

압밀촉진 케이스 기초공법에 관한 연구

A Study on Caissons for Accelerating Consolidation

박 정 순*¹ Park, Chung-Soon

조 남 준*² Cho, Nam-Jun

Abstract

Caissons are often used as the foundations of quay walls which protect the reclaimed soil on soft clay layers. Since caissons not only transfer vertical loads from the walls to bearing strata, but they are also effective in resisting against the lateral plastic flow of soft clay due to surcharge, their application to embankments tends to increase. The problem of prolonged consolidation settlement caused by the reclamation, however, cannot be solved by this method. In this study, caissons for accelerating consolidation having many filtering-drains on their back sides, for the purpose of inducing lateral dissipation of excess pore water pressure, have been proposed. And to analyze the effect of accelerating consolidation by using new caissons, the analytical solution for two-dimensional consolidation equation is derived. In an isotropic clay, this study shows that consolidation times at $\xi=0.1$ to reach the average degrees of consolidation of 50% and 90% when using caissons with drains are taken about 7 and 3.5 times less than those when using the conventional caissons, respectively.

요 지

연약한 점토 지반에 안벽을 축조하고 매립하는 경우, 안벽의 기초로서 케이스 기초공법이 종종 쓰이고 있다. 케이스 기초는 안벽의 연직 하중을 지지층에 전달할 뿐만 아니라, 매립하중에 의한 연약 점토의 횡방향 소성 유동에 대하여도 매우 효과적인 공법으로 호안공사에서 그 사용 빈도가 증가하고 있는 추세이다. 반면 매립하중에 의해 점토지반에서 장기간에 걸쳐 발생하는 압밀침하에 대해서는 아무런 역할을 하지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 케이스 기초의 배면에 다수의 강관 배수공을 설치함으로써 과잉간극수압의 횡방향 소산을 촉진시켜 압밀 시간을 단축시키는 '매립촉진 연약점토 압밀촉진 케이스 기초공법'을 제안하였다. 이 새로운 케이스 공법의 압밀촉진 효과를 분석하기 위하여 2차원 압밀방정식의 해석해를 유도하였다. 연구결과, 등방성 점토에서 압밀촉진 케이스 사용시 $\xi=0.1$ 인 단면에서 평균압밀도 50%, 90%에 이르는 시간이 기존 케이스를 사용한 것에 비해 각각 약 7배, 3.5배 단축되는 것으로 나타났다.

Keywords : Caissons, Consolidation settlement, Drains, Excess pore water pressure, Reclamation, Embankments

1. 서론

우리나라의 서해안과 남해안에는 매우 연약한 해성점토층이 광범위하게 분포되어 있다. 이러한 점토 지반에

안벽을 축조하고 육지 쪽을 매립하여 부두시설 또는 산업공단을 조성하는 경우가 종종 있다 [그림 1-(a)참조]. 매립 전의 호안공사시, 안벽의 기초로서 근래에는 케이스 기초공법이 쓰이는 사례가 증가하고 있다. 교량 등의

*1 정희원, 동국대학교 토목환경공학과 연구교수

*2 정희원, 국민대학교 건설시스템공학부 조교수

기초로 쓰이는 케이슨 기초와는 달리 호안공사시 적용되는 케이슨 기초의 내부공간은 일반적으로 모래로 채운다.

안벽의 기초공법 중에서 특히 케이슨 기초공법이 최근에 각광을 받는 이유는 다음과 같은 장점이 있기 때문이다. 첫째, 치환공법이나 말뚝공법에 비하여 케이슨 기초는 안벽으로부터의 연직하중을 지지층에 확실하게 전달할 수 있다. 둘째, 매립하중에 의해 발생하게 되는 연약 점토층의 횡방향 소성 유동을 효과적으로 봉쇄할 수 있다. 셋째, 육상에서 미리 제작한 케이슨을 해저면에 놓은 직후 굴착을 진행함으로써 해상 작업시간의 단축이 가능하다. 넷째, 치환공법에 비하여 굴토량과 사토량이 적어서 환경과피에 대한 우려가 적다. 반면, 안벽의 육지 쪽 매립에 의해 발생하는 점토층의 장기간에 걸친 압밀침하에 대해서는 아무런 역할을 하지 못하는 단점이 있다. 따라서 기존의 케이슨 공법으로 호안공사를 한 경우에는 장기간의 압밀 침하에 대한 대책이 필요하다.

