

## 압밀시험중 직접투수시험에 의한 불교란 점토의 교란정도와 투수계수에 관한 연구 A study on coefficient of permeability due to disturbed level of clay by direct permeability test with consolidation test

김재영<sup>1)</sup>, Jae-Young Kim, 김동현<sup>2)</sup>, Dong-Hyun Kim, 소충섭<sup>3)</sup>, Choong-Seop So,  
高田直俊<sup>4)</sup>, Naotoshi Takada

1) (주)삼보기술단 지반사업부, 공학박사, Ph. Doc., Sambo Engineering Co., LTD.

2) (주)삼보기술단 이사, 공학박사, Ph. Doc., Sambo Engineering Co., LTD.

3) (주)삼보기술단 전무, Sambo Engineering Co., LTD.

4) 大阪市立大学 工学部 教授, Professor, Dept. of Civil Engineering, Osaka City University

**SYNOPSIS** : Compressibility and deformability of clays change greatly when the clays are subjected to disturbance. These tendencies have been studied. However, the effect of the disturbance on the permeability that consists of consolidation properties has not yet been studied. In this study, relationship between permeability and volume ratio under the different degree of disturbance are experimently obtained. The results indicate that the relations are less influenced if the disturbance is less depending on the kind of soils.

**Key words** : clay, coefficient of permeability, consolidation test, consolidation property

### 1. 연구목적

점토시료가 샘플링이나 시료성형시 교란을 받으면 그 변형성이나 강도가 큰 폭으로 변화하는 것은 잘 알려져 있다. 샘플링시 발생하는 기계적 교란은 최근 채취장비의 발달과 개선, 숙련된 기술로 채취함으로써 시료교란을 최소화하여 고품질의 불교란 시료를 채취하는 방법이 수행되고 있다. 또한 시험용 시료성형시 발생하는 교란에 대해서는 가능한 세심한 주의를 통해 최소화하도록 하고 있다. 그리고 채취된 점토시료를 사용하여 표준압밀시험을 수행하는 경우에 나타나는 압축특성은 시료 채취시 발생하는 기계적 교란에 의해 강도가 저하하는 것으로 보는 관점이 대부분이었다. 하지만 최근에는 샘플링에 의해 지중 응력으로부터 해방된 후 시료내부에 발생하는 주응력의 변화가 주원인으로 작용하여 압축특성이 원지반과 다르게 나타나는 것이 지적되고, 그 보정법이 제시되었다(김재영·高田直俊, 2001).

한편 일차원 압밀된 점토시료의 교란정도에 따른 압축성, 즉  $f(=1+e)-\log p$ 관계 또는  $m_v$ 값의 변화는 많은 연구를 통해 어느 정도 알려져 있다. 그러나 압밀특성의 하나인 투수성에 있어서 점토시료의 교란에 대한 영향은 거의 알려지지 않고 있다. 따라서 본 논문은 보링공에서 채취한 불교란 층적점토시료를 가지고 불교란 시료, 완전 퇴비법시료 및 교란정도를 변화시킨 시료를 제작하여 표준압밀시험을 수행하여 점토시료의 교란정도에 대한 투수계수의 관계를 조사하였다.

## 2. 점토시료와 교란정도를 변화시키는 방법

불교란 점토시료는 일본의 관서지역에서 고정피스톤 샘플러로 채취하였고, 표 1에 채취심도와 물리특성을 나타냈다.

현장에서 채취한 불교란 점토시료( $\phi 75\text{mm}$ ,  $H=12\text{cm}$ )는  $H=3\text{cm}$ 씩 4개로 잘라내어, 1개는 불교란 점토로써, 나머지 3개는 교란정도를 변화시킨 시료로써 압밀시험에 사용하였다.

점토시료의 교란정도를 변화시키는 방법 및 제작순서는 다음과 같다.

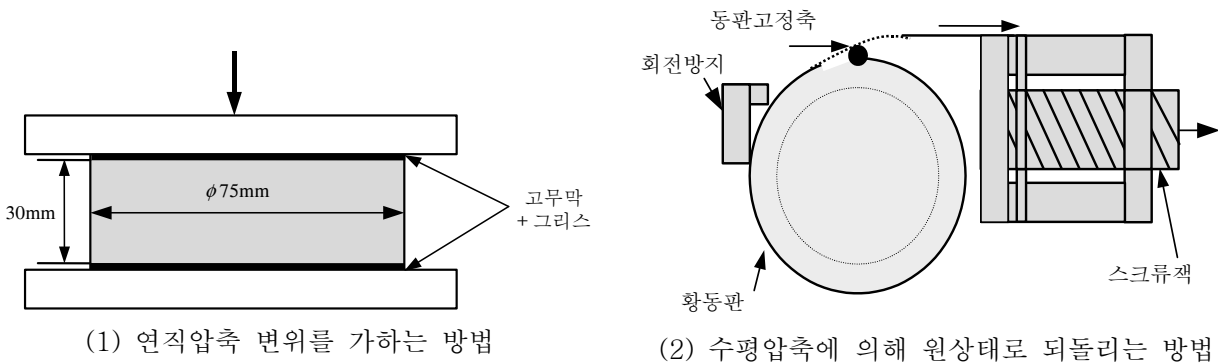
(1)  $H=3\text{cm}$ 의 점토시료에 높이의 20%에 해당하는 수직 압축변형을 가한다.

