

寒冷地におけるラインパイプの円周溶接実験

On the Experiments of Girth Welding under Low Ambient Temperature

堀 義 春*

Yoshiharu Hori

浜 田 敬之介**

Keinosuke Hamada

志 賀 厚***

Atsushi Shiga

中 野 昭三郎***

Shozaburo Nakano

阿 草 一 男***

Kazuo Agusa

高 橋 千代丸****

Chiyomaru Takahashi

藤 本 智 也*****

Tomoya Fujimoto

Synopsis :

A linepipe in the arctic permafrost region service demands the combination of high tensile strength, notch toughness, and good field weldability. To assess the problems encountered in the welding, the field weldability test is carried out under ambient temperatures between -2° and -29°C .

While little disturbance for weldability is observed in manual or semi-automatic gas shielded metal arc processes, some improvement is required on the resistivity of welding equipment to lower temperatures in the case of fully-automatic process.

For the performance of girth welding of a high-test linepipe with larger diameter and thicker wall, manual metal arc with low hydrogen electrodes or CO_2 shielded semi-automatic welding is preferable for both the mechanical properties and susceptibility to cracking provided, however, that in the case of manual metal arc with cellulosic electrodes, the preheating must be controlled severely.

1. ま え が き

石油・天然ガスなどのエネルギー資源開発のために、北海、アラスカ、カナダ、シベリアといった寒冷地に大規模なパイプラインの敷設が計画され

ており、その一部はすでに施工が始められている。

これらの諸計画を対象として、パイプの製造にあたっては、敷設施工技術上の知識を基礎としたパイプの材質選定および現場溶接作業・検査技術などに関する寒冷地特有の現象を把握しておくことが必要となると思われる。これらの基礎となる

* 開発営業部パイプライン開発室課長

*** 技術研究所溶接研究室主任研究員

***** エンジニアリングセンター建設開発部鋼構造研究所

** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発技術室掛長

**** エンジニアリングセンター建設開発部鋼構造研究所主任研究員

データは、低温実験室を使用すれば得られるが、野外との気象条件の相違は解消できないので、両者を併行して検討することにし、49年1月下旬から2月中旬までの約20日間にわたり、北海道東部陸別町にて下記項目を目的とした寒冷地溶接実験を行った。

- (1) 配管・接合技術上の問題点の抽出
 - (2) 高張力厚肉大径鋼管の溶接性の検討
 - (3) 円周自動溶接装置の動作特性の検討
- 以下にそれぞれの実験結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験地の選定

アラスカや北海のような厳しい気象条件に類似した場所を日本で求めることは不可能なことから、本実験ではつぎの条件を備えた実験地を北海道内で選定することにした。

- (1) 気温が -20°C ～ -30°C まで低下すること

Table 1 The lowest ambient temperature for a month and days below -20°C at Rikubetsu

Month	Condition	1968	1969	1970	1971	1972
Jan.	Lowest temperature ($^{\circ}\text{C}$)	-26.0	-28.9	-30.6	-30.5	-32.4
	Days below -20°C	12	20	26	20	19
Feb.	Lowest temperature ($^{\circ}\text{C}$)	-28.0	-33.6	-23.8	-31.2	-31.0
	Days below -20°C	20	16	13	11	14

Table 2 Characteristics of girth welding process

Welding process		Characteristics			
		Workability	Efficiency	Defects	Mechanical properties
Manual arc welding	Downward welding with cellulosic electrode	○	△	×	×
	Upward welding with low hydrogen electrode	△	×	○	△
	Downward welding with low hydrogen electrode	△	△	○	○
Semi automatic CO_2 shielded metal arc welding		△	○	○	○
Automatic gas shielded metal arc welding		—	○	○	○

