

個別要素法を用いた連続体解析における構造欠陥の影響に関する検討

清水建設(株)和泉研究室 正会員 吉田 順

1. はじめに

個別要素法（以下 DEM）は粒状体等の不連続体挙動の解析に適した手法であり、地盤・岩盤等の問題に適用されてきた。近年、不連続体挙動を追跡できる DEM の特徴を活かして、連続体の破壊問題に適用する試み¹⁾がなされているが、その際のモデル化には様々な課題が残されている。前報²⁾では、割裂試験を対象としたパラメータスタディを行い、DEM の要素寸法、バネおよび強度定数と割裂強度の関係について検討し、割裂強度が要素寸法に依存しないことを示したが、取り扱った解析モデルは等粒径要素を軸対称に規則配置したものであり、構造的な欠陥を持たない一様なものであった。現実の問題においては、構造の不整や欠陥などの影響によって強度あるいは剛性などのマクロな物性はかなり影響を受けるものと考えられる。そこで、本報告では前報のモデルを例にとって、構造的な欠陥を与えた場合の影響について検討することとした。

2. 解析条件

解析モデルは、前報の要素直径 0.50cm の集合体として直径約 30cm の円盤を模擬したものを基本とした。要素の配置は中心から規則的に並べたもので、直径 30cm の範囲を超えたものを削除して作成した。欠陥のない基本モデルは 3255 個の円要素で構成され（図 - 1 参照）材料定数は前報と同様なものとし、表 - 1 のように設定した。解析は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。

今回の解析では、本来不規則配置のモデルを検討することが望ましかったが、完全な不規則配置のモデルでは間隙率が高くなり、個々の要素の自由度が大きくなるために同規模の円盤を等粒径要素で表現した場合に上下の境界でうまく拘束することができず、割裂試験を模擬できなかった。そこで、本検討では基本モデルからランダムに要素を消去することにより、構造の不整・欠陥を表現することとした。検討したモデルは全要素数の 0.5%、1.0%、2.0%程度の要素を消去したものであり、1.0%モデルに関しては消去する要素の位置による影響を見るために、3種類のモデルを作成して解析を行った。各ケースの消去要素数および欠陥比率を表 - 2 に示す。

3. 解析結果

各ケースの荷重 - 変位関係を図 - 2 および図 - 3 に示す。ここで示した荷重は上下境界で得られた反力のそれぞれの合計を平均したものである。図 - 2 は欠陥比率の影響を見るために、Case00, 05, 12, 20 を比較したものであり、図 - 3 は欠陥位置の影響を把握するために、Case10, 11, 12 を比較したものである。

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

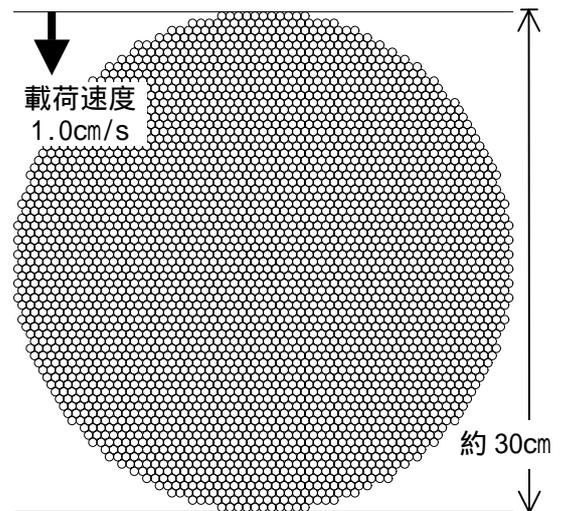


図 - 1 基本モデル

表 - 2 解析ケース

Case No.	消去要素数	比率(%)
Case00	0	0.00
Case05	20	0.61
Case10	30	0.92
Case11	38	1.17
Case12	35	1.08
Case20	71	2.18

キーワード：個別要素法，割裂試験，剛性，強度，構造欠陥，破壊モード

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル 27F, tel:03-3508-9067, fax:03-3508-2196

3.1 欠陥比率の影響

図 - 2 から明らかに欠陥比率が上がるにつれてピーク強度が低下していることが認められ、Case00, 05, 12 では、一旦軟化した後に荷重が増加するときの勾配も欠陥比率に従って変化することが認められる。しかし、初期剛性はいずれのケースでもほぼ同じであり、欠陥の影響は認められない。この2段階に変化する荷重 - 変位関係の初期と2次勾配における接触力分布 (Case12) は、図 - 4 の変化を示しており、2次勾配の部分では中央に亀裂が生じているが、載荷範囲が広いために亀裂の両側で支持されていることがわかる。したがって、初期勾配から軟化に至る部分ですでに割裂強度に達していることとなり、その後に生じるピーク強度は載荷条件により現れているものと考えられる。

3.2 欠陥パターンの影響

1%前後の欠陥比率の Case10, 11, 12 を比較すると初期勾配から軟化開始まではほぼ同じ経過をたどっているが、その後 Case12 では2次勾配が現れ、大きい荷重に達するのに対し、Case10 では軟化直後に若干の回復が見られるものの軟化に至り、Case11 ではほぼ単調に軟化しており、それぞれ異なる変化を示している。それぞれの欠陥位置は図 - 5 に示すようなものであり、Case10, Case11 が比較的縦方向に欠陥がつながるような傾向があるのに対し、Case12 は強いて言えば横方向に分布していると考えられ、その影響が2次勾配の有無に現れたのではないかと考えられる。

