

日立自動すみ肉溶接装置 (マグトレサ)
Hitachi Automatic Fillet Welding Equipment (Mag-tracer)

坂 部 昭* 坂 上 光 廣*
Akira Sakabe Mitsuhiro Sakagami
荒 井 邦 男* 上 田 晃 久*
Kunio Arai Akihisa Ueda

要 旨

本装置は在来の半自動溶接用トーチを保持し、磁力により鋼板に吸着しつつ走行し、現物倣(なら)いにより全姿勢すみ肉溶接を自動化することを目的としている。
磁輪による吸着力と負荷変動に対し安定な速度制御により、とう載重量 10 kg で全姿勢を走行し、直線と曲線で複合されるすみ肉継手を高い精度で倣い、高能率で溶接する自動装置である。
なお、立向、上向すみ肉溶接では、ウィービングが必要であるが装置に内蔵された日立独得のウィービング機構によりトーチを揺動することにより、すみ部までじゅうぶん融合しうることを明らかにした。
本装置により各姿勢における適正溶接条件範囲を求め、また各種溶接線との組合せ条件を選定し良好な溶接結果を得た。

1. 緒 言

造船、橋梁などでは、全溶接長の 80~90% がすみ肉継手で、被溶接物をポジショニングし得ないものでは自動化が比較的困難であった。現在、各種の自動すみ肉溶接機が開発され、実用に供されつつあるが、その多くはいずれも倣い性能、可搬性、適用範囲などの点で必ずしもじゅうぶんとは言い得ない。
本装置は、在来の半自動アーク溶接機と組み合わせてすみ肉溶接を自動化するもので、組立て精度の低い製缶物では最適の現物倣い方式を採用し、ウィービング機構をも内蔵した小形軽量機であるため適用分野も広く、次のような多くの特長を有している。

- (1) 強力な吸着力を持つ磁輪と、最適なウィービング機構により溶込みの確実な下向、立向、上向などオールポジションのすみ肉溶接ができる。
- (2) 現物倣いの自動すみ肉溶接を行なうため、適正条件に設定するだけで継目の少ない、信頼性の高い均一な溶接結果が得られる。
- (3) 倣い精度が高く、溶接中のねらい位置などの監視は不要で、かつ小形・軽量なので、1人で数台を操作することができる。
- (4) 直線のすみ肉溶接、パイプ・フランジなどの円周すみ肉溶接のほか、従来自動化が比較的困難であった直線と曲線で

複合されるすみ肉溶接も自動化できる。
(5) 狭い場所、高所、高温、有害なふん囲気中の溶接を自動化することができ、安全・衛生管理面での効果も大きい。
以下、本装置の概要と溶接性について述べる。

2. 装置の構造

本装置の外観、仕様、日立 TS アークとの組合せ例は図 1、表 1

表 1 日立 マグトレサ仕様

形 式	JM-FL JM-FR*	
	50~700 mm/min サイリスタによる点弧角制御 (トルク補償回路付)	
走 行 速 度	AC 100 V 50 または 60 Hz	
速 度 制 御	全 姿 勢	
制 御 電 圧		
走 行 姿 勢		
ウィービング	幅	左右方向 0~20 mm 上下方向 0~14 mm
	ピ ッ チ	2.9 mm
位 置 調 整	上 下 方 向	±10 mm
	左 右 方 向	±10 mm
対 象 板 厚	3.2 mm 以 上	
母 材 寸 法	吸 着 面	最 小 220 mm
	垂 直 面	最 小 25 mm
と う 載 重 量	約 10 kg	
本 体 重 量	14 kg	

* JM-FL は溶接位置が進行方向に対し左側、JM-FR は右側

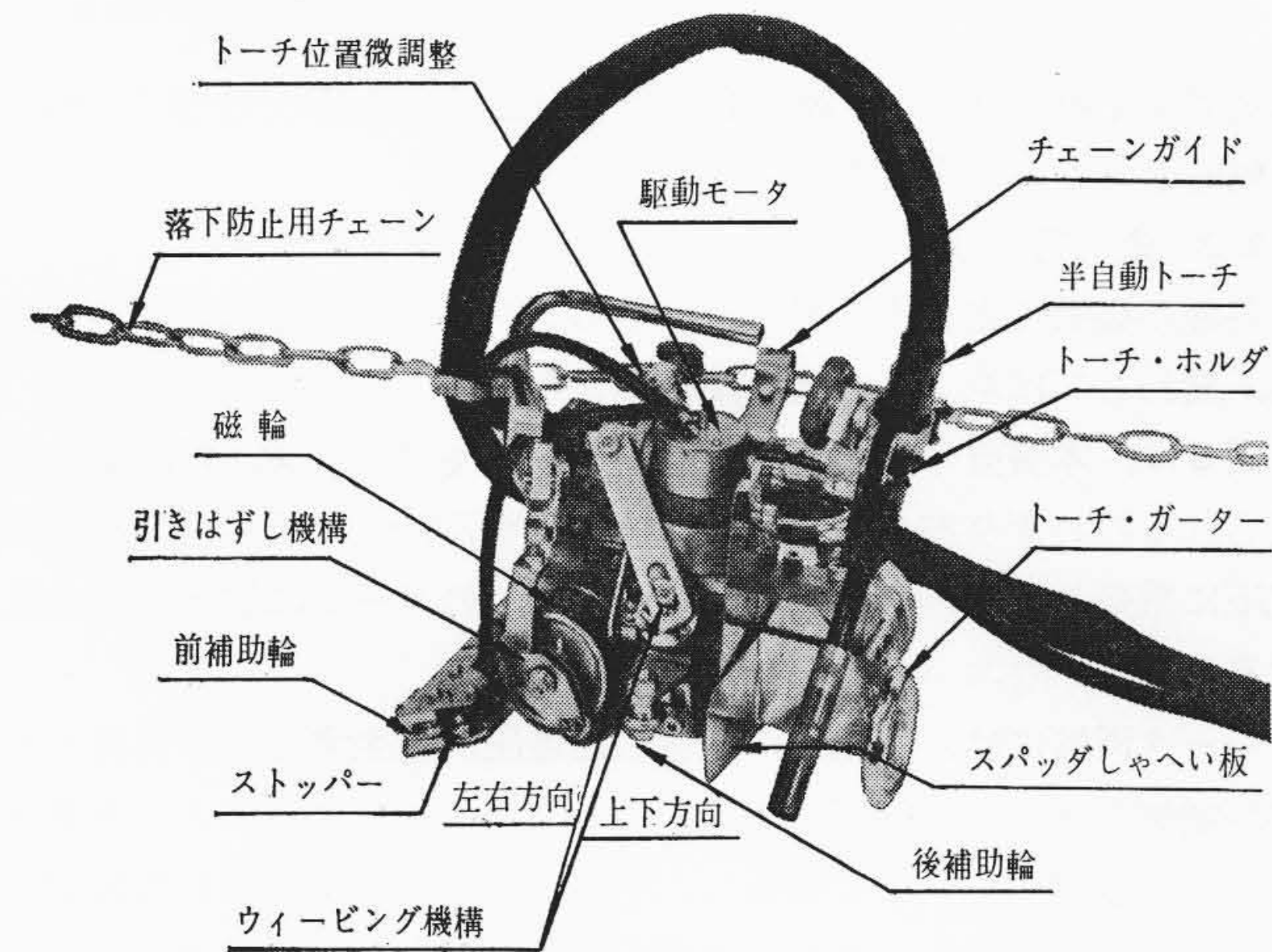


図 1 日立 マグトレサ

* 日立製作所 亀戸工場

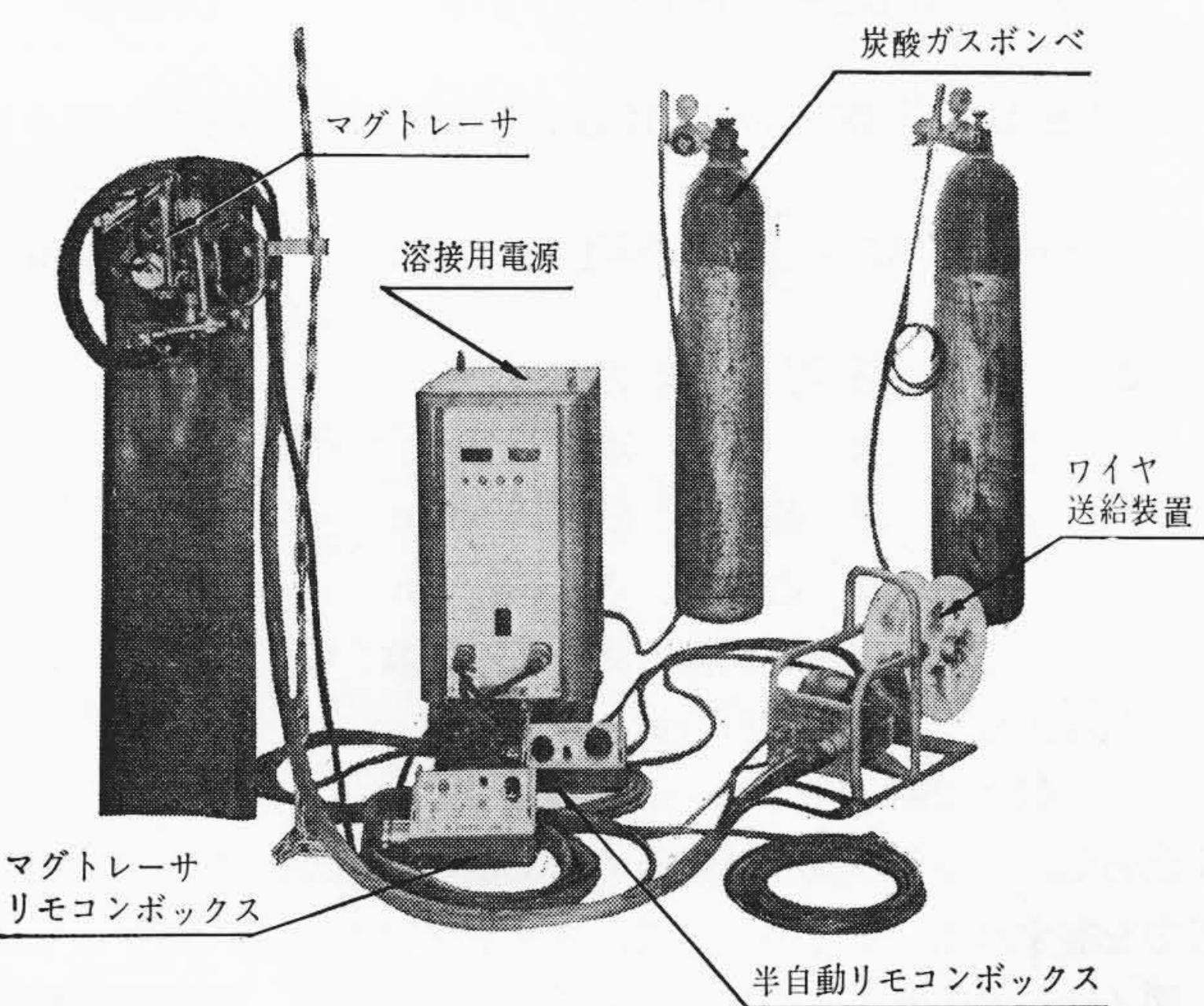


図 2 日立 マグトレサと日立 TS アークとの組合せ

図2に示すとおりである。

半自動トーチを保持し、3個の磁輪によりすみ肉継手を構成する一方の部材に吸着し、他方の部材に前後2個の補助輪を押しつけつつ走行する現物倣い方式である。

立向、上向溶接では、ウィービングが必要となるが、本装置では溶接線に対する上下方向の揺動と、左右方向の揺動とを組み合わせた複合運動によりウィービングを行なう仕組みである。ウィービングの駆動と台車駆動は同一モータにより行なわれ、ウィービングピッチは一定で、上下方向・左右方向の振幅は、それぞれ任意に設けすることができる。

駆動用モータは、小形直流モータで、トルク補償機能を持つサイリスタ点弧角制御方式により、低速から高速に至るまで安定した定速度性を有している。

トーチのねらい位置は、左右、上下調整ハンドルにより微調整ができる。

溶接の開始・停止、台車の走行・停止、前進・後進、走行速度の調整は、一括してリモートコントロールボックスにて行なわれる。

溶接終了はコントロールボックスでの操作のほかに、ストッパーがガイド板の端末に到達したとき、またはストッパーがステーなどに当たったとき自動的に行なわれ、アークは消滅し台車も停止する。

装置の着脱は、引はずしレバーにより磁輪を浮かせた状態で行なわれる。

立向、上向および高所の作業では、安全のため付属するチェンを命綱として用いる。

3. 装置の諸特性

本装置では、現物を倣うことにより全姿勢の溶接が行なわれるがこのために備えている種々の特性について説明する。

3.1 溶接姿勢と吸着力

図3に示すように θ なる角度で傾斜している鋼板に、磁輪がA側に2輪、B側に1輪吸着しているとすると、全荷重で装置が離脱しない条件から次式が成立つ

$$l_1 M - \frac{l_1}{2} \cdot W \cos \theta \mp l_2 \cdot W \sin \theta > 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$2l_1 M - \frac{l_1}{2} \cdot W \cos \theta \pm l_2 \cdot W \sin \theta > 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$(1), (2) \text{より} \quad M > W \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

また、装置がスリップなしに走行する条件から次式を得る。

$$\left(l_1 M - \frac{l_1}{2} W \cos \theta \mp l_2 W \sin \theta \right) / l_1 \cdot \mu + \left(2l_1 M - \frac{l_1}{2} W \cos \theta \pm l_2 W \sin \theta \right) / 2l_1 \cdot \mu - W \sin \theta > 0 \dots\dots\dots (4)$$

$$(4) \text{より} \quad M > \frac{W}{3\mu} \sqrt{\mu^2 + 1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 M : 必要吸着力

