

マウイ海底パイプライン工事

日本鋼管(株) 青鹿勝之
○青島泰之

本報告は、ニュージーランドのマウイ天然ガスAフィールドにおいて 1976~1977 年の二年間にわたって行われた海底パイプライン布設工事の現場報告である。

(1) 工事概要

マウイ天然ガスAフィールドは、ニュージーランド北島の西海岸に位置する。このAフィールドが発見されたのは1966年で、同年からShell石油による詳細な調査が開始された。ガス田の面積は142Km²、深さは約2600mにあり、埋蔵量は1500億m³の天然ガス、7500万バレルのコンデンセイトと予想されている。この望外のエネルギーは、ニュージーランドの火力発電に使われる予定である。そのため、ナショナルプロジェクトとしてニュージーランド政府とShell, B.P., Toddの四社が施主となり、Shell石油がオペレーターとなって開発にあたった。



図1 マウイ天然ガスフィールド

本工事は沖合い34Kmに立つ天然ガス採掘用プラットフォームと陸を結ぶ2条の10インチ(コンデンセイト用)と24インチ(天然ガス用)の海底パイプラインを布設することであり、工事は1976年2月に始まった。施工業者は米国のブラウンルート社であった。本工事の特長の一つは、最大水深が120mと深くそのために海底パイプラインとプラットフォームとを結び立ち上がり部(ライザーと言う)に従来方式ではないJ-tube riser工法とBending shoe riser工法が採用された事である。ちなみに我が国における最初の本格的なパイプラインである、阿賀沖(新潟県)工事での水深は80mである。もう一つの特長は、マウイ天然ガスフィールドの海象条件が西にひろがるタスマン海の影響で厳しいという点である。冬の北海はたしかに荒れるが夏は比較的静穏な日が続くのと比較して、タスマン海は夏、冬を問わず荒れる。パイプ布設作業の観点からするとタスマン海の方が北海よりも厳しいとさえ言われている。パイプ布設作業の行われる夏季でも波高2mを越える日が10%以上で、作業が可能であった日は表1に示すように月平均5日にも満たないものであり、その他の日は避難と天候待ちと繰返した。予定では1976年の夏の3ヶ月半ですべての工事を終了のつもりであったが、越冬して翌年に持ち越された経緯がある。

工事名称	1976						1977				
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	12月	1月	2月	3月	4月
10"海底電航											
24"海底電航											
24"一般布設							越冬				
10"J-tube rise 工事											
10"一般布設											
10"タイイン											
作業可能日	4日	11日	5日	3日	1日		2日	5日	9日	5日	0日

表1 マウイ海底パイプライン工事の工程

(2) 船 団

マウイ天然ガスフィールドでは、海底パイプライン工事と並行して採掘用プラットフォーム“マウイAタワー”の据え付け工事も行なわれた(土木学会誌 76-1 参照)。

この二つの工事に使用された船団を表2に示した。

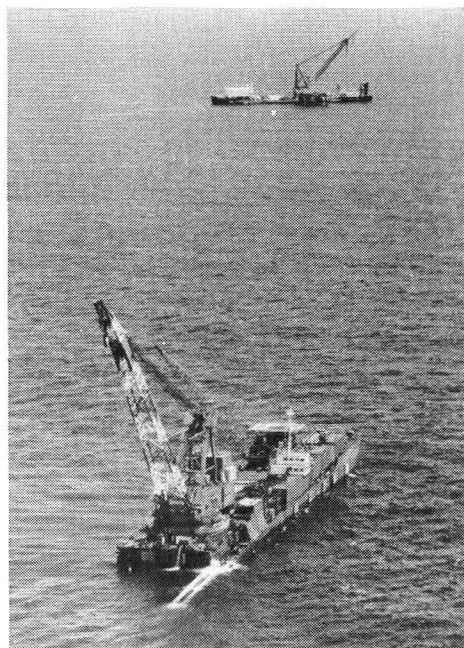
作業船	タイプ	大きさ	人員	備 考
ATLAS	デリックバージ	106 ^m ×30 ^m ×7.6 ^m	135	600トンクレーン杭打ち
BAR 265	ベリバージ	76 ^m ×23 ^m ×4.9 ^m	70	グラウティンブ
KP・I	デリックパイプレイバージ	139 ^m ×30 ^m ×9 ^m	220	500トンクレーンパイプ架設
BLUE WHALE	クレーン船	202 ^m ×36 ^m ×14 ^m	190	2000トンクレーン杭打ち

