

성토지지말뚝에 의한 아칭효과 연구

이승현
선문대학교 건축사회환경학부

A Study on the Arching Effect due to Embankment Piles

Seung-Hyun Lee

Division of Architecture, Architectural Engineering and Civil Engineering, Sunmoon University

요약 성토지지말뚝의 아칭효과를 실험적으로 살펴보고자 현장시험을 수행하였으며 계측결과로부터 구한 아칭효율을 이론식에 의한 값과 비교해 보았다. 성토지지말뚝의 아칭효과를 살펴보기 위해 측정된 하중계 및 토압계에 의한 계측값들은 대체적으로 성토지지말뚝의 아칭효과를 반영하였다. 하중계 측정값을 통해 볼 때 아칭효율은 성토고 3m 까지는 평면변형률 조건을 가정한 이론식에 의한 값보다 작았으나 4m 이상에서는 이론식에 의한 값보다 큰 값을 보였으며 이론식에 의한 경우, 아칭효율은 성토고에 따라 감소하는 경향을 보였으나 측정결과는 성토고에 따라 아칭효율도 증가하는 경향을 나타내었다. 현장시험에서 계획했던 최종 성토고까지 비교적 원활하게 작동하였던 토압계에 의한 계측결과에 따르면, 성토고에 따라 평면변형률 조건을 가정한 이론식에 의한 값보다 큰 아칭효율을 나타내었으며 4m 이상의 성토고에 대해서는 아칭효율의 변화양상 또한 이론식과 유사한 경향을 보였다. 토압계 측정결과에 따르면 성토고 2m, 3m, 4m, 5m 그리고 6m일 때의 아칭효율은 평면변형률조건을 가정한 이론식에 의한 아칭효율에 비해 각각 1.05배, 1.23배, 1.29배, 1.28배 그리고 1.29배 큰 값을 보여 우수한 아칭효과를 보임을 알 수 있었다. 현장시험을 통해 얻은 하중계 및 토압계 측정값들로부터 계산된 아칭효율은 말뚝을 격자배치한 경우에 대한 이론식에 의한 그것보다 상당히 컸다.

Abstract A full-scale field test was conducted to investigate the arching effect of an embankment pile. The arching effect calculated from the test results was compared with theoretical values. Measurements obtained from a load cell and an earth pressure cell during the field test reflected the arching effect of the embankment pile well. The arching effect measured by load cells for an embankment height of 3m or less was smaller than the theoretical value with the assumption of plain strain. The measured effect for a height of 4 m or more was larger than the theoretical value. In contrast to the consistent decrease of the theoretical arching effect, the arching effect obtained from the field test shows continually increasing trends. The arching effects calculated from the earth pressure cells were greater than those from the theory under the plain strain assumption, but the trend was similar to the theoretical one. The arching effects measured by the earth pressure cells at embankment heights of 2, 3, 4, 5, and 6 m were 1.05, 1.23, 1.29, 1.28, and 1.29 times greater than those from the theory under the assumption of plain strain. The arching effects from the field test were much greater than those from the theory under the installation of a pile grid.

Keywords : Full scale field test, Embankment pile, Arching efficacy, Measurement, Plain strain

1. 서론

우리나라의 경우 급속한 산업발달과 지리적 여건 등에 의해 양질의 지반에 구조물을 건설하기 보다는 연약

지반에 구조물을 건설해야 하는 경우가 점점 더 늘어나고 있다. 연약지반 처리공법으로는 치환공법을 비롯하여 많은 공법들이 개발되어 현장에 적용되고 있다. 연약지반상에 구조물을 건설하는 경우, 보통 연약지반 상부에

이 연구는 2017년도 선문대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 이루어졌음

*Corresponding Author : Seung-Hyun Lee(Sunmoon Univ.)

