

# 鋼床版Uリブ・デッキプレート溶接部に対する自走式PAUT法を活用した調査・診断方法の提案

服部 雅史<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中日本高速道路(株) 技術・建設本部 環境・技術企画部 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-18-19)

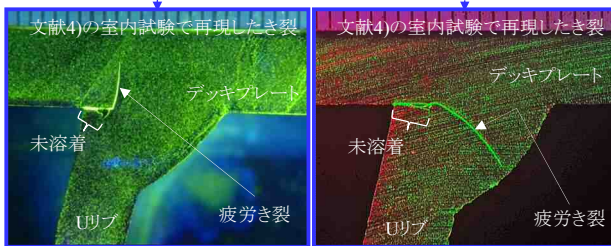
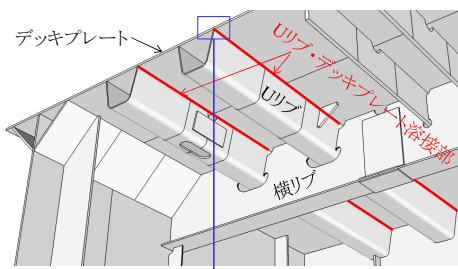
鋼床版のUリブ・デッキプレート溶接部の疲労き裂は、走行安全性に直結することから、早期発見・対策が望ましいが、き裂は溶接ルートから発生するため目視で早期発見できない。一方で、実橋でこのき裂はデッキとビードに進展する2種類が報告されているが、その双方を一度の走査でき裂深さが小さい段階から検出できる方法として、自走式PAUT法が開発されている。

そこで、自走式PAUT法のき裂寸法を測定できる点を有効活用し、選定される対策との関連性を考慮した診断方法を工学的知見に基づき提案する。また、調査速度を実橋での試行運用で確認し、その作業能力に基づいた調査箇所選定方法を提案する。最後に、この調査を導入することによる経済優位性を試算する。

キーワード 鋼床版, Uリブ・デッキプレート溶接部, 疲労き裂, 自走式PAUT法, 診断

## 1. はじめに

図-1に示す鋼床版のUリブとデッキプレートの溶接部において、溶接ルートを起点としてデッキプレートへ進展する疲労き裂(図-1(a)) (以下、デッキ進展型き裂)や溶接ビードへ進展する疲労き裂(図-1(b)) (以下、ビード進展型き裂)の報告がある<sup>1)</sup>。これらのき裂が進展すると路面に凹凸が生じ、走行車両の安全な通行を阻害する恐れが高いことから、優先的に対策すべき疲労き裂である。一方で、これらのき裂はルートから発生するため、貫通するまで目視では確認することができない。



(a) デッキ進展型き裂 (b) ビード進展型き裂

図-1 Uリブ・デッキプレート溶接部の疲労き裂

一般に、これらのき裂が見つかった場合は、ストップホールや溶接補修などのき裂処理を施し、鋼繊維補強コンクリート(以下、SFRC)敷設による補強を行っている<sup>2)</sup>。このき裂寸法が十分小さい状態で検出できれば、き裂処理を省略してもSFRCによる補強のみでき裂の進展を抑えることができる場合もあり<sup>3)</sup>、より合理的で経済的な対策が可能となる。また、き裂深さが3mm程度の小さいき裂から寸法を測定できる電動走行用治具を取り付けたフェーズドアレイ超音波探傷(以下、PAUT)装置による探傷試験(以下、自走式PAUT法)が提案されている<sup>4)</sup>。

本検討は自走式PAUT法の特徴を活かした鋼床版の維持管理手法の確立を目的として以下の検討を実施した。はじめに、自走式PAUT法の調査速度を実橋での試行運用で確認し、その作業能力や既往知見に基づいた調査箇所選定方法を提案する。次に、自走式PAUT法によりき裂寸法を測定できる点を有効活用し、対策との関連性を考慮した診断方法を提案する。最後に、自走式PAUT法を導入することによる経済優位性を試算する。

## 2. 自走式PAUT法の概要

自走式PAUT法の探傷装置を図-2に示す。この装置は磁石により鋼床版に取り付き、バッテリー駆動のモータにより橋軸方向に自走できる。この装置に、デッキプレート面とUリブ面に超音波を送受信する2台のPAUT探触子を装備することで、デッキ進展型およびビード進展型の

