

III-431 DEMによる扁平粒子の堆積に関する研究

埼玉大学工学部

正会員

○岩下和義

大和ハウス工業(株)

福岡和男

1. はじめに

最近の計算機の急速な発達により、地盤や土質材料を非連続な粒状体の集合体と考える解析法が可能となって来た。その一つにDEM(個別要素法)がある。DEMにより従来の土質実験を解析することが可能となって来た。しかし、従来の2次元DEMでは要素は円形が主であり土粒子の複雑な形状を十分に表現できない。このため川崎ら¹⁾は楕円形要素を提案している。しかし接触判定等が円形要素に比べ複雑になり、大規模な解析を行なう際の問題となる。

本研究では、2つの円形要素を使用した新しい要素形状の表現方法を提案する。もともになる要素に従来の円形要素をそのまま用い、2つの要素が剛体的に結合しているものとしてその重心の挙動を追跡し、並進と回転運動を追跡するという方法である。以下、この2つの円形要素の結合体をペア要素と呼ぶことにする。なお、3次元ペア要素も全く同様に定式化できる。必要情報量の最小化ならびに計算量の最小化は、解析規模を大きくする為と解析速度向上の為に必要である。このためには最も簡易な円形要素を基に、結合させたペア要素の定式化を行なうことが適していると思われる。

解析例として、扁平な要素が堆積する過程の2次元解析を行ない、異方性をもつ要素の堆積時にみられる特性の解明を試みる。

2. ペア要素の定式化

ペア要素の運動の説明図を図-1に示す。周囲の要素との接触判定と接触力の計算では、ペアのつながりは考えずペアを構成している各要素で従来の円形要素と同じ式で行なう(図a)。次に各要素に働く力がそれぞれの要素の中心に働くに近似する(図b)。要素の中心に働く力より、ペア要素の系の重心に働く力とモーメントMを求めることができる(図c)。この力を用い系の並進運動を追跡することができる。また系の慣性モーメントをIとすれば、重心に働くモーメントMと重心の角加速度 β との間に以下の関係が成立つ。

$$M = I \cdot \beta \quad (1)$$

(1)式を要素の回転の運動方程式として、ペア要素の回転角度を追跡することができる。各構成要素の運動は並進と回転の運動の和として求まるので、逐次的にペア要素の挙動を追跡できることになる。本研究では簡明の為、要素の各部に働く力を重心に働く力にまとめペア要素のモーメントを近似的に求めているが、力の作用点は判っているので正確なモーメントを出すことは容易である。

このペア要素では、2つの要素の重なりや粒径に変化を持たせることにより、扁平度の異なる要素や偏心した要素等のいろいろな形状の表現が可能となる。DEMシミュレーションにおいて今回提案するペア要素と従来の円形要素の混在は容易であり、適当な比率で混在させたりあるいは扁平度や偏心度の異なる何種類ものペア要素を用いることにより円形要素では表現不可能であった異方性をもった土の特性を表現することができるとと思われる。また、ペア要素は強い力を受けると二つの円形要素に別れるとすることで、粒子の破碎現象にも容易に対応することができる。

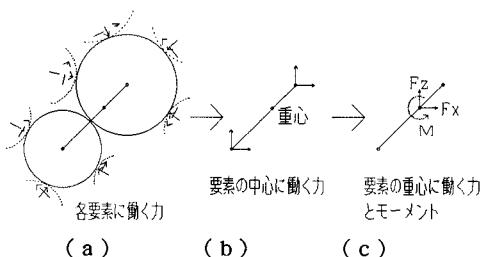


図-1. ペア要素の運動

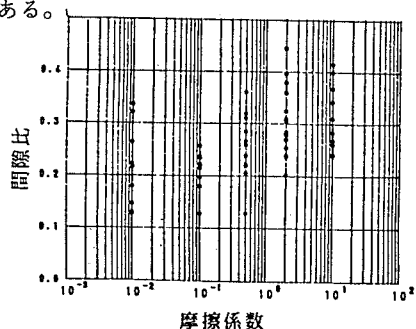


図-2 摩擦係数と間隙比の関係

3. 堆積過程の解析

まずペア要素15個（円形要素30個，半径は5 cm）を落下堆積させ、ペア要素がある場合とない場合、要素の摩擦係数、減衰定数を変えた場合、要素の偏平度を変えた場合、要素の偏心率を変えた場合、要素の初期配置・傾きの影響などが堆積状態に与える影響を調べた。結果のうち摩擦係数と堆積物の間隙比の関係を図-2に示す。摩擦係数が大きくなると間隙比も大きくなる傾向が表れている。また水がある場合には若干間隙比が大きくなる、減衰定数と間隙比には関連がみられない、水の有無にかかわらず下の層の方が間隙比が大きくなる、偏平度の小さな要素の方が密につまるという結果が得られた。

