

論文

砂利化した RC 床版上で FWD により測定されるたわみについて

赤松宏紀*, 多田悟士*, 永橋岳大**, 横田賢心**, 東山浩士***, 小河浩幸****

* 東亜道路工業株式会社, 技術本部技術研究所 (〒300-2622 つくば市要 315-126)

** 近畿大学, 理工学部社会環境工学科 (研究当時) (〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1)

*** 博 (工), 近畿大学, 理工学部社会環境工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1)

**** 東亜道路工業株式会社, 関西支社技術部 (〒550-0011 大阪市西区阿波座 1-13-13)

著者らは, FWD (Falling Weight Deflectometer) を用いた道路橋 RC 床版のたわみ測定から, その健全度評価手法を提案, 検証してきた. これまでの検討では, 自動車荷重の繰返し作用によりひび割れが発生し, 全体的に剛性が低下した RC 床版を対象としてきた. 一方, RC 床版上面における雨水の滞留, 自動車荷重の繰返し作用, 凍害などにより, RC 床版上部のコンクリートが砂利化していることがある. また, 舗装表面からでは砂利化の有無やその範囲を判断できないこともある. 本研究では, RC 床版の砂利化が FWD により測定されるたわみにどのような影響を及ぼすのかについて, 模擬 RC 床版を用いた実験から検討した. その結果, 載荷板が砂利化範囲内, あるいは, 載荷板の一部がその範囲内にある場合, 砂利化の影響がたわみ分布に現れることを示した.

キーワード: 道路橋 RC 床版, FWD, 砂利化, たわみ分布

1. はじめに

著者らは, これまで FWD を用いた道路橋 RC 床版の健全度評価手法について検討を重ねてきた^{1)~4)}. これらの検討では, 自動車荷重の繰返し作用によりコンクリートにひび割れが発生し, 全体的に剛性が低下した RC 床版を対象としている. 一般に FWD 試験では, 床版パネル中央点に重錐を落下させ, 橋軸直角方向および橋軸方向に設置したセンサーによりたわみを測定する. RC 床版の健全度評価をより詳細に行う場合には, 床版パネル中央点だけではなく, 載荷点の間隔を短くし, 多くのたわみデータを取得することで判定することもできる³⁾.

一方, アスファルト舗装内部を浸透してきた雨水が RC 床版上面に滞留し, 床版防水工が施されていない場合には, 自動車荷重の繰返し作用や凍害などにより, RC 床版上部のコンクリートが砂利化 (土砂化とも言う) する現象が生じている⁵⁾. アスファルト舗装の損傷が進行している場合には, 砂利化に伴うコンクリートの微粉末が舗装表面に噴出することもあるが, 舗装表面に変状が無い場合には砂利化の有無やその範囲を目視により判断することは難しいといえる. もちろん, FWD 試験の実施前に適切な非破壊調査法により RC 床版上部の状態を把握しておけばよいが, FWD により測定したたわみに砂利化の影響が含まれる可能性があることから, 全体的に剛性が

低下した RC 床版のたわみ分布との違いを把握し, 今後の健全度評価に向けたデータとして蓄積しておく必要があると考えた.

そこで本研究では, 砂利化した RC 床版のたわみを FWD により測定した際にその影響がたわみ分布にどの程度の影響を及ぼすのかについて, 模擬 RC 床版を用いた実験的検討を行った.

2. 試験概要

2.1 模擬 RC 床版

模擬 RC 床版は写真-1 に示す長さ 2200 mm, 幅 2300 mm, 厚さ 180 mm の 2 体 (床版 A および床版 B) である. 使用鉄筋および配置は, 表-1 に示すように, 主鉄筋に D16 (SD345), 配力鉄筋に D13 (SD345) をそれぞれ下側は 125 mm, 上側は 250 mm 間隔とした. 主鉄筋のかぶりは 30 mm である. コンクリートは 2020 年 11 月 13 日に打設しており, 圧縮強度は打設後 9 ヶ月で 35.9 N/mm², 1 年 9 ヶ月で 40.1 N/mm² であった. これら 2 体の RC 床版は独立した鋼製主桁 (主桁間隔 2000 mm) 上に M24 ボルトを用いて固定してある. 詳細は文献 4) を参照されたい.

