

3.4 位置情報と連携した鋼床版疲労損傷評価技術の開発および適用

3.4.1 背景

近年の重交通の影響により、構造物の疲労損傷とその対策が重要課題となっている。鋼構造物においては、鋼床版の疲労損傷が着目されており、①点検による亀裂の早期発見、②補修・補強による緊急対策、③予防保全を含めた恒久対策などが重要項目として実施、取り込み等されている。

鋼床版疲労損傷のうち、特にＵトラフのリブとデッキの溶接ルート部から発生するデッキ貫通亀裂は、舗装を除去しないと目視できないため、通常の見視点検では発見が困難である。またこの亀裂は、進展するとデッキに大きな変形を与え、最悪の場合には路面の陥没など走行車両の第三者被害につながることも考えられ、早期発見が重要課題となっている。一般的には、鋼床版下面からの超音波探傷による接触検査が用いられるが、低効率・高コストであることが課題となっていた。

そこで、阪神高速では舗装面上から舗装を撤去・破壊せず直接デッキ貫通亀裂を発見できる自走型渦流探傷装置を開発した。(3.4.1)

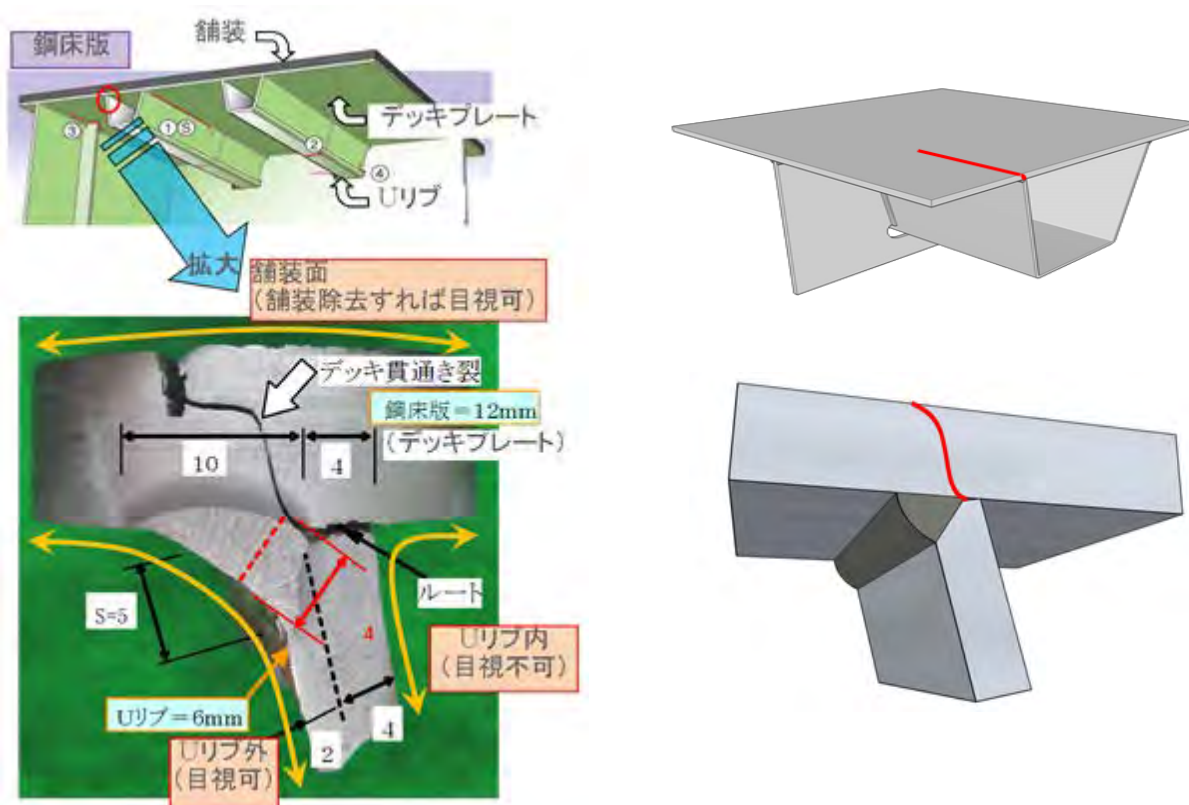


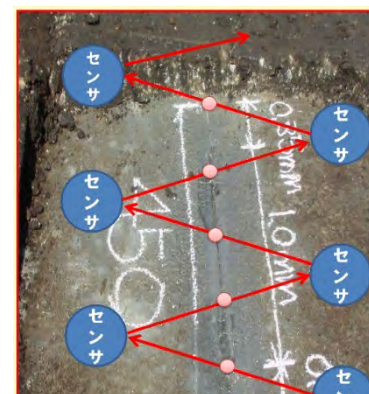
図-3.4.1 鋼床版デッキ貫通亀裂

3.4.2 自走型渦流探傷装置の概要

自走型渦流探傷装置は、4チャンネル渦流探傷センサ部、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。本装置は、専用に開発した渦流探傷コイル4基を有し、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)で橋軸方向に牽引する。

機器外観を図-3.4.2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。また、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。(3.4.2)



