

立て向き突合せ自動溶接装置

Vertical Butt Joint Welding Equipment

For the welding of vertical butt joints various high efficiency welding processes have been in use. In recent years, however, adoption of more exacting specifications for welding structures and decrease in the volume of steel used have originated a trend towards the use of high grade materials. For the welding of these high grade materials, automatic or semi-automatic welding by means of the dip-transfer welding process with low heat input has been applied, since high heat input high efficiency welding process is not available because of its detrimental effect on joint performance. However, this method also has its demerit in causing penetration defect easily. In cooperation with Kobe Steel, Ltd., Hitachi, Ltd. has developed an SS-MAG welding system that combines SS-ARC process, which applies spray arc wherever penetration is required, and a magnetic tracer which consists of a jig sticking and running on the base plate directly. This new system incorporating a magnetic sensor system and a weaving mechanism has proved highly suitable for the welding of high grade materials, improving joint performance and welding efficiency.

坂部 昭* Akira Sakabe
坂上 光廣* Mitsuhiro Sakagami
清水儀一郎* Giichirô Shimizu
荒井 邦男* Kunio Arai

1 緒 言

造船・重電機器・圧力容器の製罐分野では、容量の大形化に伴い中厚板以上の鋼板を対象として、エレクトロ スラグ溶接のような高能率立て向き突合せ溶接法が各種開発されてきた。

ここ数年来の傾向として、これら構造物に対する仕様の高度化、資源難に端を発する使用鋼材量の低減などに対処するため高級材料の導入が活発化しているが、従来の高能率溶接法のように被溶接材への入熱量の大きい方法では、継手性能を著しく阻害する。

従来より、低入熱溶接法として炭酸ガスアーク溶接機によるショート アーク法、パルス アーク法などがあるがトーチウィービングを行なう厚板の立て向き突合せ多層盛溶接では、融合不良を発生しやすく能率も思わしくない。

日立製作所では、株式会社神戸製鋼所との協同により、先に開発した磁石式自走台車「マグトレサ」と、上記の融合不良を解消するため局所的に電流を高めるショート スプレイアーク法とを組み合わせたSS-MAG法を完成した。

また、本法を厚板に適用する場合など、ウィービング幅が広がると、単純正弦揺動によるウィービングでは、ビード形状が悪くなる傾向があったが、比較的簡単な方法で揺動パターンを補正し、ビード形状を改善して厚板への応用範囲をも拡大した。

以下、本法とその効果について述べる。

2 SS-MAG法の概要

従来、炭酸ガス半自動または自動による立て向き溶接は、ショート アーク法により行なっているが、厚板の多層盛溶接では、初層の中央部あるいは裏波のルート部、また2層め以降ではビード両側部などで融合不良を発生しやすい。

ショート スプレイアーク法は、この欠点を改善するために図1に示すように、常時は溶着金属が落ちないようにショ-

ートアーク法で運棒を行ない、溶け込みを必要とする個所で溶接電流を上げスプレイ条件にして所要の溶け込みを得るものである。したがって、融合不良を解消し得るほか、被溶接材に対する入熱量が低いため、熱影響部の脆化が少なく、高級材料の溶接に適しており、ショートアーク法に比べて能率も約15%向上する。

一方、装置は半自動アーク溶接を自動化する治具として、先般開発した磁石式自走台車「マグトレサ」を基本としており、磁輪により直接母材に吸着しつつ走行するため、特殊なレールを必要とせず、開先に沿わせた簡単なガイドを用いるだけで、直線ばかりでなく吸着面が曲率を有する溶接線にも適用できる。また、小形・軽量機であるため機動性にも富んでいる。

SS-MAG法は、上記の新しい溶接法と独得な装置の組合せによるもので、数多くの特長を有しており、適用分野も広いものと考えられる。

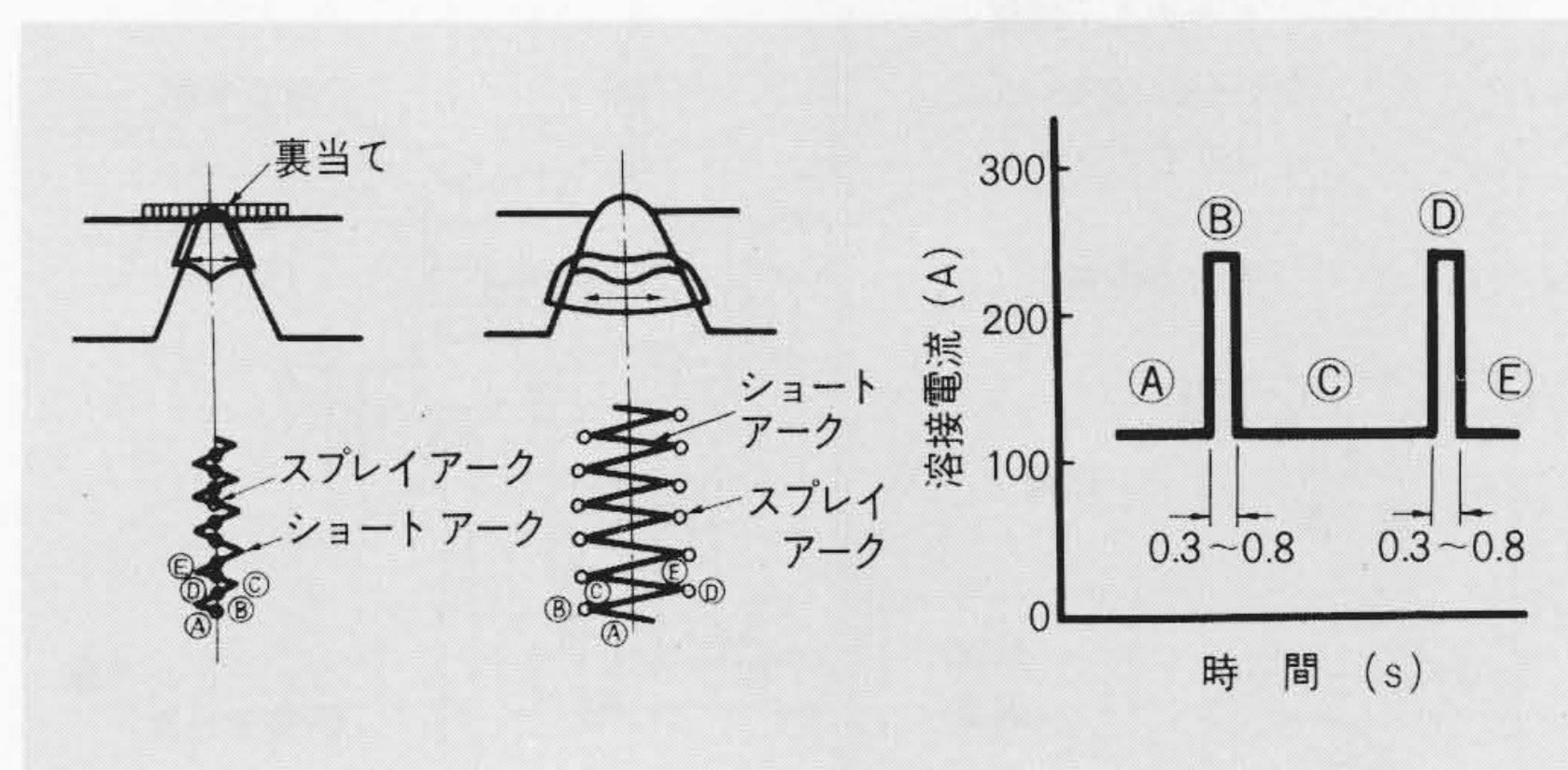


図1 SS-MAG法の原理 溶け込み不足を発生しやすい個所で電流を瞬時上げる。

Fig. 1 Principle of Short-Spray Arc Process

* 日立製作所亀戸工場

3 立て向き突合せ溶接装置

本装置は、図2に示すように、溶接ヘッド部である本体、本体の走行を補助し同時に落下を防止する引上げ装置、ガイド板、制御装置、手元操作箱、ワイヤフィーダおよび溶接用電源より構成される。各部の標準仕様は表1に示すとおりである。

