

# ドクターパトのラインスキャンカメラ画像を利用した鋼床版損傷位置推定法

内外構造(株)設計部	陵城	成樹
阪神高速技術(株)技術部	杉井	謙一
阪神高速技術(株)技術部調査点検課	上中田	裕章
(一財)阪神高速道路技術センター調査研究部調査研究第一課	宇野津	哲哉

## 要 旨

阪神高速技術(株)版の路面性状計測車「ドクターパト<sup>®</sup>」はH27年度より本格運用が開始され、ほぼ阪神高速全線の路面データの収集が実施された(ランプ部、トンネルを除く)。本研究では、収集された路面データのうち、舗装ひび割れと舗装補修箇所が多い湾岸線海線(67径間)を対象とした。ラインスキャン画像データ(幅1.0mm以上ひび割れを検出可能)で確認された舗装ひび割れと補修箇所とをトレースして鋼床版構造説明図(鋼床版き裂ベース図)と重ね合わせ、鋼床版損傷位置を推定した。そしてH27年12月に主桁ウェブ近傍にデッキ貫通き裂が確認された大和川橋梁の主に第3車線を対象として、近接目視点検と非破壊検査とを実施し、開発した鋼床版損傷位置推定法の有用性の検証結果を報告するものである。

**キーワード:** ラインスキャンカメラ画像, 舗装損傷, 鋼床版損傷位置, 鋼床版構造説明図

### はじめに<sup>1),2)</sup>

ドクターパトの運用開始後、ラインスキャンカメラ画像を使用して、舗装のひび割れ位置や補修跡と鋼床版損傷位置との相関関係を検討した。その結果、両者の間には強い相関性があることが明らかになった。そこで、この相関性を利用して、路面から観察可能な舗装ひび割れや補修跡を一種のセンサーとして扱いアクセスが困難な鋼床版の損傷位置を推定する方法を開発した。

本文では第一に、鋼床版損傷位置推定法<sup>1),2)</sup>の概要を述べる。第二に、東神戸大橋に近接するゲルバー桁に関して、舗装損傷状況について述べる。第三に、大和川橋梁に関して鋼床版損傷位置推定法を適用・検証した結果について述べる。検証方法としては最近実施した近接目視調査結果とフェーズドアレイ探傷調査結果とを用いて、それらの検査結果と舗装損傷状況とを比較検討した。

図-1にはドクターパトの計測出力機能と利点をまとめて示している。ドクターパトには次の計測出力機能がある。

- ①路面平坦性 (IRI, 標準偏差)
- ②わだち掘れ量 (平均値, 最大値)
- ③路面画像
- ④ジョイント段差量

その利点は画像データと数値データがリンクしており、データの時刻、位置情報がデータに埋め込まれ、場所の特定精度が高いことにある。



図-1 ドクターパトの機能

## 1. 鋼床版損傷位置推定法の概要<sup>3), 4), 5)</sup>

鋼床版損傷位置推定法の開発目的は、鋼床版疲労損傷を点検する作業の効率化である。鋼床版溶接部の疲労損傷は、早期に発見し対策することが重要であるが、この疲労損傷を発見する作業は、作業環境が悪いこと、溶接延長が長いこと、塗膜が存在すること等により、多大な労力を要する。そこで、仮に損傷位置を何らかの方法で限定できれば、その労力の軽減につながると考え、舗装損傷に着目し、舗装損傷位置と鋼床版き裂位置との相対関係を調査した。具体的には、ドクターパトの路面用ラインスキャンカメラ画像を利用して舗装ひび割れ図を作成し、調査済みの鋼床版き裂位置図に重ね合わせ、その相関関係を検討した。

図-2には、舗装ひび割れ図と鋼床版き裂位置図とを重ね合わせた結果を示す。図中、赤線はひび割れで、引き出し線付きの赤丸●が鋼床版き裂位置を示す。き裂は輪荷重直下の主桁ウェブの垂直スティフナーと上フランジの溶接部に生じている(タイプ③)。この部位は鋼床版の剛性急変部であり、ほぼ同じ位置に舗装ひび割れが生じている。下り線側に舗装ひび割れないのは画像データ修得時に舗装が打ち替えられていたためである。上り線において舗装ひび割れが生じた鋼床版パネル(主桁ウェブと横リブで

囲まれたパネル)は13パネルで、うち8パネルにき裂が生じている(的中率61.5%)。さらに複数の舗装ひび割れが生じている4パネル(図中青枠)には全てき裂が生じていた(的中率100%)。このことから、両者の間に強い相関性があることがわかる。このことは、ひび割れを一種のセンサーとして活用することで、疲労損傷の発見作業を効率化できることを示している。本推定法の実実施手順は以下の通りである。

①ドクターパトのラインスキャンカメラ画像データ(20m毎)を対象径間に合わせて繋ぐ。

②対象径間の鋼床版構造説明図、または鋼床版き裂位置図を抽出する。鋼床版構造説明図と鋼床版き裂位置図には主桁ウェブ、縦リブ、横リブ、レーンマークなどが詳細に記述されている。鋼床版き裂位置図には、これまでの点検で鋼床版き裂が発見されたき裂位置が図-2のように明示されている。

