

建築鉄骨 SRC 柱のウェブすみ肉溶接に適用する 自動溶接装置の開発および適用結果について

工藤 憲二¹⁾ 露野 公則²⁾ 杉本 智美³⁾ 高橋 照明⁴⁾

建築鉄骨の受注単価の低迷が続く中、ファブリケータのコスト低減への取り組みは、企業の存立をかけた緊急課題である。

その解決法として①CAD、CAM化を追求し、労働集約型産業からの脱却を目指す手法と、②コンピューターと人手をうまくマッチングさせ、それぞれの特徴を生かしつつ、順次、高能率装置の導入を計ることにより省力化を目指す手法がある。その選択は、企業経営戦略、経営者のポリシー、企業体力、さらには建築鉄骨自体の需要予測により異なってくる。この報告は上記のうち②に該当するものである。

今回、建築鉄骨用、十字またはT字柱のウェブ同士のすみ肉溶接に適用する自動溶接装置を当社とマツモト機械株式会社にて共同開発を行った。

現在当社では4台導入し、溶接工程に配置し生産に寄与している。この装置は①溶接品質が良好である。②軽量である。③^{なら}倣い装置付である。④取り扱いが簡単である。⑤材端検知機能を保持している。⑥1人で3台稼働できる。などの特徴を持っている。

本報告は今回開発した自動溶接装置の概要と、溶接継手性能を調査した溶接施工試験の結果と、この装置導入によるコストダウンの効果について述べたものである。

まえがき

SRC用柱ウェブ同士のすみ肉溶接に適用する溶接施工法は、従来CO₂ガスシールドアーク半自動溶接法が一般的である。

以前から自動化への取組は試みられたが、拘束用バンドプレートが柱フランジに取付いているため溶接線が遮られ、自動走行装置による連続溶接の適用が困難になっている。ただしバンドプレートの内側を走行する小型の自動走行装置は既に市販されてはいる。しかし装置本体が長尺なため溶接不可能範囲が長くなる点と、シールドガスに高価なアルゴンと炭酸ガスの混合ガスを使用しているため、コスト面で問題があった。

今回、バンドプレートの代用品として、着脱容易な専用拘束治具を用いることにより、溶接の進行に応じて、順次前面の拘束治具を取り外し、溶接終了部分に再度取付けていくことで、自動溶接装置による連続溶接の適用が可能になった。

