

路面性状測定車の構造物点検への適用

～「ドクターパト」による路上構造物調査～

阪神高速技術(株)技術部技術開発課 宇野津 哲哉
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
内外構造(株)設計部 陵城 成樹

要 旨

阪神高速道路の日常路上点検は、低速走行のパトロール車両上の点検員が視覚や音響・振動感覚により行っている。点検員が異常を感じた箇所は、交通規制を伴う近接点検を行う。このため、道路利用者に不便をかけたり、点検員には危険を伴わせたりする作業となっている。これらの不都合を解消する目的で、阪神高速技術(株)では、路面性状測定車(ドクターパトTM)を製作するとともに、測定データを一元管理できるデータ統合ツールを開発した。ドクターパトには、平坦性測定機能、路面・側面測定機能、わだち掘れ測定機能が搭載されており、それぞれの機能に高い分解能を付与している。このため、通常のパトロール車には期待できない構造物点検にまで応用することが可能である。

本文では、第一に、ドクターパトの平坦性測定機能、路面・側面測定機能、わだち掘れ測定機能について概説する。第二に、データ統合ツールの機能について説明する。第三に、平坦性測定機能を拡張したジョイント段差量算出法、路面撮影機能を利用したジョイント損傷検出法、側面撮影機能を利用した壁高欄・遮音壁損傷検出法について説明する。第四に、路面撮影画像から得られる舗装ひび割れマップを利用して、鋼床版疲労損傷の重点点検箇所を決定する方法を提案する。

キーワード: 路面性状調査, 舗装調査, 舗装損傷, 伸縮装置調査

はじめに

都市ネットワークである阪神高速道路は、基本的に高架橋の連続帯でかつ都市内高速のため、路肩部に余裕がない。したがって、車上点検員が異常を感じた箇所での近接点検には車線規制を伴い、①利用者の不便、②規制費用の発生、③利用者および点検員の安全、の諸点に課題が残る。車線規制を伴わない点検が望まれるゆえんである。

このような課題に対応する試みとして、阪神高速技術(株)は、交通規制を伴う近接点検の低減が可能な路面性状測定車の製作を行った。NEXCO 各社、計測会社、舗装会社等では、独自に路面性状測定車を製作しているが、阪神高速技術(株)は、路面性状測定機能の分解能を高めることで、路面性状測定だけでなく、構造物点検も可能とした車両を製作することを目指した。完成した路面性状測定車は、ドクターパトと命名し、商標登録した。

1. 測定装置

1-1 平坦性測定機能

平坦性測定を行う車載型 3m プロフィールメータを構成する要素は、**図-1** に示すように、1 計測ラインあたり 3 個のレーザ変位計である。レーザ変位計は、車両の左右両側に設置し 2 測線を確保した。これは他社の同種車両にはない特徴である。

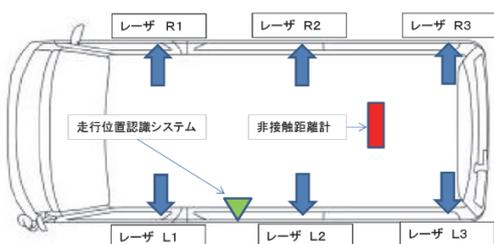


図-1 プロフィールメータ機器配置図

レーザ変位計のデータは、非接触距離計のコントロール下、10mm ごとに取得され、3 点法により路面凹凸として**式(1)**で表現される。

$$P2 = M2 - ((M1 \times a / 3) + (M3 \times (3 - a) / 3)) \quad (1)$$

ここに、記号 M はレーザ変位計読み値であり、記号 a は測定点 2~3 の距離である。**図-2** に記号説明図を示す。

走行位置認識システムは、運転手がレーンマークからの距離を一定に保持しながら走行するための補助装置である。本装置は、車両走行前に、車両側面に取り付けたビデオカメラで基準位置となるレーンマークを撮影・記録し、車両走行時に、同一ビデオカメラにより撮影されるレーンマーク

