

気液温度差を利用した風波発達機構に関する水理実験

岩手大学 学生会員 ○菅原健太, 菅原圭吾 正会員 小笠原敏記

1. はじめに

国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次評価報告書（AR5）では、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」と結論している。今後、温暖化が進み、海水温がさらに上昇すれば、極地では大気との温度差がより顕著になる。その結果、風波の生成・発達過程に影響が及び、従来とは異なる波浪が生成される可能性が考えられる。

そこで本研究では、気体と液体に明確な温度差のある風浪場を生成させることが可能な風洞付き水槽を用いた実験を実施する。波高や可視化データを基に、気液間の温度差の有無が、風波発達機構にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする。

2. 実験概要

(1)実験装置

実験には長さ 17m、幅 0.5m、高さ 1.2m の水槽に高さ 0.3m の風洞（一部ハニカム構造）を取り付けた吸入型風洞付造波水槽を用いた。図-1 に水槽、計測機器の位置を示す。水深は 0.8m とし、造波装置から 8.7m の位置に容量式波高計（KENEK 製）、9.6m の位置に温度計（testo 製）を設置し、9.2m の位置を撮影地点とした。撮影は渡部ら(2014)を参考にし、風洞天端から赤外線カメラ（InfReC R300SR, 日本アビオニクス製、以下 IR）、水槽側面から高速度ビデオカメラ（SpeedSenseM310, Dantec Dynamics 製、以下 HSC）を用いて行った。また、各カメラのフレーム数、画像サイズ、撮影範囲の条件を表-1 に示す。容量式波高計のサンプリング周波数は 100Hz とした。

(2)実験条件

代表風速 U_r (水面から高さ 10cm での風速) を 3m/s および 6m/s とし、それぞれの風速において、室温を常温とした場合(Normal)と冷却し温度差を大きくした場合(Cold)の計 4 パターンを測定対象とした。

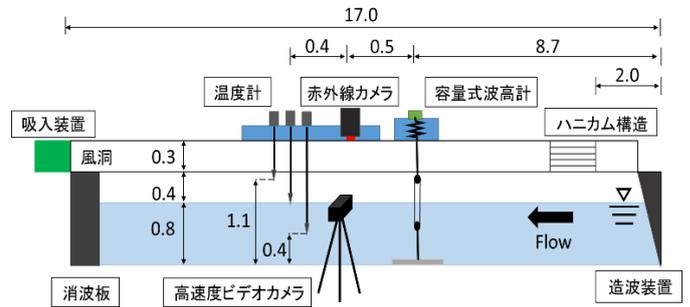


図-1：造波水槽および計測機器の位置（単位：m）

表-1：撮影条件

	IR	HSC
フレーム数(fps)	5	30
画像サイズ(pixel)	320×240	1280×800
撮影範囲(cm)	27.4×20.6	37.1×23.2

表-2：計測条件

Case	U_r (m/s)	t_a (°C)	t_w (°C)
Case1 : Normal	3	12.64	4.19
Case2 : Cold	3	-9.20	4.12
Case3 : Normal	6	10.38	4.16
Case4 : Cold	6	-8.05	3.10

それぞれの Case における気温 t_a と水温 t_w を表-2 に示す。温度計は、図-1 に示すように空気中、水面、水中の 3 点に設置し、常時計測を行うようにした。風を起し始めると同時に、二台のカメラと波高計による計測を開始 ($t=0s$) した。計測時間は、IR と波高計を 180 秒間、HSC を 60 秒間としたが、解析には $t=0\sim 60s$ までのデータのみを用いた。また、水槽の側面に断熱材を取り付けることで外気を遮断し、各計測間で水の攪拌を行うことにより、実験の条件を揃えるようにした。

