

光てこを用いた橋梁の変形計測のための基礎的検討

東北工業大学 都市マネジメント学科 正会員 ○山田 真幸
 瀧上工業株式会社 正会員 大森 健広

1. はじめに

既設橋梁の健全度評価では、2014年の近接目視による点検の義務化以降、高精度な方法に加えて、簡便さに重きを置いた方法についても求められている。近接目視で局所の変状の有無を観察することは重要であるが、外観の変状と機能の劣化には相違がある場合がある。この様なときに橋梁の荷重による変形を計測することで、上載荷重に耐えることを第一の目的とする構造物の健全度に関する直接的で重要な指標が得られる。

変位計を橋梁に接触させて計測点の移動量を得る方法が多く実施されているが、足場などの設営作業が付随し、また不動点の設置が難しい場合もあり、簡便な点検作業とは言い難い。これらを解消することを主眼とした検討は多く見られ、MEMS センサーで得られた加速度時刻歴を2回積分して変位を得る方法¹⁾や、レーザー距離計を利用した方法²⁾などが開発されているが、すべての橋梁の点検で変形に関する計測を含むことはいまだに現実的ではない。

そこで本研究では光てこを利用して簡便に橋梁の変位を計測することを試みる。

2. 光てこ (Optical lever) 法による計測

光てこ法とは角度変化する物体に光を反射させることにより、その反射点-回転中心間距離と視準距離との比で角度変化を増幅するもので、電子顕微鏡などで用いられている。また James Alfred Ewing の装置によりヤング係数を求める方法が物理教育の場などで用いられている³⁾。Ewing の方法では平行に単純支持された2本の金属棒のうち片方を不動点として、載荷によるたわみの差を鏡の角度変化として望遠鏡で観測する。Ewing の方法の概要を図-1に示す。

観測者は供試体上に設置された鏡（光てこ）に反射した標尺上の視準点を観測する。同等の2本の供試体の片方に載荷することで生じたたわみ δ により鏡が θ 傾き、視準点が移動する。このとき視線の角度変化は 2θ となり、図-1中の諸量は近似的に $d:\delta \approx D:y/2$ である。このとき視準点の移動距離 y は

$$y = \frac{2D}{d}\delta \quad (1)$$

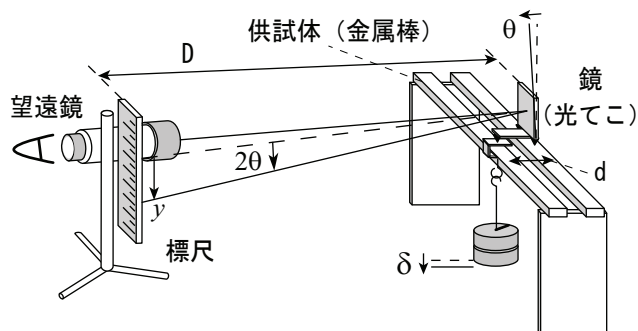


図-1 ヤング係数測定のための Ewing の方法

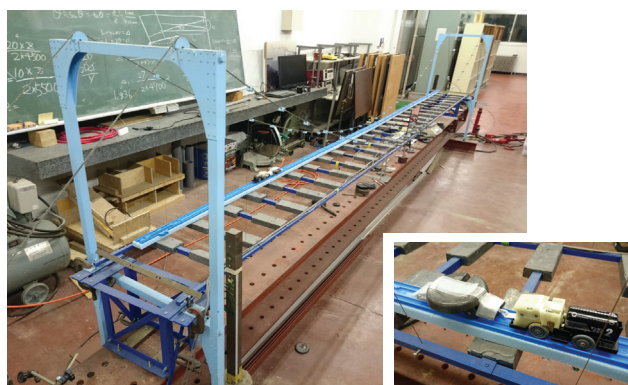


図-2 橋梁模型と錘

となる。ここで d は光てこのレバー長、 D は標尺から鏡までの距離である。

本研究では2本の金属棒を1径間の橋梁に置き換えて、本手法の適用について基礎的検討を行う。本手法では橋梁上の鏡に反射した視準点を観測することで橋梁断面の角度変化が2倍となり、かつ視準点の変化が標尺までの距離により増幅される。また、この増幅は角度変化を伴わないたわみの増加では生じず、橋梁断面の角度変化のみについて生じる事の特徴とする。

3. 模型実験による計測

用いた橋梁模型を図-2に示す。主塔間隔は5.4m、ハンガーケーブルの間隔は400mmであり、橋梁振動に関する研究に使用されていたものである。図中に使用した錘も示した。電動で径間を約14秒で自走する。

橋梁模型の径間中央に鏡を設置し、トランシットとスタッフを組合わせて計測装置を構築した。トランシットの倍率は25倍で、標尺は一般的な最小目盛5mmのものをを用いた。また径間中央に最小目盛0.05mmのダイヤルゲージを300mmの間隔で設置し、変位を同時

