

すみ肉自動溶接システムの開発研究

(昭和63年度加速的技術開発支援事業成果報告)

(総括)

機械部 横山 栄一

(溶接条件の変更に伴う過渡応答現象を考慮した高品質すみ肉溶接継手の自動化溶接技術の研究)

機械部 清 高 稔 勝

池 松 克 也

江 藤 博 明

(株)上組大分支店 合 原 克 英

(溶接条件の変更に伴う過渡応答現象を考慮したパソコン制御によるすみ肉自動溶接システムの開発)

電子部 小田原 幸 生

藤 井 謙二郎

葵エンジニアリング(株)大分工場 平 野 富美夫

1. はじめに

溶接作業では溶接される材料にあらかじめ仮付けを行っているが、本溶接の際にその箇所では何らかの調整をしなければ溶込み不良、スラグ巻き込み等の溶接欠陥や不揃いビードが発生する。そこで今回炭酸ガス半自動法における溶接条件の変化に対するビード形成の過渡応答実験を行い、ビード形状及び溶込み形状を調査検討し、さらに仮付けビードを有する溶接継手において、仮付けビード位置を検出し、溶接電流・アーク電圧、溶接速度等の溶接条件をコンピュータ制御するすみ肉溶接自動システムの開発を行った。

なお、本研究は国庫委託事業(中小企業事業団1/2, 県1/2)である佐伯・臼杵地域加速的技術開発支援事業の共通基盤的技術開発として実施された。

2. 溶接条件の変更に伴う過渡応答現象を考慮した高品質すみ肉溶接継手の自動化溶接技術の研究

2.1 実験方法

半自動溶接電源は、出力電流範囲40~350Aのインバーター電源を用いた。また母材に対するアース端子は溶接進行方向前方に接続した。実験には不要因子の混入を避け、正確さを期するために、接触式の

倣い装置に溶接トーチを固定して、台車走行ですみ肉溶接を行った。溶接トーチは前進法10°で、トーチ角度(ウェブとトーチの角度)45°, チップー母材間距離15mm, シールドガス(CO₂)流量15~18ℓ/minとし、ワイヤがフランジに接触したときのウェブとワイヤ先端の距離をねらい位置とした。溶接材料は、溶接電流200Aに於いてφ1.2mmのYGW12, 溶接電流250~300Aに於いてφ1.2mmのYGW11ワイヤを、また供試材にSS41の板厚12mm, 長さ400mmのものを「継手」として使用した。表2-1に供試材の化学成分及び機械的強さを示す。ビード形状及び溶込み形状は脚長L1, 脚長L2, 溶込みP1, 溶込みP2, 理論ノド厚, 余盛, ビード断面積(過渡応答実験)として、また各特性値の測定はビード横断面を切断し、エメリー研磨紙#600又はパフ研磨で仕上げて、ナイタルでマクロエッチし、それを投影機で拡大して正確にトレースした。またそのトレース画像を画像処理機を用いて、ビード形状及び溶込み形状、ビード断面積等の各特性値を計測した。図2-1はその測定要領を示す。

表 2-1 供試材の化学成分及び機械的性質

材 料	化 学 成 分 wt (%)				
	C	Si	Mn	P	S
SS41	0.16	0.27	0.52	0.042	0.020

材料(試験片)	降伏点強さ (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
SS41(1号)	33	47	30

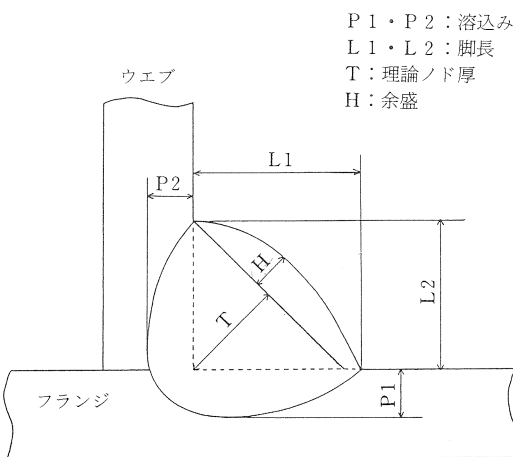


図 2-1 ビード形状及び溶込み形状測定要領

2. 2 結果

1) 定常溶接実験

(I) 溶接条件因子とビード及び溶込み形状

水平すみ肉溶接の場合、重力の影響により、ビード断面形状は下向きすみ肉のような単純な二等辺三

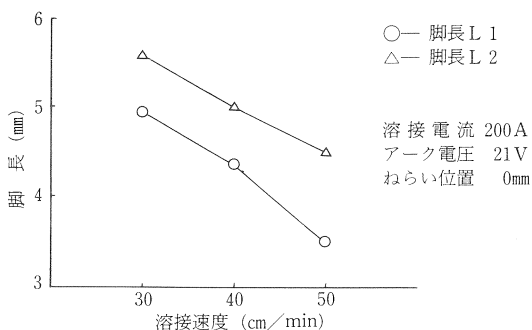


図 2-2 溶接速度と脚長の関係

角形にならない。その為、溶接条件因子とビード形状及び溶込み形状について基礎的に関係を求めた。溶接電流200A, 250A, 300Aにおいて溶接因子の影響を調べた。又各溶接電流に対するアーク電圧の設定に於いては、溶接可能条件内でビード形状が良好で、スパッタの発生が少ない値を用いた。

溶接電流200Aにおける溶接速度と脚長、溶込み、理論ノド厚及び余盛の関係を図2-2~4に、又ねらい位置と脚長、溶込み、理論ノド厚及び余盛の関係を図2-5~7に示す。ウェブ側の溶込みは溶接速度の増加に伴って減少するが、フランジ側の溶込みは一定である。又理論ノド厚と余盛についても溶接速度の増加につれて、理論ノド厚の減少は認められるが、余盛については、溶接速度に関係なくほぼ一定となっている。次にねらい位置の影響であるが、脚長及び溶込みに顕著に影響を及ぼしている。又等脚長のすみ肉ビードを得るためには、ねらい位置は0~1mmの間が適当である。

溶接電流250Aにおける溶接速度と各特性値の関係を図2-8~10に、又ねらい位置と各特性値の関係を図2-11~13に示す。溶接速度は、溶接電流200Aと同様の傾向を示しているが、フランジ部分の溶込みについて溶接速度の増加と共に減少傾向が認められる。ねらい位置についても溶接電流200Aと同傾向であるが、等脚長を得るためのねらい位置として1mm前後が最適である。

溶接電流300Aにおける溶接速度と各特性値の関係を図2-14~16に、又ねらい位置と各特性値の関係を図2-17~19に示す。溶接電流250Aと同様の傾向を示すが、ほぼ等脚長を得るためのすみ肉溶接ビードのねらい位置として1~2mmが適する。

