

## 講 演

土木學會誌 第十三卷第六號 昭和二年十二月

# 田代川發電所建設工事に就て

(昭和二年十一月五日工學會大會土木部會講演會に於て)

會員 工學士 新 井 榮 吉

On the Installation of the Tashiro-Hydro-Electric  
Power Plants.

By Eikichi Arai, C. E., Member.

### 内 容 梗 概

本講演に於ては田代川發電所（落差合計 2900 呎）の計畫大要を述べ其の特殊構造物に就て設計並に施工方法を説明し、併せて主要なる設計上の計算を示し終りに材料輸送に關する諸設備並に方法を述べんとす。

### Synopsis

In this paper, the writer gives an outline of the Tashiro hydro-electric power plants, having heads aggregating 2900 feet. The design and execution of special structures and the calculations made therefor, together with the arrangements and methods of transportation of the materials are given.

## 一 計畫の大要

茲に述べんとする田代川發電所は東京電力株式會社の經營にして土木工事施行者は間組並に日本工業合資會社なり。所在は静岡縣安倍郡、山梨縣南巨摩郡に跨り所謂南アルプス山系に屬し地勢極めて峻峻にして材料輸送並に工事施行上種々なる困難に遭遇せり。

抑も富士川の支流早川と大井川の上流部田代川との高低差は概ね 3 000 尺内外にして而も其の距離極めて接近し居り其の最も便なる處を選んで大井川の河水を早川に導き發電計畫をなしたるもの即ち本發電所なり。本地點は當初落差 3 000 尺の一發電所を建設する計畫なりしも、斯の如き高落差のものにありては 1 個の水量尙 200 キロワットに價するものなれば之を 2 段に分ち、其の下段に對しては山梨縣下に於ける流域約 2 平方里の溪流を加ふるを得策と認め、第一（下段）、第二（上段）の 2 發電所を建設することに變更し大正 14 年 10 月起工し、第一は去る 8 月竣工し、第二は本月（11 月）完成の豫定なり。

而して設計の大要は田代川二軒小屋（俗稱）の屈曲部に於て狹窄部を切り開きて河身の付替を爲し、彎曲部の上下に堰堤を築き貯水池となし、之に所定水量を流入せしむる設備とす。貯水池以下は耐壓隧道を以てサージタンクに導き鐵管路を経て第二發電所（上段）に入り茲に一度使用したる水を放水路より直に隧道に取入れ第一發電所（下段）水槽に導き同じく鐵管路を経て再び第一發電所に使用し其の放水路は直に早川第一發電所の取入口に接続するものとす。

各發電所の容量次の如し。

### 第一發電所（下段）

流域面積	9.11 平方里（田代川 7.00, 溪流 2.11）
平均使用水量	136 個毎秒
最大使用水量	217 個毎秒（負荷率 62.6%）
落差	1 180 尺
最大出力	17 000 キロワット

### 第二發電所（上段）

流域面積	7.41 平方里（田代川 7.00, 溪流 0.41）
平均使用水量	111 個毎秒
最大使用水量	192 個毎秒（負荷率 58%）
落差	1 704 尺
最大出力	20 000 キロワット

## 二 特殊構造

### (1) 取入口及堰堤

取入口には附圖第三の如き構造の角落しを裝置し出水に際しては水位の上昇に應じて之を一個宛挿入して取入口の敷を高め砂礫の侵入を防止せり、此の構造はクラッチの抜き差に依

り1個のハンドルを以て角落しを1個宛適宜に上下し得る装置なり。

堰堤の排砂口にはローリングダムを装置せり、従來ローリングダムの兩側には必ずラックエンドピニオンを取り付け居りて出水に際し之に砂礫木片等を嘯み捲揚げに支障を來すこと少からず、然るに此のラックエンドピニオンは必ずしも必要缺ぐべからざるものに非ず。設計の方法に依りては之を省略し得る事を確めたるに依り、先年早川第一發電所取入口堰堤に之を試み好結果を得たるを以て再び之を田代取入口に採用せり、因に此のローリングダムは田原製作所の特許なり。

堰堤には其の前面満水面下約10尺の處に3吋管を横たへ、之に $\frac{1}{2}$ 吋の空氣栓を1米毎に立込み之に壓搾空氣を通して水を上下に動搖せしめ水面の氷結を防ぐ装置とせり。

## (2) 耐壓隧道

隧道は總延長2900間にして其の形狀内徑6.5尺の圓形に對し低部を幾分扁平になしたるものなり。全部コンクリートを以て巻立て特に岩質軟弱なる部分に對しては鐵筋コンクリートを用ひたり。

