

現場合わせ管の設計支援システムの開発

学生会員 進 藤 翔 平* 正 会 員 木 村 元**
学生会員 安 田 達 也*

Development of a design support system for field alignment piping

by Shohei Shindo, Student Member Hajime Kimura, Member
Tatsuya Yasuda, Student Member

Key Words: Pipe design, 3D-scanner, 3D-viewer, Point cloud data

1. 緒言

配管設計では、ブロック建造時に生じる誤差のために、ブロック同士の接合箇所は設計段階ではあえて空白とする。そのため、建造の最終段階において、現物の寸法に合わせてパイプを接続する作業が生じる。このパイプを現場合わせ管と呼ぶ。現場合わせ管は一般商船では数百本、艦艇では1万本以上とかなり大量にあり、その上熟練した技術が求められるために、設計の省力化や効率化が必要である。

そこで、本論文では3Dスキャナや Kinect 等で計測された点群データから計算されたフランジ位置と方向を基に、フランジ間のパイプを設計し3D描画するシステムを提案する。このシステムでは、パイプベンダーの性能を考慮しながら、障害物と干渉しない経路を自動生成し、点群データと照らし合わせながら手動の調節も可能とする。

2. 現場合わせ管

現場合わせ管は大きく3種類に分けることができる。

(a) ルーズ管

パイプの両端に余分な寸法（調整代）を持たせて現場に持ち込み、取り付け箇所に合わせて余分な箇所にマークして現場で切断、フランジ仮止めして管工場に送り、溶接する。

(b) スケッチ管

現場でメジャー等で接続する部分同士の寸法を測り、それを基に必要な管の設計図をスケッチして管工場で作成する。

(c) 金型管

パイプの始点と終点の箇所のフランジに対象管のフランジを模した金具をボルトで仮止めしてから、それら同士をアングル等で仮止め溶接して管工場に持ち込み、さらにそれを型として対応する型をアングルとフランジを模した金具で作成し、その金具の間を結ぶようにパイプを製作する。

本システムでは、上で述べた(b)と(c)を対象としており、そこで行っていた多数の工数を減らすことができ、工期の短縮につながると考えられる。

3. 既存の計測・設計システム

従来は、現場合わせ管の設計には2章で説明した方法がとられていた。最近では、「Smart Lock ON (株式会社 IHI エスキューブ)」¹⁾や、「パイプフォーム (株式会社 プラスワンテクノ)」²⁾などの計測機器が登場している。これらの計測機器は、一方のフランジに3D計測機を取り付け、他方のフランジの穴に治具をはめ込み、それを基に相対的な位置と向きと計測するといった方法をとる。「Smart Lock ON」のシステムでは、準備時間に3分、計測に1~2分といった短時間で、 $\pm 0.5 \sim 1.0 \text{mm}$ の精度で計測でき、計測で得られた情報を基に付属のソフトウェアを用いてパイプ経路を設計するといった方法がとられている。

4. 設計システム

4. 1 システムの概要

配管設計には、規格で定められた「エルボ」と「直管」を溶接して接続する方法がある。しかしながら、溶接箇所の増大は、信頼性に大きく影響するだけでなく工期を長くし、結果的に建造コストを増大するという問題がある。³⁾本システムでは、基本的には一本のパイプをパイプベンダーで曲げて製作することを考えている。

また、本システムでは、3Dスキャナや Kinect 等で計測されたパイプやフランジ、障害物等を含む点群データを用いる。得られた点群データを基に、設計したいパイプの始点と終点となるフランジ位置の座標と向きを計算する。その後、フランジ位置と向きを基に、フランジ間のパイプを、いくつかの変数を変えることで設計する。その際、各造船所のパイプベンダーの能力に合わせた設計を行うことができる。

また、本システムでは、治具を用いた既存の計測システムとは異なり、フランジ間にある障害物となりうる点群データも用いるので、障害物を回避した経路の設計を行うことができる点が大きな特徴である。

