

溶接部入熱管理システムの開発

斎藤 修・宮川 和幸・清水 誠司・萩原 茂

Development of Measuring and Managing System for the Heat Input on the Welding Process

Osamu SAITOH, Wako MIYAGAWA, Seiji SHIMIZU and Sigeru HAGIHARA

要 約

溶接部に投入される過大熱量は溶接継ぎ手特性を低下させる¹⁾。このため、建築鉄骨の溶接施工では、パス間温度や入熱量の上限が(社)全国鉄構工業協会の規格で規定された²⁾。本研究は、(社)山梨県鉄構協会の要望に基づき、溶接部近傍の温度変化と溶接履歴を測定管理し、溶接部の品質を保証するシステムの開発を目的とした。

その結果、溶接時の電流・電圧変化及び母材の温度変化を計測・管理するとともに、パス間温度が規定値を超えた場合、溶接作業者に休止信号を出すシステムが可能となった。更に、センサーを複数個設置して複数箇所の溶接を交互に行うことにより、溶接休止時間を最小限に抑え、能率的に入熱管理が行えるシステムが開発できた。

また、本システムを用いて、入熱量が溶接継ぎ手特性に及ぼす影響を調べたところ、SN490ではパス間温度の増加とともに溶接部の強度低下が認められたが、SS-400では明確な差異が認められなかった。

1. 緒 言

阪神・淡路大震災以降、建物の骨組みである建築鉄骨には、従来にも増して厳しい品質が要求されている。鉄骨の主要部分は、工場内溶接により製作されており、品質を確保するため溶接部には超音波探傷法による非破壊検査が行われてきた。

しかし近年、溶接部の継ぎ手強度は、溶接欠陥はもとより溶接時に加えられる入熱量やパス間温度にも大きく影響されることが明らかにされた³⁾。そこで昨年(社)全国鉄構工業協会では、溶接施工時のパス間温度及び入熱量の上限を規定し、鉄骨溶接部の入熱管理を行うことを義務付けている⁴⁾。しかし現状では、溶接作業者が表面温度計や温度チョークによりパス間温度をチェックしている程度であり、測定データの保存・管理は難しい状況にある。

そこで本研究では、(社)山梨県鉄構協会の要望に基づき、溶接部近傍の温度変化と溶接時の電流・電圧を測定管理することにより、鉄骨溶接部の施工条件を保証するシステムの開発を目的とした。

2. 入熱管理システム

溶接施工時のパス間温度を350℃以下に抑えるためには、

溶接部近傍の温度変化を測定し、上限値350℃を超えた場合は作業者に溶接休止信号を出す必要がある。また、1箇所での溶接では溶接休止時間が必要となるため、作業能率が低下することから、複数箇所の溶接を同時並行で行う必要がある。

以上の必要条件と溶接作業性を考慮して、以下の入熱管理システムを開発した。

2-1 システムの仕様

本システムを使用する業界である(社)山梨県鉄構協会の要求仕様をもとに、最低限必要な仕様を下記のとおりとした。

- 1) パス間温度(母材温度)が350℃を超えた場合、作業者に溶接休止指令を出す。
- 2) センサーを複数個設置し、複数箇所の溶接を交互に行うことで、溶接休止時間を最小限に短縮する。
- 3) 入熱量の算出が含まれた溶接施工条件の管理データが出力できること。
- 4) 溶接現場へコンピュータは持ち込まないこと。
- 5) 着脱が容易で堅牢な温度センサーであること。
- 6) 安価なシステムであること。

