

欧州における船体構造の解析設計に関する調査

正員 飯島 一 博*

1. はじめに

日本船舶海洋工学会の若手支援海外派遣の制度により、ヨーロッパの各国の研究機関を訪問させてもらった。訪問のテーマは「船体構造の解析設計に関する調査」である。近年、欧州を震源として構造物の設計規則の標準化が進められている。標準化の際には設計規則の背景の透明性が求められる。そして透明性の確保のためには構造信頼性、あるいはその根拠を与えるための直接的な解析に、より大きな重点が置かれることになるだろう。本テーマはそのようなことからスタートした。筆者は船体あるいは海洋構造物の解析設計に必要なソフトウェアについて関心を持った。

2. スケジュール

訪問先ならびにスケジュールは表1の通りである。訪問先の選定に当たっては、船体構造あるいは海洋構造物を扱っていること、設計的な視点からの研究を行っていること、広く力学をベースとした研究を行っていること、なおかつ構造に限定せずに幅広い研究対象を有していることを念頭に置いた。結果的に、船舶海洋工学に携わる者の中では、著名な方々とばかり会うことになった。

3. 訪問記録

3.1 デンマーク工科大学

デンマーク工科大学の Prof. Jensen に直接的にコンタクトを取り、会っていただく約束を取り付けた。非線形ストリップ法の大家であり、また、それだけにとどまらず構造についても詳しい。ご存知の方も多だろう。

訪問当日、H.P. 上に示された地図を頼りに、約束の11時に十分に間に合うように大学に着いた。ところが、探せど探せど、目的の先生の部屋がない。

* 大阪大学大学院工学研究科

表1 訪問スケジュール

Oct. 2	大阪発 → コペンハーゲン着
Oct. 3	デンマーク工科大
Oct. 4	デンマーク発 → ハンブルグ着
Oct. 5	ハンブルグ工科大
Oct. 6	ハンブルグ発 → デルフト着, デルフト工科大
Oct. 7	デルフト発 → リエージュ着, リエージュ大
Oct. 8, 9	休日, リエージュ発 → トロンハイム着
Oct. 10, 11	ノルウェー工科大
Oct. 12, 13	トロンハイム発 → 大阪着

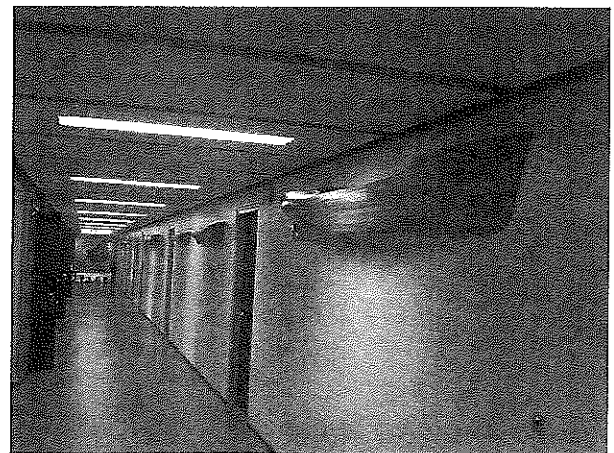


写真1 デンマーク工科大学にて

周囲に尋ねると1年ほど前に引越しがあって、部屋が変わっているとのことだった。急いで、教えてもらった転居先に向かった。転居先は目と鼻の先にあり、事なきを得たが、冷や汗の出た瞬間であった。事前の確認が不十分であったことを反省した。この新しい建物の廊下には随所に船体の模型が飾られており、博物館のような雰囲気である(写真1)。

大学のレストラン(注: レストランと呼ぶに十分なきれいさと豪華さであった、もっとも学生用とは別であったが)で昼食をご馳走になった後で、インタビューの時間を設けてもらった。件の非線形スト

リップ法のソフトの現在について尋ねた。このソフトは、ある船級協会とコンサルタント会社が所有しているが、手入れはすでに10年ほど前にストップしており、現時点でこの方面の研究はあまり進めておられないとのこと。少々期待が外れた。今は信頼性や衝突・座礁などの方向に研究の重点を置いている。解析にはもっぱらLS-DYNAなど商用のソフトウェアが用いられ、信頼性解析にはPROBANという名の船級協会から販売されているソフトウェアが用いられている。

