

38 その他

鋼製横梁現場溶接への多関節溶接口ボット適用

日本橋梁建設土木施工管理技士会

佐藤鉄工株式会社

部長代理 主任技師

橋爪忠雄○ 青木寛信

1. はじめに

今後の労働人口減少及び建設現場での労働者不足による現場溶接作業者減少に対する省人化対策を見据えて、鋼橋現場溶接の多関節溶接口ボットでの施工を実施するために、鋼製横梁（図-1）での現場溶接がある3工事にて一部施工したので報告する。

工事概要

- (1) 工事名：大阪湾岸道路西伸部六甲アイランド第三高架橋PE3鋼製梁工事
：大阪湾岸道路西伸部六甲アイランド第三高架橋PE4鋼製梁工事
：大阪湾岸道路西伸部六甲アイランド第三高架橋PE5鋼製梁工事
- (2) 発注者：国土交通省近畿地方整備局
- (3) 工事場所：兵庫県神戸市東灘区向洋町地先
- (4) 工期：
：(PE3) 令和5年3月14日～令和6年3月31日
：(PE4) 令和5年6月16日～令和6年7月31日
：(PE5) 令和5年6月20日～令和6年5月28日



図-1 完成写真（手前からPE5, PE4, PE3橋脚）

2. 現場における課題・問題点

多関節溶接口ボットは工場で使用する事を前提として設計・製作されており、これまで鋼橋の現場溶接で多関節溶接口ボットを導入しているケースはほとんど見られない。現場施工前に以降の項目について事前検討を実施した。

(1) 溶接環境の構築

溶接方法は炭酸ガスアーク溶接のため防風対策が必要であり、さらに工程を守るために雨天でも作業する必要があった。また、工場製作では問題にならない電源・炭酸ガスの安定供給やケーブルの取り回しなどの綿密な事前計画が課題となつた。

さらに、今回の工事で多関節溶接口ボットの対象とした箇所以外は通常の人による溶接が実施されるため、お互いに干渉されないような工程・作業管理が必要となつた。

(2) 多関節溶接口ボットの設置

重量約300kgの多関節溶接口ボットを溶接する場所に安定的に設置するため、移動可能であり所定の位置で固定できる架台（図-2）が必要であった。また、風防設備内のため重機は使用できず、横梁上で人力による移動が必要であった。

さらに溶接ワイヤ、溶接機、ロボットのコントローラ等を限られた作業スペースで施工可能な位

置に配置する必要があり、他の現場作業の障害にならないように調整する必要があった。

今回の現場溶接で使用した機器は下記の通り。

- ・ロボット：ダイヘンFD-19B4LS（7軸）及びFD-19V6LS（7軸）
- ・溶接機：ダイヘンWelbeeM500Ⅱ
- ・発電機：デンヨー DCA-100ESI（100KVA）

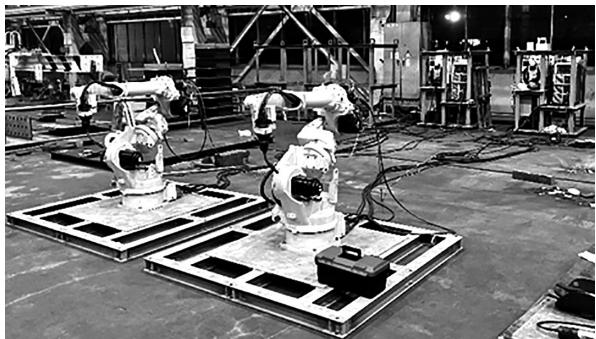


図-2 多関節溶接口ボットと架台

(3) 非破壊検査要求レベルへの対応

本工事は鋼製橋脚の横梁であり、隅角部について非破壊検査（超音波探傷検査）の判定基準はL/2検出レベルでキズ指示長さが板厚の1/3以下合格というスペックであったため、非常に高品質な溶接施工が求められた。検出レベルの感度が高く、小さなキズでも不合格になるリスクがあったため、現場施工前に非破壊検査の合格率を確認しておく必要があった。