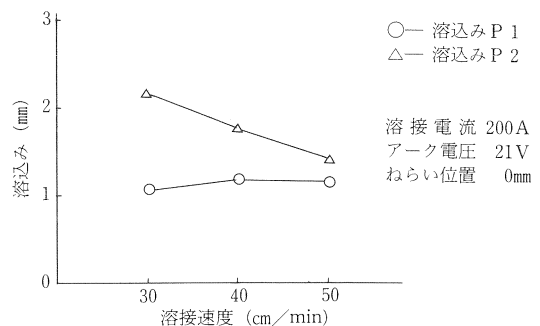


図 2-3 溶接速度と溶込みの関係

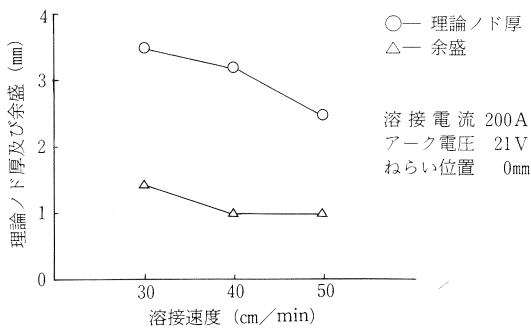


図 2-4 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

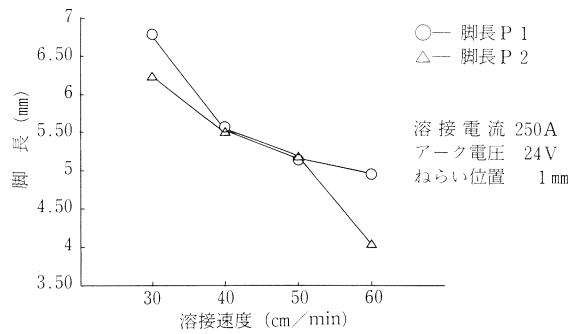


図 2-8 溶接速度と脚長の関係

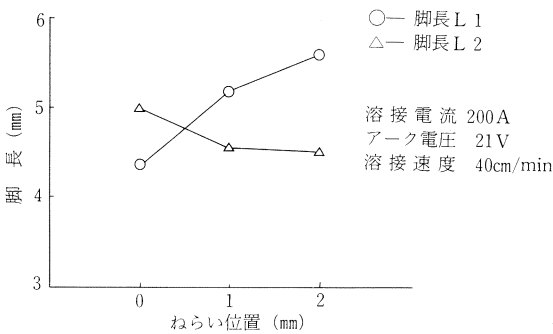


図 2-5 ねらい位置と脚長の関係

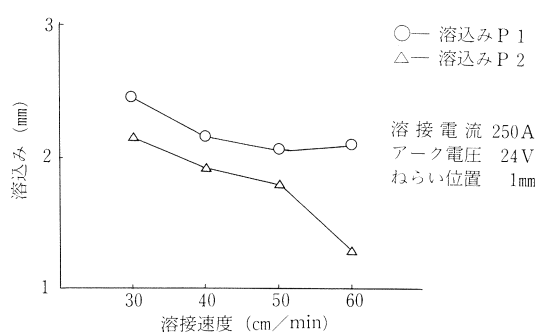


図 2-9 溶接速度と溶込みの関係

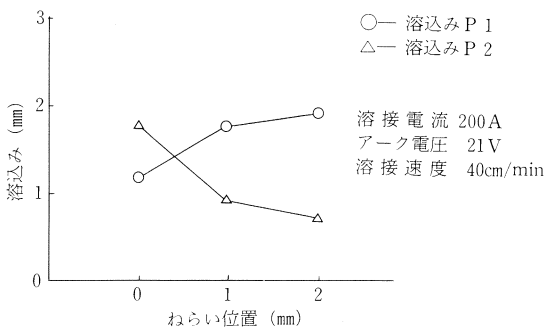


図 2-6 ねらい位置と溶込みの関係

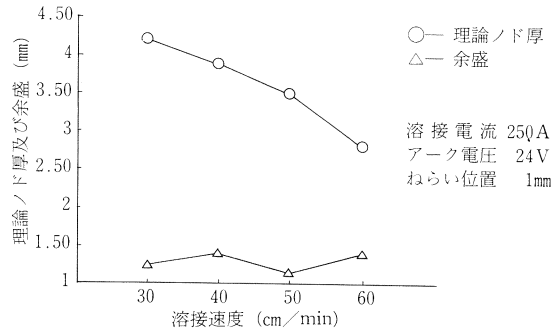


図 2-10 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

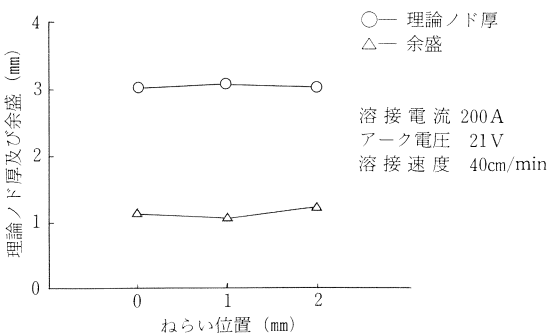


図 2-7 ねらい位置と理論ノド厚及び余盛の関係

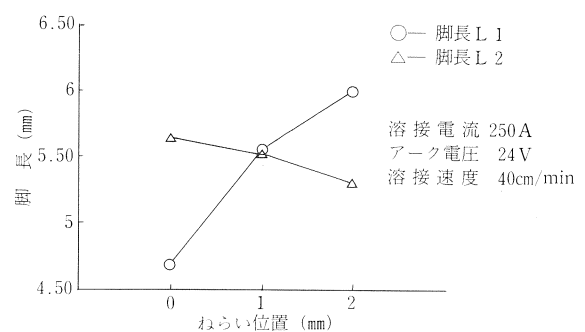


図 2-11 ねらい位置と脚長の関係

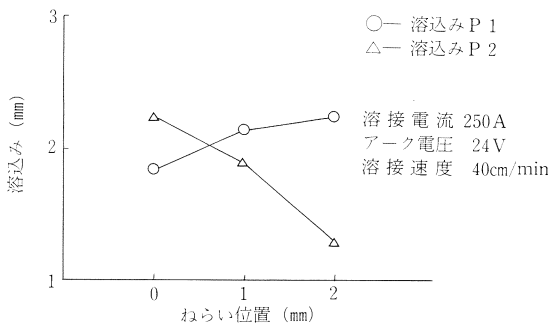


図 2-12 ねらい位置と溶込みの関係

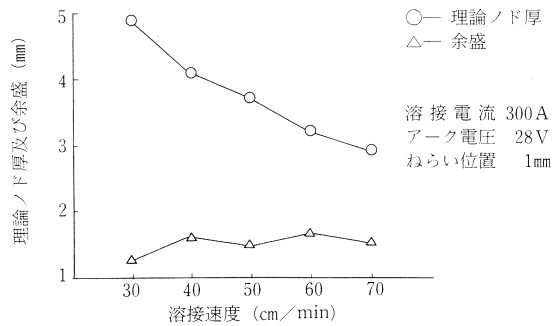


図 2-16 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

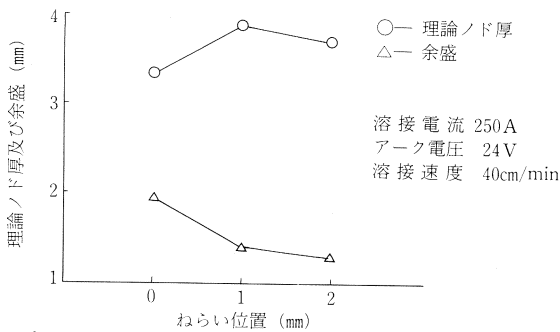


図 2-13 ねらい位置と理論ノド厚及び余盛の関係

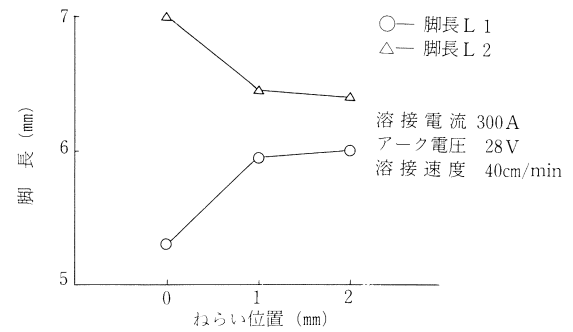


図 2-17 ねらい位置と脚長の関係

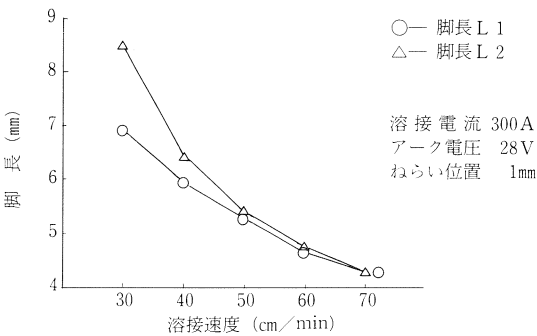


図 2-14 溶接速度と脚長の関係

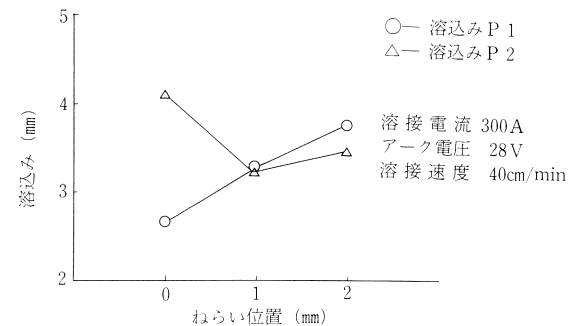


図 2-18 ねらい位置と溶込みの関係

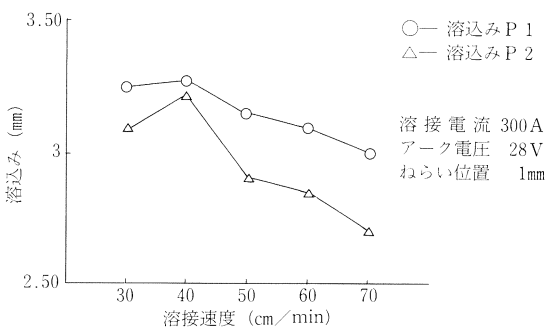


図 2-15 溶接速度と溶込みの関係

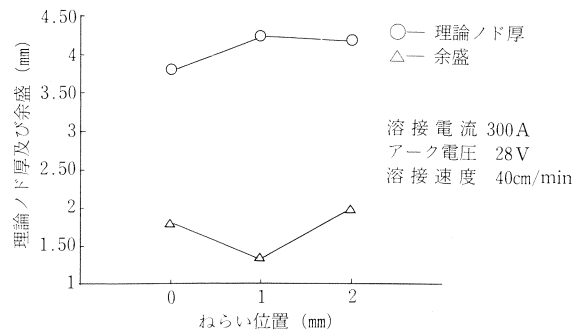


図 2-19 ねらい位置と理論ノド厚及び余盛の関係

(II) 仮付けビード上における定常溶接実験

仮付け部脚長約 3 mm について、溶接電流 200 A, 250 A, 300 A において溶接速度を変化させて溶接した時の溶接ビードの各特性値及び仮付け部ビードの溶融について示したものが図 2-20~28 である。又図において仮付け溶接が未溶融の物は黒く塗りつぶしてある。

溶接電流の増加に従って、仮付け部を再溶融できる速度範囲が広がっている。又これを溶接入熱で換算すると、溶接電流 200 A の場合、 6300 J/cm 、溶接電流 250 A の場合、 6000 J/cm で仮付け部再溶融が不可能となっている。又溶接電流 300 A において溶接速度 70 cm/min では溶接入熱 7200 J/cm で再溶融可能であり、溶接入熱と関連が考えられる。

仮付け部脚長約 4 mm について、溶接電流 250 A, 300 A において前記と同様の実験を行ったものが図 2-

29~34 である。溶接電流 250 A において仮付け部を再溶融する速度範囲が存在しない。又溶接電流 300 A においても再溶融できる速度範囲が $30 \text{ cm/min} \sim 40 \text{ cm/min}$ と狭くなっている。次に仮付け部脚長約 5 mm について溶接電流 300 A で同様の実験を行ったものを図 2-35~37 に示す。仮付け部を再溶融させる範囲は、仮付け部脚長約 4 mm とほぼ同様の速度範囲であった。

溶接電流 300 A で仮付けビード脚長約 3 mm のものを溶接した時の溶接部の硬さ分布を図 2-38 に、組織写真を写真 2-1 に示す。

溶接電流 250 A において溶接速度 40 cm/min で仮付けビードなしで溶接したものと、仮付けビード脚長約 4 mm で仮付けビードが再溶融できていない物のマクロ写真を写真 2-2 に示す。

