U.D.C. 624.157+.05

大水深下におけるジャケットの据付

Installation of Jackets under Deep Sea

宮崎　文秀*　　真茅　修**
Fumihide Miyazaki　Osamu Makaya

伊藤　典生***
Norio Itō

要　　約

海洋工事の困難なところは，空気密度の800倍に相当する水を対象として作業する点にあると言われている．海中ではほんの少しの速度が強大な力となり，数mの高さが耐えられぬ圧力となって作用する．その上施工管理の基本となる観察が，特殊な技能者(ダイバー)を介してでなければ得られない．それも視野の極めて狭いものである．海洋工事がいかに早く的確に水中作業を克服するかに掛っていると言われるゆえんである．また，海洋工事の技術は緒についたばかりで，材料・工法の開発の可能性の多い発展途上の部門である．今必要なのは，現場を通した技術の蓄積にあると思われる．

本文では，水深約25mを必要とするシーバースに，大型のジャケットを工場製作し，現地にクレーン船で据え付け，固定する作業の実績を通して問題点などをとりまとめ報告している．大水深下での硬岩の砕岩掘削，ジャケット据付精度を確保する設備及び，岩盤への鋼管杭の打込み等の実績とモルタルで根固めされた杭の引抜き抵抗力の設計など，今後の海洋工事に応用できる技術内容とした．

目　　次

§1．はじめに
§2．概要
§3．砕岩浚渫
§4．ジャケットの据付
§5．ピンパイル削孔・根固め
§6．まとめ

§1．はじめに

長崎県南松浦郡の五島列島に世界で初めての洋上石油備蓄基地が，昭和63年10月に完成した．海上に石油を備蓄する発想は，海洋スペースの利用に新しい展開を予見させる興味深いプロジェクトである．

第一期工事は，1隻当り88万klの貯蔵船(長さ370m，巾97m，高さ27m)を5隻係留し，合計440万kl（我国の石油消費量約7日分）を貯蔵するシステムである．

この種の構造物を計画するとき，その立地の自然条件が最も重要な要素となることは論を待たないが，長崎市から西方約60kmの島（中通島）の青方湾沖合約1.2kmに，東シナ海からの風浪をほぼ遮断すするように並んだ折島・柏島を背にした位置に計画された．Photo 1は完成した石油備蓄基地全景である．基地には種々の海洋構造物が建設されているが[1)2)3)]，ここでは30万DWTタンカー用シーバースに採用されたジャケット据付作業につい

*九州(支)竜門ダム(出)
**九州(支)延岡(出)係長
***四国(支)土木課課長

て報告する．

本工事の特徴は，急勾配の海底地形を有する堆積層と岩の複合地盤を掘削し，大型のジャケットを精度良く据付けると共に，接岸・索引時の杭引抜き抵抗力を岩盤中に確保するところにある．

§2．概　要

2－1　シーバース工事の概要

(1)　30万 DWT　シーバース

30万 DWT シーバースの配置は Fig. 1 に示すとうりで，工事概要は下記のとうりである．

企　業　先　　上五島石油備蓄株式会社

工　　期　　昭和60年８月～昭和62年11月

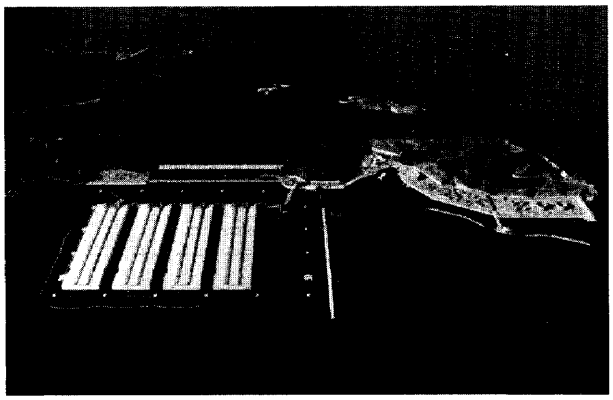


Photo 1　備蓄基地全景

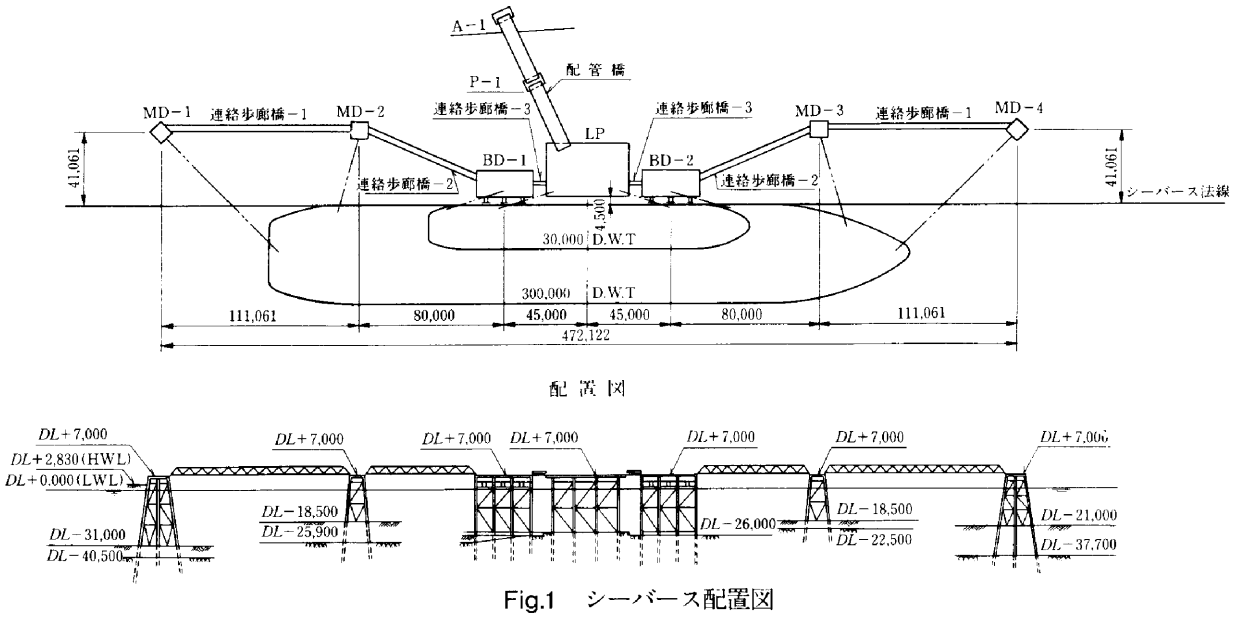
主要工事数量を Table 1 に示す．代表的な構造物はジャケットで，LP(ローディングプラットフォーム) 1基，BD (ブレスティングドルフィン) 2基，MD (ムアリングドルフィン) 4基，配管橋脚 (P) 1基である．BD ジャケットの構造を Fig. 2 に示す．

(2)　施工順序

施工順序を Fig. 3 に示す．まず堆積層を浚渫し，露岩

Table 1　主要工事数量

名　　称	単位	数　量	備　　考
泊地浚渫	m³	167,000	うち岩盤　480m³
床掘浚渫	m³	51,300	〃　12,800m³
床均し	m²	4,000	
ジャケット鋼材	t	2,060	7基
上部工鋼材	t	1,380	上部デッキ，橋梁
杭	t	1,590	スリーブパイル，ピンパイル各44本
付属物造物	t	310	防舷材受版，連絡階段等
杭内削孔	m	710	φ970mm，うち岩盤520mm
ピンパイルグラウト	m³	270	
スリーブパイルグラウト	m³	160	
杭中詰コンクリート	m³	370	
上部工コンクリート	m³	480	LP，A_1
鉄筋	t	29	
一般塗装	m²	15,200	
重防食塗装	m²	4,600	
ゴム防舷材	基	6	2,500H×2,150L Γ型
クイックリリースフック	基	10	直柱100t付 100t×2フック
キャプスダン	基	8	2t/30m
電気防食	ヶ	500	流電防食法，アルミ陽極



