

## 撤去された余部橋梁主桁添接部の疲労挙動

### Fatigue behavior of rivetted girders with splice joints removed from Amarube Bridge

○白石 祐一\*<sup>1</sup> 中出 裕也\*<sup>2</sup> 坂野 昌弘\*<sup>3</sup> 松本 健太郎\*<sup>4</sup> 中山 太士\*<sup>5</sup>

Yuichi SHIRAIISHI\*<sup>1</sup> Yuya NAKADE\*<sup>2</sup> Masahiro SAKANO\*<sup>3</sup> Kentaro MATSUMOTO\*<sup>4</sup>

Taishi NAKAYAMA\*<sup>5</sup>

**ABSTRACT** In this study, we investigated fatigue behavior of riveted girders with splice joints by conducting fatigue tests using specimen cut-out from bottom flanges around splice joints in main girders. The specimen with splice joints is removed from girders 11 lane at sea side and attached the upper flange by welding newly. Members of bottom flanges are composed from two steel plates and angles, and they are put between splice members. And joints of bottom flanges are dispersed three cross-sections not to be one cross-section.(1) The local stress was measured 2.9 times larger than conventional stress around splice joints and cross section changes.(2) Fatigue cracks are detected at riveted holes near the splice joints and a corroded part.

Key words : 腐食, 疲労, 添接板, リベット, 撤去桁

Corrosion, Fatigue, Splice joints, Rivet, Removed girder

### 1. はじめに

これまで、撤去されたリベット桁を用いた疲労試験はいくつか行われており、腐食の影響を受けたリベット桁の疲労強度について究明されている。<sup>1)~3)</sup> 添接部は一般部と違って板継ぎ部があり、構造が

複雑でリベットの数も多く、荷重伝達機構が複雑である。そのため、一般部と比べてき裂発生位置など疲労挙動が異なる可能性がある。しかし、リベット桁の添接部に関する研究例は板継ぎ部が1ヶ所のみであり<sup>1)</sup>、板継ぎ部が複数ある添接部の疲労挙動が明らかになっていない。

本報では、余部橋梁から撤去された添接部を有する主桁の上下フランジ付近から切り出した桁試験体を用いて疲労試験を行い、約100年間季節風の厳しい日本海沿岸で供用された添接部を有するリベット桁の疲労挙動を究明した。なお、添接部の上フランジ側と下フランジ側では腐食状況に違いがみられることから、腐食の影響についても検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 試験体と載荷方法

図-1に試験体を採取した主桁の位置、図-2に撤去桁からの試験体の採取位置を示す。試験体は添接部を有する11連目中央部の海側主桁の上下フランジ付近から採取した。以下、上フランジ側を用いて製

\*<sup>1</sup> 関西大学理工学研究科 環境都市工学専攻  
(〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-35)

\*<sup>2</sup> 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科  
(〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-35)

\*<sup>3</sup> 第2種正会員  
工博 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 教授  
(〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-35)

\*<sup>4</sup> 修士(工学) (株)ワイ・シー・イー 技術  
部第2課  
(〒541-0048 大阪市中央区4-3-7 VORT 御堂  
筋本町3F)

\*<sup>5</sup> 第2種正会員  
博士(工学) 西日本旅客鉄道株式会社 施設  
部土木技術課  
(〒530-8341 大阪市北区芝田2-4-24)

