



인발력을 받는 Kaolinite 지반의 장기변위 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Creep in Kaolinite Soil Subjected to Uplift Capacity

이 준 대* · 최 기 봉**

Jun-Dae Lee · Gi-Bong Choi

(1998년 8월 25일 접수, 1999년 4월 16일 채택)

ABSTRACT

When plate anchors are embedded in soft clay, they may undergo a deformation under the pressure of sustained load. The critical depth at which the transition from a shallow to a deep anchor takes place depends on the properties of soil.

Laboratory model tests were performed for the short-term net ultimate uplift capacity of a circular anchors with respect to various embedment depths and moisture content in saturated kaolinite.

The tests have been conducted with the anchor at two different moisture contents. Based on the model test results, empirical relationships between the net load, rate of strain, and time have been developed.

In creep tests of kaolinite for load versus ultimate uplift capacity, the displacement of plate anchors rapidly increases during the primary stage but thereafter becomes constant over a period of time.

1. 서 론

기초 지반의 내부에서 인발력이 작용하면 그 지반을 구성하고 있는 흙의 종류, 함수비, 포화

도 및 하중조건 등에 따라 변위가 발생한다. 그러므로 인발력을 받는 구조물을 설계하거나 시공할 때 기초 지반의 변위를 억제하기 위하여 앵커를 사용하고 있다.

* 세명대학교 토목공학과

** 충청대학교 산업안전과

기초 지반에 근입된 앵커는 연구와 시공에서 많은 기술적 문헌 연구가 이루어져 왔으며, 해저에서도 앵커의 중요성은 인식되어 많은 기술이 개발 되어왔다. 아직까지도 깊은 해저 속의 작업은 중요성이 증가되고 있으며 해저 앵커는 장기 혹은 정지, 반복 그리고 장기-반복 등의 광범위한 하중 조건을 받을 수 있기 때문에 필수적으로 앵커의 인발력에 대한 이해가 있어야 한다.

앵커를 사용한 지반의 인발 저항력에 대한 연구로 Vesic은 반무한이고 균질, 균등성 고체의 표면에 근접한 등근 공동의 확장에 대한 문제를 연구한 바 있으며 Mariupol'skii에 따르면 앵커의 특징은 흙에 작용하는 힘이 중력에 반대로 작용하기 때문에 흙에서 인장응력이 증가하는 얇은 앵커는 위에 덮여진 흙 층의 자중에 의해 흡수되지는 않을 것이라고 하였다.

Meyerhof와 Adams도 점토 내부에 있는 앵커의 인발력을 연구하였으며, 장기 인발력은 점토에서의 배수 마찰 변수와 관계될 것이라고 생각했고, 얇은 깊이에 있는 점토에서 앵커의 장기 인발력은 단기 인발력 보다 적을 것이라고 결론지은 바 있다.

모래에 근입된 앵커의 거동에 대해서는 많은 연구를 통해 극한 인발력을 예측하였으나, 포화 점토에 근입된 앵커의 극한 인발력 결정을 위한 연구는 다소 부족한 실정이다. 점토에서 앵커의 변위는 시간 경과에 따라 계속될 것이며 이것은 앵커의 하중 지지력을 감소시켜 앵커가 흙으로부터 인발되는 위험을 초래할 것이기 때문에 점토에 근입되어 인발력을 받는 앵커의 거동을 예측하는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 대표적인 점토광물인 kaolinite에 근입된 앵커에 전단 강도와 근입비 등을 변화시켰을 때 앵커에 미치는 영향을 실험을 통하여 비교 분석하고 앵커에 작용하는 단기 극한 인발력과 kaolinite 지반의 장기변위 특성을 검토하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 시료의 물리적 성질

본 실험은 점토 광물의 특성을 잘 나타내고 있으며 도자기용 재료로 사용되고 있는 kaolinite를 시료로 사용하였다. 사용된 시료의 물리적 성질과 토질 특성은 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1 Physical properties of kaolinite

Sample	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Gs
Kaolinite	62.3	36.5	25.8	2.68

Table 2 Properties of kaolinite

Test Series	w (%)	$c_u(t/m^2)$	$\gamma(t/m^3)$
K1	50.0	0.590	1.671
K2	55.0	0.437	1.613

2.2 실험 장치

실내 실험에 사용된 앵커는 플라스틱으로 지름은 50mm이고 두께는 13mm로 제작되었으며, 앵커 강봉은 지름이 6mm로 강봉에 나사를 만들어 plexi-glass의 중심에 고정시켰다. 앵커 강봉은 케이블의 한쪽 끝에 연결되었으며 케이블의 다른 끝은 추에 묶어 도르레를 이용하여 이동되도록 하였다.

