

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.14 (1982) No.2

水底曳航法によるパイプライン敷設工事

Laying works of Pipelines by Bottom Pull Method

加藤 親男(Chikao Kato) 上田 為敏(Tametoshi Ueda) 西沢 信二(Shinji Nishizawa)
佐々木 洋三(Yozo Sasaki) 堺 伸介(Shinsuke Sakai) 金野 春幸(Haryuki Konno)

要旨：

オイルショック以降の書く格高炉操業のオイルレス化に伴ない、コークス量、ひいてはコークスガス（C ガス）の発生量が増加した。この報告は、高梁川をはさんで水島製鉄所の対岸にある川崎製鉄株玉島工場に低コストの C ガスを送給し、同時に窒素ガスをも送給するアンダーウォーターパイプラインの設計と施工について述べたものである。浚渫工事には、ライン浚渫であること、浚渫工事がそれ程多くないこと、浚渫土砂の処理が確実に出来ることや河床の工質等を考慮し、クラブ船を使用した。また、管布設工事には、直線上の配管ルートを選択でき、配管ルート延長上に十分な工事スペースがあったため、気象情報にあまり影響を受けない水底曳航法を採用した。この工事は 1981 年 5 月に始まり本工事は 9 月に完了したが、付帯工事はその後も引き続き行われた。同年 12 月には、ガス供給を開始する予定である。

Synopsis：

Following the tendency of oilless operation of the blast furnace since the "oil crisis", production volumes of coke and, in its turn, coke oven gas (C-gas) increased. This report describes the design and construction of underwater pipelines through which Mizushima Works sends low cost C-gas and nitrogen gas in parallel across the Takahachi river to Tamashima factory of Kawatetsu Galvanizing Co., Ltd. It was decided to use a grab dredger for dredging work because of the narrow width of dredging, large volume of dredged soil, easy disposal of dredged soil to the limited area and excellent soil condition of the river bed. For the pipe laying method, it was decided to adopt the Bottom Pull Method, which is not so easily affected by the weather condition, because the pipe route was chosen to be straight in plane and sufficient space was available for constructing an extension line to the underwater pipeline. This pipeline construction was started in May, 1981 and main works were completed in September, but appurtenant works are now being done, and gas supply is to be started in December, 1981.

本文は次のページから閲覧できます。

水底曳航法によるパイプライン敷設工事

Laying Works of Pipelines by Bottom Pull Method

加藤 親 男*

Chikao Kato

上 田 為 敏**

Tamotoshi Ueda

西 沢 信 二***

Shinji Nishizawa

佐々木 洋 三****

Yozo Sasaki

堺 信 介*****

Shinsuke Sakai

金 野 春 幸*****

Haruyuki Konno

Synopsis:

Following the tendency of oilless operation of the blast furnace since the "oil crisis", production volumes of coke and, in its turn, coke oven gas (C-gas) increased.

This report describes the design and construction of underwater pipelines through which Mizushima Works sends low cost C-gas and nitrogen gas in parallel across the Takahashi river to Tamashima factory of Kawatetsu Galvanizing Co., Ltd. It was decided to use a grab dredger for dredging work because of the narrow width of dredging, large volume of dredged soil, easy disposal of dredged soil to the limited area and excellent soil condition of the river bed. For the pipe laying method, it was decided to adopt the Bottom Pull Method, which is not so easily affected by the weather condition, because the pipe route was chosen to be straight in plane and sufficient space was available for constructing an extension line to the underwater pipeline.

This pipeline construction was started in May, 1981 and main works were completed in September, but ap-purtenant works are now being done, and gas supply is to be started in December, 1981.

1. はじめに

水島製鉄所では、オイルショック以後の石油価格の高騰に対処するため各高炉をオイルレス操業へ切り替えた。これに伴いコークス生産量が増加し、その結果高カロリー燃料であるコークスガス(Cガス)の発生量が増加した。

そこで高梁川の対岸にある川鉄鋼板㈱玉島工場に低コストのCガス及びそれに並列して工場に必要な窒素ガスを送給する計画が実行に移された。

この計画で、アンダーウォーターパイプライン

は高梁川河口(港湾区域)に敷設し2本の航路を横断させた。

アンダーウォーターパイプラインの敷設工法には、配管ルートがほぼ直線で配管ルート延長上に長尺管を製作するスペースがある場合に採用される水底曳航法(ボトムプルメソッド)、配管形状が複雑な所やウインチ能力に制限がある場合等に採用される浮遊曳航法(フローティングメソッド)、及び大規模な配管の敷設に採用される敷設船工法(レーバージメソッド)があり、それぞれの工法はさらに工事規模、水深、流速、船舶の航行、地形、気象等の条件を考慮して決定される¹⁾。

* 水島製鉄所土建部部長

*** 水島製鉄所土建部土木課

***** エンジニアリング事業部土木技術部主査(掛長)

[昭和56年11月10日原稿受付]

** 水島製鉄所土木課課長

**** 水島製鉄所動力部動力技術室主査(課長)

***** エンジニアリング事業部パイプライン・海洋技術部主査(掛

また、アンダーウォーターパイプラインの敷設においての問題には、敷設工法と並んで浚渫方法の決定がある。

本工事において浚渫工事には、ライン浚渫であること、浚渫土量がそれ程多くないこと、浚渫土砂の処理が確実に行えることや河床の土質の状態などを考慮し、大型のグラブ船を採用した。また、管敷設工事には、配管のルートが直線であり配管ルート延長上の水島製鉄所内に 270m の長尺管製作ヤードがとれたので、洪水時期に工事を行なう悪条件に対して安全性の高い、水底曳航法が採用できた。

