

B 導水設備

IV 水路

34 概説

取水口より水槽に達する迄の導水路を單に水路と稱し、水路としては開渠、蓋渠、樋、管、隧道等に依る。山岳地に於ては主として隧道と爲し、平地又は緩勾配の山腹に沿ふ場合には開渠とすることが多い。但し急峻なる山腹で土砂、岩石が崩落する處ある場所、洪水汎濫の處ある区域内、或は極寒地方で結氷、積雪多き處又は森林竹藪中を通過する場合等には蓋渠を用ふる。

溪谷又は凹地を通過する場合には、或は築堤或は水路橋、仰彎管等に依ることがある。但し築堤は如何に注意して設計施工するも相當年月を經過するときは漸次沈下し、時には決壊することあり然かも之が修築には相當の困難を伴ふから出來得る限り之を避くべきである。

開渠は一般に工費低廉なれども之を山腹に設くる場合には、勢ひ數多の屈曲を免れず、從て水路の延長を大にすることとなり落差の損失を増すから、全體として見るときは必ずしも經濟的とならない。尙開渠築造の爲の切取高も最大 10 m 位に制限せらるゝから、之以上の切取を要する場合には寧ろ隧道に依る方が得策なる場合が多い。

水路式發電工事では、往々にして水路の工費は其全工事費の過半を占むるものであるから水路の勾配、從て其大いさ形狀を如何に決定すれば最も經濟的のものと爲すことが出来るかは重要な問題である。此問題に對しては從來種々の理論的研究があるが、實際問題としては、電力料金相場の高低と工事費（材料費及勞力費）相場の変動とが必しも一致しないから、理論上一率に經濟的水路断面及勾配を決めることは仲々困難である。然し理論的研究の一參考資料として之に關する

松田文次氏の研究を次に紹介することとする。(土木學會誌第7巻第4號参照)

35 水路の經濟的勾配

發電用水路の使命は水力の送達にあり、水路の經濟的設計とは水力の送達の利益を最大ならしむるものであつて、利益を最大ならしむる爲めには損失を最小ならしむるを要する。而して損失に水力の損失と資本の損失との二種がある。之等損失の總和を最小ならしむるが如き勾配を經濟的勾配と云ひ、之を算式にて表せば次の如くなる。

$$s = \text{水路勾配} \quad P = \text{水路始端に於ける水力 (kW年)}$$

$$L = \text{水路内に於ける水力損失 (kW年)} \quad F = \text{水路の建設費 (圓)}$$

$$C_1 = \text{水路始端に於ける水力單價 (圓毎kW年)}$$

$$C = \text{水路終端に於ける水力單價 (圓毎kW年)}$$

$$k = \text{建設費に對する資本の金利、償却、維持等の年經費歩合}$$

$$N = \text{水路始端に於ける水力 1 kW年 に對する利益 (圓)}$$

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

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

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

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

$$\frac{d(CL + kF)}{ds} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

(1) 式左邊は水路の年總收入、右邊第一項は水路始端に於ける水力支出、第二項は資本に關する支出、第三項は利益年額を示し結局水路の收入、支出及利益相互間の關係を表示する。(2) 式は (1) 式を變化して N' の値を求めたるもの、(3) 式は經濟的勾配の基本算式で、(3) 式中 C_1P 及 CP は共に s に對して定數なるが故に (3) 式は之を變化して (4) 式の如くなすことが出来る。實地上では (4) 式には更に技術上の附帶條件を必要とする。即ち之より算出せる

s の値に相當する流速は、或制限流速の間に介在するを要し、制限流速より大又は小なるときは之に合致する迄 s の値を増減すべき場合がある。

(4) 式第一項中 C の値は水路終端で此水力を受入るゝ場合に支拂ひ得る最高額で、今考慮しつゝある水路より下部の構造物、發電所等一切の設備に對する建設費、維持運轉費、企業利益、能率、發電所に於ける電力需要狀況即ち賣價、負荷率其他によつて變化し實地上では相當に之を推定して算出し得べく、唯將來に於ける電力需要狀況の變遷に對し一種の遠觀を要することは注意に値する。

L の値を式にて示せば次の如くなる。

$$l = \text{水路亘長 (m)} \quad Q = \text{使用水量 (m}^3/\text{sec)}$$

$$L = 9.8 slQ$$

(4) 式第二項中 k の値は一般に次の如くなる。

$$k_i = \text{建設費に對する年利率} \quad k_d = \text{建設費に對する年償却率}$$

$$k_m = \text{建設費に對する年維持費率}$$

$$k = k_i + k_d + k_m$$

F の値は豫め水路の形狀、工法等を定め之を求めることが出来る。但し形狀工法等の經濟的なるや否やは自から別の問題である。

上記は水路の經濟的勾配に付ての理論的一考察であるが、一般的には通水量及落差の大小等を考慮し普通水路(壓力水路に非ざるもの)では、1/1,000 ~ 1/2,000 の範圍の勾配が採用されて居る。

36 開 渠

(1) 形 狀 開渠は其水面が常に大氣に接する溝渠である、普通構築される斷面の形狀としては、梯形、矩形、拋物線形、半圓形等で其何れを採るかは地形、地質、規模の大小並用地の多少から適當に判定すべきものである。

水路の兩側及底面には流水の抵抗を少くし且つ漏水を防ぐ爲め、多くの場合張石又は混凝土等を以て被覆工を施す。69 圖は開渠の實例を示す。

(2) 流 速 水路内の流速は餘り速過ぎるときは水路自體を破損し、之が餘りに緩るときは水路内に土砂の沈澱を誘起し又は水草の繁茂を來して流水の疏通を害する。水草及藻類の生成を防ぐには 0.7 m/sec 以上の流速を必要とする。

掘り放しの水路に於ても、0.7 ~ 1.0 m/sec 位の流速なれば其側面及底部の洗掘を防止することが出来る。勿論之は水路の通過する地層の土質如何に關係するもので、粘土質又は砂を多量に含む堅く締りたる地層を通過するものであるときは 1.5 m/sec 位迄の流速として差支へ無い様である。

餘水路等に於ては往々其勾配急にして従て流速も可なり速く 12 m/sec 内外を與ふる事もあるが、斯る場合には其下部に至るに従ひ水壓増大するから渠側及底部の構造は充分此水壓に堪へ得る様堅固なものとするを要する。