1. 自動溶接装置の概要

今回開発した自動溶接装置「はしらー」を写真-1と図-1に示す。また、装置の仕様を表-1に、構成図を図-2に示した。

この装置の特徴は、仕様に示したとおり、①軽量でコンパクトである。②溶接線の^{なら}倣い装置を備

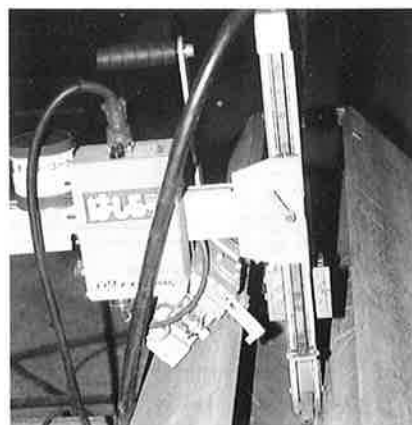


写真-1 自動溶接装置

1) 東北鉄骨橋梁技術部部長 2) 東北鉄骨橋梁技術開発課課長 3) 東北鉄骨橋梁技術開発課係長
4) 東北鉄骨橋梁技術開発課

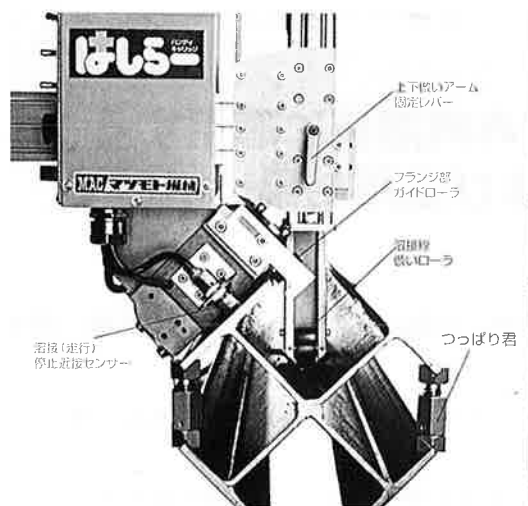


図-1 自動溶接装置説明図

表-1 装置の仕様

型 式	SRC-400R(L)
台車駆動方式	ゴム車輪四輪駆動・吸引用電磁石併用
台車走行速度	90 ~ 1000 mm / min(60Hz) 90 ~ 900 mm / min(50Hz)
倣い方式	上下 自動倣い 左右スプリング倣い
牽 引 力	196N(20kgf)
自動停止機能	有(1方向)
操 作 機 器	電源スイッチ、溶接連動スイッチ、速度ボリューム 溶接開始押釦、溶接停止押釦 走行方向切替スイッチ
クレーター処理機能	なし
本 体 質 量	約 16kgf (トーチ含まず)
制御入力電源	AC単相 100V 50 / 60Hz
専 用 ト ー チ	空冷 500A 使用率 60 % 5M

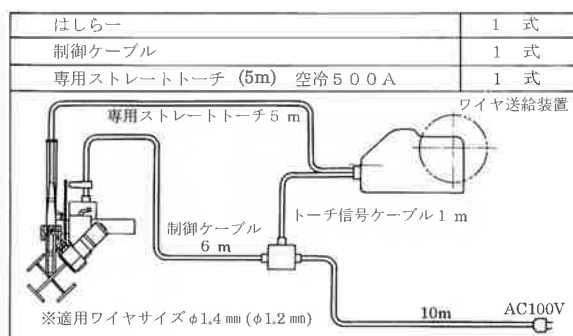


図-2 構成図

えている。③材端を検知し自動停止機能を備えている。④柱のフランジ面をガイドにマグネット車輪にて走行するためレールが不要である。⑤溶接電源は汎用の直流溶接機を使用できる、などである。

2. 溶接施工試験結果

開発した自動溶接装置を用いて実大試験体を溶接し、自動溶接装置の性能、および溶接部の継手性能、さらに専用拘束治具の溶接歪発生防止効果を確認する目的で行った、溶接施工試験結果について述べる。

(1) 試験体

図-3に試験体の形状・寸法を示す。試験体はSRC用十字柱とし、材質SN490B材で全長2mとし、ロールH500×200×9×22と同材CTを使用した。製作台数は1溶接線に拘束治具を両端に取付けたF-1(写真-2拘束治具取付状況)と両端と中央に取付けたF-2の2体とした。表-2および

表-2 使用鋼材の化学成分

鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ceq
SN490B	15	36	125	0.14	0.5	2	4	0	2	38
(H500 × 200 × 9/22)	% × 100									%

注1) 鋼材メーカー：日本鋼管。

注2) 化学成分は鋼材検査証明書による。

注3) $Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$



写真-2 拘束治具取付状況

表-3 溶接材料

試験体記号	溶接方法	溶 接 材 料					備 考
		規 格	種 類	銘 柄	ワイヤ径	メーカ	
F-1	CO ₂ ガスシールド	JIS Z 3313	YFW-C500R	FG-50S	1.4 φ	川崎製鐵	CO ₂ ガスシールド フラックス入ワイヤ
F-2 共通	自動溶接						

※シールドガスに使用する炭酸ガスは、JIS K 1106(液化炭酸)の規格品とする。

び表-3に使用鋼材の化学成分および溶接材料をそれぞれ示す。

溶接材料はCO₂ガスシールドフラックス入りコードワイヤの1.4φを使用した。表-4に溶接記録を示す。最大入熱量は21.7kJ/cmであった。

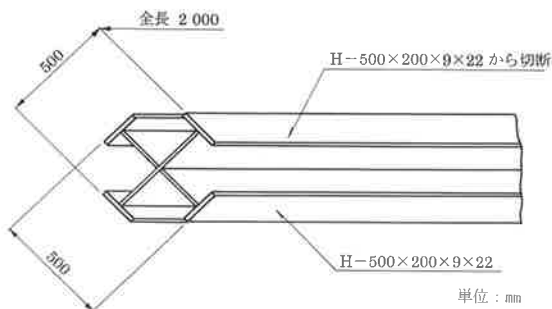


図-3 試験体の形状・寸法

表-4 溶接記録

試験体記号	アーク電流 (Amp)	アーク電圧 (Volt)	溶接速度 (cm/min)	入熱量 (kJ/cm)
F-1	345	42	40	21.7

(2) 調査項目

- ①溶接前と溶接終了後に大曲り，振れ，対角寸法，および溶接線方向の収縮量を測定し，F-1とF-2の有異差について調査した。
- ②表面欠陥検査として外観検査と溶接部の浸透探傷検査を行った。
- ③試験片を採取し，曲げ試験，引張試験，マクロ試験，硬さ試験，および溶着金属の引張試験を行い継手性能を確認した。

