

3次元計測データを用いた 船殻ブロック建造工程における精度管理システムの開発

116693 木村 彰吾

指導教員 稗方 和夫 准教授

An accuracy evaluation and control system using 3-D measurement data obtained from shipbuilding block manufacturing process is proposed in this paper. In this system, the edge of shipbuilding blocks are extracted from measured data. Welding of two blocks is simulated and the cost for rework of erection joints is calculated. Extraction of features is applicable for accuracy evaluation of other sub-assembly members. Through experiments of a shipyard, the accuracy of feature extraction is validated. As a result of simulation of welding by using this system, the positions of blocks which reduce welding cost than traditional method are found. Measured data and evaluation results of these experiments are stored and compared by searching with attached metadata.

Key words: Shipbuilding Block, Data Management, Accuracy Control, Laser Scanner

1 緒言

船殻ブロックは造船所での内業行程の建造単位となる部材で、船体を進行方向に輪切りにした形状で大きさは数十 m に達する。ブロックの接合面端部に精度不良があると、ブロック搭載と呼ばれるブロック同士の溶接の際に追加コストが発生するため、その工作精度を把握し、必要に応じて搭載に先行してあらかじめ切断等の形状修正を行うとともに、単板と補強材だけで出来た小組部材の製造段階から、部材の歪みを小さくすることが重要である。

現在ではソキア社製のレーザ測距機である MONMOS を用いて部材やブロックの端部形状を評価する計測手法¹⁾が一般的だが、代表的な数カ所の座標値しか取得できないという問題がある。この問題は形状全体が計測可能な3次元レーザスキャナを用いることで解決が期待される。しかし、形状の単純な小組部材の解析例²⁾と異なり、多くの補強材が組み合わさった小組部材では歪みを管理すべき単板の抽出手法の開発が、大型の船殻ブロックでは屋外の良好でない計測環境から解析に必要な端部を抽出し形状を評価する手法の開発が、それぞれ必要となる。また、計測データは部材全体の形状情報を持っているため解析の過程で様々な副次的データを生成し、適切な管理を行わないと膨大なデータから過去の計算結果の参照が困難になりやすいという問題がある。

本研究では、3次元レーザスキャナによる船殻ブロックの形状計測で得られる3次元計測データを用いて、船殻ブロックの各構成部材の精度評価および船殻ブロック搭載工程のシミュレーションによる切断箇所決定を行うシステムを開発する。同時に、計測データや計算結果に対して、メタデータを用いて精度情報を管理するシステムを開発する。

2 提案システム

2.1 提案システムの概要

図1に提案システムの概要を示す。精度評価システムでは、設計データと3次元レーザスキャナによる部材の形状計測データから、部材に応じた精度評価を行い、可視化された評価結果データを作成する。設計データ・計測データ・作成された評価結果は、データ管理システムでRDF形式のメタデータを付与され保存される。データベース内のフォルダ階層構造を取得し、ツリー構造で可視化し、評

価結果とともに表示する。データ検索システムでは、ユーザが指定したクエリを利用してメタデータレポジトリに対してRDF検索を行う。取得された検索結果のデータは、精度評価と同様にツリー構造を通じて可視化され、解析結果の比較が可能になる。

