

不安定成層における風波の発生・発達特性に関する実験

岩手大学 学生会員 ○増田健太，菅原圭吾 正会員 小笠原敏記

1. はじめに

地球温暖化が進行し、海水温が上昇すれば、極域の海水と大気との温度差が大きくなることが予想される。つまり、海水温よりも気温が低くなるような不安定成層の期間が増加する傾向になると考えられる。菅原ら(2018)の可視化実験により、中立成層に比べ、不安定成層では、波の発生が早くなり、波高も大きくなる傾向を明らかにしているが、定性的な結論に留まっている。

そこで本研究では、気液温度差の波浪場を設定することが可能な風洞水槽を用いて、中立および不安定成層における実験を行い、温度成層が風波の発達に与える影響について検討する。

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。なお、水槽の側面・底面に断熱材を取り付けることで外気を遮断した。図-1 に水槽の概要および計測機器の位置を示す。水深は 0.8m とし、造波装置から 9.25m の位置に風速計(MotherTool 製)、9.75m の位置に容量式波高計(KENEK 製)、12.5m の位置に温度計(test 製)を設置した。サンプリング間隔は風速計を 1sec、容量式波高計を 0.01sec、温度計を 1min 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、風温 T_a と水温 T_w の差 $\Delta T (= T_a - T_w)$ を与えて、加藤ら(1996)を参考に、中立成層($|\Delta T| < 3^\circ\text{C}$)を 1 パターン、不安定成層($\Delta T \leq -3^\circ\text{C}$)を 2 パターンの計 6 パターンを設定した。それぞれの Case における風温 T_a と水温 T_w を表-1 に示す。なお、 ΔT を決める際の風温は、水面から高さ 10cm の位置の温度、水温には水深 10cm の位置での温度を用いた。風を起こし始めると同時に、波高計と風速計による計測を開始($t=0\text{s}$)し、その 1 分後に、温度計による計測

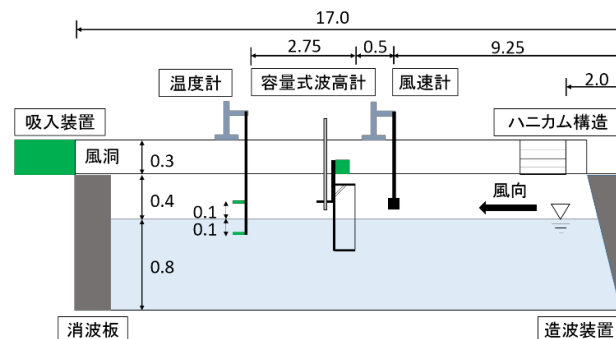


図-1 水槽の概要および計測機器の位置(単位:m)

表-1 計測条件

Case :成層区分	U_r (m/s)	T_a ($^\circ\text{C}$)	T_w ($^\circ\text{C}$)	ΔT ($^\circ\text{C}$)
Case1 :中立	3	13.0	10.6	2.4
Case2 :不安定	3	4.9	9.8	-4.9
Case3 :不安定	3	1.0	10.0	-9.0
Case4 :中立	6	10.2	9.7	0.5
Case5 :不安定	6	5.5	10.3	-4.8
Case6 :不安定	6	2.2	10.6	-8.4

を行った。各計測機器の計測時間は 180 秒間とした。

3. 実験結果と考察

図-2 は、各 Case における波高の時系列変化を示す。なお、波高はゼロアップクロス法を用いて算出した。 $U_r=3\text{m/s}$ と 6m/s の Case 共に、中立成層(Case1 および Case4)に対して不安定成層の方が、波立ちが早く、波高が大きくなることが確認できる。さらに、波が平衡状態に達した以降の各 Case の有義波高と有義波周期を図-3 に示す。なお、平衡状態は、図-2 に示すドットから 180 秒までの範囲とした。 $U_r=3\text{m/s}$ では、有義波高 $H_{1/3}$ は最大 3 倍弱、有義波周期 $T_{1/3}$ は最大 1.5 倍強増加した。また、 $U_r=6\text{m/s}$ においても同様の傾向が見られたが、 $U_r=3\text{m/s}$ の方が、増加傾向が顕著に表れた。

次に、平衡状態における波の周波数スペクトルを図-4 に示す。同じ風速でも、中立成層より不安定成層の方が、ピーク周波数が低周波数側になり、スペクトルも大きくなることがわかる。つまり、風側のエネルギーが

キーワード 風波，不安定成層，波の発達

連絡先 〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学理工学部 togasa@iwate-u.ac.jp

