

8.3. 土木構造物

8.3.1. 概 要

このプロジェクトは貯水池式発電タイプである。有効落差および使用水量は、ダムによって造成された人工池から得られる。プロジェクトの主要土木構造物の一覧を Table 8.1-1 に示す。ダムサイトの概略配置図を Fig.8.3-1 に示す。

土木構造物は、ダムサイトⅢについて予備設計レベルで設計した。このプロジェクトでは、65m の高さのロックフィルダムを建設する。左岸側に 250 m³ の最大使用水量を取り込む取水口を、ダムのり尻に発電所を建設し、長さ約 360 m の 2 本の導水路トンネルによってこれらの構造物を連絡する。

主要土木構造物の設計内容を、以下に示す。

8.3.2. ダ ム

ダムサイトの川幅は約 75m であり、河床勾配は、約 1 : 1,000 である。左岸側には 2 つの尾根があり、山側は比較的厚い尾根で、川側はやせ尾根である。右岸地山は、ダムアバットメントのための十分な高さを持つている。斜面勾配は、左岸斜面が 20 度未満で緩く、右岸斜面が約 35 度と急である。河流は、ダム軸近くで屈曲する。

左岸地山は、表土が深く、その最大深さは 30m である。その結果、補助ダムが、左岸側で必要になり、主ダムと一体化する。経済性の検討により、最適常時満水位を決定するため、常時満水位を標高 75m~85m の間で変動させたところ、最適常時満水位は標高 85m となった。設計洪水水位 (FWL) は標高 88m である。この値は、常時満水位を初期値として最大洪水流量 (PMF) を用いて洪水解析により求めた。更に、越流を回避し、ダムの安全を図るため、設計洪水水位 (FWL) に対して 2m の余裕をくわえ、ダム堤頂高を標高 90m とした。全体のダム堤頂長は、約 720m である。

ダム形式は、本ダムと鞍部ダム共に、センターコアを有するゾーン型ロックフィルダムが望ましい。このロックフィルダムは高さ 65m になり、岩盤等級区分上 D 分類の岩盤上に建設する。推定掘削線を、Fig.8.3-3 に示す。他の形式として、表面遮水

式ロックフィルダム (CFRD) が考えられるが、堅岩をスラブ基礎に要求するので、ロックフィルダムと比べて兩岸のアバットメント部に余分に深さ 10 ~ 20m の掘削が必要となる。したがって、表面遮水式ロックフィルダムは建設コスト増になるので採用すべきでない。また、重力ダム、および、アーチダムは、軟弱基礎には建設することができないので採用は不可である。

ダム標準断面は、Fig.8.3-2 に示すような一般的なゾーン型である。ダムは、岩、コア、および、フィルタの盛立部から成る。ダム盛立体積は、総計 $3,138 \times 10^3 \text{m}^3$ で、ロック材 $2,118 \times 10^3 \text{m}^3$ 、フィルター材 $640 \times 10^3 \text{m}^3$ 、コア材 $380 \times 10^3 \text{m}^3$ となる。コア盛立部の基礎は、堅岩を要するが、他の材料の基礎は堅岩基礎を特に必要とはしない。

ダム法面勾配は、設計震度を考慮して、上流側 1:2.5、下流側 1:1.9 で建設する。また、ダム堤頂は幅 10m である。

8.3.3. 仮排水路トンネル

このプロジェクトでは、ロックフィルダムを採用するので、ダム堤頂からの越流は、建設期間中も回避しなければならない。したがって、20 年の確率洪水流量を、仮排水路トンネルの設計に用いる。設計洪水流量は、水文分析によると $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。

上記の設計洪水流量を安全に流下するために、内径 9.5 m の 2 本の圧力トンネルを採用する。また、上流締切りとして標高 52 m のフィルダム、下流締切りは、頂部標高 35 m とし、タイロッドで結んだ 2 重シートパイルに土砂中詰した構造となる。仮排水路トンネルの位置を Fig.8.3-1 に示す。

