

토사절토사면에서 반복집중강우에 의한 침투특성

The penetration characteristic due to the repetition·concentration rainfall in soil cut-slopes

이정엽¹⁾, Jeong-Yeob Lee, 구호본²⁾, Ho-Bon Koo, 이종현³⁾, Jong Hyun, Rhee, 김승현⁴⁾, Seung-Hyun Kim

- 1) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology
- 2) 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Researcher Fellow, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology
- 3) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology
- 4) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : The purpose of this study is the infiltration characteristics of soil cut-slope by the repetition & concentration rainfall. The maximum rainfall concentrate from June until September which is a rainy season in our country Stability analysis of soil cut-slopes has been conducted by limit equilibrium method on Seep/w and finite element method on Slope/w.

Key words : Soil cut-slope, Infiltration characteristics, Repetition & concentration rainfall

1. 서 론

최근 우리나라에서는 우기시 기상이변에 의한 게릴라성 집중강우로 인적·물적피해가 다수 발생하고 있다. 이러한 게릴라성 강우는 국지적으로 단시간에 많은 양을 발생시키고 있으며, 강우 종료후 몇 시간 만에 다시 강우가 발생하는 반복적인 주기를 가지는 것이 특징이다.

우리나라의 경우 대부분의 사면 붕괴는 해빙기나 우기에 집중하고 있으며, 특히 우기시에 발생하는 강우는 사면 붕괴를 유발하는 중요한 요소로 간주된다. 강우가 발생하게 되면 강우의 대부분은 지표유출이 되어 단시간에 흘러나가며 일부는 지반내로 침투하게 된다. 이러한 지중침투수는 절대량이 작을지라도 간극수압의 상승, 표면유수에 의한 침식, 흙의 포화로 인한 활동토층의 단위중량 증가 등에 의해 사면을 붕괴시키려는 활동력은 증가되고, 사면붕괴에 저항하려는 저항력은 감소되어 사면의 안정성이 극도로 저하된다(신승오, 1990).

본 연구에서는 기상청에서 발표한 강우자료를 바탕으로 유한요소해석법인 Seep/w와 사면안정 한계 평형해석법인 Slope/w를 이용하여 반복적인 주기의 게릴라성 강우가 토사절토사면에 미치는 침투특성을 분석하고자 한다.

2. 해석조건

2.1 강우시 침투에 의한 사면 붕괴과정

강우 발생시 사면이 불안정화되어 붕괴되는 과정은 연직침투 과정, 불투수층 평행침투 과정 및 붕괴 등의 3 단계로 구분할수 있다(그림 1 참조). 강우가 지속됨에 따라 침투가 발생하면서 침윤선이 시간 경과와 함께 연직방향으로 강하하여 불투수층에 도달하게 되면 불투수층과 평행한 방향으로 침투가 발생하게 된다. 이때 이미 형성된 지하수위에 도달하여 간극수압의 증가와 함께 수위 상승을 유발하게 되고 이러한 연직침투와 평행침투는 사면 하단부로 갈수록 크게 나타나며 한계수위 형성 위치에서 붕괴가 발생하게 된다(홍원표, 1996).

