

## 鋼床版検査装置の精度検証と今後の鋼床版の検査手法

### ～「みつけるくんK」による効率的な検査～

阪神高速技術(株)技術部調査点検課	塚本 成昭
阪神高速技術(株)技術部調査点検課	大田 典裕
阪神高速技術(株)技術部調査点検課	勝島 龍郎
阪神高速道路(株)大阪管理局保全部保全設計課	岡本 亮二

#### 要 旨

U リブ鋼床版において、デッキプレート貫通き裂は、路面陥没の危険性を含んでおり、早期発見・早期処置が求められている。しかし、このデッキプレート貫通き裂自体は、通常の外観目視検査で発見できないことから、一般的には床版下面からの超音波探傷による接触検査が必要となり、低効率・高コストであることが課題であった。そこで検査効率や検査コストの改善を目指して、非接触検査が可能な渦流探傷法に着目し、鋼床版デッキプレート貫通き裂検査装置「みつけるくんK」を開発した。

本論文では、デッキプレート貫通き裂を確認した岸下 S1-32 および湾上 S157 を対象に、みつけるくん K を用いた、デッキプレート貫通き裂のブラインドテストによる検出試験結果と舗装除去した後のき裂の状況を比較検証した。また、検査効率では、従来の PA 検査と比較して、検査日数において 15～20 倍、検査費用面でも超音波検査と比較して約 1/3～1/14 と極めて高い効率化が期待できることを示した。

本論文では、この渦流検査装置「みつけるくん K」を使用した検査の検出精度結果について報告する。加えて、今後の鋼床版の持続可能で効率的な検査を検討した。

**キーワード**：鋼床版、デッキプレート貫通き裂、渦流探傷、スクリーニング、検査効率

#### はじめに

U リブを有する鋼床版において、デッキプレートと U リブとの溶接は、U リブ内面側からの溶接が不可能なため、片側からのすみ肉溶接となる。この溶接ルート部を起点としてデッキプレートの板厚方向（上面）に進展する、図-1 に示すような貫通き裂（以下、デッキプレート貫通き裂）は、き裂長さが長くなると路面が陥没し、交通車両の走行安全性が損なわれる危険性がある。そのため、

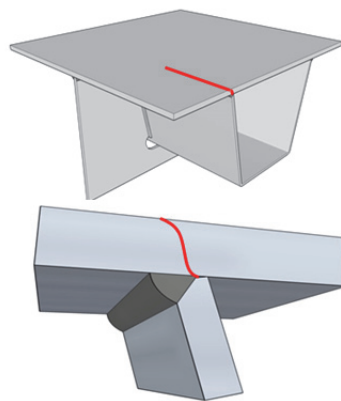


図-1 鋼床版デッキプレート貫通き裂の模式図

デッキプレート貫通き裂を早期に発見し、対策することが求められる。しかし、デッキプレート貫通き裂は、溶接部のルート部を起点としデッキプレート上面に進展するため、従来のデッキプレート下面からの目視点検では発見できない。このき裂を検査するためには、舗装の全面撤去時にデッキプレート上面から直接検査、あるいは鋼床版下面からの超音波探傷法<sup>1)</sup>などの非破壊検査を行う必要がある。デッキプレート上面から目視点検する場合、不定期に実施されるアスファルト舗装の全面打ち替え時に限定される上に、工事の交通規制時間内に他工程と競合するなどの問題が生じる。一方、デッキプレート下面からの超音波探傷検査は、検査箇所へアクセスするための足場や高所作業車などの仮設備が必要であること、検査精度は高いが検査効率が低いなどの問題がある。そこで、従来の超音波探傷法によるデッキプレート貫通き裂の全数検査を効率化するためのスクリーニング手法を検討し、渦流探傷法を用いた検査手法を開発した。さらに、この渦流探傷法を用いた検査の効率化を目的として、手作業に代わる図-2 に示す自走式の鋼床版検査装置「みつけるくん K」を開発<sup>2),3)</sup>した。

