

「U ドップラー」による PC 桁たわみ測定時の補正手法について

東海旅客鉄道（株）	正会員	○西山 裕之
東海旅客鉄道（株）	正会員	中西 巧
東海旅客鉄道（株）	正会員	畑中 達彦
（公財）鉄道総合技術研究所	正会員	上半 文昭

1. はじめに

JR 東海では橋桁の健全度を調査する際、桁のたわみ測定を実施している。当社では平成19年3月にたわみ測定機として（公財）鉄道総合技術研究所が開発した「U ドップラー」¹⁾（写真－1）を導入した。これは、ドップラー効果を利用し、構造物のわずかな変位を測定記録することができる特徴を持っている。同機導入後、桁の挙動を反映し、より正確にたわみ値を測定できる手法を検討・試行した結果を報告する。

2. 調査目的

U ドップラーの導入以前は、桁中央にピアノ線を垂下させ、地上に設置したリングの変形（ひずみ量）をたわみ値に換算するリング式たわみ計を主として使用してきた（写真－2）。リング式では桁へのピアノ線取付けの高所作業が必要で、桁中央直下が道路や河川といった場合には測定が困難であった。U ドップラーは、レーザードップラー速度計を現場向けに改良したもので、構造物の振動を地上から非接触で測定することができ、地盤振動や風などでセンサー自体が揺れる際の測定誤差をキャンセルする補正技術が導入されている。

また、U ドップラーは照射レーザー方向一成分の振動計であるため、たわみを測定する場合、桁直下からの測定が望ましいが、桁振動の鉛直成分に対して水平成分が無視できる場合には、角度補正機能によって任意の角度からの測定も可能である。桁振動の水平成分が大きい場合は複数台の U ドップラーセンサーを用いた多次元測定²⁾が必要となるが、1 台での測定が可能かを確認するため、実橋りょうで調査を実施した。

3. 調査概要

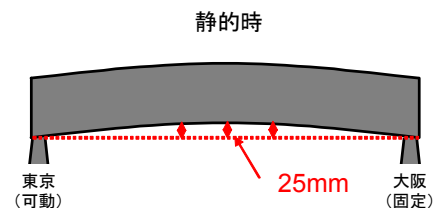
調査対象は、高架下利用状況から照射角度の選定が容易である2橋りょう（A、B）とし、共に支間25mのPC桁で250km/hで列車が走行する区間にある。たわみ値に桁水平動が与える影響を確認するため、静的な①桁キャンバー（反り）と列車通過時の②たわみ及び③桁水平動を測定した。キャンバーの測定結果を図－1に示す。たわみ測定は、U ドップラーを5台使用し、図－2に示すように異なる角度をもたせ配置して実施した。なおレーザー光照射先は桁下面に反射板を取付けたうえ、同一点になるように調整した。さらに、両支点での水平動をダイヤルゲージで測定した。なお、A 橋りょうは上り線、下り線の両方、B 橋りょうは下り線のための計3本の単線桁を測定した。



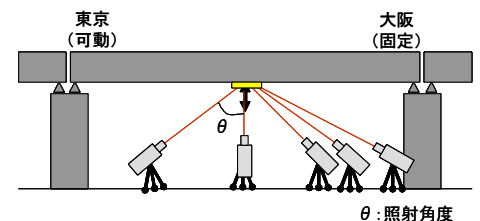
写真－1 U ドップラー



写真－2 リング式たわみ計



図－1 キャンバー測定結果



図－2 U ドップラー設置状況

キーワード U ドップラー、照射角度、たわみ測定

連絡先 〒222-0026 横浜市港北区篠原町 3219-1 東京新幹線構造物検査センター TEL045-474-0167 FAX045-474-0168

4. 測定結果及び考察

照射角度の異なる5台のたわみ測定の結果、以下に示す差（角度0度の測定結果に対する照射角度毎の増減率）と傾向が確認された（図－3）。

- ・ 桁直下から測定したたわみ量は2～3 mm程度（以下、基本のたわみ量とする）
- ・ 桁の水平変位は0.4～0.5 mm程度
- ・ 固定沓側から測定するとたわみ量は減少傾向。
- ・ 可動沓側から測定するとたわみ量は増加傾向。
- ・ 照射角度0度～30度間は桁中央直下との誤差は最大3%程度。
- ・ 照射角度30度超～55度間は桁中央直下との誤差は最大25%程度。

