

소성변형지반 중의 H형 말뚝에 작용하는 수평력

김영인

경상대학교 토목환경공학부(해양산업연구소)

Lateral Force Acting on H-piles in Plastically Deforming Ground

YOUNG-IN KIM

Division of Civil & Environmental Eng., Gyeong Sang Univ., Tongyeong, Gyeongnam Korea

KEY WORDS: Interval ratio 간격비, Passive pile 수동말뚝, Lateral ground flow 측방유동, Sliding mass 활동토괴, Plastic deformation 소성변형, Lateral force 수평력, Sliding surface활동면

ABSTRACT: In lateral ground flow, slope stability, and land slide problems, H-piles have been often used for a horizontally deforming ground to prevent the failure of mass of soil in a downward and outward movement of a slope. Here, Theoretical equations are derived to estimate the lateral force, assuming that the Mohr-Coulomb's Plastic states occurs in the ground just around H-piles. In this study, the mechanism of lateral force acting on passive pile that is in a row, situated in the ground undergoing plastic deformation was discussed, and its theoretical analysis was carried out considering the interval between H-piles.

The solution of the theoretical equation derived from here showed reasonable characteristic for constants of soil as well as for the interval, widths, and heights of H-pile.

1. 서 론

측방변형이 발생하는 지반 중에 시공된 구조물의 기초말뚝이나 사면활동방지용 말뚝, 단순히 지반의 측방유동을 방지하기 위한 말뚝 등은 수동말뚝의 전형적인 예이며 특히 소성변형상태인 지반이면서 상하 활동토괴를 갖는 사면활동인 경우 상부토괴는 횡방향 변형상태에 있고 시공된 말뚝은 소성변형지반에 횡방향으로 저항하는 역할을 하게 된다. 변형지반 중에 말뚝이 일렬로 위치해 있을 때의 말뚝의 저항효과는 사면활동에 중요한 역할을 수행한다. 이러한 경우의 말뚝을 사면활동 방지말뚝 또는 억지말뚝이라 부르고 있다.

과거부터 관습적인 억지말뚝의 설계방법은 말뚝과 지반의 상호작용에 의한 수평력이 합리적으로 취급되지 않고 말뚝에 가해지는 수평력의 산정에 있어서 말뚝 자체의 크기와 말뚝간격의 변화에 따른 수평력의 변화가 고려되지 않는 문제점을 갖고 있었다. 수평력을 받는 말뚝의 거동에 관한 연구로서 랜딩피어기초에서 원호활동을 일으키는 사면의 기초말뚝의 저항효과의 해석에 말뚝의 저항력을 지반반력계수와 Broms의 극한수평저항력을 사용한 Kitazima와 Kishi(1967)의 연구, 2열로 된 현장 제자리 콘크리트 말뚝이 사면활동 저항말뚝으로 쓰일 때의 해석법을 제안한 De Beer와 Wallays(1972)의 연구 및 사면활동 지역에 시공된 피어기초에 작용하는 토압을 측정 한 Sommer(1977)의 연구를 들 수 있다. 한편 Hennes(1963)는 지반을 점착성만을 갖는 소성체로 말뚝을 활동방향에 평행하게 위치한 무한히 긴 얇은 판으로 가정하여 수평력을 구하였다. Polous(1975)는 횡방향변형

중인 지반에서의 말뚝해석을 다양하게 연구하였으나 말뚝의 간격을 무시하고 있으며, 石原靜夫(1981)는 연약지반의 측방유동에 의한 수평토압을 현장조사의 결과로부터 산정하는 방법을 보고하였다. 森 등(1982)은 N치 4~5이하의 연약지반에 있어서 성토에 의한 편재하중이 작용할 경우 재하 직후로부터 재하 종료 시까지 단기간의 거동시 측방유동의 영향을 받은 구조물에 있어서 말뚝기초의 수평거동에 관한 사항 및 말뚝에 작용하는 하중과 반력의 조건을 설정하여 그 적용성에 대하여 보고하였다. 小島(1985)는 탄성곡선이론에 의해서 사면활동면의 상부층과 하부의 부동층 사이에 집중력이 작용하는 상태의 해법을 유도하고 지반반력과 전단력의 관계를 해석하여 사면활동 방지말뚝의 수치적 검증을 보고하였다.

