

鋼管形状認識によるUO工場の自動化^{*1}井原 宏^{*2} 安原 勇^{*3}

Development and Application of Advanced Shape Recognition System for UOE Pipe Manufacturing Process

Koichi Ihara Isamu Yasuhara

1 緒 言

UOE 鋼管は、厚板を油圧プレスで鋼管形状に成型し突き合わせ部をサブマージーク溶接で接合して製造する鋼管である。その主な用途は天然ガスや原油の輸送用パイプラインである。近年、パイプラインの敷設される環境および使用条件はますます苛酷になり、安全性・耐久性確保の観点から溶接部に対する要求品質が急速に厳しくなりつつある。このニーズに応えるため当社 UO 工場では、溶接前の開先形状や溶接ビード形状を高精度で短時間に形状認識できるセンシング技術を開発し、製造プロセスで人間の判断に依存していた工程を自動化・装置化して、品質の向上と安定化を図るとともに、労働生産性の飛躍的な向上を達成した。以下にその内容を紹介する。

2 品質・生産能率向上への課題

UOE 鋼管の製造工程においては、溶接部の品質管理が最も重要なポイントとなる。溶接部の品質には、ビード外観形状や断面形状の形状の品質と強度・靱性などの材質性能的品質がある。前者の主要因には溶接開先形状精度、溶接機の開先食い精度、溶接条件などがあり、後者のそれには溶接材料、溶接条件がある。溶接開先形状検出および開先食い精度については、溶接品質に大きな影響を与える要因と考えられながらも従来技術では高精度な自動化が達成できず、品質面での課題であった。例えば開先突き合わせ部に段差（オフセット）を生じると有効板厚の減少、溶込み不良、オフシームが発生し、また食い精度が低下するとオフシーム、溶込み不良などの溶接欠陥が発生する。そこで今回これら工程の自動化・高精度化を実施することで品質の向上を図ることとした。

自動化にあたり最も重要なのは、高精度であること、高速であることである。高精度で鋼管の形状を認識するためには、鋼管形状を正確かつ定量的に把握しなければならない。

実際に工場で鋼管を測定する場合、外乱光、機械動作および鋼管の回転などによる上下左右への振動、鋼管形状の局部変化などへの対応が要求される。したがって、高精度のセンサを使用し上記外乱に対応するソフトウェアの開発が必要となる。

また、工場のライン能率向上のための高速性を実現するために高

速処理可能なハードウェア（センサ、パソコン）を選定するとともに、ロボットなどの高速アクチュエータを使用する必要性がある。

3 鋼管開先・ビード形状検出技術の開発

UO 工場では、開先およびビード形状認識が必要となる工程は、仮付および内外面の本溶接、管端タブ板の溶接および切断、管端内面ビード余盛切削、溶接部の超音波探傷がある。

また、Fig. 1 のように開先検出時の鋼管の動きも溶接工程のように鋼管または溶接トーチが管長手方向に動く場合とタブ板溶接・切断のように管が周方向に回転する場合が存在する。したがって、各々の工程の鋼管の動きに合わせた、開先および溶接ビードの検出方法が必要である。

鋼管の形状の測定・認識をする方法は従来からさまざまな方法が実施されてきた。たとえば、画像処理による方法や断面形状を 1 階差分または 2 階差分する方法がある。

しかしながら、画像処理による方法では 2 次元の広い部分の情報とを比べるため、局所的なノイズの影響を除きやすく大局的な判断を行える反面、2 次元の平面微分が必要となるので高速・高解像度のカメラ、計算機が必要であった。また、映像を得るために、照明の光源、照度といった設定が必要となり、測定対象物が動く場合に安定した影響がとらえられず精度・信頼性が低下する欠点がある。

一方、差分による検出方法は、一定間隔の 2 つのセンサの測定距離の差を評価する方法であり、画像処理に比べ処理速度は速く、溶接開先などのシャープな形状変化の検出は可能であるが、溶接ビードなどのなだらかな形状を評価する際に、鋼管表面の局所的な変化の影響を受けやすいことが欠点となっていた。

