

평면변형률 조건에서 다짐화강토의 변형과 강도특성

Deformation and Strength Characteristics of Compacted Weathered Granite Soil under Plane Strain Condition

정진섭* · 김찬기** · 박승해***
Jeong, Jin Seob · Kim, Chan Kee · Park, Seung Hae

Abstract

The lower ground of structure, in which the strip loads, such as earth dams and embankments, are significantly working on, is required to be interpreted as a state of plane strain where the strain of intermediated principal stress direction is put '0'. The plane strain state is frequently observed in actual soil engineering case. For those case, drained stress-strain and strength behavior of Iksan weathered granite soil prepared in cubical specimens with cross-anisotropic fabric was studied by conventional triaxial compression, plane strain and cubical triaxial tests with independent control of the three principal stress. All specimens were loaded under conditions of principal stress directions fixed and aligned with the directions of the material axes.

As a result of research, when a ground condition is analyzed under plane strain state, the shear strength obtained from the conventional triaxial compression test can be underestimated.

I. 서 론

최근에 이르러 화강토(weathered granite soil)는 도로건설, 택지조성, 항만, 댐 등과 같은 구조물의 성토 재료나 기초 지반으로서 가장 많이 이용되고 있으며 양질의 재료로 분류되어왔다. 이러한 화강토는 공기에 노출되거나 물과의 접촉에 의한 함수비의 정도에 따라 그 성질이 현저하게 달라지고, 함수비가 높을 경우 강도가 급격히 저하되는 특성

을 지니고 있어 상당한 문제성을 가지고 있는 흙으로 인식이 되고 있다. 그러나 실제 시공에 사용되는 빈도나 중요성에 미하여 화강토의 공학적인 특성을 체계적으로 정리하고자 하는 노력은 미약하였다.

이러한 화강토에 대한 연구는 60년대 후반 임(1973, 1974)과 박(1973, 1973) 등에 의해서 연구가 시작되었으며, 최근에는 김(1993), 이(1991) 등에 의해 화강토의 공학적 특성에 대한 재조명과

*원광대학교 공과대학
**대전대학교 이공대학
***원광대학교 대학원

키워드 : 다짐화강토, 평면변형률시험, 입방체삼축시험, 주변형률, 전단강도

구성식에 적용이 시도된 바 있다. 정(1995, 1997)은 화강토의 3차원적 거동을 규명하고자 입방체형 삼축압축 시험기를 이용하여 중간주응력을 달리한 시험을 수행하고 다짐화강토에 대한 거동특성을 발표한 바 있다. 그러나 현재까지 대부분의 연구는 응력상태가 확대칭인 원통형 공시체를 사용하므로써 중간주응력의 영향은 고려되지 않았다.

그러나 자연지반에서 어떤 구조물들은 한 평면으로 모든 변형이 발생하는 평면변형률 상태에 있다. 특히, 사면 아래 경사면에서 흙의 유동을 포함한 전단변형과 같은 사면안정성 문제 또는 흙 덩의 안정성 해석, 대상기초 등과 같이 하중이 연속된 재하 구조물의 하부지반은 실제로 평면변형의 하중조건으로 간주되기 때문에 한 방향으로만 변형이 발생하게 된다. 그러므로 댐, 제방 또는 연속벽 기초와 같은 대상하중이 작용하는 구조물의 하부 지반은 중간주응력방향의 변형률 ($\epsilon_2 = 0$)을 "0"으로 간주하는 평면변형률 상태로 해석되어야 할 필요가 있다. 이러한 평면변형률 상태는 실제로 질공학적 문제에서 흔히 접하게 된다(Lee: 1970, 1971). 그러므로 평면변형률 시험이 일반삼축시험 보다 실제 현상에 더 근접된 시험방법이라 생각되므로 평면변형률시험이 현실적으로 요구되고 있다.

본 연구는 화강토를 실내에서 재 성형하여 복층 다짐으로 육면체 공시체를 성형하여 중간주변형률 ϵ_2 가 "0"인 평면변형률시험과 서로 다른 세 주응력 ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$)을 제어하면서 입방체 삼축압축시험을 실시하였으며 아울러 일반삼축압축시험도 실시하여 다짐화강토의 강도와 변형특성을 밝히고자 하였다. 이들 시험중 평면변형률 시험과 입방체 삼축압축시험은 공시체를 회전한 상태에서 전단하여 재성형과정에서 생긴 이방성에 대한 3차원적인 거동특성을 검토하고자 하였다.

II. 시 험

1. 시료 준비 및 특성

본 연구에 사용된 화강토는 익산시 택지조성단

지에서 채취한 시료로서 고생대에 형성된 옥천누층군 옥천고지향사대(沃川古地向斜帶)에 위치하고 있다. 채취한 시료는 자연 건조시켜 No. 4번체를 통과한 시료만을 사용하였다. 이러한 과정을 통해 준비된 시료를 공시체 제작용 몰드를 이용하여 복층(7층)으로 균일한 밀도를 갖도록 다짐하였다. 성형된 공시체의 건조밀도 (γ_d)와 함수비(w)는 1.54gf/cm^3 , 18%가 되도록 하였으며 본 시료에 대한 물성시험결과 흙의 비중은 2.66, 최대건조밀도는 1.65gf/cm^3 , 최적함수비는 16%이며 통일분류상 SM에 속하였다.

