

橋梁のたわみ振動の車両走行速度依存性

愛媛大学 学生会員 ○松村 裕樹

愛媛大学 フェロー 森 伸一郎

1. はじめに

日本における既存橋梁の効率的な維持管理のためには、外観調査以外に別途適切な調査が行われる必要がある¹⁾。しかし、既存橋梁の点検においては外観調査が主流で、定量的な調査はあまり行われておらず、現状では橋梁の性能評価に直結する指標がない。本研究では、微小振幅の振動に対して精度の良い振動計を用いた橋桁の動的たわみを評価する技術を検討する。車両走行による橋桁のたわみは、走行位置、走行速度、橋桁の固有振動数によって左右される。また、振動計によるたわみ測定では振動計の特性（振幅、位相）にも左右される。そこで、等長多径間 RC 単純桁橋において走行速度のみ変化させた際の走行車両による橋梁の振動測定を行った。

2. 測定・解析方法

愛媛県愛南町の町道に架かる橋梁を測定した。写真-1 に測定対象の MCK 橋を示す。橋長 56 m、幅員 6 m、支間長 7 m の 8 径間単純 RC 造 T 型桁橋で 30° の斜橋である。測定に用いた機器は、3 成分の感振器が内蔵された速度計 CR4.5-2S（以下、センサー）と、24 チャンネルまで測定できる収録装置 GEODAS-12-USB-24ch である。ハイース（運転手を含む車両重量 1.94 t）を実験車両として用い、速度を一定に保ち走行させた。図-1 に MCK 橋の模式平面図を示す。測定は、交通がほとんどなくなる 21 時から 25 時の間に実施した。G4 から G8 の上流側支間中央と宿毛側地盤の 6 点同時測定を行い、センサーは地覆に沿うよう路面に設置した。サンプリング周波数 500 Hz で 30 秒間のデータを取得した。測定側車線を走行する測定を 21 回行い、十二分な安全対策と許可を得た上で 20~80 km/h で走行した。測定中は、走行車両の通過時間、速度、センサーからの距離等の通過状況の記録をビデオ撮影とメモによって行った。

次に、解析方法を示す。本研究では、鉛直方向の速度時刻歴を解析する。測定した 30 秒間のデータの平均値をドリフト量として補正した。補正した速度時刻歴を線形加速度法によって時間積分し、変位時刻歴を得た。中央たわみを得るために動的成分を取り除く必要があり、バンド幅 1.0 秒の Hanning ウィンドウで高周波振動成分をカットするフィルター処理を行った。測定結果の例として、図-2 に G4 における実験車両通過時の各種時刻歴を示す。速度時刻歴では 2 秒のところで急激に振幅が大きくなり、約 1 秒間続く。最大速度の時間が実験車両の前輪、後続の速度振幅が 300 $\mu\text{m/s}$ 以上の部分が後輪に相当する。中央たわみは静的なたわみとしてみることができる。実験車両通過時に変位振幅が最大となり、橋桁の通過前後で上方向に変位が生じている。

3. 解析結果

図-3 に車両走行速度と最大中央たわみの関係を示す。一つの桁に注目すると 50 km/h 未満では右上がり、50



写真-1 測定対象のMCK橋

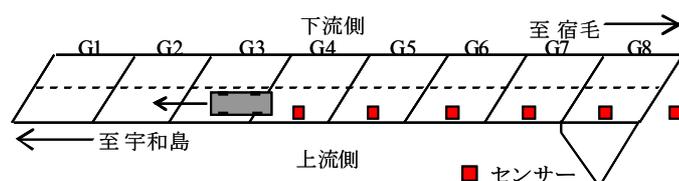
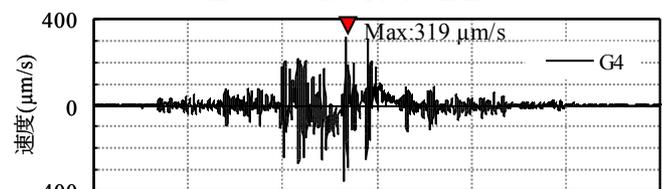
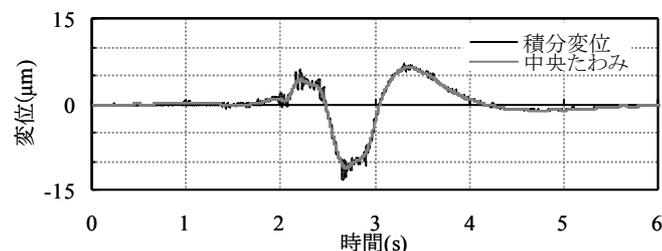


図-1 MCK橋の模式平面図



(a) 測定した速度



(b) 中央たわみ

図-2 G4における実験車両通過時の各種時刻歴

km/h 以上では頭打ちの類似した傾向がある。G8 は他より幅員が大きいので値が小さいが、G8 を除く各桁の値も大きくばらつく。このばらつきは剛性の違いによるものと考えられ、それは損傷度の違いに起因すると考えられる。異なる剛性であっても速度依存性に違いがないことが想定される。それを検討するため、桁ごとに 50 km/h 走行時の最大中央たわみの平均値で正規化する。50 km/h 未満はセンサー特性によるもの、50 km/h 以上は動的増幅率に起因すると考えられる。図-4 に全ての桁の正規化最大中央たわみを示す。速度依存性は予測通り、正規化すると桁による違いはなくなる。そこで、1次元モデルを最大中央たわみを u_c 、正規化最大中央たわみを \hat{u}_c 、車両走行速度を v とし、以下の式で表す。

