

2次元粒状体の応力伝達についての試み

京都大学防災研究所 正員 村山朔郎

京都大学大学院 学生員 松岡 元

砂礫のような粒状体の力学特性のよって来たるべき機構と真に解明するためには、それらが粒子の集合体であるという原則にもとらねばならぬ。この方向の研究のもつ問題点として主に次のようなことが考えられる。(1) 粒度分布と粒子配置(構造)の関係、(2) 外力あるいは攪乱による粒子集合体中の個々の粒子の運動機構、(3) 個々の粒子の運動の集合としての巨視的運動。これら粒状体の力学運動の本質に関する問題と解明するため、まず2次元粒状体について考察を進めた。これは写真-1に示すように例えばアルミ棒を用いれば現象観察が容易であり、またこれまでのアルミ棒積層体についての実験¹⁾から粒状体としての特性を十分表現することがわかっていくからである。

1. 模擬サンプリング法による粒径と粒子配置の決定および粒子間力の伝達

箱の中に粒状体をぎざぐざと個々の粒子は悉く箱の中央部から端部へ順次安定する位置に積み上げられるであろう。この間の状況をシミュレートするため、模擬サンプリング法(モンテカルロ法)を採用した。これまでに2種の径(中1.6mm, 中3mm)のアルミ棒の混合積層体について実験を行なっているため、ここでは簡単のためこの2種の径の粒子の配置をシミュレートしたが、一般の砂礫の場合にも同様に拡張できる²⁾。2種の径の混合重量比(60:40)と粒子数比(数数比)(84:16)に換算し、乱数表をひいて例えば84までの数字が出たときは中1.6mmの粒子を、84以上9数字のときは中3mmの粒子を順次抽出することにする。そしてその粒子配置は最下段では左から右に横につめて並べるものとし、その上では左から右へ粒子の安定する位置に順次積み上げるようにした。このような方法で中1.6mmと中3mmの混合粒子が2cm x 1.5cmの箱の中へ入れられた場合の粒子配置をシミュレートしたのが図-1である。図中の連続番号は並べた順序を意味している。この間がざ比を計算すると $e=0.23$ となり、実験で求めた間がざ比とよく一致した。したがって図-1は一つの考えられる粒子配置であり、このような方法で粒度分布と粒子配置の関係は推定可能であると考えられる。

次に、この図-1の状態にある粒子の自重による粒子間力の伝達を計算した。計算上の仮定として、粒子は剛体とし、この状態では粒子間の相対変位は小さいものとして粒子間の摩擦力を無視した。また伝達力の未知の接点がある3個以上の場合には合力方向に近い2方向に伝達されるものとした。したがって図中の黒丸印のついてる6個所の接点では力伝達を無視している。なおアルミ棒(長さ5cm)の重量は中1.6mmで0.279g、中3mmで0.95gであり、伝達力はg単位でカッコの中に記入した。この計算結果より、底面に加わる合力は34.23gであり、側面では左、11.37g、右、14.96gであった。これに対し $82 \times 2 \times 5 = 32.7g$ 、 $\int_0^{1.5} K_0 \gamma z dz \times 5 = 12.26 \times K_0$ である。 $K_0 \div 1$ となるのは、実際には局所的にわずかの粒子間の相対変位があるのに、粒子間摩擦力

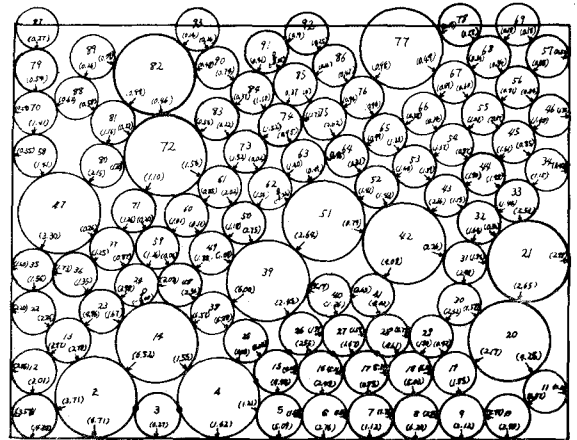


図-1 模擬サンプリング法による粒径と粒子配置の決定および粒子の自重による粒子間力の伝達

を無視しているためと考える。

2. セン断中の粒子配置とせん断抵抗力

せん断中の粒子の運動機構を明かにするため、写真-1に示すように
φ5mmとφ9mmのアルミ棒の混合積層体と試料として一面せん断試験
を行なった。NewlandとAllely³⁾が主張しているように、せん断抵抗
力やダイラタシ量などは我々が測定する巨視的量は個々の
粒子の挙動の集合である。せん断抵抗力 S について考えると、
個々の粒子に働くせん断力を S_i 、垂直力を N_i とし、せん断面で
相対運動を有する粒子ビュシの接点での接線方向と S の方向との

