

무한사면의 안정성에 미치는 억지말뚝의 영향에 대한 이론적 연구

이승현¹, 이수형^{2*}

¹선문대학교 토목공학과, ²한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

A Study on Effect of Stabilizing Pile on Stability of Infinite Slope

Seung-Hyun Lee¹, Su-Hyung Lee^{2*}

¹Division of Architecture, Architectural and Civil Engineering, Sunmoon University

²Korea Railroad Research Institute, Metropolitan Transportation Research Center

요약 억지말뚝으로 보강된 무한사면의 해석을 위해 억지말뚝에 작용하는 하중을 소성변형이론과 소성흐름이론을 적용하여 산정하였고 무한사면의 안전율에 영향을 미치는 다양한 인자들의 효과를 살펴보았다. 해석결과에 따르면 억지말뚝의 설치로 인해 사면의 안전율이 상당히 증가함을 알 수 있었고 말뚝설치간격이 커질수록 안전율은 감소하였다. 억지말뚝의 설치로 인한 안전율의 증가가 커서 무한사면의 침투발생 유무가 사면의 안전율에 미치는 영향은 상대적으로 미미할 것으로 생각된다. 억지말뚝으로 보강된 무한사면의 안전율을 수식으로 나타내 보았는데 무보강시 무한사면의 안전율에 영향을 미치는 흙의 강도정수 및 사면의 경사 그리고 사면의 두께 이외에도 무한사면요소 폭과 길이 그리고 억지말뚝에 작용하는 하중에 영향을 받음을 알 수 있었다. 소성변형이론을 바탕으로 하여 억지말뚝보강 무한사면의 안전율을 흙의 강도정수를 달리하여 살펴본 결과 무보강시에 비해 상당한 안전율 증가효과를 확인할 수 있었는데 본 연구에서 고려한 강도정수와 말뚝간격에 대하여 최소 안전율은 13.7이었고 최대 안전율은 65.6이었다. 억지말뚝의 지름이 증가할수록 말뚝이 부담하는 하중은 증가하지만 안전율은 감소하였는데 이는 억지말뚝 보강 무한사면의 안전율에 영향을 미치는 무한사면요소 폭과 길이 때문으로 판단된다. 소성흐름이론을 바탕으로 억지말뚝 보강 무한 사면의 안전율을 평균유입속도와 소성점도의 곱($v_1\eta_p$)을 달리하여 살펴본 결과 무보강시에 비해 상당한 안전율 증가효과를 확인할 수 있었으며 $v_1\eta_p$ 값이 커질수록 안전율도 커짐을 알 수 있었고 일정한 $v_1\eta_p$ 값에 대하여 말뚝설치간격이 커질수록 안전율은 감소하였다.

Abstract To analyze an infinite slope that is reinforced with stabilizing piles, the forces on the stabilizing pile were estimated by the theory of plastic deformation and the theory of plastic flow and the effects of diverse factors on the factor of safety of an infinite slope were investigated. According to the results of the analyses, the factor of the safety of the slope reinforced with stabilized piles were increased tremendously and the factor of safety decreased as the center to center distance of the stabilizing pile increased. The effect of the existence of seepage of the infinite slope with stabilizing piles on the factor of safety appears to be insignificant. Considering the formulated factor of safety of an infinite slope with stabilizing piles, the width and length of the element of the infinite slope and force on the stabilizing pile influence the factor of safety of the infinite slope with a stabilizing pile including the soil strength parameter, inclination of the slope and depth of the slope, which are important for calculating the factor of safety of a non-reinforced infinite slope. The factor of safety of an infinite slope with stabilizing piles derived from the theory of plastic deformation were increased significantly with the internal friction angle of the soil, and the minimum and the maximum factor of safety under the conditions considered in this study were 13.7 and 65.6, respectively. As the diameter of the stabilizing pile increased, the forces on the stabilizing pile also increased but the factor of safety of the infinite slope with stabilizing piles decreased due to the effects of the width and the length of the element of the infinite slope. The factor of safety of the infinite slope with stabilizing piles derived from plastic flow were much larger than that of the non-reinforced infinite slope and the factor safety of the infinite slope with a stabilizing pile increased with increasing product of the flow velocity and plastic viscosity ($v_1\eta_p$) and the factor of safety of the infinite slope with stabilizing piles decreased with increasing center to center distance of the pile.

