論 說 報 告

土木學會誌 第十卷第二號 大正十三年四月

發電用水路並に水壓管の經濟的設計に就て

會員 工學士 衣 川 清 一

内容梗概

本論は發電用水路並に水壓管の經濟的設計に關する一般的基本原則を研究して事業の性質により之れを詳論し最後に實例を以て說明したるものなり。

發電用水路並に水壓管の經濟的設計に就ては從來發表せられたるもの甚だ多く本會誌に於ても數回に亘りて報告せられたるが如きも未だ研究の餘地なしとせず、然も發電水力事業に於ける水路並に水壓管の工費は概して全事業費の重要なる部分を占めこれが設計の當否は引いて事業其のものに永久に重大なる影響を及ぼすに至るべく到底水力界の主要問題なるを思ひ重複を顧り見ず著者が大同電力桃山水力の設計に際し研究せる處を述べて同學諸兄の御批評を仰がんとす。

A 事業の純利益

P 總發電力

M 水路並に水壓管の損失に因る損失電力

N 水路並に水壓管の工事費

K 水路並に水壓管以外の事業費

ε 1キロワット1年間の電力料

r_1 維持經常並に償却費の事業費に對する率

r_2 金利若くは配當率

r r_1 と r_2 との和

發電水力事業に於て水路並に水壓管を築造する事によりて生ずる事業の損失は

1. 水路並に水壓管内の損失に因る損失電力

2. 水路並に水壓管の維持經常並に償却費及び其の工事費に對する金利

なるべきにより右損失の和

$$M\varepsilon + Nr$$

を最小ならしむる樣に即ち

$$\vartheta(M\varepsilon)+\vartheta(Nr)=0 \qquad \cdots\cdots(1)$$

により水路並に水壓管を設計するを以て最も經濟とすべし。

以上の方法は從來發表せられたる處にして一見甚だ適法なるが如きも必らずしも然らざるが如し、思ふに第一項損失電力が永久に事業の損失たるべきは論なきも第二項水路並に水壓管の維持經常並に償却費及び金利を損失となすは特種の場合を除きては當を得たるものとは云ひ難し、即ち水力事業が公共事業なるは論をまたざるも、然も現今の狀況に於ては營利事業にして發生電力の供給によりて得たる電力料を以て維持經常並に償却費及び金利に充當せんとするものなるにより發生電力を無代價にて供給する場合若しくは資金全部を借入れて利益を得んとする場合の外損失と見做す能はず、又これを(1)式に就て見るも一般に電力料は水路並に水壓管のみならず同事業の維持經常並に償却費及び金利に充當すべきものなるにより何等事業の成績に關係なく單に $\vartheta(M\varepsilon)$ を $\vartheta(Nr)$ に相當せしむる理由は特種の場合の外有り得べからざる事明なり。されば一般的の方法を得んがため以下事業の性質により數種に區別して研究せんとす。

(1)　水路並に水壓管の最大限度

利用の最大限度は最小限度の維持經常並に償却費及び金利と最大限度の電力料とが相等しき場合なるにより今 r'_1 r'_2 即ち r' を以て最小限度の値並に ε' を以て其の最大限度の値とせば

$$(P-M)\varepsilon'=(K+N)(r'_1+r'_2)$$

又は

$$(P-M)\varepsilon'-(K+N)r'=0 \qquad \cdots\cdots(2)$$

を得べし、而して N 並に M は一種類にあらずして普通隧道開渠蓋渠水壓管等の數種類よりなるを以て

N_t　隧道の工費　　M_t　隧道に於ける損失電力

N_o　開渠の工費　　M_o　開渠に於ける損失電力

N_c　蓋渠の工費　　M_c　蓋渠に於ける損失電力

N_p　水壓管の工費　M_p　水壓管に於ける損失電力

とすれば次式を得べし

$$\left.\begin{aligned}&(P-M_t-M_o-M_c-M_p)\varepsilon'-(K+N_t+N_o+N_c+N_p)r'=0\\ \text{又は}\quad &(P-\Sigma M)\varepsilon'-(K+\Sigma N)r'=0\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(3)$$

(2) 資本金全部を借入れて營業をなす場合

資金全部を借入れて營業をなす場合は總收入(電力料)より事業の維持經常並に償却費及び借入金の金利を減じたる殘額が純利益なるにより純利益は

$$A=(P-M)\varepsilon-(K+N)r$$

$$A=P\varepsilon-Kr-(M\varepsilon+Nr)$$

にして此の場合は純利益が最大なる樣設計するを至當とすべきにより

$$\vartheta(M\varepsilon)+\vartheta(Nr)=0 \quad \cdots\cdots (4)$$

而して此の場合に於ても N 及び M を四種に區別すれば

$$\left.\begin{array}{l}\vartheta(M_t\varepsilon)+\vartheta(N_t r)=0\\ \vartheta(M_o\varepsilon)+\vartheta(N_o r)=0\\ \vartheta(M_c\varepsilon)+\vartheta(N_c r)=0\\ \vartheta(M_p\varepsilon)+\vartheta(N_p r)=0\end{array}\right\} \quad \cdots\cdots (5)$$