W : 全荷重 25 kg

l_1 : 車輪間隔 160 mm

l_2 : 重心高さ 100 mm

μ : 磁輪と鋼板の間の摩擦係数: 0.3

であるから、(3)式、(5)式より

$$M > 29 \text{ kg}$$

すなわち、いかなる鋼板の傾斜でも1個の磁輪が、29 kg以上の吸着力を有すれば、走行中、離脱、スリップは生じない。

図4は、本装置に使用した磁輪の吸着力と磁輪、母材間距離の測定結果を示したものである。また、表2は、上向および立向姿勢で

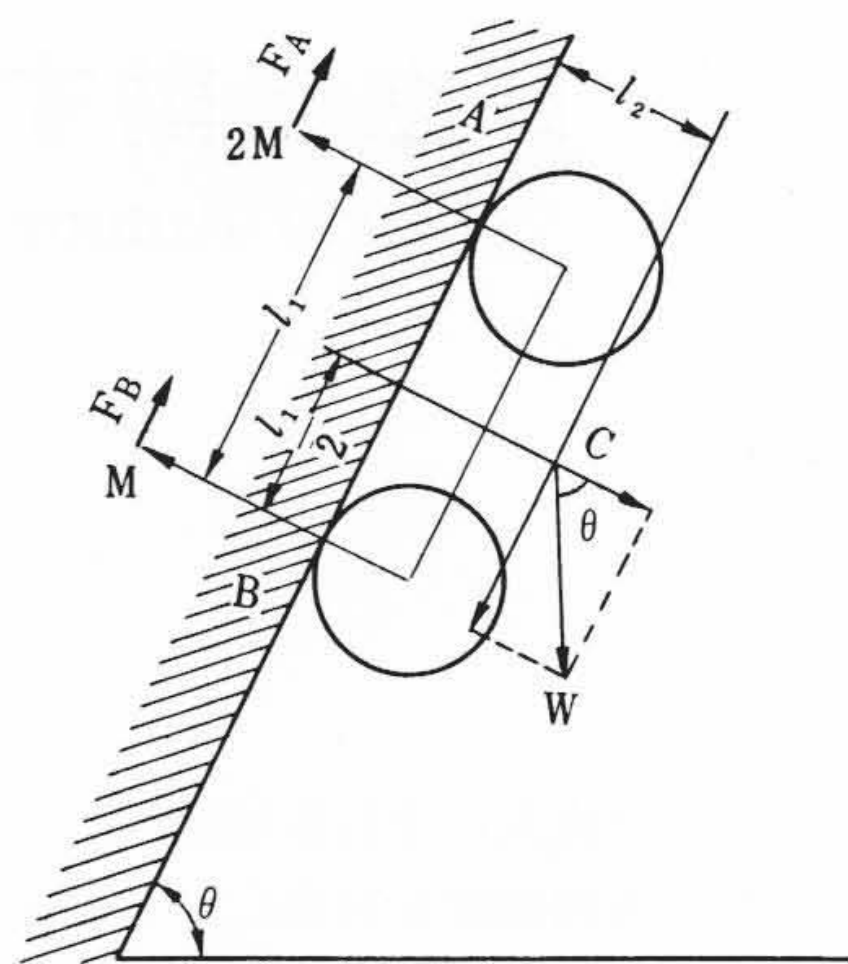


図3 必要とする吸着力

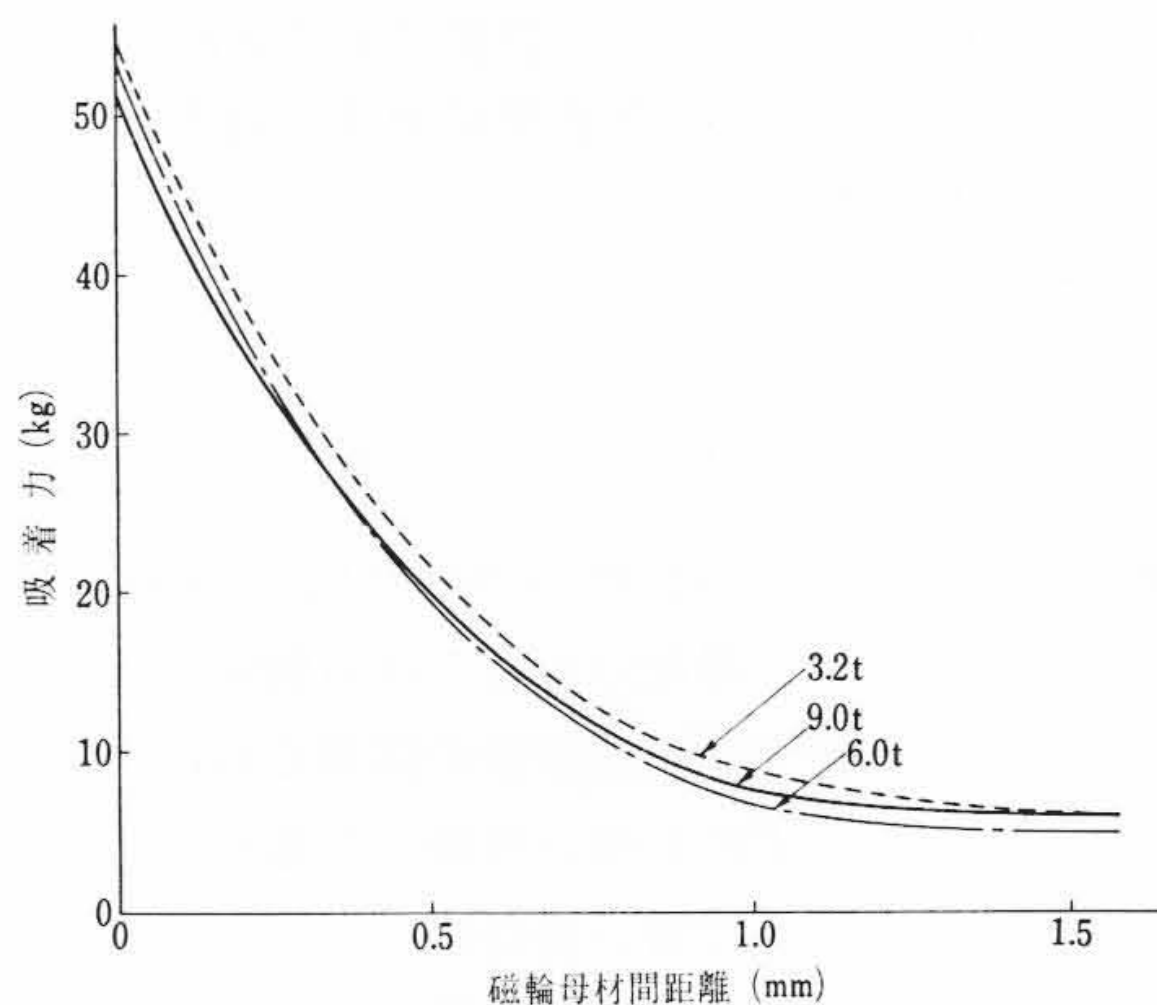
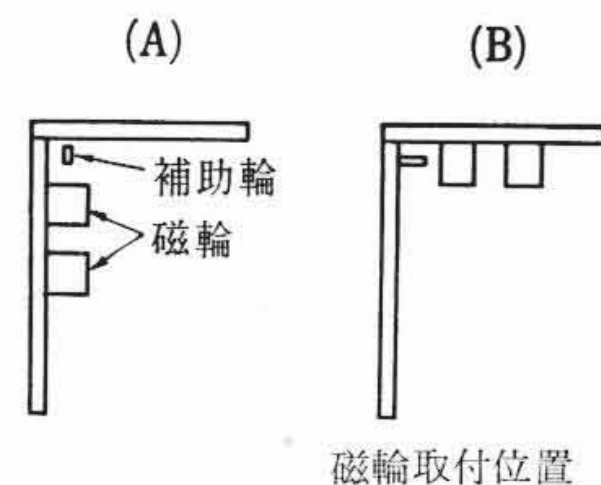


図4 磁輪吸着力測定結果

表2 と う 載 荷 重

とう 載 荷 重 (kg)	立 向 上 進	上向水平 (A)	上向水平 (B)
5	OK	OK	OK
10	OK	OK	OK
15	OK	OK	OK
21	上進速度やや減少	補助輪少し浮く	OK

備考: 上向水平 (A) (B) は右図による。



本装置を走行させ、とう载荷重を変えたときの状況で、仕様の10 kgに対しじゅうぶん余裕を持っている。

3.2 走行速度

各種の姿勢で走行する場合、自重およびとう载荷重により走行速度が変わっては均一な溶接は期待できない。

図5は、本装置の制御回路の原理を示すもので、 R 、 C により構成されるのこぎり波発生回路は、速度調整器により設定される一定電圧に重畳して動作し、これがサイリスタのゲートに加えられる点弧する。

モータ両端には、回転数に比例した電圧が発生するが、負荷トルクが増加しモータの回転数が落ちると、サイリスタのアノード電圧が下がり設定値より早く点弧し、不足したトルクを供給して設定した回転数に復帰する。また、負荷トルクが減少した場合は、これと逆の動作をし、いわゆるトルク補償回路を構成する。