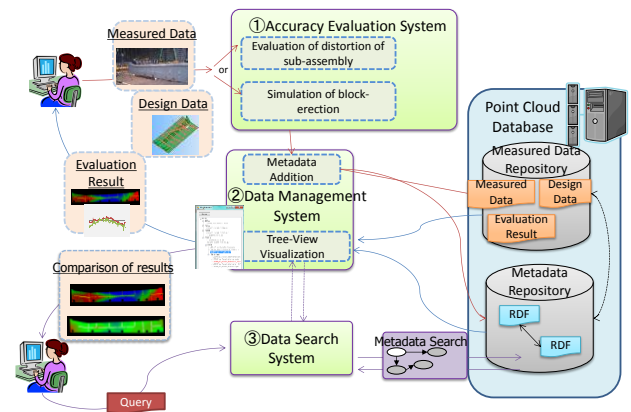


Fig. 1 Overview of the proposed system

2.2 船殻ブロック構成部材の精度評価システム

図2に船殻ブロックを構成する一般的な小組材の精度評価の流れを示す。

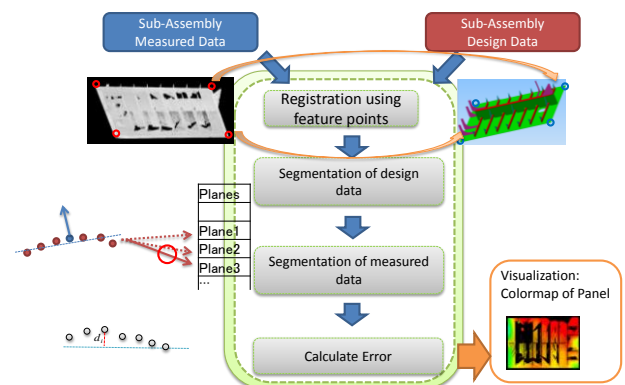


Fig. 2 Sub-assembly accuracy evaluation system

- (a) 設計データと計測データの位置合わせ 計測データから、3平面を抽出し交点を求める手法²⁾により部材の端点数点を抽出する。抽出した点の座標を設計値に近づける。
- (b) 設計データからの平面抽出 設計データから、部材の表面を構成している平面の方程式を全て抽出する。

- (c) 計測点の平面割り当て 各計測点の周囲の点を利用して最小二乗平面をフィッティングする。フィッティングした平面が、設計データから抽出したどの平面に近いかを求め、計測点が部材のどの表面部分の点に属しているかを割り当てる。
- (d) 誤差計算と可視化 計測点と、割り当てられた設計データ上の平面との距離を計算し、距離の大きさに応じて点を着色したカラーマップを作成、設計平面からの凹凸を可視化する。

2.3 ブロック端部精度評価と搭載シミュレーションシステム

図 3 に搭載シミュレーションの流れを示す。ドックに設置済のブロックと、これから搭載するブロック双方の接合同士をレーザスキャナで計測し、計測データから端部を抽出する。平滑処理を行った後、搭載するブロックの端部をドックのブロックの端部に重ね合わせ、計算機上で両ブロックを接合させる。端部の位置座標のずれを計算し、端部が干渉していれば切断が必要と判定する。

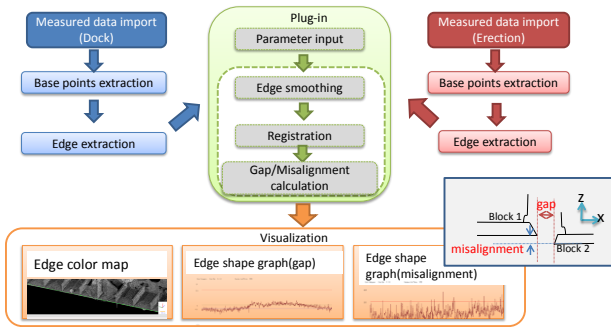


Fig. 3 Block-erection simulation system

2.3.1 搭載基準点の抽出

現在は、船体中央部や左右舷の端など、船全体の形状を保つために重要な数点を MONMOS により計測し、ブロック同士の位置合わせを行っている。レーザスキャナ計測データからこれらの点を抽出する。抽出した搭載基準点を設計値の座標と最小二乗法により位置合わせし、各ブロックを設計データの座標系に一致させる。

