

입방체형 삼축시험에 의한 다짐화강토의 전단강도 특성

Strength Characteristics of Decomposed Granite Soil in Cubical Triaxial Test

정진섭* · 김찬기** · 박승해*** · 김기황***
Jeong, Jin Scob · Kim, Chan kee · Park, Seung Hae · Kim, Ki Hwang

Summary

The three-dimensional strength behavior of compacted decomposed granite soil was studied using cubical triaxial tests with independent control of the three principal stresses. All specimens were loaded under conditions of principal stress direction fixed and aligned with the directions of compacted plane. For comparable test conditions, the major principal strain and volume strain to failure were smallest when the major principal stress acted perpendicular to the compacted plane. The opposite extremes were obtained when the major principal stress acted parallel to the compacted plane. In cubical triaxial tests with same b values and with θ values in one of three sectors of the octahedral plane, independent of the range of θ , higher friction angles are obtained in tests with b greater than in triaxial compression tests in which $b=0.0$. Comparison between the results of the drained cubical triaxial tests on Iksan compacted decomposed granite soil and the cross section of the Mohr-Coulomb failure surface as well as the cross section of Lade's isotropic failure surface were made. Lade's isotropic failure criterion based on vertical specimens overestimates the strengths for tests performed with values of θ between 90° and 150° . the Mohr-Coulomb criterion generally underestimates the strengths of tests performed with values of θ between 0° and 180° except around the 120° .

* 원광대학교 공과대학
** 대전대학교 공학부
*** 원광대학교 대학원

키워드 : 다짐화강토, 전단강도, 응력-변형률,
Cubical triaxial tests, Failure surface,
Octahedral plane, Anisotropic compaction.

I. 서 론

화강토는 모암인 화강암과 편마암이 풍화된 흙으로서 우리 나라 전역에 걸쳐 넓게 분포되어 있으며 건설현장에서 쉽게 접하게 되는 흙이다.

풍화화강토의 주된 일차광물은 석영, 운모, 장석이며 풍화가 진전 될수록 구성광물과 안정성이 달라진다. 석영은 풍화가 되어 세립화가 이루어지면 비교적 안정한 구조가 되는데 비하여 운모와 장석은 세립화가 될 뿐아니라 이차광물인 점토광물로 변화하여 물리적, 화학적으로 불안정한 성질을 소유하게 된다. 그리고 이 흙은 건조시에는 강한 강성을 나타내고 있으나 공기에 노출되거나 물과 접하면 강도가 급격히 저하되는 특성을 갖고 있으며, 통일분류법으로는 GM, GC, SM, SC, SW 등에 속하지만 실제의 성질은 모래와 점토의 중간적 성격을 나타내어 기존의 흙의 분류법에 의한 공학적인 분류가 적합하지 않고, 특히 전식과 습식채분석을 실시할 경우에 입도분포가 달라지는 등 주변환경에 따라 변화하는 복잡한 성질을 소유하고 있다.

이러한 풍화 화강토는 세계 곳곳에 분포되어 있고 이에 대한 연구는 우리 나라, 일본 및 홍콩 등에서 주로 연구가 이루어지고 있으며, 우리 나라에서는 1960년대 이후로 이에 대한 연구가 임^{1,2)}과 박^{3,4)} 등에 의해서 진행되어 왔다. 그러나 건설재료로 사용되는 빈도나 중요성에 비하여 공학적인 특성을 체계적으로 정리하고자 하는 노력은 미약한 실정이었다. 특히 실무에서 풍화 화강토의 강도정수를 선정할 때 시공조건 등에 대한 특성을 고려하지 않은 채 사용되고 있는 실정이었다. 그러나 최근에 김⁵⁾, 이⁶⁾ 등에 의해 이에 적합한 공학적인 정의와 특성 연구가 보고된 바 있다. 그러나 이들의 연구에 사용된 시험은 원통형 공시체를 사용하는 관계로 요소내의

응력상태가 축대칭상태에 있게 되어 수평방향의 주응력은 항상 서로 같아야 한다.

