
浮遊曳航法による水底管の施工

Execution of Underwater Pipelines by Floating Pull Method

嶋 文雄(Fumio Shima) 河本 清(Kiyoshi Komoto) 金野 春幸(Haruyuki Kon-no) 寺本 正(Tadashi Teramoto)

要旨：

北海、メキシコ湾等に見られるように長尺海底管の布設技術の主体はレイバージ法であるが、国内のように中小の海底管で地形が複雑で作業制約の大きい場合は、海底曳航法、浮遊曳航法の方がその特長を十分に発揮することのできる適切な工法と言える。本報の 2 件の工事は、地形が複雑で作業制約の大きいことから水底管の布設を浮遊曳航法で行った。それぞれの特徴は、衣浦湾の場合は海底管の全長を地形に合せ製作し一挙に沈設する方法で行い、高梁川の場合は全長を 4 等分し船上で溶接接合しながら沈設する方法を採用した。工事概要とその特徴について説明した。

Synopsis：

In the execution of a large scale submarine pipeline as seen in the North sea and the Gulf of Mexico, the lay-barge method is well known for its highest advantage. But, in the case of laying rather small scale offshore pipeline, the sea bottom pull method and the floating pull method are found to be more favorable because of their complete adequacy to the situation where a complex underwater topography accompanied by a high range of tide gives a considerable limitation to the laying work. Under this view, the following two execution works by the floating pull method are introduced briefly in this report. 1) The Kinu-ura Bay project: a long, deformed pipeline was constructed on land, launched, sailed and then sunk at one time meter by meter according to a phased program with the floater technique using water filling control. 2) The Takahashi River project: all four parts of a pipeline were constructed on land, launched, and sailed separately, and then welded one by one on board of a welding barge. The pipeline was sunk in order from the side already welded with the application of the same floater technique.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

浮遊曳航法による水底管の施工

Execution of Underwater Pipelines by Floating Pull Method

嶋 文 雄*

Fumio Shima

河 本 清**

Kiyoshi Komoto

金 野 春 幸***

Haruyuki Kon-no

寺 本 正****

Tadashi Teramoto

Synopsis:

In the execution of a large scale submarine pipeline as seen in the North Sea and the Gulf of Mexico, the lay-barge method is well known for its highest advantage. But, in the case of laying rather small scale offshore pipeline, the sea bottom pull method and the floating pull method are found to be more favorable because of their complete adequacy to the situation where a complex underwater topography accompanied by a high range of tide gives a considerable limitation to the laying work. Under this view, the following two execution works by the floating pull method are introduced briefly in this report.

- 1) The Kinu-ura Bay project: a long, deformed pipeline was constructed on land, launched, sailed and then sunk at one time meter by meter according to a phased program with the floater technique using water filling control.
- 2) The Takahashi River project: all four parts of a pipeline were constructed on land, launched, and sailed separately, and then welded one by one on board of a welding barge. The pipeline was sunk in order from the side already welded with the application of the same floater technique.

1. まえがき

現在、海底パイプラインの布設に関する先端技術は、北海、メキシコ湾、ペルシャ湾等に見られるように水深 100m 以上で、布設延長も数百 km に及ぶ長大なパイプラインを 1 日 250~300 ジョイントという超高速度で布設する大型レイバージの開発に代表されるが、一方、海底曳航法および浮遊曳航法による海底パイプラインの布設技術も過小評価するこ

とができない。

国内のように布設延長が 10km 以内、水深も 50m 以下の範囲で、特に高速度の布設を必要としない場合、経済性を考えると後者の工法が有利と言える。この場合、潮流が速く、水深も比較的大きく、航行船舶が多いときは海底曳航法が、地形が複雑で水深が比較的浅いときは浮遊曳航法が適切な工法と言える。本報の 2 件の水底管はこれらの背景を考慮して浮遊曳航法を採用した。

衣浦湾の場合、海底地形がすり鉢状になってお

* エンジニアリング事業部建設技術部パイプライン水道技術室室長

*** エンジニアリング事業部建設技術部パイプライン水道技術室掛長

[昭和52年2月1日原稿受付]

** エンジニアリング事業部建設技術部パイプライン水道技術室課長

**** エンジニアリング事業部建設技術部パイプライン水道技術室

り、両端に空地が狭いことから 5km 離れた海岸に接した用地で海底地形に合せた海底管の全長を製作し、海面を曳航して一挙に沈設する方法を採用した。

高梁川の場合は海底地形の起伏が大きいこと、両端に適切な用地が無いことから 3km 離れた河口付近に製作ヤードを設置し、400m の長管を 4 本製作し、曳航して溶接台船上で接合しながら沈設した。また、長管の製作工程を短縮するために自動溶接機 3 台を使用するセミスプレッド法を採用し、沈設には流水を配慮してアンカブロックによる誘導沈設方法を採用した。

