

論文

道路橋床版の衝撃荷重載荷による追跡試験

谷山智彦*, 山田浩嗣**, 横山広***, 湯野和樹****, 粟橋祐介*****

*金沢大学, 自然科学研究科地球社会基盤学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

**大日本ダイヤコンサルタント, インフラ技術研究所 (〒102-0075 東京都千代田区三番町 6-3)

***博(工), 大日本ダイヤコンサルタント, インフラ技術研究所
(〒102-0075 東京都千代田区三番町 6-3)

**** 富山市, 建設部道路構造保全対策課 (〒930-8510 富山県富山市新桜町 7 番 38 号)

*****博(工), 金沢大学教授, 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

本研究では, 自走式衝撃加振装置 (SIVE) を用いて 2020 年度に実施した実橋コンクリート床版での現地実験に対し, 同条件で追跡調査を行い, 衝撃荷重による床版のたわみ分布を 2020 年度と本年度 (2024 年度) で比較することで, 対象橋梁における劣化の進展を検証した. 結果, 概ね多くのパネルでは劣化の進展は確認されなかったものの, 一部のパネルでは 2020 年度の実験結果よりも大きなたわみ量が確認された. 検討を経て, 舗装と床版の間に隙間が生じている可能性があることから詳細調査を提案した.

キーワード: 衝撃加振, 床版, 動的たわみ, 追跡調査

1. はじめに

日本の橋梁の多くは高度経済成長期に一斉に建設され, 近年その老朽化が深刻な問題となっている. 一般的に橋梁の耐用年数は 50 年程度といわれているが¹⁾, 国土交通省の取りまとめによると, 2019 年時点では 34% の橋梁が建設後 50 年を経過しており, 2029 年には半数を超える 52% に達すると予想されている. 一方, 道路橋定期点検要領では, 5 年に 1 度の頻度で, 全橋梁に対し知識及び技能を有する者が近接目視点検を行うことが規定されている. しかし, 全国の道路橋梁数約 72 万橋に対し, 7 割以上の約 51 万橋は市町村が管理しており, 特に地方の市町村では土木技術者の確保が困難な状況である. 2022 年時点では橋梁管理に携わる土木技術者が存在しない市区町村は, 全体のうち市区で 5%・町で 22%・村で 56% と数多く存在することが報告されている.

近年では, 人員や費用を要する目視点検に代わるような道路橋床版の耐荷性能を評価する試験として, 衝撃荷重を活用した手法が用いられている. 衝撃荷重を活用した試験では, 目視点検と比較し, 測定機器等の扱い方を身につければ橋梁点検に精通した土木技術者以外でも点検が遂行できる点, 客観的かつ定量的に劣化の進行を判断することができる点に利点がある. 本研究グループでは, 250kg の重錘を 100~300mm 程度の高さから落下させる自走式衝撃加振装置 (Self-propelled Impact Vibration Equipment, SIVE) を開発し, 近年その

現場適用事例も増加している. SIVE は, 図-1 に示すように, 電動式フォークリフトを用いて床版上を自走可能であり, 数多くの測定点において移動・位置合わせ・重錘落下などのプロセスを素早く実行することができる. また, コンクリート床版のたわみは, 床版上面の加速度波形を計測し, 2 階の時間積分により算出することとし, 効率的かつ簡易的に計測を行うことに主眼を置いている.

本研究では, SIVE を用いて 2020 年度に実施した実橋コンクリート床版での現地実験²⁾に対し, 同条件で追跡調査を行い, 衝撃荷重による床版のたわみ分布を 2020 年度と本年度 (2024 年度) で比較することで, 対象橋梁の劣化の進展を検証した. また, 2020 年度の実験結果よりも大きなたわみが発生したパネルに関しては, 劣化の進行が懸念されるため, たわみ増加の原因について検討した.

