

점토퇴적지반의 투수특성 연구

김대규*

*상명대학교 토목환경공학부

e-mail:daekyu@smu.ac.kr

Permeability Characteristics of Sedimented Clayey Soils

Dae-Kyu Kim*

*Dept of Civil and Environmental Engineering,
Sang-Myung University

요 약

본 연구에서는 점토퇴적지반의 투수특성을 실험적으로 연구하기 위하여 표준압밀시험, 일정변형률압밀시험 등을 수행하였다. 시험결과를 분석하여 비등방성, 투수변화지수, 간극비와의 관계 및 투수계수에 영향을 미치는 다양한 영향요소에 관하여 고찰하였으며, 대표투수계수를 제안하였다.

1. 서론

점토지반의 투수특성을 규명하기 위해서는 표준압밀시험이 가장 일반적으로 활용되고 있다. 그러나 표준압밀시험만으로는 토립자의 구조배열에 기인하여 발생하는 투수계수의 이방성문제 등 투수특성에 영향을 미치는 영향인자들에 대한 파악이 어렵다 [1][2][3][4][5].

본 연구에서는 점토퇴적지반 시료를 활용하여 일정변형률압밀시험(CRS test) 및 표준압밀시험(ILCON test)을 실시하였다. 시험결과를 분석하여 투수계수의 이방성과 횡방향투수계수 C_{kth} 를 산정하였으며, 투수계수지수, 간극비-투수계수의 대수관계, 다른 투수계수와의 비교 등을 통하여 깊이에 따른 현장투수계수의 대표값을 제안하였다. 마지막으로 점토의 투수성에 영향을 미치는 요소들에 대하여 살펴보았다.

2. 현장지반 및 시험

본 연구에 활용된 퇴적점토시료는 경상남도 낙동강 하구, A, B 두지점에서 채취되었다. 현장조건은 상부지반은 2 m 내외의 모래 또는 실트질 모래로 구성되어 있으며, 25~30 m의 깊이까지 대체적으로

균질한 점토로 구성되어 있다. 이 점토층은 15 m 정도의 심도를 경계로 지반공학적 성질이 상이한 두 층으로 분리된다. 압밀시험으로 산정한 선행압밀하중은 10 m 이하에서는 1 이하인 것을 볼 수 있다. 전 심도에 대하여 자연함수비가 액성한계보다 큰 경향을 보이고 있기 때문에 예민비(sensitivity)가 크고, clay fraction(CF)의 경우에는 14~37 % 정도로 실트 성분이 많이 포함되어 있다. 점토를 구성하고 있는 광물은 Kaolinite, Illite, Montmorillonite 등이다.

3. 결과분석 및 토의

3.1. $\log e - \log k(1+e)$ 관계

시험결과 투수계수와 간극비의 관계는 A, B $e - \log k$ 관계뿐만 아니라 $\log e - \log k(1+e)$ 의 관계로도 표현되는 것으로 나타났으며, 점토시료는 일반적인 변형률 내에서는 $\log e - \log k(1+e)$ 곡선이 선형의 관계를 보이는 것으로 나타났다.

표준압밀시험으로 구한 기준투수계수 C는 0.58~

7.56×10⁻⁸ cm/sec의 범위를 보이고 CRS 시험은 2.09~4.38×10⁻⁸ cm/sec의 범위를 보이고 있다. CRS 시험결과는 두 그룹으로 나눌 수 있다. 즉, 기준투수계수 C의 범위가 2.08~2.50×10⁻⁸ cm/sec이고 평균이 2.19×10⁻⁸ cm/sec인 한 그룹과, C 값의 범위가 3.78~4.74×10⁻⁸ cm/sec이고 평균이 4.30×10⁻⁸ cm/sec인 그룹으로 나눌 수 있다. 따라서 기준투수계수 C값은 시료 뿐만 아니라 시험방법에 의해서도 상당한 영향을 받는다고 판단된다.

