

토층사면의 지질조건별 토질특성 및 상관관계 분석

김경수^{1)*} · 송영석¹⁾ · 이춘오¹⁾ · 조용찬¹⁾ · 채병곤¹⁾

1. 서 론

이 연구는 산사태가 발생한 자연사면의 토층을 대상으로 여러 토질시험을 실시하여 산사태에 영향을 미치는 토질특성을 고찰하고, 산사태와의 관련성 및 각 물성간의 상관관계를 분석하였다. 연구지역은 지질조건이 서로 다른 3개지역으로서 편마암류인 장흥지역, 화강암류인 상주지역 및 제3기퇴적암류인 포항지역이다. 이들 지역에서는 1998년 여름 2~3일간에 걸쳐 적게는 150mm부터 많게는 588mm에 달하는 집중호우가 있었으며, 이로 인해 장흥지역에서는 511개, 상주지역과 포항지역에서 각각 788개 및 283개의 산사태가 발생된 것으로 조사되었다. 지질조건에 따른 토질특성 및 산사태간의 관련성 분석을 위해 산사태발생지역과 미발생지역으로 구분하여 시험용 토층시료를 채취하여 실내에서 토질시험을 실시하고, 그 결과로부터 산사태와 관련이 있는 여러 토질특성을 평가하였다. 그리고 산사태가 발생한 지역과 발생하지 않은 지역으로 구분하여 토층의 물성과 공학특성 및 상관관계를 분석하였다.

2. 물 성

토층시료의 물성시험결과는 Table 1과 같다. 전반적으로 산사태발생지역의 토층이 미발생지역에 비해 자갈크기와 세립토의 함유비율은 더 높고 모래크기의 입자들은 더 낮은 함유비율을 가지는 것으로 분석되었다. 이러한 현상은 화강암류지역이 다른 두 지역에 비해 더 두드러진 양상을 보였는데, 그 이유는 완전히 풍화되지 않은 암석조각이나 자갈크기의 조립토가 상대적으로 더 많이 함유되어 있는 지질특성에 기인되는 현상으로 판단된다.

Table 1. Ranges and mean values for specific gravity, moisture content, liquid limit and plastic limit of soils according to geological conditions.

Geology	Material	Specific gravity		Moisture content (%)		Liquid limit (%)		Plastic limit (%)	
		Range	Aver.	Range	Aver.	Range	Aver.	Range	Aver.
Gneiss	Landslide	2.61~2.76	2.69	8.72~33.47	17.38	20.15~37.55	29.66	14.74~26.32	19.84
	Non slide	2.61~2.74	2.68	10.36~27.78	19.17	23.77~42.65	31.82	16.53~28.93	20.29
Granite	Landslide	2.52~2.72	2.62	9.49~31.84	16.23	23.97~37.15	30.10	13.77~27.00	18.97
	Non slide	2.55~2.70	2.61	7.18~29.22	16.52	22.90~37.30	30.75	15.13~25.42	17.79
Tertiary sediments	Landslide	2.50~2.65	2.59	21.83~48.41	32.07	22.07~36.32	30.81	11.25~20.37	16.67
	Non slide	2.49~2.65	2.58	11.30~36.78	25.41	22.00~43.68	31.69	12.00~22.45	17.01

3. 투수특성

Table 2는 투수시험결과를 산사태발생지역과 미발생지역으로 구분하여 나타낸 표이다.

