II－3　竿浮子の補正係数の修正について

中央大学理工学部　正会員　春日屋　伸昌

開水路の垂直流速曲線の方程式として，筆者の誘導した次のような２次放物線式：

$$v=\frac{v_m}{p}\left\{pk+2\alpha\frac{z}{h}-\left(\frac{z}{h}\right)^2\right\}\quad\left[p=\frac{1-3\alpha}{3(k-1)},\ k=\frac{v_s}{v_m}\right]\qquad(1)$$

（v：深さzの点での流速，h：水深，α：最大流速の位置の水深に対する割合，
v_m：縦平均流速，v_s：表面流速．）

を用い，吃水比（浮子の水中の長さと水深との比）nが0.60～0.95の範囲にあって直径が一様な円柱形の竿浮子の速度v_fよりv_mを求めるための補正係数$\lambda=v_m/v_f$は，

$$\lambda=1.053-0.214\sqrt{1-n}\quad[0.60\leqq n\leqq 0.95]\qquad(2)$$

となる。（２）式を導くには，垂直流速曲線上でv_fと同じ流速を持つ点までの深さをmhとすれば，浮子に働く$0\leqq z<mh$間の正の動水圧と$mh<z\leqq nh$間の負の動水圧とは絶対値が等しいから（v_fは一定），次の等式が成り立つ。

$$\int_0^{mh}(v-v_f)^2dz=\int_{mh}^{nh}(v_f-v)^2dz\qquad(3)$$

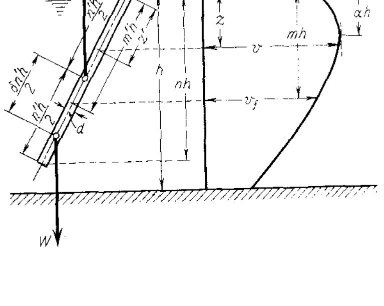
（３）式のvには（１）式を，v_fには（１）式で$z/h=m$とおいたものを入れれば，αとnとをパラメーターとしてmに関する４次方程式がえられる。ところで，αは風向・風速・粗度・水深などによって変動するが，αの度数曲線におけるモード0.2をαに与えれば，mとnとは次の１次式で表わされる。

$$m=0.076+0.58n\quad[0.60\leqq n\leqq 0.95]\qquad(4)$$

（４）式を（１）式のz/hに入れ，$\alpha=0.2$，$k=1.1$（kの度数曲線におけるモード）とおいて，λとnとの関係式をFrancis型にまとめたものが（２）式である。

さて，次に，竿浮子の傾きを考慮して，上のλの値を修正しよう。

図のように，浮子の直径をd，傾角をθ，浮子に沿っての長さにはダッシュをつけて鉛直方向の量と区別し，浮子の重心と浮心との浮子に沿っての長さを浮心以下の長さで割った値をδ（$0<\delta<1$），円柱の抵抗係数をC_D，水の単位容積重量をw_0，重力の加速度をgとすれば，浮心に力のモーメントをとって，



$$\int_0^{m'h}\frac{w_0C_Dd}{2g}(v\cos\theta-v_f\cos\theta)^2(m'h-z')dz'$$

$$+\int_{m'h}^{n'h}\frac{w_0C_Dd}{2g}(v_f\cos\theta-v\cos\theta)^2(z'-m'h)dz'$$

$$=\frac{\delta n'h}{2}\sin\theta\times W=\frac{\delta n'h}{2}\sin\theta\times\frac{\pi}{4}d^2n'hw_0=\frac{\pi}{8}w_0\delta\sin\theta\, d^2n'^2h^2\qquad(5)$$

ところで，$z'=z\cos\theta$ であるから，（５）式は，

$$\int_0^{mh}(v-v_f)^2(mh-z)\,dz+\int_{mh}^{nh}(v_f-v)^2(z-mh)\,dz=\frac{\pi\delta g d}{4C_D}n'^2h^2\sin\theta \qquad (6)$$

ここで，（３）式を用いれば，（６）式は次のように簡単になる。

$$-\int_0^{mh}(v-v_f)^2z\,dz+\int_{mh}^{nh}(v_f-v)^2z\,dz=\frac{\pi\delta g d}{4C_D}n'^2h^2\sin\theta \qquad (7)$$