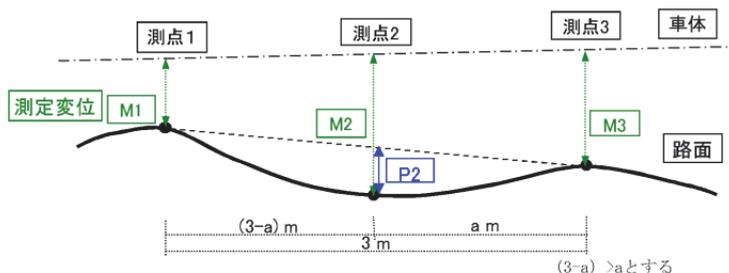


図-2 路面凹凸計算式の説明図

と比較することにより、走行位置をモニタできるように工夫されている¹⁾。モニタ画像の模式図を**図-3**に示す。モニタは上下 2 分割されており、下段には走行前に予め変位計測位置とレーンマークの基準距離を設定した模擬レーンマークを撮影した基準画像が固定表示され、上段には走行中のレーンマーク画像が動画で表示される。ドクターパト運転手はこのモニタを参照しながら、上段画像を下段画像に合わせてハンドルの操作を行う。

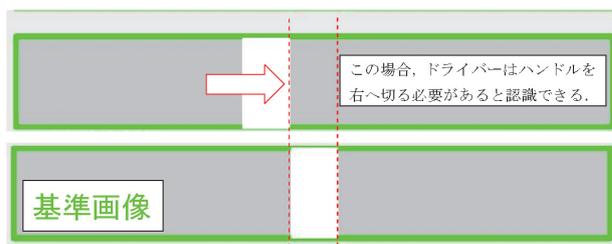


図-3 走行位置認識システムのモニタ画像模式図

1-2 路面・側面測定機能

ドクターパトには、**写真-1** に示すように、路面撮影用と側面撮影用のラインスキャンカメラが設置されており、車両走行しながら 2 方向の 1mm / 画素 (1 ライン当たり 4096 画素、センササイズ 7μm × 4096 = 28.7mm) の高精度画像を取得することができる。

写真-2 は、路面を撮影した画像例である。補修跡やひび割れを詳細に観察できる。また、本システムにはひび割れ率を算定する機能も有している。

写真-3 は、壁高欄を撮影した画像例である。側面撮影でも、鮮明な画像を得られることが確認できる。2 方向とも、仕様上は 1mm / 画素であるが、ひび割れ幅 0.5mm 程度まで観測可能であるこ

