

# 欧州の水槽試験における先進的計測技術に関する動向調査

眞田 有吾（大阪大学）

## 1. はじめに

日本船舶海洋工学会の若手研究者・技術者海外派遣制度により、2009年1月19日から31日にかけて「欧州の水槽試験における先進的計測技術に関する動向調査」を行ったので、ここに報告する。

欧州では、2006年9月に Hydro Testing Alliance (HTA)が発足した。これは、EU内の海事関連研究機関と大学が連携し、水槽試験における計測技術などの基盤強化を目的とした5年間のプロジェクトである。HTAでは、水槽試験技術に関する9つの共同研究プログラム (JRP)を推進しており、このうち4つが近年急速に技術革新が進む画像計測とデータの可視化に関するものである。開始から既に2年半が経過したが、各JRPの詳細については未だ明らかになっていない。

これまで筆者は、水槽試験における画像計測法の研究・開発に従事しており、粒子画像流速測定法 (PIV) や水面反射光を用いた波面計測法 (RLD法) の開発を行っている。今回の調査では、筆者の専門分野である、画像計測に的を絞り、PIV (JRP1)、波面計測 (JRP3)、高速度ビデオカメラの高度利用 (JRP6) の3つのプロジェクトの現状について、担当リーダーやメンバーを訪問し、最新動向の調査と意見交換を行った。

## 2. 訪問先と調査結果

### 2.1 MARINTEK

MARINTEKでは、JRP3のリーダーである Dr. Carl T Stansberg とメンバーである Dr. Sébastien Fouques とお会いした。まず、筆者がRLD法の紹介を行い、意見交換を行った。Stansberg氏は筆者らのRLD法に以前から強い関心をもって来ており、計測可能な波傾斜範囲や、波の表面の制約、画像の取得と処理方法などについて熱心な質問を受けた。Stansberg氏からは、MARINTEKで取り組んでいる格子状に配置した波高計による波形解析の概要について紹介してもらった。

### 2.2 MARIN

MARINでは、JRP3のメンバーである Dr. Janou Hennig、JRP1のメンバーでありJRP2のリーダーである J. Tukker 氏を訪問した。この訪問をさせていただくにあたり、筆者は訪問日の午前と午後計2回のプレゼンテーションを行った。各回とも約10名程度が集まってくれ、討論をしてくれた。

午前中はRLD法の概要を紹介した。Hennig氏からは、波面の再構成法、大傾斜が発生した場合などの対処法について質問を受けた。

つづいて、Hennig、Tukkerの両氏がMARINの各水槽施設を案内してくれた。Tukker氏によると、Offshore Basin以外ではトレーサー粒子を水中に散布し、PIV計測を行っているとのことであった。日本の試験水槽で同じように粒子を散布することには抵抗があるが、散布により何か悪影響があるか聞いたところ、粒子の比重が重く底に沈むため特に大きな問題は生じていないようであった。Hennig氏には波高計プローブを格子状に配置した装置を見せてもらいながら自身が担当した実験の説明を受けた。

午後は、筆者の PIV 関連研究の紹介の後、Tukker 氏が MARIN と SIREHNA で共同開発した PIV システムの概要と計測事例、JRP1 参加機関で行った平板によるベンチマークテストの内容を紹介してくれた。

VIV や Nominal Wake などの計測結果を見せてもらったが、Tukker 氏は、データの可視化方法について検討している JRP2 のリーダーだけあって、計測結果の見せ方に圧倒された。

### 2.3 SIREHNA

訪問時期に幸運にも JRP3 の会議が SIREHNA で開かれるとのことで、前出の Stansberg 氏の計らいで筆者も特別に急遽参加させていただいた。ここで、JRP3 のメンバーと直接議論する機会に恵まれた。ここでも筆者が RLD 法の紹介をした後、Stansberg 氏がこれまで 2 年半の活動内容を紹介してくれた。JRP3 では現在 2 つのことに取り組んでいる。1 つ目は格子状に設置した超音波波高計による波形解析をルーチンワーク化すること、2 つ目は波浪場の画像計測法の開発である。2 つ目は米国の大学で開発された複数のカメラを用いたステレオカメラ法を用いるもので、一昨年 MARIN と SSPA で行った実験結果を紹介してもらった。結論として、ステレオカメラ法はあまりうまくいっていないとのことであった。ステレオカメラ法では、複数台のカメラ画像間の対応付けが必要となる。この画像間の対応付けが船体近傍ならば波表面に泡や Ripple が存在するため可能であったが、外側では鏡面反射が強すぎて良好な画像が得られなかったとのことである。筆者らの RLD 法は、逆に表面がスムーズである必要があるのだが、彼らはステレオカメラ法での計測が困難な領域に使えるのではないかと興味をもってくれた。

