

アブダビ石油株式会社納め

海底油田生産設備用海底ケーブルの布設

Laying of Submarine Cables between Production Platforms, Offshore Oil Field for Abu Dhabi Oil Company, Limited.

For a contract with Abu Dhabi Oil Company, Limited drawn up in 1972, Hitachi Cables, Ltd. manufactured 25 kV and 8 kV cross-linked polyethylene-insulated submarine cables to the customer's specifications and installed them on site in September 1973. The cables are meant to supply electric power to the customer's oil production platforms in the Arabian Sea. Since the site is noted for its rough seas and intense heat, the cables were laid in ten underwater routes after careful study of the transportation of cables, the selection of cable laying ships, cable laying method, cable rising method, cable protection and etc. which are described in detail in this report.

天達義久* Yoshihisa Amatatsu
 庄司政蔵** Masazô Shôji
 岡田建治*** Kenji Okada
 千葉佐武郎*** Saburô Chiba
 大西隆雄*** Takao Ônishi

1 緒言

アブダビ石油株式会社では、かねてより国家的事業としてアラビア湾におけるアブダビ・ムバラス油田開発事業計画を立案、推進していたが、日立電線株式会社は昭和47年、その第一期工事分の海底ケーブルの製造及び布設工事一式を担当

し、昭和48年9月に現地工事を無事完了した。

本海底ケーブル工事は、アブダビ港沖約70kmにある中央油田生産設備(Central Facility Platform以下、CFPと略す)から点在する油田生産設備(Production Platform以下、PPと略す)への電力供給を目的とするものである。布設ルート概要は図1に示すとおりであり、25kV 1ルート、8kV 4ルートの架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブルと、各PPにあるフレアスタックの点火用として5ルートの600Vポリエチレン絶縁フレアケーブル、計10ルートの海底ケーブルである。納入各ケーブルはスペアケーブルも含めて32,160mに及んだ。

電力ケーブルはその絶縁性能及び耐水性に重点が置かれており、内外部半導電層、絶縁体層は3層同時押出構造とし、また内蔵する制御線心も含め、万一事故時に水の導体内への浸入伝搬を防止する仕様が採用された。

一方、着工に際しては、2回にわたる十分な現地事前調査が行なわれた。ケーブルの輸送に当たってはケーブルコンテナを採用し、定期貨物船を利用することとした。布設船には、作業性と経済性を考慮して370t級小形作業船を選定し、また布設船の艀装方法は各種コンテナの積み替えのため、簡略化を図った。PP設備へのケーブル立上げと防護方法については、海上での特殊な作業性を考慮し、事前に防護パイプを取り付けるなど工事時間の短縮化を図った。布設船の誘導には設標と六分儀測位とともにデッカ測位を併用し安全対策に万全を期した。実際の工事は昭和48年4～6月と8～9月にわたったが、各ルートごとに無事完了し、引渡し試験は良好な成績で合格し同時に石油の生産が開始された。

2 布設ルートの概要

油田生産設備の建設に先立ち、パイプライン及びケーブルルートも含めて詳細な海底調査が行なわれ、その結果、図1に示すようなルートが選定された。着工時の海底状況は水深15～20m、底質はビーチサンド、サンゴ、砂及び泥であり、最大斜度は15度で特に著しい起伏はなく総じて平坦であっ

