

1. まえがき

土のような粒状体をミクロな立場から二次元の円形の粒子の集合として取扱い、その内部応力を推定したい事があるが、そのために土粒子の構造をいわゆる構造解析における骨組構造に置き換えて、マトリックス法によって解析する試みは行われている¹⁾。しかし本来非引張材であり又堆積層としての性質も有する土のような粒状体を、弾性部材から成る骨組構造にシミュレートする事には難点があると思われる。そこで粒状体の特性として、夫々の粒子を一つづつ積み重ねた様な構造であり、粒子間には引張力は作用せず、重力によって生ずる内部の力は必ず上方から下方へ伝達すると仮定して、主として静力学的な釣合いの条件を基にして、各粒子毎に逐次その伝達力を電算機で計算して行く方法を試みた。そしてアルミの丸棒を積み重ねた幾つかのモデルについてその内部応力の分布状態を解析した。

2. 解析の方法

二次元の粒状体について粒子の形状は円形であり、夫々の粒子は剛体であると考え、その集合体は一つづつ積み重ねられたいわゆる堆積層であり、その中の一個の粒子については、図-1を参照して次の様な仮定が成立するものとする。

- (i) ある粒子は円形と言う形状の特性によって、堆積する場合には原則として下部にすでに堆積している粒子の中の二個と接触して安定する。即ち二個の粒子に接点を支点として支持されている。
- (ii) ある粒子はその上部に積まれた幾つかの粒子から外力を受けて自重を加算し、その下部の支持している二個の粒子に力を伝達する。

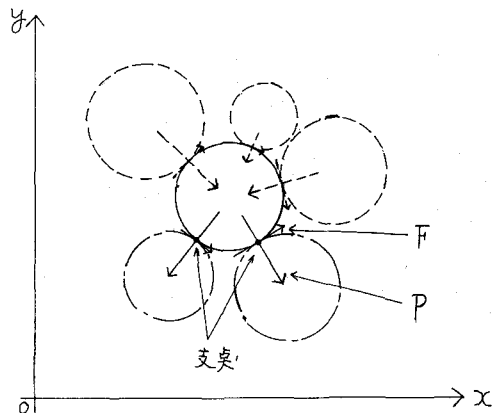


図-1

伝達力としては接触によって伝達する求心圧縮力即ち骨組の軸力と、粒子間の摩擦によって伝達するせん断力とを考える。ある粒子が受ける外力の軸力、せん断力を夫々 P_0 , F_0 とし、下部の二個の粒子へ伝達する軸力、せん断力を夫々 P_1 , P_2 , F_1 , F_2 とする。又その粒子の自重を W 、各力の x 軸、 y 軸に関する方向余弦を夫々 μ , ν とする。軸力の x , y 方向の釣合いの条件より

$$P_1 \mu_1 + P_2 \mu_2 = \Sigma P_0 \mu_0, \quad P_1 \nu_1 + P_2 \nu_2 = \Sigma P_0 \nu_0 + W$$

せん断力については回転の釣合いの条件より

$$F_1 + F_2 = \Sigma F_0$$

又せん断力は摩擦によって伝達されるので、その大きさは軸力に比例すると仮定する。即ち

$$F_1 / P_1 = F_2 / P_2$$

各粒子について以上の四式を解けば、下部の二個の粒子への伝達力 P_1 , P_2 , F_1 , F_2 が求められる。特殊な場合として底面上に置かれて安定している粒子の様に、一点で支持されているケースもあるが同様な考え方で解いた。

最上部即ち地表面に相当する部分の粒子は外力がゼロ又は既知であるから、上方から順次に記の計算を行えば全ての内部応力が計算出来る事になる。この解析の過程をプログラミングしたが計算機の記憶すべき事項は主として各粒子の中心の座標、接触点の番号等であり、大きな二次元の配列がないので容量の面で有利であった。又マトリックス法の様に大きな元数の連立方程式を解く事もないので計算時間も非常に短縮出来た。計算のモデルとしては長さ10cm径0.8~2.0cmのアルミの丸棒を高さ20cm、幅約40cmの鋼製の箱に数百本積み重ねたものを利用した。写真を利用して各粒子の座標を決めたが、データの精度を上げる事と多数のデータを作成する作業は非常に手間のかかるものであった。

