

해안준설매립토의 조기안정을 위한 수평배수공법에서 부압과 배수재 배치간격의 영향

The Effects of Negative Pressure and Drain Spacing in the Horizontal Method for an Early Settlement of Dredged and Filled Grounds

김수삼* · 한상재** · 김병일* · 김정기***

Soo Sam Kim*, Sang Jae Han**, Byung Il Kim*, and Jung Ki Kim***

要 旨 : 본 연구에서는 수평배수공법에 있어서 부압과 배수재 배치간격에 대한 영향을 일련의 실내실험을 통해 살펴보았다. 중형토조실험을 이용한 적정 부압 선정에 관한 실험결과 초기에 낮은 부압을 가하고 단계적으로 높은 부압을 가하는 것이 바람직하고, 높은 부압을 가하는 경우에 일어날 수 있는 배수재의 위치 변화를 작게하며, 배수재로부터 거리에 따라 함수비를 균등하게 감소시킴으로서 함수비 저감 효과가 큰 것으로 나타났다. 그리고, 新畝博 등(1988)의 제안식을 이용하여 배수재의 평균 타설간격을 산정하여 Barron(1948)의 이론식을 이용한 계산값과 실제 침하량 측정으로부터 구한 시간 경과에 따른 압밀도를 비교한 결과 실측 압밀곡선은 新畝博 등(1988)의 평균타설간격(d_m)을 적용한 실측 압밀곡선과 거의 유사한 경향을 보였다. 따라서, 현장에서 수평배수재를 설치한 준설지반의 배수재 배치간격과 압밀속도를 계산함에 있어서 新畝博 등과 Barron의 이론식 적용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 수평배수공법, 부압, 배수재 배치간격, 준설지반

Abstract □ In this paper, the laboratory test results with middle-sized soil box test in modeling the in-situ installing of horizontal drains are discussed for the estimation of the optimum negative pressure. The test was carried out in the different vacuum pressure conditions together with the measurement for the settlement and volume change of drained water by the installed drains during the consolidation process. After the test, the water content was measured to both directions of lateral distance from the drain and depth of the soil, to find out the distribution of ground improvement and strength enhancement. From the analysis on the distribution of water content, the gradual application of vacuum pressure to higher level by pre-determined stages starting from low vacuum pressure is found to be effective and desirable. In the comparison of the degrees of consolidation with elapsed time, the calculated value by the prediction method based on the Barron's conventional theory showed a good agreement with the measured value. With this, it is positively considered that the applicability of the prediction method based on Barron's theory to the practical design of horizontal drains can be justified such as in the calculation of drain spacing and consolidation period.

Keywords : horizontal method, negative pressure, drain spacing, dredged clay

1. 서 론

매우 연약한 해성준설점성토의 표층을 신속하게 안정화 시킬 수 있는 새로운 공법으로 준설된 점성토를 매립

지에 투기함에 따라 형성되는 초연약지반내에 배수재를 단단으로 수평하게 매설하여 배수거리를 단축시키고, 재하 방법으로 매설된 배수재의 단부에 진공펌프를 이용하여 연약지반에 부압을 작용시켜 지반 내에 포함되어 있는 다

*한양대학교 토목환경공학과(Corresponding author: Byung Il Kim, Civil & Environmental Eng., Hanyang Univ., 1271, Sa-dong, Ansan, Kyunggido 425-791, Korea. geokbi@ihanyang.ac.kr)

**한양대학교 공학기술연구소/서경대 토목공학과(Research Institute of Eng. & Tech., Hanyang University)

***한국철도기술연구원(Korea Railroad Research Institute)

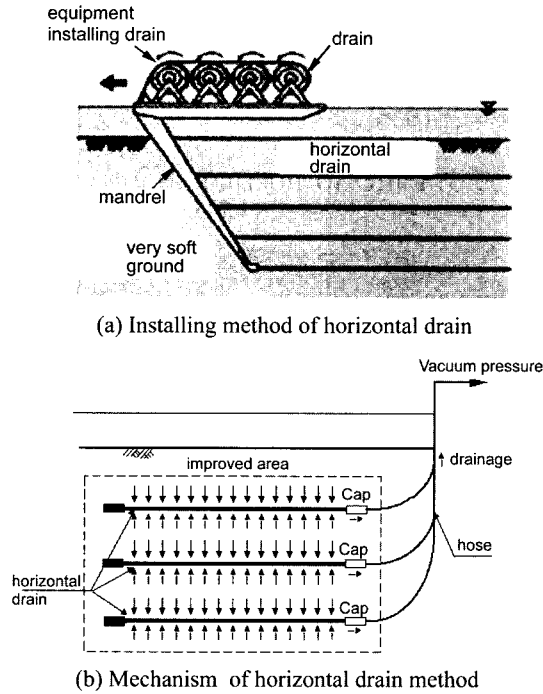


Fig. 1. Schematic of horizontal drainage using vacuum.

량의 간극수를 강제로 배출하여 초연약지반을 단기간에 대량으로 압밀 개량하는 수평 배수공법이 소개되고 있다(Fig. 1).

초연약준설토의 안정처리기술과 중기의 주행성 확보를 위한 수평배수공법을 실제 현장에 적용함에 있어 가장 중요한 영향인자는 배수재에 가해지는 진공펌프에 의한 부압과 그에 따른 배수재의 타설간격이다(김정기, 2001).

이에 본 연구에서는 보다 효율적인 시공을 위해 실내에서 실제 현장을 축소 모델화한 토조실험을 통하여 수평배수재의 타설간격과 진공펌프에 의해 배수재에 가해지는 부압에 대한 영향을 파악하는 두 가지 연구를 수행하였다.

