

フェーズドアレイ超音波探傷による閉口処理された疲労き裂の開閉口挙動の検出

岐阜大学大学院 学生会員 ○小原 健司, 岐阜大学 正会員 木下 幸治
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 納土 武久, 小塚 正博

1. はじめに

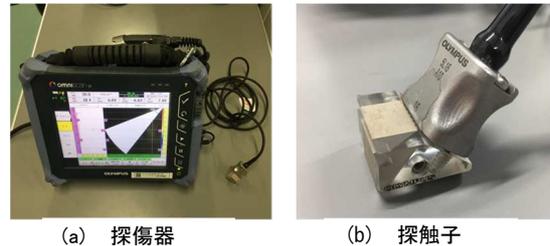
鋼道路橋の鋼床版や鋼製橋脚の溶接継手部において、多数の疲労き裂の発生事例が報告されている¹⁾。このため、こうした溶接継手部から発生する疲労き裂の補修方法についての検討がこれまでに行われつつある。その内、応急的な手法として PPP 処理や ICR 処理による、き裂表層を閉口処理させる手法が着目されつつある^{2),3),4),5)}。これらのき裂を閉口する手法は、作用している応力範囲によっては、閉口されていないき裂先端も開口しない。すなわち、き裂の停留が見込まれる。これは、閉口したき裂のき裂先端が再開口していないことを明らかにすることが可能な技術が開発出来れば、応急的な手法から恒久的な補修技術へと変えることが可能になると考えられる。

き裂先端の開閉口挙動を検出する非破壊的な手法として超音波探傷試験が挙げられる。これまでに、超音波探傷によるき裂の開閉口挙動の検出の試みが実施されてきており^{6),7)}、近年では超音波探傷の入射角度をある範囲内で変化可能なフェーズドアレイ法を用いた実橋梁での疲労き裂の検出が進められてきている⁸⁾。そこで、本研究では、溶接継手部の鋼板表面より閉口処理された疲労き裂の開閉口挙動を超音波探傷による検出技術の可能性を検討することを目的とし、フェーズドアレイ超音波探傷を用いて PPP 処理により閉口処理したき裂の開閉口挙動の検出を試みた。

2. 試験概要

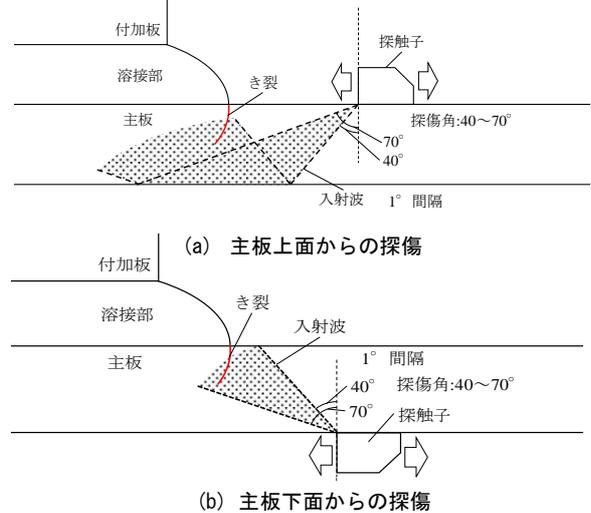
2.1. フェーズドアレイ超音波探傷

図-1 に本試験で用いたフェーズドアレイ超音波探傷装置を示す。探傷器は OLYMPUS 製 OmniScan sx を用いた。探触子の周波数 5.0MHz、素子配列はリニア配列、振動素子数は 16 素子、素子のピッチは 0.6mm である。ウェッジは斜角接触用を用い、入射角は 40°~70° の範囲である。本試験では、同一平面で超音波ビームを扇状に移動させる走査であるセクターキャンを用いた。超音波の送信と受信は一つの探触子で行う。図-2 に探傷方法を示す。本試験では面外ガセット溶接継手試験体の溶接止端部から発生した疲労き裂に対して、開閉口挙動の検出を試みた。図に示すように、主板上の上面と下面の両面から探傷を実施した。一般的には、き裂の端部エコーを直接探傷する方が返信エコーは高くなるために精度が良いとされている。しかしながら、本試験では板曲げ疲労試験を実施しており、き裂形状が曲面を有しているため、主板上面からの探傷方法ではき裂先端部まで超音波が照射できない。そのため、図-2(a)に示すように超音