2.3.2 エッジの抽出と平滑化

各ブロックの計測データからそれぞれ接合面端部のエッジ抽出を行う。エッジ抽出の流れを図 4 に示す。

- (a) エッジ検出 ブロックの計測データから外周を囲う板(外板)部分を取り出し、Kalogerakis のエッジ検出³⁾により端部の点列をエッジとして抽出する。
- (b) 欠損・変形部分の分割 実際の計測部材に存在する、データの欠損・形状の複雑な変化を検出し、その部分でエッジ点列を分割する。まず、隣接する点との距離が閾値以上の部分が欠損部と判定する。欠損部で分割された各点列に対して RANSAC⁴⁾による直線フィッティングを行い、各点からの距離二乗和が閾値以下のものを採用する。点列内でエッジ形状が変化しており、角度の異なる複数の直線がフィッティングされた場合は、点列の各点に対して直線との距離を計算し、最も近い直線に点を投票することで点列を分割する。
- (c) 平滑化とオフセット 各点列からサンプリングした最大 16 点を制御点として、各点列にベジエ曲線をフィッティングし平滑化する。また、外板の内側にあるにも関わらずエッジと判定された点の影響を受け、真の

エッジよりも内側を通る曲線が検出されてしまわないように、平滑化前の点列中最も外板の外側を通っている点をベジエ曲線が通るように曲線を平行移動させる。

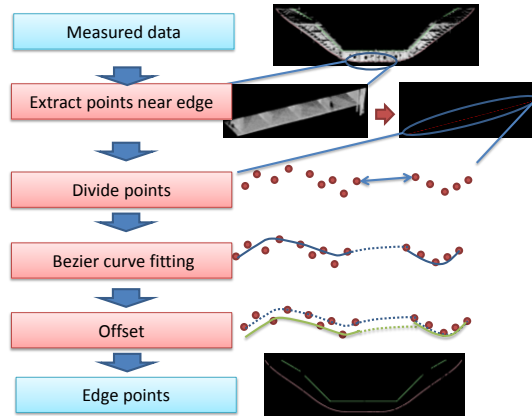


Fig. 4 Overview of edge extraction

2.3.3 搭載位置合わせ

二つのブロックから抽出したエッジ同士を ICP アルゴリズム⁵⁾によって近づけ、搭載するブロックのエッジをドック上のブロックのエッジに重ね合わせる。

2.3.4 エッジ同士のずれ・切断量の計算

搭載するブロックのエッジ上の各点に対して、ドック上のエッジ上のうち近傍数点との座標値のずれの平均を計算する。一般的な船体の設計座標系は x 軸が船の進行方向になっているため、搭載位置合わせ後は、x 方向の座標値のずれがギャップ(gap)と呼ばれるブロック同士の隙間、y,z 方向のずれが目違い(misalignment)と呼ばれるブロック同士に生じた段差を表している。gap が負、すなわちエッジ同士が干渉している部分について、先行切断が必要と判定する。

2.3.5 計算結果の可視化

算出されたギャップ等を図 5 のようにグラフ形式で出力する。中央に、接合面端部の断面を出力し、エッジの切断箇所を赤色で示す。周囲に、エッジ断面の各位置におけるギャップ量・目違い量をグラフで表示する。

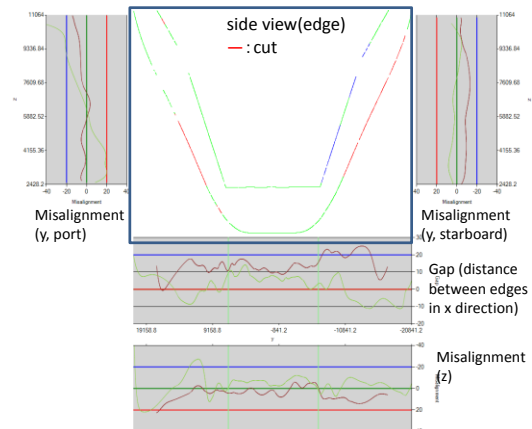


Fig. 5 Visualization of the evaluation result

2.4 データ管理および検索システム

2.4.1 データ管理システム

各工程の計測で得られたデータは、部材名やブロック名、計測時の製造工程などを RDF 形式のメタデータとして付与し、計測結果とともに保存される。メタデータは「計測データのファイル名.rdf」というファイル名を持ち、計測

