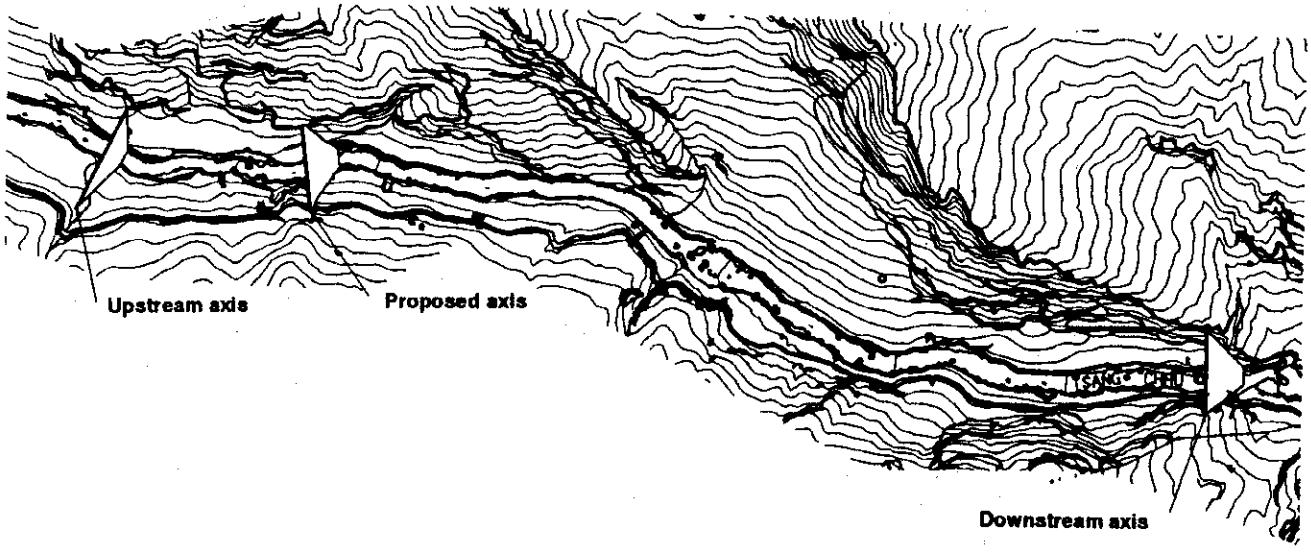
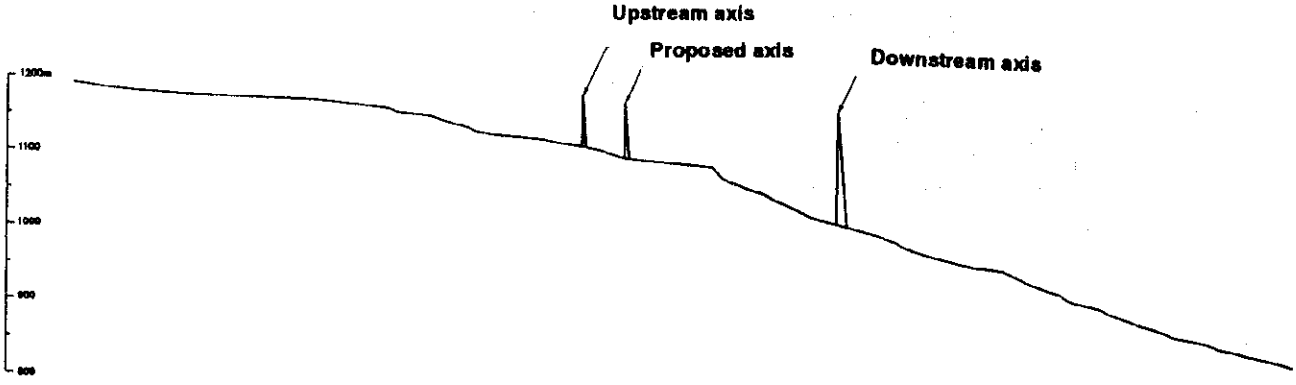
**Table 11.1 Salient Features of Punatsangchhu Project**

| Item | Unit | |
|---|---|---|
| Reservoir | | |
| HWL | ELm | 1,161.5 |
| LWL | ELm | 1,147.0 |
| Available drawdown hd | m | 14.5 |
| Sedimentation level SWL | ELm | 1,142.0 |
| Gross storage capacity Vg | $10^6m^3$ | 12.49 |
| Effective storage capcity Ve | $10^6m^3$ | 4.39 |
| Dam | | |
| Type | - | C.G |
| Crest length Bcrest | m | 265 |
| Dam height from river bed hdam | m | 81 |
| Dam height from foundation Hdam | m | 141 |
| Dam volume Vdam | $10^3m^3$ | 830 |
| Headrace | | |
| Type | - | circular/pressure |
| Inner diameter D(v=4m/s) | m | 7.4 |
| Tunnel length L | m | 7,023 , 6,959 |
| Penstock(main part) | | |
| Type | - | shaft |
| Inner diameter D(v=7m/s) | m | 5.6 |
| Penstock total length L | m | 1,037 |
| Power house | | |
| Type | - | underground |
| Number of unit | unit | 6 |
| Length of power house | m | 114 |
| Tailrace(main part) | | |
| Type | - | circular/pressure |
| Inner diameter D(v=4m/s) | m | 7.4 |
| Tunnel length L | m | 347 , 307 |
| Development plan | | |
| NWL | ELm | 1,154.3 |
| TWL | ELm | 845.0 |
| Gross head Hg | m | 309.3 |
| Effective head He | m | 286.3 |
| Loss of head hl | m | 23.0 |
| Peaking time Tp | hr | 4 |
| Maximum discharge Qmax | $m^3/s$ | 348 |
| Installed capacity Pmax | MW | 870 |
| Turbine type | - | Fransis |
| Firm peak output Pf | MW | 859 |
| Firm energy Ef | GWh | 1,268 |
| Secondary energy Es | GWh | 3,062 |
| Total energy Etotal | GWh | 4,330 |

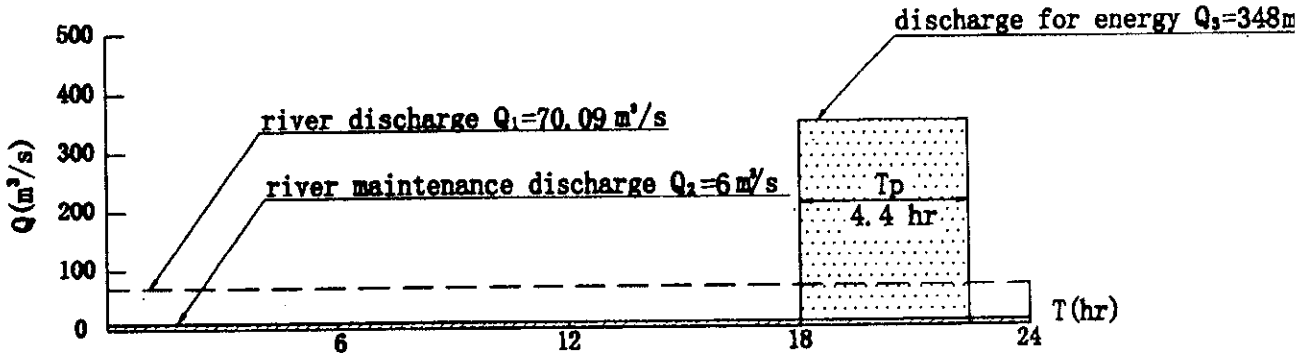
## Table 11.2 Comparison Table for Alternative Dam Axis

| | Unit | Upstream axis | Proposed axis | Downstream axis |
|---|---|---|---|---|
| HWL | Elm | 1,171 | 1,161 | 1,150 |
| NWL | Elm | 1,164 | 1,154 | 1,143 |
| LWL | Elm | 1,157 | 1,147 | 1,136 |
| Riverbed elevation | Elm | 1,110 | 1,096 | 1,010 |
| Effective reservoir capacity | $10^6 m^3$ | 4.2 | 4.2 | 2.6 |
| Dam height from foundation | m | 136 | 140 | 182 |
| Dam height from riverbed | m | 70 | 74 | 149 |
| Dam crest length | m | 400 | 260 | 270 |
| Dam concrete volume | $10^3 m^3$ | 1,350 | 924 | 1,622 |
| Evaluation | | × | ○ | × |

