技術資料

テーマ特集

最近の建築・土木分野における溶接

供用下における鋼橋の補修・補強溶接*

堀川 浩甫**, 高橋 芳樹***

Repairing and Strengthening Existent Steel Bridges by Welding under Service for Traffic**

by Kohsuke Horikawa** and Yoshiki Takahashi***

キーワード：補修溶接，現場溶接，鋼橋，疲労損傷

1. はじめに

社会資本の実質的な整備は、昭和30年代以降の高度経済成長期に始まり、道路橋の施工も昭和39年のオリンピック等の大型事業に向け年々増大していった。橋梁についてみると、昭和36年から昭和60年の25年間に鋼橋だけでも実に2万橋近い施工が行われている。その間に交通量の増加、車両重量の増大は著しく、橋梁は苛酷な使用状態におかれている。この高度経済成長期に架けられた多くの橋の中には十分な維持・管理が行われていたとはいえないものもあり、劣化が早く補修・補強を必要とする橋梁も多く見受けられるようになった¹⁻³⁾。

最近の鋼橋の損傷のひとつは疲労損傷で、プレートガーダーの主桁と、対傾構、横桁、横構などとの接合部、ソールプレートのすみ肉溶接部、鋼床版デッキプレートと横リブ、垂直スティフナなどとの溶接部に見られ、主構造部材というより、今までは計算対象外とされていた二次部材に応力集中、面外変形、二次応力などの影響が重複して発生している。

疲労損傷の他に、漏水や土砂の堆積で下フランジなどが腐食し、断面欠損をおこしている場合がある。また、損傷ではないが橋梁の拡張や補強を目的に垂直スティフナやブラケット等を既設桁に取り付ける工事もちこちで行われるようになってきた。これらの補修や補強工事は交通障害や交通渋滞を避けるため交通規制やステー

ジングを設置しないで施工しなければならない場合も多い。したがって交通供用下で振動を受けながら、かつ作用力の高い応力状態で施工しなければならない。そこで本文では交通供用下で溶接補強を行う場合の問題点を整理し、今まで行ってきた2~3の実験と施工例を概説する。

2. 交通供用下での溶接上の問題点

これまで交通供用下で橋梁の補修や補強を行うのは溶接をさけ高力ボルトで施工するか、あるいは溶接で行うとしても支承部附近であればジャッキで仮受けし、桁スパン内であればステーキングを設置して溶接部の作用応力や振動を軽減するか、あるいは小さくなるような処置を行って施工してきた。しかし最近では、構造上の制約や作業スペースが狭隘なことから高力ボルト施工が困難だったり、交通障害や地理的条件からステーキングが設置できず、交通供用下で振動を受けながら溶接作業をすることが頻繁に行われるようになってきた⁴⁻⁶⁾。

供用下における既設橋梁の溶接施工上の問題点としては次のとおりである。

- 1) 通過車両による変動荷重で複雑な振動が生じて、溶接施工に悪影響を及ぼす。
- 2) 溶接熱により溶接時に構造物の剛性や強度が減少し、一時的に断面欠損状態となる。
- 3) 溶接収縮により座屈や過度の変形が生ずる恐れがある。
- 4) 補修作業は狭隘な場所が多く、さらに作業環境が劣悪の場合が多い。
- 5) 補修工事は高い技術力が必要なわりに予算が少ない。