尙ほ隧道開渠並に蓋渠等同種類の構造物に對し深さを一致せしむるが如き何等かの關係を有せしむる時は次式を得べし

$$\left.\begin{array}{l}\vartheta(\Sigma M\varepsilon)+\vartheta(\Sigma Nr)=0\\ \vartheta(M_p\varepsilon)+\vartheta(N_p r)=0\end{array}\right\} \quad \cdots\cdots (6)$$

即ち水路並に水壓管の工費の增加によりて得らるべき電力料が其の水路並に水壓管の增加費用に對する維持經常並に償却費及び金利に相當する迄利用せんとするものにして既に述べたるが如く得たる電力料を事業の維持經常並に償却費及借入金の金利に充當し其の殘額を最大ならしめんとする方法なるにより寧ろ特種の場合なるべし

(3) 資金の全部若くは一部を株式若くは合資等に仰ぎ營業をなす場合

a を總資金に對する借入金の割合とせば純利益は次式にて表はす事を得べし

$$A=(P-M)\varepsilon-(K+N)r_1-a(K+N)r_2$$

$$=(P-M)\varepsilon-(K+N)(r_1+ar_2)$$

即ち總收入より總事業費に對する維持經常並に償却費及び借入金に對する金利を減じたるものなり

而して此の場合に於ては單に純利益金額の最大は欲せざる處にして借入金以外の資金に對する利益率の最大を目的とするにより

$$\frac{A}{(K+N)(1-a)}$$

即ち所謂配當率の最大を以て決定せざるべからず

$$\frac{A}{(K+N)(1-a)}=\frac{(P-M)\varepsilon-(K+N)(r_1+ar_2)}{(K+N)(1-a)}$$

$$=\frac{(P-M)}{(K+N)}\times\frac{\varepsilon}{(1-a)}-\frac{r_1+ar_2}{1-a}$$

上式に於て見るに

$$\frac{\varepsilon}{1-a}\quad 並に\quad \frac{r_1+ar_2}{1-a}$$

は共に變化せざる數字なるにより配當率の最大は

$$\frac{P-M}{K+N}$$

が最大或は

$$\frac{K+N}{P-M}$$

が最小なる場合換言すれば單位出力に對する工費が最小なる場合にして次の關係を得べし

$$\vartheta\left(\frac{K+N}{P-M}\right)=0$$

$$\frac{\vartheta N}{\vartheta M}=\frac{K+N}{P-M}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

即ち水路並に水壓管の工費の增加によりて得らるべき出力の單位出力當り工費が出來上りに於ける單位出力當り工費に相當する迄利用せんとするものなり

而して此の場合に於ても N 及び M を四種に區別すれば次の如し

$$\left.\begin{array}{l}\dfrac{\vartheta N_t}{\vartheta M_t}=\dfrac{K+N}{P-M},\ \dfrac{\vartheta N_o}{\vartheta M_o}=\dfrac{K+N}{P-M},\ \dfrac{\vartheta N_c}{\vartheta M_c}=\dfrac{K+N}{P-M},\ \dfrac{\vartheta N_p}{\vartheta M_p}=\dfrac{K+N}{P-M}\\ \qquad N=N_t+N_o+N_c+N_p\qquad M=M_t+M_o+M_c+M_p\end{array}\right\}\cdot(8)$$

尙ほ隧道開渠蓋渠等に對し深さを一致せしむるが如き何等かの關係を有せしむる場合は次式を得べし

$$\left.\begin{array}{ll}\dfrac{\partial(\Sigma N)}{\partial(\Sigma M)}=\dfrac{K+N}{P-M} & \dfrac{\partial N_v}{\partial M_v}=\dfrac{K+N}{P-M} \\ N=\Sigma N & M=\Sigma M\end{array}\right\} \cdots\cdots (9)$$

(4) 解　　法

以上に於て普通起り得べき三つの場合に對する水路並に水壓管の決定方法を得たり而して尙ほ

第一の場合に於て　$\dfrac{\varepsilon'}{r'}=W$

第二の場合に於て　$\dfrac{\varepsilon}{r}=W$

第三の場合に於て　$\dfrac{K+N}{P-M}=W$

とし少しく變化すれば其の形式相類似せる三式を得べし

第一の場合　$\dfrac{K+N}{P-M}=W$ $\cdots\cdots$ (10)

第二の場合　$\dfrac{\partial N}{\partial M}=W$ $\cdots\cdots$ (11)

第三の場合　$\dfrac{\partial N}{\partial M}=W$ $\cdots\cdots$ (12)

