

再帰性反射塗料を用いたたわみ測定のための定量的検証

○JR 東海 正会員 並松 沙樹
JR 東海 正会員 矢部 丈博
JR 東海 正会員 玉谷宗一郎
鉄道総研 正会員 上半 文昭

1.はじめに 当社では、照査したレーザ光のドップラー効果により対象物の速度を検出する、構造物診断用非接触振動測定システム¹⁾(以下、「U ドップラー」と呼ぶ)を使用し、桁のたわみ測定等により土木構造物の健全性把握を実施している。U ドップラーを用いて桁のたわみ測定を実施する際には、桁下面(支間中央部)に超高輝度再帰性反射シート(以下、「反射板」と呼ぶ)を貼付けることで、照射するレーザ光の再帰性を高め、十分な計測精度を確保している。しかしながら、桁下が鉄道や交通量の多い道路の場合、桁直下からの貼付けや測定が困難であり、反射板が剥落すると公衆災害に影響を及ぼす可能性がある。そこで、反射板と比較して剥落の恐れが小さく、入射した光を再び光源方向へ帰す再帰性反射塗料²⁾(以下、「塗料」と呼ぶ)をターゲットとして使用することを目的に、反射板と塗料のたわみの測定値の違いに着目し、実構造物で定量的に検証を行った。

2.測定概要 測定概要を図1に示す。全列車がほぼ250km/hで通過する支間15mのPC桁(片線2主)で測定を行った。反射板と塗料のターゲットを同一主桁の支間中央部に取付け、2台のUドップラーにより同一列車でたわみを測定した。反射板は5cm×5cmの大きさとし、塗料は桁下面から15cm離れた位置より直径15cm程度となるように噴霧した。鉛直方向とUドップラーのなす照射角度 θ を 0° 、 30° 、 60° に設定し、ターゲットの再帰性を評価する指標として、Uドップラーのレーザの受光状態(10段階で表示)を記録した。

3.測定結果 測定した波形の一例を図2に示す。表1に照射角度毎のたわみの平均値を示す。照射角度が大きくなると、桁の水平動の影響により測定値が大きくなる傾向³⁾が確認できるが、たわみの平均値は照射角度毎に反射板と塗料でほぼ同一の値となった。また、横軸に反射板、縦軸に塗料による測定値を示したものを図3に示す。近似直線の傾きが「1.01」であり、相関係数が「0.86」であることから強い正の相関が確認できた。照射角度毎に反射板と塗料によるたわみの測定値を比較して、図4に確率密度関数を、表2に標準偏差を示す。照射角度 0° 、 30° では反射板と塗料の確率密度関数はほぼ同形状となり、標準偏差もほぼ同一の値となる。照射角度 60° で標準偏差を比較すると、塗料は反射板より約0.02大きい。また確率密度関数を比較す

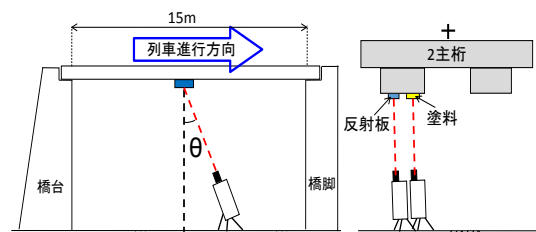


図1.測定概要

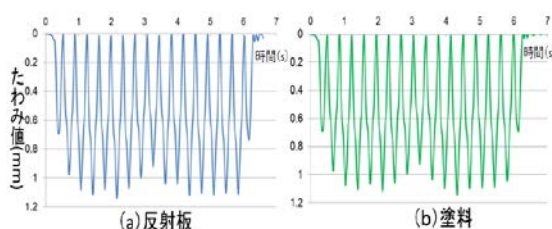
図2.測定したたわみ波形の例($\theta=0^\circ$)

表1.照射角度毎のたわみの平均値

照射角度 θ	反射板	塗料
0°	1.15	1.15
30°	1.19	1.19
60°	1.29	1.30

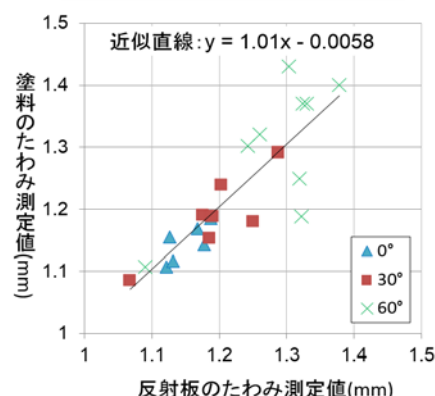


図3.反射板と塗料のたわみ値の比較

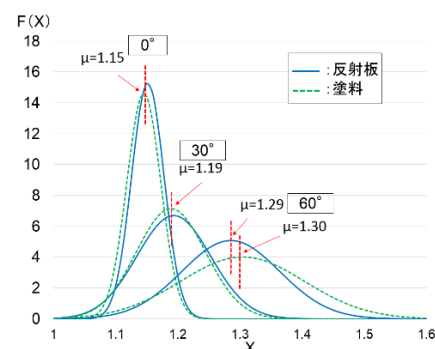


図4.反射板と塗料の確率密度関数

キーワード 鉄道橋りょう維持管理, 非接触測定, たわみ測定, Uドップラー, 再帰性反射塗料

連絡先 神奈川県横浜市港北区篠原町 3219-1 JR 東海 東京新幹線構造物検査センター TEL 045-474-0167

ると、塗料は反射板と比較してやや扁平な形状となり、塗料の測定値が分散傾向にあることがわかる。

次に、測定時に記録した再帰性について表示例を写真 1、表示結果について表 3 に示す。照射角度 0° では、反射板・塗料ともに再帰性は安定し、最高の 10 を示した。 30° では、反射板の再帰性は 10 で安定して示したが、塗料は 7~9 となりやや不安定な状態となった。 60° では、反射板の再帰性も 5~7 とやや不安定な状態となり、塗料も 3~8 と今回の測定で最も不安定な状態であった。反射板・塗料ともに、照射角度が大きくなると再帰性が不安定となる傾向があり、塗料の方がその傾向が大きいことが確認できた。