Keywords : Infinite slope, Stabilizing pile, Plastic deformation, Plastic flow, Factor of safety

*Corresponding Author : Su-Hyung Lee(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5399 email: geoxlee@krrri.re.kr

Received August 24, 2016

Revised September 29, 2016

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

1. 서론

무한사면은 활동면의 깊이가 사면의 높이에 비해 작은 경우의 사면으로서 활동면은 사면과 수평을 이루는 경우가 대부분이다. 무한사면의 안전율을 증가시키기 위한 방법으로는 경사완화, 식생에 의한 저항력 증대, 옹벽, 기성말뚝을 적용하는 방법[1]등이 있으며 소구경현장타설말뚝을 적용하는 방법[2]도 있다. 이들 중 기성말뚝 및 현장타설말뚝을 사면안정에 이용할 경우 억지말뚝이라 한다. 억지말뚝은 Fig. 1에 나타나 있는 바와 같이 무한사면의 활동면을 통과하여 하부의 지층까지 근입되며 무한사면의 활동력을 지지하는 역할을 함으로써 사면의 안전율을 증대시키게 된다. 이때 말뚝은 지층에 충분히 근입시켜 말뚝이 인발되거나 전도되지 않도록 해야 하며 때로는 철근보강 콘크리트 슬래브를 말뚝 사이에 설치하여 말뚝 사이로의 흙의 유동을 방지하게 할 수도 있다[3].

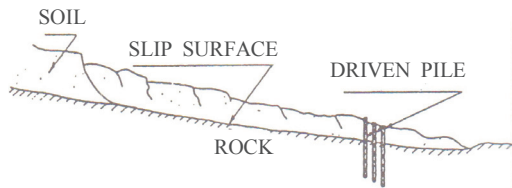


Fig. 1. Stabilizing piles to correct infinite slope[4]

억지말뚝의 해석 및 설계에 있어 중요한 요소는 억지말뚝에 작용하는 힘의 평가, 말뚝의 지름 그리고 말뚝의 설치간격이라 할 수 있다. 본 연구에서는 소성론에 입각하여 억지말뚝에 작용하는 힘을 평가하는 방법을 고찰하고 억지말뚝 보강 무한사면에 대하여 흙의 강도정수, 말뚝지름, 말뚝 중심간 간격 등이 안전율에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

2. 억지말뚝에 작용하는 하중

Ito and Matsui[5]는 소성론을 바탕으로 억지말뚝에 작용하는 하중을 수식화한 바 있으며 그 내용을 본 절에 다음과 같이 요약하여 나타내고자 한다. Fig. 2는 하나의 열(row)로 배열된 지름 d 인 말뚝을 보여주고 있는데 말뚝 중심간 간격은 D_1 이고 말뚝 사이의 지반은 소성변형 상태하에 있는 것으로 고려된다. 두께 h 인 지층에 있어

말뚝열에 수직인 방향으로의 횡방향변형이 발생하게 되면 지반과 말뚝 사이의 상호작용효과에 의해 말뚝에 횡방향력이 작용하게 된다. 해석시에는 Fig. 2의 음영으로 나타낸 부분과 같이 두 개의 말뚝 사이에 있는 지반의 거동만 다루면 충분하다. 말뚝사이의 지반의 거동을 모사함에 있어 두 종류의 해석방법을 생각해볼 수 있는데 소성변형이론(Theory of plastic deformation)과 소성흐름이론(Theory of plastic flow)이 그것이다. 소성변형이론은 비교적 단단한 지반에 적용되는 방법이고 소성흐름이론은 크리이프변형을 보이는 연약지반에 적용가능한 방법이라 할 수 있다.

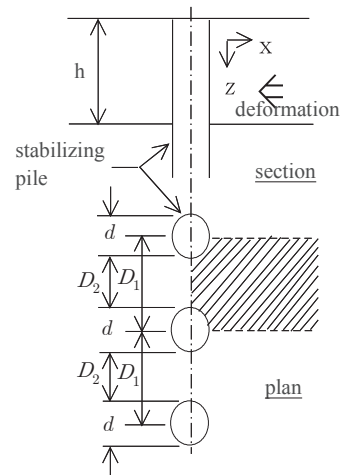


Fig. 2. Stabilizing piles in a row through plastically deforming soil

2.1 소성변형이론

소성변형이론에 의해 말뚝에 작용하는 횡방향력을 구하기 위해 Fig. 3에서와 같이 두 개의 말뚝 사이의 토체 ACDFD'C'A'를 고려하게 된다.