이상의 방법들에 있어서 문제점은 말뚝사이에서 유발되는 수평력이 고려되어 있지 않고, 말뚝주변의 흙이 소성변형을 할 때 말뚝과 지반의 상호작용이 취급되지 않는다는 점이다. Ito 등(1982), De Beer와 Carpentier 등(1977)은 이러한 문제점들을 분석하여 수평력의 해석에 말뚝간격의 영향을 비교적 합리적으로 적용할 수 있는 이론식을 발표하였다. 그러나 이 이론식도 H형 말뚝에는 적용될 수 없어 지금까지의 연구는 원형말뚝에만 적용될 수 있는 결과들이다.

본 연구에서는 H형 말뚝에 적용할 수 있는 이론해석을 수행함과 동시에 위에서 지적한 문제점들을 검토하였으며, 말뚝 사이의 토괴 양측에 작용하는 토압의 차이를 기본개념으로 말뚝 사이의 간격 및 말뚝단면의 폭과 높이를 고려한 해석을 수행하였다.

2. 이론해석

Fig. 1에서와 같이 H형 말뚝은 H형강의 단면에서 플랜지의 폭 B와 높이 H를 갖고 지반 중에 일정한 간격 D_1 으로 일렬로 위치한다.

Fig. 2에서 임의의 깊이 z에서 -X 축 방향으로 작용하는 수평력의 크기 $\sigma(z)$ 는 Fig. 3에서 사각형 EFF'E'와 선 FG, F'G'부분을 대상으로 하여 해석되며 해석상의 이론 정립을 위해 다음과 같이 가정된다.

1) 지반이 변형할 때 H형 강말뚝 주변의 선 EF와 선 E'F'에는 흙의 전단파괴면이 생기고 선 FG, F'G'에는 수동토압이 작용한다.

2) H형 말뚝의 주변흙 EFF'E' 부분은 Mohr-Coulomb의 파괴영역을 만족하는 소성평형상태이며, 흙은 내부마찰각 ϕ 와 점착력 c를 갖는다.

3) 흙의 변형은 임의의 깊이에서도 평면변형(2차원변형)을 한다.

4) 선 EF와 E'F' 부분에 마찰력이 작용하더라도 EFF'E' 부분의 응력분포는 마찰력이 작용하지 않을 경우의 응력분포와 같다.

5) 말뚝은 강결(rigid)한 상태이다.