본 연구에서는 앞에서 언급한 기존의 케이슨 기초공법의 장점을 그대로 살리고 장기 압밀침하에 대한 문제점을 개선한 새로운 기초공법인 '매립층 연약점토 압밀촉진 케이슨 기초공법'을 제안하고 있다. 이 압밀촉진 케이슨 기초는 해성점토층에 인접하는 케이슨 면에 다수의 배수공을 설치함으로써 과잉간극수압의 횡방향 소산을 유도하도록 제작되는 것이 특징이다 [그림 1-(b)참조]. 배수공은 강관을 케이슨 벽의 두께에 상당하는 길이로 절단하여 그 내부를 토목섬유로 채워 만든다. 제작된 배수공을 케이슨의 철근에 용접한 후 콘크리트를 타설하여 케이슨을 완성시킨다. 토목섬유는 필터의 역할을 함으로써 간극수가 빠져나갈 때에 점토입자의 유출을 제한시킨다. 또한 배수공은 케이슨의 침강시 발생할 수 있는 막힘효과(smearing effect)에 의한 배수능력 감소를 최소화하도록 설계되어야

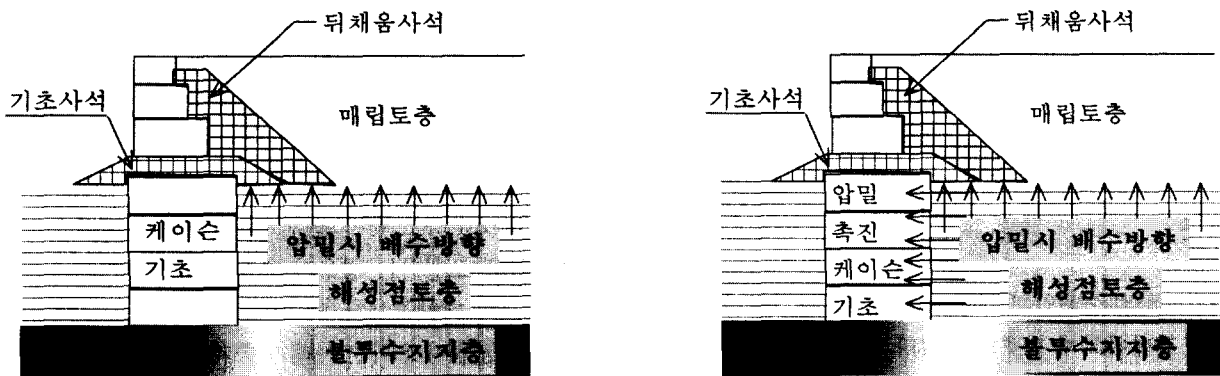
하며 케이슨 자체의 안전성에 영향을 주지 않도록 제작되어야 한다.

본 연구에서는 '매립층 연약점토 압밀촉진 케이슨 기초공법'의 압밀촉진 효과를 분석하기 위하여 등방성 점토에 대한 이차원 과잉간극수압 소산 거동을 수학적으로 수식화하여 과잉간극수압 및 평균압밀도에 대한 해석해를 유도하였다. 그리고 이를 일차원 압밀이 발생하는 기존의 케이슨 공법을 적용한 경우와 비교함으로써 새로운 케이슨 공법 적용시 압밀에 소요되는 시간을 어느 정도 줄일 수 있는가를 고찰하였다. 본 연구의 범위는 점토층이 등방성 투수계수를 갖는 조건에 대하여 기존의 공법과 신공법의 차이를 규명하는 것으로 국한한다. 그러나 해성점토의 횡방향 투수계수가 연직방향의 투수계수보다 일반적으로 크다는 사실과 사질토 또는 실트질의 토층(sand or silt seams)이 점토층 내에 존재하는 가능성 등을 고려하면 본 연구에서 제안하는 공법에 의한 압밀촉진 효과는 더욱 클 것으로 판단된다. 압밀촉진 케이슨 공법을 적용하면 매립의 진척에 따라 압밀이 빠르게 진행되어 연약점토의 전단강도의 빠른 증가를 유발시키므로 기존의 케이슨보다 단면의 크기를 축소시켜 더욱 경제적인 시공도 가능할 것으로 기대된다.