本隧道は最大に於て約60尺の水壓を受くるを以て全部巻立コンクリートの裏面に對しモルタル注入を施行せり。其の方法は70封度の壓搾空氣を用ひ、1:3のモルタルを5間毎に設けたる隧道天端の穿孔より注入せり、注入器は名古屋中央鐵工所の製品にして1臺1日250立方尺内外の能率を有し、注入量は1孔に付或るものは20~30才又或るものは500~600才に及び一定せざれども全體を通じ平均厚さ約1寸に達したり。

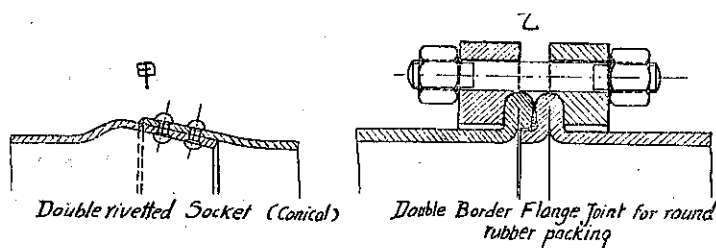
## (3) サージタンク

内徑45尺、高66尺全部鐵筋コンクリートとし防寒の爲めコンクリートの覆蓋をなせり。

## (4) 水壓鐵管

水壓鐵管は厚さ $\frac{1}{2}$ 吋未滿を鉄綴管としそれ以上には獨逸マンネスマン會社製ウエルデツト管を採用せり、而してジョイントは厚さ $\frac{1}{4}$ 吋未滿をパンプジョイント(第一圖甲)としそれ以上をダブルボルダージョイント(第一圖乙)とせり。

第 一 圖



	静水壓	管列	管長	管 徑		水 量	流 速	
				上 端 m/m	下 端 m/m		上 端	下 端
第一發電所	1 180 <sup>尺</sup>	2	1 800 <sup>尺</sup>	1.250	900	217 <sup>個</sup>	8.12 <sup>尺</sup>	15.65 <sup>尺</sup>
第二發電所	1 704	2	3 187	1.200	850	197	7.80	15.51

鐵管路は成る可く掘鑿を省き且つ將來の安全を慮り山峻に沿ふて選定したる結果各所に水平垂直の屈曲を生じ据付には多少の困難を感じたり。

### (5) 水車, 發電機

現今の施行に於ては水頭 600 尺内外を限度として以下は Reaction turbine 即ち Francis turbine を使用し, 以上は Impulse turbine 即ち Pelton wheel を使用する。

Francis turbine の長所はドラフトヘッドを放水面迄充分に利用し得る點にあれ共, 其の構造上高壓に耐ふるものは製作困難なるを以て高落差の場合は構造比較的簡單なる Pelton wheel を採用す。

Pelton wheel に於ては水車軸より放水面まで 10 尺内外の落差は其の構造上より必然の結果として利用し得ざる缺點あり。

扱て高落差發電所に於て最も注意を要する點は水壓鐵管及水車の安全裝置にして萬一之に缺點ある場合は突然負荷の切れたる際水車及發電機の空轉を起し破損の伴ふことあり, されど之を避くる爲め一時に水を遮斷する時は Water hammer を起して鐵管破裂の虞れあり依て之が安全裝置として種々なる考案あり, 其の一はデフレクター, 其の二はレリーフノズル, 其の三はフラツシャー等之なり。

デフレクターは負荷の切れると同時に一種の瓣の働を以てノズルより出るジェットを水車のバツケット外にデフレクトせしむる裝置にして一度デフレクトしたるジェットはオイルプレスに依りニードルを徐々にノズルマウスに進めて漸次閉鎖するものとす。閉鎖に要する時間は鐵管の長さ, 鐵管内の水の流速等に依て異れ共大體 20 秒乃至 1 分 30 秒位なり。

田代川發電所に於ては此のデフレクターを採用したり, 過日第一發電所試運轉の際の記録に依れば閉鎖時間 1 分 15 秒にして鐵管の水壓上昇は 5% なり, 此の上昇率は閉鎖時間の調節に依て増減し得ること勿論なり。

レリーフノズルの方法は水車のバツケットに向きたるノズルの外に之に向はざる別のノズルを附屬し負荷の切れると同時に前者を閉鎖し後者を開放する裝置にして, 此のレリーフノズルを徐々に閉鎖することはデフレクターの場合と同様なり。

フラツシャーの方法は負荷の切れたる場合ニードルの周圍より魚の鰭の如きもの突出してジェットを不致取彫の如くスプラツシ, 然る後前者同様ノズルを徐々に閉鎖する裝置なり。

