

대형삼축압축시험 및 대형직접전단시험에 의한 사석재료의 전단강도 평가 Comparison of Shear Strengths of Crushed Rock Determined by Large Triaxial Test and Direct Shear Test

신 동훈¹⁾, Dong-Hoon Shin, 안 태봉²⁾, Tae-Bong Ahn, 이 경필³⁾, Kyoung-Pil Lee, 이 한출⁴⁾, Han-Chul Lee

- ¹⁾ 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원, Senior Researcher, Water Resources Research Institute, KOWACO
- ²⁾ 우송대학교 건축토목환경공학부 교수, Professor, Dept. of Environmental & Civil Engineering, Woosong University.
- ³⁾ 한국수자원공사 수자원연구소 연구원, Researcher, Water Resources Research Institute, KOWACO

SYNOPSIS : In this study the shear strengths of a poorly graded rock material ($d_{max} \leq 50.8\text{mm}$, $C_u = 1.86$) were determined by large direct shear test and large triaxial test. The obtained stress-strain curves by the above large shear tests for the rock materials are similar to the loose sand's or normally consolidated clay's curve, in which the peak strength does not appear obviously. And for the uniformly graded rock material the shear strength by large direct shear test may be overestimated around 1.54~1.70 times that of large triaxial test.

Key words : Large Direct Test, Large Triaxial Test, Shear Stress, Rock

1. 서론

일반적으로 입경이 4.75mm 이상이 대부분인 조립재료의 전단강도를 산정하기 위해서는 대형전단시험기를 사용하는 것이 바람직하다. 이는 시험시료의 최대입경은 전단상자(직접전단시험기의 경우)의 크기나 공시체(삼축압축시험기의 경우)의 크기에 의해 제한이 되기 때문이다. 한편, 표-1은 삼축압축시험과 직접전단시험의 특징을 비교한 것으로서 표에 나타난 바와 같이 시험재료의 역학적 거동특성을 정밀하게 파악하는데는 삼축압축시험이 적정하나 일반적인 토목공사에서는 경제성과 신속성이 우수한 직접전단시험이 선호되고 있어 아직 그 효용성이 저하되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 성토재료로 사용되는 최대입경 50.8mm이하(대형직접전단시험은 25mm이하)이고 균등입도의 동종의 사석재료에 대하여 대형삼축압축시험(공시체 크기 : 직경300mm, 높이 620mm)과 대형직접전단시험(공시체 크기 : 가로×세로×높이=300×300×140mm)을 실시하여 전단강도특성을 비교 분석하였다. 시험조건으로는 밀도를 저밀도, 중간밀도 및 고밀도 등의 3종류로 하고, 구속압을 1.0, 2.0 및 3.0kg/cm² 등으로 하여 각 시험방법으로 구한 전단강도 특성을 비교 평가하였다.

표-1 삼축압축시험과 직접전단시험의 특징 비교

| | 직접전단시험 | 삼축압축시험 |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 변형방식 | 강제적(평면변형) | 선택적(파괴형상이 일정하지 않음) |
| 응력상태 | 불명확 | 명확(공시체를 하나의 엘리먼트로 생각) |
| 전단면상의 응력 | 명확 | 불명확(전단면이 확실하지 않음) |
| 압밀단계의 압축방향 또는 압밀배수의 방향 | 1차원적 | 3차원적(압밀후의 상태가 일정하지 않고 복잡) |
| 강도정수 산정 방법 | 직접적 | 간접적 |
| 경제성 | 저렴 | 고가 |
| 소요시간 | 단시간 소요 | 장시간 소요 |
| 기 타 | 전단중의 단면적 감소, 진행성 파괴의 가능성 | 체적변화의 측정 곤란 |
| | 조립재료의 경우 동일조건의 시험 결과의 분산성이 큼. | 조립재료의 경우 동일조건의 시험 결과의 분산성이 작음. |
| | 적용가능한 응력한계가 작음 | 적용 가능한 응력한계가 거의 없음 |
| | 수치해석에 필요한 응력-변위 관계의 설명이 불가 | 수치해석에 필요한 응력-변위 관계의 파악이 용이 |

2. 시험방법

2.1 시험재료의 기본물성

시험재료의 기본물성은 표-2와 같고, 입도분포는 그림-1과 같고, 다짐시험에 의한 최대밀도와 최소밀도는 각각 1.711t/m³과 1.348t/m³이었다.

