

1. まえがき

砂の単純せん断あるいは一面せん断試験において、せん断応力の増加とともに、主応力の大きさおよび方向が変化することは周知の事実である。しかし、この事実を直接的にかつ定量的に実証した例は少く、Roscoe らによる一連の実験が知られるのみである。各種試験機による応力・ひずみデータ間の関係を明確にし、真に信頼し得る応力・ひずみ関係を提供するためには、供試体の応力状態・ひずみ状態が明確な、この種の実験データの集積が重要であるように思われる。^{①②}

主応力軸の方向はまた、粒状体の強度・変形の微視的なメカニズムと密接な関係がある。小田は三軸圧縮試験におけるひずみ硬化過程は、粒子間接点の最大主応力方向への集中によって特徴づけられることを見出した。^③さらに、小西、小田・小西は、単純または一面せん断試験においても、同様に、粒子間接点の最大主応力方向への集中が生じることと確めた。^{④⑤}なお、接点がある方向に集中するということは、粒状体の構造が異方的になることであり、上述のことと言いかえれば、主応力軸と異方性の軸とが一致するということである。

ところで、これまでの報告では、2次元粒状体における最大主応力方向の推定がややあいまいであった。そこで今回は、粒子間力の測定値を用いて、せん断の各段階におけるモールの応力図を作図し、応力状態の推移を調べるとともに、主応力の方向を求めた。作図に用いた応力点が各段階について2~4個と少なく、精度的にも十分とは言えないが、得られた結果は、前報までの主応力方向の値がほぼ妥当であったことを支持するものである。

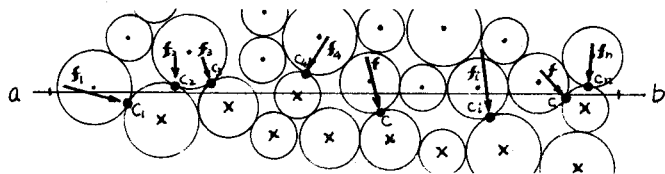
2. 粒子間力から応力への変換

粒状体内部に任意の直線 ab （一般的には平面）を考えよう（図-1の線分 ab ）。この線分 ab 上の平均応力は、 ab の上方に重心を持つ粒子と下方に重心を持つ粒子との間の接点 $C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n$ を通して伝達される粒子間力 f_i ($i=1, 2, \dots, n$)の和と線分 ab の長さ l （一般的には面積）で除したものに等しいと考える。線分 ab は水平面と α の角をなすものとする。粒子間力 f_i が線分 ab の法線方向となす角を β_i と表わせば、 f_i の ab に垂直な成分および平行な成分はそれぞれ $f_i \cos \beta_i$, $f_i \sin \beta_i$ となる。線分 ab 上の平均垂直応力 σ_a および平均せん断応力 τ_a は、それぞれ、 $\sigma_a = \sum_{i=1}^n f_i \cos \beta_i / l$, $\tau_a = \sum_{i=1}^n f_i \sin \beta_i / l$ (1) で表わされる。

線分 ab の方向と α に変化させて、 σ_a, τ_a を求め、 σ - τ 平面上に図示すれば、モールの応力図が描かれる。

3. モールの応力図

本報告の実験では、粒子数が少ないので、図-2に示す円形領域内の平行な直線群（13本、合計長さ l ）に沿って、接点を選ぶことにより、数える

図-1 粒状体内の線分 ab （長さ l ）

$\times$ 印の粒子は ab の下方にある。選択すべき接点は●印($C_1, C_2, \dots$)

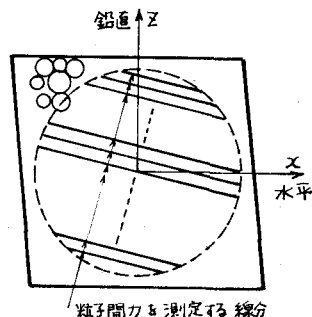


図-2 2次元粒状体モデルにおける粒子間力測定のための直線群。

(円形領域に限った解析の都合上の理由)

くし、局所的なばらつきの影響を除くようにした。また粒子間力は、先弾性縮次数と縮の形から、大きさと方向とそれぞれ測定しているが、粒子間力の小さい（縮次数0.2~0.4次以下）接点ばかりの数を省略せざるを得ず、一方、せん断力の増大とともに、平均粒子間力は増大することから、絶対値の比較が困難なため、水平面($\alpha=0^\circ$)上の垂直応力 $\sigma_v = \sigma_N \equiv$ 一定となるように、応力値を補正した。

