

연직배수제에 의한 실트질 지반에서의 스미어 존 특성 평가

Characteristics of the Smear Zone by Vertical Drain on Silt

강 윤*, 김승욱**, 유찬호***, 김홍택****

Kang, Yun · Kim, Seong Wook · Yoo, Chan Ho · Kim, Hong Taek

Abstract

The vertical drain method generate the disturbed zone, because the drainage should be penetrated into the in-situ ground. The characteristics of the smear zone generated cause the problems that the coefficient of permeability decreases and the consolidation time anticipated in the design is not properly shortened. In this study, in order to understand such influence, the laboratory test were carried out so as to reasonably determine the coefficient of consolidation in silt. For that procedure, mandrel of a diversity were penetrated into the soil tube with silt, and then the variation of pore water pressure was measured with the pore pressure meter. Then, the range of smear effect on silt was estimated with monitoring data through the laboratory test, and also analyzed with inputting the coefficient of consolidation into the theoretical equation.

Key words : Smear Zone, Silt, coefficient of consolidation, laboratory test

1. 서론

현재 국내에서 사용되고 있는 여러 연직배수공법은 배수제 설치시 불가항력적인 지반 교란이 발생하여 스미어 존이라는 교란영역을 발생시킨다. 이렇게 발생된 스미어 존의 특징은 그 영역내의 투수계수가 감소하여, 설계시 예상하였던 압밀이 원활히 이루어지지 않는 문제점이 발생 된다는 점이다.

스미어 존의 수평투수계수 및 스미어 존의 크기는 압밀도에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 설계인자이다. 그러나 주요설계인자의 산정은 수직압밀계수에 의하여 수평투수계수를 경험적으로 유추하여 설계에 적용하고 있는 실정이며, 스미어 존의 크기는 지반조건을 고려하지 않고 2.0-3.0D의 제안값을 적용하여 설계를 수행하고 있다. 그러나 이러한 방법으로 산정된 수평투수계수, 수평압밀계수 및 스미어 존의 크기는 설계시 과대설계로 진행되어 경제적인 측면에서 큰 손실을 가져올 수 있게 된다. 따라서 이번 연구에서는 국내에서 해안과 남해안 지역에 널리 분포하고 있는 저소성 실트지반을 대상으로 선정, 실험을 수행하여 실트지반에서의 스미어 존의 크기를 평가하였으며, 원지반의 압밀특성 및 물리적 특성과의 상관성 분석을 수행하였다.

2. 실험방법

2.1 개요

이번 연구에서는 연직배수공법에서 맨드릴 관입시 발생하는 스미어 존을 알아보기로 모형토조실험을 수행하였다. 모형토조실험에서는 연구대상의 지반상태를 최대한 모사하기 위하여 현장에서 채취한 시료를 완전 교란시켜 토조에 넣고 압밀을 시킨 후 실험을 수행하였다. 표 1은 이번 연구에서 수행한 Case를 나타내었다.

* 비회원 · (주)동성엔지니어링 과장 · E-mail: antps43@hanmail.net

** 비회원 · 한국농촌공사 농어촌연구원 연구원 · E-mail: ksw312@karico.co.kr

*** 비회원 · KER 컨설팅 그룹 팀장 · E-mail: randy2680@nate.com

**** 정회원 · 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · E-mail: htaek@hongik.ac.kr

표 1. 모형토조실험 종류

토 질	Case No.	실험회수	맨드렐 형상	비 고
저소성 실트	1	1 회	직사각형(30mm×10mm)	- 스미어 효과에 영향을 줄 수 있는 다른 변수들은 모두 고정
	2	1 회	원형(φ25mm)	
	3	1 회	원형(φ40mm)	

2.2 모형실험

실제 국내현장에서 시공되고 있는 배수재 타입방식을 모형화 하여 스미어 존 모형 실험장치를 제작하여 실험을 수행하였다. 그림 1처럼 모형토조 내에 간극수압계를 사용하여 실험시에 간극수압 계측을 통하여 스미어 존의 범위 및 특성을 측정하는 방법이다. 실험순서는 다음과 같다.

