

1. はじめに

個別要素法（以下DEMと略す）は地盤・岩盤問題において注目を集めている手法であり、様々な報告がなされている。DEM特に円あるいは球要素を用いた粒状体解析において、その変位・破壊性状が定性的に実現象あるいは実験結果等に対応していることは認められているが、必ずしも定量的な評価において妥当な結果が得られているかどうかは確認されていない。しかし、変形を定量的に評価するためにはバネ定数を現実的な値に設定すると計算時間が莫大となることから、変形量を合わせることは難しいのが現状である。将来的には変位についても妥当な結果に近付けることが必要であるが、今は釣り合い条件が満たされていることからほぼ妥当な値が得られると考えられる接触力について評価することが現実的と考えられる。通常の解析結果では底部境界において接触力を総計して要素全重量と比較すれば、トータルとしては妥当な結果が得られていることがわかるが、非常にミクロな量である粒子間の接触力をそのまま評価することは難しい。そのため、接触力をマクロな量として応力へ換算することができれば、土圧問題などにDEMを適用する際の検証が容易となるものと考えられる。本報告では、DEMの解析結果として直接得られる接触力を2次的に処理することにより、その場の応力を算定する方法を提案し、応力の計算例を示すものである。

2. 応力の算定法

接触力から応力を求める方法は各粒子単位に応力を求めるものとする断面を取り出してそれに関与する接触力から応力を求める方法が考えられるが、粒子毎に応力を求める場合は粒子内に発生している応力を評価することにはなが間隙を含めた領域の応力を求めることは難しい。そこで、今回の検討では地盤モデルを考えた場合に評価の容易な水平断面に対する応力（特に鉛直応力に着目）を求める方法について検討した。

DEMでは解析結果としてFig. 1のような粒子配置および接触力分布が得られるが、この図のように粒子をランダムに配置した場合には水平断面をとっても当然粒子の位置は断面に対して一様にならないため、どの接触力がその断面に影響を及ぼすかを選択しなければならない。これに対し、本検討では以下のように接触力を選択して応力算定を行なうこととした（Fig. 2参照）。

- 1) 水平断面位置にスキャンラインを設定し、それと交わる粒子を選択する。
- 2) 選ばれた粒子に働く接触力を選択する。その際、スキャンライン以下および要素中心より下に働いている接触力を省く。さらに、接触力の働く粒子が両方ともスキャンラインにかかっている力を省く。
- 3) 選ばれた接触力を方向（水平X、鉛直Y）毎に合計し、断面の長さで割ることにより応力を求める。

鉛直応力に関しては上記の方法で評価可能と考えられるが、水平応力に関してはスキャンラインの方向が応力の加わる面と異なるためこの加算により適切に評価できるかどうかは問題であるが、通常深さ方向に応力が変化するため鉛直にスキャンラインを取っても応力の算定は難しい。また、接触力自体が解析から得られる内力であることを考えれば鉛直方向と同様な形で評価することも可能ではないかと考えられる。

3. 解析例

上記の応力算定法の検証を行なうために1000要素のDEM解析を実施し、その結果について応力を求め、重量から単純に計算した応力分布と比較することとした。モデルは境界の影響をできるだけ除くために側方を周期境界とし、底部境界についても摩擦係数を小さく（ $\mu=0.01$ ）に設定した。解析条件をTable 1に示す。

直径6mmの粒子を幅20cmの領域にランダムに配置したモデルで、要素に重力加速度のみを外力として加えてほぼ釣り合い状態となるまで解析した結果（Fig. 1）について応力計算を実施した。鉛直応力 σ_y の分布をFig. 3に示す。DEMで得られた応力と被りを解析領域の幅（20cm）で割ったもの（図中の破線）を比較すると若干の差は見られるが、ほぼ一致した結果を示しており、求めた応力はほぼ妥当なものと考えられる。

