第 4 章　加熱矯正による補修事例と考察

加熱矯正による補修が報告された文献を示すと共に、本節でその概要を紹介し、考察を行う。

4.1　下フランジの変形に対する補修事例

4.1.1　損傷および補修事例概要

(1) 文献

亀山誠二（瀧上工業)、「加熱プレス矯正を用いた既設橋の主桁フランジ変形部の補修」、第 19 回土木施工管理技術論文集　No.30、(一社) 全国土木施工管理技士会連合会

(2) 損傷状況

河川を跨ぐ鈑桁の下フランジが損傷した事例である。車両の衝突によるものと推定されている。

下フランジの変形とそれに伴う垂直補剛材下端の変形が確認されている。(**写真-4.1.1**)

写真-4.1.1　損傷状況

(3) 補修概要

垂直補剛材については、前後に山形鋼を用いた垂直補剛材を新設している。また、下フランジに関しては、加熱矯正で変形を戻した上で当て板補強を施している。

加熱矯正のステップを**図-4.1.2**に、補修状況を**写真-4.1.2**に示す。

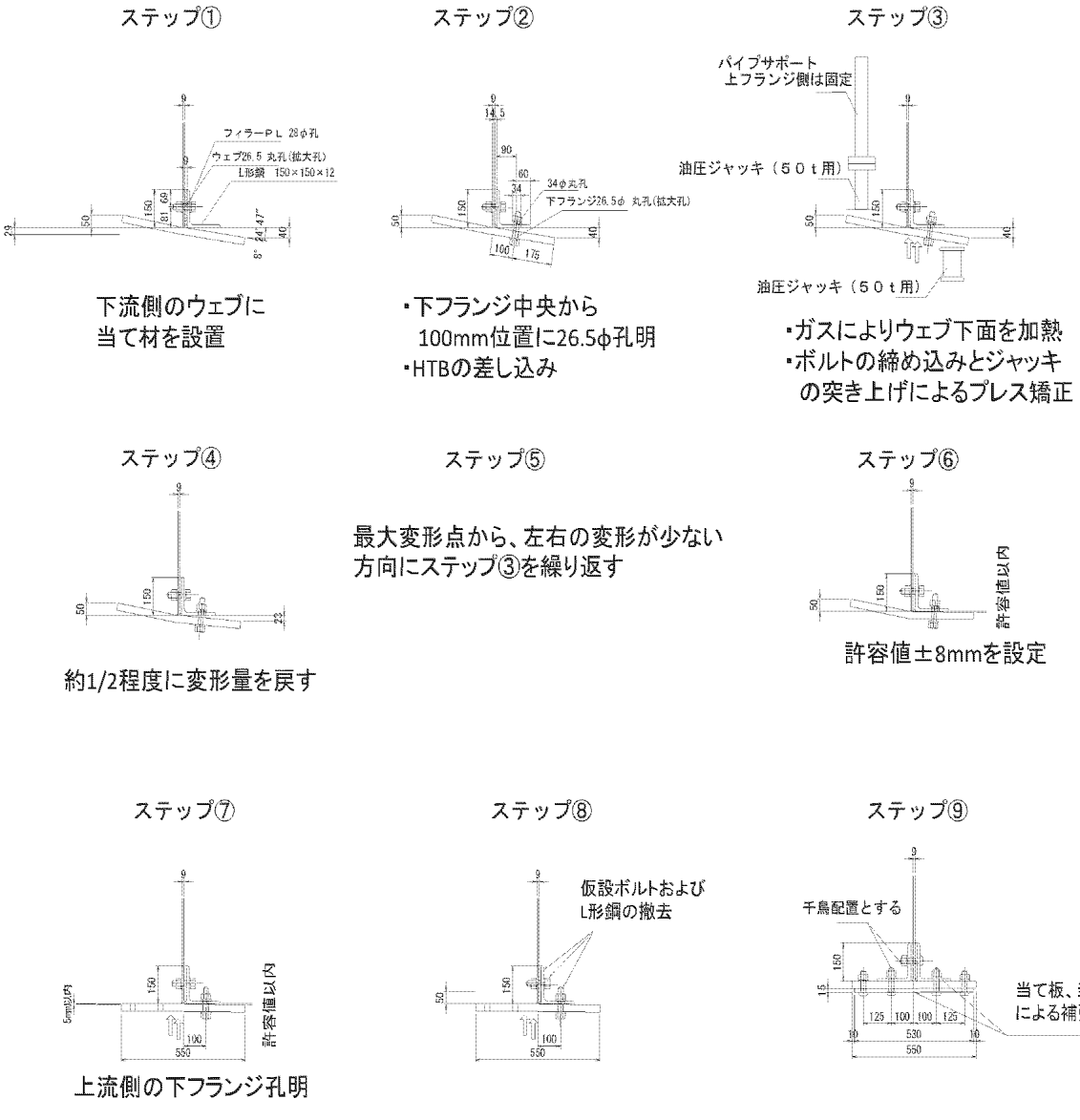
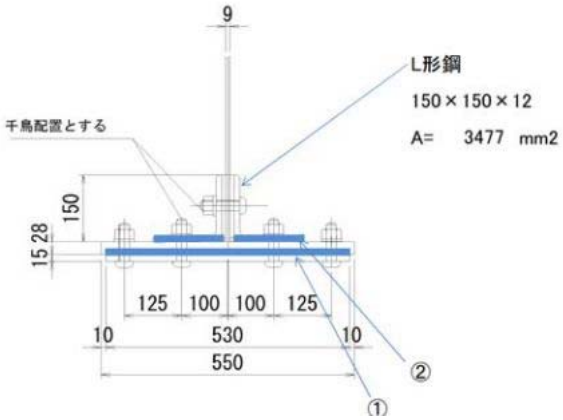