$$\hat{u}_c = 0.02v \quad (20 \leq v < 50) \quad (1)$$

$$\hat{u}_c = 0.007v + 0.65 \quad (50 \leq v < 80) \quad (2)$$

$$\text{ただし、} \hat{u}_c = u_c(v)/u_c(50) \quad (3)$$

吉田・森²⁾によると 50 km/h で通過したとき、走行によるたわみの振動数は 1 Hz となる。本研究のセンサーは、1 Hz 以下では感度が低下し、0.5 Hz で約 0.7 倍となる。図-4 に示すセンサー特性と 1次元モデルを比較すると概ね対応している。これより 50 km/h 未満は、センサーの特性によるものであることが確認できた。50 km/h 以上の速度依存性の検証は今後の課題とする。

速度依存性によらない最大中央たわみを検討する。50 km/h を境に速度依存性が異なるので 50 km/h の最大中央たわみに補正する。補正後の最大中央たわみを u_c^* 、補正係数を m として以下の式を用いた。

$$u_c^* = mu \quad \text{ただし、} m = 1/\hat{u}_c \quad (4)$$

図-5 に G4 の補正前後の最大中央たわみのヒストグラムを示す。G4 において、ばらつきが大きかったものが、補正により小さくなった。他の桁も補正すると、同様の結果を得た。表-1 に補正前後の各桁の最大中央たわみの平均値と変動係数を示す。補正前と比べ、補正後の方が平均値は大きく、変動係数は小さい。式(3)を用い補正することで、速度依存性のない最大中央たわみを評価できた。

4. 結論

今回、走行車両による振動測定で得られた橋桁のたわみに関して、最大中央たわみは、橋桁が異なる剛性であっても速度依存性に違いがないことがわかった。また、走行車両速度が 50 km/h 未満はセンサー特性によるものであると確認できた。解析で得られた最大中央たわみを、式(4)を用いることで、速度依存性がなく、ばらつきの小さい最大中央たわみに補正することができた。謝辞：本研究を進めるにあたり、愛南町役場の皆様にはお世話になりました。記して謝意を表します。

参考文献：1)国土交通省国土技術政策総合研究所：道路の健全度に関する基礎的調査に関する研究 I 部，p.1，2007.4，2)吉田，森：車両走行の振動測定による既存橋梁基礎の変位特性の推定，(社)地盤工学会四国支部平成 21 年度技術研究発表会 講演概要集，pp.67-68，2009.11

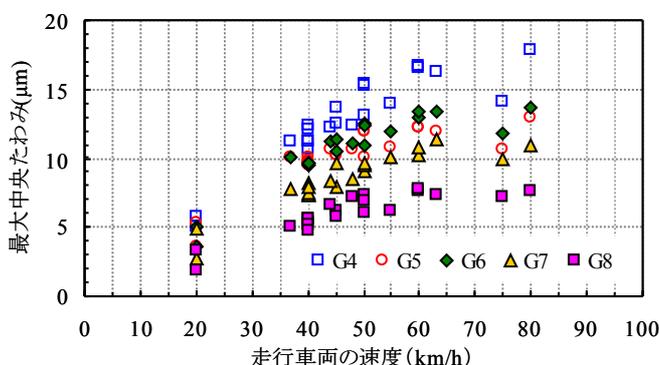


図-3 車両走行速度と各桁の最大中央たわみ

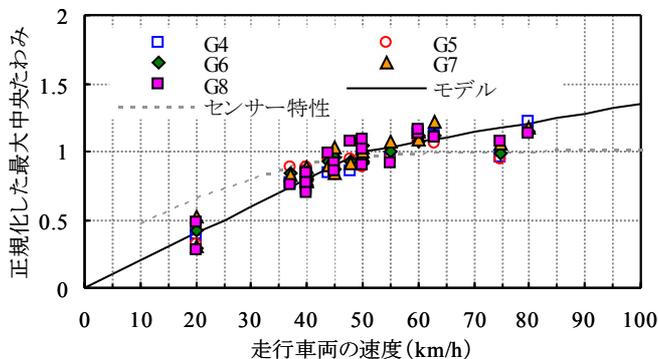


図-4 正規化最大中央たわみと1次元モデル

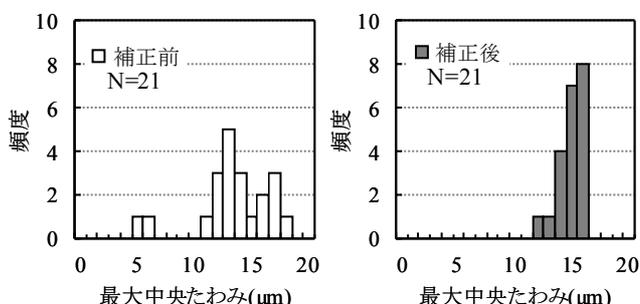


図-5 G4の補正前後の最大中央たわみのヒストグラム

表-1 補正前後の各桁の最大中央たわみの平均値と変動係数

		G4	G5	G6	G7	G8
補正前	平均値	12.8	10.2	10.7	8.6	6.0
	変動係数	0.25	0.21	0.24	0.24	0.25
補正後	平均値	14.4	11.2	11.8	9.5	6.6
	変動係数	0.08	0.09	0.08	0.10	0.11

(単位: μm)