

암석과 토층 경계면의 전단강도 특성연구

이 수 곤¹⁾

¹⁾ 서울시립대학교 토목공학과

A Study on Characteristics of Shear Strength in Rock-soil Contacts

Su Gon Lee¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

ABSTRACT

It is common that the soil layer is a few meters below the earth's surface and the rock mass is below the soil layer in the view of geological characteristics in Korea. And the boundary between rock and soil is clearly divided. When dealing with the stability of rock masses, as in the case of rock slopes or dam foundations, the majority of the collapses is not within the soil layer, but within the soil-rock boundary. Therefore it is important to identify the shear strength characteristics between soil-rock boundary. And then in the method of reinforcement on landslide this chose a cut slope near Daemo elementary school in Seoul, surveyed shear strength between soil-rock contacts and considered a large scale collapse using a limit equilibrium method.

Key word : *shear strength, rock-soil contacts, limit equilibrium method*

I. 서 론

우리나라의 지질구조를 볼 때 토층은 지표면 아래로 수 미터 이내로 존재하고 그 아래에는 암반이 존재하는 경우가 대부분이며 대체로 토층과 암석의 경계가 뚜렷한 것이 특징이다(이수곤, 1993). 그러므로 암반사면에서 암반의 안정성 문제를 다룰 때 발생하는 붕괴현상은 토층에서의 붕괴보다는 토층과 연암층의 경계면에서의 붕괴가 대부분이다. 따라서 연암층과 경계를 가지는 토층과의 경계면에 대한 전단강도특성을 파악하는 것이 사면 안정성 분석에 무엇

보다 중요하다. 그러므로 산사태 보강대책의 일환으로 서울시 강남구 일원동 대모초등학교 운동장 주변의 절취사면(그림 1)을 선정하였다. 본 절취사면은 운동장 끝부분에서 시작하여 도로변까지 이르는 약 300~350m 정도의 길이를 가지고 있으며 구배는 대부분의 사면에서 약 63°~70°정도로 매우 급하고, 절취면의 높이는 20~29m이다. 1998년에 붕괴가 일어난 지역으로 보강을 한 후에도 여전히 불안한 상태로 남아있어 본 절취사면에 대하여 13곳의 시추조사를 수행하여 본 결과 연암층과 토층의 경계면이 19°~31°정도 절개지 쪽으로 기울어져

있어 붕괴우려가 큰 것으로 나타났다.(그림 2, 그림 3) 그러므로 토층 및 연암층과 토층과의 경계면의 전단강도 특성을 규명하고(Patton, 1968; Kanji, 1974), 한계평형법을 이용하여 암반산에 의한 직선적인 평면파괴를 고려하여 사면의 안정성을 분석해 보고자 한다.

II. 연구지역의 지형 및 지질특성

본 연구지역의 지질학적 특성과 불연속면(절리, 단층)의 특성을 파악하기 위하여 현장정밀 지표지질조사 및 시추조사, 시추공내 영상촬영(BIPS), 현장탄성파탐사, 지하수위 조사등을 실시하였다.

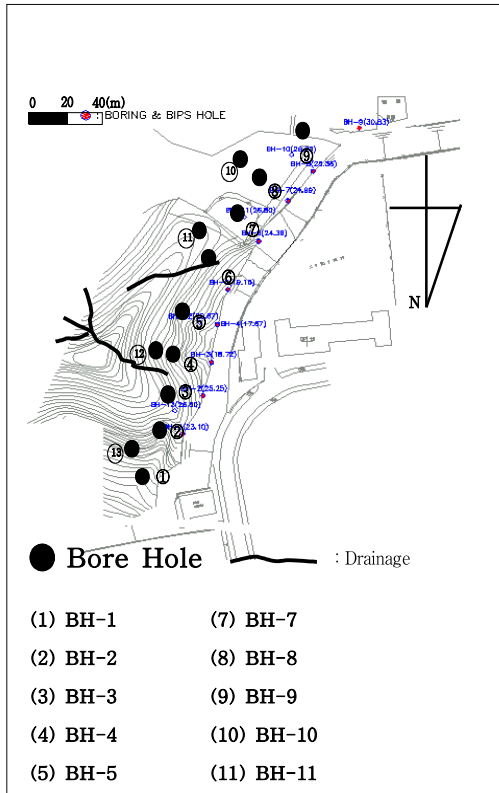


그림 1. 연구 지역

1. 지형

본 연구지역은 해발 293.5m인 대모산의 북동쪽 산지부에 해당하는 지역으로 1980년대 말에

신도시로 건설되어 절취구간이 많으며, 조사구간의 남쪽과 동쪽으로 소규모의 하천들이 합류하여 큰 강으로 유입된 수계를 형성하고 있다. 또한 독립산계가 발달한 지역으로 뚜렷한 구조를 파악하기 어렵다.

