

瀬戸内などの内海における台風強度の推測のための基礎研究

兵庫県立大学工学研究科
高垣 直尚

1 研究の背景と目的

台風やハリケーンなどの大型熱帯低気圧の発生件数は世界中で年々増加し、その強度は増大する傾向がある。ごく最近では、ハリケーン Irma がバーブーダ島を壊滅させるような大きな被害を起こしている。現在の日本国内でも台風が甚大な被害を起こす事が、度々報道されている。台風の進路と強度をより正確に予測できればこういった被害をより減少させることができる。しかし、台風の進路予測はここ 20 年で飛躍的に進歩したものの、台風の強度予測（風速の予測）に関して、大きな発展は見られなかった。台風強度の予測精度が向上しない原因のひとつとして、台風強度が大気海洋相互作用（つまり、大気海洋間の運動量輸送）に強く支配されている点が挙げられる。したがって、台風強度の予測精度を向上させるためには、海表面を通しての運動量輸送量に関する精度の良いモデルを確立する必要がある。精度の良い海表面を通しての運動量輸送モデルは応募者の研究グループが過去に提案している（Takagaki et al., 2012, 2016a, 2016b）。しかし、これらの研究は、陸面から遠く離れた海洋の真ん中で発生する、海底の影響を受けない深海波という波状態に対しての研究であり、瀬戸内海などの内海で頻繁に発生している、海底の影響を受ける浅海波という波状態に対しての研究は存在しない。したがって、内海においては台風強度の精度向上が見込めないのが現状である。本研究グループの所有する近畿大学に設置された風波水槽においては、造波装置を用いることにより浅海波を再現可能である。また、本風波水槽は全長が 12.5m と小型であるものの、共同利用施設である九州大学の大型風波水槽は全長が 64m と非常に大きい。そこで、本研究課題においては、低風速（風速 20m/s 程度）のみ再現可能な風波水槽を高風速（風速 34m/s 以上）をも実現可能な台風シミュレータへと改修を行う。さらに、改修された台風シミュレータを使用して、風や波の基礎特性を明らかにすることを目的とする。また、運動量輸送量の推定方法について検討する。

2 研究方法・研究内容

図1に近畿大学に設置されている小型風波水槽の概略図を示す。上流側から送風機、拡散胴、整流胴、縮流胴、造波装置、テストセクション、排気胴から構成される全長 12.5m のエッフェル式風波水槽である。テストセクションは長さ 6.5m、幅 0.3m、高さ 0.8m であり、水深を 0.38m とした。また、排気胴には液滴除去装置も取り付けられた。また、図2に九州大学・応用力学研究所・海洋環境シミュレーション実験棟に設置されている海洋環境シミュレーション水槽の概略図を示す。上流側から送風機、整流胴、テストセクション、液滴除去装置から構成される全長 64m の吹き出し式風波水槽である。テストセクションは長さ 54m、幅 1.5m、高さ 2m であり、気流部高さは 0.74m、水深を 1.26m とした。どちらの水槽においても送風機を駆動させ、テストセクション内に気流を流入させることにより、風波の作成を行った。

運動量輸送量を算出するにあたり、Momentum Budget 法を用いた。図3に Momentum Budget 法における圧力、平均水位および水位変動の測定システムの概略を示す。圧力測定にはピトー管 3 台と差圧計 2 台、平均水位測定にはカメラ式水位計、水位変動測定には抵抗式波高計 2 台を用いた。吹送距離 $F = 2.5$ m、検査体積長さ $L_x = 4.0$ m に設定してそれぞれ測定を行った。水位変動測定においては、波高計で測定した波高にゼロアップクロス法を適用した。

