

レーザー・アークハイブリッド溶接の橋梁部材への適用

Application of Laser-Arc Hybrid Welding for Part of Bridge

近年、溶接変形を低減できるレーザー溶接の利点と、開先精度の裕度が高いアーク溶接双方の利点を備えたレーザー・アークハイブリッド溶接が注目されている。そこで、この溶接方法の本格的な実用化を図るための第一歩として、長崎県諫早市の「本明川大橋」の歩道部に設置する橋梁パネルを製作し、現地での据付けを行った。

本稿ではその概要と特長を紹介する。

1. 製作対象

施工対象橋梁の断面図を第1図に、橋面全景を第2図に、本橋の主要仕様を以下に示す。

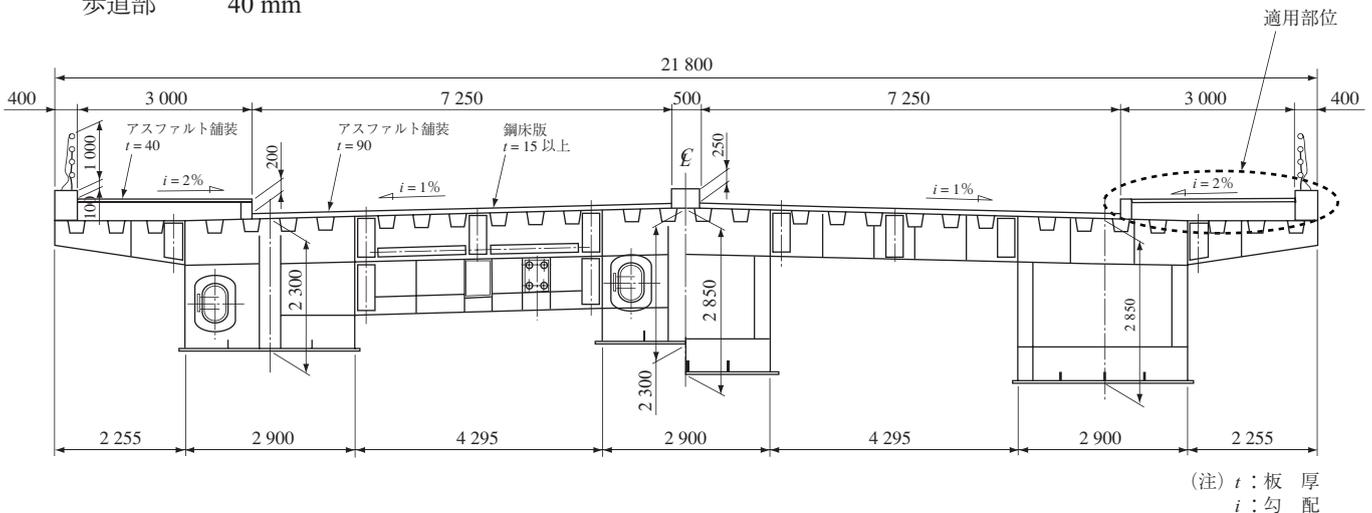
道路規格	第4種, 第1級
形式	5径間連続鋼床版箱桁橋
橋長	424.900 m (道路中心線上)
支間長	64.000 m + 72.300 m + 81.400 m + 103.400 m + 101.100 m
幅員構成	
車道	2 × 7.250 ~ 7.750 m
歩道	2 × 3.000 m
平面線形	$R = \infty, A = 150 \text{ m}, R = 300 \text{ m},$ $A = 150 \text{ m}, R = \infty$
舗装	
種類	アスファルト舗装
車道部	90 mm
歩道部	40 mm



第2図 橋面全景

床版	鋼床版, 板厚 = 15 mm 以上
設計荷重	B活荷重, 群集荷重
設計震度	$Kh = 0.24$
使用鋼材	SMA490W, SMA400W, S10TW, SM400A
適用基準	道路橋示方書・同解説 共通編, 鋼橋編 (2002年3月) ⁽¹⁾ 道路橋示方書・同解説 耐震設計編 (2002年3月) ⁽¹⁾

