The Journal of Engineering Geology, Vol.19, No.4, December, 2009, pp. 501-508

옥천변성대 절개지 사면의 토층붕괴 영향인자에 관한 연구

이경미[1] · 김병찬[2] · 서용석[2]*

[1]한국원자력연구원 종합안전평가부, [2]충북대학교 지구환경과학과

A Study on the Parameters Influencing the Failed Soil-Slope in Okcheon Metamorphic Zone

Kyoung-Mi Lee[1] Byung-Chan Kim[2], and Yong-Seok Seo[2]*

[1]Integrated Safety Assessment Division, Korea Atomic Energy Research Institute
[2]Department of Earth & Environmental Sciences, Chungbuk National University

이 연구는 미원과 충주지역을 중심으로 한 옥천변성대 지역에서 절개지사면 토층붕괴와 관련하여 흙의 주요 특성을 알기 위해 수행되었다. 실내시험을 위하여 붕괴지 토층과 인근의 비붕괴지 토층에서 35개 사면으로부터 불교란 시료와 교란 시료를 각각 채취하여 일련의 물성시험과 역학시험을 하였다. 분석결과에 의하면 붕괴지 사면의 토질특성은 흙의 활동지수(AMI)가 0.75 이상이고, 액성한계가 32% 이상, 함수비가 31% 이상일 때 붕괴에 취약한 것으로 나타났다. 그리고 붕괴지 토층의 소성지수는 습윤밀도 및 포화밀도와 상관성이 있으며, 소성지수가 크면 간극비가 작아도 붕괴에 취약한 것으로 나타났다. 입도분포는 점토의 함량보다는 모래나 자갈의 함량이 많을수록 붕괴에 더 영향을 미치는 것으로 나타났다.

주요어 : 토층붕괴, 활동지수, 소성지수, 간극비, 옥천변성대

This study aims to clarify the characteristics of the physical and mechanical properties of soil-slope failure of Okcheon metamorphic zone. Soil samples were collected from 35 collapsed and uncollapsed artificial slopes along national roads. A series of laboratory experiments was carried out to examine physical and mechanical properties of soils and rocks. The results show that failure slopes have weakness of failure at 0.75 of AMI or higher, 32% of liquid limit or higher, and 31% of saturated moisture content or higher. The plastic index of failure slopes is correlated to wet density and saturated density. It turned out that failure could easily happen according to a high plastic index even if the void ratio was low. The greater the contents of bigger-sized soil, i.e. contents of sands and gravels rather than of clays, is the greater the chance to fail at the slope.

Key words : Soil slope failure, AMI, Plasticity Index, Void ratio, Okcheon Metamorphic Zone

서 론

토층에 대한 일반적인 연구는 흙에 대한 다양한 시험이나 특정성분의 포함에 따른 물성변화, 흙의 전단거동에 영향을 미치는 시험조건 및 방법 그리고 흙의 성분과 개별인자들 간의 상관성 연구 등이 중심이 되어왔다. 국내에서 흙의 물성에 관한 연구는 자연사면 산사태와 관련하여 많은 연구가 수행되었으며(김재수 외, 2000; 김경수 외, 2005; 김경수, 2006), 토층의 안정성에 관련된 다양한 연구도 이루어지고 있다(조기성과 오병현, 1994; 조성은과 이승래, 2001). 그리고 간극수압과 액성한계에 관련된 연구나 흙의 전단강도에 관한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다(조희두, 1984; 정두영과 이광준, 1994; 김상규와 류지협, 2000; 송정락, 2000; 이성진 외, 2002; 박성완과 김용락, 2003; 성상규와 이인모, 2003; 송창섭과 최득호, 2007; 조용성 외, 2006). 그 외에 연구로는 탄성파를 이용하여 흙의 특성을 연구하거나(조계춘과 이인모, 2002), 체적함수비를 간극비와 흡인력의 함수로 표현하는 연구(이인모 외, 2000)가 이

*Corresponding author: ysseo@cbu.ac.kr

루어지고 있다.