そこで当社では各工程の鋼管の動きに合わせ、かつ UOE 鋼管の

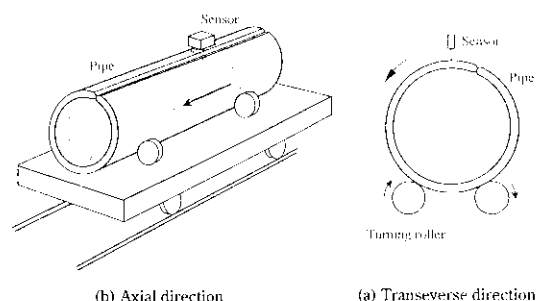


Fig. 1 Sensing method for UOE pipe seam

*1 平成 9 年 5 月 15 日原稿受付

*2 千葉製鉄所 熱間圧延部熱延技術室

*3 千葉製鉄所 熱間圧延部造管課 主任部員(課長補)

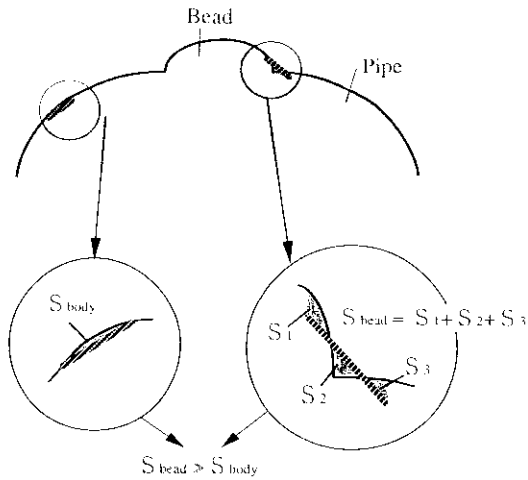


Fig. 2 Pipe shape recognition by fitting bar

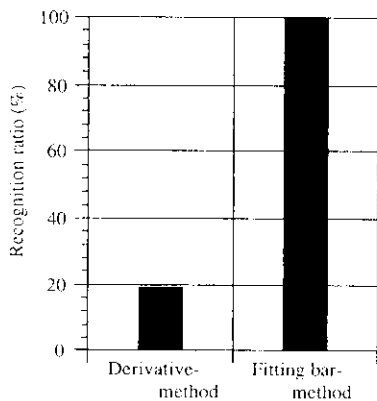


Fig. 3 Comparison of two seam recognition methods

形状にマッチした鋼管の2つの形状認識方法、すなわち最小二乗法を利用した形状認識方法と差分法を改良した方法を新たに開発し生産ラインに適用した。最小二乗法を利用した形状認識方法は鋼管が管長手方向に動く仮付、本溶接および溶接部の超音波探傷工程に適用している。まず、センサにより測定した開先あるいは溶接ビード形状にある長さの直線をあてはめ Fig. 2 に示すように直線と測定形状曲線で構成される面積 S を計算する。この計算値は開先や溶接ビード以外の鋼管表面ではほぼ一定の値であるが、ビードエッジ・開先エッジにかかるとその値が大きくなるため、この計算値が大きくなるをもって開先またはビードエッジとみなす方法である。

この方法の特徴は、離れた2点での測定データからのみ計算・認識する差分法に比較して直線範囲内の測定ポイント分を同時に評価するために、鋼管表面に仮に局所的な変化が生じた場合でもその影響は測定ポイント数分だけ平均化され小さく抑えられる。したがって、開先や溶接ビードの計算値を相対的に大きくとれるため、数値処理上非常に評価しやすいものとなる。本方法は特に形状変化の緩やかな溶接ビードの検出に効果があり、Fig. 3 に示すように差分法に比較して検出率が5倍向上し非常に信頼性の高いシステムを実現した。

差分法の改良型は鋼管をターニングロールと呼ばれる回転装置に乗せて回転し開先を検出する工程に適用した。まず、センサで回転している鋼管表面までの距離を測定して、測定値をコンピュータなどの記憶装置に保存する。この時、Fig. 4 に示すように鋼管周方向にある距離だけ離れた2点のデータとして保存する。すなわち2個

