

## Bentonite에 근입된 앵커의 Creep 특성

### Creep of Plate Anchors Embedded in Bentonite

신 방 응\*·이 준 대\*·신 진 환\*\*·이 봉 직\*\*  
B. W. Shin·J. D. Lee·J. H. Shin·B. J. Lee

#### ABSTRACT

Anchors find their use in providing tie-back resistance for submerged footings, transmission towers, tunnels and ocean structures. 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 bentonite.

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. Test results are as follows.

- 1) In creep tests 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.
- 2) Displacement increased with the increase of the sustain load and embedded ratio in soil.
- 3) If the load is less than or equal to 75% of the short-term ultimate uplift capacity, a complete pullout does not occur due to creep.

#### 1. 서 론

인발력을 받는 기초 설계를 위해 과거부터 여러

형태의 앵커(판 앵커, 직접 근입 앵커, 나선형 앵커, 그라우팅 앵커 등)가 각종 건설 공사에 사용되고 있다.

---

\* 충북대학교 토목공학과

\*\* 충주산업대학교 산업안전공학과

앵커를 사용한 지반의 인발 저항력에 대한 본격적인 연구는 1960년 이후 Balla<sup>2)</sup>에 의하여 시작되었으며 조밀한 모래에서 얇은 앵커 기초에 의한 지반 파괴 형태의 결정과 인발력의 분석에 관한 제안으로 이러한 파괴 형태는 상부에서는 대략적으로 원형이며 지표면과 일정한 접촉각을 갖는다고 하였다.

점토의 인발력에 대한 연구는 Adams와 Hayes<sup>1)</sup>가 허용하중 상태에 있는 앵커의 장기 변위는 점착성이 있는 토질에 근입되어 있을 때 매우 중요하다는 것을 처음으로 증명하였다. 이들은 점토에서 많은 실험을 수행하였으며 장기 인발력이 단기 인발력보다 실제로는 더 낮다는 것을 관찰하였다.

Meyerhof와 Adams<sup>7)</sup>도 점토 내부에 있는 앵커의 인발력을 연구했으며 장기 인발력은 점토에서의 배수 마찰 변수와 관계될 것이라고 생각했고 얇은 깊이에 있는 점토에서 앵커의 장기 인발력은 단기 인발력보다 적을 것이라고 결론지었다.

해양 구조물에서 폭풍우는 커다란 인발력을 발생시킬 수 있으며 이러한 인발력은 기초를 통해 흙으로 전달됨에 따라 인발력을 받는 기초의 설계에서는 인장 하중을 받는 흙의 저항과 앵커의 장·단기 거동<sup>3,4)</sup>을 검토해야 한다.

현재까지 앵커의 극한 인발력에 관한 연구는 주로 모래에 근입된 앵커의 거동<sup>8)</sup>에 대해 이루어졌으나 포화 점토에 근입된 앵커의 극한 인발력 결정<sup>5,6)</sup>을 위한 이론적이고 실험적인 결과는 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 필요하다.

따라서 본 연구는 대표적인 점토인 bentonite에 근입된 앵커의 creep 특성을 규명하여 구조물의 설계와 시공시 구조물의 안정성을 확보하는데 목적이 있다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 시료의 물리적 성질

실험에 사용한 시료는 점토 광물의 특성을 잘 나타내고 있는 Bentonite이며 화산재가 풍화되어 생

성된 비교적 순수한 Bentonite는 Montmorillonite가 주성분으로 되어있다. 사용시료의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Physical properties of bentonite

Sample	LL(%)	PL(%)	PI(%)	G <sub>s</sub>
Bentonite	148.5	45.8	102.7	2.74

### 2.2 실험 장치

실내 실험에 사용된 앵커는 플라스틱으로 지름은 50mm이고 두께는 13mm로 제작되었으며, 앵커 강봉은 지름이 6mm로 강봉에 나사를 만들어 플라스틱의 중심에 고정시켰다. 앵커 강봉은 cable의 한쪽 끝에 연결 되었으며 cable의 다른쪽 끝은 추에 묶어 도르레를 이용하여 이동되도록 하였다.

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

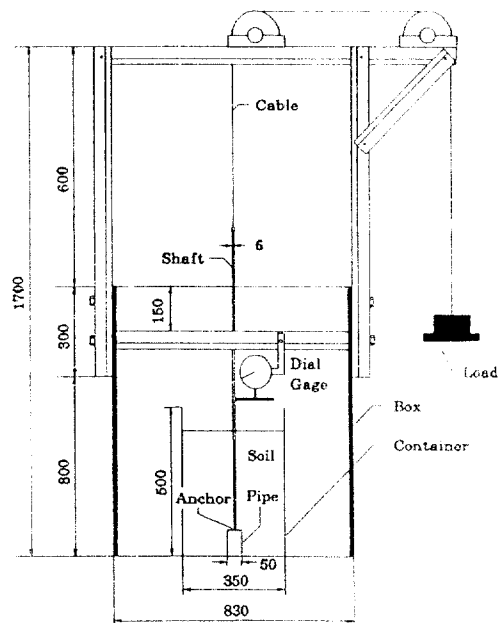


Fig. 1 Schematic diagram of the model test arrangement

실험을 수행하는 동안 하중을 단계적으로 추에 가하였으며 하중에 대한 인발 거동은 1/100mm까지 측정할 수 있는 다이얼 게이지를 사용하였고, LVDT는 다이얼 게이지로 부터 읽은 값을 수치화 하였다.