本論文では、鋼床版橋において発見された実デッキプレート貫通き裂に対する検出試験による精度検証結果と、「みつけるくん K」を用いた今後のデッキプレート貫通き裂に対する効率的な検査手法を述べる。

## 1. 鋼床版検査装置「みつけるくん K」の概要

自走式の鋼床版検査装置「みつけるくん K」は、4チャンネル渦流探傷装置、検出装置、電源装置および全体を牽引する走行装置等から構成される。センサ部である検出装置は、開発した渦流探傷コイルを4基有し、1基当たりUリブの溶接線1線の検査ができる。また、き裂に直交するように渦流探傷コイルを橋軸直角方向に1回/秒の速度で往復可動させながら、規定の速度(5cm/秒=3m/分)で橋軸方法に牽引する。



図-2 鋼床版検査装置



図-3 鋼床版検査装置による検査の状況

検査状況を図-3 に示す。一度の検査で片側の輪荷重載荷ラインの4溶接線を同時に検査可能となる。左右の輪荷重載荷ラインをそれぞれ走行することで、1車線分の検査ができる。なお、この検査では、デッキプレート貫通き裂の上をセンサが直交した際に、き裂の信号を検知する。デッキプレート貫通き裂の判定は、前進しながら3回以上のき裂信号を検知した場合とした。そのため、規定の速度では検出限界をデッキプレート表面のき裂長10cmと設定しているが、検査速度を遅くした場合、検出限界は検査速度に応じて小さくなり、検査速度を早くした場合の検出限界は大きくなる。

## 2. 「みつけるくん K」による検査結果の検証

本検討では、あらかじめフェイズドアレイ探傷法を用いて、デッキプレート貫通き裂を確認した橋梁において、デッキプレート貫通き裂の検出試

験をした。一方、「みつけるくん K」の検査技術者には、ブラインドテストとして実施した。その後、舗装除去後のき裂の状況と「みつけるくん K」の検査結果を比較・検証した。検査対象は湾岸線の岸下 S1-32 および湾上 S157 の 2 径間とした。それぞれの橋梁の構造の概要を表-1 に示す。

「みつけるくん K」の画面には、有する 4 つの渦流探傷コイル毎に検査波形が表示される。判定は検査員が検査波形を適宜拡大してき裂の有無を判断する。検査結果の例として岸下 S1-32 の結果を図-4 に示す。岸下 S1-32 および湾上 S157 共に検査した範囲の橋軸方向には、箱桁とデッキプレートの添接部（縦綴じ）、橋軸直角方向には一定の間隔で鋼床版の添接部（横綴じ）が存在する。渦流探傷検査法は、検査対象面の導体に反応するため、デッキプレート上のき裂だけでなく、添接部等のボルトや架設時の吊り金具切断跡、ハンド

ホールなどに反応する。そのため、検査に際し予め竣工図からデッキ上の添接部やハンドホールの位置を確認し、規則的に現れるこれらの反応から、添接部等のき裂でない反応を判断する。このように、き裂でない反応を除外し、き裂と疑われる反応を抽出し、詳細に判定する。

本検査において、渦流探傷検査員はデッキプレート貫通き裂と疑われる指示として岸下 S1-32 で E-1, E-2, E-3 の 3 箇所、湾上 S157 で 3 箇所抽出した。また、本検査では、径間長約 80~90m の 2 橋に対して、検査時間はそれぞれ約 3 時間であった。したがって、7 時間の通常の作業では 150~180m 程度の車線延長の検査が可能と考えられる。また、平成 27 年の 10 月の阪神高速道路湾岸線の通行止め工事内において、12 昼夜間の作業において 31 径間の調査を実施した。検査の結果、新たなデッキプレート貫通き裂は認められなかったが、交通規制が不要なため、昼間、夜間とも平均して約 3 径間（約 230m）/8 時間の検査効率であった。

