

小型 FWD 試験機を用いた小規模橋梁の簡易的振動特性評価の解析的検討

(株)昭和土木設計
岩手大学理工学部
(株)昭和土木設計
山形県立産業技術短期大学校

正会員 ○八重樫 大樹
正会員 大西 弘志
正会員 岩崎 正二
正会員 千葉 陽子

1. まえがき

既設橋梁の健全度を評価する指針として代表的なものに振動特性を利用した剛性の検証がある．本論文では，小型 FWD 試験機を用いた簡易的な衝撃振動試験により，小規模橋梁の固有振動数を求めた．また，対象橋梁の 3 次元 FEM 上部工モデルの固有値解析との比較により，簡易試験による振動特性評価の妥当性について検討した．

2. 対象橋梁の概要

本論文の対象橋梁は岩手県胆沢郡金ヶ崎町の渋川に架かる下渋川橋である．橋梁緒元は橋長 20.0 m，全幅員 6,300 mm，桁高 800 mm，3 主桁，RC 床版（床版厚 160 mm），コンクリート舗装（舗装厚 50 mm）を有する鋼単純合成 H 桁橋である．対象橋梁の上部工断面図を図-1 に示す．

3. 小型 FWD 試験の概要と結果

本研究では，対象橋梁に対し小型 FWD 試験機を用いて 25 kg の重錘を 1.0 m の高さから落下させる衝撃振動試験を行った．試験の载荷パターンは橋梁全体系と床版パネル系に二分した．橋梁全体系では各主桁支間 1/2 点，1/4 点の計 6 点を小型 FWD 試験機で打撃し，各桁支間 1/4 点，1/2 点，3/4 点における鉛直方向応答加速度を計測した（図-2）．一方，床版パネル系では，主桁と横桁で囲まれた範囲を 1 計測範囲（パネル）とし，計 8 箇所についてパネル中央を打撃し，打撃点を含めて橋軸方向および橋軸直角方向にパネルを均等に 4 分割するように加速度計を配置した（図-3）．加速度計から得られた応答加速度データの FFT 方式により算出された振幅スペクトルおよび位相差スペクトルから推定された，対象橋梁の振動モードと卓越振動数を表-1 に示す．

表-1 衝撃振動試験による実測卓越振動数

固有振動モード	卓越振動数 (Hz)
曲げ 1 次	6.7
ねじれ 1 次	7.6
曲げ 2 次	14.6
ねじれ 2 次	20.1
局部曲げ 1 次	46.3

キーワード：衝撃振動試験 3 次元 FEM 解析 健全度評価

連絡先：〒020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南 4 丁目 1-23 (株)昭和土木設計 TEL019-638-6834

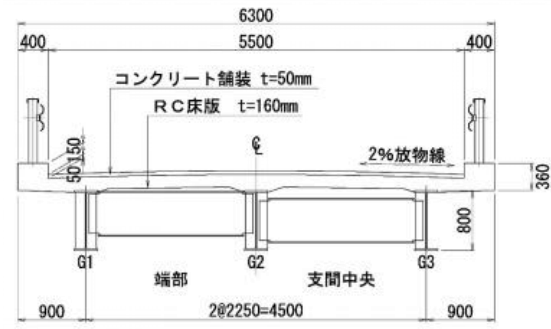


図-1 対象橋梁の上部工断面図

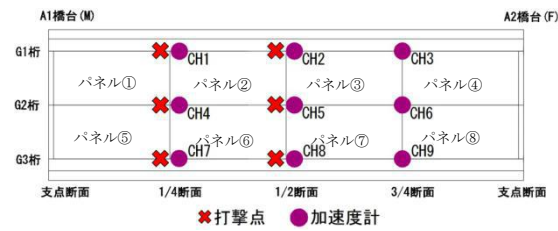


図-2 打撃点および加速度計設置位置
(橋梁全体系)

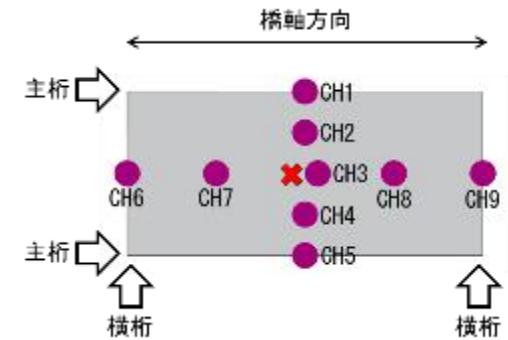


図-3 打撃点および加速度計設置位置
(床版パネル系)

