

I-72 粗粒からなる堤体構造の動的破壊過程の解析

東京工業大学

正員

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、海底の捨石構造などの粒状体構造の地震時の安定解析は、構造を連続体と仮定して行われている。しかし、粗粒からなる構造の構成粒子の一つ一つは連続体を構成する分子同士ほど強く結びつけられておらず、破壊は粒子の相互の位置変化によって徐々に進行していくため、粒子の大きさや形状が全体の挙動に大きく影響を与える。本研究では、粒状体を構成する個々の粒子の運動が、回転運動と滑り運動の二つの異なったメカニズムの運動に分けられることに着目し、円形及び楕円形粒子を用いた個別要素法（DEM）解析を行なうことによって、粗粒からなる堤体構造の動的破壊過程に及ぼす粒子形状の影響を考察した。

2、個々の粒子の運動に着目した粒状体構造の動的挙動

傾斜面上に置かれた一個の粒子が加振によって移動を起こすときには、滑り落ちるかまたは転がり落ちていくが（図1）、この滑りと回転の2つの移動の仕方は全く異なった性質を持っている。移動が起こる最小の加速度に関しては、粒子が滑り落ちる場合には、斜面の角度と摩擦係数が影響を与えるのに対し、転がり落ちる場合には、重心が持ち上がり、ある数居値を越えることが条件となるため、粒子があるレベル以上の運動エネルギーを持つことが必要になり、そのため斜面の傾き、粒子形状、加振周波数が影響を及ぼすようになる。移動の進行に関しては、滑る場合には常に摩擦によるエネルギーの損失を伴うので、移動の進行は緩慢であるが、転がる場合の移動は急速である。

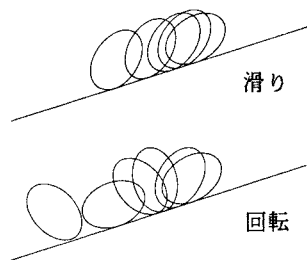


図1 斜面上の粒子の移動

一個の粒子の運動と比較して、粒子の集合体の挙動は更に複雑であるが、この場合でも粒状体の変形に伴う滑りと回転の寄与率が全体の破壊の挙動、即ち、破壊の開始加速度や進行に大きく影響を与えると考えられる。

3、個別要素法解析による堤体モデルの振動

破壊シミュレーション

粒径約1~2cmの楕円及び円粒子をそれぞれ正規分布に従って約500個ずつ発生させ、それぞれを積み上げて両側に勾配1:2の斜面を持つ高さ約40cmの堤体モデルを作った（図2（a）（b））。楕円粒子の場合はアスペクト比（長軸短軸比）も正規分布に従って決められた。これらのモデル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った。加振周波数は、5Hz、10Hz、20Hzとした。DEM計算に用いたパラメーターは表1のとおりである。図3で、5Hzで加振したときの楕円粒子からなる堤体モデルの右半分の粒子の位置及び重心の移動量を示す。斜面はある厚みを持って滑り、それより下にある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2（a）楕円粒子からなる堤体モデル

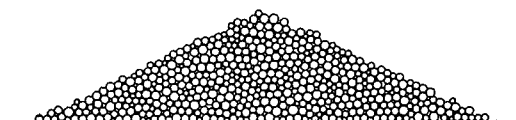


図2（b）円粒子からなる堤体モデル

表1 DEM計算で用いたパラメーター

時間増分	$1.0 \times 10^{-4} \text{ sec}$	動摩擦係数	1.0
粒子密度	$2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$		
法線方向バネ定数	$1.2 \times 10^5 \text{ N/m}$	法線方向減衰係数	10.0 kg/s
接線方向バネ定数	$3.0 \times 10^4 \text{ N/m}$	接線方向減衰係数	5.0 kg/s

