

海底パイプラインの埋設工法

しま だ ひで お
島 田 英 雄*

1. 海底パイプラインの埋設

海底配管工事における埋設作業は、パイプの安全性を保持するために重要な作業である。大きい埋設深さが要求されるわが国の海底配管工事では、コスト的に見ても重要な鍵を握る作業であって、埋設作業費が全体工事費の半分以上を占めるといった例も最近では珍しくないほどである。

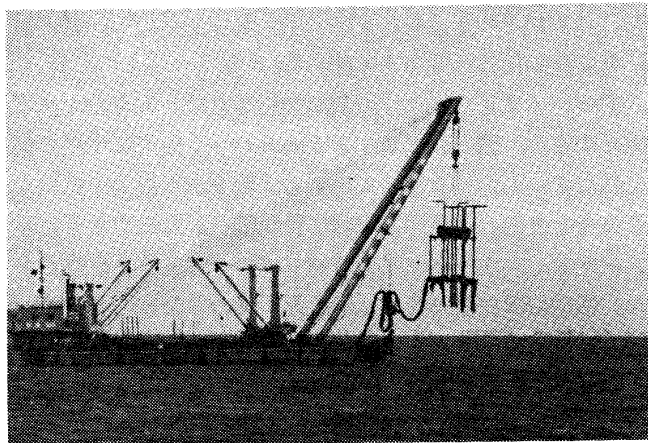
海底パイプラインの埋設は、潮流、波による滑動を防ぐとともに、漁業の底びきに対する安全性のみから考えると、0.5～1.0 m の土カブリで十分であるが、船舶の投錨が予想される海域では、予想される最大のアンカーの貫入以上の土カブリに埋設する必要がある。

タンカーの大きさとアンカー重量との関係についていくつかの実績を調べてみると表—1 のとおりである。20万トンタンカーにもなると、そのアンカー重量は17トンにもなり、実際の投錨テストによると 5 m 以上も貫入した例がある。

埋設深さを決定するその他の要因として、パイプラインルートが将来航路シュンセツなどの計画により、シュンセツが予定されている場合には、あらかじめこの計画水深から所定の土カブリを確保する必要がある。このため 10 m

表—1 タンカーの大きさとアンカー重量

タンカー DWT	195,000	125,000	104,000	73,000	66,000	53,000	48,000
アンカー重量(t)	16.7	14.7	11.5	10.0	9.6	8.2	8.2



写真—1 ジェット式管溝シュンセツ船

* 新日本製鉄㈱相模原技術センター部長代理

以上もシュンセツしなければならないような例もある。

もう一つの要因として、汀線付近の砂浜では季節によって砂が移動、洗掘されることである。パイプラインはこの砂の移動する深さより下に埋設する必要がある、この漂砂についても事前に十分調査しておかなければならない。

2. 埋設工法の分類

海底配管の埋設工法は、大きく分けて、①パイプ布設に先立って海底に埋設溝を掘って、その溝の中へパイプを布設していく先行掘削法と、②パイプを海底面に布設したのち、パイプの下を特殊な水中掘削装置を用いて掘り下げ、海底下所定の深さまでパイプを沈める水中掘削法とがある。

海底配管の埋設工法としては、当然②の水中掘削法の方が、布設作業の容易さ、工程の速さ、コストなどのうえから望ましい。種々の掘削装置がパイプの布設技術開発と同様に開発されているが、これらの装置を採用できる条件にいろいろ制約があり、先行掘削法によらなければならないケースも多い。

2.1 先行掘削法

先行掘削は一般港湾工事に使用される機械が使われるが、海底配管のみぞ掘りにはグラブ（クラムシェル）船が一般に多く使われる。しかし、海底土質、深さ、掘り幅によってはつぎに示す各種の機械が使い分けられる。特に海底が岩盤質で堅い場合には、砕岩、発破などの事前処理を必要とする特殊シュンセツ法が採用される。