실험은 830mm(길이)×830mm(폭)×900mm(높이)의 강제 상자 속에 넣어진 직경 350mm, 높이 500mm인 원형의 용기 속에서 수행되었으며 점토의 흡입력이 제거될 수 있도록 직경 50mm의 플라스틱 파이프를 용기의 바닥에 두어 공기가 통하도록 하였다.

실험을 수행하는 동안 하중에 대한 인발 거동은 LVDT로 수치화 하였고 각각의 하중과 시간에 따른 변위 측정 결과는 퍼스널 컴퓨터와 연결하여 저장되도록 하였다. 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같다.

2.3 실험 방법

실험은 지속적인 하중을 받고 있는 앵커가 근입된 kaolinite 지반의 장기변위 특성을 규명하기 위하여 수행되었으며, 실험을 위해 준비된 시료는 일정한 함수비를 갖도록 물로 반죽되어 몇 개의 플라스틱 통에 넣어지고 일주일 동안

습윤 상태로 양생되었다.

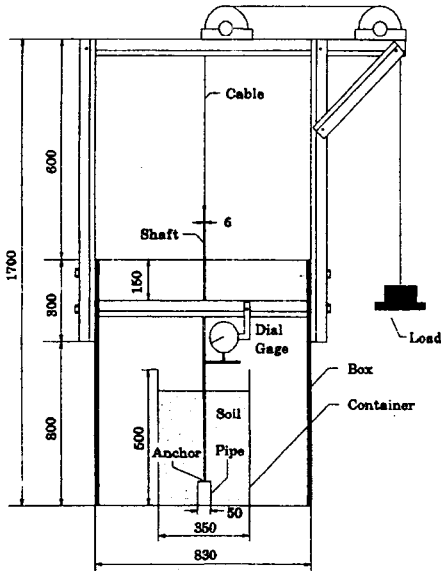


Fig. 1 Schematic diagram of the model test arrangement

실험을 위하여 습윤토를 압축시키며 25mm 두께의 층으로 일정한 높이까지 쌓은 후 24시간 동안 양생하였고, 인발력은 LVDT로 수치화되었다. 흙의 비배수 전단강도는 각 인발 실험을 마친 후 베인 시험장치에 의해 측정되었다.

플라스틱 파이프를 공기 구멍을 만들어 점토의 흡입력을 제거하였으며 극한 인발력의 35%, 50%, 75%인 하중을 추에 가하고 앵커 상향 움직임의 진행을 일정한 시간 동안 측정하여 파괴에 대한 안정성을 검토하였다. 모든 실험은 근입비 H/D=1, 2, 3, 4, 5에 대하여 비배수 전단강도가 서로 다른 2개의 kaolinite 시료에서 이루어졌다.

3. 분석 및 고찰

Kaolinite에 근입된 앵커에서 인발력에 대한 장기 변위의 영향을 비교 분석하고 파괴에 대한 안정성 검토에 이용하기 위하여 Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 단기 극한 인발력 실험으로부터 얻어진 극한 인발력의 35%, 50%, 75% 하중을 추에 가

하고 앵커의 상향 움직임이 거의 멈출 때까지 측정하였다.

점토에서 앵커의 변위는 지속 하중에서 발생할 것이며 시간 경과에 따라 계속될 것이고 이것은 앵커의 하중 지지력을 감소시켜 앵커가 흙으로부터 인발되는 위험을 초래할 것이다.

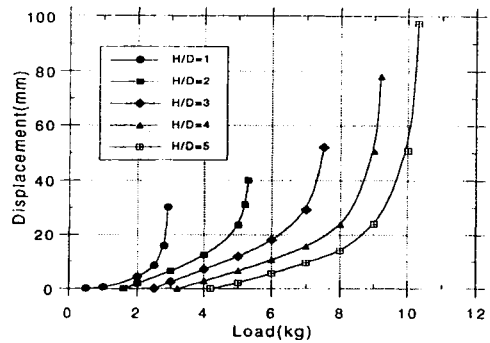


Fig. 2 Load-displacement curve in kaolinite(K1)