(3) 試験結果および考察

1) 溶接歪測定結果

溶接前と後で対角寸法はF-1で最大1.5mm，F-2で1.0mmの変位を示し，溶接方向の収縮量は0mmであった。さらに，大曲りと振れは両試験体とも発生しなかった。このことから試験体の有異差はなく，拘束治具は両端に取付けるだけで溶接歪の発生量を許容値以内に押さえられる。

2) 表面欠陥検査

外観検査結果，写真-3に示すとおり，ビード外観は良好であった。浸透探傷をビード全線に対して行い，無欠陥であった。

3) 曲げ試験

片側60°ずつ，合計120°のT型すみ肉溶接曲げ試験を行った。試験結果を表-5に示す。全

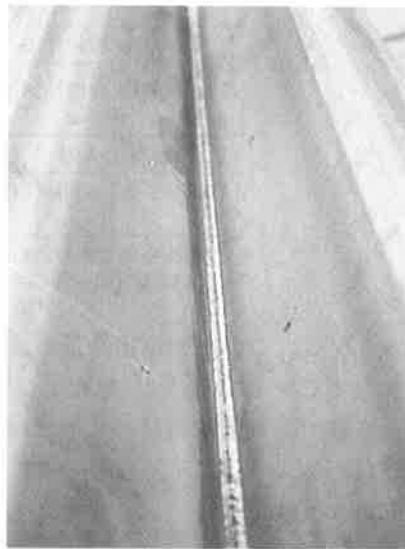


写真-3 ビード外観

表-5 T型すみ肉溶接継手の曲げ試験結果 (JIS Z 3134)

試料番号	板厚 (mm)	曲げ直径 (mm)	曲げ角度 (°)	最大荷重 N	評価
B1	9	36	60	17400	無欠陥
B2	9	36	60	17000	無欠陥

数無欠陥であった。

4) 引張試験

十字すみ肉溶接試験結果を表-6に示す。前面すみ肉溶接継手の引張強さは428～432N/mm²を示し，判定値396N/mm² (1.4σ_v/√3，ただし，σ_vは，母材のJIS規格における引張強さの下限値)を満足していた。また，溶込みが良好であり，破断位置は母材であった。

さらに溶着金属の引張試験を行った。すみ肉溶接の，のど厚寸法から引張試験片の平行部の外径を4mmφとした。

試験結果を表-7に示す。溶着金属の引張強さは669～670N/mm²を示した。伸びは18～19%，絞りは60～62%を示した。引張強さが高い値を示しているが，これはすみ肉溶接の目標脚長が7mmと小さいため溶接速度が40cm/mmと早くなり，さらに溶接部から部材を伝達して，放熱する方向が突合せ溶接部に比較し，1方向

表-6 十字すみ肉溶接継手引張試験結果 (JIS Z 3131)

試料番号	平均脚長 f _m (mm)	溶接長 I(mm)	破断荷重 P(N)	すみ肉溶接継手の引張強さ S(N/mm ²)	破断位置	合否判定基準 (JASS6 準拠)*
T1	8.4	40.0	207,500	432	母材	合格
T2	8.5	40.0	207,700	428	母材	合格

$$S = 0.7 \times P/f_m \cdot I \quad * : S \geq 1.4 \sigma_v / \sqrt{3} = 396 \text{N/mm}^2$$

表-7 溶着金属の引張試験結果

試料 番号	試験片寸法			降伏点		引張強さ		伸び % 標点 距離24	絞り %
	試験片	直径*1 mm	断面積 mm ²	荷重 N	YS N/mm ²	最大荷重 N	TS		
D1	A2号	4.02	12.69	7.520	593*3	8.500	670	19*4	60
D2	A2号	4.03	12.76	7.590 (7.530)	595*3 (590)*2	8.540	669	18*4	62