一般シュンセツ

- 1) グラブ船 従来、グラブは 1～2 m³ のものが多数を占めていたが、最近では 4～8 m³ のものが多い。大きいものでは 15 m³ のものも作られており、海底深さ、掘削土量によって使い分けられる。自航小型船はガット船と呼ばれる。
- 2) ポンプ船 泥倉を保有する自航式ドラグサクションと非自航の一般のポンプ船とがあり、カッターで切りくずし、泥を吸い上げるもので 250～8,000 PS 級位まである。外国では自航式のドラグサクションをよく使っているようである。ポンプ船を使うと掘り幅が非常に大きくなる。
- 3) バケット船 40～70 個のバケットを持ち、バケット容量は、0.5～0.8 m³ のものが多く自航式と非自航式

とがあり、土砂または砂利混じり土砂で特に量の多い場合に適す。

- 4) ディッパー 硬い地盤に適し、スパッドを海底におろして船体を固定して掘る。ディッパー容量 $2\sim 4\text{ m}^3$ が普通で、 8 m^3 の大型のものもある。
- 5) 水中ブルドーザー 最近では水中ブルドーザーも使用することができる。

特殊シュンセツ

- 1) 砕岩機により破碎し、一般シュンセツを行なう方法— 衝撃工法とも呼ばれるもので、おもりを落下させるおもり式とクイ打ち機を利用した衝撃式とがある。おもりは堅さによって、 $5\sim 25$ トンのものが使われる。
- 2) 発破により破碎し、一般シュンセツを行なう方法— 海底面に孔をあけて火薬をつめる内部装薬発破と海底面に火薬をおく、つけ発破とがある。

当然のことながら、特殊シュンセツは一般シュンセツに比して著しくコストアップになり、こういうルートは極力避けて選定するのが賢明である。

土質分類に対するシュンセツ方式の目安としては、表—2 のとおりである。

表—2 土質の適応船種

土質	状態	適応船種	摘要
土砂	軟質	↑	$N=10$ 未満
	中質	↑ G ↓	$N=10\sim 20$
	硬質	↑ ↓	$N=20\sim 30$
	最硬質	↑ B ↓ D ↑ P ↑ 砕	$N=30$ 以上
砂利	軟質	↑ G ↓	$N=30$ 程度未満
混じり砂	硬質	↑ ↓ D ↓	$N=30$ 程度以上
岩盤	軟質	↑ 砕 ↑ 発	ディッパー船で掘削可能なもの
	硬質	↑ ↓	ディッパー船で掘削不能なもの

注) B: バケット船 P: ポンプ船
G: グラブ船 砕: 砕岩船
D: ディッパー船 発: 発破

先行掘削法の場合、掘り幅は次の事項を考慮すると水中掘削法より大きくなり、最小 $3\sim 5\text{ m}$ を必要とし、したがって掘削土質が水中掘削法に比し大きくなる。

- ① 掘削してからパイプ布設までの間のノリ面のくずれ
- ② 掘削溝の直線性を陸上と同じように正確に維持することがむずかしく、どうしても若干のジグザグを生ずる。
- ③ 布設するパイプの方も若干の曲がりを生じ、溝に余裕がないと溝の中に確実に入れることがむずかしい。
- ④ 溝幅はグラブのつかみ幅より大きくなりグラブの大きいものを使用すると溝幅も大きくなる。

先行掘削法は水中掘削法に比して作業性が劣るので、次に示すようなやむをえぬ条件についてのみ採用し、最小限にとどめるべきである。

- ① 海底地盤が強く、布設後の水中掘削装置では掘れない。
- ② 海底配管の立上り部
- ③ 海底の地盤コウ配が急に変化し、パイプにオーバーストレスが発生するような場合、事前にゆるやかなコウ配

になるよう掘削しておく場合

- ④ 数本のパイプラインを同時に布設し、布設後水中掘削が困難な場合
- ⑤ 布設距離が短い場合（数百メートル）
- ⑥ 航路横断部分で、パイプおよび掘削土が海底面から上に出ることが許されない場合。

先行掘削の場合、シュンセツの捨土位置が重要な問題となり、最近特に公害問題などに関連して捨土または仮置き場所が求めにくくなっており、シュンセツ土の化学分析を要求されることが多い。

