

Ⅲ-B 386

個別要素法を用いた連続体の破壊解析に関する一考察

清水建設(株)和泉研究室 正会員 吉田 順

1. はじめに

連続体の破壊問題においては様々の解析手法が検討されており、破壊前の挙動を再現することは比較的容易であるが、破壊後の挙動まで追跡することは非常に困難である。近年、道路防護工の落石による損壊や兵庫県南部地震による様々な構造物の崩壊などがあり、従来の破壊以前を対象とした設計に加えて予測以上の外力あるいは非常に確率の低い事象(航空機の激突など)による破壊後の挙動の追跡も必要となってきた。目黒らは修正個別要素法を用いて地震時の崩壊現象を表すことを試みており、マクロな破壊現象を追跡できることを示している。本報では、球要素を用いた3次元個別要素法により、連続体の破壊問題を表現する方法を提案する。個別要素法では要素を剛体として取り扱うため、連続体を表現する場合に要素を格子に配置しただけではボアソン比の変形を表現できない。そこで、格子点に配置した要素間に小径の要素を配置することにより、力および変形の伝達を表現し、個別要素法で連続体の変形・破壊挙動を追跡することとした。解析例として、取り上げたのは角柱の圧縮試験であり、普通コンクリートの物性を想定したものである。

2. 解析モデルおよび条件

解析モデルは、10cm×10cm×20cmの角柱を模擬したものであり、粒径1.0cmの要素を格子状に10×10×20個配置し、その要素間に粒径0.732cmの要素を9×9×19個配置したものである。解析条件は、上端の要素を固定し、下端の要素に鉛直上向きの強制変位を与えることにより圧縮試験を模擬したものである。載荷速度は5.0cm/secと非常に早いものとなっているが、これは剛性をコンクリートのものと等価にすることにより、1ステップの時間増分が小さく($\Delta t=1.0 \times 10^{-7}$ s)となったためである。その剛性を含む物性条件は表-1に示すようなもので、上記のようにコンクリートを想定している。

表-1 材料定数

物性	記号	単位	数値
単位体積重量	γ	kN/m ³	19.6
垂直剛性	kn	kN/m	1.0×10^5
せん断剛性	ks	kN/m	4.0×10^4
比例減衰係数	β	s	1.0×10^{-6}
摩擦係数	μ		1.0
付着力	c	kN	5.0×10^6

3. 解析結果および考察

3.1 破壊形状

図-1に時刻歴の変形・破壊状況の外観を、図-2に中央部分を切出したものを示す。破壊モードは上下端の拘束の影響を受ける部分にくさび型のブロックを残して、その周辺が剥離していくようないわゆるX型の破壊パターンに近いものを示している。粒子配置による影響があることは否定できないが、せん断面的なものも見られ、定性的には比較的妥当な結果であると考えられる。なお、図中の値は強制変位量である。

