

浮力を補強したスパーブイ型海上足場櫓について

The Spar-Buoy Boring Derrick of enhanced buoyancy

福富 幹男*・横峯 光昭*・中澤 斉*・原田 純一*・麻生 裕司**・有村 忠浩**

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

We have studied for a new type of Spar-Buoy boring derrick, which required to cope with two exceeding conditions, namely ①increasing loaded weight of boring machine parts and materials for increasing boring depth, and ②a increasing current velocity to about 4 knots.

We have studied two models, ①double float type, and ②larger diameter of float for increasing buoyancy, in order to utilize parts and materials of the existing spar-Buoy boring derrick for economical choice.

We have performed numerical analysis and model experiments for two type model, and prototypes were designed and put to practical use.

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

1. はじめに

スパーブイ型海上ボーリング足場櫓（以降、BBヤグラと略称）は、平成元年に開発・実用化して以来、主に海洋構造物等の基礎地盤を調査する目的で、ボーリング調査・現場計測や諸観測業務のための足場として使用されてきている。著者らが先に報告したBBヤグラは、水深15~60mで、掘進深度 100m以内程度の調査ボーリングを対象に適用すべく設計・製作したものである。これには基本型（標準タイプ）と姿勢安定装置付きとがある。これらの仕様と適用条件は表-1に示す。原理的にBBヤグラがもつ高い耐候性を利して、①従来より掘進深度の深いボーリング（最大 300m程度）にも適用させたい、②従来より流れが速い海域（最大 4~5kt程度）にも適用させたい、という問い合わせや要請が企業者側からあり、それに応えるべく検討を行った。

表-1 BBヤグラの標準的な仕様ならびに適用条件²⁾

		既存のBBヤグラ			今回の開発対象(浮力補強型)	
		姿勢安定装置付	基本型(標準タイプ)		ダブルフロートタイプ	中型タイプ
適用水深範囲	(m)	16~25	25~60		30~70	
水深例	(m)	20	30	50	50	50
搭載最大重量	(KN)	29	29	49	137	49
サ バ イ バ ル	最大潮流	(kt) 1.7 (2.8) ^{※)}	2.0 (3.0) ^{※)}	2.0 (3.0) ^{※)}	1.5	4.0
	最大波高	(m) 3.0 (4.0)	7.5 (9.0)	8.8(10.5)	6.0	6.0
	波周期	(s) 4.7 (5.4)	7.5 (8.2)	8.1 (8.8)	8.0	8.0
	平均風速	(m/s) 25 (38)	30 (50)	30 (50)	40	40
オ ペ レ ー シ ョ ン	最大潮流	(kt) 2.0	1.0	1.0	1.5	2.5
	最大波高	(m) 1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	波周期	(s) 2~10	2~10	2~10	2~10	2~10
	平均風速	(m/s) 10	10	10	10	10
全浮力	(KN)	532	501	639	970	955
余裕浮力	(KN)	184	191	214	403	488

※()内の数値は、荷重単独載荷の場合の最大値を示す

* 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

2. 開発において考えたこと

上記の要請に応えるためのBBヤグラの開発は、原理的には浮力を高めブイの復元力を増大させることがその解決の近道であると考えられた。しかし、かかる条件の現場は、発生頻度が極めて少ないため、新規の仕様の檣の設計や製作を考える前に、1つの方法として可能な限り既存のBBヤグラを生かして使用することを前提にして検討してみることにした。

そこで発想したのが、既存のフロートを上下に2つ連結して利用する「ダブルフロートタイプ」と、既存のフロートを基にして径を大きくする「中型タイプ」の2つの方法である。BBヤグラは、係留点からの距離が離れた所で1つのフロートを大きくした方が、浮心から回転中心までの距離と浮力の積である復元力を大きくすることができるので、浮力の補強方法としては理想的である。しかし、搭載重量が大きくなって浮力が不足するのを補うだけでは、ダブルフロートタイプは使用後にすぐ元の形に戻せる利便性やブイの径を大きくしないことによる可搬性等に優れるので、十分検討の余地があると考えた。一方、最大潮流が2ktから4ktへ2倍になるということは、ブイに作用する抗力が流速の2乗に比例するため4倍にもなるので、浮力による復元力は大きくなる一方で、潮流による抗力をできるだけ小さくしなければならないという性能上の制約がある。そこで、中型タイプでは、使用後は取り外せる構造を条件にして、既設のフロート部の径を大きくして浮力を補強することにした。

