

암종에 따른 토사와 암반 경계면의 마찰각 변화 특성에 관한 연구

이수곤¹⁾ · 임창호²⁾

¹⁾ 서울시립대학교 토목공학과 부교수 · ²⁾ 서울시립대학교 토목공학과 석사

A Study on Friction Angle of Rock-Soil Contacts for Rock Type

Lee Su-gon¹⁾ and Lim Chang-ho²⁾

¹⁾ Associate Professor, Dept of Civil Engineering, University of Seoul,

²⁾ Master of Engineering, Dept of Civil Engineering, University of Seoul

ABSTRACT

It is common that the soil layer is few meters below the earth surface and there are rock masses below the soil layer in the view of geological characteristics in Korea. 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 contacts. It has been common practice to assume that the strength of the soil or shale represents the minimum strength present. However, it has been suggested by Patton(1968) that such an assumption may not be valid and that lower shear strengths might be obtained along the soil-rock interface than for either material alone. Then, in this thesis, introduce rock and residual soil shear strength tests and the specimen preparation and testing procedures are described in detail and also the testing results are presented and discussed.

Key words : *Soil-Rock contact, rock-residual soil, Shear Strength, JRC*

I. 서 론

우리나라의 지질구조를 볼 때 토층은 지표면 아래로 수미터 이내로 존재하고 그 아래에는 암반이 존재하는 경우가 대부분이며 대체로 토층과 암석의 경계가 뚜렷한 것이 특징이다. 따라서 얽은 산사태의 유형으로 볼때 연암층과 경계를 가지는 토층과의 경계면에 대한 지반공

학적 특성을 파악하는 것이 사면안정성 분석에 무엇보다 중요하다. 이러한 연암면들은 잠재적인 파괴가능성을 내포하고 있다. 일반적으로 soil 이나 셰일이 최소 전단강도를 나타낸다고 가정하는 것이 일반적인데 Patton(1968)은 한가지의 시험재료보다 soil-rock 접촉면에서 더 낮은 강도가 얻어질 수 있고, soil 이나 셰일이 최소강도를 나타낸다는 가정은 타당하지 않을 수

도 있다고 제안했다. 그 후 soil과 rock 단독으로 얻어진 전단강도와 soil-rock 접촉면에서의 전단강도 연구가 시작되었다(Kanji, 1974). 본 논문에서는 화강암, 변성암, 퇴적암 사면과 각각의 잔류토를 대상으로 시험하였고, soil-rock 접촉면에서 전단강도를 측정할 수 있도록 고안된 시험법과 그 결과에 대하여 연구하였다.

II. 본 론

1. 시료의 준비

시험에 쓰인 재료의 선정은 soil-rock 접촉면의 전단강도를 얻는데 필요하고 soil 단독시험과 비교할 수 있는 최소한의 변수로 한정하였다. 기본적으로 시료채취는 현장에서 ring sample을 사용하였고, 불교란시료를 채취하여 수분증발을 막기위해 비닐 Wrap으로 포장한 뒤 아이스박스에 담아두었다. 암석시료는 연암 정도의 강도를 가지며 우리나라의 대표적인 JRC(S.G. Lee, 1987)를 포함하며 JRC (0(saw cut), 2~4, 4~6, 6~8, 8~10, 10~12)를 달리하는 암시료를 준비하였고, 다음과 같이 정확한 결과를 얻을 수 있도록 알맞은 수의 시험을 실시하였다. 추가적인 시험조건은 다음과 같다.

- 각각의 soil 과 rock 표면에 대해 4개의 다른 수직응력 조건으로 시험하였다.

- Data의 편차를 없애기 위해 각각의 시험마다 3회 반복, 평균값을 사용하였다.

2. Soil 시료 준비

실내시험에 쓰인 시료들은 우리나라에 대표적으로 분포하는 화강암(경기도 포천), 변성암(흑운모 편마암; 서울 강남), 퇴적암(사암; 경남 진주)을 대상으로 하였으며 각 현장의 특성에

맞는 각각의 잔류토를 대상으로 시험하였고 각 잔류토에 대하여 채분석, 비중시험, 함수비, 포화도 시험을 하여 분류하였다.