*1: 溶着金属寸法のために変更 *2: 上降伏点 *3: 0.2耐力
*4: B破断 (標点間の中心から標点距離の1/4の超え)

だけ多くなる。このため溶着金属の冷却速度が大きくなることによる¹⁾。ただし、絞り値が60%と良好であり溶着金属の性能には影響ないと考えられる。

5) マクロ試験

マクロ試験結果、写真-4に示すとおり溶着部は無欠陥であり、脚長の目標値7mmに対し8.5mm、のど目標値4.9mmに対し6.0mmと良好であった。

6) ビッカース硬さ試験

測定位置を図-4に、硬さ試験データを図-5に示す。a~cは組立溶接のない部位から採取し、測定線dは組立溶接部から採取した。いずれのデータもボンド部で最高硬さを示しa~cで各々の最高値は225~248HV10の範囲であり、組立溶接部のdで最高硬さは216HV10を示した。

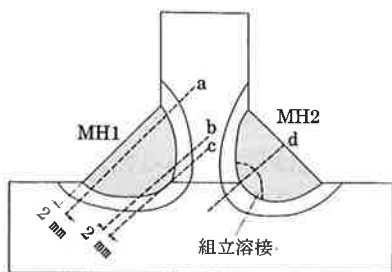


図-4 硬さ試験測定位置

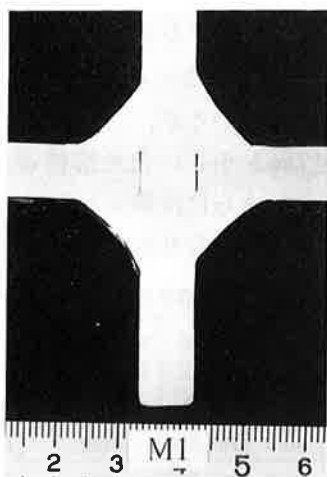


写真-4 マクロ試験体

このデータから組立溶着部はすみ肉溶接で再溶融されており、再熱処理の影響から焼なまし効果により、最高硬さが低くなっていると考えられ、組立溶着部、および一般すみ肉溶着部の最高硬さは、判定値350HV以下となっており、問題ないと考えられる。

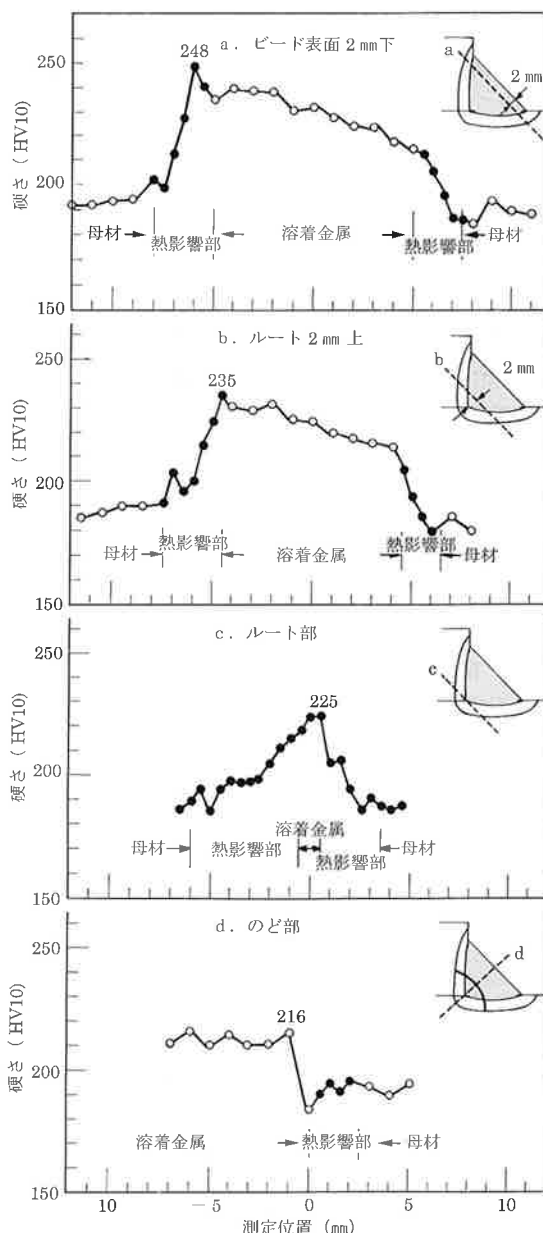


図-5 十字すみ肉溶接継手の硬さ分布(CO₂溶接)