渦流探傷コイル（4基）が左右に往復可動する

図-3.4.2 機器外観（左）と亀裂に対するセンサの動き（右）

3.4.3 自走型渦流探傷装置の開発

開発に当たって、①非接触であること、②原子力分野も含め、熱交換器細管用の非破壊検査手法として実績があることから渦流探傷法に着目した。まず、人工欠陥を有する供試体に対し、周波数特性を把握するために周波数が信号振幅の変化に与える影響について調査を行い渦流探傷装法の有効性を確認した（適正周波数調査）。次に、周波数調査で得られた信号が最大となる周波数にて、人工欠陥を有する供試体とコイル間のリフトオフの大きさによる検出感度への影響を調査した（室内空間リフトオフ影響調査）。併せて、リフトオフとして存在する舗装の影響についても検証を行った（室内舗装リフトオフ影響調査）。また、実橋で発生したデッキ貫通亀裂に対して現地調査を試験的に繰り返し行い、装置の有効性を確認した(3.4.1)。

一般的に道路橋の非破壊検査は、検査員によるスケッチなど手入力が約9割程度であり、デジタルデータを直接記録することはほとんど実施されていないのが現状である。そこで、本自走式渦流探傷装置は、エンコーダーにより位置情報とスキャン波形をデジタルデータで記録出来るようにした。



図-3.4.3 距離情報を付加した牽引車と位置情報と連動した波形データ

3.4.4 自走型渦流探傷装置の現場運用

自走式渦流探傷装置は1台のワンボックスカーで運搬可能であり、現場での荷降ろしも人力で行っている。図-3.4.4の写真①～⑥にセッティングおよび検査状況写真を示す。セッティングは、ワンボックスカーから分割された機材を降ろし、組み立ておよび機器の接続を行う。開発当初は電源に発電機を使用していたが、近年のバッテリー小型化・大容量化に伴い、市販のポータブル電源で1日の計測が可能となっている。機材の荷降ろしから検査開始までの所要時間は30分程度である。