本橋は鋼5径間連続鋼床版箱桁橋であり、歩道のマウントアップを含め、橋面はすべて鋼床版で製作される。こ



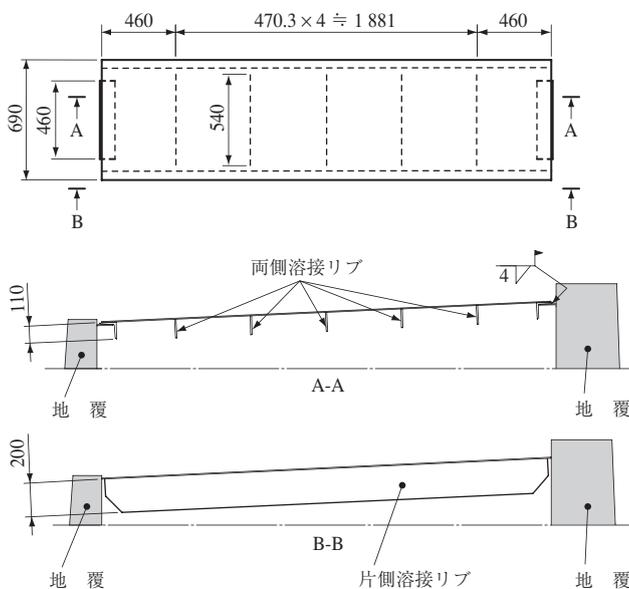
第1図 橋梁の断面図 (単位: mm)

のため、歩道部の現場継手では、主構造を連結した後、パネル（歩道部材）を設置し、その上面に歩道部舗装を施工する。第3図に歩道部材の形状を示す。よって、本部材は作用する応力の性状や大きさから判断すれば、重要度の低い二次的な部材と考えられる。

しかし、橋梁建設において新技術であるレーザ・アークハイブリッド溶接を最初に適用する部材としては妥当と考えた。本部材においてレーザ・アークハイブリッド溶接を適用するのはパネルの縦横に配置される平リブの溶接であり、内側のリブ（長さ = 540 mm、板厚 = 10 mm）を溶接した後に、外側のリブ（長さ = 2 800 mm、板厚 = 8 mm）を溶接する。ここで外側のリブについては、施工性の向上のため、部材の外側（リブの片側）から1パスで溶接する施工方法を採用した。

2. 継手性能確認

溶接継手や溶接構造部材に要求される重要なクライテリア（所要性能要素）、耐荷力（引張り、圧縮）、剛性、疲労強度が挙げられる。そして、これらの性能要素は、部材の重要度や作用する荷重の種類、大きさによって優先度や要求値が決定される。こうした観点から構造部材を分類すると、①作用応力や重要度の低い二次的な部材 ②疲労や低温じん性などについて、特別な設計的配慮を要しない構造部材 ③重要構造部材を含むすべての構造部材、と定義することができる。そして、溶接継手や溶接構造部材は、①、②、③それぞれの部位において要求される性能を過不足なく満たすことが合理的である。



第3図 歩道部材の形状（単位：mm）

今回、実橋梁に適用したのは前述の部材①である。したがって、耐荷力（引張り）の確認が必要となる。ただし、今後の適用対象拡大へ向け、疲労強度についても確認した。

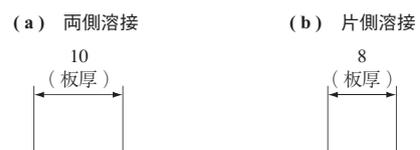
そこで、レーザ・アークハイブリッド溶接法を用いて、継手性能試験体を製作し、引張強度、疲労強度を検証した。対象とする継手はすみ肉溶接継手である。溶接施工条件を第1表に示す。溶接はリブ両側からの溶接と、リブ片側からの溶接の2種類とした。板厚はそれぞれ、8 mmと10 mmである。

得られた継手の断面マクロ組織を第4図に示す。断面マクロ試験は、実施工と同じ溶接条件で製作した溶接継手から試験片を採取して実施した。溶接部の断面形状は良好であり、未溶着、溶込み不良、融合不良などもないことを確認した。

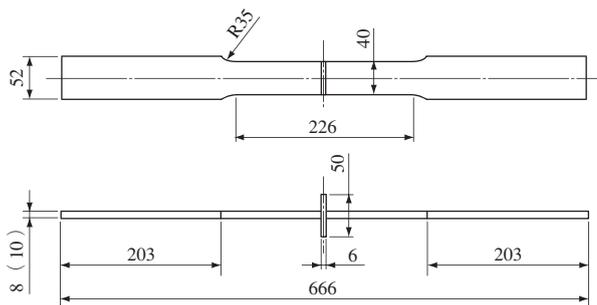
継手引張試験には未溶着率（板厚に対する未溶着長の割合）を変化させ、レーザ・アークハイブリッド溶接を用いて継手を製作した。第5図に継手引張試験片形状を、第6図に試験結果を示す。ここでは未溶着率（未溶着長/板厚）を指標とし、継手強度へ及ぼす影響を整理した。継手強度は一般性をもたせるため、母材の引張強度で無次