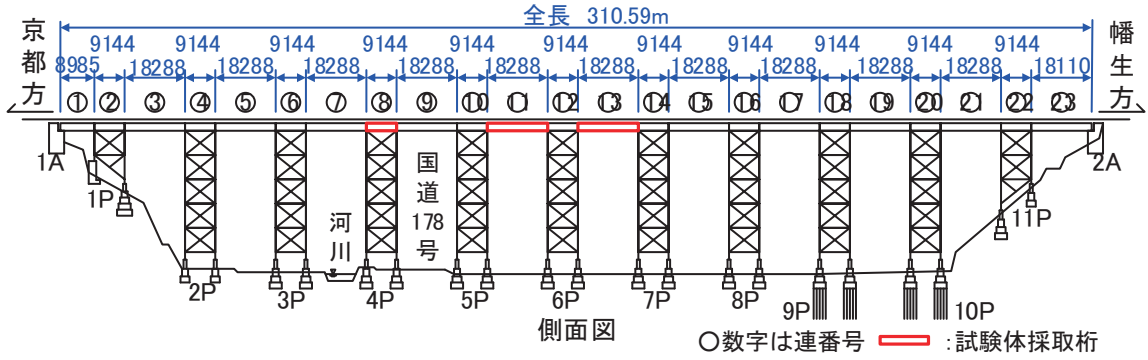


図-1 橋梁全体と試験体採取した桁

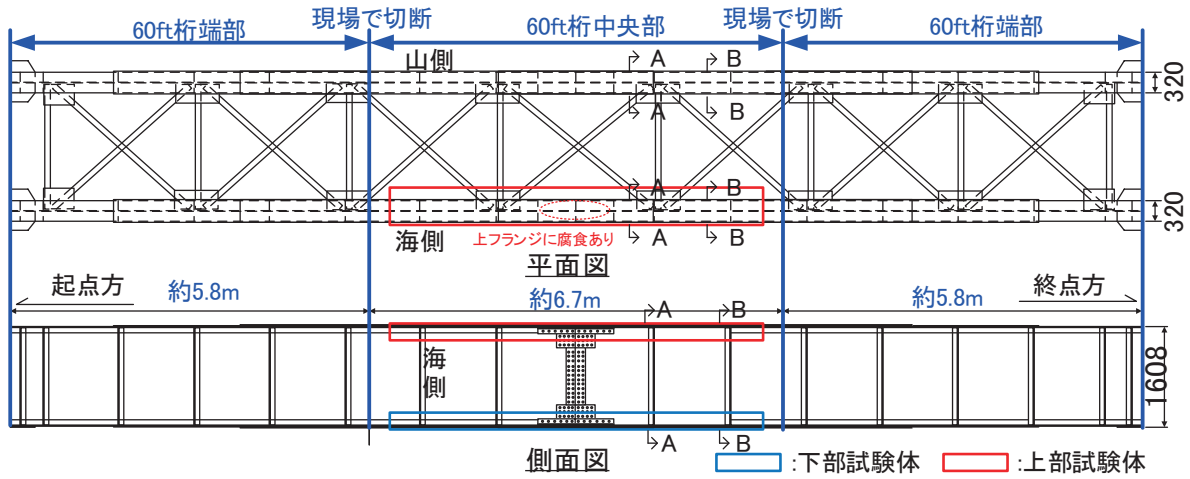


図-2 11連目中央部海側桁の試験体採取位置

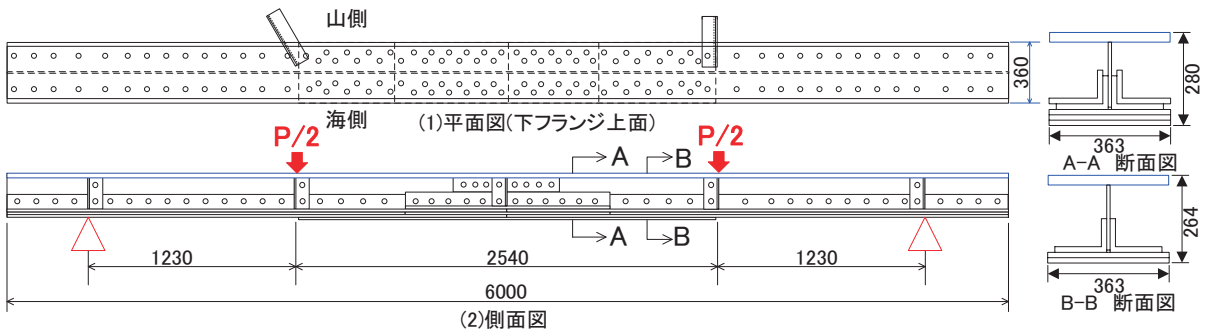


図-3 11連目中央部海側桁下部試験体

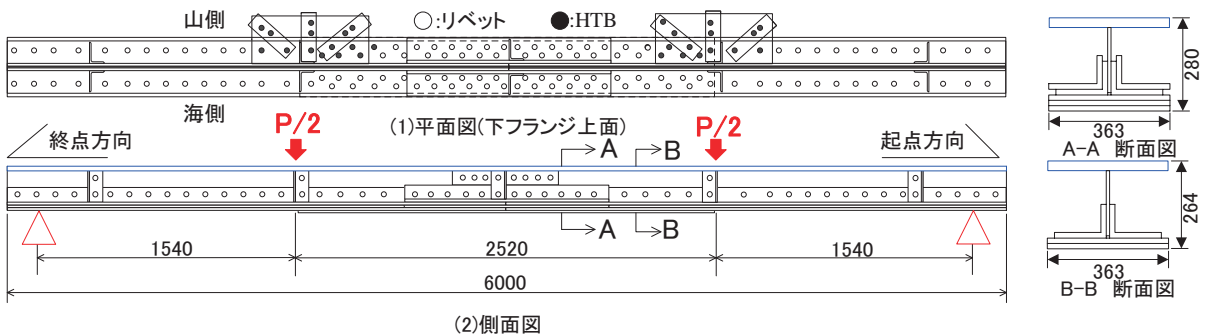


図-4 11連目中央部海側桁上部試験体

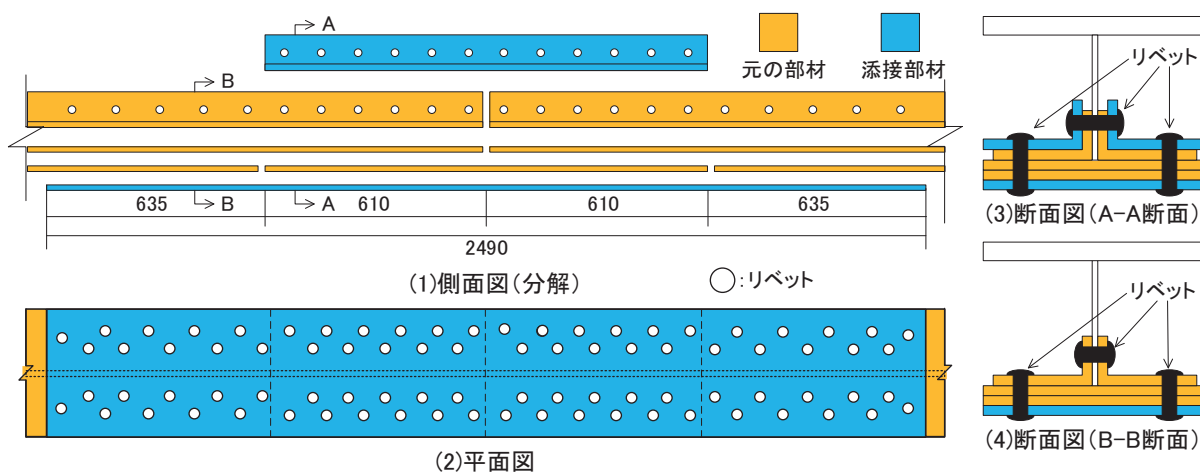


図-5 フランジ添接部の板組状況

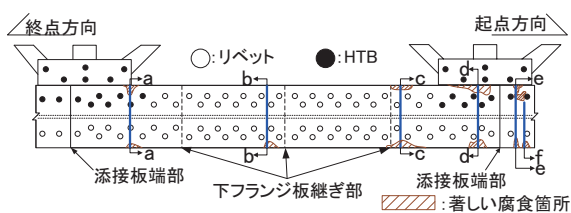


図-6 腐食形状と板厚計測位置

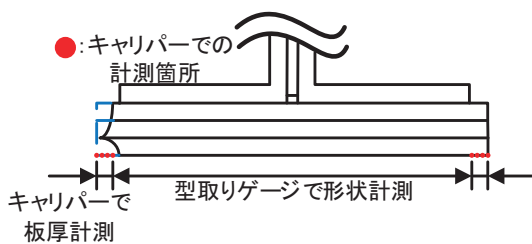


図-7 フランジ厚計測方法

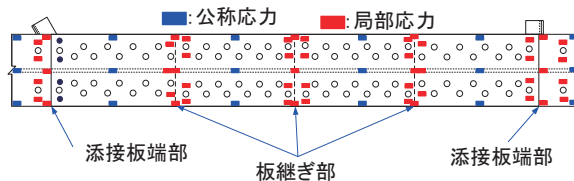


図-8 下部試験体のゲージ貼り付け位置  
(下フランジ下面)