4. FEM 固有値解析の概要と結果

3次元 FEM 解析ツールを用いて対象橋梁の上部工モデルを作成した(図-4)．主桁、横桁に Shell 要素、床版に Solid 要素を用いた．総節点数は 221,580、総要素数は 199,751 である．RC 床版と鋼桁の初期状態でのヤング係数をそれぞれ $E_{c0}=23,500\text{ N/mm}^2$ 、 $E_s=205,000\text{ N/mm}^2$ とする．本研究では床版部の剛性値と支承の拘束条件（ピン-ピン支承、バネ支承）をパラメータとして、固有値解析によってこの上部工モデルの固有振動数を求めた．初期状態において、並進バネ定数を変化させた固有値解析の結果について、振動次数ごとにピン-ピン支承を基準とした固有振動数の変化率を図-5 示す．図-5 において並進バネ定数の最小値 $1.0\times 10^3\text{ N/mm}^2$ 、最大値 $1.0\times 10^9\text{ N/mm}^2$ における解析結果は、それぞれピン-ローラー支承、ピン-ピン支承に一致した．橋梁の床版の劣化を考慮するため、床版の剛性を初期状態から 1 割ずつ低下させた．各々の剛性値における、曲げ 1、2 次およびねじれ 1、2 次振動数に関して、FWD 衝撃振動試験との誤差が最小となるような、並進および回転のバネ定数を求めた．床版の剛性を 9 割低下させた場合に、実測値との二乗誤差が最小となった．解析結果を表-2 に示す．

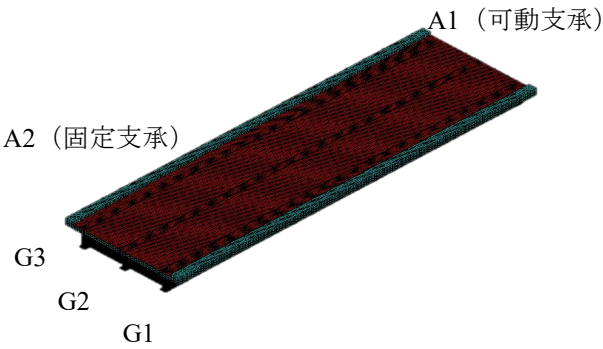


図-4 上部工 FEM モデルの概要

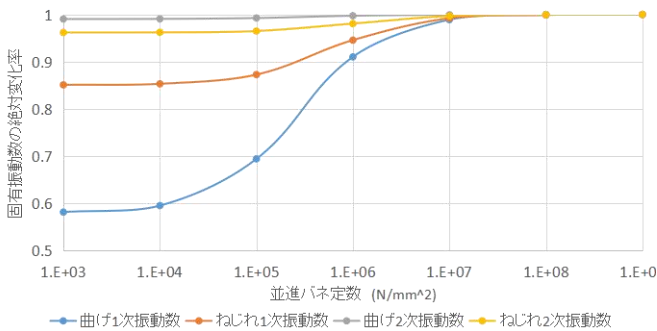


図-5 並進バネ定数に対する固有振動数の変化率

表-2 FEM 固有値解析結果と実測値の比較 (Hz)

支承条件		ピン-ピン 支承	ピン-バネ支承			実測値
E _{c1} [N/mm ²]		2.35×10 ⁵	2.35×10 ⁵	2.115×10 ⁵	1.88×10 ⁵	
E _{c1} /E _{c0}		1	1	0.9	0.8	
並進バネ定数 (N/mm)		-	10 ^{5.5}	10 ^{5.7}	10 ^{5.9}	
回転バネ定数 (N ・ m/rad)		-	10 ⁹	10 ⁷	10 ⁶	
固有振動モード	曲げ 1 次	7.29	6.71	6.71	6.71	6.7
	ねじれ 1 次	7.32	7.59	7.47	7.34	7.6
	曲げ 2 次	12.9	15.17	14.96	14.78	14.7
	ねじれ 2 次	13.5	18.21	19.51	19.33	20.1
	局部曲げ 1 次	20.2	47.91	45.69	43.32	46.3

5. まとめ

小型 FWD 試験機を用いた衝撃振動試験により得られた応答加速度波形に対して、FFT を施すことにより、対象橋梁の全体系及び床版局部系の固有振動数を求めた．多点加速度計測の利点を生かして、実測固有振動モードを特定したが、3次元 FEM 固有値解析結果からも検証することができた．また、3次元 FEM 解析モデルの可動支承部に並進バネモデルを導入し、そのバネ定数の値を変化させることによって、水平移動の拘束度合いを連続的に表現できることが確認された．最終的には、並進バネモデルに加えて回転バネモデルを導入することにより、床版の初期剛性を 1 割低下させた場合において、FEM 固有値解析結果は実測値に最も近似する結果となった．今後の課題としては、本研究で採用した衝撃振動試験を FEM 衝撃応答解析により再現できるか検討したい．