Tel: +82-41-530-2328 email: shlee02@sunmoon.ac.kr

Received May 23, 2017

Revised (1st June 23, 2017, 2nd July 6, 2017)

Accepted July 7, 2017

Published July 31, 2017

양질의 흙으로 성토를 해야 하는 경우가 많은데 교대배면의 연약지반상에 성토를 하는 경우를 한 예로서 들 수 있다. 교대배면 연약지반상에 성토를 하는 경우 발생하는 문제는, 성토하중에 의해 하부의 연약지반에 측방유동현상이 발생하여 교대를 지지하는 말뚝에 횡방향하중을 가함으로써 교대구조물의 변위를 야기하여 궁극적으로 구조적 손상을 입히는 것이다. 시간적 제약과 성토체의 침하방지를 위해 고려할 수 있는 확실한 방법으로는 파일슬래브(pile slab)공법을 들 수 있으나 이 경우 말뚝머리와 일체가 되는 슬래브의 시공으로 경제성이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하고자 슬래브 없이 말뚝만으로 성토하중을 부담하는 방안 및 말뚝두부에 부분적으로 말뚝캡을 설치하는 방안을 강구하게 되었고 말뚝상부 성토체 내에 발생하는 아치에 의해 성토체의 상당부분을 말뚝이 부담하도록 하는 성토지지말뚝공법이 탄생하게 되었다[1-2]. 아칭효과에 관해서는 Terzaghi[3]가 낙하문장치(trap door test rig)를 통해 그 매커니즘을 설명한 바 있으며 상대변위가 발생하는 토체의 전단면에서의 전단응력으로 압력의 크기를 전이시키는 현상이라 할 수 있다[4]. 본 연구에서는 성토지지말뚝에 대해 수행된 현장시험결과를 통해 아칭효과를 규명하고자 하였으며 현장시험을 통해 확인된 아칭효율을 이론적인 값과 비교하여 보았다.

2. 아칭이론

2.1 평면변형률 조건

Fig. 1은 폭이 d 이고 중심간 거리가 s 이며 길이가 무한대인 말뚝캡에 의해 지지되는 성토단면을 보여주고 있다. 따라서 성토체는 평면변형률상태에 있게 된다. Fig. 1에서 H 는 성토고를 나타내고 r_o 는 아치의 외측반지름을 나타내면 r_i 는 아치의 내측반지름을 나타내는데 이론적으로 말뚝캡 상단에서부터 $s/2$ 높이까지 아치가 형성된다.

Fig. 1에서 말뚝캡 상단으로부터 아치높이까지의 부분에서 아치를 제외한 채움흙(infill soil)의 중량은 무시하고 등방응력상태(isotropic stress state)에 있다고 본다. Fig. 1에 나타난 아치내의 미소요소 A에서는 접선방향이 최대주응력방향이 되고 반지름방향이 최소주응력방향이 된다. Fig. 1에 나타난 평면변형률조건에서 말뚝캡

에 의해 지지되는 아칭효율(arching efficacy), E 는 성토하중에 대하여 말뚝에 의해 부담되는 하중의 비로 정의되며 식 (1)로 주어진다[5]. 달리 표현하면 말뚝의 면적을 덮고 있는 흙무게에 대하여 아칭효과로 인해 실제 말뚝의 면적에 작용하는 하중의 비를 의미한다.

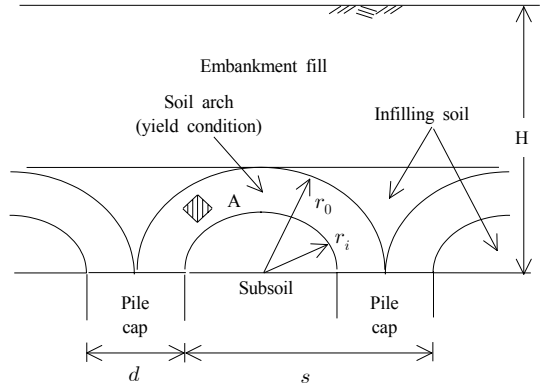


Fig. 1. Plain strain arching problem

$$E = 1 - \left(1 - \frac{s}{2H}\right) \left(1 - \frac{d}{s}\right)^{K_p} \quad (1)$$

식 (1)에서 K_p 는 Rankine의 수동토압계수인데 $\tan^2(45^\circ + \phi/2)$ 로 정의되며 여기서 ϕ 는 흙의 내부마찰각이다.

2.2 돔형 아치

성토지지말뚝으로 많이 쓰이는 말뚝배치형태는 Fig. 2에 나타나 있는 바와 같이 말뚝을 격자형태로 배열하는 것이다. Fig. 2에서 아치의 모양은 일련의 돔형태를 띄게 되는데 돔의 천정부(crown)는 근사적으로 반구형태가 되고 그 반지름은 말뚝격자의 대각선길이의 반이 된다.