4. 2 システムの構成

本システムは Java を用いて開発している。3D表示には「Java bindings for OpenGL (JOGL)」を用いた。OpenGL とは Khronos グループが策定しているグラフィックスハードウェアの API のことで、2次元・3次元コンピュータグラフィックス両方が扱える。ハードウェアやOSに依存しないといった特徴がある。最近では携帯端末等で OpenGL の派生の「OpenGL ES」が用いられている。本システムでは、この OpenGL を Java で扱うためのライブラリ「JOGL」を使用した。

* 九州大学大学院工学研究院海洋システム工学専攻

** 九州大学大学院工学研究院海洋システム工学部門

4.3 点群からのフランジの中心位置と向きの算出

フランジの中心位置と向き (Fig.1) の計算は、大きく分けて、パイプ部分を円筒、フランジ部分を平面として検出する方法をとる。計算方法の詳細を以下に示す。

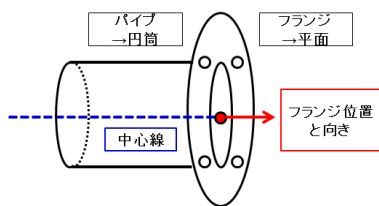


Fig.1 Center point and vector of flange

まず、計測された点群データの中からランダムに点を一つ抽出して、その点の近傍点を加えて初期クラスタ (集団) を作る。

暫定的に円筒の中心線を引き、中心線と各点群の距離と半径の誤差が一定値以下の場合円筒とみなし、一定値以上だった場合、円筒ではなく暫定的な平面との誤差を計算し、平面の誤差が一定値以下のときは平面とみなし、平面の誤差が一定値以上のときは初期クラスタを生成しなおす。

(a) 点群クラスタを円筒とみなした場合

新たな点と直線の距離を計算して一定以下なら円筒クラスタに加える。一通り点を見終わったら円筒の中心線を更新し、また各点と直線の距離を求めて一定以下になる場合は円筒クラスタに追加する。追加する点が無くなったら新しい円筒あるいは平面を探す。

(b) 点群クラスタを平面とみなした場合⁴⁾

検出した平面と任意の点の距離を計算して一定以下なら平面クラスタに追加する。一通り点を見終わったら平面を更新し、また各点と直線の距離を求めて一定以下になる場合は平面クラスタに追加する。追加する点が無くなったら新しい円筒あるいは平面を探す。これを探索する点がある数以下になるか、新しいクラスタができなくなるまで行う。

最後に、フランジ部分の平面と円筒の中心線の交点を、求めるフランジの位置とし、円筒の中心線方向ベクトルを求めるフランジの向きとする。

以上の流れの概略図を Fig.2 に示す。

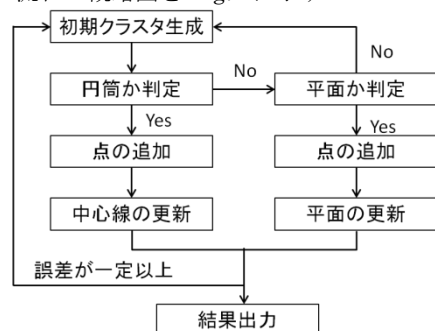


Fig.2 Flow chart of searching target pipes

4.4 パイプ経路の計算法

本システムでは2つのフランジ間のパイプの設計に状況に合わせて、一直線、曲がり1個、曲がり2個のいずれかで行うことができる。

(1) 一直線の場合

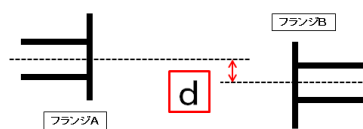


Fig.3 Case of a straight pipe

Fig.3 のようにフランジAを通る中心線 (点線) とフランジBを通る中心線が平行で、その距離 d が一定値以下のときは、その間のパイプは、フランジとパイプが多少直角に溶接されなくても、Fig.4 のように強引に2点間を直線でつなぐ。