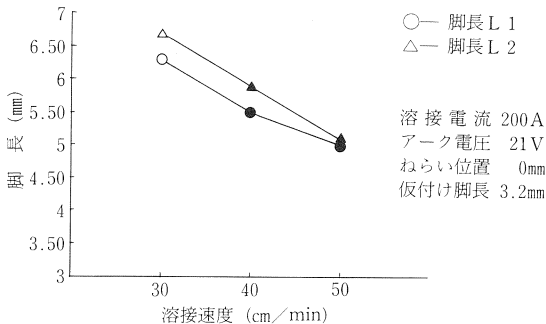


図 2-20 溶接速度と脚長の関係

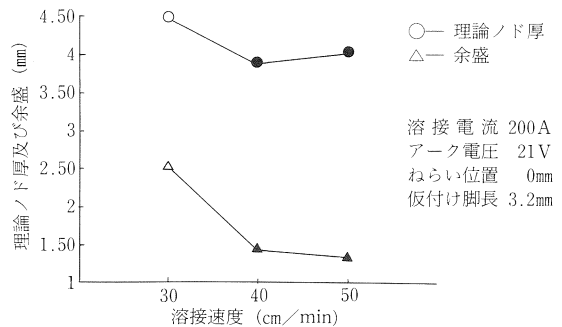


図 2-22 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

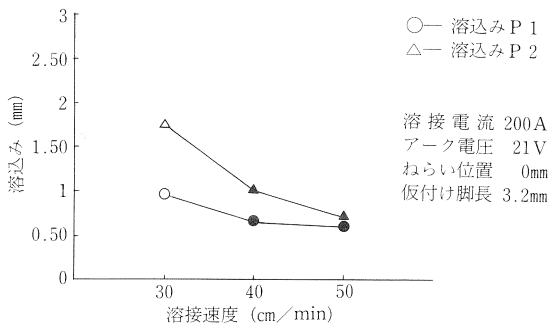


図 2-21 溶接速度と溶込みの関係

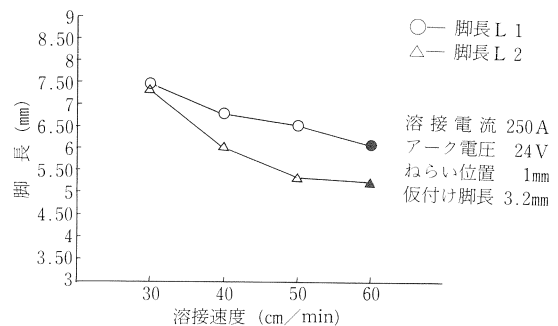


図 2-23 溶接速度と脚長の関係

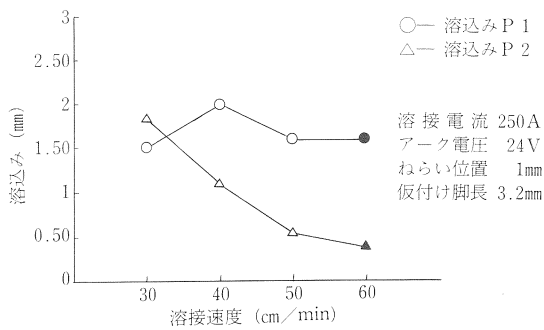


図2-24 溶接速度と溶込みの関係

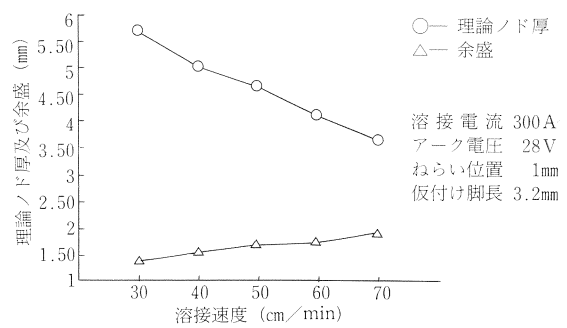


図2-28 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

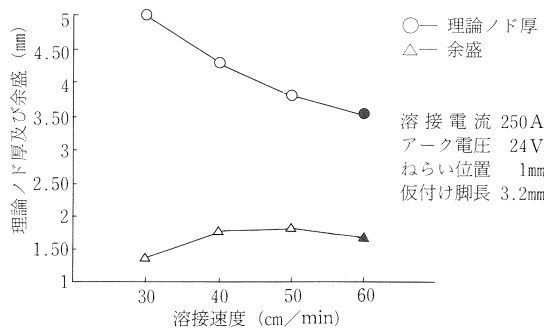


図2-25 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

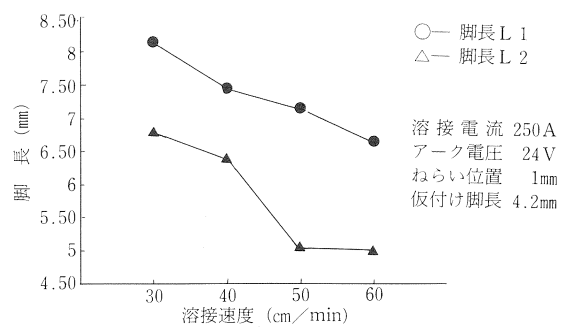


図2-29 溶接速度と脚長の関係

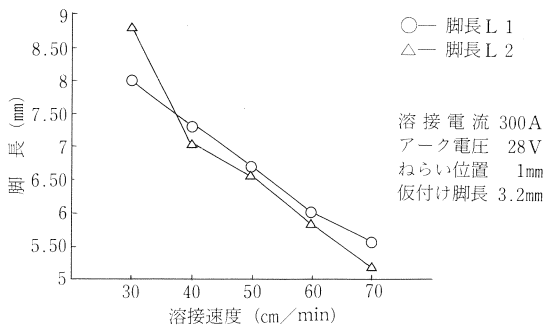


図2-26 溶接速度と脚長の関係

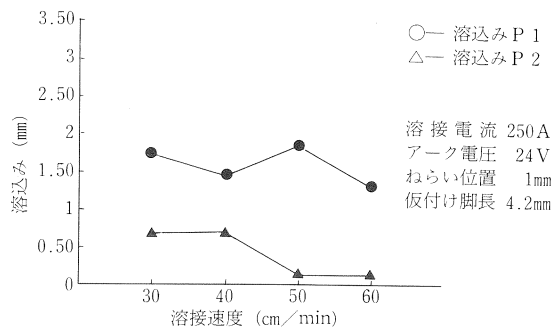


図2-30 溶接速度と溶込みの関係

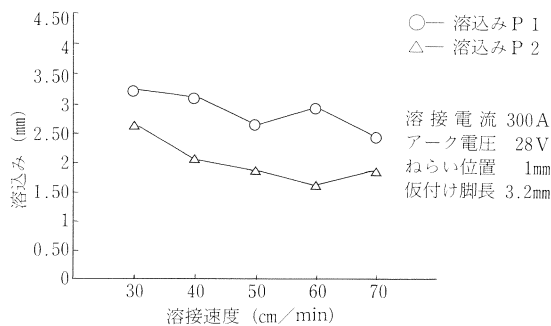


図2-27 溶接速度と溶込みの関係

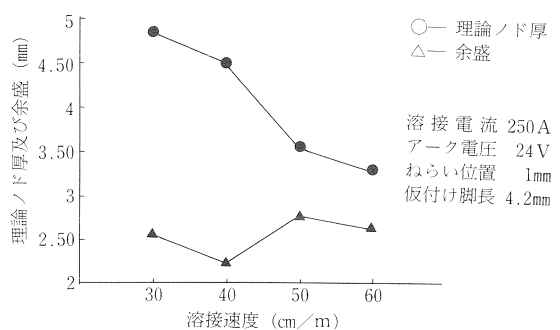


図2-31 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

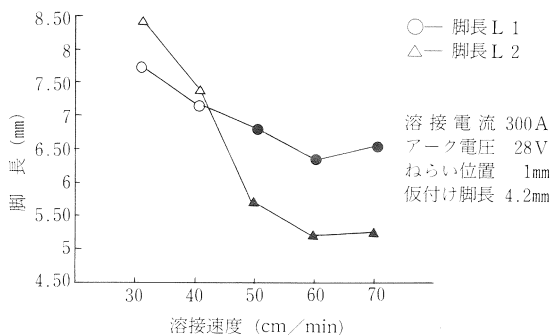


図 2-32 溶接速度と脚長の関係

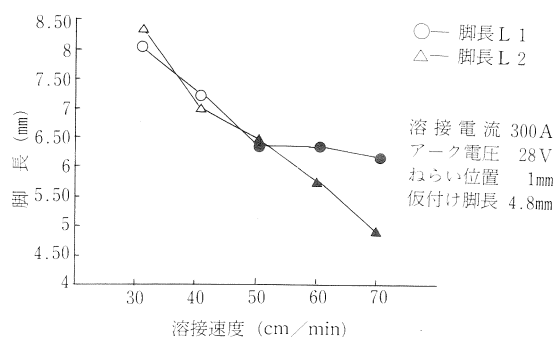


図 2-35 溶接速度と脚長の関係

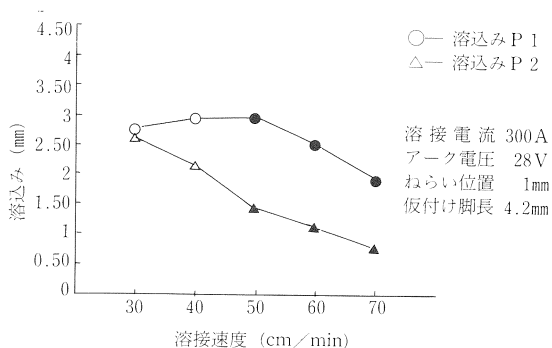


図 2-33 溶接速度と溶込みの関係

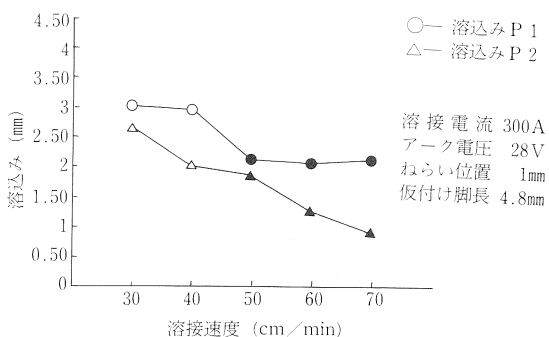


図 2-36 溶接速度と溶込みの関係

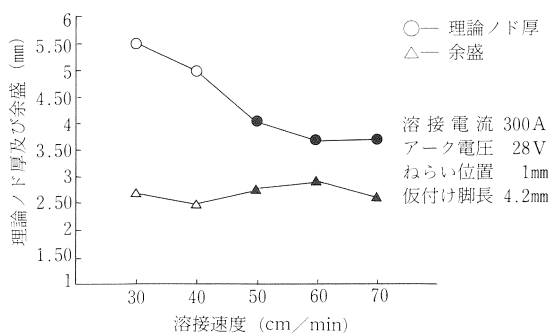


図 2-34 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

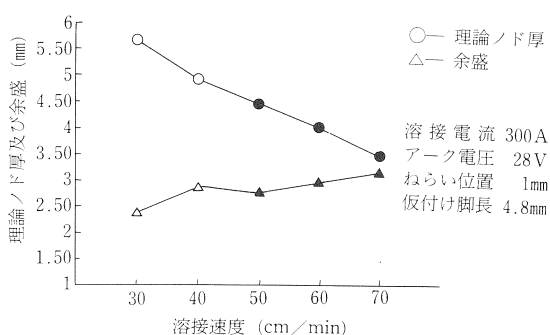


図 2-37 溶接速度と理論ノド厚及び余盛の関係

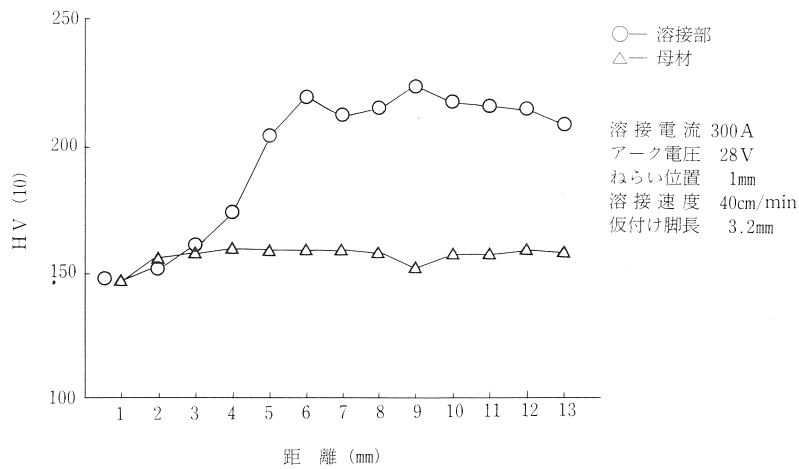
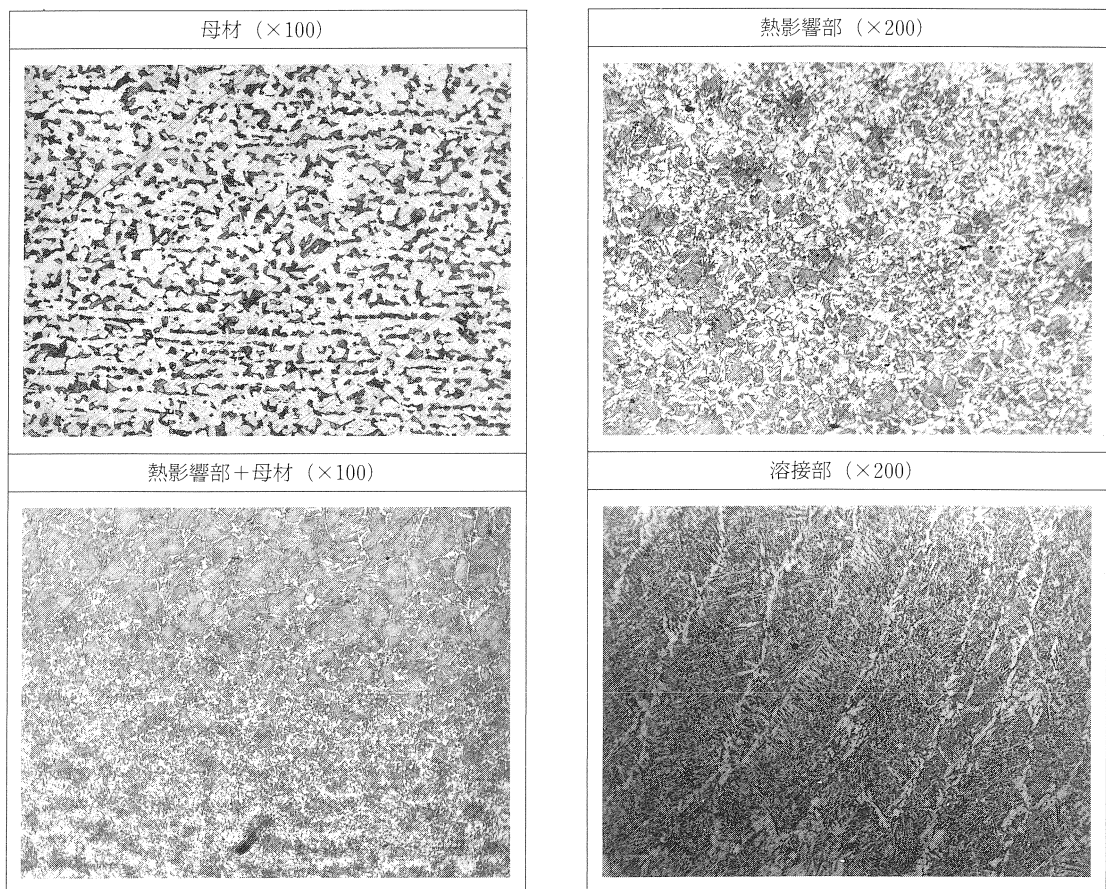


図 2-38 溶接部の硬さ分布



溶接条件 溶接電流 300A アーク電圧 28V
溶接速度 40cm/min ねらい位置 1mm

写真 2-1 すみ肉溶接部の組織写真

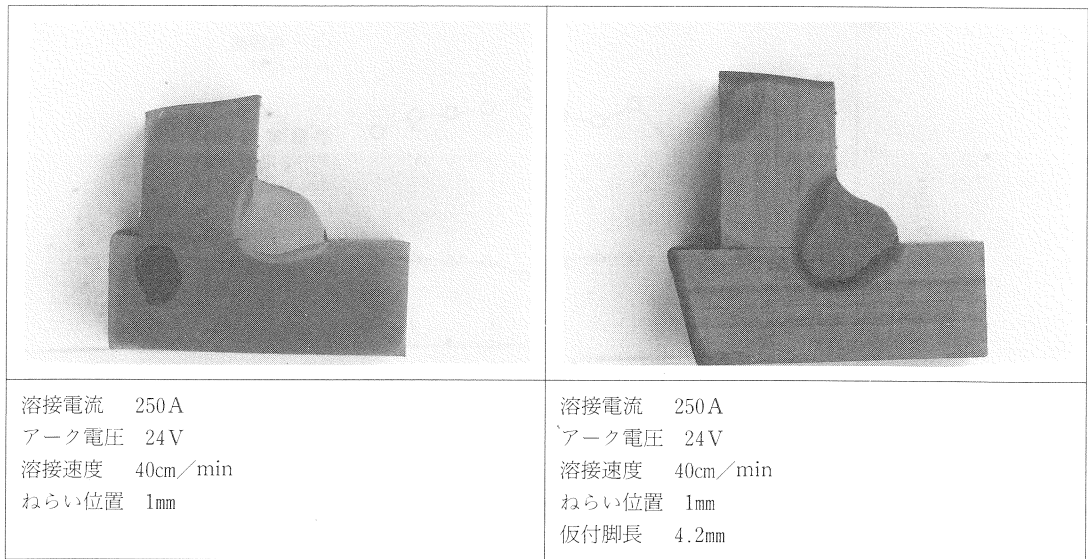


写真 2-2 溶接部のマクロ写真

2) 過渡応答溶接実験

一つの準定常状態から次の準定常状態に達するまで、ビード形状及び溶込み形状の過渡的变化を調べた。ビード形状及び溶込み形状の特性値としては図 2-1 の脚長、溶込み、理論ノド厚及び余盛、ビード断面積を用いた。

又、溶接条件を変更する位置を C P とした。

① 溶接電流（アーク電圧）を変更

(イ) 溶接入熱の増加

図 2-39~42 は溶接速度 40cm/min で、図 2-43~46 は溶接速度 50cm/min で溶接電流 250 A から 300 A に増加した時の特性値の過渡的变化を示す。余盛については溶接変更点前から変化が始まっている。その変化状態については余盛が変更点前で減少を示し、その後変更点を中心に増加が始まり再び減少を示し、その後準定常状態に至る現象を示す。この傾向は溶接速度が速い 50cm/min で顕著になっているのが認められる。溶込みについても余盛と同様に溶接条件変更前の準定常条件での溶込みから一端減少し、次に条件変更に伴って増加するが、次の準定常状態に達する前に一度減少する傾向にある。脚長については、ウェブ側脚長について前記の傾向が認められる。

次に溶接電流を 200 A から 250 A に増加した場合の

特性値の過渡的变化を図 2-47~50 に示す。やはり、250 A から 300 A に増加した場合と同様にウェブ側脚長及び溶込み又余盛について前記傾向が認められる。

(ロ) 溶接入熱の減少

図 2-51~54 は溶接速度 40cm/min で、図 55~58 は溶接速度 50cm/min で溶接電流 300 A から 250 A に減少した時の特性値の過渡的变化を示す。

溶接入熱を増加した場合と同様に特性値の変化としては、溶接条件変更前の準定常状態から一端減少し、その後溶接条件変更後の準定常状態に向かって変化するが、その変化後の準定常状態に達する前に一端減少して、変化後の準定常状態に至る。そしてこの傾向は、ウェブ側脚長、溶込み及び余盛に、また溶接速度の速い 50cm/min で明確に認められる。ビード断面積の変化としては、溶接入熱を増加した場合よりも早く変更点以前で過渡的变化が現れている。

溶接電流を 250 A から 200 A に減少した時の特性値の過渡的变化を図 2-59~62 に示す。やはり前記の傾向がウェブ側脚長、溶込み及び余盛に現れている。

