

船舶海洋流体工学領域の紹介



研究室紹介

鈴木博善*

Introduction of Marine Hydro-Science and Engineering lab,
Department Naval Architecture and Ocean Eng.

Key Words : Underwater behavior, Drill pipe, Experimental towing tank

1. はじめに

本稿では、工学研究科地球総合工学専攻船舶工学講座船舶海洋流体工学領域および船舶海洋試験水槽の紹介をさせていただきたいと思えます。

2. 船舶海洋流体工学領域

船舶海洋流体工学領域は、通称で第三講座と呼ばれます。その通称の通り、当時の造船学科で三番目に設置された研究室となります。この時1931年。これは大阪帝国大学が医学部・理学部を有する大学として創設された年で、まだ工学部は大阪工業大学のころとなり、今年で92年目を迎える領域(研究室)です。

この研究室は、これまで笹島秀雄教授、田中一郎教授、鈴木敏夫教授、加藤直三教授、戸田保幸教授によって運営されてきました。私は、平成5年7月、鈴木敏夫先生が教授の際、助手として採用していただき、その後、平成18年4月に准(助)教授、令和4年4月に教授に昇任しました。現在は、私と千賀英敬准教授および秘書の辰見美希さんで研究室を運営しております。

3. 船舶海洋流体工学領域における研究

船舶海洋流体工学領域のミッションは、「船舶海洋工学に関する流体力学諸問題を解決すること」で

すが、そもそも船舶海洋工学で流体力学に関しないことはあまりないことと、私も千賀准教授も以前「海洋システム工学講座海事機械システム工学領域」に所属していたことから、研究テーマは、海洋工学寄りになっています。

私自身は、これ以前には、3次元熱線流速計による船尾乱流場計測、数値流体力学的手法による船尾乱流場推定などの研究を行っていましたが、現在の研究室における研究テーマは、海洋掘削のドリルパイプの水中挙動推定、ライザー管のVIV低減技術の開発、在来型/生物模倣型水中ロボットの流体力学性能推定法の確立および設計法の構築、海洋における再生可能エネルギー開発(風力・潮流)、海洋シミュレーションに基づく津波被害低減法の開発、インターセプターによる高速船の性能向上などとなっています。

4. ドリルパイプの水中挙動推定¹⁾

ここでは、前述の研究のうち、海洋掘削に用いるドリルパイプの水中挙動推定に関する研究を紹介いたします。

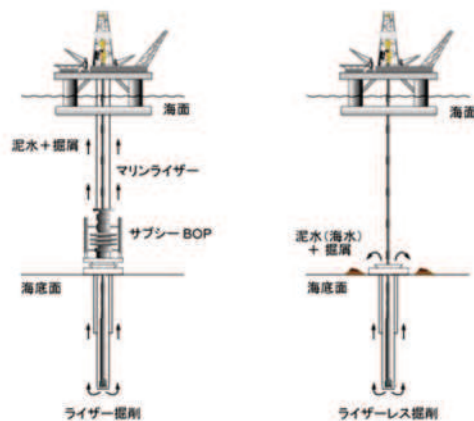


Fig.1 Schematic figure of riser and riserless drilling
(<https://oilgas-info.jogmec.go.jp/termlist/1001815/1001818.html>)



* Hiro Yoshi SUZUKI

1966年12月生まれ
大阪大学大学院工学研究科造船学専攻博士前期課程修了(1992年)
現在、大阪大学大学院工学研究科 地球総合工学専攻 船舶海洋工学部門 教授 博士
専門/船舶海洋流体力学
TEL : 06-6879-7589
FAX : 06-6879-7594
E-mail : suzuki_h@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

海洋掘削には、海底と船体とをライザー管で繋ぎ、その中にドリルパイプを通して掘削を行うライザー掘削と、ドリルパイプを直接、海中に降下させ掘削を行うライザーレス掘削の2つがあります。

ライザーレス掘削では、回転するドリルパイプが直接外環境に曝されたため、ドリルパイプの挙動は多岐に亘り複雑となります。更に、大深度掘削では、ドリルパイプの長大化に伴い、その挙動はより複雑になるとともに、ドリルパイプの固有周期が船体動揺の卓越周期に近づくため、大きな動的挙動の発生が想定され、従来の掘削では大きな問題を惹起しなかったドリルパイプのダイナミクスが掘削操業へ影響を及ぼします。また、潮流中で発生する渦励振は、ドリルパイプの回転により、その特性が固定管に生じる渦励振と異なり複雑となります。更に、潮流中のドリルパイプには回転により所謂マグナス効果と呼ばれる揚力が発生しドリルパイプが歪曲します。

