

スパーブイ型ボーリング足場櫓の開発

福富幹男・中澤 斉

横峯光昭・原田純一

Development of Spar-Buoy Boring Derrick (“SBBD”)

Mikio FUKUTOMI, Tsuyoshi NAKAZAWA,

Mitsuaki YOKOMINE and Junichi HARADA

Abstract

When boring and soil investigation are performed on the sea over 15~20m depth, selection of boring platform is always laborious decision. Steel frame tower or guide tower platform has been commonly used for boring on the sea, however, the selection of these platforms is restricted based on condition. To install steel frame tower, anchor wires have to be installed to support the platform and sometimes the anchor wire becomes obstacle for passing ships. A larger scale boring platform, which is usually the case of steel frame tower, also requires a larger scale floating crane and work ships for the installation. Because of the extra workload, labor and overhead costs are significant.

Therefore, we have developed a new type of boring platform with no anchor wire and named it Spar-Buoy Boring Derrick (“S B B D”), which is simple-designed derrick and is easy to transport, install and operate. The buoyancy chamber is located at the middle of S B B D center pipe, which is platform’s main body. This chamber provides a powerful buoyancy to hold S B B D in a stable and upright position. When S B B D is used less than 25m depth of the sea, it is called basic type S B B D.

Prior to the development of S B B D, we studied characteristics of movement of S B B D through numerical analysis and model test using 1/25 scaled model. The study cleared the behavior of S B B D against wind, current, and wave motion, and convinced us of practical use. Having encouraged by the test result, we manufactured an actual size S B B D and performed aboring experiment on the sea. We did not experience any operational problems, during the test operation. We are still continuing the development of new boring platform to improve the safety under stormy weather.

Further, we have developed a stabilizer system for current force and wave motion. We have demonstrated that the S B B D with a newly designed stabilizer can be operated under 15~25m depth of the sea and more than 2 kt current. The S B B D with stabilizer increased the stability against the wave motion.

In-situ test results and condition of undisturbed soil sample, both of which are crucial factors of soil investigation, obtained by using S B B D showed equivalent quality to those obtained by using ordinary steel frame towers.

1 まえがき

スパーブイは、海上で、航路標識などの設置用としてしばしば使用されている浮体式燈標の一形式である。これを、海上ボーリング用の足場櫓として利用できないかという発想から開発にかかったものが、ここで述べるスパーブイ型ボーリング足場櫓 (Spar-Buoy Boring Derrick, 以下ヤグラと呼ぶ) である。

従来、地質調査のための海上ボーリング作業では、たとえば、水深が15m以上に及ぶような場合、作業足場としては、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あるいは台船式工法などが、特殊なケースとしては、自己昇降式台船 (SEP) などの足場が使用されてきた。しかし、水深が深くなると、これらの作業足場は、適用の上で種々の制約を受け、使用が困難になることが多かった。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 大型備船の手配
- ④ 仮設費用の経済性

などについて、解決すべき課題が多く、その改善が長年の懸案事項であった。

たとえば、使用しようとする個々の海域の状況、すなわち、気象、海象、地形などの自然条件、航行船舶などの社会的条件、作業足場櫓の仮設場所などの地理的条件、運搬、組立、曳航、設置、撤去、解体などの作業性、設置中の安定性と安全対策、仮設に備用する船舶、起重機の有無とその経済性、ならびに、諸手続などの多岐にわたる条件について総括的に検討して、最終的に最善の仮設方法を選択し準備することになるが、従来タイプの足場では、いずれかの条件が満足されず、適用を困難にすることが多かった。

そこで、筆者らは、海上で地質調査などを行うためのボーリング作業用仮設足場として、航行船舶との接触事故の防止や台風、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・省力化を図り、当然のことながら、サンプリングなどの目的に対しては、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の開発を目指して、研究を進めてきた。

浮体を水中に引き込むと、その浮体による浮力が、浮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抗して、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が、スパー

ブイである。

このスパーブイを海上ボーリング足場櫓に導入するに当たっては、潮流、波浪および風などによる櫓の動揺や傾斜について、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、実物大の櫓を設計製作して、海域実験を経て、実用化がなったものである。

現在までに、主として、通常の比較的海象条件が緩い海域に適用する基本型と、潮流・波浪・風などの外力がさらに厳しい海域への適用を可能にするため、動揺を軽減するための姿勢安定装置を付加して、性能をアップした安定装置付帯型とがあり、従来の足場櫓では困難であった海域における作業を可能にすることができるようになった。

2 水深が大きい海域における地質調査用ボーリング足場櫓の現状と課題

一般に、海域における地質調査などのためのボーリング作業においては、その適用性、安全性、経済性などを勘案したボーリング足場櫓の選定は重要なことである。とくに、水深が15m以上にも及ぶ海域では、ボーリング作業に使う足場櫓をどんな形式のものにするか、海域の状況、作業用船舶の有無などにあわせて、運搬、組立解体、据付、設置、備船、安全対策、作業手続きなどの種々の検討と準備が必要になる。

その際、海上足場の選定においては、前述のような現地の諸条件や制約を満たすもの、すなわち、適用可能な足場櫓を選定して、安全性や経済性を確保することになる。厳しい気象・海象条件に対して所要の機能を十分に発揮させるためには、作業期間中の作用外力に対して安全であり、かつ、調査の品質管理や環境対策上などの点で支障が生じないように設計、製作、管理されているものでなければならない。また、一般に、仮設足場櫓とはいえ、水深が深くなるほど大型の構造物になるので、組立、曳航、設置などの仮設作業の過程においても、十分に安全性が確保され、管理上不安がないことを海域における実験や実績によって実証されることが重要である。

現在、一般に用いられている海上足場の種類とその適用水深を表-1に示す。このような観点を含めて、海上足場選定上の検討項目をまとめたものが表-2である。

海上ボーリング作業のために足場を仮設する場合の底盤は、滑らかで、水平であれば問題はないが、

- ① きわめて硬質の岩盤で表面が凹凸に富む
- ② 洗掘や漂砂現象を起こしやすいルーズな砂質地盤

表-1 海上足場の種類と対応水深

Table. 1 Platforms on the sea and the corresponding water depth

		足場種類	構造形式	適用水深 (m)	
海上作業足場	固定足場	鋼製足場	可搬方式	5~30	
			杭打方式	10~20	
		自己昇降式台船	(大型 中型 小型)	スパッド台船	15~20
				大型SEP	10~15
				パイプ式足場	10~50
	パイプ式足場	現地組立方式	2~5		
		陸上組立据付方式	5~10		
	浮体式足場	円筒式足場	円筒単体方式	50~100	
			円筒・台船組合方式		
		ブイ式足場	スパーブイ方式	傾動自在型工法	30~70
サスペンド工法	20~60				
船舶式足場	船舶式足場	船舶方式	100~200		
		台船方式	5~30		

表-2 海上足場選定ための検討項目

Table. 2 Points of examination for selection of the platforms on the sea

I. 調査内容	
・ボーリング調査深度・孔径、ボーリング設備の規模・能力、作業足場の積載量（スペース、重量）	などの有無・・・要求される調査精度・調査結果の品質
・サンプリング	
・孔内試験計測	
・計器埋設	
・地質条件	
	地盤の硬軟・締まり具合、断層破碎帯、亀裂・弱層、礫層などの有無
II. 調査結果の必要時期	
・工期（全体、調査・試験の内容ごと）	
・試験・計測の時期など	
III. 海域条件	海難防止、乗り移りの安全性、オペレーション条件、サバイバル条件（稼働率）
① 自然条件：海底地形、低質など	
② 海象条件：水深、潮汐による干満差、波高、波周期、潮流など	
③ 気象条件：天候、風向風速、気温など	
IV. 社会条件	海域占有範囲・期間、作業基地
・法規制	
海上規制（港則法、海上交通安全法、海上衝突予防法、航路標識法など）	
公物管理（港湾法、漁港法、航空整備法、海岸法など）	
・関係機関・関係者との調整	占有海域、占有期間 航行の安全確保 用地交渉、漁業補償など
港湾・海運・海事などの関係者	
漁業関係者	
V. 経済性	トータルコストの把握
・組織（人員、実施体制など）	
・海上足場	イニシャルコスト・ランニングコスト 備船コスト
・船舶備船（作業船、起重機船、交通船、警戒船など）	

③ 自重や外力の作用によって、容易に沈下する極めて軟弱な地盤

④ 安定を保つのが容易でない傾斜地盤

⑤ 捨石や珊瑚などの存在による凹凸があり、かつ、変動しやすい地形

などのように、いろいろな状態があり、これらの地形や底質に適合する海上足場は、従来はなかった。また、海

上では、第一に、水深分の高さを確保しなければならないこと、加えて、干満差、潮流、波浪、風などの外力が足場には作用することなどの自然の条件によって、ボーリング作業の精度や能率が左右されるのである。

従来、水深が20m以上に及ぶ場合は、通常、鋼製櫓、アンカーワイヤーを使用する円筒式足場、台船式工法などが採用される。最近では、海底地形の変化に対する適

用性や可搬性に優れた点を生かした土質調査用のスパッド台船が良く用いられる。この台船は、通常は、水深15m以内で使用されているが、特殊な例として、水深25～30m程度までを対象に設計されたかなり大型化したものもある。しかし、これも海象条件によって使用の可否が決まり、よほど条件が良い場所でないと思えない。また、ボーリングの規模（孔径や掘進長）が大きく、かつ、海象条件が非常に厳しい海域では、経済性などを度外視した海上工事用の大規模なSEPや専用の掘削船などが使用された例もある。

海上足場に作用する最大値を示す外力は、海域によってそれぞれ異なり、一般的には、海洋では波力である場合が多く、海峡部などでは潮流であることが多い。足場は、この外力からの影響を軽減するような構造や形状にすることも重要であるが、実際には、波浪および潮流の両者に対して最適となるような一般的な形状を求めることは難しいので、卓越した海域特性を把握して、その実情に応じてバランスをとるようにすることが必要になる。

海上足場を製作するに当たって、その設計条件をどれだけ取入れるかが議論になるところである。すなわち、従来タイプの海上足場は、安全性や安定性を確保するために、大きさも重さも大型とせざるを得なかった。したがって、使用する作業船が大型となり、その手配が難航すると同時に、その足場の制作費もランニングコストも高価となり、現実的でなくなることが多かった。そのために、設備投資が消極的となり、発展性を阻害してきた面も少なくなかったと思われる。

一方、予測可能な台風などの異常気象の場合は、その影響期間中は海上足場自体を退避せよという施工方法が一般的に採られている。しかし、このことは、その間の撤収、再仮設などのために、調査当初の準備段取りと同様の船団と時間を要することになり、工程上も原価管理上も大きな損失を伴うのが普通である。このような非常事態に備える観点からも、かなりの異常気象に耐える海上足場を開発することが課題の一つであった。

そこで、ヤグラの開発にあたっては、従来の海上足場が種々の制約を受けていた問題点、

- ① 海上ボーリング作業・櫓の仮設作業などの作業性（能率）に関わる省力化
 - ② 安全上の問題
 - ③ 仮設費用等の経済性（使用船舶の小型化など）
- の3点を改善することを目標にした。

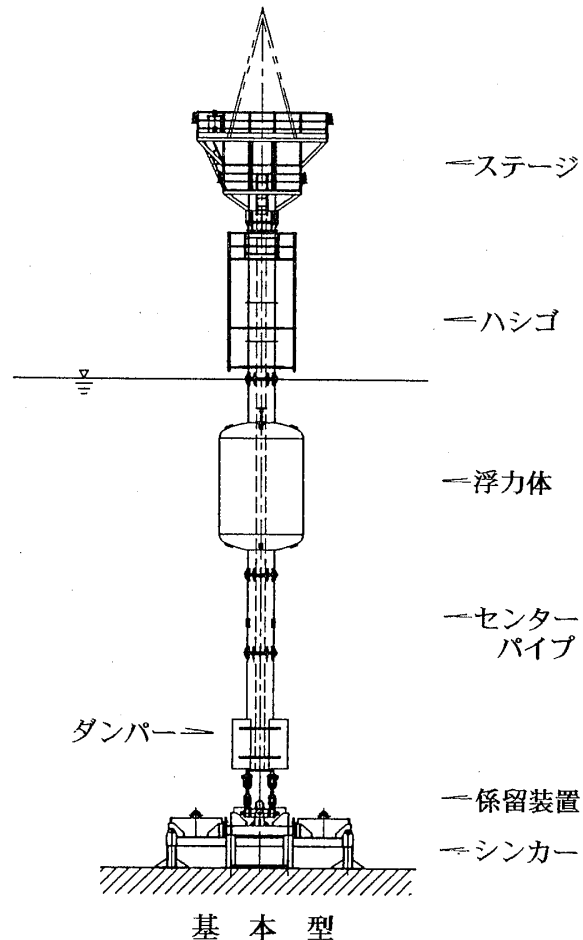
3 ヤグラの設計

一般的に、浮体式海洋構造物は、固定式構造物と異なり、風、潮流、波浪などの自然外力の作用に対して、比較的柔に応答する可揺性構造物としての特徴を有する。その設計にあたっては、設置海域の環境・外力条件に対する構造物の挙動を的確に評価し、所定の機能と高い安全性が確保されることを確認する必要がある。特に、異常気象・海象条件下における動揺量、係留力、波浪荷重などの推定とその評価が重要である。

浮体式構造物の設計は、通常、次の手順によって実施される。

- ① 設計概念（機能、規模、浮体形状、係留方式など）の構築
- ② 気象・海象条件に関する設計値の設定
- ③ 浮体の諸元と作用外力の設定
- ④ 浮体の挙動の推定
- ⑤ 浮体の動揺量の評価
- ⑥ 水理模型実験による確認

3・1 設計概念の構築



基本型

図-1 基本型ヤグラの構成

Fig. 1 Composition of basic type SBB

設計にあたっては、この海上足場櫓が、調査ボーリングのための作業足場櫓であり、そのためのデザインコンセプトを明快にしておくことが必要である。期待する機能、規模、ヤグラの形状、係留方式などは、下記に示すとおりである（図-1参照）。

(1) 機能

- ① 乱さない土の試料を採取することができること。すなわち、ボーリング作業時の浮力体の運動が、サンプリングなどに支障がないように安定していること。また、海底に接地するシンカーは、その荷重が軟弱地盤などに攪乱を与えないこと。
- ② 安全性に優れていること。作業中はもちろんのこと、特に、荒天時における浮力体の運動性能、構造強度などの安全が十分確保されていること。
- ③ 大水深に対応できること。センターパイプの長さを適宜調節して水深の変化に対応できること。
- ④ 足場櫓の運搬・組立・曳航・設置・移設・撤去・解体・保管等の準備・仮設・維持管理などの作業が、安全、かつ、簡便であること。
- ⑤ 経済性に優れていること。

(2) 規模

- ① 浮力体の大きさが同じ場合には、ステージの上のボーリング機資材および作業員などの積載重量は、軽いほど安定性が高められる。
- ② 水深30mの海域において、たとえば、東京湾中部では、40年確率でみると、最大風速40m/s、最大波高6.3m、潮流1.75ktであり、これを設計条件として、鋼製櫓と同等もしくはそれ以上の安全性を有するものとする。一方で、可能な限り、規模を小さくし、仮設費などの経費軽減をはかり、経済性に優れたものであること。
- ③ わが国の構造物に対するボーリング調査の実績

からみて、当面の最大水深としては、70m程度までを考慮に入れて設計する必要がある。

- ④ 従来の足場調達の教訓から海送のみならず陸送も可能な最大部材寸法とすること。

(3) ヤグラの形状

- ① ヤグラの形状はスパーブイ型とする。
- ② センターパイプを二重管とし、管中を貫通してボーリング用パイプ類を降ろしてボーリングを行うようにする。このことによって、ヤグラ本体の浮力を増加せしめ、かつ、ボーリング用のケーシングパイプなどを潮流や波浪による外力から保護できることになる。また、センターパイプの軸芯を通るので、ヤグラの本体の傾斜・動揺に伴うボーリング用パイプ類の上下動は無視できる。

(4) 係留方式

- ① 係留方式は可能な限り短いものとする。ボーリング用パイプ類を通す構造とし、かつ、ボーリング時の回転トルクの反力がとれること。
- ② ヤグラ本体とシンカーの接続作業が容易であること。
- ③ 海底地盤の傾斜・不陸に追従できること。
- ④ シンカーは、おもりを分割して装備できるようにし、小型の起重機でも対応できるものとする。

上記のような考え方に基づいて、

(1) 設計基準としては、

- 日本港湾協会(1990):「港湾の施設の技術上の基準・同解説」改訂版
- 日本建築学会(1973):「構造設計基準」に準じて行うこととした。

(2) 安定計算の対象とするヤグラの型

- 基本型
適用水深: 30m, 40m, 60m

表-3 材料の許容応力度
Table. 3 Allowable stress of materials

(単位: kgf/cm²)

	① 作業時		② 荒天時*	
	SS41 STK41	SUS304	SS41 STK41	SUS304
引張許容応力: σ_{ts}	1400	1400	2100	2100
曲げ許容応力: σ_{ds}	1400	1400	2100	2100
圧縮許容応力: σ_{cs}	1400	1400	2100	2100
せん断許容応力: τ_s	800	800	1200	1200

*荒天時の許容応力度は、ボーリング作業時の1.5倍とする。

表-4 係留索の許容張力
Table. 4 Allowable tension of the mooring chain and ring

	作業時	荒天時
許容張力 (係留索2本分)	131tf	197tf

* ボーリング作業時の許容張力は破断荷重の1/3とし、荒天時の許容張力は破断荷重の1/3とする。

○安定装置付帯型

適用水深：16m

(3) 荷重種類および条件

○固定荷重：ヤグラ本体および係留装置の自重

○積載荷重：3 tf (ステージ上のボーリング機資材重量)

○外力荷重：風荷重、波荷重および潮流力

(4) 材料の許容応力度

使用する材料の許容応力度は、使用条件によって、表-3に示すように設定する。

(5) 係留索の許容張力

係留索は2本で、荷重を受ける構造である。したがって、その許容張力は、2本分で表現され、使用条件によって、表-4に示すように設定する。

3・2 気象・海象条件に関する設計値の設定

このヤグラは、通常の恒久的海洋構造物と異なり、調

表-5 海象条件一覧

Table. 5 List of weather condition on the sea

項目	① 作業時	② 荒天時	備考
水深 (M.S.L.)	25m~70m基本型 15m~25mステー型	①と同じ	
波高	1m	注2) (H_{max})	波峰の高さは $\eta_c=0.5H$
周期	4s, 6s, 8s, 10s, 12s	$T_{max}=3.86\sqrt{H_{1/3}}$ より算出 (ブレットシュナイダーの式)	注3)
潮流	注1)	1.0m/s (約1.95kt)	静水面下に等分布として一様に作用する
風速注4)	平均風速=10m/s (ガスト率を考慮)	最大瞬間風速=40m/s	有効垂直投影面積 ステージ：5.9m ² ，足場：6.4m ²