(2) 수평으로 눌러펴진 공시체는 그림 2와 같이 특수하게 제작한 장치를 사용해 외주면을 수평방향으로 압축시켜 원래의 크기로 되돌린다.

상기와 같은 과정 중 시료에 일정한 변형을 주기 위해 그림 1(1)에 나타낸 것과 같이 시료 상하면에는 그리스와 오일을 바른 고무막을 끼워서 가압판과의 마찰력을 경감시켰다. 그리고 시료를 원래의 상태로 되돌리는 그림 1(2)의 조작시 황청동판 내면에도 그리스와 오일을 발라서 수평압축시의 마찰력을 경감시켰다. 아울러 이와 같은 작업을 1, 2, 3회 반복하여(이하  $N=1, 2, 3$ 시료라고 한다) 표준압밀시험에 사용하였다.

표 1. 채취시료와 물리특성

시료명	채취심도 (GL-m)	w(%)	w <sub>L</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)
Takami, Osaka	13.00~13.80	63.1	63.0	35.8
Sanko, Toyooka	2.70~3.50	51.8	55.8	30.6
Fukuda, Toyooka	4.50~5.35	90.1	68.4	33.4



(1) 연직압축 변위를 가하는 방법

(2) 수평압축에 의해 원상태로 되돌리는 방법

그림 1. 연직압축과 수평압축에 의해 교란을 가하는 방법

## 3. 압밀시험 및 직접투수시험방법

### 3.1 압밀시험

상기와 같이 제작한 교란정도가 다른 점토시료는 중앙부를 표준압밀시험용 공시체로써 직경 6cm, 높이 2cm를 성형하며, 재하단계 9.8kPa을 시작으로 하중 증분비 1( $\Delta p/p$ )로써 19.6, 39, ..., 627kPa(또는 1255kPa)까지 각 단계 24시간 압밀하였다. 압밀과정중 시간-압밀량곡선은 곡선정규법(log t법)으로 정리하며,  $t_{50}$ 을 구한 후  $c_v$ 로부터  $k$ 를 산출하였다.  $c_v$ 는 일차압밀비로 보정한다. 압밀시험이 끝난 후 압밀링에서 꺼낸 공시체 4개는 425 $\mu\text{m}$ 체를 통과시켜 불순물을 제거한 후 4개 공시체의 평균 초기함수비로써 완전 되비빔시료를 제작하여 표준압밀시험에 사용하며, 나머지 시료를 가지고 액성한계( $w_L$ ), 소성한계( $w_p$ )를 구했다.

### 3.2 투수계수를 직접 구하기 위한 시험

투수계수를 구하는 방법으로는 압밀시험을 통해 간접적으로 구하는 방법 외에 각 단계 압밀이 약 23시간 진행된 시점부터 다음 단계의 하중을 재하하기 전까지 투수시험을 실시한다. 투수시험은 압밀저판의 배수면을 통해 통수시키는 변수위 투수시험법을 수행하였고, 시험방법을 그림 3에 나타냈다. 투수시험은 압밀시험용기의 침수위면과 약 10cm의 수위차를 주고, 통수개시부터 2분정도 경과 후 내경 2.5mm의 뷰렛내 수위를 15분 간격으로 약 1시간을 측정하였다. 투수계수의 계산은 식 (1)과 식(2)를 이용하여 15°C의 투수계수  $k_{15}$ 를 산출하였다.

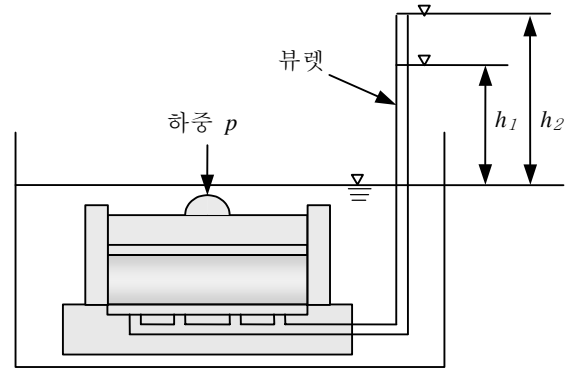


그림 2. 투수계수를 직접 구하기 위한 압밀시험 구성

$$k_T = 2.30 \frac{a \cdot L}{A \cdot (t_1 - t_2)} \cdot \log \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$