Ito and Matsui는 Fig. 3에서 요소 AEE'A'과 EBB'E'에 대하여 소성평형상태를 고려하여 지반의 소성변형에 의해 억지말뚝에 작용하는 하중을 유도하였는데 지층 단위두께에 대하여 x 방향으로 말뚝에 작용하는 횡방향력 (p)은 평면 BB'와 평면 AA'에 작용하는 수평력의 차이가 되며 식 (1)과 같이 표현된다. 소성변형을 일으키는 지반에 의해 억지말뚝에 작용하는 전체 수평력은 식 (1)에 의한 수평력을 말뚝길이에 따라 적분함으로써 구할 수 있다.

$$p = cD_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{(K_p^{1/2} \tan \phi + K_p - 1)} \left[\frac{1}{K_p \tan \phi} \left\{ \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} K_p \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - (2K_p^{1/2} \tan \phi + 1) \right\} + \frac{2 \tan \phi + 2K_p^{1/2} + K_p^{-1/2}}{K_p^{1/2} \tan \phi + K_p - 1} \right] - c \left\{ \frac{D_1 (2 \tan \phi + 2K_p^{1/2} + K_p^{-1/2})}{K_p^{1/2} \tan \phi + K_p - 1} - 2D_2 K_p^{-1/2} \right\} + \frac{\gamma z}{K_p} \left\{ D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{(K_p^{1/2} \tan \phi + K_p - 1)} \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} K_p \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - D_2 \right\} \quad (1)$$

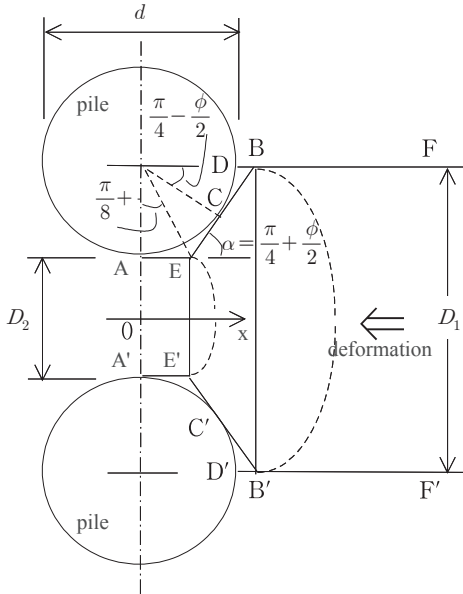


Fig. 3. Plastic deformation around pile

지반이 사질토($c=0$)인 경우 횡방향력 p 는 식 (1)에서 $c=0$ 으로 놓아 구할 수 있다. 지반이 $\phi=0$ 인 점토의 경우 p 는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$p = p_{BB'} - D_2 \left| \sigma_x \right|_{x=0} \quad (2)$$

$$= D_1 \left\{ c \left(3 \ln \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} - 2 \right) + \gamma z - D_2 (\gamma z - 2c) \right\}$$

$$= c \left\{ D_1 \left(3 \ln \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_1 - D_2}{D_2} \tan \frac{\pi}{8} \right) - 2(D_1 - D_2) \right\} + \gamma z (D_1 - D_2)$$

2.2 소성흐름이론

소성흐름이론에서는 Fig. 4에서와 같이 두 개의 말뚝 사이에 있는 토체 ACDFD'C'A'가 특정한 속도 v_1 으로 흐른다고 생각하게 된다.

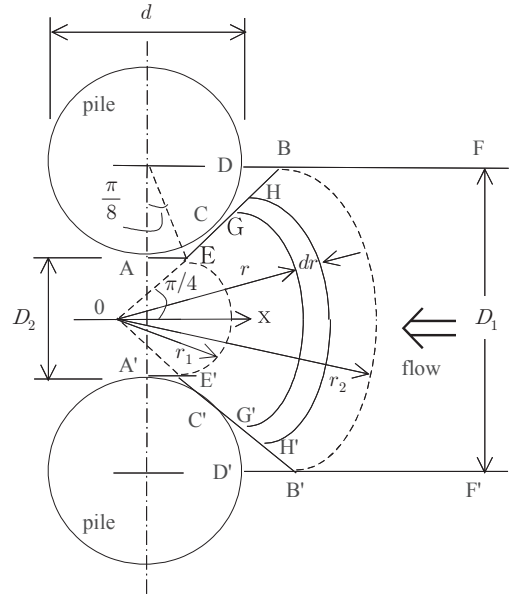


Fig. 4. Plastic flow around stabilizing pile

Fig. 5와 같이 폭이 B 이고 길이가 L 이며 단위깊이를 갖는 수로에 대하여 $\Delta p'$ 의 압력이 작용하는 경우 측벽에 작용하는 전체 전단력 p_0 는 관속에서의 흐름해석 [6](Nakagawa and Kanbe, 1959)과 같은 식으로 하여 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$p_0 = \frac{2L}{B} \left\{ 2\eta_p v_0 + B\tau_y + \sqrt{(2\eta_p v_0 + B\tau_y)^2 - B^2 \tau_y^2} \right\} \quad (3)$$