床版上部の砂利化を模擬するため, 図-1 に示すように, 床版 A では床版中央, 床版 B では床版中央から 500

表-1 鉄筋配置

鉄筋	上段	下段
主鉄筋	D16@250 mm	D16@125 mm
配力鉄筋	D13@250 mm	D13@125 mm

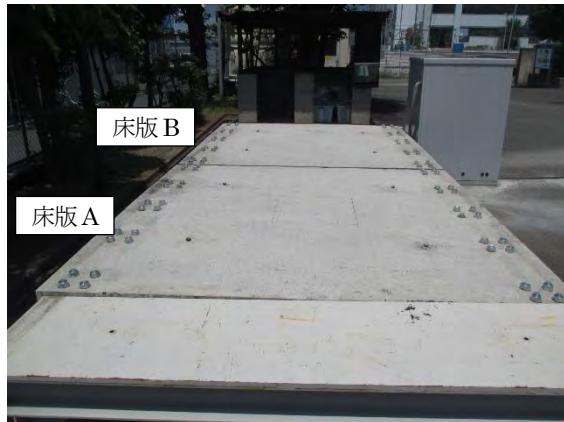
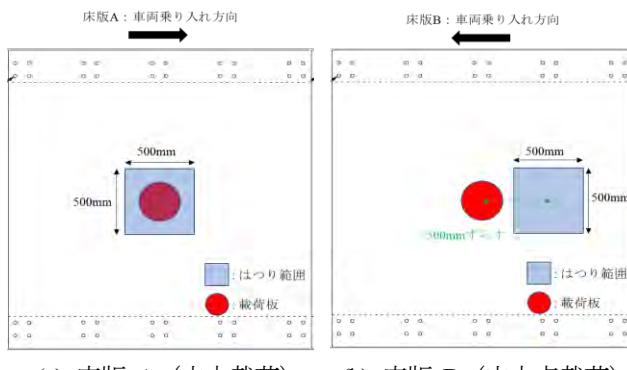
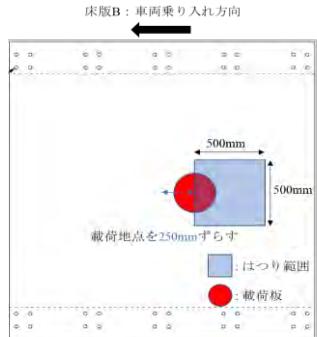


写真-1 模擬RC床版



(a) 床版 A (中央載荷) (b) 床版 B (中央点載荷)



(c) 床版 B (-250 mm 載荷)

図-1 載荷位置および砂利化範囲

mm離れた位置に500mm四方のカッター目地を設け、その範囲を上段鉄筋が露出するまではつり取った。次に、はつり取ったコンクリート殻を粗骨材寸法(20mm)程度まで砕き、再度、砂利化範囲に埋め戻し、転圧を行った(写真-2)。その後、砂利化範囲を除く床版上面にアスファルト乳剤を噴霧し(写真-3)、密粒度アスファル



写真-2 砂利化の模擬状況



写真-3 アスファルト乳剤の散布状況



写真-4 アスファルト混合物の舗設状況

ト混合物(ストレートアスファルト60/80、最大粒径13mm)を舗設した(写真-4)。アスファルト混合物の厚さは70mmである。なお、床版防水層は設けていない。さらに、アスファルト混合物の温度を測定するため、アスファルト混合物の表面から5mm深さの位置およびアスファルト混合物と床版との界面に熱電対を設置した。

2.2 FWD試験

FWD試験は、アスファルト混合物の温度依存性を考慮して、夏季(2023年8月3日)、秋季(2023年11月17日)、冬季(2024年2月16日)に実施した(写真-5)。載荷位置は、図-1に示すように、床版Aでは砂利化範囲の中央点、すなわち、床版中央点に載荷し、床版Bでは砂利化範囲の中央点から500mm離れた床版中央点、



