

# 異方正規壓密粘土의 非排水크리프 破壞

Undrained Creep Rupture of an Anisotropically  
Normally Consolidated Clay

강 병 희\*1  
Kang, Byung-Hee  
홍 의\*2  
Hong, Eui

---

---

## Abstract

The Undrained creep tests on the normally consolidated clays with four different consolidation ratios( $\sigma'_{3c}/\sigma'_{1c} : 1.0, 0.7, 0.5, 0.4$ ) were performed to investigate the effects of anisotropic consolidation on the undrained creep rupture behavior.

The elapsed time to a certain minimum strain rate is decreased with decreasing the value of the consolidation pressure ratio, and the elapsed time to rupture for a certain minimum strain rate is also decreased with decreasing the ratio.

The upper yield strength obtained from the equation suggested by Finn and Shead<sup>(6)</sup> is coincided well with the creep strength irrespective of the magnitude of the consolidation pressure ratio, and the normalized upper yielding strength by mean confining pressure is decreased with increasing the consolidation pressure ratio.

The critical strain for creep rupture, the strain at min. strain rate, is constant irrespective of the magnitude of creep stress, but it increased exponentially with increasing the ratio, It accordingly is dangerous that the potential of in-situ creep rupture is estimated only by the creep rupture test on the isotropically consolidated clay in case of  $K_0$ -value below 1.0.

## 요 지

이방압밀이 비배수크리프파괴거동에 미치는 영향을 연구하기 위하여 4가지의 압밀응력비( $\sigma'_{3c}/\sigma'_{1c} : 1.0, 0.7, 0.5, 0.4$ )로서 정규압밀시킨 점토시료에 대해서 비배수크리프시험을 수행하였다.

어떤 최소변형률속도에 이르는 경과시간은 압밀응력비의 감소에 따라 줄어들고 이 최소변형률속도에 대한 파괴시간도 감소된다. Finn and Shead<sup>(6)</sup>의 제안식에 의해서 구한 상한항복강도는 압밀응력비의 크기에 관계없이 크리프강도와 잘 일치하며 평균구속응력으로서 정규화한 상한항복 강도는 압밀응력비가 증가할수록 감소한다.

---

\*1 정희원, 인하대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*2 현대건설주식회사 해외토목사업본부

최소변형률속도에서의 변형률인 한계변형률은 크리프응력의 크기에 관계없이 일정하나 압밀 응력비와는 지수함수적으로 비례해서 증가한다. 따라서 정지토압계수가 1.0보다 작은 경우에는 원위치에서의 크리프파괴의 가능성을 단지 등방압밀시료의 한계변형률에 의해서 예측하고자 하는 것은 위험하다.

## 1. 서 론

흙의 크리프거동은 관련요소가 많고 복잡하여 간단하게 정의하기는 매우 어려우나 일반적으로 일정한 응력하에서 흙구조의 점성저항(viscous resistance)에 의해서 좌우되는 속도를 갖는 시간의존성 전단 또는 체적변형으로서 정의되며 배수 및 비배수 조건하에서 일어난다. 배수크리프는 일정한 유효응력하에서 발생하는 축차크리프 및 체적크리프이나 비배수 크리프는 배수크리프 거동과 매우 유사하지만 일정한 전응력하에서 일어나는 전단변형으로서 과잉간극수압의 발생과 함께 유효응력은 감소한다.

크리프는 상대적으로 낮은 응력수준하에서는 시간이 오래 경과되면 정지하거나 매우 미세한 속도로 변형이 계속된다. 그러나 상대적으로 높은 응력수준하에서는 크리프는 일정한 속도를 지속하다가 결국에는 가속되어 크리프 파괴에 이르게 된다. 지금까지 크리프에 대한 연구가 많이 수행되었으나 실험실 연구의 거의 대부분은 편위상 등방압밀삼축시험에 의해서 수행되고 있으므로 원위치의  $K_0$ -이방압밀 상태의 조건을 만족시키지 못하고 있다.

흙의 크리프거동에 대한 이방압밀의 영향에 대한 연구는 많은 편은 아니나, Campanella and Vaid<sup>(3)</sup>의  $K_0$ -이방압밀시료에 대한 크리프파괴에 대한 연구, Mitchell<sup>(8)</sup>의 크리프거동은 원위치와 동일한 응력상태에서 재현시켜야 한다는 주장, Ladd, et al<sup>(7)</sup>의  $\overline{CK}_0U$  시험을 통한 이방압밀시료에 의한 크리프거동의 강조등이 있다.