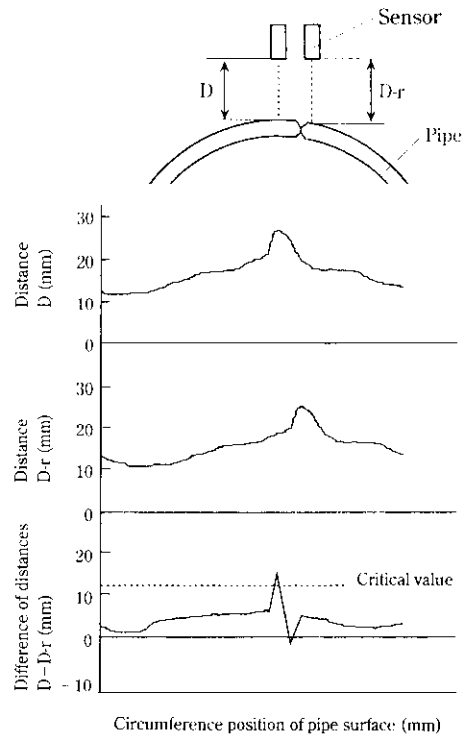


Fig. 4 Recognition of groove on turning pipe

のセンサで測定した形を擬似的に作り出す。この2つの値の差を採り、その値が大きくなるをもって開先エッジとみなす方法である。この方法の特徴は、1つのセンサのデータで2個分の測定データを探っていること、2つのデータの差を採ることで鋼管の真円・真直のばらつきからくる測定値の上下、左右方向の変動による外乱の影響を取り除き、相対的に開先部の信号を増幅することで開先を正確に認識することが可能なことである。また、比較的単純な計算で済むこと、小型の汎用センサで構成できることで安価に自動化が達成可能であることも特徴の1つである。

上記ソフトウェアの開発とともに安全性・信頼性確保のための周囲環境への配慮も行った。これらの環境への対応が適切でない場合、測定が不可能となったりするだけでなく、誤動作による人や製品・設備への損害の危険性もあるため使用する環境を事前に十分調査した上で、設置・搭載場所の決定、外乱光の遮断や防塵対策としてエアバージなどの周辺装置を設置した。また、単に溶接ビードや開先を検出するだけでなく、溶接のぬいずれ量やオフセット量の検出監視を行い品質管理する機能や、鋼管1本ごとの情報を記録・解析する機能を持ち、品質設計や設備管理に役立てている。

4 製造プロセスへの適用例

前述した開発技術を溶接プロセスに適用した例を示す。Photo 1, 2 は、溶接部開先形状監視装置の1画面を示したものである。センサにより鋼管溶接部形状を測定し、あらかじめ、パソコンに入力された鋼管開先データと比較しながら開先形状を測定・監視するだけでなく、突き合わせ部の品質に影響する目違い量も監視する。本装置の導入により成型条件の調整へのフィードバックも速やかに実施され鋼管形状の精度が向上するとともに溶接品質も向上し、高速溶接が可能となった。

これらの技術を応用し溶接プロセスをはじめとして、各製造プロセスを自動化した。その結果、溶接部のオフセット量を全長に渡り

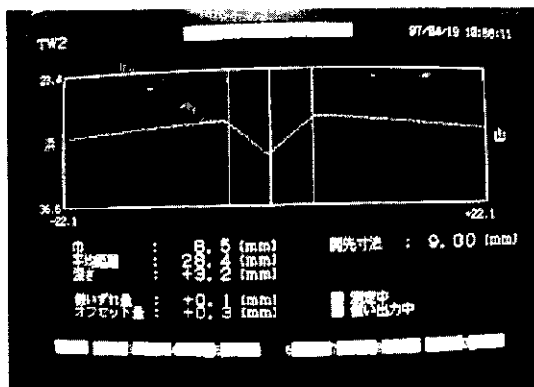


Photo 1 Profile of groove

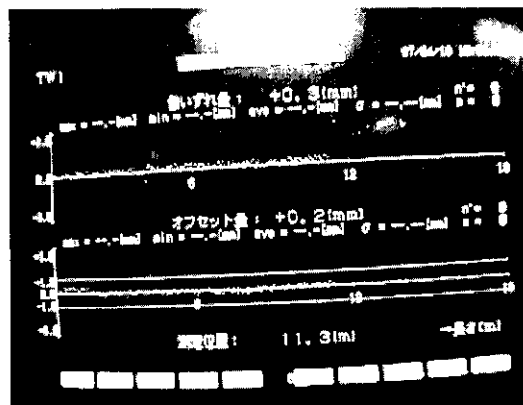


Photo 2 Monitor for sensing precision and seam offset value

最大でも 0.5 mm 以下に管理可能となり、オフシーム量も 0.5 mm 以下へと精度が向上した。これにより、溶接欠陥発生率が減少し、また生産性は飛躍的に向上した。

5 結 言

鋼管の形状認識方法を開発するとともに鋼管形状に対応した駆動

装置と組み合わせることで、各製造プロセスにおける手作業の自動化を実現し、品質と生産能率の向上を達成した。

これらの設備は UO 工場に合計 12 台設置され、1994 年 2 月～8 月にかけて運転を開始し、以降順調に稼働している。