○ Good △ Normal × Bad

- (2) 風雪が少ないこと

- (3) 実験資材の運搬に大きな障害がないこと

調査検討を行った結果、足寄郡陸別町小利別が日本でも有数の寒冷地であることがわかった。現地視察の結果、つぎの諸点が明らかになった。小利別は帯広市と北見市を結ぶほぼ中心に位置し、国道242号線に隣接している。この地方の気象状況は札幌管区気象台の気象月報によれば、1～2月における最低気温およびそれが -20°C 以下になる頻度は **Table 1** のようである。また、この時期はほとんど無風であり、風のある日でも約5 m/sec以下である。

したがって小利別は、実験地に対する選定基準をほぼ満足し、低温下における溶接実験場としての適地であると判断された。なお実験場は広さ50m×100mの原野である。

2.2 実験内容

欧米ではパイプライン工事には能率を重視したスプレッド工法が採用され、その敷設速度を決定する要因は地盤状況、天候、溶接速度などであるとされている。しかし、前2者は敷設地特有の条件に大きく支配されるので、実験対象から除外し、今回の寒冷地実験は、各種溶接法の低温下における問題点の抽出に重点をおいてリング別溶接法を採用し、スプレッド工法の検討については今後の実験にゆずることにした。

パイプラインの現場円周溶接方法には **Table 2** のような種類があり、それぞれ特徴をもっている。欧米を中心とした諸外国ではもっぱら高セルローズ系棒による下進溶接が行われ、厚肉高張力

大径パイプにも採用されようとしている。溶接によって導入される水素による遅れわれや機械的性能を考えると、低水素系棒やガスシールド半自動溶接法を採用したほうが好ましく、さらに能率化や省力化を指向するならば全自動溶接法の適用が望まれる。したがって、今回の実験では、 -30°C 程度までの低温下における溶接作業性の調査とともに、厚肉高張力大径パイプの円周溶接を高セルローズ系棒、低水素系下進棒および CO_2 半自動溶接法で行い、溶接能率、機械的性質、溶接欠陥などの比較を行い、また中径管用全自動溶接機の低温下における動作状況を検討した。

実験に使用したパイプの材質、寸法などを **Table 3** に示す。

3. 配管・心出し作業

溶接作業を容易にするため作業場全体を整地し、配管に先立ちライン全体の水準測量を行って、管底高さ $0.8\sim 1\text{ m}$ を確保するようスキッドを配置した。

心出し作業としては、突合せたパイプ相互間の高低、ルート間隔などの微調整を一般にインターナルクランパーを用いて行うが、本実験では **Photo. 1** に示すような上下、左右、前後に移動可能な台を使用して心出し作業を行った。この作業フローチャートは **Fig. 1** に示すとおりであ

り、時間は大径管で最高 70 min 、中径管で最高 30 min を要した。

4. 大径管の円周溶接

今後のパイプライン計画には X65 以上の高強度材を寒冷地で施工するものが多く、その円周溶接の方法については議論が多い¹⁻⁸⁾。本実験では、低温下での溶接作業性および能率の検討に加えて、高強度材の円周溶接に高セルローズ系棒を適用することの可否を判定することも目的の一つとした。溶接は British Gas Council (BGC) の規格 GC/PS/P2 に準じて行い、 $0^{\circ}\sim -10^{\circ}\text{C}$ および $-20^{\circ}\sim -30^{\circ}\text{C}$ の環境下で 2 名の溶接士が半周ずつを分担してつぎの 3 方法で下進溶接した。

- (1) 高セルローズ系棒による溶接
- (2) 低水素系下進専用棒による溶接
- (3) ルート・パスのみを CO_2 アーク半自動で

行い、以後高セルローズ系による溶接
使用した溶接材料は **Table 4** に示すものである。

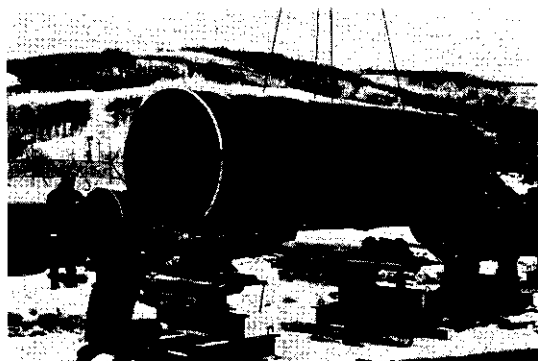


Photo. 1 Fitting operation using newly-devised pipe stands

Table 3 Dimensions of pipes used

Material	Outside diameter (mm)	Wall thickness (mm)	Length (m)
API 5LX X65	1 220	20.3	4
API 5LB	406.4	12.7	5

