鋼鉄道曲線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　　正会員　荒鹿　忠義
ｼﾞｪｲｱｰﾙ東海ｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ株式会社　○正会員　所　真吾　　正会員　斉藤　行雄

１．はじめに

東海道新幹線の溶接鋼鉄道トラス橋の縦桁横桁連結部において，疲労き裂の発生が報告されている．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（以下，垂直補剛材上端という．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（以下，横桁スリット部という．図中の②）から疲労き裂が発生している．直線区間にある標準トラスについては，実橋測定，FEM解析および実物大試験により，疲労き裂の発生原因が解明され，補強方法が確立されている[1)]．

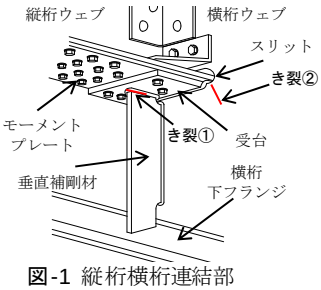


図-1 縦桁横桁連結部

一方，曲線区間にあるトラスについては，カントをつけるために縦桁が左右の高低を違えて連結されており（図-2），標準トラス橋と異なる挙動を示すことが考えられる．本研究では，東海道新幹線の曲線トラス橋の縦桁横桁連結部に生じている疲労き裂を対象として，実橋測定および実物大試験を実施することにより，疲労き裂の発生メカニズムを解明し，その補強方法を提案することを目的としている．

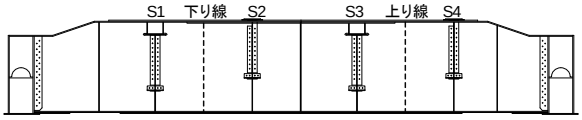


図-2 曲線トラス橋(S橋梁)の中間横桁側面図

２．実橋測定による疲労き裂の原因検討

(1) 実橋測定概要

疲労き裂の発生メカニズムを解明するためには，き裂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，本線区の曲線トラスのS橋梁（図-2および図-3）で実橋測定を行った．測定位置を図-4に示す．

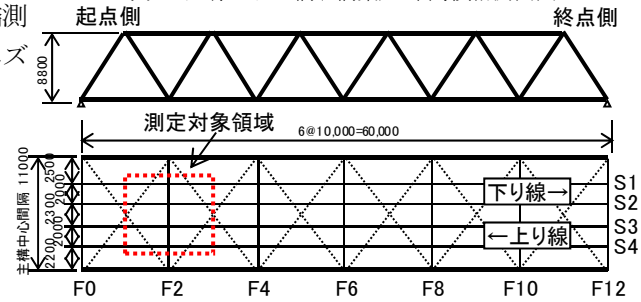


図-3 対象橋梁および対象縦桁横桁連結部

(2) 疲労き裂発生原因となる挙動の推定

a) 垂直補剛材上端

表-1に垂直補剛材上端の応力を示す．応力振幅値は，起点側の外軌側縦桁（S2およびS4）で比較的大きい．図-5に垂直補剛材上端の応力波形を示す．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おり，これは標準トラスと同じ応力挙動[1)]であった．

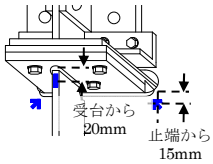


図-4 応力測定位置

表-1 垂直補剛材上端の応力範囲

測定列車 線別	測定列車 速度(km/h)	測定箇所	起点側 (MPa)	終点側 (MPa)
下り線	185.4	F2S1	10.6	11.7
		F2S2	45.9	14.3
上り線	188.1	F2S3	22.4	17.3
		F2S4	100.9	15.2

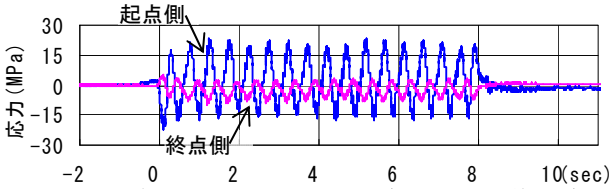


図-5 垂直補剛材上端の垂直方向応力(S2縦桁:下り線列車)

b) 横桁スリット部

表-2に横桁スリット部の応力を示す．内軌側縦桁（S1およびS3）は，横桁ウエブの面外応力は低く，面内応力が支配的であり、これは標準トラスと同じ応力挙動[1)]であった。しかし，外軌側縦桁（S2およびS4）は，横桁ウエブの面内応力は低く，面外応力が支配的であり，標準トラスと異なる応力挙動[1)]であった．

