

円要素 DEM の剛性パラメータに関する一考察

清水建設(株)技術研究所 正会員 吉田 順

1. はじめに

個別要素法（以下DEM）は、近年のコンピュータの進歩とともにいろいろな分野で用いられるようになってきているが、現実の物質境界たとえば砂粒の大きさをそのまま表現することは無数の要素を必要とすることになり、実現象を直接モデル化できるような問題は非常に少なかった。したがって、DEM解析において要素自体が現実の大きさと異なるために、物性パラメータの設定はかなりあいまいに取り扱われることが多かった。最近、さらにコンピュータの大容量化・高速化が進み、現実問題をそのまま捉えようとする試みが始まっており、その際にはDEMの要素間物性とマクロな物性との相関を明らかにし、観測あるいは実験から有意なパラメータを設定することが必要となる。そこで、以前に提案した弾性波速度と剛性パラメータの関係^{1), 2)}について再度考察を試みた。以下に、検討結果および剛性パラメータ設定に関する得られた知見を示す。

2. 解析条件

解析モデルは、直径 0.30cm の要素を幅 4cm、高さ 30cm の容器内に配置したものであり、要素数は 1000 (Case03, 06 のみ 988) である。材料定数は表-1 の値を仮定し、要素配置と物性をパラメータとして変化させた。

解析では、まず容器内に配置した粒子の速度が 0.01cm/s 未満となり、ほぼ安定状態となる配置を作り上げる。それを初期状態として上部中央の粒子に 20cm/s の鉛直下向き速度を与えることにより、パルスを与える。そのパルスの伝達状況を評価することによりモデル全体の弾性波速度を算定するものである。なお、側方境界の影響をできるだけ排除するために、境界と要素間の摩擦は 0.01 としている。

解析ケースを表-2 に示す。Case01 は 13/12 列を積層したモデルであり、Case02 は 10/9 列である。図-1 が初期状態であり、Case04, 05, 06 の要素配置は Case01, 02, 03 とほぼ同様である。

3. 解析結果

3.1 要素配置の弾性波速度への影響

Case01 のモデル中央部の要素（重心高さ：18.66cm, 10.43cm, 2.21cmの要素を例として表示）に生じる速度応答は図-2 に示すようなものとなる。この応答波形の立ち上がり部分の時刻を追跡することにより、弾性波速度を算定することとした。図-3 はモデル中央の各要素速度の立ち上がり時間を鉛直位置に対してプロットしたもので、この図の傾きが弾性波速度となる。したがって、

表-1 入力パラメータ

材料定数	単位	数値
垂直ばね定数	N/m	2.0×10^4
せん断ばね定数	N/m	5.0×10^3
比例減衰定数	s	1.00×10^{-5}
摩擦係数		0.50 (0.01)
単位体積重量	kg/m ³	1.00×10^3

剛性大では、剛性が 10 倍、単体が 2 倍

表-2 解析ケース

Case No.	配置	物性
Case01	規則（密）	表-1
Case02	規則（疎）	表-1
Case03	ランダム	表-1
Case04	規則（密）	剛性大
Case05	規則（疎）	剛性大
Case06	ランダム	剛性大