* ヤグラに作用する外力は、①波力、②潮流力、③風圧力とし、同時に同一方向に作用するものとする。

注1) 作業時の潮流は、外力によるブイ傾斜角が $\pm 3^\circ$ 以内となる限界値を計算で求める。

注2) 荒天時の波高は、ヤグラの水没限界もしくは強度限界となる波高を計算で求める。ヤグラの水没限界とは、ステージ接続時に、波頂から下段ステージの最下端までの高さが1mとなる状態とする。

注3) 最大波と有義波の関係は、 $H_{max}=2\cdot H_{1/3}$ 、 $T_{max}=T_{1/3}$ と仮定する。

注4) 風圧力は、作業時は10kgf/m²、荒天時は75kgf/m²とする。

査ボーリング用であり、不特定海域において比較的短期間使用される仮設的なものである。したがって、設計に見込む気象・海象条件は、わが国の沿岸域における過去の資料を基にして設定することにした。ステージ上にボーリング機資材を積載した状態における設計値は、在来の鋼製檣において採用されているもののうち、耐候性が最も高いものと同じにすることを目標とした。

ボーリング作業時および荒天時におけるそれぞれの気象・海象条件を表-5に示す。

3・3 ヤグラの諸元と作用外力の設定

浮力体などの大きさ、鋼材の材質や肉厚などは、設置海域の波浪、潮流および風などの気象・海象条件に対するボーリング用足場檣の安定性を評価するために、運動面からみた安定性および構造強度面上からみた安全性の2面からの検討を行なった。

計算条件としては、つぎの2つとした。

①平常時 (ボーリング作業時)

②荒天時

ヤグラの強度計算は、センターパイプ、フランジ部および係留索を対象とした。なお、シンカーについては、ヤグラ本体の運動性能の計算においては単なる錘であり、設置条件によって重量、構造などの変更ができるので、強度計算の対象からは外した。

4 ヤグラの挙動の推定

4・1 基本型ヤグラの運動解析

基本型ヤグラの運動解析は、風・潮流に対する傾斜特性と波に対する動揺特性を、下記の方法によって求めることができる。

4・1・1 基本型ヤグラの風・潮流による傾斜特性
前提条件として風、潮流は2次元断面内で、同一方向から作用するものとする。

水平方向を X_0 軸、鉛直方向を Z_0 軸、ヤグラ本体の軸方向を Z 軸とする。そして、ヤグラ本体に作用する風による水平荷重を F_a 、潮流による水平荷重を F_s とすると、風・潮流の両者による水平荷重は、 $F = F_a + F_s$ である。

転倒モーメントは次式で表される。

$$M_t = \int (dF/dZ) \cdot Z \cdot \cos\theta \cdot dZ \quad (1)$$

ここに、 M_t : 外力による転倒モーメント
 dF/dZ : 微小部分 dZ に作用する水平力
 (風、潮流による抗力)
 Z : 係留点を0とした Z 軸座標
 θ : ヤグラ本体の傾斜角

(1) 風による水平力

$$dF_a = \frac{\rho_a(Z_0)}{2} \cdot U_{WIND}(Z_0)^2 \times C_d(Z) \cdot B(Z) \cdot dZ \quad (2)$$

ここに、 dF_a/dZ : dZ に作用する風による水平力

ρ_a : 空気の密度 (通常 1.25 kg/m^3)
 U_{WIND} : 風速
 C_d : 抗力係数
 B : 受圧幅

(2) 潮流による水平力

$$dF_s = \frac{\rho_w(Z_0)}{2} \cdot U(Z_0)^2 \cdot C_d(Z) \cdot B(Z) \cdot dZ \quad (3)$$

ここに、 dF_s/dZ : dZ に作用する潮流による水平力

ρ_w : 海水の密度 (通常 $1,025 \text{ kg/m}^3$)
 U : 潮流速度
 C_d : 抗力係数
 B : 受圧幅

ヤグラの復元モーメントは、次式で表される。

$$M_r = P\{GM + (1 - W/P) \cdot Z_G\} \cdot \sin\theta \quad (4)$$

ここに、 M_r : ヤグラ本体の復元モーメント
 P : ヤグラ本体の吃水下の全浮力
 GM : 傾心高
 W : ヤグラ本体の全備重量
 Z_G : ヤグラ本体の重心の Z 軸座標
 θ : ヤグラ本体の傾斜角

重心回りのモーメントの釣り合いの条件、 $M_t = M_r$ によって、(1)式および(4)式を用いて、ヤグラ本体の傾斜角が求められる。

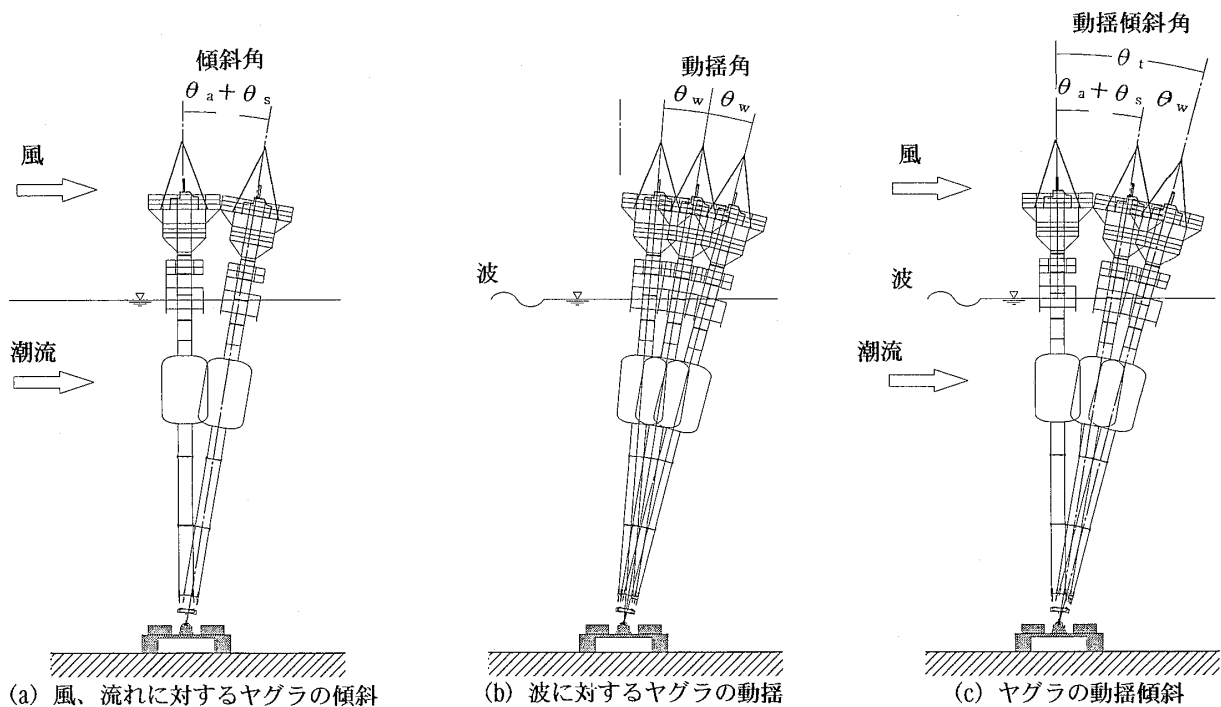


図-2 ヤグラの傾斜角および動揺角の定義
 Fig. 2 Definition of tilting angle and pitching angle of SBBD

$$\tan\theta = \frac{\int (dF/dZ) \cdot Z dZ}{P \cdot GM + (P - W) \cdot Z_G} \quad (5)$$

4・1・2 基本型ヤグラの規則波中の運動特性

基本型ヤグラの波浪中の運動方程式は、次式のように非線形2階微分方程式で表わされ、周波数領域で数値計算を行って、運動を解析することができる。

$$(I+i) \cdot \ddot{\theta} + N \cdot \dot{\theta} + N_c (\dot{\theta} - V_w \cdot |\dot{\theta} - V_w|) + C \cdot \theta + T \cdot \theta = F_w \quad (6)$$

- ここに、I : ヤグラ本体の慣性モーメント
- i : ヤグラ本体の付加質量
- θ : ヤグラ本体の傾斜角
- N : 造波減衰係数
- N_c : 粘性減衰係数
- C : 静水圧による復元力
- T : 係留系からの反力
- V_w : 波粒子速度
- F_w : 波浪外力

4・1・3 各外力が同時に作用した場合の傾斜角

風、潮流および波が同時に作用した場合は、各条件が同一方向から作用するものと仮定して、それぞれの結果の線形和を求め、これを、動揺傾斜角と定義する。すなわち、ヤグラ本体の動揺傾斜角は次式のように表わす(図-2参照)。

$$\theta_t = \theta_a + \theta_s + \theta_w \quad (7)$$

- ここに、 θ_t : 風、潮流、波が同時に作用した場合のヤグラ本体の動揺傾斜角
- θ_a : 風によるヤグラ本体の傾斜角
- θ_s : 潮流によるヤグラ本体の傾斜角
- θ_w : 波によるヤグラ本体の動揺片振幅角

4・2 安定装置付帯型ヤグラの運動解析

安定装置付帯型ヤグラは、図-3に示すように、基本型ヤグラ本体に四方にステーを固定し、その先端にフィンを取り付けたもので、その運動方程式は、池田(1995)によれば、次のように表わすことができる。この場合、ヤグラ本体に作用する波浪強制力としては、付加質量力のほかに、ディフラクション力^{#1)}とフルード・クリロフカの力^{#2)}が考えられるが、波の波長に対して浮力体の直

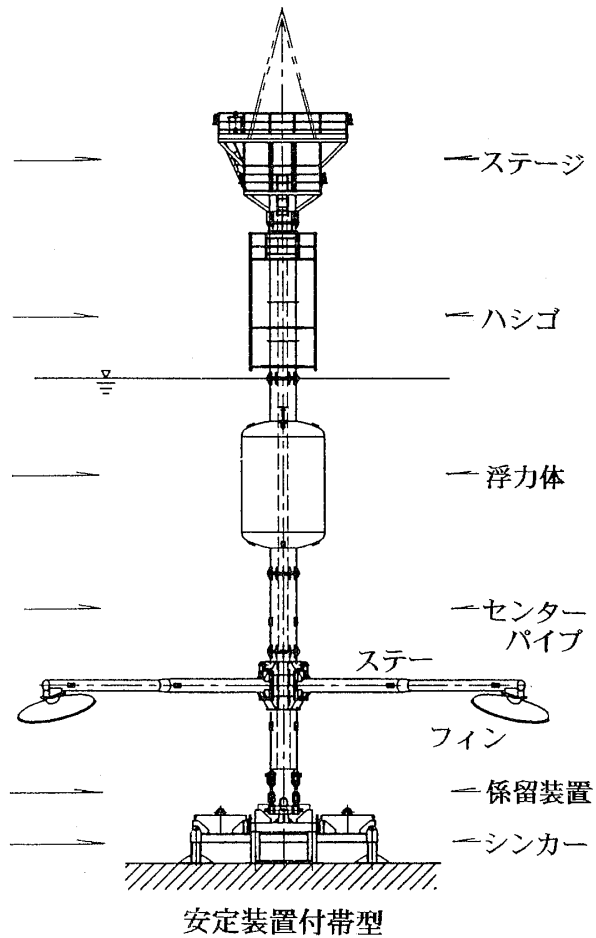


図-3 安定装置付帯型ヤグラの構成
Fig. 3 Composition of SBBD with stabilizer

径が十分小さいので、ディフラクション力は無視できる。

$$(I+i+I_D+i_D) \ddot{\theta} = M_R + M_{D1} + M_{D2} + M_W + M_{DD1} + M_{LD1} + M_{DD2} + M_{WD} \quad (8)$$

ちなみに、安定装置のない基本型の運動方程式は、下記のように表わされる。

$$(I+i) \ddot{\theta} = M_R + M_{D1} + M_{D2} + M_W \quad (9)$$

ここに、(8)式および(9)式の各項は、下記のように表わされる。

I: ヤグラ本体の慣性モーメント

$$I = \int_0^L \rho_c \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - D_1^2) \cdot Z^2 dZ \quad (10)$$

i: ヤグラ本体の付加質量

注1) diffraction force: 強制外力のうち、構造物による入射波の錯乱波によって生じる力

注2) Froude-Kriloff's force: 強制外力のうち、構造

物によって乱されない入射波の場合における圧力変動の構造物の水中部分の表面における力

$$i = \int_0^1 C_{a2}(K_c(Z), R_c(Z)) \times \rho_w \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot Z^2 dZ \quad (11)$$

θ : ヤグラ本体の傾斜角

I_D : 安定装置の慣性モーメント

$$I_D = 4 \cdot [m_D(\sqrt{L_H^2 + L_L^2} \cos 45^\circ)^2 + m_S(\sqrt{L_H^2 + (L_L/2)^2} \cos 45^\circ)^2] \quad (12)$$

i_D : 安定装置の付加質量

$$i_D = 4 \cdot C_{ad2}(\alpha) \rho_w \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_d^2 H_d^2 \times (\sqrt{L_H^2 + L_L^2} \cos 45^\circ)^2 \quad (13)$$

M_R : ヤグラ本体に働く復元力

$$M_R = (mg \cdot \overline{OG} - W_o \cdot \overline{OB}) \sin \theta \quad (14)$$

M_{D1} : ヤグラ本体に働く定常抗力

$$M_{D1} = \int_0^1 C_{d1}(R_e(Z)) \frac{\rho_w}{2} \cdot D \times U(Z_0) \cos \theta |U(Z_0) \cos \theta| Z dZ + \int_1^L C_{d1}(R_e(Z)) \frac{\rho_A}{2} \cdot D \times U_{WIND} \cdot \cos \theta |U_{WIND} \cdot \cos \theta| Z dZ \quad (15)$$

M_{D2} : ヤグラ本体に働く非定常抗力

$$M_{D2} = \int_0^1 C_{d2}(k_c(Z), R_c(Z)) \frac{\rho_w}{2} \times D(V_x - Z\dot{\theta}) |(V_x - Z\dot{\theta})| Z dZ \quad (16)$$

M_W : ヤグラ本体に働く波浪強制力

(フルード・クリロフカ+付加質量力)

$$M_W = \int_0^1 (1 + C_{a2}(K_c(Z), R_c(Z))) \times \rho_w \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 V_x Z dZ \quad (17)$$

M_{DD1} : フィンに働く定常抗力

$$M_{DD1} = \sum_{j=1}^4 C_{dd1j}(\alpha_j) \frac{1}{2} \rho_w \frac{\pi}{4} \times D_d^2 \cdot U(Z_{0j}) |U(Z_{0j})| Z_{0j} \quad (18)$$

M_{LD1} : フィンに働く定常揚力

$$M_{LD1} = \sum_{j=1}^4 C_{ld1j}(\alpha_j) \frac{1}{2} \rho_w \frac{\pi}{4} D_d^2 \times U(Z_{0j}) |U(Z_{0j})| (-X_{0j}) \cos \beta_j \quad (19)$$

M_{DD2} : フィンに働く非定常抗力

$$M_{DD2} = 4 \cdot C_{dd2}(\alpha) \frac{1}{2} \rho_w \frac{\pi}{4} D_d^2 \times (\sqrt{L_H^2 + L_L^2} \cos 45^\circ)^2 \dot{\theta} |\dot{\theta}| \quad (20)$$

M_{WD} : フィンに働く波浪強制力

$$M_{WD} = \sum_{j=1}^4 [C_{dd2j}(\alpha_{dj}) \frac{1}{2} \rho_w \frac{\pi}{4} \times D_d^2 \sqrt{V_{xj}^2 + V_{zj}^2} \cdot (V_{xj} Z_{0j} - V_{zj} X_{0j}) + C_{ad2j}(\alpha_{dj}) \frac{1}{2} \rho_w \frac{\pi}{4} \times D_d^2 H_d (\dot{V}_{xj} Z_{0j} - \dot{V}_{zj} X_{0j})] \quad (21)$$

V_X : 波による水粒子の X 方向の速度

$$V_x = V_{x0} \cos \theta - V_{z0} \sin \theta \quad (22)$$

\dot{V}_X : 波による水粒子の X 方向の加速度

$$\dot{V}_x = \dot{V}_{x0} \cos \theta - \dot{V}_{z0} \sin \theta \quad (23)$$

V_{X0} : 微小振幅波理論による水粒子の X₀ 方向の速度

$$V_{x0} = \zeta_a \cdot \omega \frac{\cosh(kZ_0 - h_0)}{\sinh(kH)} \sin(\omega t - kX_0) \quad (24)$$

\dot{V}_{X0} : 微小振幅波理論による水粒子の X₀ 方向の加速度

$$\dot{V}_{x0} = \zeta_a \cdot \omega^2 \frac{\cosh(kZ_0 - h_0)}{\sinh(kH)} \cos(\omega t - kX_0) \quad (25)$$

V_{Z0} : 微小振幅波理論による水粒子の Z₀ 方向の速度

$$V_{z0} = \zeta_a \cdot \omega \frac{\sinh(kZ_0 - h_0)}{\sinh(kH)} \cos(\omega t - kX_0) \quad (26)$$

\dot{V}_{Z0} : 微小振幅波理論による水粒子の Z₀ 方向の加速度

$$\dot{V}_{z0} = -\zeta_a \cdot \omega^2 \frac{\sinh(kZ_0 - h_0)}{\sinh(kH)} \sin(\omega t - kX_0) \quad (27)$$