2. 이 론

해석시 단면이 원형인 배수재를 그대로 적용하는 경우 치수와 형상에 따라 분석이 복잡해지기 때문에 이를 단순화 하여 배수이론에 적용할 수 있도록 배수재의 등가경(equivalent diameter of drains, d_w)을 구하여 사용한다.

준설매립지반에 수평배수재를 적용함에 있어서 현재 정립된 이론식이 없어 배수재의 설치간격, 배수재의 배치방법, 배수재의 등가경 등을 산정함에 있어 본 연구에서는 메카니즘이 유사한 연직배수공법의 이론을 적용하고 그 타당성을 증명하고자 하였다.

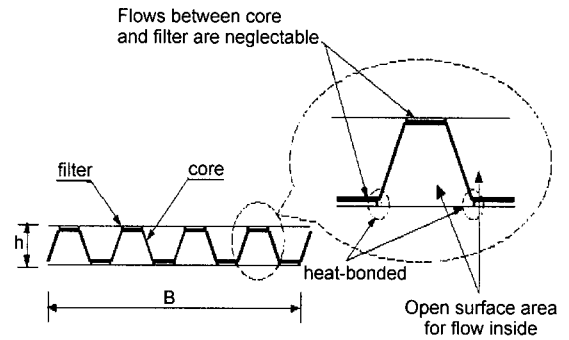


Fig. 2. Explanation of open surface area.

2.1 배수재의 등가경

본 연구에서 사용된 배수재는 Fig. 2에서 제시한 바와 같고, 수평배수공법 해석시 사용되는 등가경 산정시 코어와 필터재가 열융합 방식으로 접촉되어 있기 때문에 코어와 필터재의 연결부분에서는 간극수의 흐름이 없다고 판단되어 이를 고려하여 Rixner *et al.*(1986)이 제시한 식(1)을 이용하였다.

$$d_w = \frac{(B+h)}{\pi} \quad (1)$$

여기서, B : 배수재의 폭

h : 배수재의 두께

2.2 배수재의 간격

본 연구에서 수평배수재의 배치방법은 Kjellman(1952)이 제시한 정방형배치를 이용하였으며, 배수재 적용지반의 해석시에 있어서 계산상의 복잡성을 고려하여 단일의 환산원형 배수재에 의해 방사형 배수가 발생하는 원통형 토피의 등가경, 즉 배수재의 영향원이라고 불리는 d_e 로 환산하여 해석에 이용된다. Fig. 3은 배수재의 배치와 유효경(영향원의 직경)의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 정방형내의 간극수는 각 영역의 중앙에 위치한 배수재로 유입된다. 이 배수영역을 같은 면적의 유효경으로 환산하면 그 직경과 배수재의 평균 간격 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다(Kjellman, 1952).

$$\frac{\pi d_e^2}{4} = d_m^2 \rightarrow d_e = 1.13 \cdot d_m \quad (2)$$

여기서, d_m : 배수재의 평균타설간격

d_e : 배수재의 유효경

d_w : 배수재의 등가경

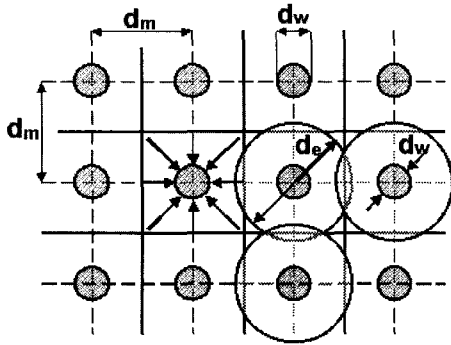


Fig. 3. Arrangement and effective influence diameter of drain.

2.3 진공압 작용기간(압밀소요시간)

수평배수공법은 배수재의 초기 타설간격을 조절함으로써 진공압 작용기간을 조절할 수 있다. 본 연구에서는 Barron(1948)이 제시한 식들을 이용하여 압밀도의 근사해를 산정하였다.

진공작용기간:

$$t_U = \frac{d_e^2}{C_v} T_h \quad (3)$$

압밀도:

$$U = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F(n)}\right) \quad (4)$$

여기서, T_h : 시간계수

C_v : 압밀계수

U : 압밀도(=0.8~0.9)

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

$$n = \frac{d_e}{d_w}$$

수평배수공법의 설계에서는 중공원주의 압밀이론에 대한 Barron(1948)의 근사해를 적용하고 있다. 그러나, 본 연구에 있어서는 Fig. 4에 제시된 바와 같이 침하가 진행됨에 따라서 유효영향원의 형상이 타원형으로 변화되기 때문에 연직배수공법에 적용되는 「직경일정」의 경계조건을 적용할 수 없다. 따라서 다음과 같이 배수재의 평균타설간격을 보정함으로써 유효영향원을 계산하여 사용하였다(新舍博 등, 1988).

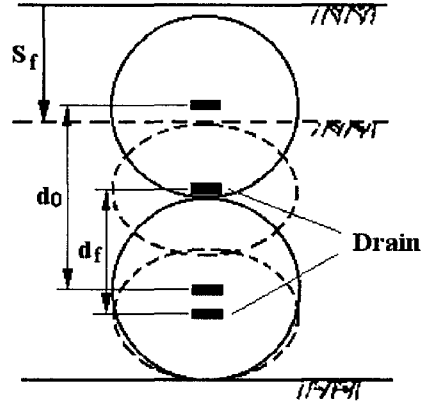


Fig. 4. Average space and effective influence diameter of drain.

$$d_m = \sqrt{\frac{d_0^2 + d_f^2}{2}} \quad (5)$$

$$d_e = 1.13 \cdot d_m \quad (6)$$

여기서, d_0 : 배수재의 초기타설간격

d_f : 배수재의 최종간격

d_m : 배수재의 평균타설간격

d_e : 배수재의 유효영향원

2.4 작용부압

진공펌프에서의 진공압과 실제 준설지반에 작용되는 진공압을 비교하면, 후자가 전자에 비해 작게 나타난다. 이러한 진공압 저하의 주요 요인은 다음과 같다(新舍博 등, 1991).

