

수평배수공법에 의해 개량된 준설향토지반의 압밀거동에 관한 연구

A Study on the Consolidation Behaviour of Dredged Clay Ground
Improved by Horizontal Drain Method

김 형 주*¹
Kim, Hyung-Joo
원 명 수*²
Won, Myoung-Soo

Abstract

In this study, a large consolidation test was carried out to estimate the consolidation behaviour of dredged clay ground improved by horizontal drain using plastic board drain with a vacuum pressure. The test results were analyzed by a numerical simulation using potential consolidation theory applied to a hollow cylinder.

The rapid decreases in pore pressure and the drain speed in the plastic board indicate that the consolidation occurred quickly after the vacuum state was applied to the test soil.

According to the numerical analysis obtained by applying the linear potential consolidation theory to a clay hollow cylinder with external radial drainage, the pore pressure is affected by the strain and the permeability of the soil rather than by the diffusion types.

Therefore, measured surface settlement agreed with the numerical solution at the point where consolidation pressure increasing rate $\alpha = -0.5$. Also the behaviour of the clay layer settlement in the place where the drain was installed was similar to that shown in Barron's consolidation theory.

Finally, the design and construction procedure including the selection of the appropriate arrangement of horizontal drains were discussed based on the results of the laboratory tests. It is also shown that the potential consolidation theory make it possible to predict consolidation behaviour in the field using horizontal drains exactly.

요 지

본 연구에서는 플라스틱드레인을 이용하여 진공수평배수에 의해 개량된 준설향토 지반의 압밀거동을 파악하기 위하여 대형 압밀시험을 실시하였으며, 실험 결과가 포텐셜중공원주의 압밀이론을 이용한 수치해석에 의해 비교 검토되었다.

*1 정희원, 군산대학교 공과대학 토목공학부 조교수

*2 정희원, 군산대학교 공과대학 토목공학부 조교

본 연구 실험결과에 의하면 수평배수진공압밀시험은 점토층 내부의 함수비 및 간극수압과 드레인 배수 속도 등이 진공압밀 시간 경과에 따라 감소되어 압밀이 급속하게 진행되고 있음이 확인되었다. 점토층 중공원주의 방사류에 대한 선형포텐셜압밀이론을 이용하여 수치 압밀해석 결과 간극수압은 확산 형태보다 흙의 변형과 투수에 의해 크게 좌우되고 있으므로, 지표면 부근에서의 실측 침하량은 압밀응력증가를 α 가 -0.5 정도에서 수치해석과 일치하며 또한 드레인 설치 부근에서의 점토층 침하량은 Barron 압밀이론과 유사한 거동을 나타내고 있다. 최종적으로 수평 배수에 대한 적당한 선택과정을 포함한 설계 및 시공관리가 시험결과에 의하여 설명 되었으며 포텐셜압밀이론은 진공배수시 수평드레인에 의한 압밀거동을 정확하게 예측할 수 있다.

Keywords : Consolidation behaviour, Dredged clay ground, Vacuum pressure, Pore pressure, Water content, Settlement

1. 서 론

본 연구에서 저자들에 의해 제안되고 있는 수평배수공법은 준설토에 의해 매립되는 작업 과정 중의 하나인 지반개량공법으로 인근 해안 저부에서 매립지내로 준설과 동시에 수평으로 드레인을 설치하여 진공부압에 의해 급속하게 강제압밀 시키면서 준설 매립을 지속적으로 수행하는 공법이다.

본 지반개량공법은 토취장의 확보가 점점 어려워지는 현재의 추세를 감안한다면 매립공사를 진행하면서 매우 연약한 슬러리 상태의 준설매립 지반을 조기에 침하시켜 자중압밀시간을 단축시키고 침하에 상당하는 토량을 펌프준설지역에서 공급되게 하여 피복토량과 샌드매트를 절약할 수 있는 특징이 있다. 이러한 연구의 일환으로 저자는 이미 침투수압을 이용한 수평배수공법의 유효성을 실험과 자중을 고려한 Mikasa(1965)의 일차원 압밀이론에 의해 확인하였다.(Kim 등, 1995) 더 나아가 본 연구에서는 Kjellman(1949)이 제안한 진공압밀공법을 응용하여 매우 연약한 슬러리 상태의 준설매립지반까지 확장 적용하여 이에 대한 유효성을 대형압밀 실험에 의해 확인하고 실험결과를 선형포텐셜압밀이론과 비교 검토하고자 한다.