매년 집중강우에 의해 자연사면 산사태뿐만 아니라 절개지사면의 토층에서도 원호파괴나 표층유실과 같은 천층붕괴가 발생되고 있으나, 토층붕괴와 관련된 연구는 주로 자연사면 산사태를 중심으로 이루어져왔고(김경수 외, 2005), 흙의 기원암 또한 화강암과 편마암에 국한되어 있다. 국내의 절개지사면은 토층 심도가 50 cm 미만인 경우가 많고, 대부분 풍화암 직상부 IC층(Deere and Patton, 1971)에 해당되어 토질시험을 위한 토양시료 채취가 매우 어려운 경우가 많기 때문에, 절개지사면의 토층에 관한 연구 역시 토층심도가 깊은 대규모 원호파괴 발생현장을 중심으로 이루어지고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 옥천변성대 일대의 붕괴토층의 물성, 역학성 및 공학적 특성과 토층 붕괴의 영향인자를 파악하기 위해 수행되었다. 연구방법은 붕괴와 관련한 인자를 파악하기 위하여 기존 토층붕괴지역과 인근의 비붕괴지역에서 각각 교란시료와 불교란 시료를 채취하여 실내 토질시험을 실시하여 그 결과를 비교하였다(Fig. 1). 그리고 토층붕괴의 영향인자간 대비를 통해 상호관련성을 알아보았다.

연구지역의 범위는 충청북도 청원군을 중심으로 하행 영동군에서 상행 진천군에 이르며, 충주지역까지 포함된다. 대상 토질은 북동-남서방향의 대상으로 분포하는 옥천변성암 절개지사면의 상부 토층과 이를 관입하는 화강암, 그리고 기저역암과 선캠브리아기 편마암 사면의 토층을 포함하고 있다. 옥천변성암은 황강리층인 함역천매암에서부터 슬레이트, 천매암, 편암 그리고 규암 등이 포함된다(Fig. 2).

토질시험결과

시료의 토질시험과 전단강도 시험 결과는 Table 1과 같다. 불교란 시료는 채취가 가능한 지역이 한정되었으나 샘플된 시료를 최대한 이용하여 비중, 밀도, 함수비 등을 구하였다. 체분석시험을 통해 입도분포곡선과 균등계수 및 곡률계수를 구하였고, 액 · 소성 시험을 실시하여 소성지수를 구하였다. 전단강도는 불교란 시료의 직접전단시험을 통해 구하였으며 시험법은 자연상태와 가장 근접한 결과를 도출할 수 있는 급속 압밀배수법으로 수행하였다.

연구지역 토층은 간극비와 공극률, 건조밀도를 비교해 볼 때, 대부분 균등한 가는 모래 내지 거친 실트에 해당되며 느슨한 흙의 상태임을 알 수 있다. 또한 붕괴사면의 간극비와 공극률이 대체로 높은 편이며, 건조밀도는 낮게 나타난다. 이는 붕괴사면의 경우 파괴면에서 다짐정도가 비붕괴 사면에 비해 느슨함을 보여준다고 할 수 있다. 토층의 균등계수와 곡률계수는 전체적으로 양호한 입도분포를 나타내며, 자연함수비는 실트질 토양으로 분류되는 천매암의 흙에서 높게 나타나고, 화강암류의 흙에서 낮게 나타난다.

붕괴사면의 토질 특성

Rodin (1974)과 Johnson (1984)은 유동하기 쉬운 흙의 민감도를 정량적으로 정의하기 위해 활동지수(mobility index: MI)를 제안하였으며, Ellen & Fleming (1987)은 토질실험을 통해 토양이 유동되기 위해 요구되는 수분의 함량을 이용한 AMI (approximate mobility index)를 제안하였다(식 1).

$$\mathrm{AMI}=\frac{\text{Saturated water content of in-place soil}}{\text{Liquidlimit}} \quad (1)$$

이는 현장토의 포화함수비를 액성한계로 나눈 것으로 이때의 액성한계는 2 kPa의 전단강도에 상응한다. AMI는 토층의 두께가 20 cm 이상이며, 사면의 경사가 30°를 넘고 포화밀도가 20 kN/m^3(≒2 t/m^3)인 일반적인 토양에 적용이 가능하다. 샘플링된 연구지역의 토층 역시 절개지사면의 경사가 60° 이상의 고각을 이루는데 비해, 절개지 상부사

Fig. 1. Most representative pictures of the study area. (a) MW-1 site : non-failure slope, (b) CJ-2 : failure slope, (c) CJ-3 : circular failure.