写真-5 FWD 試験状況

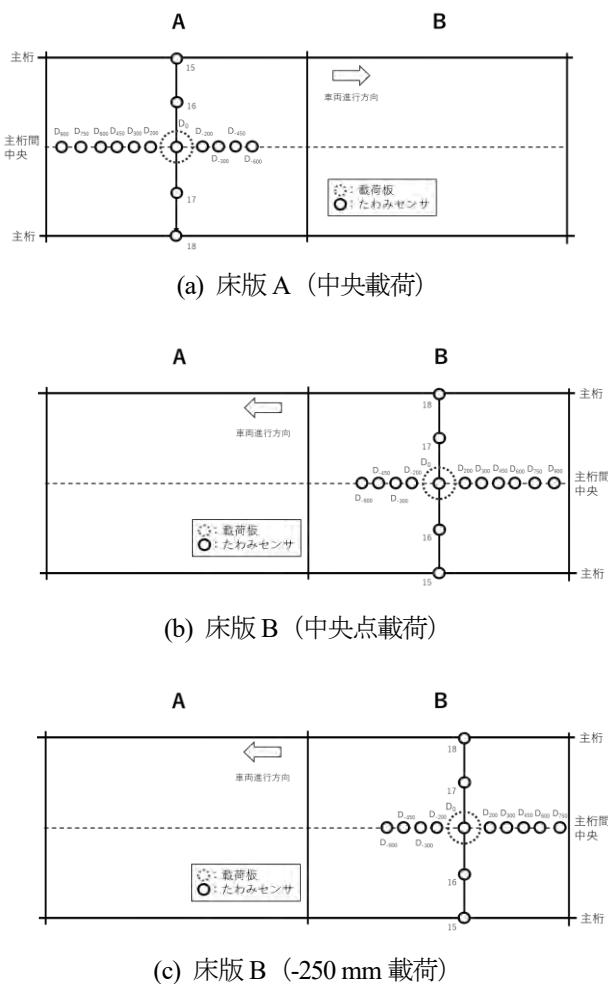


図-2 たわみセンサー設置位置

および載荷板中央点が砂利化範囲端に位置する点とした。載荷板は直径 300 mm の円形状であり、目標荷重は 49 kN および 75 kN とした。いずれの載荷においても 1 回目は予備載荷とし、その後の 5 回載荷の平均値を測定データとした。なお、測定荷重の分散はいずれの箇所においても 0.8 未満であった。たわみセンサーの設置位置を図-2 に示す。データのサンプリング速度は 4000 Hz である。

本研究では、過去に砂利化を模擬していない状態の厚

さ 70 mm のアスファルト混合物を有する床版 B において FWD 試験を実施 (2022 年 7 月 26 日)⁴⁾ しており (ここでは、床版 C と称す)、そのたわみ分布と比較することにより、砂利化がたわみに及ぼす影響を比較する。床版 C では、床版中央点に載荷している。なお、以降の試験結果についての考察においては、主桁たわみの影響を排除し、床版自体のたわみを得るため、各測点のたわみから主桁直上のたわみをキャンセルした橋軸方向のたわみ分布について検討する。橋軸方向たわみに着目した理由は、たわみセンサーの間隔が橋軸直角方向に比べて密であり、砂利化範囲上に複数のたわみセンサーが設置されることから、たわみ分布に及ぼす砂利化の影響を把握しやすいと判断したためである。