L : 측정시 공시체 높이 (cm)

A : 공시체 단면적 (28.27cm<sup>2</sup>)

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub> : 시간 (sec)

$$k_{15} = k_T \cdot \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad (2)$$

$\eta_T, \eta_{15}$  : T°C와 15°C에 있어서 물의 점성

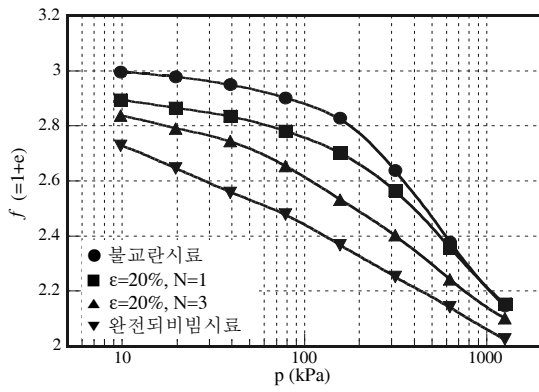
아울러 투수시험중 발생하는 상향의 침투력에 의해 공시체내의 유효응력은 다소 감소하지만, 이에 따른 공시체 간극비의 증가는 작은 것으로써 보정 등은 하지 않았다. 직접투수시험에 의한  $k_{15}$ 를  $k_2$ 로써 명칭하여 압밀시험에 구한 투수계수  $k_1$ 과 비교하였다.

### 4. 시험결과

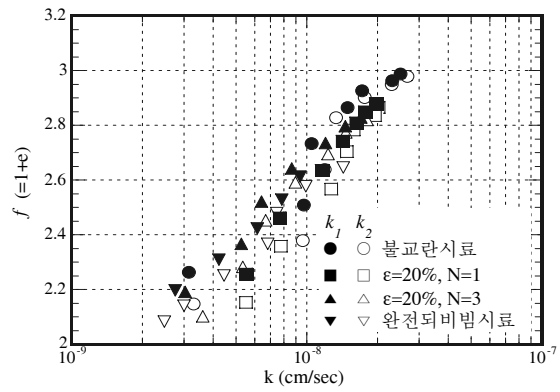
압밀시험결과를 시료 종류별  $f-\log p$ 관계,  $f-\log k$ 관계로 정리하였다. 그림 3(1)~(3)에 시료별  $f-\log p$ 관계를 교란정도별로 모든 시료에 대해 나타냈다. 시험결과, 교란정도가 클수록 점토 골격구조저하에 의해  $f-\log p$ 관계가 아래로 위치하며, 명확한 압밀항복응력이 나타나지 않는 형상이 되고 있다.

그림 4(1)~(3)에 시료별  $f-\log k$ 관계를 교란정도별로 모든 시료에 대해 나타냈다. 압밀시험과정에 있어서 초기 하중단계에서는 침하량이 작기 때문에 curve fitting이 가능한 단계부터 시간-침하량관계로부터  $t_{50}$ 을 이용해  $c_v$ 를 구한 후  $k_1$ 을 산출하였다. 또한 불교란 시료에 대해서는 정규압밀영역부터  $c_v$ 를 구한 후  $k_1$ 을 산출하였다. 아울러  $k_1$ 은 각 하중단계의 평균 체적비와의 관계로 나타냈다. 그리고 직접 측정한  $k_2$ 의 값은 과압밀영역에서는 오차가 있으며  $k_1$ 을 산출한 하중단계부터 일정한 경향을 보이기 때문에 정규압밀영역의 각 하중단계에 있어서 최종 체적비에 대한 관계로 나타냈다. 과압밀영역의  $k_1$ 과  $k_2$ 는 약간의 오차를 보이지만, 이 이후의 과정은 거의 직선적인 경향을 나타내고 있다.

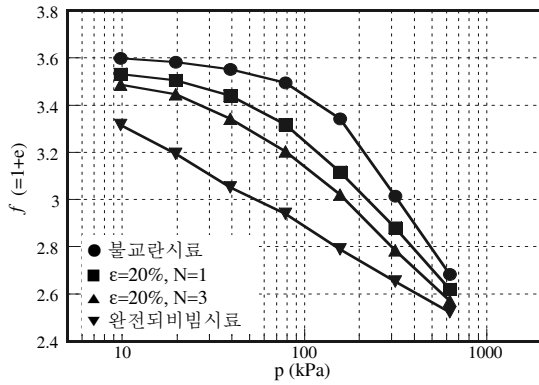
각 시료별로 구한  $f-\log k$ 관계를 정리하면, 그림 3(1)의 Takami점토는 교란정도에 관계없이  $f-\log k$ 는 좁은 범위에 위치하고 있다. 그림 3(3)의 Fukuda점토는 약간의 폭을 가지고 있지만, 교란정도와의 관계