(4) 試験結果のまとめ

実大試験体を溶接し、各種試験を行った結果、下記項目が解明された。

- 1) 本章(3)1)項に述べたとおり、溶接歪の発生量から拘束治具取付数は、本試験では両端取付けで十分である。
- 2) 溶接ビード外観、および浸透探傷はいずれも良好であった。
- 3) 機械的性質は従来のCO₂ガスシールドアーク半自動溶接に比較し、遜色なかった。今回の自動溶接装置は微い機構を備えているため、ワイヤねらい位置がルート部を正確にとらえており、溶込みが安定している。
- 4) 自動走行装置も異常なく作動した。
- 5) 溶接施工試験終了後、溶接ビード外観のさらなる向上を求めて、溶接ワイヤメーカー数社の銘柄について追加実験を行った。

その結果、溶接アーク発生時にワイヤ先端のブレが最も少ないシームレスタイプのフラックス入りコアードワイヤがベストであることが判明した。

このことを踏まえて、現在当社で稼働中の自動溶接装置は、シームレスタイプのワイヤにて溶接している。

3. 自動溶接装置使用時と従来法 (CO₂ ガスシールド半自動溶接) とのコスト比較

開発した自動溶接装置と従来法 (CO₂ガスシールド半自動溶接) のコスト比較を行い、コストダウンの効果を検討した。そのコスト比較表を表-8に示す。

表-8 コスト比較表
〔設定条件：溶接長さ3m、1溶接線当たりの比較〕
単位：比率

比較項目	自動溶接装置	従来法 (CO ₂ ガスシールド半自動溶接)
1) 溶接人工費	0.3 (3台稼働/人)	1 (トーチ1台/人)
2) 溶接時間	1	1.3
3) 溶接継目の修正時間	1	5
4) 溶接ワイヤ費用	1.4	1
5) 溶接スパッタ・スラグ清掃時間	1	2
トータル・コスト比較	合計 (4.7) 1	合計 (10.3) 2

トータル・コスト比率を見ると、自動溶接装置を適用することにより従来法の約半分のコストになっている。

比較項目毎に検討した結果を以下に示す。

(1) 溶接人工費

自動溶接装置は溶接工1人で3台稼働可能である。このことから従来法の1/3となる。

(2) 溶接時間

自動溶接装置は連続溶接であり、一定速度で走行し、途中でアークを中断する必要がない。従来法では、次の(3)項に示すとおり、アーク中断が発生し、その都度溶接工は移動して再アークが必要となる。

このことから、次の(3)項で示した例では、溶接中断が5回発生し、1回毎に中断から再アークまで約0.5分が必要であり、1溶接線毎には2.5分が余分に必要となる。

したがって、両方の溶接時間比率は以下のとおりとなる。

自動溶接法では7.5分 (溶接全長3m、溶接速度40m/分、溶接中断0分)。

従来法では10分 (溶接全長と溶接速度は自動溶接法と同じ、溶接中断2.5分)。

自動溶接法1に対し従来法1.3の比率となる。

(3) 溶接継目の修正時間

自動溶接装置は、固定式のバンドプレートに代わり、着脱容易な拘束治具を使用するため、連続溶接が可能となり、スタート部とエンド部約200mmを除いて、溶接継目は発生しない。

自動溶接装置では構造上、材料の始末端部各200mmは自動溶接の施工が不可能な範囲となる (図-6参照)。始末端部は、オペレータがCO₂半自動溶接で行い、それぞれの溶接所要時間は1分程度であり、合計で2分間である。

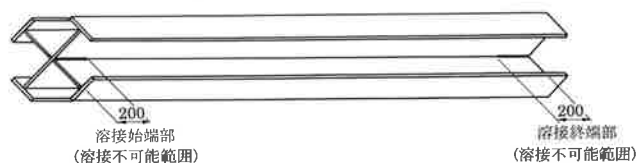


図-6 自動溶接施工不可能範囲

従来法では、バンドプレートが溶接線を遮るため、バンドプレートの数量分、溶接継目が発生する。さらに、バンドプレート間でも、腕のストロークを超える毎に(約1 m)溶接継目が発生する。