2. 지질

본 지역의 지질은 호상흑운모편마암이 분포하고 있으며 엽리구조가 잘 발달하고 있다. 그러나 여러 가지 지각변동에 의해 뚜렷한 방향성을 가지고 있지 않으며 암석에 석영질 광물이 1~3mm 두께의 띠 형태로 나타나고 있다. 사면의 풍화상태는 풍화잔류토층의 두께가 지표에서 5~14.8m로 토층이 깊은 편이며 그 하부에는 풍화암층이 1m 정도 얇게 분포한다. 그리고 그 하부에는 대부분 연암층이 존재한다.

본 지역의 불연속면의 상태는 대부분 절리의 경우 연장성이 2m 이상으로 긴 수직절리가 분포하며 간격은 50cm~1m이고 경사는 70~90° 정도이다. 수평절리의 간격은 10~30cm 정도이며 연장성은 1m이하이다. 또한, 암맥과 단층이 분포하며 대체로 암맥의 경사방향은 불규칙하나 BH-6~9을 따라서 60~65° 정도의 경사를 가지는 10 m 이상의 연장성을 가지는 단층이 분포를 한다. 엽리의 주향과 경사방향은 사면과 반대방향으로 이에 대한 위험성은 없는 것으로 판단된다.

본 조사지역은 전반적으로 편마암이 풍화된 지역으로 상부 토사층에 그 흔적이 남아있어 강도특성에 영향을 주고 있다(Lee, 1987). 본 지역의 풍화특성은 다음과 같다 :

- (1) 풍화잔류토(CW : Completed Weathered soil)

실제 응력수준에 맞게 판단하기 위하여 전단 시험의 자료 중 높은 응력수준의 것을 채택하여 3~5m 정도에서 채취된 시료의 현장조건을 반영하여 해석하였다. 그러나 풍화잔류토에 엽리의 흔적이 지표에 평행하게 남아(잔류구조 : Residual Structure)있으므로 C(점착력)값은 작게 판단되었고 설계시에도 작게 반영하였다.

