

小型起振機による橋梁上部工の強制振動試験

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

東北大学大学院 正会員 内藤英樹
(株)鹿島建設 正会員 伊東知哉
(株)福山コンサルタント 正会員 宮村正樹

1. はじめに

我が国の社会基盤施設は一斉老朽化を迎える段階にあり、近年、コンクリート橋においても著しい劣化事例が報告されている。振動試験は多くの構造物を対象とした点検に適しているが、経年劣化による局所的かつ段階的に進展する損傷を構造全体系の固有振動数の変化から判断することは容易ではない。これに対して、著者ら¹⁾は、損傷によって振動モードが変化することに着目したコンクリート部材の健全度評価法を検討している。また、この健全度評価法を実用化するためには振動試験の高精度化が必要であり、著者らは小型起振機を用いた周波数スイープ試験（以下、強制振動試験）の開発にも取り組んでいる。そこで、本研究は、小型起振機を用いたコンクリート橋の強制振動試験を行い、その妥当性を検討する。

2. 小型起振機を用いた強制振動試験

本研究で使用した電磁コイル式の小型起振機（最大加振力 500N）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鉛直方向に加振することで、起振機本体に生じる振動を構造物に伝達させる。振動テーブルに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。そして、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、構造物の共振曲線と位相特性を得る。



写真-1 小型起振機

3. コンクリート橋の強制振動試験

(1) 実験概要

一般国道 342 号（岩手県一関市：真湯～須川間）のオーレン 6 号橋を対象とする。オーレン 6 号橋の外観を写真-2 に示す。本橋は、支間長 10.4m、有効幅員 6.0m のコンクリート床版橋（斜橋）であり、昭和 42 年に竣工されている。本橋は 2008 年の岩手・宮城内陸地震の復旧対象地域に架設されており、測定当日は、工事車両が数分に 1 台程度の割合で通過していた。目視調査では、ひび割れなどの目立った損傷は見られなかった。本実験では、小型起振機を用いた強制振動試験と併せて、ダンプトラックによる静的載荷試験、および重錘落下による衝撃振動試験も行った。以降では、これらの実験結果を比較し、提案手法の妥当性を検討する。

強制振動試験は、表-1 に示す加速度振幅を基準として起振機を制御した。振動テーブルには 10kg の錘を固定した。図-1 に示す V2 あるいは V3 に小型起振機を設置し、V1～V3 の応答加速度を計測した。掃引周波数を 10～90Hz とし、10 分間あるいは 15 分間に周波数を連続的に増加させた。

静的載荷試験は、ダンプトラックの前輪および後輪の総荷重がそれぞれ 5.8tonf および 14.2tonf となるように調整した。ダンプトラックの寸法と輪荷重の載荷位置を図-2 に示す。静的載荷試験では、スパン中央の桁下に変位計を鉛直方向に設置し、上部工のたわみを測定した。

衝撃振動試験では、30kg の重錘を 50～100cm 程度引き上げ、橋面上に落下させて衝撃力を与えた。重錘の落下点



写真-2 オーレン 6 号橋

表-1 小型起振機の加速度

周波数	加速度の最大振幅
10～15 Hz	14 m/s ²
15～20 Hz	30 m/s ²
20 Hz～	40 m/s ²

Key Words：コンクリート橋，強制振動試験，衝撃振動試験，静的載荷試験

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、図-1 の V1, V2, V3, V5 とし、V1～V6 の応答速度をサーボ型速度計により計測した．応答速度波形をフーリエ解析することで、速度スペクトルと位相差スペクトルを求める．

(2) 実験結果

a) 静的載荷試験との比較

加振点および測定点を V2 とした強制振動試験による共振曲線を図-3 に示す．なお、図-3 中の応答加速度の値は、表-1 の制御の値に対して、入力加速度 40m/s^2 と等価になるように補正した．共振曲線では応答加速度の極大点と位相-90°が対応することから、1 次の固有振動数 13.9Hz が得られた．