發電所名			田代川第二發電所 (上段)	田代川第一發電所 (下段)
水車	種類	類	高壓衝動水車	高壓衝動水車
	馬力	數	15 000	25 000 (2臺1組で)
	回転	數	500 毎分	375 毎分
	调速機	の種類	自動油壓式调速機	自動油壓式调速機
	臺	數	2 臺	2 臺1組
發電機	製作者		英國ハービング會社	英國ハービング會社
	直流交流の別		交流	交流
	キロホルトアンペア	數	13 000	20 000
	力率		0.8	0.85
	電壓		12 000 V	11 000 V
	相		三相	三相
	周波	數	50 サイクル	50 サイクル
	回転	數	500 毎分	375 毎分
	結線	法	星形	星形
	励磁	法	單一勵磁	單一勵磁
臺	數	2 臺	1 臺	
原動機との連結		直結	直結	
製作者		G. E. 社	G. E. 社	

### 三 設計要點

#### (1) 貯水堰堤

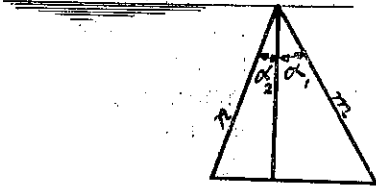
本堰堤の設計は物部博士の耐震計算法に基き其の断面を決定せり。即ち

##### (イ) Data of Design.

堤總高	57'
頂幅	8.0'
堤體の比重	$\gamma = 2.4$
池水 1 立方尺の重量	$\frac{1}{36}$ ton
堆砂の比重	$\gamma_1 = 1.8$
同上土壓係數	$E = 0.4$
揚壓力係數	$\mu = 0.4$
最大水深 (各種の餘裕を含む)	$H = 57.0$
最小水深 ( " )	$H_1 = 17', \quad \lambda = \frac{H_1}{H} = 0.3$
最大堆砂深	$H_2 = 17', \quad M_1 = \frac{H_2}{H} = 0.3$
許容鉛直壓力	$P = 4 \text{ ton/}\square'$
満水時の地震力	$K_1 = 0.15$
低水時の地震力	$K_2 = 0.10$

##### (ロ) 基本三角形の決定

第二圖



$$n = \tan \alpha_2 = K_2 = 0.1$$

$$m = \tan \alpha = \frac{1}{\sqrt{\gamma - \mu}} \left\{ 1 + \frac{\gamma_1 - 1}{2} \mu_1^3 E + \frac{1}{2\sqrt{\gamma - \mu}} \left[ \gamma K_1 - n \{ \gamma + 2 - 2\mu + 2\mu_1^2 (\gamma_1 - 1) \} \right] + \frac{n^2}{2} \left[ -1 + \mu + \frac{\gamma K_1}{n} - \mu_1^2 (\gamma_1 - 1) (2 - \mu_1) \right] \right\}$$

或は近似的に

$$m = \frac{1}{\sqrt{\gamma - \mu}} \left\{ 1 + \frac{\gamma_1 - 1}{2} \mu_1^3 E \right\}$$

其の他頂幅に依る上流面下流面の増幅計算等の詳細に就ては土木學會誌第十一卷第五號物部博士の論文を参照ありたし。

### (2) サージタンクの計算

サージタンクの面積はサージング・ウェーブの高低を斟酌して直径 45 尺と定め頂點は無益なる溢水を爲さざるを限度とし、深さは突然負荷が切れてサージングを起し其のウェーブが最低に達したる瞬間に再びスノッチを入れたる場合ありとし、此の場合に於て一層水面低下するも尙鐵管入口上相當の水深を残す程度とせり。

#### サージング・ウェーブの計算

サージタンクの直径	$D = 45'$
サージタンクの面積	$A = \frac{\pi}{4} 45^2 = 1586'$
隧道の長さ	$L = 6138'$
"    断面積	$a = 35.5'$
隧道内の流速	$v_1 = 5.5' / \text{sec.}$
"    の損失水頭	$h_1 = 9'.6$
	$n = \frac{h_1}{v_1} = 1.75$

今簡単のため

$$\sqrt{\frac{L}{g} \frac{A}{a}} = T, \quad \frac{L}{ng} = T_0$$

とし、 $T_1$  を次の如く定む、

$$\frac{1}{T_1^2} = \frac{1}{T^2} - \frac{1}{(2T_0)^2}$$

更に便宜上

$$h_1 \frac{T_1 T_0}{T^2} = R, \quad -\frac{4T_1 T_0}{4T_0 - T_1^2} = tg\beta, \quad \frac{2T_0}{T_1} = tg\gamma$$