データと同階層に置かれることで計測データと 1 対 1 で対応する。本研究では、計測データを保存したフォルダの構造を読み取ってツリー化し、計測データの関連性をツリー構造として表示する。ユーザがツリー構造を表示するフォルダを指定すると、フォルダ内にある各計測データや、設計データ、サブフォルダを読み込みツリー構造化し表示する。また、各ブロックや各構成部品との関係を RDFs によって予め与える。これらのデータは図 6 のインターフェイスによって検索、点群データ読み込みが可能になる。

2.4.2 データ検索システム

管理されたメタデータは、図 6 に示す検索インターフェイスを通じて検索、データの獲得が行える。検索インターフェイスでは、RDFs を解析し図 6 左上に表示される部品の構成関係から表示したい部材を選択し、メタデータとその値を入力して絞り込み検索を行い、下に結果が表示される。

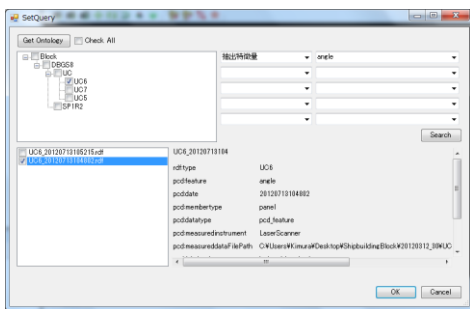


Fig. 6 Metadata search interface

3 ケーススタディ

3.1 概要

2.2、2.3 について、造船所で小組部材および船殻ブロックを計測して端部の精度評価・搭載シミュレーションを行い提案システムの有用性を検証した。またパネル材について、2.4 の検索機能を用いて製造プロセス前後での精度比較を行った。計測には Faro Focus^{3D} を用いた。

3.2 船殻ブロック内の小組部材精度評価実験

図 7 左上に示す、6.5m×4.5m 大の小組部材を計測し、歪みの大きい底板部分の抽出と凹凸の可視化を行った。このうち、MONMOS で座標値を計測してあった図 7 左下、および図 7 右の白丸の点について、設計平面からの凹凸をカラーマップ上の値と比較したところ、MONMOS の計測結果と比較して平均 1.31mm、標準偏差 1.39mm 程度の誤差であり、パネル部分の 3 次元凹凸を評価するうえで実用上問題ない精度であることがわかった。

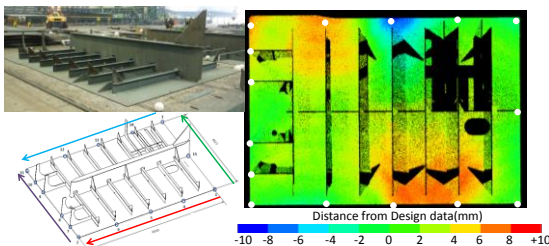


Fig. 7 Measured assembly and evaluation result

3.3 船殻ブロック搭載シミュレーション実験

図 8 に示す 2 つのブロックを国内の造船所で計測した。

設計データの座標系は図 8 上の写真の通りである。また、このブロックについて、エッジとガーダ・ロンジ等の縦方向の骨組み部材との交点を MONMOS によって図 8 下に示すように 32 点計測し、計測点の座標をもとに搭載位置合わせと、ギャップ量・先行切断箇所の計算を行った。