2. 공시체의 좌표

공시체의 방향은 Cartesian 좌표계를 활용하였다. 시료 성형시의 연직축을 X축으로 하고 Y축 및 Z축은 수평축으로 한다. Fig. 1(b)과 Fig. 1(c)의 θ 는 σ_x 축에서 응력점 P($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$)까지의 시계방향각이며 식 (1)과 같이 계산된다(Hidetosi: 1983).

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

θ 값은 0° 에서 360° 까지이며 정팔면체면은 θ 값에 따라 6개 부분의 영역으로 구분된다. 그러나 본 연구에 사용된 공시체의 이방성은 연직축인 X축을 중심으로 대칭인 직교이방성이므로 시험은 θ 가 0° 에서 180° 사이의 범위에서만 실시하였다. 최대주응력은 모든 시험에서 연직방향으로 작용되며 θ 의 범위가 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 경우는 X방향이 최대주응력방향($\sigma_x = \sigma_1$)이고 Y방향이 중간주응력방향($\sigma_y = \sigma_2$)이 되도록 하였으며, θ 의 범위가 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 인 경우는 Y방향이 최대주응력방향($\sigma_y = \sigma_1$)이 되고 X방향이 중간주응력방향($\sigma_x = \sigma_2$)이 되도록 하였다. 그리고 θ 범위가 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 인 경우는 Y방향이 최대주응력방향($\sigma_y = \sigma_1$)이 되고 Z방향이 중간주응력방향($\sigma_z = \sigma_2$)이 되도록 회전하였다.

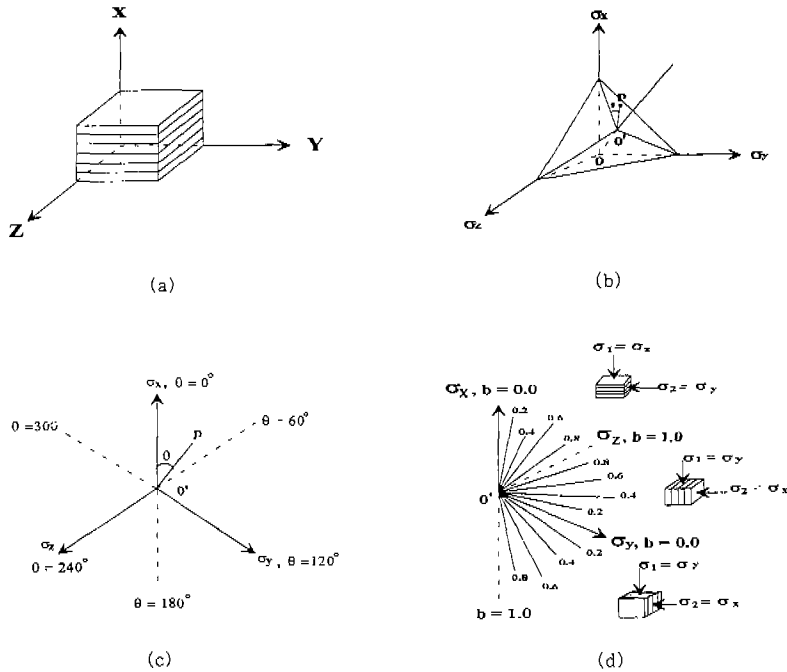


Fig. 1. Orientation of cross-anisotropic specimen relative to (a) Cartesian coordinate system (b) Principal stress space, (c) and (d) Octahedral plane

3. 시험장치 및 방법

가. 일반 삼축압축 시험

일반 삼축압축시험용 공시체는 직경 50mm, 높이 100mm이며 전단시험 중 구속압력은 각각 0.5, 1.0, 2.0, 4.0kgf/cm²로 달리하여 0.1mm/min의 전단속도로 전단하였다.

나. 입방체 삼축압축 시험

본 연구에서는 Lade(1973)형 입방체 삼축시험기를 개량하여 중간주응력비를 달리한 삼축압축시험을 수행하도록 제작되었으며 공시체는 76mm×76mm×76mm이고 상판(cap)과 저판(base) 및 고무막으로 둘러싸여 있다. 최소주응력 (σ_3)는 모든 방향에 작용되도록 삼축실 내의 액압으로 가하고, 연직하중은 변형을 제어방식으로 재하하며 최대주응력 (σ_1)은 상판에 부착된 load cell에 의해연직 방향의 축차응력 ($\sigma_1 - \sigma_3$)을 측정하여 얻는다. 중

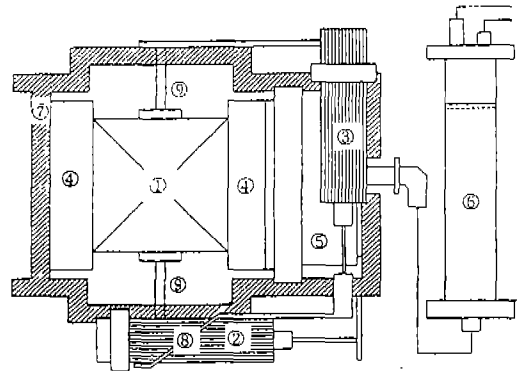


Fig. 2. Schematic diagram of horizontal loading system

간주응력 (σ_1)은 최소주응력 (σ_3)과 직교하게 설치된 수평방향 재하장치를 사용하여 응력제어방식으로 재하하며 수평방향 축차응력 ($\sigma_2 - \sigma_3$)을 측정하여 구한다. 연직방향의 변형은 삼축실 밖의 재하피스톤에 부착시킨 다이얼 게이지로 측정하고

