

# RC 桁を対象とした構造ヘルスマニタリング技術の開発

東北大学 学生会員 ○諸橋拓実 東北大学 正会員 内藤英樹  
東北大学 学生会員 上田博之 東北大学 学生会員 安部誠司  
東北大学 フェロー 鈴木基行

## 1. はじめに

橋梁をはじめとする社会基盤構造物の維持管理において、構造ヘルスマニタリングの活用が検討されている。しかし、構造物の健全性診断を目的としたときに必要な測定データの種類や数量、測定精度、処理方法などは未だに整理されていない。構造ヘルスマニタリング手法の一つとして常時微動や通行車両の走行振動を用いて、構造物の加速度応答波形の異常や固有振動数の変化に着目する方法が挙げられる<sup>1)</sup>が、長大橋を除く一般的な橋梁では常時微動が小さく、損傷・劣化を精度よく評価するためには振動試験精度の向上が必要である。著者ら<sup>2)</sup>は、加振車両を用いて振動をアクティブに与えることによって構造物の振動試験精度を向上させ、固有振動数の評価のみならず、損傷位置同定が可能になると考えた。本研究は、その基礎検討として、加振器を載せた車両模型を作製し、曲げひび割れが生じた RC はり供試体に対して、振動試験精度の確認と損傷位置同定の可能性を検討した。

## 2. 実験概要

RC はり供試体の概略図を図-1 に示す。寸法は部材長 2600mm、スパン 2000mm、断面高さ 200mm、断面幅 200mm である。引張鉄筋は D13 を 2 本配置し、せん断破壊が生じないようにスターラップ D6 を 100mm 間隔では位置した。コンクリートの材料特性は、圧縮強度 30.5 N/mm<sup>2</sup>、静弾性係数 24200 N/mm<sup>2</sup>、動弾性係数 31400 N/mm<sup>2</sup>、密度 2280 kg/m<sup>3</sup> である。

供試体 2 体を作製し、実験パラメータは損傷位置( $L/2$  と  $L/4$ ;  $L$  はスパン)とした。RC はり供試体の両端に支点を設け、スパン中央に鋼製ピンを介して 1 方向に鉛直荷重を加えることによって、曲げひび割れを生じさせた。载荷ステップは降

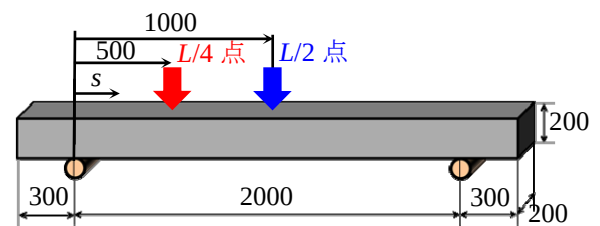


図-1 はり供試体の概略図

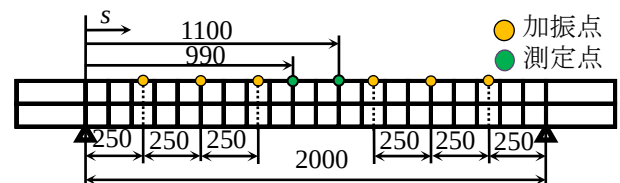


図-2 振動試験の概略図

伏荷重の 1/2 および降伏荷重までは荷重制御として、その後は変位制御により降伏変位  $\delta_y$  の整数倍ごとに  $6\delta_y$  まで除荷と再载荷を繰り返した。図-1 に示すように、損傷位置は  $s=500\text{mm}$  ( $L/4$  点)、 $s=1000\text{mm}$  ( $L/2$  点) とした。

振動試験は、はり供試体の 1 次～2 次共振周波数を含む 20～400Hz の周波数特性を一定としたホワイトノイズを合成し、台車模型の上に設置した加振器から台車を介してはり供試体に振動を加えた。図-2 に示すように、加振点は支点およびスパン中央を除いて、支点から 250mm ( $L/8$ ) 間隔ごとに計 6 点を移動させながら測定した。また、以降に示す反共振周波数に着目して損傷位置同定を検討するため、応答測定点はスパン中央から左右に 100mm 離れた 2 点 ( $s=900\text{mm}$ ,  $1100\text{mm}$ ) に加速度センサを貼付し、それぞれの位置で周波数応答関数(周波数－応答加速度関係)を得た。

## 3. 実験結果

参考文献<sup>2)</sup>では、振動モードの節が損傷側に移動する物理現象に着目して、節(ある周波数において振動が最も励起されない位置)を反共振周波数(ある位置において振動が最も励起されない周波数)によって評価し、損傷位置を同定する手法を提示した。図-3 に健全時に測定した周波数応答関数を示す。図-3 より 1 次と 2 次の共振周波数

