

反共振周波数に着目したコンクリート部材の損傷位置同定

東北大学大学院 学生会員 ○渡辺孝和
 東北大学大学院 正会員 内藤英樹
 東北大学大学院 学生会員 大竹雄介
 東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

構造物の維持管理では、劣化の初期段階において部材や構造物の中での最劣化箇所を特定し、迅速に適切な補修・補強を施すことが長寿命化対策の上からも合理的である。しかし、振動試験から得られる固有振動数に着目しても、経年劣化によるコンクリート部材の局所的な損傷を検知することは難しく、損傷位置を同定することもできない。一方、機械工学の研究分野では、周波数スイープ試験によって得られる共振曲線から反共振周波数を抽出し、その変化量に着目した損傷位置の同定手法¹⁾が提示されている。この手法は、損傷の存在によって振動モードが変化することに着目したものであり、従来の固有振動数の変化に着目した評価手法よりも小さな損傷を検知でき、さらに損傷位置の同定も可能となる。

そこで、本研究では、コンクリートはり供試体に段階的に亀裂を導入し、反共振周波数の変化に着目した損傷位置の同定手法の妥当性を検討する。さらに、コンクリート部材に対して検知可能な損傷レベルを明らかにする。

2. 反共振周波数に着目した損傷位置の同定手法

反共振周波数(ある測定点で最も振動が励起されない周波数)は、測定点ごとに異なる固有の振動数であり、振動モードの節(ある周波数で最も振動が励起されない位置)と強い関係性がある。大竹ら²⁾は、部材に損傷が存在する場合に振動モードの節が損傷側に移動することを理論によって示した。これと同様に反共振周波数は、1) 加振点-測定点間に損傷が存在する場合には健全状態からわずかに増加する(あるいはほとんど変化しない)、2) 加振点-測定点間の範囲外に損傷が存在する場合には健全状態から低下する、との性質がある¹⁾。このことから、上記1)、2)の境界を見出すことにより、損傷位置を同定することができる。

3. コンクリートはり供試体の強制振動試験

(1) 供試体諸元

供試体概略図を図-1に示す。部材長さ1500mmの無筋コンクリートはり供試体を作製した。断面寸法は、150mm×100mm(幅×高さ)とした。支点間距離を1400mmとして、はりの両端を単純支持とした。加振位置と損傷位置は図-1のように設定した。損傷範囲は100mmとし、グラインダーによって1~4cmまで切れ込みを段階的に導入した。

(2) 振動試験方法

小型起振機の外観を写真-1に示す。振動テーブルに錘を固定し、起振機を構造物上に設置して錘を鉛直方向に加振することにより、起振機本体に生じる振動を構造物に伝達させる。起振機の振動テーブルには制御加速度ピックアップを貼付し、加速度振幅が一定になるように起振機の出力を自動制御する。このとき、構造物の表面に貼付した計測加速度ピックアップによって、構造物の共振曲線(周波数-応答加速度関係と位相特性)を得る。



写真-1 小型起振機

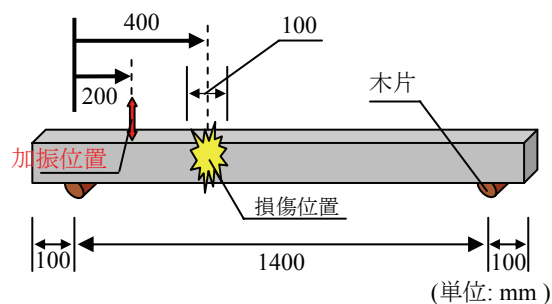


図-1 供試体の概略図

Key Words : コンクリートはり, 強制振動試験, 反共振周波数, 非破壊検査法

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

はり供試体の振動試験では、図-1 の加振点を変えずに、部材長さ方向に応答加速度を 100mm 間隔で計測した。掃引周波数は 50~400Hz とし、測定は 3 分間で行った。

(3) 実験結果

強制振動試験によって得られた共振曲線 (周波数-応答加速度関係と位相特性) の一例として、健全状態での実験結果を図-2 に示す。応答加速度が極大および極小となる点において位相が $\pm 90^\circ$ と対応し、固有振動数 (共振周波数) と反共振周波数が得られた。なお、固有振動数は理論とも概ね整合することを確認している。

