

화강토의 풍화도와 포화도에 따른 전단특성

송창섭¹⁾ · 장웅희²⁾

¹⁾ 충북대학교 농공학과 교수 · ²⁾ 충북대학교 대학원 석사과정

Shear Characteristics of Weathered Granite Soils for Degree of Weathering and Saturation

Chang-Seob Song¹⁾ and Wong-Hee Jang²⁾

¹⁾ Prof., Dept. of Agricultural Engineering, Chungbuk National University,

²⁾ Graduate School, Chungbuk National University

ABSTRACT

The aim of the work described in this paper is to study the shear characteristics of the weathered granite soil. To this end, a series of consolidated undrained triaxial compression tests are carried out to investigate the shear parameters-cohesion and internal friction angle for the degree of saturation and degree of weathering.

From the results, it is found that the shear parameters of weathered granite soil are influenced on the degree of saturation, degree of weathering and disturbance. Especially, internal friction angle is more influenced on the upper factors than cohesion. And shear parameters are more acted on the degree of saturation than the degree of weathering in the test range. It is, therefore, recommended that must be considered the conditions of granite soil- degree of saturation, degree of weathering and disturbance etc-in case of the calculation of bearing capacity, stability analysis and other designs with shear parameters.

Key words : *shear characteristics, shear parameter, weathered granite soil, degree of saturation, degree of weathering*

I. 서론

화강토는 우리 나라 전역에 분포되어 있으며, 함수상태와 풍화정도에 따라 특성이 다르게 나타난다. 또한, 조성상태와 지역적인 조건 등에 따라서도 그 특성이 달라지므로 화강토에 대한 연구는 오래 전부터 이루어졌으며, 현재에도 계속 진행되고 있다.

화강토는 화강암 또는 화강편마암 등이 원지에서 물리적, 화학적 풍화작용을 받아 풍화되어 잔적된 흙으로서, 주된 조암광물은 석영, 장석, 운모와 기타 유색광물 등이다. 채취장소 및 심도에 따라 광물의 구성성분비와 풍화도가 달라진다. 지리적 조건에 따라서도 물리적, 공학적 성질이 매우 다양하여 모암의 성질을 떠는 것에서부터 사질토와 점성토의 중간성질을

나타내는 화강토가 있는 반면, 풍화가 상당히 진행된 것은 점토에 가까운 성질을 보이기도 한다(이광찬, 1998). 또한, 일반 흙과는 달리 입자의 파쇄성이 커서 도로의 노반에 사용되었을 때, 자중, 충격 및 교통하중에 의하여 내구성이 저하되어 안전상의 문제점을 보이기도 한다(도덕현·강예묵, 1979). 불포화 상태에서는 외관상 단단해 보이고 수직에 가까운 사면도 유지될 수 있으나, 강우 등에 의하여 물과 접촉하게 되면 강도가 현저하게 감소하여 쉽게 붕괴되고, 계속 진행되면 산사태까지도 유발시킬 수 있는 잠재적 문제성을 지니고 있으며, 공학적 분류상 한 종류로 분류되지 못하고 풍화도 등에 따라 공학적 분류가 달라지며, 안전성에 많은 문제점을 내포하고 있기 때문에 특수토로 간주되고 있다(박용대, 1972; 임병조, 1974; 송창섭, 1994).

또한, 화강토는 성인, 조성상태, 풍화도, 함수상태, 교란정도 등에 따라 전단강도를 나타내는 특성이 달라지기 때문에, 전단상수를 사용하여 설계하거나 시공하는 경우에는 각각의 인자가 화강토의 강도에 미치는 영향의 분석이 선행되어야 한다(Lumb, 1962; 박병기, 1974).

연구에서는 충북지역에 분포된 화강토에 대하여 풍화정도에 따라 물리적 특성 및 역학적 특성을 분석하고, 교란 및 불교란 화강토의 포화도 및 풍화도에 따른 전단특성을 실험을 통하여 체계적으로 분석하여, 화강토를 사용한 토질구조물의 축조에 따른 안정성, 기초지반의 지지력 계산 및 절·성토 사면의 안정계산을 위한 전단상수에 대한 자료를 제공하고자 한다.