3. 암석 시료 준비

암석시료의 천공은 내경이 60mm인 비트를 이용하였고 Saw cut면은 암석절단기로 자른 면이 사용되었다. 지름은 약 59.5mm으로서 전단링에 고정시키기 위해 하부 전단링의 네 측면에서 나사로 단단히 고정시키고 윗부분과 밑부분의 틈은 실리콘으로 마감하였다. 표면은 비누와 표백제로 기름때를 없애기 위해 닦아냈다. 암석시료를 밑부분에 배치하였으며 표면과 거의 평행하게 배치하였다. 암석 블록샘플에서 미리 JRC를 측정후 천공하여 전단될 방향을 나타내었다.

Table 2. Properties of rock sample

암석시료	단위중량 (ton/m ³)	일축압축강도 (kg/cm ²)
화강암	2.61	700~750
변성암	2.65	800~900
퇴적암	2.58	700~800

암석 시료를 제작할 때 주의해야될 점은 암석블록의 표면에서 측정된 JRC값의 방향과 일치하도록 전단방향을 맞추어야 하며, 코어링할 때 코어비트의 다이아몬드날과 최대한 평행하도록 고정시킨 후 천공을 해야 할 것이다.

만약 평행하지 않을 경우 암석시료의 외경이 약 59.5mm 정도 되므로 하부링에 암석시료의 두께가 아주 얇지 않는한 전단면과의 수평이 맞지 않게 된다. 또한 암석시료를 하부링에 고

Table 1. Properties of residual soils

자연상태	단위중량 (ton/m ³)	함수비 (%)	포화도 (%)	Gs	LL	PI	USCS	포화도 시험결과 (95% 도달시간)
화강암잔류토의 평균값	1.72	14.2	51.2	2.58	N.P	N.P	SM	6
편성암잔류토의 평균값	1.65	10.8	38.3	2.57	N.P	N.P	SM	9
퇴적암잔류토의 평균값	1.76	17.9	62.1	2.62	33.2	14.8	SC	12

정시킬 때 최대응력인 $3.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 올려 놓으면 약 90kg 의 하중이 가해지므로 고정나사와 암석 시료의 측면사이에서 암석시료가 견디지 못할 수도 있다. 따라서 암석 시료의 밑면에 더 이상 밀리지 않도록 고정나사를 이용, 고정시켜 주어야 한다.

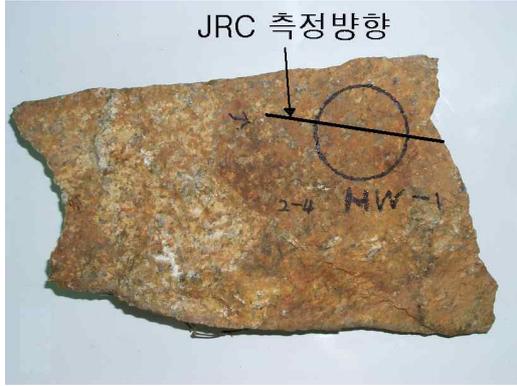


Figure 1. JRC and direction of shear on rock sample

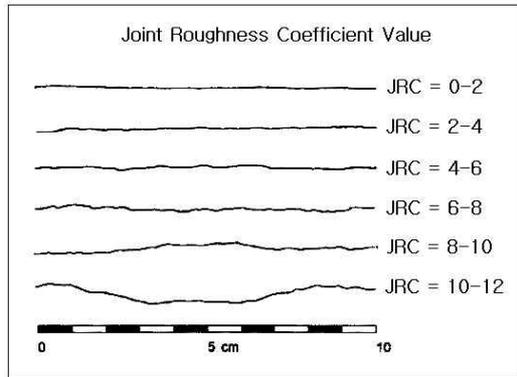


Figure 2. Roughness profiles and corresponding JRC values

4. 암과 흙 경계면에서의 전단강도 시험방법

기본적인 개념은 토질 전단시험과 동일하지만 암석을 고정시킬 수 있도록 고안된 하부 링, 암석시료의 배치와 암석코어 준비등이 조금 달라진다. 조립순서는 Figure 7에서와 같고 토질 전단시험(Figure 6)과 다르게 하부링에 암석시료만 고정되고 solid grid와 poros plate는 들어가지 않는다. 하부링에 암석을 고정시킬 때 효과적인 방법으로 제안된(Kanji. M. A.1974) 금속 췌기를 하부링의 밑면에서 삽입시키는 방법보다 링의 네 측면에서 나사로 고정시키는 방법을 사용하였다.

