

I-PS 9 拡張個別要素法による構造物の崩壊過程のシミュレーション解析

東京大学地震研究所	正員	○目黒 公郎
東京大学地震研究所	正員	伯野 元彦
東京大学地震研究所	正員	東原 紘道

はじめに 本研究は、構造物の崩壊メカニズム(破壊モードや破壊の進行過程など)を解析すべく、崩壊過程のシミュレーションを試みるものである。本来破壊とは、空間的にも時間的にも広がりを持った現象であり、その進展過程や破壊後の挙動が、学問的にも防災上も重要な意味を持つ。「どこがどういう形で壊れるのか?」、「時間的には短い現象か? 長い現象か?」、「どこまで壊れるのか?」、「壊れたものの影響はどこまで及ぶのか?」、「どうすればうまく壊せるか?」などが大きな問題となってくる。構造物の崩壊を議論する場合も全く同様で、空間的・時間的な広がりを如何に取り扱うかがポイントとなる。これまで破壊を扱うには、実験を行うか、実際の災害を待たなくてはならない状況もあり、なかなか難しい点多かった。しかし幸いにして、最近では電子計算機の力を借りたシミュレーション解析も可能になってきている。そこで本研究では、“広がりを持った破壊”をうまく解析し得るように、適用範囲を連続体多層媒質まで拡張した個別要素法(Extended DEM 又は Modified DEM と呼ぶ)¹⁾を用いて、構造物崩壊過程のシミュレーション解析を行った。本研究の解析は同時に、個別要素法を新しく位置づけた利用法の提案でもある。すなわち、EDMを適用範囲を非連続体領域まで拡張した多自由度系の Lumped Mass System (Extended Multi-Degree-of-Freedom System, Extended MDOF)として位置づけた利用法である。近年の電算機の性能の向上はめざましいが、解析対象物の媒質構成上の特質や規模によっては、構成要素を媒質レベルで1対1に対応づけるモデル化はまだまだ望めない。また工学的に重要となる基本的な振動モードや破壊モードの解析では、多数の要素を用いた媒質レベルでのモデル化の必要性も無い。これらの点を踏えてのEDEMの新しい利用法である。

EDEMでは、要素間に存在する間隙物質や要素の角の影響によるかみ合わせ効果を、間隙バネ(pore-spring)としてモデル化しているが、間隙バネによって連結された複数要素の塊は、平進・回転を含め、あたかも1つの物体の様に挙動する。またこの要素の塊は、間隙バネが破壊するに従って徐々に塑性化し、やがて完全非連続体として挙動する。従来のDEMが完全非連続体を解析対象とし、有限要素法(FEM)や境界要素法(BEM)が連続体を解析対象とするのに対して、EDEMは複合材料から成る媒質の連続体から非連続体に至るまでの一連の挙動解析が可能であり、しかも要素同士が完全に離れて大きな変形を生じたり、初期と違った要素と接触して新たな応力場を形成したりする現象も、何等問題なく解析できる。また、ダイラタンシー効果、媒質の不均質性、応力や歪の局所化の問題などを自然と取込むことができるなどの長所を持つ。

解析結果 解析例として、ロマ・ブリータ地震(1989年)におけるインターステート 880号線サイプレス高架橋の崩壊過程(Fig. 1)、フィリピン地震(1990年)で多く見られた中途階に破壊が集中するビル被害(Fig. 2)、メキシコ地震(1985年)で多く見られたビルのパンケーキ状崩壊過程(Fig. 3)、ビル破壊のシミュレーション(Fig. 4)などを行った。これらはいずれも、従来の解析手法では適用が困難な現象であるが、EDEMを用いたシミュレーションでは、これらの現象がうまく表現され、実際の地震被害とも良く一致した。

おわりに 本研究で扱った構造物の崩壊現象は、いずれも従来の数値解析手法では解析が困難なものであるが、EDEMを用いた解析結果は、これらの現象をうまく表現し、過去の地震被害とも良く一致した。本研究により、構造物の崩壊過程(時間的に空間的に広がりを持つ破壊現象)のシミュレーション法としてのEDEMの大きな可能性と、EDEMをExtended MDOFとして位置付けた解析の有用性が確認された。

☆☆参考文献☆☆

- 1) MEGURO, K. and HAKUNO, M.: Fracture Analyses of Concrete Structures by the Modified Distinct Element Method, Structure Eng./Earthquake Eng. Japan Society of Civil Engineers, Vol.6, No.2, pp.283-294. 1989.

