

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.6 (1974) No.4

実用自動溶接装置によるパイプライン現場実験工事報告

A Pipeline Execution Test Using Practical Automatic Welding Equipment

堀 義春(Yoshiharu Hori) 中川 宏夫(Hiroo Nakagawa)

要旨：

API 5LX X60 で外径 16 インチ肉厚 1/2 インチ、長さ 6000mm の鋼管をつかって、全長 72 m のパイプライン敷設実験工事をフィールドで繰り返しおこなった。実用的な国産自動溶接装置 (CO₂-Ar) を駆使し、パイプ敷設トレンチの上、およびトレンチ内で、配列ー溶接ー吊りおろしータイイン等の諸作業を組合わせて実験をおこなうとともに、さらにサブヤードで新型非破壊検査装置 (放射線検査) の試験と、溶接継手部の特殊塗覆装実験をおこなった。また接合工法は、リング別変形ダブル・アセンブリ工法と、スプレッド・アセンブリ工法の 2 種類により、長尺管を陸つぎしてからトレンチでタイインする新工法を適用している。実験作業のタイムスタディで得られた資料をもとに作業の標準化をおこない、またシミュレーションによって標準工法のモデルを設計した。さらに実験工事をとおして施工技術と機器取扱い上の要点を把握することができた。

Synopsis：

In this experimental laying of 72m long pipeline, a series of field tests were conducted using pipe 6000mm long with 16-inch O.D. and 1/2-inch wall thickness specified under API 5LX X60. The tests were performed above and in the pipeline trench by combining various operations, such as laying, welding, lowering-in, tying-in, etc., using a Japan-made practical automatic (CO₂-Ar) welder. Also, in the sub-yard, tests were carried out on a new model of non-destructive (radiographic) inspection equipment and a special coating for weld zone. A new connecting method was also taken in this experiment; after pipes were connected with each other above the trench, using the "double-assembly method" and the "spread-assembly method", they were tied-in in the trench. Based on data obtained from a time-study of the experiments, the work has been standardized, and a standard process model has been designed by simulation. Major points for execution techniques and handling equipment have been confirmed by subsequent experiments.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

実用自動溶接装置によるパイプライン現場実験工事報告

A Pipeline Execution Test Using Practical Automatic Welding Equipment

堀 義 春*
Yoshiharu Hori

中 川 宏 夫**
Hiroo Nakagawa

Synopsis :

In this experimental laying of 72m long pipeline, a series of field tests were conducted using pipe 6000mm long with 16-inch O.D. and 1/2-inch wall thickness specified under API 5LX X60. The tests were performed above and in the pipeline trench by combining various operations, such as laying, welding, lowering-in, tying-in, etc., using a Japan-made practical automatic (CO₂-Ar) welder. Also, in the sub-yard, tests were carried out on a new model of non-destructive (radiographic) inspection equipment and a special coating for weld zone.

A new connecting method was also taken in this experiment; after pipes were connected with each other above the trench, using the "double-assembly method" and the "spread-assembly method", they were tied-in in the trench.

Based on data obtained from a time-study of the experiments, the work has been standardized, and a standard process model has been designed by simulation. Major points for execution techniques and handling equipment have been confirmed by subsequent experiments.

1. まえがき

石油、ガスの大規模パイプライン建設の基本的特徴の一つとして、長距離敷設があげられる。したがって、パイプラインの建設にあたっては、溶接接合部の品質を確保することはもちろんのこと、敷設の合理化による工期短縮、およびコストの低減が要点と考えられる。

つぎに工事内容を考えてみるに、土木工事についてはほとんど問題ないが、溶接作業、およびそれに付随する準備前作業については、いまだ未解決の問題が多く、各作業個々の技術的課題を解決するだけでなく、個々の作業を組合せた総合的施

工システムを確立する必要がある、これも重要な課題になる。

またパイプライン建設に永い歴史と豊富な経験をもつ海外では、近年になってパイプライン建設に高度な自動溶接システムを導入・実用化している。

一方、わが国ではようやくフィールド用自動溶接装置が開発され実用化の緒についたばかりであり、この種装置を駆使した施工システムの研究は少ないのが現状である。

当社では、国産の自動溶接装置による基礎および開発研究をすすめ、成果をあげつつあるが、これらの研究と並行しておこなってきた自動溶接工の技量養成もおわったので、今回、国産自動溶接

* 開発営業部パイプライン開発室課長

** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発技術室

装置による配管，溶接接合全般にわたる現場パイプライン敷設実験工事をおこなった。さらに実験施工をとおして収集した諸データを解析し，48m長尺管アセンブリを陸つぎで仕上げ，トレンチでタイインする2工法のモデルを設計した。

なおこれらのほか国産自動溶接装置の性能，溶接部の品質，パイプラインの高圧耐圧試験，パイプライン用国産自走式直角全周放射型X線検査装置の走行試験，マスチック型タールエポキシによる溶接継手部の特殊防食塗覆装要領の修得等の関連作業もあわせて実施した。

また本実験敷設工法の特徴は，特殊な敷設条件を設定されていることである。すなわち時間的に重機を自由に駆使できないライトウエーとか，現在国鉄で企画されている南関東石油パイプラインのように，軌道運搬車で線路わきトレンチへ間欠的にパイプを配列したあとの小運搬，陸つぎ接合，トレンチ吊りおろし，タイイン接合等の諸作業に重機が使用できないというような苛酷な施工条件が設定されている。

2. 実験概要

- (1) 実験時期 昭和48年3，4月
 (2) 実験場所 当社千葉製鉄所西工場水道新設計画ライン

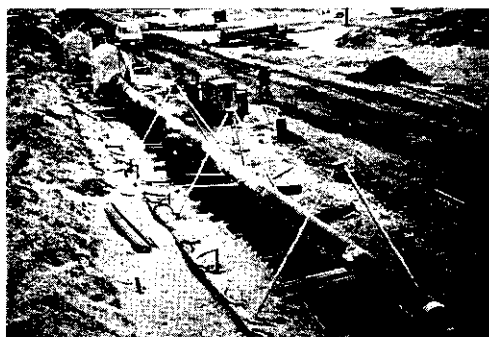


写真 1 長尺アセンブリ接合

- (3) 供試体 規格：API 5L X 60
 寸法：直管 $16\text{in} \times \frac{1}{2}\text{in} \times 6000\text{mm}$
 曲管 $16\text{in} \times \frac{1}{2}\text{in} \times (3\text{DR}, 5\text{DR}) \times 90^\circ$
 開先：角度 $30^\circ \pm 5^\circ$
 ルートフェース $1.0 \sim 2.4\text{mm}$
 塗覆装：外面コーラルエナメル
 JIS G3452 7mm以上
- (4) 主要使用機器類
 APW-400自動溶接装置（表1参照）3台
 DCI-250AC3SB（表2参照）3台
 チューブ式バックリングインターナルクランプ 3セット
 AGC-400D パイプ自動ガス切断機 1セット