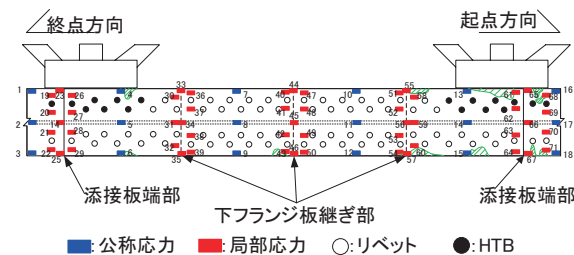


図-9 上部試験体のゲージ貼り付け位置  
(下フランジ下面)

作した試験体を上部試験体，下フランジ側を用いて製作した試験体を下部試験体と呼ぶ。

図-3,4 に各試験体の形状と寸法，荷重方法を示す。試験体には新たにフランジ板を溶接で取り付け，上フランジ側も試験では下フランジとして使用した。残留応力の計測は行っていないが，試験体は新たに取り付けた上フランジのみに溶接を行っているため，下フランジ側には影響はないと考えられる。

荷重方法は2点荷重とし，試験部が等曲げモーメント範囲となるように荷重位置間隔を設定した。

図-5 にフランジ添接部の板組状況を示す。元々のフランジは鋼板2枚とアングル材で構成されており，それらの上下を添接部材の鋼板とアングル材で挟み込み，リベットで接合されている。また，フランジ板継ぎ部は，1断面に重ならないように3断面に分散されている。

## 2.2 腐食状況調査方法

図-6 に上部試験体の腐食形状と残存板厚計測位置を示す。下部試験体には著しい腐食は見られなかったが，上部試験体では外側（実橋では上面）の添接板とフランジ全体に著しい腐食が確認されたため，残存板厚の計測を行った。計測は著しい腐食が確認された a-a～f-f 断面の6断面で行った。

図-7 に残存板厚計測方法を示す。フランジ縁部では，キャリパーを用いて残存板厚を計測した。キャリパーが届かないフランジ中央部では，型取りゲージを用いて添接板とフランジの表面形状を計測し，キャリパーを用いた計測位置を基準としたゲージの凹凸量から残存板厚を算出した。腐食欠損量は原厚と残存板厚の差から得られる板厚減少量とした。

### 2.3 ひずみゲージ貼り付け位置

図-8,9 に各試験体のひずみゲージ貼り付け位置を示す。ひずみゲージは、添接板とフランジ表面に公称応力計測用に18枚、局部応力計測用にフランジの板継ぎ部と添接板端部付近のリベットまたはHTB 近傍に53枚貼り付けた。

### 2.4 静的荷重試験方法

腐食の程度が小さい下部試験体の荷重範囲は、リベット孔の疲労強度である 125 MPa<sup>4</sup>程度の応力が生じるように520kNに設定した。腐食の著しい上部試験体の荷重範囲は、腐食部の疲労強度である 100MPa<sup>3</sup>程度の応力が生じるように360kNに設定した。

### 2.5 疲労試験方法

疲労試験は静的荷重試験と同様の荷重条件で行った。疲労試験中は適宜試験機を停止し、静的荷重によ

り、ひずみ変化の計測を行った。ひずみに変化がみられたゲージ付近では目視やMT, PTにより亀裂の検出を試みた。

## 3. 結果と考察

### 3.1 腐食状況

図-10 に外側の添接板とフランジの残存板厚分布を示す。写真-1 に添接部表面の腐食状況、写真-2~6 に a-a~e-e 断面のそれぞれの腐食状況を示す。b-b~e-e 断面の4断面では、ほぼ全幅で板厚が減少しており、マクラギの影響と考えられる。b-b,d-d 断面では、全幅で10mm(原厚16mmの6割)程度板厚が減少していた。

また、計測を行ったすべての断面で、鋼板の縁部が腐食により欠けた状態になっていた。特に、c-c断面ではフランジ縁部に長さ180mm、幅15mmの腐食欠損部が確認された。e-e断面では、フランジ縁部に長さ190mm、幅140mm、最大深さ11mmの凹部が生じていた。