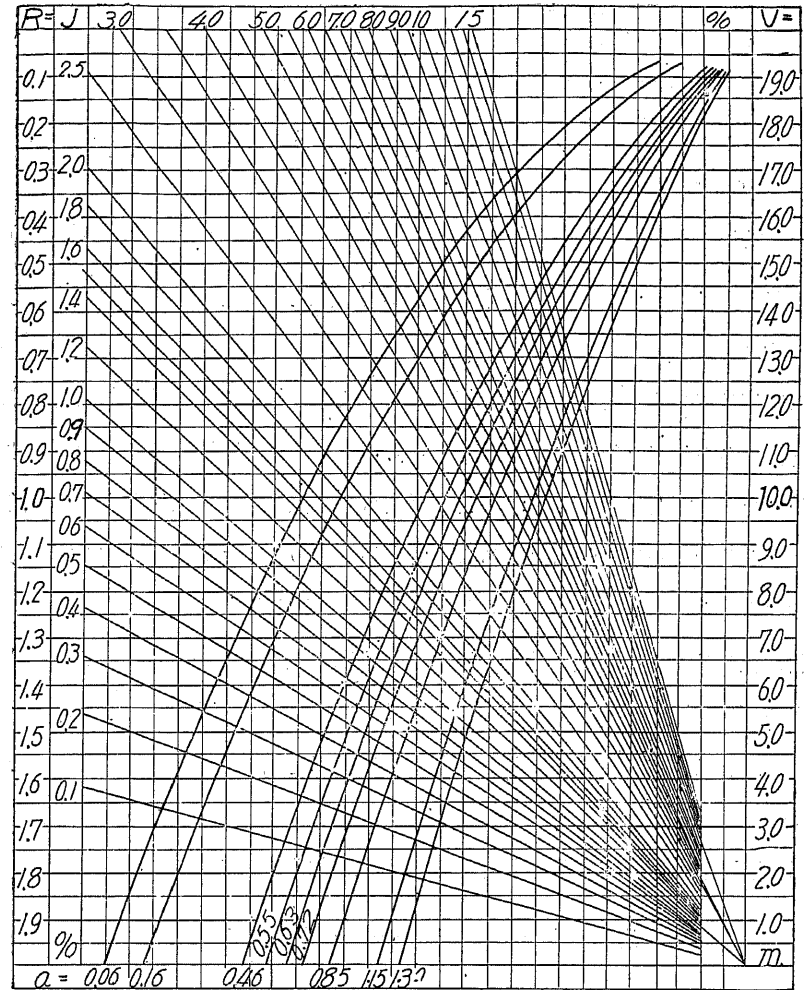
次の表は水路洗掘に對する安全最大平均流速を示すものである。但し水路底面の流速は平均流速の 75% と見れば大差がない。

18 表

水路の種類	安全最大平均流速 (m/sec)	水路の種類	安全最大平均流速 (m/sec)
極めて微細な砂質の土壤或は疏鬆なる泥土	0.15	堅硬なる粘土質の眞土	1.30
純粋の砂	0.30	堅硬なる砂利質にして粘土質の眞土	1.50 ~ 2.10
輕き砂質の土壤にして 15% の粘土を含むもの	0.36	堅硬なる粘土	1.80
輕き砂質の眞土にして 40% の粘土を含むもの	0.55 ~ 0.60	礫岩石、石板岩	1.76
粗鬆の砂	0.45 ~ 0.60	水成岩	2.40
弛緩せる砂利質の土壤	0.76	小き轉石	2.40 ~ 4.55
普通の眞土	0.76	堅岩	4.00
普通の堅き土或は眞土にして 65% の粘土を含むもの	0.90	混凝土張	4.50 ~ 6.00

Bazin 氏公式に依る流速計算は 64 圖を用ひて容易に求むることが出来る。

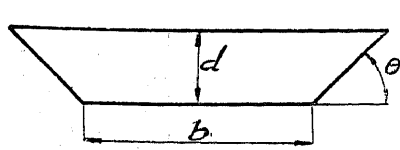
(3) 水路の經濟的断面 横断面の經濟的形狀は 65 圖に示す如き梯形で、此場合水理學上最も經濟的のもの(動水半徑最大なもの)とするには



64 圖 Bazin 氏新公式 $V = \frac{87}{0.552 + \alpha \sqrt{R}} \sqrt{RJ}$ (a) の値

セメント又はよく割りたる
 木材……………0.06
 煉瓦又は木材……………0.16
 粗石工……………0.46
 土床……………0.85
 良好なる運河……………1.30
 極めて亂雜の運河……………1.75

使用法 算出のRより水路内面の粗度(a)に
 水平線を引き其の交點より勾配(J)に垂直
 線を引き其の交點より右側Vに水平線を引き
 上記の流速を知る



$$d = \sqrt{\frac{A \sin \theta}{2 - \cos \theta}}$$

$$b = 2d \tan \frac{\theta}{2}$$

$$R = \frac{d}{2}$$

65 圖

但し A = 通水断面積 R = 動水半径 = $\frac{A}{P}$ (P は潤周)

實際の断面決定に對しては此外、水路内面の構造、水路勾配等に就き充分考慮を要する。

(4) 側壁面の法 一般に切取部の水路側は盛土部の夫れに比し其土質が略同じなれば多少勾配を急にすも差支へない。切取部では普通勾配を 1:1.5 位より急にせず、盛土部分では 1:2.0 より急ならざる程度なれば大体差支へない様である。勿論之も土質の如何に依るもので實施に當つてはよく土質を充分調査し決定すべきである。岩盤中の水路は殆ど鉛直に切取るも差支へない。

混凝土又は石積、石張 (何れも練積) 等を以て被覆工を施す場合は 1:0.2 を最急とするも差支へない。但し此場合と雖も築堤に依る水路で矢張り 1:2.0 位の緩法勾配とするを要する。岩盤を切取り被覆工を施す場合は鉛直とすることが多い。

尚側面の法に對する大體の標準を示せば次の如くである。

岩盤又はモルタル塗.....	1: $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$
硬土層又は極堅土.....	1: $\frac{3}{4}$ ~ 10
普通堅土.....	1: 1.0
普通砂土.....	1: 1.50
粗砂土.....	1: 2.00

(5) 被覆工 滲透性の地層中に水路を掘り放しにするときは漏水を來たす。其量は水深の大小、並に潤周の大小により増減があるが一般に水路内の流速が大なれば滲透漏水は小となる様である。

水路に被覆工を施す目的は此の滲透漏水を防ぐのと、水路内面を滑かに仕上げ粗度係数を小ならしめ最小断面で最大流量を通す爲水路の維持を容易ならしめるに在る。

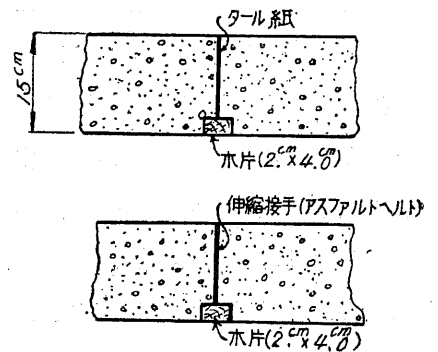
被覆工の種類としては簡單なるものは張芝、粘土張等を施すも發電水路にては一般に混凝土張、練石張等で時としてはアスファルト等を施すこともある。

1° 混凝土床版被覆工 發電用水路には最も廣く用ひらるゝ工法である。壁厚は平均 10~20 cm 位で、一床版の大いさは普通 1.5~4.0 m² 位とする。混凝土の配合は 1:2:4 或は夫れよりも豊富な配合とするが、1:3:6 のものを使用することも屢々行はれる。

被覆工を斯く塊状とするのは地盤の沈下又は隆起に備へ、併せて温度の變化に起因する龜裂を防ぐ爲めである。

被覆工に於て最も考慮を要するのは、各床版間の継目の工法で之が不適當なるときは漏水を誘起し結果が良好でない。

普通床版の継目には「タール紙」を挿し挟み尚 5~6 塊毎の継目に伸縮接合を設ける。此の伸縮接合の構造は継目にアスファルトフェルト、アスファルト、ピチユミナス等を 5~10 mm 位填充して伸縮接合とする。此の構造は簡單で混凝土が膨脹した場合には有効であるが反對に收縮した場合には漏水を免れね爲め充分に