따라서 이러한 상태 하에서는 중간주응력이 항상 최소주응력이나 혹은 신장시험시는 최대주응력과 같게되어 중간주응력의 영향을 고려할 수 없게 된다. 즉, 이러한 축대칭삼축시험으로 얻어진 화강토의 강도를 Mohr-Coulomb의 파괴규준으로 구하는 것은 중간주응력이 강도에 미치는 영향을 고려하지 않고 있다. 그러나 최근의 여러 연구에 의하면 중간주응력은 점성토나 사질토의 응력-변형을 및 강도거동에 많은 영향을 미치고 있음을 볼 수 있다. 따라서 올바른 화강토의 거동을 조사하기 위해서는 요소에 서로 다른 세 주응력을 재하 시킬 수 있는 다축 시험장치가 필요하게 된다. Lade⁷⁾는 다축 시험기 중의 하나인 입방체형 삼축시험장치(Cubical triaxial apparatus)를 제작하여 입방체형 공시체에 서로 다른 세 주응력을 각기 독립적으로 재하시킬 수 있게 하였으며, 이 시험장치에 의한 많은 연구가 Ochai & Lade⁸⁾, Kirkgard & Lade^{9,10)} 등에 의해 보고 되었으며, 국내에서도 홍^{11, 12)}, 박^{13,14)} 등에 의해 연구되어 지고 있다. 그리고 이 시험기를 개량시킨 입방체형 삼축시험기가 현재 국내에서 제작되어 모래 및 점토에 대한 연구에 이용되고있으나^{15,16)} 화강토에 적용하여 연구되어진 예는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 이와같은 관점에서 화강토 거동을 가능한 한 모든 응력상태를 설명할 수 있는 입방체삼축시험기를 이용하고 익산지역에서 채취한 화강토를 실내에서 재성형하여 얻은 이방성 시편을 사용하여 중간주응력을 달리한 시험을 수행하여 화강토의 전단강도 특성을 밝히고자 한다. 그리고 중간주응력의 변화에 따른 전단거동 특성을 검토하기 위해 중간주응력비($b = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_2 - \sigma_3)$)를 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0이 되도록 중간주응력을 제어하며 시험하였고, 다짐화강토의 이방성을

검토하기 위하여 이 시편을 x, y축으로 회전한 상태에서 전단함으로서 현장다짐과 같은 조건으로 연직방향 다짐에서 생긴 이방성에 대한 전단강도 특성을 검토하였다.

II. 입방체 삼축시험

1. 시험장치

Fig. 1은 입방체형 삼축시험장치의 단면을 보여주고 있다. 공시체의 크기는 76mm×76mm×76mm이며 상판(Cap)과 저판(Base) 및 고무막으로 둘러싸여 있다. 최소주응력(σ_3)은 수평방향으로 작용하며 삼축실 내의 축압으로 가한다. 연직하중은 변형제어방식으로 재하하며 최대주응력(σ_1)은 상판에 부착된 Load Cell에 의해 연직방향 축차응력($\sigma_1 - \sigma_3$)을 측정하여 구한다. 중간주응력(σ_2)은 특수하게 고안된 수평재하장치를 사용하여 응력제어방식으로 재하하며 수평방향 축차응력($\sigma_2 - \sigma_3$)을 재하장치에 부착된 가압장치를 통해 측정한다. 수직방향 변형량은 삼축실 밖의 재하 피스톤에 부착시킨 다이알게이지로 측정하고 중간주응력 및 최소주응력방향의 변형량은 각 방향 양측 공시체면에 직접 부착시킨 LVDT로 측정한다.

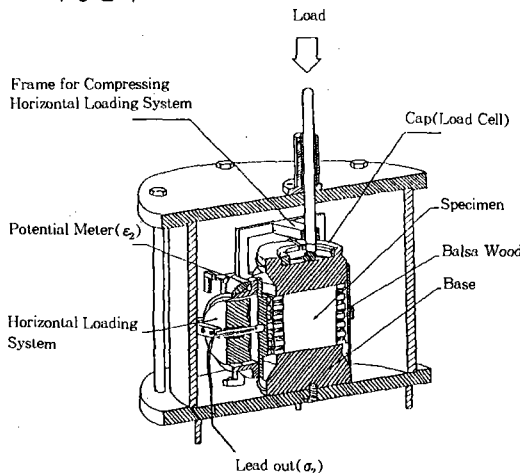


Fig. 1. Section of cubical triaxial apparatus

2. 시료 준비

시험에 사용한 풍화 화강토는 전라북도 익산시 영등동 택지조성단지 내에서 채취하였다. 영등동 시료는 고생대 형성된 옥천누층군의 옥천고지향사대(沃川古地向斜帶)에 위치한다. 현장에서 채취한 시료를 자연건조시켜 NO. 4체(4.76mm)로 체가름하여 통과한 것을 시험시료로 이용하였다. KSF-2312에 따라 A-1 방법으로 매회 시료를 바꿔가며 다짐시험을 시행한 결과 최적함수비는 16%, 최대건조밀도 $\gamma_{dmax} = 1.65g/cm^3$ 이고, 시험시료의 $\gamma_d = 1.54g/cm^3$ (다짐도 93%), $w = 18\%$ 로 준비하였다. 이렇게 준비된 시료를 시료제작용 몰드에 복층(7-8층) 다짐하여 균일한 밀도를 갖도록 조제 하였으며 시료의 물리적 및 다짐특성은 Table-1과 같다.

