

論文 複鉄筋版桁におけるたわみ値の長期モニタリング

並松 沙樹¹・吉田 幸司²・加藤 信二郎³・田辺 篤史⁴

¹正会員 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部 技術開発部 (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)
E-mail:saki.namimatsu@jr-central.co.jp

²正会員 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部 技術開発部 (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)
E-mail:k-yoshida@jr-central.co.jp

³正会員 ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 調査事業部 開発技術部
(〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅5-33-10 アクアタウン納屋橋4F)
E-mail:s-ootake@jrcc.co.jp

⁴正会員 株式会社日建設計シビル 都市基盤・エンジニアリング部門 設計部
(〒541-0054 大阪府大阪市中央区南本町3-6-14)
E-mail:tanabe.atsushi@nikken.jp

MEMS式加速度センサを用いたたわみ監視装置を用いて複鉄筋版桁を対象にたわみ値の長期モニタリングを実施し、列車条件や環境条件等の外的条件の違いによりたわみの特性がどのように変化するか把握した。その結果、たわみ値を算出する際は、振幅中央値を用いることで、ノイズによる著大値の影響を受けづらいことや列車速度や軌道状態の影響を受けてたわみ値が変化することを明らかとした。

軌道状態が桁のたわみ値に少なからず影響を及ぼすことから、今後たわみを用いた桁の維持管理指標作成を検討する際は、日常におけるたわみ値の変動を踏まえる必要があることがわかった。

Key Words : long term monitoring, deflection, double reinforced concrete girder bridges

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に多くの建設プロジェクトが実施されたことから、今後、多くの構造物が老朽化を迎えることになる。これらの構造物を適切に検査し、補修・補強を行っていく必要があるが、維持管理の担い手不足やコストの増大が課題となっている。このような背景の中で、構造物を適切に維持管理していくためにセンサを用いたモニタリングの活用が期待されている。

橋りょうの健全度評価には、固有振動数やたわみ等が用いられることが多い。筆者らは損傷検知に適した指標の検討を行い、たわみに着目するのが良いとの結論を得ている¹⁾。

鉄道橋において、列車が通過する際の列車荷重により橋桁にたわみが発生する。大きなたわみは列車の走行安全性や乗り心地の低下に繋がることから、新幹線橋りょうではスパン長や列車速度毎にたわみの制限値が設けられ²⁾、これらの指標を基に定量的な維持管理が実施されている。

従来、たわみ量の計測にはリング式たわみ計が用いら

れており、桁下に支障物等がある場合や、道路または鉄道交差部の場合には計測が困難であった。そのためレーザ式変位計³⁾が開発され、離れた箇所からでも照射角度を付けることでたわみの測定が可能となった。しかし、これらの計測方法は現場で作業員が機器を操作する必要があり、多くのデータを取得することが困難であった。このような課題を解決するため、前田らは高精度MEMS加速度センサを用いたたわみ監視装置⁴⁾を開発した。その結果、桁下条件に関係なく、無人で長期間に大量のデータを取得することが可能となった。

これまで断片的に取得していたたわみを継続的にモニタリングすることで、日常の変動範囲から逸脱する変化を捉え、劣化や耐力の低下を早期に検知することが可能と期待される。しかし、たわみの制限値と実測値には大きな差があることや⁵⁾、たわみは列車速度や列車種別、乗車率等によって変動することから、桁の損傷判断に適した新たな閾値の設定が必要である。

本研究では、列車条件や環境条件等の外的条件の違いによりたわみの特性がどのように変化するか把握する

ことを目的に、東海道新幹線の複鉄筋版桁を対象に、たわみのモニタリングを実施し、列車速度、軌道状態がたわみの変動に及ぼす影響について考察した。

2. たわみ計測データの処理方法

(1)測定概要

a) 対象橋梁

対象橋りょうの構造諸元を表-1に示す。両橋りょうとも同形式の支間長10mの斜角複鉄筋コンクリート版桁である。基礎形式は異なり、地盤があまり良くないA橋りょうは杭基礎（完全支持か不完全支持かは不明）、地盤が良好なB橋りょうは直接基礎である。ほぼ同種構造にもかかわらず、過去にレーザ式変位計で計測したたわみ値に大きな差があったため、両者の比較を行うことにした。

b) 使用機器および測定条件

図-1に示すように、上下線保守通路上の支間中央位置にたわみ監視装置を設置してたわみ測定を実施した。

図-2に加速度波形および変位波形の一例を示す。MEMS式装置のため電車線による高周波ノイズの混入はなかった。そのため、取得した加速度波形（図-2(a)）には機器自体の基線ずれを補正することを目的として、1Hzのハイパスフィルタを施し、2回積分することで変位波形（図-2(b)）に変換した。東海道新幹線のRC複鉄筋版桁は支間長が短く、ほとんどが新幹線の最大車輪間隔である15m未満である。そのため、列車通過時に台車が桁に載荷されていない状況が必ず存在し、活荷重による静的な基線ずれが長大橋のそれと比べて十分小さく、この基線補正によるたわみへの影響は小さいと考えられる。しかし、一部データにノイズや基線ズレで波形が大幅に歪んでいるものがあつたため、これらは処理の途中で除外した。