キーワード：RC はり、損傷位置同定、振動試験、反共振周波数

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

および反共振周波数を明確に測定できた。

図-4 および図-5 には、 $L/2$  および  $L/4$  点载荷に対して、载荷ステップごとの反共振周波数の変化を整理した。図-4 より、 $L/2$  点载荷ではスパン中央に損傷が生じるため 2 次共振の振動モードが変化せず、载荷に伴って反共振周波数は低下するがスパンの左右で対称となった。一方、図-5 に示す  $L/4$  点载荷では、2 次共振の振動モードが非対称に変化するため、载荷に伴って損傷のない側の反共振周波数が大きく低下した。なお、図-4 と図-5 に示すように  $L/2$  と  $L/4$  点载荷のいずれでも加振車両による加振位置が反共振周波数の測定値に及ぼす影響は小さい。

以上より、振動試験によって得られたはりの左右の反共振周波数の差に着目して、損傷位置同定を試みた。図-6 に実験結果を示す。 $L/2$  点载荷では、横軸に示す 1 次の共振周波数が载荷ステップの増加に伴って大きく低下するが、図-4 に示したように反共振周波数は左右で対称となるために、縦軸に示す反共振周波数の左右の差は小さい。これに対して、 $L/4$  点载荷では、横軸に示す 1 次の共振周波数の低下は小さいが、载荷ステップの増加に伴って縦軸に示す反共振周波数の左右の差は大きくなる。このような性質によって、図-6 では損傷位置によって実験結果が異なる傾きの直線上にプロットされた。以上から、1 次共振周波数の変化と左右の反共振周波数の差の比率に着目して、はりの損傷位置が同定できる可能性が示唆された。

#### 4. まとめ

移動型の加振試験(ホワイトノイズ加振)によって、RC はり供試体の損傷位置の同定を試みた。その結果、スパン中央の左右の反共振周波数の差に着目して、損傷位置を推定できる可能性が示唆された。特に、ホワイトノイズを与えることによって、加振位置(車両の通過位置)によらずに損傷位置を推定できることから、今後、起振車両を用いた橋梁等の構造モニタリングへの活用を見出すことができた。本手法を実用化技術に発展させるため、今後、構造諸元や部材の損傷パターンを変えた基礎研究を積み重ね、橋梁の現場試験(実証試験)へと繋げていく。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：モニタリングによる橋梁の性能評価指針(案)，丸善，2006。
- 2) 内藤英樹，大竹雄介，渡辺孝和，鈴木基行，中野聡，岩城一郎，木皿尚宏：反共振周波数に着目したはりの損傷位置同定に関する基礎的検討，構造工学論文集，Vol. 58A，pp. 150-161，2012。

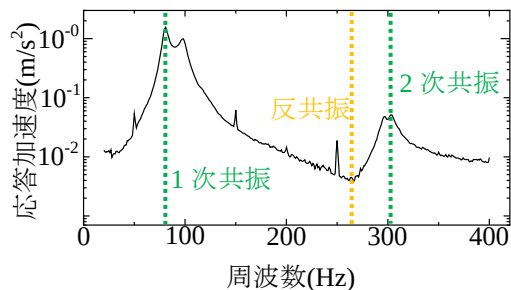


図-3 周波数応答関数

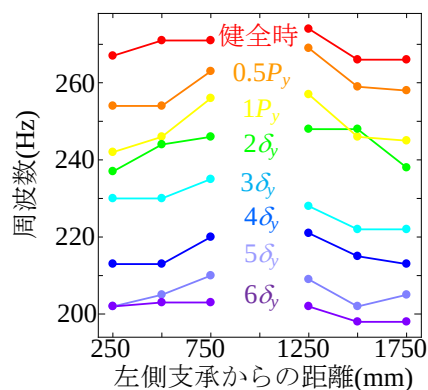


図-4 反共振周波数の変化 ( $L/2$  点载荷)

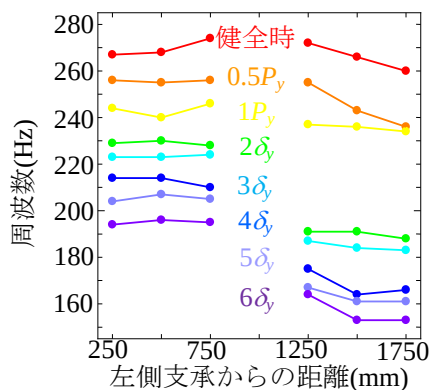


図-5 反共振周波数の変化 ( $L/4$  点载荷)

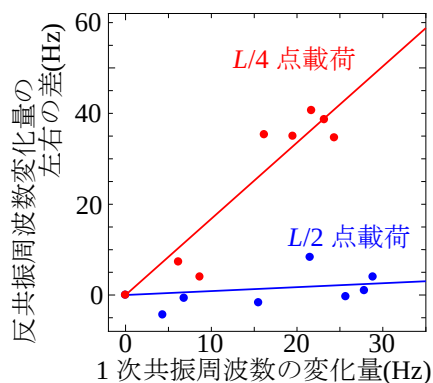


図-6 損傷位置による共振周波数と反共振周波数の関係