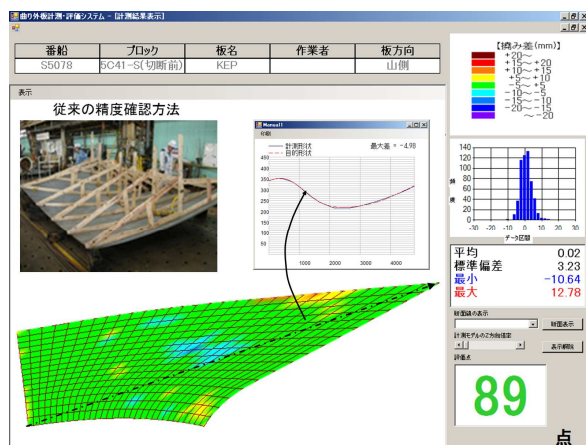


船殻曲り外板の計測・評価システムの実用化

－計測作業の標準化と板曲げ精度の定量化－

Practical application of measurement and evaluation system for curved shell plate



技術研究所 生産技術研究 G

丹後 義彦

TANGO Yoshihiko

呉事業所 造船部 船殻 G

山内 友矢

YAMAUCHI Tomoya

概要

船体前後部の 3 次元曲面を形成する曲り外板は曲りブロック組立て時のベース板（基準）になるためその曲げ加工精度は曲りブロックの精度および品質を左右する。一方でその外板の曲げ加工精度は「断面曲げ型」を立てて作業者自身が目視で確認している。そのため作業者によって評価結果がばらつき、精度記録が残らないという課題がある。当社は「計測作業の標準化」と「曲げ加工精度の定量化」を目的とし、レーザスキャナを用いて実用的かつロバストな曲り外板計測・評価システムを開発した。さらに大型コンテナ船の曲り外板の精度計測に活用し、曲げ加工精度および工数の改善に有効であることを確認した。

Summary

Since the shell plate constituting a three-dimensional curved surface at the fore and aft part of the hull becomes the base plate for assembly of curved block, the bending accuracy of the shell plate affects the assembly accuracy and quality of the curved hull block. Alternatively the accuracy after bending the shell plate is visually confirmed by the workers themselves with several templates set up on it. Hence, there are problems that evaluation results differ depending on the worker's skill, and measurement record does not remain. In order to realize "standardization of measurement work" and "quantification of bending accuracy", we introduced a laser scanner and developed a practical and robust measurement and evaluation system for curved shell plate. Furthermore, we improved the bending accuracy, quality and man-hour by utilizing the system to construction of large-container ships.

1. 緒言

船体は工場の設備能力に適した大きさのブロックに分割して屋内で組立てられた後に屋外の船台やドック内で積み木のように順次積み上げて（搭載）建造され

る。そのためブロックの組立精度が船殻の最終精度および品質を左右すると言っても過言ではない。

そのブロック組立てで最も時間を要しているのが図 1 に示す外板ベースで組立てられる船体の前後部を構成する曲りブロックである。

設計形状に合わせて高さ調整されたピン治具上に曲げ加工後の外板を並べて溶接で一枚の大板にする。その大板の上にブロックの曲面形状に合わせて切断、あるいは曲げ加工された内構材を配材、溶接して曲りブロックを製作する。

外板の曲げ加工精度不良はピン治具上に配材した時のギャップや目違いの原因となる。それを無理やり矯正するとその皺寄せが後工程の内構材の取付けやブロック搭載時に取合い不良として現れるため、外板の曲げ加工精度は非常に重要である。

現在この精度計測は曲げ加工された外板上に図 2 に示すように数枚から 10 枚程度の「断面曲げ型」を立てて作業員自身が目視で行っている。そのため作業員によって評価結果がばらつき、さらに目視確認ゆえに精度記録が残っていないのが実態である。

