

水上ボーリングのためのスパーブイ型足場櫓について

The Spar-Buoy Boring Derrick for drilling and soil investigation in the water areas

福富 幹男*・横峯 光昭*・中澤 斉*・麻生 裕司**・有村 忠浩**

Mikio. Fukutomi, Mituaki. Yokomine, Tsuyoshi. Nakazawa, Hiroshi. Asoh and Tadahiro. Arimura

When we perform a drilling and soil investigation in the water areas of more than 15 m deep, steel platforms or guide tower platforms have been commonly used. However, these platforms have often been restricted to apply by some field conditions.

Accordingly, we have continued the development of a new drilling derrick to improve the safety for such restriction as bad weather and sea conditions, or ship navigation.

We have developed a new type of drilling derrick with no anchor wire named the Spar-Buoy Boring Derrick (BB Derrick), which is simple-designed and easy to transport, install and operate. Further, we have developed a stabilizer system for current force and wave motion. We have demonstrated that the BB derrick with the newly designed stabilizer could operate under tidal current of more than 2 kt and increased the stability against the wave motion.

Keywords: (Spar-Buoy Boring Derrick, drilling platform, geological survey, stabilizer)

1. はじめに

従来、地質調査のための水上ボーリング作業では、とくに水深が15m以上に及ぶような場合、作業足場・工法としては、水域の諸条件に対する適応性や安全性等について検討して、通常、鋼製足場櫓、アンカーワイヤーを必要とする円筒式櫓や台船式工法などが採用され、特殊なケースとして、自己昇降式台船(SEP)などの足場が採用されてきた。しかし、水深が深くなると、これら従来の作業足場・工法は、適用上、種々の制約を受けることが多くなる。とくに、①ボーリング作業や足場仮設作業の能率、②気象・海象や航行船舶・作業員に対する安全対策、③仮設費用の経済性、等において課題が多かった。

たとえば、水域固有の状況すなわち、航行船舶、気象・海象、地形、作業足場の仮設としては運搬・組立・曳航設置・撤去・解体等の作業性、設置中の安定性と安全対策、仮設に備用する船舶・起重機の有無と経済性、ならびに諸手続等について総合的に検討し、最善の仮設方法を選択し準備するが、従来型の足場櫓等では対応できずにゆきづまったり、断念してしまうケースもしばしば発生していた。

そこで、我々は水上で地質調査等を行うためのボーリング作業用仮設足場として、航行船舶や台風、異常波高などの異常気象に対する安全性を抜本的に向上させ、取扱いがきわめて簡便で、作業の効率化・省力化を図れ、当然のことながらサンプリング等の目的に対しては高品質の成果が得られる総合的に経済的なタイプの足場を開発することを目指して、研究を進めてきた。

これまでに、従来からの足場櫓の発想を転換した、浮力のみで自立安定する構造の作業足場、スパーブイ型ボーリング足場櫓(以降、BBヤグラと略称)の基本型を平成2年に開発した。

実験段階の試作櫓は、東京湾等の海象条件が良好で水深の深い海域での使用を前提に考えていたもので、作業時で波高1m(周期4s)、風速10m/s、潮流1.7ktの海象条件で、櫓の傾き(揺れ角)は3度以内、という設計目標をたて、造ったものであった。

さらに、潮流・波浪・風等の外力が前述の条件よりも一段と厳しい水域への適用を可能にすべく、性能向上のための研究を進めてきた。その結果、平成4年、このスパーブイ型を基本型として、櫓に姿勢安定装置を付加して、水深15m以上のいかなる水深の海域についても、潮流2kt以上でも安全に作業できる櫓に性能をアップすることができた。

このことにより、BBヤグラ基本型をスタンダードタイプとし、特殊条件下の水域では姿勢安定装置をオプションとして装備することによって、従来の足場櫓では困難であった水域での作業も可能にすることができるようになった。

* 正会員 応用地質株式会社 (102 東京都千代田区九段北4-2-6)

** 正会員 株式会社ゼニライトブイ

本報文は、この新しく開発したBBヤグラについて述べるものである。

2. BBヤグラの概要

BBヤグラは、通常の海域における水上ボーリング用の作業足場櫓として使用する「基本型」と、より過酷な海象条件下で使用する「姿勢安定装置付き」とがある。

2-1. 基本型

スパーブイは、水中浮体を引き込むことによって、その浮体によって発生する浮力が、浮力体全体に鉛直上向きの緊張力を生ぜしめ、外力によって浮力体に発生する抵抗モーメントに対して直立を保持するための復元モーメントがバランスすることを利用して、水中に自立固定される構造のものである。

