

鋼管自動溶接装置

Automatic Pipe Welding Equipment

Following the increase of mammoth building in major cities volume of the pipe used in their foundation work is also growing. At the same time, the pipe line is in a fast growing demand as a large volume transportation system for gas and oil. And such situation gives rise to a demand for automated on-site welding equipment that can weld horizontal butt joints of vertically fixed pipes and all-position butt joints of horizontally fixed pipes without the aid of highly skilled weldors. In cooperation with Kawasaki Steel Corporation, Hitachi, Ltd. has developed KH-P system for the welding of pipe piles. This system is an adaptation of CO₂ gas arc welding process to on-site welding. As for the welding of pipe lines, the Company has developed a one-direction continuous welding system in which appropriate welding conditions are programmed for each pipe position and layer. These new systems have appreciably improved welding efficiency and stability of welding results.

坂部 昭* Akira Sakabe

坂上 光廣* Mitsuhiro Sakagami

荒井 邦男* Kunio Arai

清水儀一郎* Giichirô Shimizu

1 緒 言

近年、大形建造物の建設が増加し、その基礎として鋼管くいが多く用いられるようになり、また国内外で天然ガス、石油などの大量輸送システムとして、パイプラインの布設工事が施工されるなど鋼管の現地溶接施工の需要は増大しつつある。

従来、これら垂直固定管の横向き溶接、水平固定管の全姿勢溶接は、特殊技能をもつ溶接工により行なわれてきたが、最近、鋼管工事業者を中心に、自動化の動きがみられ、各種の自動機の開発、現場実験が進められている。

このうち、鋼管くい自動溶接機は、ノーガス溶接を主体としているため、X線性能、強度とも劣り、しかも、鋼管くいとして最も多く使用されているスパイラル管への検討例が少なく、また、パイプライン自動溶接機についても、作業者に依存するところが多く、累層に際して何度かアークを切る必要があるため、継目の補修などに時間を要するなど、いずれも性能、能率の面で必ずしも満足な結果は得られていない。

日立製作所では、川崎製鉄株式会社と協同のもとに、上記2機種を開発したが鋼管くいに対しては、溶着金属の機械的性質に優れる炭酸ガスアーク溶接を現地溶接に使用し、スパイラル鋼管への適用を主にした新しい工法（KH-P工法）により実用性の高い製品を完成した。また、パイプラインに対しては、各姿勢、各層における適正溶接条件をプログラムし、さらに溶接線ならい機構の働きにより作業者に依存することなく、一方向連続溶接を可能とし、いずれも継手性能の向上、品質の安定化および自動化に寄与し得た。

2 鋼管自動溶接法の概要

2.1 鋼管くい自動溶接法（KH-P工法）

本工法により炭酸ガスアーク溶接を現地において円周横向き突合せ溶接に適用するにあたり発生する諸問題を解決したが、その概要について以下に述べる。

(1) 継手形状

溶接作業を自動化する場合、常に問題となるのは被溶接材の開先精度である。特に現地作業では、輸送、積降ろし、組立て、打込みなどの工程があり、鋼管の真円度を維持することが困難で必ず継手に目違いを生ずる。

川崎製鉄株式会社では、従来より現地溶接に図1に示すノーガス半自動溶接用鋼管継手「リバージョイント」を使用しているが、これは下くいと上くいに多少の目違いが存在しても、抜け落ちを防ぎ得る裏当てリングと、大電流溶接でも溶着金属のたれ落ちを防止する当て金が具備されており、自動化に適した開先を形成している。

炭酸ガスアーク溶接は、ノーガス溶接に比べ深い溶け込みが得られるので、本法ではルート間隔を設けず、その結果、開先断面積を25～30%低減することができ、能率も向上した。