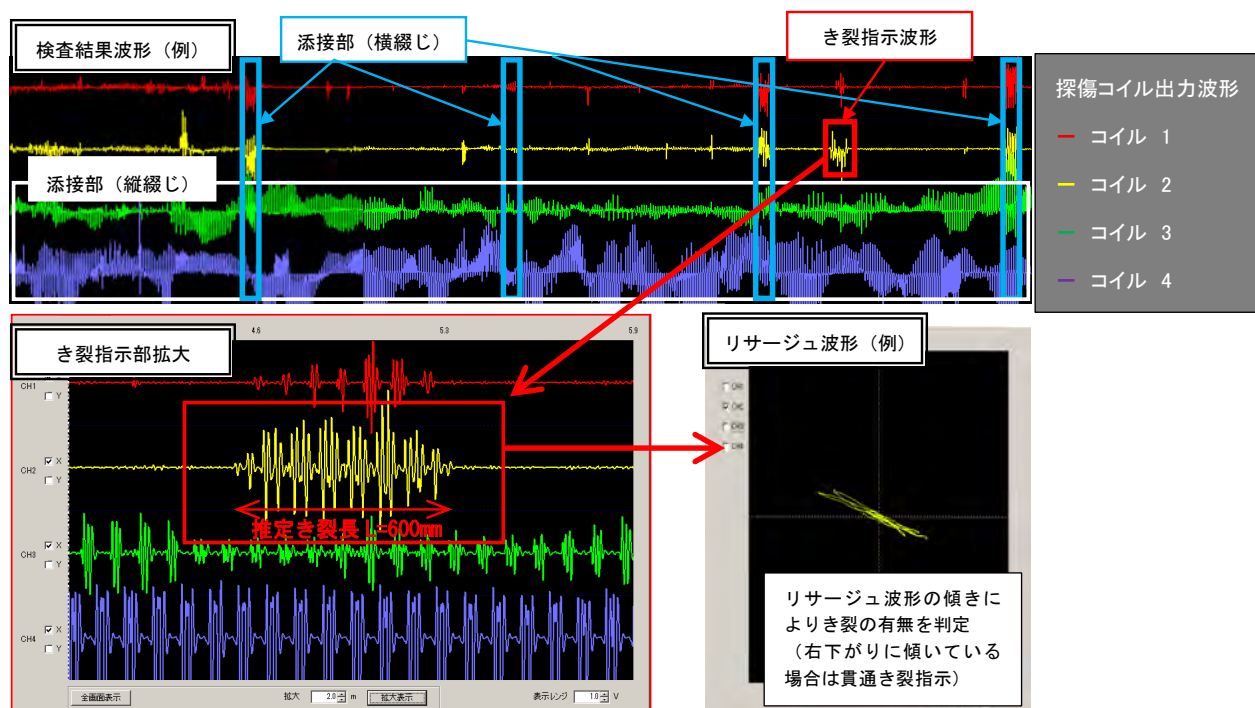
2017年度より検査の効率化を目的に、図中の写真⑥に示すように車線内の左右タイヤ位置を2台で探査することによって、限られた作業時間内で効率的な検査を行っている。



図-3.4.4 現場作業フローとセッティング状況

3.4.5 検査結果の分析事例

自走型過流探傷装置により鋼床版デッキプレートのき裂を検出した事例を図-3.4.5 に示す。分析画面には、4つの渦流探傷コイルで探査した検査波形が表示され、横軸はエンコーダーで測定した検査開始位置からの距離を示している。検査対象面である鋼床版表面には、箱桁とデッキプレートの添接部（縦綴じ）や、鋼床版添接部（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はなく、添接部のボルトやハンドホールなどにも反応する。そのため、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を除去したうえで、き裂損傷の反応を「き裂指示部」として検出する。この事例で確認されたき裂長さは、自走型過流探傷装置の推定値 600mm に対して実測は 500mm であったが、スクリーニング検査と考えれば十分な精度であると言える。



き裂指示部のデッキプレート状況



図-3.4.5 鋼床版検査装置による検査結果の分析事例^(3.4.2)

3.4.6 自走型渦流探傷装置に関する効率化の取り組み

図-3.4.6 に阪神高速道路で実施しているき裂調査の実績から抽出した検査効率の推移を示す。グラフの青線（右軸）は、各年度の実績から算出した溶接線の平均検査速度（m/h）を示している。阪神高速道路では、2009 年よりフェーズドアレイ超音波探傷試験を用いた鋼床版の検査を実施しており、1 溶接線あたり平均 10m/h の効率であった。2016 年に自走式渦流探傷を導入した結果、効率は約 15 倍に向上し、その後も検査機器の改良に伴い効率が向上している。

棒グラフ（左軸）は車線延長 10km 当たりの検査に必要な日数を示す。現在では 10km 当たり 30 日で検査可能となっている。将来的にはセンサ移動機構の改良による検査速度の向上により、2027 年度に検査速度 200m/h を目標としている。

