

I-B 269

拡張個別要素法による1995年兵庫県南部地震の
阪神高速3号高架橋被害シミュレーション

清水建設株式会社	○正会員	佐藤 唯行
東京大学生産技術研究所	正会員	目黒 公郎
東京大学生産技術研究所	正会員	片山 恒雄

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、改めて地震外力を受ける構造物の破壊メカニズムの解明の重要性を認識させた。本研究では個別要素法(DEM)¹⁾をもとに連続体から非連続体に至る挙動を統一的に解析できるように改良を加えた拡張個別要素法(Extended DEM, EDEM)²⁾を用いて、兵庫県南部地震の際に崩壊した高架橋の解析を試みた。

2. 拡張個別要素法

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一般に用いられるが、本研究では任意の多角形要素を扱えるEDEMプログラムを開発して用いた。この手法により大規模な構造物の解析が少ない自由度のモデルで行うことができ、結果的に計算時間を短縮化することが可能となる。また、任意多角形の要素を使用することにより、複雑な形状の構造物をそのまま表現できる。多角形要素を用いたEDEMにおける要素間の力学モデルを図1に示す。

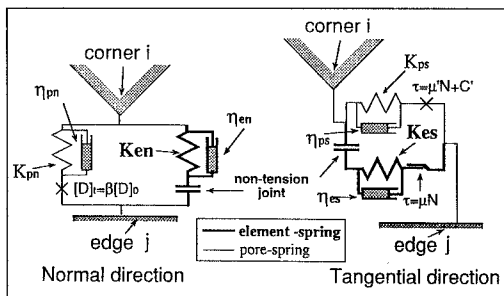


図1 EDEMにおける力学モデル

3. 解析

3.1 解析モデル：写真1と図2に示すようなモードで崩壊した高架橋を対象として解析を試みた。概寸は図2と図3に示す通りである。このモデルの作成に当たっては、被害橋梁の崩壊モード、計算時間の短縮等に配慮し、詳細な構造部に対しては解析の目的を満たす範囲で単純化をはかった。地震外力は、兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で記録された加速度波形(EW成分)を数値積分して得られた変位波形(図4)を各橋脚の基礎に与えることで表し



写真1 S3桁およびS4桁の落橋

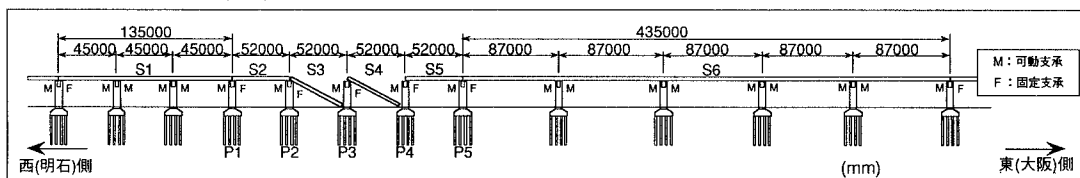


図2 解析対象高架橋の崩壊モードと橋軸方向の概寸

た。この時、各橋脚の基礎部分に作用させる入力波形の位相を変化させることにより、地震外力の位相差の影響を調べた。

3.2 ケース・スタディ：地震外力を用いる解析に先だって行った衝撃荷重シミュレーションの結果、このモデルを構成する各橋脚は、単体としては約0.18 secの水平方向の1次固有周期を持つことがわかっている。各橋脚基部に作用する地震力の位相差の影響を見るために、3つのケースの解析を行った。すなわち、現地盤のN値から推定した2種類のせん断波速度(124.1m/sと296.2m/s)を用いて、地震動が西から東に伝播したことを仮定した2ケースと同位相のケースの3通りである。図5にVs=124.1m/sのケースの桁の応答変位を示す。橋桁間の10cmのクリアランスを考慮して表記すると、隣接する桁どうしが衝突している様子がわかる。橋桁の衝

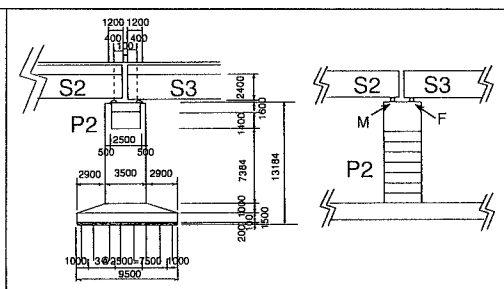


図3 橋脚部分における概寸とその解析モデル

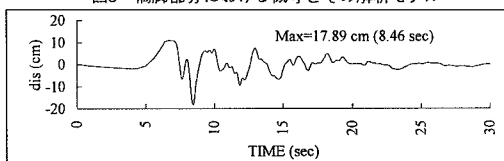


図4 入力変位波形

突は、桁を支える橋脚や支承にも大きな影響を及ぼしている。図6にP1橋脚の基部に作用する力を、図7にP1橋脚とS2桁を接合する固定支承に作用している力をそれぞれ示す。図6からは、橋脚基部の左右端に、桁の衝突による衝撃的な引張り力と圧縮力が繰り返して作用していることがわかる。また図7には、固定支承に作用する大きな力が見られる。これらの衝撃力が支承を破壊し、橋脚部に大きな損傷を与えた原因と考えられる。3つのケースの比較から今回解析対象としたような線状に広がる構造物では、入力地震動の位相差が被害に大きな影響をもたらす可能性が大きいことがわかる。