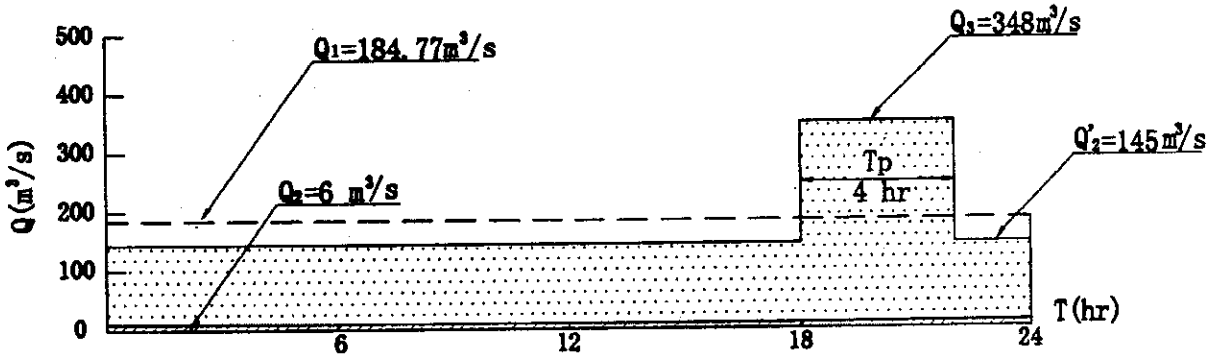


① Feb. 1st, 1999




② May 1st, 1999




③ Oct. 1st, 1999

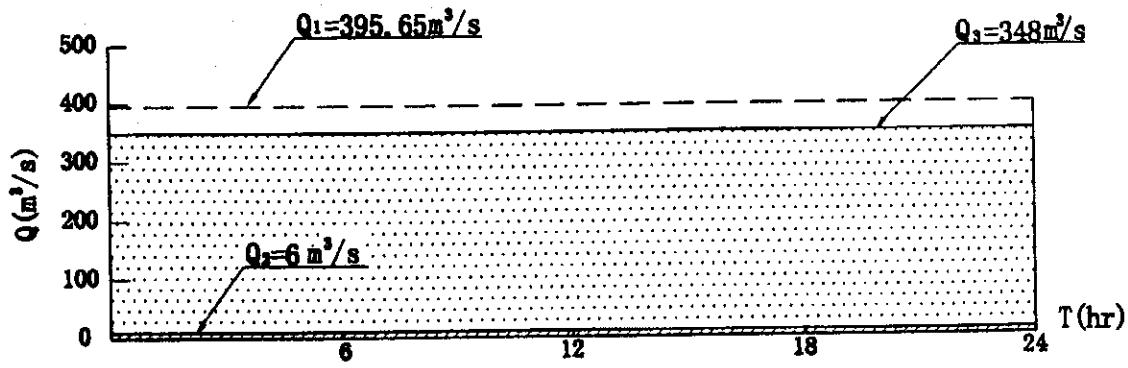



Fig. 11.1 Daily Operation Pattern of Punatsangchhu Power Plant

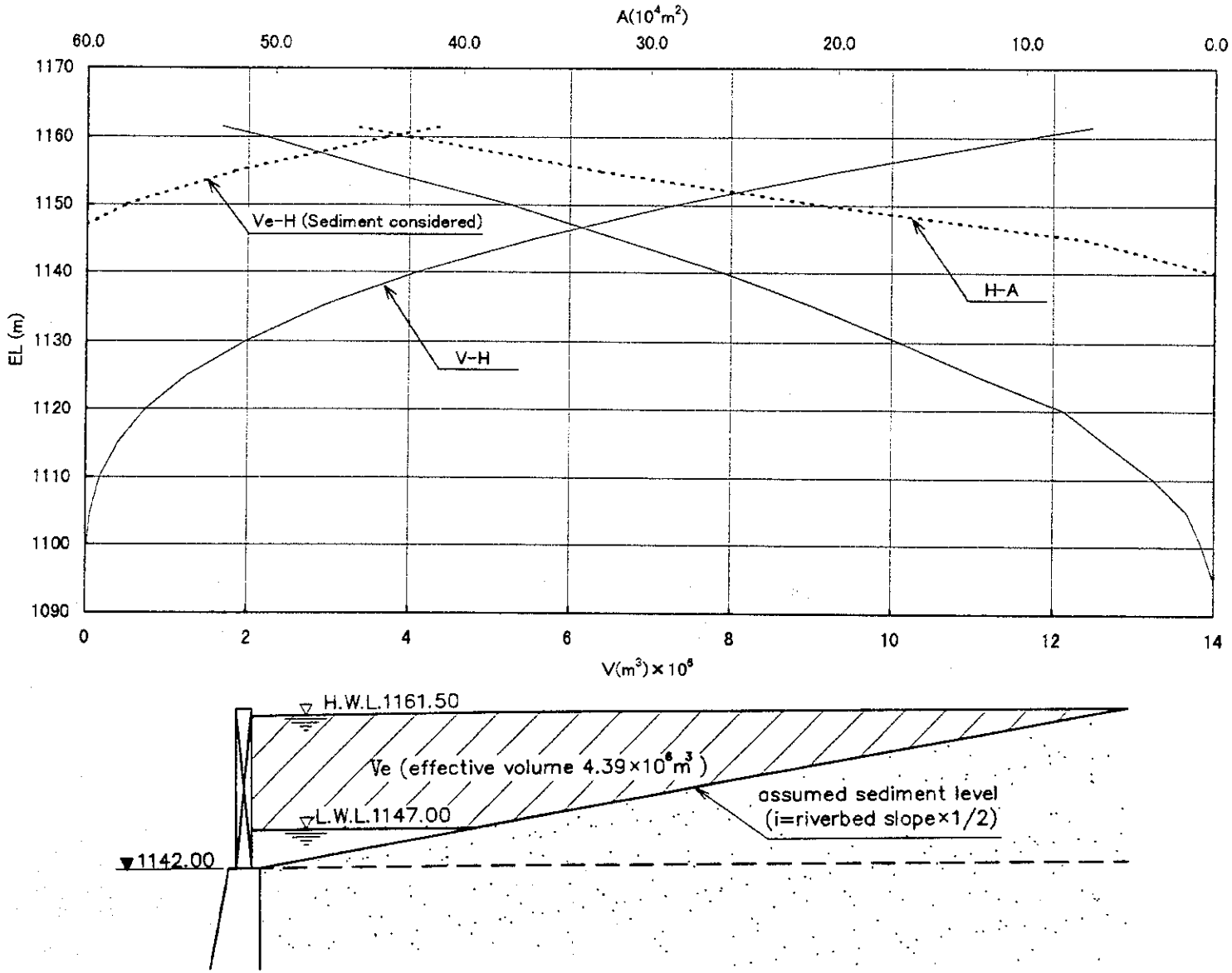



**Fig. 11.2 Area-Capacity Curve of Dam Reservoir**
**(Selected Dam Axis : Feasibility Design )**

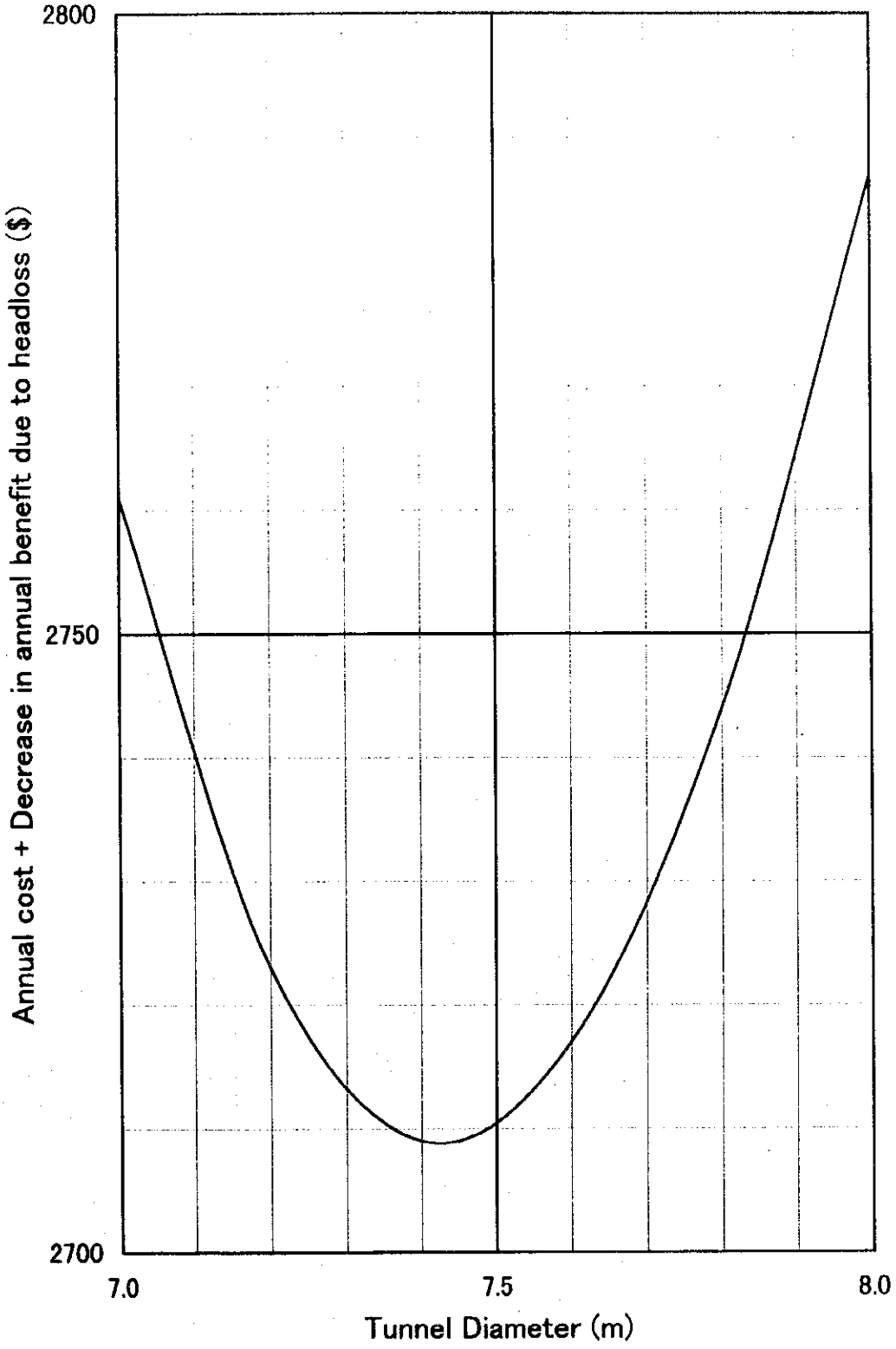
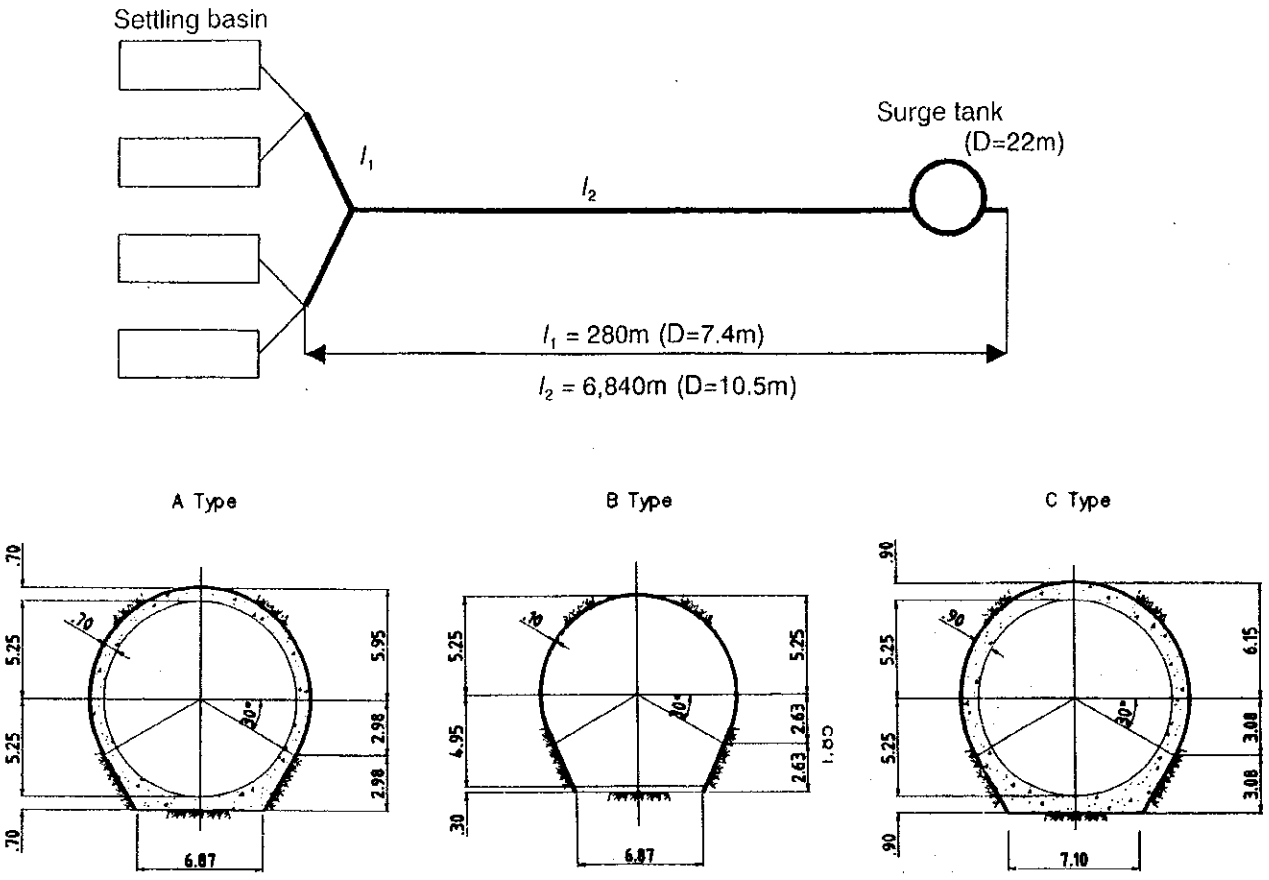



**Fig. 11.3 Optimum Diameter of Headrace Tunnel**




Single tunnel (D=7.4, 10.5m)

(1)Headrace tunnel

| Lining pattern | D=7.4m | D=10.5m | Total | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| A type | L= 118m | L= 2,856 m | L= 2,974m (42%) | Con.lining (t=70cm) |
| B type | L= 120m | L= 2,924 m | L= 3,044m (43%) | Shotcrete |
| C type | L= 42m | L= 1,020 m | L= 1,062m (15%) | Con.lining (t=90cm) |
| Total | L= 280m | L= 6,800 m | L= 7,080m | |

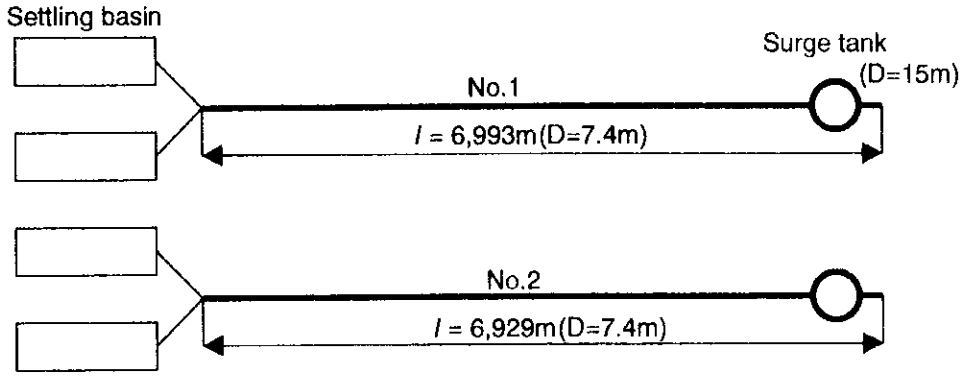
Toal construction cost (A type+B type+C type) 88,745,918 ( $ )

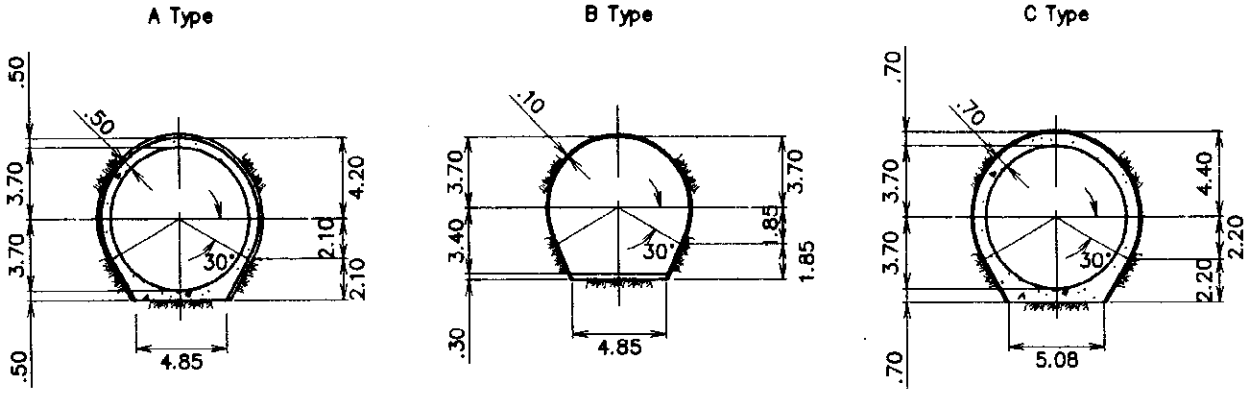
(2) Surge tank (D=22m x 1)

Toal construction cost (Surge tank) 5,684,670 ( $ )

(3) Headrace tunnel + Surge tank **94,430,588** ( $ )

**Fig.11.4 Comparison study of number of headrace tunnel (Single tunnel)**




Twin tunnel (D=7.4m)

(1)Headrace tunnel

| Lining pattern | No1 tunnel | No2 tunnel | Total | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| A type | L= 2,919 m | L= 2,894 m | L= 5,813 m (42%) | Con.lining (t=50cm) |
| B type | L= 2,988 m | L= 2,963 m | L= 5,951 m (43%) | Shotcrete |
| C type | L= 1,043 m | L= 1,033 m | L= 2,076 m (15%) | Con.lining (t=70cm) |
| Total | L= 6,950 m | L= 6,890 m | L= 13,840 m | |

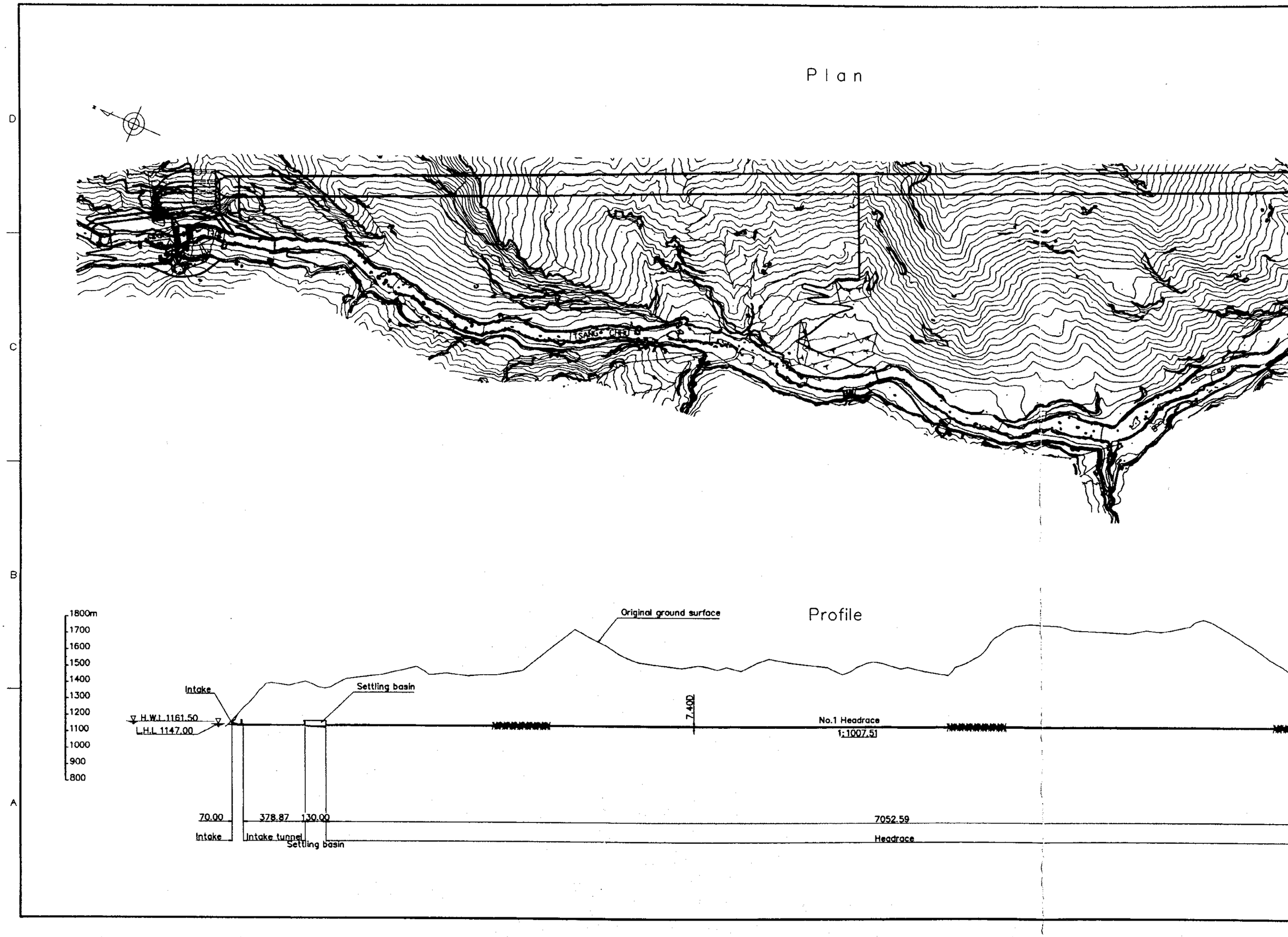
Toal construction cost (A type+B type+C type) 95,984,816 ($)