表 1 溶接装置諸元

溶 接 機	パイプ円周自動溶接装置	
型 式	APW-400（デンヨー（株）製） 2分割組立構造	
溶 接 法	CO ₂ -A アーク溶接法による全姿勢自動溶接	
適 用 管 径	406.4mmφ（16B）	
溶接ワイヤー	0.9mmφ	
要 目	溶接電源	定電圧直流逆極性
	溶接電流	250A
	溶接電圧	16～20V
	走行速度	～650mm/min
	ワイヤ送給速度	11m/min（最大）
	オンレート回数	0～100回/min
	オンレート幅	0～20mm
	両端停止時間	0～0.5sec
	トーチ上下調整幅	25mm
	トーチ左右調整幅	55mm

表 2 溶接電源

型 式		性 能、諸 元	
		DCI-250-AC3 SB (デンヨー(株)製)	
ディーゼルエンジン	名 称	三菱重工業 燃 KE31	
	型 式	4 サイクル水冷縦形オーバーヘッドバルブ式	
	総 排 気 量	2199cc	
	1 時間定格出力	31PS/1800rpm	
	使 用 燃 料	自動車用軽油 60 ϕ	
溶 接 用 発 電 機	特 性	垂下特性電源	定電圧特性電源
	定 格 出 力	8.1kW	7.5kW
	定 格 電 流	250 A	250 A
	定 格 電 圧	32.5 V	25 V
	電 流 調 整 範 囲	40~280 A	
	定 格 回 転 数	1800rpm	
交 流 補 助 電 源	定 格 出 力	3kW (1 ϕ -220V/1 ϕ -110V)	
	定 格 電 流	15/13.7 A	
	定 格 電 圧	110/220 V	
	定 格 周 波 数	60Hz	
	励 磁 方 式	アーマチュア回転自動磁式	
備 考		エンジン駆動直流アーク溶接機で手溶接における垂下特性電源と CO ₂ , CO ₂ -A シールドガスの半自動および自動溶接に適合する定電圧特性の両特性を備えた兼用型である。	

- CRC改造インターナルクランプ 1 セット
- 溶接用防風テント 3 セット
- 油圧式パイプセンタリングマシン 1 セット
- 油圧式簡易パイプ心出受台 4 セット
- 鋼管製吊三叉 8 セット
- 自走式直角全周放射型X線検査装置 1 セット
(パイプエース-160EGC)
- 単発2重管壁X線透過検査装置 1 セット