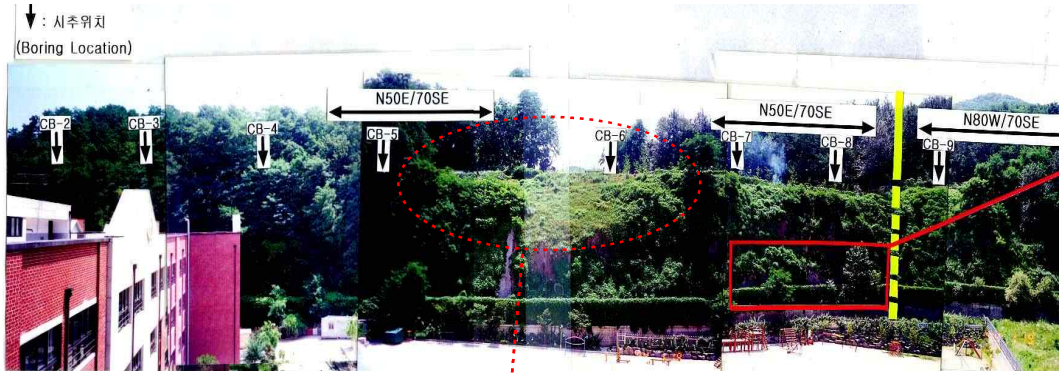


그림 2. 녹생토로 덮여진 현재사면 전경

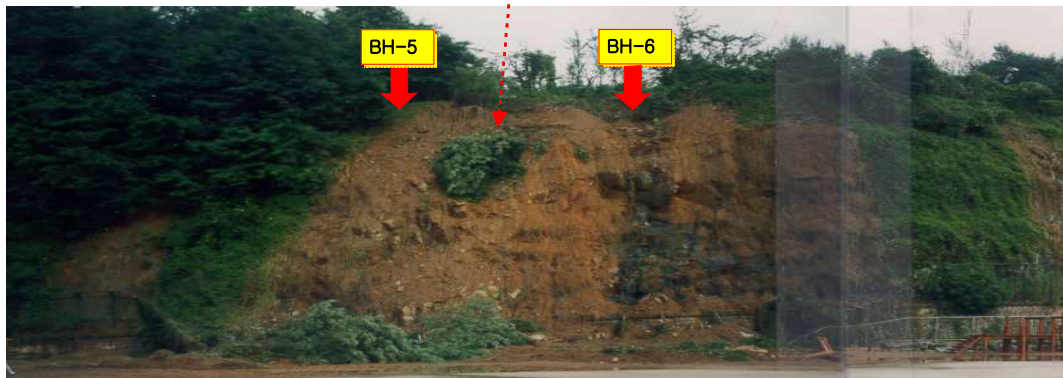


그림 3. 1998년 여름폭우 후 사면붕괴 전경

(2) 풍화잔류토와 연암의 경계면(Rock Head)
 풍화잔류토와 연암의 경계면에는 1m 두께의 암석파쇄대와 단층점토가 분포하고 있으며 또

한, 그 경계면의 경사는 대모초등학교 운동장 쪽으로 기울어져있기 때문에(그림 4), 이 경계면을 따라서 평면파괴의 가능성이 있다고 판단되었다. 따라서 이 경계면에 대한 물성치는 풍화잔류토층과 연암층 사이에 대한 전단시험과 현장조사에 따른 판단에 따라 산정하여 사면안정을 위한 한계평형계산시에 적용하였다.

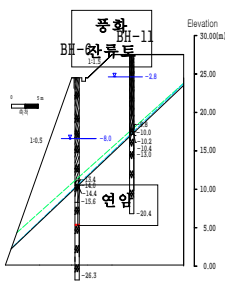


그림 4. 절개지 단면도(BH-6, BH-11 경우)

(3) 연암(MW : Moderated Weathered Rock)
 R.Q.D.가 50~80% 로서 파쇄가 보통정도로 비교적 양호한 연암층으로 구성되어 있다.

Ⅲ. 지반강도 정수의 산정

암반 절취면의 지반강도를 산정하기 위하여 풍화잔류토의 강도정수는 전단시험을 통하여 얻어진 값을 현장 응력 수준에 맞추어 조정하여

사용하였다. 또한 토질의 성질을 규명하기 위하여 입도분석시험도 수행하였다.

1. 풍화잔류토층의 직접전단시험

연구지역의 풍화잔류토층 시료를 불교란 상태로 채취하여 충분히 포화시킨 후에 실험을 실시하였다(그림 5). 실험 방법은 풍화잔류토층 시료를 전단상자에 넣어 일정한 수직하중을 재하시킨 후에 일면 전단시켜 파괴시키면서 파괴과정의 변형에 따른 응력을 측정하여 변형률-응력관계를 도출하여 내부마찰각과 점착력을 구하였다(표 1).

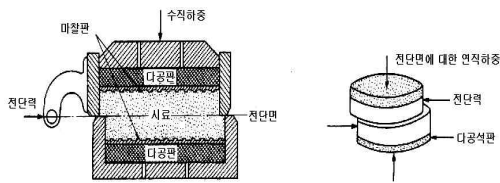


그림 5. 직접 전단시험의 개략도

표 1. 직접전단시험 결과

구분		점착력(t/m^2)	내부마찰각($^\circ$)
풍화 잔류토층	Peak	0.1~0.4	30.9~34.5
	Residual	0.1~0.4	25.4~30.1

2. 토층과 연암층 경계면의 직접전단시험

본 조사지역의 토층과 연암사이의 경계면의 지반강도 정수를 얻기 위하여 다음 그림 6과 같

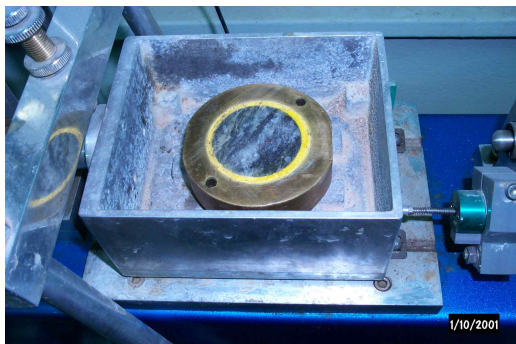


그림 6. 암석과 토층의 경계면에서의 직접전단시험 전경

은 시험(임창관, 1999)을 수행하였다. 하부 전단시료 박스에는 암석시료를 놓고 상부 전단시료 박스에는 시료를 놓고 상부에서 물을 부은 후 침수되도록 충분한 시간이 지난 후에 전단시험을 수행한 결과는 다음 표 2와 같다

