

(3) テンション・レグタイプ海洋構造物の新しい施工法

中 川 武 夫

1. 緒 言

海は人類に無限の幸をもたらす魅力あふれるフロンティアである。陸にある資源が満ちつつある現在、多くの科学分野における研究成果が海洋開発のためにすみやかに結集されなければならぬ。

海洋構造物は石油、石炭、天然ガスなどの海底資源の採取あるいは海底居住区などの刺進基地となるものであり、また海洋開発の成否の鍵を握る重要な施設の一つである。

適宜に設計された海洋構造物の主要なタイプである固定型海洋構造物は一般にデッキ、ジャヤットと基礎の三つの主要部分から成り立っている。デッキは海洋開発用装置の運用、作業員の居住区、ヘリコプター発着用の基地となる。ジャヤットは海底から水面上数メートルに達する海洋構造物の基礎とデッキとの中間を占める構造部である。

固定型海洋構造物の施工手順は通常、海洋開発地域に隣接する陸上での製作および中間組立、これを中間組立部の敷設場所までの輸送として敷設場所での最終組立から成り立っている。陸上の製作工場において海洋構造物の各部材を加工し、敷設場所までの輸送とそこで組立に便利なように中間的な構造単位までの組立を完了する。このようないわゆるプレキャスト方式を導入して施工単価を大きくするところは陸上と比較して施工条件が劣る海上における作業を容易にするという効果がある。中間組立部の敷設場所までの輸送には多くの場合ランチ・バージが用いられる。ただし、非常に大きな海洋構造物の場合にはその中間組立部のいくつかが自己浮遊型となるように設計され、敷設場所までを船舶によってけん引されることもある。敷設場所においては、まず海洋構造物の基礎が打設され、つぎにジャヤット、デッキの順に上部構造がデリック・バージを使って設置されることになる。なお、基礎の種類としては、くさね基礎、ヤンソン基礎、直柱基礎などがある。

Fig. 1は海洋構造物の発達経過を敷設場所における水深を指標として示したものである。最初の海洋構造物は1940年代後半から1950年代前半にかけてアメリカ・ルイジアナ沿岸沖の水深6~15mの場所に敷設された。これ以後の海洋開発により深い水域への進出はめまもなく海洋構造物の施工場所における水深は年を追って大きくなっていった。すなわち、1976年にはアメリカ・サンタバーバラ海嶺の水深260mの場所に

"HONDO" と呼ばれた海洋構造物が敷設され、また1978年にはメキシコ湾の水深312mの場所に"COGNAC" と呼ばれた海洋構造物が敷設されるようになった。

ところで、近年、水深300m以上の場所においても今までのように固定型の海洋構造物を採用する土木学会、鹿児島工業大学土木工学科

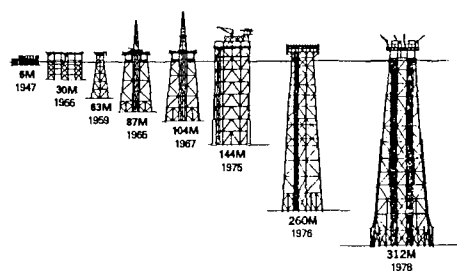


Fig.1 Offshore Structure Development
(after Will 1982)

ることに対してコストと施工の両面からの疑問が投げかけられた。海洋構造物の1層の大型化という嵐の中にあつて、これらの両面のニーズに答える有望な構造型式の一つがテンション・レグタイプ海洋構造物である。テンション・レグタイプ海洋構造物はほぼ垂直に保持されたワイヤ・ヤブエーンなどから成る留索を介して海底地盤に止められた浮遊躯体である。このタイプの海洋構造物の主な特徴は留索を引張状態に保つたため十分な牽制力と外力に対する応答を最小にするように設計された躯体構造にある。すなわち、留索は水面の躯体と海底のアンカー・ハッチを連結する役割をこなす。また、アンカーには投設式、パイル式、埋設式、重力式などが考えられる。

海洋構造物に働く外力はその種類により静荷重、衝撃荷重、振動荷重として一様荷重の4種類に区別することができよう。静荷重は自重、上載荷重、浮力、静水圧などであり、衝撃荷重は垂直上昇機、ヘリコプターなどによる着や船舳、流木等の衝突の際に生じる力である。振動荷重は波力、地震力などの周期性をもつ力である。そして、このほか一様荷重とは厳密な意味では一様な荷重を海洋構造物に加えるが、その一様性が比較的単純なものであると考えられる海流、潮流、吹送流、風などに比べて各種流体力を意味する。テンション・レグタイプ海洋構造物の躯体はこうした外力の作用下において水平に保たれることはもちろん、その縦、横、上下の3方向の変位についても設計荷重以下となるように制御される。