2. 自走式衝撃加振装置 (SIVE) の概要

2.1 SIVE について

本研究グループが開発した SIVE とは, 質量 250 kg の重錘を 100~300mm 程度の高さから落下させる自走式衝撃加振装置である. 図-1 に示すように SIVE はフォークリフト車と衝撃加振装置から構成されており, フォークリフト車の車載バッテリーにより衝撃加振装置を稼働させることができる. また図-2 に示すように, 衝撃加振装置は, 重錘・緩衝装置・ロードセル・載荷版から構成されており, 落下させる重錘の質量・落下高さ・緩衝ゴムの種

類・配置を変えることにより、様々な時刻歴の衝撃荷重を作成することが可能である。たわみ量は加速度計により測定した加速度波形を2階積分することで算出し、これをもとに劣化状況の評価を行う。なお既往の研究²⁾にて、たわみの算出方法の妥当性は確認済みである。

2.2 載荷方法

衝撃加振装置は、ホイストを用いて電磁石に付着した重錐を所定の高さまで上げ、電磁石から重錐を切り離すことにより、写真-1に示す緩衝装置に重錐を衝突させる機構となっている。発生した衝撃荷重はロードセル、載荷版を介して路面へ伝わる。緩衝ゴムの種類および配置は既往の研究³⁾をもとに決定している。

各点の衝撃荷重は、写真-2に示す通り3つの円形載荷版を介してコンクリート床版に作用させた。円形載荷版が1つのみであった従来の載荷方法では、重錐落下時に載荷点部のアスファルト舗装がへこみ、変形するため、載荷版に取り付けた加速度計出力からの床版たわみの評価が困難であった。また、舗装の影響を排除するための補正も不確実性をはらんでいた。そこで、写真-2に示す通り、加速度計を3つの円形載荷版の中央部に設置し、衝撃荷重を3つの円形載荷版を介して作用させることにより、重錐落下位置のアスファルト舗装の変形を抑えつつ、コンクリート床版をたわませることが可能となった。なお既往研究³⁾にて実施した室内試験では、3つの円形載荷版を介してコンクリート床版に衝撃荷重を作成した場合、実測変位と加速度計出力からの応答変位が概ね一致した結果を示すことが確認済みである。

2.3 測定方法と変位算出方法

衝撃荷重波形は測定容量500kNのセンターホール型ロードセル（KCE-500KNA、東京測器研究所）を用いて測定した。また、コンクリート床版のたわみ量は測定容量200m/s²のひずみゲージ式加速度計（ARJ-200A、東京測器研究所）にて測定した加速度波形を2階の時間積分することで算出した。この際、加速度波形の積分範囲は衝撃荷重の継続時間（30msec程度）とした。なお、加速度計は皿型の金属板に固定して舗装上に設置し、その上に砂を敷き詰めた袋を置くことで浮き上がりを防止した。これらの出力データは、データロガー（NR-500、キーエンス）にてサンプリング周期0.1msecで一括収録した。

3. 実橋コンクリート床版による現地実験

3.1 対象橋梁

本研究において検討対象とした橋梁（写真-3、図-3）は、昭和40年に架設された3径間鋼単純

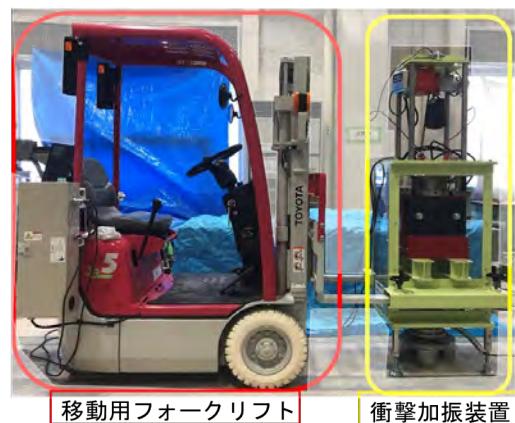


図-1 自走式衝撃加振装置 (SIVE)

