

個別要素法を用いた一軸圧縮問題に対する基礎的検討

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),3)}では、割裂試験を対象とした検討を行い、強度等が要素寸法に依存しないことや構造的な欠陥がある場合には変形・強度特性に大きく影響することを確認した。本報告では、より単純な一軸圧縮問題を取り上げて、個別要素法による連続体の破壊までの解析における問題点を考察すると共に、構造欠陥を与えた場合の特性について検討するものである。

2. 解析条件

解析モデルは、直径 0.50cm の要素を幅 10cm、高さ 20cm の範囲内に図-1 のように規則配置したものであり、要素数は 917 である。材料定数は前報と同様に表-1 の値を用いた。解析は一軸圧縮試験を対象としたものであり、上記の矩形モデル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）を与えたものである。実際には 1step あたり 10^{-7} cm の変位を与え、400,000step すなわち鉛直変位量として 0.04cm までの解析を行った。今回の解析では、構造欠陥の影響を見るためにモデル中央部の要素を鉛直方向に 1~3 列分除去したモデルを作成し（図-1 参照）、欠陥のない場合と同様な圧縮载荷を実施した。検討ケースの一覧を表-2 に示す。

3. 解析結果

3.1 構造欠陥のない場合

構造欠陥のないモデル（Case00）では荷重－変位関係はほぼ線形に増加し、鉛直変位量が 0.038cm に達したところで、ピーク荷重 3.82MN となり、破壊に至る（図-3 参照）。破壊後の残留強度は認められず、破壊モードは 2 次元一軸圧縮に典型的な X 型である（図-2）。

3.2 構造欠陥の影響に関する検討

図-3 に各ケースの荷重－変位関係を示す。消去する列の数が増えることにより、荷重を分担する断面が狭くなることから、徐々に剛性が低下する傾向が見られる。表-3 に示す見掛けのヤング率は、構造欠陥のない場合で 22.7GPa と普通コンクリートのヤング率と対応しており、材料定数の設定が妥当であることを示している。構造欠陥の影響としては、ほぼ中央部の断面積の減少分に比例した形でヤング率が変化しており、鉛直方向の弾性的な挙動は構造欠陥の影響をそのまま反映していると考えられる。

強度特性に関しては図-3 および表-3 を見ると明らかなように、構造欠陥の大きさが必ずしも強度低下と一致しているとは限らないことがわかる。今回の解析結果を比較してみると、当然構造欠陥のない Case00 が最大荷重 3.82MN を示しているが、Case01 は 3.72MN とほぼ同等な強度を示しており、中央部 1 列分の要素を

キーワード：個別要素法，一軸圧縮，強度，構造欠陥，ポアソン比

〒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

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 解析ケース

Case No.	消去列	消去数
Case00	—	0
Case01	1.0	9
Case02	1.5	17
Case03	2.0	25
Case04	2.5	34
Case05	3.0	43

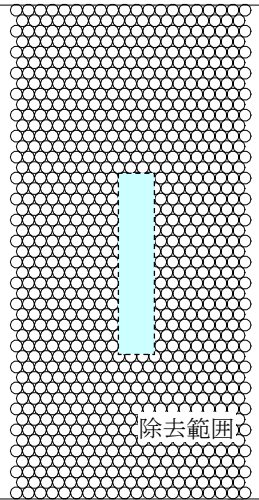


図-1 解析モデル

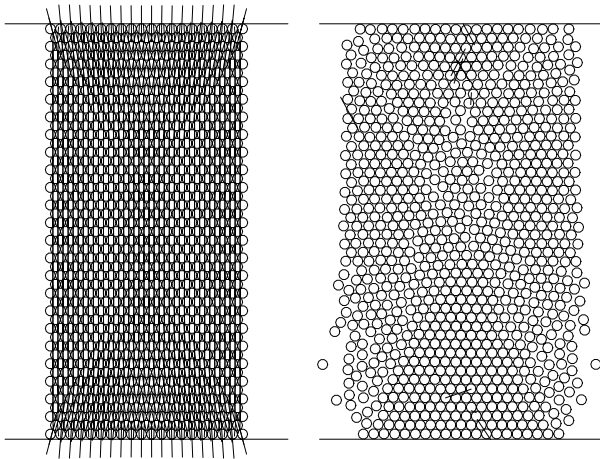


図-2 破壊前後の解析結果 (Case00)

