

## PS-26 溶接継手品質特性の網羅的把握のための基礎検討

構造・産業システム系 \*津村 秀一、穴井 陽祐、藤本 修平

### 1. はじめに

我が国の造船業の国際競争力を高める方策の一つとして、溶接品質の高度化が考えられる。例えば、建造時の品質検査結果をデジタル情報として記録し、就航後の品質検査結果と比較することで、個々の船舶の健全性を経年的に把握できると共に、多数の船のデータに基づいて必要な品質レベルを同定するような取り組みが考えられる。

このような背景から著者らは「溶接品質のデジタル化」を念頭に溶接継手の非破壊検査に着目し、突合せ溶接継手を対象としたロボット UT を実施し、その実用性について検討を行った<sup>1)</sup>。

本研究では引き続き「溶接品質のデジタル化」を念頭にすみ肉溶接継手を対象として、簡易自動台車をベースとする溶接ビード形状を網羅的に計測可能な溶接ビード外観自動検査装置のプロトタイプの開発を行った。網羅的に計測されたデータから、応力集中係数を評価指標として溶接品質について考察を行った。

### 2. システム構成、及び計測実験

#### 2.1 概要

溶接ビードの外観形状の取得には、二次元形状センサー（オプテックス・エフエー株式会社：LS-100CN）を利用した。この二次元計測センサーを溶接用の簡易自動台車（小池酸素工業株式会社：ウエルハンディマルチネクスト）に搭載することで、溶接線に沿って溶接ビード形状を網羅的に取得する装置とした。図-1に開発したプロトタイプの写真を示す。なお、仮に脚長不足やブローホールなどの欠陥を検知した場合には手直しが必要となることを想定し、欠陥検出位置をスチールペイントにて印字する機構も搭載した。

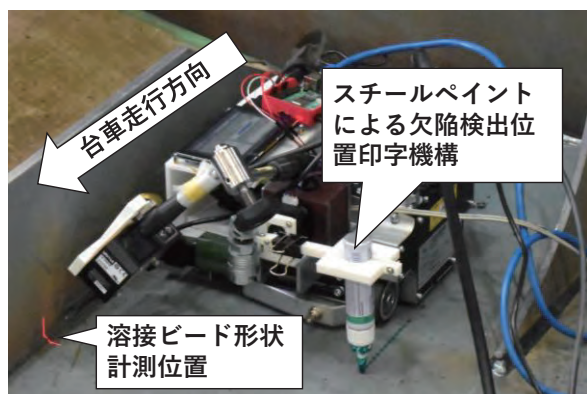
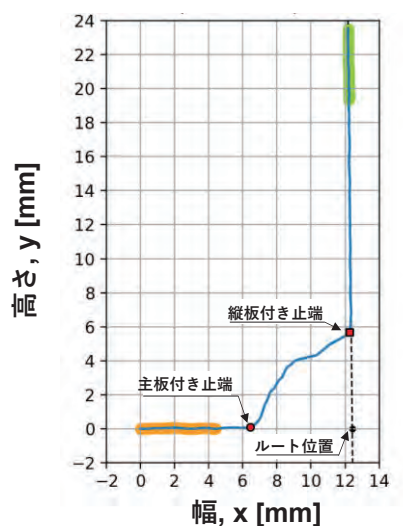


図-1 溶接ビード外観自動検査装置

#### 2.2 計測実験

指示脚長 4mm にて溶接施工されたすみ肉溶接継手を対象として、およそ 1m に渡り、5mm 間隔で溶接ビード外観形状の取得を行った。なお、計測に用いた二次元形状センサーには Windows OS で動作するソフトウェアが付属しており、このソフトウェアを 2.0 秒に 1 回の頻度で外部制御により操作し、簡易自動台車を 2.5 [mm/sec] の速度で走行させることで、およそ 5.0mm 毎に断面形状の取得を行った。

計測結果の一例を図-2に示す。青色実線が計測データである。なお計測データは台車が走行する鋼板表面が  $y=0$  となるようにデータ処理を行った。データ処理の詳細については、次節で述べる。



### 3. 計測結果のデータ処理

図-2に示す黄色のプロットで示される点群データ（全長およそ 4mm，データ数 100）を台車が走行する鋼板表面と見なし、これらのデータが  $y=0$  となるように取得したデータの回転操作を行った。なお、図-2は回転操作を行った後のデータである。

その後、緑のプロットで示される点群データ（全長およそ 4mm，データ数 100）をすみ肉溶接継手の縦板表面と仮定し、これらを線形近似した直線の  $x$  切片をすみ肉溶接継手のルート位置とした（図-2に示す黒塗り丸印）。更にルート位置から主板付き止端（赤塗り丸印）までの距離を主板付き脚長、縦板付き止端（赤塗り四角印）までの距離を縦板付き脚長とした。なお、主板付き止端の位置は  $y>0.1$  を満たす計測データにおいて  $x$  座標が最も小さい点であり、縦板付き止端位置は黒色点線で示される直線からの距離が 0.1 より大きいを満たす