본 연구에서는 정규압밀점토에 대한 비배수

크리프거동만을 고려하여 원위치의  $K_0$ -이방압밀시료와 등방압밀시료의 크리프거동을 비교검토하고 또한 이방압밀시료의 크리프거동을 등방압밀시료에 대한 Singh and Mitchell의 일반적인 크리프방정식에 적용시켜 이 방정식을 평가하고자 한다. 그리고 정규압밀점토의 정지토압계수  $K_0$ 는 흙의 종류 및 상태에 따라 달라지므로 일정한  $K_0$ 값에 한정하지 않고 여러가지의 압밀응력비에 대한 크리프거동을 연구하였다. 따라서 정규압밀점토의  $K_0$ 값을 알게 된다면 본 연구의 결과에 의해서 원위치 점토시료의 비배수크리프거동을 실험실의 등방압밀크리프시험에 의해서 용이하게 추정할 수 있게 된다.

## 2. 흙의 크리프거동

### 2.1 Singh and Mitchell 방정식

Singh and Mitchell<sup>(13)</sup>은 크리프에 대한 실험자료에 의해서 변형률속도-응력수준-시간관계를 식(1) 및 식(2)와 같은 간단한 방정식으로 나타내었다.

$$\ln(\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_{(t_1, D)}) = -m \ln(t/t_1) \quad (1)$$

식중  $\dot{\epsilon}_{(t_1, D)}$  : 기준 단위시간  $t_1$ 에서의 변형률속도

$D$  : 응력수준

$m$  : 기울기

$$\ln(\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_{(t, D_0)}) = \alpha D \quad (2)$$

식중  $\dot{\epsilon}_{(t, D_0)}$  :  $D=0$ 에서의 가상의 변형률 속도

$\alpha$  :  $D - \log \dot{\epsilon}$  직선부분의 기울기

식(1)과 식(2)로부터  $D=0$ 인 경우의 기준단위 시간  $t_1$ 에 대한 변형률속도를  $A$ 라 놓고 구한 변형률속도에 관한 일반식은 식(3)과 같다. 이 식을 다시  $t$ 에 대해 적분하여 변형률에 관한 방정식을  $m$ 값에 따라 식(4)와 식(5)로 나타내었다.

$$\dot{\epsilon} = A \exp(\alpha D) (t_1/t)^m \quad (3)$$

$$\epsilon = \epsilon_1 + \frac{A}{1-m} \exp(\alpha D) [t^{1-m} - 1] \quad (m \neq 1) \quad (4)$$

$$\epsilon = \epsilon_1 + A \exp(\alpha D) \ln t \quad (m=1) \quad (5)$$

이들 식중  $A = \dot{\epsilon}_{(t_1, D_0)}$ 이고  $\epsilon_1$ 은  $t=1$ 일때의 변형률이다.  $m=1$ 인 경우 변형률은 대수시간에 선형적으로 비례하고  $m \neq 1$ 인 경우는 비선형으로서  $m > 1$ 이면 크리프파괴 가능성이 작으나  $m < 1$ 이면  $m$ 값이 작을수록 변형은 더욱더 커지므로 크리프파괴 가능성이 더 커지게 된다.

Singh and Mitchell<sup>(13)</sup>은  $m$ 값을 시험조건의 영향을 거의 받지않는 재료의 특성을 나타내는 상수로 고려 하였으며 자연상태와 재성형 점토 시료에 대한 UU시험 및 CIU삼축압축 시험자료에 의하면  $m$ 값은 0.5에서 1.3까지의 범위를 갖는다고 하였다. 그러나 Edgers, et al<sup>(15)</sup>의 연구에 의하면 작용하는 응력체계가 점토의 비배수크리프거동에 영향을 줄 수 있다고 하였다. 즉 저소성충적점토에 대한 CK<sub>0</sub>U삼축압축크리프시험에서는  $m$ 값이  $0.55 \pm 0.1$ 을 나타낸 반면 직접전단시험에 의하면 0.85~0.9의 값을 나타낸다고 보고하였다.