표-2 시험재료의 물리적 성질

| 구 분 | 시험값 | 비고 |
|---------------------------------------|------|----|
| 암종 | 사암 | |
| 비 중 | 2.65 | |
| 흡수율(%) | 0.7 | |
| 최대입경 (mm) | 50.8 | |
| 소성지수(%) | - | |
| NO.200체 통과율(%) | 0.0 | |
| 균등계수 D_{60}/D_{10} | 1.86 | |
| 곡률계수 $D_{30}^2/(D_{10} \cdot D_{60})$ | 0.89 | |
| 통일분류 | GP | |

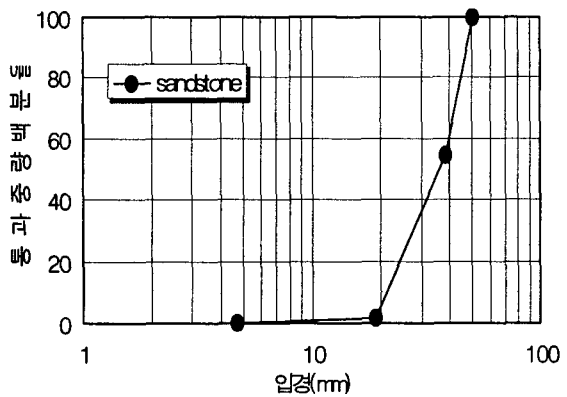


그림-1 입도분포곡선

2.2 대형직접전단시험방법

본 연구에서 사용한 대형직접전단시험기는 영국의 Wykeham Farrance International사에서 개발한 대형직접전단시험기로서 전단상자의 크기는 300mm×300mm×140mm이고, 100kN의 전단하중을 가할 수 있다. 시료는 사전에 수행된 다짐시험결과(그림-2)에 따라서 저밀도($D_r =$

50%), 중간밀도($D_r=77\%$), 고밀도($D_r=98\%$)로 나누어 공시체를 작성한 후 1.0, 2.0 및 3.0kg/cm² 수직하중을 가하여 압밀이 완료된 것을 확인한 후에 약 1mm/mm의 속도로 전단하였다. 전단중에는 수평변위(전단변위)와 수직변위를 측정하였다. 전단강도 산정시에는 전단변위에 따른 수직응력의 감소효과를 고려하여 산정된 전단응력값을 사용하였다.

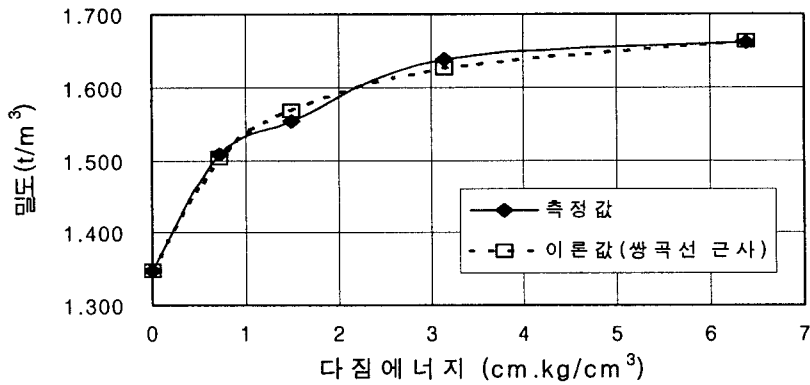


그림-2 다짐에너지~밀도 관계의 쌍곡선 근사

2.3 대형삼축압축시험방법

본 연구에서 사용한 한국수자원공사 수자원연구소가 보유하고 있는 대형진동삼축시험기로서 주요제원 및 특징 등에 대해서는 기존의 문헌을 참고하여 주기 바란다. 시험조건은 구속압을 1.0, 2.0 및 3.0kg/cm²으로 하고, 대형직접전단시험과 마찬가지로 저밀도($D_r=50\%$), 중간밀도($D_r=77\%$), 고밀도($D_r=98\%$)의 3종류로서 총공시체 수 9개에 대하여 시험하였다. 또한 포화도를 높이기 위하여 탄산가스(CO₂)를 약 3시간 정도 저압으로 주입하고, 약 1.6m의 자연수두차를 이용하여 공시체 하부에서 상부측으로 물을 24시간 정도 흘러보내고 B-value가 0.97이상인 것을 확인하였으며, 소정의 압밀압력 하에서 압밀을 실시한 후 약 3mm/min의 속도로 축압축 전단하였다.