(2) 累層法

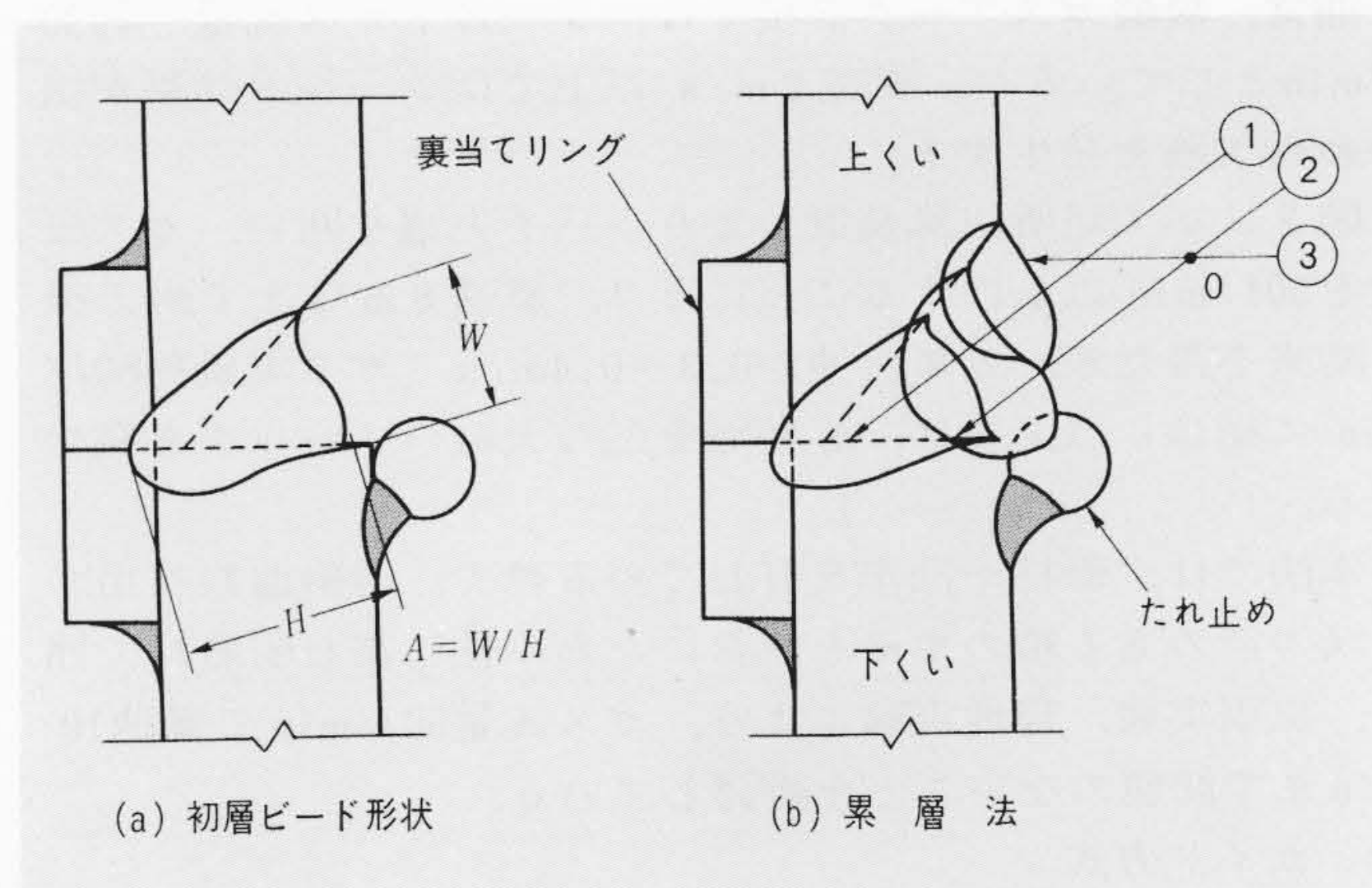


図1 初層ビードおよび累層 初層のビード割れを防ぐため、ウィーピングを加えている。

Fig. 1 First Layer and Piling of Beads

*日立製作所亀戸工場

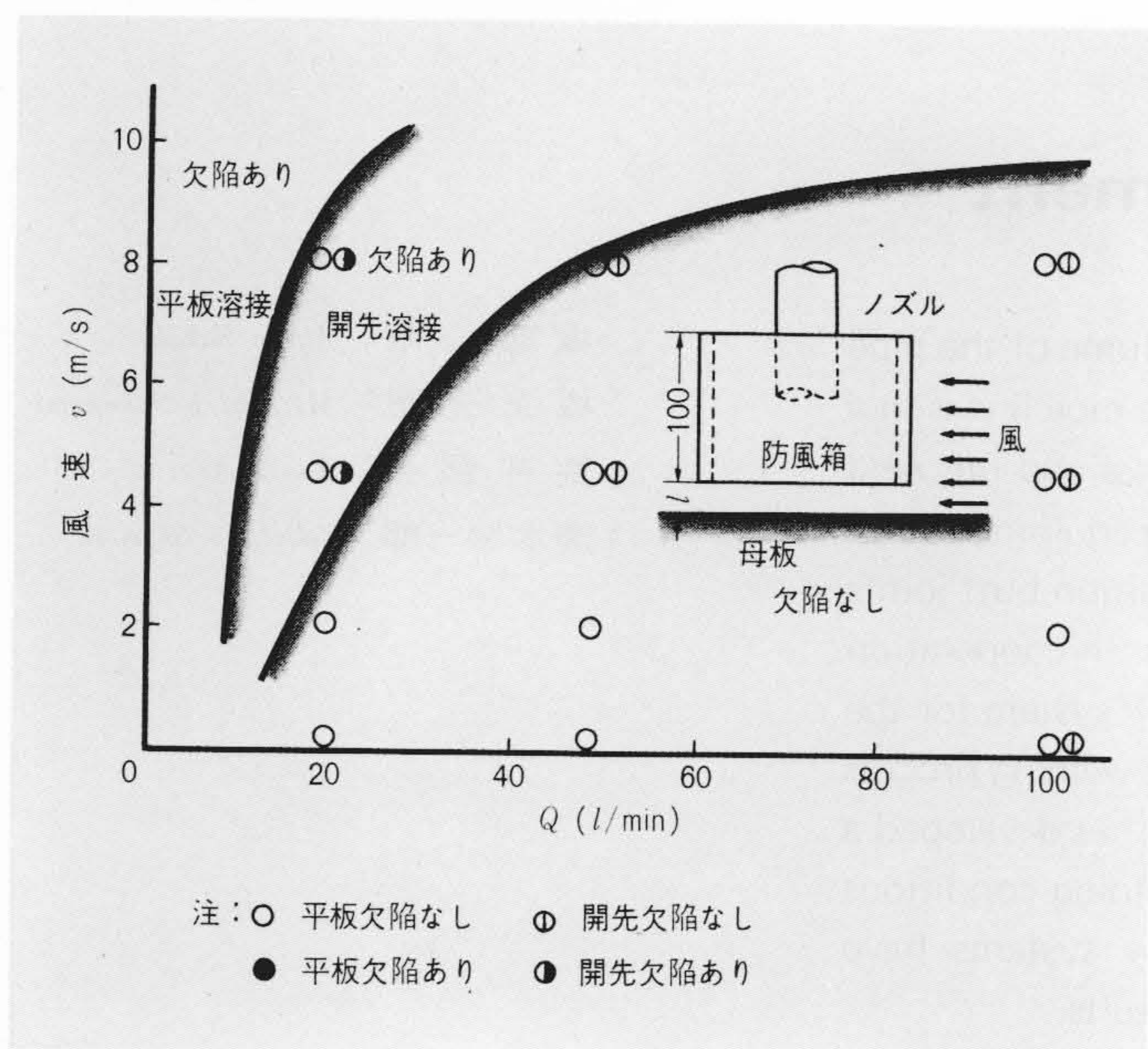


図2 防風装置の効果 防風箱とガス流量の増大により、強風下の炭酸ガス溶接を可能とした。

Fig. 2 Effect of Wind Hood

炭酸ガスアーク溶接は、溶け込みが深い反面、狭い開先の初層ではビード断面形状が「梨状」となり、図1(a)に示すように、ビード幅 W と高さ H の比で与えられるビード断面形状指数 A が0.6以下では、デンドライト会合部で割れを発生することがある。

種々検討の結果、後掲の条件でワイヤねらい位置を開先会合部より2～4mm下くい側にすることで割れを防止し得ることを明らかにしたが、さらに、トーチを約2mm揺動し W を大きくすることにより、現場作業での割れ防止を安定化している。

2層め以降の累層は図1(b)に示すように行なわれる。最終層はトーチが水平位置となるが、ねらい角度の再現性を高めるため、点0近傍を中心としてトーチを回転し得る機構を設けた。

(3) 防風対策

通常、炭酸ガスアーク溶接では、シールドガス流量を約20 l/minとしているが、風速2 m/s以上ではシールド効果が損なわれ欠陥を発生する。

図2に示す局所防風装置によりトーチ先端を囲い、ガス流量を50 l/min以上にするにより、風速8 m/sまで耐え得る結果を得たが、ガス流速が0.3～0.4 m/s（ガス流量約80 l/minに相当）以上では、熔融池を乱し大粒のスパッタを発生する。

本法では、母材が曲率を有しているので、熔融池観察用の筒状の窓のある箱のすそをさらにたわみ性に富む耐熱材で囲い、風洞実験、現地実験により、ガス流量50 l/minで風速10 m/sまで問題のないことを確認している。

(4) ガイド方式

溶接トーチを搭載した台車は、強力な磁輪により鋼材に吸着し駆動されるが、一般にくいとして用いられるスパイラル管では、直接管壁を台車が走行する方式では、スパイラルビードの余盛や前後の溶接ひずみのため、開先に対するトーチねらい位置が大きく変動する。

本法では、図3に示すように鋼管に開先より等間隔に仮付

けされた数個の鉄片に、真円を有する薄板円筒を管壁との間隙を一定に保つように引っ掛け、円筒の上端をガイドし表面を吸着走行するガイドレールを設けることにより、溶接中に作業者がトーチねらい位置を修正する頻度を極小にすることができた。

2.2 鋼管全姿勢自動溶接法

従来、水平固定管の自動溶接は、各層振り分けて施工されるため、ビードの継目は層数の2倍あり、重ね目の下層はグラインド仕上げを必要とし、能率が著しく悪く継目で欠陥を発生しやすい。

初層から最終層まで連続して一方向に回転する溶接法によれば、この欠点を補うことができるが、溶接姿勢、各層により溶接諸条件の最適値が異なり、従来機のように条件設定を作業者に依存する方式では困難である。

本法は諸条件の設定を自動化し、開先ならい機構の導入により一方向連続回転溶接を可能とした。

(1) 初層溶接条件

パイプラインなどでは、余盛0～1.5 mmの裏波を必要とするため、特に初層の諸条件範囲は狭いが、下向き、上向き、立て向き下進、立て向き上進の4姿勢の試験片による実験結果より、他の条件を一定として、溶接速度の最適値は、図5の●印であることを見いだした。