されど W の意義は自ら異りて次の如し

第一の場合　最大の單位出力當り工費

第二の場合　適宜の單位出力當り工費

第三の場合　其の地點に對する最小の單位出　當り工費

次に之等三式を數學上より見るに第一の場合即ち(10)式は未知數數個を有する一個の方程式なるが故に他に何等かの條件なくんば決定的の解法なかるべきにより此の場合に於ては各水路並に水壓管に於ける

$$\frac{\partial N}{\partial M}$$

が相等しき條件を採用せば最も適當なるべし。

第二の場合即ち(11)式は各種水路並に水壓管共單獨に取扱ひ得るにより解法簡單なり

第三の場合即ち(12)式は甚た複雜なる聯立方程式にして然も實際に於ては高次なるにより試算若くは圖式解法によるの外なかるべし。

以上は一地點に關して述べたるも二地點以上の場合若くは既設の外に增設せんとするが如き場合は第二の方法に於ては同樣の解方にてよろしかるべきも第一並に第三の方法に於ては全地點を同時に取扱はざるべからざるは勿論なりとす。

尙ほ水路並に水壓管の工費を其の基本寸法の函數にて表はし出力を流量落差等の函數にて表はし實用公式を求むれば次の如し

D_t　L_t　隧道の基本寸法並に延長

D_o　L_o　開渠の基本寸法並に延長

D_c　L_c　蓋渠の基本寸法並に延長

D_p　L_p　水壓管の基本寸法並に延長

A B C　常數　,m 水壓管の數

とせば N は次式にて表はし得べし

$$\left.\begin{array}{ll} & N_t=(A_t D_t^2+B_t D_t+C_t) L_t \quad N_o=(A_o D_o^2+B_o D_o+C_o) L_o \\ & N_c=(A_c D_c^2+B_c D_c+C_c) L_c \quad N_p=m(A_p D_p^2+B_p D_p+C_p) L_p \\ \text{故に} & K+N=\Sigma(AD^2+BD+C)L+m(A_p D_p^2+B_p D+C_p) L_p+K \\ & \vartheta N_t=(2A_t D_t+B_t) L_t \qquad \vartheta N_o=(2A_o D_o+B_o) L_o \\ & \vartheta N_c=(2A_c D_c+B_c) L_c \qquad \vartheta N_p=m(2A_p D_p+B_p) L_p \\ \text{次に} & D_t=D_o=D_c=D \quad \text{の場合には} \\ & K+N=D^2\Sigma AL+D\Sigma BL+\Sigma CL+m(A_p D_p^2+B_p D_p+C_p)L_p+K \\ & \vartheta N=2D\Sigma AL+\Sigma BL+m(2A_p D_p+B_p) L_p \end{array}\right\} \cdots (13)$$

流速に關する實驗式は其の數甚だ多きも數學上取扱ひ易くして比較的精確なるマンニング (Manning) 氏實驗式を採用し

v	は流速	R	は經深	S	は水面勾配
n	は粗率	Q	は流量	F	は流水斷面積
H	は總落差	H'	は損失落差	u w k	は常數

とせば

$$v=\frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad Q=Fv$$

にして經深並に流水斷面積は次の如く基本寸法の函數として表はし得べきにより

$$R=uD \qquad F\fallingdotseq wD^2$$

$$S=\frac{n^2\,Q^2}{u^{4/3}\,w^2\,D^{16/3}}=\frac{EQ^2}{D^{16/3}} \qquad E=\frac{n^2}{u^{4/3}\,w^2} \qquad \cdots\cdots (14)$$

(水壓管に對しては Q の代りに Q/m を用ゆ)

而して $\qquad H'=SL \qquad P=kQH \qquad M=kQH'$

なるにより

$$\left.\begin{aligned}
&P-M=kQH-kQ^3\,\Sigma\left(\frac{EL}{D^{16/3}}\right)-kQ^3\left(\frac{E_p\,L_p}{m^2\,D_p^{16/3}}\right)\\
&\vartheta M_t=\frac{16\,kQ^3\,E_t\,L_t}{3D_t^{19/3}} \qquad \vartheta M_o=\frac{16\,kQ^3\,E_o\,L_o}{3D_o^{19/3}}\\
&\vartheta M_c=\frac{16\,kQ^3\,E_cL_c}{3D_c^{19/3}} \qquad \vartheta M_p=\frac{16\,kQ^3\,E_p\,L_p}{3m^2\,D_p^{19/3}}\\
&\text{次に}\quad D_t=D_o=D_c=D \quad \text{の場合には}\\
&P-M=kQH-\frac{kQ^3}{D^{16/3}}\,\Sigma EL-\frac{kQ^3}{m^2\,D_p^{16/3}}\,E_p\,L_p\\
&\vartheta M=\frac{16\,kQ^3\,\Sigma EL}{3D^{19/3}} \qquad \vartheta M_p=\frac{16\,kQ^3\,E_pL_p}{3m^2\,D_p^{19/3}}
\end{aligned}\right\} \cdots (15)$$