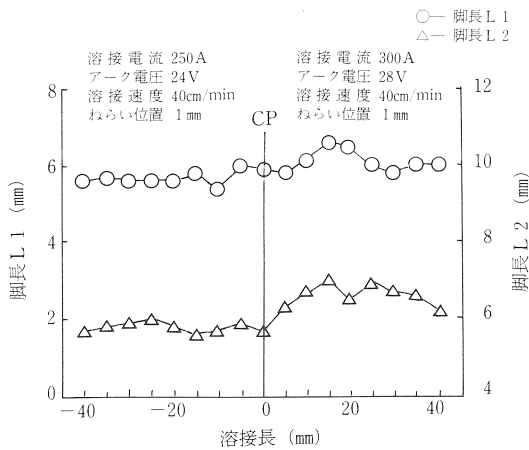


図 2-39 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う脚長の変化

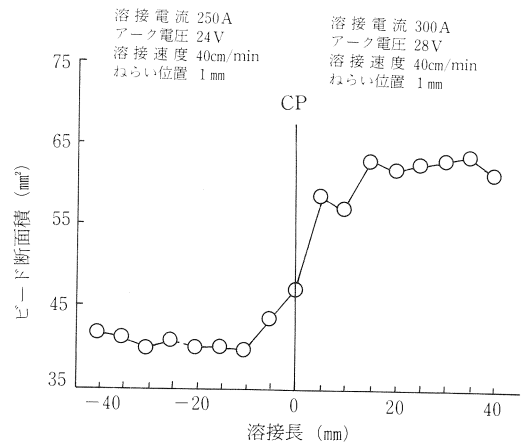


図 2-42 溶接電流及びアーク電圧の変更に伴うビード断面積の変化

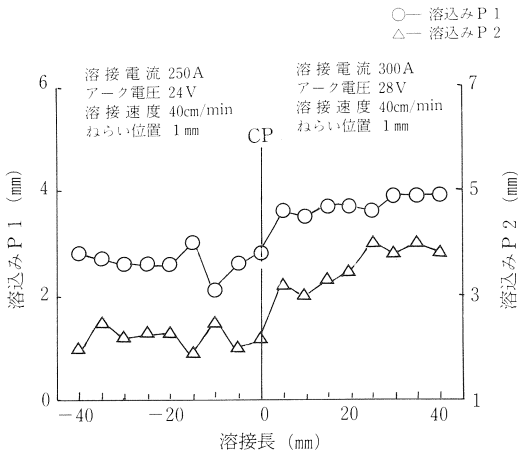


図 2-40 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う溶込みの変化

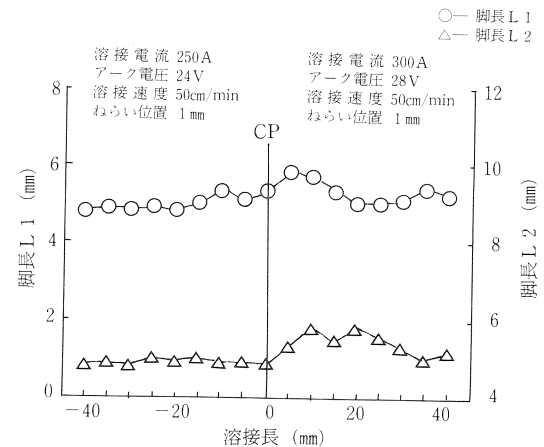


図 2-43 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う脚長の変化

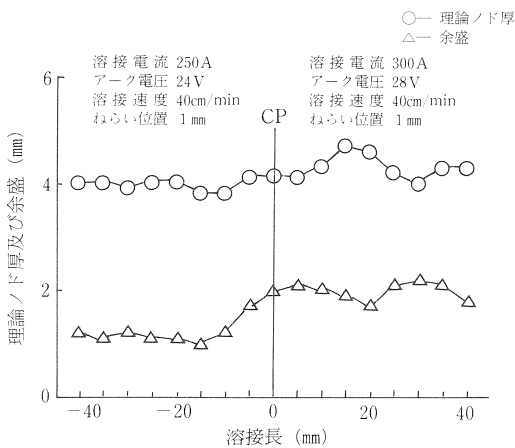


図 2-41 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

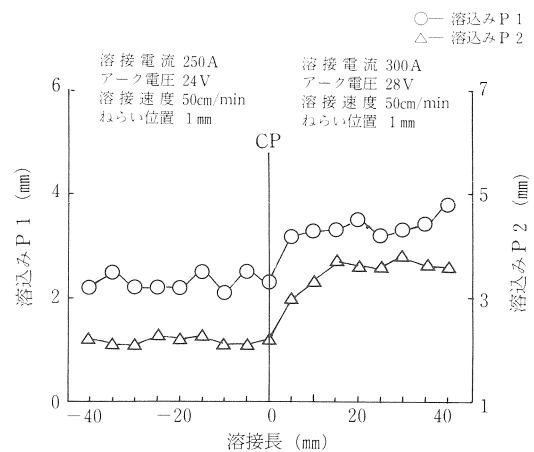


図 2-44 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う溶込みの変化

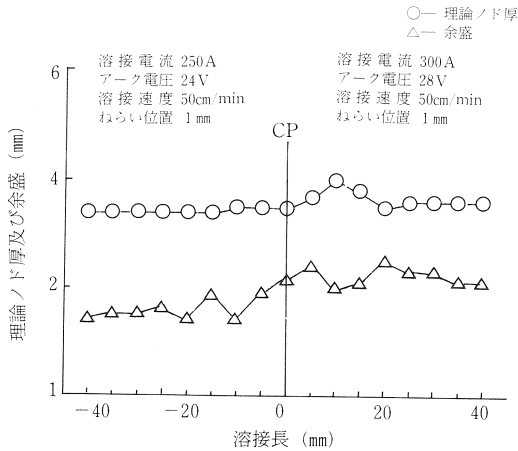


図 2-45 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

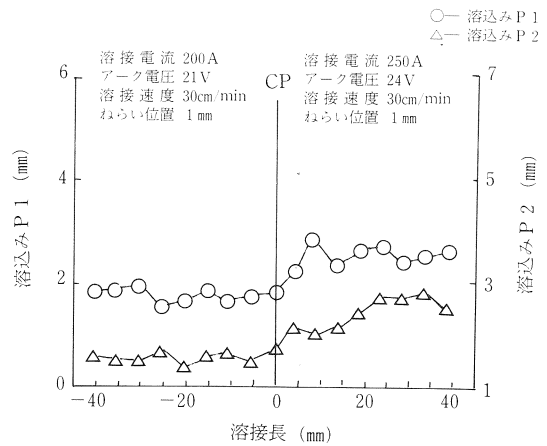


図 2-48 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う溶込みの変化

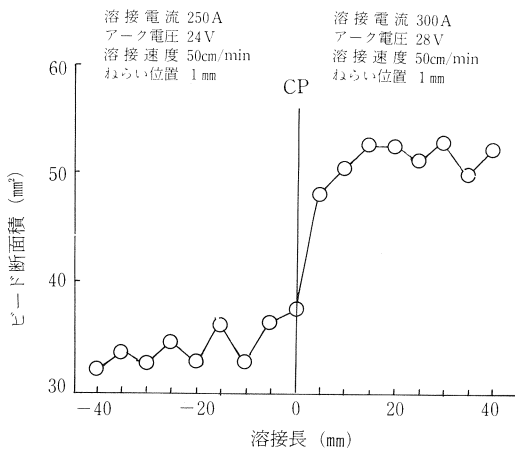


図 2-46 溶接電流及びアーク電圧の変更に伴うビード断面積の変化

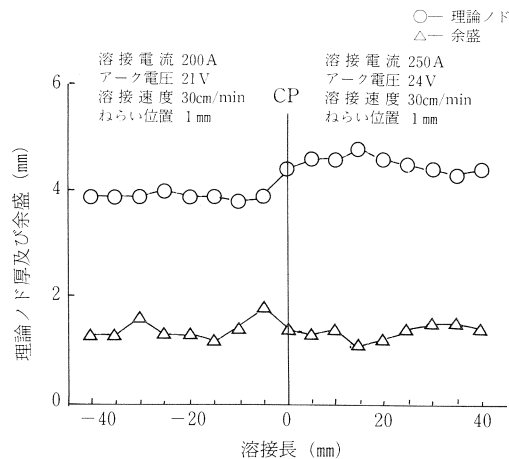


図 2-49 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

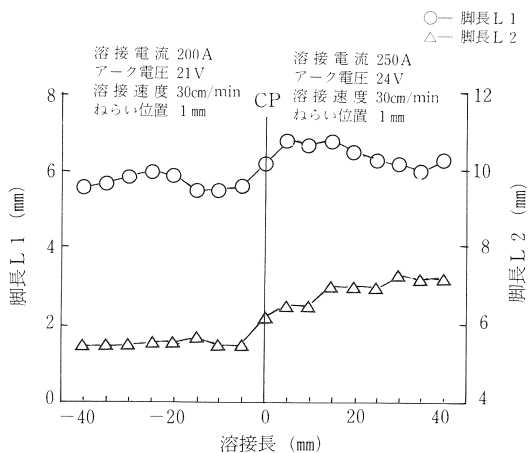


図 2-47 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う脚長の変化

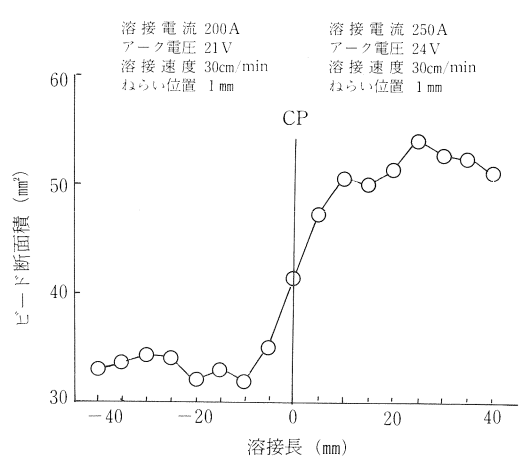


図 2-50 溶接電流及びアーク電圧の変更に伴うビード断面積の変化

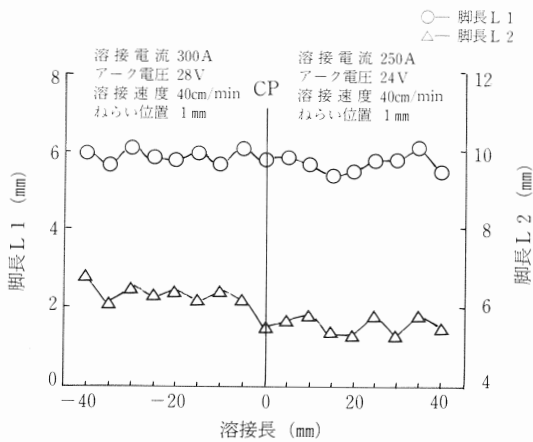


図 2-51 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う脚長の変化

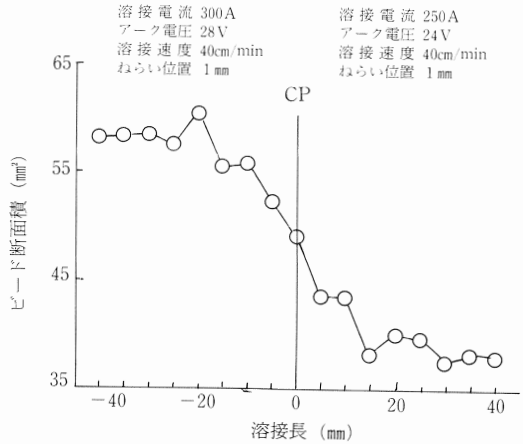


図 2-54 溶接電流及びアーク電圧の変更に伴うビード断面積の変化

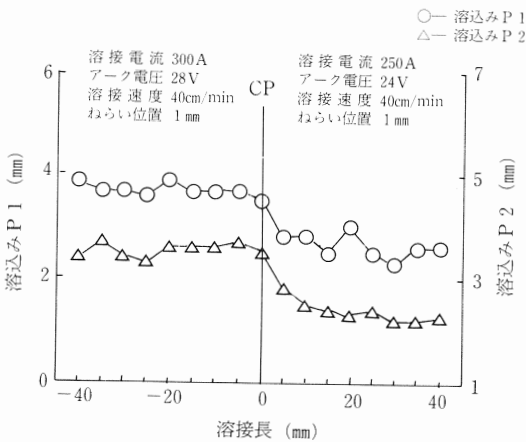


図 2-52 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う溶込みの変化

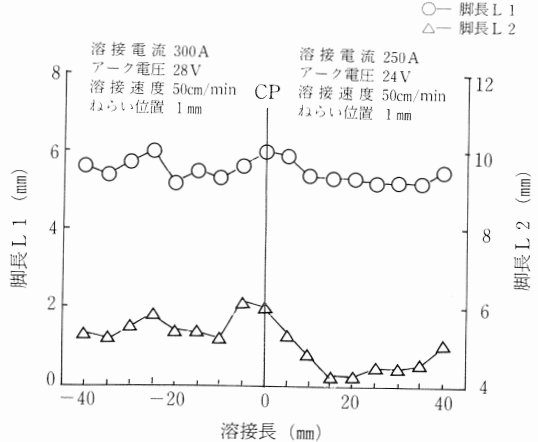


図 2-55 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う脚長の変化

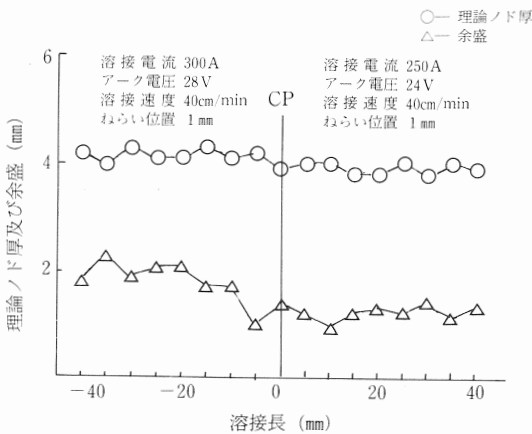


図 2-53 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

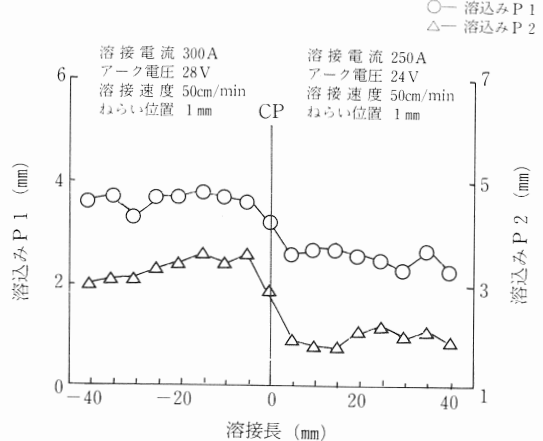


図 2-56 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う溶込みの変化

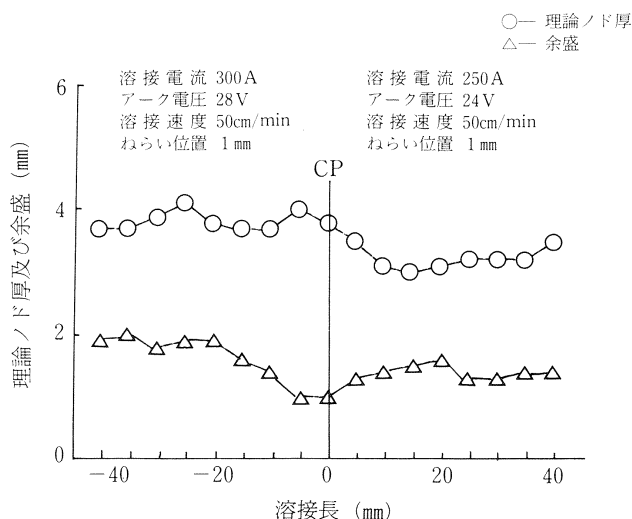


図 2-57 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

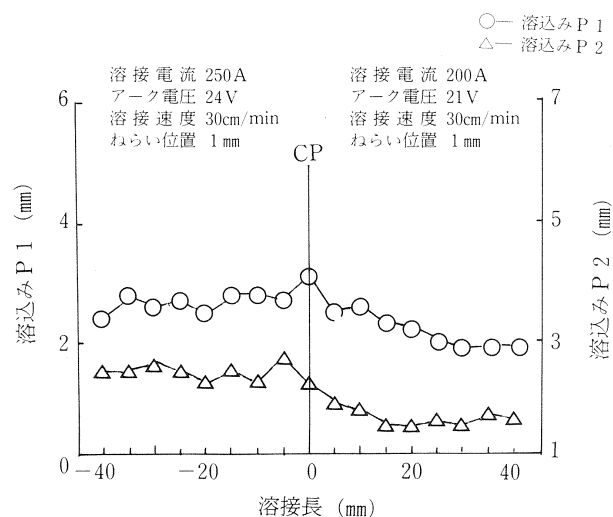


図 2-60 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う溶込みの変化

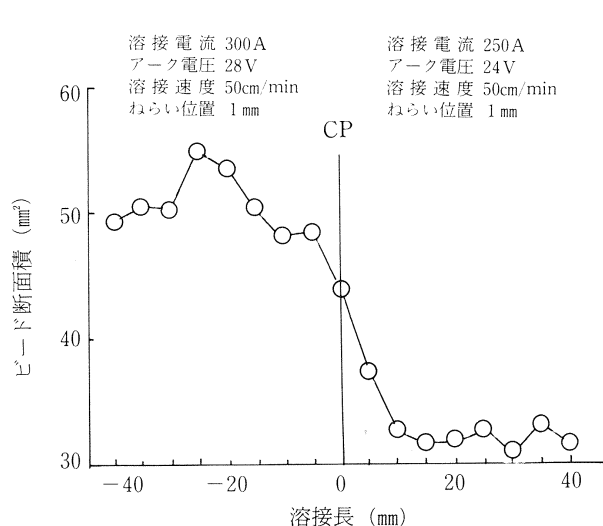


図 2-58 溶接電流及びアーク電圧の変更に伴うビード断面積の変化

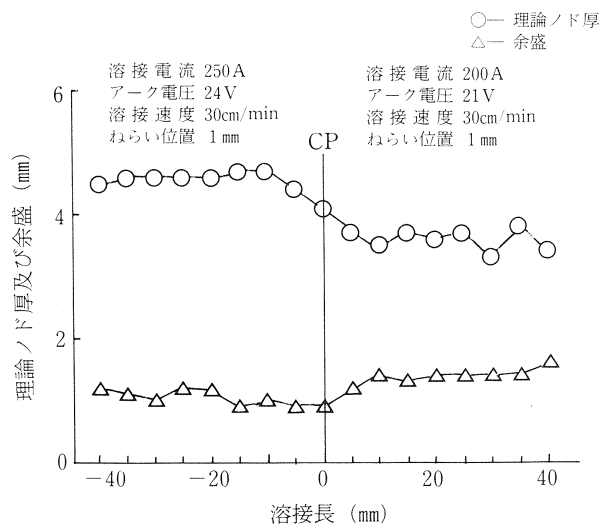


図 2-61 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

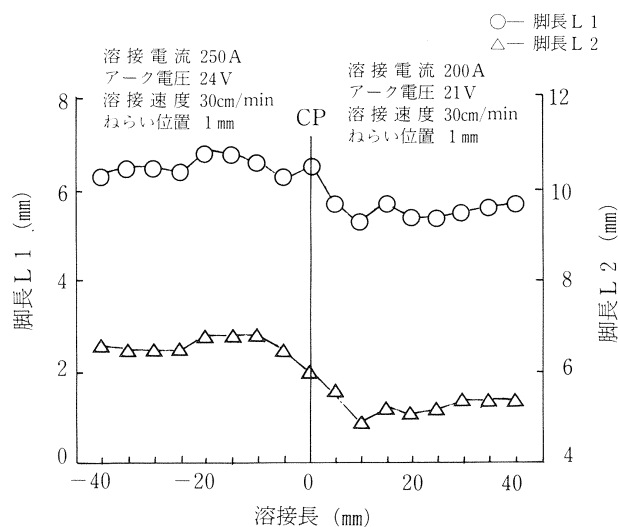


図 2-59 溶接電流及びアーク電圧変更に伴う脚長の変化

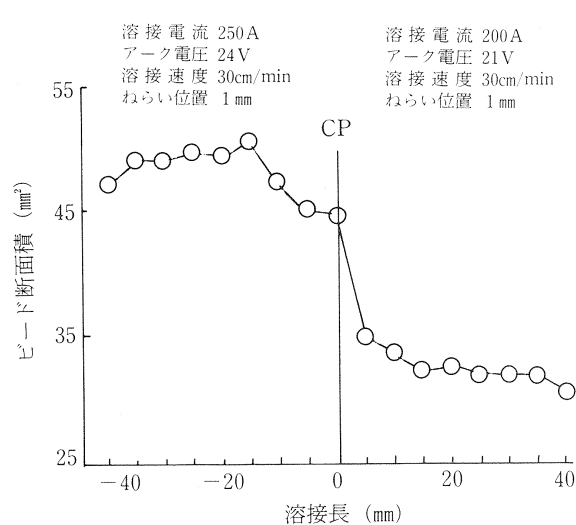


図 2-62 溶接電流及びアーク電圧の変更に伴うビード断面積の変化

② 溶接速度を変更

(イ) 溶接入熱の増加

溶接電流300Aで一定として図2-63～66は溶接速度を50cm/min～30cm/minに、図2-67～70は溶接速度を60cm/min～40cm/minに減少させた時の特性値の過渡的变化を示す。溶接電流を変更させた場合の様な一次的な極小値を示す傾向は顕著に認められないが、各特性値について過渡的变化は溶接電流の変更に比較して変更時点よりかなり前から発生を始めている。しかもほぼ連続的な変化となっている。