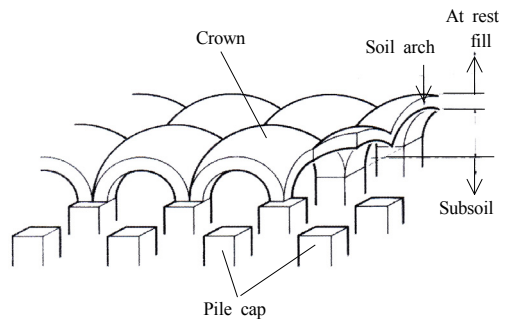


Fig. 2. Isometric view of pile caps and dome shape arches[5]

Fig. 2에 나타나 있는 아치의 파괴는 둠의 천정부 또는 말뚝캡 바로 윗부분 둘 중 하나에서 먼저 시작되게 된다. 말뚝캡 바로 윗부분에서의 파괴를 고려하는 방법은 말뚝캡에 접촉해 있는 아치에서의 접선방향응력을 적분함으로써 말뚝캡에 작용하는 하중을 계산하여 아칭효과를 정량적으로 평가하는 방법이라 할 수 있다. 아치의 천정부(crown)와 말뚝캡부분(base)에서의 해석을 통해 두 개의 독립적인 아칭효율을 얻을 수 있고 설계시에는 이들 중 작은 값을 적용한다. 아치의 천정부파괴를 가정하여 얻어지는 아칭효율은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$E = 1 - (1 - \beta^2)(A - AB + C) \quad (2)$$

식 (2)에서 $\beta = d/s$ 이고 A, B, C 는 각각 다음과 같다.

$$A = (1 - \beta)^{2(K_p - 1)}$$

$$B = \frac{\sqrt{2}s}{H} \left(\frac{K_p - 1}{2K_p - 3} \right)$$

$$C = \frac{\sqrt{2}s(1 - \beta)}{H} \left(\frac{K_p - 1}{2K_p - 3} \right)$$

식 (2)에서 s/H 는 상대간격비(relative spacing ratio)로 정의된다. 말뚝캡 바로 윗부분에서의 파괴를 가정하여 아칭효율을 유도하면 식 (3)과 같이 주어진다.

$$E = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (3)$$

식 (3)에서 α 는 식 (4)와 같다.

$$\alpha = \frac{2K_p}{K_p + 1} \left(\frac{1}{1 + \beta} \right) \left\{ \left(\frac{1}{1 - \beta} \right)^{K_p} - (K_p \beta + 1) \right\} \quad (4)$$

식 (2)와 식 (4)를 비교해 볼 때 아치의 천정부파괴에 의한 아칭효율은 성토고(H)의 함수임에 비해 말뚝캡 상단에서의 파괴를 가정하여 얻게 되는 아칭효율은 성토고와 무관함을 알 수 있다.

식 (2)와 식 (3)을 같게 놓아 식 (5)와 같이 두 가지 방법에 의한 아칭효율이 같게 될 때의 상대간격비인 임계 상대간격비(critical relative spacing ratio, $(s/H)_{cr}$)을 얻을 수 있다.

$$\left(\frac{s}{H} \right)_{cr} = \lambda / \xi \quad (5)$$

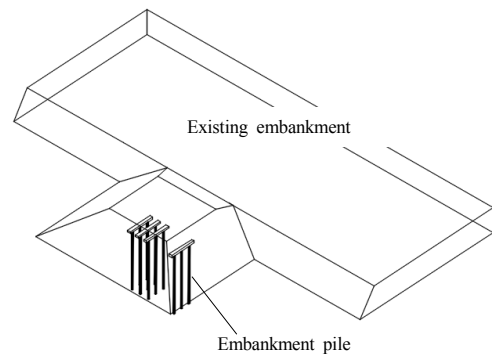
식 (5)에서 λ 와 ξ 는 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{2K_p - 3}{\sqrt{2}(K_p - 1)} \left\{ \frac{1}{(1 + \alpha)(1 - \beta^2)} - A \right\}$$

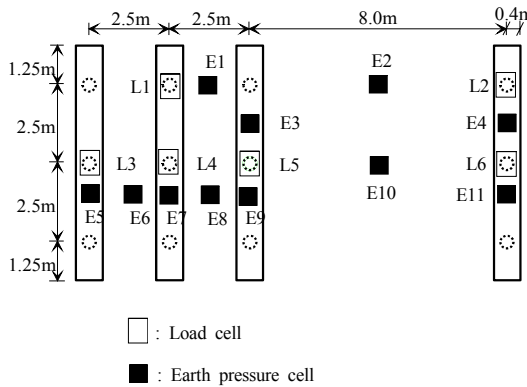
$$\xi = (1 - \beta) - (1 - \beta)^{2(K_p - 1)}$$