- ① 진공펌프의 설치위치와 수위의 차(위치수두)
- ② 배수재 및 배관부의 마찰이나 탄곡 등에 의한 저항 (관로 손실수두)
- ③ 육상 배관부 및 외부에서 발생하는 공기 등의 흡수 따라서, 현장의 초연약점성토에 작용하는 진공압의 크기는 이러한 손실분을 고려하여 설정해야 한다. 그러나, 본 연구에서 실시하는 실내 실험은 현장의 실제 매립지보다는 그 규모가 상당히 작다. 즉, 진공펌프의 설치위치와 수위차에 의해 발생하는 수위차는 상당히 작고, 실험에 사용되어진 배수재는 현장의 배수재에 비해 매우 짧고, 외부에서의 공기의 흡수는 거의 없다고 판단되어 전술한 진공압 저하 요인은 고려하지 않았다.

3. 실내실험

3.1 실험범위

본 연구에서는 배수재가 수평으로 매설된 현장의 조건

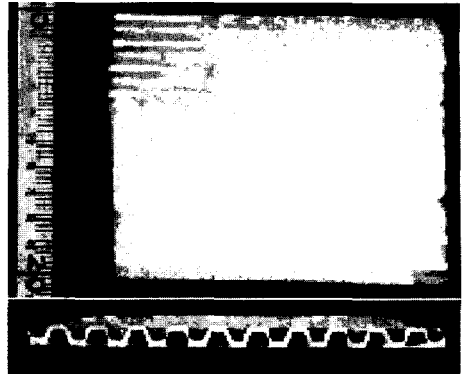
을 모식화하여 압밀특성을 조사하기 위하여 배수재 상호 간의 역할에 의해 압밀을 유도하는 복합배수실험인 대형토조실험과 단일의 배수재가 설치된 토괴의 압밀특성을 조사하는 중형토조압밀실험을 실시하였다. 중형토조실험의 경우는 수평배수재의 성능과 효율적 부압을 평가하기 위하여 실제현장에 수평배수재를 타설한 경우를 모식화한 실험이었으며 중앙부 단일배수재로 인해 발생하는 시료의 침하특성 및 압밀속도를 조사하고 실험 종료 후 함수비를 측정하였다. 대형토조실험의 경우는 실제 지반에서의 수평배수재의 적정 타설 간격을 분석하고자 실내에서 배수재를 축소 제작하여 간격비를 실제 지반과 유사하게 하여 배수재 상호작용에 의한 압밀거동을 조사하였다.

3.2 대상시료의 특성

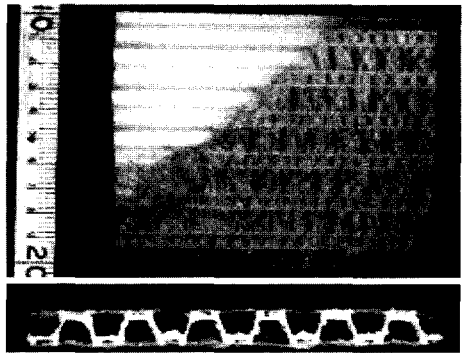
본 연구에서 사용된 시료는 남해안 진해지역과 여천지역에서 채취한 해성점성토로서 교란된 상태로 채취하여 습윤상태의 시료를 10번체로 체가름하여 시료에 포함되어 있는 이물질을 제거하였다. 이와 동시에 시료 채취지점과 동일한 위치에서 운반되어온 해수를 첨가하여 입자간의 포화도를 높이면서 고함수비 상태의 시료를 준비하였으며, 사용된 시료의 토질특성을 정리하면 Table 1과 Table 2와 같다.

3.3 실험에 사용된 배수재 특성

본 연구에서 사용된 배수재의 단면형상은 Fig. 5와 같으며, 대형토조실험에서 사용된 배수재는 폭 100 mm×두께 5 mm 단면을 가진 Type O-5로서 동수구배 $i=0.01$ 조건에서 $800\sim 1,000\text{ cm}^3/\text{sec}$ 의 통수능력을 보유하고 있다. Type O-5는 성곽형 코어와 열융착형 필터로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 현장의 배수재 설치간격과 유사하게 접근하기 위하여 Type O-5 배수재의 크기를 폭 25 mm



(a) Type O-5 (Width 100mm X Height 5mm)



(b) Type O-10 (Width 100mm X Height 10mm)

Fig. 5. Horizontal drains.

×두께 10 mm로 축소 제작하여 이용하였다.

중형토조실험의 경우 Type O-10을 사용하였으며 대형토조실험과 달리 배수재를 축소제작하지 않고 단면 그대로 사용하였다. Type O-10은 Type O-5와 같은 재질로서 단면의 크기는 폭 100 mm×두께 10 mm이다. 통수능력은 동수구배 $i=0.01$ 조건에서 $1,200\sim 1,600\text{ cm}^3/\text{sec}$ 을 보유한 제품이다.