2. 衣浦湾海底管工事

2.1 概要

この工事は、愛知県西三河水道事務所が発電所に給水するために衣浦湾の約 200m の入江を横断して海底管を布設したもので、当社が 1975 年 12 月に受注し、1976 年 3 月に完成した。Fig. 1 に海底管の布設位置と長管製作ヤードを示す。

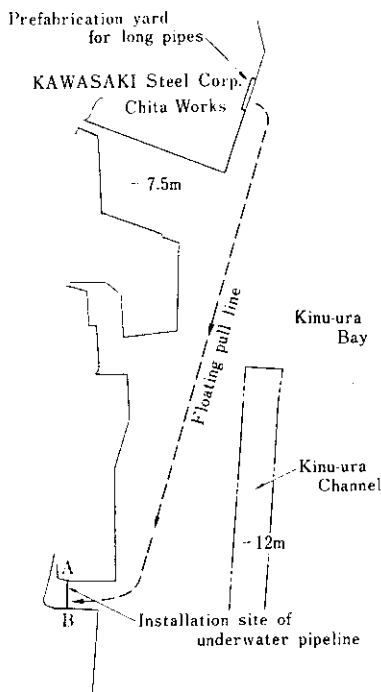


Fig.1 Installation site of Kinu-ura underwater pipeline and fabrication yard for long pipes

工事の対象は、先に受注した武豊線 3 工区陸上配水管の A 点より水深約 8m の入江の海底下 1.5m に埋設し B 点に立上る約 210m の海底管で、両岸には 10m の水管橋を設置した。

この海底管に使用した鋼管は STPG 42、外面アスファルトビニロンクロス、内面タールエポキシの外径 355.6mm、板厚 12.7mm の水道用塗覆装鋼管である。

布設工法としては、布設位置の立地条件から海底地形に合せ浮遊曳航法を採用し、海底管の全長 210m のうち 200m を 5km 離れた当社用地内で製作し、トラッククレーンと起重機船を併用して並行移動しながら進水し、海上を曳航し、フローターで布設管の重量調整を行い起重機船で吊り下げながら沈設した。この工事のキーポイントは、両端の立上り管を含む全長 200m の異形長管の進水と曳航および布設位置で、回転させながら沈設する作業管理である。

2.2 長管製作

立上り管を含めて海底管の全長を海底の地形に合せて地上で製作することにしたため、寸法および形状について高い精度が要求された。このため、製作前に海底地形および立上り点間の距離を正確に測量し、全長の精度が 10cm 以内になるよう製作した。

製作ヤードは、当社知多工場の埋立地の護岸近くに尺角材を並べて製作架台を作り、12m 単管をトラッククレーンで製作定規に合せ配列し、第 1 層を裏波、第 2 層以降は低水素系の溶接棒を使用し、手溶接で接合した。

溶接完了後、接合位置全周の X 線検査および耐圧テストを行った。X 線検査の判定基準は JIS の 3 級以上とし合格率は 98% であった。続いて、外面をアスファルトビニロンクロス 2 回塗り 2 回 2 重巻で、また内面をタールエポキシをエアレスの自動塗装機で 0.3mm 厚さに塗覆した。

製作完了後、進水に備え両端に盲蓋を溶接し、30m 間隔に吊り金具を、また、13m 間隔に単重 180kg のフローターを 2 個ずつ取付けた。

2.3 進水曳航

別途進めてきた浚渫工事、水管橋架台工事が完

了すると、進水曳航に支障のない気象条件の日時を選び長管の進水を行った。陸上には 8 台の 30t 吊りトラッククレーンを、海上には 2 隻の 30t 吊り起重機船を配置した。まずトラッククレーン群で一斉に 30cm 程度吊り上げ、間縄で測定しながら進水のために設置した架台の上を 30cm 刻みに並行移動し、護岸位置で起重機船により両端を吊り、トラッククレーン 8 台と合せて 10 支点を 1m 間隔で吊り下げ進水した。進水時の吊り点間隔および吊り高差は、管の応力度が 2100kg/cm^2 以内となるように定めた。進水作業は約 2h で完了し、進水した長管は曳船 2 隻と警戒船 4 隻により時速 2~3kn で約 5km はなれた布設現場まで約 1h で曳航した。異形長管内に曳航中危険な応力が発生しないように進水前にワイヤーで曲管部を補強した。トラッククレーンと起重機船による長管の進水作業状況を Photo. 1 に示す。