한편 드레인에 의해 연약지반 처리시 적용되는 3차원압밀이론은 크게 나누어 Terzaghi-Rendulic계열과 Biot계열로 분류되며 Terza-

ghi계열은 Terzaghi의 일차원 열전도형 압밀방정식을 확장 또는 이식에 전응력이 첨가되어 단독적으로 압밀방정식화 되었으며 그 후 Carrillo(1942)와 Barron(1948)은 샌드 드레인에 의한 2차원 방사류, 또한 Silveira(1953)는 원주공시체의 외방향 방사류를 고려한 압밀해를 구하여 각각 제시하였다. 한편 이러한 열전도형 압밀방정식에 대하여 Biot(1941)는 3차원 탄성론에 의해 변형을 고려한 지배방정식군에 의해 이루어지는 압밀방정식을 제시하였으며 그 후 Gibson(1955)과 McNamee(1960), De Leeuw(1965)등이 축대칭 문제에 적용하여 압밀해를 제시하고 있다. 이러한 양계열의 이론은 많은 연구자에 의해 응용되어 오면서 비합리성도 지적되었지만 근대 토질역학의 체계화에 중요한 역할을 하였다. 그러나 Terzaghi-Rendulic방정식은 3차원적 변형조건과 적용조건 등이 명확하지 않으며 Biot방정식은 다차원의 경우는 용이한 해석이 불가능하므로 여러 형태의 근사치를 두는 다차원 압밀방정식이 제안되고 있으며 Yoshkuni(1974,75,81) 등은 변형과 투수를 상호 결합시켜 3차원의 물리적 개념을 보다 일반화하여 배수정의 축대칭 문제에 적용한 선형포텐셜압밀이론을 제시하였으며 이 이론은 드레인에 의해 연약지반이 개량되는 경우 각각에 대한 변형조건을 고려할 수 있으므로 점토층의 압밀거동을 효과적으로 파악할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 준설퇴성토와 같이

매우 연약한 매립지반을 수평드레인을 매설한 후 진공에 의해 부압 압밀시 점토지반의 거동을 실험에 의해 파악하고 동시에 선형포텐셜압밀 이론의 압밀해와 진공수평배수 실험결과를 비교 분석하여 설계 및 시공시에 적용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 중공원주의 압밀이론

중공원주의 압밀은 연직배수공법의 기초 이론으로서 그림 1과 같이 내주면을 배수면으로 하고 외주면 및 상하 단면은 비배수로 하는 경우 간극수의 흐름은 내방향 방사 흐름이 되며 원래의 경계면에 평행을 유지하면서 변형되는 비회전압밀의 경우 Yoshikuni(1975)의 포텐셜 압밀방정식을 요약하면 식(1) 같으며 포텐셜 함수 φ 는 압밀응력으로서 식(2)같이 요약된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} - C_v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

$$\varphi(t) = (1+\alpha)p - \alpha \bar{u}(t) \quad (2)$$

여기서 계수 p 및 α 는 경계조건 및 Poisson비 ν , 드레인직경비 $n=d_v/d_w$ 에 의해 결정되는 함수이다. 또한 α 는 압밀응력 φ 의 증가율이며 \bar{u} 는 평균간극수압이다. 최종적으로 식(2)를 식(1)에 대입하면 식(3)과 같이 연직드레인에 의한 중공원주의 압밀방정식은 Yoshikuni(1975)에 의해 다음과 같이 제안되었다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + (1+\alpha) \frac{dp}{dt} - \alpha \frac{du}{dt} \quad (3)$$

식(3)을 압밀하중 p 가 일정한 경우 초기조건 $u(r, 0) = p, u(r_w, t) = 0,$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial r} \right)_{r=0} = 0,$$

무차원계수 $U = u/p = u/u_0, R = r/r_w$ 와

$$\text{시간계수 } T = \frac{c_v t}{d_w^2}, d_w = 2r_w$$

를 이용하여 중공원주의 압밀방정식 식(3)을 정리하면 식(4)과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial T} = 4n^2 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial R} \right)$$

$$- \frac{2\alpha}{n^2 - 1} \frac{d}{dT} \int_1^n RU dR \quad (4)$$

여기서, $n=r_w/r_w, U(R, 0)=1, U(1, T)=0, (\partial U / \partial R)_{R=n}=0$ 이며 식(4)을 $W=U+\alpha \bar{U}$ 로 정리한 후 W 를 위치함수 ζ 와 시간함수 τ 로 분리하여 해를 구하면 변수 W 는 다음과 같이 제시된다.

$$W = \{C_1 J_0(\lambda R) + C_2 Y_0(\lambda R)\} \exp(-4\lambda^2 n^2 T) \quad (5)$$

여기서, C_1, C_2 : 계수, J_0 : 0차 제2종 Bessel 함수이다.