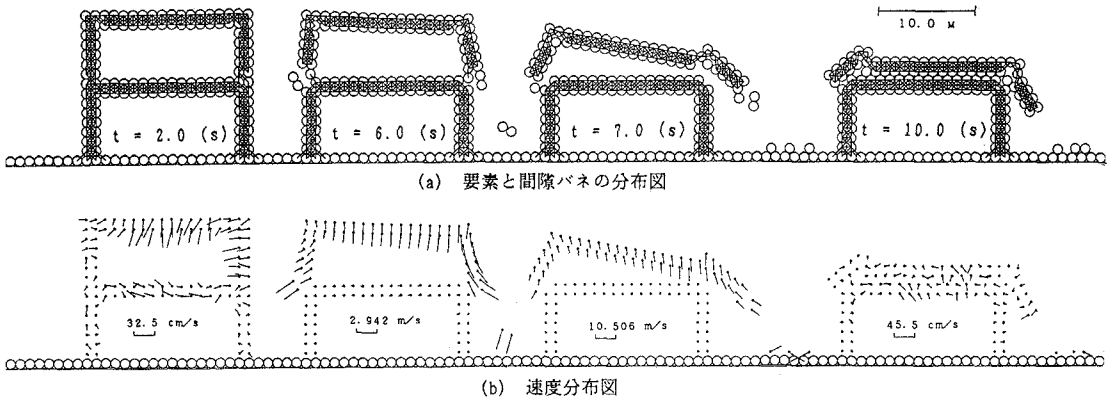


Fig.1 上部デッキの柱の脚下部にヒンジを有する2層構造物の地震による崩壊過程のシミュレーション
（ロマ・ブリータ地震 [1989年] のインターステート880号線サイプレス高架橋崩壊被害に対応）

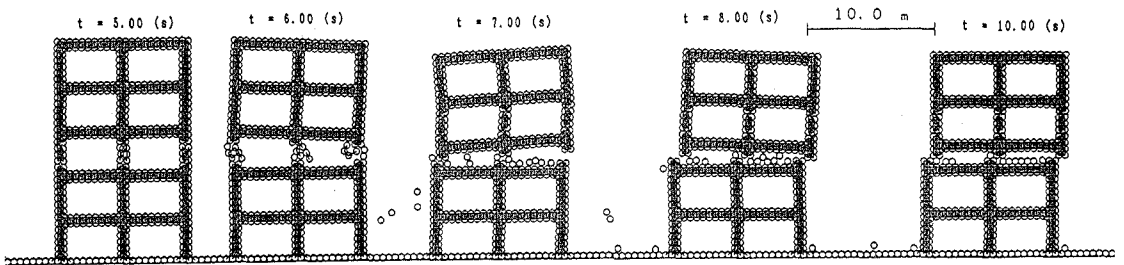


Fig.2 中途階の柱が弱い構造物の地震による崩壊過程のシミュレーション（要素と間隙パネの分布図）
（フィリピン地震 [1990年] で多く見られた中途階に破壊が集中する被害に対応）

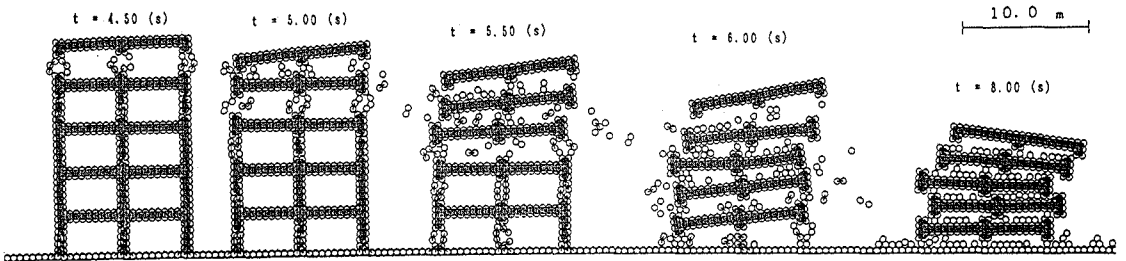


Fig.3 柱の強度が上層階にいくに従って著しく低下する構造物の地震による崩壊過程のシミュレーション
（要素と間隙パネの分布図，メキシコ地震 [1985年] で多く見られたビルのパンケーキ状崩壊被害に対応）

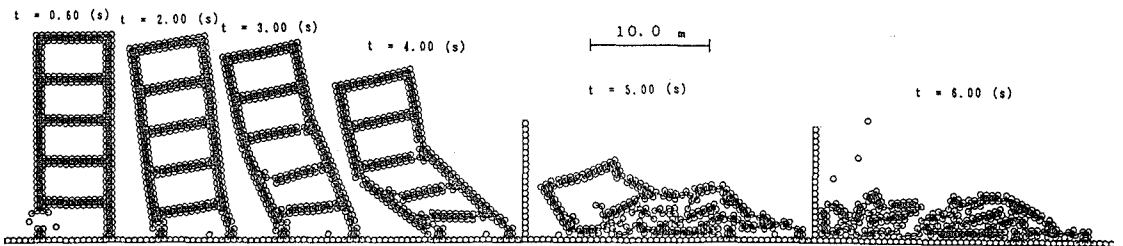


Fig.4 ビル破壊のシミュレーション（左の柱の脚下部を衝撃的に破壊した場合の解析例，要素と間隙パネの分布図）