

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成 24 年度採択)
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.24-8	疲労き裂の補修技術に関する研究開発	名古屋大学 教授 舘石和雄

本研究では、疲労き裂が生じた鋼橋部材に対して、簡易にかつ即時性をもって補修するための技術開発を行う。具体的には、ICR 処理、樹脂注入法、溶接補修の 3 つの技術を取り上げ、それぞれの効果と適用限界を定量的に明らかにするとともに、実施工技術を開発する。

1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

鋼橋の疲労損傷はすでに各所で問題になっており、今後も問題が深刻化することが予想されることから、疲労き裂をできるだけ簡易に補修することのできる技術が望まれている。

本研究は、比較的短い段階の疲労き裂に対する補修法として、ICR 処理、樹脂注入法、溶接補修を取りあげ、それらを実用レベルに発展させることを目的とする。ICR はき裂周辺に簡易なエアハンマーにより塑性変形を導入し、表面にてき裂を閉口させることでその進展を抑制するものである。樹脂注入法はき裂内部に樹脂を注入し、き裂の開閉口挙動を妨げることによってき裂の進展を抑制するものである。溶接補修はき裂を除去した後、溶接によって埋め戻す手法である。

本研究では実験的、解析的検討により、これら 3 つの技術の適用可能範囲を明確にし、実用技術としての確立を目指す。

2. 研究内容 (研究の方法・項目等)

【ICR 処理】 曲げおよび引張荷重下での疲労試験により、ICR の効果に対する応力比、処理姿勢、処理時のき裂長や応力レベルの影響を検討した。溶接止端から発生したき裂のみでなく、溶接ルートから主板へと進展したき裂に対する適用性も検討した。さらに有限要素解析により、き裂形状、主板厚、荷重条件などの因子が処理効果に与える影響を定量的に評価し、ICR 後の余寿命の推定方法を提案した。また、施工性や適用性を把握する目的で実橋梁への試験施工も行った。

【樹脂注入法】 面外ガセット溶接継手を対象として、繰返し圧縮荷重により発生した疲労き裂に対して樹脂注入法を適用し、効果的な注入法の開発、注入向きの影響の検討を行った。さらに有限要素解析により、樹脂注入による寿命改善効果に影響を与える因子について検討した。

【溶接補修】 繰返し変動荷重下で溶接施工試験を実施し、溶接割れの発生に影響を与える因子を検討した。さらに熱弾塑性解析により、変動荷重下での溶接を再現し、得られた結果を基に、溶接割れ発生評価式を提案した。

3. 研究成果 (図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

【ICR 処理】 X 線回折法により ICR 部周辺の残留応力を計測し、処理部近傍では鋼板の降伏応力の 6~7 割程度の圧縮応力が導入されていることを示した。応力比 $R=-\infty\sim 0.5$ の範囲では、応力範囲が 120N/mm^2 以上の場合、ICR 後の疲労寿命は溶接したままのそれと同程度となり、逆に応力範囲が比較的低い領域では、ICR により疲労寿命が大幅に増加することを示した。また処理姿勢や、止端き裂、ルートき裂による効果の違いはみられなかった。引張荷重下の場合であっても、ICR により元の状態までは回復できるが、板曲げ荷重下での効果よりは低下することを明らかにした。さらに、ICR を再現できる解析法を構築し、それによる検討結果を基に、ICR を施したき裂に対する余寿命評価法を提案した。実橋梁に生じたき裂に対して ICR の試験施工を実施し、き裂周辺のひずみ計測結果を基に、ICR を適用可能な部位を明らかにした。

【樹脂注入法】 疲労試験結果より、樹脂の種類や注入向きによる効果の違いはみられなかった。また、き裂部に振動を与えながら注入することにより、高い寿命改善効果が得られることを示した。さらに有限要素解析により、浸透深さによって効果が大きく変化すること、注入材料はある程度の剛性を有していれば十分なことなどを明らかにした。樹脂注入前後でのき裂近傍の応力の

変化から、き裂進展速度の減少割合を予測できることを示した。

【溶接補修】 繰返し荷重下で溶接補修を行う場合、溶接中のルートギャップの開口変位とその繰返し周波数が溶接割れの発生に大きく影響を与えることを示した。また熱弾塑性解析により、溶接中のルートギャップ開口変位を推定する手法を求め、それを取り入れた溶接割れ発生判定式を提案した。求めた判定式により実験結果を安全側に評価できることを示した。

