

【寄稿論説】

# 橋梁製作のロボット化

## Robotization of Bridge Fabrication

大阪大学溶接工学研究所教授、工博  
Prof. of OSAKA Univ., Dr.Eng.,

堀川 浩甫  
Kohsuke HORIKAWA



### 1. はじめに

昨今の世の中はハイテクばかりである。橋梁など大型構造物の製作においても各種のハイテクが取り入れられようとしている。その一つにアーク溶接ロボットがあり、ここ数年間に大きな進歩を遂げている。その様子は、例えば1985年にStrasbourgで開催された国際溶接学会(IIW)の研究集会に見ることができる<sup>1)</sup>。しかし、残された問題も少なくなく、上記研究集会の評価書にも多くの問題点が指摘されている<sup>2)</sup>。

先ず最初に挙げられているのが「ロボットとは何か」と言う定義である。メモリーやセンサーを持つ、持たないといったことで多くの議論がなされているが、このようなことで争うことは橋梁屋にとっては、あまり意味がないので、標題では格好良く「ロボット化」としているが、ここでは広く機械化、自動化を含めることとし、後述の論旨に合わせるならば、省人化の問題として考えていただきたい。

### 2. 工場のロボット化

工場生産の機械化、ロボット化の大きな流れは、橋梁のような一品生産でない工業分野で進んでおり、ここでは量産効果により初期投資を補い、利潤を上げている。そのため、多量生産が宿命であり国内だけでなく海外に市場を求めることが必然で、これまで外貨獲得の大任を負っていたが、貿易摩擦とやらで曲り角になってきた。

もう一つの流れは宇宙空間や原子炉内部のように人の近づくことの出来ない環境において人に代わって作業したり、ある種の電子部品などに見られるようなミクロン・オーダーの手では出来ないような精密な作業をするためのものであり、どちらかと言えば金に糸目を付けない軍需産業がリードして来たと言えよう。

いま橋梁製作における機械化、ロボット化を考えると、上記の高能率生産による経済性の追求、精密作業による高品質の追求の二つの側面を含むものであることはもちろんあるが、これらに加えて作業員の高齢化、裏返して言えば若年層に人気のないことに対する対策としての側面も大きい。

のことから、何がなんでも全工程を機械化、ロボット化しなくとも、場合によってはロボットに不向きな作業は手作業に残しておき、ロボットに向いた作業だけロボット化しても、相当の成果が期待できるが、一方、現在もっともロス・タイムとなっているのがクレーン待ちのようなマテハン〔“Material Handling”略称、ヨコモチ（横持ち）とも言う〕に関係するものであるので、いかに個々の作業を機械化、ロボット化してもトータルとしてどれだけの効果があるか疑問視されると言う相矛盾する二つの考えが生じて来る。

そこで筆者は橋梁製作を前段と後段に分割することを考えたい。

これまでの橋梁の製作においては、溶接組立など工場内の作業と仮組立などのヤードでの作業に区分して考えることが多かったが、昨今ではブロックの大型化が進み溶接などの作業がヤードでなされることも多くなっている。また、フローティング・クレーンなどを用いた一括架設のため仮組立を省略し、ヤードで直接地組立をすることも多く、地組立の途中に溶接作業が混じるなど屋根の内外の区分は適切でなくなっている。

ロボット化の観点からは、パネルの製作までを当面のロボット化の対象とする前段、パネル相互の組立以降をしばらくは従来法による後段としたい。すなわち、工場の建屋が低層棟と高層棟に分かれている場合の低層棟の作業を当面のロボット化の対象としようとするものである。具体的な作業内容としては、野書き、切断、孔明け、

板継ぎ、それにリブスティフナーなどの取付けである。プレート・ガーダーの法兰ジとウェブをつなぐすみ肉溶接を組入れるかどうかは、プレート・ガーダーとボックス・ガーダーの製造比率などにより考え方も違つて来るので、トラス弦材の扱いとともに残された課題といふ。

パネルの製作までを当面のロボット化の対象にするのは、それぞれの作業をするロボットの開発が進んでいるからばかりでなく、クレーンによらなくともマテハンが可能と考えるからである。以下、その理由を考察しよう。

これまでに機械化、ロボット化の進んでいる工業分野は、製品の大きさと工作機械の大きさを比べた場合、工作機械の方が大きく、工作機械を固定しておいて製品を移動させるいわゆる流れ作業でなかつたではないだろうか。自動車産業をその典型例として挙げておこう。

一方、製鉄所の溶鉱炉のような構造物においては、架設地点において作業工程にしたがつて、それぞれの工程に応じて作業員が必要な材料と治工具を持って来て作業すると聞いている。