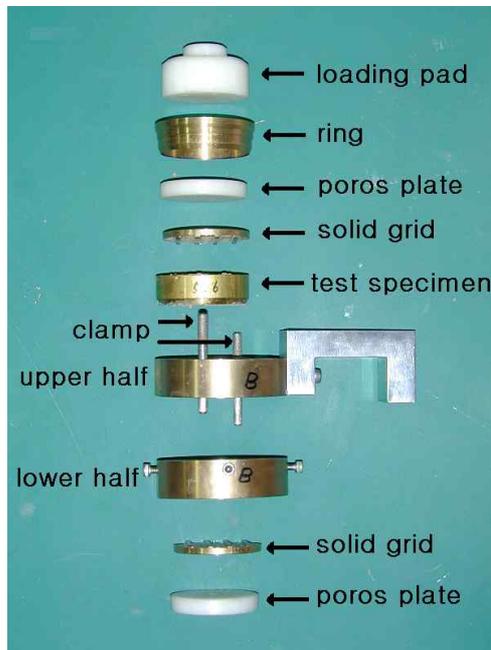


Figure 6. Assembly of soil direct shear box

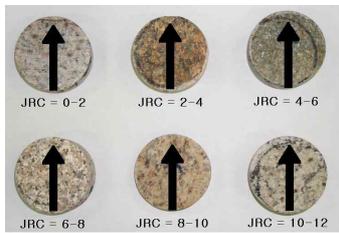


Figure 3. JRC values and shear direction of granite

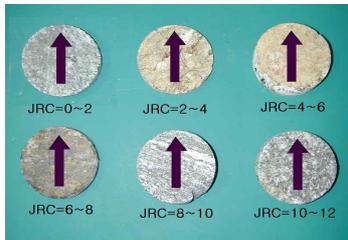


Figure 4. JRC values and shear direction of metamorphic rock

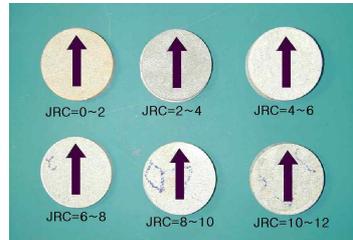


Figure 5. JRC values and shear direction of sedimentary rock



Figure 7. Assembly of direct shear box between rock and soil

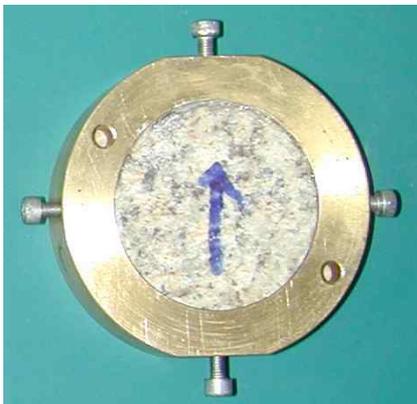


Figure 8. figure of rock fixed in the lower half

암석시료는 상부링과 하부링중에서 상부링은 수직하중이 일정하게 가해지는 때문에 흙시료에 생기는 수직변위에 대응하기 어렵다. 따라서 하부링에 그림과 같이 글루를 이용 밑부분을 고정을 시킨다. 시험절차는 토질전단시험과 동일하지만 soil은 수직응력의 증가에 따른 압밀이 충분히 되도록 시간을 조절하였다. 모든 시험은 현지조건과 습윤조건하에서 이루어졌고 전단속도는 0.3mm/min로 하였다. 수직응력은

최대높이가 약 20m인 토사사면을 기준으로 0.8kg/cm^2 부터 3.2kg/cm^2 까지 4단계로 증가시키며 재하하였다. 최대 전단 변위는 시료전체길이의 15%인 9mm로 하였다.



Figure 9. figure of lower half

III. 결 론

최대 전단강도 발생시에 soil 과 soil-rock 접촉면의 시험에서 Coulomb과 지수함수 파괴규준에 의한 c (마찰계수)값과 ψ (마찰각)값은 다음과 같다.

