

11 深海水槽について

海洋開発研究領域

深海技術研究グループ

田村 兼吉、渡辺 喜保

*安藤 裕友、前田 克弥

久松 勝久、佐伯 延博

1. まえがき

近年、深海は OD21 などの地球科学的な研究対象としてだけでなく、資源エネルギーの有効利用（海水中レアメタル、メタンハイドレート等の採取）や地球環境問題の解決（CO₂ 深海貯留）といった観点から、その価値が注目されており、このための深海の利用技術の確立が急務となっている。こうした状況を受け、海上技術安全研究所は平成 14 年 4 月に組織改革を行い、重点研究分野の 1 つである「海洋開発」を遂行する研究領域として「海洋開発研究領域」が発足し、当該領域は、従来から継続している「海洋構造物技術」や「氷海技術」に加えて新たに深海技術研究グループが新設され、組織の上でも「深海技術」への重点的取り組みが明確された。

当所では統合的な深海技術に関する研究を開始するための中心的な施設として深海水槽（図 1）を新設することとし、この 3 月に完成した。

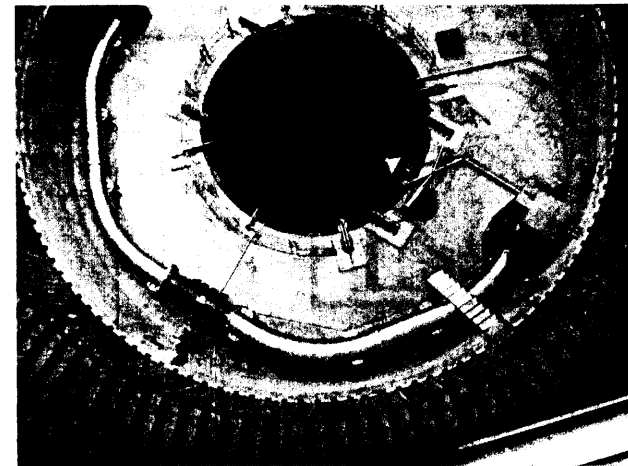


図 1 深海水槽の外観

本稿では、まず世界の深海水槽の状況を紹介し、続いて、当所の深海水槽を、これらとの比較を加えながら紹介する。また、この施設を用いた当所の研究計画についても簡単に触れることとする。

2. 世界の深海水槽の状況

深海水槽と称している水槽は、世界的に見ても数少ないが、その代表的なもの 3 つをここで示しておく。

2.1 IFREMER（フランス Brest）¹⁾

IFREMER は、フランスにおける総合的な海洋関係の研究所・行政機関であり、6000m 級有人潜水船 Nautilie を始め、多くの AUV、ROV を有する等、深海技術に力を入れている。Brest センターにある深海水槽は長さ 50m × 幅 12.5m の矩形をしており、長さ方向の 12.5m までが深さ 20m、残りの 37.5m が深さ 10m と大型のものである（図 2）。造波機は 1 面のみで、最大波高 45cm の一方向の規則波、不規則波を発生可能である。最大速度 1.5m/s での模型曳引が可能である。潮流発生装置はなく、主として観測ブイや海中機器の試験水槽として使用されている。