このスパーブイの原理を水上ボーリング足場櫓に生かすという開発に当たっては、潮流、波浪および風等による櫓の揺動・傾斜について解決すべく、理論的検討や大型水槽による1/25サイズの模型実験を行い、実用上全く問題のないものであることを確認した後、実物大の櫓を設計し製作した。

この実物大の櫓を用いて、水深28mの海域で現場実験を行った。この海域の海象は、潮流0.5kt、有義波高1m、風速最大11mであったが、作業時の櫓の揺れは微小であり、在来の鋼製櫓による場合と比較して、サンプリングした試料の品質や櫓の安定性等に関する性能上の差はなく、良好な結果を得た。設計通りの機能を有することを確認できたので、その後、実際の業務の実用に供し、ボーリング等の地質調査のための水上作業足場として使用している。

また、非常時の安定性に関しては、平成3年に、40m以上という大水深において、5回にわたる台風の襲来を受けても、退避する必要もなく設置したまま放置でき、期待通りの機能を発揮した。

2-1-1. 構造

BBヤグラは、図-1に示すように、①ステージ、②浮力体とセンターパイプ、③係留装置、および④シンカーの4つの基本ユニットから構成される。

櫓高は水深の変化に応じてセンターパイプ（1本当たり6m、3m、および1.5mの3種）の本数を適宜増減することによって調整できる。

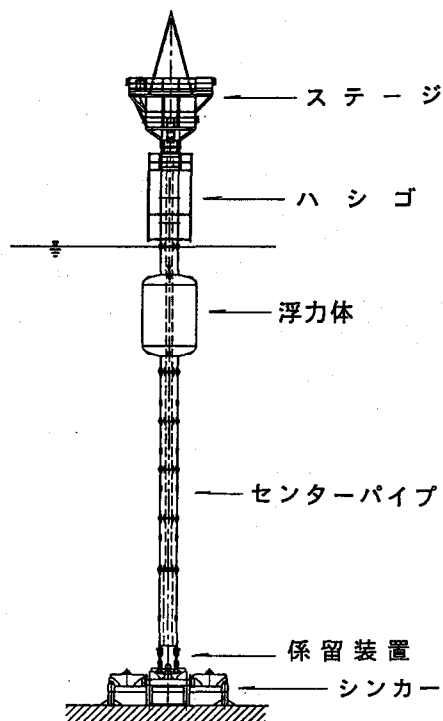


図-1 基本型（水深28m 側面図）

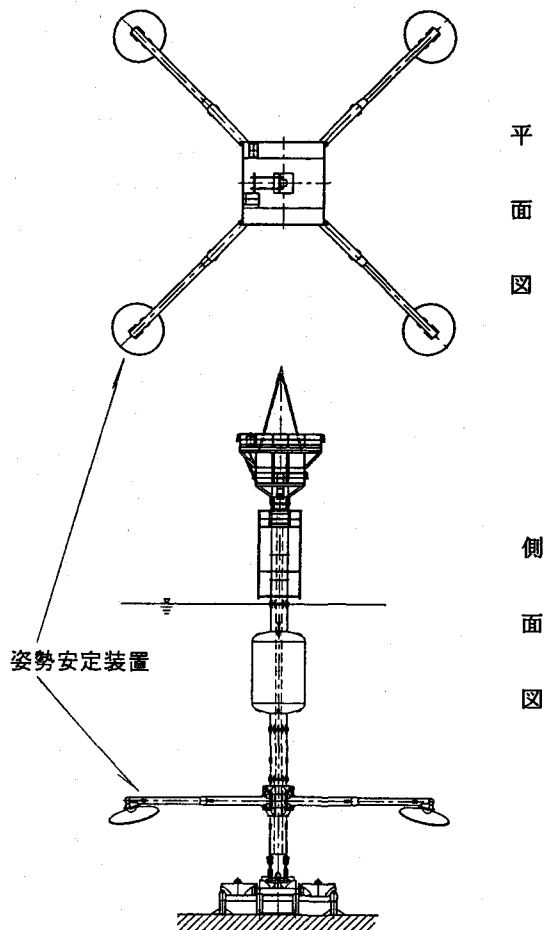


図-2 姿勢安定装置付き（水深18m）

各ユニットの概要は次のとおりである。

④ステージ

ステージは、標準の檣では、上段5m×5m、下段3m×3mであり、使用目的に応じて大きくすることもできる。上段はボーリング作業を行う場所であり、試錐機等の設備を搭載し、下段には泥水ドレッジ、ボーリング用付属資材等を搭載する。なお、上段のみのステージとすることもできる。