Table 1. Soil properties(Jinhae)

Classification	Properties	Classification	Properties
Soil classification	CH	Liquid Limit (LL)	56.3%
Percent passing No. 200 sieve	93%	Plastic Limit (PL)	20.6%
Specific Gravity	2.67	Plastic Index (PI)	35.7

Table 2. Soil properties(Yochon)

Classification	Properties	Classification	Properties
Soil classification	CL	Liquid Limit (LL)	44±2%
Percent passing No. 200 sieve	97.84%	Plastic Limit (PL)	24±2%
Specific gravity	2.68	Plastic Index (PI)	20±2

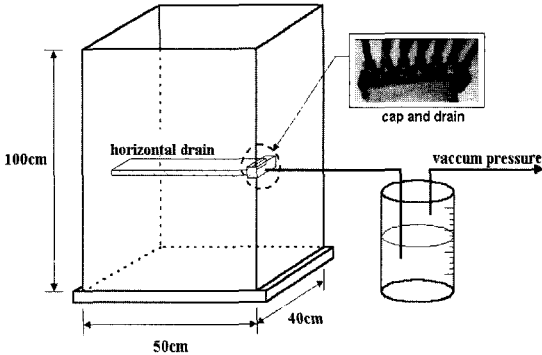


Fig. 6. The schematic diagram of middle scale soil box.

3.4 실험장치

3.4.1 중형토조 압밀시험기

일반적으로 사용되고 있는 방사형압밀시험기를 응용한 중형토조 압밀시험기는 토피에 단일배수재가 설치된 경우를 모형화하기 위한 장치로서 Fig. 6과 같다.

3.4.2 대형토조 압밀시험기

대형토조 압밀시험장치는 사각형 단면의 강철프레임으로 이루어진 대형토조를 이용한 복합압밀 배수시험으로써 현장조건과 유사하게 다수의 배수재를 설치할 수 있으므로 배수재간의 상호작용에 의한 배수재 타설지반의 배수 압밀거동을 모델화하기 위한 장치로서 Fig. 7과 같으며, 지반에 배수재를 수평으로 매설하고 진공압을 작용시켰을 경우 발생하는 지반의 압밀거동 및 배출되는 간극수의 양을 조사하는 것을 목적으로 하고 있다.

3.5 실험방법 및 절차

3.5.1 중형토조 압밀시험

본 실험은 단일의 배수재가 설치된 지반의 형상을 모형화하여 진공압밀에 의한 개량효과를 조사하기 위한 실험이다. 시료의 중앙에 설치된 배수재에 진공압을 각기 달리 가하는 조건으로 압밀을 진행시켰으며, 경과시간에 따른 표층의 침하량과 배수량을 측정하였다. 실험조건은 Table 3과 같으며, 슬러리의 초기 높이는 모든 조건에서

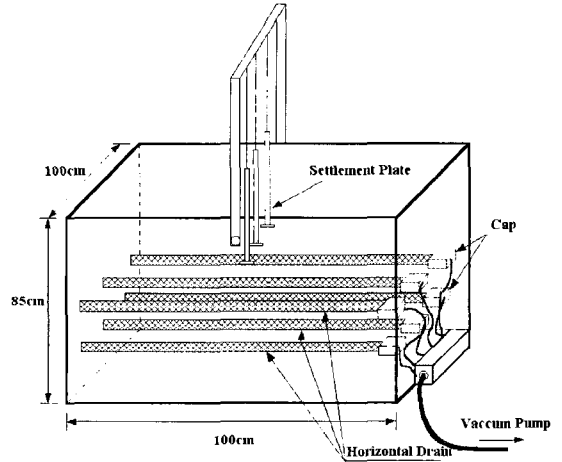


Fig. 7. Schematic diagram of large scale soil box equipment.

동일하게 90 cm로 하였으며, 슬러리를 투기한 후 침강단계가 끝나고 자중압밀이 시작되는 시점에서(24시간 경과 후) 진공펌프를 이용하여 부압을 가하였다.

3.5.2 대형토조 압밀시험

본 실험은 수평배수재를 다단으로 지반에 매설하였을 경우 지중에서의 연약지반이 압밀되는 과정을 모델화하기 위한 실험으로서 Fig. 8과 같이 축소 제작된 수평배수재를 소정의 위치에 고정시키고, 간극수가 배수되는 배수재의 끝단에 캡을 부착한 후 배수관을 연결하는 방식으로 진행하였다.

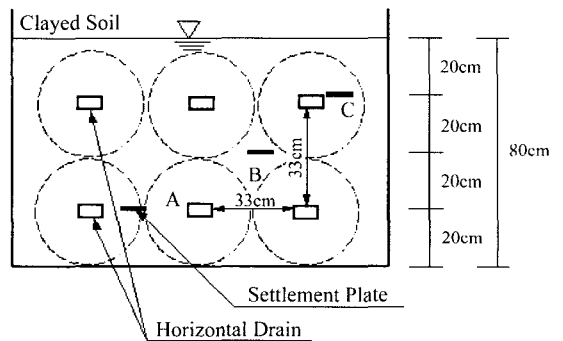


Fig. 8. Locations of horizontal drains and settlement plates.