測定は7時から22時までの時間帯において実施し、毎時1列車の1日あたり16列車程度取得できるように設定した。サンプリング周波数は500Hz、監視時間中は自動測定とし、トリガは加速度が 0.2m/s^2 以上となった場合に測定を開始することとした。

c) 固有振動数の推定

A、B橋りょうの動的な応答特性を確認するため、たわみ監視装置の加速度波形の列車通過後の自由振動部分を切り出し、FFTにて周波数分析を行い、固有振動数を算出した。

全取得データを対象とし、列車毎に卓越振動数を算出し、測定全列車の中央値を固有振動数として採用した。

表-2に固有振動数の推定結果を示す。A橋りょうの固有振動数は、上り線が7.87Hzであり、下り線の8.30Hzよりも低かった。B橋りょうは、上下線ともに約12Hzであ

表-1 対象橋梁の構造諸元

	A橋りょう		B橋りょう	
図面番号	G-N10-41			
支間長	10m			
桁下高さ	4.5m			
斜角	左65°		左60°	
線形	直線区間			
基礎形式	杭基礎		直接基礎	
列車速度	最高285km/h			
過去のたわみ値	下り線	2.90mm	下り線	0.75mm
	上り線	2.37mm	上り線	0.74mm

表-2 固有振動数の推定結果

		A橋りょう	B橋りょう
固有振動数	下り線	8.30Hz	12.02Hz
	上り線	7.87Hz	12.21Hz

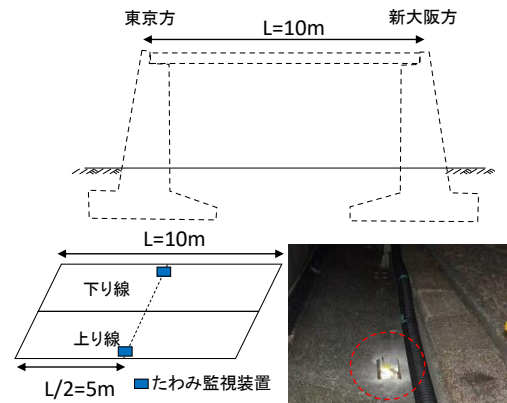


図-1 たわみ監視装置の設置状況

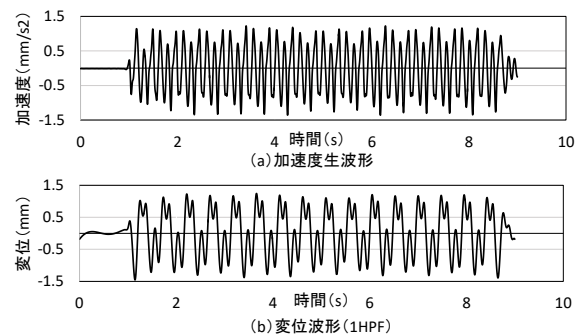


図-2 加速度波形および変位波形の一例

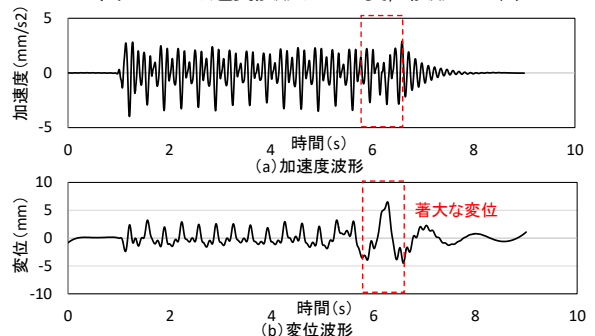


図-3 著大な加速度波形および変位波形の一例

った。

d) 列車速度の算出について

列車速度は加速度で測定した波形の自己相関関数から算出した⁹⁾。東海道新幹線は、車両形式に依らず車軸間隔が一定であることから列車通過時には車両長さの25m間隔で振動が繰り返される。そのため車両長を自己相関

関数の平均卓越間隔で除することで列車速度を算出した。

e) たわみ値の算出について

取得した変位波形には、図-3に示すように、振幅の一部のみに著大な変位が生じていることがある。なぜこの様な著大变位が計測されるのかを確認することは研究としては有意義と考えられる。しかし、新幹線車両の軸重が一部のみ大きくなることは考えづらく、長期モニタリングを行う上ではこの様な異常データはノイズとなりうるため、健全度評価を行う上では除外することが望ましい。

取得データが少ないならば1つつ確認し、ノイズ等が大きいデータの除外が可能である。しかし、長期モニタリングで大量のデータを取得する場合は、全てを確認することは難しい。そこで、著大な変位の影響を受けにくいデータの整理が必要と考え、図-4に示すように、取得した変位波形から変位範囲と振幅中央値の2通りでたわみ値を整理することとした。変位範囲とは、1列車通過時の変位波形の最大値と最小値の差のことと定義した。また、1編成16両である東海道新幹線のたわみ波形を1両毎に分け、振幅の差分を各車両ごとに求めた。全16個分の差分の中央値を振幅中央値と定義した。

(2) 測定結果

a) A橋りょうの測定結果

A橋りょうでは、2017年9月5日から2017年9月28日までの24日間でたわみ値のモニタリングを実施し、下り線で687データ、上り線で516データを取得した。表-3に分析結果を示す。上り線の()内の数字は、後述する $\pm 3\sigma$ 範囲外のデータを除去して分析した結果を示している。変動係数は、速度依存性による影響を除外するために240km/h、255km/h、270km/hの3速度帯に分けて分析した。例えば、240km/h速度帯では、240～241km/hの列車を抽出し、データを整理した。表の□内には分析に用いたデータ数を記載した。桁の共振は、加振振動数が固有振動数 f の整数倍になったときに生じることから、共振速度を式(1)で求めた。