## 2.2 크리프파괴

점토는 정상적인 비배수시험에서 구한 침투 비배수강도 보다 낮은 지속적인 크리프응력하에서 파괴가 일어날 수 있으며 그 크기는 강도의 약 50%까지 줄어들 수도 있다.<sup>(14)</sup> 크리프에 의한 강도손실은 비배수상태의 연약점토와 배수상태의 과압밀점토의 경우에서 대단히 중요하며 전자는 시공직후의 연약점토의 안정성문

제에, 그리고 후자는 장기안정문제에서 고려되어야 한다.

크리프파괴에 이르기 전에 시간이 경과함에 따라 변형률속도는 계속해서 줄어들다가 어떤 최소값에 이른 다음 다시 급증하여 파괴에 이르게 된다. 이 최소변형률속도는 크리프응력이 감소할수록 줄어들고 파괴에 이른 경과시간 즉 파괴수명(rupture time)은 증가한다. 이 최소변형률속도( $\dot{\epsilon}_{min}$ )와 파괴수명( $t_f$ )과의 관계는 대수준금상( $\log t_f - \log \dot{\epsilon}_{min}$ )에서 선형적인 관계를 나타낸다.<sup>(3)</sup> 따라서 파괴수명은 응력수준에 의해서 좌우되며 어떤 한계응력수준 이하에서는 파괴수명이 무한히 길어져서 파괴가 일어나지 않는다. 이 한계응력을 Murayama and Shibata<sup>(19)</sup>는 상한항복강도(upper yield strength)라 했으며 Finn and Shead<sup>(6)</sup>는 아래의 식(6)과 같이 나타내었다.

$$\sigma_d = \sigma_m + K \dot{\epsilon}_{min}^{1/n} \quad (6)$$

식중  $\sigma_d$  : 축차응력

$\sigma_m$  : 상한항복강도

$n, K$  : 상수

그리고 이들은 Haney clay에 대해서 과압밀비와 배수조건에 관계없이 상수  $n$ 값은 3이라고 했으며 Sherif<sup>(12)</sup>도 과압밀점토인 경우  $n$ 값은 3이라 하였다.

## 3. 실험

사용한 시료는 해안퇴적 점성토와 벤토나이트를 중량비 2:1로 혼합한 시료를 퇴적조에서 인공적으로 퇴적시키고 약 1.5kg/cm<sup>2</sup>의 압력하에서 압밀시킨 시료로서 점토크기(2 $\mu$ m 이하)의 함유량은 약 50% 정도이고 물리적인 성질은 표. 1과 같다. 그리고 등방압밀 비배수 삼축압축시험에 의한 유효내부마찰각은 30°이다. 또한 정지토압계수  $K_0$ 는 Jaky 및 Alpan<sup>(11)</sup>의 관계식에 의하여 약 0.51 정도로 추정되었다.

Table 1 Physical properties of the soil

Liquid limit : 51.7%,	Shrinkage limit : 10.5%
Plasticity index : 25.2,	Sensitivity : 3.6
Water content : 53~55%,	Specific gravity : 2.70
Degree of saturation : 98~100%	

크리프응력을 결정하기 위하여 각각의 압밀 응력비(1.0, 0.7, 0.5, 0.4)에 대해서 연직압밀응력이 2kg/cm<sup>2</sup>이 되도록 각 방향의 응력을 서서히 증가하여 압밀시킨후 비배수압축시험을 하므로써 최대축차응력을 먼저 구하였다. 크리프응력은 최대축차응력을 기준으로해서 0.05kg/cm<sup>2</sup>씩 감소시킨 몇 가지의 응력을 취하였으며 이 크리프응력을 재하하여 파괴까지의 거동을 관찰하였다. 이들 크리프응력중 최저크리프응력은 3일간 재하하여도 크리프파괴가 일어나지 않는 최대크리프응력으로 하였다. 크리프시험의 일람표는 표. 2와 같다.

#### 4. 실험결과 및 토의

##### 4.1 변형률과 경과시간

그림 1은 압밀응력비가 0.7인 시료에 대한 변형률과 경과시간과의 관계를 나타내는 크리프곡선으로서 압밀응력비가 1.0, 0.5, 0.4인 경우도 이와같은 형태의 전형적인 크리프곡선을 나타내었다. 즉 초기에는 변형속도가 줄어드는 1차크리프를, 그후 일정한 변형속도를 갖는 2차크리프를, 그리고 변형속도가 가속되어 궁극

