

桁端部の水平変位計測による桁および支承機能のモニタリング

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、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り、桁中央付近のたわみを計測することは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、沓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。

2.1 桁のたわみと桁端の水平変位

図 1(a)のように桁の変形は左右対称に発生するものと仮定し、単純桁において支間中央に活荷重 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。

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

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。

$$\delta_h = i (h/2) = W\ell^2 h / 32EI = 1.5 \delta_v (h/\ell) \quad \dots\dots\dots 3)$$

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。例えば $h/\ell = 20$ 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。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 μ m～数 mm 程度ということになる。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、測定精度は数 μ m 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。

2.2 沓の水平移動が拘束された場合の桁端水平変位

図 1(b)に示すように沓位置に軸力 R_H が作用するときの軸力および偏心による曲げモーメントにより発生する水平変位をそれぞれ $\Delta\ell$, δ_{MRH} とすると、

$$\Delta\ell = R_H / EI \cdot (\ell/2), \quad \delta_{MRH} = M_{RH} \ell / 2EI \cdot (h/2) \quad \dots\dots\dots 4)$$

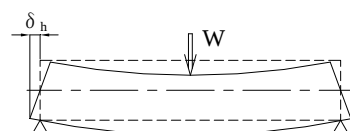
図 1(c)のように桁端部の水平変位が沓により完全に拘束された場合を考えると、軸力 R_H が沓の拘束力に相当し、以下の式が成り立つ。

$$\delta_h = \Delta\ell + \delta_{MRH} \quad \dots\dots\dots 5)$$

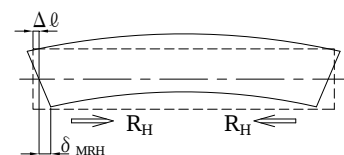
この式を整理して解くと、支承が拘束されているときの桁上端の水平変位 δ は、次式のように、沓が拘束されていない時に鉛直荷重が作用するときの桁端部の水平変位 δ_h と桁の断面形状により決定される。

$$\delta = \delta_h - \delta_{MHR} + \Delta\ell = \delta_h \cdot 2\beta / (\beta + 2), \quad \dots\dots\dots 6)$$

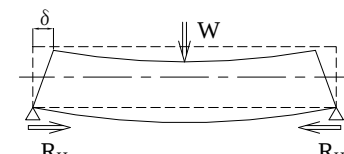
$$\delta_{MHR} = \delta_h \cdot 2 / (\beta + 2), \quad \Delta\ell = \delta_h \cdot \beta / (\beta + 2)$$



(a) 桁に鉛直力が作用している状態



(b) 沓位置に水平力が作用している状態



(c) 両支点で水平変位が拘束されている状態

図 1 桁端部水平変位のモデル図

キーワード ヘルスマニタリング, 変位計測, 桁端部

連絡先 〒536-0014 大阪市城東区鳴野西 2-2-21 京橋メンテック(株) Tel 06-6961-6173

ここで $\beta = (1/A) \cdot (8I / h^2)$ とする. $\beta = 1$ のとき, $\delta = (2/3) \delta_h$, $\delta_{MHR} = (2/3) \delta_h$, $\Delta \ell = (1/3) \delta_h, \dots, 7)$ となる.

3. 桁端における水平変位の計測

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連目に载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連目に载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2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3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, 計測している側の沓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沓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. また, 支承補修後は, 桁下部にも水平変位が発生し支承の滑り機能が回復したことを付記する.

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沓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

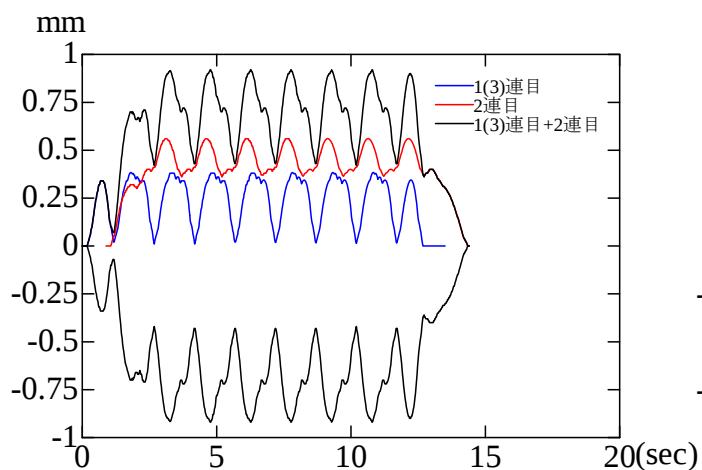


図2. 電車が桁上を通過する時の桁端水平変位計算結果

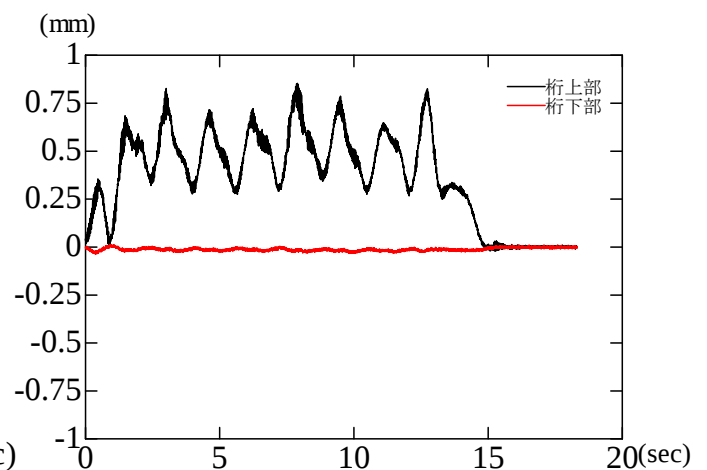


図3. 桁端における相対水平変位の実測結果