

京橋メンテック（株） 正会員 並木 宏徳
京橋メンテック（株） 正会員 ○神菌 卓海

1. はじめに

構造物のヘルスマニタリング技術は、構造物のモニタリングと健全度診断技術から構成されるシステムであるとされているが、橋梁構造物のような大型構造物においてモニタリング部位や特性をどのように選択するかは重要な課題である。活荷重が載荷された時の桁のたわみは、桁本体が腐食して断面積が減少する、劣化して弾性係数が小さくなる、あるいは横構や対傾構の継手が損傷して主桁の剛性を高める作用が低下するなど、様々な要因のいわば積分値のような指標であり、橋梁全体の老朽度を診断する指標として、これを計測することは古くから行われてきた。

しかし、橋梁は大空間を横切る構造物であるので桁のたわみ、とりわけ桁のたわみが最大値となる桁中央付近のたわみを計測することは危険であり、また河川上に架設された橋梁では固定点を橋梁直下に求めることが難しいことなど大きな困難を伴うことが多いので、従来から様々な工夫がこらされ新しい機器も開発されている。

本報告では、桁のたわみを桁中央付近で求めるのではなく、計測容易な桁端において計測することにより、桁のたわみを推定できるだけではなく、杳の潤滑特性をもモニターすることができることを、実際の現場での計測結果を通じて明らかにした。

2. 桁のたわみと桁端の水平変位

(a) 単純桁の場合 単純桁の中央に活荷重 W が作用する時、橋桁中央に発生する鉛直方向の最大たわみ δ_v と、桁端たわみ角 i はそれぞれ次式で示される。ただしここでは簡単のため桁の変形は左右対称に発生するものと仮定する。

$$\delta_v = WL^3 / 48EI \quad \dots\dots 1) , \quad i = WL^2 / 16EI \quad \dots\dots 2)$$

曲げ中立軸が桁上下端の中央であると仮定すると、桁上端および桁下端では橋軸方向に逆方向で絶対値が等しい水平変位が発生し、その絶対値 δ_h は次式で示される。

$$\delta_h = i (h/2) = 1.5 \delta_v (h/L) \quad \dots\dots 3)$$

ここで示されるように、桁端に発生する水平変位と鉛直たわみの比は桁高 h と支間長 L の比 h/L に比例する。 $h/L = 20$ の場合、 $\delta_h = \delta_v / 13.3$ となり、鉛直たわみを計測する場合に比べて一桁以上高い精度を持つ計測装置が必要となる。

(b) 2 径間連続桁の場合 2 径間連続桁の左支間中央に活荷重 W が載荷された場合、載荷位置に発生する鉛直方向のたわみ δ_v と、橋脚上の桁端水平変位 δ_{hp} は両径間の支間長さが等しく L である時は次の通りとなる。

$$\delta_v = 0.014974 WL^3/EI \quad \dots\dots 4) , \quad \delta_{hp} = I (h/2) = 0.01625 WL^3 (h/L)/EI \quad \dots\dots 5)$$

$h/L = 1/20$ の時 $\delta_{hp} = \delta_v / 19.3$ となり単純桁の場合より鉛直たわみに対する比は小さくなる。

しかし、桁左端支点上の桁上下端水平変位 δ_{hLeft} の桁支間中央の鉛直たわみ δ_v に対する比は単純桁の場合より僅かだが大きくなり、次の通りとなる。

$$\delta_{hLeft} = 1.5 \delta_{hp} = \delta_v / 12.9 \quad \dots\dots 6)$$

3. 桁端における水平変位の計測

活荷重により桁橋の桁中央に発生するたわみ量は、通常数 mm～数 cm であるから、桁端の水平変位は数百 μm ～数 mm 程度ということになる。自動車や列車といった活荷重が橋梁上を通過する時の波形を正確に測定するためには、測定精度はその $1/100$ である数 μm の精度が要求される。

幸い最近では高精度の測定機が市販されており、この程度の精度を有するものは容易に入手可能である。本報告で用いたセンサーの性能諸元を次に示す。

分解能 $0.4\mu\text{m}\sim$, 測定範囲 $0\sim 10\text{mm}$, 応答性 $8\text{kHz} \sim 18\text{kHz}$, 防水 IP-67 (キーエンス社製 EX-200)