(5) 実験要領

まず水道管敷設計画ラインの中心線上に、図 1

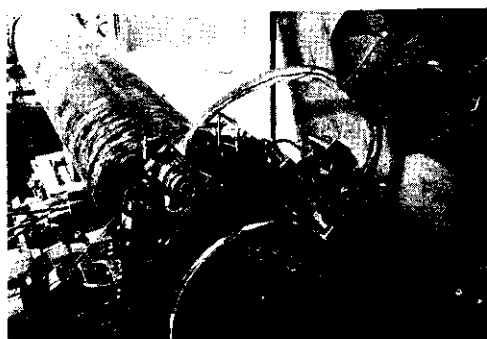


写真 2 自動溶接作業

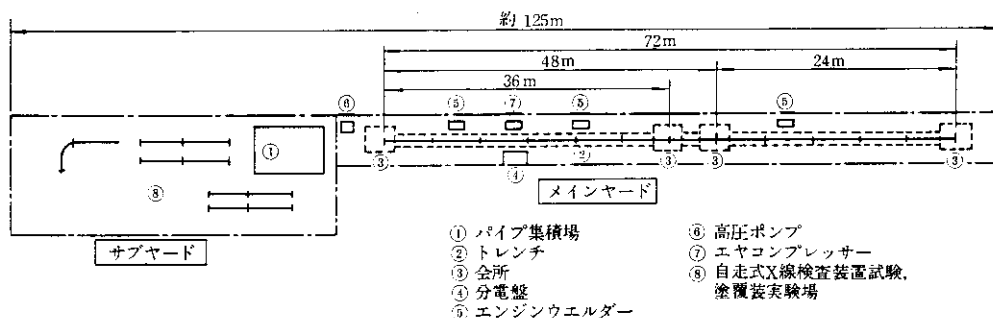


図 1 実験場配置図

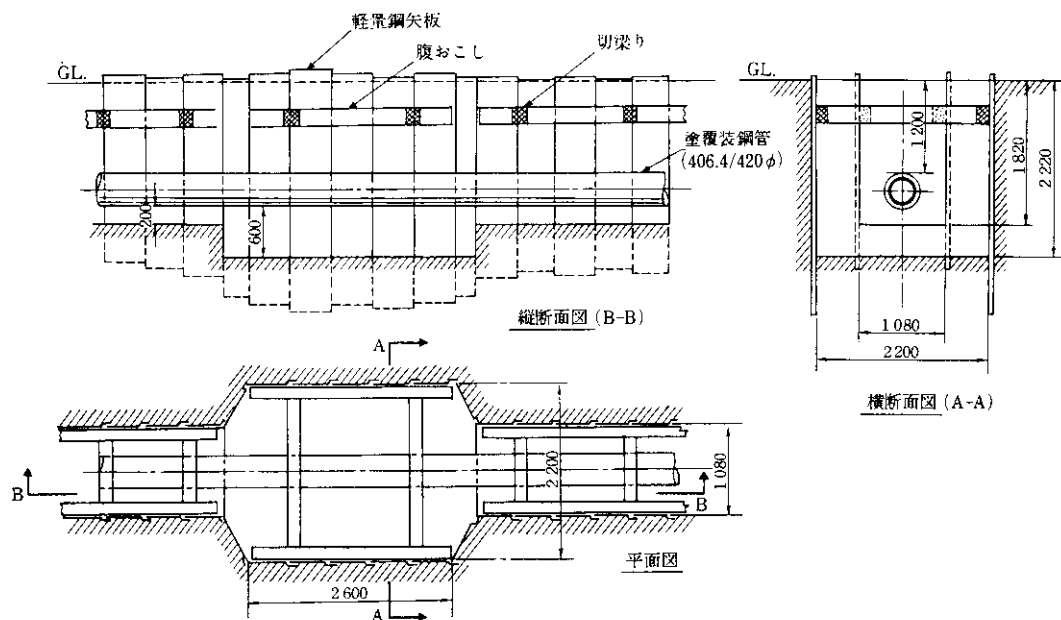


図 2 トレンチャー会所構造

のように約72mの長さでパイプライン敷設溝を機械掘りし、図中③でしめす4カ所に図2のような会所を設けて敷設実験作業場を準備した。

敷設実験工事は、あらかじめ6mの単管をトレンチ直上に木製梁をかけて順次配列した状態から開始し、パイプセンタリングマシン、パイプ心出受台、チューブ式バックリングインターナルクランプによりラインアップ、ついでシールドガス流保護のため防風テント(写真3参照)のセット、自動溶接、ついで溶接部のX線非破壊検査の順に一連の作業をすすめ、随つぎによる長尺管アセンブ

リ2組を仕上げた。つぎに仕上げた2組のアセンブリを三又およびチェンブロックでトレンチに吊りおろし、会所で相互にタインして溶接継手(リング)11個所からなる全長72mのパイプラインを完成させた。ライン完成後は解体して単管とし、これらを使用して繰返し敷設実験工事をおこなった。

さらに図1のサブヤードにおいてその他の実験も行った。ここでは以下の諸実験結果について報告する。

- (1) パイプライン敷設施工実験
 - (a) 接合工法
 - (b) 付随作業
 - (c) 施工法のタイムスタディとシミュレーション
- (2) 溶接部の試験検査
 - (a) 自動溶接によるフィールドの継手部品質検査
 - (b) 耐圧試験による溶接継手部検査
 - (c) パイプライン用自走式X線放射型検査装置の走行、撮影試験
- (3) 溶接継手部の特殊防汚塗覆装実験



写真 3 ガスシールド溶接防風テント

3. パイプライン敷設実験工事

3.1 接合法

パイプラインの基本的接合法は、以下のよう
に3つに分類される。

(1) 会所掘工法(Bell hole method)

トレンチ内のパイプ接合位置に会所を設け、
単管を結ぶ Tie-in jointing の1種ともいえる。

(2) 陸つぎ工法(Double jointing method)

敷設基地等の地上であらかじめ2本つぎする
工法で、潜弧溶接、CO₂ 半自動溶接等により回
転管方式で接合されるプレハブ工法の1種とい
える。

(3) スプレッド工法 (Spread method)

トレンチのわきで敷設ラインに平行して、敷
設作業各職種クルーが連続して作業を展開する
最も高能率な工法であり、溶接は層別に、かつ
各ステージラップしておこなわれる。

本実験では、さきにのべたようにトレンチ直上
における配列、接合という特殊な敷設条件を設定
しているため、以下のような2つの変形工法を採用
した。

(1) リング別ダブル・アセンブリ工法(Double- assembly method)

陸つぎで固定管方式により単管の2本つぎ、
さらに倍尺管の2本つぎの繰返しにより、数倍
尺の地上長尺管に接合して、トレンチ内で追いつ
ぎする工法

(2) リング別スプレッド・アセンブリ工法 (Spread-assembly method)

陸つぎで数組の溶接クルーがつぎつぎに各ス
テージのストリンガービードを除き、ラップし
てスプレッド方式で接合して地上長尺管を仕上
げ、トレンチ内で追いつぎする工法

上記2変形工法におけるパイプの接合組合せ手
順を 図 3 に示すが、実験では単管長が6mと短
かいため、6m×8本の48mを長尺管の限界長と
した。

ダブル・アセンブリ工法の場合は、6m単管の
2本つぎ6組をつくり、つぎに12m倍尺管を2本
つぎ、24m倍尺管2組をつくる。さらにその24m
管に残りの12m倍尺管をつぎ、36m長尺管2組を
仕上げてトレンチ内でタイインした。

スプレッド・アセンブリ工法の場合は、6m単
管を順次ストリンガービードを除き、各ステージ
でラップ溶接をおこない(図 4 参照)、48mおよ
び24mの長尺管に仕上げて、トレンチ内でタイ
インした。

なお、敷設実験工事は、ダブル・アセンブリ工
法を3回、スプレッド・アセンブリ工法を4回く
り返して施工した。この場合、供試鋼管は各実験

ステージ No.	ステージ 1	ステージ 2	ステージ 3	ステージ 4
第1ステップ	1P・			
第2ステップ	2P ↓ ----- 1P・			
第3ステップ	3P ↓ ----- 2P ↓ ----- 1P・			
第4ステップ	4P ↓ ----- 3P ↓ ----- 2P ↓ ----- 1P・			
第5ステップ		4P ↓ ----- 3P ↓ ----- 2P ↓ ----- 1P・		
第6ステップ			4P ↓ ----- 3P ↓ ----- 2P ↓ ----- 1P・	
第7ステップ				4P ↓ ----- 3P ↓ ----- 2P ↓ ----- 1P・

406.4mmφ×12.7mmのパイプを4層4パスで仕上げるモデル
PはパスNo.

図 4 実験スプレッド・アセンブリ工法の基本パ
ターン

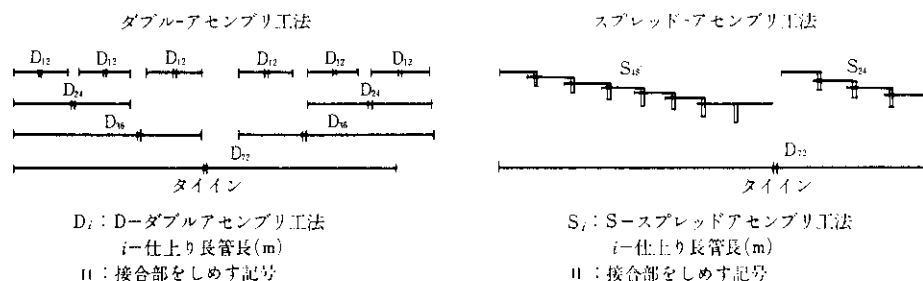


図 3 実験工法の接合手順

工事が終るごとに切断して単管とし、くり返し使用した。

また、溶接工法としては本来層別工法を適用すべきであるが、自動溶接では各層の溶接要領、溶接速度が標準化されているため、手溶接、 CO_2 半自動溶接ほど溶接作業者の技量差が影響されないことと、溶接工にその仕上げる溶接部の品質に責任をもたせる意味で、リング別工法を基本としたが、一部層別工法も参考的に適用した。