これをもとに実管で確認実験を重ね、装置のプログラム値を図4に示す6ステップとし、姿勢検出の指令により条件を移行する方式とした。

(2) 2層め以降の溶接条件

2層め以降は層間、特にビード両側部に融合不良を発生しやすいが、初層と同様の実験方法により図5に示すように各層とも一定条件で回転し得る値を見いだした。

層の重ね部において、スイッチの切換えだけで、各層の適正条件に移行させ、諸条件はトーチ高さとリンクして各層間の条件を結んだ線上で変化する方式とした。

3 機器の構成および仕様

3.1 鋼管くい自動溶接装置

鋼管くい自動溶接装置は、図6および表1に示すように、本体、キャリア、溶接用電源およびガイドレールより構成される。

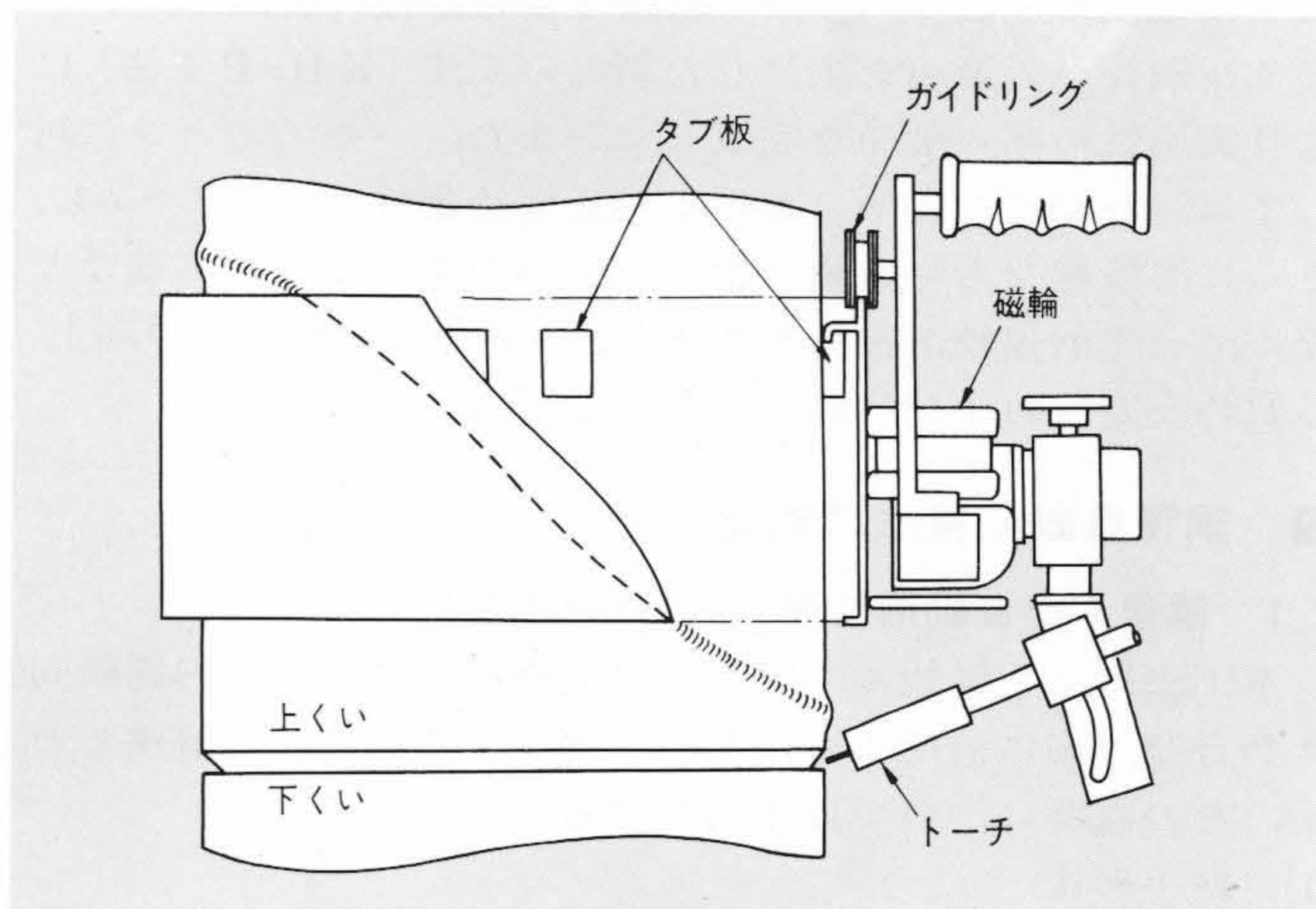


図3 スパイラル管用ガイド方式 スパイラル ビードと前後の溶接ひずみによる溶接線のならい性を向上した。

Fig. 3 Guide Rail for Helical Pipe

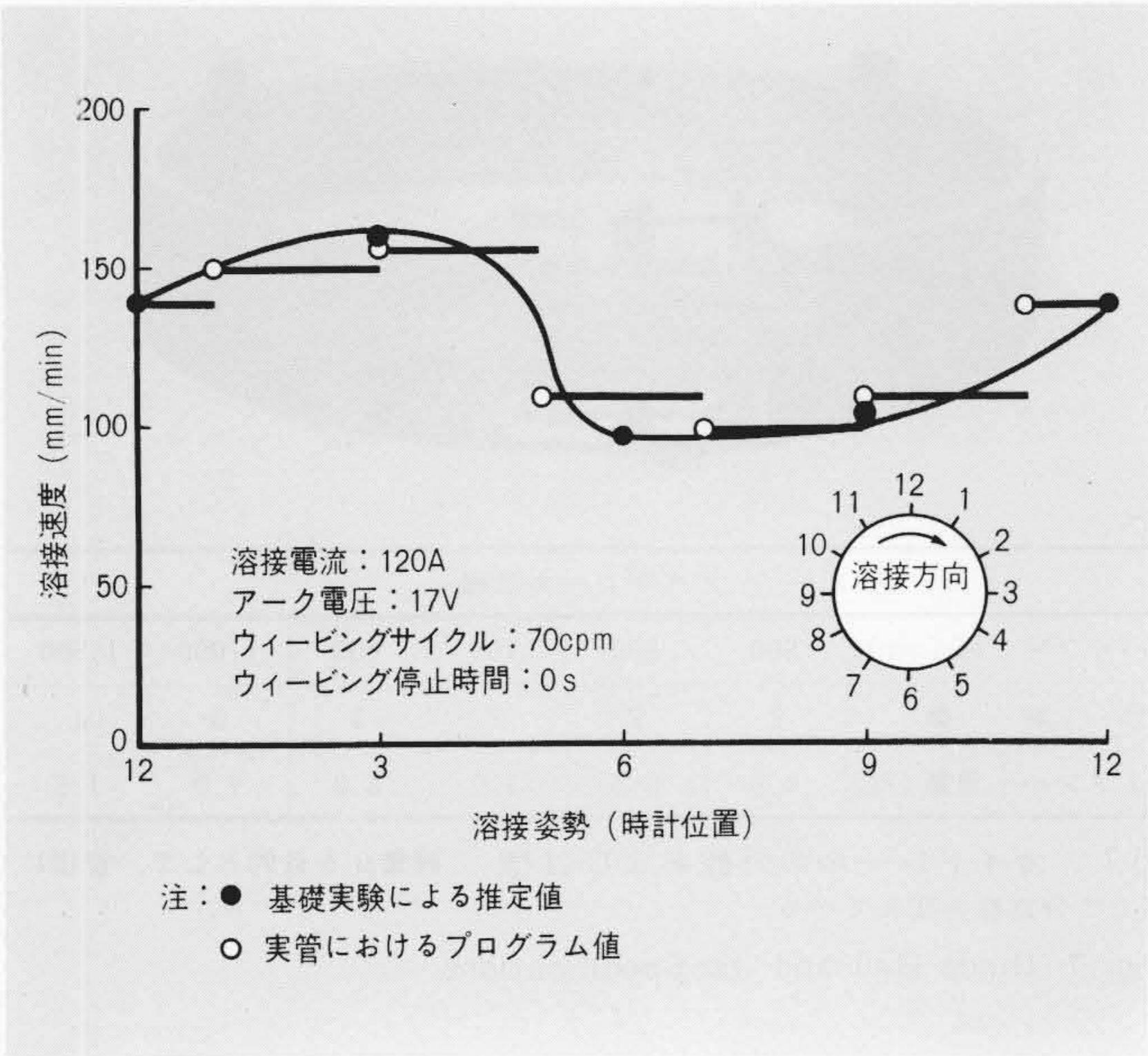


図4 初層の溶接条件 実験で得られた値を図のようにプログラムした。
Fig. 4 Welding Conditions for First Layer

表1 鋼管くい自動溶接装置仕様 垂直固定管横向き自動溶接装置
でキャリアを変えるだけでCO₂用、ノーガス用、いずれにも使用できる。

Table 1 Automatic Pipe-Pile Welder

区分	項 目	仕 様	
本 体	制 御 電 圧	200V 単相 50/60Hz	
	走 行 姿 勢	水平横向き	
	走 行 速 度	50～700mm/min	
	ウィーピング	幅：0～10mm ピッチ 2.9mm	
	トーチ調整範囲	上下±20mm, 左右±10mm	
	トーチ角度調整	0～20度（ワンタッチ式）	
	適用パイプ径	500mm φ 以上	
キ ャ リ ア	概 略 重 量	17kg	
	種 類	炭酸ガスアーク用	ノーガスアーク用
	方 式	磁輪吸着 被けん引式台車	
	ワ イ ヤ 径	1.2φ, 1.6φ	2.4φ（小コイル）
	ト ー チ 容 量	500A 60%	
電 源 部	ト ー チ 方 式	空 冷	
	形 式	DR-TB 500	
	定格一次電圧	200V 三相 50または60Hz	
	定格一次入力	約29kVA	
	二次電流範囲	50～500A	
	定格使用率	60%（500A）	
	二次電圧範囲	15～42V	
	電圧制御方式	サイリスタ点弧制御方式	
	外形寸法	435×610×950(mm)	

溶接ヘッド部である本体と、ワイヤ送給部であるキャリアを分離する方式とし、可搬性を高め着脱を容易にし、キャリアを交換するだけで、炭酸ガス溶接、ノーガス溶接のいずれによっても可能とした。

(1) 本 体

溶接用トーチを搭載し、1個所当たり約50kgの吸着力を有する磁輪により、ガイドレール上を吸着しつつ自走する台車

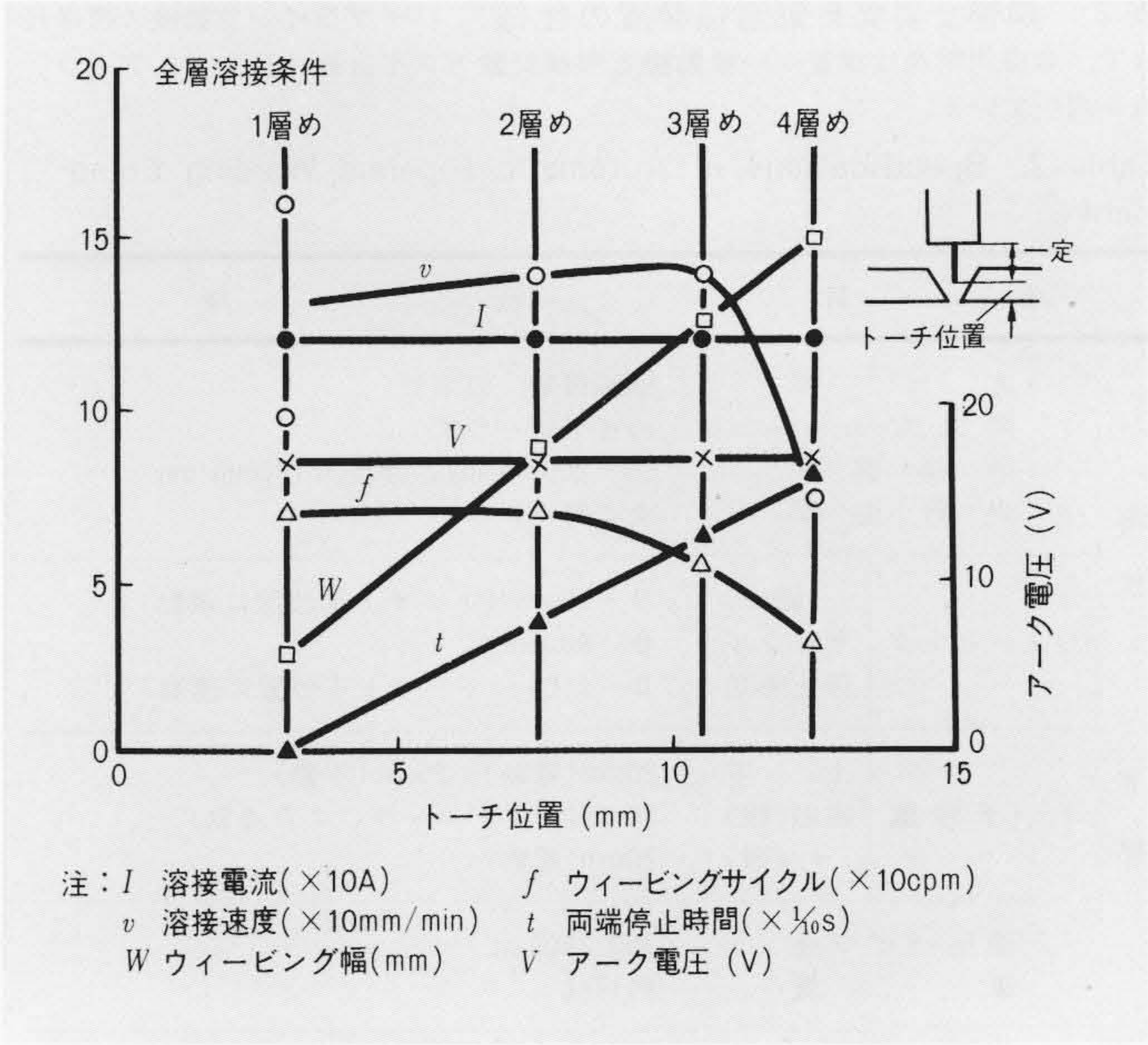


図5 2層め以降の溶接条件 2層め以降は、各層とも同一条件で連続回転で溶接する。
Fig. 5 Welding Conditions for After Second and Further Layers