8.3.4. 洪水吐

洪水吐構造物の安全性を確保するために、ロックフィルダム盛立部ではなく、別の場所に洪水吐を設置する。このプロジェクトにおいては、洪水吐は、ダムの安定性、施工条件および地形条件から、右岸側にダムに隣接して取付ける。仮排水路トンネルおよび導水路トンネルを左岸側に配置するので、洪水吐はこれらの構造物の施工と干渉しないように右岸側に建設する。洪水吐縦断および横断面図を図 8.3-6 に示す。

洪水吐の設計放流能力は、前述の水文分析から算定し、最大洪水流量（PMF）の流入があった場合でも、貯水池水位上昇がE.L. 88.0 m内に収まるよう4,400 m³/sとする。設計洪水位（FWL）は標高88 mとなる。越流部には、幅12 m・高さ12 mのラジアルゲート4門を設置し、幅50～55mの開水路によって洪水を制御する。また、幅50 m・延長98 m・導流壁高22 mの減勢池により最終的に減勢させた洪水を河川に放流する。

8.3.5. 取水口

取水口は、2門からなり、最大取水量は250 m³/s、したがって、各々の最大取水量は125 m³/sとなる。取水口は、圧力トンネルにつながり、取水位は、常時満水位85mから最低水位72.5mまで変化する。取水構造物の標高は、空気の連行を回避するために、最低水位とトンネル直径を考慮して設計した。取水口の敷高標高59mは、堆砂標高58.5mから決定した。取水口の詳細およびゲートシャフトをFig.8.3-5に示す。

コンクリート製自立式ゲートシャフトは、取水口のゲート操作を行うために必要である。各ゲートシャフトには、1門のスライドゲートを設ける。

このコンクリート製タワーは、鋼製タワーに比べると建設コストが安い。傾斜型ゲートシャフトについては現地にその取付に必要とされる尾根がないので採用することは困難である。

8.3.6 水路

水路に関しては、取水口から2本の圧力トンネルを設置し、そして、これらのトンネルは、左岸地山を通過した後、水圧鉄管に接続する。さらに、水圧管路は、直接発電所に連絡する。この概念に基づいて、水路構造の予備設計を行った。水路の縦断図を図8.3-4に示す。

(1) 導水路トンネル

2本の導水路トンネルの総設計最大流量は250 m³/sで、各々については125 m³/sである。導水路トンネルの最大流速を4 m/sとすると、導水路トンネル内径は6.3 mになり、コンクリートライニング厚さは40 cmとした。導水路トンネルは、発電所までの延長を可能な限り短くするように設計した。また、軟弱基礎を回

避け、十分な土被りを保つために、トンネルは取水口から下流側へ 50 m の地点から斜坑となる。その斜坑部分は、50 度の勾配で延長 75.3 m である (No.1 トンネル)。その斜坑部終端から水圧鉄管始点までの水平部分の延長は 143.3 m である。