3・2 付随作業

接合作業には、溶接を主要素と考えれば、パイプの配列—開先手入れ—開先心合せ—吊りおろしなどの溶接に付随した一連の諸作業があり、その所要作業時間は相当な時間に達するにもかかわらず、この付随作業に関しては、国内では海外に比べて十分な検討がおこなわれていない。これらの作業方法および使用機器類について検討するため、今回つぎのように考えて実験要領を定めた。

まず配列については、基本的には汎用重機またはそれに類する専用重機などで処理され特に問題はないと考えられるので、今回の実験対象から除外した。溶接開先は自動溶接システムが高度化するにつれ、手溶接の場合とは異なり、ますますきびしい開先精度が要求される。しかし現実のラインパイプの開先は、輸送途上における不測のトラブルによる損傷をうけることがあり、このような場合施工者側が現場で手直しして所要精度を確保するのが常である。その方法としては研削作業を入念におこない、ゲージ測定して仕上げるか、クランプ付きフェーシングマシンにより高精度、高能率で仕上げるかである。本実験では研削作業法で処理した。

つぎに開先心合せについては、パイプ管端真円度矯正能力のある強力インナークランプが最も効果的であるが、今回の実験接合工法は完全スプレッド工法ではなく、変形ダブルおよび変形スプレッドによるアセンブリ工法であるため、かなりの重量になる強力インナークランプ（CRC製）の移動にはレッカーなどの重機が必要になり、実験条件からはずれることになる。したがって、本実験では2種類のパイプ心出受台とスキッドを駆使

して心合せをおこなったので、開先つき合せで部分的に1 mmに近い目違いを生ずることがあった。

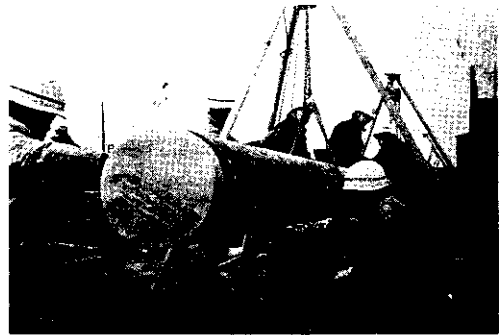


写真 4 油圧式簡易パイプ心出受台

つぎに長尺管のトレンチ吊りおろしについては、吊りあげ吊りおろしの2動作があり、実験条件と使用機器の種類によっておのづから作業方法がきまってくる。本実験では鋼製三又チェンブロック、ナイロンスリング、レバーブロックなどの工機具を使用して処理した。

3・3 施工法のタイムスタディ およびシミュレーション

まず3・1でのべた2接合工法で、図3の接合手順にしたがって実験作業をおこない、それと並行して図5に示すステップにより各施工法のタイムスタディとシミュレーションをおこなった。タイムスタディおよびシミュレーション結果については膨大な資料になるので以下に要点についてのみ述べる。

まず解析のもとになる1溶接リング（継手）あたりの要素作業基本手順は図6に示すパターンになる。能率よく接合敷設するためには、各ステージで各職種のクルーがラップして有機的に作業をおこなわねばならないため、複雑な組みあわせによる施工システムの設計が要求される。

つぎに工法のシミュレーションについては、つぎの要領で各作業項目を工法別にネットワークを組立てた。ネットワーク組立上の基本ルールは以下のとおりである。

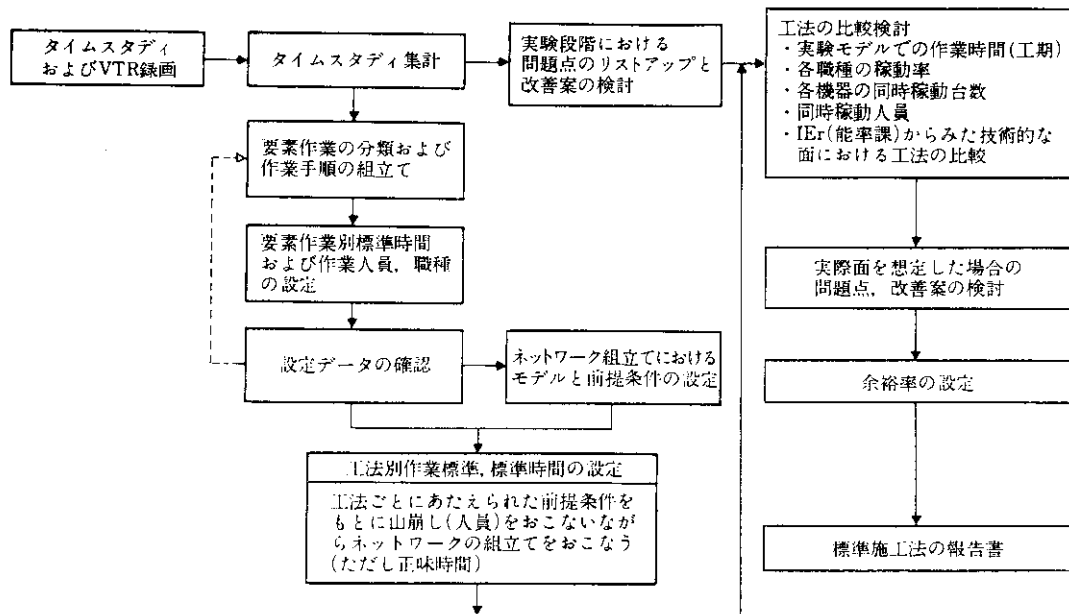


図 5 施工法のタイムスタディ、シミュレーションのアプローチ・フロー

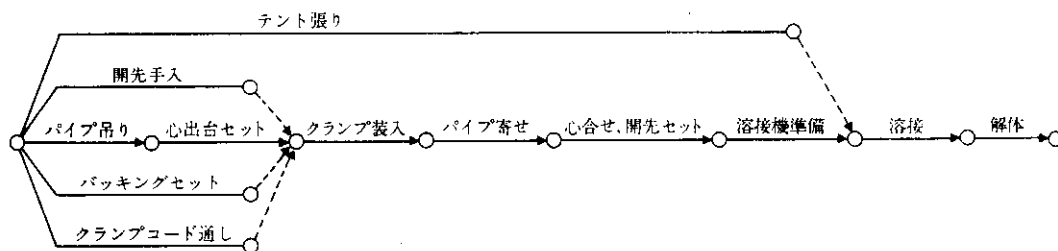


図 6 要素作業基本手順

- (1) 12mパイプ 8 本で96mのパイプラインに溶接接合する。
- (2) 作業定員は鉄工 3 人、とび雑工 4 人、溶接工 3 人とし同時稼働人員を調整して組立てる。
- (3) 機器類は必要なだけ使用し、特に制限しない。
- (4) 各作業に付随する種々の余裕時間は無視して正味時間で組立する。
- (5) 開先心合せは片方(基礎管)を固定し、追いつぎ管で調整する。
- (6) 作業に支障ないかぎり各職種がラップして並行作業をおこなう。

