

論 說 報 告

第 25 卷 第 11 號 昭和 14 年 11 月

水路式水力地點の優劣比較基準に就て

會 員 有 坂 誠 喜*

要 旨 本文は單純な水路式發電方式に對して土木工事費を比較する基準として $f = \frac{L}{HQ^{1/3}}$ なる地點係數を導入し且つその概算土木工事費を算出するには $\frac{L}{HQ^{1/3}} \left(1 + s + \frac{q}{L} + \frac{rHF^{3/2}}{L} \right)$ なる式を用ひ得る事を示し、係數 q, r, s を實例により算出し、更に調整池を有し或は水路が支線を有する様な種々な型式に對して応用出来る式を誘導したものである。本文は元大同電力株式會社取締役石川榮次郎氏の指導の下に同社既設發電所の建設費を參考として取纏めたものである。

目 次

- | | |
|------------------|---------------|
| 1. 概 説 | 2. 工事費比較法 |
| 3. 水路（隧道）の工事費 | 4. 水路以外の土木工事費 |
| 5. 地點係數 | 6. 土木工事と全工事費 |
| 7. 種々な發電方式に對する公式 | 8. 結 語 |

1. 概 説

水路式水力地點の優劣を比較するに種々な條件を考へられるが、需要地との關係を除外すれば主として次の 3 點に歸せられる。

- (1) 落差, (2) 流量, (3) 地形, 氣候及交通の便等（環境狀態）

發電力は落差と流量の相乗積に比例するを以て同一水路延長にてなるべく多くの落差が得られるがよく、又取水量が多くなるほど單位取水量當りの水路費は減少する理なるを以て河川の流量の大なる程有利なるべく、更に地形、氣候及交通の便等環境狀態が人間生活に便利なほど勞働賃銀も安かるべく、又工事に用假設備及物資運搬にも容易、従つて工事費が減少する結果を來す。これらの 3 點の内第 3 項はしばらく論外とし (1) 及 (2) 項は自然的條件なるを以てこれを基礎として數值的に水力地點の優劣比較法を進めて見やう。但し最初には水路延長が直接工事費に主要影響を及ぼすべき單純水路式に限る事にする。

2. 工事費比較法

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| L : 水路延長（導水路及放水路の和）(m) | H : 有效落差 (m) |
| Q : 使用水量 (m^3/sec) | η : 水車及發電機の總合能率 |
| K : 發電力 (kW) | |

とすれば

$$K = 9.8 \eta QH \dots \dots \dots (1)$$

又

A : 純水路（導水路及放水路）工事費

* 工学士 元大同電力株式會社勤務

- B: 純水路以外の土木工事費 (即ち取水堰堤, 取水口, 沈砂池, 水槽, 餘水路, 鉄管路等直接使用水量の通るべき構造物)
- C: 用地費及 A, B に属せざる土木工事費 (即ち土捨場, 雜工事, 雜設備, 假設備等)
- D: 電気工事費
- E: 土木及電気以外の工事費 (即ち廣義の總經費)
- Z: 全工事費

とすれば

$$Z = A + B + C + D + E \dots \dots \dots (2)$$

然るに A は水路延長及使用水量の或る幂數に比例すべく B は鉄管路と其の他に 2 分し, 後者 B₁ は使用水量の或る幂, 數前者 B₂ は使用水量及有效落差の或る幂數の相乘積に比例するものと考へられ, C は地點の状態に依つて左右せられる事多く, 理論的には見出し難いが大体工事規模に比例するものと見做して, 使用水量の或る幂數と水路延長の相乘積に比例するものとし, 更に D 及 E は發電力に比列するものとすれば

$$A = aLQ^\alpha \quad B = b_1Q^{\beta_1} + b_2Q^{\beta_2}H^\gamma \quad C = cLQ^\xi \quad D = dK \quad E = eK$$

と置くことが出来る。こゝに a, b, c, d, e は比例常數とす。

$$Z = aLQ^\alpha + b_1Q^{\beta_1} + b_2Q^{\beta_2}H^\gamma + cLQ^\xi + (d+e)K \dots \dots \dots (3)$$

故に單位出力當りの工事費は (1) 及 (3) 式より

$$z = \frac{Z}{K} = \frac{aLQ^\alpha + b_1Q^{\beta_1} + b_2Q^{\beta_2}H^\gamma + cLQ^\xi}{9.87QH} + d + e$$

又は

$$z - (d+e) = \frac{aLQ^\alpha + b_1Q^{\beta_1} + b_2Q^{\beta_2}H^\gamma + cLQ^\xi}{9.87QH} \dots \dots \dots (4)$$

こゝに z - (d+e) 即ち $\frac{aLQ^\alpha + b_1Q^{\beta_1} + b_2Q^{\beta_2}H^\gamma + cLQ^\xi}{9.87QH}$ は單位出力當りの土木工事費を示す。Q は大体出力によつて一定なるを以て a, b, c 及 $\alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma, \xi$ が如何なるか研究すればよい。

3. 水路 (隧道) の工事費

發電水力に於ける水路は一般に大部分隧道である。然るに前節に於ては水路工事費を aLQ^α と假定したが今一に水路工事費を研究するに全水路を隧道と假定して a 及 c が如何なる數値となるか見る。換言すれば蓋渠, 開渠, 水路橋等の部分も平均して單位長さ當りの工事費を隧道部分と同一と見做すわけである。さて隧道断面を馬蹄形とし

- d: 卷厚 (cm) r: 内半径 (m)
- m: 1 m³ 當り掘鑿單價 (導坑及切填平均す)
- n: 1 m³ 當りコンクリート單價 (セメントも含む)

とすれば隧道 1 m 當りの工事費 M は

$$M = vm(r+d)^2 + vn \left\{ (r+d)^2 - r^2 \right\} \div r^2 v \left\{ m + 2(m+n) \frac{d}{r} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

こゝに v は馬蹄形断面の形狀に關する常數で半径の 2 乗に r を乗ずれば断面積を得るものである。又 d は r に比すれば小なるを以て $\left(\frac{d}{r}\right)^2$ の項は無視した。d は實例上より大体 r^{1/2} に比例するものと見做し得るを以て d = 0.25r^{1/2} と假定し隧卷河道の内徑ととの關係を示せば表-1 の如くである。

表-1.

内 径 : $2r$ (m)	2	3	4	5	6
巻 厚 : d (cm)	25	30.6	35.3	39.5	43.3

又隧道の断面を 図-1 の如く假定すれば $v=3.43$ 故に (5) 式は

$$M = 3.43 r^2 \left\{ m + (m+n) \frac{0.5}{r^{1/2}} \right\}$$

然るに横坑, 排水路等の爲 3% 内外の工事費を要するを以て上式は

$$M = 3.53 r^2 \left\{ m + (m+n) \frac{0.5}{r^{1/2}} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

次に流量と隧道の大きさとの関係は Manning 氏の公式によれば

$$Q = \frac{i^{1/2}}{n_1} R^{2/3} A \dots\dots\dots (7)$$

ここに i : 水路勾配, n_1 : 粗度係数, R : 平均浸径, A : 通水断面積

然るに使用水量に對する隧道の水深を決定すれば A 及 R は共に半径 r の冪數に表されるを以て (7) 式は

$$Q = \frac{i^{1/2}}{n_1} \xi r^{8/3} \text{ 又は } r = \left(\frac{n_1}{i^{1/2} \xi} \right)^{3/8} Q^{3/8} \dots\dots\dots (8)$$

ξ は隧道断面形状及使用水量に對する水深によつて定まる常數とす。隧道断面形状を 図-1, 隧道水深を全高の $0.85 D$ ($1.7r$), $n_1=0.015$ とし又勾配 i は使用水量 Q に對して最も經濟的なる標変化せしむるが適當なるもその條件は複雑となるを以て従來の慣例より 表-2 の如く假定して Q と r との關係を求める。

表-2.