시험결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. soil-rock 시험에서는 soil 단독시험에서 보다 c , ψ 값이 작으며, JRC값이 작아짐에 따라 마찰각이 작아짐을 알 수 있다.

2. soil alone에서의 마찰각을 1로 볼 때 soil-rock 시험에서는 JRC에 따라 현지함수비 조건에서 약 67%~98%, 습윤조건에서 약 67%~96%까지 산출되었다.

3. Coulomb과 지수함수 파괴규준을 비교할 때 수직응력수준이 낮은 범위($0\sim 2\text{kg/cm}^2$)에서는 지수함수 파괴규준의 마찰각이 높게 나오지만 높은 수직응력수준($5\sim 10\text{kg/cm}^2$ 이상)에서는 Coulomb의 파괴규준의 전단 저항각이 높아진다.

4. 흙 입자가 작아질수록 마찰각이 낮아지는 경향이 있다.

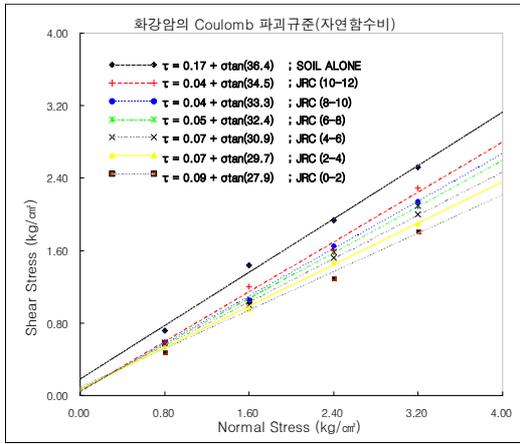


Figure 10. relationship of normal stress and maximum shear strength of granite and its residual soil in natural condition (Coulomb's criterion)

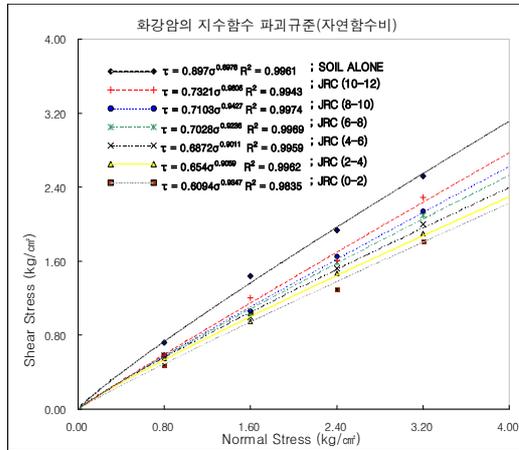


Figure 12. relationship of normal stress and maximum shear strength of granite and its residual soil in natural condition (Exponential function's criterion)

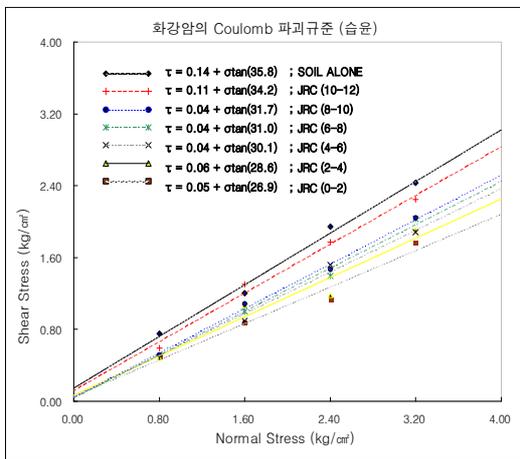


Figure 11. relationship of normal stress and maximum shear strength of granite and its residual soil in wet condition (Coulomb's criterion)