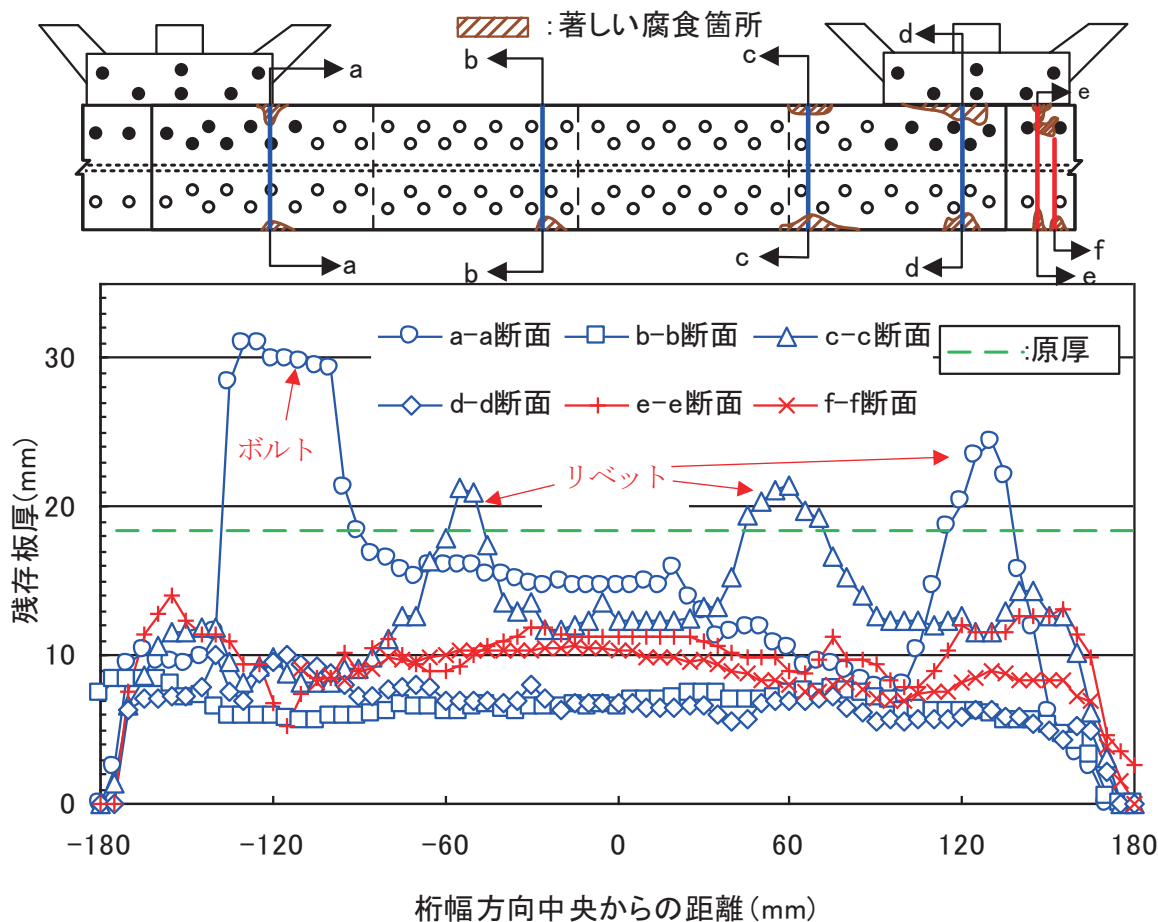


図-10 外側の添接板とフランジの残存板厚分布



写真-1 添接部の腐食状況

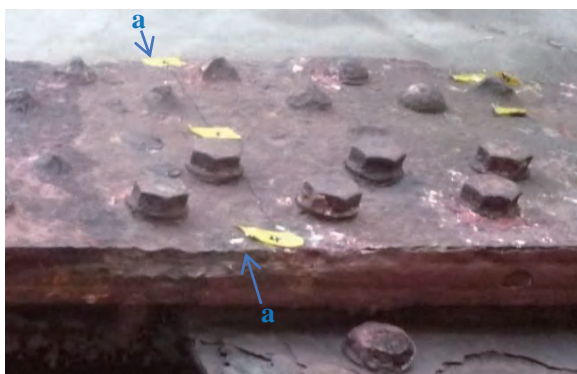


写真-2 a-a 断面の腐食状況



写真-5 d-d 断面の腐食状況



写真-3 b-b 断面の腐食状況



写真-6 e-e 断面の腐食状況

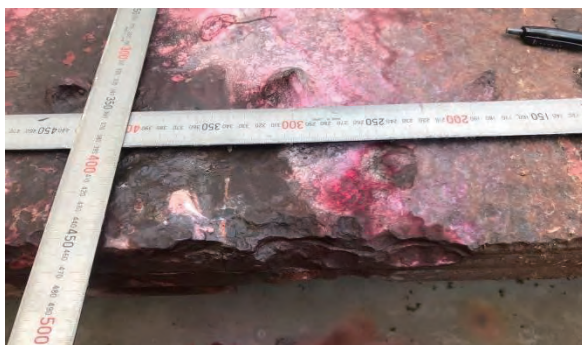


写真-4 c-c 断面縁部の腐食状況

### 3.2 静的載荷試験

図-11, 12 に下部試験体の静的載荷試験結果, 図-13, 14 に上部試験体の静的載荷試験結果を示す. 下部試験体では, 3ヶ所ある板継ぎ部の中で外側の添接板に近い板継ぎ部近傍のフランジ中央部で公称応力の約1.3倍程度の局部応力が計測された.

上部試験体では, 下部試験体と同様に外側の添接板に近い板継ぎ部近傍の添接板縁にある腐食部付近で公称応力の約2.9倍の最大局部応力が計測された. これは, 板継ぎの影響とともに腐食欠損の影響によるものと考えられる.