③上記の①と②の図をCAD上のレイヤーを利用してデータを重ね合わせ、ラインスキャン画像データの橋軸方向長は起終点の伸縮装置中心で調整し、橋軸直角方向長はレーンマーク中心で調整する。

④CAD上で舗装補修跡や舗装ひび割れをトレースし、舗装補修跡と舗装ひび割れが生じている部位と鋼床版ベース図から得られる部材との

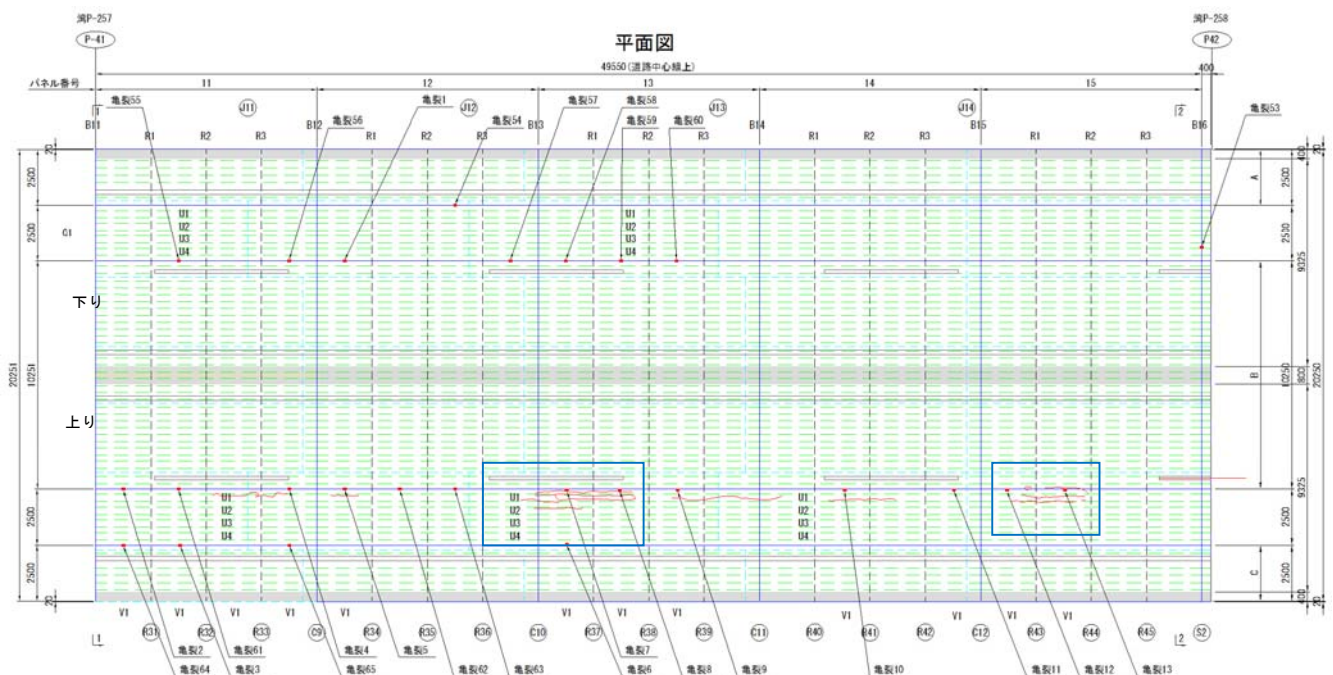


図-2 舗装ひび割れ図と鋼床版き裂位置図を重ね合わせた結果

位置関係を明確にする。

⑤輪荷重位置，剛性急変点，複数のひび割れが生じている部位，補修規模等に着目して，鋼床版損傷パネル，または位置を推定し重点点検部位を絞り込む。

この鋼床版損傷位置推定法を導入すれば，点検員の鋼床版損傷発見作業にメリハリが付き，点検作業量の大幅低減につながるとともに，その余力で，より詳細な点検が可能になる。

本推定法は，高速走行しながら高精度路面画像を取得できるカメラの進化とCADの発達により，実現可能となった。道路曲線部に対しては，CAD上で，曲率半径に合わせてラインスキャンカメラ画像を曲げることで対応できる。

## 2. ゲルバー桁（海S-165）と湾岸線（海線）の舗装損傷状況

図-3.1にはゲルバー桁（海S-165）の舗装損傷状況（H26年度）を示している。この径間は第1走行車線の舗装クラック長率が最も高い径間で90%

以上になっている。舗装クラック長率は舗装ひび割れ総延長を求めこれを径間長で除したものである。舗装補修跡と舗装ひび割れは第1走行車線の輪荷重直下の位置と箱桁ウェブ直上の剛性急変部に集中していることが分かる。

図-3.2には同じ径間（海-165）のH29年度の舗装損傷状況と定期点検で発見された鋼床版のき裂位置図，およびH29年度画像データ収集前に実施された舗装打替部の拡大図を示している。

