NOMOGRAPH에 의한 矩形 開水路 水理計算

Grapmical Solution of Problems in Rectangular Open Channel Flow

*金　周　昶
Ju Chang Kim

Nomograph에 의한 矩形開水路 水理計算(Graphical Solution of Problems in Rectangular Open Channel Flow)

〔이것은 Civil Engineering Vol.36 No.8 (1966. 8)에 있는 Graphical Solution of Problems in open channel flow(Albert G. Mercer)를 근거로 하여 矩形開水路에서의 水理計算 즉 水門, 跳水, 水路의 斷面變更等에 대한 水利計算의 圖式解法을 설명한 것이다. feet 법으로 작성된 間算圖表를 meter 法으로 수정하였음을 밝혀둔다〕

定流로 흐르고 있는 開水路에 있어서 여러가지 문제들은 (1) 定流의 連續性(Continuity of Steady Flow) (2) 베루누이 定理(Beenoullis Theorem), (3) 運動量法則(Momentum-Impulse Law)等으로 해결할 수 있는데 矩形水路에서 水門, 跳水, 斷面축소等을 다음에 設明하는바와 같이 Nomograph에 의해 計算할 수 있다.

開水路에 있어서 比에너지는 다음과 같이 表示된다.

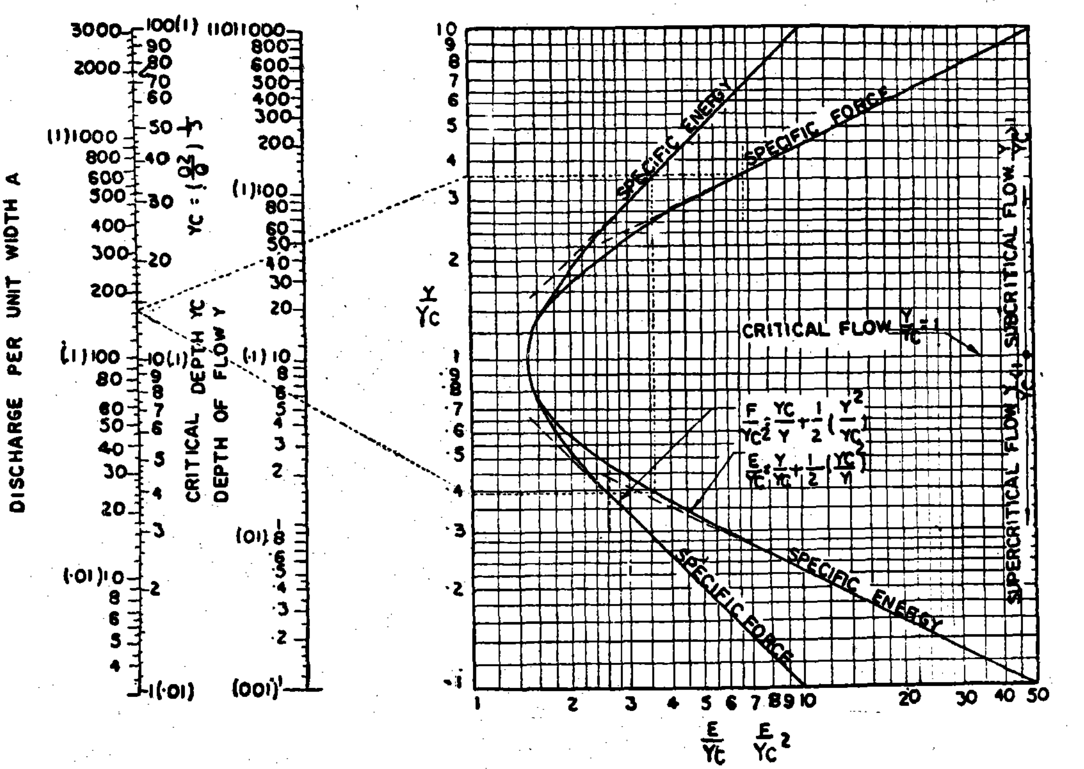
$$E=y+\frac{v^2}{2g},\quad \text{또는}\quad E=y+\frac{q^2}{2gy^2} \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

여기서 y : 矩形開水路의 水深(m)

v : 水路의 平均流速(m/sec)

q : 單位巾當의 流量(m^3/sec/m)

一定流量을 가진 均一水路에서 E는 水深 y에만 따라 변동된다. E가 最小가 될때의 水深은 限界水深 y_c이다.



