

混相流

JAPANESE JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW

日本混相流学会

THE JAPANESE SOCIETY FOR MULTIPHASE FLOW



研究室紹介

大阪市立大学 大学院工学研究科 都市系専攻 河海工学研究室*

River and Coastal Engineering Laboratory, Urban Engineering,

Graduate School of Engineering, Osaka City University

中 條 壯 大**

NAKAJO Sota

重 松 孝 昌**

SHIGEMATSU Takaaki

1. はじめに

大阪市立大学は8学部、11研究科で構成され、五代友厚により1880年に創立された大阪商業講習所に源流を持ち、關一市長により「都市・大阪を背景とした学問の創造」を目指す大学として1928年に設立された日本で最初の市立大学である(当初は大阪商科大学、1949年に大阪市立大学となる)。学生数は学部生が約6560名、大学院生が約1630名と国立大学と比較すると学部数の割には比較的少人数の構成となっている。キャンパスはJR阪和線の杉本町駅に隣接する杉本キャンパスと、大阪市南部のハブ駅である天王寺駅に近い阿倍野キャンパスがある。どちらも駅から近い便利の良い立地である。学生は近畿の各府県出身者が主であるが、大阪府外から片道2時間程度かけて通学する学生もいるのは驚きである。

本研究室は工学部の都市学科および都市系専攻に所属している。本学には理工学部が設置されていたが、1959年に理学部と工学部に分離された。都市学科のルーツはこの時に設置された6学科内の土木工学科と建築学科にある。その後1999年に環境都市工学科が設置され、2005年に土木工学科が都市基盤工学科へと名称を変更し、2009年に環境都市工学科と都市基盤工学科が都市学科へと再編されるという経緯を経た。河海工学研究室は1951年にご着任された永井荘七郎教授より続いており、この全ての再編に関係している。その名称が示す通り本研究室では河川と海に

関わる研究をしているが、この河海(かかい)工学という名称は、かつては国内の他大学でも使用されていたが近年は希少化しており、多くは水工学か河川工学、海岸工学という名称を用いているようである。ちなみに中国には河海大学という水利研究に重点化した大学がある。

現在の研究室は教授1名、講師1名のスタッフと6名の大学院生、7名の学部生からなっている。卒業生は建設会社や建設・環境コンサルタント、プラント系、鉄道・道路、資源・エネルギー系、機械系メーカー、公務員など関連する幅広い分野に就職している。また2008年以降、計5名が現教員の下で博士号を取得している。本研究室では毎年OBを含めて新年会を開催しておりPhoto 1はその様子である。



Photo 1 Annual party of alumni association of our laboratory (Jan. 2018).

* 2019.5.2 受付

** 大阪市立大学大学院工学研究科 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138

TEL: (06)6605-2780 E-mail: nakajo@eng.osaka-cu.ac.jp

本研究室は大和川に面した杉本キャンパスの南東端に、単独の研究室としては比較的大きな河海工学実験場を有している。実験場内には延長100 m×幅3 m×高さ3 mの大型造波水槽 (Photo 2) をはじめとして、50 m×2.5 m×1.5 mの中型の波流れ共存水槽、20 m×1.0 m×1.5 mの小型水槽、その他の小型の水槽を多数所有している。河川や海など実スケールの現象を水槽実験で再現・予測する際には、縮尺模型を使わざるを得ない。もちろん、相似則を考慮して実験を行うことになるが、異なるスケールで実験を行うことによって縮尺効果の具体的な検討が可能となるので、異なる大きさの水槽を用いて実験を行うことができる環境の価値は大きい。

以下には、本研究室の研究内容について混相流にかかわるテーマを中心に幾つか紹介する。

2. 研究内容

2.1 多孔質体通過流れに関する研究

都市工学の分野においても、内部に多くの間隙を有する多孔質体を通過する流れは散見される。例えば、消波構造物や堤体下部のマウンド、透水性舗装、植生近傍の流れなどであり、気流を考えると都市の建築物や樹冠近傍の流れなどもその一つである。工学的には、多孔質体通過時の抵抗や波・流れの減衰、部材への作用力、物質や熱の拡散などの現象に対する関心が高い。多孔質体の間隙部は一般的に複雑かつ狭小であり、流速計による計測が困難である。そのため、巨視的な圧力降下量の知見に基づくモデリングの事例が多く、直接流動を計測した事例は少ない。