Table 4 Welding materials

	Brand name	Diameter of wire (mm)	Specification
Cellulosic electrode	HYP	4.0	E 7010
	85 P	4.8	E 7010
	Proto-type	5.0	E 7010
Low hydrogen electrode	Proto-type	5.0	E 8018
CO_2 shielded welding wire	KC-50	1.2	

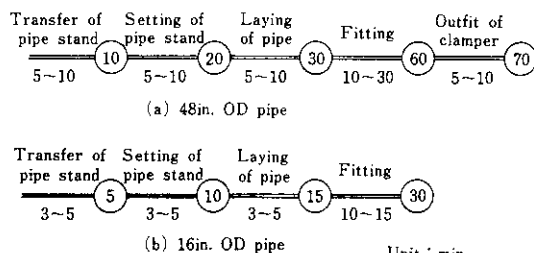


Fig. 1 Flowchart of fitting process

Table 5 Comparison of welding time

Electrode		Temperature (°C)	Root pass		Hot and subsequent pass		Total (h)
			Arc time (min)	Slag removing time (min)	Arc time (min)	Slag removing time (min)	
Cellulosic electrode	Proto-type	0~-10	65.0	14.5	260.7	156.3	8.28
	85P	-20~-30	33.3	13.5	241.3	113.0	6.69
Low hydrogen electrode	Proto-type	0~-10	25.3	6.9	161.1	42.7	3.93
		-20~-30	13.5	1.3	174.4	42.9	3.87

Table 6 Defects specified by API 1104 code

Type of defects	Specification
Inadequate penetration	Any individual shall not exceed 1in The total length in any 12in length of weld shall not exceed 1 in
Incomplete fusion (due to cold lap)	Any individual shall not exceed 2in The total length in any 12 in length of weld shall not exceed 2 in
Slag inclusions	Any individual shall not exceed 2in in length or $\frac{1}{16}$ in in width. The total length in any 12 in length of weld shall not exceed 2 in
Porosity	Any individual shall not exceed $\frac{1}{8}$ in or 25% of the pipe wall thickness, whichever is the lesser.
Cluster porosity	Cluster shall not exceed an area of $\frac{1}{2}$ in dia. The total length of cluster in any 12in length of weld shall not exceed $\frac{1}{2}$ in.

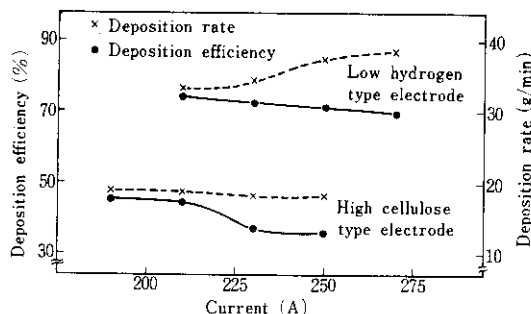


Fig. 2 Comparison of welding efficiency

4.1 溶接能率の比較

溶接能率は Table 5 に示すように気温および溶接棒の種類に影響され、低水素系棒のほうが高セルローズ系棒よりも著しく高能率であった。

これは Fig.2 に示すように、溶着効率および適正電流値の差によって溶着速度が高セルローズ系棒使用時の 19g/min に対し、低水素系棒使用時には約 2 倍の 38g/min となることに起因するも

のである。低温環境は溶接作業性には影響しなかったが、能率に対しては防寒のための厚着や夜間作業のための緩慢な動作が原因となって、通常環境における作業よりも長時間を要した。