(2) Surge tank (D=15m × 2)

Total construction cost (Sure tank) 6,874,530 ($)

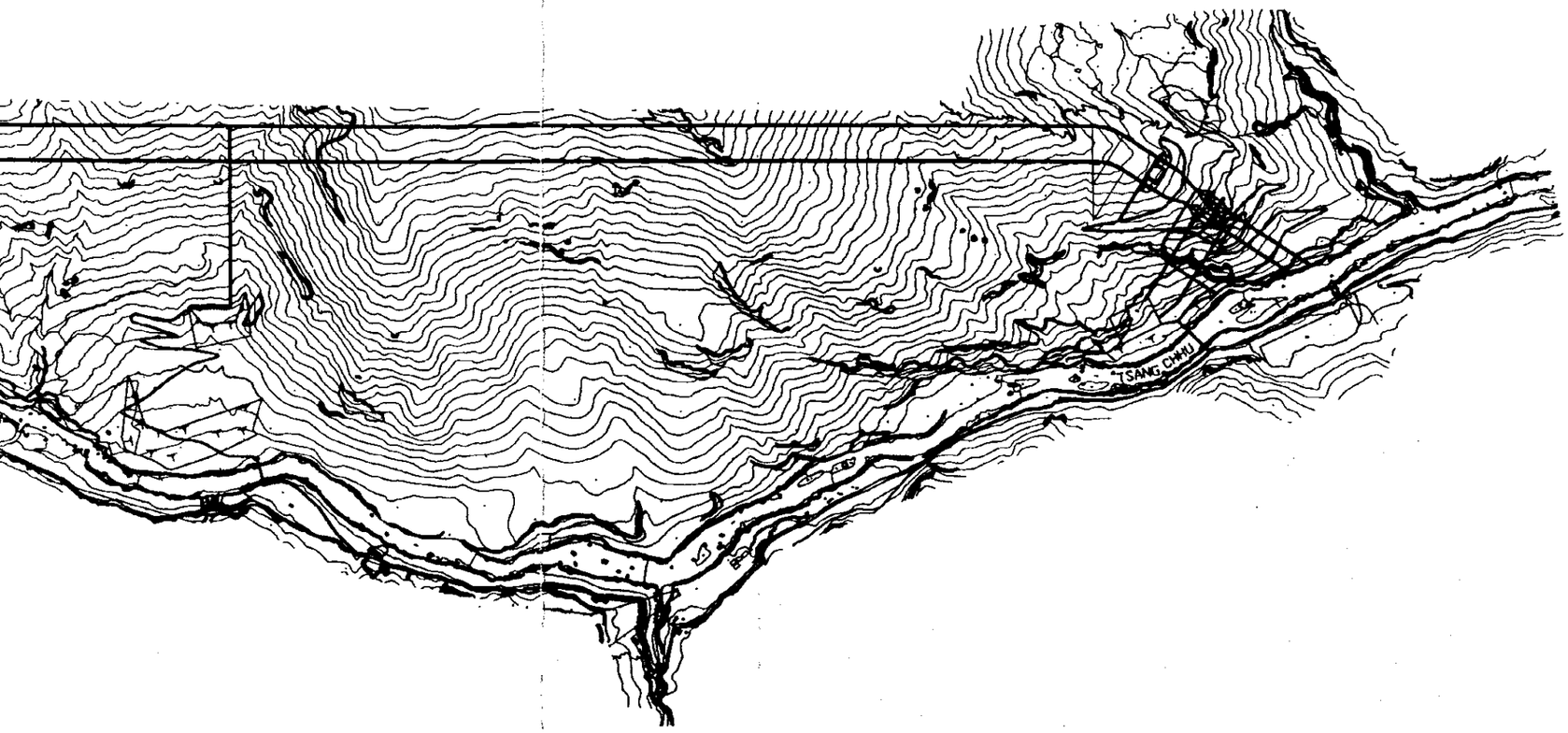
(3) Headrace tunnel + Surge tank **102,859,346 ($)**

**Fig.11.5 Comparison study of number of headrace tunnel (Twin tunnel)**

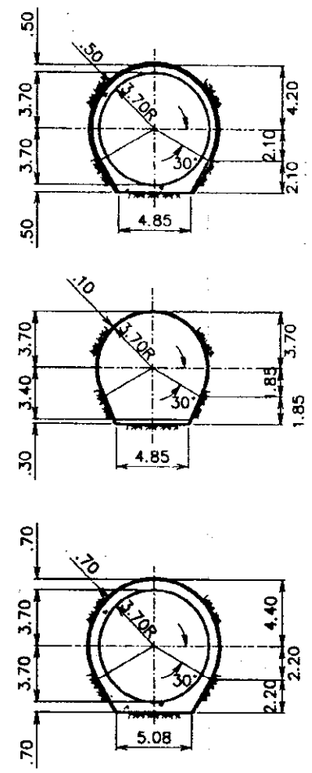

Plan
TSANG CHU
Profile
Original ground surface
1800m
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
Intake
Settling basin
H.W.L 1161.50
L.H.L 1147.00
7.400
No.1 Headrace
1:1007.51
70.00
378.87
130.00
7052.59
Intake
Intake tunnel
Settling basin
Headrace

