特集≫≫ 建築

ロボット溶接による建築現場溶接施工法の開発と適用

遠 藤 明 裕

少子高齢化が取り沙汰される中，建設現場においてもその状況が問題視されており，長期的な労働力減少社会を見据え「担い手確保」と「生産性向上」を同時に推し進める必要がある。特に現場溶接工は技能工であり，技能工資格であるAW溶接工の育成には時間がかかることから，少子高齢化による溶接工不足は今後大きな問題となる可能性があり，早急に現場溶接の合理化・省力化を図らなければならない。本報文では，その対策として推し進めている溶接ロボットの現場活用に向けた「ロボット溶接技術の確立」と「施工体制の構築」，「実工事への適用」の経過について紹介する。

キーワード：建築鉄骨，ロボット溶接，建築現場溶接，建方精度，溶接ロボットオペレーター育成

1. はじめに

建築鉄骨における現場溶接技能工は新規就業者の減少と高齢化が進んでおり，これにより「豊富な経験・ノウハウや高度な技量・技能を持つ熟練溶接工の減少」，「技術の伝承がなされない状況での協力会社の施工力低下」とそれに伴う「溶接部の性能･品質の低下」が懸念されている。このような状況から，現場溶接施工体制全般の整備・確立が喫緊の課題となっている。

そのため，短期的かつ長期的な現場溶接技能工の不足を補うべく溶接ロボットの現場溶接工法の開発と実工事への適用を目標として，協同開発者である建築鉄骨専門業者とともに「現場溶接特有の精度問題への追随性に対する適用手法の開発」，「施工品質保証体制確立のためのロボット溶接オペレーターの育成と直傭化」，「実施工での運用面の改善」を順次行ってきた。

2. 溶接ロボットの概要

現在の建築鉄骨でのロボット溶接の現状は，鉄骨製作工場での回転治具と連動した大型多関節溶接ロボットによる溶接が主体となっている（**写真**―1）。このロボットシステムは工場の固定設備として設置されており，製品をロボット溶接機の許に移動し溶接を行う流れとなっている。

一方，現場溶接でロボット溶接機を用いる場合は，ロボット溶接機自体を溶接箇所に移動させる必要があり，小型，軽量の可搬簡易型の機種が必要となる。このため，メーカー・ファブへのヒアリングや調査を行い，これらの比較検討結果から，開発対象ロボットを選定，採用した。

写真―1 鉄骨製作工場溶接ロボット

ロボットは**写真**―2の様に3つの部位で構成され，移動部分であるロボット本体は6.5 kgと軽量となっている。また溶接部の断面形状，位置情報の計測はワイヤー・タッチ・センシング方式となっており，センシング結果から算定された溶接条件はコントロール画面に表示され適宜手動での調整が可能となっている（**写真**―3）。

さらに電流・電圧・速度などの基本溶接条件の調整に加え，オシレート幅・ピッチ，端部停止時間等の運棒制御，溶接端部のアークスタート位置，クレーター処理等の設定の調整も可能となっている。

溶接オペレーターにはJIS溶接資格の基本級レベルの技量とともに，操作のための制御ソフトに精通することが求められる。

写真―２　溶接ロボット「石松」の構成

写真―３　溶接条件の画面表示

ロボット溶接の現場施工対象部位は，現在溶接工が行っている柱の横向溶接，梁フランジの下向溶接，梁ウエブの立向溶接である。

3. 現場溶接適用工法の開発

建築鉄骨の現場溶接特有の条件に対する適用工法の開発は（1）簡易試験体による検証試験，（2）現場施工を考慮した実大試験体での検証試験，（3）試験施工と３段階で確認を行いながら実施した。