本体の台車部は、1個50kgの吸着力を有する前後二つの磁輪により母材に直接吸着、駆動されるが、走行に際して、台車が若干左側(ガイド板側)に傾斜しつつ進行するよう配置された前後のガイドローラにより、あらかじめ、溶接線に対し平行に設置されたガイド板に沿って、開先を間接的にならうようにしてある。

この台車上に、トーチ上下・左右位置調整、ウィービング機構、ウィービング中央両端検出部および溶接トーチが搭載されており、全体重量は約17kgとなるが、作業者の重量負担は、引上げ装置の引上げ力分だけ軽減され、装置の着脱を容易にしている。

また、トーチ左右調整、ウィービングサイクルおよび幅調整、台車速度調整、およびワイヤインテング、溶接開始・停止など、溶接前後または溶接中に必要な操作は、手元操作箱にて行なわれる。手元操作箱は本体後部に取り付けることも可能である。

その他、溶接諸条件、ウィービングパターンの選定など、初期条件の設定は制御装置パネルで行なわれる。

以下、装置を構成する主要各部の機能について述べる。

3.1 ウィービング機構

ウィービング機構については、カムによる方法、モータを正逆転させる方法など種々あるが、本装置では機器の小形化、耐久性、部品の加工性を考慮して、駆動モータを一方向のみ回転させ、偏心により揺動を得る簡便な方法を採用している。

図3は、本装置に使用したウィービング機構を示すもので

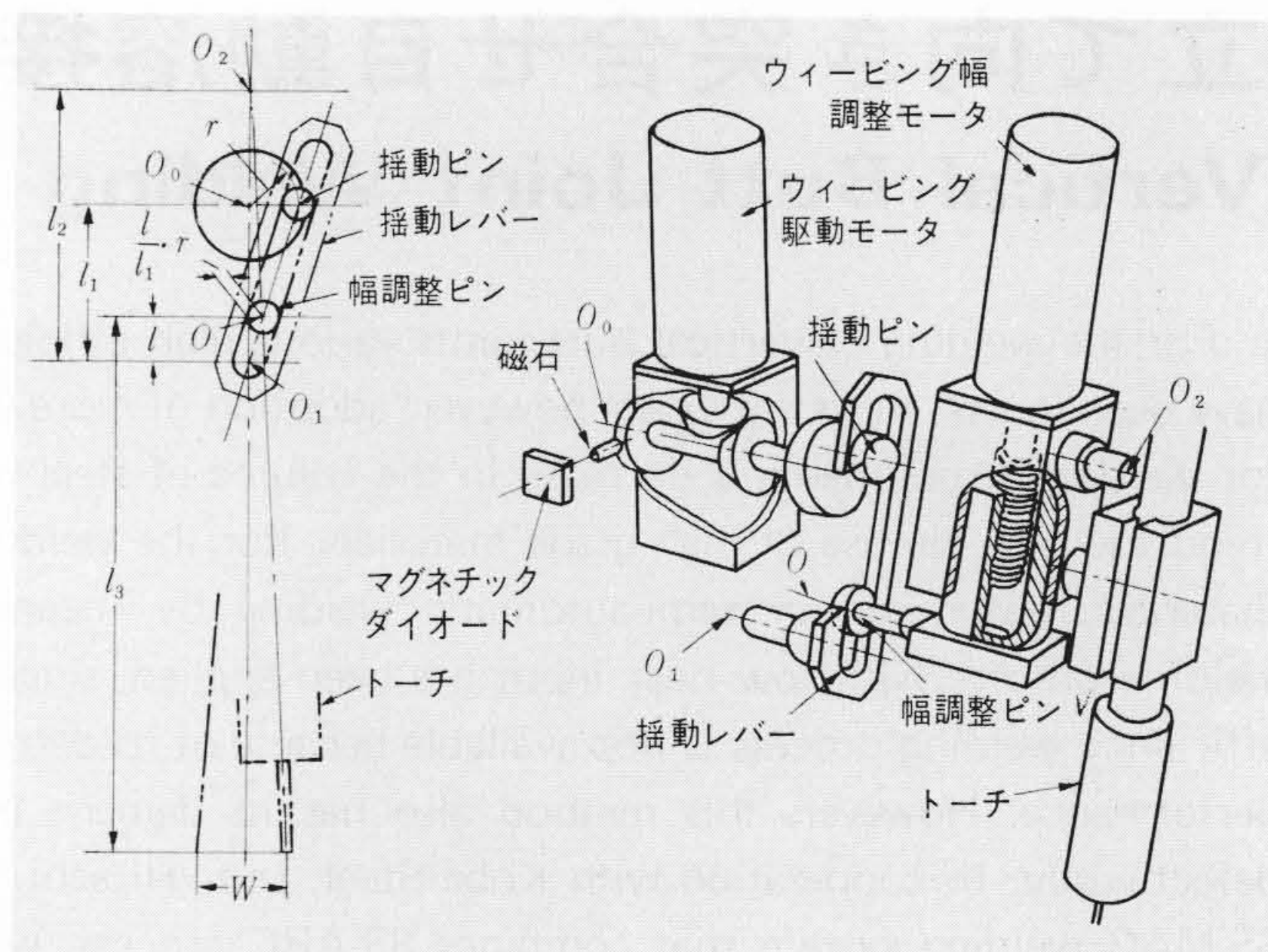


図3 ウィービング機構図 コンパクトなウィービングユニットの基本形を示す。

Fig. 3 Weaving Mechanism

ある。駆動モータの出力軸で偏心し回転する揺動ピンにより、 O_1 を中心として、揺動レバーがほぼ正弦運動し、これに設けられた長溝を幅調整ピンが上下に移動することにより、トーチの揺動幅が変化する構造である。

同図にはレバー比を示してあるが、トーチ振幅 W は次式で与えられる。

$$W = 2r \frac{l_2 + l_3}{l_1} \cdot \frac{l}{l_2 - l}$$

上式より、 W は幅調整ピンの移動距離にほぼ比例するが、レバー長、 l_1 、 l_2 、 l_3 を変えることにより、種々の開先形状に合わせてトーチ上下位置と連動させ、累層を簡略化することも可能である。