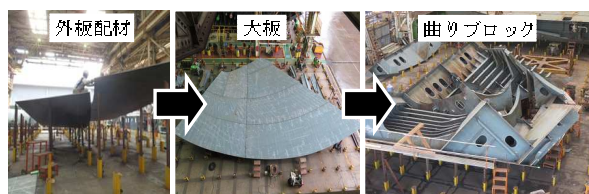


図 1 曲り外板ベースのブロック組立て
Fig.1 Block assembly on the curved shell plate

この外板曲げ加工精度の「計測作業の標準化」と「曲げ加工精度の定量化」を実現するために 3 次元レーザスキャナを導入して、実用的かつロバストな曲り外板計測・評価システムを開発した。さらに大型コンテナ船の曲り外板の精度計測に活用して、曲げ加工精度および工数改善に有効であることを確認した。



図 2 断面曲げ型
Fig.2 Template of Cross-section

2. 曲り外板の精度確認方法

2.1 断面曲げ型

従来の断面曲げ型を用いた精度確認方法を図 3 に示す。断面曲げ型は適切な計測機器がなかった時代に設計形状に曲げるために考えられた定規で、最終的には次の①から③を満足するように曲げていく。

- ①横曲り：曲げ型の底辺のカーブに一致させる
- ②縦曲り：全曲げ型の見通点を一直線にする

③ねじれ：全曲げ型の見通線を平面にする

断面曲げ型は、板全体の曲がりの方向や曲がり具合を確認するためには簡便な定規であるが、下記より精度管理上の課題がある。

- ①サイズの大きい板は目視では見え難い
- ②曲げ型のない部分は作業員が予測している
- ③板の傾斜がきつくなると曲げ型の設置が難しい
- ④目視確認のため精度記録が残らない
- ⑤経年劣化（ガス炎や冷却水に曝される）

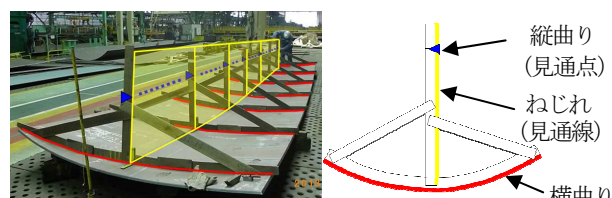


図 3 断面曲げによる精度確認
Fig.3 Accuracy check by template of Cross-section

2.2 曲り外板計測・評価システムの実用化

2.2.1 レーザスキャナ

レーザスキャナはレーザ光が計測対象点とスキャナの間を往復する時間を計測することで距離を算出し、同時にレーザ光を照射した方向（鉛直角と水平角）を計測することで計測対象点の 3 次元空間座標を取得する。レーザ光の照射方向を制御することにより三脚などのスキャナ固定部分を除く全天球の計測が可能である。

2000 年以降、レーザ光が往復する時間の計算に必要な高速半導体素子の低価格化により急速に普及した。短時間に大量点（1,000,000/秒）の座標が取得可能になり、広範囲の 3 次元曲面を製作する造船でも、曲面計測に活用する研究開発^{1)~2)}が行われ始めたのもこの頃である。

当社も「鋼板曲げ加工の技術化／自動化」の研究で 2008 年にレーザスキャナを導入して自動鋼板曲げ加工装置に搭載する計測評価システムを開発した。本稿で紹介するシステムは当時のシステムを人間系の曲り外板計測・評価システム用に改良したものである。

2.2.2 点群抽出

レーザスキャナは指定した計測分解能（角度ピッチ）でレーザ光の照射方向を変えながら、指定した範囲を計測するため、計測対象物以外にも計測範囲にある盤木や曲げ型のなどの不要な点も含まれる。

