

Sand Levee의 斜面安定 解析

최기봉 · 안병철*

충청대학 산업안전과

1. 서 론

1.1 연구 목적

본 연구는 양수발전 등을 목적으로 축조한 소형 Dam 및 Sand Levee의 수위가 급상승할 경우 제체의 내측면에 미치는 영향을 Bishop's simplified method를 사용하여 Seepage Force(침투력)의 항을 중심으로 분석한 것이다.

특히 침투력의 항은 제체의 사면경사가 급할 경우 및 수위의 상승속도에 따라 제체의 안전성에 많은 영향을 미친다.

비정상 침투시 침투력의 영역은 사면의 안전성에 영향을 미치므로 본 연구에서는 모형실험을 통해 수위 상승시간의 변화에 따른 침투력의 값을 파악하여 이의 결과가 안전율에 미치는 영향을 분석하였다.

1.2 연구 방법

사면안정 해석에는 여러 방법이 있는데 이들 방법중에서 Bishop 간편법은 다른 방법보다 계산과정이 간단하고 정도가 높아 본 연구의 이론식 유도에 이용하였으며, 침투력영역이 사면의 안전성에 미치는 영향을 고찰하기 위해 다음과 같은 방법으로 실험을 하였다.

먼저 제체외측면의 경우 안전성을 분석하기 위해 수위의 상승시간을 변화시켜 각 수위별 침윤선의 높이를 구했고, 이 침윤선의 높이를 이용하여 침투력영역이 사면안정성에 미치는 영향을 분석했다. 그리고 제체의 사면경사를 실험 모형별(사면 경사각 : 21.8°, 26.6°, 33.7°)로 변화시킴으로서 침투력영역의 값 변화를 분석하여 안전율에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 사면안정 이론식

2.1 Bishop의 간편법을 기초로 한 침투력 수정식

침투력은 분사현상이나 침투가 일어나는 흙 구조물의 안정해석에 매우 중요한 영향을 미친다. 이상과 같은 침투력의 개념을 고려한 사면안정이론을 전개하면 다음과 같다.

$$F = \frac{1}{\sum (W_1 + W_2) \sin \alpha} \sum [C_i b + \tan \phi'_i ((W_1 + W_2) - Ub - Db \tan \alpha / F)] \frac{1}{m_z} \quad (2-1)$$

$$m_2 = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi_i'}{F} \right) \quad (2-2)$$

2.2 Bishop 간편법의 이론 해석

제체에 작용하는 압축이나 인장에 대한 외력 해석은 1955년 Bishop에 의해 연구되었고, 사면의 활동면이 지나가는 부분을 경계로 활동 토체를 일정간격의 절편으로 나누어 다음과 같은 평형방정식을 정립했다.

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [C_i b + \tan \phi_i' (W - ub)] \frac{1}{m_a} \quad (2-3)$$

3. 침투실험 및 결과

3.1 실험 장치 및 방법

본 연구에 이용된 실험장치는 길이 450cm, 폭 30cm, 높이 50cm이고 두께 3mm의 강재 수조로 제체 내부의 침윤선의 변화를 관측하기 위하여, 수조후면의 하단부에 $\phi=5\text{mm}$ 의 구멍을 10cm간격으로 뚫어 고무관을 연결하여 Stand Pipe를 설치함으로써, 수위상승에 따른 제체내의 수두변화를 관측할 수 있도록 하였다.

또한 제체내부의 경계층을 구분하기 위해 가로 30cm×세로 45cm, 가로 30cm×세로 60cm의 강재 틀을 각각 2개씩 만들어 #30, #20망을 부착하여 제체내부의 각 경계층 사이에 설치하였으며 하단부에는 수위조절을 위하여 급수 및 배수관을 부착하였다.

제체의 축조 형태는 Table 3-1과 같고, 사용된 시료의 제원은 Table 3-2와 같다. 그리고 실험장치는 Fig. 3-1과 같다.