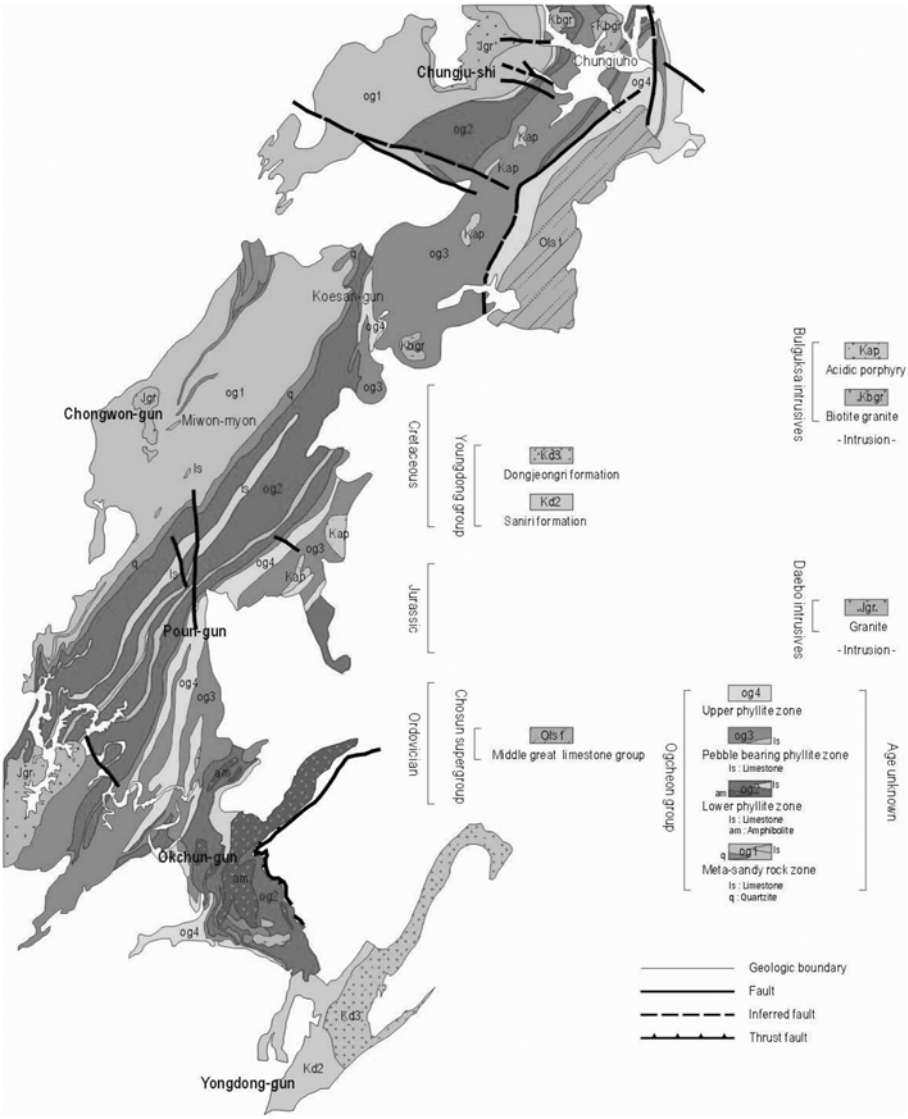

Fig. 2. Geological map of the study area.

Table 1. Summary of physical and mechanical properties for soil samples.

Sample name	Specific gravity	Moisture content (%)	Coefficient		Void ratio	Porosity (%)	Dry density (g/cm)	Failure mode
			Cu	Cg				
YD-1	2.65	13.8	11.1	1.2	0.80	44.45	1.48	wedge
YD-2	2.59	15.3	-	-	0.79	44.26	1.50	non
BY-1	2.54	-	-	-	-	-	-	boundary
BY-2	2.24	-	-	-	-	-	-	non
CJ-1	2.45	-	-	-	-	-	-	non
CJ-2	2.56	35.0	5.6	0.9	1.51	60.16	1.02	planar
CJ-2(f)	2.56	-	-	-	-	-	-	non
CJ-3	2.52	26.5	19.9	1.3	1.02	50.40	1.25	circular

Table 1. Summary of physical and mechanical properties for soil samples.