計測データにおいて、y 座標が最も大きい点である。

その後、主板付きの止端については止端半径とフランク角の算出を行った。主板付き止端位置から x 方向におよそ 2mm 遡った点(データ数にして 50 個遡ったデータ)を起点として、主板付き止端位置から x 方向におよそ 4mm 進んだ点(データ数にして 100 個進んだデータ)を終点とする 151 個のデータから 3 点を選び円弧を描き、全数探索により計測データとの二乗誤差が最小となる円弧の半径を、止端半径と定義した。またフランク角は前述の円弧の中心角とした。

図-3 にデータ処理された止端半径とフランク角の一例を示す。青色実線が溶接ビードの形状であり、緑塗り丸印は前述の円弧を定義する 3 点である。また、赤色実線は定義された円弧であり、黒色丸印は円弧の中心を示す点である。

なお図-3 は、図-2 の止端形状について止端半径とフランク角を算出した結果である。

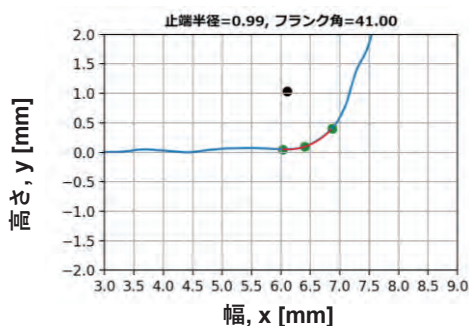


図-3 止端半径、フランク角の算出結果の例 [単位:mm, 度]

#### 4. 応力集中係数

3 節で述べた手順により得られた代表寸法を式 (3.1) に示す田垣ら<sup>2)</sup>が報告した Heywood・西田の式に代入することで、溶接止端における応力集中係数の算出を行った。

$$K = 1 + f(\theta)(a - 1) \quad (3.1)$$

ただし、

$$a = 1 + [(l/\rho)(2.8B/b - 2)]^{0.65} \quad (3.2)$$

$$f(\theta) = \frac{1 - \exp\{-0.9\theta(B/l)^{0.5}\}}{1 - \exp\{-0.45\pi(B/l)\}} \quad (3.3)$$

ここで、 $\rho$  は止端半径、 $\theta$  はフランク角、 $l$  は脚長、 $t$  は板厚、 $B = t + 1$ 、 $b = t/2$  である。

#### 5. 考察

本研究で計測したデータについて、応力集中係数  $K$  の算出

(202)

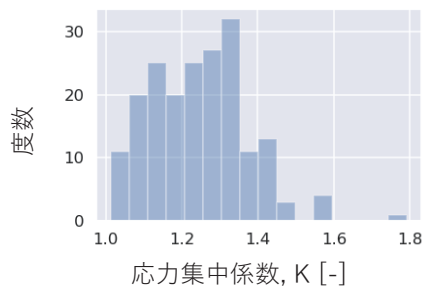


図-4 応力集中係数のヒストグラム

結果を図-4 に示す。

溶接継手のビード形状に起因する応力集中係数の値は算定方法や板厚などの違いにより様々であるが、津村らはグライнда処理材について応力集中係数を算出し、およそ 1.6 以下であることを報告している<sup>3)</sup>。本研究で得られた応力集中係数の値は 1.8 以下であり、調査対象が溶接まま材であることを鑑みると溶接品質は良好と言える。

ただし、算出された応力集中係数はあくまでプログラムで機械的に処理された止端半径、脚長、フランク角を用い、簡易算式により算出された応力集中係数であることに注意を要する。

#### 6. まとめ

本研究では「溶接品質のデジタル化」を念頭にすみ肉溶接継手を対象として、簡易自動台車をベースとする溶接ビード形状を網羅的に計測可能な溶接ビード外観自動検査装置のプロトタイプを開発を行った。

開発した装置を用い、長さ 1m に渡り 5mm 間隔で溶接ビード外観形状の取得を行った。計測データをプログラムで機械的に処理することで応力集中係数の算出を行った。この結果、応力集中係数を特性値として溶接品質を網羅的に把握することが可能であった。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり、ジャパン マリンユナイテッド株式会社横浜事業所の菅野博義氏、片田朋岐氏、針谷高典氏に貴重なご意見を賜った。関係各位に謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 藤本修平他：溶接線の自動検査に向けた基盤調査，海上技術安全研究所報告，第 21 巻，第 3 号 (2021)，pp. 153-170.
- 2) 田垣徳幸他：溶接継手の疲労寿命に与える隅肉溶接止端形状の影響，土木学会論文集，第 324 号 (1982)，pp. 151-159.
- 3) 津村秀一他：応力比が負の条件下における HFMI 処理の疲労強度改善効果及び板厚効果，日本船舶海洋工学会論文集，第 34 巻(2021)，pp. 51-61.