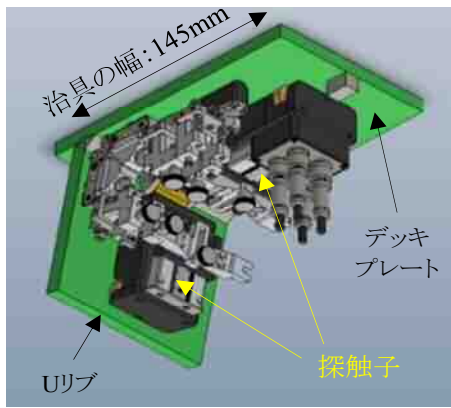


図-2 自走式 PAUT 法の探傷装置

双方を同時に探傷できる。文献4)の精度検証の結果、デッキ進展型き裂に対してき裂深さ2.2mm以上で誤差±1.5mm以内、ビード進展型き裂に対してき裂深さが2.8mm以上で誤差±2.0mm以内で測定でき、C5、D塗装系<sup>9)</sup>の塗膜上から測定できることが確認されている。

### 3. 実橋での試行運用

#### (1) 試行調査の概要

試行調査は供用開始から19.5年経過した伊勢湾岸道路の名港中央大橋で実施した。対象橋梁は供用開始から16.5年経過した時点でビード進展型き裂が貫通した状態で見ついている。調査対象の鋼床版はUリブ寸法：320×240×6mm、Uリブの中心間隔660～684mm、デッキプレート厚12mmであり、ルート部の溶込み量は不明である。

対象橋梁は上下線一体で6車線を有しており、そのうち上り線の3車線（路肩側から第一走行、第二走行、追越車線）を調査範囲とした。累計大型車交通量2,500万台/車線以上でデッキ進展型き裂が貫通した報告がある<sup>9)</sup>が、対象橋梁は第一走行車線と第二走行車線において3,000万台/車線を超過している。

調査範囲を調査結果とあわせて図-3に示す。過去の点検結果から、製作工場の違いにより疲労き裂の発見数に差があったため、き裂が既に見ついているA工場製作範囲と、き裂が発見されていないB工場製作範囲の2つ

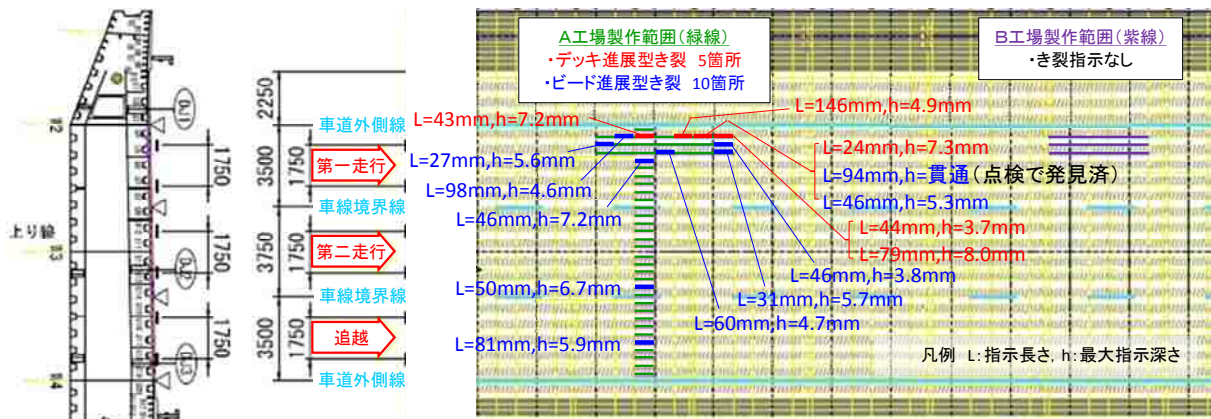


図-3 試行調査の範囲と自走式 PAUT 法で測定したき裂寸法

の範囲を対象とし、溶接線延長約170mに対する調査を実施した。調査対象の溶接線の抽出は、累積疲労損傷度が最も大きい第一走行車線において左タイヤ直下の3溶接線の双方工場製作範囲と、点検でき裂が見ついているA工場製作範囲に対して橋軸直角方向に1列とした。なお、調査に際して塗膜の除去はしていない。