本研究室では、球体群で構成される多孔質体模型とその間隙中を流れる流体の屈折率を合わせることで、光学的に歪みの無い画像を取得し、PTVによって狭隘な間隙部の流動および乱れ成分を計測する研究を行ってきた(例えば、[1, 2])。その結果、一方向流場および振動流場において空間平均操作から定義される間隙部の乱れ成分が非線形速度勾配項と比例関係にあることを *a priori* 検証により示した。また、複雑な固体壁境界を Immersed Boundary 法により取り込んだ数値解析コードを構築し、多孔質体の個々の構成部材に作用する流体力の評価や、間隙形状の変化が巨視的な圧力損失に及ぼす影響なども研究している (Fig. 1) [3]。また、関連する研究として、地

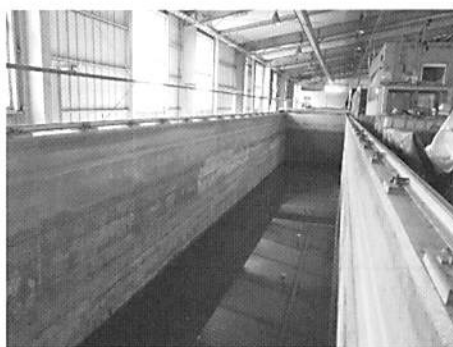


Photo 2 Large scale water flume (100×3×3 m).

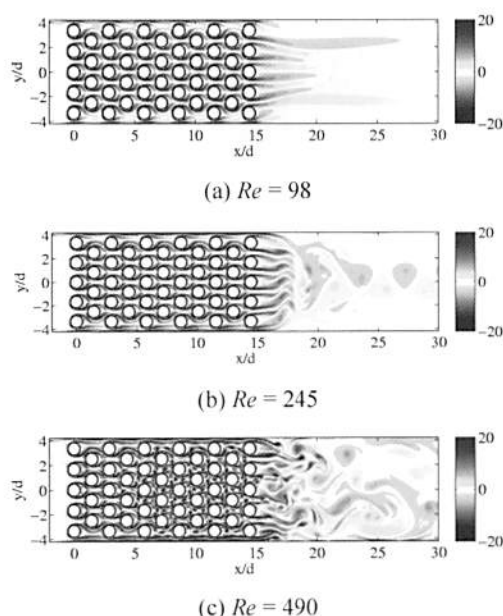


Fig. 1 Transition of velocity (V_x) of the flow passing through 2-D porous media.

震時に浄水施設内の沈殿池で生じるスロッシングにより、傾斜板が被災するメカニズムの解明や、振動円柱群周りに生じる波・流れの研究も行っている。

2.2 画像流速計測法の開発

ほとんどの画像流速計測法においては、流体中に散布された中立粒子を高速度カメラで連続する凍結画像として撮影し、PIV や PTV を用いて解析が行われる。使用する光源の出力が大きく、カメラが高感度であれば高速度で移動する流体の運動も計測可能である。しかし、そうした高性能な機器は高価であり、特に都市工学分野で行う