*原稿受付 平成2年8月1日

**正 員 大阪大学溶接工学研究所 Member, Welding Research Institute, Osaka University

*** 横河工事㈱利根工場 Yokogawa Construction Co., Ltd. Tone Factory

したがって実施工にあたっては、これらの問題を十分に配慮して施工する必要がある。

このような鋼橋の補修・補強の問題は日本だけに限られたことでなく、1982年にIABSEがローザンヌにおいて“Fatigue of steel and concrete structures”と題するコロキウムをワシントンにおいては“Maintenance, Repair and Rehabilitation of Bridges”と題するシンポジウムが開催されている⁷⁻⁹⁾。日本におけるこれらの問題の研究として、橋梁の振動下における溶接施工については阪神高速道路公団等による広範囲な研究が行われ^{10,11)}、相対的変位のない振動下における溶接はアンダーカット等外観上の問題はあるものの、2~3の注意を払えば十分溶接は可能であるとされ、実施工においても大きな問題はなく施工されている。2), 3)の溶接熱や収縮、変形に対する実験、研究も堀川等によって行われ、きちんとした管理と検討を加えて施工すれば大きな問題を秘めながらも供用下の補修溶接は可能であり、実施工も各工事ごとに十分検討されて行われている。4)の作業環境の問題は既設構造物を対象とした施工であり、ある程度はやむを得ない面もあるが、現地状況を十分調査把握し、その現場にマッチした設計および施工計画をたてることが重要である。これを怠ると設計どおりの施工が不可能であったり、可能であっても精度の悪い施工になる恐れがある。5)の補修工事の予算については今まではともすれば簡単に考えられ、高い技術力と厳しい施工条件であるにもかかわらず十分な予算が得られない工事が多かった。少ない予算は施工管理や施工者のレベルを落とす恐れがあり、適正な工事費の積算が望まれる。

これらの問題や研究を踏まえて、日本鋼構造協会では“供用下にある鋼構造物の溶接による補強・補修指針”を作成し、平成2年6月には第1回鋼構造物の補修・補強技術報告会が開催され、橋梁における補修と補強の必要性と重要性の認識を高めている¹⁶⁾。

3. 実験例と補修例

ここでは、溶接補修として多く行われている垂直スティフナやブラケットの取り付けが、主桁にどのような影響を及ぼすか実験を行ったのでその結果と、溶接補修のうちの代表的な例として主桁と対傾構接合部の補修例を、そして特殊な例として桁中央部の下フランジを切り取って付けかえた施工例について報告する。

1) 垂直スティフナの溶接が桁に及ぼす影響¹²⁾

試験体は、図1に示すような箱断面でこの片側のウェブに垂直スティフナを取付け溶接する。載荷は3点曲げで行い、上、下フランジの応力を許容応力($\sigma=1400 \text{ kgf/}$

cm^2)まで高めて被覆アーク溶接で施工した。溶接中にたわみ変化を測定した結果を図2に示す。これによれば、溶接中はたわみを増すがその量はわずかで、最大でも0.25 mm程度である。溶接が終了すると回復し、わずか

図1 試験体寸法

図2 たわみの変化

図3 上フランジのひずみの変化

であるが逆方向のたわみが残る。図3に桁の上フランジのひずみの溶接開始からの経時変化を示す。これによれば、圧縮側上フランジのひずみは溶接中は減少し、溶接後は逆に急激に増加する。以上のことから箱桁に垂直スティフナを溶接する場合は溶接部付近が熱影響と収縮により局部的に大きなひずみが発生するが、たわみは小さく、応力の再配分が行われ、局部的な弱点を作る可能性はあるものの、施工上は大きな問題にならないと考えられる。

2) ブラケットの溶接が桁に及ぼす影響¹²⁾

試験体は、1)の垂直スティフナ取り付けの場合と同様で、支間中央にフランジの応力が許容応力度 ($\sigma=1400 \text{ kgf/cm}^2$) となるように集中荷重を載荷し、図4に示すような順序で被覆アーク溶接で施工した。箱桁の断面寸法は図1に示したものと同一であるが、ブラケットには上、下フランジがあり、この部分は完全溶込みなので溶接量は垂直スティフナに比べて多い。図5に溶接時間とたわみの関係を示す。桁のたわみは溶接の進行と共に増加し、支間中央で最大0.9 mmの増加となったが、溶接終了後は減少し、支間中央で0.4 mmとなった。これは温度上昇、温度差により生じたたわみの増加が、溶接終了後には収縮により減少したものと考えられる。たわみの最大値が垂直スティフナの溶接の場合より大きいのは、溶接量が多いため温度上昇や溶接収縮の影響が大きいためである。ひずみの変化は図6,7に示すように、ブラケットのフランジ溶接中は桁の上フランジのひずみは減少し、下

図4 ブラケットの取り付け及び溶接順序

フランジのひずみは増加する。ウェブおよびリブの溶接中および溶接後は、上フランジのひずみは大幅の増加となり、塑性ひずみ域まで達し、下フランジのひずみは初期状態よりわずかであるが減少している。これは、桁の上フランジは荷重による圧縮ひずみに溶接収縮による圧縮ひずみが増えられたためであり、下フランジは荷重による引張ひずみに溶接収縮による圧縮ひずみが増えたためである。