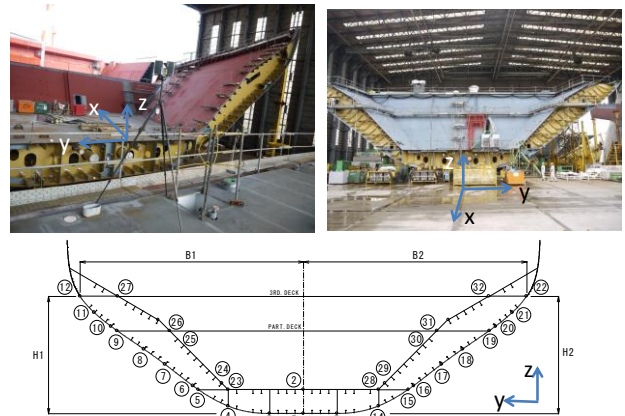


Fig. 8 Blocks and points measured by MONMOS

3.3.1 端部抽出精度の評価

2.3.2 で抽出したエッジ上で、ガーダ・ロンジとの交点にあたる点を計算し、MONMOS での計測位置と同じ位置にある点を抽出した。抽出は 17 点で行った。この抽出点と、対応する MONMOS での計測点との座標値のずれを求めると、表 1 のように、各軸方向で MONMOS での計測座標と平均 1~2mm ずれていた。ギャップや目違い量の形状修正可能範囲が 16mm~20mm 程度であることを考慮すると、こうした許容範囲内で搭載シミュレーションを行うに耐える抽出精度であると言える。

Table. 1 Difference of coordinates of feature points

Direction	x	y	z
Diff. average(mm)	1.49	2.63	1.42
SD (mm)	1.02	1.79	1.47

3.3.2 切断量計算による位置合わせ精度の評価

(1) MONMOS の計測点を用いて従来の搭載手法で位置合わせした場合、(2) レーザスキャナ計測データからエッジを抽出して従来の搭載手法で位置合わせした場合、(3) (2) で抽出したエッジを用いて提案システムによる位置合わせを行った場合で、切断が必要と判定された部分の総面積を比較した。(1) の切断面積は 0.25m²、(2) の切断面積は 0.26m² と 3.5% 程度のずれに収まっていることから、レーザスキャナから正確にエッジが抽出出来ているといえる。さらに (3) では (2) より切断面積が 26.7% 少なくなったことから、提案システムにより切断面積の小さくなる位置合わせが実現できたといえる。

3.4 評価結果データ検索に関する実験

図 9 左上に示すパネル材を、加熱による形状修正作業(ひずみ取り)の前後で計測し、手動操作で切り出した表面部分の凹凸カラーマップを作成した。提案システムを用いると、部材名をクエリに 2 つのカラーマップを検索し、図 9 左中央と図 9 左下のように並べて表示できる。加熱作業でパネルが平らになり、精度が改善されたことがわかる。また現在の精度基準として用いられているライン(図

9 左上写真内の白線に沿った凹凸も同様に計算・データ保存・検索・比較表示を図 9 右のように行える。また、ひずみ取り前の表面とフレーム点群(黄色)を重ねたり、ひずみ取り後の表面と加熱線(白)を重ねたりすることで、カラーマップの歪みの傾向と重ねた点群の位置の関係をることができる。

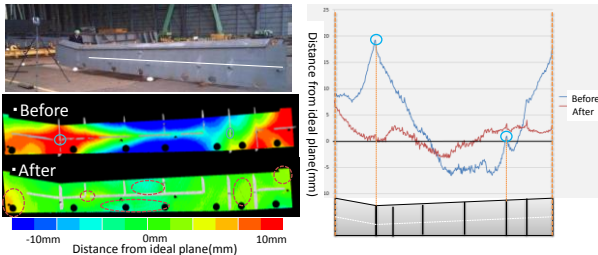


Fig. 9 The measured panel and evaluation result

4 考察

4.1 船殻ブロックからの端部抽出実験に関する考察

図 8 の MONMOS 計測点 23 番付近で、レーザスキャナから抽出したエッジで計算したギャップ量が MONMOS による計算結果と特に乖離していた。図 10 に示したこの部分の写真(上)および点群データ(下)を見ると、青丸の部分で外板の板接ぎがあり、端部形状が急激に変化していた。MONMOS では計測点を線形にしか補間できないため、このような端部形状を完全には表現できないが、提案システムでは、図 10 下の桃色のエッジが示すように、このような形状に対応しギャップ量をより正確に計算できることがわかる。