とを検証済みである。

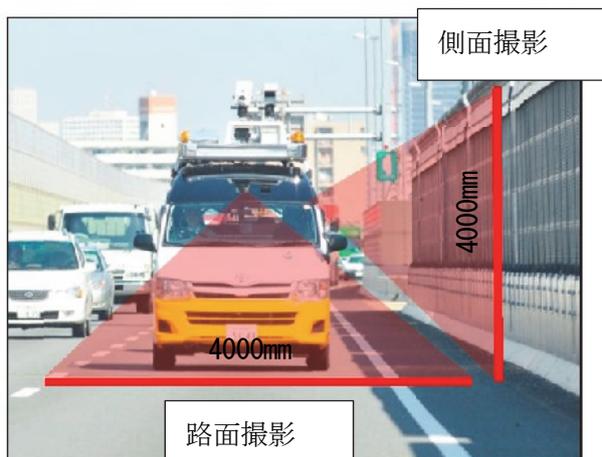


写真-1 ラインスキャンカメラ撮影範囲

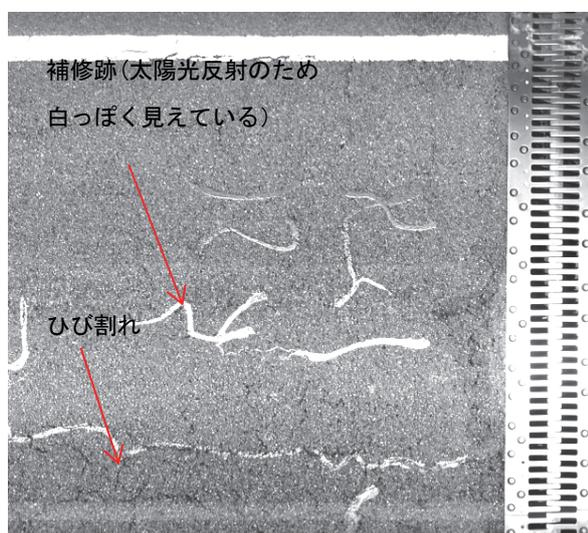


写真-2 ラインスキャンカメラによる路面画像



写真-3 ラインスキャンカメラによる側面画像

1-3 わだち掘れ測定機能

わだち掘れ測定装置を構成する要素は、図-4に示すように、赤外スリットレーザと高速カメラとである。赤外スリットレーザにより路面に鉛直にレーザラインをひき、これを高速カメラで斜め

方向から撮影する光切断法により、わだち掘れ量を測定する。

データ取得は、非接触距離計を用いて100mmごとに行う。図-5は、3-D表示した取得データ例である。

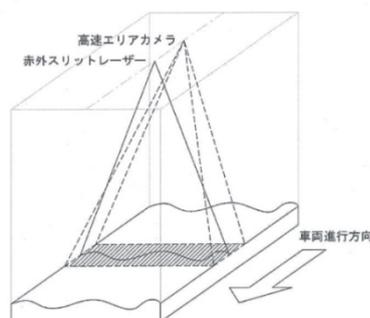


図-4 わだち掘れ測定概念図



図-5 わだち掘れ測定取得データ例 (3D表示)

1-4 性能確認試験による精度検証

性能確認試験は、一般財団法人 土木研究センターが年に1回実施しているものである。本試験は、路面性状測定車が人力測定による値を基準として、適切な精度をもって測定処理できる性能を有していることを、実走測定により認定するものである。性能確認項目は、①距離測定精度：光学測量機による距離の測定値に対し $\pm 0.3\%$ 以内の精度、②ひび割れ測定精度：幅1mm以上のひび割れが識別可能な精度、③わだち掘れ測定精度：横断プロフィールメータによるわだち掘れ深さの測定値に対し $\pm 3\text{mm}$ 以内の精度、④平坦性測定精度：縦断プロフィールメータによる標準偏差の測定値に対し $\pm 30\%$ 以内の精度であるドクターパトは、すべての項目(昼間計測)に合格している(路性2735号)。

2. データ統合ツール

上述の平坦性、ひび割れ、わだち掘れ測定の各データは、これまで個々に管理してきた。しかし、これらのデータをひとつの画面で一元的に管理すれば、後処理の効率を格段に向上することができる。このような観点から、データ統合ツールを整備した²⁾。データ統合ツールのビューア画面を図-6に示す。図中①の部分は、3mプロフィールメータのデータをデータ取得区間全体にわたって展開したものである。測定車両は画面左から右へ向かって走行したものとして整理している。この①はすべてのデータの参照希望位置を検索するためのインデックスとして使用する。

②は側面用ラインスキャンカメラ画像、③は路面用ラインスキャンカメラ画像であるが、いずれも①内の赤色着色枠の区間を拡大表示したものである。④は3mプロフィールメータのデータで、ラインスキャンカメラ画像と同様、①内の赤色枠内区間を拡大表示したものである。これら②③④の各データの横軸は、相互に同期されている。

⑤はわだち掘れ量であり、③内に表示された赤線カーソル位置に対応している。

これらのほか、付加情報として、⑥は超広角の

前方画像(200度)、⑦はGPS地図情報、⑧はジョイント種類・橋脚番号・スパンの基礎情報(台帳情報)である。これらを参照することにより、データ検索や処理を容易に行える。