4.2 溶接欠陥

API 規格 1104 で規定されている欠陥は溶接金属に発生するもののみであり、その規格値は Table 6 に示すとおりである。この規格値に基づいた X 線検査結果によると、不合格となった欠陥の種類はおもに気孔であった。発生個所は高セルローズ系棒の場合には場所、1 ビードにおける相対的位置や溶接姿勢に無関係であるが、低水素系棒の場合は、棒継部および上向姿勢部に集中していた。ここで使用した低水素系棒は下進専用のものであるから、そのスラグ特性は本質的に上向姿勢での作業性が悪く断続溶接となったために気孔の多発を招いたと考えられる。したがって、時計位置にして 4 → 8 時の上向姿勢部は全姿勢溶接用低水素系

棒を使用したほうがよい。

熱影響部に生じるわれは、当初予想されたボン
ドに沿うものはほとんどなく、鋼板表面に平行な
ラメラテア状のものが大部分であった。われの
長さは0.1mm以下の微少なものが多く、セル
ローズ系棒を使用したときには **Photo. 2** のよう
に1~2mm成長したものが観察された。

4.3 溶接継手の機械的性質

API 規格1104にしたがい引張試験、Nick Break
試験、側曲げ試験、衝撃試験、硬さ試験を行った。

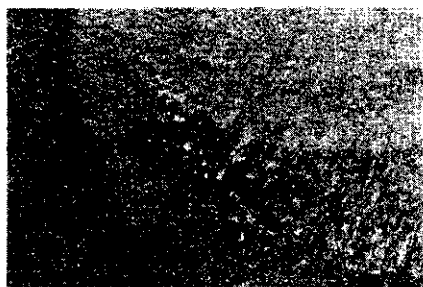
使用した高セルローズ系棒は強度が49kg/mm²
級の E7010に属するものであり、母材よりも低
強度であったため、引張試験では溶接金属部で破
断し、Nick Break 試験と同様に破面には多数の
ブローホールが認められ、側曲げ試験でもブロー
ホールを起点として、われあるいは破断したもの
が60~70%あった。これに反して低水素系棒を使

用した継手は、いずれの試験でもその90%以上が
規格値を満足した。

衝撃試験の結果はとうぜん低水素系棒を使用し
たもののほうが良好であった。これは **Photo. 3**
に示すように低水素系棒による溶接金属のミクロ
組織が初析フェライトを含む微細なものであるの
に対し、高セルローズ系棒によるものは同じく初
析フェライトを含むが、比較的大きな針状組織と
なっていたことも主要因と考えられる。

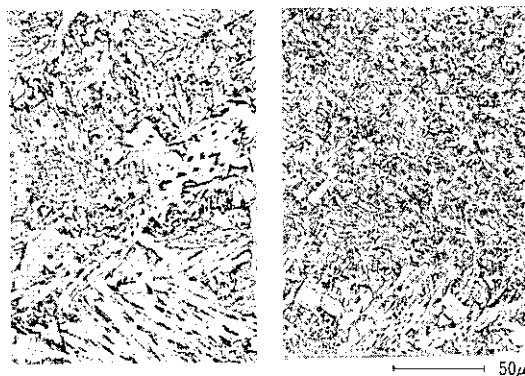
-20°~-30°Cの環境下で行った溶接継手の機
械試験結果を一例として **Table 7** に示す。

前述のように、X線透過試験ではいずれの溶接
棒を用いても気孔が認められたにもかかわらず、
機械試験結果が異なったのは、それぞれの溶接金
属本来の強度、延性、じん性の相違が現われたも
のと思われる。



1 mm

Photo. 2 A typical crack observed in HAZ



(a) Cellulosic electrode (b) Low hydrogen electrode
Photo. 3 Microstructure of weld metal