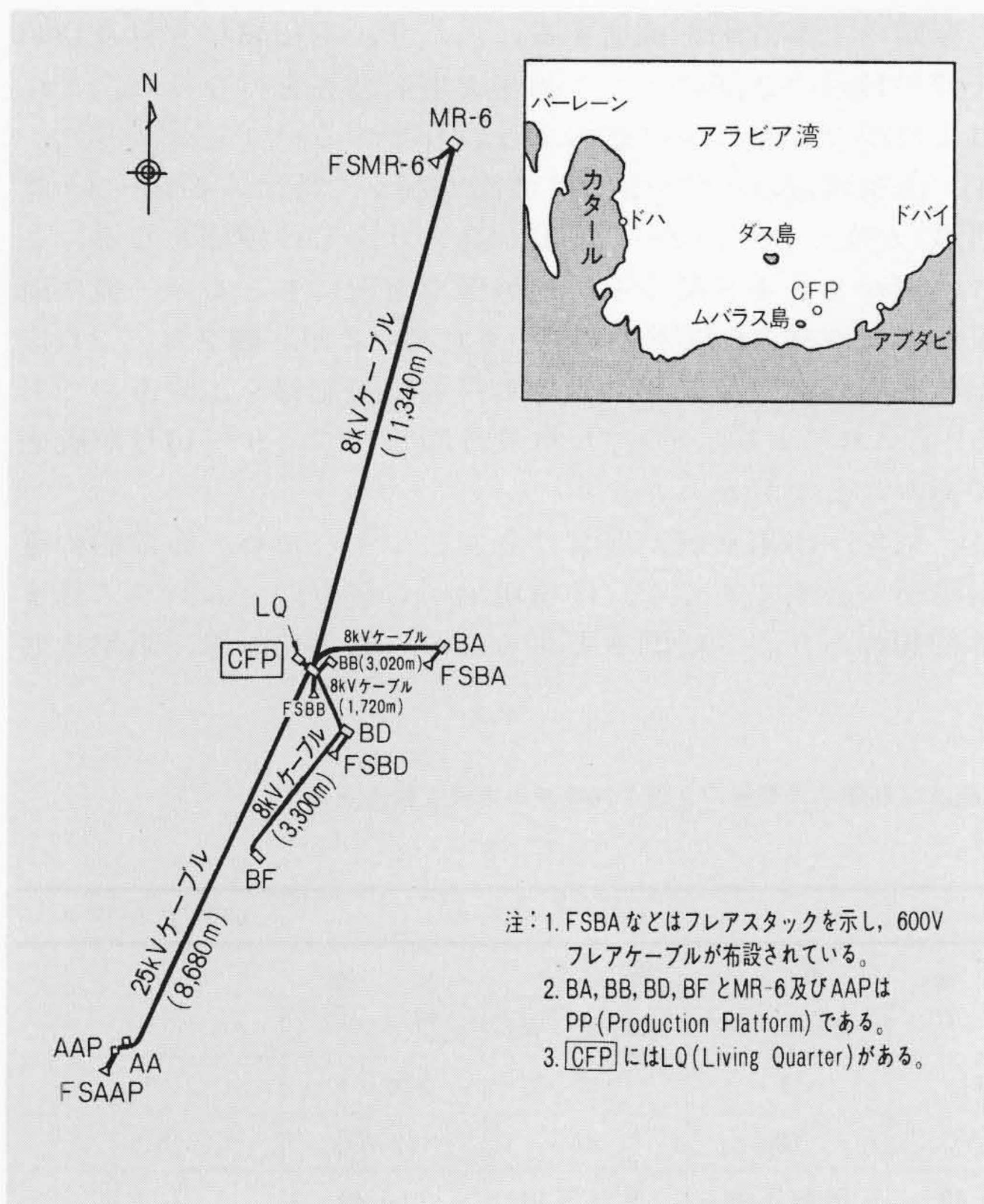


図1 布設ルートの概要 アラビア湾のアブダビ沖約70kmに位置し、第1期工事はCFPを中心とした10ルートである。

Fig. 1 Outline of Cable Routes

* アブダビ石油株式会社 取締役建設部長 ** アブダビ石油株式会社建設部 技師長 *** 日立電線株式会社日高工場

た。また、潮流は1.5kn、水温は海底面で15℃、海面で最大35℃であった。

気候は砂漠気候に属しているため、四季の変化はなくほとんど降雨を見ない。年間を通じ30℃を越す月は5～9月で、7月が最も暑く40℃近くに達する。直射日光下、無風状態では更に高温となるため、ケーブル設計上は最大気中温度55℃が考慮された。風向は年間を通じほとんどが北西寄りであり、6月の平均風速は5.8m/sと最も強く、北の風で最大19m/sを記録した。波高は年間を通じて2～4ftのものが多く、10ft以上の高波は2月、4月、6月に発生している。9月、10月は3ft以上の波高出現日数は少なく、比較的静穏という状況であった。

3 ケーブル及び付属品

3.1 ケーブルの構造と試験

電力ケーブルは25kV及び8kVの2種類で、いずれも制御線を介在にもち、両端立上げ部はビニルシースとした架橋ポリエチレン絶縁一重鉄線外装ケーブルである。ケーブルサイズは電圧降下(10%以下)から選定され、80mm²とした。600Vフレアケーブルは、7×5.5mm²ポリエチレン絶縁ビニルシース一重鉄線外装で全長同一構造とした。表1は25kV、8kV及び600Vケーブルの構造を、図2はその外観を示すものである。

ケーブルは、アメリカのIPCEA (Insulated Power Cable Engineers Association) 規格に準拠して設計されたが、主な特徴は次のとおりである。