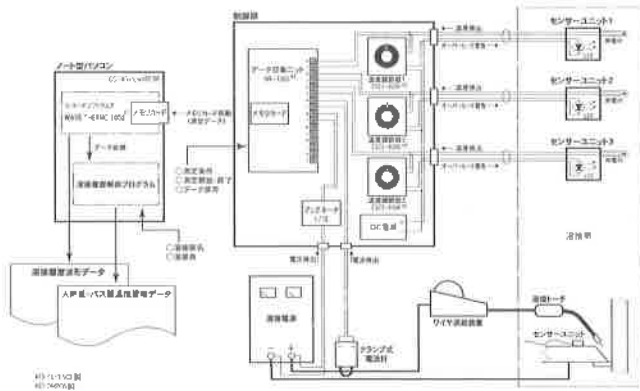


図1 開発システムのブロック図

2-2 システムの構成

システムは、大別してセンサーユニット、制御部、データ処理部から成り、図1にシステムのブロック図を示す。

センサーユニットは、溶接部付近にマグネットで取り付け、溶接線中央部で開先端から10mm離れた位置の母材表面温度を測定するK型熱電対と、バス間温度管理として350℃以上になったら溶接作業者に休息を指示するランプで構成した。熱電対は、シーリングの長い製品を使用し、センサーユニットを溶接部から遠ざけ、熱やスパッタから保護するよう考慮した。熱電対はスプリングで母材表面に押しつけているが、接触面や接触力などの影響によって測定温度が低く出る傾向にあるので、表面温度計などと比較して制御側の設定値を補正する必要がある。今回、センサーユニットの数は作業効率を考慮して、1溶接機に対して3個のセンサーユニットを取り付けたが、実際の作業条件により増減は可能である。

制御部は、バス間温度を管理するためにON-OFF制御方式のアナログ式温度調節器（OMRON社製）を用い、センサーユニットからの温度情報をもとに、温度調節器に設定した温度に達したら休止ランプを点灯する安価で単純な制御方式とした。また、溶接施工管理を行うために溶接部の温度と溶接条件の履歴を取る必要があり、KEYENCE社製のデータ収集ユニットを取り付け、各センサーユニットからの温度情報と溶接機の電流及び電圧を記録することとした。溶接電流は、クランプ式電流計を用い電圧に変換して測定する方式とした。しかし、使用した電流計は電池駆動であるため、長時間の使用には向かないので、実際の溶接現場ではシャント抵抗を用いた電流検出方式を考えている。溶接電圧は通常の半自動溶接機の場合、アークスタート時にDC60V位になる。このため、直接データ収集ユニットに入力するとオーバーレンジや破損の原因になるので、1/10に減圧して測定することとした。収集データは、全てメモリーカードに記録する方法を採用した。1枚のメモ

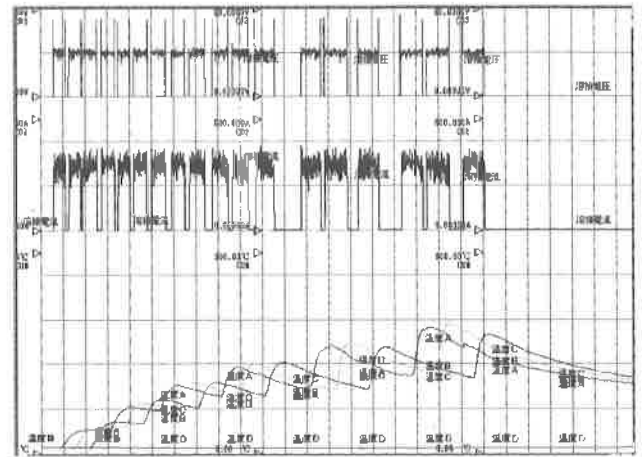


図2 測定データの出力例

リカードに1日分の作業履歴を格納することができ、記録されたデータは、メモリーカードを媒体としてデータ処理部に渡す。

データ処理部は、メモリーカードが装着できるパーソナルコンピュータを用いた。コンピュータでは、2つのソフトウェアが稼働し、一つはデータ収集ユニットに付属している「レコーダソフトウェア」で、メモリーカードに記憶された温度、電流、電圧の変化を波形として画面に表示したり印刷することができ、図2に一例を示す。もう一つのソフトウェアは今回独自に開発したもので、温度、電流、電圧の変化から入熱量などを計算し、測定データと一緒に溶接箇所毎に整理して印刷する「溶接履歴解析プログラム」である。