岸下 S1-32 において抽出した E-1, E-2, E-3 の 3 箇所の内、E-1 については事前のフェイズドア

表-1 みつめるくん K による検査対象橋梁

	岸下 S1-32	湾上 S157
径間長(m)	83.0	87.0
主桁数	3 箱桁	1 箱桁
車線	4 車線	2 車線
供用開始	H3 年	S61 年

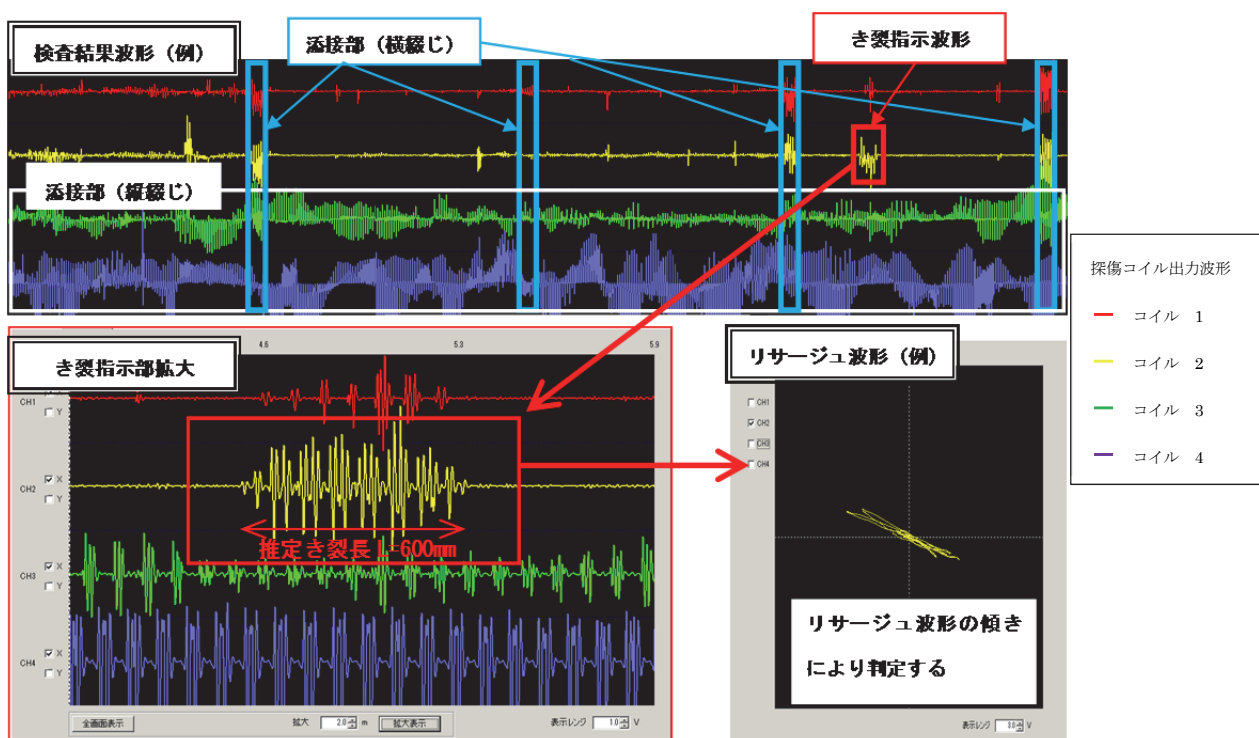


図-4 鋼床版検査装置による検査結果の例（岸下 S1-32 E-1 部）

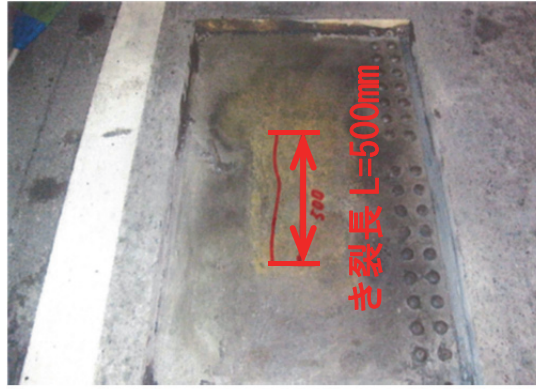
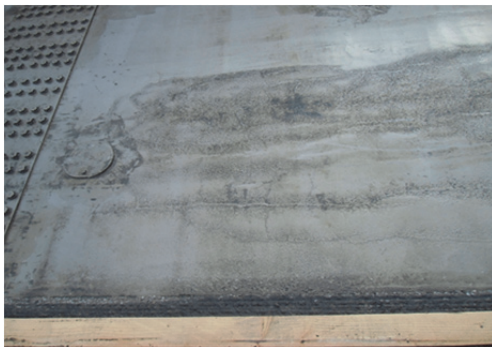
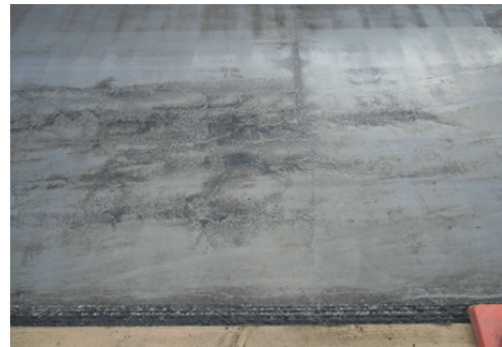


図-5 検出したデッキプレート貫通き裂の状況 (E-1 部)

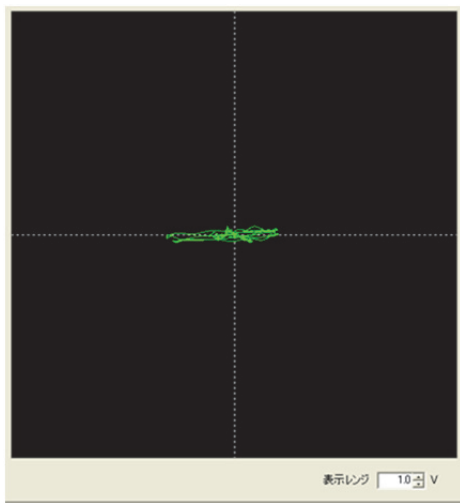


a)E-2 部

