

千葉工業大学 学生会員 梶山孝司
 千葉工業大学 正会員 清水英治
 千葉工業大学 正会員 渡辺 勉

1. はじめに

著者らは、乾燥砂（豊浦砂）を用いた落し戸実験により緩み土圧の基礎的研究を行い、個別要素法¹⁾（以下、DEMと略す）により落し戸実験の解析を試みている。DEMは、要素を剛体と仮定し、図-1に示すような法線および接線方向に弾性スプリングとダッシュポットを挿入した接触モデルを考え、個々の要素の運動方程式を微小時間で差分近似するものである。材料定数として法線および接線方向のばね係数 k_n, k_s 、粘性係数 η_n, η_s があり、これらの明確な求め方は確立されておらず、DEM解析をする

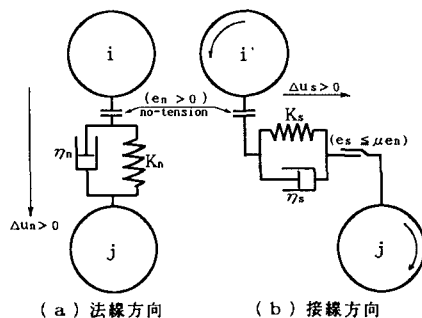


図-1 DEMの接触点モデル

際の問題点となっている。そこで、今回は法線方向のばね係数(k_n)をパラメータとして落し戸実験の解析を行い、その解析結果より知見を得られたので報告する。

2. 解析方法および解析条件

図-2に落し戸解析モデルを示す。要素は円形（半径1cm）とし、要素間の接触角が 60° の規則的な配列で、要素の密度は 1.767g/cm^3 で行った。土槽と落し戸を線要素で表現し、落し戸に相当する線要素を一定の速度で降下させることにより落し戸実験をシミュレートする。落し戸幅は30cmで、要素は17段積み上げその高さは約30cmである。

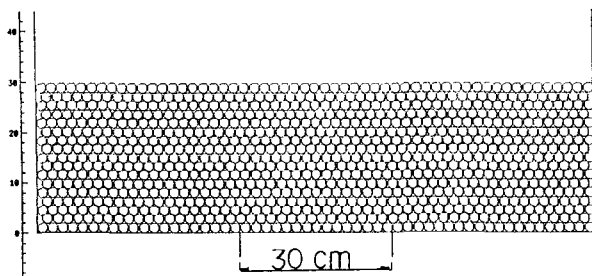


図-2 落し戸解析モデル

法線方向のばね係数(k_n)は、 $10^5, 10^6$ および 10^7gf/cm （単位奥行き当たり）の3種類行い、他の材料定数は(1)式により求めた²⁾。

$$k_s = k_n S \quad \eta_n = \sqrt{2 m k_n} \quad \eta_s = \eta_n \sqrt{S} \quad \text{----- (1)}$$

ここで S : 逓減率 ($=0.25$) m : 要素の質量 ($=5.55\text{gf}$)

DEMは運動方程式を時間差分近似するため、解の安定条件として時間ステップ(Δt)を(2)式を参考にして試行錯誤によって決定するのがよいとされ²⁾、 Δt は(2)式を考慮して求めた。

$$\Delta t < \sqrt{2 m / k_n} \quad \text{----- (2)}$$

解析結果は、落し戸降下時の落し戸作用荷重を出力し、落し戸降下量-作用荷重曲線により解析結果を比較する。

3. 解析結果

図-3は $k_n = 10^5\text{gf/cm}$ ときのもので、 $\Delta t = 10^{-5}\text{sec}$ 、落し戸降下速度(V)を1および 10cm/min の条件によるDEM解析結果を示してある。横軸に落し戸降下量、縦軸に落し戸作用荷重をとっ

である。この図より $V = 1$ と 10 cm/min を比較すると、ほとんど差異は生じていない。図-4 は、 $k_n = 10^6 \text{ gf/cm}$ 、 $\Delta t = 10^{-6} \text{ sec}$ で行ったもので、図-3 と同様に降下速度 $V = 1$ と 10 cm/min の解析結果である。図-3 の $k_n = 10^5 \text{ gf/cm}$ の時の解析結果とは異なり、降下速度が $V = 10 \text{ cm/min}$ となると、落し戸降下量-作用荷重曲線が変動している。これらの図より、法線方向ばね係数 (k_n) を大きくすると落し戸降下速度を小さくしなければならない。せん断試験などの拘束圧を作用させて DEM 解析する場合、要素間の接触力が大きくなり、 k_n の変化による変形速度の差異がさらに顕著に生じると考えられる。