Table 7 Results of mechanical tests for weld joint

Test	Specification	Location	Tension		Nick Break	Side bend	Charpy V-notch	
			Tensile strength (kg/mm ²)	Fracture part	There shall be no more than 6 gas pocket. Slag inclusions shall not be more than 1/8 in in length	No crack or other defect exceeding 1/8 in	2vE ₀	2vE ₋₂₀
			>56.2	Base metal			(kg·m)	(kg·m)
Cellulosic	0		57.8	Weld metal	3 gas pockets	No defect	8.8	6.4
	3		61.8	Base metal	5 gas pockets 5mm slag inclusion	Fractured	10.0	7.3
	6		50.5	Weld metal	14 gas pockets	Fractured	5.9	4.1
Low hydrogen	0		60.7	Base metal	2 gas pockets	No defect	17.6	11.0
	3		60.4	Base metal	2 gas pockets	No defect	17.8	11.0
	6		58.0	Base metal	a gas pocket	No defect	16.6	8.8

4.4 円周溶接時のわれ

(1) 溶接われ試験方法

バッテリー・ビード下われ試験法がパイプライン敷設工事会社で最も広く用いられている方法であり、一般につぎのようにいわれている。

a) 15～20%以下のわれ率であれば、現場円周溶接継手において遅れ破壊の問題は生じない。

b) 15～20%以上50～80%以下のわれ率であれば、若干の応力緩和策を採用することにより、円周継手溶接におけるわれ発生を防止できる。

いっぽう、BGC規格では溶接ボンド部に沿って生じるわれを考慮して、Table 8 のような条件で円周溶接を行い、「溶接金属、熱影響部の最高硬さが母材のそれより内面側で75ビッカース硬度、表面側で125ビッカース硬度を超えないこと」とされている。

板厚12.7mmのX65相当材を使用して、セルローズ系棒による下進溶接継手部の断面硬さ試験およびバッテリー・ビード下われ試験を行った結果が

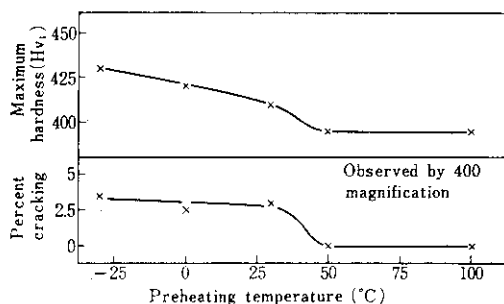


Fig. 3 Relation between HAZ maximum hardness and underbead cracking

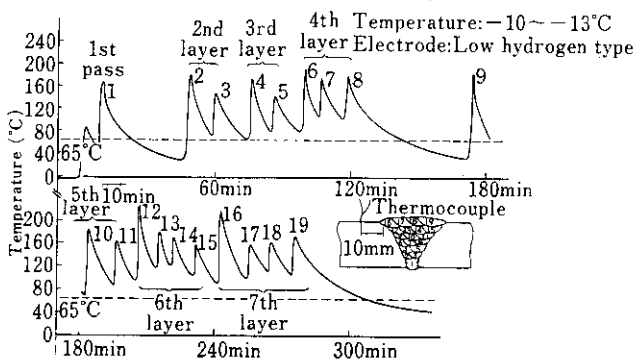


Fig. 4 Pipe surface temperature during welding

Table 8 Girth welding conditions

Weld pass	Electrode diameter (mm)	Current (A)	Welding speed (cm/min)
Root pass	4	160~180	30
Hot pass	4 or 5	180~200	—
First filler pass	4 or 5	160~200	—
Second filler to cap pass	4 or 5	160~200	—

When the ambient temperature is less than 0°C a preheat temperature of 65°C minimum shall be maintained

Table 9 Results of underbead cracking test

Testing temperature (°C)	-30	0	25	50	100
Percent cracking	0	0	0	0	0

Table 10 Hardness in the cross section of joint

Location of hardness reading	No.	H _{V10}	No.	H _{V10}
	1	180	8	184
	2	219	9	186
	3	230	10	206
	4	186	11	210
	5	193	12	226
	6	227	13	209
	7	199	14	184

