堰堤に設くる流材路に就て

H. Watanabe; On the log chutes built to dams.

(昭和五年五月二十四日受理)

渡 邊 治 人

一、緒 言

河川水運に依り、木材を運搬せる地方にありては、河川を横斷して築設せらるゝ堰堤が、運材の圓滑を妨げ、木材業者と水力電氣業者間の抗爭の因となること屢々なり。従て堰堤に於ける流材路の施設は、斯る地方にありては重要な問題となる。然して流材路には、木材を水に浮泛せしめて流下さす場合と、水を單に滑劑として木材を滑らす場合とあり。後者は、修羅の設計と同様にして、修羅に關しては Franz Angerholzer 氏の著書 *Forstliche Riesbauten* に詳にして、稿者は此處には、前者に屬する流材路の勾配決定法につき述べべし。本論文作成にあたり、種々御教示を賜はりし中村猪市先生に深謝の意を表す。

流材路の設計にあたりて考慮すべきことは、流材に要する水量の節約と、木材損傷の防止と流材の圓滑の三點とす。流材路を分ちて管流路と筏流路とし、前者には、木材を一時に一本流下せしむる場合と、多數流下せしむる場合とあり。

二、水路の斷面積 (A)

流材並に水路面の損傷を防ぐには、水深をして木材が浮泛し得る深さとなすを要す。

浮力に關しては、アルキメデスの原理に依り W_1 を浮體の重量、 V を水線斷面以下の浮體の體積、 ω を單位容積の水の重量とすれば、

$$W_1 = \omega V$$

流下せしむべき木材の最大半徑を r 、單位容積の木材の重量を ω_1 、一時に流下する木材の數を n 、木材の斷面を圓形なりとし、且材長を單

位長にとれば(1)式より求めたる V の数値は、流水の断面積の数値を示すべし。

$$W_1 = \omega_1 \pi r^2 = \omega V \dots \dots \dots (1)$$

水路には、少なくとも(1)式より求めたる V の値に流材の数 n を乗じたる数にて示さるゝだけの、断面積を有する流水を必要とす。従て水路の断面積 A は、 $2nV$ 以上たるべし。

$$A \geq 2nV \dots \dots \dots (2)$$

水路の断面積を第一圖の(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)の如くすれば、その面積 A はそれぞれ(3)式に依て與へらる。

$$A = m h (E h + l) \dots \dots \dots (3)$$

但し E の値は断面積に依り、次の如し

(a)	$E = 1$	(h, l, m は第一圖参照)
(b)	$E = \frac{5}{6}$	
(c)	$E = \frac{3}{4}$	
(d)	$E = \frac{1}{2}$	
(e)	$E = \frac{n-1}{n}$	
(f)	$E = \frac{\pi + 2(n-2)}{2n}$	

三、木材浮泛の深さ (y)

單位容積の木材の重量を ω_1 、木材の半径を r 、浮泛の深さを y 、 θ を第二圖に示す角度とすれば、

論 說 堰堤に設くる流材路に就て(渡邊)

$$y = r(1 - \cos \theta) \dots \dots \dots (4)$$

單位長の木材圓柱の重量 W_1 は

$$W_1 = \omega_1 r^2 \dots \dots \dots (5)$$

排除されたる水の重量 W は

$$W = \omega r^2 (\text{circul ar measure } \theta - \sin \theta \cos \theta) \dots \dots \dots (6)$$

(5)式と(6)式を等置して、

$$\omega r^2 \left(\omega_1 m \theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) = \omega_1 r^2$$

$$2\omega_1 m \theta = \sin 2\theta = 2\pi \frac{\omega_1}{\omega} \dots \dots \dots (7)$$

(7)式に ω_1 と r の値を代入して、試算に依り θ の値を求め(4)式に代入して y の値を求む。

四、潤邊 (S) 及平均徑深 (K)

