

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：13701

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20444

研究課題名（和文）ピーニング処理により閉口した疲労き裂の再開口挙動を再現する数値解析手法の構築

研究課題名（英文）Development of a numerical analysis method to reproduce crack opening behavior of closed crack by peening treatment

研究代表者

阪野 裕樹（Banno, Yuki）

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：90966194

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000 円

研究成果の概要（和文）：ピーニング・HFMI処理により閉口したき裂を対象に、その再開口挙動を3次元き裂進展解析に塑性流動を加味したピーニング・HFMI処理の数値解析を連動させた解析手法の構築を目指した。本研究は、閉口処理されたき裂のき裂面に作用する塑性流動を明らかにするために、疲労き裂が生じた溶接継手試験体に対して、ピーニング処理を用いたき裂閉口処理を実施し、金属顕微鏡を用いてき裂閉口処理面に作用する塑性流動を観察した。その結果、ピーニング処理を用いたき裂閉口処理により、鋼材表面への打撃に起因した塑性変形により金属組織が塑性流動を起こすことでき裂が閉口することを明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は、閉口処理後のき裂面に作用する塑性流動を電子顕微鏡観察により明らかとした。これは、ピーニング・HFMI処理を用いたき裂閉口による延命化手法の信頼性向上に繋がることから、高齢化による疲労損傷が著しい我が国の鋼橋の維持管理において社会的意義のある成果であると考えられる。また、この成果は、き裂閉口メカニズムおよび閉口処理後のき裂の再開口挙動の解明に繋がる学術的意義のある成果と考える。

研究成果の概要（英文）：The goal of this study is to develop a numerical analysis method to reproduce crack opening behavior of closed crack by peening treatment by coupling 3D crack propagation analysis considering plastic flow. To achieve this goal, to clarify the plastic flow acting on the crack surface closed by crack closure retrofit treatment using peening treatment, a cracked welds was peened, and crack surface was closed, and the plastic flow acting on the crack closure surface was observed using a metallurgical microscope. The results showed that a crack was closed by the plastic flow caused in the metallographic structure due to plastic deformation by the crack closure retrofit treatment.

研究分野：鋼構造

キーワード：ピーニング・HFMI 疲労き裂 溶接継手 塑性流動

1. 研究開始当初の背景

鋼橋溶接部に生じた疲労き裂は、車両通行により発生する繰返し応力により進展し、急激に鋼橋の耐力を低下させる。この疲労き裂の進展を効率的かつ合理的に遅延するために、金属ピン・ハンマー打撃により鋼材表面に塑性流動を生じさせ、打撃部周辺に疲労に有利な圧縮残留応力を導入可能なピーニング・HFMI 処理による表面き裂の閉口処理(図-1)が開発されてきた。一方、閉口されたき裂の再開口は、従来のき裂進展とは様相が異なる閉口部の連続的に開口する挙動を示す。このため、その挙動を従来のき裂進展解析、すなわち、線形破壊力学の枠組みにより再現可能であることが明確にできれば、非常に有用である。