3. 현장시험

현장시험지반은 콘관입시험 및 표준관입시험결과를 통해 볼 때 지표면으로부터 약 6m 두께의 연약층 그리고 풍화토층, 풍화암층 순의 토질주상을 보인다. 연약지반의 비배수강도(S_u)를 콘관입시험을 통해 추정하고자 하는 경우, Robertson and Campanella[6]에 따르면 S_u 값에 대한 데이터가 없는 경우 콘계수(cone factor)를 15로 하여 S_u 를 추정하도록 추천하고 있다. 이 방법을 통해 산정한 연약지반의 비배수 전단강도는 13.2kPa이고 표준관입시험값으로부터 추정된 비배수강도는 32.5kPa이었다. Fig. 3에는 현장시험의 개요 및 시험에 사용된 계측기 종류 및 설치위치가 나타나 있다. Fig. 3(a)는 총 12개의 성토지지말뚝과 3개의 성토지지말뚝의 두부를 연결하는 총 4개의 말뚝캡이 입체적으로 나타나 있다. Fig. 3(b)에는 4개의 말뚝캡에 대하여 시험에 사용된 하중계(Load cell)와 토압계(Earth pressure cell)의 설치 위치가 나타나 있다. Fig. 3(b)에 나타나 있는 바와 같이 시험에 사용된 하중계는 총 6개이며 토압계는 총 11개이다. Fig. 3(c)는 성토지지말뚝 완성후의 전경을 나타내고 있고 Fig. 3(d)는 자동계측시스템을 보여주고 있다.



(a) Isometric view of embankment and piles



(b) Positions of load cell and earth pressure cell



(c) Completion of embankment pile cap



(d) Automatic data logging system

Fig. 3. Scheme of field test

Fig. 3에 나타나 있는 말뚝캡은 각각의 말뚝열을 구성하는 3개의 강관말뚝 머리부에 콘크리트를 줄기초 형태로 타설하여 양생한 것이다. 성토지지말뚝으로 사용한 강관말뚝은 지름이 40.64cm이고 두께가 9mm이다. 강관말뚝의 근입깊이는 표준관입시험을 통해 얻은 N값을 이용하는 정역학적 지지력공식을 적용하여 결정하였다. Fig. 3(a)에서 말뚝 1본이 부담하는 하중을 체적 2.5m x

2.5m x 8m에 해당하는 흙의 무게의 80%로 보고 지지력 공식에 의한 허용지지력이 이 하중과 같게 되도록 하여 근입깊이를 결정하였다. 말뚝캡의 폭은 0.8m이며 길이는 7.5m 그리고 두께는 0.6m이다. Fig. 3에서 4개의 말뚝캡 중 하나의 말뚝캡은 서로 인접해 있는 3개의 말뚝캡과는 멀리 떨어져 있는데 이는 아칭효과가 거의 생기지 않는 경우를 고려하기 위한 것으로 가장 가까운 말뚝캡과의 중심간 거리는 8m 이다. 성토지지말뚝 시공 및 소요 계측기 설치가 완료된 후에는 Fig. 3(a)에 나타나 있는 바와 같이 사각뿔대 형태로 성토가 되도록 계획하였는데 최종 성토고는 8m로 계획하였다. 성토체 밑면의 제원은 28m x 42.25m 이며 윗면의 제원은 16.5m x 18.25m 이다. 현장시험은 크게 성토지지말뚝시공, 계측기 설치, 성토 및 계측의 순으로 진행되었다. 토압계 설치시에는 지반면과 토압측정면이 직접 닿도록 하지 않고 #10체로 체질을 한 모래를 토압측정면에 약 5cm두께로 깔아 큰 입경의 돌에 의한 점하중의 작용을 방지하도록 하였다. 하중계는 말뚝머리부 정리가 끝난 말뚝상단에 미리 제작한 하부강관을 얹고 하중계를 설치한 다음 상부강관을 덮어 설치를 완료하였다. 하중계 설치 후 콘크리트 타설시 하중계와 상하부강관 사이의 틈으로 콘크리트가 스며드는 것을 막기 위하여 강관과 하중계가 접촉되는 둘레를 테이프로 밀봉처리하였다. 하중계와 상하부강관의 외주면을 따라 스티로폼(styrofoam)을 둘러 콘크리트 타설시 하중계 및 상하부강관의 주변부가 콘크리트와 부착되지 않도록 하였다. 캡 콘크리트가 완성된 후에는 성토재로 말뚝캡 사이를 채워 말뚝캡 상부면과 인접 지반면의 표고가 같게 되도록 하고 Fig. 3에 나타나 있듯이 말뚝캡의 상부면 및 말뚝캡 사이의 지표면에 토압계를 설치하였다. 성토지지말뚝과 인접 지반면에 대한 계측기의 설치가 완료된 후 성토하였는데 성토초기에는 비교적 세립질의 성토재를 이용하여 성토하도록 하였다. 성토는 최종성토고 8m까지 매 1m씩 성토하도록 하였으며 비가 온 날은 없었다. 성토에 따른 계측은 성토고가 매 1m 증가할 때마다 실시하도록 하였다. 또한 각 성토 단계별로 현장 들밀도 시험을 실시하였는데 평균 단위중량은 18.3 kN/m³이었다. 성토재의 전단저항각은 암밀배수시험(\overline{CU} test)을 통해 구하였는데 27.7° 이다. 하중계 및 토압계에 의한 계측은 자동화 계측시스템을 사용하여 하도록 하였다.