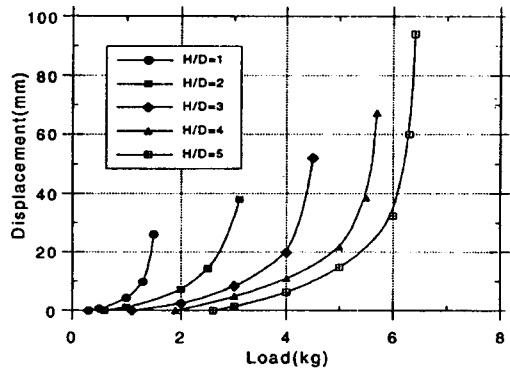


Fig. 3 Load-displacement curve in kaolinite(K2)

Fig. 4에서 Fig. 8까지는 K1($c_u=0.59 \text{ t/m}^2$)인 경우 근입비가 1에서부터 5일 때의 지속 하중에 대한 시간과 변위의 관계를 나타낸 것으로 실험 결과 근입비가 1일 때는 극한 인발력의 35% 일 때 0.26mm에서부터 0.42mm까지의 변위가 하중 재하 후 5분 동안 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 증가를 나타냈다. 극한 인발력의 50% 일 때는 0.91mm에서부터 1.68mm까지 75% 일 때는 3.33mm에서부터 4.96mm까지의 변위가 발생하며 하중 재하 후 각각 20분과 30분 동안 변

위가 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 증가를 나타냈다.

근입비가 5일 때 지속 하중에 대한 시간과 변위의 관계는 극한 인발력의 35%일 때는 2.93 mm까지의 변위가 발생하여 하중 재하 후 10분 동안, 50%일 때는 6.61mm까지 30분 동안, 75% 일 때는 15.67mm까지 60분 동안 급격히 변위가 증가하고 그 이후부터는 완만한 증가를 나타냈다.

이상의 실험 결과로부터 근입비가 증가할수록 변위도 증가하며 각 근입비에 대한 지속 하중이 증가할수록 변위와 변위 지속 시간도 증가함을 알 수 있다.

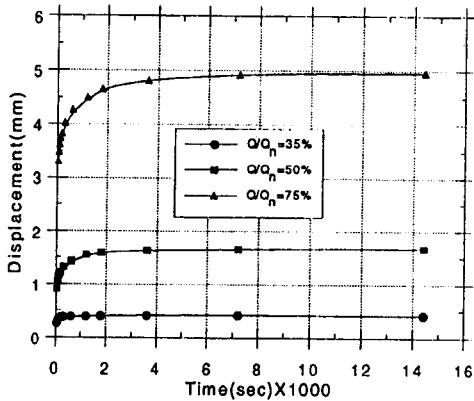


Fig. 4 Time-displacement curve for H/D=1 in kaolinite (K1)

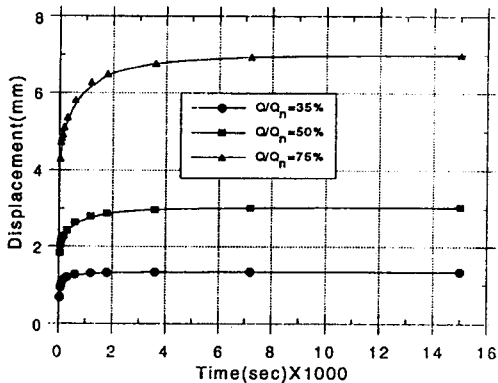


Fig. 5 Time-displacement curve for H/D=2 in kaolinite (K1)

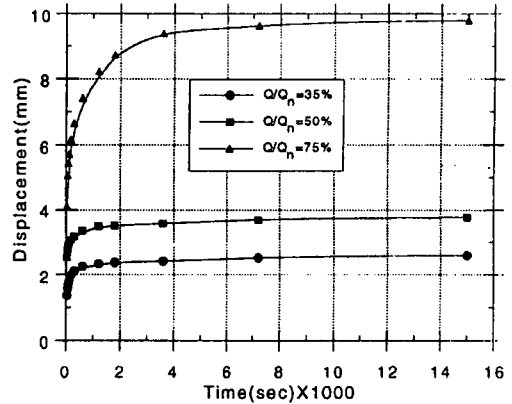


Fig. 6 Time-displacement curve for H/D=3 in kaolinite (K1)

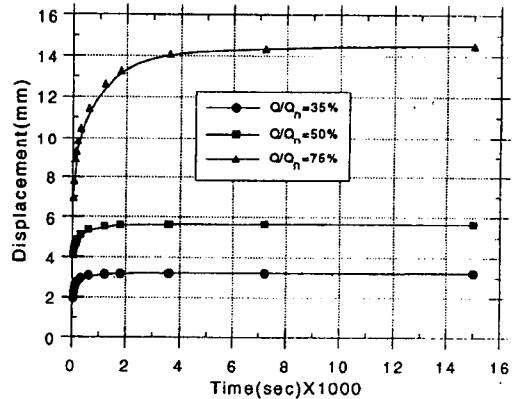


Fig. 7 Time-displacement curve for H/D=4 in kaolinite (K1)