- (7) 各作業時間は標準査定時間を使用する。

3.4 実験結果

3.4.1 タイムスタディおよびシミュレーション結果

タイムスタディで得られたパイプ受台別溶接リング当たり標準査定時間を表 3 に示す。1 リングあたりの総標準査定時間は約 3hr かかり、そのうち溶接作業が 55%、溶接付随作業が 45% と、予想外に付随作業の占める割合が大きい。今後合理化を進めなければならない重要な課題であることが

表 3 受台別一溶接リング当り標準査定時間(min)

	A	B	C
開 先 手 入			
パイプ 吊り	9.0	9.0	9.0
受 台 セ ッ ト	17.5	4.0	13.5
手 入	19.0	19.0	19.0
受 台 は ず し	1.0	1.0	1.0
	46.5	33.0	42.0
開 先 心 合 せ			
パイプ よ せ	6.0	4.5	9.0
心 合 せ	18.0	17.0	19.5
	24.0	21.5	28.5
ク ラ ン ピ ン グ			
バ ッ キ ン グ 張 り	5.0	5.0	5.0
コ ー ド 通 し	6.5	6.5	6.5
セ ッ ト	5.0	5.0	5.0
	16.5	16.5	16.5
テ ン ト 張 り	13.0	13.0	13.0
溶 接			
ウェルダーセット	19.5	19.5	19.5
溶 接, 解 体	91.0	91.0	91.0
	110.5	110.5	110.5
リング当り総時間	210.5	194.5	210.5
48mアセンブリ吊りおろし	77.3		

A: パンタグラフ式油圧パイプセンタリングマシン方式

B: 簡易油圧式心出受台方式

C: スキッド方式

表 4 96m完成に要する標準時間

	48m第1アセンブリ	48m第2アセンブリ	96mタイイン
ダブル・アセンブリ工法	4hr 13min	7hr 34min	10hr 58min
スプレッド・アセンブリ工法	4hr 54min	6hr 39min	10hr 03min

表 5 シミュレートによる職種別稼働率* (%)

工法区分	職 種	溶 接 工	鉄 工	雑 工	計
ダブル・アセンブリ工法		46 (3)	66 (3)	84 (4)	66 (10)
スプレッド・アセンブリ工法		48 (3)	65 (3)	80 (4)	66 (10)

() は人員

*トレンチで96m (タイイン1回) 完成時の稼働率

あらためて認識された。

先に述べた基本ルールに基づいて、全長96mのライン完成までの正味標準時間として表4のようにダブル・アセンブリ工法で10hr 58min, スプレッド・アセンブリ工法で10hr 03minの値を得、その差は55minになった。

表4で注目されることは、第1アセンブリではダブル・アセンブリ工法がスプレッド・アセンブリ工法より早く仕上り、第2アセンブリでは逆に後者の方が早いことである。

シミュレーションによる職種別稼働率を表5に示すが、溶接工の稼働率が最高になるようにネットワークを組立てたにもかかわらず、溶接工の稼働率は46%と48%と予想外に低く算定された。

本来、工法設計の重点は、敷設能率に直接関係する溶接作業にあり、溶接工の稼働率を少なくとも90%以上に設計すべきである。そして他の職種要員は、それに対応させた編成でなければならないと考えられる。したがって、このような条件でさらにシミュレーションする必要があるが、全長96mのパイプラインの完成を基本サイクルと考えると、ロスタイムが多く実用的でないことがわかったので、別なシミュレーションをおこなった。

すなわち、パイプライン長を無限とした以外は、先に述べた作業定員、単位作業能率等の基本ルールはかえず、先行作業を大幅に採用して溶接工の稼働率を最高になるようにダブル・アセンブリ工法でシミュレーションをおこなった結果、つ

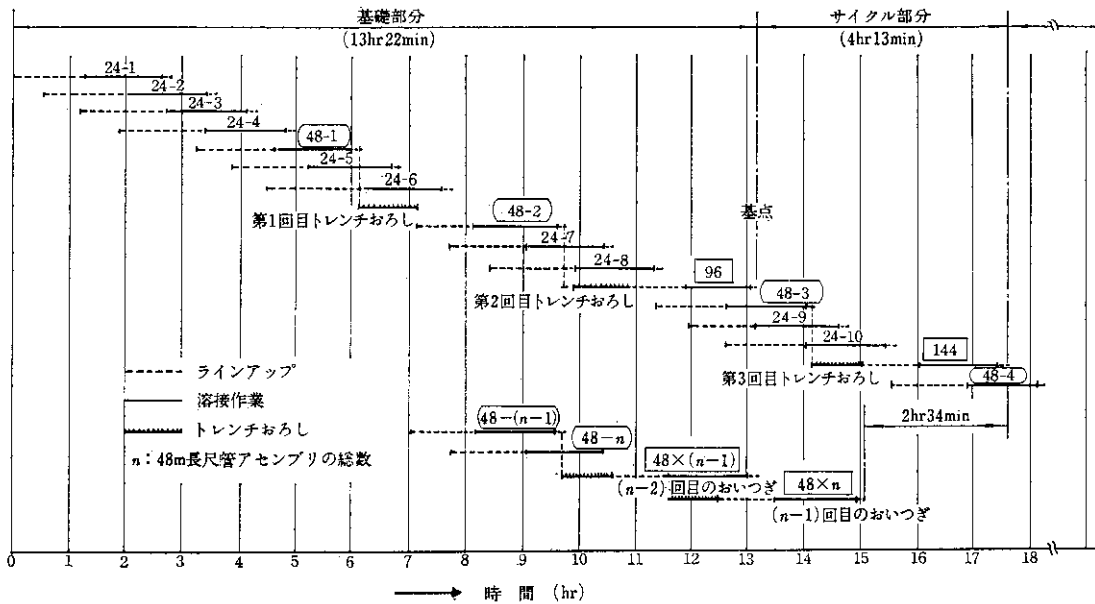


図 7 48mダブル・アセンブリ工法の時間算出実験式の接合モデル

ぎの所要正味作業時間算出式を誘導しえた。その接合モデルを 図 7 に示す。

$$T = 13 \frac{11}{30} + 4 \frac{13}{60} \left(\frac{L}{48} - 2 \right) - 2 \frac{17}{30}$$