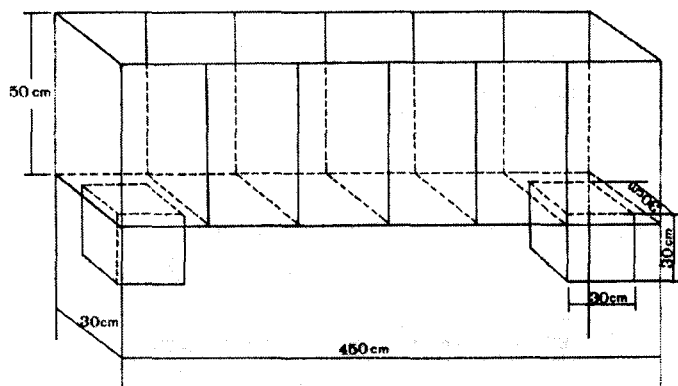


Fig. 3-1 Schematic sketch experimental equipment

Table 3-1 Experimental Conditions

Slope (1:m)	B1(cm)	B2(cm)	H1(cm)	Model
m = 1.5	10	115	35	
m = 2.0	10	150	35	
m = 2.5	10	185	35	

Table 3-2 Properties of Material

Properties	Value
Void Ratio	0.65
Specific Gravity	2.61
Porosity	39.4%
Unit Weight	1.92 g/cm ³
Angle of Internal Friction	36°
Natural Moisture Content	24.5%
Coefficient of Permeability	$K_1 = 6.2 \times 10^{-1}$ (cm/sec) $K_2 = 4.6 \times 10^{-1}$ (cm/sec) $K_3 = 9.4 \times 10^{-2}$ (cm/sec)

3.2 분석 방법

실험에 사용한 제체의 형태는 제체높이 35cm, 상부 폭을 10cm로 하였고, 제체경사는 각각 1:1.5, 1:2.0, 1:2.5로 하였다.

그리고 수위의 상승시간과 사면경사와의 관계는 Table 3-3과 같다. 여기서 얻은 총 270개의 측정값을 각 시간별, 수위별로 분류하여 그 중 247개의 측정값을 분석하였다.

Table 3-3 Relationship between the water level and the time

Slope 1 : m	Rising water level (cm)	Rising time (sec)	
		1'20"	2'40"
m=1.5	15	33"	59"
	20	46"	1'29"
	25	1'03"	2'01"
	30	1'21"	2'37"
m=2.0	15	24"	53"
	20	39"	1'22"
	25	55"	1'56"
	30	1'14"	2'33"
m=2.5	15	29"	55"
	20	46"	1'27"
	25	1'07"	2'03"
	30	1'29"	2'44"

4. 제체내측면의 수위상승 시간별 침투력이 안전율에 미치는 영향 분석

4.1 수위 15cm일때 상승 시간별 침투력의 영향 분석

수위가 15cm 상승하는데 걸리는 시간은 상승속도에 따라 사면경사 1:1.5에서 33",59", 사면경사 1:2.0에서 24",53", 사면경사 1:2.5에서 29",55"이다. 수위 15cm에서 각 시간별 침투력영역 값은 Table 4-1과 같다.

사면경사 1: 1.5에서 침투력영역 값은 상승속도 0.45cm/sec에서 29.2%, 0.25cm/sec에서 24.5%의 비율을 갖고, 사면경사가 1:2.0일 때 상승속도 0.62cm/sec에서 22.0%, 0.28cm/sec에서 14.6% 비율을 갖는다. 그리고 사면경사 1:2.5에서 침투력영역 값은 상승속도 0.52cm/sec에서 11.9%, 0.27cm/sec에서 9.8%의 비율을 갖는다. 이들 관계는 Fig. 4-1과 Fig. 4-2와 같다.

