

Ⅲ-372

個別要素法による壁面圧力の算定に関する一考察

清水建設(株)和泉研究室 正員 吉田 順

1. はじめに

個別要素法(以下DEMと略す)は近年の電算機の急速な進歩により、種々の問題に用いられるようになってきた。しかし、円あるいは球要素を用いた解析において、実験や実現象の定性的なシミュレートは比較的容易であるが、定量的な評価は難しい。その原因として、電算機の演算能力の不足により実験や実現象の条件をそのまま再現することが特に3次元では難しいことと、得られる粒子の変位や粒子間力がミクロな値であり、実験等で得られるマクロな値との相関が明かでないことなどが考えられる。本報告は、矩形の容器に粒状体を詰め込んだ簡易なモデルについて2次元・3次元のDEMシミュレーションを行ない、その際の壁面圧力の評価について検討した結果について述べるものである。

2. 解析モデルおよび条件

解析モデルは幅4cm、高さ5cm、奥行き1cm(3次元)の矩形の領域を設定し、その中に直径1.0~2.0mmの粒子を2次元では800個、3次元では5000個配置した。物性等の条件は、表-1に示すもので、ガラスビーズのような材料を想定している。空間内にランダムに配置した粒子を重力下で堆積させ、釣り合いに至るまでの解析を実施し、最終的に得られた壁面反力を平均化することにより壁面圧力を求めた。ただし、2次元解析については粒子を円形(奥行き方向には円柱)とした解析(以降2D)と質量・慣性モーメント等については球のものを用いた解析(以降2D')を実施し、その結果を3次元解析(以降3D)と比較した。

3. 解析結果および考察

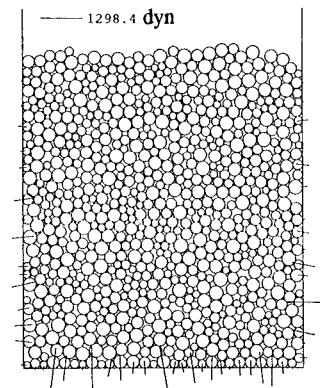
図-1に2次元・3次元の最終状態を示す。堆積高さに若干の差が見られるが、粒径等の条件を一致させていることから、ほぼ対応した結果を示していると考えられる。ただし、2次元の2つの解析で表示されている力の大きさが極端に違うのは粒径が単位奥行き(ここでは1cm)に比べて小さいためである。

側壁圧力分布ただし3Dでは2次元モデルに対応する側壁のものを図-2に示す。ここで示した圧力は壁面接触力を1cm²単位で平均化したものであり、2次元については高さ方向に平均化した値に対して、2Dは奥行き方向に粒子が円柱を球に置き換えるとその密度は2/3に低減されることを考慮し、2D'は平均粒径(1.5mm)の粒子を奥行き方向に並べることを想定して1/0.15倍に増加させたものである。3種類の結果を比較するとまず3Dに比べて2D, 2D'の解析結果のばらつきが大きい、圧力の値がほぼ対応したものとなっており、特に2Dのケースでは2D'に比べてばらつきも小さく3Dと一致した傾向を示している。底面圧力に分布を図-3に示すがここでも2Dの結果の方が分布形状の凹凸が小さく、3Dに近い結果を示していることがわかる。これらの結果からは物性等について全く3Dと同じものを用いられる2D'に比べて2Dの方が圧力分布では良い対応を示しており、粒状体の圧力分布を対象とするような解析を2次元で行なう際には粒子物性に3次元性を考慮するよりも単純な2次元処理を行なった方が妥当な結果が得られることになる。しかし、今回の3次元解析でもいわゆる面外方向の圧力を表した図-4に示したようなばらつきは見られるため、これだけの結果から結論を出すことは尚早である。

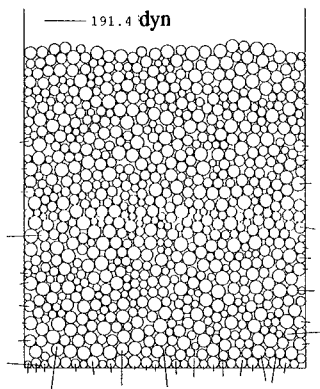
今回得られた壁面圧力の平均的な値で鉛直・水平の圧力比を見ると底面の鉛直圧力2060dyn/cm²(粒子重量と対応)に対して図-2, 4の分布を直線近似した場合の高さ0cmにおける水平圧力は1760dyn/cm²であり、側圧比は0.85程度となる。これは通常砂質土で0.4~0.8程度の静止土圧係数が実験的に得られるという知見と比較すると少し大きい値となっているが、完全な円形あるいは球形で粒子を表現しているため見かけ上の粘着力が存在しないことや摩擦係数を小さめ(粒子間摩擦係数が内部摩擦角に対応するとすると26.7°)に設定していることなどがこの違いの原因として考えられる。

