

吹送流の非定常解析 - 鉛直渦動粘性係数の影響 -

鳥取大学工学部 正 員 檜谷 治
出 雲 市 正 員 ○錦織 良文

1. はじめに 近年問題となっている富栄養化現象に対処するため、湖における吹送流の非定常三次元解析が多く行なわれているが、本研究は、非定常解析の際問題となる鉛直渦動粘性係数の与え方について考察を行ない、模型実験結果および湖山池の現地観測結果と解析結果との比較検討を行なう。また、解析方法は、従来筆者らが提案している方法を用いる。⁽¹⁾

2. 鉛直渦動粘性係数の与え方 まず、従来の与え方について示す。流れを x, z の2次元として、風速、表面流速および風のせん断応力の関係より1層流の流速分布式を導くと

$$U = \frac{\tau_x h}{A_v} \left\{ \left(1 + \frac{z}{h}\right)^3 - \left(1 - \frac{z^2}{h^2}\right) \right\} \quad (1)$$

が得られる。ここに、 τ : 風のせん断応力、 h : 水深、 A_v : 鉛直渦動粘性係数である。一方、水面の流速 U_s は水面上 z の風速 W_z の一次関数であると考え、 $z=10m$ とすると、

$$U_s = 0.55 \sqrt{C_f} W_z \quad (2)$$

となる。ここに、 C_f : 風摩擦係数である。式(1)と(2)より

$$A_v = 0.00056 \sqrt{C_f} W_z h \quad (3)$$

が得られる。今までは式(3)を用いて鉛直渦動粘性係数を与えたが、この式によると風が止めば鉛直渦動粘性係数もゼロとなり、計算上、不都合が生じる。また、もともと鉛直渦動粘性係数は流れの場に依存しているものであるので、風速のみで評価することには問題があると思われる。そこで、本研究では流れの場に関して代表流速の考えを導入して鉛直渦動粘性係数の評価を試みる。まず、次のような式の変形を行なう。式(3)と $\tau = \rho_a C_f W_z^2$ を用いて、

$$A_v = 0.016 \frac{U}{K} h \quad (4)$$

を得る。つぎに U の決定の仕方が問題となるが、ここでは、 U とある代表流速 U との関係を、 $U/U_s = K$ と仮定する。ここに K は定数である。よって式(4)は次式のように変形される。

$$A_v = 0.016 u_* h \quad (5)$$

つまり、鉛直渦動粘性係数は代表流速と水深の関数として表したわけである。この代表流速 U として考えられる流速を挙げると表面流速、最大流速、最大流速と逆流の最大流速の差の3種類がある。この流速と $U_s = \sqrt{\tau/\rho}$ の関係より K の値を決定するわけだが、この流速は式(1)より決定する。また1層流の場合は普通表面流速が最大流速となるので表面流速と最大流速が同じと考えて、この場合の K は15.6、また最大流速と逆流の最大流速の差を用いた場合の K は20.8となる。

3. 計算結果 先に示した鉛直渦動粘性係数の与え方の妥当性を調べるために、ここでは村岡らが行なった⁽²⁾実験結果と比較して検討する。村岡らは長さ3.6m、幅40cmの長方形水路上に風を吹かせ、鉛直流速分布などを時間的に測定している。つまり、流れの静止状態から300秒間一定の風 ($\tau = 5.6 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$) を吹かせ、その後風を停止させるという条件で行っており、水路中央部の水面より1cmの所で測定された流速の時間的変化を図1に示す。図より、流速の発達是非常に早く、実験開始から約30秒でほぼ定常の値まで達している。また、定常になった後も $\pm 2 \text{ cm/sec}$ 程度の変動がみられるが、平均的には 4 cm/sec 程度の流速では

ば一定値をとっている。つぎに、実験は 300秒後に風を停止しているが、それにつれて流速は急激に減少し、350～450秒の間は逆流になっている様子がみられる。このことは、風を停止したために生じたセイシュによるものと思われる。その後は、順流にもどっているけれども、風を停止した後 300秒経過してもまだ 1cm/sec 弱の流速が存在しており、この領域での流速の減衰は非常に緩やかであることがわかる。