T : 所要正味作業時間 (hr)

L : パイプライン全長 (m)

この式の第 1 項は基礎部分の所要時間、第 2 項はサイクル部分の所要時間、第 3 項は接合終点で先行作業が不要になるための補正項である。

なお、油圧式パイプセンタリングマシンは機器重量、取扱い上実用的でなかったので開先心出受台としては簡易パイプ心出受台を使用する条件とした。

また、スプレッド・アセンブリ工法に対する時間算出実験式も検討してみたが、この工法は欧米型完全スプレッド工法でない変型工法であるため、溶接作業を最大に移動させる基本ルールでシュミレートする場合、ほとんどダブル・アセンブリ工法と近似するので省略した。

3・4・2 付随作業結果

(1) 開先精度と現場開先手入れ

パイプの工場開先は、真円度に起因するルートフェースの不同寸法の修正および清掃の目的で溶

接前に手直し研磨をおこなうが、開先部のルートフェースの平面度、直角度の精度が裏波ビード形状、溶接欠陥に影響するので、自動溶接では特に入念に手入れする必要があることが再確認された。

(2) パイプ心出受台

当初試用したパイプセンタリングマシンは重量が大でかつ高価であり、さらにパイプ心合わせ微調整操作がむずかしかった。その点中径パイプの開先心合わせには、油圧式簡易パイプ心出受台のほうがはるかに実用的であることが確認できた。

簡易パイプ心出受台は、パイプを鼓型ゴムライニングローラーで支持する方式であるが、コールタールエナメルでも外面塗覆装がかなりへこみ損傷した。このような場合、プラスチック製半月型保護シュートを介在させれば解決できるものと思われる。

またスキッド組合わせによる方法は、地表面とパイプ下面間距離を 600mm 以上確保する場合、不安定で取扱いが繁雑であるため実用的でないことがわかった。

(3) 三又サポート

脚柱底部に直角なすべりどめ脚板をつけたが、砂地では超過荷重時すべりをおこした。しかし適正な開き角、荷重を守り、かつ脚板部をよく整地

し、三角歯どめを使用すれば安全であることがわかった。

4. 溶接部の試験検査

4.1 自動溶接による溶接継手品質検査

実験で接合された各溶接継手につきX線放射による非破壊検査(NDI)をおこない、JIS Z3104の1, 2級基準で判定した。実験当初は合格率が80%以下であったが、作業管理を強化した結果、技量訓練で確保された95%以上の成績が得られるようになった。このほか現場接合に自動溶接を適用した結果次のことが確認された。

- (1) 溶接欠陥発生の特徴は、室内溶接の場合とほとんどかわらず、室内溶接時と同様の欠陥防止対策で十分である。
- (2) 標準作業基準を遵守すれば室内溶接の場合と同程度の品質が維持できる。
- (3) 同じ型式のエンジンウェルダーでも機差を生ずる場合があるので、機器ごとに調整が必要である。
- (4) 電源特性の差異から、今回使用した手溶接、自動溶接兼用型エンジンウェルダーの性能がわるく、自動溶接専用型が望ましい。
- (5) 現場溶接で今回使用したような、パイプ貫通部およびテント下部のシール対策をした構造の防風テントであれば、風速8 m/secぐらいまで炭酸ガスシールド溶接が可能である。

4.2 耐圧試験による溶接継手部検査

接合実験終了後の最終仕上りパイプラインについて、想定運転圧力70kg/cm²の1.5倍以上にあたる109kg/cm²の圧力を負荷して耐圧試験をおこなった。試験体のパイプラインは、繰返し切

断、溶接接合したため基準長より短くなった約69mの長さであり、図8に示すように排気、注水孔バルブ、コック付圧力ゲージなどを試験体に取り付けて試験をおこなった。

注水は常圧上水をホースでおこない、昇圧には地上の高圧ポンプを用いた。まず、試験体に注水を開始約2hr後、第1回エアー抜きをおこなった。その後約15min間高圧ポンプで昇圧したが、ゲージ変化がなくエアーがまだ滞留していると判断されたので昇圧作業を中止し、第2回エアー抜きをおこなった。エアー抜きを完全にするため、オーバーフロー水中の気泡混入状況をよく観察し、気泡が認められなくなってからもさらに3min間エアー抜きをおこなった。

その後再度バルブを閉止して昇圧を開始し、23kg/cm²、50kg/cm²、75kg/cm²と昇圧し、75kg/cm²に達したのちいったん中止し、しばらくそのまま圧力を保持して管体および溶接継手部、ネジこみ継手部を検査した。そしてなんら異常が認められなかったため、ふたたび昇圧を開始し、105kg/cm²に到達後しばらくしてさらに昇圧し、109kg/cm²とし、そのままの高圧状態で約2hr保持したのち降圧した。

耐圧試験の結果は次のことが確認された。

- (1) 水道管および中圧管のレベルをはるかにこえた109kg/cm²の高圧テストにも異常が認められなかった。
- (2) 1排気孔あたりのライン長が長く、傾斜度が小さければ、気泡の管内移動、排気が予想外に時間がかかる。また時間短縮のため傾斜度を大きくするとパイプラインサポートの手直し、および耐圧試験終了後のレベルもどし作業に手間がかかり実用的でなくなる。したがってエアー抜きには各現場条件にあわせた手法を選択しなければならない。

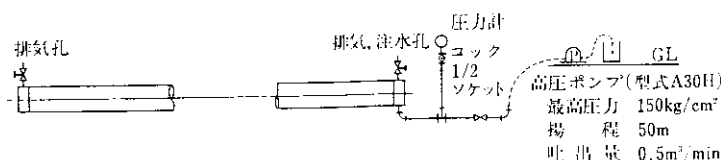


図8 耐圧試験設備

4.3 パイプライン用自走式 X 線放射型検査装置の走行、撮影試験

海外では、すでにパイプラインの現場溶接継手部の非破壊検査に、自走式直角全周放射型検査装置による一重管壁透過X線検査が適用されている。この装置は管内でX線源を駆動装置により走行させながら溶接部全周を1回の放射で検査するもので、スプレッド工法に代表されるパイプライン建設の迅速化において寄与している。国内においてもようやく同種の装置が開発されるようになったので、今回国産検査装置を使ってフィールドにおける簡単な走行撮影試験をおこなった。撮影は表6に示す条件でおこなった。