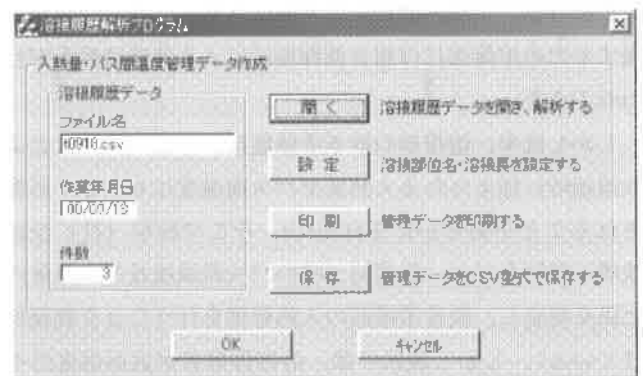


図3 溶接履歴解析プログラムのメインウィンドウ画面

2-3 溶接履歴解析プログラム

プログラムは、バス毎に溶接条件を計算すると共に、溶接部位毎にデータ整理を行い、溶接施工管理表の作成処理を目的としている。

データ処理の流れは、始めに溶接履歴データを入力し、温度変化からどのセンサーユニットの溶接箇所を溶接しているのか、あるいは急激な温度低下があった場合は新しい

溶接箇所へ移動したのか等の溶接作業を推測し、溶接箇所数を特定する。次に、コンピュータが特定した溶接箇所毎に対して、オペレータが溶接部位の管理用名称、溶接長の人力を行う。これをもとに、溶接速度や入熱量を計算し図4に示す管理データを出力する。図に示すデータ項目は、(社)山梨県鉄鋼協会からの要望により、溶接施工条件を管理するのに必要であるという理由から決めたものである。また、作成されたデータは、汎用的な表計算ソフトウェアでも処理できる形式で保存が可能である。溶接履歴解析プログラムのメインウインドウ画面を図3に示す。これらの処理プログラムはMicrosoft社製VisualC++6.0で作成した。

作業年月日:00/09/18		溶接履歴ファイル名:10918.csv		Page: 1					
溶接部位名	溶接長 (cm)	パス (No)	平均電流 (A)	平均電圧 (V)	アーク (sec)	溶接速度 (cm/min)	開始温度 (°C)	入熱量 (J/cm)	パス間 (sec)
Lot1-Pos1	15.0	1	275	31	26	34.6	28	14778	0
		2	306	30	30	30.0	109	18486	82
		3	293	31	31	29.0	197	18880	84
		4	286	31	36	25.0	263	21860	106
		5	285	31	45	20.0	297	26328	165
		6	301	30	49	18.4	355	29389	182
Lot1-Pos2	15.0	1	289	31	28	22.1	28	16584	0
		2	292	30	28	32.1	119	16336	83
		3	304	30	30	30.0	198	18372	93
		4	272	31	35	25.1	264	19426	109
		5	292	30	51	17.6	294	30062	173
		6	289	31	52	17.3	365	31073	180
Lot1-Pos3	15.0	1	283	30	33	27.3	28	18994	0
		2	292	30	30	30.0	135	17729	84
		3	293	30	35	25.7	212	20857	95
		4	294	31	42	21.4	270	25176	116
		5	299	30	47	19.1	298	28167	190
		6	286	30	49	18.4	346	28235	180

図4 計算出力した溶接管理データ

3. 継ぎ手特性に及ぼすパス間温度の影響

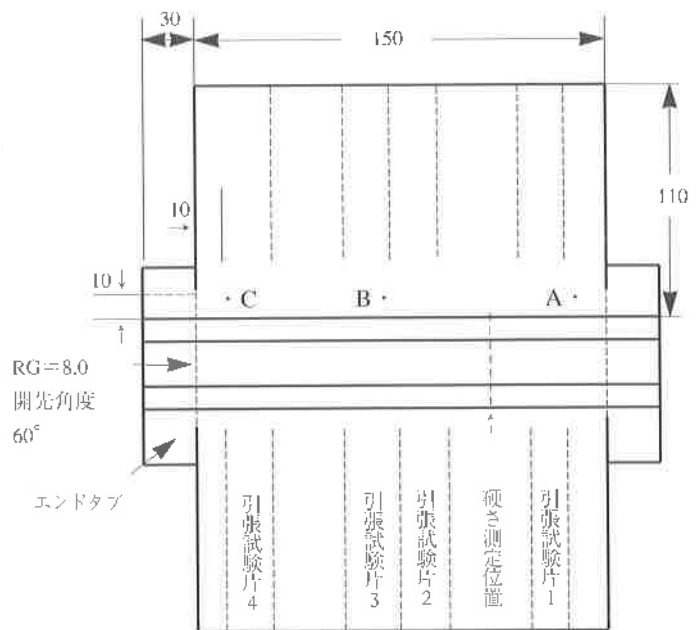
3-1 実験方法

溶接部の継ぎ手特性に及ぼす溶接パス間温度の影響を調べるため、パス間温度350℃以下の規定を守って溶接した試験片と、350℃を大幅に越える条件で溶接した試験片を作成した。図5に試験片の形状を示す。使用した母材は、厚さ25mmのSS-400とSN-490B材で、溶接ワイヤーにはJIS Z 3312に規定されるYGW-II (YM-26, φ1.2: H鉄溶接工業製)を用いた。溶接条件は、溶接電流を約300A、溶接電圧を約32Vとし、1層目はストリンガー溶接を行い、2層目以降はウィーピング溶接とした。