そこで本研究では、実機のドリルパイプの歪曲推定に先立ち、掘削状態を模擬した状態で、一様流中で回転する模型ドリルパイプに作用するマグナス効果による揚力および抗力などによる、模型ドリルパイプの過渡・最終変形状態の観測、歪曲量の計測やこれに対応する数値解析を行なっています。

4.1 変形の計測

実験は、後述する大阪大学船舶海洋試験水槽にて行いました。潮流の存在する中で掘削を行うドリルパイプの水中挙動を模擬するために、曳引車に水深約3mの仮設の水底を取り付け、これにガイドとなる円筒を装着し、その中に模型ドリルパイプを挿入することで、掘削時の下端条件を満足させています。この仮設水底は、コード長さ300[mm]のNACA0024翼型でフェアリングした1辺50[mm]のアルミ角柱で支柱を作成しています。この仮設水底および計測の様子をFig.2に示します。

模型ドリルパイプの上端には、回転装置を取り付け、この回転装置を検力計に懸架します。さらに、カメラを2系統水中に固定し、模型ドリルパイプの変形を観測します。これらの計測装置概要図をFig.3に示します。ただし、この実験では、模型ドリルパイプとして、直径約20mm、長さ約3mのテフロン管を用いています。

以上のような設備・装置を準備して観測されたドリルパイプの変形をFig.4に示します。模型ドリル

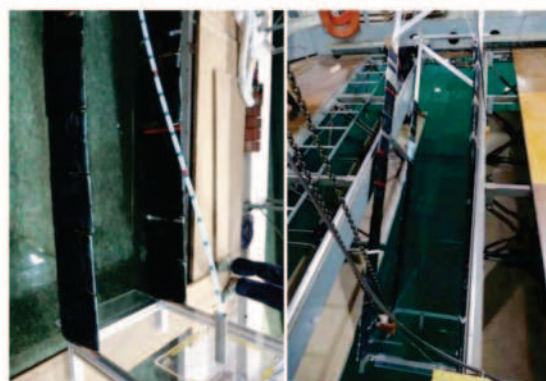


Fig.2 Temporary bottom

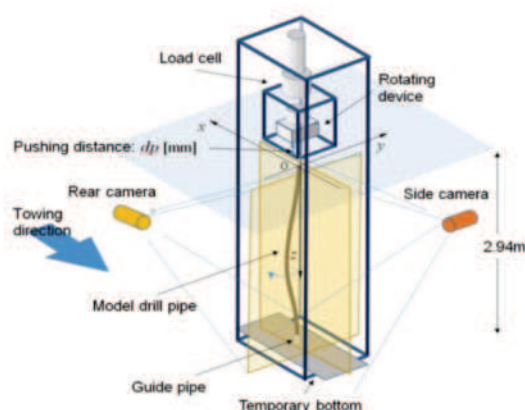


Fig.3 Experimental set-up

パイプが回転しなければ、模型ドリルパイプには抵抗のみ作用し、図でいえば、 x 方向のみの変形となりますが、写真では、回転しているため、マグナス効果による揚力が発生し、 y 方向の変形が生じます。

観測は、曳引車の静止時に模型ドリルパイプを回転させ、回転数を保持したまま、0.1[m/s]まで加速し速度保持、0.1[m/s]から0.2[m/s]まで加速し速度保持、0.2[m/s]から0.3[m/s]まで加速し速度保持、観測終了を繰り返しました。図中a), b)は、 $U=0.0$ [m/s]の場合、c)は、 $U=0.1$ [m/s]へ加速開始後の最大変位、d), e)は、 $U=0.1$ [m/s]の場合、f), g)は $U=0.2$ [m/s]の場合、h), i)は $U=0.3$ [m/s]の場合であり、a)とb), d)とe), f)とg), h)とi)は、最短の時間間隔で、模型ドリルパイプの変位の差が最大と判断される画像を選択しています。ただし、図中の橙色の線分は z 軸を示します。ドリルパイプの変形は、ドリルパイプ先端のドリルビットの接地圧(WOB:Weight on Bit)にも依存しますが、図の条件は、ある程度のWOBをかけた状態です。