次に溶接電流250Aにおいて溶接速度40cm/min～30cm/minに変更させた場合の特性値の過渡的变化を示したものが図2-71～74である。溶接電流300Aと傾向は同一であるが、溶接速度の変更差が少ないためフランジ側部分の溶込みについての過渡的变化がスポット的なものとなっている。

(ロ) 溶接入熱の減少

溶接電流300Aに於いて図2-75～78は溶接速度を30cm/min～60cm/minに、図2-79～82は溶接速度40cm/min～60cm/minに増加させた場合の特性値の過渡的变化を示す。やはり溶接速度を減少させた時と同様に溶接電流の変更に比較して変更時点よりかなり前から連続的に変化が始まっている。

図2-83～86は溶接電流250Aにおいて溶接速度を30cm/min～40cm/minに増加させた時の特性値の過渡的变化を示す。溶接電流300Aと同様の傾向を示す。

③過渡的变化についての考察

溶接条件（溶接電流、アーク電圧、溶接速度）の変化図は図3-3と図3-9のとおりである。溶接電流を変更させた場合、変更時点前後の変化は、ウェブ側脚長、溶込み及び余盛に顕著に認められ、その変化域の長さは余盛において特に長く認められる。このことは、溶接条件の変化に対する溶融池の変化によるもので、溶融池の変化は余盛及びウェブ側脚長、溶込みに影響していると考えられる。又条件変更前後の特性値の一次的な減少は、溶接電流の変更に伴うアーク現象の変化と溶融池の変化との直接又は交互作用によるものではないかと考えられる。溶接電流変更による溶融池変化は溶接速度変更に伴う溶融池よりも小さいと考えられる。

このことは、溶接速度変更に伴う条件変更点前後の変化がすべての特性値に現れていることから推察される。さらに根本的な解明については熱伝導及び溶融池の挙動観察が必要と思われる。

④過渡応答特性を考慮した効果的プログラム例

図2-39と2-51及び図2-14と2-23を考慮して脚長6mmの溶接ビードを得るためのプログラムを示したものが図2-87である。

2. 3 実験のまとめ

1) 定常溶接実験においてねらい位置がビード形状及び溶込み形状に大きく影響を与える。

2) 仮付けビード上における定常溶接実験では、本実験で用いた溶接電流では、仮付け部の溶融溶接条件範囲の広い仮付け脚長約3mmが適当である。

3) 溶接条件変更時点前後を通じた過渡応答現象は、溶接電流の変更及び溶接速度の変更で認められるが、溶接速度の効果が大きい。すなわち溶接電流変更では、余盛とノド厚については変更点以前から変化しているが、脚長及び溶込みは顕著な変化としては条件変更後となっている。

溶接速度変更では、脚長・溶込み・余盛・ノド厚・ビード断面積等の特性値が変更点以前から変化している。

4) 溶接電流（アーク電圧）及び溶接速度等の溶接条件変更に伴う脚長・溶込み・余盛・ノド厚・ビード断面積等の特性値の変化開始点は各特性値によって異なる。

5) 溶接電流の変更に際しては、溶接変更時点前後に際して特性値の一次的な減少が認められる。

6) 過渡応答現象と定常溶接条件とを考慮して、適当な仮付け脚長ならば本溶接に際して、所定のビード形状と溶込みを有するビードを得ることが可能である。

7) 溶接条件変更に伴う脚長・溶込み・ノド厚・ビード断面積等の各特性値の変化開始点及び終了点が異なるため本実験では、脚長についてビード形状がほぼ均一になるように実験を行ったが、ノド厚を含めた均一なビード外観を今後作る必要がある。そのためフランジとウェブに対する溶着金属のなじみを考慮したアーク電圧・シールドガス組成(MAG溶接法)・ねらい位置精度向上の検討が必要である。

