

사면하부지반의 강도정수에 따른 억지말뚝 적용성 연구

이승현¹, 장인성^{2*}

¹선문대학교 토목공학과, ²한국해양과학기술원 연안개발에너지 연구부

A Study on Applicability of Stabilizing Pile to Foundation Soil of Slope with Various Strength Parameters

Seung-Hyun Lee¹, In-Sung Jang^{2*}

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

²Coastal Development & Ocean Energy Research Division,

Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST)

요약 높이가 5m와 10m인 사면부와 사면하부지반으로 이루어진 지반조건에 대하여 여러 가지 강도정수를 갖는 사면하부지반을 가정하고 안정해석을 수행한 결과 사면하부 끝단에 억지말뚝을 설치할 수 있는 사면하부지반의 강도정수의 범위를 얻을 수 있었고 표로써 제시하였다. 사면높이가 5m인 경우 사면하부지반의 점착력이 10kPa일 때 내부마찰각은 15°인 경우까지 억지말뚝의 설치가 가능하며 점착력이 20kPa와 25kPa인 경우 내부마찰각이 0°일 때만 억지말뚝의 설치가 가능하였다. 사면높이가 10m인 경우 사면하부지반의 점착력이 10kPa일 때 내부마찰각은 20°인 경우까지 억지말뚝의 설치가 가능하며 점착력이 40kPa, 45kPa 그리고 50kPa인 경우에는 내부마찰각이 0°인 경우만 억지말뚝의 설치가 가능함을 알 수 있었다. 가정한 사면에 적용한 억지말뚝에 대한 해석결과에 따르면 억지말뚝의 길이와 최대 휨모멘트의 크기는 내부마찰각의 존재여부에 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. 사면하부지반의 내부마찰각이 0°인 경우 필요한 억지말뚝의 길이 D_s 와 a 는 각각 내부마찰각이 5°인 경우에 비해 4.6배와 8.0배 컸다. 사면하부지반의 내부마찰각이 0°인 경우 억지말뚝에 발생하는 최대 휨모멘트는 내부마찰각이 5°인 경우에 비해 24.6배 컸다. 억지말뚝을 적용한 사면하부지반의 내부마찰각이 0°인 경우 억지말뚝의 길이 및 억지말뚝에 발생하는 최대 휨모멘트의 크기가 상당히 커서 억지말뚝의 적용을 어렵게 함을 알 수 있었다. 본 연구결과를 통해 볼 때 비배수상태에 있는 포화점토지반상에 성토를 하는 경우에는 압밀이 발생하는 시간적 여유를 갖도록 완속 성토함으로써 억지말뚝의 길이와 발생 최대 휨모멘트를 대폭적으로 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract Several foundation soil conditions below a homogeneous sand slope were assumed and slope stability analyses were conducted to determine the soil condition, in which a stabilizing pile can be used to increase the factor of safety against sliding. The assumed heights of the sand slope were 5m and 10m. For a 5m slope height, a stabilizing pile can be used in the foundation soil with a 15° internal friction angle and a cohesion of 10kPa. For a 10m slope height, a stabilizing pile can be used in the foundation soil with a 20° internal friction angle and a cohesion of 10kPa and a stabilizing pile can be used in the foundation soil with a 0° internal friction angle and 40kPa, 45kPa and 50kPa of cohesion. According to the analysis results of stabilizing pile-reinforced foundation soil, the length of the stabilizing pile and magnitude of the maximum bending moment were strongly affected by the internal friction angle of the foundation soil. The lengths of stabilizing pile, for an internal friction angle of 0° were 4.6, 8.0 times greater than those with an internal friction angle of 5°. The magnitude of the maximum bending moment of the stabilizing pile for an internal friction angle of 0° was 24.6 times greater than that for an internal friction angle of 5°. Practically, a stabilizing pile cannot be used for foundation soil with an internal friction angle of 0°. Considering the results derived from this study, the effects of a stabilizing pile can be maximized for soft foundation soil that is embanked with a slow construction speed.