Table 9 であり、継手部断面にわれは認められず、上述の a) が確認され、また BGC 規格における硬度差の要求値も Table 10 のように満足されていた。なお、Table 9 のビード下われ率は25

倍に拡大して検鏡した結果であり、これを400倍の高倍率で検査すると0.1mm程度のわれが生じていることが発見された。このマイクロわれは Fig. 3 に示すように熱影響部の最高硬さが Hv395 以上の場合に生じるもので、予熱温度を50°C以上にするとう防止できることがわかった。

(2) 溶接施工中のパイプの温度変化

開先上縁部から10mm離れた鋼板表面がうける溶接熱サイクルの一例が Fig. 4 である。予熱を施さなかったため、ルートパス溶接開始時の鋼板表面温度は気温に近い

-10°Cであり、以後溶接熱による急熱と溶接部周辺への熱伝導による徐冷のくりかえし熱履歴をうける。5層1パス目の溶接開始時の温度が低いのは、4層終了後約30min間放置したためである。

Fig. 5は各パス溶接開始時の温度を示すもので、ルートパスから溶接が進むにつれてこの温度は上昇し、上述の5層1パス目以外は65°C以上を保っている。BGCの規格によると、気温が0°C以下のときはわれ防止のため65°C以上の予熱を行うように規定しているが、本実験で使用した厚肉の大径管でも、3層以後の休止時間をあまり大きくしなければ、65°C以上に保持することは予熱を行わずとも連続溶接するだけで可能であった。

Fig. 6は各パスの溶接後のパイプの温度変化を示すものであり、溶接開始時のパイプ温度によって、65°Cまで冷却される時間はかなり変わってくる。ルートパスでは溶接開始時のパイプ温度が-10°Cであったから約10minで65°Cまで冷却したが、溶接初温が100°C程度に上昇した4層および7層では、この時間が20min以上に増加した。水素によるわれだけを考えれば、ルートパスでは溶接終了後10min以内に次層、すなわちホッ

トパス溶接を行えばよいが、これが不可能な場合には予熱をしなければならない。図中の破線は65°Cの予熱を施したときのルートパスの推定冷却曲線であり、予熱によってルートパスの冷却曲線を4層以後の冷却曲線に一致させることができる。3層以後は最終層まで冷却曲線はほとんど変わらないから、溶接の間隔が20min以上にならないかぎり予熱に対する配慮は不要となる。

4.5 スプレッド工法への適用

スプレッド工法はパイプライン敷設速度を早めるために、継手を溶接層によって分割し、各層の溶接を数個所において同時並行的に行う方法で、個々の作業者は自己の分担層だけを溶接すればよいことになる。この場合溶接作業は、ルートパスとホットパスを分担するストリンガーチーム、中間層を分担するフィラーパスチーム、および最終層を分担するキャップパスチームにわかれて、これらを板厚に応じて適当数編成して行われる。したがって、敷設速度はストリンガーチームの溶接速度によって律速され、たとえば、毎分50cmの速度をもった溶接法を外径48"のパイプに適用し電極数を2とすると、1継手のホットパス終了までに約8minを要し、1日10hr労働とすれば75継手/日を完成できると計算される。

本実験で検討した溶接法を48"径パイプラインのスプレッド工法に適用する場合を考えると、ストリンガーチームの溶接速度および所要時間の概略はTable 11に示すようになり、投入溶接士数によって能率が変化する。Table 11において手溶接のスラグ除去時間を1~2minとして加算すると、4分割手溶接法におけるストリンガーチームの溶接時間は約12minとなり約50継手/日が得られる。いっぽう、半自動CO₂アーク溶接法の場合は、7.6minで約80継手/日が可能である。Table 5にみられた低水素系棒と高セルロース系棒における能率差は、Table 11のスプレッド法ではなくなったが、これは低水素系下進専用棒が上向姿勢には使用できないので、この部分が上進溶接となるためである。しかし、1継手に注目すると、総パス数は低水素系棒のほうが少ないので、溶接士数を軽減できる利点がある。