⑤浮力体・センターパイプ

浮力体はセンターパイプの途中に取り付けられており、直径φ3.2m、高さ約5m、円筒状である。内部に浮力材料を充填してあり、浮力体の破損等による万一の水の浸入に対しても、水没することの無い構造としている。

センターパイプは、外径φ1m、内径φ0.35mの二重管構造で、水密中空であり、浮力体に加えて浮力を増している。センターパイプの接続は、フランジ式でボルト接合される。ボーリングは、このセンターパイプの中を通して、ケーシング、ロッドおよびコアチューブ（サンプラー）を海底地盤に到達させて行う。水面上のセンターパイプには昇降用の梯子が取り付けられている。下端部のセンターパイプには係留装置（2本のチェーン）を接続する係留環が取り付けられている。

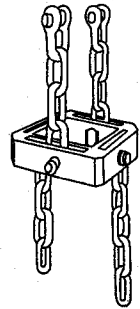


図-3 係留装置

⑥係留装置（図-3）

センターパイプとシンカーを係留する装置は、正方形の中間リングを介して上下それぞれ2本ずつのオープンリンクチェーンおよびシャックルからなっており、両者は相直交する位置で連結できる。

⑦シンカー（図-4）

シンカーは、浮力体とセンターパイプからなる標体を、海中に引き込むための重錘である。上下2台の鋼製枠ユニットを十字にボルトで接続し、4個のウェイトブロックを組み込む構造である。これらの総重量は、標準で80tfである。水底地盤にシンカーが接地した際に、調査地点の地盤を乱さないように、また、不陸にも対応できるように、シンカー底面下には、5m×5mの空間を設けている。

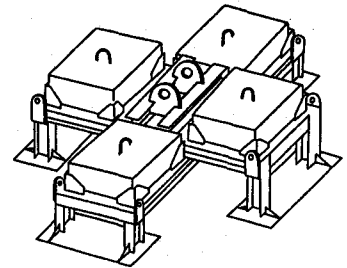


図-4 シンカー

2-1-2. 足場固定の原理

浮力Pと檣の傾斜角 θ および標体の重量Wとの関係は、一般的に、図-5のようになる。

すなわち、スパーブイは、下記の条件を満足する構造にすると、波力に対して揺動は小さく、かつ、経済的になるという結果を得ている。

$$0.15 \text{ } l_d \leq l_b \leq 0.50 \text{ } l_d$$

$$0.6 \text{ } H \leq l_b$$

$$1.6 \text{ } W \leq P \leq 2.5 \text{ } W$$

l_b ; 水面からブイ上面までの距離

l_d ; 水面から係留点までの距離

H ; 波高

W ; 檣の自重

P ; 浮力

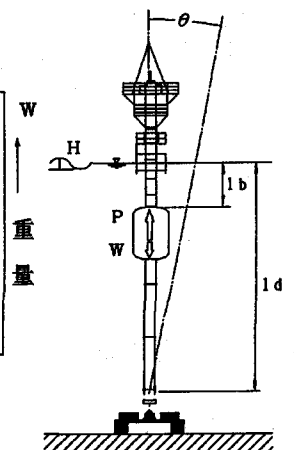
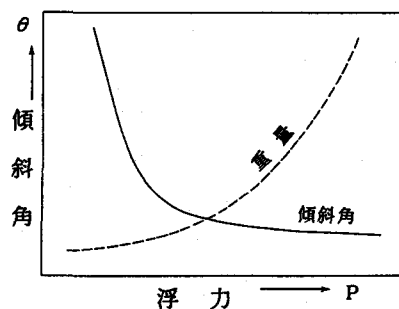