で、ワンモータで走行駆動とトーチの揺動を行なっている。
トーチ先端近傍を中心とする円弧状のみぞを滑動するトーチ角度調整器により、前述の累層を容易にした。また、ガイドレール上端部をならうガイド輪は、管径に応じて向きを変えるだけでよい。

(2) キュリア

本体と同様に磁輪を有する台車で、ワイヤ送給部を搭載し、本体によりけん引される。

溶接条件の設定、溶接開始・停止などの操作は一括して手元操作箱で行なうことができる。

また、キャリアには炭酸ガス用とノーガス用とがあり、本体は同一で2種類の溶接が可能であり、風速が10m/sを超える場合、または継手強度を要求されない場合はノーガス溶接により行なうこともできる。

(3) 溶接用電源

本電源は、サイリスタ制御による直流定電圧特性を有し、

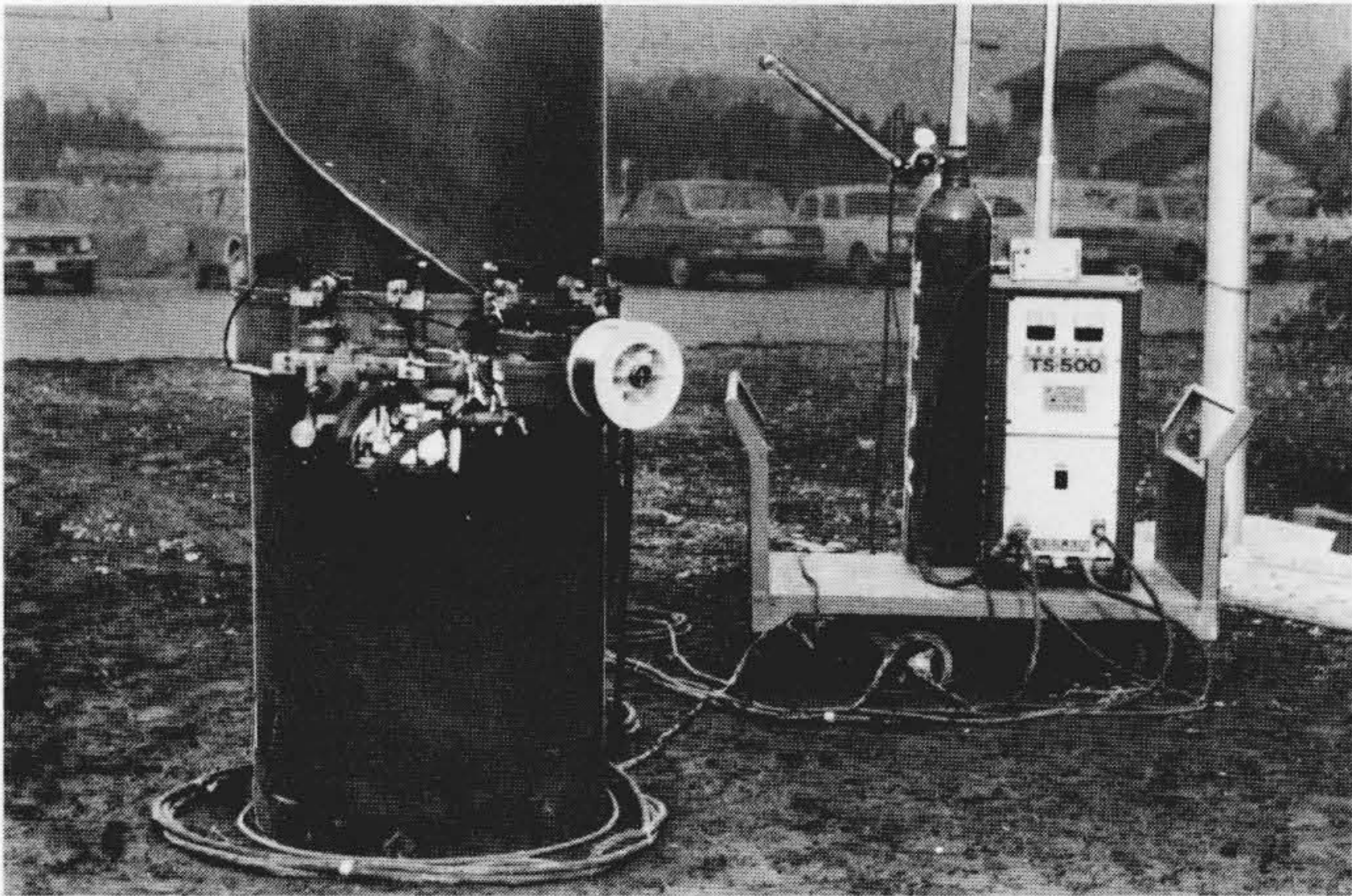


図6 鋼管くい自動溶接装置 1,016mm φ鋼管くにセットした装置の全景を示す。
Fig. 6 Automatic Pipe Pile Welding Equipment

表2 鋼管全姿勢自動溶接装置の仕様 パイプライン自動機の標準仕様で、溶接用電源は鋼管くい自動機と同様炭酸ガス半自動「日立 TS アーク」用を用いている。

Table 2 Specifications of Automatic Pipeline Welding Equipment

項 目		仕 様
溶接ヘッド部	方式 開先ならい 溶接速度 走行姿勢	磁輪吸着，自走式 ガイドローラ式 50～200mm/min，早走り700mm/min 全姿勢
	ウィーピング幅 サイクル 停止時間	0～20mm（トーチ上下位置に連動） 0～90cpm 0～1.0s（トーチ上下位置に連動）
	トーチ位置 上 下 左右(粗) " (微)	20mm(電動)+25mm(手動) 50mm(ガイドローラにより滑動) 20mm(電動)
	適用パイプ径 重 量	350～600φ 約17kg
	方 式 使用ワイヤ トーチ方式 重 量	磁輪吸着被けん引式 0.9，1.2φ(12.5kg巻き) 自動溶接用トーチヘッド 約15kg（ワイヤ除く）
制御装置	制 御 電 源 姿 勢 検 出	200V 50/60 Hz 12段検出
	初層プログラム	溶接速度(6段)，ウィーピング幅，溶接電流，アーク電圧，スタート位置スイッチ
	2層以降プログラム	溶接速度，ウィーピング幅 溶接電流，アーク電圧
	層 切 換 え	ロータリスイッチ（4段）
	そ の 他	電流計，電圧計，ワイヤインテング押しボタンスイッチ
溶接用電源	方 式 形 式 電 源 電 圧 定格一次入力 出力電流 出力電圧 制 御 方 式	三相直流定電圧特性 DR-TB200または300 三相200V 50または60Hz 約10.3kVA（DR-TB200） 50～200A 15～27V サイリスタ点弧角制御

炭酸ガスアーク溶接，ノーガス溶接のいずれにも使用できる。特に，一般のノーガス溶接が交流垂下特性を用いているのに比べ，著しく溶接性に優れている。

(4) ガイドレール

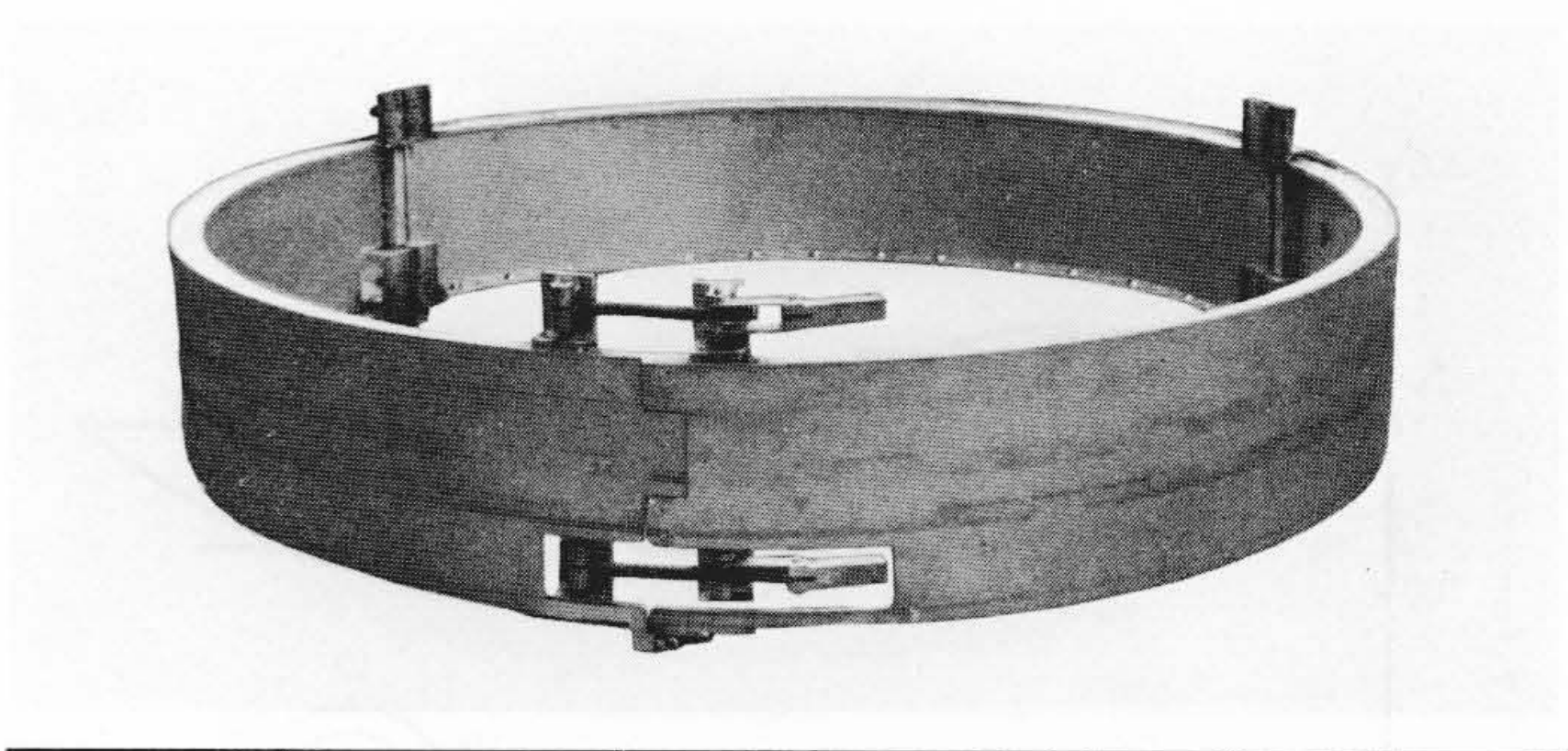
図7は，ガイドレールとその仕様を示すもので，管径に応じて各サイズあり，大径に従い分割数を増して1メンバー当たりの重量は8kg以下で運搬，着脱は容易である。