[Table 1.] 시험계획

Depth, m	시료위치	시험 종류(type of test)		
		CRS	ILCON	Triaxia l
4~5	A			
5~6	A	V, H	V	
7~8	A	V		V
9~10	A		V	
12~13	A	V, H		V
13~14	A		V	
14~15	A	V, H		V
15~16	A		V	
17~18	A	V		V
19~20	A	V, H		
9~10	B	V		
15~15.8	B	V	V	
20~20.8	B	V, H	V	
23~24	B	V, H		

※ V: Vertical, H: Horizontal Specimen

3.2. 투수계수지수

CRS 시험결과는 A, B 시료 모두 e-log k 곡선은 투수계수지수가 작은 그룹과 상대적으로 투수계수지수가 큰 그룹으로 나눌 수 있었고, 투수계수지수는 다른 요소보다 간극비에 보다 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 즉, 그림 1에서 볼 수 있듯이 간극비가 상층에 비하여 작은 16m 이상의 심도에서는 투수계수지수 또한 작은 값이 산정되었다. 그리고 두 그룹은 곡선들은 압축이 진행됨에 간극비에서는 투수계수지수가 작아지기 때문에 두 개의 그룹이 수렴하는 것을 관찰할 수 있었다. 깊이에 따른 점토시료의 투수계수지수는 Table 2와 같다.

3.3. 투수계수의 이방성

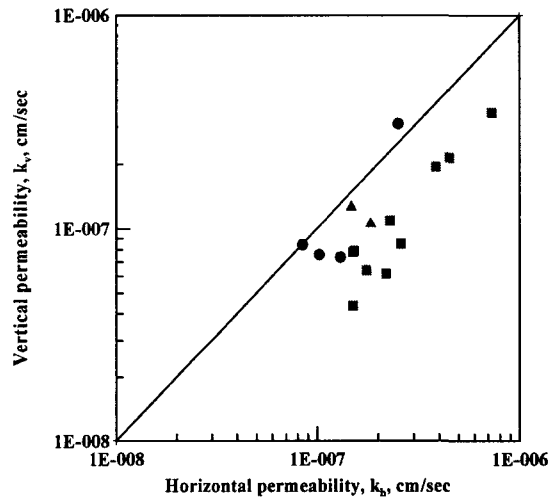
연직투수계수와 수평투수계수를 결정하여 투수계수의 이방성을 평가한 결과는 Fig 1과 같다. 그림에서 CRS 시험으로 산정한 투수계수의 이방성은 0.8

1~1.78의 범위를 보이고 평균값은 1.32로 평가되었다.

[Table 2.] 깊이에 따른 투수계수지수 C_k

Depth, m	Permeability change Index C _k		Average
	A	B	
4~16	0.880	0.917	0.899
16~24	0.690	0.686	0.688

해성점토의 투수계수의 이방성은 최대 2를 넘지 않는 것이 일반적이다. 그러나 CRS 시험으로 산정한 투수계수의 이방성은 횡방향으로 정상류를 유발시키는 Rowe cell 시험으로 구한 값보다는 상대적으로 적은 값으로 평가되었다. 그 이유는 본 논문에서 사용한 압밀 셀이 참고자료에서 사용한 Rowe cell보다 직경이 작았고, 횡방향으로 압축을 하여 투수계수를 측정된 CRS 시험은 연직방향으로 압축이 발생하면서 횡방향으로 투수가 발생하는 실제상황과는 상이한 조건이기 때문인 것으로 판단된다.



[Fig 1.] 투수계수의 이방성

3.4. 현장투수계수 대표값 결정

투수계수에 가장 큰 영향을 미치는 간극비와 투수계수와의 관계를 보면, 일반적으로는 간극비가 작으면 현장의 투수계수는 작지만, 본 연구지반의 불균질한 특성으로 인하여 그러한 경향을 관찰하기는 어려웠다.

또한 투수계수에 영향을 미치는 요소로 clay fraction(CF)을 들 수 있다. CF이 클수록 2 μm 이하의 점토성분이 많다는 것이므로 투수계수는 작아지는 경향을 관찰할 수 있었지만 분산정도가 크기 때문에 CF와 투수계수의 관계를 특정한 식으로는 표

현하지 않았다.

전술한 바와 같이 어느 특정 요소로는 투수계수의 특성을 정확하게 파악할 수 없다는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구 현장지반 투수계수 특성을 파악하기 위하여 $(e/CF)/(A_c+1)$ 와 같은 복합적인 요소를 사용하였다. 그 결과, 투수계수와 $(e/CF)/(A_c+1)$ 의 관계를 특정 식으로 표현할 수 없었지만 Tavenas(1983b)등이 제안한 곡선보다는 좌측에 위치하고 있다는 것을 관찰할 수 있었다.