4. 시험결과 및 분석

Fig. 4는 성토고에 따른 계측값을 나타내고 있는데 Fig. 4(a)는 하중계에 의한 계측값을 나타내고 Fig. 4(b)는 토압계에 의한 계측값을 나타낸다.

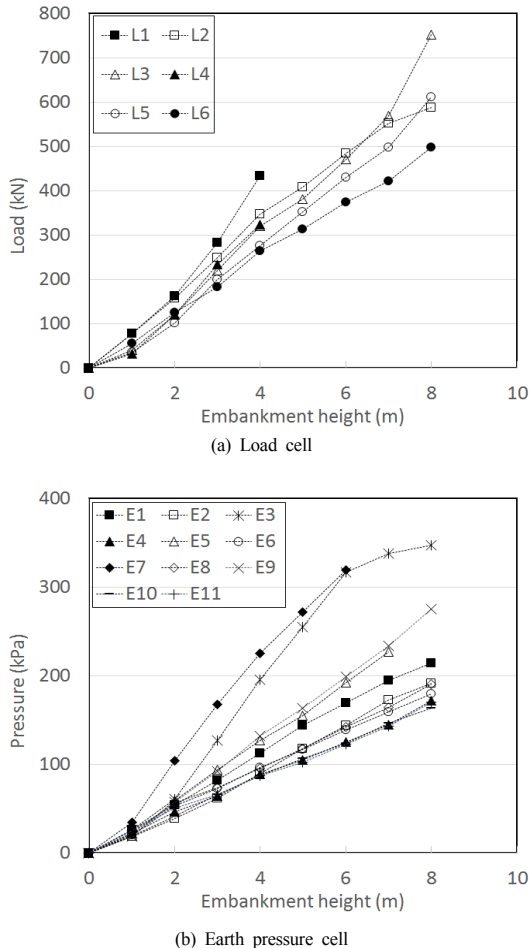


Fig. 4. Results of measurement

Fig. 4(a)에 나타나 있는 바와 같이 성토고가 증가함에 따라 하중계 측정값도 증가함을 알 수 있다. Fig. 3에 나타낸 네 개의 말뚝캡에 대하여 좌측부터 일련번호를 붙이면 2번 말뚝캡에 아칭효과가 온전히 발생한다고 볼 수 있다. 2번 말뚝캡에 설치한 하중계는 L1과 L4이며 성토고 4m까지 측정이 되었고 이후에 그 기능을 상실하였다. 성토고 4m까지의 하중계 L1과 L4에 의한 하중값은 대체적으로 나머지 하중계 측정값에 비해 상대적으로 크음을 알 수 있고 4번 말뚝캡에 설치된 하중계 L6에 의한