以上のことから、許容応力に近い曲げ応力が作用する箱桁へ溶接でブラケットを取り付ける場合、溶接中は引張側フランジが、最終状態では圧縮側フランジが危険な状態となる可能性がある。しかし、このひずみは局部的なものと考えられ、たわみの変化も少ないことから、垂

図5 たわみの変化（中央ブラケット溶接時）

図6 下フランジのひずみの変化（中央ブラケット溶接時）

図7 上フランジのひずみの変化（中央ブラケット溶接時）

直スティフナの場合と同様に溶接施工上は特に大きな問題となることはないと考えられる。この結果を踏まえて、実施工では施工に影響のない範囲まで開先角度を小さくして溶接量を少なくし、溶接順序も上フランジと下フランジを交互に溶接するなど温度上昇を極力おさえる配慮を行って問題なく施工している。

3) 主桁と対傾構接合部の補修溶接

主桁と対傾構の取り合い部に発生している疲労損傷は、床版のたわみにより主桁に生じる倒れに対傾構が拘束し、これにより上フランジ近傍に首振り現象を起こすのが主な原因であろうと言われている¹³⁾。この損傷事例が報告されている橋梁は昭和 30 年後半から 40 年代に製作、架設された橋梁が多く、床版の支間長は 3.8 m 程度と大きく、床版厚は 18 cm と薄い設計となっており、現在の示方書の規定（例えば支間長 3.8 m のとき床版厚 26.2 cm）と比べると剛性の乏しい構造となっている。これらの多くは、現在縦桁増設等の床版補強が行われている。主桁と対傾構接合部には床版補強の前か後かは不明であるが、現在も再塗装時の調査や日常点検の折に損傷が発見されている。疲労亀裂の発生位置は、すみ肉溶接部のトウ部から発生するものが多いが、中にはルート部からの亀裂やスカラップ側からの亀裂、それにウェブやリベット孔などからも発生している。そして、損傷は 1 個ではなく複数であったり、垂直スティフナ前面からスカラップまで板厚貫通している大きな損傷もある。これらの中には大型車両通過時に亀裂が脈打っていることが目視で確認できるものもある。図 8 に対傾構接合部の損傷

トウ部のきれつ リベット部のきれつ ウェブのきれつ

図 8 プレートガーダーにおける疲労損傷例

位置例を示す。

亀裂が貫通している場合の補修要領を以下に、そして図 9 には補修順序を示す。

- ① 亀裂部近辺の塗装をすべて除去し、浸透探傷検査あるいは磁粉探傷検査により亀裂状況を確認する。
- ② 垂直スティフナの A 面溶接部を深さ 2 mm 程度ガウジングした後、亀裂部が相対変位を起こさないように仮付け溶接する。
- ③ B 面の亀裂部を全長にわたり垂直スティフナ板厚の 1/2 程度までガウジングする。
- ④ グラインダーで開先整形したのち低水素系溶接棒で溶

接する。

- ⑤ 最初に行った仮付け溶接を含めて A 面を溶接ビード全長にわたり未溶接部を完全に除去するまでガウジングする。
- ⑥ ④と同様、グラインダーで開先整形したのち低水素系溶接棒で溶接する。溶接は完全溶込み溶接とし、溶接ビードの脚長は 8 mm とする。
- ⑦ 溶接止端部をグラインダーで滑らかに仕上げるか、あるいはティグ処理で溶接止端部を滑らかにする。
- ⑧ 溶接終了後、浸透探傷試験あるいは磁粉探傷試験で損

- ① A 面の一部ガウジング後仮付溶接
- ② B 面側からキレツ部をウェブ厚の 1/2 程度ガウジング後溶接
- ③ A 面側から仮付を含めキレツ部の残りをガウジング後溶接

図 9 補修順序

傷のないことを確認する。

交通供用下で溶接をする場合、溶接部ができるだけ相対変位を起こさないようにし、また同じような損傷が再び生じないように、すみ肉溶接から完全溶込み溶接とするのがよい。さらに疲労強度を高めるためグラインダーおよびティグ処理で止端部を滑らかにする等の配慮が必要である。

図 10 補修順序

4) 桁の改造

鋼橋の損傷原因の一つに腐食による損傷がある。腐食の生じやすい箇所は、橋脚まわりの支承部や伸縮継手近傍であるが、中には支間中央に近い場所で腐食していた例もある。腐食による損傷は板厚が減少する場合が多く、極端な場合は下フランジ上に土砂が堆積し、下フランジやウェブに穴があくほど腐食していることもある。