又実際の計算に際しても種々な問題が生じた。各粒子を比較的規則正しく積み上げたモデルでは、軸力の伝達のパターンが四辺形の網目の集合となり、問題は少なかった。しかし複雑な積み方をしたモデルではしばしば力の伝達の順序が不明になり、プログラムにはある程度伝達経路を修正する機能を持たせていたが、下部の粒子がら上方へ力を伝達する様な場合も生じて不合理な結果の得られる事もあった。

3. 解析例

図-2は直径2cmのアルミ丸棒をや、不規則に積み上げた場合の、内部応力の分布状態を示した解析例の一部である。上部は最上部即ち地表面に相当し、左側は箱の壁に接している。この様に側壁に作用する力、即ち土の静止土圧に相当する圧力の分布を幾つかの例で調べた。比較的規則正しく積み上げたモデルでは力の分布はやや三角分布に近く、その合力も小さく静止土圧係数の相当するものは0.3~0.4程度であった。これに対して不規則な積み方をしたものの程、圧力の分布もばらついたものとなり、合力も大きくなって静止土圧係数にして0.9位のケースもあった。

図-3は比較的規則正しく積み上げた粒状体について、土のアーチングに相当する現象を生ぜしめた場合の解析例である。底面に作用する力をアーチング発生前と比較すると、アーチの支承に当る部分の圧力が2倍程度は増加しその他の部分では変化は小さかった。

引用文献

- 1) 伯野元彦, 平尾寿雄
土のランダムパッキングに関する一つの試み 土木学会論文報告集 No 219.
1973-11

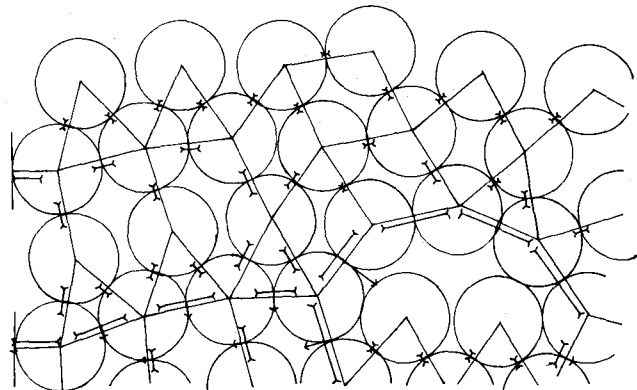


図-2

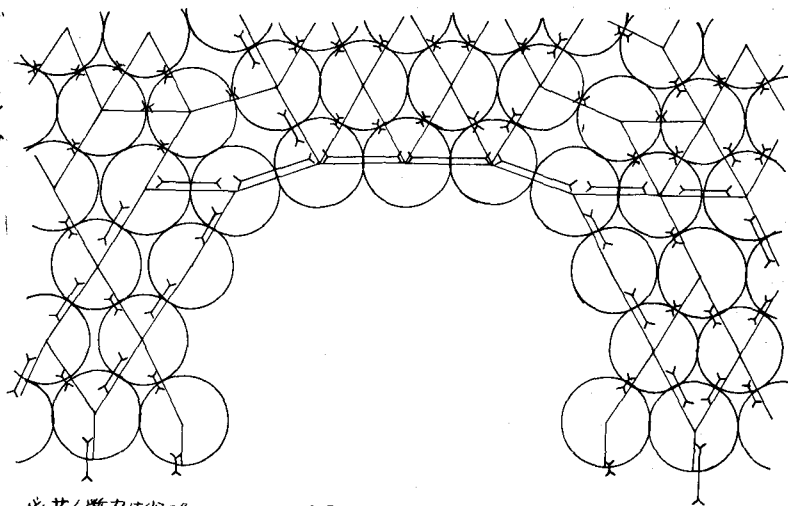


図-3

* せん断力は省略