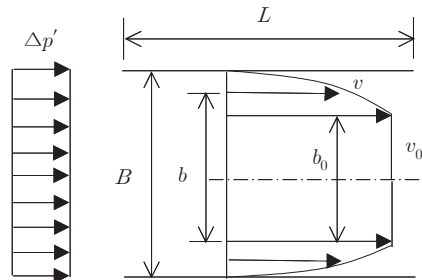


Fig. 5. Plastic flow in a channel

식 (3)에서 v_0 는 수로에서의 플러그(plug)의 속도를 의미한다. 식 (3)을 바탕으로 하여 Fig. 4의 면 EB와 E'B'에 작용하는 점성력과 토압의 x방향 성분력과 면 AE와 A'E'에 작용하는 점성력을 유도한 다음 더하면 단위두께의 지층에 대하여 말뚝에 x방향으로 작용하는 횡방향력 p 를 식 (4)와 같이 구할 수 있다. 식 (4)에서 $m = 16\eta_p v_1 D_1 / \pi^2$ 이다.

$$p = \sqrt{2m\tau_y} \left\{ \sqrt{1 + \frac{m}{2\tau_y D_2^2}} - \sqrt{1 + \frac{m}{2\tau_y D_1^2}} \right. \\ \left. + \ln \frac{D_1 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{m}{2\tau_y D_1^2}} \right)}{D_2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{m}{2\tau_y D_2^2}} \right)} \right\} \\ + (D_1 - D_2) \left\{ \frac{(\sqrt{2}-1)m\pi^2}{8D_2^2} \right. \\ \left. + (\sqrt{2}-1) \sqrt{\left(\frac{m\pi^2}{8D_2^2} \right)^2 + \frac{m\pi^2\tau_y}{4D_2^2}} \right. \\ \left. + \frac{m}{D_1 D_2} + \sqrt{2}\tau_y - 2c + \gamma z \right\} \quad (4)$$

식 (4)에서 흙의 항복응력 τ_y 는 흙의 점착력 c 와 같다 고 가정한다[5]. 최종적으로 지층의 소성흐름으로 인해 억지말뚝에 작용하는 전체 힘은 식 (4)를 흐름 토층의 깊이 에 따라 적분함으로써 결정될 수 있다.

3. 억지말뚝 보강 무한사면의 안전율

무한사면의 형태는 Fig. 6에서와 같이 경사가 i 이고 깊이 h 에서 기저암반과 접하는 경우를 고려한다.

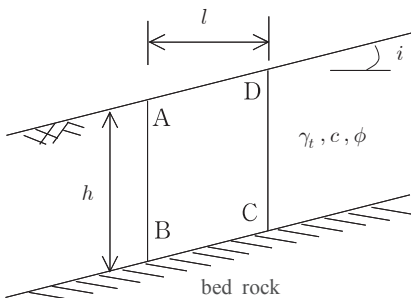


Fig. 6. Infinite slope

무한사면의 안전율은 통상 활동면을 따르는 전단응력과 전단강도의 비로서 나타내지만 억지말뚝을 적용하는 경우는 Fig. 3과 Fig. 4에 나타나 있는 소성영역과 억지말뚝에 작용하는 하중을 고려해야 하기 때문에 안전율을 응력의 비로서 나타내는 것보다 활동면을 따르는 전단하중과 전단저항력의 비로서 나타내는 것이 편리하다. Fig. 6에서 요소 ABCD의 하중을 고려하는 경우 그 두께는 단위두께가 아니고 Fig. 3과 Fig. 4에 나타나 있는 말뚝 중심간 간격 D_1 이 된다. Fig. 6에서와 같이 침투가 고려되지 않는 사면에 대하여 억지말뚝을 적용한 경우의 안전율($F_{s(no seep)}$)을 하중으로 나타내면 식 (5)에서와 같이 표현된다. 식 (5)에서 T_{sp} 는 억지말뚝이 부담하는 하중을 의미한다.

$$F_{s(no seep)} = \frac{lhD_1\gamma_t \cos^2 i \tan \phi + cD_1 l + T_{sp} \cos i}{lhD_1\gamma_t \sin i \cos i} \quad (5)$$

Fig. 6에서 무한사면의 지표면까지 지하수가 존재하고 침투가 사면과 나란한 방향으로 발생하는 경우에 대하여 억지말뚝을 적용한 경우의 안전율($F_{s(seep)}$)을 나타내면 식 (6)과 같다.