각각의 하중과 시간에 따른 변위 측정 결과는 퍼스널 컴퓨터와 연결하여 저장되도록 하였다. 실험에 사용된 실험 장치의 모형도는 Fig. 1과 같다.

2.3 실험 방법

실험은 일정 시간동안 지속적인 하중을 받으며 bentonite에 근입 되어있는 앵커의 creep 특성을 규명하기 위해 수행되었다. 실험을 위해 준비된 시료는 일정한 함수비를 갖도록 물로 반죽되어 몇개의 플라스틱 통에 넣어지고 일주일 동안 습윤 상태로 양생 되었다.

앵커의 실험을 시작하기 위하여 용기를 준비하고 습윤도를 플라스틱 통에서 꺼내어 압축시키며 25mm 두께의 층으로 일정한 높이까지 쌓은 후 24시간 동안 양생하였고 인발력은 다이얼게이지에 의해 측정되어 LVDT로 수치화 되었다. 흙의 비배수 전단강도는 각 인발 실험을 마친 후 hand vane shear test 장치에 의해 측정되었다.

모든 실험은 근입비 H/D=1, 2, 3, 4, 5에 대하여 비배수 전단강도가 서로 다른 2개의 bentonite 시료에서 이루어졌으며 사용된 시료의 토질 특성은 Table 2와 같다.

Table 2 Properties of bentonite

Test Series	Average $\omega$ (%)	Average $c_u$ (t/m <sup>2</sup> )	Unit weight $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )
B1	95.0	0.415	1.390
B2	105.0	0.306	1.348

3. 분석 및 고찰

Bentonite(B1, B2)에 근입된 앵커에서 인발력에 대한 장기 변위의 영향을 비교 분석하고 파괴에 대한 안정성 검토에 이용하기 위하여 단기 극한 인발력 실험으로부터 얻어진 극한 인발력의 35%, 50%, 75% 하중을 추에 가하고 앵커의 상향 움직임이 거의 멈추는 4시간 동안 측정하였다.

Fig. 2에서 Fig. 6까지는 B1( $c_u=0.415$  t/m<sup>2</sup>)일 때 근입비 H/D가 1에서부터 H/D가 5일 때의 지속

하중에 대한 시간과 변위의 관계를 나타낸 것이며 실험 결과 극한 인발력의 35%를 재하하면 H/D가 1일 때는 0.57mm까지 H/D가 5일 때는 2.24mm까지 하중 재하 후 5~10분 동안 변위가 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 경향을 나타낸다.

극한 인발력의 50%를 재하하면 H/D가 1일 때는 1.01mm까지 H/D가 5일 때는 4.34mm까지 하중 재하 후 20분 동안 변위가 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 경향을 나타낸다.

극한 인발력의 75%를 재하하면 H/D가 1일 때는 2.94mm까지 H/D가 5일 때는 16.96mm까지 변위가 하중 재하 후 50~60분 동안 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 경향을 나타낸다. 실험 결과로부터 근입비 H/D가 증가할수록 변위도 증가하며 지속 하중이 증가할수록 변위와 변위 지속 시간도 역시 증가한다.

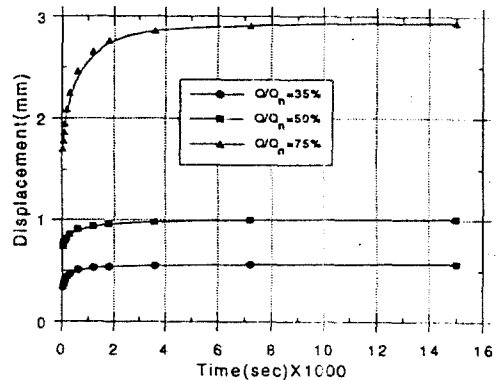


Fig. 2 Time-displacement curve for H/D=1 in bentonite (B1)