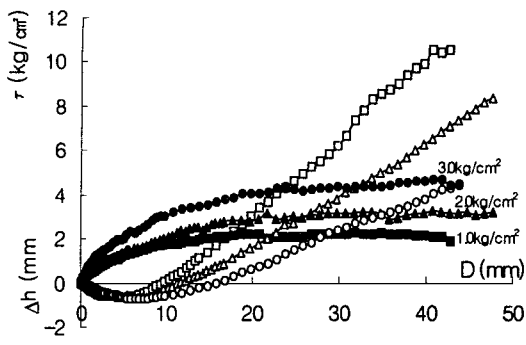
3. 시험결과 및 고찰

3.1 대형직접전단시험 결과

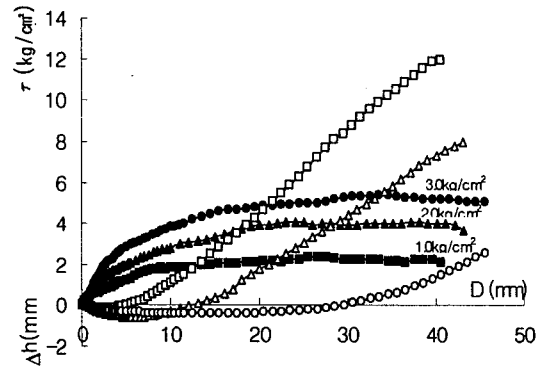
그림-3은 전단변위-전단응력-수직변위의 관계를 나타낸 것이다. 전단변위와 전단응력 관계는 그림에서 보는 바와 같이 대부분 느슨한 모래 또는 정규압밀 점토의 거동과 유사하게 나타났으며, 수직압력이 작을수록 전단시 체적변화량이 크게 나타났다. 전단강도정수는 그림-4 및 표-3과 같다.

표-3 대형직접전단시험에 의한 전단강도 정수 산정결과

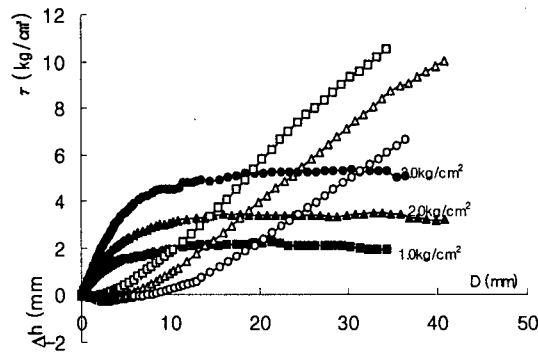
| 구 분 | 점착력 (kg/cm ²) | 내부마찰각 (도) |
|------|---------------------------|-----------|
| 저밀도 | 0.98 | 46.4 |
| 중간밀도 | 1.06 | 52.7 |
| 고밀도 | 0.67 | 53.9 |



(a) 저밀도

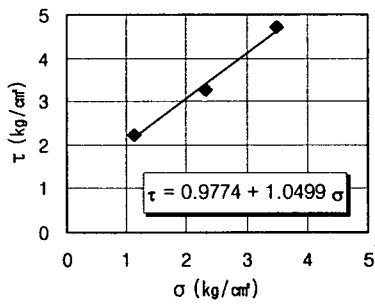


중간밀도

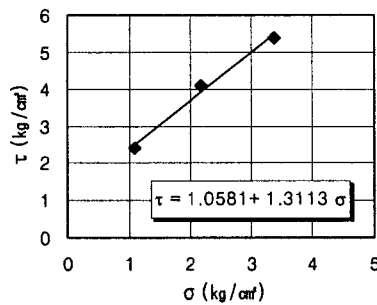


(c) 고밀도

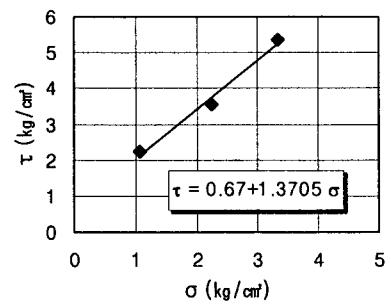
그림-3 대형직접전단시험 결과



(a) 저밀도



(b) 중간밀도



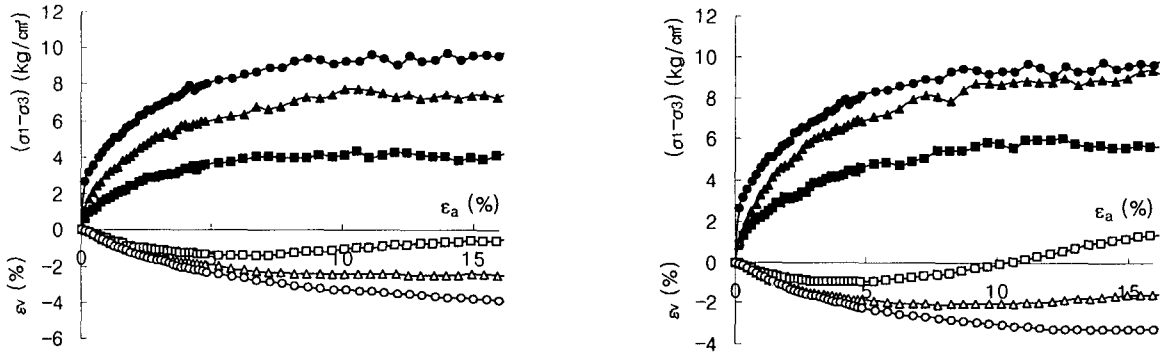
(c) 고밀도

그림-4 전단강도 정수의 산정(대형직접전단시험)