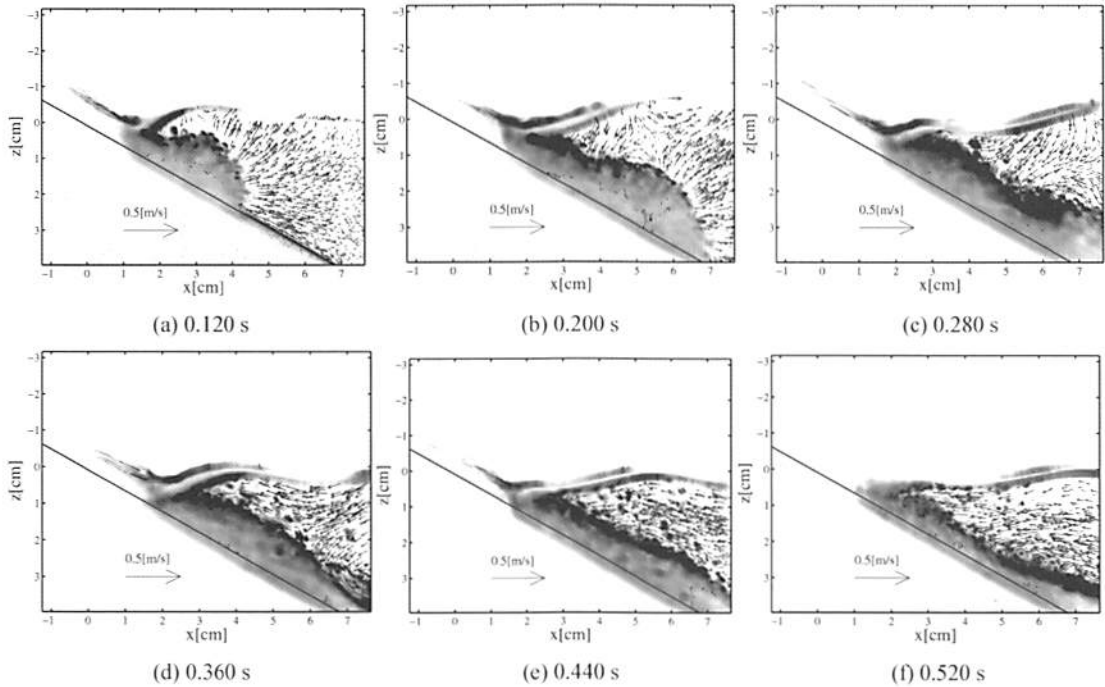


Fig. 2 Flow velocity caused by particle cluster sliding on slope.

ような比較的規模の大きな実験環境では、光量の不足が大きな課題であった。そこで、本研究室では、露光時間と撮影時間を一致させて中立粒子の移動を流跡線として撮影する流し撮影法を用いた流跡線連結法 (PLCV) を開発している (Fig. 2) [4]。PLCV では連続する 2 時刻の画像間で流跡線の端点が近接するので粒子の対応付けが比較的容易であり、計測空間内の流速のレンジが広い場合にも対応できるというメリットがある。さらに、連続する多時刻の流跡線情報を活用することで、ステレオ撮影による 3 次元 PTV の計測精度を向上させることができた [5]。

2.3 水中に投入された土砂に誘起される波・流れの研究

固体粒子群が水中に突入すると、粒子群と流体間の相互作用が生じ、水面形の変化、粒子群の形状変化を伴いながら沈降していく。大水深 (60 m) の釜石港に津波防波堤を築堤する際の効率的な捨石投入法を検討した研究をはじめ、埋立造成における土砂投入に伴う濁りの発生・拡散過程に関する研究、汚濁防止膜による汚濁拡散抑制効果の検討、地すべり津波の発生・伝播機構 (Fig. 2) に関する研究 [4] 等、固液混相流に関する研究は、

数十年にわたって、当研究室の研究テーマとして取り上げられてきた。また、砂の輸送機構の解明は海岸工学における長年のテーマであり、本研究室においても浅海域砂地盤上に設置された構造物脚部で生じる洗堀について研究を進めている。

2.4 津波の伝播・浸水過程と避難行動計画に関する研究

東日本大震災後には、浮体式津波避難シェルターの開発に取り組んだ。また、大阪市域を中心とした高潮と外水氾濫の複合水災害の被害想定を、地下空間を考慮して行ってきた。近年では、大阪市域の津波湛水の排水時間に関する研究にも取り組んでいる。

2.5 高機能な港湾構造物の設計に関する研究

港湾海域の空間の有効利用を目的とした縦スリット直立消波工の開発や、スリット構造を有するブロックの開発を行ってきた。また、直立不透過壁の築造によって鉛直混合が低下した港湾海域の底層の貧酸素化の抑制・解消を目的とした鉛直循環流誘起堤体の開発も行ってきた。近年では、縦スリット消波工の遊水室内にサボニウス水車を設置した波力発電システムの開発に取り組んでいる。また、処理水導入による運河水質の改善

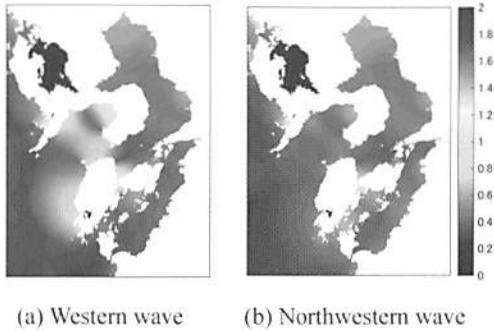


Fig. 3 Simulation result of maximum water level rise caused by different directional micro-barometric pressure waves at western Kyushu Island (m).

