

Drain 타설심도에 따른 압밀효과에 관한 연구

A Study on the Effect of Consolidation according to the depth of Vertical Drains

손대산¹⁾, Dae-San Son, 장정욱²⁾, Jeong-Wook Jang, 박춘식³⁾, Sik-Choon Park

1) 창원대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Changwon National Univ.

2) 창원대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon National Univ.

3) 창원대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon National Univ.

SYNOPSIS : This study analyzed characteristics of soft ground consolidation according to depths of vertical drain. As the result, when the depth ratio of vertical drains (L/D) were 0.5, 0.7, and 1.0, consolidation characteristics were similar up to 70% in consolidation degree under one-dimensional drain condition. However, above this degree, consolidation speed became slower as L/D became smaller. Two-dimensional drain condition also showed a similar tendency, but when L/D was 1.0, the consolidation speed was relatively higher.

Key words : Soft ground, Vertical drain, Depth ratio, Consolidation characteristic

1. 서 론

인구 증가와 급격한 산업발전으로 인하여 토목공사 및 각종 건설 공사가 활발히 진행되고 있으며 또한 안전하고 쾌적한 각종 편의 시설의 확충이 사회적으로 요구되고 있는 실정이다. 또한 우리나라는 육지의 개발 한계에 따른 국토자원개발의 효율성 제고를 위하여 해안매립 사업의 필요성이 급증되고 있어 연약지반 분야의 중요성이 점차 확대되어 가고 있다.

연약지반은 그대로 사용하기에는 어려움이 수반되는 지반이므로 안정성 확보를 위한 대책공법이 요구되며 이러한 대책공법의 종류는 상당히 다양하다. 그 중 한 방법으로 압밀을 촉진시켜 지반의 안정화를 꾀하는 것이 압밀촉진공법이라 불리어지는 공법으로 비교적 많이 사용되어지고 있는 공법이다. 압밀촉진공법에는 성토재하에 의한 배수공법과 연직배수체에 의한 방법 등이 있다. 연직배수체는 압밀시간에 영향을 미치는 인자 중에서 배수거리를 짧게 함으로써 압밀시간을 크게 단축시키는 공법이다. 연직배수체의 압밀시간 계산시 배수거리는 배수재의 직경이나 배수재의 간격 등에 의해 크게 좌우된다.

본 연구에서는 연직배수체의 간격 또는 배수재 직경 등의 변수 이외에 시공 상에 있어서 발생할 수 있는 변수에 관심을 두고 있다. 실제 현장에서는 연약층의 두께가 구간에 따라 상당히 다를 수 있으며, 이와 같은 현장의 경우 목적 달성을 위해서는 연약층 심도에 따라 연직배수체의 타설심도를 달리 시공할 필요성이 있으나 실제 시공에 있어서는 상당한 어려움이 따른다. 따라서, 일률적으로 연직배수체를 타설할 경우 배수재가 시공되지 못하는 연약구간 즉 미개량구간이 발생하게 된다.

이러한 경우 연약지반의 압밀특성을 파악하기 위하여 유한요소해석프로그램인 PLAXIS를 이용하여 연약지반을 모델화하고 배수재의 타설심도를 변수로 하여 실제 현장에서 발생 가능한 여러 경우를 상정하여 각각의 경우에 대한 압밀특성을 분석하였다.

2. 해석 및 결과 분석

2.1 해석모델 및 적용 토질정수

그림 1은 연구대상모델을 보여주고 있으며, 해석시 적용한 토질정수는 표 1과 같다. 성토체는 연약지반 설계시 일반적으로 적용되는 토질정수를 사용하였고 연약지반의 토질정수는 연약지반 판정기준에 따른 점토질 지반의 특성을 참고하였다. 성토고는 시공시 안전율을 1.2로 보고 한계 성토고 식에 의하여 3m로 결정하였다.