木材浮泛の深さ y を知れば、(3)式に於ける h の値を定め、且最も水を節約し得る如く、 m の値を選びて水路断面の大きさを定め、(8)式より潤邊 S を求む。

$$S = Fh + 2L$$

但し F の値は、斷面形に依り次の如し。

$$\left. \begin{array}{ll} (a) & F = m + 2 \quad (h \text{ は第二圖参照}) \\ (b) & F = \frac{2m + \sqrt{36 + m^2}}{3} \\ (c) & F = \frac{m + \sqrt{16 + m^2}}{2} \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} (d) \quad F = \sqrt{4 + m^2} \\ (e) \quad F = m + 2\sqrt{2} - 2 \\ (f) \quad F = m + \pi - 2 \end{array} \right\}$$

潤邊 S を知れば、之にて斷面積 A を除して、平均徑深 K を求め得べし。

$$K = \frac{A}{S} \dots\dots\dots (9)$$

五、摩擦係數 (f)

實驗に依り、摩擦係數 f の値を定めたる公式は數多あれど、次の二公式を選定す。

(1) バザンの舊公式

$$f = \alpha \left(1 + \frac{\beta}{K} \right) \dots\dots\dots (10)$$

但し α 、 β は長さの單位呎なる時次の如き常數なり。

流 路	α	β
鉋にて削りたる木材より成れる又は膠灰を塗りたる極めて滑なる流路	0.00316	0.10
板・煉瓦工・切石工又は混凝土工の面を有する滑なる流路	0.00401	0.23
粗石工・張石工又は汚れたる混凝土工の面を有する滑ならざる流路	0.00507	0.52

(2) バザンの新公式

$$\sqrt{\frac{2g}{f}} = \frac{1.58\sqrt{K}}{\sqrt{K + \alpha}} \dots\dots\dots (11)$$

但し α は長さの單位呎にして、時の單位秒の時、次の如き常數なり。

論 說 堰堤に設くる流材路に就て(渡邊)

流	路	α
鈍にて削りたる木材より成れる又は膠灰を塗りたる極めて滑なる流路		0.109
板・煉瓦工・切石工又は混凝土工の面を有する滑なる流路		0.290
粗石工又は汚れたる混凝土工の面を有する滑ならざる流路		0.833

六、速度 (v) 及勾配 (i)

速度が大に過ぐる時は、水路並に木材の損傷も大となる。故に流材の速度と水速とが、一致する範圍内にて速度を選ぶべし。一般に速度の限度は九—一〇^米/秒位にして、特に筏流路にありては、筏夫が乗りたるまゝ降下する故に、勾配を緩となすべく、三—五^米/秒を以て最適とす。

摩擦係数 f 及平均径深 K を知れば、(12) 式より勾配又は速度を選びて速度又は勾配を求め得。

$$i = \frac{f}{2g} \frac{v^2}{K} \dots\dots\dots (12)$$

但し(12) 式は水路の断面及傾斜を不変なりとし、水の各分子は断面に於ける平均速度に等しき速度を以て、水路の底又は水面に平行して流るゝものと假定して求めたるものなり、詳細は柴田睦著作「工業力学」を参照すべし。

七、勾配の變移

流水の断面積 A_1 、水速 v_1 、平均径深 K_1 、摩擦係数 f_1 なる性質を備へたる勾配 i_1 より、それぞれ A_2 、 v_2 、 K_2 、 f_2 なる性質を備へたる勾配 i_2 に變移するものとすれば、次の如き各式が成立す。

$$A_2 = \frac{v_1}{v_2} A_1 \dots\dots\dots (13)$$

$$K_2 = \frac{A_2}{S_2} = \frac{v_1}{v_2} \frac{A_1}{S_2} \dots\dots\dots (14)$$

$$v_2 = \frac{f_2}{2g} \frac{v_2^2}{K_2} = \frac{f_2}{2g} \frac{S_2}{v_2 A_1} \dots \dots \dots (15)$$