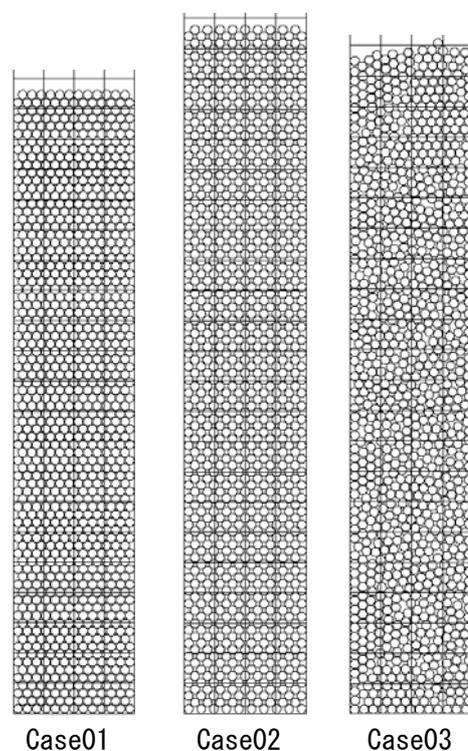


図-1 解析モデル

キーワード：個別要素法，剛性，弾性波速度，要素配置，単位体積重量

〒105-8007 東京都江東区越中島 3-4-17, tel:03-3820-8309, fax:03-3820-5959

Case01 では弾性波速度 $V_p=42.3 \text{ m/s}$ (4233.7cm/s) となる。各ケースで得られた弾性波速度は、物性が同じ場合には、表-3 に示すように密な規則配置のCase01 が最も大きく、ランダムな配置のCase03 が最も小さくなっている。Case01 とCase02 のマクロな密度比は1.12:1.00 であり、これを2乗した値(1.25:1.00)は、弾性波速度の比1.34:1.00 より小さいものの大きく違うことはない。また、Case04 とCase05 の比もほぼ同様な関係にあることから、規則配置の場合には弾性波速度はほぼ粒子密度（空隙率）と相関があることがわかる。しかし、不規則配置のCase03 をCase02 では、表-3 から見ても明らかに粒子密度はCase03 の方が大きいにもかかわらず、弾性波速度はCase03 の方がかなり小さくなっている。これは、規則配置ではばねが直線的に並ぶために、不規則な場合に比べて伝達経路が短くなり、弾性波速度が速くなっていると考えられる。したがって、DEMの物性パラメータが同じ場合に粒子密度の大小だけでは全体的な剛性は定まらず、粒子配置の影響が非常に大きいことがわかる。

3.2 物性の影響

物性としては、弾性波速度に影響を及ぼすと考えら

れるばね定数と単位堆積重量を同時に変えているが、剛性を10倍、単位体積重量を2倍としている条件から推定される弾性波速度の違いは5の平方根の2.24程度と考えられる。Case04, 05, 06は表-3に示すよ

うにいずれもCase01, 02, 03に対して2倍以上の弾性波速度であり、解析結果はこの推定にほぼ一致している。つまり、粒子配置がほとんど変わらない場合には物性から推定される弾性波速度は、従来の弾性係数と弾性波速度の関係と同様に取り扱えることがわかった。

4. まとめ

今回の解析結果からマクロな物性（弾性波速度）に及ぼす要素配置の影響が非常に強いことが示され、要素間の物性パラメータ設定は、弾性波速度とばね定数・単位体積重量（質量）の関係からある程度は定められるものの、特に不規則配置を考慮する場合にはパラメータスタディが必要である。

参考文献

- 1) 吉田：土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-434，pp.904-905，1990
- 2) 吉田：土木学会第46回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-469，pp.960-961，1991

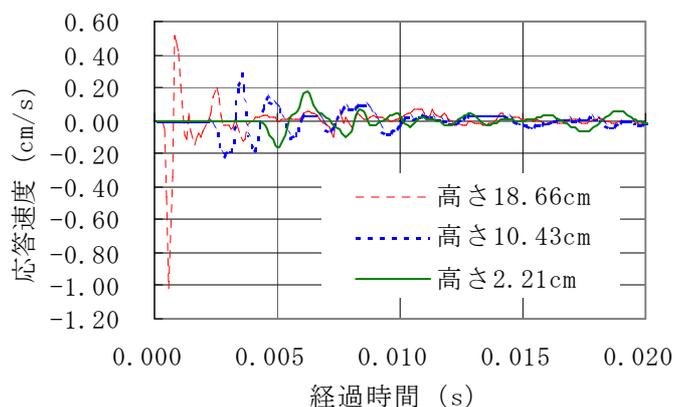


図-2 パルス入力による速度応答波形 (Case01)

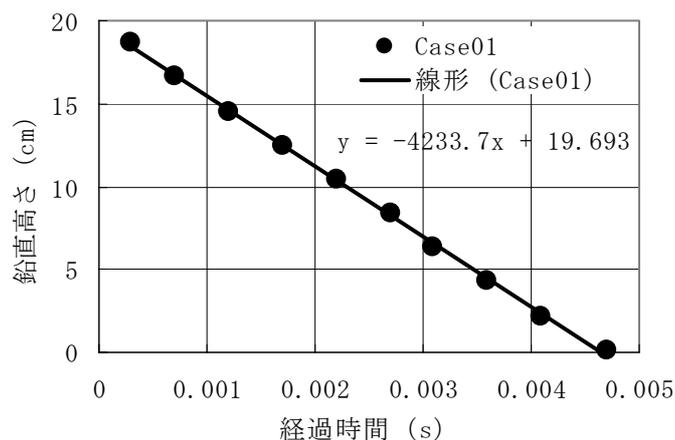


図-3 速度応答の立ち上がり時刻 (Case01)

表-3 得られた弾性波速度および空隙率

ケース	弾性波速度 (m/s)	平均空隙率 (%)	弾性波速度の比
Case01	42.3	13.9	
Case02	31.5	23.1	Case01/Case02=1.125
Case03	26.7	19.3	
Case04	97.9	14.0	Case04/Case01=2.31
Case05	72.6	23.2	Case05/Case02=2.30
Case06	61.2	20.0	Case06/Case03=2.29