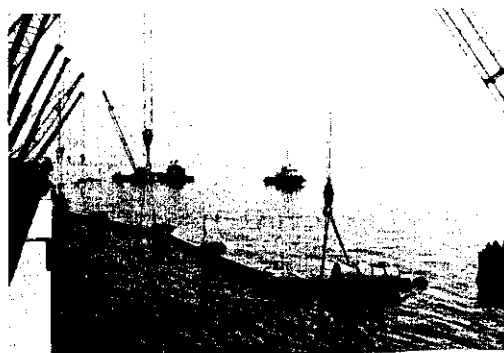


Photo. 1 Launching of welded long pipe

2.4 長管の沈設

まず布設線より約 5m 離して両端と中央に起重機船を、その中間に 2 隻の小型作業船を配置した。一方、係留地より長管を曳航して、配置された起重機船および作業船に引き渡し、直線性を確認しながらフローターの子備ワイヤーを切って管に 10kg/m 程度の重量をかけ、起重機船で吊り下げながら長管を 90° 回転させて立上り管を鉛直に起こし、そのまま沈設位置まで移動してフローターを順次切り離し、1 回の吊り下げ高 1m となるよう段階的に沈設した。沈設後海底地盤とのなじみや立上り管の位置を確認し、埋戻し時の管の移動を防止するために管内に注水して管重量を 80kg/m とし、布

設工事を完了した。

埋戻しは、グラブ船で周辺仮置土を中央より両端に向って埋め、9 日間で完了した。その後、管内水を利用して設計圧力の 1.5 倍の 15kg/cm^2 で 24h 放置の耐圧テストを行い、異常のないことを確認した。最後に水管橋の継込みを行い全工程を完了した。

3. 高梁川河底管工事

3.1 概要

この工事は、岡山県企業局が E 地区に給水するために計画した E 地区配水管工事のうちの高梁川河口部を横断する河底管工事で、当社が 1975 年 12 月に受注し、1976 年の 9 月に完成した。Fig. 2 に河底管の布設位置と長管製作ヤードを示す。工事の対象は、左岸の A 点より高梁川河口 1650m を横断し対岸の B 点に立上る全長 1700m のラインで、途中航路幅 200m の乙島航路を横断している両岸部には各々橋長 50m と 45m の水管橋を設置した。河底管の布設形状を Fig. 3 に示す。

この工事に使用した鋼管は STPY 41、外面ア

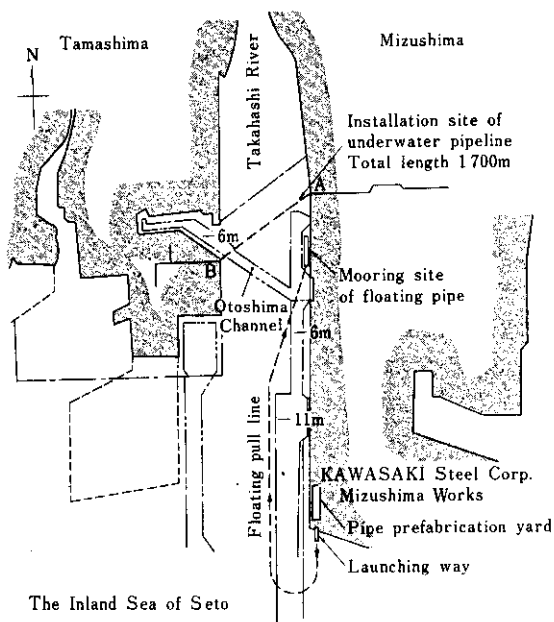


Fig.2 Installation site of Takahashi underwater pipeline and fabrication yard for long pipes

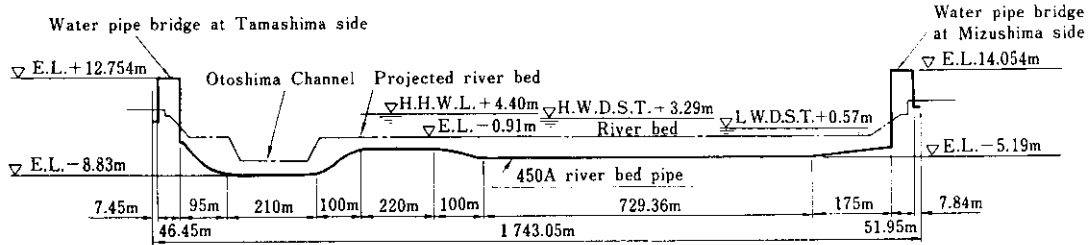


Fig.3 Vertical section of underwater pipeline

スファルトビニロンクロス、内面タールエポキシの外径 457.2mm、板厚 9.5mm の塗覆装管である。

河底管の埋設深度は、洪水時の洗掘を考え河川部を土被り 2m としたが、航路部は浚渫バケット、航行船舶の投錨を考え、土被り 2m の上の表層 1m を砕石で保護した。

河底管の布設方法は、河底曳航法と比較検討した結果、ヤード条件、工期短縮、経済性を勘案し、浮遊曳航法を採用した。まず 400m 長管 4 本と立上り管 2 本を当社水島製鉄所構内の長管製作ヤードで製作し、浚渫完了とともに順次進水して沈設位置までの約 3km を曳航し、重量調整を行い起重機船で左岸より順次沈設した。長管沈設後両端に立上り管を取付け、全線の耐圧テストを実施して埋戻しを行った。一方、長管製作と並行して兩岸の水管橋工事を開始した。立上り管の沈設までに