図6は、トルク補償の効果を示すもので、けん引力25 kgまで定

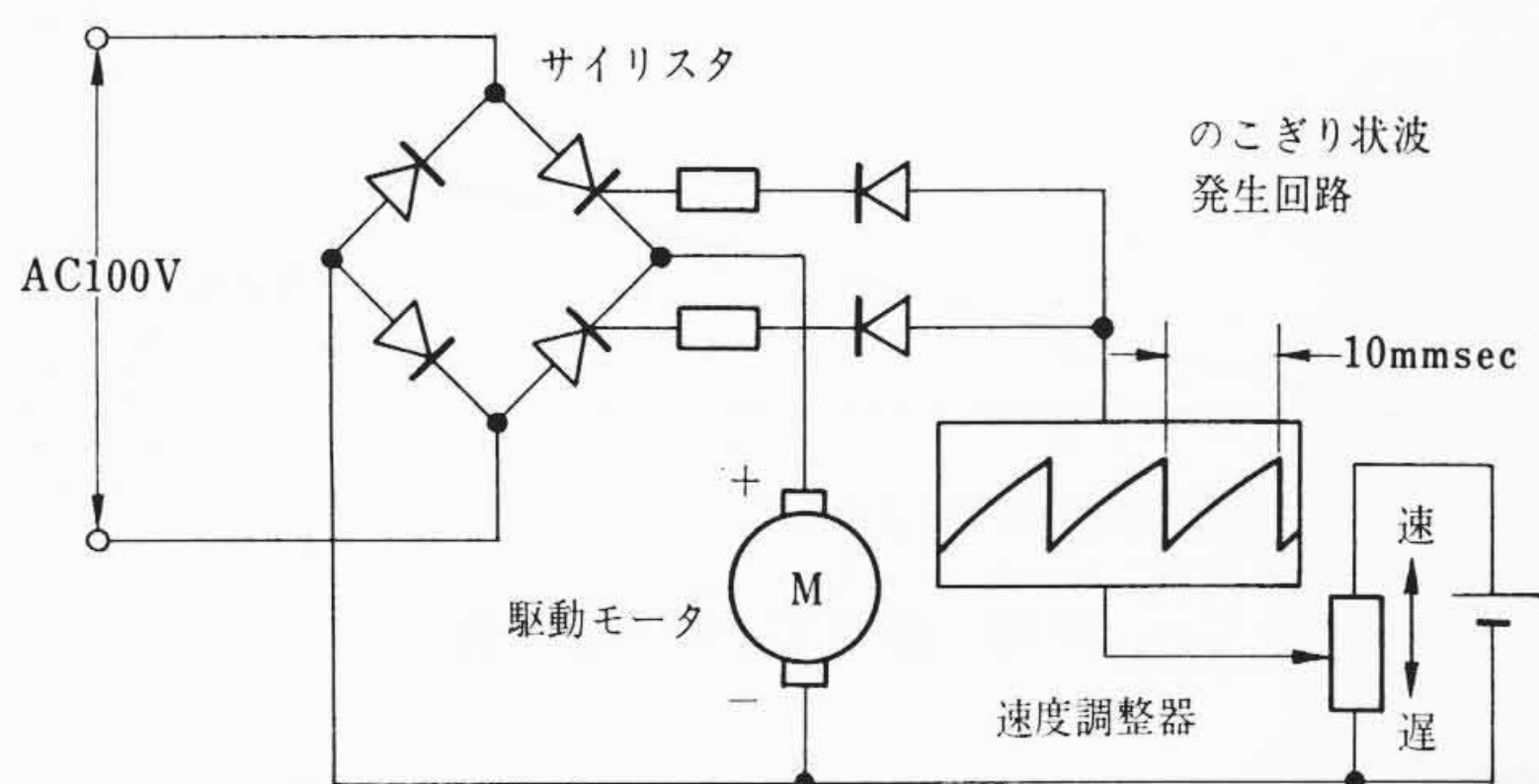


図5 制御回路原理図

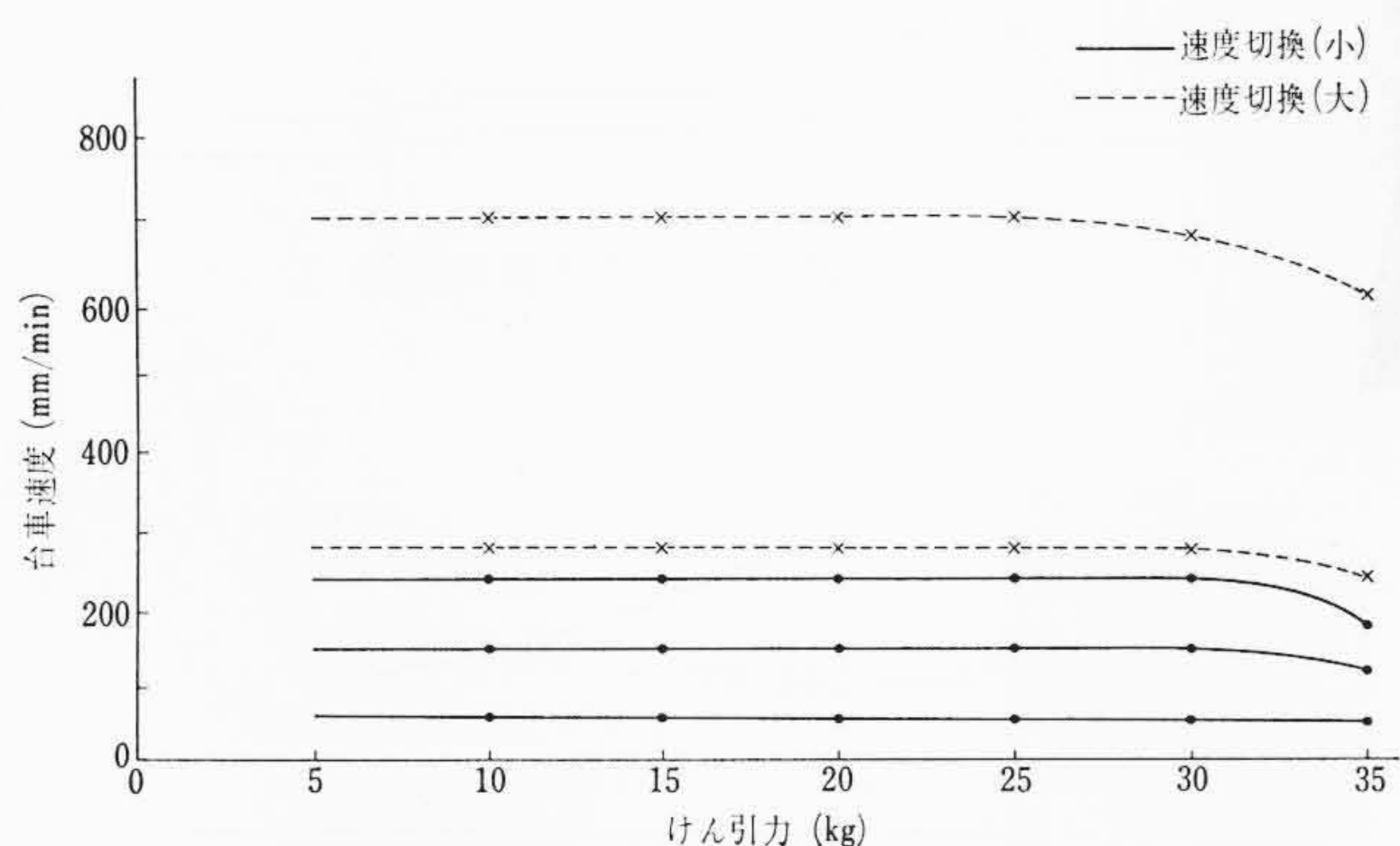


図6 マグトレサ牽引力-速度特性

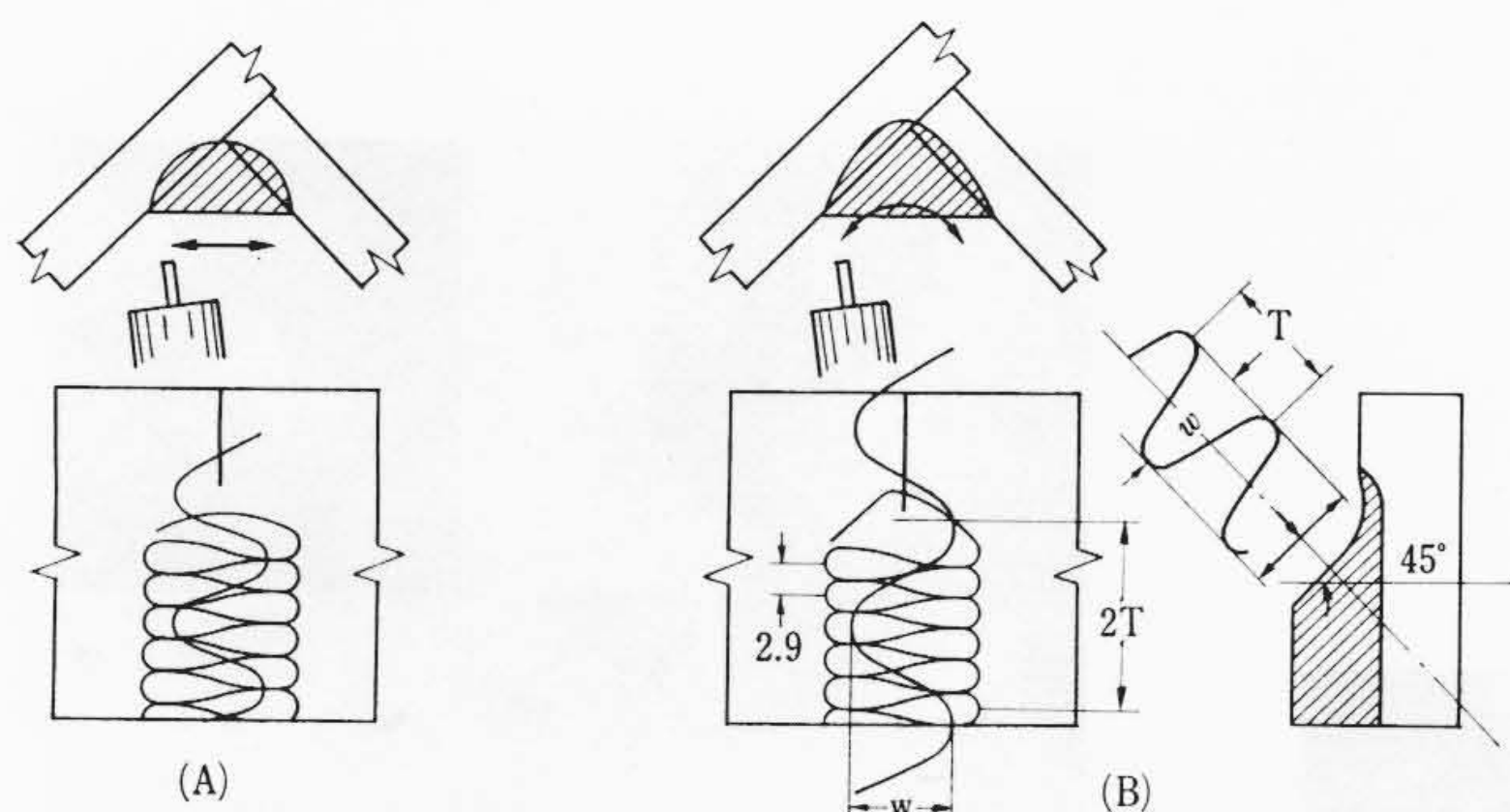


図7 単純ウィービングと複合ウィービング

速性を得ることができ、これにより姿勢のいかに問わず安定した溶接が可能である。

3.3 ウィービング

従来より、種々のウィービング装置が考案されているが、いずれも機構が複雑で装置も大形となり、適正值の選定が困難である。

本装置では、単一モータで台車の走行と同時にウィービングを行ない、正弦運動の合成によりトーチに揺動を与える方式を採用している。機構としては、単一の正弦運動が最も装置を簡素化できるが、図7に示すようにすみ部の溶込みが得られない。これに（B）のように1/2周期で開先に突込む揺動を与えることにより、完全溶込みを得るとともに、ウィービングピッチも脚長のいかに問わず2.9mm一定で良好な結果を得ることができた。

なお、 W および w を送りネジで可変とし、脚長、溶込み量を変えられることができる。

4. 被溶接物の形状と倣い性

本装置の適用しうる溶接線は、300 mm R 以上の曲率を持った曲面とこれに直交する平面との交線であり、曲面側を磁輪、平面側を補助輪で倣う。

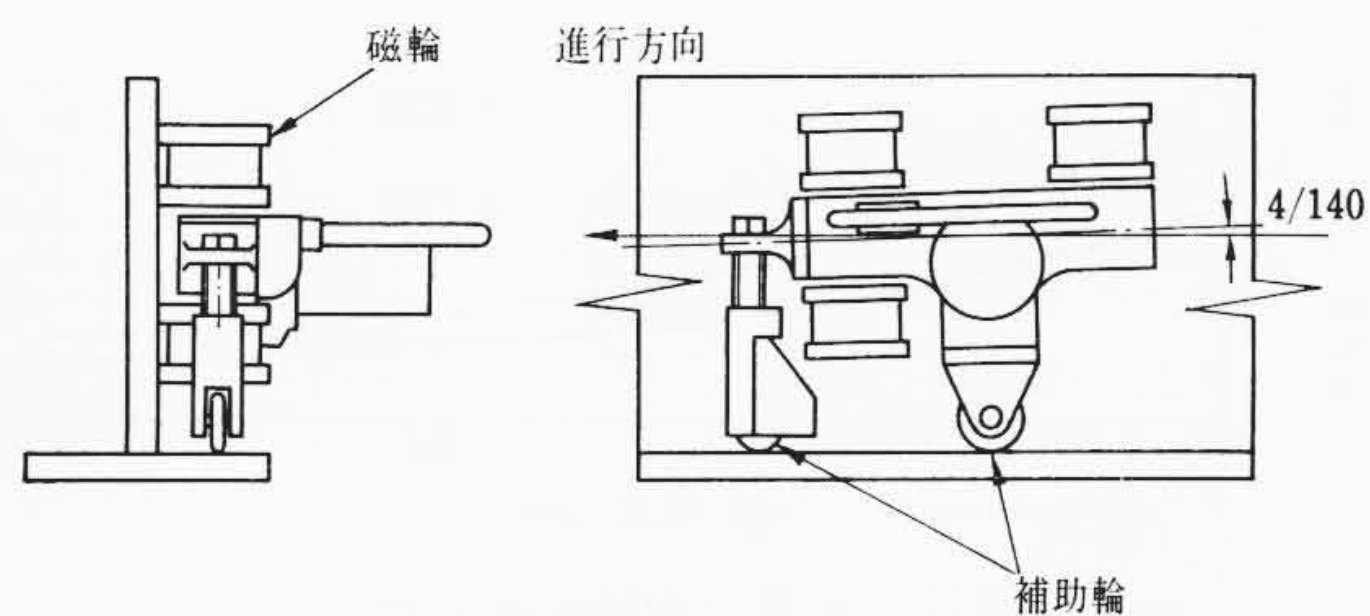


図8 倣い方式

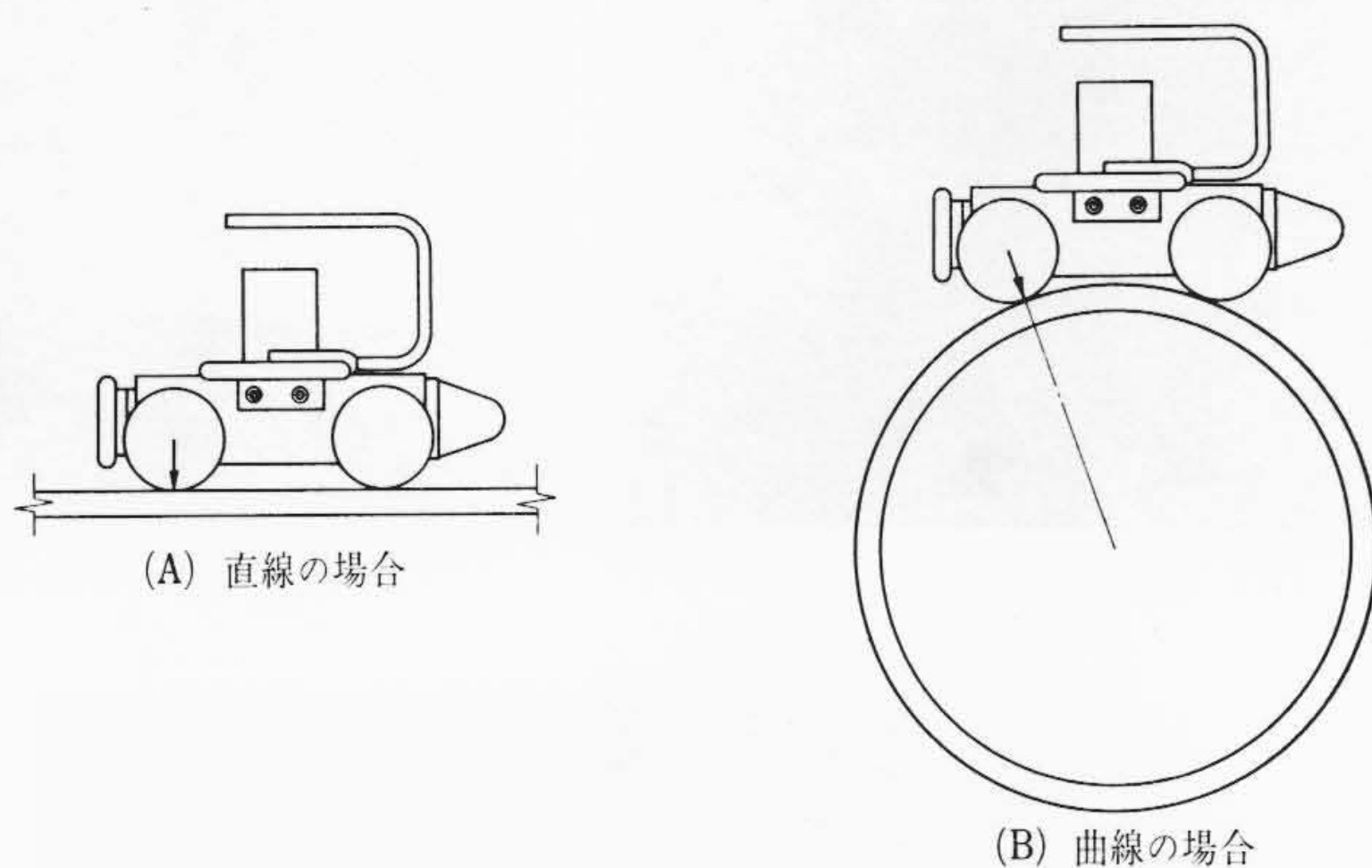


図9 トーチねらい位置

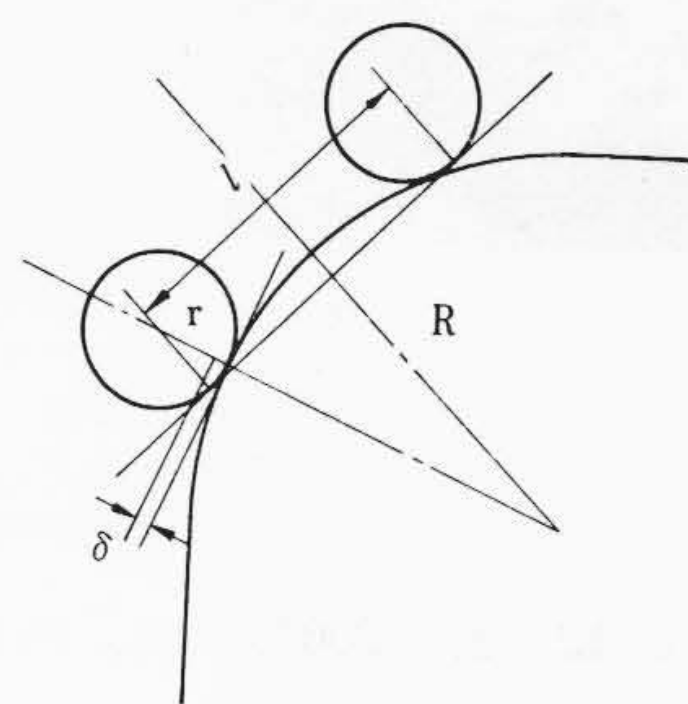


図10 曲率における偏差

代表的な例につき倣い性は次のとおりである。

4.1 直線および円周

図8に示すように装置は磁輪により、すみ肉継手を構成する一方の部材に吸着し、他方の部材に対しては、装置が進行方向に4/140の傾斜を保ちつつ走行するために生ずる分力をこの側に配置された前後2個の補助輪で受けることにより現物をならって走行する。したがって直線および円周の場合には、トーチと溶接線の相対位置は、曲率および直角度が大幅に変化しない限り変わらない。