故に

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{K+N}{P-M}=\frac{\Sigma\,(AD^2+BD+C)\,L+m\,(A_pD_p^2+B_pD_p+C_p)\,L+K}{kQH-kQ^3\,\Sigma\left(\dfrac{EL}{D^{16/3}}\right)-kQ^3\left(\dfrac{E_pL_p}{m^2D_p^{16/3}}\right)}\\
&\frac{\vartheta N}{\vartheta M}=\frac{3\,(2A_tD_t+B_t)D_t^{19/3}}{16\,kQ^3\,E_t}=\frac{3\,(2A_oD_o+B_o)D_o^{19/3}}{16\,kQ^3\,E_o}\\
&\qquad=\frac{3\,(2A_cD_c+B_c)\,D_c^{19/3}}{16\,kQ^3\,E_c}=\frac{3m^3(2A_pD_p+B_p)\,D_p^{19/3}}{16\,kQ^3\,E_p}
\end{aligned}\right\} \cdots (16)$$

次に $D_t=D_o=D_c=D$ の場合は

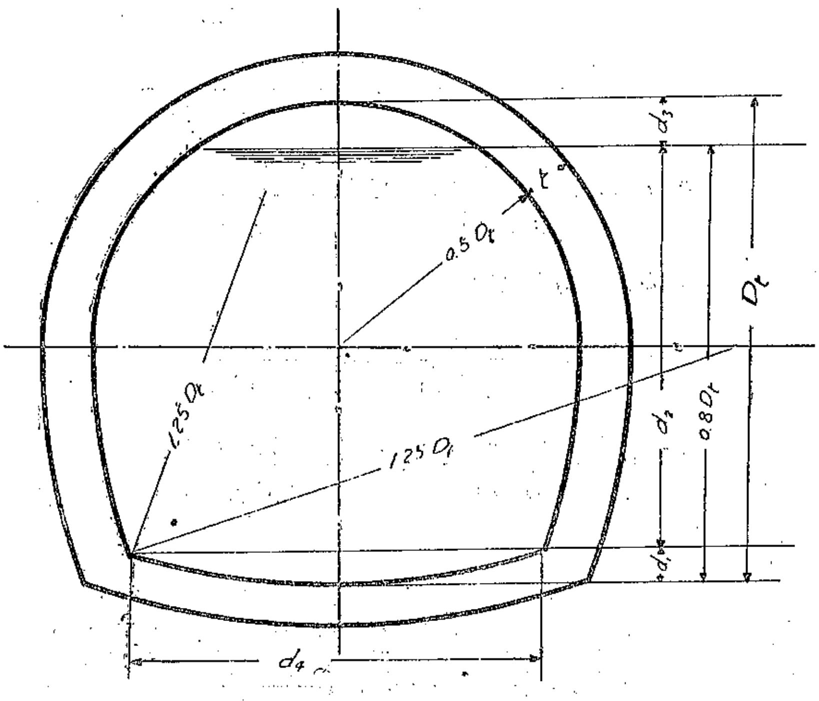
$$\left.\begin{aligned}\frac{K+N}{P-M}&=\frac{D^2\Sigma AL+D\Sigma BL+\Sigma CL+m\,(A_pD_p^2+B_pD_p+C_p)L_p+K}{kQH-\dfrac{kQ^3}{D^{16/3}}\Sigma EL-\dfrac{kQ^3}{m^2D_p^{16/3}}E_pL_p}\\ \frac{\vartheta N}{\vartheta M}&=\frac{3\,(2D\Sigma AL+\Sigma BL)\,D^{19/3}}{16\,kQ^3\Sigma EL}=\frac{3m^3\,(2A_p\,D_p+B_p)\,D_p^{19/3}}{16\,kQ^3\,E_p}\end{aligned}\right\}\cdots(17)$$

