

MMST 鋼製セグメント溶接ロボットシステム

Development of MMST Steel Segment Welding Robot System

勘定	義弘	エンジニアリング研究所	生産技術研究部	主任研究員
西	泰彦	エンジニアリング研究所	生産技術研究部	主査
下山	哲志	津製作所	鋼構造製造部	部長
高畑	清治	津製作所	鋼構造製造部	工務室 主査
佐藤	一弥	津製作所	鋼構造製造部	工務室 主査

Yoshihiro Kanjo
Yasuhiko Nishi
Satoshi Shimoyama
Kiyoharu Takahata
Kazuya Sato

大都市地下空間を有効活用する方法として考案された MMST (Multi-Micro Shield Tunneling) 工法に利用される鋼製セグメントの自動溶接システムを開発した。本システムは、4 台のロボットとポジショナーとで構成され、ロボットは、新たに開発した CAD/CAM システムで自動作成されたデータで動作する。実用化されたシステムは、高品質、高能率が期待でき、連続無人運転による作業の効率化も期待できる。

A newly developed MMST (Multi-Micro Shield Tunneling) method convinces us various utilities of the underground space. The automatic welding system has been developed for the assembling of MMST steel segments. The system consists of 4 robots and 4 positioning units. The robot motion data is generated with developed CAD/CAM system. The installed system is expected for high products quality and high production efficiency due to the continuous operation.

1. はじめに

大都市地下空間を有効活用する方法として考案されたのが MMST (Multi-Micro Shield Tunneling) 工法であり、図 1 に示すような角形大断面のトンネル内部が地下空間として利用できるのが特徴である。MMST 工法では、トンネルの外殻となる部分は、コンクリートと鋼製セグメントによる合成構造となっており、図 2 に示すように、複数の単体シールドにより先行掘削し、鋼製セグメントをリング形状に構築、それらを相互に連結、鋼殻内部にコンクリートを打設し外殻構造を構築した後、内部土砂を掘削して大断面のトンネル空間にする工法である。

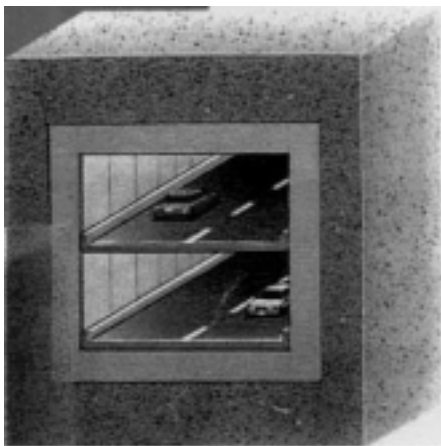


図 1 MMST 工法による大型トンネル利用イメージ

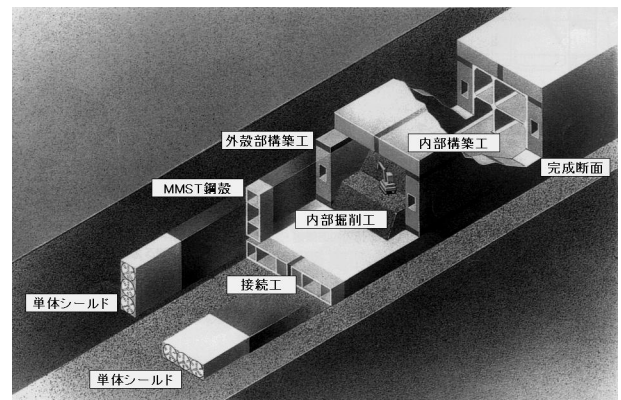


図 2 MMST 工法概要

当社では、本工法に用いられる鋼製セグメントを 2 年間で 5000 台ほど製作する計画であり、類似形状のセグメントであることから高品質・高精度な製品を繰り返し生産可能なロボットの適用が検討された。本稿は、その溶接ロボットシステム開発に関するものである。

2. 対象ワーク

図 3 に対象となるセグメント構造の一例を示す。セグメント寸法は、幅 1.2m、長さ 4.4m、高さ 0.5m である。長さ方向の 3 本のフレームと複数のリブにより構成される柵目構造部材である。溶接継手は、図 4 に示す隅肉継手のほか、外板部の重ね隅肉継手、フレーム端部の開先溶接継手が含まれる。



