

T P P 工法 (Taisei Pipe in Pipe) による海底配管の敷設 Submerged Pipeline Laying by TPP(Taisei Pipe in Pipe) Method

福島敬三*・東靖人*・福井清正**・米山英明***・村山一啓****
Keizo Fukushima, Yasuhiro Higashi, Kiyomasa Fukui, Hideaki Yoneyama, Kazuyoshi Murayama

New submerged pipeline renovation method developed by Taisei Corporation has been applied to laying pipeline of Tonen Corporation at Kawasaki port. The method enables new pipeline to be inserted into existing pipeline by pressured fluid contained in new pipeline. The fluid inside of new pipeline is sealed. The pressure is added to the fluid which derives forwarding force to new pipeline. Through this force, the new pipeline creeps ahead. This is the first application of the method in Japan. The execution result implies that the method can be employed for submerged pipeline renovation even with longer distance or larger diameter.

Keywords: submerged pipeline , pipe insertion method, insertion device

1. まえがき

東燃株式会社川崎工場の東扇島西シーバース海底配管工事は、扇島シーバースに隣接して新しく建設するシーバースと浮島埋立地との間約 3km に 3 条の配管及び電気通信ケーブルを敷設するものである。この 3 条の配管の内 1 条の配管 (34 インチ) は、休止海底配管 (42 インチ) を再使用する目的で休止管の内に挿入されることになった。(図-1)

休止管は延長 2,256m と長く、曲線敷設されていることから、長い距離の挿入が容易で、無理のない片押しの出来る T T P 工法 (Taisei Pipe in Pipe) を採用した。

海底配管の挿入工事は、国内においては直線敷設の海底配管に、押込み工法で行われた例はあるが、曲線敷設された海底配管に挿入した事例はこれまでになく、輸送油種が高温である条件を考慮した設計を行うと共に、施工上の課題である挿入抵抗の低減について、検討・改善を行った。以下は、海底配管の挿入に我が国で初めて T T P 工法を適用した工事の設計・施工について述べるものである。

