

戦-42 既設鋼道路橋における疲労損傷の調査・診断・対策技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（理事長特別枠）

研究期間：平 21～平 25

担当チーム：構造物研究グループ（橋梁）

研究担当者：村越潤、上仙靖、梁取直樹

【要旨】

我が国の鋼道路橋は約 5 万 8 千橋（橋長 15m 以上）を数えるが、近年、重交通路線に位置する橋梁や長期供用された橋梁等において、重大な疲労損傷事例が顕在化しつつある。鋼道路橋の疲労損傷については、交通条件、構造条件、細部構造、溶接品質等により損傷傾向、原因及び対策方法が異なる場合が多く、これらの事例に対する調査・診断・対策技術の体系化を図ることが重要と考えられる。本研究では、鋼道路橋における疲労損傷の発生傾向、各種要因との関係について既存事例に基づく実態分析を行うとともに、具体的な事例について実験・解析的検討を行い、調査・診断・対策技術に関する知見を現場で活用できる技術資料としてとりまとめることを目的としている。本年度は、き裂や塗膜割れが確認されている鋼橋の定期点検結果を収集し、損傷実態の整理分析を行った。また、鋼床版に発生する疲労き裂を対象として、対策技術としての SFRC 舗装の補強効果について検討を行った。

キーワード：鋼道路橋、疲労、点検結果、鋼床版、SFRC 舗装

1. はじめに

近年、重交通路線に位置する橋梁や長期供用された橋梁等において、重大な疲労損傷事例が顕在化しつつある。鋼道路橋の疲労損傷については、交通条件、構造条件、細部構造、溶接品質等により損傷傾向、原因及び対策方法が異なる場合が多く、これらの事例に対する調査・診断・対策技術の体系化を図ることが重要と考えられる。本研究では、鋼道路橋における疲労損傷の発生傾向、各種要因との関係について既存事例に基づく実態分析を行うとともに、具体的な事例について実験・解析的検討を行い、調査・診断・対策技術に関する知見を現場で活用できる技術資料としてとりまとめることを目的としている。

本年度は、定期点検によりき裂（塗膜割れを含む、以下同様）が確認されている鋼橋の点検結果を収集し、損傷実態の整理分析を行った。また、鋼床版に発生する疲労き裂の対策技術として注目されている SFRC 舗装を対象に、実大鋼床版試験体を用いて補強効果の検討を行った。本文ではそれらの検討結果の概要を報告する。

2. 定期点検結果を用いた損傷実態の分析

2.1 研究概要

平成 15 年度から平成 19 年度に直轄で実施された定期点検において、き裂が確認されている鋼橋を対象に、定期点検結果や橋梁カルテを収集し、き裂の発生部位・発生数を整理するとともに、主なき裂に対して供用年数や

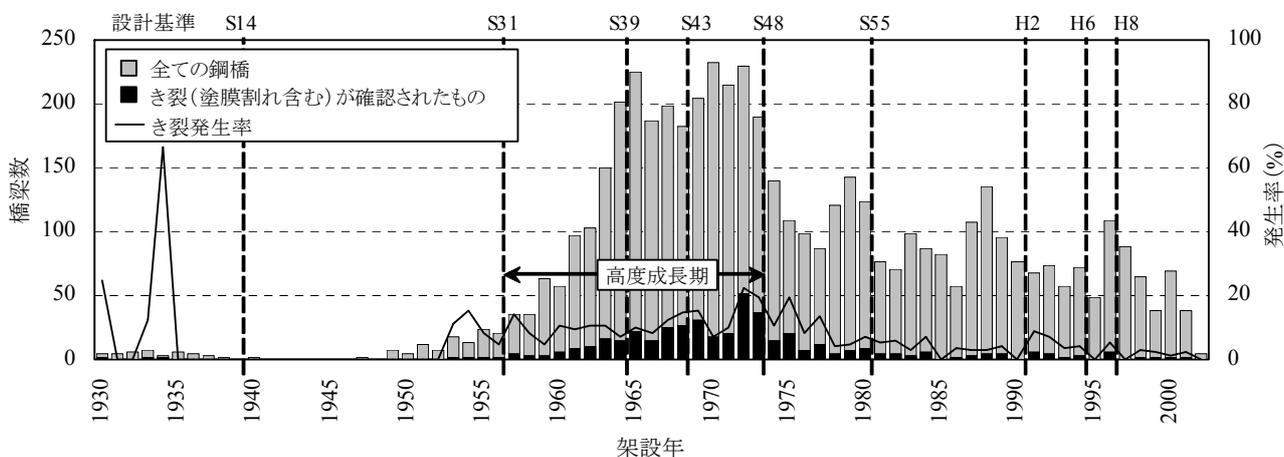


図-1 架設年次別の鋼道路橋数とき裂発生数

大型車交通量に対する発生傾向の分析を行った。また、一部地域についてはき裂の発生していない鋼橋のデータを収集し、発生率を含めた発生傾向の分析を行った。なお、点検は「橋梁定期点検要領(案)」¹⁾(平成16年3月、道路局国道・防災課)あるいは「橋梁点検要領(案)」²⁾(昭和63年7月、土木研究所)に従って実施されたものである。図-1に、直轄の全ての鋼橋(橋長15m以上)³⁾と、き裂が確認された直轄の鋼橋について、架設年度毎に整理した結果を示す。

2.2 対象橋梁と主なき裂

定期点検によってき裂が確認された鋼橋のうち、判定区分がE(緊急対応が必要な損傷)、C(補修が必要な損傷)、S(詳細調査が必要な損傷)のき裂を有する橋梁を対象に、き裂の種類を整理するとともに、主なき裂に対して供用年数や大型車交通量との関係を分析した。