2. 압밀촉진 케이슨 기초공법 해석 이론

2.1 압밀촉진 케이슨 기초공법 해석을 위한 2차원 압밀 방정식

압밀촉진 케이슨 기초가 설치된 지반에서의 압밀 과정은 간극수의 투수가 상부면 방향으로 이루어질 뿐만 아니라, 케이슨을 통하여 횡방향으로도 발생하므로 2차원 압



(a) 기존 케이슨 기초공법

(b) 압밀촉진 케이슨 기초공법

그림 1. 기존 케이슨 기초공법과 압밀촉진 케이슨 기초공법의 배수 양상

밀 문제에 해당된다(그림 2 참조). 케이슨 기초 배면의 점토지반은 균질하고 완전히 포화되어 있으며, 흙입자와 간극수의 압축성은 무시하고, 흙의 응력-변형을 관계는 선형이라고 가정한다. 지반의 투수계수가 등방성인 경우 2차원 압밀 문제 해석을 위한 지배 방정식은 다음과 같다 (Terzaghi, 1943).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

여기서, u = 과잉간극수압, c_v = 압밀계수이다.

케이슨기초 배면의 전 상부면에 걸쳐 등분포 하중이 작용한다면 지반은 횡방향으로 변형되지 못하도록 구속되어 있으므로, 이때의 압밀계수는 다음과 같이 1차원 문제에 사용되는 압밀계수를 적용해야 한다. 즉,

$$c_v = \frac{k_f}{m_v \gamma_w} \quad (2)$$

여기서, k_f = 투수계수, m_v = 체적변화계수, γ_w = 물의 단위중량이다.

본 문제의 해석을 위한 초기조건은 지반을 완전포화라고 가정하였기 때문에 기포를 포함한 간극수의 압축성이 없으므로, 점토층의 상부면에 작용하는 등분포 하중 q_0 에 의해 발생된 응력은 압밀 초기에 간극수가 전부 받게 되므로 다음 식과 같이 초기 과잉간극수압이 전 단면에 걸쳐 균일하게 발생한 것으로 가정한다.

$$t=0: \quad u(x, z, 0) = q_0 \quad (3)$$

그림 2에 보인 바와 같은 해석단면의 상부면과 좌측면에서 투수가 발생하며, 하부면과 우측면에서는 불투수층

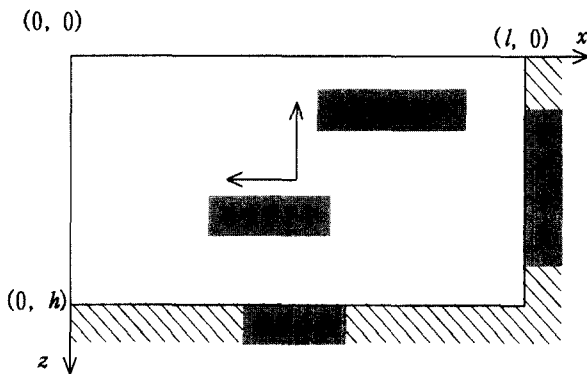


그림 2. 2차원 압밀 해석단면

이라고 가정하면 경계조건은 다음과 같이 된다.

$$x=0: u(0, z, t) = 0, \quad x=l: \frac{\partial u(l, z, t)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

$$z=0: u(x, 0, t) = 0, \quad z=h: \frac{\partial u(x, h, t)}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

2.2 2차원 압밀 문제의 과잉간극수압에 대한 해석해

식 (1)의 2계 편미분 압밀방정식의 과잉간극수압에 대한 해석해를 유도하기 위하여 변수분리법을 적용하여 경계조건 및 초기조건을 만족하는 해를 구한다. 변수분리하면 다음과 같다.

$$u(x, z, t) = X(x) \cdot Z(z) \cdot T(t) \quad (6)$$

여기서, $X(x)$, $Z(z)$, $T(t)$ 는 각각 x , z , t 만의 함수이다.

식(6)을 식(1)에 대입하면 $X(x)$, $Y(y)$, $Z(z)$ 에 대한 다음과 같은 식들을 각각 얻게 된다(Kreyszig, 1983).

$$\begin{aligned} T' + c_v \nu^2 T &= 0, & X'' + \lambda^2 X &= 0, \\ Z'' + (\nu^2 - \lambda^2) Z &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

경계조건식 (4)와 (5)를 고려하면, 식 (7)의 3개의 방정식들에 대한 일반해를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} T(t) &= e^{-c_v \nu^2 t}, & X(x) &= \sin \frac{(2i-1)\pi}{2l} x, \\ Z(z) &= \sin \frac{(2j-1)\pi}{2h} z \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, $i = 1, 2, 3, \dots$, $j = 1, 2, 3, \dots$,

$$\nu^2 = \frac{\pi^2}{4} \left\{ \frac{(2i-1)^2}{l^2} + \frac{(2j-1)^2}{h^2} \right\}$$