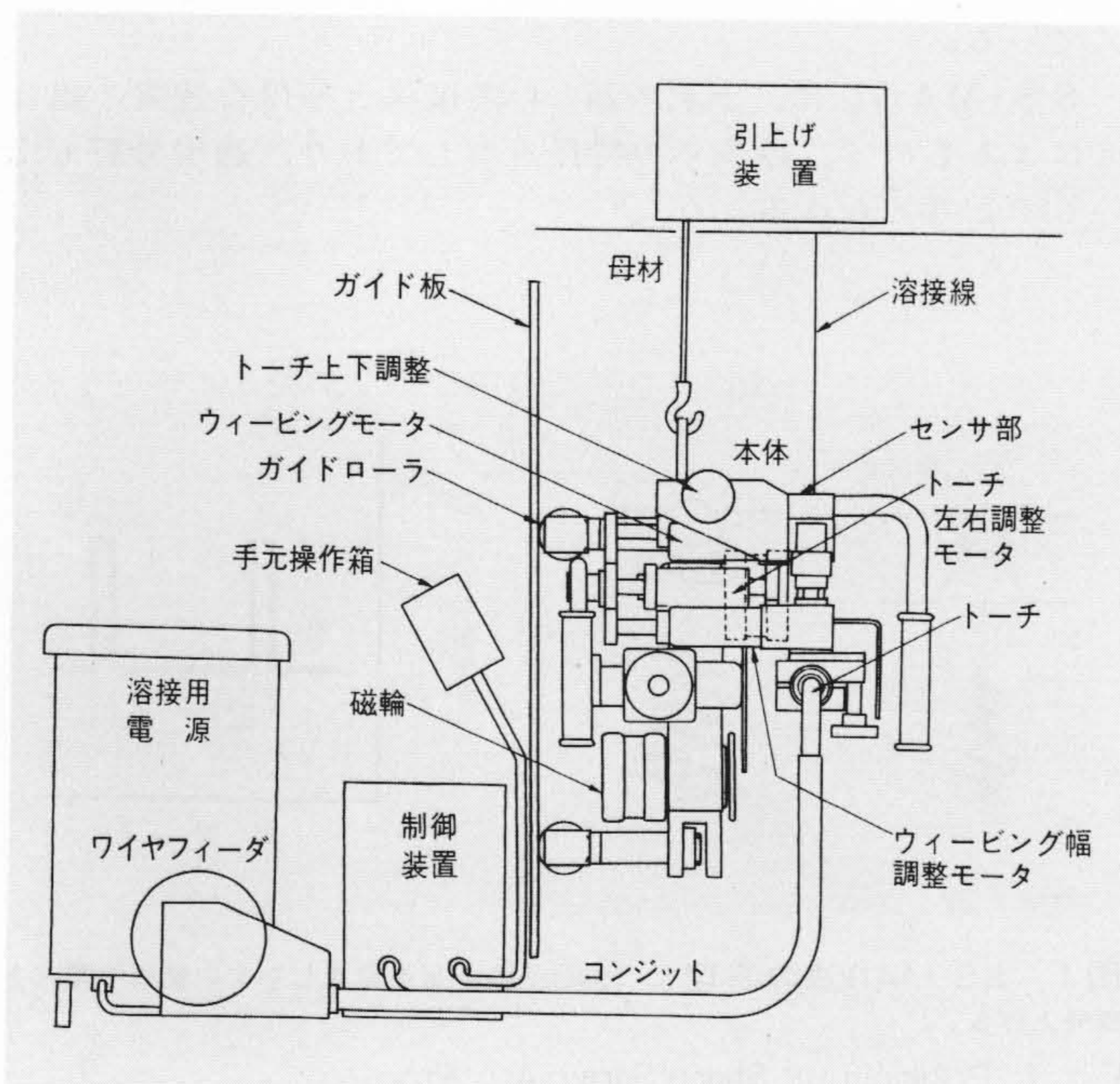


図2 SS-MAG装置構成図 本体は簡単なガイド板に沿って磁輪により母材を直接吸着走行する。

Fig. 2 Composition Diagram of SS-MAG System

表1 SS-MAG装置標準仕様 溶接電源、ワイヤフィーダはCO₂半自動「日立TSアーク」を用いている。

Table 1 Standard Specifications of SS-MAG System

項 目	仕 様
本 体 名 称	SS-MAG
制 御 電 圧	200V 50/60Hz
溶 接 速 度	25~350mm/min
ウィービング停止位置	中央、両端および両方0.5~1.5s
台 車 停 止 時 間	両端停止または両端で進行0.5~1.5s
ス プ レ イ 位 置	中央、両端および両方0.2~0.8s
ウィービングサイクル	5~50cpm
ウィービング変速	両端より45度の位置
ウィービング幅	0~40mm
ト ー チ 位 置	左右:0~30mmモータ駆動, 上下:0~50mm手動
本 体 概 略 重 量	17kg
引 上 げ 装 置	引上げ力10kg, ストローク5, 10M
溶 接 用 電 源	DR-TB 300A (SS アーク用)
定 格 一 次 入 力	約14 kVA
二 次 電 流 調 整 範 囲	50~300A
二 次 電 圧 調 整 範 囲	15~32V
電 圧 制 御 方 式	サイリスタ点弧角制御
ワ イ ヤ フ ィ ー ダ	TS-35
使 用 ワ イ ヤ 径	0.9, 1.0, 1.2mmφ
冷 却 方 式	空冷

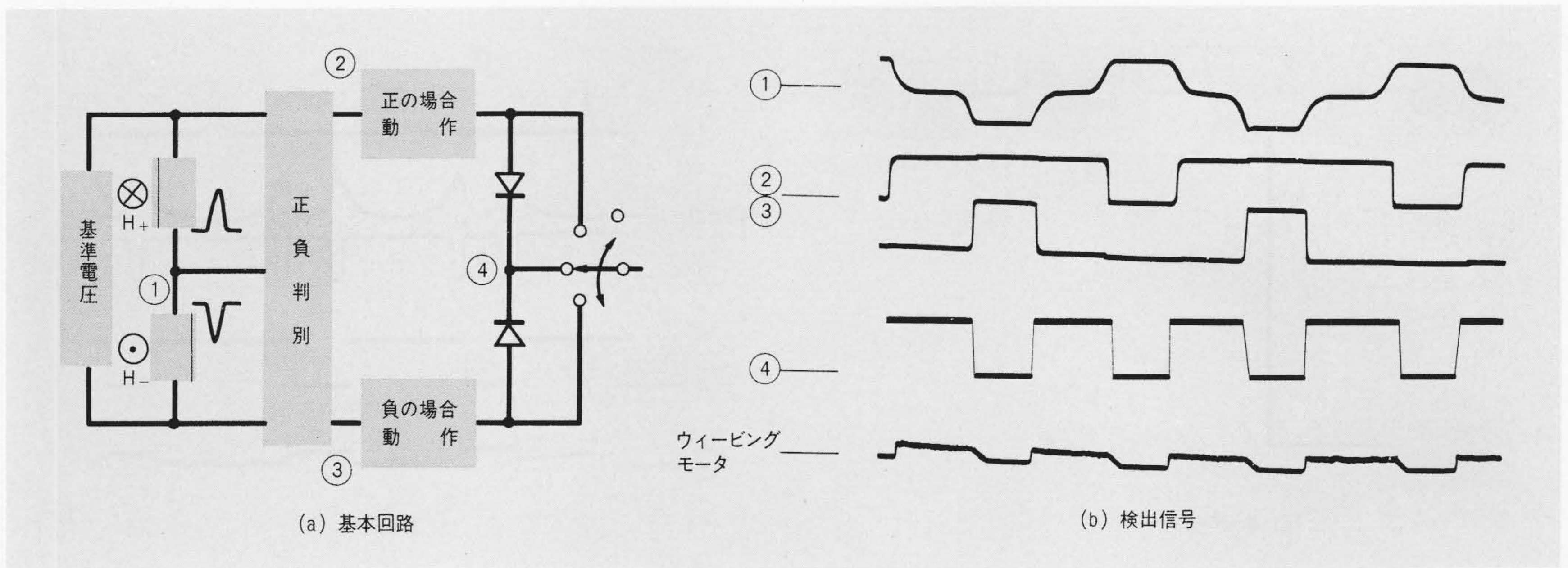


図4 両端中央検出部 ペア形マグネットダイオードにより中央両端を外乱の影響を受けることなく検出している。
Fig. 4 Sides and Center Detecting Circuit

3.2 トーチ位置検出

SS-MAG法による立て向き突合せ溶接では、前述の方法でトーチウィービングを行ないつつ、通常、初層の中央部、あるいは2層め以降のウィービング両端で揺動を止め、同時に溶接電流を上げるが、ウィービングの中央、両端の検出はマグネチックセンサにより行なっている。

同センサは、ペア形マグネットダイオードと、所定の起磁力を有する小形磁石より構成される。印加される磁界の正負により、中点電圧に対して対称の出力電圧が得られるため、外乱の影響を受けることなく、正確に位置の検出ができる。

小形磁石は、図5に示すように、ウィービング揺動ピンと同軸に設けた円筒に、両端、中央に相当する位置に2個ずつそれぞれ逆極となるよう配置されており、図4(a)の基本回路により同図(b)に示すような検出信号を得ることができる。

このトーチ位置検出信号により、ウィービング停止、スプレイ発生のほか、台車を中央、両端で停止、あるいは両端のみで進行させるなどの動作を行なっている。

3.3 ウィービング変速機構

本装置では、3.1で述べたように、簡単な正弦揺動機構によりウィービングを行なっているが、ウィービング幅が広がると、両端部に比較して中央部でのトーチ移動速度が速すぎ凹形のビードになる傾向がある。

これは、ピンの偏心量 r に対して、 l_1 が小さく、 $\frac{l_2+l_3}{l_2-l_1}$ が大きくなり過ぎるため、本装置ではウィービング幅 $W=25\text{mm}$ 程度がビード外観を損なわない限界である。