- (1) 万一事故時に水の導体内への浸入伝搬を防止するため、電力ケーブル線心は導体内に水密混和物を入れた円形圧縮より線とし、制御線心は200mごとにはんだを充填し浸入伝搬阻止壁とした。
- (2) 電力線心は内部半導電層、絶縁層及び外部半導電層を3層同時押出方式で製造し、絶縁性能及び耐水性能の向上を図り信頼性を高めている。
- (3) 防虫層として、しゃへい層を兼ねて銅テープを巻き、外装上の塗料には防虫剤を混入した。

上記ケーブルはIPCEA規格に従って試験が行なわれたほか、特に長さ方向の水の浸透については、1.5mのケーブルの一端に3kg/cm²の水圧を加えても6時間後において10cc以下の漏水量であることを確認した。

3.2 付属品

ケーブルの終端部は、CFP側はキュービクル内に立下が



図2 ケーブルの外観 25kVケーブル(左)、8kVケーブル(中央)は、立上げ部構造を示す。海底部は電力線心上のビニルシースがない構造である。600Vケーブル(右)はフレア点火用で全長同一構造である。

Fig. 2 Appearance of Submarine Cable

るため、テープ式の屋内用標準端末とし、PP側は変圧器に直結されるため、アメリカのJoslyn社のがい子差込形ケーブルヘッドが採用された。

4 輸送及び工法の検討

4.1 事前調査結果

今回の工事計画を推進するに当たり、昭和46年8月及び昭和47年11月の2回にわたり綿密な事前調査を行なった。これにより得た知見は次に述べるとおりである。

(1) 海象状況は年間を通じて波高が高く、特にシャマル(北西風)が吹くと、しだいに波浪が高まり、しけ模様となる。この状況が3～4日続くと再び静穏な海況にもどる。一般に海上作業は波高3ft以下で可能とされているが、表2は、3ft以上の波高の過去1年間における月別出現記録を示すものである⁽¹⁾。これによるとケーブル布設時期としては9～10月が最適であることが分かった。

(2) 気象、海象状況が非常に急変しやすいため、布設船の避難場所が必要であるが、作業現場から最も近いムバラス島まで約40kmあり、3時間を要するため、船上で海象、気象状態

表1 ケーブル構造概要表 電力線心は内部半導電層、架橋ポリエチレン絶縁層及び外部半導電層の3層を同時押出方式で製造された。

Table 1 Outline of Cable Constructions

項 目		単 位	25 kV ケーブル			8 kV ケーブル			600V ケーブル
区 分		—	電 力 線 心		制 御 心 線 心	電 力 線 心		制 御 心 線 心	—
			立 上 部	海 底 部		立 上 部	海 底 部		
線 心 ・ 数		心	3	3	12 対	3	3	3 カッド	7
導 体	サ イ ズ	mm ²	80	80	16AWG	80	80	16AWG	5.5
	形 状	—	円形圧縮	円形圧縮	7 / 0.49	円形圧縮	円形圧縮	7 / 0.49	7 / 1.0
	外 径	mm	10.8	10.8	1.47	10.8	10.8	1.47	3.0
絶 縁 体 厚		mm	8.76	8.76	0.76	3.56	3.56	0.76	0.76
外 装 鉄 線 径		mm	6.0	6.0	—	6.0	6.0	—	6.0
仕 上 外 径 (約)		mm	105	98	—	80	73	—	41
概 算 重 量		kg / km	20,100	18,400	—	14,100	12,600	—	4,500

表2 波高記録 波は9, 10月は比較的静穏であるが、一般に年間を通じて高く、海上気象状況は悪い。

Table 2 Records of Sea Wave Height

月別	日数	波高 3 ft 以上出現日数
1 月		13
2 月		5
3 月		3
4 月		6
5 月		"
6 月		13
7 月		6
8 月		10
9 月		0
10 月		"
11 月		10
12 月		11

- を常時観測し、避難時期を誤らぬことが必要である。
- (3) 海底ケーブルを布設する特殊作業のため、作業能力が低い現地人では危険を伴うので、我が国からの出張者でほとんどの作業を行なうこととした。
- (4) 工事隊員の宿泊は陸から離れた海上作業のため布設船内とした。
- (5) 布設船の係留には海底質がサンゴであり、アンカーが良く効かないため、できる限り大きなアンカーが必要である。

4.2 荷造と輸送

我が国から現地へケーブルを輸送する方法には、(1)専用船(この場合には布設船兼用)による方法、(2)一般船にコイル巻きし、現地で布設船に積み替える方法、(3)コンテナに巻き取り、一般船で現地へ輸送し、現地で布設船に積み替える方法がある。(1)の方法は安全であるがケーブルの積荷荷重と大洋を航行できる大きさの間に差が大きいときは経済的でない。(2)の方法は現地でコイル積替え作業が必要であり、(3)の方法は現地でクレーン設備の制約がある。今回の例ではたまたま