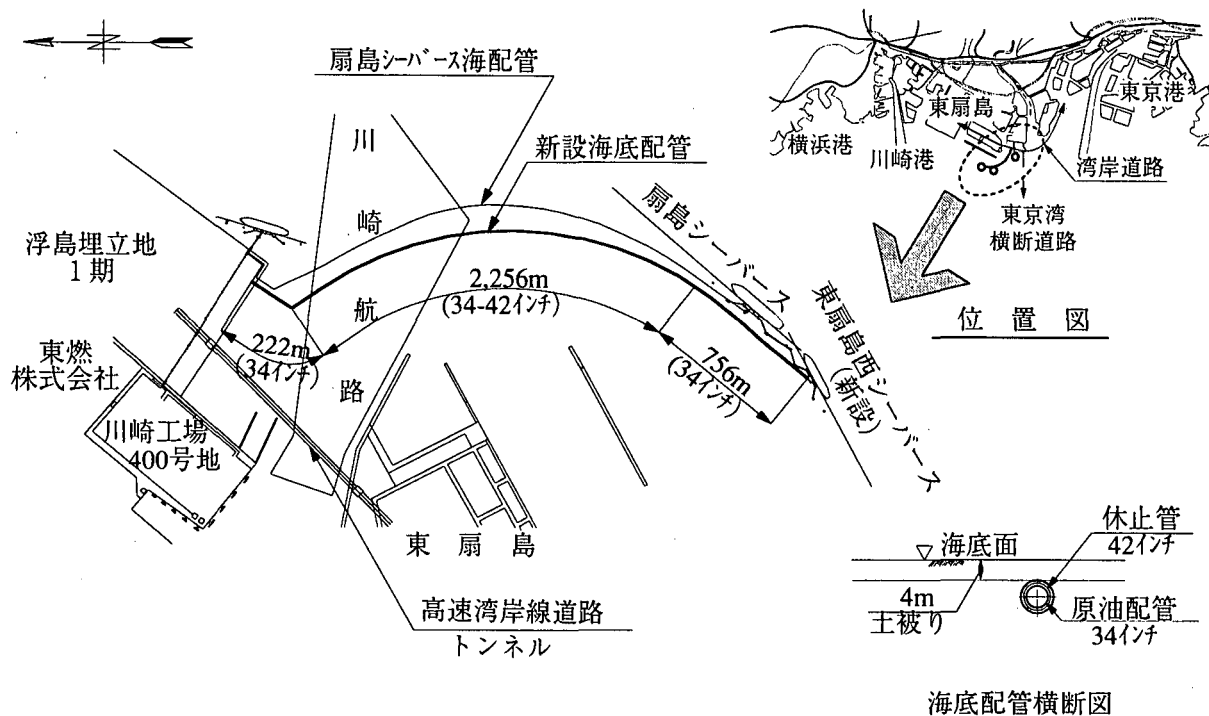


図-1 全体図

- | | |
|--------|---|
| * | 東燃テクノロジー (株) メカニカル技術部 土建設計課 |
| ** | 大成建設 (株) エネルギー部 土木関連施設計画室 |
| ***正会員 | 大成建設 (株) 土木技術部 海洋土木技術室 (〒163-06 東京都新宿区西新宿 1-25-1) |
| **** | 大成建設 (株) 土木設計第 2 部 海洋設計室 |

2. 海底配管の計画概要

休止管は、昭和 45 年に建設され、主に中東原油を扇島シーバースから東燃川崎工場へ輸送していたが、平成元年に海底配管の敷設替えに伴い、管内を洗浄し清水で封入管理されていた。今回計画の取り扱い油種が高温のミナス原油であることもあり、新管を休止管に挿入し、休止管を新管のさや管として利用することにした。

内管を挿入する方法は、表-1 に示す通り分類されるが、このうち、内部組立法、押込み工法、けん引工法は陸上の水道管路等で多くの実績を持つが、数 km に及ぶ海底配管には適応が困難であり、唯一適用できる工法として、封入流体加圧工法（TPP 工法）を採用した。

TPP 工法の原理は、挿入する内管の先端を閉塞した密閉構造とし、挿入管の内部に封入した流体を挿入管後端からプラグを介して加圧し、その加圧した力を挿入管の先端に作用させて、挿入管を既設管内に推進させるものである。（図-2）

この原理により挿入管は、その先端に押込み力が作用し、挿入管自体には引張力が働くことになり、座屈による損傷の心配はなくなる。

挿入を容易に行うために、次のような二つの対策を講じた。

① スライディングスパーサー

挿入時に発生する摩擦抵抗力を軽減し、内管の外面被覆を損傷させないため管の外周にスライディングスパーサーを取りつけた。（図 3）

② 重量液の注入

挿入時に発生する摩擦抵抗力を軽減するため、休止管と挿入管との間隙に、比重の大きい液体（塩化カルシウム 比重 1.35）を充填し、その浮力によって挿入管の重量を零に近づけるように調整した。

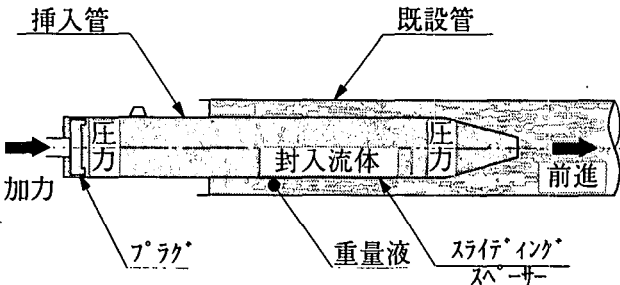


図-2 挿入原理図

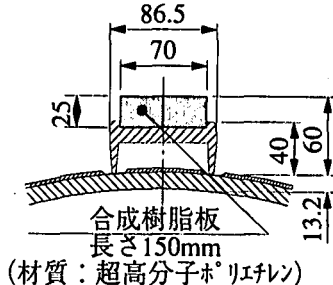
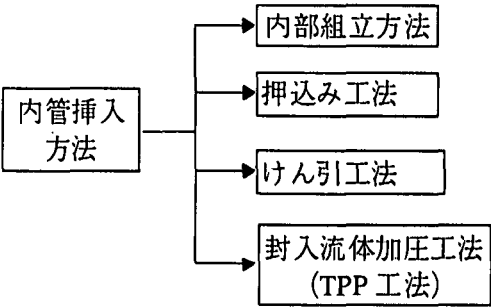


図-3 スライディングスパーサー構造図

表-1 内管挿入方法



3. 海底管の設計概要

海底配管の設計は、表-2 に示す設計荷重に対し、消防法等で定める許容値を満足する肉厚及び材質を決定した。（表-3）配管計算の一例として、温度変化による配管計算は、二重管（34-42インチ）の端部を耐久力及び防食上から固定構造としたことにより、二重管端部で拘束する配管系となり、二次元骨組解析にて算定した。

