

鋼鉄道トラス橋縦桁横桁連結部の疲労に関する検討

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○高橋 和也
東海旅客鉄道株式会社 正会員 内藤 繁

1. はじめに

東海道新幹線を初めとした初期の溶接鋼鉄道トラス橋の縦桁横桁連結部において、疲労変状の発生が報告されている¹⁾。この縦桁横桁連結部は縦桁下フランジのモーメントプレートを横桁スリットに貫通させる構造的特徴を有しており、なかでも図-1に示す縦桁受台と垂直補剛材上端の交差部の溶接部（図中の①）および縦桁受台と横桁の交差部スリット内のまわし溶接部（図中の②）からの疲労変状の発生が目立っている。疲労変状の対処方法が不適切であると、主要部材の連結部であるため列車の走行安全性に大きな影響を及ぼすことが懸念される。下路トラス橋の延命化を確実に実施するためには、縦桁横桁連結部の疲労変状周辺の応力および変形挙動を明らかにし、疲労変状発生原因を特定した上で、恒久的な補修・補強などの対策を考えることが不可欠である。本研究では、東海道新幹線の溶接鋼トラス橋の縦桁横桁連結部で生じている疲労変状について、実橋測定およびFEM解析を実施することにより、その疲労変状発生メカニズムを解明することを目的としている。

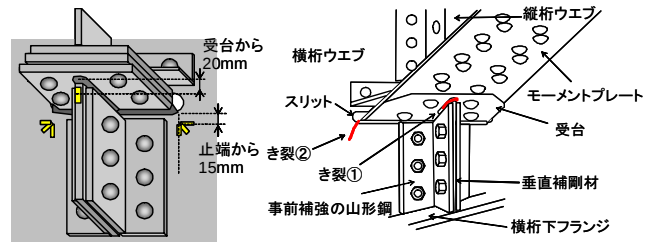


図-3 応力測定位置

図-1 縦桁横桁連結部の疲労変状

2. 実橋測定による疲労変状の原因検討

(1) 実橋測定概要

疲労変状発生メカニズムを解明するためには、変状が発生している近傍の挙動を把握する必要があることから、本線区の標準設計のI橋梁（図-2）で実橋測定を行った。測定位置を図-3に示す。

(2) 疲労変状発生原因となる挙動の推定

a) 縦桁受台と垂直補剛材上端の交差部の溶接部

図-4に着目横桁に対する上り線（当該線）走行列車の車輪位置を示す。これは12号車の車両中心が着目横桁にある状態から1車両分（25m）移動した状況を表している。図-5に実橋測定から得られた垂直補剛材上端の垂直方向応力波形と車輪位置の関係を示す。横桁を挟んで表裏にある補剛材上端の応力は逆位相となっている。ST4 終点側の応力波形を例に見てみると、最大値はSTEP-LJ付近で生じており、最小値はSTEP-D付近で生じている。すなわち、垂直補剛材上端の垂直方向応力は、車両間の2つのボギー台車の車軸が横桁の補剛材側にある時圧縮が発生し、横桁を挟んで反対側に移った時に引張が発生することがわかる。

また、補剛材上端の応力のピーク時の車輪位置は縦桁と横桁の公称応力がピーク時の車輪位置と一致していないことから、補剛材上端の応力は縦桁横桁単独の変形挙動ではなく、縦桁と横桁の相互の変形挙動に影響されていることが考えられる。

b) 縦桁受台と横桁の交差部スリット内のまわし溶接部

図-6に実橋測定から得られた応力波形と図-4に示す当該線列車通過時の車輪位置の関係を示す。スリットの応力は横桁ウェブの面外変形による応力は低く、面内応力が支配的であるといえ、また面内応力は垂直方向と橋軸直角方向ともにSTEP-F（車両間の2つのボギー台車が横桁に跨いで載っている時）付近で最大となっている。STEP-Fは横桁の公称応力が最大となる車軸位置であることから、スリットのまわし溶接部止端付近の局所的な応力は列車走行による横桁のたわみ挙動が影響していると考えられる。

