

第I部門 個別要素法による橋脚の破壊解析

神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎 イランエネルギー省 正会員 Nemat Hassani
神戸大学大学院 学生会員 ○中島 健司 東海旅客鉄道(株) 正会員 赤堀 義彦

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震により、阪神地区の東西を結ぶ道路、鉄道などの多くの高架橋が甚大な被害を受けた(写真1)。本稿では、阪神高速道路3号神戸線の深工地区で倒壊に至った橋長635mの18径間PCゲルベール橋の被害を対象に、コンクリート特有の脆性的な破壊現象を追跡する手法として個別要素法を用いて、被害のシミュレーションを行う。

2. 個別要素法による破壊解析

破壊解析の手法には連続体解析法の他に非連続体解析法としてCundallによる個別要素法が挙げられる。モデルを粒状体に離散化し、非連続体として個々の要素の運動方程式を満足し、要素の接触面における力の伝達によって集合体の動力学挙動を解析する方法である。目黒・佐野¹⁾は、粗骨材を要素パネ、モルタルを間隙パネで表現し、要素の回転やモーメントの伝達を考慮した改良個別要素法による鉄筋コンクリート構造物の破壊現象をはじめて解析し、定性的ではあるが弾性体のような連続体における動的破壊への有用な結果を示した。本稿ではこれと同様の手法であるが、一般のコンクリート構造物を扱う場合、膨大な要素数と計算時間を要する。そのため、コンクリートとしての材料特性を間隙パネに導入し、間隙パネをコンクリートと鉄筋の2種類の特性で表現し、兵庫県南部地震におけるピルツ橋脚の破壊挙動のシミュレーションを行った。今回鉄筋コンクリート構造物をモデル化するにあたり、鉄筋の位置に相当する要素には、図1のようにコンクリートの特性を持つ間隙パネと鉄筋の特性を持つ間隙パネが配置されている。

3. 解析モデルと解析諸条件

本解析で用いた解析諸条件について述べる。図2に解析モデル図を示す。解析対象橋脚としたのはP126橋脚である。つぎにコンクリートの特性を表-1に示す²⁾。ここでは、現場から採取されたコアの強度試験結果より、コンクリートの強度を推定したものを示す。コア試験は、P126橋脚について、3供試体に対して行われたものである。また鉄筋の特性を表-2に示す。主鉄筋についてはP126橋脚のデータがないため、他のピルツ橋脚について行われた引張強度試験結果の平均値を用いることにする。なお、入力加速度波形は神戸海洋気象台で観測されたNS成分とUD成分を橋脚基部から入力するものとする。また、今回行った解析ケースを表-3に示す。CASE 1は加速度、材料強度ともにそのままの値、CASE 2は加速度のNS成分を2倍に拡大したものである。また、CASE-3はコンクリート強度を 350kg/cm^2 から 200kg/cm^2 に低下させた場合を想定している。



写真-1 阪神高速道路3号神戸線被害

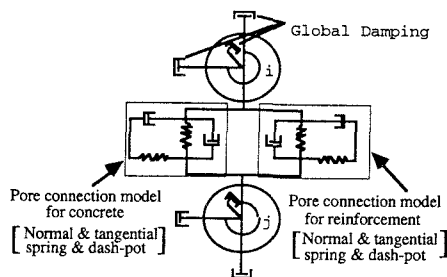


図-1 要素間の間隙パネのモデル

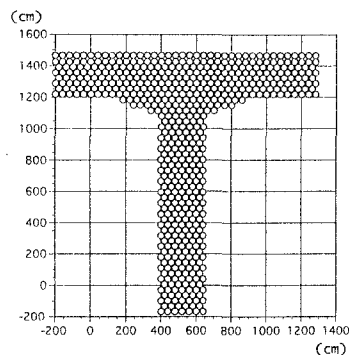


図-2 解析モデル図

表-1 コンクリートの材料特性

橋脚No	コアNo	コア高さ (cm)	コア平均直径 (cm)	圧縮荷重 (tf)	圧縮強度(kgf/cm ²)			弾性係数(10 ⁵ kgf/cm ²)		備考
					測定値	補正値	平均値	測定値	平均値	
P126	1	19.9	9.92	23.68	306	307		2.09		U
	2	18.9	9.91	31.23	405	402	359	2.88	2.64	U
	3	19.6	9.92	28.57	370	369		2.96		U

表-2 鉄筋の材料特性

主鉄筋(D35)の引張強度試験結果(母材強度)