データ統合ツールの完成によって、測定データの後処理を行うにあたっては、技術者はこの画面ひとつを使用するだけでよく、作業効率を飛躍的に向上させることが可能となった。

3. 路面性状測定機能を用いた構造物点検

3-1 平坦性測定機能を拡張したジョイント段差量算法

通常、ジョイント段差の測定は、車線を規制して水系法により人力で実施している。しかし、車線規制による顧客満足度の低下のほか、もらい事故の危険性があるなど、安全上の問題がある。

当社の平坦性測定を行う3mプロフィールメータは、上述のとおり、10mm単位でデータ取得するため、ジョイント近傍の凹凸を詳細に表現できる。この特性を利用して、車線規制を行わずに、ジョイント段差測定を行うことが可能となる。

ジョイント段差測定への適用にあたっては、定められた測定位置がある水系法との対応をとるた

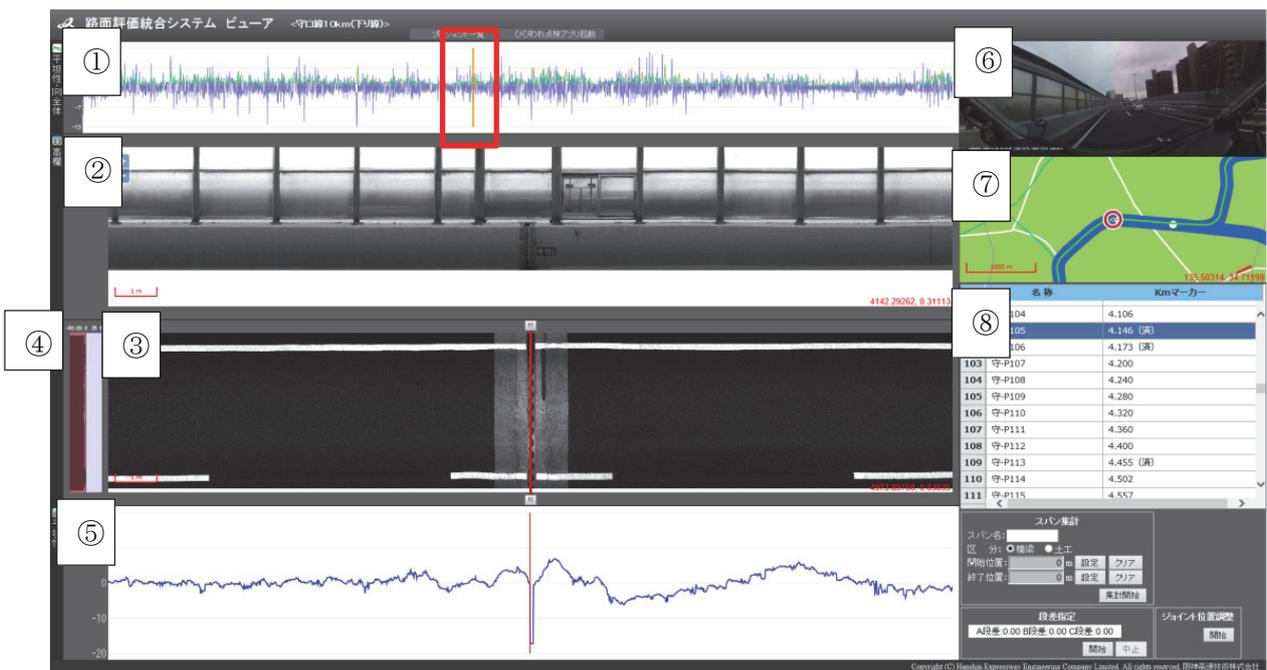


図-6 データ統合ツール画面

め、走行位置認識システムを活用する。

図-7 は、簡易鋼製ジョイント近傍の測定例である。図中①および③は後打ちコンクリート端部、②はジョイント遊間部である。また段差Aおよび段差Cは後打ちコンクリートと舗装との段差、段差Bはジョイントの段差である。