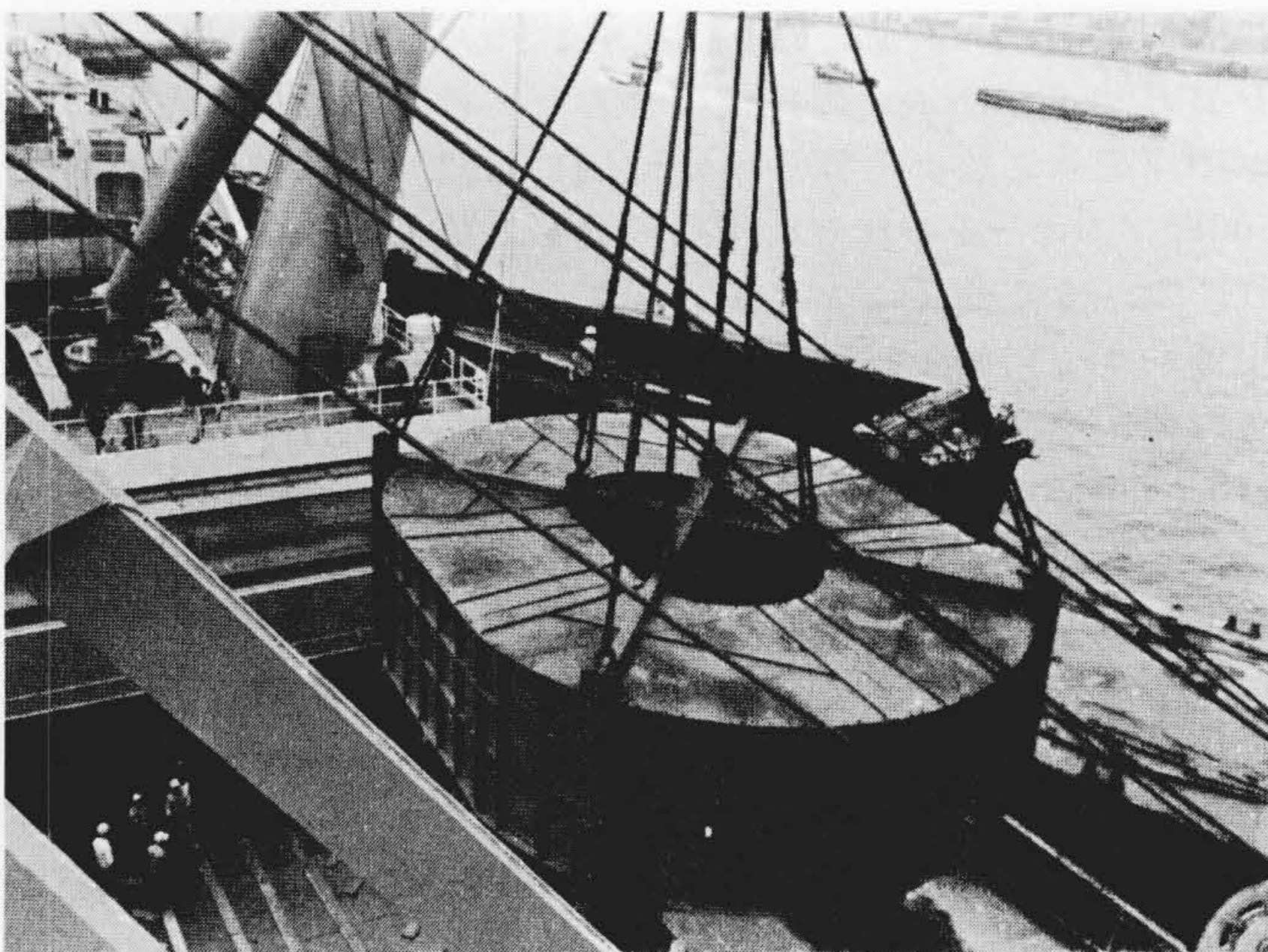


図3 定期貨物船へのケーブルコンテナ積み込み状況 25kVケーブル1条を巻き込んだケーブルコンテナを定期貨物船のクレーンにて積み込み中の状況である。(寸法11×8×3(m)、総重量192t)。