표 1. 사용된 화강토의 물리적 특성

samples	Li(%)	LL(%)	PI(%)	Gs	grain size distribution (%)						USCS
					No.4	No.10	No.40	No.200	0.01mm	0.002mm	
Boeun A	2.9	44	NP	2.61	100	99.9	82.0	42.8	17.2	5.5	SM
Cheongju	8.1	47	NP	2.70	99.7	98.8	76.8	32.7	3.4	2.5	SM
Boeun B	10.7	49	10	2.70	100	100	98.9	70.2	8.0	4.6	ML

II. 재료 및 실험

1. 시료

풍화도에 따른 전단특성을 규명하기 위하여 풍화정도가 다른 세 곳에서 시료를 채취하여 사용하였다. 보은 A시료는 심도 2 m 정도에서 채취하였는데, 밝은 빛을 띠며 표면에 흑운모 성분으로 보이는 점들이 수없이 박혀 있었다. 겉으로 보기에는 단단해 보였지만 손으로 만지면 쉽게 부스러지고 알갱이가 만져지며, 불규칙한 절리가 산발적으로 보이며 물과 접촉하면 쉽게 붕괴하는 성질을 나타내었다. 보은 B시료는 심도 약 8 m 지점에서 채취하였으며, 연갈색을 띠고 입자가 상당히 가늘고 풍화가 가장 많이 진행된 시료였다. 청주 시료는 풍화가 중간정도 진행된 시료였다.

사용된 시료의 물리적 및 역학적 특성은 표 1과 같다.

2. 실험방법

풍화도 판정은 강열감량시험으로 구한 강열감량값(Li)로 판단하였으며, 시료는 No.10체(2 mm)의 통과분을 사용하였다.

삼축시험용 공시체(KS F 2346)는 불교란 및 교란 시료를 사용하여 직경(D) 35.0 mm, 높이(H) 70.0 mm로 제작하였다. 불교란 공시체는 채취된 시료를 핸드 트리밍 방법에 의하여 제작했으며, 교란 공시체는 자연 건조시킨 시료를 계량하여 불교란 시료와 동일하게 함수비로 조절하여 불교란 상태의 건조단위중량과 동일하도록 정압을 가하여 제작하였다(Aitchison et al, 1992).

시료의 포화도는 항온·항습 상태에서 건조

또는 분무에 의해서 습윤중량 및 체적을 측정하여 간접적으로 조절하였다. 공시체의 포화는 삼축셀에 설치한 후, 배압을 가하면서 등방상태의 공극수압계수(B)가 0.97이상이 되면 포화된 것으로 간주하여 시험을 수행하였다.

삼축압축시험(KS F 2346)은 공시체가 설정된 포화도에 도달되면 삼축 셀에 설치하여, 주어진 축압을 가하여 등방압밀시킨 후, 공시체의 잔류과잉공극수압을 제거한 후 비배수조건으로 압밀비배수 삼축압축시험을 수행하였다. 전단속도는 2 mm/min로 설정하였으며, 변형에 따른 축차응력, 과잉공극수압 등을 측정하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 응력-변형률 특성

그림 1 및 그림 2는 보은 A시료의 포화도가 35%일 때, 교란 및 불교란 공시체에 대한 축차응력-변형률 곡선을 도시한 것이다. 불교란 시료의 경우, 축차응력이 최대점을 보인 후 급격하게 감소하는 경향을 보이는데, 이러한 강도의 저하는 포화도가 높을수록 완만하게 나타났다. 그러나, 교란 시료는 어느 정도까지 변형에 따라 응력이 증가하다가 그 이후에는 더 이상의 응력증가를 보이지 않는 응력 일정 거동을 보이고 있다. 또, 축차응력은 전체적으로 보아 불교란 시료가 교란시료보다 크게 나타나는데, 이는 교란시료의 경우, 이미 공시체의 제작과정 또는 교란시료의 제작과정에서 이미 입자의

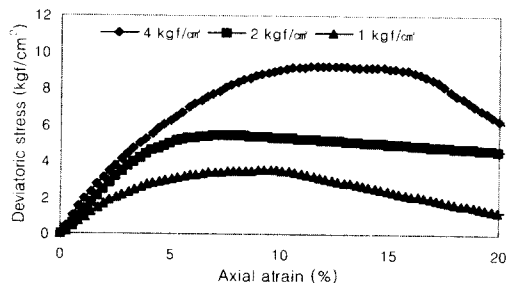


그림 1. 불교란 시료의 응력-변형률 곡선 (Sr=35%, Boeun A)