4. 考察 反射板と塗料について、照射角度毎に再帰性表示と標準偏差を比較した結果を図 5 に示す。照射角度が大きくなると、(a)反射板、(b)塗料ともに再帰性は小さくなり、標準偏差は大きくなる。また、再帰性が高く安定な状態では標準偏差は小さく、再帰性が低く不安定な状態では標準偏差は大きくなる。

次に反射板と塗料の再帰性の例について、図 6²⁾ に示す。レーザ光はガラスビーズに入射後、再帰性反射をする。工業製品である反射板は、表面のビーズが均一に配列されており、レーザ光の再帰性は非常に高い。一方で塗料は、噴霧によりビーズが配列されるため不均一となり、反射板と比較するとレーザ光の再帰性は低くなる²⁾。反射板・塗料ともに照射角度が小さい場合は、図 6(a)、(b)に示すように再帰性が高く安定するため、標準偏差が小さくなると考えられる。一方で、図 6(c)、(d)に示すように照射角度が大きい場合は再帰性が低下して不安定となり、標準偏差が大きくなると考えられる。照射角度 0° 、 30° では反射板・塗料ともに標準偏差がほぼ同一であるため、ビーズ配列の影響は小さいと考えられるが、照射角度 60° ではビーズ配列が均一な反射板でも標準偏差が大きくなり、ビーズ配列が不均一な塗料では反射板よりも標準偏差が大きくなることからわかる。以上より、照射角度が大きくなるとビーズ配列が再帰性に大きな影響を与え、測定値を分散させる原因の 1 つと考えられる。

5. まとめ 本研究では次のことがわかった。(1)照射角度 0° 、 30° では、たわみの平均値、標準偏差および確率密度関数がほぼ同一となることから、反射板と塗料は同程度の測定精度を有する。(2)照射角度 60° では、反射板と塗料のたわみの平均値はほぼ同一であるが、塗料の標準偏差は反射板と比較して大きい。このため確率密度関数は反射板と比較して塗料の場合はやや扁平な形状となり、反射板と比較して塗料の場合は測定値が分散する傾向がある。しかしながら、走行安全性から定まる桁のたわみの設計限界値(新幹線)⁴⁾ 12.5mm(支間 15m、複数連、最高速度 260km/h)と比較すれば測定値は十分小さく、照射角度 60° の塗料の場合でも、走行安全性の評価に対して影響は非常に小さい。(3)照射角度が大きくなると、反射板・塗料ともに標準偏差が大きくなる傾向がある。この傾向は塗料の場合はより顕著で、ビーズが不均一な配列となることが原因と考えられる。今後データ数を増やし、照射角度 60° で塗料を使用する場合でもビーズが均一に配列され、レーザ光の再帰性を高めることができる塗料の噴霧方法を検討していく所存である。

参考文献 1)上半他：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：構造物の非接触振動計測の効率化を図る，RRR，pp.14-17，2009.2，3)西山他：「U ドップラー」による PC たわみ測定時の補正方法について，第 67 回年次学術講演会講演概要集 4)鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限，p.61

表 2.照射角度毎の標準偏差

照射角度 θ	反射板	塗料
0°	0.026	0.027
30°	0.060	0.056
60°	0.079	0.100



写真 1.再帰性表示

表 3.再帰性表示の結果

角度 θ	反射板	塗料
0°	10	10
30°	10	7~9
60°	5~7	3~8

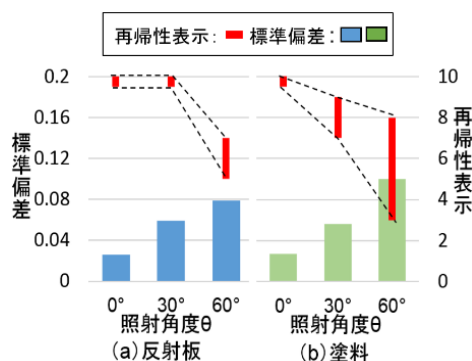


図 5.再帰性表示と標準偏差の関係

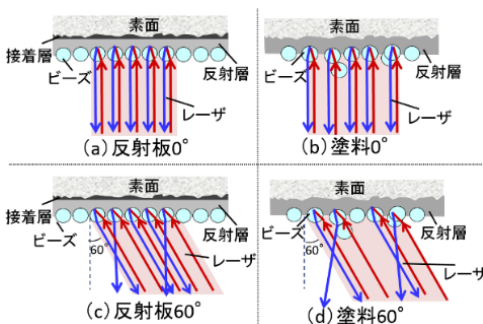


図 6.角度による再帰性の概要図