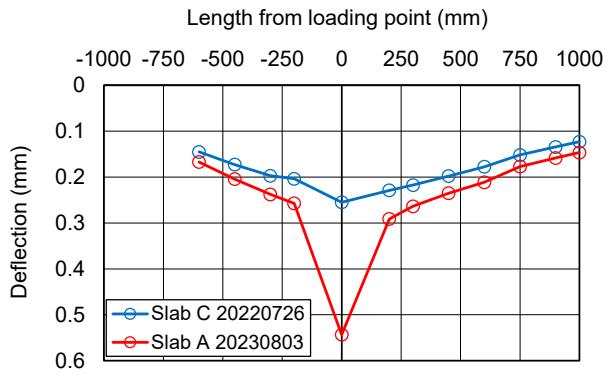
3. 試験結果および考察

3.1 夏季試験のたわみ分布比較

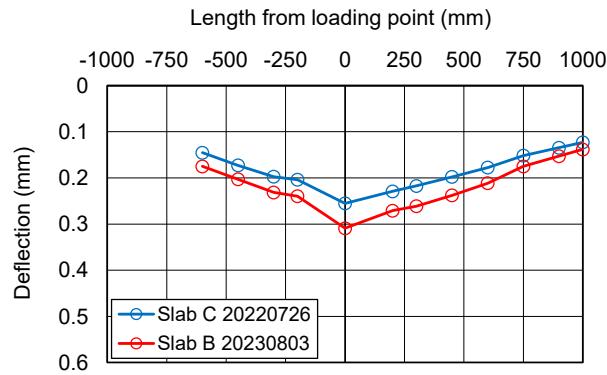
2023 年 8 月 3 日に実施した砂利化を模擬した床版 A および床版 B の試験時間内のアスファルト混合物の平均温度はそれぞれ 37.7 °C, 38.8 °C であった。また、2022 年 7 月 26 日に実施した砂利化を模擬していない床版 C の試験時間内のアスファルト混合物の平均温度は 36.9 °C であり、両試験における試験体の温度条件はほぼ同一であったといえる。図-3 に荷重 75 kN 時における橋軸方向のたわみ分布を示す。図中には床版 C のたわみ分布も記載している。また、載荷点たわみ D_0 を基準として表したたわみ分布を図-4 に示す。

図-3(b)は 2022 年 7 月 26 日に実施した床版 C と 2023 年 8 月 3 日に実施した床版 B との比較を示している。両者の実施時期は異なるが、砂利化の有無の違いを比較することができる。たわみ分布は全体として床版 B の方が床版 C より大きい値となっている。部分的に設けた寸法 500 × 500 mm の砂利化範囲から考えると、たわみ分布全体に砂利化の影響が生じているとは考えられない。そこで、載荷点たわみ D_0 を基準化した図-4(b)のたわみ分布を比較すると、両者のたわみ分布はよく一致している。このことから、図-3(b)におけるたわみ値の相違はアスファルト混合物厚さの施工誤差による個体差であると考えられる。以上を踏まえると、載荷板が砂利化範囲に重なっておらず、部分的に生じている砂利化に対しては、たわみ分布に相違が見られないことから、健全度評価には反映できず、砂利化の有無を判断することが難しい。

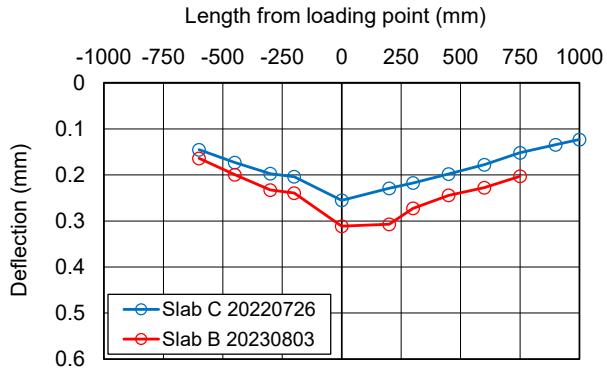
図-3(a)および図-4(a)は、床版中央に設けた砂利化直上に載荷した床版 A と床版 C との比較を示している。床版 A の載荷点たわみ D_0 は顕著に大きな値を呈しており、砂利化の影響を捉えている。図-3(a)からわかるように、砂利化が生じていない床版 C のたわみ分布はほぼ線形になっている。実橋 RC 床版の FWD 試験においても同様の傾向にある測定結果が得られている⁶⁾。このことから、測定されたたわみ分布において、載荷板近傍のたわみが



(a) 床版 A (中央載荷)



(b) 床版 B (中央載荷)