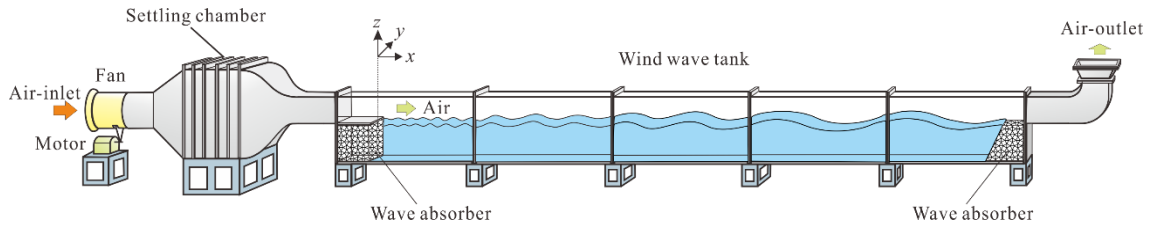


図 1. 小型風波水槽の概略図

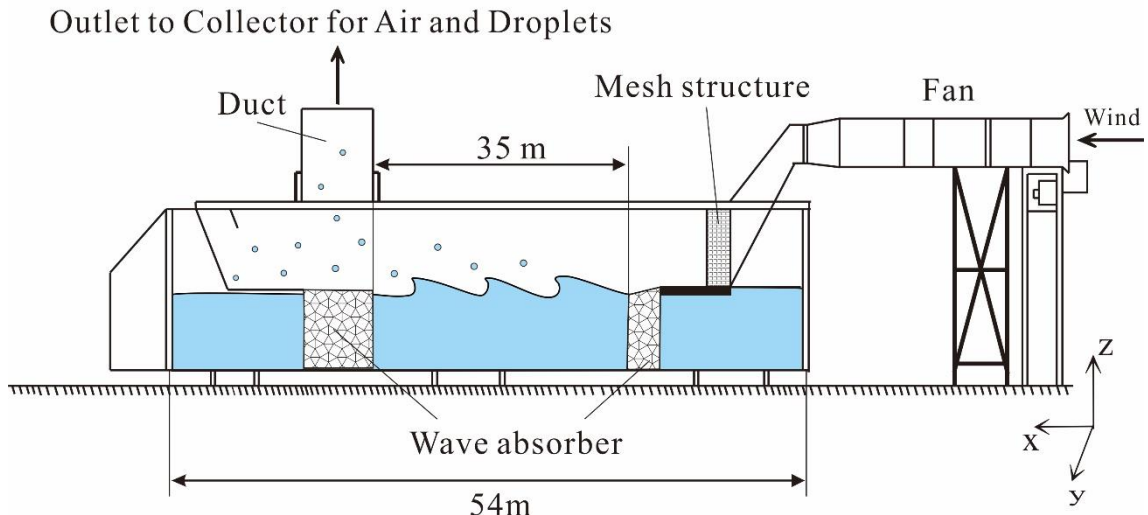


図 2. 大型風波水槽の概略図

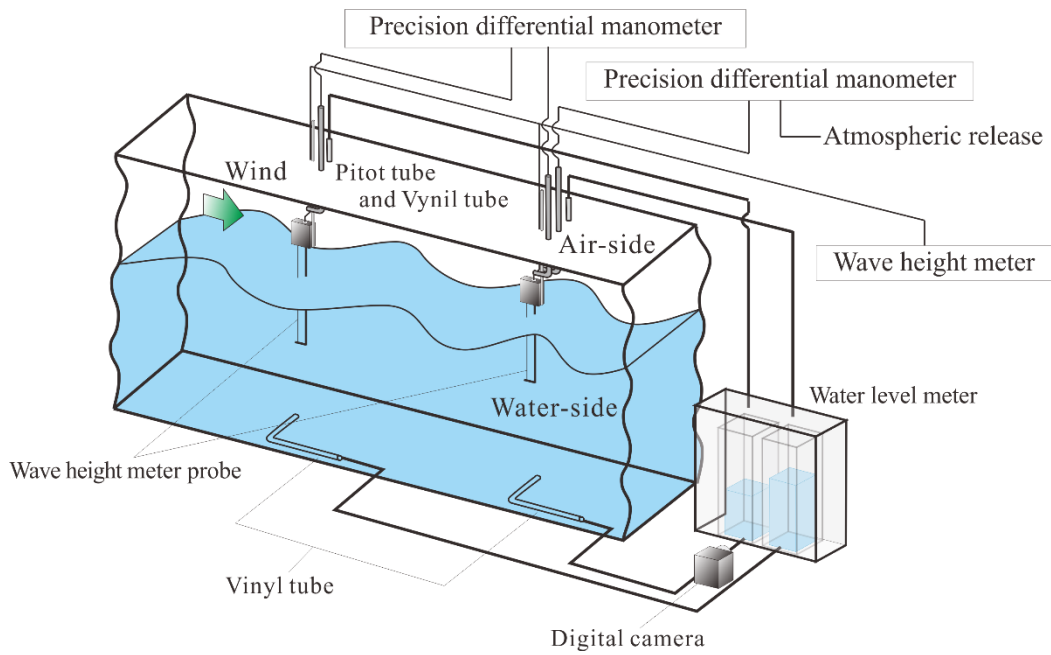


図 3. 運動量収支法における測定機器の概略

3 研究成果

図4に、近畿大学の小型風波水槽を使用した場合の、液滴除去装置を設置しない場合と設置した場合における、ファン回転数と風速の関係を示す。図より、この方法を用いて液滴を回収する場合であっても、風速への影響は小さいことがわかる。また、最高ファン回転数においては一様流速は22m/s程度まで増加しているが、これは海上10mの地点における風速 U_{10} に換算した場合、風速34m/s程度である。以上より、近畿大学の小型風波水槽を台風シミュレータとして利用可能であることを確認した。さらに、図は省略するものの、九州大学の大型風波水槽についても同様の結果が得られたことから、本研究課題において、大きさの異なる2台の台風シミュレータを完成することができた。図5および6に、小型風波水槽における各回転数における風速鉛直分布および風波のスペクトルを示す。図5より、回転数の上昇に伴って境界層が発達していることが分かる。また、図6より風波スペクトルのピーク高さが回転数の増加に伴って増加するものの、ピーク周波数は減少する傾向がわかる。これは、風波の振幅が増大し、波長の長い、いわゆる発達した風波が形成されていることを表している。