溶接継目はバンドプレート毎に1ヶ所と、バンドプレート間で1ヶ所ずつ発生する。溶接とグラインダー修正に1ヶ所2分を要するとして、図-7に示すとおり合計で10分必要となる。

このことから自動溶接法と従来法との修正時間に要する比率は自動溶接法1に対し従来法は5となる。



図-7 溶接継目発生位置

(4) 溶接ワイヤ費用

自動溶接法は、全線連続溶接なため溶接スパッタの発生防止とアークの安定性への配慮、さらにはビード外観の良さを重視し、フラックス入りコアードワイヤ(340円/kg)を使用している。

従来法は、ソリッドワイヤ(240円/kg)を使用していることから、自動溶接法が割高となり、ワイヤ費の比率は従来法1に対し自動溶接法1.4となる。

現在、自動溶接法のワイヤ費用低減のため、ソリッドワイヤの適用を試験中である。ただし、スパッタ発生量が多くても、チップの詰まりに影響がない工夫が必要なため、この問題点を解決し、さらに次に示す清掃時間の比較を行ったうえでメリットが大きいことが確認できた時点で、ソリッドワイヤへ切り換えたい。

(5) 溶接スパッタ・スラグ清掃時間

自動溶接法では、本章(4)項で述べたとおり、フラックス入りコアードワイヤを使用していることから、溶接スパッタの発生が少なく、スラグの剥離性が良い。

従来法は、ソリッドワイヤの宿命として、スパッタの発生が多く、スラグの剥離性が悪いことは

避けられない。

両方の清掃時間比率は自動溶接1に対し、従来法では2となる。

(6) トータル・コスト比較

比較項目毎の集計結果からトータル・コストでは、自動溶接法が従来法の約半分のコスト比率であることが判った。

ここで自動溶接装置の購入費をコスト比較の項目に含めていないのは、この装置は1台当たり約65万円と廉価であり、従来法である直流溶接機との差がないことと、当社では13年償却を採用しており、コストアップ要因として、ほとんど考慮する必要がないことによる。

4. まとめ

序文で述べたように、建築鉄骨の製作コスト低減は緊急に取り組むべき課題であり、開発された装置がコスト低減に役立つ目途が立ったら即導入すべきものとする。

今回開発した装置は、当社のアイデアを基に機器メーカーにて設計し、共同開発したものである。

「必要は発明の母」の諺どおり、日常作業を注意深く観察し、何とか時間数を短縮したいという意識で仕事をしていれば、省力化のテーマはつきないものと思われる。

現在、当社ではこの装置を4台、工場内に配置して、新入社員をオペレータとして教育し日常作業に使用している。

継目のない溶接ビードを得られ、良好な外観であるため、来場した客先に好評であった。

現在は脚長12mmまでは問題なく溶接可能である。さらに、大脚長と開先をとった場合に対応できるよう、ウィービング機能を備えた装置を開発すべく取り組んでいる。

あとがき

自動溶接装置の開発素案を、まとめたのが平成8年の夏である。素案を基にマツモト機械株式会社に共同開発を持ちかけ、試作機第1号が平成9年の春に完成した。その時点で特許申請を行い、その後改良し試作機第2号にて、本文の溶接施工試験を行った。

その結果を平成9年9月の日本建築学会大会学術講演会にて論文発表した。さらに、同年、東京国際貿易センターで行われた鉄構技術展にマツモト機械が展示し、多くの見学者の前で実演を行った。

今後、今回の開発に満足することなく、さらにコスト低減のテーマに挑戦していく所存である。

最後に、本装置を用いて行った溶接施工試験結果を建築学会大会論文²⁾にまとめるにあたり、貴重なご助言、ご指導を頂いた千葉大学森田耕次教授をはじめ、装置を共同開発したマツモト機械株式会社大津社長、さらにマツモト機械株式会社との仲立ちに尽力頂いた元川鉄テクノロジー株式会社杉崎光嗣氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木春義他：溶接冶金，日刊工業新聞社
- 2) 露野公則・工藤憲二・杉本智美・高橋照明・森田耕次：建築鉄骨用SRC柱のウェブ十字継手に適用するガスシールド自動溶接法の溶接施工試験，建築学会大会学術講演梗概集 No. 22293， pp.585-586， 1997.9.