

周波数特性に着目したコンクリートはりの損傷位置の同定

東北大学 学生会員 ○岩岸 現 (株)大林組 正会員 大竹 雄介
 東北大学 正会員 内藤 英樹 東北大学 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

振動試験は実施が容易であり、コンクリート構造物の点検・検査において、部材の損傷箇所を同定することができれば、詳細調査に係る労力と費用を大幅に軽減することや、迅速かつ適切な補修による構造物の長寿命化を図ることができる。著者ら¹⁾は、損傷を与えたはりとは平板の解析的検討において、共振時の振動モードの節が損傷側に移動することを示したが、その後の実験的検討では、加速度が零となる振動モードの節を加速度計によって正確に特定することができなかった。一方、反共振周波数は、共振曲線(周波数-応答加速度関係)を描いた際に、ある測定点において振動が最も励起されない周波数として定義され²⁾、振動モードの節(ある周波数において振動が最も励起されない箇所)と密接な関係がある。そこで、本研究では、測定が容易な共振曲線から反共振周波数を評価し、これを指標とした損傷位置の同定手法(以下、損傷同定法)を提示する。さらに、コンクリートはり供試体の振動試験により、提案手法の妥当性を検討する。

2. 反共振周波数

反共振とは、異なる固有モード同士の位相が反転する際に生じる不動状態であり、構造の任意点の応答が極小となる状態を意味する²⁾。共振周波数が位置によらない構造系固有の振動パラメータであるのに対して、反共振周波数は位置によって変化する指標である。例えば、支点付近の反共振周波数は1次の共振周波数に近く、スパン中央付近の反共振周波数は2次の共振周波数に漸近する。このような性質に着目して、はり長さ方向の反共振周波数の分布から節の移動を推定できる。反共振周波数は、図-1のように共振曲線の応答値を対数表記することによって容易に得られる。

3. FEM 解析

(1) 解析概要

後述する供試体と同様に、断面幅 150 mm、断面高さ 100 mm、部材長さ 1500 mm の供試体に対して、スパン 1400 mm の単純ばりを仮定した。加振位置は図-2のように設定し、損傷として6本の亀裂を20 mm 間隔に導入した。亀裂深さ1~4 cm と損傷位置を実験パラメータとした。汎用 FEM プログラム MARC を用いて、4 節点平面応力要素(1500 要素)により、はりの調和応答解析を行った。亀裂部は隣接する節点を分離させることで考慮した。コンクリートの動弾性係数 30800 N/mm^2 、密度 2300 kg/m^3 、ポアソン比 0.167 とした。

(2) 解析結果

解析結果の一例を示す。図-1は健全時の共振曲線であり、図-3は健全時からの反共振周波数の変化量(以下、反共振変化量)の分布である。スパン中央の左右の反共振変化量に大きな差異が表れた。これは単純ばりにおいて非対称に損傷

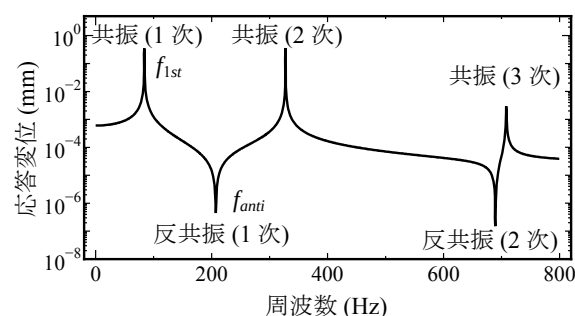


図-1 調和応答解析によるはりの共振曲線

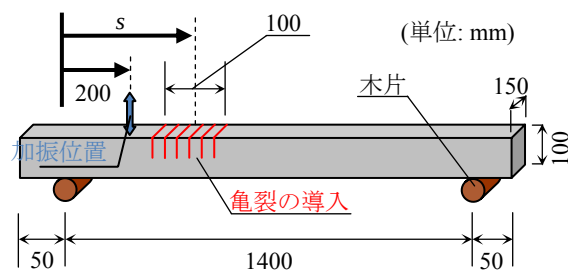


図-2 コンクリートはりの概略図

キーワード 振動試験, 共振周波数, 反共振周波数, 損傷同定

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL 022-795-7449

が存在することにより、2次共振の節が損傷側(左側)に移動して¹⁾、右側領域の各応答点では周波数が低い段階で節が通過するためである。

図-3より、スパン中央右側($s = 75 \text{ cm}$)の反共振周波数低下量 Δf_{anti}^r は、スパン中央左側($s = 65 \text{ cm}$)の反共振周波数低下量 Δf_{anti}^l よりも大きく低下している。そこで、左右の反共振変化量の差($\Delta f_{anti}^l - \Delta f_{anti}^r$)を指標として、損傷位置との関係を整理する。横軸を1次の共振周波数の変化量 Δf_{1st} 、縦軸を($\Delta f_{anti}^l - \Delta f_{anti}^r$)として、解析結果を図-4に示した。図-4には、損傷位置 $s = 20, 40, 50, 60, 70 \text{ cm}$ において亀裂深さ $d = 1, 2, 3, 4 \text{ cm}$ を導入したときの解析結果を示す。1次の共振周波数の低下とスパン中央の左右の反共振変化量の差に着目すると、両者に概ね線形関係を見出すことができた。また、その傾きから損傷位置を推定することができた。