船体は滑らかな曲面で形成されているので、図 5 に示すように角度変化（ θ ）と点の距離（ d ）によって計測点群の連続性を判定して曲り外板上の点（●）

の点)のみを抽出する。点群抽出フローと抽出した鋼板上の点群を図6に示す。

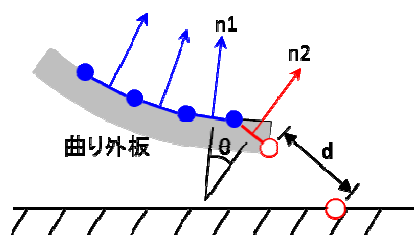


図5 点群の判定

Fig.5 Determination of point cloud

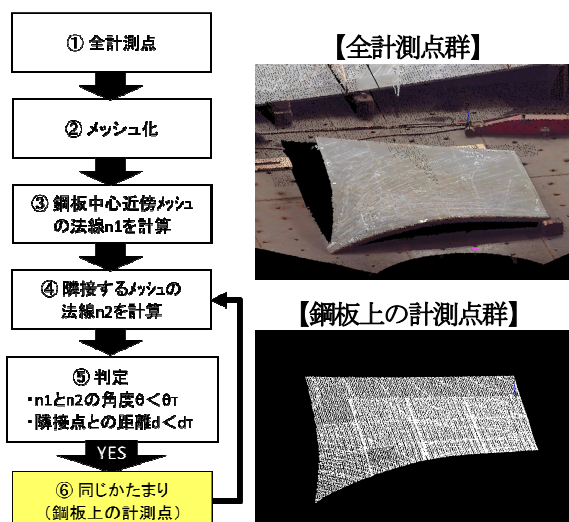


図6 点群抽出フロー

Fig.6 Flowchart of Point cloud extraction

2.2.3 計測点群と設計形状の位置合わせ

当社は 1990 年から外板曲げ加工の技術化／自動化に取り組んでおり、目的形状に曲げるための加熱位置や条件を数値化した加熱方案、さらには計測して得られる途中形状から設計形状までの仕上げ加熱方案を弾性 FEM 解析で求める仕組みを開発した。その流れより本システムの設計形状は FEM モデルで表している。

この FEM モデルに計測点群をマッチングさせて両者の形状差を評価する。その処理フローを図7に示す。

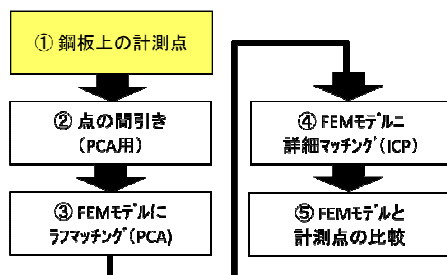


図7 点群のマッチング処理

Fig.7 Matching of point cloud

2.2.4 造船現場での実用化条件

造船現場で毎日使用される高度な計測システムの開

発にあたって以下を考慮した。

①計測・評価時間

計測から結果表示までの所要時間は5分/枚

②評価システムのロバスト性

システムエラーゼロ

(作業者負担の軽いものはルールを決めて運用)

③ユーザライクなグラフィカルインターフェース

簡単操作、シンプルな結果表示画面

④ライン運用

設計 CAD や現場の工程データベースとリンク

⑤ハードウェアのロバスト性

防水、防塵、防振

2.2.5 現場導入システム

当社の呉事業所に導入した計測装置の写真を Fig.8 に示す。スキャナ移動用ガーダの長さは 32m、高さは 7m で板曲げ定盤全体をカバーする。

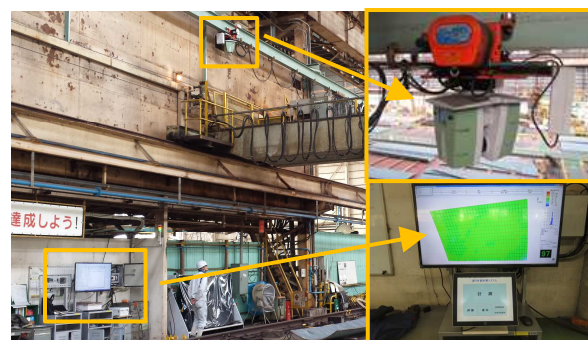


図8 計測装置

Fig.8 Measuring device

作業者は板曲げ定盤の横に設置されたタッチパネル式操作盤で「番船 ⇒ ブロック ⇒ 板名 ⇒ 作業者名」を順次選択し、続いて表示される板曲げ定盤の画面で計測対象板が置かれている概略位置をタッチすると 3 分から 5 分で計測から評価までを行って定盤横の大型モニタに評価結果を表示する。