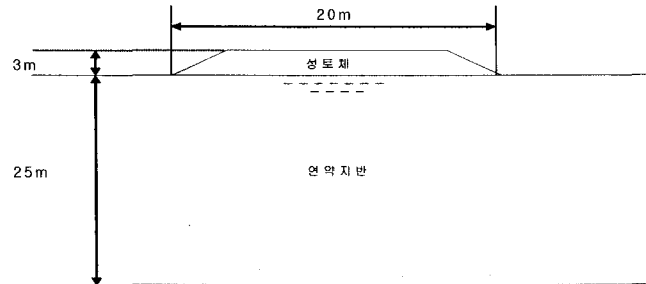


Fig.1 Analysis Model

Table.1 Soil Parameter

구분	γ_t (tf/m ³)	ϕ (°)	c (tf/m ²)	v	E_s (tf/m ²)	K (m/day)
성토체	1.90	25.0	1.5	0.35	1500	1×10^{-1}
연약지반	1.60	0.0	1.5	0.35	150	1×10^{-4}

2.2 배수조건과 L/D에 따른 시간~압밀도

그림 2는 배수재의 타설심도와 배수조건에 따른 압밀특성을 알아보기 위한 해석 단면의 일예를 나타낸 것이며, 해석결과는 그림 2에 나타낸 A점에서의 시간~침하량 관계를 도출한 후, 이를 이용하여 시간과 압밀도의 관계를 유추하는 방향으로 정리하였다.

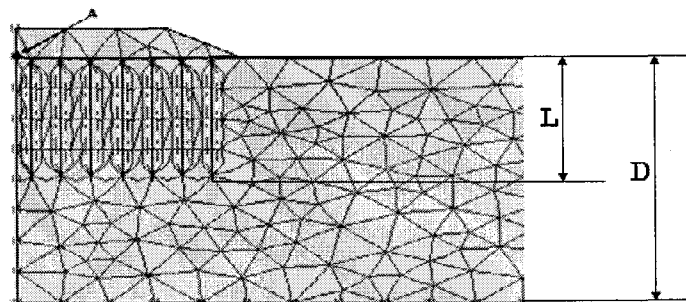


Fig. 2 Mesh

그림 3은 양면 배수 조건에서 미개량구간의 비율에 따른 압밀특성을 해석한 결과를 정리한 것이다. 이 그림으로부터 L/D이 0.5일 때와 0.7의 경우 압밀도 약 65%까지는 유사한 압밀특성을 보이며, 그 이후에는 L/D=0.7의 경우가 더 빠르게 압밀이 진행되는 것을 알 수 있다. 또한 L/D이 1인 경우는 다른 경우에 비하여 처음부터 빠른 압밀특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 표 2는 양면배수조건에서 L/D에

따른 압밀도 50%와 90%에 소요되는 시간을 정리하여 나타낸 것이다.

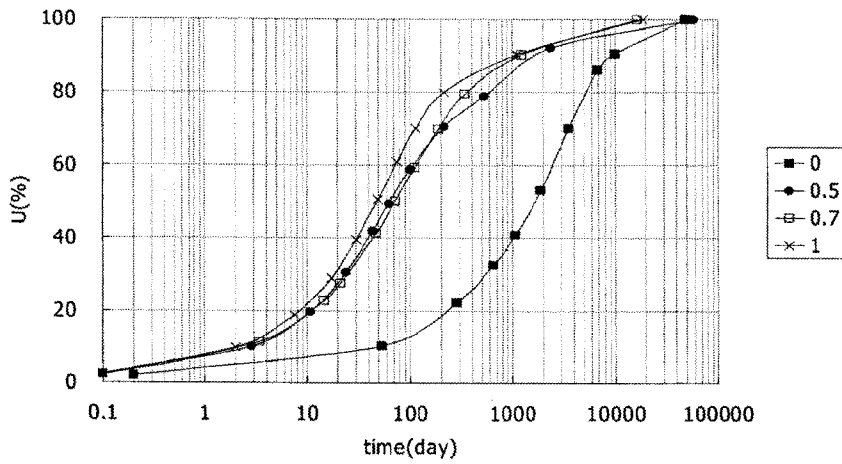


Fig.3 Time ~ Consolidation Degree according to the L/D (two-way drainage)

