

経年損傷した多径間鉄筋コンクリート桁橋の物性調査と振動測定による評価

愛媛大学 学生会員 ○江見 和泰
愛媛大学 フェロー 森 伸一郎

1. はじめに

本研究では、1930年（昭和5年）に建設された多径間鉄筋コンクリート（RC）桁橋である YGW 橋を対象に、径間による固有振動数と物性の差異を評価する目的で、打撃振動測定と超音波測定・リバウンドハンマー試験を実施した。さらに、3D-FEM による固有値解析を実施して固有モードと固有振動数を求め、解析値と測定値を比較して、相関を明らかにして打撃振動試験法の有効性を例示した。

2. 対象橋梁概要

YGW 橋は愛媛県の一級河川に架かる 18 径間で橋長 236.7 m の道路橋で、1956 年（昭和 31 年）に上流側が拡幅（G5 分）された。図-1 に YGW 橋の(a)側面図と(b)断面図を示す。本研究では同構造の径間 1~5（単純桁）を対象とした。

3. 上部工径間の打撃振動測定

打撃振動測定では MC（橋軸線と支間中心線の交点）、MS（桁側端の支間中心）の計 2 か所をかけやで打撃した。前者は 1 次曲げモード、後者は 1 次ねじれモードの励起を意図した。速度計は MS 付近の地覆上に設置した。測定に用いた GEODAS は 0.5~18 Hz で平坦な利得の動コイル型速度計 3 成分と AD 変換器が内蔵された一体型振動計である。AD 周波数は 200 Hz で通行車両もそれによる振動もない時間帯に一回 2 分間を測定して 4 回打撃した。打撃 3 秒前から 20.48 秒間を抽出してフーリエスペクトルを求めた。

図-2 に径間 1 の速度時刻歴を、図-3 に径間 1 の MC、MS 打撃時の 3 成分のフーリエスペクトルを示す。卓越振動数を読み取り、そこでの振幅の消長から、対応する振動モー

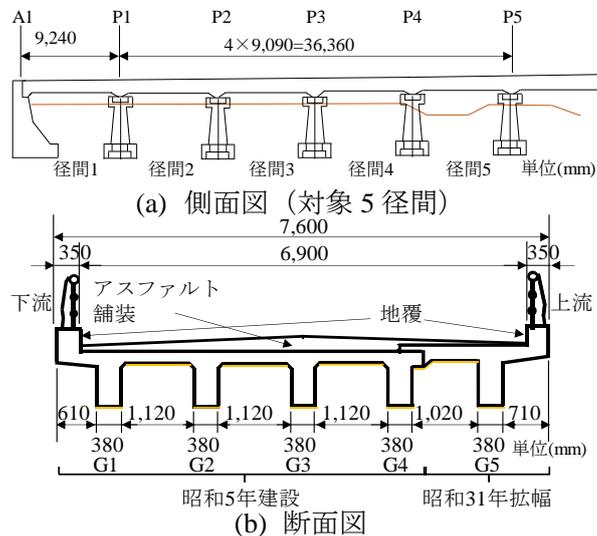
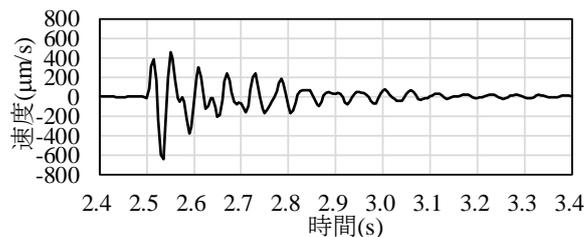
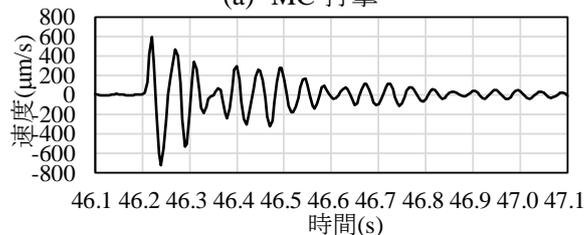