중간주응력 및 최소주응력방향의 변형은 각 방향 공시체면에 부착시킨 LVDT로 측정한다. 전단시험 중 구속압력 (σ_3)은 0.5, 1.0, 2.0 kgf/cm²로 유지하였으며 중간주응력의 상대적인 크기인 $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ 값은 0.0 및 평면변형률상대가 되도록 중간주응력을 제어하며 시험하였고 전단속도는 0.1mm/min가 되도록 전단 시켰다.

다. 평면변형을 시험

입방체 공시체에 대한 평면변형률 조건의 삼축압축시험은 입방체 삼축압축시험기를 이용하였으며 이 시험기의 수평방향 재하장치(중간주응력 제어장치)는 Fig. 2와 같다. 그림에서 ①은 공시체를 나타내며 ②, ③은 중간주응력 및 최소주응력 방향의 변형을 측정용 변위계이고 ④는 발사우드(balsa wood)가 삽입된 σ_2 가 압판이다. 그리고 ⑤는 수평방향 재하를 위한 피스톤이고 ⑥은 수평방향 재하를 위한 오일 탱크이며 이 피스톤과 오일 탱크에는 미압축성 오일을 충전시켜 σ_2 측정용 게이지에서 측정된 압력의 손실이 없도록 하였다. ⑦은 수평방향 재하장치를 지지해주는 프레임이고 최소주변형을 방향의 변형은 ⑧과 같은 원판을 통해 ⑨의 전달축을 거쳐 ③의 변형을 측정게이지에 전달해 주는 클립 게이지로부터 측정한다. 재하 초기에는 구속압력과 동일한 압력으로 중간주응력 (σ_2)을 고정시켜 그 압력을 초기값으로 한다. 다음으로 축방향 하중이 재하되기 시작하면 축변형률 (ϵ_1)에 따라 중간주변형률 (ϵ_2) 및 최소주변형률 (ϵ_3)이 증가하게 되는데 이 때 중간주응력의 증가분 만큼 연속적으로 피스톤을 통하여 가압함으로써 중간주응력 방향의 변형을 초기값 상태로 계속 유지시킨다.

III. 축차응력 및 체적변형 특성

Fig. 3은 구속압력을 달리한 일반삼축압축시험 결과로서 그림에 나타난 바와 같이 구속압력이 0.5kgf/cm²인 경우는 축변형률이 증가함에 따라

체적변형률과 축차응력이 증가하며 축변형률이 약 4%정도를 경과하면 축차응력과 체적변형률이 감소하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 4는 구속압력과 θ 값을 달리한 입방체삼축 시험결과를 나타낸 그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 구속압력의 증가와 함께 축변형률과 축차응력이 증가하고 있으며 일반삼축압축시험 결과와는 달리 축변형률의 증가와 더불어 축차응력과 체적 변형률이 점차적으로 증가하여 완만한 기울기가 나타난다. 또한 두 시험에서 동일 구속압력인 경

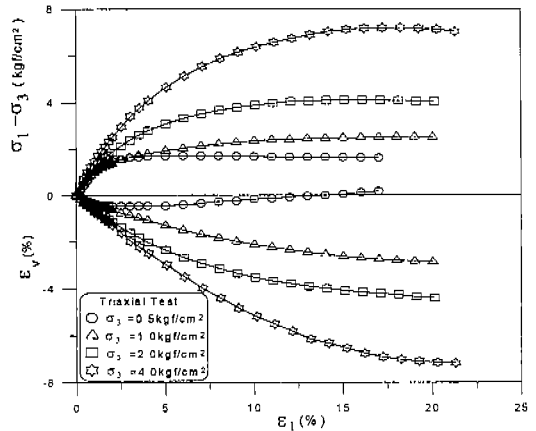


Fig. 3. Typical stress-strain curves from conventional triaxial compression tests

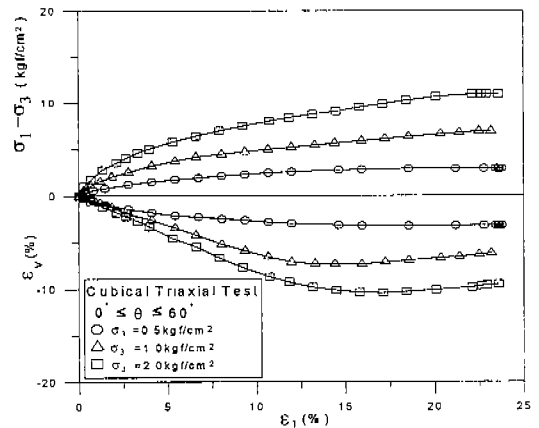


Fig. 4. Typical stress-strain curves from cubical triaxial tests (0° ≤ θ ≤ 60°)