ここに,

L : ヤグラ本体の長さ

ρ_c : ヤグラ本体の密度

D	: ヤグラ本体の直径
D_1	: ヤグラ本体の内径
l	: ヤグラ本体の水面下の長さ
C_{a2}	: 円柱の付加質量係数
ρ_w	: 海水の密度
K_c	: 各エレメントの K_c 数
R_e	: 各エレメントのレイノルズ数
m_D	: フィンの質量
L_H	: ステータ取り付け位置の 0 点からの距離
L_L	: ステータの長さ
m_s	: ステータの質量
C_{ad2}	: フィンの付加質量係数
D_d	: フィンの直径
H_d	: フィンの高さ
α	: フィンに対する相対速度の迎角
m	: ヤグラ本体の質量
g	: 重力加速度
\overline{OG}	: 重心からの 0 点からの距離
W_0	: 排水量
\overline{OB}	: 浮心の 0 点からの距離
C_{d1}	: 円柱の定常抗力係数
U	: 潮流の速度
ρ_A	: 空気の密度
U_{WIND}	: 風の速度
C_{d2}	: 円柱の非定常抗力係数
C_{adj}	: j 番目のフィンの定常抗力係数
α_j	: j 番目のフィンに対する相対速度の迎角
Z_{0j}	: j 番目のフィンの Z_0 座標
C_{ldj}	: j 番目のフィンの定常揚力係数
B_j	: j 番目のフィンの Y-Z 平面内の傾き
X_{0j}	: j 番目のフィンの X_0 座標
C_{dd2}	: フィンの非定常抗力係数
C_{dd2j}	: j 番目のフィンの非定常抗力係数
C_{ad2j}	: j 番目のフィンの付加質量係数
α_{dj}	: j 番目のフィンに対する波による水粒子の速度の迎角
α_{aj}	: j 番目のフィンに対する波による水粒子の加速度の迎角
V_{xj}	: j 番目のフィンの位置での波による水粒子の X_0 方向の速度
\dot{V}_{xj}	: j 番目のフィンの位置での波による水粒子の X_0 方向の速度
V_{zj}	: j 番目のフィンの位置での波による水粒子の Z_0 方向の速度
\dot{V}_{zj}	: j 番目のフィンの位置での波による水粒子

の Z_0 方向の加速度

ζ_a : 波の振幅

K : 波数

h_0 : 0 点の海底面からの距離

ω : 波の角周波数

H : 水深

4・3 解析結果

基本型および安定装置付帯型のヤグラについて、運動解析を行った結果は、以下に示すとおりである。

サンプリングなどにおける品質管理上確保しなければならない条件としては、現在使用されているヤグラ本体の動揺傾斜角 3° 以内を仮の基準とした。この 3° を基準とした根拠については、5 章において詳述する。なお、ステージ上でボーリングの準備などの比較的単純な作業は、動揺傾斜角が 5° 程度までは可能である。

ステージ上に作業員が乗って作業が可能な気象・海象条件は、交通船から海上足場檣への乗り降りが安全に行える条件として、従来から、足場の種類や方式に関係なく、一般的には、風速 10m/s 、波高 1m までとされており、これに準じて設定した。

荒天時にステージを撤去しないで放置する際の管理上の条件は、現実問題として、ステージの下端に波が作用しはじめる時期を最終的な限界条件とした。厳密には、波浪時の水面からステージ下端が 1m 離れている時の足場本体の傾斜角を計算で求めたものである。なお、このときの最大波高に対する波周期は、ブレッドシュナイダーの式

$$T_w = 3.86\sqrt{H_{1/3}}$$

によって求めた。ここに、 $H_{1/3} = 1/2 \cdot H_{\max}$ と設定した。

4・3・1 基本型について

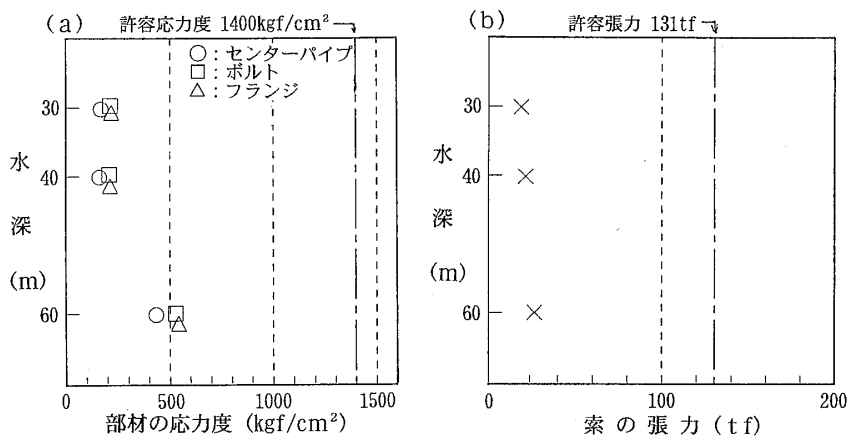
(1) 平常時におけるヤグラ部材の応力度および索の張力

さきに示したように、風速 10m/s (風圧 10kgf/m^2)、波高 1m 、波周期が $2\text{s} \sim 10\text{s}$ の範囲にあるとしたとき、ヤグラの動揺傾斜角が 3° を越えない最大値を示す波周期は、水深が 30m 、 40m および 60m の場合、それぞれ、 6.0s 、 6.0s および 4.0s となり、このときの潮流流速は、それぞれ 1.1kt 、 1.3kt および 1.3kt となる (表-6 参照)。これに基づいて、ヤグラ部材に加わる応力度および索に作用する張力を計算した。この場合、各部材の応力度は $200 \sim 500\text{kgf/m}^2$ であり、許容値 ($1,400\text{kgf/m}^2$) を大きく下回っている。一方、索に作用する張力は 20tf 程度で

表一6 作業時における基本型ヤグラの動揺傾斜角

Table. 6 Pitching tilting angle of the basic type SBBB under the operation condition

水深 (m)	波高 (m)	波周期 (秒)	動揺角 (度)	風速10m/s 傾斜角(度)	潮流 (kt)	傾斜角 (度)	動揺傾斜角 合計 (度)
30	1.0	6.0	1.01	0.71	1.1	1.18	2.90
40	1.0	6.0	0.60	0.53	1.3	1.71	2.84
60	1.0	4.0	0.34	0.40	1.3	1.99	2.73



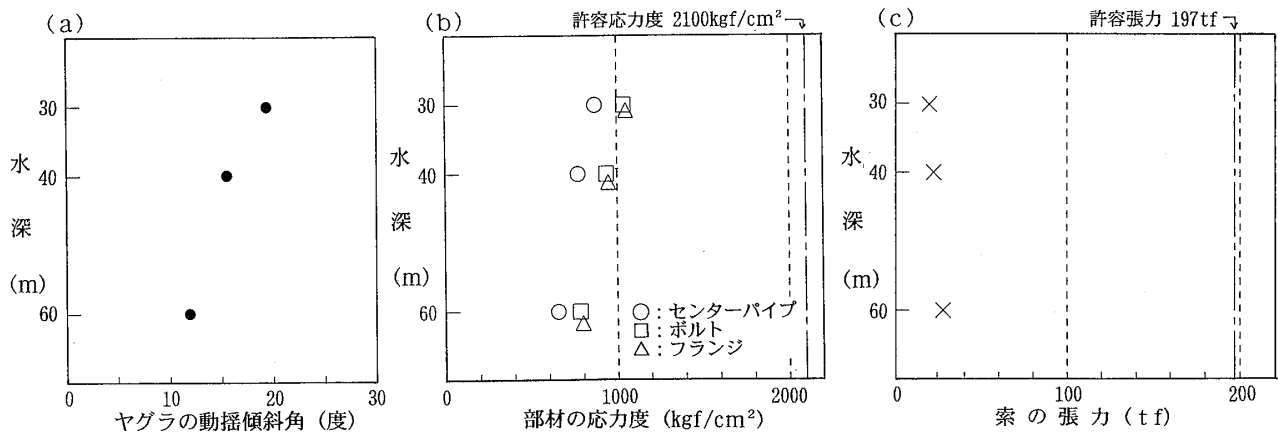
図一4 作業時における基本型ヤグラの部材の応力

Fig. 4 Stress of parts of basic type SBBB under the operating condition

表一7 荒天時における基本型ヤグラの動揺傾斜角

Table. 7 Pitching tilting angle of the basic type SBBB under the stormy condition

水深 (m)	波高 (m)	波周期 (秒)	動揺角 (度)	風速40m/s 傾斜角(度)	潮流 1 m/s 傾斜角(度)	動揺傾斜角 合計 (度)
30	7.5	7.5	11.4	5.2	3.7	19.3
40	8.5	8.0	7.9	3.9	3.8	15.6
60	9.0	8.2	4.5	2.9	4.5	11.9



図一5 荒天時における基本型ヤグラの部材の応力

Fig. 5 Stress of parts of basic type SBBB under the stormy condition

あり、許容値 (131tf) に比べると、はるかに小さい値となっている (図-4 参照)。

(2) 荒天時におけるヤグラ部材の応力度および索の張力

荒天時の条件としては、瞬間最大風速40km/s (風圧力75kgf/m²)、潮流1.0m/sとし、同時に最大の波高が作用したときのヤグラ本体の動揺傾斜角は、水深30m、40mおよび60mのとき、それぞれ、19.3°、15.6°および11.9°となる (表-7 参照)。その時に各部材の応力度は、図-5に示すように、600~1,000kgf/m²の範囲にあり、許容値を下回っている。一方、索に作用する張力は平常時とほとんど同じであり、許容値よりもはるかに小さい値となっている。

4・3・2 安定装置付帯型について

安定装置の有無によるヤグラの運動の違いを比較するために、水深16mの場合について、ヤグラを潮流中においた場合、波浪中においた場合および潮流と波浪の共存場においた場合について数値解析を行った。

(1) 潮流中においた場合

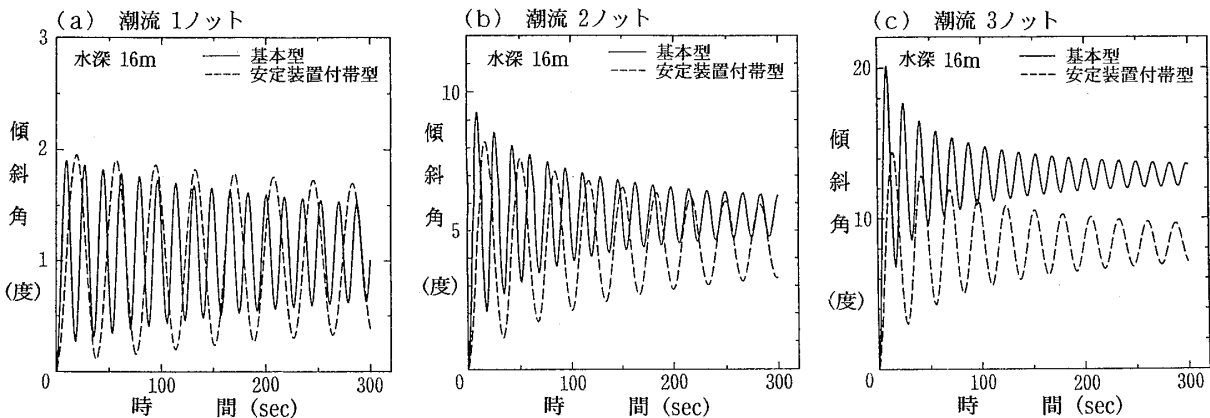


図-6 潮流とヤグラの動揺傾斜の関係

Fig. 6 Relations between current and pitching tilting angle of SBB

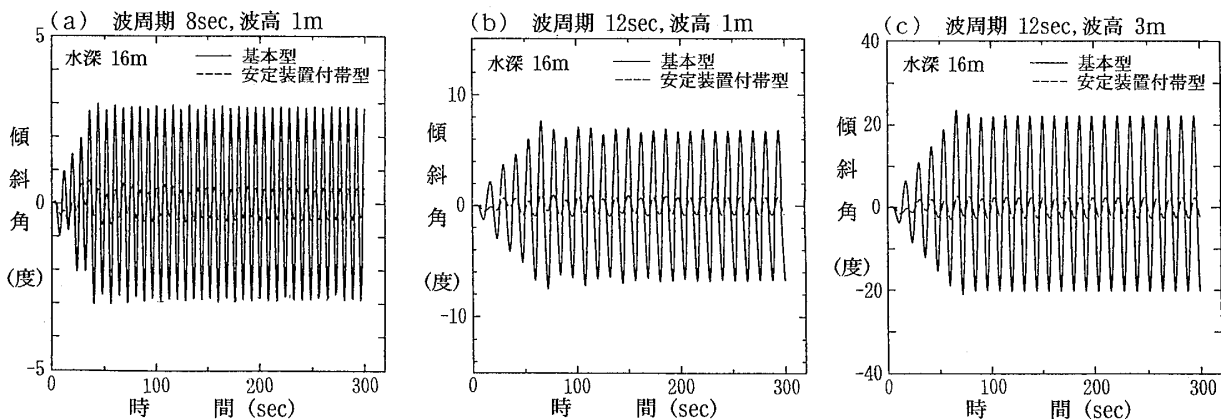


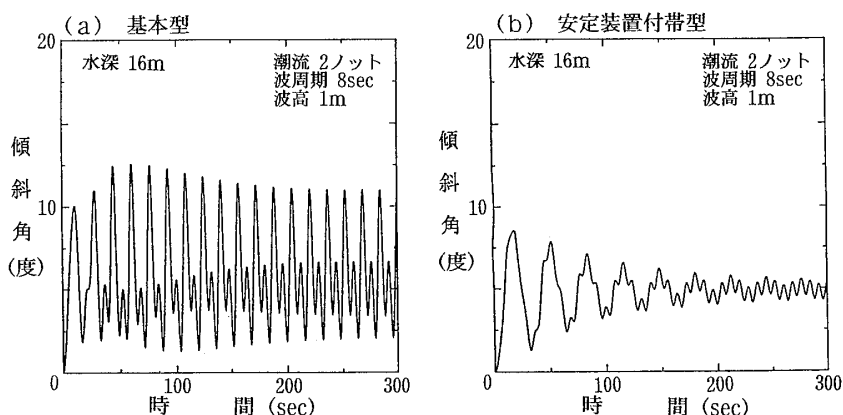
図-7 波浪とヤグラの動揺傾斜の関係

Fig. 7 Relations between waves and pitching tilting angle of SBB

潮流の流速が1kt、2ktおよび3ktの3つの場合の解析結果は、図-6に示すようになる。潮流の流速が1ktの場合には、安定装置付帯型も基本型も傾斜角は、他の流速に比べてはるかに小さく、安定装置の効果はそれほど顕著には見られない。しかしながら、流速が大きくなるにしたがって、安定装置の効果が現れ、潮流3ktの場合には、基本型に比べて安定装置付帯型は、傾斜角が小さくなっていることがわかる。また、定常状態に至るまでの減衰の割合の差は、ほとんど認められないが、振動の周期 (固有周期) は、安定装置付帯型では基本型に比べると、かなり長くなっている。このことは、安定装置を付加することの非定常運動に対する効果は、減衰力の増加に寄与するよりも、むしろ付加質量の増加に寄与することを示している。

(2) 波浪中においた場合

3つの波浪 (波周期、波高) 条件における解析結果を図-7に示す。いずれの波浪条件の場合も、安定装置付帯型による減揺効果はきわめて大きく、運動振幅は基本型の場合の十数%となっている。また、図-7 (c) の波



図一八 潮流と波浪の共存の場合におけるヤグラの動揺傾斜の関係
 Fig. 8 Relations between waves and current and the pitching tilting angle of SBBD

周期12秒、波高3mの場合でみると、基本型の場合は、波下側に定常的にわずかに傾斜した状態で振動しているのに対して、安定装置付帯型の場合は、ほぼ0度を中心として振動していることがわかる。

(3) 潮流と波浪の共存場においた場合

図一八は、潮流と波浪の共存場における解析の結果である。この場合は、波下側に定常的に傾斜した状態で波周期と同調して振動する。基本型の場合には、固有周期が波周期のほぼ2倍(17.6秒程度)であるため、波周期の2倍周期で、運動の振幅の増減が繰り返される現象が現れている。一方、安定装置付帯型の場合は、波下側の定常的な傾斜が小さくなると同時に、波周期の振動自体が大幅に減少している。

5 ヤグラの動揺量の評価

5.1 管理上の基準

ヤグラの運動性能は、次の2つの作業状態によって評価する。

- ① 作業時(サンプリング時)：ヤグラ動揺傾斜角が±3°以内。
- ② 荒天時：最大の動揺傾斜時にステージ下面に波峰が接触しないこと。

5.2 評価について

サンプリングなどのボーリング掘進時のヤグラの動揺傾斜角を±3°とした根拠は、下記のとおりである。

5.2.1 調査ボーリング用海上足場櫓に必要な安定性

固定ピストン式シンウォールサンプラーなどによる土の乱さない試料の採取を行うためには、ボーリングロッドの先端に取り付けたサンプラーが、鉛直を保って土に

静的に貫入することが必要であり、海上足場櫓にも、そのための安定性が求められる。海上足場櫓は、風、波および潮流などの外力の作用を受ける。この外力がきわめて小さい場合には、いかなる種類、形式の足場櫓でも、変形や振動は無視することができ、このヤグラの場合でも同様である。その外力の程度が大きければ、いかなる形式の足場櫓でも足場自身、ボーリングロッドやサンプラー保護用ガイドパイプなどに、変形や振動を生じることになる。“乱さない試料採取”を行うに当たり、それらの変形量が影響を及ぼさないようにするために、十分な安定性を保てるように、足場本体やガイドパイプなどの剛性を高めたり、試料の品質が十分確保できるような足場櫓の性能に応じた条件を定めたりなどして、サンプリング作業を行っている。

このヤグラの場合は、二重管構造のヤグラ本体は、剛体運動をして、それ自身は変形することなく、係留点を回転の中心としたヤグラ本体の傾斜・動揺運動が支配的である。係留索は常時緊張しているの、上下方向の動揺は発生しない構造になっている。したがって、乱さない試料採取に適さなかった在来の浮力体式海上足場とは性能を異にしている。二重管のセンターパイプの中を通るケーシングパイプ、ボーリングロッドおよびサンプラーなどは、直接、波や潮流などの外力を受けることがないため、ヤグラ本体の傾斜・動揺に伴って変位する。すなわち、ケーシングパイプの上端は、ステージにケーシングバンドで止められて、吊り下がっており、ヤグラ本体の傾斜が大きくなると、センターパイプ内管に接触し変形する。また、ボーリングロッドは、ステージ上のボーリングマシンに固定されて、吊り下がっており、ヤグラ本体の傾斜が大きくなると、ケーシングパイプ内側に接触する。