3.2 대형삼축시험 결과

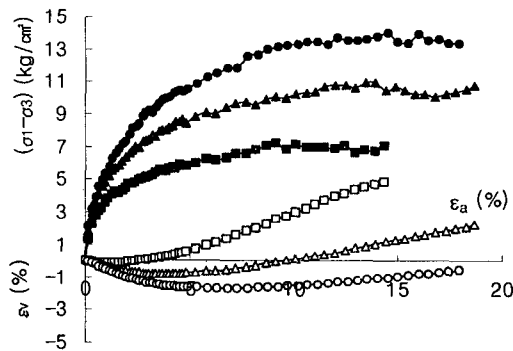
그림-5는 압밀배수 조건하의 대형삼축시험으로 구한 응력-변형을 관계로서 대형직접전단시험 결과와 유사하게 peak값이 분명하게 나타나지 않으며, 전단시의 체적변화거동도 축압축에 의하여 체적이 감소

하다가 팽창하는 경향을 나타내어 전반적으로 대형직접전단시험과 유사한 거동을 하는 것으로 나타났다. 이러한 체적변화거동은 밀도가 높을수록 크게 나타났다. 단, 저밀도인 경우에는 대형직접전단시험과 달리 축변형을 증가에 따라서 체적이 계속하여 감소하는 경향을 나타내었다. 전단강도정수는 표-4와 같다.



(a) 저밀도

(b) 중간밀도



(c) 고밀도

그림-5 대형삼축시험 결과

표-4 대형삼축시험에 의한 전단강도 정수 산정결과

| 구 분 | 점착력(kg/cm ²) | 내부마찰각(도) | 비 고 |
|------|--------------------------|----------|-----|
| 저밀도 | 0.47 | 35.3 | |
| 중간밀도 | 0.80 | 36.4 | |
| 고밀도 | 0.90 | 38.5 | |

3.3 전단강도의 비교

대형직접전단시험과 대형삼축시험으로 구한 내부마찰각과 점착력에 대하여 동일한 응력수준(5kg/cm²)에서의 전단강도를 비교검토한 결과를 표-5에 요약하였으며, 본 시료의 경우 대형직접전단시험에 의한 전단강도는 대형삼축시험에 의한 값 보다 1.54~1.70배 정도 크게 평가하는 것으로 나타났다..

표-5 전단강도의 비교

| 구 분 | 전단강도* | | τ_{DIRECT}/τ_{TRI} | 비고 |
|------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|----|
| | 대형직접전단시험 τ_{DIRECT} | 대형삼축압축시험 τ_{TRI} | | |
| 저밀도 | 6.23 | 4.01 | 1.55 | |
| 중간밀도 | 7.62 | 4.49 | 1.70 | |
| 고밀도 | 7.52 | 4.88 | 1.54 | |

주) 구속응력 : 5.0kg/cm² 기준

4. 결론

최대입경이 50.8mm인 균등입도분포를 갖는 동일 사석재료(사암)에 대하여 저밀도, 중간밀도 및 고밀도의 밀도조건과 1.0, 2.0 및 3.0kg/cm²의 구속압과 압밀배수 대형직접전단시험과 대형삼축시험을 수행하여 전단강도 특성을 비교 검토한 결과 다음과 결론을 얻었다.

- (1) 각 시험방법으로 구한 응력-변형을 거동은 전반적으로 유사하게 나타났다. 즉, 전단변위(또는 축변위) 증가에 따라서 peak가 분명하게 나타나지 않는 느슨한 모래나 정규압밀 점토와 유사한 거동을 보였으나 전단변위가 클 때 체적이 팽창하는 경향이 공통적으로 나타났는데 이는 입도가 균등하고 입자가 각져(angular) 있기 때문으로 볼 수 있다.
- (2) 전단강도(구속압은 5kg/cm² 기준)는 대형직접전단시험에 의한 전단강도는 대형삼축시험에 의한 값 보다 1.54~1.70배 정도 크게 평가하는 것으로 나타났으며, 이는 어떤 시험방법을 선택하는가에 따라서 설계시 안전을 및 시공비에 미치는 영향이 매우 클 수 있음을 의미하는 것으로 지반조건 및 하중조건 등에 따라서 적절한 시험방법의 선택이 중요하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 이인모(2000), 토질역학의 원리, 도서출판 새론
2. 황정규(1991), 건설기술자를 위한 지반공학의 기초이론, 구미서관
3. 일본 土質工學會(1990), 土質試驗の方法と解説.