Table-1. 익산 화강토의 특성

구분	비중	소성지수	통일흙분류	γ_{dmax}	O.M.C
익산 시료	2.66	NP	SM	1,650	16%

3. 응력-변형률의 표현

이방성재료에 대한 시험결과를 나타내기 위해서는 시료의 주축에 대한 응력과 변형률의 방향을 분명하게 나타내는 것이 중요한 일이다. 위와 같은 목적으로 Fig. 2(a)와 같은 Cartesian좌표계를 선정하였다.

X축을 직교이방성 시료의 회전축으로 하고 Y 및 Z축은 수평축으로 한다. Fig. 2(b)와 Fig. 2(c)의 θ 는 σ_x 축에서 응력점 $P(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ 까지의 시계방향각이며 식 (1)과 같이 계산된다.

$$\tan \theta = \sqrt{3} \frac{(\sigma_x - \sigma_z)}{(\sigma_x - \sigma_y) + (\sigma_x - \sigma_z)} \dots \dots \dots (1)$$

θ 값은 0°에서 360°까지이며 정팔면체면은

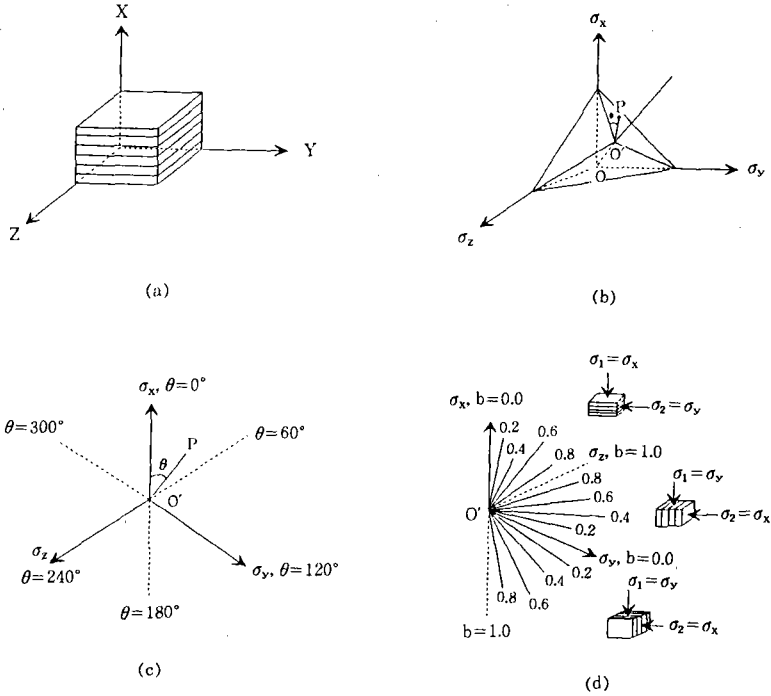


Fig. 2. Orientation of cross-anisotropic specimen relative to (a) cartesian coordinate system (b) principal stress space, (c) and (d) octahedral plane

θ 값에 따라 6개 부분의 영역으로 구분된다. 그러나 본 연구에 사용된 공시체의 이방성은 연직축인 X축을 중심으로 대칭인 직교이방성을 가지므로 시험은 θ 가 0° 에서 180° 사이의 범위에서만 실시하였다. θ 가 $0^\circ \sim 60^\circ$ 범위에서는 X축과 Z축이 각각 최대주응력축 및 최소주응력축에 일치하는 경우이며, $60^\circ \sim 180^\circ$ 범위는 성형된 공시체의 방향을 90° 회전시킨 경우이다. 즉, θ 가 $60^\circ \sim 120^\circ$ 범위는 공시체의 X축면이 수평재하장치에 접하도록 회전시킨 경우이고 $120^\circ \sim 180^\circ$ 범위는 공시체의 Z축면이 수평재하판에 접하도록 회전시킨 경우이다. 이들 각 경우에 대한 b 값은 다음과 같이 계산된다. 그리고 Fig. 2(d)에 나타난 바와 같이 평면체면의 각각의 영역에서 b 값은 0에서 1까지 변화된다.

$$\left. \begin{aligned}
 b &= \frac{\sigma_y - \sigma_z}{\sigma_x - \sigma_z} & (0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ) \\
 b &= \frac{\sigma_x - \sigma_z}{\sigma_y - \sigma_z} & (60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ) \\
 b &= \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\sigma_y - \sigma_x} & (120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

4. 시험방법

실내에서 준비한 화강토 입방체 시편을 입방체 삼축시험기에 설치하기 전에 상, 하판에 실리콘그리스를 바르고 두께 0.3mm의 고무멤브레인(Membrane)을 부착하여 공시체와 상판 및 하판사이의 마찰에 의한 구속력을 제거한다. 이는 재하판과 공시체 사이의 전단응력이 발생하는것을 방지하고 공시체내의 변형이 균일하게 분포 되도록 하기 위해서이다. 준비

된 시편을 다음과 같이 설치한다.