図-5 は、 $k_n = 10^5, 10^6$ および 10^7 gf/cm の時のもので、 Δt はそれぞれ $10^{-5}, 10^{-6}$ および 10^{-7} sec とし、降下速度は全て $V = 1 \text{ cm/min}$ の条件で行った解析結果である。また、図-5 において $k_n = 10^6 \text{ gf/cm}$ の時は落し戸降下量 (横軸) のみのスケール 10 倍にとり、 $k_n = 10^7 \text{ gf/cm}$ の時にはそのスケールを 100 倍にしてとってある。この図より、これら 3 つの解析結果の落し戸降下量-作用荷重曲線はほぼ同様な軌跡をえがいているのがわかる。このことは、落し戸作用荷重の最小値に着目すると法線方向ばね係数 (k_n) の値が変化してもその最小値はほぼ一定となり、落し戸最小作用荷重ときの落し戸降下量のみ変化し、その変化量は k_n の増加に対して反比例して小さくなることわかる。

4. おわりに

材料定数は実験により求めるべきであるが、それは容易なことではない。今回、法線方向ばね係数 (k_n) の変化による DEM 解析を行い、上述した DEM の特性を知ることができた。さらに、様々な条件で解析条件で解析を行い、実験値と比較検討することにより材料定数が明らかになっていくと考える。

〈参考文献〉 1) Cundall, P.A.: A Computer model for simulating large-scale movement in block system, Proc. symp. Soc. Rock Mech. Nancy, vol. 2, pp. 129 ~ 136, 1971 2) 木山英郎, 他: カンドルの離散剛要素法を用いた岩盤粒状体の重力流動解析, 土木学会論文報告集, pp. 137~146, 第333号 1983. 5

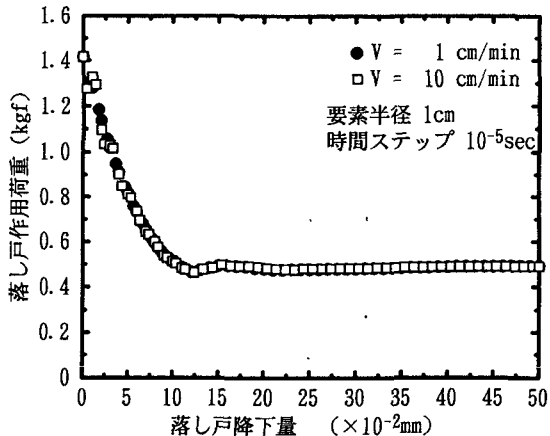


図-3 DEM解析結果 ($k_n = 10^5 \text{ gf/cm}$)

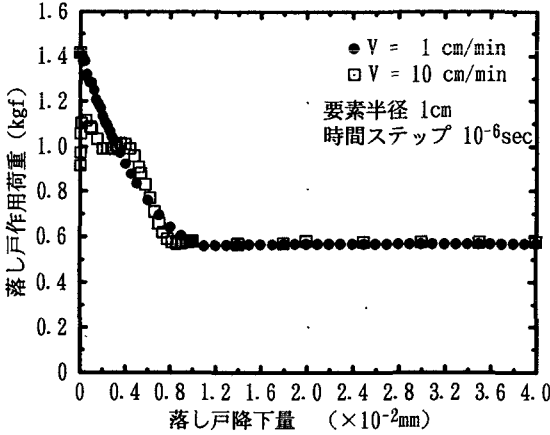


図-4 DEM解析結果 ($k_n = 10^6 \text{ gf/cm}$)

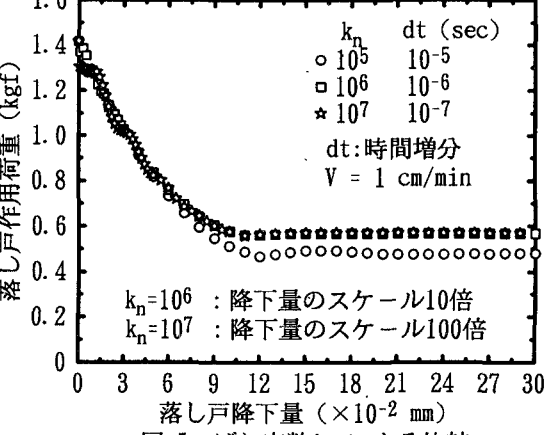


図-5 ばね定数 k_n による比較