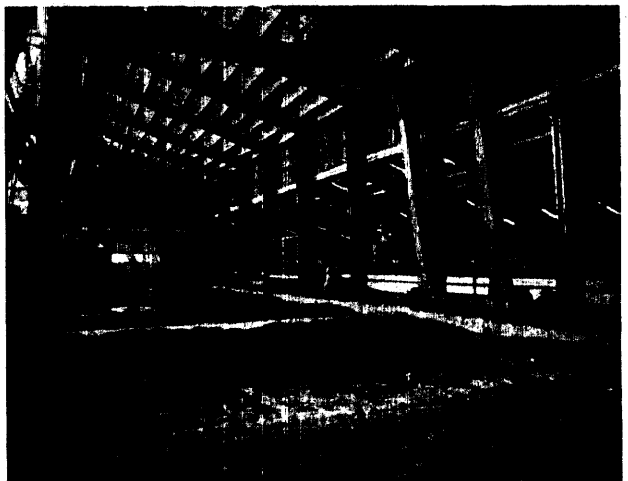


図 2 IFREMER の深海水槽

2.2 MARIN（オランダ Wageningen）²⁾

深海ピットを有する深海水槽として最初のもので、2000 年の完成である。オランダ MARIN は

民間の研究所で、北海油田等から Royal Dutch Shell との関係も深く、水槽は海底油田の深度が急速に増しているこの時期に建設された。水槽は長さ 45m × 幅 36m × 深さ 10.5m の角型海洋構造物水槽の中心底部に、直径 5m、深さ 20m の深海ピット（水面からの深度 30m）を設けたものである。角水槽の底面全体が昇降床となっており、水深調節が可能のため、浅海水槽としても利用可能である。水槽壁には、任意の波を再現するための 40cm 幅の造波板によるマルチフラップ型造波機を 2 面持っている（図 3）。この水槽の最もユニークな点は、直径各 2m 以上の大型の潮流発生装置を 6 基持ち、これにより、幅 36m にわたって深度方向に 6 層もの潮流を模擬できる点である。当所の関係者も、深海水槽設計前に MARIN を訪問して、担当者と意見交換をしており、この水槽から多くを学んでいる。



図 3 MARIN の深海水槽

2.3 COPPE/UFRJ (ブラジル Rio de Janeiro) ³⁾

ブラジルの COPPE/UFRJ (Alberto Luiz Coimbra Institute / Federal University of Rio de Janeiro) の Lab Oceano でも MARIN の水槽を参考に、長さ 40m × 幅 30m × 深さ 15m の角型海洋構造物水槽（図 4）の中心底部に、深海ピットの深さ 10m（水面からの深度 25m）を持った深海水槽を建設中で、2002 年中に完成予定である。現在ブラジル沖では Petrobras を中心として、深度 3000m 級の海底油田の掘削が計画されており、この技術

開発に対応するための施設と考えられる。



図 4 建設中の Lab Oceano の深海水槽

3 深海水槽の概要

深海水槽は水面を有する円形水槽部と、その中心底部に掘削された深海ピット部の 2 つの部分により構成されている（図 5）。

円形水槽部の寸法は、直径 16m（有効水域直径 14m）、深さ 5m で、その全周には 128 枚の造波板が設置されている。造波は、吸収造波方式を採用している。吸収造波は造波板（図 6）の前面に設置されている波高計の信号によって設定した波

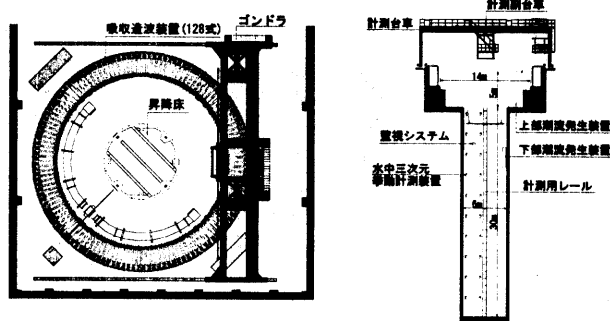


図 5 深海水槽概略図

以外を消波するように制御している。それにより、円形水槽内で任意方向からの長波頂及び短波長不規則波・規則波、実海域を模擬した様々な波を発生することが可能である。造波方式はフラップ型スネーク方式（図 6）で、幅 34cm、高さ 2.5m の各造波板を、0.75kw の AC サーボモータによってシリンダー駆動する。波周期の範囲は 0.5 ～ 4.0s、最大波高は 50cm（周波数 1.5s 時）である。