図7に、本実験で得られた検査体積の長さを $L_x = 4.0$ mとした場合の平均水位差 $h_2 - h_1$ 、水位変動差 $\overline{\eta_2^2} - \overline{\eta_1^2}$ を示す。また、ここでは倉本(2012)の $L_x = 4.0, 8.0$ mの結果とロシアでの $L_x = 5.0$ mの結果も同時に掲載する。図より、水位変動差は、既往研究(倉本, 2012)と一致するものの、平均水位差は既往研究と一致せず、十分な精度で運動量収支を推定することができなかった。今後は治具の改良を加えることで、精度の良い運動量収支法を確立する必要がある。

4 生活や産業への貢献および波及効果

本研究を通して、全長12.5mおよび全長64mの2種類の台風シミュレータの開発に成功した。さらに、これらのシミュレータの基本的な風特性および風波特性について検証し、本シミュレータが良好に動作することを確認した。将来的には、本台風シミュレータを使用した熱・運動量輸送実験を実施する。このようにして得られた正確な物理モデルを気象データや地形のデータの集合体であるWRFなどに組み込むことにより、台風の進路だけでなく、風の強さをより正確に予測することが可能になる、と予測される。

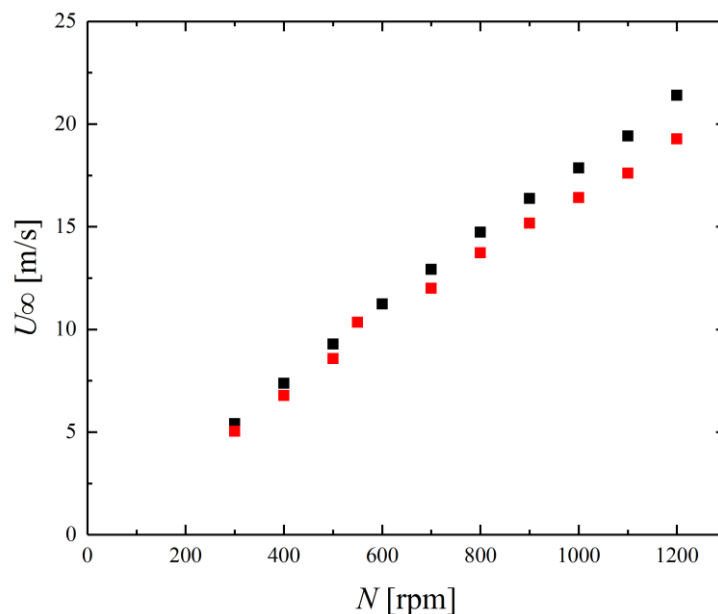


図4. 液滴除去装置の設置前後における一様風速 U_∞ の変化。

■: 液滴除去装置設置前, ■: 液滴除去装置設置後.