各溶接試験片から、図5に示す位置で溶接部断面の硬さ分布を測定し、4本の引張試験片から溶接部の強度を測定した。

3-2 実験結果及び考察

図6は、SS-400材を溶接した時の母材温度と溶接電流・溶接電圧の変化を測定した結果である。パス間温度350℃以下の規定を守って溶接した試験片(A)では、溶接が終了するまでに約47分を要した。一方、試験片(B)では14



A～C：温度測定位置（母材表面より7.0mm）

母材材質：SS-400, SN-490

母材板厚：25mm

図5 溶接試験片形状

分で溶接が終了したが、溶接時間とともに母材温度は上昇し最高温度は900℃以上に達している。また、パス数の増加と共にビード幅が広がることから溶接時間も増加し、6層以降の溶接時間はほぼ1分となっている。

溶接電流を300A、溶接電圧を32V、溶接長を200mm、溶接時間1minとして下記式(1)で入熱量を計算すると28,800J/cmとなり規定値40,000J/cmを下回っている。

$$H = \frac{60 \times E \times I}{V} \dots (1)$$

H：入熱量 (J/cm) I：溶接電流 (A)

E：溶接電圧 (V) V：溶接速度 (cm/min)

図7及び図8に、両試験片の引張試験結果、硬さ試験結果を示す。試験片(A)はすべて母材部で破断を示している。一方試験片(B)の引張強さは、試験片(A)より10N/mm²程度低い値を示し、4試験片中1試験片は溶接金属部で破断を示した。しかし、どの試験片もSS-400の下限値である400N/mm²を大きく上回っており、溶接部の明確な強度低下は認められない。また、図8に示すように、(A)と(B)の試験片の硬さ分布にはほとんど差異は認められず、両試験片とも溶接金属部が最も高い硬さを示している。これは400N級の材料を500N級の溶接ワイヤーで溶接したためと推察される。