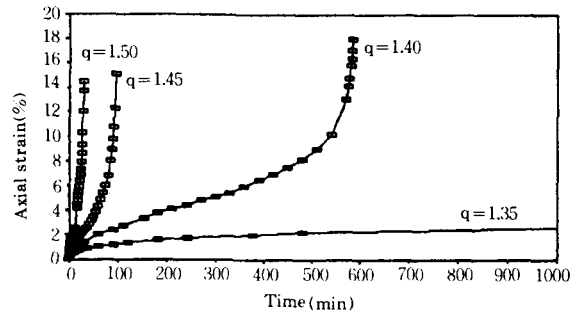


Fig. 1 Creep curve for  $K_c=0.7$

Table 2 The list of creep tests

$K_c$	Consolidation stress			Creep stress		
	$\sigma_{1c}'$	$\sigma_{3c}'$	$(\sigma_1 - \sigma_3)_c$	$q = (\sigma_1 - \sigma_3)$	$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)$	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$
1	2.0	2.0	0	1.64	1.64	1.64
				1.60	1.60	
				1.55	1.55	
				*1.50	1.50	
0.7	2.0	1.4	0.6	1.50	0.90	1.51
				1.45	0.85	
				1.40	0.80	
				*1.35	0.75	
0.5	2.0	1.0	1.0	1.45	0.45	1.46
				1.40	0.40	
				1.35	0.35	
				*1.30	0.30	
0.4	2.0	0.8	1.2	1.45	0.25	1.45
				1.40	0.20	
				1.35	0.15	
				*1.30	0.10	

$K_c$  : consolidation ratio ( $\sigma_{3c}' / \sigma_{1c}'$ )

$\sigma$  : kg/cm<sup>2</sup>

\* no creep rupture

적으로는 파괴에 이르는 3차크리프의 3가지의 영역을 뚜렷하게 보여준다.

크리프파괴를 일으킬 수 있는 최소크리프응력은 압밀응력비가 1.0, 0.7, 0.5, 0.4인 경우 각각 1.55, 1.40, 1.35, 1.30kg/cm<sup>2</sup>로서 동일한 연직압밀응력하에서 압밀응력비가 감소함에 따라 작아짐을 알 수 있다.

#### 4.2 변형률속도와 경과시간

변형률속도와 경과시간과의 전형적인 관계는 그림 2에서 보는 바와 같이 응력을 가한 이후 시간이 경과함에 따라 변형률속도는 줄어다가 최소변형률에 이르러 일정한 속도를 잠시 나타낸 후 다시 급속하게 증가하여 파괴에 이르게 된다. 그림에서 각 응력에 대한 최소변형률속도( $\dot{\epsilon}_{min}$ )점을 연결하면 직선으로 나타나

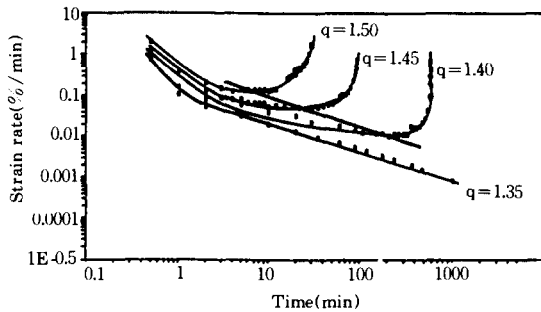


Fig. 2 Creep rate behavior of normally consolidated clay ( $K_c=0.7$ )

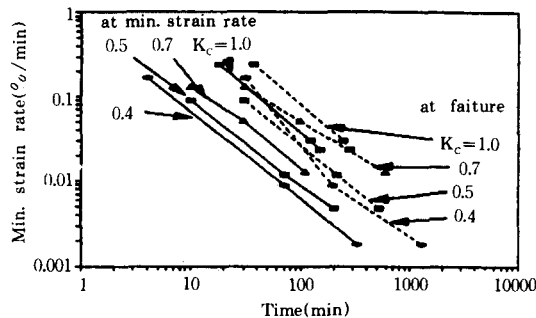


Fig. 3 Relationships between min. strain rate and elapsed times both to min. strain rate and to failure for each  $K_c$ -value

며 이러한 직선관계는 금속의 크리프<sup>(10)</sup>와 프라스틱의 크리프<sup>(11)</sup>에서도 일어난다고 한다.