さらに、トーチを図9に示すように後磁輪と部材の接触線上をねらうようにセットすることにより、曲率が多少変わった場合にも倣い精度を上げることができる。

4.2 直線と曲線を複合する溶接線

図10に示すように溶接線が直線と曲線で複合される場合、前項で述べたように直線部でトーチねらい位置を設定すると、装置が曲線部に至るとねらい位置が徐々に変化し、ずれの最大値 $\delta_{\max}$ は前後磁輪が最小曲率に乗ったとき最大となり、その値は次式で与えられる。

$$\delta_{\max} \div r \left\{ 1 - \frac{\sqrt{(R \pm r)^2 - (l/2)^2}}{R \pm r} \right\}$$

ただし、 R : 曲率 (>300 mm)

l : 車輪間隔 (160 mm)

r : 磁輪半径 (39 mm)

正号: 外周, 負号: 内周

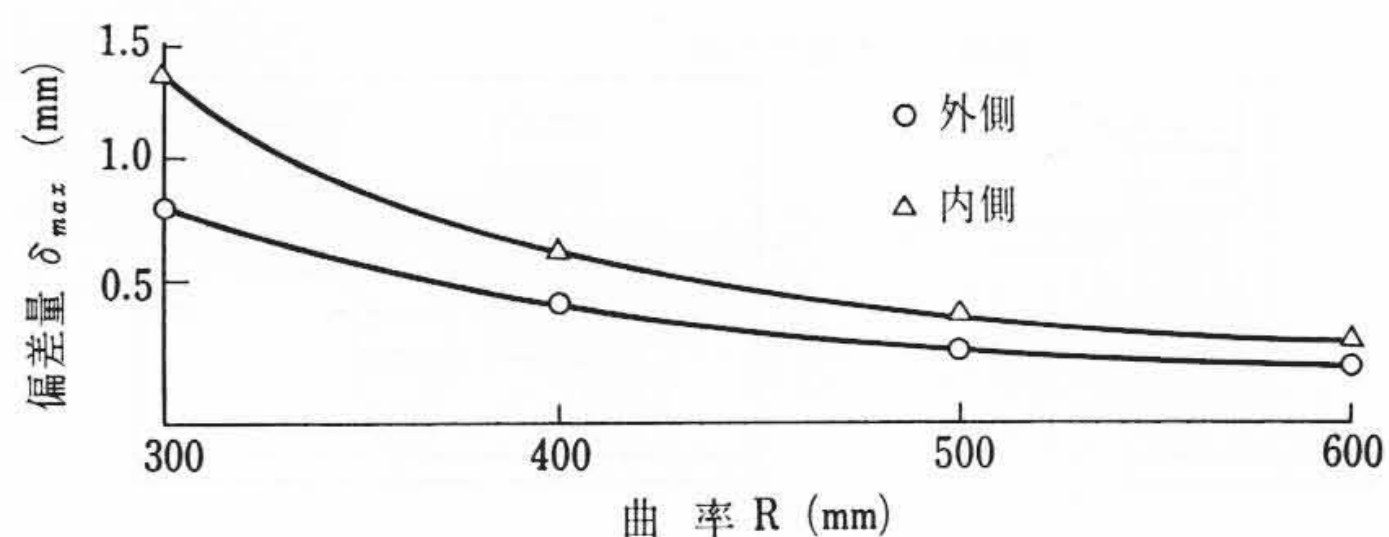


図 11 直線→曲線の倣い性

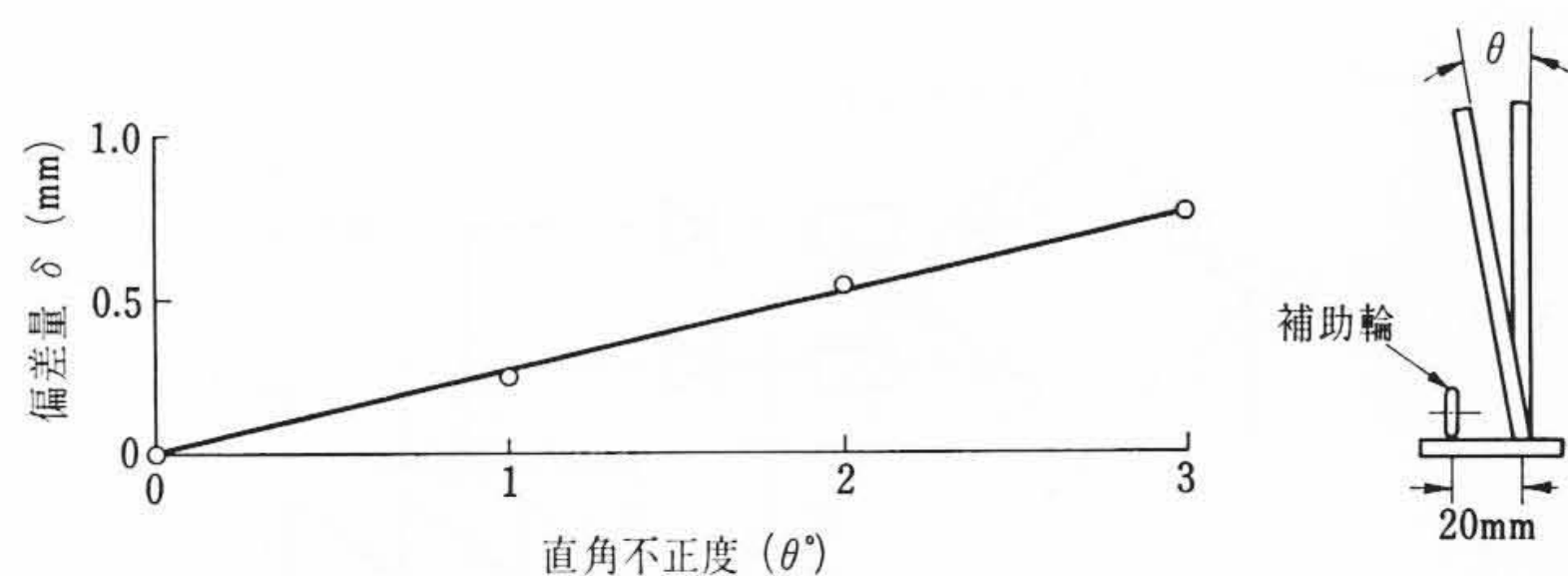
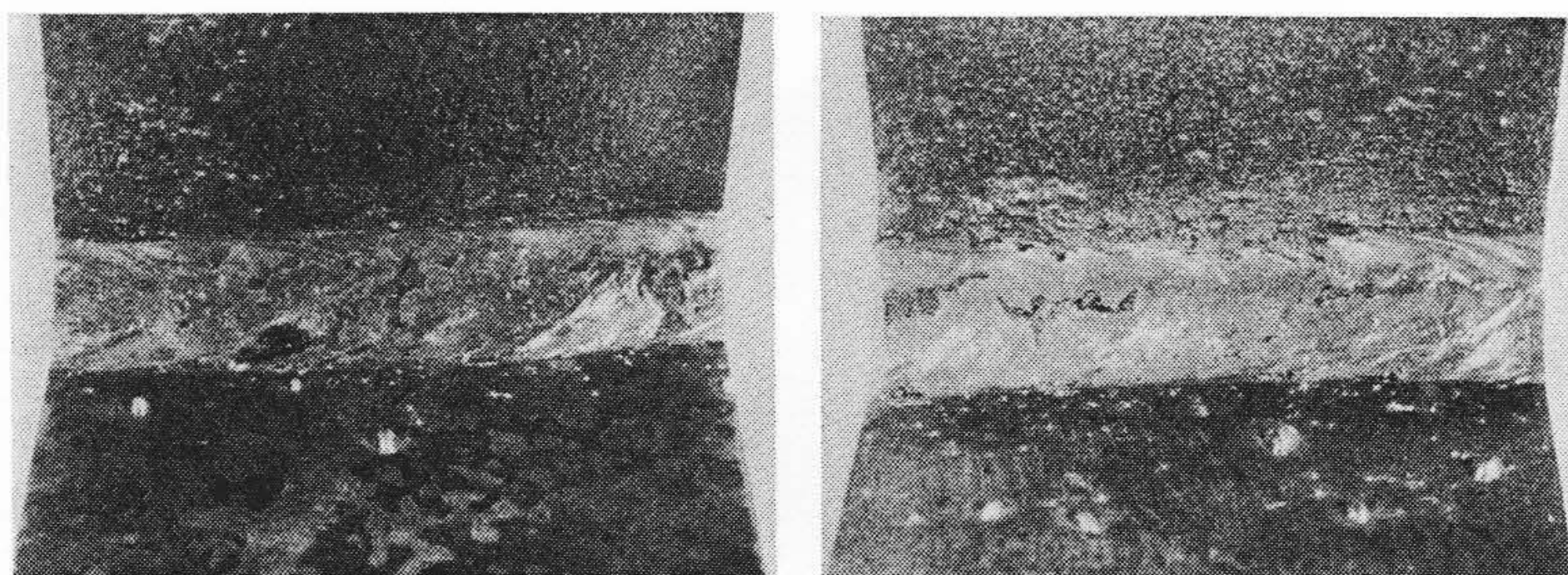
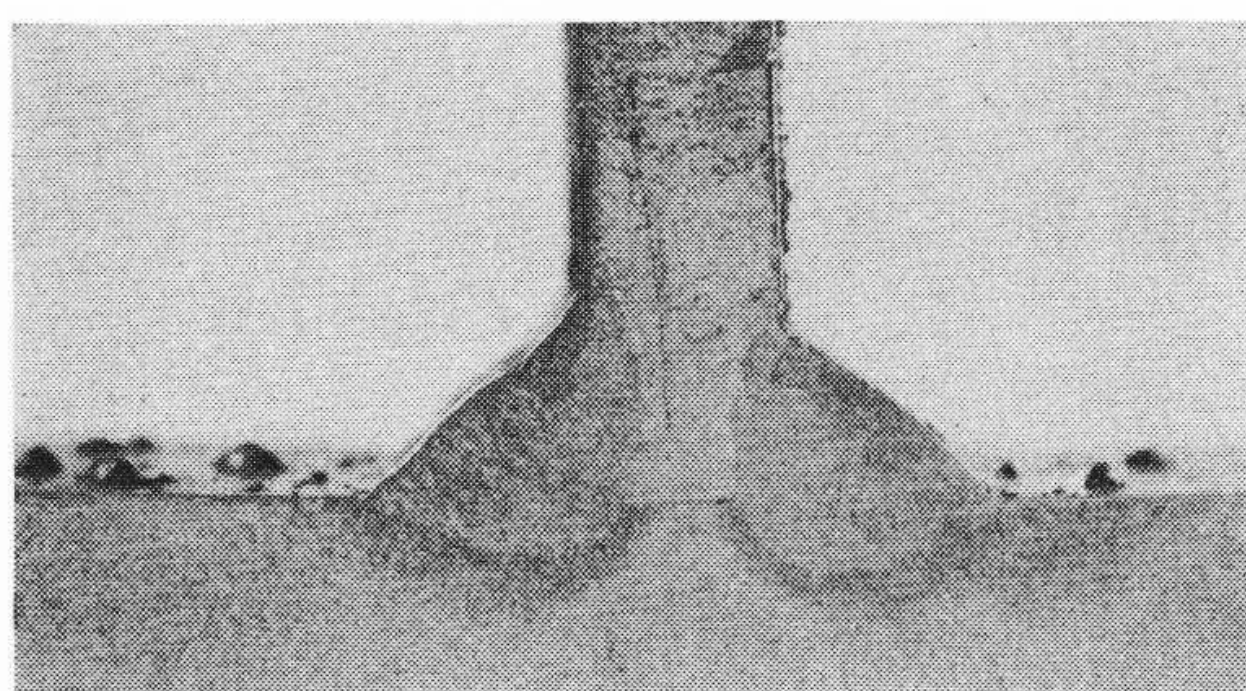


