

塗装塗膜上からの鋼橋溶接部の非破壊的検出手法に関する検討

岐阜大学（現、瀧上工業株式会社） 正会員 ○多和田彩人，岐阜大学 正会員 木下先生
 岐阜大学 学生会員 小野友暉，施工技術総合研究所 正会員 小野秀一
 エフティーエス株式会社 正会員 柴田浩司

1. はじめに

これまでに、製作時に残された溶接欠陥や不適切な溶接などの不具合に起因した鋼製橋脚や鋼橋のき裂損傷の事例が明らかとされてきており^{1,2)}、例えば、平成28年11月に地方自治体が管理する鋼トラス橋の下弦材において、設計図にはない板継ぎ溶接部のき裂損傷事例が報告されている³⁾。これらの事例の溶接欠陥・不良は塗装塗膜上からは目視による確認は困難であることから、それらを起点としたき裂損傷が発生するまで、それらの存在が不明な場合が多い。そこで、最近では、非破壊的に溶接欠陥・不良の検出が試みられている。上記の鋼トラス橋では、き裂への補強を行った後に、渦流探傷試験やフェーズドアレイ探傷試験を用いて同様のき裂がないか非破壊的に検出が試みられた。しかし、これらの手法では、橋梁塗膜の影響を受けるため、塗装塗膜上から溶接欠陥・不良を正確に検出できる手法が求められている。

溶接欠陥・不良の非破壊的な検出手法の一つとして、鋼材のもつ磁場強さを利用して応力集中部を検出する手法がある。これは、地磁気の弱磁場下において、溶接冷却過程で形成される溶接継手部の残留磁化、または応力集中箇所や損傷箇所等で形成される不可逆な磁場強さの変化といった金属磁気記憶という現象を基にしている^{4) 5)}。これらから発生する自己磁化漏洩場を検出する手法を金属磁気記憶法といい、母材部と溶接部の磁場強さを比較することで、溶接部の検出が可能であると考えられる。また、鋼材の磁場強さを計測する点から、橋梁塗膜の影響を受けにくいと考えられ、塗装塗膜上から溶接部を検出できる可能性がある。

本研究では、まず余盛削除や溶接欠陥を残存させた溶接継手部を有する実物大の構造モデルを対象に、磁場強さを利用した非破壊試験により塗装塗膜上から溶接部の検出を試みた試験結果を報告する。さらに、き裂損傷の事例の一つとして示した鋼トラス橋を対象に、非破壊的に塗膜上から板継ぎ溶接部の検出を試みた試験結果を報告する。

2. 試験装置概要

図-1に本研究で用いる応力集中部検出機を示す。応力集中部検出機にはTSC-3M-12(Energodiagnostika社製)を用いた。応力集中部検出機はフラックスゲート磁力計⁶⁾により金属磁気記憶により磁場強さの変化した箇所の応力場を検出する。応力集中部検出機にはスキニング装置の幅方向と高さ方向の磁場強さを計測する探触子が4箇所、幅方向に10mm間隔にて取り付けられている。

3. 試験概要

本試験では、平成29年8月に岐阜大学構内に設置されたインフラミュージアムの鋼桁端部モデル⁷⁾の1. 溶接まま、2. グラインダにより余盛を削除された溶接部、3. 未溶着を内在する溶接まま、の3つの突合せ溶接部を対象にした。図-2に鋼桁端部モデルの溶接部の計測位置を示す。鋼桁端部モデルはC-5塗装系の無機ジンクとエポキシ樹脂、およびふっ素樹脂の3種5層からなる塗装が施されている。図-3に余盛を削除された溶接部近傍での膜圧の計測結果を示す。縦軸に膜圧(μm)、横軸に溶接部からの距離L(mm)を示す。膜圧は350-500 μm 程度であることを確認した。図-4に応力集中