図-1には基本型（標準タイプ）、図-2には浮力補強型（ダブルフロートタイプ）、図-3には浮力補強型（中型タイプ）の概要図を示す。

これらの性能を把握するために、これまでの開発と同様に数値解析を行い、確認のために模型実験を行った。

解析・実験ともに、潮流は水面から海底まで一様流速として、波は正弦波で周波数を変えて、ブイに作用させた。数値解析では、従来の標準タイプ（シングルフロート）で得た実績に基づくブイの流体力係数を、今回の2つの浮力補強型に対しても適用した。フロート部とセンターパイプ部では、それぞれに抗力係数、質量力係数等の数値を与えている。

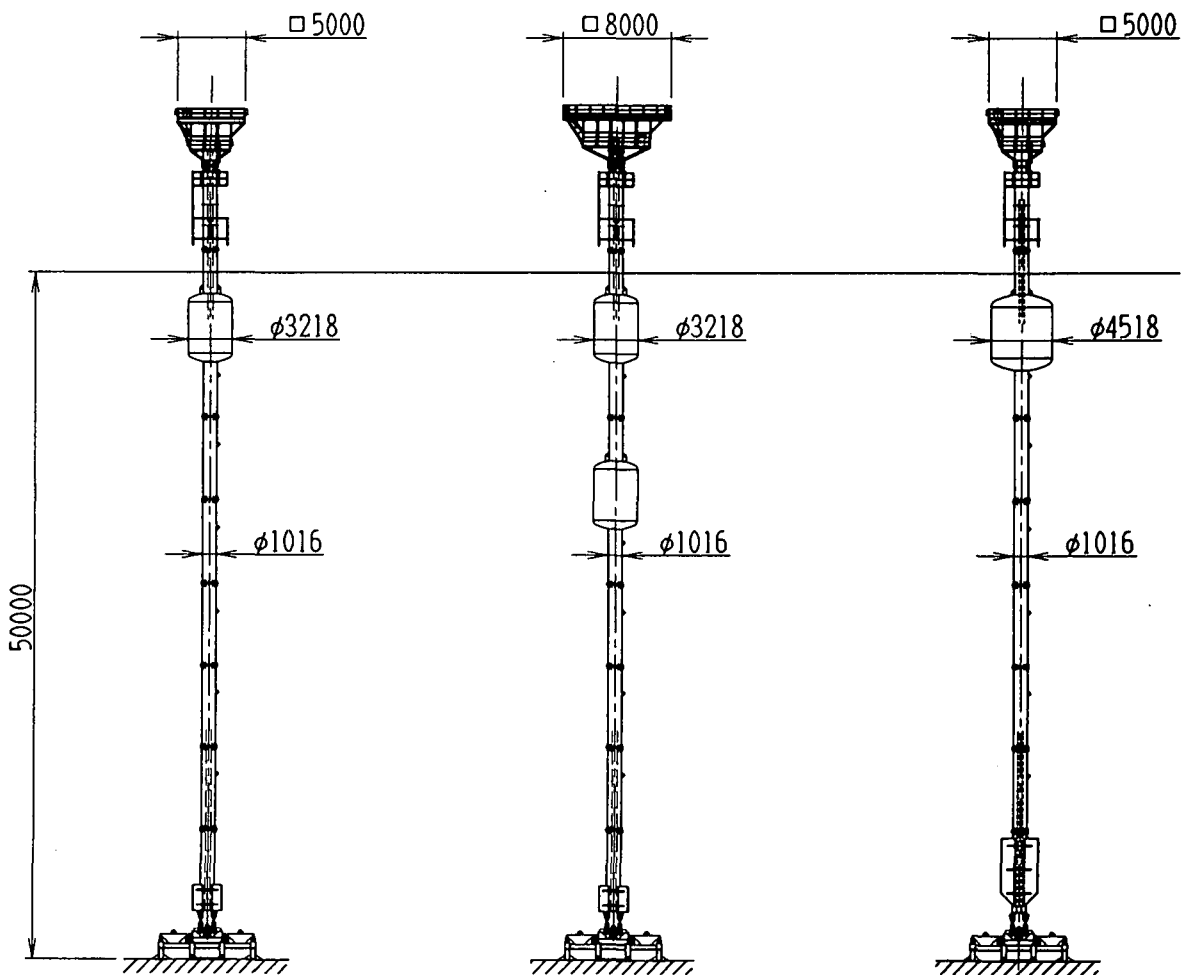


図-1 基本型（標準タイプ）

図-2 浮力補強型（ダブルフロートタイプ）

図-3 浮力補強型（中型タイプ）

（単位:mm）

模型実験の条件はFroudeの相似則に従い決定した。使用した模型の縮尺は1/50である。

模型実験に使用した海洋シミュレーション水槽の主な仕様は次のとおりである。

- ・観測部寸法 水深(最大) 1.6m, 幅 4.0m, 長さ 30.0m
- ・最大発生外力 流速 2.0m/s, 波高 0.2m, 風速 10.0m/s

ブイの運動については、潮流と風に対しては傾斜角、波に対しては動揺角(振幅角の1/2)を運動性能の指標とした。部材の強度等については、標準タイプと同様に許容応力度法により設計した。部材の一部を補強したり、不足する部材を補充することも含め、適用の可否を検討をした。

BBヤグラの性能評価は、大きく分けて次の4項目について行った。

- ①設置中のBBヤグラがサバイバル時において、潮流、波、風が同一方向から作用しそのステージが着水しないこと。すなわち、ヤグラ上部のステージを取り外さずに放置できる限界のブイ傾斜角を超えないこと。
- ②オペレーション時において、所定のボーリング、サンプリング、孔内原位置試験等の作業が可能であること。すなわち、ステージ上での所定の作業が可能なブイ傾斜角以内であること。
- ③サバイバル時において、シンカーの余裕重量が滑動に対する所要の安全率を有すること。