図-5 一般的な浮力とスパーブイの傾斜角、重量との関係

2-2. 姿勢安定装置

これまで記述した基本型のBBヤグラは、流速2kt以上の速い水域とか、波周期に対して相対的にスパーブイの固有周期が小さくなるような水深の浅い水域（波浪の影響を受けやすい）などでは、檣の傾斜や揺れの程度が大きくなり、檣上で作業を行うには使用に耐えられなくなる。しかし、大水深域でのBBヤグラの機能が評価され、台風襲来時の対応も簡易であるという実績が認められるようになり、流れが速い水域や、水深の浅い水域でも、「その、アンカーワイヤー不要とか、絶対に転倒等の事故の起きないというような特長を生かせないのか」との要請の声が聞かれた。

従来、浮体式の燈標などでは、「流れと波の両方に対し、そのどちらにも安定効果を発揮させるのは困難なこと」、と言うのが通説であり、本研究途上においても、流れに対して効果のある方法は、波に対して不安定となり、一方、

波に対して効果のある方法では流れに対して弱くなるということを繰り返し経験してきた。

ここで開発した姿勢安定装置は、BBヤグラ基本型に4本のステーを装着するだけのものであるが、潮流などの外力による傾動や動揺を抑制することを可能にした。

本装置の開発においても、基本型の場合と同様に、模型による水槽実験等を経て、実物大の檣を設計し製作して、水深18mの海域で実海域実験を実施した。その結果、設計通りの機能を発揮することを確認し、実用化に入った。

2-2-1. 構造

姿勢安定装置は、図-2に示すように、ブイ下方のセンターパイプに、フィンのついたステーを4方に取り付けただけの、シンプルな構造である。

ステーはセンターパイプに対して、直交する4方向に開いた形状である。取付け箇所は、フランジ式でボルト接合である。折り畳んだ状態で設置作業をし、水中で開くこともできる。

2-2-2. 足場安定の原理

図-6に水流中における姿勢安定装置付きBBヤグラの概念図を示す。水流 V によって、フィンに揚力 L_1 、 L_2 が発生し、それによる復元モーメント M_{L1} 、 M_{L2} が、浮力 P による復元モーメント M_p に加わり、傾斜しようとするのを直立に戻す効果となって、檣は安定する。

波浪や、水流（浮力体およびセンターパイプに水流が作用した際に発生するカルマン渦等による動揺）による檣の動揺に対しては、フィンが運動を減衰する効果を発揮する。フィンは、揺動の回転中心から離れた所に位置し、かつ、水面から下方へ離れた波の水分子運動の小さい位置にあり、フィン面積とステー長さの積で表せる付加質量モーメント J ならびにダンピング係数 N が増大し、檣の動揺を抑制する。

これを、運動方程式をもって表すと、次式のようになる。

$$(I + J) \cdot \ddot{\theta} + N \cdot \dot{\theta} + K \cdot X = M \quad \dots\dots(1) \text{式}$$

- θ ; 動揺角変位
- I ; 慣性モーメント
- J ; 付加質量モーメント
- N ; 線形化減衰係数
- K ; 復元力係数
- M ; 外力モーメント