図ではわかりにくいですが、静止流体中では、模

型ドリルパイプに振れ回りが生じます。加速中には x 方向の最大変位が生じ、 y 方向には最終状態とは逆位相の変形が生じています。流速が大きくなれば、 x 方向変位が大きくなります。一方、 y 方向変位は、 $U=0.1$ [m/s]の時に大きく、どちらかといえば $U=0.3$ [m/s]の場合の方が小さく見えます。 $U=0.1$ [m/s], 0.2 [m/s], 0.3 [m/s]の場合で模型ドリルパイプの直径に満たない程度と推察される振幅で、模型中央付近あるいは他の個所を振動の節とする一節振動が生じます。なお、この振動には、VIV(Vortex Induced Vibration)に起因する成分も含まれていると推察されます。

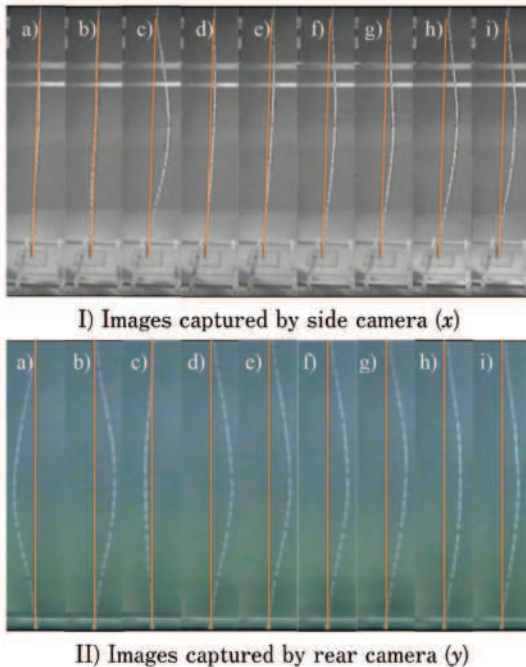


Fig.4 Underwater behavior of model drill pipe under WOB

4.2 数値解析

ドリルパイプの変形推定手法として、Absolute Nodal Coordinate Formulation (ANCF)を適用しています。ANCFは、節点座標として絶対座標(空間固定座標)を用いる有限要素法の一つであり、大変形を有する柔軟マルチボディシステムの解析のために Shabana らによって提案された方法²⁾です。一方、ドリルパイプに作用する流体力である抗力あるいはマグナス効果による揚力は、CFDを用いて推定しています。Fig.5は、模型ドリルパイプが回転しない場合と回転している場合の推定結果です。それぞれWOBを印加した場合の計算となります。

これらより、模型ドリルパイプの変形は、回転しない場合には、ほぼ推定可能ですが、回転した場合の推定精度は、今一步です。現在、この精度向上および実機の変形推定のため、さまざまな努力を重ねているところです。

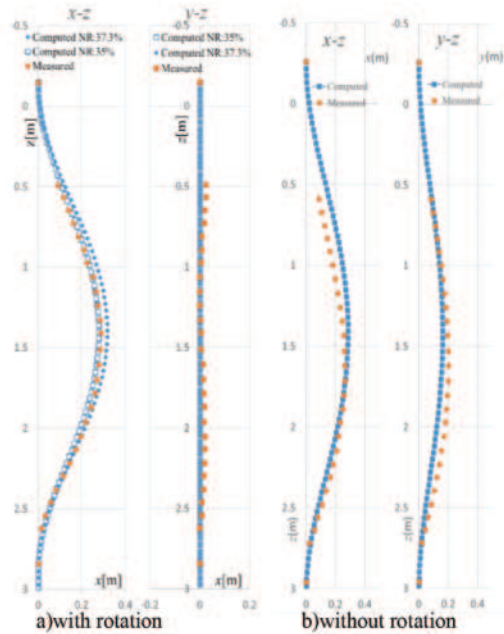


Fig.5 Computed underwater behavior of drill pipe model with/without rotation ($U = 0.3$ [m/s]; $n = 250$ [rpm])