Keywords : Foundation soil, Internal friction angle, Cohesion, Length of stabilizing pile, Maximum moment of stabilizing pile

*Corresponding Author : In-Sung Jang(Korea Institute of Ocean Science and Technology)

Tel: +82-31-400-7810 email: isjang@kiost.ac

Received July 25, 2016

Revised September 29, 2016

Accepted October 7, 2016

Published October 31, 2016

1. 서론

역지말뚝(Stabilizing pile)은 사면안전을 증가시키기 위해 사면부에 말뚝을 설치하여 활동에 대한 저항력을 증가시키기 위해 사용된다. 역지말뚝으로는 타입말뚝(Driven pile)과 대구경 현장타설말뚝(Drilled shaft)이 사용될 수 있다. 타입말뚝을 역지말뚝으로 사용하는 방법은 Fig. 1에 나타나 있는 바와 같이 말뚝 사이로 흙이 유동되지 않는 천부활동파괴(Shallow slides)인 경우에 적당하다. 저부파괴(Deep-seated slides)가 예상되는 사면지반에 대하여 역지말뚝을 사용하고자 하는 경우 말뚝에 작용하는 횡방향하중이 상당히 크기 때문에 타입말뚝으로는 저항하기 어려운 경우가 많다. 타입말뚝을 사용하는 경우는 단단한 층에 충분히 근입시켜 말뚝이 인발되거나 전도되지 않도록 해야 한다. 때로는 철근보강 콘크리트 슬래브를 말뚝 사이에 설치하여 말뚝 사이의 흙의 유동을 방지함으로써 전체 시스템의 효율성을 증대시키기도 한다[1]. 따라서 타입말뚝의 경우 불안정한 사면의 활동토체를 구속시키기에는 다른 사면안정공법만큼 효과적인 방법으로 볼 수 없다.

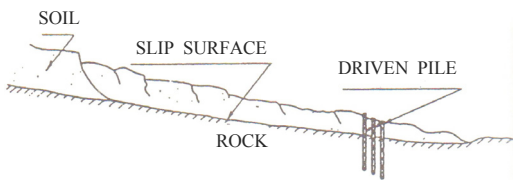


Fig. 1. Driven piles to stabilize slopes[2]

대구경 현장타설말뚝의 경우 Fig. 2에서와 같이 저부파괴사면의 경우에 역지말뚝으로서의 역할을 할 수 있다. 이 경우 말뚝 사이의 아칭효과를 감안하여 말뚝 중심 간 거리는 말뚝지름의 5배 이하로 언급하고 있는 자료[3-6]도 있지만 보통 말뚝지름의 3배 정도로 한다.

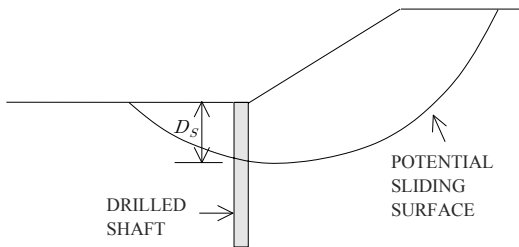


Fig. 2. Drilled shaft to stabilize slopes[7]

저부파괴가 예상되는 경우에는 대구경 현장타설말뚝의 근입깊이와 지름을 증대시키고 말뚝에 대한 추가적인 철근보강이 필요하게 된다. 시공비용을 줄이기 위해 타이백(tiebacks) 또는 축방향 포스트텐션(axial post-tensioning)을 병용하기도 한다. 역지말뚝을 사면안정에 적용할 경우 사면하부 끝단에 설치되는 역지말뚝의 일정 깊이를 잠재적 활동면이 지나야 한다. 즉, 저부파괴가 유발되어야 역지말뚝의 적용이 효과적이라 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 서로 다른 흙으로 구성된 사면부와 사면하부의 흙(foundation soil)으로 구성된 사면에 대하여 저부파괴를 유발시키는 흙의 강도정수 범위를 살펴보고자 하였다. 그리고 역지말뚝 설계를 위한 해석적 방법을 프로그램화하고 가정한 사면에 적용함으로써 설계시 고려해야 할 점들에 대하여 살펴보고자 하였다.