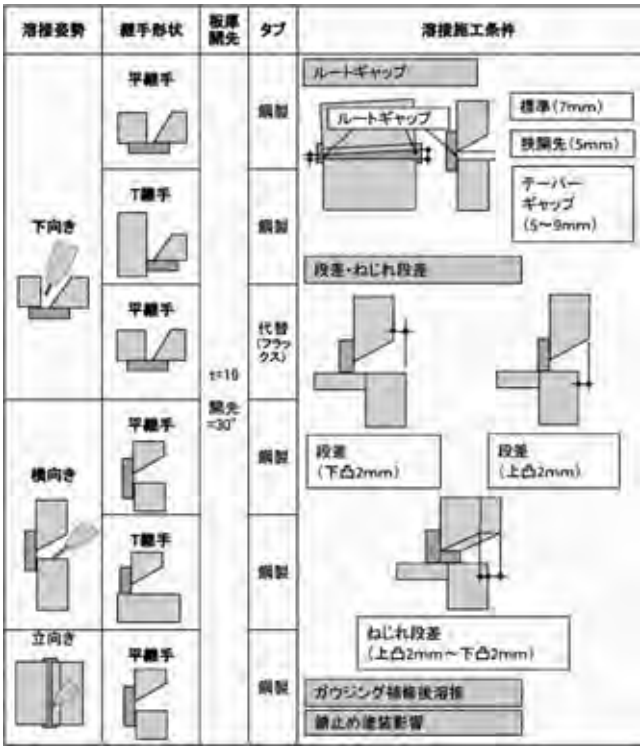
(1) 簡易試験体による検証試験

まず板厚 19 mm の簡易試験体を用いて，現場溶接で想定される種々の条件に対する調整方法の検証を行った。

検証条件は**表**―１に示すように，溶接ルートギャップの形状（標準，狭開先，テーパーギャップ），段差の有無（下部凸, 上部凸, ねじれ), 継手形状（T 継手，平継手），補修状態（ガウジング補修），錆止め塗装状態で，下向，横向，立向の３姿勢について検証を行った。

検証試験状況を**写真**―４に示す。

表―１　簡易試験体検証試験項目



写真―４　簡易試験体検証試験

(2) 現場施工を考慮した実大試験体での検証試験

現場施工に近い実大試験体による検証試験を実施した。試験体としては４面 BOX 柱横向溶接を想定した L 型試験体，梁ウエブ立向溶接を想定した T 型試験体にて検証を行った。検証試験状況を**写真**―5, 6 に示す。

上記２つの試験を通し，下記の検証が行えた。

①下向溶接は，現場で想定される溶接諸条件に対しては調整を要せず対応が可能である。

②横向溶接は，T 継手が基本のため平継手溶接の場合に積層方法等で調整が必要となる。

③立向溶接は，ロボット溶接機の特性上壁側に溶着金属が斜めに着く傾向があるため，平らな外観形成のため端部停止時間での調整が必要である。また，１パスでの入熱量がオーバーすることがあるためパス数の変更が必要である。

写真―５ 実物大試験体検証試験（横向き）

写真―６ 実物大試験体検証試験（立向き）

(3) 試験施工での検証

(1)(2)で開発された現場溶接適用工法について実現場での検証として，梁フランジの下向溶接，柱の横向溶接，梁ウエブの立向溶接の試験施工を実施した。運用面・効率面では課題が残ったが，品質面では各溶接姿勢とも外観検査・UT 検査で良好な結果を示し，適用工法の実用化に一定のめどをつけることができた。

4. 施工体制の構築

現場溶接にロボット溶接を適用するために，技術的な適用工法を開発するとともに，施工体制の構築を図る必要があるが，現在，溶接ロボットを現場で扱える溶接工はそれほど多くない。また，現場溶接工が不足している中，溶接工をオペレーターに育成することは難しく，実効性に乏しい。そのため，ロボット溶接施工での品質保証も含めた総合的な施工体制を確立するために，ロボット溶接オペレーターの育成による直傭化を図ることとした。