表2 作業船団

マウイAタワーは日本で建造され、タグボートによってニュージーランドまで5700マイルを68日かけて曳航され、1976年1月マウイフィールドに立て起しが行なわれた。この立て起し作業に参加したのがデリックバージATLASとデリックパイプレイバージKOKAN PIONEER-Iである。

プラットフォームを海底に固定する鋼管ぐいのくい打ち作業には、1年目の1976年にはATLASがあたつたが悪天候のため結局一本の杭も打てず、2年目はオランダの超大型クレーン船BLUE WHALEが杭打ち作業を引き継いだ。この杭打ち作業は1977年いっぱいでも終えず3年目持ち越しが必要となっている。

KOKAN PIONEER-Iは1年目、2年目とも海底パイプライン布設作業にあたった。これらの杭打ち、パイプ布設作業に働く洋上作業員は最盛期で1日700人という大規模な海洋工事であった。



パイプ布設中の KOKAN PIONEER-I

(3) 海洋パイプライン工事

二条のパイプラインは、陸から沖合に800mの浅海部分は海底敷設法により布設を行った。それ以上の水深からは布設船工法が用いられた。海底パイプラインが海底からプラットフォームの上部に立ち上がるライザ一部分の据え付け方法として、40インチにはJ-tube riser工法が、24インチラインにはBending Shoe工法が採用された。

当初の予定ではこれらのすべての工事を1976年の2月～5月に施工することが計画されていたが予想外の悪天候に布設作業が順調に進まず1976年6月に工事を中断しKOKAN PIONEER-Iはそのままニュージーランドで越冬を行った。

1976年12月に工事を再開。1977年5月ほぼ全工を終了した。

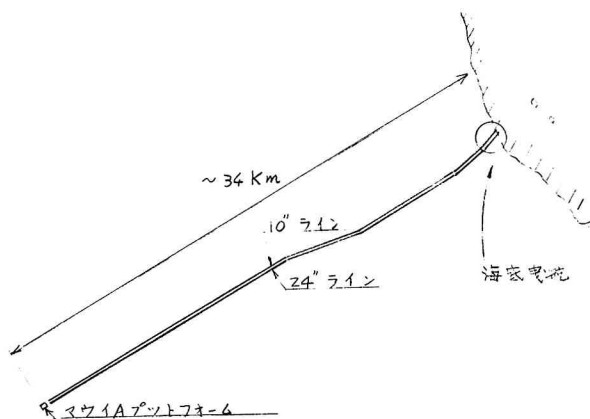


図2 パイプラインレイアウト

(4) 海底曳航法

10インチのパイプを海底曳航するにあたってまず沖合い800mの位置に KOKAN PIONEER I をアンカーで固定した。

KOKAN PIONEER I 上で12mの単管の溶接接合を繰り返してワイヤーロープで陸側に向けて曳いた。所定の長さのパイプラインを曳き込んで10インチラインの先端が陸上に上がった後、他端とギャップして海底に沈置した。24インチラインも同様の工法で海底曳航を行ない、所定の長さを曳き込んだ後、布設船 KOKAN PIONEER I を前進させそのまま布設船工法により沖合いに向けて布設を続行した。

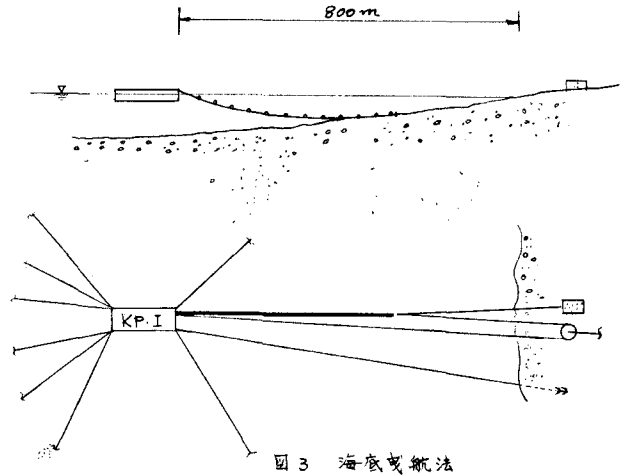


図3 海底曳航法

浅海部は碎波帯になるので裸のパイプでは波力を受けてパイプラインが流される危険がある。このためにパイプに重みを付ける意味でコンクリートを巻く事が行なわれた。ところが海底曳航法を採用する場合には重いコンクリートでは曳航力が増大して所有するウインチでは曳ききれないことがある。このため布設中だけ一時的にパイプラインにブイを付け水中重量を軽減する。本工事では浅海部が岩であることと、碎波帯があることで従来よく使用される鋼製円筒ゲイは使わず、発泡ポリウレタン(PUF)のパイプ形状にフィットする形のブイを取り付けて成功した。海底土質が岩であるためアンカーが取りにくく、試行錯誤をしながら効果的なアンカーリングに苦心した。

