

1. はじめに

元来、不連続体を取り扱うために開発されてきた個別要素法（以下、DEM）を用いて連続体の破壊解析などを行う試みがなされており、その際に連続体の剛性や強度をどのように個別要素法のパラメータとして取込むかが検討されている。例えば、森川らの報告では DEM の垂直およびせん断ばね定数はヤング率とポアソン比との関係から設定しており、強度定数（摩擦以外）は実験定数から得られた値に要素半径を掛けるものとして設定している。本報告は、この森川らの検討で用いられたものと同様な割裂試験のシミュレーションを行い、2次元DEM解析におけるばねと強度パラメータと要素寸法の関係について検討したものである。

2. ばねおよび強度に関する基本的な考え方

DEMでは要素間の変形と力の関係を接触点における垂直及びせん断ばねで表現するが、連続体を円要素で表現した場合にばねをどう考えるかについては、前述のように森川らがヤング率とポアソン比との関係を導いており、それに従えば要素径に依存せず一定のばね定数が設定されることとなる。これは荷重と変形の考え方に置き換えると要素径が小さくなれば荷重直交方向には、ばねは並列となり荷重が分担されるが、荷重方向にはばねが直列に同じ数だけ並ぶことになり、両方向に均等にばねが配置される状態であれば、ばね定数は一定でよいことになり、森川らの定義は合理的である。強度定数に関しても、弾性的にばねに一樣な力が加わるとすればばねの個数に逆比例することとなり、妥当と考えられる。しかし、破壊問題で実際にばねおよび強度が要素寸法とどのような関係にあるかは未解明である。

3. 解析条件

解析モデルはパラメータスタディを容易にするため、森川らの条件とは少し異なり、要素半径 0.25cm、0.50cm、1.00cm の要素を用いて、直径約 30cm の円盤を模擬したものである。要素の配置は中心部に 1 個の要素を置き、その周辺に接する形で 6 個の要素、その外側に 12 個というように規則的に配置していき、直径 30cm の範囲を超えたものを削除する形でモデルを作成した。解析モデルはそれぞれ 3255、819、199 個の要素で構成される。また、材料定数は森川らと同じオーダーの値を用いているが、強度を要素径に係わらず一定としている。解析は単純な割裂試験を対象としたものであり、上記の円盤を上下の境界で挟み、上方の境界に強制変位（変位速度 1.0cm/s）を与えるものである。円要素を規則的に配置しているため、上下の境界に接している要素の個数が要素径により異なり、その検討

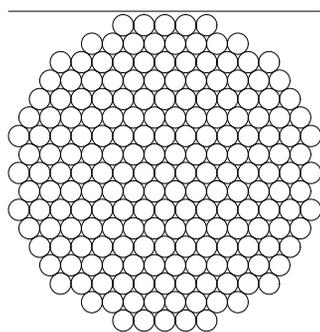


図 1 解析モデル

は別途行っている。解析条件を表 1 に示す。

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	7.48×10^7
せん断ばね定数	N/m	1.48×10^7
比例減衰定数	s	1.00×10^{-5}
摩擦係数		0.70
粘着力	N	148
単位体積重量	kg/m ³	2.53×10^3

表 2 割裂強度および初期剛性

要素半径	割裂強度 (N)	初期剛性 (N/m)
0.25cm	105.7	3.38×10^4
0.50cm	88.1	3.16×10^4
1.00cm	90.4	3.13×10^4
0.25(局所)	80.6	3.11×10^4

4. 解析結果

要素半径 0.25 ~ 1.00cm の各ケースにおける解析結果の荷重 変位曲線を図 2 ~ 4 に示す。ただし、図 2 に示す細線は載荷速度 0.1cm/s の結果であり、載荷速度の影響を示すための参考である。これらの結果より得られた割裂強度および初期剛性は表 2

キーワード：個別要素法，割裂試験，剛性，強度，要素寸法

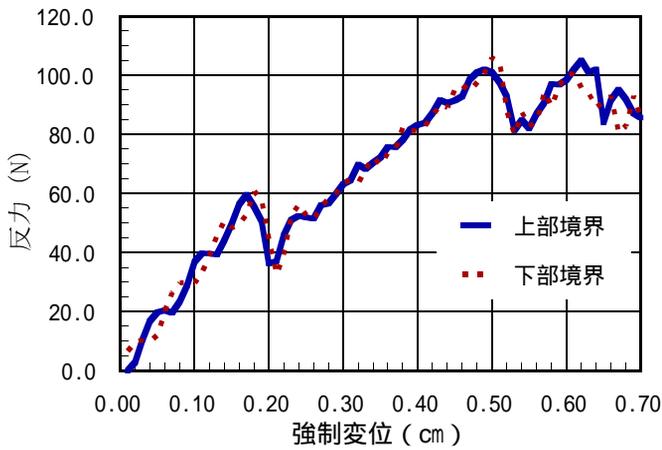


図 2 荷重 変位関係 (要素半径 0.25cm)

