

II - 377

風波の発生・発達に及ぼす温度成層の影響についての実験

茨城大学工学部 正 員 加藤 始
 茨城大学大学院 長山英樹
 若築建設 下村泰史
 茨城大学工学部 正 員 ○信岡尚道

1. 研究目的

現在の波浪推算法において、気温と水温の温度差（温度成層）の効果は地衡風から海上風を計算するときには考慮されるが、風波の発達率の計算には全く取り入れられていない。30年以上前のRo11¹⁾の研究では、同じ風速に対して気温が海面温度より低いときは、その逆のときよりも波高が大きいことが示されている。この温度成層が風波の発達に及ぼす影響については、理論的にはJanssenら(1985)の研究があるが、実験的な研究はこれまでにないようである。本研究は、気温と水温の温度差（温度成層）が風波の発生・発達に及ぼす影響を小型風洞水路を使って実験的に調べたものである。

2. 実験条件

実験に使用した風洞水路は、幅0.3m、高さ0.8m、有効フェッチ約9mの両面ガラス張り、水深45cmに対して最大断面平均風速は約17m/sである。水中に氷や湯を入れて風温と水温の差 ΔT を与え、安定成層($\Delta T > 6^\circ\text{C}$)と不安定成層($\Delta T < -6^\circ\text{C}$)を作り、中立成層($|\Delta T| < 3^\circ\text{C}$)の場合と共に、風速を表-1のように3種類変えて測定を行った。測定点は吹送距離順にA点(F=0.75m)、B点(2.5m)、C点(5.5m)、D点(8.5m)の4点とした。

3. 実験結果

3-1 風温の鉛直分布：熱電対温度計を使用して測定した水面上の風温の鉛直分布の例を図-1, 2に示す。温度分布は $\Delta T < -6^\circ\text{C}$ のときは水面の近くで不安定な成層を示し、 $\Delta T > 0$ のときは安定な成層を示す。また図-1のB点より図-2のD点の方が温度境界層の厚さも増加している。不安定成層では、上下の空気が安定成層に比べて混合しやすいから、風から水面への運動量輸送量も大きくなると考えられる。

3-2 風速：図-3にはピトー管で測定した風速の鉛直分布の1例を示す。安定成層と不安定成層だけを比較した場合、ほとんどのケースにおいて不安定成層の方が安定成層より境界層で風速の減衰が大きい。風速分布から求めた摩擦速度 u_* の値を、それぞれの風速について安定成層の点を線でつないで図-4に示す。全体的にばらつきはあるものの、安定成層に比べ不安定成層での u_* の値が大きくなっている。一般に風から波へのエネルギー輸送は u_* のほぼ2乗に比例することが知られており²⁾、この結果から安定成層より不安定成層の方が波が大きくなることが予想される。

次に図-5はホットフィルム流速計を使用して測定した境界層内の風の変動の鉛直分布を示しているが、ここでも風の乱れの大きさは、不安定成層>中立成層>安定成層の順となっている。

3-3 吹送流：吹送流については水面での値 u_0 を、 π ラジアンをこませた計算機カードで作ったフロートが水路の一定区間を通過する時間をストップウォッチで測って測定した。図-6で安定成層の結果だけを直線で結び u_0 の値を比較する。吹送距離0.25mの600rpmを除く全ての点、風速で不安

表-1 回転数と平均風速

送風機回転数 (rpm)	断面平均風速 (m/s)
600	5.63
900	8.55
1200	11.25

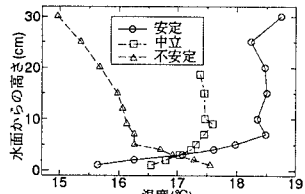


図-1 温度分布 (B点600rpm)

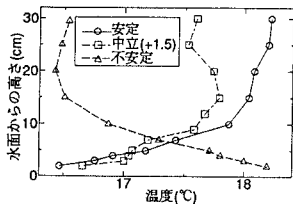


図-2 温度分布 (D点600rpm)

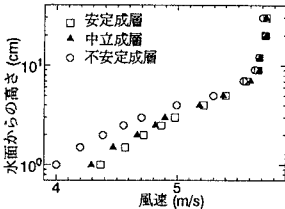


図-3 風速分布 (B点600rpm)

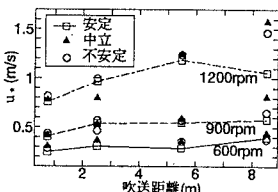


図-4 各成層の摩擦速度

定・中立成層が安定成層より大きくなっており、これは図-4で示した u_* の値の大小にほぼ対応している。

3-4 波高($H_{1/3}$)

測定した安定及び不安定成層での波高($H_{1/3}$)のデータは、Roll¹⁾にならって各風速・各測点ごとにほぼ中立成層とみなせる場合の波高を100%とした波高比の形でプロットした。図-7はその1例(1200rpm)であるが、不安定側($\Delta T < 0$)ではRoll¹⁾の現地観測データと同様に、 ΔT が小さくなるほど $H_{1/3}$ が大きくなる傾向を示している。しかし安定側($\Delta T > 0$)ではばらつきが大きく、一定の傾向がみられない。他の風速の結果も同様であった。