멤브레인을 저판 둘레에 펼친다음 O링으로 봉한 후 수평재하장치 이동 레일을 정위치에 고정시키고 성형상자(Forming Jacket)를 저판위의 중앙에 놓고 레일에 의해 지지되게 한 후 멤브레인을 성형상자 안에서 곧게 펼쳐 올리고 진공을 가하여 밀착시킨다. 그리고 이 위에 시편이 제작된 물드를 연직으로 올려놓고 추출봉으로 시편을 균일하게 안으로 밀어 내린다. 이 때 특히 모서리 부분의 시료에 미세한 균열이라도 생기지 않도록 세심한 주의를 기울여야 하며 상하면에 배수를 촉진시키기 위해 여과지를 사용한다.

그리고 상판을 시료위의 중앙에 놓고 멤브레인을 상판에 씌운 다음 두개의 O링으로 봉한다. 그 다음 상부배수관을 상판에 연결시키고 시편의 형상을 유지할 수 있도록 시료에 0.2kg/cm²의 진공압을 가한 후 멤브레인에 생고무액(Latex)을 여러층 발라 전단중 멤브레인의 파손을 방지한다.

다음에 수평재하장치와 LVDT를 설치하고 삼축실을 조립한 후 증류수를 가득 공급하고 시편의 진공을 제거함과 동시에 소요의 축압을 가한 후 전단시험을 실시한다. 전단시험중 구속압력(σ_3)은 0.5kg/cm²로 유지하였으며 중간주응력의 상대적 크기인 $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ 값은 팔면체면에서 파괴면을 얻을 수 있도록 변화하여 입방체 삼축시험을 실시하였다. 이 때 b값은 수평하중을 연직하중의 변화에 따라 적절하게 조정하므로써 일정하게 유지할 수 있도록 하였으나 조정과정에서 약간의 차이가 발생된 경우도 있다.

최대주응력은 모든시험에서 연직방향으로 작용되어었으며 60°-180°의 범위에서 θ 값은 시편의 제작 방향에 대해 90° 회전시켰다. θ 의 범위가 0°-60°인 경우는 X방향이 최대주응력방향($\sigma_y = \sigma_1$)이고 Y방향이 중간주응력방향($\sigma_y = \sigma_2$)이 되도록 하였으며, θ 의 범위가

60°-120°인 경우는 Y방향이 최대주응력방향($\sigma_y = \sigma_1$)이 되고 X방향이 중간주응력방향($\sigma_x = \sigma_2$)이 되도록하였다. 그리고 θ 범위가 120°-180°인 경우는 Y방향이 최대주응력방향($\sigma_y = \sigma_1$)이 되고 Z방향이 중간주응력방향($\sigma_z = \sigma_2$)이 되도록하였다. 모든 시험의 전단속도는 0.01cm/min가 되도록 하였다.

III. 응력-변형을 및 체적변화 특성

Fig. 3은 구속압력이 0.5kg/cm²일 때 다짐화강도에 대한 b값을 달리한 입방체 삼축시험 결과를 축변형률에 대한 축차응력의 관계로 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 θ 값이 0° ≤ θ ≤ 60°인 영역에서 b값 변화에 따른 축변형률에 대한 축차응력의 관계를 나타낸 것이고, Fig. 3(b)는 60° ≤ θ ≤ 120°이며 Fig. 3(c)는 120° ≤ θ ≤ 180°에 대한 것이다. 그리고 각 시험에 대한 파괴점은 화살표와 검은점들로 나타내어졌다. 그림에 나타난바와 같이 세 경우 모두 b=0.0에서 부터 b=0.6까지는 b=0.0일 때의 축차응력보다 b값 증가에 따라 약 15% 정도의 강도 증가를 보이고 b=0.6일 때 최대값이 나타나며 이보다 큰 b값에서는 축차변형이 과도해지므로 전단강도가 약 10%정도 감소하는 경향을 보이고 있다. θ 값이 0° ≤ θ ≤ 60°인 경우에 전단강도가 가장 크게 나타나고, θ 값이 60° ≤ θ ≤ 120°인 경우는 중간 정도의 거동을 보이며, θ 값이 120° ≤ θ ≤ 180°에서는 가장 작은 전단강도가 나타나고 있다.