図 13 直角不正度と倣い性



(A) 曲率 300R 外周溶接ビード

(B) 曲率 300R 内周溶接ビード



(C) 断面マクロ

1.2φ ワイヤ 溶接電流: 280 A
アーク電圧: 32 V
溶接速度: 300 mm/min

図 12 曲率 300R 外周, 内周溶接結果

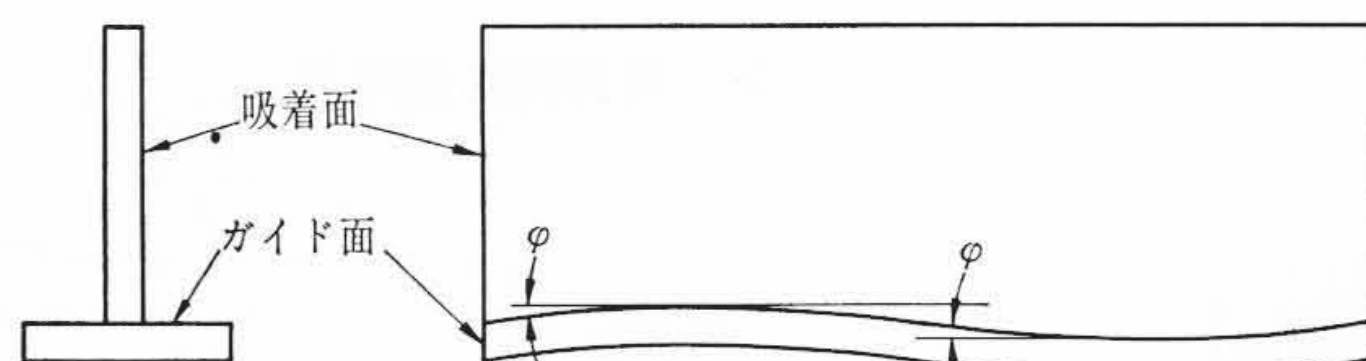
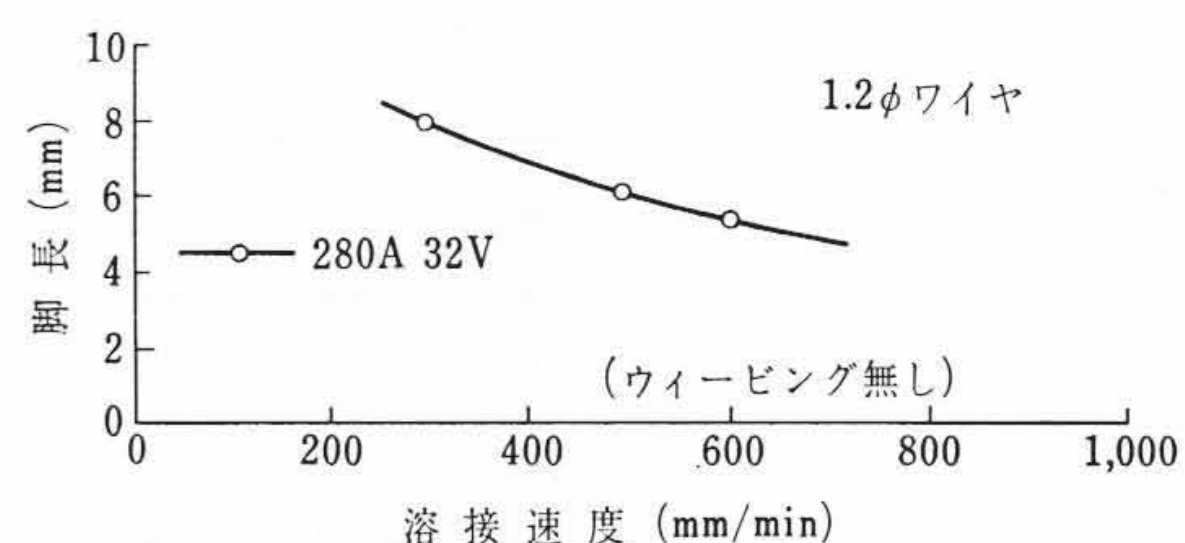
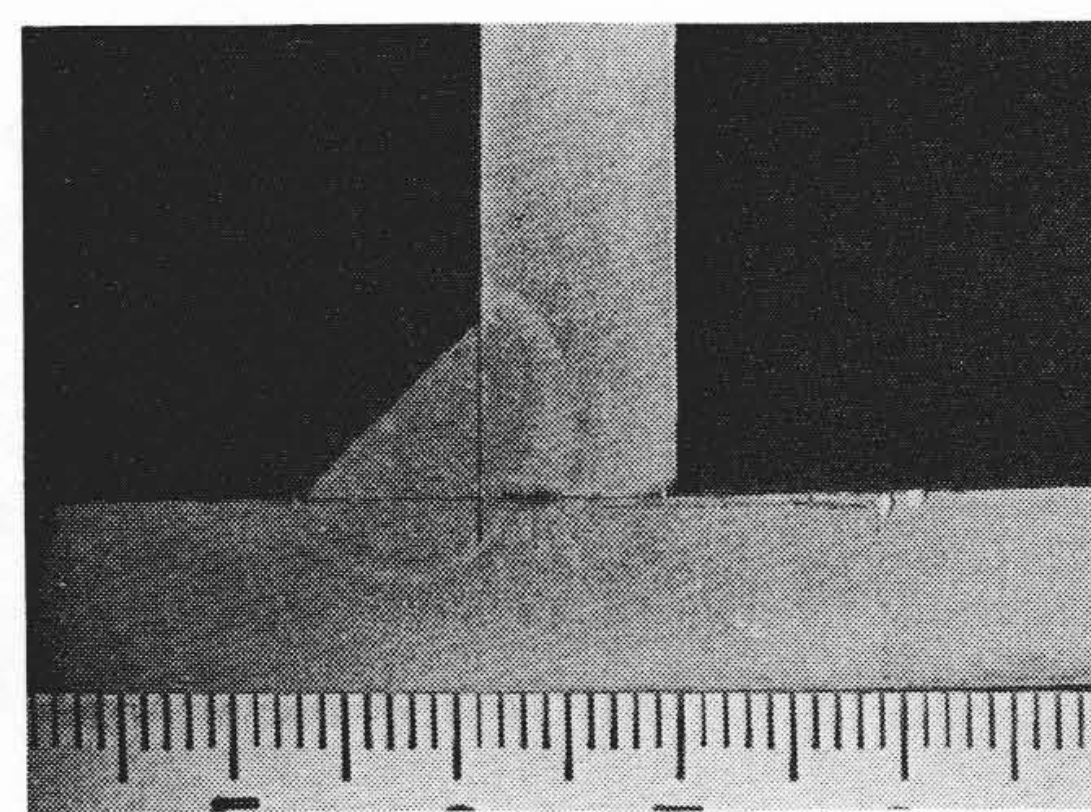


図 14 ガイド面の曲り

図 15 水平すみ肉溶接条件 (CO₂ アーク溶接)

1.2φ ワイヤ
溶接電流: 280A
アーク電圧: 32V
溶接速度: 300 mm/min

図 16 水平すみ肉溶接結果

ねらいのずれ δ_{max} と曲率 R の関係を示したのが図 11 である。

なお、曲りの方向が同一の場合は、トーチのねらい位置は後磁輪の接触線上より $1,600/R$ mm 外周の場合は前方を、内周の場合は後方に設定することにより、ねらいのずれは図 9 の値の 1/2 になる。

図 12 は 300 mm R における外周および内周の溶接結果を示すもので、じゅうぶん実用に供することができる。

4.3 直角不正度と倣い性

架台上でねらい位置を設定して被溶接物にそのまま装着したり、溶接線を変えたりする場合、溶接物の直角の不正度 θ によるねらい位置のずれ δ は次式で与えられる。

$$\delta = d \tan \theta$$

ここに、 d は磁輪吸着面から補助輪までの距離で図 13 は $d=20$ の場合の直角不正度 θ とねらいのずれ δ の関係を示しているが、通常の製品では θ は 1° 以内であるから、実用上はほとんど問題とならない。

4.4 ガイド面の曲りと倣い性

補助輪側の部材(ガイド面)の極端な凹凸(おうとつ)は許されないが、図 14 に示すようにガイド面の曲りの接線の傾き ϕ が $3 \sim 4/140$ 以内であればトーチは溶接線を正しくねらいことになる。

通常製品ではひずみは $2/100$ 以内であるから、仮付時の直角度の不正、溶接時のひずみ程度では、倣い性に問題はない。

5. 本装置による溶接性

5.1 溶接条件範囲

日立ソリッドワイヤ形自動 TS-アーク、および日立複合ワイヤ形半自動 TK アークとの組合せによる、各姿勢での溶接条件範囲を選定した。

5.1.1 水平すみ肉溶接

図 15 は水平すみ肉溶接条件を、図 16 はビード外観と断面マクロの 1 例を示したものである。

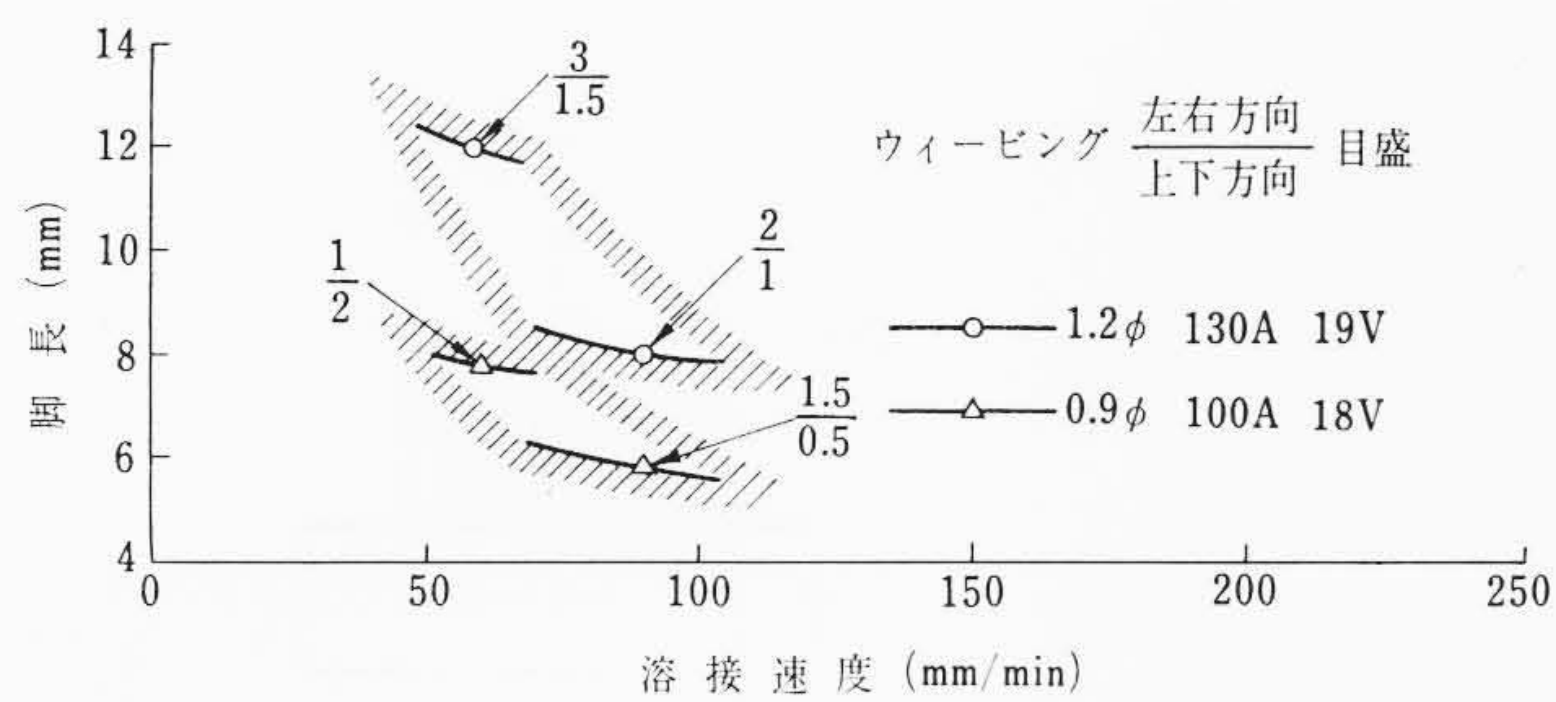
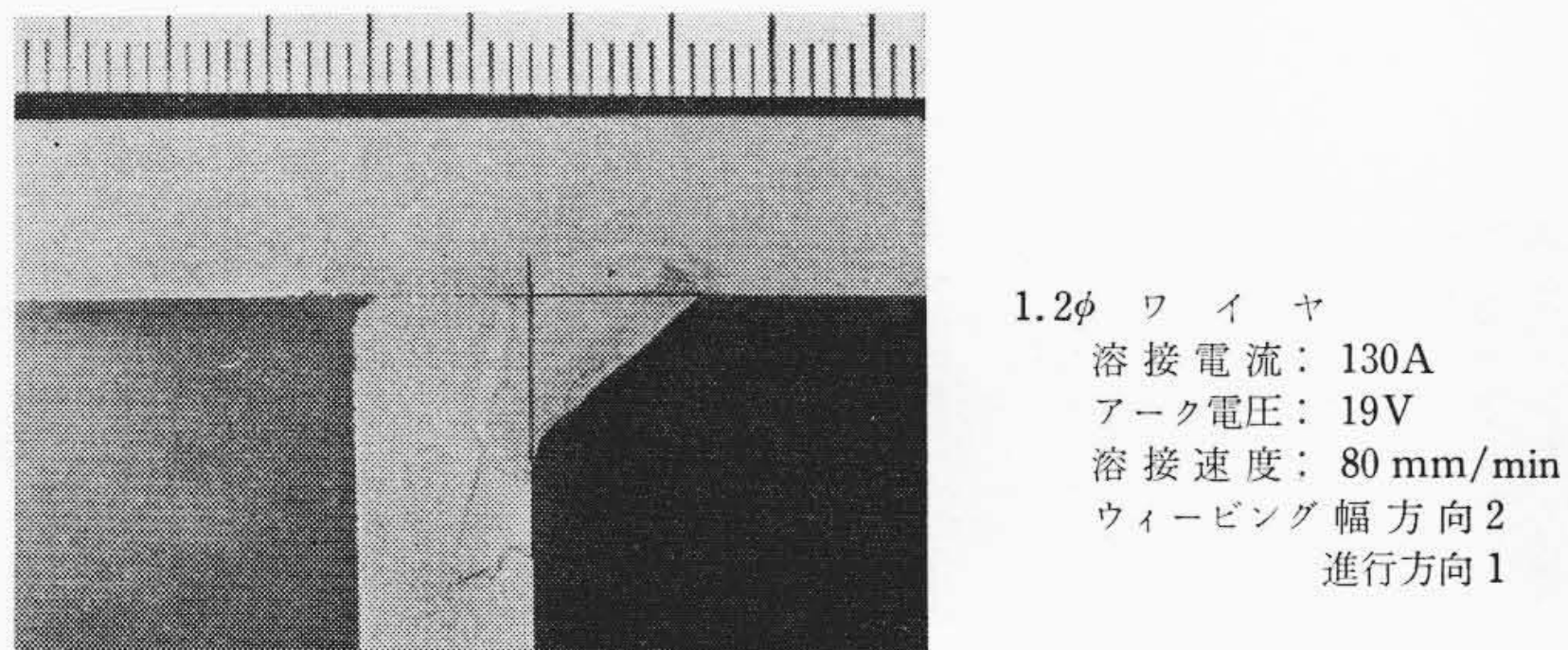
図 17 立向上進溶接条件 (CO₂ アーク溶接)

