

# 鋼床版橋のデッキ進展亀裂に対する非破壊調査技術の適用事例

高橋 実・上仙 靖・村越 潤・入江健夫

## 1. はじめに

我が国の道路橋については、その大半が高度経済成長期に建設されており、急速な高齢化が進む中、厳しい自然環境や交通条件によって様々な劣化損傷が顕在化している。それらの損傷の中でも、目視による点検が困難な損傷のひとつに、鋼床版橋のデッキプレート溶接部を起点としてデッキプレート内に進展する疲労亀裂（以下「デッキ進展亀裂」という。）が挙げられる。

土木研究所構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）では、このデッキ進展亀裂を対象とした非破壊調査技術として、超音波を利用した2種類の手法を開発してきた。

1つは、亀裂深さの浅い初期の段階でのデッキ進展亀裂を誤検出することなく検出でき、かつ塗膜上からの探傷結果の信頼性を向上させることを目的として、屈折角を90度に近づけた探触子を使用した超音波自動探傷法（以下「鋼床版亀裂の超音波探傷法」という。）である。

もう1つは、既にデッキプレートを貫通した亀裂（以下「デッキ貫通亀裂」という。）が報告された鋼床版橋や同路線上の鋼床版橋での対策実施までの調査・監視をより簡便に実施するための手法であり、亀裂貫通に伴って生じるUリブ内の滞水の有無からデッキ貫通亀裂を間接的に検知する手法（以下「滞水検知法」という。）である。

いずれの調査技術もCAESAR、菱電湘南エレクトロニクス(株)及び三菱電機(株)情報技術総合研究所の共同研究において開発したものである。

本稿では、調査対象とする亀裂と対策の概要、これら2種類の調査技術の概要と適用事例について報告する。

## 2. 鋼床版橋の疲労損傷と対策の概要

鋼床版橋（写真-1）は、死荷重軽減等の観点から都市内高架橋や長支間の橋に広く用いられてい



写真-1 鋼床版を有する箱桁橋の下面

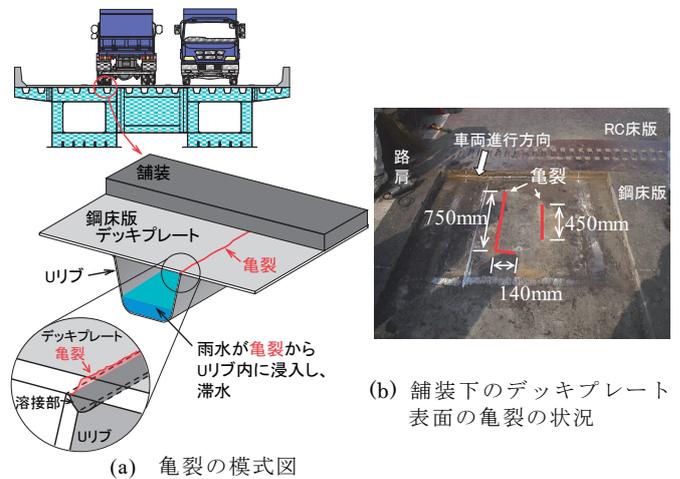


図-1 鋼床版デッキプレートに発生した亀裂

る。1970年代頃より、現在の一般的な構造であるU型の縦リブ（以下「Uリブ」という。）で補剛された構造が用いられるようになった。近年、大型車交通量の多い路線の鋼床版橋において、輪荷重直下の様々な溶接部から亀裂の発生が報告されている。このうち、図-1に示すデッキプレートとUリブとの溶接部からデッキプレート内に進展し、供用性に影響を及ぼすおそれのあるデッキ進展亀裂が発見されている。この亀裂は、目視困難な部位に発生し、舗装の著しい損傷・変状の発生に至らないと一般には見つけられないため、CAESARでは国土技術政策総合研究所と連携して、損傷原因の解明、非破壊調査技術等について検討を進めてきた<sup>1)</sup>。

また、既設の鋼床版の疲労対策として、既設のアスファルト舗装を剛性の高い鋼繊維補強コンクリート舗装に置き換える補修補強対策をとりまとめている<sup>2)~3)</sup>。

