

III-469

個別要素法におけるパラメータと波動伝播の関係について

清水建設(株)大崎研究室 正員 吉田 順

1. はじめに

個別要素法(以下DEMと略す)においては、パラメータの設定は大きな課題の一つであり、実験などとの対比からパラメータを算定するような手法の確立が必要である。著者は前報<sup>1)</sup>で、パラメータのうち垂直バネ定数と力の伝播速度の関係に着目し、簡易なモデルを用いて力の伝播速度が垂直バネ定数の1/2乗に比例すること、すなわち弾性体のヤング率と比例関係にあることを示した。DEMにおいては要素を剛体として取り扱うため、要素内において変形による内力の蓄積あるいは伝達の遅れなどは生じず、波動の伝播速度は要素間に仮定したバネ-ダッシュポット-スライダ系の物性パラメータに依存するため、通常の弾性解析等とは異なるものとなる。今回の報告では容器内に堆積させた粒状体要素に対して、上方より荷重を加えた場合の各要素の速度の変化などに着目し、DEMパラメータとの相関について考察したものである。

2. 解析条件および方法

解析は2次元円要素を用いたDEMで、20cm×90cmの領域内に等粒径6mmの要素を規則的に配置したものである。ただし、解析の初期状態を作る段階で自重解析を行なう前の状態では微小な隙間を設けていることとある程度の変形が生じるため、図-1に示した初期状態(要素数4960個)の上部は少し配列が乱れたものとなっている。物性パラメータとしては表-1に示す値を設定したが、これはこれまでに著者が行なったDEM解析で用いた一般的なものである<sup>2)</sup>。

表-1 入力物性パラメータ

解析方法は、ほぼ静止した初期状態のモデル最上部にある要素に下向き(1000cm/sec)を与えて下部の要素に衝突した際に加わる衝撃荷重の伝播を各要素の速度および加速度の変化について検討するもので、時間増分 $5 \times 10^{-5}$ secで1000stepの解析を行なった。1000step後の状態を図-2に示す。

入力物性	記号	単位	数値
垂直バネ定数	$k_n$	dyn/cm	$1.0 \times 10^7$
せん断バネ定数	$k_s$	dyn/cm	$1.0 \times 10^7$
比例減衰定数	$\beta$	sec	$5.0 \times 10^{-5}$
摩擦係数	$\mu$		0.5
単位体積重量	$\gamma$	g/cm <sup>3</sup>	2.0

3. 解析結果および考察

解析領域の中心線に沿って要素番号36~4548の9個の要素(底部から約10cm毎)の時刻歴速度波形を図-3, 4に示した。要素の静止している状態が上から順に変化が生じ、速度変化の大きさは下にいくほど徐々に減衰する傾向が見られる。その伝播速度を波形の立ち上がり位置で求めると、要素4548(高さ81.71cm)で0.0017secに対して要素36(高さ0.72cm)で0.0311secであり、伝播速度は約2750cm/secとなる。これをP波速度( $V_p$ )としてヤング率 $E = \rho V_p^2$ を求めると、 $E = 1.51 \times 10^7$  dyn/cm<sup>2</sup>である。これは前報の結果と同様に $k_n$ が弾性波速度 $V_p$ の2乗に比例し、ヤング率に近い値となることを示している。すなわち、通常の土質試験あるいは調査から得られる弾性波速度あるいは弾性定数からDEMの垂直バネ定数を推定できることを示唆していると考えられる。また、図-5に垂直方向の加速度波形を示したが、上下で速度よりも大きい減衰が見られ、最上部で5000gal近い値を示しているのに対して、最下部では100gal程度の値となっている。現状では、減衰に係わる要因が要素間のダッシュポットの減衰と摩擦係数に関与するすべりを複合したものであるから、単純にパラメータ決定の因子とはできないが、双方の影響を切り分けることにより、パラメータ設定の一助となることは間違いない。