つぎに数値シミュレーションした結果について述べる。解析に用いたメッシュは一辺20cmの正方形メッシュで18×2に分割している。計算は、鉛直渦動粘性係数の与え方の影響をみるために従来の式で時間的に一定に与えたもの(Run A)、代表流速を用いて時間的に変化を持たせ、最大流速、表面流速によってKを与えたもの(Run B) および最大流速と逆流の最大流速との差によって与えたもの(Run C) の3ケース行なった。その結果を図2に示す。まず、Run B とRun C を比較すると、ほとんど変化がみられないことがわかる。しかしながら、Run C の方が若干定常になるのが早く、実験値との対応がよいと思われる。また、Run A は実験値に比べ流速の発達状態が遅く、また、停止後 300秒程度ですでに流速がなくなっているといった流況となっており、実験値との対応はRun B とRun C に比べ良くない。したがって、鉛直渦動粘性係数の与え方としては、代表流速として順流の最大流速と逆流の最大流速の差をとり、この値に比例させて与える方法が最も実験値との対応が良いことがわかった。

つぎに昭和61年11月14日に行なった観測結果との比較を行なう。図3に風況を、図4に観測結果ならびに数値シミュレーション結果を示す。また、比較のため平均風速と式(3)を用いた結果を示している。実線が平均風速を用いたもので破線が式(5)を用いた結果である。図より、風の強さや方向が安定するころの計算結果はほぼ観測結果と一致している。しかし風の弱いころの数値シミュレーション結果は、式(5)を用いてシミュレートしたほうが平均風速を用いた場合より観測結果に近い結果を得ている。したがって、以上の結果より、本研究で示した代表流速を用いた鉛直渦動粘性係数の与え方が有用であることが認められた。

4. おわりに 本研究は非定常解析の際の鉛直渦動粘性係数の与え方について示した。新しい与え方は、従来の式よりも対応が良くなったが、流速の大きさに若干違いが生じており風のせん断応力の与え方に問題があるのではないかと考えられ、今後研究しなければならない問題であると考えている。

参考文献1) 錦織良文；第40回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集pp83～84；2) 村岡浩爾，福島武彦；霞ヶ浦（西浦）の湖流；国立公害研究所報告，第19号

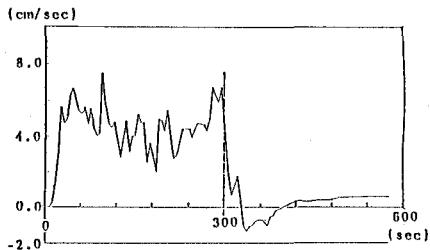


図-1 実験結果

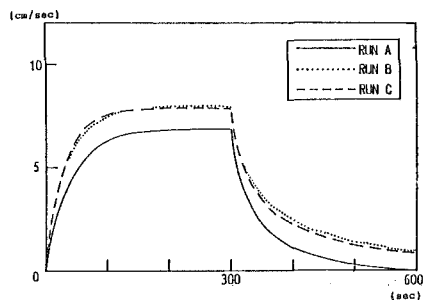


図-2 計算結果

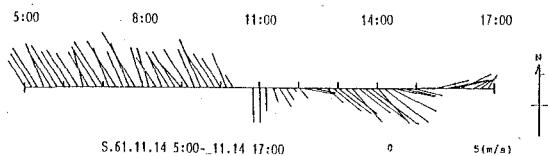


図-3 風向，風速ベクトル図

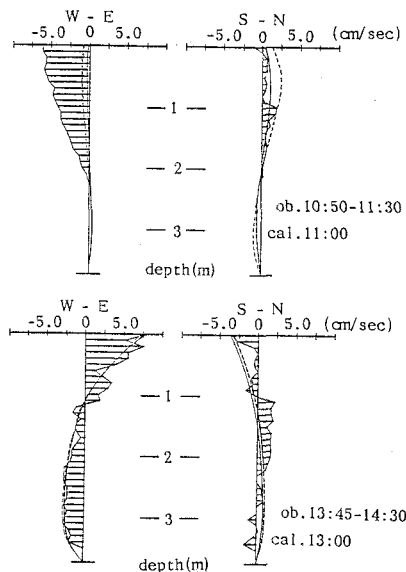


図-4 観測結果および計算結果