2.2 水中掘削法

水中掘削法はパイプを布設したのち、パイプ下の土砂を高圧のウォータージェットによって切りくずし、スラリー化した泥水を水中ポンプでパイプラインの両側または他のところへ排出して、パイプを海底下にさげるもので、1回の掘り下げ深さは 1.5 m 程度が普通で、埋設深さが大きい場合は $1\sim 1.5\text{ m}$ ずつ何回か繰返して所定の深さに下げる。この1回の掘り下げ深さは、パイプのタワミ応力の方からも制限され、パイプの径、地盤の堅さによっても決まるが、上記程度であれば、応力的には一般に安全である。

この掘削装置は布設されたパイプをガイドとして掘削していくもので、ローラーを有するサドル状の機構をもち、動力はすべて船上から送られる。動力としては、土砂切りくずしのウォータージェットを送る高圧ポンプと、泥水を排出する水中ポンプを動かす電気（サンドポンプ用）または圧縮空気（エアリフトポンプ用）の他、泥水をカク乱するための油圧カッター用のオイルポンプを準備することもある。

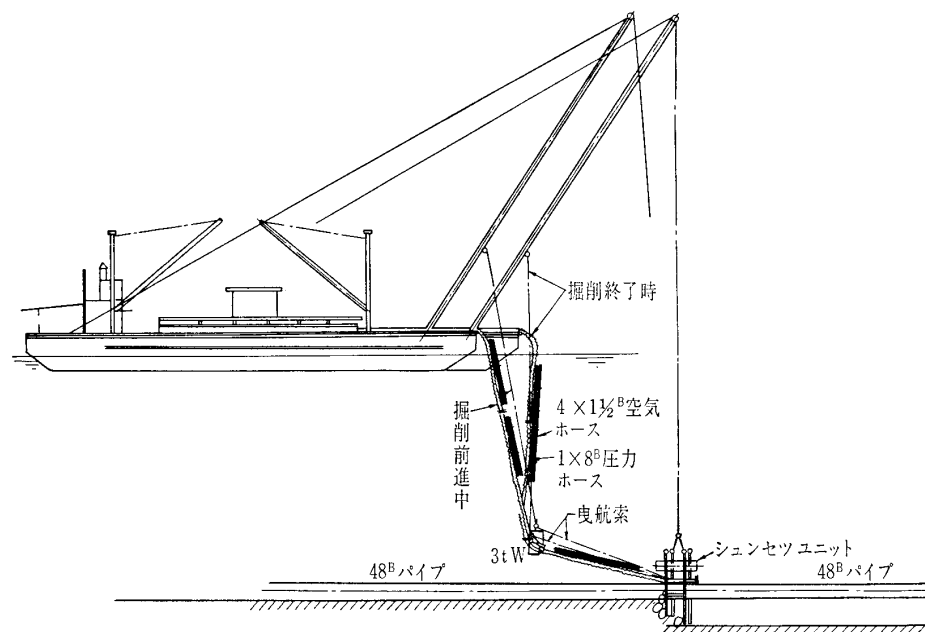
水中掘削機を大別すると、つぎの3種類ある。

- ① パイプ下の土砂を高圧ジェット水で切りくずし、サンドポンプまたはエアリフトポンプなどによりパイプの両側に排土する。
- ② パイプ下の土砂を上記同様、ポンプで排出するが、この排土を後方のすでに溝の中にパイプが沈設された部分に送り、掘削と同時に埋設する。
- ③ パイプ下の土砂を高圧ジェット水で流動化し、管の重みで流動化した泥の中に沈める。

①のタイプとしては、一般に採用されているものをまず紹介すると、図—1に示すようにクレーン船で水中掘削機を海底管の上につり下げて使用し、船上より動力を供給する方法をとる。使用する掘削装置は図—2に示すようなエアージェクターポンプとサンドポンプ方式の2形式がある。掘削装置の主な仕様を示すとつぎのとおりである。

（エアージェクターポンプ法）

エアリフトポンプ	$8''\phi\times 6$
ジェット水ノズル	$14\text{ mm}\phi\times 18$ 個
高圧水ポンプ	$3\text{ m}^3/\text{min}\times 12\text{ kg}/\text{cm}^2\times 4$ 台
コンプレッサー	$17\text{ m}^3/\text{min}\times 7\text{ kg}/\text{cm}^3\times 4$ 台