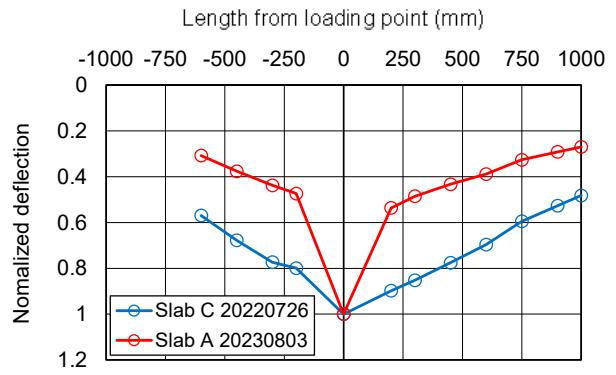


(c) 床版 B (-250 mm 載荷)

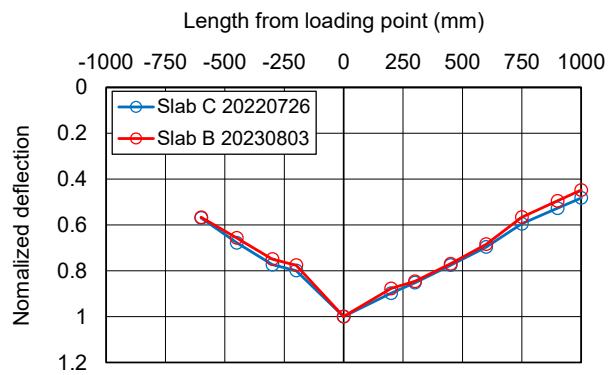
図-3 橋軸方向のたわみ分布 (75 kN 時)

極端に大きい場合は砂利化の影響があることを疑うのがよいといえる。

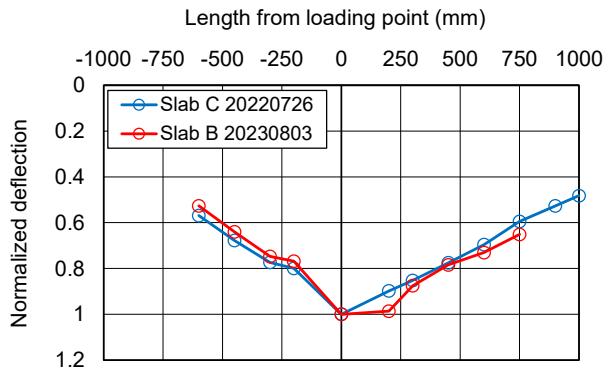
図-3(c)および図-4(c)は、載荷板の半分が砂利化範囲に重なっている場合の比較を示している。両図から、床版 B の載荷点たわみ D_0 と 200 mm 離れた点のたわみ D_{200} はほぼ同値を示しており、床版 C と異なる分布が載荷板近傍に生じていることがわかる。図-4(c)を見ると、床版 B のその他の測点たわみは床版 C と同程度であることから、砂利化の発生程度によっては判断が難しいかもしれないが、載荷板周辺のたわみ分布が線形関係から乖離した際には砂利化の影響を疑うのがよいといえる。



(a) 床版 A (中央載荷)



(b) 床版 B (中央載荷)

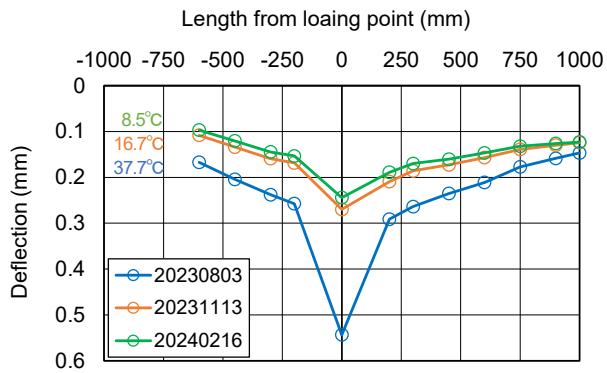


(c) 床版 B (-250 mm 載荷)