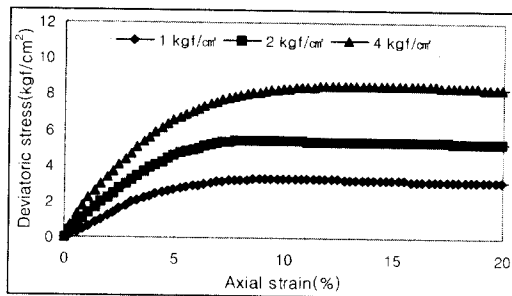


그림 2. 교란 시료의 응력-변형률 곡선 (Sr=35%, Boeun A)

파쇄에 의하여 세립화되었기 때문으로 사료된다. 이러한 현상은 풍화도가 다른 시료에서도 같은 경향을 나타내었다.

2. 화강토의 전단상수

삼축압축시험의 결과, 도출된 각각의 구속응력에 대한 최대축차응력을 사용하여 Mohr 응력원으로부터 점착력과 내부마찰각을 구하면 표 2와 같다. 그림 3은 청주시료의 포화도(Sr)에 따른 응력원을 3차원 공간에 대표적으로 도시한 것이다. 그림에서 횡축의 절편은 점착력을, 파괴포락선의 기울기는 내부 마찰각을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 화강토의 전단상수-점착력 및 마찰각은 흙의 함수상태, 포화도가 낮아짐에 따라 증가하게 된다.

따라서, 전단상수를 이용한 전단강도, 지지력, 사면안정 등을 계산할 경우에는 반드시 화강토의 함수상태를 고려해야 할 것이다(Fredlund and Rahardjo, 1995).

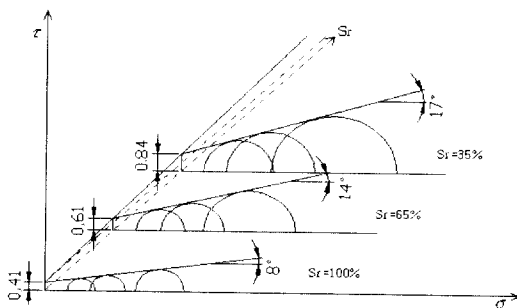


그림 3. 포화도에 따른 점착력 및 마찰각의 변화 (불교란된 보은 B 시료)

표 2. 사용된 화강토의 점착력 및 내부 마찰각.

samples		C(kgf/cm ²)	φ (deg.)	Remark	
Boeun A	undisturbed	Sr = 35%	0.48	29.2	Li = 2.9%
		Sr = 65%	0.31	25.2	
		Sr = 100%	0.14	20.2	
	disturbed	Sr = 35%	0.71	26.0	
		Sr = 65%	0.37	22.4	
		Sr = 100%	0.18	18.1	
Chungju	undisturbed	Sr = 35%	0.72	23.0	Li = 8.1%
		Sr = 65%	0.49	18.8	
		Sr = 100%	0.30	13.1	
	disturbed	Sr = 35%	0.80	19.0	
		Sr = 65%	0.57	15.8	
		Sr = 100%	0.35	10.6	
Boeun B	undisturbed	Sr = 35%	0.84	17.1	Li = 10.7%
		Sr = 65%	0.61	13.9	
		Sr = 100%	0.41	7.9	
	disturbed	Sr = 35%	0.92	14.5	
		Sr = 65%	0.71	10.6	
		Sr = 100%	0.45	5.6	

3. 풍화도에 따른 전단상수의 변화

1) 점착력

그림 4 및 그림 5는 불교란 및 교란 시료의 풍화도에 따른 점착력의 변화를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 교란정도에 관계 없이 많이 풍화된 흙일수록 점착력은 증가하는 것으로 나타났다. 마찬가지로 시료의 함수상태에 감소함에 따라서도 급격하게 점착력이 증가하는 것을 알 수 있다. 또, 동일한 조건일 경우에는 교란시료가 불교란 시료에 비하여 점착력은 크게 나타난다. 풍화도에 따른 불교란 시료의 점착력 변화 기울기가 교란 시료보다 크게 나타나는데, 이는 풍화도의 변화에 더 예민하므로 불교란 시료가 교란시료보다 더 크게 영향을 받는다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 불교란 시료의 포화도가 낮을수록 더 크게 나타난다.