一方、海上に設置されたヤグラ本体は、常に波や潮流

の外力を受けているので、その傾斜や動揺が、厳密には零であることはないから、工学的に許容できる微小の変位量（たわみ角）を設定すればよい。これには、実証的な方法と理論的な方法とがあるが、前者は、実海域においてヤグラ本体の傾斜・動揺と乱さない試料の品質についての関係を調べることであり、後者は、ケーシングパイプやボーリングロッドの変形を計算で求めることに当たる。

5・2・2 海域実験によるヤグラの安定性の評価

サンプリング作業中において、風、波および潮流の外力が軽微な場合（たとえば、風速5m/s程度以下、波高30cm以内、潮流0.5kt以内）には、このヤグラの傾斜・動揺はほとんど観察されず、在来の鋼製櫓の場合と同様に、サンプラーなどに対する変形・動揺は無視できる。したがって、このヤグラを用いることが、試料採取に悪影響をもたらすことはないと考えられる。そこで、このヤグラを使用して乱さない試料の採取を行う場合の許容外力（すなわち、どの程度のヤグラの傾斜・動揺までは影響を受けないか）を明確にする必要がある。

乱さない試料を採取するために、従来から一般的に使用されている鋼製櫓を使用して採取した乱さない試料の品質と、このヤグラを使用して、同一海域で採取した乱さない試料の品質とを比較した。この実験中におけるヤグラの動揺傾斜角は、ボーリング掘進中においてもサンプリング時においても、 3° 以内（サンプリング時の最大 2.65° ）であった。

また、このヤグラを用いて採取した固定ピストン式シウォールサンプリングの結果は、試料の観察や土質試験の結果によって、総合的に判断した結果、従来の鋼製櫓を用いた場合のサンプリングと、同等の品質が得られていることを実証することができた。

5・2・3 数値解析に基づくヤグラの安定性の評価

ヤグラ本体の傾斜・動揺が、ボーリングロッドの下端に取り付けられたサンプラーに与える動揺傾斜角は、つぎのようにして算出した。

① ボーリングロッドの上端の動揺傾斜角は、ロッドがボーリングマシンのスピンドルに固定されているので、ヤグラ本体の動揺傾斜角と同一となる。

ケーシングパイプ内におけるロッドの変形は、ロッドの曲げ剛性がケーシングパイプに比べて小さいため、ケーシングパイプの変形に支配される。

また、ボーリングロッドには、適当な間隔にセントライザーを付けて軸芯を出すようにしてあるので、ロッドの変形曲線がケーシングパイプの軸を通るとすることができる。

ボーリングロッドの下端に取り付けられているサンプラーは、ロッドがセントライザーを介してケーシング内面に接触している点から、影響を受けることになるので、サンプラーに発生する動揺傾斜角は、ケーシングパイプ下端部の変形量（たわみ角）と等価であるとみなすことができる。

② ケーシングパイプの上端は、ケーシングバンドで固定され、ステージ上に載っている状態である。したがって、計算モデルの境界条件としては、ステージの変位量と同一で、ピン結合とみなすことができる。

ケーシングパイプの下端は、仮に、N値が1～3程度の地盤に、200～400cmの根入れをした状態とみなし、パイプの変形は、有限長の突出杭として計算する。

③ 計算の諸元

ボーリングロッド：外径 D_r	4.05cm
肉厚 t_r	0.495cm
重量 W_r	0.043kgf/cm
ケーシングパイプ：外径 D_c	11.43cm
肉厚 t_c	0.49cm
重量 W_c	0.132kgf/cm
鋼材	：ヤクグ率 E_s 2.1×10 ⁸ kgf/m ²
地盤（仮定）	：N値 1～3
	：変形係数 E_0 28Nkgf/m ²

粘性土地盤の横方向地盤反力係数：

$$k_h = \frac{E_0}{30} \left(\frac{B_h}{30} \right)^{-3/4} \text{ (kgf/cm}^3\text{)}$$

$$B_h = \sqrt{D_c / \beta}$$

杭の特性値： $\beta = \sqrt[4]{(k_h \cdot D_c) / (4E_s \cdot I)}$

I = 杭の断面二次モーメント

たわみ曲線の微分方程式（たわみ量 y）：

$$\text{水中部分：} EI \frac{d^4 y}{dx^4} + w \frac{dy}{dx} = 0$$

$$\text{地中部分：} EI \frac{d^4 y}{dx^4} + p = 0$$

$$p = k_h D y$$

以上によって、ヤグラ本体の傾斜・動揺に応じたケーシングパイプの先端部の変位量を計算で求めた。図-9は、ケーシングパイプおよびボーリングロッドについて、長さが40mで、その上端を 3° に傾け固定して吊り下げたときの自重による変形を示したもので、先端部において、 3° の直線に対し、ケーシングパイプは119cm、ボーリングロッドは169cmの水平変位となっている。ボーリングロッドの方がケーシングパイプよりも剛性が

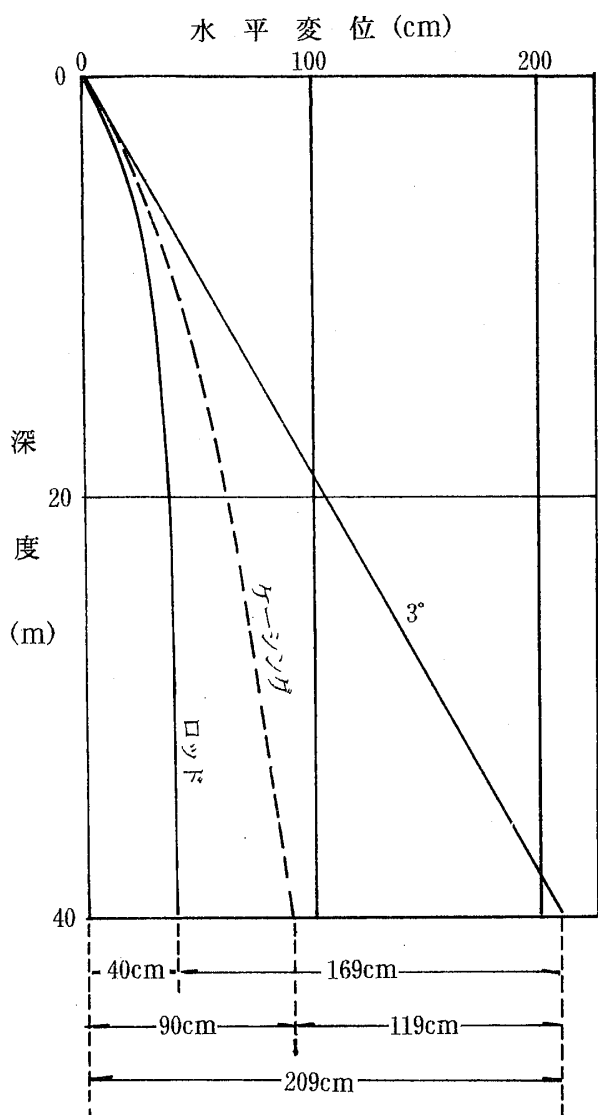


図-9 ケーシングパイプおよびボーリングロッドの自重による変形
Fig. 9 Deformation of casing pipe and boring rod by the self-weight

小さいので、ケーシングパイプ内部にボーリングロッドがある場合は、ボーリングロッドの変形が、ケーシングパイプの変形に支配されると考えてよいことがわかる。

つぎに、ケーシングパイプが海底に打ち込まれた状態の場合におけるケーシングパイプ先端部の傾斜角を計算した。この場合、ケーシングパイプの根入れ深さLが、200cm、300cm、400cmの場合を想定し、それぞれの場合について、海底地盤のN値が1、2、3であるとし、ヤグラ本体の動揺傾斜角 θ が1°、2°、3°とした場合の結果は、表-8に示すとおりである。また、ヤグラの動揺傾斜角が1~5°の場合のケーシングパイプ先端部の傾斜角を図示すると、図-10のようになる。

表-8において、ケーシングパイプ先端部の傾斜角が

表-8 ケーシングパイプ先端部の傾斜角
Table. 8 Tilting angle of the bottom of casing pipe

(a) 根入れ深さL=200cm

	$\theta = 1^\circ$	$\theta = 2^\circ$	$\theta = 3^\circ$
N=1	0.140°	0.220°	0.280°
N=2	0.082°	0.120°	0.150°
N=3	0.058°	0.082°	0.100°

(b) 根入れ深さL=300cm

	$\theta = 1^\circ$	$\theta = 2^\circ$	$\theta = 3^\circ$
N=1	0.038°	0.049°	0.053°
N=2	0.014°	0.012°	0.007°
N=3	0.005°	0.001°	0.008°

(c) 根入れ深さL=400cm

	$\theta = 1^\circ$	$\theta = 2^\circ$	$\theta = 3^\circ$
N=1	0.002°	0.007°	0.016°
N=2	0.006°	0.015°	0.024°
N=3	0.008°	0.015°	0.021°

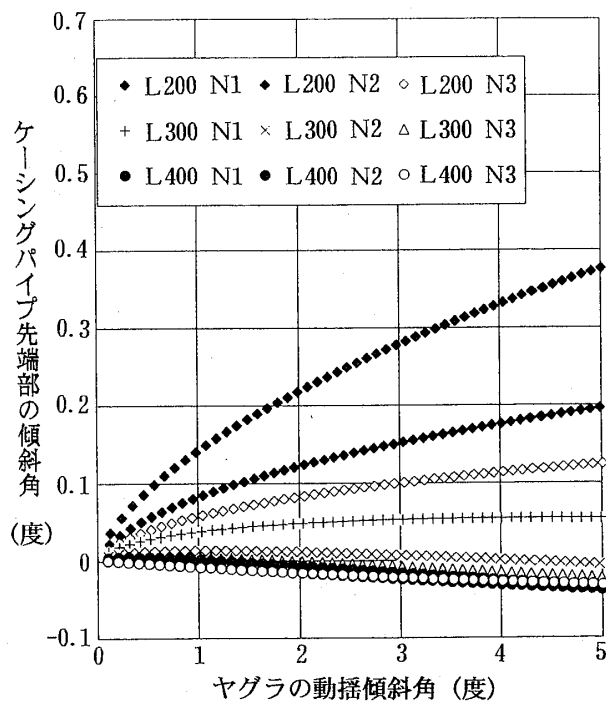


図-10 基本型ヤグラの動揺傾斜角とケーシングパイプ先端部の傾斜角の関係
Fig. 10 Relations between the pitching tilting angle of the basic type SBB and the tilting angle of the bottom of casing pipe

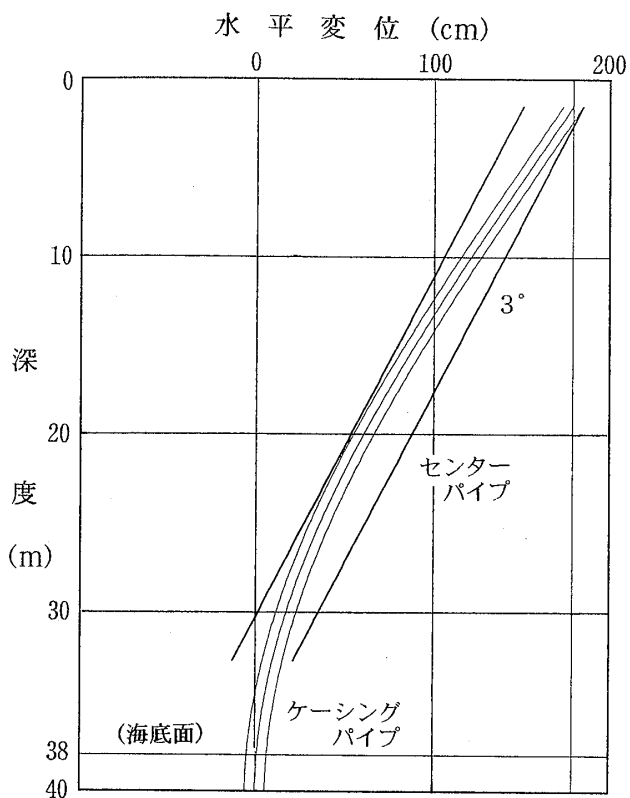


図-11 基本型ヤグラのセンターパイプ内管とケーシングパイプの位置関係

Fig. 11 Positioning relations between the inner center-pipe of the basic type SBBD and the casing pipe

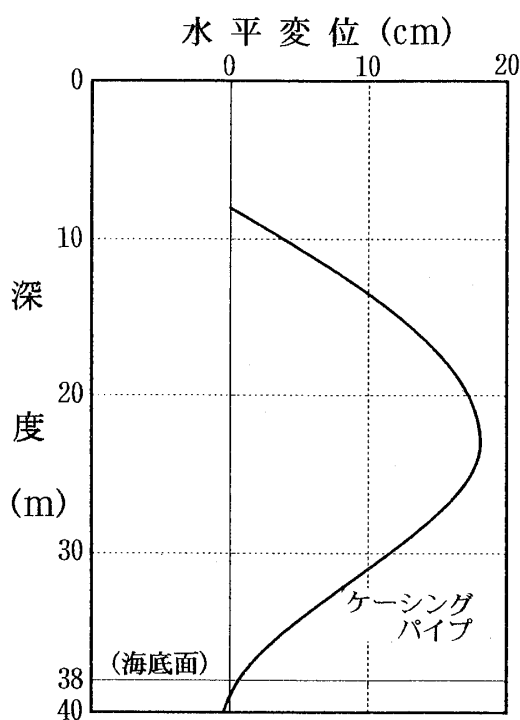


図-12 鋼製櫓におけるケーシングパイプの変形
Fig. 12 Deformation of casing pipe on the steel frame tower

最も大きい値 (0.28°) を示す $L=200\text{cm}$, $N=1$, $\theta=3^\circ$ の場合のヤグラのセンターパイプ内管とケーシングパイプの位置関係は、図-11に示すように、丁度接触した状態になっている。

表-8 によって明らかのように、根入れ深さおよび N 値が、上記の値よりも大きいとき、また、動揺傾斜角が小さいときには、ケーシングパイプ先端部の傾斜角は、より小さい値を示している。したがって、上記の傾斜角 0.28° という数値が、許容範囲であるか否かについては、現在のところ、絶対的評価はできないので、参考までに在来の鋼製櫓について、同様な計算を行い、その結果との比較を行うことにした。

鋼製櫓に関する計算モデルは、基本的な事項については同じ条件とした。ただし、ケーシングパイプは、水深 30m の水面にある鋼製櫓部材にピン結合で固定されるものとし、鋼製櫓は不動で、水中部分ではケーシングパイプは固定せず、海底地盤に根入れ深さ L が 200cm , 300cm , 400cm で地盤の水平反力を受ける突出した杭のようなものを想定した。外力は、波高 1m 、波周期 6秒 とし、潮流は、同じ方向からケーシングパイプに作用する

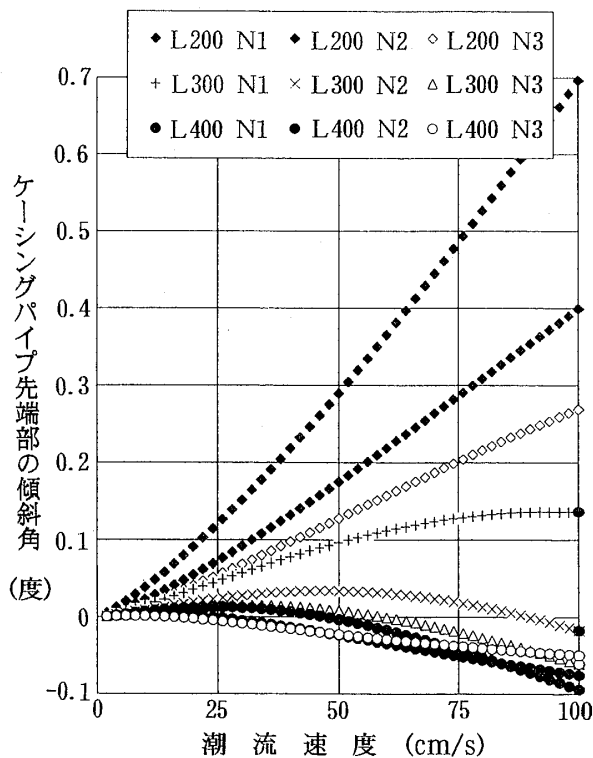


図-13 鋼製櫓における潮流流速とサンプラーの動揺傾斜角の関係

Fig. 13 Relations between current velocity and pitching tilting angle on the steel frame tower

ものとした。

図-12は、 $L=200\text{cm}$ 、 $N=1$ で、潮流が 50cm/s の場合に、鋼製櫓に設置したケーシングパイプの変形を示したもので、図-11と比較すると、ヤグラのセンターパイプ中にあるケーシングパイプの方が、変形が少ないことがわかる。

また、地盤の N 値およびパイプの根入れ深さ L をパラメーターとして、潮流速度とケーシングパイプ先端部の傾斜角の関係を図示すると、図-13のようになる。これによると、潮流流速が 50cm/s 、ケーシングパイプの根入れ深さが 200cm のとき、サンプラーの動揺傾斜角は N 値に応じて $0.13\sim 0.29^\circ$ になる。したがって、ヤグラ本体の動揺傾斜角が 3° の場合と同等程度である。

ここで、角度 0.3° の正接は、サンプラーの長さ 100cm に対して 5mm の水平変位量を与えるが、水深が大きく、かつ、波浪などの条件が厳しい海象においては、許容される値と考える。

このヤグラを使用する際のサンプリングは、ヤグラ本体の傾斜・動揺が少ないときに行うことが望ましいが、以上の計算値を根拠とすると、動揺傾斜角が 3° 以内であれば、少なくとも在来の鋼製櫓などを使用した場合と同等の品質（試料の乱れの程度）を得ることができると評価される。

6 大型水槽における水理模型実験による確認

6・1 実験方法

実験に用いた水槽は、風速、波の周期、波高あるいは潮流を、単独あるいは同時に変化させることが可能な海

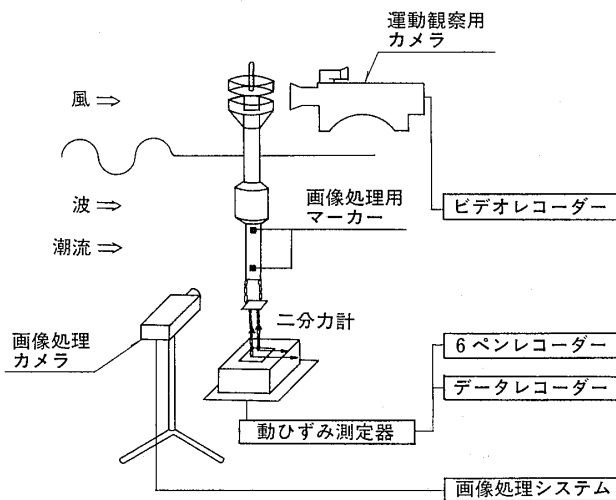


図-14 水槽実験における計測システム概要
Fig. 14 Measuring system of model experiment in the water tank