表-3 A橋りょうの分析結果

A橋りょう		下り線	上り線
測定期間		9/5～9/28(24日間)	
データ数		687	516(514)
変位範囲	平均値(mm)	4.59	5.64(5.60)
	240km/h	0.035 [n=2]	0.461(0.020) [n=20]
	255km/h	0.031 [n=23]	0.025 [n=13]
	270km/h	0.049 [n=18]	0.036 [n=2]
	変動係数		
振幅中央値	平均値(mm)	3.57	4.27
	240km/h	0.053	0.027
	255km/h	0.029	0.02
	270km/h	0.104	0.013
列車速度平均値(km/h)		262.9	249.9
共振速度(km/h)		249.0	236.1

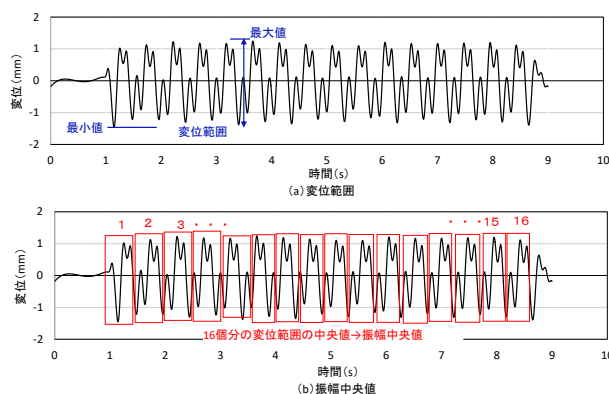


図-4 変位範囲と振幅中央値

$$v = \frac{f}{N} \cdot L_v \cdot 3.6 \quad (1)$$

ここで、 f は桁の基本固有振動数、 N はモード次数、 L_v を荷重間隔としている。今回は、 f として表-2に示している固有振動数の実測値を使用した。また、 L_v は新幹線の1車両分である25mとした。スパン中央でたわみ値が最大となるのは、奇数次モードの場合であり、今回は3次モードまでを考慮することとした。

図-5に下り線のたわみ値の推移、図-6に列車速度とたわみ値の関係を示す。たわみ値の平均値は、変位範囲で4.59mm、振幅中央値で3.57mmとなり、約1.0mmの差異が生じた。列車速度とたわみ値の関係より、235km/h付近でたわみ値のピークが見られた。

図-7に上り線のたわみ値の推移、図-8に列車速度とたわみ値の関係を示す。たわみ値の平均値は、変位範囲で5.64mm、振幅中央値で4.27mmとなり、約1.4mmの差異が生じた。事前にノイズフィルター処理を行ったにもかかわらず変位範囲では、図-7の破線内のようなノイズとみられるデータが残っていた。

列車速度とたわみ値の関係より、200～300km/hの速度帯で明確なピークは見られないが、低速になるにつれ、たわみ値が大きくなる傾向が見られた。固有振動数が低く、共振速度が低速になるために動的な応答が大きくなったと考えられる。

b) B橋りょうの測定結果

B橋りょうでは、2017年10月18日から2017年11月9日まで

表-4 B橋りょうの分析データ

B橋りょう		下り線	上り線
測定期間		10/18～11/9(23日間)	
データ数		430	394
変位範囲	平均値(mm)	1.07	1.04
	240km/h	0.034 [n=8]	0.055 [n=13]
	255km/h	0.024 [n=17]	0.03 [n=4]
	270km/h	0.028 [n=2]	0.015 [n=10]
	変動係数		
振幅中央値	平均値(mm)	0.94	0.91
	240km/h	0.042	0.058
	255km/h	0.023	0.029
	270km/h	0.034	0.006
列車速度平均値(km/h)		254.8	244
共振速度(km/h)		360.6	366.3

での23日間でたわみ値のモニタリングを実施し、下り線で430データ、上り線で394データを取得した。表-4に分析結果を示す。

図-9に下り線のたわみ値の推移、図-10に列車速度とたわみ値の関係を示す。たわみ値の平均値は、変位範囲で1.07mm、振幅中央値で0.94mmとなり、ともに約

1mm程度で推移している。列車速度とたわみ値の関係より、240km/h付近でたわみ値のピークが見られ、低速になるにつれて、たわみ値は小さくなる傾向を確認した。しかし、高速の場合は260km/h付近まではたわみ値が小さくなる傾向が見られ、280km/h付近で高速になるにつれてたわみ値が大きくなる傾向を確認した。

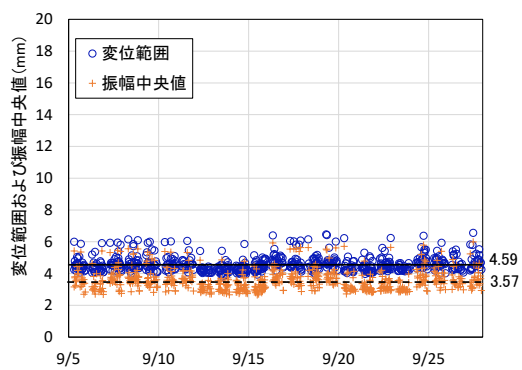


図-5 たわみ値の推移 (A橋りょう・下り線)

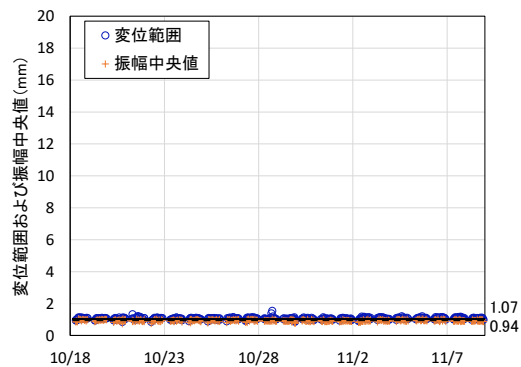


図-9 たわみ値の推移 (B橋りょう・下り線)