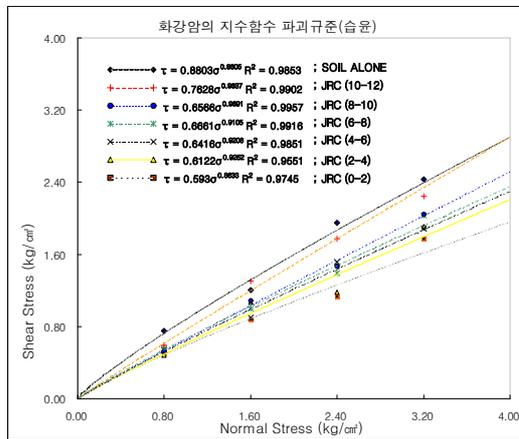


Figure 13. relationship of normal stress and maximum shear strength of granite and its residual soil in wet condition (Exponential function's criterion)

Table 3. synthetic comparison of Coulomb's criterion

JRC	마찰각 ϕ (°) : 토질시험에 대한 백분율					
	화강암		변성암		퇴적암	
	자연	습윤	자연	습윤	자연	습윤
토질	36.4(100%)	35.8(100%)	37.0(100%)	33.8(100%)	32.8(100%)	31.3(100%)
10~12	34.5(94%)	34.2(96%)	32.9(89%)	32.3(96%)	32.0(98%)	30.2(96%)
8~10	33.3(91%)	31.7(89%)	31.1(84%)	30.2(89%)	31.2(95%)	29.7(95%)
6~8	32.4(89%)	31.0(87%)	29.9(81%)	27.5(81%)	29.6(90%)	27.9(89%)
4~6	30.9(85%)	30.1(84%)	28.5(77%)	24.7(73%)	27.9(85%)	26.2(84%)
2~4	29.7(82%)	28.6(80%)	26.7(72%)	23.0(68%)	25.1(76%)	23.6(75%)
0~2	27.9(77%)	26.9(75%)	24.8(67%)	22.5(67%)	24.5(75%)	22.3(71%)

암과 흙 접촉면에서의 전단시험결과로부터 유출된 결론은 다음과 같다.

1. 얇은 사면의 안정성 문제를 다룰 때 연암층, 풍화암층 위에 존재하는 토사를 자주 접하게 된다. 토사가 경사진 암반 사면 위에 존재하게 되면 지질학적인 요인에 의해 soil-rock 접촉면이 평탄하게 되거나 낮은 JRC값을 갖게 된다. 이들은 JRC가 낮을 수록 마찰각이 낮아지게 되는데 이는 현장에서 안전 진단시 시험이 반드시 검토되어야 할 것이다.

2. 전단시험결과에서 Coulomb과 지수함수 파괴규준을 비교할 때 시험결과에서도 알 수 있듯이 수직응력 수준이 $5\sim 10\text{kg/cm}^2$ 이 되려면 상부에 약 30m 이상의 토사가 존재할 때 가능할 것이다. 따라서 암석 절리면 전단시험이 아닌 이상 Coulomb의 파괴규준을 사용하여도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

3. 마지막으로 soil-rock 접촉면에서 낮은 JRC를 갖는 암이 존재할 경우 파괴는 기대한 것보다 적은 값에서 발생할 수 있기 때문에 soil 자체보다도 위험하다.

인 용 문 헌

- Kanji, M.A. 1974. Unconventional Laboratory Tests for the Determination of the Shear Strength of Soil-Rock Contacts. *Proc. of the 3rd Congress of ISRM*. Denver 2 : 241-247.
- Bell, F. G. 2000. Engineering Properties of Soils and Rocks(4th Edition) : 17~23.
- Ehrle, H. 1990. Model materials for shear tests of filled joints. Proceedings of the international conference on Mechanics of Jointed and Faulted Rock.
- Lee, S. G. 1987. *Weathering and geotechnical characterization of Korean granites*. PhD thesis, Imperial College, University of London.
- Head, K. H. 1981. Manual of soil laboratory testing vol.2. second edition. pp 509~580, vol. 1. pp 159~234.
- Jeager, C. 1972. Rock Mechanics and Engineering. Cambridge University Press.
- 김용필외 2인. 1997. 지반공학 시험법 및 응용 pp 37~50, pp 283~310.
- 한국암반공학회 · 한국지구물리탐사학회 · 한국자원연구소. 1999 . 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술. pp 474.
- 임창관. 1999. 화강암과 풍화토 경계면에서의 전단강도 특성. 석사학위논문, 중앙대학교 건설대학원, pp 23-25.

接受 2002年 3月 20日