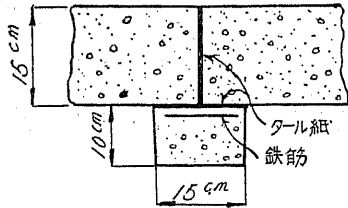


66 圖

目的を達することが出来ぬ缺點がある。

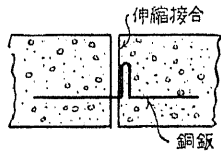
66 圖に示す如く断面 $2\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ 位の木片を継目の下におき混凝土を打つ然るときは、此木片は初めは乾燥状態に在るが、水に浸れば其水分を吸収して膨脹し混凝土に密着する。而して混凝土が収縮した場合でも尚ほ其底面が木片に密接して居るから漏水の虞は殆ど無い。但し此方法は乾濕交到の場所では木片の腐蝕を容易ならしむるから良好でないが、發電用水路の如く間斷なく通水して居る水路では殆ど常に水中に浸つて居るから相當有効である。

67 圖に示すのは之より更に一段進歩したもので殆ど永久的の構造である。之は



67 圖

継目の下に鐵筋混凝土の座版をおき其の表面を滑かに仕上げ其上にタール紙を敷く。床版の斷れ目にもタール紙又はアスファルト等を挿入す。然るときは混凝土が伸縮するときは此の座版の表面を滑動し完全に水密を保持し尙前記の場合の如く座版の腐蝕を來す虞れない。



68 圖は鉛鍍、鐵鍍又は銅鍍を以てする構造であるが鉛鍍を用ふるときは、永年の間に鉛が分解作用を起し腐蝕するから鐵鍍又は銅鍍を用ふる方がよい。

63 圖

2° 鐵筋混凝土被覆工

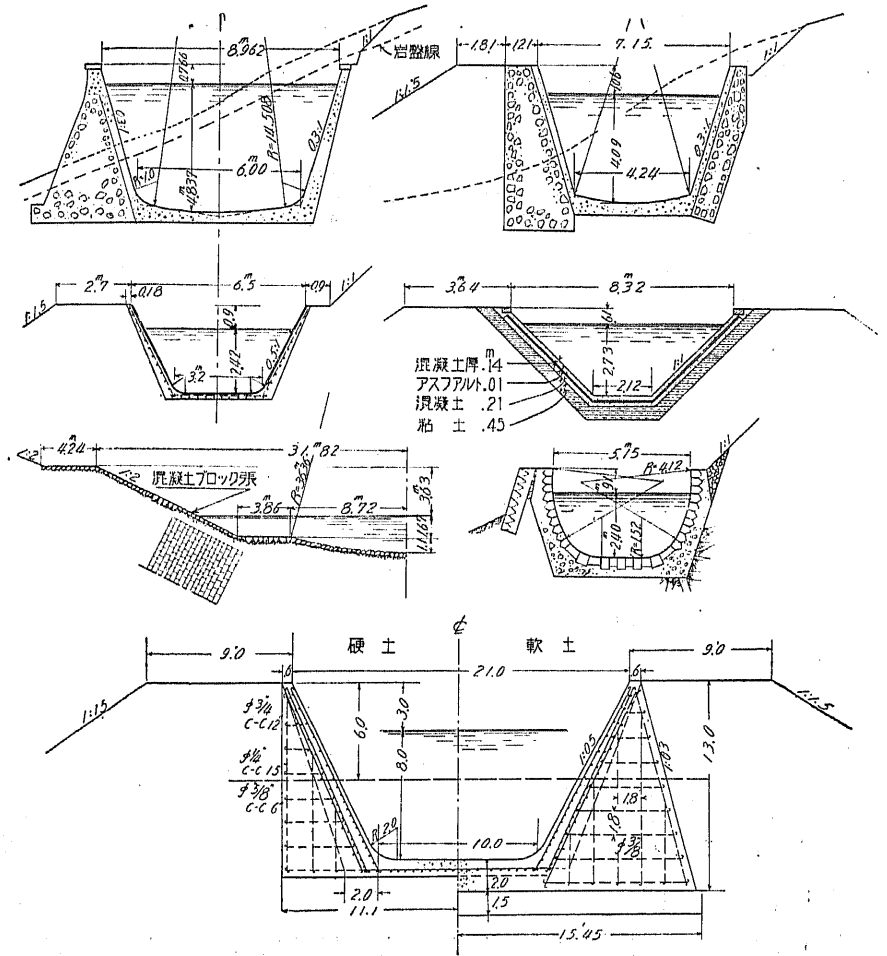
被覆工に鐵筋混凝土を用ふるときは、一般に床版に依るよりも水密にすることが出来、其の厚さも比較的薄く従て經濟的のものとすることが出来る。

鐵筋としては普通棒状のものを用ふる代りに鐵網を使用することがある。鐵筋量は、凡そ 0.3% 位にて足り、混凝土の配合は 1:2:4 乃至 1:3:6 を使用する。

側壁の法勾配が 1 割より緩なる場合は、普通型枠を用ひずして混凝土の打立てを行ひ得るから、其表面仕上にはコテを用ひ充分滑らかなものとすることが出来

るが、1 割より急な場合には型枠を必要とする故に型枠取外し後直ちに表面に厚さ 2 cm 以上のモルタルを塗りて仕上を行ふ。

(6) 排水設備 水路が山腹に沿ふ場合或は地下水が水路底より高く存在する場合には、排水に對し相當設備を施すに非れば或は山腹より水又は土砂類が水路内に流入し水路の維持を困難ならしめ或は水路内の水を空虚にした場合地下水の

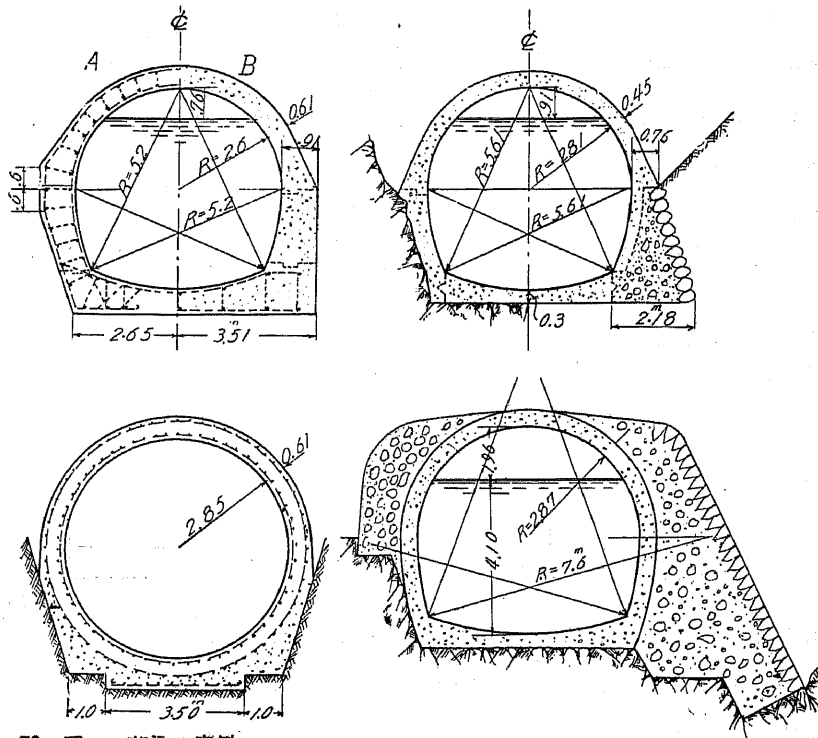


69 圖 開渠の實例

揚壓の爲めに水路を破壊する等の障害を来す虞があるから、土地の状況に應じ適當に排水設備を施すことを忘れてはならない。

37 蓋 渠

蓋渠は暗渠とも云ひ、開渠に蓋を施したものと見ることも出来るが、隧道と異なる點は地盤を掘鑿し混凝土若は鐵筋混凝土構造の蓋を施し然る後土砂を以て其上部を埋戻すので、従て蓋は其上部の土砂による荷重に堪へ得るものとするを要する。70 圖は蓋渠の實例を示す。