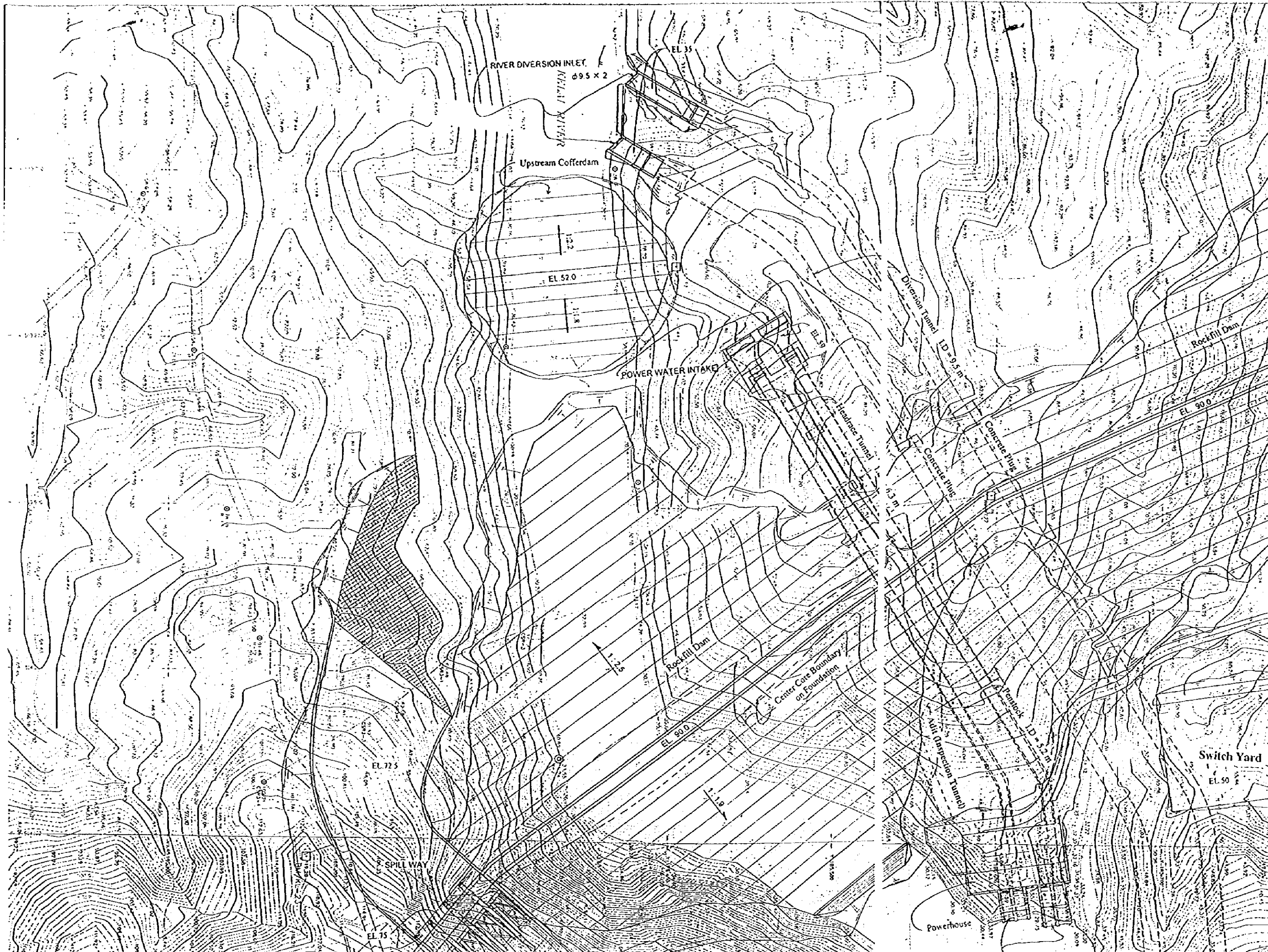
(2) 水圧鉄管

水圧鉄管は、導水路トンネルの終端から始まり、発電所の山側に連絡する。水圧管路は、地形と地質上の条件により延長 90m (No.1 トンネル) の区間とする。2 本の水圧鉄管の最大流量は最大 250 m³/s で、各々は 125 m³/s になる。水圧鉄管は、流速 5.9 m/s で、内径 5.2 m となり、水撃圧を考慮して厚さは 18mm (SM400) とした。水圧鉄管の外側は鉄管取付のため 95cm の空間を要するが、この空間は鉄管溶接後コンクリートで埋められる。