Sample name	Specific gravity	Moisture content (%)	Coefficient		Void ratio	Porosity (%)	Dry density (g/cm)	Failure mode
			Cu	Cg				
CJ-4	2.62	-	11.3	0.7	-	-	-	non
CJ-5	2.70	23.1	-	-	1.04	50.93	1.32	non
CJ-6	2.62	26.0	5.6	1.1	0.57	36.4	1.67	wedge
CJ-7	2.50	18.0	7.1	0.9	0.49	33.1	1.71	planar
MW-1	2.61	32.0	4.9	1.1	0.98	49.5	1.32	rock fall
MW-2	2.64	32.0	9.0	1.1	1.27	55.9	1.16	non
MW-4	2.71	20.0	25.3	1.0	1.46	59.4	1.11	non
MW-5	2.62	20.0	9.6	1.1	0.54	35.2	1.70	non
MW-6	2.65	17.0	7.8	1.1	1.13	53.1	1.25	non
MW-7	2.62	16.0	7.9	1.1	1.17	53.8	1.21	circular
MW-12	2.60	-	-	-	-	-	-	circular
MW-13	2.56	33.0	6.5	1.2	0.83	45.2	1.40	circular
CW-1	2.57	11.1			1.24	55.34	1.15	circular
CW-2	2.66	5.9	28	3.5	1.05	51.15	1.30	non
CW-3	2.67	8.9			0.87	46.60	1.43	circular
CW-4	2.70	7.1	26	2.4	0.89	47.14	1.43	non
OS-N	2.71	8.5	4.7	0.9	0.79	44.3	1.50	non
OS-A	2.73	5.5	7.1	0.86	0.74	42.4	1.56	landslide
JC-N	2.49	23.4	182.6	7.7	0.92	48.0	1.34	non
JC-A	2.33	22.0	107.7	0.8	1.23	55.1	1.04	landslide
F1	2.63	56.3	7.7	1.1	2.07	64.42	0.86	non
F2	2.71	3.9	1.8	1.2	0.77	43.59	1.53	non
F3	2.75	14.3	2.5	1.2	1.50	59.93	1.10	non

Sample name	Permeability (cm/sec)	Grain size (%)			USCS	Shear strength	
		Gravel	Sand	Silt/clay		c (t/m^2)	Φ (^{o})
YD-1	1.44E-04	17.92	76.31	5.77	SM	0.32	33.3
YD-2	-	10.97	76.25	12.78	-	0.69	36.2
BY-1	-	19.92	44.78	35.29	-	-	-
BY-2	-	11.51	68.47	20.02	-	-	-
CJ-1	-	11.38	62.36	26.26	-	-	-
CJ-2	1.82E-02	9.65	72.15	1.92	SW	0.36	34.5
CJ-2(f)	-	7.66	67.96	24.38	-	-	-
CJ-3	3.04E-02	44.48	52.34	3.18	SW	0.27	34.2
CJ-4	-	23.44	69.46	7.10	SM	-	-
CJ-5	-	16.32	50.42	33.26	-	0.25	35.5
CJ-6	2.62E-03	15.35	67.10	17.54	SM	0.43	12.3
CJ-7	4.37E-03	10.1	84.98	4.92	SW	0.45	23
MW-1	2.69E-03	8.71	81.95	9.12	SW	0.87	33.5
MW-2	3.25E-03	3.20	87.77	7.88	SM	0.5	33.1
MW-4	4.20E-03	24.52	68.13	7.35	SM	0.7	34.9
MW-5	2.69E-03	9.29	79.75	9.10	SM	0.87	35.6
MW-6	6.56E-03	6.39	88.91	4.69	SW	0.7	31.2
MW-7	1.44E-04	5.51	89.44	5.05	SM	0.42	17.4
MW-7	1.44E-04	5.51	89.44	5.05	SM	0.42	17.4
MW-13	9.45E-03	2.04	93.16	4.79	SP	-	-
CW-1	-	2.50	87.02	10.47	-	0.39	32.1
CW-2	1.60E-05	3.70	87.58	8.72	SM	0.54	32.6
CW-3	-	3.83	85.75	10.42	-	0.48	31.5

Table 1. Summary of physical and mechanical properties for soil samples.