### 2.4 INSEAN

INSEAN では、Dr. Mario Felli と JRP6 のメンバーである Dr. Francisco Pereira を訪問した。

Felli 氏に INSEAN のこれまでの PIV の概要について紹介してもらった。プロペラと舵の干渉、チップボルトテックスによるノイズの計測、航空機の翼端渦、潜水艦後尾付加物による流場改善などの例を見せてくれた。この他、曳航水槽での粒子のシーディング方法、ノイズ・振動対策、また模型によるレーザー光の反射問題とその改善方法について、実際の装置を見せてもらいながら、意見交換をした。レーザー光の反射は撮影範囲に影領域を発生させるため、PIV 計測ではしばしば問題となる。Felli 氏は、水と同一の屈折率を持つ特殊な樹脂で作られた舵模型を用いて影領域の発生を抑えることを試みていた。

Pereira 氏には Defocus-PIV について紹介してもらった。これは、カメラレンズの焦点ズレ量を利用して奥行き方向の情報を得る方法である。これにより、流場の 3 次元渦構造が明らかになるだけでなく、気液界面を Volumic に捉えることができるためボイド率の計測も可能である。Pereira 氏は、早ければ 3 ヶ月後に回流水槽で Defocus-PIV を稼働させるために問題点を洗い出している最中であった。

### 2.5 HSVA

HSVA では Jürgen Friesch 氏、Herbert Bretschneider 氏、Gerd Lammers 氏とお会いし、高速度カメラの利用状況、PIV の現状について聞いた。まず、Friesch 氏には HSVA での計測技術の現状について聞いた。水槽試験だけでなく実船試験やフルスケールに近い計測について積極的に取り組んでいる印象をもった。

つづいて、Bretschneider 氏には HSVA の各施設を案内してもらい、高速度ビデオカメラシステムの概要とその計測例について紹介してもらった。

---

Lammers 氏には PIV の計測事例とシーディング等の対策について教えていただいた。ここでも、航空機の翼端渦の計測を見せてもらった。航空機の実験といえば風洞を思い浮かべるが、水槽試験は風洞よりも PIV 計測が容易で、渦の残存時間が長いという利点があるそうである。また、JRP1 で実施したフルスケールに近い大きさの舵模型まわりの PIV 計測例も紹介してくれた。実際に使用している粒子もを見せてもらったが、曳航水槽で散布しても特に問題はないとのことであった。

昼食も Friesch 氏、Bretschneider 氏とご一緒しながら、HTA の全般的なことについて話を聞いた。大学は高度な計測技術を追い求める傾向がある一方、商用水槽は実用的な計測手法を求めている。HTA では、両者が協調できるネットワークを作り出すことで、そのギャップを埋めることに意義があるとのことであった。

### 3. おわりに

今回の調査では、欧州 HTA の画像計測に関する共同研究プログラムの内容について明らかにすることができた。この調査結果については、今後著者らのグループでの計測技術開発に生かすとともに、当学会の AEFD 戦略研究委員会などで共有し、日本における先端的計測技術の今後のあり方を考える上での参考としたい。最後に、このような貴重な機会を与えていただいた日本財団の関係各位、ならびにご支援いただいた学会事務局の皆様には謝意を表します。

#### 参考文献

- ・ HTA Website      <http://www.hta-noe.eu/>

## 2008 年度若手研究者・技術者海外派遣

|                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 派遣者氏名                     | 眞田 有吾                               |
| 派遣者所属                     | 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        |
| 調査テーマ                     | 欧州の水槽試験における先進的計測技術に関する動向調査          |
| 訪問国                       | ノルウェー、オランダ、フランス、イタリア、ドイツ            |
| 派遣期間                      | 平成 21 年 1 月 19 日 ~ 平成 21 年 1 月 31 日 |
| 紹介者                       |                                     |
| Dr. Carl T Stansberg      | MARINTEK                            |
| Dr. Janou Hennig          | MARIN                               |
| Mr. Jean-Paul Borleteau   | SIREHANA                            |
| Dr. Emilio F Campana      | INSEAN                              |
| Mr. Jürgen Friesch        | HSVA                                |
| 訪問先面談者                    | 所属                                  |
| Dr. Carl T Stansberg      | MARINTEK                            |
| Dr. Sébastien Fouques     | MARINTEK                            |
| Dr. Janou Hennig          | MARIN                               |
| Mr. J.Tukker              | MARIN                               |
| Mr. Jean-Paul Borleteau   | SIREHANA                            |
| Dr. Mario Felli           | INSEAN                              |
| Dr. Francisco Pereira     | INSEAN                              |
| Mr. Jürgen Friesch        | HSVA                                |
| Mr. Herbert Bretschneider | HSVA                                |
| Mr. Gerd Lammers          | HSVA                                |
| 調査内容(1)                   | 波面計測に関する調査                          |