H26年度の舗装の損傷状況とH29年度の舗装の損傷度を比較した場合，上り線第一走行車線の一部は舗装が打替えられH26年度に存在した補修跡や舗装ひび割れは消滅しているが，それ以外の舗装ひび割れは進展している（上り線第一走行車線と追越し車線）。また，下り線（図中下半分）の第一走行の輪荷重直下の舗装ひび割れの進展が著しい。これらの位置は主桁張出部付け根に位置している。発見されたき裂は図-2と同じタイプ③のものであった。これらのき裂の発生位置もまた輪荷重直下であった。舗装ひび割れと鋼床版き裂が生じた部位の構造的共通項は双方

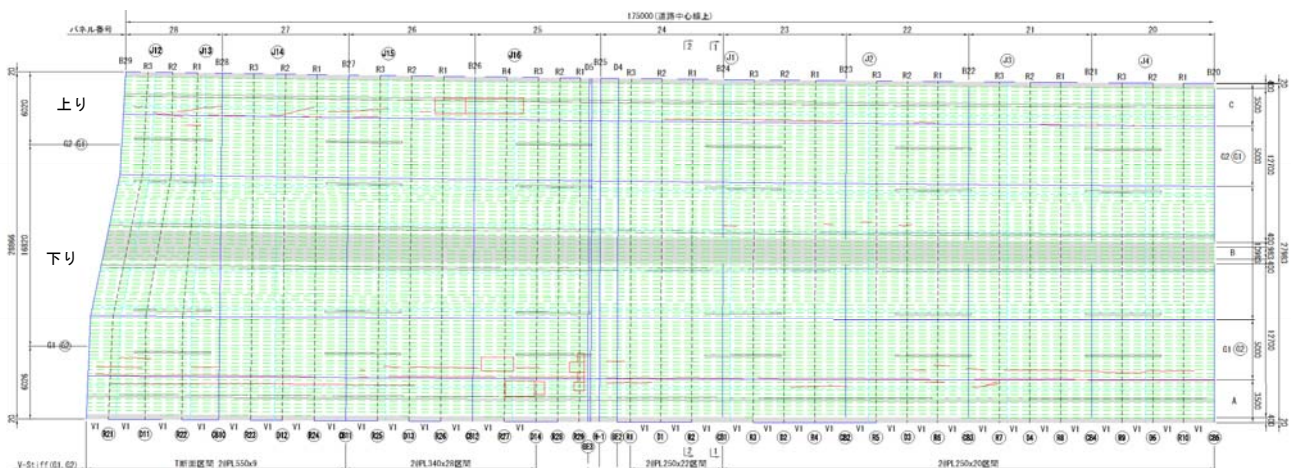


図-3.1 H26年度ゲルバー桁（海 S-165）舗装損傷状況



ともに主桁ウェブ位置で生じている。

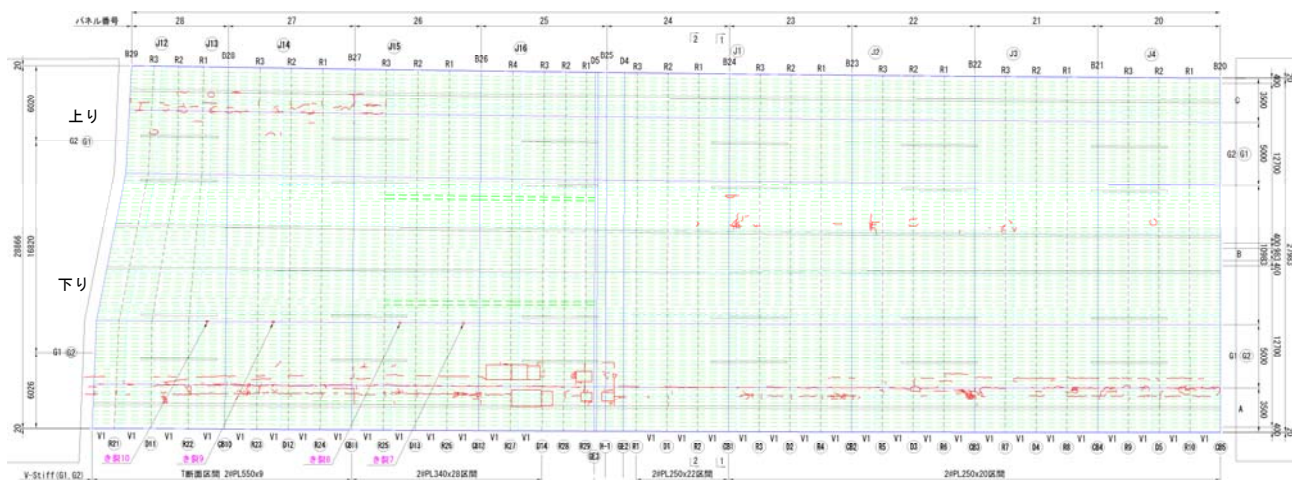
舗装ひび割れの進展が著しい場所は鋼床版張出部付け根の剛性が急変し、輪荷重直下にある場所であることが明らかになった。本研究で開発した推定法を継続して実施した場合、舗装損傷の経時変化も視覚的に把握できることが判った。舗装パッチ率と舗装クラック長率は湾岸線・海線の67径間に対して算出した。舗装パッチ率は舗装補修跡の面積 ( $A_p$ ) をトレース結果より算出し、車線幅3.5mとし径間長を乗じて各車線の舗装面積 ( $A$ ) を求め  $A_p/A$  により求めた。