2. 역지말뚝의 적용성 평가

역지말뚝의 설치위치는 말뚝 시공성과 현장의 지반조건 등을 감안해 Fig. 2에 나타난 바와 같이 사면하단이 적당한 경우도 많다. 이 경우 역지말뚝이 저항력을 발휘하기 위해서는 Fig. 2에서의 D_s 가 0보다 커야 한다. 역지말뚝을 적용할 수 있는 사면의 조건을 알아보고자 사면을 구성하는 흙의 물성값을 달리하여 사면안정해석을 수행하고 해석결과로부터 저부파괴가 발생하고 사면안전을 1.5보다 작은 조건 즉, 역지말뚝의 적용이 가능한 흙의 강도정수(strength parameter)의 범위를 밝혀내고자 하였다. 사면안정해석은 상용프로그램인 SLOPE/W[8]를 이용하여 수행하였는데 해석결과를 예로 나타내면 Fig. 3과 같다.

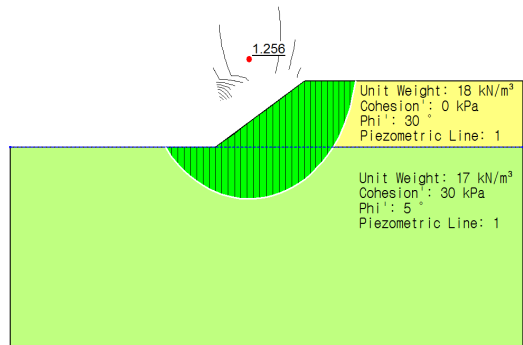


Fig. 3. Example of analysis results by SLOPE/W

사면해석방법으로는 Bishop 간편법을 적용하였는데 해석에 적용한 사면의 높이는 5m와 10m인 두 가지 경우를 고려하였고 사면 하부지반 위에 있는 사면의 경사는 30°로 가정하였다. Fig. 3에 나타나 있는 바와 같이 사면을 구성하는 흙은 점착력(c)이 0이고 내부마찰각이 30°인 순수한 모래로 가정하였고 사면 하부의 흙은 점착력과 내부마찰각을 여러 가지로 가정한 점성토로 보았다. Table 1과 Table 2에는 사면높이가 각각 5m와 10m인 경우 해석에서 고려한 사면 하부 흙의 물성값과 그에 따른 해석결과가 나타나 있다. Table 1과 Table 2에서 F_s 는 안전율을 의미하고 D_s 는 Fig. 2에 나타나 있는 바와 같다.

Table 1과 Table 2로부터 사면하부지반의 내부마찰각이 0°인 경우 D_s 는 내부마찰각이 0°보다 큰 경우에 비해 월등하게 크음을 알 수 있다. Table 1과 Table 2에서 음영부분은 안전율이 1.5보다 작고 D_s 가 0보다 큰 경우로서 억지말뚝을 사면의 하부 끝단에 설치가능한 경우를 나타내는 것이다. Table 1을 통해 알 수 있듯이 사면높이가 5m인 경우 사면하부지반의 점착력이 10kPa일 때 내부마찰각은 15°인 경우까지 억지말뚝의 설치가 가능하며 점착력이 20kPa와 25kPa인 경우 내부마찰각이 0°일 때만 억지말뚝의 설치가 가능함을 알 수 있다. Table 2를 통해 알 수 있듯이 사면높이가 10m인 경우 사면하부지반의 점착력이 10kPa일 때 내부마찰각은 20°인 경우까지 억지말뚝의 설치가 가능하며 점착력이 40kPa,

45kPa 그리고 50kPa인 경우에는 내부마찰각이 0°인 경우만 억지말뚝의 설치가 가능함을 알 수 있다. 따라서 Table 1, 2를 통하여 억지말뚝을 적용할 수 있는 지반의 대략적인 강도정수를 알 수 있다.

