長大吊橋補剛桁の無載荷状態標高を得る手法の提案

復建調査設計㈱　　正会員　梅本　幸男

１．概要

若戸大橋（図-1、全長:680m、中央径間長:367m）においては、健全度・安全性確認の一手法として数年ごとにケーブルサグ量、補剛桁標高及び塔の傾斜等の全体形状を計測し、完成時形状からの経年変化量が許容目標値以下であることを確認する方法が採用されてきている。しかし、補剛桁標高計測にこれまで行われてきたレベル計測法では、全長にわたる車線交通規制が必要であったほか計測値には活荷重の影響が含まれてしまい、無載荷状態標高が得られていないなど問題が多かった[1)]。これらの問題の一つの解決策として、交通状況にかかわらず無載荷状態標高を得ることが可能な技術（「**ゼロ点標高評価補正法**」と略）を開発した。

この技術は、線形化たわみ理論に基づくたわみ影響線を利用することにより、通行する車両によって発生するたわみ相当量を計測値に加算して無載荷状態標高を求める手法である。この方法を本橋に適用した結果、計測中の交通状況が大きく異なるにもかかわらずほぼ一定の無載荷状態標高値を取得できた。

なお、対象計測点は補剛桁中央径間中央点（以下 Lc/2 点と略）とし、ここに取り付けたプリズムを地上基準点に設置した自動追尾型計測器により、毎秒 1 回の等時間隔で連続して計測する方法で行った。

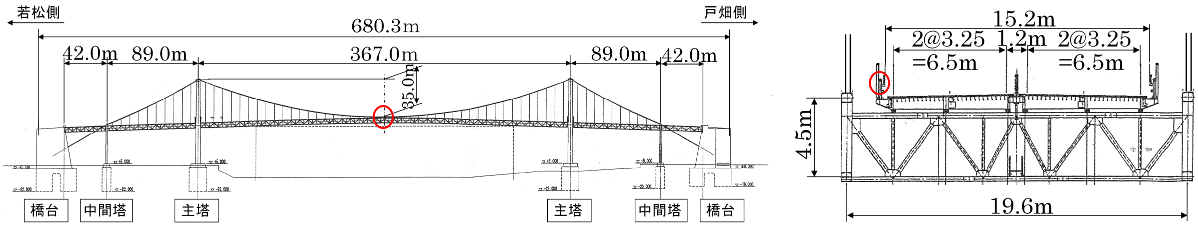

図-1　若戸大橋一般図　　　○ はプリズム設置位置を示す

２.「ゼロ点標高評価補正法」の概要

Lc/2 点の標高計測データ例を図-2 に示すが、頻繁に通行している車両により標高が絶えず変化しており、この図からは無載荷状態の標高(H_o で示す)をうかがい知ることはできない。

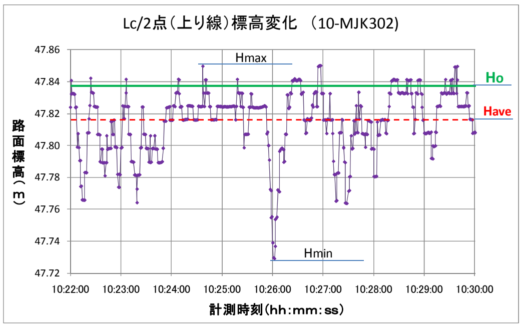

図-2　Lc/2 点標高の計測例

本橋の主ケーブル直下の主構面上を 196kN 線荷重が通行した時の補剛桁 Lc/2 点の理論たわみ影響線を図-3 に示すが、無載荷状態標高を示すたわみゼロ点(y_o)は同図の記号をもとに下記の(1)式で表すことができる。

$$y_o = y_{ave} + (y_{max} - y_{ave}) \times k \quad \cdots(1)$$

上式の k 値は構造物のたわみ影響線によって決まる定数であり、本橋における理論値は 0.70 となる。本橋を単独で通行していた５軸車の実たわみデータを、この影響線に重ね合わせると図-4 になるが、この図は車軸ごとに 196kN の理論たわみ影響値を軸重比（縦軸）と速度比（横軸）で拡大・縮小して重ね合わせたものであることがわかる。

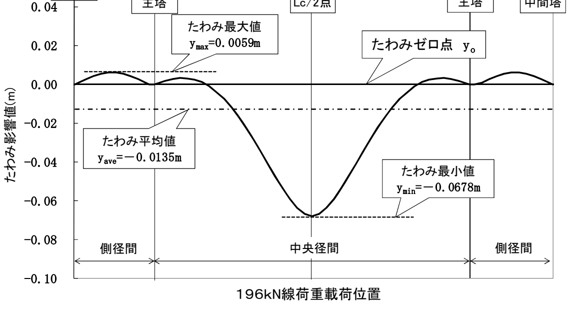

図-3　Lc/2 点の理論たわみ影響線

これより、図-2 は全通行車両の軸重によって時々刻々発生する補剛桁 Lc/2 点のたわみを、無載荷状態標高に重ね合わ

キーワード　長大吊橋，形状計測，無載荷状態，たわみ影響線、載荷試験
連絡先　　〒812-0011　福岡県福岡市博多区博多駅前 2-17-19（安田第 5 ビル）　復建調査設計㈱　ＴＥＬ092-471-8324

