

세립분 함유율이 조립재료의 전단강도에 미치는 영향에 관한 기초적 검토 A Review on the Effects of Fine Particle Content on Shear Strength of Coarse Geomaterials

신동훈¹⁾, Dong-Hoon Shin, 이경필²⁾, Kyoung-Pil Lee, 구방서²⁾, Bang-Seo Gu

¹⁾ 한국수자원공사 수자원연구소 댐안전연구실 책임연구원, Chief Researcher, Dam Safety Research Center of WRRI, KOWACO

²⁾ 한국수자원공사 수자원연구소 댐안전연구실 연구원, Researcher, Dam Safety Research Center of WRRI, KOWACO

SYNOPSIS : While coarse geomaterials with abundant fine particles are common, comparatively little information is available to know their engineering behaviour. In this study, the effects of fine particle content of coarse geomaterials on engineering properties, such as shear strength, deformability and permeability were investigated. It was known through large triaxial compression tests that when they are compared with good rock materials, the rock materials with abundant fine particles have different compaction characteristics, low shear strength, low stiffness, and low permeability.

Key words : Fine particle content, shear strength, geomaterials

1. 서론

지반재료는 일반적으로 입도, 컨시스턴시, 입도 및 컨시스턴시에 의한 분류방법에 따라서 조립토와 세립토 등으로 구분하고 있으나 공학적 성질에 대해서도 편의상 이러한 분류방법에 따라 많은 연구가 이루어져 왔고 실무에 적용되어 왔다. 그러나 실제로는 순수한 조립토 또는 세립토 보다는 양자의 성질을 모두 가진 경우가 대부분임에도 불구하고 이러한 재료에 대해서는 전단강도, 변형성 및 투수성 등의 공학적 성질에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다. 특히, 조립재료 중에서 세립분이 많이 함유되어 있는 재료의 경우에는 기술자가 느끼는 것보다 전단강도가 작고, 투수성은 낮은 특성을 나타내어 공학적으로 처리하는데 어려움을 겪는 경우가 빈번하지만 그 역학적 성질에 대한 보고가 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 세립분이 많이 함유된 조립재료(사력재료 또는 사석재료)의 전단강도 특성을 파악하기 위한 기초 연구의 일환으로서 세립분의 함유율이 조립재료의 전단강도에 미치는 영향을 압밀배수 조건하에 수행된 대형삼축시험 결과를 토대로 고찰해보고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 세립분이 많이 함유된 사력재료 또는 사석재료를 "암토사재료(rock materials with abundant fine particles)"로 구분하고 다음과 같이 정의하고자 한다.

암토사재료 : 큰 입경의 조립성분(사력 또는 사석)에 세립분이 많이 포함되어 있는 지반재료로서, 4.75mm 이하의 입자가 약 40%이상이고 0.075mm이하의 입자가 10%이상인 재료

암토사재료는 일반적인 암석재료와 비교할 때 다음과 같은 특성을 갖는다.

- ① 다짐특성이 다르다. (다짐특성)

- ② 전단강도가 작다. (전단강도)
- ③ 강성이 작다. (변형성)
- ④ 배수성이 나쁘다. (투수성)

2. 암토사재료의 공학적 성질

본 연구에서는 암토사재료의 공학적 성질 중에서 전단강도, 변형성 및 투수성 등을 중심으로 살펴보았다. 그림-1과 표-1은 각각 검토에 사용된 시료의 입도분포곡선 및 기본물성을 나타낸 것이다.