図-1 YGW 橋の側面図と断面図



(a) MC 打撃



(b) MS 打撃

図-2 速度時刻歴

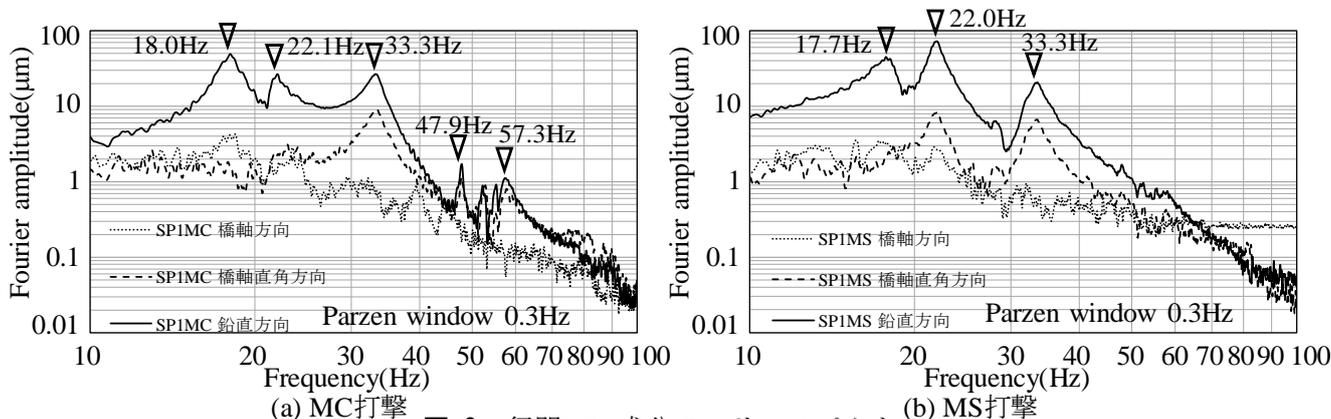


図-3 径間1の3成分フーリエスペクトル

キーワード 橋梁, 振動測定, 数値解析

連絡先 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学 森伸一郎 email:mori@ehime-u.ac.jp

ドを特定した。MC 打撃時に 18 Hz に鉛直と橋軸方向にビークが現れる一方、橋軸直角方向には現れず、1 次曲げモードと特定できた。MS 打撃時に 2 次ピークとして 22Hz に 3 成分全てに現れ、1 次ねじれモードと特定できた。

表-1 に径間ごとの 1 次固有振動数の差異を示す。それは径間 2, 4 では 20 Hz であるのに対して、径間 1, 5 では約 18 Hz であり相対的に低い。同構造にもかかわらず径間の 1 次固有振動数に差異があり、経年損傷に起因する桁部材剛性の差異によると考えられる。

4. 超音波測定と反発硬度法による物性

5 本の RC 主桁に対して、透過法による超音波測定 (UVM) とリバウンドハンマー試験 (RHT) を行った。RC 主桁一本あたり計 6 測点を設け、測点で UVM では 3 回測定、RHT では 25 打点試験した。一径間に 5 本の RC 桁があるので、径間あたり 30 測点となる。本論文では、径間の物性を 30 測点の平均値として設定した。表-1 には、UVM による径間平均 P 波速度 Vpa と RHT による平均反発度 Ra を示す。

5. 径間ごとの 1 次振動数と物性の相関

図-4 に径間平均 P 波速度 Vpa と振動測定による 1 次固有振動数 f1 の相関を示す。相関係数が 0.80 であり極めて高かった。また、Ra と f1 は相関係数が 0.67 でありやや高かった。径間の 1 次固有振動数には、径間主桁の平均 P 波速度と平均反発度、すなわち主桁の平均ヤング係数と強度を総合した特性が反映されていると解釈できる。振動測定は、径間の総合的な RC 部材の物性を評価できると実証できた。