- ④サバイバル時において、部材強度が所要の安全率を有すること。

このうち①と②は、ブイの運動性能を示すものであり、本論文で記述してある。③と④は、ブイの構造上の安全性に関わるもので、運動の数値解析結果及び模型実験結果を反映させて構造解析にフィードバックするようにした。構造部材の応力度や係留反力等は数値解析プログラム中で同時に算出されるので、その結果については本論文では紙面の関係から省略する。

①のステージを取り外さずに放置できる限界のブイ傾斜角 θ は、図-4に示すようにステージ下段と波峰に1mの余裕がある状態を想定した。この角度は、水面上のセンターパイプの長さを調整することにより選択可能であるので、標準的な任意の足場高さを想定し $\theta=25^\circ$ とした。

②のステージ上でのボーリング作業の限界ブイ傾斜角 θ は、経験上 5° という値が得られている。

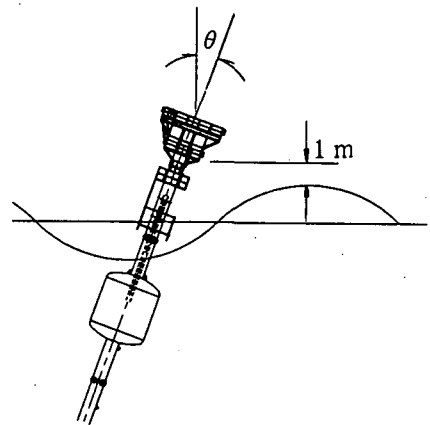


図-4 ステージを取り外さずに放置できる限界のブイ傾斜

3. 掘進深度300mボーリングへの適用 -ダブルフロートタイプの検討-

3-1. 概要

掘進300mのボーリングを行う海域の主な条件は、設置期間及び既存の気象・海象資料等から検討し下記のとおり設定した。なお、オペレーション条件時は檣への乗り移りの安全性を配慮し定めた。

・水深	50m		
・干満差	2.0m		
サバイバル条件		オペレーション条件	
・最大波高	6.0m	・最大波高	1.0m
	波周期 8~12s		波周期 4~6s
・最大風速	40m/s	・最大風速	10m/s
・最大潮流	1.5kt	・潮流	1.0kt

BBヤグラのステージ上に搭載する掘進300mのためのボーリング資機材等の重量は、試算で約137KN(14tf)であり、既存タイプの設計条件である搭載重量49KN(5tf)と比べると大幅な増加になる。約137KN(14tf)の資機材を搭載してボーリング作業を行うためのステージは、既存の上段5×5m、下段3×3mのものでは広さが不十分であり、掘進深度の大きさに見合った作業性も確保するため、上段8×8m、下段5×5mの広さのものを新規に設計・製作することにした。