話を伺っていると船級協会を初めとして随所に業界とのつながりを感じた。例えば、上記の船級協会とは異なるが、デンマーク工科大からある船級協会に教授が転出している。また、ヨーロッパ造船業全体の大きなプロジェクトとして、運航支援のための船体モニタリングシステムSeaSenseの開発に参加している。このシステムは、応答計測の部分、データ転送部分、応答から海象を推定するモデル開発、決定支援システム、からなっており、大学としては特に最後の二点に関して貢献したようだ。

一通りの説明の後で、試験場に案内してもらった。気づいたのは試験機の新しさと実験場の清潔さであった。話によると、必ずしも設備は新しいものではなく、年齢でいうと40歳ぐらいらしいのであるが、手入れが行き届いており、また、必要に応じてコンピュータ化がなされている。古い機器を昔のままで、だまし騙し用いている日本の大学の現状と見比べて、非常にうらやましい気持ちがした。そして、新しい実験機器もあった。目を引いたのはドイツのGOM社製の光学的な変形計測装置であり、PIVと同様の原理を用いて、非接触で試験体の変形や歪を計測するものである。

3.2 ハンブルグ工科大学

Prof. Frickeにも直接コンタクトを取り、会ってもらえることとなった。ハンブルグ工科大では、ちょうど引越しの最中であり、一またか！ といっても6月ぐらいからスタートしたのらしいのだが、そこに夏季休暇の季節が入ったりして、引越しが長引いている一、資料などはまだ古いキャンパスにあったりするようだ。引越しで仕事が進まないというためであろうか、あるいは先生の人柄であろうか、先生自ら丁寧に学内を案内してもらった。

Prof. Frickeのところでもソフト開発をしているということはこれまで聞いたことがなく、この方面の期待はなかったが、代わりに用いているソフトウェアについて話を伺った。構造解析にはANSYSを用

いており、溶接残留応力解析にも商用のソフトウェアを用いている。衝突解析にはLS-DYNAを用いている。構造系のソフトウェアの開発は終わった、との見識であった。これらをうまく組み合わせて研究をしているという印象であった。最近の研究として、洋上風車にタンカーが衝突する際の解析を見せてもらった。①タンカーと洋上風車との衝突により風車タワーが付け根から折れる、②風車頂部に付いた質量の大きな発電機部がタンカーにぶつかる、③タンカーの構造が破損する、④重大な油流出がないかのチェック、から成るリスクアセスメントの一部となる解析である。結果がムービーで示され説得力があった。デンマークからドイツへの車窓に、ひっきりなしに風力発電の風車が現れては消えていったのを思い出した。

この大学を訪問先に選んだ理由のひとつとして、E4と呼ばれるシステムの開発を見せてもらうためということがあった。筆者は2004年のPRADS (Practical Design of Ships) 会議のテクニカルツアーでHamburgの北に位置するFlensburger造船所を見学させてもらっていた。その際に見たシステム、一設計の初期段階でアニメーションを用いてプロペラ解析の結果を顧客に見せるというのをデモンストレーションしていた一、が印象的だったのだ。このソフトウェアシステムがE4であり、ここハンブルグ工科大で手入れされている。E4は初期設計のための支援ソフトウェア群であり、現在、プロペラ周り流体、耐航性、操縦性の解析サブルーチンをLinux上に移す作業が進められている。また、同造船所からの研究者も大学に来ている。個々の解析ルーチンは中身を聞くと、必ずしも高度なものではないが、これらをITの力で有機的に結びつけて、顧客が見たいものを見せられるシステムを作っている点に感心した。このシステムは今後も発展していく予定であり、案内をしてくれた若い研究者には、次は火災のシミュレーションができるようにしたい、ずっと先には構造設計も含めたい、と夢を語ってもらった(写真2)。

訪問の最後に、Prof. Lehmannを紹介していただいた。この先生のことをご存知の方も多いただろう。先生は先週に退官したばかりとのことであった。しかし、当分の間、大学には部屋が確保され、今後もちょうくちよく出てくるとの話である。この日は、学生の学科試験のために顔を出されていたようだ。「君の文献を送ってくれたら目を通してやるよ」とボンと名刺を投げてもらった。