식(5)을 $R=n$ 과 $R=1$ 의 경계조건과 초기조건을 이용하여 W 의 해를 구하여 무차원 간극수압 U 로 정리하면 아래 식과 같다.

$$U = W - \frac{2\alpha}{(1+\alpha)(n^2-1)} \int_1^n RW dR$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} C_i \left\{ D_0(\lambda_i R) + \frac{2\alpha}{(1+\alpha)(n^2-1)\lambda_i} D_1(\lambda_i) \right\} \cdot \exp(-4\lambda_i^2 n^2 T) \quad (6)$$

여기서

$$D_0(\lambda R) = J_0(\lambda R) - \frac{J_1(\lambda n)}{Y_1(\lambda n)} Y_0(\lambda R) \quad (6-1)$$

$$D_1(\lambda R) = J_1(\lambda R) - \frac{J_1(\lambda n)}{Y_1(\lambda n)} Y_1(\lambda R) \quad (6-2)$$

$$C_i = \frac{-2\lambda_i D_1(\lambda_i)}{\lambda_i^2 n^2 D_0(\lambda_i n)^2} - \left[\lambda_i^2 - 1 + \left\{ \frac{2\alpha + (1+\alpha)(n^2-1)}{(1+\alpha)(n^2-1)} \right\} \right] \cdot \{D_1(\lambda_i)\}^2 \quad (6-3)$$

이며 식(6.4)을 이용하여 λ 로 하여 근을 취하면 식(6)은 경계조건을 만족한다.

$$D_0(\lambda) + \frac{2\alpha}{(1+\alpha)(n^2-1)\lambda} D_1(\lambda) = 0 \quad (6-4)$$

이상과 같이 중공원주의 압밀해는 식(6)과 같으며 함수 D_0 및 D_1 는 식(6-1)과 식(6-2)으로 계수 C_i 는 식(6-3)으로 표시되므로 Bessel 함수에 의해 구성되었다. 이와 같이 점토층 내부의 임의의 점에 대한 간극수압은 그 점뿐만 아니라 배수면의 함수 $D_0(\lambda R)$ 의 값에 의해서도 좌우된다. 고유치 λ_i 는 식(6-4)의 근이며 무차원 평

균간극수압 \bar{U} 는 식(6)을 정리하면 식(7)과 같다.

$$\bar{U} = -\frac{2}{(1+\alpha)(n^2-1)} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{C_i}{D_i(\lambda_i) \exp(-4\lambda_i^2 n^2 T)} \quad (7)$$

또한 이상의 해에서 $\alpha=0$ 으로 두면 고유치 λ_i 는 $D_0(\lambda_i)=0$ 의 근이 되며, Barron 해와 완전히 일치한다.

식(7)을 이용하여 수치 실험에 의해 중공원주의 압밀특성을 파악하기 위하여 압밀하중 p 가 일정한 경우 드레인의 직경비가 22일 때 평균압밀도 $U_0(=1-\bar{U})$ 와 시간계수 T 의 관계를 압밀응력(φ)의 증가율 $\alpha[(\varphi_1-\varphi_0)/\varphi_0=(e_1/m_v)-1]$ 에 대하여 그림 2에 표시하였다.

그림 2로부터 압밀응력 증가율 $\alpha < 0$ 인 경우는 간극수압이 빠르게 감소하며 $\alpha > 0$ 인 경우는 초기치보다 간극수압이 상승되므로 압밀이 지체되고 있다. 이에 대한 규명을 위하여 그림 3, 4에서 $n=20$ 에 대하여 $\alpha=0.5, -0.5$ 일 때 각각 점토내부의 임의점 즉 배수면 거리 $R=(r-r_w)/(r_e-r_w)$ 에 대한 무차원 간극수압의 시간적 변화를 표시하였다. 그림 3에서 $\alpha < 0$ 일 때 실선의 간극수압은 단조롭게 감소하고 점선의 압밀응력 φ 도 감소되고 있다. 한편 그림 4는 $\alpha >$