식 (8)을 식 (6)에 대입함으로써 과잉간극수압 u 에 대한 단일해를 다음과 같이 얻게 된다.

$$u_{ij}(x, z, t) = A_{ij} e^{-c_v \nu^2 t} \sin \frac{(2i-1)\pi}{2l} x \sin \frac{(2j-1)\pi}{2h} z \quad (9)$$

초기조건식 (3)을 만족시키는 해를 구하기 위해 다음과 같은 2중 급수를 고찰한다.

$$\begin{aligned} u(x, z, t) &= \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} A_{ij} e^{-c_v \nu^2 t} \sin \frac{(2i-1)\pi}{2l} x \sin \frac{(2j-1)\pi}{2h} z \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)에 초기조건식 (3)을 대입하면 다음과 같이 된다.

$$q_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} A_{ij} \sin \frac{(2i-1)\pi}{2l} x \sin \frac{(2j-1)\pi}{2h} z \quad (11)$$

식 (11)은 q_0 에 대해 2중 Fourier급수로 전개시킨 형태이며, 이 식에 포함된 계수 A_{ij} 는 다음 식에 의해 결정된다 (Park, 1997).

$$A_{ij} = \frac{4}{lh} \int_0^h \int_0^l q_0 \sin \frac{(2i-1)\pi}{2l} x \sin \frac{(2j-1)\pi}{2h} z dx dz = \frac{16q_0}{(2i-1)(2j-1)\pi^2} \quad (12)$$

식 (10)과 (12)에서 $r=2i-1$, $s=2j-1$ 로 치환하면, 초기 과잉간극수압이 q_0 로 일정한 분포를 이루며, 경계조건식 (4)~(5)를 만족시키는 2차원 압밀방정식 (1)의 해는 최종적으로 다음과 같이 유도된다.

$$u(x, z, t) = \frac{16q_0}{\pi^2} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{rs} e^{-\frac{\pi^2}{4} \left(\frac{r^2}{l^2} + \frac{s^2}{h^2} \right) c_v t} \sin \frac{r\pi x}{2l} \sin \frac{s\pi z}{2h} \quad (13)$$

만일 해석단면의 폭 l 이 무한히 길다고 가정하면, $\sum_{r=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r} \sin \frac{r\pi x}{2l}$ 는 $\frac{\pi}{4}$ 이므로 위 식은 다음과 같은 형태가 되며, 이 식은 투수가 상부면으로만 발생하는 경우의 Terzaghi(1943)의 1차원 압밀 방정식의 해와 동일한 것을 알 수 있다.

$$u(z, t) = \frac{4q_0}{\pi} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{s} e^{-\frac{\pi^2 s^2}{4h^2} c_v t} \sin \frac{s\pi z}{2h} \quad (14)$$

2.3 2차원 압밀 문제의 평균압밀도

2.3.1 임의 단면($x=x_p$)에 대한 평균압밀도

케이슨 기초로부터 x_p 의 거리에 위치한 단면에 대한 평균압밀도 [$U(x_p, t)$]는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$U(x_p, t) = 1 - \frac{\int_0^h u(x_p, z, t) dz}{\int_0^h q_0 dz} \quad (15)$$

식(13)을 식 (15)에 대입하면, 임의 단면에서의 평균 압밀도에 대한 최종식은 다음과 같다.

$$U(x_p, t) = 1 - \frac{32}{\pi^3} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r^2 s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} \left(\frac{r^2}{l^2} + \frac{s^2}{h^2} \right) c_v t} \sin \frac{r\pi x_p}{2l} \quad (16)$$

2.3.2 전체 해석단면에 대한 평균압밀도

케이슨 기초 배면의 전체 해석단면에 대한 평균압밀도는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$U(t) = 1 - \frac{\int_0^h \int_0^l u(x, z, t) dx dz}{\int_0^h \int_0^l q_0 dx dz} \quad (17)$$

식 (13)을 식 (17)에 대입하면, 전체 해석단면에 대한 평균압밀도에 관한 식을 다음과 같이 최종적으로 얻을 수 있다.