この欠点を防ぐ方法としては、ピンの偏心量 r を小さくして揺動レバーのアーム長 l_1 を増大するのが簡単であるが、装置

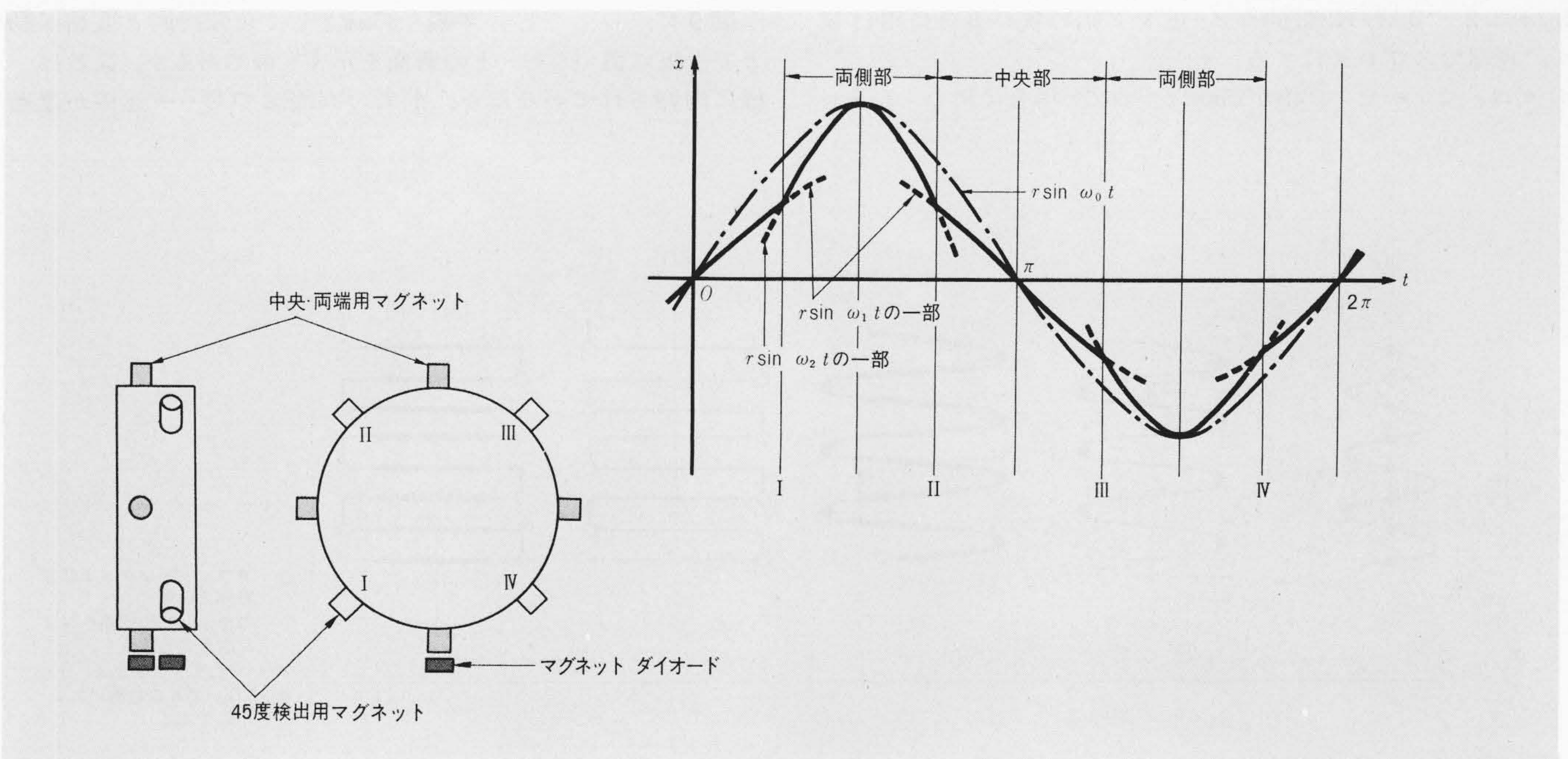


図5 ウィービング変速曲線 中央部で遅い揺動、両端部で速い揺動に切り換える。
Fig. 5 Weaver Speed Regulating Curve

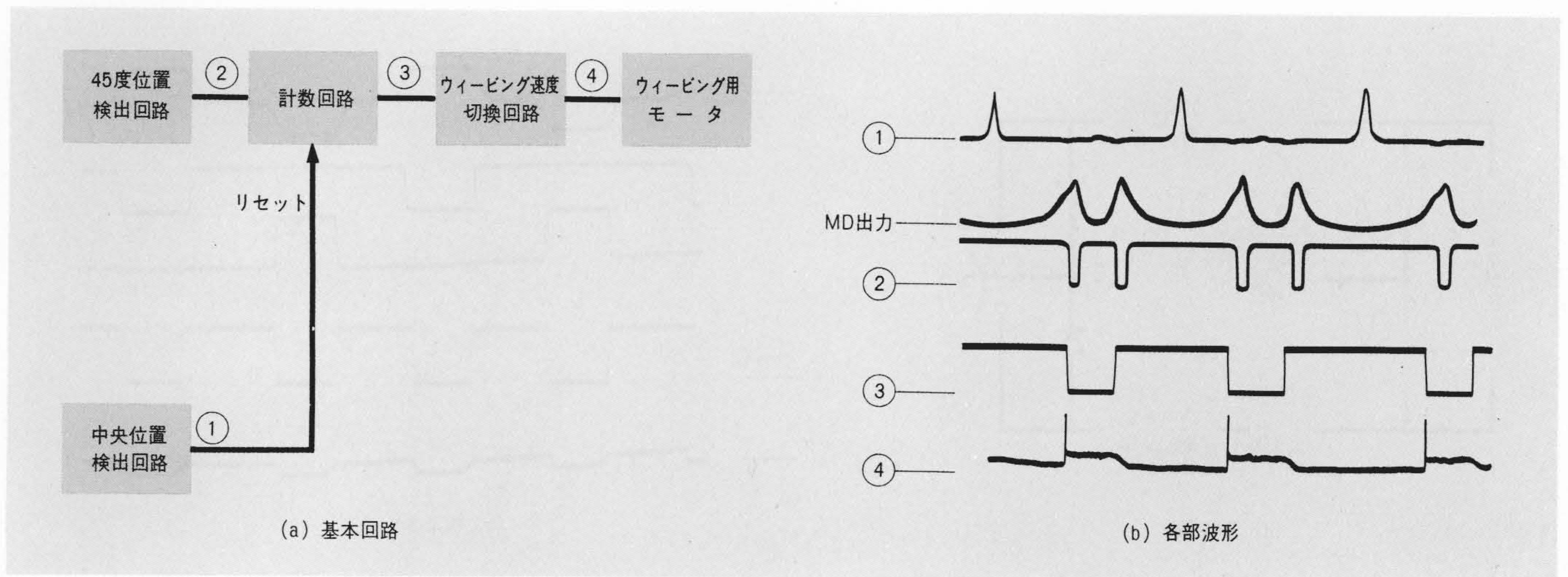


図6 ウィービング変速回路 45度検出は、マグネット ダイオードにより行なっている。
Fig. 6 Weaving Speed Regulating Circuit

が大形化するため、本装置では図5に示すように、低速揺動 $r \sin \omega_1 t$ と高速揺動 $r \sin \omega_2 t$ をウィービング両端近傍で切り換えることにより、中央部におけるトーチ移動速度を単純正弦揺動に比較して小さくする方法を採っている。

切換位置の検出は、3.2で述べたマグネチック センサを1組追加し、図6に示すようにウィービング両端に相当する磁石の前後に2個ずつ適当な角度(45度とした)に配置し、同図に示す変速回路により高速、低速を交互に行なわせている。

なお、カウント開始の初期設定(リセット)として、ウィービング中央の信号を用いている。

3.4 ウィービング パターン

以上のように、ウィービング停止位置、ウィービング変速の有無、台車停止または両端のみで進行などの組合せにより各種のウィービング パターンが得られるが、図7は、その代表例を示すものである。

(a)は初層に適用され、中央でスプレイを挿入する。

(b)(d)は2～3層の比較的ウィービング幅の狭い場合に用いられ、両端でスプレイにする。

(c)(e)は、ウィービング幅が25mm以上の広い場合に用いられる。

両端でスプレイにする外、中央部の肉盛が少ない場合、中央でもスプレイを挿入する。

3.5 スプレイ発生機構

両端または中央の信号により、スプレイの電流・電圧条件にし、ある時間の経過後ショート アーク条件に復帰させるが、ワイヤ送給モータの慣性により、送給速度が遅くなり、切る以前にアーク電圧だけが下がり、スタビング現象を起こしアーク不安定となることを防止するため、スプレイ時間終了の信号で瞬時ブレーキ回路を作動して、ショート アークへの移行を円滑にしている。