組立ては，あらかじめ鋼管に仮付けされた鉄片に各メンバーを引っ掛ける。メンバー間の接合は，1個所をスプリングで張り他はパッチン（留め金）で留める方式である。

3.2 鋼管全姿勢自動溶接装置

本装置は図8に示すように，溶接ヘッド部，ワイヤ送給部（キャリア），制御装置部および溶接用電源より構成され，各部の仕様は表2に示すとおりである。

パイプラインに用いられる鋼管は精度の良い継目なし管で，溶接ヘッド部とキャリアは磁輪により直接管壁に吸着させることができ，これらと車輪を有する制御箱を管周にバランス



ガイドレール仕様						
パイプ呼び径 (mm)	500	600	700	800	1,000	1,500
分 割 数	2	2	2	3	3	4
1メンバー重量 (kg)	5.5	6.5	7.0	6.0	7.0	7.5

図7 ガイドレールの外観および仕様 軽量化を目的として，管径に応じて分割数を変えている。

Fig. 7 Guide Rail and its Specifications

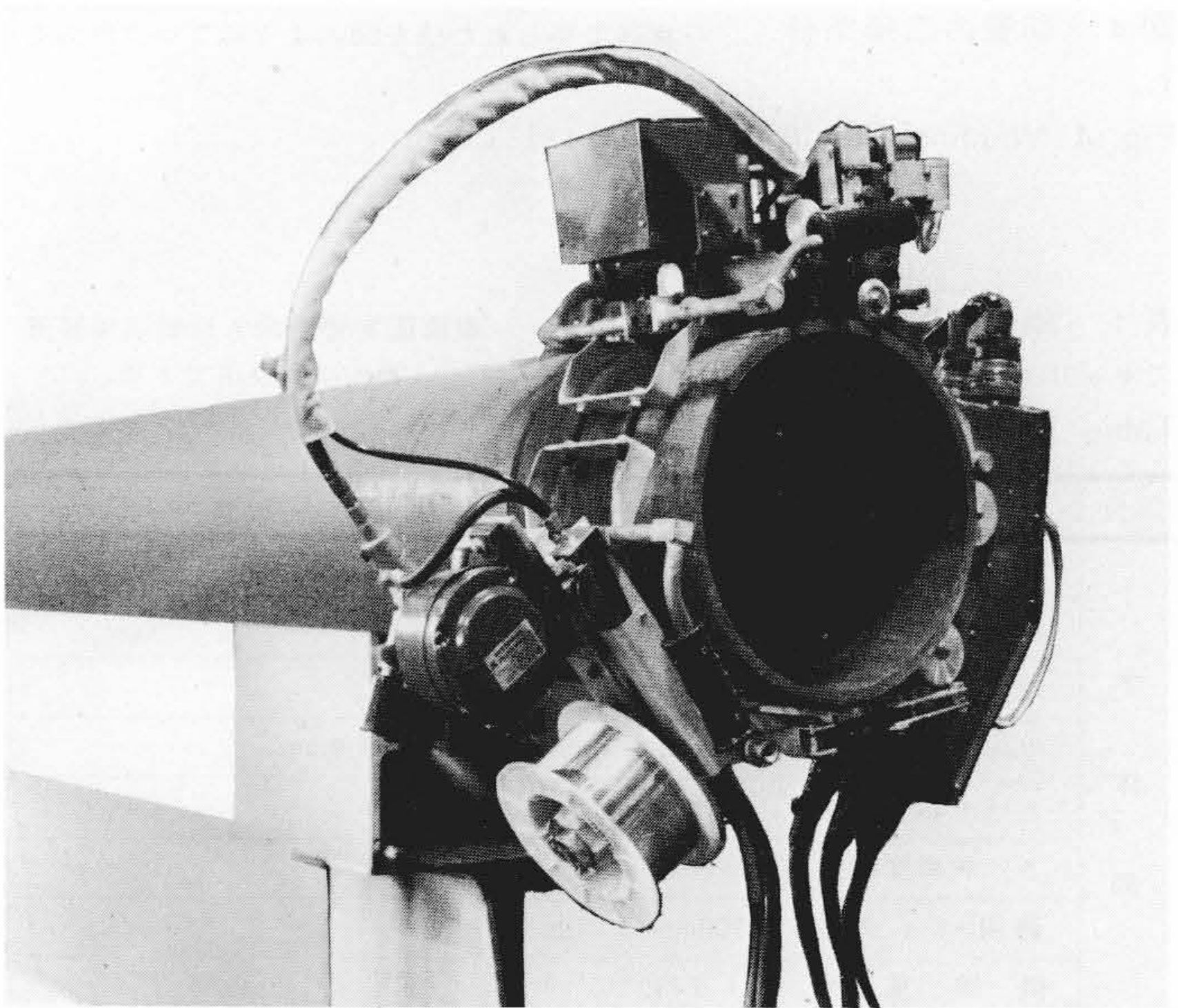


図8 鋼管全姿勢溶接装置 400φ鋼管にセットした装置の全景を示す。
Fig. 8 All Position Pipeline Welding Equipment

する位置に結合フックにより配置し，溶接ヘッド部の駆動モータにより転動する。

装置を3分割することにより，運搬，着脱が1人でできるようにし，結合リンクの長さを調整して，350～600φの管径に適用することを可能とした。

以下，主要部の機能について述べる。

(1) 姿勢検出

図9に示すように，±5度で導通となる水銀スイッチ12個を30度間隔で配置し本体に固定すると，本体の回転に伴い，30度ごとに次々とスイッチ(S)が導通し，同列のリレー(X)を作動させる。本装置では姿勢検出により6条件に順次移行する方式としてある。

アーク スタート位置は通常12時の位置から行なわれるが，ロータリスイッチ(R)によりスタート位置を設定し，溶接ヘッドをその位置にセットすることにより任意の位置から溶接を開始することができる。

なお，動作中のリレーのB接点により前列の自己保持を解

除するとともに、装置の揺動による誤動作を防止している。

(2) 溶接諸条件のリンク

層の重ね目に至ったとき、ロータリスイッチにより層切換えが行なわれ、トーチ高さ、ウィービング幅、ウィービングサイクル、ウィービング両端停止時間、溶接速度、溶接電流およびアーク電圧を次層の条件として設定するが、このうち各層で直線的に変化するウィービング幅と両端停止時間はトーチ高さに連動する方式としてある。