配置図

Fig.1　シーバース配置図

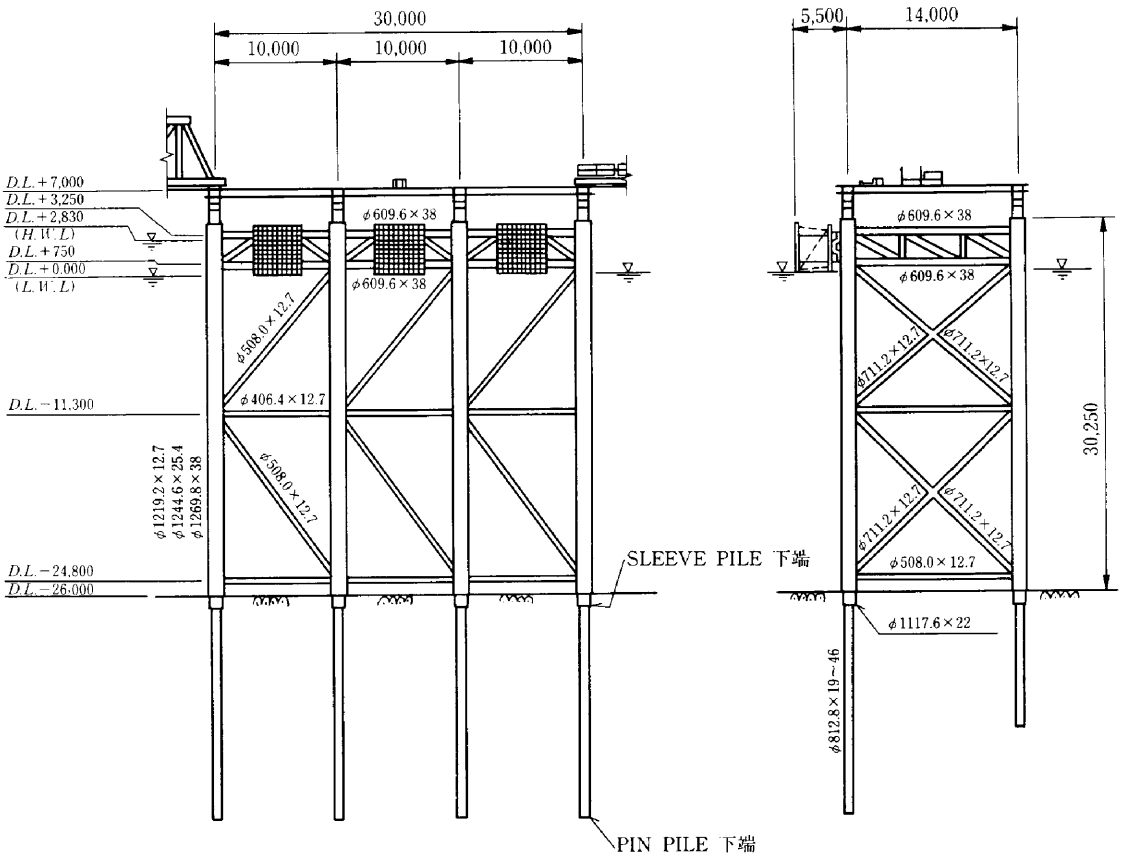


Fig.2　BD一般構造図

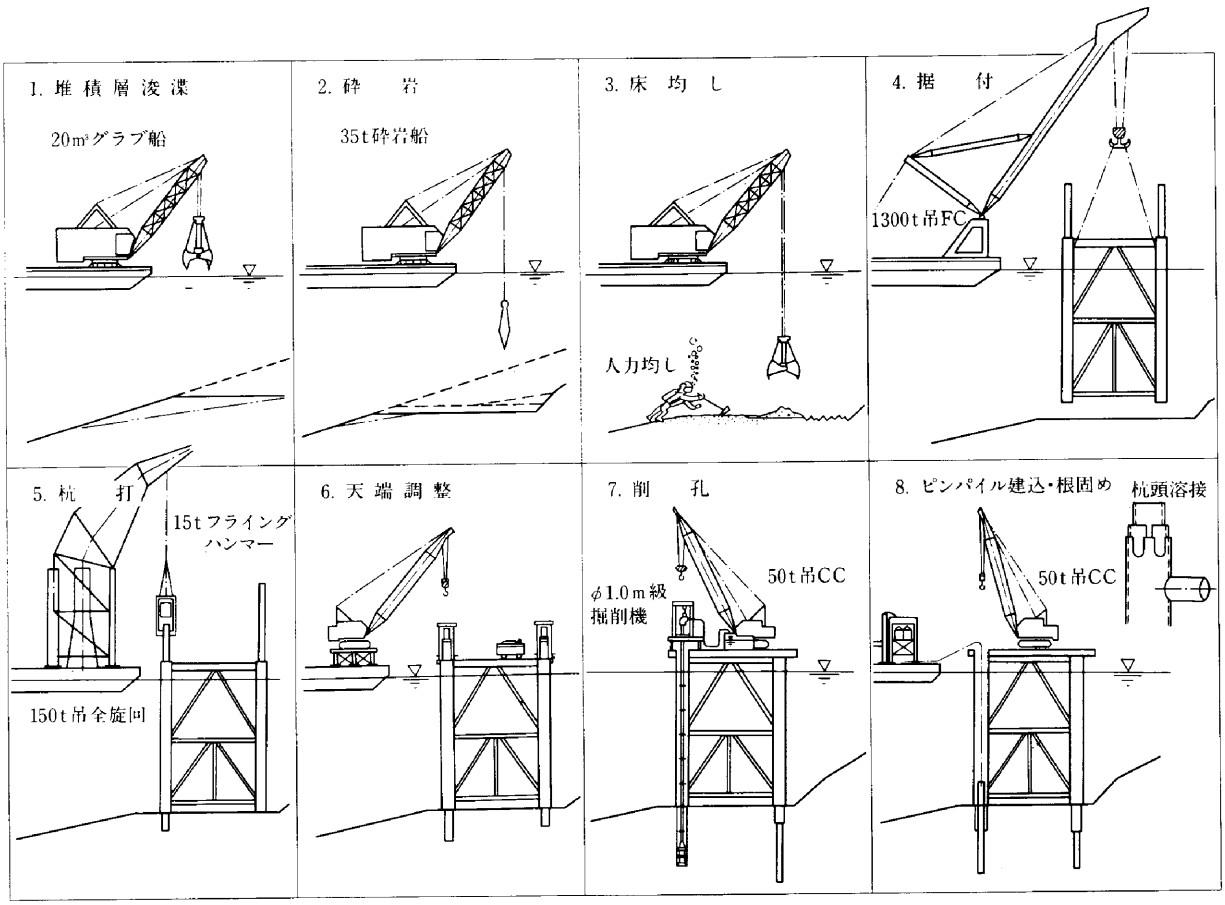


Fig.3　ジャケット据付施工順序図

の砕岩浚渫を行い，その後人力で床均しを行う．つづいて工場製作したジャケットを据付け，根固めするものである．

2－2　施工条件

(1)　気象・海象

①　風

折島における気象観測結果によると，1年間の観測回数（8,545回）のうち風速5.0m/sec未満は49.4%，5～10m/secは11.3%，15m/sec以上は1.5%であった．風向は，北西及び北東が卓越しており，特に冬場の北西風は10m/sec以上の強風を伴っている．

②　雨

年間雨量は1800mm程度である．工事期間中の観測データによると日雨量0mmの晴天日数率は65.3%，1mm～10mmは21.2%，11mm～20mmは5.0%であった．

③　波

年間を通した有義波高（1/3最大波）の出現頻度は25cm以下73.9%，26cm～50cm19.9%，51cm～75cm 5.3%である．冬場は季節風の影響で50cmを越える頻度が15.1%と高くなる．島影にあたるため1mを越す波高はほとんど観測されないが，外洋では冬季3～4mの波はよく観測される．