表-2 設計荷重表

項 目		設計条件
主荷重	内圧	設計圧力9.9kg/cm ²
	土圧	土被り4.0m,土の湿潤単位体積重量 $\gamma_s=2.0t/m^3$
	敷設時荷重	曲率半径 1,800m
従荷重	投錨時衝撃荷重	錨の水中重量 8,610kg
	温度変化	設計温度差 61° C (油温と周囲温度の差)
	地震時地盤変形	表層地盤面を伝達する地震波による地盤ひずみ (7.62cm)を強制変位とし、配管応力度を求める。

表-3 海底配管諸元

公称外径 (mm)	公称肉厚 (mm)	材質	被覆材
863.6	12.7	API 5L-X60	ホ [○] リエチレンライニング [○] t=2.5mm

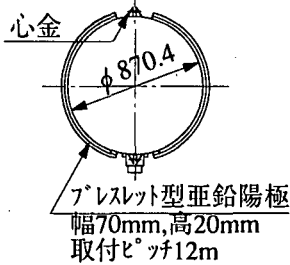


図-4 陽極構造図

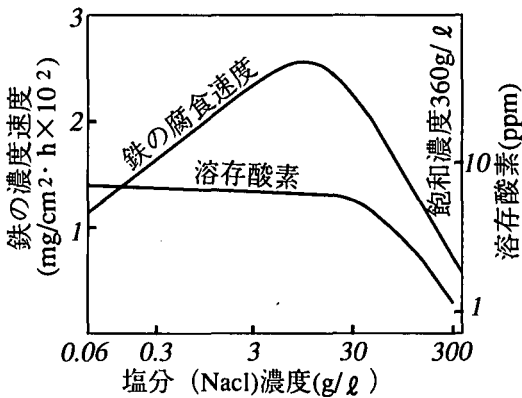


図-5 塩分濃度が鉄の腐食速度に及ぼす影響²⁾

浮島側及びバース側の一重管部は、土中埋設に伴う摩擦力で温度変化による荷重を抑えるものとし、浮島側ではベンド管の曲率を管径の 20 倍に増し、バース側では管肉厚を 2 倍に増し温度荷重に耐える配管とした。

海底配管の防食は、外面は外部電源方式による電気防食としたが、二重管の外管の内面及び内管の外面は、流電陽極方式による電気防食として、34インチ管にプレスレット型亜鉛陽極を取り付けた。(図-4)

休止管と挿入管との隙間に充填した重量液は、高濃度の中性塩化物水溶液であり、海水に比較して腐食しにくい環境にある。これは高濃度になると溶存酸素が減少することから説明される。図-5 に示す通り、塩水では海水程度の濃度が最も腐食しやすく、飽和塩水では淡水の半分以下の腐食速度となる。

この効果に加えて、二重管間隙内は密封されているので、微量の溶存酸素が腐食反応に消費された後は、空気の供給が絶たれているため、すみやかに無酸素状態に至り、腐食反応は更に制限される。

4. 海底配管の施工概要

4.1 施工手順

休止管は、浮島側端部を海底から浮上させ、斜路に支持させた。
作業ステージ上には他工事海域と川崎航路との限られた作業海域のため、休止管挿入口の勾配に合わせ挿入架台を設け、挿入架台上に挿入装置、挿入管を搭載し挿入した。(図-6)

