

経年鋼材に対するレーザー補修溶接の検討

(株)IHI インフラシステム 正会員 ○猪瀬幸太郎

(株)IHI インフラシステム 松本直幸

1. はじめに

老朽化した社会インフラの効率的な補修技術は、道路管理者のニーズが高く、かつ既設構造の有効利用や延命は、カーボンニュートラルの観点でも有用である。著者らは、供用中の橋梁に生じた疲労き裂をレーザー溶接により熔融補修する技術の開発を行っている¹⁾。一方、長い供用期間を経た橋梁には不純物元素 (P,S 等) を多く含んだ鋼材が用いられている場合があり、レーザー補修溶接が困難になると考えられる。そこで本研究では経年鋼材を再現した鋼材に対してレーザー補修溶接を行い、施工性および継手性能に関する検証を行った。

2. 試験概要

経年橋梁の調査結果に基づき製作した経年鋼材の化学組成を表 1 に示す。鋼材 A、鋼材 B の 2 種類を作製した。鋼材 A は鋼材 B に比べて P,S 量が多く、C 量はどちらも 0.2% と普通鋼と比較して高い値となっている。これらの鋼材は、機械試験により、SM400 鋼と同程度の強度を有していることを確認している。試験体形状を図 1 に示す。ワイヤカットにより幅 0.2mm の模擬き裂を導入し、補修施工に供した。試験状況を図 2 に示す。溶接姿勢は横向き水平とし、レーザースポット径、レーザー出力、溶接速度を変えた片側貫通溶接を行った。また、溶接材料添加による化学組成変化の継手品質への影響検討のため、ワイヤ送給を併用したレーザー溶接も実施した。溶接ワイヤは C 量を 0.01% に抑えたものを用い、加熱したワイヤをレーザーホットワイヤ法によって溶接方向後方より供給した。

3. 試験結果

鋼材 B に対して施工性に及ぼすスポット径およびワイヤ送給有無の影響を確認した結果を図 3 に例示する。ここで、欠陥発生量は、X 線透過試験(以下、RT)により得られたフィルムから計測した欠陥断面積(mm²)を溶接長(mm)で割った値とした。スポット径 3mm でワイヤ送給なしの場合、高温割れの発生が断面マクロから見てとれる。RT でも同様に溶接部に多数の割れを確認した。ワイヤ送給あり施工において、スポット径 3mm および 1.5mm では、欠陥発生量は減少し、スポット径 1.5mm では、無欠陥の溶接金属が得られている。

高温割れ感受性に及ぼす化学組成の影響を表す指標として、(1)式に示す Wilkinson の式²⁾がある。

$$HCS = \frac{C(S + P + Si/25 + Ni/100)}{3Mn + Cr + Mo + V} \times 10^3 \quad \dots \quad (1)$$

各種施工条件(鋼種、レーザー出力、溶接速度、スポット径、ワイヤ送給の有無)を変化させた施工を行い、HCS 値によって結果を整理した。ここで HCS 値は溶接金属の断面積、ワイヤ送給量から希釈率を求め、化学組成を推定して算出した。溶接部の欠陥発生量と HCS 値の関係を図 4 に示す。なお参考として、SM490 材に対して施工した結果も合わせて示す。鋼材 A は鋼材 B と比べて HCS 値が高く、欠陥発生量が多い。これは割れ発生に及ぼす P,S 量の影響度が大きいことを示している。また、HCS 値の減少に伴い、欠陥発生量は低減している。ワイヤ送給による化学組成制御やスポット径の小径化による母材希釈低減により欠陥を抑制した良好な継手が得られたと言える。

次に鋼材 B に対して、スポット径 3mm、ワイヤ送給あり補修を模擬した継手の軸引張による疲労試験を実施した。溶接止端は非仕上げとしている。試験片形状は、JIS Z3103 に準拠し、試験速度は 10Hz、応力範囲は 200MPa および 250MPa、応力比は 0.1 である。得られた結果を突合せ溶接継手の疲労強度である JSSC 疲労強度 D 等級の SN 曲線とともに図 5 に示す。今回の継手は少なくとも D 等級の設計曲線を満たす。

キーワード き裂補修, レーザ, 経年鋼材, 施工性, 継手性能

連絡先 〒108-0023 東京都港区芝浦 3-17-12 吾妻ビル (株)IHI インフラシステム 開発部 TEL03-3769-8692

4. まとめ

経年鋼材の再現鋼材に対するレーザ補修溶接の施工性および継手性能に関する検証を行った。P, S 量が多いほど高温割れの発生量が増加し、ワイヤ送給による溶接部の化学組成制御により、割れ発生量を低減できることを確認した。また、今回試験した範囲ではあるが、突合せ継手の疲労強度は少なくとも JSSC 疲労強度 D 等級の設計曲線を満たしていた。