2. 工事概要

本工事は1981年5月に浚渫工事が開始され、9月末に河底部が完了した。河底パイプラインの全長は約1300mであり、Cガスを350A（外径355.6mm）sch 40（11.1mm）、N₂ガスを150A（外径165.2mm）sch 40（7.1mm）のパイプで移送する。Fig. 1に全体平面図を、Fig. 2に工程の概要を示す。

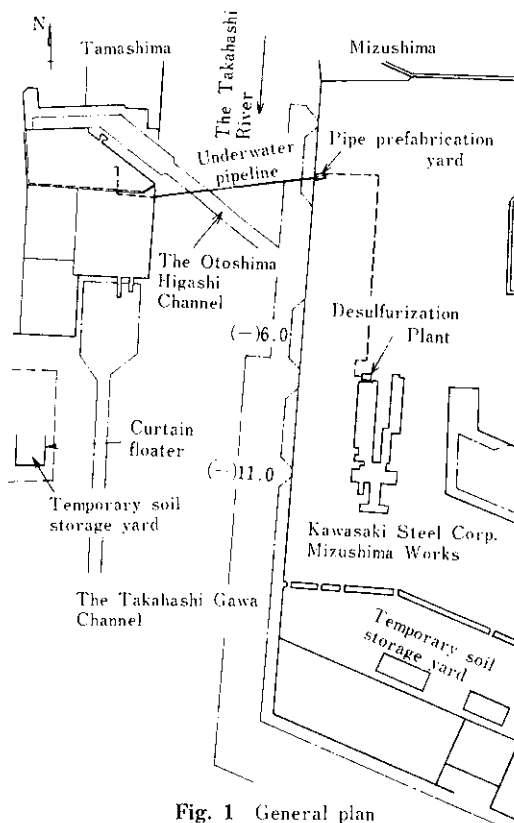


Fig. 1 General plan

Kind of works	Quantity	1981					
		May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
Preparation							
Earth works							
Dredging	102 500m ³						
Back filling	86 000m ³						
Pipe installation							
Fabrication	Long pipe						
Laying	264m × 5						
Riser pipe	× 2						
Riser pipe installation							
Mizushima side	Length 26.8m						
Tamashima side	26.8m						
Bridge							
Fabrication	Span 62m						
Installation	59m						

Fig. 2 Project schedule

3. 設 計

3.1 設計概要

本工事を設計するにあたって、大きく2つの条

件の異なるものを考慮する必要があった。即ち、埋設管自体の設計と陸上から河底に移る部分の形状の決定及びその設計である。埋設管の設計については、耐震設計法を示している石油パイプライン技術基準²⁾を準用することにした。陸上から河底に移る水際線の形式としては、パイプを空中に

立ち上げずに護岸を貫通させる事も考えられるが、護岸及びパイプ本体の安全を考え配管橋方式を採用した。配管橋の形式は、スパンが約60mであるのでパイプトラスとした。

3・2 埋設管の設計

3・2・1 設計条件

次に示す条件により設計した。

- (a) 管径及び設計圧力
N₂ガス用：φ150A, 9 kgf/cm²
C ガス用：φ350A, 3 kgf/cm²
- (b) 使用管規格
圧力配管用炭素鋼鋼管 STPG 42
- (c) 許容応力
 $\sigma_a = 1250 \text{ kgf/cm}^2$ (降伏応力の $1/2$)
- (d) 腐食代
特に考慮せず (管厚は許容最小値を用いた)
- (e) 土の湿潤単位体積重量
 $\gamma_a = 1.7 \times 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3$
- (f) 土被り厚さ
陸上部：1.2m
河底航路埋設部：2.6m
河底一般埋設部：2.0m
- (g) 温度変化
埋設部 15°C (5～20°C)
- (h) 許容応力の割増し
温度変化の影響：1.25
他工事の影響：1.50
地震の影響：1.70
設置時における荷重の影響：1.80
- (i) 合成応力
主荷重等によって生ずる導管の円周方向応力、軸方向応力及び管軸に垂直なせん断応力を合成した応力は規格最小降伏点の90%，すなわち、 $\sigma_{\max} = 2250 \text{ kgf/cm}^2$ 以下とする。

3・2・2 埋設管に発生する応力の計算

- (1) 内圧により鋼管に発生する応力
内圧による円周方向の発生応力は次式で与えられる。

$$\sigma_{ci} = \frac{P_i (D_o - t)}{2t}$$

σ_{ci} ：内圧による円周方向応力 (kgf/cm²)
 P_i ：内圧 (kgf/cm²)
 D_o ：管外径 (cm)
 t ：管厚 (cm)

また、内圧による管軸方向応力 σ_{ii} は、

$$\sigma_{ii} = \nu \frac{P_i (D_o - t)}{2t}$$

ν ：ポアソン比 ($\nu = 0.3$)

で与えられる。

- (2) 埋設管に作用する外力

次に示す3項目を算定した。

- (a) 土圧

$$W_s = r_s \times h \times D_o$$

W_s ：土圧 (kgf/cm)

r_s ：湿潤土の単位体積重量 (kgf/cm³)

h ：土被り厚 (cm)

- (b) 自動車荷重

$$W_m = \frac{29.1 \times D_o}{10 + h \tan \theta} (1 + i)$$

W_m ：自動車荷重 (kgf/cm)

θ ：自動車後輪荷重の分布角 (°)

i ：衝撃係数

- (c) 投擲または浚渫バケット等による荷重

$$W_i = \frac{P \times D_o}{(A + h \tan \beta)(B + h \tan \beta)}$$

W_i ：衝撃荷重 (kgf/cm)

P ：衝撃力 (kgf)

A ：落下物の幅 (cm)

B ：落下物の長さ (cm)

β ：衝撃荷重の分散角 (°)