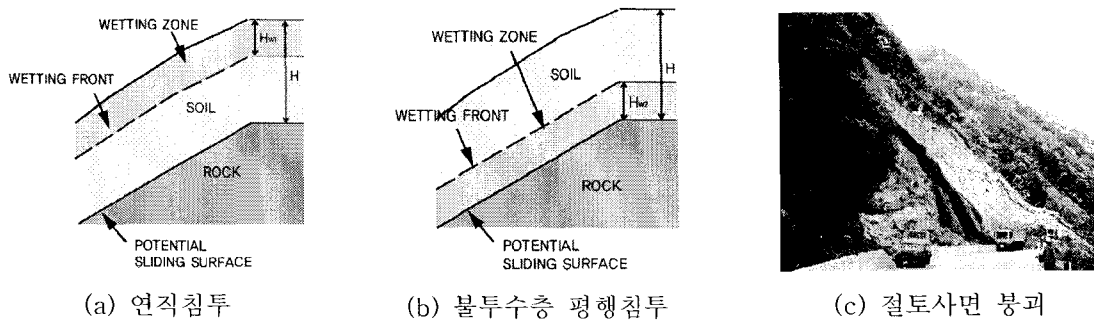


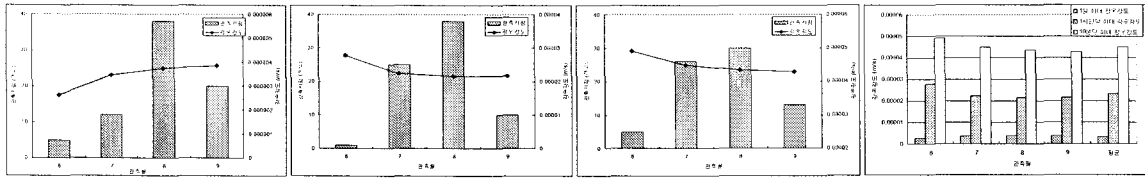
그림 1. 강우시 절토사면 붕괴과정

2.3 해석단면 및 지반 강도정수 결정

기상청에서 제공하고 있는 총 76 개소의 관측지점(기상대, 관측소 포함)에서 관측된 1일 최대 강우량과 1시간당 최대 강우량 및 10분당 최대 강우량을 비교·분석을 실시하였다. 이때, 강우량은 각 관측지점당 1위에 해당하는 강우량을 인용하였다.

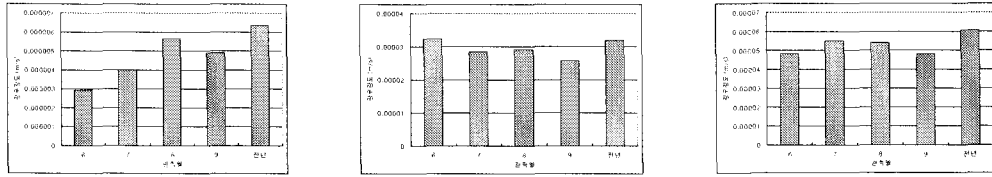
전년(관측시작 년부터 2005년 7월까지)에 걸쳐 관측된 최대 강우량은 우리나라 우기에 해당하는 6월~9월에 총 관측지점의 97% 이상이 분포하고 있는 경향을 보이고 있으며, 이 중 7월과 8월에 50% 이상 분포하고 있다. 각 조건당 6월~9월의 평균 강우강도는 10분당 최대 강우량(4.5×10^{-5} m/s), 1시간당 최대 강우량(2.3×10^{-5} m/s), 1일 최대 강우량(3.4×10^{-6} m/s)의 순으로 분포하는 경향을 보이고 있다(그림 2 참조).

각 조건에서 6월~9월에 발생한 최대 강우강도 상위 10위까지 분석한 결과, 월별 변화 경향은 다소 상이하며, 전년의 평균 강우강도는 10분당 최대 강우량(6.1×10^{-5} m/s), 1시간당 최대 강우량(3.2×10^{-5} m/s), 1일 최대 강우량(6.4×10^{-6} m/s)의 순으로 분포하는 경향을 보이고 있다(그림 3 참조).



(a) 1일 최대 강우량 (b) 1시간당 최대 강우량 (c) 10분당 최대 강우량 (d) 전년 강우강도

그림 2. 각 조건별 전년 최대 강우량 비교-분석



(a) 1일 최대 강우량 (b) 1시간당 최대 강우량 (c) 10분당 최대 강우량

그림 3. 각 조건별 상위 10위 최대 강우강도 비교-분석

2.3 해석단면 및 지반 강도정수 결정

우리나라 국도변에 위치한 절토사면 현황조사 결과 토사절토사면의 평균높이는 약 13.8 m 가량으로 산출되어 대상 토사절토사면의 높이는 15 m로 적용하였다. 반복적인 게릴라성 집중강우를 묘사하기 위해 강우강도는 상기 분석된 강우강도에서 최대 강우강도인 6.1×10^{-5} m/s를 사용하였으며, 강우지속시간은 4 h를 적용하였다. 이때, 강우종료시간은 각각 2, 4, 8 h를 적용하여 강우 시작 후 총 24 h 후의 침투특성을 분석하고자 한다. 또한, Slope/w를 해석하기 위한 지반강도정수는 풍화토의 지반강도정수 범위에서 선정하였다(표 1 참조).

표 1. 해석에 적용된 단면 및 지반 강도정수 조건

해석 단면						
조건	사면 종류	높이 (m)	경사 (°)	소단 폭 (m)	소단사이 높이 (m)	상부자연사면 경사
적용치	토사절토사면	15	45	1 m	5 m	0°, 10°
						20°, 30°
강우 조건 (가정치)						
조건	투수계수 (m/s)	강우강도 (m/s)		강우지속시간 (h)	지하수위 (m)	
적용치	4.3×10^{-6}	6.1×10^{-5} ,		48	0	
지반 강도정수 (풍화토) () : 범위						
조건	단위중량 (t/m ³)		점착력 (t/m ²)		내부마찰각 (°)	
적용치	1.9 (1.7~1.9)		2.0 (0.0~2.0)		30 (30~35)	

3. 강우강도에 따른 침투특성 및 안전율 변화

3.1 반복회수에 따른 침투특성

강우시간과 종료시간 간격을 일정하게 반복시켜 동일한 상부자연사면 경사에서 침투특성 분석을 실시하였으며, 총 분석시간은 24 h이다. 분석결과 침투속도벡터는 강우시간동안 상부자연사면에서 가장 크게 나타나고, 종료시간이 지날수록 하부로 갈수록 점차 증가하는 침투 경향을 보이고 있다. 또한, 법면에는 법면경사와 유사하게 침투가 발생하고 있으며, 2회 강우 이후부터 강우시간동안 절토사면 상부에서 침투수의 유출이 발생하고 있다(그림 4). 체적함수비 등고선은 반복회수가 증가할수록 점차 하강하는 경향을 보이고 있다(그림 4 참조).