따라서, 전단상수를 사용하여 지반을 해석하는 경우에는 반드시 이에 대한 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

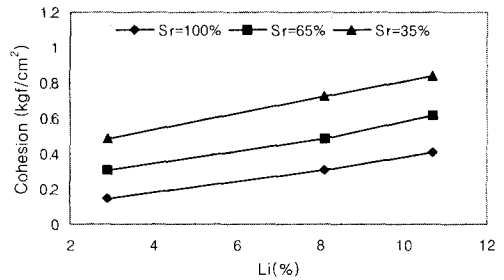


그림 4. 불교란 시료의 풍화도에 따른 점착력

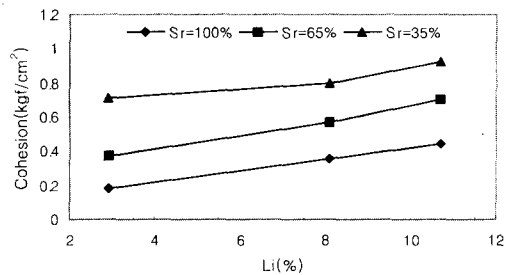


그림 5. 교란 시료의 풍화도에 따른 점착력

2) 내부마찰각

그림 6 및 그림 7은 불교란 및 교란 시료의 풍화정도에 따른 내부 마찰각의 변화를 도시한 것이다. 점착력 성분과는 반대로 풍화가 진행되면서 교란정도에 관계없이 내부 마찰각은 감소하는 것을 볼 수 있다. 마찬가지로 시료의 함수비가 증가함에 따라 급격하게 마찰각이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 교란시료의 경우에는 풍화도에 따라 거의 선형적으로 마찰각이 감소하지만, 불교란 시료의 경우에는 중간정도의 풍화도에서 마찰각의 변화에 굴곡이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 화강토는 모암에서 풍화되어 그 자리에 잔적한 흙이 대부분이므로 불교란 상태에서는 모암의 알갱이 형태의 입자 등의 역물림(interlocking)에 의한 결과로 판단된다. 이러한 이유로 불교란 시료의 내부 마찰각이 교란시료의 내부 마찰각보다 전체적으로 크게 나타나고 있다. 풍화도에 대한 예민성은 교란시료의 기울기가 불교란 시료의 기울기보다 크게 나타나고 있으므로 점착력과는 반대의 경향을 보인다.

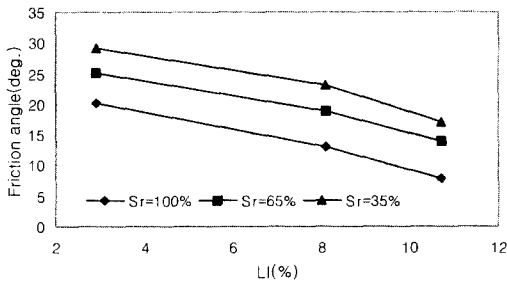


그림 6. 불교란시료의 풍화도에 따른 내부마찰각

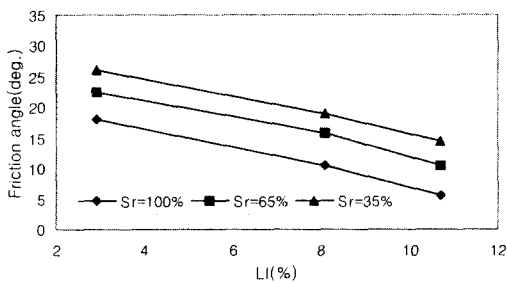


그림 7. 교란시료의 풍화도에 따른 내부마찰각

4. 포화도에 따른 전단상수의 변화

1) 점착력

그림 8, 그림 9 및 그림 10은 교란 및 불교란 시료의 점착력을 포화도에 따라 도시한 것이다. 그림 8은 강열감량값(Li)이 2.9%인 저풍화 화강토의 점착력 변화를 포화도에 따라 교란 및 불교란 시료에 대하여 도시한 것이다. 그림 9는 중간정도의 풍화된 화강토, 그림 10은 비교적 많이 풍화된 화강토의 점착력을 도시한 것이다. 교란된 흙보다 불교란 상태에 있는 화강토가 점착력은 작을 것이라는 것은 쉽게 예측할 수 있으며, 이를 실험으로 입증한 것이라 할 수 있다. 또한, 포화도의 증가에 따라 즉, 함수비가 증가할수록 점착력은 감소하게 되는데, 이는 흙의 수분이 증가함에 따라 시료의 강도가 저하되기 때문으로 사료된다. 또한, 포화도의 증가에 따른 점착력의 감소비율을 보면, 풍화가 많이 진행될수록 크게 나타나고, 교란시료가 불교란 시료보다 크게 나타나는데, 이는 물에 대한 예민성이 크다는 것을 의미한다.