④　潮位

朔望平均干潮位（LWL）±0.00m，朔望平均満潮位（HWL）+2.83m，既往最高高潮位（$H.HWL$）+3.80mである．

(2)　地形・地質

沖積世の堆積土層の下に新第三紀の五島層群に分類される堆積岩（砂岩，頁岩）と，これに併入する形で火成岩（凝灰岩，流紋岩）が一部見られる．走行はNE～NNEを示し，傾斜は緩慢な褶曲構造を有してNW又はSEに10°～30°である．岩石強度試験の結果をTable 2に示す．一軸圧縮強度の平均はFig. 4に示す通り925kgf/cm²で硬い．

§3．砕岩浚渫

(1)　砕岩数量・地質

堆積層の浚渫を20m³グラブ船（第10西部号）で行っているがその記述は省略し，ここでは困難な工種の1つで

Table 2　岩石強度試験結果

		砂　岩	頁　岩	ひん岩	凝灰岩
見掛け比重 tf/m³		2.31～2.59	2.66～2.67	2.57～2.64	2.61～2.66
弾性波速度 km/sec	V_P	0.93～3.59	2.95～4.20	2.96～4.41	2.63～3.98
	V_S	1.01～2.30	1.81～2.60	2.64～2.71	1.56～2.44
動ポアソン比 μ_d		0.14～0.24	0.19～0.20	0.19～0.21	0.20～0.23
動弾性係数 E_D ×10² kgf/cm²		0.58～3.14	2.10～4.36	2.15～4.55	1.59～3.87
吸　水　率　%		0.61～4.30	1.07～1.63	0.46	1.39

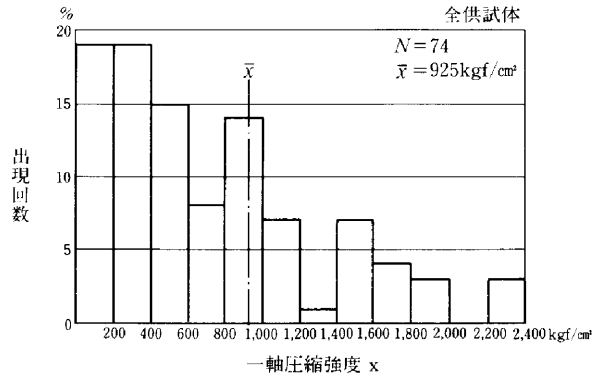


Fig.4　岩石強度ヒストグラム

Table 3　砕岩数量

岩分類	総砕岩量(m³)	余砕岩量(m³)	計　(m³)
軟　質	2,004	77	2,081
硬　質	1,704	736	2,440
最硬質	7,635	1,905	9,540
合　計	11,343	2,718	14,061

Table 4　砕岩地点の岩石圧縮強度

位　置	砕岩深度 $DL.$ m	試料深度 $DL.$ m	見掛比重 tf/m³	一軸圧縮強度 kgf/m²	試料平均値 kgf/m²
BD-1	−17.0	−27.0	2.46	716	684
	〃	−27.1	2.46	619	
	−26.0	−29.9	2.42	718	
LP	−15.0	−24.2	2.54	1,148	1,546
	〃	−24.5	2.56	1,749	
	−24.9	−24.7	2.59	1,740	
BD-2	−20.5	−25.1	2.56	969	1,023
	〃	−25.9	2.54	995	
	−26.0	−27.5	2.55	1,106	

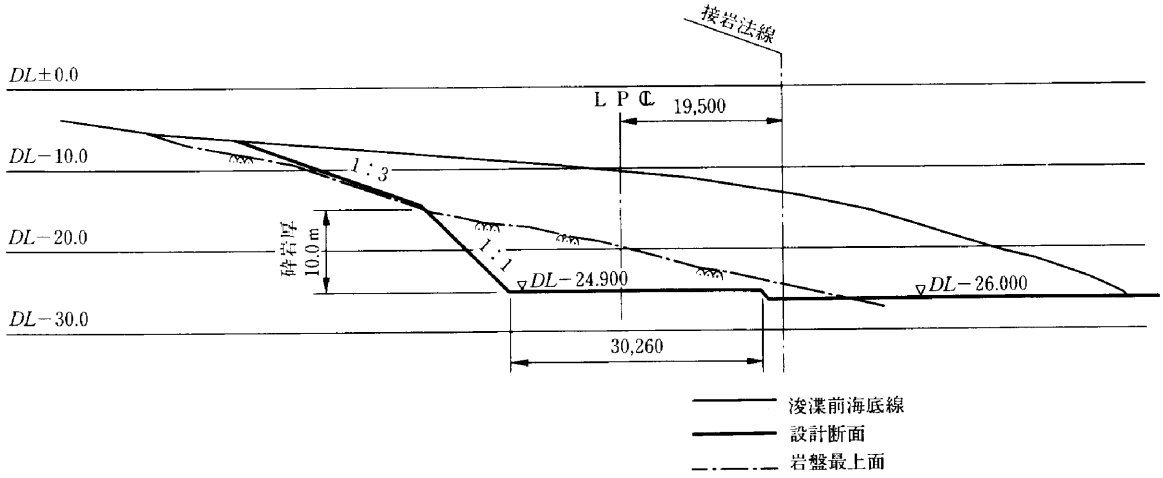


Fig.5　砕岩掘削断面(LP中心線)

あった砕岩浚渫について述べる．砕岩水深は最大 *DL*−26.0mである．

砕岩量は，地質別に Table 3 に示す．本表の余砕岩量は余砕厚を0.5mとしている．地質区分は運輸省港湾積算基準によっているが，これらの地盤の硬軟を物理定数と比較して得られたものではない．試験掘削等により，準用される種類のものであるが，工事計画においてはこれを事前に判断する事が必須の要件である．

岩は主として LP，BD の位置に現れる．調査ボーリングによると，それぞれの地点の岩石圧縮強度は Table 4 に示す通りである．1000kgf/cm²を越す BD，LP を最硬質，以下を硬質，更に風化部を軟質とここでは分類されていた．1000kgf/cm²のオーダは，砕岩強度としては異例の硬岩である．

砕岩を行った LP 中心線での地形断面を Fig. 5 に示す．露岩の最浅部は *DL*−15mで，砕岩厚は10mである．

(2) 施工要領

砕岩に使用した作業船は，第11西部号(1800PS，砕岩浚渫兼用，重錘35t，グラブ7 m³×60t)と砕岩1号(1000PS，砕岩専用，重錘30t)の2隻で，砕岩後の浚渫には堆積層浚渫に用いた第10西部号（グラブ11m³×110t）を補助させた．

砕岩ポイントのパターン，貫入量等は，その地点の地質状況により変化させているが，標準的には平面 xy 方向2.5mピッチで1 mの砕岩厚で計画した．

今回の施工では，水深が大きく岩質が硬いことから重錘は約1ヶ月の使用（落錘回数約1万回）で刃先が10cm摩耗した．また，砕岩1号も同じく1ヶ月後（落錘回数約1万回)で刃先の両端がめくれ，砕岩棒を取り換えた．

(3) 砕岩実績

Table 5　砕岩船稼働実績

項目＼船舶	砂岩1号	第10西部号	第11西部号
①供用日数	95日	28日	56日
②純砕岩日数	68	—	27
③純岩浚渫日数	—	14	24
④全休日	6	2	3
⑤荒天待機	2	0	0
⑥砕岩待・浚渫待	5	11	0
⑦その他	14	1	2