그림—1 수 리 계 산 도 표

*필 자; 農振公農工試驗所

$$y_c=\left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \quad \text{또는} \quad y_c=\left(\frac{v^2y^2}{g}\right)^{1/3} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

(1)式을 y_c로 나누어 無次元式으로 만든다.

$$\frac{E}{y_c}=\frac{y}{y_c}+\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{1}{y_c}$$

(2)式에서 $v^2=y_c^3\cdot\frac{g}{y^2}$이므로

$$\frac{E}{y_c}=\frac{y}{y_c}+\frac{1}{2}\left(\frac{y_c}{y^2}\right)^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

(3)式이 그림1에 Specific Energy Curve로 그려져 있는데 上半部($y/y_c>1$)는 常流에 下半部($y/y_c<1$)는 射流에 適用된다.

Specific Force (또는 Impulse Value, 力積値)는

$$F=\frac{v^2y}{g}+\frac{1}{2}y^2 \quad \text{또는} \quad F=\frac{q^2}{yg}+\frac{1}{2}y^2 \quad \cdots(4)$$

로 표시되며 運動量·力積法則에서 유도된 것이다. 이것도 一定流量에서 水深에 따라 변동되며 限界水深 y_c에서 最小의 값을 갖는다.

無次元式으로 만들기 위하여 y_c^2으로 나누고 (2)式을 代入하여 정리하면 다음과 같다.

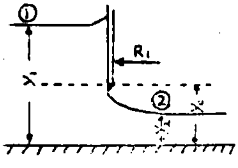
$$\frac{F}{y_c^2}=\frac{y_c}{y}+\frac{1}{2}\left(\frac{y}{y_c}\right)^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

(5)式은 그림—1의 Specific Force Curve로 표시되어 있으며 上半部는 常流, 下半部는 射流에 적용된다.

그림—1의 左側으로 부터 q-scale, y_c-scale, y-scale, $\frac{y}{y_c}$-scale이 표시되고 底邊에는 $\frac{E}{y_c}$, $\frac{F}{y_c^2}$-scale이 나타나 있는데 單位는 다음과 같다. q…m³/sec/m, y_c…m, y…m, 各 scale의 범위는 q는 0.004~3,000m³/sec/m, y_c는 0.01~100m, y는 0.001~1000m, $\frac{y}{y_c}$는 0.1~10이다.

流量 q 또는 限界水深 y_c와 y를 直線연장하면 $\frac{y}{y_c}$가 결정되고 Specific Energy Curve와 만난점에서 $\frac{E}{y_c}$를 求하고 Specific Force Curve에서 $\frac{F}{y_c^2}$을 求하게 된다.

例題 1. 그림 2와 같은 矩形水門에 있어서 다음과 같은 計算이 가능하다. (가) 流量과 上流水深을 알고 下流水深을 求할때, (나) 流量과 下流水深을 알고 上流水深을 求할 때, (다) 上·下流 水深을 알고 流量을 求할 때, (라) 上·下流 水深을 알고 水門에 作用하는 힘 R를 求할때(F流水深이 限界水深보다 적은 경우만 有用함)



그림—2 수 문

가. 上流 또는 下流水深을 알고 流量을 알 때 下流 또는 上流水深을 求하는 경우.