Fig. 4는 구속압력이 0.5kg/cm²일 때 다짐화강도에 대한 b값을 달리한 입방체 삼축시험 결과를 축변형률에 대한 축차응력과 체적변형률관계를 나타낸 것으로서 시료 배열에 관한 주응력의 방향은 θ 값에 의해 나타내어졌다. 각 그림은 b값이 일정한 경우에 θ 값이 0° ≤ θ ≤ 60°, 60° ≤ θ ≤ 120°, 120° ≤ θ ≤ 180°에 대하여 각각 원, 삼각형, 그리고 사각형으로 나타

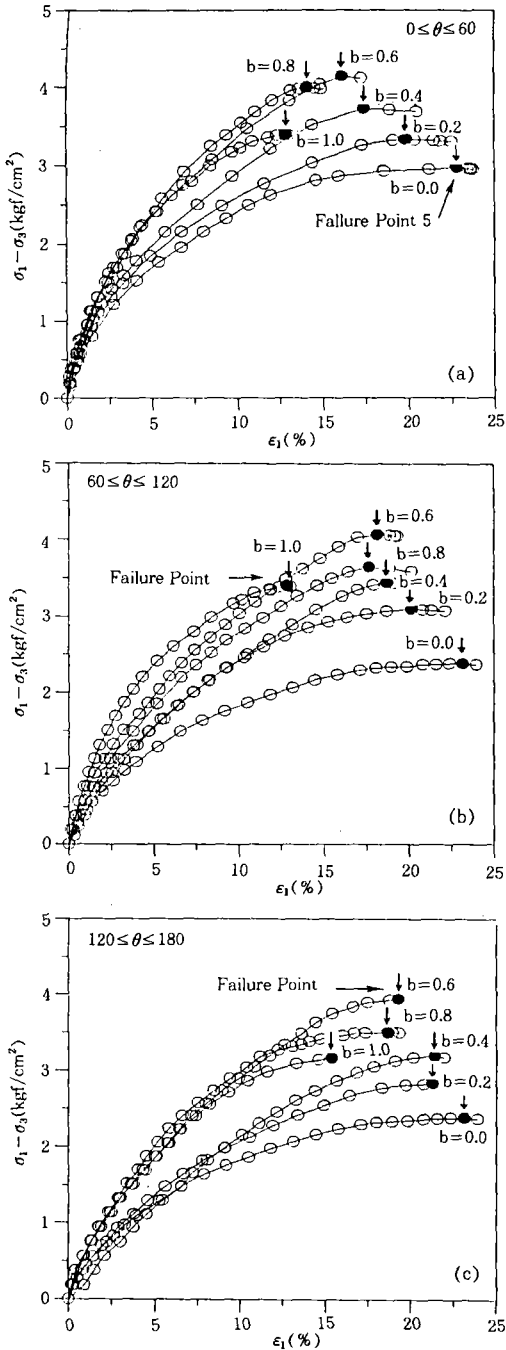


Fig. 3. Stress-strain characteristics obtained in cubical triaxial tests on compacted decomposed granite soil. Arrow indicate points of maximum effective stress ratio

내었다. 각 실험에 대한 파괴점은 화살표와 검은점으로 나타내어 졌다. 그림에서 보는 바와같이 b 값이 0.0에서부터 0.6까지는 전단강도가 증가 하고, b 값이 0.8에서 1.0까지는 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. θ 값의 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 경우에 전단강도가 가장 크게 나타나고, θ 값이 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 인 경우는 중간 정도의 거동을 보이며, θ 값이 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 에서는 가장 작은 전단강도가 나타났다.

IV. 전단강도 특성

1. Lade 파괴규준 매개변수 결정

Lade는 흙의 3차원 파괴규준식을 식 (3)과 같이 제안한 바 있다.

$$\eta_1 = (I_1^3 / I_3 - 27) \cdot (P_a / I_1)^m \quad \dots\dots\dots (3)$$

여기서 I_1, I_3 는 각각 응력의 제1, 제3불변량이며 식 (4), (5)로 표현된다.

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$I_3 = \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 \quad \dots\dots\dots (5)$$

그리고 식 (3)에서 P_a 는 응력의 단위로 표시된 대기압이고 η_1 과 m 은 시료에 따라 결정되는 토질매개변수이며 삼축압축시험결과로 얻어진 파괴시의 $(I_1^3 / I_3 - 27)$ 과 (I_1 / P_a) 의 관계를 양면대수지에 투영하여 구한다. Fig. 5는 본연구에 사용된 시료의 다짐축방향 즉 $\theta = 0^\circ$ 에 대응하는 삼축시험결과를 시료의 매개변수 결정에 사용한 것이다. 이 그림으로부터 η_1 은 (P_a / I_1) 이 1.0인 위치에서 직선의 종축 좌표로부터 구하고 m 은 직선의 기울기로부터 구한다. 본 익산 다짐화강토의 다짐축방향의 파괴에 관련된 토질 매개변수의 값은 각각 $\eta_1 = 119$ 와 $m = 0.3$ 을 얻었다.