（７）式のvには（１）式を，v_fには（１）式で$z/h=m$とおいたものを入れれば，

$$\frac{v_m^2}{p^2}\times\frac{1}{6}\left[n^6-4.8\alpha n^5-3m^2n^4+6\alpha mn^4+6\alpha^2n^4+8\alpha m^2n^3-16\alpha^2mn^3+3m^4n^2\right.$$
$$\left.-12\alpha m^3n^2+12\alpha^2m^2n^2-2m^6+5.6\alpha m^5-4\alpha^2m^4\right]=\frac{\pi\delta g d}{4C_D}n'^2\sin\theta \qquad (8)$$

ここで，$\alpha=0.2$，$k=1.1$したがって$p=4/3$とおき，（４）式を用いれば，

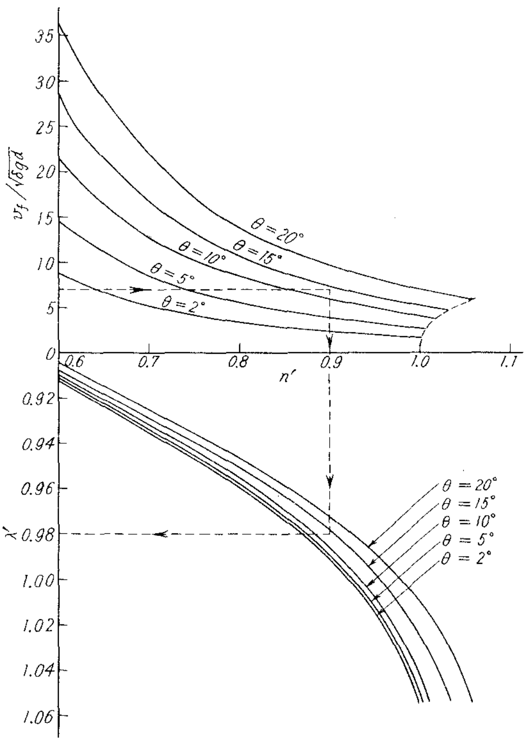
$$v_f^2\left(\frac{v_m}{v_f}\right)^2\times4.236\left\{10^{-8}\left[(10n)^6-10.50(10n)^5+41.92(10n)^4-72.56(10n)^3\right.\right.$$
$$\left.\left.+50.01(10n)^2-28.42(10n)-11.35\right]\right\}=\frac{4\pi\delta g d}{9C_D}n'^2\sin\theta \qquad (9)$$

（９）式左辺の大括弧の中を簡単のために$F(n)$とおき，$v_m/v_f=\lambda$とすれば，

$$\frac{v_f}{\sqrt{\delta g d}}=0.5741\frac{n}{\lambda}\sqrt{\frac{\tan\theta\sec\theta}{C_D F(n)}} \qquad (10)$$

有限長の円柱の抵抗係数C_Dは，レイノルズ数R_eおよびd/nhの関数であるが，その関数形は不明なので，$10^3<R_e<4\times10^5$の範囲における無限長の円柱の抵抗係数$C_D=1.2$を用いて計算する。

（10）式の左辺は，可測量v_f，δおよびdより成り，右辺はnとθしたがってn'とθとの関数であるから，θをパラメーターとして無次元量$v_f/\sqrt{\delta g d}$とn'とのグラフを作り，別にいま１つ，θをパラメーターとして，修正された補正係数λ'とn'とのグラフを作り，２つのグラフの横軸n'を共通にすれば，右のようなグラフがえられる。



たとえば，$d=0.050\,m$，$\delta=0.26$，$v_f=2.5\,m/s$，$n'=0.90$ならば，$v_f/\sqrt{\delta g d}=7.0$となるから，まず上のグラフより，$v_f/\sqrt{\delta g d}=7.0$を通る横線と$n'=0.90$を通る縦線との交点から$\theta=13^\circ$を求め，次に下のグラフより，$n'=0.90$を通る縦線と$\theta=13^\circ$の曲線との交点の縦座標を求めれば，$\lambda'=0.980$がえられる。