

石少の三主応力セリ断強度

東北大学工学部 正会員 柳沢栄司
東北大学大学院 学生会員 岡本敏郎
東北大学工学部 学生会員 手塚繁巳

1. はじめに

材料力学における破壊基準として、金属材料の分野では von Mises 則、Tresca 則が一般に適用されている。土質力学の分野でよく引用されるのは Mohr-Coulomb 則である。よにおけるこれらの基準の妥当性を実験的に検討する方法は大略次の二つのグループに分けられる。一方は円柱円筒形試体を用い、試体内の応力分布は一樣でないが試体全体が塑性平衡状態にあると仮定して実験を行う方法である。他方は三主応力直方体あるいは立方体に直接作用させる方法である。前者の中には Kirkpatrick (1957), Wu-Loh & Malvern (1963), Habib (1953) らの実験がある。後者には応力を載荷する手段として (1) 3 封と剛板とするもの pearce (1971) (2) 3 封をゴム膜とするもの Ko & Scott (1967), Arthur & Menzies (1972) Lomize & kryzhanovskiy (1967) (3) 2 封をゴム膜、1 封を剛板とするもの Sutherland & Mesdary (1969) Shibata & Karube (1965) (4) 1 封をゴム膜、2 封を剛板とするもの Green (1969) Lade & Duncan (1973) がある。(3) (4) は (1) (2) の複合形式である。他にこの種の試験機の草分け的存在である Kjellman (1936) は平板上に並べた小円筒角柱群を載荷している。

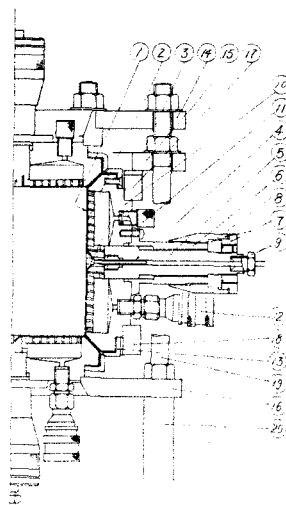
2. 実験装置及び方法

我々が用いた装置は立方体試体 ($10^{12} \times 10^{12} \times 10^{12}$) にゴム膜により圧力を載荷するものである。装置は加圧機構、歪測定装置、三軸室からなる。この種の試験機が特徴があるのは三軸室である。三軸室の概要は図-1 に示してある。三封のユニットを組み立てることにより三軸室が形成される。各ユニットはプレシャラバーダイヤフラム (厚さ 0.5 mm)、剛性有孔板、給排水ジョイント、エア抜きプラグ、ダイヤフラム導管からできている。プレシャラバーダイヤフラムの中実にはポーラスストーンが取り付けられ体積変化が測定できる。応力はブルドン管により制御され、その精度は 0.01 kg/cm^2 である。

実験は試体作成後 1 kg/cm^2 まで等方圧縮を行い、平均主応力 $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3$ を 1 kg/cm^2 に保ち、かつ Lode のパラメーター $\mu = (2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ を一定にして排水セリ断を行っている。ここで $\mu = -1$ のとき三軸圧縮 ($\sigma_2 = \sigma_3$)、 $\mu = 1$ のとき三軸伸張 ($\sigma_1 = \sigma_2$) となる。 ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) 最大主応力 σ_1 方向は砂の堆積方向とし、セリ断中に主応力の方向は変化しない。この時の応力経路を図-2 に示してある。

試料は気乾炭化した豊浦砂で、dense (初期間隙率比 $e_0 = 0.658$) medium dense ($e_0 = 0.768$) loose ($e_0 = 0.895$) の三種について実験を行った。相対密度はそれぞれ 84.3%, 52.5%, 12.9% である。

図-1



- 1 ラバーダイヤフラム
- 2 剛性有孔板
- 3 ポーラスフィルター
- 4 ダイヤフラム導管
- 5 有孔板ピストン
- 6 ピストンストロブガラス
- 7 有孔板移動シグナルピックアップ
- 8 スラストベアリング
- 9 試料内ジョイント
- 10 ユニット壁板
- 11 エア抜きプラグ
- 12 給排水ジョイント
- 13 ダイヤフラム押し
- 14 上部枠板
- 15 下部枠板
- 16 中間枠板
- 17 上部組板
- 18 下部組板
- 19 ダイヤロッド
- 20 膜