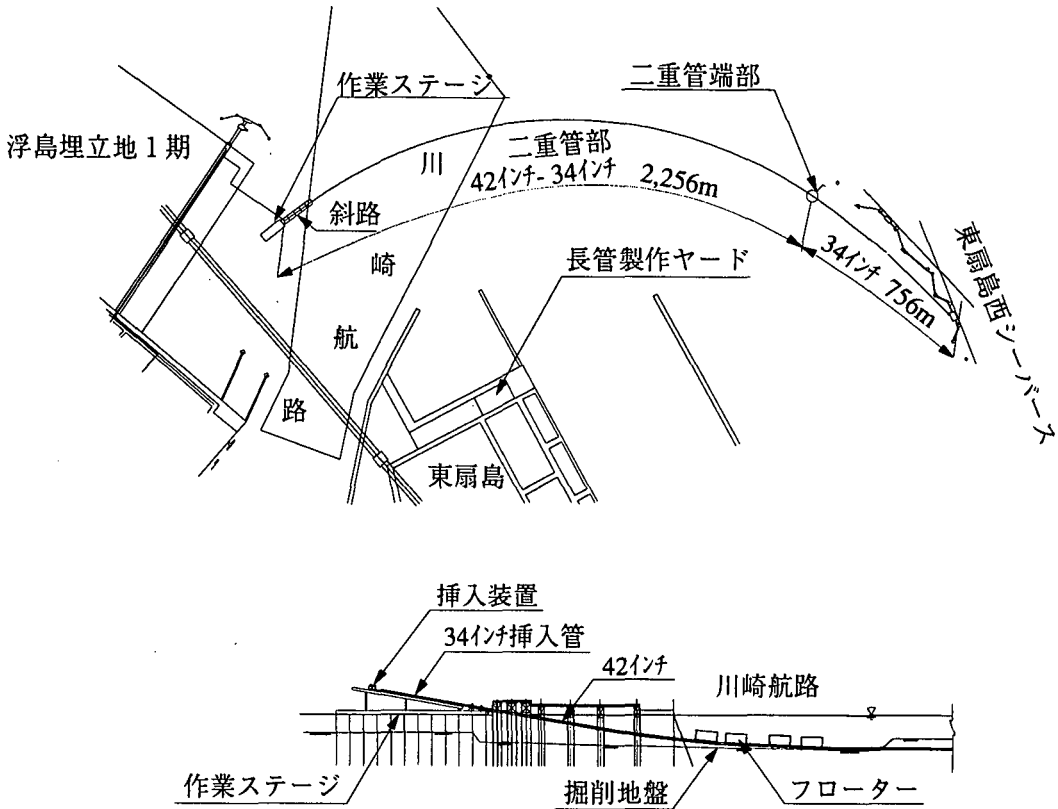


図-6 挿入概念図

4.2 事前調査

本工事着工前に、内径測定ピグで休止管内径を延長方向 50cm ピッチで測定し、挿入工事に支障のないことを確認した。(写真1)

4.3 長管製作工

配管は東扇島に設けた長管製作ヤードで、34インチ素管 12m を 5 本継ぎ合わせて長さ 60m の長尺管を製作し、130 t 吊り起重機船で 3000t 積台船に載せ、作業ステージに海上運搬した。

スライディングスペーサーの取付けは、標準部で 1m ピッチとした。管頭部は、休止管の曲がりによる、休止管壁を押し付ける力による挿入抵抗を軽減するため、スライディングスペーサーの取付けをやめて、管頭形状を先細にし、管肉厚を厚くした。管頭部手前には、管頭部の拘束力が作用するので、スライディングスペーサーを 1m 当り 2 ヶ取付けた。

(図-7)