3. 対応策・工夫・改善点と適用結果

(1) 溶接環境の構築

本工事では鋼製横梁を既設橋脚の上で一体化する工法を採用したため、横梁の半分を地組立にて完成させた。その際、地組立・溶接・塗装の養生として屋根付きの風防設備（図-3）を設置する事とした。風防設備の計画段階で多関節溶接口ボットを配置できるように足場材との干渉など検討を進め、多関節溶接口ボットが設置・移動できる環境を整えた。

電源は発電機を使用しなければならないが、ロボットの動作動力と溶接電流・電圧を安定させるために発電機の選定は最低限必要な定格容量の約

30KVAに対してメーカ推奨が定格の3倍であったため100KVAの発電機を準備した。事前に工場で同容量の発電機による実験を実施し、溶接アークの安定性及びロボット各軸の作動状況が工場電源と同じである事を確認してから現場施工を実施したので、現場施工時は各機器が安定して作動した。



図-3 地組立時の風防設備

(2) 多関節溶接口ボットの設置

本工事で多関節溶接口ボットの現場溶接対象とした箇所は、初めての試みであったため対象箇所を限定し梁上面の下向き溶接と、梁側面の立向き溶接を選定した。対象箇所の詳細について（表-1）に示す。

表-1 対象箇所詳細

橋脚	箇所	開先形状	板厚	溶接姿勢
PE3	梁上面	R:5~12mm θ:30°~45°	24mm 66mm	下向き
	梁側面	R:5~12mm θ:30°~45°	24mm 62mm	立向き
PE5	梁上面	R:5~12mm θ:30°~45°	21mm 30mm	下向き
	梁側面	R:5~12mm θ:30°~45°	21mm 30mm	立向き

R : ルートギャップ θ : 開先角度

まず下向き溶接で設置する架台は、稼働中の多関節溶接口ボットが安定して溶接できるようアジャスター bolt を設置して固定できる構造とし、梁上で移動出来るようにキャスターを取り付け、人力でも移動できる構造（図-4）として設計・製作した。最初のPE3工事にて梁上面は吊り金具や付属物の取付板が多くありロボットの移動に苦労したため、2番目のPE5工事からは架台を

幅・長さを1,800mmから1,000mmにコンパクト化して干渉しないように再製作し対応した。

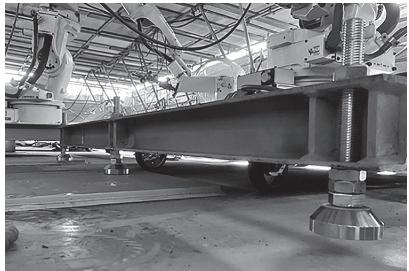


図-4 ロボット架台（下向き用）

ロボットの設置場所については事前検討で対象溶接線を決定し、3D-CADデータとロボット用アプリケーションを使用して設置場所でのロボット可動域を事前シミュレーション（図-5）することで、現場施工をスムーズに行うことができた。

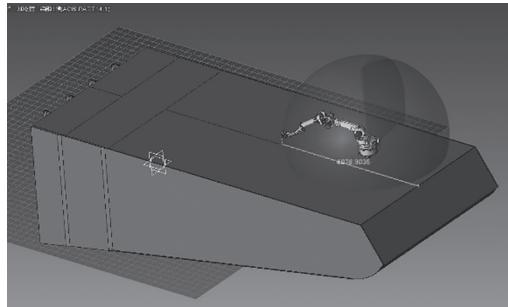


図-5 事前シミュレーションでの確認

次に立向き溶接では、多関節溶接ロボットの可動範囲で立向き溶接線を全線カバーできる位置に設置するために（図-6）のような架台を設計・製作し風防設備組立時に設置した。懸念された架台の安定性については、工場で事前にロボットアームの可動によるふらつきが無い事を確認した。現場では敷鉄板上に設置したが可動によるふらつきは見られなかった。



図-6 ロボット架台（立向き用）

また、風防設備の関係でロボット設置位置に制約ができたため、7軸ロボットでも動作が窮屈な区間が発生し、現場にてプログラムの微調整が発生した。立向き溶接の施工状況を（図-7）に示す。特に狭い場所での施工では事前シミュレーションにて十分確認しておく必要があった。