図-4.1には舗装パッチ率の分布を示し、図-4.2には舗装クラック長率を示している。図中青が第1走行車線、オレンジは第2走行車線、灰色が追越車線を示している。第1走行車線の舗装パッチ率が高く、続いて第2走行車線のものが高い。

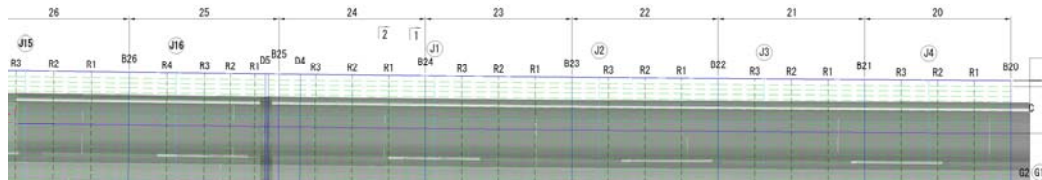
追越車線の舗装パッチ率は走行車線と比較して低いものとなっている。東神戸大橋（海下S-186）の舗装パッチ率が極めて高いことが明らかになった。

舗装クラック長率も舗装パッチ率と同じ傾向であり、ゲルバー桁（海S-165）が非常に高いことと舗装補修跡と舗装ひび割れ位置は走行車線の輪荷重直下にあることが確認できた。

また、箱桁ウェブ直上に輪荷重が載荷されるところには鋼床版き裂発生位置と舗装補修跡や舗装ひび割れとの位置関係に明確な相関関係が確認できた径間もある。今回、対象とした鋼床版径間の内で特に舗装パッチ率や舗装クラック長率が高いものから順次、熟練構造技術者の監督、指揮のもと近接目視調査を行う必要がある。



(1) H29 年度ゲルバー桁の(海 S-165) 舗装損傷状況と鋼床版き裂位置図



(2) 舗装打替部拡大図 (パネル 26, R3~パネル 20, 一車線幅)

