

## 發電用水路ノ經濟的勾配ニ就テ

准員 工學士 松 田 文 次

緒言 發電水力工事ニ於テ水路ノ工事費ハ其全工事費ノ過半ヲ占ムルモノナルガ故ニ如何ニシテ水路ノ勾配從ツテ其ノ大ナ形狀ヲ決定スベキヤハ最重要ナル問題ト云ハザルベカラズ然ルニ構造強弱ニ關シテハ一本ノ鉦ノ多少ニモ研鑽論議至ラザルナキ人々ニシテ斯ノ如キ經濟問題ニ至リテハ忽チニシテ無頓著ニ陥リ輕々ニ漫然ト實例ニタヨリテ一千分ノ一、二千分ノ一ナド、決定シ終リテ何等異トセザルヲ目撃セルコト一再ナラズ茲ニ於テ著者ハ久シク掲記ノ如キ標題ノ誌上ニ表ハレンコトヲ期待シ居リシモ不幸未ダ之ニ接セズ即チ敢テ不肖ヲモ顧ミズ匆忙ノ間筆ヲ呵シテ一算ヲ試ミ識者ノ叱正ヲ乞ハントスル所以ナリ以下説ク處ハ問題ヲ成可ク簡易ニ取扱ハンガ爲メ不本意乍ラ輕微ノ因子ハ悉ク削除セルヲ以テ其結果往々ニシテ事實ニ遠ザカルコトアルベキモ要スルニ之レ最モ幼稚ナル初步ノ解法ヲ例示セルニ過ギズ之レヲ以テ先輩諸氏ノ高等解法ヲ誘出スル動機トモナルコトアラバ著者ノ本懷之ニ過ギザルナリ

**基本算式** 云フ迄モナク發電用水路ノ役目ハ水力ノ送達ニアリ水路ノ經濟的設計トハ水力送達ノ利益ヲ最大ナラシムルモノニシテ利益ヲ最大ナラシムルハ總テ損失ヲ最小ナラシムル義ナリ損失ニ水力ノ損失及資本ノ損失ノ二種アリ之等損失ノ總和ヲ最小ナラシムルガ如キ勾配ヲ以テ經濟的勾配ト云フ今之ヲ式ニ示セバ次ノ如シ

$$S = \text{水路勾配}, \quad P = \text{水路始端ニ於ケル水力(キロワット年)}$$

$$L = \text{水路内ニ於ケル水力損失(キロワット年)}, \quad F = \text{水路ノ建設費(圓)}$$

$C$  = 水路始端ニ於ケル水力單價 (圓毎キろわ、ト年),  $C$  = 水路終端ニ於ケル水力單價 (圓毎キろわ、ト年)

$k$  = 建設費ニ對スル資本ノ金利, 償却, 保存等ノ年經費歩合

$N$  = 水路始端ニ於ケル水力一キろわ、ト年ニ對スル利益 (圓)

$$N' = \frac{N}{C_1}$$

$$C(P-I) = C_1P + kF + NP \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$N' = \frac{1}{C_1P} \{ CP - (OL + kF) \} - 1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{dN'}{dS} = 0 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{d(OL + kF)}{dS} = 0 \quad \dots \dots \dots (4)$$

(1)式左邊ハ水路ノ年總收入右邊第一項ハ水路始端ニ於ケル水力支出第二項ハ資本ニ關スル支出第三項ハ利益年額ヲ示シ結局水路ノ收入、支出及利益相互間ノ關係ヲ表示ス(2)式ハ(1)式ヲ變化シテ $N'$ ノ値ヲ求メタルモノ(3)式ハ經濟的勾配ノ基本算式ニシテ(3)式中 $C_1P$ 及 $CP$ ハ共ニ $S$ ニ對シテ定數ナルガ故ニ(3)式ハ之ヲ變化シテ(4)式ノ如クナスコトヲ得可シ實地上ニ於テハ(4)式ニハ更ニ技術上ノ附帶條件ヲ必要トス即チ之ヨリ算出セル $S$ ノ値ニ相當スル流速ハ或制限流速ノ間ニ介在スルヲ要シ制限流速ヨリ大又ハ小ナル時ハ之ニ合致スル迄 $S$ ノ値ヲ増減スベキ場合アルベシ