と置く。

然るときはサージング・ウェーブの高さ及び時間を各  $Z, t$  とすればサージング・ウェーブを表す式は次の如し。

$$Z = R e^{-\frac{t}{2T_0}} \sin \left( \beta + \frac{t}{T_1} \right)$$

而して

$$\sin \left( \gamma - \beta - \frac{t}{T_1} \right) = 0 \quad \text{即ち} \quad \gamma - \beta - \frac{t}{T_1} = 0$$

$$t = T_1 (\gamma - \beta)$$

のときウエーブの高さは最大又は最小なり。

之に前記の數字を挿入すれば次の如し

$$T = \sqrt{\frac{LA}{ga}} = \sqrt{\frac{6 \ 138}{32.2} \times \frac{1 \ 586}{35.5}} = 92 \text{ sec.}$$

$$T_0 = \frac{L}{ng} = \frac{6 \ 138}{1.75 \times 32.2} = 109 \text{ sec.}$$

$$\frac{1}{T_1^2} = \frac{1}{T^2} - \frac{1}{(2T_0)^2} = 0.000097$$

$$T_1 = 102 \text{ sec.}$$

$$R = h_1 \frac{T_1 T_0}{T^2} = 0.6 \times \frac{102 \times 109}{92^2} = 12.5$$

$$\text{tg} \beta = -\frac{4T_1 T_0}{4T_0^2 - T_1^2} = -\frac{4 \times 102 \times 109}{4 \times 109^2 - 102^2} = -1.198$$

$$\beta = 2\pi - 50^\circ 9' = 2\pi - 0.875$$

$$\text{tg} \gamma = \frac{2T_0}{T_1} = \frac{2 \times 109}{102} = 2.07$$

$$\gamma = 64^\circ 12' = 1.12$$

$$\gamma - \beta = 1.12 - 2\pi + 0.875 = 1.995 - 2\pi$$

而して

$$Z = R e^{-\frac{t}{2T_0}} \sin \left( \beta + \frac{t}{T_1} \right)$$

に於て

$$t = T_1 (\gamma - \beta + m\pi)$$

なるときウエーブの高さは最大又は最小なるが故に

$$Z_{\max} = R e^{-\frac{T_1 (\gamma - \beta + m\pi)}{2T_0}} \sin \gamma$$

$$t_{\max 1} = T_1 (\gamma - \beta) = 102 \times 1.995 = 203 \text{ sec.}$$

$$t_{\max 2} = T_1 (\gamma - \beta + 2\pi) = 102 \times 8.278 = 844 \text{ sec.}$$

$$t_{\min 1} = T_1 (\gamma - \beta + \pi) = 102 \times 5.137 = 524 \text{ sec.}$$

$$t_{\min 2} = T_1 (\gamma - \beta + 3\pi) = 102 \times 11.420 = 1 \ 165 \text{ sec.}$$

$$Z_{\max 1} = 12.5 e^{-\frac{203}{218}} \sin 64^\circ 12' = 4'.45$$

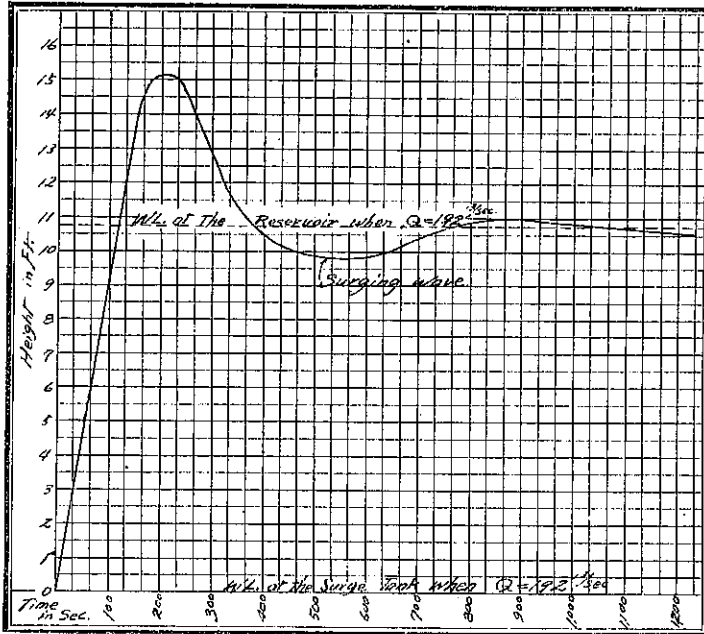
$$Z_{max\ 2} = 12.5 e^{-\frac{814}{218}} \sin 64^{\circ}12' = 0.24$$

$$Z_{min\ 1} = 12.5 e^{-\frac{524}{218}} \sin 64^{\circ}12' = -1.03$$

$$Z_{min\ 2} = 12.5 e^{-\frac{1165}{218}} \sin 64^{\circ}12' = 0.05$$

之を圖表に示せば次の如し。

第 三 圖



(3) 水壓鐵管の厚さ計算

管厚は 0.5"/16 を最小限度とし、鋳鐵管は 1"/16 ウェルド管は 1 耗宛順次増加するものとし、其の算式次の如し。

$$T = \frac{d}{2} \times \frac{p}{f}$$

T: Thickness of pipe in inch.

d: Internal diameter of pipe in inch.

p: Statical pressure in pound per square inch.

f: Working strength of the plate.