3. 억지말뚝의 해석 및 설계법

원호활동면에 대하여 억지말뚝을 적용한 경우가 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 4의 좌측상단에는 억지말뚝의 설치 평면도가 나타나 있는데 억지말뚝의 지름(B)과 말뚝 중심간 간격(S)이 나타나 있다.

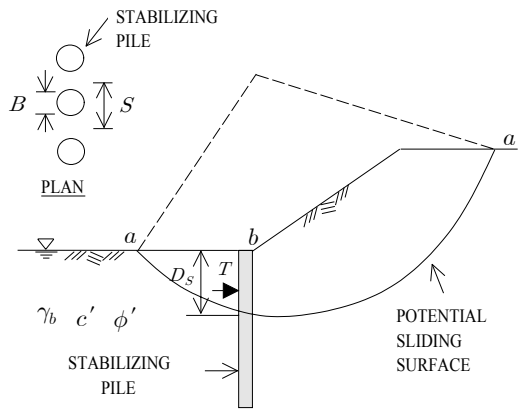


Fig. 4. Stabilizing pile for safety of slope

Table 1. Analysis results of SLOPE/W (height of slope = 5m)

c (kPa) \ ϕ (°)	0		5		10		15	
	F_s	D_s (m)	F_s	D_s (m)	F_s	D_s (m)	F_s	D_s (m)
10	0.61	16.7	0.98	3.7	1.24	2.8	1.47	2.0
15	0.91	19.2	1.27	3.7	1.52	1.8	-	-
20	1.20	10.5	1.53	2.6	-	-	-	-
25	1.49	9.3	-	-	-	-	-	-

Table 2. Analysis results of SLOPE/W (height of slope = 10m)

c (kPa) \ ϕ (°)	0		5		10		15		20	
	F_s	D_s (m)	F_s	D_s (m)	F_s	D_s (m)	F_s	D_s (m)	F_s	D_s (m)
10	0.31	30.7	0.68	6.7	0.95	5.8	1.17	4.2	1.33	1.8
15	0.46	28.7	0.83	8.2	1.10	5.4	1.32	2.8	1.47	0
20	0.61	32.0	0.98	6.3	1.25	5.1	1.47	2.9	-	-
25	0.76	28.3	1.12	6.5	1.39	3.5	1.59	0	-	-
30	0.91	27.9	1.26	6.7	1.52	4.0	-	-	-	-
35	1.06	22.2	1.40	6.2	1.66	3.8	-	-	-	-
40	1.20	21.0	1.52	6.6	-	-	-	-	-	-
45	1.35	20.8	1.68	4.9	-	-	-	-	-	-
50	1.49	20.7	-	-	-	-	-	-	-	-

또한 Fig. 4에는 잠재적 원호활동면(potential sliding surface)이 나타나 있다. 균질한 흙으로 구성된 사면의 경우 활동면은 원호를 이루게 되고 활동면이 원호인 이유는 사면을 구성하는 흙의 단위질량에 대한 단면적이 원호인 경우가 가장 작기 때문이다[9]. 억지말뚝의 상단으로부터, 잠재적 활동면이 억지말뚝을 횡단하는 지점까지의 말뚝길이(D_s)에 대하여 수평저항력이 발생하게 되므로 이러한 수평저항력의 합력(T)에 의해 사면활동에 대한 추가적인 저항모멘트가 발휘되며 식 (1)과 같이 사면의 안전율이 증가하게 된다. 식 (1)에서 $M_{r(s)}$ 와 M_d 는 각각 억지말뚝이 없는 경우의 저항모멘트와 작용모멘트를 의미하고 $M_{r(p)}$ 는 억지말뚝에 의해 발휘되는 추가적인 저항모멘트를 의미한다.

$$F_s = \frac{M_{r(s)} + M_{r(p)}}{M_d} \quad (1)$$

억지말뚝에 작용하는 힘들을 나타내면 Fig. 5와 같은데 Fig. 5는 억지말뚝의 폭을 단위 폭으로 고려한 경우이며 그에 따라 T' 은 단위 폭을 갖는 억지말뚝에 작용하는 저항력을 의미한다.