Q (m ³ /sec)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	2.5
i	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$\frac{i^{1/2}}{n_1} \xi$	0.8216	0.7500	0.7036	0.6708	0.6364	0.6000	0.5613	0.5196	0.4743	0.4243	0.3674	0.3354
r (m)	3.95	3.57	3.33	3.12	2.89	2.64	2.35	2.07	1.72	1.24	0.93	0.69

(8) 式を (6) 式に代入すれば

$$M = 3.53 m \left(\frac{n_1}{i^{1/2} \xi} \right)^{6/8} Q^{6/8} + 1.81 (m+n) \left(\frac{n_1}{i^{1/2} \xi} \right)^{4.5/8} Q^{4.5/8} \dots\dots\dots (9)$$

然し實際問題上 m, n は隧道の大きさ, 従つて使用水量によつて可成りの変化を來すべく, 更に勾配 i も亦上記の表に示す様 Q の増加と共に緩にするが經濟的の方法である。故に M は單純に Q のみの函数でなく従つて (9) 式より直ちに Q と M との關係を研究し難い。そこで先づ (6) 式に於て m 及 n を適當に假定して r と M との關係を求めん。それには隧道の大きさによつて m 及 n を如何に假定するか, 參考のため導坑及切擴の 1m³ 當りの掘鑿單價を m_1 及 m_2 とし導坑断面積を w とすれば平均掘鑿單價 m は

$$m = m_1 \frac{w}{v(r+d)^2} + m_2 \left\{ 1 - \frac{w}{v(r+d)^2} \right\}$$

$v=3.43, w=4.8m^2, r=0.25r^{1/2}$ として代入すれば

$$\frac{m}{m_2} = 1 + \frac{1.4 \left(\frac{m_1}{m_2} - 1 \right)}{r^n \left(1 + \frac{0.5}{r^{1/2}} \right)} \quad \text{但し } r^2 \left(1 + \frac{0.5}{r^{1/2}} \right) \geq 4.8 \dots \dots \dots (10)$$

(10) 式によつて導坑と切掘との掘整単價の比を假定すれば隧道の大きさに従つて平均掘整単價と切掘単價の比を得る。 $\frac{m_1}{m_2}$ を種々変化せしめた場合 r と $\frac{m}{m_2}$ との關係を示せば圖-2 の如くである。又卷立コンクリートも隧道断

圖-2. 導坑切掘單價の比と平均單價との關係

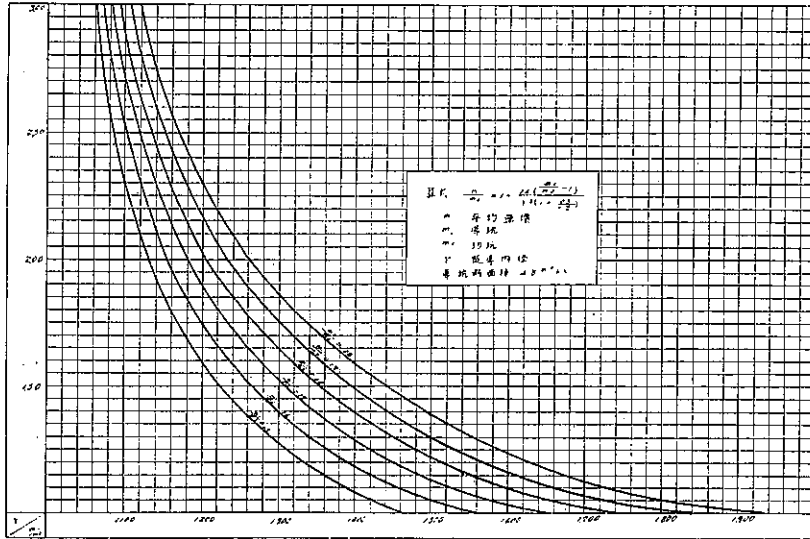


圖-3. 隧道の流量大さと 1m 當りの工事費關係

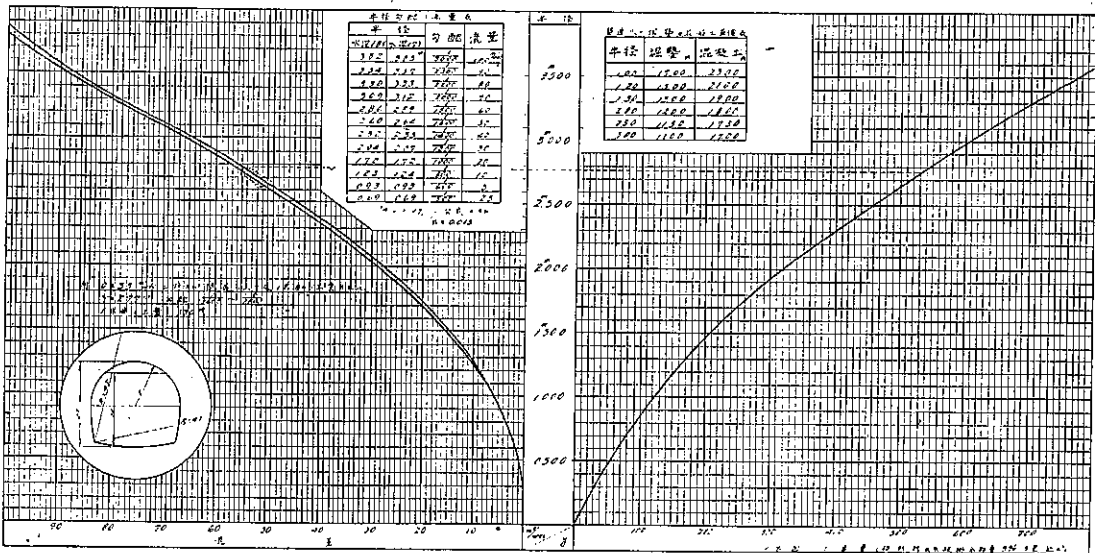
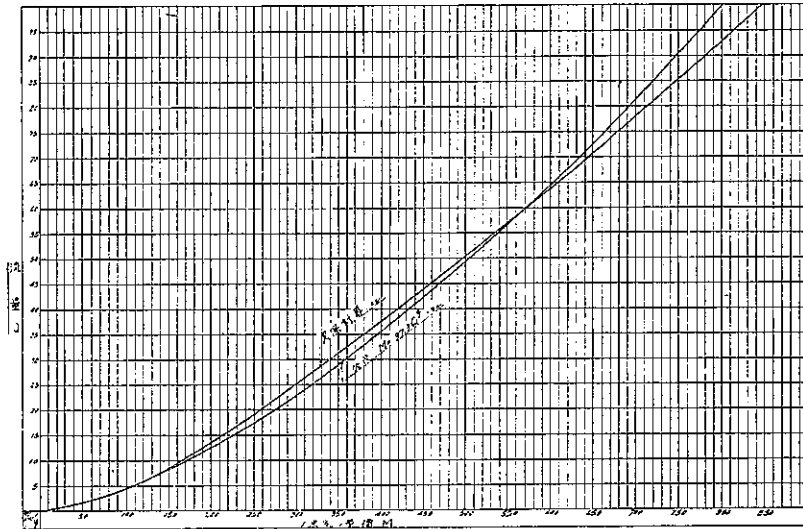


図-4. 公式と實際計算による隧道 1 m 當り單價比較



面の大きさに従つて施工の難易を來すを以て掘鑿平均單價と同程度の單價の増減を來すものと考ふる事を得。今 $\frac{m_2}{m_1} = 1.7$ 即ち導坑單價を切擴の 7 割増し、切擴單價を 1 m^3 當り 10 円とし 図-2 を利用して r に對する m 及 n を表-3 の如く假定して (6) 式によつて r と M との關係求むれば表-3 の如し。

表-3.

半 徑 r (m)	1	1.5	2	2.5	3
m (円)	17.0	13.0	12.0	11.50	11.0
n (%)	23.0	19.0	18.0	17.50	17.0
M (%)	130.61	207.01	319.18	456.02	606.20

表-2, 3 より Q, r 及 M の關係曲線を畫けば 図-3 の如くなる。然るに (4) 式に於て $M = aQ^\alpha$ と假定しあるを以て 図-3 より Q と M との關係を求めこれを最もよく満足せしむるやうに a と α を選ぶために兩邊の對數を取り

$$\log M = \log a + \alpha \log Q$$

最小自乘法により a 及 α を決定するには

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{n[\log Q \log M] - [\log Q][\log M]}{n[\log Q \log Q] - [\log Q][\log Q]} \\ \log a &= \frac{[\log Q \log Q][\log M] - [\log Q][\log Q \log M]}{n[\log Q \log Q] - [\log Q][\log Q]} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

n は Q と M との關係値の採用せる回數、 n を 10 に取つて (11) 式の演算を表示すれば 表-4 の如し。

故に

$$\alpha = \frac{10 \times 40.4747 - 15.2586 \times 25.8316}{10 \times 24.8233 - 15.2586 \times 15.2586} = 0.688$$

$$\log a = \frac{24.8233 \times 25.8316 - 15.2586 \times 40.4747}{10 \times 24.8233 - 15.2586 \times 15.2586} = 1.534$$

$$\therefore a = 34.2$$

表-4.