그림 3에서 최소변형률속도와 이 속도와 파괴에 이르는 경과시간과의 관계직선을 압밀응력비 별로 비교해서 그렸다. 그림에서 압밀응력비가 감소할수록 어느 일정한 최소변형률속에 이르는 경과시간과 파괴에 이르는 시간은 모두 감소함을 볼 수 있다. 따라서 원위치의 크리프 파괴 거동을 등방압밀시료에 의해서 예측했다면, 원위치의 압밀응력비  $K_0$ 가 0.5라고 가정했을때, 크리프가 시작되어 어느 일정한 최소변형률속도에 이르는 시간과 이에 대한 파괴시간은 실제보다 약 3~5배 정도 과대평가되므로 위험한 방향으로 예측하게 됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 Campanella and Vaid<sup>(3)</sup>의 연구에서도 지적된 바 있다.

그림 3에 의하면 압밀응력비의 크기에 관계없이 파괴시간은 최소변형률속도 시간의 약 3배 정도이다. 이는 크리프속도가 최소변형률속도를 지나, 가속되기 시작하면서 파괴를 예고한 후, 상당한 시간이 경과되어야만 비로소 완전한 크리프파괴가 일어남을 의미한다.

그림 4는 최소변형률속도 이후 가속되는 변형률속도와 이 가속변형률 속도가 일어나는 시점으로부터 파괴에 이르기까지의 남아있는 시간(remaining time)과의 관계점을 회귀분석한 결과를 압밀응력비에 따라 구분해서 나타낸 그림이다. 가속변형률 속도가 증가할수록 파괴까지의 여유시간은 짧아짐을 볼 수 있다. 어떤 일정한 가속변형률속도에 대한 파괴까지의 여유시간은 압밀응력비가 작을수록 짧아지는 경향은 보이는 것 같으나 그 차이가 작으므로 단정하기는 어려울것 같다. 따라서 압밀응력비에 관계없이 모든 실험결과를 회귀분석한 관계식은 식(7)과 같으며 이를 그림 5에 그렸다.

$$\log t_r = -0.97 \log \dot{\epsilon}_{ac} + 0.31 \quad (7)$$

$t_r$  : 파괴에 이르는 여유시간(분)

$\dot{\epsilon}_{ac}$  : 최소변형률속도 이후의 가속변형률 속도(%/분)

이 관계식은 Finn and Shead<sup>(6)</sup>가 여러가지 과압밀비를 갖는 시료에 대한 배수 및 비배수 크리프시험에서 얻은 자료에 의해서 구한 관계식과 유사함을 보이고 있다. 따라서 이 관계는 응력크기, 배수조건 및 응력역사 즉 압밀응력비와 과압밀비에 관계없이 점토에 적용된다고 할 수 있다.

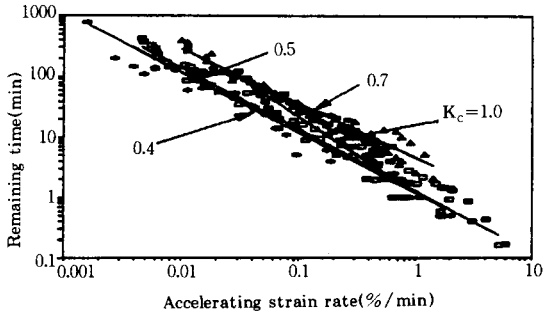


Fig. 4 Relationship between remaining time and accelerating strain rate by  $K_c$ -value

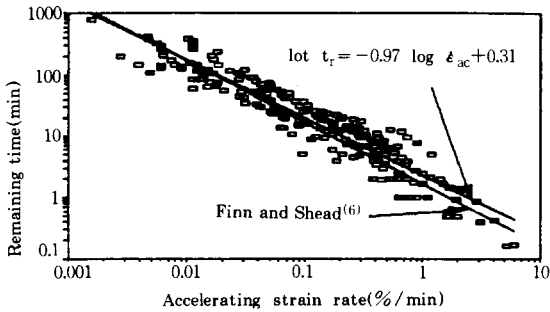


Fig. 5 Relationship between remaining time and accelerating strain rate.

### 4.3 상한항복강도

상한항복강도는 진술한 바와 같이 크리프는 일어나지만 파괴는 일어나지 않는 응력중 가장 큰 축차응력으로서 실제로 적용할 수 있는 크리프 강도로서 Finn and Shead<sup>(6)</sup>가 제안한 식(6)에 의해서 구하였다.