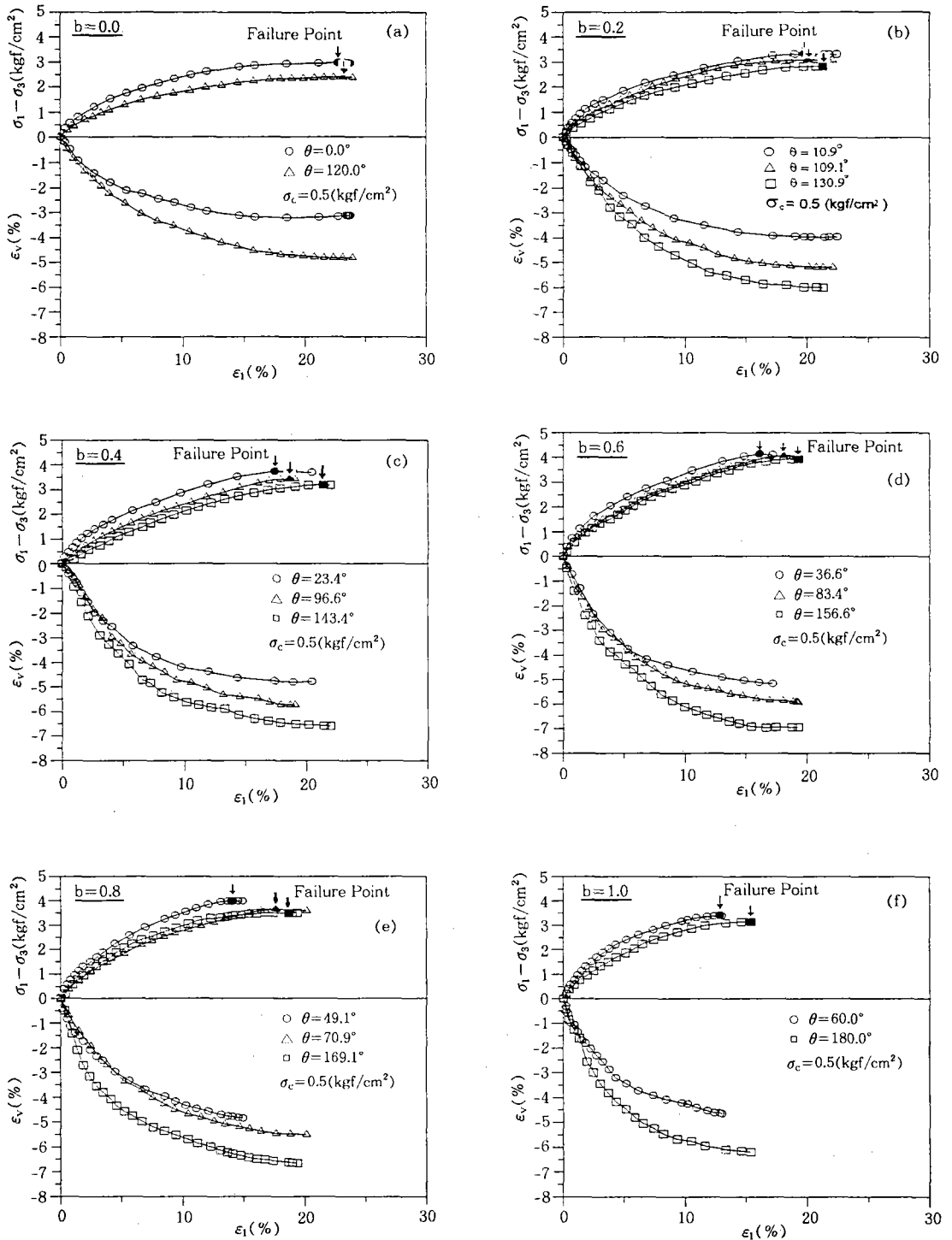


Fig. 4. Stress-Strain and volume change characteristics obtained in cubical triaxial tests on compacted decomposed granite soil