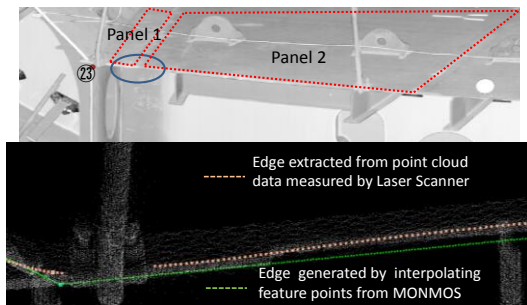


Fig. 10 Evaluation result of panel

4.2 精度評価システムとデータ管理システムの連携に関する考察

3.2 では船殻ブロック構成部材精度評価システムを利用して底板部分を抽出してカラーマップを作成していたが、このシステムと精度管理システムを連携させることで、解析時に、抽出した部位名を付与したメタデータを自動で与えカラーマップと共に保存することができるため、底板部分以外の抽出を繰り返してもデータの煩雑化を防げる。さらに、MONMOS 計測データの管理・読み込みや座標値比較結果の保存も提案システム上で行うことが可能になれば、新たな部材での精度評価が促進され、レーザスキャナ計測データによる精度評価の適用可能性を広げられる可能性がある。

また、3.3 で搭載シミュレーションを行ったブロックは同型船が複数存在し、かつ船首尾以外の船底部ブロックは似たような形状をしているため、形状やブロック名の同じ複数の大規模計測データが生成され区別が困難になる。し

かし、データ管理システムにより各計測データに船番号やブロック名等がメタデータで与えられ、それらをクエリにデータ検索を行うことができれば、ユーザによる主観的操作を排除してシミュレーションを行いたい船殻ブロックの計測データを一意に得ることができ、レーザスキャナによる搭載シミュレーションを造船現場に導入する際の障壁を減らすことができると期待される。

4.3 提案システム導入による計測・解析手順の改善

MONMOS を用いた既存のブロック搭載シミュレーションに比べ、提案システムでは、計測にレーザスキャナを用いることでターゲット設置等の計測コストを削減した。また、計測データから基準点と滑らかな端部検出を可能にしたため、提案システムで操作者に依存しない設計データとの初期位置合わせと端部同士の自動位置合わせが可能になった。結果として、切断量が少なくなる最適搭載位置が求まっただけでなく、切断時により正確な切断マーキングが可能になったと考えられる。

5 結言

本研究では、船殻ブロックの建造工程において、レーザスキャナで計測した船殻ブロックとその構成部材の 3 次元形状データを用いて、部材の工作誤差を評価するとともに、完成したブロック同士の形状の相違を評価しブロック搭載シミュレーションを行うシステムを開発した。さらに、得られたデータにメタデータを付与して、計測データの管理と検索・比較を行えるようにした。

実際に建造された総組ブロックの端部を計測して提案システムによりエッジの抽出・搭載シミュレーションを行った結果、実用に耐えうる精度でエッジの抽出及び切断量の計算が行えた。また、提案システムによる新たな搭載位置決めを用いることで、端部の切断量を削減でき、作業の軽減につながる事がわかった。さらに、開発したデータ管理システム上でパネル材の計測データと凹凸評価結果にメタデータの付与、検索、比較を行い、加熱前後での凹凸変化を視覚的に確認することができた。

文献

- 1) 永井勝之ほか：三次元計測システム「MONMOS」の計測原理とその応用、紙バ技協誌、pp. 687-690, 65 (7), (2011)。
- 2) K. Hiekata, et, al: "Accuracy Evaluation System for Shipbuilding Blocks Using Design Data and Point Cloud Data," pp.377-384, Proceedings of the 18th Ispe International Conference on Concurrent Engineering, Springer, (2011)。
- 3) E. Kalogerakis, D. Nowrouzezahrai, P. Simari, K. Singh: Extracting lines of curvature from noisy point clouds, pp.282-292, Computer-Aided Design, (2009)。
- 4) M. A. Fischler, C. Bolles: Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, pp.381-395, Comm. of the ACM, (1981)。
- 5) P. J. Besl, N. D. McKay: "A Method for Registration of 3-D Shapes", pp.239-256, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, (1992)。