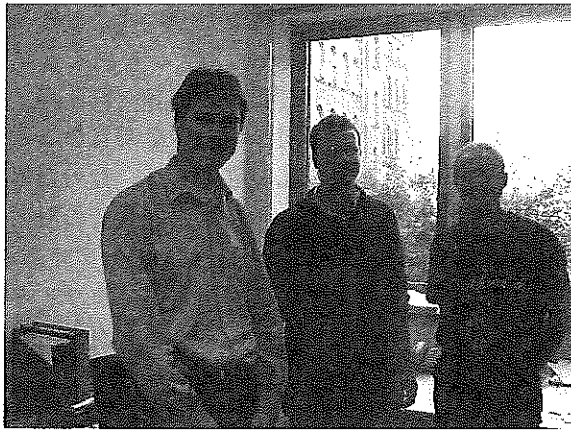


写真2 ハンブルグ工科大の若い研究者たち

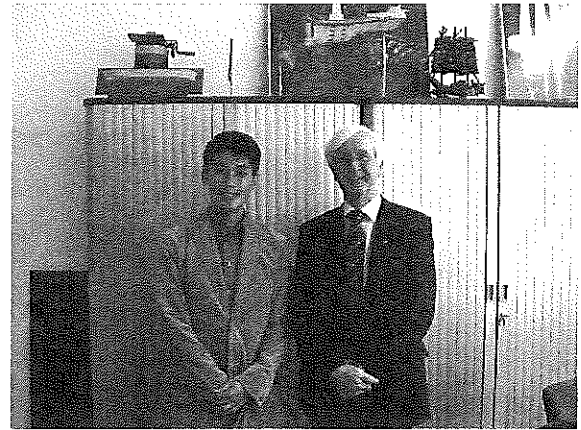


写真3 Prof. Pinkster と一緒に

3.3 デルフト工科大学

デルフト工科大には、船体流体力学の大御所 Prof. Pinkster が居られる。不規則波浪中の長周期変動漂流力を求める際には、Newman-Pinkster の式を用いる。かの Pinkster である。実はデルフト工科大は初めの予定には入れていなかった。しかし、ハンブルグと次の予定地であったリエージュの中間とはいかないまでも、少々遠回りして足を伸ばせば行けない町ではない。えい、ついでなので行ってしまえと思い立ち、出発の直前に Prof. Pinkster にコンタクトを取った。ちょうど、大阪大学の同僚でもある箕浦先生がデルフト工科大に10ヶ月の長期滞在していた。そこで箕浦先生に仲介役をしてもらった。お忙しい先生である。しかし、直前でコンタクトを取ったにも関わらず訪問日に居られる予定で、Welcome との返事。ありがたく、お言葉に甘えさせて頂いた(写真3)。

訪問した日はちょうど修士の学生が卒業するということで、先生はこの祝賀会に出席していた。若干、説明を加えると、デルフト工科大では日本の大学のように3月になると、皆卒業というわけではない。論文ができた段階で審査を受けて合格して初めて卒業になる。論文が完成するのは各自ばらばらだから、卒業の審査も卒業の時期も個別でばらばらなのである。お酒が少々入ってご機嫌だったせいもあるだろうか？ 初めは挨拶ぐらいと思っていたら、予想以上にノリノリ(?)で最近の先生の研究について1時間も語ってくれた。ここ数年は Air Cushioned VLFS に大きな関心をお持ちだ。そもそもの発想は SES でゼロスピードの極端な例がちょうど Air Cushioned VLFS に相当する。一体、研究をどう応用するのだろうと疑問に思ったが、「誰もやらんことをやるのが大学の研究者だ」と胸を張る先生

には不思議と安心感を覚えた。昨今、つつい必要性の点から、研究を削ぎ勝ちだが、また、このような一見、実設計に結びつかない研究から、新しい技術に結びつくことも事実だろうと思う。そして、その研究を支えているのは、やはり確固とした解析ソフトウェアであることを付け足しておく。Delfrac という、先生らが開発した境界要素法の流体解析ソフトウェアを用いていることを教えてもらった。

3.4 リエージュ大学

Prof. Rigo は船体構造の最終強度に詳しいだけでなく、構造初期設計における最適化手法を研究しておられる。また、訪問の際にしてもらった説明でわかったことであるが、最近では後述の Process Management とでもいうものに大きな関心があるそうだ。そもそも、この大学/学科はベルギーという土地柄、内航船と内航船に関する土木技術のために設立された小さな学科である。日本のようになんでも研究するのではなく、限られた資源をある限定された分野に投入する必要がある、と先生が自分たちの立場を話されていた。