橋梁の製作においても、I桁のような40~50ton程度までの部材の製作は流れ作業がほとんどであろうが、100tonを超えるような大型の橋脚では溶鉱炉のような据置の作業となることも少なくない。

次にロボット作業における問題点の一つに、ロボットと製品の相対位置を決める問題がある。いかに機械化により作業のスピードが速くなつても、セッティングに時間が掛かってしまったのでは効果は薄い。また、位置に関するデータのインプットを必要とするものにあっては、データ・インプットに要する時間(工数)もおろそかに出来ない。

橋梁のように二つと同じものはないと言っても良いような極端な多品種少量生産においては、製造に要する時間(工数)よりデータのインプットの時間(工数)の方が多くなつたり、後者まで含めるとロボット化したためにトータルの時間(工数)が増えてしまうことになりかねない。

そのためにも、一つの作業ステージ(連動した一つのロボット群で作業する区域)で出来るだけ多くの作業をすることと、前のステージでの作業結果のデータを次のステージのロボットに如何に引継ぐかが重要になってくる。このステージ間の製品の移動にクレーンを用いるならば、製品は文字通り宙に浮いてしまい、地(地墨線~座標)に付かないものになつてしまうので、少なくとも位置に関するデータは移動の度にインプットしなければならない。

製品の移動をクレーンに依らず、移動床やローラー・システムによれば、その移動量をコンピュータ・コント

ロールすることが可能となり、いくつかのステージを一貫したロボット・システムとすることが可能となる。

パネルがロボットにより出来た後のパネル相互の組立ては立体的な作業となり、巨大なマニュプレータを設置しないかぎり、あるいはかってのウルトラマン、現代の筋肉マンのようなロボットらしいロボットが出現しないかぎりクレーンを中心とした作業とならざるを得ない。

したがつてロボットを導入するとしてもクレーンによって作業個所に運ばれ、単一の作業をするロボットに留まり、システムの全体の本質としては従来法を踏襲せねばなるまいと目下の所は考えている。

そこで、パネル組立までの作業をロボット化し、これらのステージをコンピュータにより連動させるかぎりなく無人に近いシステムに構築することを提案するものである。

このためには、各ステージで用いる単位ロボットの言語に互換性が必要であり、さらに、設計データを製作で生かすためには、設計で使用するコンピュータ言語との互換性を図ることも重要な課題である。

なお、ここではロボットそのものには敢えて触れなかつた。幸いに我が国はロボット単体の技術は、溶接技術、センシング技術を含めて世界的にも優れており、ロボットに対する要求性能をロボット製造技術者と同じ土俵の言語で示すならばその製造は可能で、橋梁屋に問われるものは「どのようなロボットをどのように使いこなすか」であると考えるからである。橋梁を対象としたロボット・システムの例としては文献<sup>3),4),5)</sup>などを参照されたい。

### 3. ロボットを生かす設計

工場をロボット化しても製品の構造がロボットに不向きであれば普通のロボットでは作業出来ず手作業にいるところが多くなり、折角のロボットの能力が発揮出来ない。一方、このような個所も作業出来るロボットを開発、導入しようとすれば、いたずらに高価なものになる可能性もある。そこで、設計者がロボットの特性を理解し、ロボットがその能力が発揮できるような構造とすることが、ロボット化を成功させる重要なポイントとなる。

前述の国際研究集会の評価書においても、「設計において軽微な修正をすることにより、対象とする構造物へのロボット溶接の適用が、もっと容易に、経済的になる可能性がある。手溶接、自動溶接からロボット溶接への変更には、適切な設計変更と新しい設計思想 (a new way of thinking) が必要である」と指摘されている<sup>6)</sup>。

この指摘を受けて、IIWで橋梁や鉄骨などの構造の設計と施工を担当する第XV委員会では昨年(1986年)に、「ロボット溶接技術が製品の設計・施工に及ぼす影響」を調査するワーキング・グループ(WG-6)を設置、委員長

をわが国の松井繁朋博士に委嘱した。

本年(1987年)のIIW大会の第XV委員会において筆者は松井委員長に代り、各国の意見を引き出すための叩き台として日本の現状を報告したが、その一部は次のようなものであった<sup>7)</sup>。

- ① 継手形状とロボット溶接の容易さ(図-1参照)
- ② 溶接トーチ(ロボットのアーム)と製品の干渉(図-2参照)
- ③ アーク・センシングに適した継手形状(図-3参照)
- ④ ロボット溶接に適した溶接姿勢(図-4参照)
- ⑤ ポジショニングの回数を減らす継手設計(図-5参照)