Q	M	log Q	log M	log Q ²	log Q × log M
5	11Q	0.6989	2.0414	0.4886	1.4269
10	165	1.0000	2.2175	1.0000	2.2175
20	255	1.3010	2.4065	1.6927	3.1309
30	335	1.4771	2.5250	2.1819	3.7298
40	422	1.6021	2.6253	2.5666	4.2059
50	497	1.6989	2.6964	2.8865	4.5810
60	574	1.7782	2.7589	3.1618	4.9058
70	644	1.8451	2.8089	3.4044	5.1827
80	710	1.9031	2.8513	3.6217	5.4262
90	795	1.9542	2.9004	3.8191	5.6680
計		15.2586	25.8316	24.8233	40.4747

然し計算上便利なる様これを近似的に $\frac{2}{3} = 0.667$ とし従つて a も亦変更して 37.3 とする故に

$$M = aQ^{2/3} = 37.3 Q^{2/3} \dots \dots \dots (12)$$

(12) 式と 図-3 より直接求めた Q と M との關係を比較すれば 図-4 の如くなる。これによれば誤差は大體 5% 以下である。故に水路 1 m 當りの工事費は大約 Q の $\frac{2}{3}$ 露に比例し單價の変動により工事費の昇降は a (今 37.3 と云ふ數字を得たが) を適當に加減すればよい。(9) 式を見れば第 1 項と第 2 項の大きさは大なる差なきを以て m, n 及 i が常數ならば Q の $\frac{8}{6}$ と $\frac{4.5}{6}$ の平均 $\frac{5.25}{6} = 0.667$ 露比例するわけであるが、この場合には半径の増大に伴ひ m 及 n の單價が低下し一方勾配が緩になると打消し合つた結果かくの如くなつたものと考へられる。尙 図-3 に示す隧道 1 m 當りの單價は流込み式の場合で壓力隧道の場合には鉄筋及グラウト等の工事は別に見込まなければならぬ。

4. 水路以外の土木工事費

1. 鉄管路以外の直接使用水量に關係する明り工事

本題目に適合する工事は取水堰堤、取水口、洗砂池、水槽及餘水路で主として使用水量 Q と地形に支配せられる。よつてその工事費を見當附けるにも地形の概念を無視する事は絶対に出来ない。然し同一地形に於て使用水量 Q を種々変化せしめたら工事費が如何に変化するか、換言すれば工事費が Q の如何なる函數にて表はされるか研究するは無駄ではなからふ。今取水口、洗砂池、水槽及餘水路の如く明り構造物に於ける水流は總て開渠の理論に従ふものとし、且つ矩形断面としてその大きさを求むれば

h : 構造物の水深, b : 構造物の水幅, S : 潤邊, A : 斷面積, R : 平均半径

$$S = b + 2h, \quad A = hb$$

$$R = \frac{hb}{b + 2h} = \frac{h}{1 + \frac{2h}{b}}$$

$$Q = \frac{i^{1/2}}{n} R^{2/3} A = \frac{i^{1/2}}{n} \frac{(bh)^{5/3}}{(b + 2h)^{2/3}} = \frac{i^{1/2}}{n} \frac{bh^{5/3}}{\left(2 + \frac{2h}{b}\right)^{2/3}} \dots \dots \dots (13)$$

又構造物の長さはその横幅に比例するものとすればその面積は b^2 に比例する。然るに工事費は大體掘鑿及コン

クリート量に比例するが兩者とも面積及高さの相乗積 hb^2 並に面積と高の自乗との相乗積 h^2b^2 に比例する 2 項よりなるものと考へられる。従つて工事費 B_1 は次の如く表はされる。

$$B_1 = w_1 hb^2 + w_2 h^2 b^2 \dots\dots\dots (14)$$

w_1 及 w_2 は比例常數とす。

表-5. 鉄管路以外の明り工事

發電所名		工事費(円)	Q(m ³ /sec)	b ₁
桃山	山	1 000 900	37.57	85 400
須原	原	857 800	36.17	78 300
大桑	桑	944 900	38.40	83 000
讀書	書	1 253 300	45.91	99 300
賤母	母	549 600	43.97	44 100
串原	原	240 500	11.55	47 100
時瀬	瀬	436 500	16.70	67 000
旭	旭	42 100	1.39	33 800
笹戸	戸	418 200	25.70	48 000
西勝原	原	293 000	26.44	33 000
計				619 000
平均	均			61 900

假に b と h と比例するものとすれば
(13) 及 (14) 式より

$$B_1 = w_1' Q^{1/3} + w_2' Q^{2.5/3}$$

よつて B_1 を $b_1 Q^{\beta_1}$ の型式に表はさんとすれば β_1 は 0.333 と 0.833 との間にあるわけである。故に (4) 式を簡單にするため便宜上隧道と同じく $\beta_1 = \frac{2}{3} = 0.667$ と假定し、係數 b_1 は實例により最小自乘法によつて決定する。よつて

$$B_1 = b_1 Q^{2/3} \dots\dots (15)$$

元大同電力既設發電所の例を取つて b_1 を求めて見れば 表-5 の如し。

こゝに b_1 は最大 99 300 より最小 33 000 に至る変化範圍比較的大きく平均値を共通的に採用し難いが各の特殊事情を無視して全部平均すれば平均として 61 900 を得。而して木曾川筋の各發電所は充分なる設計であり他は比較的簡略なる設計である事を想起すれば重要發電所で入念な設計をなす時は 88 500 (前 4 者の平均)、又比較的簡略な設計をなす場合には 48 800 (旭を除く後 4 者の平均)、普通には 61 900 附近を用ふるを可とする。かくの如く明り工事が單一に Q の函數に表はして変化範圍の大なるは各構造物が理論上よりその大さ及安定度を適確に定むる事を得ず、運用、維持、保修等を考慮し比較的自由に採量出来るによるものと考へられる。

2. 鉄管路

鉄管路は他の明り工事の如く單に使用水量 Q のみの函數と考ふる事は出来ぬ少くとも使用水量 Q の外に鉄管路の長さ及落差 H との 3 つの函數と考へなければならぬ。然しこゝには簡易化するために鉄管路の長さ及落差 H と比例するものとして鉄管路の工事費は Q と H の 2 つの函數に表はす事とする。

d : 鉄管内徑, v : 流速, σ : 許容応力, η : 継手效率, S : 鉄板の單位重量とすれば流速及任意の水頭 h に對する厚さ t は

$$v = \frac{Q}{\pi d^2} \quad t = \frac{dh}{\sigma \eta}$$

よつて鉄管總重量は

$$S \int_0^H 2\pi dt = \frac{\pi S d^2}{\sigma \eta} H^2 = \frac{SQH^2}{\sigma \eta v}$$

故に水圧管の工費は QH^2 に比例するものと考ふる事を得。次に鉄管路の土木工事費は d 及 H に比例するものと考へ得らるゝを以て鉄管路全体の工事費は

$$B_2 = w_1 QH^2 + w_2 Q^{1/2} H$$

こゝに w_1 及 w_2 は比例常數とす。

従つて B_2 を $b_2 Q^{2/3} H^{3/2}$ の型式に表はすには $b_2 Q^{2/3} H^{3/2}$ と假定し實例によつて b_2 を決定する事にする。

$$B_2 = b_2 Q^{2/3} H^{3/2} \dots\dots\dots (16)$$

元大同電力既設發電所の例に就て b_2 を計算すれば表-6 の如し。

表-6. 鉄 管 路 工 事

發 電 所 名	工 事 費 (円)	Q (m ³ /sec)	H (m)	b ₂	摘 要
桃 山	314 200	37.57	79.54	39.4 [△]	但し△は除く全部を平均すれば 55.6
須 原	108 600	36.17	34.90	48.3	
大 桑	160 000	38.40	39.09	57.5	
讀 書	854 100	45.91	112.12	56.9	
賤 母	506 400	43.97	46.36	128.6 [△]	
串 原	143 200	11.55	70.61	47.2	
時 瀬	71 100	16.70	49.39	31.3	
旭	37 800	1.39	135.49	19.3 [△]	
笹 戸	116 000	25.70	43.80	46.7	
西 勝 原	194 500	26.44	37.88	94.2 [△]	
寢 覺	427 400	61.20	64.20	53.3	
計				380.6	
平 均				47.5	

賤母及西勝原は大正 7, 8 年で鉄板の特に暴騰したる時なるを以てこれを除き又旭は特に小なる發電所なるを以て除外して他を平均すれば 47.5 となり、この平均値に對して各々の誤差は比較的少ない。故に B_2 は $Q^{2/3} H^{3/2}$ に比例するものと考えてよく、 b_2 は主として鉄板の價格及勞銀による係數とする。但しこゝに於ては流速は有效落差 H の大小に拘らず一定と假定したが實際に於ては流速は有效落差の大なる程小に選ぶを以て有效落差が特に大なるものには B_2 は多少大きく出る嫌がある。