洋環境シミュレーション水槽で、その本体寸法は、長さ 60.2m 、幅 4.0m および高さ 5.4m である。

水理模型実験の条件はフルードの相似則にしたがって決定した。すなわち、長さの縮尺を α とすると、面積、重量、速度および時間の縮尺は、それぞれ、 α^2 、 α^3 、 $\alpha^{1/2}$ および $\alpha^{1/2}$ となる。

計測システムの概要を図-14に示す。運動中の動揺傾斜角は、画像処理用マーカーをビデオカメラで収録し、これをコンピューター処理して検出した。係留装置に作用する張力は動はずみを測定する。ビデオカメラによる運動観測は、水槽の側面のガラス越しに外力の作用方向の縦傾斜をみるものと、流れに対して直角方向の横揺れ

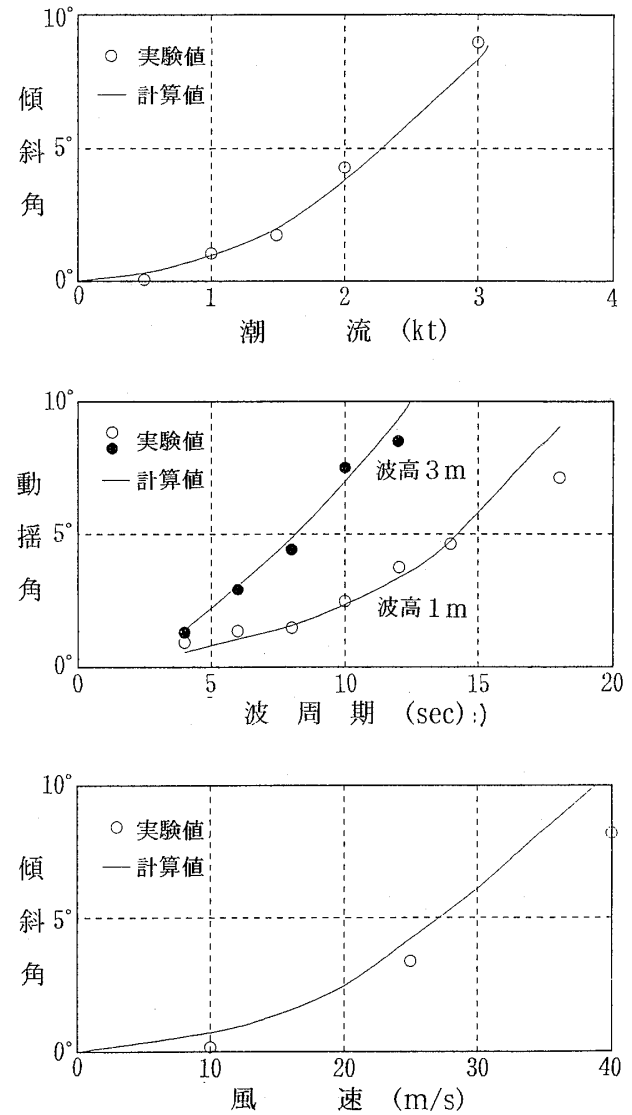


図-15 基本型ヤグラの傾斜角および動揺角の実験と数値解析の結果

Fig. 15 Results of experiment and numerical analysis of tilting and pitching angle of the basic type SBB

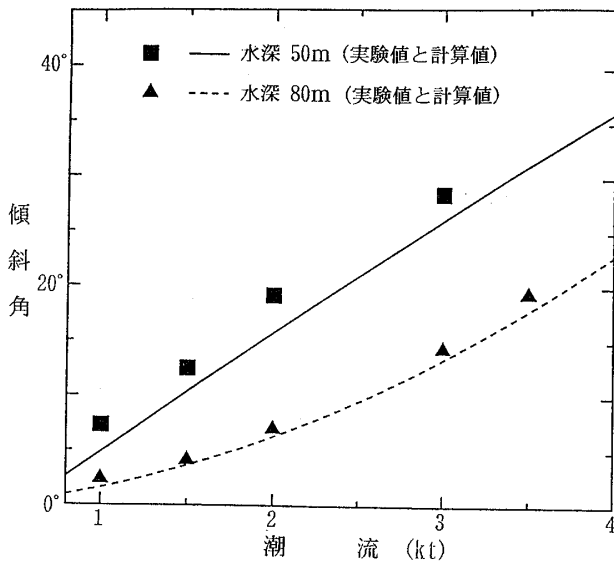


図-16 基本型ヤグラの傾斜角と潮流の関係
Fig. 16 Relations between current and tilting angle of the basic type SBBD

を調べるための上方からのものを配置した。また、ステージの動揺加速度は小型加速度計によって測定する。

6・2 実験結果

(1) 潮流および風に対する基本型ヤグラの傾斜角
浮力体の直径が3.2mの基本型ヤグラの水深が28mである場合について、潮流と傾斜角、波周期と動揺角および風速と傾斜角の関係を求めた結果は、図-15に示すとおりである。この図中には、数値解析の結果を実線で記入してあるが、数値解析の結果と模型実験の結果とは、きわめて良く合致している。

また、浮力体の直径が4.5mの基本型ヤグラの水深50mおよび80mの場合について、潮流とヤグラの傾斜角の関係を図-16に示す。図中には、数値解析の結果を実線および破線で示してあるが、よい一致を示している。

(2) 安定装置付帯型と基本型の比較

図-17は、水深18mの場合について、潮流と傾斜角、周期と動揺角および風速と傾斜角の関係を、安定装置付帯型と基本型とを比較して示したものである。潮流に対する傾斜角および波に対する動揺角は、安定装置の効果によって半減している。風に対する傾斜角は、安定装置付帯型と基本型とはほとんど同じで、風に対しては、安定装置が影響しないことがわかる。

7 ヤグラの概要

ヤグラには、水深が25m以上の海上で使用する基本型と、水深が16m~25mの海上で使用する安定装置付帯型

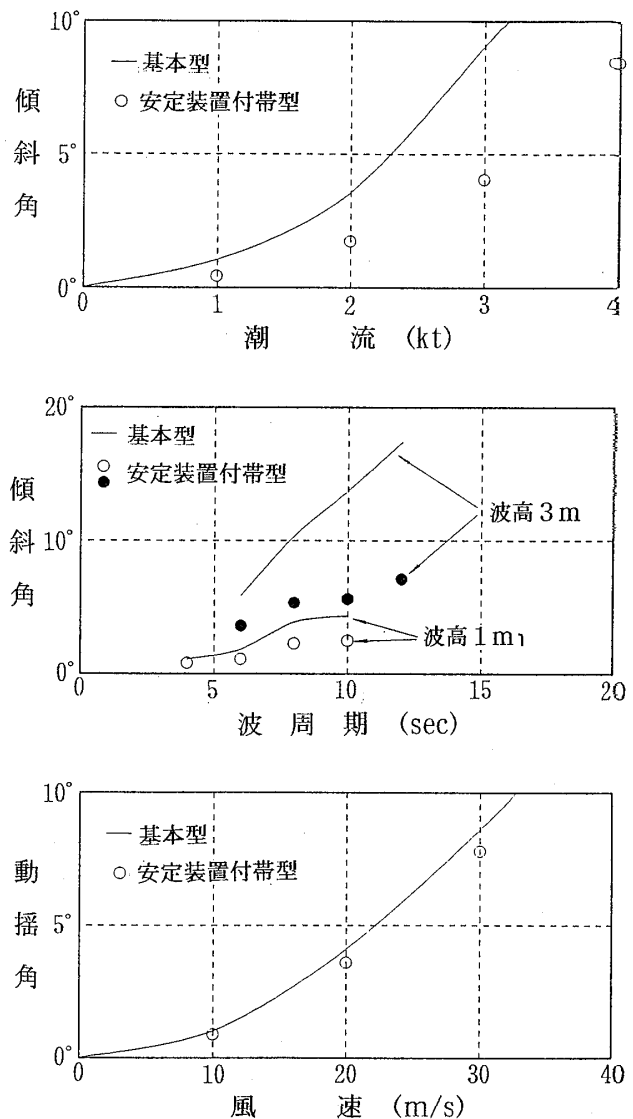


図-17 安定装置付帯型ヤグラと基本型ヤグラの傾斜角および動揺角の比較
Fig. 17 Comparison of SBBD with stabilizer with the basic type SBBD about tilting and piching angle

の2種類がある。

現在のところ、適用頻度が比較的多い海域のことを念頭に置いて、積載荷重などの重量によって、浮力体の直径が3.2mおよび4.5mのもの（ここでは、F3型およびF4型と呼ぶことにする）の2種類のヤグラを製作し、実務に供用中である。前者はボーリング掘進深度100m以下を目安にして使用する余裕浮力が約25tのヤグラであり、後者はボーリング掘進深度100m~300mを目安に使用する余裕浮力が約50tのヤグラである。

安定装置付帯型は、基本型のヤグラの本体下方にステーを装着したもので、主として、水深16m~25mの海上で使用するものであるが、水深が25m以上の場合で

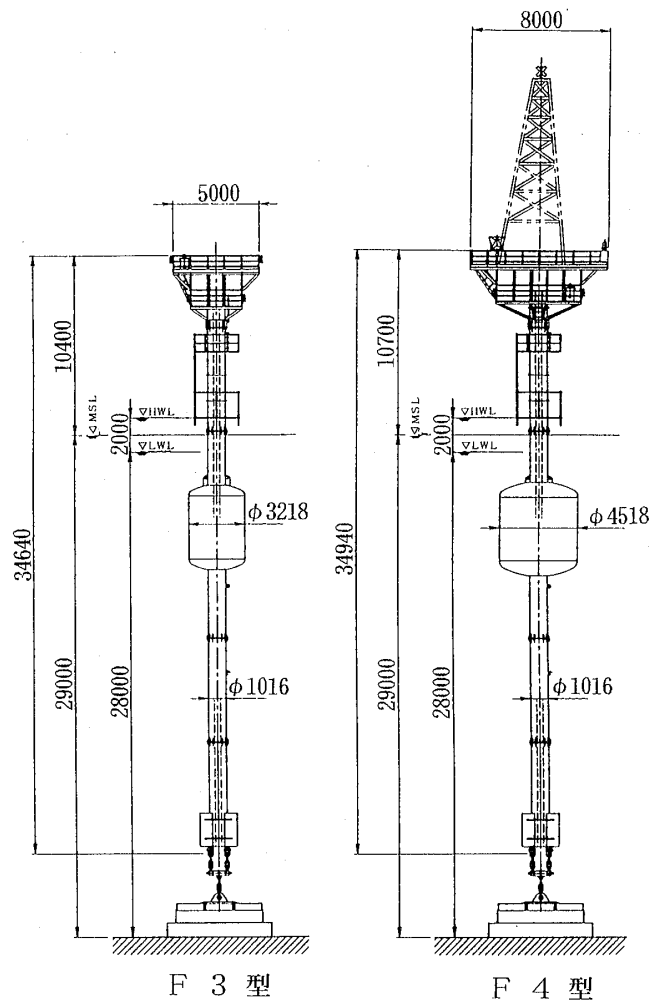


図-18 基本型ヤグラの構造概略図

Fig. 18 Illustration of construction design of the basic type SBB

も、動揺の状況によっては、その低減のために装着して使用することができる。

7・1 ヤグラの構造

ヤグラは、ステージ、ハシゴ、浮力体、センターパイプ、係留装置およびシンカーの6つのユニットから構成される(図-1および図-3参照)。

なお、図-18は、F 3型およびF 4型の基本型ヤグラの構造概要図であり、また、図-19は、水深が15mおよび22.5mである場合の安定装置付帯型ヤグラの構造概要図である。

つぎに各ユニットの仕様および概要を述べる。

(1) ステージ

ステージは、ボーリング作業などを行うために、ヤグラ頂部に設けた作業空間(架台)である。上下2段の構造で、上段には、試錐機などのボーリング用主要機械設備と使用資材を、下段には、主としてボーリング掘進用泥水タンクなどを搭載する。

浮力体頂部は可能な限り軽量の方が、運動性能強化やヤグラの規模の小型化につながるため、経済性や取扱い簡便化などの点から有利である。したがって、ステージの部材の多くは、鋼材の半分以下の重量となるアルミニウム合金の部材を採用している。

ステージの広さは、ボーリング作業のために必要とする最低限のスペースを確保するようにした。

F 3型ヤグラにおいては、

上段………5,000mm×5,000mm,

下段………3,000mm×3,000mm,

F 4型ヤグラにおいては、

上段………8,000mm×8,000mm,

下段………5,000mm×5,000mm,

となっている(図-20参照)。

ボーリングの掘進深度や水深が増大すると、使用する機械設備が大型になり、かつ、ケーシングパイプやロッドなどの数量も多大となるので、総体的な積載機械資材の重量が増加する。そのため、掘進深度100m程度(ボー

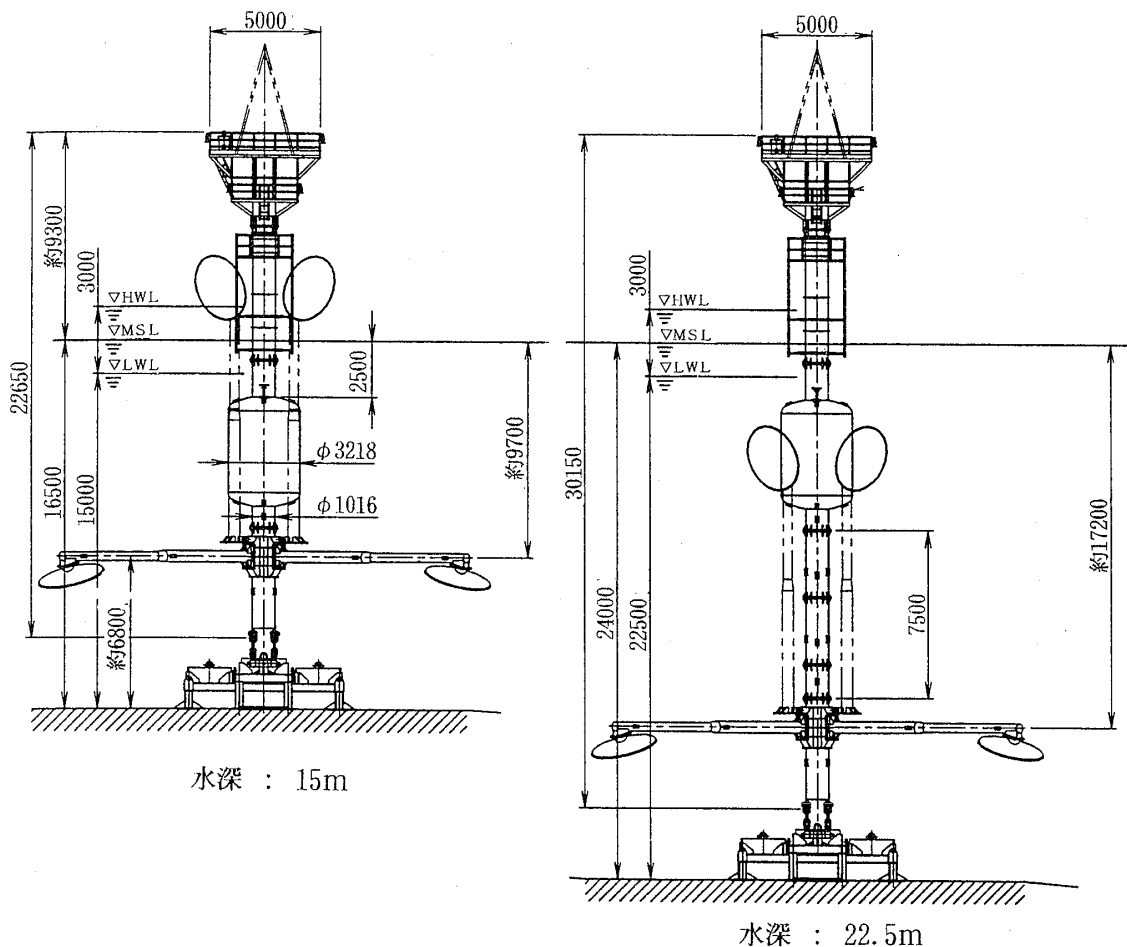


図-19 安定装置付帯型ヤグラの構造概略図

Fig. 19 Illustration of construction design of SBBD with stabilizer

リング内容や水深により多少変化する)を適用上の目安にして、浮力体の大きさを替えて、使い分けることにして設計製作した。

(2) ハシゴ、浮力体およびセンターパイプ

ハシゴ、浮力体およびセンターパイプから構成され、一体化されている部分は、通常、ヤグラ本体と称されている。その上端は、ステージとフランジ式でボルト接合するようになっており、下端は係留装置とシャックルで接続されるようになっている。

水面上のセンターパイプには、踊り場と梯子が付いており、作業員が船から乗り移り、ステージへの昇降、ステージの接合・切り離しなどの作業用として利用し、安全を確保するようになっている(図-21参照)。

