

矩形要素を用いた拡張個別要素法の の構造物破壊解析への適用

中央大学大学院

東京大学生産技術研究所

東京大学生産技術研究所

学生員

○ 佐藤 唯行

正会員

目黒 公郎

正会員

片山 恒雄

1. はじめに 耐震技術の向上によって近年の地震工学先進国では、地震による構造物の崩壊被害は可能性が低いと言われてきたが、1995年1月17日の阪神・淡路大震災により、必ずしもそうではないことが示された。被害は建築構造物にとどまらず土木構造物にまで及んだ。建設と破壊の2つの現象は、表裏一体の現象であり、一方の意味を深く理解せずには、他方を正確に理解し得ない性質のものであるが、従来一般的には建設が広がりを持ってとらえられていたのに対して、破壊は点としての現象として扱われ、広がりを持った現象としての認識は低かった。しかし、実際の破壊は、点として考えられるような現象では到底あり得なく、空間的にも時間的にも広がりを持った現象である。破壊の進展過程や破壊後の挙動が、学問的にも防災上にも重要な意味を持つ。これまで破壊現象のように非線形性の著しい大変形をともなう問題は、実験にしろ数値シミュレーションにしろ多くの制約を受け、解析が困難であった。ところが、近年の電子計算機の発展(演算速度の高速化・記憶容量の巨大化など)を背景として、複雑な非線形挙動を直接的に数値解析することが可能になってきた。個別要素法(Distinct Element Method, DEM)¹⁾もそのような数値シミュレーションの一つであり、要素同士が完全に離れたり、初期と違った要素と接触して新しい応力場を形成するような現象の追及が可能である。さらにDEMに改良を加えた拡張個別要素法(Extended DEM, EDEM)は、連続体から非連続体の挙動までを統一的に解析できるので、構造物などの破壊の解析法としては、最も適した手法の一つと考えられる^{2),3)}。本報告では、このEDEMを用いて阪神・淡路大震災の構造物被害の解析を試みる。

2. 個別要素法 DEM解析では接触判定の簡便さから円形または球形の要素が主に用いられるが、本研究では任意の矩形要素⁴⁾を扱えるEDEMプログラムを開発し用いた。矩形要素を用いたEDEMプログラムでは、要素間の力のやりとりは図1の様な形で行われる。そのモデル化を図2に示す。ある1要素*i*(質量*m_i*, 慣性モーメント*I_i*)について、次の運動方程式が成り立つ。

$$m_i \cdot \ddot{u} + C_i \cdot \dot{u} + F_i = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$I_i \cdot \ddot{\phi} + D_i \cdot \dot{\phi} + M_i = 0 \quad \text{--- (2)}$$

ただし、*F_i*は要素*i*に働く合力、*M_i*は要素に働く合モーメント、*C_i*, *D_i*は減衰定数、*u*は要素の変位ベクトル、*φ*は回転変位である。また、要素に作用する力として、拡張個別要素法では要素どうしの接触力と間隙物質(接合剤)の効果を考えているので*F_i*と*M_i*は、次の式のように表わせる。