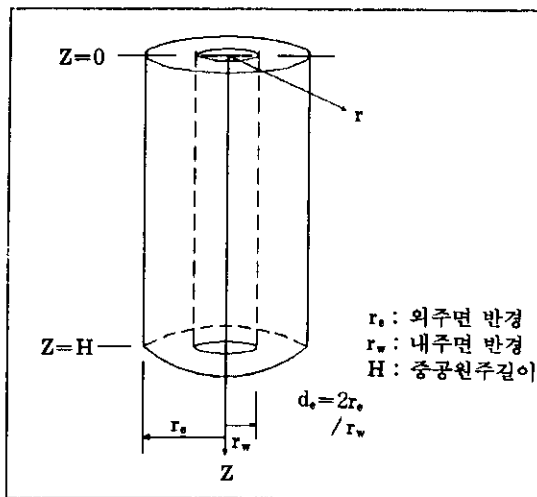


그림 1. 중공원주의 모식도

0일 때 간극수압의 소산은 그림 3보다 지체되며 초기치보다 다소 간극수압이 상승되는 부분은 Mandel-Crayer 효과에 의한 영향으로 볼 수 있다. 이와 같이 압밀응력 증가율 α 는 변형조건에 의해 결정되므로 간극수압 u 는 변형조건에 의해 좌우된다. 그러므로 압밀은 단순하게 간극수압 u 에 대한 확산 문제가 아니고 변형과 투수가 상호 조합하여 이루어지며 경계면의 존재 상황에 따라 크게 영향을 받고 있다.

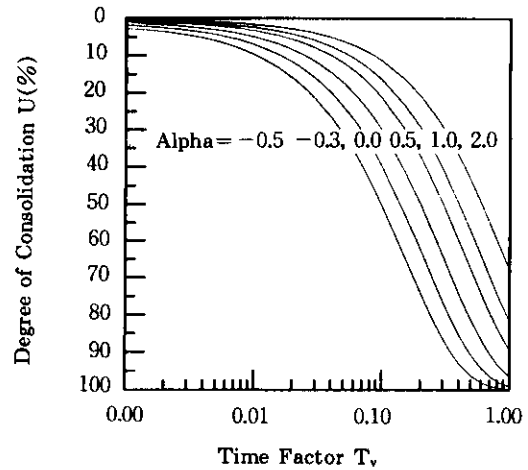


그림 2. 중공원주의 평균압밀도와 시간계수의 관계 ($n=22$)

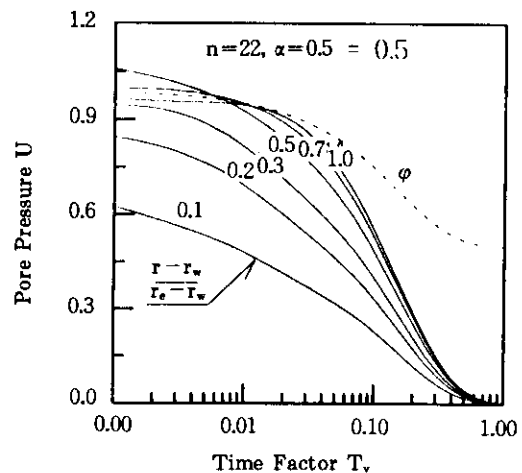


그림 3. 압밀응력과 임의점의 간극수압 거동 ($n=22, \alpha=-0.5$)

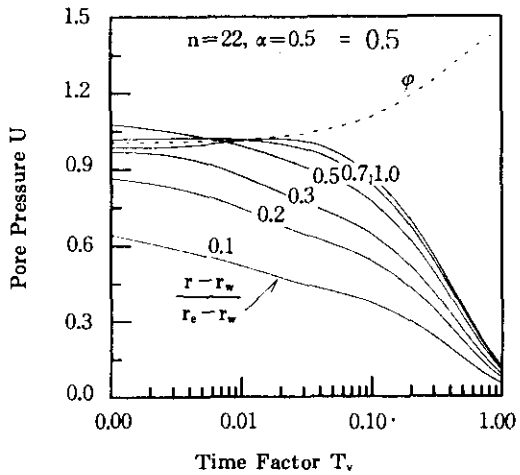


그림 4. 압밀응력과 임의점의 간극수압 거동 (n=22, $\alpha=0.5$)

3. 수평배수공법 실험

3.1 실험시료

실험은 군산 시내에서 채취 운반한 층적점토에 지하수를 첨가해 함수비 130% 정도의 슬러리 상태에서 교반기를 이용하여 충분히 교란시킨 후 74 μ m체를 통과시켜 함수비 150% 정도의 시료를 시험 시료로 이용하였으며 조정의 목적은 자중압밀 과정시 실트의 분리 퇴적을 적게 하고 가능한 균질상태에서 시험을 하기 위해서이다. 본 시료의 물리적 성질 및 압밀정수를 구하기 위해 예압밀장치를 이용하여 단계적 재하과정을 거친 후 시료 성형이 가능한 시점에서 시료를 추출하여 각각의 성질을 구한 결과가 표 1과 같다.