本研究では水深 300 m 以上の深海用海洋構造物としてのテンション・レグタイプ海洋構造物の有用なポテンシャルに着目し、その望ましい構造と施工法に関するアイデアを提案する。このアイデアの目的は海洋構造物の設計、製作、施工等の敷設に要する全コストが低く、安全、確実、迅速に施工が可能であり、かつ敷設後の安全性、耐久性が高いものである。

2. 海洋構造物施工上の問題点

本章において提案されるテンション・レグタイプ海洋構造物の新しい施工法の有用性を保証するために、現状における海洋構造物施工上の問題点を明らかにしておくことは必要である。

第一番目の問題点は海洋構造物の重量、大きさの増大あるいはその構造の変化によりその敷設に要する各種施工機械・装置の能力がすでに限界にきていることである。具体的には、陸上における製作段階において加工する部材の直径や板厚を決める圧延機的能力、中間組立部の重量、大きさを制限する陸上製作工場のクレーンの能力、中間組立部を海上の敷設場所まで輸送するランブ・バージの運搬能力、海上における最終組立に要するデリック・バージの起重能力そしてデリック・バージの基礎用パイルの打設能力等の限界のことである。

第二番目の問題点は海洋構造物の施工が海象、気象などの自然条件の影響を強く受けるにもかかわらず、これらの予測が困難であるという点である。たとえば、風、雨あるいは波浪の条件が一瞬悪くとも海上における施工作業は不可能となることがあることはもちろんのこと、施工機械・装置、作業能力等もこれらの自然条件に大きく左右される。

第三番目の問題点は海洋構造物に働く外力のうちとくに振動荷重と一様荷重の算定に必要な基礎データが一般に不十分であるという点である。中でも、波力、地震力や吹送流、風による流体力の

工率と意味のある精度での理論的予測は現状では不可能であるので、これらの予測は過去に当該海域において集積したデータに依存せざるを得ないわけであるが、こうしたデータが十分に揃っていないことは希望である。

第四番目の問題点は海洋構造物の施工に不可欠な海底および海中での観測、測定、作業そして作業管理が難しいということである。海洋構造物の基礎およびジャケットの施工の際には海中における作業が必ずともなうのでダイバー、水中ロボット、ダイビング・ベル（潜水球）、潜水作業船などではなくしてさまざまな要素がある。ところが、現在水中における作業の主要手段であるダイビング技術が特殊技能であるために施工技術者自身が必要でこの作業に直接タッチできないことが多い。すなわち海中における作業の質はダイバーの能力に大きく依存する結果、この作業管理が不徹底となったことがある。一方、最近の水中ロボット、ダイビング・ベル、潜水作業船などの新しい潜水作業システムの進歩は目ざましいものがあるが、これらのシステムは高価であるばかりでなく作業の適応性や陸上の作業と比較してまだ手遅れというものが実情である。

第五番目の問題は海底地盤に関するデータが限られているために海洋構造物の基礎支持力の算定精度が悪いばかりでなく、海洋構造物に働く外力のうち特に波力、地震力のような振動荷重による地盤の液状化あるいは流れによる海洋構造物周辺地盤の洗掘による基礎支持力の変化の予測が困難である。

そして第六番目の問題点は海洋における腐食環境下での海洋構造物各部材の耐強度、疲労強度の材料変化の算定が難しいということである。

3. テンション・レグタイプ海洋構造物の新しい施工法の提案

第2章で明らかにされたように海洋構造物の施工にあたってはさまざまな現状では解決不可能な問題点をかかえたままその作業の実行を原儀なくされるわけであるから、構造のフレキシビリティ、余裕のある施工機械・装置の投入等によって作業の単純化を計る一方、これらの問題による影響を比較的に受けにくいような構造および施工順序を導入する着眼が必要である。ここに提案される施工法はまさにこのような着眼点から考案されたものである。