A3

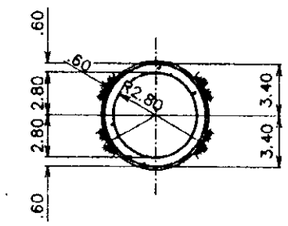
## Plan



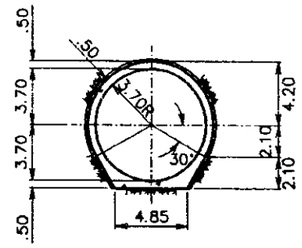

## Headrace



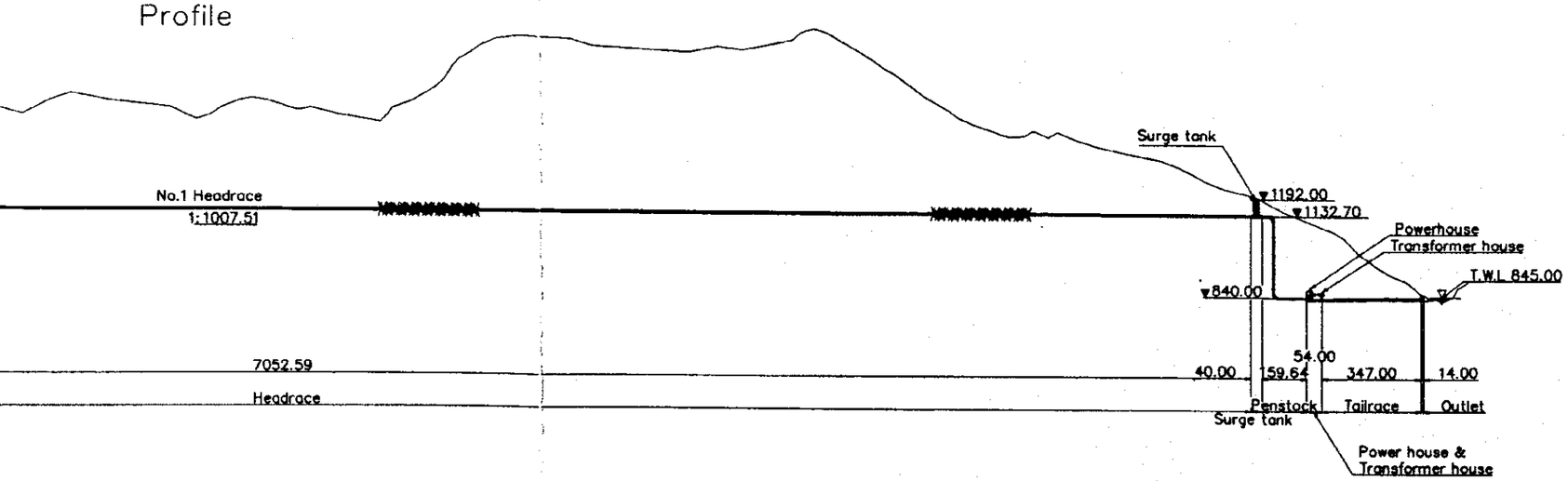

## Penstock



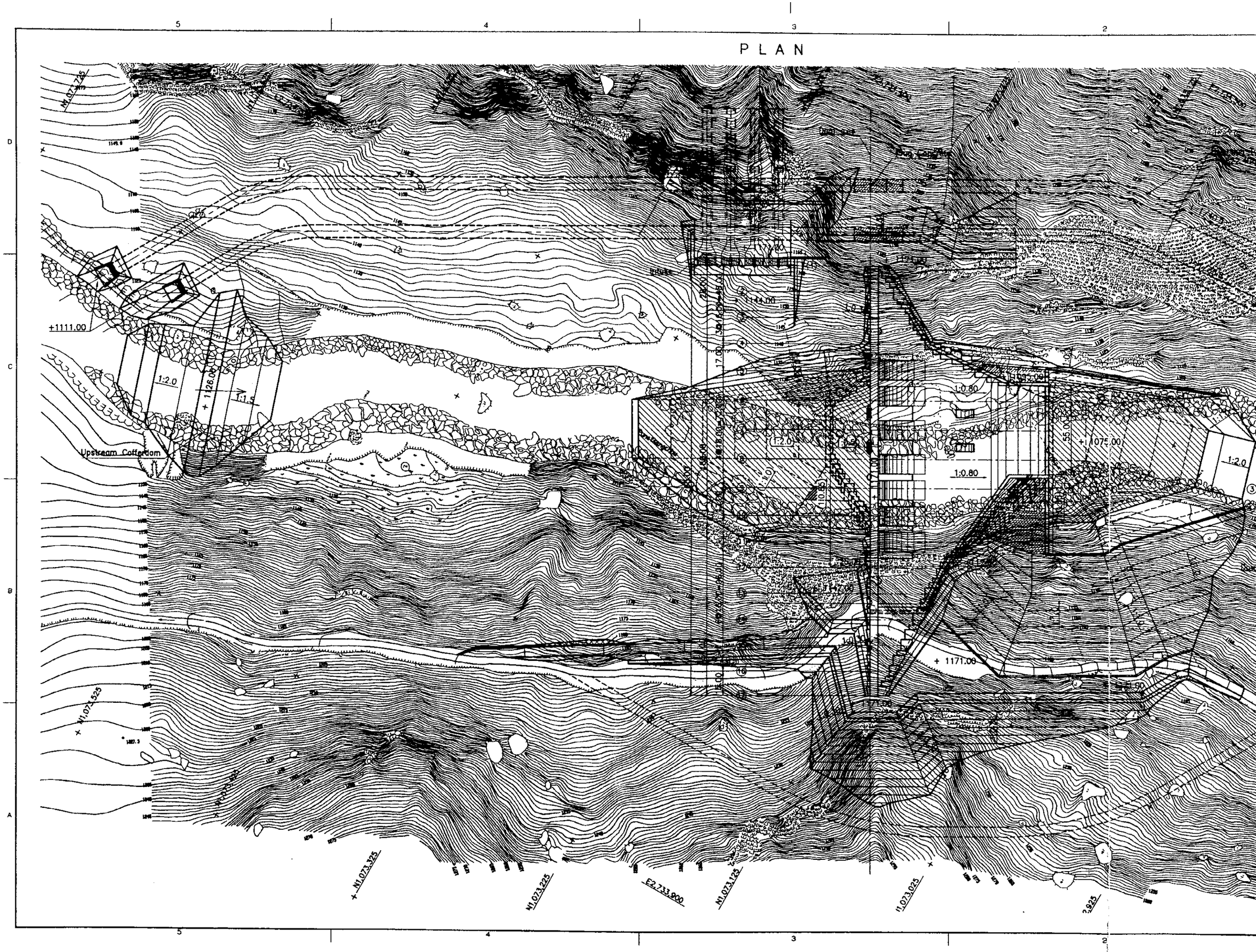

## Tailrace



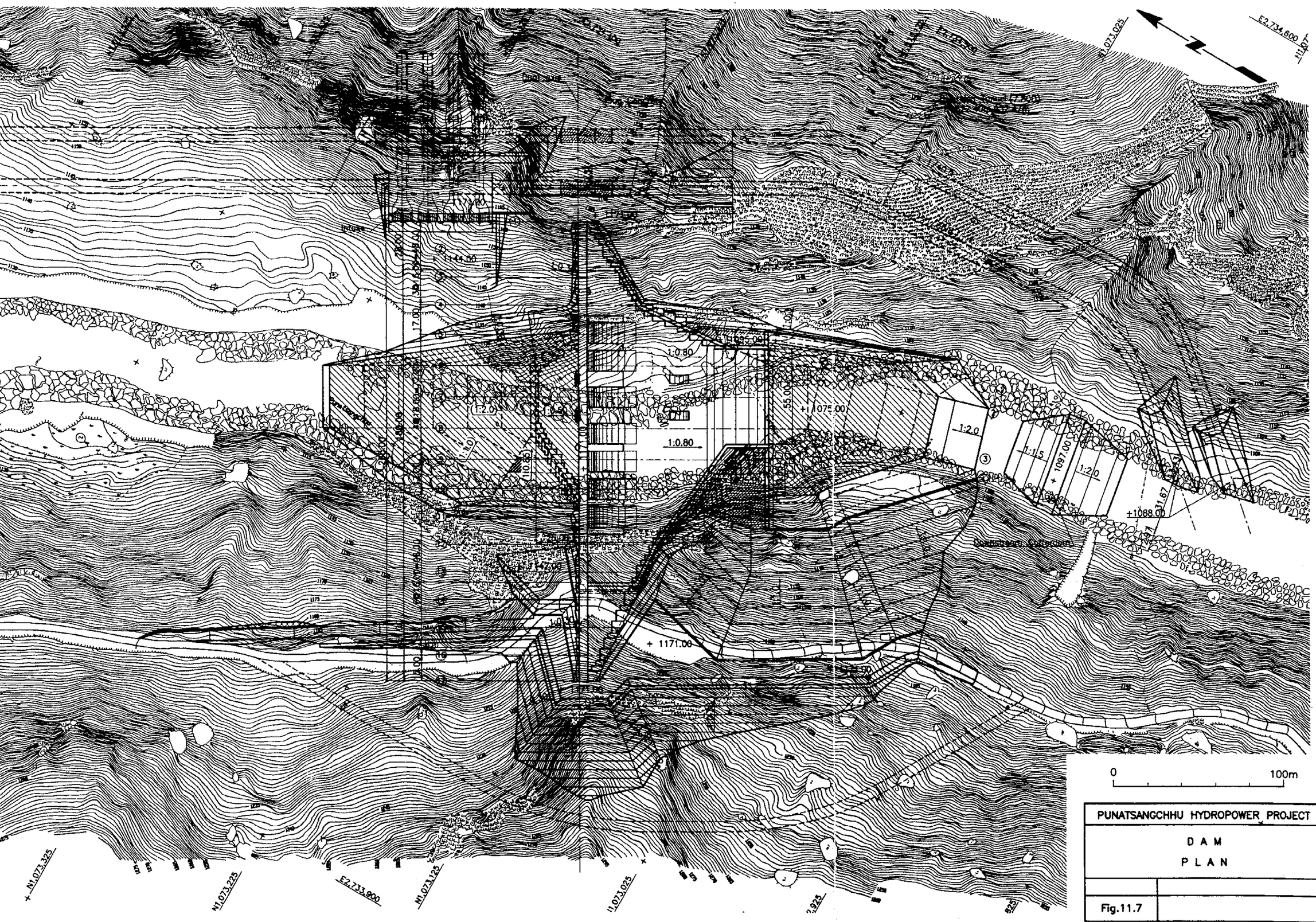

## Profile



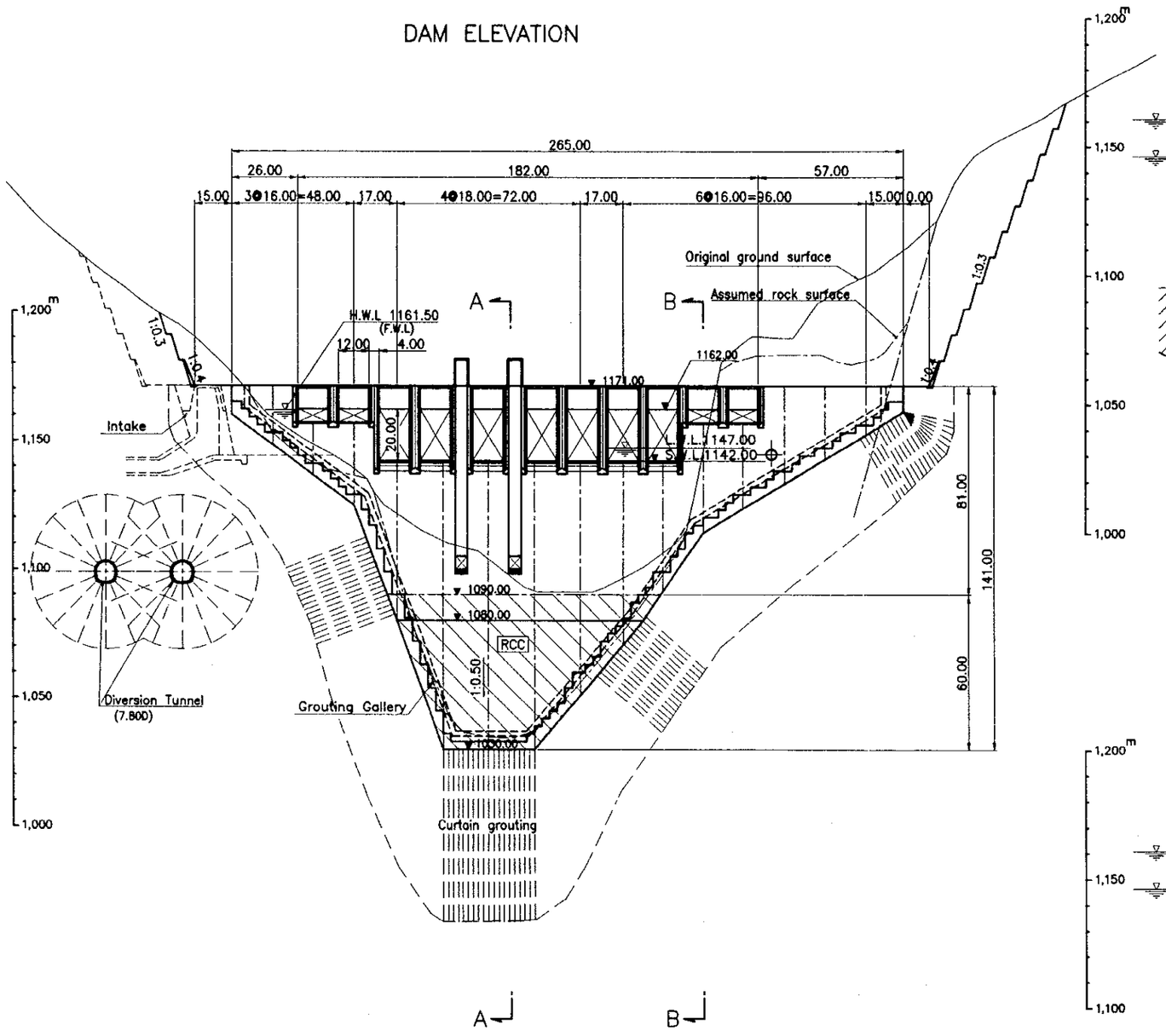

| | |
|---|---|
| PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT | |
| WATERWAY<br>GENERAL PLAN OF PROJECT | |
| Fig.11.6 | |

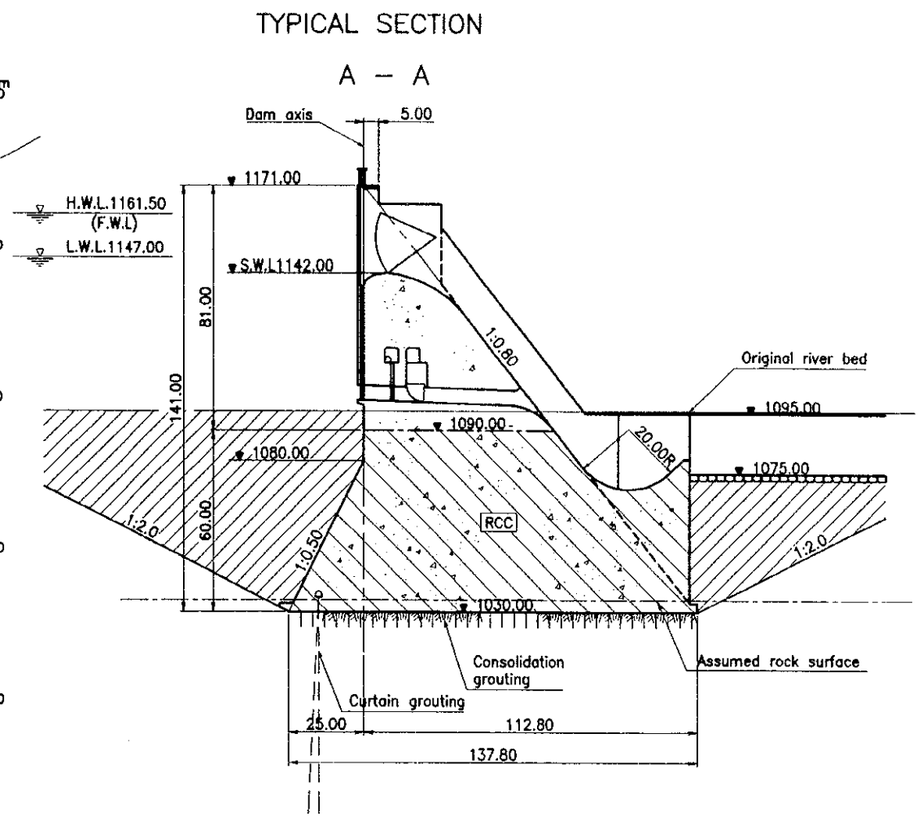

PLAN
Upstream Cofferdam
+1111.00
1:2.0
1:1.5
+ 1126.00
1:0.80
+ 1075.00
+ 1171.00
N1,073,325
N1,073,225
E2,733,900
N1,073,125
N1,073,025
N1,073,525

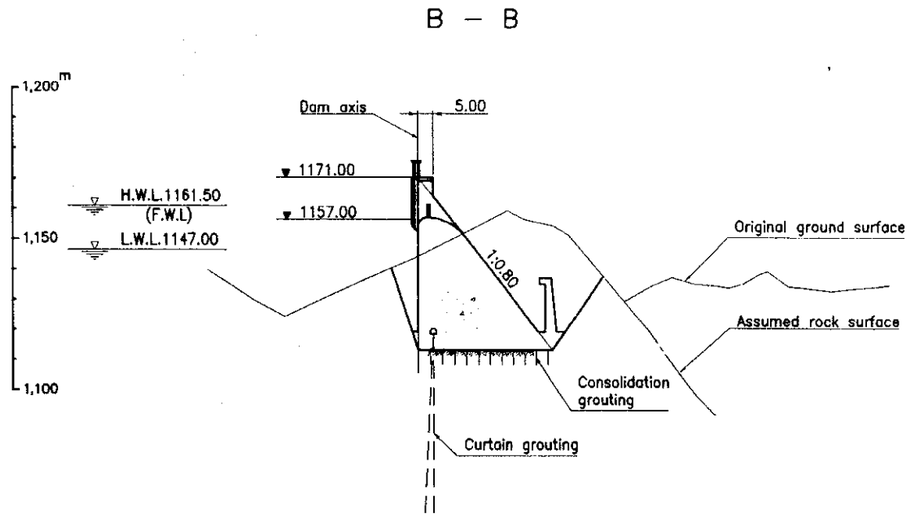
# PLAN




| PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT | |
|---|---|
| DAM<br>PLAN | |
| Fig.11.7 | |