図3 対象ワークの構造

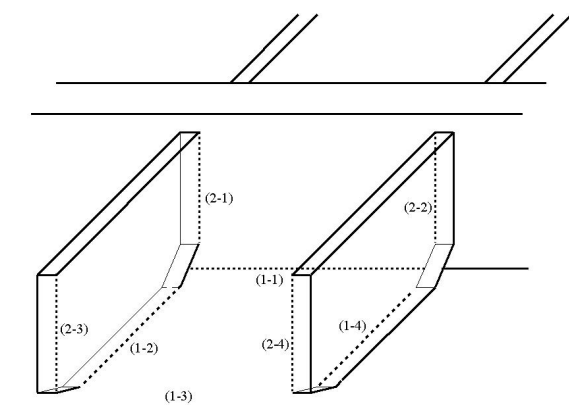


図4 柵目構造部分の溶接線配置

3. ロボット構成

セグメントの溶接は、品質保持が困難な溶接姿勢を避け、ポジショナーにてハンドリングした後に、ロボットにて溶接することとした。ロボットとポジショナーとの配置構成の検討にはロボットシミュレータを用いた。図5はその検討時のスケッチであるが、極力、溶接残しをなくすることを前提条件としたため、2つの旋回軸と上下直動軸を有するポジショナーでのシステム構成を検討した。本方式のメリットは、1台のロボットで施工できる点、溶接残しが少なくなる点にあるが、高機能で大型のポジショナーであることから設備コストが高くなる点、ワークハンドリングを含めた全体的な作業性の点から総合的に判断し、最終的には、簡易な1軸ポジショナーとすることを決定した。

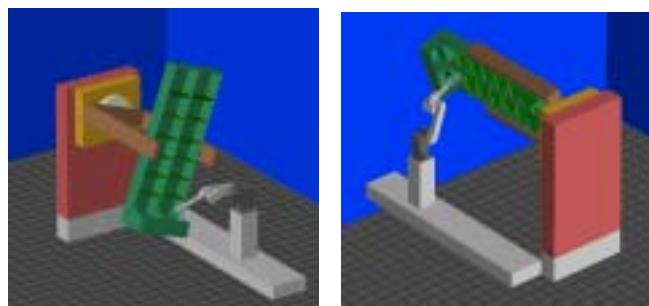


図5 ロボットシミュレータを用いたロボット機器構成の検討

一方、ロボットとワークとの干渉に関してもシミュレータを用いて事前検討しており、図6に示すような狭隘部分でもなんとか溶接施工できることを確認している。

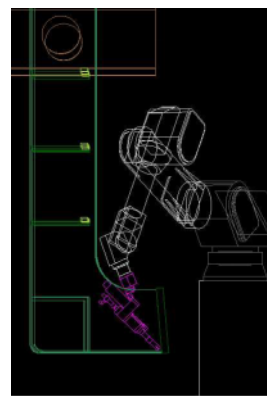
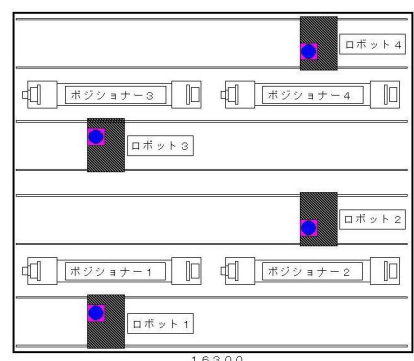


図6 ロボットシミュレータによる事前干渉チェック

開発されたロボットシステムは、ロボット4台、ポジショナー4台から構成されている。図7にシステム全体構成を示す。ロボットは、6軸多関節型アーク溶接ロボットに前後軸（0.9m）と走行軸（13m）の2軸を追加した合計8軸の協調制御型ロボットである。また、ポジショナーは単純な1軸回転のものである。

ポジショナーの両側に配置された2台のロボットにより、交互に溶接施工する機器配置となっている。



(a) システムレイアウト



(b) 工場への適用状況

図7 ロボットシステム全体構成

4. ロボット機能

ロボットの機能として、溶接開始点をセンシングするワイヤタッチセンサ機能、開先ならいのためのアークセンサ機能のほか、いわゆるチョコ停防止のためのアークスタートリトライ機能、センシングリトライ機能、ノズル接触回避機能を有する。また、周辺機器として、ワイヤカッター、ノズル清掃装置、ノズル交換装置を具備している。

