

周波数特性の変化に着目したコンクリートはり部材の損傷位置の同定

東北大学 学生会員 ○齋藤 知廣
東北大学大学院 学生会員 渡辺 孝和

東北大学大学院 学生会員 大竹 雄介
東北大学大学院 正会員 内藤 英樹
東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

我が国のコンクリート構造物は高度経済成長時に多くが建設されており、これらが一斉老朽化する段階にある。詳細検査の前段階で非破壊検査により部材の最劣化箇所を簡便に特定することができれば、大幅な作業の軽減が見込める。振動試験は他の非破壊検査と比較して簡便であるが、共振周波数や減衰定数あるいは振動モードに着目した損傷位置の同定は容易ではない。そこで、本研究では振動の節と反共振周波数の関係に着目した損傷位置の同定手法(以下、損傷同定手法)を提示し、コンクリートはり供試体の強制振動試験によってその妥当性を検討する。さらに、著者らが過去に行ったコンクリート道路橋の強制振動試験の結果を参照し、実構造物における反共振周波数の測定可否を検討した。

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。共振周波数が位置によらない構造系固有の振動特性であるのに対し、反共振周波数は位置によって変化するため位置情報を含む指標であり、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軌跡を推定できる。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、容易に共振点と反共振点を見ることができる。このとき共振・反共振いずれの場合でも、加振に対する測定点の位相は -90° となる。

3. FEM 解析

(1) 解析概要

後述する供試体と同様に、断面幅 150mm、断面高さ 100mm、部材長さ 1,500mm の供試体に対して、スパン 1,400mm の単純ばりを仮定した。加振・損傷の位置は図-2のように設定し、損傷として6本の亀裂を等間隔に導入した。亀裂深さは4cmである。汎用 FEM プログラム MARC を用いて、4 節点平面応力要素 (1,500 要素) でモデル化した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。コンクリートのヤング係数 $30,800\text{N/mm}^2$ 、密度 $2,300\text{kg/m}^3$ 、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は損傷によって生じた、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。図-3ではスパン中央の左右で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が導入されたことにより2次共振の節が損傷側(左側)に移動し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。このように提案手法は、損傷によって構造の対象性が崩れることを反共振周波数によって評価するものであり、はりの左右

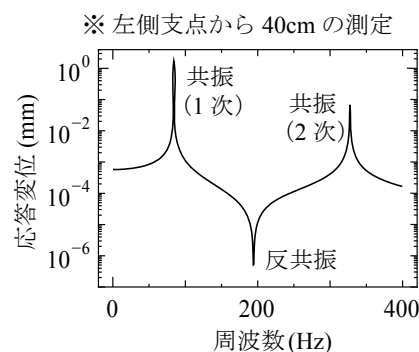


図-1 調和応答解析によるはりの共振曲線

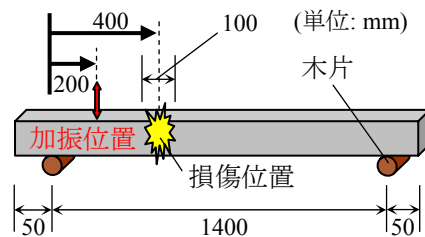


図-2 はり供試体の概略図

Key Words : 反共振周波数, 損傷同定, 調和応答解析, 強制振動試験, 起振機

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL: 022 (795) 7449 FAX: 022 (795) 7448

いずれかの損傷位置同定が可能になる。なお、高次の反共振周波数が測定できれば、損傷位置の細分化を図ることも可能である。

4. コンクリートはり供試体の強制振動試験

(1) 実験概要

コンクリートはり供試体による実証実験を行った。供試体の諸元は前記の解析と同じである。ただし、加振点は左側支点から 35cm の位置とし、亀裂は供試体上面からカッターで導入した。強制振動試験では電磁コイル式の小型起振機を励振器として、調和振動を与えた。このとき、供試体上面において、部材長さ方向に 5cm 間隔の応答測定点を設け、加速度を測定した。本実験では 2 分間に 50~400Hz まで周波数を漸増させた。強制振動試験の機材や方法などの詳細は文献 2) に示した。