- (1) 토조 속에 교란시료를 채운 후 정해진 위치에 간극수압계를 설치한다.
- (2) 유압책으로 실험을 수행 할 현장의 해당심도에서의 상재하중을 재하여 현장여건과 동일한 조건이 되도록 재성형한다.
- (3) 간극수압계를 데이터 수집장치에 연결시킨 후 맨드렐을 정적 관입시키면서 계측을 실시한다.
- (4) 실험 후 간극수압 소산결과를 토대로 스미어 존의 크기 및 수평방향 압밀계수, 투수계수 등을 계산함. 이때 투수계수는 배수방향이 수평방향이므로 물의 흐름이 수평방향으로 흐르므로 수평방향을 투수계수이다.

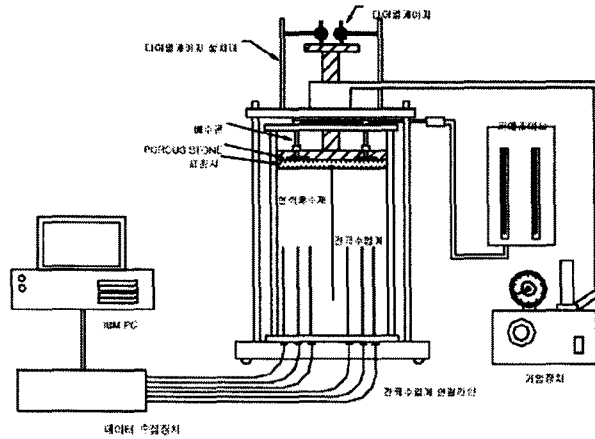


그림 1. 스미어 존 측정을 위한 모형토조실험 개요

모형토조실험에 이용된 모형지반은 경기도 화성시에 위치하고 있는 시화호 주변의 간척지인 OO지구에서 채취하였다. 모형토조실험에 앞서 모형지반의 신뢰성 높은 물리, 역학적 특성을 알아보기 위하여 다양한 토질시험을 수행하였다. 토질시험은 물리성시험 및 압밀시험을 각 Case별로 수행하였다. 그 결과는 표 2에 나타내었으며, 모형토조실험에 사용된 배수재 및 맨드렐의 제원은 표 3 및 표 4에 나타내었다.

표 2 모형지반의 물리성시험결과

구분	함수비 (%)	비중	#200통과량 (%)	아터버그			압밀 시험				USCS
				LL	PL	PI	Cc	Pc (kgf/cm ²)	C _g (cm ² /s)	C _h (cm ² /s)	
CASE 1	35.9	2.671	97.2	N.P	N.P	N.P	0.16	0.92	1.31E-3	2.61E-3	ML
CASE 2	33.2	2.65	98.1	N.P	N.P	N.P	0.17	0.97	1.91E-3	3.83E-3	ML
CASE 3	34.2	2.676	97.6	N.P	N.P	N.P	0.11	0.90	3.32E-3	6.64E-3	ML

표 3. 모형배수재의 제원

구 분	형상	종류	크기		
			H	B	L
배수재	직사각형	P.B.D	500mm	15mm	3 mm
	원형		φ 10 mm		
매트	Fiber mat		φ 30 mm, t=3mm		