$$F_{s(seep)} = \frac{lhD_1\gamma_{sub} \cos^2 i \tan \phi + cD_1 l + T_{sp} \cos i}{lhD_1\gamma_{sat} \sin i \cos i} \quad (6)$$

Fig. 3으로부터 Fig. 6과 식 (5) 및 (6)에서의 l 은 식 (7)과 같이 계산됨을 알 수 있다.

$$l = \frac{D_1 - D_2}{4} \sec \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \operatorname{cosec} \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \quad (7)$$

소성흐름을 고려하는 경우 $\phi = 0$ 이므로 안전율 ($F_{s(\phi f)}$)은 식 (5)로부터 식 (8)과 같게 된다.

$$F_{s(\phi f)} = \frac{cD_1 l + T_{sp} \cos i}{lhD_1\gamma_t \sin i \cos i} \quad (8)$$

소성흐름모델을 나타내는 Fig. 4에서의 l 은 식 (9)와 같게 됨을 알 수 있다.

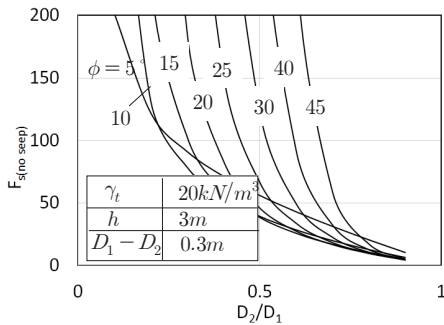
$$l = \frac{D_1 - D_2}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

식 (5), (6)을 통해 알 수 있듯이 역지말뚝으로 보강된 무한사면의 안전율에 영향을 미치는 인자는 흙의 강도정수와 사면경사 외에도 말뚝이 부담하는 하중(T_{sp})과 무한사면요소의 폭(l)과 높이(h) 및 길이(D_1)임을 알 수 있다. 역지말뚝의 경우 말뚝 사이의 아칭효과를 감안하여 말뚝 중심간 거리는 말뚝지름의 5배 이하로 언급하고 있는 자료[7-10]도 있지만 보통 말뚝지름의 3배 정도로 한다.

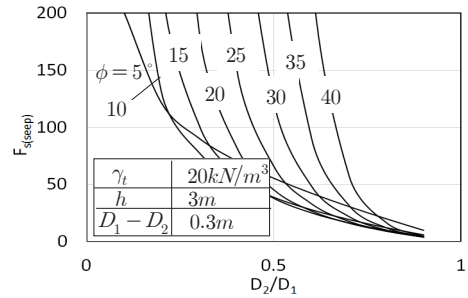
4. 해석결과와 비교분석

4.1 소성변형이론 적용결과 분석

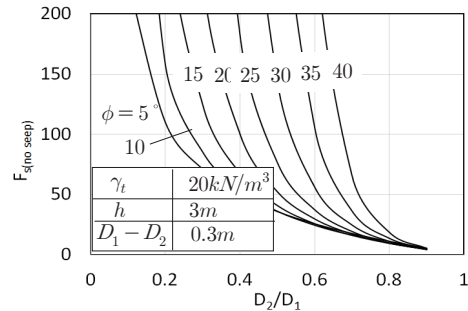
역지말뚝을 적용한 무한사면에 대하여 소성변형이론을 적용하여 흙의 강도정수와 말뚝간격 그리고 말뚝지름에 따른 안전율을 살펴보고자 내부마찰각과 점착력 그리고 말뚝간격 및 말뚝지름을 달리하여 역지말뚝 보강 무한사면의 안전율을 계산하였다. 무한사면의 경사는 침투가 발생하지 않는 경우를 기준으로 역지말뚝이 없는 경우에 대하여 안전율이 1.0이 되는 경사를 적용하였다. 계산에 고려된 무한사면의 높이(h)는 3m이고 흙의 단위중량은 $20kN/m^3$ 으로 보았는데 침투가 발생하지 않는 경우와 지표면에 지하수위가 존재하고 침투가 발생하는 경우로 나누어 계산이 수행되었다. Fig. 7은 내부마찰각과 말뚝설치간격의 영향을 살펴본 결과를 보이고 Fig. 8은 점착력과 말뚝설치간격의 영향을 살펴본 결과를 보이며 Fig. 9는 말뚝지름이 역지말뚝 보강사면의 안전율에 미치는 영향을 보여준다.



