

風洞水槽における風と流れの間の相互作用に関する研究

復建調査設計株式会社 正会員 ○木村 康隆
広島工業大学工学部 正会員 水野 信二郎
中国工業技術研究所 正会員 埜口 英昭

1. はじめに

水面上を風が吹く場合、水面下の条件によって、①風と流れが同一方向に存在する場合（風+順流）、②風のみ存在する場合（風のみ）、③風と流れが逆方向に存在する場合（風+逆流）の3ケースがある。
我々は、以上の3ケースについて風洞水槽における流速測定を行った結果、水面下の鉛直断面内に一對の2次循環流の存在を確認した。「風+順流」では水路中央で下降し側壁付近で上昇する循環流、「風のみ」及び「風+逆流」では水路中央で上昇し側壁付近で下降する循環流が発生した。
さらに我々は、この2次循環流が水面下の断面平均流速分布、及び乱流構造に重要な影響を及ぼす事を発見した。発表では、この2次循環流の発生機構について検討した結果を報告する。

2. 座標系の定義

本研究における座標系を定義する。x軸は風の測定部入り口を原点とし風向きを正とする。y軸は静水面を原点とし鉛直上向きを正とする。z軸は片側の側壁を原点とし水路中央に向かう水平横方向を正とする。なおx方向、y方向、z方向の平均流速をそれぞれU、V、Wとする。

3. 実験装置と実験条件及び方法

実験は、中国工業技術研究所に所属する幅60cm、高さ120cm（ただし実験時の水深80cm、通風路の高さ40cm）、長さ50m（有効実験区間35m）の風洞水槽を使用した。又、基準風速値を約8.5m/s、断面平均流速を10cm/sにそれぞれ設定した。測定には超音波ドップラー流速計（SonTek社）を使用し、フェッチ16.7mの断面において、u、v、wの3成分について、図1に示す28点（+点）で測定した。

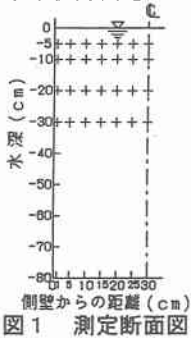


図1 測定断面図

4. 測定結果

初めに、実験結果から得られた平均流速V、Wの合成ベクトル図を図2に示す。図2では3ケースにおいて、流速ベクトルによって2次循環流が明確に示されている。

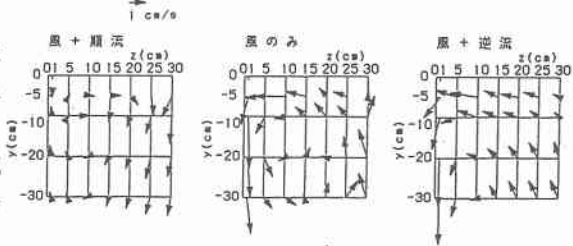


図2 V、Wの合成ベクトル図

次に、図3にUの水平横方向分布を示す。本研究ではUの水平横方向分布を2次曲線で近似する事を提案する。図3から、Uの分布は2次曲線でほぼ近似できる事が確認できる。そこでUを次式で定義する。

$$U = w \cdot a_0(y) \left(\frac{z}{B} - \frac{1}{2} \right)^2 \quad (2)$$

ここでwは水の摩擦速度、 $a_0(y)$ は2次曲線の曲率、Bは水路幅である。

5. CL2機構

風をみのケースをモデル化した図を図4に示す。2次循環流の発生機構として現在最も注目されている

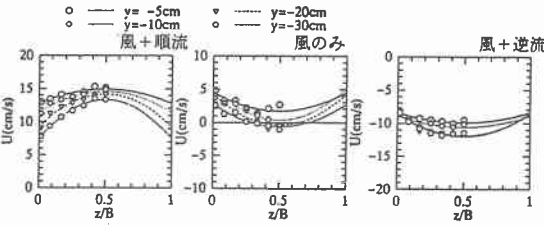


図3 Uの水平横方向分布

る CL2 機構では、加速度 (f) を Stokes wave drift (U_s) と渦度 (ω) の外積によって与えている。ここで z 成分の加速度 (f_z) は、 x 方向における現象変化を無視すると、

$$f_z = (U_s \times \omega)_z = U_s \frac{\partial U}{\partial z} \quad (2)$$

で与えられる。

図4に示すように、CL2 機構では U_s は水平横方向には一定であり、鉛直下方向にのみ指数的に減少する。従って U_s と同様に f_z も鉛直下方向に減少し、この f_z の変化によって水面下に回転モーメントが生じる。そしてこの回転モーメントが、水面下の2次循環流を引き起こすというモデルが CL2 機構である¹⁾。