F 3型の浮力体は、直径3,218mm、高さ4,884mmの円筒状であり、長さ7,500mm~12,000mmのセンターパイプの途中に接続されている。

F 4型の浮力体は、直径4,518mm、高さ5,425mmの円筒状で、F 3型の約2倍の浮力を有している。

浮力体の内部には、浮力材料としてポリウレタン

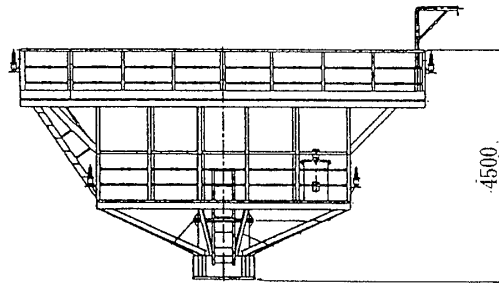
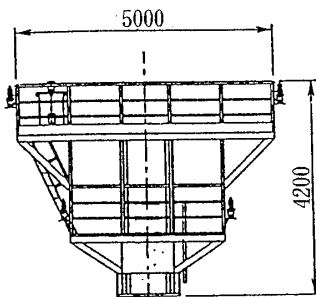
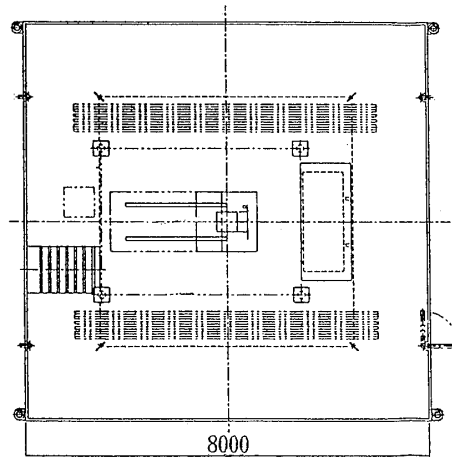
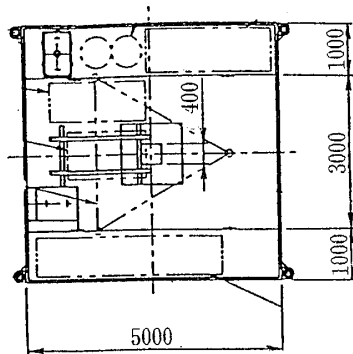
フォームを充填してあり、万一、外皮鋼板が破損するようなことがあっても、水の浸入防止を施してあるので、性能が低減するようなことはない(図-22参照)。

センターパイプは、外管と内管によって構成されており、外管径が1,016mm、内管径が355.6mmで、外管と内管の間は、2重管構造の水密中空であり、浮力体としての効用をもたせてある。センターパイプの1本当たりの長さは、6,000mm、3,000mmおよび1,500mmの3種(図-23参照)であり、それらのパイプの接続の仕方によって、水深に応じて、ヤグラ本体の高さを調整することができる。センターパイプはフランジ式で、1個所当たり24本のボルトで上下に接合できる。

ボーリングを実施するときは、ケーシングパイプ、ボーリングロッドおよびコアチューブ(サンプラー)などを、このセンターパイプの中を通して海底地盤に到達させて行くことになる。

下端部の係留環付きセンターパイプには、係留装置を接続するため2つの係留環が取り付けられている。また、十字に取り付けられているダンパーは、潮流が大きくなっ

材質：アルミニウム合金
構造：軽量溶接構造体

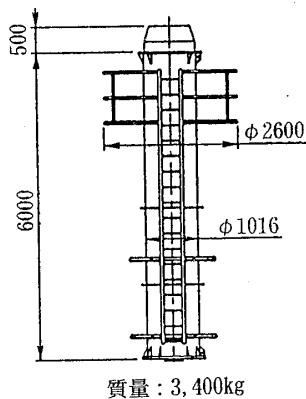


F 3 型
質量：2,200kg
積載荷重：5,000kg

F 4 型
質量：4,300kg
積載荷重：14,000kg

図-20 ステージの構造概略図

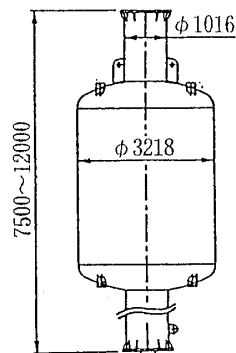
Fig. 20 Illustration of construction design of the stage



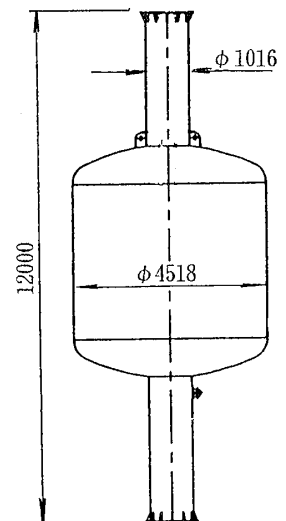
質量：3,400kg

図-21 ハシゴ付きセンターパイプの構造概略図

Fig. 21 Illustration of construction design of the center-pipe with ladder



F 3 型
質量：11,000kg
浮力：42,300kg



F 4 型
質量：19,800kg
浮力：84,000kg

図-22 浮力体の構造概略図

Fig. 22 Illustration of construction design of the center-pipe with buoyancy chamber

た場合に生じるヤグラ本体の横揺れを、安定させるためのものである (図-24参照)。

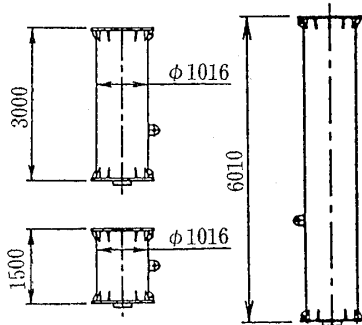
ヤグラ本体に使用される鋼材は、一般構造用圧延鋼材 (SS400, STK400, STK500) で、溶接構造体となっている。

(3) 係留装置

係留装置は、ヤグラ本体とシンカーを連結し、ヤグラ (ステージとヤグラ本体) に作用する力を係留力としてシンカーに伝える役目をしている。係留装置の形式は、クロスパラレルチェーン方式と呼ばれるもので、正方形の中間リングを介して、上下それぞれ2本 (3リンク) ずつのオープンリンクチェーンおよびシャックルと連結しており、ヒンジ構造となっている。

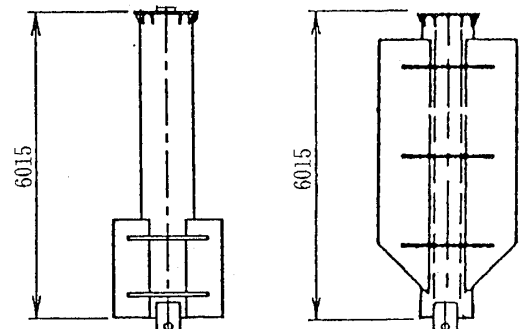
ケーシングパイプやボーリングロッドは、係留リングの中を貫通することになる (図-25参照)。

中間リングの上下2本ずつのチェーンは、相直交する



長さ (mm)	質量 (kg)	浮力 (kg)
6,010	2,900	4,200
3,000	1,600	2,100
1,500	1,200	1,000

図-23 センターパイプの構造概略図
Fig. 23 Illustration of construction design of the center-pipe



F 3 型
質量: 4,600kg
浮力: 4,300kg

F 4 型
質量: 7,300kg
浮力: 4,300kg

図-24 係留環付きセンターパイプの構造概略図
Fig. 24 Illustration of construction design of the center-pipe with mooring ring

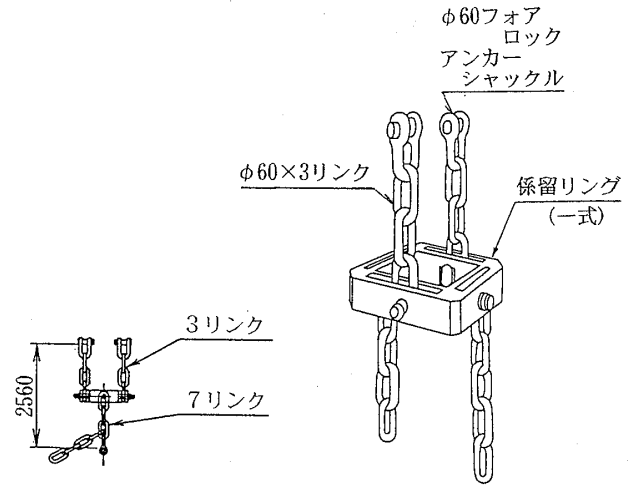


図-25 チェーンおよび係留リングの構造概略図
Fig. 25 Illustration of construction design of the chain and mooring ring

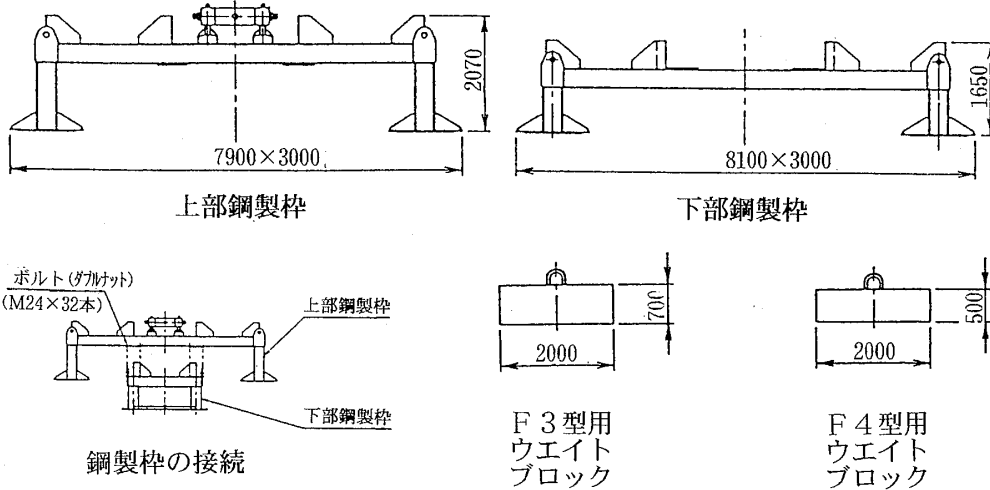


図-26 シンカーの構造概略図
Fig. 26 Illustration of construction design of the sinker

位置で連結してある。ヤグラ本体の運動は、この係留装置を支点にすることになる。そのチェーンは緊張係留となっており、弛みが発生しない構造である。

材質は、一般構造用圧延鋼材（S S 400, S B C 500）であり、構造は、クロスパラレルチェーン方式を採用している。

(4) シンカー

シンカーは、ヤグラ本体を海中に引き込むための重錘である。

運搬や仮設作業が簡便に行えるように、鋼製枠にウェイトブロックを組み込む構造にしてあり、各ユニットは11,000kg以下である。鋼製枠は、上下に十字に重ねてボルトで接続するもので、4個所にウェイトブロックを組み込むようになっている。これらの総質量は、F 3型では約70,000kg（水中質量は約45,000kg）、F 4型では約

120,000~220,000kg（水中質量約100,000~190,000kg）である（図-26参照）。

シンカーが地盤に接地した際に、調査地点の地盤を乱さないように、また、局所的な不陸にも対応できるように、シンカー底面下には、面積5,000mm×5,000mm、高さ800mmの空間が設けられている。

地盤に作用する接地荷重 q は、たとえば、F 3型の場合で、水深30m、シンカーの水中重量 $ws'=45.0\text{tf}$ 、係留張力 $T=22.5\text{tf}$ 、底板は $1.5\text{m}\times 3.0\text{m}\times 4$ 枚、面積 $A_s=18.0\text{m}^2$ のとき、

$$q = (45.0 - 22.5) / 18 = 1.25\text{tf/m}^2$$

となる。必要接地圧は、ヤグラ本体の浮力、外力、底質および海底の傾斜などの条件によって変化するが、ウェイトブロックの重量は適宜加減することが可能である。また、底板を付け替えたり、底板の下面に洗掘または滑動などの対策のために、スタッドを付けたりする場合などもある。

鋼製枠には、一般構造用鋼材（S S 400）を使用している。また、F 3型用のウェイトブロックは、鉄筋コンクリートとし、F 4型用は、鋼材を用いている。

(5) 姿勢安定装置

基本型ヤグラにおいては、波周期に対してヤグラの固有周期が相対的に小さくなるような水深の浅い海域（25m以浅）では、波や風の度合（安全管理上の作業条件は波高1m以下、風速10m/s以下である）が大きくなるにつれて、ヤグラ本体の傾きや揺れが大きくなる。したがって、このような状況の際には、姿勢安定装置を基本型に付加することによって、安定性能を向上させることができる。この装置の構造は、足場本体の途中において、四方に4本のステーを固定して取付けたもので、ステー

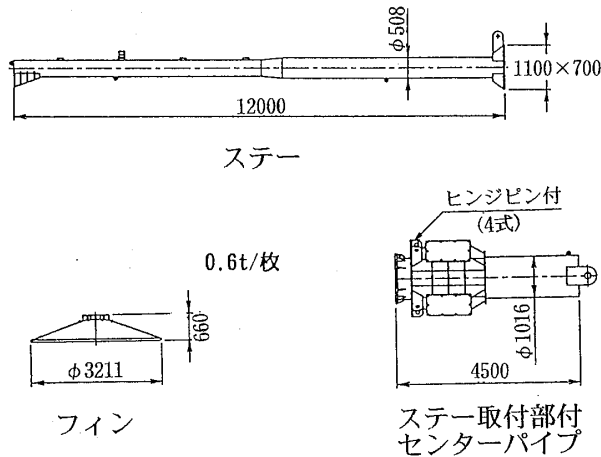


図-27 姿勢安定装置の構造概略図
Fig. 27 Illustration of construction design of the stabilizer

表-9 塗装の仕様
Table. 9 Specification of the paint

(a) アルミ部 (ステージ)

		塗 装 材	塗回数	乾燥膜厚
下塗	全 面	エポキシ樹脂系塗料	1	30 μ /回
上塗	吃水上	ポリウレタン樹脂系塗料	2	30 μ /回
	内 面	ポリウレタン樹脂系塗料	2	30 μ /回

(b) 鋼部 (足場本体、係留装置および姿勢安定装置)

		塗 装 材	塗回数	乾燥膜厚
下塗	全 面	塩化ゴム系塗料	2	65 μ /回
上塗	吃水上	塩化ゴム系塗料	2	35 μ /回
	吃水下	研磨性防汚塗料	1	100 μ /回
	内 面	塩化ゴム系塗料	2	35 μ /回

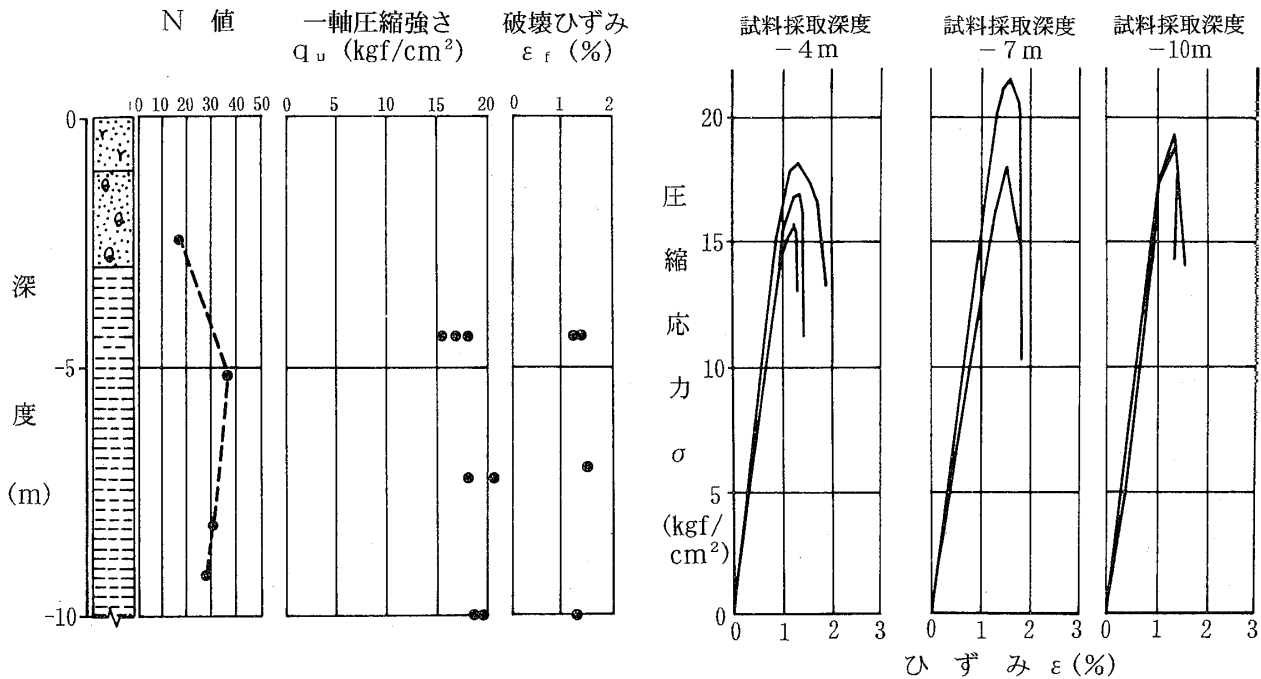


図-28 ボーリング結果と一軸圧縮試験の結果

Fig. 28 Boring results and unconfined compressive strength tests results on undisturbed samples conducted on the basic type SBB

の先端にはいずれもフィンが付けられている。

材質は、一般構造用圧延鋼材（S S 400, S T K 400）で、溶接構造体となっている（図-27参照）。

(6) 塗装

塗装は、表-9に示す仕様によって行った。

7・2 海域における実験

7・2・1 基本型ヤグラの第1回実験

試作したヤグラの海域における最初の実験は、その性能を確認する目的で、1989年12月18日から27日までの間に、千葉県富津市金谷沖約1.0km、水深28.5mの海上で実施した。

気象・海象の観測、ヤグラ本体の運動（動揺角、傾斜角、加速度、係留装置およびケーシングパイプの水中ビデオ観察など）ならびに係留張力などの計測を行うとともに、ステージ上に積載したボーリング装置によって、実際にボーリング作業を行い、乱さない試料のサンプリング、標準貫入試験および孔内水平載荷試験を行った。また、この実験に参加した人に対して、乗り物酔いに関するアンケート調査も行った。

図-28に、ボーリング結果およびサンプリングした粘性土試料の一軸圧縮試験の結果を示す。サンプルの乱れの有無は、肉眼的に認められず、応力-ひずみ曲線はシャープな形状を示し、また、破壊ひずみも1.5%以下となっていることから、乱れない試料が得られていると

判断することができた。

ヤグラ上で、常時、ボーリングなどの作業をした人は5名であったが、作業中に動揺病的な不快感を訴えた人はいなかった。なお、アンケートの結果によれば、作業期間中にヤグラに登って作業をした15人のうち、7割の人は、普段と変わらない生活ができるとしている。ただし、ヤグラの運動特性のうち、ねじれ運動によって足を取られることがあったとの記述があった。したがって、実験終了後、センターパイプ下端の十字ダンパーの寸法を長さ1,000mm×幅500mmから長さ1,900mm×幅1,000mmに変更する改良を行い、このねじれ運動の軽減をはかった。