図-3.2 H29 年度ゲルバー桁の(海 S-165) 舗装損傷状況と鋼床版き裂位置図と舗装打替拡大図

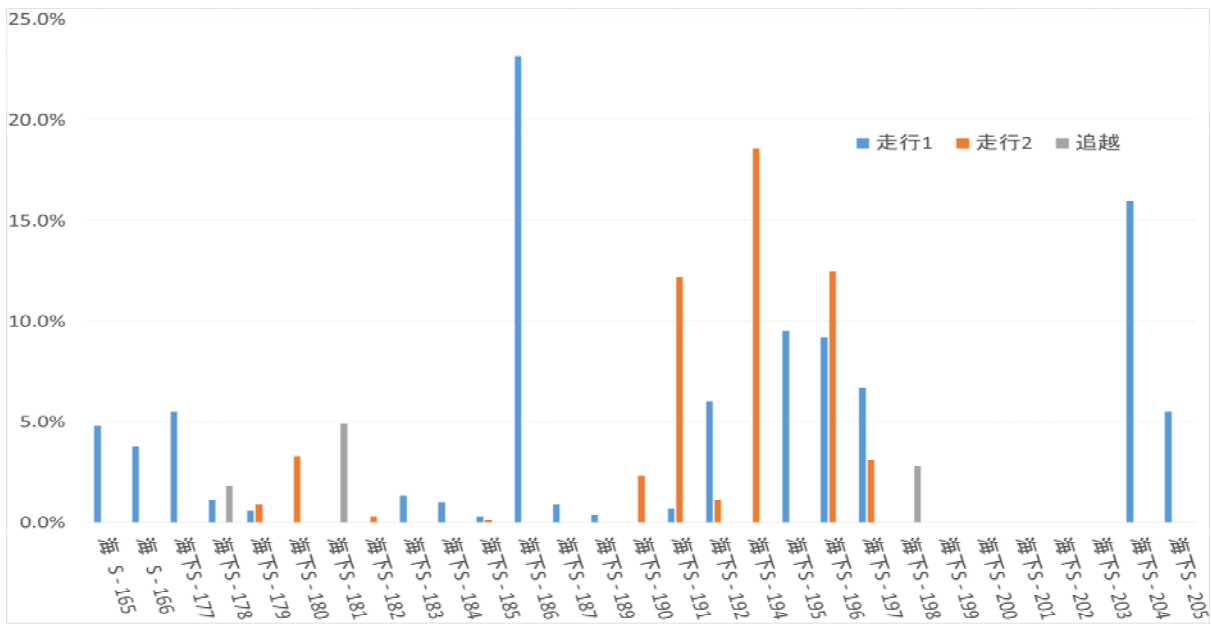


図-4.1 湾岸線(海線)下り舗装パッチ率の分布

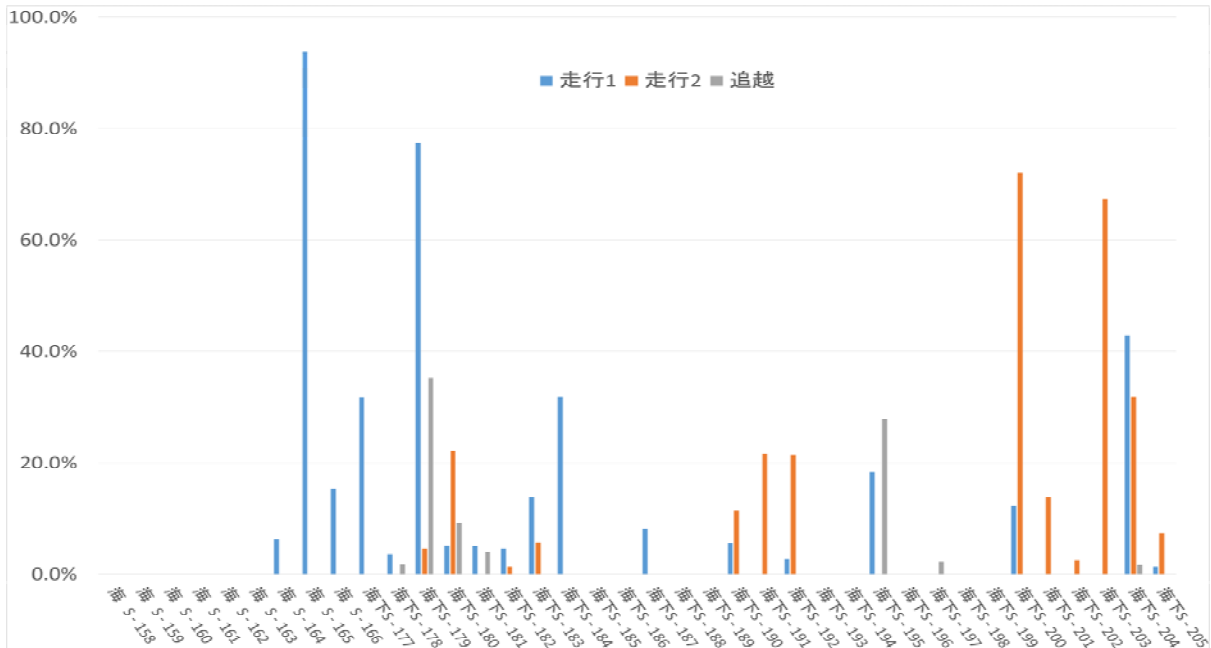


図 4.2 湾岸線(海線)下り舗装クラック長率の分布

### 3. 大和川橋梁詳細調査結果

#### 3-1近接目視調査結果

図-5には調査結果をグラフ化したものをして示している。上下線で比較した場合、下り線のほうが損傷数が多く、特に「さび」は下り線に多いことがわかる。

損傷種別の中で「さび」、「変色」、「さび・漏水(添接部)」が多いことがわかる。写真-1, 2

には「変色」損傷事例と「さび」損傷事例の写真を示している。最も多い損傷である「さび」は漏水のない溶接ビード上に生じているのがほとんどである。これらは、塗膜が何らかの原因で損傷したか、塗装時の施工不良に起因するものと考えられる。よって、この「さび」に関しては疲労き裂に関係する可能性も高いと考えられる。つぎに「変色」であるが、これも漏水を伴わない箇所が生じており、そのほとんどが横リブ、または縦リブとデッキプレートとの溶接

部に生じている。この損傷も疲労き裂に関係する可能性が高い。

その他、疲労き裂と関係が深いと思われる「き裂」，「（ウェブ部スティフナー）き裂」，「溶接われ」，および「溶接部塗膜われ」は「さび」や「変色」と比較して、少ないことが明らかになった。

今回の調査では鋼床版貫通き裂のような致命的な損傷は見つからなかったが、鋼床版に「漏水」等がある場合も舗装に悪影響を与えることを確認できた。さらに漏水を伴わない「さび」や「変色」の中には疲労き裂に関係するものが多いことが明らかになった。これは次のような理由によるものと考えられる。

- (1) 大和川橋梁の舗装の損傷は添接部近辺に多く生じており、床版剛性の急変部に生じている。
  - (2) 近接目視調査の結果、添接部（橋軸方向）に多くの漏水があり、さらに添接部の近傍に輪荷重が載荷している。
  - (3) 漏水は他の損傷と比較して、広い範囲の舗装に悪影響を与える。
- 今後、このように損傷が軽微なうちに詳細調

査（磁粉探傷）を実施し「削り込み」等の措置をとれば鋼床版の維持管理費用の軽減に寄与するものと考えられる。

図-6, 7にはフェーズドアレイ探傷調査結果と大和川橋梁の張出床版部の近接目視調査の結果発見された鋼床版き裂位置図と舗装補修跡と舗装ひび割れのトレース結果を重ねて示している。新たに発見された鋼床版き裂位置は舗装補修跡、または舗装ひび割れ直下にあることが判る。すでに発見されているき裂位置もほぼ舗装ひび割れの直下にある。また図中のピンクで示したき裂は未補修、緑で示したき裂は補修済み、黒は応急措置済みのき裂をそれぞれ示す。また、図中の赤と黄で示した番号は近接目視調査で見つかった損傷や調査状況の写真番号である。図-6中のき裂Bがデッキ貫通した位置にあり未補修であった。フェーズドアレイ調査で判明したき裂はき裂PA1, 2(図中左上)である。パネル番号1-6において舗装補修跡が確認されたのは3箇所(3パネル)あったが内2か所で鋼床版のき裂(き裂A, B, PA1, 2, 6~9)が存在する(的中率67%)。また、舗装のひび割れ状況から重点箇所と設定したパ