なお同装置によるX線放射撮影性能は、すでに単管による基礎試験によって一部確認されており、今後は実用面での詳細な試験を実施する予定である。

4.3.1 供試装置

型式 直角全周放射型検査装置

名称 Radioflex-160EGC-360

電源 AC単相 180~240V 1.2kVA

発生器重量 33kg

ポジショナー 50kg

4.3.2 実験要領

実験は図1に示すサブヤードにおいて6m単

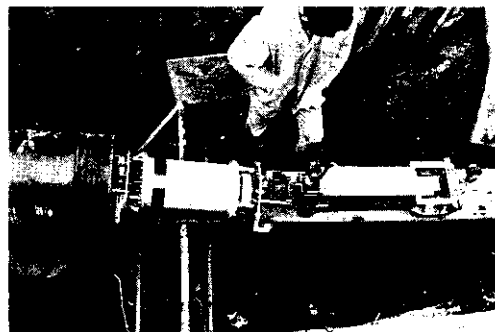


写真5 自走式直角全周放射型X線検査装置

管2本つぎ直管と直管、曲管つぎL字形管の2種類についておこなった。

(1) ポジショニング

管外周面にあらかじめセットするポジショナーを被写体円周溶接ビードの中央より350mm（装置のX線源—アイントープ間の設計固定距離に相当する）ずらして図9のようにセットし、検査装置を供試管内を自走させて挿入し、操作盤に検出される警報およびメーターエコーにより位置

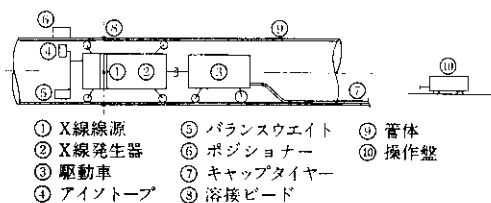


図9 自走式X線放射型検査装置による管壁透過撮影組立構造

表6 撮影条件

仕様 区分	No.	露 出 条 件			透過度計	焦点距離 mm	フィルム銘柄	増 感 紙	継手溶接法
		kVP	mA	min					
傾斜直管	1	160	5	1.5	2F	203	サクラRR 12"	Pb(0.03)	手 溶 接
	2	"	"	"	"	"	"	SMP-308	"
	3	"	"	"	"	"	"	SMP-308	"
	4	"	"	"	"	"	サクラRR 17"	SMP-308	"
水平曲管	5	160	5	1.5	2F	203	サクラRR 12"	Pb(0.03)	自動溶接
	6	"	"	"	"	"	"	"	"

めをおこなった。

(2) 走行試験

供試管は、12m直管4本、5 D R曲管と直管接合による直線部約7m、全長12mのキセル形曲管1本計5本で、それぞれ1個所円周溶接継手つきである。傾斜走行は最高12°まで傾斜をつけて試験した。

(3) 円周溶接継手部のX線透過撮影

傾斜直管で4回、水平曲管で2回X線透過撮影をおこなった。撮影は検査装置の定位置停止精度を調査するのが主目的であるため、溶接継手部全周でなく約1/4円周にとどめた。

4.3.3 実験結果

(1) 走行性能とポジショニング

水平直管では、自動溶接継手部管内面にたまたまのこされたバックンググラステープのため、走行不能のトラブルを生じたが、そのほかは正常であった。

傾斜直管では、傾斜角10°になると上進速度が低下するが問題はなく、下進走行ではそうとう加速し停止操作をおこなっても、かなりすべるため走行の安全性に問題があることがわかった。制動機構の改良が必要である。

したがって現在の装置を10°以上の傾斜管に適用するには、上進ポジショニング方法によるのが

適当であり、万一上方へオーバーランした場合にはいったん停止点より下へもどし、ふたたび上進をくりかえせばよい。

(2) X線透過撮影

装置の定位置停止精度が悪いと探傷能力が低下する。本実験の場合、7°以下の緩傾斜管では±5mm以内の定位置停止精度が得られ、単発型X線発生装置とくらべてフィルム全面積の濃淡差がほとんどなく、非常に精度のよい写真がえられ、直角全周放射型の特徴を十分発揮していることが確認できた。

5. 溶接継手部の特殊防食塗覆装実験

一般にパイプラインの溶接継手部の現場塗覆装は、工場塗覆装と同じ要領で処理される。最近になって、マスチック型タールエポキシによる新しい塗覆装工法が開発されたので、図1のサブヤードで倍尺直管溶接継手4個所に対し、同工法による防食塗覆装をおこない、作業要領を調査した。

なお塗覆装完了後その塗覆装部を12000Vのホリデテクターでピンホールテストをおこなった。

5.1 塗覆装材料および塗覆装構造

防食塗覆装は、表7に示す材料を使用し、

表7 塗覆装材料

	U 社 (A系列)	N 社 (B系列)
ブ ラ イ マ ー	エビキットプライマー	N B コート #20 S K
マスチック型 タールエポキシ	エビキット No. 11	改良 N S マスチック
ポ リ ネ ッ ト	軟質 (薄肉粗目) ポリネット 線 径 0.2mmφ以上 ネットピッチ 12mm以上	半硬質厚肉 ポリネット 線 径 2mmφ ネットピッチ 6mm
防 食 テ ー プ	ポリエチレンテープ ニットー No. 53 0.4mm×50mm	ポリエチレンテープ ニットー No. 55-3X 0.53mm×75mm
	ビニルテープ ニットー No. 51 0.4mm×50mm	

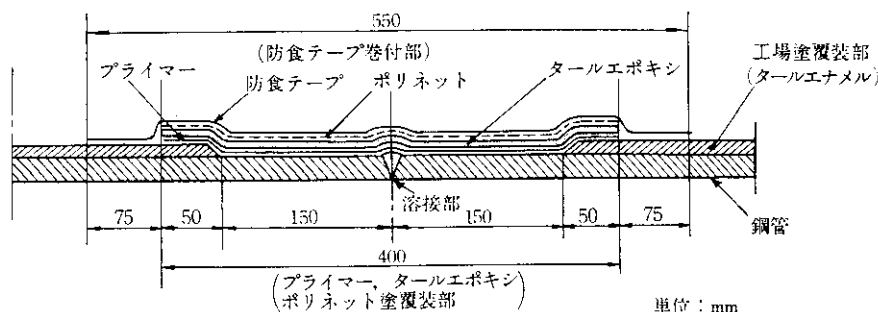


図 10 継手部塗覆装部断面構造

図 10 に示す塗覆装構造で仕上げた。使用材料の組合せは、エビキット塗料と軟質ポリネットを使用する A 系列と NB コートと半硬質ポリネットを使用する B 系列にわかれ、A 系列はポリエチレンテープとビニルテープにわかれて 2 系列 3 種類である。