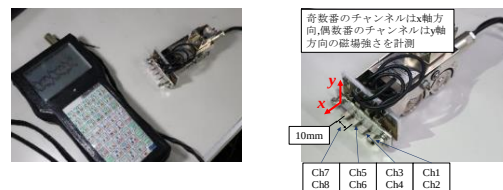


図-1 応力集中部検出機

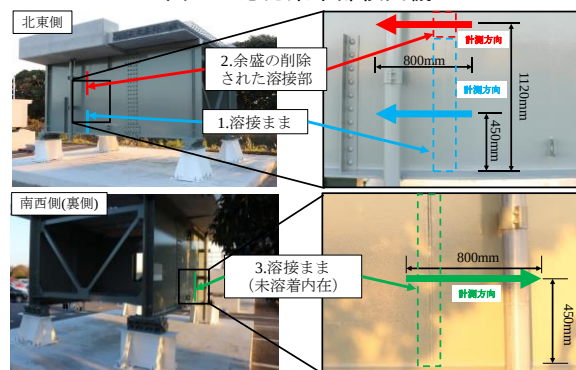


図-2 鋼桁端部モデル突合せ溶接位置

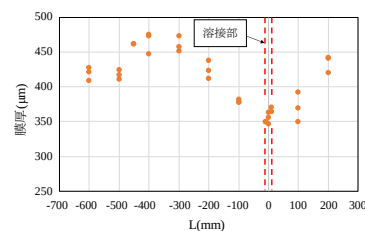


図-3 膜圧計測結果



図-4 計測状況

部検出機を用いた計測状況を示す。センサーを溶接線と直交するように直線的に800mm程度走査し、母材と溶接部の磁場強さを2mm間隔に検出を行うことで、3つの溶接部の磁場強さの分布形状を得ることとした。

4. 試験結果

図-5に溶接部の計測結果を示す。縦軸に磁場強さ H_L (A/m)、横軸に距離L(mm)を示す。図-5(a)の溶接ままの計測結果より、溶接余盛上と溶接止端から50mm離れた母材部で磁場強さに変化が見られる。図-5(b)の余盛の削除された溶接部の計測結果より、グラインダにより削除された溶接余盛上と、溶接止端から150mm離れた母材部で磁場強さに変化が見られる。さらに、図-5(c)の未溶着を内在する溶接部の計測結果より、溶接余盛上と溶接止端から約10mm離れた母材部において磁場強さの変化が見られた。また、すべての計測結果より、裏側に垂直補剛材が存在している $L=450\text{mm}$ 程度母材部

キーワード：溶接部，溶接欠陥，非破壊検査，金属磁気記憶法

連絡先：〒475-0826 愛知県半田市神明町1丁目1 TEL：0569-89-2101

においても磁場強さの変化が見られた。以上の計測結果より、溶接余盛上で同様な磁場強さの変化があることから、グラインダにより余盛削除された、塗装塗膜上から目視により確認できない溶接線を検出できる可能性があるといえる。また、鋼板の裏側に垂直補剛材が存在する母材部においても、磁場強さの変化が見られたことから、鋼板裏側に存在する溶接部の検出の可能性を示した。

5. 残留応力計測

ここでは、磁場強さの計測結果により得られた余盛の有無や未溶着部の有無による磁場強さの差異について、X線残留応力計測によっても同様の傾向が得られるのか検討した。残留応力計測には、 $\cos \alpha$ 法に基づくポータブル型 X 線残留応力計測装置 μ -360s (パルステック社製) を用いた。ベルトサンダを用いて塗装塗膜の除去を行った後、 $200\mu\text{m}$ まで電解研磨を行い、残留応力を計測した。図-6 に残留応力計測結果を示す。横軸は、溶接止端からの計測距離 L (mm) を示す。図-6 中の $L=20\text{mm}$ から 0mm 位置は削除された溶接余盛上である。ただし、溶接ままと未溶着部を内在する溶接ままでは、余盛が曲面や凹凸を有し、その計測方法には精度確保観点から検討の余地があり、今回は残留応力計測を見送っている。また、いずれの計測結果においても圧縮残留応力が計測されている理由は、塗装前に行ったブラスト処理の影響によるものと考えられる。図-6 の溶接止端から正側の分布より、溶接ままと未溶着を内在する溶接ままでの溶接部の結果は、若干の差異は見られるが、未溶着部の有無による溶接止端部の残留応力分布の明確な差異は確認できなかった。一方、グラインダにより余盛を削除された溶接部では、溶接止端近傍において引張残留応力が計測されており、また、反対側の溶接止端部付近 (図中の $L=20\text{mm}$ 近傍) においても残留応力がゼロに近づく分布を示すなど、溶接ままとは異なる分布形状を呈していると考えられる。以上より、X 線残留応力計測においても、余盛削除の有無により残留応力の分布形状に差異が見られたことから、磁場強さの差異に基づく、余盛が削除された溶接部の検出の可能性が示せたと考えられる。ただし、未溶着部の有無については今後の検討課題である。