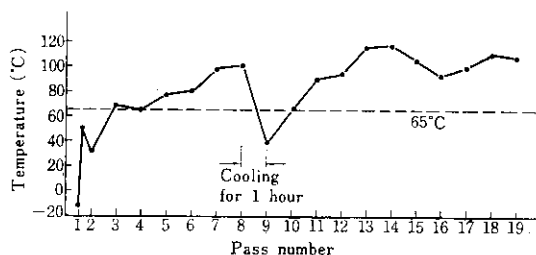


Fig. 5 Pipe surface temperature before welding

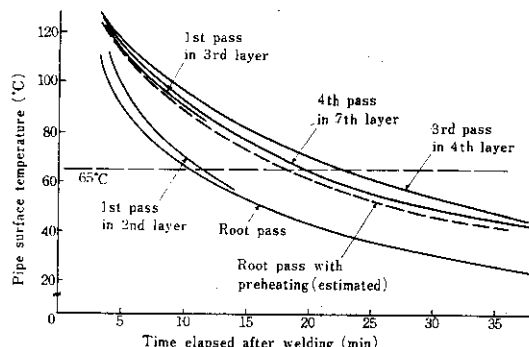


Fig. 6 Cooling curve of pipe surface temperature after welding

Table 11 Welding time estimated in application to spread practice

Welding procedure	Welding location	2 partition method		4 partition method		Remarks
		Welding speed (cm/min)	Welding time of root & hot pass (min)	Welding speed (cm/min)	Welding time of root & hot pass (min)	
Downward welding with cellulosic electrode	A	20	17.2	20	10.1	
	B	—	—	18	10.1	
Down & upward welding with low hydrogen electrode	A	—	—	25	10.2	
	B	—	—	12	10.6	
Downward welding by CO ₂ shielded metal arc	A	25	15.3	25	7.6	
	B	—	—	25	7.6	

上述のように、スプレッド工法ではルートパスの溶接向上がその要点であり、このためには開先精度の向上が条件となる。一般の溶接施工においては開先精度の不良を溶接操作で補っているが、単一形状で高速性に対する要請がとくに厳しいパイプラインの施工では、開先精度の向上によって高速性を達成している。たとえば、精度を $\pm 0.005"$ (0.127mm)という精密な値にすることによって、全自動溶接のルートパス速度を $70\sim 150\text{cm/min}$ まで上昇させた例がある。また、高セルローズ系棒を使用する場合でも、本実験では約 20cm/min であったのに対して、欧米では $30\sim 70\text{cm/min}$ という高速溶接を行っており、この際の開先精度は本実験における $\pm 1.5\text{mm}$ に対して 0.6mm であった。

5. 自動溶接機器の動作特性

パイプラインの現場溶接には、これまで、おもに被覆アーク溶接法が適用されてきたが、省力化、能率化および継手性能向上などの見地から、今後、自動溶接の必要性がますます高まると考えられる。そこで、低温環境下で使用する自動溶接機に必要な条件を把握するため、市販の中経管円周自動溶接装置と、当社で試作した1方向連続回転専用溶接装置の動作特性、ならびに使用限界などに関する検討を行った。

5.1 実験方法

実験に用いた溶接装置は、エンジン発電機、円周溶接機および内面固定装置に大別でき、これらを Table 12 のように組合わせて溶接した。

供試鋼管は、肉厚 0.5 インチ、外径 16 インチの API 5 LB 相当品であり、溶接用ワイヤおよび裏当て用ガラステープとして、それぞれ KC-45 ($0.9\text{mm}\phi$) および BF-1 (8板重ね)を用い、 $-2^{\circ}\sim -28^{\circ}\text{C}$ 間の種々の気温のもとで10継手の溶接を行った。開先形状は、 60°V 形、ルートフェイスおよびルートギャップは、それぞれ 1.5 および 3.0mm とし、1方向連続回転法による4層盛溶接を行った。