Table.2 Time~Consolidation Degree according to the L/D (two-way drainage)

L/D	time(50%)	time(90%)
0	1700 day	9500 day
0.5	65 day	1900 day
0.7	72 day	1200 day
1	49 day	1000 day

그림 4는 일면배수조건에서의 해석결과를 정리한 것이다. 이 그림으로부터 일면배수조건인 경우 양면 배수조건과는 달리 L/D이 0.5일 때와 0.7, 1인 경우 모두 압밀도 70%까지 거의 같은 압밀특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 그 이후 L/D=0.5의 경우는 점차 압밀 진행 속도가 느려지고 압밀도 80% 이상이 되면 L/D=0.7인 경우에도 압밀 진행 속도가 늦어지는 현상을 보임을 알 수 있다. 표 3은 일면배수 조건에서 L/D에 따른 압밀도 50%와 90%에 소요되는 시간을 정리하여 나타낸 것인데, 이 표로부터 압 밀도 50%까지의 소요시간이 L/D에 따라 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

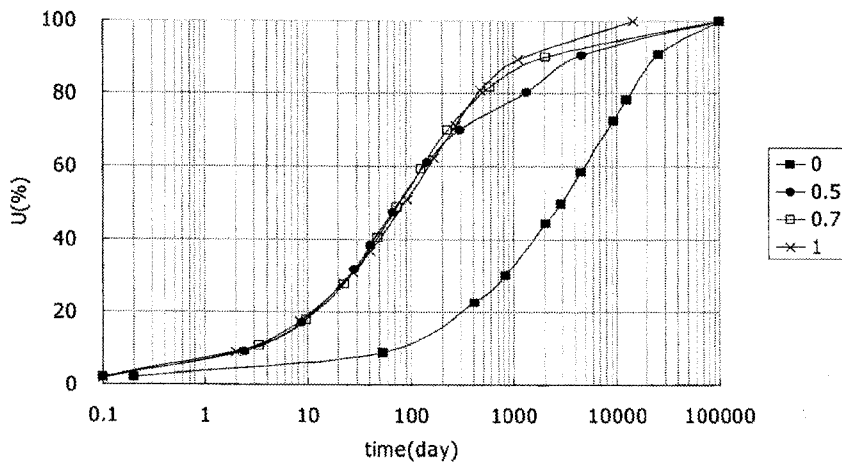


Fig.4 Time ~ Consolidation Degree according to the L/D (one-way drainage)

Table.3 Time ~ Consolidation Degree according to the L/D (one-way drainage)

L/D	time(50%)	time(90%)
0	2870 day	25000 day
0.5	75 day	4500 day
0.7	80 day	2000 day
1	85 day	1200 day

그림 5는 L/D=0.5일 때 배수재가 타설된 지점과 타설되지 않은 지점의 과잉간극수압을 비교하여 나타낸 것이다. 배수재 타설 지점에서는 200일 이내에 간극수압이 거의 소산되지만 배수재가 없는 구간에서는 100일 이후에 소산되기 시작하여 완전 소산까지는 상당 시간이 소요됨을 알 수 있다.