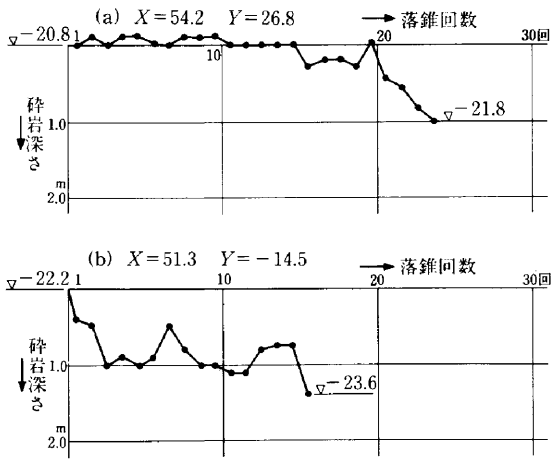


Fig.6　砕岩刃先の軌跡例

砕岩船2隻及び浚渫補助船1隻の稼働実績を Table 5 に示す．

岩石の強度と砕岩能力を対応させることは非常に困難であった．重錘の重量・落下高・刃幅・形状，地盤の強度・亀裂・岩目の方向・傾斜・破砕性，浚渫グラブの重

量・形状・浚えの程度など種々の要因に砕岩能力は支配される。1ポイント当り数十回と落下させるこの工法は二次破砕の程度とポイントの命中度に大きく左右されることは容易に推定できる。水深約20mにおける同一ポイントの刃先の軌跡例を Fig.6 に示す。(a)は比較的硬く、破砕がある回数で突然発生する事象を示し，(b) は二次破砕，命中度のバラツキのあることを推定させる。水深－17m～－20mの砕岩深さ及び1回当たりの貫入量のヒストグラムを Fig.7 に示す。計画は砕岩深さ1mで施工することを意図しているが，砕岩後浚渫を終えた層の不陸の程度により，目的とする深さに達するまでにバラツキが見られる。

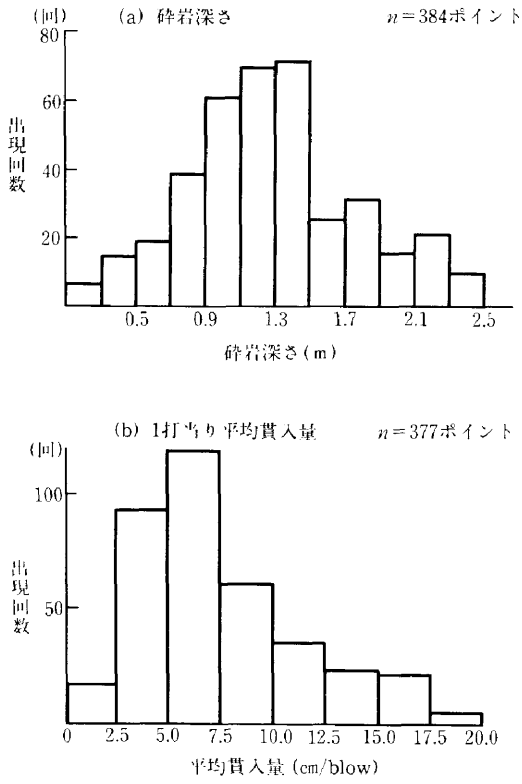


Fig.7　砕岩深さ及び貫入量ヒストグラム

Table 6　砕岩船施工能力比較表

船　名	落錘重量	砕岩ポイント数	平均砕岩深さ	1本当り砕岩面積	1本当り落錘回数	1打当り平均貫入量
砕岩1号	30t	1,365本	0.76m	6.15m²	31.8回	2.39cm
第11西部号	35t	1,326本	1.14m	4.76m²	14.9回	7.65cm

Table 7　砕岩面仕上げ精度の実績

位　置	設計高(m)	砕岩仕上り高さ(m)		
		平均高	最深部	最浅部
BD-1	*DL*－26.0	－26.72	－27.5	－26.0
LP	*DL*－24.9	－25.45	－26.5	－25.0
BD-2	*DL*－26.0	－26.31	－26.6	－26.0

2隻の砕岩船の施工能力の比較を Table 6 に示す。35tの砕岩棒を持つ第11西部号は，岩質の軟らかい部分を砕岩し，重錘の自重も5t重いという利点はあるが，砕岩1号より格段に施工性が優れているのは船型が大きく船体揺動の少なかった事によると判断される。硬質の地盤で数量の多い砕岩には，作業船の選定は重要な課題であることが実証された。

砕岩面の仕上げ精度実績を Table 7 に示す。地質が硬くなると予想された BD－1，LP，BD－2の順に余砕厚が小さくなる傾向が見られた。

§4．ジャケットの据付

4－1　ジャケット構造

(1)　一般構造

ジャケット本体は全溶接の鋼管構造で，本体・杭及び鋼製床組が現地で順次組み立てられる構造となっている。LPは原油の入出用ローディングアームを設置し，場所打ちコンクリート床版を有する鋼製床組である。BDには船舶の接岸力を吸収する3基の π 型ゴム防舷材が取り付けられている。また，MDには100t係船直柱が各2基設備されている。LP，BD，Pは共に直杭型式であるが，MDのみは8°の斜杭型式である。工場製作した各ジャケットの寸法及び重量を Table 8 に示す。

(2)　スリーブパイル SP とジャケットの接合

Table 8　ジャケットの寸法及び重量

名　称	ジャケット寸法(m)	ジャケット重量(t)	杭重量(t)	上部工等重量(t)	鋼重計(t)
LP	36.0×22.0×29.4	384	223	301	908
BD-1	30.0×14.0×30.3	537	348	213	1,098
BD-2	〃	529	318	189	1,036
MD-1	8.0× 8.0×34.2	162	189	71	422
MD-2	8.0× 8.0×23.8	117	144	78	339
MD-3	〃	117	132	78	327
MD-4	8.0× 8.0×26.5	138	152	71	361
P-1	11.0× 6.0×11.6	72	81	39	192

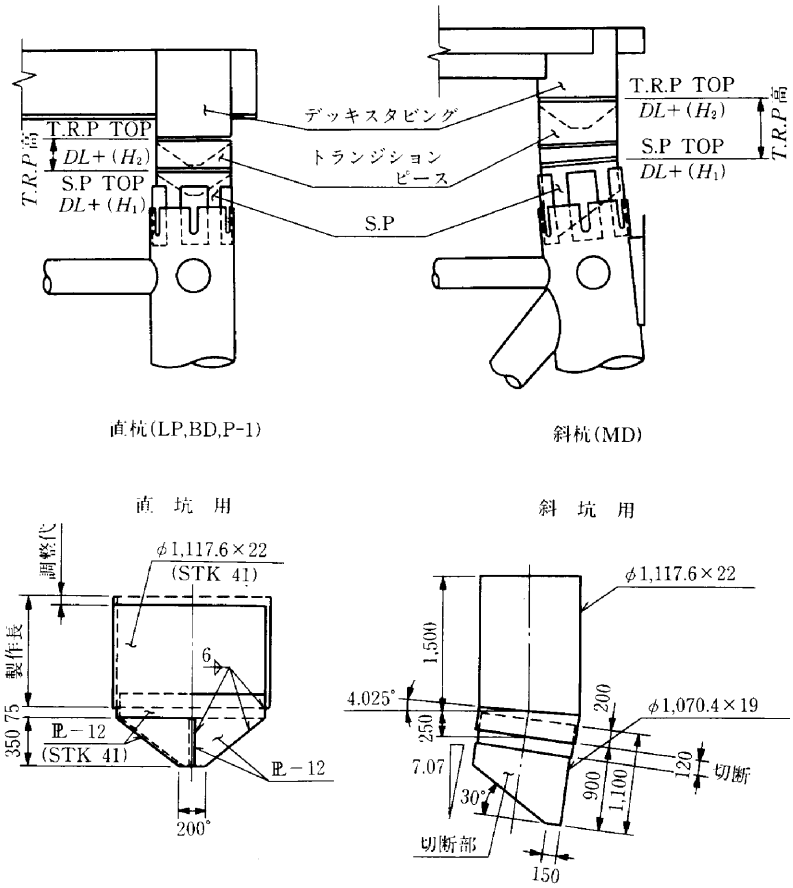


Fig.8　トランジションピース構造図

ジャケットレグ材を通して打ち込まれたスリーブパイル SP (内径約1090㎜) 内をビット径 ϕ970㎜の掘削機で削孔し，ϕ812.8㎜のピンパイル PP を挿入している．削孔壁と PP はグラウト材の付着強度で一体化され，PP と SP も同じくグラウト材の付着強度を介して一体化されるが，この区間長の PP の外周面及び SP の内周面にはシャーキーと称する ϕ25㎜の丸鋼が溶接され，付着強度の増強が図られているところに本ジャケットの特徴がある．シャーキーを付加した事で PP はより短尺での設計が可能となった．

