

I-566

個別楕円要素法による
粒状体構造の動的破壊過程の解析

東京大学生産技術研究所 学生員 松島 亘志
東京大学生産技術研究所 正員 小長井一男

1、はじめに

フィルダムやマウンド、海底の捨石基礎などの粒状体構造の地震時の安定解析は、Mohr-Coulombの破壊基準を用い、震度法により行なわれているものが多い。しかし、過去のいくつかの実験的研究によると、粗粒からなる構造の動的破壊には、砂や粘土の構造の破壊と異なる特徴があることが指摘されている。そのような特徴が現れる原因の一つとして粒子形状の影響が考えられる。本研究ではその影響を取り込むために楕円形の粒子を用いた個別要素法解析を行ない、粗粒からなる堤体構造の破壊加速度の周波数依存性の問題について考察を加えた。

2、斜面上の単一粒子の移動シミュレーション

図1のように、傾斜面上に長軸、短軸の長さがそれぞれ1.5cm、1.0cmの粒子を置き、時間とともに振幅の増加する正弦振動を加えて、粒子の移動の状況を観察した。個別要素法で用いたパラメータは表1の通りである。振動加速度がある値を超えると粒子は転がるか、滑るかのいずれかの運動を伴って移動を始める。加振周波数を2Hz~10Hzと変化した時の、振動の加速度と粒子の移動距離の関係を図2に表わす。2Hz~6Hzの場合は、粒子は転がりにより、また8Hz、10Hzの場合には滑りにより移動を開始した。転がりによる移動の始まる加速度は、加振周波数によって大きく異なる。これは、転がりによる移動が起こるためには、一定のポテンシャルの変化が必要であるため、振動によって粒子が得る運動エネルギーがある値を超えることが必要条件となるからである。このため、転がりに必要な速度に加振周波数を乗じた加速度に、周波数依存性が現れる。このような周波数依存性は、起伏ある面を粒子が乗り越える場合にも現れる。

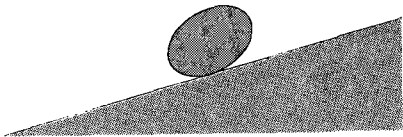


図1 斜面上の楕円粒子

表1 計算で用いたパラメータ

時間増分 Δt	1.0×10^{-4} sec	動摩擦係数 ν	1.0
粒子密度 ρ	2.0×10^3 kg/m ³		
法線方向ばね定数 k_n	3.0×10^6 N/m	法線方向減衰係数 C_n	5.0 kg/s
接線方向ばね定数 k_s	1.0×10^6 N/m	接線方向減衰係数 C_s	5.0 kg/s

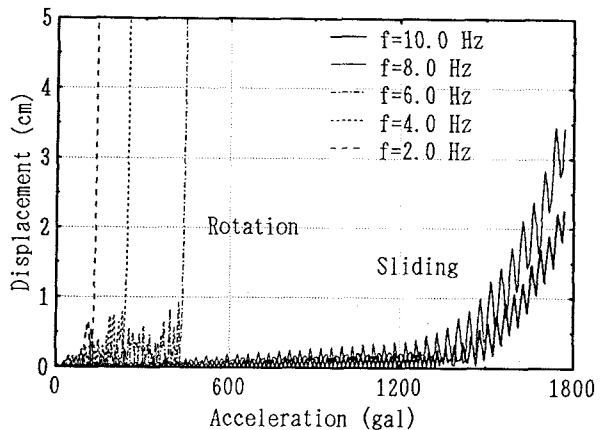


図2 楕円重心位置の移動量

3、堤体構造の振動破壊シミュレーション

粒径及びアスペクト比(短軸/長軸)をそれぞれ図3、図4のような正規分布に従って発生させた楕円粒子170個を用いて、両側に勾配1:2の斜面を持つ高さ約25cmの堤体を作り、これを堤軸直角方向に正弦波で加振し、その振幅を徐々に上げながら、破壊過程のシミュレーションを行なった。用いたパラメータは表1と同じである。図5で10Hzで堤体を加振したときの、堤体右半分の粒子の位置、及び重心の軌跡を時間を追って示す。加振の初期の段階(0~400gal)で堤体頂部がわずかに沈下し、斜面がはらみ出す。更に加振加速度の振幅を増加すると、斜面の滑動が開始する。斜面はある厚みをもって滑り、その