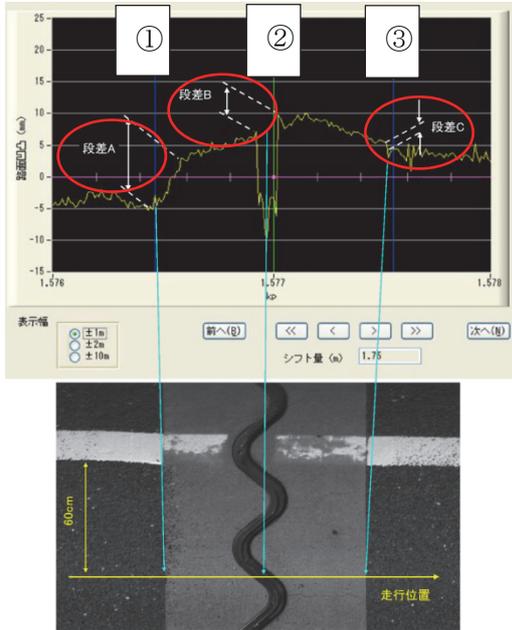


図-7 簡易鋼製ジョイント段差計測例

精度検証として、(a) 阪神高速道路で従来実施されている水系を利用したジョイント段差測定、(b) レーザーレベル測量、(c) 人力縦断プロフィールメータ測定、(d) ドクターパト搭載プロフィールメータによる段差検出、の4方法について比較した。

図-8 は、湾岸線ジョイント（フィンガージョイント）を対象にして検証した結果である。データ比較対象は、5測線である。

データ比較（水系法を正とした場合）により、(b) レーザーレベル測量と(d) ドクターパト搭載プロフィールメータとは、(a) 水系法で得られたジョイント段差との誤差が±2mm 以内に収まっており、精度よくジョイント段差が検出できていることがわかる。

一方、(c) 縦断プロフィールメータは、(a) 水系法との測定誤差が最大6mm であり、今後の使用にあたっては注意が必要である。

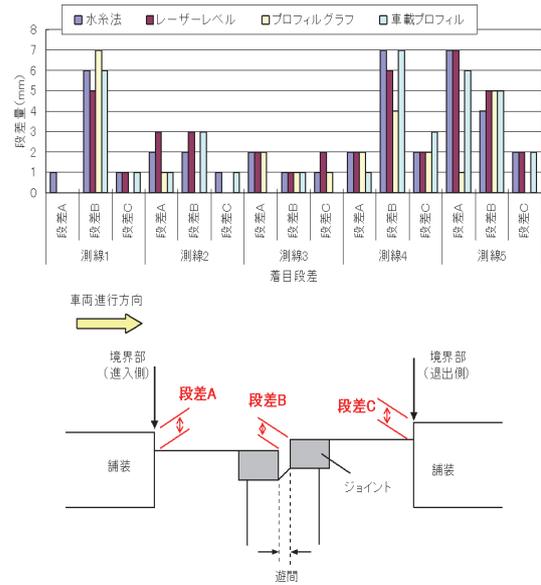


図-8 ジョイント段差各種測定方法の比較

3-2 路面撮影機能を利用したジョイント損傷検出法

画像診断では、外観上の損傷しか確認できないため、点検要領の点検項目をすべて確認するには、ほかの点検手法、技術による補完が必要である。実際の臨時点検で確認された損傷のうち、どの程度まで画像診断可能かについて、平成 21 年度に松原線において実施したジョイント臨時点検結果を用いた検証結果³⁾を表-1 に示す。