70 圖 蓋渠の實例

38 隧 道

(1) 概 説 水路としての隧道は之を無壓力隧道(單に隧道と稱す)及有壓力隧道(單に壓力隧道と稱す)の二種に區分することが出来る。流水斷面積の計算

は無壓力隧道は開渠と同様で、壓力隧道に付ては後に述べる。71 圖は隧道の實例を示したものである。

(2) 斷面の形狀 形狀に付ては主として次の事項を考慮するを要する。

- a) 施工の容易なること
- b) 外力によく堪へ得るものたること
- c) 經濟的なること

以上の條件を満足せしむる爲めには、斷面の形狀を馬蹄形又は圓形とするが最も得策である。

馬蹄又は圓形は他の形狀に比し一定の流量を通過せしむる爲めには水理學上最も經濟的な形狀である。

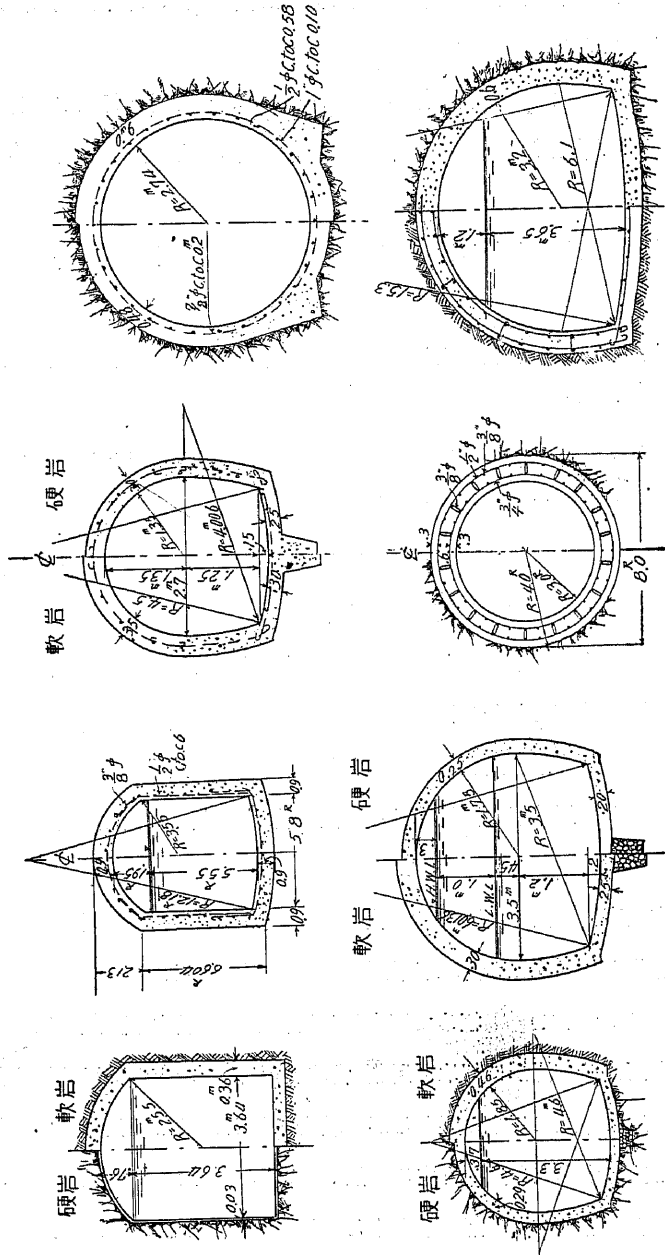
隧道は一般に馬蹄形を採用し、土壓の大なる場合又は外側より受くる水壓の大なる場合には鐵筋を以て補強する。

馬蹄の上部即ち屋根は地盤の硬軟に應じ大體半圓形又は缺圓形とし、側壁は堅牢なる岩盤の場合には直立とし且つ底は水平にすることがある。地盤が軟岩又は硬土より成るときは、側壁に多少の勾配を附し且つ底部は仰拱とし、側壁から來る荷重を底全體に分布せしむる様にする。

(3) 頭 空 最大所要水量を流し得る經濟的流水斷面は、水理學の算式より求められるが、馬蹄形の隧道では大體高の約 90% 位の水深となるから頭空は極めて僅かである。

然し地方的事情に因り、隧道内に筏、流木を流す必要がある場合には、筏の場谷は其の操作上約 1.5m 流木では約 90cm の頭空を存して置く必要がある。

(4) 裏裝工(卷立) 極めて堅牢なる岩盤中を掘鑿する隧道では、掘り放しで單に其表面だけを滑かに切り所謂「當取」とした儘のもの、又は通水部分のみを混凝土を以て卷立てるものがあるが、軟岩、硬土、又は風化し易い地盤中に於ける隧道では必ず卷立を必要とする。然し卷立の目的は地盤の保護と共に流水との摩擦を減少せしめて損失落差を少くし、且漏水を防ぐ爲めであるから、一般的



71 圖 隧道の實例

には之を施すことが望ましい。既設の實例に付て見ると巻立の厚の標準は大體次の様になつて居る。

- 堅牢にして安定なる岩盤……………10 ~ 20 cm
- 支保工を要するが巻立の場合之を取外し得る程度の不安定なる岩盤……………20 ~ 30 cm
- 土中に於ける隧道……………20 ~ 30 cm

但し以上の厚さは何れも有効又は最小厚なるを以て、實際の巻立厚は隧道掘鑿の際の餘掘の爲め上記の2倍又は夫れ以上となることがある。

(5) 地質 隧道に最も適する地盤は掘鑿が比較的容易で然かも堅牢且つ湧水の少い岩盤なることである。地盤が軟く地下水の多い處又は斷層或は崩壞の處ある地盤は隧道には最も不適當である。

尙隧道は地表面より少くとも 20 m 以上の深さとするが宜しい。殊に壓力隧道に在りては其上部の地層の重量が内部の水壓に對抗し得る丈の深さとすることが必要である。

39 水路の接續部

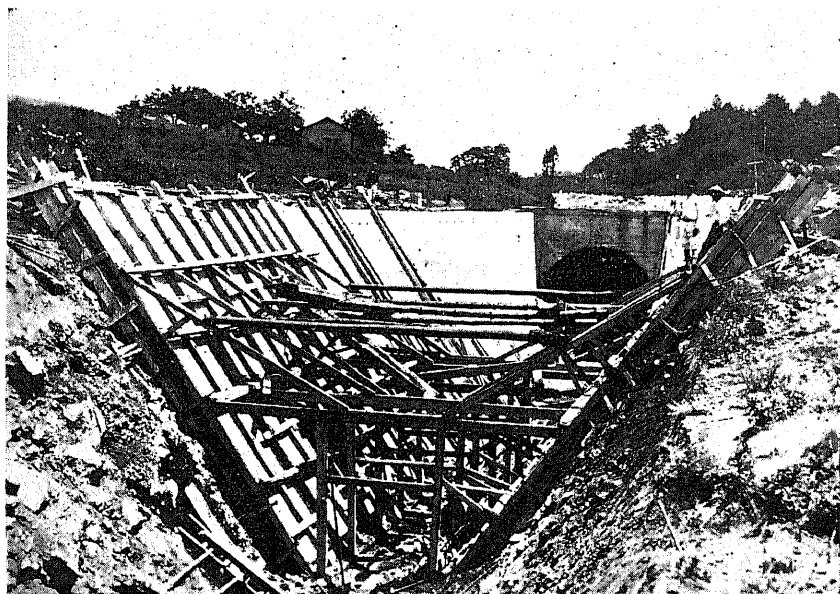
水路が開渠、蓋渠、隧道等種々なるものゝ連續より成る場合には、其接續部の構造に就いては大體次の二點に付き注意を要する。