(5)　　例

水路の形並に地形を假定して以上の解法を實演すれば次の如し

隧道　第一圖の如き馬蹄形斷面を採用せば

第　一　圖



$d_1=0.075\ D_t$　　　$d_2=0.725\ D$

$d_3=0.200\ D_t$　(假定)　$d_4=0.851\ D_t$

$u=0.306$　　　$w=0.728$

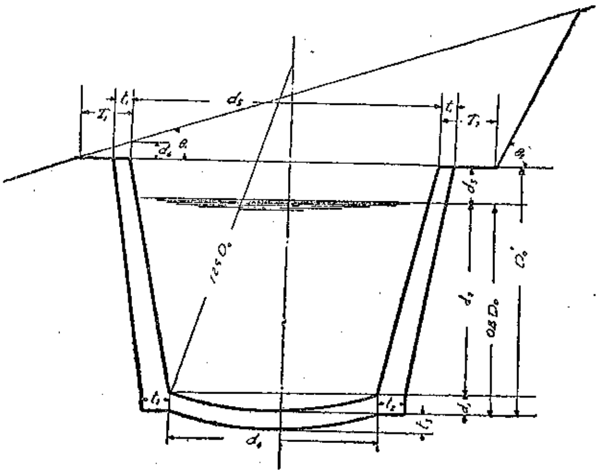
全面積　　　$w'=0.840\ D_t$

裝工の厚さを平均一尺と假定し尙ほ掘鑿一立方尺當り工費を平均 30 錢裝工用混凝土一立方尺當り工費を平均60錢と假定し粗率を 0.01 $(n=0.01)$ とせば N 及

び E は次の如し

$$\left.\begin{aligned} &N_t=0.252\,D_t^2+3.024\,D_t+3.024\\ &\quad A_t=0.252\quad B_t=3.024\quad C_t=3.024\\ &E=0.000915\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(18)$$

第　二　圖



開渠　第二圖の如き地形即ち三割勾配の地形に其の底面隧道と同樣なる圓弧を以てし側面四分勾配を有する水路を假定し尚ほ各部の寸法を次の如く假定せば(單位尺)

$d_1=0.075\,D_o$,　$d_2=0.725\,D_o$

$d_3=1+0.05\,D_o$, $d_4=0.851\,D_o$

$d_5=0.5+1.2385\,D_o$

$D_o'=1+0.85\,D_o$, $\tan\theta_1=1/3$

$\tan\theta_2=2/3$,　$T_1=6$,　$T_2=3$

$t_1=t_3=0.75$, $t_2=0.75+0.05\,D_o$

流水斷面 w 經深 u は次の如し

$$w=0.791\qquad u=2.359$$

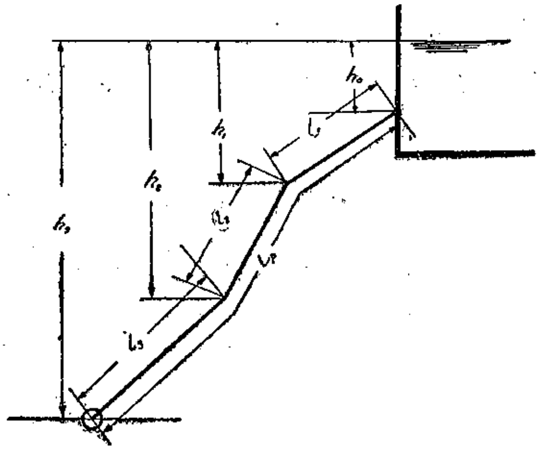
而して尚ほ掘鑿1立方尺當り工費を7錢裝工用混凝土1立方尺當り工費を 45 錢と假定し粗率を隧道と同樣 0.01 として

$$\left.\begin{aligned} &N_o=0.113\,D_o^2+1.647\,D_o+3.488\\ &\quad A_o=0.113\quad B_o=1.647\quad C_o=3.488\\ &E=0.000687\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(19)$$

蓋渠　は隧道と同樣の斷面を採用して其の工費は假りに隧道と開渠との平均値なりとすれば

$$\left.\begin{aligned} &N_c=0.183\,D_c^2+2.336\,D_c+3.256\\ &\quad A_c=0.183\quad B_c=2.336\quad C_c=3.256\\ &E=0.000915\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(20)$$

第　三　圖



水壓管　t を鐵管の厚さ h を水頭 D を內經 S を鐵管材の許容應力とせば

$$t=\frac{62.5\,hD}{2S}$$

而して S を1平方吋に對し 7,500 封度とし上記の公式によりて得たる値に尙ほ百分の一尺を加算して

$$t=0.0000289\,hD+00.1$$

今第三圖の如き地形を假定せば水壓管の重量は

$$490\,\pi D_p\,tdl=0.0223\,D_p^2\left\{\frac{(h_3+h_2)l_3}{L_p}+\frac{(h_2+h_1)\,l_2}{L_p}+\frac{(h_1+h_0)\,l_1}{L_p}\right\}L_p+15.394\;L_p$$

接手其の他のため第一項を約1割第二項を約三割增加し鐵管材1封度に對する費を15 錢とせば工費は

$$\left.\begin{aligned}N_p&=0.00375\left\{\frac{(h_3+h_2)\,l_2}{L_p}+\frac{(h_2+h_1)\,l_2}{L_p}+\frac{(h_1+h_0)\,l_1}{L_p}\right\}L_p+3\,L_p\\A_p&=0.00375\left\{\frac{(h_3+h_2)\,l_2}{L_p}+\frac{(h_2+h_1)\,l_2}{L_p}+\frac{(h_1+h_0)\,l_1}{L_p}\right\}B_p=3\;\;C_p=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots(21)$$