図10は、ウィービング部を示すものであるが、層切換によ

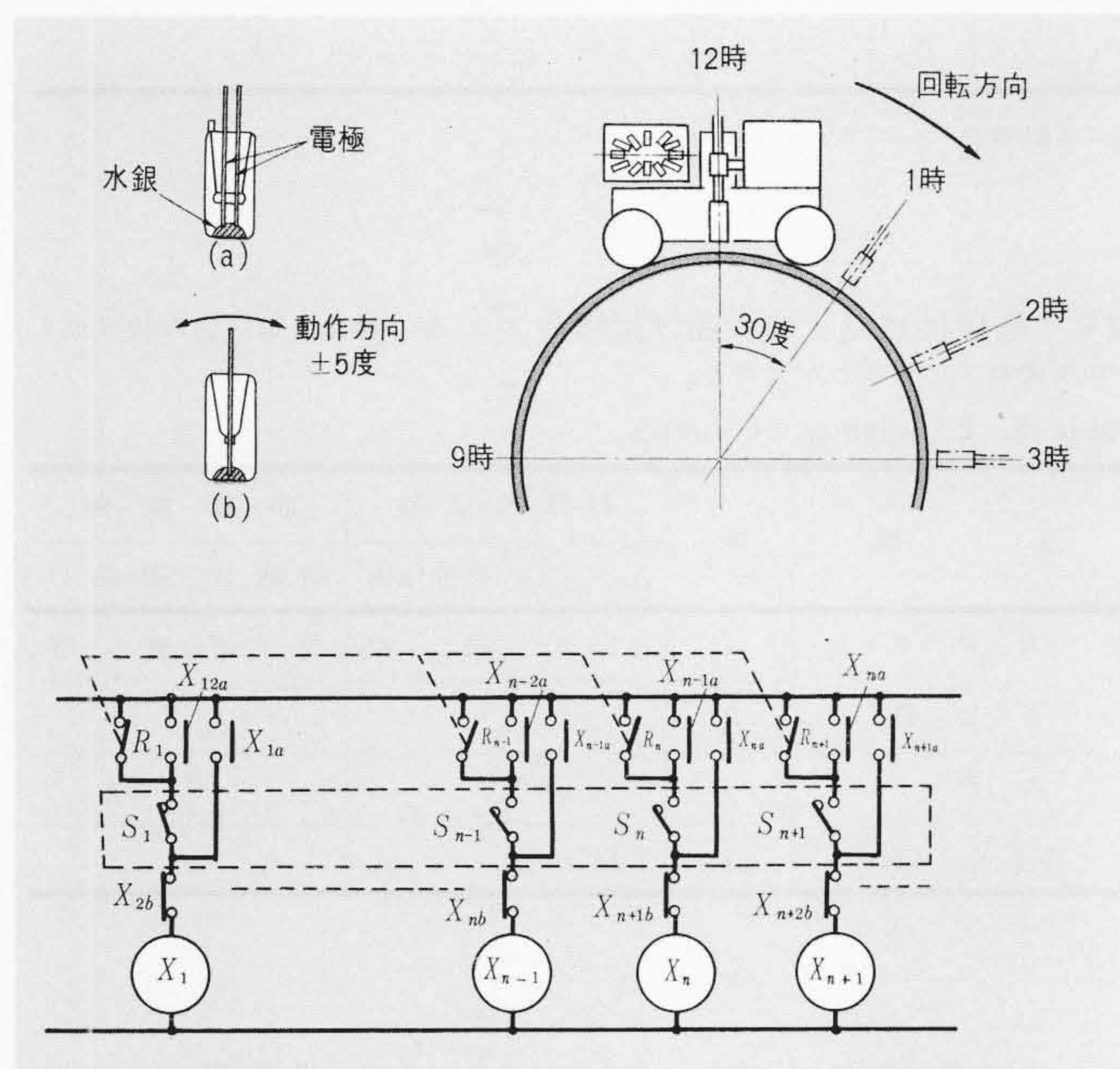


図9 姿勢検出機構 水銀スイッチ12個を、30度間隔に板上に配置して本体に取り付ける。

Fig. 9 Pick Up Unit for Welding Positions

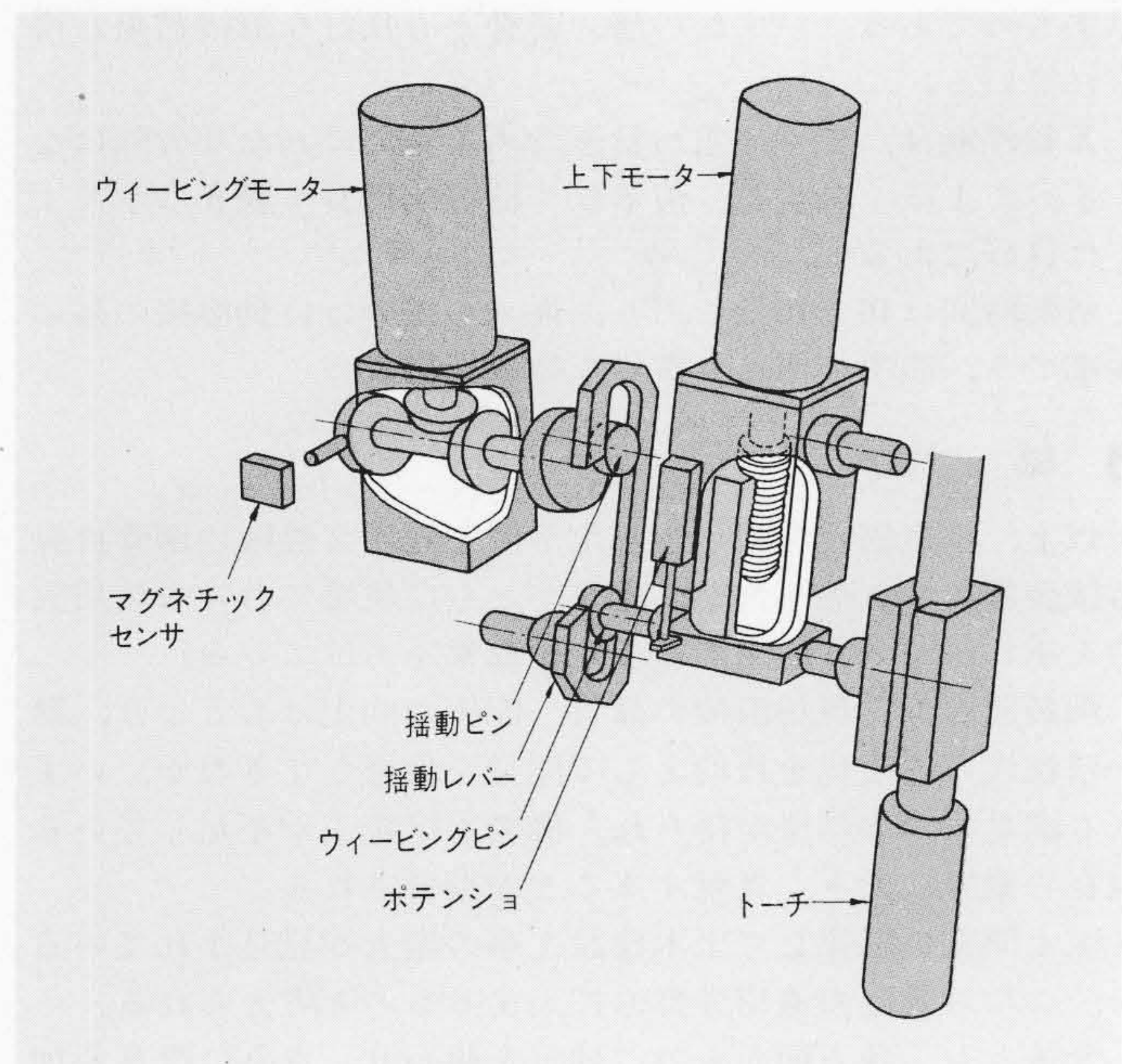


図10 ウィービング機構およびトーチ位置検出 ポテンシヨによりトーチ高さを、マグネチックセンサによりウィービング両端を検出する。

Fig. 10 Weaving Mechanism and Pick Up of Torch Position

表3 標準溶接条件 炭酸ガスではルートギャップ0mm、ノーガスでは1.5~2mm程度のギャップを設けている。

Table 3 Standard Welding Conditions

溶接法	(mm)	層 数	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (C/M)	ウィーピング幅 (mm)	トーチ 角 度 (°)
炭 酸 ガ ス	9.5	1	350～400	32～35	30～45	任意	15～20
		2	280～350	29～33	40～60	〃	0 ～ 15
	12.7	1	350～400	32～35	35～50	任意	15～20
		2	〃	〃	30～45	〃	〃
		3	280～350	29～33	40～60	〃	0 ～ 15
ノ ー ガ ス	9.5	1	330～380	24～28	20～28	任意	15～20
		2	300～350	〃	25～35	〃	0 ～ 15
	12.7	1	330～380	24～28	25～30	任意	15～20
		2	〃	〃	20～25	〃	〃
		3	300～350	〃	25～35	〃	0 ～ 15

表4 継手性能 炭酸ガスアークによる継手性能の例で、信頼性の高いことが分かる。

Table 4 Efficiency of Joints

引張強さ (kg/mm ²)	曲げ試験		衝撃値 vEo (kg·m)	X線試験
	表曲げ	裏曲げ		
45.8 (母材)	良	良	14.2	I級
43.5 (")	"	"		
44.2 (")	"	"		

リトーチ上下駆動モータを作動し、トーチ移動距離をポテンシヨで検出し、設定値に至ると停止する。また、ウィービング幅は、ウィービング駆動モータ出力の偏心ピンで揺動するレバーの長みぞをトーチ位置に直結したウィービングピンが移動してレバー比を変えることにより変化する。

なお、偏心ピンの反対側にはマグネチックセンサが置かれており、ウィービングの両端を検出する。

(3) ならい機構

磁輪を鋼管のような曲率面に吸着すると、最大磁路を構成するように、磁輪の軸心が曲率面の稜線に平行になろうとする働きがある。そのため、磁輪を有する溶接ヘッド部およびキャリアは、概略、管軸に垂直な面（開先）に対し平行に走行する。

トーチ・ウィービング部、上下・左右駆動部などは、リニアモーションベアリングを用いた滑動機構を介して、台車に搭載され、これら搭載部にガイドローラが直結されており、開先内、または開先に平行に設置されたガイドレールに沿って、台車との相対位置を変えることにより、トーチは正確に開先をならうことになる。

なお、左右ねじ送り機構により、トーチ位置を遠隔操作で微調整することもできる。

4 溶接結果

4.1 鋼管くい自動溶接

表3は標準溶接条件の一例を、図11、12および表4は、S TK-41 (直径 800mm, 板厚12mmの鋼管くいに適用した場合の外観), 断面マクロおよび継手性能をそれぞれ示すものである。