図-2に、判定区分毎に橋梁数と径間数を整理した結果を示す。なお、1橋梁あるいは1径間に複数のき裂があり、それらの判定区分が異なる場合は、重複させて計上した。判定区分は、S、C、Eの順に多かった。また、判定区分Eは鋼I桁橋と鋼床版橋に見られた。

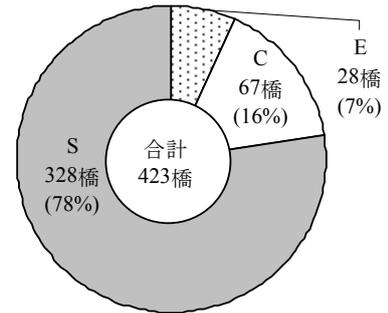
図-3に、判定区分E、C、Sの橋梁について、橋梁形式毎に橋梁数と径間数を整理した結果を示す。なお、1橋で複数の橋梁形式を有する橋梁は、両方の形式で計上した。鋼I桁橋が最も多く、次いで鋼床版橋が多かった。

図-4に、判定区分がEの事例を示す。(a)は、主桁と横桁の取合い部に生じたき裂であり、横桁の下フランジが主桁ウェブを貫通する形式の溶接部から発生し、主桁ウェブの進展したものである。(b)は、支点上のソールプレートと主桁との溶接部から発生し、主桁ウェブに進展するタイプのき裂である。

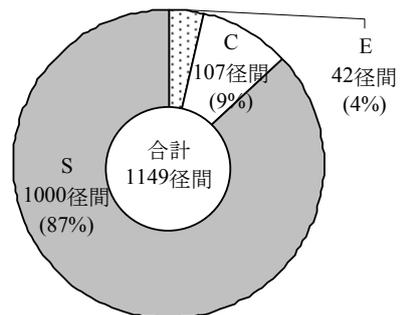
図-5に鋼I桁橋・鋼箱桁橋の場合、図-6に鋼床版橋の場合、図-7に鋼アーチ橋や鋼トラス橋の床組の場合について、それぞれ確認されたき裂事例の発生部位をまとめる。

2.3 主なき裂の発生傾向の分析

前節で示したG1~3およびSD1~4のき裂が発生している橋梁について、発生傾向について分析した。図-8に、主なき裂の発生橋梁数と発生径間数を整理した結果を示す。鋼I桁橋・鋼箱桁橋では、主桁と横桁・対傾構の取合い部でのき裂(G1)が最も多く、次に主桁ウェブとガセットプレートの溶接部のき裂(G2)が多かった。鋼床版橋では、横リブとUリブの交差部でのき裂(SD3)が最も多く、次にデッキプレートとUリブの溶接部のき裂(SD1)が多かった。

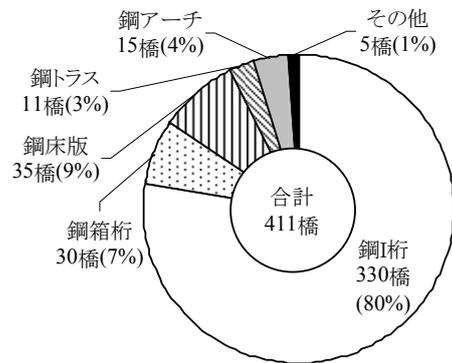


(a) 橋梁数

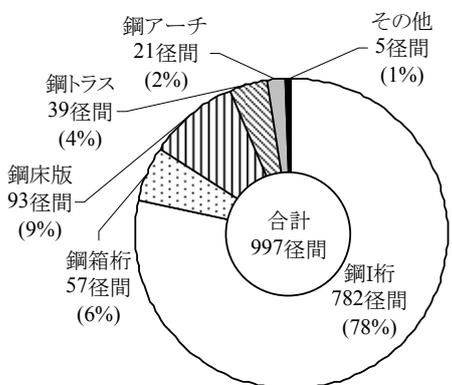


(b) 径間数

図-2 対策区分毎の橋梁数と径間数

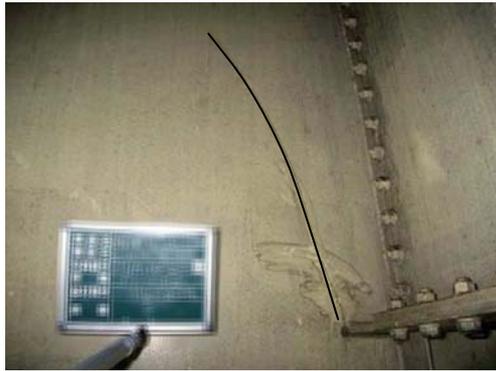


(a) 橋梁数



(b) 径間数

図-3 橋梁形式毎の橋梁数と径間数



(a) 主桁と横桁の溶接部(主桁ウェブに進展)



(b) ソールプレート溶接部(主桁ウェブに進展)