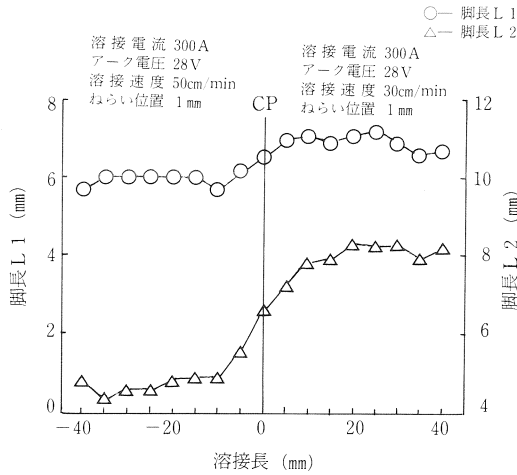


図 2-63 溶接速度変更に伴う脚長の変化

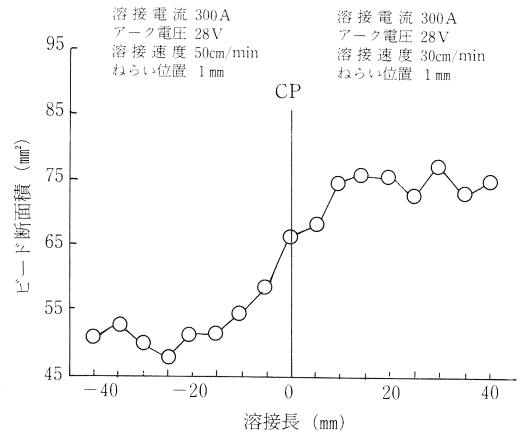


図 2-66 溶接速度の変更に伴うビード断面積の変化

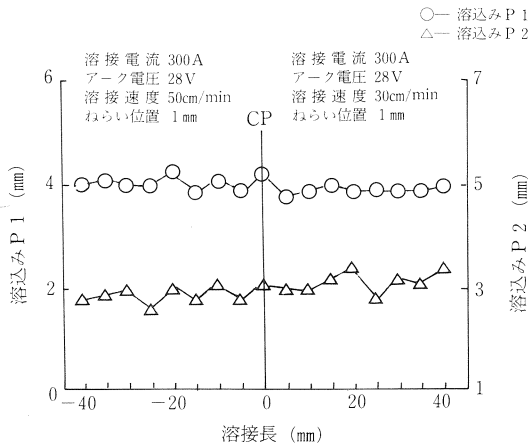


図 2-64 溶接速度変更に伴う溶込みの変化

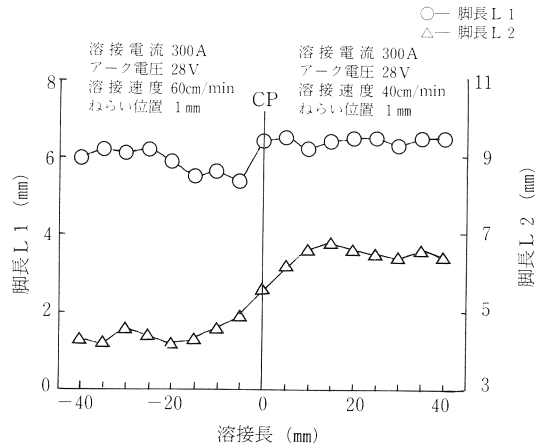


図 2-67 溶接速度の変更に伴う脚長の変化

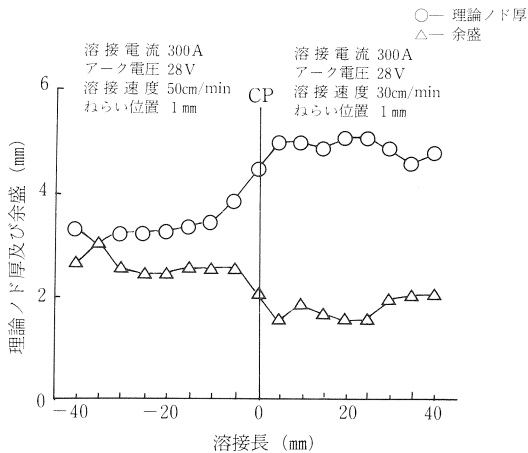


図 2-65 溶接速度変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

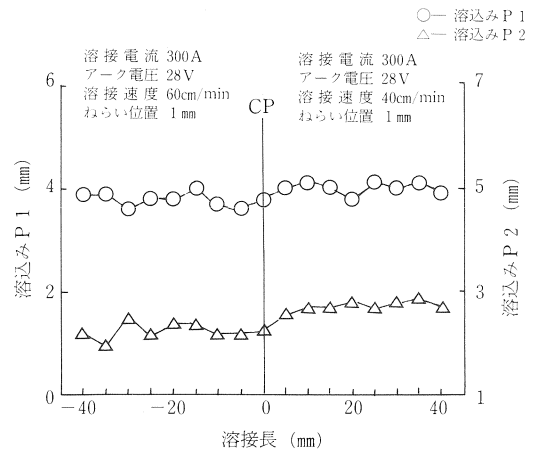


図 2-68 溶接速度の変更に伴う溶込みの変化

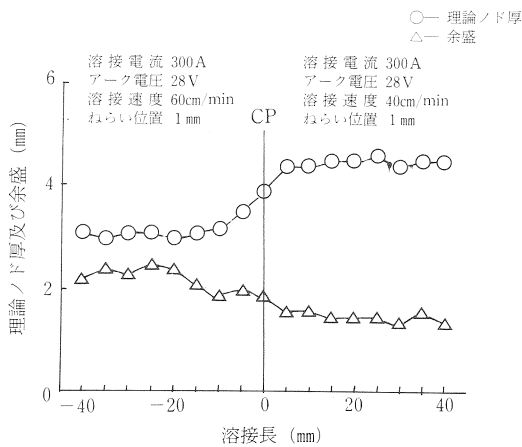


図 2-69 溶接速度の変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

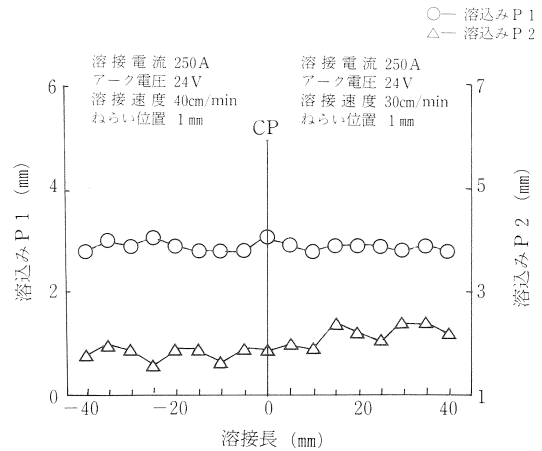


図 2-72 溶接速度の変更に伴う溶込みの変化

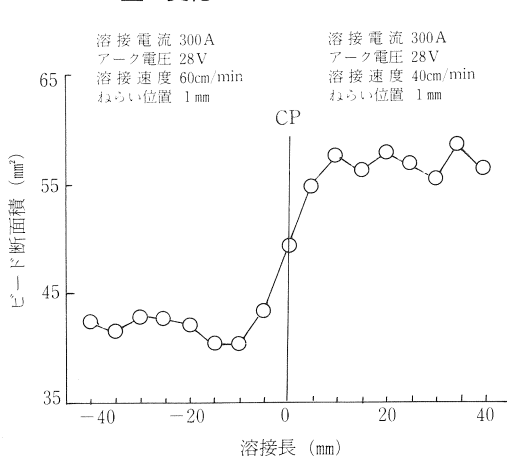


図 2-70 溶接速度の変更に伴うビード断面積の変化

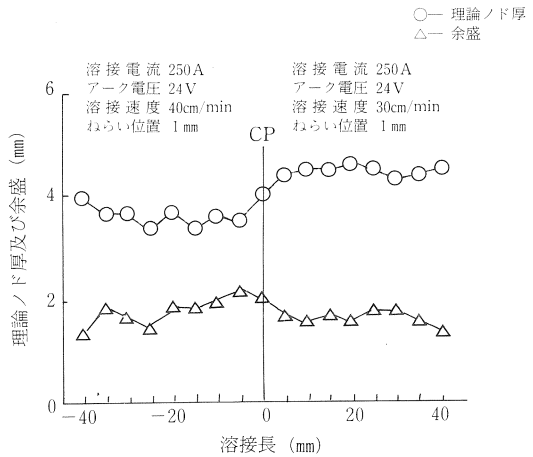


図 2-73 溶接速度の変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

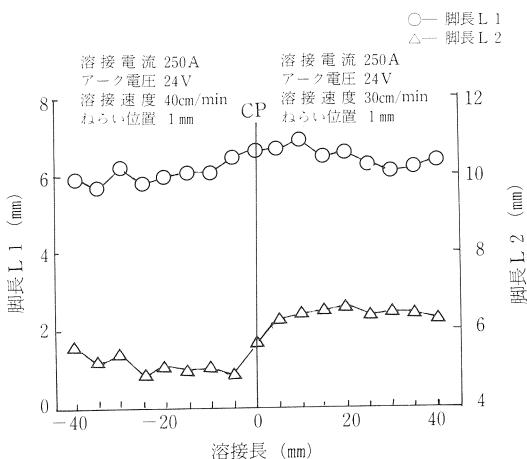


図 2-71 溶接速度の変更に伴う脚長の変化

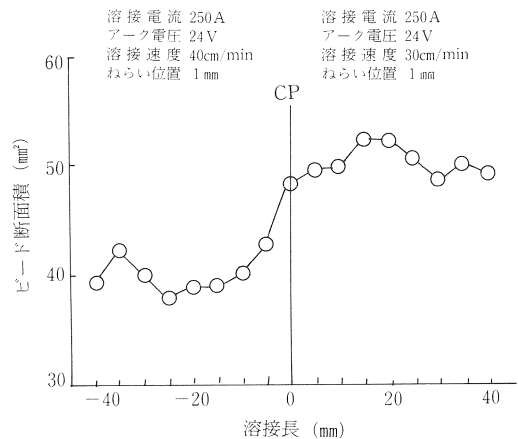


図 2-74 溶接速度の変更に伴うビード断面積の変化

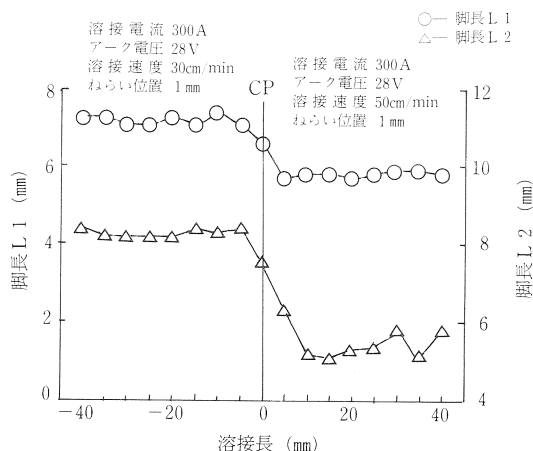


図 2-75 溶接速度の変更に伴う脚長の変化

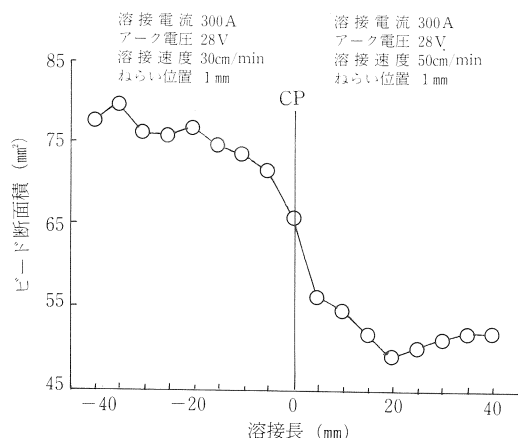


図 2-78 溶接速度の変更に伴うビード断面積の変化

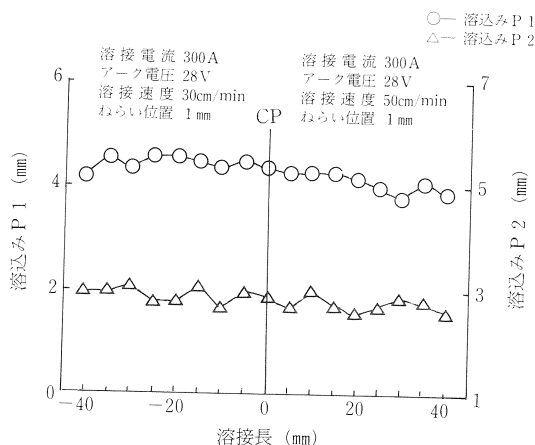


図 2-76 溶接速度の変更に伴う溶込みの変化

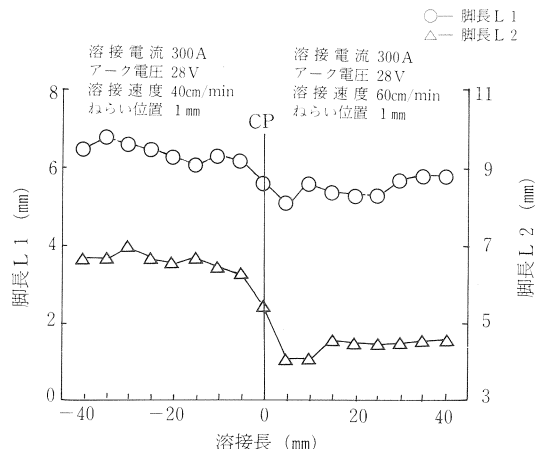


図 2-79 溶接速度の変更に伴う脚長の変化

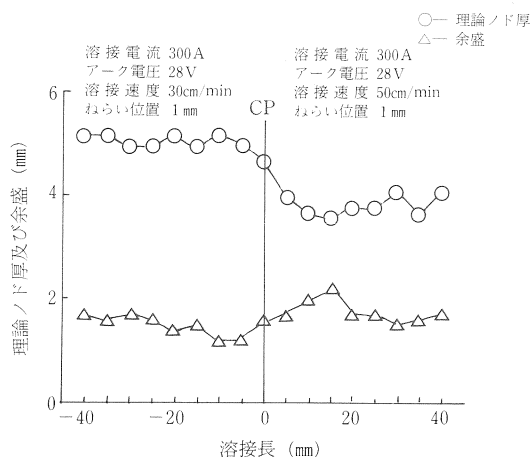


図 2-77 溶接速度の変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

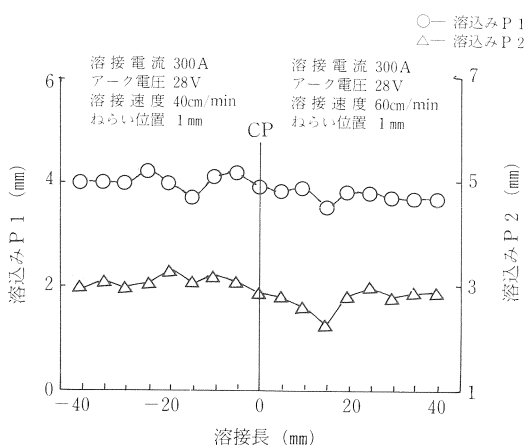


図 2-80 溶接速度の変更に伴う溶込みの変化

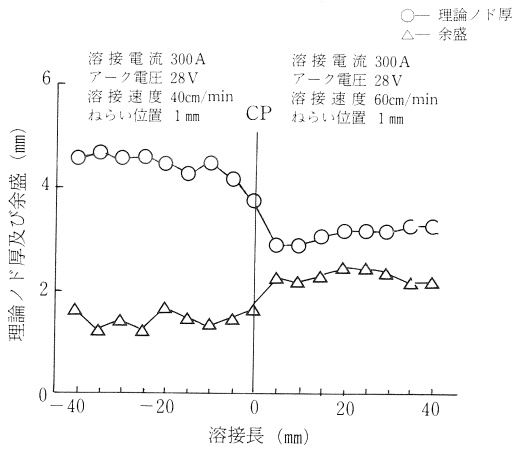


図 2-81 溶接速度の変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

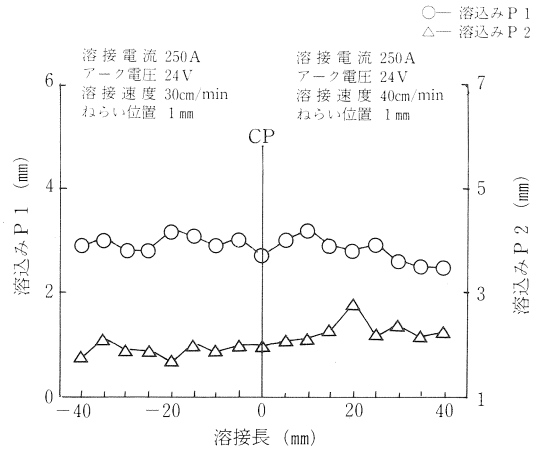


図 2-84 溶接速度の変更に伴う溶込みの変化

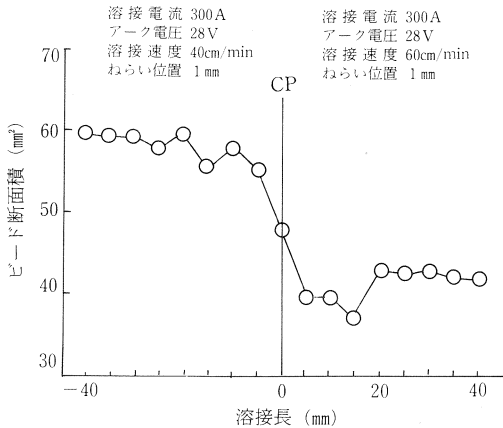


図 2-82 溶接速度の変更に伴うビード断面積の変化

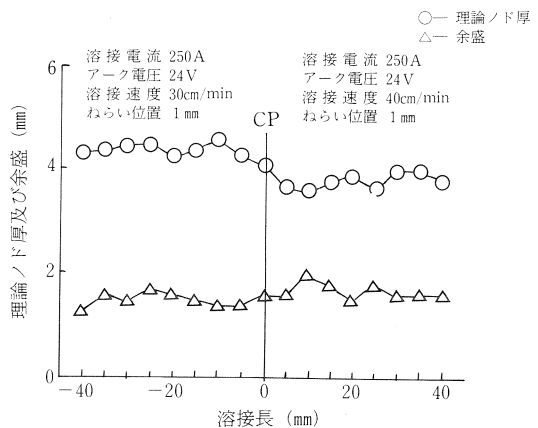


図 2-85 溶接速度の変更に伴う理論ノド厚及び余盛の変化

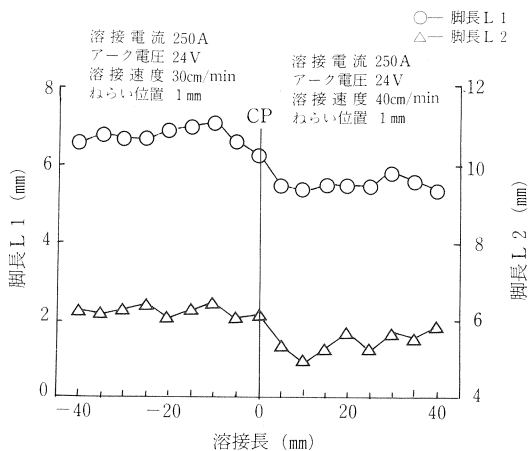


図 2-83 溶接速度の変更に伴う脚長の変化

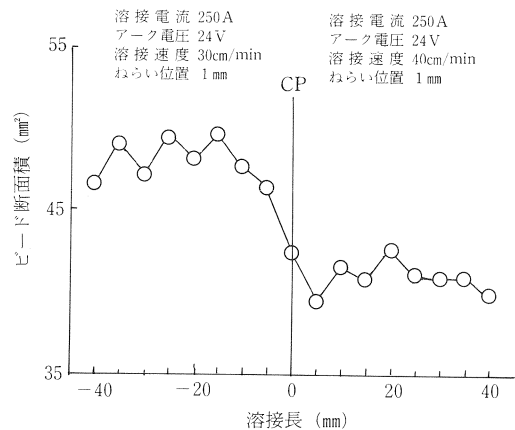


図 2-86 溶接速度の変更に伴うビード断面積の変化

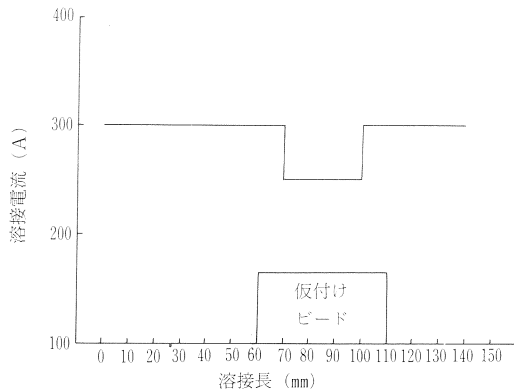


図2-87 溶接条件変更のプログラム

3. 溶接における過渡応答現象を考慮したすみ肉自動溶接システムの開発

3. 1 システムの概要

開発した「すみ肉自動溶接システム」は倣い機構による正確なトーチ位置決めと仮付けビード検出により、溶接欠陥の発生し易い仮付け部において溶け込みやビード形成等の過渡応答現象を考慮して溶接条件の変更調整を行い、溶接品質や形状を制御できる特徴を持つ。

すみ肉自動溶接システムは溶接機に半自動溶接機を使用し、自動化機構として溶接線に沿ったトーチの移動のために台車走行機構を、溶接箇所に対するトーチ位置決め、仮付けビードの検出のために倣い機構を使用し、パソコンにより制御情報を与えながら、すみ肉自動溶接コントローラを介し、溶接条件（溶接電流・電圧・速度）の設定・変更など総合的な制御を行っている。

（試作システムの写真を写真3-1～3-2に、仕様を表3-1～3-2に示す。）

3. 2 個々の機能についての説明

(1) 溶接機

溶接機（マイコン・インバータオート 350T B）は炭酸ガス・MAG溶接法のための自動溶接・ロボット用直流溶接電源で、電子リアクトル制御（説明書による）で、小電流から大電流まで100%近い瞬時アーク・スタートが得られ、従来機と比べてスパッ

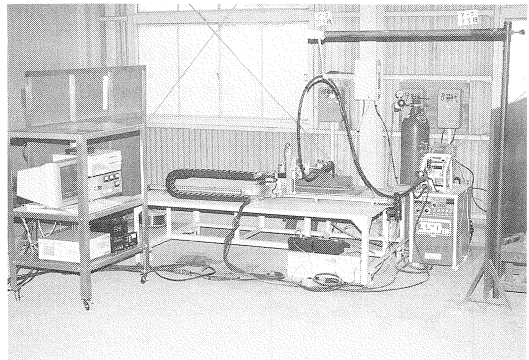


写真3-1 すみ肉自動溶接システム全体写真

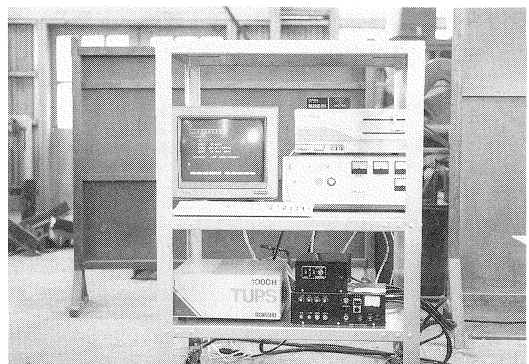


写真3-2 すみ肉自動溶接システム制御部

タも少なく、小型・軽量化されている。

すみ肉自動溶接システムでは溶接電流・電圧の設定・変更はすみ肉自動溶接コントローラ制御回路によっている。

（溶接電流・電圧と指令電圧の関係を図3-1に示す。）

(2) トーチ走行機構

トーチ（台車）走行機構は溶接線に平行にトーチ及び倣い機構（センサ、位置決めテーブル）を移動させる働きをする。

台車の構造は水平・垂直全方向の走行姿勢でも使用可能なようになっており、動力伝達方式もピニオン・ラック噛み合わせで、急激な速度変化に対してもガタやスリップの心配が無い。また、速度制御は精度や応答性を高めるためにモータ回転数をタコ・ジェネで検出してフィードバック制御をしている。

（台車走行速度と指令電圧の関係を図3-2、台車走行速度の変更特性を図3-3に示す。）

表3-1 溶接機・トーチ走行機構・溶接倣い機構の仕様

I. 溶接機

- 炭酸ガス・MAG半自動溶接機 (型式) マイコンインバータオート350TB (株)ダイヘン製)
 - 1) 寸法・重量 D550(mm)×W360(mm)×H615(mm) 50(kg) (他にワイヤ送給装置)
 - 2) 出力範囲 電流: 40~350(A), 電圧: 15~36(V)
 - 3) 定格入力 3相200(V), 18(kVA) (16kW)

II. トーチ走行機構

- 台車本体 (型式) DF-100 (キロニー産業(株) 製)
 - 1) 寸法・重量 W185(mm) L450(mm)×H160(mm) 15(kg)
 - 2) 駆動モータ 直流サーボモータ (タコジェネ付) 電源 DC24(V), 出力30(W)
 - 3) 動力伝達方式 ウォーム・ギヤ+ピニオン・ラック
 - 4) 速度制御範囲 140~1400(mm/分)
 - 5) 搭載荷重 水平方向50(kg), 垂直方向25(kg)
- レール (型式) DR-1900 (アルミ製汎用レール)
 - 1) 寸法・重量 W106(mm)×L1950(mm) 6(kg)
 - 2) ラック・ギヤ モジュール1.5, 歯幅5(mm)

III. 溶接倣い機構

- 倣い制御装置 (型式) CC105-100 (キロニー産業(株) 製)
 - 1) 溶接シーケンス制御
 - ①倣い起動(押し釦SW)→②溶接開始(押し釦SW)→③アーク安定(タイマ)→④台車走行開始→⑤倣いワーク終端検出→⑥非倣い溶接(タイマ)→⑦クレータ処理→⑧トーチ引き上げ→⑨高速復帰(オート・リターン)
 - 2) 台車走行制御 フィードバック方式による速度制御(可逆)
- 電動スライド軸(X-Y 2軸) (型式) SK3-100LD
 - 1) 移動ストローク 100(mm) (移動速度200(mm/分))
 - 2) モータ DC100(V), 15(W)
 - 3) 許容モーメント荷重 200(kg・cm)
- センサ(検知器)(型式) KC-3
 - 1) 変移検出方式 接触式プローブと光学系(O/E変換)の組み合わせ
 - 2) 検出・位置決め精度 ±0.1(mm)