図-1の基本型と図-2の浮力補強型を比べると、フロートの数、ステージの大きさ及びシンカーの重量等が異なるが、他は原則として同じ構造部材を使用している。

3-2. 数値解析結果ならびに大型水槽による模型実験結果とその考察

数値解析による推定値及び模型による実験値は、標準タイプについては図-5に、ダブルフロートタイプについては図-6に、それぞれまとめて示した。なお、ブイの浮力による復元力と風による抗力との釣り合いは水中のブイの形状に無関係で、風に対する数値解析結果と模型実験結果は従来から良く一致しているので、ここでは風に対する模型実験を省略した。

図-5の標準タイプについては、推定値と実験値はほぼ一致している。一方、図-6のダブルフロートタイプについては、実験値の方が全般に推定値より大きくなっている。

図-5、図-6において、標準タイプ、ダブルフロートタイプともに搭載重量が137KN(14tf)の場合は49KN(5tf)場合に比べて、潮流及び風に対するブイの傾斜角は大きく、波に対する動揺角は逆に小さい。

潮流に対する傾斜角は、137KN(14tf)搭載の場合、ダブルフロートタイプは標準タイプの約半分になり性能アップを果たしているが、49KN(5tf)搭載の場合では実験値は推定値のように小さくならず、基本型の5tf搭載の場合と比べてもあまり変わらない。

波に対する動揺角は、137KN(14tf)搭載の場合、波高6m時に、ダブルフロートタイプの実験値が推定値より約3.5°大きくなり、その差が目立つ。ただし、波高が小さい場合は差はほとんどない。

以上のことから見ると、ダブルフロートタイプの運動特性は、

- (イ) 搭載重量が大きい(137KN)場合は、標準タイプに比べて潮流中や風速中における運動性能が向上している。これは、搭載重量の増加にともない減少した余裕浮力が補強された結果と考えられる。
- (ロ) 波浪中における動揺角は標準タイプに比べて、波高1m、3m時では大きな差はないが、波高6m時では大きい。
- (ハ) 潮流中において、ダブルフロートタイプの傾斜角は、実験値が推定値よりかなり大きく、基本型の49KN(5tf)搭載の傾斜角と比べてもほとんど変わらない。また、実験値は搭載重量が49KN(5tf)の場合と137KN(14tf)の場合とであまり差がない。波高6mの場合は、実験値が推定値より、誤差範囲を越えて大きいように見られる。以上から推測すると具体的理由は不明であるが、フロート周囲の流れや水粒子錯乱等の3次元効果によりフロート個数が1つと2つでは流体力係数が異なるのではないかと考えられる。

凡 例

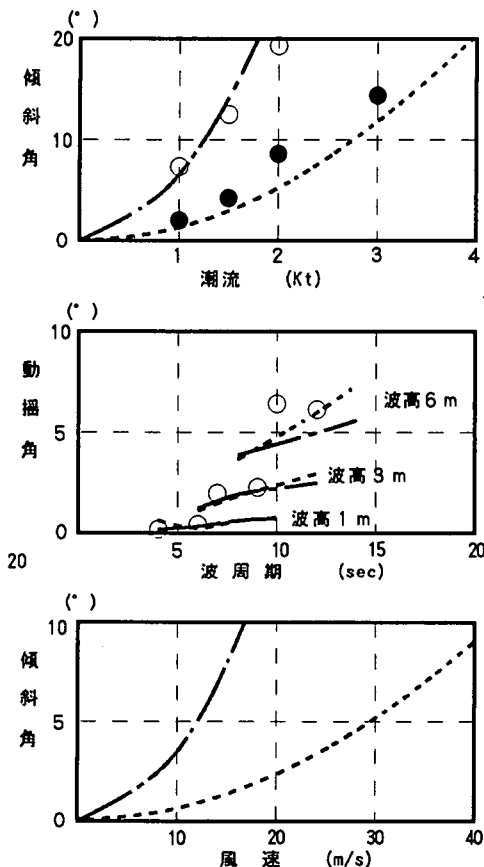
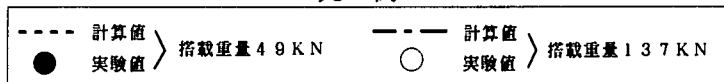