Sample name	Permeability (cm/sec)	Grain size (%)			USCS	Shear strength	
		Gravel	Sand	Silt/clay		c (t/m^2)	Φ(°)
CW-4	2.50E-05	3.52	87.97	8.51	SM	0.29	32.6
OS-N	2.89E-04	7.73	91.68	0.59	SP	0.1	30.3
OS-A	3.68E-03	28.6	70.7	0.7	SP	1.4	34.5
JC-N	9.92E-05	24.12	57.96	17.92	SC	8.63	30.8
JC-A	8.45E-05	11.20	56.18	32.62	SM	6.69	36.2
F1	2.04E-02	2.83	89.41	7.76	SW	0.7	31.2
F2	4.81E-02	47.09	51.07	1.83	SW	0.36	35.8
F3	4.23E-02	4.65	92.9	2.45	SP	0.44	29.8

F1: fault gouge of sedimentary rock; F2: fault gouge of schist; F3: fault gouge of granite; CJ-2(f): fault gouge of CJ-2 site; Failure mode: major failure of bedrock or soil.

Table 2. Slope stability based on AMI.

AMI		
0.45 > AMI	0.45 < AMI < 1	1 < AMI
Non-Failure	Failure at heavy Rainfall	Failure

면으로서 25° 미만의 경사각을 가지므로 적용가능하다고 할 수 있다. AMI는 1 이상의 값을 가지면 붕괴에 매우 취약하고, 0.45~1이면 집중호우시 붕괴되기 쉽다는 것을 나타내는 지수이다(Table 2).

Table 3은 연구지역의 토양 샘플에 대한 AMI 지수를 나타낸 것으로서 대부분 0.45를 넘는 값을 나타내며, 이는 집중강우와 같은 단기간의 폭우가 내리는 경우 붕괴되기 쉬운 현장으로 분류될 수 있다. 특히 붕괴가 발생한 지역들은 YD-1지구를 제외하면 AMI 값이 대부분 0.75를 넘는 것을 확인할 수 있다. 이는 Ellen & Fleming (1987)이 제안한 1보다 더 낮은 값이며, 역암으로 구성되어 있는 영동지구(YD-1)의 경우 0.75보다도 낮은 값을 보인다. 이러한 결과는 아마도 점토성분을 많이 포함한 샌프란시스코 만과 연구지역의 지질차이로 생각되며, 영동지구의 경우 퇴적암의 토질특성이 변성암과 다르기 때문인 것으로 생각된다.

Figs. 3과 4는 연구지역의 토층에 대한 AMI와 액성한계 및 포화함수비에 대해 점시한 그래프로서 AMI는 액성한계와는 상관성이 적으나 포화함수비와는 비례관계를 보여

Table 3. AMI and Atterberg limits test for samples.

Sample name		YD-1	YD-2	CJ-2	CJ-3	CJ-5	CJ-6	CJ-7
Atterberg limits (%)	LL	21.5	31.6	45.9	43.7	49.1	38.9	35.7
	PL	14.7	28.7	37.9	35.7	41.2	32.8	30.9
	PI	12.9	2.9	8.0	8.0	7.9	6.1	4.8
Saturated water content (%)		15.4	15.0	56.0	36.8	31.0	21.7	35.7
AMI		0.71	0.47	1.22	0.84	0.63	0.55	1
Sample name		MW-1	MW-2	MW-4	MW-5	MW-6	MW-7	MW-11
Atterberg limits (%)	LL	44.4	38.4	35.5	38.1	26.5	34.9	32.6
	PL	30.0	28.9	31.0	32.9	17.1	28.5	28.5
	PI	14.4	9.5	4.5	5.2	9.4	6.4	4.1
Saturated water content (%)		21.8	25.0	33.4	29.5	29.0	1.28	25.4
AMI		0.49	0.65	0.94	0.67	1.09	1.17	0.78
Sample name		MW-12	MW-13	CW-3	OS-N	OS-A	JC-N	JC-A
Atterberg limits (%)	LL	32.2	41.9	32.9	37.2	34.0	49.3	31.0
	PL	29.4	39.1	20.0	14.6	24.0	37.2	28.6
	PI	2.8	2.8	12.9	22.6	10.0	12.1	2.4
Saturated water content (%)		34.4	32.4	32.6	21.0	27.0	21	52.8
AMI		1.07	0.77	0.99	0.56	0.79	0.56	1.7

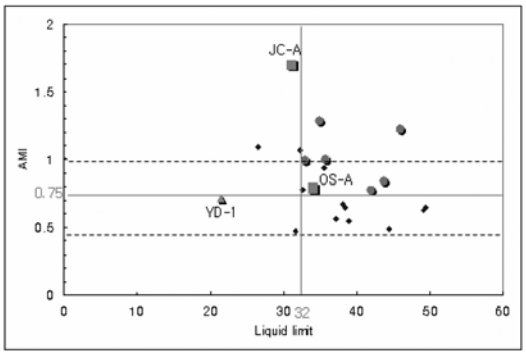

Fig. 3. Relationship between AMI and liquid limit.