而して鐵板性質は鋳鐵管に在りては

Ultimate strength	25 ton/□" 以上
Elongation	22% 以上



$f$  12 000 #/□"× $\phi$   
 但し  $\phi$ : joint efficiency.

と規定し、ウェルド管に在りては

Ultimate strength 22 ton/□" 以上  
 Elongation 25% "  
 $f$  10 000 #/□"

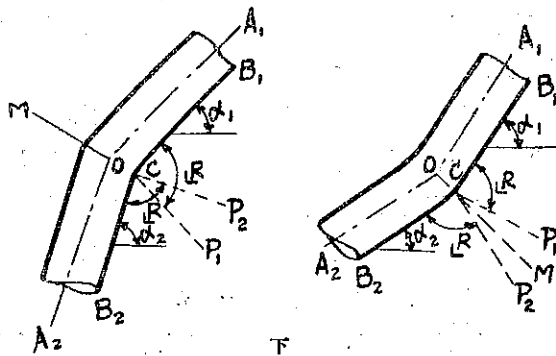
と規定し荷厚さに於て1耗を加へたり。

(4) 水壓鐵管アンカーブロック計算

アンカーブロックの計算に就ては従來の方法に誤謬あるを發見したるを以て種々研究の結果次の如き公式を考案し之を應用せり。

- $L_1$ : Anchor block より上方伸縮継手迄の鐵管の長さ
- $L_2$ : Anchor block より下方伸縮継手迄の鐵管の長さ
- $\alpha_1$ : 上部鐵管の水平線となす角
- $\alpha_2$ : 下部鐵管の水平線となす角
- $i$ :  $\alpha_2 - \alpha_1 =$  鐵管の交叉角
- $P_1$ : 上部鐵管の單位長さの重量
- $P_2$ : 下部鐵管の單位長さの重量
- $w$ : 水の單位重量 = 62.4 封度
- $w_1$ : 上部鐵管單位長さ内の水の重量
- $w_2$ : 下部鐵管單位長さ内の水の重量
- $l_1$ : Anchor block と上方小受臺との距離
- $l_2$ : Anchor block と下方小受臺との距離
- $d, d_1, d_2$ : 鐵管の直徑
- $C$ : 伸縮継手の接觸面積
- $AA$ : 伸縮継手に於ける鐵管の斷面積
- $H_1$ : Anchor block 内鐵管風曲點に於ける水頭
- $H_2$ : 漸縮管中央に於ける水頭
- $H_n$ : 阻水瓣中心に於ける水頭
- $H_4$ : 上端伸縮継手に於ける水頭
- $H_5$ : 下端伸縮継手に於ける水頭
- $h_1$ :  $L_1$  區間の損失水頭
- $h_2$ :  $L_2$  區間の損失水頭
- $Q$ : 鐵管内 1 秒間の流量
- $f_1$ : 鐵管と小受臺間の磨擦係數 = 0.45~0.5
- $f_2$ : 伸縮継手接觸面の磨擦係數 = 0~0.25
- $K$ : 衝撃係數 = 1.0~0.75
- $g$ : 32.2 呎毎秒毎秒

第 四 圖  
上



番 號	方 向	水平線となす角	力
1	$\overrightarrow{A_1 O}$	$\alpha_1$	$A_1 = P_1 L_1 \sin \alpha_1$
2	$\overrightarrow{O A_2}$	$\alpha_2$	$A_2 = P_2 L_2 \sin \alpha_2$
3	$\overrightarrow{C B_1}$	$\alpha_1$	$B_3 = f_1 (P_1 + w_1) \left( L_1 - \frac{l_1}{2} \right) \cos \alpha_1$
4	$\overrightarrow{B_2 C}$	$\alpha_2$	$B_4 = f_1 (P_2 + w_2) \left( L_2 - \frac{l_2}{2} \right) \cos \alpha_2$
5	$\overrightarrow{A_1 O}$	$\alpha_1$	$A_5 = f_2 w H_4 C$
6	$\overrightarrow{O A_2}$	$\alpha_2$	$A_6 = f_2 w H_5 C$
7	$\overrightarrow{A_1 O}$	$\alpha_1$	$A_7 = w_1 h_1$
8	$\overrightarrow{O A_2}$	$\alpha_2$	$A_8 = w_2 h_2$
9	$\overrightarrow{C P_1}$	$\frac{\pi}{2} - \alpha_1$	$P_9 = (P_1 + w_1) \frac{l_1}{2} \cos \alpha_1$
10	$\overrightarrow{C P_2}$	$\frac{\pi}{2} - \alpha_2$	$P_{10} = (P_2 + w_2) \frac{l_2}{2} \cos \alpha_2$
11	$\begin{pmatrix} \overrightarrow{A_1 O} \\ \overrightarrow{O A_2} \end{pmatrix}$	$\alpha_1 \text{ or } \alpha_2$	$A_{11} = \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) w H_2$
12	$\overrightarrow{A_1 O}$	$\alpha_1$	$A_{12} = w H_4 A A$
13	$\overrightarrow{O A_2}$	$\alpha_2$	$A_{13} = \frac{\pi}{4} d^2 w H_3$
14	$\overrightarrow{O M}$	$\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$	$M_{14} = K \frac{8wQ^2}{\pi d^2 g} \sin \frac{i}{2}$
15	$\overrightarrow{O M}$	$\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$	$M_{15} = w H_1 \frac{\pi d^2}{2} \sin \frac{i}{2}$