キャンパスは街中からはやや隔たった場所にある。大学院生がホテルまで車で迎えに来てくれた。話によれば、30数年前に学長が一大決心をして、市内のキャンパスからこの場所に移った。結果的にそれでよかったというのが多数の意見のようだ。まさしく森の中にキャンパスであり、各学科の距離もゆったりと配置されている。キャンパス内には雄牛(写真4、理由は不明であるが学生を象徴しているらしい)の像があったり、自動車が建物に突き刺さった前衛的なオブジェが置かれていたりして、庭園の中の美術館のようでもある。

先生はこれまで LBR-5 と称する、船体構造の初期設計段階に用いるための、構造最適化のソフト

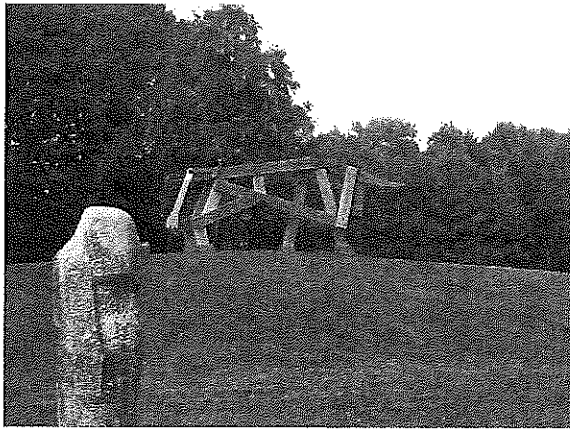


写真4 リュージュ大キャンパスにて

ウェアを開発されている。このソフトウェアについて説明をしてもらった。このソフトウェアにより、縦強度から決まる断面の最適化を行うだけでなく、横強度から決まるトランス材を含めて最適化が行われる。最適化においては降伏強度、座屈強度、縦曲げ最終強度について考慮がなされており、今後疲労強度も考慮する予定とのこと。全てを初めから作ったわけではなく、いろいろなソフトウェアのパーツを組み合わせている。例えば、最適化のためには CONLIN という既存のソフトウェアをそのまま用いており、縦曲げ最終強度には HULLST (日本の矢尾先生のソフト) を用いていたりする。先生が初めに説明したように、全てのことを自分でやることはできないから重点的に資源を投入するという考え方に通じる。なお、この最適化のシステムはフランス造船所の大手、Chantier's de l'ATLANTIQUE 社で用いられているようだ。相互の業務推進のために同社から4~5人の研究者を迎えている。

この他、Process Management の研究の一部として production simulation を見せてもらった。これはコンピュータの中で製造工程をシミュレーションしようというもので、鋼板が工場から運ばれてきて、船体の二重底構造が完成するまでの工場のシミュレーションを見せてもらった。工場のある一部を新しい機器で置き換えた場合に、どれぐらい工程が短くなるか? などプロセス自体をシミュレーションすることができる。ソフトウェアとしては既存の Tecnomatix 社の eM-Plant を用いている。同ソフトは先ほどの Flensburger 造船所でも用いられているようである。大学ではソフトウェア開発よりも、プロセスを記述することに重点を置いて研究している。ここでも自分らの独自性が発揮できるところに重点的に資源を投入するという姿勢が見られる。

この後、実験施設、大学院生らの研究を一通り見せてもらって、大学から街中のホテルに戻ると7時少し前。秋とはいえ、まだ夏時間のヨーロッパである。外は明るく、その時間から散歩を楽しむことができた。リュージュは炭鉱の町であり、そのために製鉄が発達したようだ。さらには武器製造の町として知られ、街中には武器博物館というものまである。また、リュージュの街中のあちこちでワッフルを売る屋台風の店に出くわした。知らなかったが、かつて日本で大ブームになったベルギーワッフルはリュージュのワッフルだったのだ。

3.5 ノルウェー工科大学 (NTNU)