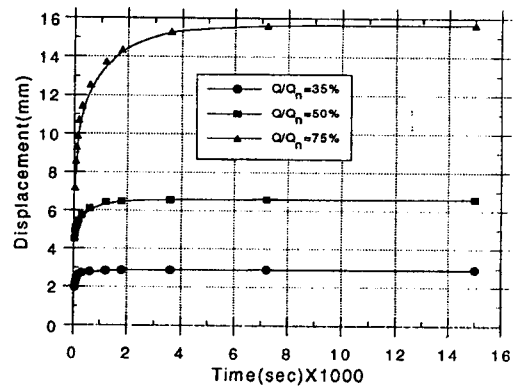


Fig. 8 Time-displacement curve for H/D=5 in kaolinite (K1)

Fig. 9에서 Fig. 13까지는 $K2(c_u=0.437 \text{ t/m}^2)$ 인 경우 근입비가 1에서부터 5일 때의 지속하중에 대한 시간과 변위의 관계를 나타낸 것이다.

실험결과 근입비가 1인 경우 극한 인발력의 35%일 때는 2.31mm까지 하중 재하 후 10분 동안, 50%일 때는 3.96mm까지 30분 동안, 75%일 때는 9.50mm까지 하중 재하 후 50분 동안 변위가 급격히 증가하나 이후부터는 완만한 경향을 나타냈다.

근입비가 5일 때 지속 하중에 대한 시간과 변위의 관계는 극한 인발력의 35%일 때는 4.85 mm까지의 변위가 하중 재하 후 15분 동안, 50%일 때는 8.80mm까지 30분 동안, 75%일 때는

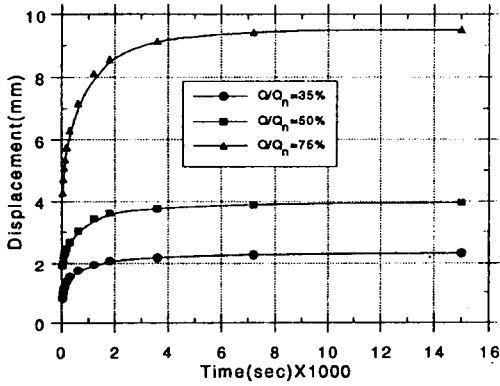


Fig. 9 Time-displacement curve for H/D=1 in kaolinite (K2)

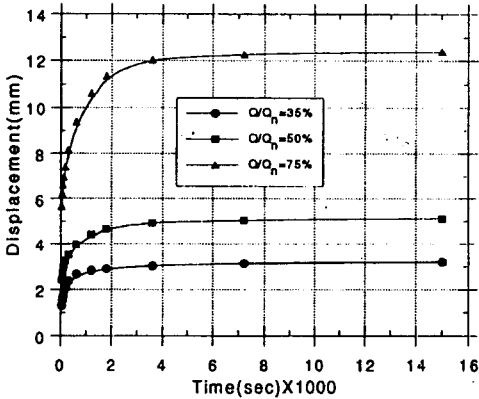


Fig. 10 Time-displacement curve for H/D=2 in kaolinite (K2)

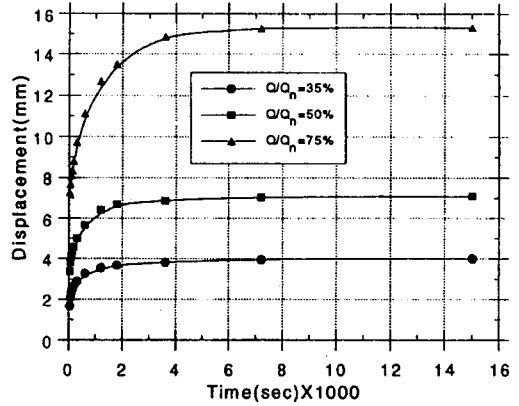


Fig. 11 Time-displacement curve for H/D=3 in kaolinite (K2)