압밀응력비가 1.0, 0.7, 0.5, 0.4인 경우 상한항

복강도는 각각 1.51, 1.32, 1.32, 1.33kg/cm<sup>2</sup>로서 압밀응력비가 0.7인 경우를 제외하고는 크리프파괴가 일어나는 최소크리프응력과 크리프파괴가 일어나지 않는 크리프응력과의 사이에 있으며 이를 미루어 보아 상한항복강도는 압밀응력비에 관계없이 크리프강도와 비교적 잘 일치하는 것으로 판단된다.

그림 6에 의하면 상한항복강도의 크기는 압밀응력비에 관계없이  $\overline{CKU}$  시험으로부터 구한 최대축차응력의 약 90%로서 압밀응력비가 증가할수록 최대축차응력과 함께 약간 증가하는 경향이 있다. 그림 7에서는 최대축차응력과 상한항복강도를 평균압밀응력으로 정규화하여 이 두 값을 압밀응력비의 크기에 따라 비교하였다. 이들 정규화된 응력은 압밀응력비가 클수록 다같이 감소하며 압밀응력비가 0.5인 경

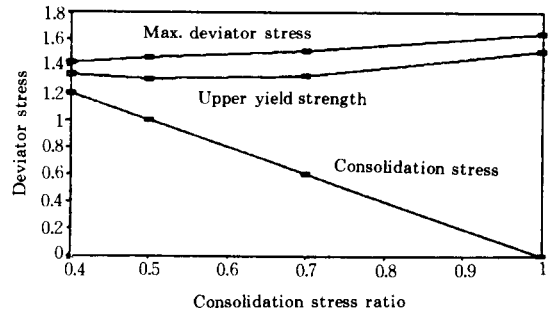


Fig. 6 Upper yield strength for different consolidation stress ratio

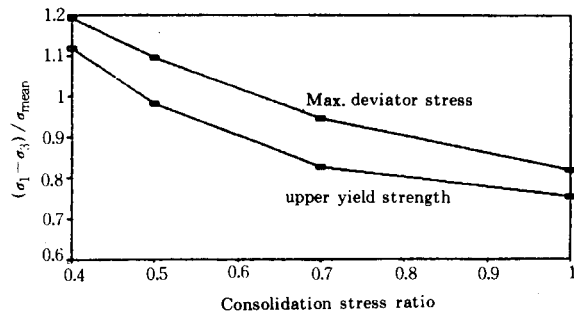


Fig. 7 Normalized upper yield strength and max deviator stress by mean confining stress versus consolidation stress ratio

우가 1.0인 경우보다 둘다 약 30%정도 더 크다. 이는 점토가 이방압밀응력하에서 흙의 구조가 최대압밀 주응력방향의 응력에 더 잘 저항할 수 있도록 이방성으로 발달되었기 때문인 것으로 생각된다.

#### 4. 4 한계변형률

최소변형률속도에서의 변형률을 한계변형률이라고 정의하면 이 한계변형률은 크리프응력의 크기에 관계없이 일정하였으며 이 값을 압밀응력비의 크기에 따라 그림 8에서 비교하여 나타내었다. 이 한계변형률은 압밀응력비가 클수록 지수함수적으로 증가하며 압밀응력비가 1.0인 경우는 0.5인 경우보다 약 6배정도 크며 이는 Campanella and Vaid<sup>(3)</sup>의 연구와도 잘 일치된다. 이러한 사실을 미루어 보아 등방압밀시료의 한계변형률에 의해서 원위치의 크리프파괴를 예측하는 것은 대단히 위험하다.

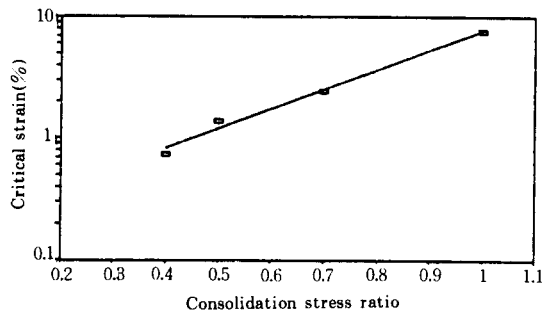


Fig. 8 Variation of critical strain for different consolidation stress ratio.