Table 3. Test conditions of middle scale soil box test

	Initial water content(W_0)	Initial surface height(H_0)	Vacuum pressure
Case 1	267%	87.8 cm	0.2 kgf/cm ²
Case 2	278%	86.8 cm	0.4 kgf/cm ²
Case 3	230%	89.3 cm	0.8 kgf/cm ²

Table 4. Test condition of large scale soil box test

Vacuum pressure	Initial water content(W_0)	Initial height(H_0)	Spacing ratio(n)	Equivalent diameter(d_w)
Loading 0.2, 0.4, 0.8 kgf/cm ² negative pressure by stage	301%	80 cm	25	15 mm

Table 5. Results from middle scale soil box test

	Initial surface height(H_0)	Final surface height(H_f)	Cumulated drainage	Settlement
Case 1	87.8 cm	56.6 cm	34,360 cm ³	30.9 cm
Case 2	86.8 cm	53.6 cm	39,520 cm ³	33.2 cm
Case 3	89.3 cm	56.0 cm	49,360 cm ³	33.3 cm

Table 4는 대형토조실험의 실험조건으로서, 슬러리 상태의 시료를 토조에 투기하여 자중에 의한 자연배수와 진공압을 0.2, 0.4, 0.8 kg/cm²로 단계적으로 가하여 실험을 진행하였다.

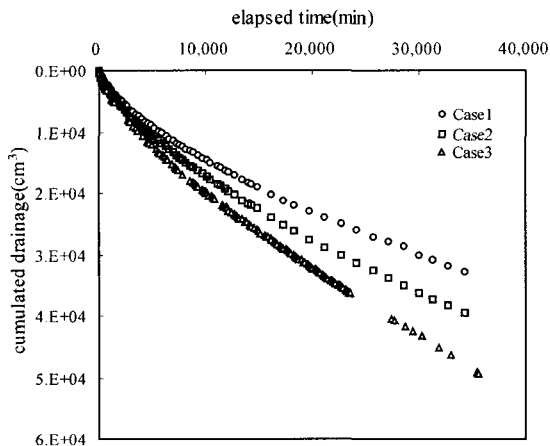
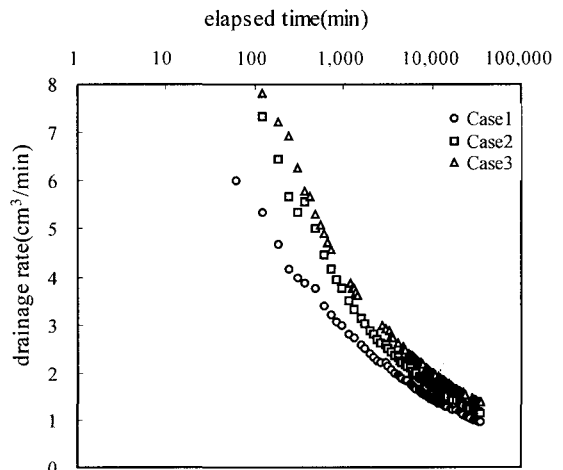
4. 실험결과 및 분석

4.1 중형토조 실험결과

4.1.1 부압 크기의 영향

Table 5는 약 25일이 경과한 시점(압밀도 90%이상)에서 각 조건에 대하여 압밀이 진행됨에 따라 진공압에 의해 시료 중앙에 설치된 수평배수재를 통하여 배출된 간극수의 누적 배수량과 진공압이 가해진 직후 표층의 초기높이와 실험종료 후 표층의 최종높이를 나타낸 것이다.

Fig. 9는 각 조건에 있어서 시간에 따른 누적 배수량을 나타내는 것으로서 부압의 크기에 대한 배수량의 영향을 알아보기 위한 것이다. 이 결과로부터 진공 펌프에 의한 부압의 크기와 누적배수량은 상호 비례적으로 증가하고 있

**Fig. 9.** Cumulated drainage with elapsed time.**Fig. 10.** Changes in drained water rate with time.

음을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 시간의 경과에 따른 배수속도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에 제시된 바와 같이 배수재에서 배출된 간극수의 초기배수속도는 각 조건에서 10 cm³/min 이하임을 알 수 있다. Type O-10의 통수능력을 감안할때 실내실험에서 시간당 배수되는 간극수의 양은 배수재의 통수능력에 비하여 크게 작기 때문에 배수재는 침수된 간극수를 원활히 배수하였기에 본 실험에서는 배수저항효과를 무시하여도 좋다는 것을 확인하였다. 그러나, 실험에 사용된 배수재의 길이는 50 cm로 현장조건(100~200 m)에 비하여 매우 짧기 때문에 배수저항의 효과를 조사할 수 없으므로, 현장시공과 이론식을 이용한 세심한 연구를 통하여 배수재의 타설길이에 따른 최소요구통수능력을 산정하는 것이 필요하다고 사료된다.

Fig. 11은 각 조건에 대하여 시간에 따른 표층의 침하량과 배수량으로 역계산(=배수량(cm³):시료의 면적(cm²))된 침하량을 비교한 것이다. 표층 침하량은 유사한 경향을

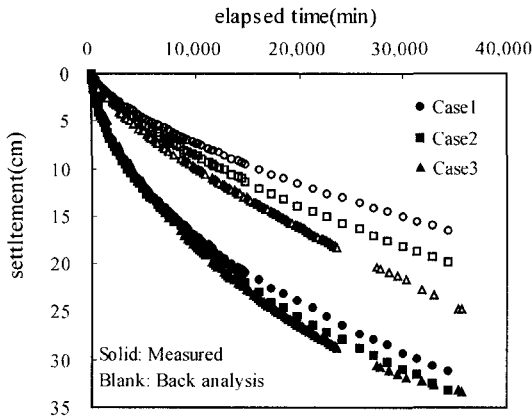


Fig. 11. Comparisons between surface ground settlement.