5. 船舶海洋試験水槽

水槽と書きますと、金魚の水槽を思い浮かべる方がおられるかもしれませんが、大阪大学には巨大な水槽が設置されています。ところが、この施設は、工学部でいえば辺境に設置されているので、皆さん、ご承知無いかもかもしれません。(Fig.6の右下あたりの“S3”となります。)

このような水槽を有する大学は、大阪大学の他に、東京大学、東京海洋大学、横浜国立大学、大阪公立大学、神戸大学、広島大学、長崎総合科学大学などがありますが、大阪大学の曳航水槽は、戦後作られたものの中で最古のものとなります。

大阪大学が有する曳航水槽は、初代(第一水槽: 30.8m, 1.8m, 1.2m)が1929年に完成したものの、1945年に焼失、1951年に52m, 1.8m, 1.0mの水槽として再建されています。1964年、枚方学舎に第二水槽(79.5m, 7.0m, 3.7m)が建造されたようですが、同年、枚方学舎が取り壊しとなり、1969年には、第二水槽も取り壊しとなったようです。現



Fig.6 Experimental towing tank in Suita Campus, Osaka Univ.
(<https://www.eng.osaka-u.ac.jp/ja/access/>)

在の水槽は第三水槽で、1969年に完成しました。前述のように、第二次世界大戦後に建造された大学水槽としては、最古の水槽となり、建造からすでに50年余りが経過しています。

この第三水槽は、1969年に完成してから、2度の大震災を経験しましたが、筐体には何の問題も生じませんでした。私が学生の頃は、“水を抜くと水槽の側壁が内側に倒れてきて水槽が壊れる”と、まことしやかに伝えられ、“では、どうやって造ったの？”と思いつつも、とにかく水槽に水が入っていないところは見たことがありませんでした。ところが平成30年6月18日に発生した大阪北部地震により、水槽側面、底面にひび割れが生じ、これに起因する漏水が発生、建造以来、ついに、水底を晒すことになりました (Fig.7)。その後、文部科学省の自然災害復旧費をいただくことができて、令和元年5月、なんとか復旧を果たしました (Fig.8)。

現在、この水槽は、主に地球総合工学専攻船舶海洋工学部門の海洋空間開発工学領域、船舶知能化領域、船舶海洋流体工学領域および船舶海洋構造工学領域で使用されています。もちろん、船舶海洋関連企業からの受託実験なども行われる場合があります。実験の内容としては、前述した模型ドリルパイプの水中挙動観測/計測のほか、Fig.9~12に示すような船体の平水中/波浪中の抵抗試験・PIV (Particle Image Velocimetry) による流場計測、水



Fig.7 Experimental towing tank (After Northern Osaka Earthquake)



Fig.8 Experimental towing tank (After the repair)