図-4 判定区分がEの事例

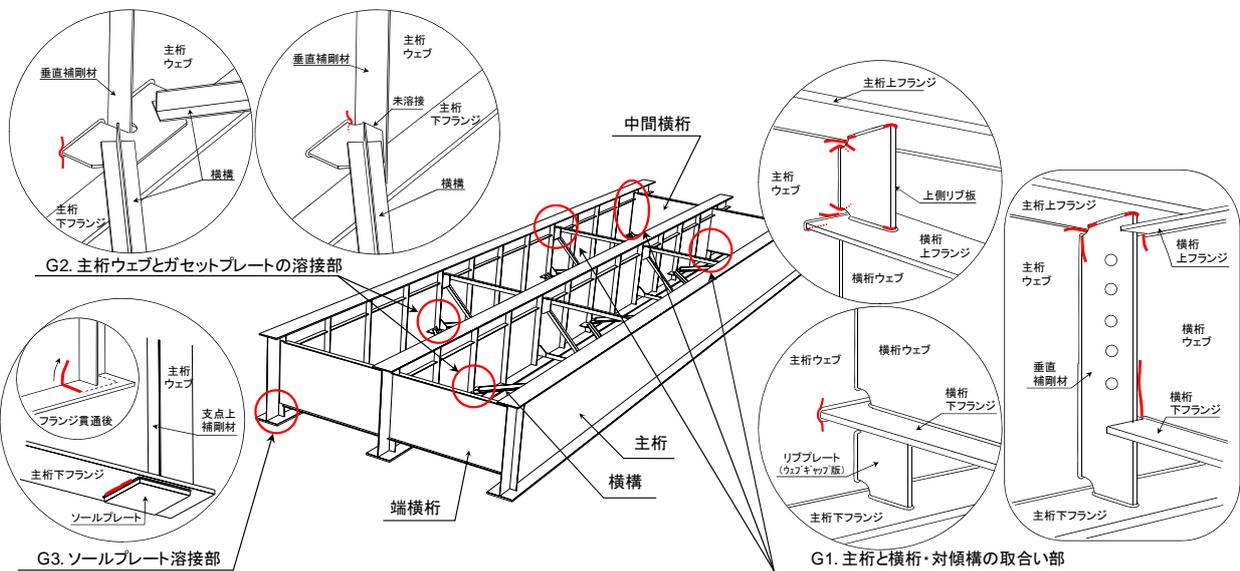


図-5 鋼I桁橋・鋼箱桁橋のき裂の事例

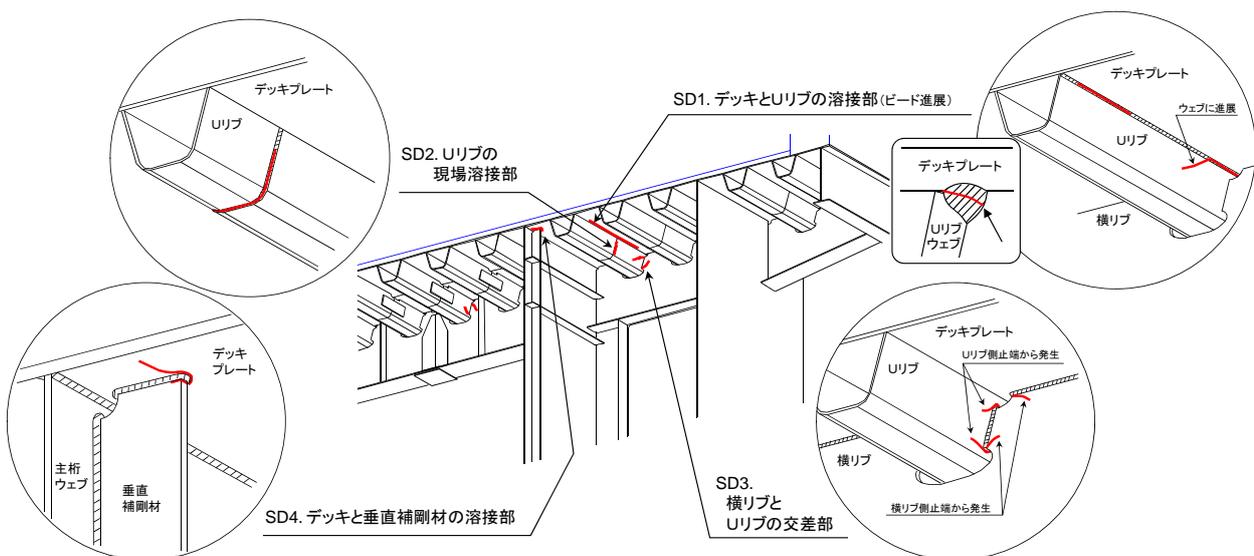
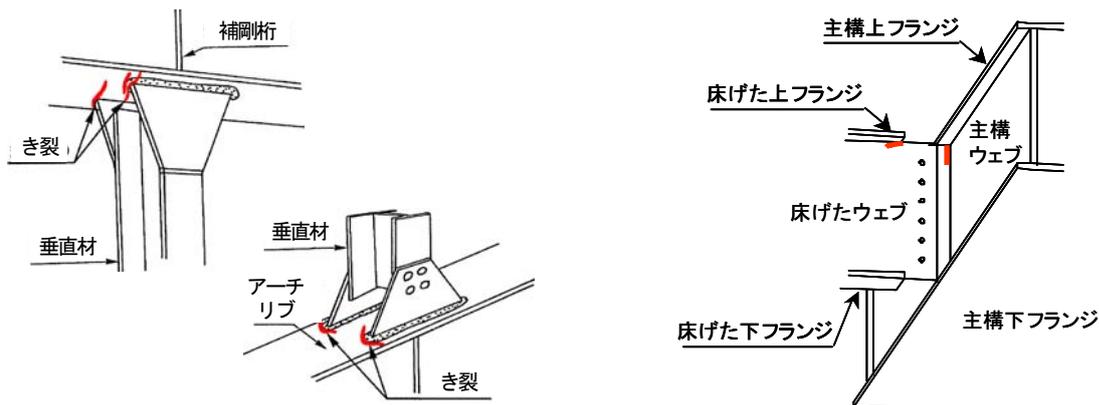