- (3) 外力により鋼管に発生する円周方向応力

外力によって鋼管に発生する円周方向応力は、次式で与えられる。

$$\sigma_{co} = \frac{D_r K_B W_o R E t}{E \cdot I_t + 0.061 K_B R^4 + 2 P_i D_r K \times R^3} \cdot \frac{1}{Z_i}$$

σ_{co} ：外力により鋼管に発生する円周方向応力 (kgf/cm²)

D_r ：たわみ時間係数 (一般には1.5)

K_B ：基床の状況による値 (普通の基床で、 $K_B = 0.13$)

W_o ：鋼管に作用する外力 (kgf/cm)

R ：鋼管の半径 (cm)

E ：鋼管のヤング率 (kgf/cm²)

I_t : 鋼管の管壁の断面 2 次モーメント
(cm^4/cm)

K_H : 水平方向地盤反力係数 (kgf/cm^3)

K_X : 基床の状況による値 (普通の基床で,
 $K_X=0.089$)

Z_t : 鋼管の管壁の断面係数 (cm^3/cm)

また、鋼管に作用する外力により発生する管軸方向応力は次式で与えられる。

$$\sigma_{ro} = \frac{0.322}{Z_t} W \sqrt{\frac{E \cdot I_t}{K_V \cdot D_o}}$$

K_V : 鉛直方向地盤反力係数 (kgf/cm^3)

(4) ナチュラル・ベンドによる応力

河底配置の埋設深さが変化する場合、鋼管のたわみ性を利用してゆるやかなカーブで深さの変化に対応することができる。これが鋼管の特徴であり、その場合鋼管に曲げ応力が発生する。発生応力は次式で求められる。

$$\sigma_{rB} = \frac{E}{\rho} R$$

ρ : 鋼管の曲率半径 (cm)

(5) 熱応力

温度変化により発生する軸方向応力は鋼管が拘束されている場合、次式で与えられる。

$$\sigma_{rt} = \alpha E T - \nu \sigma_{ci}$$

α : 鋼管の線膨張係数

T : 温度差 ($^{\circ}\text{C}$)

(6) 埋設管の地震時に鋼管に発生する応力

(a) 設計水平震度

$$K_h = K_{oh} \nu_3$$

$$K_{oh} = 0.15 \nu_1 \nu_2$$

K_h : 地表面での設計水平震度

K_{oh} : 設計基準面における水平震度

ν_3 : 地盤別補正係数 ($\nu_3=1.33$)

ν_1 : 地域別補正係数 ($\nu_1=0.85$, 岡山県)

ν_2 : 土地利用区分別補正係数 ($\nu_2=0.8$)

(b) 鋼管布設位置での水平変位振幅

$$U_h = 0.203 T_1 \times S_V \times K_{oh} \times \cos \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{h}{H} \right)$$

$$T_1 = CH/V_1$$

U_h : 鋼管布設位置での地盤の振幅 (cm)

T_1 : 表層地盤の固有周期 (s)

H : 表層地盤の厚さ (cm)

C : 地盤による係数

V_1 : 表層地盤のせん断弾性波速度 (cm/s)

S_V : 地震応答速度スペクトル (cm/s)

(c) 鋼管に発生する応力

地震時に発生する軸方向応力及び曲げ応力は次式によって与えられる。

$$\sigma_{Le} = \alpha_1 \frac{\pi U_h E}{L}$$

$$\sigma_{Be} = \alpha_2 \frac{2\pi^2 D_o U_h E}{L^2}$$

σ_{Le} : 地震によって生ずる軸方向応力
(kgf/cm^2)

σ_{Be} : 地震によって生ずる曲げ応力
(kgf/cm^2)

α_1 : 軸ひずみに対する伝達率

L : 表層地盤の地震波の波長 (cm)

α_2 : 曲ひずみに対する伝達率

α_1, α_2 の値はそれぞれ次の式によって求まる。

$$\alpha_1 = 1 / \left\{ 1 + \left(\frac{4.44}{\lambda_1 L} \right)^2 \right\}$$

$$\alpha_2 = 1 / \left\{ 1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_2 L} \right)^4 \right\}$$

ただし

$$\lambda_1 = (K_1/EA)^2$$

$$\lambda_2 = (K_2/EI)^2$$

$$K_1 = K_2 = 3 G_S$$

$$G_S = \frac{r_s \cdot V_1^2}{g}$$

A : 鋼管の断面積 (cm^2)

I : 鋼管の断面 2 次モーメント (cm^4)

地震時に発生する全方向の合成応力は次式で与えられる。

$$\sigma_e = \sqrt{3.12 \sigma_{Le}^2 + \sigma_{Be}^2}$$

(7) 計算諸元及び計算結果

計算諸元を Table 1 に示す。計算諸元をもとに計算した結果、鋼管の管厚を次のように決定した。

N₂ ガス管 : 150A (Sch 40)

C ガス管 : 350A (Sch 40)

この時の応力計算結果を Table 2, Table 3, Table 4 に示す。

地震時の応力計算は前記計算式の外、電算による地震応答解析も行なったが、すべての位置の許容応力範囲内に納まった。

Table 1 Numerical value of variable

Variable	Typical section of riverbed		Section of channel		Section of land	
	N ₂ gas	C gas	N ₂ gas	C gas	N ₂ gas	C gas
W_s (kgf/cm)	5.440	12.390	4.845	10.945	3.932	7.254
W_m (kgf/cm)	-----	---	-----	-----	4.807	11.940
W_c (kgf/cm)	---	---	18.122	45.843	---	---
ρ (cm)	800×10^2				---	
H (cm)	13.50×10^2		8.40×10^2		19.94×10^2	
V_1 (cm/s)	99.7		105.8		197.1	
U_h (cm)	0.839		0.370		0.584	
L (cm)	86.19×10^2		53.55×10^2		105.63×10^2	