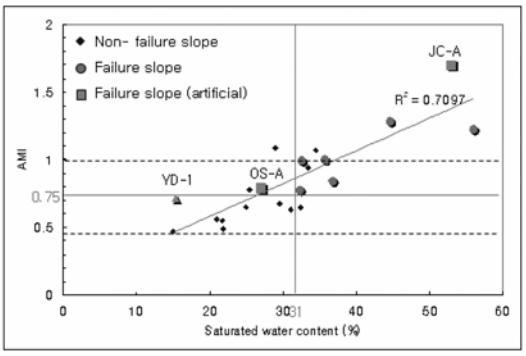

Fig. 4. Relationship between AMI and saturated water content (%).

준다. 그리고, 붕괴사면의 대부분의 AMI 값이 0.75 이상임을 잘 보여주고 있다. 예외를 나타내는 YD-1지구와 OS-A지구는 각각 퇴적암과 성토사면으로 천매암류의 토층의 경향성에서 다소 벗어난다. 또한 붕괴사면은 액성한계가 32%, 포화함수비가 31%를 초과할 때, 붕괴가 발생된 것으로 나타난다.

간극비와 소성지수(PI)의 상관성을 살펴보면, 비붕괴사면의 경우 간극비와 소성지수는 뚜렷한 상관성을 보이지 않지만, 붕괴사면의 경우 간극비와 소성지수는 반비례하는 관계를 보여준다(Fig. 5). 소성지수는 반고체 상태로 머물 수 있는 범위를 의미하며, 입자크기에 따른 밀도와 상관성이 있다. 간극비가 크면 소성지수가 클 것으로 예상되지만 이는 구성입자의 크기와 종류에 따라 달라지므로 일반적이지 않다. 그러나 연구지역의 붕괴사면에 대해 점시해본 결과 간극비가 작아도 소성지수가 크면 붕괴되기 쉽다는 것을 알 수 있다.

붕괴사면은 또한 입도분포에 영향을 받는데, 점토의 함량보다는 모래나 자갈의 함량이 많을수록 붕괴에 취약한

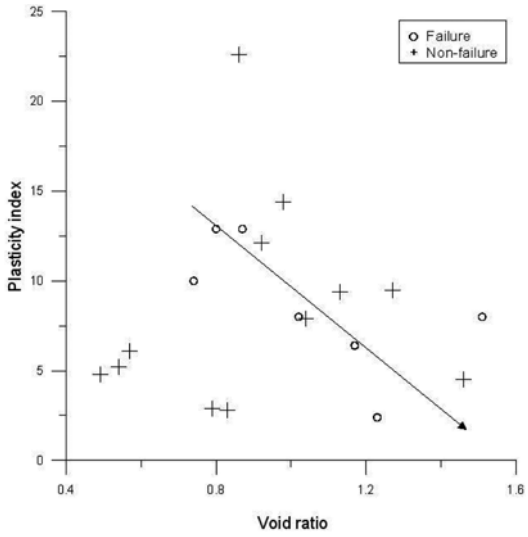

Fig. 5. Relationship between plasticity index and void ratio.

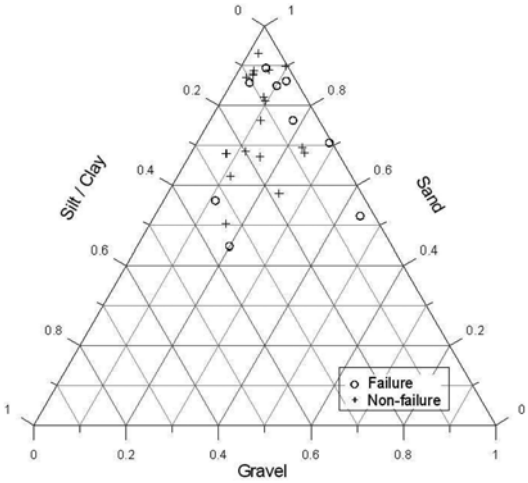

Fig. 6. Grain size distribution of failed and non-failed slopes.

