

PSIII-5 粒状体シミュレーションを用いた 堆積過程に関する研究

埼玉大学大学院 学生員 ○児島聰之
埼玉大学工学部 正会員 岩下和義

はじめに 現在、地盤の振動解析などの動的解析では、多くの場合土を連続体として捉えており、土の示す非連続体的な挙動は十分に考慮されていない。これに対し DEM (個別要素法) は、土を独立した要素の集合体として扱うので土の非連続性を表現するのに適している。本研究では、土質問題として大変重要な、水中での粒状体の堆積過程・堆積後の土質材料としての特性の違いなどの問題に DEM を適用することを目標に、要素の周囲を満たす媒体 (水) から受ける力を考慮した、非連続体の水中挙動解析手法を提案する。その際に、今までの DEM には大きさが著しく異なる要素の接触時の反力を適切に表せないという問題があるので、適当な反発力が得られるように改善する。解析例として、以下の 2 例を行なった。

解析 I. 真空中と水中での要素の堆積のシミュレーション

解析 II. 流水中での要素の運搬堆積シミュレーション

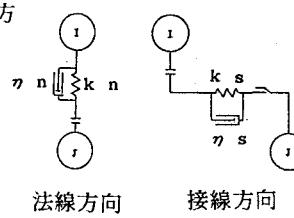
解析方法 解析の手段として Cundall の提案した DEM を用いる。DEM は、地盤等の媒体を非連続な要素の集合体と考え、各要素の挙動を時間的に追跡する方法である。接触した要素同士の力の受け渡しは、図-1 に示すバネとダッシュポットからなる Voight 型モデルで表現される。このモデルでは要素の径とバネ定数、粘性定数の値の組合せにより接触力が支配される。しかし多数の、かなり大きな違う要素を扱う場合、全ての要素同士の接触について適切なパラメータを決める事は困難である。そこで各要素を弾性体とみなし、円柱の弾性接触論から各要素の接触ごとにその場でバネ定数を求める方法を提案する。これにより要素の大きさによらず適正な反発力 q を得る事ができる。

接触した 2 要素を図-2 のように表すと、法線方向のバネ定数 k_n は以下の式で与えられる。

$$\delta = - \{ R_{ij} - (R_i + R_j) \}$$

$$b = \sqrt{R_i^2 - (\frac{R_{ij}^2 + R_i^2 - R_j^2}{2R_{ij}})}$$

$$q = b^2 \frac{\pi (R_i + R_j)}{8 R_i R_j} \left(\frac{E}{1 - \nu^2} \right)$$



法線方向

接線方向

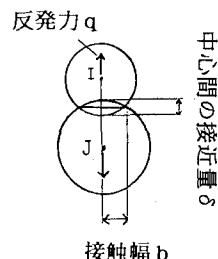


図-2 要素の接触

ただし R_i :要素 i の半径 R_j :要素 j の半径 R_{ij} :2 要素間の中心距離

δ :2 要素の接近距離 b :2 要素の接触面幅 $\div 2$ ν :要素のボアソン比 E :要素のヤング率

また接線方向のバネには法線方向の値の $1/4$ を、各粘性定数 η は $\eta = \sqrt{mK}$, m は要素の質量, の関係から求める事にする。

次に媒体から要素が受ける力として、浮力 B_i 、揚力 F_{Li} 、抗力 F_{Di} の 3 つを考え、以下の式で与える。

$$B_i = \gamma \pi R_i^2$$

$$F_{Li} = \rho (V_w - V_i) \Gamma$$

$$F_{Di} = C_D \frac{\rho (V_w - V_i)^2}{2} A \times S I G N (V_w - V_i)$$

ただし γ :媒体の単位体積重量 ρ :媒体の密度 V_w :媒体の流速

V_i :要素 i の速度 Γ :要素 i 周りの循環流 C_D :抗力係数 A :要素 i の代表面積

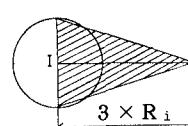


図-3 要素の影

流水中でのシミュレーションでは図-3に示すように要素の影を考え、影の中では流れの影響を受けないと仮定した。また両解析とも要素を格子状に配置し、初速度を0とする。使用したパラメータを表-1に示す。

表-1 解析に用いたパラメータ

要素密度	$2.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	媒体密度 ρ	$1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
媒体の粘性係数	$1.0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ sec}$	動摩擦係数	1.0×10^{-2}
ヤング率 E	$7.35 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$	ボアン比 ν	3.0×10^{-1}
時間増分	$5.0 \times 10^{-4} \text{ sec}$	抵抗係数 C_D	1.0
重力加速度	9.8 m/sec^2		

	解析 I	解析 II
要素数	50 個	100 個
要素半径	$1.0 \sim 3.0 \text{ cm}$	$1.0 \times 10^{-1} \sim 5.0 \text{ cm}$
解析時間	1.5 sec	2.0 sec
流速 V_w	-	5.0 m/sec

解析結果 解析I：まず堆積中の状況（図-4）より、真空中では全ての要素が等速で落下しているが水中では媒体の抵抗力の働きにより大きな要素ほど速く沈んでいる事がわかる。次に堆積後の状況より真空中では、大きな要素と小さな要素が入乱れて不規則に堆積しており、間隙が大きく上面の形状も不規則であることがわかる。それに対し水中では下部に大きな要素、上部及びその間隙に小さな要素と規則的に堆積している。また間隙も真空中の値に比べ小さく上面の形状もなだらかになっている。

解析II：要素の移動の軌跡（図-5）は、なだらかな曲線を描いており揚力が適正に働いている事がわかる。また要素半径と移動距離のグラフ（図-6）より大きな要素ほど流れにくくことがわかる。しかし10回転/秒以上の高速で回転する要素があり、これは要素が円形であるため回転に対する抵抗がほとんどないためと思われる。

両解析を通じて今回使用したパラメータでは、やや反力が小さいようである。

流れ方向 →

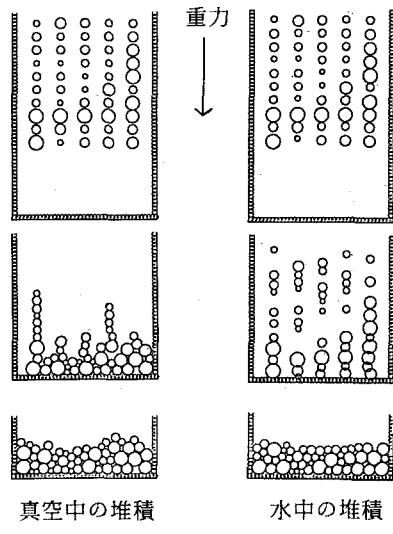


図-4 要素の堆積

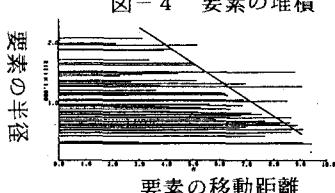


図-6 要素の移動距離



図-5 要素の移動の軌跡

結論 以上より、円柱の弾性接触論の導入によりかなり大きさの違う要素についても好ましい反発速度が得られるようになり、更に要素の周囲をみたす媒体による力を考慮したDEMプログラムにより水中等の密度の大きい物質の中の要素についても、より現実にあった解析が可能になった。しかし要素形状が円形であるため回転を始めた要素に対して媒体より抗力がほとんど働く要素が高速で回転してしまう問題が生じ、今後要素形状について改良する必要があると思われる。

参考文献 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, pp. 201 - 235, 1988.