さらに、新設の鋼床版の疲労対策として平成

24年の道路橋示方書では、国土技術政策総合研究所との共同研究<sup>1)</sup>に基づき、輪荷重位置のデッキプレート厚が12mmから16mmに改定された。

### 3. 鋼床版亀裂の超音波探傷法の適用事例

#### (1) 調査技術の概要

一般に、超音波探傷法は溶接内部の亀裂や溶接欠陥を検出する方法として広く活用されているが、探傷結果については検査技術者の技量に左右されやすい面がある。精度・信頼性の高い亀裂の情報を得るためには、探触子の選定、探傷方法、亀裂の状態とエコー高さ（亀裂からの反射波の相対的な大きさ）の関連付け等について十分な検討が必要となる。また、鋼材表面の塗膜等による探傷面の状態の違いが探傷結果に影響を及ぼすが、これらの感度補正方法の検討も必要である。さらに、実用面では上向き姿勢での探傷となるため、輪荷重直下の溶接線を橋全長にわたって調査するには現場作業性が高く、探触子の位置精度が確保される探傷法であることが求められる。

これらの技術的課題を解決するために、本技術では次に示す方式を採用した。検査技術者の技量に左右され難く、かつ、精度・信頼性の高い亀裂の情報を得るために、レールを用いて探触子走査を行う超音波自動探傷法（Automatic Ultrasonic Testing、AUT）とした（図-3）。また、走査の駆動は、上向き姿勢での橋全長にわたる調査に耐えるように、検査技術者が手で動かす手動方式ではなくリモコン操作で動作するモータ駆動方式とした。さらに、既設橋の鋼材表面の塗膜を剥がすことなく塗膜の上から探傷しても塗膜厚さや塗膜面の凹凸状態の違いが探傷結果に影響を及ぼさない臨界屈折角探傷法を開発した（詳細は参考文献4)、5)を参照)。本技術と実用化段階の他の調査技術を対象とした実橋梁での亀裂検出性能の相対比較が行われ、本技術が浅い初期の亀裂の検出に優れている点などが示されている<sup>6)</sup>。

図-3に超音波探傷法による実橋での亀裂調査の概要を亀裂の二次元画像の例と合わせて示す。現場では対象とする溶接線に沿って自動走査装置をデッキ下面に磁石で固定し、探触子を自動走査することにより超音波探傷器上で探傷結果データをカラー画像で確認しながら自動で記録できる。超音波探傷試験に関するレベル3（最上位）のJIS

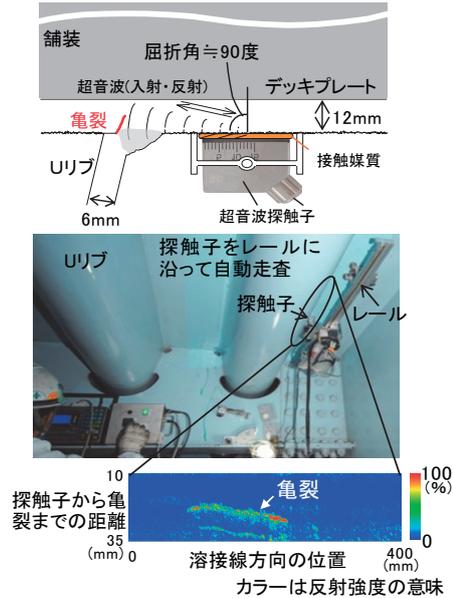


図-3 鋼床版亀裂の超音波探傷法の概要

表-1 鋼床版亀裂の超音波探傷法の適用実績（20橋）

橋名	建設年次	ADTT <sub>SL</sub>	調査長 (m)	亀裂検出の有無	調査年次
G橋	S52	4,487	74.2	無	H21
SH橋	H5	5,789	22.3	有※	H20
CY橋	S50	3,635	575.0	有※	H21,H26
SK橋	H4	6,850	422.0	有	H21
K橋	S53	2,424	62.4	有	H21
SW橋	S53	4,487	28.0	有	H22
ST橋	S54	4,487	132.0	有	H22
MY橋	S57	3,419	220.0	有	H22,H28
T橋	S54	1,485	193.0	有※	H22
I橋	S55	5,981	25.3	有※	H23
SI橋	S56	1,678	109.5	無	H23
MU橋	H1	3,419	716.3	有	H23,H26
SW橋	S53	4,487	28.0	無	H23
NK橋	H12	2,777	155.6	無	H24
NR橋	S54	1,805	41.6	有	H26
KU橋	S59	4,364	444.0	有※	H22,H27
SI橋	S56	1,678	44.0	有	H29
RK橋	H10	6,850	54.0	無	H30
TH橋	H3	3,332	100.2	無	H30
KS橋	H12	5,383	44.0	有	H30
計 20橋			3,491.4		

※ デッキ貫通亀裂有り(舗装を剥がして磁粉探傷試験により確認)