a) 接續部に於て通水断面形を急激に變化せしめないこと。

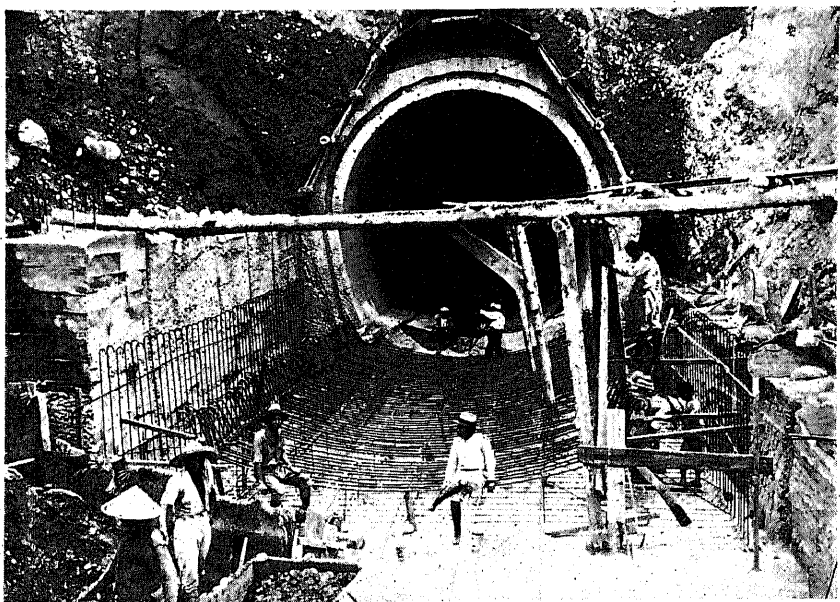
隧道若は蓋渠と開渠とは多くの場合其断面の形狀を相當異にするが、之を其儘接續するときは、接續部で流水の躍動、渦流を生じ損失落差を大ならしむることなるから、其の部分に於ては断面形狀の變化を漸次的ならしむることが望ましい。

b) 接續部の漏水を防ぐこと。

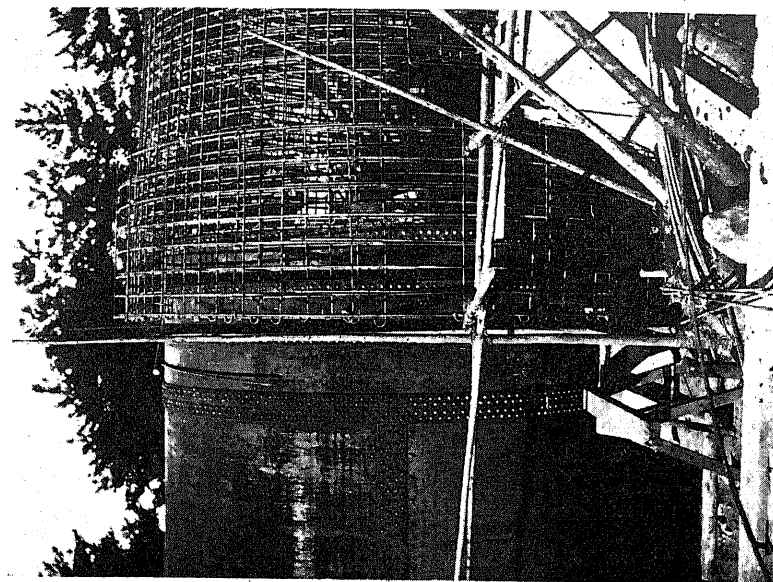
混凝土又は鐵筋混凝土構造等の水路と、他の材料に依る水路例へば鋼製製の種、鋼管の如きものとの接續に當りては特に伸縮關係の點より其の部分の構造如何に依り往々漏水を來すことあるを以て、此部分の設計施工には充分の注意を要する。



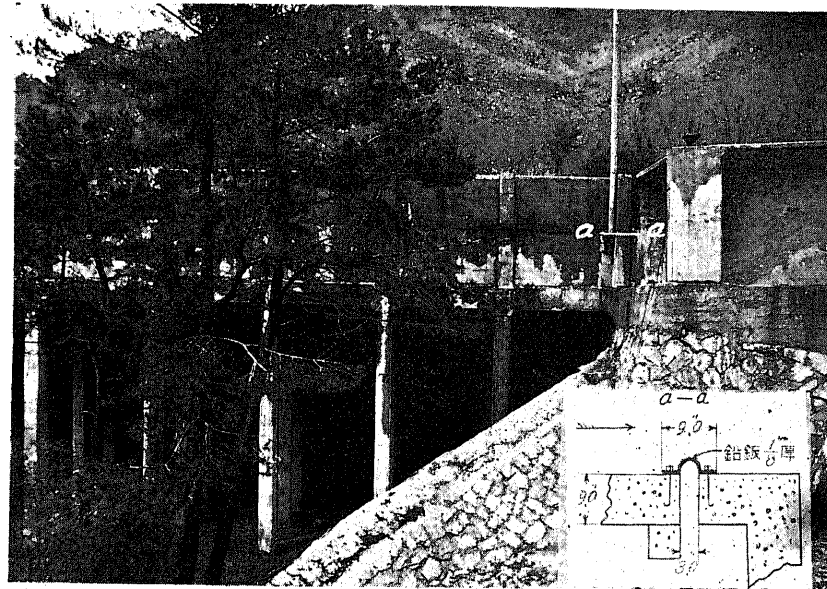
72 圖 東京電燈會社 猪苗代第四發電所の開渠と蓋渠の接續部



73 圖 A 關東水力電氣會社 佐久發電所の隧道と蓋渠の接續部



同 B 同 鐵管と混煉土管との接續部



74 圖 中國合同電氣會社 久田發電所の調整池終端と水路との接續部

40 壓力隧道

(1) 概要 壓力隧道とは隧道内を滿流する水に壓力を加へ、必要に應じ流量の増減を自由ならしむるものであつて、貯水池若は調整池を有する發電水路では、池より下流の水路を壓力隧道又は壓力管路として水の經濟的利用を爲さしめるのである。

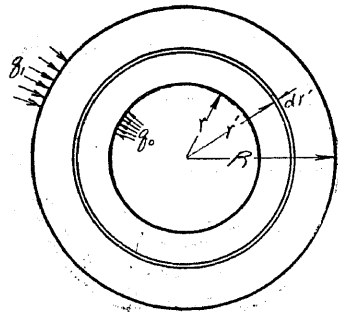
此の種壓力水路は其の末端に調壓水槽を備へ、負荷に應じて必要なる水量を流下し發電する所謂尖頭負荷發電所に於て計畫せられる一般の形態である。