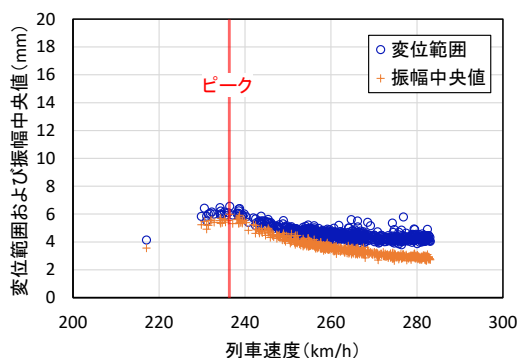


図-6 列車速度とたわみ値の関係 (A橋りょう・下り線)

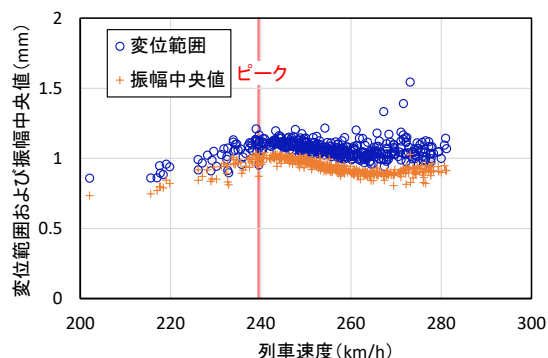


図-10 列車速度とたわみ値の関係 (B橋りょう・下り線)

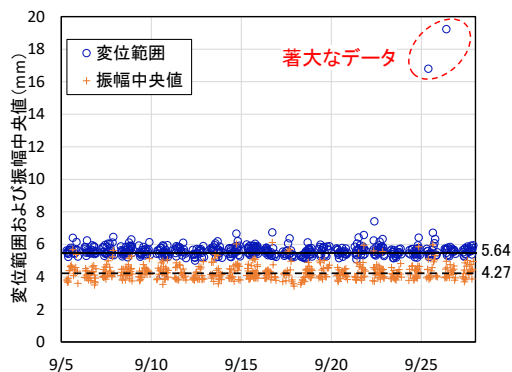


図-7 たわみ値の推移 (A橋りょう・上り線)

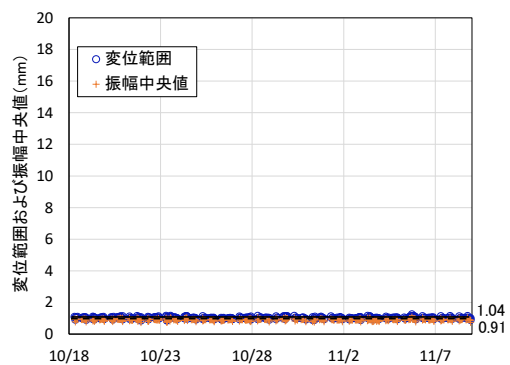


図-11 たわみ値の推移 (B橋りょう・上り線)

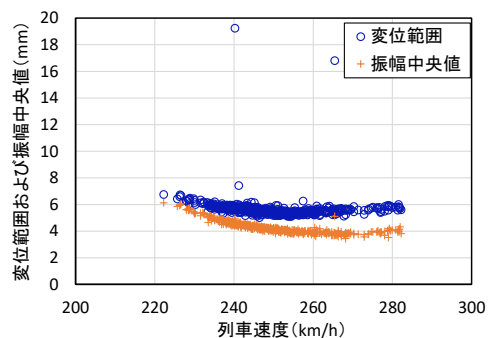


図-8 列車速度とたわみ値の関係 (A橋りょう・上り線)

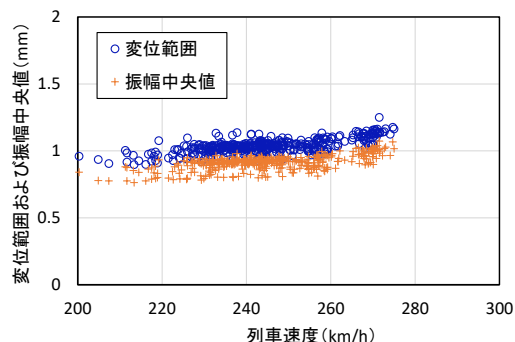


図-12 列車速度とたわみ値の関係 (B橋りょう・上り線)

図-11に上り線のたわみ値の推移、図-12に列車速度とたわみ値の関係を示す。たわみ値の平均値は、変位範囲で1.04mm、振幅中央値で0.91mmとなり、ともに約1mm程度で推移している。平均値と比較すると、10/21と10/28のデータがやや大きい。列車速度とたわみ値の関係を見ると、列車速度とたわみ値の関係より、200～300km/hの速度帯で明確なピークは見られず、高速になるにつれてたわみ値が大きくなる傾向を確認した。

c) 考察

A橋りょうの共振速度は240～250km/hと低速であるのに対し、B橋りょうの共振速度は約360km/hと高速である。現在の東海道新幹線の最高速度は280km/hであり、A橋りょうでは共振速度帯の列車が走行するが、B橋りょうでは共振速度帯で走行することはない。そのため、A橋りょうでは共振による動的応答が大きくなり、たわみ値は大きい。B橋りょうは共振による影響が小さく、たわみ値は小さいと考えられる。同一構造にも関わらずたわみ値や固有振動数が異なるのは、地盤条件も考えられる。A橋りょうは地盤条件が悪いことから、バネ支持に近い状態となり、構造全体としての剛性が低下することで固有振動数が低下し、共振が大きくなったと考えられる。また、列車通過時に桁と橋台が一緒に挙動し、桁だけではなく橋りょう全体で振動することから、バネ支持分の変位もたわみとして計測している可能性も考えられる。