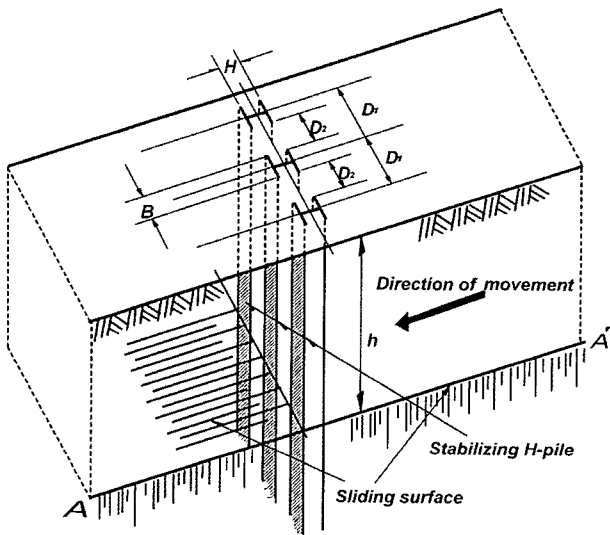


Fig. 1 View of stabilizing H-piles in the deforming ground

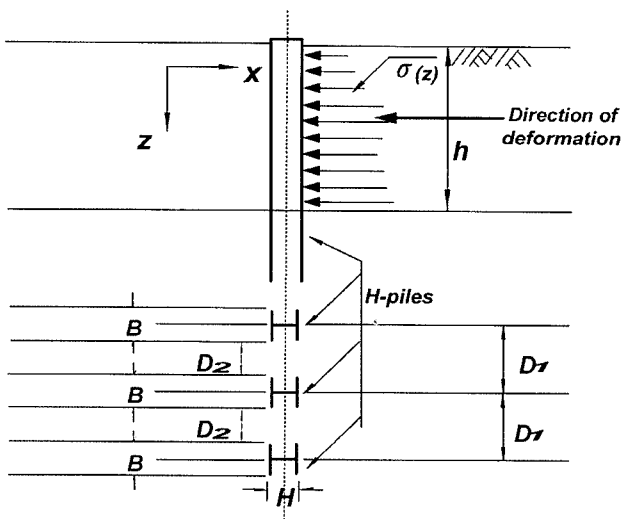


Fig. 2 Stabilizing H-piles in a row through plastically deforming ground

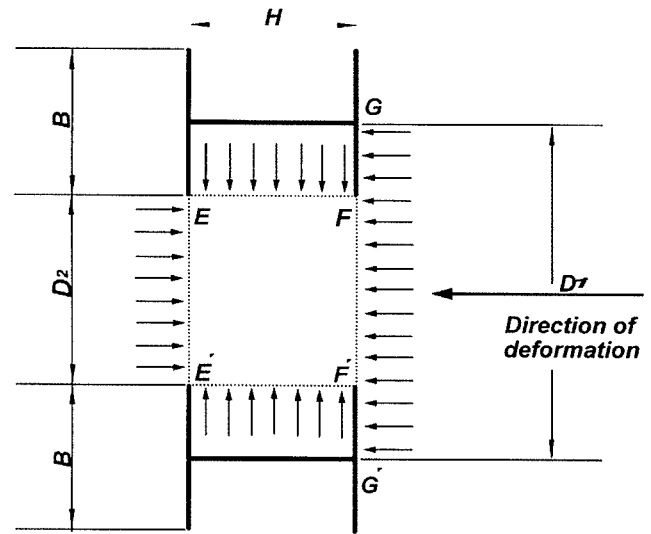


Fig. 3 State of plastic deformation in the ground just around H-piles

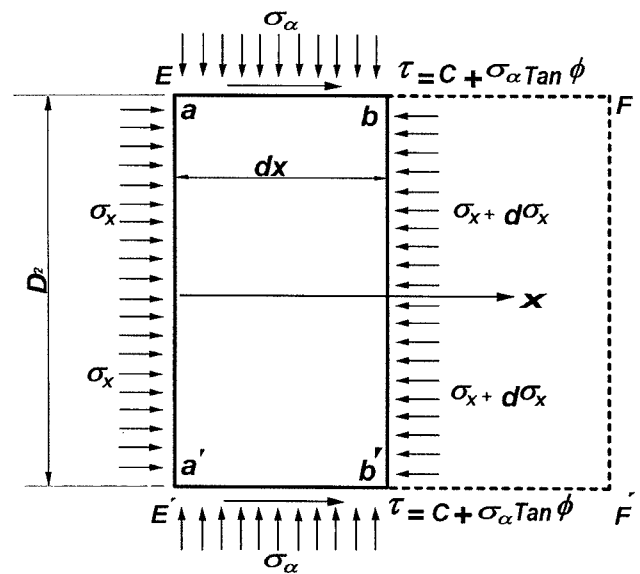


Fig. 4 Small element of plastically deforming ground (aa'b'b')

3. 이론식의 유도

먼저 Fig. 4에서 임의의 깊이 z 에서 ab 면, a'b' 면에 작용하는 σ_a 는 가정 4)로부터 주응력 σ_x 에 대응하는 다른 하나의 주응력이 될 것이며, 가정 2)의 파괴규준을 만족하는 Fig. 5의 Mohr 응력원에서 다음의 σ_a 값으로 둘 수 있다.

$$\sigma_a = \sigma_x K_p + 2c\sqrt{K_p} \tag{1}$$

여기서,

- σ_x ; aa' 면에 작용하는 주응력
- σ_a ; ab, a'b' 면에 작용하는 주응력
- K_p ; Rankine 의 수동토압계수
- c ; 흙의 점착력

그리고 σ_a 의 값은 x 값의 크기에 따라 달라진다.

지반이 횡방향으로 이동될 때는 수평방향응력이 최대주응력이 될 것이므로 Fig. 4에서 aa' 면에 작용하는 수평방향력 σ_x 를 수동토압의 크기로 한다. 따라서 임의의 깊이 z 에서 x=0 인 지점 aa' 면에 작용하는 σ_x 는 다음과 같다.

$$(\sigma_x)_{x=0} = \gamma z K_p + 2c\sqrt{K_p} \tag{2}$$

여기서,

- γ ; 흙의 단위체적중량
- z ; 지표면에서부터 임의의 깊이

Fig. 4에서 abb'a' 부분에 작용하는 x 방향 평형조건에서 다음의 결과를 얻을 수 있다.

$$D_2 d\sigma_x = 2(\sigma_a \tan \phi + c) dx \tag{3}$$

여기서,

- D_2 ; H형 말뚝의 순간적
- ϕ ; 흙의 내부마찰각

식(1)을 식(3)에 대입하여 다음을 얻는다.