現在、鋼管の現地溶接は、ノーガス半自動が多く用いられているが、本法によれば継手性能に優れるほか、800φ程度の

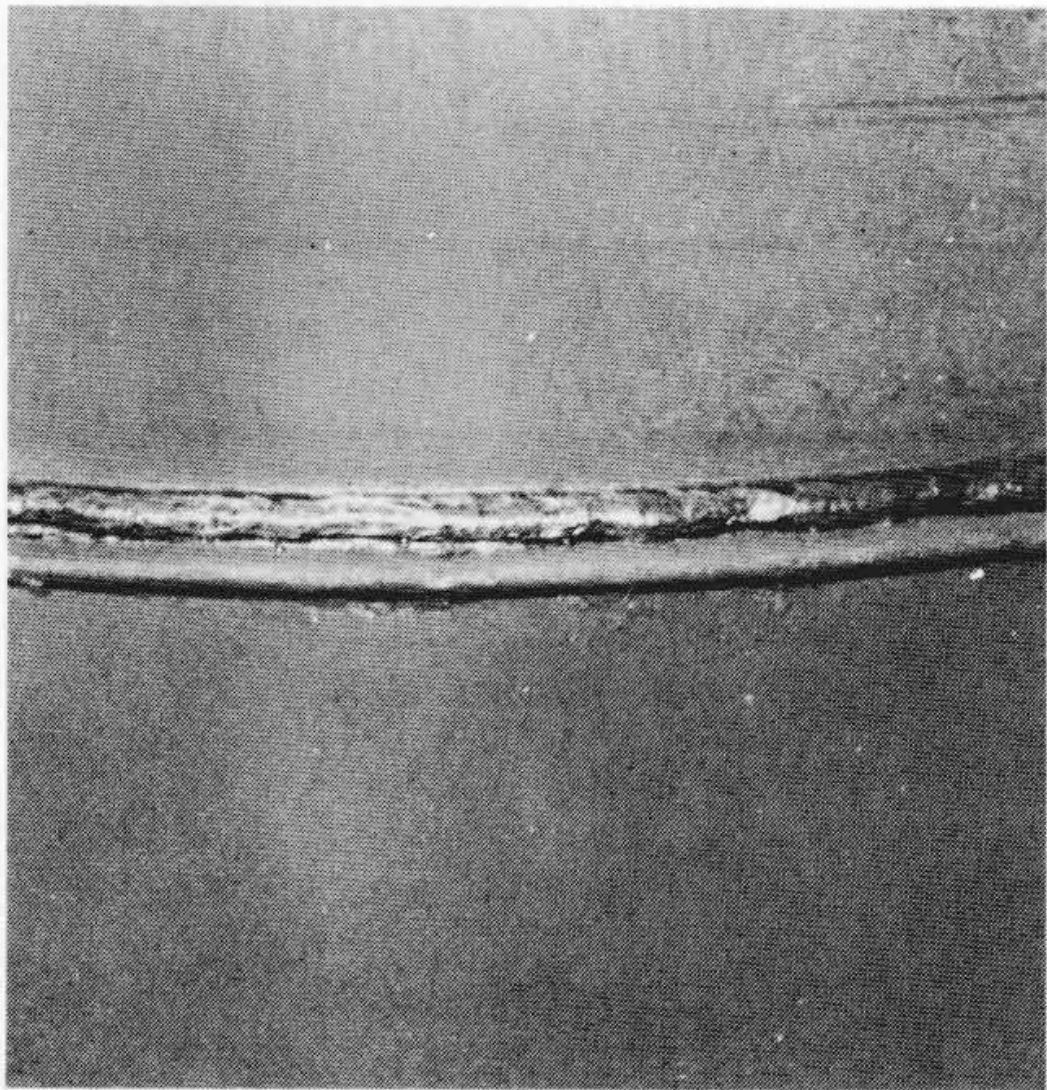


図11 ビード外観 炭酸ガス溶接による施工の一例を示す。

Fig. 11 Appearance of Beads

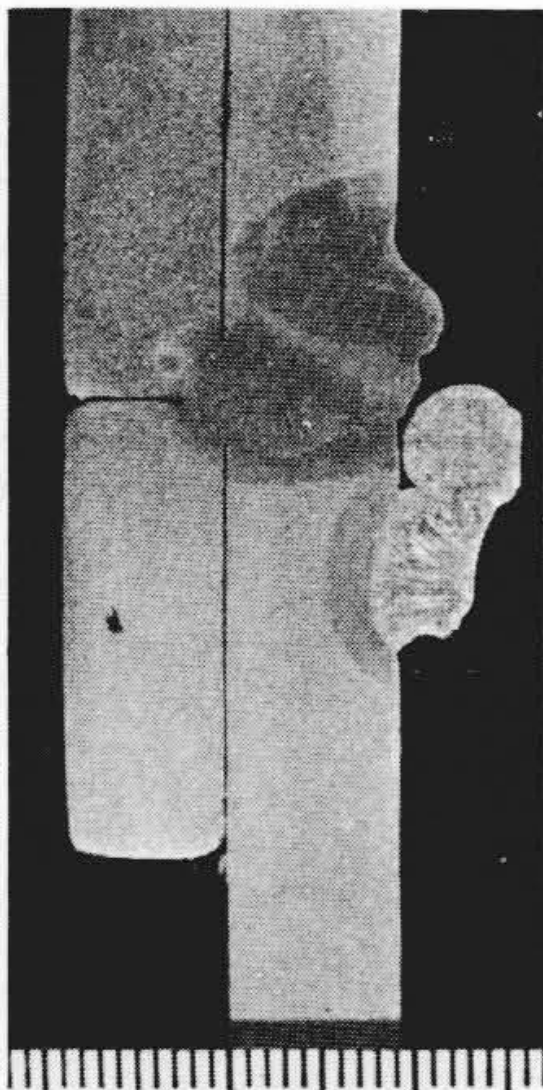
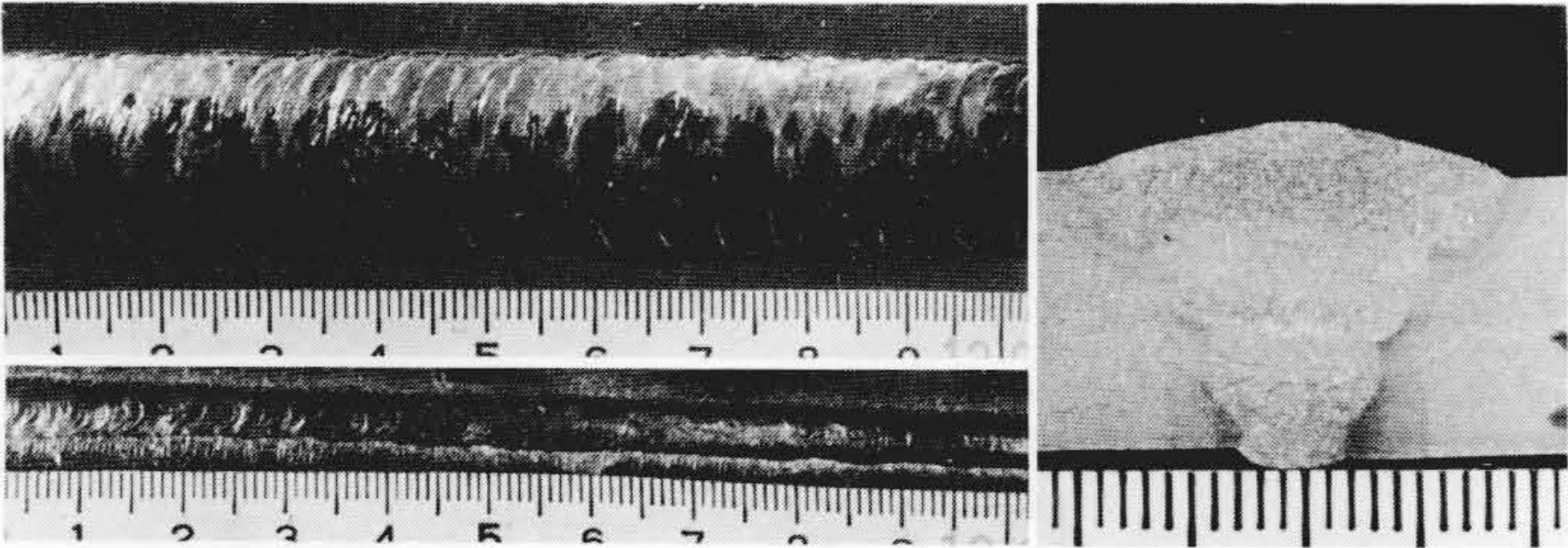