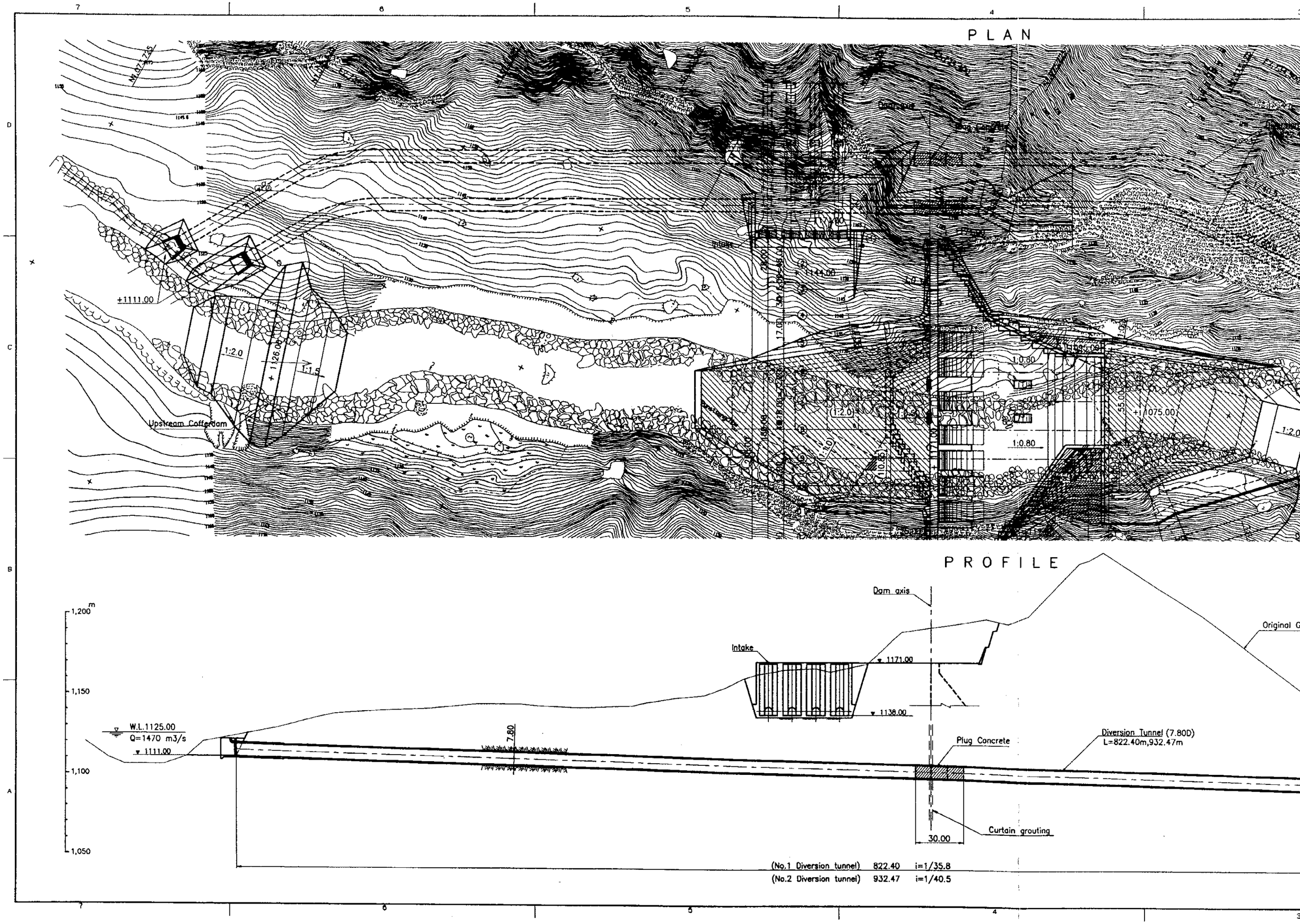


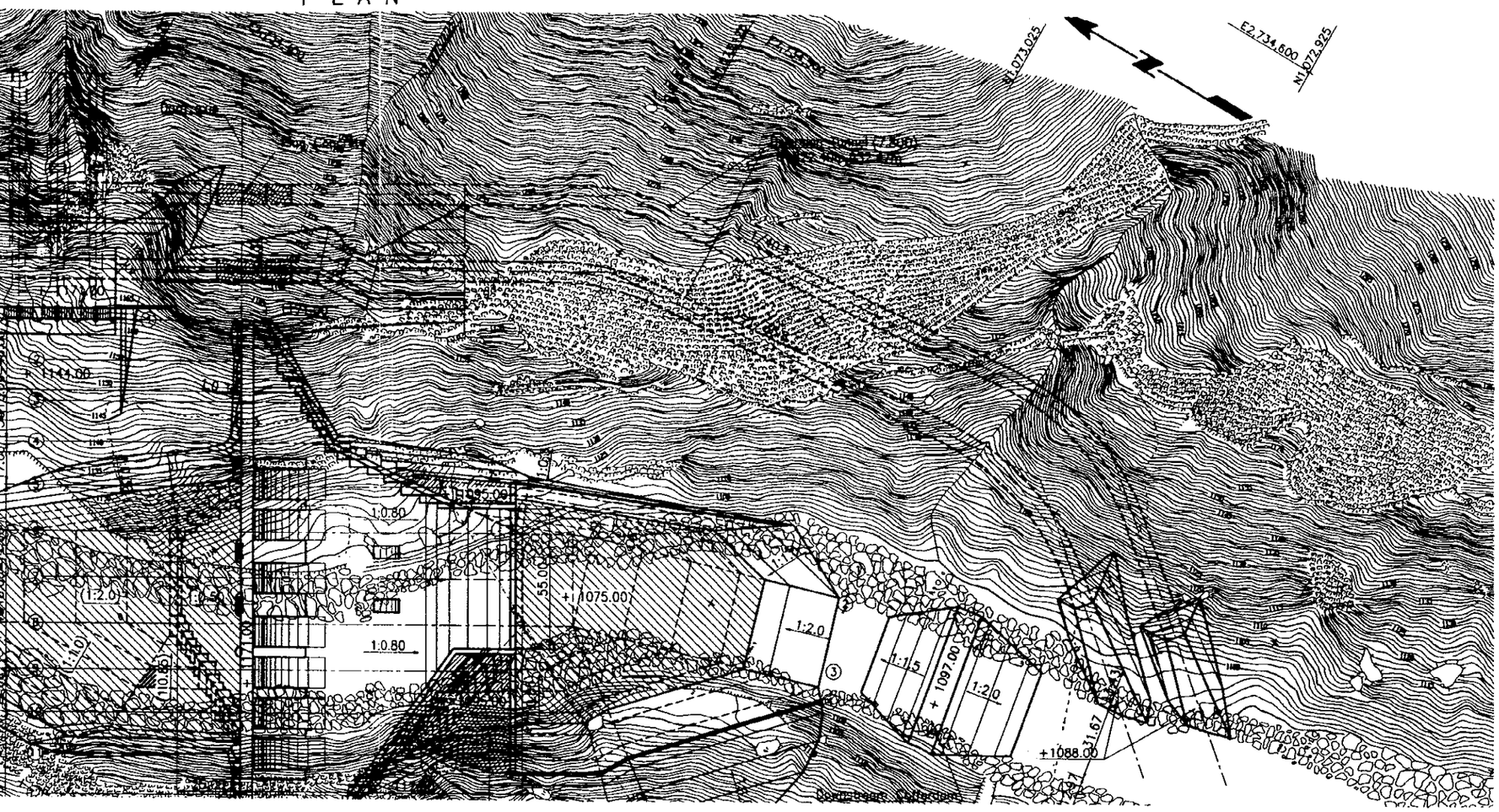




0 100m

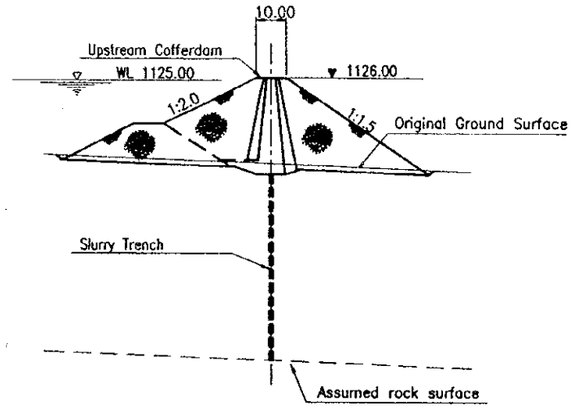
| PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT |
|---|
| D A M<br>ELEVATION AND SECTIONS |
| Fig.11.8 |


PLAN
+1111.00
1:2.0
1:1.5
+1126.00
Upstream Cofferdam
+1144.00
1:0.80
+1075.00
PROFILE
Dam axis
Intake
1171.00
1138.00
Original G
W.L.1125.00
Q=1470 m3/s
1111.00
7.80
Plug Concrete
Diversion Tunnel (7.80D)
L=822.40m,932.47m
Curtain grouting
30.00
1,200 m
1,150
1,100
1,050
(No.1 Diversion tunnel) 822.40 i=1/35.8
(No.2 Diversion tunnel) 932.47 i=1/40.5

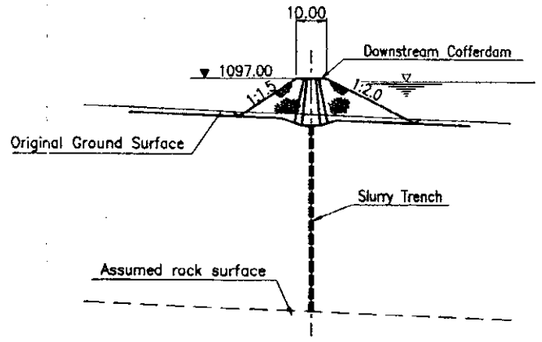
## PLAN



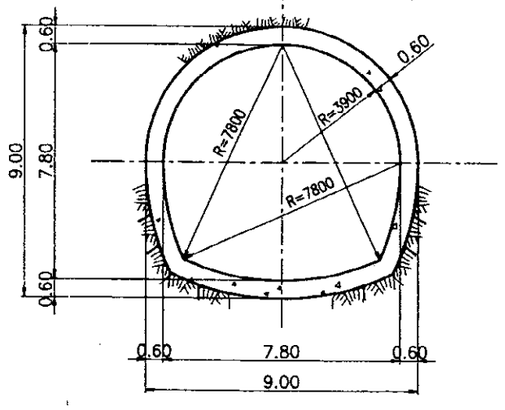

## UPSTREAM COFFERDAM



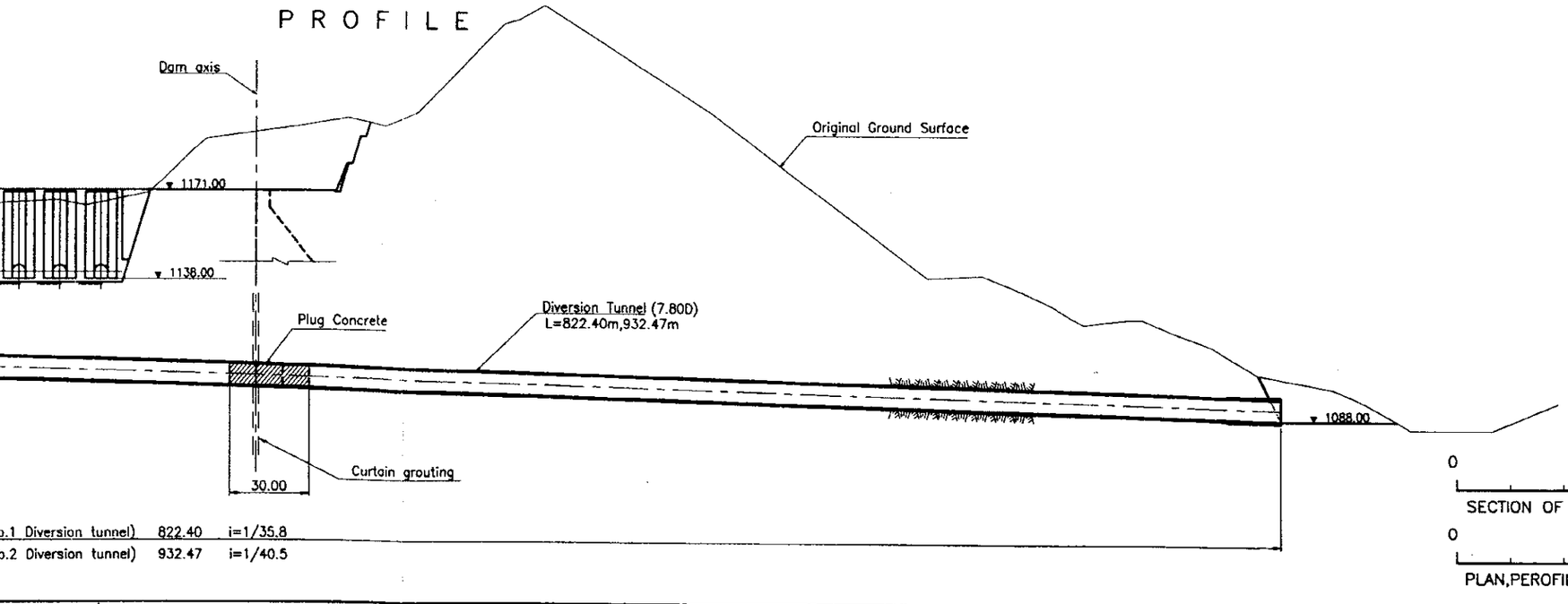

## DOWNSTREAM COFFERDAM




## SECTION OF DIVERSION TUNNEL




## PROFILE



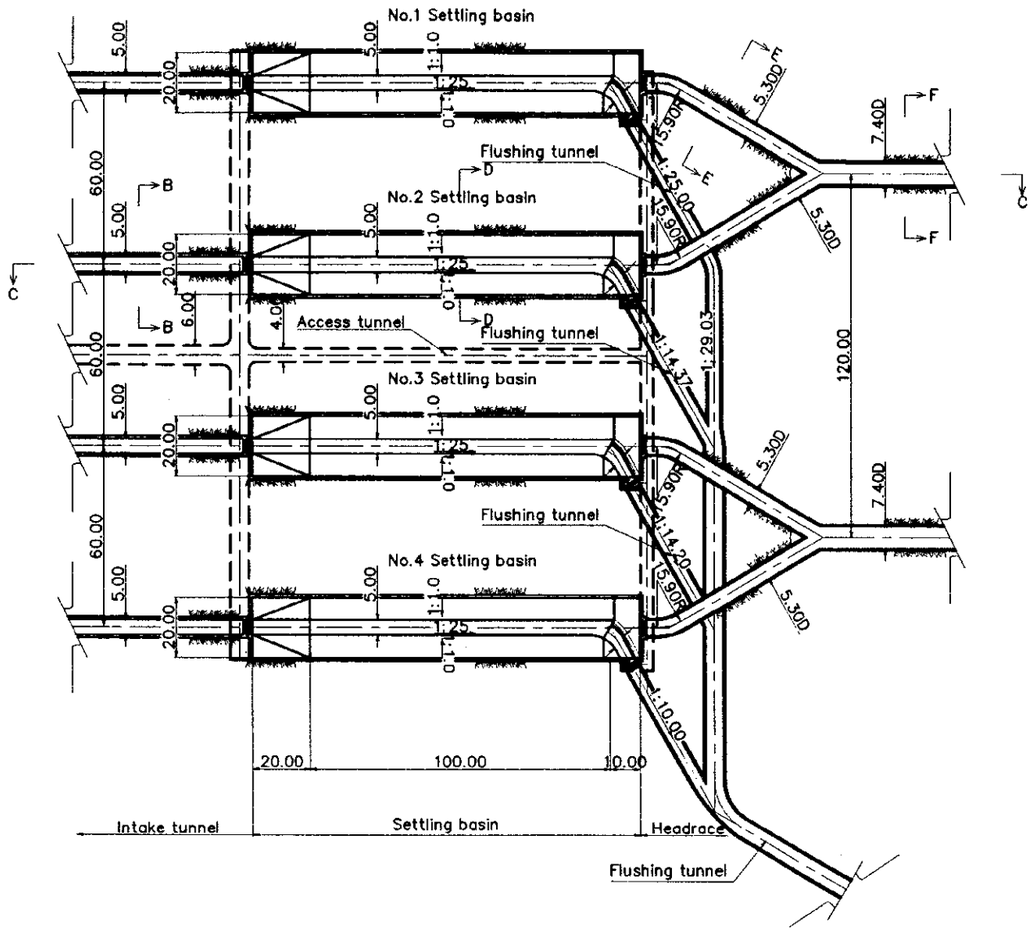

0 10m
SECTION OF DIVERSION TUNNEL

0 100m
PLAN,PEROFILE AND COFFERDAM

| | |
|---|---|
| PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT | |
| DIVERSION<br>PLAN AND SECTION | |
| | |
| Fig.11.9 | |

