

鉄道鋼トラス橋に発生した疲労損傷の原因究明と対策

東日本旅客鉄道(株) 正会員 友利方彦
東日本旅客鉄道(株) 正会員 成嶋健一
東日本旅客鉄道(株) 正会員 神谷弘志

1. はじめに

経年 40 年で現在供用中の鉄道鋼トラス橋の床組縦桁部において、溶接に起因すると考えられる疲労亀裂等の変状が発見された。この種の亀裂は新幹線等高速区間では過去にいくつか報告事例があるが、低速区間での発生例はない。

今回、疲労損傷が発見されたトラス床組で、ひずみゲージによる実橋応力測定を行ない変状発生の変状発生を究明するとともに、その結果をもとに疲労強度以下の健全な状態にまで応力低減をはかれる対策工を検討・施工し効果の検証を行なったので報告する。

2. 橋りょう構造及び発生変状の概要

2-1 橋りょう構造の特徴

疲労損傷が発見された橋りょうは、1957 年設計、1960 年製作の単線下路式直弦ワーレントラスで、主構がリベット構造、床組が溶接構造である。溶接が導入された初期の橋りょうで、スパン 62.4m (縦桁スパン 7.8m × 8 スパン)、主構高 9.5m、主構中心間 4.7m である。

橋りょうの特徴としては、縦桁に対傾構がなく、主構ラテラル断面が最近の溶接タイプに比べてかなり大きいことがあげられる。

2-2 発生変状

トラス橋に発生した主な疲労損傷としては、以下のものがあげられる。

主構ラテラル結合リベット破断・弛緩(図-1)

左右の主構をつなぐ下ラテラルと縦桁下フランジを結合するリベットに破断・弛緩がみられる。発生数は、ラテラル断面が大きい端ブロックほど多い傾向にある。

縦桁垂直補剛材下端部の亀裂(図-1)

縦桁ウェブを補強する垂直補剛材の下端スカーラップ回し溶接止端部に亀裂がみられ、一部はウェブ橋軸方向に進展している。

縦桁上フランジ溶接部の亀裂(図-2)

縦桁上フランジとウェブを接合する溶接部(縦桁と横桁の接合部付近)に橋軸方向の亀裂がみられる。

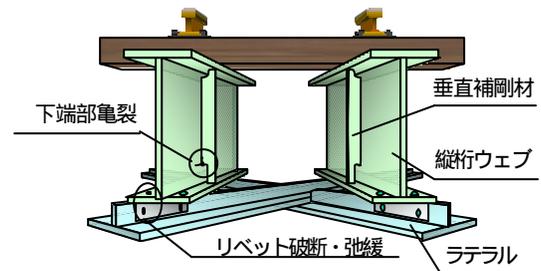


図-1 変状概要(その1)

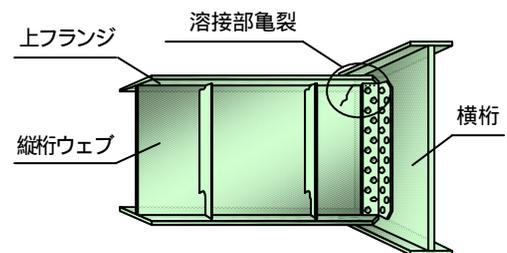


図-2 変状概要(その2)

2-3 変状発生要因

検査結果をもとに推測した疲労損傷の発生要因は以下のとおりである。

主構ラテラル結合リベット破断・弛緩

ラテラルから伝達される外力の作用が主要な変状要因と考えられる。外力の発生源は、主構と縦桁における振動特性(たわみ量・周期等)の違いにより発生するラテラルからの相対的な抵抗力と考えられる。また、トラス全体に作用する橋軸直角方向の水平力を負担する部材であるラテラルの部材断面は、両端ブロックほど大きい構造となっている。部材断面積が増加すればラテラルからの抵抗力も増加するため端ブロックほど破断・弛緩発生数が多い。

縦桁垂直補剛材下端部の亀裂

補剛材下端部には、設計時の疲労照査の対象である梁としての引張応力のほか、ラテラルからの外力による応力・振動、列車荷重による縦桁変形による応力等が作用している。これらの応力の内、梁に作用する応力以外は想定外であり、それらが補剛材下端部に繰返し集中したことが亀裂発生の変状発生要因と考えら