4. おわりに

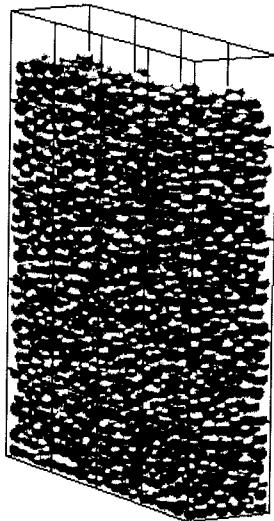
個別要素法解析を実施した場合の壁面圧力の評価について検討を行ない、2次元と3次元の解析結果にある程度の対応が見られることを示した。また、圧力値も比較的妥当な値を示し、粒子数が少なくモデルが簡易なものであれば定量評価が可能と考えられるが、今後も諸条件を考慮した詳細な検討が必要である。



(a) Case2D



(b) Case2D'



(c) Case3D

図-1 釣り合い状態の粒子配置
および壁面反力(2次元)

表-1 材料定数

物性	記号	単位	数値
単位体積重量	γ	g/cm^3	1.0
比例減衰定数	β	sec	4.0×10^{-5}
垂直(せん断)剛性	$k_n(k_s)$	dyn/cm	$5.0 \times 10^5 (1.0 \times 10^5)$
摩擦係数(壁面)	μ		0.50(0.25)

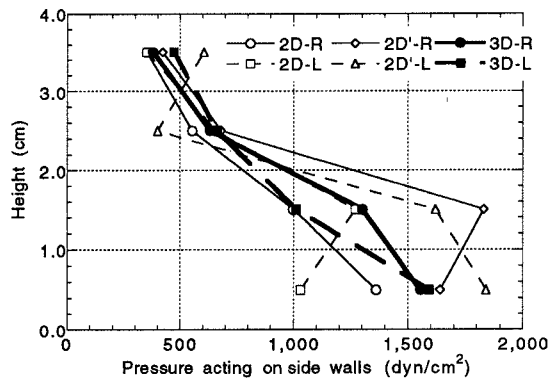


図-2 壁面圧力の比較 (2次元・3次元)

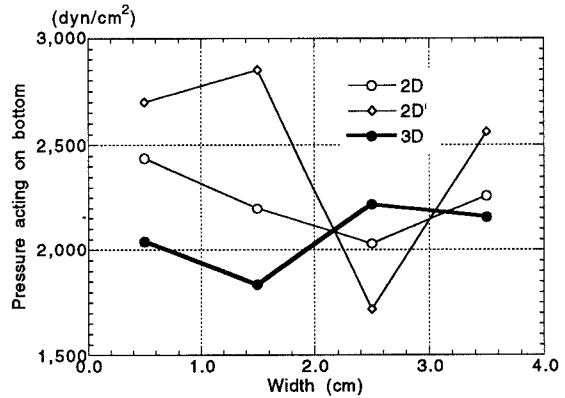


図-3 底面圧力の比較 (2次元・3次元)

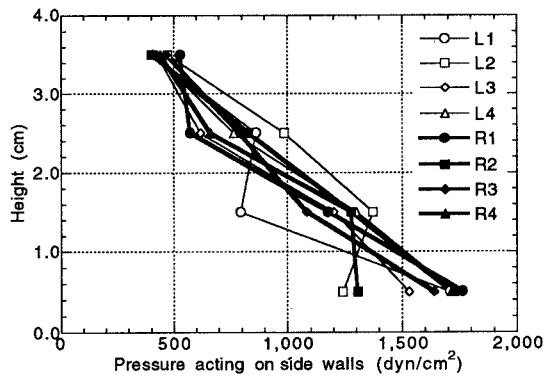


図-4 3次元側面圧力分布 (2次元の面外に対応)