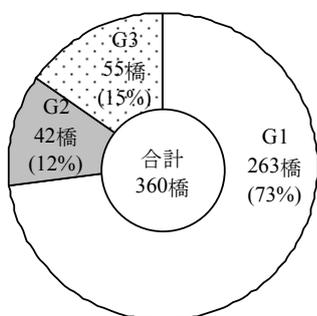
図-6 鋼床版橋のき裂の事例



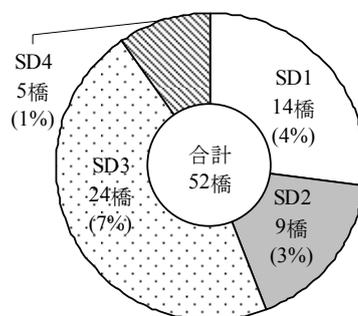
(a) 垂直材の上下端の接合部

(b) 床組における主構と横桁の接合部

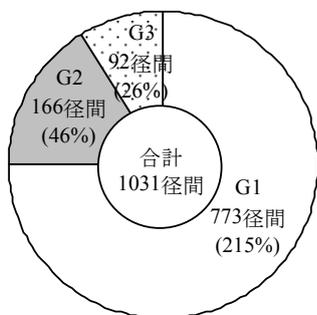
図-7 鋼アーチ・鋼トラス橋でのき裂の事例



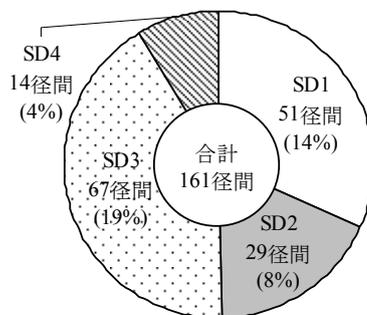
(a) 鋼 I 桁橋・鋼箱桁橋における主なき裂の発生橋梁数



(b) 鋼床版橋における主なき裂の発生橋梁数



(c) 鋼 I 桁橋・鋼箱桁橋における主なき裂の発生径間数



(d) 鋼床版橋における主なき裂の発生径間数

図-8 主なき裂の発生橋梁数と発生径間数 ※図中記号は図-6に対応

図-9に、供用年数と日大型車交通量 (H17 センサス) とき裂発生橋梁数の関係を整理した結果を示す。なお、図中には累積大型車交通量 (平成 19 年までの供用年数 × 日大型車交通量 × 365) の曲線も示した (例えば、累積大型車交通量 1 億台とは、供用年数 40 年で日大型車量 6850 台に相当する)。ただし、日大型車交通量や供用年数が不明のものは計上しなかった。鋼 I 桁橋・鋼箱桁橋では、累積大型車交通量との関係は明確でないが、供用

年数が 30 年以上でき裂発生橋梁数が多かった。鋼床版橋では、累積大大型車台数が 1 億台以上でき裂発生橋梁数が多かった。

図-10に、一部地域においてき裂の発生していない橋梁のデータを用いて、き裂発生率 (橋梁数) について供用年数と日大型車交通量との関係を整理した結果を示す。同図では発生率で整理しているが、き裂発生橋梁数で整理した図-9と概ね同様の傾向であった。