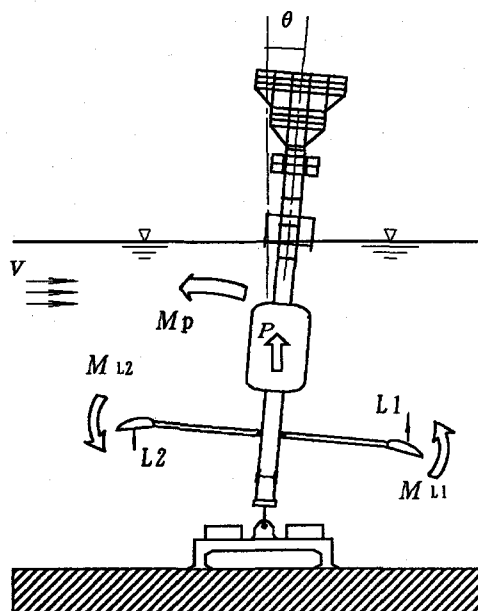


図-6 水中浮力体の流れに対する姿勢安定装置の概念図

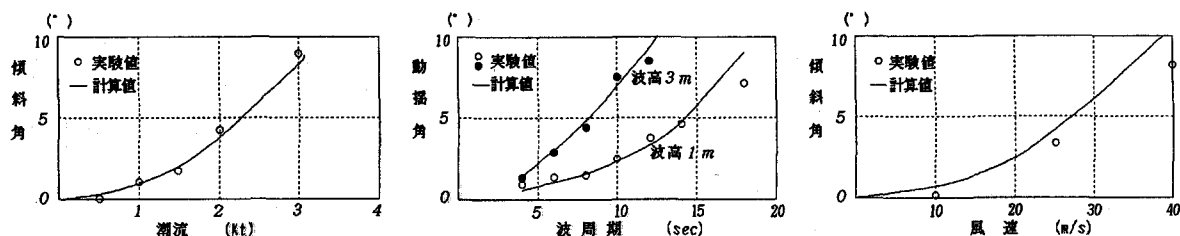
3. 檣の運動性能

3-1. 基本型

理論的な検討は、風力、潮流および波浪等の外力が檣に作用した場合を考え、動揺角に対して運動方程式をたて、数値計算を行った。

模型実験による検討は、長さ60.2m、幅4.0mおよび高さ5.4mの海洋シミュレーション水槽を用いて、風速、波の周期、波高、および潮流を単独あるいは同時に変化させて行った。

図-7に、水深28mのモデルに対する検討結果を示す。いま、ポーリング作業時の気象条件を、風速10m/s、潮流1kt、波高1mおよび波周期6sとすると、図から風による傾斜角は0.65°、潮流による傾斜角は0.95°、



a. 潮流と傾斜角の関係

b. 波浪と動揺角の関係

c. 風速と傾斜角の関係

図-7 基本型の傾斜角・動揺角（水深28mのモデルに対する理論計算値、模型実験値）

波浪による揺動角は 1.00° が得られ、合わせて 2.6° となり、この程度の傾斜であればボーリング作業は十分可能であると判断された。

実海域での経験では、平成3年に、鹿児島県のN港において、台風の襲来を受け図-8に示す波高3~5mの海象に見舞われたが、ビデオ映像記録から読みとった櫓の傾斜角は $3\sim 8^{\circ}$ であった。

当水域は、フェリーや貨物船が頻繁に出入りする航路に当たっていたにもかかわらず、航行に支障を与えることなく、5回の台風襲来時もボーリング機材を載せたまま櫓を退避させることなく、放置しておいても全く問題なかった。この台風5回襲来というケースで、他の従来型の作業足場・工法によった場合、足場の退避、再設置の繰返しで、工期限内に終えることは不可能で、コストも計り知れずかかったものと考えられる。

3-2. 姿勢安定装置

この装置は、定性的にはその効果があることはあきらかとなったが、理論的にはまだいくつかの課題を残しており、目下検討中である。開発に当たっては模型実験による検討結果を重視して設計した。模型実験は、基本型と同様の水槽を使用して行った。

図-10に、水深18mのモデルに対する模型実験結果を示す。いま、ボーリング作業時の気象条件を風速 10m/s 、潮流 2kt 、波高 1m および波周期 6s とすると、図から、風による傾斜角は 1.0° 、潮流による傾斜角は 1.7° 、波浪による揺動角は 0.9° が得られ、合わせて傾斜角は 3.6° となり、この程度の傾斜であればボーリング作業は十分可能であると判断された。

平成5年1月に、潮流が速い瀬戸内海K湾沖合において実海域実験を行った。その時の櫓の運動（傾斜角、動揺角）および気象・海象状態を図-9に示す。潮流は最大流速 2kt で、その時の櫓の傾斜は最大 3° 、動揺角は $\pm 0.6^{\circ}$ であった。

また、この櫓上では、ボーリング、サンプリングおよび孔内試験等を実施し、土質サンプルの品質チェック等も行った。その結果、流れが 2kt を記録する水域での比較する櫓を使ったデータがないので厳密なことは言えないが、静穏水域でのデータと比較しても、同程度の品質のデータを得ることができたものと評価できる。

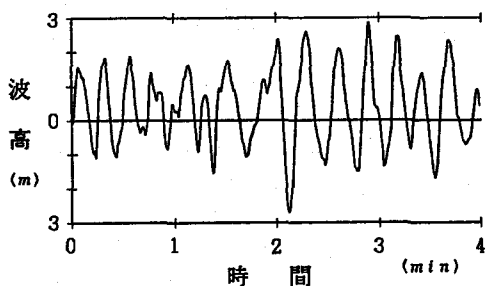


図-8 櫓設置海域の波高記録
(H. 3. 10. 11. A.M. 8:25~)