このセンサーは渦電流を利用するものであるので、鋼材面の変位を非接触で計測できる。接触圧により誤差が発生することなく高精度の計測が可能で、応答速度も桁振動のような低い周波数に対して全く問題なく計測できる。

単純桁において実際に計測した模様を写真1に、桁下端付近の測定部を写真2に示す。ここで示す例は、左右の単純桁の桁高が異なる橋脚上の左右桁間相対変位を測定した場合で、活荷重が1連目に載荷されている場合は1連目の桁の水平変位を計測でき、2連目に載荷されている場合は2連目の桁の水平変位を計測できるので効率的である。

図1は本橋において計測点に発生する水平変位を計算した結果で、1連目に発生する水平変位と2連目に発生する水平変位、および計測されるであろう両者の和である相対水平変位を示している。

図2は実際に計測された結果の一例で、桁上部の水平変位は計算結果と良い一致を示している。桁下部の水平変位が殆どゼロであるのは、両側の杓が固着して潤滑機能を喪失していることを示しており、水平変位を計測することにより杓の状態もモニターすることが可能であることを示している。なお補修工事施工後には杓の潤滑性能が回復して桁上部と下部で符号が逆で絶対値がほぼ同じ水平変位が観察された事を付記する。

4. まとめ

桁のヘルスマニタリングにおいて、桁の変形をモニターすることが有効であることは広く知られているが、桁端部の水平たわみを計測することにより、その桁の鉛直たわみが推定できることに加えて杓の潤滑機能をもモニターできることを実際の現場計測を通じて明らかにした。桁端部の水平挙動を明らかにすることは、桁のヘルスマニタリングにおいて新たな1つの指標になることが分かった。



写真1. 桁端水平変位計測状況



写真2. 桁下端付近の計測装置取り付け状況

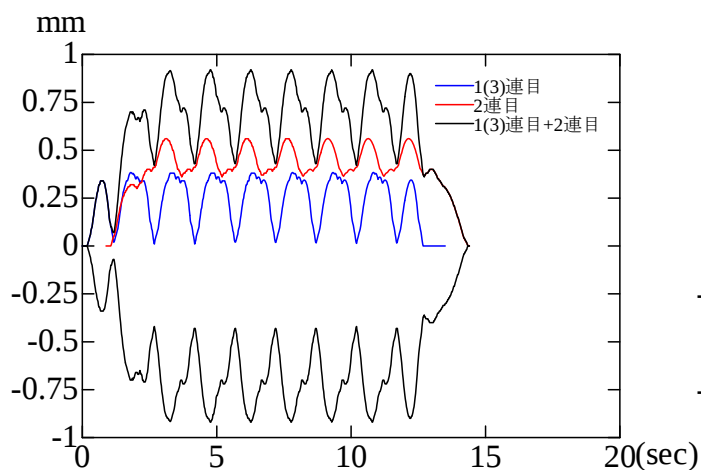


図1. 電車が桁上を通過する時の桁端水平変位計算結果

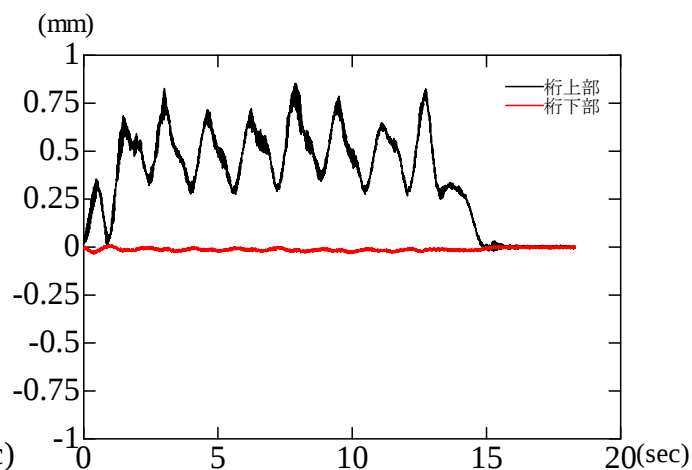


図2. 桁端における相対水平変位の実測結果