

1. まえがき

土を球や丸棒によりモデル化し、それらの構造特性を示す示標が多くの研究者により提案されている。本研究もその一環で、二次元アルミ棒を対象にし、平均接点数の、変形にともなう変化を実験により考察し、理論的根拠を考えてみたものである。

2. 実験の方法

試料の積層方法はランダムになるよう注意した。径は今回は 47mm のアルミ棒を均等径とした。載荷方法はP、 δ 試験と側圧一定の2種類について行い、側圧一定試験では繰り返し実験も実施した。接点数は写真で測定し、試料の5等分点線上の、側壁から3個離れた中心部分で行った。

3. 実験の結果

Fig1に $\Delta V/V$ と平均接点数の変化を示してある。図からは試験方法、載荷方法の如何に拘らず体積の増減に平均接点数の増減が直接対応していることがわかる。さらに $\delta=0$ とし、Pを変化させていく試験でも構造が弾性的変化として保持されるのではなく、接点数の変化をとらう構造変化が弾性的塑性的変化として生じていることを示している。すなわち、除荷時の変形は一般に弾性的であると考えられるが、除荷にともなう平均接点数の変化は、同様に体積変化と密接に関係にある。従って、弾性変化での接点数の変化を考慮したScottのHolleyモデルの有効性を示すものであるし、規則配列のモデルの限界を示すものと考えられる。Fig2に接点数の測定範囲と測定線及びスヤリ領域の変化を示してある。図から測定範囲はせん断領域だと考えてよいが、この領域での変化の割合は初期の接点数に比べて、最大5~6%であった。せん断径の両の実験では最大11%であり、この比は初期間隙比、粒度粒径によると考えられる。

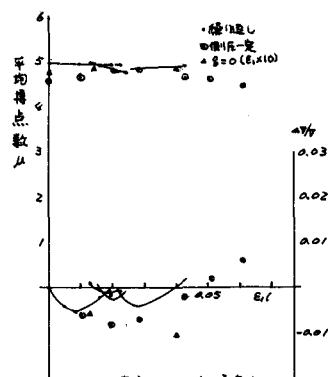


Fig1 体積変化と平均接点数



Fig2 接点数の測定領域

4. 平均接点数の表現方法

土を骨格構造として考える場合、液相や気相の役割や凝集性としての性格をとりいれることは困難が予想される。しかし、砂礫などの大きい粒子を対象とした場合有効であろう。構造を多辺形の辺数により分類していく方法を以前に発表した。そこでは平均接点数 μ を辺数の確率で表現する方法を示しているが、初期状態から変形し、異方性を帯びた状態に移っても $\mu=2+4(1-\alpha)$ が適用できるか否かを実験より求めた(Fig3)。図によると若干実測値が小さくなるが、ほぼ45度の直線上にあり、式の適用性は満足されていると考えられる。すなわち、初期間隙比、病径径路が異なっているにも拘らず、その影響があらわれてこざりことは、式は一般に成立することを示している。このモデルが対象とするのは変形にともなう構造変化である。

従って変形理論との関連を求める必要がある。そこで接点数が確率の関数であることに着目し、最上によつて土質力学に導入されたエントロピーの考え方をあわす。エントロピーを S とすると、 $S = -k_B \sum P_i \ln P_i$ 、 P_i は辺数 i の確率、 k_B は定数である。ただし最上は P_i を間隙比の分布より定義している。従つて、辺数より定義した S が状態に対応しているか否かが問題となる。Fig 4 で再度測した P_i より求めた $-S/k$ と式より求めた平均接点数 μ の関係を示した。図より、 $-S/k$ の同一値については、初期間隙比や変形経路が異なつていても、ほぼ等しい平均接点数であることを示している。すなわち同じ $-S/k$ だとしても変形経路によ

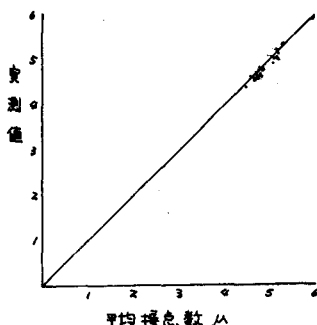


Fig 3. 実測値と式より求めた平均接点数

り P_i の変化はそれぞれ異なるが、状態としては同一であるということである。ただし、この場合状態を接点数、辺数により定義していることに注意しなければならぬ。しかし、平均接点数が体積変化に直線的に関係しているという事実は、粒状体の状態を近似的に表現していると考えてもおかしくないだろう。また、図では $-S/k$ と μ が、直線関係にあることを示している。Fig 1 より体積が減少すると μ が増加し、従つて $-S/k$ は減少する。 $-k_B \gamma$ だから S も減少する。体積が減少することは規則的配列となる

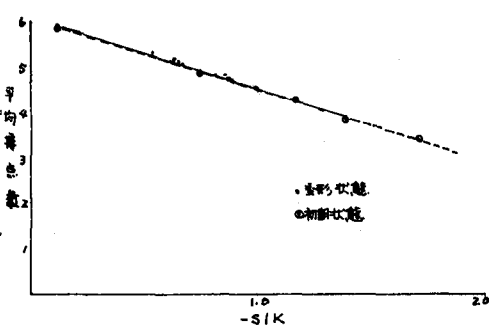


Fig 4. 平均接点数と $-S/k$

ことと考えると、 S の一般的の意味に合致する。そこで直線式を求めてみると $\mu = 7.54(-S/k) + 6.12$ となる。図には、初期間隙比に関して得た P_i の分布関数より求めた値も付してある。この場合も広範囲の間隙比についてほぼ直線となり $\mu = 7.49(S/k) + 5.98$ となっている。この差は勾配について3%切片について2%であり、式より求めた平均接点数は実測値よりもわずかに大きいこと。要は、た変形経路でも直線的であるという事実からするならば、近似的に等しい直線関係にあるといえる。つまり、初期状態も含めて状態量としてエントロピーが考えられることを示している。

次に定式化した状態量と変形を関連させなければならぬ。変形を準静的等温過程と仮定するならば、熱力学第一法則と第二法則より、状態I, IIについて $T(S_2 - S_1) = \int_1^2 dU - \int_1^2 P dV = \int_1^2 dE$ 、 T は温度、 U は内部エネルギー、 $P = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2)$ 、 $\beta = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)$ 、 $dU = d(\rho \theta)$ 、 $dE = d(\rho \theta - \beta \epsilon)$ 。今回はこれら諸量のほかで、 $\beta = 0$ で P を変化した試験について考えた。実験の結果をFig 5に示す。 $-S/k$ は P の増大とともに減少する傾向にあるが、ゆるやかにあり直線近似が可能である。

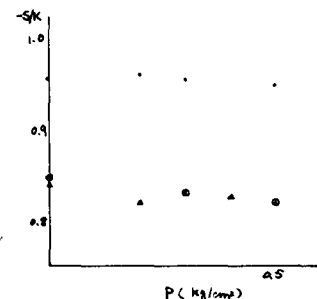


Fig 5. $-S/k \sim P$

これから他の応力経路及び混合径に拡張しなから、透水理論にある応用を考えてみたい。

参考文献 (1) Hon-Yin Ko and Ronald F. Scott "Deformation of Sand in Hydrostatic Compression" A.S.C.E. SM. 3 1967 PP.137-146 (2) 岡田三郎 "土質力学" 1973 (3) 岡田三郎 "土質力学" 1973 (4) 岡田三郎 "土質力学" 1973 (5) 岡田三郎 "土質力学" 1973 (6) 岡田三郎 "土質力学" 1973