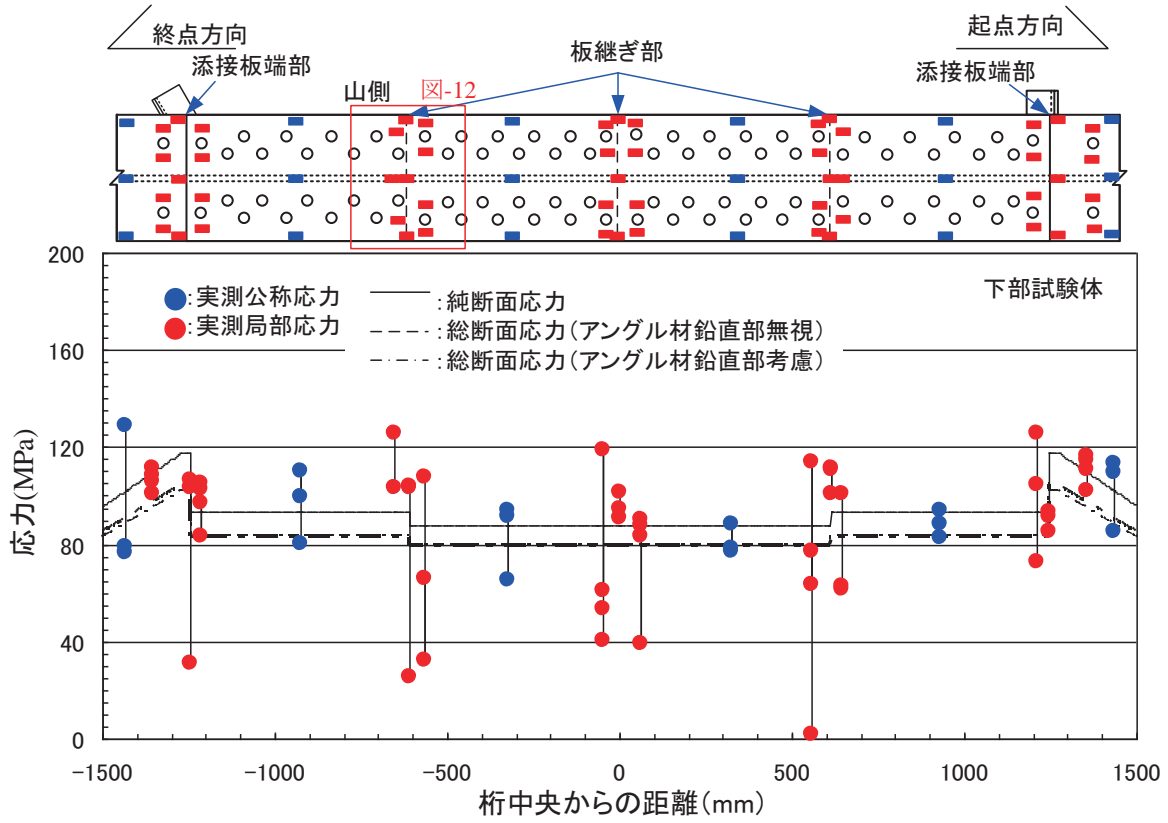


図-11 下部試験体の静的試験結果

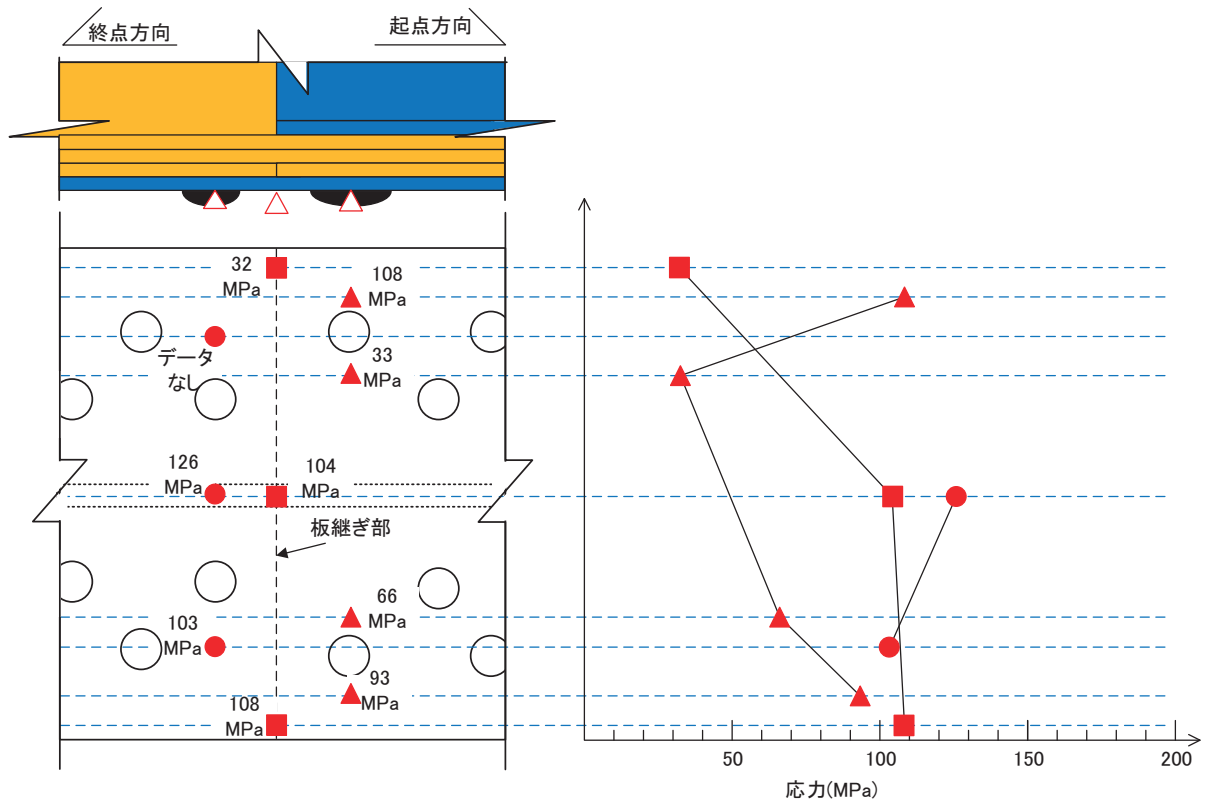


図-12 終点側板継ぎ部の応力分布拡大

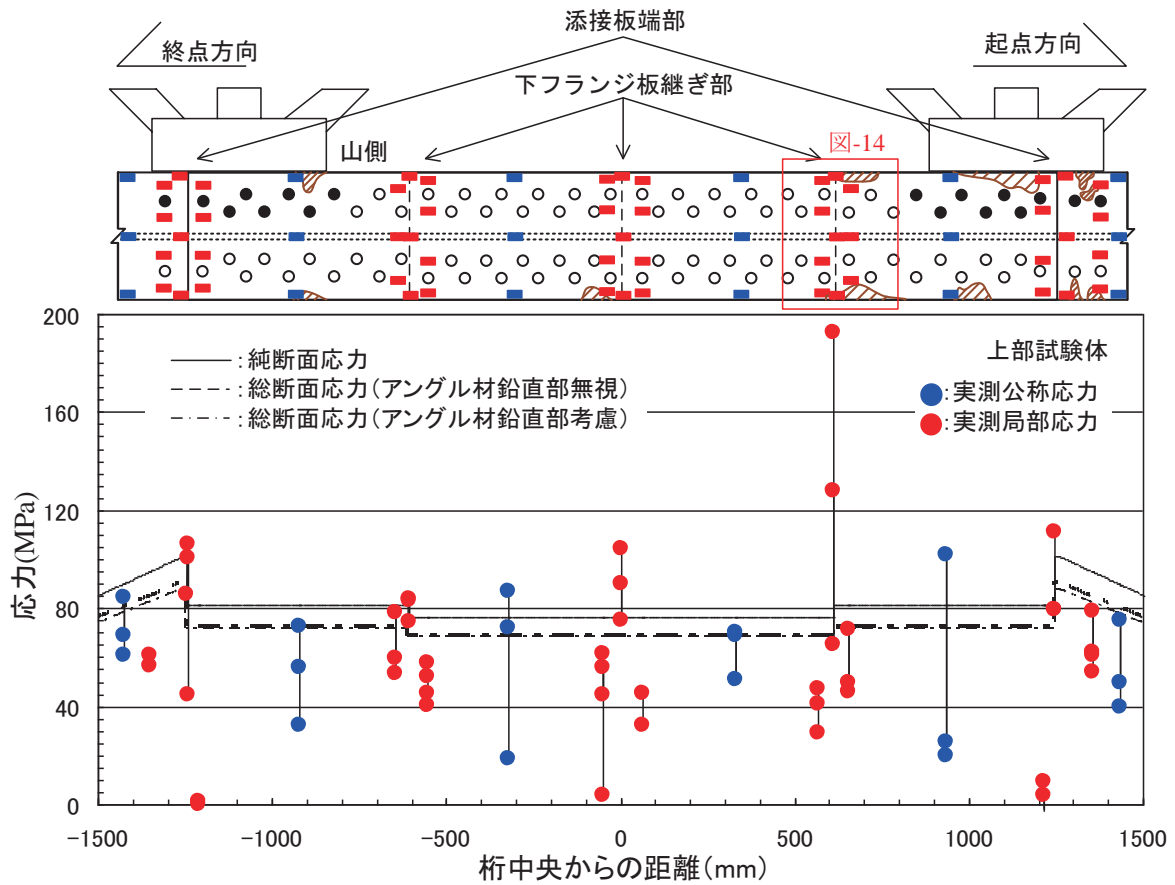