ここまでの解析は、固定支承部を含めて要素間に破壊が生

じない条件の解析であるが、次に $V_s=124.1\text{m/s}$ を用いて、破壊過程の解析を行った。図8にその結果を示す。支承が破壊し、単純支持部分のS2桁とS3桁の端部が、P2橋脚とP3橋脚の天端から脱落して落橋していく過程がシミュレーションされた。落橋箇所が実際の被害ではS3とS4であったのに対して、シミュレーションでは、S2とS3である点に差がある。しかし、崩壊モードは実際の被害とよく一致している。入力地震動と境界条件の不確定性を考えれば、このシミュレーション結果は、この地震被害のメカニズムを十分再現していると考えられる。

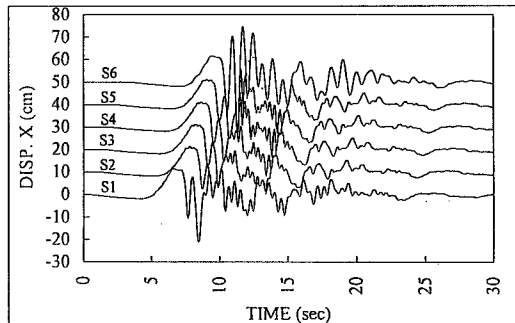


図5 橋桁の水平応答変位(桁間のクリアランスを考慮して表記)

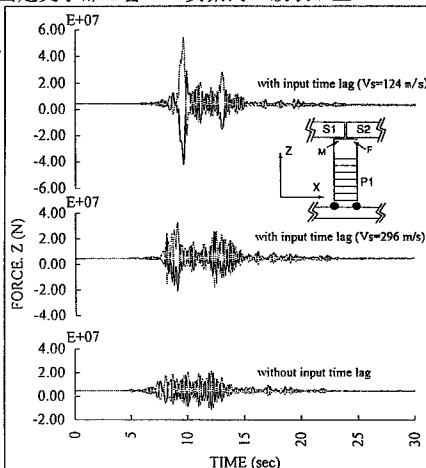


図6 橋脚(P1)基部に生じる力の時刻歴
(入力地震の位相差の影響)

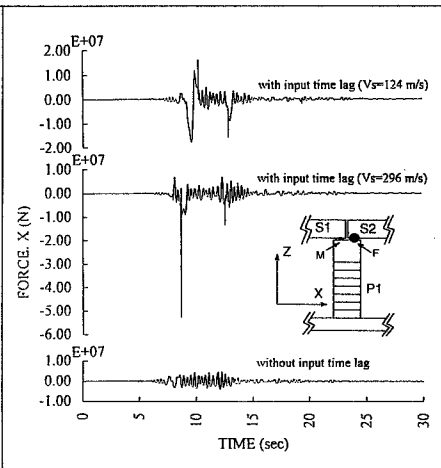


図7 支承(P1,S2間)に生じる力の時刻歴
(入力地震の位相差の影響)

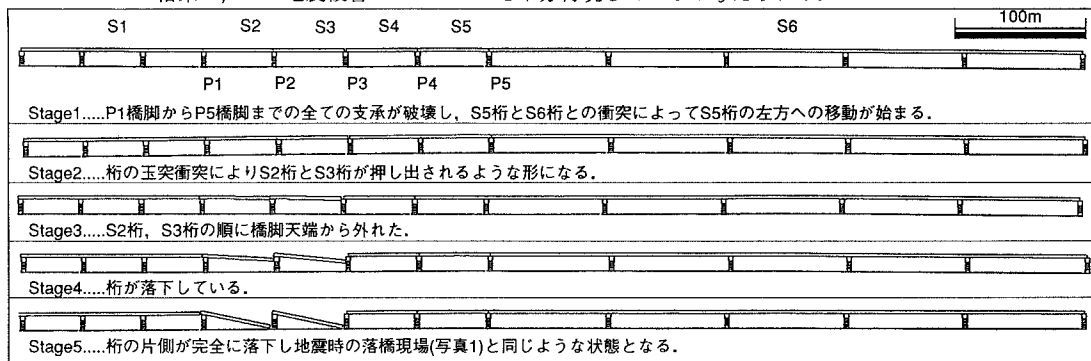


図8 高架橋崩壊過程のシミュレーション

4. おわりに

本研究では、非連続体解析法を用いた大規模構造物の解析手法として、任意多角形要素を用いた拡張個別要素法(EDEM)プログラムを開発した。このEDEMを用いて、阪神・淡路大震災で被害を受けた道路高架橋の動的破壊解析を行った。解析結果は定性的ではあるが、地震被害を十分説明し、またEDEMならではの見解も得られた。

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, 1971.
- 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) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する研究，1995.12.