5・2 塗覆装方法

(1) 前処理

溶接接合のおわった継手部約 300mm の裸部と本管コールタールエナメル塗覆装部との境界部の周りを 45° 以上の傾斜になるように調整し、つぎに鋼管裸部表面を研磨して清浄な鋼材生地とする。さらに本管塗覆装部の裸部との境界より両側にそれぞれ 125mm 以上の外周面も泥、塵埃、水分等の有害物を除去し、十分清浄な生地面に仕上げる。

(2) プライマー塗装

プライマーは溶接部の両側長さ 200mm にわたる全面に 120~200g/cm² 以上の塗布量でむらなく塗布した。

(3) マスチック型タールエポキシ塗装

プライマー塗装をおわったのち、金剛珪砂のまざった主剤と硬化剤を標準配合率で適当な容器内で十分混練し、マスチック材料を調整製作する。マスチックの塗覆装方法はつぎの工法でおこなった。

(i) A 系列マスチック塗覆装工法

この方法は、塗覆対象面積より大き目のマスチックパネルをあらかじめつくってから対象面に張りつけ、テープでラッピングする工法である。マス

チックパネルの成形法は次のとおりである。まず平滑な作業定盤のうえに薄肉のポリエチレンまたはビニルシートをのせ、さらに軟質粗目ポリネットを重ね、その上に塗覆装対象面 1276mm×400mm より大きい面積 (1290mm×405mm×8~9mm) の型枠を固定する。つぎに混練したマスチックペーストを型枠内に金ごてで塗りつけながら気泡のないように密に充填し、マスチックパネルに成形する。

パネルの成形がおわれば、形枠をはずしポリネットつきマスチックパネルを、ポリエチレンシートまたはビニルシートつきで作業定盤よりはずして塗覆装対象面に張りつけ、かるくたたき下地との間にすきまのないように圧着し巻きつける。このとき、パネルの円周方向あわせ目や、本管塗覆装端の段付部などの局部については入念に作業をして、パネルの損傷や過薄のおこらないように注意する。

(ii) B 系列マスチック塗覆装工法

マスチックの混練作業は、A 系列と同様であるが、混練マスチック材を直接対象面に軽くたたきながら塗布する一般的な工法である。

(4) 防食テープの巻付け

マスチック塗覆装が終った防食層外面に、プライマーをすきまなく十分に塗布したのち、ポリエチレンまたはビニルの防食テープをマスチック両縁より外側にテープ幅だけ余分にハーフラップで巻きつけた。なおその両端はテープ幅だけ 2 重巻き止めをおこなった。

5.3 実験結果

新しく開発された金剛珪砂を骨材としたマスチック型タールエポキシ塗覆装工法について次のことがわかった。

- (1) 常温下で作業でき、さほどの熟練度を必要とせず、ほとんど臭気がない。
- (2) 硬度、強度、特に耐衝撃性がすぐれている。
- (3) 硬化反応時間は 4~5hr とみられる。
- (4) 硬質ポリネットは、局部的な外圧に対し、局部凹みを防御する効果がある。
- (5) マスチックの混練は、手練り、機械練りいずれもためしたが、品質、能率の点で固定型ポータブル電動ミキサーによる機械練りがよい。
- (6) A 系列エピキットは B 系列改良 NS マスチックに比べ若干粘りが強い。
- (7) ホリディテクターによるピンホールテストはいずれも異常なく合格した。

以上のように実験した 3 工法はいずれも実用上特に問題がないことが確認されたが、従来法であるアスファルトまたはコールタールエナメルホットタイプに比べて硬化反応速度が遅いのが欠点である。今後材料配合設計を改善して、少なくとも硬化反応時間を 1.5hr 程度に短縮し、さらに塗覆装後ポストヒーターで硬化を促進させるようにしないと急速埋設用には適さないと思われる。

6. ま と め

今回国産自動溶接装置による大規模な現場パイプライン施工実験をおこなった結果、貴重な経験と諸資料がえられた。この実験により一般条件のパイプラインプロジェクトのみならず、トレンチ直上の陸つぎ長尺アセンブリ配管接合工法のような特殊敷設条件下のパイプラインプロジェクト

もふくめ、陸上パイプラインの施工指針がえられた。本実験成果の要点をあげるとつぎのようになる。

- (1) 国産自動溶接装置 (A PW-400) がフィールドで事故なく使用できることが確認できた。
- (2) 作業要素、標準作業手順の分析をおこない、各作業標準時間を査定した。
- (3) 中径管自動溶接システムによる溶接リング当り標準作業時間は約 3hr と査定された。
- (4) 陸つぎ 48m 長尺アセンブリ新工法による敷設実験工事からえられたデータをもとにシミュレーションをおこない、無限長パイプラインに適用される作業所要時間算出式を求めた。
- (5) 自動溶接工法による配合接合プログラムを、各プロジェクトの現場敷設条件にマッチさせて設計できる体制ができた。
- (6) 自動溶接工法によるフィールドにおける溶接性は、適切な管理をおこなえば室内溶接と同様の好成績がえられることが確認できた。
- (7) パイプライン用国産自走式直角全周 X 線放射型検査装置の走行性能を試験した結果、現場溶接部非破壊検査作業の合理化に有効であることが確認できた。
- (8) マスチック型タールエポキシによる溶接継手部の特殊防食塗覆装要領が修得できた。
- (9) 現在操業されているパイプラインで最高の運転送油圧力とみられる 70kg/cm^2 の 1.5 倍に対応する 109kg/cm^2 のフィールドにおける耐圧試験の結果まったく問題がなかった。

今後に残された問題点としては、溶接時間の短縮と付随作業の大幅な合理化があげられる。

最後に本実験に参画し、協力していただいた川鉄鋼管工事(株)、伊藤建設(株)、日本検査(株)、三周資材(株)、兎田化学工業(株)、日鉄化工業(株)、日東電気工業(株)、および社内関連部課の方々に感謝の意を表する。