측정값이 가장 작아서 하중계에 의한 측정결과는 아칭효과를 적절히 반영한다고 볼 수 있다. 토압계의 설치위치는 말뚝캡 위와 인접 지반 지표면의 두 그룹으로 나눌 수 있는데 Fig. 4(b)를 통해 알 수 있듯이 4번 말뚝캡 위에 설치한 토압계에 의한 측정값을 제외하고 말뚝캡 위에 설치한 토압계에 의한 측정값이 지표면에 설치한 토압계에 의한 측정값 보다 크다. 2번 말뚝캡에 설치한 토압계의 측정값이 가장 커서 아칭효과를 잘 반영하는 결과로 볼 수 있다. 다음으로 3번 말뚝캡 위에 설치한 토압계에 의한 측정값 그리고 1번 말뚝캡 위에 설치한 토압계에 의한 측정값 순의 크기를 보인다. 하중계 및 토압계에 의한 측정값의 상대적 크기를 비교해 볼 때 대체적으로 아칭효과를 반영한 결과를 보인다고 할 수 있다. Fig. 4에 나타낸 시험결과로부터 아칭효율을 구하고 이론식에 의한 값과 비교해 보았는데 Fig. 5에서와 같다. 이론식은 식 (1)로 표현되는 평면변형률(plain strain)조건인 경우와 식 (2)와 (3)으로 표현되는 말뚝 격자배치조건인 경우에 대한 것이다. Fig. 5(a)는 하중계 측정값과 이론식에 의한 아칭효율을 비교한 것이고 Fig. 5(b)는 토압계 측정값과 이론식에 의한 아칭효율을 비교한 것이다. Fig. 5에서 이론식에 의한 아칭효율은 성토고 2m에서부터 나타나 있는데 이는 말뚝캡의 중심간격이 2.5m이므로 이론적으로 아치가 형성되기 위해서는 성토고가 1.25m 이상이 되어야 하기 때문이다.

Fig. 5(a)에는 2번 말뚝캡 아래에 설치한 하중계(L1, L4)와 그에 인접한 1번 말뚝캡과 3번 말뚝캡 아래에 설치한 하중계에 의한 아칭효율이 나타나 있는데 2번 말뚝캡에 의한 아칭효율이 1번과 3번 말뚝캡에 의한 아칭효율에 비해 크음을 알 수 있다. 2번 말뚝캡에 의한 아칭효율의 경우 성토고 3m까지는 평면변형률조건에서의 이론식에 의한 아칭효율보다는 작다고 볼 수 있으며 성토고 4m 이상에서는 아칭효율이 더 커진다고 볼 수 있다. 1번 말뚝캡과 3번 말뚝캡에 의한 아칭효율은 전체적으로 평면변형률 조건을 가정한 이론식에 의한 아칭효율에 비해 작음을 알 수 있는데 성토고에 따라 전반적으로 약간씩 증가하는 경향을 보인다. 평면변형률 조건을 가정하여 이론식을 통해 구한 아칭효율의 경우 성토고가 커짐에 따라 아칭효율은 완만하게 감소하여 수렴하는 경향을 보이지만 하중계 측정값을 통해 구한 아칭효율은 성토고에 따라 증가하는 양상을 보인다고 할 수 있다. Fig. 5(a)에는 각각의 말뚝머리에 폭 0.8m의 정사각형 말뚝캡을 설

치하고 격자형태로 배치한 경우의 아칭효율이 나타나 있는데 현장시험결과로부터 얻은 아칭효율이 말뚝캡의 격자배치에 의해 계산되는 아칭효율보다 큼을 알 수 있다. Fig. 5(b)에는 2번 말뚝캡 위에 설치한 토압계(E7)와 2번 말뚝캡에 인접한 1번 말뚝캡과 3번 말뚝캡에 설치한 토압계(E5, E9)의 계측값을 통해 구한 아칭효율과 이론식에 의한 아칭효율이 나타나 있다. Fig. 5(b)에서 성토고에 따른 토압계 E7에 의한 아칭효율의 변화양상을 살펴 볼 때 평면변형률 조건을 가정한 이론식에 의한 아칭효율의 변화양상과 유사한 양상을 보인다. 또한 성토고 2m 이상에서의 아칭효율은 이론식에 의한 값보다 큰데 성토고 2m, 3m, 4m, 5m 그리고 6m일 때의 아칭효율은 평면변형률조건을 가정한 이론식에 의한 아칭효율에 비해 각각 1.05배, 1.23배, 1.29배, 1.28배 그리고 1.29배 큰 값들을 보여 우수한 아칭효과를 보임을 알 수 있다.