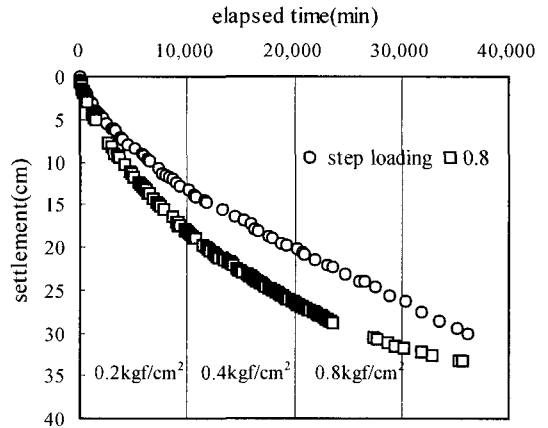


Fig. 13. Surface settlement with elapsed time.

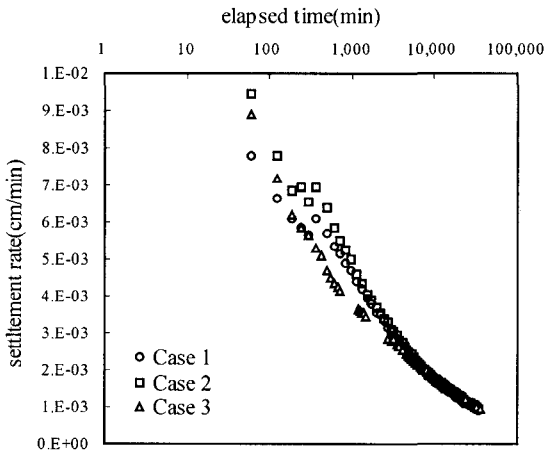


Fig. 12. Surface settlement rate with elapsed time and back calculated settlement from drained water with time.

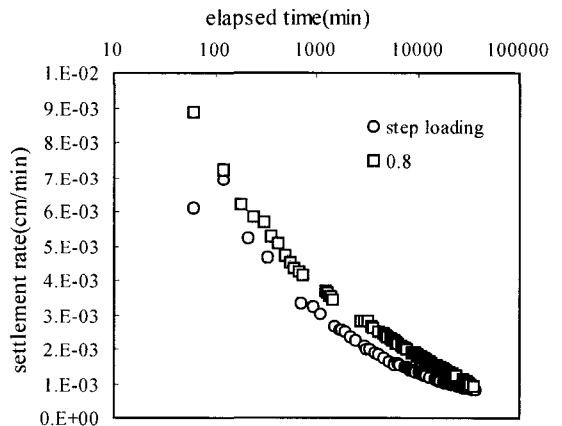


Fig. 14. Surface settlement rate with elapsed time.

이는 반면, 역계산된 침하량은 표층부의 실제 침하량에 약 74%정도밖에 미치지 못하고 있다. 이러한 차이가 발생하는 원인은 표층부 침하의 경우 진공압에 의한 압밀 이외에 시료의 전체적으로 발생하는 지중압밀에 의한 침하량이 누적되어서 나타나기 때문이며 이러한 경향은 시료의 하부로 내려갈수록 줄어들 것으로 판단된다. Fig. 12는 시간에 따른 표층의 침하속도를 도시한 것이다. 부압이 가해진 초기에는 부압의 크기에 따라 약간의 차이는 보이지만 시간이 경과함에 따라 일정하게 수렴하는 것을 알 수 있었다.

4.1.2 부압의 단계재하의 영향

단계적인 부압재하 방법으로 얻은 실험결과와 0.8 kgf/cm²의 부압이 가해진 실험결과와 비교하여, 시간에 따른 표층침하량과 배수량, 배수속도와 실험종료 후 깊이별 함수

비에 대한 결과로서 단계재하에 대한 효율성을 분석하였다.

Fig. 13은 시간에 따른 표층 침하량을 보여주는 것으로 단계적으로 가한 침하곡선과 0.8 kgf/cm²를 일시에 가한 침하곡선이 초기에는 차이를 보였지만 시간이 경과함에 따라 그 차이가 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 초기에 침하량이 차이가 나는 원인으로서는 진공펌프에 의해 재하되는 초기부압의 크기 차이에 의해 발생하는 것으로 판단된다. Fig. 14는 시간에 따른 침하속도를 보여주는 것으로서 약간의 차이를 보였지만 시간이 경과함에 따라 서로 일치하는 경향을 보였다.

Fig. 15는 시간에 따른 배수량을 보여주는 것으로 두 배수량곡선이 차이가 나는 이유는 초기 부압차에 의한 누적배수량의 차이 때문이다. 그러나, Fig. 16에 나타난 배수속도를 보면 초기에 약간의 차이는 보였지만 시간이 지남에 따라 일정하게 수렴하는 경향을 보였다.

Fig. 17은 배수제로부터 수평방향 거리별 최종평균함수

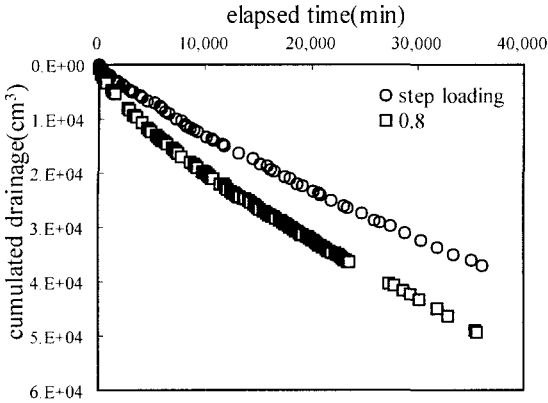


Fig. 15. Cumulated drainage with elapsed time.