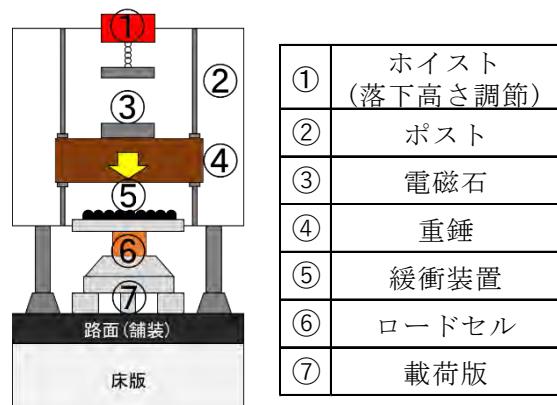


図-2 衝撃加振装置本体



写真-1 緩衝装置

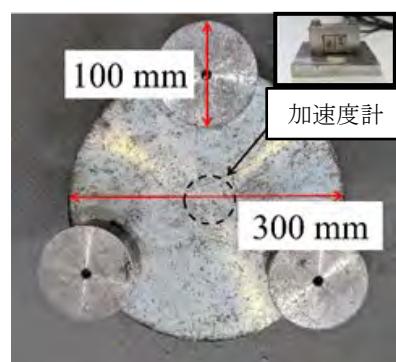


写真-2 載荷版底面の状況



写真-3 対象橋梁（左：全景、右：橋梁線形）

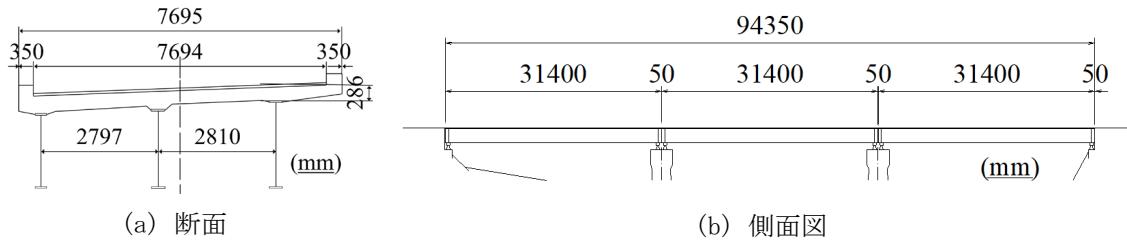


図-3 対象橋梁図面

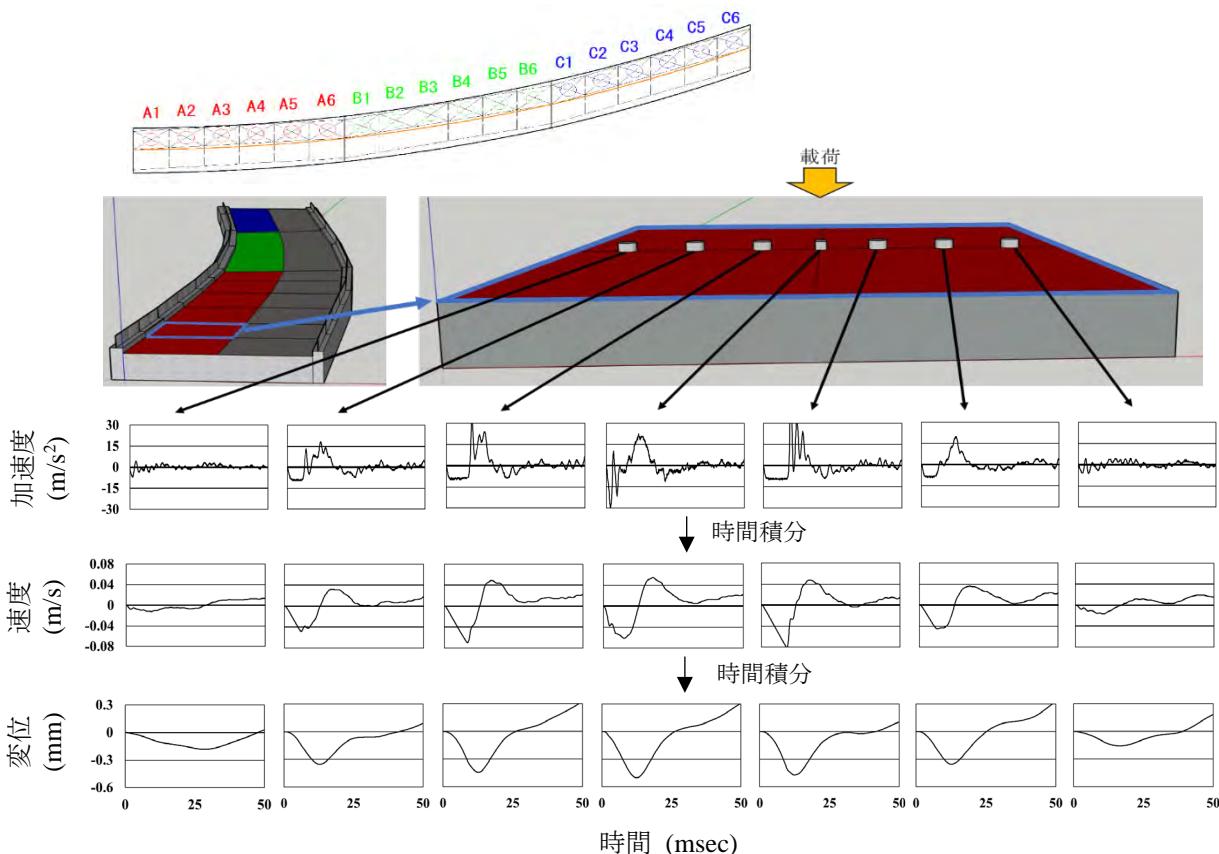


図-4 現地実験における計測・データ整理の手順

合成鋼桁橋であり、路線の線形に対応した曲線橋である。大型車交通量は地域の道路の中では多い方であり、活荷重の作用が厳しい橋である。定期点検では、主桁の減肉を伴う腐食、舗装のひび割れ、床版では遊離石灰を伴う格子状のひび割れが確認されており、耐荷性・耐久性の低下が懸念されている。本橋梁はこれまでに修復工事が行われてきており、2径間目（後述のB径間）の床版は鋼板接着

補強が実施されていた。

3.2 実験方法

現地実験における計測・データ整理の手順を図-4に示す。本実験では、下流側の走行車線のみを実験対象とし、赤：A径間、緑：B径間、青：C径間と区別した。さらに、床版の主桁、横桁に囲まれた範囲を1区画とし、各径間は6つの区画に等分

