

風洞水槽内の風の乱れに及ぼす助走路粗度の効果

九州工業大学工学部 正員 浦 勝 学生員 棟本 敏広
" 学生員 ○岩永 洋 " 川原三樹生

1. はじめに 二層流の密度界面における連行現象は密度界面における密度差、乱れ強度および乱れ積分スケールによって規定されていることがわかった¹⁾。このとき、界面近傍における乱れ強度 u'_i と断面平均流速 U_m との比 u'_i/U_m は上層流では0.09~0.11であるのに比べ、二層場の吹送流の界面の乱れは逆流平均流速を用いると0.38と非常に大きいこと、界面活性剤を添加して表面波を抑制した場合は0.21に低下することがわかった。一方、加藤²⁾は下層流の実験において下層の壁面に粗度をつけることによって u'_i/U_m を0.12~0.02まで変化させている。以上のことから、風洞水槽を用いて、 u'_i/U_m をさらに広範囲に変化させたいと考えている。この目的が風洞水槽の風路助走部にどのような柵粗度をつければ達成されるかを推定するために、まず風の乱れと表面波の変化を実験的に調べた。

2. 実験方法 実験は図-1に示す風洞水槽に淡水を満たして行った。このとき、風路助走部底面には図-2に示すような高さ $k_0=5\text{mm}$ の直角三角形柵粗度を間隔 λ で風路と同じ幅200mm、厚さ2mmのアクリル板に張り付けたものを設置した。このとき、 $\lambda/k_0=12, 6, 3$ の三種類を用いたが、直角三角柱の斜面が風上側にあるものを Dune type、風下側となるものを Anti-Dune type、粗度をつけない場合を Smooth とし、 λ/k_0 の値により図-2の右端に示した記号を用いて表示することにした。風路内の位置表示は助走路末端の静止水面を原点にとり、風下側に x 軸、鉛直上向に z 軸をとった。風速の測定は $x=204\text{cm}$ に X 型 Hot-wire を設置して行ったが、197cm に設置した JIS 型ピトー管によりあらかじめ検定を行った。波高の測定は $x=245, 355\text{cm}$ の二点で行った。

3. 平均風速分布・空気摩擦速度 静止水面からの高さ z における風速 U の測定例を図-3に S, D3, AD3 の場合について示す。これらは送風機の回転速度を400, 600, 800, 1000, 1200rpm とした場合のものである。いずれも S に比べて粗度をつけた場合は風路中央部の一様風速 U_m が減少しているが、水面近傍の速度勾配は D が大きくなり、AD は減少傾向にあることがわかる。水面上の空気摩擦速度 u_{*a} と粗度パラメータ z_0 (粗度 k) は次のようにして求めた。まず測定値 U, z を片対数紙にプロットして水面近傍を直線で近似し、直線上の二点の値を式(1)に代入し、 u_{*a} と z_0 を求める。このようにして求めた u_{*a} を用いて U/u_{*a} と $z u_{*a}/\nu$ を図-4のよ

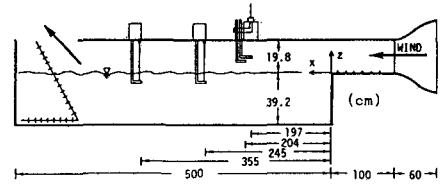


図-1 風洞水槽側面図

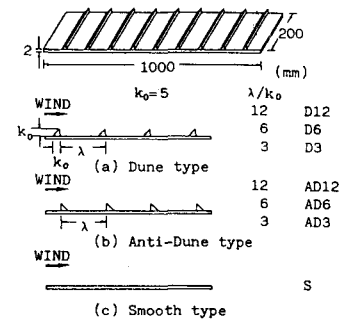


図-2 助走路粗度寸法

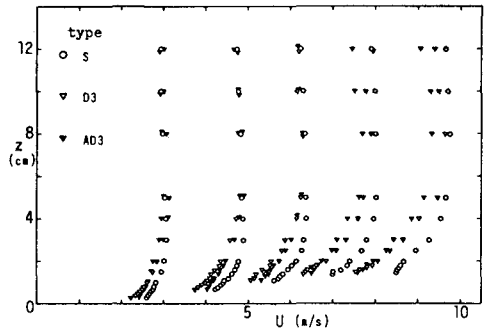


図-3 水面上の風速分布

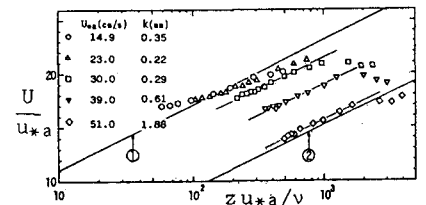


図-4 風速分布の無次元表示

$$\frac{U}{u_{*a}} = 5.75 \log \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