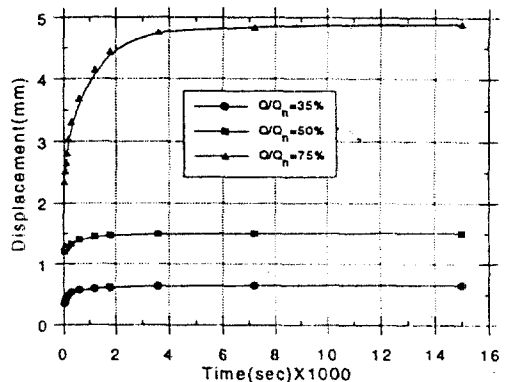


Fig. 3 Time-displacement curve for H/D=2 in bentonite (B1)

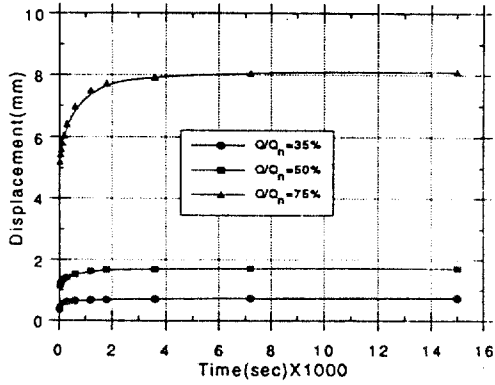


Fig. 4 Time-displacement curve for H/D=3 in bentonite(B1)

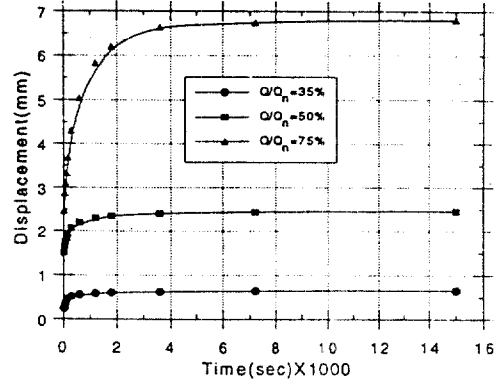


Fig. 7 Time-displacement curve for H/D=1 in bentonite(B2)

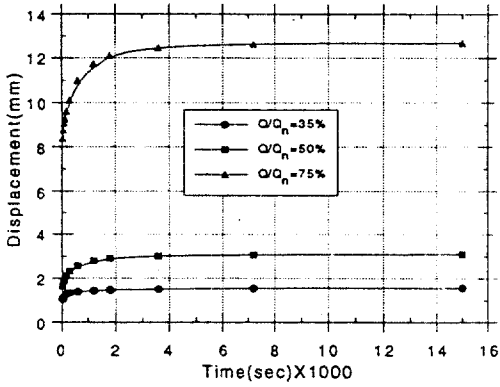


Fig. 5 Time-displacement curve for H/D=4 in bentonite(B1)

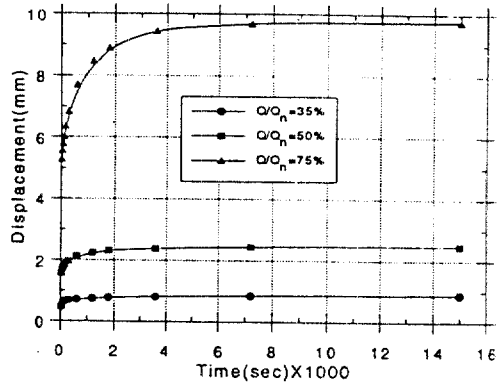


Fig. 8 Time-displacement curve for H/D=2 in bentonite(B2)

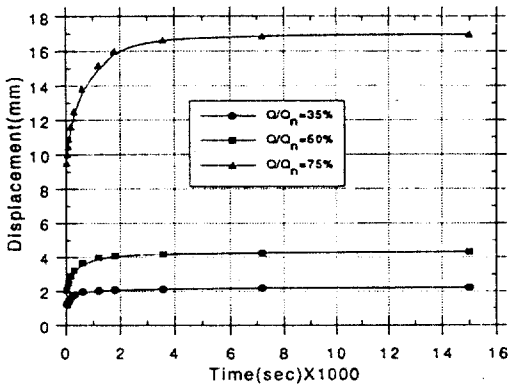


Fig. 6 Time-displacement curve for H/D=5 in bentonite(B1)

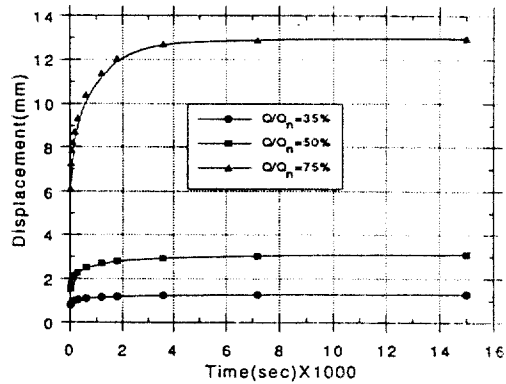


Fig. 9 Time-displacement curve for H/D=3 in bentonite(B2)