Fig. 5에 나타낸 T' 이 계산되면 억지말뚝의 폭(B)을

곱하여 억지말뚝에 작용하는 횡방향저항력(T_1)을 얻을 수 있다. T_1 이 결정되면 그로부터 억지말뚝에 작용하는 힘의 평형조건과 모멘트 평형조건을 이용하여 억지말뚝의 길이와 적절한 말뚝단면을 선정하게 된다. Fig. 5를 고려하여 억지말뚝의 해석절차를 구체적으로 나타내면 다음과 같다. 첫 번째 단계로는 Fig. 5에서 억지말뚝의 상단에서부터 D_s 깊이까지 작용하는 수평저항력분포를 식 (2)를 이용하여 같이 구한다.

$$\sigma_L = \bar{\sigma}_v K_q + c K_c \quad (2)$$

식 (2)에서 σ_L 은 억지말뚝에 작용하는 수평저항응력을 나타내고 $\bar{\sigma}_v$ 와 c 는 각각 유효연직응력과 점착력을 의미하며 K_q 와 K_c 는 토압계수이다. 식 (2)에서 두 개의 토압계수는 사면을 구성하는 흙의 유효내부마찰각의 함수인데 Fig. 6의 도표를 이용하여 결정할 수 있다[10].

두 번째 단계로는 억지말뚝에 작용하는 횡방향저항응력의 합력(T')의 작용위치, \bar{Z} 를 결정하게 된다. 세 번째 단계에서는 사면 단위 폭당 횡방향저항응력의 합력(T)을 식 (3)과 같이 구하게 된다.

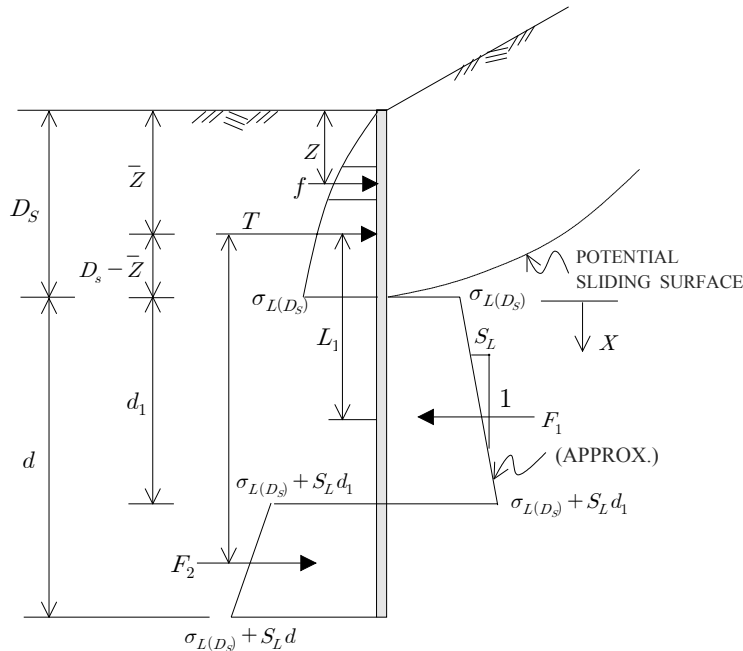
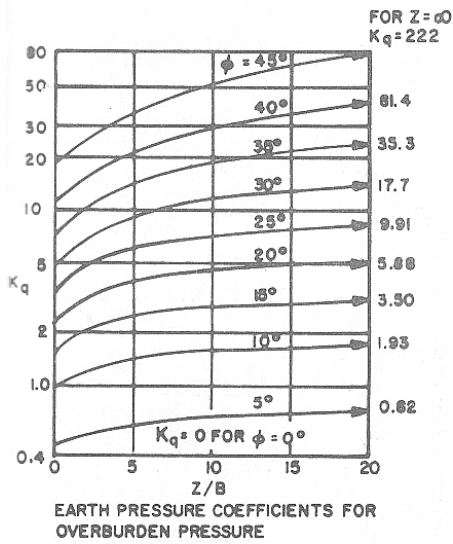
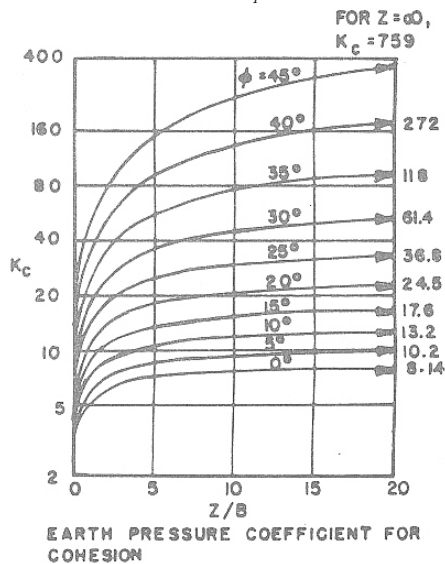