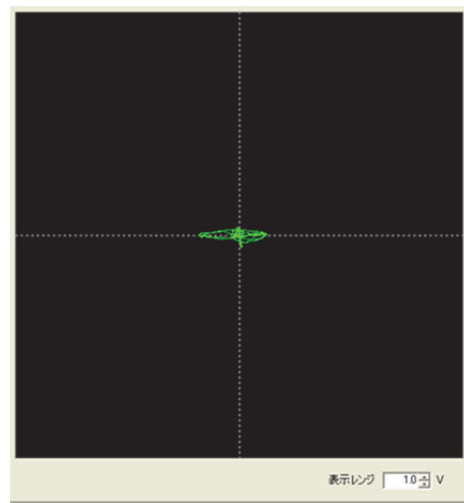


b)E-3 部

図-6 疑似信号部のデッキプレート上面の腐食状況



a)E-2 部



b)E-3 部

図-7 検出した疑似信号の例

レイ探傷検査によるデッキプレート貫通き裂の位置とき裂長さがほぼ一致した。さらに、舗装補修時の舗装撤去後に、デッキプレート上のき裂を確認した結果、図-5 に示すようにき裂位置と概略のき裂長さが一致していた。き裂長さは、「みつけるくん K」の推定値 600mm に対して実測は 500mm であり 100mm の誤差があるが、スクリーニ

ング検査の精度ではほぼ一致すると判断できる。E-2、E-3 の 2 箇所は図-6 に示すようなデッキプレート上面の腐食損傷箇所であったため、図-7 に示すような疑似信号であることが確認できた。また、湾上 S157 では抽出した 3 箇所の内、1 箇所はフェイズドアレイ探傷検査によるデッキプレート貫通き裂位置と概略のき裂長さが一致した。