図9は、同様にSN-490を溶接した試験片の引張試験結

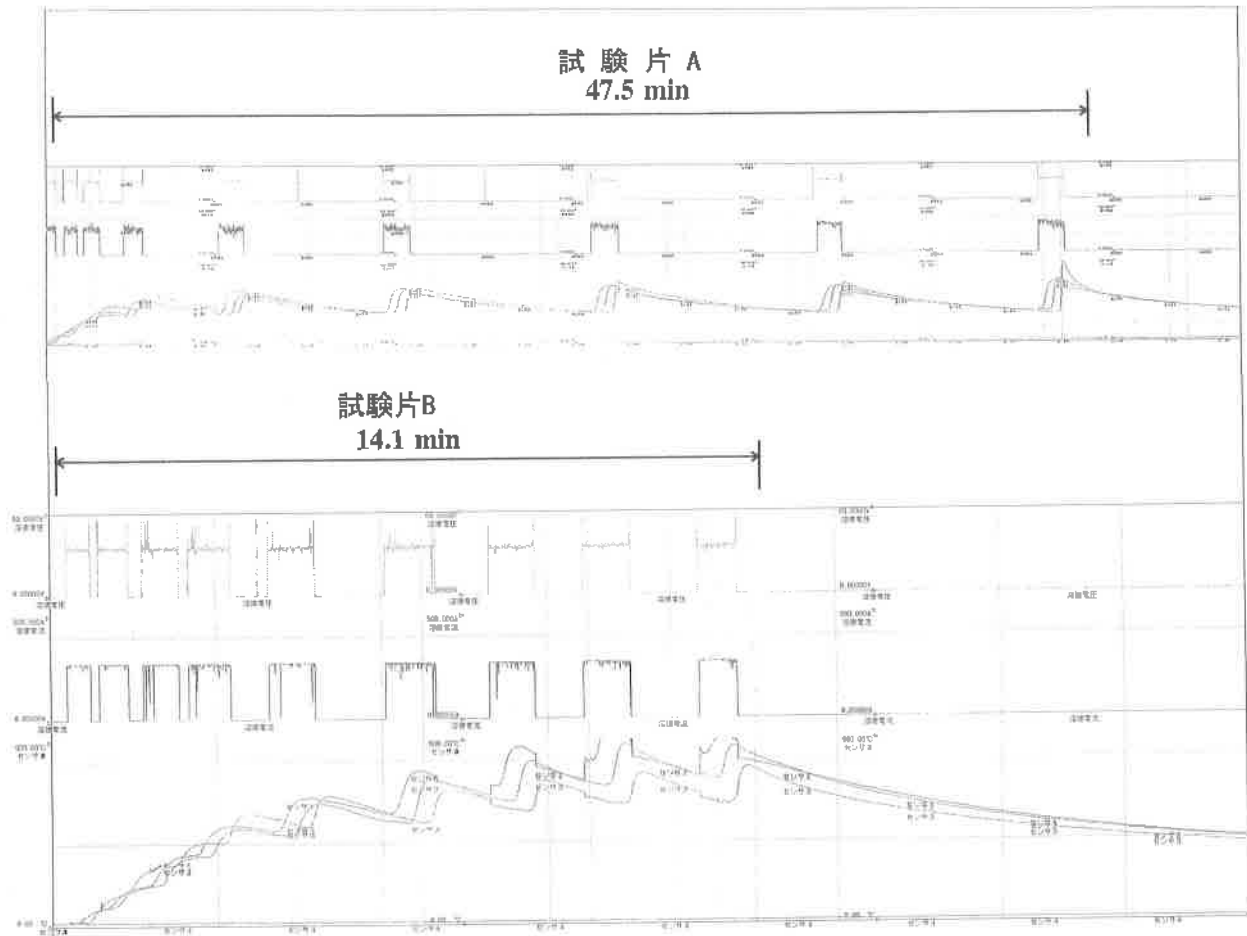


図6 溶接時間に伴う母材温度・溶接電流・溶接電圧の変化
(試験片A：適正入熱 試験片B：過大人熱)

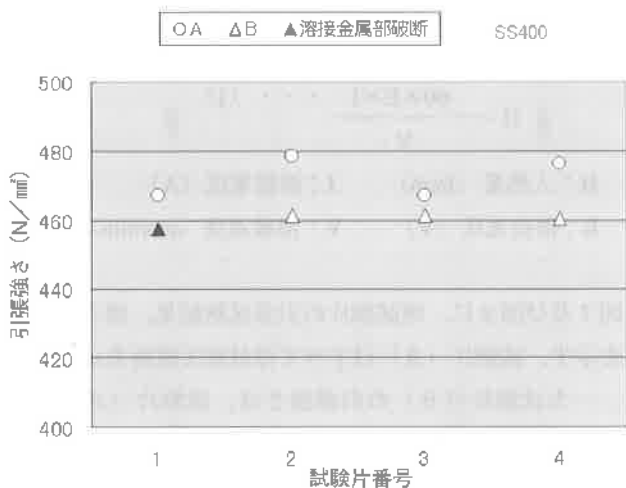


図7 溶接部の引張試験結果 (SS-400)

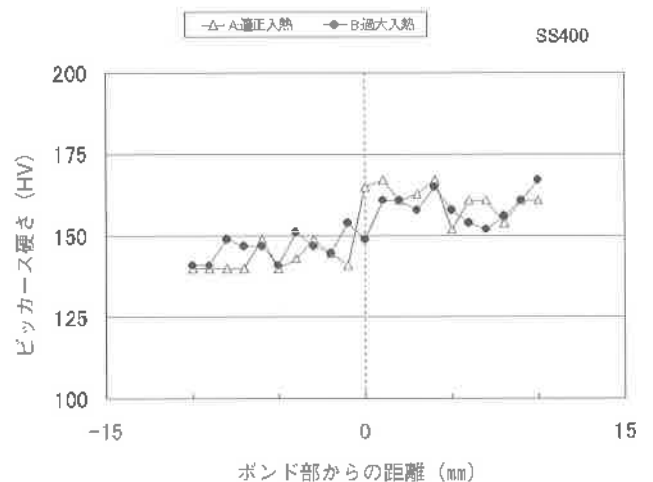


図8 溶接部の硬さ試験結果 (SS-400)

果である。パス間温度 350°C 以下の規定を守った試験片(C),及び大幅に越える条件で溶接した試験片(D)とも、全て溶接金属部で破断を示した。試験片(C)の引張強さは、SN-490の下限値を辛うじて上回ったものの、ほぼ下限値に近い値を示した。一方、試験片(D)では全て下限

値を下回っており、明らかに溶接部の強度低下が認められる。これらの破断位置は、ほぼビード中央部であり、各パスの最終凝固部に対応している。本実験では、第2層以降はすべてウィーピング溶接としたが、この溶接方法が破断位置に何らかの関連がある可能性も考えられる。図10は硬