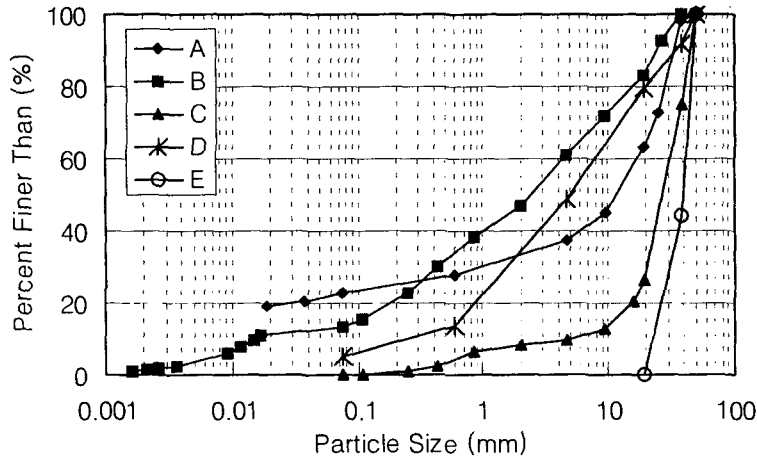


그림-1 시험재료의 입도분포곡선

표-1 시험재료의 기본물성

분류항목		시료 A	시료 B	시료 C	시료 D	시료 E
비중(표건)		2.59	2.72	2.67	2.685	2.51
균등계수, C_u		-	284	5.46	33.3	1.62
곡률계수, C_g		-	2.89	2.33	1.22	0.90
최대입경 (mm)		50.8	50.8	50.8	50.8	50.8
No.4체 통과율(%)		37.5	61.0	9.5	48.5	-
NO.200체 통과율(%)		22.5	13.1	0.1	5	-
강도 정수 ^{주)}	$\frac{c}{(kg/cm^2)}$	0.6	0.31	0.3	0.47	0.94
	$\phi(^\circ)$	20.0	21.3	39.4	44.5	33.4
구속압(kg/cm^2)		1, 3, 5	1, 3, 5	1, 2, 4	2, 4, 6	1, 2, 3
간 극 비	1.0 kg/cm^2	0.276	0.62	0.326		0.772
	3.0 kg/cm^2	0.244	0.61	0.361		0.745
	5.0 kg/cm^2	0.240	0.60	0.323		0.694
건조밀도(t/m^3)		2.000	1.74	1.986		1.358
		1.988	1.72	1.905		1.364
		1.989	1.72	1.974		1.399

주) 전단강도정수는 대형삼축시험(CD)에 의함

2.1 투수성

中村 등(1993)은 4.75mm이하의 세립분 함유율 및 간극비와 투수계수의 관계를 중회귀분석하여 식(1)과 같이 제안한 바 있는데, 이 중 간극비의 영향은 식(1)에서 알 수 있는 것처럼 상대적으로 투수계수에 미치는 영향이 작은 것으로 보고한 바 있다.

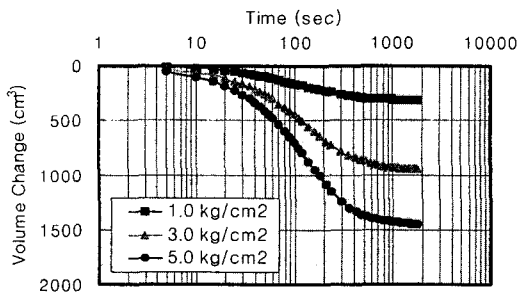
$$-\log k = 8.59 - 6.69 \log f_c + 2.24e \quad (\text{상관계수 } r=0.95) \quad (1)$$

여기서, k : 투수계수(cm/sec)

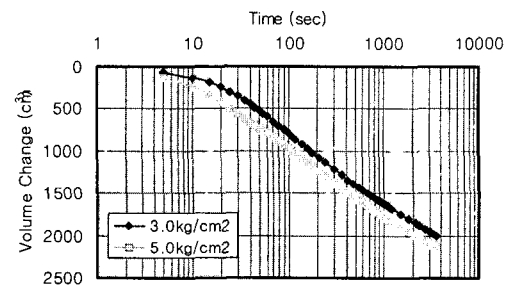
f_c : 4.75mm이하의 세립분 함유율(%)

e : 간극비

본 연구에 사용된 시료의 경우 中村의 중회귀분석식과 같은 관계를 얻을 수는 없었으나 그림-2에 나타난 압밀배수 삼축시험을 위한 포화와 압밀과정을 통하여 A와 B시료와 같은 재료의 경우 투수계수가 매우 낮음을 알 수 있다.