Smooth : $u_* k / \nu \leq 5.0$

$$\frac{U}{u_{*a}} = 5.75 \log \frac{u_{*a} z}{\nu} + 5.5 \quad (2)$$

$$z_0 = \nu / 9.05 u_{*a} \quad (k = 30 z_0) \quad (2')$$

Rough : $u_* k / \nu \geq 70$

$$\frac{U}{u_{*a}} = 5.75 \log \frac{z}{k} + 8.5 \quad (3)$$

$$k = 30 z_0 \quad (3')$$

うにプロットする。このとき、計算結果を結ぶ線が式(2)を表す直線①より上側にあれば再度一對の z と U を式(2)に代入し、繰り返し計算で u_{*a} を求めた。図-4はこのようにして求めた AD3 の風速分布である。同図の直線②は完全粗面の式(3)を表す。これより AD3 の場合、 $u_{*a} < 23 \text{ cm/s}$ では滑面領域、それ以上では遷移領域にあるといえる。同様な方法で求めた結果、本水槽では $U_{ma} < 4 \text{ m/s}$ では滑面、 $U_{ma} > 9.5 \text{ m/s}$ で完全粗面といえるようである。このようにして求めた u_{*a} と一様風速 U_{ma} との関係を図-5に AD の場合について白抜ききの記号で示した。太線はこれを近似する直線である。また細線と点線はそれぞれ S と D の近似直線である。なお黒印の記号は Reynolds 応力の分布より求めた AD のものであるが log 則を用いて求めた値に比べて小さめであった。

4. 空気の流れ強さ 水面上の主流方向流れ強さ u' の鉛直方向分布の例を図-6に示す。曲線は S の場合の測点を結んだものである。同図より助走路粗度の存在は一様風速の乱れを増加させ、水面近傍の乱れを減少させていることがわかる。同様な測定から $z = 10 \text{ cm}$ と水面に最も近い位置における u' をとって U_{ma} に対してプロットしたものが図-7である。同図より水路中央部では S の場合の $u' / U_m = 0.03$ が粗度の存在により 0.04 に増加している。一方水面近傍では $U_{ma} = 5.0 \text{ m/s}$ までは粗度の存在による差が認められず、 $u' / U_m = 0.08$ であるが、 $U_{ma} > 5.0 \text{ m/s}$ で S の場合は風速の増加にともない u' / U_m は 0.09 から 0.11 に増加してゆく。粗度が存在するときはやや小さく、 u' / U_m は 0.08 から 0.10 と増加してゆく。

5. 波高変化の影響 助走路粗度の水表面変位に及ぼす影響を見るため、水面変位の rms 値 η' と u_{*a} との関係を図-8に示す。同図より、粗度の存在は η' の減少傾向を示すが、とくに D に明瞭にみられる。これらのことから棧粗度を D 型として波高減少の影響が吹送流の流速分布、乱れ分布にどのような効果を及ぼしているかを現在測定中である。

参考文献 1) 浦ほか : 水講 p. 401~406 (1985). 2) 加藤ほか : 30回海講 p. 520~524 (1981)

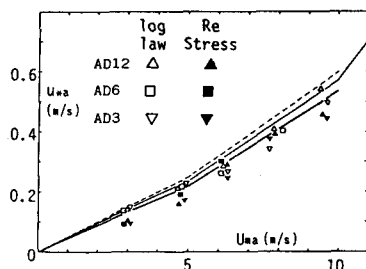


図-5 摩擦速度と代表風速

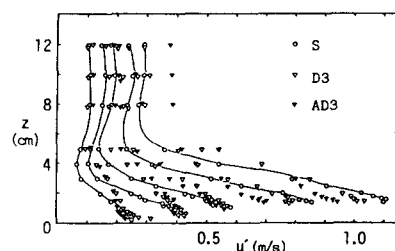


図-6 水面上の乱れ強度分布

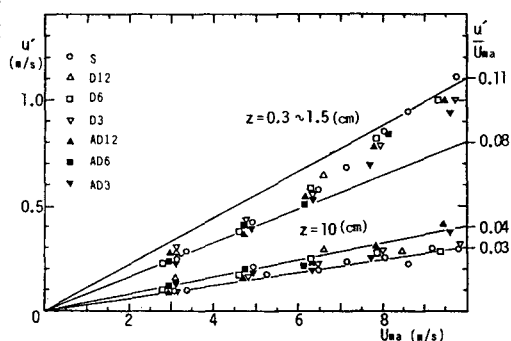


図-7 乱れ強度の変化

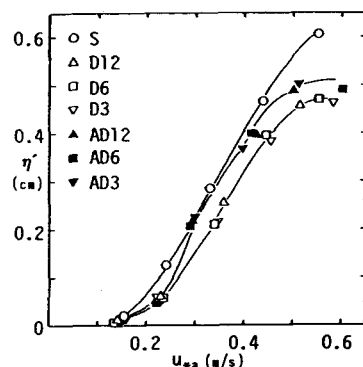


図-8 水面変位量と摩擦速度