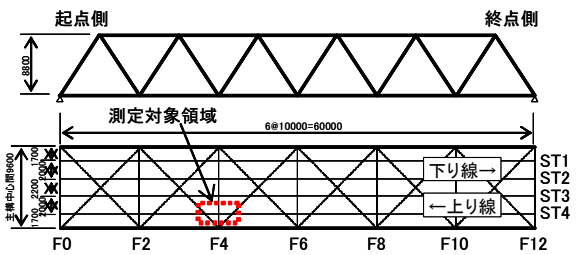


図-2 対象橋梁および対象縦桁横桁連結部

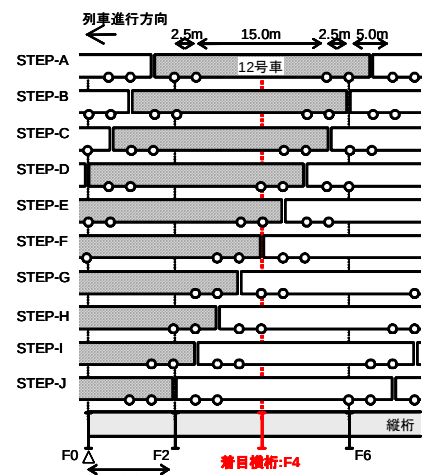


図-4 着目箇所と車輪位置（上り線：当該線列車）

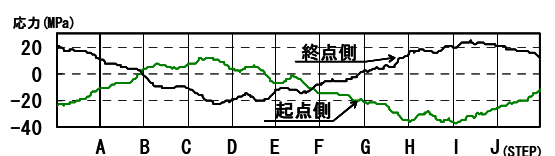


図-5 垂直補剛材上端の垂直方向応力（ST4）

キーワード 鋼鉄道橋、下路トラス橋、縦桁横桁連結部、疲労、新幹線

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 TEL 0568-47-5374

3. FEM 解析による疲労変状の原因検討

(1) FEM 解析概要

2 章の実橋測定により、対象とする疲労変状箇所近傍の挙動が縦桁および横桁により複雑な挙動を示すことが確認できた。しかし、疲労変状の原因を特定するためには、実橋測定による各測定点の応力から変形挙動を推定するだけでは不十分であることから、解析的な検討を行うこととした。

解析は、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS により行った。解析対象橋梁は実橋測定を実施した I 橋梁である。解析モデルは図-7 に示すように橋梁全体の挙動の影響も考慮できるように橋梁全体をモデル化し、さらに横桁スリット付近についてはその局所的な変形挙動や応力状態を評価するために部分モデルと詳細モデルも作成した。

列車荷重は F2F4 間の上り線縦桁支間中央位置での輪重測定結果を用いた。FEM 解析では列車荷重を図-4 に示す STEP-A の車軸位置から線路方向に 0.5m ピッチで 1 車両分 (25m) 移動させ、着目箇所の応力および変形挙動を確認した。

(2) 疲労変状箇所近傍の変形挙動

a) 縦桁受台と垂直補剛材上端の交差部の溶接部

図-8 に、図-4 に示す STEP-C,I の車軸位置における F4ST4 連結部の変形状態を示す。STEP-C と STEP-I は ST4 終点側の垂直補剛材上端の応力がそれぞれ最小値と最大値付近の車軸位置である。また、縦桁横桁連結部の縦桁下フランジと横桁下フランジの距離差 (以下、距離差 ΔAB という。(図-9)) を図-10 に示す。ここでは、縦桁横桁連結部の変形量を表す指標として、距離差 ΔAB を用いる。ST4 終点側では、STEP-C では縦桁がたわむことで横桁下フランジとの距離差 ΔAB が小さくなっており、STEP-I では縦桁が横桁との連結部と比べて相対的に持ち上がることで距離差 ΔAB が大きくなっている。このことから、列車通過に伴い生じる縦桁横桁の変形挙動による距離差 ΔAB が主たる原因で、連結部の補剛材上端部に高い応力が生じていると考えられる。

b) 縦桁受台と横桁の交差部スリット内のまわし溶接部

図-11 は、図-4 に示す STEP-F の車輪位置でのスリットの変形図である。ST4 の主構側スリットでは、縦桁受台が横桁のスリットを下へ引っ張るような変形が生じている。このことから、横桁のたわみに対して縦桁下フランジのモーメントプレートおよび受台が拘束することで、スリットのまわし溶接部止端部近傍に高い応力が発生していると考えられる。