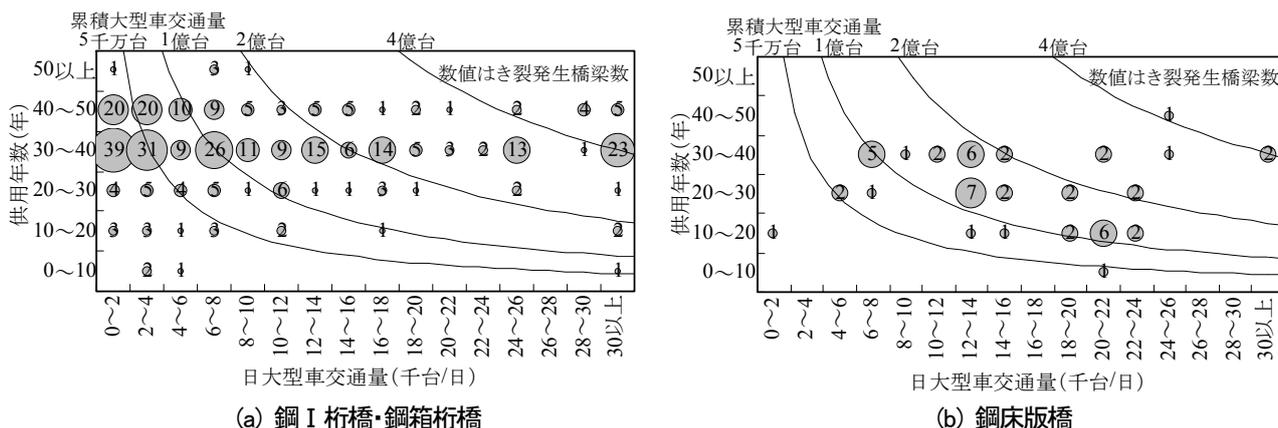


図-9 供用年数と日大型車交通量とき裂発生橋梁数の関係

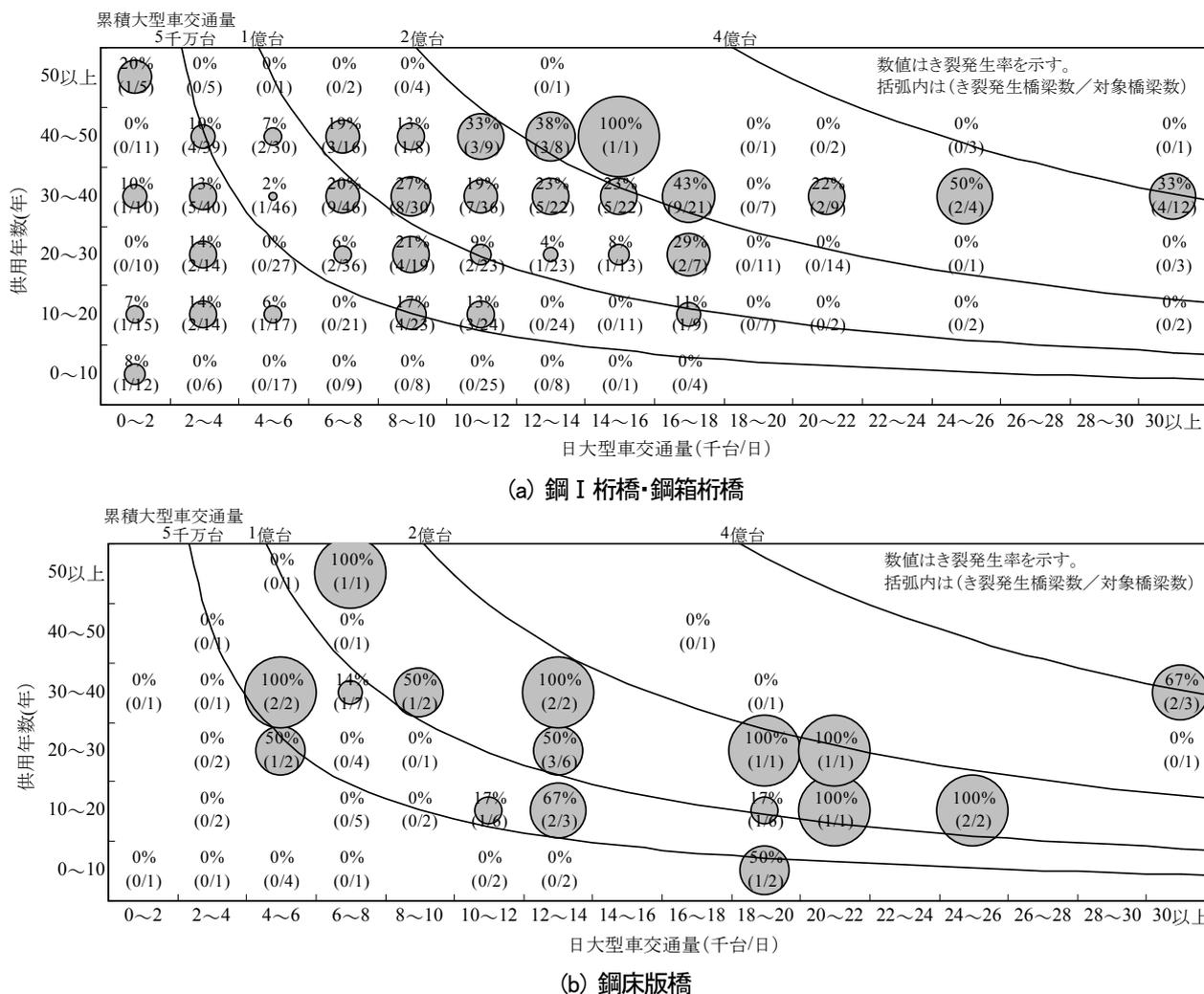


図-10 供用年数と日大型車交通量とき裂発生率(橋梁数)の関係

3. 鋼床版における SFRC 舗装の補強効果に関する検討

3.1 研究概要

鋼床版橋では、デッキプレートとUリブの溶接部において溶接ルートから発生し、デッキプレートを貫通する疲労き裂（以下、デッキ貫通き裂）が確認されている。主な対策方法の一つに SFRC 舗装による補強が挙げられ

るが、土木研究所では、これまでに SFRC 舗装による既設鋼床版の補強効果について実験的・解析的検討を実施しており、その成果を設計・施工マニュアル（案）⁴⁾としてまとめている。