尙ほ $w=0.785$ $u=0.250$ なるにより粗率を 0.01 とせば

$$E_p=0.001030$$

以上得たる係數を實際問題に適用せば次の如し

(1) 甲地點單獨の場合（單位尺秒圓(キロワット）

$L_t=24{,}000$　$L_o=12{,}000$　$L_c=10{,}000$　$h_o=20$　$h_1=100$　$h_2=170$

$h_3=280$　$l_1=400$　$l_2=300$　$l_3=500$　$L_p=1{,}200$　$m=2$　$Q=1{,}000$

$H=310$　$k=0.06$　$K=3{,}500{,}000$　$D_t=D_c=D_o=D$

	A	B	C	E	L	AL	BL	CL	EL
隧　道	0.252	3.024	3.024	0.000915	24,000	6,048.0	72,576	72,576	21,960
開　渠	0.113	1.647	3.488	0.000687	12,000	1,356.0	19,764	41,856	8,244
蓋　渠	0.183	2.336	3.256	0.000915	10,000	1,830.0	23,360	32,560	9,156
合　計	0.548	7.007	9.768	0.002517	46,000	9.234.0	115.700	146.992	39.354
鐵　管	1.106	3.000	0.000	0.001030	1,200	1,327.2	3,600	0	1,236

$$\left.\begin{array}{l} W_{22}=\dfrac{\vartheta N}{\vartheta M}=10.^{-7}14\cdot665D^{19/3}(D+6.265) \\[2ex] W_{22}=\dfrac{\vartheta N_p}{\vartheta M_p}=10.^{-7}536.893\,D_p^{\ 19/3}(D_p+1.356) \end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots(22)$$

$$W_{23}=\frac{K+N}{P-M}=\frac{9,234D^2+115,700D+2.6544\,D_p^{\ 2}+7,200D_p+3,646,992}{18.600-\dfrac{10^7.236.124}{D^{16/3}}-\dfrac{10^7.1.854}{D_p^{\ 16/3}}}\cdot(23)$$

(22) 並に (23) の聯立方程式を解くには最初 (22) 式の W_{22} に任意の數を撰び D 並に D_p を得て (23) 式に代入し W_{23} を算出し假定せる W_{22} に一致せしむるにあり今此の關係を圖示せんがため多少範圍を廣めて計算せば次の如し

(22) 式			(23) 式		
W_{22}	D	D_p	$K+N$	$P-M$	$W_{23}=\frac{(K+N)}{(P-M)}$
300	13,879	8,147	6,786,136.6	15,500.4	447,80
350	13.163	8,322	6,891,750.5	15,840.1	435,10
400	13,414	8,479	6,986,456.6	15,104.3	433,80
450	13,644	8,620	7,074,233.3	16,320.1	433,50
500	13,850	8,746	7,153,732.4	16,494.9	433,70
550	14,040	8,863	7,227,802.8	16,642.1	434,40
600	14,214	8,970	7,296,241.4	16,766.3	435,20
650	14,378	9,070	7,361,277.2	16,874.9	436,20

而して W_{22} と W_{23} と一致する場合は W_{23} が最小にして本論 (3) の場合即ち (9) 式の解答は（別紙附圖參照）

$$W_{22}=W_{23}=433.45 \qquad D=13,570 \qquad D_p=8,573$$

(2) 乙地點單獨の場合（單位同樣）

$L_t=36,000$　$L_o=18,000$　$L_c=15,000$　$h_o=20$　$h_1=100$　$h_2=170$

$h_3=280$　$l_1=600$　$l_2=450$　$l_3=750$　$L_p=1,800$　$m=2$　$Q=900$

$H=325$　$k=0.06$　$K=3,000,000$　$D_t=D_o=D_c=D$

	A	B	C	E	L	AL	BL	CL	EL
隧道	0.252	3.024	3.024	0.000915	36.000	9,072.0	108,864	108,864	32.940
開渠	0.113	1.647	3.488	0.000687	18.000	2,034.0	29,646	62,784	12.366
蓋渠	0.183	2.336	3.256	0.000915	15.000	2,745.0	35,040	48,840	13.725
合計	0.548	7.007	9.768	0.002517	69.000	13,851.0	173,550	220,488	59.031
鐵管	1.106	3.000	0	0.001030	1.800	1,990.8	5,400	0	1.854

$$\left.\begin{aligned} W_{24} &= \frac{\vartheta N}{\vartheta M} = 10.^{-7}20.117\, D^{19/9}(D+6.265) \\ W_{24} &= \frac{\vartheta N_p}{\vartheta M_p} = 10.^{-7}736.479\, D_p^{19/3}(D_p+1.356) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots (24)$$

$$W_{25} = \frac{13{,}851D^2+173{,}550D+3{,}981.6D_n^2+10{,}800D_n+3{,}220.0488}{17.550-\dfrac{10^7.258.202}{D^{16/3}}-\dfrac{10^7\,2.027}{D^{16/3}}} \cdots\cdots (25)$$