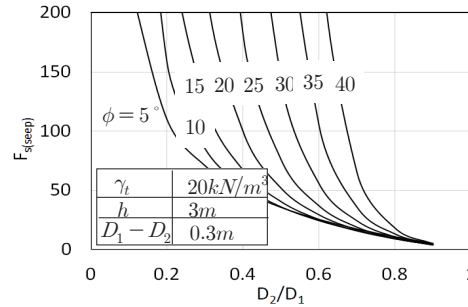
(a) no seepage($c = 0kPa$)



(b) seepage($c = 0kPa$)

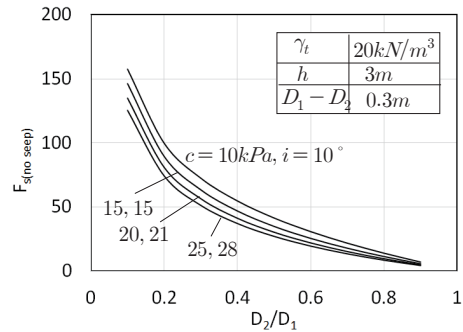


(c) no seepage($c = 10kPa$)

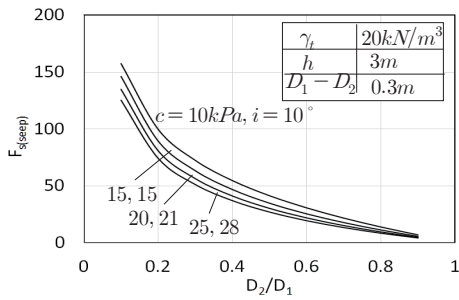


(d) seepage($c = 10kPa$)

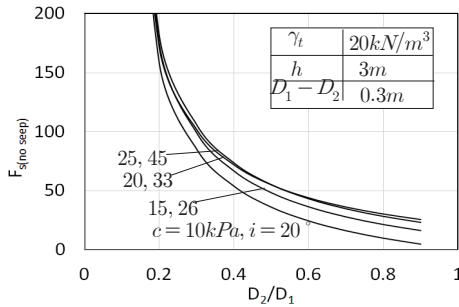
Fig. 7. Effect of ϕ on factor of safety (plastic deformation.)



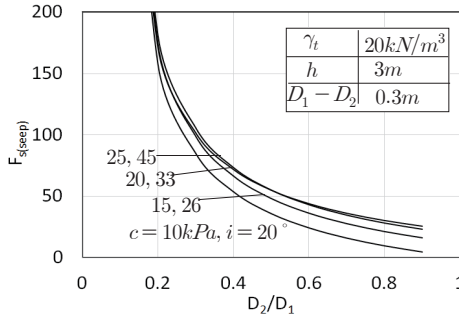
(a) no seepage($\phi = 0^\circ$)



(b) seepage($\phi = 0^\circ$)

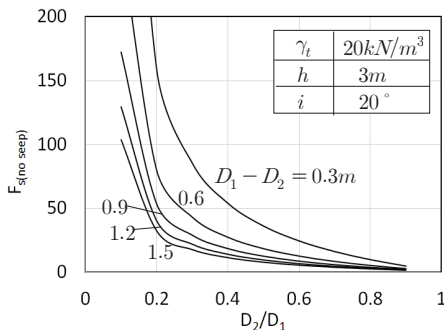


(c) no seepage($\phi = 10^\circ$)

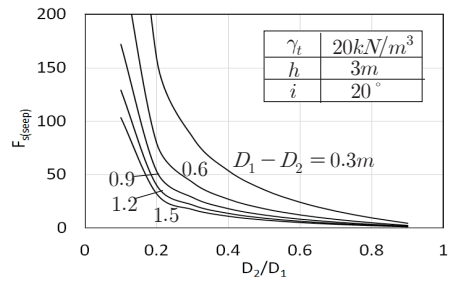


(d) seepage($\phi = 10^\circ$)

Fig. 8. Effect of c on factor of safety (plastic deformation)



(a) no seepage($c = 10kPa, \phi = 10^\circ$)



(b) seepage($c = 10kPa, \phi = 10^\circ$)

Fig. 9. Effect of pile diameter on factor safety (plastic deformation)