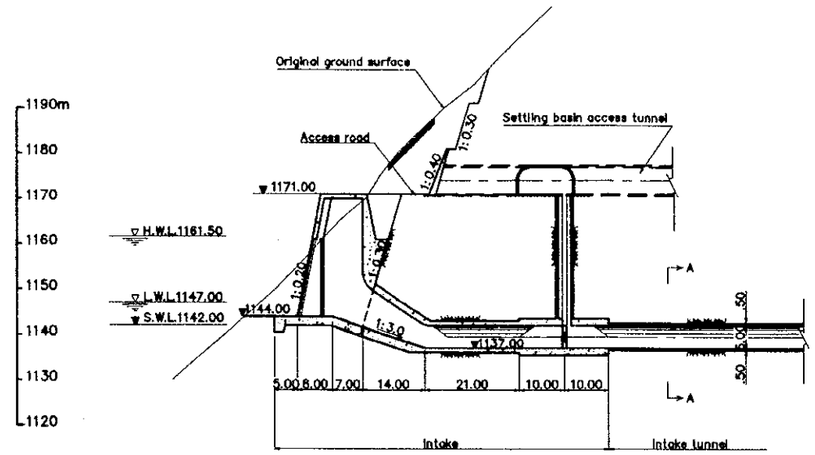
## Settling basin

### Plan

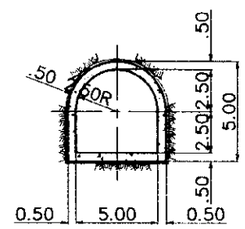



## Intake

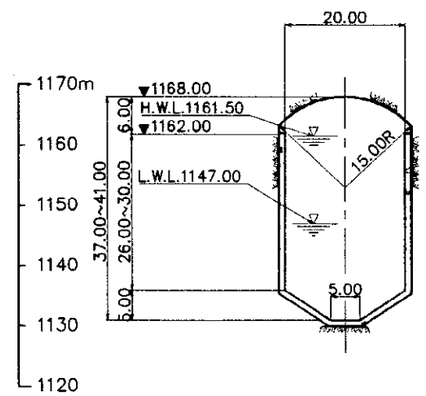
### Profile



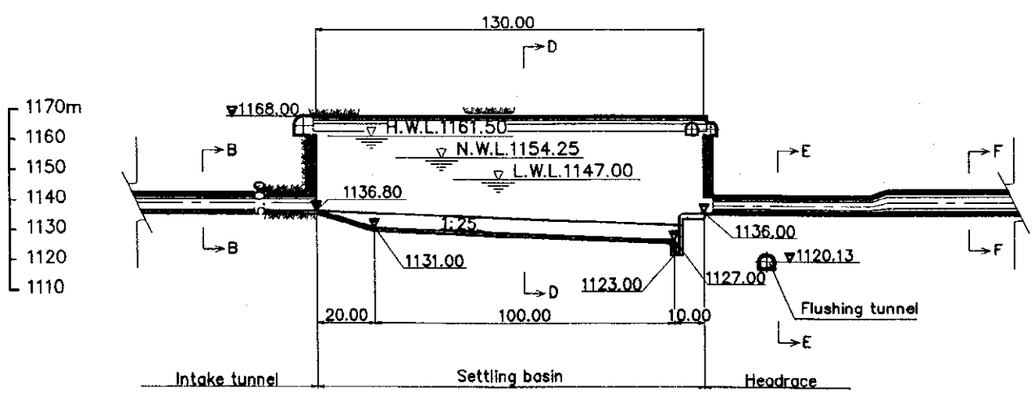

### A – A, B – B



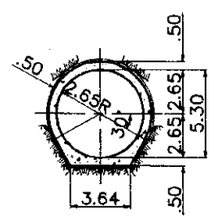

### D – D



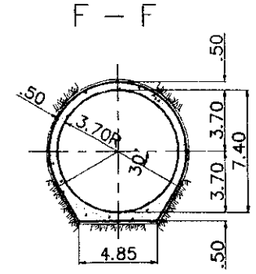

### C – C




### E – E



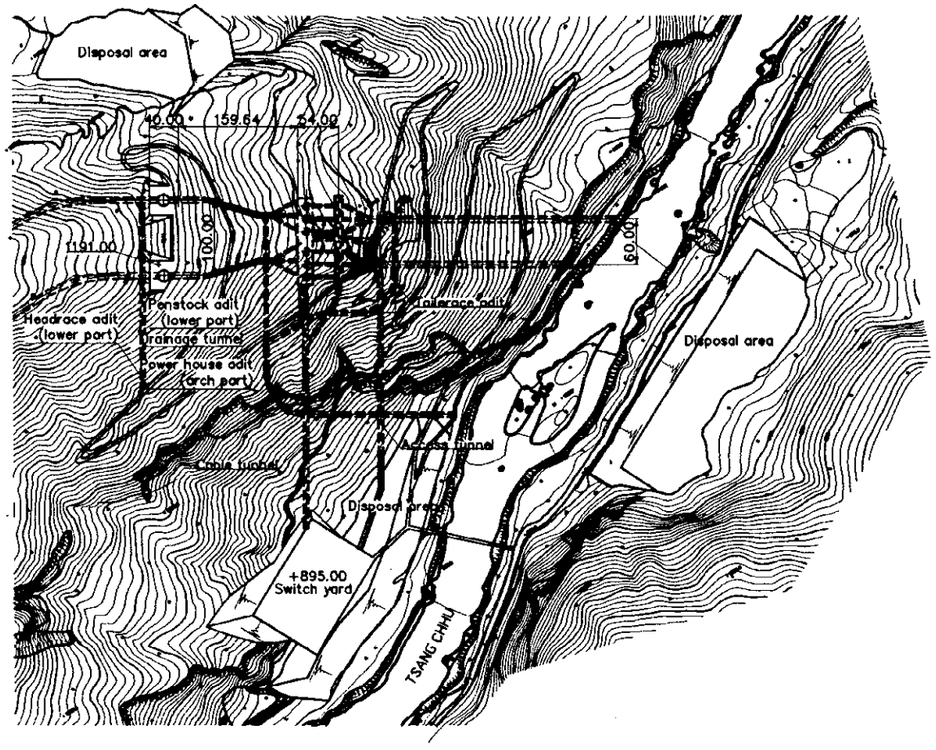

### F – F



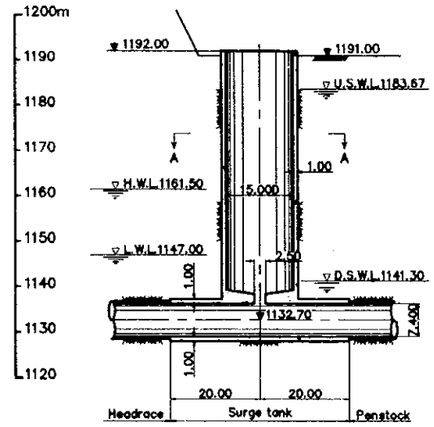

| | |
|---|---|
| PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT | |
| INTAKE AND SETTLING BASIN<br>PLAN,PROFILE AND SECTIONS | |
| Fig.11.10 | |

Surge tank

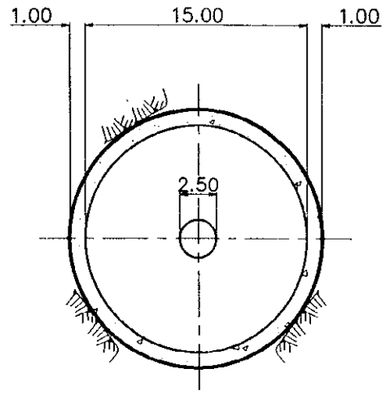
Plan



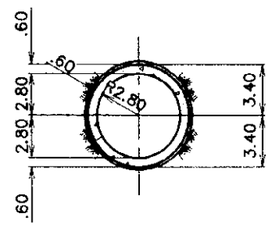

Profile



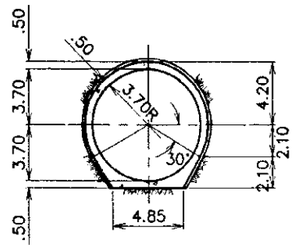

A–A



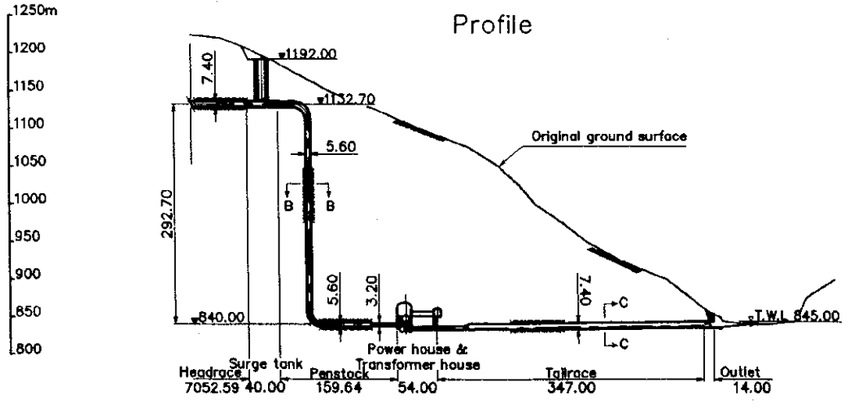

B–B



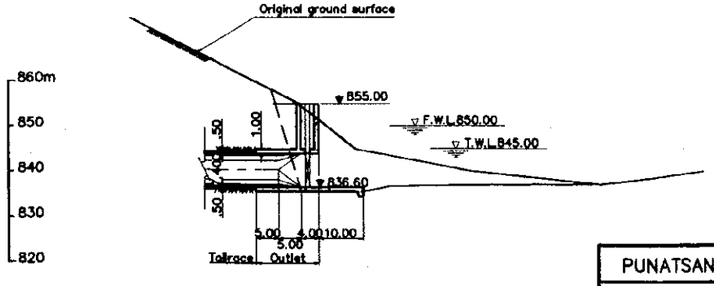

C–C



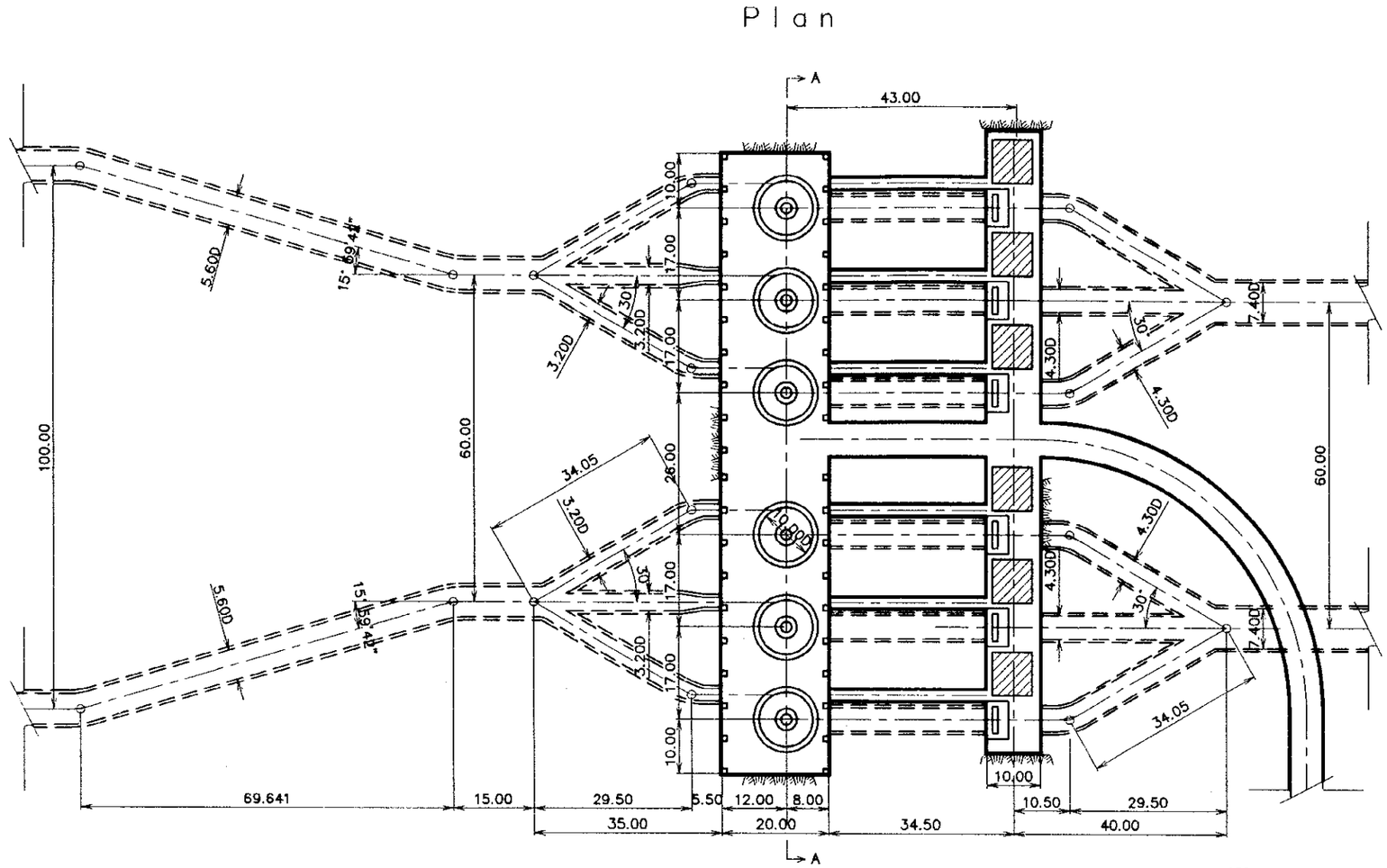

Profile



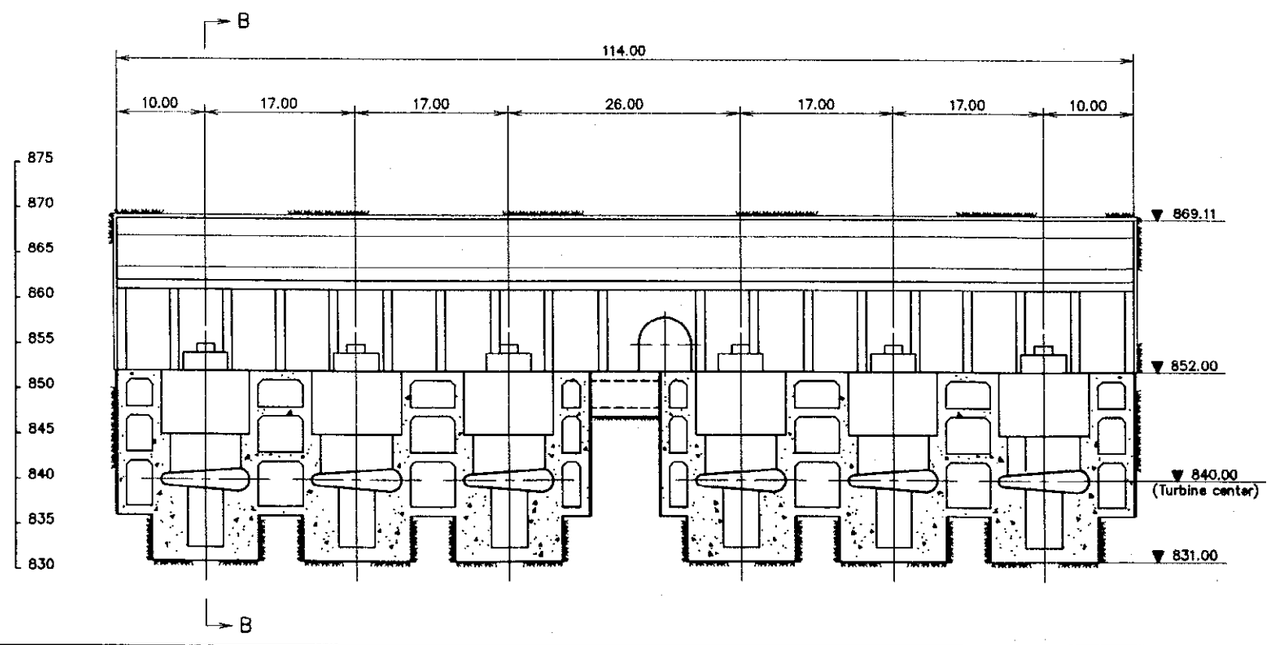

Outlet



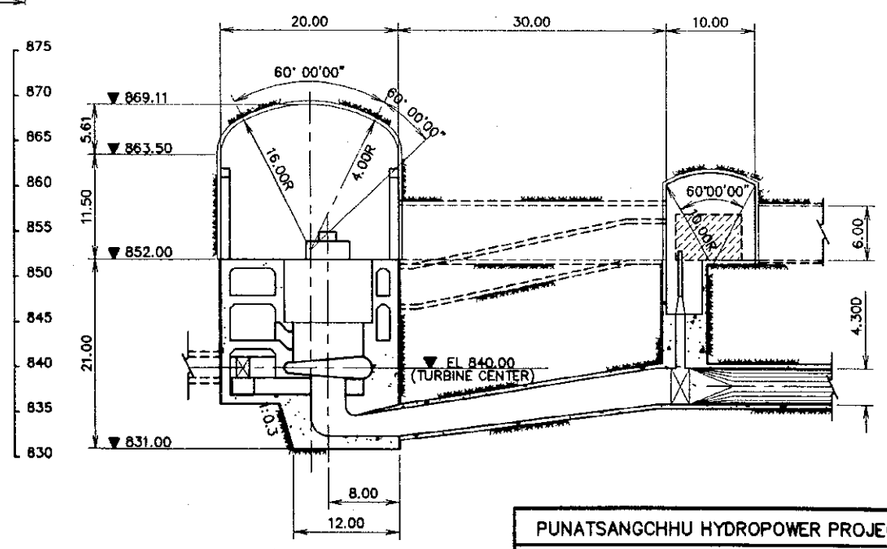

| | |
|---|---|
| PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT | |
| SURGE TANK, PENSTOCK AND TAILRACE PLAN, PROFILE AND SECTIONS | |
| | |
| Fig.11.11 | |
| | |