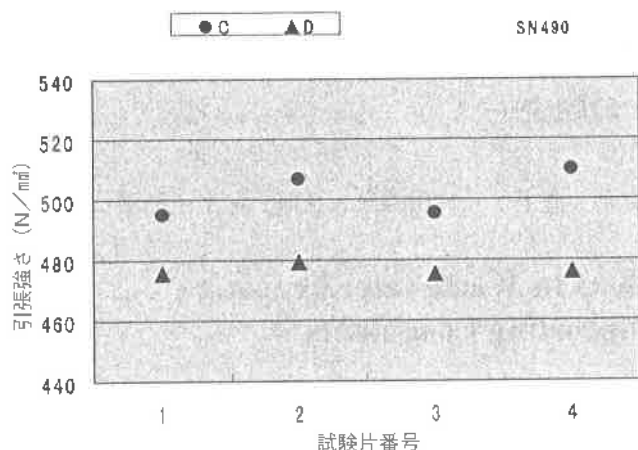


図9 溶接部の引張試験結果 (SN-490)

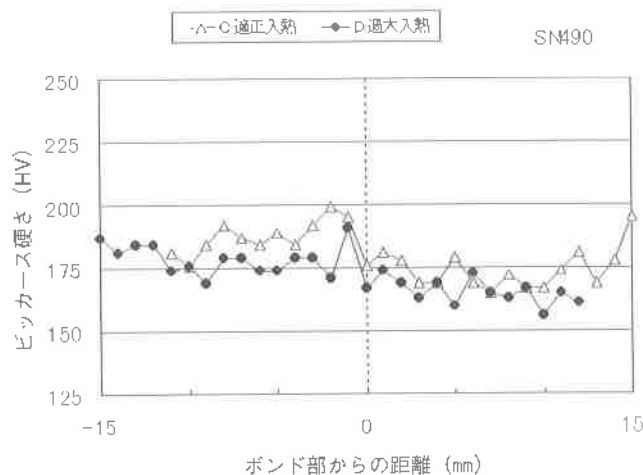


図10 溶接部の硬さ試験結果 (SN-490)

さ分布を示す。両試験片とも溶接金属部の硬さは母材より軟化している。

以上の結果から、490級材料をYM-26 (490N級溶接ワイヤー) で溶接した場合 (社) 全国鉄構工業協会が規定した入熱管理を行わないと溶接部の強度低下が起こることが認められた。

しかし、SS-400の実験結果が示すように、400N級材料を490N級の溶接ワイヤーで溶接した場合、過大人熱の溶接を行っても溶接部強度は母材下限値を下回らないことが判った。(社) 全国鉄構工業協会が規定した入熱管理においては、400N級材料にも500N級と同様の入熱管理を義務付けているが、400N級材料への適用の妥当性は本研究結果からは認められなかった。

4. 結 論

本研究では、溶接部近傍の母材温度変化、溶接電流・溶接電圧の変化を測定することにより、溶接時のパス間温度、入熱量が管理できるシステムの開発を目的とし、以下の成果が得られた。

(1) 溶接時の電流・電圧変化及び溶接部近傍の母材温度変化を計測・保存・管理するシステムが試作できた。

(2) パス間温度が規定値 (350℃) を超えた場合、溶接作業者に休止信号を出すシステムが可能となった。

(3) センサーを複数個設置し、数カ所の溶接を同時並行で行うことにより、溶接休止時間を最小限にし、作業能率の低下を抑えることが可能になった。

(4) 計測データに溶接長を人力するだけで、各パスの溶接電流・溶接電圧、入熱量、パス間温度、溶接時間等が算出・管理・出力できるシステムが可能となった。

参考文献

- 1) 中込忠男・矢部喜堂・金本秀雄・横山重和・髙部正彦：鋼構造溶接接合部における溶着金属の強度に及ぼすパス間温度の影響に関する検討，構造工学論文集，vol.36B，P333～340。(1990)
- 2) 横山重和・中込忠男・矢部喜堂・金本秀雄：鋼構造溶接接合部の力学的性能 (その1) パス間温度と溶着金属の関係，日本建築学会学術講演梗概集，C構造Ⅱ，P1263～1264。(1989)
- 3) 鉄骨製作工場の基準マニュアル集，(社) 全国鉄構工業協会技術委員会，(2000.11)，P45