それ以外の2箇所は、フェイズドアレイ探傷検査の検査結果からはデッキプレート貫通き裂に該当する異状がなく、舗装カッター傷などの舗装補修時に発生したと考えられる傷と推定した。このように、フェイズドアレイ探傷検査によりあらかじめ検出した2箇所のデッキプレート貫通き裂に対する「みつけるくん K」を用いたブライントテストでは、き裂がない箇所をき裂と判定した誤検出はあったが、デッキプレート貫通き裂を見逃すことなく検出し、そのき裂の位置およびき裂長さのいずれもほぼ一致していた。したがって、「みつけるくん K」によるデッキプレート貫通き裂に対するスクリーニング手法の実用性を示した。

### 3. 今後の効率的な鋼床版検査手法の提案

#### 3-1 検査効率の考察

鋼床版におけるデッキプレートの貫通き裂は、一定程度以上進展するとデッキプレートの耐荷力が著しく低下し、路面陥没を誘発する危険性がある。このように、第三者災害のリスクがある、デッキプレート貫通き裂は、早期発見および早期補修が必要である。一方、すでに述べたように、デッキプレート貫通き裂は通常の見視点検では発見できないため、何らかの非破壊検査が必要となる。一般的には超音波探傷検査が用いられるが、構造物に対する接近のための全面足場などの仮設備が必要で、経済性や効率性が課題がある。また、鋼床版に対する検査についても定期的な実施が求められる中で、上記の課題がある超音波探傷検査を今後も持続的に実施することは、実務上困難が予想される。そこで、ここでは渦流探傷法と超音波探傷（本検討ではフェイズドアレイ探傷）法を併用した検査法の検査効率を検証し、今後のデッキプレート貫通き裂を効率的かつ高精度に検査可能な手法を提案する。

フェイズドアレイ探傷法による鋼床版の検査は、平成21年以降阪神高速道路では数多くの検査実績があるが、平均的な溶接線に対する検査は、従来の超音波探傷検査と比較して検査効率は高いが

平均70m/日である。1車線に8本あるUリブの溶接線を考慮すると、1車線に対する検査延長としては10m/日に満たない。阪神高速道路のUリブ鋼床版において、デッキプレートとUリブの溶接線に発生するタイプのき裂の発生径間（77径間、径間延長6,580m）の内、当面疲労損傷のリスクの小さいと判断できる追越車線を除くと、デッキプレート貫通き裂の発生が懸念される車線延長は220車線、車線延長約20kmに及ぶ（平成25年6月時点）。この20kmの検査延長を10m/日で実施した場合、約2,000日必要となり、ほぼフル稼働の250日/年の割合で点検したとしても8年必要になる。

このような膨大な鋼床版の資産延長に対し、10m/日に満たない検査効率のフェイズドアレイ探傷検査のみでデッキプレート貫通き裂の検査を実施することは、効率性の面だけでなく経済性からも現実的ではない。一方、渦流探傷を使用した「みつけるくん K」を使用すると1日あたり150～230m（阪神高速道路の実績では、交通規制内の調査で1日当たり150m～180m、通行止め工事内の調査では1日当たり200m～230m）のスクリーニング検査が可能となる。1日あたり150mとした場合、20kmを検査に134日となり、道路法が定める原則1回/5年の点検頻度に対応可能と考えられる。つまり、スクリーニングされた箇所に対し2次検査としてフェイズドアレイ探傷検査が必要であるが、「みつけるくん K」を使用したデッキプレート貫通き裂の検査は、検査日数で15～23倍の効率化が期待できる。

また、フェイズドアレイ探傷検査において箱桁内面における検査では、交通規制が不要であるが、箱桁外面の検査では、交通規制による橋梁点検車などを使用した検査が必要である。一方、「みつけるくん K」を用いた検査では、交通規制が必要であるが、超音波探傷検査と比較して交通規制日数を大幅に短縮でき、交通渋滞などの一般交通に対する影響の大幅な低減が期待できる。