橋梁部を完成し、立上り管沈設後橋上配管、立上り管との継ぎみの後通水テストを行い、河底管工事の全工程を完了した。河底管工事の全工程を Fig. 4 に示す。

3・2 長管製作

3・2・1 製作ヤード

製作ヤードは、当社水島製鉄所南地区の埋立地に幅 12m、長さ 410m の長管ヤードを南護岸に直角に、幅 10m、長さ 30m の立上り管ヤードを南護岸の近くに設置した。長管ヤードには鋼管の移動および回転ができるゴムライニングローラー架台を設置した溶接兼進水ヤードと、X 線検査、塗覆装を行う長管集積ヤードを設置した。

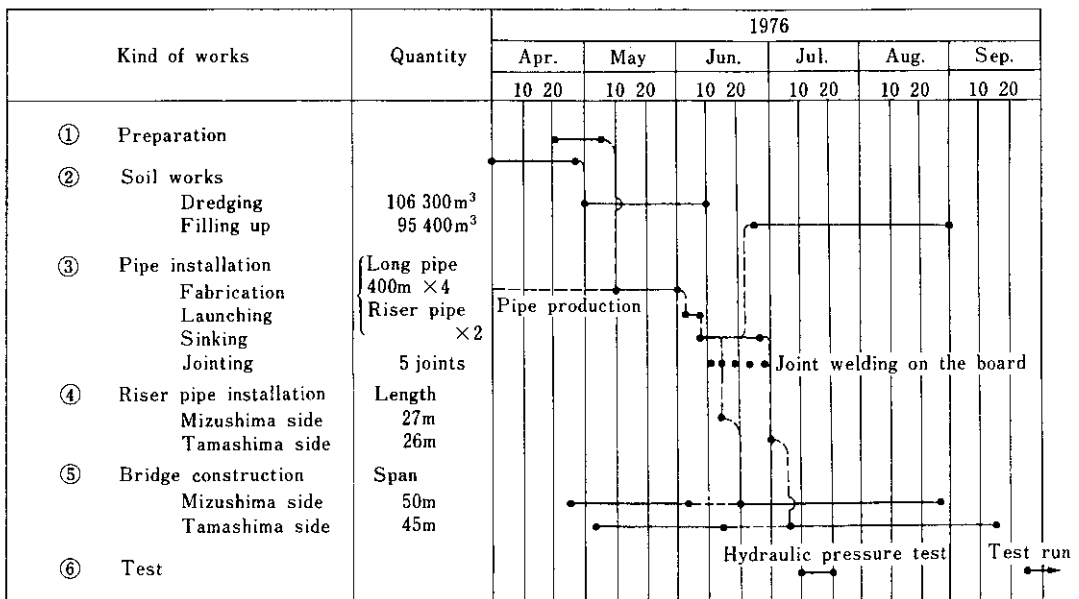


Fig.4 Project schedule

3・2・2 長管溶接

長管の溶接は、溶接ヤードで自動溶接機を使用し、Table 1 に示す班編成および Fig. 5 に示す班配置で、セミスフレッド工法により実施した。まず 12m 単管をレッカー車でローラー架台上に移動し、レッカー車、チェンブロック、ジャッキを利用して芯出しを行い、インナークランプで固定した。そして、APW-500 自動溶接機 3 台をルートパス、ホットパス、キャップパスの順に使用し、Ar・CO₂ 混合ガス使用の自動ガスマタルアーク溶接を行った。その溶接条件を Table 2 に、溶接作業の実績を Table 3 に示す。長管 1 本の接合箇所は 32～33 で移動を含め 3 日で完成した。Photo. 2 は完成した 400m 長管を示す。

3・2・3 X 線検査および塗覆装

溶接が完了した長管は長管ヤードに移し、接合位置の全周について X 線検査を行った。X 線検査の判定基準は JIS の 3 級以上とし合格率は 99.7%、しかも 2 級以上が 98.5% と非常に良い結果を得た。

X 線検査が完了するとアスファルトビニロンクロス 2 回塗り 2 回 2 重巻にて塗覆装を行う。そしてピンホール検査、膜厚検査、管内清掃を行い、両端に盲蓋を取付け長管製作の全工程を完了した。

3・2・4 立上り管製作

立上り管の製作は、長管の製作と並行して手溶接で行った。その形状寸法を Fig. 6 に示す。水面部分の腐食に備え本管の外側を 600A の鋼管で覆い、

Table 1 Organization of welding team

No.	Team name	Number of persons	Allotment of work	Equipments
1	Groove grinding	2	Correction and cleaning of bevel edge	Baby grinder
2	Line up	5	Lining up and inner cramp setting	Tow truck, chain block, inner cramp and jack
3	Root pass welding	2	1st pass welding	DCV-250 AC3, APW-500
4	Hot pass welding	2	2nd pass welding	Ar・CO ₂ cylinder, light truck, baby sander
5	Cap pass welding	2	3rd pass welding	"
6	X-ray test	3	X-ray inspection	Generater RF 200 EG-3
7	Coating	2	Field coating near joints	Propane gas pot, brush and spatula
Total		18		