Table 2 Summarization of Practical unit stress at typical river-bed section

	N ₂ gas 165.2×7.1			C gas 355.6×11.1			Allowable unit stress kgf/cm ²
	Practical unit stress kgf/cm ²			Practical unit stress kgf/cm ²			
	Circumferential stress σ_c	Axial force σ_l	Combined stress σ	Circumferential stress σ_c	Axial force σ_l	Combined stress σ	
①Internal pressure	115	35	—	53	16	—	—
②Earth pressure	140	—	—	273	—	—	—
③Seismic earth pressure	165	—	—	323	—	—	—
④Natural bend	—	217	—	—	467	—	—
⑤Temperature stress	—	378	—	—	378	—	—
⑥Under earthquake loading	—	1 097	—	—	1 019	—	—
①+②+④	255	252	439	326	483	705	σ_{St} 1 250
①+②+④+⑤	255	630	789	326	861	1 062	1.25 σ_{St} 1 563
①+③+④+⑥	280	1 349	1 059	326	1 502	1 721	1.7 σ_{St} 2 125

$$\text{Combined stress : } \sigma = \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_c^2} + \sigma_l \cdot \sigma_c$$

3-3 河底管の浮力に対する検討

この検討は Underwater pipe line の特色であり、中空のまま布設する場合はこの検討が必要となる。即ち Bottom Pull Method で鋼管を布設する場合は鋼管が河底に沈む必要であり、かつ、布設作業中に水の流れや河床に浮遊している浮泥によって浮き上がらないためにある程度の水中重量

が必要である。そこで 350A の鋼管の外面にコンクリートを吹き付けウエイトコーティングを行なった。コンクリートの厚さは、水中重量が 30kgf/m (比重 1.26) 程度になるように 2.5cm に決定した。

各々の鋼管及びコンクリートコーティング鋼管の水中重量は次のようになる。

N₂ ガス管 : $W=6.5\text{kgf/m}$ (比重 1.29)

Table 3 Summarization of practical unit stress at channel section

	N ₂ gas 165.2×7.1			C gas 355.6×11.1			Allowable unit stress kgf/cm ²
	Practical unit stress kgf/cm ²			Practical unit stress kgf/cm ²			
	Circumferential stress σ_c	Axial force σ_l	Combined stress σ	Circumferential stress σ_c	Axial force σ_l	Combined stress σ	
① Internal pressure	115	35	—	53	16	—	—
② Earth pressure	124	—	—	241	—	—	—
③ Seismic earth pressure	147	—	—	285	—	—	—
④ Temperature stress	—	378	—	—	378	—	—
⑤ Bucket and drop of anchor	465	480	—	1 010	436	—	—
⑥ Under earthquake loading	—	747	—	—	641	—	—
①+②	239	35	258	294	16	302	σ_{sa} 1 250
①+②+④	239	413	571	294	394	598	1.25 σ_{sa} 1 563
①+②+⑤	704	515	1 060	1 304	452	1 579	1.5 σ_{sa} 1 837
①+③+⑥	262	782	941	338	657	876	1.7 σ_{sa} 2 125

Table 4 Summarization of practical unit stress at land section

	N ₂ gas 165.2×7.1			C gas 355.6×11.1			Allowable unit stress kgf/cm ²
	Practical unit stress kgf/cm ²			Practical unit stress kgf/cm ²			
	Circumferential stress σ_c	Axial force σ_l	Combined stress σ	Circumferential stress σ_c	Axial force σ_l	Combined stress σ	
① Internal pressure	115	35	—	53	16	—	—
② Earth pressure	101	—	—	160	—	—	—
③ Car load	124	145	—	263	133	—	—
④ Temperature stress	—	378	—	—	378	—	—
⑤ Bucket and drop of anchor	—	639	—	—	632	—	—
⑥ Seismic earth pressure	119	—	—	189	—	—	—
①+②	216	35	235	213	16	221	σ_{sa} 1 250
①+②+③	340	180	457	476	149	565	σ_{sa} 1 250
①+②+④	216	413	554	213	394	533	1.25 σ_{sa} 1 563
①+⑤+⑥	234	674	817	242	648	797	1.7 σ_{sa} 2 125

Cガス管：W=−7.5kgf/m（比重0.95）

コンクリートコーティング鋼管：W=31kgf/m

3-4 配管橋

配管橋のスパンは、護岸から川の中への突き出し長さによって決定される。立上がり管の橋脚の位置は護岸保護の見地から出来るだけ護岸から離し

た方が良く、また、船舶の航行からは航路より護岸方向に充分離す事が要求され、河川管理構造令等の法律にてらし、両岸とも護岸より40mの位置に決定された。陸側の橋脚の位置は護岸際にある道路をまたぐ形で内側にした。この結果、配管橋のスパンは約60mになった。橋の形式は、前回³⁾同様にプレートガーダーにそろえると自重を保持

するためにウェブを高くしなくてはならず、その結果、横方向の荷重は長さ及び高さに比例して大きな風荷重を受ける事になる。しかし、この配管橋はガス管を2条支えているだけなので、鉛直荷重は小さい。それに比べて水平荷重が大きいので、水平荷重を小さくする目的でトラス橋を採用した。トラスの形式は配管橋であるため、使用材料をすべて鋼管に統一し、逆三角形立体トラスとした。配管橋の設計に際して、鋼道路橋設計指針、日本水道鋼管協会が発行している水管橋設計仕様書に従って行なった。Photo. 1 に配管橋の架設状況を示す。