$$F_i = F_{ie} + F_{ip} + m_i \cdot \alpha \quad \text{--- (3)}$$

$$M_i = M_{ie} + M_{ip} \quad \text{--- (4)}$$

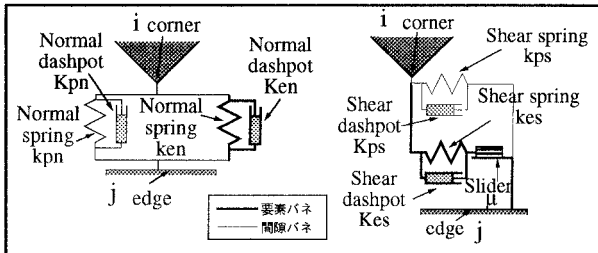


図2 DEMにおける力学モデル

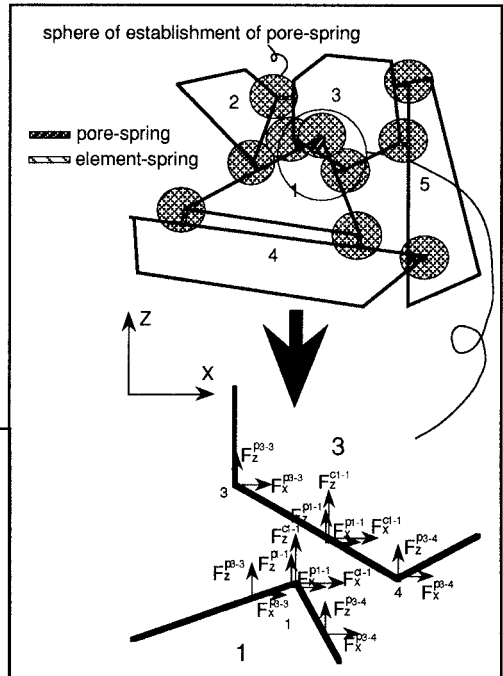


図1 個別要素法矩形モデル概念図

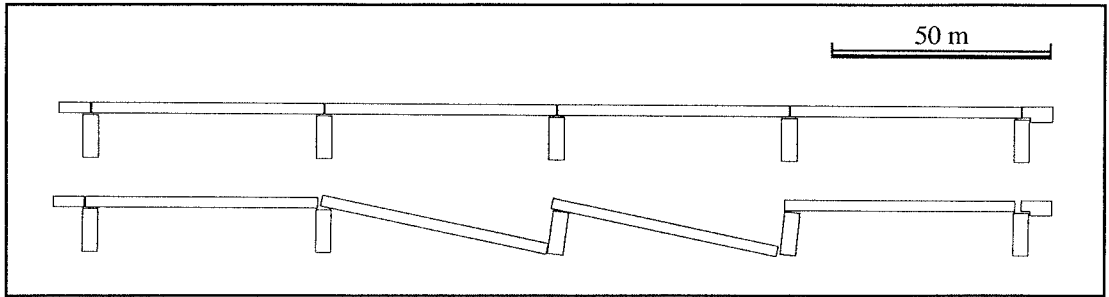


図3 高架橋崩壊の様子

ここで、 F_{ij} は要素 i に接触する全ての要素による抗力の合力ベクトルである。 M_{ij} 、 M_{ip} もそれぞれ接触要素と間隙物質の効果によって、要素 i に作用する合モーメントである。 α は解析の場を決定する加速度である。

3. 解析 今回の地震は発生時間が早朝であったこともあり、死傷者のほとんどが住宅の倒壊等によるものであった。しかし、高速道路や新幹線、オフィスビルなど、日中には不特定多数の人々が利用する施設や公的な構造物が数多く倒壊したことを考えると、発生時刻が少し遅ければ、これらの構造物の被害で多くの犠牲者が出たにちがいない。そこでまず、図3と写真1に示す高架橋崩壊被害を対象として、崩壊メカニズム解明の解析を試みる。すなわち、崩壊箇所を図4のようにモデル化して解析を行う。解析結果は発表会の当日に紹介させていただく。



写真1 高架橋崩壊被害

4. おわりに 1月17日の早朝に発生した兵庫県南部地震は5,500人を超える死者を出し、関東大震災以来最悪の地震災害となった。その被害は阪神・淡路大震災と呼ばれ、その影響は今日もまだ続いている。人的被害を軽減するために、構造物の崩壊メカニズムの解明が望まれる。我々は、任意の矩形要素を用いた拡張個別要素法プログラムを開発し、今回の地震による構造物の崩壊過程のシミュレーションを行い、その崩壊メカニズムの解明をめざしている。

参考文献: 1) Cundall, P.A.: A Computer Model for Simulating Progressive, Large Scale Movement in a Blocky Rocksystem, Symp. ISPM, Nancy, France, Proc., Vol. 2, pp. 129-136, 1977. 2) Kimiro MEGURO and Motohiko HAKUNO: Fracture Analyses of Concrete Structures by the Modified Distinct Element Method, Structural Eng./Earthquake Eng., Japan Society of Civil Engineers (JSCE), Vol.6 No.2, pp.283s-294s, (Proc. of JSCE, No.410/ I -12), 1989.10. 3) Kimiro MEGURO, Kazuyoshi IWASHITA and Motohiko HAKUNO: Fracture Analyses of Media Composed of Irregularly Shaped Regions by the Extended Distinct Element Method, Structural Eng./Earthquake Eng., JSCE, Vol.8, No.3, pp.131s-142s, (Proc. of JSCE No.437/I-17), 1991.10. 4) 佐藤・目黒・片山: 震動外力を受ける剛体ブロックのDEM解析に関する基礎的研究, 土木学会第49回年次学術講演会概要集, I, 1994.

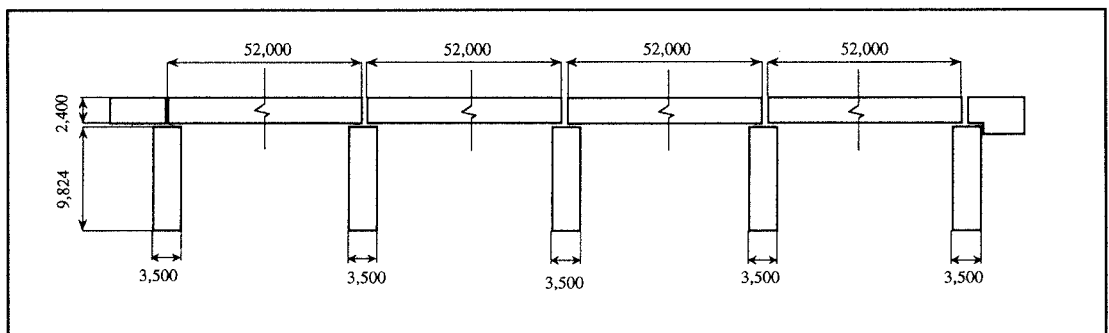


図4 崩壊箇所のモデル化