一方、図-2 に示す輪荷重の載荷位置に対し、スパン中央でのたわみは 0.65mm となった．これらの試験結果から推定される上部工の曲げ剛性を比較することで、強制振動試験の妥当性を検討する．2 つの実験結果に基づいて推定される曲げ剛性の比は、(静的載荷試験) / (強制振動試験) が 0.92 となり、両試験の結果は概ね整合していることが確認された．

b) 衝撃振動試験との比較

図-3 から得られる各モードの固有振動数を衝撃振動試験および FEM 解析の結果と併せて表-2 に示す．表-2 の比較より、FEM 解析と 2 つの振動試験の結果は概ね対応した．さらに、高周波数域においても応答加速度の共振点（極大点）と反共振点（極小点）の位相が $\pm 90^\circ$ に対応することを確認した．以上より、小型起振機を用いた橋梁の強制振動試験は可能であり、着目する周波数帯の調和振動を与えることで、低次から高次モードまでの共振周波数や反共振周波数を評価できることを確認した．

4. まとめ

本研究は、電磁コイル式の小型起振機を用いた強制振動試験を提示した．スパン 10.4m のコンクリート橋に対して、小型起振機による加振力でも、低次から高次モードまでの共振周波数や反共振周波数が評価できることを示した．今後は、反共振周波数に着目した損傷同定手法²⁾を応用したコンクリート部材の健全度評価を検討する予定である．

謝辞：本研究は高速道路関連社会貢献協議会の研究助成によって行いました．また、オーレン 6 号橋の実橋試験を実施するに当たって、岩手県から多大なるご協力を頂きました．ここに記して謝意を表します．

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) 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．

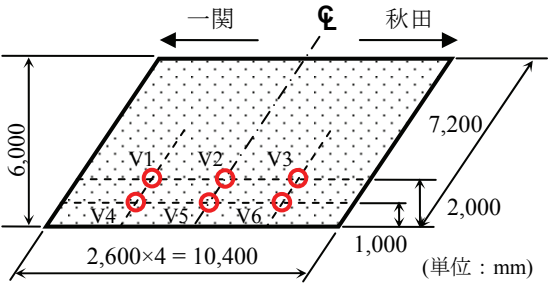


図-1 振動試験の加振位置と測定位置

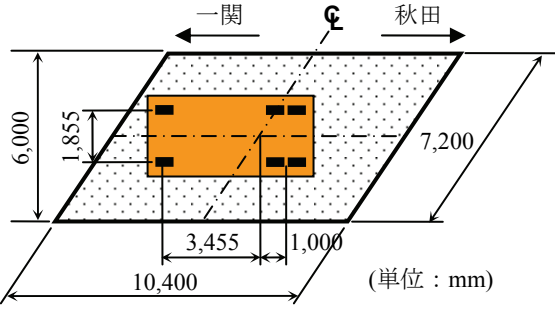


図-2 ダンプトラックの載荷位置

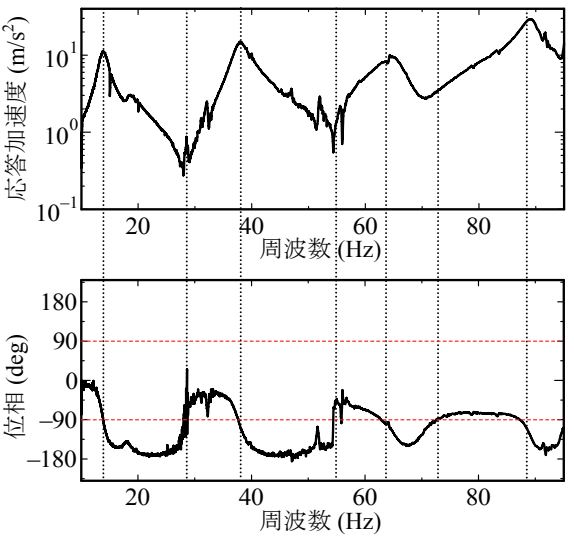


図-3 コンクリート橋の共振曲線

表-2 オーレン 6 号橋の固有振動数

次数	強制振動試験	衝撃振動試験	FEM 解析※	振動モード
1	13.9 Hz	13.7 Hz	13.9 Hz	たわみ 1 次
2	未検出	18.5 Hz	24.0 Hz	ねじり
3	37.4 Hz	36.6 Hz	51.9 Hz	たわみ 2 次+ねじり
4	63.5 Hz	62.2 Hz	57.7 Hz	たわみ 3 次
5	84.1 Hz	88.4 Hz	84.7 Hz	たわみ 3 次+ねじり

※1 次固有振動数が 13.9Hz となる動弾性係数を設定