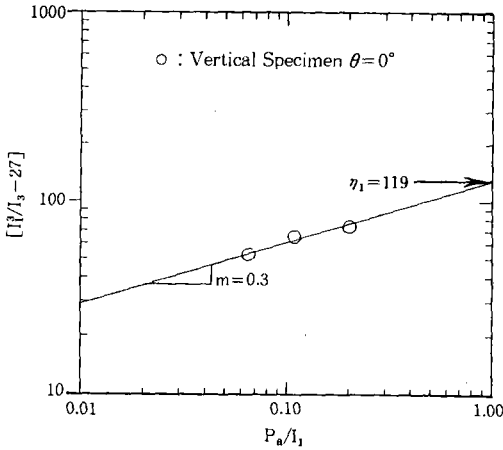


Fig. 5. Determination of η_1 and m for Lade's failure criterion compacted decomposed granite soil

2. 유효내부마찰각

Fig. 6은 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$, $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$, $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 의 영역에 대한 시험결과로부터 중간주응력의 상대적 크기를 나타내는 b 의 변화에 따른 유효내부마찰각, ϕ 의 변화상태를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와같이 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 영역에서 $b > 0$ 인 경우의 ϕ 는 $b = 0$ 인 입방체 삼축시험에서 얻어진 ϕ 값보다 크고, b 가 0.6에 이를 때 까지는 ϕ 가 증가하다가 $b = 0.8$ 에서 $b = 1.0$ 까지 약간 감소하고 있다. 이 실험의 결과로 보아 ϕ 는 중간주응력의 크기에 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다. $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$, $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 인 영역에 대해서도 Fig. 6에서 보는 바와 같이 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 영역의 경우와 동일한 경향을 나타내고 있다.

그럼으로써 b 값이 동일한 경우의 ϕ 값은 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 의 경우가 제일 크고 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 의 경우는 중간 정도의 거동을 보이고 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 의 경우가 제일 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 세가지 영역에서 유효내부마찰각의 최대차는 8.81° 이고, $b = 0.0$ 과 b

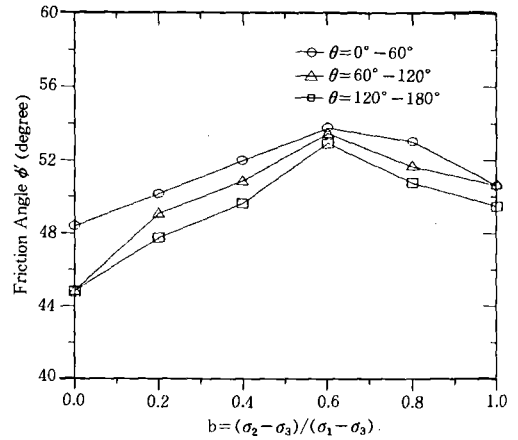


Fig. 6. Variation of effective friction angle (ϕ) with values of θ and $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$

$= 1.0$ 과의 ϕ 의 차는 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 경우 2.14° , $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 인 경우 5.76° , $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 인 경우 4.63° 를 보이고 있다.

3. 정팔면체상의 파괴면

Fig. 7은 정팔면체상에 입방체형 삼축시험기를 사용하여 익산 다짐화강토의 압밀배수전단시험 결과로부터 얻은 파괴강도를 Mohr-Coulomb 파괴면과 Lade 등방 파괴면에 서로 비교하여 나타낸 그림이다. 시험결과와 파괴규준을 동일평면에서 비교하기 위하여 시험치는 $I_1 = 4 \text{ kg/cm}^2$ 인 정팔면체에 투영시킨 값을 사용하였다. σ_x 축을 기준으로 다짐화강토의 파괴면이 대칭이므로 $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 영역에서 시험결과는 $180^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ 영역과 동일할 것이다.

Fig. 7에 의하면 $\theta = 0^\circ$ 인 연직시료의 강도에 의한 Lade 등방 파괴규준은 다짐에 의하여 비등방화된 익산 다짐화강토의 전단강도를 θ 값이 90° 에서 150° 사이에서 약간 과대평가하고 있다. $\theta = 0^\circ$ 에서의 유효내부마찰각, $\phi = 48.78^\circ$ 를 Mohr-Coulomb 파괴규준식에 대입하여 얻은 파괴면을 비교한 결과 Mohr-Coulomb 파괴규준은 θ 값이 120° 근방을 제외하고는 전반

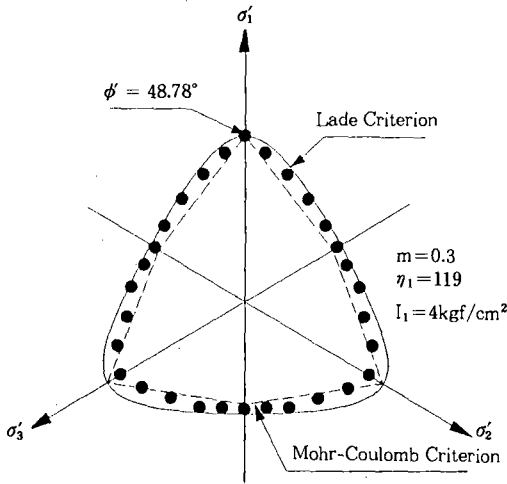


Fig. 7. Trace of failure surface for compacted decomposed granite soil in octahedral plane

적으로 전단강도를 다소 과소평가 하고 있다.