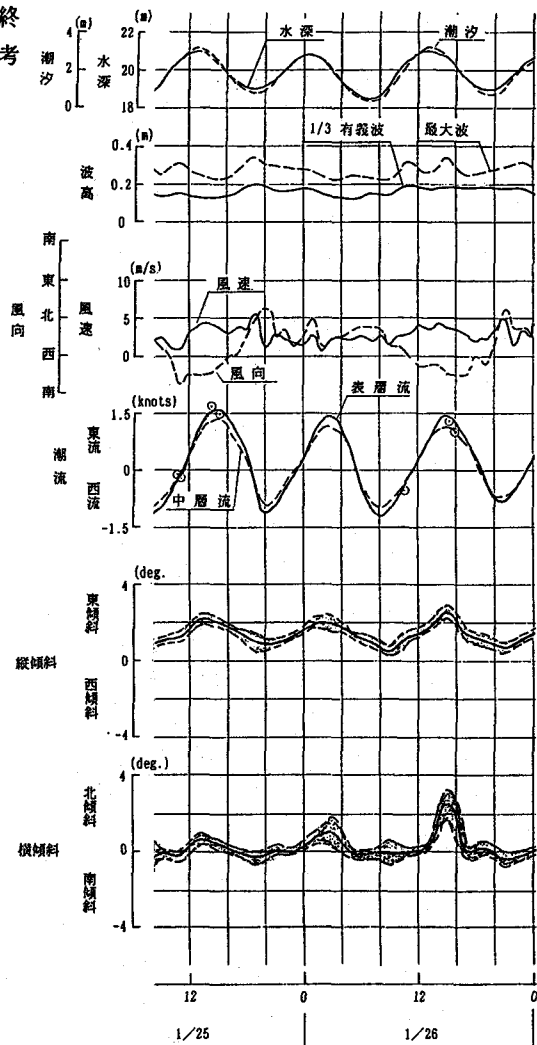


図-9 姿勢安定装置付きの海域実験結果
(H. 5. 1. 25. ~1. 26. の記録から)

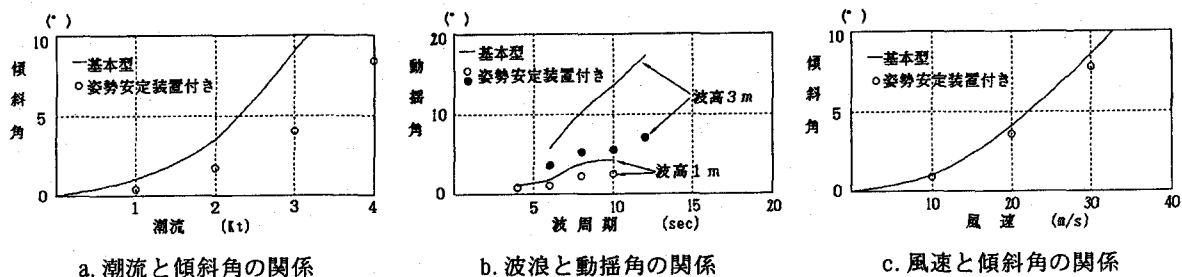
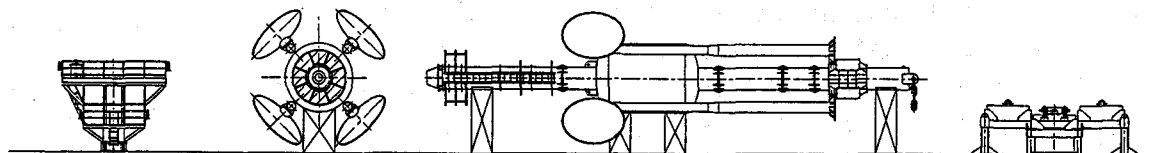