たわみ値の算出方法の違いによる影響について統計分析を実施した。たわみ値は列車速度の依存性があることから240km/h、255km/h、270km/hの3つの速度帯で分析を実施した。240km/hの場合、240～241km/hの範囲内のデータを抽出した。

表-3に示す変動係数は、A橋りょうの上り線の240km/hを除いて、たわみ値の算出方法に関係なく0.01～0.1であり、ばらつきは小さいことが確認できた。A橋りょうの上り線の240km/hは、変動係数が0.461とばらつきが大きくなった。これは、変位範囲が約20mmのデータが含まれており、その影響を受けたと考えられる。このときの加速度波形を図-13に示す。加速度波形を確認してみると、振幅の一部にノイズの混入が見られた。このようにノイズが混入した場合、変位範囲では著大な振幅の影響を受け、平均値と乖離するが、振幅中央値は影響されないため、平均値から大きく乖離しないことがわかった。

A、B橋りょうの取得データについて $\pm 3\sigma$ 範囲外のデータを除外、再度分析したところ、A橋りょう上り線の変位範囲1データのみが除外対象となり、表-3の()内に示すように、変動係数が0.020に改善され、データのばらつきが小さくなった。

ノイズが含まれていない場合は、変位範囲と振幅中央値で大きな差はないが、振幅中央値を用いたほうがノイ

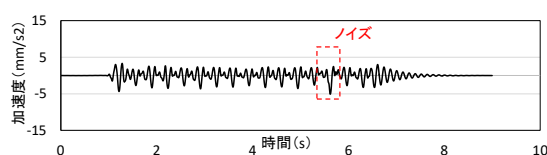


図-13 ノイズ波形 (9/25)

表-5 変位範囲と振幅中央値の特徴比較

	良い点	悪い点
変位範囲	計算が簡単	ノイズの影響を受けやすい
振幅中央値	ノイズが含まれていても大きな影響を受けない	前処理に手間がかかる

表-6 長期モニタリングの分析データ

長期モニタリング		下り線	上り線
測定期間		9/5～2/16 (165日間)	
データ数		4341	5087
振幅中央値	平均値 (mm)	3.83	4.01
	240km/h	0.20 [n=48]	0.11 [n=93]
	255km/h	0.20 [n=158]	0.11 [n=125]
	270km/h	0.20 [n=53]	0.11 [n=82]
列車速度平均値 (km/h)		257.3	258.5
共振速度 (km/h)		249.0	236.1

表-7 長期モニタリング中の出来事

日時	線別	イベント	対応期間	日時	線別	イベント	対応期間
9/15翌	上	マルタイ作業	-	12/17	上下	雪害運転規制	オ
9/15翌	下	むら直し	-	12/19翌	上	むら直し作業	オ
9/28翌	上	マルタイ作業	ウ	12/28翌	上	むら直し作業	-
10/4翌	下	マルタイ作業	ア	12/27, 28	上下	雪害運転規制	-
10/31翌	上	レール削正	エ	1/13, 14	上下	雪害運転規制	-
11/10翌	下	レール削正	-	1/22, 23	上下	雪害運転規制	カ
12/8翌	上	マルタイ作業	オ	1/25～1/30	上下	雪害運転規制	カ
12/11	上下	雪害運転規制	オ	2/2	上下	雪害運転規制	カ
12/14	上下	雪害運転規制	オ	2/4, 5	上下	雪害運転規制	カ

ズの影響が小さいと言える。変位範囲はノイズの影響を受けやすいが、 $\pm 3\sigma$ 以上のデータを除去することで変位範囲のばらつきが小さくなった。

以上の検討を踏まえ、たわみ値の算出について、変位範囲と振幅中央値の特徴をまとめたものを表-5に示す。

1次判定としては計算が簡単な変位範囲を用いても大きな問題はないが、ノイズの影響が小さい振幅中央値を用いたほうが精度の高い指標と言える。

3. 長期モニタリングについて

(1) 長期モニタリング概要

たわみ値が大きいA橋りょうに着目し、長期モニタリングを実施することとした。2017年9月5日から2018年2月16日までの165日間であわみ値のモニタリングを実施し、下り線で4341データ、上り線で5087データを取得した。表-6に取得データの分析結果、表-7に軌道作業や規制運転等のモニタリング期間中の出来事を示す。表中のマルタイ作業とは、大型保線機械による軌道狂いの整生作業のことを言う。また、むら直しとは、人力による軌道狂いの整生作業であることを言う。測定概要については、2章と同様であるが、たわみ値については振幅中央値で整理することとした。

(2) 長期モニタリング結果

図－14に下り線の振幅中央値の推移を示す。測定期間中のたわみ値の平均値は3.87mmとなり、大きく外れているデータを除くと分布範囲は2～6mmとなった。たわみの傾向が変化する期間を図中にカタカナで記載している。表－8に詳細を示す。たわみ値の傾向が変化する期間、変化前の期間を①、変化後の期間を②とした。また、表中の（ ）内の値はその期間中のたわみの平均値を示している。アの期間を境にたわみ値が約0.5mm小さくなっている。また、イの期間では、たわみ値のばらつきが小さくなっていることが確認できた。