(2) 実験結果

損傷時の共振周波数は実験と解析で概ね一致しており、振動試験を妥当性を確認した。損傷時の一例として、亀裂深さ 4cm での反共振変化量の分布を図-4 に示す。実験結果でも、損傷のない右側において反共振変化量が大きく表れた。このことから、反共振周波数に着目して、はり部材の損傷区分を推定することが可能になると考えられる。

5. コンクリート橋の強制振動試験

提案手法を実構造物に適用するためには、大型構造部材の現場試験において反共振周波数を精緻に測定することが前提となる。そこで、著者らが過去に行ったコンクリート道路橋の強制振動試験²⁾を示し、反共振周波数の測定の可否を検討した。対象橋梁はスパン 10.4m、有効幅員 6.0m のコンクリート道路橋であり、単純桁構造の床版橋(斜橋)である。強制振動試験は、橋面上に設置した小型起振機(質量 26kg)を励振器として、調和振動を与えた。本実験では 10 分間で 10~90Hz まで周波数を漸増させた。共振曲線を図-5 に示す。実橋の振動試験でも、共振点と反共振点が明確に得られ、いずれも位相が-90°と対応していることが確認できた。このことから、コンクリート道路橋のような大型の部材・構造に対しても、現場測定によって反共振周波数の測定が可能であった。

6. まとめ

本研究は、反共振周波数に着目した損傷同定手法を提示し、コンクリートはり供試体の振動試験によってその妥当性を確認した。また、著者らが過去に行った実橋試験の結果から、実構造物においても精緻な振動試験や反共振周波数の測定が可能であることを確認した。本研究は反共振周波数に着目した損傷位置同定に関する基礎的検討に位置づけられ、今後はさらなる手法の高度化と、供試体実験や現場計測による基礎的データの収集に取り組む必要がある。

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) 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.

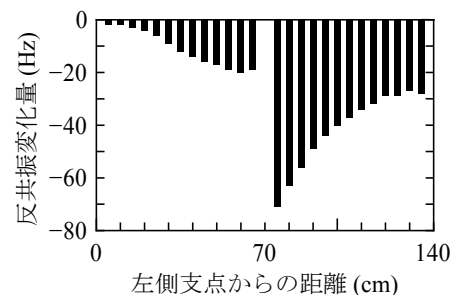


図-3 調和応答解析による
はりの反共振変化量

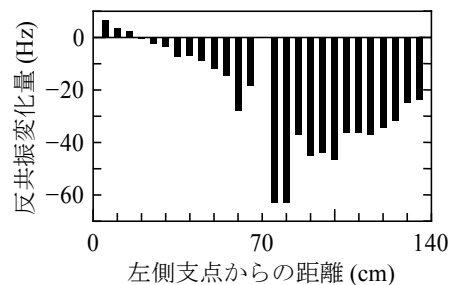


図-4 振動試験による
はりの反共振変化量

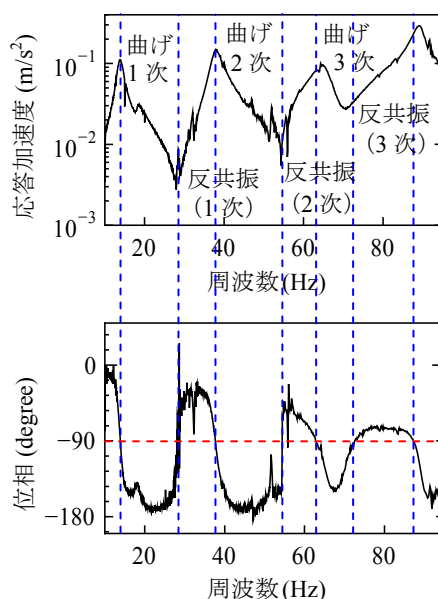


図-5 コンクリート橋の
共振曲線