(1-1) JRP3 の動向調査

リーダーである Stansberg 氏と各メンバーと面会し、JRP3 の活動内容について調査した。現在、1)格子状に多数配置した波高計を用いた波形解析法のルーチンワーク化、2)ステレオ画像法を用いた3次元波面計測の二項目を実施中であることが明らかとなった。ステレオ画像法は米国の大学が開発した複数台のカメラによるもので、実験結果について報告を受けた。現状では、鏡面反射する領域では適用が困難であることが判明した。

(1-2) 画像を用いた波面計測に関する意見交換

派遣者が開発中である水面反射光法 (RLD 法) を紹介し、試験水槽の波面計測に画像計測法を適用する際の問題点について、JRP3 各メンバーと意見交換した。ステレオ画像法と RLD 法のそれぞれのメリット・デメリットと、適用可能範囲について明確となった。両者を併用することで、波浪場全体を捉えることが可能になると思われる。

調査内容(2)

試験水槽における PIV 計測に関する調査

(2-1)JRP1 の動向調査

JRP1 各機関で実施した Benchmark 試験の概要、および各機関で開発した PIV システムと応用事例について報告を受けた。今後、日本において同様のシステムを導入する際の参考になると思われる。

(2-2)PIV 計測の試験水槽への適用例と問題点に関する調査

試験水槽で PIV 計測を実施する際の問題点 (トレーサーのシーディング方法、画像処理方法、振動・ノイズ対策、模型によるレーザー光反射など) について調査した。特に、ステレオ PIV は模型によるレーザー光反射による影領域の発生が問題となっているが、屈折率整合法を適用することでこれを解消することができ、計測適用範囲の拡大につながると思われる。

調査内容(3)

高速度カメラの高度利用に関する調査

(3-1)高速度ビデオカメラシステムと計測例に関する調査

H.Bretschneider 氏と面会し、HSVA で導入した最新の高速度ビデオカメラシステムの概要と高速回流水槽、実船試験での計測事例、JRP6 に関する調査を行った。

(3-2)Volumic 計測システムに関する調査

F.Pereira 氏と面会し、INSEAN の回流水槽で稼働予定の Defocus-PIV について調査した。Defocus-PIV は、3次元渦構造の把握や従来のキャビテーションスケッチのデジタル化が可能である。また、気泡による摩擦抵抗低減などの解明などに応用が可能であると思われる。

調査内容(4)

HTA に関するその他の調査

#### (4-1)JRP7 の内容に関して

INSEAN 訪問時に、事前調査では不明であった JRP 7 の内容の一部が今回判明した。JRP 7 では、米国で開発された感圧塗料 (PSP) を用いた画像計測法について検討中であり、INSEAN で試行実験が行われる予定である。局所せん断力、圧力分布について面的な計測が可能であり、船体表面の圧力分布計測や摩擦抵抗低減関連の実験で今後威力を発揮すると思われる。

#### (4-2)その他

HTA の役割 (人的ネットワーク形成、産学間の計測技術法に関するギャップの解消)、Summer School による若手人材育成などについて調査した。

#### 特記事項

HTA の各プロジェクトの詳細については公開されていない部分が多いが、今回の調査により、PIV (JRP1)、波面計測 (JRP3)、高速度ビデオカメラの高度利用 (JRP6) について、その内容を明らかにすることができた。当初の調査内容に加えて、関連する他のプロジェクトに関する情報も入手することができた。加えて、画像計測法を水槽試験に適用する際の問題点やその対処法について、各研究者と十分な意見交換をすることができ、非常に充実した調査内容であると考えている。また、日本の同分野の研究者にとっても有益な内容であると考えている。今回の調査で知り合うことのできた研究者とは今後も連絡を密に取り合い、最新動向を追跡調査していきたい。