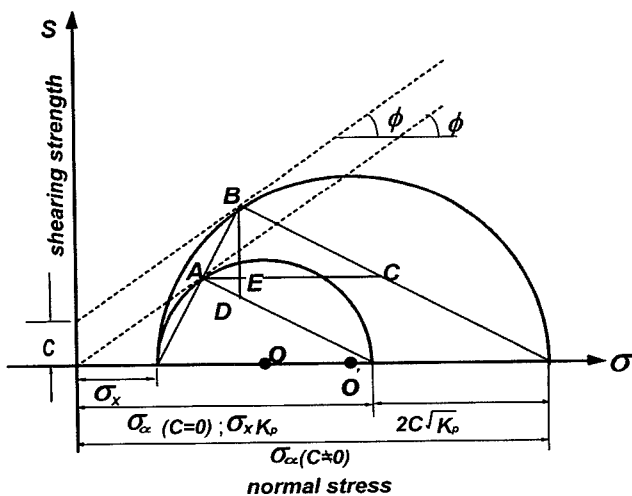


Fig. 5 The value of σ_a in passive state

$$D_2 d\sigma_x = [2c + 2\sigma_x K_p \tan \phi + 4c\sqrt{K_p} \tan \phi] dx$$

위의식을 변수 분리하면 다음과 같이 주어진다.

$$\int \frac{d\sigma_x}{(2c + 2\sigma_x K_p \tan \phi + 4c\sqrt{K_p} \tan \phi)} = \int \frac{1}{D_2} dx$$

위의식을 적분하여 정리하면 다음과 같다.

$$C_1 (2c + 2K_p \tan \phi \sigma_x + 4c\sqrt{K_p} \tan \phi) = C_2 e^{(\frac{\sigma_x}{D_2} + C_2) 2K_p \tan \phi}$$

위의 식에서 수평력 σ_x 는 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma_x = \frac{C_3 \exp(\frac{2K_p \tan \phi}{D_2} x) - 2c(2\sqrt{K_p} \tan \phi + 1)}{2K_p \tan \phi} = \frac{C_4 \exp(\frac{2K_p \tan \phi}{D_2} x) - c(2\sqrt{K_p} \tan \phi + 1)}{K_p \tan \phi} \tag{4}$$

이상의 식들에서 C_1, C_2, C_3, C_4 는 적분상수이다.

$x=0$ 에서 σ_x 값은 식(2)의 σ_x 값으로 나타낼 수 있다.

즉, 식(2)를 경계조건으로 하여 식(4)의 적분상수 C_4 를 구하면 다음과 같다.

$$C_4 = \gamma z K_p^2 \tan \phi + 2c\sqrt{K_p^3} \tan \phi + 2c\sqrt{K_p} \tan \phi + c \tag{5}$$

따라서, 식(4)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\sigma_x = [(\gamma z K_p^2 \tan \phi + 2c\sqrt{K_p^3} \tan \phi + 2c\sqrt{K_p} \tan \phi + c) \times \exp(\frac{2K_p \tan \phi}{D_2} x) - c(2\sqrt{K_p} \tan \phi + 1)] / K_p \tan \phi \tag{6}$$

또한 Fig. 4에서 FF' 면에 작용하는 응력은 H형 말뚝의 단면에서 $x=H$ 일 때의 값으로 다음과 같이 나타내어진다.

$$(\sigma_x)_{FF'} = [(\gamma z K_p^2 \tan \phi + 2c\sqrt{K_p^3} \tan \phi + 2c\sqrt{K_p} \tan \phi + c) \times \exp(\frac{2K_p \tan \phi}{D_2} H) - c(2\sqrt{K_p} \tan \phi + 1)] / K_p \tan \phi \tag{7}$$

여기서,

H ; H형 말뚝의 단면 높이

그리고 FF' 면에 작용하는 수평압력 $P_{FF'}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_{FF'} = D_2 (\sigma_x)_{FF'} = D_2 [(\gamma z K_p^2 \tan \phi + 2c\sqrt{K_p^3} \tan \phi + 2c\sqrt{K_p} \tan \phi + c) \times \exp(\frac{2K_p \tan \phi}{D_2} H) - c(2\sqrt{K_p} \tan \phi + 1)] / K_p \tan \phi \tag{8}$$

aa' 면에 작용하는 수평압력 $P_{aa'}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_{aa'} = D_2(\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P}) \quad (9)$$

x 축 방향의 aa' 면에 작용하는 수평압력 $P_{aa'}$ 와 FF' 면에 작용하는 수평압력 $P_{FF'}$ 의 차가 H형 말뚝에 작용하며, 그 값은 다음과 같다.