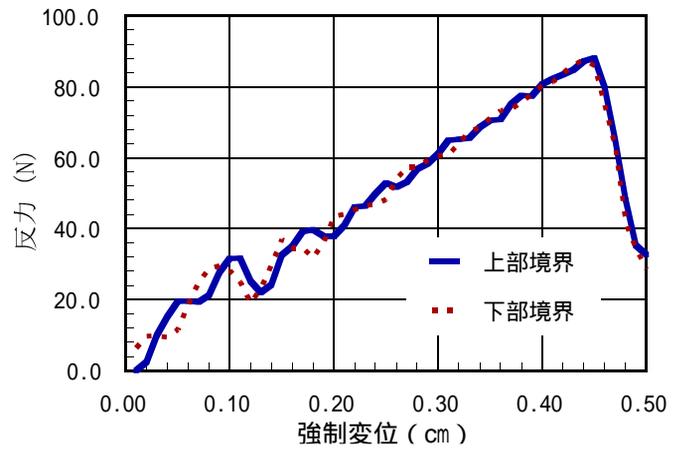


図 3 荷重 変位関係 (要素半径 0.50cm)

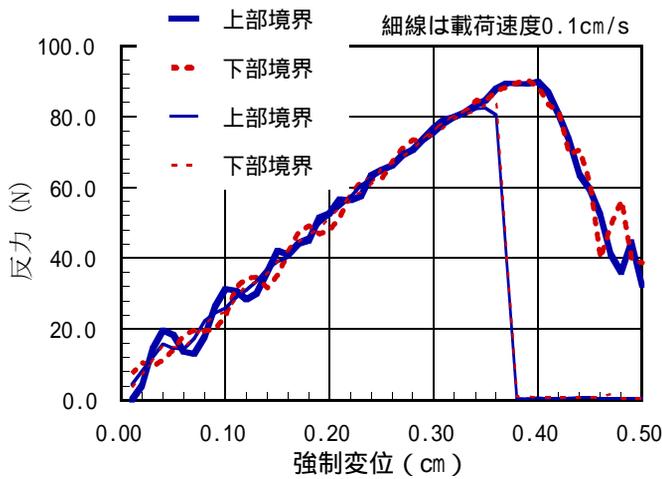


図 4 荷重 変位関係 (要素半径 1.00cm)

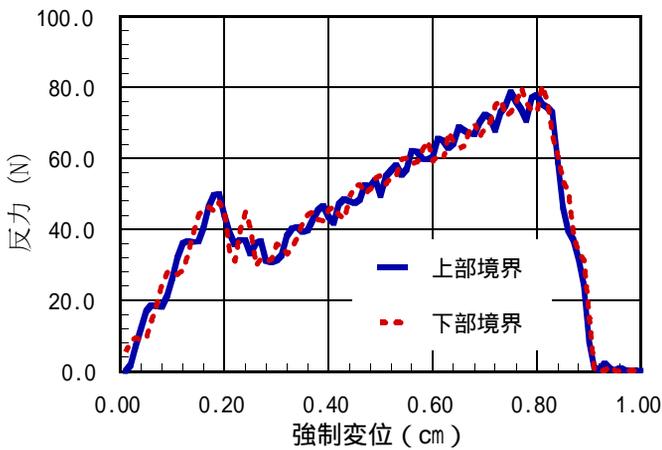


図 5 荷重 変位関係 (0.25cm 局所載荷)

に示す値となり、要素径の影響は比較的小さいものと考えられる。この結果は強度パラメータが一定であれば割裂強度があまりかわらないということであり、森川らの設定法とは異なる結果となっている。そこで、強度に影響を及ぼす要因として載荷幅が考えられ、本検討では上下境界に接する要素の数が各ケースで異なることから、0.25cm のモデルで中央の6要素のみに局所的に載荷した結果が図 5 である。表 2 に示した強度および剛性は図 2 の 12 点で載荷した場合に比べて要素径の大きいモデルに近い結果を示しており、載荷点数の影響があることは確認された。しかし、載荷幅という点では6点の場合は他のケースと異なっているため、この載荷点数の異なる2ケースの破壊時の接触力分布を示した図 6 で比較すると載荷幅の影響が分布の違いにはっきりと現れており、剛性および強度が異なる原因が破壊モードにあることがわかる。また、解析の途中経過は示していないが、徐々に要素間のばねが切れ、破壊が進展する状況が、載荷幅により大きく異なることが確認されている。

5. おわりに

連続体の破壊問題をモデル化する場合に DEM の強度パラメータが要素寸法に依存するものではなく、要素配置、破壊モード等が影響を受けることを示した。これにより、DEM の連続体的なモデル化に当たっては強度パラメータの詳細な検討が要することも明らかとなった。

参考文献 森川他：日本建築学会構造系論文集，473，pp.127-135，1995

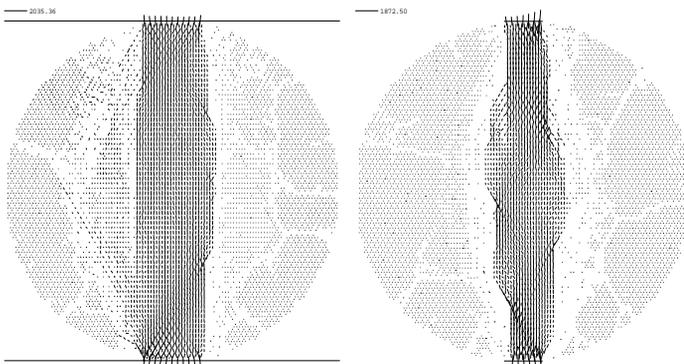


図 6 載荷範囲の違いによる破壊モードの差