一方、鋼床版橋では、デッキ進展き裂とともに、溶接ルートからビードを貫通する疲労き裂（以下、ビード進

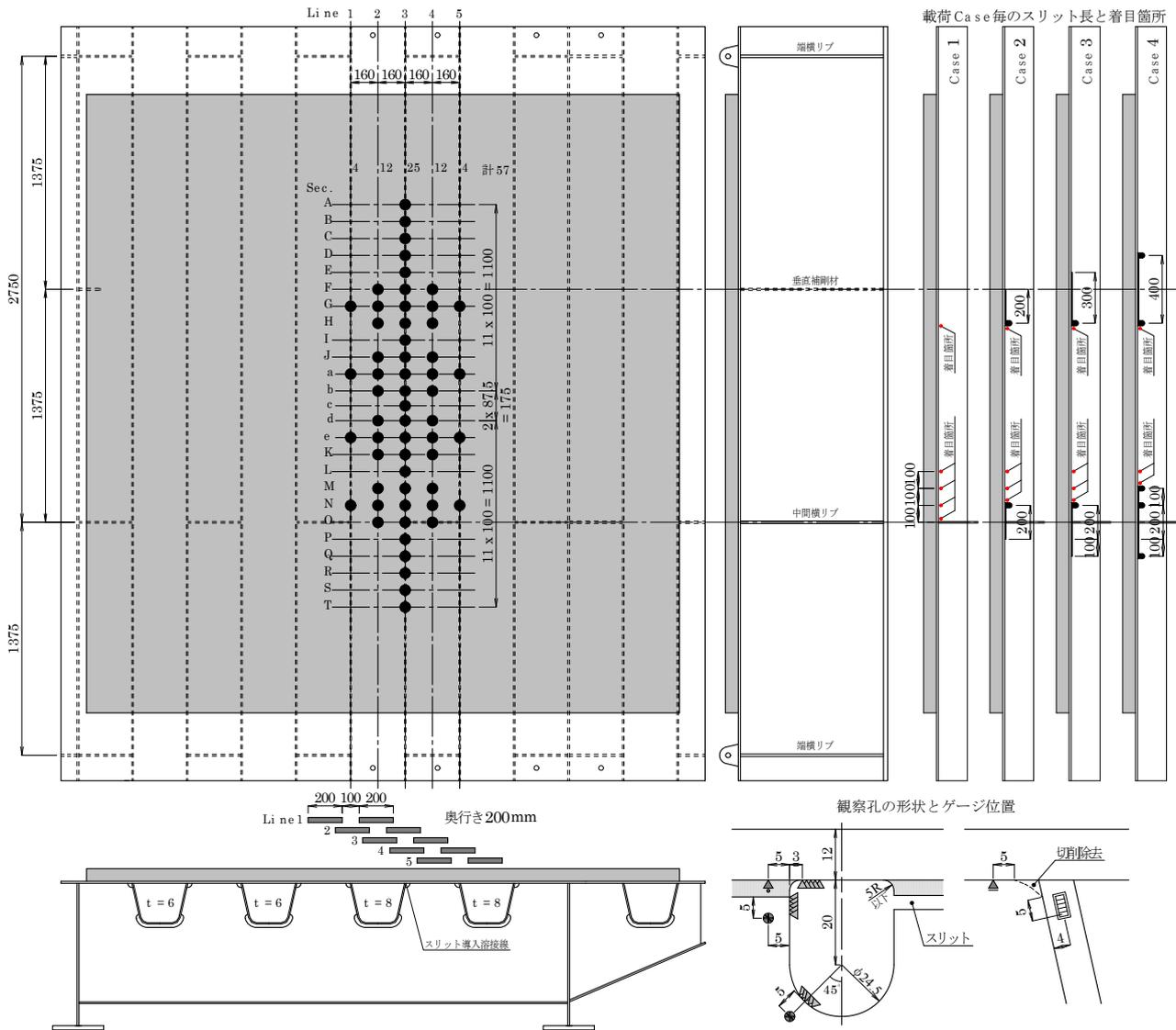


図-11 試験体、各試験 Case のスリット長、およびゲージ位置

展き裂)が発生している事例が多い。SFRC 舗装ではデッキプレート溶接部周辺の局部応力軽減効果が得られるのでビード貫通き裂の発生・進展に対しても十分な抑制効果が期待できるものと考えられる。これまでに実施されている補強事例では、ビード貫通き裂の長さに応じて、SFRC 舗装に加えて当て板による断面補強を併用する対策が行われているが、目視では確認困難なビード内在き裂の進展や、観察孔に露出したルートからの新たなき裂の発生が懸念されるところである。

本研究では、ビード貫通き裂を存置した場合の SFRC 舗装によるき裂進展抑制効果について実験的に検討を行った。本年度は、過年度までに SFRC 舗装の補強効果を検討していた実大鋼床版試験体を用いて、デッキプレートとUリブの溶接部にスリットを導入することによりビード貫通き裂を模擬して、静的載荷試験や定点疲労載荷

試験を実施した。試験では、スリット長を変化させ、観察孔周辺のひずみを計測して応力性状を検査した。定点疲労試験については、現在、試験を継続中であるため、本報告では静的載荷試験の結果を報告する。

なお、本研究は、(株)横河ブリッジホールディングスとの共同研究「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)」(平成16~21年度)の一環として実施している。

3.2 試験体

図-11に、本試験で用いた試験体を示す。Uリブ支間は、1,375mmと2,750mmの2径間とし、デッキプレート厚は12mmである。試験体には8mmと6mmのリブ厚のUリブが設置されているが、本試験では8mm厚Uリブに着目して検討を行った。使用鋼材はSM490Yである。デッキプレート上面には75mm厚のSFRC舗装が設置さ

