

I - B 22

構造物の簡易損傷度把握手法に関する基礎的検討

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 上半 文昭
東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに

大地震の直後に被災構造物の損傷レベルを的確に把握できれば、適切な復旧計画を策定することができ、その後の復旧活動に要する時間と経費を大幅に圧縮することができる。現在のところ、土木構造物の損傷レベルの判定は熟練者の目視に頼るところが大きい。そのため、簡便で精度の高い非破壊検査法の開発が望まれている。

もし、構造物の損傷レベルと振動特性変化に関する詳細なデータベースを用意できれば、常時微動などの簡単な振動計測によって、構造物の被災程度を的確に把握できる可能性がある。著者は、そのデータベースを構築し、構造物の振動特性を利用した損傷度把握手法の精度及び機能の向上に取り組んでいるが、実大構造物の損傷と振動特性変化に関する測定データは十分に得られていない。そこで、構造物の損傷レベルと振動特性変化の関係を探索するためのツールとして、構造物の挙動を微小変形領域から大変形崩壊領域まで取り扱うことのできる破壊解析手法（応用要素法：AEM）¹⁾を採用することにした。

ここでは、構造物の振動特性を利用した損傷度把握手法の精度および機能の向上に関する研究の第1段階として、応用要素法の精度や特性について調べ、今後の研究への適用可能性を模索する。実在するRC ラーメン高架橋を解析対象とし、まず、地盤－基礎－構造物系の応答解析を実施して、その結果を実構造物での観測結果と比較する。また、解析モデルの大変形崩壊領域までのシミュレーションを行い、構造物の損傷レベルと固有振動数変化について考察する。

2. 応用要素法 (Applied Element Method : AEM) ¹⁾

応用要素法は、解析対象を仮想的に分割された要素の集合体として取り扱う。各要素は法線方向と接線方向の2種類の分布バネによってつながれる（図1）。2次元解析では、要素は水平、鉛直、回転の3自由度を持っており、分布バネを介して周囲の要素と力をやり取りする。分布バネが代表する領域の材料が、その領域に作用する応力に耐えられなくなると、バネの切断により自然にクラックが発生する。応用要素法は、この様なメカニズムによって、構造物の挙動を微小変形領域から大変形崩壊領域に至るまで解析できる。なお、手法の詳細については、文献1)を参照されたい。

3. 実在RC ラーメン高架橋の解析

3-1 解析対象構造物及び数値解析モデル

図2に示す単層式RC ラーメン高架橋（橋軸直行方向断面）を解析対象とする。対象高架橋周辺の表層地盤は $V_s=250\sim300\text{m/s}$ 、層厚2～4mの沖積砂礫層で、その下に $V_s>400\text{m/s}$ 程度の洪積砂礫層が続く。基礎形式は直接基礎である。なお、本高架橋では、兵庫県南部地震前後の常時微動測定記録が得られている。地震前に2.60Hzであった固有振動数が、地震後に2.44Hzへと低下している。

対象高架橋を図3の様に単純化し、寸法20cm×20cm、要素間バネ本数10本の正方形要素でモデル化した。地盤の仮想境界には粘性境界を設定した。主な鉄筋配置は同図の通りであるが、図示した鉄筋以外にも柱一本あたり40本の帯鉄筋を配置した。その間隔は、柱の隅角部付近10cm、柱中央部30cm、その他を20cmとした。コンクリートの材料特性は、ヤング率 $2.5\times10^5\text{kgf/cm}^2$ 、圧縮強度 300kgf/cm^2 、引張強度 30kgf/cm^2 、密度 2.5t/m とし、鉄筋は、ヤング係数 $2.1\times10^6\text{kgf/cm}^2$ 、降伏応力 $3,000\text{kgf/cm}^2$ とした。表層地盤特性は $V_s=275\text{m/s}$ 、密度 2.0t/m に設定した。

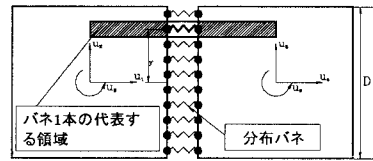


図1 AEMの要素と分布バネ

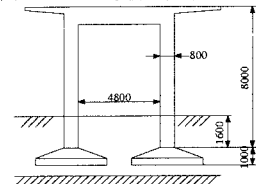


図2 解析対象高架橋

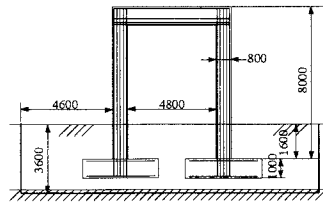


図3 解析モデル（配筋図）

キーワード：非破壊検査、応用要素法、非線形解析、常時微動

〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1 TEL : (03)-3485-7624, FAX : (03)3485-7796