(2) 特徴及効用

- a) 負荷の變動に對し流量の増減容易なること。
- b) 必要なる水量のみを流下するから水量に無駄を生ぜぬこと。
- c) 流量及び損失水頭の増減は不可分のものであるが、高落差發電所程損失力に對する苦痛が僅少であり、従つて其の効力が増大すること。
- d) 尖頭負荷を受くる時間は概して短時間であるから、一時的損失水頭の増大を許すときは、比較的小断面の水路でも大水量を流下して尖頭發電の目的を達し得ること。
- e) 水壓に對抗する爲設計及び施工が完全なることを要し、従つて工事費の増大を來たす缺點があること。

(3) 設計及施工

1° 外力 壓力隧道に作用する外力の主なるものは、地殼の壓力、土壓及び水壓の三であつて、前二者は隧道の卷立の厚さを決定する上に於て最も重要なる項目であるけれども、其の測定は現在の技術に於ては殆ど不可能であるから、壓力隧道では其の内徑と水壓に應じ地質を考慮して經驗上適當と認むる



75 圖

厚を採用して居るに過ぎない。然し設計に對する參考概念を得る爲、壓力隧道に作用する力の關係を少し調べて見やう。

今地殼の壓力又は土壓等を無視し、内外水壓のみに基づく卷立混凝土内に生ずる應力を考察するに、75圖に示す如く隧道を肉厚の圓筒と假定し、筒壁内任意の點に於ける應力を圓心方向に q 、圓周に切線方向に p が働くものとすれば

$$q_0 r - q_1 R = \int_r^R p dr' \dots\dots\dots(1)$$

p と q とは互に直角に作用する内力であるから、主應力の原理に依つて共軛應力は

$$\frac{p-q}{2} = m, \quad \frac{p+q}{2} = n$$

と置くことが出来る。然るときは

$$p = n+m, \quad q = n-m$$

今 $n = 0$ とすれば(1)式を成立せしむる爲めには、兩邊が $m(R-r)$ となる様

$$p = -q = m = \text{常數} \dots\dots\dots(2)$$

とするを要する、尙又 $m = 0$ と置くときは $p = q = n$ となり(1)式を成立せしめる爲めには兩邊が $\alpha \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)$ となる様

$$p = q = n = \frac{\alpha}{r^2} \dots\dots\dots(3)$$

なるを要する。仍て此の兩條件を結合して

$$\left. \begin{aligned} q &= n - m = \frac{\alpha}{r^2} - m \\ p &= n + m = \frac{\alpha}{r^2} + m \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

然るに $\frac{\alpha}{r^2} - m = q_0, \quad \frac{\alpha}{R^2} - m = q_1$ であるから

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{(q_0 - q_1) R^2 r^2}{R^2 - r^2} \\ m &= \frac{q_0 r^2 - q_1 R^2}{R^2 - r^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \therefore p &= \frac{I}{R^2 - r^2} \left\{ \frac{(q_0 - q_1) R^2 r^2}{r^2} + (q_0 r^2 - q_1 R^2) \right\} \\ q &= \frac{I}{R^2 - r^2} \left\{ \frac{(q_0 - q_1)}{r^2} - (q_0 r^2 - q_1 R^2) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

今岩盤が理想的のものであつて、混凝土巻立と同様に見做され、其の廣がり無限であると假定すれば $q_1 = 0$, $R = \infty$ であるから

仍て装工厚を t とし、應力を T とすれば

$$T = \int_r^{r+t} q_0 \left(\frac{r}{r'} \right)^2 dr' = q_0 \frac{rt}{r+t}$$

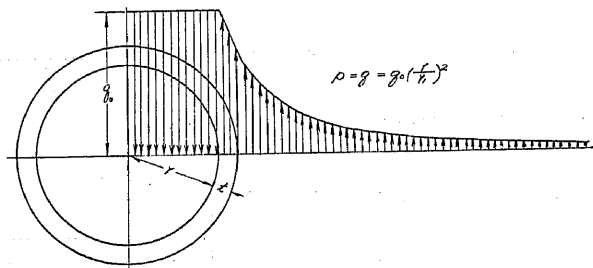
従つて普通の管に作用する應力 $q_0 r$ に比べて $\frac{t}{r+t}$ 倍の應力を受ける。 t は一般に r の 20% 内外であるから、装工の受くる應力は全水壓の $\frac{0.2}{1.2} = 0.18$ 即 18% となるから、如何なる理想の場合と雖水壓の 20% 以上に對抗する鐵筋は絶対に必要であると言ふことになる。

此の場合隧道の中心と地表面との距離が近接して來ると、上記比率に $\frac{1}{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2}$ なる修正を施す必要があるが、 $R = 10r$ に於て既に $\frac{1}{0.99}$

の値を與へるから、實際の場合殆ど無影響と見做し得られる(76 圖参照)。

2° 設計上の注意

一般に壓力隧道の裏裝混凝土は、施工が如何



76 圖

に完全であつても凝固時の收縮の爲め、岩盤から剝離するのみならず、岩盤も亦

各方向に無数の龜裂が存在するから、裏裝を距る幾何も無く岩盤は單に q なる半徑の方向の壓力にのみ對抗して、環張力は存在せぬものと推定しなければならぬから、裏裝工の受くる應力は前述のものより遙かに大なる可きであることが察知し得られる。

尙又岩盤の厚が減少して、其の重量が水壓よりも小となるか若は岩盤が極めて軟弱であり又は土壤であつたりすると、裏裝混凝土の鐵筋は次第に増加して全水壓に耐える程度に注意せねばならぬ。

水壓隧道では縦方向の應力は發生せぬけれども、施工中の氣温及び完成後の水溫の變化に對抗し得る様、豫め巻立混凝土の容積の 0.4% 内外の鐵筋を挿入することを要する。

壓力隧道の勾配は最大損失水頭、貯水深及び最大下向襲波水深等に依つて定まるが、損失水頭は概略的に流速の自乗に比例するから、今 h を損失水頭、 V を流速、 C 及 K を常數、 R を動水半徑、 S を勾配、 L を隧道の延長とすると次の關係がある。

$$h = CV^2, \quad V = K\sqrt{RS}, \\ \therefore C = \frac{L}{K^2 R}$$

K は Kutter 氏の公式では S の函數になつて居るから、普通最大流速附近の勾配を假定して得た K を上式に挿入して C を決定して差支ない。

隧道の形狀は、一般には水壓に對して抵抗力の大なる圓形を用ふるが、稀に岩盤が理想的で漏水の虞がない場合に限り馬蹄形を採用することがある。

裏裝工は普通鐵筋混凝土を用ふるが、稀に岩盤の狀況に應じ無鐵筋とせる例もあるが、前項に述べた通り水壓の 20% に相當する鐵筋は最小限度として挿入する必要がある。尙隧道斷面が小さくなると鐵筋混凝土では施工が甚だ困難となるから、型板代用の目的をも兼ねて鐵管を埋め込むことがある。