따라서, 전단상수를 이용한 지지력 또는 사면

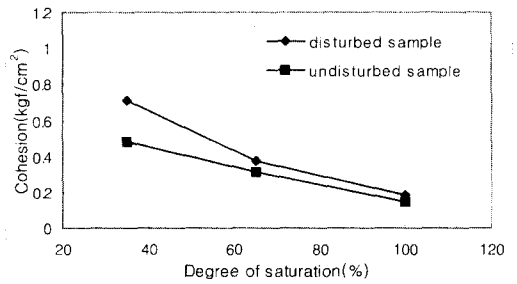


그림 8. 저풍화 화강토의 포화도에 따른 점착력

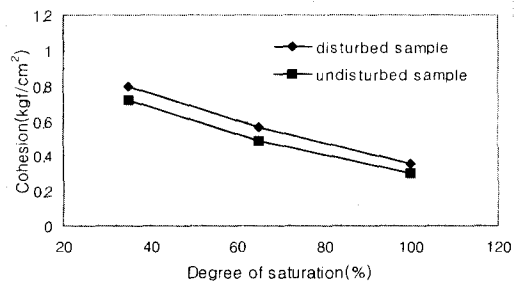


그림 9. 중풍화 화강토의 포화도에 따른 점착력

안정을 계산할 경우에는 강우나 강수 등의 상태를 반드시 고려하여 검토하여야 할 것이다.

2) 내부마찰각

그림 11, 그림 12 및 그림 13은 교란 및 불교란 시료의 내부마찰각을 포화도에 따라 도시한 것이다. 그림 11은 저풍화된 화강토의 마찰각 변화를 포화도에 따라 교란 및 불교란 시료에 대하여 도시한 것이며, 그림 12는 중간정도의 풍화된 화강토, 그림 13은 비교적 많이 풍화된 화강토의 마찰각을 도시한 것이다. 교란된 흙보다 불교란 상태에 있는 화강토의 마찰각이 클 것이라는 것은 쉽게 예측할 수 있다. 포화도가 증가할수록 즉, 함수비가 증가할수록 마찰각은 감소하게 되는데, 이는 흙 속의 수분증가에 따라 역물림 등 구조적 저항이 감소하고 입자를 피복한 수분이 유힬작용 등에 기인한 것으로 사료된다. 또한, 포화도의 증가에 따른 마찰각의 감소비율을 보면, 풍화가 많이 진행될수록 크게 나타나는데, 이는 앞에서 언급한 물에 대한 예민성을 의미하는데, 점착력과 마찬가지로

