

鋼鉄道箱桁内に発生した疲労き裂の原因と対策

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○越智 達也 小浦 貴明 大都 亮
株式会社レールテック 正会員 松本 健太郎

1. はじめに

列車本数が多い線区の溶接箱型橋りょうにおいて、箱桁内部のダイヤフラムや横リブからの疲労き裂が発生していることが確認された（写真-1）。これらのき裂は、そのまま放置しておくと主部材にき裂が進行する恐れがある。一方で、き裂の発生原因が不明確であったことから、対策工法を検討していくにあたりその発生原因の究明が必要となった。そこで本稿では、き裂の発生原因の究明と効果的な対策工法の提案を目的に、FEM 解析と対策前後の実働応力測定を行なったので、その結果を報告する。



写真-1 変状例

2. 対象橋りょうの概要

対象橋りょうの概要を表-1 に、構造図を図-1 に示す。本橋の桁内部は断面形状が π 型の横リブとロ型のダイヤフラムで構成される。また、道床の排水勾配をつけるために、箱桁ウェブ左右で高さが異なっている。

表-1 橋りょうの概要

架設年次	昭和45年
支間	19m
構造形式	上路プレートガーダー(溶接箱型)
線形・勾配	直線・L(水平)
道床の有無	有道床
主桁高さ	930mm, 980mm

3. 変状概要

本橋は4連中4連の支点部でバタツキが見られ（最大7mm）、沓の割れが生じている箇所もあった。き裂は多数発生しており、き裂をタイプ分けすると、以下の3つ（図-2）に分類される。

- ①き裂 A: 箱桁ウェブと横リブ取付部下端スカラップ部の回し溶接止端に生じたき裂で、将来的にウェブへ進展する可能性がある。発生数は少ない。
- ②き裂 B: 横リブ下フランジ切欠部の回し溶接部から発生したき裂で、横リブウェブ内を斜め方向に進展している。発生数は多い。
- ③き裂 C: ダイヤフラム（または横リブ）と縦リブの交差部下端溶接部に生じたき裂で、横リブウェブを進展している。このタイプは、既報の研究結果^{1,2)}と実測結果を踏まえて、短いき裂はストップホールと空ボルトで、長いき裂はストップホールに加えて、アングルで横リブ両面から当板を行った。これらの検討については本報告では省略する。

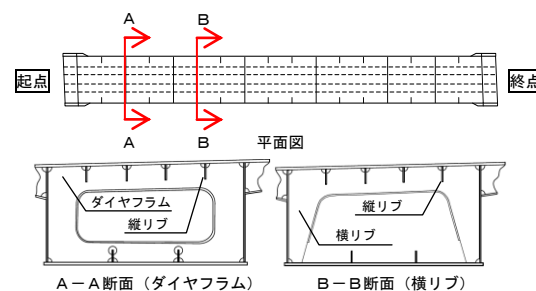


図-1 対象橋りょうの構造図

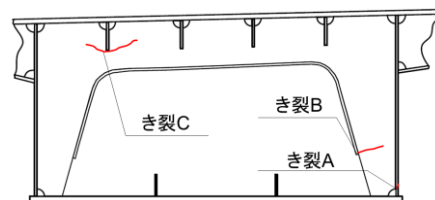


図-2 き裂発生箇所の分類

4. 原因究明

き裂 A と B については、支点のバタツキによるものか、疲労に脆弱な構造ディテールによるものか不明であったため、それらに着目し応力測定と FEM 解析を行った。

(1) 支点のバタツキについて

現状と支点修繕後（バタツキ解消後）において、横リブ切欠部コバの溶接止端から 10mm 位置に単軸ひずみゲージを

貼付し応力測定（測定列車：EF210 貨物列車）を行った。図-3 に、スパン中央付近の横リブ切欠き部コバの応力測定結果を示す。バタツキ解消前後では、切欠きコバの応力はほぼ同程度であった。き裂 A が生じたスカラップ部も同様の傾向であった。ゆえに、スパン中央付近の横リブでは、き裂 A もき裂 B も支点のバタツキが主原因ではないと考えられる。

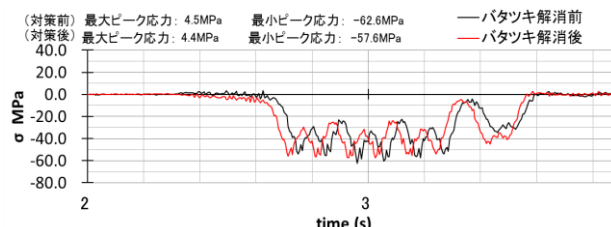


図-3 支点バタツキ解消前後の応力比較

キーワード 鋼鉄道橋 箱桁 疲労き裂

連絡先 〒673-0016 兵庫県明石市松の内 2-3-8 西日本旅客鉄道（株） 神戸土木技術センター TEL 078-928-0688

(2) 構造ディテールについて

FEM 解析で橋りょう全体をモデル化し、横リブ切欠部とスカラップ部周辺の応力性状について検討した。解析ケースでは、実情に即してバタツキの有無も再現した。

解析結果の一例を図-4、図-5 に示す。解析結果より、支点部付近と支間中央部付近のどちらにおいても、横リブ切欠き部（き裂 A と同位置）やスカラップ箇所（き裂 B と同位置）に応力集中が生じているものの、支点部周辺の横リブの方が大きい応力集中が生じていることがわかる。支点部周辺については、図-6 のようにバタツキがあると応力集中が増大している。