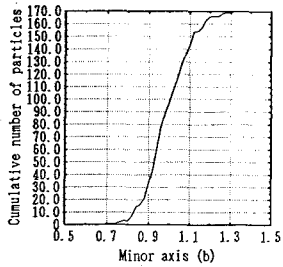


図3 楕円粒子の短軸 (b) に関する加積曲線

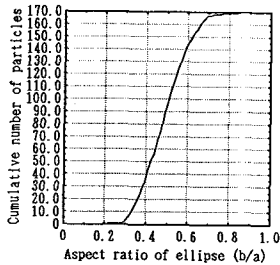


図4 楕円粒子のアスペクト比 (b/a) に関する加積曲線

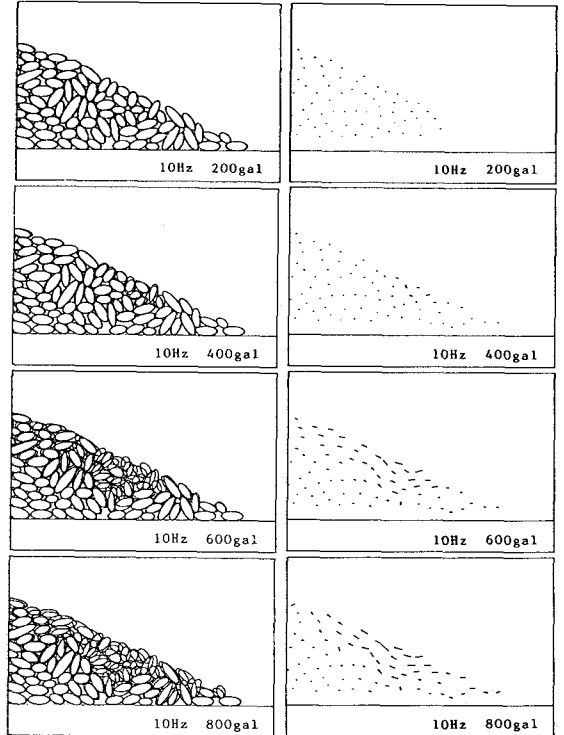


図5 楕円粒子の移動状況

軌跡は、それより下にある滑らない粒子、或いはかみ合った粒子塊の起伏を乗り越えるように波打っている。

図6は、5Hz、10Hz、20Hzと周波数を変えて堤体を加振したときの各々のケースで、堤体を構成する全ての粒子の重心の初期状態からの移動量の総和Lを加振加速度の関数として表わしたものである。これによると、加振振幅が400gal程度までは加振振動数による差が顕著でなく、それ以降に大きな違いが生じている。図5で10Hzで加振した場合の200、400、600galの各段階での粒子の状態を対応してみると、図6の累積変位Lが急増した段階で表層の滑りが顕著になっている。周波数が増えると同じ加速度振幅でも変形が小さくなる傾向は過去の実験結果でも認められる。

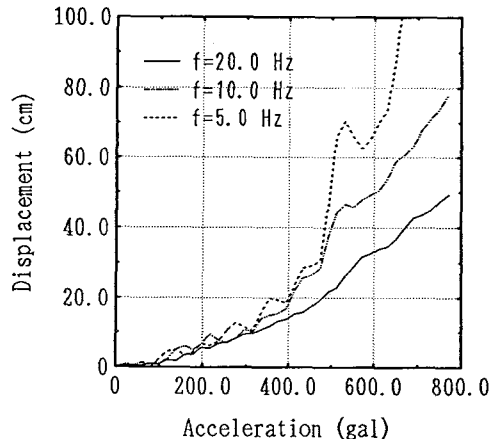


図6 加振加速度と累積変位の関係

4、まとめ

以上の結果をまとめると、次のようになる。

- (1)楕円要素を用いることで、粒子形状の影響を取り込んだ簡便な解析ができる。
- (2)斜面上の単一楕円粒子の振動シミュレーションでは、粒子の転がりは重心位置の変化を伴うので、転がりの開始する加速度は加振周波数の影響を受ける。
- (3)堤体構造の破壊シミュレーションでは、周波数が増えると同一の破壊レベルに到達する加速度が大きくなることが確認された。

参考文献

- (1)田村重四郎、岡本舜三、加藤勝行：土質工学会誌、Vol. 20, No. 7, 1972.
- (2)小長井一男、田村重四郎：第8回日本地震工学論文集、Vol. 2, pp.1221-1226, 1990.
- (3)松島巨志、小長井一男：生産研究、Vol. 44, No. 4 pp.220-223, 1992.4.