図－15に上り線の振幅中央値の推移を示す。測定期間中の振幅中央値の平均値は4.01mmとなり、データの分布範囲は3～7mmとなった。アの期間と同様に、ウの期間を境にたわみ値が約0.2mm小さくなっている。また、エ～オの期間では、たわみ値のばらつきが小さくなっていることが確認できた。

表－3（24日間測定）と表－6（165日間測定）の振幅中央値の変動係数を比較してみると、165日測定した場合の変動係数は全ての速度帯において下り線 0.2、上り

線 0.11 となり、24日間測定時の変動係数を大きく上回る結果となった。165日間測定では、たわみの傾向が変化する期間が複数含まれていたことから変動係数が大きくなったと考えられる。今後、桁の損傷判断に適した新たな閾値を設定していく際は、日常におけるたわみの変動量だけではなく、たわみの傾向が変化する期間も考慮する必要がある。

以上より、長期間のモニタリングを実施した結果、たわみ値は測定期間中のたわみの平均値に対して1～2割程度ばらついており、傾向が変化する期間と軌道作業や雪害運転規制の区間が一致したためア～カの期間について、列車速度による影響と軌道状態による影響から考察することとした。

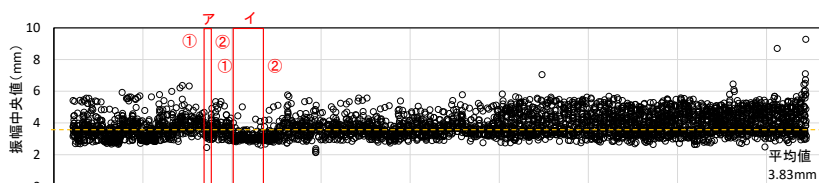
4. たわみ値の変化に関する考察

(1)列車速度による影響

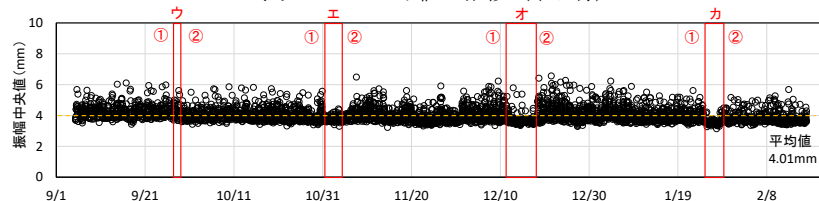
図－16にたわみ変化期間における列車速度とたわみ値の関係を示す。アおよびウは、10/5および9/29を境に

表－8 たわみ値の傾向が変化する期間と比較用期間

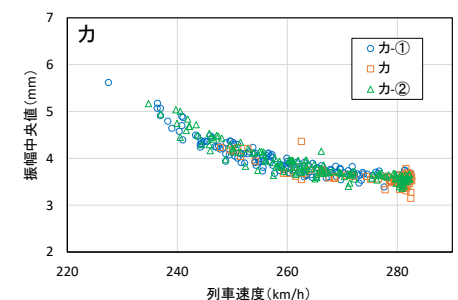
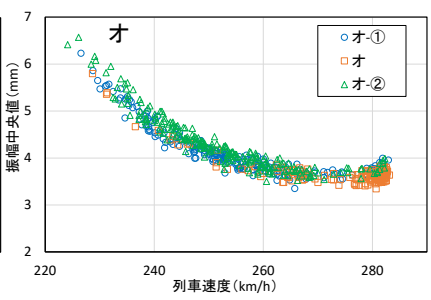
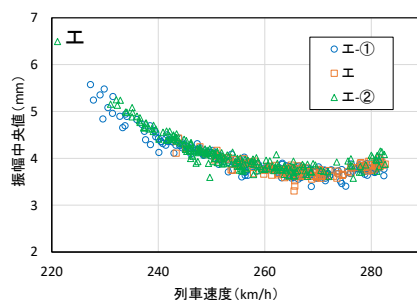
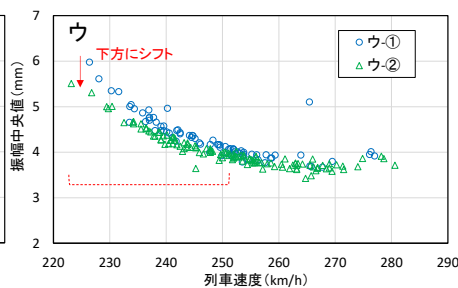
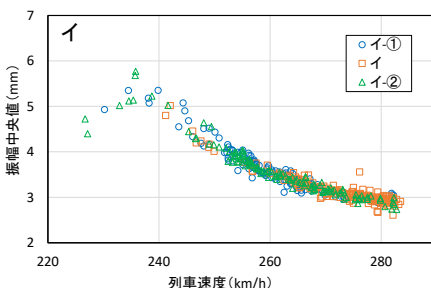
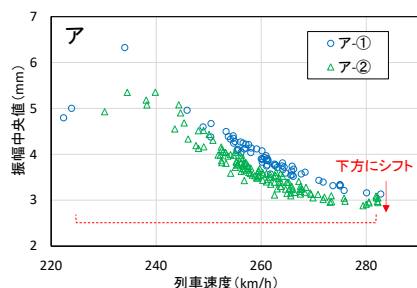
線別	変化期間	期間①	期間②
下	ア	10/1～10/4 (3.97mm)	10/5～10/10 (3.52mm)
	イ	10/11～10/19 (3.15mm)	10/20～10/25 (3.58mm)
上	ウ	9/25～9/28 (4.31mm)	9/29～10/4 (4.03mm)
	エ	11/1～11/4 (3.79mm)	11/5～11/10 (4.10mm)
	オ	12/12～12/17 (3.69mm)	12/18～12/23 (4.31mm)
	カ	1/25～1/28 (3.60mm)	1/29～2/4 (3.88mm)