$$P_{FF'} - P_{aa'} = \frac{D_2}{K_P \tan \phi} \left[(\gamma z K_P^2 \tan \phi + 2c\sqrt{K_P^3} \tan \phi + 2c\sqrt{K_P} \tan \phi + c) \exp\left(\frac{2HK_P \tan \phi}{D_2}\right) - c(2\sqrt{K_P} \tan \phi + 1) \right] - D_2(\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P}) \quad (10)$$

Fig. 3에서 FG, F'G' 부분에 작용하는 수평압력은 가정 1)에서 임의의 깊이 z 에서 수동토압으로 볼 때 다음과 같이 나타내진다.

$$P_{FG} = P_{F'G'} = (\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P}) \frac{B}{2} \quad (11)$$

$$P_{FG} + P_{F'G'} = B(\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P}) = (D_1 - D_2)(\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P}) \quad (12)$$

여기서,

B ; H형 말뚝의 단면에서 플랜지폭

D_1 ; H형 말뚝의 중심간 간격

임의의 깊이 z 에서 H형 말뚝 하나에 작용하는 수평압력의 크기 $\sigma(z)$ 는 식(10)과 식(12)의 합으로 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma(z) = \frac{D_2}{K_P \tan \phi} \left[(\gamma z K_P^2 \tan \phi + 2c\sqrt{K_P^3} \tan \phi + 2c\sqrt{K_P} \tan \phi + c) \times \exp\left(\frac{2HK_P \tan \phi}{D_2}\right) - c(2\sqrt{K_P} \tan \phi + 1) \right] + D_1(\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P}) - 2D_2(\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P}) \quad (13)$$

여기서 $M=K_P \tan \phi$ 로 놓으면 식(13)은 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\sigma(z) = D_2 \left[(\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P} + \frac{2c}{\sqrt{K_P}} + \frac{c}{M}) \exp\left(\frac{2HM}{D_2}\right) - \frac{2c}{\sqrt{K_P}} - \frac{c}{M} - 2\gamma z K_P - 4c\sqrt{K_P} \right] + D_1(\gamma z K_P + 2c\sqrt{K_P}) \quad (14)$$

지표면에서 임의의 깊이 z 까지 H형 말뚝 하나에 작용하는 전수평력의 크기 P_t 는 다음과 같다.

$$P_t = \int_0^z \sigma(z) dz = \frac{1}{2} D_2 z \left[(\gamma z K_P + 4c\sqrt{K_P} + \frac{4c}{\sqrt{K_P}} + \frac{2c}{M}) \exp\left(\frac{2HM}{D_2}\right) - \frac{4c}{\sqrt{K_P}} - \frac{2c}{M} - 2\gamma z K_P - 8c\sqrt{K_P} \right] + \frac{1}{2} D_1 z(\gamma z K_P + 4c\sqrt{K_P}) \quad (15)$$

4. 이론식의 특성

식(15)는 많은 변수들을 갖고 있으며 이러한 변수들의 효과를 검토함으로써 이론식의 특성을 고찰해 볼 필요가 있다. 이론식에 대한 변수들로서는, 흙의 단위체적중량 γ , 지표면에서부터 임의의 깊이 z, 말뚝 중심간의 간격 D_1 , 말뚝의 순간적 D_2 , 흙의 내부 마찰각 ϕ , 점착력 c, H형 말뚝의 플랜지 폭 B, 말뚝단면의 높이 H 등을 들 수 있다.

우선 γ 와 z에 대해서는 수평력 $\sigma(z)$ 가 γ 와 z값이 증가함에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 반면에 D_1 과 D_2 및 c, ϕ , B, H 에 대한 영향은 복잡하고 중요하다. 따라서 이러한 변수들에 대한 이론식의 특성을 도표를 통하여 조사하였다. D_1 과 D_2 는 $D_1-D_2=B$ 의 관계가 있고, D_1 값이 커지면 D_2 값도 따라서 커지고 간격비 D_2/D_1 값도 커진다. 간격비 D_2/D_1 는 말뚝 중심간의 간격에 대해 순간적이 차지하는 비율을 말하며, 이 값이 갖는 의미는 말뚝단면의 폭 B 를 고려하지 않고 말뚝이 얼마만큼 큰 간격으로 떨어져 위치하는가를 곧 바로 알 수 있는 변수값이 된다. 즉 순간적이 폭 B 만큼 떨어져 있으면 $D_2/D_1=0.5$ 값을 나타낸다.