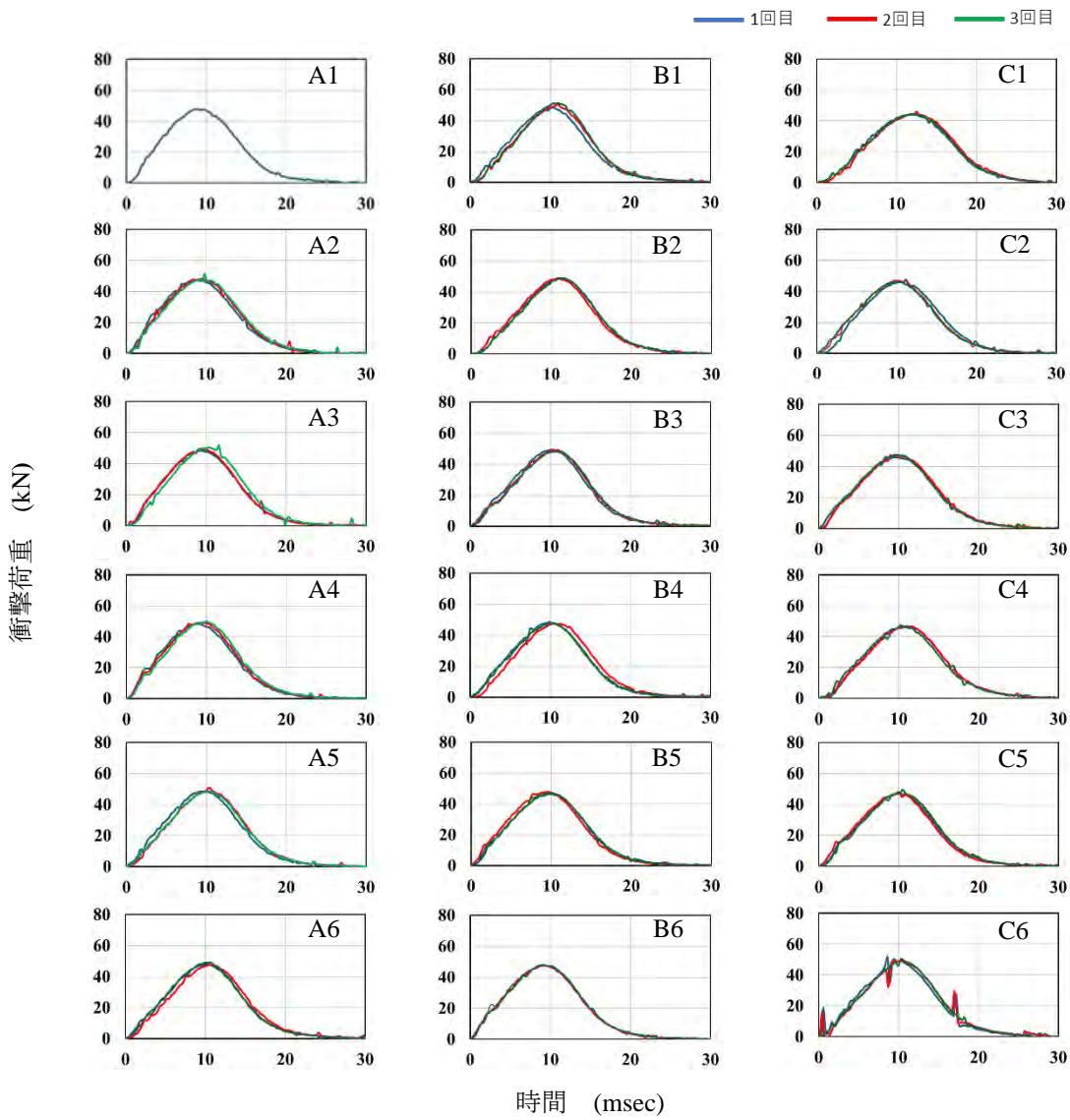


図-5 載荷点位置の衝撃荷重波形

し、各区画に1~6の連番を付けた。すなわち、A1~A6, B1~B6, C1~C6、計18の区画を設定した。重錐の載荷位置は各区画の中心とし、重錐質量250kg、落下高さ15cmで3回ずつ衝撃加振試験を実施した。加速度計は載荷点の加速度計を中心両左右3個ずつ設置し、各パネルの最大中央部変位発生時における幅員方向のたわみを計測することにより、たわみ形状から劣化状況を考察した。加速度計の位置を明確にするため、図-4に示した中心の加速度計の位置を0mm地点とし、右側に350, 700, 1400mm地点、左側に-350, -700, -1400mm地点とした。なお、両側の-1400mmおよび1400mm地点の加速度計は橋桁上に位置している。また、本実験では、通過車両による振動が実験結果に大きく影響するため、計測時は車両の往来を停止し、車両振動の影響を排除した上で重錐を落下させた。

本実験は4月末に実施し、周辺の観測地点の気温は14~15°C、天気は曇りであった。前回実験時

(2020年度10月)も周辺の観測地点の気温はほぼ同様であった。

3.3 実験結果

(1) 衝撃荷重波形の性状

図-5には、載荷点位置における衝撃荷重波形を示している。衝撃荷重波形は、ピーク値に向けて荷重が単調増加に切り替わる時刻を載荷開始時刻(0msec)としている。なおA1のみ測定不良のため、3回分のデータが表示されていない。図より、いずれの衝撃荷重波形も継続時間は約30msec、最大荷重到達時間が約10msecと近い波形形状を示すことが確認できる。最大衝撃荷重はいずれのパネルにおいても50kN前後となり、ばらつきは存在するものの、小さな範囲内に留まっていた。またC6では波形にノイズが生じているが、測定点付近の高欄外側には河川水位測定のための電波式水位計が設置されていたため、その影響によるものと推察している。