(a) 探傷器 (b) 探触子

図-1 フェーズドアレイ探傷装置



(a) 主板上面からの探傷 (b) 主板下面からの探傷

図-2 探傷方法

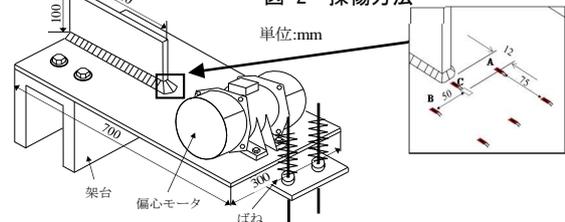


図-3 板曲げ疲労試験概要

波を 1 回反射させ、探傷を行っている⁹⁾。

2.2. 板曲げ疲労試験

図-3 に板曲げ疲労試験の概要図を示す。試験体鋼材は SM490A であり、主板、付加板は板厚 12mm の鋼板である。溶接は CO₂ 半自動溶接である。疲労試験機は山田¹⁰⁾が開発した板曲げ振動疲労試験機を用いた。モータの回転振動のみでは応力比 R=-1 の両振り疲労試験になるが、この試験機では試験体の先端にばねを設け、ばねで試験体を押し下げた状態のまま疲労試験を行うことにより、応力比 R を制御している。公称応力には図に示すように、ガセット中央部の溶接止端から長手方向に 12mm の位置で幅中央から左右 50mm 離れた箇所の位置のひずみゲージ A、B の平均値とした。本試験では、公称応力範囲

$\Delta\sigma=80\text{MPa}$ 程度とし、応力比 $R=0$ の片振り引張疲労試験を行い、疲労き裂が回し溶接部まで進展した N_b の段階で PPP 処理によって閉口処理を実施した。

3. 試験結果

図-4 に閉口処理前の超音波探傷試験結果を示す。探傷試験では公称応力が 0MPa から 80MPa まで 10MPa おきに、ばねで静的载荷し、各応力時のき裂先端の開閉口挙動の検出を試みた。横軸には公称応力、縦軸には返信エコー高さを示している。返信エコー高さは最大時を基準とした相対エコー高さで整理を行っている。図-4 から、 $10\sim 20\text{MPa}$ 付近でエコー高さが急激に上昇している。このことから、 $10\sim 20\text{MPa}$ 付近でき裂が開いているといえる。き裂面が閉口している場合は超音波が透過しやすくなるのでエコーが低くなり、き裂面が開いている場合は超音波が透過せずにそこで反射されるので返信エコーは高くなる。このことから、超音波探傷によって再開口挙動を捕らえることができていると考えられる。

一方、PPP 処理後にき裂の開閉口挙動の有無を確認するために、最大荷重時と除荷後に浸透探傷試験を行った。図-5 に試験結果を示す。最大荷重時では、回し溶接部に発生したき裂に沿って指示模様を検出できることよりき裂が開いていることがわかるが、除荷後ではき裂が閉口していることがわかる。図-6, 7 に PPP 処理後の超音波探傷試験結果を示す。本探傷では、き裂表層部とき裂先端部の計測を実施した。図-6 より、き裂表層部の端部エコーは公称応力が増加するにつれ、返信エコー高さも増大しており、主板下面からの探傷によると、公称応力が $40\sim 50\text{MPa}$ 付近で開閉口挙動を示していることが確認できる。一方、図-7 より、き裂先端部の端部エコーでは大きな変動挙動を示しておらず、本試験の作用応力範囲下では閉口挙動を示さなかった。これらの結果より、PPP 処理により閉口したき裂の再開口は閉口した表面がき裂先端に先行して開口する結果となったが、今後、疲労試験により得られるき裂進展状況などから明らかにすることを考えている。

4. 結論

- ✓ フェーズドアレイ超音波探傷を用いて、PPP 処理により閉口処理されたき裂に対して、き裂の開閉口挙動を相対エコー高さの変化より、判定可能と考えられる。
- ✓ PPP 処理により閉口したき裂の再開口は、閉口した表面がき裂先端に先行して開口していた。今後疲労試験により得られるき裂進展状況などから明らかにする予定である。

(参考文献)