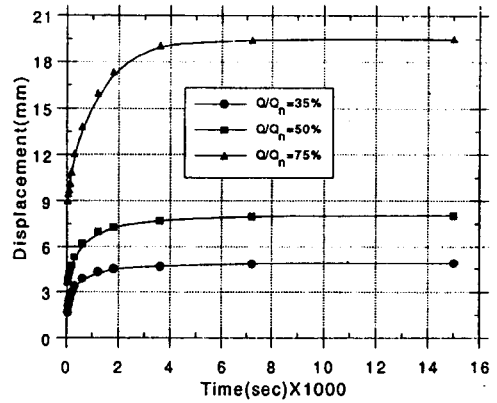


Fig. 12 Time-displacement curve for H/D=4 in kaolinite (K2)

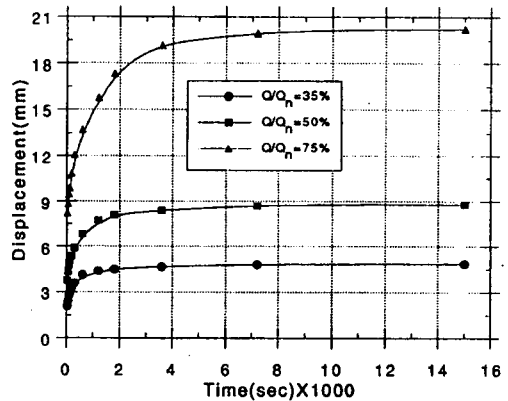


Fig. 13 Time-displacement curve for H/D=5 in kaolinite (K2)

20.21mm까지 70분 동안 변위가 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 경향을 나타냈다.

이상의 실험 결과로부터 근입비가 증가할수록 그리고 지속 하중이 증가할수록 변위도 증가하며 전단 강도가 증가할수록 하중 재하 후 변위는 감소하였다. 그리고 극한 인발력의 35%, 50%, 75%인 하중을 재하 하였을 때 모든 경우 재하 초기에는 변위가 급격히 증가하나 이후부터는 완만한 경향을 나타냈으며 어떤 경우에도 파괴는 발생하지 않았다.

4. 결 론

인발력을 받는 Kaolinite 지반의 장기변위 특성을 고찰하기 위하여 전단강도가 서로 다른 시료를 사용하여 극한 인발력을 구하고, 각 근입비의 변화에 대하여 극한 인발력의 하중을 35%, 50%, 75% 가한 실내 모형 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 근입비와 지속하중이 증가할수록 급격한 변위의 증가 시간은 크게 나타났으며, 전단강도가 큰 경우($c_u=0.59 \text{ t/m}^2$)보다 전단강도가 작은 경우($c_u=0.437 \text{ t/m}^2$)의 변위 지속시간이 더 큰 경향을 보였다.
- 2) 각 근입비에 대하여 극한 인발력의 35%와 50% 하중을 재하 하였을 때 변위가 급격히 증가하는 시간은 30분 이하였으며, 극한 인발력의 75% 하중을 재하 하였을 때는 최대 70분의 시간이 경과하면서 서서히 완만해지는 경향을 보였다.
- 3) 극한 인발력의 35%, 50%, 75%인 하중을 재하 하였을 때의 변위는 모든 경우에서 동일한 하중 재하시의 단기 인발력 변위보다 크게 나타났으며, 극한 인발력의 75%까지 하중을 재하 하였을 때 장기변위에 의한 파괴는

발생하지 않았다.

참 고 문 헌

- 1) 勝見雅, 岩成 敬介, アースアンカの引抜き抵抗力について, 日本土木學會第35回年次學術講演集第3部, pp. 470~471, 1980.
- 2) Taylor, R.J., and Lee, H.J., Direct Embedment Anchor Holding Capacity, Technical Note N-1245, Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme, California, 1972.
- 3) Vesic, A.S., Cratering by Explosives as an Earth Pressure Problem, Proceedings, Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Vol. 2, pp. 427~431, 1965.
- 4) Mariupol'skii, L.G., The Bearing Capacity of Anchor Foundations, Osnovaniya, Fundamental Mekhanika Gruntov, Vol. 3, No. 1, pp. 14~18, 1965.
- 5) Meyerhof, G.G., and Adams, J.I., The Ultimate Uplift Capacity of Foundations, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 5, No. 4, pp. 225~244, 1968.
- 6) Andreadis, A., Harvey, R.C., and Burley, E., Embedded Anchor Response to Uplift Loading, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107, No. GT1, pp. 59~78, 1981.
- 7) Kuhn, M.R., and Mitchell, J.K., The Modeling of Soil Creep with the Discrete Element Method, Engineering Computer, Vol. 9, pp. 277~287, 1992.