についても研究を行っている。

2.6 気象・海象災害のリスク評価

昨年の 2018 年の台風 21 号は記憶に新しいが、台風は毎年のように強風、大雨、高潮、高波など複合災害をもたらす。台風災害の想定は過去の約 60 年間程度の観測資料に基づいているため、地域によっては参照できる資料数が極めて少なく、十分な精度で想定ができない。本研究室では台風の時間発展の統計的特性を模擬したモンテカルロ法による確率台風モデルを構築している[6]。また、それから求まる気圧や風応力を外力として非線形長波方程式や波浪モデルを解くことにより、高潮・高波などの低頻度大災害のリスク評価を行っている。また、高潮は台風という明確な移動性低気圧により生じるが、気象数値予報モデルでも検出が困難な数 hPa 程度の振幅をもった微気圧波の進行により、気象津波と呼ばれる長周期波による異常潮位が生じている。これにより、不意の浸水被害や船舶の転覆、海上工事の阻害などの被害が生じている。こうした災害の発生機構と事前予測方法の確立を目指し、数値シミュレーションとニューラルネットワークモデルを組み合わせた検証を行っている (Fig. 3) [7]。

3. おわりに

砂粒のように小さな粒子まわりの流れから構造物周りの流れ、湾スケールの流れ、全球の熱帯低気圧の挙動に至るまでスケールの大きく異なる混相流を対象に研究しているのが本研究室の

特徴である。そのアプローチも水槽実験から現地調査、数値シミュレーションと多岐にわたる。学生数はそれほど多くないので、研究テーマの引継ぎが教員側にとっても学生側にとっても悩みの種である。時には研究の担い手が途絶えてしまうこともある。しかし、たとえ文献を頼りに一から取り組んで形にしていかなければならない状況であっても、学生諸氏は時に教員の想像を超えて研究室の原動力として一里塚を築いてくれる。その積み重ねを前にして、次の目標を考えるとかが何よりの幸せである。

参考文献

- [1] Nakajo, S., Shigematsu, T., Tsujimoto, G. and Takehara, K., An Experimental Study on Turbulence Induced by Porous Media, Proc. 31st International Conference on Coastal Engineering, 4738-4750 (2008).
- [2] Nakajo, S., Shigematsu, T., Sakashita, N., Tsujimoto, G. and Takehara, K., Oscillatory Turbulent Flow Inside and Around Porous Media, Proc. 6th Coastal Dynamics, CD-ROM, No. 120 (2009).
- [3] Nakajo, S., Takeoka, Y. and Shigematsu, T., Numerical Simulation of Fluid Force Acting on Circular Cylinders in Unidirectional Flow, Proc. 7th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, CD-ROM, 6D5P (2011).
- [4] Shigematsu, T. and Kohno, T., Development of a Measurement Technique for Liquid-Solid Flows Induced by Dispersion Phase with High Concentration, Progress in Multiphase Flow Research, Vol. 2, 141-148 (2007).
- [5] Umase, S., Nakajo, S. and Shigematsu, T., 3D Measurement of Fluid Motion Induced by Ascending Spheres Using the Path-Line Connecting Method, Japanese J. Multiphase Flow, Vol. 24(5), 665-672 (2011).
- [6] Nakajo, S., Mori, N., Yasuda, T. and Mase, H., Global Stochastic Tropical Cyclone Model Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 53(6), 1547-1577 (2014) (doi: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-08.1>).
- [7] Nakajo, S., Yamagushi, R., Kim, S. and Tsujimoto, G., Basic study on Real-Time Prediction of Meteotsunami Using Artificial Neural Network Model Calibrated by Stationary Measurement Data, Proc. 9th International Conference on Asia and Pacific Coasts 2017, 292-301 (2017) (doi: 10.1142/9789813233812_0027).