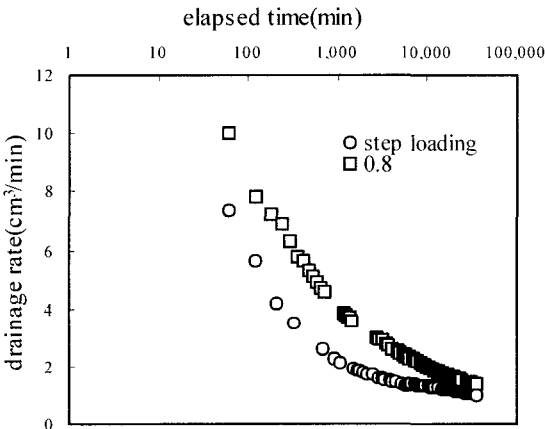


Fig. 16. Drainage rate with elapsed time.

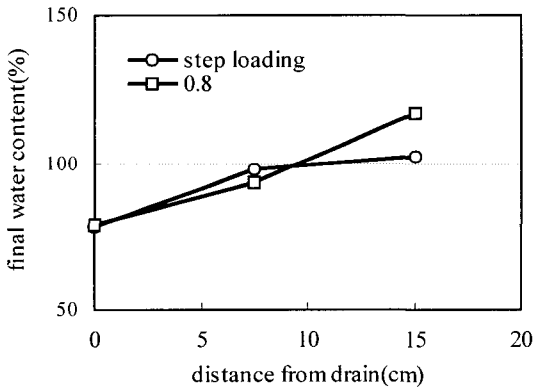


Fig. 17. Distribution of final water content with distance from horizontal drain.

비 분포를 보여주는 것으로 배수재 근처에서는 거의 비슷한 함수비를 보였으나 배수재로부터 멀수록 단계적으로 재하한 경우의 기울기가 감소하는 것을 알 수 있다. 이것

으로 수평배수재로부터 거리별 함수비의 저감효과는 단계적으로 부압을 재하한 경우가 단일 부압을 가한 경우보다 효율적으로 감소하였다는 것을 알 수 있었다.

4.2 대형토조 실험결과

4.2.1 배수량과 침하량

Fig. 18은 2단 3열로 수평배수재를 설치하고 진공압을 가하여 발생하는 시간에 따른 배수량과 배수속도의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서 수행된 실험에서 실험개시 후 약 23일이 경과한 시점에서 배수재가 설치된 상부 표층 3지역에서 균열이 발생하여 표층의 지표수가 시료 내부로 유입된다고 판단되어 실험을 종료하였다. Fig. 18을 살펴볼 때 약 30,000분이 경과한 시점에서부터 배수속도가 증가하는 것을 보고 지표수의 유입으로 인한 결과라고 판단하였다.

Fig. 19는 시료내부의 시간에 따른 층별침하량을 나타

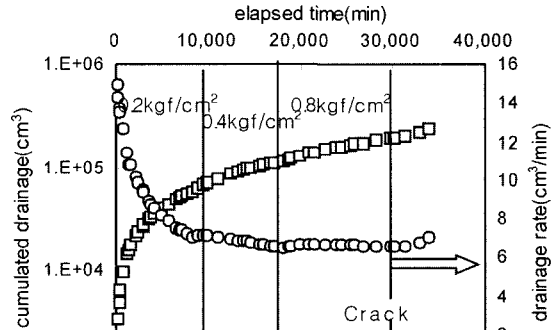


Fig. 18. Cumulated drainage and drainage rate with elapsed time.

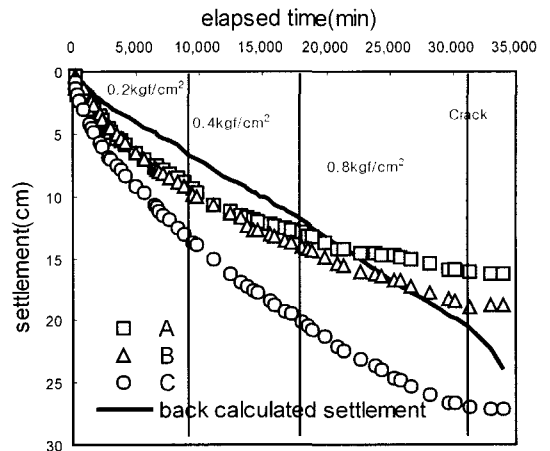


Fig. 19. Changes in settlement with elapsed time.

낸 것으로서, 그림에서 A, B, C는 Fig. 8에서 제시된 바와 같이 실험초기에 시료의 표층으로부터 각각 60 cm, 40 cm, 20 cm의 위치에 설치된 층별침하계를 나타낸다. Fig. 19에서 보이는 바와 같이 침하량은 시료의 상부에 설치된 C지점에서 가장 크게 발생하였으며(27.1 cm), 다음으로 B(18.8 cm), A(16.3 cm)순으로 나타났다. 이는 시료의 상부일수록 시료 전체에서 발생하는 진공압에 의한 누적 압축량과 자중압밀에 의한 침하량이 크게 나타나기 때문이라고 판단된다. 또한, 측정된 침하량은 시간이 지남에 따라 어느 정도 수렴하는 경향을 보이는 반면, 배수량으로부터 역계산한 침하곡선을 보면 초기 저부압에서는 A와 B지점에서의 침하량이 크게 나타났지만 부압이 증가할수록 침하량이 계속적으로 증가하여 두 지점의 침하량보다 커지는 경향을 보였다. 이는 부압이 증가할수록 배수재를 통한 간극수의 배출량이 점차적으로 증가한다는 것을 의미한다.