表-2 鋼床版デッキプレート貫通き裂検査費用

※検査費用は、H26 年度阪神高速の構造物点検の実績で算出

		渦流探傷 (自走式鋼床版検査装置)	フェイズドアレイ探傷 (箱桁内面)	フェイズドアレイ探傷 (箱桁外面)
検査延長 (車線延長) (m)		300	164	18
1次 検査	検査日数	2	19	2
	検査費用 (円)	2,600,000	8,770,000	2,900,000
	m単価 (円)	9,000	53,000	161,000
2次 検査	検査日数	2	—	—
	検査費用 (円)	900,000	—	—
検査費用合計 (円)		3,500,000	8,770,000	2,900,000
m単価 (円)		12,000	53,000	161,000
検査効率 (m/日)		150	9	9

### 3-2 検査コストの考察

次に、平成 26 年度の阪神高速道路の構造物点検における鋼床版デッキプレートの貫通き裂に対する各検査方法の実績を表-2 に示す。フェイズドアレイ探傷検査は、仮設備が不要な箱桁内、夜間規制および橋梁点検車が必要であった箱桁外面 2 つの場合を示した。フェイズドアレイ探傷検査は、箱桁内が 53,000 円/m である一方、箱桁外面は 161,000 円/m であり、検査費用に占める仮設備費の影響が非常に大きい。一方、「みつけるくん K」による検査は、夜間交通規制に伴う規制費が必要となるが、1 日に 150m の検査ができたため、9,000 円/m であり、フェイズドアレイ探傷検査と比較して極めて経済的である。さらに、スクリーニング後にフェイズドアレイ探傷検査による 2 次調査が必要になった場合を考慮しても、12,000 円/m であり、経済面ではフェイズドアレイ探傷検査と比較して約 1/3～1/14 と極めて高い効率化が期待できる。橋梁点検車が使用できなく全面足場が必要な箇所では、一層効果的であるといえる。

### 3-3 効率的な鋼床版検査手法の提案

このように、自走式の鋼床版検査装置によりスクリーニング検査し、デッキプレート貫通き裂が

疑われる箇所のみをフェイズドアレイ探傷検査することで、経済的な検査が実現できる。将来的に現在よりも密な点検間隔で検査が必要とされる場合においても、効率的に検査できるといえる。

今後は、デッキプレート貫通き裂の発生頻度や進展速度などのデータを蓄積し、安全性が確保できる適正な点検頻度の設定が課題となる。

## 4. 鋼繊維補強コンクリート (SFRC) が検査精度に及ぼす影響

近年、鋼床版の疲労損傷が多発している径間において、鋼繊維補強コンクリート (以下、SFRC) が施工され、鋼床版デッキプレート貫通き裂だけでなく、U リブに発生するき裂の予防保全として施工されることが多くなりつつある<sup>4)</sup>。

渦流探傷法は、センサと検査対象面の間に磁性体が存在すると、その磁性体により磁気が大きく影響を受けるため、検査が困難になることが予想された。そこで、ここでは SFRC 部の鋼床版の検査が可能か検証するため、平成 27 年 10 月に、阪神高速道路湾岸線において実施された通行止め工事期間中に、SFRC 舗装が施工された径間の岸下 S-15 において、SFRC の影響を検討した。