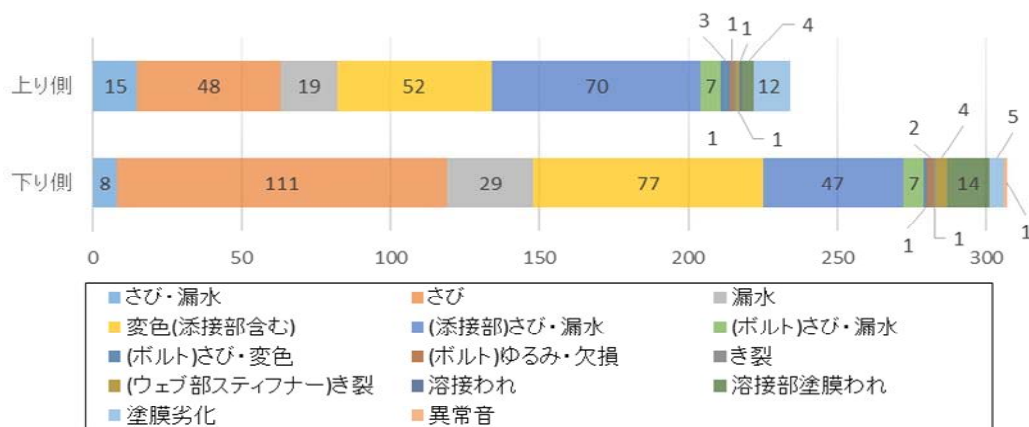


図-5 大和川橋梁（追越）近接目視調査結果



写真-1 「変色」損傷事例



写真-2 「さび」損傷事例



ネル2, 3, 4のGA-SP4ライン近傍では漏水関連の損傷が数多く見つかった。ここは中央分離帯と主桁との境界にあり剛性の急変点であり添接部である。

そのうち2パネルにおいて、き裂が発生している（的中率50%）。また、同様に重点箇所と設定したパネル8, 9, 12のうちパネル8のGA-SP4ライン近傍では漏水関連の損傷が数多く見つかった。

図-7では張出部Bに着目した場合、複数の舗装ひび割れが生じているパネルは4パネルあるが、

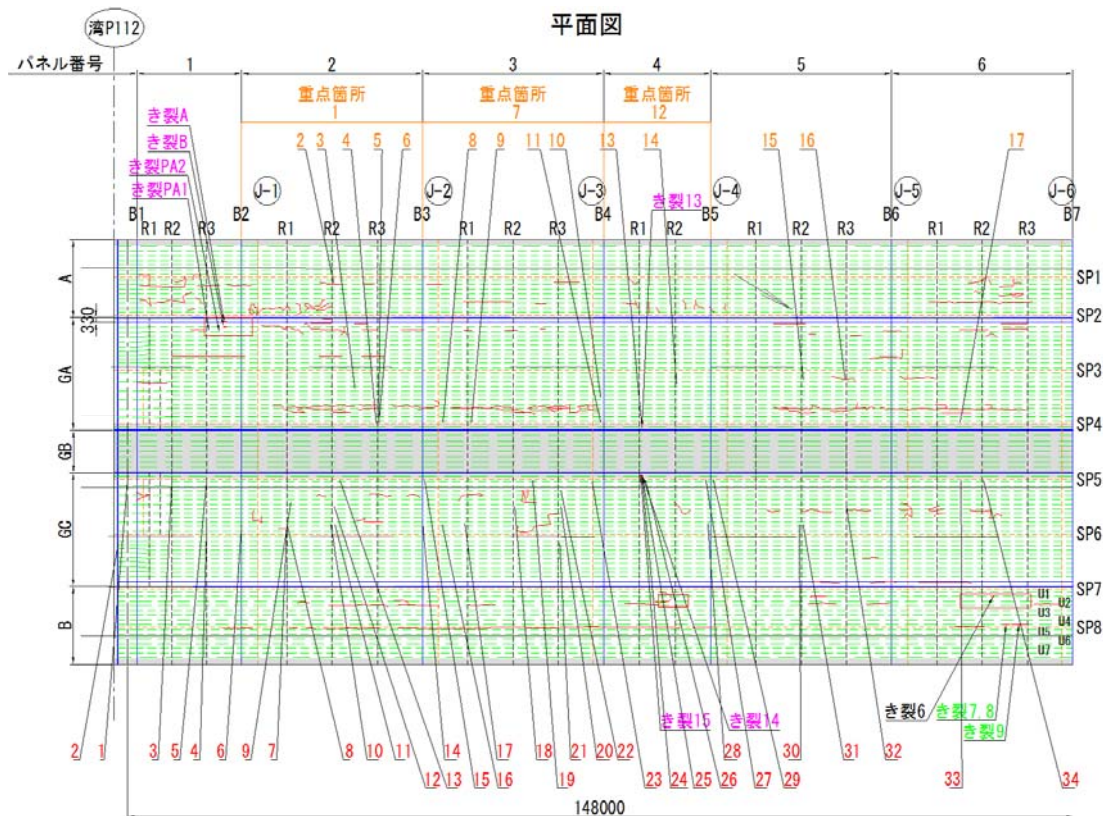


図-6 大和川橋梁 近接目視結果(変状位置)とフェーズドアレイ探傷調査結果(き裂位置)