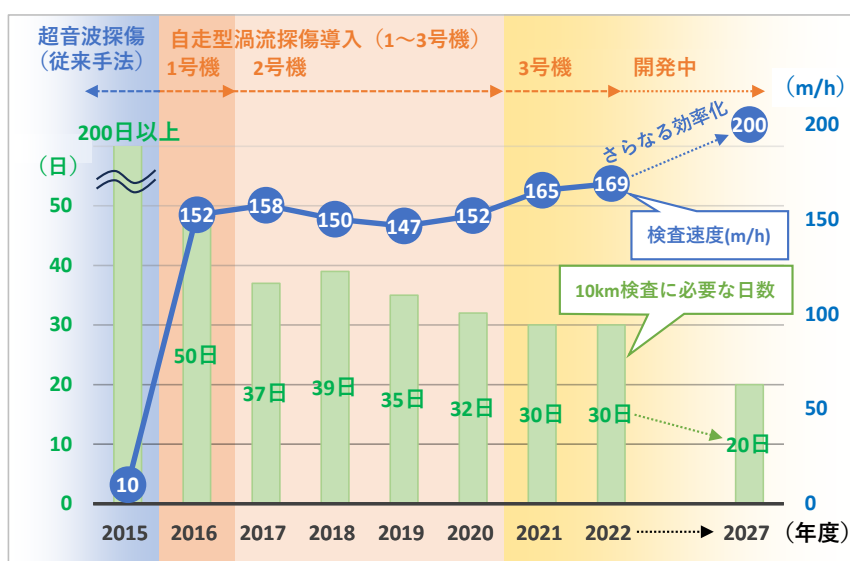


図-3.4.6 非破壊検査によるき裂調査実績（鋼床版） (3.4.3)

3.5.7 自走型渦流探傷装置による検査の実績

阪神高速道路では2016年度から2024年度までに、Uリブを有する鋼床版のうち89%で自走型渦流探傷装置による検査を実施しており、2027年度まで全延長151.9kmの1回目の検査が完了する計画となっている。その後は2回目の検査が予定されている。

表-3.4.1 検査の実績（阪神高速道路）

調査実施年度	調査延長	鋼床版(Uリブ) 車線延長	2024年度までの 調査進捗
2016年度	27.564km	—	—
2017年度	9.221km		
2018年度	14.964km		
2019年度	16.341km		
2020年度	20.625km		
2021年度	9.54km		
2022年度	19.067km		
2023年度	7.798km		
2024年度	9.371km		
合計	134.491km	151.9km	89%

3.4.8 まとめ

本稿では、位置情報と連携した鋼床版疲労損傷評価技術として、自走型渦流探傷装置の開発と実績について整理した。検査効率については装置の改良によって今後も向上していくものと考えられる。位置情報については、現在はエンコーダーで測定した検査対象部位のローカル情報のみであり、検査結果はクローズドなサーバーに保管されている。将来的には GPS を用いたグローバルな位置情報も付加し、国交省データプラットフォームへのアップロードが可能なシステム構築など、維持管理の DX 連携を進めていくことが望まれる。

3.4.9 参考文献

- (3.4.1) 山上哲示, 塚本成昭, 田畑晶子: 渦流探傷法による舗装上面からの鋼床版貫通亀裂の検出, 阪神高速道路第 41 回技術研究発表会論文集, 2009
- (3.4.2) 塚本成昭, 勝島龍郎, 杉岡弘一, 岡本亮二, 白石 彰: 渦流探傷技術を用いた鋼床版デッキ貫通き裂検査装置の精度検証, 平成 27 年度土木学会全国大会第 70 回年次学術講演会, p.I-387, 2015.9.
- (3.4.3) 田村拓登, 宇野津哲哉, 西芝貴光, 佐々木昇, 長澤大次郎: 土木鋼構造分野における非破壊検査技術と維持管理 DX との連携について, 令和 6 年度土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会, p.CS7-07, 2024.9