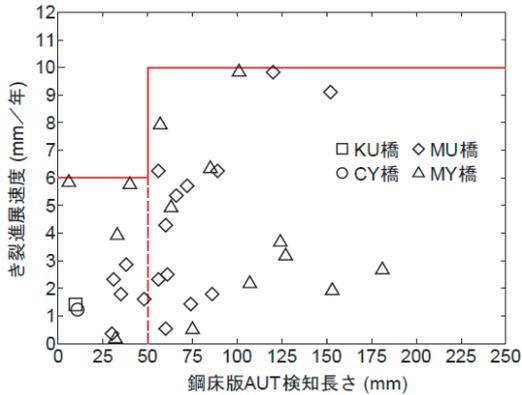
注1) ADTT<sub>SL</sub>：一方向一車線当たりの日大型車交通量(2015年道路交通センサスの結果より)

注2) 点検・詳細調査により亀裂発生が報告されているもしくは疑われる鋼床版橋を対象として調査範囲を限定して実施。

資格を有する検査技術者が簡単な訓練を積むことにより使用できる技術である。

#### (2) 適用事例

点検・詳細調査により、デッキ貫通亀裂が確認された鋼床版橋や、舗装の損傷が比較的早期に繰返し発生しているためデッキ貫通亀裂の発生が疑われる鋼床版橋を対象として、道路管理者により鋼床版亀裂の超音波探傷法による調査が行われた事例を表-1に示す。調査対象の溶接線は輪荷重位



注) 横軸の亀裂長さは、2回目の調査時の長さ。

図-4 鋼床版亀裂の超音波探傷法により求めた亀裂進展速度と亀裂長さの関係(一般部) 7)

置直下から抽出し、過去10年間で合計20橋、調査延長約3.5kmの調査が行われ、デッキ貫通亀裂を含むデッキ進展亀裂の検出および亀裂始末端位置や亀裂長さ等の状況把握が行われた。調査対象を前述のとおり限定しているため、亀裂有りという結果が多い。また、亀裂の状態にもよるが、デッキ貫通亀裂の発生している箇所では舗装の変状が生じていない場合も見られた。

本手法を適用してデッキ進展亀裂の挙動を把握するための分析も進められている7)。表-1のうち大型車交通量の比較的多い4橋については、デッキ進展亀裂の進展状況を把握するために同じ箇所を3~6年経過後に再度調査した。これらの調査の比較から1年あたりの亀裂進展量(亀裂進展速度)を求めた結果を図-4に示す7)。同図は、デッキとUリブの溶接部のうち横リブ交差部以外の一般部に生じた亀裂を対象としたものである。図中の赤線は、これら4橋のデータのうち、亀裂長さに対する亀裂進展速度の最大値を2段階で示したものである。ばらつきは大きいものの、亀裂長さが長くなるに従って、亀裂進展速度が速くなる傾向が伺える。

#### 4. 滞水検知法の適用事例

##### (1) 調査技術の概要

3. で述べた手法が亀裂を直接とらえるのに対して、亀裂貫通に伴って生じるUリブ内の滞水(図-1(a))の有無からデッキ貫通亀裂を間接的に把握する手法も開発してきた(図-5) 8)。具体的には、送受信の2個の超音波探触子(薄い板状の個体中を伝搬する波(板波)を使用)をUリブ下面に当てて、超音波の受信波形の顕著な減衰特

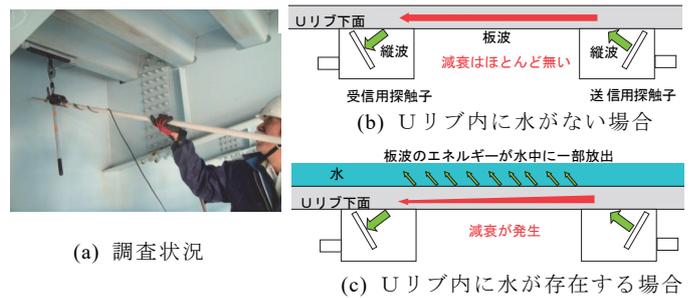


図-5 滞水検知法の概要

表-2 滞水検知法の適用実績(4橋)

橋名	建設年次	ADTT <sub>SL</sub>	橋長(m)	調査箇所	滞水の有無	調査年次	備考
SJ橋	S56	1,678	444	10	無	H25	道路管理者による調査
YS橋	H10	6,127	75	132	無	H25	
KS橋	H11	5,383	200	114	無	H25	
SG橋	S52	1,408	535	342	無	H26	
AU橋	H7	2,636	840	743	有	H24	CAESARによる調査
AY橋	H7	2,636	840	729	有	H25	
NR橋	S54	1,805	98	137	有	H26	