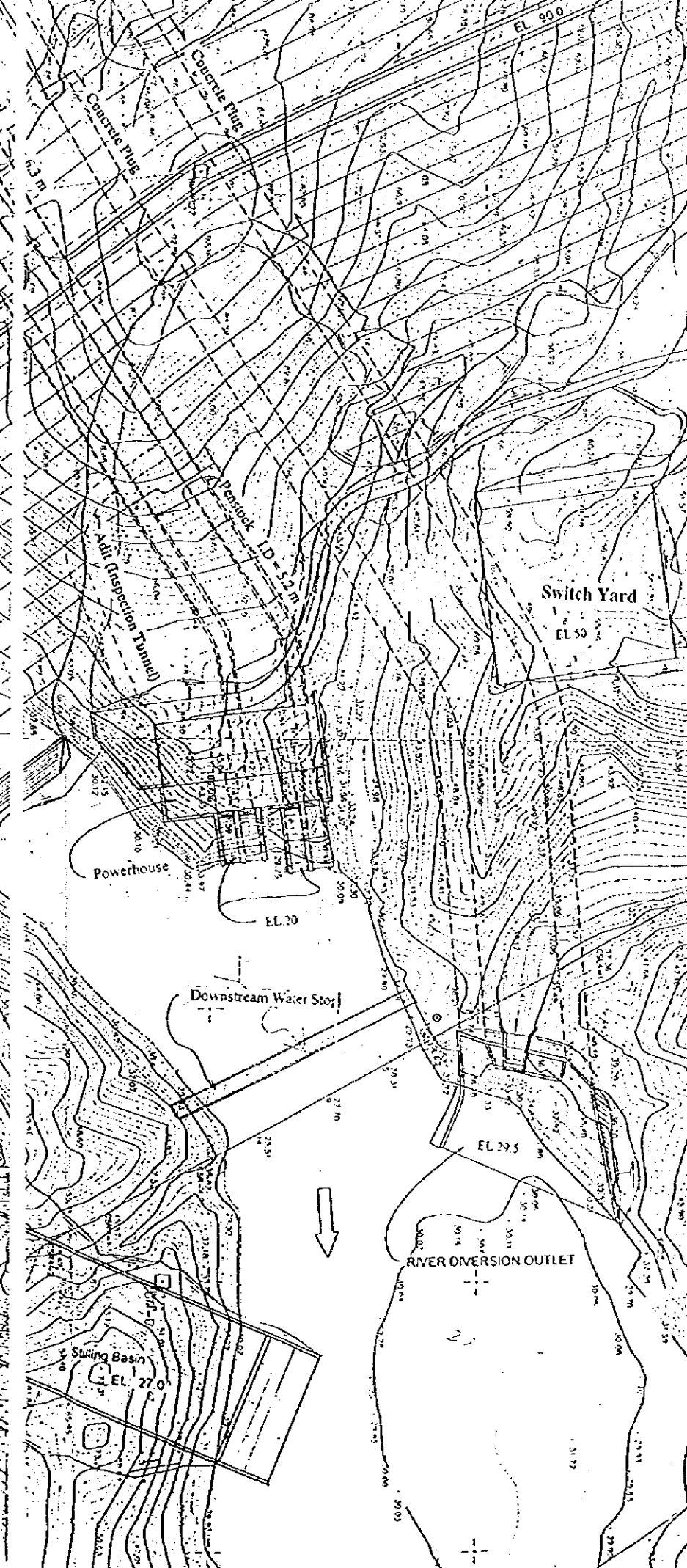
