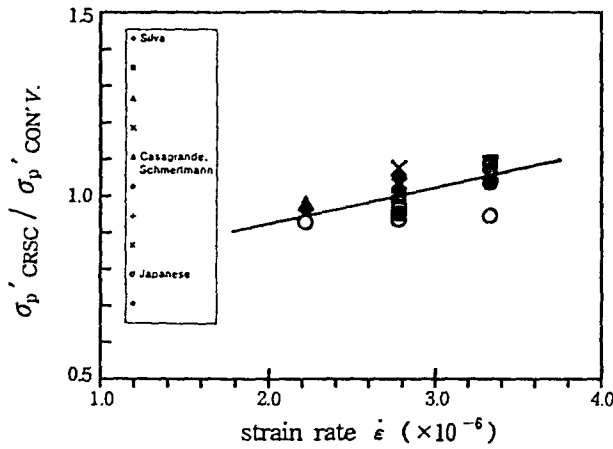
CRSC시험에서 변형률에 따른 선행압밀응력의 변화를 관찰하기 위하여 동일시료에 대하여 실험을 수행한 결과를 표준압밀시험의 것과 비교하여 < 표 5 >에 나타내었다. 또한 이 비 ($\sigma_p'_{CRSC} / \sigma_p'_{CON.V.}$)를 < 그림 4 >에 역시 나타내었다. < 표 5 >와 < 그림 4 >를 보면, 이 비는 어떠한 선행압밀응력의 산출법에 무관하게 변형률에 관계하고 있다. 양산·물금지역의 충격점토에 대해서는 CRSC의 변형률이 $2.78 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 일 때 표준압밀시험의 결과와 좋은 일치를 보여주며, 변형률이 이것보다 작을 때는 이 비가 작게 그리고 클 경우에는 약간 크게 얻어졌다. Leroueil(1996)와 마찬가지로 변형률이 증가할수록 이 비는 증가함을 < 그림 4 >에서 볼 수 있다.

< 표 4 > 각종방법을 이용한 선행압밀응력 및 압축지수

시료번호	변형률 (1/sec)	CRSC (Rowe cell)				Conventional test				비 고
		silva method	casagrande method	schmertmann method	Japanese method	silva method	casagrande method	schmertmann method	Japanese method	
BH 1-19 (14.7 ~15.5m)	2.78×10^{-6}	0.810	0.795 (0.399)	0.795 (0.421)	0.890	0.795	0.790 (0.388)	0.790 (0.413)	0.895	168시간 포화
BH 1-29 (7.6 ~8.4m)	2.78×10^{-6}	0.940	0.900 (0.415)	0.900 (0.460)	1.050	0.975	0.945 (0.421)	0.945 (0.462)	1.135	168시간 포화
BH 1-18 (21.2 ~22.0m)	2.22×10^{-6}	0.915	0.875 (0.560)	0.875 (0.612)	1.010					
	2.78×10^{-6}	0.950	0.895 (0.610)	0.895 (0.635)	1.020	0.950	0.895 (0.621)	0.895 (0.676)	1.090	168시간 포화
	3.33×10^{-6}	0.995	0.945 (0.661)	0.945 (0.701)	1.030					
BH 1-22 (20.5 ~21.3m)	2.22×10^{-6}	0.770	0.715 (0.514)	0.715 (0.558)	0.850	0.890	0.720 (0.512)	0.720 (0.615)	1.070	24시간 포화
	2.78×10^{-6}	0.775	0.720 (0.508)	0.720 (0.560)	0.850					
	3.33×10^{-6}	0.785	0.725 (0.484)	0.725 (0.514)	0.860	0.720	0.700 (0.511)	0.700 (0.543)	0.805	168시간 포화

< 표 5 > 표준압밀시험과 CRSC ($2.22 \times 10^{-6} \sim 3.33 \times 10^{-6}/\text{sec}$)의 선행압밀응력 비교