#### (2) 試行調査の結果

調査の結果、検出したき裂の指示長さや指示深さを図-3に示している。目視点検において既にA工場製作範囲にビード進展型き裂が貫通した状態で1箇所見つけていたが、その他計14箇所のき裂指示が検出された。デッキ進展型き裂は第一走行車線の左タイヤ直下の1溶接線に集中して検出された。ビード進展型き裂はデッキ進展型き裂に比べると横断方向に広範囲に発生しており、調査した左タイヤ直下の3溶接線全てに発生していた。また、調査で検出したき裂指示は全てA工場製作範囲のみであり、B工場製作範囲にはき裂が全く検出されなかった。つまり、製作工場の違いにより疲労き裂の発生数が異なる傾向となった。製作工場の違いによる溶接形状の違いに着目し、PAUTのエコーを分析したが、溶接形状の差異は明確に判断できなかった。

本調査は4日間実施したが、その平均調査速度は、1日目が6.5m/h、2日目が7.8m/h、3日目が12.7m/h、4日目が12.0m/hであった。調査が慣れるに従い、調査速度は12.0m/h程度となるため、12m/hを自走式PAUT法の調査速度と考える。日作業時間を5hとすると調査速度は60m/日となるが、この速度で当社が管理する鋼床版全ての溶接線を調査することは困難と想定できるため、適用箇所の選定方法が必要となる。

### 4. 調査箇所選定方法を提案

#### (1) 調査箇所選定条件の検討

3.の結果および既往知見をもとに、該当するき裂に影響を与える選定指標を以下のように抽出した。

- ① 舗装の部分補修履歴
- ② 鋼床版の構造種別
- ③ 車線毎の累計大型車交通量

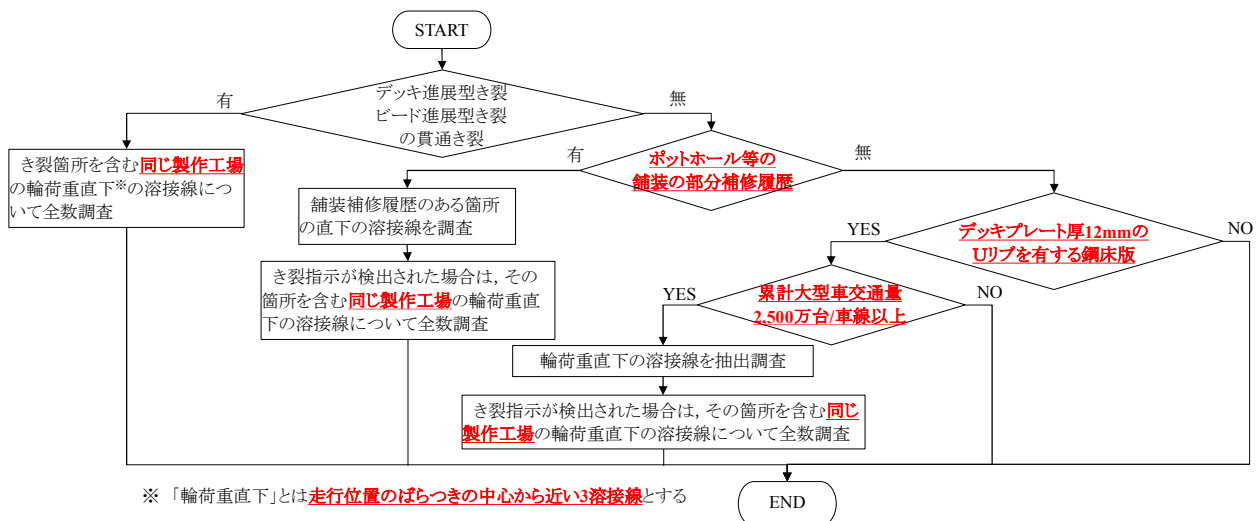


図4 自走式PAUT法の調査箇所選定フロー

- ④ 溶接線と輪荷重との位置関係  
 ⑤ 製作工場

①については、舗装の部分補修履歴がある箇所は、その直下の疲労き裂に起因して舗装損傷が生じた可能性がある<sup>9)</sup>ので、「ポットホール等の舗装の部分補修履歴」がある直下の箇所を選定条件とした。