溶接結果に影響をおよぼす条件因子としては、電流、電圧、溶接速度、溶接トーチのウィビング回数および両端停止時間などがあげられるが、円周溶接機のこれら各要因の調整回路には、モータが多く用いられているため、気温による回転数の変動が考えられる。寒冷地における溶接条件の設定は、あらかじめ $+10^{\circ}\text{C}$ 程度の気温下でえた1

Table 12 Welding apparatus

Code	Engine generator	Welding transformer	Girth welder	Internal clamper
A	Yanmar YPG-40BB	Hitachi TS-200	Kawasaki New machine	Denyo DIC-400
B	Denyo DCV 250 AC 3		Denyo APW-400	

方向回転溶接の適正条件を再現できるようにし、気温によるダイヤル設定位置のずれから円周溶接機各部の動作特性を評価した。また、エンジン発電機および内面固定装置についても若干の検討を行った。

5.2 機器の動作特性

エンジン発電機の低温下における主たる問題点は、始動が困難になることおよび冷却水が凍結しやすいことなどである。YPG-40BBには、容量12V-120AHの新品のバッテリーを用いたが、 -15°C 程度までは特別な措置を構じなくても始動でき、 -20°C ではバッテリーの予熱が必要であった。

内面固定装置DIC-400は、 -15°C においてエアもれを発生した。これは、エアシリンダのOリングが低温下で収縮もしくは弾性変形能を失ったためと考えられる。

円周溶接機の動作試験は、主としてワイヤ送給速度、走行速度およびウイビング回数について行ったが、 -10°C 程度までの各モータの回転数は、2~3min間のウォーミングアップにより $+10^{\circ}\text{C}$ での値と大差なくなった。しかし、 -15°C 程度から回転数の低下が大きくなり、たとえば、 -20°C での走行速度は、 $+10^{\circ}\text{C}$ での値より約20%減少した。このようなモータ回転数の低下は、照明灯または小形温風機による局部加熱で解決できたが、 -30°C 程度の極寒地で常用する溶接機には、装置そのものの耐寒性を増すくふうも必要であろう。

5.3 溶接継手の性質

寒冷環境下でえられた溶接継手は、機器の動作が安定して常温における適正条件が再現できた場

合には良好な形状を示し、溶接現象そのものには、低温であるための問題点は認められなかった。また、継手の機械的性質は、引張強さが平均 $54.5\text{kg}/\text{mm}^2$ 、表・裏曲げとも良好であり、常温下での性質と差異はなかった。

1方向連続回転溶接を行った代表的な4継手について、JIS Z 3104に基づくX線透過試験を行ったところ、継手全周にわたって1級の成績を示し、現状のままの機器でも若干の加熱操作を加えれば、 -30°C 程度まで使用できることがわかった。

6. ま と め

寒冷地におけるラインパイプの現場円周溶接実験を行い、溶接技術についてつぎの結論が得られた。

- (1) 気温が -30°C 程度の寒冷地においても、手溶接および半自動溶接作業は大きな支障なしに行えることが確認できたが、全自動溶接法においてはその機器の耐寒性を増すくふうが必要である。
- (2) 厚肉高張力大径パイプの溶接にセルローズ系棒を使用することは、溶接能率・機械性能・耐われ性などあらゆる点から不适当であり、低水素系棒あるいは CO_2 アークなどの溶接法か、あるいは十分な予熱管理を採用する必要がある。
- (3) 今後の問題として、スプレッド工法における芯出し・配管方法、施工機械、人員構成、敷設能率、適用限界などの詳細を調査しておくべきである。
- (4) 現場での高速円周溶接を実現するためには、とくに自動溶接機器開発において、開先精度とルートパス溶接速度の関係を十分に把握する必要がある。

参 考 文 献

- 1) J.G. Woerdemann: Welding Engineer, (1972) 7, 25
- 2) H. Thomasson: Bull. Ser. Welding Res. Council, (1971) 1
- 3) W. L. Mercer, D. Needham: I. G. E. Journal, (1970) 4, 265
- 4) 長谷部, 木村, 北川: 住友金属, 24 (1972) 2, 26