図一1 シュンセツユニット断面図

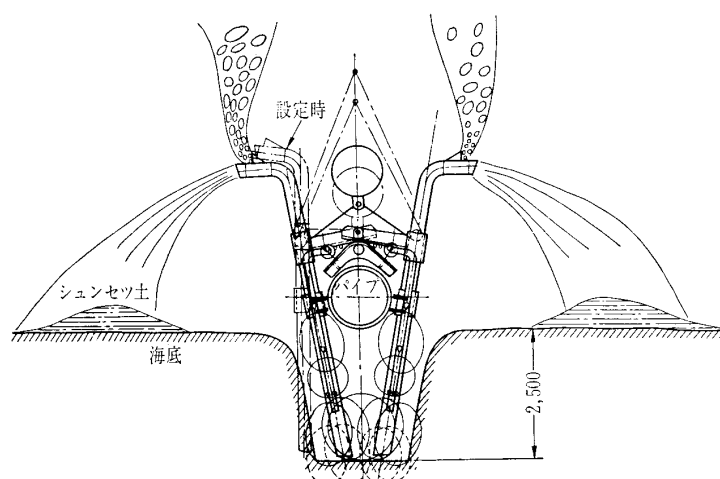
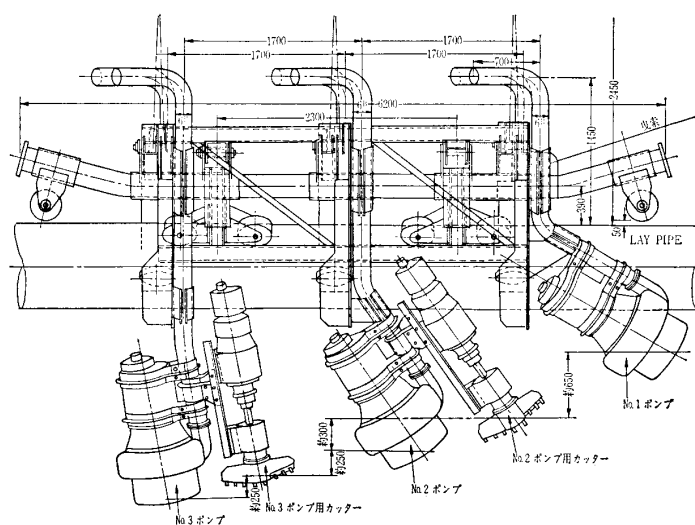
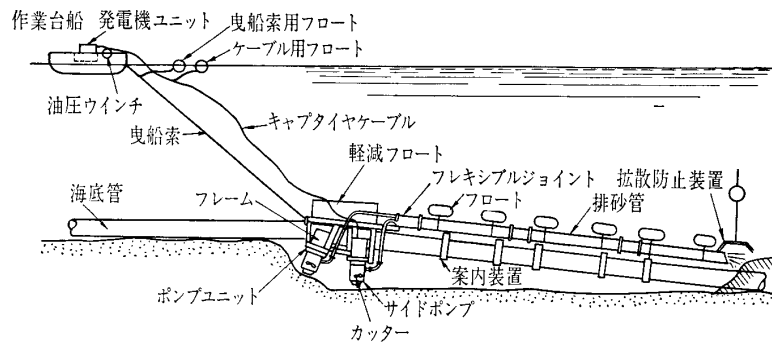


図-2 エアーエジェクターポンプユニット



図—3 サンドポンプユニット



「Seamole」標準型仕様		作業用装置	
パイプ径	外径50cm～76cm(標準)	動力	底部-300馬力の電動モーターによる油圧装置
みぞの深さ	176cm～198cm		地上-600馬力ディーゼル2,300V
みぞの幅	上部 182cm～122cm	60サイクル：3相	
	下部 91cm～211cm	水中重量, 底部重量 7,250kg	
掘削速度(a)固結粘土	60cm/min～150cm/min		
	(b)砂	270cm/min～550cm/min	
ズリの移動	2個の20cmシュンセツポンプ		
水深範囲	0～90m (130mまで設計中)		