$$U(t) = 1 - \frac{64}{\pi^4} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r^2 s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} \left(\frac{r^2}{l^2} + \frac{s^2}{h^2} \right) c_v t} \quad (18)$$

2.4 시간계수로 나타낸 평균압밀도

해석을 용이하게 하기 위해 시간계수(Time factor) 개념을 도입하여 식 (16)과 (18)을 무차원으로 표현할 수 있다. 시간계수 T_v 는 다음과 같이 정의한다.

$$T_v = \frac{c_v t}{h^2} \quad (19)$$

해석단면의 깊이에 대한 폭의 비를 $\alpha=l/h$ 라고 정의하면, 임의 단면($x=x_p$)에서의 평균압밀도에 대한 식 (16)은 다음과 같이 시간계수의 함수로 표시할 수 있다.

$$U(\xi, T_v) = 1 - \frac{32}{\pi^3} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r^2 s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} \left(\frac{r^2}{\alpha^2} + s^2 \right) T_v} \sin \frac{r\pi \xi}{2} \quad (20)$$

여기서, ξ = 해석단면의 폭에 대한 케이슨으로부터의 거리의 비, 즉 x_p/l 을 의미한다.

전체 해석단면에 대한 평균압밀도는 식 (18)로부터 다음과 같이 시간계수로 표현된 최종식을 유도할 수 있다.

$$U(T_v) = 1 - \frac{64}{\pi^4} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r^2 s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} \left(\frac{r^2}{\alpha^2} + s^2 \right) T_v} \quad (21)$$

만일 해석단면의 폭 l 이 무한히 길다면, 위 식에서 $\sum_{r=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r^2}$ 은 $\frac{\pi^2}{8}$ 이므로 식(22)와 같이 되는데, 이 식은 Terzaghi(1943)의 1차원 압밀 문제의 평균압밀도 식과 일치함을 알 수 있다.

$$U(T_v) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} s^2 T_v} \quad (22)$$

2.5 압밀촉진 케이스 기초 배면지반의 침하량

2.5.1 최종 침하량

일반적으로 케이스 기초가 사용되는 호안 공사 지역의 경우, 지반이 정규압밀점토로 구성되어 있다면, 최종 침하량 $S(\infty)$ 는 다음 식에 의해 계산할 수 있다.

$$S(\infty) = \frac{C_c}{1 + e_0} h \log \left(\frac{\sigma_{v0}' + q_0}{\sigma_{v0}'} \right) \quad (23)$$

여기서, C_c = 압축지수, e_0 = 초기간극비, h = 점토층의 두께, σ_{v0}' = 점토층 중앙부의 초기유효응력, q_0 = 상재하중이다.

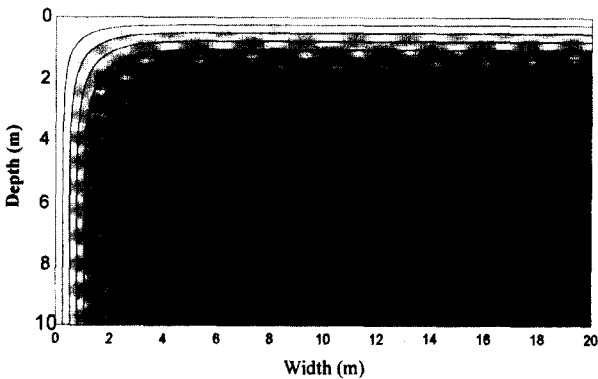
2.5.2 시간계수의 변화에 따른 침하량

임의 단면에서 시간계수의 변화에 따른 침하량 $S(\xi, T_v)$ 는 식 (20)을 다음 식에 대입하여 구할 수 있다.

$$S(\xi, T_v) = S(\infty) \cdot U(\xi, T_v) \quad (24)$$

전체 해석단면에 대한 시간계수별 평균 침하량은 식 (21)을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(T_v) = S(\infty) \cdot U(T_v) \quad (25)$$