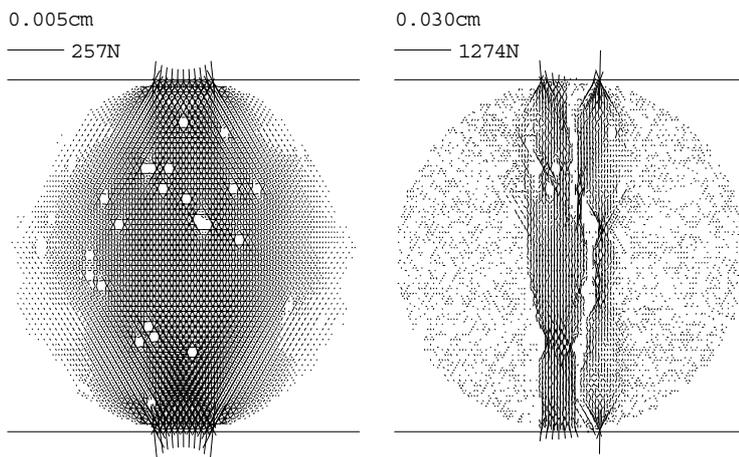


図 - 4 接触力分布の変化 (Case12)

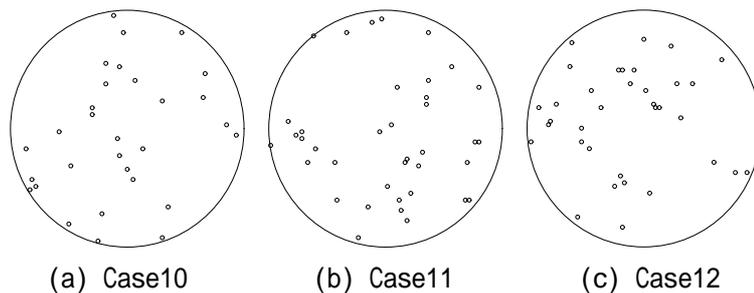


図 - 5 構造欠陥の位置

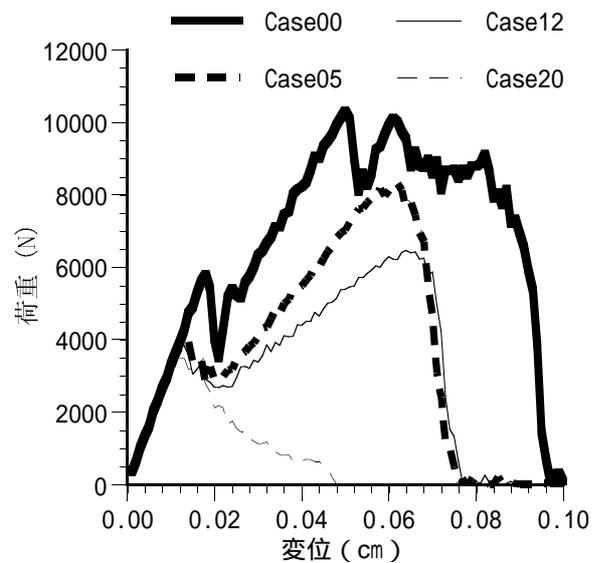


図 - 2 荷重 - 変位関係 (欠陥比率の違い)

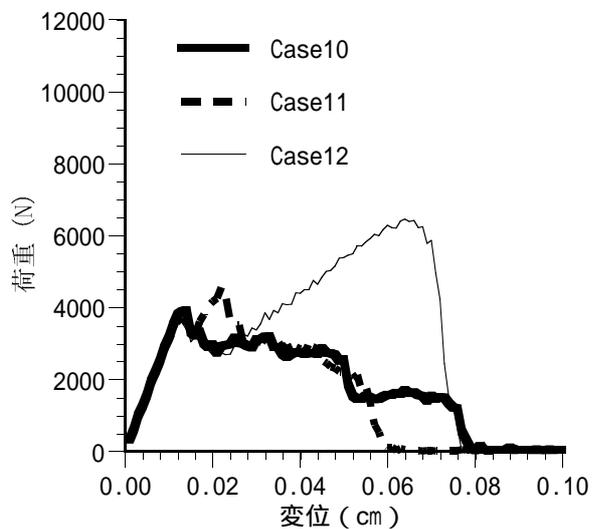


図 - 3 荷重 - 変位関係 (欠陥パターン)

これらの傾向は岩盤、コンクリートなどの材料で微小な欠陥がマクロな挙動に対して如何に大きい影響を持つかを表している。

4. まとめ

割裂試験を対象とした DEM 解析を実施し、マクロな挙動に対する構造欠陥の影響が大きいことが確認された。現実には、計測等により微小な欠陥を全て把握することは困難であり、このようなシミュレーションを用いてその影響を把握することが破壊を取り扱うような問題では特に重要と考えられる。

参考文献

- 1) 森川他：日本建築学会構造系論文集，473，pp.127-135，1995
- 2) 吉田：土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集， -B， pp.752-753，2000