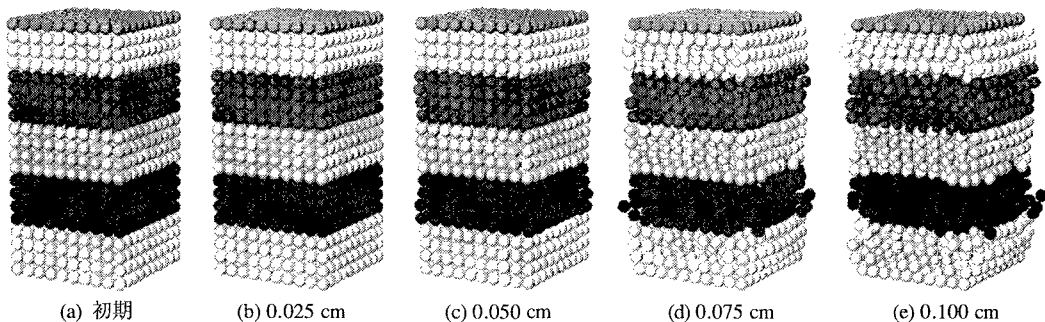


図-1 変形・破壊状況—外観

Keywords: 個別要素法, 圧縮破壊, 3次元, 要素配置

〒100-0011 東京都千代田区幸町2-2-2 富国生命ビル 27F, tel.03-3508-8101, fax.03-3508-2196

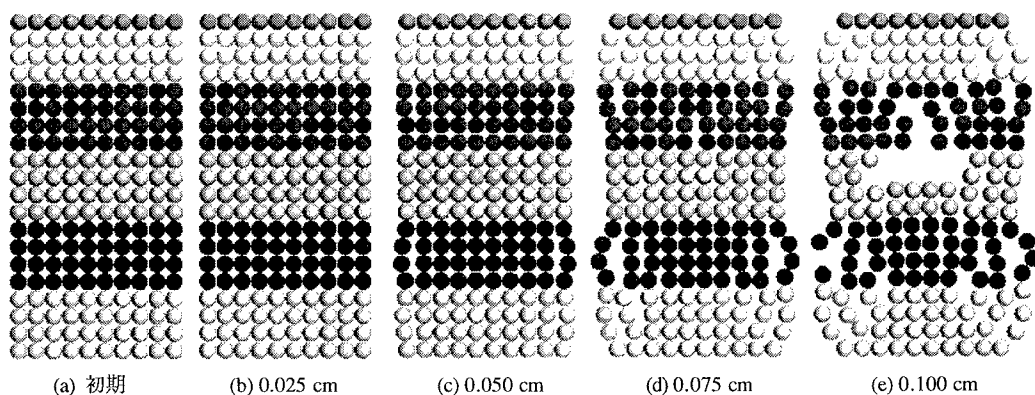


図-2 変形・破壊状況－中央部

3.2 応力－ひずみ関係

図-3に圧縮軸（鉛直）方向の応力－ひずみ関係を示す。図中の下面・上面はそれぞれの固定要素に作用する力から計算した応力を示しており、載荷速度などの関係で両者に若干の差が見られる。曲線は初期に弾性部分を示し、0.2%までは応力が増加している。その後0.3%近くまではひずみ軟化が見られるが、そこからは急激に応力が減少する。弾性部分で、算定されるヤング率は $E=2.0 \times 10^4 \text{ MN/m}^2$ であり、想定した普通コンクリートの値と対応しており、最大応力も $\sigma_{\max}=26 \text{ MPa}$ とはほぼコンクリート強度に対応した値となっている。

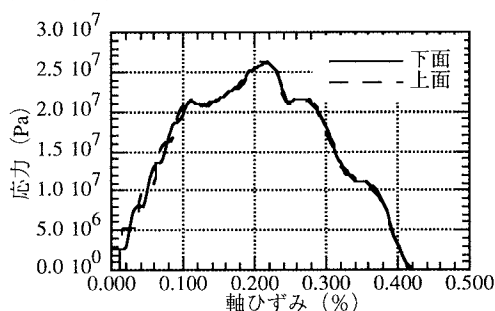


図-3 応力－ひずみ関係

3.3 その他の特性

図-4に初期の弾性部分における鉛直変位と水平変位の関係を示す。水平変位は4面のうち一面を取り出し、その最大と平均を示している。応力－ひずみ軸変位と側方変位はこの部分においてほぼ線形関係にあり、平均値をポアソン比に換算すると $\nu=0.25$ 程度となり、通常コンクリートで用いられる $\nu=0.167 \sim 0.200$ よりは少し大きくなっている。

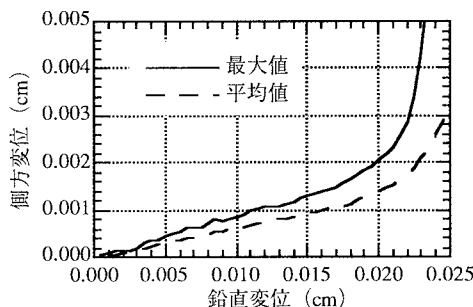


図-4 鉛直－水平変位関係

図-5に軸ひずみと接触点数の関係を示したが、この図を図-3と対照すると、応力－ひずみ関係の激変部、それぞれ線形から非線形へ、硬化から軟化へ移る際には、接触点数も大きく減少しており、これはマイクロクラックの進展等の破壊過程を追跡できる可能性を示している。

4. おわりに

球要素による3次元個別要素法を用いて、連続体の破壊問題を取り扱う方法について、角柱の圧縮問題を例題として検討した結果を示した。応力－ひずみ関係においてはほぼ良好な傾向を示し、破壊現象についてもある程度追跡可能であることがわかった。ただし、ポアソン比の表現等課題も多く、特にポアソン比に関しては粒子配列の影響が顕著に現れているものと考えられるため、今後異なる要素配置・粒径のモデルによる検討が必要と考えられる。

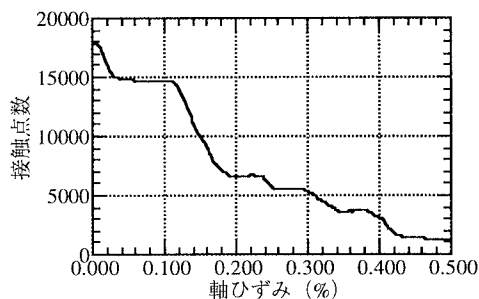


図-5 軸ひずみ－接触点数関係