第1表 溶接施工条件

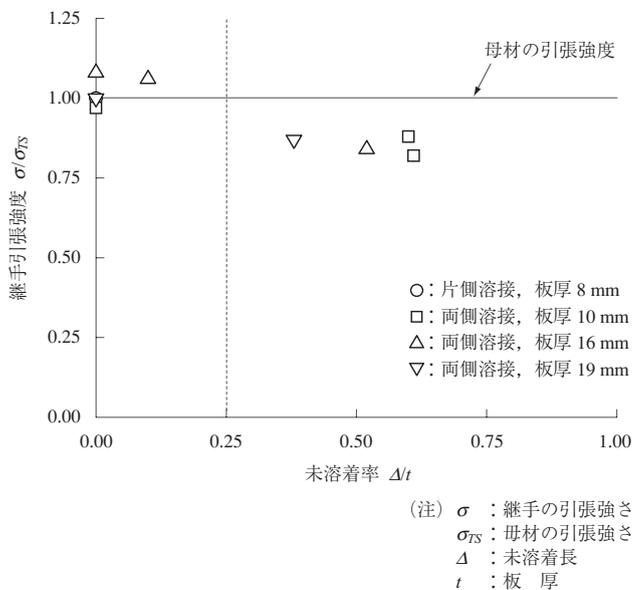
項目	単位	条件	
溶接箇所	—	片側	両側
板厚	mm	8	10
レーザ出力	kW	7（最大）	7（最大）
アーク電流	A	110～130	110～130
アーク電圧	V	18～22	18～22
溶接速度	cm/min	80	90
入熱量	kJ/cm	7.1（最大）	12.5（最大）



第4図 レーザ・アークハイブリッド溶接継手の断面マクロ組織（単位：mm）



第5図 継手引張試験片形状 (単位: mm)

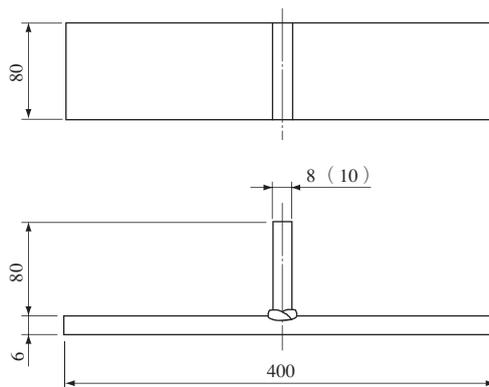


第6図 すみ肉溶接継手の引張試験結果

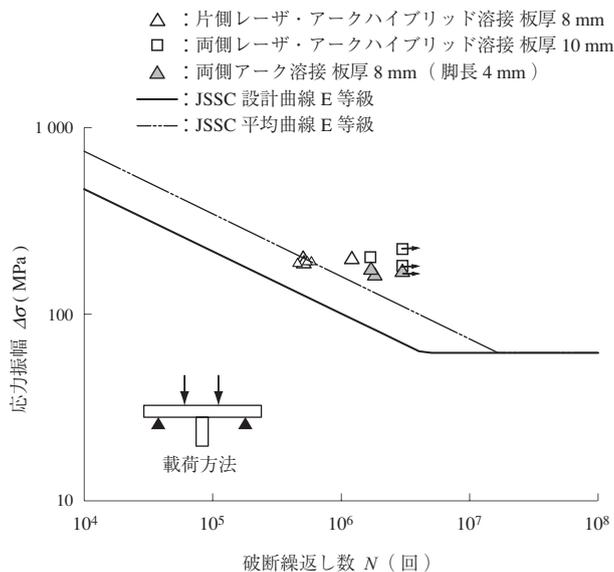
元化して示している。第6図には、参考のため板厚の異なる継手の結果も示した。

レーザ・アークハイブリッド溶接継手は未溶着長がないことから小脚長(2 mm)であっても母材部で破断した。一般には、未溶着長が大きくなるに従い、継手効率が低下する。したがって、深い溶込みを得ることができるレーザ・アークハイブリッド溶接は強度的に有利であり、未溶着率が0.25(板厚8 mmの場合、未溶着長2 mm)以下であれば、その強度は母材強度以上であることが明らかとなった。

