

鉄道鋼トラス橋縦桁横桁連結部における疲労き裂発生後の応力再分配の確認

財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○谷利 晃 正会員 小林 裕介
東京地下鉄株式会社 関口 琢己

1. はじめに

本検討で対象とした開床式下路トラス橋梁は、図 1 で示すように、縦桁横桁連結部において、縦桁下フランジが横桁ウェブを貫通し、貫通部には横桁ウェブにスリットを有する形式であり、昭和 30 年代後半頃から 40 年代頃にかけて架設されている。当該連結構造では、縦桁受台と横桁ウェブ垂直補剛材上端との溶接部において、列車通過時の繰返し応力により疲労き裂が極めて発生し易く¹⁾、放置すると当該溶接部が破断する。垂直補剛材(以下補剛材と称す)は、横桁ウェブの面外座屈に対する補剛目的で設置され、上端の溶接部が破断しても十分な補剛効果は得られる。しかし破断に伴い、当該部位に生じていた応力が再分配され、近傍部材の応力が増大し、新たな疲労き裂が発生することが懸念される。

本検討では、実橋梁において、全ての補剛材上端溶接部が健全な状態(以下健全時と称す)と、一箇所が破断した状態(以下破断時と称す)を人為的に再現し、補剛材上端部および近傍部材において応力を測定した。本結果から、補剛材上端破断による近傍部材における応力再分配の影響を、応力状態の変化および疲労寿命の低下の程度より、定量的に明らかにした。

2. 測定概要

測定は破断時と健全時の計 2 回実施した。補剛材上端溶接部の切断箇所は、高い応力が生じると予想された、横桁 L6 と縦桁 ST1 交差部の横桁を挟んだ両側(図 2)とし、図 1(1)のように完全に切断した。本検討では、補剛材上端部およびその近傍部材の応力を測定し、特に疲労強度が低い、横桁ウェブの縦桁下フランジ貫通部に設けられたスリットの溶接部(以下横桁ウェブスリットと称す)に着目した。測定に用いたひずみゲージおよび貼付位置を図 1、連結部の測定位置を図 2 に示す。

3. 補剛材上端部に発生する応力

図 3 に、健全時における L6 と ST1 交差部起点側の、補剛材上端部(図 1 の(2)で示す箇所)で測定した応力波形を示す。列車の車両間における 2 つの台車を車軸群としたとき、波形は車軸群毎にピークに達し、繰返し応力が生じることから、疲労き裂の生じ易い状況であると考えられる。補剛材上端と縦桁受台はすみ肉溶接で接合されており、疲労の破壊モードは、溶接止端部の破壊(E 等級(JSSC))と、溶接ルート部の破壊(H 等級(JSSC))が考えられる。図 4 に、L6 と ST1 交差部、および L6 と ST2 交差部における、補剛材上端溶接部の溶接止端部と溶接ルート部の最大応力振幅を

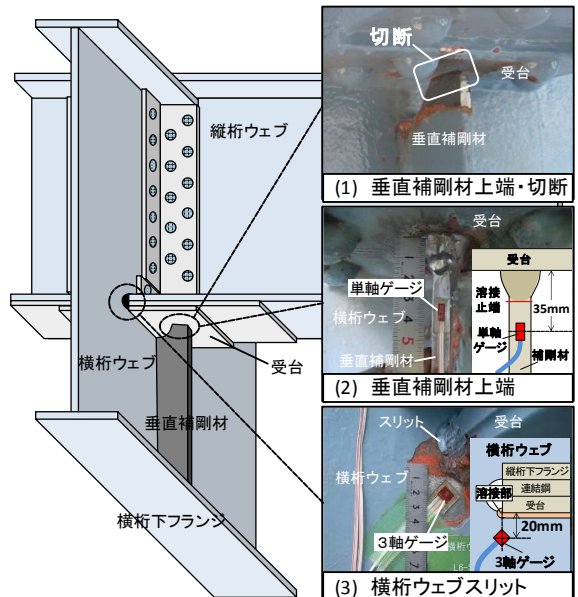


図1 開床式トラス橋梁 縦桁横桁連結部

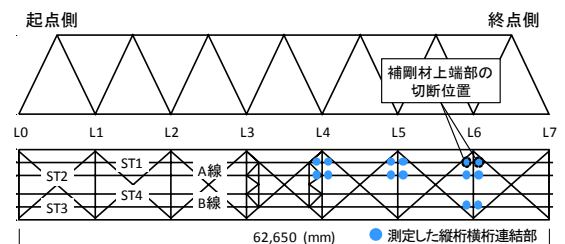


図2 測定位置・補剛材上端部切断位置

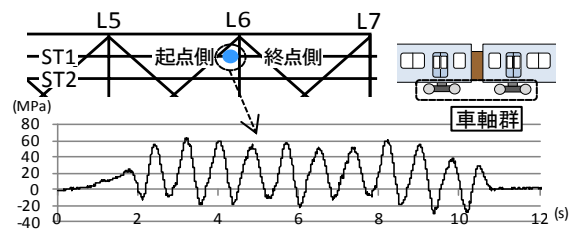


図3 補剛材上端部における列車通過時の応力波形

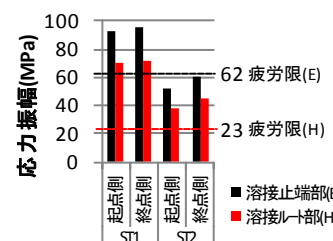


図4 補剛材上端部の鉛直方向応力最大応力振幅 健全時(L6ST1,ST2))

キーワード：トラス橋、応力再分配、補剛材上端、横桁ウェブスリット、疲労き裂、疲労損傷度、実橋梁測定
連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 鋼・複合構造 TEL042-573-7280