排水門을 통과하는데 에너지損失이 생기지만 이것은 아주 적으므로 이것을 무시한다. 單位巾當 流量을 q(m³/sec), 上流水深을 y_1(m), 下流水深을 y_2(m), 流量 q가 흐를때 생기는 限界水深을 y_c라 한다. 그러면 上流, 下流의 比에너지는 같다. 즉

$$E_1/y_c=E_2/y_c=E/y_c$$

q와 y_1의 값을 알고 있으므로 이 두 값을 직선연장하여 $\frac{y_1}{y_c}$을 구하고 Specific Energy Curve에서 $\frac{E}{y_c}$의 값을 정한다. $\frac{E}{y_c}$의 같은 값이 射流部分의 Specific Energy Curve와 만나는 點에서 $\frac{y_2}{y_c}$를 구하고 Nomograpl의 q와 $\frac{y_2}{y_c}$를 직선 연결하여 y線과의 交點에서 y_2를 얻게 된다. 이 過程을 逆으로 하면 下流水深 y_2와 流量 q를 알고 上流水深 y_1을 求할 수 있다.

만약 $q=0.164$m³/sec) (또는 164m³/sec)이고, $y_1=0.5$m(50m)이면 그림 1과 같이 $\frac{y_1}{y_c}=3.57$이고, $\frac{E}{y_c}=3.60$. $\frac{y_2}{y_c}=0.39$가 되므로 $y_2=0.056$m(5.6m)를 求할 수 있게 된다.

F流의 射流水深을 알 경우, 즉 $q=0.164$m³/sec (또는 164m³/sec), $y_2=0.056$m(5.6m)이면 上記와 反對順序로 $\frac{y_2}{y_c}=0.39$, $\frac{E}{y_c}=3.60$, $\frac{y_1}{y_c}=3.57$을 알아내어 $\frac{y_1}{y_c}=3.57$과 $q=0.164$m³/sec(또는 164m³/sec)를 연결하여 $y_1=0.5$m(또는 50m)를 求하게 된다.

나. 上,下水深을 알고 水門을 통과하는 경우

이것은 y_1/y_c와 y_2/y_c가 Specific Energy Curve上에서 같은 $\frac{E}{y_c}$의 값을 갖도록 y_c를 定하는 것이다. Nomograph의 構成관계로 y scale上의 y_1과 y_2의 거리의 2倍의 거리가 y/y_c scale上의 y_1/y_c와 y_2/y_c 사이에 떨어져 있어야 하므로 divider(디바이더)로 y_1, y_2의 거리의 2倍의 기리를 잡아 Specific Energy Curve 上에서 上·下曲線의 수직간격이 같은 點을 찾으면 y_1/y_c와 y_2/y_c가 결정되고 이들과 y_1, y_2를 연결하여 q를 求하게 된다.

例로 上流水深이 1m(또는 100m) 下流水深이 0.1m(또는 10m)라면 y scale上의 거리가 2.23cm이므로 디바이더로 4.46cm를 잡아서 Specific Energy Curve 上에서 같은 간격에 점을 찾으면 $y_1/y_c=3.75$, $y_2/y_c=0.38$가 되고 이들과 $y_1=1$m, $y_2=0.1$m를 연장하면 $q=0.42$m³/sec(또는 420m³/sec)을 求하게 된다.

다. 水門에 作用하는 힘의 計算

單位巾當 힘은 specific force curve上에서 구한다. 運動量法則에 의하면 斷面①, ②사이에서 흐름 方向으로 作用하는 힘 R는 다음 式으로 표시된다.

$$\frac{R}{r}=F_2-F_1$$

여기서 r는 물의 比重이다.

바닥에서 생기는 剪斷力은 아주 적으므로 무시하고 $\frac{y_1}{y_c^2}$, 및 $\frac{y_2}{y_{c1}}$에 의하여 $\frac{F_1}{y_{c2}}$, $\frac{F_2}{y_{c2}}$를 求한다. 그러면 F_1, F_2, y^3, r를 알게 되므로 R를 求할 수 있다.