※ CAESARによる調査は、研究開発目的で実施

性よりUリブ内の水を検出するものである。伸縮する簡易治具を利用することで、対象Uリブから5m程度離れた位置からでも調査可能であり、1箇所あたり5秒程度で滞水の有無と同時に水深の計測が可能である。探触子と簡易治具などを合わせた手持ち部分の総重量は約2.6kgである。この技術についても、既設橋の鋼材表面の塗膜を剥がすことなく塗膜の上から調査しても塗膜厚さや塗膜面の凹凸状態の違いが調査結果に影響を及ぼさない特長を有している。

なお、滞水に伴う温度変化を捉える手法として有効な赤外線サーモグラフィについて併せて現場適用性を検討したが、遠望からの調査が可能である一方で、日照条件・測定時刻・水深の程度等により計測の制約や検出性能に限界があるため、確実性・迅速性の点で優位性を必ずしも発揮できない結果が得られた。

##### (2) 適用事例

滞水検知法は、これまでに4橋に適用され、Uリブ内の滞水の有無が確認されている(表-2)。表中にはCAESARによる調査の3橋を並記する。また、写真-2に調査時の様子を示す。調査の結果、滞水有りとなった位置や水深などの情報は道路管理者と共有し、舗装を剥がしてデッキプレート上面より貫通亀裂の調査が行われた。その結果、全てでデッキ貫通亀裂が確認され、実橋の維持管理に貢献するとともに、本調査法の信頼性が確認されている。

なお、NR橋については、車両走行部ではない



(a) 検査路からの調査



(b) 桁高の高い箱桁内の調査



(c) 地上からの調査



(d) 点検車での調査

写真-2 滞水検知法による調査の様子

中央分離帯の部分で雨水配水管がUリブを貫通している構造であり、この配水管の腐食劣化により配水管から漏れ出た雨水がUリブ内に滞水したものと推定された。

## 5. おわりに

鋼床版デッキ進展亀裂を対象とした調査技術の概要と適用事例を紹介した。鋼床版橋の計画的な維持管理の観点から、デッキ進展亀裂を含め各種の亀裂の発生・進展状況を分析するとともに、点検・詳細調査、診断、対策に至るまでのメンテナンスサイクルに関わる技術の体系化に向けて、引き続き現場ニーズに対応した研究開発を進めていく。

## 謝 辞

現場調査では、国土交通省関東地方整備局の方々にご協力いただきました。感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所、(社)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、第608号、2010.9
- 2) (独)土木研究所、(株)横河ブリッジ、鹿島道路(株)、大成ロテック(株)、(株)NIPPO：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舗装による既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)-、共同研究報告書、第395号、2009.10
- 3) 村越潤、木ノ本剛、春日井俊博、児玉孝喜、辻井豪：既設鋼床版のSFRC舗装による補強工法の構造と耐久性評価に関する実験的検討、土木学会論文集A1、Vol.69、No.3、pp.416~428、2013
- 4) 村越潤、木村嘉富、高橋実：鋼床版デッキプレート進展亀裂の調査のための超音波探傷マニュアル(案)、土木研究所資料、第4138号、2009.3
- 5) (独)土木研究所、菱電湘南エレクトロニクス(株)、三菱電機(株)情報技術総合研究所：鋼床版デッキプレート進展き裂の調査のための超音波探傷法に関する共同研究報告書、第452号、2013.3
- 6) 村野益巳、平山繁幸、谷村豊、塚本裕子、村越潤、高橋実、小池光裕：鋼床版デッキ貫通き裂検知手法の適用性に関する検討、土木学会第71回年次学術講演会、I-245、pp.489~490、2016.9
- 7) 平山繁幸、村野益巳、村越潤、窪田光作、高橋晃浩、入江健夫：既設鋼床版橋梁におけるデッキ貫通型き裂の進展に関する検討、構造工学論文集、Vol.64A、pp.560~572、2018.3
- 8) 村越潤：鋼橋の劣化損傷と技術開発、土木研究所第6回CAESAR講演会資料、2013.9.11  
<https://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/lecture06.html>

高橋 実



土木研究所構造物メンテナンス研究センター主任研究員  
Minoru TAKAHASHI

上仙 靖



土木研究所構造物メンテナンス研究センター上席研究員  
Yasushi JOSEN

村越 潤



研究当時 土木研究所構造物メンテナンス研究センター上席研究員、現首都大学東京大学院都市環境科学研究科 教授、博士(工学)  
Dr. Jun MURAKOSHI

入江健夫



国土交通省関東地方整備局関東技術事務所維持管理技術課 専門官  
Takeo IRIE