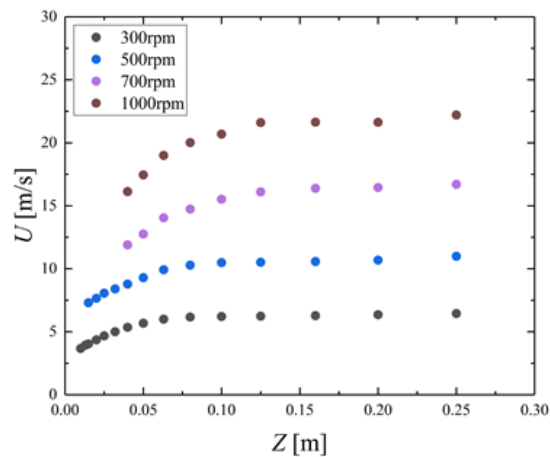


図5. 各回転数における風速鉛直分布

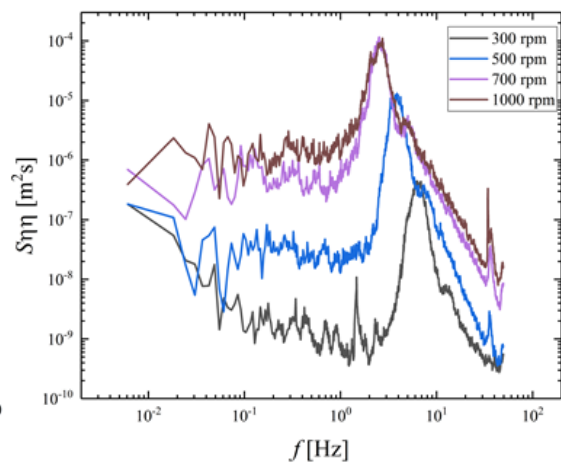


図6. 各回転数における風波スペクトル

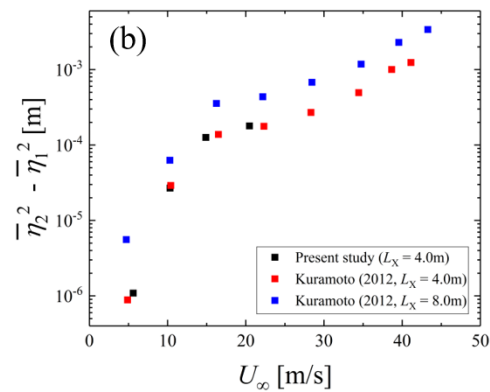
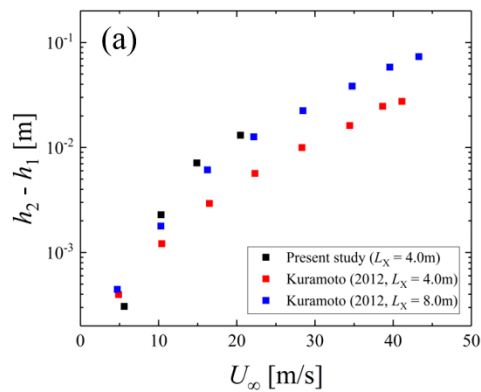


図7. 一様風速 U_{∞} と (a) 平均水位差 $h_2 - h_1$, および (b) 水位変動差 $\overline{\eta_2^2} - \overline{\eta_1^2}$ の関係

参考文献

- Takagaki, N., S. Komori, N. Suzuki, K. Iwano, T. Kuramoto, S. Shimada, R. Kurose, and K. Takahashi (2012), Strong correlation between the drag coefficient and the shape of the wind sea spectrum over a broad range of wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L23604, doi:10.1029/2012GL053988.
- Takagaki, N., S. Komori, and N. Suzuki (2016a), Estimation of friction velocity from the wind-wave spectrum at extremely high wind speeds, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 35(1), 012009.
- Takagaki, N., S. Komori, N. Suzuki, K. Iwano, and R. Kurose (2016b), Mechanism of drag coefficient saturation at strong wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070666
- 倉本武典, 平成23年度修士論文, 「高風速における砕波気液界面を通しての運動量の輸送機構」