SP とジャケットは，レグ材の全長にわたりグラウトが注入され，さらに天端においてシムプレートを溶接して一体化される．

(3) 細部構造

本ジャケットは，据付精度の修正等を目的として次の工夫がなされている．

ジャケットの不等沈下防止のため，最下端の水平材にマッドマットを組み込んでいる．据付面が岩盤の場合はマッドプレートをレグ材下端に溶接している．

ジャケットの傾斜及び天端高さの調整には，床組の支承となる SP の天端にトランジションピース TRP を現地合わせで接合させる．Fig. 8 は TRP の構造を示すが，これはジャケットと床組の工場製作寸法誤差を吸収させる上で重要な構造である．また，グラウトシールが，PP の上端及びジャケットレグの下端に工場で取り付けられている．これは米国製の特許を有するゴムシール材で，特にレグ材下端のシールは，SP 打込み衝撃に耐え且つ大水深下での完全なモルタル漏洩防止の目的を果たした．

4－2　ジャケット据付

(1) 艤装

ジャケットはパイプトラスの単純な構造であるため，据付作業には据付用足場をジャケット天端に艤装している．艤装ヤードは陸上基地を原則として利用したが，一部のジャケットは海上に仮置きをして行った．海上仮置きの場合，現位置の水深，平坦度の確保が問題となるが，今回のケースでは各ジャケットの本据付面を利用することが工程上可能であった．

(2) 据付

据付は，平面・高さの位置精度を出した直後の不安定

な状態から，各施工段階に合わせて如何にすばやく安定性を確保するかにかかっている．直杭型式の据付作業フローを Fig.9 に示す．据付作業はクレーン船(1300t 吊)でジャケットを吊り取り，計画位置にトランシット誘導し粗位置決めをする．ジャケット着床前に 4 点に配した 3 t アンカーの索をジャケット上のウインチに取り付け平面位置の微調整を行う．その後つづいて 4 隅のスリーブパイルを打設し，その天端にジャケットを取り付け，ジャケットのレベル調整を行う．

据え付け面はダイバーで均した砂層であり，マッドマットを取り付けているものの据付直後に不等沈下の発生することが予想された．一担傾斜したジャケットは，スリーブパイルを反力にして天端で鉛直方向にジャッキアップしても，スリーブパイルもレグ材と同様に傾斜しているため構造的に修正の可能幅は限られている．即ち，レグ内径とスリーブパイル外径の間隙でしか変位の許容量がないからである．結果は後述するが，傾斜変位をも矯正し得ている．基準杭となるスリーブパイルが長尺であるため，その可撓性が発揮され着岩点を支点として傾斜の修正度に合わせ，ジャケットに復元力が働いた結果

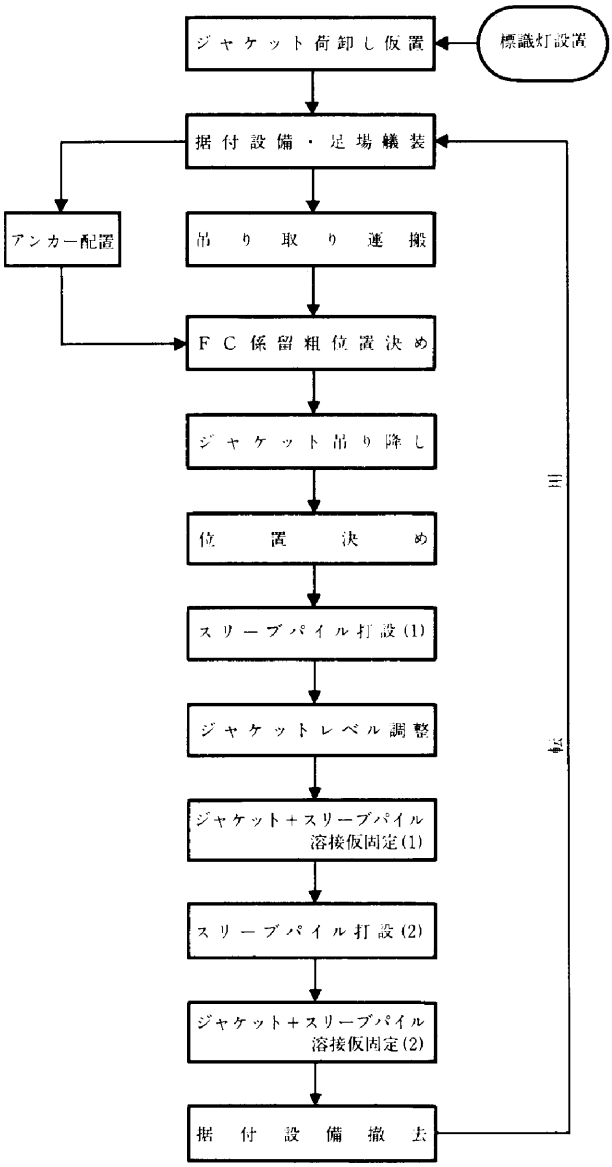


Fig.9　直杭型式ジャケットの据付作業フロー

Table 9　スリーブパイルの打設実績

位置		杭長 (m)	杭重量 (t)	岩打込長 (m)	総打撃数 (回)	最終 (mm) 貫入量	最終 (mm) リバウンド量	推定支持力(t)	
BD-1		33.8	25.7	1.02	31	6.2	7.9	524	
LP		32.9	19.7	0.56	76	3.2	14.0	741	*
BD-1-1	A_1	33.8	23.3	0.25	11	6.8	8.0	486	
	A_2	〃	〃	0.27	11	7.0	9.0	456	
	A_3	〃	〃	0.60	21	5.7	7.0	570	
	A_4	〃	〃	0.40	18	6.6	9.0	472	
	B_1	〃	〃	0.50	18	8.0	8.0	435	
	B_2	〃	〃	0.31	23	4.9	12.0	481	
	B_3	〃	〃	0.24	18	6.3	8.0	509	*
	B_4	〃	〃	0.10	9	3.8	11.0	565	
MD-1-1	A_1	50.5	35.1	2.70	215	5.6	8.7	754	
	A_2	〃	〃	0.87	105	4.7	9.2	806	
	B_1	55.6	39.6	0.80	75	4.2	9.1	857	*
	B_2	50.5	35.1	0.80	95	5.7	8.8	743	
MD-2		36.0	21.9	1.32	39	6.8	7.4	510	
MD-3		32.8	22.4	0.25	26	7.4	8.9	455	*
MD-4		52.1	30.9	1.30	224	8.3	6.5	459	
P-1		17.1	13.8	0.23	23	4.6	5.1	757	

BD-2，MD-1以外は平均値を表わす．
ハンマ重量15t，落下高0.7m (LP，MD-1のみ1.0m)
＊マークは先端座屈杭を表わす(LPはA3杭，MD-3はA1杭)

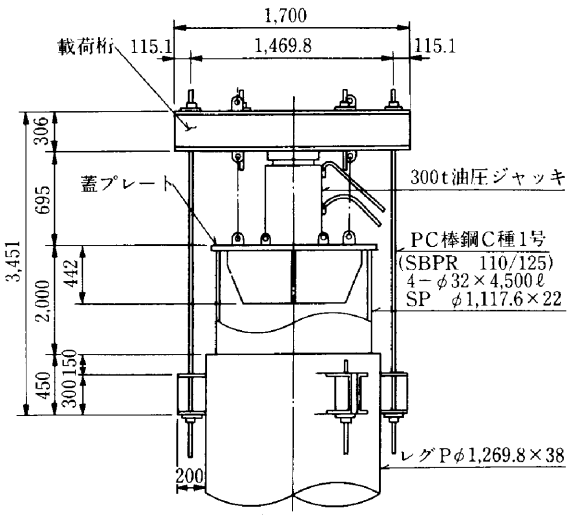


Fig.10　天端調整ジャッキ取付図

と考えられた.