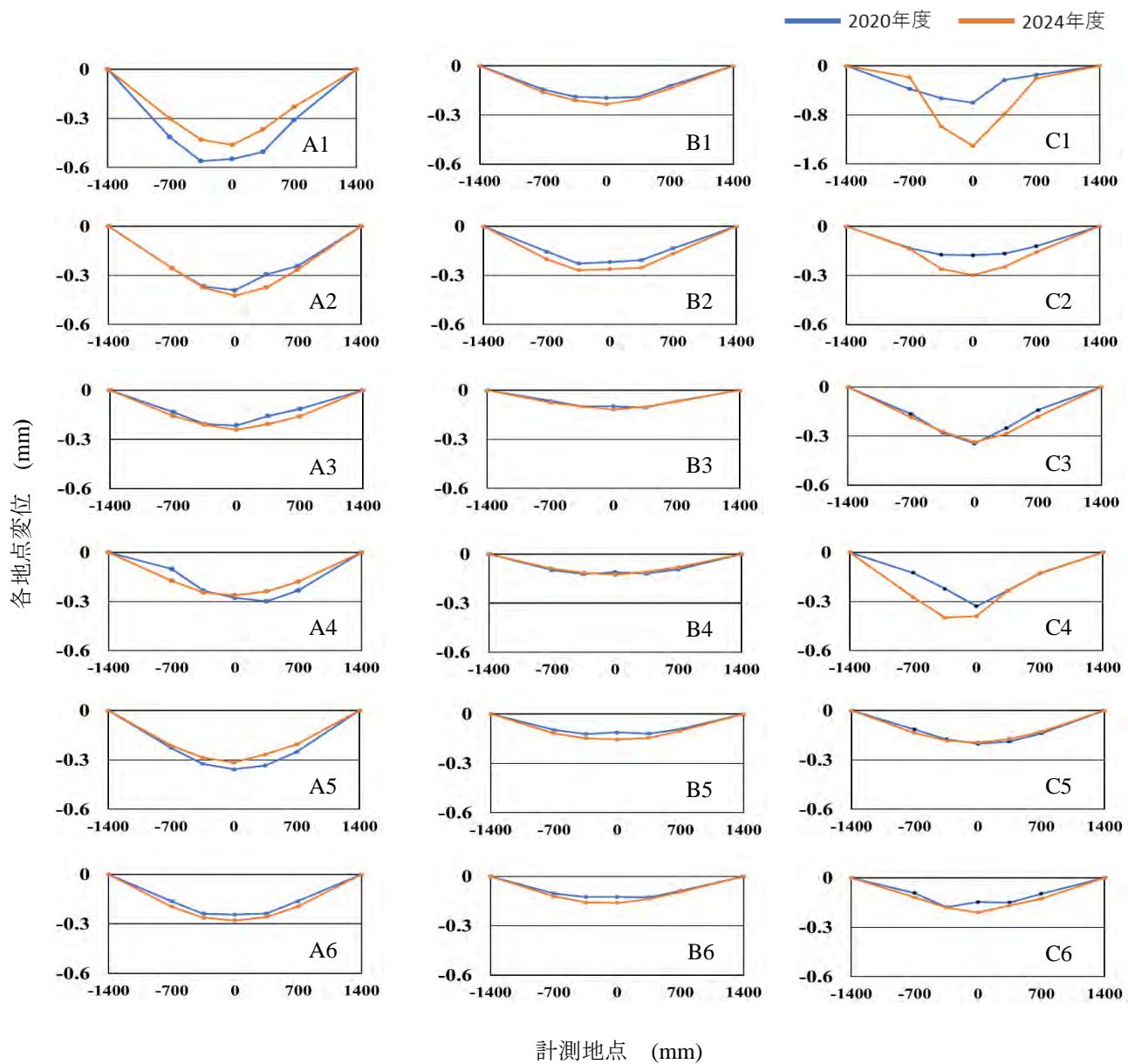


図-6 各パネルの幅員方向たわみ分布

(2) 床版上面のたわみ分布性状

図-6には、各パネルの最大中央部変位発生における幅員方向たわみ分布を示している。図では、各パネルの最大変位を0.6mmとして縦軸を取っているが、C1のみ最大変位が大きな値を示したため、最大変位を1.6mmとして縦軸を取っている。また、各点の変位は以下のように補正した。1)衝撃荷重50kNで正規化し、2)各点3回の結果を平均した後、3)主桁部(載荷点より±1,400mm位置)の変位を除去するため、変位分布をドリフト補正した。1)に関して、本学ではこれまでにSIVEを用いた実橋梁への衝撃加振試験を多数行っているが、いずれの橋梁においても落下高さ150mmで重錐を落下しており、載荷荷重は50kN程度であったため、既往実験との比較および統一データの蓄積を目的に式(1)を用いて50kNの正規化を行った。

$$\text{各点の変位} = \frac{50kN}{\text{荷重平均(3回)} kN} \times \text{変位波形のピーク値} \quad (1)$$

なお、既往研究⁴⁾にて、正規化による影響の差異が小さいことは確認済みであり、特に本実験ではいずれのパネルにおいても最大衝撃荷重が50kNに近い値を取り、ばらつきが小さかったことから、正規化によって実荷重と大きく異なる荷重がかかるることは無いと考えている。