図-4.1.1　補修ステップ

矯正は、設置したベント上からのジャッキ（上向き）と、上フランジから設置したパイプサポートとジャッキ（下向き）、および補強部材を流用した部材のボルトの締付力によって行っている。加熱箇所は、下面からは下フランジ中央、上面からはウェブの下端としている。

作業は、一度に全変形量を矯正するのではなく、最大変形点から両側に徐々に矯正し、それを何度か繰り返すことにより管理値以下まで変形を矯正している。(**図-4.1.2**)

垂直補剛材追加状況



当て板概要図

ウェブ下端加熱矯正状況

下フランジ下面加熱矯正状況

当て板設置完了状況

写真-4.1.2　補修状況

(4) 加熱矯正時の管理

温度管理については、600℃を目標として、デジタル表面温度計（**写真-4.1.3**）にて管理したが、実際には 300℃程度での矯正であったと報告されている。報告通りであれば、青熱脆性領域での矯正となり矯正後の鋼材の機械的性質が低下する。しかし、本工事では下フランジに当て板補強も行うことにより、矯正部分の鋼材の機械的性質の低下の影響を補い、部材の強度に影響を及ぼさないようにしたとされている。

写真-4.1.3　デジタル表面温度計

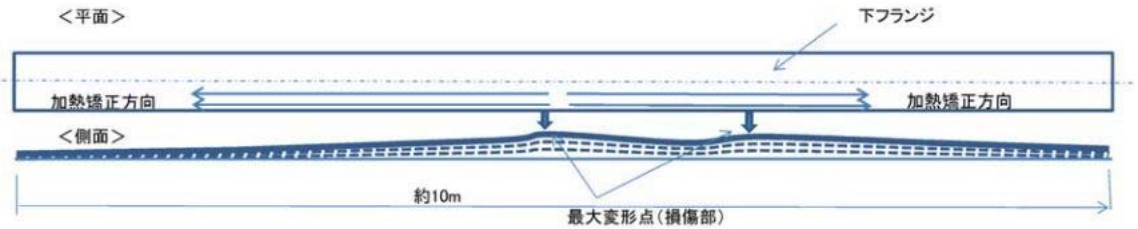


図-4.1.2　加熱順序

(5) 加熱矯正前後の管理

変形箇所近傍の溶接部については、被災時の過大な外力により、溶接に損傷が発生している可能性が十分にある。また、補修の加熱矯正によっても損傷が発生する可能性は否定できない。これに対して、本工事では、加熱矯正の前後において磁粉探傷試験（MT）によりき裂がないことを確認している。

本工事では、フランジ直角度 8mm 以内という管理値を設け、加熱矯正後にレーザースキャナで計測し、最大 7mm に収まっていることを確認したと報告されている。

4.1.2　補修事例に対する考察

① 本工事では矯正後の下フランジ断面を全断面有効とせず、当て板補強により補っている。これは矯正作業を温度管理下で行ったとしても、前述したように青熱脆性領域での矯正となる可能性があることに対する、対応と考えられる。一方、当て板等により断面を補うことができない場合は、より厳密な温度管理が必要となる。

② 本工事では矯正後の管理値を 8mm 以下と設定している。これは初期の変形量が大きく、矯正部材が引張材であることや引張フランジのフランジの勾配が桁の耐力に影響しないことを勘案して設定された値と報告されている。しかし、部材が圧縮材であったり、変形が部材の耐力に大きく影響する場合は、道路橋示方書の製作時の管理値程度まで厳しくする必要性を検討するのが良い。