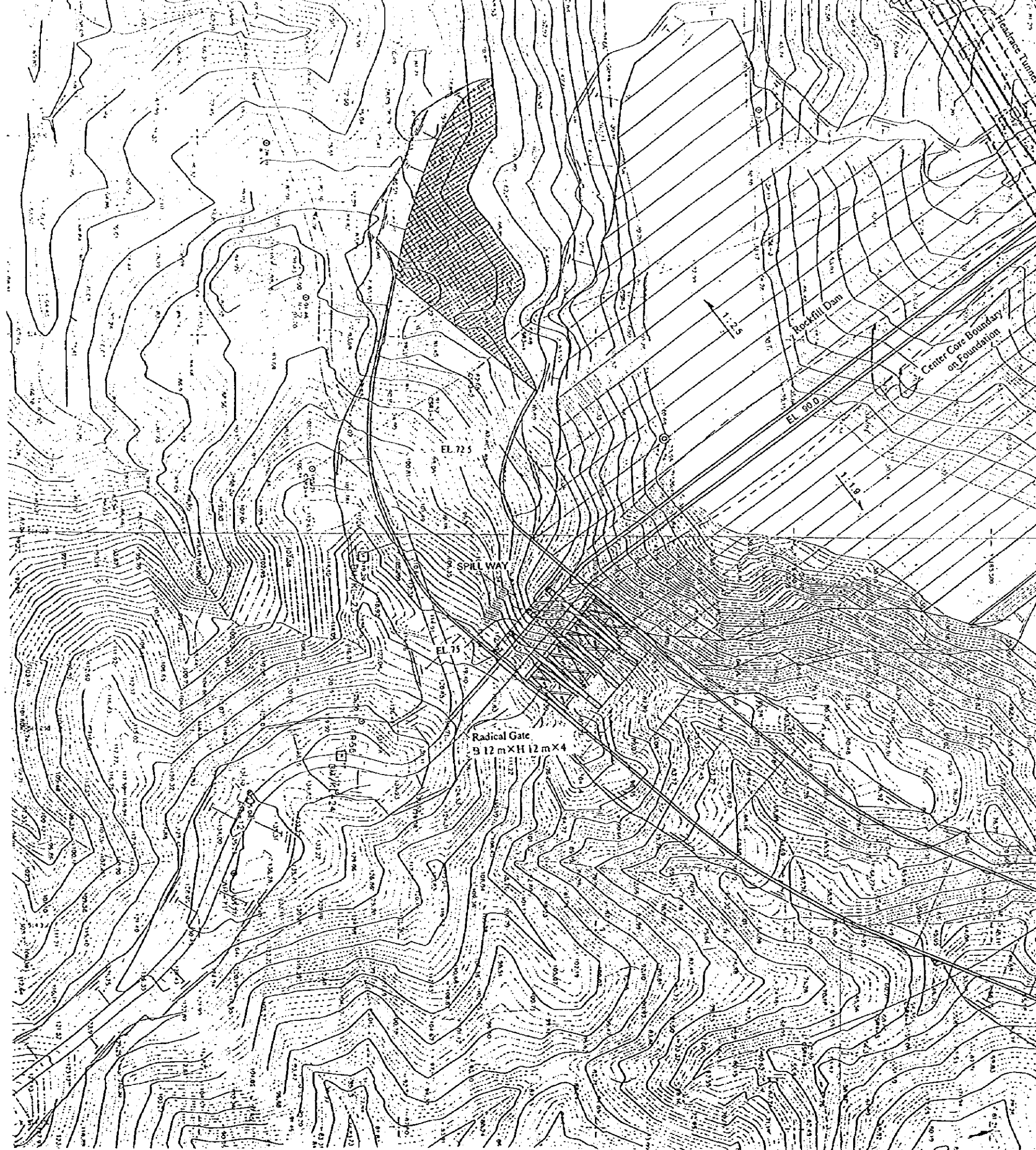
8.3.7. 発電所と開閉所