(a) 시료 D



(b) 시료 A

그림-2 압밀곡선 비교

2.2 전단강도

일반적으로 조립재료의 전단강도는 재료자체의 특성과 관련된 인자(암석의 강도, 입도분포 및 밀도)와 시험조건(변위속도, 배수조건, 구속압력 등)에 의하여 영향을 받는다. 그림-3은 4.75mm이하의 함유율이 전단강도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. A-C 및 E시료는 구속압 1.0kg/cm², D시료는 2.0kg/cm²일 때의 응력-변형을 관계를 나타낸 것으로서 그림에서 보는 바와 같이 4.75mm이하의 세립분 함유율이 높은 A,B 시료는 peak강도가 불분명하고 전단강도가 현저하게 낮지만 나머지 시료는 모두 peak강도가 분명하고 전단강도도 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

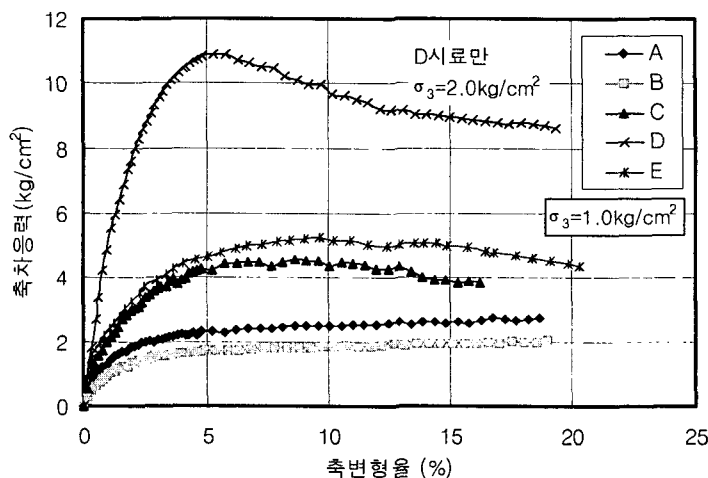


그림-3 응력-변형을 관계의 비교

한편, 그림-4는 각 재료의 구속압력과 내부마찰각의 관계를 나타낸 것으로서 그림에서 보는 바와 같이 내부마찰각의 절대적 크기에 있어서는 시료 A 및 B와 나머지 시료의 값이 상당한 차이가 있으나 구속압 증가에 따른 감소율은 유사한 것으로 나타났는데, 이는 암토사재료일수록 구속압 증가에 따른 내부마찰각의 감소율이 양질의 암석재료에 비하여 크다고 한 中村 등(1993)의 연구결과와 다소 다른 것이다.

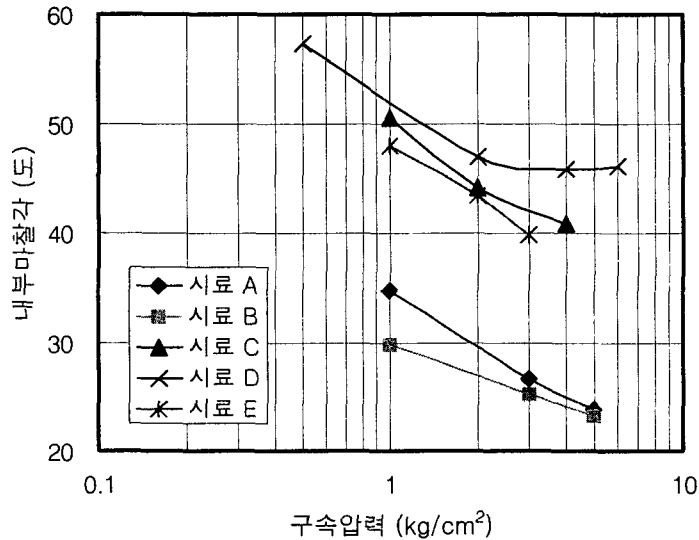


그림-4 구속압 증가에 따른 내부마찰각의 변화 비교

2.3 변형성

암석 또는 사력재료와 같은 조립재료는 일반적으로 점토나 모래와 같은 토질재료에 비하여 상대적으로 강성이 크기 때문에 건설 중 또는 공용 후의 구조물의 변형량이 적으며, 그로 인하여 설계시에는 대부분 강도를 중심으로 한 안정성 평가가 이루어지고 있다. 그러나 이질재료로 축조 또는 건설되는 경우에는 각 재료의 강성차에 의한 상대적인 변위 즉, 부등침하 등의 문제가 발생할 수 있으며, 이 경우 각 재료의 변형성을 정확히 평가하는 것이 필수적이다.