図-4 シュンセツ・埋戻し機「Seamole」装置

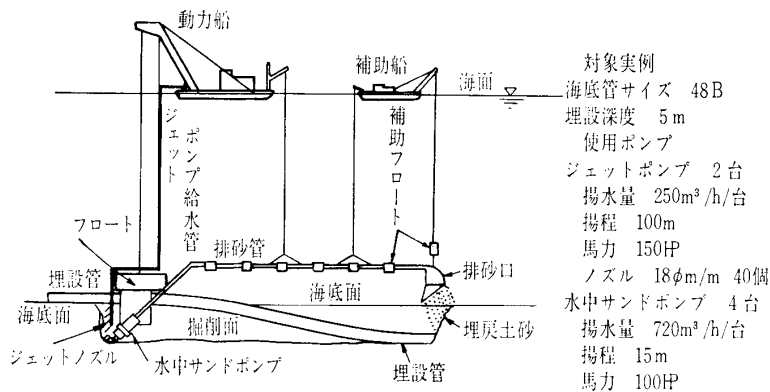


図-5 浜中式シュンセツ埋戻し装置

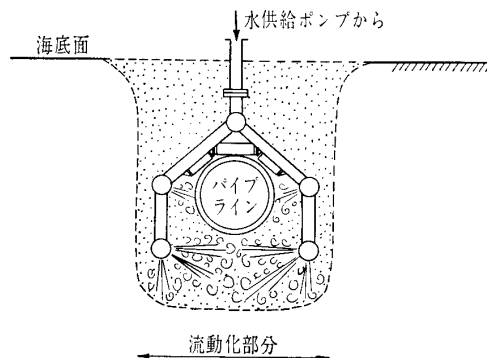
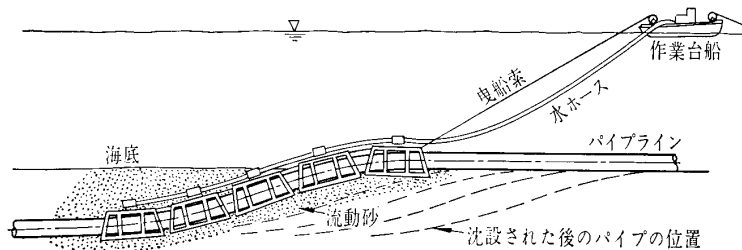


図-6 Sledge Train 埋設装置

(サンドポンプ法)

サンドポンプ	6"φ×6 (3.2 m ³ /min)
ジェット水ノズル	14 mm×14 個
高圧水ポンプ	2.3 m ³ /min×12 kg/cm ² ×4
油圧カッター	60 rpm×4

エアージェクターポンプは機械的、電気的部品がないため故障が少ないという利点があるが、ポンプ効率はサンドポンプに比して劣る。サンドポンプは電気を動力とするので、水中でのシールが問題となるが、50 m 水深までは安全であるとメーカーは保障している。これまでは安全をみて 15 m 以浅に使用してきたが、特にシールでの問題は発生しておらず、今後さらに深いところにも使っていく予定でいる。サンドポンプの方が掘削幅が若干広くなるので、2 段または 3 段掘りをする場合、最初サンドポンプで、あとエアージェクターポンプで掘るという組合わせを行なうこともある。掘削速度はこれまでの実績では約 1.5 m の掘削深さで 150～200 m/日で夜間は作業を行なわない。地盤の堅い場合には 100 m/日以下の能率に低下する。

水中掘削作業において、掘削土による海面の濁りが心配されるが、濁りの範囲は掘削装置を中心に 20～50 m で、サンドポンプの方が排土の高さが低いため、エアポンプよりも濁りの範囲は幾分狭いようである。

この種の外国の例としてブラウンルーツ社の掘削船の能力をみるとつぎのとおりである。

M228号

船体寸法	250'×60'×16'
ジェットポンプ	1,800 PS×4 (4,000 gal/min×2,000 psi)
排土ポンプ	24"φ×2 (850 PS)

つぎに②の方式としては、アメリカのラッキー社の「Sea-mole」と日本では浜中式とがあり、図—4、5 に機構と主な仕様とを示す。この方式の特徴は掘削土砂がそのまま埋設に利用できるということにあり、埋戻しを別の土砂でやる場合には不向きである。日本では姫路の48インチ管の埋設に実績がある。