4.2.2 타설 간격의 산정

본 연구에서 수평배수재 타설시 필요한 효율적인 타설 간격을 산정하기 위해서 Barron(1948)의 이론식으로 구한 압밀곡선과 실측 압밀곡선을 비교 분석하였다. 실측 압밀곡선은 Assaoka법(Assaoka, 1978)을 이용하여 계산된 침하량을 구하였다. Table 6은 Assaoka법 적용시 계상수 β 값과 이로 구한 최종침하량을 정리한 것이다.

개랑전 초기 배수재 간격($d_0=33$ cm)이 진공압에 의해 압밀되면서 점차적으로 감소하여 실험종료 후 배수재 간격(d_f)이 23 cm로 줄었다. 이는 준설토지반의 압밀속도를 고려함에 있어 층 두께의 변화에 따른 배수재의 간격을 무시할 수 없다는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 근사해법으로 Barron의 압밀이론을 적용하면서, 압밀속도는 층 두께의 평방근에 비례한다는 것을 고려하여 新畚博 등(1988)이 제시한 식 (5)를 이용하여 배수재의 평균타설간격을 구하였다. Fig. 20은 Barron의 이론과 실제 침하량 측정으로부터 구한 시간에 따른 압밀도를 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 실측 압밀곡선은 新畚博 등(1988)이 제시한 식 (5)를 이용

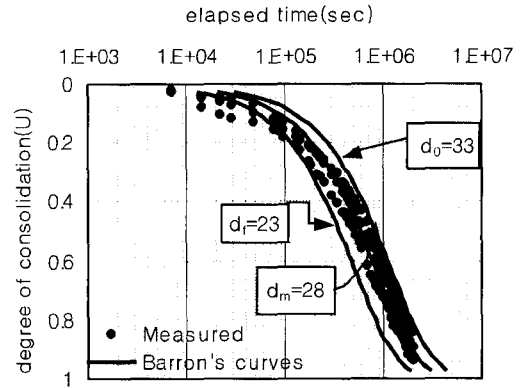


Fig. 20. Comparison of theoretical and measured consolidation curves.

하여 구한 평균타설간격(d_m)을 적용한 압밀곡선과 거의 유사한 경향을 보였다. 따라서, 현장에서 수평배수재를 적용한 준설지반의 압밀속도를 계산함에 있어서 Barron의 이론이 실용적으로 적용 가능하다는 것을 간접적으로 판단할 수 있었다. 또한 현장 설계시 층 두께의 변화에 의한 시간에 따라 변화되는 배수재 간격을 고려 하여 간격비를 산정해야 할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 제언

수평배수공법의 시공에 있어 가장 중요한 영향인자라고 할 수 있는 진공펌프에 의한 작용부압과 배수재의 설치간격에 대한 일련의 실내실험에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 중형토조실험 결과로부터 수평배수공법에서 진공펌프에 의한 하중을 재하하는 방법은 초기에 낮은 부압을 가하고 단계적으로 높은 부압을 가하는 것이 바람직하며, 높은 부압을 가하는 경우에 일어날 수 있는 배수재의 위치 변화를 작게하며, 배수재로부터 거리에 따라 함수비를 균등하게 감소시킴으로서 함수비 저감 효과가 큰 것으로 나타났다.
2. 新畚博 등(1988)의 제안식을 이용하여 배수재의 평균타설간격을 산정하고 Barron의 이론을 이용한 값과 실

Table 6. Final settlement and coefficients(β) obtained by Asaoka method

Values obtained by Asaoka's method	β_1	β_0	Final settlement, S_f (mm)
A	0.9261	1.2837	173
B	0.9392	1.2846	211
C	0.9487	1.6512	322

제 침하량 측정으로부터 구한 시간 경과에 따른 압밀도를 비교한 결과 실측 압밀곡선과 거의 유사한 경향을 보였다. 따라서, 현장에서 수평배수재를 설치한 준설지반의 압밀속도를 계산함에 있어서 Barron의 이론식 적용이 가능할 것으로 판단된다.

3. 중형토조실험결과 각 Case에서 배수재에서 배출되는 간극수의 배수속도는 $10 \text{ cm}^3/\text{min}$ 이하로 사용된 배수재 Type O-10의 통수능력에 비하여 매우 작기 때문에 배수 저항효과는 무시하여도 좋다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 실험에서 사용된 배수재의 길이는 50 cm로 현장조건에 비하면 매우 짧기 때문에 실내 실험으로는 배수 저항 효과를 조사할 수 없었다. 따라서, 현장시공과 이론식을 이용한 세심한 연구를 통하여 배수재 타설길이에 따른 최소요구통수능력 산정에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

김정기, 2001. 수평배수공법에 있어 부압과 배치간격의 영향, 중앙대학교 석사학위논문.

- Asaoka, A., 1978. Observational Procedure of Settlement Prediction, *Soils and Foundations*, **18**(4).
- Barron, R.A., 1948. Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells, *Trans. ASCE*, **113**(2346), pp. 718-742.
- Kjellman, W., 1952. Consolidation of clay soil by means of atmospheric pressure. *Proc. Conf. on Soil Stabilization, Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge, pp. 258-263.
- Rixner, J.J., Kremer, S.R. and Smith, A.D., 1986. Prefabricated Vertical Drains, Vol. II: *Summary of Research Effort*, FHWA, Research Report No. FHWA/RD-86/169, Washington.
- 新舍博, 松長作馬, 渡義治, 佐 秀, 1988. 水平ドレーンを利用した真空壓密工法の開発に關する研究(その大分空港埋立地における現場實驗, 土質工學研究發表會講演集, 第23回, pp. 2129-2132.

Received October 2, 2002

Accepted December 9, 2002