

II-366

風と潮流の共存場での風速分布と水面抵抗の特性

中国工業技術試験所 正会員 埜口英昭・肥後竹彦

1. まえがき 海域の環境保全上問題となる浮遊ゴミ, 油, 赤潮などは, いずれも海洋表層に集中して分布し, これらの移動・拡散は, 風と潮流との複合的な作用に支配されるため, その輸送機構は複雑である。著者らは, このような流れのある場での風と吹送流の特性を明らかにするための風洞水槽実験を行っており, ここではその結果をもとに, 風と流れが共存する場での風速分布の特性や風波と水面抵抗の特性について述べる。

2. 実験装置と実験方法 実験は, 長さ50mの風洞水槽(幅60cm, 高さ1.2m, 水深80cm)を用いて行った。この水槽には回流装置が付属しており, 水槽内に一樣な水流を起こすことができる。循環流量は, 配管系に取り付けた電磁流量計でモニターされる。今回は, 水流と風向を同じ向きに設定した実験を行なった。設定風速(水槽内への送風口から1.5m後方の風路断面中央での値)は, M2(4.5m/sec), M3(6.2m/sec), およびM4(8.4m/sec), 回流流量の設定条件は, NF(流れ無し), UW10(流量2.9m³/min., 断面平均流速10cm/sec), UW20(同5.8m³/min., 同20cm/sec), およびUW29(同8.3m³/min., 同29cm/sec)とし, 合計12ケースの測定を行った。測定項目は, 風速, 風波, および流速である。風速は外径6mmのピトー管に精密微差圧計を接続して計測し, 風波の測定は容量式波高計を, 流れの計測はFLVを用いて行った。計測断面は, 送風口からの距離(フェッチ)をF1.5m, F6.4m, F11.3m, F16.7m, F21.6m, およびF26.6mの6断面とした。なお, 今回は風と風波の測定結果に基づいた報告のみを行う。

3. 実験結果および考察 図1に, 風速設定がM3で流れがない(NF)場合の風速の鉛直分布の測定結果を示す。静水面を基準とした高さ z が10cm以下の水面付近の風速分布についてみると, F1.5mからF6.4mまでは一旦風速分布が低下しているが, それより下流側ではフェッチとともに風速分布は増加していく傾向を示す。また, それぞれの断面で対数則を適用したときの直線の勾配は, フェッチによってあまり変化しないようである。図2に, 図1と同じ風速条件でUW29の流れを与えた場合の結果を示す。 z が10cm以下の水面付近の風速分布についてみると, F16.7mまではフェッチとともに風速分布が低下していくが, フェッチが16.7mから21.6mの間では水面付近の風速の加速現象が生じており, それより下流では風速分布は増加していく。すなわち, 流れのある場では, 風下側へと水面付近の風速分布の減速領域が顕著になり, その後加速領域となる。他の実験結果を総合すると, 同一風速条件であれば流れの速度が大きくなるほど減速領域の長さが下流側へ延びていく。その結果, 同一フェッチの断面で比較すると, 流れの有無によって水面付近の風速分布に顕著な差が出てくる。図3は, 風速分布から求めた摩擦速度のフェッチによる変化の様子を示す。M2の風速条件では流れの有無による摩擦速度の傾向の差は明確ではないが, M3, M4の風速条件では傾向に明確な差が出ている。すなわち, 流れがない場合の摩擦速度はほぼ一定値かフェッチとともにやや減少傾向なのに対し, 流れがある場合には風速分布の減速領域で摩擦速度は減少し, 加速領域にはいと増

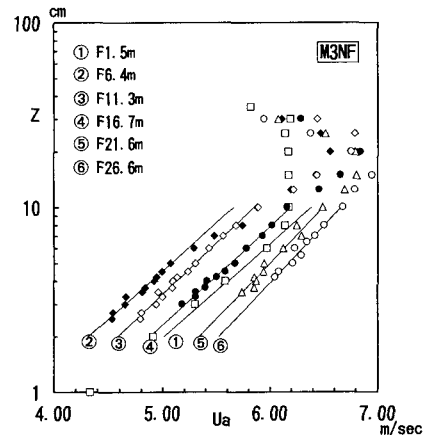


図1 水面上の風速分布 (M3NF)

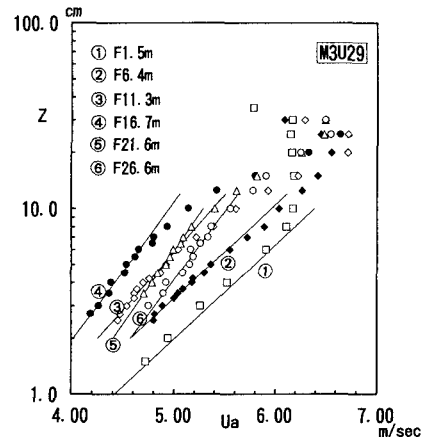


図2 水面上の風速分布 (M3UW29)