Tavenas(1983b)등이 시험한 점토들은 CF이 대략 55~80 % 정도로 비교적 큰 값을 보이고 있는 반면, A점토 경우에는 14~37 %, B 시료의 경우에는 최대값이 50 % 이하로 비교적 낮은 값을 보이고 있다. 여기서 특이한 것은 전술한 바와 같이 일반적으로는 clay fraction(CF)이 작으면 실트질 성분이 많이 포함되어 있기 때문에 투수계수가 큰 것이 일반적이다. 그렇다면 비교적 CF작은 양산과 가덕도점토의 투수계수가 Tavenas(1983b) 등이 시험한 점토보다 커야한다. 그러나 투수계수를 $(e/CF)/(A_c+1)$ 로 표현한 결과 A점토와 B점토가 CF이 작음에도 불구하고 Tavenas(1983b) 등이 제안한 곡선보다 좌측에 있으므로 투수계수는 더 작다는 것을 알 수 있었다. 그 원인으로는 상이한 점토광물과 퇴적조건 등을 고려할 수 있다.

3.5. 다른 점토지반과의 비교

A지역과 B지역의 간극비-투수계수 관계를 외국 문헌을 참조로 비교한 결과, 본 연구현장에 퇴적형성된 점토는 비교적 간극비가 작은 편에 속한다는 것을 알 수 있고, 동일한 투수계수의 변화에 대하여 투수계수의 감소가 크다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

점토퇴적층에서 채취된 불교란 시료를 이용하여 표준압밀시험(IL_{CON})과 일정변형률 압밀시험(CRS test)결과, 투수계수의 이방성 등 점토층의 투수특성을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CRS 시험으로 구한 투수계수의 이방성은 0.81~1.78의 범위를 보이고 평균값은 1.32로 평가되었다. Rowe cell 시험으로 구한 값보다 과소평가되었다.
- 2) CRS 시험으로 산정한 투수계수지수는 4~16 m 심도에서 평균 0.899, 16~24 m 심도에서 0.688의 값을 보인다. 표준압밀시험으로 산정한 투수계수

지수는 깊이에 따라서 특정한 경향을 관찰할 수는 없었지만, 0.624~1.037의 범위로 CRS 시험의 범위와 유사한 결과를 보였다.

- 3) CRS 시험으로 산정한 C(reference permeability) 값은 평균이 각각 2.08×10^{-8} cm/sec, 4.30×10^{-8} cm/sec인 두 그룹으로 나눌 수 있었다. 표준압밀시험으로 구한 C는 $0.58 \sim 7.56 \times 10^{-8}$ cm/sec로 CRS 시험에 비하여 큰 범위를 보였다.
- 4) CRS 시험은 재압축구간과 선행압밀하중 근처에서 투수계수를 과대평가하는 것으로 나타났으나, 연속적인 시험결과를 얻을 수 있기 때문에 상대적으로 표준압밀시험보다 간극비의 감소에 따른 투수계수의 변화특성을 쉽게 관찰할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Mesri, G., Feng, T. W., Ali, S., and Hayat, T. M. (1994), "Permeability characteristics of soft clays" XIII ICSMFE, Delhi, India. pp. 187-192.
- [2] Tanaka, H. O., Mishima, M., Park, S. Z., and Jeoung, G. H. (1999), "Consolidation characteristics of Nakdong river clay deposits", KGS '99 Dredging and Geoenvironmental Conference, Nov. 2, pp. 3-11.
- [3] Tavenas, F., Jean, P., Leblond, P., and Leroueil, S. (1983), "The permeability of natural soft clay. Part I : Method of laboratory measurement" Canadian Geotechnical Journal, Vol. 20, pp. 629-644.
- [4] Tavenas, F., Jean, P., Leblond, P., and Leroueil, S. (1983), "The permeability of natural soft clay. Part II : Permeability characteristics" Canadian Geotechnical Journal, Vol. 20, pp. 645-660.
- [5] 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 Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No. SM10, pp. 1393-1413. [1] Ingersoll, J. E., Jr., "A Contingent-Claims Valuation" *Economics* 4, 289-322, 1977.
- [6] Halis, J. S., "Should Companies Issue Warrants?," Unpublished Masters Thesis, MIT, May.