4.2 수위 20cm일때 상승 시간별 침투력의 영향 분석

수위가 20cm 상승하는데 걸리는 시간은 사면경사 1:1.5에서 46",89", 사면경사 1:2.0에서 39",82", 사면경사 1:2.5에서 46",87"이다. 수위 20cm에서 각 시간별 침투력영역 값은 Table 4-1과 같다.

사면경사 1: 1.5에서 침투력영역 값은 상승속도 0.43cm/sec에서 28.9%, 0.22cm/sec에서 23.8%의 비율을 갖고, 사면경사가 1:2.0일 때 상승속도 0.51cm/sec에서 18.8%, 0.24cm/sec에서 14.2% 비율을 갖는다. 그리고 사면경사 1:2.5에서 침투력영역 값은 상승속도 0.43cm/sec에서 10.3%, 0.23cm/sec에서 9.2%의 비율을 갖는다. 이들 관계는, 상승시간별, 수위별로 Fig. 4-1과 Fig. 4-2에 도시했다.

4.3 수위 25cm일때 상승 시간별 침투력의 영향 분석

수위가 25cm 상승하는데 걸리는 시간은 사면경사 1:1.5에서 63",121",사면경사 1:2.0에서 55",116", 사면경사 1:2.5에서 67",123"이다. 수위 25cm에서 각 시간별 침투력영역 값은 Table 4-1과 같다.

사면경사 1: 1.5에서 침투력영역 값은 상승속도 0.40cm/sec에서 25.5%, 0.21cm/sec에서 22.3%의 비율을 갖고, 사면경사가 1:2.0일 때 상승속도 0.45cm/sec에서 17.7%, 0.21cm/sec에서 13.7% 비율을 갖는다. 그리고 사면경사 1:2.5에서 침투력영역 값은 상승속도 0.37cm/sec에서 8.5%, 0.21cm/sec에서 6.98%의 비율을 갖는다. 이들 관계는, 상승시간별, 수위별로 Fig. 4-1과 Fig. 4-2에 도시했다.

4.4 수위 30cm일때 상승 시간별 침투력의 영향 분석

수위가 30cm 상승하는데 걸리는 시간은 사면경사 1:1.5에서 81",157",사면경사 1:2.0에서 74",153", 경사비 1:2.5에서 89",165"이다. 수위 15cm에서 각 시간별 침투력영역의 값은 Table 4-1과 같다.

사면경사 1: 1.5에서 침투력영역 값은 상승속도 0.37cm/sec에서 23.3%, 0.19cm/sec에서 19.3%의 비율을 갖고, 경사비가 1:2.0에서는 상승속도 0.41cm/sec에서 16.5%, 0.20cm/sec에서 13.2% 비율을 갖는다. 그리고 사면경사 1:2.5에서 침투력 영역값은 상승속도 0.34cm/sec에서 7.8%, 0.18cm/sec에서 6.3%의 비율을 갖는다. 이들 관계는, 상승시간별, 수위별로 Fig. 4-1과 Fig. 4-2에 도시했다.

Table 4-1 Relationship between rising time and influenced domain subjected to seepage force(Upstream)

Cohesion Slope ratio I.F.A.	Rising water level (cm)	Influenced domain subjected to SF (Safety factor)	
		1'20"	2'40"
C=1.5 m=1.5 φ=36	15	0.562(1.3246)	0.424(1.3058)
	20	0.525(1.2946)	0.394(1.2618)
	25	0.433(1.2651)	0.356(1.2440)
	30	0.378(1.2479)	0.293(1.2246)
C=1.5 m=2.0 φ=36	15	0.452(1.6016)	0.272(1.5884)
	20	0.365(1.5760)	0.262(1.5784)
	25	0.335(1.5591)	0.248(1.5641)
	30	0.305(1.5404)	0.234(1.5443)
C=1.5 m=2.5 φ=36	15	0.258(1.9121)	0.208(1.9383)
	20	0.218(1.8950)	0.192(1.9064)
	25	0.176(1.8876)	0.142(1.9064)
	30	0.158(1.8698)	0.127(1.8939)