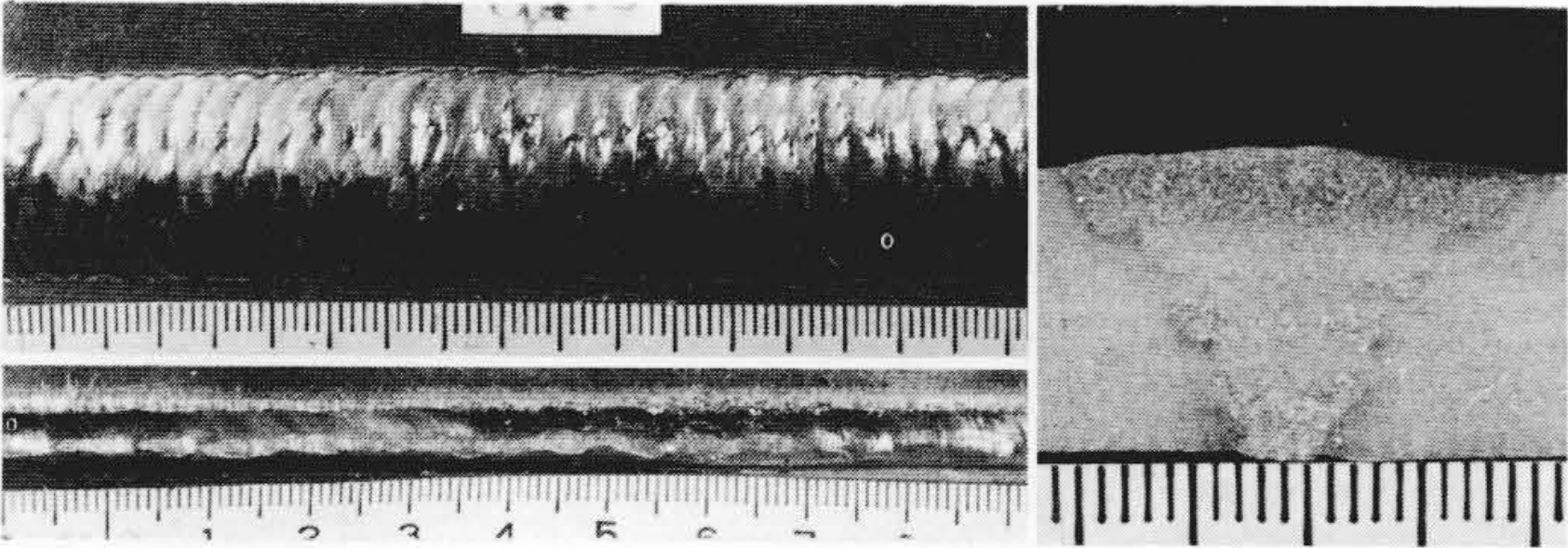
図12 マクロ断面
きわめて良好な累層が行なわれている。

Fig. 12 Macroscopic Photo

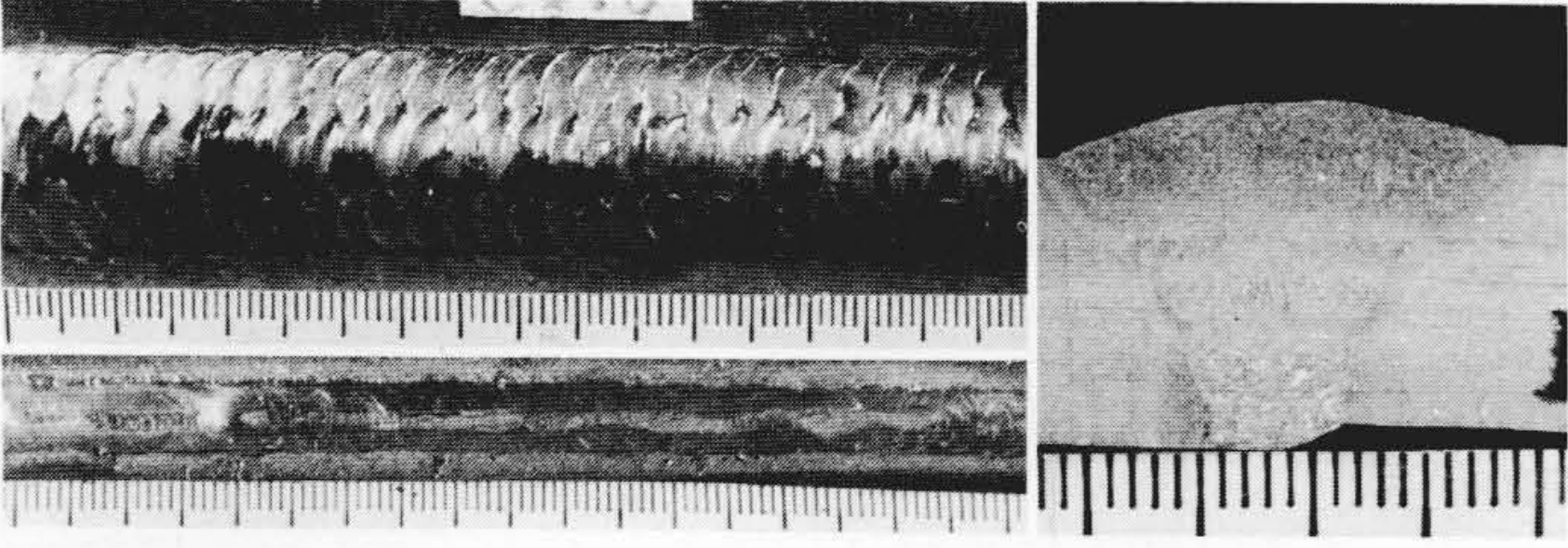
12時（下向き）



3時（立て向き下進）



6時（上向き）



9時（立て向き上進）

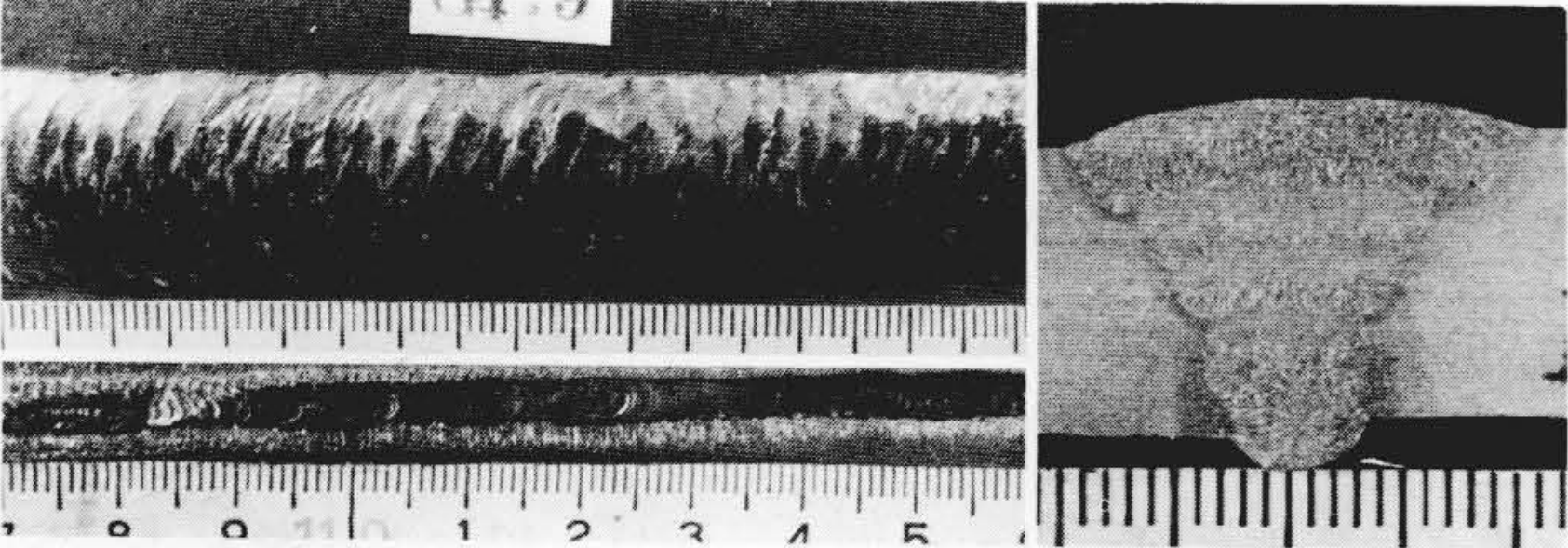


図13 ビード外観、裏波状況およびマクロ断面 各姿勢における外観、裏波およびマクロを示すが裏波、溶け込みとも安定していることが分かる。

Fig. 13 Appearance of Top-and Back-Beads and Macroscopic Section

表 5 標準溶接条件 400φ、12.5mmtの実管を適用した溶接条件のプログラム値を示す。

Table 5 Standard Welding Conditions Programed

層	電 流 (A)	電 圧 (V)	ワイーピング 回 (cpm)	ワイーピング 両端停止時間 (s)	溶 接 速 度 (cm/min)
1	120	17	70	0	10.5↗10.5↘10.5↗10.5↘10.5↗10.5↘14.5↗14.5↘16.0
2	"	"	57	0.25	13.8
3	"	"	41	0.35	"
4	"	"	22	0.50	7.5

注：60度V開先、ルートギャップ3mm

表 6 継手性能および側曲げ試験片 継手強度、溶け込み状況がきわめて優れていることが分かる。

Table 6 Efficiency of Joints

管 種	No.	引 張 り 試 験		曲 げ 試 験	
		T, S (kg/mm ²)	破断位置	側 曲 げ	裏 曲 げ
A P I	1	55.0	母 材	良 好	良 好
5 L B	2	"	"	"	"
A P I	1	61.5	"	"	"
5 L X, X60	2	60.0	"	"	"

くいで能率は約1.6倍となり、さらに厚板、大径管となるほどこの差は大きくなる。

4.2 鋼管全姿勢自動溶接

図13は、400φ、12.5mmt の鋼管の全周一方向連続多層溶接を表5の条件により行なったビード外観およびマクロ断面を示すものである。いずれの層、姿勢とも良好な溶接結果が得られている。

X線性能は、ビード重ね目を含め、全周にわたり欠陥はなくすべて1級を満足し、溶着部の機械的性質も表6に示すように良好である。

所要時間は46分10秒であり、従来の振分け自動溶接の1/2に短縮でき、能率の面でも良好な結果を得た。

5 結 言

以上、垂直固定管用および水平固定管用2機種の鋼管自動溶接装置につき述べたが、現在、ともに現場における使用実績を重ねつつあり、すでに多くの成果をあげている。

両装置とも、現場溶接の品質、能率の向上はもとより、継手信頼性の安定化を目的として開発を促進してきたが、いずれも満足すべき結果が得られ、優秀な溶接工が不足している現在の業界に大きく貢献することが期待される。

国土開発に関連して土木建設工事の増大が見込まれている際、これら装置の適用分野も拡大するものと考えられる。

今後とも、各方面からのご助言を賜わり、さらに改良を加え業界に寄与することを念願するものである。

最後に、本装置の開発にあたりご協力をいただいた川崎製鉄株式会社の関係各位に謝意を表わす次第である。