(가)의 경우를 보면 $y_1=0.5\text{m}$ 및 $y_2=0.056\text{m}$ 와 $y_c=0.14\text{m}$ (또는 $q=0.164\text{m}^3/\text{sec}$)를 연장하여 각각 $\frac{y_1}{y_c}=3.57$, $\frac{y_2}{y_c}=0.39$를 求하고 이點들의 水平線과 specific force curve의 만난點을 보면 $\frac{F_1}{y_c^2}=6.7$, $\frac{F_2}{y_c^2}=2.62$이다.

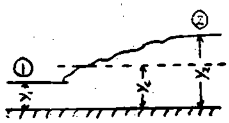
그러므로 $R=(F_2-F_1)r=y_c^2r(2.62-6.7)$

$r=1$, $y_c^2=0.14^2$ 이므로

$$R=0.14^2(2.62-6.7)=0.0196\times(-4.08)$$
$$=-0.08 \text{ ton/m}$$

－ 付號는 힘의 作用方向을 表示한다.

例題 2. 跳水에 있어서 上流水深 y_1과 q의 값을 알면 下流水深 y_2를 計算할 수 있다.



그림－3 조 수

이 때 ① ②斷面 사이에서의 힘 R는 바닥에서의 剪斷力 뿐인데 아주 적어 무시할 수 있으므로 $F_1/y_c^2=F_2/y_c^2$가 成立한다. 그러므로 例題 1에서와 같은 方法으로 上流水深, 流量, 下流水深 中 2가지만 알면 나머지 하나를 求할수 있게 된다. 다만 이때에는 Specific Energy Curve 대신 Specific Force Curve를 使用한다.

그리고 跳水에 의한 Energy 손실은 y_1/y_c, y_2/y_c를 사용하여 Specific Energy Curve 上에서 E_1/y_c, E_2/y_c를 求하여 E_1-E_2에서 計算된다.

例로 $y_1=0.5\text{m}$, $q=3\text{m}^3/\text{sec}$ 라면 q scale과 y scale 上의 두點을 연장하여 $y_1/y_c=0.52$를 求하고 Specific Force Curve와 만난點에서 $\frac{F_1}{y_c^2}=2.1$을 求하고 $\frac{F_2}{y_c^2}=2.1$인 때 $\frac{y_2}{y_c}=1.7$을 求하고 이것과 $q=3.0\text{m}^3/\text{sec}$와 直線 연결하여 y scale 上에서 下流水深 $y_2=1.68\text{m}$를 求하게 된다.

이 過程을 逆으로 하면 下流水深과 流量으로부터 上流水深을 求하게 된다. 上·下流水深 y_1, y_2를 알고 流量 q를 求할 때는 y-scale의 y_1, y_2의 간격을 2倍의 거리가 되도록 Specific Force Curve 上의 수직거리를 잡아 上下點에서 y_2/y_c, y'/y_c를 定하면 이들과 y_1, y_2를 연장하여 流量 q를 求하게 된다.

Energy 손실은 $y_1/y_c=0.52$, $y_2/y_c=1.7$에서 각각 $\frac{E_1}{y_c}=2.40$, $\frac{E_2}{y_c}=1.90$ 이므로

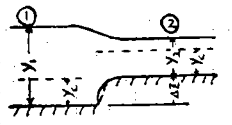
$$E_1-E_2=y_c(2.40-1.90)=0.5y_c$$

$y_c$scale에서 $q=3.0\text{m}^3/\text{sec}$일 때 $y_c=0.98$이다.

