堰と水門の流れ(2)　 水門を過ぎる流れと流量評価

Hydraulics of weir and water gate #1

Water gate and discharge formulation

教科書 pp.105-108

１．水門

水門は水路やダムに設置して流量や水位の調節に利用される。水門には引上扉（スルースゲート）やラジアルゲート (テンターゲート)などがある。

（a）自由流出

図-1 はスルースゲートからの自由流出を示している。ここで，v_0 は接近流速，h_a は接近流速水頭（$=v_0^2/2g$），a は水門の開閉高さである。水路床は緩勾配である。

自由流出では水門から射流で水が流出する。

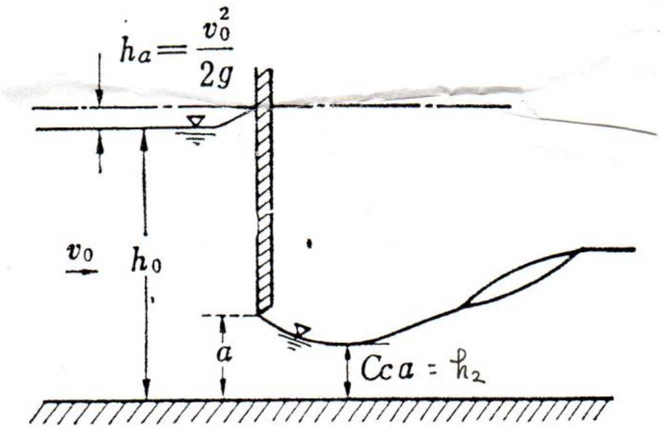


図-1　スルースゲートからの自由流出

小型オリフィスと同様に出口から少し下流側に最小水深 h_2 が発生する。この水深を収縮係数 C_c（$=h_2/a$）と開閉高さ a で表せば $h_2=C_c a$ となる。水門の上流側と下流側でベルヌイの定理を適用すれば

$$\frac{v_0^2}{2g}+h_0=h_a+h_0=\frac{v^2}{2g}+C_c a \qquad (13)$$

ここで，v は収縮断面（水深 h_2 の断面）における断面平均流速である。連続の式（$Q=bh_0v_0=bC_c av$；b は水門幅）を用いて流速を消去すれば次式を得る。

$$Q=bC_c a\sqrt{2g(h_a+h_0-C_c a)} \qquad (14)$$

接近流速水頭を無視し，さらに流速を補正する係数 C_v を（流速係数）導入すれば，式（14）は以下のように記述される。

$$Q=bC_vC_c a\sqrt{2g(h_0-C_c a)}=bCa\sqrt{2g(h_0-C_c a)} \qquad (15)$$

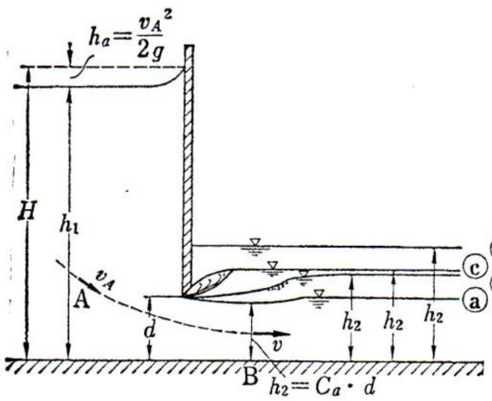
C は流量係数である。

（b）もぐり流出

下流側水深が大きくなると射流部分が消失し，跳水がだんだんと水門側へ移動する。さらに下流側水深が大きくなると跳水も発生しなくなる。このような状態をもぐり流出という（図-2 参照）。

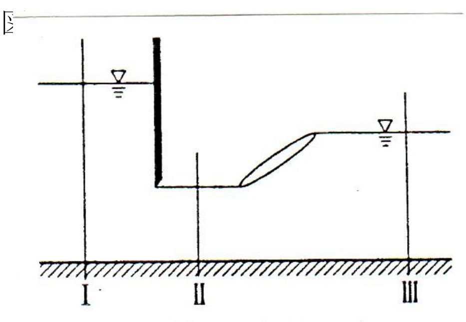
流出流量は上流側水深 h_1 および下流側水深 h_2 に規定される。

$$Q=bCd\sqrt{2g(h_1-h_2)} \qquad (16)$$



-2　スルースゲートからのもぐり流出

例題：図-3 のように長方形断面の水平な水路でスルースゲ



ートを通過した流れが跳水を起こしている。図中の断面Ⅰ，Ⅱ，Ⅲにおける水深およびフルード数をそれぞれ h_1，h_2，h_3，Fr_1，Fr_2，Fr_3 とするとき

$$\frac{h_1}{h_2}=\frac{\sqrt{1+8/Fr_1^2}-1}{2},\qquad \frac{h_3}{h_2}=\frac{\sqrt{1+8Fr_1^2}-1}{2}$$

となることを示せ。

図-3　　スルースゲートからの流出と跳水

解答：h_1 と h_2 関係について

断面ⅠとⅡではエネルギー保存の法則が適用できると仮定する（実際には水路壁面と水門でエネルギー損失があるが，それは小さいとして取り扱う）。

$$\frac{v_1^2}{2g}+h_1=\frac{v_2^2}{2g}+h_2$$

連続の式は

$$v_1h_1=v_2h_2$$

上の二式を用いて v_2 を消去すれば次式を得る。

断面Ⅰでのフルード数 $Fr_1=v_1/\sqrt{gh_1}$ を代入すると次のようになる。ただし $t=h_1/h_2$ である。

$$(1-t)\left(Fr_1^2t(t+1)-2)\right)=(1-t)\left(Fr_1^2t^2+Fr_1^2t-2\right)=0$$

t=1 以外でかつ t>0 の解は $Fr_1^2t^2+Fr_1^2t-2=0$ を解くことで得られる。解は

$$t=\frac{h_1}{h_2}=\frac{\sqrt{1+8/Fr_1^2}-1}{2}$$

である。

h_2 と h_3 関係は運動量の定理を用いる。詳細は教科書または水理学Ⅰの講義プリントを参照すること。

参考サイト

http://www.suiryoku.com/g_v/g_v.html