3. 用地, 土捨場, 雜工事, 雜設備, 假設備

表-7. 用 地, 雜 工 事 及 假 設 備

發 電 所 名	工 事 費 (円)	Q (m ³ /sec)	L (m)	c	摘 要
桃 山	315 500	37.57	4 512	6.20	△は除く、但し全部を平均すれば 6.28
須 原	346 100	36.17	4 375	7.22	
大 桑	214 100	38.40	4 925	3.85	
讀 書	1 292 600	45.97	10 918	9.36	
賤 母	157 900	43.97	4 974	2.55 [△]	
串 原	222 100	11.55	6 004	7.21	
時 瀬	253 700	16.70	4 033	9.50	
旭	65 600	1.39	967	5.45	
笹 戸	385 200	25.70	5 185	8.51	
西 勝 原	76 800	26.44	2 877	3.01 [△]	
計				57.30	
平 均				7.16	

之等は要するに土地の状況及發電計畫の方法によつて特別に定めらるべき性質のもので一定の法則を見出し難いが大体工事の規模に比例するものと見做して使用水量 Q の $2/3$ 乗 (即ち $\xi=2/3$) 及水路延長の相乗積に比例する事に假定する。従つて

$$C = cLQ^{2/3} \dots\dots\dots(17)$$

元大同電力の既設發電所に就て c を計算すれば 表-7 の如くである。

賤母及西勝原は未だ水力工事の初期に屬し、用地費も安く附帶工事も簡単に片付けられたるためこれを例外として其の他を平均すれば c は 7.16 となる。

5. 地点係數

(12), (15) 及 (16) 式を (4) 式に代入すれば

$$z - (d + e) = \frac{aLQ^{2/3} + b_1Q^{2/3} + b_2Q^{2/3}H^{3/2} + cLQ^{2/3}}{9.87QH} = \frac{L}{HQ^{1/3}} \frac{a}{9.87} \left(\alpha + \frac{c}{a} + \frac{b_1}{aL} + \frac{b_2H^{3/2}}{aL} \right) \dots\dots(18)$$

ここに $\frac{b_1}{aL}$ は純水路と鉄管路以外の明り工事の工事費の比、 $\frac{b_2H^{3/2}}{aL}$ は純水路と鉄管路工事の工事費の比、 $\frac{c}{a}$ は用地費、土捨場、雜工事、假設備等の工事費の純水路工事費に對する比を示す。然るに a , b_1 , b_2 及 c は前記の例に

圖-5. 地点係數 $f = 1/HQ^{1/3}$

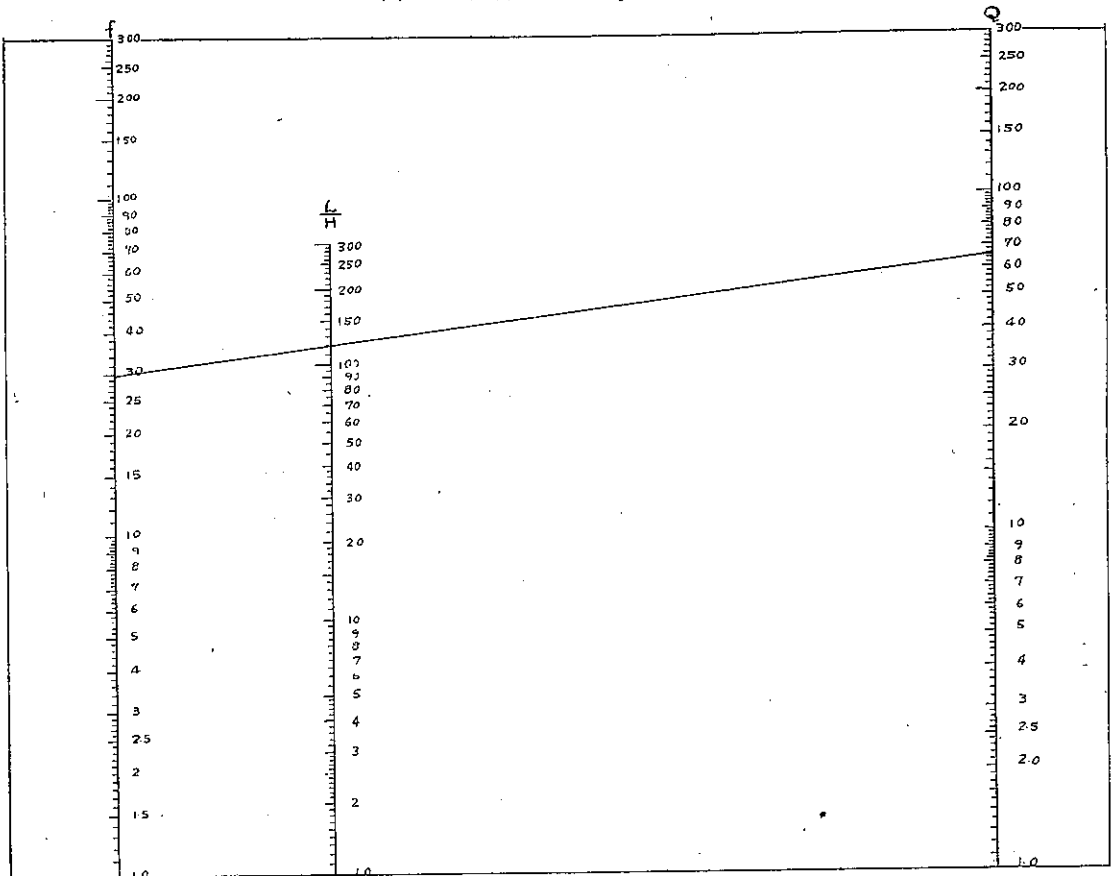
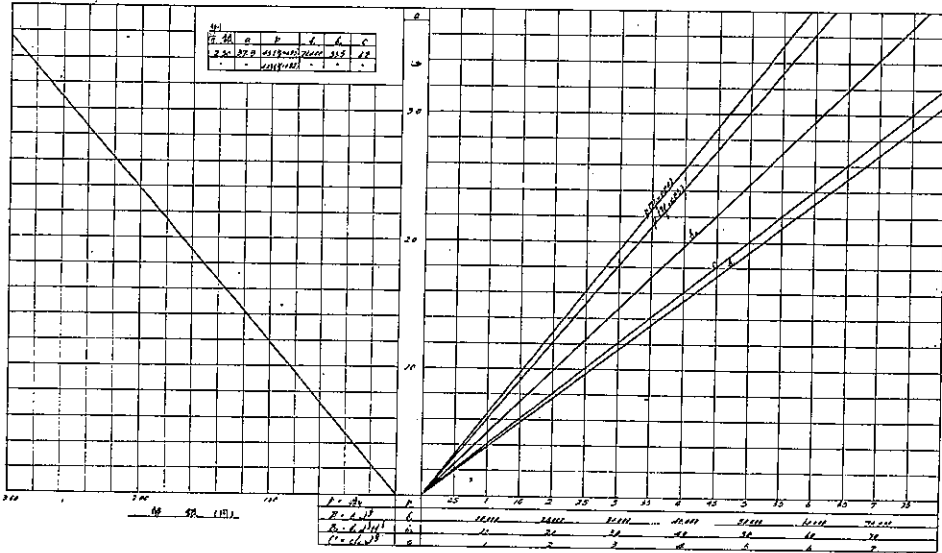


図-6. 勞銀と係數 a, p, b_1, b_2, c 關係



より多少の誤差を許せば大体常數と見做し得るを以て $\frac{a}{c}$ は常數, $\frac{b_1}{aL}$ は L の函數, $\frac{b_2 H^{3/2}}{aL}$ は L と H の函數となり, 従つて括弧内は L と H の函數であるがその変化範圍が特に大ならざる限り水力地点の土木工事費 $z-(d+e)$ は大体 $\frac{L}{HQ^{1/3}}$ に比例する事になる。即ち $\frac{L}{HQ^{1/3}}$ は水力地点の優劣を表す有力なる係數と考へられる。これを地點係數と呼び f と表す事にする。 $\frac{L}{H}$, Q 及 f との關係を示せば 図-5 の如くである。

又 r は Q, H 及 L に無關係な定數なるを以て

$$\frac{a}{9.8^2} = p, \quad \frac{b_1}{a} = q, \quad \frac{b_2}{a} = r, \quad \frac{c}{a} = s$$

と置けば (18) 式は

表-8. 鉄管路以外の明り工事

發電所名	明り工事費(円)	純水路工事費(円)	明り工事費 純水路工事費 (%)	L(円)	$q = \frac{b_1}{a}$	摘要
桃山	1 000 100	2 061 100	48.2	4 512	2 190	
須原	857 800	1 164 000	73.6	4 375	3 220△	
大桑	944 900	1 583 000	54.5	4 925	2 990	
讀書	1 253 300	8 480 500	15.36	10 918	1 640	
賤母	549 600	1 474 300	37.3	4 974	1 860	
串原	240 500	1 340 400	17.96	6 004	1 080	
時瀬	436 500	1 084 900	40.1	4 083	1 630	
旭	42 100	94 600	44.5	967	4 320△	
笹戸	418 200	818 200	42.0	5 185	2 660	
西勝原	293 000	886 300	33.1	2 877	955△	
計					14 050	△は除く,但し全部平均すれば
平均					2 000	2 250

$$z-(d+c) = \frac{L}{HQ^{1/3}} p \left(1+s + \frac{q}{L} + \frac{rH^{3/2}}{L} \right) \dots\dots\dots (19)$$