式中 S_2 の値は (16) 式より求む。

$$S_2 = G h + \frac{2}{m} \frac{A_1}{h} \frac{v_1}{v_2} \dots \dots \dots (16)$$

(a) $G = m$ (h, l, m は第一圖参照)

$$(b) \quad G = \frac{2m-5+\sqrt{36+m^2}}{3}$$

$$(c) \quad G = \frac{m-3+\sqrt{16+m^2}}{2}$$

$$(d) \quad G = \sqrt{4+m^2}-1$$

$$(e) \quad G = \frac{m^2+2(\sqrt{2}-2)m+2}{m}$$

$$(f) \quad G = \frac{m^2+(\pi+4)m-(\pi-4)}{m}$$

八、勾配決定法を示す計算例

先づ、水路の斷面を決定すべし。

(a) 一時に一本流下する管流路

(1) 式より V なる流水の斷面積を求め、(2) 式の流材數 n を 1 とし、(4) 式より木材浮泛の深さ q を求め、(3) 式に於て q を考慮して h 及 m を最も水を経済的に使用する如く選びて、 l を求むれば、水路の斷面を得べし。

(b) 一時に多數流下する管流路

此の場合には、木材は必ずしも縦にのみなりて流れずして、横になるものもある故に、水路幅は材長以上となすべし。(1) 式より流水の斷面積

V を求め、(4)式より得たる浮泛の深さ y に材長 L を乗じたものより大なるものを(2)式の水路断面面積 A として、流材數 n を求め、一時に此の n 本だけを流下せしむれば、水を經濟的に利用することとなる。次に(3)式の n と m を y 及 L を考慮して選び l を求むれば、水路の断面を得べし。但し断面の形は第一圖の(a)、(c)或は(f)とすべし。

(c) 筏流路

此の場合の水路幅は、筏の幅 B に依りて定まる。故に(4)式より求めたる浮泛の深さ y に、筏幅 B を乗じたものより大なるものを(3)式の水路

第一圖

斷面積 A とし、 B 及び r を考慮して、 h 及 m を選び v を求むれば、水路の斷面を得べし。但し斷面の形は第一圖の (a)、(e) 或は (f) とすべし。

第一圖

今此處には、一時に一本を流下さす管流路の計算例を示す。他の場合も、之に準じて計算を行へば可なり。

流材の最大半徑を三〇糎、流材の比重を〇・九とすれば單位長に對し (1) 式より

$$V = \frac{3.14 \times 30^2 \times 0.9 \times 1}{1} = 2543.4 \text{ cm}^3$$

故に少なくとも、 2543.4 cm^3 の流水斷面を要し、水路斷面は (2) 式より、 $2 \times 1 \times 3543.4 = 5086.8 \text{ cm}^2$ 以上たるべし。

木材の浮泛の深を求むれば、(4) 式より、

(7) 式より、
 $y = 30 \times (1 - \cos \theta)$
 $2 \sin \theta - \sin^2 \theta = 2 \times 3.14 \times \frac{0.9}{1} = 5.652$
 $\theta = 138^\circ$ にとれば、

$$2 \times 2.329 \times 0.9945 = 5.652$$

$$y = 30 \times (1 - \cos 138^\circ) = 30 \times (1 + 0.743) = 52.29 \text{ cm}$$

故に $h = 55 \text{ cm}$ とす。今第一圖 (e) の斷面を例にとれば、 $m = 2$ とすれば可なり。

流材路の始點と終點の高差が八米なりとすれば、流材の速度を次の如く選ぶ。

- (I) 始點より高差三米の點までは $1.0 \frac{\text{米}}{\text{秒}}$
- (II) 高差三米の點より高差五米の點までは $0.9 \frac{\text{米}}{\text{秒}}$
- (III) 高差五米の點より高差七米の點までは $0.8 \frac{\text{米}}{\text{秒}}$
- (IV) 高差七米の點より高差八米の點までは $0.7 \frac{\text{米}}{\text{秒}}$

(I) ○米—三米

$$(3) \text{式より} \quad A_1 = 2 \times 55 \times \left(\frac{3}{4} \times 55 + l_1 \right) = 5086.8 \text{cm}^2$$

$$l_1 = 5 \text{cm}$$

$$(8) \text{式より} \quad S_1 = \frac{2 + \sqrt{16 + 4}}{2} \times 55 + 10 = 187.98 \text{cm}$$

$$(9) \text{式より} \quad K_1 = \frac{5086.8}{187.98} = 27 \text{cm}$$

混凝土にて築造せる滑なる流路とすれば、マンザンの新公式に於て $\alpha = 0.29$

$$(11) \text{式より} \quad \sqrt{\frac{2 \times 32.2}{f_1}} = \frac{158 \times \sqrt{0.27 \times 3.28}}{\sqrt{0.27 \times 3.28 + 0.29}}$$

$$f_1 = 0.00442$$

$$(12) \text{式より} \quad i_1 = \frac{0.00442}{2 \times 9.8} \times \frac{10^2}{0.27} = 0.084$$