(3) スリーブパイルの打設

スリーブパイルの打設は15tフライングハンマー(MRB−1500)を使用した. 据え付け直後の不安定なジャケットに大型重機を搭載することは困難であり, ジャケットが万一不測の傾斜を示した場合, クレーン船で吊りながらも別のクレーン船でハンマーを作動させることが可能な工法である.

必要な支持力を得るための岩盤への杭打管理は, 実績も少なく評価が不明なことから困難な問題である. 特に今回の工法では杭打後に管内を削孔するため, 必要以上に打ち込んで杭先端を座屈させることは避けなければならない. 結局トライアルな管理を選ばざるを得なかった.

施工時に必要な支持力は, 1本当りおよそ420tである. 杭打支持力の算定はHileyの公式を使用した. 岩盤に直接ハンマーで打ち込む今回の工法に使用することは問題もあろうが, 最も簡便な実績のある公式である. 各杭の打ち止めの打設実績を Table 9 に示す. 岩盤が露頭している場合を除き, 90kW級のバイブロで岩着させた後, ハンマーを使った. 表中マークした杭は, 先端が座屈していた事が削孔中に判明した.

(4) 天端調整ジャッキアップ

スリーブパイルの天端を水平に切り揃え Fig. 10 に示すように天端調整ジャッキ(300t油圧)をセットする.

ジャッキ能力の300tは次の数値を使って算定した.

最大ジャケット重量　807t

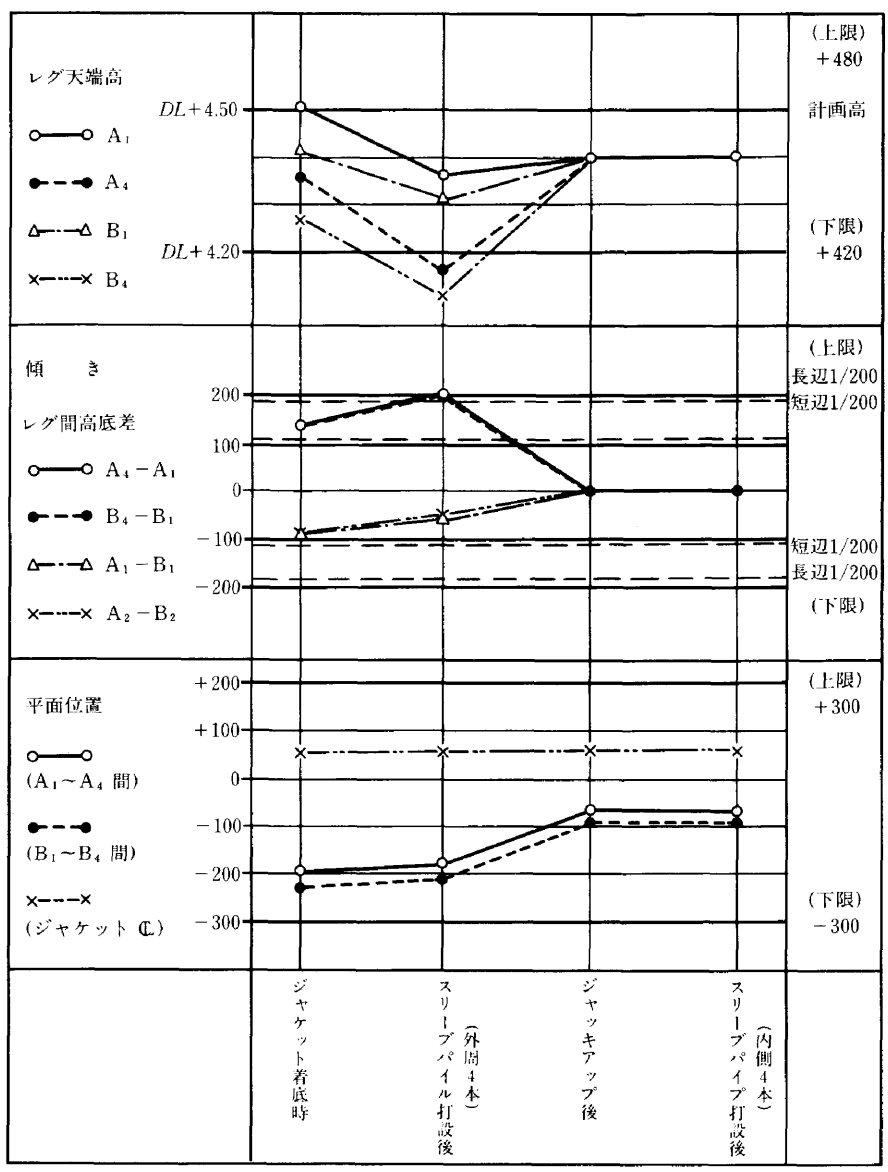


Fig.11　ジャケット据付精度経過(LP)

傾斜荷重の割増　　30%
ジャッキ台数　　4台
$P=807\times(1+0.3)/4=263t<300t$

ジャッキストロークが225㎜のため，これ以上の調整高さが必要なときは仮止め溶接し，ジャッキを盛り換えている．天端高さの調整はスリーブパイルの可撓性によりセリも少なく円滑にできた．LPの各調整段階の修正経過をFig.11に示し，各ジャケットの据え付け精度実績をTable 10に示す．

§5．ピンパイル削孔・根固め

5－1　モルタル付着強度の算定

BDのピンパイルを例にとると船舶の接岸時（常時荷重）杭1本当り最大押込力は780t、最大引抜力は520tが作用する．この力の地盤への伝達機構はFig.12に示されるように、モルタルの付着強度に大きく依存し，その許容支持力は次式で表される．

$$R_a=\min.\{R_p+Rf_{sp}+Rf_{pp},\ Rf_g\}\quad\cdots(1)$$

$$P_a=\min.\{Rf_{sp}+Rf_{pp},\ Rf_g\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

R_a：許容押込力
R_p：許容杭先端支持力
Rf_{sp}，Rf_{pp}：SP，PPの許容周面摩擦力
Rf_g：SPとPPの結合力
P_a：許容引抜力

Table 10　ジャケット据付精度実績

名　称	平面位置		高　さ	傾　斜
	x	y		
許容値	±30cm		±30cm	<1/200
LP	− 6.7	+10.2	+ 0.3	1/3100
BD-1	− 6.8	− 8.5	+ 3.2	1/1500
BD-2	− 5.2	+ 5.5	+ 0.4	1/4700
MD-1	+11.8	+17.4	− 1.3	1/750
MD-2	−10.6	− 7.4	+19.0	1/580
MD-3	− 5.0	− 4.4	− 2.0	1/2200
MD-4	− 3.0	+ 6.5	− 0.8	1/1300
P	+11.8	+17.4	+ 2.2	1/680
最大誤差	11.8	17.4	19.0	1/580

一般に、水中で施工されたモルタルの付着強度は信頼性に乏しく，施工実績も少ない．今回の工事では非常に大きな引抜力をモルタルの付着強度に期待しているので材料・配合の選定に当り過去の事例を調査する事から始め，室内実験，現地での引抜試験を行い付着強度の検証及び解析方法を求めた[4]．

本構造物の許容付着力は，$\sigma_{ck}=300$kgf/㎠のモルタルで$\tau_a=1.25$kgf/㎠であり，ピンパイルは鋼管とモルタルの平滑な付着状態で16mの長さが必要とされた．この許容値は決して高い数値ではないが，付着強度の特性曲線（τ～S曲線）はよく知られているように，ある変位量（S）で極大値を示し，それ以降Sが増大するにつれてτは漸減する．従って，今回のように長尺の杭に常時1.25kgf/㎠（$\tau_{ck}=3.75$kgf/㎠，安全率3.0）が全長にわたって発揮されるかどうかは，慎重に検討されなければならない事項である．