3. 実験結果の考察

破壊点は envelopes に入っていると思われる。この断強度は Mohr-Coulomb の基準に従い、粘着力を 0 とおいて

$$\sin \phi = \frac{(\sigma_1/\sigma_3)_f - 1}{(\sigma_1/\sigma_3)_f + 1} \quad (\sigma_1/\sigma_3)_f: \text{破壊時の主応力比}$$

から内部摩擦角 ϕ を算出した。図-3 には種々の μ について、dense, medium dense, loose の三種の内部摩擦角を示している。この図の中には円柱三軸圧縮試験から求めた強度も示している。(直径 10 cm, 高 12 cm, $e_0 = 0.792, 0.750$ * 印で表示) 初期間隙比は medium dense の場合に近く、本実験装置による強度はほぼ同じ強度である。破壊曲線の形が初期間隙比により、応力経路に依らないことは既に発表されている。いずれの密度においても、内部摩擦角は三軸圧縮 ($\mu = -1$) で最小値となり、 $\mu = -2/3$ までは上昇している。 $\mu = -2/3$ 以上ではほぼ一定となり、三軸伸張 ($\mu = 1$) では三軸圧縮より強度が大きい。三軸伸張付近ではわずかな強度が低下するように思われるがこれらは(2)の結果と一致している。また同一密度で内部摩擦角の最大値と最小値との差は loose 5°30', medium dense 6°, dense 6°9' と密になる程強度の差が小さくなる。平均変形率 ($\epsilon_2 = 0$) $\mu = -1/3$ である。

図-4 には既往の実験結果と von Mises 則 (Tresca 則) が示されている。どの実験結果も Mohr-Coulomb の破壊規準に近いことがわかるが、Mohr-Coulomb の規準は三軸圧縮強度値を用いると定量的に密度と強く見積れる。実験結果に最も異なるのは三軸伸張における強度が三軸圧縮のそれと等しくなるかという点である。本実験結果では三軸伸張の強度が三軸圧縮の強度より明らかに大きく、Green, Lade and Duncan, Procter and Bar

などの結果とはほとんど一致した破壊曲線を示している。本実験装置と他の装置に異なるのに同じ結果が得られた事は破壊曲線が本実験のようになると考えてよいと思われる。

本研究は、湿りな指導、御援助戴っている東北大学助教授河上房義先生、ハヤエ工助教授諸戸清史先生に深く感謝致します。

・論文発表の順序は、手元の資料が最大限の活用となるように、河上助教授の御指導の下、三軸圧縮試験の第 2 回工費工費に於いて、本年度と本年度と発表の予定である。

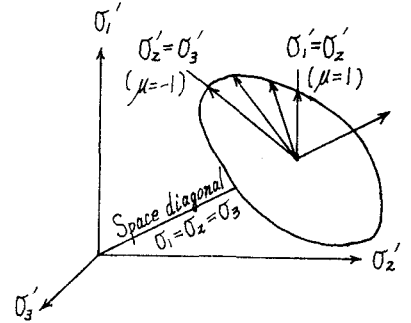


図-2

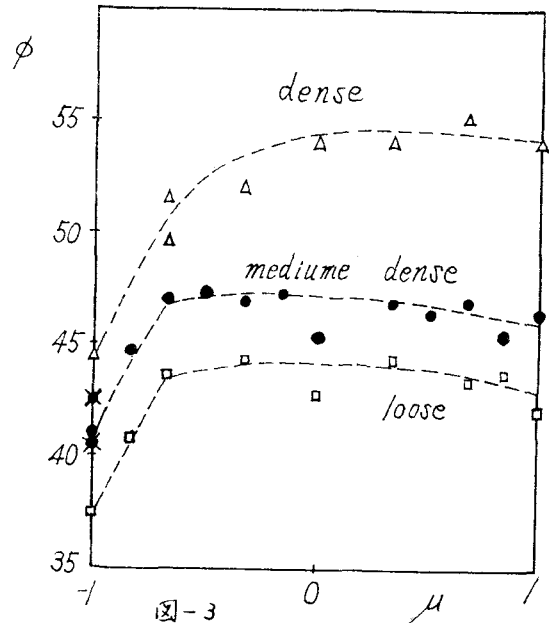


図-3

- A Ko (1966), Ko & Scott (1967)
- B Maheshwari & Frail (1960)
- C Sutherland & Mesdary (1968)
- D Green & Bishop (1969)
- E Lomize & Kryzhanovskiy (1967)
- F Sutherland & Mesdary (1969)

図-4