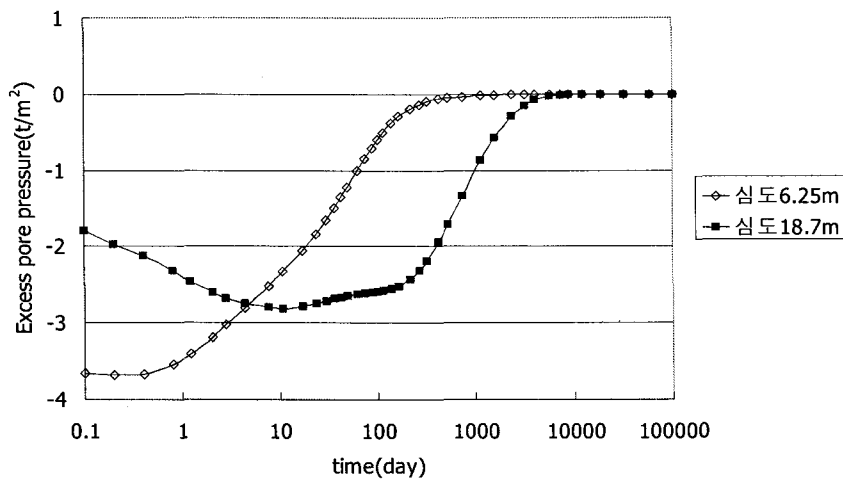


Fig.5 Excess Pore Water Pressure according to the Depth (L/D=0.5, one-way drainage)

2.3 구간별 드레인 타설심도비의 변화

양면 배수조건에서 구간별 드레인의 타설심도비(L/D)를 달리하여 그림 6과 그림 7에 나타낸 바와 같이 B, C 점에 있어서의 시간에 따른 침하량을 드레인이 균일하게 타설된 경우와 비교 분석하였다. 그림 6은 구간별 타설심도비가 1:0.5인 경우, 그림 7은 구간별 타설심도비가 0.5:1인 경우의 해석 모델이다.

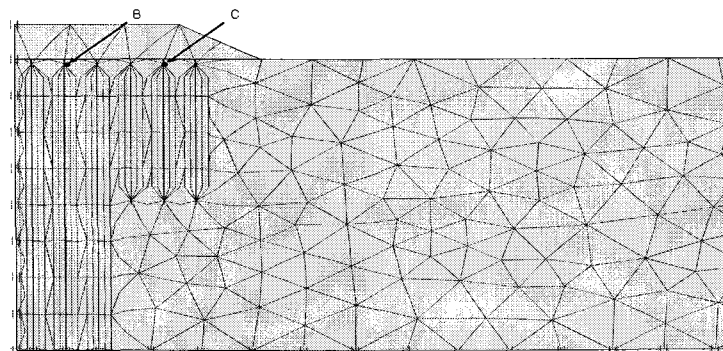


Fig.6 Model Divided into L/D=1 and L/D=0.5

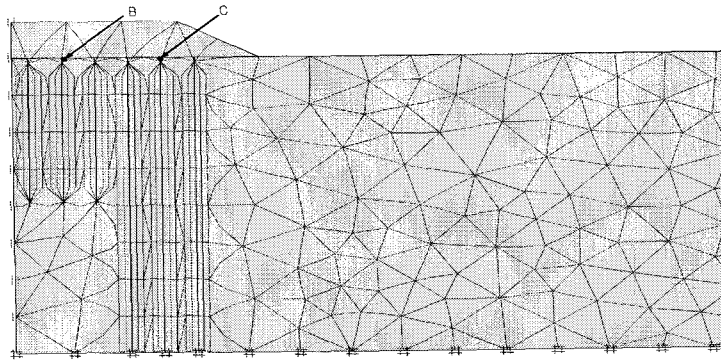


Fig.7 Model Divided into L/D=0.5 and L/D=1

그림 8과 그림 9, 표 4와 5는 각각 그림 6에서의 B와 C점의 시간~침하량 결과로부터 도출한 시간~압밀도 그래프와 표이다.