주요어 : 자연사면, 지질조건, 토질특성, 투수계수, 상관관계

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (kks@kigam.re.kr)

Darcy(1856)의 분류기준에 따르면 조립 내지 중립질 모래~점토질 실트에 해당되어 투수성이 보통~빠른 편인 지반으로 평가된다. 모든 지질에서 산사태발생지역이 미발생지역에 비해 더 큰 투수성 토층지반을 이루고 있다. 지질별로는 화강암류지역이 가장 큰 투수성지반이고 다음으로 편마암류지역과 제3기퇴적암류지역의 순으로 투수성이 작은 것으로 분석되었는데, 이는 주로 토층물질의 입도특성에 좌우되는 것으로서 간극이나 밀도 등과도 상관성이 있으며 지질조건과도 관계된다. 즉, 비교적 세립토로 구성된 편마암류지역에 비해 주로 자갈이나 모래질의 화강풍화토로 구성된 화강암류지역은 입도가 더 조립이어서 물의 통로가 되는 간극 또한 더 큰 반면, 주로 세일이나 이암으로 구성된 제3기퇴적암류지역은 입도가 세립이거나 미립이기 때문에 다른 두 지역에 비해 간극의 크기가 훨씬 작을 뿐만 아니라 서로 균질한 입자들이 퇴적된 지질환경과도 관련성이 있다. 또한, 3개지역 모두에서 산사태발생지역이 미발생지역에 비해 투수계수가 더 큰 것으로 나타나 동일한 지질조건에서는 투수계수가 클수록 산사태에 더 취약할 수 있다.

Table 2. Ranges and mean values for permeability of soils according to geological conditions.

Geology	Material	Range of permeability (cm/sec)	Mean values of permeability (cm/sec)
Gneiss	Landslide	$1.33 \times 10^{-3} \sim 2.17 \times 10^{-2}$	5.43×10^{-3}
	Non slide	$7.95 \times 10^{-5} \sim 1.69 \times 10^{-2}$	4.33×10^{-3}
Granite	Landslide	$1.66 \times 10^{-4} \sim 5.16 \times 10^{-2}$	6.00×10^{-3}
	Non slide	$1.50 \times 10^{-4} \sim 6.92 \times 10^{-2}$	5.14×10^{-3}
Tertiary sediments	Landslide	$1.77 \times 10^{-4} \sim 1.82 \times 10^{-2}$	4.78×10^{-3}
	Non slide	$8.60 \times 10^{-5} \sim 2.01 \times 10^{-2}$	3.90×10^{-3}

4. 물성간의 상관관계

투수계수와 간극비 및 간극율은 상관성이 뚜렷하게 관찰되지는 않으나 대체로 비례적인 경향성을 보였다. 화강암류지역은 간극비가 가장 좁은 영역에 산포하고 투수계수가 선형적으로 비례하여 증가되는 경향성을 보인 반면, 편마암류지역과 제3기퇴적암류지역은 간극비가 넓은 영역에 분포하고 투수계수 또한 산포되는 양상을 보였는데, 이러한 현상은 제3기퇴적암류지역에서 특히 두드러진 것으로 관찰되었다. 3개지역 모두에서 산사태발생지역이 미발생지역보다 투수계수가 크게 나타났다.

전반적으로 유효경과 투수계수는 서로 비례적 관계에 있는데, 이러한 양상은 지역별로 다소의 차이점이 있을 뿐 거의 유사한 경향성을 보였으며, 3개지역 모두에서 산사태발생지역이 미발생지역보다 유효경이 더 크게 나타났다. 균등계수 및 곡률계수도 투수계수와 서로 상관성이 있으며, 이러한 양상은 지역별로 거의 유사한 경향성을 보였다. 균등계수는 대략 5~40의 범위로서 입도조건이 양호하며, 지역별로 뚜렷하지는 않으나 투수계수와 반비례적이다. 그리고 산사태발생지역과 미발생지역간의 차별성은 특별히 관찰되지 않는다. 한편, 곡률계수는 1~2사이에 분포함으로써 양호한 입도조건을 지니는 것으로 나타났다. 그리고 지역별로 뚜렷한 차이점이 관찰되지는 않았으나 곡률계수는 균등계수와 마찬가지로 투수계수와 반비례적 관계에 있으며, 역시 산사태발생지역과 미발생지역간 곡률계수의 차별성은 특별히 관찰되지 않는다(Fig. 1). 이러한 결과들을 종합해 볼 때, 유효경, 균등계수 및 곡률계수는 모두 토층에서의 투수성을 예측하는 판별인자로 이용될 수 있을 것으로 평가되었다.