따라서 Energy 손실

$$\triangle E=E_1-E_2=0.5\times0.98=0.490\text{m}(\text{손실水頭})$$

例題 3. 그림－4와 같이 水路의 바닥이 急히 上昇하고 流線形으로 다듬어져 있는 경우도 그림 1의 nomograph로 求할 수 있다. 여기서 $\frac{E_1}{y_c}=\frac{E_2}{y_c}+\frac{\Delta z}{y_c}$ 이므로 $q, y_1, y_2, \Delta z$ 중의 3가지量을 알고 나머지 하나의 量을 求할 수 있다. 이때는 水門의 경우와 같은 방법으로 하지만 $\frac{\Delta z}{y_c}$를 $\frac{E_2}{y_c}$에 보태어 $\frac{E_1}{y_c}$를 求하고 $\frac{E_1}{y_c}$에선 $\frac{\Delta z}{y_c}$를 빼어 $\frac{E_2}{y_c}$를 求하는 것이 다르다.



그림－4 바닥높이 변동

上昇部에 作用하는 힘은 Specific Force Curve로 水門에서와 같은 방법으로 求한다. 例로 $q=0.28\text{m}^3/\text{sec}$, ($y_c=0.2\text{m}$), $y_1=1.0\text{m}$, $\Delta z=0.60\text{m}$ 라면 그림 1에서 q와 y_1을 直線으로 연장하여 $y_1/y_c=5$가 되고 specific Energy Curve와 만나는 點을 찾으면 $\frac{E_1}{y_c}=5$이다.

$\frac{\Delta z}{y_c}=\frac{0.60}{0.20}=3.0$을 $\frac{E_1}{y_c}$에서 빼면 $\frac{E_2}{y_c}=2$이다.

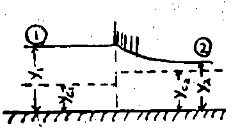
$\frac{E_2}{y_c}=2$인 때 $y_2/y_c=1.9$ 또는 0.60이나 이 경우 下流는 射流가 아니므로 $y_2/y_c=1.9$와 $q=0.28$을 연결하여 $y_2=0.38\text{m}$를 求한다.

이 경우 上昇部分에 作用하는 水平力은 $y_1/y_c=5$, $y_2/y_c=2$를 利用하여 $\frac{F_1}{y_c^2}=12.8$, $\frac{F_2}{y_c^2}=2.45$를 찾아 $F_1-F_2=y_c^2(12.8-2.45)=0.2^2\times10.35=0.414$ ton/m (單位巷當)을 求하게 된다.

例題 4. 그림 5.와 같이 水路가 流線形으로 縮少되는 경우도 E_1과 E_2는 같다.

즉 $\frac{E_1}{y_{c1}}=\frac{E_2}{y_{c1}}$

또는 $\frac{E_1}{y_{c1}}=\frac{E_2}{y_{c2}}\left(\frac{y_{c2}}{y_{c1}}\right)$



그림－5 수로폭 변경

上·下流에 있어 單位巾當 流量이 변동되므로 y_{c1}과 y_{c2}는 다르다. 윗 式을 對數로 表示하면 $\log\frac{E_1}{y_{c1}}-\log\frac{E_2}{y_{c2}}=\log y_{c2}-\log y_{c1}$이다.

이것은 그림 1에서 $\frac{E}{y_c}$scale 上의 $\frac{E_1}{y_{c1}}$과 $\frac{E_2}{y_{c2}}$의 거리와 y_c scale 上의 y_{c1}과 y_{c2}의 거리가 다른 것을 의미한다. 이 거리는 上·下流의 單位巾當 流量 q_1, q_2의 간격으로 곧 결정된다. q_1, q_2와 y_1을 알고 있고 y_2를 求할 때는 먼저 $\frac{E_1}{y_{c1}}$을 求하여 $\frac{E}{y_c}$scale 上에서 q_1, q_2의 간격만큼 떨어진 곳에서 $\frac{E_2}{y_{c2}}$를 定하고 이것으로부터 $\frac{y_2}{y_{c2}}$를 알게 되고 $\frac{y_2}{y_{c2}}$와 q_2의 연결로 y_2가 求해진다.