グループ会社である施工管理会社に溶接事業部を発足させ，社員による溶接オペレーターの育成を行った。この取組みは社員を対象とした育成であるため，利点として「安定的な人数の確保」と「長期的な育成管理による操作技能レベルの向上と確保」が挙げられる。発足した溶接事業部は，ロボット溶接だけでなく，ベトナム人溶接工の育成も行っており，将来的には日本人社員オペレーターによるロボット溶接とベトナム人溶接工を組合せ，その適材適所配置による溶接作業のさらなる効率化を目指している。

(1) ロボット溶接オペレーターの育成事前準備

図―１にロボット溶接オペレーター育成訓練工程を示す。育成オペレーター１期性４名は高校を卒業後，現場施工管理を行っていた 20 代の社員で，溶接業務に特別精通しているわけではない。そのため，育成訓練を開始する前に，溶接作業の基本や知識を学ぶとともに，現場で作業を行うにあたり必要な資格（下記参照）を取得することとした。

図―１ ロボット溶接オペレーター育成工程

労働安全衛生法関連資格の取得
①研削と石取替え特別教育（安衛則，第 36 条 1 号）
②アーク溶接特別教育（安衛則，第 36 条 3 号）
③産業用ロボット取扱特別教育（安衛則，第 36 条 31 号）
④低圧電気取扱い特別教育（安衛則，第 36 条 4 号）
⑤粉塵作業特別教育（安衛則，第 36 条 29 号）
⑥ガス溶接技能講習（安衛則，第 314 条）
⑦職長，安全衛生責任者講習（安衛法，第 60 条）

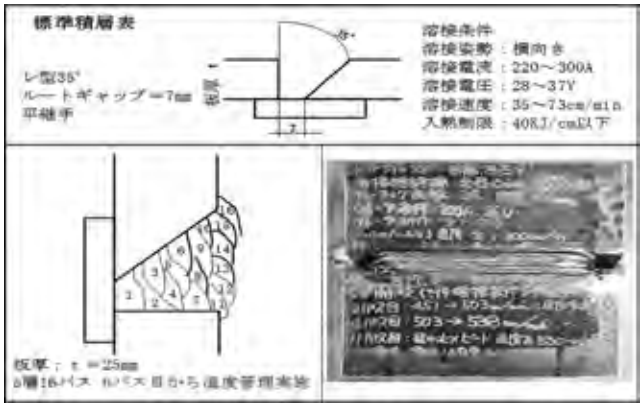
事前の溶接実技訓練では，熟練の溶接技能者の指導の下，溶接に関する基礎知識と基本技能の習得を目的とし，この成果として JIS 溶接技能認証資格とともに溶接管理技術者資格２級（WES2 級）を取得した。

この JIS 溶接技能認証資格と産業用ロボット取扱特別教育の２つをオペレーター訓練終了後に行う「鹿島・溶接オペレーター技量試験」の受験資格とした。

(2) ロボット溶接オペレーターの育成訓練

育成訓練は 2016 年 6 月より技術研究所にて開始し，板厚 19 mm から 36 mm の簡易試験体を用いて，前述の簡易試験体での検証試験と同様の溶接作業条件下で溶接ロボットの適用工法の修得訓練を実施した。

様々な溶接作業条件設定の下，下向，横向，立向の



図―２　ロボット標準積層図

3 姿勢について検証を重ね，オペレーター一人一人がロボットの特性を理解し，その成果を**図**―２の「標準積層図」という形で記録していった。

溶接ロボットの基礎訓練段階で用いたこの手法は，ロボット溶接オペレーターの育成と開発したロボット溶接適用手法の次ステップへの改善基盤となった。

(3) 現場溶接オペレーター技量試験の実施

育成オペレーターが，育成訓練の次工程である現場溶接を実施するためには溶接技量の証明が必要となる。

現在，現場ロボット溶接オペレーターに対する適切かつ公的な溶接資格がないため，現場溶接を対象とした技量付加試験で対応する必要がある。このため，AW 検定協議会の「ロボット溶接オペレーター試験基準及び判定基準，RT 種」を参考にし，現場溶接向きに修正した技量付加試験を実施した。