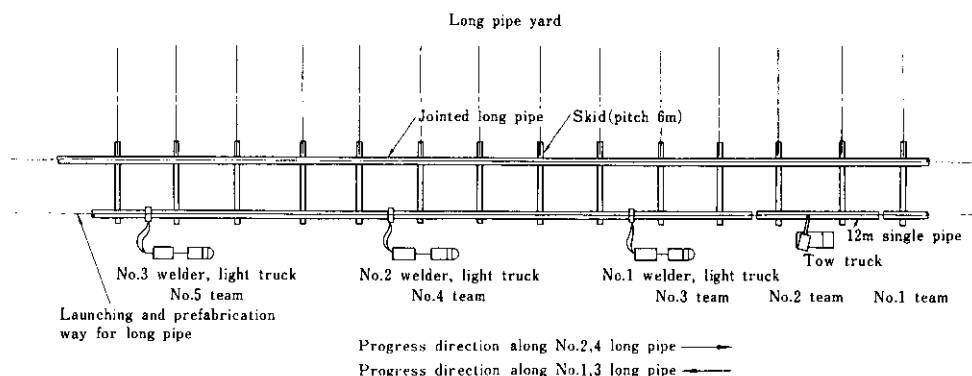


Fig. 5 Team arrangement for welding

Table 2 Welding condition and passing process

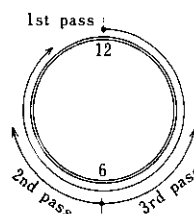
Pass	Current (A)	Voltage (V)	Weaving cycle (cpm)	Stop time at both ends (s)	Standard working time (min)	Process
Route pass	90~100	15~16	63	0	15	
Hot pass	100~110	15~16	55	0.25	15	
Cap pass	110~120	15~16	30	0.50	15	
Welding material	Wire: KC 45, 0.9mm ϕ , 5kg roll Shield gas: CO ₂ , Ar, each 10l/min Backing tape: BF-1					

Table 3 Jointing achievements

Long pipe No.	1			2			3			4			Total joints
Date in May, 1976	11	13	14	17	18	19	20	23	24	26	27	28	
Route	13	14	6	14	16	3	12	13	7	12	17	3	130
Hot	9	16	8	11	16	6	9	13	10	9	17	16	130
Cap	6	16	11	9	14	10	6	13	13	7	15	10	130

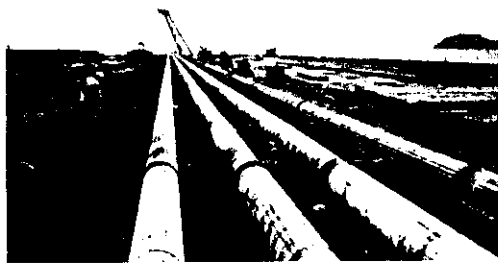


Photo. 2 400m long pipes welded at prefabrication yard

2重管として間隙にモルタルを注入した。本管の内外面をタールエポキシで、外套管の外面をアスファルトビニロンクロスで被覆した。

3・3 長管の進水曳航

進水要領を Fig. 7 に示す。曳出し用ウインチ船 (15t 直巻) よりローラーゲート、進水斜路を通して曳出しワイヤーを展延し、進水架台上の長管の先端に取付けるとともに後端を曳止めウインチの