図8は、実際の溶接における溶接電流、アーク電圧波形を示したもので、完全なスプレイにしてスパッタ発生量を低減するため、炭酸ガス(CO₂)にアルゴン(Ar)を80%混合している。

4 溶接結果

4.1 ウィービング変速の効果

図9は、ウィービング幅を35mmとして正弦揺動と変速揺動とで平板に置いたビートの断面を示すものであるが、後者は一様に肉盛されているほか、前者の両端部でトーチ運棒が遅過

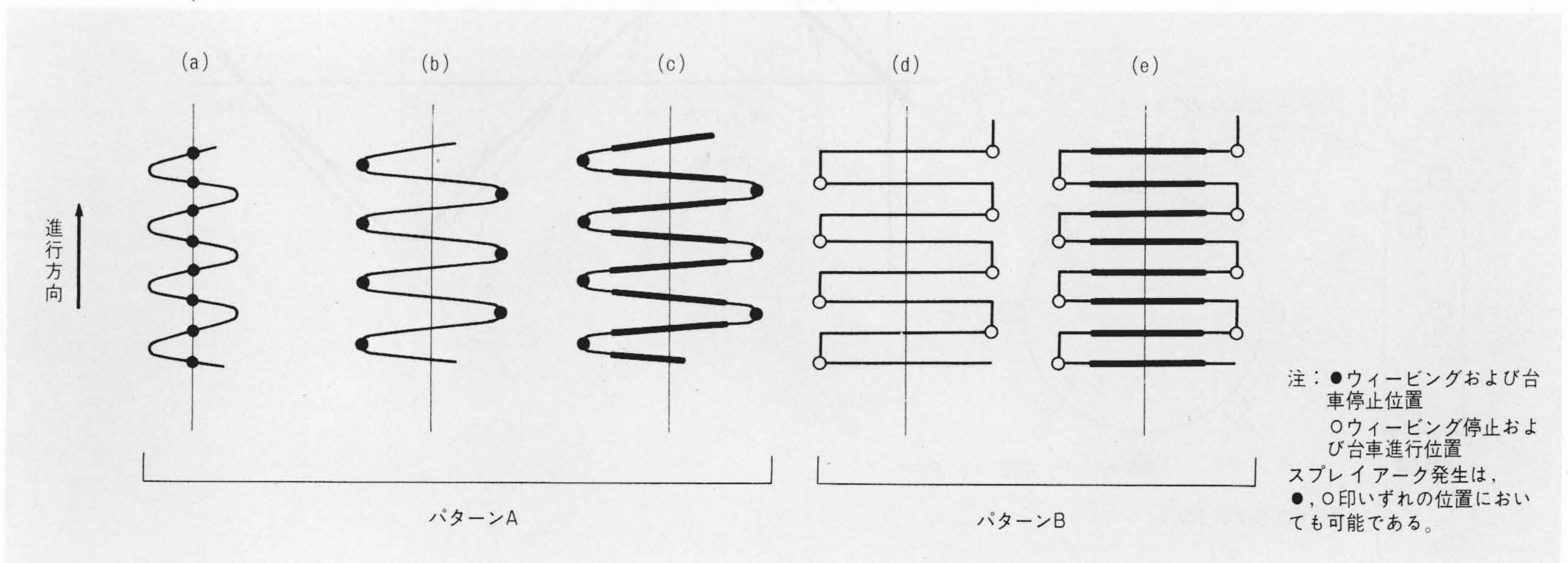


図7 代表的なウィービングパターン ウィービング、台車の停止、ウィービング変速の有無により種々のパターンが得られる。
Fig. 7 Representative Weaving Figurations

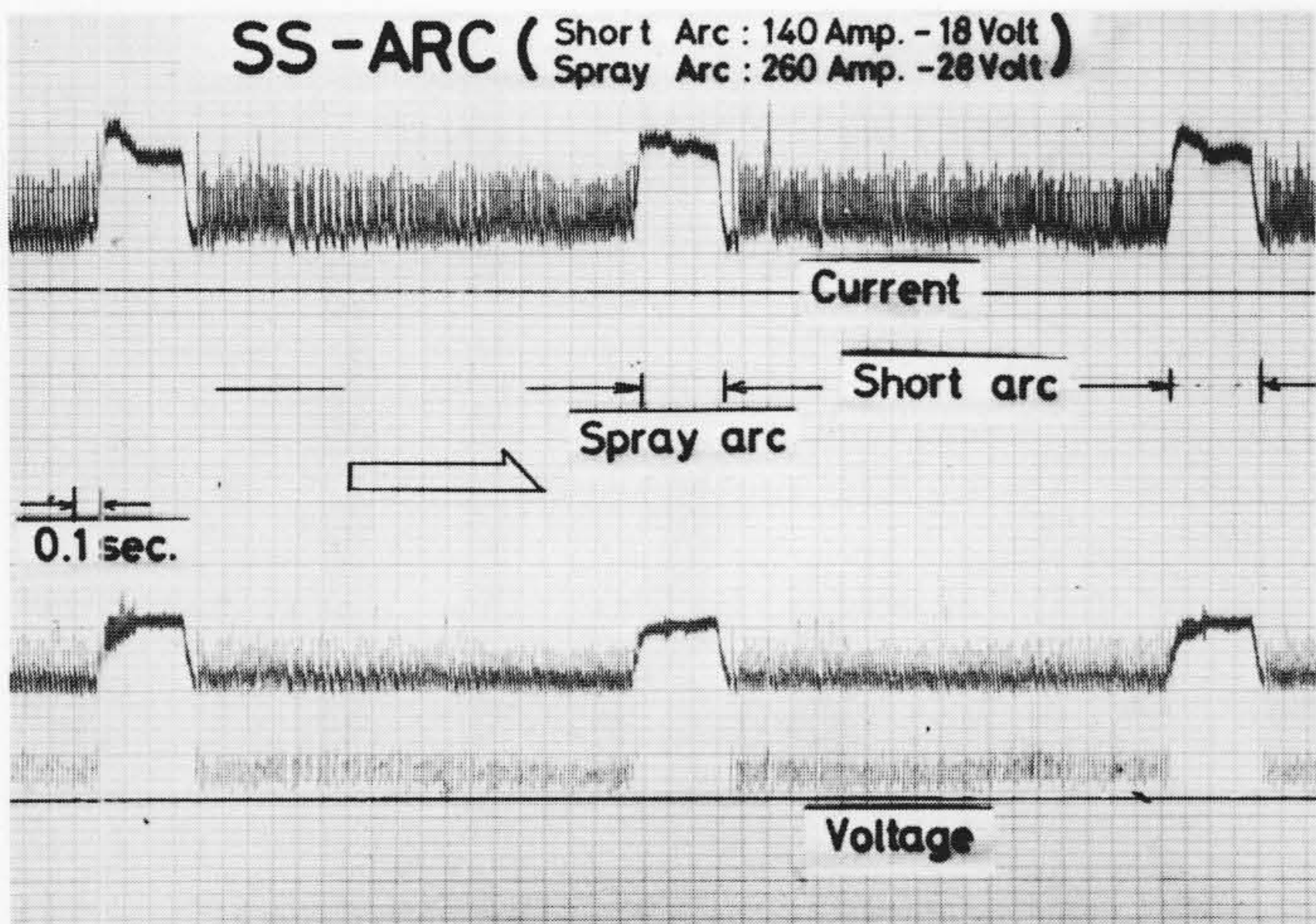


図8 溶接電流，電圧波形 アルゴンを混入することにより完全なスプレイにすることができ，スパッタ発生も少ない。

Fig. 8 Oscilloscopic Diagram of Welding Current and Voltage

ぎるために発生する融合不良もなく，ウィービング変速方法が効果的であることが明らかである。

4.2 標準溶接条件

立て向き突合せ溶接では，片側より溶接ができない場合，または両側溶接で初層を裏面より削り取る作業を省略するために，裏波溶接を行なうことが多い。

表2は，SS-MAG法による裏波溶接条件の一例であり，図10は，SM-50，25Tに立て向き姿勢で施工した場合のビード外観と裏波の形成状況を示したもので，均一な仕上がりを得ている。