図 18 立向上進すみ肉溶接結果

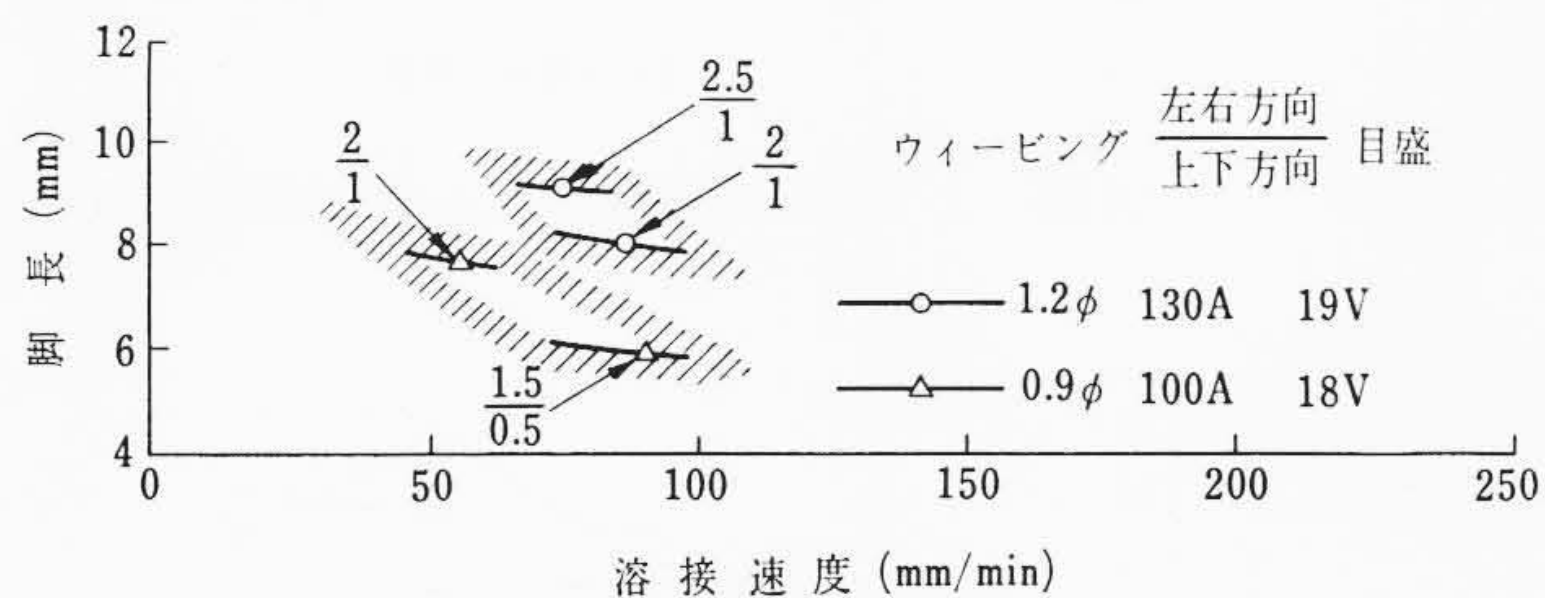
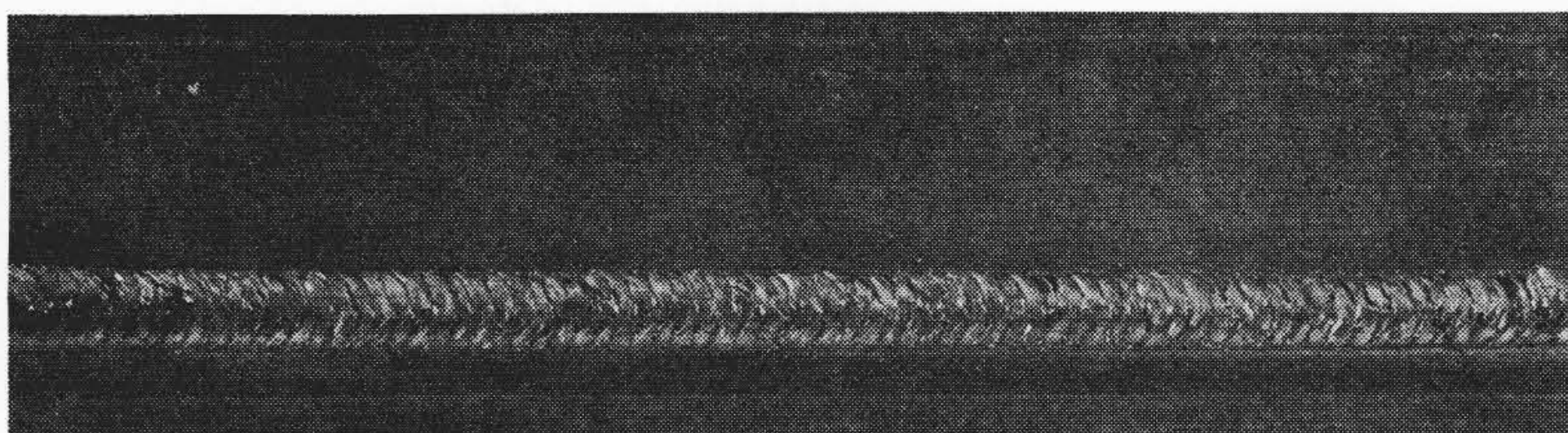
図 19 上向水平すみ肉溶接条件 (CO₂ アーク溶接)

図 20 上向水平すみ肉溶接結果

水平すみ肉溶接で、1パスで得られる脚長は、1.2φ ワイヤで5～9 mm である。

5.1.2 立向上進すみ肉溶接

立向溶接は、角部の溶け込み・ビード外観などより、上進で行なわれるが、この場合、適正なウィービングを必要とする。図 17 は立向上進すみ肉溶接条件を、図 18 はビード外観と断面マクロの一例を示したものである。

立向上進すみ肉溶接で、1パスで得られる脚長は 0.9φ ワイヤでワイヤで6～8 mm, 1.2φ ワイヤで、8～12 mm である。

5.1.3 上向すみ肉溶接

図 19 は上向すみ肉溶接条件精冊を、図 20 はビード外観と断面マクロの一例を示したものである。

上向溶接での溶接条件は、立向上進溶接とほぼ同一で行なわれるが、ビード断面の下方が凸形になる傾向があるため、1パスで得られる脚長は、0.9φ ワイヤで6～8 mm, 1.2φ ワイヤで8～9 mm である。

5.1.4 ノーガスアーク溶接条件

複合ワイヤ形半自動 TK アークとの組合せにより、ノーガスアーク溶接を行ない、図 21 の水平すみ肉溶接、図 22 の立向上進溶接の各条件を得た。

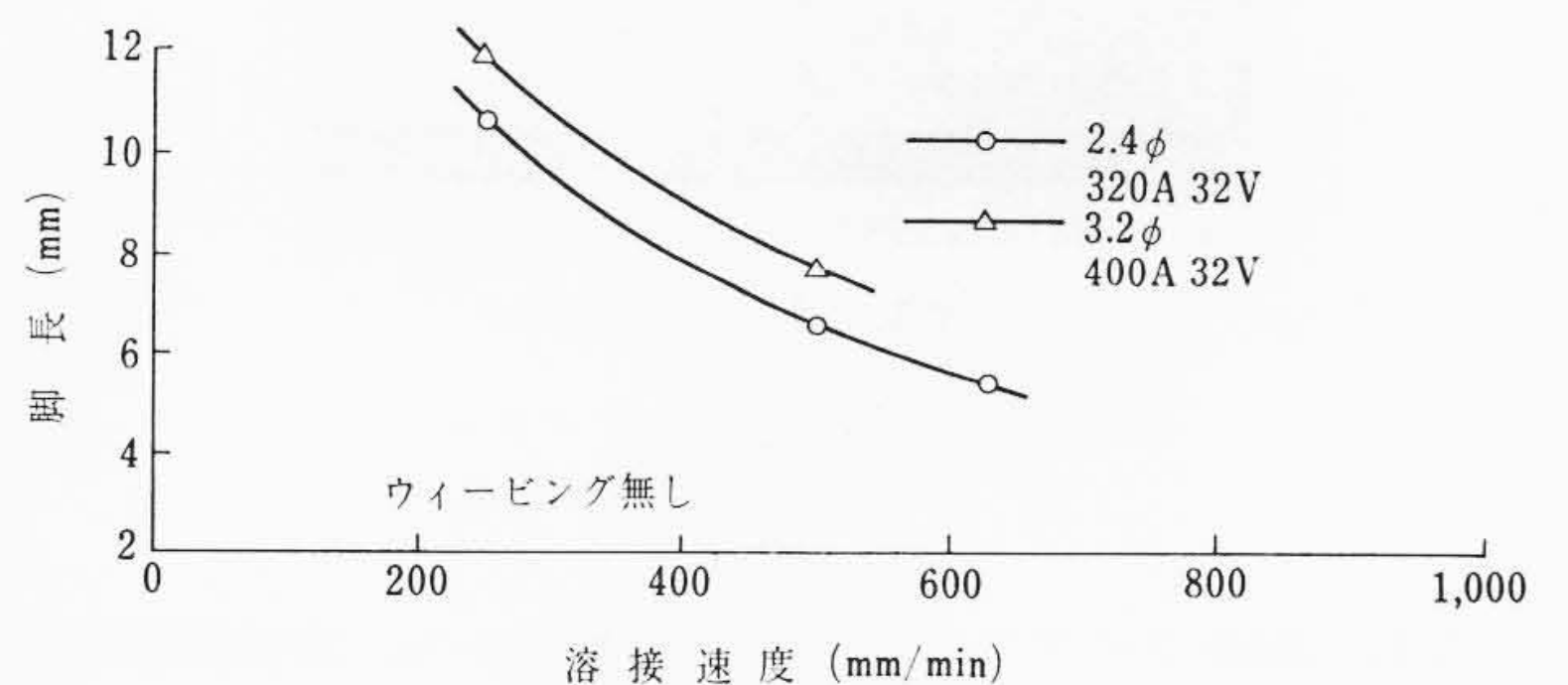


図 21 水平すみ肉溶接 (ノーガス溶接)

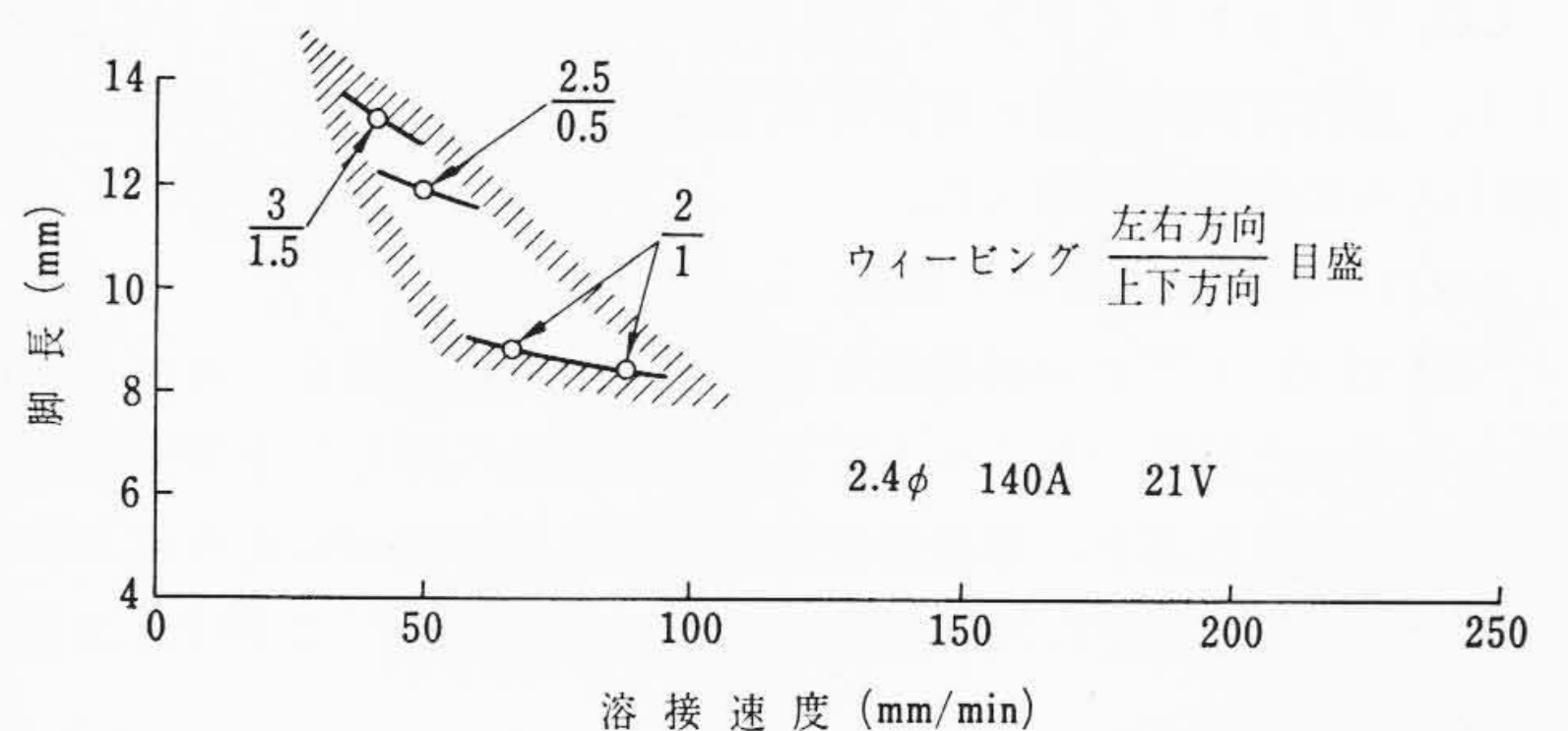


図 22 立向上進すみ肉溶接 (ノーガス溶接)