4. 考察

図-7の波高の結果はRoll¹⁾の結果と異なって、安定成層側ではっきりした傾向が見いだせなかった。図-6で示した表面吹送流の値には、ほぼ不安定成層>中立>安定成層となる傾向がある。ところで一般に風波の各成分波の発達に関して、 $t_1 = F_1 / C_g \dots (1)$ (C_g :群速度) で関係づけられる吹送距離 F_1 と吹送時間 t_1 とは力学的に等価である。したがって風と順方向の流れがあると群速度が増加するため、発生する風波は流れがないときよりも小さくなり、逆に逆流があるときは発生波は大きくなる³⁾。吹送流も波の群速度に影響を及ぼすので、図-6にみられる表面流速 u_0 の差も波の発生・発達に影響を及ぼすはずである。

図-8は本実験における中立成層の場合の各点の卓越波の波長を示しており、安定・不安定成層の場合の波長もほぼ同様の値を示す。これらの波長に対して、吹送流の分布は対数分布⁴⁾

$$U(y) = u_0 - U_r \cdot \ln((z_0 - y)/z_0) - b_1 y, \quad (z_0 = 0.01 \text{ cm}) \quad (2)$$

に従うものとして、表面吹送流 u_0 に対する群速度 C_g の値を計算すると図-9のようになる。図-6の不安定成層と安定成層での u_0 の差は高々3~4cm/sであるが、図-9の結果によると、波長10~15cm程度までの波に対しては群速度 C_g が5~10%程度大きくなる。すなわち不安定成層時には群速度が増加する分だけ風波の発達が抑えられることになる。また安定成層では中立のときより u_0 がやや小さいので、波の発達はやや大きくなる。この効果は波長が短いときほど影響するが、C点~D点と波長が長くなってくると次第に小さくなり、不安定成層時の風から水面への運動量輸送量の増大傾向に消されて無視出来るようになるのではないかと考えられる。図-10は900rpmの風速で、各点での水面変動の $\overline{\eta^2}$ の、A~B, B~C, C~Dの各区分での差を安定と不安定と比較したものであるが、吹送距離の小さいときと大きいところとで波の発達率に差がでる傾向が見られる。

参考文献

- 1) Roll, H. U. (1952): Deut. Hydrogr., Z. 3, pp. 111-114.
- 2) 光易恒(1990): 土木学会論文集, No. 423/II-14, pp. 1-13.
- 3) 加藤始・鶴谷広一(1978): 土木学会論文集, No. 270, pp. 73-83.
- 4) 加藤始(1975): 土木学会論文集, No. 239, pp. 37-46.

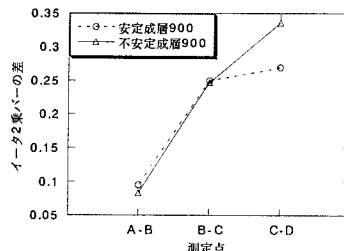


図-10 発達率平均 (900 rpm)

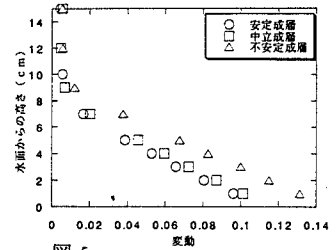


図-5 風速の変動B点600rpm

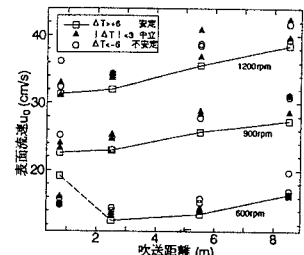


図-6 温度差による吹送流の違い

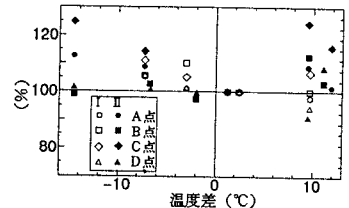


図-7 波高に及ぼす温度差の影響(1200rpm)

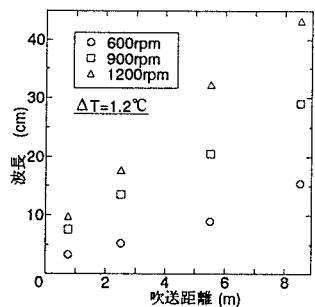


図-8 吹送距離と波長の関係

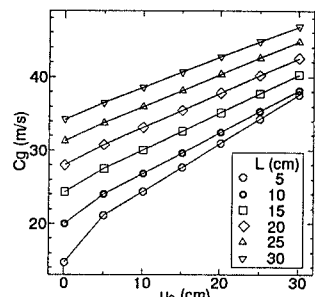


図-9 u_0 と C_g の関係