図-5 基本型(標準タイプ)の運動特性

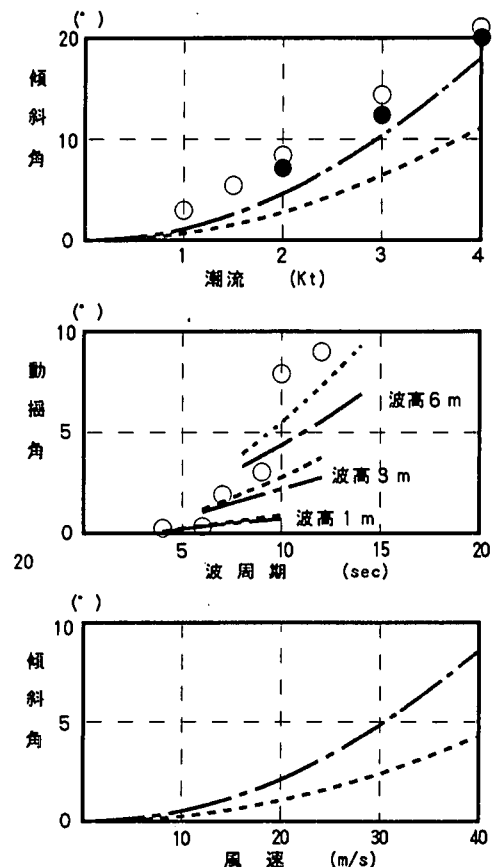


図-6 浮力補強型(ダブルフロートタイプ)の運動特性

前節で述べた①と②のブイの性能評価については実験値を尊重した。下記のとおり概ね条件を満足している。

①サバイバル条件時

・最大波高	6.0m	、	波周期 8~12s	→	動揺角	7.0~9.0°
・最大風速	40m/s			→	傾斜角	8.5°
・最大潮流	1.5kt			→	傾斜角	5.5°
						合計 21.0~23.0° < 25°

②オペレーション条件時

・最大波高	1.0m	、	波周期4~6s	→	動揺角	0.2~0.3°
・最大風速	10m/s			→	傾斜角	0.5°
・潮流	1.0kt			→	傾斜角	3.0°
						合計 3.7~3.8° < 5.0°

4. 潮流4ktの海域への適用 - 中型タイプの検討 -

4-1. 概要

潮流が最大4ktの海域において、掘進100m以内程度のボーリングを行う場合にBBヤグラを適用せず検討にあたっては、その海域の条件は、設置期間及び既存の気象・海象資料等から検討し下記のとおり設定した。なお、オペレーション条件時は、波・風に対しては檣への乗り移りの安全性を配慮し定めているが、潮流に対しては目標値であり、ボーリング作業の限界傾斜角との照合を行う必要がある。

- ・水深 50m
- ・干満差 2.0m

サバイバル条件

- ・最大波高 6.0m , 波周期 8~12s
- ・最大風速 40m/s
- ・最大潮流 4.0kt

オペレーション条件

- ・最大波高 1.0m , 波周期4~6s
- ・最大風速 10m/s
- ・潮流 目標 2.5kt

掘進100mのためのボーリング資機材等の重量は、試算で約49KN(5tf)である。

前節においてダブルフロートタイプによる浮力の補強では、潮流が2ktを越えるような場合に標準タイプの性能を大幅に向上させることは難しいことが実験結果から明らかになったので、潮流に対して中型タイプがどれだけ性能を向上できるかが焦点であった。

図-2のダブルフロートタイプと図-3の中型タイプを比べると、フロートの大きさ、ブイ下端のセンターパイプの十字ダンパー及びシンカーの重量等が異なるが、他は原則として同じ構造部材を使用している。ただし、構造解析の結果、潮流4ktの条件に耐用するため、フランジ部の強度アップを図る改造を施した。また、十字ダンパーを大きくしたのは、潮流2kt以上になるとブイの横揺れが顕著になってくるのでこれを低減するためであり、その効果は模型実験で確認している。

4-2. 数値解析結果ならびに大型水槽による模型実験

結果とその考察

数値解析は潮流・波・風に対して行い、模型による実験は潮流に対して49KN(5tf)搭載の場合のみ行った。

その結果は図-7に示すように、潮流中においては、実験値は推定値より流速が速くなるに従ってやや大きくなっているが、1~2°の範囲内でありほぼ一致しているといえる。これを図-6のダブルフロートタイプと比較すると、推定値は中型タイプの方がわずかに小さい程度であるが、実験値どうしの比較では大幅に小さくなっており、中型タ