표 1. 입도 조정된 군산 점토의 물리적 성질 및 압밀정수

G_s	$w_L(\%)$	$w_P(\%)$	C_c	$c_v(m^2/day)$
2.643	41.10	19.40	0.351	1.229×10^{-3}

3.2 실험장치 및 방법

실험토조는 그림 5와 같이 투명 아크릴에 의

해 70cm(H)×70cm(B)×300cm(L)의 크기로 시료 투입후 일정한 수위를 유지할 수 있도록 제작하였으며 점토의 자중 및 드레인의 수평배수시 침하량을 측정할 수 있는 침하판과 실험도중에 있는 점토내부의 간극수압의 증감과정을 알 수 있는 간극수압계 등을 설치하였다. 시험에 이용한 드레인보드는 접착형 A로 인장강도 350kg/cm²이며 폭은 9mm, 두께 5mm로 절단하여 실험토조에 실로 매달아 수평으로 드레인을 매설한 후 초기함수비 약 150%의 정도의 Slurry상태의 시료를 서서히 실험토조에 투입시 드레인이 좌우로 이동하지 않도록 주의하였으며 그림 6은 드레인 매설 단면을 표시하고 있다. 표면 진공 방법은 상단 드레인 상부에 12cm정도의 점토층을 두고 지표면에서 상부에 10cm정도의 일정 수위가 흐르도록 하여 표면이 건조되는 것을 방지하였다. 점토에 작용한 부압의 크기는 1kg/cm²(=760mm/Hg)이다. 또한 진공장치는 그림 7과 같이 소정의 진공부압을 작용시키면서 토조에 매설된 Drain에서 물이 유입될 수 있도록 하였고, 또한 2개의 원형 아크릴통은 부압작용시 물이 유입되어 측정할 수 있으며 어느 한 쪽에 충분하게 가득 차면 하부 밸브에 의해 배수되며 이때 다른 쪽 통에 진공이 되도록 상호 분리 진공이 가능하도록 제작하여 배수량을 측정 가능하도록 제작하였

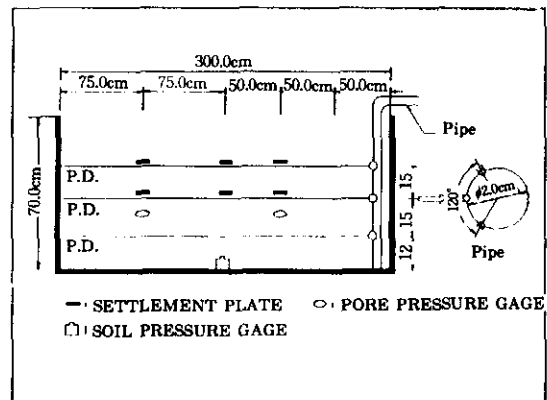


그림 5. 실험토조 및 계측장치

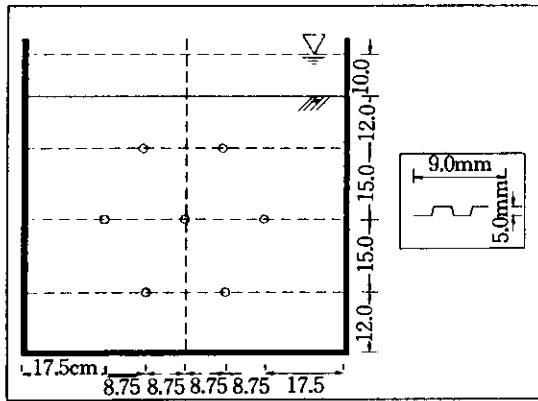


그림 6. 드레인 배설 단면

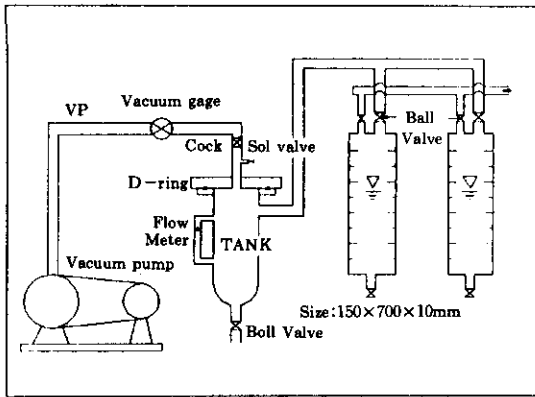


그림 7. 진공장치

다. 진공펌프의 용량은 300 l / min 이고 진공계이지에 의해 부압의 크기를 측정할 수 있도록 하였다.

