

1. はじめに

従来、崩壊の様な斜面安定問題については極限平衡法による解析や弾塑性問題としての取扱いがなされてきた。これらは崩壊が起きる瞬間までの間に対しては有効な解析手段ではあるが、崩壊土の運動については解析の対象とはならない。しかし、実際の山地崩壊では崩壊から土石流へと移行している例は数多く見受けられ、崩壊始動時から流動化までの連続的な現象を解析する必要があると著者らは考える。Cundallの提唱した個別要素法（DEM）はこの種の問題を扱うのに有効な手法である。本報告では室内崩壊実験程度のスケールの崩壊土砂の動きをDEMで検討した。

2. DEMによる解析方法

2つの粒状体が接触あるいは衝突するとき、完全弾性的衝突とはならない。そこで、一つの粒状体を剛体とみなし、粒状体の持つ弾性的及び非弾性的性質は接触点間に挿入した弾性スプリング（剛性定数 K ）と粘性ダッシュポット（粘性定数 η ）で表現する。このとき一つの要素の平行移動（ u ）と回転移動（ ϕ ）に関する運動方程式は(1)式のように略記される。

$$m \ddot{u} + \eta \dot{u} + K u = 0, \quad I \ddot{\phi} + \eta r^2 \dot{\phi} + K r^2 \phi = 0 \quad (1)$$

これらは減衰振動を表すが、実際の計算では(1)式を時間増分 Δt によって差分近似するとともに、未知変位 u と ϕ を陽に含む式に変形する。 u について(2)式に示す。

$$m [\ddot{u}]_i = -\eta [\dot{u}]_{i-1} \Delta t - K [u]_{i-1} \Delta t \quad (2)$$

さらに、注目する要素に接触するすべての要素の変位量から応力を計算し、時間 t における加速度を求め、要素の新たな変位量を求める。

また、接触時の粒子間の作用力については（木山）¹⁾を参考に以下のように処理する。

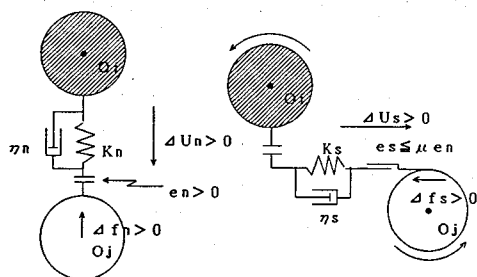


Fig1 (a)

Fig1 (b)

Fig. 1 に示すように、微小時間増分 Δt 間の相対変位増分 Δu に比例した抗力増分 Δe を生じる弾性スプリング（剛性定数 K ）と相対変位速度 $\Delta u / \Delta t$ に比例した抗力 Δd を生じる粘性ダッシュポット（粘性定数 η ）の並列配置を仮定する（式(3)参照）。

$$\Delta e = K \Delta u, \quad \Delta d = \eta \Delta u / \Delta t \quad (3)$$

従って、時刻 t における弾性抗力 $[e]_t$ と粘性抗力 $[d]_t$ は(4)式ようになる。

$$[e]_t = [e]_{t-1} \Delta t + \Delta e, \quad [d]_t = \Delta d \quad (4)$$

以上より、時刻 t における2要素間の法線方向ならびに接線方向圧縮力 $[f]_t$ は(5)式で表される。

$$[f]_t = [e]_t + [d]_t \quad (5)$$

次に、材料定数 K 、 η と時間増分 Δt の決定については、一自由度の振動方程式(1)において、最も減衰が早いのは(6)式の時である。

$$\eta = 2\sqrt{mK} \quad (6)$$

また、解の収束性と安定性を得るための条件から Δt は次式のように設定する²⁾。

Table 1 () は飽和域内)

$$\Delta t < 2\sqrt{m/K}$$

(7)