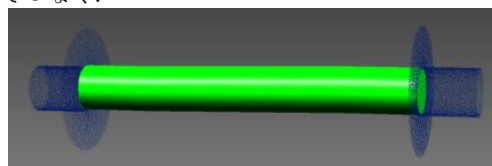


Fig.4 Example of a straight pipe

(2) 曲がり1個の場合



Fig.5 Case of a pipe having one curve

Fig.5 のように中心線どうしが交わる場合、曲がりの数が1個の経路で設計する。ただし、計測や製作誤差のために、丁度交わることは考えにくい。そこで2つの中心線 (点線) の最近点の距離が一定値以下ならば、2直線は交わるものとする。Fig.6 に例を示す。

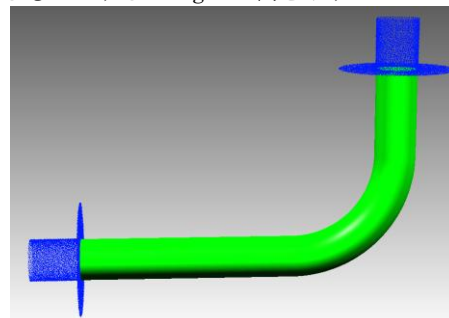


Fig.6 Example of a pipe having one curve

(3) 曲がり2個の場合

直管でも、曲がり1個のパイプでもつなげない場合は、曲がり2個のパイプで2つのフランジ間をつなぐ。

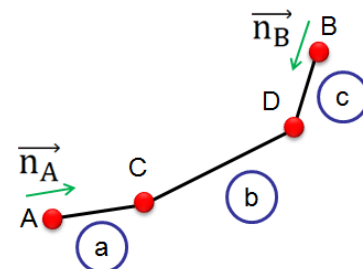


Fig.7 Case of a pipe having two curves

Fig.7に示すように、フランジAの中心点を点A、中心線の方向ベクトルを \vec{n}_A 、フランジBの中心点を点B、中心線の方向ベクトルを \vec{n}_B とおく (\vec{n}_A 、 \vec{n}_B は図の向きを正とし、単位ベクトルとする)。曲がりの節点をそれぞれ、点C、点Dとおき、

$$\overline{AC} : \overline{CD} : \overline{BD} = a : b : c$$

となるような、点Cと点Dを計算をする。Fig.8に例を示す。

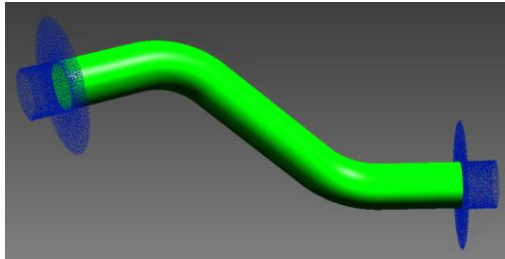


Fig.8 Example of a pipe having two curves

4.5 パイプベンダー

(1) 曲げ半径

パイプの曲げ半径 (R) はパイプの呼径 (D) の定数倍 (k) で表現される。

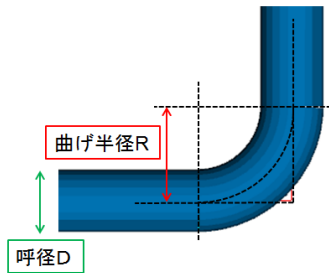


Fig.9 Bending radius

$$R = k \times D \quad (1)$$

kは通常 1~5 範囲で 0.5 刻みの値が用いられる。

本システムでは、パイプベンダーの最小曲げ半径と最大曲げ半径に対する k を入力することができる。(Fig.11)

(2) つかみ代

パイプベンダーでパイプを曲げる際、パイプの両端を掴んで、円形の金型に沿って曲げるという方法がとられる。そのため、パイプを掴めるだけの長さが必要である。これを「つかみ代」と呼ぶ。パイプの両端と曲げと曲げの間では必要なつかみ代が異なることがあり、Fig.10 のように、パイプの両端のつかみ代を N、曲げ間のつかみ代を Z とする。