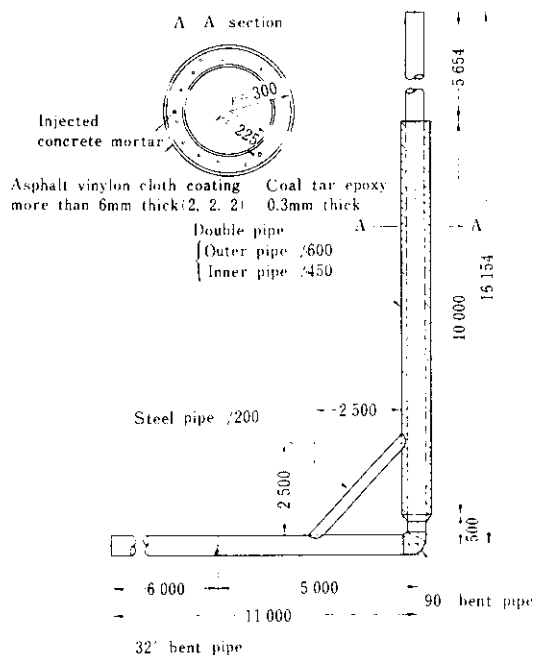


Fig. 6 Riser pipe dimensions

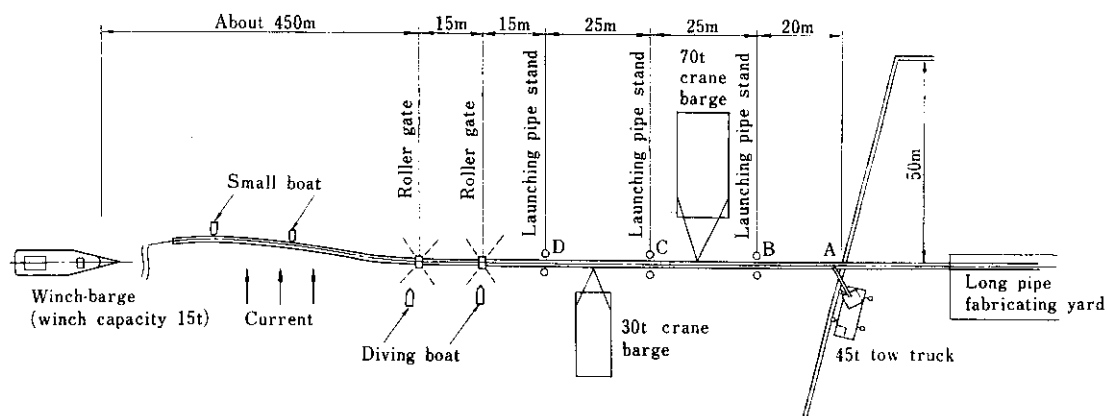


Fig. 7 Pulling out procedure of long pipe

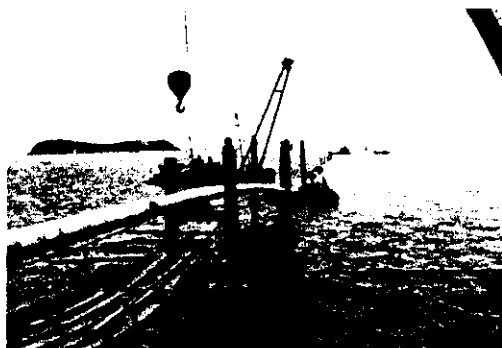


Photo. 3 Launching of 400m long pipe

ワイヤーに連結した。さらに進水斜路には陸上にレッカー車を1台、海上に起重機船1隻を配置して長管の誘導を行った。これらの準備の完了後、潮位の変動の少ない時間を選び進水を開始した。曳出しウインチを5m/minの速度で巻き、長管の先端が進水斜路に達するとレッカー車と起重機船で誘導しながら海面に着水させ、先端が水面に浮ぶと潮流により鋼管が湾曲しないようローラーゲ

ートおよび小型作業船で保護しながら約2hで進水作業を完了した。長管の進水作業の状況をPhoto. 3に示す。

海面に進水した長管は500PSと70PSの2隻で曳航し、8隻の警戒船を配置して時速1~2knで約4kmはなれた係留地まで1h30minかけて曳航した。

3-4 長管の沈設

河底管を左岸よりNo. 1, No. 2, No. 3, No. 4の400m長管と立上り管2本の6ブロックに分け、埋戻し工事との関係で左岸よりNo. 1, No. 2と進め、左岸の立上り管を沈設した。続いてNo. 3, No. 4と進み、最後に右岸の立上り管の沈設を行った。まず係留地でNo. 1の長管に重量調整用の単重180kgのフローター2個を5m間隔に取付け、沈設位置まで曳航した。一方、沈設位置ではFig. 8に示すように起重機船および作業船を80m間隔に配置し、さらに長管を沈設位置に誘導するためのガイドブロックを設置した。Photo. 4に沈設