図-7 立向き上進溶接の施工

また、現場ではスペースの制約が多くあるため、工場で使用している溶接機及び周辺機材が収まるラックを現場施工に向け小型化（図-8）し、運搬し易く設置場所を選ばず置けるように改良した。



図-8 溶接機等のラック改良

(3) 非破壊検査要求レベルへの対応

多関節ロボット溶接での完全溶け込み溶接部施工の実績が少ないので、工場で事前にテストピースを溶接して非破壊検査を実施し、合格範囲内の施工が可能と判断した。

特に作業範囲が限られる多関節溶接ロボットは溶接と溶接の繋ぎ部が必ずあり、内部キズの入り易い箇所の一つとなる。工場での事前テストでは、3パターンの繋ぎ順を試験し非破壊検査の結

果と作業効率を考慮して、先行溶接の終端クレタをグラインダー処理して後行溶接を被せる順序を決定した。



図-9 工場での事前テスト

現場溶接後の非破壊検査結果は、(表-2)の通り多関節ロボット溶接で施工した箇所からはキズは検出されなかった。高い溶接品質を維持できたと言える。

表-2 超音波探傷検査結果

橋脚	ロボット溶接 対象箇所	検査結果
PE3	TJ1上フランジ (24t)	キズは検出されず
	J3上フランジ (66t)	
PE4	TJ1上フランジ (24t)	キズは検出されず
	J3上フランジ (62t)	
	J1ウェブ (62t)	
PE5	TJ1上フランジ (21t, 30t)	キズは検出されず
	J1上フランジ (21t)	
	J1ウェブ (21t)	

判定基準：L/2検出レベルで板厚の1/3を超える
キズ指示長さが検出されないこと

(4) 生産性に関する考察

人による従来工法と、多関節溶接ロボットによる自動溶接との生産性を比較した。

同一形状の箇所において、人による従来工法では、10日を要した。多関節溶接ロボットによる自動溶接では、オペレータ1人がロボット2台を同時に操作して5日間で終えることができた。よって、生産性は2倍向上し、省人化率は50%減という結果であった。

また、ロボットは条件出しを最適にできれば、人よりも安定した品質を確保できるので、手直しが少なくなり総合的に効率が上がる。

現場溶接は過酷な状況下（俗に言う3K）が多いため、人間の負担を減らすために積極的にロボットを活用していく必要があり、ロボットメーカー各社で開発中の軽量な協働ロボットで溶接する事ができるようになれば、移動・設置の制約が少なくなり普及が進むと期待している。

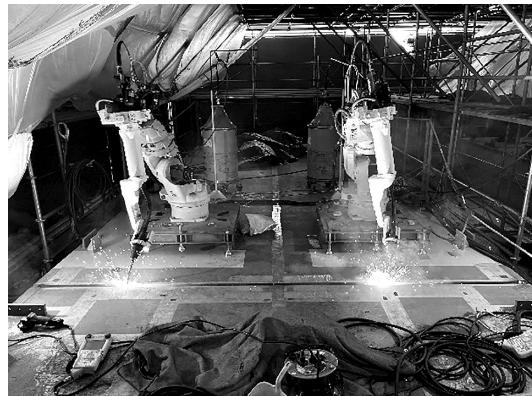


図-10 下向き溶接の施工状況

4. おわりに

本工事にて限定条件下での多関節溶接ロボットによる現場溶接が問題なく施工できる事を実証できた。これからも適用範囲を広げるべく、対象工事を選定して実証していく予定である。

今後の課題としては、

- ①多関節溶接ロボットセッティングのスピードアップと、一人で稼働させる多関節溶接ロボットを増台させる事を検討し、作業効率向上及び省人化を推進していく必要がある。
- ②ロボットオペレータに対しユニック・クレーン操作、ロボットのオペレーション、溶接作業、工程調整などの幅広いスキルが必要であり、対応できる人員の育成が必要不可欠である。
- ③設計段階から多関節溶接ロボットを想定した構造を検討していけば、スムーズな現場施工が実現できると考えられるため、今後対象となる工事では設計段階からの検討を実施していく。

最後に、本施工に際しご支援頂いた近畿地方整備局浪速国道事務所の関係者、並びに工事関係者にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。