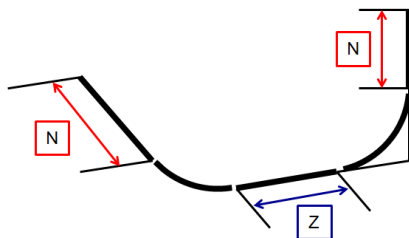


Fig.10 Explanation of grip length

つかみ代はパイプベンダーやパイプの呼径によって異なる。本システムでは、パイプベンダーごとの仕様で設定されているつかみ代を入力することができる。(Fig.11)

最小曲げ半径k(倍)	1.5
最大曲げ半径k(倍)	5.0
つかみ代N(端)(mm)	100.0
つかみ代Z(中央)(mm)	100.0

Fig.11 Setting of grip length

4.6 干渉判定

2つのフランジ間に、すでに別のパイプが通っている場合が考えられる。その場合、干渉しないような経路をとる必要がある。本システムでは、3D スキャナで計測した点群データを基にフランジ位置や向きを得ることを考えているので、その間の障害物の点群データも存在する。その点群データを用いて障害物回避経路を設計する。

(1) 干渉判定の計算法

干渉判定はパイプの直線部と曲がり部に分けて考える。

(a) 直線部

Fig.12に示すように、直線部の両端を点A、点Rとおき、計測された点群のひとつを点Qとおく。点Qから直線ARに垂直に下ろされた直線と点Qとの交点を点Hとおく。

$$\overline{AH} = s \cdot \overline{AR} \quad (2)$$

$$\overline{AR} \cdot \overline{HQ} = 0 \text{ より,}$$

$$s = \frac{\overline{AR} \cdot \overline{AQ}}{|\overline{AR}|^2} \quad (3)$$

となる。

$s < 0$, $1 < s$ のとき、点Hは線分ARの外側に存在することになり、この円柱部分とは衝突しない。

$0 \leq s \leq 1$ のとき、

HQの距離をdとおくと、

$d \leq D/2$ のとき、点Qは円柱の内側にあり干渉し、

$d > D/2$ のとき、点Qは円柱の外側にあり干渉しない。

これを、すべての点群Qに対して行う。

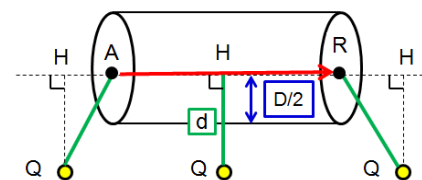


Fig.12 Distance of point and line segment

(b) 曲がり部

計測された点群のひとつを点Qとおき、パイプの曲がり部の中心線上の何等分 (例: 20等分) かした点の一つを点Pとおく。PQ間の距離をdとする。(Fig.13)

$d \leq D/2$ のとき、点Qは図の点線の球の内側にあり干渉し、 $d > D/2$ のとき、点Qは図の点線の球の外側にあり干渉しない。

これを、すべての点群PとQに対して行う。

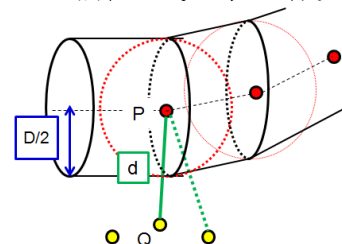


Fig.13 Distance of point and point

(2) 点群の削減

干渉判定ではすべての点群に対して行うために、かなりの計算量になる。そのため、フランジ間の空間以外の干渉判定に不必要な点は削除する。また、干渉判定は設計したパイプの内部に点群が存在するかを見ているので、フランジの点群が、計測誤差のために、パイプ内部に入ってしまうかもしれない。そのため、干渉判定する際には、フランジの点群を削除した後に、障害物と考えられる残った点群に対して、上記の干渉判定を行う。

4.7 干渉回避経路の自動生成

本システムでは、障害物と干渉しない配管経路を自動生成することができる。経路探索方法を以下に示す。

(1) 障害物との距離

干渉しないぎりぎりの経路では、パイプの変形や振動などでぶつかってしまう可能性がある。そのため、障害物との距離には余裕を持たせる必要がある。本システムでは障害物との最小距離をユーザーが任意に指定して回避経路の設計をすることができる。