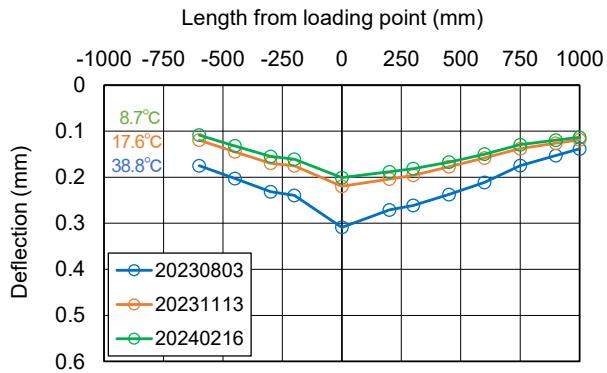
図-4 基準化した橋軸方向のたわみ分布 (75 kN 時)

3.2 季節毎のたわみ分布比較

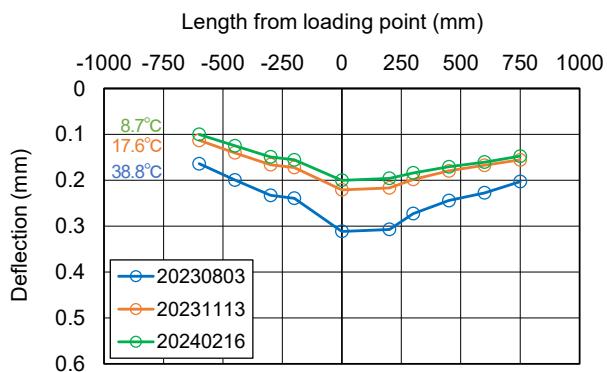
アスファルト混合物の挙動は温度依存性を有することから、床版の変形挙動を調べる上ではこの影響を無視できない。そこで、3.1 に述べた 2023 年 8 月 3 日に実施した FWD 試験の結果と、2023 年 11 月 17 日および 2024 年 2 月 16 日に実施したアスファルト混合物の内部温度が異なる状態でのたわみ分布を比較する。なお、2023 年 11 月 17 日に実施した砂利化を模擬した床版 A および床版 B の試験時間内のアスファルト混合物の平均温度はそれぞれ 16.7 °C, 17.6 °C であった。また、2024 年 2 月 16 日に実施した砂利化を模擬した床版 A および床版 B の試験



(a) 床版 A (中央載荷)



(b) 床版 B (中央載荷)

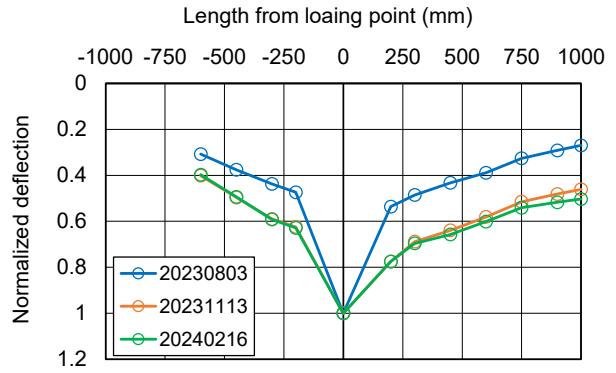


(c) 床版 B (-250 mm 載荷)

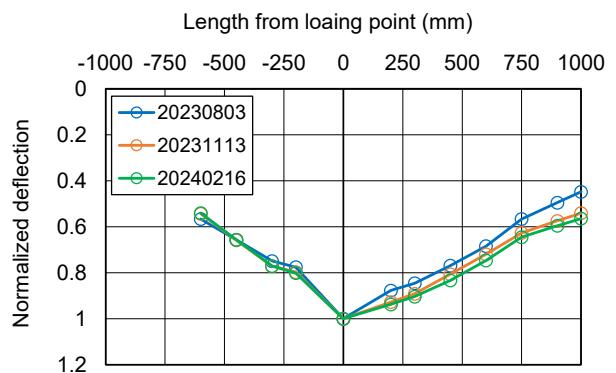
図-5 橋軸方向のたわみ分布 (75 kN 時)

時間内のアスファルト混合物の平均温度はそれぞれ 8.5°C , 8.7°C であった。図-5 に荷重 75 kN 時における各実施時期の橋軸方向のたわみ分布を示す。また、載荷点たわみ D_0 を基準として表したたわみ分布を図-6 に示す。