Fig. 3 Cable Container

(3)の条件に合うことが分かったのでこの方法をとることとした。ケーブルコンテナの個数は、25kV用1個、8kV用2個とし、またコンテナの重量は、布設船の搭載能力を考慮し、最大192tとした。ケーブルコンテナの製造に当たって、定期貨物船及び荷役関係者と事前に十分打合せを行なったが、港湾荷役の点から強度上6倍の安全率が要求された。更に記録的な大きさのため、日本海事検定協会の検定を受けることとなり、実負荷試験を行ない認定を取得した。なおコンテナはあらかじめ分割して製作され、横浜港岸壁で組み立てた。形状は長円形でいちばん大きい25kV用で、長径11m、短径8m、高さ3mであった。図3はケーブルコンテナの外観及び定期貨物船への積み込み状況を示したものである。

4.3 布設船の選定と機装

- 布設船の選定に当たっては次の点が考慮された。
- (1) 重量 192 t, 11×8×3(m)寸法のケーブルコンテナを収容できること。
- (2) マルートの油田生産設備間の布設作業に当たって小回りがきき、操船が容易であること。
- (3) 異常海上気象時の避難のため、自力航行が可能なこと。
- (4) 船員を含め24人の工事隊員の宿泊設備が確保できること。
- (5) 作業が長期に及ぶため、天候あるいは作業待機時の維持経費が経済的であること。

これらの条件から総トン数370.56tの「こんごう」が選定された。この船は近海区域での作業船であるため、遠洋海域での作業に当たっては特認申請が必要であった。ケーブルをコンテナから繰り出し船尾から海中に投入するための機装についても次のような配慮がなされた。

- (1) 3個のケーブルコンテナの積み替えを考え、組立て、解体が迅速、且つ容易に行なえるようにやぐら部、流し部及び船尾部の各ユニットごとに製作し、スライド可能な組立方式を採用した。
- (2) やぐらの高さは、ケーブルコンテナ長径の70%以上になるように可変にした。
- (3) 曲げ半径はケーブル外径の10倍を確保できるように1mとし、また流し台の傾斜角は30度以下とした。
- (4) ブレーキは、4組のてこブレーキとし、流し台の船尾側に配置し、またケーブル送出し用としてキャタピラを設置した。

表3は、布設船「こんごう」の仕様諸元を、図4は、同船及びその機装を示すものである。

4.4 ケーブルの立上げと防護方法

ケーブルは両終端とも水深約25mの海底から、ケーブル防

表3 布設船「こんごう」の仕様 工事隊員の宿泊設備を備えた小形作業船であり、操船が容易で布設船として最適のものである。

Table 3 Specification of the Cable-laying Ship "Kongo"

項 目	仕 様
船 長	36 m
船 幅	9 m
深 さ	4.1 m
喫 水	3.0 m
総 ト ン 数	370.56t
主 エ ン ジ ン	520PS×1, 225rpmエンジン2機
速 力(最高)	12.5kn