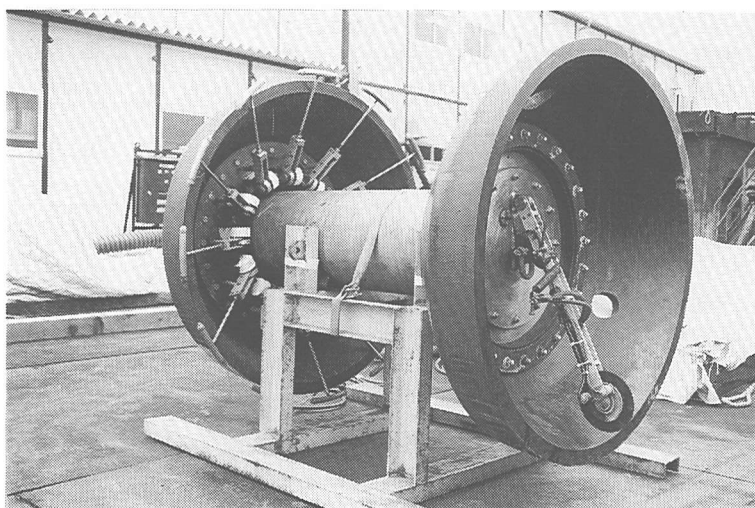


写真-1 内径測定ピグ

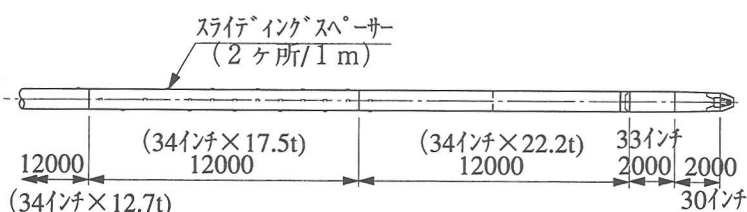
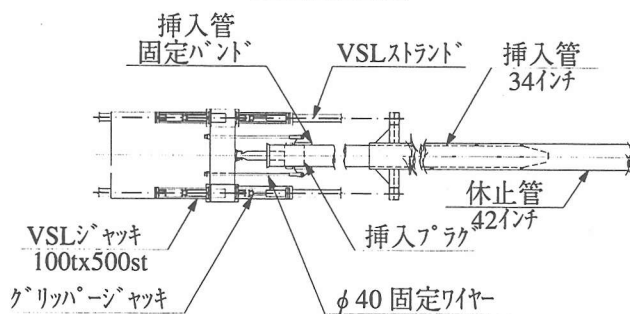


図-7 管頭部形状図

平面図



側面図

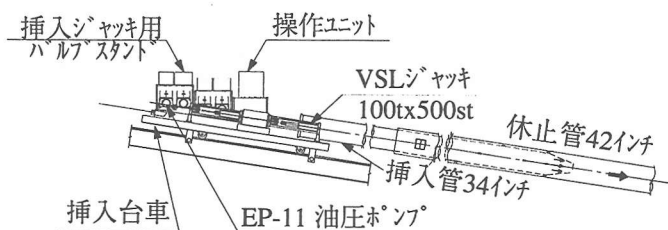


図-8 挿入装置概要図

4.4 挿入設備工

挿入装置は、挿入抵抗の低減のため一定速度の連続運転を必要とした。

運転方式として、ウィンチ式、ラックピニオン式及び VSL ジャッキ式を比較し、装置の規模、施工性、自動化の容易性から、VSL ジャッキ式を選定した。フロント部とリア部に配置した 4 台の VSL ジャッキを交互に運転し、休止管に固定した VSL ストランドを反力として、推進させた。交互運転時の荷重切替をスムーズに行えるように、減圧弁を作動させる制御システムを組み込んだ。挿入装置は、挿入台車上に挿入プラグ、VSL ジャッキ、油圧ポンプ及び操作ユニットを組立て、電力ケーブル及び加圧水供給ホースをホースリールで巻き取り運転した。(図-8)

挿入装置は、挿入抵抗を上回る挿入力を加えれば推進することになるが、その際、封入流体の圧力変動により挿入プラグが揺動し、連続挿入が困難になることが予想された。そこで、封入流体加圧を事前に挿入力に見合う圧力まで上げて挿入プラグ位置を保持することにした。

加圧給水装置には圧力センサーを取付け、挿入プラグ部の漏洩等により、圧力が低下した場合、設定圧力に回復するまでポンプを運転できるシステムを取り組んだ。(図-9)

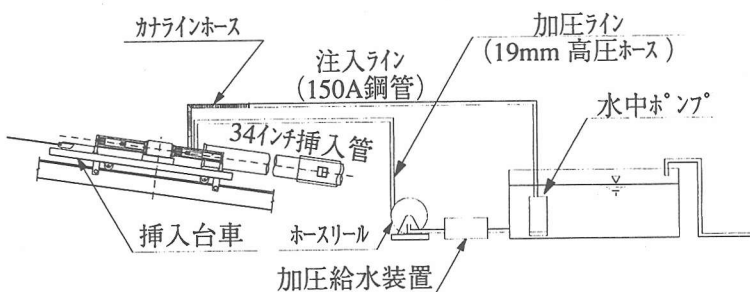


図-9 加圧水配管系統図

4.5 挿入工

挿入工は、挿入管内の圧力、プラグの移動等を中央制御盤で監視しながら、長管 60m を連続して挿入した。

(表-4)

挿入工程は、1 日当たり 60m 長管 1 本の挿入で進み、予定通り 2 ヶ月で完了した。(写真-2)