キーワード：風波，水理実験，気候システム

連絡先：岩手県盛岡市上田 4 丁目 3-5

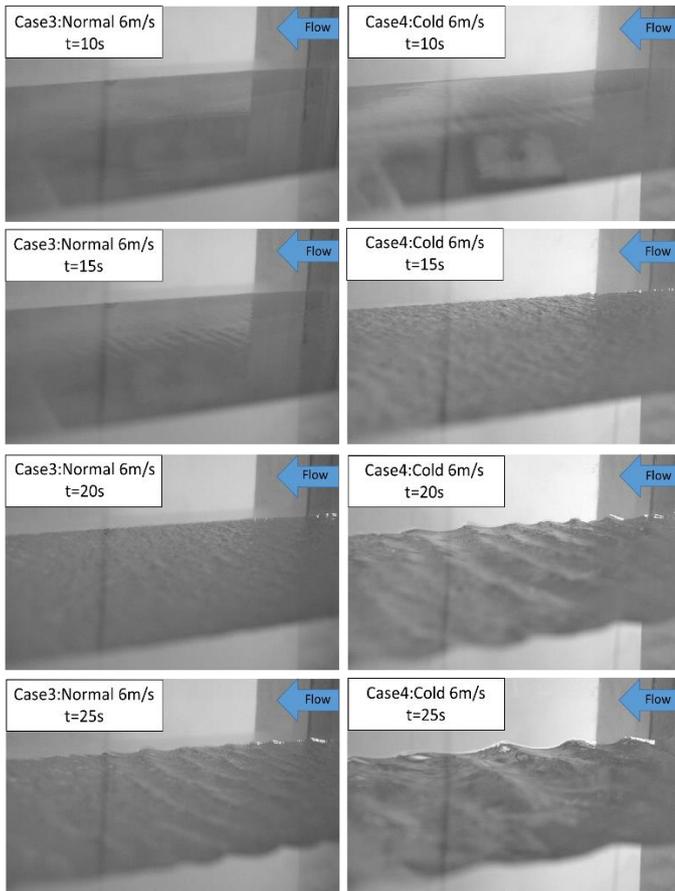


図-2 : $U_r = 6\text{m/s}$ における風波の生成過程の様子

3. 実験結果と考察

図-2 は、 $U_r = 6\text{m/s}$ である Case3, 4 における $t = 10\sim 25\text{s}$ での水面の様子を 5 秒刻みで示したものである。 $t = 10\text{s}$ の時、Normal の場合では水面がフラットであるのに対し、Cold の場合ではすでに波の生成が始まっていることが分かる。 $t = 15\text{s}$ 以降では、波の発達過程が大きく異なることから、気液間の温度差が大きくなると、風波の発達が早くなり、波高が大きくなることが確認できる。

この様子を定量化するために、容量式波高計で計測した波高の時間変化を 10 秒間ごとに区切り、それぞれの範囲で有義波高 $H_{1/3}$ を算出した。その結果を図-3 に示す。 $U_r = 3\text{m/s}$ の Case1, 2 では、 $H_{1/3}$ に大きな違いを確認することはできない。それに対し、 $U_r = 6\text{m/s}$ の Case3, 4 では、温度差が顕著な Case4 の方が、温度差の小さい Case3 に比べて波高が最大で約 77% 大きくなる。さらに、 $t = 15\sim 35\text{s}$ の 20 秒間に注目してみると、単位時間当たりの波の成長高さは Case3 が 0.62mm 、Case4 が 0.80mm であり、温度差が大きくなると、波が成長し易くなることが分かる。

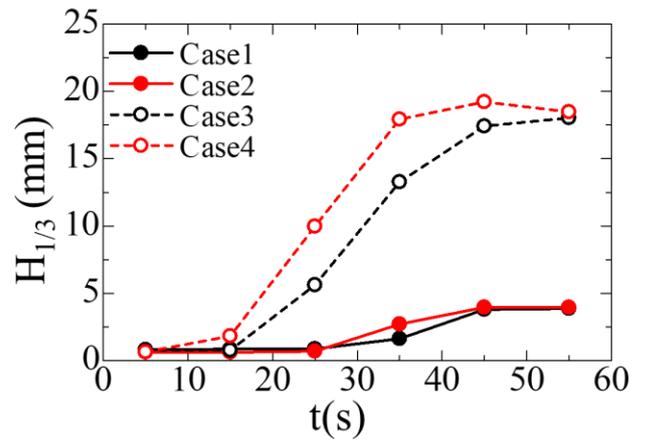


図-3 : 10 秒ごとに区切って算出した有義波高

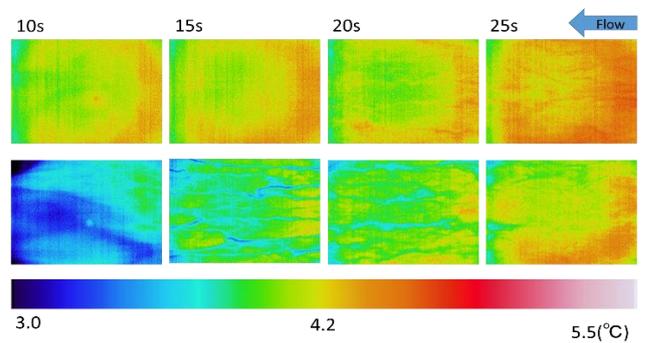


図-4 : IR で撮影した Case3(上)、Case4(下)の様子

つまり、風の吹き始めでは気液間の温度差が波の発達に大きな影響を及ぼしていることから、極地での海水温の上昇は、高波浪の波を生成させ易くする可能性を示唆すると推測される。

さらに、気液間の温度差の有無によって、海面温度がどのように変化するかを示したものが図-4 である。時間は図-2 の可視画像と対応している。Case3 と Case4 の間には温度上昇の違いを確認することができ、Case4 に関しては $t = 15\text{s}$ で縞模様のように温度が上昇している様子が見られる。しかし、本研究ではこのような温度変化が風波の発達とどのように関係しているかの解明には至らなかったため、今後さらなる検証が必要である。

参考文献

渡部靖憲ら(2014): 風波下的高速表面水温計測による波面を通じた熱輸送の変調の解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.70, No.2, p. I_56-I_60