우 축차응력과 체적변형률은 일반삼축시험 결과보다 입방체삼축시험 결과가 더 크게 나타나고 있다. 그리고 구속압력이 작은 0.5 kgf/cm^2 인 경우, 일반삼축시험은 축변형률 13%에서 체적이 팽창하지만 입방체시험에서는 다일러턴시 현상이 발생하지 않는다. Fig. 5는 입방체 공시체에 대한 각각의 θ 구간에 따라 구속압력을 0.5, 1.0, 2.0 kgf/cm^2 로 달리한 평면변형률시험결과를 축변형률에 따른 축차응력과 체적변형률의 관계를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 세 경우 모두 구속압력이 증가함에 따라 체적변형률이 증가하는 경향을 보이고 있으며 구속압력 증가에 따른 축차응력은 θ 가 0° 에서 60° 인 경우는 구속압력에 무관하게 변형률 연화현상을 보이고 있으나 θ 가 60° 에서 120° 인 경우와 120° 에서 180° 인 경우는 구속압력이 1.0, 2.0 kgf/cm^2 일 때는 θ 가 0° 에서 60° 인 경우와 같이 변형률 연화현상을 보이거나 구속압력이 낮은 0.5 kgf/cm^2 인 경우는 변형률 연화현상이 발생하지 않음을 알 수 있다. 또한 탄성계수를 의미하는 축차응력의 초기기울기는 θ 가 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 경우가 다른 두경우보다 크게 나타남을 알 수 있다.

이상과 같이 구속압력이 작은 0.5 kgf/cm^2 인 경우는 다짐축 방향에 따른 중간주응력의 영향이 작지만 구속압이 1.0, 2.0 kgf/cm^2 인 경우는 다짐축 방향이 중간주응력 방향과 일치하는 구간에서 가장 큰 축차응력을 나타내고 있으며 이는 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 인 경우의 체적변형률이 가장 크기 때문으로 판단된다.

Fig. 6은 구속압력에 따른 최대축차응력 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ 에서의 축변형률의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에 나타난바와 같이 시험조건에 무관하게 구속압력이 증가할수록 최대축차응력이 나타나는 축변형률은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 구속압력의 증가에 따른 축차응력이 최대가 되는 축변형률의 변화 폭은 일반삼축압축시험인 경우가 평면변형률 시험보다 약 3배 정도 크게 나타남을 알 수 있으며, 평면변형률 시험에서 공시체의 좌표에 따라 축차응력이 최대가 되는 축변형률의 변