表-2 横桁スリット部の応力

測定列車 線別	速度 (km/h)	測定箇所		起点側 最大主応力 (MPa)	起点側 最小主応力 (MPa)	面内応力範囲 水平方向 (MPa)	面内応力範囲 垂直方向 (MPa)	面外応力範囲 水平方向 (MPa)	面外応力範囲 垂直方向 (MPa)
下り線	185.4	F2S1	主構側	24.7	-3.2	21.6	4.5	3.8	5.5
			上り線側	5.8	-4.6	5.9	7.3	3.6	5.0
		F2S2	主構側	11.0	-5.3	8.1	1.6	10.6	2.5
			上り線側	48.9	-23.0	7.0	3.2	48.1	26.5
上り線	188.1	F2S3	下り線側	13.7	-3.9	12.5	5.0	3.1	2.3
			主構側	11.1	-3.0	9.2	4.9	3.1	3.5
		F2S4	下り線側	12.7	-6.8	5.2	4.3	7.9	5.1
			主構側	17.0	-6.2	5.6	2.2	11.8	7.7

３．補強部材を取付けた縦桁横桁連結部の実物大試験

(1) 試験計画

a) 試験概要

垂直補剛材上端，横桁スリット部からの疲労き裂の発生を防止するために，これらのき裂発生箇所近傍の応力を低減させることによる疲労特性改善を目的とした，実物大縦桁横桁連結部の試験体を用いた静的載荷試験および疲労試験を行った．

b) 試験体および補強方法

試験体（1体）は，形状，寸法および施工方法について実橋を可能な限り再現することとし，曲線トラスL橋梁の設計図面

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　〒450-0002　名古屋市中村区名駅五丁目 33 番 10 号アクアタウン納屋橋　052-746-7122

を参考に製作を行った（図-5）.

補強方法は以下の2種類を用意した（図-6）. ①補強Ⅰ（内軌側）は，標準トラスの垂直補剛材上端および横桁スリット部のき裂対策として確立したものである[1]. 補強Ⅰ（外軌側）は，補強Ⅰ（内軌側）を外軌側用に改良したものである. ②補強Ⅱは，補強部材の軽量・小型化および施工性向上を目指し，垂直補剛材上端のき裂対策を山形鋼で挟む構造としたものである. なお，横桁スリット部のき裂対策は補強Ⅰと同じである.

c) 測定項目および載荷方法

応力測定位置は, 静的載荷試験および疲労試験ともに, 実橋測定と同じである（図-4）. 疲労試験では，疲労き裂の発生および進展状況を観察するために，所定の回数ごとに目視検査および磁粉探傷検査を実施した.

実橋での列車荷重の移動作用を疲労試験で模擬するために，試験では図-5に示すように縦桁2本の上に載荷梁を載せ3本のジャッキを使用し，また載荷パターンは図-7に示すように3本のジャッキに位相差を与えた. また，静的載荷試験では，3本のジャッキを用いて，各ジャッキ950kNの荷重を静的載荷した.

(2) 部材取付けによる補強効果

a) 静的載荷試験

ⅰ) 垂直補剛材上端

図-8に垂直補剛材上端の応力測定結果を示す. ここでは，静的載荷試験での応力範囲を，無載荷，ジャッキ1載荷，ジャッキ2載荷およびジャッキ3載荷のときの応力最大値と応力最小値の差分と定義する. 内軌側縦桁については，応力範囲が補強Ⅰでは49%に低減したが，補強Ⅱでは203%に増加した. また，外軌側縦桁については，応力範囲が補強Ⅰでは32%に，補強Ⅱでは31%に低減した.

ⅱ) 横桁スリット部

図-9に横桁スリット部の応力測定結果を示す. 2章のき裂の原因検討の結果より，き裂対策として，内軌側縦桁は横桁ウエブの面内変形による横桁スリットの変形の抑制が必要であり，外軌側縦桁は横桁ウエブの面外変形による横桁スリットの変形の抑制が必要であることから，ここでは内軌側縦桁については面内応力に着目して，外軌側縦桁については面外応力に着目して補強方法を比較した. その結果，内軌側縦桁については，面内応力範囲が水平方向については補強Ⅰでは78%に，補強Ⅱでは71%に低減し，垂直方向については補強Ⅰでは85%に，補強Ⅱでは28%に低減した. また，外軌側縦桁については, 面外応力範囲が水平方向については補強Ⅰでは9%に，補強Ⅱでは21%に低減し，垂直方向については補強Ⅰでは7%に，補強Ⅱでは14%に低減した.

b) 疲労試験

静的載荷試験の結果，垂直補剛材上端および横桁スリット部のき裂対策として補強Ⅰが有効であった. そこで，縦桁横桁連結部に補強Ⅰを取付けて疲労試験を300万回まで実施した. その結果，試験体本体および補強部材から疲労き裂等の変状は発生しなかった.