「実用化条件」への対応「①計測・評価時間」に対しては、対象板のサイズと置かれた位置によって計測時間に比例するスキャナの水平角を制御して計測時間を短縮した。さらに評価時間に影響する取得点群も必要な範囲のみ取り込んで処理している。

評価が失敗する原因の多くは点群抽出のミスである。「②評価システムのロバスト性」については、図9に示すように板の形状と設置場所によって変化するレーザ入射角から点群抽出パラメータ(図5の θ と d)を求めて適切な計測分解能を決定している。

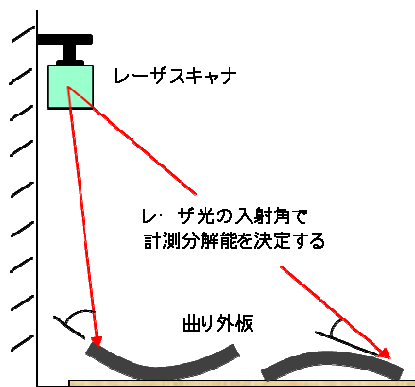


図9 レーザ入射角

Fig.9 Consideration of laser incident angle

2.2.6 評価結果の表示内容

評価結果の表示画面を図 10 に示す。設計形状との形状差を表すカラーコンター図、両者の差の平均値、標準偏差、最小値、最大値、ヒストグラムと、板全体の中で ± 5 mm以内に納まっている範囲の割合を 100 点満点で得点表示する。さらに作業者が詳細に確認したい場合は任意断面の設計形状と計測形状の撓みのグラフを表示することも可能である。