Fig. 7~Fig. 9를 통해 알 수 있듯이 억지말뚝의 설치로 인해 사면의 안전율이 증가함을 알 수 있고 말뚝설치 간격이 넓어질수록 안전율은 감소함을 알 수 있다. Fig. 7~Fig. 8에서 말뚝중심간 거리가 말뚝지름의 약 3.3배 ($D_2/D_1 = 0.7$)인 경우의 안전율을 비교해 볼 때 억지말뚝 설치로 인한 최소안전율은 점착력이 25kPa이고 내부마찰각이 0° 인 경우의 13.7이며 최대안전율은 점착력이 10kPa이고 내부마찰각이 40° 인 경우 65.6으로서 안전율 증대효과가 상당히 큼을 알 수 있다. 억지말뚝의 설치로 인한 안전율의 상당한 증가는 침투발생 유무에 의한 무한사면의 안전율에 있어 큰 차이를 보이지 않는 점을 통해서도 알 수 있다. Fig. 7을 통해 알 수 있듯이 흙의 내부마찰각이 증가함에 따라 안전율도 대체적으로 커진다고 볼 수 있는데 Fig. 7(a),(b)에서 ϕ 가 5° 경우는 예외이다. Fig. 8(a),(b)의 경우 점착력이 클수록 안전율은 작음을 알 수 있고 Fig. 8(c),(d)의 경우 점착력이 클수록 안전율 또한 커짐을 알 수 있다. 이러한 경향은 앞서도 언급한 바와 같이 억지말뚝 보강사면의 안전율은 다양한 인자에 영향을 받기 때문이라 할 수 있다. Fig. 9의 경우 일정한 강도정수와 사면경사조건에서의 안전율에 영향을 미치는 말뚝지름효과를 나타내는 것으로 말뚝지름이 작을수록 안전율이 커짐을 알 수 있다. 이러한 경향은 식 (5),(6)에서 안전율에 영향을 미치는 인자들 중 무한사면 요소의 크기(lhD_1)의 영향 때문으로 볼 수 있다. Fig. 10에는 말뚝지름에 따른 lhD_1 의 계산결과가 나타나 있는데 말뚝지름이 커질수록 lhD_1 도 커져서 안전율은 감소함을 알 수 있다.

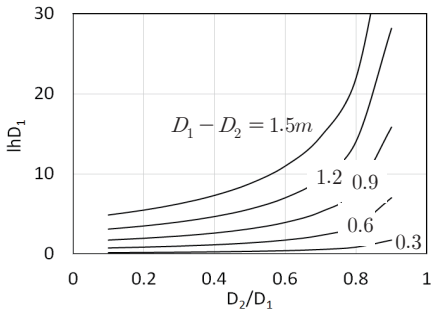


Fig. 10. Values of lhD_1 with respect to pile diameter (plastic deformation)

4.2 소성흐름이론 적용결과 분석

소성흐름이론을 적용하여 억지말뚝의 설치로 인한 안전율($F_{s(pf)}$)을 알아보기 위해 무한사면의 높이(h)는 3m, 점착력(c)은 30kPa 그리고 내부마찰각은 0° 로 보았는데 이 때 억지말뚝이 없는 경우의 안전율이 1.0이 되게 하는 사면의 경사각(i)은 45° 가 된다. Ito and Matsui[5]의 연구 결과에 따르면 소성흐름이론에서 억지말뚝에 작용하는 힘은 $v_1\eta_p$ 에 큰 영향을 받는다. Fig. 11과 12에는 각각 $v_1\eta_p$ 과 말뚝지름이 안전율에 미치는 영향이 나타나 있다.

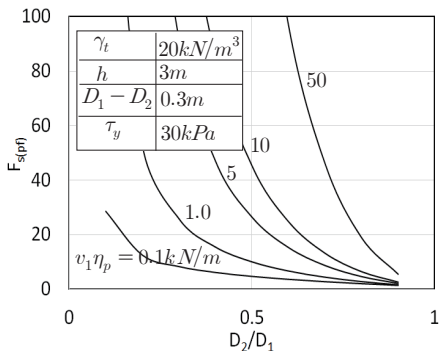


Fig. 11. Effect of $v_1\eta_p$ on factor of safety(plastic flow)

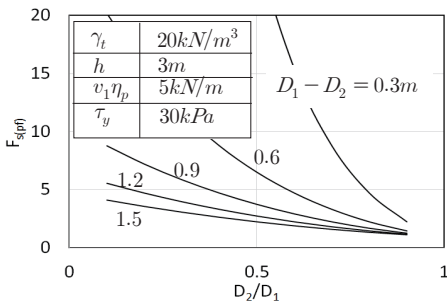


Fig. 12. Effect of pile diameter on factor of safety(plastic flow)

Fig. 11을 통해 알 수 있듯이 $v_1\eta_p$ 이 억지말뚝 보강 무한사면의 안전율에 큰 영향을 미치며 $v_1\eta_p$ 이 클수록 안전율도 커진다. Fig. 12를 통해 알 수 있듯이 안전율은 말뚝지름이 작을수록 커짐을 알 수 있는데 이 또한 Fig. 13에 나타나 있는 바와 같이 말뚝지름이 커질수록 lhD_1 도 커져서 결과적으로 안전율은 감소하게 된다.