③ 本工事では矯正時の加熱箇所は、下フランジ中央とウェブの下端としている、これは変形状態を考慮したうえで、加熱箇所を最小限となるように選定した結果と報告されている。加熱矯正箇所は、厳密な温度管理を行ったとしても、不測の強度低下等が発生する可能性を考えると、できる限り最小の範囲にとどめることが重要である。

④ 本工事では溶接部に対して、矯正の前後で磁粉探傷試験（MT）によりき裂の有無を確認している。対象となる変形が溶接部近傍にある場合、当初の損傷時や矯正時に溶接部にき裂が発生・進展する可能性があるため、何らかの方法でき裂の有無を確認しておくことは重要である。また、き裂がどの段階で発生・進展したのかを明確にするために、損傷直後や補修前・補修後といった、段階ごとに確認しておこうことが必要である。

⑤ 本工事ではウェブと下フランジを補強部材で連結している。これは④で述べたように溶接部に損傷がある可能性を考慮して、溶接部の補強として設置したものと報告されている。この構造は当該部材をボルト締めすることにより下フランジの変形を戻す外力となり、矯正時の補助的な役割も担っていると考えられる。このように部材の設計は、設計的な観点のみでなく、施工方法や万が一の損傷等も踏まえたうえで、設計しておく必要がある。

4.2　ウェブの変形に対する補修事例

4.2.1　損傷および補修事例概要

(1) 文献

後藤浩靖、坂本正、國島正弘他（宮地エンジニアリング)、「東日本大震災で被災した合成床版を有する鋼２主鈑桁橋の復旧工事報告」、橋梁と基礎 2013 年 10 月号

(2) 損傷状況

東日本大震災により、津波の直撃を受け、さらには引き波で押し寄せた流失物が本橋梁で堰き止められ、何らかの原因で引火して炎上し、延焼して大きな損傷を受けた。

主桁ウェブについては、局部的な変形は見られたものの、致命的な損傷は見られなかった。塗膜の残存状況などより鋼材の受熱温度は 500℃前後と判断された。

火災の状況と主桁ウェブの損傷状況を**写真-4.2.1** に示す。

火災の状況　　主桁ウェブの損傷状況

写真-4.2.1　損傷状況

(3) 補修概要

本工事では加熱矯正で不陸を修正した上で、当て板補強（CT 鋼補強）を施している。補修状況を**写真-4.2.2** に示す。塗膜の損傷状況から火災時の受熱温度は想定できたものの、青熱脆性領域（150℃～400℃）における塑性変形により材料の機械的性質が低下していることが予想されたため、加熱矯正だけでなく、当て板補強を併用したと報告されている。

主桁ウェブの加熱矯正状況

主桁ウェブの補強材設置完了状況

写真-4.2.2　補修状況

(4) 加熱矯正前後の管理

本工事では加熱矯正後にはウェブの平坦度が道路橋示方書の規定を満たしていることを確認している。

また、本工事では補強材設置時においては、仮ボルトの状態だったため数箇所において肌隙が確認されたが、補強部材とウェブのそれぞれの剛性を考慮すると補強部材とウェブはなじむと期待し、高力ボルトの締め付けを行い、想定通りに肌隙が解消されたことを確認している。

補修完了後の全景を**写真-4.2.3** に示す。

写真-4.2.3　補修完了後の全景

4.2.2　補修事例に対する考察

① 本工事において当該ウェブの熱履歴は塗膜の残存状態等により 500℃以下であると考えらえれたが、青熱脆性領域（150℃～400℃）における塑性変形により材料の機械的性質が低下していることが予想されたためウェブの変形を矯正するだけでは不十分と考え、形鋼を設置し補強を行ったと報告されている。損傷時の詳細な熱履歴は分からないことから、最も条件が悪いことを想定して設計を行ったため、強度が低下したと想定されるウェブの座屈を抑える必要があったためと報告されている。火災等の損傷を受けた桁は、基本的には強度がかなり低下していることを想定して、補強を検討する必要があり、場合によっては部材交換や架け替えも検討する必要がある。

② 本工事ではウェブの平坦度を道路橋示方書の製作時の規定以下まで矯正したうえ補強部材を取り付けている。しかし加熱矯正箇所は、厳密な温度管理を行ったとしても、不測の強度低下等が発生する可能性が考えらられるため、加熱矯正をできる限り最小の範囲にとどめたほうがよく、場合によってはウェブの平坦度の管理値を緩くして補強部材の取り付けで矯正することも検討するべきである。特にウェブのように比較的板厚の薄い部材は、剛度の高い補強部材により変形が矯正されることが十分考えられるため、矯正後の形状管理値は、施工手順や取付け部材、最終構造・形状を十分考慮して設定することが重要である。