Fig. 2 は沿岸の浅瀬または海岸に近い堤防（Dike）を築くことによって造りだしたバースン（Basin）の中における海洋構造物の組立状況を示す。このテンション・レグタイプ海洋構造物の船体（Hull）、係留索（Tether）などは基盤（Base weight）の中にコンパクトに収められている。船体の中は水で満たされており、その上面には浮き輪（Buoy）がロープ（Rope）で結び合わされている。また、基盤底面には田のように錨（Anchor）が何本も取り付けられている。そして、いったんバースン内での組立が完了したら堤防の一部が取り払われ、構造物全体が水面に浮上するようになる。続いて、この構造物は Fig. 3 に示したようにランチ・バージ（Launch barge）により敷設場所まで運搬される。

敷設場所に到達したら構造物基盤の隔壁内に注水が開始される。注水によって浮力を失った構造物は Fig. 4 に示したようにして、その左右を Derrick barge が支え下げられたワイヤー・ロープ（Wire rope）によって支えられながらゆっくりと沈没させることになる。

ところが、この注水量は構造物が海底に近づくにつれて徐々に増加するように設計されている（Fig. 5）

に示したように錨固構造物の自重により海底地盤の中へ十分深く食い込むことになる。なお、この海洋構造物の基礎支持力は基礎の自重のみで外力に対して十分安全に設計され、錨固の耐力は多少の補助的な役割であることに注意されたい。

基礎が海底に敷設されたら Fig. 6 に示したように船体は舟の上面から取り付いたロープを介して水面まで引き上げられる。船体が水面に達したとき、Fig. 7 に示したようにポンプ (Drain pump) による船体内部の排水作業が行なわれることになる。この結果、船体の浮力が増えるので残留浮力設計されたような引張余力状態に保たれることになる。続いて、海面上は浮力船体上部に Fig. 8 に示したようにレゴリッパ、バージを用いたデッキ (Deck) が設置されることになる。なお、Fig. 9 には施工完了後のテンション・レグタイプ海洋構造物の状況を示した。

4 考 察

本章において第 3 章で提案されたテンション・レグタイプ海洋構造物の構造あるいは施工法が現在知られるかにかえて海洋構造物施工上の種々の問題点に対してどのような解決策を与えるものがあるかに関して議論を行なう。以下、第 2 章において指摘された 6 つの問題点について順を進めて考察を進めることにする。

第一番目の問題点である各種施工機械・装置の能力の限界を緩和するために沿岸のバースン内では自己浮遊型の構造物を造り、之い航により敷設場所まで輸送する方法が採用された。

第二番目の問題点である海象・気象などの自然条件から受ける影響を極限するために、全工の構造物 (デッキを除く) の組立作業を沿岸にあるバースン内で行なうことが提案された。

第三番目と第五番目の問題点であるそれら外力と基礎支持力の算定精度の問題に対しては重力式基礎構造を採用することによる緩和をはかった。すなわち、重力式基礎構造を採用することによって総じて予想以上の外力が構造物に加わったとしても、その基礎の位置が多少移動するだけで構造物全体の破壊はきかぬことになる。一方、重力式基礎構造の場合にはその基礎支持力の算定が容易であるばかりでなく、海底地盤の液状化や沈下の影響を比較的受けにくいという利点がある。

第四番目の問題点である海底および海中での作業および作業管理上の困難を克服するために Figs. 4-7 に示されたような船体の施工手順が考察された。この結果、検査等の簡単な作業を除く、全工の海底および海中における作業が可能なことになった。

第六番目の腐食環境下において各種材料の耐腐蝕性、疲労強度をいかにしてこれら設計値以上に保つかという問題が本稿での考察対象の範囲外であるがこの問題に関する詳しい議論は割愛する。ただ、この問題の解決のために、海洋構造物に用いる材料の選定がポイントとなる。たとえば、鋼材のコンクリートと比べると、前者は前者より腐食性、高比重、低加工性、高脆性、低延性、高熱伝導性、低疲労強度、振動性などが多く、点で劣っていることは否がたである。一方、コンクリートが鋼材に比して劣っているといえる点では、その材料強度についてはプレストレス化、鉄-セメント複合化などの技術の発展により克服することが可能である。すなわち、過去において、海洋構造物の材料として鋼材がコンクリートと比較して多用されたのは最大の理由の一つである。4) 製作、組立て施工にいたる工程の質と量とをとり、その材質と性能とをいかに注意を向けなければならない。