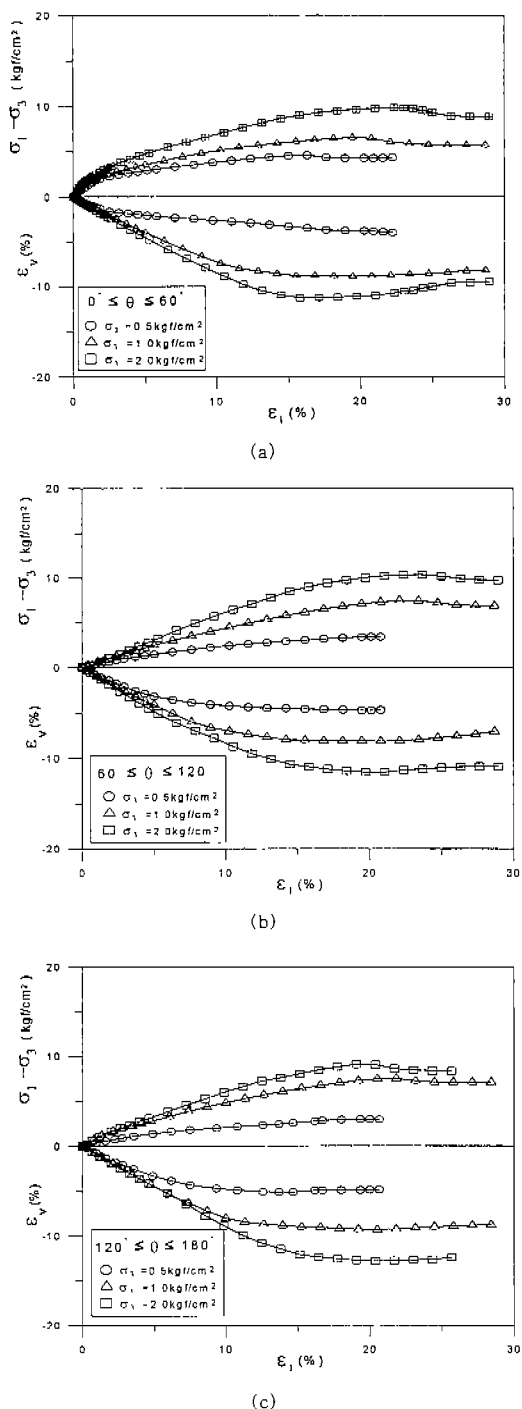


Fig. 5. Typical stress-strain curves from plane strain tests

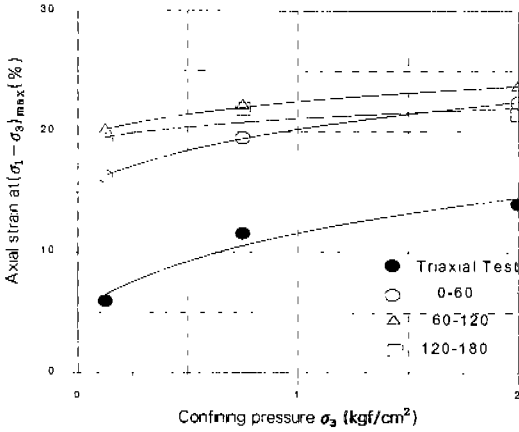


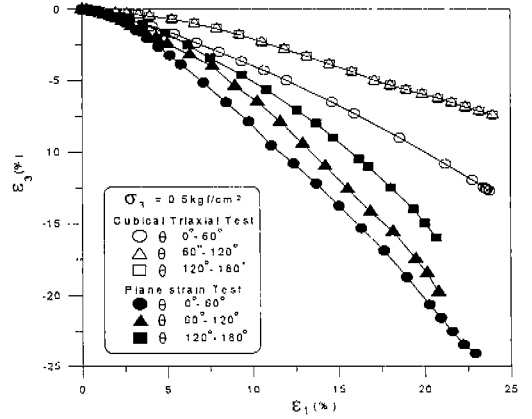
Fig. 6. Axial strain at failure for triaxial and plane strain tests

하는 세 경우 유사한 변화폭을 나타내고 있다.

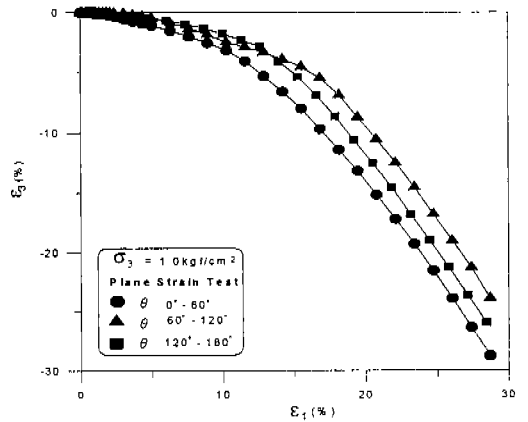
IV. 변형률 특성

1. 최소주변형률 특성

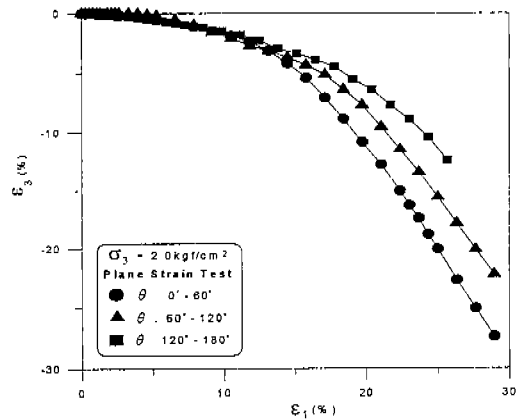
Fig. 7은 입방체삼축압축시험과 평면변형률시험에서 얻은 최대주변형률(ϵ_1)과 최소주변형률(ϵ_3) 관계를 구속압력의 변화에 따라 각각 나타낸 그림이다. Fig. 7(a)는 구속압력이 0.5kgf/cm^2 일때로서 그림에서 나타낸 것으로 입방체삼축압축시험에서는 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 구간과 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 구간의 경우 응력축이 Y방향에 일치하므로 두 시험은 동일한 결과가 나타나게 되었다. 이 시험에서 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 의 경우가 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 의 경우보다 최대축변형률 증가와 함께 최소축변형률 증가가 크게 나타나는 경향을 보였다. 또한 평면변형률 시험에서는 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 의 경우가 최소축변형률이 가장 크게 나타났으며 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 의 경우가 가장 작게 나타났다. 입방체 삼축압축 시험과 평면변형률 시험 결과 두 시험이 공통적으로 공시체가 다짐축 방향과 일치되는 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 의 경우에 최소주변형률의 변화가 가장 적음을 알 수 있었고, 위의 두 시험을 전체적으로 비교해 볼 때 입방체삼축압축시험 보다 평면변형률



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Relation between major principal strain and minor principal strain curves from cubical triaxial and plane strain tests

시험이 최소주변형률의 변화가 크게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 이는 중간주변형률(ϵ_2) 방향을 고정시켜 시험하는 평면변형률 상태에서는 최소주변형률(ϵ_3) 방향으로만 변형이 발생하기 때문에 나타나는 결과로 판단된다. Fig. 7 (b), (c)는 평면변형률 시험에 대하여 구속압력을 각각 1.0, 2.0kgf/cm²으로 하여 얻어지는 최대주변형률과 최소주변형률 관계에 관한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 공시체가 다짐축방향과 일치되는 120° ≤ θ ≤ 180° 의 경우가 다른 두 경우 보다 상대적으로 적은 변화를 나타내고 있다. 이러한 결과는 Fig. 7(a)에 나타난 결과와 비슷한 양상으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

2. 변형률 증분벡터의 방향

Lade의 이론 파괴면과 전단시험 결과의 파괴시 응력상태를 비교하기 위하여 이 모델의 파괴에 관련된 토질매개변수 η_1 과 m 을 결정한다. Lade (1990)의 단일항복면 구성모델의 파괴규준식은 식 (2)과 같다.

$$\left(\frac{I_1^3}{I_3} - 27\right) \cdot \left(\frac{I_1}{P_3}\right) m = \eta_1 \dots\dots\dots (2)$$

여기서 I_1, I_3 는 각각 응력의 제1, 제3불변량이며 식 (3), (4)로 표현된다.

