

# PS-13 フィードバック式プレス施工支援システムの研究開発

産業システム系 \* 松尾 宏平, 竹澤 正仁  
構造安全評価系 安藤 孝弘

## 1. はじめに

近年、造船業においては、更なる生産性向上の指向とともに、少子高齢化に伴う熟練技能者の育成、確保への対応が喫緊の課題となっている。また、新しい ICT デバイスの普及が進み、これらを活用した新しい研究開発の機運も高まっている。これらの状況から造船作業に関する研究開発の要点を整理すると以下ようになる。

- ・ より詳細な作業支援、作業指示を行うこと。
- ・ それらの情報を現場に、より効果的に伝えること。
- ・ 設備や現場の作業実態をなるべく定量化し、それに基づき作業の施工要領を出力すること。

上記の観点から、本研究では、造船曲げ加工におけるプレス加工（冷間加工）に注目し、作業者に、鋼板上のどこを、どのようにプレス加工すればよいかを随時、情報提供する作業支援システムを開発した。具体的には、プレス加工に関して、曲げ加工途中段階においてもリアルタイムにプレス位置とプレス荷重を指示するフィードバック式プレス施工支援システムを開発した。これにより、従来<sup>1)</sup>はプレス加工開始前に曲げ加工指示を示すのみであったが、作業途中段階においてもリアルタイムに曲げ加工指示することができ、指示がより詳細になり、作業の容易化・仕上がり品質の向上につながるものと期待する。

## 2. フィードバック式プレス施工支援システム

### 2.1 提案手法によるプレス加工の全体概要

フィードバック式プレス施工支援システムによるプレス加工の要点は、加工中の任意の段階で、その時の外板形状に応じて、最適なプレス施工指示情報（プレス位置、プレス角、プレス荷重）を出力することである。

始めに、作業者は平らな状態の外板に対して初期プレスを行う。初期プレス作業は、作業者自らが曲げ型等を用いて求めたプレス線に基づき実施するか、著者らが開発した初期プレス線を出力するシステム<sup>1)</sup>が指示する初期プレス線に基づき実施する。初期プレス作業が完了したのち、それ以降の追加プレス作業の施工要領を求めるため、フィードバック式プレス施工支援システムを利用する。プレス機から外板を引き出し、外板の現在形状を計測する。計測はレーザスキャナを使用する。レーザスキャナによる現在形状の計測結果をフィードバック式プレス施工支援システムに入力することで、その時の現在形状に応じた最適な追加のプレス施工要領（プレス線、プレス荷重等）が出力される。これを外板に写し取り、

追加のプレス作業を実施する。以降、外板がプレス仕上がり形状に到達するまでこの作業を繰り返す。

### 2.2 フィードバック式プレス施工支援システムの原理

現在形状の計測結果から、どのように追加のプレス施工要領を出力するかについて説明する（図-1）。レーザスキャナの計測（図-1の(i)に相当）によって現在形状に関する点群データが得られるが、点群データには対象外板以外の点群が含まれる。そこから対象外板に関する点群のみを抽出する（同(ii)に相当）。次に、得られた現在形状の点群データと目的形状（CAD データ）の重ね合わせを行い、現在形状の点群の各点が目的形状の曲面においてどこに相当するかを計算する（同(iii)に相当）。具体的には、目的形状の曲面がパラメータ $(u, v)$ を用いて $f(u, v)$ と表現される場合、レーザスキャナで計測された $N_p$ 個の点群 $PC(n)$  ( $n=1, N_p$ )のそれぞれについて、相当するパラメータ $(u, v)$ を求める。そして、各点のパラメータ $(u, v)$ がなるべく保存されるように、現在形状に対して曲面 $g(u, v)$ を求める（同(iv)に相当）。

追加のプレス線は曲面の曲率線情報に基づき計算する。つまり、プレス加工とは、目的形状 $f$ における第1曲率線に沿う主曲率 $Kn$ をプレス加工で与えるものと解釈する。目的形状 $f(u, v)$ 上に $NCL$ 本の第1曲率線 $CLI(n)(u, v)$  ( $n=1, NCL$ )を用意すれば、 $f$ 上の $CLI(n)(u, v)$ に相当する $g$ 上の曲線 $g\_CLI(n)(u, v)$ を求めることができる（同(v)に相当）。追加のプレス作業とは、 $g\_CLI(n)(u, v)$ の曲線に沿う曲率 $g\_Kn(u, v)$ を目的形状 $f$ の主曲率 $Kn(u, v)$ に一致させることである。具体的には、 $CLI$ に直交する第2曲率線から基準線を選び、その基準線との交点 $P_0$ から $Kn(u, v)$ と $g\_Kn(u, v)$ の差分を曲線 $g\_CLI(n)(u, v)$ に沿って積分することで角度差 $\theta(s)$ を求める（式2.1）。その角度差が予め設定したプレス角 $\Delta P$ を超える点をプレス点とする（同(vi)に相当）。それを $NCL$ 本の曲率線 $CLI$ すべてに行い、隣り合う同士の $CLI$ のプレス点を第2曲率線に平行になるように結んで追加のプレス線を得る（同(vii)に相当）。

$$\theta(s) = \int_{P_0}^P (Kn(u, v) - g\_Kn(u, v)) ds \quad (2.1)$$

### 2.3 プロトタイプシステムの開発

2.2節で説明したアルゴリズムを実装したプロトタイプシステムを開発した。図-1に示すフローのうち、レーザスキ

ヤナの点群処理に関する部分（図-1の(i), (ii), (iii)に相当）については稗方<sup>2)</sup>が開発したシステムを利用した。最終的な追加プレス線はDXFファイルとして出力される。