次に、得られた水平応力 σ_x を示したのがFig. 4であるが、ここに示した3種類の解析結果は摩擦係数を

0.3, 0.5, 0.7と変えたものである。行なった解析は自重解析であり、側方を周期境界としていることから土圧条件で考えれば静止土圧状態に対応するものである。このモデルで得られる結果は従来の知見からは $K_0=1-\sin \phi$ ($\mu=\tan \phi$) に対応した応力比となると考えられるが、この図では摩擦係数による差は見られない。また、応力比を示したFig. 5でも当然摩擦係数の増減に対する傾向は見られない。しかし、局所的に見れば鉛直・水平の応力比の関係は粒子の配置の影響を大きく受けるものと考えられ、一概にこの結果が水平応力の算定方法が悪いためとは断言できないことから、今後更に詳細な検討が必要と考えられる。

4. まとめ

DEM解析結果の実現象などとの対比をするときに、DEMで得られた接触力を応力に換算することが可能となれば有用と考えられる。本報告では、その応力算定法についての提案を行ない、得られた応力の妥当性を解析例を用いて検討した。その結果、以下のような知見および課題が抽出された。

- 1) 鉛直応力に着目した応力算定法により得られた水平断面での鉛直応力は、土被りから計算される応力とはほぼ一致した結果となり、提案した手法の妥当性を示している。
- 2) 今回得られた水平応力は従来の知見で推定される水平応力とは異なる傾向を示しており、水平応力の算定手法の吟味と共に静止土圧に関する十分な検討が必要と考えられる。

Table 1 材料定数

	記号	単位	
垂直バネ定数	k_n	dyn/cm	1.0×10^7
せん断バネ定数	k_s	dyn/cm	1.0×10^6
比例減衰定数	β	sec	1.0×10^4
摩擦係数	μ		0.3, 0.5, 0.7
単位体積重量	γ	g/cm ³	2.0

— 5.28×10^4 dyn

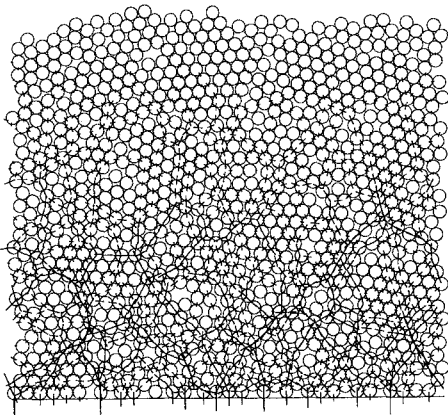


Fig. 1 接触力分布 (DEM解析結果)

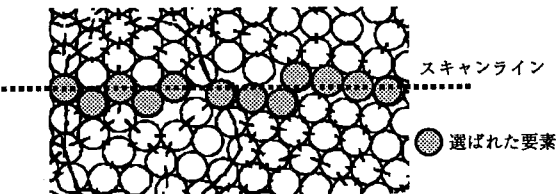


Fig.2 接触力選択の概念図

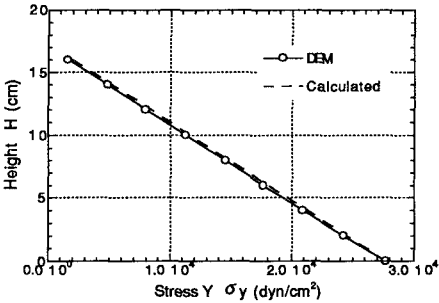


Fig.3 鉛直応力分布

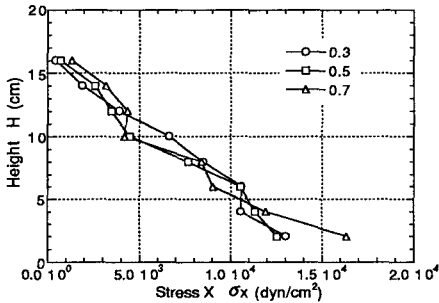


Fig.4 水平応力分布

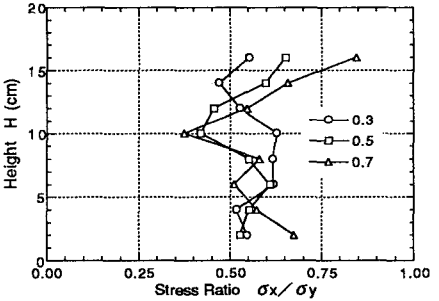


Fig.5 水平／鉛直応力比