次に要素数を増やし60個の偏平要素を用い、図-3のようにに堆積試験を行なった。0.2、0.5、1.0、1.5 mと落下高さを変え場合の間隙比の変化を図-4に示す。

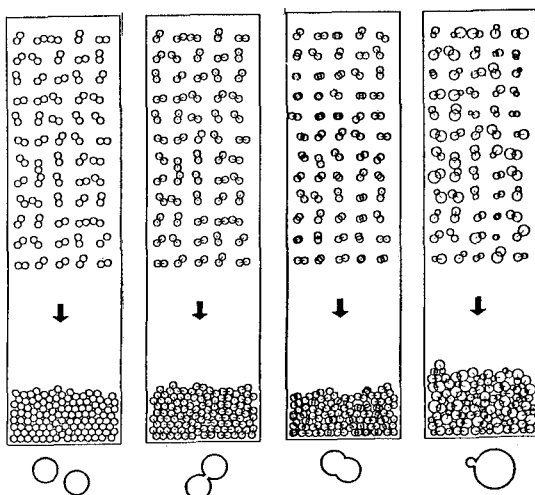


図-3 偏平要素の堆積

堆積物を水平に4層に分け、上から2、3、4層めの間隙比を軸にとってある。三角形が大きいほど堆積物の間隙が大きいくことを示す。落下高度が高いほど円形要素では間隙が大きく、偏平要素では小さくなり、ペア要素の方が円形要素より間隙が大きいくことがわかる。ペア要素に同じ初期の傾きを与えた場合、高度による間隙比の変化が少なくなるという結果が得られた。また粒径と初期傾きがランダムな場合ほど、高度が高くなると堆積時の間隙比が小さくなる現象がみられた。

4. まとめ

円形要素2つからなるペア要素により、円形以外の要素形状を容易に表現でき、偏平度や偏心率の異なる要素の挙動を追跡できることが判明した。

ペア要素の堆積シミュレーションにより、偏平な要素が堆積する場合には、円形な要素のみが堆積する場合に比べ間隙比が増加することが確かめられた。要素間の摩

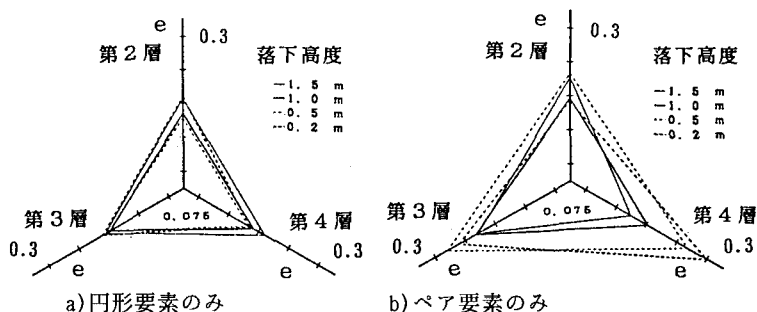


図-4 層ごとの間隙

擦係数が大きくなると全体比での間隙比も大きくなる関係があることが明らかになった。また、水中での堆積では、若干間隙比が大きくなることと、落下高度が増すと間隙比が小さくなる傾向が表れることなども判明した。

今後、このペア要素を用いることにより、一面せん断試験や一軸圧縮試験等の土質試験へのDEMシミュレーションの適用性が大きく向上し、異方性をもつ土質材料の粒状体シミュレーションを行なうことができると思われる。

参考文献

- 1) 川崎了・木山秀郎・藤村尚・西村強・池添保雄：楕円形要素を用いた単純せん断試験のDEM解析、土木学会第42回年次学術講演会概要集、Ⅲ部門、pp. 246- 247、1987.
- 2) 岩下和義：粒状体シミュレーションによる地盤の動的破壊解析、東京大学地震研究所彙報、Vol. 63 No. 2、pp. 201- 235、1988.