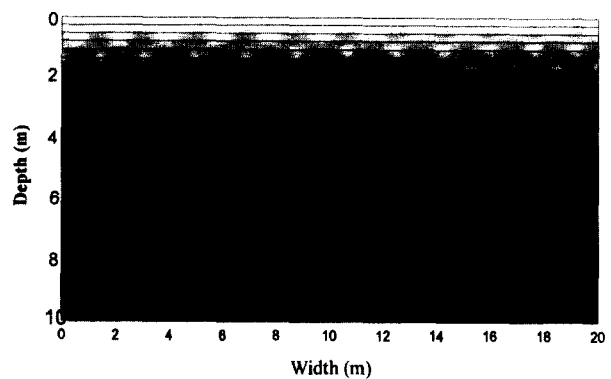
(a) 압밀촉진 케이스 기초공법 적용시

3. 압밀촉진 케이스 기초공법의 압밀촉진 효과 분석

3.1 과잉간극수압의 소산 거동

연약 점토 지반에 안벽을 축조하고 매립하는 경우에 사용되는 기존의 케이스 기초공법은 점토층 상부에 작용하는 하중으로 인해 지반내에 발생하는 과잉간극수압을 횡방향으로 소산시킬 수 없으므로 결국 지반의 압밀 거동은 투수가 상부로만 일어나는 1차원적인 양상을 띠게 된다 (그림 1 참조). 반면, 본 연구에서 제안하고 있는 압밀촉진 케이스 기초공법은 필터가 장착된 다수의 배수공을 통해 간극수의 횡방향 투수를 현저히 촉진시키는 효과를 얻을 수 있으므로, 이 경우의 압밀 거동은 횡방향과 상부로 투수가 발생하는 2차원 거동을 보이게 된다.

그림 3에는 압밀촉진 케이스 기초공법이 적용된 경우와 기존의 케이스 기초공법이 적용된 경우의 지반에 작용하는 단위 하중에 대한 과잉간극수압의 분포 양상을 보여 주고 있다. 본 해석시 식 (13)과 (14)를 사용하였고, 해석단면의 깊이 즉 케이스가 설치되는 깊이 $h = 10m$, 해석단면의 폭 $l = 20m$, 압밀계수 $c_v = 2.0m^2/년$, 압밀기간 $t = 1년$ 으로 가정하였다. 그림 3의 (a)에서 알 수 있는 바와 같이 압밀촉진 케이스가 설치된 지반에서 과잉간극수압이 좌측면부와 상부, 즉 2차원적으로 신속히 소산되는 경향을 관찰할 수 있다. 한편 우측면부에서는 투수가 발생하지 않으므로 간극수의 배출은 상부로만 향하게 되는 1차원 압밀에 근접하는 경향을 보이며, 이때의 과잉간극수압 값들은 그림 3 (b)의 1차원 압밀의 경우의 값들과 일치하고 있다. 그림 4에는 케이스 측면으로부터 2m 거리에 위치한 단면에서의 압밀시간에 따른 깊이별 과잉간극수압 분포를 보여주고 있는데, 압밀촉진 케이스 기초가 설치



(b) 기존의 케이스 기초공법 적용시

그림 3. 단위 작용하중에 대한 과잉간극수압 (u/q_0) 분포도

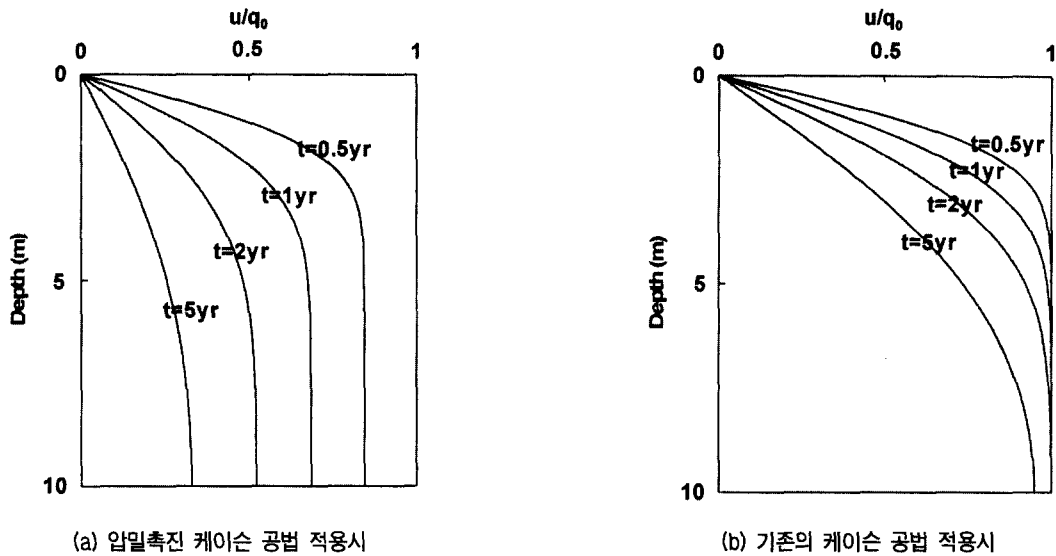


그림 4. 시간에 따른 깊이별 과잉간극수압 (u/q_0) 분포

된 경우 u/q_0 값이 더 빠른 속도로 소산됨을 알 수 있다.