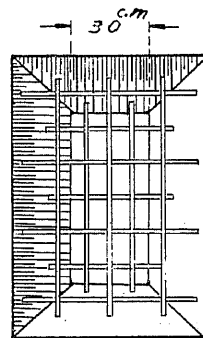
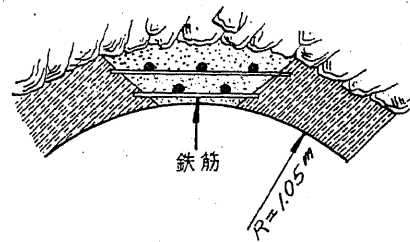
3° 施工 壓力隧道は水壓の一部を岩盤に負擔させるものであるから、其

の施工は極めて嚴重であることを要する。裏装混凝土は普通 1:2:4 乃至 1:3:6 の調合が使用され、鐵筋は直徑 1.5 ~ 4 cm 位のものが用ひられる。

岩盤の掘鑿面は鐵線刷毛を以て水にて充分洗滌し附着せる土及び石粉を完全に除去するを要する。

拱頂の混凝土打は完全を望むことが殆ど困難であるから、豫め 2~5 m 毎に直徑 7 cm 内外の鐵管を嵌入し置き、完成後之よりグラウチングを行ふ。モルタルの調合は 1:2~1:3 で之れに水 5 内外を加へモルタル混合機で混合し、壓搾空氣で注入する。尙拱頂の部分に 77 圖の如く鐵筋を挿入し混凝土填充機で混凝土を押し込んでやることがある。

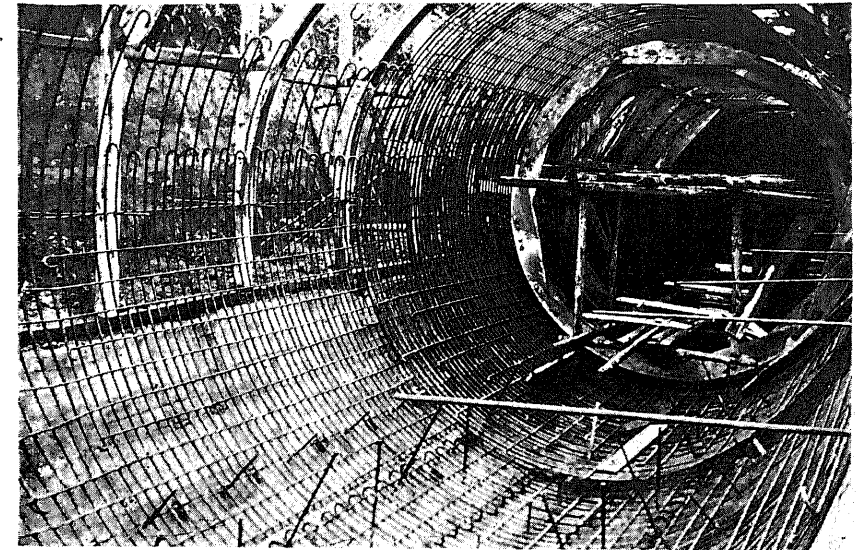
裏装混凝土は、設計厚を保持せしめる爲には岩盤の掘過ぎを免れないから、算出數量に二割内外の増量を見込んで置く必要がある。



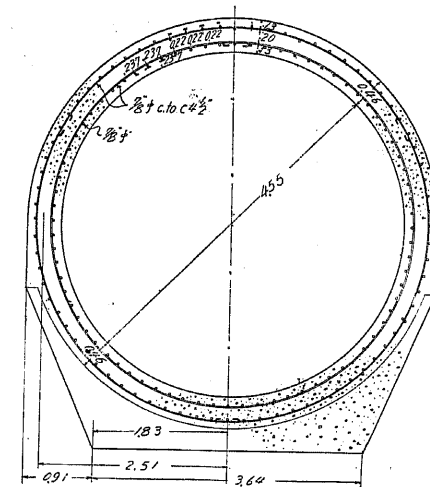
77 圖

附記

水路用隧道に關しては、以上に述べたる外、鐵道等に於ける隧道の構造・施工等と全く同様である。之等に付ては第七卷「隧道工學」を参照され度い。



78 圖 A 關東水力會社 佐久發電所の壓力管路

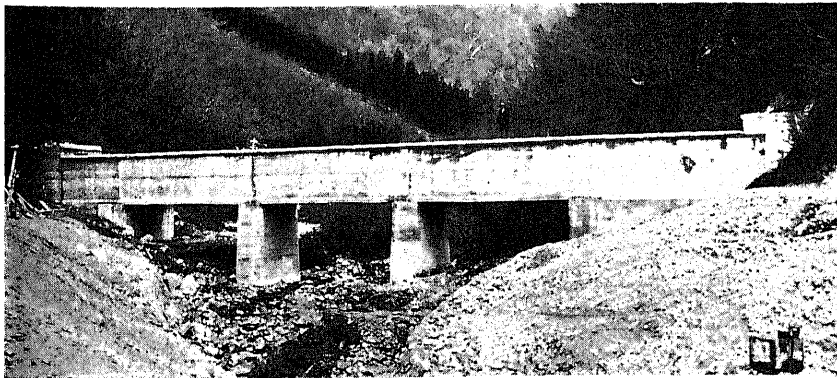


同 B 同 断面圖

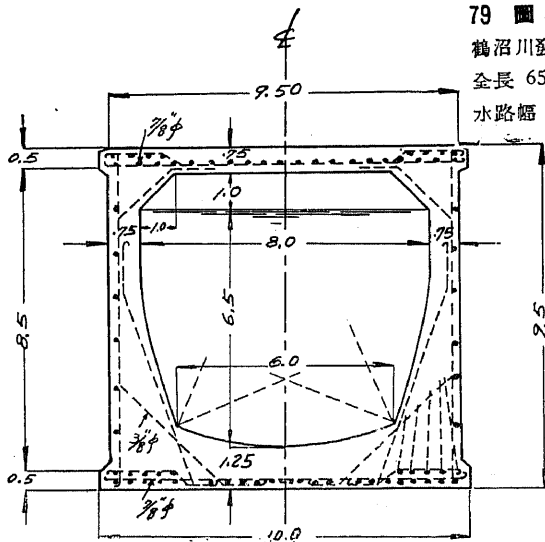
41 水路橋

水路が溪谷又は凹地を通過する場合には水路橋又は仰彎管を用ふる。

水路橋は臨時的の水路には、木造のものを使用することもあるが、永久的のものには鋼製或は鉄筋混凝土構造に依るを普通とする。79 圖乃至83 圖は水路橋の實例を示したものである。