4.6 挿入力

挿入力は、図-10 に示す挿入装置と挿入管との関係から次のとおりとなる。

挿入前に挿入管内圧を一定圧に上昇させ、固定ワイヤで挿入プラグを保持することから、

$T=p \cdot A \cdots \cdots \textcircled{1}$ 式

ここに、T:固定ワイヤ張力

p:挿入管内圧

A:挿入管内面積

挿入中は、挿入プラグを VSL ストランドで押し込んでいるので、力の釣り合いは次の値となる。

挿入管の釣り合い

$T-\Delta T=(p+\Delta p)A-F \cdots \cdots \textcircled{2}$ 式

挿入プラグの釣り合い

$T-\Delta T=(p+\Delta p)A-V \cdots \cdots \textcircled{3}$ 式

ここに、

ΔT :固定ワイヤ張力減少分

Δp :挿入管内圧増加分

F:挿入抵抗力

V:VSL ストランド張力

②式、③式より

$F=V$

以上より、挿入力は VSL ストランド張力とする。

挿入力は、VSL ストランド張力の測定値より、図-11 に示すとおりとなった。挿入抵抗の要因は、次のとおりと考えられる。

- ① 管自重による摩擦力
 - ② 管が湾曲することにより生じる摩擦力
 - ③ 管に張力が作用することにより生じる摩擦力
 - ④ 管先端部が外管とせることにより生じる摩擦力
- 測定値より、挿入力が挿入距離に依存していることから、上記①、②、③の要因によるものが大きいと言える。

$F=f \times w \times L \cdots \cdots \textcircled{4}$ 式

ここに F:挿入力 (t)

f:摩擦係数

w:管自重=0.067 (t/m)

L:挿入距離 (m)

図-11 のデータより回帰直線勾配を求める。

$F/L=0.027t/m$

④式より $f=(F/L) / w=0.027 / 0.067=0.40$

スライディングスペーサーの摩擦係数が、実験より 0.28 であるので、(差分) =0.40-0.28=0.12 が休止管の曲線に伴う摩擦力と考えられ、比較的小さいと言える。

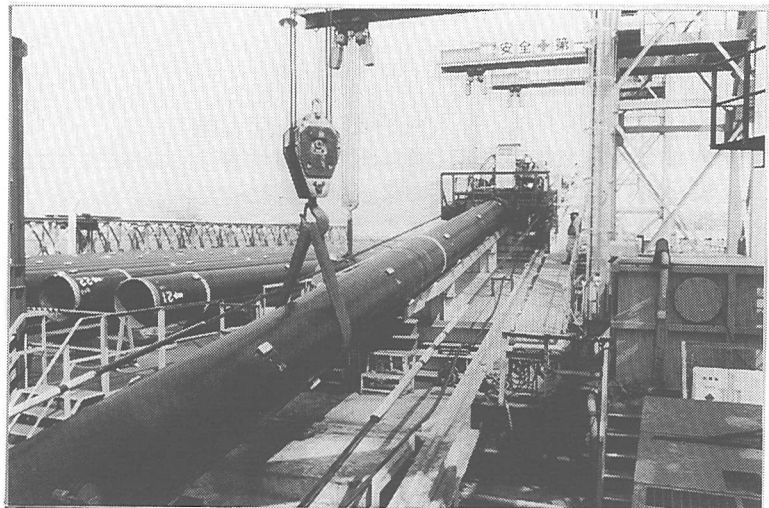


写真-2 挿入作業状況

表-4 品質管理表

施工区分	管理項目	管理基準	備考
挿入工法	管内圧力	0~17kg/cm ²	加圧ポンプの圧力ゲージにより確認
	重量液液面	±0.5m	液面管理は水圧計による
	挿入速度	0~1m/min	速度計により挿入速度を確認
	重量液比重 (ノッチタンク内) 納入：毎日	$\rho=1.30 \sim 1.37$ ノッチタンクを満水 に保っておく	
	重量液比重 (42インチ休止管内)	$\rho=1.30 \sim 1.37$	42インチ管より重量液を 抜き取り比重を確認
	挿入荷重	0~100ton	ジャッキ圧力により挿入 荷重を計測