示す。なお、溶接止端部の応力は補剛材上端部で測定した応力とし、溶接ルート部の応力は溶接ルートのど厚から換算した。L6 と ST1 の交差部は、どちらの部位も疲労限を大きく上回る応力振幅が見られる。また ST1 と ST2 を比較すると、応力は軌道外側に位置する ST1 の方が大きく、疲労き裂は、軌道外側から生じると考えられる。したがって、本検討で切断した補剛材上端は、先行して疲労き裂が発生し破断すると考えられ、応力再分配を確認する上で、切断箇所として妥当であるといえる。

4. 応力再分配の確認

1) 補剛材上端部 補剛材上端の測定点における、1 列車相当の疲労損傷度の破断時と健全時の変化率を図 5 に示す。疲労損傷度は、破断箇所と同線側で隣の L6 と ST2 の連結部において 2 倍程度に増大し、その他の箇所については殆ど変動が見られない。このことから、横桁を挟んで両側の補剛材上端溶接部が破断した場合は、破断箇所と同線で隣の連結部においてのみ応力が増大し、き裂が生じ易くなる。なお、横桁を挟んで片側のみ疲労き裂が生じた場合は、横桁を挟んで裏側の応力が増大し、き裂が発生し、最終的に両側共に破断することが明らかとなっている¹⁾。このことから、当該構造に繰返し荷重が载荷すると、図 6 に示すように、まず軌道外側(①)でき裂が発生し、横桁を挟んで裏面(②)、隣の連結部(③)と、き裂発生箇所に近い部材から順に、連鎖的にき裂が生じ易くなると考えられる。

2) 横桁ウェブスリット 横桁ウェブスリットにおいて、破断による応力の再分配がどの程度かを確認した。応力としては、L6 と ST1 交差部の横桁ウェブスリットの軌道外側における、主応力成分が最大となる方向の応力成分に着目した。図 7 に当該方向の最大応力振幅、および 1 列車相当の疲労損傷度における健全時と破断時の変化率を示す。当該部位の疲労強度等級を、H' 等級「貫通部にスカラップを伴うガセットを貫通させた継手(鋼道路橋の疲労設計指針)」とすると、健全時においても疲労限を超える応力が発生している。さらに補剛材上端の破断により、4 割程度応力が増大し、疲労損傷度においては 2 倍以上に増大している。以上から、補剛材上端が破断すると、破断箇所に隣接する補剛材上端だけでなく、当該連結部の横桁ウェブスリットにおいても応力が増大し、疲労き裂が発生する危険性が増す。

なお、縦桁横桁連結部では、図 8 に示すように横桁ウェブが縦桁下フランジ貫通部を中心に折れ曲がる面外変形を呈しているが、図 9 で示すように、補剛材上端破断時に鉛直方向の面外成分の増分が最も大きいことから、補剛材上端の破断は、図 8 の変形を増大させ、その結果として横桁ウェブスリットの応力が増加したもの(図 7)と考えられる。

5. まとめ

本研究では、鉄道鋼トラス橋の縦桁横桁連結部において、縦桁受台と横桁ウェブ垂直補剛材上端との溶接部が疲労き裂により破断した際の、破断箇所近傍部材における応力再分配の影響を確認した。補剛材上端が破断すると、破断箇所に隣接する補剛材上端において応力が増大し、連鎖的に疲労き裂が生じ易くなる。また当該連結部の横桁ウェブスリットにおいても、補剛材上端破断により応力が増大し、疲労き裂が発生する危険性が増す。

参考文献

1) 高橋和也, 内藤繁, 関雅樹, 市川篤司, 三木千壽: 鋼鉄道橋トラス橋縦桁横桁連結部の疲労特性とその改善方法, 土木学会論文集 A Vol.64 No.2, 394-407, 2008.4

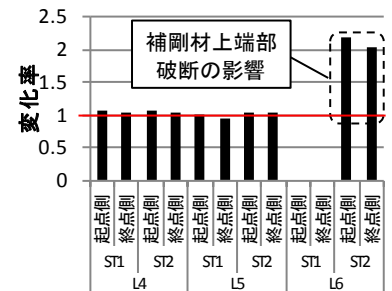


図5 疲労損傷度変化率(補剛材上端部)

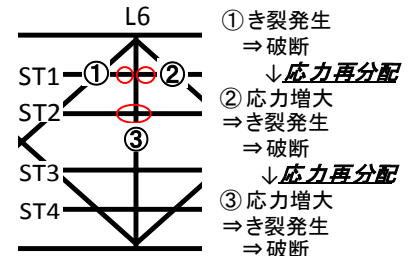
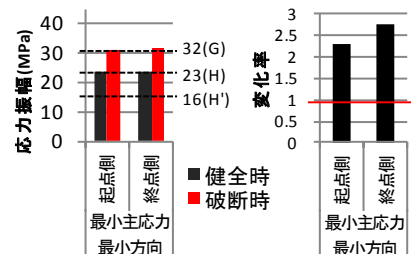


図6 き裂発生による応力再分配



(a) 最大応力振幅 (b) 疲労損傷度変化率
図7 横桁ウェブスリットの主応力(L6(ST1)軌道外側)

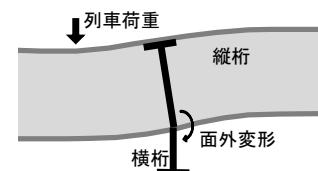


図8 縦桁横桁連結部の変形

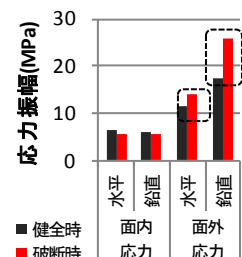


図9 横桁ウェブスリットの面内・面外応力
最大応力振幅(L6(ST1)軌道外側)