「みつけるくん K」はデッキプレート貫通き裂

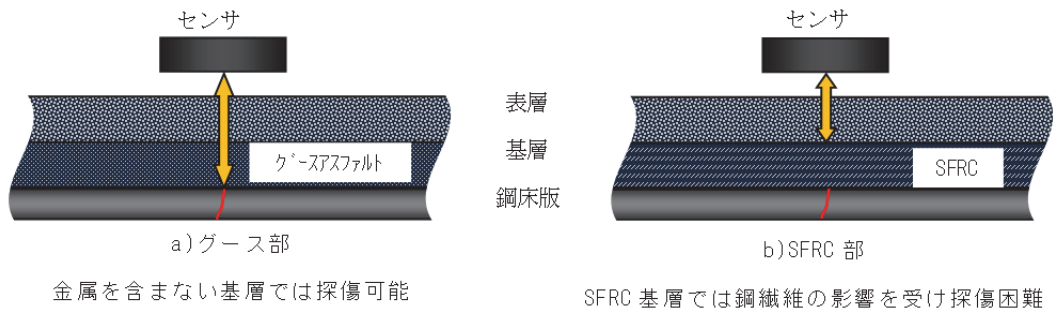


図-8 グースおよび SFRC 区間における鋼床版デッキプレート貫通き裂検査の模式図

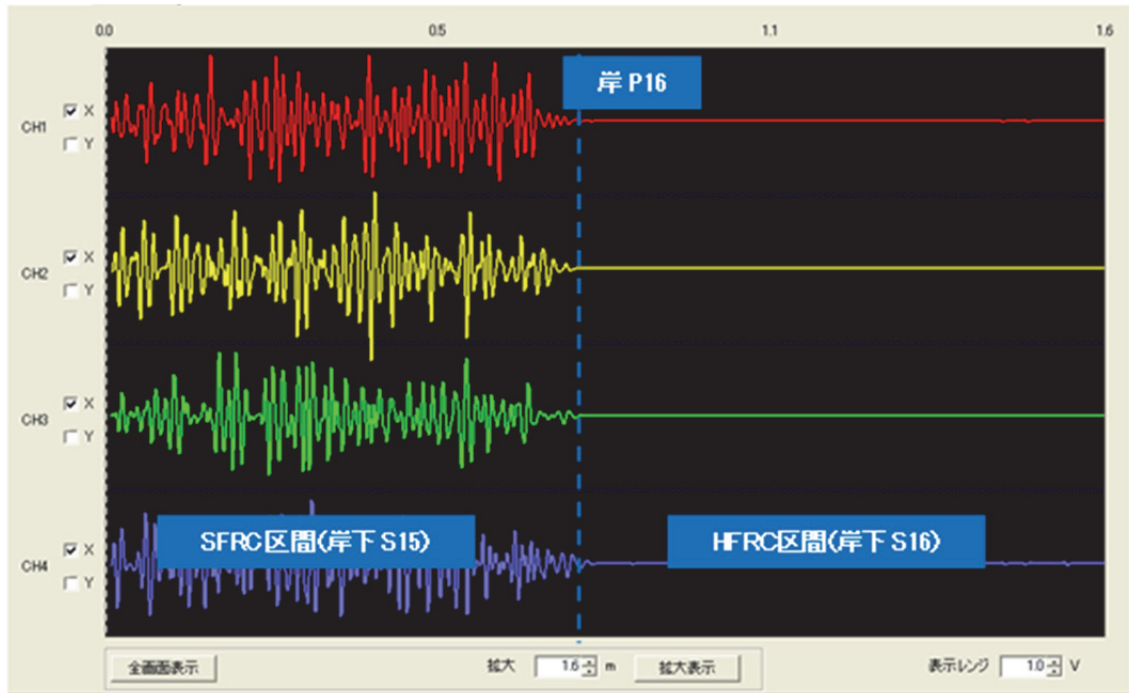


図-9 SFRC 部の鋼床版検査結果

(SFRC 区間では鋼繊維のため、ノイズ信号が大きい)

による渦電流および磁束の変化を検出する。導電性を持たないグースアスファルト舗装や密粒度アスファルト舗装では渦電流および磁束に対する影響は生じないため、鋼床版デッキ表面のき裂の検出が可能である。一方、SFRC 舗装では、渦電流および磁束は SFRC 中の鋼繊維の影響を受け、鋼床版デッキ表面の検査が図-8 に示すように困難になることが予想されていた。

そこで本検討では、実鋼床版橋において SFRC が施工された径間と磁性体を含まない有機繊維補強コンクリート舗装 (HFRC<sup>5)</sup>) が施工された径間の境界部で、検査結果に及ぼす SFRC の影響を検証した。検査結果、SFRC の区間において鋼繊維による大きなノイズ信号が確認された。検査波

形を図-9 に示す。SFRC 区間ではノイズのみの波形であるが、SFRC 区間から HFRC 区間に遷移した直後から、ノイズがなくなる。したがって、SFRC が施工された鋼床版の検査が不可能であることが示された。