Fig. 5. Free body diagram of stabilizing pile



(a) K_q



(b) K_c

Fig. 6. Earth pressure coefficients

$$T = T_1/S \quad (3)$$

네 번째 단계에서는 식 (3)을 통해 결정된 T 와 두 번째 단계에서 결정된 \bar{Z} 를 이용하여 사면의 안전율 결정을 위한 추가적인 저항모멘트를 계산한다. 즉, 억지말뚝 설치로 인한 추가적인 저항모멘트를 계산하게 된다. 다섯 번째 단계에서는 $Z=20B$ 인 깊이에서의 횡방향저항력인 $\sigma_{L(20B)}$ 을 계산하고 그로부터 깊이 D_s 아래의 횡

방향저항응력의 증가율(S_L)을 식 (4)와 같이 구한다.

$$S_L = \{ \sigma_{L(20B)} - \sigma_{L(D_s)} \} / (20B - D_s) \quad (4)$$

식 (4)에서 $\sigma_{L(D_s)}$ 는 Fig. 2에 나타나 있는, 깊이 D_s 에 대응하는 횡방향저항응력을 의미하며 식 (4)가 의미하는 바는 깊이 D_s 아래의 깊이에서는 횡방향저항응력의 분포를 선형분포로 근사화함을 의미한다. 여섯 번째 단계에서는 억지말뚝의 관입길이(d)를 식 (5),(6)을 이용하여 계산한다. 이때 Fig. 5에 나타나 있는 바와 같이 깊이 d_1 에서 횡방향저항응력의 방향이 바뀌는 것으로 가정한다. 식 (5),(6)에 나타나 있는 모든 항들은 Fig. 5에 나타나 있다.

$$T + F_2 - F_1 = 0 \quad (5)$$

$$F_1 L_1 = F_2 L_2 \quad (6)$$

Fig. 5를 통해 F_1 은 d_1 의 함수로 표시되고 F_2 는 d 와 d_1 의 함수로 나타남을 알 수 있다. 따라서 식 (5)는 d 와 d_1 의 함수로 나타나게 된다. d 를 가정함으로써 식 (5)의 방정식을 풀어 d_1 을 결정할 수 있다. 가정한 d 값과 계산을 통해 구한 d_1 값을 이용하여 식 (6)의 좌변과 우변을 각각 구한 다음 그 차이를 비교하여 차이가 허용값 이내인 경우 추가적인 계산 없이 억지말뚝길이 결정되게 된다. 마지막 단계로 실용적 관점에서 결정된 d 를 30%만큼 증가시켜 억지말뚝길이를 결정하게 된다. 최대 휨모멘트(M_{max})를 구하기 위해 전단력이 0인 지점을 구하고 그로부터 최대 휨모멘트를 계산하게 된다. 이때 Fig. 5를 통해 구한 최대 휨모멘트에 억지말뚝의 폭(B)을 곱하여 실제 억지말뚝에 발생하는 최대 휨모멘트를 계산해야 하며 그로부터 적용된 말뚝의 단면이 적절한지를 식 (7)을 이용하여 검토한다.

$$M_{max}/S_m \leq \sigma_a \quad (7)$$

식 (7)에서 S_m 은 억지말뚝의 단면계수(Modulus of section)이고 σ_a 는 억지말뚝 재료의 허용응력을 의미한다. 이상에서 나타낸 억지말뚝의 해석과정을 프로그램화하여 계산이 쉽도록 하였다.