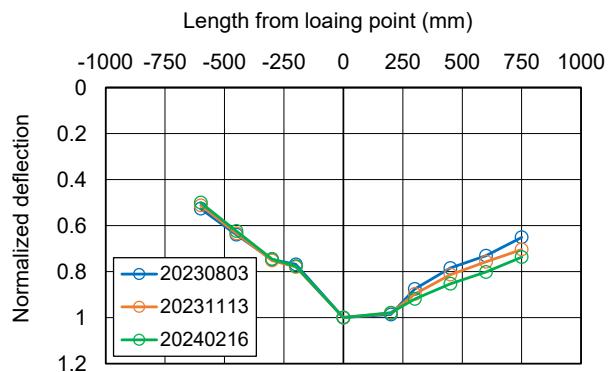
図-5 および図-6 から、各載荷方法におけるたわみは実施時期に応じて変動しており、アスファルト混合物の温度依存性の影響が見られる。また、たわみ分布は実施時期に依らず、ほぼ同様の形状を示しているが、図-5(a) および図-6(a) に示した床版 A (中央載荷) における載荷点たわみ D_0 はアスファルト混合物の温度依存性の影響



(a) 床版 A (中央載荷)



(b) 床版 B (中央載荷)



(c) 床版 B (-250 mm 載荷)

図-6 基準化した橋軸方向のたわみ分布 (75 kN 時)

が大きいといえる。

以上の結果から、載荷板が砂利化範囲内、あるいは、その一部が砂利化範囲内にあれば、通常と異なるたわみ分布形状が測定されることから、実施時期に拘わらずに砂利化の影響を判断できると考えられる。一方、載荷板が砂利化範囲から離れていると、実施時期に関係なく、砂利化の有無を判断するのは難しい。