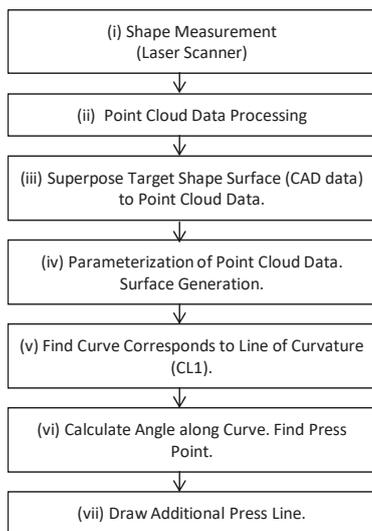


図-1 追加のプレス施工要領の出力フロー

### 3. 造船所における実証実験

アルゴリズムと開発したプロトタイプシステムの評価を行うため、実際の鋼板を対象にプレス加工の実証実験を行った。実証実験では、システムが出力したプレス施工要領に従い、専門の作業員が曲げ加工を行った。

初期プレスが完了した後、外板形状をレーザスキャナで計測し、現在形状の点群データに目的形状（CADデータ）を重ね合わせる。点群と目的曲面上的の点を一対一で対応付けし、目的形状を表現するパラメータ $(u, v)$ を各点群に対して割り当てる。図-2は、目的曲面上的の第1曲率線 $CL1(n)(u, v)$ と、それに相当する現在形状上の曲線 $g\_CL1(n)(u, v)$ のそれぞれの曲線に沿った曲率を表示しているものである。これらの曲率の差を積分することで追加のプレス角を求める。

図-3が、システムが出力した追加のプレス線（上図）と、従来の方法（木型による形状確認）によって作業員が求めた追加のプレス線（下図）を示す。システムで出力したプレス線は、作業員が求めたプレス線と同じ傾向であることが分かり、システムの妥当性が確認できる。なお、作業の効率化に関して、熟練作業員による通常作業とプレス回数が同程度であることを確認している。システムの導入により、熟練工と同程度のプレス工数が実現できるものと期待する。

### 4. まとめ

本論文では、曲げ加工の高度化として、フィードバック式プレス施工支援システムについて紹介した。造船所における実証実験により、曲率線に基づくプレス作業指示の妥当性、有効性を確認した。曲率線は曲面上の曲りの極大及び極小方向（主方向）を結んだ線であるが、曲率線に沿って曲面を成形することが効率的であることを確認した。

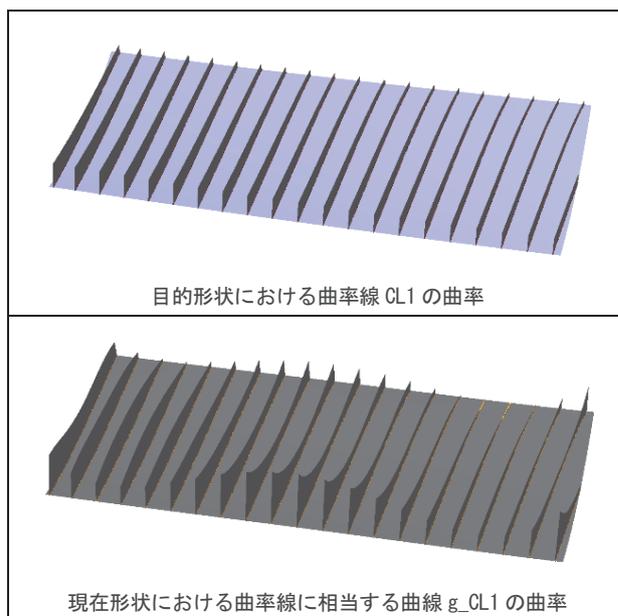


図-2 各曲面上の曲率線とそれに相当する曲線の曲率の様子

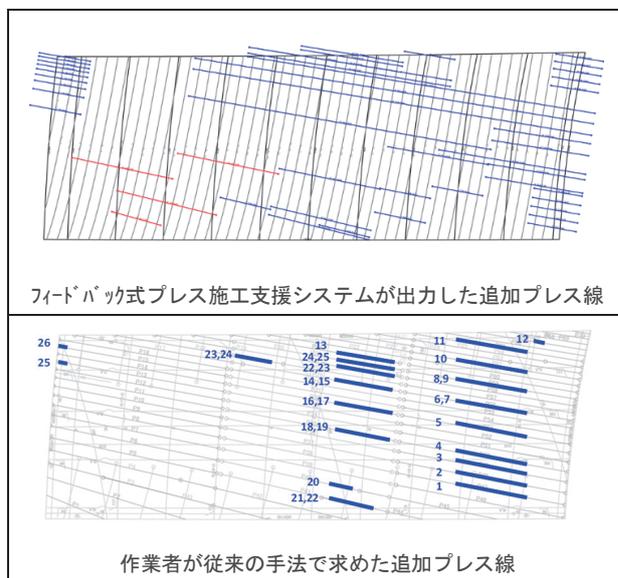


図-3 それぞれの方法で求めた追加プレス線

### 謝辞

本研究は、今治造船が国土交通省海事局の「先進船舶・造船技術研究開発費補助金（革新的造船技術研究開発）」事業の採択を受けて実施したものです。関係各位に深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 松尾宏平, 藤本修平, 島田道男: 曲率線情報に基づく造船プレス加工支援システムに関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 第28巻 (2018), pp. 189-201.
- 2) 稗方和夫, 大和裕幸, 笈田佳彰, 榎本昌一, 古川慈之, 牧野有紀, 杉廣武俊: レーザスキャナによる曲がり外板の工作精度評価システムの開発, 日本船舶海洋工学会論文集, 第13巻 (2011), pp. 231-238.