표 4. 모형맨드렐의 제원

구 분	형상	크기		
		H	B	L
맨드렐	직사각형	500mm	30mm	10mm
	원형	φ 25 mm		
		φ 40 mm		

2.3 실험방법

모형토조실험에 사용된 모형지반은 시료를 채취하여 완전히 교란시켜 토조안에 채워 넣은 후에 간극수압계를 모형지반 내부에 설치하고 압밀을 진행하였다. 이러한 과정은 모형실험 Case별로 수행하였으며, 95% 이상 간극수압의 소산이 이루어진 이후에 모형맨드렐을 관입하면서 모형지반내에서 발생하는 간극수압의 변화를 측정하는 방식으로 진행하였다. 맨드렐의 관입은 분당 2cm정도의 속도로 관입하는 변위제어방식으로 진행되었다. 실험결과 분석시에는 발생한 과잉 간극수압의 값을 모두 해당실험시 발생하는 최대값으로 나누어서 정규화한 결과를 사용하기로 하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 수평압밀계수의 변화

맨드렐이 모형지반 내부로 타입되는 경우에 발생하는 과잉간극수압의 변화를 살펴보았으며, 과잉간극수압의 시간변화에 따른 변화양상을 분석하였다. 아울러 수평압밀계수를 산정하여 스미어 존을 평가하여 보았으며, 그 결과는 그림 2에 나타내었다.

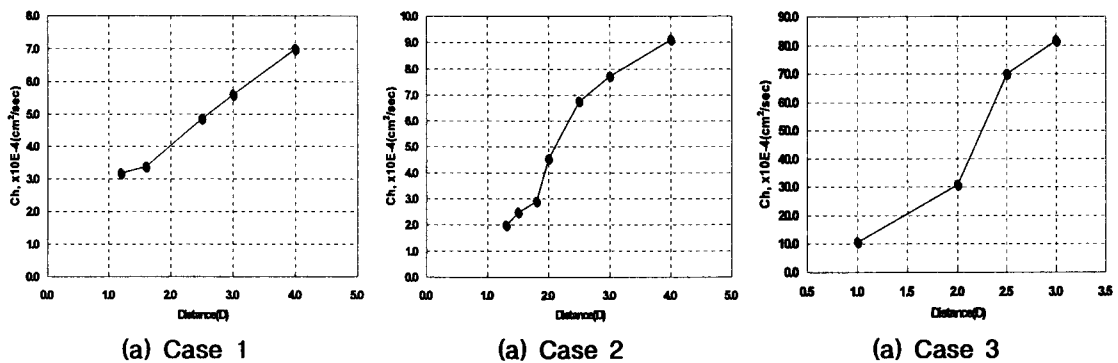


그림 2. 직경비에 따른 수평압밀계수 변화

그림 2의 내용을 살펴보면, 맨드렐이 관입되는 거리에서 이격거리별로 수평압밀계수는 다르게 평가되었다. 이격거리가 2.0D인 지점까지는 수평압밀계수가 비교적 작은 것으로 평가되었으나, 이격거리가 증가함에 따라서 급격하게 증가하는 경향을 나타냈다. 수평압밀계수가 증가하는 경향이 지수곡선의 형태의 경향을 보이므로 이를 응용하여 동일한 압밀도를 갖는 환산 스미어 존의 크기를 구할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 토조내 수평압밀계수 분포

이번 연구에서는 모형실험결과를 이용하여 모형토조 내부의 스미어 존의 분포양상을 알아보기 위하여 크리깅 기법을 이용하여 모형토조 내부의 수평압밀계수 분포양상을 추정함으로써 스미어 존을 평가하였다. 그림 3에서는 모형토조 반단면에서의 수평압밀계수 분포를 나타냈는데, 맨드렐이 관입되는 지점으로부터

1.5D-2.0D 이격된 거리까지는 수평압밀계수가 비교적 작은 것으로 평가되었다. 그러나 직경비가 2.0D 이상인 지점부터는 수평압밀계수가 상대적으로 크게 나타났다. 이와 같은 결과를 보이는 것은 직경비가 2.0D 지점까지는 맨드릴의 관입으로 인하여 스미어 효과가 뚜렷하게 나타났기 때문으로 생각된다. 따라서 본 모형토조 실험에서 나타난 스미어 존의 크기는 Hansbo(1987)가 제안한 결과와 유사한 결과를 나타내는 것으로 판단되며, 액성한계 시험결과 Non-Plastic의 특성을 나타내는 지층에서는 스미어 존의 크기를 1.5D-2.0D의 값을 적용하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