표 2. 토층과 암석경계면의 직접전단시험결과

구분	점착력(ton/m^2)	내부마찰각($^\circ$)
1	0.3	26.7
2	0.7	30.4

표 2에 의하면 토질전단 시험결과 보다도 약간 낮은 값을 보이고 있다. 두 결과의 차이가 발생한 것은 풍화잔류토에 편마암의 특징인 엽리에 의한 것으로 판단된다. 2개 시료의 결과 값중에서 설계시는 낮은 수치인 $\phi=26.7^\circ$, $C=0.3 t/m^2$ 을 적용하였다.

3. 입도분석시험

본 조사지역의 풍화잔류토층의 입도 분석결과 BH-4,5 사이 지역에서 채취된 토질은 자연함수비가 21.3%, 비중이 2.67, 액성한계가 33.2% 소성지수가 11.9%인 점토질 모래이고 BH-9 지역에서 채취된 토질은 자연함수비가 20.6%, 비중이 2.67, 액성한계가 32.8%, 소성지수가 10.4%로 역시 점토질 모래로 분석되었다. (그림 7)

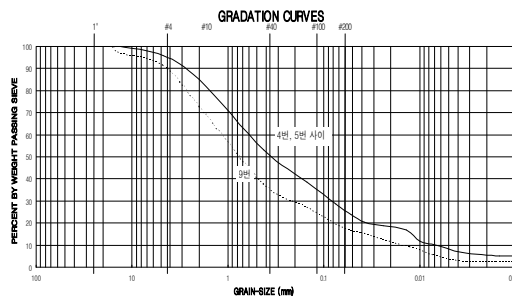


그림 7. 입도분석 시험결과

IV. 절취면의 안정성 평가

절취사면의 안정성 평가를 위하여 한계평형

법(Hoek and Bray, 1981)을 이용한 직선적인 평면파괴해석과 원형파괴해석을 실시하였다.

1. 불연속면에 의한 직선적인 파괴를 고려한 한계평형해석

풍화잔류토층의 직접전단시험과 암석과 토층의 경계면의 직접전단시험을 수행한 결과 다음 표 1, 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다

대체적으로 풍화토나 풍화암의 마찰각과 점착력에 비하여 암석과 토층의 경계면의 마찰각과 점착력이 낮게 나타난다. 한계평형법은 사면내의 활동력과 저항력사이의 관계로 안전율을 구하고 총 보강량을 산정할 수 있는 방법으로 인장균열이 있거나 없을시 평면파괴에 대해 적용할 수 있다. 평면파괴의 경우에 안전율은 “안전율=저항력/활동력”으로서 구하며 안전율은 연구지역주변은 인구밀집지역이므로 절취사면의 붕괴시 위험성이 크므로 이러한 중요한 현장여건을 감안하여서 $F_s=1.5$ 를 고려하였다. 암석과 토층의 전단강도를 고려하여 한계평형법을 분석한 결과 정상수위(실제 현장수위계측결과)시에는 안전율이 $F_s=0.8$ 이며 최고수위(사면 정상부에서 -3m적용)시에는 안전율이 $F_s=0.48$ 로 나타났다. 정상수위시와 최고수위시 모두 안전율이 $F_s=1.5$ 이하이므로 붕괴가능성이 큰 것으로 나타났다.(그림 8)

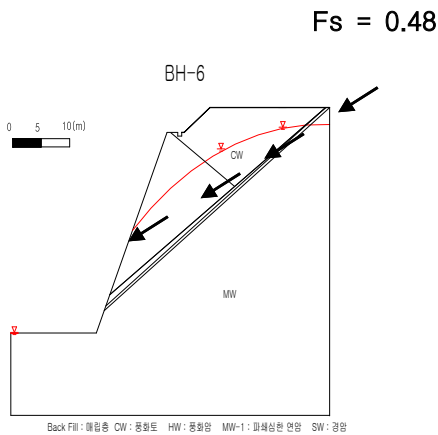


그림 8. 토층과 암반의 직선적인 평면파괴가능성 검토사례(BH-6단면)