이상을 종합하면 제체내측면의 Upstream일 때 사면경사 1:1.5인 경우 침투력영역이 안전율에 미치는 영향은 0.38cm/sec일 때 23.3%~29.8%, 0.19cm/sec일 때 19.3%~24.5%이다. 사면경사 1:2.0인 경우 침투력영역이 안전율에 미치는 영향은 0.38cm/sec일 때 16.5%~22.0%, 0.19cm/sec일 때 13.2%~14.6%이다. 그리고 사면경사 1:2.5인 경우 침투력영역이 안전율에 미치는 영향은 0.38cm/sec일 때 7.8%~11.9%, 0.19cm/sec일 때 6.3%~9.8%이다.

이상의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 제체내측면의 Upstream 경우 수위의 상승 속도가 빠를수록 침투력영역이 안전율에 미치는 영향은 크고, 제체는 침투력의 영향으로 안전해짐을 알 수 있다.

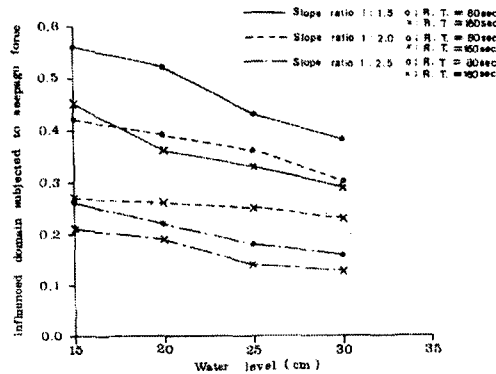


Fig. 4-1 Relationship between water level and influenced domain subjected to seepage force(Upstream)

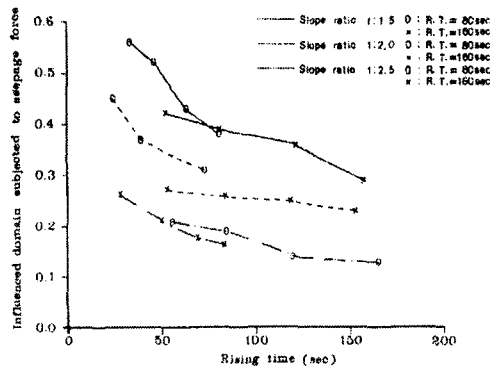


Fig. 4-2 Relationship between rising time and influenced domain subjected to seepage force(Upstream)

5. 결 론

본 연구에서는 침투력이 작용할 경우 제체의 보다 실제적인 안전율을 계산하기 위하여 기존의 Bishop 간편법에 침투력의 영역을 고려한 이론식을 정립하였고, 본 이론식을 이용하여 침투력의 영역이 제체의 안전성에 미치는 영향에 대해 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

제체내측면의 경우 수위의 상승속도가 빠를수록 침투력영역 이 안전율에 미치는 영향은 증가하고, 제체는 침투력의 영향으로 안전해짐을 알 수 있다. 따라서 수위의 변화가 있는 경우 침투력의 영역을 고려하여 안전율을 산정하는것이 현장조건에 접근한 결과라 할 수 있다.

따라서 본 연구의 이론식은 침투력이 작용할 경우, 비정상 침투시침윤선 형성에 따른 제체의 외측 안전성 분석과 사면의 장기안정 해석을 하는데 매우 유용하게 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 최기봉, "침투력을 고려한 사면안정의 이론적 해석", 한국산업안전학회지, 제 11권 제 4호, 1996, pp.151-155.
- 2) Bishop, A.W., "The stability of earth dams", Ph. D. Thesis, University of London, 1952, pp. 94-117
- 3) N.S. Mshana, et al, Study on Slope Failure Mechanisms by Using Laboratory and Numerical Model, Int. Symp. on Developments in Laboratory and Field Tests in the Geotechnical Engineering Practice, Bangkok, 1990, pp. 47~64.