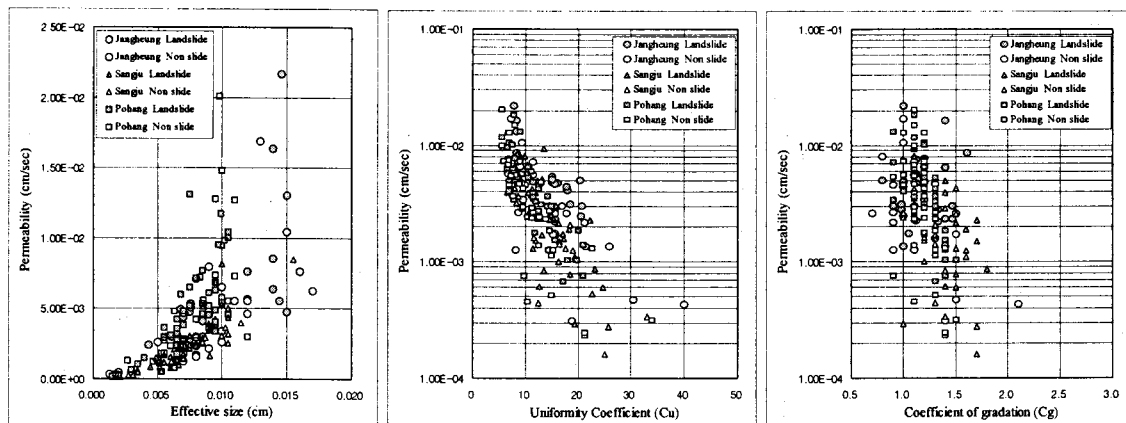


Fig. 1. Relationship between effective size, uniformity coefficient, gradation coefficient and permeability coefficient of soils collected from the study areas.

5. 결론

1) 산사태발생지역의 토층은 미발생지역에 비해 대체로 큰 간극율과 작은 밀도특성을 갖는데, 이는 산사태발생지역이 미발생지역보다 더 불량한 입도분포와 느슨한 지반상태에 있음을 보여주는 결과로서 동일한 지질조건일 경우 간극율이 크고 밀도가 작은 토층이 산사태에 더 취약할 수 있음을 의미한다.

2) 투수계수는 화강암류 토층이 가장 크고, 편마암류와 제3기퇴적암류 순으로 작게 나타났다. 모든 지질에서 산사태발생지역이 미발생지역보다 큰 투수성지반인 것으로 나타나 동일한 지질조건인 경우 투수성이 양호한 토층이 산사태에 더 취약한 것으로 분석되었다.

3) 간극비 및 간극율은 건조밀도와 반비례적이다. 그리고 습윤밀도 및 포화밀도 또한 건조밀도와 거의 동일하게 반비례적 관계에 있으며, 이러한 상관관계는 3개지역 모두에서 유사한 경향성을 보였다. 한편, 간극비 및 간극율은 투수계수와 상호 비례적 관계를 갖는다.

4) 입도조건과 관계되는 유효경, 균등계수 및 곡률계수는 모두 투수성과 관계되는 토질인자로서 전반적으로 유효경이 증가하면 투수계수 또한 증가하는 경향성을 보인 반면, 균등계수와 곡률계수는 투수계수와 반비례적 관계를 갖는다. 그리고 이러한 양상은 지역별로 거의 유사한 경향성을 보였다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 기본연구사업인 “지질재해 피해평가기술 및 대응기술 실용화 사업”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Amer, A. M., and Awad, A. A., 1974, "Permeability of Cohesionless Soils", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 100, GT12, 1309-1306.
- Braja M. D., 1998, Principles of Geotechnical Engineering, Fourth Edition, Thomson Learning, 764p.