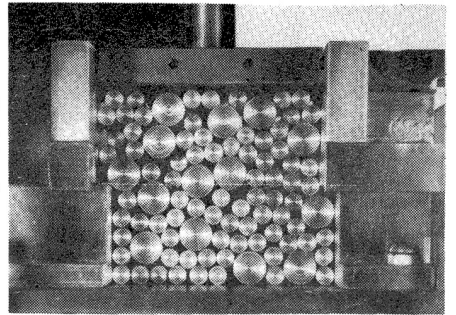


写真-1 セン断中の粒子配置

な方向と α_i とし、粒子間の摩擦角を ϕ_μ (アルミ棒の場合、 $\phi_\mu=18^\circ$) とすると、 $S = \sum \{ N_i \tan(\phi_\mu + \alpha_i) \}$ と
表現できる。いままでの研究ではせん断面上の
全ての粒子に等しい N_i が作用するとし、 α_i が全て
等しいという仮定のもとに解析がなされていたが、
ここでは N_i を粒子間力の伝達から計算し、 α_i も写
真から読み取ってより厳密にせん断抵抗力を求め、
せん断力と垂直力の比(=tan θ)の値を実測値と
比較した。図-2はA粒子に単位垂直荷重(10)が
作用したとき、斜線をほどこしたせん断面上の粒子
までの伝達される力を計算したものである。
計算では粒子の自重は無視し、特別な場合を除いて
粒子間摩擦角も無視している。この図において上の
載荷板に伝達される力があるが、反力としてこれに
等しい力が載荷板から与えられるので上載荷重は
事実上増加することになる。実験観察から、反力をうけ
もつものを除くとA, B, C粒子にだけ上載荷重が作用
しているのがみられたので、B, C粒子についても図-2
と同様の単位垂直荷重による粒子間伝達力を求め、
それらを重ね合わせてせん断面上の粒子に働く
力だけを示したのが図-3である。この図をもとに
計算したtan θ は0.63となり、これに対して
実測値は0.62で両者はよく一致した。

1) 例えば、村山、松岡、小川：トンネル外周地盤の応力と変形に
ついて 土学会関西支部講演概要(昭和43年)、2) 松尾、駒田、高橋
砂層の変形に因るモデルリング的研究 土学会年次講演概要(昭
和44年)、3) Newland & Allely: Volume Change in Drained
Triaxial Tests on Granular Materials Geotech. Vol. VIII (1957)

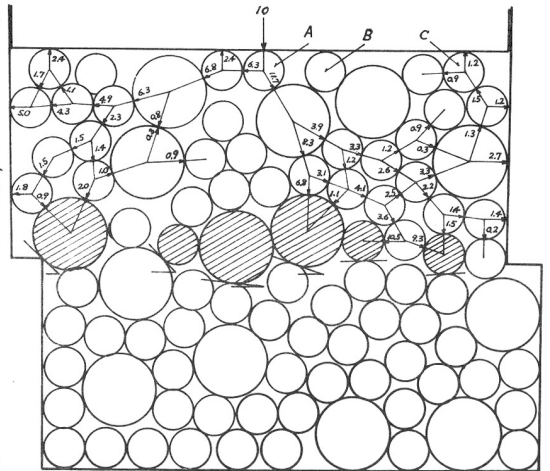


図-2 A粒子に働く単位垂直荷重(10)の伝達

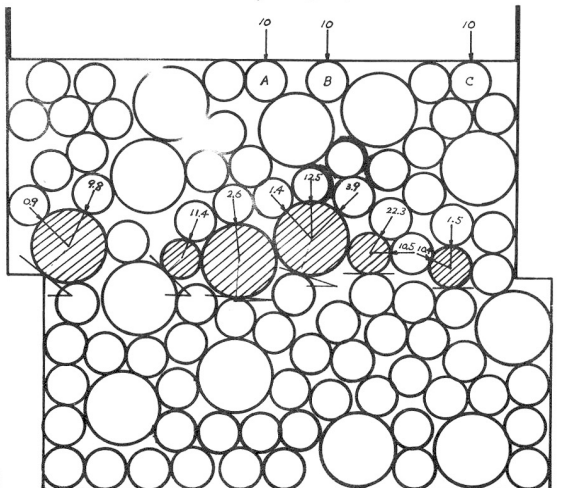


図-3 A, B, C粒子に働く単位垂直荷重(10)により、せん断面上の粒子に伝達される粒子間力