위 치	변형률 (1/sec)	$\sigma_p'_{CRSC} / \sigma_p'_{CON.V.}$	참 고 문 헌
경남 양산·물금 지역	2.22×10^{-6}	0.963	Silva (1970)
		0.978	Casagrande (1936)
		0.927	Schmertmann (1975) 일본 토질공학회 (1969)
	2.78×10^{-6}	0.964~1.076	Silva (1970)
		0.952~1.029	Casagrande (1936) Schmertmann (1975)
		0.925~1.056	일본 토질공학회 (1969)
	3.33×10^{-6}	1.047~1.090	Silva (1970)
		1.036~1.056	Casagrande (1936) Schmertmann (1975)
		0.945~1.068	일본 토질공학회 (1969)



< 그림 4 > 변형률에 따른 CRSC와 표준압밀시험의 선행압밀응력비
($\sigma_p'_{CRSC} / \sigma_p'_{CON.V.}$) 비교

4.2.2 압축지수

압축지수(C_c)는 $e - \log \sigma_v'$ 곡선에서 처너곡선의 기울기를 의미한다. Schmertmann(1975)는 시료교란의 영향을 고려하여 압축곡선을 재구성하여 압축지수를 수정하여 발표하였다.

< 표 6 >에서는 CRSC시험과 표준압밀시험에 의한 C_c 값의 비를 비교하고 있다. 여기서 CRSC시험의 결과는 변형률을 < 표 6 >에 명시된 조건으로 하였을 경우이며, Casagrande법이라고 정의한 것은 압축곡선에서 처너곡선의 기울기를 의미한다.

< 표 6 > CRSC시험과 표준압밀시험에 의한 압축지수의 비교

시료번호	깊이(m)	$C_c \text{ SCH.} / C_c \text{ CAS.}$		$C_c \text{ CRSC} / C_c \text{ CONV.}$		비 고
		표준압밀	CRSC	Casagrande	Schmertmann	
BH 1-18	21.2~22.0	1.09	1.04	0.98	0.94	$\dot{\epsilon}_v = 2.78 \times 10^{-6} / \text{s}$
BH 1-19	14.7~15.5	1.06	1.06	1.03	1.02	$\dot{\epsilon}_v = 2.22 \times 10^{-6} / \text{s}$
BH 1-22	20.5~21.3	1.06	1.10	0.99	1.03	$\dot{\epsilon}_v = 2.78 \times 10^{-6} / \text{s}$
BH 1-28	7.6~8.4	1.10	1.11	0.99	1.00	$\dot{\epsilon}_v = 2.22 \times 10^{-6} / \text{s}$

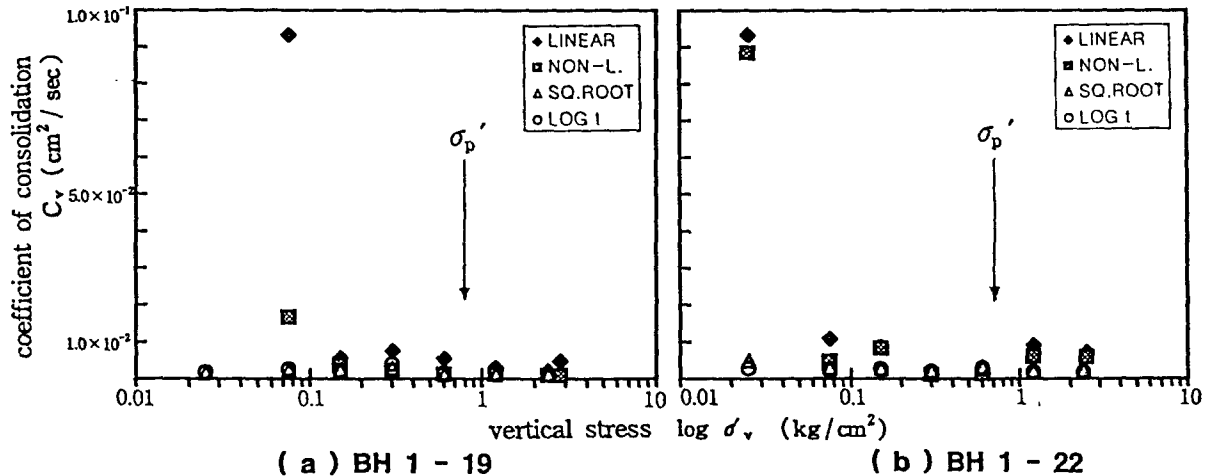
< 표 6 >에서 $C_c \text{ SCH.} / C_c \text{ CAS.}$ 값은 Casagrande에 의한 C_c 값에 대하여 Schmertmann에 의한 값의 비로서, 표준압밀시험 및 CRSC시험에 의한 결과를 각각 나타내고 있다. 이 비는 주어진 변형률에 대하여 1.04~1.11의 범위로 교란에 대한 별도의 보정이 거의 요구되지 않음을 나타내고 있다. 그러나, 교란의 영향으로 선행압밀응력이 작게 산출되었을 경우는 이 비가 작게 나타나지만, 그렇지 않을 경우는 이 비가 증가하게 될 것이다.