5. おわりに

本論文において海洋構造物の現状と問題点を示しまして、テンション・レグタイプ海洋構造物の新し
い施工法の提案とその考察がなされたわけであるが、実際の現場における海洋構造物の施工にあた
ってその成否を決める最大の要素である作業に際する人間の有機的な協力関係があることを決ま
りてきた。このため又人間の望ましい協力体制の確立のために、海上における施工作業の回上
や留置機によるコミュニケーション、模型実験などを反復くり返すことによって作業員の一人一人が実
際の作業にあたって荷がうべき役割を熟知できるように取り組むことが必要である。このことは、
海洋構造物の施工が言葉の良き通り合ふない外国人作業員との共同で行われる場合には特に重要
なものであろう。
5)

6. 参考文献

- 1) Will, S.A. 1982 Construction of offshore platforms. Proc. of ASCE, J. of Construction Division, 108, pp. 504-519.
- 2) Bardgette, J.J. & Trick, J.T. 1977 Construction of the HONDO platform in 850 feet of water in the Santa Barbara Channel. Paper presented at the 9th Annual Offshore Technology Conference, OTC 2959, Houston, Tex., May 2-5, pp. 7-16.
- 3) Sterling, G.H., Casbarian, A.O.P., Dodge, N.L. & Godfrey, D.G. 1979 Construction of the COGNAC platform, 1025 feet of water, Gulf of Mexico. Paper presented at the 11th Annual Offshore Technology Conference, OTC 3493, Houston, Tex., April 30-May 3, pp. 1169-1184.
- 4) Gerwick, B.C. 1971 Construction of large concrete ocean structures. Proc. of ASCE, J. of Construction Division, 97, pp. 1-16
- 5) Nakagawa, T. & Hinwood, J.B. 1978 On measurements of turbulence in tidal currents- a review-. MMEL 34, Department of Mechanical Engineering, Monash University, Clayton, Victoria 3168 Australia.