詳細に就ては土木學會誌第九卷第二號拙著(傾斜鐵管線の受臺に働く力)を参照せられたし。

#### 四 材料輸送

高落差發電所の建設に伴ふ必然的困難は材料輸送の點にあり、本工事に於ても幾多の難問題に遭遇せり、以下其の設備及方法を述べん。

- (1) 身延驛——早川釣橋間 幅2間、最大勾配1/15の縣道にして其の距離5哩あり、此の間には馬車、牛車、トラクターを用ひたり。
- (2) 早川釣橋——新倉間 距離12哩にして幅9尺、最大勾配1/20の工事用新設道路なり、此の間には軌幅2呎6吋、18封度の軌條を敷設し7噸のガソリン・エンジン1臺其の他牛馬を使用せり。
- (3) 新倉——第二發電所間 幅9尺の工事用通路を開鑿し之に軌幅2呎6吋、18封度の軌條を敷設したり、此の間は勾配最も急にして最大勾配1/3以上ありて普通の牽引車を使用し得ず、依て途中7箇所に電動捲揚機を設置し總て捲き上げ式にせり、途中屈曲多きためロープのガイド・ローラーには種々なる考案を要したり。
- (4) 鐵管路に對しては軌幅2呎6吋、18封度レールのインクラインを敷設し、第一發電所は水槽附近1箇所に捲揚機を据付け、第二發電所は水槽附近及び途中の2箇所に捲揚機を据付けたり、線路は何れも水平、垂直兩面の屈曲多くロープのガイド・ローラーには特

殊の考案をなし運轉上にも細心の注意を拂ひたれ共當初容易に工程進捗せざりしが後には従業者の經驗と熟練とに依り 1 日鐵管 7, 8 本を据付け得るに至れり。

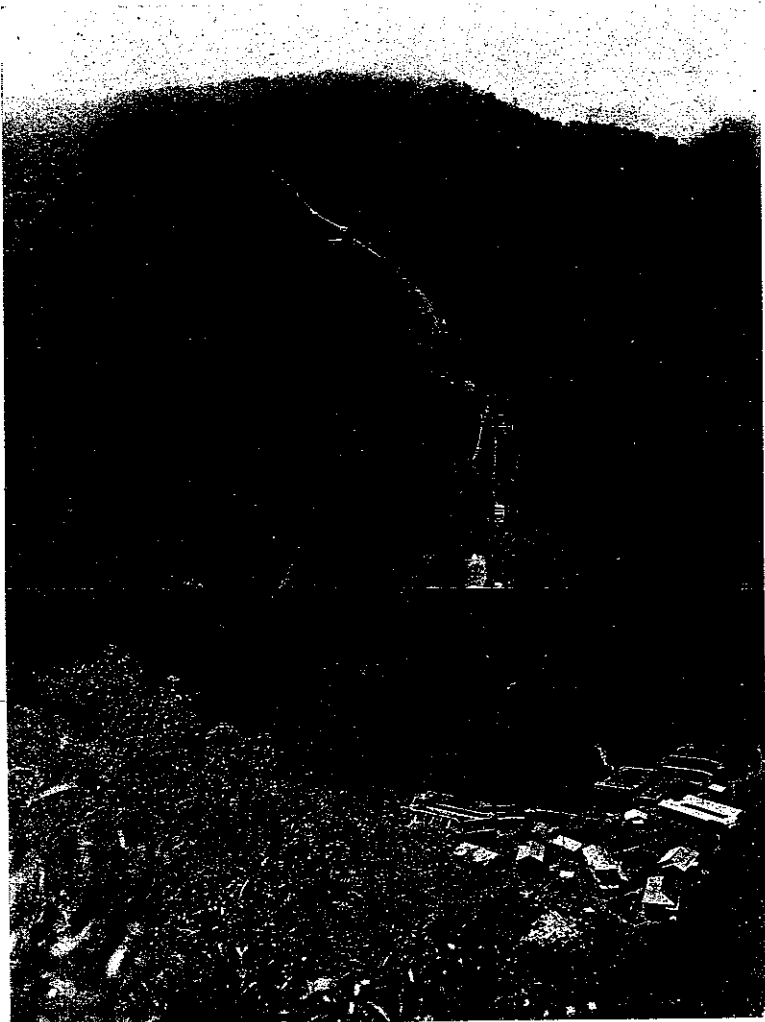
- (5) 別途に早川釣橋附近小原島より新倉第一發電所水槽, 第二發電所を経て一號隧道下口迄 10 哩の玉付式索道を架設し, セメント其の他小貨物の輸送機關とせり, 索道の容量は通常 1 日 100 噸にして工事最盛期には晝夜兼行にて 1 日 250 噸迄を輸送せり。
- (6) 田代取入口に對しては一號隧道 (1 450 間) を準備工事として先に着手し, 他工事起工の當時既に完成せしめ之を索道終點に連絡し以て交通機關に利用せり。 (完)