(4)式第一項中 $O$ ノ値ハ水路終端ニ於テ此水力ヲ受入ル、場合ニ支拂ヒ得ル最高額ニシテ今考慮シツ、アル水路ヨリ下部ノ構造物、發電所等一切ノ設備ニ對スル建設費、維持運轉費、企業利益、能率、發電所ニ於ケル電力需要狀況即チ賣價、負荷率其他ニヨリテ變化シ實地上ニ於テハ相當ニ之ヲ推定シテ算出シ得可ク唯將來ニ於ケル電力需要狀況ノ變遷ニ對シ一種ノ遠觀ヲ要スルハ注意ニ値スベシ

Lノ値ヲ式ニ示セテ次々如シニ...

$L = \text{水路直長 (尺)}, \quad Q = \text{使用水量 (箇)}$

$$L = \frac{62.5 \times Q S I \times 0.746}{550} = 0.082 Q S I$$

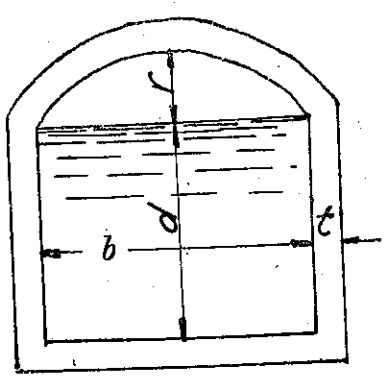
(4)式第二項中kノ値ハ一般ニ次ノ如シ

$k_1 = \text{建設費ニ對スル年利率}, \quad k_2 = \text{建設費ニ對スル年償却率}, \quad k_m = \text{建設費ニ對スル年保存費率}$

$$k = k_1 + k_2 + k_m$$

Fノ値ハ豫メ水路ノ狀況、工法等ヲ定メ之ヲ求ムルコトヲ得ベシ但シ其形狀工法等ノ經濟的ナルヤ否ヤニ就テハ本篇ノ與リ知ラザル處トス

第一例 軟岩ノ場合ニ於ケル隧道ノ一例トシテ第一圖ノ如キ斷面ヲ想定シ經濟的勾配ヲ求ムルコト次ノ如シ



第一圖

$b = 1.2d, \quad r = 0.32d, \quad t = 0.1d$

浸水邊 =  $3.2d$ , 流水斷面積 =  $1.2d^2$

平均水深 =  $0.375d$ , 流速係數 =  $C_v$

$Q^2 = 0.540 C_v^2 d^5 S$

$d = 1.131 \left( \frac{Q}{C_v} \right)^{\frac{2}{5}} S^{-\frac{1}{5}}$

$d^2 = 1.279 \left( \frac{Q}{C_v} \right)^{\frac{4}{5}} S^{-\frac{2}{5}}$

$A_0 = \text{掘鑿斷面積 (平方尺)}, \quad C_0 = \text{掘鑿單價 (圓每立方尺)}$

$A = \text{裏裝工斷面積 (平方尺)}, \quad C_1 = \text{裏裝工單價 (圓每立方尺)}$

$$A_0 = 1.935d^2, \quad A_1 = 0.494d^2,$$

$$F = (1.935C_0 + 0.494C_1) d^2 l.$$

$$C_1 l + kF = 0.082 C Q_1 S + (1.935 C_0 + 0.494 C_1) k l \times 1.279 \left( \frac{Q}{C_0} \right)^4 S^{-3}$$

$$\frac{d(C_1 l + kF)}{dS} = 0.082 C Q_1 - 0.4 (2.475 C_0 + 0.632 C_1) k l \left( \frac{Q}{C_0} \right)^4 S^{-4} = 0$$

$$S = \left\{ \frac{(12.073 C_0 + 3.083 C_1) k}{C Q_1^4 C_0^4} \right\}^{1/4} \dots \dots \dots (5)$$