Prof. Moan についてはご存知の人も多だろう。何が専門かということは一言ではまとめられないぐらい幅広い研究対象をお持ちで、強いていえば主に海洋構造物・船体構造物の解析設計法について活動をされている。初めは一日だけのつもりであったが、二日おいでと行ってくださったので、最終的にはお言葉に甘えた。当日、緊張して先生の部屋を訪れると、日本の研究者の方々とのこれまでの交流を語って下さった。つい最近も某先生が来たよ、そう、あの先生も来たよ、という感じですっかり緊張も解けた。実に暖かい先生である。ちなみに、滞在中の昼食と夕食全て先生にご馳走になった。お陰でひとりの旅でもさびしい食事になることはなかった。

なお、NTNU へは前年度の日本船舶海洋工学会の若手支援海外派遣制度で現大阪大学の澤村さんも訪れている。重複をさけるために、これ以上の大学の説明は省く。ただし、澤村さんが訪れたのが真冬であるのに対して、私が訪れたのは初秋である。フィヨルドの立体的な地形に色鮮やかな紅葉が映えており、市内からキャンパスまでの坂道は気持ちの良い散策となった。

訪問前からのコレポンで私が流力弾性に興味があると伝えていたこともあろう。この方面の研究紹介を用意してくれていた。NTNU でも船体構造の springing や whipping のテーマで実験と数値計算を行っている。数値計算は弾性モードを含めた非線形ストリップ法を用いており、これは同大学のスタッフが自作したものである。また、実験模型は船体の分割模型をデッキ部とボトム部においてばねでつないだ機構によって船体梁としての弾性が実現されている。他の船体応答解析ツールとしては、WASIM、LAMP や WAMIT の市販のコードを最近導入し始めたところとのことであり、少々意外であった。構造解析ではやはり ANSYS、LS-DYNA を使っている。

二日目は次章に述べるように私の研究について講演をさせてもらった。その後、若手研究者とのディスカッションをさらに続けた。ディスカッションが終わると、ふらふらの状態だった。というのも、4時間ほども続いたから。しかし、この時間のおかげで若い研究者と親密になることができた。彼らには「君の論文ができたなら送ってくれ」といわれた。彼らに負けない研究をして良い論文を送りたいものだ、と思った。

4. Guest Lecture について

今回の調査を受け入れてもらうにあたって、受け入れ先から1時間程度の講演をするように求められる場合があった。結果的に、デンマーク工科大、ハンブルグ工科大、ノルウェー工科大の三箇所、筆者が行っている「波浪荷重・構造応答一貫解析手法」について講演を行った。これは波浪荷重・船体動揺解析を行い、得られた荷重分布をそのまま構造解析に用いるというもので、荷重受け渡しの際のエラーを極力小さくする、というのがポイントである。いずれの場所でも熱心に聴講してもらったようであり、質問も多く受けた。特にノルウェー工科大では講演の後で、筆者の講演に関心を持ってくれたポスドク・あるいはドクターコースの方と個別にディスカッションを続けることになった。また、ハンブルグ工科大ではきっと賞賛してくれているときのジェスチャーなのであろう、講演終了後には皆が拳骨で

机を十数回たたいてくれた。社交辞令とはいえこれはこれで面映かった。デンマーク工科大の場合では、このような Guest Lecture は年に5~6回程度、開催されているとのことである。それだけ交流が頻繁で訪問者が多いということだろうか。

5. 終わりに

今回の訪問により、ヨーロッパにおける直接解析による船体構造設計法に関する研究の概要を把握し、それに携わる若手を中心とする研究者と直接的に意見を交換することができた。なによりも、この度の訪問で各国の方々と顔が繋がった。今後も各先生方・研究者とコンタクトを取り、つながりを断絶する事無く、むしろ強化していきたいものだと思う。筆者の訪問を快く迎えてくださったヨーロッパ各機関の皆様に御礼申し上げる。

今回の欧州訪問の範囲では、それほどに画期的で高度なソフトウェアは見つからなかった。ただ、解析の目的を決めた後に、商用のコードを合理的に組み合わせ、求めたい結果を導くマネジメント的なセンスが素晴らしい、と感じた。そして、商用のソフトウェアは米国製が多かった。次回の海外訪問がもしあるとすれば、次は米国を訪れなければならぬ。