表3-2 すみ肉自動溶接システム制御系の仕様

IV. すみ肉自動溶接コントローラ

- 主回路
 - 1) CPU: Z80A [クロック周波数4(MHz)]
メモリ: <ROM> 8(kバイト), <RAM> 2(kバイト)
 - 2) パソコンとのインターフェース: RS-232C (シリアル通信)
 - 3) タイマ: 2 (チャンネル)
(仮付け検出と仮付け溶接開始・終了の時間的ズレを調整)
- 溶接電流・電圧の卸御
 - 1) 制御信号出力範囲 0~13.5(V) (255段階)
 - 2) 操作パネル上のアナログ・メータに表示
 - 3) メータ下のボリュームにより±10%の微調整が可能
 - 4) フォトカプラによる入出力アイソレーション
- 倣い制御装置とのインターフェース回路
 - 1) 制御信号出力範囲 0~10(V) (255段階)
 - 2) 操作パネル上のアナログ・メータに表示
 - 3) フォトカプラによる入出力アイソレーション
 - 4) “仮付け検知”, “仮付け溶接中” をランプにより表示
- その他
 - 1) トーチ走行機構の走行速度の表示 (操作パネル上のアナログ・メータ)
 - 2) パソコンとの通信状態の表示 (受信, 送信)
 - 3) マイクロ・スイッチ, タイマ等の接点入力端子

V. パソコン (型式) PC-9801R X 2 (日本電気株式会社 製)

- 1) RS-232C インターフェースによりすみ肉自動溶接コントローラに接続
- 2) プログラム言語 ベイシック

VI. その他

- 無停電電源装置 (型式) TUPS-1000H (株)高見沢サイバネティック 製)
 - 1) バックアップ時間 100%負荷 [1(kVA)約700(W)] で8分間
 - 2) 切り替え時間: 4 (msec), 切り替え電圧: 85(V), 出力波形: 方形波

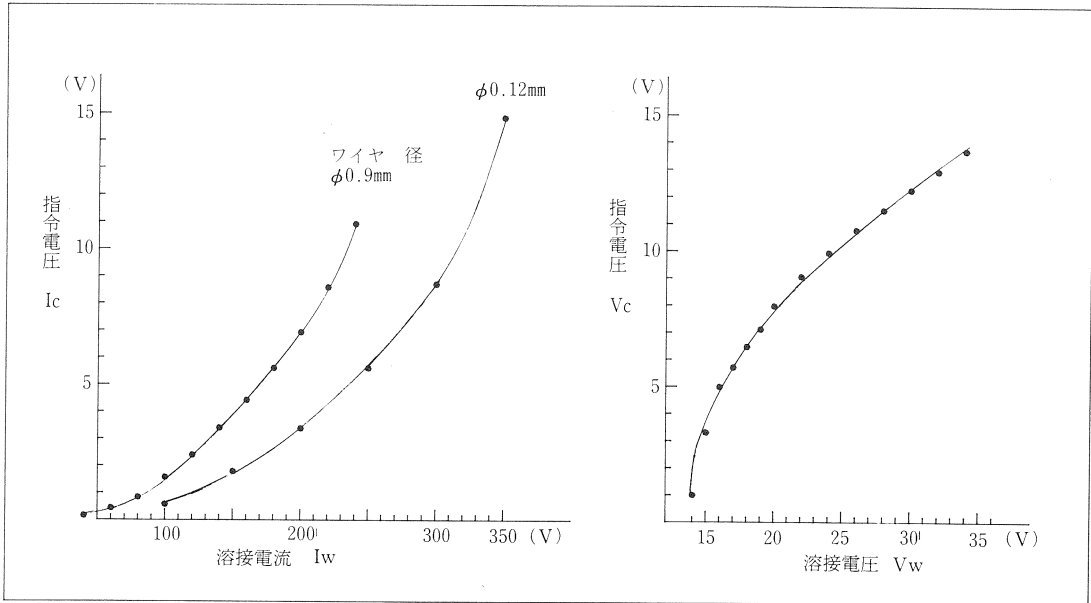


図 3-1 溶接電流・電圧と指令電圧の関係

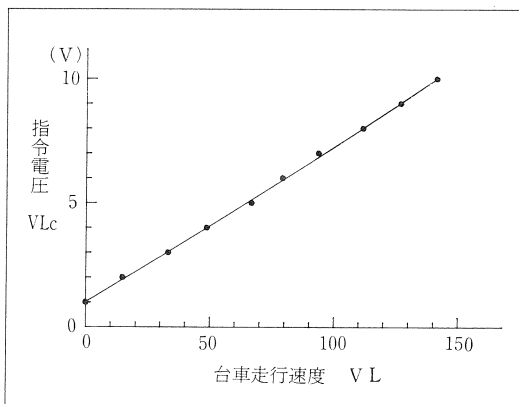


図 3-2 台車走行速度と指令電圧の関係

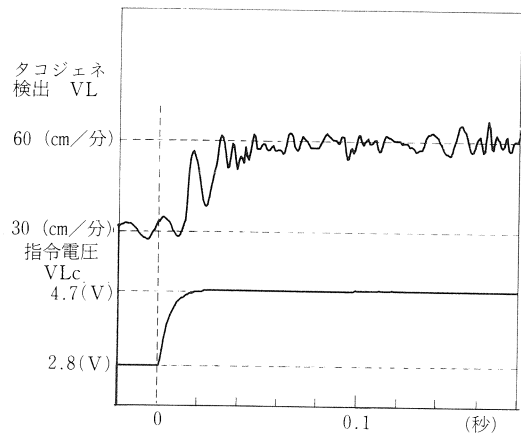


図 3-3 台車走行速度の変更特性

(3) 溶接倣い機構

溶接倣い機構（キロニー・オートガイド）は倣いセンサからの信号により直交型スライド・テーブルによってトーチを位置決めし、トーチ走行機構（台車）と連動して倣い動作を行う。制御装置には倣い起動（ワークへの接近）、トーチの引き上げの他、自動溶接を行うための溶接シーケンス制御回路（詳細は表 3-1 の III 参照）が組み込まれている。（写真 3-3～3-5 参照）

キロニー・オートガイドは比例制御方式の倣い装置で、センサ・プローブ先端の変移が 0.3 (mm) まで

は変移に比例してセンサ出力が $\pm 10\text{ (V)}$ まで変化し、変移が 0.3 (mm) を越えると全速 ($\pm 10\text{ V}$) が出力される。位置決めは無負荷の場合で $\pm 0.1\text{ (mm)}$ 以下の精度である。

仮付けビードの検出はセンサの出力が急激に変化する状態を検知し、仮付けビードの始端が検出される。この間、位置決め機構は作動がロックされ、仮付けビードを倣わないようにしている。仮付けビード終端はセンサ出力がビード始端を検出した時と同レベルになった時をもって判断される。

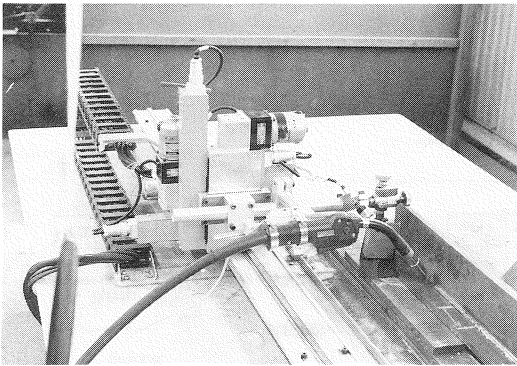


写真3-3 トーチ位置決め用直交型スライド・テーブル

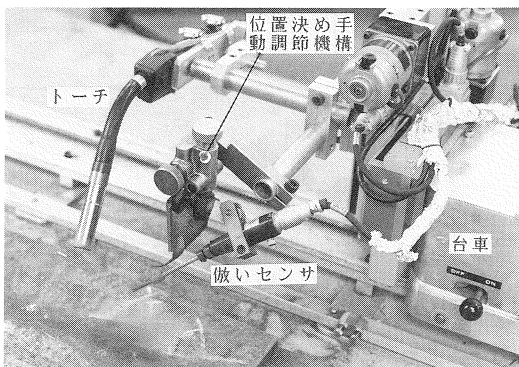


写真3-4 溶接倣い機構



写真3-5 すみ肉溶接におけるトーチ・倣いセンサのセッティング

(4) すみ肉自動溶接コントローラ

すみ肉自動溶接コントローラはパソコンから制御情報を受け取り、仮付けビードを持ったワークの溶接に対応するために、倣い制御装置からの仮付けビ

ード検出信号により仮付けビード始端・終端で溶接条件の変更・復帰を行う。この際、センサ・プローブが溶接の際のアークや溶融熱の影響を受けないようにトーチ先端から約60 (mm) 離して取り付けられているので (写真3-5 参照), プローブの倣っている位置が溶接されるまでに溶接速度により3~10 (秒) の遅れを生じる。そこで、2個のタイマを使用して溶接条件変更時期の調整を行っている。

その他、マイクロ・スイッチやタイマ等による外部信号入力によっても溶接条件の変更ができるようにしている。

制御の詳細は、「3.3 すみ肉自動溶接システムの制御」で述べる。

(すみ肉自動溶接コントローラの写真を写真3-6に示す。)

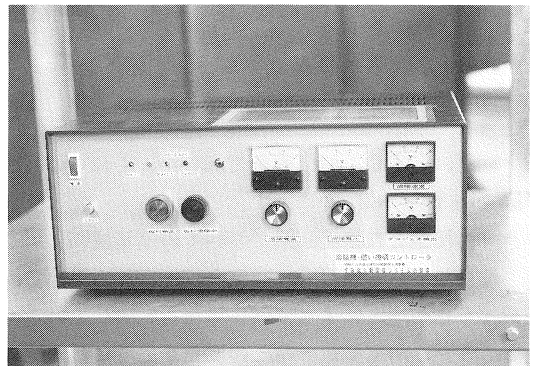


写真3-6 すみ肉自動溶接コントローラ

(5) パソコン

「2. 溶接条件の変更に伴う過渡応答現象を考慮した高品質溶接継手の自動化溶接技術の研究」で得たデータ等を基に、指示脚長に対する溶接条件や仮付け部溶接のための溶接条件変更データをCRTに表示し、すみ肉自動溶接システムにこれらの情報を与えている。

3.3 すみ肉自動溶接システムの制御

(1) すみ肉自動溶接コントローラの回路

すみ肉自動溶接コントローラの回路はCPU周辺回路、タイマ回路、パソコン・溶接機・倣い制御装置との接続回路から成る。(ブロック図を図3-4に示す。)CPU周辺回路は市販のボード・マイコン(ワンダーキット KBC-80S)を利用し、外部リセッ

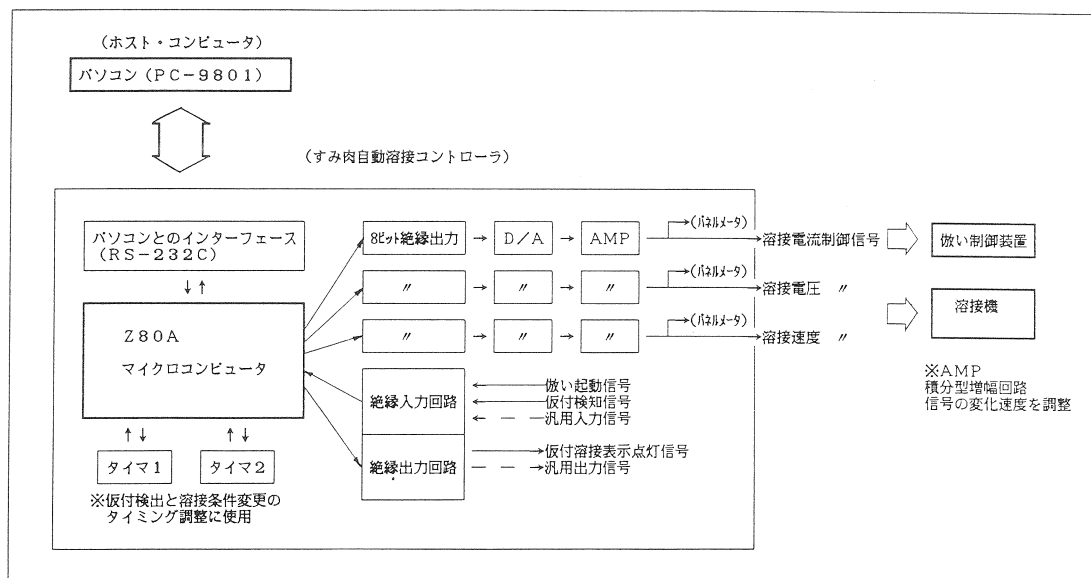


図3-4 すみ肉自動溶接システム制御ブロック図

ト回路, C T C, 8251等を付加した。これらの回路図を図3-5～3-8に示す。

「溶接機との接続回路についての補足説明」

使用している溶接機は直流定電圧特性の電源で、ワイヤ送給速度によって溶接電流を制御している。ところが、溶接電流・電圧の変更を急激に行う際はワイヤ送給モータ(直流プリント・モータ)の回転が安定するまでに最大0.5(秒)程度かかり、この間の溶接状態が不安定になる可能性があるため、溶接電流・電圧の変更は積分回路を用い、1(秒)位の時間をかけてゆるやかに変化させている。(溶接電流・電圧変更の際の溶接機出力の変化の例を図3-9に示す。)

溶接電流・電圧の設定はトーチの位置決め精度やワークと溶接機(—)電極との間の電気抵抗、シールド・ガス流量、トーチ・チップの汚れ等に影響され、特に溶接電流はコンジット内の磨耗による抵抗やワイヤ送給・矯正機構のエクステンションによっても変化する。溶接電流・電圧の設定では状況に応じて微妙な調整が必要であり、試作システムではパソコンのデータによる設定に対して、制御パネル上の微調整ボリュームによる手動調整で±10(%)の

補正を行えるようにしている。

(2) すみ肉自動溶接システムの動作について

すみ肉自動溶接システムは自動溶接シーケンスの中でワークの仮付けビード検出により、その箇所での溶接電流・電圧・速度を変更し、溶接ビードの品質や形状の制御を行っている。

(作動フロー・チャートを図3-10に示す。)

仮付けビードの検出ではスパッタ等の異物やノイズのために短い周期(0.5秒以内)の仮付け検知が発生するが、これらは、ノイズとしてすみ肉自動溶接コントローラのマイコンにより識別を行っている。

(3) システムのノイズ対策

すみ肉自動溶接システムの電子回路(パソコン、各種制御回路)は溶接機電源ケーブル及びアーク発生箇所から発生する高周波ノイズや電磁ノイズの影響を強く受ける。このために、制御用インターフェースの主回路(マイコンCPU側)と溶接機電流・電圧制御回路及び台車走行速度制御回路とはアイソレーションを行い、また、電源や信号の入出力ケーブルにノイズ・フィルタやフェライト・ビーズを使用したり、入出力回路にフィルタを用いるなどしてノイズの減衰を図っている。