表-1 松原線臨時点検におけるAランク損傷一覧

損傷項目	種別	損傷数	比率(%)	画像判定可能項目
後打ち材と舗装の段差	共通	11	4.1%	
伸縮装置と舗装の段差	共通	4	1.5%	
伸縮装置と後打ち材の隙間	共通	5	1.9%	●
後打ち材と舗装の隙間	共通	16	5.9%	●
後打ち材の欠損・はく離	共通	8	3.0%	●
AS舗装の損傷	共通	6	2.2%	●
薄層舗装の損傷	共通	19	7.0%	●
補修箇所の損傷(パッチング・スール材充填)	共通	2	0.7%	●
ボルト欠損	取付部	2	0.7%	●
舗装のひび割れ	埋設	16	5.9%	●
舗装の浮き	埋設	2	0.7%	
舗装の沈下	埋設	2	0.7%	
舗装のはく離・ホツホール	埋設	10	3.7%	●
補修箇所の損傷(パッチング・スール材充填)	埋設	9	3.3%	●
舗装のひび割れ	ノジョイント	1	0.4%	●
段差	ゴム	13	4.8%	
摩耗・はく離	ゴム	51	18.9%	●
き裂・破れ	ゴム	16	5.9%	●
ゴム本体の浮き	ゴム	58	21.5%	●
補修跡(樹脂モルタル)のはく離	ゴム	10	3.7%	●
ボルト欠損	ゴム	1	0.4%	●
本体の段差	鋼製	2	0.7%	
浮き	鋼製	1	0.4%	
補修跡(樹脂モルタル)のはく離	鋼製	5	1.9%	●
合計		270		235

全損傷 270 件のうち、画像診断で判定可能な損

割れで、引き出し線付きの赤点●が鋼床版き裂位置を示す。図青枠から、両者の間に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。この結果、舗装ひび割れ図と鋼床版構造説明図が重ね合わされ、舗装補修跡や舗装ひび割れが鋼床版のどの位置に対応しているのかが容易に特定され、鋼床版損傷位置を推定することができる。

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の発達とにより、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。

4-2 大和川橋梁での検証結果

最近鋼床版き裂が発見された4号湾岸線大和川橋梁を対象として、鋼床版損傷位置推定法を検証した。

図-10には、箱桁部のフェーズドアレイ探傷調査、張出床版部の近接目視調査を実施して発見された鋼床版き裂位置と舗装補修跡（赤四角枠）および舗装ひび割れのトレース結果を重ねて示している。図-10から、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。また図中ピンクで示したき裂は未補修、緑で示したき裂は補修済、黒は応急措置済みのき裂をそれぞれ示す。さらに橋軸方向添接部と橋軸直角方向添接部の交差する部分には著しい漏水と鋼材腐食が確認された（図中、赤丸○）。箱桁内の腐食の原因はこの漏水に起因するものと推察される。

図-10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。

5. 今後の展望

本システムは、平成27年度より構造物点検業務にて運用を開始した。今後、時系列に舗装調査を実施することで、小規模補修時における予兆箇所同時補修等効率的な補修提案のほか、路面性状測定機能の分解能が高いことを利用したわだち掘れやIRIと床版や桁損傷との相関性の検証、継続的に鋼床版損傷とひび割れの比較検証による鋼床版損傷推定方法の精度向上に努めたい。