このような桁の補修方法はいろいろ考えられたが、ここでは桁中央部の下フランジおよびウェブの腐食部分を切断除去し、新規に T 形材を溶接と高力ボルトを併用して取り付けた施工例を示す。本工事の施工場所は下が交通の激しい交差点であり、ステージングの設置が不可能なこと、腐食の程度が大きいことから、仮継ぎ材により力の迂回路を設けるバイパス工法で施工することにした。

施工方法を以下に、補修要領を図 10 に示す。

- ①損傷部近辺に堅固な足場を設置する。
- ②補修部に水平および垂直スティフナを高力ボルトで取り付ける。
- ③下フランジを孔明けし、バイパス材を高力ボルトで取り付ける。
- ④損傷したウェブ、フランジをガス切断する。
- ⑤新規部材を取り付け、ウェブの高力ボルトを仮締する。
- ⑥下フランジを裏波溶接で施工する。したがってウェブの一部にスカラップを設け、ウェブをはさんで溶接工 2 人のリレーパス方式で施工する。
- ⑦ウェブスプライスプレートを本締めしたのち、バイパス材を撤去する。
- ⑧下フランジにカバープレートを取り付ける。

本工事では、ウェブおよび下フランジ切断時にバイパス材を設け、応力を伝達するという特殊な工法を用いた溶接補修を行っており、これまで施工が困難と思われていた補修も可能となった例である¹⁴⁾。

4. あとがき

本文では、供用下における鋼橋の補修・補強溶接の実験例と比較的多い補修例を概説したが、最近ではこの他にも様々な損傷が溶接で補修されるようになり、補修・

補強技術も高まっている。しかし、溶接による補修研究はまだ第一歩を踏み出したところであり、まだまだ解明しなければならない問題も多く、安易に施工すれば事故にもつながる恐れがある。また、補修箇所の条件によっては既往の研究成果をそのまま利用できないこともあり、損傷原因とその施工方法を十分検討し、対策を講じて施工する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 堀川；橋梁の損傷と補修，溶接構造の損傷とその防止 II-3，溶接学会誌，Vol. 52, No. 7, 1983 年 9 月
- 2) 補修と補強特集；橋梁と基礎＜創刊 200 号記念＞，Vol. 17, No. 8, 1983 年 8 月
- 3) 中井他；都市内高速道路の疲労損傷 橋梁と基礎，1990 年 2 月
- 4) 徳沢他；応力作用下にある梁への溶接，土木学会第 35 回年次学術講演会講演概要集，I-115, 1981 年 9 月
- 5) 鈴木他；応力作用下で溶接された継手の機械的性質および残留応力，土木学会論文集 No. 362/I-4, 1985 年 10 月
- 6) 田中他；供用中の橋梁への補修・補強溶接 橋梁と基礎，Vol. 19, No. 3, 1985 年 3 月
- 7) IABSE Reports 37; Fatigue of steel and concrete structures, IABSE Colloquium Lausanne 1982, Proceedings.
- 8) Ibid. 38; Maintenance, repair and rehabilitation of bridges, IABSE Symposium Washington D. C. 1982, Introductory Reports.
- 9) J. W. Fisher; Fatigue and Fracture in Steel Bridges — Case Studies —, 1984.
- 10) 阪神高速道路公団；「補修・補強現場溶接施工便覧」1982 年 5 月
- 11) 阪神高速道路公団；「道路構造物の補修標準・鋼構造物編」1984 年 4 月
- 12) 浅野他；首都高速道路 4 号線床版補強工事の設計・施工 横河橋梁技報，No. 18, 1984 年 11 月
- 13) 岩崎他；鋼橋の疲労損傷事例と補修・補強対策 横河橋梁技報，No. 18, 1989 年 1 月
- 14) 堀川他；荷重作用下にあるプレートガーダーの改造に関する実験，橋梁と基礎，Vol. 20, No. 4, 1986 年 4 月
- 15) 堀川他；荷重作用下にあるプレートガーダーへの溶接，土木学会論文集 No. 368/I-5, 1986 年 4 月
- 16) 日本鋼構造協会；供用下にある鋼構造物の溶接による補強・補修指針（案）昭和 63 年 2 月