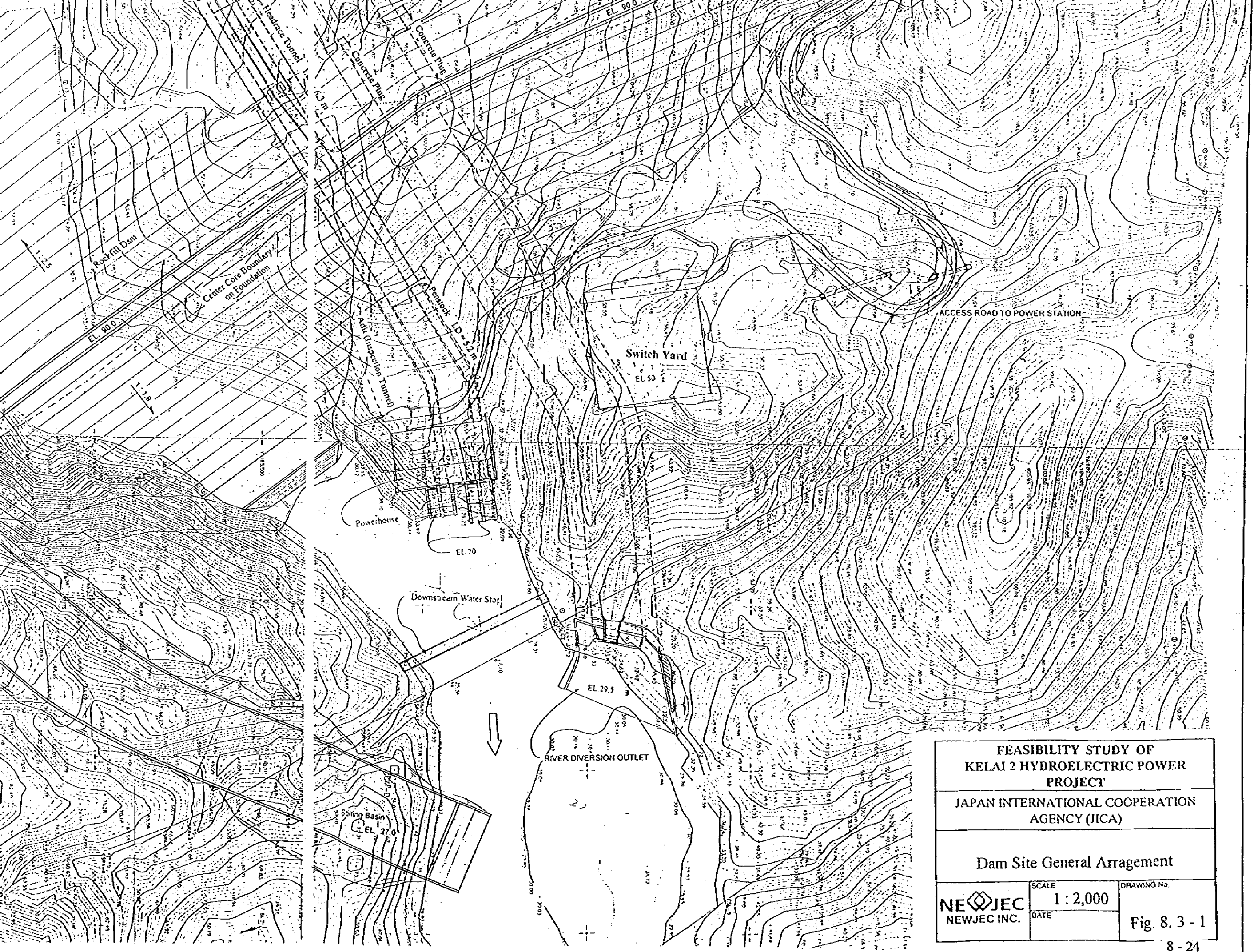
発電所は、地形条件から組立て室の標高 35 m より下部は半地下式として設計する。標高 35 m から上部の発電所建屋の寸法は、幅 27 m、長さ 61m である。発電所の大きさは、発電機/タービンの台数と形式および組立て室の大きさなどから決定する。2 本の吸出し管からつながる 4 門の放水口は、発電所の川側に設ける。