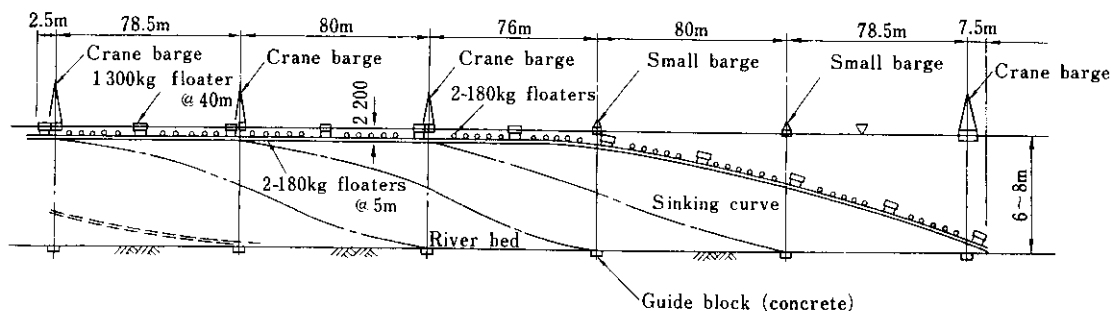


Fig. 8 Sinking procedure of No. 1 long pipe

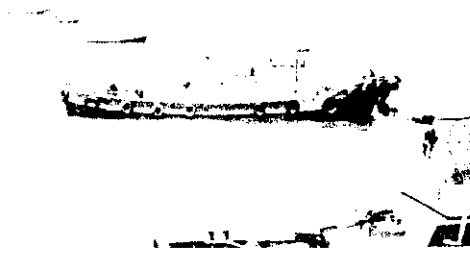


Photo. 4 Ship arrangement for sinking of No. 1 long pipe

時の作業船団を示す。曳航してきた長管の位置決めが完了すると配置された作業船団に取合せ、さらに単重 1 300kg のフローターを 40m 間隔に取付けた。以上の作業が完了すると左岸側の管端に注水ホースを接続し、反対側の管端のバルブを開放し、クレーンで 30cm 程度吊り上げて管内の空気を抜きながら注水を開始し、約 35min で注水を完了した。管は管内充水により水面下 2.2m に沈下し、フローターにより 1m あたり 7kg の浮力が作用して釣合った。次に、単重 180kg のフローター

の一部を切り離し、長管に 1m あたり 10kg の下向重量をかけ、Fig. 9 に示すガイドブロックで誘導しながら Fig. 8 に示す要領で左岸側から吊り下げ、沈設管理曲線に従い順次沈設した。管の発生応力を $1\,800\text{kg}/\text{cm}^2$ におさめるように吊り点と吊り高を定めて沈設曲線を作成し、この曲率内で 1 回の吊り下げ高さを 1m 以下に抑えた。曲線の算定には 3 連モーメント法と Maclaurin の定理の初期条件設定法を採用した。沈設後、長管の位置を確認したうえでフローターを撤去して No. 1 長管の沈設作業を完了した。

3・5 長管の船上接合と沈設

長管 No. 1 と No. 2、No. 2 と No. 3、No. 3 と No. 4 および立上り管の接合は、溶接台船上において手溶接で行った。Fig. 10 に船上接合と沈設作業の要領を、Photo. 5 に船上接合作業を示す。まずすでに沈設した No. 1 長管を起重機船で管理曲線に従って吊り上げ、管端を溶接台船上に固縛した。一方、係留地でフローターを取付けた No. 2 長管を曳航し、No. 1 長管沈設時と同様の要領で作業船団に取合せ、接合側の管端を起重機船で吊り上

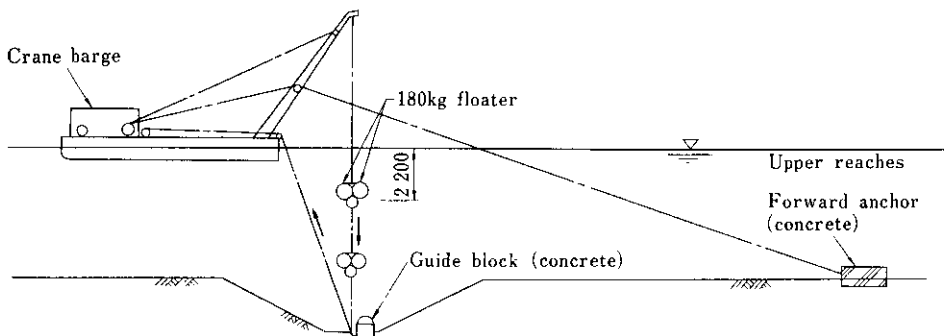


Fig. 9 Sinking method using guide block

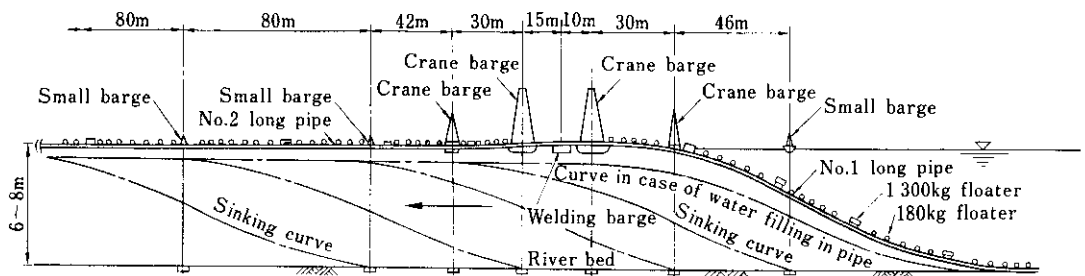


Fig. 10 Jointing and sinking procedure of No. 1 and No. 2 long pipe



Photo. 5 Pipe jointing work on board of welding barge

げて溶接台船上に仮固縛し、管端盲蓋の撤去、開先面のケレン、開先合せを行い手溶接した。溶接完了後、X線検査、塗覆装を行い、長管の船上接合を完了した。次に、溶接台の固縛を解き、管体を30cm程度吊り上げて溶接台船を抜き水面下2.2mまで下げ、以下はNo.1長管と同様の要領で沈設した。