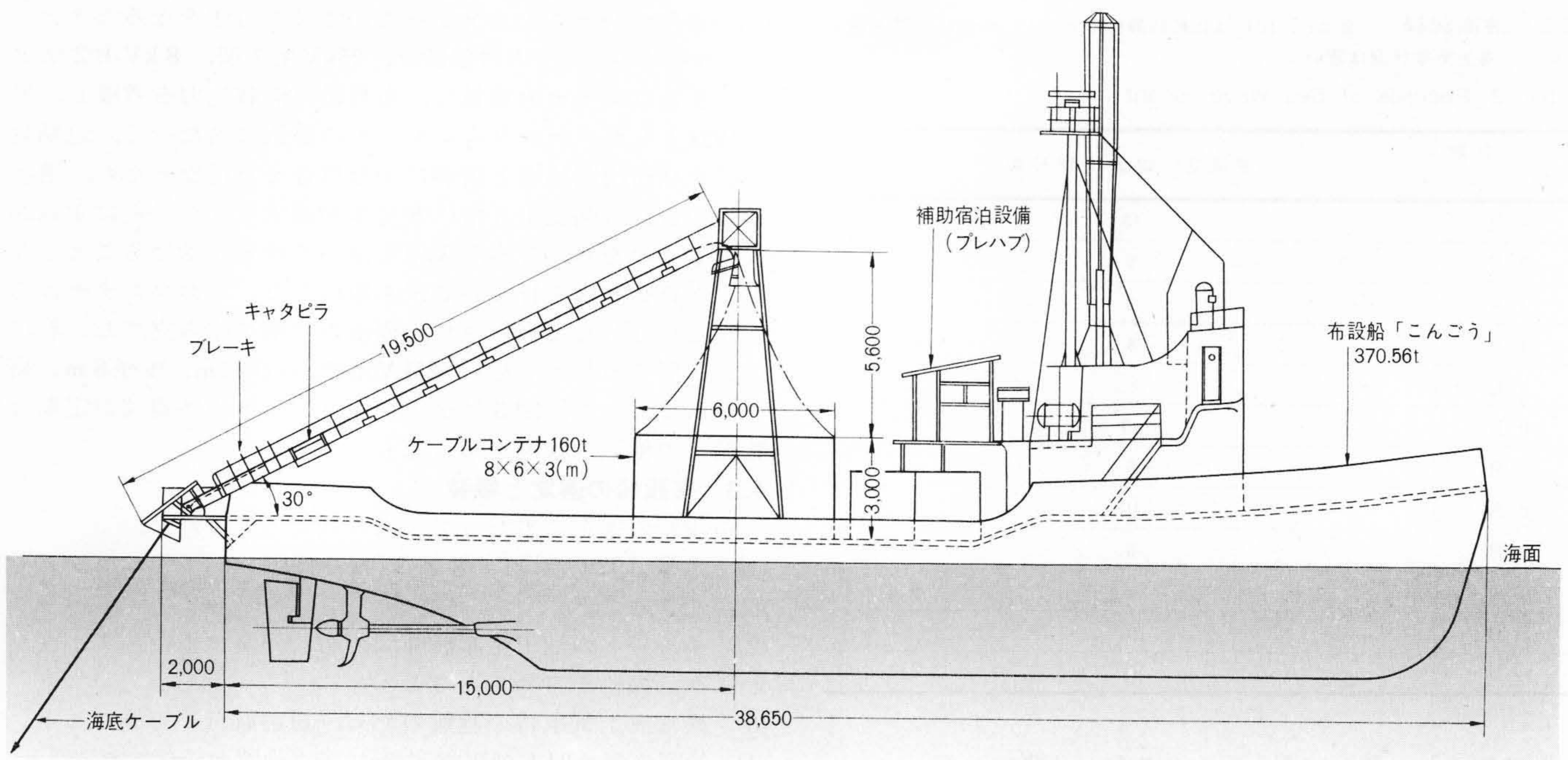


図4 布設船と機装 1回の機装で3個のケーブルコンテナを順次積み替えて布設する特殊工法のため、やぐら部、流し部及び船尾部に分解可能な構造としコンテナの積み替えを容易にした。

Fig. 4 Cable-laying Ship and Rigging

護用のパイプを通して海面上約30mの海上設備床上キュービクルまで立上げなければならず、布設とともにこのケーブル立上げ作業が本工事のキーポイントであった。このため、ケーブルの立上げと防護方法に対し次の点が考慮された。

- (1) ケーブル防護用パイプは油田生産設備のジャケット部(海中部)とデッキ部(海上部)に分けて、あらかじめ構造物に取り付けることにした。
- (2) ケーブルの立上げは、引入張力低減のため、ジャケット部とデッキ部の2回に分けて行なうことにし、デッキ部ケーブルをいったんジャケット上にコイル取りにしておく方式とした。
- (3) ケーブルの引止め位置はジャケット部防護パイプ上端とし、コーン式のケーブルクランプによって外装鉄線を引き止める方式とした。
- (4) デッキ部パイプへのケーブル引入れは、ケーブルクランプ取付け後に行なうことにし、またジャケット部とデッキ部防護パイプの境界部には半割防護パイプを取り付け防護することにした。

4.5 布設船測位

陸上から70km離れた洋上で、何も見えない場所での作業のため、何を目標にして布設するかが問題であり、測位は次の方法によった。

- (1) 布設ルートに平行して既にパイプラインが敷設されていたので、パイプラインに沿って500~1,000m間隔に設標し、これを基準にパイプラインとの離隔距離約40mのケーブルルートにコース標示ブイを設置した。
- (2) 油田生産設備が数本立っているため、これらを基準点として六分儀による測角を行なった。
- (3) 万一、濃霧、砂あらしの発生や、しけなどによる視界の悪化に備えて、布設ルートを記入したデッカチャートと受信機を船上に設置し、コースの維持を確認できるデッカ測位を併用した。

5 布設工事

5.1 ケーブルの輸送と積み替え

第1回目の輸送は、8kVケーブル4ルート分19,380mを2個のケーブルコンテナに巻き込み、定期貨物船「アスカ」(13,900t)で行なわれた。第2回目の輸送は、25kVケーブル8,680mを1コンテナに巻き込み、同様にして輸送された。ケーブルコンテナの布設船への積み替えは、油田生産設備の建設作業に従事している500tバークレーンで行なわれた。