ϕ318.5㎜×t10.3㎜×3本を用いた現地引抜試験ではTable 11に示すようにこの設計値を満足しない杭が1本発生した．又，同時に行っている室内実験の結果から，平均付着応力は定着長が長いほど低下し，鋼管の断面積が小さいほど低下する事が数値で確認された．鋼管杭の付着力と変位量を，Fig.13に示す解析モデルを

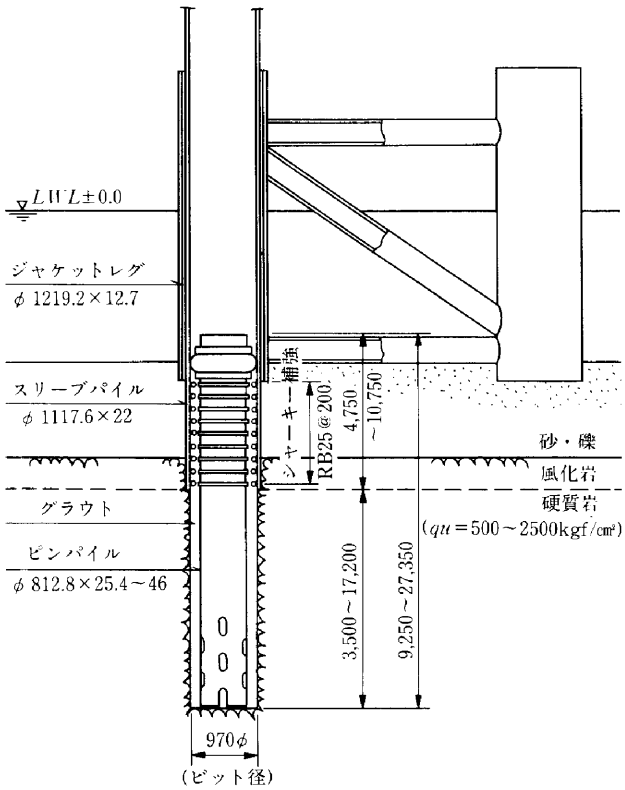


Fig.12　ピンパイル構造模式図

Table 11　現地引抜試験結果

No.	グラウト種類	W/C (%)	杭　径 D (m)	定着長 L (m)	引抜耐力 P (t)	平均付着応力 τ_{mean}(kgf/cm²)	備　　考
TP-1	水洋セメントミルク	38	323.8	6.0	340	5.57	＞3.75(kgf/cm²)
TP-2	普通セメントミルク	43	323.8	6.0	270	4.42	＞3.75(kgf/cm²)
TP-3	水洋セメントミルク	30	323.8	7.5	239.5	3.14	＜3.75(kgf/cm²)

$$\tau_{mean}=P/(\pi DL)$$

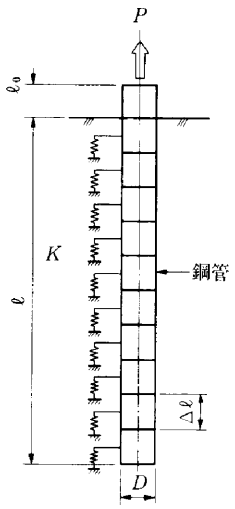


Fig.13　鋼管杭の解析モデル

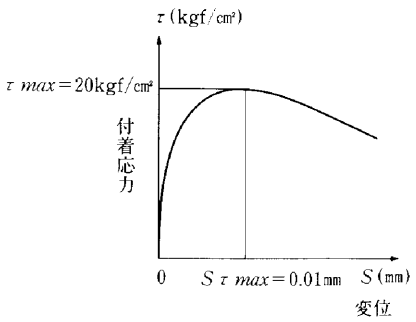


Fig.14　付着応力特性

使い，電算によるシュミレート解析を行う．τ～S 曲線に森田らの提案式(3)[5]が成立すると仮定し，τ_{max}，$S\tau_{max}$ のパラメータを変化させ最も実験値に合う値を求める．

$$\tau=\tau_{max}\exp\frac{\ell n\{(e-1)S/S\tau_{max}+1\}}{(e-1)S/S\tau_{max}+1}\cdots(3)$$

結果は Fig.14 に示すように $S\tau_{max}=0.01$mm，$\tau_{max}=20$kgf/cm²を得た．この値は，定着長が10cmの短い試験結果の付着力19kgf/cm²と近似しており妥当なものと考えた．

この特性曲線を BD杭にフィードバックして解析すると極限付着力は1.97kgf/cm²，許容付着力は0.66kgf/cm²となり設計値を満足しない．結論として，ピンパイルの根入れ部分もシャーキーを巻き付着力の増強を図った．シャーキーの設計法は UK, DOE の規準による．

5－2　削孔

(1)　削孔機械及び設備

削孔数量は径970mm×44本，延長710mであった．工事の特徴は1本当りの削孔長が長いこと及び8度の斜杭16本が含まれていることである．岩盤の平均圧縮強度は，削孔部で700kgf/cm²～1500kgf/cm²と推定された．部分的には2000kgf/cm²も出現する．削孔機は2台，日立 S400 H を用いた．削孔に使用した機械設備を Table 12 に示す．

(2)　カッター

カッターは径8インチチップインサート型を使用し，センター2ヶ，インナー2ヶ，ゲージ4ヶ計8ヶを組み合わせた．カッターの使用実績を Table 13 に示す．

(3)　削孔実績

削孔は原則的に昼夜間作業である．削孔の作業時間実績を Table 14 に示す．

工程計画の基本となる削孔速度の推定には笠井式を用いた．本工事の計画値と実績値の比較を Table 15 に示す．削孔速度がやや大きく得られたのは，地質に原因すると思われる．泥水中のズリの粒度も Fig. 15 に示すように計画で用いた花崗岩の例より大きかった．この時の揚水量は約3.7m³/minであった．

削孔壁と鋼管杭のクリアランスは約80mmで，孔底の最深部は $DL-55.4$m と深く，削孔精度の確保が厳しく要求された．特に斜杭ではドリルストリングスの重量で垂れ下がる現象が懸念されたが，ノンウェイトカラーの装着により精度良く仕上がった．

5－3　モルタルグラウト

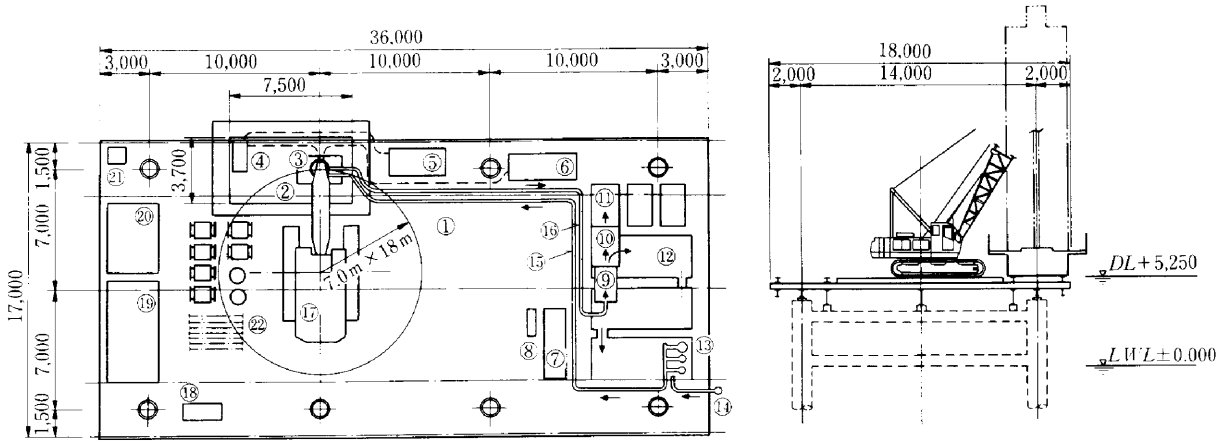
(1)　配合

グラウトに用いた水洋セメントミルクの配合を Table16 に示す．

(2)　設備

グラウト設備は500ℓ容量のミキサーを基本とし、5

Table 12　削孔に使用した機械設備



No.	機材名	仕様	数量	備考	No.	機材名	仕様	数量	備考
1	削孔架台	36×17m	1		12	水槽	20~25 m³	3	
2	掘削台及マスト		1		13	水中ポンプ	8B, 6B, 4B	各1	
3	掘削機		1	ロータリーテーブル他	14	〃	4B, 2B	各1	
4	コントロールユニット		1		15	給水ホース			包線ホース
5	油圧ユニット		1	S 400 H	16	排水ホース			耐摩包線ホース
6	コンプレッサー	180 PS	1	PDS 655 S	17	クローラクレーン	55 T 吊	1	50 SS
7	発電機	300 kVA	1	EDG 251	18	然料タンク	2 m³	1	
8	分電盤		1		19	休憩所	5.1×2.2	1	
9	エアセパレータ		1		20	倉庫	4×2	1	
10	マットスクリーン	1.5 kW	1		21	キャブトイレ		1	
11	ベッセル	2.0 m³	3		22	ドリルストリングス			