図-13 上部試験体の静的試験結果

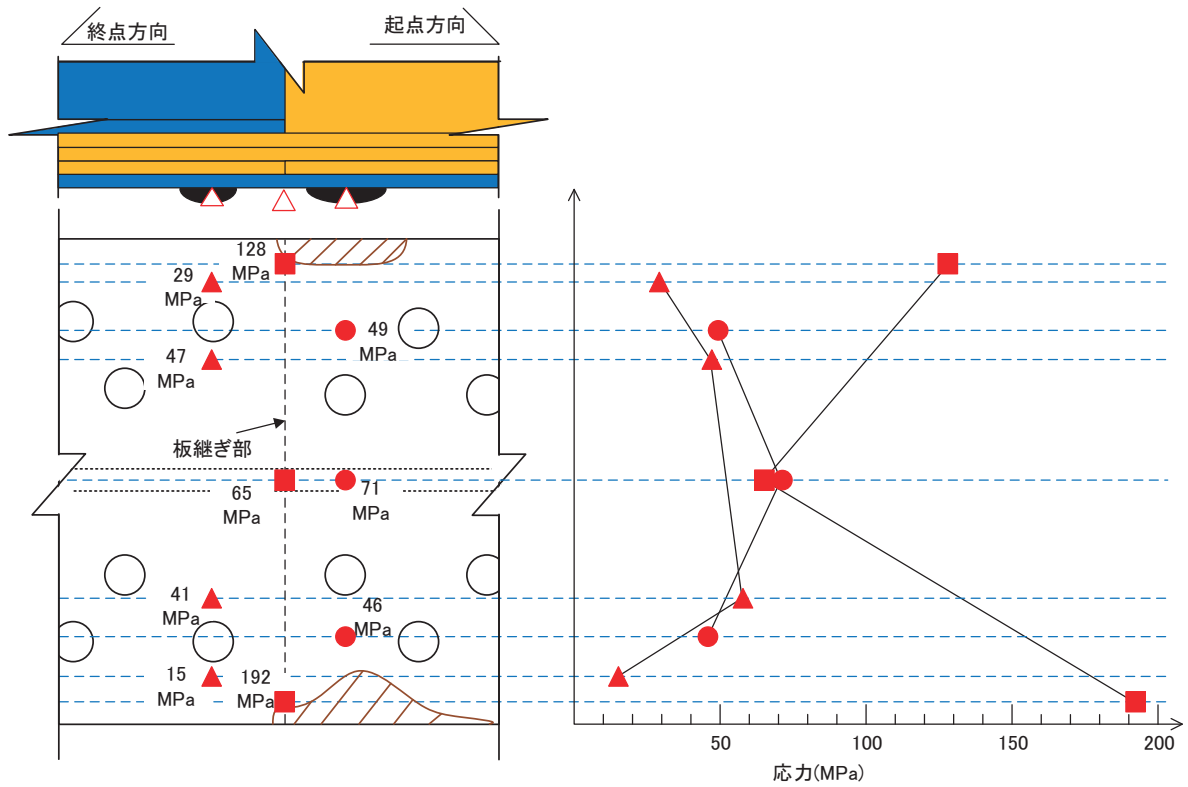


図-14 起点側板継ぎ部の応力分布拡大

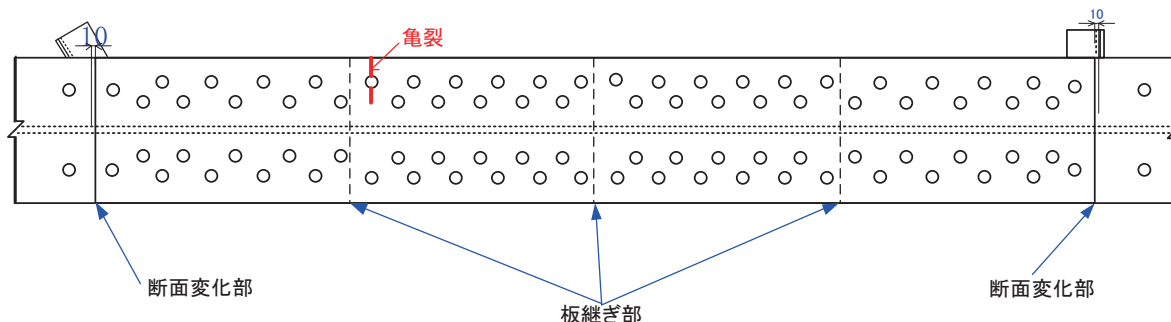


図-15 下部試験体の亀裂発生位置(下フランジ下面)