こゝに q, r 及 s は定數, p は物價指數による定數とす。

所で前記の b_1, b_2 及 c を直接用ふる代りに隧道も明り工事も同様に單價の変動を來すものとすれば直接 q, r 及 s を實例より計算して適當な數値を見出す方がよい。よつて前記の例に就て q, r 及 s を求むれば 表-8, 9, 10 の如くなる。然るに前の a 及 b_1 を用ひて q を求むれば

$$q = \frac{b_1}{a} = \frac{61900}{37.3} = 1660$$

かくの如く小さく出るのは a 即ち隧道の單價が既設發電所の平均より安い爲である。故に重要發電所に對しては 2000, 比較的簡略な設計をなす發電所に對しては 1800 位を適當と考へられる。

表-9. 鉄管 路 工 事 費

發 電 所 名	鉄管路費(円)	純水路費(円)	鉄管路費 純水路費 (%)	L(m)	H(m)	$r = \frac{b_2}{a}$	摘 要
桃 山	314 200	2 061 100	8.92	4 512	79.54	0.968△	△は除く,但し全部平均すれば 1.89
須 原	108 600	1 164 000	9.34	4 375	34.90	1.980	
大 桑	160 000	1 583 100	10.10	4 928	39.09	2.040	
讀 書	854 100	8 480 500	10.28	10 918	112.12	0.930	
賤 母	506 400	1 474 300	33.30	4 974	46.36	5.400△	
串 原	143 200	1 340 400	10.70	6 004	70.61	1.080	
時 瀬	71 100	1 084 900	6.55	4 083	49.39	0.770	
旭	37 800	94 600	40.00	967	135.49	0.245△	
笹 戸	116 000	818 200	14.20	5 185	43.30	2.580	
西 勝 原	194 500	836 300	21.90	2 877	37.88	2.720△	
計						10.348	
平 均						1.48	

然るに a 及 b_2 より r を求むれば

$$r = \frac{b_2}{a} = \frac{47.5}{37.3} = 1.27$$

前と同様に小さく出る。故に r としては 1.5~1.3 が適當と考へられる。

然るに a 及 c より s を求むれば

$$s = \frac{a}{c} = \frac{7.16}{37.3} \times 100 = 19.2$$

故に s としては 19~18 を適當と考へられる。

所で a 従つて p は隧道工事に於て單價を表す係數であるが第 1 節の水力地點の第 3 條件を想起してこれを p 中に含ましむる事にすれば (19) 式は水力地點の 3 要素を考慮した土木工事の單位出力當りの概算工事費を示すことになる。されば p は物價の変動, 地形, 氣候, 交通の便不便等によるすべての土木工事の單價を代表する事になるが, その具体的決定に當つては (12) 式の如く隧道工事の單價を以つてし, 他の工事單價はすべてこれに正比例するものとする。従つて 表-3 に假定した隧道單價は大體並人夫賃 230 円見當であるが他の材料費も職工賃もこれに比例するものとすれば a は大體人夫賃に比例して増減せしむればよい。次に人夫賃従つて a と p, b_1

表-10. 用地, 雑工事及假設備

發電所名	用地, 雑工事及假設備 (円)	純水路費 (円)	兩者の比 $\frac{c}{a}$ (%)	摘要
桃山	315 500	2 061 100	15.3	
須原	346 100	1 164 000	29.7	
大桑	214 100	1 583 000	13.6	
讀書	1 292 600	8 480 500	15.3	
賤母	157 900	1 474 300	11.7	
串原	222 100	1 340 400	16.6	
時瀬	253 700	1 084 900	23.3	
旭	65 600	94 600	69.4△	
笹戸	385 200	818 200	47.2△	
西勝原	76 800	886 300	8.67△	
計			125.50	△は除く, 但し全部平均すれば
平均			17.9	25.8

b₂ 及 c とが如何なる關係にあるかを研究する必要があるがこれに對する資料の持合せがないから著者の見當を許して載くならば 圖-6 の如くなる。

前記の實例より算出した係數の平均値として

$$p=4.5, \quad q=1900, \quad r=1.4, \quad s=0.18$$

とすれば

$$z-(d+e) = \frac{L}{HQ^{1/3}} 4.5 \left(1.18 + \frac{1900}{L} + \frac{1.4H^{2/3}}{L} \right) \dots\dots\dots (19)'$$

(19)' 式によつて求めた概算土木工事費を前記の既設發電所に就て實際のものと比較すれば 表-11 となる。

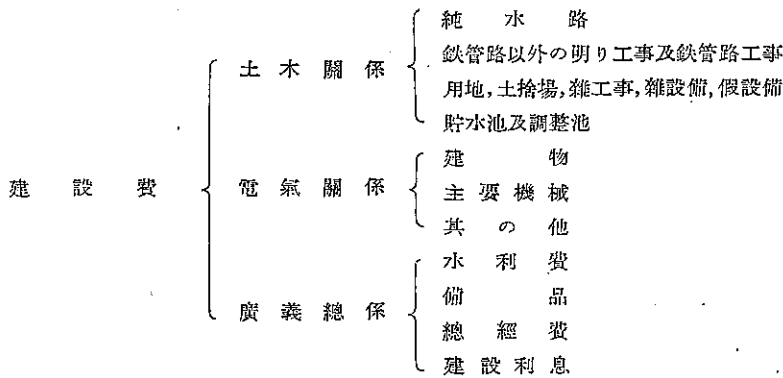
表-11.

發電所名	Q(m ³ /sec)	H(m)	L(m)	$\frac{L}{HQ^{1/3}}$	$1.18 + \frac{1900}{2L} + \frac{1.4H^{2/3}}{L}$	公式による土木工事費(円)	實際の土木工事費(円)	兩者の比
桃山	37.57	79.54	4 512	16.93		1 321	150	0.927
須原	36.17	34.90	4 375	37.91		1 679	248	1.157
大桑	38.40	39.09	4 925	37.35		1 635	240	1.145
讀書	45.97	112.12	10 918	27.19		1 506	282	0.652
賤母	43.97	46.36	4 974	30.40		1 652	165	1.369
串原	11.55	70.61	6 004	37.62		1 634	309	0.893
時瀬	16.70	49.39	4 083	32.34		1 763	298	0.856
旭	1.39	135.49	967	6.40		5 425	175	0.891
笹戸	25.70	43.30	5 185	40.59		1 624	202	1.470
西勝原	26.44	37.88	2 877	25.50		1 959	195	1.153
計						2 320	2 264	
平均						232	226	

6. 水力発電所の全工事費と土木工事費

さて以上によつて土木工事に關する限り水力地点の優劣を判断する地点係數を定め、且つ土木工事費の概算を見出す公式を導入する事が出來た。次に水力工事の占むる割合、電氣及總經費を實例に就てその一斑を窺ふ事にしやう。

一般に水力発電所の工事費は電氣事業法制定の勘定科目による時は水利費、用地、建物、水路、調整池又は貯水池、機械器具、雜設備、備品、總經費、建設利息の10大項目に分けられるがこれを主として土木工事に關する部分、電氣工事に關する部分及廣義の總經費に大別すれば



これに従つて前述の既設発電所11箇所の平均を求めると土木工事費は大約全工事費の58%、電氣工事費は26%、總經費16%程度である。

7. 種々なる發電型式に對する公式

次に公式(18)及(19)の適用性であるが取水堰堤で取水口より放水路迄單一水路の場合には簡單であるが、同じ水路式でも調整池を有する場合或は取水口が2個以上よりなり従つて水路が支線を有する場合、或は數個の取水口が直列にある場合更に溪流取水が相當多く水路断面が途中より増大する様な場合には特別の考慮を拂はねばならぬ。以下二、三の場合に就て具體的研究を試みやう。

1. 調整池を有する場合

この場合には調整池を設置する爲に新に増加する工事費を P とすれば

$$Z = (a+c)LQ^a + b_1 Q^{1.1} + b_2 Q^{3.2} H^{\gamma} + P + (d+e)K$$

従つて

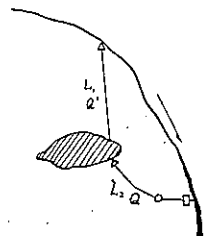
$$z - (d+e) = \frac{L}{HQ^{1/3}} p \left(1 + s + \frac{q}{L} + \frac{rH^{3/2}}{L} + \frac{P}{aLQ^{2/3}} \right) \dots\dots\dots (20)$$