中ロボットの試運転や流体力・流場計測、浮体式風力発電関連の実験などが行われています。

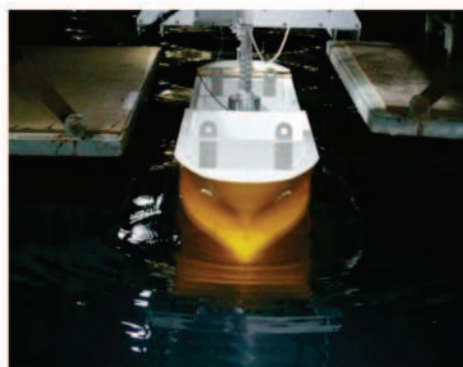


Fig.9 Sea keeping test

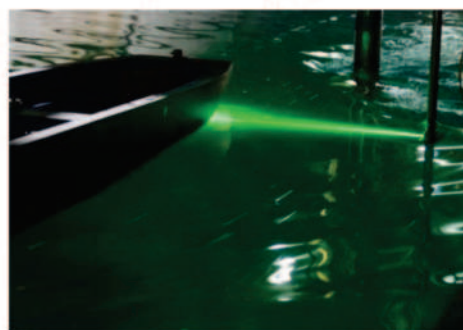


Fig.10 PIV measurement

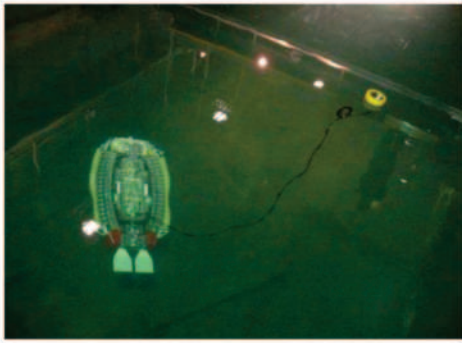


Fig.11 Underwater vehicle test

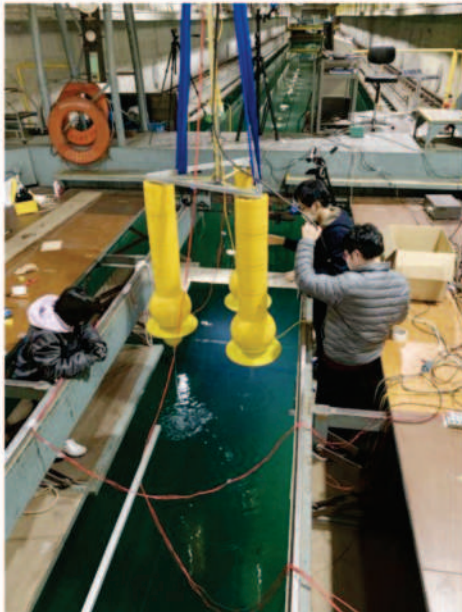


Fig.12 Wind turbine test

この水槽は、前述のように古いのですが、Fig.13に示すように今でも年間200日程度使用されています。なお、2018年の稼働日数低下は、前述の大阪北部地震の影響で使用できなかったことが原因です。2014年には、稼働日数267日という、平日はほぼ稼働していた年もありました。このように、今でも盛んに使用されている施設ですが、建物自体の老朽化や、もともとは所謂曳航水槽（模型船を曳航する水槽）として建造された船舶海洋試験水槽ですので、前述のドリルパイプ水中挙動計測や浮体式風力発電関連研究など、昨今の研究フィールドの拡大に対応できない面も出てきています。

現在、水槽の建て替えの話も出てきていますが、現在や未来の船舶海洋工学を支えられるよう、施設の更新を目指すとともに私たちの能力向上も図っていきたいと考えます。

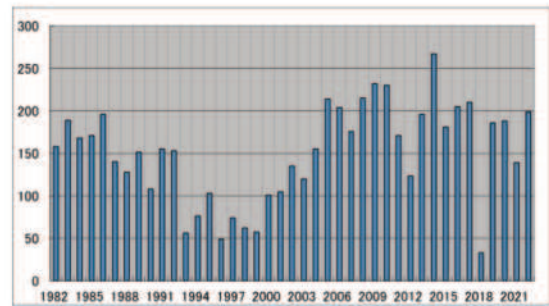


Fig.13 Towing tank operating days

6. 終わりに

本稿では、地球総合工学専攻船舶海洋工学部門船舶海洋流体工学領域、研究内容、船舶海洋試験水槽の紹介をさせていただきました。

ご承知かもしれませんが、今でも日本の貿易量における海上輸送の割合は、重量ベースで99.5%であり、ほとんどの輸出、輸入を船舶に頼っています³⁾。船舶の役割は、今後も不可欠であり続けるでしょうし、さらには、海洋資源開発や洋上風力発電など、今後の日本の行く末を左右するであろう技術の開発もあります。これら自体の研究はもちろんのこと、これらに対応できる技術者・研究者の育成に力を注いでいきたいと考えています。

最後になりましたが、本稿を「生産と技術」に掲載する機会を与えてくださった関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) H. Suzuki, T. Inoue, T. Katsui, R. Wada, K. Tsuchiya, Y. Notani, K. Ishida and T. Koga “Experimental and Numerical Studies on Behavior of Rotating Drill Pipe Model in Uniform Flow”, *Int. J. Offshore Polar Eng.* 32 (03): 285–295.
- 2) Shabana, A. A., Hussien, H. A. and Escalona, J. L., “Application of the absolute nodal formulation to large rotation and large deformation problems”, *Journal of Mechanical Design*, Vol.120 (1998), pp. 188-195.
- 3) 公益社団法人 日本海事広報協会, “日本の海運 SHIPPING NOW 2022-2023”, p.12