段階的な亀裂深さに対して、測定点と健全時からの反共振周波数の変化を整理し、損傷位置の同定手法の妥当性を検討した。亀裂深さ 2cm および 4cm としたときの各点で得られた反共振周波数の変化を図-3 に示す。これらの結果より、亀裂深さ 2cm と 4cm のいずれについても加振点-測定点間の範囲外に損傷が存在する場合には反共振周波数は健全状態から増加している。すなわち、図-3 の縦軸の値が正から負に転じる位置と損傷範囲の先端が概ね一致した。亀裂深さ 2cm と 4cm の比較では、後者の方が反共振周波数の変化量大きい。なお、亀裂深さ 1cm の検討では、このような反共振周波数の変化に明確な傾向は見出せなかった。

以上より、反共振周波数に着目した損傷位置の同定手法はコンクリート部材にも適用できることが確認された。本実験の範囲では、10cm の断面高さに対して、亀裂深さ 2cm 以上の損傷に対して損傷箇所を同定することができた。なお、亀裂深さ 2cm では、健全時からの 1 次の固有振動数の変化はわずか 4% 程度であった。固有振動数の変化に着目しても、この程度の損傷の有無を判断することは困難であり、損傷箇所を同定することはできない。

4. まとめ

本研究では、健全時からの反共振周波数の変化に着目することにより、コンクリート部材における損傷箇所が同定できることを確認した。この手法は、固有振動数の変化では検知できない小さな損傷に対しても、損傷位置を同定できる可能性が示唆された。このような手法を構造部材に応用することにより、劣化の初期段階における最劣化箇所が特定できると考えられる。しかし、この手法の適用は、大型構造部材においても反共振周波数が得られる精緻な振動試験の実施が前提であり、小型起振機による大型構造部材の強制振動試験も併せて検討する必要がある。

参考文献

- 1) 稲田貴臣, 島村佳伸, 轟章, 小林英男: 反共振周波数変化に基づく CFRP 積層梁のはく離領域の判定, 日本機械学会論文集, A 編, Vol.67, No.664, pp.1929-1935, 2001.
- 2) 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.

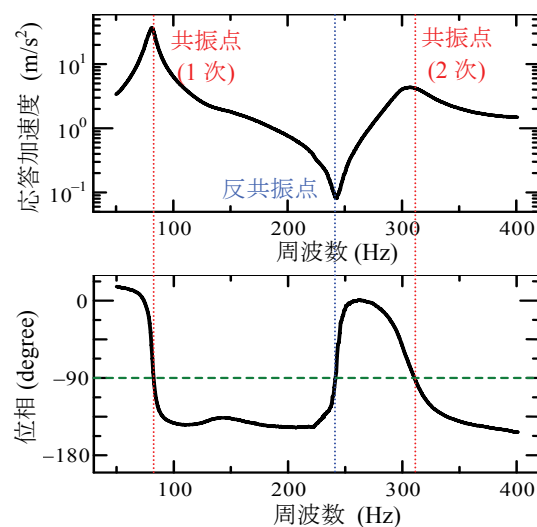


図-2 健全時における共振曲線

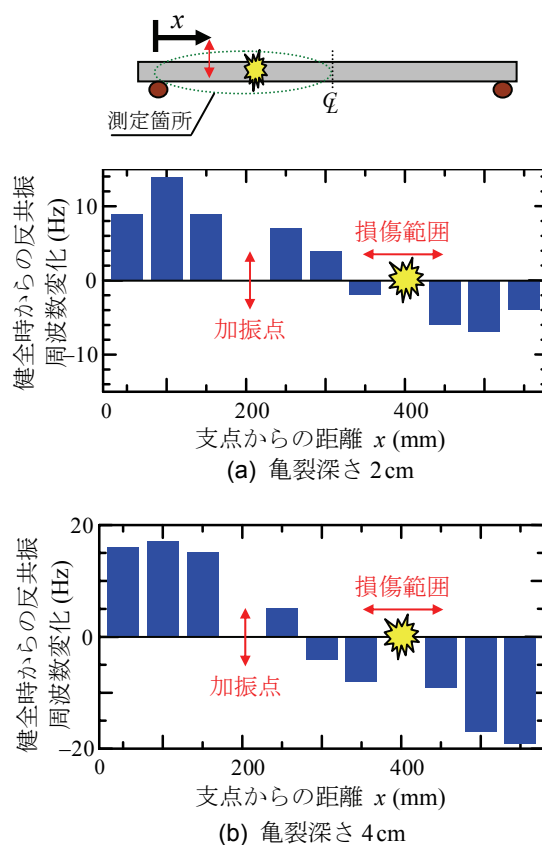


図-3 反共振周波数の変化