図4は、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を、加振加速度の関数として表したものである。円粒子からなる堤体は、ある加速度レベルから急激に破壊が進行しているのに対し、楕円粒子からなる堤体は徐々に破壊が進行している。どちらのモデルの場合でも、加振周波数が上がると同じ加速度振幅での変形が小さくなる傾向が認められる。図5に粒子の総変位量と総回転量の関係を示した。図の一点鎖線は、堤体の構成粒子が単独で任意の斜面上を滑りを起こさずに転がり落ちるときの移動量と回転量の関係を表している、この直線からのずれは粒子の滑りによる移動の寄与を表す目安となる。円粒子の方は明らかに回転が卓越していて、滑りの寄与が小さい。また、楕円粒子からなるモデルでも、円粒子からなるモデルでも、加振周波数によって破壊の進行速度に変化は現れるが、ある同一レベルの破壊に至るまでの回転と滑りの寄与率は変化しない。

図6は、粒子の総回転量と摩擦によって失われていくエネルギーの総和量の関係を示している。円粒子からなる堤体は、楕円粒子からなる堤体よりも摩擦によるエネルギー損失が少ない。楕円、円のいずれの堤体モデルでも、加振周波数による変化は殆どない。また、この曲線の傾きは力の単位を持ち、これは構造全体としての摩擦力と捉えられる。そして、この見かけの摩擦力の大きさは、楕円、円、どちらの堤体モデルでも、広範な変形にわたってほぼ一定となっている。

4. まとめ

以上の結果をまとめると、以下ようになる。

- (1) 粒状体構造物を構成する粒子の形状は、構造の破壊時の粒子の回転量と滑り量の比に影響を与え、それが構造の破壊性状に影響を与える。
- (2) 加振周波数は破壊の進行速度には影響を与えるが、同じ破壊レベルでの粒子の滑り量と回転量の比や摩擦によるエネルギー損失にはあまり影響を与えない。
- (3) 構造全体の摩擦力（摩擦によるエネルギー損失／粒子の総移動量）は広範な破壊の進行レベルにわたり、ほぼ一定である。

参考文献

- (1) 松島亘志、小長井一男：生産研究，Vol.44，No.4，pp220-223，April，1992.4.
- (2) 松島亘志、小長井一男：土木学会第47回年次学術講演会概要集，第I巻，pp.1306-1307，1992.

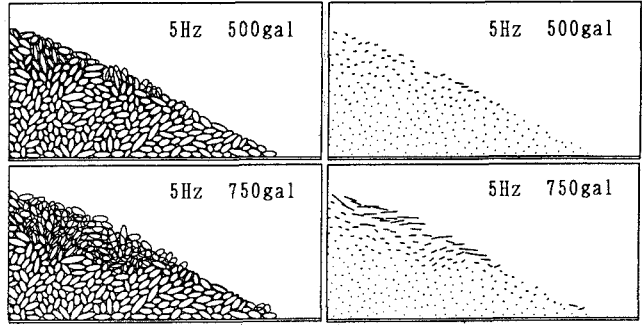


図3 楕円粒子の移動状況

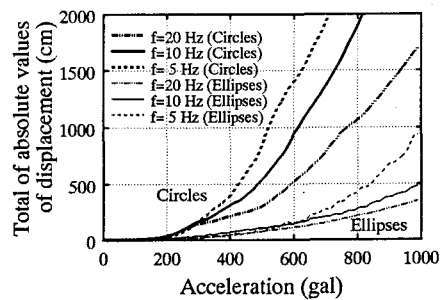


図4 加振加速度と粒子の総変位量の関係

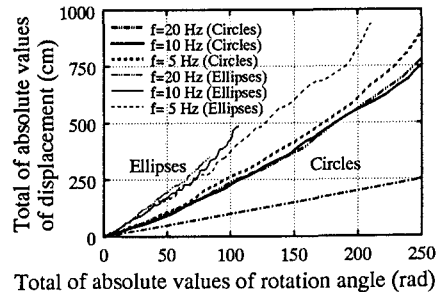


図5 粒子の総回転量と総移動量の関係

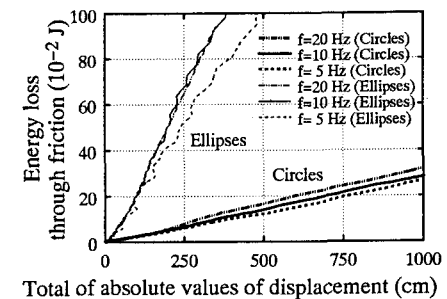


図6 粒子の総移動量と摩擦によるエネルギー損失の関係