橋脚No	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)
126	3,590	5,600

帯鉄筋(D16)の引張強度試験結果

橋脚No	鉄筋 No	降伏荷重 (tf)	降伏強度 (kgf/cm ²)	最大荷重 (tf)	引張強度 (kgf/cm ²)
126	1		降伏点なし	11.07	5,574
126	2		降伏点なし	11.51	5,796

表-3 解析ケース

	加速度	コンクリートの材料強度
CASE-1	1倍	350kgf/cm ²
CASE-2	2倍	350kgf/cm ²
CASE-3	1倍	200kgf/cm ²

4. 解析結果

以下に各ケースの解析結果を示す。図-3 は CASE-1 の解析結果であるが、一般的なコンクリートの材料強度では神戸海洋気象台の加速度波形の入力により、橋脚基部、段落とし部および橋脚墩本体上部にクラックは入るが破壊には至らなかった。図-4 は CASE-2 の解析結果である。実際の P126 橋脚の破壊モードとよく対応した結果が得られた(写真-1)。図-5 は元の橋脚位置と倒壊の様子をラップさせたものである。実際のこの付近の表層地盤の加速度増幅特性によって表層地盤の加速度が海洋気象台で得られた加速度の 2 倍近くになるとは考えられ、海洋気象台の加速度より大きな加速度を受けた可能性も十分あり得る。図-6 は CASE-3 の解析結果である。CASE-2 とは違う橋脚基部でのせん断破壊のモードとなった。このような破壊性状は PC ゲルレー区間の中央付近で見られた破壊モードであり、言及できないものの、実際の橋脚にも何らかの原因での部分的な材料劣化があった可能性もあると推察することもできる。図-7 は今回の橋脚モデルの基部の要素にかかる反力の時刻歴を示したものであるが、この図からも分かるようにこの解析において 5 秒付近で倒壊に至ったと推測できる。

5. おわりに

本稿では、1995 年 1 月 17 日兵庫県南部を襲った直下型地震によって被災したピルツ橋脚の倒壊のメカニズムを究明するため、個別要素法を用いて破壊のシミュレーションを行った。その結果、P126 橋脚についてその倒壊状況とよく似たシミュレーションの結果を得ることができた。神戸海洋気象台の加速度をそのまま入力した場合(CASE-1)にはピルツ橋脚に亀裂は生じるが倒壊には至らなかった。また、入力加速度の倍率を 2 倍に上げると(CASE2)、実際の破壊モードに類似した現象が見られた。一方、コンクリート強度を 350kg/cm²から 200kg/cm²に低下させた場合(CASE3)には観測地震レベルでも倒壊に至った。

【参考文献】

- 1) 目黒公郎, 佐野元彦, 粒状体シミュレーションによるコンクリート構造の破壊解析, 東京大学地震研究所報告, 第 63 号第 4 冊, pp.409-48, 1988
- 2) 土木学会, 阪神淡路大震災被害分析と靭性評価式 [阪神淡路大震災調査研究特別委員会 WG 報告], pp.4~10

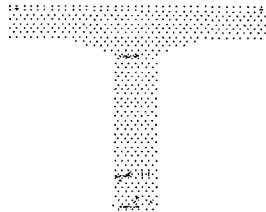


図-3 CASE-1 のクラックの状態

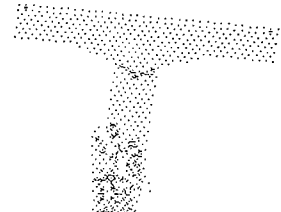


図-4 CASE-2 のクラックの状態

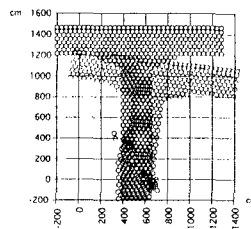


図-5 Final Image(CASE-2)

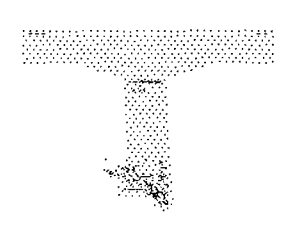


図-6 CASE-3 のクラックの状態

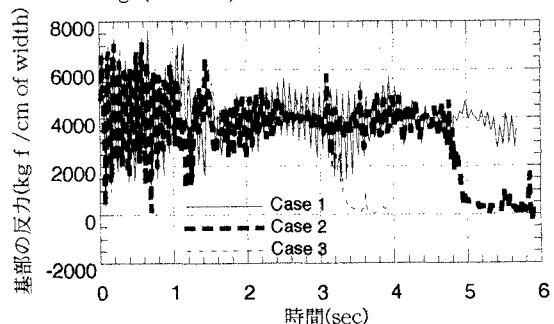


図-7 橋脚基部要素にかかる反力の時刻歴