3-2 モデルの周波数応答特性

まず、常時微動を模擬した微小地震波を解析モデルに入力し、入力波動に対する高架橋頂部の応答の伝達関数を求めた。図4に常時微動測定結果から推定した対象高架橋の伝達関数と比較して示す。モード解析による解析モデルの1次モード固有振動数は2.64Hzであった。

3-3 地震応答解析

3-3-1 兵庫県南部地震時の揺れの再現

兵庫県南部地震の際に対象高架橋に作用したと考えられる地震動と同程度の強さの地震波を高架橋モデルに入力し、損傷度および固有振動数の変化を調べ、観測値と比較する。対象高架橋の比較的近傍で観測された2つの地震波（加古川波、西明石波）⁹⁾をもとに、表層地盤特性と距離減衰を考慮して作成したK波、N波をそれぞれ入力した。入力波及び高架橋頂部の応答波を図5に示す。この地震波により、解析モデルの柱上部に極わずかなクラックが生じており、クラック発生後の固有振動数は、K波で2.46Hz、N波で2.42Hzに低下した。

3-3-2 橋梁被害発生地域で記録された地震動の入力

兵庫県南部地震の際に橋梁被害の大きかった西明石地区での記録波のNS成分（MAX: 474Gal）を入力し、解析モデルにも相応の被害が発生するかを確かめた。ここでは、高架橋の損傷状況をより詳細に把握するため、より細かいメッシュ（10cm×10cmの要素）を用いた。右柱上部が曲げモードで損傷し、鉄筋が座屈した（図6）。

3-4 損傷と固有振動数変化の関係

これまでに実施した振動特性および破壊のオーダーに関する解析結果は概ね期待するレベルに達していた。そこで、最後に、解析モデルを用いて対象高架橋の損傷レベルと固有振動数変化との関係を導いてみる。振動数2Hzの正弦波1波を入力して動的に高架橋モデルに損傷を与え、除荷後の自由振動の振動数から損傷後の固有振動数を求めて図7に示した。図をみると、構造物の損傷レベルに対応して固有振動数がステップ状に変化している。このような損傷度と箇所や程度に応じた固有振動数変化の関係を事前にデータベース化しておけば、損傷度把握が容易に行え、図中にも例示したように、固有振動数と採用すべき復旧工法とを関連付けることも可能である。

4. おわりに

応用要素法による解析モデルは、周波数応答特性や地震動入力による破壊レベルにおいて、実構造物での観測結果と調和する結果を示した。応用要素法は、モデルの作成等が非常に簡単であるにもかかわらず、微小変形領域から破壊領域に至るまでの構造物挙動を十分な精度で解析できることが確かめられた。ここでは、研究の初期

段階のためごく簡単な分析例を示すにとどめるが、今後はテーマを絞ってより詳細な検討を行っていく。

参考文献

- 1) Meguro K. and Tagel-Din H. : A new efficient technique for fracture analysis of structures, Bulletin of Earthquake Resistant Structure, IIS, Univ. of Tokyo, No.30, pp.103-116, 1997.
- 2) 中村豊, 上半文昭, 井上英司 : 1995 年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析(II), JR 地震情報 No.23d, 1996.

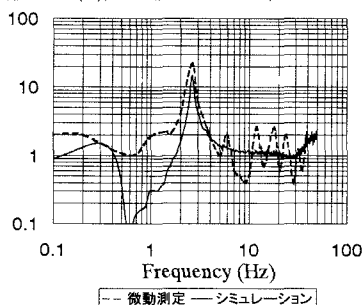


図4 対象高架橋と解析モデルの伝達関数

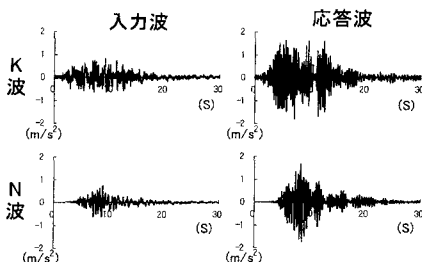


図5 入力波と応答波

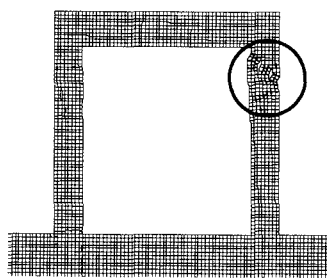


図6 西明石波入力による解析結果

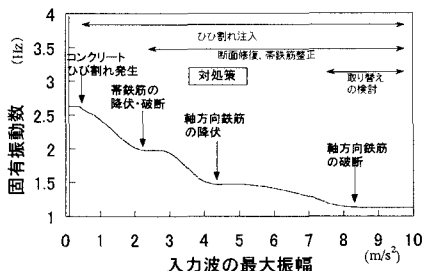


図7 破壊に伴う固有振動数の変化