(土木學會誌第十三卷第六號附圖)

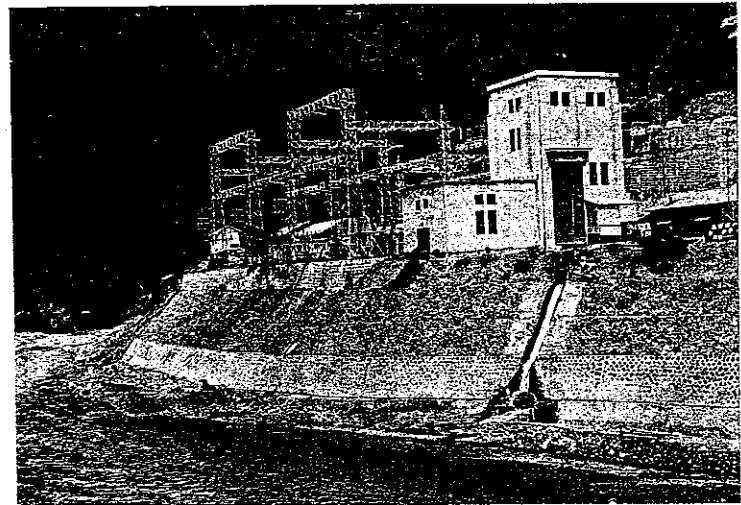
田代第一發電所全景

寫眞第二



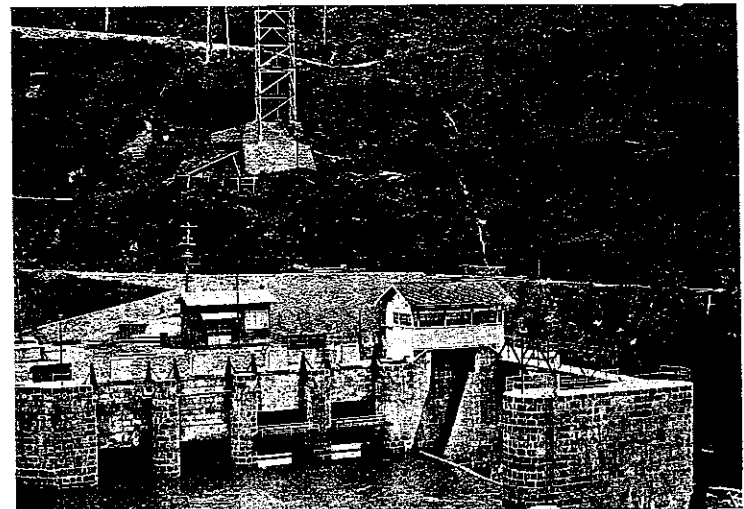
田代第二發電所全景

寫眞第三



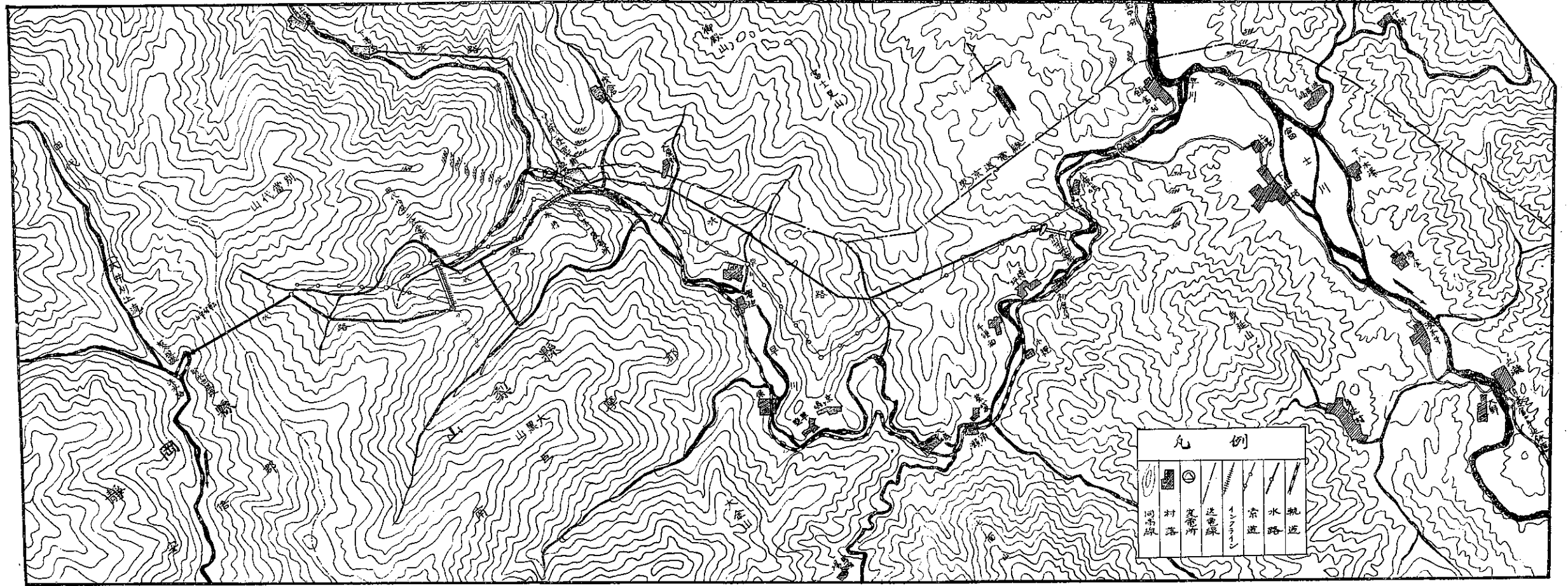