加傾向を示している。次に、局所平衡仮説^{1)・2)}に基づいて、風と流れが共存する場での風波と水面粗度について検討する。局所平衡仮説とは、実際にはフェッチとともに風波のエネルギーなどは徐々に変化して行くが、その場その場では風と風波が概ね平衡状態にあると考え、風と風波の統計的性質が、摩擦速度 u_* 、重力の加速度 g 、風波のエネルギー E 、および風波の主振動数 ω_p の四つのパラメータで決まるとするものである。そこから導かれる風波のエネルギーと主振動数の関係、および粗度 z_0 と主振動数の関係は、

$$\frac{E \omega_p^4}{g^2} \approx 0.051 \left(\frac{\omega_p u_*}{g} \right) \quad ; \quad (\text{鳥羽の3/2乗則}) \quad (1)$$

$$\frac{g z_0}{u_*^2} = \alpha \left(\frac{\omega_p u_*}{g} \right)^m \quad (2)$$

である。式(2)の指数 m と係数 α の値については諸説がある。注意すべき点は、 m が0以外の場合には、粗度すなわち抵抗係数は代表風速 $U(z_r)$ だけで決まるのではなく、波の主振動数も関係することである。図4は、風波の非線形度（縦軸）と波風径数（横軸）の関係を示し、図中には式(1)および草場らの実験結果も示している。黒塗りの記号で示したNFのケースでは、実験値は鳥羽の3/2乗則に良く一致しており、この風洞水槽内の風波は局所平衡仮説を満たすという意味では正常な風波であるといえる。一方、白抜き記号で示した流れの場でのデータは、3/2乗則よりも幾分上方に分布している。図5は、無次元粗度（縦軸）と波風径数（横軸）の関係を示す。図中の破線は鳥羽の説（式(2)で $m=-1$ ）、一点鎖線はCharnockの説（式(2)で $m=0$ ）、実線は増田らの説（式(2)で $m=1$ ）である。実験値にかなりのばらつきはあるものの、全体的な傾向としては増田らの説に近い。ただ、風速の条件によって幾分傾向に差があり、M2からM4へと風速が大きくなるにつれて実験値は下方へずれていく傾向を示す。

4. あとがき 風洞水槽実験結果に基づいて、風と流れが共存する場での風速分布の特性、摩擦速度とフェッチの関係、風波と水面粗度の統計的性質などについて調べた。今後は、風によって生じる吹送流の鉛直分布の特性の検討結果と併せて、風と流れの共存場での水面を通しての風の運動量の輸送機構を明らかにしていきたい。

4. あとがき 風洞水槽実験結果に基づいて、風と流れが共存する場での風速分布の特性、摩擦速度とフェッチの関係、風波と水面粗度の統計的性質などについて調べた。今後は、風によって生じる吹送流の鉛直分布の特性の検討結果と併せて、風と流れの共存場での水面を通しての風の運動量の輸送機構を明らかにしていきたい。

<参考文献>

- 1) 増田・他：風と風波の局所平衡仮説に基づく水面抵抗法則について、九大応力研所報64号，1987. 2.
- 2) 草場・他：局所平衡仮説に基づく水面粗度と抵抗法則，九大応力研所報67号，1989. 2.

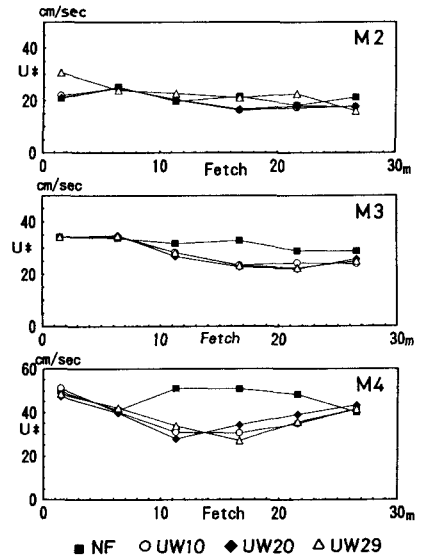


図3 フェッチによる摩擦速度の変化

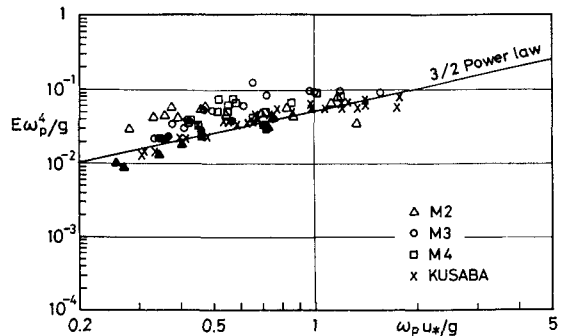


図4 風波の非線形度と波風径数の関係

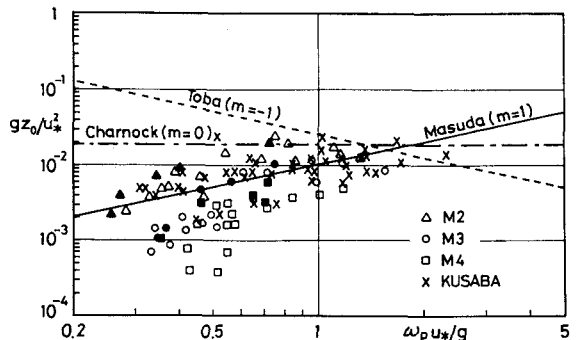


図5 風波の無次元粗度と波風径数の関係