Key Words: 橋梁, 変形計測, 光てこ

〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1, TEL 022-305-3540, FAX 022-305-3501



図-3 計測装置（鏡、望遠鏡と標尺、変位計）

に計測した。計測装置の概要を図-3に示す。

橋梁模型に軌道を設置し、軌道上で錘を移動させ、望遠鏡で視準点の変化を観測する。その際、軌道を中央に設置した場合と、端近くの変位計直上に設置して偏載荷とした場合とを比較する。計測は錘を主塔近傍から発進させて各10回実施し、 $D=7.5\text{m}$ で撮影した動画から最大値を求めた。結果を表-1に示す。

表-1 模型実験の結果

	錘重量 (kgf)	変位 1 (mm)	変位 2 (mm)	傾き (mm/1m)	視準点移動 距離 (mm)
偏載荷 1	0.66	0.40	0.75	1.17	21
偏載荷 2	0.35	0.20	0.40	0.67	11
偏載荷 3	0.25	0.15	0.25	0.33	8
中央載荷	0.66	0.50	0.50	0.00	-

偏載荷では3ケース全てで目視で視準点の変化を明確に観測することができた。軌道を模型中央に設置した実験では、錘が径間中央を通過する時に極短時間、2mm程度視準点が動いたが、錘の移動による連続的な変化は観測されなかった。

4. 有限要素解析による検討

実橋梁でどの程度の橋梁断面の角度変化が生じるか有限要素解析により検討した。対象橋梁は径間長27mの単純合成鉄桁橋とした。5主桁で主桁高さは1800mmである。対象橋梁を図-4に示す。主桁断面は対象橋梁の観察と再現設計により推定しており、主桁と床版、横桁、補剛縦桁は板要素で、横構は梁要素でモデル化した。要素数は約4万で、鋼とコンクリートのヤング係数比は7とした。片車線の径間中央に路線バスが位置したときの鉛直変位を求めた。路線バスは前輪の軸重を約4tonf ($20\text{kN} \times 2$)、後輪を約8tonf ($40\text{kN} \times 2$)としている。解析結果を図-5に示す。

最大変位は0.9mm程度となった。図中のA-B点間の勾配は0.10mm/1mであり、表-1中の偏載荷3の1/3程度の勾配である。径間長と幅員の比など橋梁の諸元や荷重強度は簡便な手法の提案の為にやや厳しいもの



図-4 数値解析対象橋梁

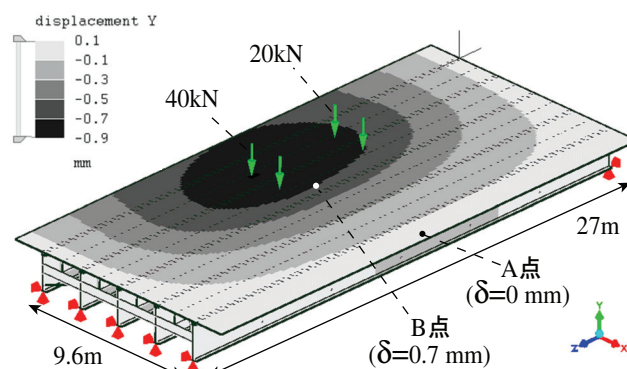


図-5 路線バス1台による偏載荷時の変位分布

を選んでいるが、例えば D を増やすなど、適宜式(1)中の値を変えることで観測可能な程度の y は得られると思われる。この場合視準点が遠くなるが D は鏡と標尺との距離であり、望遠鏡と標尺を分離して望遠鏡のみ鏡に接近させて設置しても構わない。ただしここでは変位の分布が荷点付近を中心に楕円状となった。そのため変位分布は荷点付近を中心に下に凸となっており、鏡（光てこ）の設置場所には検討が必要である。また式(1)より y の観測値から変位 δ を推定することも考えられるが、レバー長 d の決め方や、このような変位の分布形状から難しいと思われる。

5. まとめ

模型実験と数値解析とで橋梁変形の計測に光てこを利用することを検討した。模型実験では橋梁断面の傾きを伴わない変形に対して、橋梁断面の傾きを高い感度で観測することができた。数値解析では路線バスなどの比較的軽い荷重でも本手法で観測可能と思われる程度の変形が実橋梁に生じることを確かめた。

参考文献

- 1) 梅川雄太郎, 菅沼久忠, 木下幸治, 小野友暉: 車輛通行に伴う加速度データを用いた橋梁の変位モニタリングに関する検討, 第72回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, I-350, 2017.
- 2) 島拓造, 尾山達己, 田中玲光, 赤木淳: 橋梁モニタリングによる鉄道高架橋の維持管理, 第63回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, I-036, 2008.
- 3) 吉田卯三郎, 武居文助, 橋芳實, 武居文雄: 六訂物理学実験, pp.50-52, 三省堂, 1979.