79 圖 A 會津電力會社
鶴沼川發電所の水路橋
全長 65.0 側高 9.5
水路幅 8.0 水深 7.5

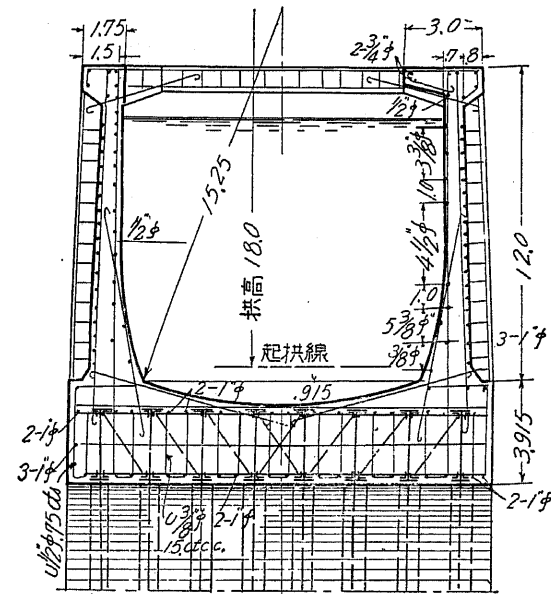


同 B 同 横断面

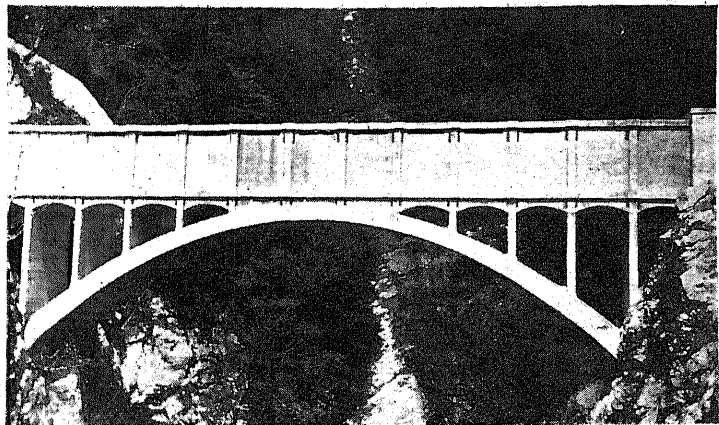


80 圖 A 群馬水電會社 松谷發電所の水路橋

徑間 100' 幅 16' 側高 13' 水深 11' 拱高 18'

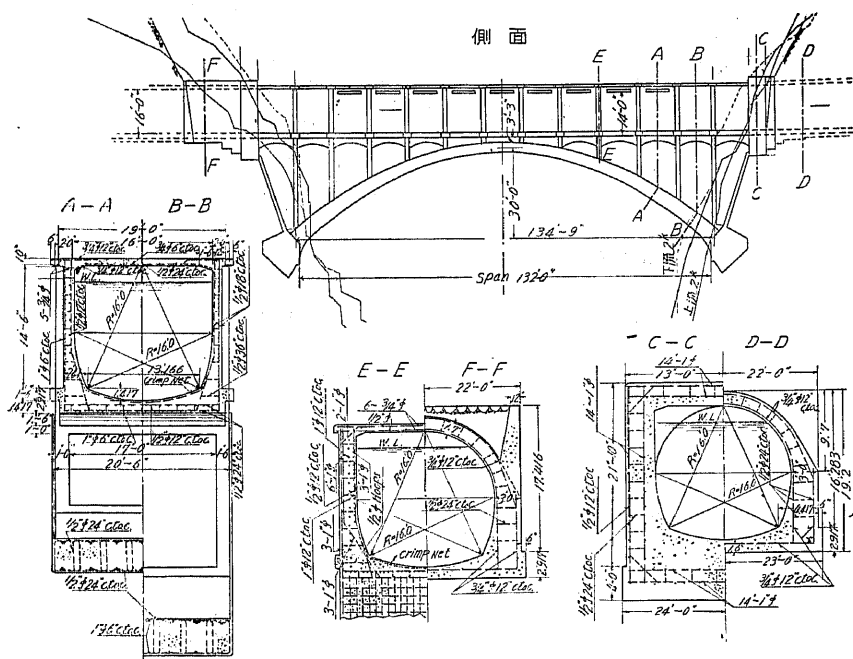


同 B 同 横断面圖

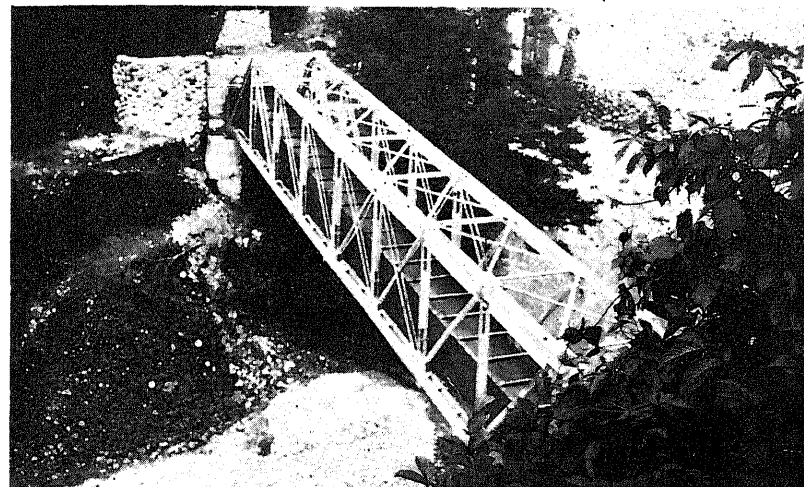


81 圖 A 日本電力會社 柳河原水路 跡曳水路橋

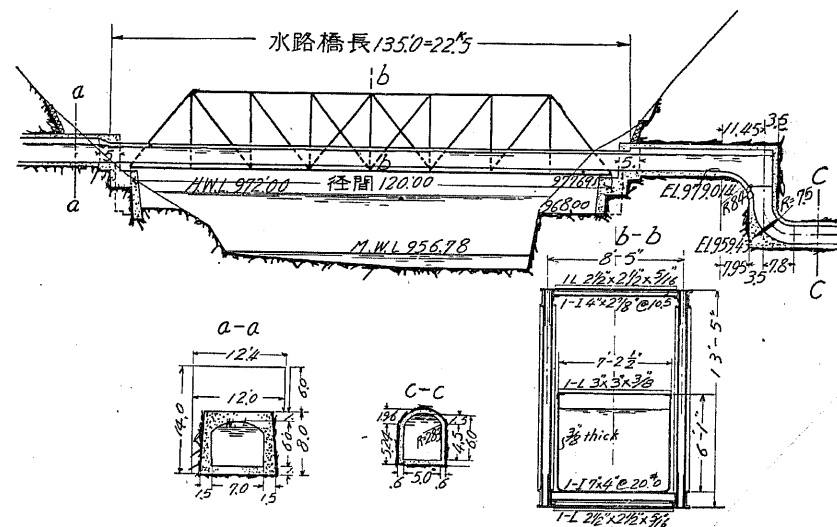
徑間 132' 拱矢 30' 幅 19' 水深 14'



同 B 同 構造圖



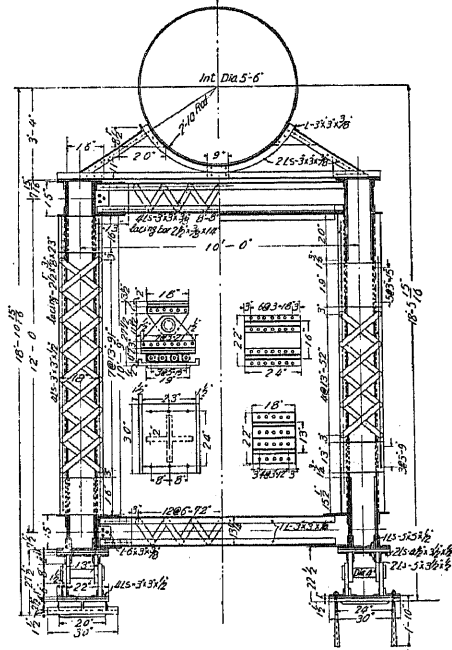
82 圖 A 富山縣營 松木發電所 補給水路の水路橋 (鋼造樑)



同 B 同 構造圖



83 圖 4 富山縣管 眞川發電所の鐵管橋
 有効徑間 120' 高 12' 幅 10' 鐵管內徑 5'-6''



同 B 同 横斷面圖