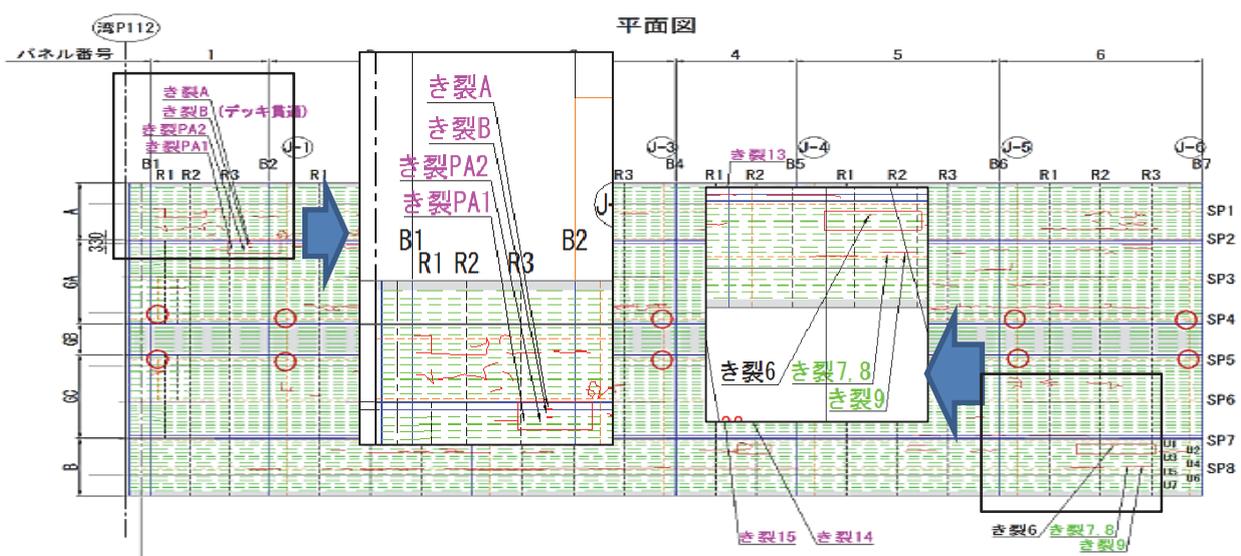


図-10 大和川橋梁近接目視結果(変状位置)とフェーズドアレイ探傷調査結果(き裂位置)(湾S-112)

6. まとめ

・ドクターパトに路面性状測定 3 要素である平坦性測定機能, 路面・側面測定機能, わだち掘れ測定機能の搭載を完了した. 本システムは, 一般財団法人 土木研究センターによる性能確認試験にて, 3 要素 (昼間計測) すべてに合格した.

・平坦性, ひび割れ, わだち掘れのデータをひとつの画面で一元管理できるデータ統合ツールを作成した. これにより, データの後処理作業を大幅に効率化できる.

・分解性能の高いプロフィールメータを用い, ジョイント段差量測定に利用することを検討した結果, 適用可能であることがわかった.

・高精細なラインスキャンカメラ映像をジョイント損傷検出および壁高欄・遮音壁損傷検出法に応用することを検討し, 適用可能であることがわかった.

・鋼床版の疲労損傷点検の効率化を図る方策として, ドクターパトにより得られる舗装ひび割れ分布図を活用することを提案し, 大和川橋梁で検証した.

参考文献

- 1) 杉井・宇野津・塚本: 車両位置認識システム, 特許第 5602288 号, 2014.8.29 登録.
- 2) 杉井・宇野津: 道路測定システム, 特許第 5602324 号, 2014.8.29 登録
- 3) 上中田・木下・岡本: 大規模補修を対象とした舗装・伸縮装置の補修設計合理化の試み, 阪神高速道路第 46 回技術研究発表会論文集, 2014.5
- 4) 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

ROAD SURFACE PROPERTY MEASURING VEHICLE AND ITS APPLICATION TO ROAD STRUCTURE INSPECTION

Tetsuya UNOTSU, Kenichi SUGII, Hiroaki UENAKADA and Shigeki OKASHIRO

Daily on-road inspection on the Hanshin Expressway is carried out by inspectors in a patrol car driven at lower speeds than other vehicles, relying on human eyesight and bodily sensation. However, there are following problems in such inspections: concentration of inspectors does not last long; oversight is unavoidable; and it is difficult for the inspectors to keep accurate records. Hanshin Expressway Engineering has developed a measurement vehicle and a data processing unit with which the collected data can be viewed and analyzed conveniently. This paper describes the devices used for measuring road surface properties, integrated data viewer apparatus, and the application of the system to road structure inspection.

宇野津 哲哉



阪神高速技術株式会社
技報部 技術開発課
Tetsuya UNOTSU

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

陵城 成樹



内外構造株式会社
設計部
Shigeki OKASHIRO