것으로 나타났다(Fig. 6). 이는 점토성분이 증가할 경우 수분을 함유한 점토 때문에 사면의 강도가 증가하는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다.

Fig. 7은 붕괴사면과 비붕괴사면의 밀도와 소성지수와의 관계를 보여주는 것으로서, 붕괴사면의 경우 습윤밀도와 포화밀도 모두 소성지수와 비례하는 관계를 보여주나 비붕괴사면의 경우 뚜렷한 상관성을 보여주지 않는다. 일반적으로 소성지수가 크면 습윤밀도가 클 것으로 예측이 되는데, 이러한 예측은 연구지역의 경우 붕괴사면에 대해 잘 적용되는 것으로 나타났다.

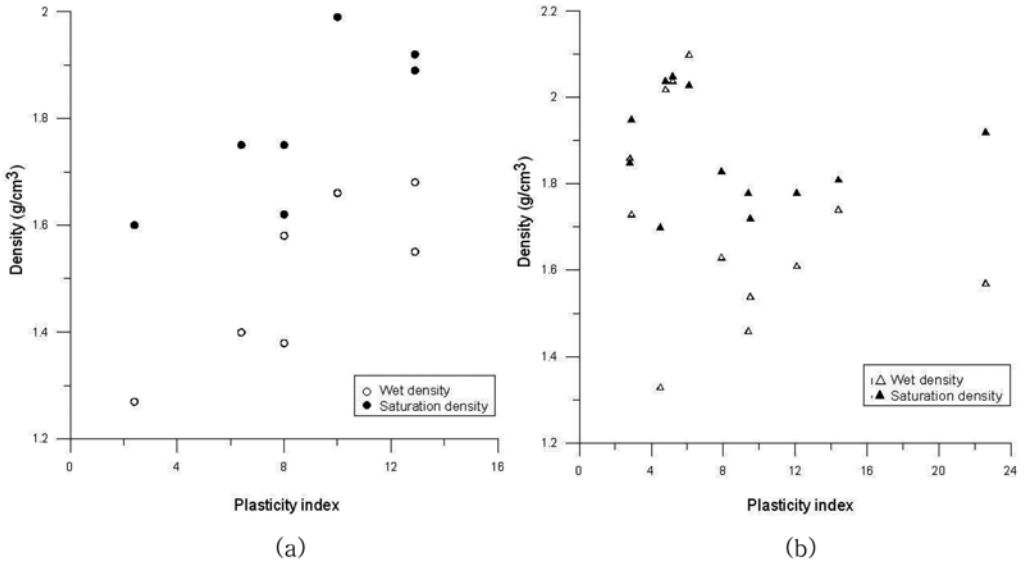

Fig. 7. Relationship between PI and density at failure slope and non-failure slope. (a) failure slope and (b) non-failure slope.

결론 및 고찰

1. 옥천변성대 토층붕괴 사면의 토질 특성은 AMI 지수 0.75이상, 액성한계 32%이상, 포화함수비 31%이상에서 취약한 것으로 나타났다.

2. 붕괴사면에서 소성지수는 습윤밀도 및 포화밀도와 상관성이 있는 것으로 나타나며, 연구지역의 토층은 간극비가 작아도 소성지수가 크면 붕괴에 취약한 것으로 분석되었다.

3. 붕괴사면은 또한 입도분포에 영향을 받는데, 점토의 함량보다는 모래나 자갈의 비율이 높을수록 붕괴에 취약한 것을 볼 수 있다.

따라서 연구지역의 토층에 대해 몇 가지 붕괴인자를 제시할 수 있다. 즉 밀도와 함수상태는 토층붕괴의 주요인자이며, 이들과 관련한 소성지수 및 AMI는 붕괴를 식별할 수 있는 조건이 된다. 그러나 이러한 기준은 액성한계나 AMI와 같이 정량적으로 구분 가능한 조건이 필요하다. 다시 말해 붕괴와 관련한 지표가 더 많이 연구되고 수치화되어야 한다. 그리고 시험된 토질은 시료의 수가 많지 않은데 비해 종류가 매우 다양한 문제점도 있는데, 이는 절개지사면에서 토양시료의 채취가 쉽지 않기 때문이며, 대상으로 분포하는 옥천변성대의 특성상 원거리의 동일지층에서 비슷한 물성을 나타내는 지층의 연속성을 이용하여 맵을 작성하면 비교 가능할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝힌다.