この結果，育成オペレーター 4 名は全員合格となった。**写真**―７に技量試験状況を示す。

また，育成オペレーターは技量修得とともに溶接管理技術者の資格（前述の WES2 級）も取得し，溶接に対する知識とロボット溶接オペレーター技量を併せ持つ溶接技術者として育成している。

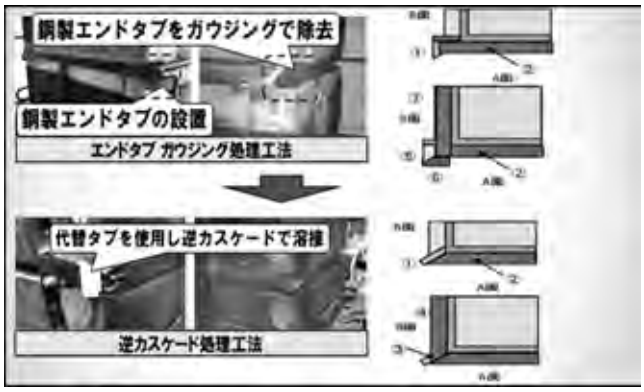
写真―７　現場ロボット溶接オペレーター技量試験

(4) 実大試験体による事前検証試験の実施

現場での実施施工を行うにあたり，実大試験体での事前検証を実施した。

テーマとしては鋼管コラム柱の溶接方法，BOX 柱の溶接方法について，エレクションピースの取り外しを含めた実践的な施工手順の検証を行った。BOX 柱については角溶接方法の適用手法の改善も行った。

図―３に BOX 柱角溶接方法の改善方法，**写真**―８に事前検証試験状況を示す。



図―３　BOX 柱角溶接改善方法

写真―８　現場ロボット溶接事前検証試験

5. 実工事への適用

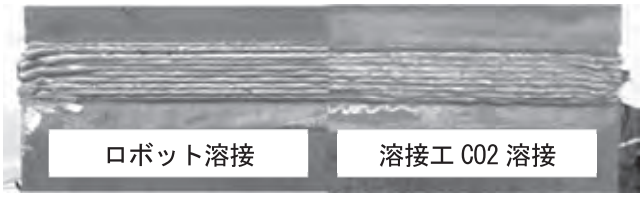
建築鉄骨専門業者の施工協力のもと，育成オペレーターによるロボット溶接の実施工を開始した。実工事への適用は 2016 年 9 月～ 2017 年 6 月までの約 10 ヶ月で 5 件の実績がある。当初はロボット溶接機が 2 台のみだったため，部分的な施工範囲での適用となったが，それぞれの現場で課題を見つけ，それを改善しながら効率化を図っていった。**表**―２に各現場での課題を示す。

品質面については，5 件を合せて UT 検査で 99.2%，外観検査で 99.6%と高い合格率を確保している。

UT 検査での欠陥の主たる要因は，梁上フランジでの風によるブロー発生によるもので，数としては少な

表―2 実施施工の各工事での課題および確認項目

施工現場	課題および確認項目
A 工事	施工体制の確認 建逃げ工法での運用方法の確認
B 工事	積上げ工法での運用方法の確認 鋼管コラム溶接の効率化
C 工事	BOX 柱溶接の効率化確認
D 工事	総合的な効率化への挑戦 ベトナム人溶接工とのタッグ
F 工事	積層工法での運用方法の確認