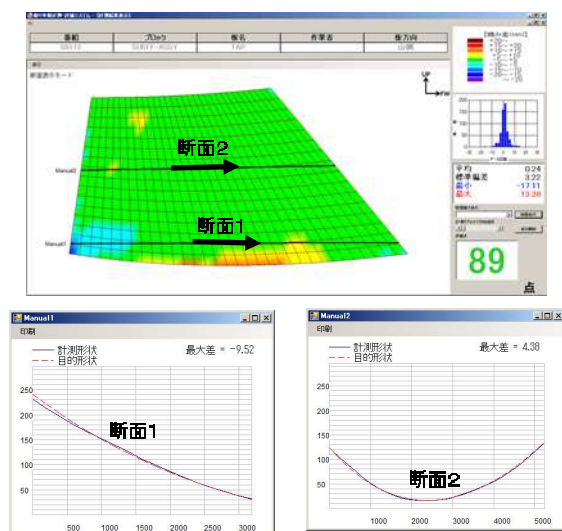


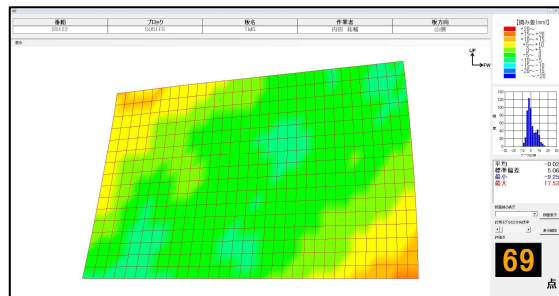
図 10 評価結果

Fig.10 Evaluation result

図 12 に 14,000TEU 型コンテナ船の船首部曲りブロックの過去 9 隻（同型船）の曲げ加工精度を示す。

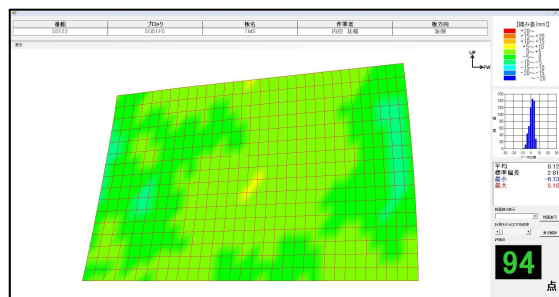
横軸は番船、縦軸は当該ブロックを構成する外板 8 枚の平均得点を示している。

SN0.9 番船以降は全て 90 点以上であり曲げ加工精度は確実に改善されている事が分かる。



(a) 1 回目の評価結果

(a) First evaluation result



(a) 修正後の評価結果

(b) Evaluation result after correction

図 11 精度改善

Fig.11 Accuracy improvement

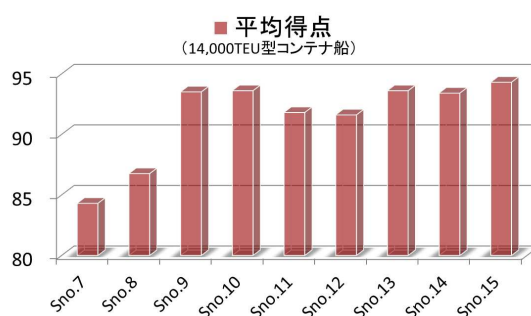


図 12 曲げ加工精度の推移

Fig.12 Accuracy changes for plate bending

3. 活用効果

3.1 加工精度

従来の断面曲げによる精度確認ではほぼ完成状態の板を本システムで計測評価した結果と、その結果を見て修正した後の計測評価結果を図 11 に示す。本システム活用により精度が大幅に改善されていることが分かる。カラーコンター図を見ると悪い箇所、特にねじれの過不足が一目瞭然であり仕上げ作業支援としても有効である。

3.2 工数の推移

部材切断からブロック搭載までの一連の流れの中で上流工程での作り込みによるトータル工数削減が本取り組みの狙いなので次工程の組立て工数と作業性も合わせて評価する。

過去 11 隻分の曲げ工数とブロック組立て工数の推移を図 13 に示す。これより本システムの導入により

組立て工数は改善されたことが分かる。

また組立て作業性についても外板をピン治具上に並べた時の取合い不良や内構材を大板の上に配材した時の外板との肌付きも大幅に改善され、船殻建造工程全体としてメリットがあることを確認できた。

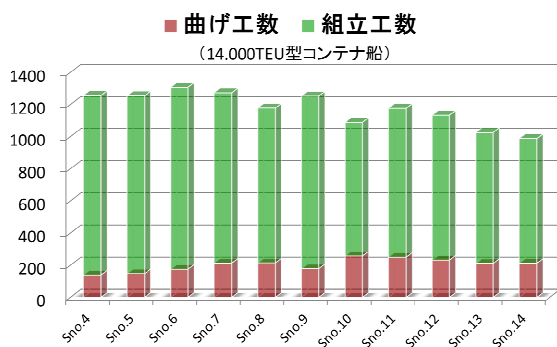


図 13 曲げ工数と組立工数の推移

Fig.13 Changes in Man-hours for plate bending and block assembly

- 2) 中垣憲人、菅原晃佳、稗方和夫、大和裕幸、ソングウギョク：レーザスキャナによる曲り外板の工作精度評価システムの研究開発（第 2 報）、日本船舶海洋工学会論文集、第 17 巻、pp169-176、(2013)



丹後 義彦



山内 友矢

4. 結 言

現行の断面曲げ型による曲り外板の精度確認作業は目視確認のため作業者によって評価結果がばらつき、精度記録も残らない、という精度管理上の大きな課題がある。当社は「計測作業の標準化」と「曲げ精度の定量化」を実現するためにレーザスキャナを組み込んだ実用的でロバストな曲り外板計測評価システムを開発した。さらにそのシステムを当社の呉事業所に導入して大型コンテナ船の曲り外板の精度計測に活用し、曲げ加工精度および工数改善（曲げ工数＋組立て工数）に有効であることを確認した。

対処的活動に止まりがちであったこれまでの精度改善が、ブロック組立ての基準となる曲り外板の精度改善と精度定量化により、生産設計から切断、曲げ、組立ての一連の流れで精度を追跡し、精度不良の原因究明と恒久対策を講じる本来の活動に深化した。

本システムの実用化は船全体の建造精度および品質改善の第一歩である。今後はセンサー技術やモニタリング技術を活用し、精度を確保しながらブロックを組立てるための精度モニタリングの仕組み作りに取り組む予定である。

参考文献

- 1) 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、pp231-238、(2011)