③の方法としては、図—6 に示す Sledge Train Type がある。この装置はジェット水でパイプまわりの土砂を流動状態にカク乱し、土砂が沈降、圧密しないうちにパイプの自重で海底下に沈める方式である。初めての現場テストがロッテルダムに近い北海で、15 インチ管 150 m について行なわれた。土質は砂で装置は10個のユニットを連結したもので全長 45 m あり、水中重量は約 2 トンで、13 ミリワイヤーを使って陸上に据えたウインチで引張られた。引張る速度は 1～2 m/分で所定の深さに埋設されたと報告されている。

2.3 埋戻し作業

パイプラインの埋戻し作業は埋戻す土質によって種々の方法が採用される。

水中掘削機でパイプトレントの両側に排土された掘削土をそのまま埋戻す場合には、溝の上にまたがる十分な幅をもつグレーダー（ブルドーザーのブレードに相当）をクレーン船よりつり下げ、潜水夫の誘導のもとに、クレーン船をパイプライン上に移動させながら、このグレーダーで両側の土を溝の中にかき寄せる方法がとられる。

先行掘削法で掘削した土を別の場所に仮置きし、その土でまた埋戻す場合には、土運船で運搬し、パイプラインの位置にあらかじめセットされた定規台船に沿わせて固定し、土砂を海底に投下する方法がとられるが、潮流などにより分散し、溝の中にはいる効率はよくない。砂、レキ、ズリなどで埋戻す場合にはガット船がよく使われ、投下にはトレミー管を使って溝の中に正確に投入するか、ガット船のグラブで直接溝の中に埋戻す方法がとられる。

ティ(汀)線付近の洗掘されやすい場所については、水中コンクリートとかセメントを袋詰めしたものをパイプの上に置いて洗掘の防止を行なうことがある。タンカーの係留ブイに接続する海底マニホールドの部分などでは、砂を袋詰めして潜水夫によって埋戻しを行なう場合もある。

特殊なケースとして、アンカー落下とかシュンセツ船のグラブによるめり込みを防止するため、土砂で埋戻した海底表面にコンクリート・スラブを置いてパイプラインの安全をはかる方法もある。

3. 埋設作業の実際と課題

3.1 事前調査

どの作業においても事前調査は重要であるが、とりわけ掘削作業については、作業方法、作業機種選定のうえで欠かせないものである。以前東京湾の海底配管工事において、ボーリングの結果、ジェット掘削で可能であると判断して、パイプ布設後掘削を始めたところ、途中で N 値 30 以上の土丹岩にぶつかり、ジェット掘削では掘れなくなり、潜水夫によってニューマチック・インパクト砕岩機でパイプの下土丹岩を切りくずす方法がとられ、延長約 300 m の掘削に 6 个月を要したという苦い経験があり、地層変化の激しいところでは特に小さいピッチで土質を調査しておく必要がある。

海底土質調査の方法としては、次のようないろいろな方法があり、これらを併用して正確に土質状況を把握し、掘削手順、工程、使用機械などの施工計画を適切にたてなければならない。

海底土質調査方法

① 潜水夫による鉄筋貫入テスト

一番簡単な方法で、潜水夫がパイプラインに沿って鉄筋を貫入して歩き、その貫入程度によって海底盤の堅さを判断する。

② テレビ調査

海底盤の表面状況を調査する方法として、潜水夫がテ

No. 750

レビカメラを海底に持っていか、船からカメラを海底におろして、船上のテレビに映し、海底状況を目視する方法で、同時にビデオどりすることもできる。

③ 音波探査

約 3,000 cps の高周波を発振し、海底地層の音響インピーダンスの変化する面で反射して返ってくる音波を記録し、地層の変化を海上から測定する。ボーリングテストと併用することによって地層の状況を連続的につかむことができる。

④ ボーリング

海底下をボーリングしてサンプリングするもので、最も正確に地層の状況をつかむことができるが、海上ボーリングは特に熟練した技術を要すると共に、コストが高くつくため、音波探査を併用するのが効率的である。

3.2 測 量

パイプ布設後掘削する水中掘削法では、パイプをガイドとして作業が進められるので、パイプラインにあらかじめ 200～300 m 間隔にマーキングブイを設けておけばすむが、先行掘削の場合には正確に掘削するため、周到な測量によって作業船の位置をセットしなければならない。そのため、掘削ラインに沿ってあらかじめマーキングブイをあげておくと同時に、掘削作業船がこのマーキングブイを目標に位置を定めるとともに、陸上または海上の測量台より船の位置を測量し正確に誘導する。