最後に、今回の貴重な機会を与えていただいた日本財団ならびに日本船舶海洋工学会の関係者の皆様に心からの感謝を表し、本報告書の締めくくりとしたい。



飯島 一博 (いじま かずひろ)
大阪大学大学院工学研究科 地球総合工学専攻
助手
構造工学

2005 年度若手研究者・技術者海外派遣

派遣者氏名	飯島一博
派遣者所属	大阪大学大学院工学研究科
調査テーマ	欧州における船体構造の解析設計に関する調査
訪問国	デンマーク、ドイツ、オランダ、ベルギー、ノルウェー
派遣期間	2005 年 10 月 2 日～10 月 13 日
紹介者	
1. Prof.Jensen	デンマーク工科大学 Section of Coastal, Maritime and Structural Engineering
2. Prof.Fricke	ハンブルグ工科大学 Ship Structural Design and Analysis
3. Prof.Pinkster	デルフト工科大学 Ship Hydromechanics & Structure
4. Prof.Rigo	リージュ大学 Architecture Navale Analyses des Systemes de Transport
5. Prof.Moan	ノルウェー工科大学 Centre of Ships and Ocean Structures, director
訪問先面談者 所 属	
a. Prof.Jensen	デンマーク工科大学 Section of Coastal, Maritime and Structural Engineering
b. Prof.Fricke	ハンブルグ工科大学 Ship Structural Design and Analysis
c. Prof.Pinkster	デルフト工科大学 Ship Hydromechanics & Structure
d. Prof.Rigo	リージュ大学 Architecture Navale Analyses des Systemes de Transport
e. Prof.Moan	ノルウェー工科大学 Centre of Ships and Ocean Structures, director
調査内容(1)	デンマーク工科大における解析設計ツールについての調査
Prof. Jensen に面会し、先生の研究室で実施中の研究について話を伺い、開発中の構造解析設計ツールと研究で使用しているツールの実情について調査した。開発中のツールはなく、使用しているツールについては市販の有限要素法ソフトと信頼性解析ソフトの名前が挙がった。また、船体構造の応答解析法についてプレゼンを行い意見交換した。	
調査内容(2)	デンマーク工科大における解析設計ツールについての調査
Prof.Fricke に面会し、リスク解析の解析例と初期設計ツール「E4」を見せてもらった。リスク解析においては洋上の風車にタンカーが接触して、風車のタワーが折損した場合にタンカーから油が流出しないかどうかを市販のツールを組み合わせるシミュレーションしていた。ツール「E4」は実際に造船所で用いられているとのこと。また、船体構造の応答解析法についてプレゼンを行い意見の交換をした。	
調査内容(3)	デルフト工科大における解析設計ツールについての調査
Prof.Pinkster に面会し、先生の研究室で実施中の研究について話を伺った。AirCushioned VLFS に関心を持っているとのことであった。この構造体の解析には研究室で開発されたソフトウェア Delffrac を用いているとの情報を得た。	
調査内容(4)	リージュ大学における解析設計ツールについての調査

Prof.Rigo に面会し、開発中の「LBR-5」と Production Simulation の実施例を見学した。「LBR-5」は初期構造計画のためのツールであり、実際に造船所で用いられているとのこと。Production Simulation については市販のソフトウェアを用いて、造船所における製造工程を PC の中に再現する研究が行われていた。

調査内容(5)

ノルウェー工科大における解析設計ツールについての調査

Prof.Moan に面会し、実施中の研究について話を伺った。船体構造解析の研究においては、船級協会などが販売している市販のツールを用いる、一方で非線形ストリップ法ツールの開発、縮尺模型による検証も行っている。また、船体構造の応答解析法についてプレゼンを行い意見の交換をした。

特記事項

全般的に見て、短い期間中に精力的に複数の研究機関を訪問し、広く研究情報を取得した点で事前の準備も含めて評価できると思われる。各訪問先では研究に用いている構造解析ツールと開発しているツールについてそれぞれ調査することができた。また、調査の目的に産官学の共同研究体制をあげたが、そのニーズとして、研究ツールが実務においてどう使われてどうサポートされているか調べることができた。これらのことから、目的はほぼ達成したと考える。本派遣による調査結果を今後の私の活動にいかしたい。一方で、今回の訪問は大学に限られており、企業にも訪問することで'産業界'でどう大学での研究が活かされているかについても調査を行うことができればさらによかったと思われる。