但シ  $C_0$  ノ 値 ハ 適 宜 假 定 シ テ 計 算 ヲ 進 メ 連 續 近 似 法 ニ 由 リ 計 算 ヲ 繰 返 ス ラ 要 ス

計 算 例 今 一 例 ト シ テ 最 大 使 用 水 量 270 箇 最 小 135 箇 落 差 水 槽 水 面 及 放 水 面 間 ニ 於 テ 520 尺 最 大 發 電 力 3,600 き ろ わ ヲ 考 慮 シ ツ ン ノ ア ル 水 路 ノ 終 端 ニ 水 槽 ニ 接 續 ス ル 場 合 ニ ツ キ 次 ノ 如 キ 假 定 ヲ 置 キ 計 算 ス ベ シ

水 壓 管, 水 車, 發 電 機 等 ノ 合 成 能 率	...	...	...	...	...	75%
平 均 發 電 力 ノ 最 大 發 電 力 ニ 對 ス ル 割 合	...	...	...	...	...	80%
負 荷 率	...	...	...	...	...	60%
販 賣 電 力 一 き ろ わ ヲ 對 シ 建 設 費	...	...	...	...	...	250圓
( 但 シ 水 槽 以 下 一 切 ノ 設 備 ニ 對 シ テ )						
建 設 費 ニ 對 ス ル 年 利 率	...	...	...	...	...	7%
同 償 却 率	...	...	...	...	...	3%
同 維 持 運 轉 費 率	...	...	...	...	...	4%
同 企 業 利 益 率	...	...	...	...	...	4%
販 賣 電 力 價 格 一 き ろ わ ヲ 對 シ	...	...	...	...	...	105圓

18%

36%

$$C = (105 - 250 \times 0.18) \times 0.36 = 21.60 \text{圓}$$

$$k_a = 7\%, \quad k_b = 2\%, \quad k_m = 1\%$$

$$k = 0.07 + 0.02 + 0.01 = 0.10$$

$$C_1 = 0.30 \text{圓}, \quad C_2 = 0.85 \text{圓}, \quad C_3 = 110.$$

$$S = \frac{\left\{ (12.073 \times 0.30 + 3.083 \times 0.85) \times 0.1 \right\}^{\frac{1}{2}}}{21.60 \times 270^{\frac{1}{2}} \times 110^{\frac{1}{2}}} = \frac{1}{400}.$$

$$d = 1.131 \times \left( \frac{270}{110} \right)^{\frac{2}{3}} \times 400^{\frac{1}{2}} = 5.35 \text{尺}, \quad \text{平均水深} = 0.375 \times 5.35 = 2.006 \text{尺}, \quad \sqrt{2.006} = 1.414$$

$$C_0 = \frac{157.5}{1 + \frac{0.5}{1.414}} = 115$$

假定セル  $C_0$  ノ値トノ差違僅少ナルガ故ニ再算セス

$$\text{流速} = 115 \sqrt{2.006 \times \frac{1}{400}} = 8.13 \text{秒尺}$$

即チ普通ノ壁材ニ對シテハ制限速度以內ニアリ

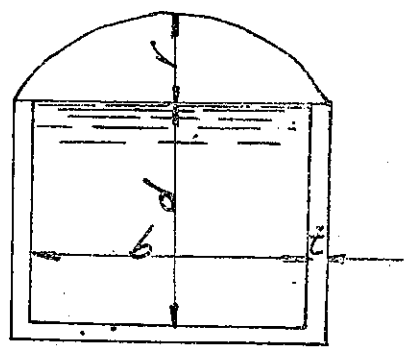
第二例 硬岩ノ場合ニ於ケル隧道ノ一例トシテ第二圖ノ如キ斷面ヲ想定シ經濟的  
勾配ヲ求ムルコト次ノ如シ