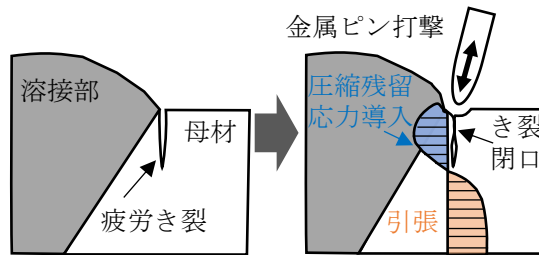


図-1 ピーニング処理によるき裂閉口

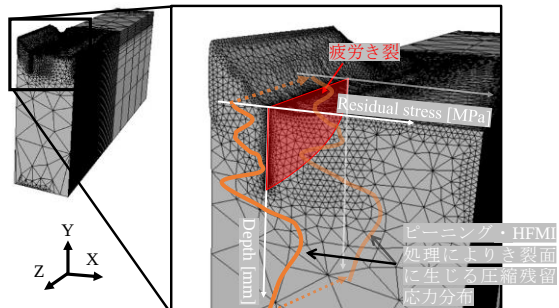


図-2 き裂面に圧縮残留応力を考慮した 3D き裂進展解析¹⁾

これまでに HFMI 処理により導入される圧縮残留応力を明らかにするために、3次元有限要素解析による HFMI 処理の数値解析モデルが構築され、溶接部や平鋼板への導入残留応力が検討されている¹⁻³⁾。これらの解析はピーニング処理によるき裂閉口の延命効果に関する実験的検討^(例えば 4)の再現を目指したものである。さらに閉口されたき裂の2次元き裂進展解析による疲労寿命の推定が進められた^(参考文献 4)。これらの研究により、閉口されたき裂の連続的な再開口の挙動を、ピーニング処・HFMI 処理によりき裂面に生じる圧縮残留応力分布を反映させた線形破壊力学に基づくき裂進展解析(図-2)によりある程度再現はできるが、未だ再現性は低いという知見が得られてきたといえる。以上から、き裂面に作用する圧縮残留応力のみならず、き裂閉口の際の最重要ファクターであるき裂面に作用する塑性流動をも加味した解析手法を構築することで、閉口部の再開口挙動の全容の再現が可能と考えた。

2. 研究の目的

ピーニング・HFMI 処理により閉口したき裂を対象に、その再開口挙動を3次元き裂進展解析に塑性流動を加味したピーニング・HFMI 処理の数値解析を連動させた解析手法の構築を目指した。本研究は、閉口処理されたき裂面に作用する塑性流動を明らかにすることを目的に、疲労き裂の発生した溶接継手試験体を対象に、ピーニング処理を用いたき裂閉口処理を実施し、金属顕微鏡を用いてき裂閉口処理面に生じた塑性流動を観察した。

3. 研究の方法

図-3 に使用したピーニング処理機材を示す。近年 NETIS に登録され疲労き裂の閉口処理に用いられているニードルピーニング処理の一種である PPP 処理を用いた。処理には、直径 3.0 mm、先端曲率半径 1.5 mm の金属製ニードルを装着したピーニングヘッドを使用し、消費空気量 0.23 m³/min、空気量 0.6 MPa 程度の条件で実施した。

図-4 に試験体を示す。試験体はガセット側止端よりき裂が発生し母材にまで進展した面外ガセット溶接継手を用いた。既設鋼橋で一般的に用いられる SM490 材とした。片持ち梁状に設置した試験体に対して PPP 処理を用いたき裂閉口処理を実施し、閉口処理中の処理部近傍への導入ひずみき裂近傍に貼付けたひずみゲージで計測した。



図-3 使用したピーニング処理機材

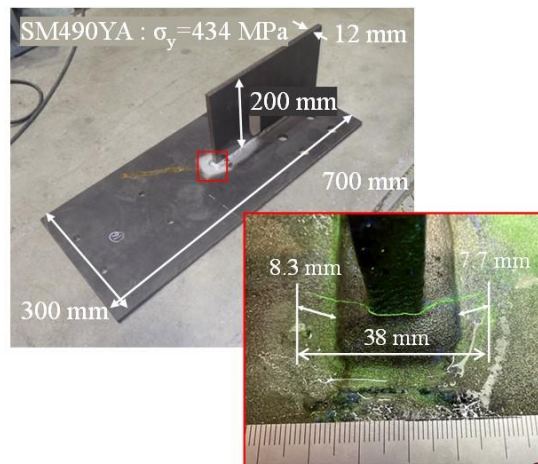


図-4 試験体と発生した疲労き裂

4. 研究成果

図-5 に閉口処理後のき裂状況を示す。図-6 に処理部近傍のひずみ計測結果を示す。PPP 処理を用いたき裂閉口処理により、処理端部より約 2 mm の位置に約 -2931 $\mu\epsilon$ の圧縮ひずみが導入された。閉口処理部断面を観察するためにき裂閉口処理部を試験体から切出す際も継続して処理部近傍のひずみ計測を実施し、切出しに起因した導入ひずみの顕著な解放が見られないことから、閉口処理されたき裂の開口は少ないと考えられる。

図-7 にき裂閉口処理部の断面観察を示す。PPP 処理により深さ 5.0 mm 程度のき裂に対して、処理表面から約 1.7 mm まで閉口されたことが確認できた。その後、金属組織観察のために、処理断面を粒度 240 番のバグラインダーで事前に研削し、粒度 180 から 2000 番まで順にサンドペーパーを用いて研削、0.1 μm の液体アルミナ研磨材を用いて研磨した上で、5 %ナイトール溶液を用いてエッチング処理した。図-8 に閉口処理後のき裂面の金属組織観察結果を示す。観察結果より、き裂閉口処理により処理面表層付近のき裂がその角度を急激に変え閉口されている様子が観察できる。赤枠で拡大したき裂閉口処理部極表層に着目すると、閉口処理に起因したき裂面に沿った金属組織の塑性流動が鮮明に確認できる。加えて、塑性流動した金属組織はき裂面を跨いで互いに混じり合わないことが観察できた。