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \dots\dots\dots (3)$$

$$I_3 = \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 \dots\dots\dots (4)$$

그리고 식(2)에서 P_3 는 응력의 단위로 표시된 대기압이고 η_1 과 m 은 시료에 따라 결정되는 토질 매개변수이며 삼축압축시험결과로 얻어진 파괴시의 $(I_1^3/I_3 - 27)$ 과 (I_1/P_3) 의 관계를 양변대수지에 투영하여 구한다.

Fig. 8은 본 연구에 사용된 시료의 다짐축방향 즉 $\theta=0^\circ$ 에 대응하는 삼축시험결과를 시료의 매

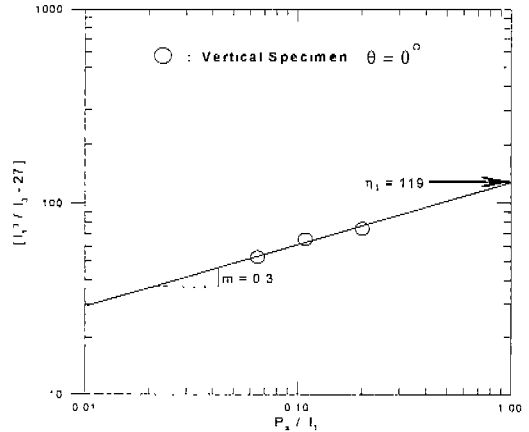


Fig. 8. Determination of η_1 and m for Lade's failure criterion for Iksan weathered granite soil compacted

개변수 결정에 사용한 것이다. 이 그림으로부터 η_1 은 (P_3/I_1) 이 1.0인 위치에서 직선의 종축좌표로부터 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.

소성이론에 의하면 소성변형률 증분벡터의 방향은 소성포텐셜면에 직교하고 만일 재료의 항복면과 소성포텐셜면이 같으면 관련축(associate flow rule)이 성립되고 같지 않으면 비관련축(non-associate flow rule)이 된다고 보고 있다. 따라서 실험결과가 이와 같은 직교조건을 만족시키는지의 여부를 조사하는 것은 매우 중요한 문제이다. 파괴시에는 응력의 변화가 거의 발생되지 않기 때문에 변형률 증분은 탄성성분이 미소하고 거의 소성 성분만 발생하게 된다. 따라서 흙의 응력-변형률 거동은 소성이론에 의해서 해석되어 진다고 볼 수 있으므로 파괴시 변형률 증분벡터를 구하여 직교조건을 알아본다.

Fig. 9는 삼축압축 ($\sigma_1 = \sigma_3$) 상태에서 전단시험 결과의 파괴시 응력상태를 Lade의 이론 파괴면과 비교하기 위하여 σ_1 축을 포함시킨 삼축면상에 나타난 것이다. Fig. 9에 나타난 \circ 점들은 파괴시 응

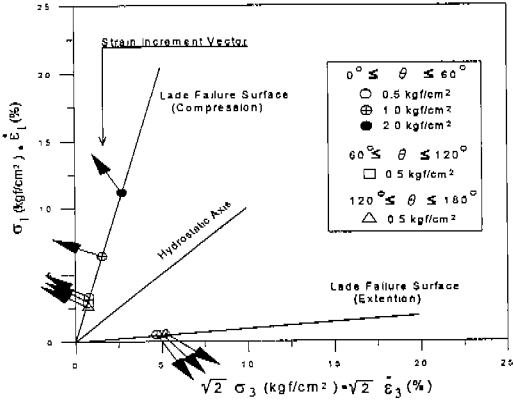


Fig. 9. Directions of strain increment vector in triaxial plane for Iksan weathered granite soil

력상태의 점들이고 실선은 Lade 파괴면 방정식에서 구한 $\eta_1=119$ 와 $m=0.3$ 을 대입하여 구한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 Lade의 이론 파괴면과 실험 결과는 비교적 잘 일치하고 있으나 소성변형을 증분벡터가 파괴면에 직교하지 않고 예각의 형태를 이루고 있음을 알 수 있다.

V. 강도정수 특성

흙의 전단강도는 기초지반의 지지력, 구조물에 작용하는 토압, 사면의 안정성 등과 같은 토괴의 안정분석을 다루는데 있어서 반드시 필요한 기본적인 성질의 하나이며, 점착력 및 내부마찰각 등의 강도정수로 표시된다. 실제문제의 해결에는 실시가능한 조건에서 시험한 강도정수를 적용하여 실제지반의 전단강도를 추정하는 기준인 파괴규준을 선정하는 것이 중요하다.