7・2・2 基本型ヤグラの第2回実験

第2回目の実験は、横浜市豊浦町地先の水深27.5mの海域で、既存の鋼製櫓を使用してサンプリングした地点を挟んで10m離れた2地点において、1990年10月3日から18日までの間に、運輸省の実海域実験場提供システム制度を利用して行ったものである。

この実験は、ヤグラ上からボーリングを行い、その孔内で固定ピストン式シンウォールサンプラーによって採取した試料の品質を評価するためのもので、その試料の品質が従来工法の代表である鋼製櫓を用いて採取した試料の品質と比較して、同等かどうかを判定することになった。評価方法は、室内土質試験によることにした。

(1) ボーリング

表-10 サンプルング時における基本型ヤグラの動揺傾斜角
Table 10 Pitching tilting angle of the basic type SBBD during the sampling operation

シンウォール サンプルング 番号	月 日	時 刻	足場本体の動揺傾斜角 (度)			
			S⇔N	W⇔E	SE⇔NW	SW⇔NE
T-1-1	10/ 3	14 : 30	0.46	1.13	2.65	1.73
T-1-2		16 : 30	1.40	1.72	2.40	1.85
T-1-3	10/ 4	10 : 30	1.27	1.86	1.81	1.14
T-1-4	10/ 5	10 : 30	1.10	1.28	1.83	1.04
T-1-5	10/11	10 : 30	0.02	0.02	0.01	0.02
T-1-6		11 : 30	0.03	0.03	0.04	0.02
T-1-7		14 : 30	0.03	0.02	0.02	0.02
T-1-8	10/12	9 : 30	0.05	0.05	0.05	0.04
T-1-9		10 : 40	0.03	0.03	0.03	0.02
T-2-1	10/15	9 : 15	0.89	0.79	1.45	1.19
T-2-2		10 : 00	1.97	2.22	1.65	1.65
T-2-3		10 : 50	0.78	1.56	1.35	1.70
T-2-4		11 : 30	1.37	2.14	1.89	1.43
T-2-5	10/16	11 : 15	0.11	0.13	0.11	0.08
T-2-6	10/18	11 : 15	0.18	0.41	0.18	0.22
T-2-7		13 : 30	0.09	0.12	0.14	0.13
T-2-8		14 : 30	0.11	0.12	0.15	0.17

ボーリング機械は、ロータリー式 hidroリック
フィードタイプのYSO-1型(吉田鉄工所製、掘進能
力200m)を使用した。掘進には、φ150mmのケーシ
ングパイプを内径φ343mmのヤグラのセンターパイプ内
に建て込み、φ86mmのコアチューブを用いて行った。

(2) サンプルング

サンプルング方法は、固定ピストン式シンウォールサ
ンプルングで、ステンレス製のφ75mmのサンプルング
チューブを用いた。サンプラーの押し込みは、ボーリ
ング機械の油圧式スピンドルを使用し、スピンドル動程は
1チャック50cmとし、原則として、押し込み長は80cm
とした。

各深度のサンプルング時における気象・海象の測定結
果およびヤングラの動揺傾斜角は、表-10に示すとおり
である。

(3) 室内土質試験

No.1号孔の試料の試験は、応用地質株式会社が行い、
No.2号孔の試料の試験は、運輸省第二港湾建設局横浜
調査設計事務所と運輸省港湾技術研究所が行った。

採取試料の品質の比較は、その周辺の土質性状の類似
した鋼製櫓を使用したサンプルングのデータも加えて
行った。採取深度ごとの一軸圧縮試験および物理試験の
結果を、一括して図示すると、図-29のようになる。

(a) 物理特性の比較

C₃層においては、粒度組成の変化が深度方向および横
方向について見られるが、大局的には比較的变化が少な
い層といえる。C₁層およびC₂層においては、深度方向
に変化に富んでいる。地層の層相変化については、粒度
組成の深度分布から見ても明瞭であった。

(b) 力学特性の比較

No.1号孔およびNo.2号孔の一軸圧縮強さは、図-29
によって明らかのように、鋼製櫓によるNo.31号孔およ
び実験地点近傍に位置するNo.28号孔、No.29号孔、
No.30号孔およびNo.32号孔のデータの分布範囲内に分
布している。

さらに、図-29の右側に示した応力-ひずみ曲線にお
いて、No.31号孔においても、No.1号孔およびNo.2号
孔のいずれにおいても、粘性土層(C₂)の存在する深度

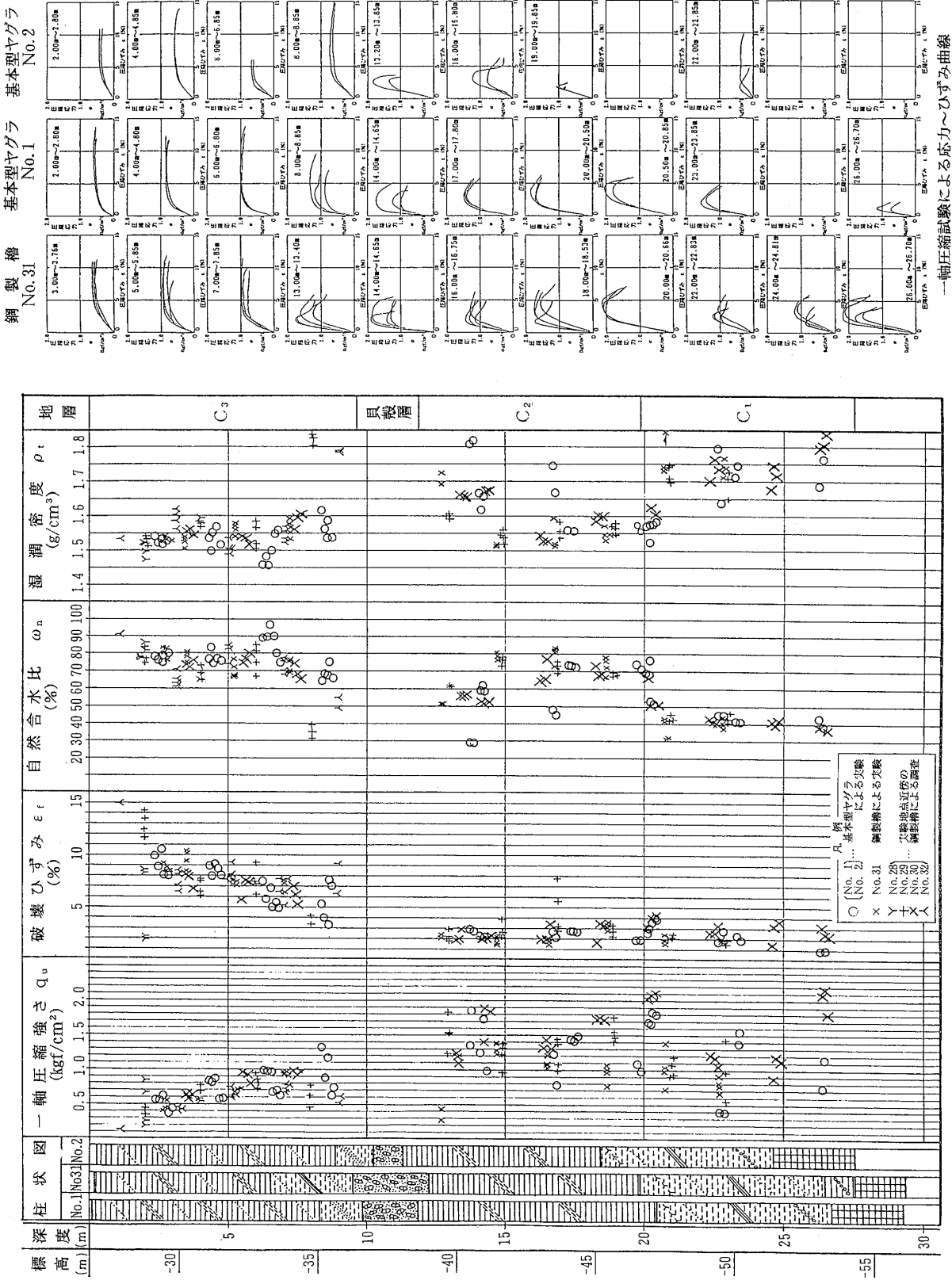
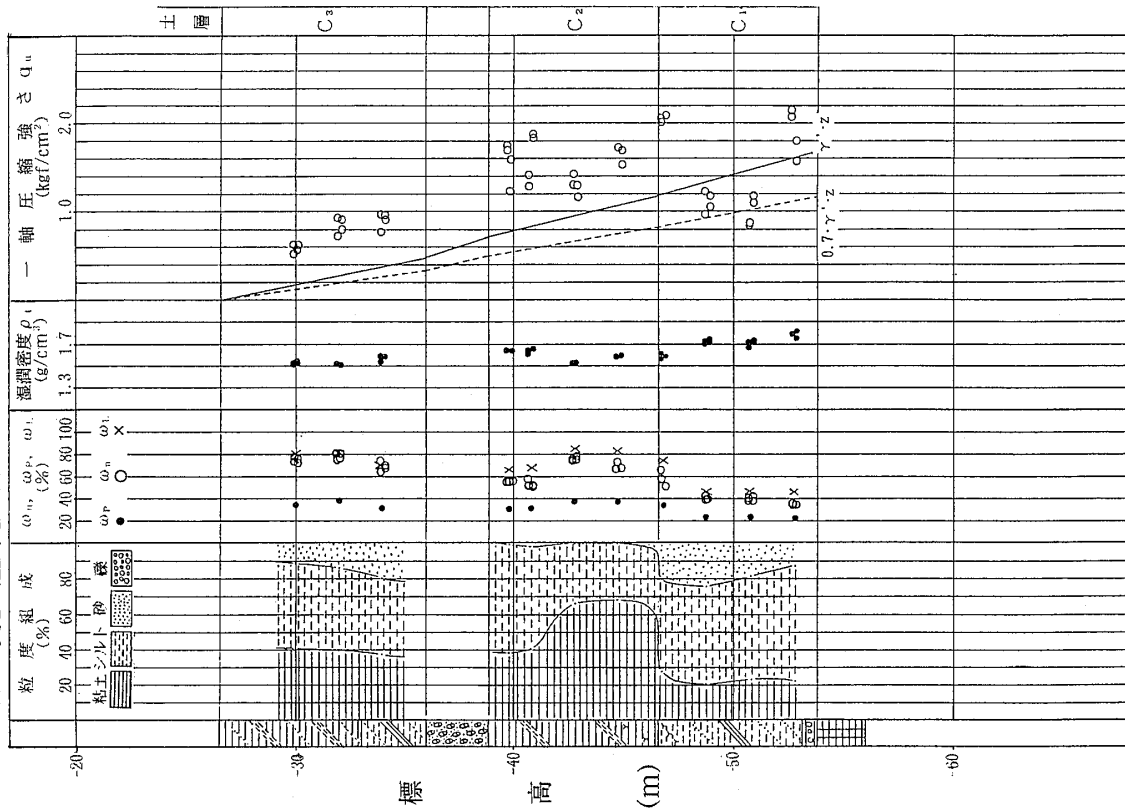


図-29 採取試料の土質試験結果の深度分布
 Fig. 29 Distribution along depth of laboratory test of soil sampled on the basic type SBD

一軸圧縮試験による応力-ひずみ曲線

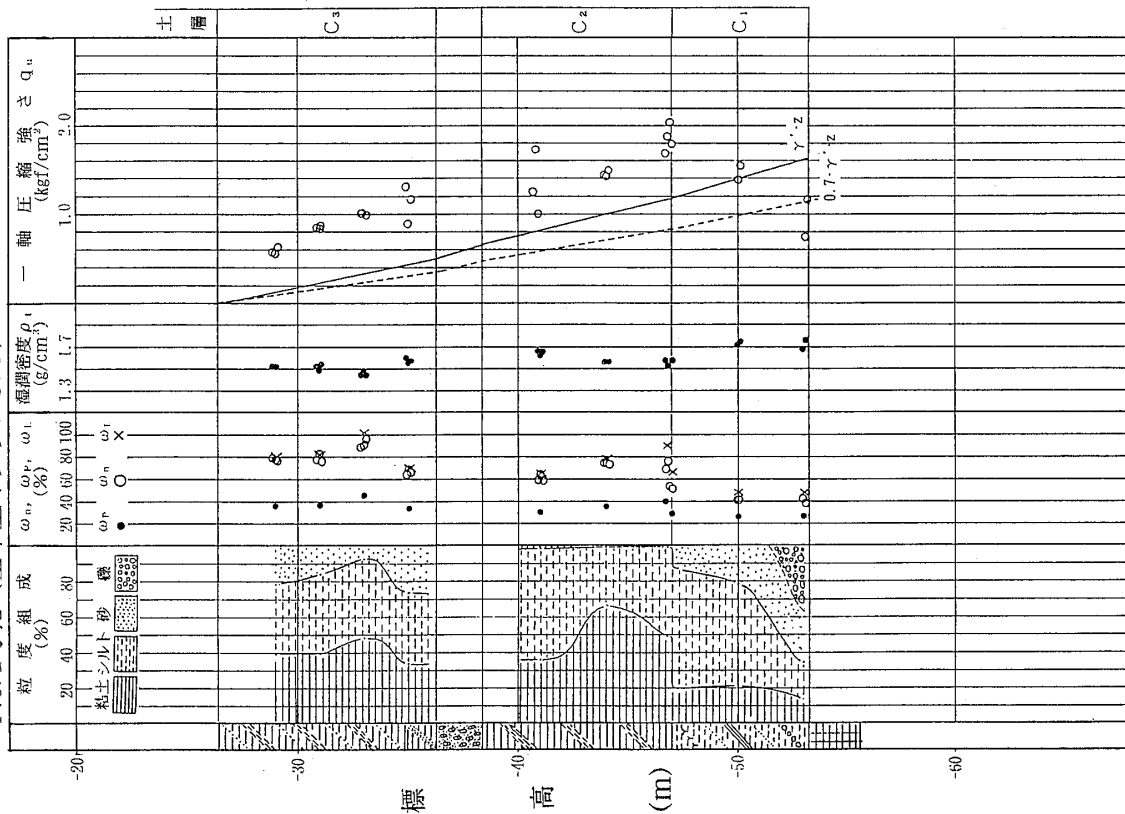
No.2号孔 (基本型ヤガラによる)



ω_n : 自然含水比 ω_p : 塑性限界 ω_l : 液性限界

図-30(b) No.2号孔の土質試験結果の深度分布
Fig. 30(b) Distribution along depth of laboratory test at No. 2 borehole conducted on the basic type SBBD

No.1号孔 (基本型ヤガラによる)



ω_n : 自然含水比 ω_p : 塑性限界 ω_l : 液性限界

図-30(a) No.1号孔の土質試験結果の深度分布
Fig. 30(a) Distribution along depth of laboratory test at No. 1 borehole conducted on the basic type SBBD

No. 31号孔 (鋼製槽による)

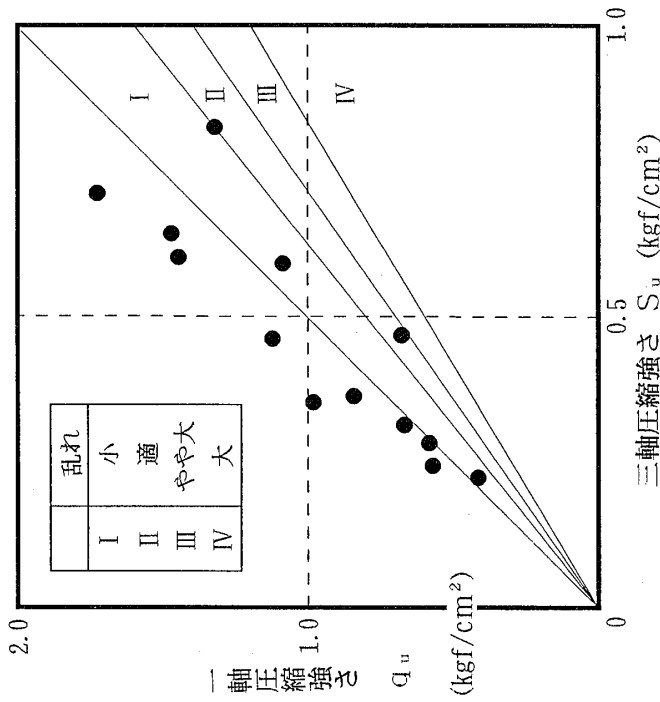
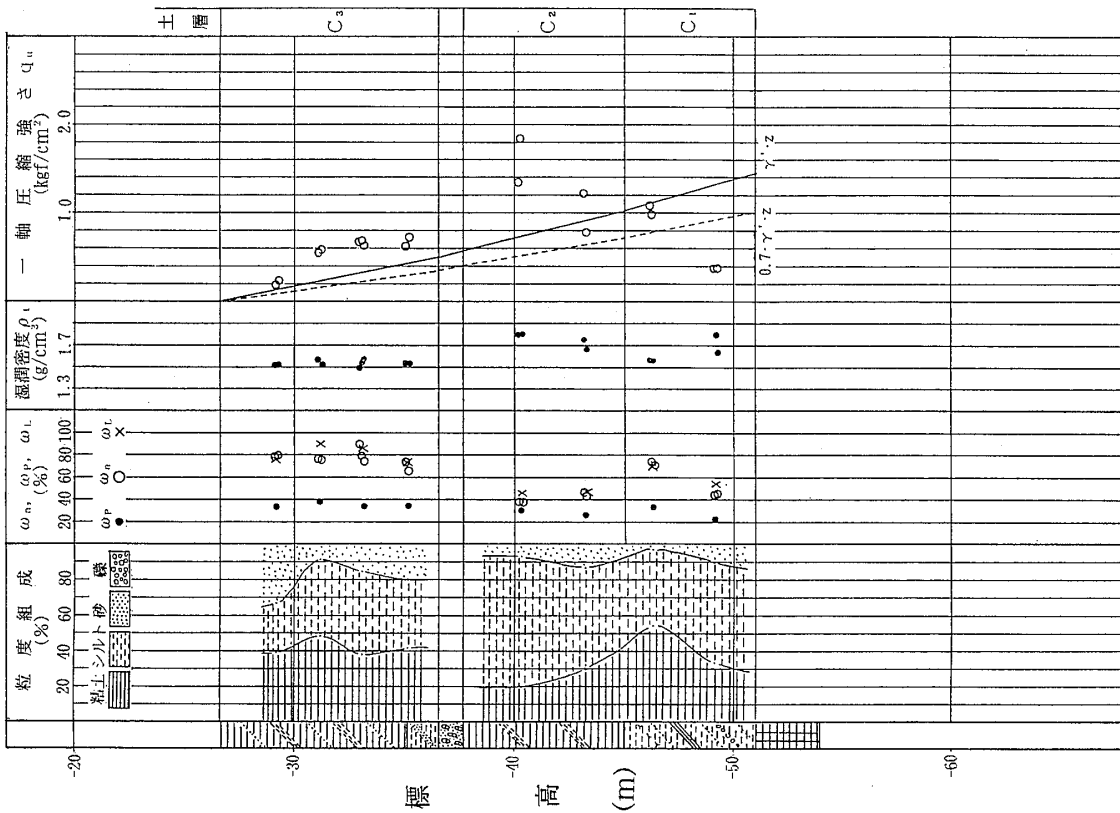