5. ロボットによる溶接施工手順

ロボットによる溶接施工手順を図8に示す。まず、片側のロボットにより、(a)ポジショナー角度0度の位置において、桁目構造内の隅肉溶接を実施する。次に、(b)ポジショナーを90度に回転させ、フレームとリブの溶接を実施、その後、(c)ポジショナーを180度に回転させ、裏面の溶接を実施する。以上で、セグメントの半分の溶接が完了するので、引き続き、反対側のロボットにて、同様の溶接を実施する。(d, e, f) このとき、先のロボットは別のポジショナーに移動し、セットされているワークの溶接を実施するようにしている。

このように、セグメントに対する溶接は、両側のロボットが相互に入れ替わりながら、2式のポジショナーにセットされたセグメントの溶接を交互に実施する。

6. CAD/CAM システム

図9に、今回開発されたCAD/CAMシステム構成を示す。CADシステムは汎用の三次元ソフトを用いているが、対象とするセグメントに若干のテーパが存在したり、部材板厚が変化したりするので、パラメトリック設計機能を利用できるシステムを選定した。一方、CAMシステムは、ロボットメーカーにて製作したロボットシミュレーション機能を有するシステムをカスタマイズしてポジショナーを含めたロボットプログラムを自動生成するシステムを開発した。

CADシステムにおいては、ワークモデルの定義と、部材交差部に当たる部分に溶接線を定義している。CAMシステムの特徴は、セグメントの各溶接線に対する適用動作パターン、適用溶接条件、適用ロボット指定(タスク分割)、溶接順序、ポジショナー角度、など諸々の情報を溶接線単位に属性情報として、テーブル形式に設定してある溶接属性ファイルを、CAD情報とともに読み込むようにしている点である。このような溶接属性テーブルをセグメントタイプごとに事前に準備している。一例として、溶接順序に関しては、ひずみによる変形を考慮した順序をこの属性ファイルに定義している。