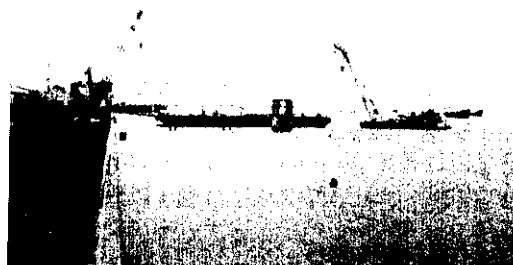


Photo. 1 Erection of gas pipe bridge

4. 曳航敷設工事

4.1 浚渫及び埋戻し作業

浚渫及び埋戻し断面を Fig. 3 に縦断面を Fig. 4 に示す。溝状の浚渫であるため非自航式グラブ船（ $4\text{m}^3 \sim 8\text{m}^3$ ）と土運船の組合せで施工した。浚渫土のうち砂質土を海中に仮置きし粘性土は陸上に仮置きした。Photo. 2 にグラブ船による浚渫の状況を示す。

工事は、乙島東航路と高梁川航路の2つがあるため航行船舶に支障をきたさないように作業予定について関係者と連日打合せを毎日行なった。更に、作業周辺に警戒船を4隻配置して安全に対して万全を期した。

工事区域に隣接して漁場があり、工事中の濁りを出来るだけなくするために次のような対策を行

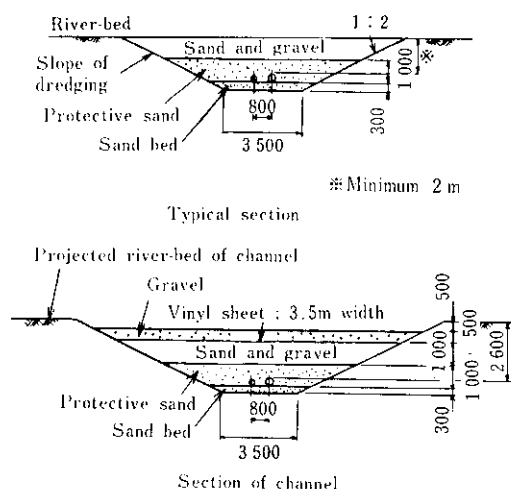


Fig. 3 Standard section of pipe laying zone

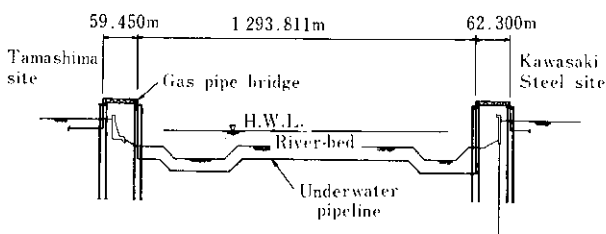


Fig. 4 Vertical section of underwater pipeline

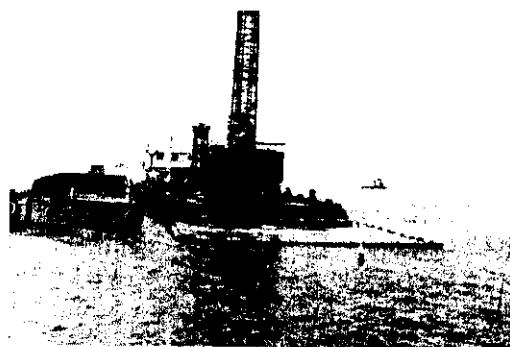


Photo. 2 Dredging works

なった。

- (1) グラブ船のバケットが昇降する範囲にカーテンフロッターを設置した。Fig. 5 にその効果を確認めるために行なった水質汚濁調査の結果を示す。
- (2) 航路部は浮泥が堆積しているため密閉グラブに密閉バージ併用で施工した。