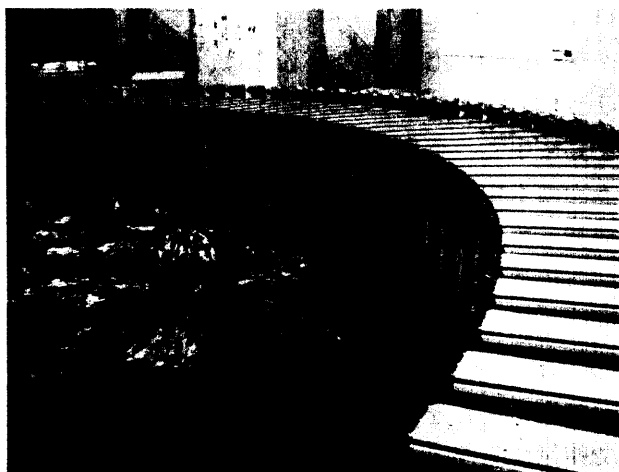


図5 深海水槽の造波機

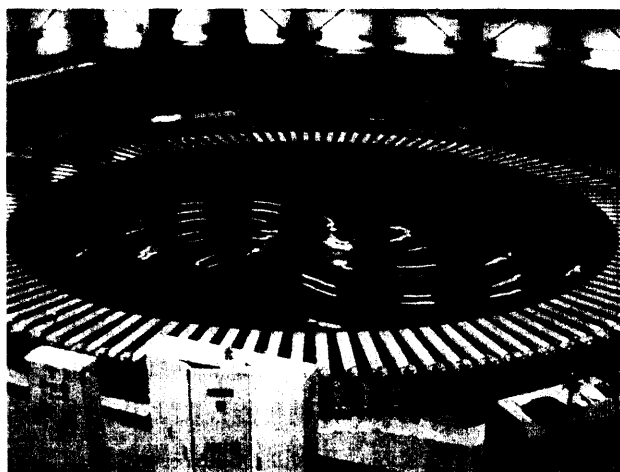


図7 旋回波

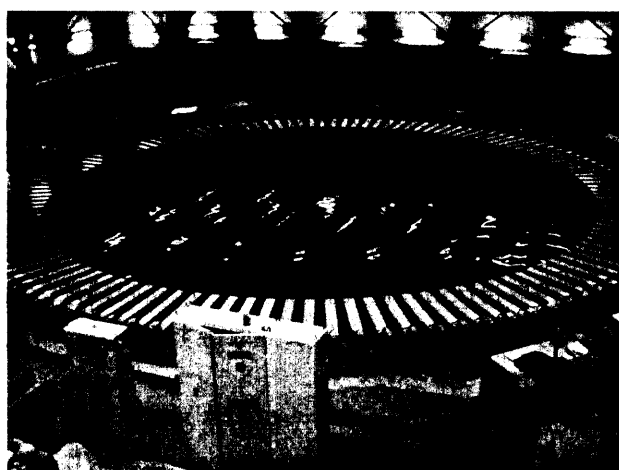


図6 一方向規則波

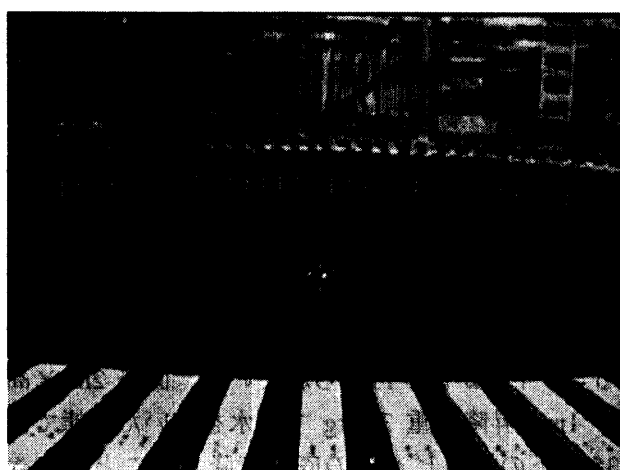


図8 集中波

非常に小さな水槽内に、理論上は任意方向に任意形状の波を再現し、かつ消波できるというユニークな特徴を持っている。実際に本水槽内で造波した例を示す。図6は写真左側部分で造波して、右側で消波することにより、円形水槽内に一方向波を起こしている。図7は、円形水槽でしか起こせない旋回波で、造波板の振幅位相を少しずつずらすことによって波が回っているように見える。図8は、造波板を同位相かつ同振幅で動かして、水槽中心に三角波のような集中波を起こす。このように多種多様な造波が可能である。今後は水槽内部に模型を配置した場合の反射等の問題を解決していく予定である。

深海ピット部の寸法は、直径 6m、深さ 30m で、円形水槽部水面から深海ピット部底面までの 35m は世界一の深さである。ライザー等の模型実験において、水槽の水深は模型尺度の重要な決定要因である。例えば、本水槽で深度 3500m の掘削状

態を模擬する場合、その縮尺は 1/100 となり、実機で直径 21 インチのライザーが模型では直径 5.3mm と、なんとか模擬可能な状態となる。

深海ピット底部には、昇降可能な重量 4.5ton の床が設置されている。ウインチにより空中重量 1ton の荷重を積載して、深海ピット底から上部円形水槽の底まで、揚程 30m を昇降する。したがって、昇降床を最上部に設置すれば、円形水槽部を単独の水槽として使用することもできる。また、ここまで一旦、水を抜いて海底用係留系などを取り付けてから床を降ろし、深海ピット底に設置することが可能となる。

