

未来の船と海洋構造物

—大阪大学大学院地球総合工学専攻船舶海洋構造工学領域—



研究室紹介

飯 島 一 博*

Future Perspectives of Ships and Offshore Structures

Key Words : Digital twin, IoT, Renewable energy, Large floating structure

はじめに

日本の貿易のうち実に 99.8% が船により輸送されている。これは国民一人当たり約 10 トンの輸入・輸出を船に拠っていることになる(例えば¹⁾)。日本が太平洋に浮かぶ島国であるということと同時に、いかに船が経済的かつ効率的に大量の物資を運ぶ輸送装置であるかを示している。船舶海洋工学コースでの授業の第一声はこのようにスタートする。ただ、この説明では、船が単に運ぶための箱であるイメージばかりが残るかもしれない。

船はそもそも単純無機な鉄製の箱ではない。巨大な機関(ディーゼルエンジン)があり、ボイラーなどの装置があり、操船するためのラダーやプロペラがあり、係留装置があり、それらを繋ぐ縦横無尽のパイプや電気系・制御系がある。船は流体抵抗を低減するのに最適な形態を有し、これらを成立させるための構造が包み込む一種の有機体である。私は前職では船のメンテナンスや検査を担う船級協会に勤務していた。そこで働く職員はさながら“船のお医者さん”であった。物言わぬ船の内部を歩き、ハンマーで叩いては船の様子を探り(聴診器に相当)船の体調を見定めたものである。こう考えると船が生き物であるように見えてくるのではなかろうか。

最近では船自体に“声”を出させようとしている。船体構造にセンサーを取り付け、診断に役立てるの

である。構造がモノを言ってくれば運航やメンテナンスにそれを役立てることもできるし、突き進めれば船の操船の遠隔化や自動化が実現されていくことに繋がる。

本稿ではそのような未来の海洋世界を展望するための一助として、地球総合工学専攻船舶海洋構造工学領域における研究について紹介していきたい。

船体構造のデジタルツイン²⁾

近年、船が大型化し、固有周期が長周期化(2秒程度)したために弾性振動が生じやすくなった。研究室では船体構造に生じる弾性振動を研究している。最近の大型コンテナ船の折損事故³⁾⁴⁾でも弾性振動がひとつの要因とされた。ここでポイントは弾性振動は前進速度などの運航条件に大きく左右されることである⁵⁾。操船者が船体全体の構造応答を把握できないままに操船をしたとき、操船の仕方次第では同じ海象中でも、構造応答が 50% ほど増幅することすらあり得る。船体に作用する荷重にはとんでもない量の不確実性が存在する。この不確実性の幅を狭めるためにはどうしたらよいか?そこで、大型船の弾性振動を含む応答と外力を操船者に知らせるようなモニタリングシステムの確立が期待された。

船体構造を対象としたデジタルツイン(船体構造デジタルツイン; DT)の研究開発プロジェクトが進められている²⁾。DTとは、IoTやAI技術を活用して現実世界(リアル空間)の乗り物や機器の物理的情報を取得し、双子のようにそれらをコンピュータ(サイバー空間)上に再現する技術である。船が遭遇する海象や船舶の状態をサイバー空間で再現することで、現実世界ではアクセスが困難な箇所の状態監視が容易に行えるなど、現実世界の乗り物や機器の制御や管理を容易に行えるようになる。この技術を活用し、個船ごとの環境・運航状態(応答モニ



* Kazuhiro IIJIMA

1971年3月生まれ
東京大学大学院 工学研究科 船舶海洋
工学専攻博士課程修了(1998年)
現在、大阪大学大学院 工学研究科
地球総合工学専攻 教授 博士(工学)
TEL: 06-6879-7585
FAX: 06-6879-7594
E-mail: iijima@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

タリング) や経年劣化度 (状態モニタリング) を考慮することにより、安全性を保持しつつ、過剰な余剰強度を排した、より競争力の高い船舶の設計・建造が可能となる。

センサーによるモニタリングから得られる船体情報は、デジタルモデルとその応答関数に逐次反映され“数値シミュレーションとの同化”が行われ、評価・意思決定に供される。構造のDTは、建造のDT、船体機関系のDTとも密接に関連し、システムの統合化され、いずれ冒頭に示した、船の操船の遠隔化や自動化が実現されていくことであろう。

当研究室ではこのプロジェクトの主要メンバーとして、例えば弾性振動を含む波浪中の構造応答をリアルタイムに推定するシステムを開発している。より具体的には、波浪中の船体の数ヶ所のひずみ計測から、船体の非計測位置での挙動を推定し、さらには船体に作用している荷重やその原因となっている気象を精度よく推定する技術である。これまでほぼ縁がなかった、カルマンフィルタやベイジアンなど未知の分野の勉強する機会ともなった。学生と共に四苦八苦している。

図1には推定の際に用いた船体の固有変形モードを、図2には図1中のモードとカルマンフィルタを用いた推定値 (Estimation) と正解値 (Reference)

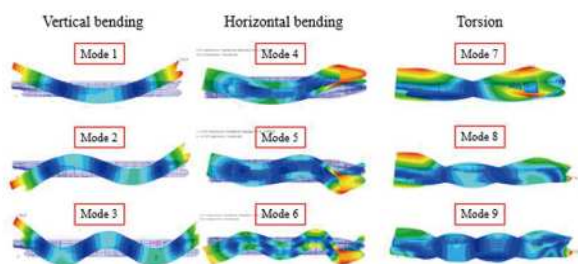


図1 船体構造の変形モード

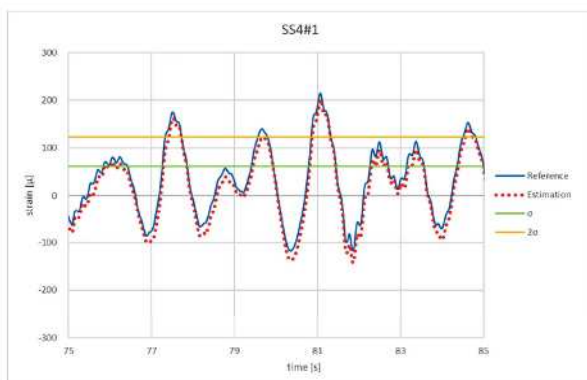


図2 推定ひずみ (Est.) と計測ひずみ (Ref.)