即ち調整池によつて増加する工事費と純水路工事費の割合を假定する必要がある。又調整池が途中にあり取水口より調整池迄の取水量と調整池より放水路迄の使用水量とが異なる場合には 図-7 を參考とし

Q' : 取水量, Q : 使用水量, L_1 : 取水口より調整池迄の水路延長
 L_2 : 調整池より放水口迄の水路延長, $L = L_1 + L_2$

とすれば L_1 は Q' に對し、 L_2 は Q に對して設計する必要があるを以て (3) 式は

図-7.



$$Z=(a+c)(L_1Q'^a+L_2Q^a)+b_1Q'^{b_1}+b_2Q^{b_2}HY+P+(d+e)K \dots\dots\dots(21)$$

この第 2 項の $b_1Q'^{b_1}$ の中には水槽、餘水路の如く Q によつて設計すべきものが鉄管路以外の明り工事の何割に當るか信用ある數字が判明した場合には第 2 項も 2 つに分割する事が望ましい。(21) 式を用ふれば

$$z-(d+e)=\frac{(a+c)L_1Q'^a+L_2Q^a+b_1Q'^{b_1}+b_2Q^{b_2}HY+P}{9.87QH}$$

$$=\frac{L}{HQ^{1/3}p}\left\{\left(\frac{L_1Q'}{LQ}+\frac{L_2}{L}\right)(1+s)+\frac{qQ'}{LQ}+\frac{rH^{3/2}}{L}+\frac{P}{aLQ^{2/3}}\right\}$$

従つて $\frac{Q'}{Q}=\mu$ と置けば

$$z-(d+e)=\frac{L}{HQ^{1/3}p}\left\{\left(\frac{L_1}{L}\mu+\frac{L_2}{L}\right)(1+s)+\frac{q}{L}\mu+\frac{rH^{3/2}}{L}+\frac{P}{aLQ^{2/3}}\right\} \dots\dots\dots(22)$$

取水量と使用水量の比並に調整池設置による工事費と $aLQ^{2/3}$ との比を知ればよい。但し何れにしても調整池堰堤によつて水路延長を短縮出来る場合にはその短縮による工事費を調整池工事費より差引きたるものを調整池設置による工事費増額 P となる譯である。

例 1. 水路の途中で調整池を有する場合

取水量: $Q'=40 \text{ m}^3/\text{sec}$, 使用水量: $Q=60 \text{ m}^3/\text{sec}$
 取水口より調整池迄の水路延長: $L_1=7000 \text{ m}$
 調整池より放水口迄の水路延長: $L_2=1000 \text{ m}$ } $L=8000 \text{ m}$
 有効落差: $H=80 \text{ m}$, 發電力: $9.8 \times 0.85 \times 60 \times 80 = 40000 \text{ kW}$

又尖頭時間を 5 時間とすれば調整池所要量は $(80-60) \times 5 \times 3600 = 360000 \text{ m}^3$
 これに要する工事費増額 $P=600000$ 円 とすれば 1kW 當りの土木工事費は (22) 式により

$$z-(d+e)=\frac{L}{HQ^{1/3}p}\left\{\left(\frac{L_1}{L}+\mu\frac{L_2}{L}\right)(1+s)+\frac{q}{L}\mu+\frac{rH^{3/2}}{L}+\frac{P}{aLQ^{2/3}}\right\}$$

然るに $\frac{L}{LQ^{1/3}} = \frac{8000}{80 \times 60^{1/3}} = 25.6, \quad p=4.5, \quad \mu = \frac{40}{60} = 0.667, \quad s=0.23$

s は調整池を有するを以て純水路式より 2 割高くした。

$$\left(\frac{L_1}{L}\mu+\frac{L_2}{L}\right)(1+s) = \left(\frac{7}{8} \times 0.637 + \frac{1}{8}\right) 1.22 = 0.865$$

$$\frac{q}{L}\mu = \frac{1900}{8000} \times 0.667 = 0.158, \quad \frac{rH^{3/2}}{L} = \frac{1.4 \times 80^{3/2}}{8000} = 0.125$$

$$\frac{P}{aLQ^{2/3}} = \frac{600000}{37.3 \times 8000 \times 60^{2/3}} = 0.130$$

故に $z-(d+e) = 25.6 \times 4.5(0.865 + 0.158 + 0.125 + 0.130) = 25.6 \times 4.5 \times 1.278 = 147 \text{ 円/kW}$

又調整池無しで計畫すれば

$$z-(d+e) = \frac{8000}{80 \times 40^{1/3}} \times 4.5 \left(1.18 + \frac{1900}{8000} + \frac{1.4 \times 80^{3/2}}{8000}\right)$$

$$= 2.92 \times 4.5(1.18 + 0.238 + 0.125) = 2.92 \times 4.5 \times 1.543 = 202 \text{ 円/kW}$$

即ち調整池設置により 1kW 當りの土木工事費は約 2 割 5 分安くなる。

2. 取水口が 2 個あり従つて水路が 2 線となつてゐる場合

Q_1 : 第 1 取水口の取水量, Q_2 : 第 2 取水口の取水量, Q : 途中で調整池無きものとして $= Q_1 + Q_2$
 L_1 : Q_1 に対する水路延長, L_2 : Q_2 に対する水路延長, L_3 : Q に対する水路延長

とすれば純水路工事費 A は

$$A = a(L_1Q_1^a + L_2Q_2^a + L_3Q^a)$$

又鉄管路以外の明り工事は水槽及餘水路が合流後の水量 Q に對して單一に設計すれば別々に作るより安くなる譯であるが代りに合流池を必要とし、これに多少の工事費を要するを以て兩者の水量に對する構造物を別々に作る場合と同様と考ふれば

$$B_1 = b_1(Q_1^{\beta_1} + Q_2^{\beta_1})$$

鉄管路工事費は $B_2 = b_2 Q^{\beta_2} H^{\gamma}$

故に $Z = (a+c)(L_1 Q_1^{\alpha} + L_2 Q_2^{\alpha} + L_3 Q^{\alpha}) + b_1(Q_1^{\beta_1} + Q_2^{\beta_2}) + b_2 Q^{\beta_2} H^{\gamma} + (d+e)K$

従つて
$$z - (d+e) = \frac{(a+c)(L_1 Q_1^{\alpha} + L_2 Q_2^{\alpha} + L_3 Q^{\alpha}) + b_1(Q_1^{\beta_1} + Q_2^{\beta_2}) + b_2 Q^{\beta_2} H^{\gamma}}{9.8 \eta Q H}$$

$$= \frac{L_1 + L_3}{HQ^{1/3}} p \left(1 + s + \frac{q}{L_1 + L_3} + \frac{rH^{3/2}}{L_1 + L_3} \right) \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{2/3} + \frac{L_2 + L_3}{HQ^{1/3}} p \left(1 + s + \frac{q}{L_2 + L_3} + \frac{rH^{3/2}}{L_2 + L_3} \right) \left(\frac{Q_2}{Q} \right)^{2/3}$$

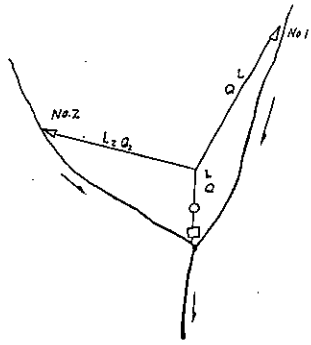
$$- \frac{(aL_3 + b_2 H^{\beta_2}) \{ (Q_1^{2/3} + Q_2^{2/3}) - Q^{2/3} \}}{9.8 \eta Q H}$$

$$= \frac{L_1 + L_3}{HQ^{1/3}} p \left(1 + s + \frac{q}{L_1 + L_3} + \frac{rH^{3/2}}{L_1 + L_3} \right) \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{2/3} + \frac{L_2 + L_3}{HQ^{1/3}} p \left(1 + s + \frac{q}{L_2 + L_3} + \frac{rH^{3/2}}{L_2 + L_3} \right) \left(\frac{Q_2}{Q} \right)^{2/3}$$

$$- \frac{L_3}{HQ^{1/3}} p \left(1 + s + \frac{rH^{3/2}}{L_3} \right) \left\{ \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{2/3} + \left(\frac{Q_2}{Q} \right)^{2/3} - 1 \right\} \dots \dots \dots (23)$$

然るに $(Q_1^{2/3} + Q_2^{2/3}) > (Q_1 + Q_2)^{2/3}$ なるを以て 2 水路を別々に開發するより一般に安くなる。但し本式の誘導に當つては兩者の水路を結合せしむるため水路自身に工事費の増額を來す場合全然その影響を考慮して居ない事に注意しなければならぬ。例へば圖-8 に於て 1 つ又は 2 つの水路を對岸に移動すれば同一落差を得るに可成の水路延長の減少を來すか或は又 1 水路が地形上如何にしても取水に沈砂池等を對岸に持つて行かなければならぬ場合には兩者を合流せしむるには水路橋又はサイフォンで河川を横斷するために特別の工事費を要する様な場合がそれである。

圖-8.