4.3 継手性能

図11は，SM-50，25Tの立て向き試験片から採取した側曲げ試験の結果を示すもので，均一で確実な溶け込みを得ている。

また，表3で溶着金属の化学成分と機械的性質の一例を示したように，いずれも良好な結果が得られている。

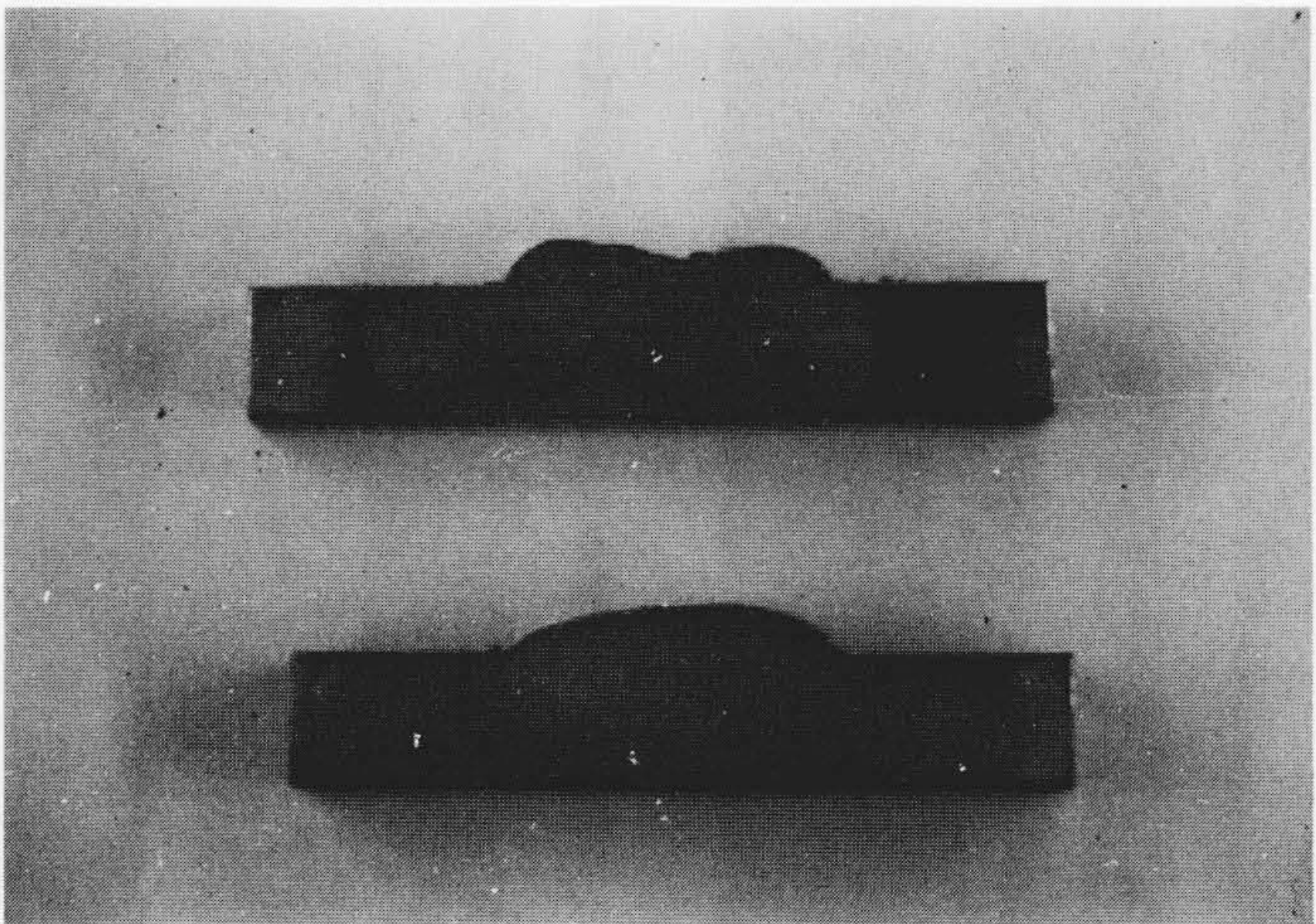


図9 ウィービング変速によるビード断面 上図は正弦揺動によるもので，変速の効果が分かる。

Fig. 9 Macroscopic Section by Weaving Speed Regulation (lower)

4.4 信頼性と能率

図12は，このような試験片を，立て向きおよび45度立て向きで多量に作成し，本法とショート アーク法で融合不良の発生数を比較したものであるが，本法は信頼性が高く十分実用に供し得ることが分かる。

また，図13は，本法とショート アーク法で板厚を変えアーク タイムを測定した結果を示すものであるが，約15%能率が向上している。

5 結 言

以上，SS-MAG法による立て向き突合せ自動溶接装置について述べたが，下記に示す効果が得られた。

- (1) 従来のショート アーク法に比べ，累層時に発生する融合不良を低減し得，また材料に対する入熱量が低いため，継手性能に優れ特に今後需要増大が予測される高級材料の溶接に適している。

表2 標準溶接条件 初層はテープパッキング法による裏波溶接で行なっている。

Table 2 Standard Welding Conditions

溶接姿勢	母 材		シールドガス % 流 量 (l / min)	ワイヤ サイズ (mm φ)	層 裏当て剤	ショート アーク溶接		スプレイアーク溶接		溶接 速度 (cm / min)	スプレイ アーク 時 間 (s)	スプレイ アーク 生 置 位 置	ウィービング			開先形状 (mm)	
	材質	板厚 (mm)				電 流 (A)	電 圧 (V)	電 流 (A)	電 圧 (V)				幅 (mm)	両端停止 時 間 (s)	中央停止 時 間 (s)		
立て向き	SM50	19	80Ar 20CO ₂ (25)	MG - 50T 1.2	1	FRB - 3	130	20	260 ~ 300	30	5	0.6	中 央	12	0.8	0.6	
		2			—	”	”	”	”	”	”	両 端	20	0.5	—		
		1			FRB - 3	140	”	”	”	”	”	”	中 央	12	0.8	0.6	
		2			—	”	”	”	”	”	”	”	両 端	20	”	—	
		3			—	”	”	”	”	4	”	”	25	0.5	—		
		1			FRB - 3	”	”	”	”	5	”	中 央	12	0.8	0.6		
		2			—	”	”	”	”	”	”	両 端	20	”	—		
		3			—	160	21	”	”	4	0.8	”	25	”	—		
		4			—	”	”	”	”	”	”	”	30	”	—		
		5			—	140	20	”	”	”	0.6	”	35	0.4	—		
		1			FRB - 3	”	”	”	”	5	”	中 央	12	0.8	0.6		
		2			—	”	”	”	”	”	”	両 端	18	”	—		
		3			—	120	21	”	”	”	0.8	”	23	”	—		
		4			—	”	”	”	”	4	”	”	28	”	—		
		5			—	180	”	”	”	”	”	”	32	0.6	—		
		6			—	”	”	”	”	”	”	”	36	”	—		
		7			—	160	20	”	”	3	0.6	”	40	0.4	—		