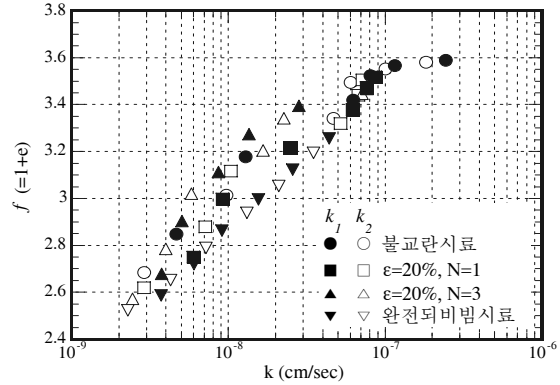
(1) Takami점토



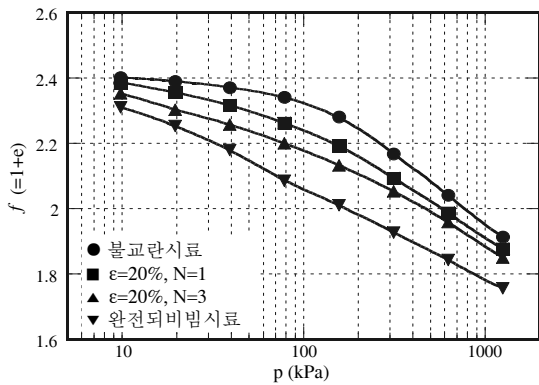
(1) Takami점토



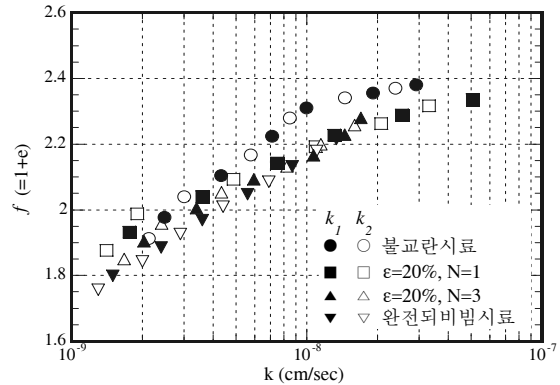
(2) Sanko점토



(2) Sanko점토



(3) Fukuda점토



(3) Fukuda점토

그림 3. 각 시료별  $f$ - $\log p$  관계

그림 4. 각 시료별  $f$ - $\log k$  관계

로는 볼 수 없는 것으로 판단된다. 그림 3(2)의 Sanko점토는  $N=3$ 까지는 좁은 범위에 위치하고 있지만, 완전 되비법시료의  $k$ 가 크게 나타나고 있다. 또한 Sanko점토의  $c_v$ 는 압밀압력 증가와 함께 거의 값은 값에 수렴하고 있다.

## 5. 결론

불교란 시료로 채취된 점토시료의 교란정도와 투수계수의 관계를 조사하기 위해, 불교란 점토시료에 연직방향으로 일정한 변형을 반복횟수를 변화시켜 제작한 교란정도가 다른 점토시료를 가지고 표준압밀 시험을 수행하였다. 그리고 압밀시험에서 구해지는 투수계수와 압밀시험의 최종 단계에서 실시한 직접 투수시험에 의해 구해지는 투수계수를 가지고 교란정도에 따른 투수계수를 비교하였다. 그 결과를 정리

하면 다음과 같다.

- 1) Takami점토, Fukuda점토의 투수계수는 기계적 교란정도와 관계없이 거의 체적비만의 함수로 나타낼 수 있었다. Sanko점토는 교란정도의 증가와 함께 투수성도 증가하는 경향을 나타냈다.
- 2) 점토시료의 교란정도가 클수록 점토 골격구조의 저하에 의해  $f-\log p$ 관계는 표준압밀시험결과보다 아래에 위치하며, 명확한 압밀항복응력이 나타나지 않는 형상이 나타났다.
- 3) 향후 본 연구결과의 신뢰성을 확인하기 위해 소성이 다른 시료에 대해서도 추가시험을 수행하여, 교란정도와 투수계수의 관계를 명확히 하고자 한다.

## 참고문헌

- 1) 金宰永, 高田直俊 (1998), 乱れを受けた粘土の透水係数, 第33回地盤工学研究発表会講演集, pp.415-416.
- 2) 金宰永, 高田直俊 (2001), サンプリングによる應力解放を考慮した壓密試験, 土木學會論文集, No. 680/III-55, pp.263-268.
- 3) Kim, J. and Takada N. (2004), Consolidation test method to considering sample deformation due to stress release by sampling, Journal of Korea Geotechnical Society, Vol. 20, No. 7, pp.99-105.