(5) 布設船工法

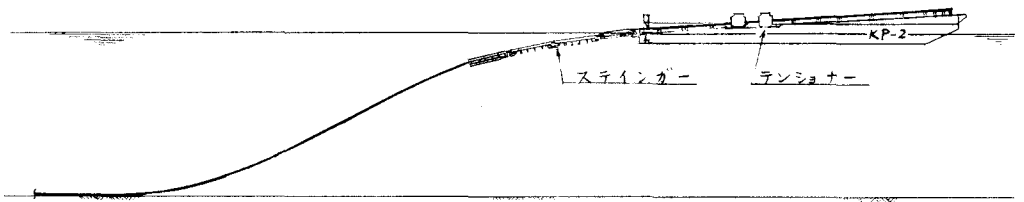


図4 パイプ布設船工法

布設船工法による布設は、布設船と海底で二点支持された超長大部材の力学問題である。水深が大きくなるとパイプに大きな曲げモーメントがかかり許容応力内で布設することは極めてむずかしいものとなる。軽いパイプほど布設が容易であることは言うを待たないが軽いパイプは布設後潮流や波によって浮き上がったり流されたりするので、ここでもパイプに自重を増すコンクリートを巻くことが行なわれている。水深によって潮流、波の影響の度合いが違っているのでマウイ工事はコンクリートと付して次の表のように水中重量の増加を計った。このようにパイプの重量は必ずしも軽くない。そのため布設中過大な曲げを生じさせないで布設するための工夫が必要であり、マウイ工事ではパイプ布設線形内に変曲点を有するS字型の線形を可能にする分節形スティーナージ方

式が採用された。かつ変曲点より下のサブベンド部の曲げモーメントを軽減させる目的でパイプ布設船上にテンショナーという張力装置を設けパイプに張力を与えながら布設する方法が採られた。24インチの場合約40トンの張力を導入した。ステインガーは布設船の船尾の進水口から出ていくパイプの線形をコントロールし、過度な曲げを生じさせない役目を持つ。そのためにはいくつかの浮力タンクをピン結合した分節型の全長72mの大型構造物が考えられた。この浮力タンクの水を注排水することにより、パイプラインを所要の線形に保つことが出来る。注排水計画はコンピューターによる計算をもとにしているが、なかなか現場の条件とは合わないのが普通である。それは、ステインガーの実際の浮力が不明であること、張力装置による張力が必ずしも設計上の値に一致しないこと、コンクリートのぼらつきからパイプの水中重量にもぼらつきがあること、パイプが海中に入るとコンクリートが水を吸って水中重量が増加することなどが原因として考えられよう。そのためにはコンピューターによる解は一応の目安程度に考え、現場で水深計を用いて線形のチェックを行ないながらステインガー 浮力タンクの注排水の修正を行なった。

天候などの理由で仮に海底に沈置したパイプを揚収する際は特に注排水がむずかしい。ステインガーに均等に乗せながら所要の曲率内でパイプを布設船上に引き上げることは必ずしも容易ではない。これに失敗するとパイプを過度に曲げて残留曲げを生じさせたり、更にひどい場合にはパイプが折れて水が入り (wet buckling) 面欠になることになる。マウイ工事では24インチパイプで一度 wet buckling を経験した。wet buckling を起こすとパイプに水がはいって水中重量が増加するのでそのままで揚収することは不可能である。その場合は陸上のパイプラインの入口から圧縮空気でピグを送り出し、パイプの中の水を除いて軽くなったパイプを揚収した。布設途中で天候が悪化した時はパイプ布設を中断し、キヤップをして一時パイプラインを海底に沈置、先端に目印のブイを付けて布設船を避難させた。天候が回復すると目印のブイを回収して海底に沈置してあったパイプを揚収、布設船上に引き上げて布設を再開した。タスマン海はオーストラリア大陸に発生する低気圧の移動と長い掃風距離のため天候が一定せず一週間避難、天候待ちをしては一日布設をするというパターンが続いた。一年目は10インチラインを2km布設、24インチラインを22km布設した時点で冬に入り工事を中断した。二年目には24インチラインの布設を続行しプラットフォームを通り越して海底に沈置した。これは後日行われる予定の Bending Shoe 工法によるライザー工事のための準備である。