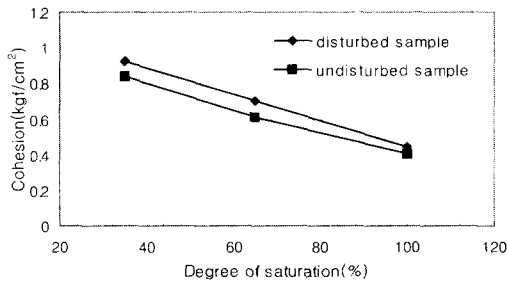


그림 10. 고풍화 화강토의 포화도에 따른 점착력

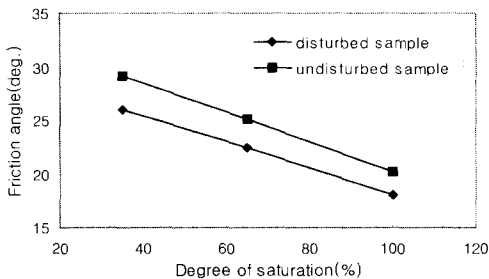


그림 11. 저풍화 화강토의 포화도에 따른 내부마찰각

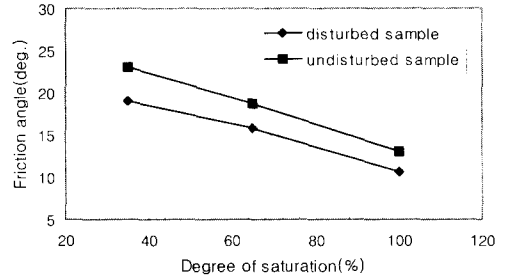


그림 12. 중풍화 화강토의 포화도에 따른 내부마찰각

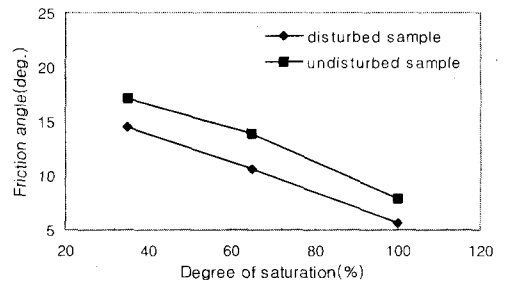


그림 13. 고풍화 화강토의 포화도에 따른 내부마찰각

풍화가 진행될수록 물에 대한 예민성이 커진다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

화강토의 포화도와 풍화도에 따른 전단특성을 규명하기 위하여, 충북지역의 풍화도가 서로 다른 세 곳의 시료를 채취하여 불교란 및 교란 상태의 공시체를 제작하여 압밀 비배수 삼축압축시험을 수행하여 축차응력, 응력-변형률 곡선 및 점착력과 내부 마찰각 등 전단상수를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 불교란 시료의 축차응력은 교란 시료보다 높게 나타나는데, 이는 화강토가 모암에서 풍화되어 잔적된 흙이기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.
2. 불교란 시료의 응력-변형률 곡선은 저축압 상태에서는 축차응력이 최대값을 보인 후 감소하는 연화현상을 보이나, 고축압 상태에서는 피크 후 변형률-응력 일정거동을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 교란

- 시료의 응력-변형률 곡선에서도 나타나는데, 이는 공시체의 제작과정에서 이미 파쇄 등의 영향으로 사료된다.
3. 화강토의 점착력은 풍화도에 따라 선형적으로 증가하며, 포화도에 따라서는 선형적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 교란 시료의 점착력이 불교란 시료보다 크게 나타났다. 또한, 점착력의 변화는 불교란 시료의 경우에는 풍화도에, 교란 시료인 경우에는 포화도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
 4. 화강토의 내부 마찰각은 풍화도 및 포화도에 따라 선형적으로 감소하며, 불교란 시료의 내부 마찰각이 교란 시료의 내부 마찰각보다 크게 나타났다. 또한, 내부 마찰각의 변화는 불교란 시료인 경우에는 포화도에, 교란 시료인 경우에는 풍화도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
 5. 화강토의 전단특성은 포화도, 풍화도 및 교란상태에 따라서 크게 달라지는 실험을 통하여 입증하였다. 따라서, 화강토의 전단특성을 고려한 지지력 계산, 사면안정, 강도 등의 설계 또는 시공에서는 반드시 화강토가 처해 있는 주변여건, 함수상태, 교란정도 등을 고려한 전단상수-점착력과 내부 마찰각-를 선정하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

도덕현 · 강예묵. 1979. 화강암질 풍화토의 파쇄성에 관한 연구. 한국농공학회지 21(2) : 81-103.

박병기. 1974. 화강암질 풍화토의 특성연구(II). 대한토목학회지 22(3) : 12-20.

박용대. 1972. 마사토의 다짐에너지 변화에 따른 파쇄성의 실험적 연구. 중앙대학교 대학원 석사학위논문.

송창섭. 1994. 불포화토의 거동예측을 위한 구성식 개발. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

이광찬. 1998. 화강토의 풍화도에 따른 토질공학적 특성. 전남대학교 대학원 박사학위논문.

임병조. 1974. 물이 화강토의 공학적 성질에 미치는 영향. 대한토목학회지 22(2) : 75-81.

Aitchison, J. H., M. A. Allman and R. J. Boese. 1992. Influence of Laboratory Sample Preparation Procedures on the Strength and Stiffness of Intact Bothkennar Soil Recovered using the Laval Sampler. Geotechnique 42(2) : 349-354.

Lumb. P. 1962. The Properties decomposed granite. Geotechnique 12(3) : 226-243.

Miura, N. and T. Yamanouchi. 1977. Effect of Water on the Behavior of a Quarts-Rich Sand under High Stresses. Soils and Foundations 15(4) : 23-34.

Rahardjo, H. and D. G. Fredlund. 1995. Shear-strength characteristics of a residual soil. Can. Geotech. J. 32(1) : 60-77.

接受 2000年 8月 23日