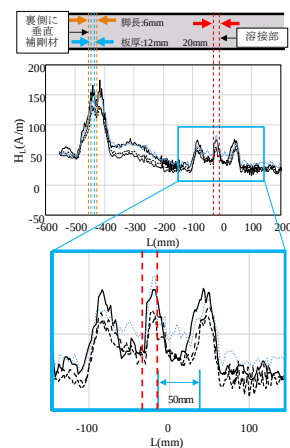
6. 実橋梁における計測

き裂損傷の事例の一つとして示した上記の鋼トラス橋においても、磁場による応力集中部検出機による鋼桁端部モデルの計測結果と同様の結果が得られるかの検討を行った。

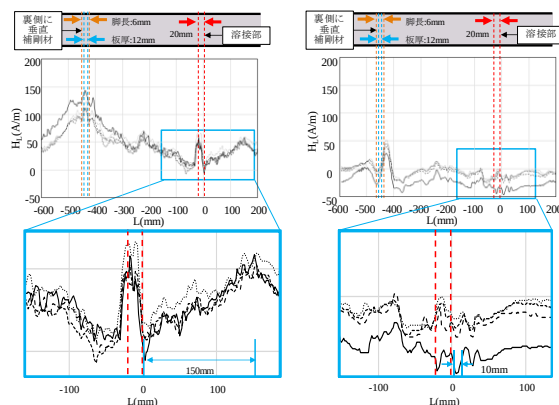
図-7 に計測結果を示す。計測は下流側の下弦材の上面に対し行った。図-7 (a) に下流側の全体図を示す。足場材接触面と考えられる箇所以外の一般部での塗膜は膜圧 $300\mu\text{m}$ 程度であり、足場材接触面において、 $600\mu\text{m}$ 程度であった。図-7 (b) より、足場材接触面と考えられる箇所では磁場強さに変化が見られなかった。図-7 (c) より、計測時に添接板近傍で磁場強さの変化が見られた。その位置は図面上のダイヤフラムが存在する位置と一致している。これらの計測結果より、新たな溶接線は見つからなかったが、実橋梁においても磁場強さの計測により、塗膜の厚さの変化する位置での計測と、鋼板裏側に存在するダイヤフラムの溶接部の検出が可能であることを示した。

<参考文献>

- 1) 三木千壽, 平林泰明: 施工の不具合を原因とする疲労損傷, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.3, pp.518-532, 2007.
- 2) 国土交通省 HP: 落橋防止装置等の溶接不良に関する有識者委員会中間報告書: <http://www.mlit.go.jp/road/ir-council/rakkyou/pdf03/houkoku.pdf>, 2015.
- 3) 横山幸泰, 山本正孝, 木下幸治, 小野秀一, 小野友暉: 鋼トラス橋の下弦材に発生したき裂に対する詳細調査と修繕, 第 32 回日本道路会議, 講演番号 5021, 2017.
- 4) V.T.Vlasov, A.A.Dubov: Physical bases of THE METAL MAGNETIC MEMORY METHOD, Tisso, 2004.
- 5) Anatoly Dubov, Sergey Kolokolnikov: The metal magnetic memory method application for online monitoring of damage development in steel pipes and welded joints specimens, Welding in the World 57, pp.123-136, 2013.
- 6) 応用物理学会, 応用物理実験ハンドブック, オーム社, pp.414, 1971.
- 7) 木下幸治, 羽田野英明, 国枝稔, 六郷恵哲: 鋼橋の建設過程が学べる大型モデルの開発, 日本工学会教育協会第 65 回工学会教育研究講演会, 2017.



(a) 溶接ままと



(c) 溶接ままと

(b) 余盛を削除した溶接部

(未溶着内在)

図-5 磁場強さ計測結果

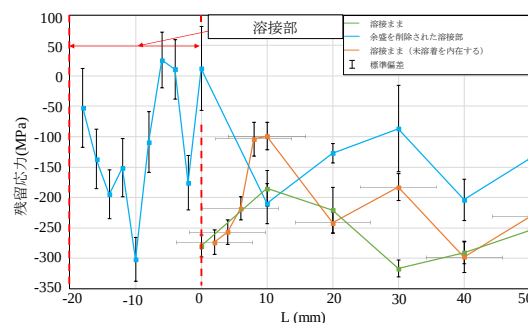
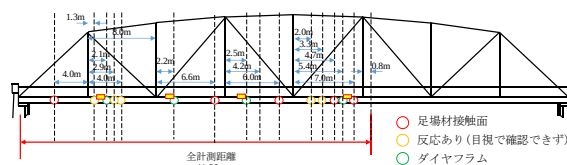
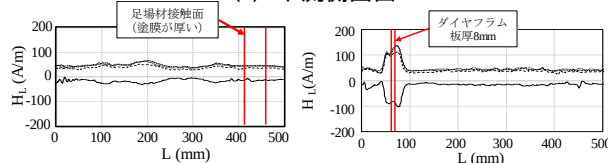


図-6 X線による残留応力計測結果



(a) 下流側図面



(b) 足場材接触面

(c) ダイヤフラム

図-7 実橋梁における計測結果