(6) Bending Shoe 工法

Bending Shoe 工法はライザー工法としては新しく Shell 石油の間接した工法である。あらかじめプラットフォームに仕組まれた Bending Shoe の中で24インチパイプを曲げ上げていく工法である。パイプのプラットフォームへの固定は油圧式のライザークランプで行なう。

工事は二段階に分けられる。最初プラットフォームの横を通過しながらパイプを布設し、所要の長さのところでパイプ布設を中止し海底に沈置する。つぎに、沈置したパイプに張力をかけパイ

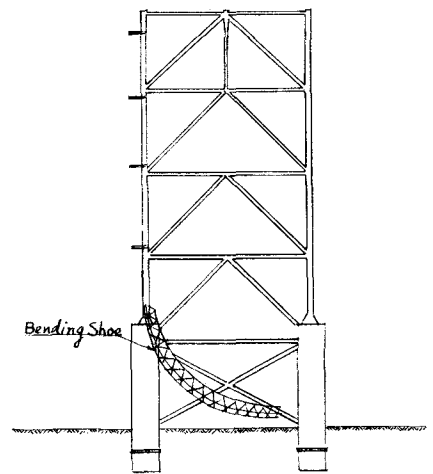


図5 Bending Shoe

が海底から少し浮き上げながらパイプを横方向に引き込み Bending Shoe の真下に入れる。布設船とプラットフォームに近づくながらパイプを Bending Shoe の中に曲げ込んでいく。最後の引き込みはプラットフォーム上のウインチにまかせる。この工法のむずかしさの1つは、どこでパイプの布設を中止するか判断であらう。パイプが短か過ぎるとパイプを曲げ上げた時パイプ端が水面下に没してしまう。逆に長過ぎると最後の曲げ上げが出来なくなる。いま1つのむずかしさは布設船がプラットフォームの横を通過する場合のアンカーリングのむずかしさである。布設船は8〜10本のアンカーを“むかひ”の足のように打ち替えながら前進、後進をするが、プラットフォームを通過する際はプラットフォームが邪魔になって必ずしも希望の位置

にアンカーが打てない。また間違えば布設船がプラットフォームに衝突する危険性もある。KOKAN PIONEER I は第一段階の作業は遂行したが施主の都合で第二段階の曲げ上げ作業を行わず現地解散となった。

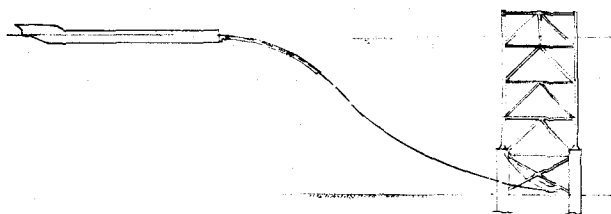


図6 Bending Shoe 工法 オール段階

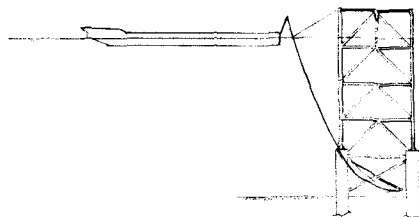


図7 Bending Shoe 工法 オール段階

(7) J-tube riser 工法

J-tube riser 工法も新しい工法で、深海パイプライン用のライザー工法として注目されている。J-tube riser 工法には二種類あり、パイプを布設船から J-tube の中を通してプラットフォームの方へ引張り上げる工法と、プラットフォームから布設船の方へ引張り込む方法がある。