3.2 해석 단면에 따른 평균압밀도 변화

압밀촉진 케이슨 기초공법이 적용된 지반의 단면별 평균압밀도의 변화를 고찰하기 위해 식 (20)을 사용하여 해석을 실시하였다. 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비는 $\alpha = l/h = 2$ 로 가정하였고, 해석단면의 폭에 대한 케이슨으로부터의 거리의 비는 $\xi = x_p/l = 0.1, 0.4, 0.7$ 를 사용하였으며, 시간계수 (T_v)에 대한 각 단면별 평균압밀도의 관계가 그림 5에 보여지고 있다.

분석결과 $\xi = 0.1$ 인 단면의 경우, 압밀촉진 케이슨 기초공법 적용시 평균압밀도 50%에 도달하는데 걸리는 시

간은 기존의 케이슨 기초공법에 비해 7배 이상 단축되었으며, 평균압밀도 90%에 이르는 데 걸리는 시간은 약 3.5배 단축되었다. 따라서 압밀촉진 케이슨 시공시, 케이슨으로부터 가까운 거리에 위치한 단면에서는 현저한 압밀시간 단축효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 압밀촉진 케이슨 설치에 의한 과잉간극수압의 소산은 결과적으로 지반의 간극비를 빠른 속도로 감소시키며, 이는 전단강도의 증진효과로 귀결된다. 이 경우 케이슨에 작용하는 주동토압이 감소하게 되는 점을 고려하면, 케이슨 설계시 그 폭을 축소시켜도 되는 효과를 얻을 수 있는 것으로 기대되며 이에 대한 연구는 진행 중이다. 만일 횡방향 투수계수가 연직방향 투수계수보다 큰 이방성 지반의 경우이거나 점토층 내에 사질토층(sand seams)이 존재한다면, 케이슨에 의한