V. 결 론

본 연구는 다짐에 의하여 비등방화된 익산 다짐화강토의 3차원 전단강도특성을 검토하기 위하여 세 주응력을 독립적으로 제어할 수 있는 입방체형 삼축시험기를 사용하여 중간주응력비를 달리한 일련의 압밀배수시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일정한 b값과 주어진 응력차에 대하여 θ 값이 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 경우가 축변형률과 체적 변형률 값이 가장 작고 θ 값이 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 인 경우는 중간 정도의 거동을 보이고 있으며 θ 값이 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 에서 가장 큰 값을 나타내고 있다.

2. 측정된 유효내부마찰각은 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 영역에서 가장 크고 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 영역에서 가장 작은 값을 보였다.

3. 전단강도는 θ 의 세 영역 모두 비슷하게 b값이 0에서 0.6까지는 증가하고 0.8에서부터 1.0까지는 약간 감소하고 있다.

4. 연직시료의 전단강도에 의한 Lade의 등방과괴규준은 이방성인 익산 다짐화강토의 전단강도를 약간 과대평가 하고 있다.

5. Mohr-Coulomb의 과괴규준은 θ 값이 120° 근방을 제외하고는 익산 다짐화강토의 전단강도를 과소 평가하고 있다.

이 논문은 1995년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구 되었음

참 고 문 헌

1. 임병조, "인천지구 화강부식토의 지지력 및 침하특성에 대한 연구", 대한토목학회지, 제21권, 제2호, 1973, pp. 115-122
2. 임병조, "물이 화강토의 공학적 성질에 미치는 영향(특히 전단특성의 변화에 대하여)", 대한토목학회지, 제22권, 제2호, 1974, pp. 75-81.
3. 박병기, "화강암질 풍화토의 특성연구(광주지역 화강암질 풍화토의 물리적성질을 중심으로)", 대한토목학회지, 제21권, 제4호, 1973, pp. 37-50.
4. 박병기, "화강암질 풍화토의 특성연구(광주지역의 투수 및 다짐특성을 중심으로)", 대한토목학회지, 제22권, 제2호, 1974, pp. 83-96.
5. 김용진, "구성방정식을 이용한 다짐화강토의 공학적특성", 고려대학교 대학원 박사학위논문 1993.
6. In-Keun Lee., "Mechanical Behaviour of Compacted Decomposed Granite Soil", A thesis submitted for the degree of Ph. D., City University, London. 1991.
7. Lade, P. V., "Cubical Triaxial Apparatus for Soil Testing", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 1, No. 2, 1978, pp. 93-101.

8. Hidetoshi Ochiai., and P. V. Lade., "Three-Dimensional Behavior of Sand with Anisotropic Fabric", Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 10, 1983, pp. 1313-1328.
9. Kirkgard, M. M., and Lade, P. V., "Anisotropy of normally consolidated San Francisco Bay Mud", Geotechnical Testing Journal, Vol. 14, NO. 3, 1991, pp. 231-246.
10. Kirkgard, M.M., and Lade, P. V., "Anisotropy three-dimensional behavior of normally consolidated clay", Can. Geotech. J. 30. 1993, pp. 848-858.
11. 홍원표, "중간주응력이 과압밀점토의 거동에 미치는 영향", 대한토목학회논문집, 제8권, 제2호, 1988a, pp. 99-107.
12. 홍원표, "이방성 과압밀점토의 강도특성", 대한토질공학회지, 제4권 제3호, 1988b, pp. 35-41.
13. 박병기, 정진섭, 임성철, "압축성모래의 3차원 전단강도 특성", 대한토질공학회지, 제6권, 제3호, 1990, pp. 65-74.
14. 박병기, 정진섭, 임성철, "압축성모래의 3차원 변형거동", 대한토목학회 논문집, 제10권, 제3호, 1990, pp. 107-113.
15. 이강일, "단일항복면 구성식을 이용한 점성토 지반의 비배수거동해석", 전남대학교 대학원 박사학위논문. 1995.
16. 정진섭, 김찬기, 박승해, 이종천, "입상토의 3차원거동", 한국농공학회지 37권 2호, 1995, pp. 64-72.

(접수일자 : 1996년 8월 10일)