図-31 採取試験の品質
Fig. 31 Quality of samples conducted on the basic type SBBB

図-30(c) No. 31号孔の土質試験結果の深度分布
Fig. 30(c) Distribution along depth of laboratory test at No. 31 borehole conducted on the steel frame tower

8～9 m 以浅では、横軸方向に長く伸びた形状を呈しており、それ以深の曲線の形とは、かなり異なっている。この粘性土層 (C₃) でひずみが伸びている原因は明らか

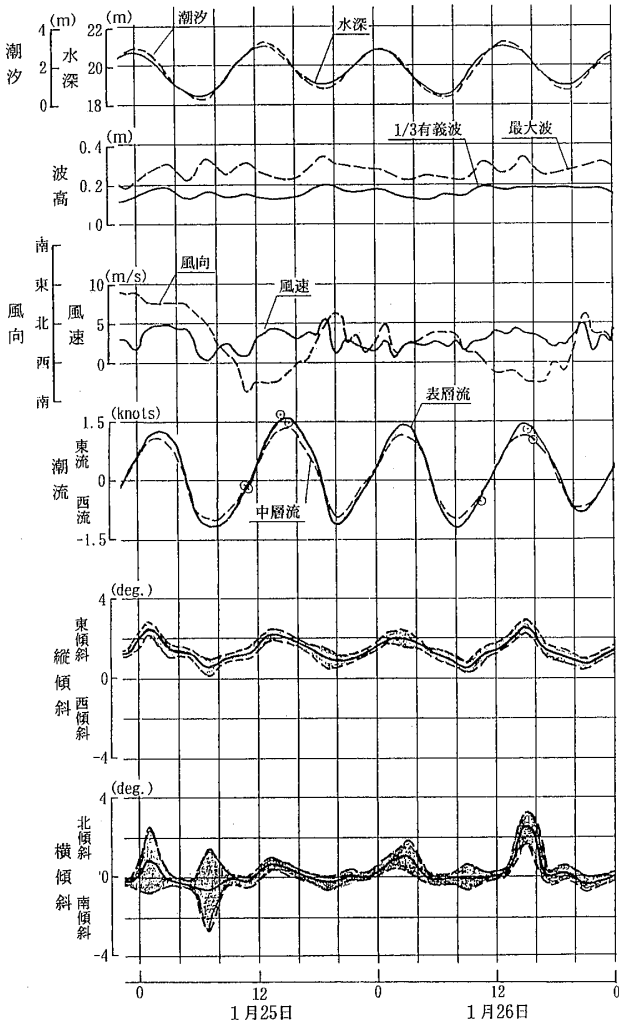


図-32 強潮流時における安定装置付帯型ヤグラの運動計測の結果
 FIG. 32 Results of motion measurement under strong current field conditions conducted on SBBB with stabilizer

ではないが、横浜市豊浦町地先の現存の土質にみられる特有のものと思われる。いずれにしても、鋼製櫓と基本型ヤグラの違いによる応力-ひずみ曲線の形状は、C₁、C₂およびC₃の各層では、極めて類似しており、有意な差異は認められない。

No.1号孔、No.2号孔およびNo.31号孔それぞれの物理特性と一軸圧縮強さの深度分布を図-30に示す。図中の実線は土被り荷重 $P_0 (= \gamma' z)$ を表し、破線は正規圧密 ($c/p = 0.35$ と仮定) の場合の一軸圧縮強さを表している。これらの図によれば、試験結果はいずれも破線より大きく、当該地点に分布する粘性土は過圧密であると判定される。

実験地点の土質性状は、やや不均質なこともあって、大局的には同一の土層でも、微妙なバラツキがある。そこで、基本型ヤグラを使用して採取した同一のサンプルチューブ内の供試体を用いて、一軸圧縮強さ q_u と三軸圧縮強さ $S_u (= (\sigma_1 - \sigma_3) / 2)$ とを比較すると、図-31に示すようになる。これによると、試料による乱れは小さく、基本型ヤグラの使用に問題のないことがわかった。

7・2・3 安定装置付帯型ヤグラの実験

1993年1月22日から2月9日までの間、瀬戸内海児島湾沖合の潮流が速い海域において、安定装置付帯型ヤグラの性能を確認することを目的として、実験を行った。図-32は、1月25日および26日の大潮の時の気象・海象状態とヤグラの運動(動揺角、傾斜角)を示したものである。この間の潮流の最大流速は2 ktで、ヤグラの傾斜角は最大3.0°、動揺角は±0.6°であった。

ヤグラ上では、ボーリング、サンプリングおよび孔内試験を実施した。さらに、採取した土質試料の品質チェックも行った。その結果については、流れが2 kt程度の海域における事例がないので、厳密なことはいえないが、静穏海域でのデータと比較して、同程度の品質の

表-11 調査期間中に襲来した台風
 Table. 11 Recorded typhoons during the period of field works in the sea

台風名	影響月日 (平成3年)	台風の規模		海域の気象・海象	
		中心気圧 (mb)	最大風速 (m/s)	風速 (m/s)	波高 (m)
12号	8月19日～25日	965	30	25以上	3～4
17号	9月13日～14日	955	40	25以上	2～3
18号	9月16日～20日	985	35	15以上	4～6
19号	9月21日～28日	935	50	30以上	4～7
21号	10月8日～14日	930	50	25以上	4～7

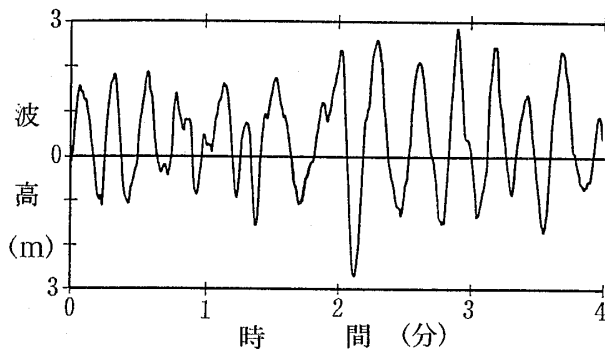


図-33 台風の影響期間中に記録した波高のデータ
(1991年10月11日8時25分から29分まで)

FIG. 33 Recorded data of waves under big typhoon
(11th 10/1991 from AM 8:25 to AM 8:29)

データを得ることができたといえる。

7・2・4 台風時におけるヤグラの挙動

1991年に、鹿児島県奄美郡名瀬市西方海上におい基本型ヤグラによって調査を実施していたところ、表-11に示すように、工期中に12号から21号までの5度にわたる台風の襲来を受けた。

図-33は、台風21号の時の波高記録の一部である。波高の振幅は最大で5mに達していたが、陸上からビデオカメラで確認したところ、ブイ本体の動揺傾斜角は 6° ~ 8° であった。また、海底地盤がサンゴの混じる砂礫~砂であったので、シンカーの移動が懸念された。しかし、台風前および後の測量によって、ヤグラは全く移動していないことが確認された。また、ボーリング孔のずれも認められなかった。

従来の海上足場櫓の場合には、台風襲来ごとに安全管理のために、櫓自体を港内等へ一時退避させる必要がある。台風襲来のたびに退避するための船舶の手配をし、さらに、時化ぎみの気象のもとで、海上で撤去・避難の仮設作業を行わねばならない。

このボーリング調査においては、台風によって待機せざるを得なかった日数は、全工程の3分の1に達した。しかし、このヤグラは、海上に放置したまま作業を待機することができ、その間、ヤグラならびに積載していた機資材には、なんらの損失も異常も生じることもなく、予定の工程内にサンプリングを含むボーリング調査を完了することができた。

8 ヤグラの特徴

(1) 適用海域

このヤグラは、水深、潮流、波浪などの海象条件に適合した形状や規模の浮力体を設備すれば、理論的には、

どのような条件の海域においても適用可能である。

(a) 従来の鋼製櫓などの適用が可能であった水深や潮流の海域では、全く問題なく理想的に使用できる。

(b) 従来の櫓では適用が困難であるような水深、海象、海域環境条件においても使用できる。たとえば、鋼製櫓の適用限界と考えられている水深45m以上の海域や、波浪、潮流などの条件がより厳しい海域では、とくに有利である。

(2) 適用水深範囲

このヤグラの原理は、水深が深くなるほど波浪に対して揺れにくいことである。

現在所有している基本型ヤグラは、これまでの実際の業務において必要となった水深を基準として設計したもので、基本型は、水深25m以上、最大70mまで適用可能である。その際の潮流の最大流速は、F3型では2ktまで、F4型では4ktまでは、特別の補助手段を講ずることなく使用可能である。なお、水深が70m以上になっても、波高6m以下、風速40m/s以下、潮流2kt以下であれば適用可能である。

一方、安定装置付帯型は、水深16m以上、水深25m以下の海域で使用するように設計されている。水深25m以上の海域でも、安定装置を付けた方が、基本型よりも安定性が向上する。しかし、波高や潮流が大きくなると、ステーの大きさや強度を大きくする必要があり、一般的には、基本型は水深が深くなるほど安定性が向上するために、特殊な条件を有する海域でなければ、安定装置を付加する必要はない。

(3) 使用時の条件

風、波、潮流などの外力に対し、下記に示すような厳しい制約条件下においても、ヤグラを放置しておくことが可能であり、ボーリングの実施においても、通常のボーリング機資材を使用することができ、特別のボーリング工法や技術などは不要である。

(a) 船舶などへの影響

このヤグラは、アンカーワイヤーを展張するような構造でないため、占有海域が小さくて済み、航行船舶などに与える影響が小さい。使用中においても、漁場および海事などに対する安全性が高い。とくに、航路やその近接海域では、ボーリング作業の占有海域面積を10m×10mに限定して実施した例もある。

(b) 異常気象時の措置

最大波高7.5m、最大風速40m/s(水深30m、潮流2kt)までは、ボーリング機資材を搭載したまま放

置ることが可能である。上記の条件以上の異常な海域条件の場合でも、ヤグラ本体からステージのみを切り離して撤去すればよく、風速40m/s程度の台風襲来時においても、ヤグラ本体の退避は不要である。この場合にも、部材の構造強度は十分な安全性を有する。

(c) 海底地盤

海底地形の変化(凹凸、傾斜斜25°程度)があっても使用可能である。

ヤグラ本体の浮力に対して、シンカーの余裕重量の調整が可能である。必要に応じた接地荷重の低減、流れの速い海域や波浪の大きい海域で安全性を増すための接地荷重の増大など、条件に合わせた設定が可能である。

(4) 作業法

在来の鋼製櫓の場合と比較するとき、起重機船などの使用船舶は、より小型のものでも施工が可能である。

運搬・組立・設置・移設・解体などの準備・仮設作業が省力化でき、経済的である。

(5) 安定性

アンカーワイヤーなどを展張して固定するような浮上式櫓と異なり、索長が短く、浮力体は水中に完全に引き込まれ、外力に抗して自立するしくみであり、緊張係留するに十分な浮力をもたせてある。したがって、上下の動揺は全くなく、かつ、係留点を回転中心とした動揺は極めて小さいので、ボーリングなどの作業をする上で十分な安定性が保持される。

(6) 確実性

ボーリング地点の地盤を乱さずに、確実なサンプリングが可能である。

(a) 接地部

シンカーは、ボーリング地点の地盤を乱さないように、十分な空間を有する、浮力を利用したヤグラであるので、地盤にかかる荷重も在来の重力式の足場櫓に比較すると小さい。

(b) このヤグラを使用して採取した乱さない試料の品質

鋼製櫓を使用して採取した試料との比較を行った結果、一軸圧縮試験における応力～ひずみ曲線による乱れの判定結果などによって、品質は同等であることが実証されている。

(c) サンプリングに支障をきたす上下動がないこと

ヤグラ本体は緊張係留されており、かつ、ボーリング用のパイプ類は、センターパイプの軸芯を通るので、コアチューブやサンプラー(固定ピストン)

は、地盤に対して上下方向に変位しない。

(d) ボーリング作業時における海上足場櫓の動揺傾斜特性の許容値

ヤグラの動揺傾斜角が3°程度とすれば、ボーリングロッドによって吊り降ろされているサンプラーの先端の動揺傾斜角は、孔底の地盤に対して無視しうるほど小さく、採取した乱さない試料の品質は、許容される範囲内にある。

9 あとがき

これまでの観念では、作業が困難視されていたような水深がきわめて深い海域や潮流・波浪・風などの気象・海象条件が厳しい海峡部のような場所においても適用することができ、かつ、台風のような異常気象にも耐えうるボーリング作業用海上足場の開発を進めてきた。その結果、スパーブイ型の海上ボーリング足場という、一見不安定に思える構造形式の足場を開発し、堤用海域を拡げ、安全性、施工性および経済性などの点で、画期的な改善を図ることができた。

なお、高波浪を特徴とする海域においては、100mを越える水深であることは間違いないであろう。現実問題としてはヤグラの運動性能の面からよりも、製造上の限界や仮設作業性上の制約などによって決まると考えられるので、とりあえず、100m～120mの水深への適用に関して、その設計や仮設方法は、今後の課題であり、現在検討中である。

また、潮流に対しては、一方向から受ける外力による転倒モーメントと、その浮力による復元モーメントが釣り合った状態になる。強潮流を特徴とする海域には、目標とする安定性に応じた浮力を持たせる必要がある。さらに、スパーブイは円筒形状をなしているので、流れの後方にカルマン渦が発生し、これによってブイは、流れに直角方向の動揺(横揺れ)を生じることになる。また、潮流の深度方向の分布状況とその強さによっては、水深が深くなるほど、潮流の影響が大きいことがある。これらのことも、今後の課題として残されている。

謝 辞

「7・2 海域における実験」においては、運輸省第二港湾建設局工務第一課、京浜港工事事務所および横浜調査設計事務所並びに運輸省港湾技術研究所に御指導を賜り、海域実験場所の提供ならびに室内土質試験の実施と評価をしていただいた。

また、「7・2・4 台風時におけるヤグラの挙動」に述べたボーリング調査に関しては、運輸省第四港湾建設局および第四港湾建設局鹿児島港工事事務所をはじめ多数の関係者各位から御指導と御協力を賜った。

平成5年度運輸省告示第三六六号の課題「大水深域でのボーリング工法」において、このヤグラを技術評価していただいた運輸省港湾局技術課をはじめとする多数の関係各位からは、海上作業足場に対する考え方の構築について御指導と御協力を賜わった。

さらに、浮力体の挙動については、大阪府立大学工学部海洋工学システム工学科の池田良穂教授および大塚耕司助手から、種々有益な助言をいただいた。

なお、本開発は、応用地質株式会社と株式会社ゼニライトブイ（社長 竹安和雄）が共同で取り組んだものであり、株式会社ゼニライトブイの麻生裕司開発課長および有村忠浩開発係長には多大の御協力をいただいた。

ここに、各位に対して、深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) (社) 土質工学会編 (1994) : 海の構造物と基礎 土質基礎工学ライブラリー 第39号 pp.88~91.
- 2) 合田良実, 鈴木康正, 蜂巢賀和吉 (1978) : 直立式円筒浮体の波浪中の動揺振幅に関する研究 港湾技術研究所報告 第17巻 第4号 pp.89~120.
- 3) 松本一明 (1978) : 大水深における土質調査の現状 運輸省昭和53年度港湾技術研究所講演会講演集 pp.109~158.
- 4) 中瀬明男 (1984) : 新体系土木工学 84 海洋土質 (社) 土木学会編 技報堂出版 pp.53~65.
- 5) (社) 日本港湾協会 (1990) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂版 (上巻) pp.36~57. pp.148~154.
- 6) (社) 土木学会編 (1985) : 水理公式集 pp.528.
- 7) (社) 土木学会編 (1973) : 海洋鋼構造物設計指針 (案) 解説 pp.1~147.
- 8) 通商産業省資源エネルギー庁海洋開発室, 運輸省船舶局技術課編集 (1975) : 海洋開発技術ハンドブック pp.301~352. pp.507~537. pp.579~582. pp.815~830.
- 9) (社) 土木学会編 (1989) : 土木工学ハンドブック II 第四版 技報堂出版 第45編海洋 pp.1927~1934. pp.1939~1940.
- 10) 池田良穂, 大塚耕司, 片山 徹, 大滝直人 (1995) : 姿勢安定装置付きスパーブイの運動シミュレーション 大阪府立大学工学部海洋システム工学科研究報告 pp.5~27.
- 11) 土田 孝, 水上純一, 及川 研, 森 好生 (1989) : 一軸圧縮試験と三軸試験を併用した新しい粘性土地盤の強度決定法 港湾技術研究所報告 第28巻 第3号 pp.81~144.
- 12) 福富幹男, 横峯光昭, 中澤 斉, 麻生裕司, 有村忠浩 (1993) : 水上ボーリングのためのスパーブイ型足場櫓について 海洋開発論文集 Vol.9, pp.361~366.
- 13) 福富幹男, 横峯光昭, 中澤 斉, 原田純一, 麻生裕司, 有村忠浩 (1995) : 浮力を補強したスパーブイ型海上足場櫓について 土木学会 海洋開発論文集 Vol.11, pp.369~374.
- 14) 運輸省港湾局技術課 (1994) : 評価証 説明資料 [課題: 大水深域でのボーリング工法 (平成5年度運輸省告示第366号) 技術名: スパーブイ型ボーリング足場櫓 申請者: 応用地質株式会社, 株式会社ゼニライトブイ]
- 15) 応用地質株式会社 (1990) : 実海城実験 (スパーブイ型海上ボーリング足場櫓による土質調査) 報告書
- 16) 福富幹男, 横峯光昭, 岩崎恒明, 村田芳信, 中澤 斉, 麻生裕司 (1991) : 新しいタイプの海上足場櫓とその適用例 海洋調査技術 第三巻 第一号 pp.31~38.