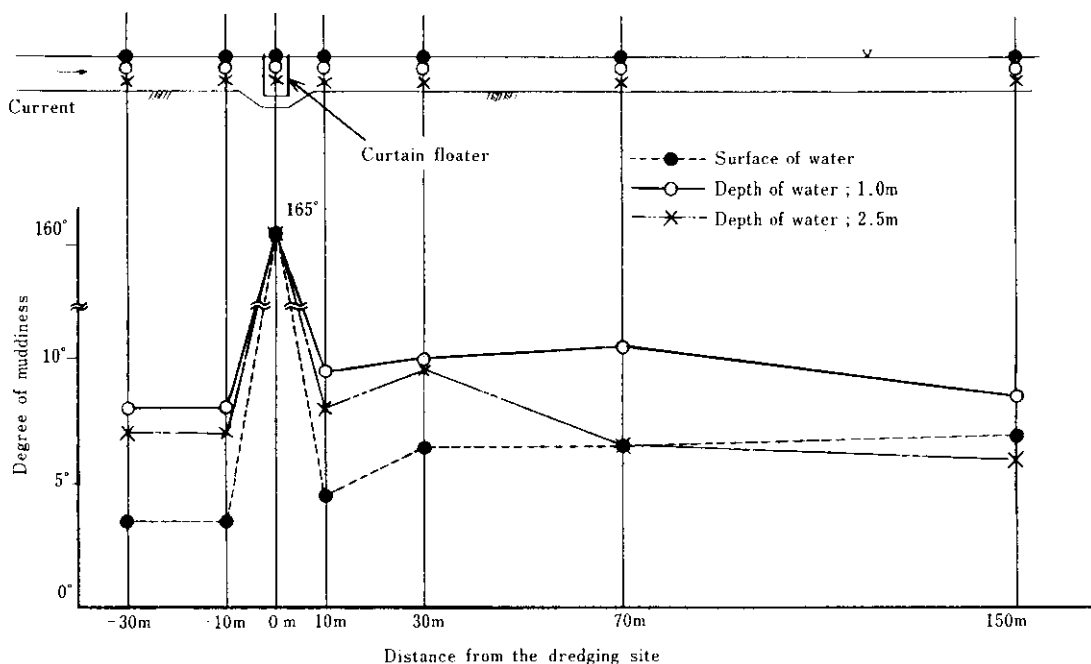


Fig. 5 Investigation of muddiness at the dredging work site

埋戻し作業において敷砂、保護砂は海砂を使用し、ガット船にて浚渫時と同様カーテンフローターを張り施工した。土運船で埋戻す部分は干満の影響で上下流があるため、パイプラインセンターから上下流に 50m 離れた位置に長さ 100m のカーテンフローターを設置し、埋戻しの進捗に合わせてそのカーテンフローターは移動させた。Fig. 3 に示したように航路部は航行船舶の投錨及び将来の維持浚渫の時にパイプラインの位置が確認出来るよう碎石、ビニールを表面に使用した。なお、埋戻し作業に並行して各段階（敷砂、保護砂、土砂、各層別）でグレーダー船にて整地作業を実施した。

4.2 長尺管の製作

4.2.1 長尺管製作ヤード

Fig. 6 に長尺管製作ヤードの断面を示す。ヤードは中央部を進水架台とし、その左右に集積ヤードを H 鋼を用いて作った。

工場で外面塗装、モルタルコーティング、開先加工した 12m の単管を集積ヤードで 11 本接続して 132m の長尺管を作った。完成した長尺管を Photo.3 に示す。この長尺管をローラーを取り付けた進水架台上に移動し、長尺管を 2 本つないで 264m の長尺管を作り曳航した。なお、進水架台の後端部

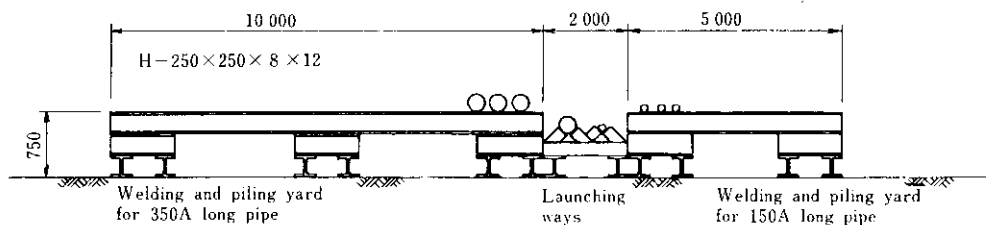


Fig. 6 Vertical section of long pipe welding yard



Photo. 3 Prefabrication yard for long pipe

には、パイプ移動及び曳航のためにバックウインチを設置した。

4.2.2 溶接及びX線検査

長さ12mの単管を集積ヤードに仮置きして溶接した。溶接作業はパイプライン工事では非常に重要なものであり、施工管理には特に注意した。

溶接方法は1層目をTIG溶接、2層目以降を低水素系溶接棒を使用した。TIG溶接を採用したのは次のような理由による。

- (1) 裏波が確実に出る
- (2) ピグを通すため裏波が大きすぎない
- (3) 溶接が確実である

溶接工の資格はJIS Z 3801による資格N-2 Pまたは同等以上の資格を有するものとし、十分経験のある者とした。溶接工2人、鍛冶工5人で溶接作業を行ない、350Aで1日8箇所位の施工をした。

溶接完了後、接合位置全周のX線検査を行なった。X線検査の判定規準はJISの2級以上を合格とした。X線判定の結果、合格率は350Aで96.4%、150Aで92.3%であり、ブローホールの発生が主な欠陥の原因であった。

4.3 曳航敷設

4.3.1 曳航要領

曳航は玉島側に設置した100tfウインチにて150A、350Aの2本のパイプを同時に行なった。2本のパイプには24m毎に連結用の固定バンドを取り付けた。また、重量調整用のフロート(180kgf

×2)を取り付け、曳航のサイクルは264m長尺管とした。なお、長尺管移動及び曳航時の逸走を防止するため15tfのバックウインチを設置した。

4.3.2 ワイヤロープの展延

玉島側に100tfウインチ、水島側に15tfウインチを設置し、完了後、ワイヤロープの展延をした。メインワイヤ(パイプ牽引用)の展延に先行してメッセンジャーワイヤを設置した。22mmのロープ端末を100tfウインチの40mmのワイヤに連結した。続いて作業船に積込んだ1500mのメッセンジャーロープを浚渫溝内に落し込んだ。

水島側立上がり部でメッセンジャーロープの先端を15tfバックウインチに連結し張力をかけた状態で作業船にて吊りながらロープの蛇行を修正した。メッセンジャーロープが浚渫溝の中に正しく納まっていることを確認してから100tfウインチのメインワイヤ(40mm×500m、60mm×850m)をメッセンジャーワイヤに接続して、15tfバックウインチでメッセンジャーワイヤを巻き取ることによってメインワイヤを展開した。

4.3.3 付属品の取付け

350Aのパイプは外面にモルタルをコーティングしているため曳航時の損傷の恐れはないが、150Aのパイプはモルタルコーティングを施していないので保護のため半割塩ビ管を管の下面に帯鋼で取り付けた。350A、150Aの管を同時に曳航するため2本の管を固定するバンドを取り付けた。固定バンドはH形鋼を加工して作った。また、曳航時の牽引力を減少させ、より安全な作業ができるように180kgfフローター2個を各固定バンドに取り付けた。形状及び取り付け状態をFig. 7に示す。

海底曳航1本目の長尺管の先端は水、土砂の侵入防止及びワイヤロープ取り付けのため、盲板を取り付けてリブで補強した。更に、管先端部は海底面を円滑に牽引できるようにソリを取り付けた。