4. おわりに

本研究により、初期の溶接鋼鉄道トラス橋の縦桁横桁連結部での疲労変状について、変状の発生原因となる変形挙動が明らかとなった。現在、縦桁横桁連結部の確実な延命化を図るために、この変形挙動を抑制する補強方法を開発し、実橋で疲労変状対策として施工しているところである。今後も、列車の安全安定輸送の確保および鉄道構造物の延命化のために、日々の維持管理、そして将来を見据えた技術開発を進めていく。

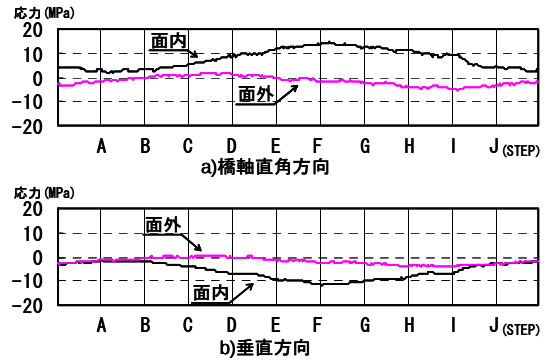


図-6 スリット応力 (ST4主構側)

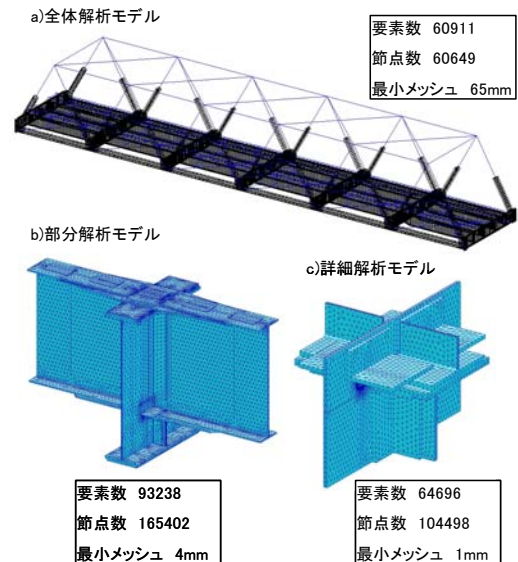


図-7 FEM解析モデル

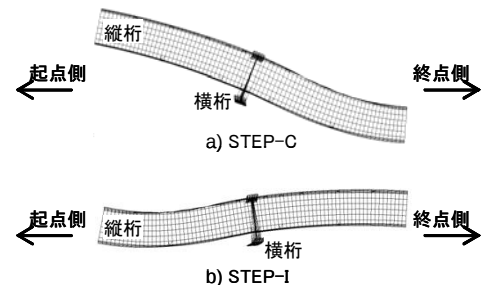


図-8 列車通過による変形挙動 (F4ST4連結部: STEP-C,I)

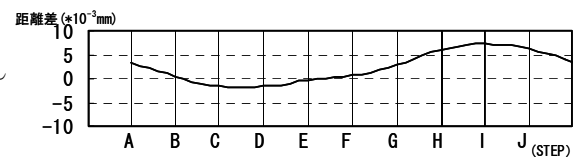


図-10 縦桁横桁連結部 (ST4終点側) の距離差 ΔAB

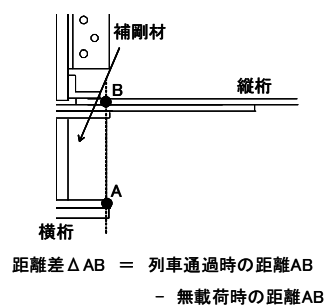


図-9 縦桁横桁連結部の距離差の定義

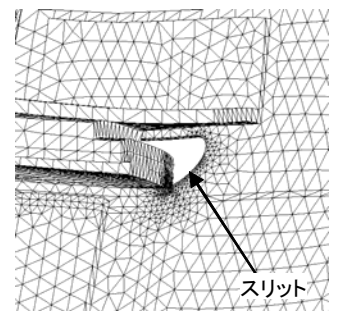


図-11 スリットの変形 (ST4主構側: STEP-F)

参考文献: 1) 水谷道雄, 下澤眞吾, 駒山健次: 東海道新幹線橋りょうの保守, 鉄道土木, pp. 184-190, 1982.