4. おわりに

本研究により，初期の溶接鋼鉄道曲線トラス橋の縦桁横桁連結部の疲労き裂について，き裂の発生原因となる変形挙動を解明し，この変形挙動を抑制する補強方法（補強Ⅰ）を提案した. 現在，本線区では補強Ⅰを実橋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に努めていきたい.

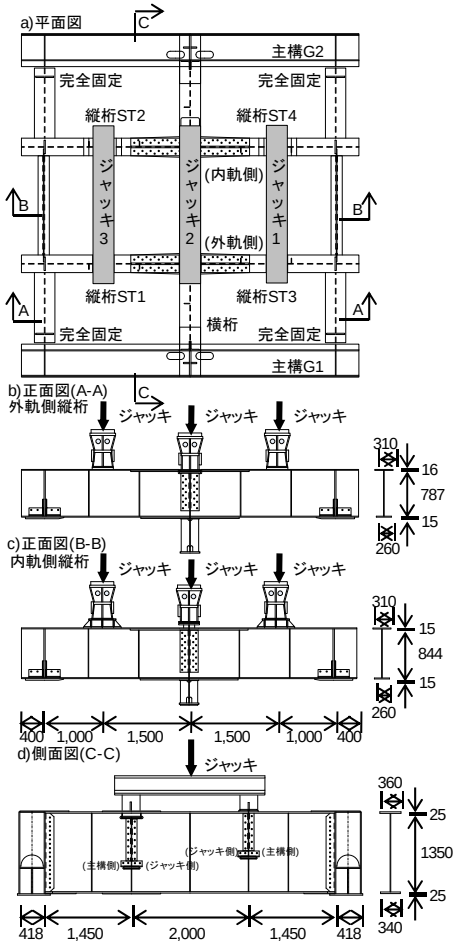


図-5 試験体の形状

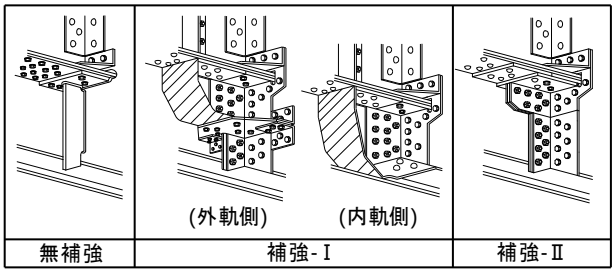


図-6 縦桁横桁連結部補強方法

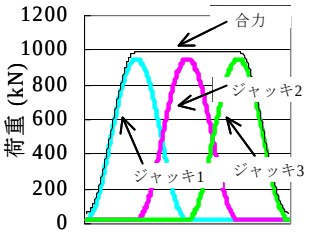


図-7 疲労試験載荷パターン

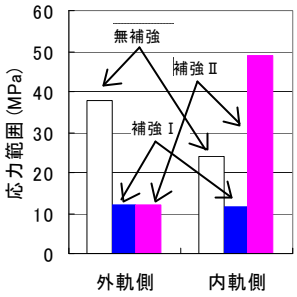
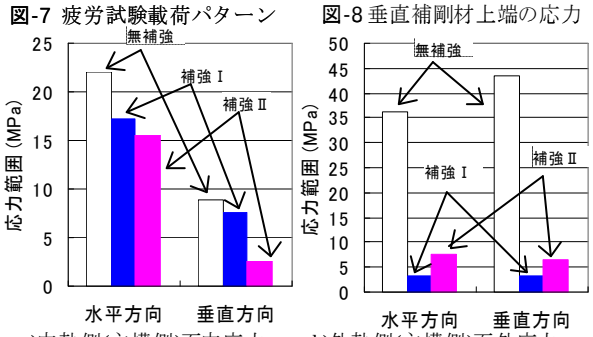


図-8 垂直補剛材上端の応力



a)内軌側(主構側)面内応力　b)外軌側(主構側)面外応力

図-9 横桁スリット部の応力

参考文献：1) 高橋和也，内藤繁他：鋼鉄道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，2008.