< 표 6 >에 역시 두 산정방법으로 구한 표준압밀시험에 의한 C_c 값에 대한 CRSC시험에 의한 값의 비 $C_c \text{ CRSC} / C_c \text{ CONV.}$ 를 보여주고 있다. 이 비는 거의 1.0에 가까운 값으로, 변형률이 $2.22 \times 10^{-6} \sim 2.78 \times 10^{-6} / \text{sec}$ 의 범위에서는 두 실험법에 의한 C_c 값은 유사한 결과를 나타내고 있다.

4.2.3 압밀계수

CRSC시험과 표준압밀시험에 의한 압밀계수(C_v)를 < 그림 5 >에 나타내었다. 이 그림에서 (a)는 BH1-19($\dot{\epsilon}_v = 2.78 \times 10^{-6} / \text{sec}$), (b)는 BH1-22($\dot{\epsilon}_v = 2.78 \times 10^{-6} / \text{sec}$)에 대한 것이다. 그리고 (a)에 대한 $\sigma_p' = 0.80 \text{ kg/cm}^2$, (b)에 대한 $\sigma_p' = 0.72 \text{ kg/cm}^2$ 이다. CRSC시험에 의한 C_v 값은 2장의 식(4) 및 식(6)에 의한 선형(Linear) 및 비선형(NON-L.)해석에 의한 결과이며, 표준압밀시험에 의한 값은 \sqrt{t} 법(SQ. ROOT) 및 $\log t$ 법(LOG t)의 결과를 각각 나타내고 있다.

< 그림 5 >에서 보면, 대체로 CRSC시험을 위한 비선형해석결과가 선형해석결과보다 C_v 값이 약간 작게 얻어졌으며, 초기응력의 재하상태에서 두 결과들은 아주 크게 얻어지는 단점이 있다. 반면에, 표준압밀시험에 의한 C_v 값은 전체의 하중조건에 걸쳐 거의 일정한 값들을 나타내지만, \sqrt{t} 법에 의한 값이 $\log t$ 법에 의한 것에 비하여 약간 크게 얻어졌다. 그리고, 두 경우 모두 선행압밀응력과 무관하게 유효연직응력이 0.1kg/cm^2 를 넘어서면서 C_v 값은 대체로 일정하게 나타났다. 일반적으로 선행압밀응력보다 작은 응력의 범위에서는 C_v 값이 크게 산출되지만, 본 실험 결과는 위의 2경우를 포함하여 모든 경우에 그렇지 않았다.



< 그림 5 > CRSC시험과 표준압밀시험에 의한 압밀계수의 비교

5. 결 론

양산·물금지역의 충적점토에 대하여 일정변형률 압밀특성을 관찰하기 위하여 변형률을 다양하게 하여 CRSC시험을 수행하였으며, 추가로 표준압밀시험을 수행하여 비교한 결과는 다음과 같다.