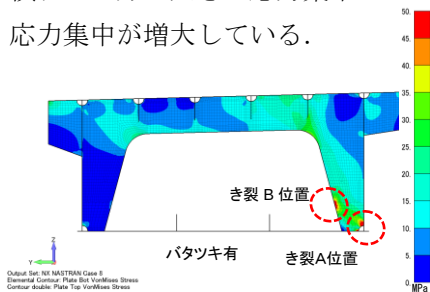


図-4 支点部付近ミーゼス応力分布

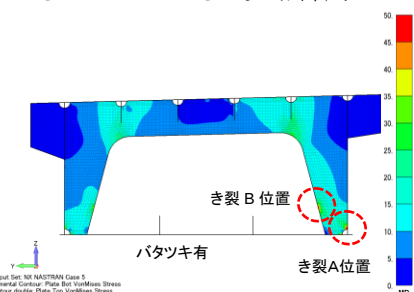


図-5 支間中央部付近ミーゼス応力分布

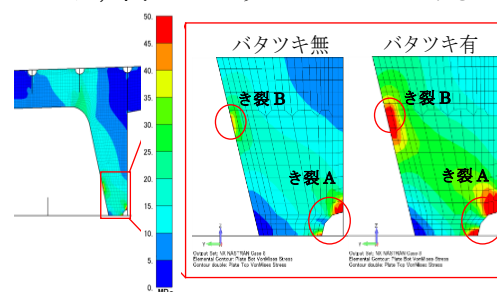


図-6 横リブのミーゼス応力分布

(3) き裂発生原因

これらの結果からき裂 A と B ともに応力集中しやすい構造ディテール³⁾であり、支点部付近の横リブでは支点のバタツキが疲労損傷を助長させることが明らかとなった。

5. 対策工法の提案

き裂 A については、き裂を覆うように桁内側にアングルで、桁外側に鋼板で挟み込むように高力ボルトで取り付けることで、ウェブ面スカラップ部の応力を約 75%低減できることを確認した（図-7）。

き裂 B は既に多箇所でき裂が発生し、また未発生箇所も将来的にき裂が発生する可能性が高いことから、予防保全を視野に入れた応急的な対策として、切欠部を半円に切除し、応力集中を分散するもの（以下、半円仕上げ工法と称す）とした。この半円仕上げ工法を FEM 解析で対策効果を推定した結果、切欠部の回し溶接部（疲労等級：G 等級）から母材（疲労等級：A 等級）へ応力集中が移行し、切欠部の応力が約 65%低減された（図-8）。

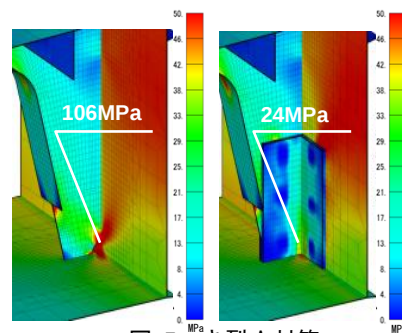


図-7 き裂 A 対策

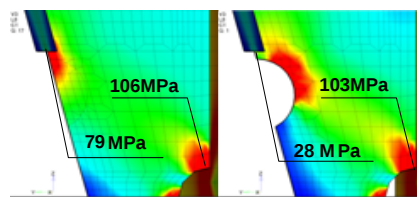


図-8 き裂 B 対策

6. 実施工および効果の確認

き裂 B に対する半円仕上げ工法を試験施工し、その対策効果を検証した。横リブ切欠部コバ（測点①）の溶接止端から 10mm 位置に単軸ひずみゲージを、横リブウェブスカラップ部（測点②）に 3 軸ひずみゲージを貼付し、応力測定（測定列車：貨物 EF210）を行った（写真-2）。

図-9 に、対策前後の切欠きコバの応力測定結果を示す。対策前後で測点①切欠きコバの応力集中が解消されていることがわかる。また、測点②のスカラップ部の主応力についても増加が見られず、主応力方向の大きな変化も見られなかったため、解析どおり半円切欠きがスカラップ部に悪影響を与えないと考えられる。引き続き経過観察等を行い、対策効果を確認する予定である。



写真-2 半円切欠き

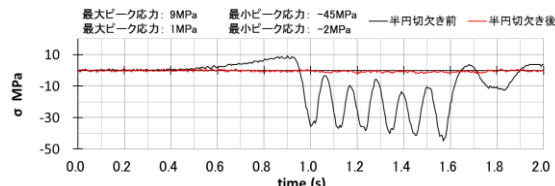


図-9 測点①の応力測定結果

7. おわりに

き裂の原因究明と対策工法を提案することができた。今後は、本研究で提案した対策工法の効果を長期的に検証するとともに、同種構造の橋りょうへも水平展開し、有用性について検証していく。

参考文献：1) 鋼構造委員会疲労変状調査小委員会，鋼橋の疲労変状調査，土木学会論文集 第 368 号/I-5，pp.1-12，1986.4

2) 兒玉他，開断面リブを有する鋼床版の疲労損傷対策に関する実験的検討，第六回道路橋床板シンポジウム論文報告集，平成 20 年 6 月

3) 山田他，ガセット溶接部材の疲れ強さと設計基準，構造工学論文集 Vol.32A，昭和 61 年 3 月