Fig. 10은 구속압력에 따른 내부마찰각의 변화를 나타낸 그림으로 \circ 는 일반삼축압축시험 결과이고 \square 는 공시체 좌표가 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 경우의 입방체 삼축압축시험 결과이며, \blacksquare 는 공시체 좌표가 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 경우의 평면변형률 시험결과이다. 그림에 나타난 실선은 각각의 시험결과를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와같이 일반삼축압축 시험결과와 평면변형률 시험결과는 약 15°

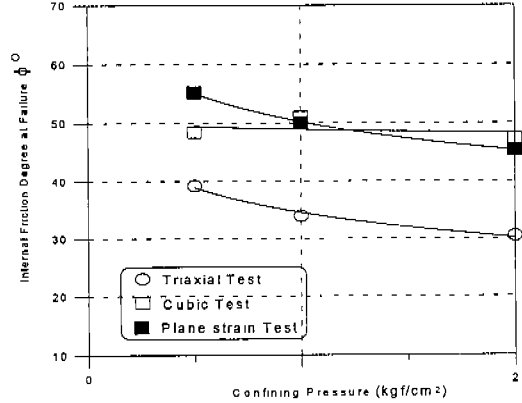


Fig. 10. Internal friction degree at failure for conventional triaxial, cubical triaxial and plane strain tests

정도 값의 차이는 있지만 같은 양상을 보이고 있으며, 구속압력이 큰 경우가 구속압력이 작은 경우보다 내부마찰각이 작게 나타남을 알 수 있다. 또한 입방체삼축압축 시험결과도 구속압력의 증가와 더불어 내부마찰각이 감소하는 같은 경향을 보이고 있으며, 구속압력의 증가에 따라 감소의 정도가 작게 나타나고 있다.

Fig. 11은 평면변형률시험에서 공시체 좌표를 변화하였을 때 구속압력에 따른 내부마찰각을 나타낸 그림이다. 그림에 나타난바와 같이 공시체의 좌표와 무관하게 구속압력이 작은 경우가 가장 큰 내부마찰각을 보이고 있으며 구속압력이 증가할수록 내부마찰각은 감소하는 경향을 보인다. 특히 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 인 경우는 구속압력에 따라 내부마찰각의 변화폭이 다른 두 경우에 비하여 크게 나타난다.

Fig. 12는 구속압력에 따른 응력비의 최대값을 나타낸 그림으로 그림에서 $\circ, \triangle, \square$ 는 각각의 θ 에 대한 평면변형률시험결과이고 \bullet 는 일반삼축압축시험 결과이며 실선은 시험값을 회귀분석하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 모든 경우가 구속압력의 증가와 더불어 최대응력비가 감소하는 양상을 보이고 있다. 특히 θ 가 0° 에서 60° 인 경우는 구속압력의 증가와 더불어 최대응력비의 감소가 다른 경우에 비해 현저히 큼을 알

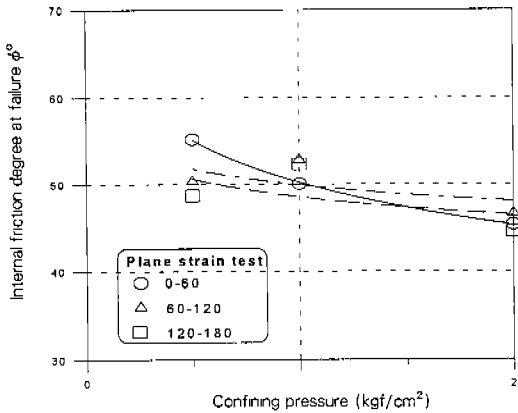


Fig. 11. Internal friction degree at failure for plane strain tests

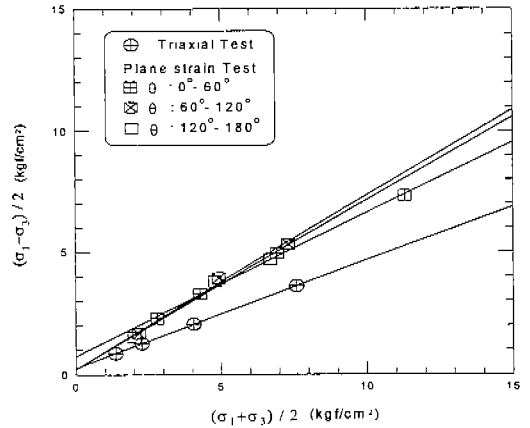


Fig. 13. Mohr diagrams for triaxial and plane strain tests

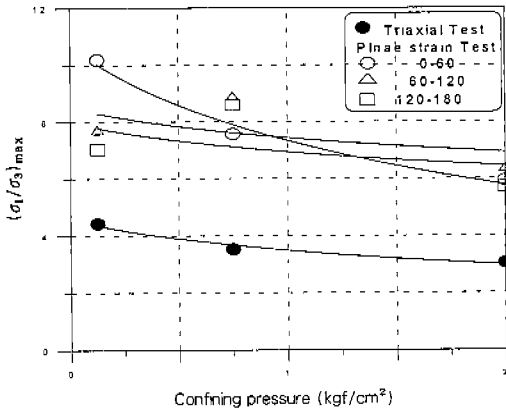


Fig. 12. Principal stress ratios at failure from cubical triaxial and plane strain tests

수 있다. Fig. 12, 13에 나타난 바와 같이 구속압력이 커지면 다짐에 의하여 발생된 비등방성은 거의 없어 지는 것으로 보인다. 그러므로 다짐화강토 시료의 변형특성은 작은 구속압력에서는 비등방인 반면에 큰 구속압력에서는 이방성이 소멸되는 경향이 있다.