以上の結果より、ピーニング処理を用いた



図-5 閉口処理後のき裂状況

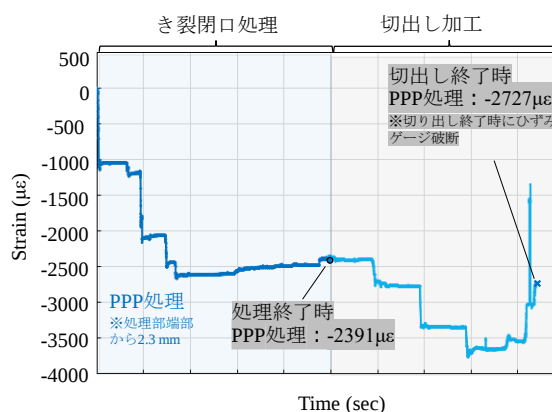


図-6 処理部近傍のひずみ計測結果

き裂閉口処理により，鋼材表面への打撃に起因した塑性変形により金属組織が塑性流動を起こすことでき裂が閉口することが明らかになった。

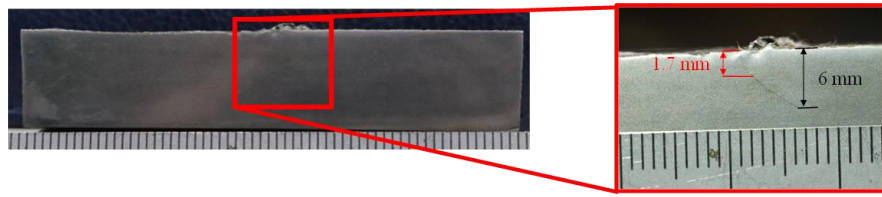


図-7 き裂閉口処理部の断面観察

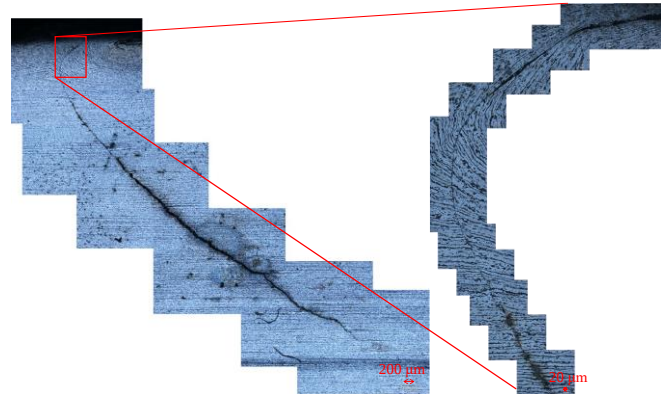


図-8 閉口処理後のき裂面の金属組織観察結果

参考文献

1. Numerical investigation of crack opening-closing behavior on pre-fatigued welded joints repaired by HFMI, Yuki Banno, Koji Kinoshita, Zuhier Barsoum, *Welding in the World*, Vol.66, pp.767-781, 2022.
2. Numerical investigation of influence of under- and over- treatment on residual stress induced by HFMI, Yuki Banno, Koji Kinoshita, Zuhier Barsoum, *Welding in the World*, Vol.65, pp.2135-2146, 2021.
3. Baptista, R, Infante, V., Branco, C. Fully Dynamic Numerical Simulation of the Hammer Peening Fatigue Life Improvement Technique, *Procedia Engineering*, Vol.10, pp.1943-1948, 2011.
4. 山田健太郎, 石川敏之, 破壊力学を用いた ICR 処理の延命効果の予測手法, *構造工学論文集*, Vol.63A, pp.659-667, 2017.

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1．著者名 阪野裕樹，木下幸治	4．巻 1-20
2．論文標題 ニードルピーニングを用いたき裂閉処理方法の検証	5．発行年 2023年
3．雑誌名 土木学会中部支部	6．最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------