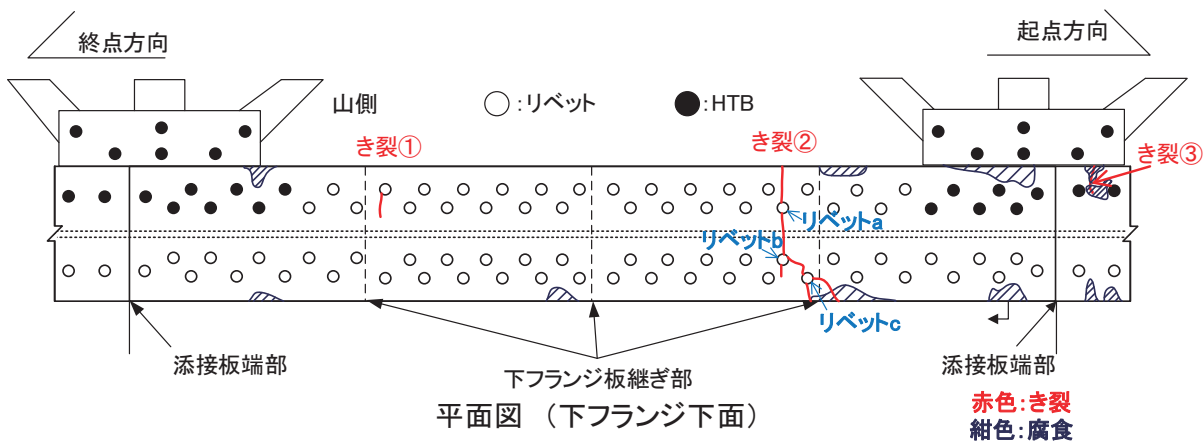


図-16 上部試験体の亀裂発生状況

### 3.3 疲労試験結果

#### 3.3.1 き裂発生・進展挙動

図-15, 16 と写真3~11 にき裂発生位置と発生状況を示す。下部試験体では、80 万回時点で、3ヶ所ある板継ぎ部の中で静的載荷で最も高い局部応力が計測された外側の添接板に近い終点側の板継ぎ部近傍のリベット孔から発生した疲労き裂が、フランジ幅方向に長さ 24mm と 37mm 進展しているのが確認された。この時点で疲労試験を終了した。

上部試験体では、3 断面でき裂が確認された。載荷回数 110 万回時点で外側の添接板に近い終点側板継ぎ部近傍のリベット孔から長さ 19mm のき裂①が発生しているのが確認されたが、その後進展が遅く破断には至らなかった。載荷回数 235 万回時点では、起点側の添接板に近い板継ぎ部近傍の 3 つのリベット孔と縁部の腐食部からき裂②が発生し、ほぼ全幅に進展しているのが確認された。さらに載荷回数 253 万回時点で、起点側の添接板の端部近傍のフランジ縁の腐食部で長さ 58mm のき裂③が発見された。

2 体の試験体で、ともに外側添接板に近いフランジ板継ぎ部近傍の添接板のリベット孔から疲労き裂が発生していることから、リベット桁の添接部ではこの箇所から疲労き裂が発生しやすいと考えられる。

#### 3.2.2 試験体の疲労強度

き裂が発生した板継ぎ部では、切れているフランジの応力を上下の板が分担すると考えて応力を計算した。図-17 に本研究と既往の研究<sup>3)</sup>で得られた実断面で算出した計算応力と疲労寿命の関係を示す。本報で得られた結果は赤色で示しており、リベット孔から発生したき裂には\*印をつけ区別をしている。

リベット孔から発生するき裂に関して、20~40mm 程度のき裂発見寿命(Nd)とフランジ破断寿命(Nf)は、それぞれ旧設計標準<sup>4)</sup>の C 等級程度と B 等級程度であった。フランジ縁部の腐食欠損部から発生したき裂に関しては、60mm 程度のき裂発見時の寿命で評価すると既往の研究<sup>3)</sup>と同様に旧設計標準<sup>4)</sup>の C 等級程度であった。



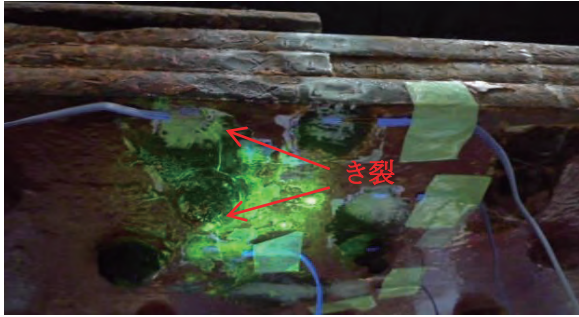


写真3 下部試験体のき裂

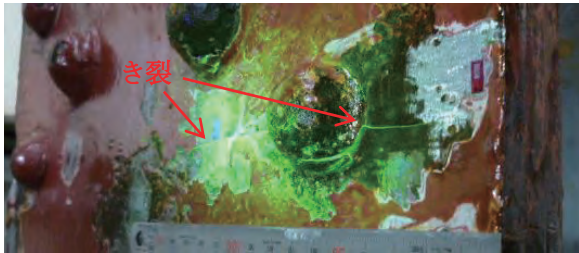


写真4 下部試験体き裂拡大



写真5 上部試験体に発生した亀裂①

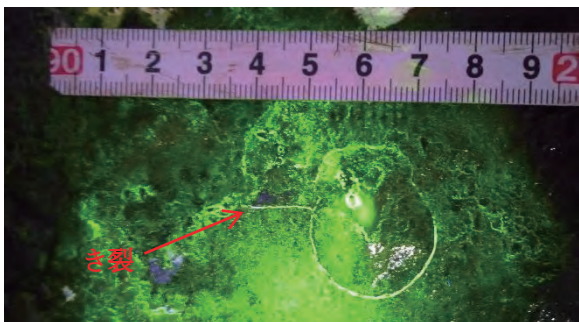


写真6 き裂①拡大

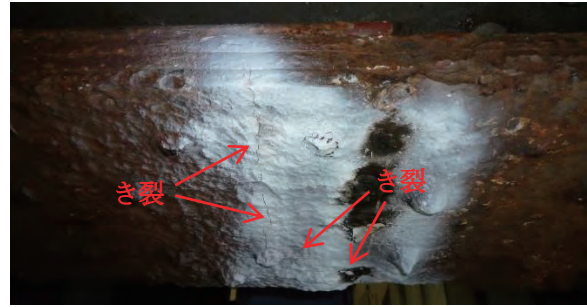


写真7 上部試験体に発生した亀裂②

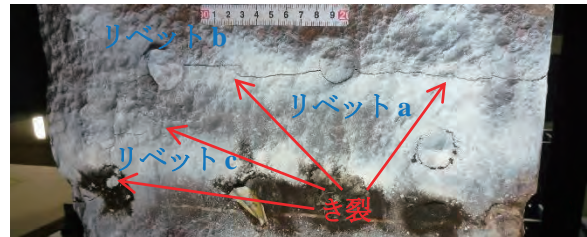


写真8 き裂②リベット孔a拡大



写真9 き裂②海側リベット孔拡大



写真10 上部試験体に発生したき裂③(腐食部)