3.3 テイ線部の掘削

波打ち際は波の作用によって掘削溝が埋まりやすいため、特別の考慮を払う必要があり、鋼矢板によって導水路を作っておくのが一般的で最も安全な方法といえる。鋼矢板溝は特に波の大きいところでなければ 3～5 m の水深より浅いところで十分である。

昨年インドネシアにおける工事で、テイ線部を素掘り掘削し、掘削時点では海象条件がよく、2 个月ほど、ほとんど埋まりはなかったが、パイプを布設する時点には連日波が発生し、掘っても掘ってもすぐ埋まり、大へん苦労したことをつけ加えておく。富山および台湾高雄の 42 インチ海底管の場合には、水深 ±0 の地盤までⅢ型鋼矢板でトレンチを建設した。

1) ポンプ船

京葉シーバースの海底管のうち、富士石油ラインの立上りに近い区域は地盤が $N=40$ と堅いためポンプ船を採用した。掘削幅は初め 10 m あればスイングできると考えたが、実際には、17～25 m 平均 22 m の幅となり、1 本のパイプライン布設のためには過大といえる幅が作業上必要とされる。

使用したポンプ船は 4,000 PS、ラダー長さ 34 m、排土量 6～700 m³/h である。

2) グラブ船

グラブ船による掘削は海底管の埋設作業に最も多く使わ

れるが、一般港湾シュンセツ工事に比べて線状に掘削していくため、作業能率は低く掘削実績の例をあげるとつぎのとおりである。

グラブの大きさ	シュンセツ実績 (m ³ /h)	水深 (m)
0.7 m ³	27～30	4～7
0.7	12～27	4～7
1.5	50～60	4～7
3.0(砕岩部)	28～50	4～7
4.0	100	20

3) 砕岩

長崎県西海町～大島間の海底水道管の埋設作業は海底の大半が岩盤で主として砕岩船により掘削し、浅くて砕岩船のはいれない部分は発破により砕岩した。

砕岩船——プリストマンシュンセツ船で 5 トンおもりをつり下げ落下砕岩する。実績は 14 日間で 820 m³ 掘削し、日当たり平均 58 m³ で、ここは潮流が速く、最強時 (2.2 ノット) 1～2 時間は中断し、1 日の実働平均は 6 時間で水深は -3～-20 m であった。

水中発破——海底下に 1.5 m ピッチで千鳥に 1 m 深さの孔をドリルし、3 号桐ダイナマイト (25 mm ϕ) 100 g を装入し、爆破すると岩は砂状に砕け、潜水夫によって、ジェットポンプおよびピース (エアーリフト管) で除去仕上げした。

3.4 水中掘削法

水中掘削法は海底配管に最も適した方法で、条件の許す限り先に述べたような方法によってすでに多くの埋設作業が行われてきた。これまでの作業で問題となってきたことをいくつかあげると、①海象条件の厳しい場所での作業時、圧力水および圧縮空気を送るゴムホースの損傷が多い、②うねりの発生する海域では作業船の動揺が大きくか働率が低く、船体を大きくすると水中掘削装置が船体の動揺の影響を受けない機構とするなどの対策が必要、③動力として、土木工事用の汎用のものを使用して容量があまり大きくないため掘削速度が遅く、工程的に埋設作業がネックになることが多く、能力の大きい装置の開発が必要とされる。

3.5 トレンチの測量

掘削溝および埋戻し後の測量は、パイプラインを中心にジグザグに測量船を走らせ、トレンチを横切りながら水深を測ることによって検測する。測深器械は音響測深機が使用される。

4. む す び

海底配管の埋設作業に採用されている工法の現況を簡単に紹介したが、わが国の海底配管の場合、特に大きい埋設深さが要求されるため、埋設作業の重要度はますます大きく、新しい埋設作業の手順、機械の開発が望まれ、今後の発展の一助となれば幸いである。

(原稿受理 1973.6.22)

土と基礎, 21—9 (187)