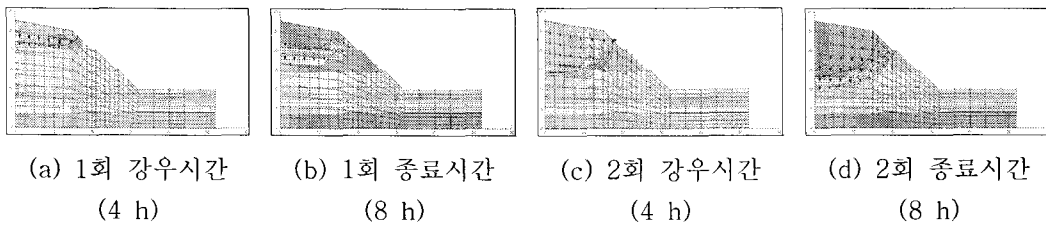


그림 4. Seep/w를 이용한 반복회수에 따른 침투특성 (종료시간 간격 8 h)

3.2 강우종료시간 간격에 따른 침투특성

일정한 강우시간에 대해 각 종료시간의 간격을 반복적으로 변화시켜 동일한 상부자연사면 경사에서 침투특성 분석을 실시하였으며, 총 분석시간은 24 h이다. 각 침윤선 분석결과 강우 후 종료시간이 길어질수록 침윤선이 법면에서 상승하는 폭도 증가하는 경향을 보이고 있으며, 종료시간 간격이 짧을수록 침윤선이 지하수위에 도달하는 시간은 짧아지는 경향을 보이고 있다(그림 5 참조). 또한, 일반적으로 강우 후 침윤선과 종료시간이 경과 후 침윤선은 어느 교차점을 기준으로 법면쪽에서는 상승하고 있으나, 반대쪽에서는 하강하는 경향을 보이고 있다.

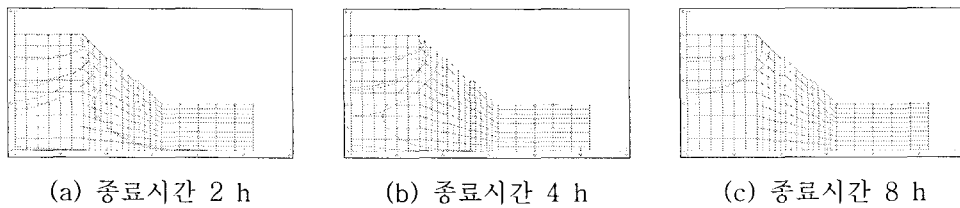


그림 5. Seep/w를 이용한 강우종료시간 간격에 따른 침투특성

3.3 상부자연사면 경사에 따른 침투특성

상부자연사면의 경사에 대한 반복적인 지속시간과 종료시간 간격에 따른 침투특성 분석을 실시하였으며, 총 분석시간은 24 h이다. 분석결과 1회 강우시간과 1회 종료시간에서는 각각 상부자연사면의 경사와 유사한 경사로 침윤선이 형성되며, 상부자연사면 경사가 20° 이상인 경우 2회 반복부터 종료시간에 따른 법면에서의 침윤선 변화 폭이 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다(그림 6 참조). 또한, 같은 반복회수에 대해 침윤선이 지하수위와 접하는 시간은 상부자연사면의 경사와 비례하는 경향을 보이고 있다.

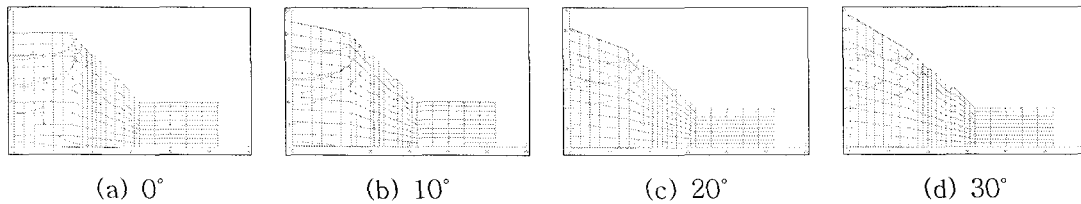
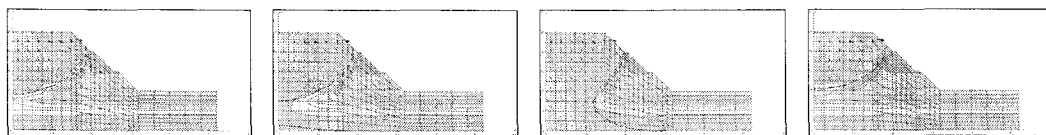