(2) 探索方法

干渉回避経路の自動生成では、曲がり点の計算は、計算速度向上のために、以下のように行う。

$$\vec{OC} = \vec{OA} + M \cdot \vec{n}_A \quad (4)$$

$$\vec{OD} = \vec{OB} + N \cdot \vec{n}_B \quad (5)$$

M,N は初期値では、つかみ代から $\overline{AB}/2$ までの値で、10mm ずつ増加させる。ただし、M,N の最大値と延長間隔(増分)は、値によってはかなりの時間がかかるので、ユーザーによって調整できる。

また、4.5.(1)のkは初期値では、1.5~5 までの値で、0.5 ずつ増加させる。パイプベンダーの性能を考慮して、最大最小値は変更できる。(Fig.14)

また、一本のパイプで曲げ半径が異なると、工作現場ではパイプベンダーの曲げの金型を途中で替える作業を伴うことになってしまう。そのため、経路探索の際には、曲げ半径を同じにするかどうかの選択ができる。

<input checked="" type="checkbox"/> 曲げ半径を同じにする	
延長間隔(mm)	10
障害物との間隔(mm)	20
最大延長(AB×t倍)	0.5

Fig. 14 Setting for variable of path planning

以上の M,N,k の変数を組み合わせ、全数探索により、障害物と干渉せず一定の距離を保ち、最短距離となる経路を求める。

また、4.4.(3)の a,b,c の比、4.5.(1)のkといった変数のスライダーを動かすことで、障害物の点群と照らし合わせながら、干渉回避ルートのご設計したり、干渉回避経路を自動生成した後に、手動で微調整したりすることができる。

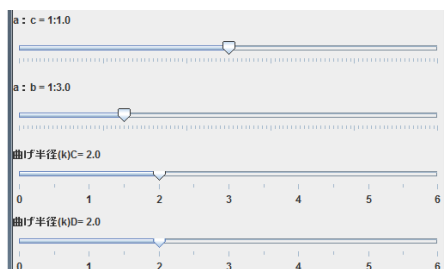


Fig.15 Sliders for variable of path planning

5. 結言

本システムでは、3Dスキャナ等で計測された点群データから、フランジの位置と向きを計算する方法を提案した。それを基に、2つのフランジ間の経路を状況に合わせて設計するシステムを構築し検証を行った。本システムはパイプベンダーの能力や制限を考慮したり、障害物と干渉しないかの判定を行うことができる。さらに、障害物と干渉しない最短経路の自動生成を可能とした。

今後の課題として、以下の3点が挙げられる。現在は人工的に生成したパイプとフランジの点群データを用いている。今後は3DスキャナやKinect等で計測された実際の点群データを用いて、さらに精度を上げ、フランジ穴の位置の計測も考慮する必要がある。また、施工場所(例えば建物の工事など)によってはパイプを任意の角度に曲げることができず、90度しか曲げられないこともある。そのため、90度のパイプのみでフランジ間をつなぐ経路も考慮する必要がある。最後に、本システムで設計した経路を、実際の現場で製作できるように図面に展開するか、他のCADシステムで用いることができるようなフォーマットを生成する必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたり、ジャパンマリコンナインテッド横浜事業所磯子工場様ならびに住友重機械工業横須賀造船所様より、現場合わせ管の扱いに関する貴重な情報を提供いただきました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 株式会社IHIエスキューブ:「レーザー式現合管設計システム Smart Lock On」ホームページ
<http://www.iscube.co.jp/contents/solution/laser/>
(2014年9月20日)
- 2) 株式会社プラスワンテクノ:「パイプフォーム」ホームページ
<http://www.plusonetec.jp/pipe-form/>
(2014年9月20日)
- 3) 中小企業庁関東経済産業局:「プラント配管用バンド管の減肉しない曲げ加工技術の開発」、ものづくりに取り組む中小企業への支援策、平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業、研究開発成果等報告書、平成22年3月
<http://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/portal/seika/2009/21h-25-7-3.pdf> (2014年9月20日)
- 4) 河内 基樹, 木村 元:「深度計測デバイスによるデータからの3D図面自動生成に関する研究」、日本船舶海洋工学会論文集 Vol.17, pp.489--492,2013年