- 1) 三木ら：鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析，土木学会論文集，第 392 号，pp.403-410，1988.2) 苗木ら：溶接止端部にき裂を有するステンレス鋼のピーニングによる疲労強度向上とき裂の無害化，圧力技術，Vol.57, No.3, pp.140-148, 2015.3)

Kinoshita et al : Fatigue Strength Improvement and Fatigue Crack Closure

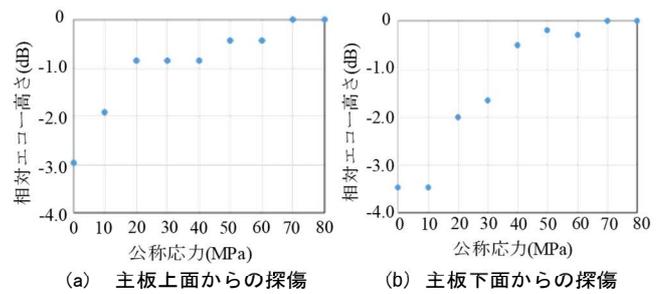


図-4 閉口処理前の探傷試験結果

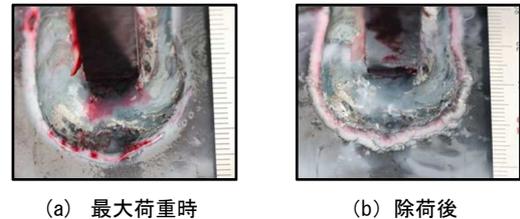


図-5 浸透探傷試験結果

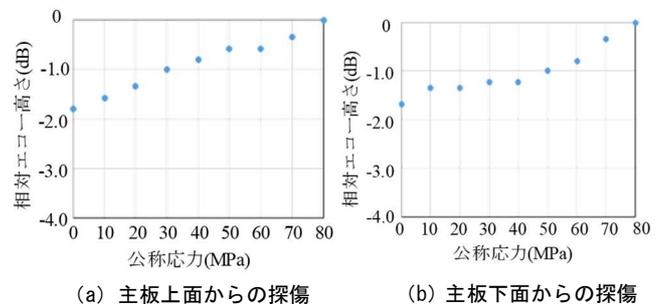


図-6 き裂表層部の探傷結果

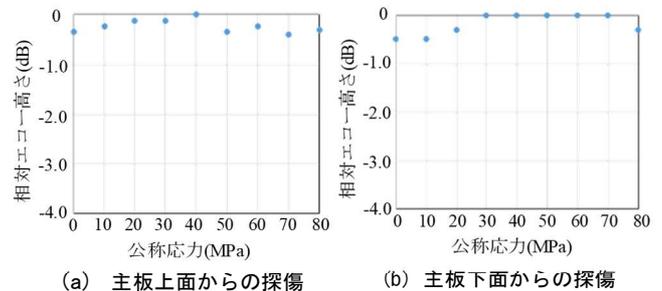


図-7 き裂先端部の探傷結果

by Portable Pneumatic Needle-Peening Treatment on Welded Joints, International Journal of Steel Structures, pp.1-8, 2018.4) 石川ら：ICR 処理による面外ガセット溶接継手に発生した疲労き裂の寿命向上効果，土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, 264-272, 2010.6.5) 山田ら：疲労き裂を閉口させて寿命を向上させる試み，土木学会論文集 A, Vol.65, No.4, pp.961-965, 2009.11.6) 三木ら：超音波を用いた疲労き裂の検出，構造工学論文集，Vol.33A, pp.383-391, 1987.3.7) 三木ら：タンデム超音波探傷による K 開先溶接部の品質管理と疲労き裂検出，土木学会論文集 A, Vol.63, No.4, pp.628-638, 2007.10.8) 白旗ら，フェーズドアレイ超音波探傷による鋼床版デッキプレート進展き裂の非破壊評価，土木学会論文集，Vol.72, No.1, pp.206-219, 2016.9) 井上ら：疲労き裂形状のフェーズドアレイ超音波探傷法による評価，鋼構造年次論文報告集，第 25 巻，pp.546-550, 2017.11.10) 山田ら：垂直補剛材と鋼床版デッキプレートのすみ肉溶接の曲げ疲労試験，鋼構造論文集，第 14 巻，第 55 号，pp.1-8, 2007.9.