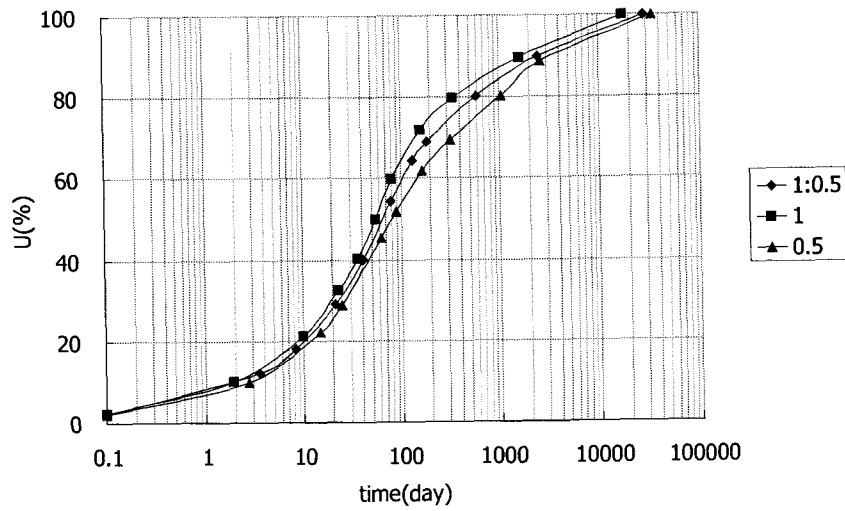


Fig.8 Time~Consolidation Degree Compared with L/D=1 and L/D=0.5 at the B point (L/D=1:0.5)

Table.4 Time~Consolidation Degree Compared with L/D=1 and L/D=0.5 at the B point (L/D=1:0.5)

L/D	time(50%)	time(90%)
1 : 1	55 day	1600 day
1 : 0.5	65 day	2500 day
0.5 : 0.5	80 day	3300 day

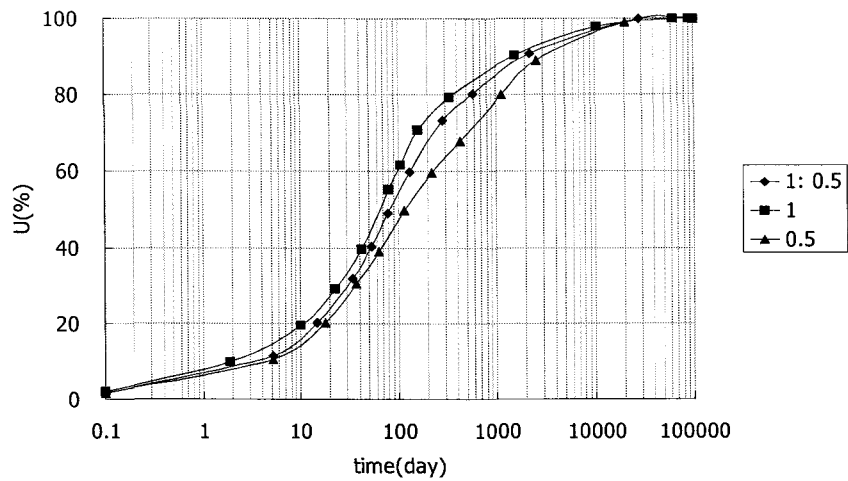


Fig.9 Time~Consolidation Degree Compared with L/D=1 and L/D=0.5 at the C point (L/D=1:0.5)

Table.5 Time~Consolidation Degree Compared with L/D=1 and L/D=0.5 at the B point (L/D=1:0.5)

L/D	time(50%)	time(90%)
1 : 1	65 day	1600 day
1 : 0.5	82 day	1900 day
0.5 : 0.5	120 day	3000 day

다음 그림 10과 그림11, 표 6과 7은 각각 그림 7에서의 B와 C점의 시간~침하량 결과로부터 도출한 시간~압밀도 그래프와 표이다.

