

東京工業大学

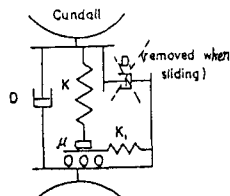
正 大町達夫

学O 荒井靖博

1) 始めに

地盤や構造物が地震時にどのような挙動を示すかについては、すでに多くの解析がなされている。しかし、それらの多くは解析の対象を連続体として取り扱っているため、たとえば、亀裂性岩盤や砂、レキなどの不連続体からなる物体に生ずる地震時の大変形、あるいは破壊後の状態などについては解析上困難を伴う場合が多いように思われる。そこで我々は、不連続体の挙動を解析する手法として Peter.A.Cundall が提案した個別要素法を取り上げ、その動力学への適応性を調べてみることにした。

個別要素法では、各要素は剛体と考え、要素の変形は接点のみで生ずるものと仮定する。要素間の力の伝達は、接点における弾性バネと粘性ダッシュポット (図1) で行なわれるものとして、各要素についてそれぞれ独立の運動方程式を作り差分法でそれを数値解析的に解くものである。



接触点

図 1

地震工学の分野で地震時の地盤の最大加速度を墓石が転倒する静的釣り合い条件から推定する方法がよく用いられる。このときの加速度は墓石の底巾Bと高さHの比 B/H が既知であれば静力学的に $g \times (B/H)$ で与えられる。このことは、 B/H が小さい墓石ほど転倒し易く、また B/H が同じであれば墓石の大きさに関係なく転倒に必要な加速度は一義的に決まることを意味する。しかし、過去の地震後の調査報告をみると B/H が小さく転倒し易い墓石が転倒しなかったのに対して、それよりも B/H が大きく転倒しにくい墓石が転倒していたという例が多く報告されている。このことより、墓石が地震のような振動外力を受けてロッキングし転倒するか否かというのは、墓石の形状から求められる静的転倒条件の他に、別の要因が存在するものと考えられる。そこで今回、個別要素法が振動外力を受ける不連続体の動的挙動を解析できるか否かを検討してみる意味も含めて、本手法で最も単純な墓石の動的挙動をシミュレート解析してみることにした。

2) 解析結果

今回の解析では他に行なわれている実験結果と比較するために、加速度、速度、変位の振幅のひとつを一定に保ち振動数を渐变させる振動数掃引実験を行なった。

墓石が振動外力を受けてロッキングするモードには、逆位相ロッキング、サブハーモニックロッキング、同位相ロッキングの3つのモードがあることが知られているが、今回の解析でもこれらのモードが現われた。

逆位相ロッキングとは応答波の位相と入力波の位相が 180° ずれるもの。

サブハーモニックロッキングとは応答波の周期が入力波の周期の2倍であるもの。

同位相ロッキングとは応答波の位相と入力波の位相が同じであるもの。

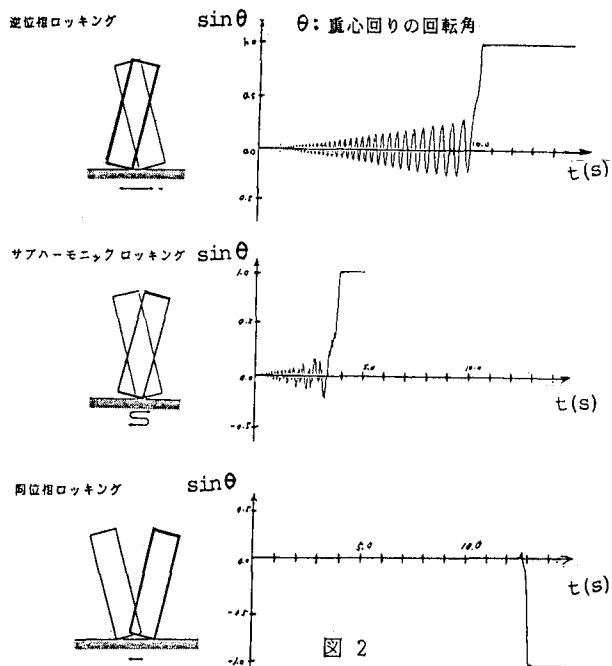


図 2

次に、既往の実験結果と個別要素法による解析結果とを墓石が転倒したときの加速度と速度の関係についてまとめたのが図 3である。両者の結果を比較すると両者はだいたい一致していると思われる。このことより、本手法が振動外力を受ける不連続体の動的挙動を解析することができるものと考えられる。

3) 考察

地盤の速度振幅、変位振幅一定時の転倒加速度がほぼ静的に求められる転倒加速度と一致している。これは、墓石が同位相ロッキングから転倒に至っているためである。すなわち、同位相ロッキングで転倒するモードに対しては静的条件でほぼ正しい加速度値が得られることを示している。それに対して、加速度振幅一定時の転倒加速度は、静的に求められる転倒加速度を概して超えているが、これを下回る場合もある。これは、墓石が逆位相及び、サブハーモニックロッキングから転倒に至るためである。この状況は実験でも認められ、本解析ではこれをよく再現しているといえる。すなわち、逆位相、サブハーモニックロッキングの状態では、墓石の転倒条件は底巾と高さの比 B/H だけでは決まらず、地盤の振動周期に大きく依存するという実験でき事実が解析的にも見いだせたことになる。

4) 結び

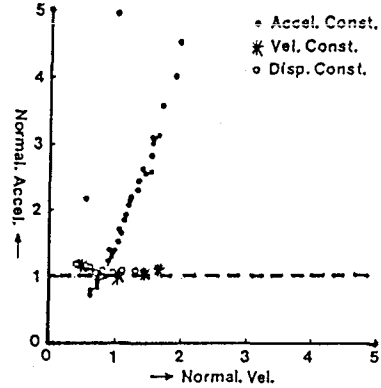
今回の解析を終えて、個別要素法が不連続体の動的挙動を解析する上で非常に有望な手法であることがわかった。今後、もっと多数個の剛体からなる、たとえば、ロックフィルダムや亀裂性岩盤などの地震時の破壊挙動を解析していきたい。

参考文献

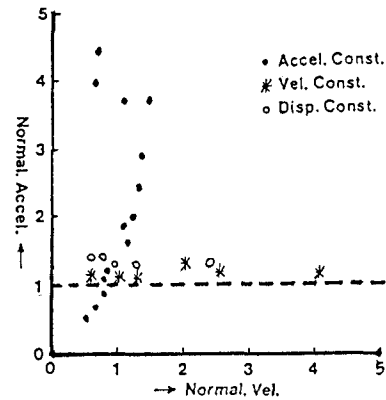
- 1) P.A.Cundall, 1974, "A computer model for rock-mass behavior using interactive graphics for the input and output of geometrical data"
:Department of the army contract No.DACW45-75-c-006
- 2) 岡本舜三, 1951, "昭和24年今市地震による土木施設の被害について"
:土木学会論文集第10号
- 3) 石山祐二, 1982, "地震動による物体の転倒"
:川崎市の震災予防に関する調査報告書, 川崎市防災会議地震専門部会

図 3

--- 静力学的転倒条件



石山氏による実験結果



個別要素法による解析結果