A – A



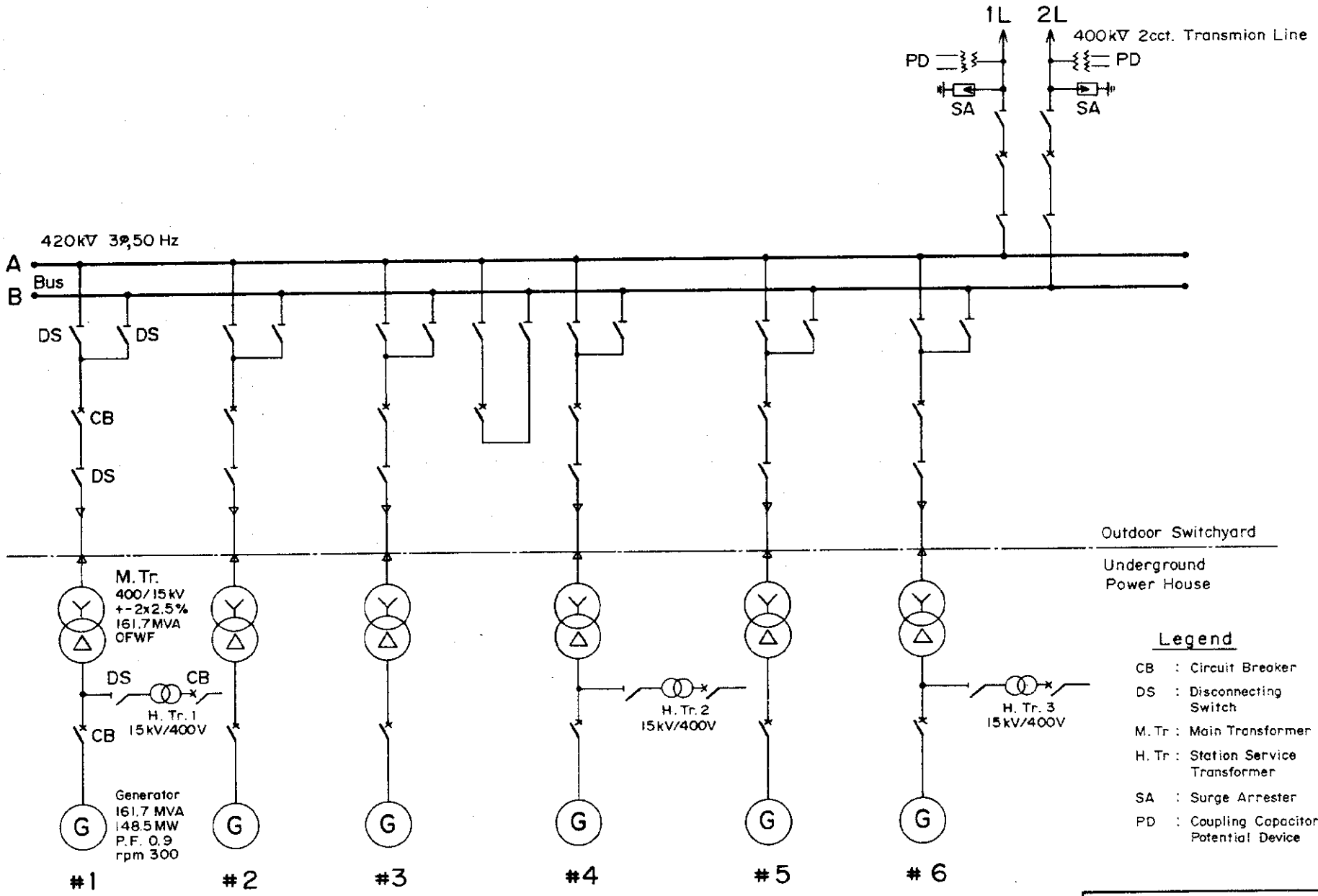

B – B



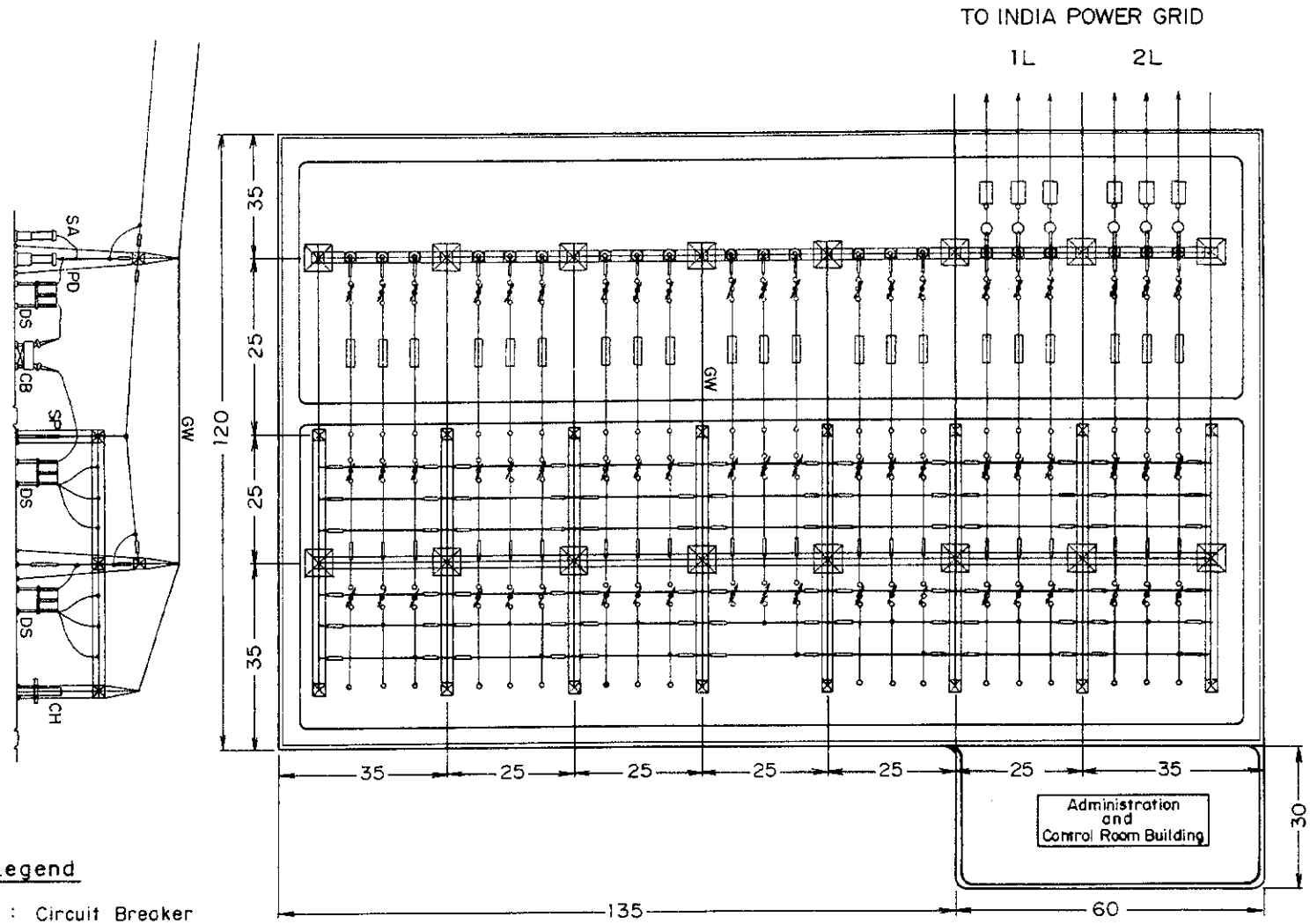

PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT

POWER HOUSE AND TRANSFORMER HOUSE
PLAN AND SECTIONS

Fig.11.12




FEASIBILITY STUDY
PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJEC
FIGURE 11.13
SINGLE LINE DIAGRAM




Legend

CB : Circuit Breaker

DS : Disconnecting Switch

SA : Surge Arrester

PO : Coupling Capacitor Potential Device

SP : Support Insulator

GW : Ground Wire

CH : Cable Head

FEASIBILITY STUDY

PUNATSANGCHHU HYDROPOWER PROJECT

FIGURE 11.14

SWITCHYARD GENERAL ARRANGEMENT

DATE

# 第12章　工事計画および工事費の積算

# 目　次

頁

第12章　工事計画および工事費の積算 ..... 12-1
12.1　一般 ..... 12-1
12.1.1　計画地点へのアクセス ..... 12-1
12.1.2　工事用電力 ..... 12-2
12.1.3　コンクリート用骨材 ..... 12-2
12.2　工事計画および工事工程 ..... 12-3
12.2.1　基本条件 ..... 12-3
12.2.2　工事計画および工事工程 ..... 12-5
12.3　工事費 ..... 12-9
12.3.1　基本条件 ..... 12-9
12.3.2　工事費の構成 ..... 12-10
12.3.3　プロジェクトの工事費 ..... 12-10
12.3.4　年度別所要資金 ..... 12-11

# 第12章　工事計画および工事費の積算

## 12.1　一般

### 12.1.1 計画地点へのアクセス

(1)　空港

Paro空港はブータン唯一の国際空港であり、直線距離で首都Thimphuの西約 20kmの位置にある。ParoからThimphuまでの距離は 55km，車で約1時間40分を要する。国内航空は無く飛行機による サイトへのアクセスは出来ない。

(2)　道路

Punatsangchhu水力発電計画地点はPunatsangchhu川沿いにあり，Wangdi Bridgeの南10 kmから20 kmの地点に位置している。首都Thimphuからサイト近傍の町Wangdue Phodrangまでの距離は70 kmで車を利用して約２時間を要し途中標高3,116 mの峠（Dochu La)を越える。道路の有効幅員は3.80 mで簡易舗装がなされている。

海外からブータンに輸入される発電機器、建設機械・材料等はインドのカルカッタで陸揚げされ、税関の検査後インド国内を経由してブータンの西南にある国境の町、Phuentsolingよりブータンに輸入される。

これらの機器および材料の輸送ルートは (1) Phuentsoling – Chhukha – Wangdue Phodrangルート（250 km）、(2) Phuentsoling – インド国内道路経由 – Geylegphug – Damphu ルート（380 km）がある。 上記 (2)のルートは輸送距離が長くかつ以下の理由により重量物の輸送ルートとして推奨できない。

1) ダム建設予定地の下流約65 km付近でPunasangchhu川に架かる吊り橋（L=80 m,許容荷重18 ton）の付け替えが必要である
2) Damphu付近の大規模崩落地を通過しなければならない
3) PhuentsolingからGeylegphugまでの道路は安全に注意払う必要のある国境付近を長時間通行する

発電機のローター，主変圧器等の重量物の輸送はPhuentsoling – Chhukha – Wangdue Phodrangルートが推奨される。1998年12月7日、8日、18日、19日にこのルートの現地調査を実施した。

PhuentsholingからWangdue Phodrangを経由してPunatsangchhuプロジェクト間の道路の状況をTable 12.6 に示した。

PhuentsholingよりChhukha間の道路には、Phuentsholingより 16－20 km地点に崩落の可能性がある地域がある。この地域は現在建設工事中のTala発電所（1,020 MW）工事で重量物輸送のため改良がなされるであろうが，Punatsangchhu発電所の建設にあたっても資材輸送を円滑に実施出来るよう十分な補修費を見積もって置く必要がある。

PhuentsolingからThimphuへの分岐点のSimtokha間には小規模なものを除き 9 箇所の橋梁がある、これらの橋の許容荷重は30 tonおよび70 tonである。一方Wangdi Bridgeより発電所予定地点間には 4 個の橋梁があり、それらの橋の許容荷重は18 tonおよび24 tonである。 輸送ルート内にある許容荷重70 ton以下の橋梁は重量物輸送にあたって補強工事を行わなければならない。この区間の主要橋梁のリストをTable 12.7に示した。

この区間の道路の標準断面は有効幅員3.8 mで道路の両側に70 cmの路肩が設けられている。重量物輸送にあたっては、次に示す道路の改良および改修工事が必要である。

- ヘアーピンカーブおよび急な曲がり部の改良
- 道路の拡幅および法面保護工事
- 擁壁の新設および改良工事
- オーバーハングした岩石の除去
- 橋梁および暗渠の補強工事

### 12.1.2 工事用電力

現在Punatsangchhu発電所予定地点付近では，Basochhu発電所工事（22 MW）の建設工事が施工中である。この発電所付近には66 kVのTransmission Lineが布設されており、現在工事中のBasochhu発電所は、この送電線を利用し11 kVに変電し工事用電力を供給している。このTransmission Lineは首都Thimphuに近いSimtokha SubstationよりPunakha のLobesa S/Sを経由してSite付近のHebesa S/Sまで連系されている。Punatsangchhu発電所建設に必要な工事用電力はこの送電線により容易に供給が可能である。

### 12.1.3 コンクリート用骨材

コンクリート用骨材は下記の地点から採取が可能である。

| | | |
|---|---|---|
| (1) | 粗・細骨材 | ダム建設予定地上流7 kmの河床 |
| (2) | 細骨材 | Wangdi Bridgeの上流約500 mの右岸側河床（約4 万$m^3$） |
| (3) | 細骨材 | Wangdi Bridgeの上流約4 kmの河床（約20－30 万$m^3$） |

細骨材の粒度はコンクリート骨材としてやや細かいがPunatsangchhu河床より採取が可能である。ダム地点の上流約7 km地点の河床からの骨材の採取は、骨材プラント設置前の建設工事初期の段階で使用する。

コンクリート骨材の必要量を河床より確保することが難しく導水路等のトンネル掘削ズリを利用する必要がある。このためサイト内に骨材プラントを設けなければならない。

## 12.2 工事計画および工事工程

### 12.2.1 基本条件

この計画で建設される主要構造物は、高さ141 mの重力式ダム、２条の内径7.40 mの導水路および地下発電所である。水路には、幅20 m、高さ39 m、長さ130 mの地下沈砂池４条が含まれている。これらの構造物を建設するための掘削量は合計約4,480,000 $m^3$,コンクリート量はダム本体が約830,000 $m^3$,その他の構造物が約460,000 $m^3$である。

プロジェクトの工事計画および工程に影響を及ぼす事項は次の通りである。

(1) 気象

計画地点の年平均気温は24℃、年最高および最低気温の平均はそれぞれ32.7℃および0.3℃である。また年平均雨量は635 mmで明かり部コンクリートの打設工程に大きな影響を及ぼす気象条件では無い。気温が下がる12月から2月間は夜間のコンクリートの打設制限を設けることで対応できる。

計画地域の上流約12 kmに位置するWandi気象観測所における気象の概要は次の通りである。

| | |
|---|---|
| 年平均気温 | 24.3℃ |
| 最高気温 | 33.9℃ (June 1992) |
| 最低気温 | -1.6℃ (December 1992) |
| 年平均雨量 | 635 mm |
| 年最大雨量 | 768 mm (1991) |
| 年最小雨量 | 553 mm (1993) |

Wandi気象観測所(EL.1180 m)の1991年から1997年までの７年間の月別気温および雨量データをTable 12.1, Fig. 12.1, Fig. 12.2に示す。

雨量データを基に算出した月別労働可能日数は6月から9月の間は22日、その他の月は25日である。（日曜日は休日とし、National Holidayは考慮せず）

(2) ダム地点河流処理設備の設計流量

ダム工事の施工のために２条の仮排水路トンネルを計画した。仮排水路の流水処理能力は５年確率洪水量を採用し1,470 $m^3$/secとした。

ダム地点における月別河川流量をTable 12.2および Fig. 12.3に示した。

(3) 輸送

国外から輸入される建設機械、資材、機器等はインドのカルカッタ港で陸揚げされサイトに輸送される。輸送ルートにはPhuentsholing経由と、Geylegphug経由の２ルートがあるが重量物の輸送にはPhuentsholing経由のルートが推奨される。現在国境の町、Phuentsholingから57 kmブータンに入った地点でタラ発電所の建設工事が進められている。Phuentsholingから計画地点までは約250kmあり途中3,000m級の峠を越えなければならない。この道路および橋梁は重量物輸送のための改修・補強が必要となる。