6. CL2 機構と実測値との比較

ここで、実測値を CL2 機構に当てはめる。まず式 (1) と式 (2) により、 f_z は次式で与えられる。

$$f_z = 2a_0(y)U_s(y)\frac{w_*}{B}\left(\frac{z}{B} - \frac{1}{2}\right) \quad (3)$$

一方 f_z は、

$$f_z = \frac{dW}{dt} = \frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} + W \frac{\partial W}{\partial z} \quad (4)$$

であるが、ここで W は定常状態とし、 x 方向における現象変化を無視し、水面付近を考えて $V=0$ とすると、

$$f_z = \frac{\partial W^2}{\partial z} \quad (5) \quad \text{で与えられる。ただし } f_z \text{ の向き}$$

(符号) を考慮すると、式 (5) が成立する範囲は「風+順流」では $z=1 \sim 15\text{cm}$ 、「風のみ」及び「風+逆流」では $z=10 \sim 30\text{cm}$ に限定される (図5参照)。この事を考慮し、式 (3) と (5) から求めた W を理論値 W_{CL} とすると、「風+順流」では $W_{CL} = \frac{\sqrt{a_0(y)U_s(y)w_*}z(z-B)}{B}$ (6) となり、「風のみ」及び「風+逆流」

$$\text{では } W_{CL} = \frac{\sqrt{a_0(y)U_s(y)w_*}}{B} \left(z - \frac{B}{2}\right) \quad (7)$$

を得る。

ここで、 $y=-5\text{cm}$ のデータにおいて理論値 W_{CL} と実測値 W とを比較した。図6に双方の水平横方向分布を示す。まず「風+順流」では、双方の値に大きな差が生じた。他方、「風のみ」及び「風+逆流」では双方の値は定量的によく一致し、CL2 機構と矛盾しない結果が得られた。

7. 結論

- ① 実測値 V , W の合成ベクトル図によって、水面下の2次循環流の存在が3ケースにおいて確認できた。
- ② 理論値 W_{CL} と実測値 W を比較した結果、「風+順流」では実測値が小さすぎるが、「風のみ」及び「風+逆流」では定量的によく一致し、CL2 機構と矛盾しない結果が得られた。

参考文献

- 1) Leibovich, s. (1983): The form and dynamics of Langmuir circulations, Annu. Rev. Fluid. 15, pp.391-427.

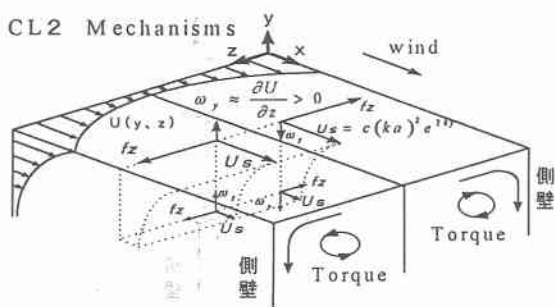


図4 CL2機構のイメージ図 (風のためのケース)

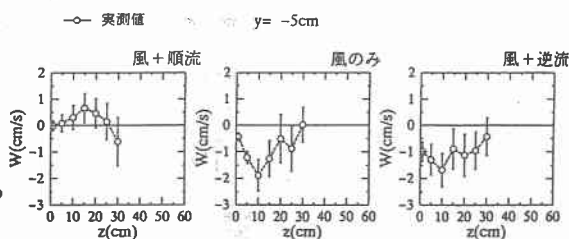


図5 実測値 W の水平横方向分布 ($y=-5\text{cm}$)

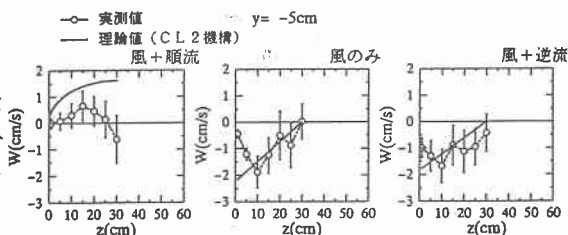


図6 理論値 W_{CL} と実測値 W の比較 ($y=-5\text{cm}$)