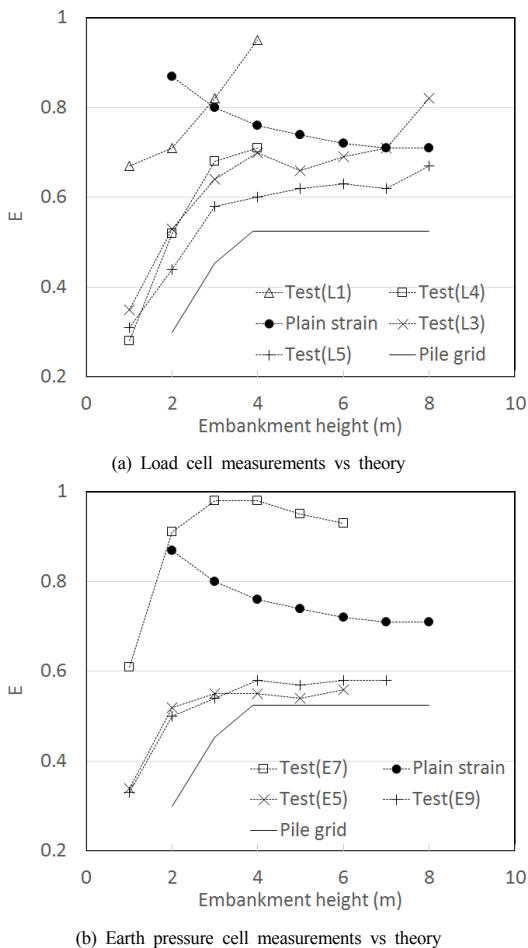


Fig. 5. Comparison of arching efficacy

5. 결론

성토지지말뚝의 아칭효과를 실험적으로 살펴보고자 현장시험을 수행하였으며 계측결과를 이론식에 의한 값과 비교해 보았는데 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 성토지지말뚝의 아칭효과를 살펴보기 위해 측정된 하중계 및 토압계에 의한 계측값들은 대체적으로 성토지지말뚝의 아칭효과를 반영하였다.
- (2) 하중계 측정값을 통해 볼 때 아칭효율은 성토고 3m까지는 평면변형률 조건을 가정한 이론식에 의한 값보다 작았으나 4m 이상에서는 이론식에 의한 값보다 큰 값을 보였으며 이론식에 의한 경우 아칭효율은 성토고에 따라 감소하는 경향을 보였으나 측정결과는 성토고에 따라 아칭효율도 증가하는 경향을 나타내었다.
- (3) 현장시험에서 계획했던 최종 성토고까지 비교적 원활하게 작동하였던 토압계에 의한 계측결과에 따르면 성토고에 따라 평면변형률 조건에서 보다 큰 아칭효율을 나타내었으며 4m 이상의 성토고에 대해서는 아칭효율의 변화양상 또한 이론식과 유사한 경향을 보였다.
- (4) 토압계 측정결과에 따르면 성토고 2m, 3m, 4m, 5m 그리고 6m일 때의 아칭효율은 평면변형률조건을 가정한 이론식에 의한 아칭효율에 비해 각각 1.05배, 1.23배, 1.29배, 1.28배 그리고 1.29배 큰 값들을 보여 우수한 아칭효과를 보임을 알 수 있었다.
- (5) 현장시험을 통해 얻은 하중계 및 토압계 측정값들로부터 계산된 아칭효율은 말뚝을 격자배치한 경우에 대한 이론식에 의한 그것보다 상당히 컸다.

References

- [1] Reid, W. M. and Buchanan, Bridge approach support piling, Proc. Conf. on Advances in Piling and Ground Treatment, ICE, London, pp. 267-274, 1983.
- [2] Hewlett, W. J., The analysis and design of bridge approach support piling, Part I project report, Cambridge University Engineering Department, 1984.
- [3] Terzaghi, K. T. and Peck, R. B., Soil mechanics in engineering practice, John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney, pp. 267-268, 1967.

- [4] Krynine, D. P., Soil mechanics, McGraw-Hill Book Company, Inc., pp. 310-312, 1947.
- [5] Hewlett, W. J. and Randolph, M. F., Analysis of piled embankments, Ground Engineering, vol. 21, no. 3, pp. 12-18, 1988.
- [6] Robertson, P. K., R. G. Campanella and A. Wightman, SPT-CPT Correlations, JGED, ASCE, vol. 109, no. 11, pp. 1449-1459, 1983.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1983\)109:11\(1449\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:11(1449))

이 승 현(Seung-Hyun Lee)

[정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 건축사회환경학부 교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학