図より、A・C径間の一部パネルを除き、2020年度と2024年度の幅員方向たわみ分布は概ね一致した結果を示すことが分かる。加えて両年度のたわみ量の差は、いずれのパネルにおいても0.1mm以内と近い値に収まっており、4年間で劣化に大きな進展が無いことが確認された。



写真-4 C1 パネル裏面の状況 (左 : 2020 年度 右 : 2024 年度)

また、2020 年度と 2024 年度で異なるたわみ分布形状を示した一部パネル (A1・C1・C2・C4) では、A1 を除き、2020 年度よりも 2024 年度の方が大きなたわみを取ることから、4 年の間に床版の劣化が進行したことが推察される。特に C1 では、2020 年度の計測結果と比較して 2 倍を超える最大変位が測定されたが、これは他パネルと比較して変位の増大が極端であるうえ、写真-4 に示す通り、床版コンクリート裏面の状況からも顕著な劣化は見られなかつたことから、舗装と床版の間に隙間が生じており、床版ではなく舗装に衝撃が作用したことが要因ではないかと推察している。この点に関しては現地の再調査含め、今後の検討課題とする。

一方、A 径間の一部パネルでは 2024 年度よりも 2020 年度の方が大きなたわみが生じており、これは先述した傾向に反する結果である。特に A1 では両年度の計測結果が 0.1mm 以上離れており、測定上の誤差とも考えにくいため、要因として内部ひび割れの状態変化を想定しているが、こちらも今後検討を進める予定である。

4. まとめ

本研究では、合成鋼桁橋コンクリート床版にて 2020 年度に実施した、自走式衝撃加振装置(SIVE)を用いた試験と同条件で追跡調査を実施し、衝撃荷重を加えた際の床版のたわみ分布が 2020 年度と 2024 年度で対応するかを評価した。本研究により得られた知見は以下の通りである。

- 1) 衝撃荷重を加えた際の床版のたわみ分布を、2020 年度と 2024 年度で比較したところ、一部パネルを除いておおよそ近い分布形状となることが分かった。これより、概ね多くのパネルでは劣化の進展がないことを確認することができた。
- 2) 2020 年度と 2024 年度の床版のたわみ分布を比較した結果、C 径間の一部パネルでは 2020

年度の計測結果よりも大きな変位が発生することが判明した。特に C1 パネルの中央部では、2020 年度の 2 倍以上の変位が発生したが、床版裏面の状況からは顕著な劣化の進行は見られなかった。従って、舗装と床版の間に隙間が生じている可能性があり、今後調査・対策を講じる必要がある。

謝辞

実橋コンクリート床版に関する現地実験は、富山市と金沢大学との「橋梁等の維持管理技術に関する研究協力協定」により実施されたものであります。対象橋梁は調査点検フィールドとして、富山市よりご提供頂きました。また、当研究を進めるに際し、金沢大学構造工学研究室の卒業生と学生諸氏、大日本ダイヤコンサルタントの横山広氏にご協力を頂きました。本研究は公益財団法人 JKA の助成を受けました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松井繁之 : 道路橋床版の長寿命化技術, 森北出版, 2016.
- 2) 山口啓, 栗橋祐介, 棚谷浩, 横山広, 黒崎智治 : 衝撃加振による合成鋼桁橋コンクリート床版のたわみ分布評価に関する研究, 構造工学論文集 Vol.68A, pp.782-792, 2022.
- 3) Nga Thu NGUYEN, Hiroshi MASUYA, Chen XU, Hiromitsu KA II , Takafumi YAMAGUCHI and Hiroshi YOKOYAMA : SELF-PROPELLED IMPACT VIBRATION EQUIPMENTFOR THE UTILIZATION OF INSPECTION OF BRIDGE DECK, 第九回道路橋床版シンポジウム論文報告集 土木学会, pp.89-92, 2016.
- 4) 山口恭平, 早坂洋平, 曽田信雄, 大西弘志 : FWD を用いた既設 RC 床版の健全度評価手法に関する一提案, 構造工学論文集 Vol.61A, pp.1062-1072, 2015.

(2024 年 7 月 12 日受付)