참고문헌

김경수, 2006, 산사태지역 토층사면의 지질조건별 토질특성, 대한지질공학회, 16(4), 359-371.

김경수, 김원영, 채병곤, 송영석, 조용찬, 2005, 강우에 의해 발생된 산사태의 지질공학적 분석 - 용인·안성 지역을 대상으로 - , 대한지질공학회, 15(2), 105-121.

김상규, 류지협, 2000, 불포화 풍화토의 강도 특성, 대한토목학회논문집, 20(2), 109-118.

김재수, 김남춘, 이헌호, 2000, 천층 산사태 발생에서의 물리모델의 적용, 한국환경복원녹화기술학회지, 3(1), 62-69.

박성완, 김용락, 2003, 불포화 지반재료의 전단강도정수 추정을 위한 간편법, 한국지반공학회논문집, 19(3), 75-82.

성상규, 이인모, 2003, 화강풍화잔적토의 불포화전단강도에 미치는 순연직응력의 영향, 한국지반공학회논문집, 19(2), 27-38.

송정락, 2000, 액성한계에 대한 실험적 및 이론적 고찰, 한국지반공학회논문집, 16(3), 29-37.

송창섭, 최득호, 2007, 흡인력에 따른 불포화토의 전단강도 특성, 한국환경복원녹화기술학회지, 10(1), 82-90.

이성진, 이승래, 장범수, 2002, 화강풍화토의 불포화 전단강도 특성에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 22(1), 81-88.

이인모, 이형주, 김기섭, 김영욱, 2000, 체적이 변하는 흙의 흙-수분 특성곡선식 개발비교, 한국지반공학회논문집, 16(6), 15-21.

정두영, 이광준, 1994, 피압지하수에 의한 자연사면 연약층내의 간극수압 반응에 관한 모형 실험 연구, 대한토목학회논문집, 14(3), 583-594.
조계춘, 이인모, 2002, 탄성파를 이용한 흙의 특성연구, 한국지반공학회논문집, 18(6), 83-101.
조기성, 오병현, 1994, 자연사면의 파괴형상별 안정성에 관한 신뢰도 해석, 전북대학교 공학연구원 (구 전북대학교 공업기술연구소), 공학연구, 25, 21-28.
조성은, 이승래, 2001, 불포화 토사사면의 얕은파괴 해석에 대한 비교 연구, 한국지반공학회논문집, 17(4), 135-143.
조용성, 박인준, 구호본, 김유성, 2006, 정,동적 하중에 의한 비압밀비배수 보강화강풍화토의 전단강도 특성, 한국지반공학회논문집, 22(7), 13-21.
조희두, 1984, 화강암질풍화토의 역학적 성질에 관한 연구 - 전단강도의 영향요소와 견밀도에 대하여 -, 한국임학회지, 66, 16-36.
Deere, D.U. and F.D., Patton, 1971, Slope stability in residual soils, In Proc., Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan, Puerto Rico, American Society of Civil Engineers, New York, 1, 87-170.
Ellen, S.D. and R.W., Fleming, 1987, Mobilization of Debris Flows from Soil Slips, San Francisco Bay Region, California, In Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition, and Mitigation (J.E. Costa and G.F. Wieczorek, eds.), Reviews in Engineering Geology, Vol. 7, Geological Society of America, Boulder, Clol., 31-40.
Johnson, A.M., 1984, Debris flow, In slope instability (D. Brunsden and D.B. Prior, eds.), John Wiley and Sons, New York, 257-361.
Rodin, J.D., 1974, Analysis of the mobilization of debris flows, Ph.D. thesis. Stanford University, Stanford, Calif., 226p.

2009년 12월 2일 원고접수, 2009년 12월 23일 게재승인

이경미
한국원자력연구원
305-353, 대전시 유성구 대덕대로 1045
Tel: 042-868-8189
Fax: 042-868-8256
E-mail: kmlee@kaeri.re.kr

김병찬
충북대학교 지구환경과학과
361-763, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)
Tel: 043-261-2765
Fax: 043-273-9645
E-mail: soccer9mania@hanmail.net

서용석
충북대학교 지구환경과학과
361-763, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)
Tel: 043-261-2765
Fax: 043-273-9645
E-mail: ysseo@cbu.ac.kr