図-10 姿勢安定装置付きの傾斜角・動揺角（水深18mのモデルに対する模型実験値）

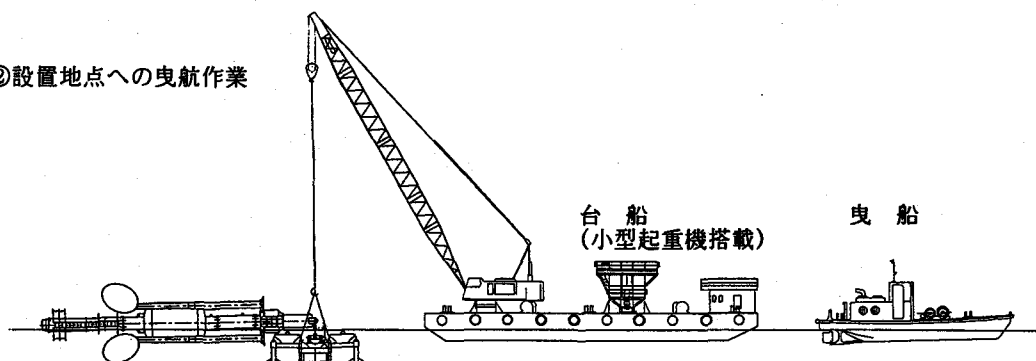
4. 櫓の仮設方法

姿勢安定装置付きBBヤグラの仮設手順を図-11に示す。設置作業は、大きく分けて、①陸上での組立て作業、②設置地点への曳航作業、③ジャストポイントでの設置（直立）作業、④ステーを広げ固定する作業、⑤ステーの取付作業の順となる。撤収作業はこの逆の工程となる。BBヤグラ基本型は、このうち、ステーを取り付けずに組立・曳航し、④の作業がないものと考えればよい。

①陸上での組立て作業



②設置地点への曳航作業



③ジャストポイントでの設置（直立）作業

④ステーを広げ固定する作業

⑤ステーの取付作業

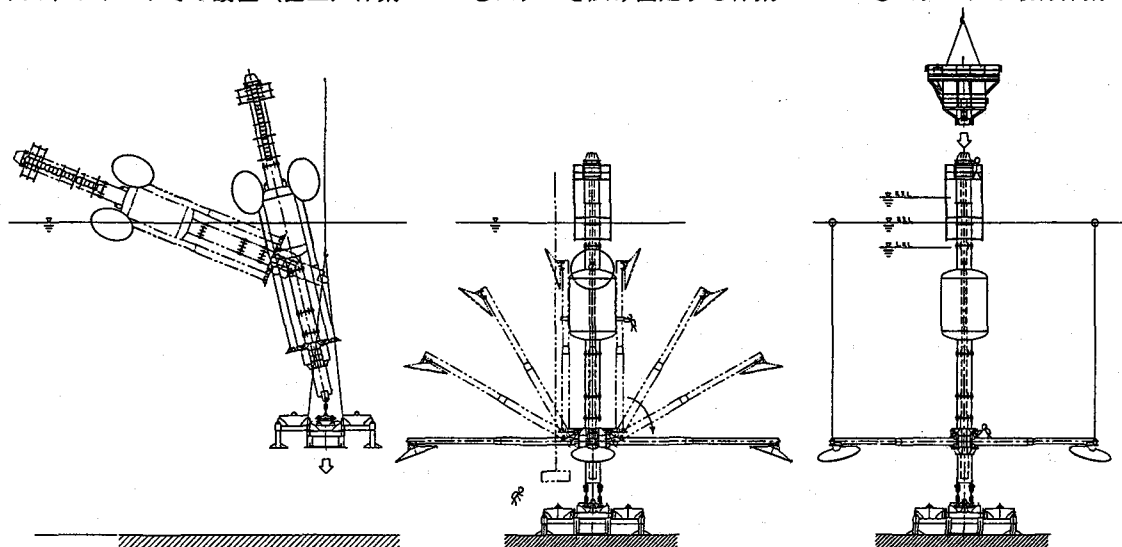


図-11 姿勢安定装置付きBBヤグラの仮設方法

5. おわりに

水上ボーリング用のための作業足場櫓として開発した、スパーブイ型ボーリング足場櫓（BBヤグラ）について、その概要を述べた。

今回開発したBBヤグラは、当初の開発目標に掲げた次の5つの基本条件を、十分満足する櫓を開発することができた。

- (1) 安全かつ簡便に使用できること。
- (2) アンカーワイヤーを使用しなくても安定すること。
- (3) 大型の船舶を必要とせず簡便に仮設できること。
- (4) 地盤に乱れを生じさせず、土の乱さないサンプリングができること。
- (5) 幅広い水深、船舶輻輳水域、厳しい海象等、適用上の機能を高めること。

最後に、このBBヤグラは、応用地質株式会社（社長 大矢暁）と㈱ゼニライトブイ（社長 竹安和雄）が共同で開発したものであり、この論文はこの開発にたずさわった両社の関係者多数の方々を代表して発表するものである。