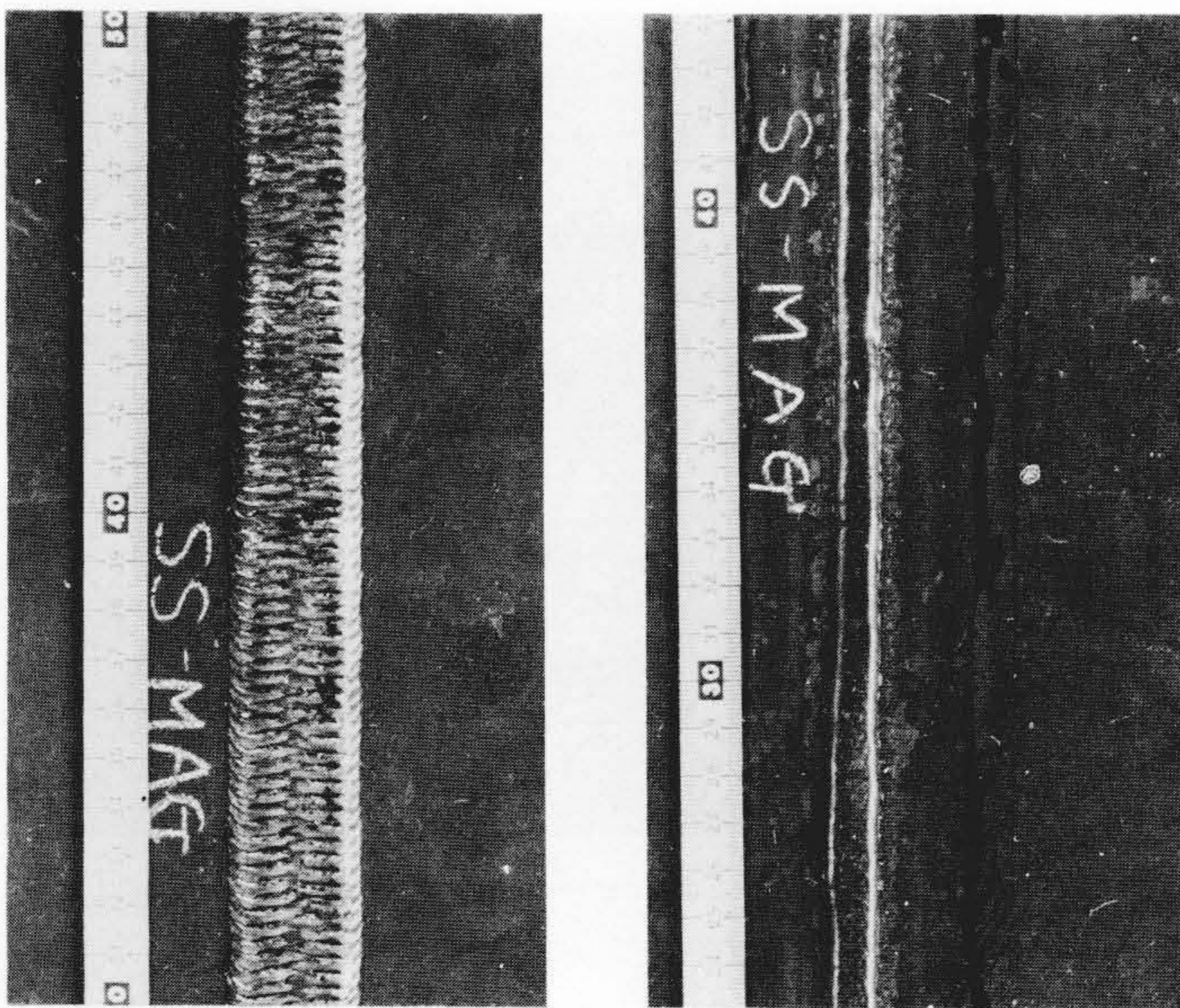


図10 ビード外観および裏波 SM-50 25tをテープバック法により施工した一例を示す。

Fig. 10 Appearance of Top and Back Beads

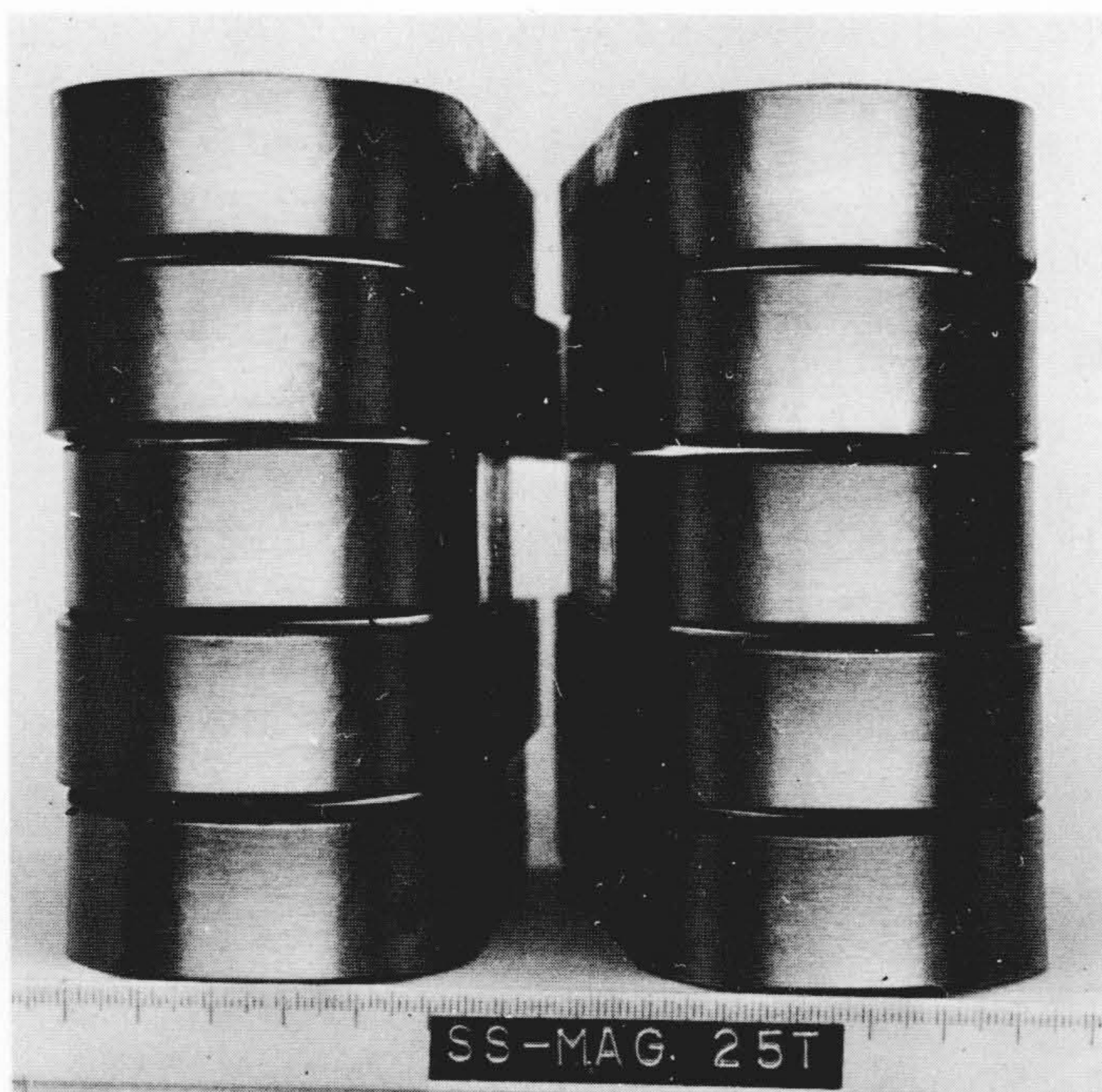


図11 側曲げ試験片 層間の溶け込みが確実に得られていることが分かる。

Fig. 11 Results of Side Bend Test

表3 溶着金属の性質 きわめて優れた溶着金属の特性を示している。
Table 3 Characteristics of Deposit Metal

C	Mn	Si	P	S
0.08	0.98	0.38	0.014	0.015

(a) 溶着金属の化学成分

降伏点(kg/mm ²)	引張強さ(kg/mm ²)	伸び(%)	衝撃値(kg・m) 0℃2mmVノッチ
44	56	31	13.5

(b) 溶着金属の機械的性質

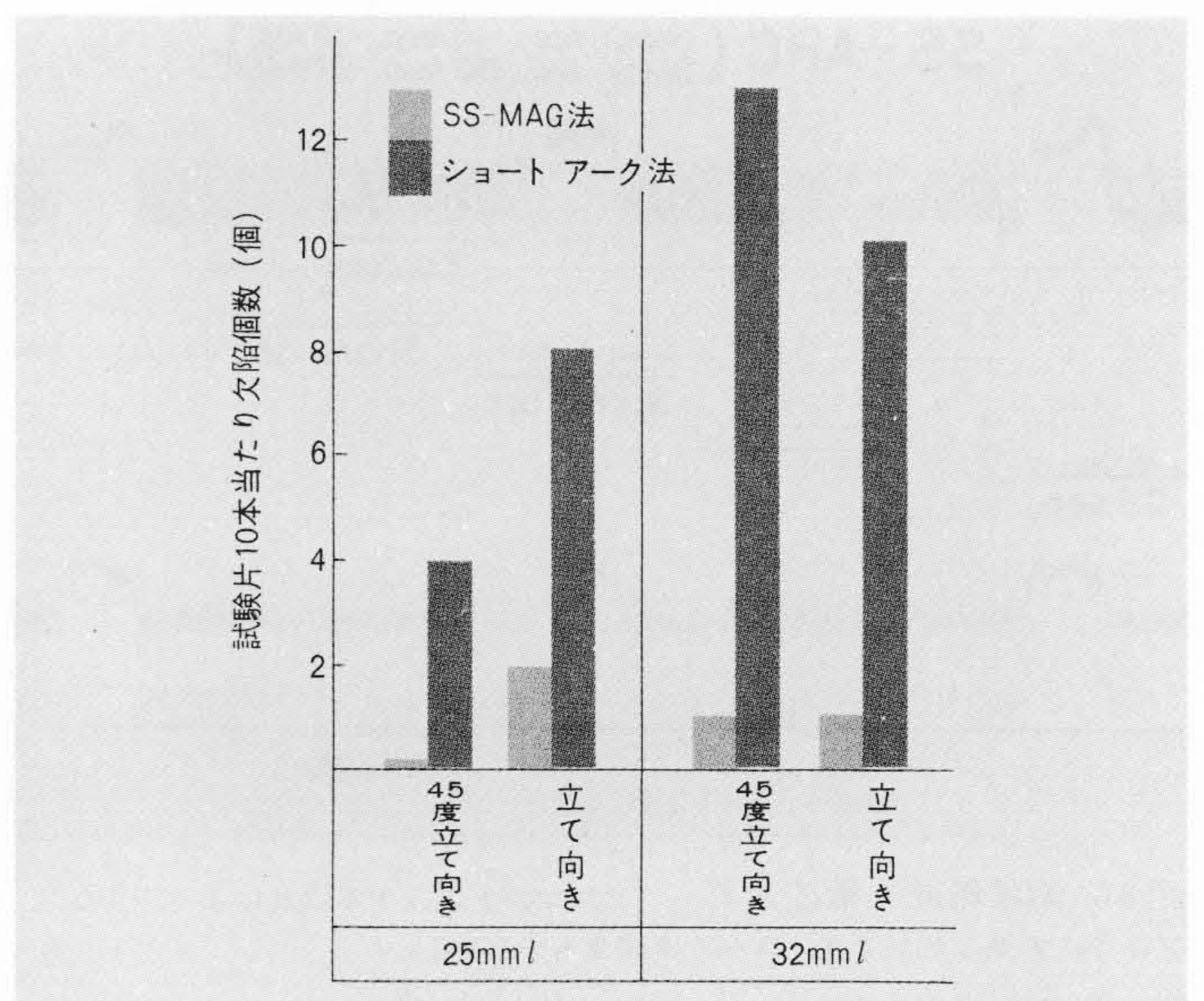