4.1 내부마찰각 ϕ 의 영향

Fig. 6은 $B=0.2m$, $H=0.2m$, $z=3m$, $\gamma=1.7t/m^3$, $c=0.1kg/cm^2$ 인 경우에 있어서 흙의 내부마찰각 ϕ ($5^\circ \sim 35^\circ$)에 대한 영향을 나타내고 있다. 여기서 ϕ 값이 증가하면 깊이 z 지점에서 말뚝에 작용하는 수평력 $\sigma(z)$ 의 값은 증가함을 알 수 있다. 또한 임의의 ϕ 값에 대해서 간격비 D_2/D_1 값이 증가하면 오히려 $\sigma(z)$ 값은 감소함을 알 수 있고 이러한 두 현상은 각각 ϕ 값이나 D_2/D_1 값이 크면 클수록 $\sigma(z)$ 값의 증가나 감소율이 현저함을 알 수 있다.

4.2 점착력 c 의 영향

Fig. 7은 $B=0.2m$, $H=0.2m$, $z=3m$, $\gamma=1.7t/m^3$, $\phi=10^\circ$ 인 경우에 있어서 흙의 점착력 c ($0.1kg/cm^2 \sim 2.2kg/cm^2$)에 대한 영향을 나타내고 있다. 여기서 c 값이 증가하면 깊이 z 지점에서 말뚝에 작용하는 수평력 $\sigma(z)$ 값은 증가함을 알 수 있고 임의의 c 값에 대해서 간격비 D_2/D_1 값이 증가하면 오히려 $\sigma(z)$ 값은 감소함을 알 수 있다.

간격비 D_2/D_1 값의 증가에 따른 $\sigma(z)$ 값의 감소율은 전체 c 값의 범위에 걸쳐 Fig. 6의 ϕ 값의 영향에 의한 것보다는 훨씬 둔화됨을 알 수 있다. 즉 $\sigma(z)$ 값의 증가율이나 감소율이 각각 c 값이나 D_2/D_1 값에 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

4.3 말뚝의 폭 B 의 영향

Fig. 8은 $B=0.2m$, $z=3m$, $\phi=10^\circ$, $\gamma=1.7t/m^3$, $c=0.1kg/cm^2$ 인 경우에 있어서 말뚝 중심간의 간격 D_1 을 고려한 H형 말뚝의 플랜지 폭 B ($10cm \sim 45cm$)에 대한 영향을 나타내고 있다. 여기서 B 값이 증가하면 $\sigma(z)$ 값도 증가함을 알 수 있으나 일정한 c, ϕ 값에 대해서 임의의 D_1 값 (0.5 부근)이하에서 $\sigma(z)$ 값의 급격한 증가현상을 볼 수 있다. 즉 순간적 D_2 값이 폭 B 보다 작아지는 시점 ($D_2/D_1=0.5$)에서부터 현저하게 증가한다. 이것은 말뚝의 간격이 좁아질 경우 말뚝사이로 진입하는 토괴의 소성변형으로 인한

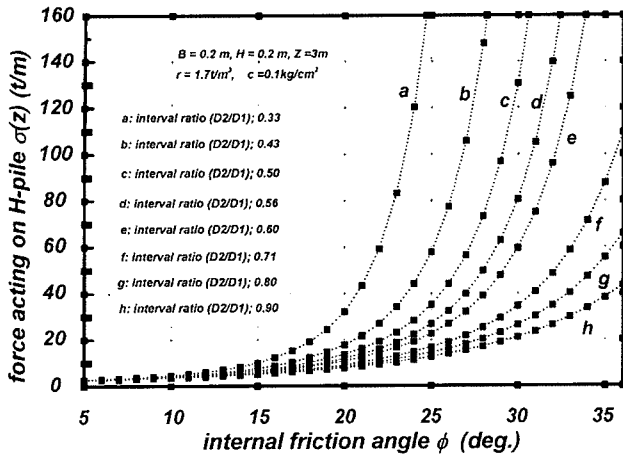


Fig. 6 The effect of internal friction angle ϕ ($c=0.1\text{kg/cm}^2$)

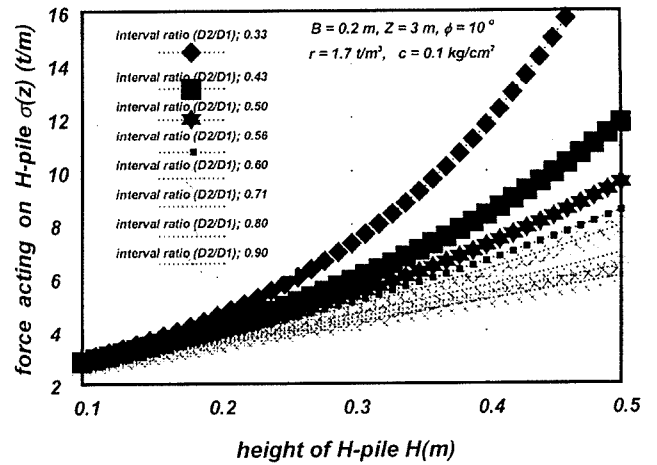


Fig. 9 The effect of H (in case of $c=0.1\text{kg/cm}^2$, $\phi=10^\circ$).