参考文献

- 1) 猪瀬幸太郎, 神林順子, 阿部大輔, 松本直幸, 杉野友洋, 大畑和夫: 鋼構造物に生じたき裂のレーザ補修技術開発, 土木学会第 68 回年次学術講演, pp699-700 (2013)
- 2) (社)溶接学会編, 溶接・接合便覧, 丸善(株), p855 (1990)

表 1 経年鋼材の化学組成

	化学組成 (mass%)									
	C	Si	Mn	P	S	sol.Al	T・N	Cu	Ni	Cr
鋼材 A	0.202	0.01	0.49	0.065	0.036	0.034	0.0011	0.07	0.05	0.052
鋼材 B	0.202	0.01	0.48	0.041	0.018	0.030	0.0005	0.074	0.05	0.051

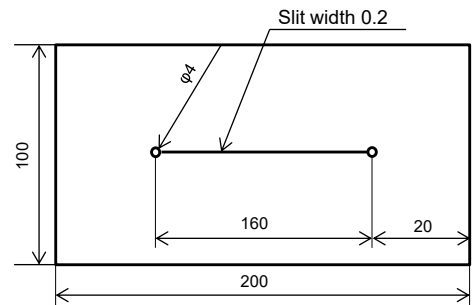


図 1 試験体形状

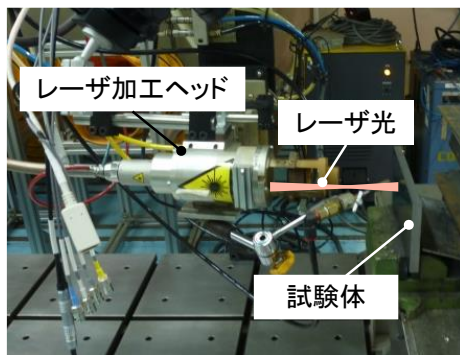


図 2 レーザ施工状況

スポット径	φ3mm	φ3mm	Φ1.5mm
ワイヤ送給	なし	あり	あり
断面マクロ			
欠陥発生量 [mm ² /mm]	0.27	0.08	0.00

図 3 レーザ施工結果

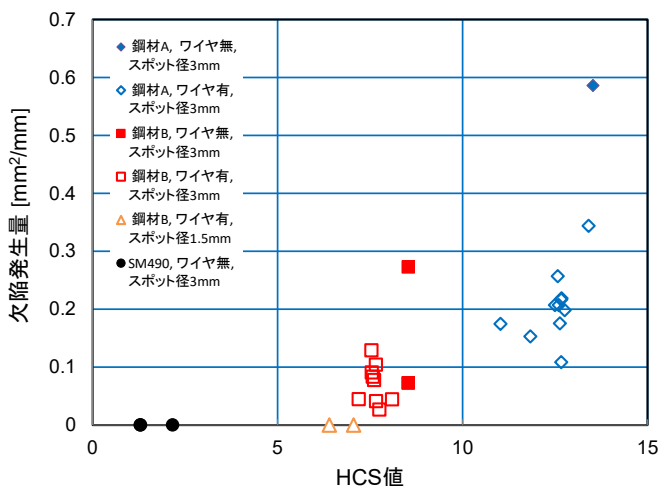


図 4 欠陥発生量と HCS 値の関係

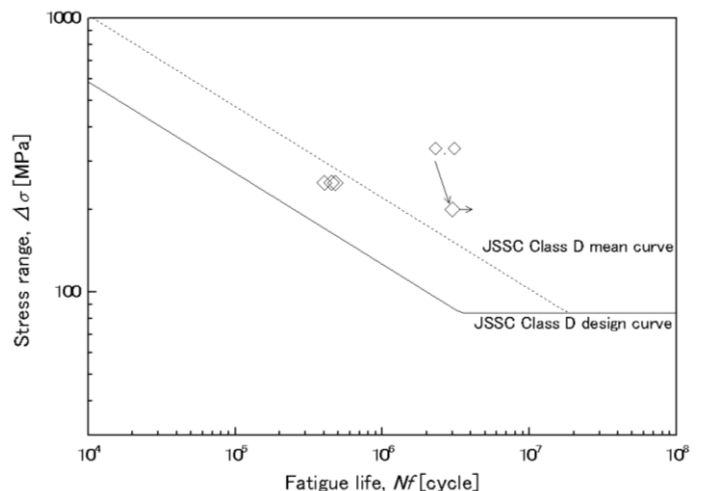


図 5 疲労試験結果