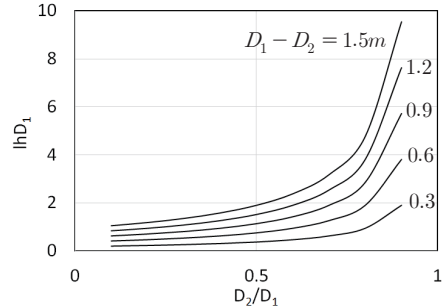


Fig. 13. Values of lhD_1 with respect to pile diameter (plastic flow)

5. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 억지말뚝으로 보강된 무한사면의 안전율을 수식으로 나타내 보았는데 무보강시 무한사면의 안전율에 영향을 미치는 흙의 강도정수 및 사면의 경사 그리고 사면의 두께 이외에도 무한사면요소의 폭과 길이 그리고 억지말뚝에 작용하는 하중에 영향을 받음을 알 수 있었다.
- (2) 소성변형이론을 바탕으로 하여 억지말뚝보강 무한사면의 안전율을 흙의 강도정수를 달리하여 살펴본 결과 무보강시에 비해 상당한 안전율 증가 효과를 확인할 수 있었는데 본 연구에서 고려한 강도정수와 말뚝간격에 대하여 최소 안전율은 13.7이었고 최대 안전율은 65.6이었다.
- (3) 억지말뚝지름이 증가할수록 말뚝이 부담하는 하중은 증가하지만 안전율은 감소하였는데 이는 억지말뚝 보강 무한사면의 안전율에 영향을 미치는 무한사면요소의 폭과 길이 때문으로 판단된다.
- (4) 소성흐름이론을 바탕으로 억지말뚝 보강 무한사면의 안전율을 평균유입속도와 소성점도의 곱 ($v_1\eta_p$)을 달리하여 살펴본 결과 무보강시에 비해

상당한 안전율 증가효과를 확인할 수 있었으며 $v_1\eta_p$ 값이 커질수록 안전율도 커짐을 알 수 있었고 일정한 $v_1\eta_p$ 값에 대하여 말뚝설치간격이 커질수록 안전율은 감소하였다.

References

- [1] Huang, Y. H., Stability analysis of earth slopes, Van Nostrand Reinhold Company Inc, pp. 13-14, 1983.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4684-6602-7>
- [2] Petros, P. Xanthakos, Lee, W. Abramson, Donald, A. Bruce, Ground Control and Improvement, John Wiley & Sons, Inc., pp. 471-492, 1994.
- [3] Lee, W. Abramson, Thomas, S. Lee, Sunil Sharma, Glenn M. Boyce, Slope Stability and Stabilization Methods, John Wiley & Sons, Inc., pp. 523-524, 2002.
- [4] Zaruba, Q., V. Mencl., Landslides and Their Control, Elsevier. New York.
- [5] Ito, Tomio, Matsui, Tamotsu, Method to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles, Soils and Foundations, JSSMFE, vol. 15, no. 4, pp. 43-59, Dec. 1975.
DOI: http://dx.doi.org/10.3208/sandf1972.15.4_43
- [6] Nakagawa, K. and Kanbe, H., Rheology, Tokyo, Misuzu, pp.340-354, 1959.
- [7] Prakash, S., "Behavior of pile groups subjected to lateral load." Ph.D. dissertation, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Illinois, 1962.
- [8] Cox, W. R., Dixon, D. A., and Murphy, B. S., "Lateral load tests of 5.4 mm piles in very soft clay in side-side and in-line groups.", Laterally loaded deep foundations: Analysis and performance, ASTM, West Conshohocken, PA., 1984.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1520/STP36817S>
- [9] Reese, L. C., Wang, S. T., and Fouse, J. L., "Use of drilled shafts in stabilizing a slope.", Stability and performance of slopes and embankments, vol. 2, ASCE, Reston, VA, pp. 1318-1332, 1992.
- [10] Liang, R. and Zeng, S., "Numerical study of soil arching mechanism in drilled shafts for slope stabilization.", Soils and foundations, vol. 42, no. 2, Japanese Geotechnical Society, pp. 83-92, 2002.
DOI: http://dx.doi.org/10.3208/sandf.42.2_83

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

이 수 형(Su-Hyung Lee)

[정회원]



- 1994년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 지구환경시스템공학부 (공학박사)
- 2003년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>
지반공학, 철도공학