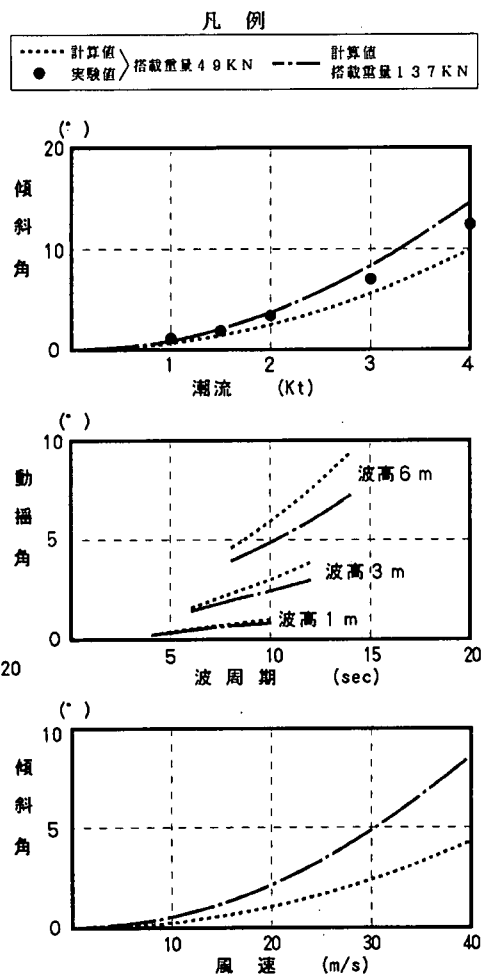


図-7 浮力増強型(中型タイプ)の運動特性

イブは、ダブルフロートタイプよりも潮流中における性能が優れていることが、模型実験において確認できた。
 図-7の波・風に対する数値解析結果は、図-6のダブルフロートタイプと比較すると、ほとんど変わらない。
 中型タイプは、フロート径が大きいだけでブイの形状は基本型であり、運動特性の把握は従来の標準タイプに準じた数値解析的取り扱いができるものと考えられる。

前記の①と②のブイの性能評価については、下記のとおり概ね条件を満足している。

①サバイバル条件時

・最大波高	6.0m	、	波周期 8~12s	→	動揺角	4.5~7.5°
・最大風速	40m/s			→	傾斜角	3.6°
・最大潮流	4.0kt			→	傾斜角	12.4°
						合計 20.5~23.5° < 25°

②オペレーション条件時

・最大波高	1.0m	、	波周期 4~6s	→	動揺角	0.2~0.5°
・最大風速	10m/s			→	傾斜角	0.2°
・潮流	2.5kt			→	傾斜角	4.5°
						合計 4.9~5.2° ≒ 5.0°

5. おわりに

既存のヤグラの資機材を生かして、フロートを2個接続して利用するダブルフロートタイプは、水深、波高、風速、潮流の条件はほぼ従来のままで、掘進深度300mのボーリングを可能にした。

また、潮流4ktの海域にBBヤグラを適用するため、今回、既存のフロートを大きくして利用する中型タイプを開発した。これも、既存のセンターパイプ等はそのまゝ流用できる。

既に、ダブルフロートタイプは実際の海域で使用されており、中型タイプも引き続き使用する予定がある。少なくとも従来の骨組み式鋼製足場等の海上足場では、品質管理上、安全管理上ならびに経済的に適用困難で、より過酷な海象条件をもつ海域でボーリングによる地質調査が可能になったことに自信を深めている。

最後に、この2つの浮力補強型BBヤグラは、応用地質株式会社（社長 大矢暁）と株式会社ゼニライトブイ（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者の関係者多数の方々を代表して発表するものである。

参考文献：1) 福富，横峯，中澤，麻生，有村：「水上ボーリングのためのスパーブイ型足場檣について」
 土木学会，海洋開発論文集VOL.9，1993.6.，p.361-366

2) 運輸省港湾局技術課：「評価証説明資料」，平成5年度運輸省告示第三六六号
 課題：大水深域でのボーリング工法，技術名：スパーブイ型ボーリング足場檣，1994.11.30.

3) 福富，横峯，岩崎，村田，中澤，麻生：「新しいタイプの海上足場檣とその適用例」
 海洋調査技術学会，海洋調査技術第三巻第一号，1991，p31-38