の比較を示す。推定では、数か所の計測結果を用い、計測していない部位の値をブラインドテストしたものである。非計測箇所の応答推定が行われている。

洋上再生可能エネルギー

日本周辺の海域には大型の浮体式の洋上風車が多数設置され (五島沖⁶⁾、福島沖⁷⁾、北九州沖⁸⁾、この分野で世界を先導する。浮体は水深に関わらず、洋上展開ができ、山勝ちで陸域に適当な用地が少なく、周囲を深い海に囲まれている日本に適している。

8MW級 (5000世帯相当) の大型風車ではローターの直径が160mにも達する。状況的には40階建てのビル (ローター) がタワーの先端=上空100mで、ブンブンと回転していることに等しい。これを支えるために同じぐらい巨大なプラットフォームが海中にある。船が水平方向に巨大なら、浮体式風車は高さ方向に巨大である。

洋上浮体式風車も相当に複雑な系である。ブレード数枚からなるローター、ギアボックスや発電機などの機構、浮体、係留装置からなっている。ブレードは空力荷重を受け、浮体は波浪荷重を受け、それぞれ弾性体として変形する。風荷重はブレードの風に対する当り角 (ピッチ角) の制御の影響も受ける。浮体式風車の挙動を解析するためには、これらの要素を適宜モデル化してひとつのシステムとして組み上げる必要がある。研究室ではこのような洋上浮体式風車の解析ツールの開発を行い、実験との対比を通じ、様々の現象を報告している。図3は解析ツールを検証するために2019年度に実施した実験の様子である。今年度にも、風・波複合荷重の下での



図3 浮体式風車の模型実験 (準備) の様子

制御の影響を含めた応答評価のための実験を行う予定であり、新しい成果が得られることを楽しみにしている。

前項で紹介したデジタルツイン技術が生きてくるのは、海洋構造物でも同じである。とりわけ、人間が容易にアクセスできないような場所に設置される海洋構造物ではその需要が高いといえる。研究室では大型洋上風力発電を含む、海洋構造物のDTの研究にも取り掛かっている。

おわりに

DTやIoT (Internet of Things) は旧来の船舶や海洋構造物の世界にも浸透していく。CO₂排出量低減も将来の大事な視座であり、本稿で紹介した船体構造のDT、再生可能エネルギー、海洋構造物のDTはいずれもCO₂排出量低減に寄与する。

いずれは電気や水素エネルギーが船のメイン動力源となり、自動運航化が進む。洋上にはこれをサポートするための、浮体式の基地が大洋毎に数基程度設置され、自動化船はここでエネルギーの補給を行う。そこでエネルギーを作り出すのは風力発電をはじめとする再生可能エネルギー装置群である。再生可能エネルギー起源の電気により海水を電解し、水素エネルギーに変換後に水素電池に蓄え、これを積み出すのも良いだろう。洋上基地はコンテナのハブ港としても機能し得る。ほか同基地はDT化された大型養殖や食品加工からなる、いわゆる「スマート水産」のための施設や積み出し港にもなろう。研究室では数キロメートルオーダーの長さを有する超大型浮体技術⁹⁾や、養殖のための巨大浮体設備¹⁰⁾も研究している。これらを夢物語で終わらせることなく、30-50年後の実現を目指し研究を進めたい。

参考文献

- 1) 国土交通省海事関連統計
<https://www.mlit.go.jp/maritime/statsreport/stats.html>
- 2) 藤久保昌彦：船体構造デジタルツインの研究開発－フェーズ1プロジェクトの成果と今後の展開－, 日本造船学会講演会論文集, 第30号, CD-ROM, 2020.
- 3) 国土交通省海事局：コンテナ運搬船安全対策検討委員会最終報告書, 2015年3月
- 4) 日本海事協会：大型コンテナ安全検討会報告書, 2014年9月
- 5) Iijima, K, et al.: Effects of weather routing on maximum vertical bending moment in a ship taking account of wave-induced vibrations, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 141(3) 031101-031101-11, 2019.
- 6) 宇都宮智昭他：環境省浮体式洋上風力発電実証事業について, 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす, 97(2), 151-156, 2018.
- 7) 石原孟：福島復興・浮体式洋上ウィンドファームの実証研究事業(1), 日本マリンエンジニアリング学会誌, 50(1), pp. 14-20, 2015.
- 8) 日置史紀：北九州沖でバージ型浮体式洋上風力実証開始, 日本風力エネルギー学会誌, 43(2), pp. 236-240, 2019.
- 9) Iijima, K. and Fujikubo, M: Hydro-elastoplastic behaviour of VLFS under extreme vertical bending moment by segmented beam approach, *Marine Structures*, 57, pp. 1-17, 2018.
- 10) Senga, H, et al.: Experimental investigation into structural deformation of large flexible semi-submersible structure for aquaculture subjected to current and waves, *Proceedings of ISOPE2020*, CD-ROM.