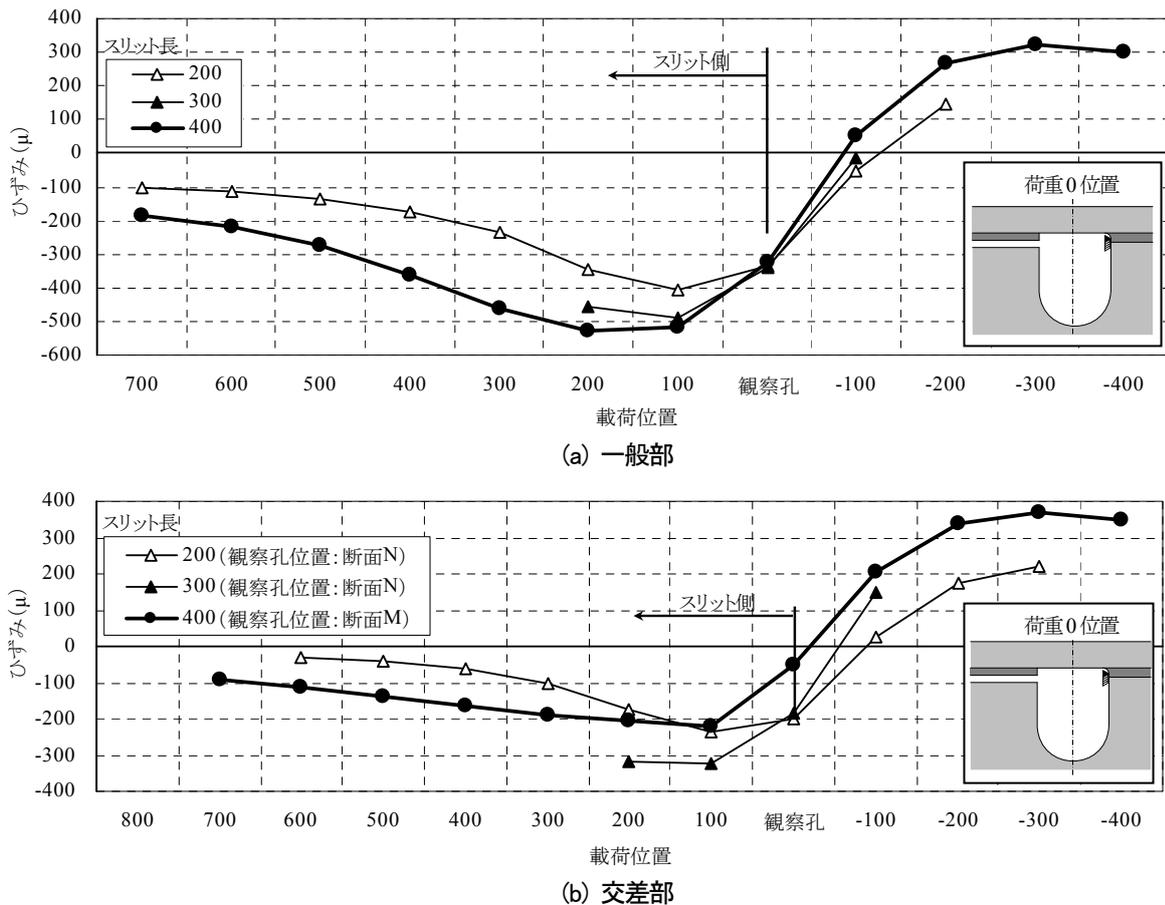


図-12 Uリブこば面(5連ゲージの第1ゲージ)のひずみ挙動

れている。デッキプレートとSFRCの接着には、エポキシ系高耐久性接着材を用い、SFRC 端部や横リブ位置にはスタッドが配置されている。なお、本試験体では、SFRC 舗装の施工前に隣接の8mm厚Uリブを対象とした輪荷重走行試験(図-11のLine5に載荷)が実施されており、ダブルタイヤによって挟まれるデッキプレートとUリブ(Line4側ウェブ)との溶接部にデッキ進展き裂が生じている⁹⁾。また、SFRC 舗装の施工後にダブルタイヤが主桁ウェブ(張り出し部側)を挟み込む位置で輪荷重走行試験を実施しており、主桁ウェブ直上や横リブウェブ直上のSFRCには、ひび割れが発生している⁹⁾。

本試験体では、デッキプレートとUリブとの溶接部の溶込み量は75%程度が確保されている。一方、ビードき裂が確認されている既設橋の場合、溶込みやのど厚が不足している場合が多い。そこで本試験体も、既設橋の溶接状態に合わせるため、図-11の右下図に示すように溶接ビードを切削除去(ひずみを計測する範囲)した。なお、溶接ビードの切削除去による影響を調査するため、切削前後でデッキプレートとUリブとの溶接線周辺の応力を計測した結果、ひずみの変化はほとんどなかった。

3.3 試験方法

本試験では、ビード貫通き裂を模擬したスリットを試験体に導入し、スリット先端に設けた観察孔のこば面でのき裂の発生に着目して、載荷試験を実施した。載荷ケースは、図-11に示すように、スリット長毎に4段階に分けた。荷重は、静的に150kNまで載荷した。載荷位置は、スリットを導入する着目溶接線をダブルタイヤが挟み込む位置(Line3)を基本としているが、図-11に示すようにCase4では、横断方向の分布も検討するため他の位置(Line1,2,4,5)にも載荷した。

ひずみゲージは、図-11に示すように、観察孔の周辺を中心に貼付しており、こば面には局所のひずみ分布を検討するため、5連ゲージを用いた。なお、ゲージ長は全て1mmである。

3.4 試験結果

(1) Uリブこば面のひずみ挙動

図-12に、Line3に載荷した場合のスリット長毎のUリブこば面のひずみ挙動を示す。対象としたのは、Uリブこば面に貼付した集中ゲージの第1ゲージである。観察孔中心からの載荷中心までの距離を横軸とし、縦軸を