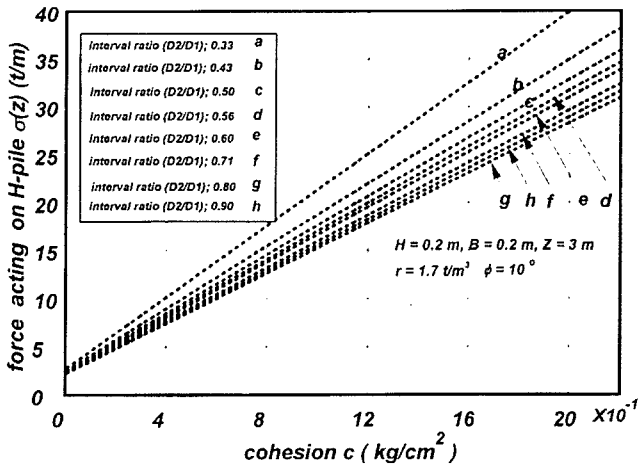


Fig. 7 The effect of cohesion c ($\phi=10^\circ$)

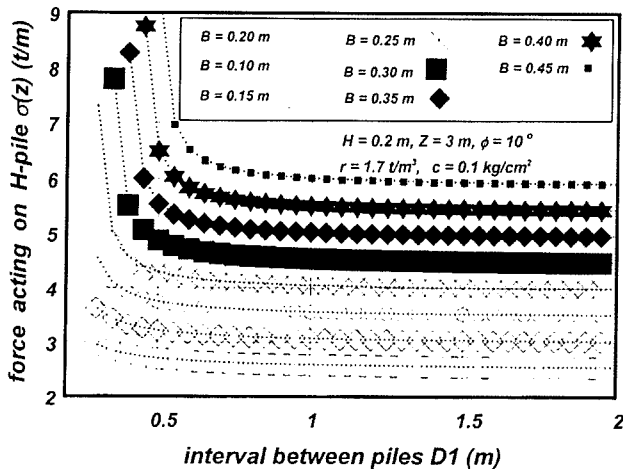


Fig. 8 The effect of B (in case of $c=0.1\text{kg/cm}^2$, $\phi=10^\circ$)

여 과도한 힘이 말뚝에 전달되는 상태로 볼 수 있다.

4.4 말뚝의 단면높이 H 의 영향

Fig. 9는 $B=0.2\text{m}$, $z=3\text{m}$, $c=0.1\text{kg/cm}^2$, $\gamma=1.7\text{t/m}^3$, $\phi=10^\circ$ 인 경우에 있어서 H형 말뚝단면의 높이 H (10cm~50cm)에 대한 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 H 값이 증가하면 $\sigma(z)$ 값도 증가하고 임의의 H 값에 대해서 간격비 D_2/D_1 값이 증가하면 오히려 $\sigma(z)$ 값은 감소함을 알 수 있다. 이 두 현상은 H 값이 크면 클수록 명확하게 나타나고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 소성변형 중인 지반 중에 위치한 H형 말뚝에 작용하는 수평력에 대한 이론식을 유도하였다. 이론해석은 말뚝의 주변지반을 Mohr-Coulomb의 파괴영역을 만족하는 소성평형 상태로 보고 말뚝사이의 토괴 양측에 작용하는 토압차이를 기본 개념으로 하여 이론식의 특성을 지반을 구성하는 흙과 H형 말뚝의 변수들에 따라 고찰하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 소성변형 중인 지반에 위치하는 말뚝 특히 사면활동의 역지 말뚝으로 사용되는 H형 말뚝에 작용하는 수평력의 해석에 적용할 수 있는 이론식을 유도하였다.
- (2) 이론식의 수평력 $\sigma(z)$ 는 말뚝의 플랜지 폭 B, 높이 H에 비례하였다. 특히 흙의 단위체적중량 γ 와 지표면에서부터 임의의 깊이 z 에는 선형적으로 비례하였다.
- (3) 이론식의 수평력 $\sigma(z)$ 는 흙의 내부마찰각 ϕ 및 점착력 c 에 대해서는 비례하여 증가하였으나 간격비 D_2/D_1 에 대해서는 오히려 반비례하여 감소하였다. 이러한 현상은 특히 ϕ 의 영향에 있어서 ϕ 값이나 D_2/D_1 값이 크면 클수록 증가율이거나 감소율이 현저하였다.
- (4) 유도된 이론식은 말뚝 중심간의 간격 D_1 및 말뚝 단면의 폭 B와 높이 H에 대해서 합리적인 특성을 가짐과 동시에 흙의 체중수 (c , ϕ , γ) 및 지표면에서부터 임의의 깊이 z 에 대해서도

합리적인 특성을 갖고 있었다.