測定対象桁には鉛直たわみ量に対して無視できないレベルの水平変位が発生している。これは、静的時は桁にキャンバーがあり桁が反り上がった状態であるが、列車が載荷すると可動沓側が水平（線路方向）に伸びることが原因だと考えられる（図－4）。

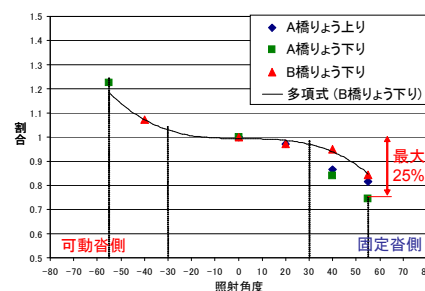
Uドップラーはレーザードップラー速度計が記録した速度値にセンサー本体の傾きに応じた角度補正を施し、斜め方向から測定した場合にも測定対象の正しい速度値を推定する。図－5は角度補正前のレーザードップラー速度計の検出する速度ベクトルを示したものである。桁に鉛直たわみのみが生じている場合の桁の速度を v とする。この場合、固定沓側と可動沓側から等しい角度で測定を実施する場合はそれぞれのセンサーが検出する a と b は等しくなる。しかし、桁に水平変位が発生している際は、測定点の速度は v' となり、センサーが検出するベクトルは a' 、 b' となり差が生じる。この a' 、 b' に桁の振動が鉛直方向のみに卓越する場合を想定したUドップラーの簡易角度補正手法を適用したため差が生じるものと考えられる。

5. 補正値の提案

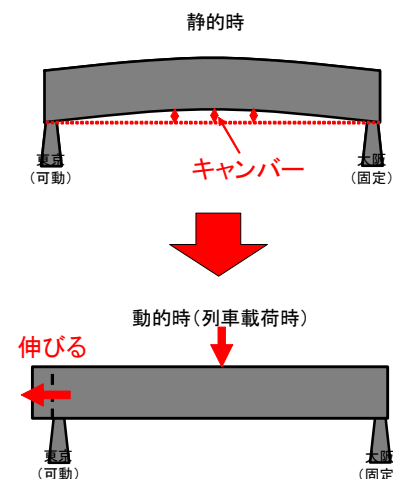
PC桁における2橋りょうのサンプリング結果より、たわみ測定で静的時の桁のキャンバー有無、沓の固定、可動を確認することが重要であることが分かった。調査対象橋りょうはPC桁でキャンバーがあり、列車載荷時は桁が水平に伸びる方向の変位が発生していたが、キャンバーが無い橋りょうの場合は列車載荷時に桁が水平に縮む方向の変位が発生することが考えられる。表－1に今回の結果に基づく暫定的な補正値を提案する。当面はこの一覧表を用い健全度評価を実施することとし、今後のデータ収集により補正値をより精度の高いものにするとともに、Uドップラーで事前に桁の水平動を測定することによりこれらの補正の要否を確認できる手法を検討していきたい。

6. まとめ

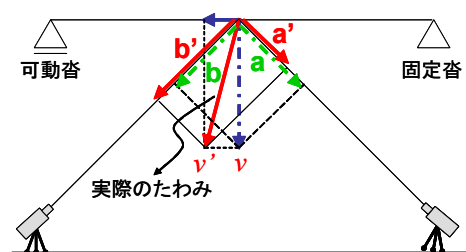
本調査により、Uドップラー1台で測定する場合の照射角度による測定値の補正量を把握することができた。今後はこの知見を踏まえ様々な桁種別変位でサンプリングを実施し、高精度な測定・補正手法を開発していきたい。



図－3 調査結果



図－4 原因の推定



図－5 たわみについて

表－1 補正値一覧表

桁のキャンバー	補正					
	固定沓側からの測定			可動沓側からの測定		
	0度 ～ 30度	30度超 ～ 60度	60度超	0度 ～ 30度	30度超 ～ 60度	60度超
有り	測定値＜桁中央直下 補正なし	たわみ値 ×1.3	参考値	桁中央直下＜測定値 補正なし	補正なし ※	参考値
無し	測定値＞桁中央直下 補正なし	補正なし ※	参考値	桁中央直下＞測定値 補正なし	たわみ値 ×1.3	参考値

※制限値を超過した場合は測定値×0.8とすることができる

参考文献：1) 上半：構造物診断用非接触振動測定システム「Uドップラー」の開発，鉄道総研報告 Vol.21 No.12 pp.17-22 2007

2) 上半他：岩盤斜面評価用非接触振動計測システムに関する基礎的検討 鉄道総研報告 Vol.24 No.4 pp.5-10 2010