4. コンクリートはり供試体の振動試験

図-2の条件のコンクリートはり供試体を作製し、小型起振機による周波数スイープ試験を行った。振動試験の詳細は、参考文献3)に示した。図-4と同様に、横軸を1次の共振周波数の変化量 Δf_{1st} とし、縦軸を($\Delta f_{anti}^l - \Delta f_{anti}^r$)として、実験結果を図-5に示す。実験結果においても Δf_{1st} と($\Delta f_{anti}^l - \Delta f_{anti}^r$)には概ね線形関係が見出せ、その傾きと損傷位置の関係も解析結果と同様であった。本実験の条件では、 Δf_{1st} が5 Hz程度以下(健全時からの周波数低下5%、剛性低下10%)、あるいは($\Delta f_{anti}^l - \Delta f_{anti}^r$)が10 Hz以下の小さな亀裂に対しては、妥当な結果が得られない場合があった。

5. まとめ

本研究では、反共振周波数を指標とした単純ばりの損傷位置の同定手法を示した。供試体実験では、1次の共振周波数が健全時から5%以上となる損傷に対して、提案手法の有用性が確認できた。今後は、経年劣化を模擬した供試体による検討が必要である。

参考文献：

- 1) 大竹雄介, 内藤英樹, 鈴木基行：共振特性に着目したRC部材の剛性分布の推定, 土木学会第64回年次学術講演会, V-165, pp.327-328, 2009.
- 2) 長松昭男：モード解析入門, コロナ社, 2009.
- 3) 大竹雄介, 内藤英樹, 中野聡, 鈴木基行：小型起振機を用いたコンクリート橋の強制振動試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1459-1464, 2010.

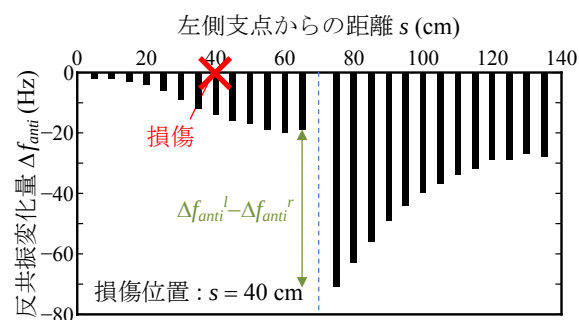


図-3 損傷位置と反共振変化量分布の関係(解析)

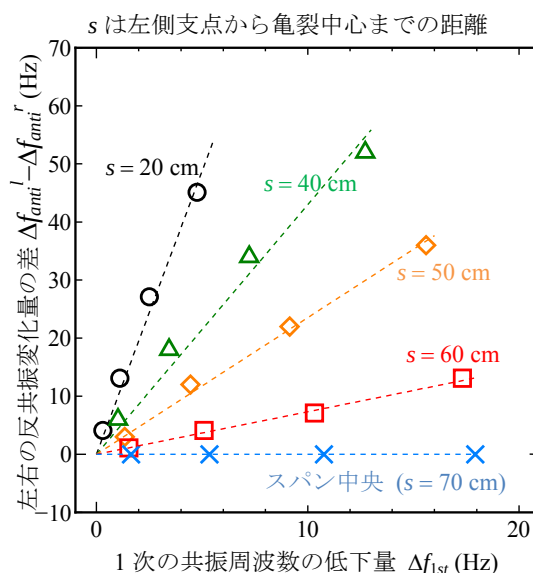


図-4 損傷位置とスパン中央における左右の反共振変化量の差の関係(解析)

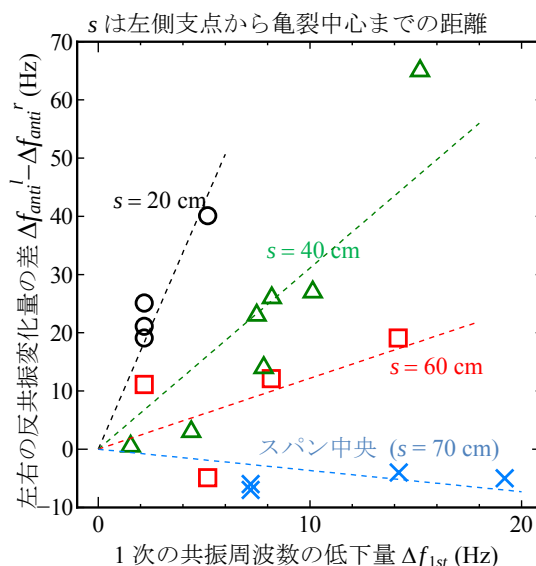


図-5 損傷位置とスパン中央における左右の反共振変化量の差の関係(実験)