감사의 글

본 논문은 2001년도 경상대학교 해양과학대학 해양산업연구소의 연구조성비에 의하여 연구되었으며, 본 연구를 위하여 연구비를 지원하여 주신 관계자에게 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- Kitazima, S. and S. Kishi. (1967). An effect of embedded pipes to increase resistance against circular slides in soft clay foundation. Technical Note of Port and Harbor Research Institute, 29 : 63~94.
- De beer, E. E. and M. Wallays. (1970). Stabilization of a slope in Schists by means of bored piles reinforced with steel beams. Proc., 2nd Congress of the International Society for Rock Mechanics, Beograd, 3 : 361~369.
- De beer, E. E. and M. Wallays. (1972). Forces induced in piles by unsymmetrical surcharges on the soil around the pile, Proc., 5th ECSMFE, Madrid, 1 : 325~332.
- Sommer, H. (1977). Creeping Slope in a stiff clay. Proc. 9th ICSMFE, Specialty Session 10, Tokyo : 113~118.
- Hennes, R. G. (1963). Analysis and control of landslide. Bull. of University of Washington, Engineering Experiment Station, No. 91 : 41~44.
- Poulos, H. G. (1971). Behavior of laterally loaded piles_1.Single piles. J. of SMFD, ASCE 97(SM5) : 711~731.
- Poulos, H. G. (1971). Behavior of laterally loaded piles_2. Pile Groups. J. of SMFD, ASCE 97(SM5) : 733~751.
- Poulos, H. G. (1972). Behavior of laterally loaded piles_3.Socketed piles. J. of SMFD, ASCE 99(SM5) : 341~360.
- Poulos, H. G. (1973). Analysys of piles in soil undergoing lateral movement. J. of SMFD, ASCE 99(SM5) : 391~405.
- Poulos, H. G. (1975). Lateral load-deflection prediction for pile group. J. of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101(GT1) : 127~132.
- Poulos, H. G. and E. H. Davis. (1980). Pile foudation analysis and Design. John Willey and Sons, New York. : 143~162.
- Ito, T. and T. Matsui. (1975). Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles. Soils and Foundations 15(4) : 43~59.
- Ito, T. and T. Matsui. (1977). The effect of piles in a row on the slope stability. Proc., 9th ICSMFE, Specialty Session 10, Tokyo, : 81~86.
- Ito, T. and T. Matsui. (1978). The effect of piles in a row on the slope stability. Soils and Foundation 18(2) : 41~44.
- Ito, T., T. Matsui and W. P. Hong. (1981) Design method for stabilizing piles against landslide_one row of piles. Soils and Foundations 21(1) : 21~32.
- Ito, T., T. Matsui and W. P. Hong. (1982). Extended design method for stabilizing piles against large scale landslide_multi-rows of piles. Soils and foundations 22(1) : 1~13.
- Ito, T., T. Matsui and W. P. Hong. (1979). Design method for the stability analysis of the slope with landing pier. Soils and Foundations 19(4) : 43~57.
- Ito, T., T. Matsui and W. P. Hong. (1964). Lateral resistance of piles in cohesionless soils. J. of SMFD, ASCE 90(SM3) : 123~156.
- De Beer, E., and R. Carpentier. (1977). Discussion, Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles. Soils and Foundations 17(1) : 68~82.
- De Beer, E. E. (1977). Piles subjected to static lateral loads. State-of-the-art Report, Proc., 9th ICSMFE, Specialty Session 10, Tokyo, : 1~14.
- 石原静夫(1981). 側方流動の基礎杭に及ぼす影響に関する現地試験. 土と基礎 29(4) : 19~24.
- 森康夫, 吉田纘一, 逢坂秀俊, 田中博明(1982). 側方流動と構造物および基礎杭の挙動. 土と基礎 30(5) : 41~46.
- 小島泰雄(1985). 地すべり防止杭の設計. 土と基礎 33(8) : 39~45.

2001년 8월 5일 원고 접수

2001년 9월 7일 수정본 채택