#### 4. 5 Singh and Mitchell 크리프방정식의 적용

Singh and Mitchell의 크리프방정식인 식 (3)은 비파괴크리프에 대한 방정식으로서 계수  $m$ 은 응력의 크기에 관계없이 일정한 재료 특성치이다. 그러나 크리프파괴의 경우에는

응력의 크기에 따라 달라진다는 사실을 그림 9와 그림 10에서 볼 수 있다. 즉 크리프파괴응력이 클수록  $m$ 값은 감소하고, 또한 압밀응력비가 작을수록 감소하는 경향을 보여준다.

그리고 본 연구에서 파괴를 일으키지 않은 크리프응력에 대한  $m$  값을 압밀응력비의 크기에 따라 그림 11에 나타내었으며 비파괴크리프에 대한  $m$  값 역시 압밀응력비가 작을수록 감소하는 경향을 보여준다.

그리고 Singh and Mitchell 방정식 식(3)은 크리프파괴곡선에서도 적용될 수 있다는 것을 그림 11에서 보여준다. 즉 크리프파괴응력의 크기에 대한  $m$  값을 적용시켜서 그런 곡선은 실험곡선과 완전히 일치하였다.

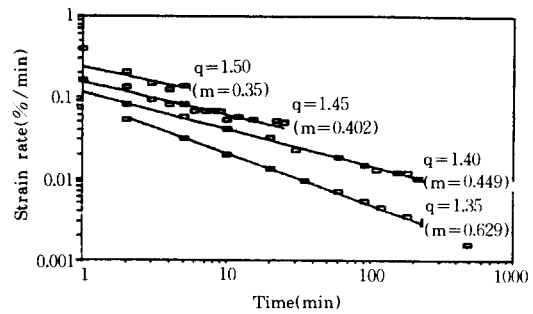


Fig. 9 Variation of strain rate with elapsed time for  $K_c=0.7$

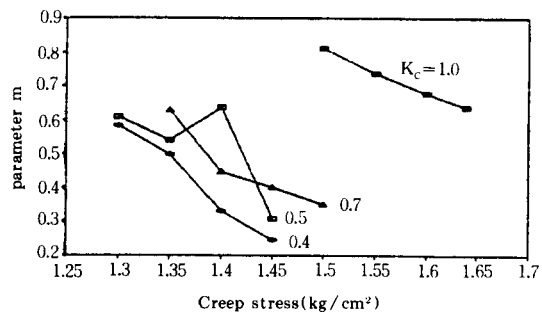


Fig. 10 Variation of parameter  $m$  with creep stress for different consolidation stress ratio

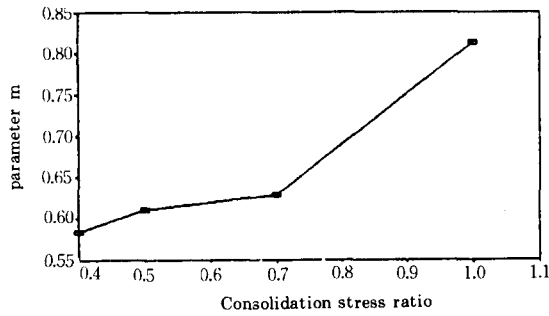


Fig. 11 Parameter m for no creep rupture

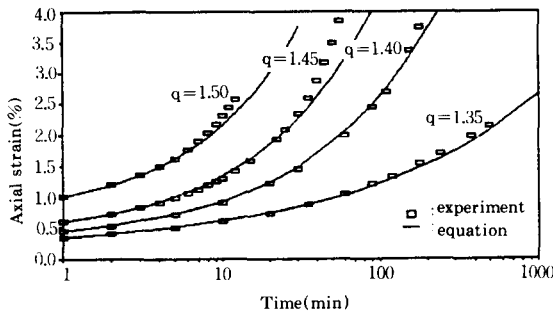


Fig. 12 Creep rupture curves by Singh and Mitchell equation ( $K_c=0.7$ )

## 5. 결 론

이방압밀이 정규압밀점토의 비배수크리프 파괴거동에 미치는 영향을 연구하기 위하여 4가지의 압밀응력비로서 정규압밀시킨 점토에 비배수크리프파괴시험을 한 결과 다음과 같은 사실을 알았다.

- 1) 압밀응력비의 크기에 관계없이 크리프응력의 크기가 감소할수록 최소변형률속도는 감소하고 이 속도에 이르는 시간은 증가한다.
- 2) 최소변형률속도와 경과시간과의 관계에서 어떤 일정한 최소변형률 속도에 이르는 시간과 계속해서 파괴에 이르는 경과시간은 압밀응력비가 작을수록 모두 감소한다.
- 3) 크리프파괴시간은 최소변형률속도가 일어난 시간보다 압밀응력비의 크기에 관계없이 약 3배정도 크다.