このようにして得られた、応力図の例を図-3、図-4に示す。これらの図には応力比 τ/σ_N の値を破線で示してある。この τ/σ_N 線は、水平面上の応力点を通るべきものであるが、図-3のL12を除いて、比較的良好に合っていると考えてよい。

また最大主応力が鉛直となる角 ψ は、前報に示した粒子間接点の集中方向 ψ' と(図-4のDB4を除き)5°以内の誤差で一致していることがわかった。[図-3の最大主応力の付近にある応力点は各々の ψ 方向のものである。]

落合は、小田・小西の提案した $\tau/\sigma_N = \kappa \tan \psi$ (2)^④なる式より、 $\sigma_1 = (\tau^2 + \kappa \sigma_N^2) / \kappa \sigma_N$ 、 $\sigma_3 = (1 - \kappa) \sigma_N$ (3)の関係があることを示した。^④(3)式で興味深いことは、 σ_3 が τ に無関係であり、 σ_N が一定であれば σ_3 も一定となることである。図-3、図-4のモールの円内においても、若干のずれはみられるが、ほぼこの関係が成立している。

参考文献 ① Roscoe, Bassett and Cole (1967) Geotech. Conf. Oslo ② Cole (1967) 博士論文 Cam. Uni. ③ Oda (1972, 73, 74) Soils and Found. ④ Oda and Konishi (1974) Soils and Found. ⑤ 小田(1973) 土木学会年次講演会 545, ⑥ 落合(1975) 第10回土壌工学研究発表会

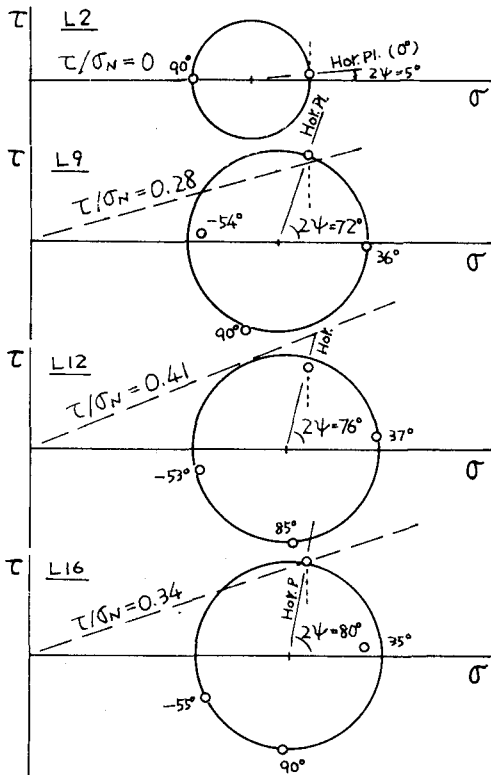


図-3 モールの応力図 (Lシリーズ)

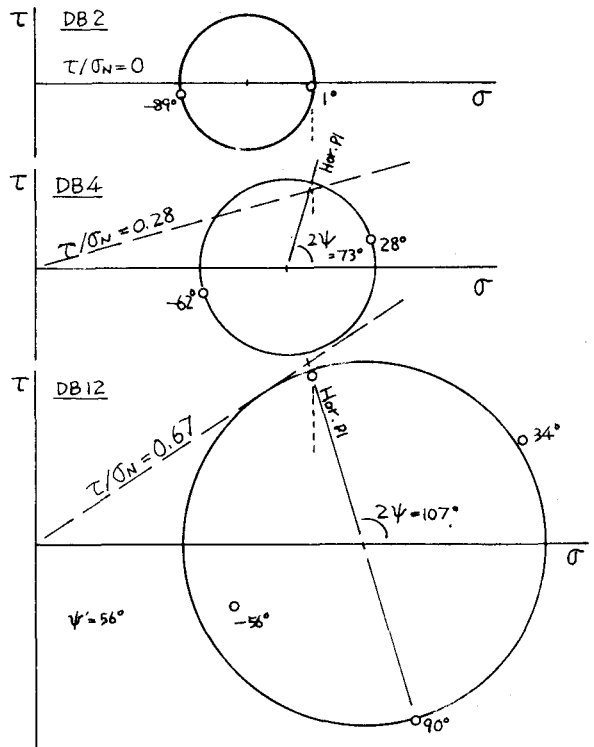


図-4 モールの応力図 (DBシリーズ)

図-3, 4とも同一スケール。図中 $90^\circ, -55^\circ, 37^\circ, \dots$ とあるのは面の水平からの傾角 α の値。