- 1) 이 지역의 점성토에 적합한 CRSC시험의 변형률은 $2.78 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 이며, 이 값은 ASTM에서 권장하는 변형률과는 상이하였다.
- 2) 변형률을 적절히 조절한 CRSC시험결과에 의한 선행압밀응력은 표준압밀시험에 의한 것과 비슷하며, 포화도가 낮을 때 후자의 실험결과는 상당히 영향을 미쳤다. CRSC시험의 변형률이 증가할수록 선행압밀응력은 증가하였다. 그리고 선행압밀응력은 일본토질공학회법, Silva법 및 Casagrande법의 순으로 크게 얻어졌다.
- 3) Schmertmann(1975)방법으로 시료교란효과를 고려하여 재조정된 압축지수(C_c)는 두 시험법 모두 원래의 C_c 값에 비하여 거의 차이가 없으며, 전자의 방법에 의한 C_c 값은 주로 선행압밀응력의 산출값에 좌우되었다.
- 4) 압밀계수(C_v)는 CRSC시험에서 초기에 크기에 크게 나타나는 경우를 제외하면, CRSC시험 및 표준압밀시험에 의한 값들이 대개 일정하며 비슷한 크기를 나타내었다. 그리고 선행압밀응력보다 작은 응력상태에서 C_v 값이 크게 나타나는 일반적인 경향과는 다르게 얻어졌다.

본 연구를 통하여 시료의 교란이 선행압밀응력 및 압축지수에 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 앞으로 국내에서도 시료의 교란을 최소화하기 위하여 큰 직경의 시추공이 실무에 사용되도록 기대한다.

◀ 참고 문헌 ▶

1. Annual Book of ASTM Standard(1985). "Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils using controlled-strain loading", Vol.04.08, D4186-82, pp.713~719.
2. Burmister, D. M.(1951). The application of controlled test methods in consolidation testing, *ASTM Special Technical Publication* 126, pp.83.
3. Casagrande, A.(1936). The determination of preconsolidation load and it's practical significance, *1st ICSMFE*, Vol.3, pp.60~64.
4. Crawford, C. B.(1964). Interpretation of the consolidation test, *SSMFE*, ASCE, Vol.90, SM5, pp.87~102.
5. Gibson, R. E., England, G. L., and Hussey, M. J. L.(1967). "The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays, I. Finite nonlinear consolidation of thin homogeneous layers", *Geotechnique*, London, Vol.17, No.3, pp.261~273.
6. Gibson, R. E., Schiffman, R. L., and Cargill, K. W.(1981). "The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays", *Canadian Geotechnical Journal*, 18, pp.280~293.
7. Hamilton, J. J., and Crawford, C. B.(1959). "Improved determination of preconsolidation pressure of a sensitive clay", *ASTM, STP, No.254*, pp.254~274.
8. Hanzawa, H.(1989). Evaluation of design parameters for soft clays as related to geological stress history", *Soils and Foundation*, Japan, 29(2), pp.99~111.
9. Leroueil, S. et al.(1990). *Embankments on soft clays*, translated by D. M. Wood, Ellis Horwood, 360p.
10. Leroueil, S.(1996). "Compressibility of clays : Fundamental And Practical Aspects", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.122, No.7, pp.534~543.
11. Mikasa, M.(1973). "The consolidation of soft clay - A new consolidation theory and it's application", Kajama Institution Publishing co., Ltd. (in Japanese)
12. Rowe, P. W., and Barden, L.(1966). "A new consolidation cell", *Geotechnique*, Vol.16, No.2, pp.162~170.
13. Schmertmann, J. M.(1955). The undisturbed consolidation of clay, *Trans*, ASCE, Vol.120, p.1201
14. Silva P. F.(1970). Uma construcao grafica para a determinacao da pressao de pre-adensamento de uma amostra de solo. *COBRAMSEF*, Rio de Janeiro, Vol.2, pp.219~223.
15. Smith R. E. and Harvey E. Wahls(1969). "Consolidation under constant rates of strain", *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol.95, SM2, pp.519~539.
16. Terzaghi, K.(1951). *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley, pp.265~296.
17. Wissa, A.E.Z., Christian, J.T., Davis, E.H., and Heiberg, S.(1971). "Consolidation at constant rate of strain", *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol.97, SM10, pp.1393~1413.

18. 권기호·배종건·고광진·정성교(1996). “낙동강 하류지역의 층적점토에 대한 토질역학적 특성” 96학술발표회 논문집, 대한토목학회(개재예정).
19. 조기영·이남기·정진교·정성교(1996). “낙동강 하류지역의 미완속압밀점토에 대한 토질특성 및 압밀침하예측”, 96학술발표회 논문집, 대한토목학회(개재예정).
20. 日本 土質工學會編(1969), 土質試驗法, pp.289~315.