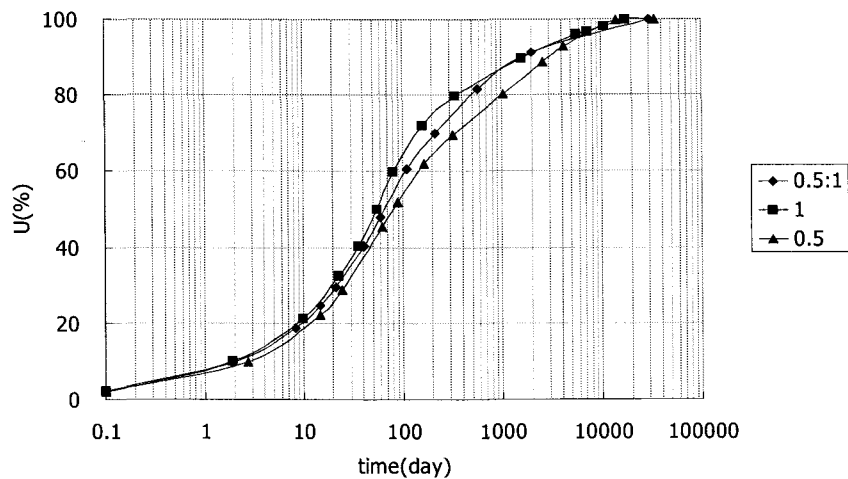


Fig.10 Time~Consolidation Degree Compared with L/D=1 and L/D=0.5 at the B point (L/D=0.5:1)

Table.6 Time~Consolidation Degree Compared with L/D=1 and L/D=0.5 at the B point (L/D=0.5:1)

L/D	time(50%)	time(90%)
1	55 day	1600 day
0.5:1	67 day	1600 day
0.5	80 day	3300 day

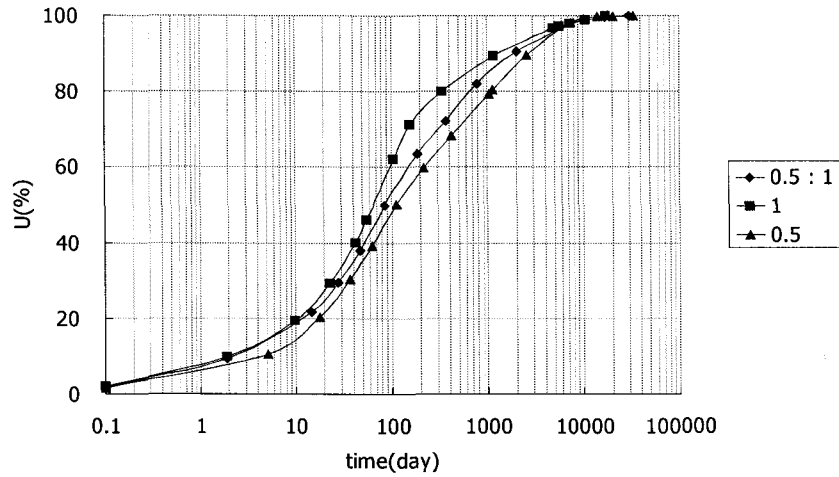


Fig.11 Time~Consolidation Degree Compared with L/D=1 and L/D=0.5 at the C point (L/D=0.5:1)

Table.7 Time~Consolidation Degree Compared with L/D=1 and L/D=0.5 at the C point (L/D=0.5:1)

L/D	time(50%)	time(90%)
1	65 day	1600 day
0.5:1	85 day	1800 day
0.5	120 day	3000 day

구간별로 드레인 타설심도가 다른 경우, 즉 L/D=1:0.5, L/D=0.5:1인 경우를 해석해 본 결과, 시간~압밀도 그래프는 두 가지 조건 모두, 전 구간 균일하게 드레인이 타설된 L/D=1인 경우와 L/D=0.5인 경우의 중간값을 나타냄을 알 수 있었다. 구간별 타설심도비 L/D=0.5:1 또는 L/D=1:0.5에서 L/D=0.5인 일부구간에서의 시간~압밀도 그래프는 전 구간 L/D=1과 L/D=0.5의 그래프의 중간값에 가까웠고 L/D=1인 일부구간에서의 시간~압밀도 그래프는 일부구간의 L/D=0.5인 경우보다 전 구간 L/D=1의 그래프에 가까운 경향을 보였다. 결론적으로 드레인이 타설된 전 구간을 고려해 볼 때, 구간별로 드레인 타설심도가 다른 경우에는 전 구간 L/D=1인 경우와 L/D=0.5인 경우의 평균적인 압밀도를 보이고 있다.