4. 실험 및 압밀해석 고찰

4.1 함수비 분포

진공압밀 시험전과 시험 후의 압밀변화를 함수비 분포로 확인하기 위하여 실험토조내에 점토를 투입후 4일 경과시 점토층이 안정된 상태에서 각 층별로 함수비를 측정된 결과가 그림 8의 Curve 1이고 진공재하에 의해 압밀 완료

시 측정된 함수비 분포가 Curve 2이다. 진공압밀 개시 전은 지표면이 부유물질에 의해 다소 상승한 것을 제외하면 초기함수비(150%)와 거의 유사한 경향을 보이고 있다. 진공압밀 종료후 측정된 함수비의 분포 Curve 2를 보면 진공압밀에 의해 함수비가 크게 감소하며 심도 중간 부근에서 함수비가 상하부 보다 크게 변화된 것은 설치된 드레인에 의해 진공배수가 촉진되어 상하부 보다 압밀이 빠르게 진행되었다.

4.2 침하량 검토 및 압밀해석결과 비교

그림 9에서 지표면의 침하표시는 실험토조의 측벽에 8개의 줄자를 이용하여 측정된 평균 침하량이고 심도 10cm와 25cm는 점토층 표면에서부터 깊이 10cm, 25cm에 각각 5개씩 설치한 침하판을 이용하여 측정된 침하량의 평균을 표시하고 있다. 일반적으로 수평드레인과 연직드레인의 압밀을 비교하여 보면 양자는 2차원 방사류의 압밀이 되지만 수평드레인의 경우는 경계조건이 매우 복잡하므로 연직드레인 해석시 이용되는 평균압밀도의 식을 이용하여 압밀도를 계산하였으며 이때 최종 침하량은 C_v 와 e_0 에 의해 구하여 시간-침하 관계로 통일하여 표시하였다.

실측의 침하곡선과 압밀응력의 증가율 $\alpha = -0.5, 0.0, 1.0$ 은 포텐셜 중공원주압밀이론을 이용한 수치해석 결과도 그림 9에 각각 표시하였다. 진공압밀개시부터 700분까지 지표면 침하량이 심도 10, 25cm보다 크게 나타나는 원인은 지표면에서 미압밀 점토층 두께와 자중이 상대적으로 크기 때문이다. 700분 경과 시부터 심도 10cm의 침하량은 지표면과 동일한 경향을 보이며 심도 25cm의 침하량은 압밀층 두께가 작기 때문에 점점 감소하고 있다.

실험 결과와 포텐셜압밀이론의 수치해석 결과를 비교하여 보면 초기에 수치 해석 결과보다 실험 결과의 침하속도가 다소 크게 된 것은 진공재하시 일시에 가해진 진공압의 영향으로 생각되며 지표면과 10cm 점토층 깊이에서의

침하량은 포텐셜압밀이론의 압밀응력증가율 $\alpha = -0.5$ (압밀포텐셜이 50%감소)의 곡선에 근접되고 있으며 심도25cm의 드레인 설치부근에서의 침하량은 종료시점에서 Barron의 압밀해와 유사한 거동을 하고 있다. 이러한 원인은 진공 재하시 부압에 의해 점토층에 (-)간극수압의 분산형태 및 압밀층의 두께의 변화에 의해 변형상태가 각각 다르기 때문이다. 한편 지표면 부근에서의 침하량이 압밀응력증가율 $\alpha=0$ (Barron 이론)보다 작은 $\alpha=-0.5$ 의 포텐셜압밀곡선과 일치하는 것은 부압에 의해 감소된 (-)간극수압이 유효응력으로 빠르게 전환되는 압밀포텐셜 ϕ 의 감소 때문이다. 이와 같이 압밀포텐셜이 감소하는 경우 간극수압의 거동은 압밀현상이 증가하는 역현상으로 (-)Mandel-Crayner 효과가 진공압밀시에 지표면 부근에서 나타나고 있음을 간접적으로 알 수 있으며 드레인 설치 부근에서 압밀종료 부근의 침하량이 Barron의 압밀해 즉 포텐셜압밀이론의 $\alpha=0$ 의 곡선과 일치하는 것은 진공재하시 드레인의 설치 영향에 의해 압밀이 거의 종료되므로 포텐셜의 증감이 나타나지 않고 있다.