6. 数値解析

解析コード ABAQUS による 3D-FEM 解析を行い、測定結果と比較した。モデル化では上部工の RC 部材と主桁・床板下部の補強鋼板をモデル化し、高欄とアスファルト舗装は無視した。要素数は 13,996 である。表-2 に使用した物性 (径間 1) を示す。密度とポアソン比は仮定値である。ヤング係数は Vpa を用いて弾性論により算定した。径間端部の支承線上の全節点に境界条件を与え、一端を橋軸直交軸回りの回転のみ自由、他端を橋軸直交軸回りの回転と橋軸方向並進を自由とした。図-5 にモデルと固有振動モードを示す。表-3 に径間 1 を対象にした解析と測定による固有振動数を示す。1 次曲げモードでは固有振動数の差はわずか 3% であり、測定は数値モデルと一致した。1 次ねじれモードでは固有振動数の差は 20% である。一方、固有モード 3 次と 5 次の差は 20% あるのに対して 4 次では 1% であり、これらの差異の違いは物性の不均質性に起因すると推察する。

7. 結論

- (1) 打撃振動による径間ごとの 1 次固有振動数 (1 次曲げモード) と主桁の平均 P 波速度には相関係数 0.80 の高い相関が認められた。打撃振動測定は、径間の総合的な RC 部材の物性を評価できると実証した。
- (2) 打撃振動測定から得られた 1 次固有振動数 (1 次曲げ振動) は、径間主桁を 30 点測定した超音波測定値の平均値を持つ 3D-FEM モデルの 1 次固有振動数と 3% の差であった。打撃振動試験の多点測定による固有振動特性 (振動モードと振動数) の評価が、径間の総合評価手法として有効であることを実証した。

表-1 径間ごとの 1 次振動数と物性

径間	1	2	3	4	5
平均反発硬度(Ra)	44.8	49.3	48.8	45.9	40.8
P波速度Vpa(km/s)	3.56	3.69	3.75	3.82	3.40
1次振動数(Hz)	18.0	20.0	18.8	20.0	17.9

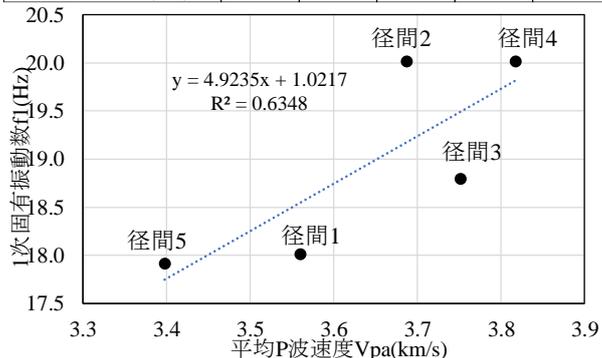


図-4 平均 P 波速度と 1 次固有振動数の相関

表-2 FEM モデルの物性

	RC	鋼板
ヤング係数(N/m ²)	2.74x10 ¹⁰	2.05x10 ¹¹
質量密度(kg/m ³)	2,400	7,850
ポアソン比	0.2	0.3
要素数	13,996	

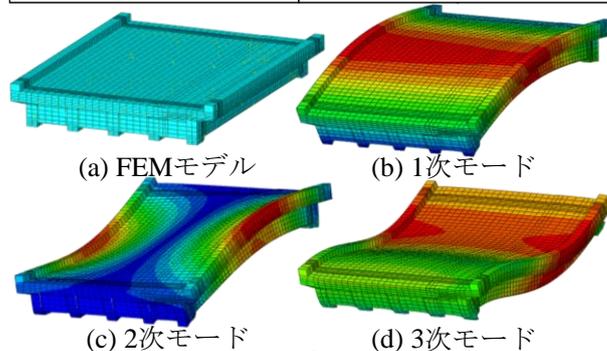


図-5 FEM モデルと振動モード

表-3 実測値と FEM 解析値

次数	振動モード	振動数f(Hz)		比
		振動測定	FEM解析	
1	1次曲げ	18.0	17.6	1.03
2	1次ねじれ	22.1	27.6	0.80
3	伸縮2次曲げ	33.3	41.2	0.81
4	水平1次曲げ	47.9	47.2	1.01
5	1次反り	57.3	47.6	1.21