	粒子⇄粒子	粒子⇄壁
$K_n(\text{g/s}^2)$	9.45×10^7	1.89×10^8
$\eta_n(\text{g/s})$	1.59×10^5	3.17×10^5
$K_t(\text{g/s}^2)$	2.36×10^7	4.73×10^7
$\eta_t(\text{g/s})$	7.93×10^4	1.59×10^5
μ	0.7 (0.28)	0.8 (0.7)

Table 1 に計算条件を示す。今回の解析では、降雨装置を用いた崩壊実験で発生した飽和帯を参考に、飽和帯内の粒子については、浮力と内部摩擦角の減少を考慮した。なお粒子は353個、直径は8 cm、土粒子密度は2.65 g/cm³とした。

3. 結果と考察

解析結果をFig 2 に示す。図中の要素の中心から延びる線分は要素の速度ベクトルを表している。これらの図から次の事が特徴として言える。0.3秒後では斜面中上部の要素が斜面と平行に加速を始め、それらに押される形で斜面下部の要素が上方に押し出された。また、0.7秒後では要素の速度ベクトルは斜面部上方の物ほど大きかったので、斜面上部の要素が斜面部下方の要素を乗り越える動きを示した。さらに、1.0秒後では下方平坦部において円弧状のすべり面が確認でき、斜面部の要素が下方平坦部に衝突する事で攪乱された。藤平らの崩壊実験では、崩壊によって斜面部下方の地表を斜面部中央の地表が乗り越え、土塊が盛り上がるような形状を示した事、また斜面上を落ちた土塊が下方平坦部に達したときに衝撃を受け激しく攪乱された事が報告されているが³⁾、今回の解析でもこれらの事が認められた。よって、DEMによる解析結果はある程度現実の崩壊運動を再現していると考えられ、有効性が確認された。

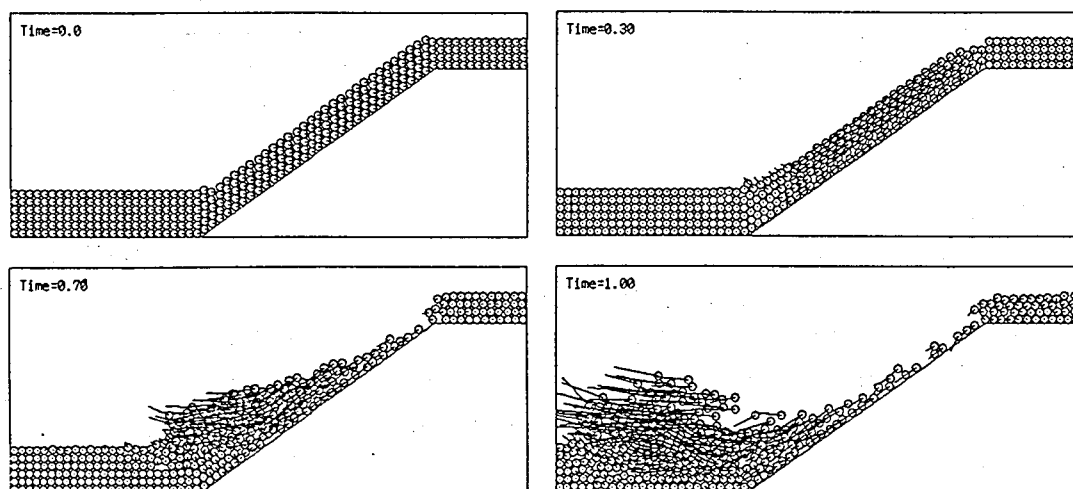


Fig 2 解析結果

4. おわりに

今後は間隙水圧を考慮したモデルの開発を試みたい。

参考文献

- 1) 木山、藤村：カンドルの離散剛要素法を用いた岩質粒状体の重力流動の解析、土木学会論文集、第333号、pp.137-146、1983。
- 2) P. A. Cundall、O. D. L. Strack：A discrete numerical model for granular assemblies、Geotechnique、29、No.1、pp.47-65、1979。
- 3) 藤平ら、：斜面崩壊発生時の土層の変形、平4砂防学会講、pp.18-21、1993