上記3工法に対する成果を基に補修工法選定フロー案、補修技術ガイドライン案を示した。

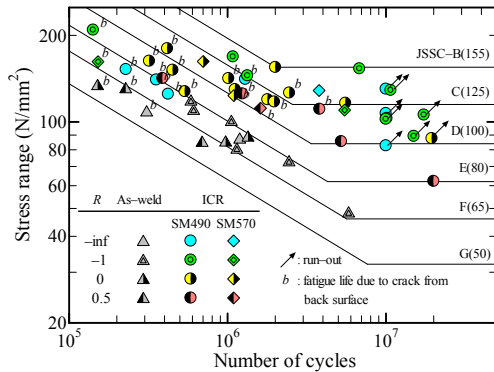


図1 ICR 処理の効果（応力比の影響，板曲げ疲労試験）

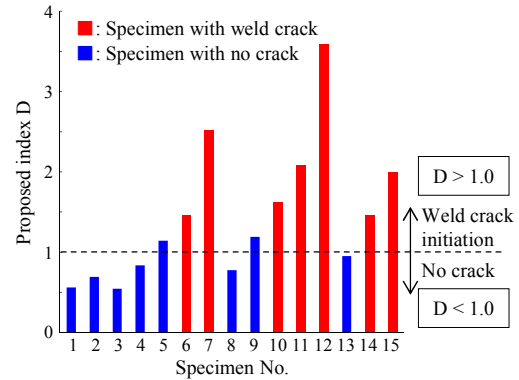


図2 提案式による割れ発生評価結果

4. 主な発表論文（研究代表者はゴシック、研究分担者は下線）

- 1) Hasegawa Y., Hanji T., Tateishi K. and Choi S.M. (2013) A study on weld repair of steel members under cyclic loading, Proc. of the 12th Japan-Korea Joint Symposium on Steel Bridges, CD-ROM.
- 2) Tateishi K., Hanji T., Tsuruta Y. Sasada S. and Choi S.M. (2013) Fatigue life extension of cracked welded joints by ICR treatment under tensile loading, Proc. of the 10th PSSC, pp.493-498.
- 3) 館石和雄, 判治剛, 石川敏之, 清水優 (2015) 引張または曲げ荷重を受ける溶接継手に対する ICR 処理の効果, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.627-637.
- 4) Hattori M., Hanji T. and Tateishi K. (2015) Simple repair method for fatigue cracks in welded joints by resin injection, Proc. of the IABSE Conference Nara, CD-ROM.
- 5) Hanji T., Hasegawa Y., Tateishi K. and Shimizu M. (2015) An Estimation Method for Weld Crack Initiation in Weld Repair under Cyclic Loading, Proc. of the 8th ISSS (in printing)

5. 今後の展望（研究成果の活用や発展性、今後の課題等）

ICR 処理に関しては、本研究により多くの知見が蓄積され、補修ガイドライン案を取りまとめることができたことから、今後はそのガイドラインに従って実橋梁での試験施工を繰り返し、実績の蓄積、課題の抽出・改善を行う必要がある。樹脂注入法については、効果にばらつきが大きいことから、安定的な効果を発揮できる注入法や樹脂の開発が課題である。また溶接補修については、本研究により溶接割れ発生判定式を示したものの、非常に複雑な現象であり、全てを網羅できなかったため、他の継手や溶接法での検討、強い拘束条件下での適用などが課題である。

6. 道路政策の質の向上への寄与（研究成果の実務への反映見込み等）

本研究で対象としたのは比較的短いき裂である。橋梁の近接点検が義務づけられたこともあり、実橋の溶接継手に比較的短いき裂が発見される可能性は、今後、ますます増加するものと考えられる。その対策を考える上で、補修技術ガイドライン案などの本研究成果は有用であると考えられる。

本研究で対象とする技術は、応急補修と恒久対策の中間に位置づけられるものであると考えている。すなわち、これらの技術を適切な条件下で適用すれば、当面の疲労き裂の進展を防止することができるものと期待される。本研究成果を実用的に用いることができれば、恒久対策を施すまでの時間的猶予を得ることができるだけでなく、対象橋梁に要求される耐用年数によっては恒久対策が不要となる場合も想定される。このように、補修・補強の優先順位付けに自由度が生まれ、合理的で弾力的な維持管理計画の策定を可能とする点で、道路政策へ反映することができる。

7. ホームページ等（関連ウェブサイト等）

<http://skyarch.civil.nagoya-u.ac.jp/>