第7図に疲労試験片形状を、第8図に試験結果と載荷方法を併せて示す。レーザ・アークハイブリッド溶接継手は、アーク溶接継手と同等の疲労強度(JSSC, E等級)を満たしていることが分かる。今回の対象継手は疲労強度を要求していないが、将来的には2章で述べた部材②への適用も可能である。



第7図 疲労試験片形状 (単位: mm)



第8図 4点曲げ疲労試験結果

(注) JSSC: 社団法人日本鋼構造協会

3. 設計施工基準の作成と部材製作

レーザ・アークハイブリッド溶接は従来のアーク溶接と比較すると脚長が小さく、溶込みが深い。このため、既存の施工管理基準を適用した場合、脚長不足と判定される。そこで、レーザ・アークハイブリッド溶接を橋梁へ適用するため、新たに設計施工管理基準を作成した(第2表)。この管理基準の妥当性は前述した試験結果と照合することで確認した。次に第3図に示す歩道部材と同じ寸法形状のモックアップ(模型)を製作し、第2表に示す設計施工管理基準に基づいて、その健全性と溶接作業手順を確認した。

ビード外観検査では脚長が2 mm以上(片側1パス溶接の場合は裏面の裏波を確認)であること、アンダカットは0.5 mm以内であることを確認した。断面マクロ試験

第2表 設計施工管理基準

試験確認項目	方法	管理目標
断面マクロ	切断, 研磨, 腐食	継手の健全性
継手引張強度	十字継手引張試験	≧母材強度
継手疲労強度	T継手疲労試験	≧アーク溶接継手
ビード外観検査	目視, ゲージ	脚長 ≧ 2 mm ^{*1} アンダカット ≦ 0.5 mm
非破壊検査	超音波探傷検査	未溶着長 ≦ 2 mm

(注) *1: 片側1パス溶接では, 裏波ビードが得られること.

による確認も行った. 最後に全溶接線を対象とした超音波探傷検査を実施し, ルート未溶着長は2 mm以下であることを確認した.

以上のように, レーザ・アークハイブリッド溶接の橋梁への適用は, 継手が道路橋示方書など既存の規格を性能規定的に満足することを確認して行っている. 第9図に橋梁パネルを示す. 実部材においてもビード外観検査, 超音波探傷検査を実施し, その品質を確認した. 製作したパネルは第10図に示すように実橋梁へ設置した.



第9図 レーザ・アークハイブリッド溶接を適用した橋梁パネル

(a) レーザ・アークハイブリッド溶接を用いて製作した橋梁パネル (b) 製作した橋梁パネルを設置する部位



第10図 実橋梁への設置状況

4. 結 言

「本明川大橋」の歩道部に設置する橋梁パネルにレーザ・アークハイブリッド溶接を適用するため, 継手性能(引張強度, 疲労強度)を確認した. 製作要領および検査要領に準拠して橋梁パネルを製作し, 現場で実橋梁へ設置した.

本溶接方法を用いることによって, 溶接変形を低減することができた. さらに溶接パス数の減少, 溶接速度の向上によって製作コストの削減が期待できる.

— 謝 辞 —

本プロジェクト実施に当たり, 長崎県諫早土木事務所関係各位ならびにJV関係者に多大なご協力をいただきました. また, 技術開発本部中西保正理事, 技術開発本部生産技術センター生産技術開発部杉野友洋主査, 社会基盤事業部橋梁エンジニアリング部倉田幸宏部長, 藪野真史主査, および技術開発本部生産技術開発部関係各位には多くのご指導とご協力をいただきました. ここに記し, 深く感謝の意を表します.

参 考 文 献

- (1) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 2002年3月
- (2) 猪瀬幸太郎, 大脇 桂, 中西保正, 宮地 崇, 藪野真史, 小川勝治: レーザ・アークハイブリッド溶接の歩道部鋼床版部材への適用 土木学会第63回年次学術講演会講演概要集 2008年9月 pp. 815 - 816
- (3) 猪瀬幸太郎, 神林順子, 大脇 桂, 杉野友洋, 田上稔, 中西保正: レーザ・アークハイブリッド溶接の実機適用に関する一検討 溶接学会全国大会講演概要集 第82集 2008年4月 pp.198 - 199

技術開発本部生産技術センター生産技術開発部
猪瀬幸太郎, 神林順子, 井戸伸和
株式会社 IHI 検査計測
研究開発事業部生産技術部 大脇 桂
物流・鉄構事業本部社会基盤事業部
橋梁エンジニアリング部 宮地 崇