開閉所は、左岸側発電所近傍に設ける。

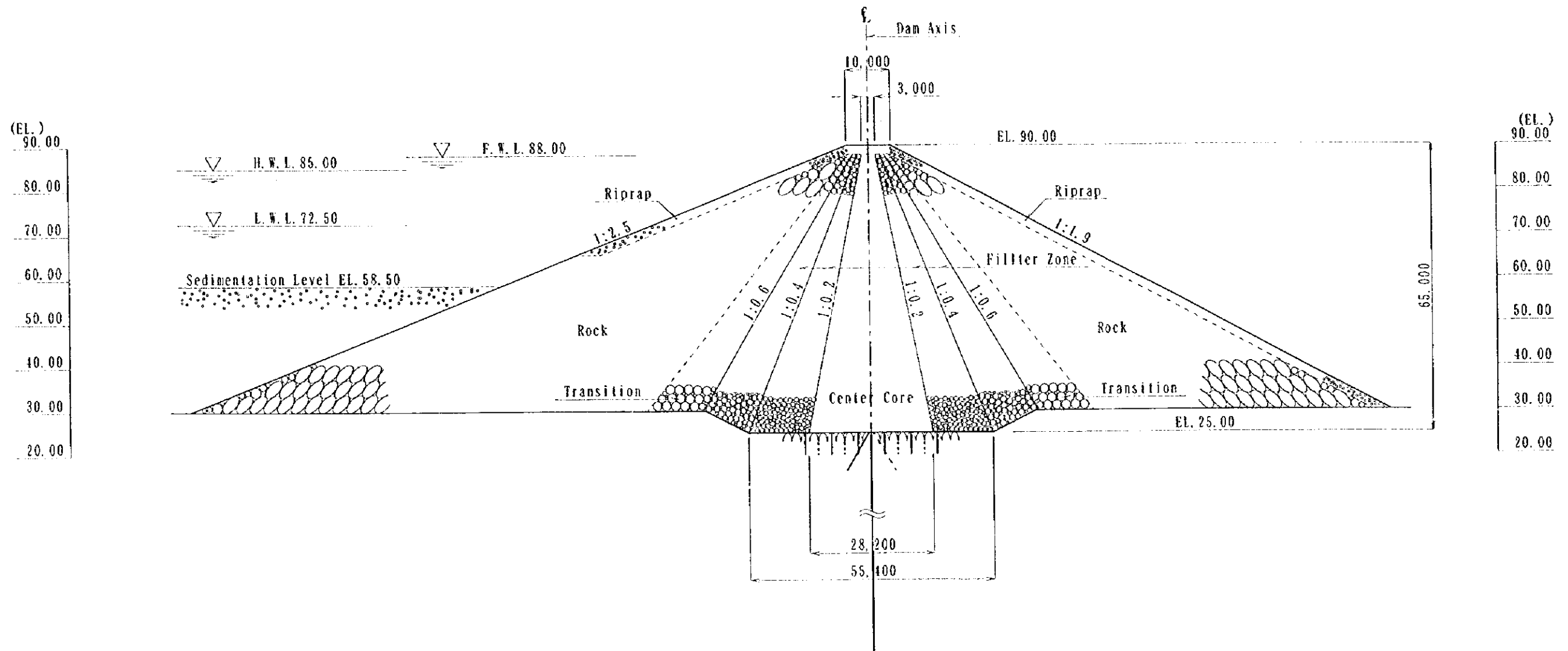






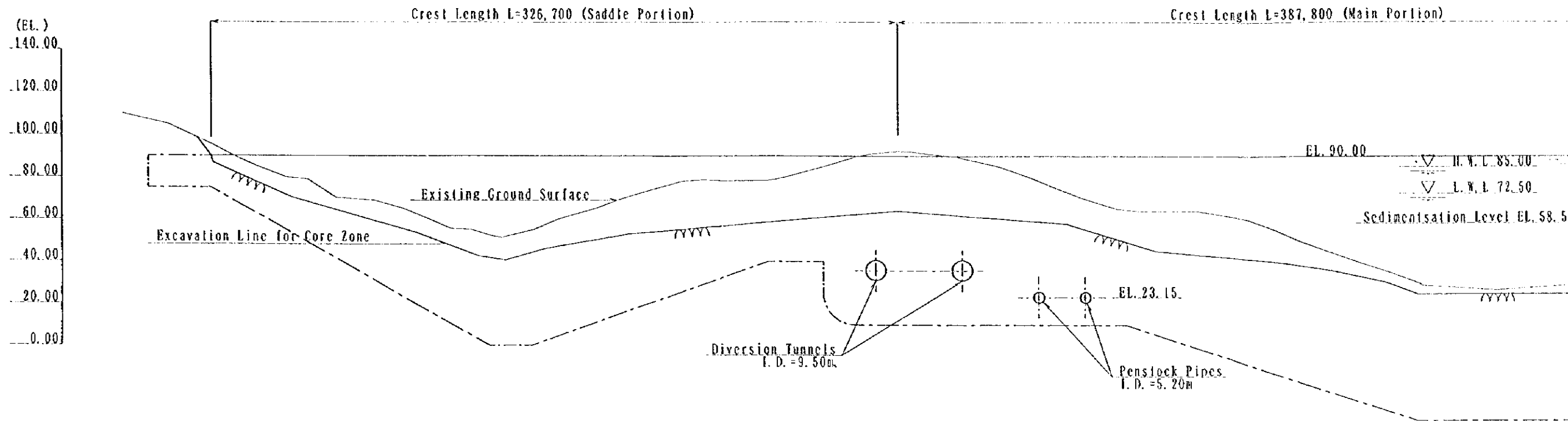


FEASIBILITY STUDY OF KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
Dam Site General Arrangement		
 NEJEC NEWJEC INC.	SCALE 1 : 2,000	DRAWING No.