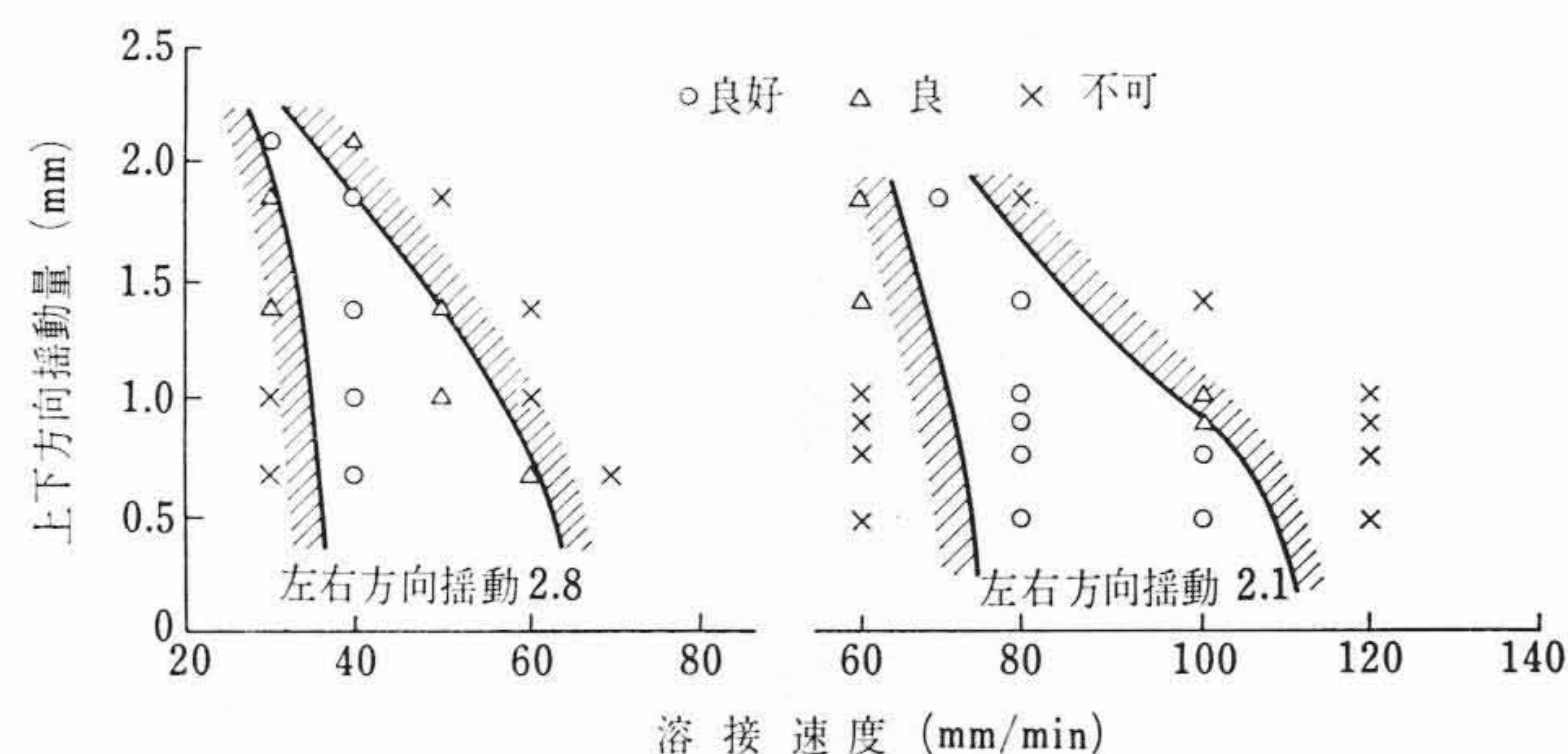
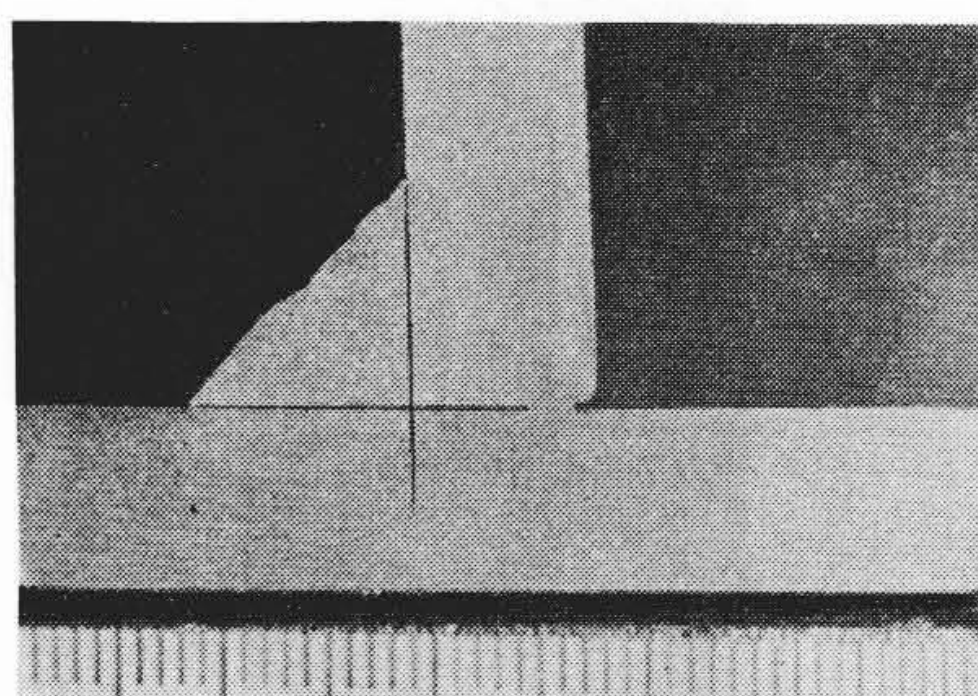
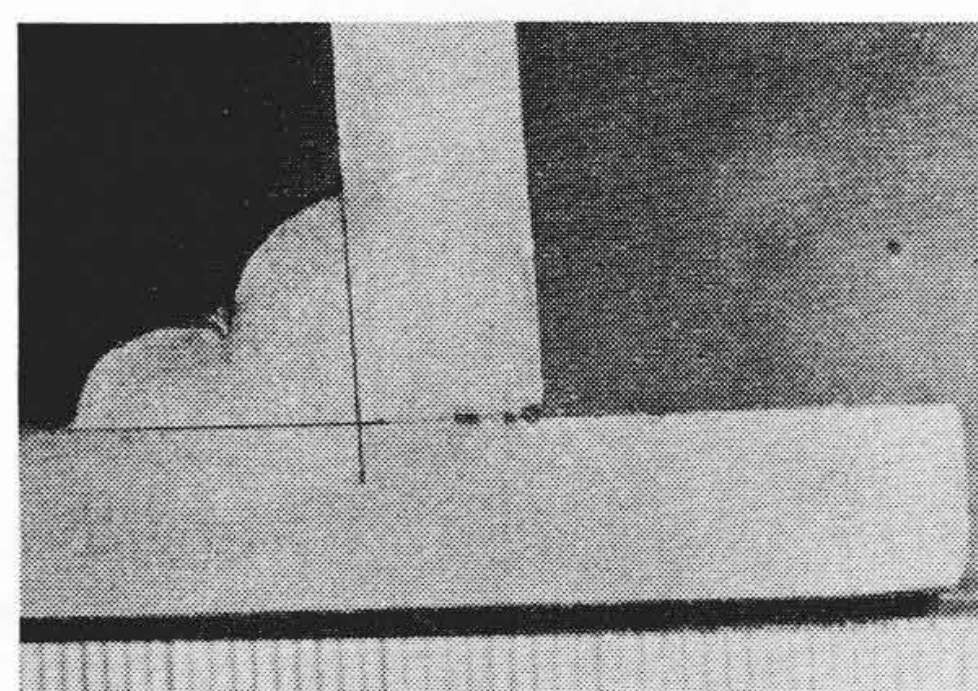


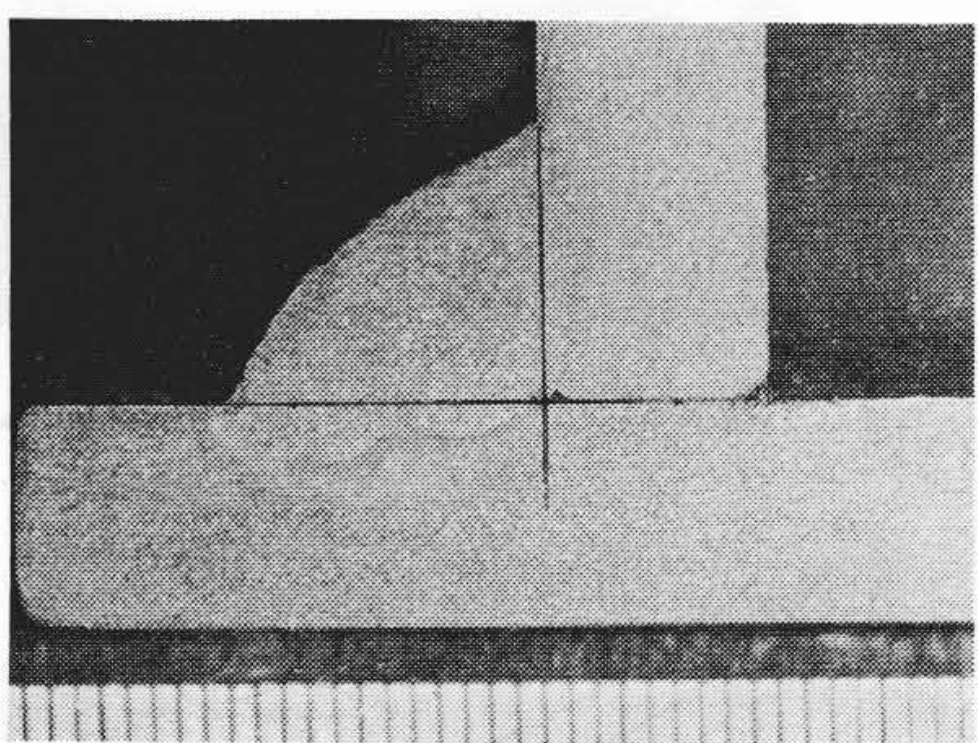
図23 ビード外観による適正範囲



(a) 適正条件



(b) 揺動比過小, 溶接速度過大



(c) 揺動比過大, 溶接速度過小

図24 揺動比と断面マクロ

なお、2.4φワイヤでは、アークの安定性から、溶接用電源として直流定電圧電源を用いた。

5.2 揺動比とビード形状, 溶け込み

CO₂ ソリッドワイヤ方式で幅方向の揺動量目盛を2.8および2.1とし、進行方向揺動量と溶接速度を種々変え、ビードの外観および溶け込みの測定を行なった。

5.2.1 揺動比とビード外観

図23は、上下方向揺動量と溶接速度の適正範囲を、ビード外観より求めた結果であるが、左右方向揺動量に対して上下方向揺動量が大きくなると、溶接速度範囲は狭くなる傾向にあり、これらの比(揺動比=左右方向揺動量/上下方向揺動量)は約1.5以上が適正である。