(24) 式			(25) 式		
W_{24}	D	D_p	$K+N$	$P-M$	$W_5=(K+N)/(P-M)$
300	12,308	7,793	7,617,832.0	13,234.9	575.60
350	12,581	7,963	7,765,503.8	13,710.8	566.40
400	12,823	8,115	7,898,351.8	14,081.5	560.90
450	13,041	8,250	8,019,761.8	14,379.2	557.70
500	13,240	8,370	8,127,004.2	14,624.4	555.70
550	13,420	8,481	8,233,034.6	14,827.3	555.30
600	13,590	8,585	8,330,232.7	15,003.6	555.20
650	13,744	8,680	8,419,039.4	15,149.3	555.70

故に (24) 並 (25) 兩式を滿足する答は次の如し（別紙附圖參照）

$$W_{24}=W_{25}=555.20 \qquad D=13{,}440 \qquad D_p=8{,}493$$

(3) 甲乙二地點を同時に新設する場合

甲より $W_{26}=\dfrac{\vartheta N}{\vartheta M}=W_{22}$ $\qquad W_{26}=\dfrac{\vartheta N_p}{\vartheta M_p}=W_{22}$ $\cdots\cdots$ (26)

乙より $W_{27}=\dfrac{\vartheta N}{\vartheta M}=W_{24}$ $\qquad W_{27}=\dfrac{\vartheta N_p}{\vartheta M_p}=W_{24}$ $\cdots\cdots$ (27)

尙ほ $W_{28}=\dfrac{K+N}{P-M}=\dfrac{((23)\text{式の分子}+(25)\text{式の分子})}{((23)\text{式の分母}+(25)\text{式の分母})}$ $\cdots\cdots$ (28)

以上三式を同時に滿足せしむる D 並に D_p を求めんとするものにて前例と同樣に

W_{26} 並に W_{27}	(26) 式の D 並に D_p	(27) 式の D_p 並に D	$K+N$	$M-P$	W_{28} $\frac{(K+N)}{(P-M)}$
300			14,403,968.6	28,735.3	501.30
350	前	前	14,657,254.3	29,550.9	496.00
400	例	例	14,884,408.4	30,185.8	493.10
450	と	と	15,093,995.1	30,699.3	491.70
500	同	同	15,280,736.6	31,119.3	491.00
550	樣	樣	15,460,837.4	31,469.4	491.30
600			15,626,474.1	31,769.9	491.90
650			15,780,316.6	32,024.2	492.80

故に W_{26} W_{27} 並に W_{28} を同時に滿足する答は（附圖參照）

$$W_{26}=W_{27}=W_{28}=491.00 \begin{cases} \text{甲地點} & D=13{,}815 \quad D_p=8{,}724 \\ \text{乙地點} & D=13{,}206 \quad D_p=8{,}349 \end{cases}$$

(4) 既設地點(丙)に對し甲乙二地點を新設せんとする場合

甲乙二地點は前例と同樣にして丙地點は

出力 10,000 キロワット

工費 5,500,000 圓

と假定す

此の場合は例 (3) の

$$K+N \text{ を } K+N+5{,}500{,}000 \qquad P-M \text{ を } P-M+10{,}000$$

として計算すべきものにして

$$W_{29}=\frac{\partial N}{\partial M}=W_{22} \qquad W_{29}=\frac{\partial N_p}{\partial M_p}=W_{22} \quad \cdots\cdots\cdots (29)$$

$$W_{30}=\frac{\partial N}{\partial M}=W_{24} \qquad W_{30}=\frac{\partial N_p}{\partial M_p}=W_{24} \quad \cdots\cdots\cdots (30)$$

$$W_{31}=\frac{K+N}{P-M}=\frac{((28)\text{ 式の分子})+5{,}500{,}000}{((28)\text{ 式の分母})+10{,}000} \quad \cdots\cdots\cdots (31)$$

W_{29} 並に W_{30}	(29) 式の D 並に D_p	(30) 式の D 並に D_p	$K+N$	$P-M$	$W_{31}=\frac{(K+N)}{(P+M)}$
300	前	前	19,903,968.6	38,735.3	513.90
350	例	例	20,157,254.3	39,550.9	507.00
400	と同	と同	20,384,408.4	40,185.8	507.30
450	樣	樣	20,593,995,1	40,699,3	506.00

500	前例と同様	前例と同様	20.780.736.6	41.119.3	505.40
550			20.960.837.4	41.469.3	505.50
600			21.126.474.1	41.769.9	505.80
650			21.280.316.6	42.024.2	506.40