3.3 たわみ波形の比較

図-7 は夏季試験 (2022 年 7 月 26 日および 2023 年 8 月 3 日) における各床版のたわみ波形 (75 kN 載荷時) の

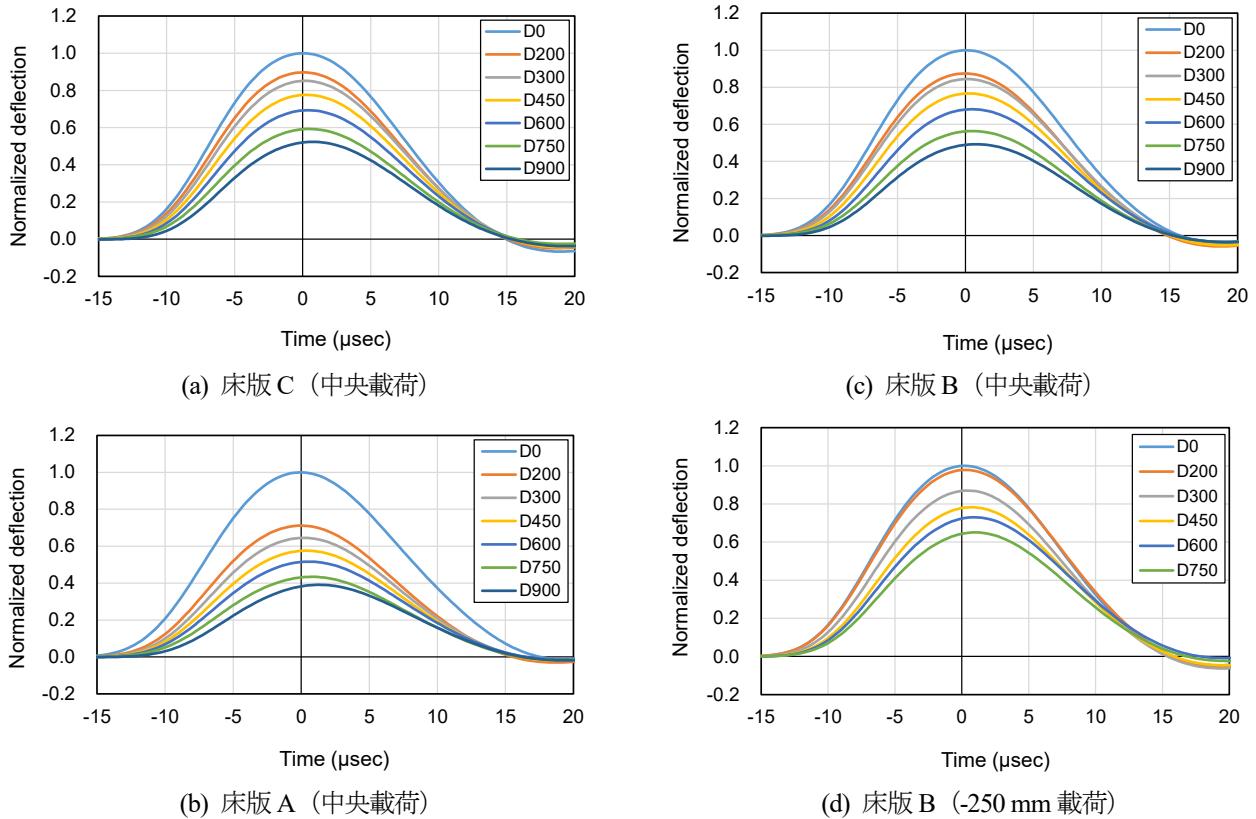


図-7 たわみ波形の比較

一例を比較した結果である。各測点たわみは載荷点たわみ D0 の最大値で無次元化している。図-7(a)および図-7(c)から、砂利化の無い床版 C と砂利化範囲から離れた位置に載荷した床版 B のたわみ波形はほぼ同じであることから、たわみ波形からも砂利化の有無を判断することはできない。一方、図-7(b)の床版 A では、D₀たわみの増大に遅れて他のたわみが増大し、さらに、D₀たわみの減衰が他のたわみより遅い傾向にある。図-7(d)の床版 B では、床版 A の各測点たわみが 15μsec 付近で基準化した各測点たわみがゼロに収束しているのに対して、それよりも速い 12 μsec 付近で収束しているといった相違が見られる。ただし、実橋での FWD 試験を含め、さらなる調査・分析が今後も必要である。

4まとめ

本研究では、砂利化が生じている RC 床版上での FWD 試験の実施における測定たわみへの影響について、模擬 RC 床版を用いた測定結果を基に比較・検討を行った。その結果、載荷板、あるいは、その一部が砂利化範囲内にある場合には、通常と異なるたわみ分布やたわみ波形が測定された。これらの結果からは、FWD 試験時の測定データに対する留意点を示唆できたといえる。しかし、載荷板が砂利化範囲から離れた場合はその影響を判断することが難しい。

参考文献

- 1) Higashiyama, H., Mashito, H., Tsukamoto, M., Abe, N., Sekiguchi, M. and Nagami, T.: Study on soundness evaluation of bridge slabs by falling weight deflectometer, International Journal of GEOMATE, Vol.15, Issue 51, pp.106-112, 2018.
- 2) 東山浩士, 塚本真也, 増戸洋幸: FWD を用いた床版の健全度判定方法に関する一提案, 第 11 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.35-40, 2020.
- 3) 赤松宏紀, 塚本真也, 東山浩士, 小柴正行: FWD による道路橋床版のたわみ測定の拡張について, 第 22 回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集, Vol. 22, pp. 47-52, 2022.
- 4) Higashiyama, H., Akamatsu, H., Tsukamoto, M. and Ogawa, H.: Verification of a correction method for deflection of bridge RC slabs measured with falling weight deflectometer, Journal of JSCE, Division E, Vol. 11, Issue 1, 22-00296, 2023.
- 5) 土木学会: 道路橋床版の維持管理マニュアル 2020, 鋼構造シリーズ 35, 2020.
- 6) 増戸洋幸, 梅田 隼, 塚本真也, 東山浩士: FWD による道路橋床版の健全度評価手法に関する検討, 第 19 回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 19, pp. 623-628, 2019.

(2024年7月8日受付)