②については、Uリブ・デッキプレート溶接部を有する鋼床版を対象とする（Uリブ以外の縦リブ形式は路面に影響する疲労き裂の報告がないため除く）と、

- A) 平成14年の道路橋示方書<sup>7)</sup>（以下、道示）より前の基準で設計されたデッキプレート厚12mmとしたもの  
 B) 鋼道路橋に疲労設計指針<sup>8)</sup>に記載のあるUリブ板厚の75%以上の溶込み量の確保がされている、平成14年の道示で設計されたデッキプレート厚12mmとしたもの  
 C) 国土交通省事務連絡<sup>9)</sup>以降の基準で設計されたデッキプレート厚16mmとしたもの  
 D) デッキプレート厚およびUリブ寸法を大きくした合理化鋼床版<sup>9)</sup>

の4スペックが存在する。このうち、点検において既にUリブ・デッキプレート溶接部に疲労き裂が見つかったのはデッキプレート厚12mmの鋼床版しかない（A、B）。また、既往の検討結果<sup>10)</sup>よりデッキプレート厚が疲労耐久性に大きな影響を与えることがわかっている。以上のことを踏まえ、「デッキプレート厚12mmのUリブを有する鋼床版」を選定条件とした。なお、ビード進展型き裂については、Uリブ板厚の75%以上の溶込み量が確保されている（B）と、溶込み量が確保されていない（A）で疲労耐久性が異なると考えられるが、ここでは、デッキプレート厚のみに着目している。

③については、本来であれば累積損傷度を用いて評価したいが、供用開始からの軸重や輪荷重と載荷回数を把握できない。一方で、車線毎の大型車交通量はIC間に少なくとも1箇所設置している交通量計測装置で推定することができる。累計大型車交通量2,500万台/車線以上でデッキ進展型き裂が貫通した報告があること<sup>6)</sup>を踏ま

え、「累計大型車交通量2,500万台/車線以上」を選定条件とした。

④については、Uリブ・デッキプレート溶接部に生じる応力の橋軸直角方向影響線長は短く<sup>11)</sup>、輪荷重が直上に載荷したときのみ大きな応力が発生する。実橋においても輪荷重直下に集中してき裂が発生する傾向が報告されていることから、輪荷重直下となる溶接線のみを調査対象とする。走行位置（橋軸直角方向の輪荷重載荷位置）のばらつき文献<sup>12)</sup>を参考にすると式(1)のような正規分布の確率密度関数で表すことができる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\alpha B} \exp\left(-\frac{x^2}{2(\alpha B)^2}\right) \quad (1)$$

ここで、 $x$ ：走行位置のばらつきの中心からの距離

$\alpha$ ：標準偏差に対する係数

$B$ ：車線幅員

上下分離型複数車線道路において、走行車線では $\alpha=0.088$ <sup>12)</sup>が与えられる。走行車線は一般に追越車線に比べ大型車交通量が多い。また、高速道路の一般的な車線幅員 $B=3,500$ mmとすると、式(1)より標準偏差は308mmと計算され、隣り合う溶接線の間隔をUリブの上側寸法と同じ320mmとすれば、溶接線を3本抽出すると $-320\text{mm} \leq x \leq 320\text{mm}$ の範囲で、全走行車両の70%の輪荷重載荷の影響を反映できる。そこで、「走行位置のばらつきの中心から近い3溶接線」を選定条件とした。走行位置のばらつきの中心は文献<sup>12)</sup>を参考に求める、もしくは実橋で超音波距離計を設置して計測することができる。

⑤については、3.の試行運用結果より製作工場の違いにより疲労き裂の発生数が異なる傾向が明らかとなったことから、き裂指示が検出された場合は「同じ製作工場」に対して調査を拡大していくこととした。

## (2) 調査箇所選定方法の提案

(1)の選定条件を踏まえ、調査箇所選定フローを作成した。フローを図-4に示す。なお、調査箇所として選定する「溶接線」とは、横リブで区切られたUリブ・デッ

表-1 デッキ進展型き裂に対する判定の標準

判定区分	判定の標準	
個別の変状に対する判定	AA	き裂がデッキプレートを貫通している。
	A1	き裂長さが60mm以上、またはき裂深さが7mm以上である。
	A2	き裂長さが60mm未満、かつき裂深さが7mm未満である。
	B	き裂が疑われる指示があるが、寸法の特定には至らない。
	OK	き裂が検出されない。
第三者等被害に対する判定	E	AAの場合と同じ。