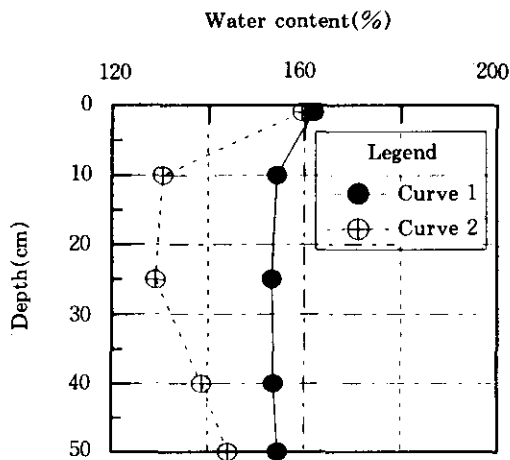


그림 8. 진공전과 후의 함수비 변화

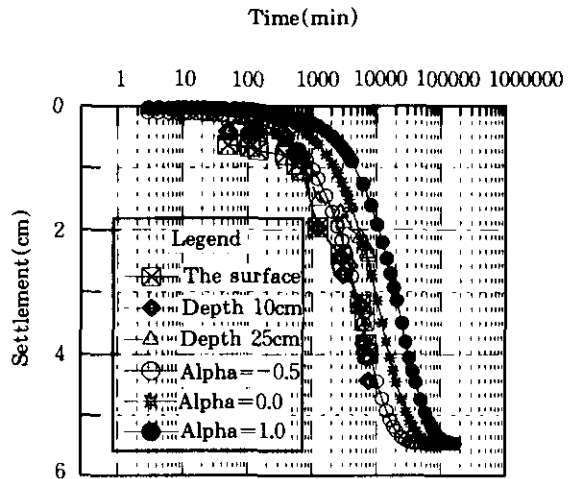


그림 9. 실험결과와 압밀 수치해석 결과 비교

4.3 간극수압 변화

드레인 배수에 의한 점토층내의 간극수압 변화 분포를 검토하기 위하여 진공흡입구로부터 100cm 떨어진 부분(Curve 1)과 225cm 떨어진 부분(Curve 2)에 각각 간극수압계를 설치하였다. 그림 10에서와 같이 간극수압은 진공경과 시간(시료 세팅후 자중압밀이 종료한 7500분 경과 후 진공시작)에 따라 수평 거리에 관계없이 부압이 크게 전달되어 초기에 점차 증가하는 경향을 나타내고 있으며 압밀이 진행됨에 따라 간극수압이 수평 평면 배수 거리에 관계없이 최종적으로는 간극수압이 하향되면서 유효응력이 증가되고 있음을 알 수 있다. 단 간극수압이 감소되는 부분은 진공 모터에 열이 상승되는 것을 억제하기 위하여 실험도중 진공펌프를 정지시키고 재개한 부분이다.

4.4 배수속도 변화

그림 11은 진공 펌프에 의해 배출되는 유량과 진공 경과 시간과의 관계이다. 시간이 경과에 따라 진공 초기부터 서서히 배출되는 유량이 감소하며 최종적으로는 0.01 (ℓ/min)에 근접하고 있음을 알 수 있다. 이것으로 점점 드레

인 배수에 의해 점토층이 압밀 되면서 간극비가 감소되므로 배출속도가 감소하여 압밀이 빠른 속도로 진행되고 있음을 알 수 있다.