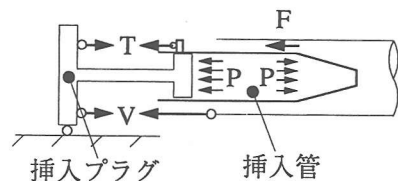


図-10 挿入時の力の釣り合い

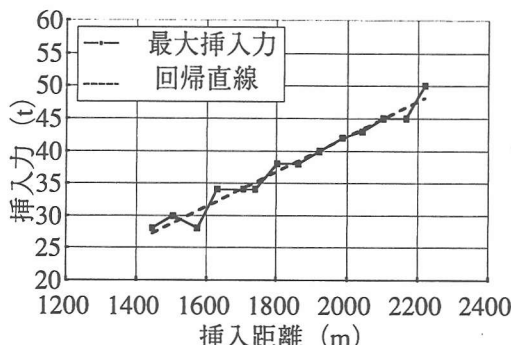


図-11 挿入距離と挿入力の関係図

4.7 二重管端部処理工

1) バース側端部処理工

バース側端部は、挿入完了後に休止管と挿入管をモルタルで固定した。モルタル付着強度を上げるため、休止管および挿入管にせん断キヤを取付けた。休止管のせん断キヤは、ダイバーによる水中溶接とし、挿入管のせん断キヤは、長管製作時に溶接した。さや管(56インチ)は、工場製作し、挿入管がバース側端部を通過する前に休止管(42インチ)に押し込み、仮受けした。挿入完了後、挿入管にフロートを取付け、さや管(56インチ)をクレーン船で設計位置に引出し、土のうに仮受けし、モルタルを注入した。(図-12)

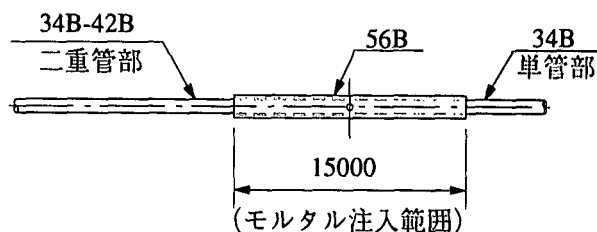


図-12 バース側端部構造図

2) 浮島側端部処理工

浮島側端部は、斜路架台上でフランジを溶接し、休止管と挿入管に窒素ガスを封入した後、コンクリートコーティングを行った。初めに挿入管 34インチとフランジを溶接接合し、休止管 42インチには 42インチの半割管を溶接し、端部を固めた。

挿入管と休止管との間隙は、原油温度上昇に伴う休止管と挿入管との間隙の圧力を緩和するために、窒素ガスを封入した。(図-13)

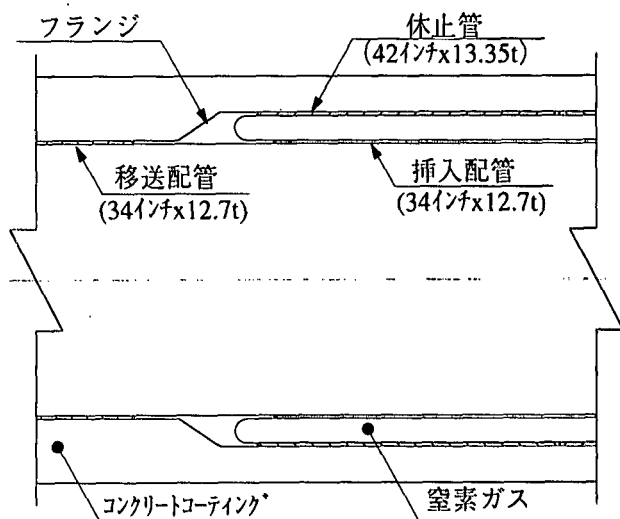


図-13 浮島側端部構造図

5. おわりに

本工事は、既設海底配管(42インチ)に新管(34インチ)を延長約2,200m挿入し、平成8年9月に無事竣工した。この挿入作業は、封入液体を加圧するとともにスライディングスペーサーにより摩擦抵抗を低減し、重量液により新管の重量を低減したことで小さな挿入力で異常なく挿入でき、挿入装置はスムーズに損傷なく作動することを実証した。

TTP工法では、新しく管を敷設する工法に比べて以下のような利点がある。

- ① 漏洩検知と拡散防止対策が可能になる
- ② 工費、工期が大幅に削減される
- ③ 用地上の制約を受けない
- ④ 再度の挿入工事が容易である
- ⑤ 漁業補償等の問題が少ない
- ⑥ 旧管の撤去の必要がない

今回の挿入工事の成果から、今後の大口径で長距離の海底配管更生工事に十分応用可能と考える。

参考文献

- 1) 「パイプラインのリフレッシュ工法」 上田耕平, 永野宏雄
配管技術 1987年増刊号 PP169
- 2) 「腐食科学と防食技術」 伊東伍郎
コロナ社 PP100
- 3) 「海底パイプラインの検査・診断システム」 上田耕平, 永野宏雄, 長峰春夫
建設機械 1996年5月 PP69