キプレート溶接部を一単位とする。また、本調査はき裂を見つけることが目的であることから、調査の頻度は道路法施行規則と同等程度として、5年に1回程度と考えた。

溶接線の「抽出調査」については、5年に1回程度で調査可能な数量の断面を抽出することとしている。例えば、当社の管内で図-4に基づき調査箇所を選定した中で、累計大型車交通量が多くなるのは名港トリトンとその間の高架橋となることから、そこに対して抽出調査箇所を選定してみる。累計大型車交通量から第一、二走行車線のみを調査範囲とすると溶接線は約160,000mあるため、年間60日の調査実施と仮定とすると、 $160,000m \div (5年間 \times 60日 \times 60m/日) = 8.88$ となることから、全体の1/9の断面を抽出調査できる計算となる。

## 5. 調査結果を用いた診断方法を提案

### (1) き裂寸法に応じた判定の標準

自走式PAUT法によりき裂寸法を測定できる点を有効活用し、対策との関連性を考慮した診断方法を検討する。判定の標準として前提とした判定区分の定義は、保全点検要領<sup>13)</sup>に基づくこととした。その定義に基づき、提案するデッキ進展型き裂、ビード進展型き裂の判定の標準をそれぞれ表-1、表-2に示す。

判定については、個別の変状に対する判定 (AA, A1, A2, B, OK判定) と、第三者等被害に対する判定 (E判定) とに大きく分けられるが、個別の変状に対する判定における「機能」と、第三者等被害に対する判定における「安全な交通」とは、鋼床版は路面の一部を構成する部材であるという点で同義と考え、判定の標準においてAA判定の場合は同時にE判定であると解釈した。

### (2) デッキ進展型き裂に対する判定標準の考え方

AA判定は機能面への影響が非常に高い場合に相当する。鋼床版は路面の一部を担う部材であることから、機能として走行性能を確保する必要があり、走行性能に影響が非常に高い状態として、路面の変状がある。き裂がデッキプレートを貫通した状態となると路面の損傷や陥没となることから、デッキプレートを貫通した状態をAA判定とした。

A1判定は対策の検討が必要で機能低下への影響が高い場合に相当する。一方で、A2判定は機能低下への影

表-2 ビード進展型き裂に対する判定の標準

判定区分	判定の標準	
個別の変状に対する判定	AA	き裂のビードの貫通の有無に関わらず、き裂長さが300mm以上である。
	A1	き裂がビードを貫通しており、き裂長さが300mm未満である。
	A2	き裂がビードを貫通しておらず、き裂長さが300mm未満である。
	B	き裂が疑われる指示があるが、寸法の特定には至らない。
	OK	き裂が検出されない。
第三者等被害に対する判定	E	AAの場合と同じ。

響が低い場合に相当する。ここで、A1判定とA2判定の違いとして、両者とも対策の検討が必要な状態だが、その対策の程度が機能低下の大小と関係するため、対策の程度の違いを考えた。デッキ進展型き裂は抜本的対策として一般的にSFRCによる補強が行われており<sup>2)</sup>、SFRCによる補強の際に疲労き裂の処理 (ストップホール) が必要な場合をA1判定、不必要な場合をA2判定と考えた。き裂長さが60mmの場合に、疲労き裂の処理をせずにSFRCを50mm厚で舗設することで、その後のき裂進展がないことが輪荷重走行試験によって確認されている<sup>14)</sup>。安全側の評価として、き裂の長さが60mm以上の場合にはき裂の進展の可能性が確認できていないため、き裂の処理が必要としてA1判定とし、60mm未満をA2判定とした。

また、SFRCによる補強による応力拡大係数範囲の低減と、き裂寸法の関係からき裂長さ60mmとした場合にき裂が進展しない深さを検討した。応力拡大係数範囲が下限界応力拡大係数範囲 $63N/mm^2$ 以下の場合にき裂は進展しない<sup>15)</sup>とし、平板中の半楕円表面き裂の応力拡大係数を与えるNewman-Raju解 (式(2))<sup>16)</sup>を用いて応力拡大係数範囲を計算した。