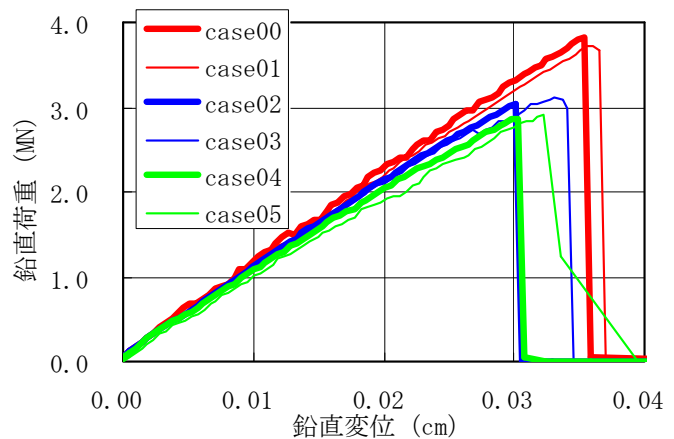


図-3 荷重－変位関係

除去した場合には強度にさほど影響がないことがわかる。これに対し、Case02 では約 2 割程度の強度低下が認められる。しかし、除去数の多い Case03 は Case02 より高い強度となり、Case04 と Case05 の関係も Case05 の方が大きい強度を示すという結果である。これらの結果は、対称性が強度に影響することを表しており、非対称に要素を取り除いた Case02, Case04 では大きい強度低下が生じている。岩盤などの設計定数の設定において、一軸圧縮試験結果からヤング率、強度などを決める場合にはばらつきの中にこのような要因も含まれていることを認識する必要がある。

次に、鉛直変位と水平変位の関係を示した図-4 では、構造欠陥が大きくなるにつれて水平変位が大きくなる傾向が見られ、見掛けのポアソン比は Case00 と Case05 を比較するとほぼ 2 倍となっている。しかし、ここで計算された見掛けのポアソン比は Case00 で $\nu = 0.75$ にも達しており、すでに非弾性挙動を示していることがわかる。これは図-4 の鉛直変位が 0.01 未満の部分で見られる水平変位の小さい領域が本来の弾性範囲内であり、ここでの見掛けのポアソン比は $\nu = 0.17$ とコンクリートに近いものとなっていることから、この一軸圧縮条件では変形初期にすでに引張応力による非弾性挙動を示していることになる。この結果は材料定数等の設定に関する DEM 解析自体の課題でもあるが、実際にも粒状要素の集合体においてはこのような現象が起こりうるものと推測され、一定と仮定されることの多いポアソン比に対する注意が必要であることを表している。

表-3 見かけのヤング率および最大荷重

Case No.	ヤング率		最大荷重	
単位	(GPa)	比率	(MN)	比率
Case00	22.7	1.00	3.82	1.00
Case01	21.9	0.96	3.72	0.97
Case02	21.4	0.94	3.03	0.79
Case03	21.1	0.93	3.12	0.82
Case04	20.4	0.90	2.86	0.75
Case05	19.1	0.84	2.92	0.76

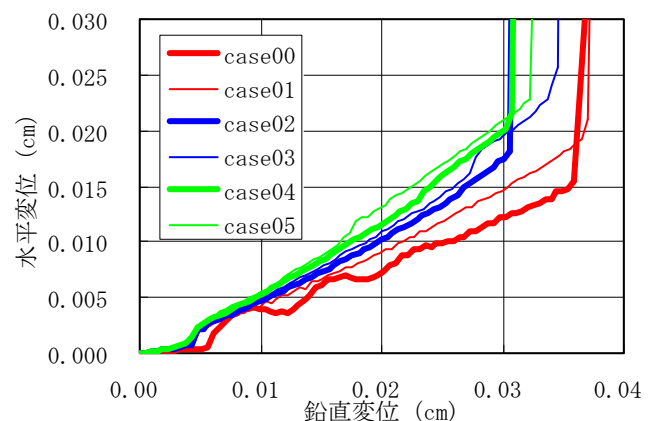


図-4 鉛直－水平変位関係

4. まとめ

一軸圧縮試験を対象とした DEM 解析を実施し、構造欠陥の影響が様々な形で現われることを示し、強度とヤング率では影響の出方が異なることがわかった。また、一定と仮定されるポアソン比についても検討が必要であることを確認した。ただし、DEM 解析の連続体への適用には課題も多いことから今後の検討が必要である。

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，Ⅲ-B，pp.752-753，2000
- 3) 吉田：土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-484，pp.967-968，2000