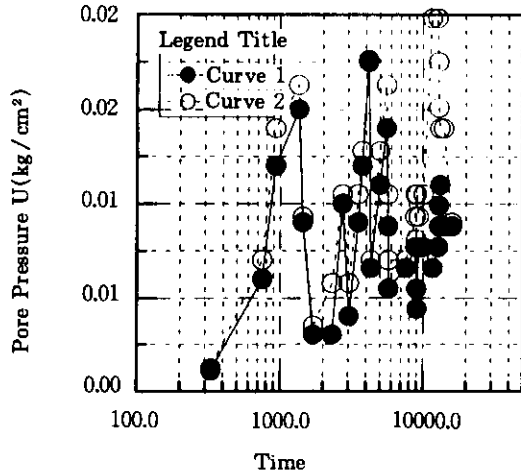


그림 10. 간극수압 변화

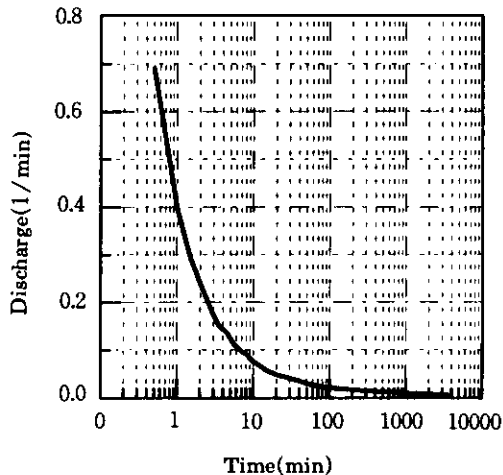


그림 11. 진공배수 유출속도와 경과시간 관계

5. 결 론

준설매립 점토에 의해 형성된 초연약지반을 조기에 개량하기 위한 공법으로서 수평배수공

법을 제안하며 이에 대한 유효성을 실내 모형 실험에 의해 확인하였다. 또한 변형과 투수의 연성을 고려하여 수학적 및 물리적 개념을 보다 명확하게 한 중공원주 방사류에 대한 선형 포텐셜 압밀이론을 이용하여 점토 지반의 압밀 거동을 수치해석에 의해 검토하였으며 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 압밀응력증가율에 따라 압밀과정중의 포텐셜 ϕ 의 거동이 다르며 $\alpha > 0$ 일 때는 (+)Mandel-Cryer 효과가, $\alpha < 0$ 일 때는 (-)Mandel-Cryer 효과가 발생하며 ϕ 가 증가하는 경우는 점중하중에 의한 압밀현상이고 ϕ 가 감소하는 경우는 점감하중에 의한 압밀현상을 각각 나타내고 있다.
- 2) 수평진공압밀시험 결과에 의하면 점토층 내부의 함수비 및 간극수압과 드레인 배수속도 등이 진공압밀 시간 경과에 따라 감소하므로 압밀효과가 증가되어 수평배수공법의 유효성이 확인되었다.
- 3) 수평진공배수에 의해 지표면의 침하는 압밀응력증가율이 감소($\alpha = -0.5$)하는 압밀 거동과 유사하며, 드레인설치 부근의 침하는 압밀종료부근에서 Barron의 압밀해와 유사한 거동을 나타내는 것은 진공 재하시 부압에 의해 점토층에 (-)간극수압의 분산형태 및 압밀층의 두께의 변화에 의해 변형상태가 각각 다르기 때문이다.
- 4) 준설매립지반과 같이 초연약지반에 진공수평드레인을 적용하여 점토층의 압밀거동을 선형포텐셜압밀이론에 의해 예측이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 1995년도 한국학술진흥재단의 지방대 육성 공모 과제에 의하여 이루어진 것으로 이에 대한 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김형주(1993), "수평배수공법에 의한 연약지반

- 처리”, 한국지반공학회 연약지반처리 학술발표집, 서울, 제1호, pp.2~21.
2. Barron, R. A. (1948), “Consolidation of Fine Grained Soils by Drain Wells”, Trans. A. S. C. E., No.113, pp.718~754.
 3. Biot, M. A. (1941), “General Theory of Three-Dimensional Consolidation”, Journ. Appl. Phys., Vol.12, pp.155~164.
 4. Carrillo, N.(1942), “Simple Two and Three Dimensional Cases in the Theory of Consolidation of Soils”, Jour. Math. Physics, Vol.21, pp21~31.
 5. Cryer, C. W. (1963), “A Comparison of the Three-Dimensional Consolidation Theories Biot and Terzaghi”, Quart. Journ. Mech. and Appl. Math., Vol.16, pp.16~40.
 6. Da Silveira, I.(1953), “Consolidation of a Cylindrical Clay Sample with External Radial Flow of Water”, Proc.,3rd ICSMFE, 1, pp.55~56.
 7. De Leeuw, E. H.(1965), “The Theory of Three-dimensional Consolidation Applied to Cylindrical Bodies”, Proc.6th ICSMFE, No. 1, pp.287~288.
 8. Kjellman, W.(1949), “Consolidation of Clay Soil by means of Atmospheric Pressure”, Conference on Soil Stabilization in M. I. T, pp.1~6.
 9. Kumamoto N. and H. Yoshikuni (1981), “A key to Solution of The Irrotational Consolidation and Its Application to Cylindrical Clay”, Soil and Foundations, Vol.21, pp.35~46.
 10. Mikasa, M. (1965), “The Consolidation of Soft Clay a new Consolidation Theory and Its Application”, Synopsis of J. S. C. E., 21~26.
 11. Yoshikuni, H. and N. Nakanodo (1975) : “Consolidation of Clay Cylinder with External Radial Drainage”, Soils and Foundations, Vol.15, No.1, pp.17~27
 12. Yoshikuni, H. and H. Nakanodo (1974) : “Consolidation of Soils by Vertical Drain Wells with Finite Permeability”, Soils and Foundation, Vol.14, No.2, pp.35~46

(접수일자 1996. 10. 30)