

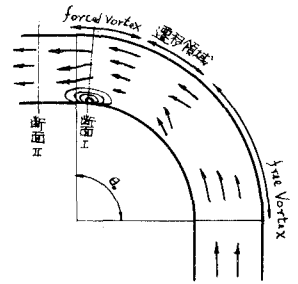
II-9 開水路の彎曲によるエネルギー損失について(予)報)

建設省土木研究所 正員

吉川香夫
須賀愛三

1. 彎曲流の流況

開水路の彎曲流は遠心力と二次流の存在により、極めて複雑な流況を示しているが、取扱い範囲を常流の場合に限ると、一般に図-1のような流れを想定することが出来る。すなわち、まず彎曲始端付近では、水路中に較べて水深が極端に小さい場合を除いて、ほぼ free vortex の仮定の適用が可能である。次いで、やや下流で二次流のエネルギーが無視しえなくなるまで、徐々に forced vortex の領域へ移行する。そして、彎曲末端部では、下流直線部の影響により、彎曲の内側に剝離域または実験的にほぼ剝離域と見做しうる領域ができて流れは片寄り、流水幅は寸の付近でいったん縮められる¹⁾。したがって、下流直線部の一様流に戻るまでに、流れは急に広げられるわけである。



2. エネルギー損失の形態

摩擦損失(彎曲部も直線と見做し、水位として横断。平均水位が不変と看えた場合に生ずる損失)以外の損失として、図-1 漸縮、急拡、roller、二次流等による損失が考えられる。このうち、漸縮、および roller による損失は他のものに比べて小さく無視しうる。二次流による損失は、彎曲角θに関係するが、量的検討は今後の研究にまかすに任じなければならない。

彎曲流の流況

急拡による損失は相当大きい。そして、彎曲による損失のうち彎曲角θが極端に小さい場合を除いて、急拡による損失が卓越すると考えても十分近い近似として十分な精度を有するものと思われる。エネルギー損失形態の一例を示せば図-2の通りである。彎曲による損失を平均エネルギー勾配によって表現しようとする従来の考え方は、必ずしも当て得たものではなく、実験値がばらつきのほこのような事情によるものであろう。

3. 理論的考察

彎曲によるエネルギー損失を彎曲末端付近における急拡による損失によって近似できるものと見て考察を進める。この場合は図-1に示す断面Iの比エネルギーは一定ではない。断面Iの平均比エネルギーは流水幅の中央における比エネルギーに等しいとすれば、これより損失のみだけ低い所に存在する断面IIの比エネルギー線が、断面Iの比エネルギー線より上にある部分が剝離域または実験的にこれに準ずる領域に行きとし、あげ流れが剝離域を除く流路幅から水路中へ急拡するとき生じる損失と仮定して考察を進めた。と

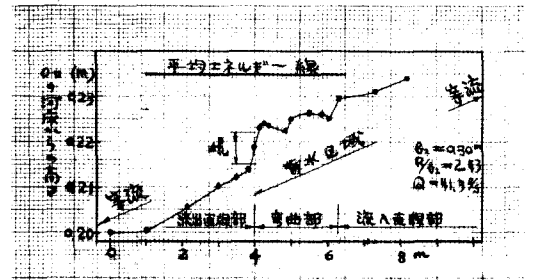


図-2 彎曲部の平均エネルギー線、例

ところが、断面Ⅰの横断方向の比エネルギー線は未解決であり、手だては与えられた範囲内の適当な位置(断面Ⅱ)での横断方向の比エネルギー線の非均一性、あるいはその間の摩擦の効果を検討すべき事項が多い。

ここでは一報として、断面Ⅰのエネルギー線を近似的に直線、断面Ⅱのそれを水平とし、損失係の5倍低い線が断面Ⅰの比エネルギー線より上にある部分を判別領域またはこれに準ずる領域と仮定するにとり、近似計算を試みた。(図-3で β が5倍の判別領域とする方法もある。)

いま、図-3で断面Ⅰの流路の弯曲内側半径の比エネルギー線の勾配を $\frac{U_1^2}{2g} \cdot \frac{dR}{R}$ とすれば(R は水路中央の曲率半径)

$$\Delta h = \frac{U_1^2}{2g} \frac{dR}{2SR} \quad (1)$$

により、 Δh と dh の関係が定められる。断面Ⅰ・Ⅱ間を直線とみなし、水路は短断面・水平河床とし、かつ摩擦を無視すれば、運動式、連続式および損失式を連立させるにとり、損失を求めるとができる。微分項を省略すれば、

$$\Delta h = \beta \frac{U_1^2}{2g} \frac{(1 + 4\frac{f}{\alpha} \frac{R}{b_2}) + \sqrt{1 + 8\frac{f}{\alpha} \frac{R}{b_2}}}{2 \frac{f}{\alpha^2} (\frac{R}{b_2})^2} \quad (2)$$

である。ただし、 β は厳密な急流ではないための補正係数であり、式を導いたからつけ加えた。 Δh の式は精度を要するもので、 Δh を求めるのと同様の省略を行って導いた式は使用に耐えない。 Δh は省略しない複雑な式によるか、あるいは(1)式より推定するものとする。

4. 実験による検討

3種の弯曲水路($b_2 = 0.3, 0.6, 1.0\text{m}$, $R = 0.7, 2.4, 2, 15\text{m}$, モルタル製, 弯曲角 $\theta_0 = 180^\circ$)を用いて実験を行った。まず、 Δh と βb_2 と θ_0 との関係について、さらに精密な数多くの測定結果に手付けなければならないが、

forced vortex には Z に近い値であり、 θ_0 により大きく変化はしないと考えられるから、ここでは Z を用いる。ついで β もまた大きく変化する数値ではないと考えられるから、一定と仮定し、測定値 Δh 、 b_2 により平均値を定め $\beta = 2.30$ である。補正係数 $\beta = 0.72$ とすると、(2)式と測定とはよい一致を示した。(図-4)

文献(1)須賀豊三、河川の弯曲部における洗掘について、土木技術資料Vol.5, No.4 1963.4 (土研)

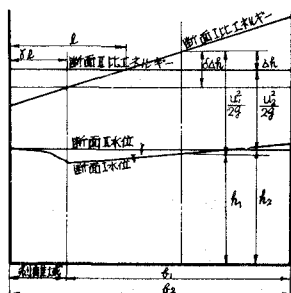


図-3 断面Ⅰ・Ⅱ間の比エネルギーの関係

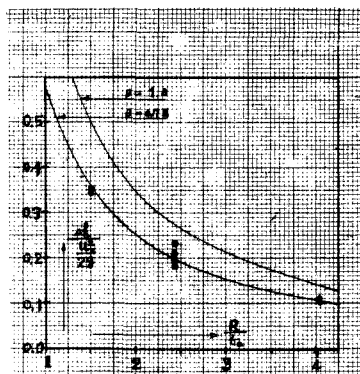


図-4 $\Delta h \sim \beta b_2$ の関係