$$b = 1.2d \text{尺}, \quad r = 0.3d + 0.25 \text{尺}$$

$$t = 0.5 \text{尺}$$

$$A_2 = 1.451d^2 + 2.02d + 0.675$$

$$A_1 = 1.6d + 0.5$$



第二圖

上式ノ最後ノ項ハSニ對シテ定數ナルガ故ニ省略スベシ

$$F = \{ 1.451C_1d^2 + (2.02C_2 + 1.6C_1)2.0675(0.675C_2 + 0.5C_1) \} L$$

$$CL + KF = 0.082CQ_1S + \left\{ 1.451C_2 \times 1.279 \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{\frac{4}{3}} S^{-\frac{5}{3}} + (2.02C_2 + 1.6C_1) \times 1.129 \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{\frac{5}{3}} S^{-\frac{5}{3}} \right\} M$$

$$\frac{d(CL + KF)}{dS} = 0.082CQ - \left\{ 0.742C_2K \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{\frac{4}{3}} S^{-\frac{8}{3}} + (0.457C_2 + 0.362C_1)K \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{\frac{5}{3}} S^{-\frac{8}{3}} \right\} = 0$$

或ハ  $0.082CQ S^{\frac{3}{2}} - (0.457C_2 + 0.362C_1)K \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} - 0.742C_2K \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{\frac{4}{3}} = 0 \dots \dots \dots (5)$

試算ニ由リ此方程式ヲ解ケバSヲ得ベシ

計算例 前例ト同一ノ場合ニ於テ計算セバ次ノ如シ但シ  $C_2 = 0.40$ 圓 トス

$$0.082CQ = 478.22, \quad (0.457C_2 + 0.362C_1)K \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{\frac{5}{3}} = 0.07$$

$$0.742C_2K \left( \frac{Q}{Q_0} \right)^{\frac{4}{3}} = 0.06, \quad 47.322S^{\frac{5}{2}} - 7S^{\frac{1}{2}} - 6 = 0$$

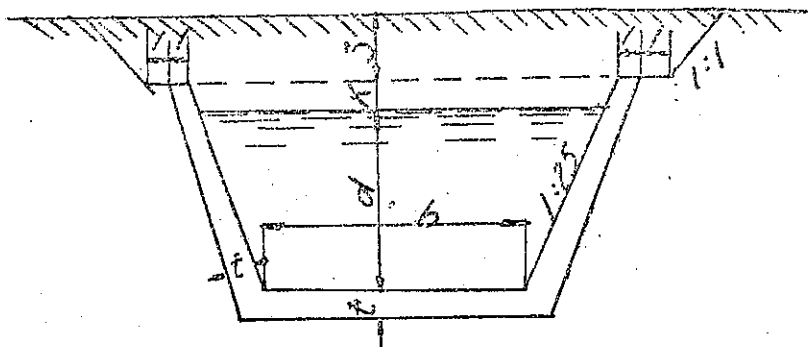
$$S = \frac{1}{500}$$

$C_0$ 及流速ノ計算ハ之ヲ省略ス

第三例 地盤強固ナル場合ニ於ケル開渠ノ一例トシテ第三圖ノ如キ断面ヲ想定シ經濟的勾配ヲ求ムルコト次ノ如シ

$$b = 1.5dR, \quad f = 1.0 + 0.1dR, \quad K = 1.0 + 0.1dR$$

$$\text{浸水邊} = 3.56d, \quad \text{流水斷面積} = 1.75d^2, \quad \text{平均水深} = 0.491d$$



$$Q = 1.5C_0^2 d^3 S, \quad d = 0.85 \left( \frac{Q}{C_0} \right)^{\frac{1}{3}} S^{-\frac{2}{3}}, \quad a = 0.924 \left( \frac{Q}{C_0} \right)^{\frac{1}{3}} S^{-\frac{2}{3}}$$