深海ピット部の周囲には計測及び床昇降用に 8 本の鉛直レールが取り付けられている。深海水槽監視システムは、そのレールの一本を使って、ピット内を 30m にわたってウインチで昇降する装置で、水中投光器と一体構造の水中カラーカメラ (1/3 インチ CCD カメラ) からなっている。カ

メラの位置は遠隔操作することにより、実験の全体像を制御室内から監視することが可能である。3次元水中挙動計測装置は、係留ライン、ライザー管模型等の実験対象物の挙動を全体にわたって画像計測するための装置で、高解像度デジタルカメラ 20 台（2 台 1 組× 10 組）により構成される。

潮流の模擬については、円形水槽に設置された 2ヶ所のダクト（噴き出し側、吸引側：固定式）及び深海ピットに設置されたダクト（噴き出しのみ：ピット内を 30m 移動可能）により、水槽内に局所的平行流を起こす潮流発生装置を有しており、水槽中央部にて幅 1 m にわたり最大流速 20cm/sec、10cm/sec の流れを発生させることが可能である。潮流発生装置の数を増やすことにより、将来、複層の潮流を模擬することも計画している。

水槽上部の計測台車は、深海水槽に沿って設置されたレール上を走行する走行台車（X 方向）と、走行台車上を走行する横行台車（Y 方向）があり、Z 方向の可動範囲は 3m である。計測台車には、人が乗って深海水槽内のメンテナンス等に使用するゴンドラが取り付けられている。直径 2m × 高さ 1m、昇降荷重 350kg で、水を抜いた状態では 35m 下の深海ピットの底まで降りることができる。

4 海上技術安全研究所の取り組み

現在、海上技術安全研究所が取り組む深海技術研究をその目的別に整理すると、1) 深海域の科学的調査（OD21・AUV による海洋調査等）、2) 深海域の空間利用（二酸化炭素の深海貯留等）、3) 深海域の資源開発（石油・レアメタル・メタンハイドレート等）の 3 つに大別される。これらの基幹技術を研究開発することが当所の使命となる中、当該水槽で実験を主として行う研究テーマとしては、次の 2 つの深海技術に関連する受託研究プロジェクトを実施中である。

1) に対応したものとして、「深海モニター用小型ロボットの開発」（国土交通省委託研究）があり、AUV（自律型潜水機）と ROV（有索型潜水機）の特徴を組み合わせたハンディな深海モニター用小型ロボットの開発を目指しており、東京大学海中工学研究センターとの共同研究である。（平成

11-14 年度）

3) に対応したものとしては、「浮体式海中リチウム採取システムの開発」（NEDO 公募研究）を実施中で、将来大幅な需要が見込まれるリチウムを海水中から採取するためのシステムの開発を研究している。（平成 12-14 年度）

この他に、深海技術の要素的な技術であるライザー技術については、所内の自主的な研究として、「大水深ライザーシステムの安全性に関する研究」（特別研究）を実施しており、水深 2000m 以上で使用するライザーの挙動解析と構造解析（平成 13-17 年度）を行っている。さらに深層水関連のライザーについては、「海洋深層水揚上用ライザーに関する研究」（一般研究）として、掘削とは異なるアペンディング状態で海中から深層水を汲み上げるライザーの挙動解析を、共同研究として行う予定である。（平成 14-16 年度）

平成 15 年度からは「海中における 3 次元形状情報の取得技術の研究」として、沈船の精密な形状情報を ROV、AUV により取得するための研究が計画されている。

深海水槽は、ライザーや係留系といった海中線状構造物の挙動解析には有力なツールであり、まずはこうした分野での活用が期待される。これに加え、従来から当所の得意とする海上の浮体の運動とそれに伴う海中構造物の連成運動といった複合系浮体システムの総合安全性評価といった研究にも注目している。

5 あとがき

海外を含めた他の機関等との連携、共同研究及び受託研究も積極的に進めていく予定である。今後このグループが中心となって、深海技術研究の世界的な拠点の 1 つとなるべく、研究を推進していく決意である。

参考文献

- 1) URL http://www.ifremer.fr/dtmsi/anglais/moyens_essais/basin.htm
- 2) "Deepwater: an industry perspective" & "Basin without Parallel", MARIN Report 70, 2000. 6.
- 3) URL <http://www.laboceano.coppe.ufrj.br/site/apresentacao/index.shtm>