5.2 布設準備

布設船の機装組立はアブダビ港で行なわれた。その後順次ケーブルコンテナの積み替えが行なわれたが、機装の解体と組立ては、やぐらの高さとし角度の調整など各ユニットの組立方式のため計画どおり行なうことができた。設標作業は、PPとパイプラインの完成に合わせて行なわれた。布設ルートの出発点と終わり側の所定位置に布設船に係留するための500kgアンカーをそれぞれ4点設置し、更に万一アンカーが滑り、効かなくなることに備え、ジャケットにあらかじめ係留用補助ロープを取り付けた。試験航海は布設の前日に行ない、布設要領の徹底と不具合点の最終チェックを行なった。

5.3 布設

ケーブルの布設は4月に入って建設の完了したルートから着工した。布設船は布設ルートの近くで待機し、海上気象状況をとらえ、海上気象条件の良い日の夜明けを待ちスタートし、深更まで一気に作業を行なった。布設船は走航に入る前に布設ルートの所定位置に係留し、ジャケットパイプへの立上げ作業を船尾のウインチにより行なったが、立上げ場所によっては、引入れ張力によって、係留アンカーが若干ずれ布設船がジャケット部に接近するという事態も起こったため、アンカー位置を移動し更に溶接加工しアンカーの重量を重くして、無事立ち上げることができた。布設時における船の配置は、潜水船と現地で傭船した300HPの作業船を布設船の両