$$K_I = (\sigma_m + H\sigma_b)F\sqrt{\frac{\pi a}{Q}} \quad (2)$$

ここで、 $K_I$  : 開口モードの応力拡大係数

$\sigma_m$  : 膜応力,  $\sigma_b$  : 板曲げ応力

$a$  : き裂深さ,  $Q$  : 欠陥形状パラメータ

$F, H$  : 形状係数

計算においては、文献3)の検討で得られたダブルタイヤの荷重7t (法定荷重5t×衝撃相当1.4) とした場合の影響線載荷での板曲げ応力の応力範囲 $\Delta\sigma_s=6MPa$ 、膜応力の応力範囲 $\Delta\sigma_m=0MPa$ を用いた。計算の結果、き裂深さを7mmとすると板曲げ応力の応力範囲 $\Delta\sigma_b$ が18MPa以下であれば理論上き裂は95%以上の確率で進展しないこととなる。仮に、デッキプレートとSFRCの合成効果を全く期待しない場合を想定しても、文献17)の検討結果から板曲げ応力の増加は倍程度と想定されるため、 $\Delta\sigma_b=6MPa \times 2倍=12MPa$ 程度となり、 $\Delta\sigma_b=18MPa$ 以下であるからき裂進展の可能性は低い。仮に、作用する輪荷重が法定荷重の3倍の過積載車が通過した場合、はじめて下限界応力拡大係数範囲と同じとなる $\Delta\sigma_s=6MPa \times 3倍=$

18MPaである。なお、法定荷重の3倍の輪荷重は、3.で試行調査を実施した名港中央大橋のある路線の刈谷PA付近の本線軸重計データより0.01%以下の発生割合であった。以上から、き裂深さが7mm未満の場合はき裂進展の可能性はきわめて低いため、き裂の処理が必要ないとしてA2判定とし、7mm以上をA1判定とした。

B判定は監視が必要な状態であり、監視をPAUTで行うことを考えて、き裂が疑われる指示を検出できる程度のき裂寸法の状態であるとした。

### (3) ビード進展型き裂に対する判定標準の考え方

ビード進展型き裂がデッキプレートを貫通して路面に変状を与える可能性は低いが、き裂延長が長くなる、もしくはUリブウェブにき裂が進展することにより、デッキプレートを補剛している部材としての機能が低下し、路面に変状を与えるため、き裂長さが一定以上の場合をAA判定とする。き裂長さが300mmの場合に、ストップホールと同時にSFRCによる補強し、輪荷重走行試験を行った結果、ストップホールから新たな疲労き裂は発生しないことを確認している<sup>14)</sup>。デッキ進展型き裂と同じ考え方で、SFRCによる補強の際に疲労き裂の処理（ストップホール）が必要な場合をA1判定とし、それ以上は試験で確認していないことから、安全側の評価としてき裂長さ300mm以上をAA判定とした。

A1判定とA2判定は、機能低下の程度で区分した。溶接ビードを貫通すると、その部分は閉断面構造でなくなるため、舗装への影響やUリブの防食上望ましくない。そのため、き裂がビードを貫通した場合をA1判定、貫通していない場合をA2判定とした。PAUTはビード進展型き裂を貫通前に検出できることから、貫通後の維持管理に比べ対策までの時間的余裕を確保することができる点で優位と言える。

B判定はデッキ進展型き裂と同様の判定としている。

### (4) 試行調査結果に対する診断

図-3に示す試行調査結果を表-1、表-2に基づいて判定すると、最もよくない評価においてA1判定とされる。A1判定とは保全点検要領<sup>13)</sup>の定義に基づくと「変状があり、機能低下への影響が高いと判断される場合」となる。つまり、試行調査を実施した橋梁は、調査結果に基づいて、SFRCによる補強の早期実施が必須と判断できる。

一般に、道路橋の点検では目視点検が行われており、試行調査を実施した箇所はビード進展型き裂が1箇所発見されていたのみであった。その状況において、該当き裂の補修に対する実施判断は容易にできるものの、明確な判断指標がないためSFRCによる補強を判断するのは容易ではないと想像される。一方、本検討において、自走式PAUT法による調査をもとに表-1、表-2に基づいて診断したことにより、SFRCによる補強という事業判断を疲労き裂の小さい段階から行う一助とでき、その判断を客観的に説明できると考えられる。