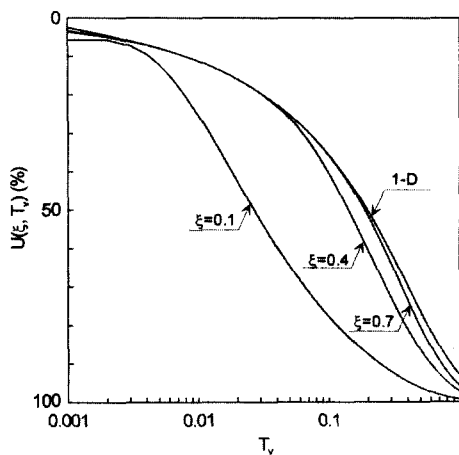


그림 5. 시간계수 (T_v)의 변화에 따른 각 단면별 평균압밀도 [$U(\xi, T_v)$]의 관계

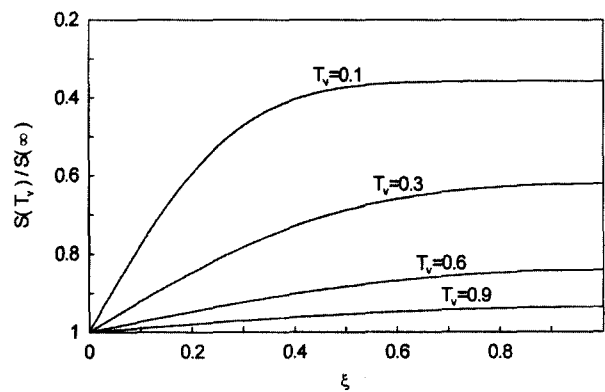


그림 6. 시간계수 (T_v)의 변화에 따른 지표면의 침하 거동

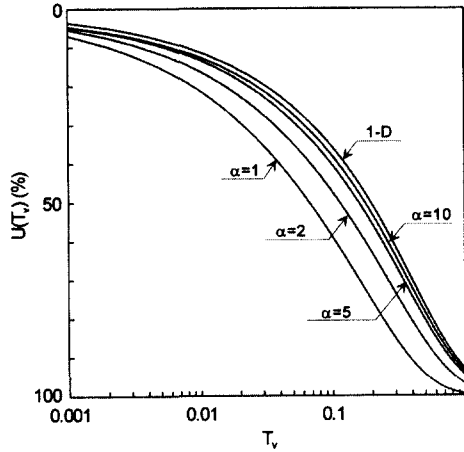


그림 7. 시간계수 (T_v)의 변화에 따른 전체 해석단면의 평균압밀도 [$U(T_v)$]의 관계

압밀촉진 효과는 더욱 증가할 것으로 평가된다. 한편 그림 5에서 볼 수 있듯이 ξ 값이 증가함에 따라 평균압밀도 곡선은 1차원 Terzaghi 이론의 결과에 수렴함을 알 수 있다. 또한 T_v 의 변화에 대한 지표면의 각 지점의 침하 거동에 대해 식 (20)과 (24)를 사용하여 해석하였고, 그 결과가 그림 6에 나타나 있다.

3.3 시간계수와 전체 해석단면에 대한 평균압밀도의 관계

케이슨 배면의 점토지반의 시간에 따른 평균침하량을 복잡한 계산과정을 거치지 않고 쉽게 산정할 수 있도록 하기 위해, 시간계수에 따른 평균압밀도를 식 (21)을 사용하여 해석하였고, 그림 7에 그 결과를 나타내었다. 이 그래프를 사용함으로써 임의의 시간에 대응하는 시간계수에서의 전체 해석단면에 대한 평균압밀도를 구할 수 있고 식 (25)로부터 평균침하량을 구할 수 있다. 그림 7에서 알 수 있듯이 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비, 즉 $\alpha = l/h$ 의 값이 증가함에 따라 압밀촉진 효과는 감소하며, 특히 α 가 10이상이 되면 Terzaghi의 1차원 압밀의 경우에 근접함을 관찰할 수 있다.

4. 결론

호안 공사시 배면 지반의 압밀시간을 단축시키기 위한 새로운 기초공법으로서 ‘매립층 연약점토 압밀촉진 케이슨 기초공법’을 제안하였으며, 케이슨 배면 지반의 2차원 압밀 거동을 분석하기 위하여 과잉간극수압 및 평균압밀도

에 대한 해석해를 유도하였다. 구해진 해들을 분석하여 등방성 투수계수를 갖는 지반에 대한 압밀촉진 케이슨 기초공법의 적용 타당성을 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 케이슨 기초 배면의 점토지반이 등방성 투수계수를 갖는 경우, 압밀촉진 케이슨 사용시 $\xi = 0.1$ 인 단면에서 평균압밀도 50%, 90%에 이르는 시간이 기존 케이슨을 사용한 것에 비해 각각 7배, 3.5배 이상 단축되어 본 연구에서 제안된 케이슨 기초공법이 압밀촉진에 큰 효과를 발휘하는 것으로 평가된다.
- (2) 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비 (α) 및 시간계수에 따른 전체 해석단면의 평균압밀도를 그래프로 제시하였고, 이를 이용함으로써 시간에 따른 침하량을 산정할 수 있다.
- (3) α 가 증가함에 따라 압밀촉진 효과는 감소하며, 특히 α 가 10이상이 되면 Terzaghi의 1차원 압밀의 경우에 근접함을 알 수 있었다.
- (4) 압밀촉진 케이슨 기초공법 적용에 따른 지반의 과잉간극수압의 소산은 지반의 간극비 및 전단강도를 빠른 속도로 증가시키며, 이는 케이슨의 설계 단면을 줄이는데 기여하는 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.
- (5) 실제 지반에서 횡방향 투수계수가 연직방향 투수계수에 비해 크고 또한 사질 및 실트질 토층이 존재하는 가능성을 고려할 때 본 연구에서 제시한 케이슨에 의한 압밀촉진 효과는 더욱 증가될 것으로 평가된다.

감사의 글

본 연구논문의 저자들은 재정적 지원을 해주신 가산토건(주) 관계자에게 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

1. Kreyszig, E.(1993), *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley and Sons, Inc., 7th ed., p.1271.
2. Park, C. S.(1997), *Consolidation of Soil Layer of Limited Width, Ph. D. Thesis*, Moscow State Civil Engineering University, Moscow, p.157.
3. Terzaghi, K.(1943), *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc., p.439.
4. Terzaghi, K., Peck, R. B., and Mesri, G.(1996), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley and Sons, Inc., New York, p.549.

(접수일자 2000. 11. 13)