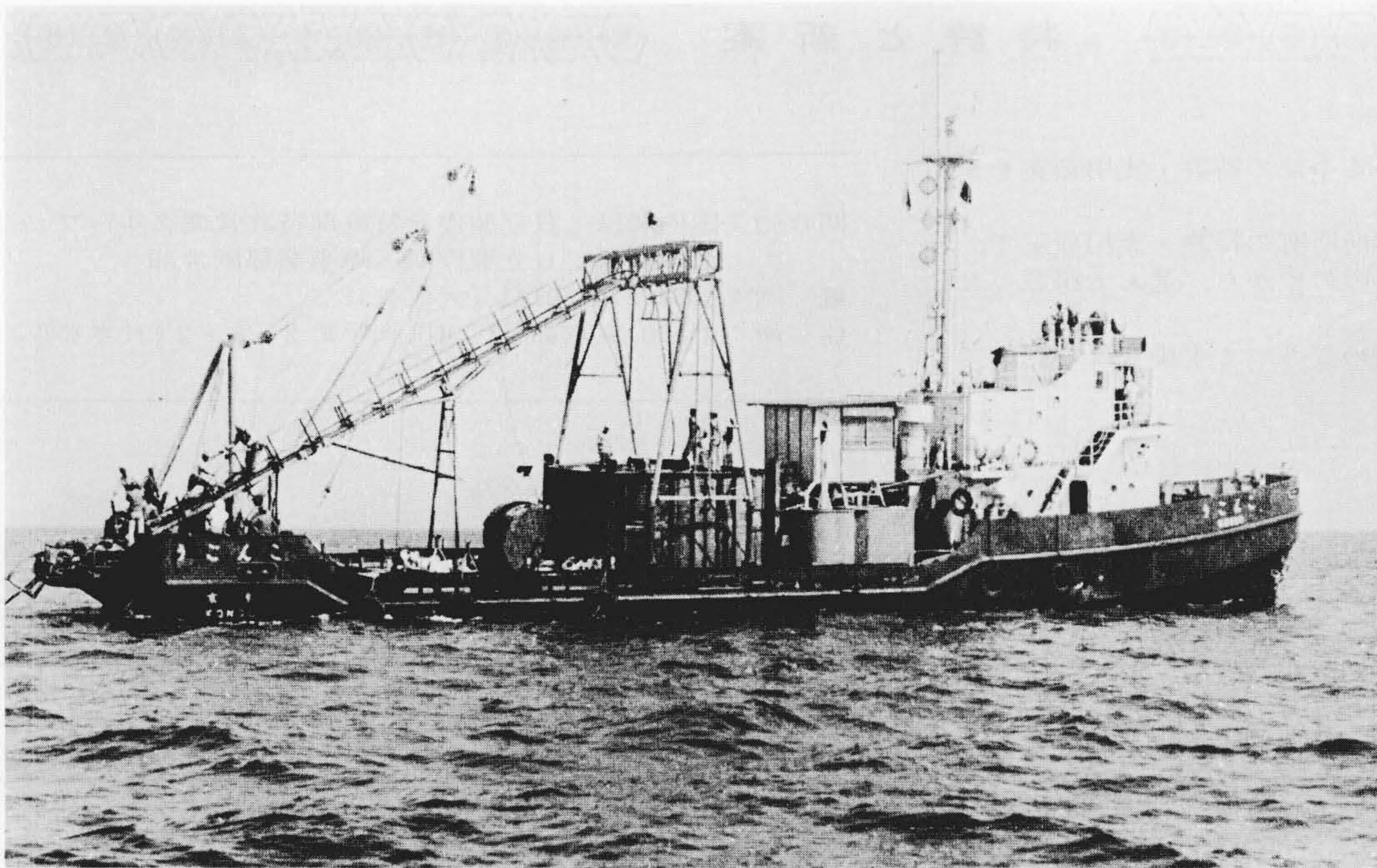


図5 「こんごう」による布設状況 ケーブル布設は平均3knで、風浪のない時期を選んで実施された。

Fig. 5 Cable-laying by the Cable-laying Ship "Kongo"

側を平行に走航させ、万一コース修正の必要な場合に備えた。布設速度は平均3knとし、入水角は約45度を保持した。コースの維持は全ルートとも、ルート標示ブイと六分儀測量により行なった。なお、デッカ測位は確認のみにとどめ、正確な誘導と操作技術により布設ルートに対してほとんどずれもなく布設することができた。全ルートともに布設当日は好天に恵まれ作業は成功したが、布設が終わるごとに北西の強風が吹き荒れ、しけとなる状況の連続であった。その都度状況により避難時期を的確に決断し、布設船を無事ムバラス島へ避難させた。図5はケーブルの布設状況を示し、表4は各ケーブルルートの布設結果の概要を示すものである。

5.4 防護と付帯工事

デッキ部ケーブルは、当初鉄線を付けたまま防護パイプ内に引き入れる計画であったが、狭いデッキ上での作業性を考慮し、外装鉄線を取り除くことにした。鉄線を取り除く作業は多少めんどうであったが、その後の作業が能率的で非常に有効であった。ジャケット立上げパイプ海底部付近のケーブ

表4 布設結果の概要 海上は4/末～5/初、5/下旬、6/中旬と強い北西風が吹き荒れ、作業は中断された。

Table 4 Outline of the Laid Cables

順	ル	ー	ト	布設日(月/日)	ケーブル	納入長(m)	布設実長(m)
1	CFP	←	FSBB	4/15	600Vケーブル	600	600
2	BA	←	FSBA	4/16	"	"	"
3	CFP	→	BA	4/18	8kVケーブル	3,020	2,825
4	CFP	←	BD	4/21	"	1,720	1,540
5	BD	←	FSBD	4/22	600Vケーブル	600	600
6	BD	→	BF	5/16	8kVケーブル	3,300	3,065
7	CFP	→	MR-6	5/29	"	11,340	10,910
8	MR-6	→	FSMR-6	6/3	600Vケーブル	600	600
9	CFP	←	AAP	9/5	25kVケーブル	8,680	8,390
10	AAP	←	FS AAP	9/11	600Vケーブル	600	550

注：矢印は布設方向を示す。

ルには、潜水夫により、割蛇管とセメントバックを取り付け防護した。各ルートごとにケーブル端末処理を施した後、現地試験を行ない良好な成績で合格し、引渡しが完了すると同時に運転が開始された。

6 結 言

酷熱と激しい風浪の点で世界一難所といわれるアラビア湾での25kVはかの海底ケーブルの設計から布設に至るまでを無事完遂し、アブダビ石油株式会社の油田生産事業に大きな貢献をなし得た。本計画実施において特筆すべき点は次のとおりである。

- (1) 電力ケーブルは信頼性の点から3層同時押出による架橋ポリエチレン絶縁ケーブルとし、導体には、水密構造が採用された。
- (2) 2回にわたって行なわれた事前調査により、現地事情に合わせた工法の検討を行ない布設を成功させた。
- (3) 超大形のケーブルコンテナを採用し、安価で簡便なケーブルの輸送方法がとられた。
- (4) 布設船として特別認可申請を取得した小形作業船の採用は、多ルートの油田生産設備間の布設工事の作業性と激しい風浪などによる長期間の作業待機時の経済性の面からも成功した。
- (5) ケーブルコンテナから直接布設を行なう工法、油田生産設備への立上げ方法とケーブルの防護方法など海底油田設備用に適した海底ケーブルの布設工事技術が確立した。
- (6) 工事隊員をすべて邦人で編成し、宿泊設備を布設船上に設置したことは、長期間の海上生活上極めて効果的であった。

最後に本計画の遂行に当たり、御協力いただいたアブダビ石油株式会社の関係各位並びに日立電線株式会社の関係各位に対し厚く謝意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 国際気象センター、「ペルシャ湾、MUBARRAS OIL FIELDにおける風と波概要報告書」(昭46-12)