No.1とNo.2の接合沈設作業時間は、回航配船3h45min、接合5h15min、沈設3h、合計12hであった。

No.2とNo.3、No.3とNo.4の接合作業も同様の要領で行った。特にNo.3とNo.4の接合作業は、干潮時に3m以下の水域が発生することから作業時間の選定と配船計画に苦慮したが、幸いにして溶接作業が順調に進んだためほぼ同様の時間内に完了した。

3・6 立上り管の沈設

No.2長管の沈設後左岸の立上り管の沈設を、またNo.4長管の沈設後右岸の立上り管の沈設を行った。接合する沈設管と立上り管の立上り位置を沈設前に測量し立上り管の寸法を調整しておいた。すでに沈設された隣接長管の管端を前記吊り上げ要領に従って吊り上げ、溶接台船上に固縛した。一方、製作ヤードで完成した立上り管を70t吊り起重機船で立上り管が鉛直になるように3点で吊り、沈設位置の潮位を検討しながら回航し、すでに溶接台船上に固縛された接合管と開先合せを行い手溶接した。以下は同様にX線検査、塗覆装、沈設の順に立上り管の沈設作業を行った。

左岸立上り管についての作業時間は、回航配船3h、接合4h45min、沈設2h15minで、合計10hであった。また、右岸立上り管の沈設作業もほぼ同時間で完了した。

3・7 耐圧テスト

河底管の沈設完了後、管内水を使用して設計圧力の1.5倍の 15kg/cm^2 で24h放置の耐圧テストを行ったが、まったく異常がなかった。

3・8 水管橋工事

長管製作と並行して両岸の水管橋工事を開始した。水管橋は上部工および橋長がそれぞれ50m、45mのプレートガーダーで、下部工の陸側橋台は地上10mの鉄筋コンクリート造りである。河川側橋脚は水上15mの鋼管杭4本を鉄筋コンクリートで補強した構造である。河底管の立上り管の沈設までに橋梁部を仕上げ、立上り管沈設後橋脚の鉄筋コンクリート補強工および橋桁上配管と立上り管の接合を行った。Photo.6に水管橋の河川側橋脚部の建設中の状況を示す。

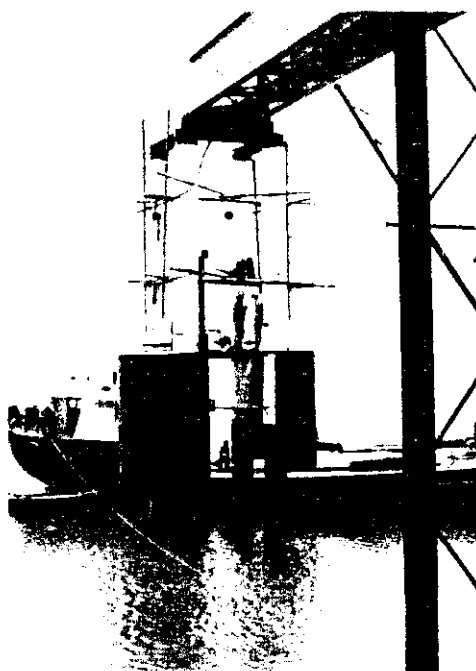


Photo. 6 Construction of water pipe bridge

4. あとがき

本報 2 件の工事を振り返り問題となった点、工夫をした点の主なものを挙げるとつぎのとおりである。

(1) 衣浦湾の場合

- (a) 海底地形がすり鉢状になっているため、海底管の全長を地形に合せ製作し、布設する方法を採用した。
- (b) 8 台のトラッククレーンと 2 隻の起重機船を配置し、30cm 単位に移動しながら進水した。
- (c) 海上曳航はワイヤーロープで異形部を補強して変形を防止し、さらに曳航管の回転を防止するためにタグボート 3 隻を配置して行った。
- (d) 起重機船 3 隻を配置し、フローターで重量調整し両端を軸として回転し、沈設する方法を採用した。

(2) 高梁川の場合

- (a) 400m の長管の製作に自動溶接機 3 台を使用するセミスプレッド方式を採用し、工期の短縮を図った。
 - (b) 単重 180kg と 1 300kg のフローターを使用して水中重量を調整し、作業船を 80m ごとに配置し、管内注水を行ったうえ、一部のフローターの切り離しを行いながら作業船で沈設した。なお、流水による管の移動を防止するためにガイドブロックを使用した。
 - (c) 作業区域が河口部で干潮時水深 3m 以下となる水域があったため、大型作業船の操船を十分配慮し、潮位を考えながら作業した。
- 最後に、本工事施工にあたり、終始御指導いただいた愛知県西三河水道工事事務所および岡山東企業局の工事関係者各位、また、本工事の施工に直接たずさわった関係者各位に深く感謝いたします。