せた標高変化図に他ならないことも理解できる。

３．標高算出シミュレーション

1).単独車走行の場合

無載荷状態標高(H_o)を 40.000m と設定した補剛桁上を、196kN 車両が単独で通行(2'00～4'00"間)した場合の Lc/2 点のたわみ図を図-5 に示す。ここで、T-1～T-4 ケースに示す時間だけ計測したとすると、k=0.70 と設定した場合の各ケースの標高計算値および実標高との差は表-1 のようになる。この表には、H_{avei} および H_{maxi}（計測時間内の平均標高および最大標高値）より、式(2)で求めた k 値（逆算 k 値）もまとめた。

$$k_i=(H_o-H_{avei})/(H_{maxi}-H_{avei})\quad (i=1\sim4)\quad \cdots(2)$$

表-1　単独車の標高差シミュレーション

ケース	計測時間(分･秒)	標高計算値(m)	実標高との差(m)	逆算k値
T-1	0'00" ～ 5'00"	40.0025	0.0025	0.47
T-2	2'00" ～ 4'00"	40.0000	0	0.70
T-3	2'30" ～ 3'30"	39.9932	-0.0068	0.91
T-4	2'40" ～ 3'25"	39.9875	-0.0125	1.04

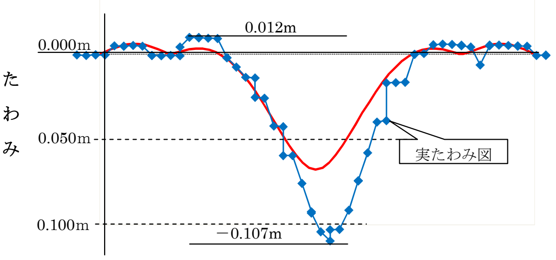

図-4　Lc/2 点の実たわみ図

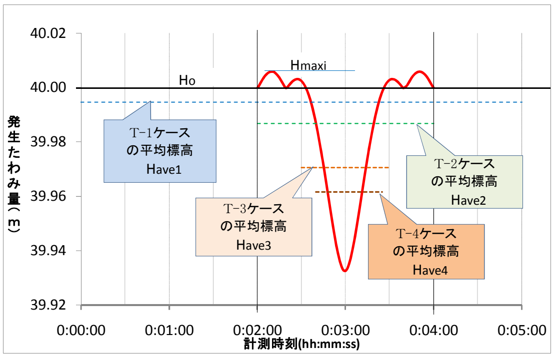

図-5　単独車走行シミュレーション

2).多数車両が走行する場合

計測時間（5 分間）中に最大 8 台の車両が通行している全 25 ケースを想定し、1)項と同様な検討を行った（図-6）。

この結果、逆算 k 値が 0.5～0.8 の値を示す交通状態であれば、実標高との差は±3mm 程度に納まることがわかる。

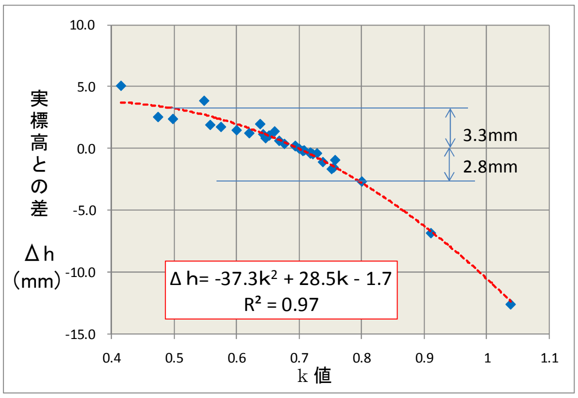

図-6　連行車両の標高差シミュレーション

４．実橋での計測結果

重量車(206kN)載荷試験のたわみ計測結果より、実橋の k 値($\dot{k}$)は 0.64 となったことから、全 12 ケースの実計測値をもとに(3)式より無載荷状態標高(H_{oi})を算出した。

$$H_{oi}=H_{avei}+(H_{maxi}-H_{avei})\times\dot{k}\quad (i=1\sim12)\cdots(3)$$

その結果、2 分間計測では全ケースにおける H_o のバラツキは大きいものの、10 分間の計測時間を保てば全ケースとも 9mm の範囲内に納まることが確認できた（図-7）。前述した図-2 に示した H_o はこのようにして求めた値である。

なお、H_o 値は模型ケーブル(Ca)の温度分布をもとに吊橋実主 Ca の断面温度を推定 [2] し標準温度に補正して求めた値であり、9mm の値にはゼロ点標高補正に伴う影響のほか、Ca 温度補正誤差および計測そのものによる誤差も含まれている。

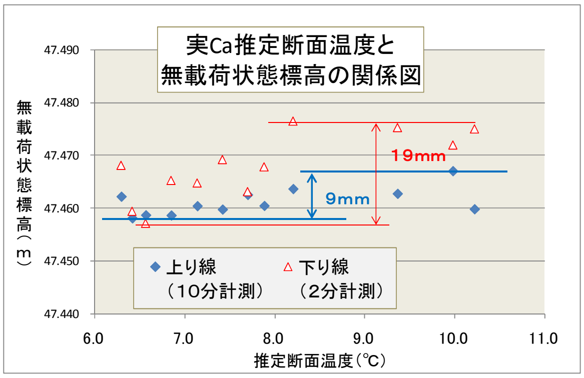

図-7　計測した無載荷状態標高値の比較

５．結論

「**ゼロ点標高評価補正法**」を適用することにより、交通状況にかかわらず無載荷状態の標高を得ることができた。

この方法を適用することにより、交通量が多く規制もままならない長大橋においても、求めようとする応力または変位の影響線をあらかじめ算出してさえおけば、ほぼ無載荷状態の応力･変位を得ることが可能である。

参考文献

1）梅本幸男、井上康一、河野　太：長大吊橋補剛桁の無載荷状態標高の計測方法、土木学会西部支部技術発表会(2010.11)

2）河野　太、井上康一、梅本幸男：半世紀を迎える若戸大橋（長大吊橋）における形状測定、橋梁と基礎(2011.02)