## 6. 自走式PAUT法の導入による経済優位性

### (1) 比較する維持管理事例

他の高速道路会社で管理している鋼床版橋において平成19年度の詳細点検で疲労き裂が多数発見されたため、対策に向けた検討が実施され、順次対策を実施している。

中でもA橋では、超音波探傷試験（以下、UT）を実施した結果、H23.7の詳細点検においてデッキ進展型き裂が147箇所、ビード進展型き裂が819箇所見つかっており、その5年後のH28.7の詳細点検ではデッキ進展型き裂が445箇所（3.0倍）、ビード進展型き裂が1,228箇所（1.5倍）に増えた。

A橋では以下の方法でき裂に対する維持管理を実施している。

I.デッキ進展型き裂：目視点検⇒UT⇒ストップホール⇒Uリブ取替え⇒SFRC

II.ビード進展型き裂：目視点検⇒磁粉探傷試験（以下、MT）、詳細目視点検（以下、VT）⇒ストップホール⇒溶接補修、当て板⇒SFRC

### (2) A橋と名港中央大橋の類似点

A橋は平成19年度の詳細点検でき裂が見つかり、その時の累計大型車交通量は2,600万台/車線程度であった。文献6)では早いもので1,200万台/車線でき裂が見つかり、それに比べると発生は遅い。文献6)は一般道を対象としており、高速道路との交通特性の違いの影響だと思われる。一方で、3.で試行調査を実施した名港中央大橋では平成26年度の詳細点検でき裂が見つかり、その時の累計大型車交通量は2,600万台/車線程度であった。き裂発見時の累計大型車交通量が同程度であることから、数年後には名港中央大橋もA橋のように多数をき裂が発生する恐れがある。

また、A橋と名港中央大橋は4.(1)のA)に該当する構造であり、構造条件が同じである。

### (3) 対策費用の比較

A橋の維持管理方法を従来方法として、自走式PAUT法を名港中央大橋に導入した場合（以下、本方法）の対策費用を比較した。従来方法はき裂が顕在化してから維持管理をはじめた事後対策のシナリオ、本方法はき裂が十分に小さい段階で維持管理をはじめた事前対策のシナリオである。本方法においては、き裂が十分に小さい段階で検出できることから、(1)に示した従来方法の維持管理に対して、デッキ進展型き裂に対する「ストップホール」と「Uリブ取替え」を、ビード進展型き裂に対する「溶接補修」と「当て板」を省略できることとなる。

前提条件として、A橋、名港中央大橋の橋梁緒元を表-3に示す。点検・調査対象面積はA橋については走行車線の下、名港中央大橋は第一、第二走行車線の下とした。点検・調査対象溶接線は、上記範囲にある輪荷重直下3溶接線に対して4.(1)から全体の1/9の断面を抽出調査としている。SFRCの対象面積は全幅とした。損傷箇所数

表-3 比較する橋梁緒元

	橋長(m)	点検・調査の対象		SFRCの対象	損傷箇所数	
		① 面積(m <sup>2</sup> )	② 溶接線(m)	③ 橋面積(m <sup>2</sup> )	④ デッキ進展型(箇所)	⑤ ビード進展型(箇所)
A橋	2,596	9,086	1,731	25,307	147 (UT+目視結果)	819 (目視結果)
名港中央大橋	2,340	16,380	3,120	64,350	1 (目視結果)	5 (目視結果)

表-4 維持管理費用の試算結果の比較

単位:千円

工種	点検	UT	MT, VT	PAUT	ストップホール		Uリブ取替え	当て板等	SFRC	⑥ 合計	⑥/③ 費用 (円/m <sup>2</sup> )
計算式	①× 100円/m <sup>2</sup>	②× 7千円/m	⑤× 2千円/箇所	②× 20千円/m	④× 20千円/箇所	⑤× 20千円/箇所	④× 30万円/箇所	⑤× 10万円/箇所	③× 45千円/m <sup>2</sup>		
A橋	909	12,115	1,638	-	2,940	16,380	44,100	81,900	1,138,815	1,298,796	51,322
名港中央大橋	1,638	-	-	62,400	-	100	-	-	2,895,750	2,959,888	45,997