$A_2$  = 水路壁以下ノ掘鑿斷面積 (平方尺)

$A'_2$  = 同 以上ノ 同 ( 同 )

$A_1$  = 水路壁材斷面積 (平方尺)

$C_0 = A_0$  = 對スル掘鑿單價 (圓每立方尺)

$C'_0 = A'_0$  同 ( 同 )

$C_1 = A_1$  同 壁材單價 ( 同 )

$A_1 = 2.25d^2 + 6.45d + 4.5, \quad A'_1 = 6.15d + 28.5, \quad A_2 = 0.28d^2 + 4.20d + 4.$

$$F = \left\{ (2.25d^2 + 6.45d) C_0 + 6.15d C'_0 + (0.28d^2 + 4.20d) C_1 \right\} l$$

但シ用地費ハ之ヲ省略シ  $A_2, A'_2, A_1$  ノ最後ノ項ハ  $Q$  ニ對シテ定數ナルガ故ニ省

$$CL + kF = 0.082 C_0 Q l S + \left\{ (2.25 C_0 + 0.28 C_1) \times 0.85 \left( \frac{Q}{C_0} \right)^{\frac{1}{3}} S^{-\frac{2}{3}} \right.$$

$$\left. + (6.45 C_0 + 6.15 C'_0 + 4.20 C_1) \times 0.92 \left( \frac{Q}{C_0} \right)^{\frac{1}{3}} S^{-\frac{2}{3}} \right\} k l$$

$$\frac{d(CL + kF)}{dS} = 0.082 C_0 Q - \left\{ (0.765 C_0 + 0.095 C_1) k \left( \frac{Q}{C_0} \right)^{\frac{1}{3}} S^{-\frac{2}{3}} \right.$$

$$\left. + (1.187 C_0 + 1.132 C'_0 + 0.773 C_1) \times k \left( \frac{Q}{C_0} \right)^{\frac{1}{3}} S^{-\frac{2}{3}} \right\} = 0$$

或い

$$0.682CQ S^{\frac{1}{2}} - (1.187C_1 + 1.132C_2 + 0.773C_3)k \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} - (0.765C_4 + 0.095C_5) \times k \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^{\frac{1}{2}} = 0 \quad \dots \quad (7)$$

試算ニ由リ此方程式ヲ解ケバSヲ得ベシ

計算例 前例ト同一ノ場合ニ於テ計算セバ次ノ如シ但シ  $Q_1 = 0.08$  圓,  $C_1 = 0.02$  圓,  $C_2 = 0.62$  圓,  $C_3 = 1.20$  ナラス

$$0.682CQ = 478.22, \quad (1.187C_1 + 1.132C_2 + 0.773C_3)k \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.0857$$

$$(0.765C_4 + 0.095C_5)k \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.0235, \quad 47.822S^{\frac{1}{2}} - 8.57S^{\frac{1}{2}} - 2.35 = 0$$

$$S = \frac{1}{700}$$

$$d = 0.92 \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = 4.72 \text{尺}, \quad \text{平均水深} = 0.491d = 2.31 \text{尺}, \quad \sqrt{2.31} = 1.52$$

$$Q_1 = \frac{157.5}{1 + \frac{0.5}{1.52}} = 119, \quad \text{流速} = 119 \sqrt{2.31 \times \frac{1}{700}} = 6.85 \text{ 秒尺}$$

結 尾

上記數例ニ就テ明カナルガ如ク結局水路ノ勾配ハ其地方ノ電力價格及電力需要狀況ニ由リ著シク異ニスベキモノ

ニシテ電力價格ノ高低ニ從ヒ水路ニ投ズル資本高ヲ増減スルヲ以テ正當トス

(完)