玉島側100tfウインチの付近に牽引力を測定するためにテンションメーターを取り付け、牽引力の推移をチェックした。

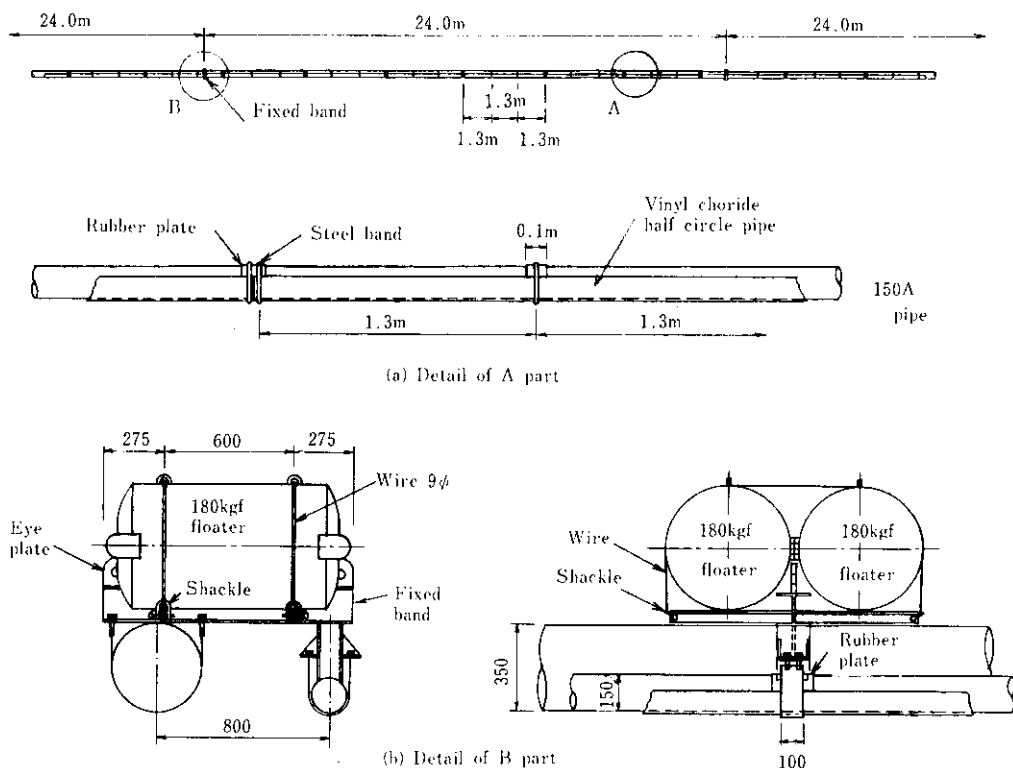


Fig. 7 Installation of float

4-3-4 曳航

進水架台に設置された 264m の長尺管は玉島側に据え付けられた 100tf ウインチで曳航された。ソリの取り付けられた先端部は 100tf ウインチに接続され、長尺管の後端は 15tf のバックウインチに接続された。先端部が陸上進水架台を通架するまでは陸上クレーンで吊り上げた状態で引き出し、ソリが海上の進水斜路にかかった時点で海上クレーン船によって吊り上げられた状態で進水斜路の各ローラーを通過した。進水斜路上の長尺管を、**Photo. 4** に示す。

1 本目の曳航についてはセンターライン、及び 100tf ウインチの牽引と逸走防止のためのバックウインチによる逆方向の引張の関係を慎重に管理しながら曳航した。先端にはダイバーを配し状況を常に把握し、長尺管の先端が海底の起伏部に潜らないようにクレーン船にて吊り上げながら曳航した。以上のような作業を繰り返しながら敷設した。

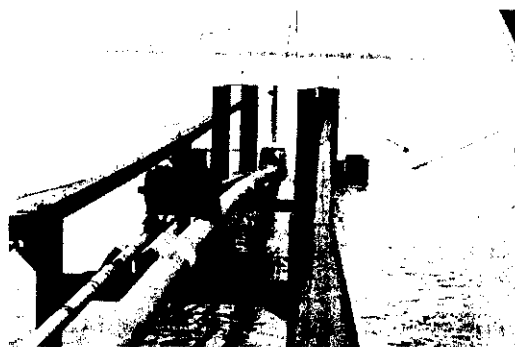


Photo. 4 Launching of 264m long pipe

曳航の状態を表わす縦断図を **Fig. 8** に示す。

最終の長尺管の後端には先端部同様に盲板を取り付けた。曳航が完了し長尺管の先端が玉島側の所定の位置に到達しても管の最後尾は水島側進水斜路の上に残ったままになっているため、斜路上の管を所定の間隔でクレーン船により吊り上げ、進水斜路のローラーを取り外し浚渫溝に着地させ