2. 원형파괴를 고려한 한계평형해석

사면을 여러개의 절편(Slice)으로 나누어 임의의 가상파괴면(Potential Slip Surface)에서의 한계평형 상태를 가정하여 활동모멘트(Driving Moment)와 저항모멘트(Resisting Moment)의 비를 안전율로 계산하며, 가상파괴면중 최소의 안전율을 나타내는 가상 파괴면을 예상 파괴면으로 가정하는 방법이다. 이 결과 정상수위(실제 현장수위계측결과)의 경우 $F_s=0.55$ 로 나타났으며 최고수위(사면 정상부에서 -3m적용)의 경우 $F_s=0.31$ 로 측정되어 역시 정상수위시와 최고수위시 모두 붕괴가능성이 큰 것으로 나타났다(그림 9).

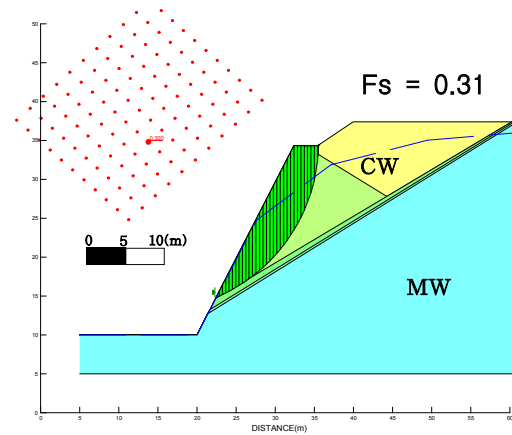


그림 9. 토층내의 원형파괴가능성 검토사례(BH-6 단면)

3. 절취면의 안정성 분석결과

불연속면에 의한 직선적인 파괴가능성과 토층내에서 원형파괴의 가능성을 검토한 결과 두 경우 모두 붕괴가능성이 매우 큰 것으로 나타났다. 그러므로 두 경우의 붕괴가능성을 고려하여서 보강대책을 강구하여야 한다.

VI. 결 론

풍화잔류토층과 연암과 토층의 경계면에서의 직접전단시험을 수행한 결과 풍화잔류토의 경우에는 점착력(C)이 0.1-0.4 (t/m^2), 내부마찰각

(ϕ)이 30.9~34.5°토층과 암석의 경계면에서의 직접전단강도시험 결과는 점착력(C)이 $0.3(t/m^2)$, 내부마찰각이(ϕ) 26.7°로 나타났다. 따라서 풍화잔류토층과 연암층의 경계면의 전단강도는 풍화잔류토층에 비해 전단강도가 대체로 낮은 것을 알 수 있다. 그러므로 본 연구지역과 같은 풍화암층이 상대적으로 얇고 단층대가 일부 발달하여 풍화토층과 암반층이 접하는 경우에는 풍화잔류토층과 암반층에 경계부분에서 직선적인 파괴현상이 발생할 가능성이 큰 것으로 나타났다. 그러므로 이러한 풍화잔류토층과 암반층의 전단강도 특성을 고려한 지반강도 정수산정과 안정성 평가와 보강대책을 강구하여야 한다. 또한 토층과 암반의 경계면의 파괴 특성과 지반강도 정수산정에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

이수곤 외. 2000. 대모초등학교 절개지 안전진단보고서. 서울시도시개발공사. 186pp.
 이수곤. 1993. 화강암과 편마암 절취사면의 안정성연구. 한국지반공학회 사면안정위원회

회 학술발표회 제2권. pp.167-189.
 임창관. 1999. 화강암과 풍화토 경계면에서의 전단강도 특성. 중앙대학교 건설대학원 석사학위 논문. pp.23-25.
 Hencher, S. R.. 1987. The implication of joints and studies for slope stability. John wiley & sons Ltd. New York. pp.145-186.
 Hoek, E. & Bray, J. W. 1981. Rock slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy. London.
 Kanji, M.A. 1974. Unconventional Laboratory Tests for the Determination of the Shear Strength of Soil-Rock Contacts. Proc of 3rd Congress of ISRM Denver 2. pp.241-247.
 Lee, S.G. 1987. Weathering and Geotechnical characterization of Korean Granites. PhD thesis. Imperial Collage University of London.
 Patton, F.D. 1968. The determination of shear strength of rock mass. Paper presented to the Terrametric course of measurement Systems for control of Construction and Mining. Denver 2. Col. pp.37

接受 2001年 9月 10日