マウイ工事では前者の工法が採用された。プラットフォームにあらかじめ18インチのJ型をしたパイプが仕組まれていて、この中を10インチラインが引張り上げられる。18インチのパイプがJ型をしているところから J-tube riser 工法と呼ばれる。工事は大きく三段階に分かれる。まず、KOKAN PIONEER I のステインガに進水名上に10インチパイプを溶接し並べておく。Pull cable をプラットフォームの上から J-tube riser の中を通して KOKAN PIONEER I まで運び10インチパイプの先端に接続する。次に KOKAN PIONEER I 上で10インチのパイプを溶接する毎にプラットフォームに据付けたウインチで Pull cable を巻き上げて、そのまま続けて10インチパイプを18インチパイプの J-tube riser の中をプラットフォームの上まで引張り上げる。この工法の焦点は布設船上の張力装置のコントロールであらう。プラットフォームのウインチを巻き上げている間でも布設船上の張力装置をセットして布設船から海底にいたるパイプが自重で滑り落ちないようにしなければならない。

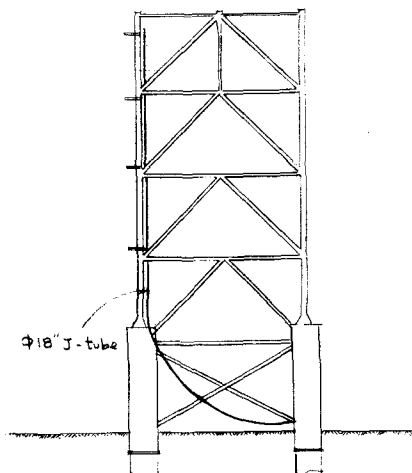


図8 J-tube riser

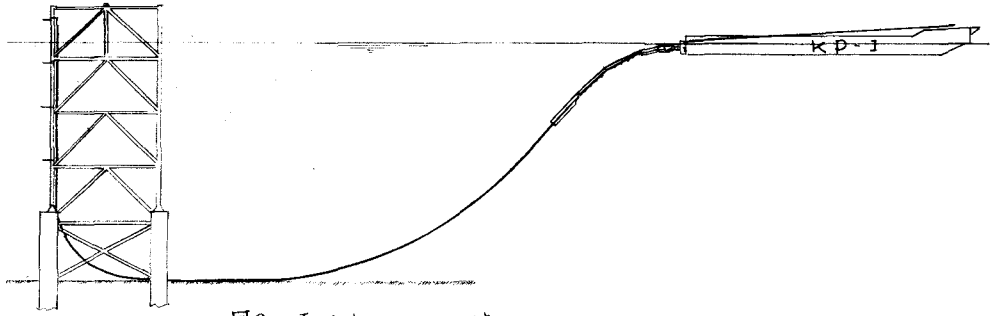


図9 J-tube riser 工法

かと言って張力を上げ過ぎると引込んだパイプを抜き出してしまう恐れもある。マウイ工事では途中プラットフォーム上のウインチにトラブルがあっただけで無事J-tube riser 工事を終了した。

(8) 所 見

従来の海底パイプラインの設計は鋼管材質の降伏点応力の何%かを許容応力として、布設中にはその許容応力内で布設するような考え方をしている。ところが本工程では曲げによるひずみがサグベンド部 0.15%, オーバーベンド部 0.25% の許容ひずみを越えない範囲で布設した。10インチパイプの場合材質が API X42 であるから、降伏ひずみは 0.14% である。優に降伏点応力を越えて布設と行なったことになる。そのかわり、パイプ布設船の後方 300 m あたりをついてくる Buckle detector という装置をパイプ内にとう入した。布設中にパイプに無理な曲げがかかって座屈した場合は Buckle detector がそこで止まるので座屈が検知出来る。また万が一座屈しても座屈が伝播しないように Buckle arrester という補強リングを 300 m 毎にパイプに付した。座屈さえしないで布設出来れば降伏ひずみを越えてもかまわないという考え方である。

許容応力設計と許容ひずみ設計の差によって作業船をはじめとして装備にかなりの差が出てくる。海外に仕事を求める施業者にとっては設計の基準をどこに置くかによって海外競争力に大きな差が出てくることであらう。Bending Shoe 工事や J-tube riser 工事では当然降伏ひずみを越えたところで施工を行っている。今後深海パイプラインの時代に入るとライザー工事は新しい型の工法が開発されなければならないので許容応力の考え方も変えなければならない日が近いうちに来るかもしれない。

(9) あとがき

本工程には、ブラウンルート社に対し日本鋼管(株)から人員の派遣が行なわれた。筆者はフィールドエンジニアとして KOKAN PIONEER I に乗船し、各々工事の前半、後半において海底パイプライン布設工事の実体と体験する機会を得た。以上は先の現場報告である。