屋外變電所 (154000 v)

寫眞第四



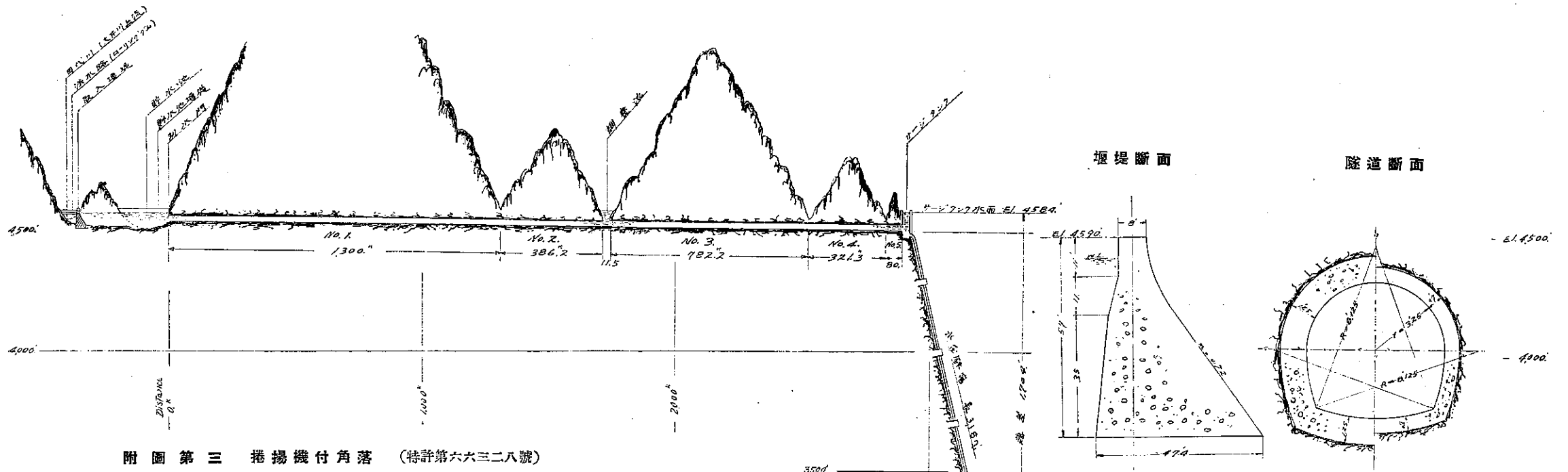
捲揚機付角落並にローリングダム (ラックエンドピニオンを用ひざるもの)

附圖第一 田代川水力發電工事計畫平面圖



(此圖係根據昭和十三年測量資料繪製)

附圖第二 田代川發電所水路縱斷面圖



附圖第三 捲揚機付角落 (特許第六六三二八號)