キーワード：トラス橋、疲労亀裂、溶接構造

〒101-8612 東京都千代田区外神田1-17-4 東日本旅客鉄道(株)東京土木技術センター TEL.03-3257-1694

れる。また、縦桁に対傾構がない剛性の低い構造であるため、列車載荷時に変形しやすいことも亀裂発生要因の一つと考えられる。

縦桁上フランジ溶接部の亀裂

縦桁端部は横桁と接合するためにフランジに切欠きが入った形状となっているため、フランジ断面の減少分、ウェブおよびウェブ溶接部が引張応力を負担することになり、疲労に対する弱点箇所となっている。この弱点箇所には、支点曲げモーメントによる引張応力が繰返し集中作用するため亀裂が発生しやすいと考えられる。

溶接箇所全般に言えることであるが、製作年が溶接構造の導入された頃であるため、溶接の設計・施工詳細配慮が不足していた可能性が高いと考えられる。例えば、上フランジとウェブを接合する溶接サイズが現行標準では6mmであるのに対し、実測平均は4mmと小さい。このことも、亀裂発生要因の一つと考えられる。

3. 対策の実施

3-1 対策工法の検討

主構ラテラル結合リベット破断・弛緩

リベットの破断・弛緩対策としてHTBへの交換が考えられるが、過去に実施した対策では一部のHTBに破断がみられた。これを考慮し、ラテラルの固定方法や固定位置を再検討した結果、ラテラルからの応力を縦桁に伝達させない方法として、ラテラル中間部を非剛結で固定する対策が有効と考えられた。固定は、後述する垂直補剛材下端部の亀裂対策で施工した対傾構や左右縦桁下フランジ同士を結合したCT形鋼に吊ボルトで吊る構造とした。

縦桁垂直補剛材下端部の亀裂

垂直補剛材下端部に亀裂を発生させる設計想定外の応力として、ラテラルからの応力と縦桁変形による応力の作用が考えられる。ラテラルからの想定外の応力に対しては、ラテラル中間部を非剛結で固定する対策で対応した。縦桁の変形に対する対策は、縦桁（床組）の剛性を高めることが効果的と考えられるため、補剛部材として対傾構や縦桁下ラテラルを取り付けるものとした。

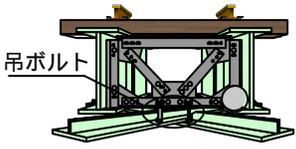
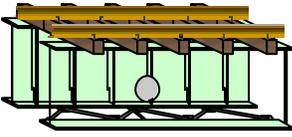
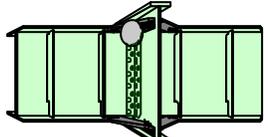
縦桁上フランジ溶接部の亀裂

支点曲げモーメントによる引張応力を構造上の弱点箇所であるフランジ切欠き部へ負担させない対策として、横桁の両側に縦桁連結板を設置して縦桁の連続構造化を図ることとした。

3-2 対策効果の検証

対策工の実施前後における亀裂発生箇所付近の応力発生状況をひずみゲージにより測定した。結果を表-1に示す。いずれも縦桁を補強、補剛することで応力の発生を直接抑制する対策であり、最大応力範囲を疲労強度以下の健全な状態にまで減少させることができた。

表-1 対策工の効果検証

 応力測定箇所	 対傾構	 縦桁下ラテラル	 縦桁連結板
	最大応力範囲 (対策前 対策後) 60.7 MPa 48.3 MPa (20%減少)	74.7 MPa 48.9 MPa (35%減少)	117.1 MPa 39.1 MPa (67%減少)
	疲労強度 62 MPa (強度等級 E)	62 MPa (強度等級 E)	84 MPa (強度等級 D)

4. まとめ

(1)トラス床組にみられる変状の主な原因

- ラテラルから想定外の応力が伝達された可能性が高い。
- 列車荷重の偏心載荷に対して縦桁の剛性が不足している。
- 溶接構造導入初期の橋りょうであるため、設計施工詳細配慮が不足していた可能性が高い。

(2)対策工の検討と効果の検証

- 対傾構・縦桁下ラテラル施工により縦桁の剛性が向上した。
- 縦桁連結板施工により上フランジ両端の引張応力を抑制することができた。