4. 해석결과분석

사면안정에 미치는 억지말뚝의 영향을 고려해 보고자 사면을 구성하는 흙의 강도정수에 따른 억지말뚝 설치효과를 살펴보았다. 억지말뚝으로는 지름 50cm, 두께 12mm의 강관말뚝을 고려하였다. 해석에 고려한 사면 높이는 10m이며 사면 하부지반의 점착력은 10kPa이고 내부마찰각이 0°, 5°, 10°, 15° 그리고 20°인 경우를 고려하였다. 해석결과를 요약하여 나타내면 Table 3과 같다. Table 3에서 F_s 와 ΔF_s 는 각각 억지말뚝을 적용하지 않은 사면의 안전율과 억지말뚝에 의해 추가적으로 발휘되는 안전율을 의미한다. 사면하부 흙의 내부마찰각에 따른 억지말뚝의 길이(D_s , d)와 최대 휨모멘트(M_{max})의 크기를 살펴보고자 Table 3의 내용을 각각 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

Table 3으로부터 비록 해석결과가 건조사면의 기준안전율인 1.5를 만족하지 못하지만 Fig. 7과 Fig. 8을 통해 알 수 있듯이 억지말뚝의 길이와 최대 휨모멘트의 크기는 내부마찰각의 존재여부에 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 즉, 사면하부지반의 내부마찰각이 0°인 경우 필요한 억지말뚝의 길이 D_s 와 d 는 각각 내부마찰각이 5°인 경우에 비해 4.6배와 8.0배 컸다. 또한 사면하부지반의 내부마찰각이 0°인 경우 억지말뚝에 발생하는 최대 휨모멘트는 내부마찰각이 5°인 경우에 비해 24.6배 컸다. 이로부터 사면하부지반의 내부마찰각이 0°인 경우 억지말뚝의 길이 및 억지말뚝에 발생하는 최대 휨모멘트의 크기가 상당히 커서 억지말뚝의 적용을 어렵게 함을 알 수 있다. 따라서 비배수상태에 있는 포화점토지반상에 성토를 하는 경우에는 압밀이 발생하는 시간적 여유를 갖도록 완속성토함으로써 억지말뚝의 길이와 최대 휨모멘트를 대폭적으로 감소시킬 수 있을 것이다. Table 3을 통해 알 수 있듯이 억지말뚝에 의한 안전율 증가량은 내부마찰각의 영향을 거의 받지 않는 것으로 보인다.

Table 3. Analysis results by the developed program ($c=10\text{kPa}$)

ϕ (°)	D_s (m)	F_s	ΔF_s	d (m)	M_{max} (kN·m)
0	30.7	0.31	0.13	85.3	48201
5	6.7	0.68	0.16	10.7	1956
10	5.8	0.95	0.23	8.6	1885
15	4.2	1.17	0.28	6.4	1430
20	1.8	1.33	0.20	3.2	274