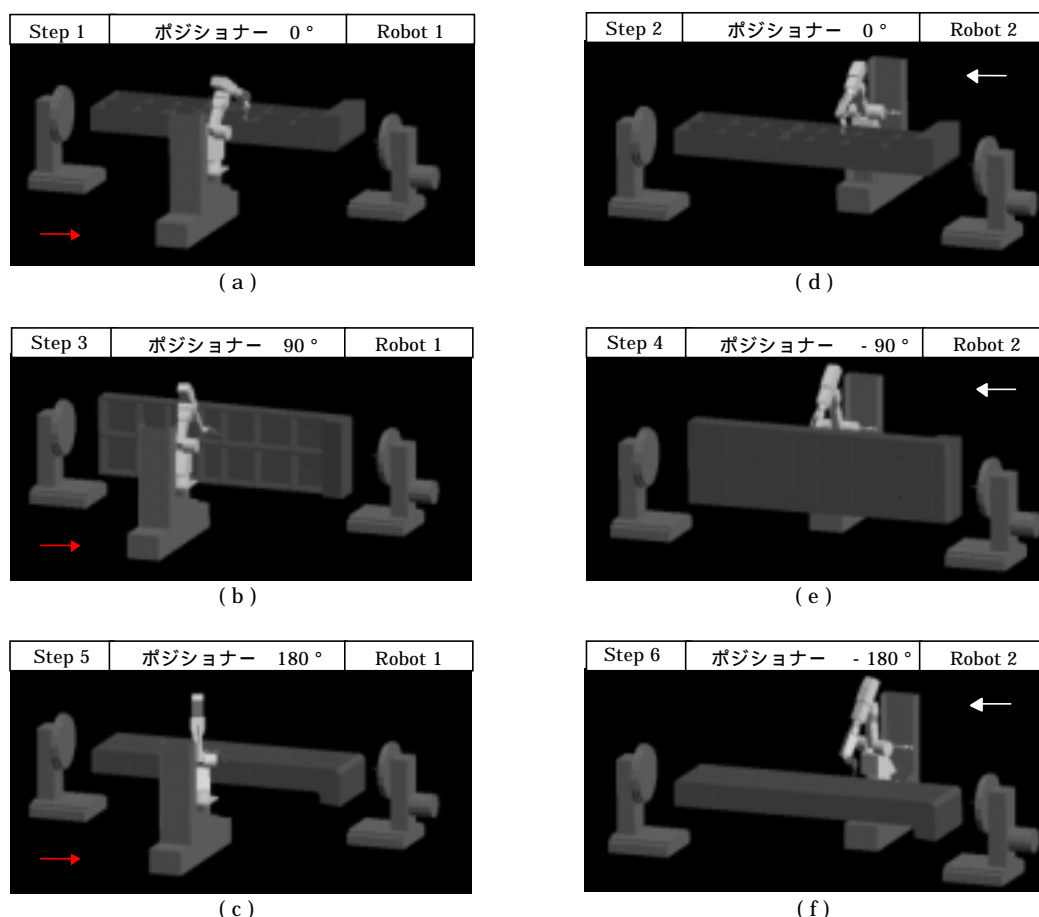


図8 ロボットによる溶接施工手順

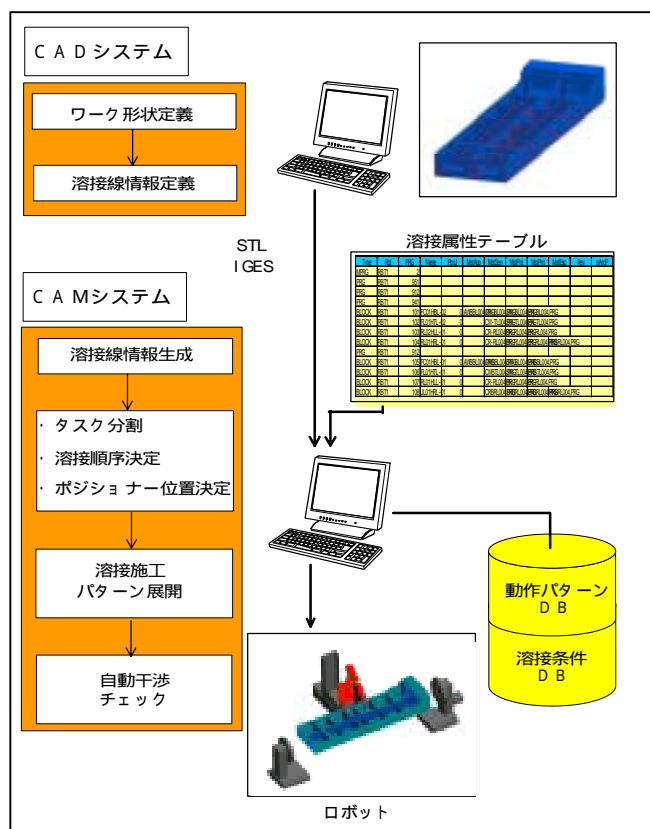


図9 CAD/CAM システム構成

7. 溶接施工

図10は、ロボットによるセグメントの溶接施工状況を示したものである。ロボット施工によるアークタイム率は約65%（ワーク脱着を除く）である。また、図11は、柵目部分の隅肉溶接結果、図12は、セグメント端部のレ型開先部分の多層盛溶接のビード外観とマクロ断面を示したものである。溶接プロセスはMAG溶接であり、スパッタ低減、ヒューム低減が期待できるソリッドワイヤとAr80%+CO₂20%のシールドガスとの組み合わせを使用しており、連続無人運転に対する効果が期待できる。



図10 ロボットによる溶接施工



図11 柵目構造部分の溶接外観



図12 レ型開先部分の多層盛溶接のビード外観とマクロ断面

8. おわりに

角形鋼製セグメントを組み立てる溶接ロボットシステムを開発、実用化した。システムは、4式のロボットとポジショナーとから構成される。ロボットデータは、汎用CADにて定義したワーク形状情報と溶接線情報と別途準備した溶接属性情報を利用して、CAMシステムにて自動生成される。

実用化されたシステムは、高品質、高エネルギーが可能となり、連続無人運転による省力化が期待できる。

<問い合わせ先>

エンジニアリング研究所 生産技術研究部

Tel. 059 (246) 3065 勘定 義弘

E-mail address : Yoshihiro_Kanjo@ntsgw.tokyo.nkk.co.jp