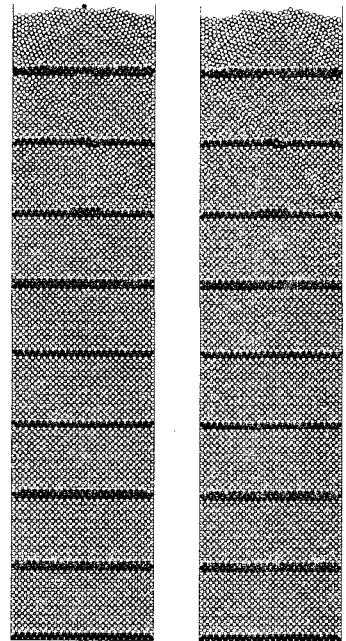


図-1 初期状態 図-2 最終状態

4. まとめ

模型実験レベルのモデルで波動伝播を模擬した解析を行ない、速度変化から求めた弾性波速度がDEMパラメータの垂直バネ定数の1/2乗に比例し、弾性体を仮定した場合のヤング率に近い値となることがわかった。また、加速度波形よりモデルの上下でかなり大きい減衰が生じていることがわかり、今後減衰定数とすべりの切り分けをすることにより、ダッシュポットあるいはスライダーの定数についても計測との対応をつける可能性のあることがわかった。しかし、本報では示せなかったが側方境界が狭いことによる影響あるいは粒径が現実問題と比較するとかかなり大きいことなど今後検討の必要な課題も多い。

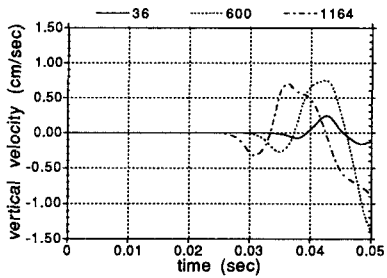
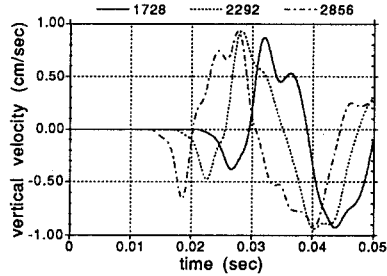
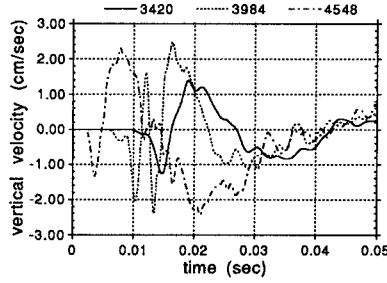


図-3 鉛直方向速度の時刻歴変化

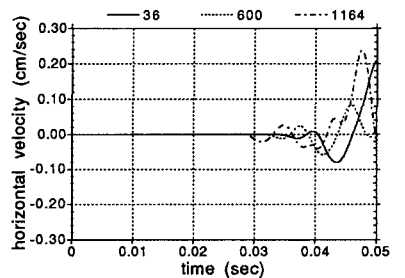
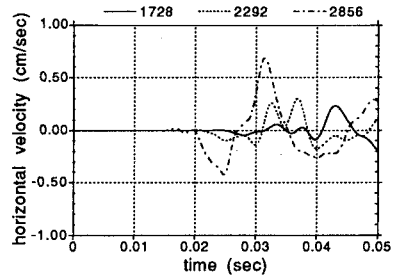
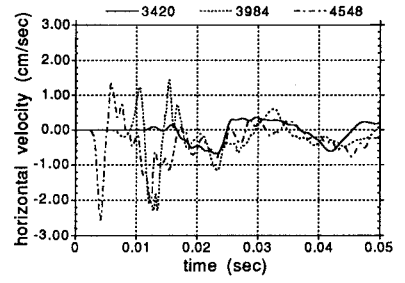


図-4 水平方向速度の時刻歴変化

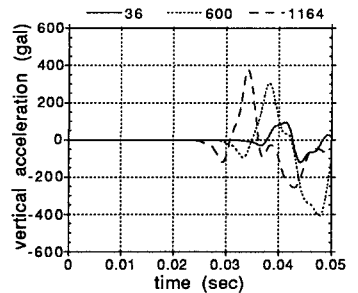
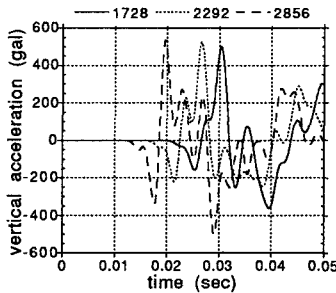
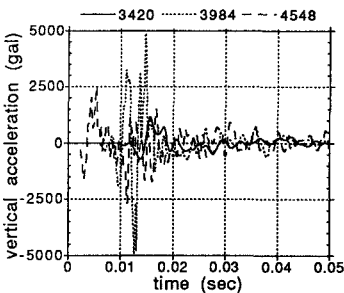


図-5 鉛直方向加速度の時刻歴変化

参考文献

- 1) 吉田順: 個別要素法における力の伝達速度に関する一考察, 第45回土木学会年次学術講演会講演概要集 III-434, pp.904~905, 1990
- 2) 吉田順: 個別要素法によるサイロ払出し時の挙動に関する検討, 第15回土木情報システムシンポジウム講演集, pp.35~38, 1990