Table 13　カッター使用実績

カッター	削孔長(m)			削孔時間(h)			チップ欠損数	備考
	管内	岩	計	管内	岩	計		
直杭用 I	37	130	167	27	285	312	3/669	I.C.のベアリングにガタが見られる
〃 II	63	181	244	60	306	366	132/778	ベアリングが破損1ヶ
斜杭用	135	203	338	89	310	399	13/707	チップの摩耗度は1.5mm程

Table 14　削孔の作業時間実績

			直杭		斜杭	
本数／削孔長			28本／325.4m		16本／162.0m	
掘削作業	実掘削	純掘削	681.3	46.7%	298.8	24.6%
		DS降下	64.4	4.4	102.9	8.5
		DS継足	47.5	3.3	40.7	3.3
		DS上昇	75.8	5.2	74.4	6.1
	付帯作業	スライム処理	15.3	1.0	19.4	1.6
		検測	38.4	2.6	54.1	4.4
		機械移動	101.0	6.9	122.7	10.1
		準備等	186.3	12.8	245.5	20.2
		修理点検	31.4	2.2	51.5	4.2
		待機休憩	218.8	14.9	206.2	17.0
	合計		1,460.2	100%	1,216.2	100%
その他	ピンパイル建込		138.5 h		136.1 h	
	根固めグラウト		378.8 h		53.1 h	

m³/hの濁水処理設備と共に500t台船上に艤装した.

(3) モルタルグラウト

ピンパイルのグラウトシステムはFig. 16に示すように径2インチの固定配管で，注入管・検知管計3本が工場で取り付けられている．又，セメントミルクがピンパイルの中に廻り込まないよう隔壁・グラウトシールを取り付け，1本当りの注入量を少なくする工夫がされている.

モルタル上昇高の検知にはAℓ－Niプラグを要所に固定し，アルカリ電圧測定を行った.

設計注入量267.9m³に対して実績注入量は334.7m³，ロ

Table 15　削孔速度実績

		荷重 (t)	回転数 (rpm)	トルク (t−m)	削孔速度 (cm/h)	削孔強度 (kgf/cm²)
計画	初期削孔	15	10		20	300～1,600
	定常削孔(Ⅰ)	24	16		56	500～1,100
	〃 (Ⅱ)	29	16		30	1,400～1,600
斜杭(実績)	土砂削孔	1.5～2.5	10～12	0.15～0.25	159	
	初期削孔	5～10	10～12	0.25～0.35	83	100～200
	定常削孔(Ⅰ)	13～15	17～20	0.25～0.45	85	350～450
	〃 (Ⅱ)	17～19	17～20	0.25～0.45	39	750～950
直杭(実績)	モルタル削孔	3～7	8～11	0.25～0.5	97	50～150
	初期削孔	11～16	16～19	0.3 ～0.75	77	300～500
	定常削孔(Ⅰ)	17～21	16～19	0.5 ～0.75	58	550～800
	〃 (Ⅱ)	27～30	16～19	0.5 ～0.9	38	1,200～1,500

ス率が20%であった．孔壁間の環状注入となった事がロス率を高めた結果と思われる．

§6．まとめ

本工事で得た結果及び問題点を次にまとめる．

(1) 砕岩可能な岩盤強度を算定する指標を得ようとして砕岩棒の貫入マップを作成したが，推定地盤強度と比較してバラツキが大きすぎ傾向が見い出せなかった．これは多段掘削が影響しているものと思われる．ボーリングコアからは1000kgf/cm²程度は砕岩した事になる．削孔強度から推定すると，BD−1，LP，BD−2と床付面付近の岩は，それぞれ250，650，760kgf/cm²の値である．今回の条件では，水深が大きかった事も硬岩の砕岩が成功した一因である．

(2) ジャケットの据付けは，今回の施工要領で大きな不等沈下や傾斜もなく，十分に実用に耐える精度が得られている．

(3) ジャケットのレベル調整の設備は，簡便なもので可能である．ただし，余りにも変位挙動が不安定なため，力学的な変位修正の裏付けが望まれる．

(4) 鋼管杭のハンマーによる岩盤への打込みについては，解析の手法が見当たらず結果だけ示した．この種の施工は，補助工法として有用であり，実績を集めその座屈問題を解析する必要がある．

(5) 長尺の鋼管杭の引抜き抵抗力の算定は今後も重要な課題である．今回の手法は実験結果を踏まえたものであり，この手法を一般化するには更に基礎的な試験と現場実験を重ねる必要がある．

(6) シャーキーは付着力の増強に非常に有効である．現場での活用が望まれる．

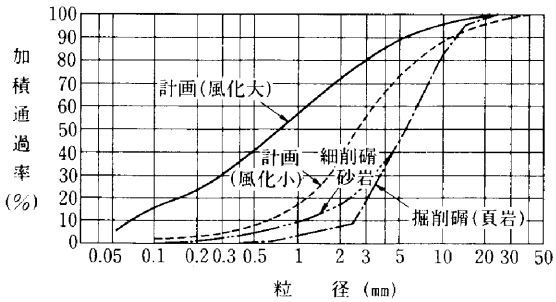


Fig.15　掘削礎粒径加積曲線

Table 16　グラウトモルタル配合

目標強度	フロー値	W/C	m³ 当り材料	
			海水セメント	海　水
300kgf/cm²	20±2 sec	40%	1,369kg	548kg

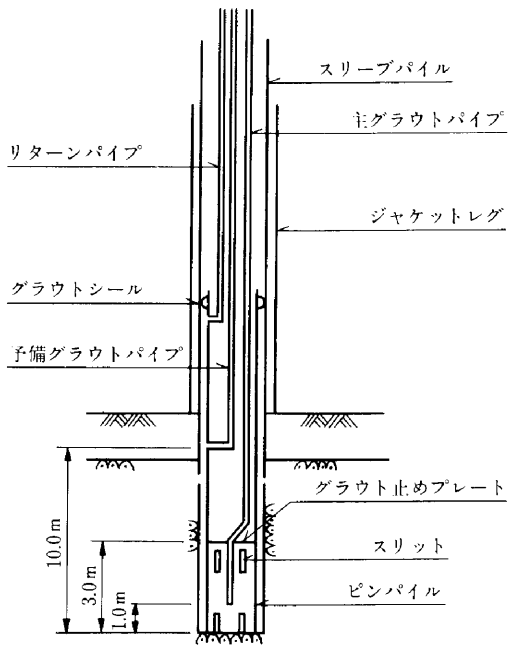


Fig.16　グラウトシステム

参考文献

1）佐藤信也：上五島石油備蓄基地，港湾，pp. 16～21，1987，3
2）藤木他：上五島石油備蓄基地の施工，建設の機械化，pp. 19～25，1987，3
3）佐藤他：上五島石油備蓄基地建設工事における大水深捨石均し工法の開発，土木学会論文集，第385号，pp. 20～28，1987，9
4）K.NAGATA et al：Triple－Tube Grouted Pile Construction For Sea Berth Structure of Kami－Gotoh Oil Storage Terminal，TECHNO－OCEAN,p. 396, 1988, Proceedings
5）日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料　1987，9