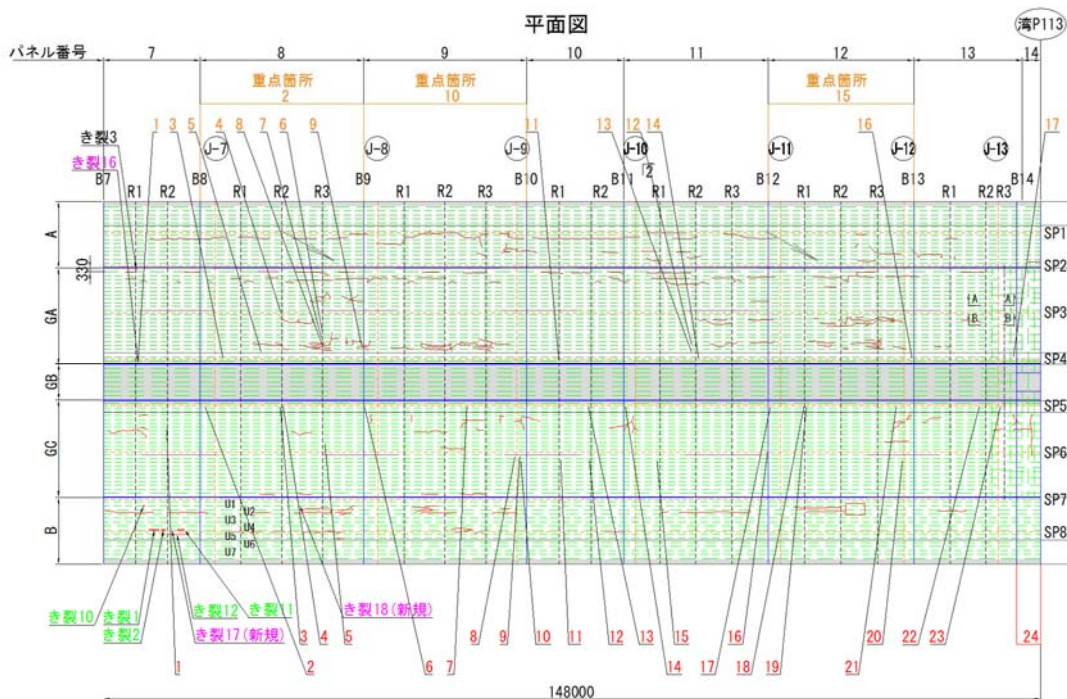


図-7 大和川橋梁張り出し部近接目視調査結果

## 4. まとめ

### 4-1 ラインスキャンカメラ画像を利用した鋼床版損傷位置推定法

湾岸線海線(67 径間)の舗装補修跡と舗装ひび割れのトレースを行った。舗装パッチ率と舗装クラック長率を算出した結果、第1 走行車線に舗装損傷が多く発生していることが明らかになり、多くの損傷は輪荷重直下に生じている。舗装パッチ率と舗装クラック長率の高い径間から近接目視調査を行う必要がある。

また H29 年度最新データを用いて舗装損傷の進展状況と定期点検結果で発見された鋼床版き裂位置との比較検討を行った。

本検討の結果、鋼床版橋梁の舗装損傷が多く生じる場所として考えられるものを以下に列挙する。

- ① 走行車線の大型車の輪荷重直下
- ② 構造的特徴として剛性急変部（床版張出し部 付け根と主桁ウェブ直上
- ③ 漏水箇所
- ④ 主桁、床組構造の添接部

特に上記の位置で繰り返し舗装補修が行われている場所は舗装基層の損傷、または鋼床版に何らかの損傷が生じている可能性が高い。舗装補修工事を実施する前にはラインスキャンカメラ画像データを利用して路面状況を確認したうえで舗装補修工事の仕様（表層打替、表基打替）を決定することを推奨する。さらに工事前に実施するコア抜き試験は、舗装ひび割れや舗装補修跡が残存する場所で実施する必要がある。さらに上記の①～④の場所で実施することを推奨する。

現在、本検討において実施した鋼床版損傷位置推定法を環状線の一部と湾岸線海線へと展開している。本推定法は損傷位置を構造物特性と合わせて特定できるだけでなく、図-3.1、3.2 に示したように舗装損傷の経時変化も視覚的に把握できるものである。しかし、現段階ではデータ数が少なく、鋼床版き裂位置に関するパネル単位の的中率 50%～100%とばらつきが大きい。今後も継続してデータ蓄積を行い的中率向上を図る必要がある。そして、その結果を舗装補修