写真―9 ロボット溶接外観比較（横向き）

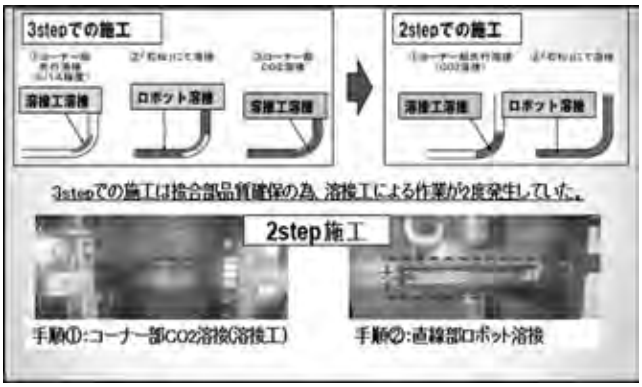
写真―10 ロボット溶接外観状況（下向き代替タブ）

いが防風対策については今後さらなる対応と改善が必要となっている。外観検査では，ロボット溶接ならではの溶接ビードの直進性から熟練の溶接工に優るとも劣らないビードを形成することができている（**写真―9，10**）。

効率面では，段取り，作業手順の不慣れに起因する効率の悪さから，当初の溶接実績は 20 m/ 日程度であった。特にロボット溶接はスタートすると一般の溶接工での作業のように途中で停止することができないため，休憩時間，終業時間や他の段取り作業との兼ね合いから無駄な時間が発生しやすい一面を持っている。この効率問題について原因を把握し，一つ一つ対策を実施してきた結果，現在では 70 m/ 日程度まで効率化が図れている。下記に効率化対策について示す。

①ロボット溶接作業と事前作業を行う溶接工作業の流れを単純化させ機器配置の二度手間を省く。
②鋼管コラム溶接での溶接手順の改善。
③1 日の作業タイムスケジュールを作成し，無駄のない作業の実施。
④ロボット溶接作業でのオペレーター動作の無駄を検証し，効率的な工具配置等の改善。

特に②の鋼管コラムでの溶接手順は，ロボット溶接での先行 CO_2 溶接面へ確実な接合を可能とする手法の開発により溶接工作業の流れの改善が図れ，効率の改善に大きく寄与した。**図―4** に改善手法を示す。



図―4 鋼管コラム溶接手順の効率化

6. 今後の予定

2017 年 4 月より溶接ロボットを新たに 4 台購入するとともに第 2 期のオペレーター育成を実施している。

2017 年 9 月からは溶接ロボット 6 台体制での施工を予定している。また，育成したベトナム人溶接工も必要な溶接資格を順次取得し，現状でロボット溶接とベトナム人溶接工の組合せでの効率的な運用方法についてさらに検討を進めているところである。

また，適用手法についても溶接機器，付属・防護品の改善等による耐風対策や BOX 柱溶接手順の新たな手法開発の検証等を第 2 期のオペレーター育成訓練とともに実施している。

7. おわりに

建築現場施工での自動化・ロボット化については，建築工事が単品生産であること，工場製作と違って協力業者と連携した技能工による施工体制が構築されていることなどから，なかなか進んでいないのが現状であるが，技能工の高齢化による絶対人数の不足は目前に迫ってきているため，自動化・ロボット化技術での新たな施工法の開発が進められつつあるのは事実である。

ただ，自動化・ロボット化技術開発を実用化するためには，技術開発のみならず，それらを従来の施工体制に組込み共存させるための総合的な施工体制の構

築，その施工体制を維持するための作業の効率化や改善活動の推進は必要不可欠な課題と考える。本報文ではその一例として紹介した。

謝　辞

最後に，当該開発に当たりご尽力とご協力を頂いた建築鉄骨専門業者の㈱横河ブリッジ殿，開発対象ロボット「石松」のメーカ MHI ソリューションテクノロジーズ㈱殿，技術指導の㈱旭ウェルデックス殿，施工管理のグループ会社である鹿島クレス㈱殿関係各位には，厚く御礼を申し上げます。

［筆者紹介］
遠藤　明裕（えんどう　あきひろ）
鹿島建設㈱
建築管理本部　建築技術部
次長

JCMA