(23) 式に於て $L_3 = 0$ 即ち兩水路が水槽に於て一緒になる場合には

$$z - (e+d) = \frac{L_1}{HQ^{1/3}} p \left(1 + s + \frac{q}{L_1} + \frac{rH^{3/2}}{L_1} \right) \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{2/3}$$

$$+ \frac{L_2}{HQ^{1/3}} p \left(1 + s + \frac{q}{L_2} + \frac{rH^{3/2}}{L_2} \right) \left(\frac{Q_2}{Q} \right)^{2/3}$$

$$- \frac{rH^{3/2}}{Q} p \{ (Q_1^{2/3} + Q_2^{2/3}) - Q^{2/3} \} \dots \dots \dots (23')$$

尙取水口が 3 個以上ある場合にも同様の推理を用ひて算式を誘導出来る譯であるがこれを省略す。

又 2 個の取水堰堤に調整池を有する場合には

- No. 1 取水堰堤に調整池を設置するに要する工事費増額 (P_1)
- No. 2 取水堰堤に調整池を設置するに要する工事費増額 (P_2)

とすれば

$$Z = (a+c)(L_1 Q_1^{\alpha} + L_2 Q_2^{\alpha} + L_3 Q^{\alpha}) + b_1(Q_1^{\beta_1} + Q_2^{\beta_2}) + b_2 Q^{\beta_2} H^{\gamma} + P_1 + P_2 + (d+e)K$$

$$z - (d+e) = \frac{L_1 + L_3}{HQ^{1/3}} p \left\{ 1 + s + \frac{q}{L_1 + L_3} + \frac{rH^{3/2}}{L_1 + L_3} + \frac{P_1}{\alpha(L_1 + L_3)Q^{2/3}} \right\} \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{2/3}$$

$$+ \frac{L_2 + L_3}{HQ^{1/3}} p \left\{ 1 + s + \frac{q}{L_2 + L_3} + \frac{rH^{3/2}}{L_2 + L_3} + \frac{P_2}{\alpha(L_2 + L_3)Q^{2/3}} \right\} \left(\frac{Q_2}{Q} \right)^{2/3}$$

$$-\frac{L_n}{HQ^{1/3}}p \left\{ 1+s+\frac{rH^{3/2}}{L_3} \right\} \left\{ \left(\frac{Q_1}{Q}\right)^{2/3} + \left(\frac{Q_2}{Q}\right)^{2/3} - 1 \right\}$$

例 2. 取水口が 2 個ある場合

- No. 1 取水量: $Q_1=12 \text{ m}^3/\text{sec}$, 水路延長: $L_1=7000 \text{ m}$
- No. 2 取水量: $Q_2=18 \text{ m}^3/\text{sec}$, 水路延長: $L_2=10000 \text{ m}$
- 使用水量: $Q=Q_1+Q_2=30 \text{ m}^3/\text{sec}$, 合流後の水路延長: $L_3=1000 \text{ m}$
- 有效落差: $H=150 \text{ m}$, 発電力: $9.8 \times 0.85 \times 30 \times 150 = 37500 \text{ kW}$

とすれば 1kW 當の土木工事費は (23) 式により

$$z-(d+e) = \frac{L_1+L_2}{HQ^{1/3}}p \left(1+s+\frac{q}{L_1+L_2} + \frac{rH^{3/2}}{L_1+L_2} \right) \left(\frac{Q_1}{Q}\right)^{2/3} + \frac{L_2+L_n}{HQ^{1/3}}p \left(1+s+\frac{q}{L_2+L_3} + \frac{rH^{3/2}}{L_2+L_3} \right) \left(\frac{Q_2}{Q}\right)^{2/3}$$

$$-\frac{L_n}{HQ^{1/3}}p \left(1+s+\frac{rH^{3/2}}{L_3} \right) \left\{ \left(\frac{Q_1}{Q}\right)^{2/3} + \left(\frac{Q_2}{Q}\right)^{2/3} - 1 \right\}$$

$$\frac{L_1+L_2}{HQ^{1/3}} = \frac{8000}{150 \times 30^{1/3}} = 17.2, \quad p=4.5, \quad s=0.18$$

$$1+s+\frac{q}{L_1+L_2} + \frac{rH^{3/2}}{L_1+L_2} = 1.18 + \frac{1900}{8000} + \frac{1.4 \times 150^{3/2}}{8000} = 1.18 + 0.238 + 0.323 = 1.741$$

$$\left(\frac{Q_1}{Q}\right)^{2/3} = \left(\frac{12}{30}\right)^{2/3} = 0.543, \quad \frac{L_2+L_n}{HQ^{1/3}} = \frac{11000}{150 \times 30^{1/3}} = 23.6$$

$$1+s+\frac{q}{L_2+L_3} + \frac{rH^{3/2}}{L_2+L_3} = 1.18 + \frac{1900}{11000} + \frac{1.4 \times 150^{3/2}}{11000} = 1.18 + 0.173 + 0.234 = 1.587$$

$$\left(\frac{Q_2}{Q}\right)^{2/3} = \left(\frac{18}{30}\right)^{2/3} = 0.718, \quad \frac{L_n}{HQ^{1/3}} = \frac{1000}{150 \times 30^{1/3}} = 2.14$$

$$1+s+\frac{rH^{3/2}}{L_3} = 1.18 + \frac{1.4 \times 150^{3/2}}{1000} = 1.18 + 2.58 = 3.76$$

$$\left(\frac{Q_1}{Q}\right)^{2/3} + \left(\frac{Q_2}{Q}\right)^{2/3} - 1 = 0.543 + 0.718 - 1 = 0.27$$

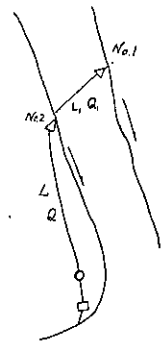
$$z-(d+e) = 17.2 \times 4.5 \times 1.741 \times 0.543 + 23.6 \times 4.5 \times 1.587 \times 0.718 - 2.14 \times 4.5 \times 3.76 \times 0.261$$

$$= 73.2 + 120 - 9 = 182 \text{ 円/kW}$$

3. 2 個の取水口が直列にある場合

これは図-9 の如く全く異なるか或は又同一河川の本支流の一方の水を一旦河川に入れ、これより兩者の水を合併し水路を導入發電する場合である。又水路の途中より溪流を多く取入し、水路の後半より断面増大する必要のある場合も又大体この型式に準ずるものとされる。

図-9.



Q_1 : 第 1 取水口よりの取水量, Q : 第 2 取水口よりの取水量, L_1 : 第 1 取水口より第 2 河川迄の水路延長 (Q_1 に対する) L : 第 2 取水口より放水路迄の水路延長 (Q に対する)

とすれば純水路工事費 A は

$$A = a(L_1 Q_1^a + L Q)$$

又 No. 1 の取水をなすため純水路以外即ち堰堤取水口等に要すべき工事費を P とすれば

$$Z = (a+c)(L_1 Q_1^a + L Q^a) + b_1 Q^{b_1} + b_2 Q^{b_2} H \gamma + P$$

従つて
$$z-(d+e) = \frac{(a+c)(L_1 Q + L Q^a) + b_1 Q^{b_1} + b_2 Q^{b_2} H \gamma + P}{9.87 Q H}$$

$$= \frac{L}{HQ^{1/3}}p \left\{ 1+s+\frac{q}{L} + \frac{rH^{3/2}}{L} + \frac{L_1}{L} \left(\frac{Q_1}{Q}\right)^{2/3} + \frac{P}{aLQ^{2/3}} \right\} \dots \dots \dots (24)$$

この際 No. 1 又は No. 2 に調整池を設置する場合その工事費をも P 中に含ましむれば (24) 式は調整池を有

する場合にも直に適用される。

次に後者の場合には溪流取水の工事費と第 1 取水口の工事費の合計が使用水量 Q を取水するそれと等しいと假定すれば

$$Z = a'L_1Q_1^a + LQ^a + b_1Q^{b_1} + b_2Q^{b_2}HY, \quad z - (d+e) = \frac{L}{HQ^{1/3}}p \left\{ 1 + s + \frac{q}{L} + \frac{rH^{3/2}}{L} + \frac{L_1}{L} \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{2/3} \right\}$$