工事計画に生かしていくことが維持管理活動の合理化に寄与するものと考ええる。

### 4-2 大和川橋梁詳細調査結果

#### (1) 大和川橋梁 近接目視結果

損傷種別の中で「さび」、「変色」、「さび・漏水(添接部)」が多いことが明らかになった。最も多い損傷である「さび」は溶接ビード上に生じているのがほとんどである。これらは、塗膜が何らかの原因で損傷したか、塗装時の施工不良に起因するものと考えられる。この「さび」に関しては疲労き裂に係る可能性も高いと考えられる。

また、鋼床版に「漏水」等がある場合も舗装に悪影響を与えることを確認できた。

今回、確認されたデッキ貫通き裂直上には舗装の補修跡があった。このことは、舗装補修の直下の鋼床版に何等かの異常がある可能性が高いことを示唆している。今後、舗装の補修工事を行う前に直下の鋼床版の詳細調査等を行う必要があると考えられる。

貫通き裂の補修には多大な時間と労力がかかるだけでなく、高速道路の走行安全性を著しく低下させる。このような事態を避けるためには、簡便な応急措置工法の開発を急ぐ必要がある。

#### (2) フェーズドアレイ調査結果

調査の結果(中間報告)で2か所デッキプレート方向に進展するき裂が見つかった。見つかった箇所は H27 年に見つかった貫通き裂付近である。これらのき裂の直上にも舗装補修跡があった。

### 4-3 今後の課題

#### (1) 舗装管理指標の提案

本研究で提案した舗装クラック長率は寄与度の設定や除外範囲の設定等の過程を省けるため舗装ひび割れ率と比較して、簡便に算出できる。舗装ひび割れ率と舗装クラック長率との相関を明らかにし、阪神高速道路独自の舗装管理指標を構築していく必要がある。

#### (2) 鋼床版疲労き裂の端緒の把握

大和川橋梁の近接目視調査結果から、多くの溶接部の「変色」と「さび」が存在することが明らかになった。これらの損傷の下には既にき裂



が存在している可能性がある。これらの損傷発生部に磁粉探傷等の非破壊検査等を実施し、疲労き裂の起点となり得るものなのか検証する必要がある。

### (3) 路面データポスト処理の高速化

現在、ドクターパトから得られるデータのポスト処理は“統合ツール”にて処理（第一次データ処理）されているが、ひび割れ率の分析には人手に頼っているのが現状である。データの蓄積と合わせてひび割れ画像データのポスト処理に係る速度を高速化する必要がある。

### (4) 鋼床版き裂の簡易補修工法の開発

H27 年度にデッキ貫通き裂が発生した部位は以前の点検で貫通前のき裂の存在が確認されていた。これらを放置したため、デッキ貫通が生じた。き裂がデッキプレートを貫通した場合、車両の走行安全性を損ねるだけでなく、その補修

に多大な労力と費用が発生する。このような事態を避けるためには、き裂が貫通する前に実施できる簡易補修工法の開発が必要である。

### 参考文献

- 1) 宇野津, 杉井, 上中田: ドクターパトによる路面性状計測とデータ統合ツール, 阪神高速道路第 47 回技術研究発表会論文集, 2015. 5
- 2) 杉井, 大坪, 宇野津, 米谷, 陵城, 植園, 膽吹: 橋梁の点検方法, 特許第 5855306 号, 2015. 12. 18 登録
- 3) 陵城, 宇野津, 杉井: ドクターパトのラインスキャンカメラ画像データを利用した鋼床版損傷位置推定法, 阪神高速道路第 48 回技術研究発表会論文集, 2016. 5
- 4) Unotsu, Sugii, Uenakada : Car measuring road surface properties and viewer apparatus integrating data measured, IABMAAS, Foz do Iguacu Brazil, Jun. 26-30, 2016, pp2277-2282
- 5) 宇野津, 杉井, 上中田, 陵城: 路面性状測定車の構造物点検への活用, 阪神高速技報, 2017. 2, pp. 128-135

## ESTIMATION METHOD OF DAMAGE LOCATIONS IN STEEL DECK PLATES USING LINE-SCAN-CAMERA IMAGES

Shigeki OKASHIRO, Kenichi SUGII, Hiroaki UENAKADA and Tetsuya UNOTSU

This research examined the relationship between fatigue cracks in steel deck plates and pavement damage and found a close connection between them. A method was also proposed in this study to estimate damage locations in steel deck plates by superimposing a pavement crack map on top of a drawing of a steel deck plate. To verify the suitability of this method, sixty-seven bridges with severe pavement damage were selected and subjected to the damage location estimation, and close visual inspection and nondestructive test were performed on the steel deck plates of the Yamato River Bridge based on the pavement crack maps. This paper describes the inspection results and discusses expected improvement of bridge inspection.

陵城 成樹



内外構造株式会社  
設計部  
Shigeki Okashiro

杉井 謙一



阪神高速技術株式会社  
技報部  
Kenichi Sugii

上中田 裕章



阪神高速技術株式会社  
技報部調査点検課  
Hiroaki Uenakada

宇野津 哲哉



一般社団法人阪神高速道路技術センター  
調査研究部調査研究第一課  
Tetsuya Unotsu