については、A橋はH23.7の点検結果を、名港中央大橋はH27.7時点の点検結果とした。

維持管理費用の試算結果を表-4に示す。表中の「計算式」に記載の①～⑤は表-3のそれに対応する。また、各工種の単価については、PAUTを除いたものはA橋での実績単価、PAUTは3の実績単価とした。維持管理費用を試算すると、従来方法で行ったA橋は51,322円/m<sup>2</sup>に対し、本方法で行った名港中央大橋は45,997円/m<sup>2</sup>となり、約10% (▲5,325円/m<sup>2</sup>) の費用削減に繋がる結果となった。当社の管内で4. (1)のA)に該当する構造を有する鋼床版は、少なくとも名港トリトンとその間の高架橋で約8万m<sup>2</sup>存在するため、本方法を適用することで4億円以上の削減が期待できる。

## 7. まとめ

本検討は自走式PAUT法の特徴を生かした鋼床版の維持管理手法の確立を目的として、調査箇所選定方法と診断方法の提案と経済優位性の試算をした。

その結果、得られた知見や成果を以下に示す。

- 1) 試行調査の結果、製作工場の違いにより疲労き裂の発生数が異なる傾向であった。
- 2) 自走式PAUT法の調査速度は12m/h程度であった。
- 3) 試行調査の結果および既往知見をもとに、調査箇所選定フローを作成した。
- 4) デッキ進展型き裂、ビード進展型き裂に対して、自走式PAUT法によりき裂寸法を測定できる点を活用し、対策と関連性をもつ判定の標準を作成した。
- 5) 従来方法と比較して、約10% (▲5,325円/m<sup>2</sup>) の費用削減に繋がる可能性があることが示された。

今後は、提案した方法で実施した調査結果をもとに調査箇所選定方法と診断方法の更なる向上を図るとともに、対策方法の設計や施工管理の基準の充実を図ることで、鋼床版の疲労に対する維持管理手法の確立を目指したい。

**謝辞:** 本検討は当社で実施した「鋼床版疲労き裂に対する点検・診断検討会」の成果の一部であり、中日本高速技術マーケティング(株)、中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)、中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株)、(株)高速道路総合技術研究所の方々に多大な協力を得ました。また、館石和雄・名古屋大学教授、穴見健

吾・芝浦工業大学教授、判治剛・名古屋大学准教授、山田健太郎・名古屋大学名誉教授には貴重なご意見を頂きました。ここに記して深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ 19 鋼床版の疲労，2010.
- 2) 土木学会：鋼構造シリーズ 22 鋼橋の疲労対策技術，2013.
- 3) 下里哲弘，若林登，稲葉尚文，富田芳男，小野秀一，渡辺真至：疲労損傷を受けた鋼床版における SFRC 補強後の疲労耐久性検証試験，土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集，pp.43-44，2007.
- 4) 服部雅史，牧田通，館石和雄，判治剛，清水優，八木尚人：鋼床版 U リブ・デッキプレート溶接部の内なき裂に対するフェーズドアレイ超音波探傷の測定精度，土木学会論文集（投稿中）.
- 5) 東・中・西日本高速道路（株）：構造物施工管理要領，2017.
- 6) 鋼部材の耐久性向上策に関する共同研究—実態調査に基づく鋼床版の点検手法に関する検討—，国総研資料第 471 号，2008.
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編，2002.
- 8) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，2002.
- 9) 国土交通省：新設橋への鋼床版の適用に関するデッキプレート最小板厚の見直しについて，都市・地域整備局，道路局事務連絡，2009.
- 10) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所，社団法人日本橋梁建設協会：損傷状況を考慮した鋼床版の構造形式見直しに関する研究，国土技術政策総合研究所資料共同研究報告書，No.608，2010.
- 11) 服部雅史，大西弘志，青木康素，田畑晶子，松井繁之：タイヤ荷重による U リブ鋼床版の静的載荷試験，第 6 回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.33-38，2008.
- 12) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007.
- 13) 東・中・西日本高速道路（株）：保全点検要領，2017.
- 14) 中日本高速道路株式会社，首都高速道路株式会社：既設鋼床版の疲労損傷に関する補修補強方法 共同研究報告書，2007.
- 15) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説 一付・設計例— 2012年改訂版，2012.
- 16) Newman, J.C., Raju, I.S. : Stress-Intensity Factor Equations for Cracks in Three-Dimensional Finite Bodies Subjected to Tension and Bending Loads, NASA Technical Memorandum 85793, 1984.
- 17) 森猛，村越潤，佐藤歩，小野秀一：デッキ進展き裂を有する鋼床版の疲労耐久性に対する SFRC 舗装の効果，土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集，pp.555-556，2017.