Fig. 13은 각각의 시험결과에서 내부마찰각의 변화를 살펴보고자 종축은 $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ 로 하고 횡축은 $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ 로 하여 시험결과를 도시한 그림이다. 그림에 나타난바와 같이 일반삼축인 경우가 가장 작은 기울기를 나타내며 평면변형률시험에서 공시체의 좌표가 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 인 경우와 $120^\circ \leq$

$\theta \leq 180^\circ$ 인 경우가 가장 크게 나타나고 있다. 그리고 시험의 방법 및 공시체의 회전 에 따라 전단강도가 크게 변화하고 있음을 알 수 있다.

그러므로 평면변형률 상태의 재하조건을 갖는 지반을 해석할 때 일반삼축압축시험에서 얻은 강도정수를 사용하면 실제의 전단강도를 과소평가 하게 된다. 특히 땀과 같은 고성토 지반이나 큰 하중을 받은 토구조물을 설계할 때는 실제조건을 충분히 고려한 시험이 요구됨을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 익산시 영동동 화강토를 실내에서 재성형하여 만든 이방성 시편에 대해 평면변형률시험과 일반삼축압축시험 및 입방체삼축압축시험을 실시하였다. 각각의 시험결과로부터 평면변형률 조건에서 다짐화강토의 변형과 강도특성을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평면변형률 시험결과 구속압력이 작은 경우는 다짐축 방향에 따른 중간주응력의 영향이 작지만 구속압력이 증가하면 다짐축 방향에 따라 응력-변형률거동이 크게 달라진다.

2. 동일한 구속압력에서 축변형률에 대한 축차응력과 체적변형률은 일반삼축압축시험에서 가장 작고 평면변형률시험에서 가장 크게 나타났다.

3. 삼축면에서 Lade의 이론 파괴면과 실험 결과는 비교적 잘 일치하고 있으나 소성변형률 증분벡터가 파괴면에 직교하지 않고 예각의 형태를 이루고 있으므로 다짐화강토는 비관련유동층 재료임을 알 수 있다.

4. 일반삼축압축시험결과에서 얻은 다짐 화강토의 내부마찰각은 평면변형률 조건에서 얻은 내부마찰각보다 약 15° 정도 작게 나타난다.

5. 평면변형률 조건을 갖는 지반을 해석할 때 일반삼축압축시험에서 얻은 강도정수를 사용하면 실제의 전단강도를 과소평가 하게 된다.

본 연구는 '95년도 한국과학재단의 특정기초 과제(95-0600-02-3)연구비지원에 의해 수행되었으며 당 재단에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김용진, 1993, 구성방정식을 이용한 다짐화강토의 공학적 특성, 고려대학교대학원 박사학위논문.
2. 박병기, 1973, 화강암질 풍화토의 특성연구(광주지역 화강암질 풍화토의 물리적 성질을 중심으로), 대한토목학회지, 제21권, 제4호, pp. 37-50.
3. 박병기, 1974, 화강암질 풍화토의 특성연구(광주지역의 투수 및 다짐특성을 중심으로), 대한토목학회지, 제22권, 제2호, pp. 83-96.
4. 임병조, 1973, 인천지구 화강부식토의 지지력 및 침하특성에 대한 연구, 대한토목학회지, 제21권, 제2호, pp. 115-122.
5. 임병조, 1974, 불이 화강토의 공학적 성질에 미치는 영향(특히 전단특성의 변화에 대하여), 대한토목학회지, 제22권, 제2호, pp. 75-81.
6. 정진섭, 김찬기, 박승해, 이종천, 1995, 입상토의 3차원거동, 한국농공학회지 37권 2호, pp. 64-72.
7. 정진섭, 김찬기, 박승해, 김기황, 1996, 입방체형삼축시험에 의한 다짐화강토의 전단강도특성, 한국농공학회지, 제38권, 제6호, pp. 64-73.
8. 정진섭, 1997, 다짐화강토의 3차원 거동, 대한토목학회논문집, 제17권, 제Ⅲ-6호, pp. 641-650.
9. Hidetoshi Ochiai., and P.V. Lade., 1983, Three-Dimensional Behavior of Sand with Anisotropic Fabric, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 10, pp. 1013-1328.
10. Lade, P.V., 1978, Cubical Triaxial Apparatus for Soil Testing, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 1, No. 2, pp. 93-101.
11. Lade, P.V., 1990, "Single Hardening Model with Application to NC Clay". Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 3, pp. 394-414.
12. In-Keun Lee., 1991, Mechanical Behaviour of Compacted Decomposed Granite Soil, A thesis submitted for the degree of Ph. D., City University, London.
13. Lee, K.L., 1970, Comparison of Plane Strain and Triaxial Tests of Sand, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 96, No.SM3, pp. 901-923.
14. Lee, K.L., and Shubeck, R.T., 1971, Plane-Strain Undrained Strength of Compacted Clay, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No.SM1, pp. 219-234.