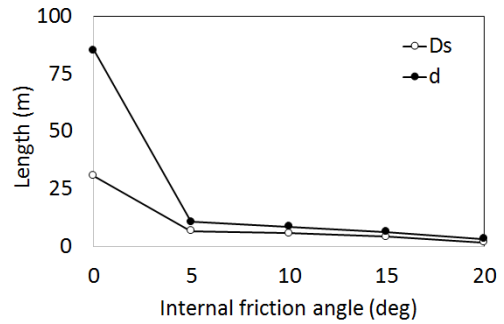


Fig. 7. D_s , d vs internal friction angle

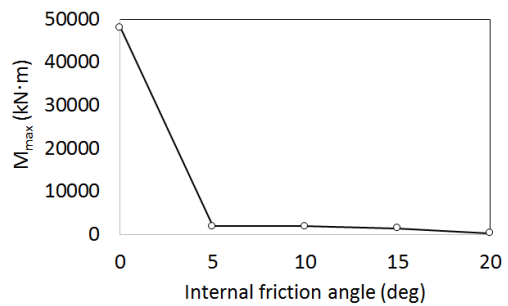


Fig. 8. M_{max} vs internal friction angle

5. 결론

본 연구에서는 억지말뚝의 적용이 가능한 사면을 강도정수 관점에서 살펴보고 억지말뚝을 적용한 해석결과를 통해 설계시 고려해야 할 점에 대하여 알아보았다.

- (1) 높이가 5m와 10m인 사면을 가정하고 사면 하부 끝단에 대하여 억지말뚝의 적용이 가능한 사면하부지반의 전단강도 범위를 알아보고자 사면안정 해석을 수행하고 그 결과로부터 억지말뚝의 설치 가능 강도정수를 표로써 제시하였다.
- (2) 억지말뚝해석과정을 프로그램화하여 해석 및 설계에 쉽게 적용할 수 있도록 하였다.
- (3) 본 연구에서 수행된 계산결과에 따르면 억지말뚝의 길이와 최대 휨모멘트의 크기는 내부마찰각의 존재여부에 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. 비록 본 연구에서의 억지말뚝 적용 사면에 대한 안전율이 기준안전율 1.5를 만족하지 못하지만 사면하부지반의 내부마찰각이 0°인 경우 필요한 억지말뚝의 길이 D_s 와 d 는 각각 내부마찰각이 5°인 경

우에 비해 4.6배와 8.0배 컸다. 또한 사면하부지반의 내부마찰각이 0° 인 경우 억지말뚝에 발생하는 최대 휨모멘트는 내부마찰각이 5° 인 경우에 비해 24.6배 컸다.

- (4) 억지말뚝을 적용한 사면하부지반의 내부마찰각이 0° 인 경우 억지말뚝의 길이 및 억지말뚝에 발생하는 최대 휨모멘트의 크기가 상당히 커서 억지말뚝의 적용을 어렵게 함을 알 수 있었다. 따라서 비배수상태에 있는 포화점토지반상에 성토를 하는 경우에는 압밀이 발생하는 시간적 여유를 갖도록 완속성토함으로써 억지말뚝의 길이와 발생 최대 휨모멘트를 대폭적으로 감소시킬 수 있을 것이다.

References

- [1] Lee, W. Abramson, Thomas, S. Lee, Sunil Sharma, Glenn M. Boyce, Slope Stability and Stabilization Methods, John Wiley & Sons, Inc., pp. 523-524, 2002.
- [2] Zaruba, Q., V. Mencl., Landslides and Their Control, Elsevier. New York, 1969.
- [3] Prakash, S., "Behavior of pile groups subjected to lateral load." Ph.D. dissertation, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Illinois, 1962.
- [4] 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>
- [5] 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.
- [6] Liang, R. and Zeng, S., "Numerical study of soil arching mechanism in drilled shafts for slope stabilization.", Soils and foundations, vol. 42 (2), Japanese Geotechnical Society, pp. 83-92, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3208/sandf.42.2.83>
- [7] Nethero, M. F., Slide Control by Drilled Pier Walls, Proceedings of the Application on Walls to Landslide Control Problems, R. B. Reeves, Ed., ASCE Convention, Las Vegas, Nevada, pp. 61-76, Apr. 1982.
- [8] SLOPE/W 2012, GEO-SLOPE International, Ltd., 2016.
- [9] 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>
- [10] SOIL MECHANICS DESIGN MANUAL, NAVFAC DM-7.1, pp. 338-346, 1982.

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

장 인 성(In-Sung Jang)

[정회원]



- 1995년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2002년 12월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한국해양연구원 재직

<관심분야>
지반공학, 지반조사, 해양구조물, 수중시공장비