## 5. まとめ

本論文の内容を、以下にまとめる。

- 1) 「みつけるくんK」にて、デッキプレート貫通き裂を見過ごすことなく検出した。
- 2) 「みつけるくんK」の検出結果と舗装除去後の実き裂を比較すると、き裂発生場所およびき裂長が概ね一致した。

- 3) 「みつけるくんK」は、1夜間で150～180mの検査実施が期待できる。
- 4) 「みつけるくんK」による検査は、従来のフェイズドアレイ探傷検査との検査コスト比較の試算では、フェイズドアレイ探傷検査コストの1/3～1/8で検査ができ、極めて高いコスト削減効果が期待できる。
- 5) 「みつけるくん K」による検査によりスクリーニングを実施し、デッキプレート貫通き裂が疑われる箇所のみをフェイズドアレイ探傷検査することで、鋼床版デッキプレート貫通き裂に対する検査の大幅な効率化が期待できる。
- 6) 本手法は、将来的に定期的なデッキプレート貫通き裂の検査が必要になった場合においても、効率的に検査できるといえる。
- 7) SFRCが施工された範囲においては、「みつけるくんK」による検査が不可能である。

謝辞：この渦流探傷技術を使用した鋼床版デッキプレート貫通き裂に対する舗装上からの検査技術およびこの技術を搭載した「みつけるくんK」は、

阪神高速道路(株)、阪神高速技術(株)、日本電測機(株)の3社共同研究の成果である。平成20年の基礎研究開始以来、本検査法の技術開発および試験施工等に関係された、阪神高速道路(株)、阪神高速技術(株)および(株)日本電測機の関係各位、並びに元阪神高速技術(株)山上哲示氏に、深く感謝します。

#### 参考文献

- 1) 阪神高速道路(株)：鋼床版フェイズドアレイ超音波探傷試験要領(案)，2012。
- 2) 田畑晶子，山上哲示，塚本成昭，奥野貢，河野譲：渦流探傷試験による鋼床版き裂検出に関する報告，鋼構造年次論文報告集，第17巻，pp.315-322，2009。
- 3) 杉山裕樹，閑上直浩，塚本成昭，山上哲示，奥野貢，白石彰：舗装上面からの鋼床版デッキプレート貫通き裂調査手法の開発，第29回日本道路会議，2011。
- 4) 例えば，独立行政法人土木研究所：鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究(その2・3・4)報告書-SFRCによる既設鋼床版橋梁の補強に関する設計・施工マニュアル(案)一，2009。
- 5) 岡上政史，杉本学，尾幡佳徳：平成27年度湾岸線フレッシュアップ工事におけるSFRCの施工について，阪神高速道路第48回技術研究発表会論文集，2016。

## ACCURACY VERIFICATION OF ORTHOTROPIC STEEL DECK INSPECTION SYSTEM AND FUTURE EFFICIENT INSPECTION METHOD

Shigeaki TSUKAMOTO, Norihiro OTA, Tatsuro KATSUSHIMA and Ryoji OKAMOTO

We developed a non-contact inspection system for orthotropic steel decks using eddy current testing. The inspection system can detect through cracks in orthotropic steel decks from the surface of pavement at high efficiency and low costs, without requiring removal of the asphalt top layer. This study was an experimental verification on accuracy of through crack detection using the inspection system. It was demonstrated that significant reduction was achieved in the number of days and cost required for the test. This paper presents the verification results on the detection accuracy of the system, and also discusses an efficient inspection method for future.

塚本 成昭



阪神高速技術株式会社  
技術部 調査点検課  
Shigeaki Tsukamoto

大田 典裕



阪神高速技術株式会社  
技術部 調査点検課  
Norihiro Ota

勝島 龍郎



阪神高速技術株式会社  
技術部 調査点検課  
Tatsuro Katsushima

岡本 亮二



阪神高速道路株式会社  
大阪管理局保全部保全設計課  
Ryoji Okamoto