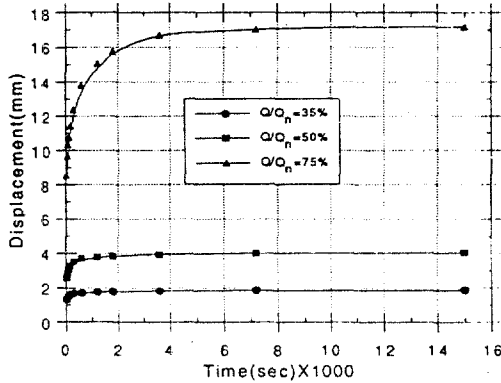


Fig. 10 Time-displacement curve for  $H/D=4$  in bentonite(B2)

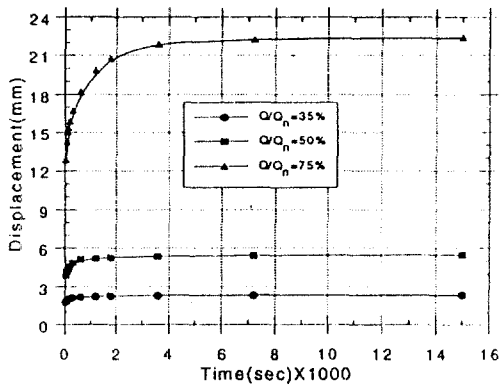


Fig. 11 Time-displacement curve for  $H/D=5$  in bentonite(B2)

Fig. 7에서 Fig. 11까지는 B2( $c_u=0.306 t/m^2$ )일 때 근입비  $H/D$ 가 1에서부터  $H/D$ 가 5일 때의 지속 하중에 대한 시간과 변위의 관계를 나타낸 것이다.

실험 결과 극한 인발력의 35%를 재하하면  $H/D$ 가 1일 때는 0.66mm까지  $H/D$ 가 5일 때는 2.35mm까지 하중 재하 후 5분 동안 변위가 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 경향을 나타낸다.

극한 인발력의 50%를 재하하면  $H/D$ 가 1일 때는 2.46mm까지  $H/D$ 가 5일 때는 5.48mm까지 하중 재하 후 15~20분 동안 변위가 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 경향을 나타낸다.

극한 인발력의 75%를 재하하면  $H/D$ 가 1일 때는 6.81mm까지  $H/D$ 가 5일 때는 22.42mm까지 변

위가 하중 재하 후 60분 동안 급격히 증가하나 그 이후부터는 완만한 경향을 나타낸다.

이상의 실험 결과로부터 근입비가 증가할 수록 그리고 전단 강도가 감소할 수록 변위는 증가하며 지속 하중이 증가할 수록 변위와 변위 지속 시간도 증가한다.

또한 극한 인발력의 75%까지 하중을 재하하였을 때 초기에는 변위가 급격히 증가하나 일정한 시간이 경과 후 완만한 경향을 보이고 있으며 장기 변위에 의한 파괴는 발생하지 않는다.

#### 4. 결 론

2개의 서로 다른 함수비를 가진 bentonite에 근입된 앵커의 극한 인발력과 근입비의 변화( $H/D=1, 2, 3, 4, 5$ )에 따른 creep 특성을 규명하기 위하여 실내 모형 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 하중을 재하했을 때 각 근입비에 대하여 모두 초기에는 변위가 급격히 증가하나 일정한 시간이 경과 후 서서히 완만해지는 경향을 보인다.
- 2) 근입비가 증가할 수록 그리고 함수비가 증가할 수록 변위는 증가하며 지속 하중이 증가할 수록 변위와 변위 지속 시간도 증가한다.
- 3) 극한 인발력의 75%까지 하중을 재하하였을 때의 변위는 어떠한 근입비에 대해서도 creep에 의한 파괴는 발생하지 않는다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Adams, J. I., and Hayes, D. C., The Uplift Capacity of Shallow Foundations, Ontario Hydro Research Quarterly, Vol. 19, No. 1, pp. 1~13, 1967.
- 2) Balla, A., The Resistance to Breaking Out of Mushroom Foundations for Pylons, Proc. Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp. 569~576, 1961.
- 3) Das, B. M., Model Tests for Uplift Capacity of Foundations in Clay, Soils and Foundations, Vol. 18, No. 2, pp. 17~24, 1978.

- 4) Das, B.M., Resistance of Shallow Inclined Anchor in Clay, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, pp. 86~101, 1985.
  - 5) Fed. J., Interpretation of Creep of Soils by Rate Process Theory, *Geotechnique*, Vol. 39, No. 4, pp. 667~677, 1989.
  - 6) 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.
  - 7) Meyerhof, G.G., and Adams, J.I., The Ultimate Uplift Capacity of Foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 5, No. 4, pp. 225~244, 1968.
  - 8) 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.
-