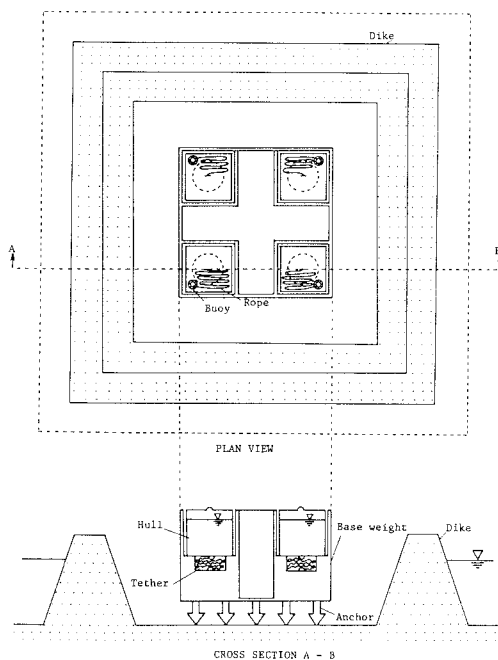


Fig. 2 Construction in basin

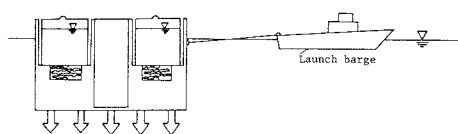


Fig. 3 Transportation by launch barge

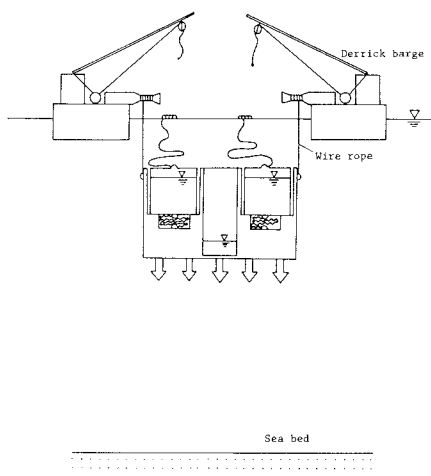


Fig. 4 Installation of base weight by derrick barge-step 1

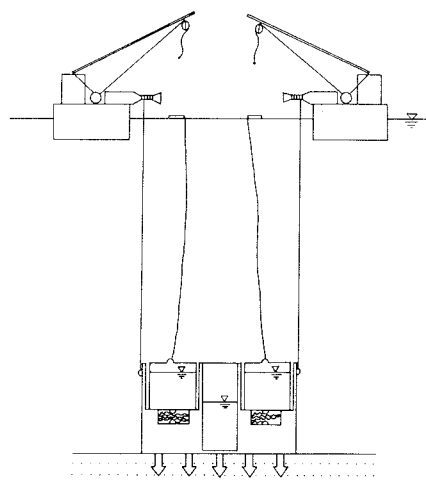


Fig. 5 Installation of base weight by derrick barge-step 2

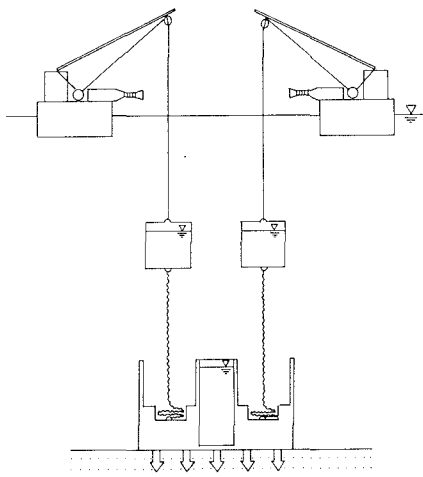


Fig.6 Installation of base weight by derrick barge-step 3

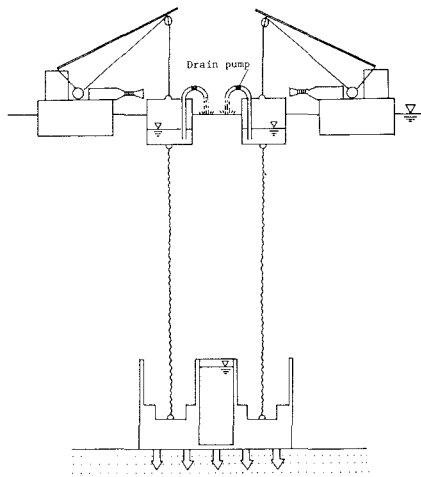


Fig.7 De-watering of hull by drain pump

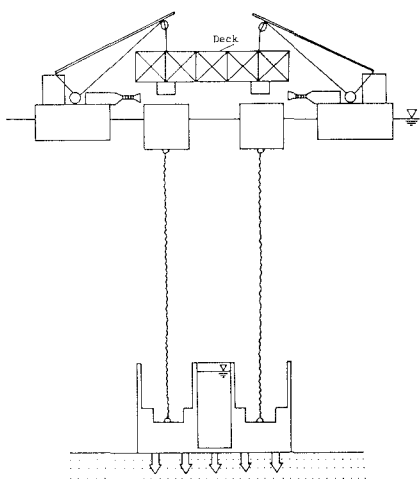


Fig.8 Installation of deck by derrick barge

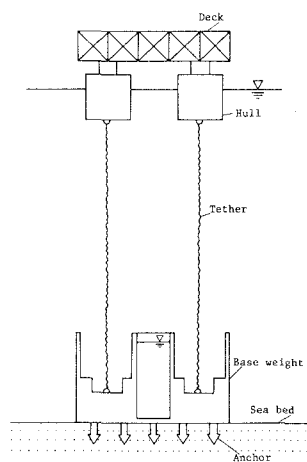


Fig.9 Completion of construction

ON A NEW CONSTRUCTION METHOD OF TENSION LEG TYPE
OFFSHORE STRUCTURE

Takeo NAKAGAWA

A new construction method of tension leg type offshore structure has been proposed herein. This structure is fabricated completely except deck in a basin near shore. The structure is floated by breaking the dike of basin and then towed by the launch barge to the construction site.

The foundation is due to the base weight strengthened by anchors. After the foundation is established, each hull is lifted by the crane on the derrick barge. Once the hull arrives at the water surface, the water in the hull is drained by the pump. Then, deck is set on these hulls floating on the water surface.

It is believed that the present proposed method is superior to the previous methods in many respects, main of which are,

- (a) to minimize the construction facilities and budget,
 - (b) to be relatively insensitive to natural conditions such as sea states and weather conditions,
 - (c) to be relatively insensitive to both magnitudes of the external forces and the resistive force due to the foundation.
- and
- (d) to minimize the underwater works.

Member of Japan Society of Civil Engineers, Department of Civil Engineering, Kanazawa Institute of Technology.