4) Finn and Shead<sup>(6)</sup>가 제안한 식으로부터 구한 상한항복강도는 압밀응력비의 크기에 관계없이 크리프강도를 잘 나타내어 준다.

5) 평균압밀응력으로 정규화한 상한항복강도는 압밀응력비가 클수록 감소한다.

6) 최소변형률속도에서의 변형률인 한계변형률은 크리프응력의 크기에 관계없이 일정하며 압밀응력비가 클수록 지수함수적으로 증가한다. 따라서 정지토압계수가 1.0보다 적은 경우 원위치의 크리프파괴를 등방압밀시료의 한계변형률에 의해서 판단하는 것은 대단히 위험하다.

7) Singh and Mitchell 방정식의 m계수는 비파괴크리프의 경우 응력의 크기에 관계없이 흙의 종류에 따라 일정한 값을 보인다<sup>(11)</sup>고 하나 이 값은 압밀응력비가 클수록 크다. 그러나, 크리프파괴응력에 대해서는 m계수가 크리프응력이 클수록 일정하지 않고 감소하며 또한 압밀응력비가 클수록 큰 경향을 보인다.

8) Singh and Mitchell 방정식은 크리프파괴에 대해서도 응력의 크기에 따라 변하는 적절한 m값을 적용시켜주므로써 그 응력에 대한 크리프파괴곡선을 나타낼 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 인하대학교 1992년도 연구비 지원에 의하여 수행 되었으며 이에 감사를 표합니다.

## 참 고 문 헌

1. Alpan, I., "The empirical evaluation of the coefficient  $K_0$  and  $K_{OR}$ ," Soil and Foundations, Vol. 7, No. 1, 1967, pp.31~40.
2. Brooker, E. W. and Ireland, H. O., "Earth pressure at rest related to stress history," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 2, No. 1, 1965, pp.1~15.
3. Campanella, R. G. and Vaid, Y. P., "Triaxial and plane strain creep rupture of an undisturbed clay," Canadian Geotechnical Journal,



- Vol. 11, No. 1, 1974, pp.1~10.
4. Casagrande, A. and Wilson, S. D., "Effect of rate of load on the strength of clays at constant water content," *Geotechnique*, Vol. 2, No. 3, 1951, pp.251~263.
  5. Edgers, L., Ladd, C. C. and Christian, J. T., "Undrained creep of Atchafalaya Levee foundation clays," Report R73-16, No. 319, Dept. of Civil Eng., MIT, Cambridge, 1973, 600p (2 Vol.)
  6. Finn, W. D. L. and Shead, D., "Creep and creep rupture of an undrained sensitive clay," *Proc. 8th ICSMFE*, Vol. 1-1, 1973, pp.135~142.
  7. Ladd, C. C., et al., "Stress-deformation and strength characteristics", *Proc. 9th ICSMFE*, state-of-the-art. Vol. 2, pp.421~494.
  8. Mitchell, J. K., *Fundamentals of Soil Behavior*, John Wiley, pp.283~339.
  9. Murayama, S. and Shibata, T., "Rheological properties of clay," *Proc. 5th ICSMFE*, Paris, Vol. 1, 1961, pp.269~273.
  10. Pao, Y. H. and Marin, J., "Prediction of creep curves from stress-strain data," *Proc. ASTM*, Philadelphia, Pa-52, 1952, pp.55~57.
  11. Saito, M. and Uezawa, H., "Failure of soil due to creep," *Proc. 5th ICSMFE*, Paris, 1961, Vol. 1, pp.315~318.
  12. Sherif, M. A., "Flow and Fracture of Seattle Clays," *Research Series No. 1*, Univ. of Washinton, Soil Engineering, 1965.
  13. Singh, A. and Mitchell, J. K., "General stress-strain-time function for soils," *J. SMFD, ASCE*, Vol. 94, No. SM1, 1968, pp.21~46.
  14. Singh, A. and Mitchell, J. K., "Creep potential and creep rupture of soils," *Proc. 7th ICSMFE*, Vol. 1, 1969, pp.379~384.

(접수일자 1993. 9. 16)