図12 SS-MAG法およびショート アーク法の側曲げ試験における欠陥発生個数の比較 ショート アーク…140A-18V SS-MAG法…140 A-18V×260A-28V-0.4s

Fig. 12 Comparison of Numbers of Penetration Defects

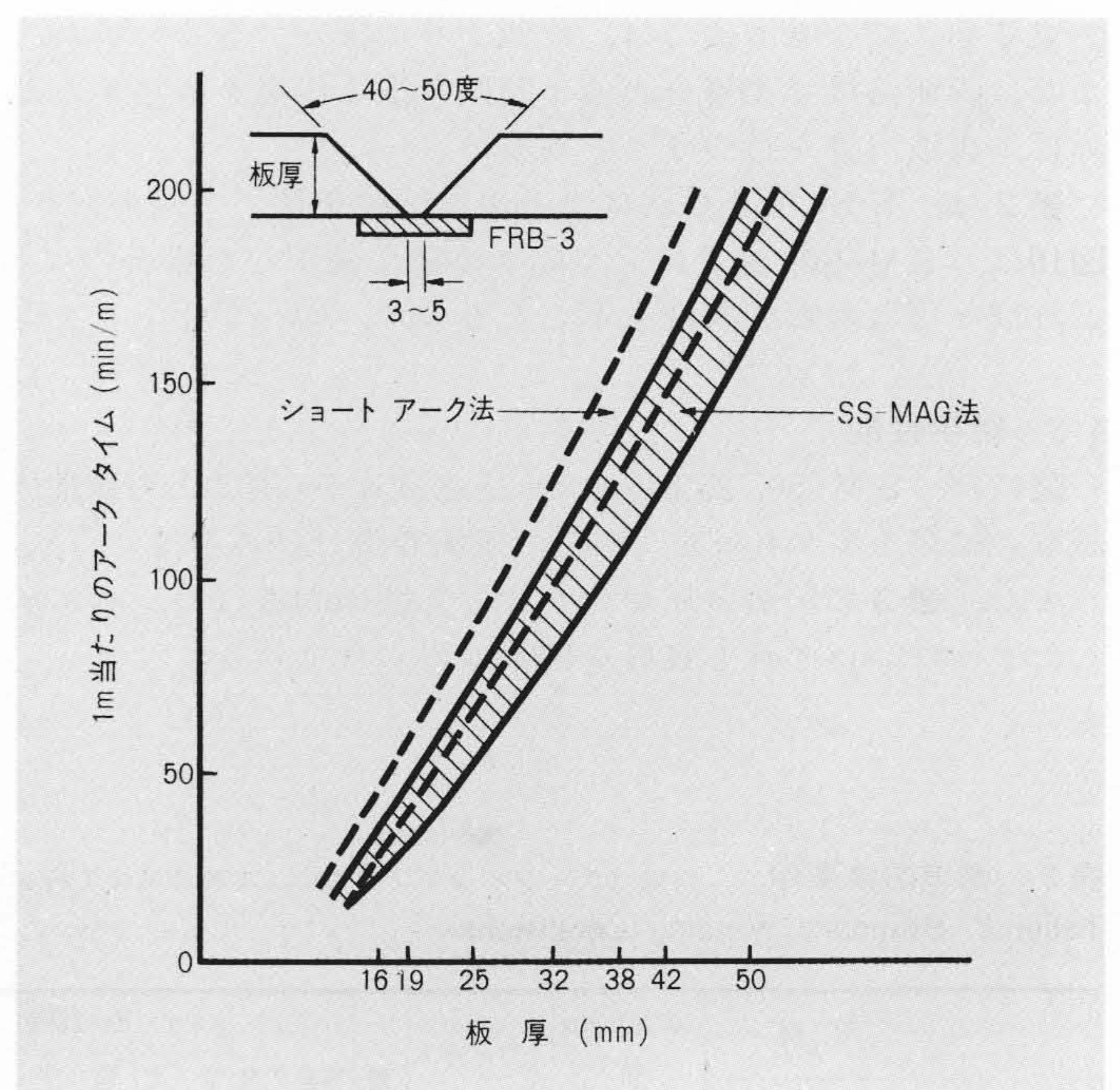


図13 SS-MAG法とショート アーク法の能率比較(立て向き) SS-MAG法は、従来のショート アーク法に比べて約15%能率も向上する。

Fig. 13 Comparison of Arc Time

(2) マグネチック センサ システムの確立とウィービング変速機能の導入により、機器の性能を高め、薄板から厚板まで適用範囲の広い装置とすることができた。

(3) 従来の類似機は、特殊なレールを必要とするのに比べ、本装置は磁輪により直接母材に吸着、走行するため、簡単なガイド板だけで直線はもとより、吸着面が曲率を有する溶接線にも使用でき、応用分野が広い。

終わりに、本装置の開発に、多大のご協力を賜った株式会社神戸製鋼所の関係各位に深謝申し上げるとともに、今後とも各方面のご助言を得て業界に貢献する所存である。