図－14 たわみ値の推移（下り線）



図－15 たわみ値の推移（上り線）



図－16 たわみ値の傾向変化期間の列車速度とたわみ値の関係

傾向が変化するため、変化前を①、変化日を含む変化後を②とした。イおよびエ～カは、変化前の期間を①、変化中の期間をカタカナ、変化後の期間を②とした。アおよびウは、変化前後でデータが下方にシフトして同一列車速度においてもたわみ値が小さくなっていく。アは、220～280km/hの全速度帯でたわみ値の低減が見られるが、ウは、220～240km/hでたわみ値の低減が確認できる。アおよびウの期間は、軌道作っていることから列車速度の変化ではなく、軌道影響と考えられる。イおよびエ～カは、たわみ値前後と比較し、たわみ値の変化期間中は220～250km/h付近の列車本数が少なく、A橋りょうの共振速度240km/h付近から外れたため、たわみ値が小さくなったと考えられる。また、オおよびカの変化期間中は、280km/h付近の列車本数が多い。この期間は、雪害運転規制が入っていた期間であり、降積雪の影響を受けないA橋りょう付近では回復運転のためランカーブの最高速度280km/h近傍で走行していたと考えられる。また、回復運転の影響は、雪害運転規制区間を通過した後にA橋りょうを通過する上り線で顕著に表れている。オおよびカと類似した傾向のイおよびエに関しては、イの期間は、秋の行楽シーズン、エの期間は連休であったことから通常よりも列車本数や乗客数が多く、乗降に伴う遅延や回復運転が影響している可能性がある。

以上より、イ、エ～カの4期間は、通常よりも高速度で走行する列車が増え、共振速度から外れたことでたわみ値が低減しており、列車速度の変化に起因したたわみ値の傾向が変化することがわかった。一方、アおよびウの2期間は、傾向の変化前後でたわみ値が全体的に下方へシフトしており、列車速度の変化以外の要因でたわみ値の傾向が変化していることがわかった。

(2) 軌道状態による影響

アおよびウの期間は、マルチプルタイタンパー(MTT)による道床突き固め作業が入っていることから、たわみの変位波形と軌道高低狂いの関係を分析した。本論文では、アの期間の結果を述べる。たわみの変位波形は、列車速度240km/h付近(238～242km/h)および280km/h付近(278～282km/h)を抽出した。また、高低狂いは、5m弦高低データを用いて、所定の波長でBPF処理を行った後、MTT前後の左右レールの高低狂いのRMSを求めた。

期間ア前後のたわみの変位波形を図-17 および図-19に示す。240km/hではMTT前後でたわみ値の低減が見られるが、280km/hではたわみ値に変化は見られない。次にスペクトル図を図-18 および図-20に示す。240km/hでは8Hz付近の3次ピークが最も卓越しており、MTT前後で3次ピークも低減している。支配的である3