3. 결론

본 연구에서는 유한요소해석 프로그램인 PLAXIS를 이용하여 배수재의 타설심도에 따른 압밀특성을 해석해 보았다. 또한 구간에 따라 드레인의 타설심도가 다른 경우에 대해서도 그 압밀특성을 분석하였

다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 시간과 압밀도의 관계를 나타내는 그래프로부터, 드레인의 타설심도를 달리한 경우라도 초기에서부터 압밀도 70%까지는 거의 유사한 압밀특성을 보이지만 이후에는 시간이 경과할수록 압밀의 진행이 느려짐을 알 수 있다. 또한 압밀의 진행이 느려지기 시작하는 시기는 드레인의 타설심도가 깊을수록 늦게 나타남을 알 수 있다. 이는 드레인의 영향이 없는 미개량 심도에서는 드레인이 없는 양면 또는 일면배수조건을 나타내는 데 반해, 드레인이 타설된 심도까지의 압밀은 미개량 부분의 그것보다 빠른 시간에 이루어지기 때문으로 해석된다
2. 양면배수조건하에서 $L/D=0.5$, 0.7 인 경우 즉, 다시 말해서 미개량 부분이 존재할 경우에는 미개량 부분의 점토의 투수계수가 작기 때문에 양면배수의 효과가 $L/D=1$ 인 경우에 비하여 드레인의 효과가 상대적으로 작았다. 하지만, $L/D=1$ 경우는 미개량 부분이 없어지기 때문에 간극수가 위, 아래 양쪽으로 신속히 빠져나가는 양면배수의 압밀특성을 보였다.
3. 구간별 드레인 타설심도비가 다른 경우 즉, $L/D=1:0.5$, $L/D=0.5:1$ 인 경우를 해석해 본 결과, 시간~압밀도 그래프는 두 가지 조건에서 모두, 전 구간 $L/D=1$, $L/D=0.5$ 인 경우의 그래프의 안쪽에서 중간값에 유사하게 나타난다. 특히 압밀도 50%일 경우에는 중간값과 거의 차이가 없었다.
4. 구간별 드레인 타설심도비가 $L/D=0.5$ 와 $L/D=1$ 로 다른 경우, $L/D=1$ 인 구간이 미개량부분이 존재하는 $L/D=0.5$ 인 구간보다 같은 시간에 더 큰 압밀도를 나타내지만, 드레인 타설구간 전체를 고려해 볼 때는 전 구간의 드레인 타설심도가 $L/D=1$ 인 경우와 $L/D=0.5$ 인 경우의 평균적인 압밀도를 나타내었다.

참고 문헌

1. 박춘식, 장정욱 共譯 “토질역학”, 엔지니어즈, 1999.
2. 전성기, “실무자를 위한 연약지반 설계실무편람”, 1998.
3. 한국지반공학회, “연약지반 처리공법연구”, 1987
4. 조성민, “국내 연약 점성토 지반의 성토 재하시 변형특성분석, 박사학위논문, 서울대학교, 1998
5. 한국도로공사 “압밀축진공법 적용지반의 변형해석에 관한 연구(Ⅲ)”, 1995
6. 한국토지공사, “연약지반의 압밀특성에 관한 연구 I?II”, 1999.
7. Braja M. Das, 신은철 역 "Principles of Geotechnical Engineering", 구미서관, 1999
8. Terzaghi, K., and Peck,R, "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley and Sons, Inc, New York N.Y, 1948