故に次の答を得べし（別紙附圖參照）

$$W_{29}=W_{30}=W_{31}=505.10$$

甲地點　　$D=13,871$　　$D_p=8,760$

乙地點　　$D=13,260$　　$D_p=8,382$

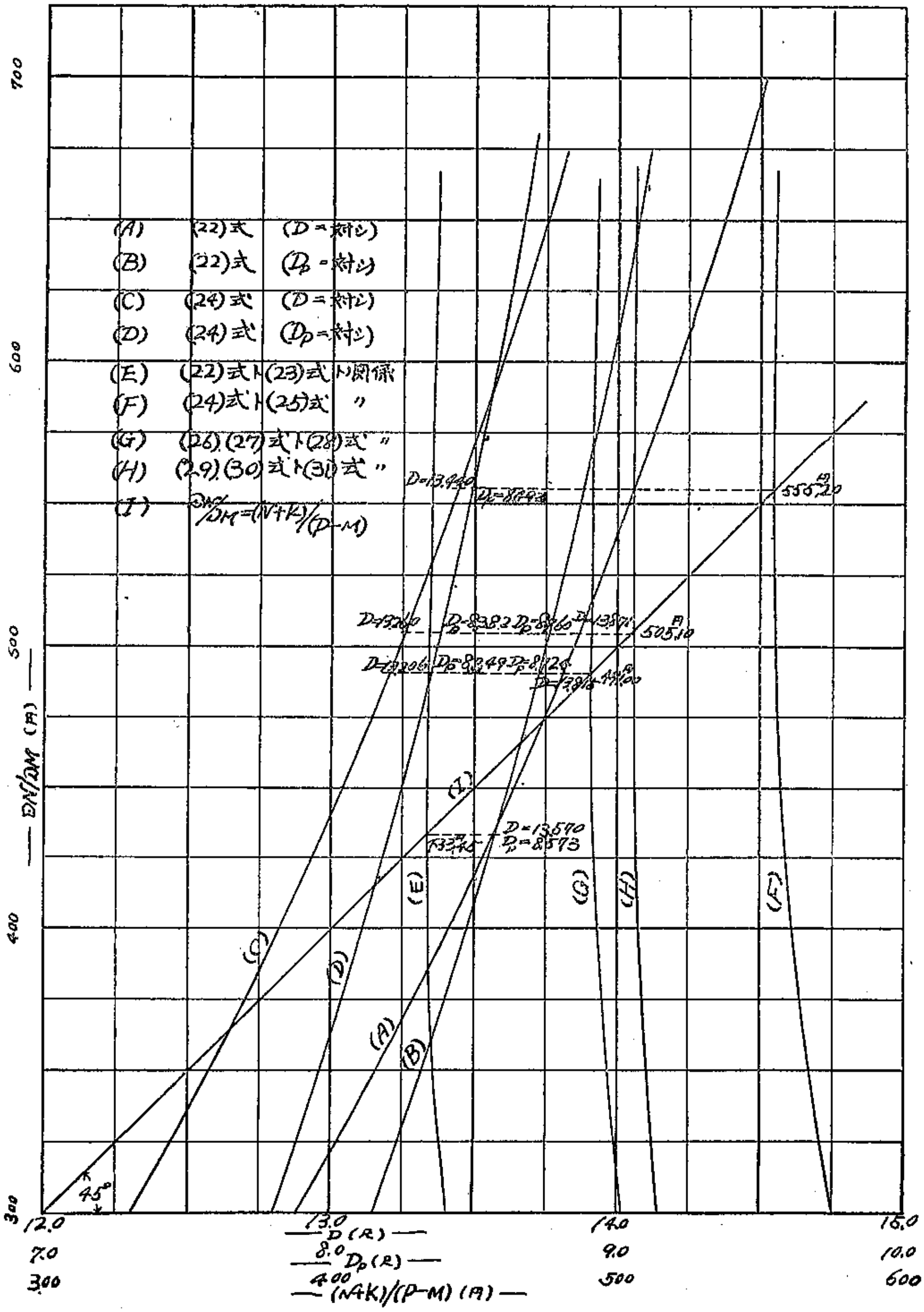
以上算出せる處は本論 (3) の場合の解法なれど本論 (2) の場合の解法をも知り得べし

されば以下に種々の場合に對する解答を表示せば

		甲地點 D	甲地點 D_p	乙地點 D	乙地點 D_p
(3) の場合	單　獨	13,570	8,573	13,440	8,493
	甲乙二地點	13,815	8,724	13,206	8,344
	甲乙丙三地點	13,871	8,760	13,260	8,382
(2) の場合	$\epsilon/r=W=500$	13,850	8,746	13,240	8,370
	$\epsilon/r=W=550$	14,040	8,863	13,420	8,481
	$\epsilon/r=W=600$	14,214	8,970	13,590	8,585

（完）

附圖第一



(土木學會誌第十卷第三號附圖)

366-1