このワーキング・グループは、

- ① ロボット溶接の特徴を良く理解してロボットに適した継手を増やすこと
- ② 設計変更により生産性の向上を図ること
- ③ ロボット溶接が困難なためなされる手作業による溶接工数を減らすこと
- ④ 溶接姿勢や溶接条件を適切にすることにより、溶接の品質を向上させ、手直しを減らすこと

を目指している。委員長国としてのわが国は筆者を委員長とする国内委員会を設けるなどにより活発な活動を開く予定である。先の報告は、構造の全体系には及ばず継手形状の改善に留まっているが、継手の位置をどうするかを含めた構造全体としての設計改善は正に橋梁屋自身の問題であり、読者みなさんのお知恵も戴き、実り多い成果を挙げたいと希望している。

Kind of joint	Joint configuration	Acceptability	Kind of joint	Joint configuration	Acceptability
Butt joint		×	Corner joint		◎
		○			△
T-joint		◎	Edge joint		×
		○			◎
Corner joint		△	Lap joint		△
					◎

<Note> Possible ◎>○>△>× Impossible. Welding robot with joint sensing mechanism.

図-1 継手形状とロボット溶接の容易さ

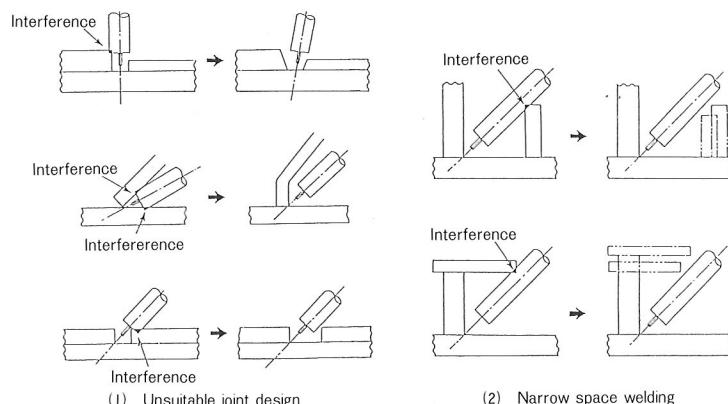


図-2 溶接トーチ(ロボットのアーム)と製品の干渉

Joint	Configuration	Countermeasure
Square butt		Single V groove Single bevel
T-fillet		$l \geq 3 \text{ mm}$
Lap-fillet		$l \geq 3 \text{ mm}$

図-3 アーク・センシングに適した継手形状

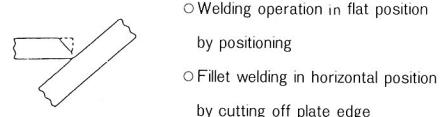
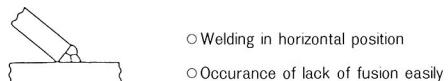


図-4 ロボット溶接に適した溶接姿勢

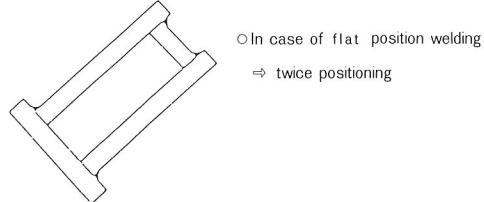
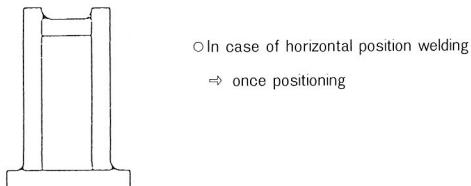
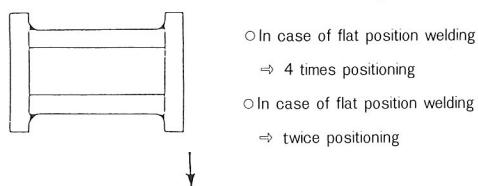


図-5 ポジショニングの回数を減らす継手設計

## 参考文献

- 1) Automation and robotisation in welding and allied processes, Proc. of Int. Conf. held at Strasbourg, Sept. 1985, under the auspices of IIW, Pergamon Press 1985.
- 2) U. Girardi and T. Konkoly : Note on the IIW Conference on "automation and robotization in welding and allied process" IIW Doc. XV-602-86.
- 3) 和田宏一他：大型構造物用多電極溶接ロボットの開発，三菱重工技報23刊1号1986年1月。
- 4) 南方俊一他：鉄鋼製品を対象としたロボット溶接システムの開発，川崎重工技報94号，1986年12月。
- 5) 大久保宜正他：大型構造物用2電極門形溶接ロボット，R&D神戸製鋼技報，Vol. 37, No. 2. 1987年4月。
- 6) 文献2) のPP.5.
- 7) S. Matsui and K. Horikawa : Preliminary report on the special requirements for design and fabrication of part welded by robots, IIW Doc.XV-657-87.