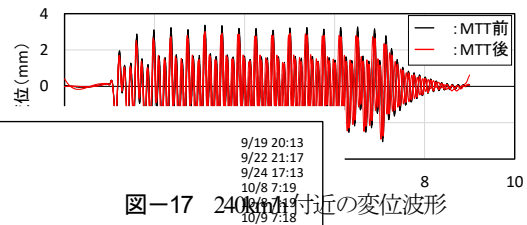


図-17 240km/h付近の変位波形

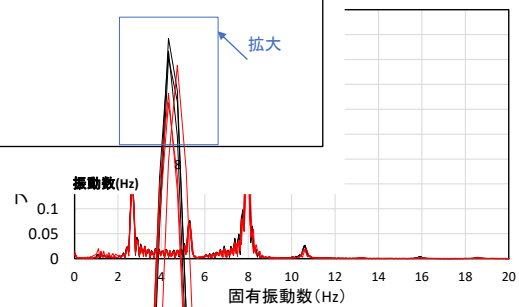


図-18 240km/h付近のスペクトル図

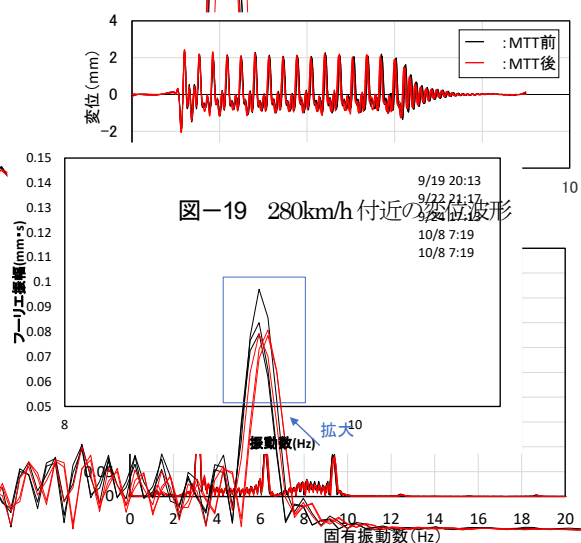


図-19 280km/h付近の変位波形

図-20 280km/h付近のスペクトル図

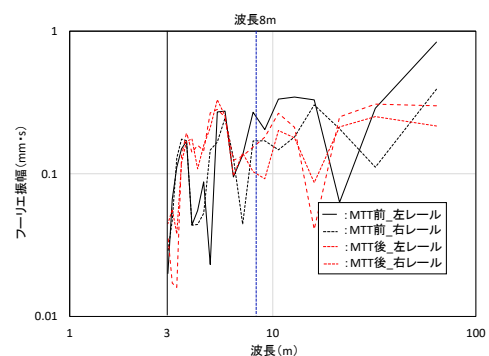


図-21 軌道高低狂い空間周波数分析結果

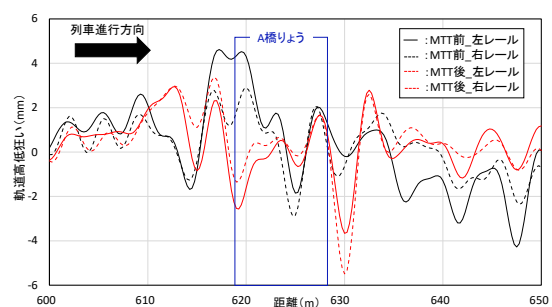


図-22 アの期間におけるMTT前後の高低狂い波形

次ピークが低減したことで、変位も低減したことがわかる。一方、280km/hでは、MTT前後で9.5Hz付近の3次ピークが低減しているが、より卓越している1次ピークおよび2次ピークが支配的であることから変位の低減に影響しなかったと考えられる。ともに変位波形の3次ピークに低減が見られたことから、この時の固有振動数に対応する波長 λ を式(2)で求めた。

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

ここで、 v を列車速度、 f を固有振動数としている。これより、 $f=8\text{Hz}$ のとき、 $\lambda=8.3\text{m}$ となり、高低狂いの8.2～8.3m波長も低減している可能性が考えられるため、高低狂い波形に空間FFTおよび7～9Hzのバンドパスフィルターを施した。図-21に空間周波数分析結果を示す。波長8m付近でMTT前後に高低狂い波形の低減が見られた。図-22にAの期間におけるMTT作業前後の高低狂い波形を示す。両者ともA橋りょう進入直前の高低狂いが解消されていることが分かる。また、設計では²⁾、桁へ作用する動的応答を式(3)に示すように、速度効果と車両動揺からなる設計衝撃係数 i で表現している。

$$i = (1 + i_a)(1 + i_c) - 1 \quad (3)$$

ここで、 i_a は速度効果の衝撃係数、 i_c は車両動揺の衝撃係数としている。高低狂いの解消で i_c が低減し、たわみ値の低減に影響を与えたと考えられる。

5. まとめ

本研究で、複鉄筋版桁を対象にたわみ値の長期モニタリングを実施した結果、以下の知見が得られた。

- 1) たわみ値の算出方法として、変位範囲と振幅中央値を比較した。振幅中央値を用いる方がノイズによる影響が小さく、目視確認により異常データを除外する必要がないことから長期モニタリングで大量データを処理する際は振幅中央値を採用することが望ましいといえる。

- 2) 長期モニタリングにより、雪害運転規制中の列車速度による影響と軌道作業による影響でたわみ値の傾向が変化することを確認した。
- 3) 道床突き固め作業前後の高低狂い波形の分析により、高低狂いの解消がたわみ値の低減に影響を与えたことが分かった。
- 4) 長期モニタリングでは、たわみの傾向が変化するイベントが複数含まれていたことから変動係数が大きくなったと考えられる。今後、桁の損傷判断に適した閾値を設定していく際は、日常におけるたわみの変動量だけではなく、たわみの傾向が変化するイベントを考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 伊藤雄郷、大野雄史、吉田幸司、西山誠治、田辺篤史：複鉄筋版桁鉄道橋の健全度評価のための簡易指標の提案、構造工学論文集、Vol.63A、pp.876-887、2017。
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説変位制限、丸善、2006.2。
- 3) 上半文昭：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、2007.12。
- 4) 前田昌克、鎧坂勝則：コンクリート構造物のたわみ監視装置の開発、土木学会第72回年次学術講演会概要集、I-353、2017.9。
- 5) 進藤良則、千葉寿、山岡晃一、石徳隆行：新幹線新規開業区間における単純PC桁のたわみ測定結果に関する考察、プレストレストコンクリート技術協会第20回シンポジウム論文集、pp.203-208、2011.10。
- 6) 宮下剛、石井博典、藤野陽三、庄司朋宏、関雅樹：レーザー計測を用いた鉄道橋の高速走行により発生する局部振動の把握と列車速度の影響、土木学会論文集 A Vol.63、No.2、pp.277-296、2007.4。

(2018.4.6受付)

LONG-TERM MONITORING OF DEFLECTION IN DOUBLE REINFORCED CONCRETE GIRDER BRIDGES

Saki NAMIMATSU, Koji YOSHIDA, Shinjiro KATO, Atsushi TANABE

The long-term monitoring of double reinforced concrete girder bridges were carried out by using newly developed MEMS deflection sensors in order to grasp the characteristic changes of deflections due to external effects such as track maintenance and train conditions. It was revealed as results that the median of deflection ranges, which is the median of 16 deflection ranges caused by every cars of a Shinkansen train, was better than the deflection range of a train, which is difference between maximum and minimum deflections during a train passage, because of robustness against noises, and that the deflections were effected by the train speed, the track conditions, etc. Thus, it was found that daily deflection change due to such reasons should be considered when the threshold of deflection for maintenance of the girder bridges is decided.