그림 6. Seep/w를 이용한 상부자연사면 경사에 따른 침투특성 (지속시간 4 h)

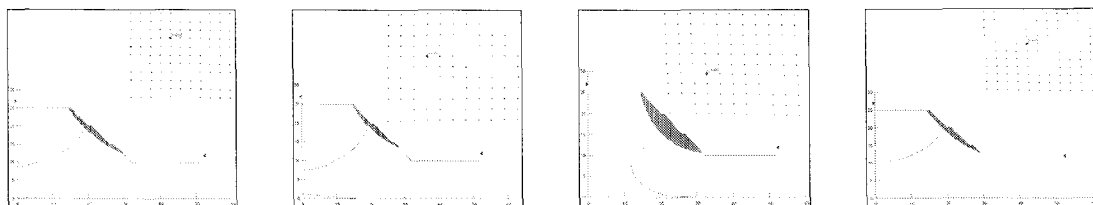
3.4 동일한 강우량에 따른 침투특성

시간의 차이는 있으나 12시간동안 일정한 강우강도로 계속적으로 강우가 발생한 직후와 각 종료시간 간격별 상대적으로 동일한 강우량이 발생한 직후의 침투특성을 분석하였다. 분석결과 12 h 동안 지속적으로 강우가 발생한 경우보다 종료시간 간격이 길수록 침윤선은 하강하는 폭이 큰 경향을 보이고 있다(그림 7 참조).



(a) 지속시간 2 h (b) 지속시간 4 h (c) 지속시간 8 h (d) 강우시간 12 h
그림 7. Seep/w를 이용한 동일 강우량에 따른 침투특성 (상부자연사면 경사 0°)

Seep/w의 해석결과를 바탕으로 Slope/w를 이용하여 각각의 안전율을 산출하였다. 해석결과 12 h 동안 지속적으로 강우가 발생한 경우와 종료시간 간격이 2 h인 경우의 안전율은 유사하게 산출되었으나, 24 h 시점에서의 안전율은 종료시간 간격이 2 h인 경우가 다소 낮게 산출되었다. 또한, 종료시간 간격과 안전율은 비례하는 경향을 보이고 있다(그림 8 참조).



(a) 지속시간 2 h (b) 지속시간 4 h (c) 지속시간 8 h (d) 강우시간 12 h
그림 8. Slope/w를 이용한 동일 강우량에 따른 침투특성 (상부자연사면 경사 0°)

4. 결 론

게릴라성 반복강우에 의한 절토사면의 침투특성을 고려한 해석에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 우리나라 전년에 걸쳐 관측된 최대 강우량은 우기인 6월~9월에 총 관측지점의 97% 이상이 집중하고 있으며, 이 중 7월~8월에 50% 이상 분포하고 있다.
- (2) 반복강우 발생시 법면에는 법면경사와 유사한 경사로 침투가 발생하게 되며, 2회 강우이후부터 절토사면 상부에서 침투수의 유출이 발생하는 경향을 보이고 있다.
- (3) 동일한 강우시간의 반복 조건에서 종료시간 간격과 침윤선이 법면에서 상승하는 폭 및 지하수위에 도달하는 시간에 비례하는 경향을 보이고 있다.
- (4) 동일한 강우시간 및 종료시간의 조건에서 상부자연사면의 경사가 20° 이상인 경우 2회 반복부터 지속시간에 따른 침윤선의 변화 폭이 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다.
- (5) 같은 강우량으로 12 h 지속강우와 종료시간 2 h의 경우 강우직후 비슷한 안전율이 산출되었으나, 24 h시점에 산출된 안전율은 반복강우가 내린 경우가 다소 낮게 산출되었다. 또한, 같은 강우량이 발생한 경우 종료시간 간격과 침윤선이 하강하는 폭 및 안전율은 각각 비례하는 경향을 보이고 있다.

참 고 문 헌

1. 신승오(1990), “사면내 침투해석”, 한국토지공사, Vol. 3, No. 3, pp 64-71
2. 한국건설기술연구원(2003), “2002년도 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용”, 건설교통부
3. 홍원표(1996), “강우시 사면안정해석법에 관한 연구”, 대한토목학회, pp 195-198