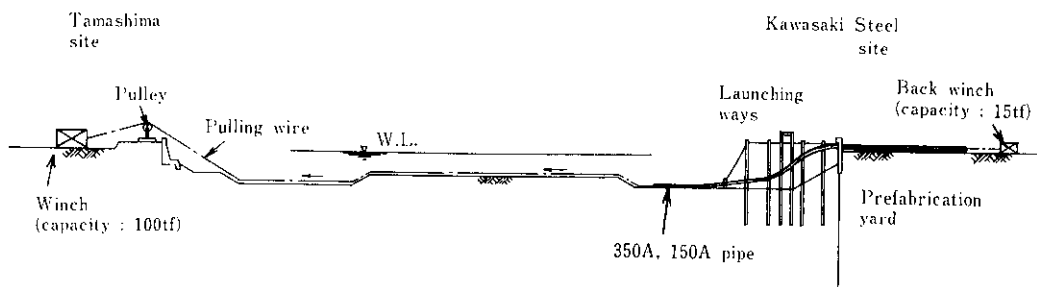


Fig. 8 Pulling of underwater pipeline

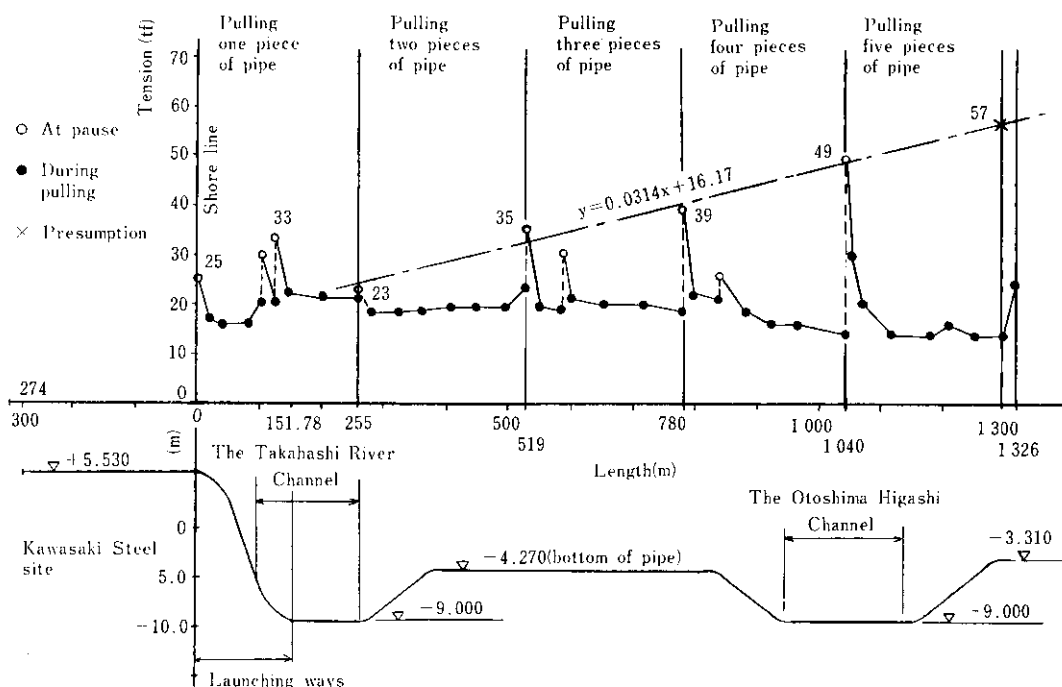


Fig. 9 Data of tension during pulling (winch capacity: 100tf)

た。

曳航時の張力をテンションメーターにより測定した。Fig. 9は、20m ごと の張力を測定した結果である。これをみると長尺管 5 本の初期引張力はほとんど変化がない。1 本目の曳航時はワイヤーロープの抵抗がほとんどであり、4 本目以降はパイプの抵抗が支配的であるものと考えられる。しかし、測定結果ではワイヤー、パイプの抵抗が同じようになっている。曳航力はフローターによる重量調整の程度、海底面の起伏の状況、更に土と

パイプの抵抗が摩擦によるものか付着によるものか状態によってかなり変化するものと考えられる。今回のように比較的円滑に曳航できたのは次のような理由が考えられる。

- (1) 海底面をグレーダー船で整地し表面の越伏をなくした。
- (2) 長尺管先端をダイバーで確認するとともに上り勾配で土中に潜りそうな場合は、クレーン船で吊りながら曳航した。
- (3) 流水の関係で浚渫面に多少浮泥が堆積し、そ

の上を滑走した。

(4) 長尺管1本を長くして初期引張回数を少なくした。

曳航ウインチの大きさを決定する場合に最終のパイプをどの位置で引張るかが非常に重要なチェックポイントになる。

4-3-5 立上がり管の接合

河底曳航により敷設された長尺管の両端に立上がり管を取り付けた。長尺管の末端に3隻のクレーン船を配し、所定の位置にダイバーを潜らせ吊りワイヤーを取り付けた。準備完了後、事前に計算された曲線に従い先端より徐々に吊り上げた。水面上2m程度上がると溶接台船を管の下に入れ台船上に吊り降して固定した。事前に加工した立上がり管を陸上での長尺管接合と同じ手順で、台船上で接合した。接合完了後、管を少し吊り上げて台船を引き抜き、吊り上げ時と全く逆の手順で徐々に正確に吊り降した。

4-3-6 耐圧テスト

立上がり管の敷設後2本のパイプについて耐圧試験及び気密試験を行なったが全く異常がなかった。

5. おわりに

工事を振り返り問題となった点、工夫した主なものを挙げると次のとおりである。

- (1) 水島側の敷地を最大限に活用し曳航1サイクルの長尺管を原計画の倍にして、曳航日数を短縮すると共に工事量の削減を図った。
- (2) 牽引力の測定結果からも判るように、水中重量の調整がうまくいった。
- (3) 汚濁防止対策は当初予想した以上に効果をあげた。

最後に本工事施工にあたり御指導いただいた建設省岡山河川工事事務所、岡山県水島港都市開発事務所の工事関係者各位、また施工に直接たずさわった川鉄工事(株)に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾局(監修): 港湾の施設の技術上の基準・同解説, (1980), 81, [日本港湾協会]
- 2) 通産省他: 石油パイプライン技術基準, 省令及び告示, (1972)
- 3) 嶋, 河本, 金野, 寺本: 浮遊曳航法による水底管の施工, 川崎製鉄技報, 9 (1977) 3・4, 207