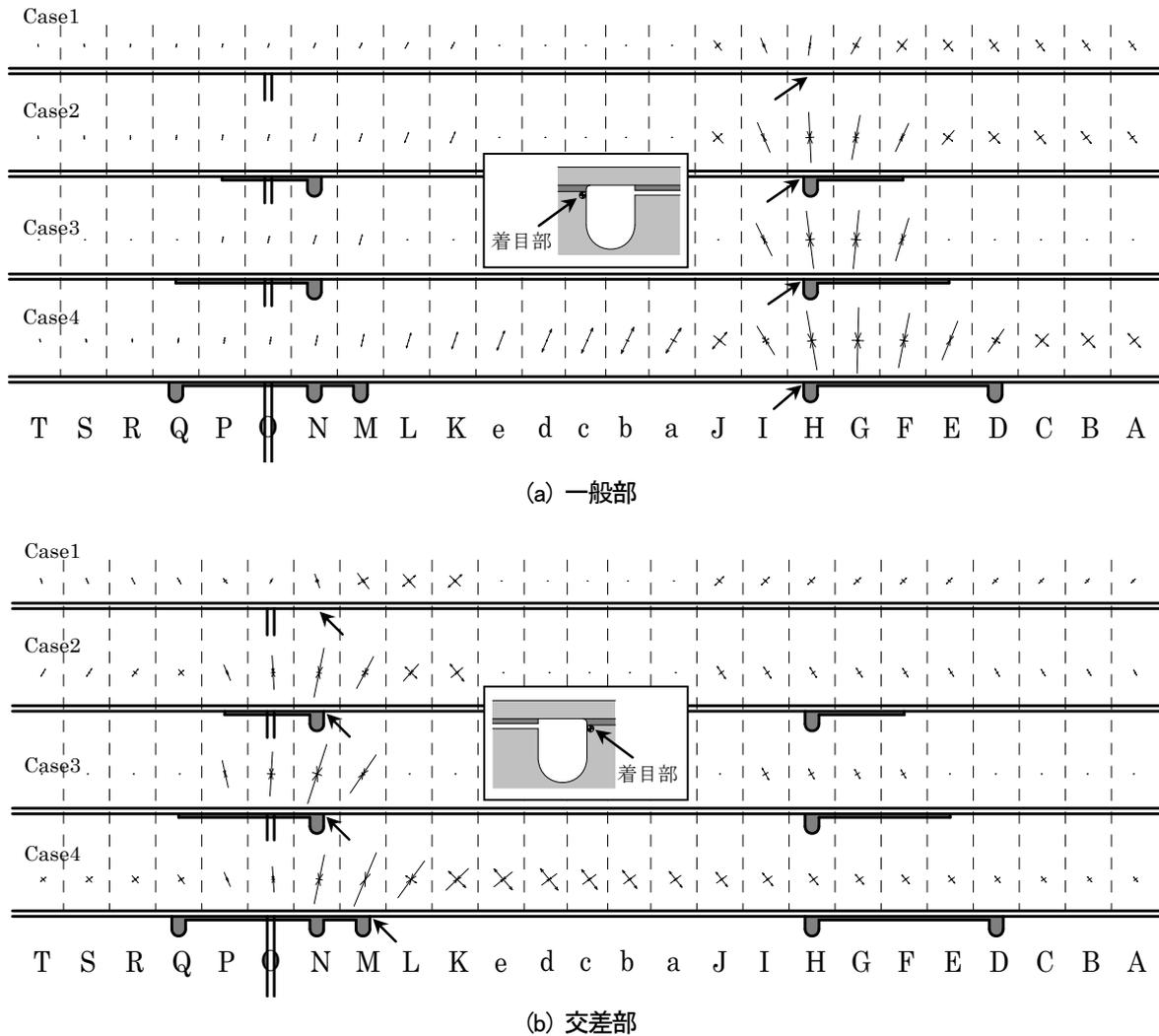


図-13 Uリブ側面の主応力挙動

着目ゲージのひずみ値としており、影響線（スリットのある方向を正）として整理している。

一般部では、スリット長が増加すると、ひずみの振幅範囲も大きくなった。圧縮の最大値は、観察孔からスリット側に100～200mm離れた位置に荷重した場合に発生し、引張の最大値は、観察孔からスリットのない側に300mm程度離れた位置に荷重した場合に生じた。なお、観察孔の位置は断面Hであり、すべて同じ位置である。

交差部では、観察孔位置が同じスリット長200mmと300mmを比較すると、一般部と同様にスリット長が増加すると、ひずみの振幅範囲も大きくなる傾向にあると考えられる。スリット長400mmでは、観察孔位置が前述の位置から100mm、横リブから離れる方向に移動した。観察孔直上に荷重した場合でも、150 μ 程度の差が生じた。

圧縮の最大値は、観察孔からスリット側に100mm離れた位置に荷重した場合に生じ、引張の最大値は、観察

孔からスリットのない側に300mm程度離れた位置に荷重した場合に生じた。

(2) Uリブ側面の主応力挙動

図-13に、Line3に荷重した場合のUリブ側面に貼付した3軸ゲージにより計測した主応力の挙動（主応力ベクトル）を示す。

図より、スリットを導入することにより、観察孔の直上付近に荷重した場合、鉛直方向の圧縮が卓越することが確認できる。また、スリットのない側に観察孔から200～300mm程度離れた位置に荷重した場合、斜めの方向の引張が生じることが確認できる。

参考文献

- 1) 道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領（案）、2004.3.
- 2) 土木研究所：橋梁点検要領（案）、1988.7.
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：平成20年度道路構造物に関する基本データ集、国土技術政策総合研究所資料

No.545、2009.10.

- 4) 独立行政法人 土木研究所：鋼床版橋梁の疲労耐久性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 No.395、2009.10.
- 5) 有馬、村越：輪荷重走行試験による鋼床版デッキプレート進展亀裂の再現、土木学会第 61 回年次学術講演会、I-543、2006.9.
- 6) 宇井、村越、梁取、児玉、辻井、石垣、井口：鋼床版上 SFRC 舗装のひび割れ挙動に着目した輪荷重走行試験、土木学会第 63 回年次学術講演会、I-224、2008.9.

**RESEARCH ON TECHNIQUES FOR INSPECTION, DIAGNOSIS,
AND RETROFIT FOR THE FATIGUE DAMAGES
OF EXISTING STEEL HIGHWAY BRIDGES**

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2009-2013

Research Team : Bridge and Structural Technology Research Group

Author : Jun MURAKOSHI

Yasushi JOSEN

Naoki YANADORI

Abstract : Recently, serious fatigue damages have been observed increasingly on steel highway bridges which carry severe traffic loads and experience long periods after their completions. The damages are mostly caused by the combination of factors such as traffic volume, structural detail, and the quality of welded connection of the bridges. Therefore, it is important to systemize the diagnostic examination technique for fatigue damages and retrofit methods for each case. The aim of this research is to figure out the relation between the occurrence tendency and cause of the fatigue damage based on experimental and analytical studies, and to prepare technical guidelines for engineers who engaged in the inspection, diagnosis and retrofit of highway bridges. In FY2009, regular inspection reports were assembled and organized in order to figure out the current fatigue situations of steel highway bridges in Japan. Also, the effectiveness of SFRC pavement, as the reinforcement method for fatigue damages in orthotropic steel deck, was examined.

Key words : steel highway bridge, fatigue, inspection report, orthotropic steel deck, SFRC pavement