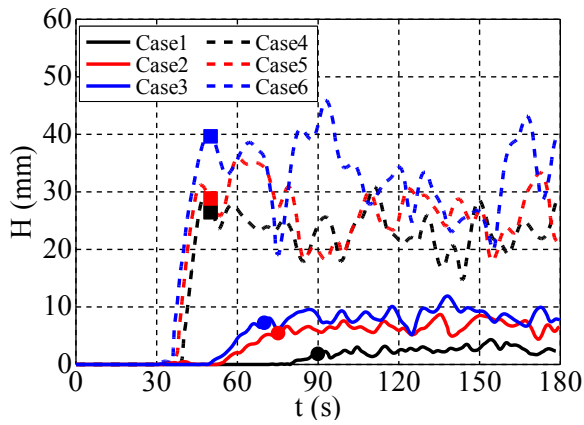


図-2 波高の時系列変化

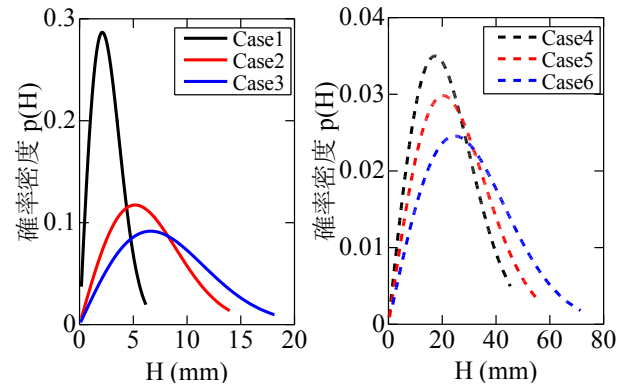


図-5 平衡状態における波高のレイリー分布

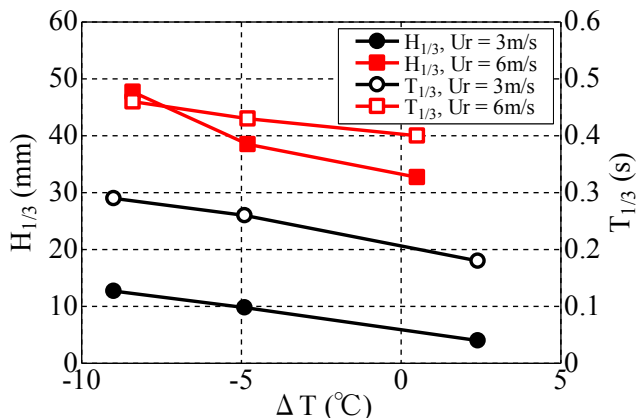


図-3 平衡状態における有義波高と有義波周期

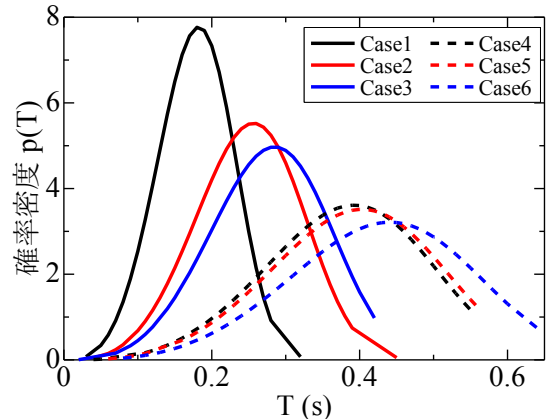


図-6 平衡状態における周期のレイリー分布

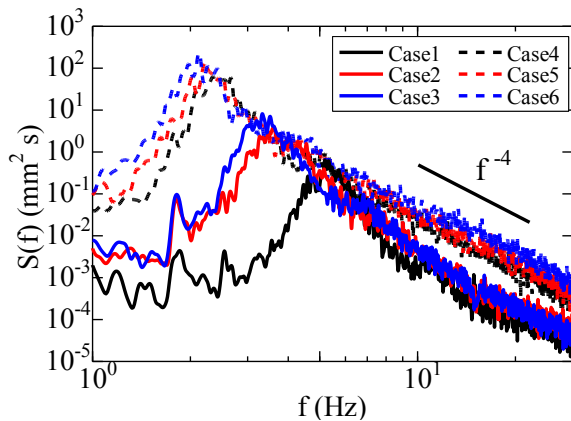


図-4 平衡状態における波の周波数スペクトル

水側に供給されやすくなり、その結果、波高と周期の増大につながっているものと推測される。

風波の波高と周期の出現確率を近似させることができる、レイリー分布で整理した結果を図-5 および図-6 に示す。図-5 の Case1 では、波高 2mm 以上の波の出現確率が 64.0% に対して、Case3 は 95.5% と増加し、最大波高も大きくなる。また、図-6 においても、Case1 では、周期 0.2s 以上の波の出現確率が 33.8% に対して、Case3 では 83.4% と増加し、最大周波数も大きくなる。この

ような傾向は $U_r=6\text{m/s}$ においても見られたが、 $U_r=3\text{m/s}$ の方が、増加傾向が顕著に表れた。よって、特に弱風速の環境下では、中立成層より不安定成層の方が、大きな波高・周期の出現確率が高くなり、波の規模が大きくなることがわかる。

以上より、中立成層より不安定成層の方が、風からのエネルギー供給がされやすくなると考えられ、波高・周期が大きくなるものと考察される。また、風速が低い方がその傾向は顕著に表れることを明らかにした。今後は温度差が大きくなる程、風側のエネルギーが水側に供給されやすくなる原因を解明するため、海面温度の状態の検証も必要と考えられる。

参考文献

- 1) 菅原健太ら(2018): 気液温度差を利用した風波発達機構に関する水理実験, 土木学会東北支部技術研究発表会
- 2) 加藤始, 長山英樹, 信岡尚道(1996): 風波の発生・発達に及ぼす逆流と温度成層の効果についての研究, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp.251-255