또한 그림 4에서는 모형토조 실험을 통한 스미어 존의 수평압밀계수와 일반적으로 설계에서 많이 적용하는 $k_s = k_v$ 값을 적용하여 구한 수평투수계수 및 원지반의 투수계수에 대한 스미어 존의 수평압밀계수의 비 (C_H/C_v)를 모형실험 Case별로 비교하여 나타내었다. 그 결과 압밀계수비가 3.1-9.6로 나타나 저소성 실트질 지반에서는 $C_{H(\text{스미어존})} = C_{v(\text{원지반})}$ 의 가정과는 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다.

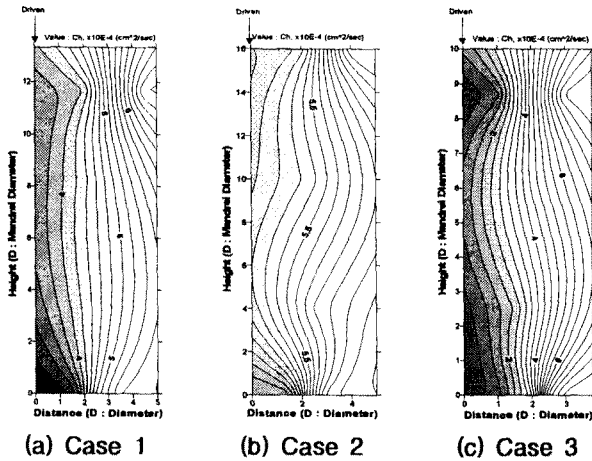


그림 3. 모형토조 반단면에서의 수평압밀계수 분포

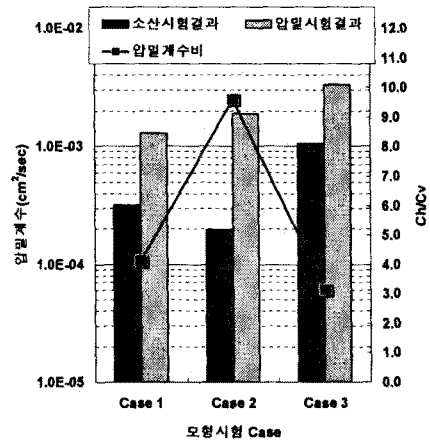


그림 4. 수평압밀계수 및 압밀계수비

4. 결론 및 제언

국내 해안가에 널리 분포하고 있는 저소성 실트지반을 대상으로 모형토조 실험을 수행하여 연직배수재 시공시 발생하는 스미어 존의 특성을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 모형토조 실험의 결과를 비교 분석한 결과, 저소성 실트지반에서의 스미어 존의 크기는 2.0D내외의 값을 사용하는 것이 합리적일 것으로 판단되며, 액성한계 시험결과 Non-Plastic의 특성을 나타내는 지반에서 스미어 존의 크기는 1.5D-2.0D 값을 적용하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.
- 2) 실내 압밀시험결과를 토대로 산정한 수직압밀계수와 모형실험 결과를 토대로 산정한 수평압밀계수와의 관계(C_H/C_v)를 분석한 결과, 저소성 실트에서는 3.1-9.6의 비를 나타냈다.

참고문헌

1. 강운(2006), 연직배수재의 교란영역특성을 고려한 압밀지연특성 분석, 박사학위논문, 홍익대학교.
2. Hansbo, S.(1987), "Fact and Fiction in the Field of Vertical Drainage," *Prediction and performance in Geotechnical Engineering*, Calgary, pp. 61-72.
3. Teh, C. I., and Houlby, G. T.(1991), "An analytical study of the cone penetration test in clay," *Geotechnique*, 41(1):17-34.