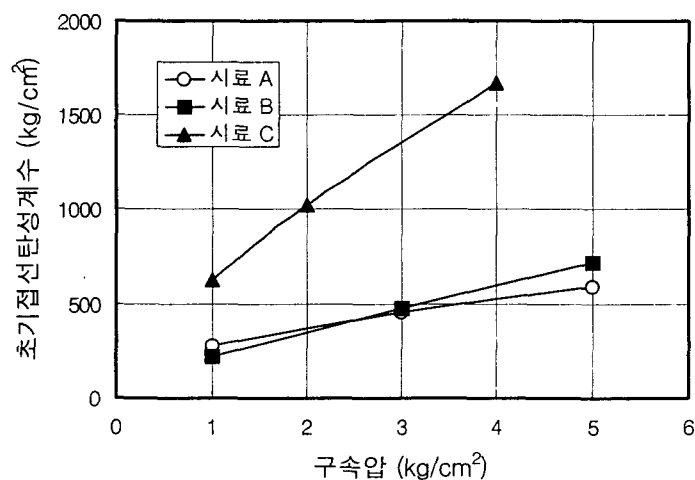


그림-5 변형성의 비교

이와 관련하여 변형성을 나타내는 초기접선탄성계수를 그림-5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 시료 A 및 B의 초기접선탄성계수는 시료 C의 초기접선탄성계수 보다 현저하게 작으며, 구속압이 증가하여도 그 증가율은 매우 적은 것으로 나타나 변형성에 대한 저항력이 낮은 것으로 나타났다.

이상과 같이 세립분이 많은 암토사재료와 양질의 암석재료의 투수성, 전단강도, 변형성 등을 비교 분석한 결과 세립분이 많은 암토사재료는 점성토나 느슨한 사질토와 유사한 성질을 갖는 것으로 보인다. 따라서 암석재료라고 하여도 세립분이 많을 경우에는 전단강도가 작고, 변형성에 약한 재료로 볼 수 있을 것으로 사료되며, 이러한 점에 착안하여 설계 및 시공에 사용토록 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 세립분이 많이 함유된 조립재료(사력재료 또는 사석재료)의 전단강도 특성을 파악하기 위한 기초 연구의 일환으로서 세립분의 함유율이 조립재료의 전단강도에 미치는 영향을 압밀배수 조건하에 수행된 대형삼축시험 결과를 토대로 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 세립분이 많이 함유된 사력재료 또는 사석재료 즉, "암토사재료(rock materials with abundant fine particles)"는 일반적으로 양질의 암석 또는 사력재료에 비하여 ① 다짐특성이 암석재료와 다르며(다짐특성), ② 전단강도가 작고(낮은 전단강도), ③ 강성이 작으며(변형성 열약), ④ 배수성이 나쁜 (투수성 불량) 등의 특성을 갖는다.
- (2) 4.75mm이하의 세립분 함유율은 간극비 보다 투수계수에 미치는 영향이 상대적으로 크며, 세립분의 함유율이 클수록 투수계수가 현저하게 작아져 암석재료인 경우에도 투수성이 불량해질 수 있으며, 간극비 다.
- (3) 세립분이 많은 암토사재료의 경우 응력-변형을 관계에 있어서 peak값이 불분명하고, 전단강도가 암석재료에 비하여 현저하게 작다.
- (4) 세립분의 함유율이 많은 시료의 초기접선탄성계수는 양질의 암석재료의 초기접선탄성계수 보다 현저하게 작으며, 구속압이 증가하여도 그 증가율은 매우 적은 것으로 나타나 변형성에 대한 저항력이 낮은 것으로 나타났다

참고문헌

1. Charles, J.A. and Watts, K.S.((1980), "The Influence of Confining Pressures on the Shear Strength of Rockfill", *Geotechnique*, Vol.30-4, pp.353-367.
2. Marachi, N.D., Chan, C.K., Seed, H.B. and Duncan, J.M.(1969), "Strength and Deformation Characteristics of Rockfill Materials", Edpt. of Civil วิศวกรรม, University of California, Berkely, Report No.TE-69-5.
3. Taylor, T. and Fragaszy, R J.(1995), "Strength of Gap-Graded Gravelly Soils", Static and Dynamic Properties of Gravelly Soils, *Geotechnical Special Publication No.56*, ASCE, edited by Mark D. Evans and Richard J. Fragaszy, pp.20~34.

4. 土質工学会(1990), 粗粒材料の現場締固め.
5. 豊田光雄, 藤沢梳彦(1992), 粗粒材料の内部摩擦角における力学的要因の実験的検討, **第27回土質工学研究発表会**, pp.73~74.
6. 中村 昭, 豊田光雄(1993), 岩石質材料(泥流堆積物)の工学的特性, **ダム技術** No.86, p.35~45.