(II) 三米—五米

$$(16) \text{式より} \quad S_2 = \frac{2 - 3 + \sqrt{6 + 2^2}}{2} \times 55 + \frac{5086.8}{55} \times \frac{10}{9} = 198.24 \text{cm}$$

$$(14) \text{式より} \quad K_2 = \frac{10}{9} \times \frac{5086.8}{198.24} = 28.7 \text{cm}$$

$$(11) \text{式より} \quad \sqrt{\frac{2 \times 32.2}{f_2}} = \frac{158 \times \sqrt{0.285 \times 3.28}}{\sqrt{0.285 \times 3.28 + 0.29}}$$

$$f_2 = 0.00436$$

$$\frac{198.24}{2 \times 980} \times \frac{198.24}{1000 \times 5086.8} \times 900^3 = 0.063$$

$$A_2 = \frac{10}{9} \times 5086.8 = 5652 \text{ cm}^2$$

$$2 \times 55 \times \left(\frac{3}{4} \times 55 + l_2 \right) = 5652$$

論 說 堰堤に設くる流材路に就て(渡邊)

$$l_s = 10.13 \text{ cm}$$

(III) 五米—七米

同様にして、

$$S_s = 211.08 \text{ cm}$$

$$K_s = 30.1 \text{ cm}$$

$$f_s = 0.00431$$

$$z_s = 0.047$$

$$A_s = 6358.5 \text{ cm}^2$$

$$l_s = 16.49 \text{ cm}$$

IV) 七米—八米

$$S_s = 227.6 \text{ cm}$$

$$K_s = 31.9 \text{ cm}$$

$$f_s = 0.00425$$

$$z_s = 0.033$$

$$A_s = 7266.8 \text{ cm}^2$$

$$l_s = 24.81 \text{ cm}$$

之等の値を圖示すれば第三圖の如し。

尙勾配を既知のものとして、速度を算出するにも同じく(12)式乃至(15)式を用ふれば可なり。

九、附帶設備

(1) 流入口

流材路の口は、取水門と反對側の岸に設くるか、廣からざる河にありては、堰堤の中央に設く。流入口の底面は、四季を通じて運材するか否かに依りて、適當の位置に設くべく、前者にありては、低水位面より必要な深さだけ低めることを要す。

(2) 調節

流材路の口には流水量の調節を計る爲の裝置を必要とす。それには太鼓堰 (Drum dam)、推上堰 (Bear-trap dam)、角落し堰 (Stop-logs) を使用するも角落し堰を最も普通とす。

(3) 轉子

流材路の入口には、直径三〇—三五纏位の轉子を二—四個並べ、流材が水勢で轉子に乗るや、その回轉に依り、自力で流材路へ流れ込む如くす。

(4) 浮 柵

材木を流材路の口に導く爲と、堰堤への衝突を避ける爲に流入口の少し上流から、木材を鎖でつなぎて造れる又は之に類した浮柵を設ける。

十、備 考

- (1) 流材路を木材が下る場合に、木材の浮べる部分は然らざる部分よりも潤邊大にして、従て速度は小となる。故に流材の速度は、後方のより大なる水速に推されて、木材を浮べたる部分の潤邊を用ひて、算定せる速度よりも大となるべし。
- (2) 流材路の底面は、出来るだけ滑かにするよう心懸くべし。
- (3) 勾配の配布は、上方に急勾配を下るに従て、緩勾配となすべし。

参 考 書

Angerholzer F.; Forstliche Rieselbauten. 1911.

Bryant R. C.; Logging. 1913.

Creager W. P.; Masonry Dams. 1929.

柴田睦作氏 工業力學 昭和二年

山田陽清氏 河川及運河 昭和四年

(九州帝國大學農學部森林工學研究室にて)