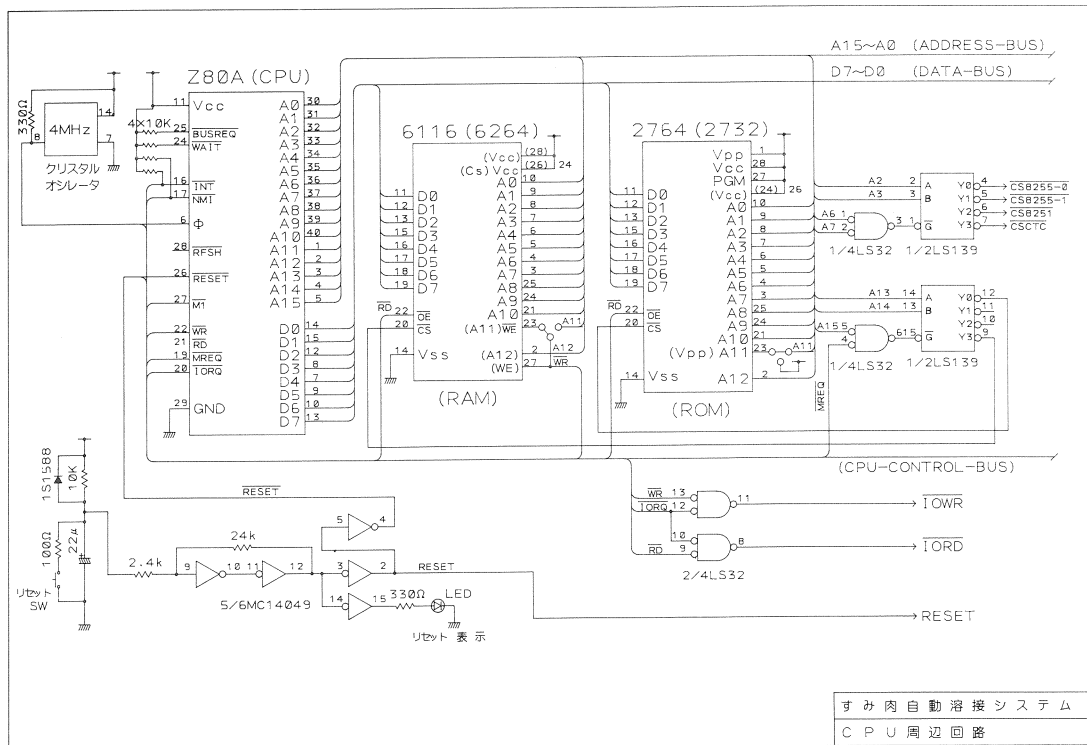


图 3-5 CPU 周边回路

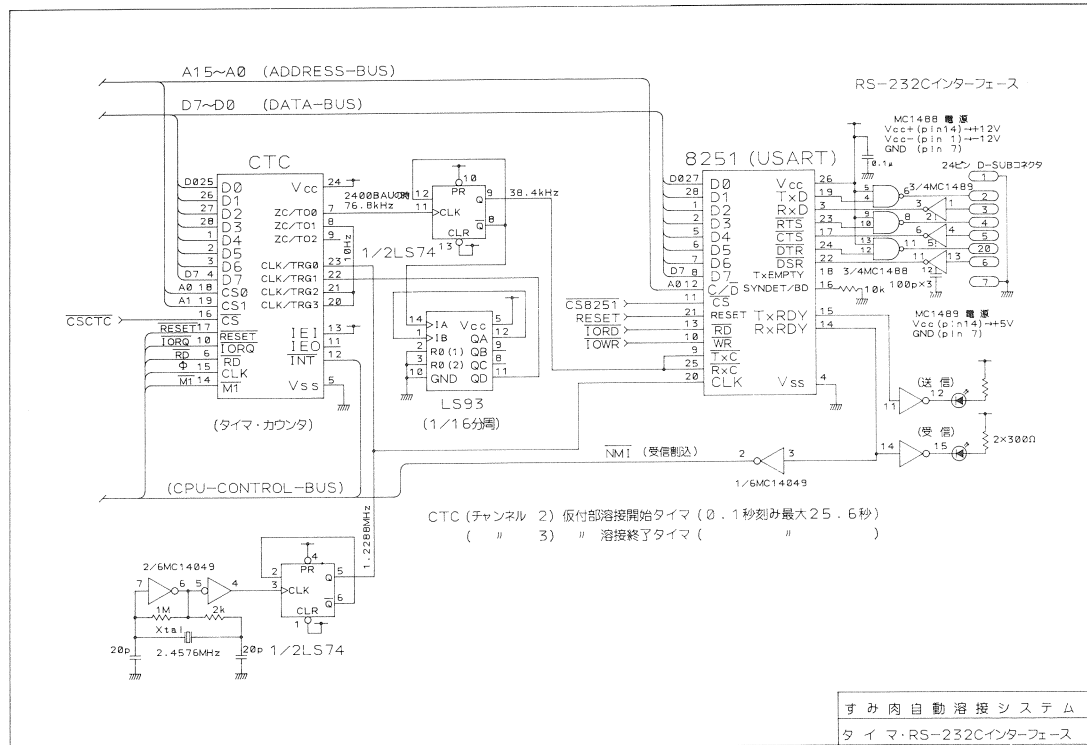


図3-6 タイマ・RS-232Cインターフェース



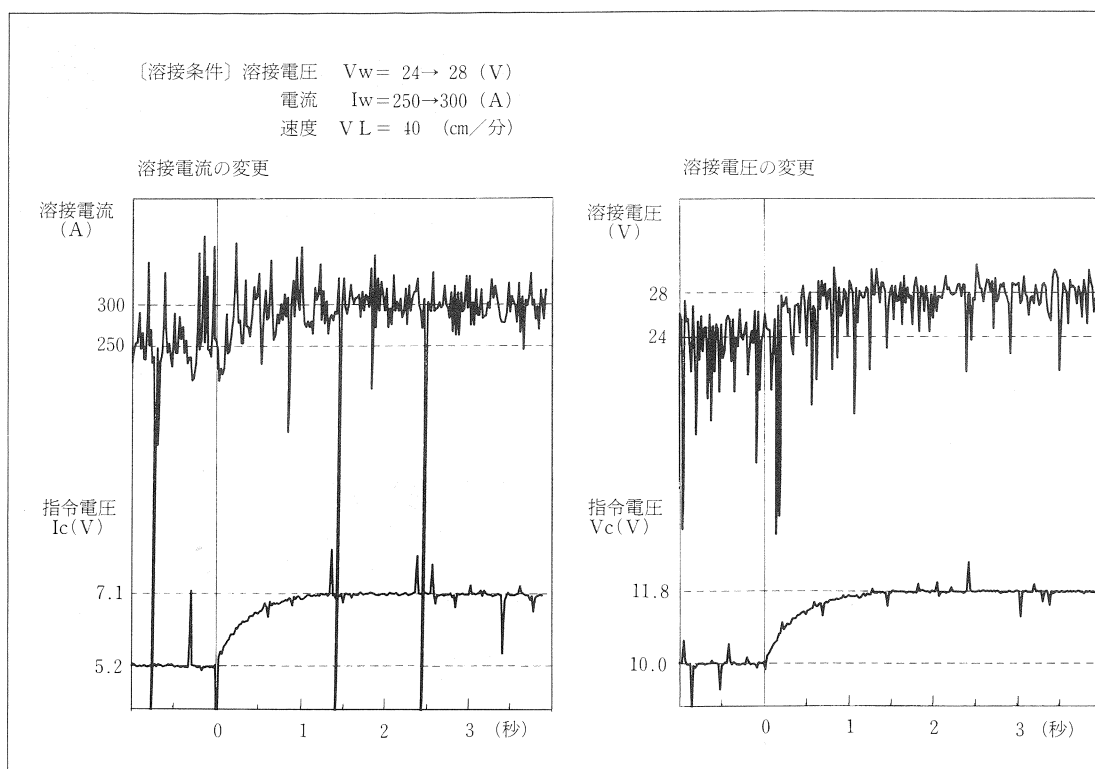


図 3-9 溶接電流・電圧の変更例

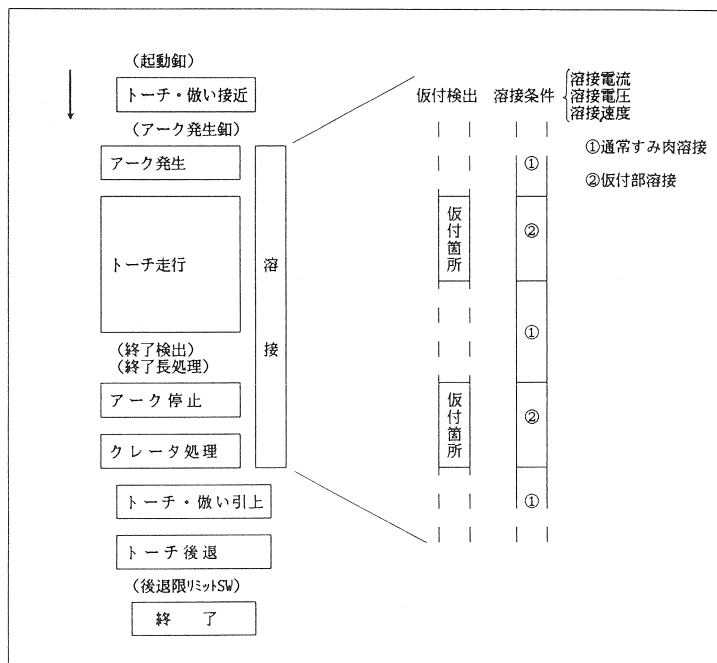


図 3-10 すみ肉自動溶接システム 作動フローチャート

3. 4 すみ肉自動溶接システムの試験運転結果

一定の作業標準に従って作られた仮付けビードを持つ供試材の溶接加工試験を試作システムにより実施し、良好な結果が得られた。

写真3-7は母材に溶接条件を120A 18Vとして作成した標準仮付けビードである。

写真3-8は標準仮付けビードを持つ供試材に溶接条件300A 28Vで一樣に溶接を行ったもので、仕上げ形状に仮付けビードのあった箇所若若干の膨らみが見られる。

写真3-9は、非仮付け部では溶接条件を300A 28Vとし、仮付け部において溶接条件を250A 24Vに変更している。後者の条件では標準仮付けビードの再溶融が可能であることを既に実験で確認している。この結果、仮付けビードがあった箇所においても溶接仕上げ形状に殆ど変化がなく、良好な結果が得られた。

3. 5 試作したすみ肉自動溶接システムの課題

(1) 溶接条件変更調整の問題

炭酸ガス・MAG溶接では入熱（溶接電流）を増大させるとワイヤ送給量も増加し、従って、溶接ビード形状も大きくなるという特性があり、TIG溶接の様に入熱だけを個別に制御できないため、仮付けビードの再溶融を十分に行うという条件では仮付けビードの大きさに制限を設けなければ一様な仕上げ形状を得ることはできない。その他の理由からも溶接品質・形状（脚長・厚さ）の変化を各パラメータ毎に個別に制御することはできないので、任意の大きさの仮付けビードに対して適当な溶接条件の変更・調整を行っても必ずしも満足のできる溶接仕上がりが得られない可能性もあるが、溶接条件の変更に伴う過度応答現象の傾向を把握していれば、それを実際の溶接に応用した場合に溶接後に得られる品質・形状が予測できるので、溶接品質・形状の改善には役立つと思われる。

(2) トーチの位置決めについて

溶接箇所に対するトーチの位置決めはアーク長（ひいては溶接電流・電圧、仕上げ形状）に影響を与えるので正確でなければならないが、溶接做い機構を用いれば母材の据付誤差や溶接作業中の熱歪み等に対してもトーチの位置を溶接箇所に対して一定に保つことができる。しかし、溶接做い機構におい

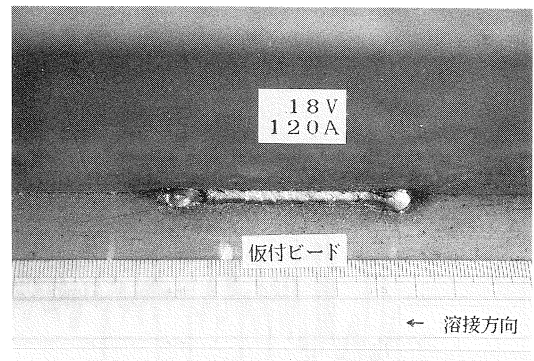


写真3-7 供試材の標準仮付ビード

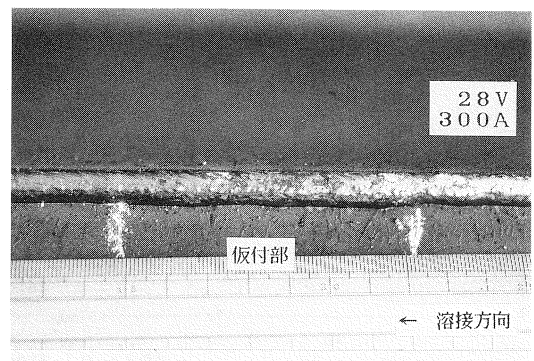


写真3-8 すみ肉溶接例（溶接条件の変更調整なし）

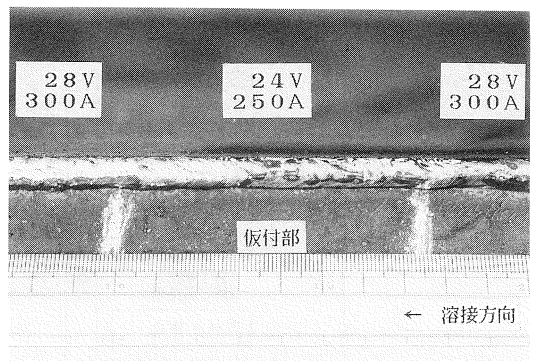


写真3-9 すみ肉溶接例（溶接条件の変更調整を実施）

ても最初の位置決めは手動により行い、かなり神経を使う作業であり、使用している微調整機構の剛性が弱いこともあって調整に苦勞している。このため、初期の位置決め方法について、今後、検討しなければ

ばならない。

(3) 溶接電流・電圧の設定について

一般の半自動溶接においては作業者が溶接中の音や溶接の仕上がり状態によりリモート・ボックスのボリュームによって溶接電流・電圧の調整を行っているが、これらは溶接機や作業の状態によってかなり変動し、溶接の仕上げ品質に影響を与える。すみ肉自動溶接システムでは、実験の際は電流計、電圧計を見ながら制御パネルの微調整ボリュームで調整を行っているが、これはフィードバック制御を応用するなどして簡略化できるので、今後検討したい。

(4) 実用化にあたって

試作したシステムは工場内で常時使用するためにはさらにノイズや粉塵等の対策を行わなければならない。このため、制御回路全体を電氣的にシールドすることや、パソコンの部分と制御用インターフェースを一体化してコンパクトにし、悪環境下での使用に耐える構造にする必要がある。

4. まとめ

すみ肉溶接における溶接条件の変更に伴う過渡応答特性の解明のために、溶接条件の変更点前後で等間隔に試料を切り出し、ビード脚長・断面積・ノド厚・溶込み等の特性値を観察し、基本的傾向を把握し、すみ肉自動溶接システムにおける溶接条件変更・調整用のデータとした。

また、これと並行し、実際に仮付けビードを持つ

すみ肉溶接で仮付け箇所において所定の溶接品質あるいは形状（脚長等）を得るために、継手部の仮付けビードの検出により、仮付け部において溶接条件（溶接電流・電圧・速度）をコンピュータ制御するすみ肉自動溶接コントローラを試作し、実証試験を行った。この結果、一定の作業基準によって母材に作られた仮付けビードに対して溶接条件の変更・調整を実施し、ほぼ様な溶接品質・形状の仕上がり が得られ、実用化に向けての手掛かりが得られた。

今後の課題としては、溶接方法及び溶接条件の設定精度や変更方法についてさらに検討する必要がある、また、研究期間が短かったため溶接における過渡応答現象の実験データもまだ少ない状況なので、今後、実験を積み重ねてデータを充実させる必要がある。また、今回の成果を突き合わせ継手等の溶接や各種溶接材料の継手溶接についても適用を考えていきたい。

5. おわりに

今回の研究開発にあたって、研究の企画から実施まで指導・助言を与えて下さった財大分県高度技術開発研究所の立川逸郎所長に感謝いたします。

〈参考文献〉

- (1) 「自動 TIG 溶接における溶込みとビード形成に及ぼす溶加材の影響」立川逸郎ら（溶接学会論文集第 5 巻第 2 号 1987年）