工事区域内を除き，ダムサイト・発電所地点までは国道でサイトへのアクセスができる。 ダム工事に伴いダム右岸を通過している国道の付け替えが必要となる。 導水路、発電所などの主要構造物はPunatsangchhu川左岸に設けられており、国道からこれらの地点へのアクセス道路および橋梁の新設が必要となる。

(4) 建設資材

セメントはブータン国内に工場があり入手は可能であるが短期間に大量のセメントが必要となるため国内および国外の双方から調達する。鉄筋、鋼材等の建設資材は国外調達となる。コンクリート用骨材はその大半をトンネル等の地下掘削ズリを骨材プラントで破砕し製造する。建設初期には近傍の河床堆積物を採取しコンクリート骨材に使用する。骨材製造プラントはダム下流右岸側に350 ton/hrおよび発電所近傍に60 ton/hrの製造能力を持つ設備を計画した。コンクリート製造設備は、導水路トンネル坑口付近およびそれぞれの骨材プラントに隣接して設けられる。

(5) 工事用電力

工事用電力はサイト近傍に66kV送電線が通過しており容易に受電が可能である。工事用電力は33 kV送電線によりダムサイト、導水路中間作業坑、調圧水槽、発電所などの建設地域に供給される。

### 12.2.2 工事計画および工事工程

上記基本条件および工事数量を基に、施工計画および工事工程を立案した。本プロジェクトの工事工程のクリティカルパスはダムの建設工事である。プロジェクトの工事工程をFig. 12.4およびAppendixのFig. A.12.1およびA.12.2に示した。

このプロジェクトで建設される構造物は次の通りである。

| | |
|---|---|
| 仮排水路トンネル | 内径：7.80 m、2条 |
| ダム | コンクリート重力式、高さ：141 m |
| 取水口 | 内径：5.00 m、上部半円下部矩形型、4条 |
| 沈砂池 | 地下式、幅：20 m、高さ：39 m、長さ：130 m、4条 |
| 導水路トンネル | 円形、内径：7.40 m、2条、長さ：7,023 m (No.1), 6,959 m (No.2) |
| 調圧水槽 | 制水孔式、内径：15.00 m、高さ：54.60 m |
| 水圧管路 | 地下埋設式、2条、1条の長さ：439.56 m、内径：7.40 m～3.20 m |
| 発電所 | 地下式、幅：20 m、高さ：38.11 m、長さ：140 m |
| 搬入路トンネル | 上部半円下部矩形型、内径：6.00 m、長さ：476.43 m |
| ケーブルトンネル | 上部半円下部矩形型、内径：4.00 m、長さ：341.28 m |
| ドラフトトンネル | 6条、長さ：30.00 m |
| 変圧器室 | 地下式、幅：10 m、高さ：7.34 m、長さ：114 m |
| 放水路トンネル | 内径：7.40 m、長さ：346.54 m (No.1), 306.54 m (No.2) |
| 放水口 | 2門、7.40 m x 7.40 m |

(1) 準備工事

準備工事には、本工事の施工に必要な、各工事箇所へのアクセス道路の新設、既設道路の改良、工事用電力供給設備、事務所、キャンプ等の建設工事である。準備工事の内既設道路の改修、工事用電力供給設備、工事管理を行なうために必要な事務所、キャンプ等の設備は、主要土木工事の請負負託前に別契約で工事に着手し完成しておく必要がある。請負業者が実施する事務所宿泊設備等は、この準備工事には含まれない。

(2) ダム

1) ダム掘削

ダムの掘削工事は、ダム右岸の国道の付け替え工事完了後の着手する。本格的に掘削工事を実施するのは仮排水路トンネルが完成し、Punatsangchhuの河流が切り替えられた後となる。地質調査結果によれば右岸側の地質は厚い堆積土砂(Colluvium)に覆われており、緩み領域も広くまた河床部には約60 mの堆積物があり約230万$m^3$の掘削が必要で、1ヶ月当たり約15万$m^3$の土砂を処理して約15ヶ月以上の工期が必要となる。ダム基礎の掘削は、ベンチカット方式を採用し、クローラー・ドリルを用い2.5～5 mのベンチで掘削する。ダムコンクリートの着岩部は

ピックハンマーで整形する。

2) ダムコンクリートの打設

ダムコンクリートの量は約83 万$m^3$である。ダムコンクリートの施工期間を短くするため、EL.1090 m以下の河床部分（高さ60 m）はRCC工法により施工する。EL. 1,090mより上部は巻き上げ容量20トンのタワークレーン２基により打設する。ダム下流右岸に180 $m^3$/hrのバッチャー・プラントを設け、ダムコンクリートを打設する。ダムコンクリートは３年目の初めより開始し２年５ヶ月を要し５年目の中頃に完了する。５年目の乾季には仮排水路の閉塞を開始し、ダムの提内放流設備に流水を切り替える。

(3) 取水口

ダム左岸に取水口が４門設けられ、内径５mの取水トンネルによりそれぞれの沈砂池に接続されている。取水口の工事は２年目当初に開始し、５年目初期に完了する。工事中は、沈砂池工事のサービス通路として利用できる。

(4) 地下沈砂池

取水口の下流約300 mに、幅20 m、高さ39 m、長さ130 mの沈砂池が4条設けられる。この沈砂池へのアクセストンネルが取水口上部のEL.1,171 mより取り付けられており、このトンネルを利用し沈砂池アーチ部の掘削を実施する。沈砂池の掘削量は１条当たり約10万4千$m^3$でありこれを約18ヶ月で掘削する。掘削工法はベンチカット工法を採用した。壁面はロックボルト、コンクリート吹き付けにより壁面を補強しながら切り下がる。掘削ズリはアクセストンネル土砂吐きトンネルおよび導水路作業坑より搬出する。掘削終了後、壁面はコンクリートを打設し補強する。

(5) 導水路トンネル

導水路トンネルは２条で長さはそれぞれ7,023 mおよび6,959 mである。導水路建設のための作業坑を上流、中流、下流の３個所に設けられた。１切り羽当りの掘削受け持ち長さはおおよそ1,900 mである。掘削工法は３ブームジャンボによる全断面掘削で計画した。１ヵ月当りの平均掘削進行は150 mで計画し掘削に約１年を要する。地質条件の悪いところには巻立コンクリートを行ない、良好な個所は吹き付けコンクリートで支持する。巻立コンクリートの１ヶ月当りの進行は 120 mと見積った。巻立コンクリートの完了後、コンソリデーション・グラウトを実施する。

導水路トンネル工事は、着工後２年目より開始しトンネル充水の２ヶ月前迄に工事を完了させる。

(6) 調圧水槽

導水路トンネル下流作業坑より調圧水槽下部トンネル部の掘削を行なう。下部トンネル完了後、水槽立坑掘削のためのズリ出し用の立坑をレイズ・クライマーにより開始する。調圧水槽上部への取り付け道路完了後、明かり掘削を行ない水槽の立坑掘削に着手する。立坑部は捨巻コンクリート、吹き付けコンクリートにより壁面を補強しながら切り下がる。掘削ズリはズリ出し立坑により水槽下部で処理する。調圧水槽の工事は、3年目に開始し、5年目の終わりに完了となる。

(7) 水圧管路

水圧管路は上部水平部、立て坑、下部水平部で構成されており、水圧管路は下部水平部で分岐管により3条にそれぞれ分岐される。水圧管路の上部水平部は導水路下流作業坑よりアクセスし、立坑部（長さ286 m）は、調圧水槽立坑下流60 mのEL.1160 m地点に作業用立坑を設け掘削、鉄管搬入およびコンクリートの打設を行う。

掘削

水圧管路の立坑部のボーリングよる地質調査結果によれば、EL.1000 mより上部に断層およびシェアー・ゾーンの存在が確認されている。このためレイズ・ボーラーによるズリ出しシャフトの建設はズリ出しシャフト崩壊の恐れがあり採用出来ない。

水圧管路の立て坑部の掘削工法は、EL.1,000 mより上部についてはEL1,160 mに設けた巻き上げ設備により、全断面掘削で上部から下部に向かって側壁を補強しながら掘り下がる。掘削ズリは巻き上げて処理する。EL.1000 mより下部の立坑は下部水平坑よりレイズ・クライマーにより掘削導坑を切り上がり、より下部に向かって切拡げを行う。

鉄管の据付

水圧鉄管の仮工場を調圧水槽東側に計画される土捨場に設け、立坑部の鉄管はEL.1160 mに設けた巻き上げ設備により立坑内に搬入され据付られる。鉄管周辺は詰め込みコンクリートで固定する。分岐管および下部水平部の鉄管は、下段作業坑を利用し搬入し据え付けを行う。1号水圧管路の工事は3年目初めに開始し，約24ヶ月を要し5年目の当初に完了する。

(8) 地下発電所

ケーブルトンネルから作業坑を発電所上部に接続し、地下空洞掘削を開始する。空洞アーチ部の掘削部完了後，直ちにアーチ部は吹き付けコンクリートとロックボルトにより補強される。

発電所の掘削は，ベンチカット方式により行われ，発電所の壁面は，ロックボルト，吹き付けコンクリート等で補強される。発電所掘削が底部まで到達した後、仮設クレー

ンにより資材を搬入し、側壁のコンクリートの打設を開始する。組み立て室部のクレーンガーダーの完成後、組み立て室においてOHTクレーンの組み立てが開始される。側壁コンクリートおよびクレーン・ガーダーが完成後、水車・発電機の据付が開始される。1号機の水車の据え付けは工事開始後42ヶ月目に据付を開始し、62ヶ月目に営業運転が開始される。

(9) 変圧器室

発電所の下流側に平行して幅10 m長さ114 mの変圧器室が設けられ、6台の主変圧器およびドラフト・ゲートが設置される。変圧器室の掘削はケーブルトンネルより天井アーチ部の掘削を開始し、搬入路より掘削ズリを搬出する。

(10) 放水路

水圧管路下部作業坑より放水路に作業坑を取り付け、放水路トンネルの掘削を行う。放水路トンネルの内径は7.4 mで長さは347 m（1号）、および307 m（2号）である。放水路は放水口ゲート据え付け完了時まで放水口側にロックプラグを設け発電所への流水の侵入を防止する。放水路トンネル工事は2年目に開始し、5年目に完了する。

(11) 水車および発電機

1号機のドラフトチューブの据え付けは、42ヶ月目に開始される。水車および発電機の据え付けは、OHTクレーンを用い58ヶ月目に完成し62ヶ月目に1号発電機の営業運転が開始される。1号発電機の営業運転開始後、2ヶ月間隔で残りの発電機の発電がそれぞれ開始される。最終の6号発電機の営業運転は土木工事着手後72ヶ月目となる。

(12) 400 k V送電線

計画の400 kV送電線2回線、延長140 km（ブータン：80 km、インド：60 km）の送電線の建設は2年目に開始され、4年目始めに完成する。

## 12.3 工事費

工事費は、計画地点の気象、地質、地域条件および工事規模を考慮し、下記の基本条件のもとに積算した。

### 12.3.1 基本条件

プロジェクトの工事費は，プロジェクト建設に必要な資金の算出および経済評価のために算出した。

(1) 工事費の単価を構成する労務費、機械費、材料費の積算時点は2000年の7月である。通貨の換算レートは次の通りである。

- 積算時点： 2000年 7 月
- 換算レート： 1 US$＝44.682 Ngultrum.
  ＝105.900 Yen

(2) 管理費および技術経費は直接費のそれぞれ2 %および8 %と見積もった。
(3) 予備費は外貨・内貨についてそれぞれの費用の10 %を見積もった。
(4) すべての費用は，内貨，外貨に分けて算出し，USドルで示した。
(5) 工事単価と工事費にはそれぞれの国で必要な税金を含み，輸入材料および機械に対するブータンにおける税金，輸入関税等は含まれていない。
(6) 工事費には物価上昇による費用および建設工事中の利子は含まれていない。

ここに見積もったプロジェクトの費用は、将来プロジェクトの実施機関がプロジェクトを実施する場合に必要な資金と同じではない。プロジェクト実施機関が支払うべき費用は、ここで見積もったプロジェクトの費用の他に、物価上昇による費用および建設中の利子を考慮しなければならない。その他ブータン国内で必要な税金および請負業者が外国から建設機械，資材を輸入する場合に必要な関税等が必要となる。

これらの追加費用はプロジェクトを評価する場合の経済評価の原則により、プロジェクトの建設工事費に含めてはならない。

### 12.3.2 工事費の構成

工事費は以下の積算項目で構成されている。

| | |
|---|---|
| ー 準備工事費： | 既設道路の改修、宿舎設備、事務所、取り付け道路、工事用電力設備 |
| ー 土木工事費： | |
| 河流処理 | 仮排水トンネルおよび上・下流締め切り |
| ダ　ム | ダム本体、洪水吐き |
| 水　路 | 取水口、沈砂池、導水路トンネル、調圧水槽、水圧管路、放水路トンネル、放水口 |
| 発電所 | 発電所主機室、変圧器室、開閉所、付属トンネル |
| ー 水力機器： | ゲート、水圧鉄管など |
| ー 電気機械設備： | 水車、発電・電動機、補機、変圧器 |
| ー 送電線： | 400 kV 2回線 延長140 km（ブータン国内：80 km、インド国内：60 km）の送電線 |
| ー 技術費： | 詳細設計費、 施工管理費 |
| ー 管理費： | 工事に係わる計画、調整、管理運営費など |
| ー 関税： | 関税は計上していない |
| ー 土地取得費、補償費： | 発電所建設に必要な土地の取得費および補償費 |
| ー 数量に対する予備費： | 工事費に対し10 %計上した |
| ー 物価上昇に対する予備費： | 考慮していない |
| ー 建設中の利子： | 考慮していない |

直接工事費は、土木工事費、水力機器、電気機器および送電線の建設費で構成され、プロジェクトの工事費は、直接工事費の合計、技術費、管理費、土地の取得費、補償費および予備費で構成される。

### 12.3.3 プロジェクトの工事費

上記12.3.1および12.3.2で設定した条件で積算した建設工事費（Construction Cost）は土木工事費および水力機器，電気機械設備，送電線の工事費の合計で構成される。

プロジェクトの工事費は建設工事費の合計，技術および管理費，土地取得費，補償費および数量に対する予備費で構成される。

プロジェクトの工事費は次のとおりである。

工事費：　　US$ 812,892,000.-

工事費の内訳をTable 12.3に示した。Table 12.5は直接工事費の詳細内訳である。

### 12.3.4 年度別所要資金

プロジェクトの年度別所要資金をTable 12.4およびAppendixのTable A.12.3に示した。

第１および第2年度の所要資金の中には請負業者に支払う前渡金が含まれている。前渡金の額は、請負金額の10%と想定した。第７年度の所要資金は、請負業者への保留金の解除である（10%）。