図24の(a)は適正条件、(b)は揺動比が小さく、溶接速度が

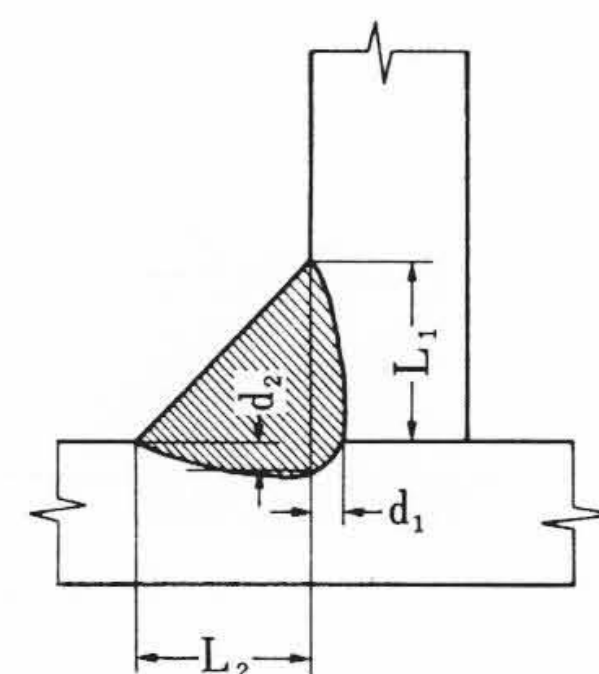


図25 測定箇所

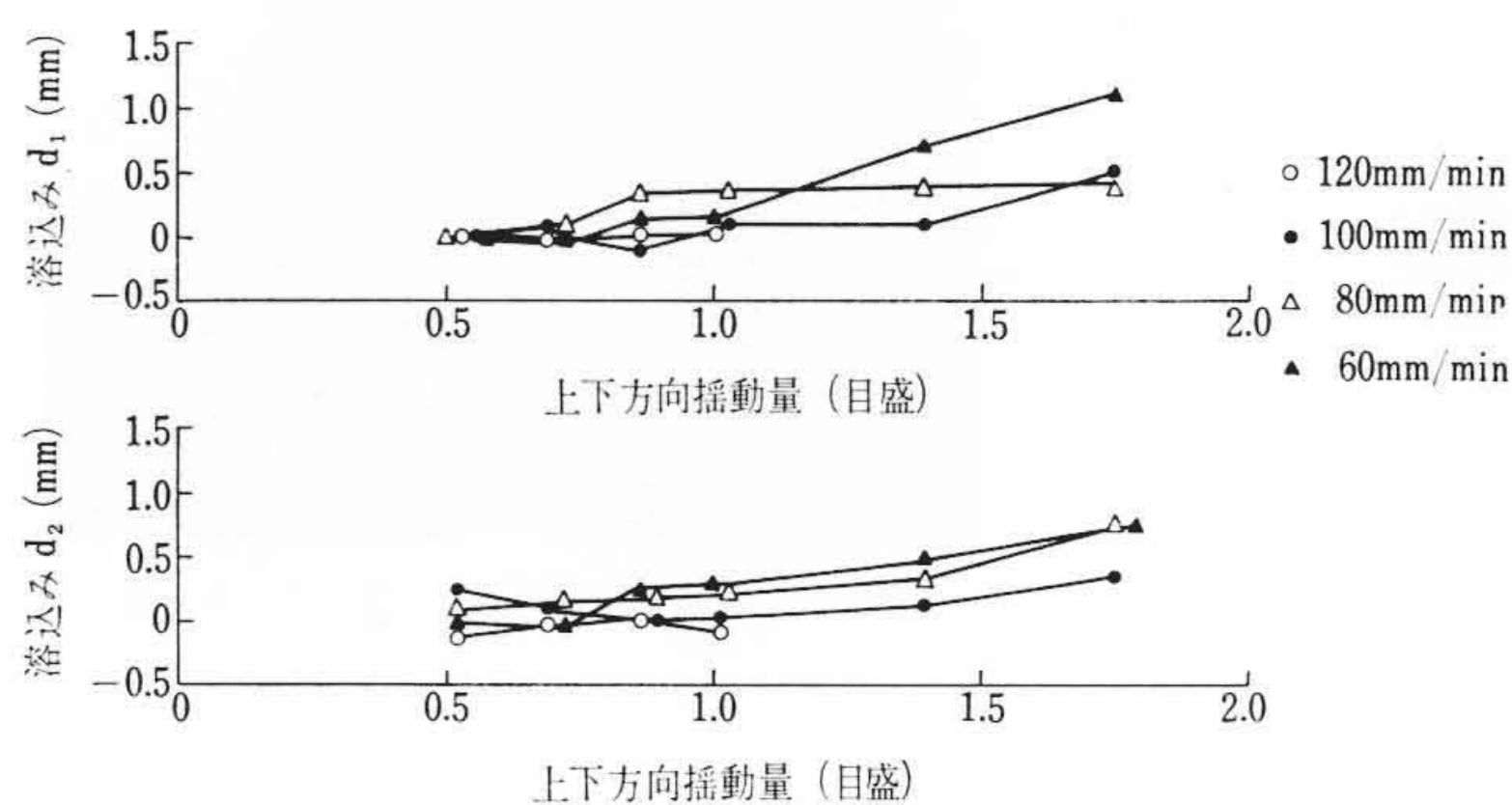


図26 上下方向揺動量と溶込み(幅方向2.1目盛)

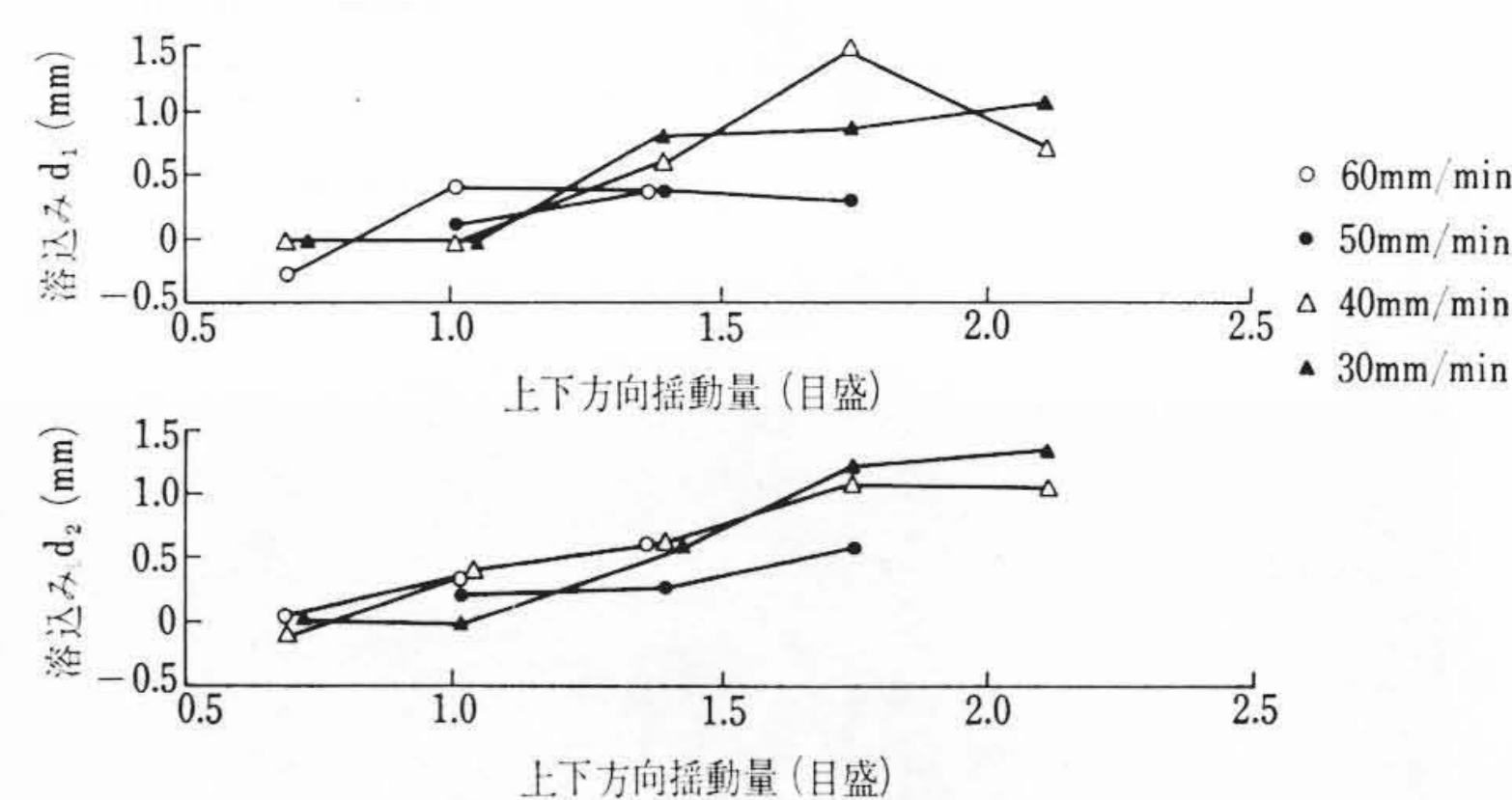


図27 上下方向揺動量と溶込み(左右方向2.8目盛)

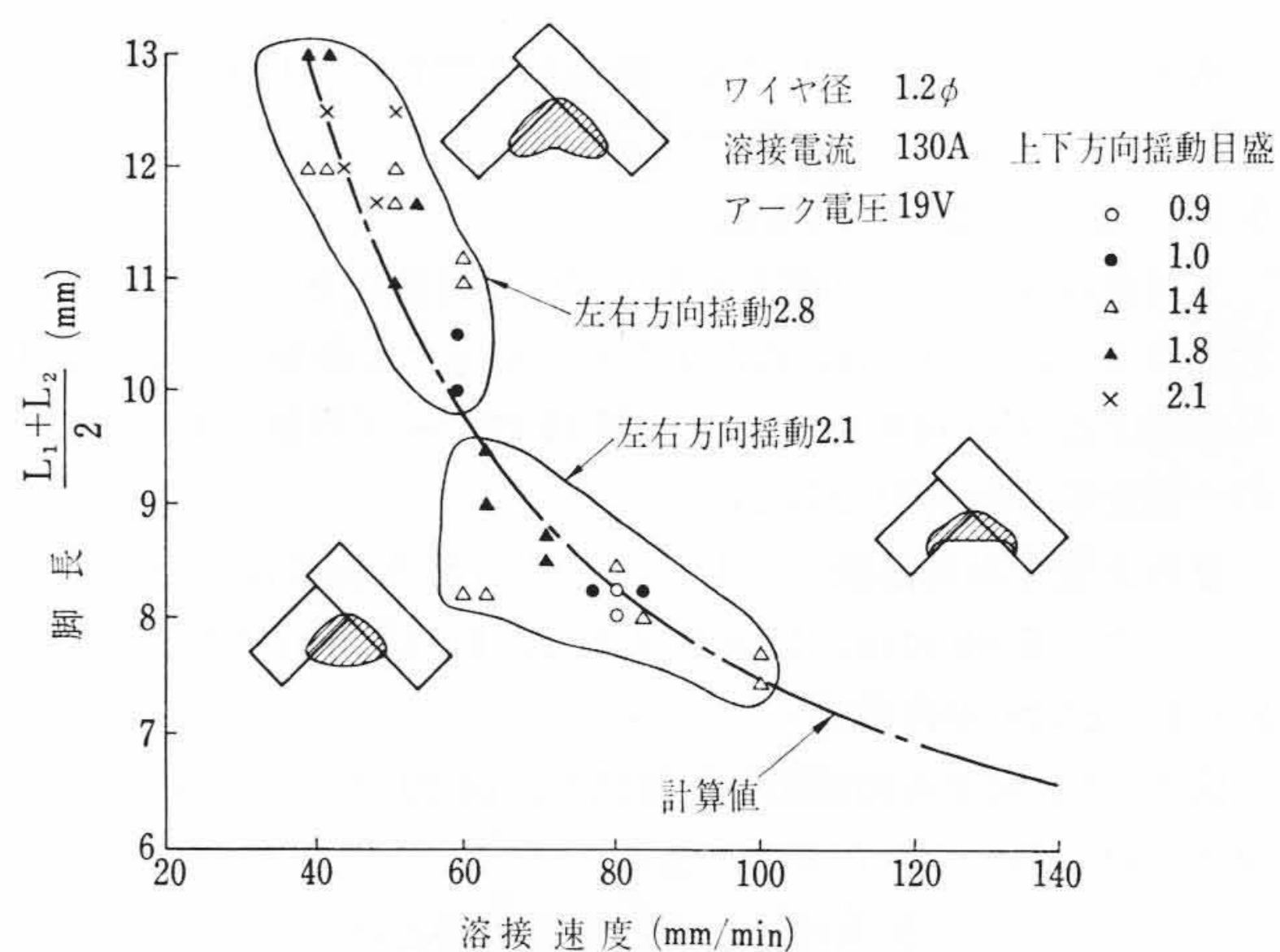


図28 上下方向揺動量と適正溶接条件範囲

過大の場合、(c)は溶接速度が過小の場合の各例を示すものである。

5.2.2 揺動比と溶け込み

図26, 27は、上下方向揺動量と図25に示す溶け込み量 d_1 , d_2

の関係を示すもので、上下方向の揺動量の増加とともに溶け込み量も大きくなっているが、左右方向揺動量に対して上下方向揺動量が小さい場合は溶け込み不足となるため揺動比を約3以下とし溶接速度を過大としないことが必要である。

なお、被溶接物が大きい、板厚が厚く、冷却効果の大きい場合は、揺動比を1.5～3の範囲で小さ目に設定する。

5.2.3 適正条件範囲

ビード外観と溶け込みより、適正溶接条件範囲は、図28に示すようになる。なお、脚長 L と溶接速度 V_w との関係は

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} = \sqrt{\frac{2V_d}{\rho \cdot V_w}} \quad (\text{mm})$$

V_d : 溶着速度 (g/min)

ρ : 鋼の比重 (g/mm³)

で与えられ、130Aにおける溶着速度 V_d は約25 g/minで、適正值は計算値より得た曲線近傍に分布していることがわかる。

5.3 ギャップの許容量

すみ肉継手において、実際上は突合せ部のギャップをゼロにすることは困難で、溶接線方向にかなりギャップ量が増加する。

このギャップ量の許容最大値は、実験結果より水平すみ肉、立向すみ肉で3 mmである。

ギャップのある場合は、当然その部分は脚長不足となるので、あらかじめ、大きな脚長を得る条件に設定するか、許容量を越える場合には下盛り溶接を行なう必要がある。

6. 結 言

以上、自動すみ肉溶接装置について述べたが、これを要約すると磁輪の吸着力とトルク補償回路により、いかなる姿勢でも安定した現物倣い走行が可能であり、内蔵するウィービング機構によりすみ部まで融合することができる。また本装置を用いて各姿勢における適正溶接条件範囲を見出し、直線、600φ以上のパイプフランジのほか、直線と300 mm R以上の曲線で複合される内、外周すみ肉溶接も可能であることを明らかにした。

本装置は、造船、橋梁をはじめ建築、重電機器など適用しうる分野が広範囲であり、溶接作業の省力化に寄与しうるものと期待している。

Vol. 32

日立造船技報

No. 2

目 次

■論文

- ・船用二元燃料機関の開発
- ・調質80 kg/mm²級高張力鋼溶接継手のボンドぜい化を克服した新しいエレクトロスラグ溶接法 (HINES 溶接法)

- ・鉦石専用船および鉦石/油兼用船の横強度の検討
- ・秋田県鉦さいのパイプ流送一水力輸送に関する検討
- ・SCP廃液の熱分解
- ・噴霧液滴の噴出速度の測定法

……………本誌に関する照会は下記に願います……………

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町60 郵便番号554

第33巻

日

立

第11号

目 次

- ・グラフ / 西三河水道
- ・ルポ / 社会人スポーツ
- ・ / 頭脳都市の胎動
- ・ / 輪島の朝市・夕市

- ・解説 / エレクトロニクスの散歩道〈第11回〉
- ・ / 人体から出る電気
- ・家電コーナー / ほこりの話
- ・インタビュー / 館山のCATV
- ・ホームサイエンス

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
郵便番号100

取次店 株式会社オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号101

振替口座 東京20018番