即ち L が L_1 に比して小なる程土木工事費は安くなる。

例 3. 2 個の取水口が直列にある場合

No 1 取水量: $Q = 20 \text{ m}^3/\text{sec}$, 第 1 取水口より第 2 河川迄水路延長: $L_1 = 1000 \text{ m}$
 No 2 取水量 (= 使用水量): $Q = 40 \text{ m}^3/\text{sec}$, 第 2 取水口よりの水路延長: $L = 5000 \text{ m}$
 有效落差: $H = 60 \text{ m}$, 発電力: $9.8 \times 0.85 \times 40 \times 60 = 20000 \text{ kW}$

No. 1 の取水堰堤, 取水口, 沈砂池に要する工事費を 300000 円 とすれば (24) 式により

$$Z - (d+e) = \frac{L}{HQ^{1/3}}p \left\{ 1 + s + \frac{q}{L} + \frac{rH^{3/2}}{L} + \frac{L_1}{L} \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{2/3} + \frac{P}{aLQ^{2/3}} \right\}$$

$$\frac{L}{HQ^{1/3}} = \frac{5000}{60 \times 40^{1/3}} = 24.4, \quad P = 4.5$$

$$1 + s + \frac{q}{L} + \frac{rH^{3/2}}{L} = 1.18 + \frac{1900}{5000} + \frac{1.4 \times 60^{3/2}}{5000} = 1.18 + 0.38 + 0.13 = 1.69$$

$$\frac{L_1}{L} \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^{2/3} = \frac{1000}{5000} \left(\frac{20}{40} \right)^{2/3} = \frac{1}{5} \times \frac{1}{1.58} = 0.126, \quad \frac{P}{aLQ^{2/3}} = \frac{300000}{37.3 \times 5000 \times 40^{2/3}} = 0.137$$

$$\therefore z - (d+e) = 24.4 \times 4.5 (1.69 + 0.126 + 0.137) = 24.4 \times 4.5 \times 1.953 = 214 \text{ 円}$$

以上水路式発電計畫の二, 三の特殊な場合に對する公式を示したが尙この外にこれ等の組合せを考ふればより以上の複雑なる場合が十數種得られるが一々述べることを省略する。

8. 結 語

以上使用水量, 有效落差, 水路延長の 3 要素を知つた場合その水力地点の優劣は大体 $\frac{pL}{HQ^{1/3}}$ によつて表される但し p はその地点並に當時の物價による勞銀によつて変る定數とする。然し使用水量が決定せざる前にはその代りに Q に平水量を用ふればよく, 更に河川流量が明確ならざるときは Q の代りに雨量と流域面積の相乗積を用ひても良いがこの場合には優劣の比較は出来るか記述の係數では概算工費を算出することは出来ぬ。

又年 1kWH 當りの工費を比較するには $9.87QH$ の代りに $9.8QH \times 365 \times 24k$ を即ち p の代りに $\frac{p}{8760k}$ を用ふればよい, 但し k は発電能率とする。尙公式より概算工事を求めんとする時には各発電所特有な條件を考慮し係數 p, q 及 r を適當に考慮する必要あるは云ふまでもない。特に各係數の誘導に當り材料少な過ぎる感あるを以て將來多くの實例より研究補正しなければならぬと思ふ。

尙 (19) 式より同一水力地点に於て使用水量を増加すれば單位出力當りの土木工事費は大体 $Q^{1/3}$ に逆比例して減少し, 又同一河川勾配では水路延長を長くするほど即ち落差の高い発電所を作るほど單位出力當りの工事は幾分安くなりその傾向は $1 + s + \frac{q}{L} + \frac{rH^{3/2}}{L}$ によつて表される事が判る。然し水路を延長するにも溪谷其他地形上不利なる個所を横断するには却つて工事費の増額を來すを以て自から限度が有り, 又水路延長によつて支流の流量を取入れる事が出来ないか, 或はこれに多額の工事費を要する不便がある。

水路を延長するに特別の工事費を要せざるものとし河川の流下に沿ふて流量が増加する場合、ある水力地點を如何に分割するかは興味ある問題である。こゝに最も簡単な例として或る地點を 1 箇地點にするか 2 箇地點にするか何れが經濟的であるか研究してみよう。

図-10 により 1 箇地點に開發する場合は

$$z_1 = \frac{Lp}{HQ_1^{1/3}} \left(1+s + \frac{q}{L} + \frac{rH^{3/2}}{L} \right) + d+e$$

2 箇地點に開發する場合には、

$$Z = \{(a+c)L_1 + b_1 + b_2 H_1^{3/2}\} Q_1^{2/3} + (d+e)K_1$$

$$+ \{(a+c)L_2 + b_1 + b_2 H_2^{3/2}\} Q_2^{2/3} + (d+e)K_2$$

$$K = K_1 + K_2 = 9.87(Q_1 H_1 + Q_2 H_2)$$

$$z_2 = \frac{\{(a+c)L_1 + b_1 + b_2 H_1^{3/2}\} Q_1^{2/3} + \{(a+c)L_2 + b_1 + b_2 H_2^{3/2}\} Q_2^{2/3} + (d+e)(k_1 + k_2)}{9.87(Q_1 H_1 + Q_2 H_2)}$$

$$= \frac{L_1 P}{H_1 Q_1^{1/3}} \left(1+s + \frac{q}{L_1} + \frac{rH_1^{3/2}}{L_1} \right) \frac{Q_1 H_1}{Q_1 H_1 + Q_2 H_2} + \frac{L_2 P}{H_2 Q_2^{1/3}} \left(1+s + \frac{q}{L_2} + \frac{rH_2^{3/2}}{L_2} \right) \frac{Q_2 H_2}{Q_1 H_1 + Q_2 H_2} + d+e \dots (25)$$

勾配 L/H を一定即ち $L/H = L_1/H_1 = L_2/H_2$ とすれば兩式の大小は Q_1 と Q_2 の大きさによつて定まる。故に使用水量の増大の割合を知れば 1 箇地點か 2 箇地點か何れが有利か比較的容易に決定出来る。

例-4.

No. 1 $Q_1 = 36 \text{ m}^3/\text{sec}$, $L_1 = 4400 \text{ m}$, $H_1 = 35 \text{ m}$, 發電力: $9.8 \times 0.85 \times 36 \times 35 = 10500 \text{ kW}$

No. 2 $Q_2 = 42 \text{ m}^3/\text{sec}$, $L_2 = 5000 \text{ m}$, $H_2 = 40 \text{ m}$, 發電力: $9.8 \times 0.85 \times 42 \times 40 = 14000 \text{ kW}$

この 2 箇地點を 1 箇地點として開發すれば

$Q_1 = 36 \text{ m}^3/\text{sec}$, $L = 9400 \text{ m}$, $H = 75 \text{ m}$, 發電力: $9.8 \times 0.85 \times 36 \times 75 = 22500 \text{ kW}$

即ち 2000 kW だけ減少するが何れが 1 kW 當りの土木工事費に對して經濟的なるか (25) 式によつて調査する。

$$\frac{L_1}{H_1 Q_1^{1/3}} = \frac{4400}{35 \times 36^{1/3}} = 38.1, \quad 1+s + \frac{q}{L_1} + \frac{rH_1^{3/2}}{L_1} = 1.18 + \frac{1900}{4400} + \frac{1.4 \times 35^{3/2}}{4400} = 1.689$$

$$\frac{Q_1 H_1}{Q_1 H_1 + Q_2 H_2} = \frac{36 \times 35}{36 \times 35 + 42 \times 40} = 0.571$$

$$\therefore z_1 - (d+e) = 38.1 \times 4.5 \times 1.689 \times 0.429 + 35.8 \times 4.5 \times 1.6315 \times 0.571 = 124 + 149 = 273 \text{ 円/kW}$$

又 1 箇地點にて開發すれば

$$z_1 - (d+e) = \frac{9400}{75 \times 36^{1/3}} \times 4.5 \left(1.18 + \frac{1900}{9400} + \frac{1.4 \times 75^{3/2}}{9400} \right)$$

$$= 38 \times 4.5 (1.18 + 0.202 + 0.097) = 38 \times 4.5 \times 1.479 = 252 \text{ 円/kW}$$

若し No. 2 地點に於て使用水量 Q_2 が $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ となれば

$$\frac{Q_1 H_1}{Q_1 H_1 + Q_2 H_2} = \frac{36 \times 35}{36 \times 35 + 60 \times 40} = 0.344 \quad \frac{L_2}{H_2 Q_2^{1/3}} = \frac{5000}{40 \times 60^{1/3}} = 31.8$$

$$\therefore z_2 - (d+e) = 38.1 \times 4.5 \times 1.689 \times 0.344 + 31.8 \times 4.5 \times 1.6315 \times 0.656 = 100 + 153 = 253 \text{ 円/kW}$$

やうやく 1 箇地點に開發した場合と同じになる。これによつて見れば地形の許すかぎりなるべく水路を延長し高落差を取る事が土木工事費を安くする要件となる事は明かである。

図-10.