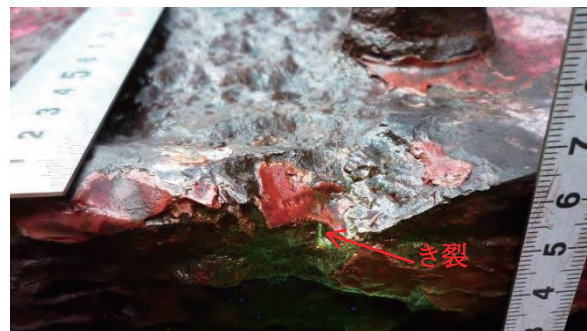


写真11 き裂③(腐食部)拡大

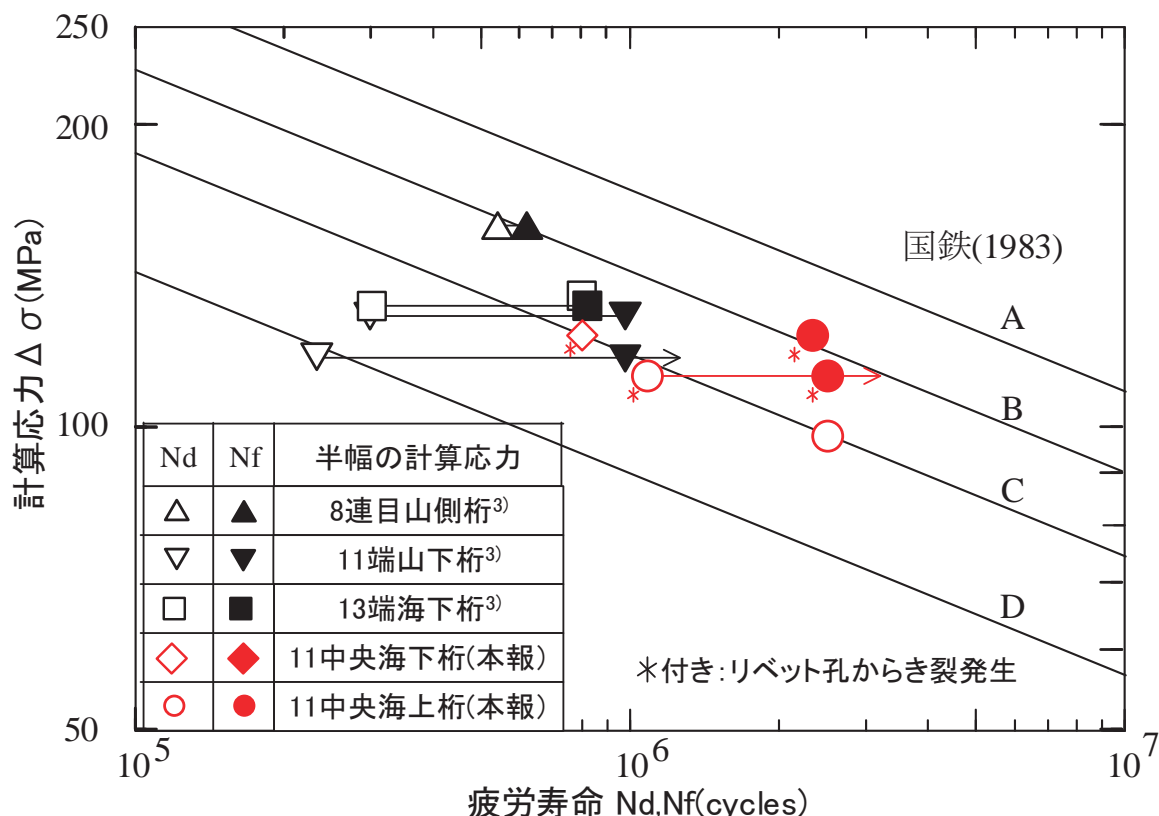


図-17 実断面で算出した計算応力と疲労寿命の関係

#### 4. まとめ

本研究で得られた主な結果は以下の通りである。

(1)上フランジ上面では、ほぼ全幅で板厚が減少している断面が数ヶ所みられ、減少量は最大で 10mm(原厚 16mm の 6 割)程度であった。また、縁部でも腐食による欠損部がみられ、大きなものは長さ 190mm, 幅 140mm, 最大深さ 11mm 程度であった。

(2)静的荷重試験により、下フランジ試験体では 3ヶ所ある板継ぎ部の中で外側の添接板に近い板継ぎ部近傍のフランジ中央部で公称応力の約 1.3 倍程度の局部応力が計測された。上フランジ試験体では、下フランジ試験体と同様に外側の添接板に近い板継ぎ部直上のフランジ縁にある腐食部付近で公称応力の約 2.9 倍の最大局部応力が計測された。これは、板継ぎの影響とともに腐食欠損の影響によるものと考えられる。

(3)下フランジ試験体では、3ヶ所ある板継ぎ部の中で静的荷重で最も高い局部応力が計測された外側の添接板に近い終点側の板継ぎ部近傍のリベット孔から疲労き裂が発生した。上フランジ試験体では、同様に外側の添接板に近い終点側板継ぎ部近傍のリベ

ット孔の他に縁部の腐食部、および添接板の端部近傍のフランジ縁の腐食部の 3ヶ所でき裂が発生した。(4)板継ぎ部近傍のリベット孔から発生したき裂については、破断寿命で評価すると 1983 年の設計標準の B 等級程度、フランジ縁部の腐食欠損部から発生したき裂については、既往の研究と同様に 1983 年の設計標準の C 等級程度であった。

#### 参考文献

- 1) 竹名興英, 川上博道, 谷藤精一, 三木千寿: 経年劣化リベットプレートガーダーの疲労強度, 構造工学論文集, pp. 525-534, 1988.
- 2) 大塚久哲, 彦坂熙, 宮武洋之, 中村聖三: 90 余年供用した鉄道桁の静的荷重実験および疲労実験, 構造工学論文集, pp. 1133-1139, 1991.
- 3) 坂野昌弘, 藤川祥太, 今村駿志: 余部橋梁撤去桁の疲労実験, 旧余部鉄橋を用いた調査研究に関するシンポジウム論文集, pp. 70-94, 2012.
- 4) 土木学会: 国鉄建造物設計標準解説(鋼鉄道橋, 鋼とコンクリートの合成鉄道橋), 技報堂, 1983.