	DATE	Fig. 8.3 - 1

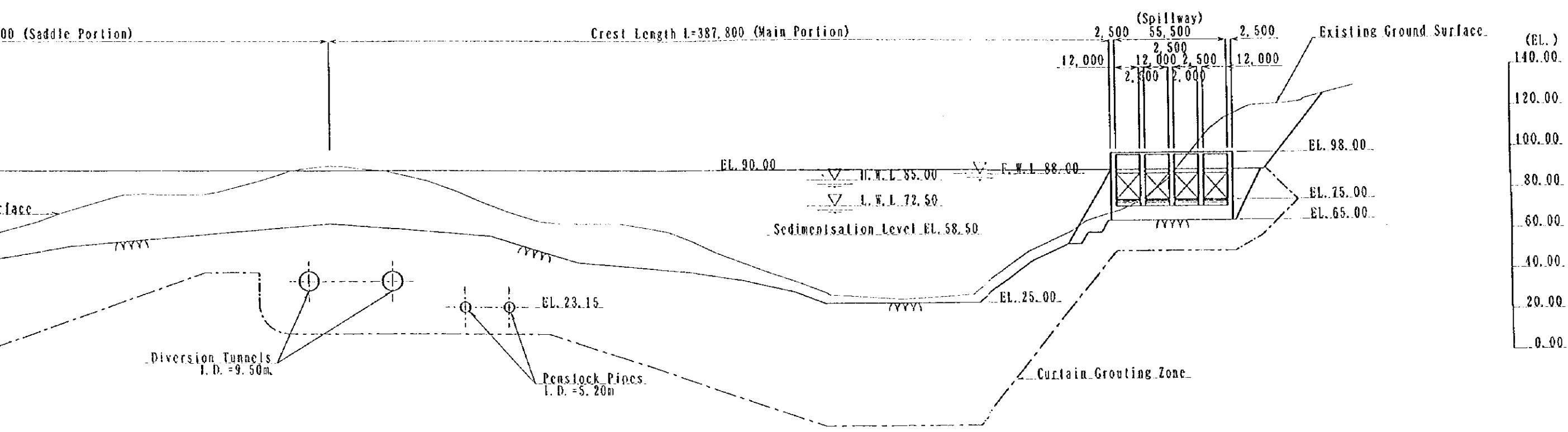


ROCKFILL DAM TYPICAL SECTION
(Scale 1:1,000)

FEASIBILITY STUDY OF KEAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
Rockfil Dam Typical Section		
NEWJEC NEWJEC INC.	SCALE 1:1,000	DRAWING No. Fig. 8.3-2
	DATE	

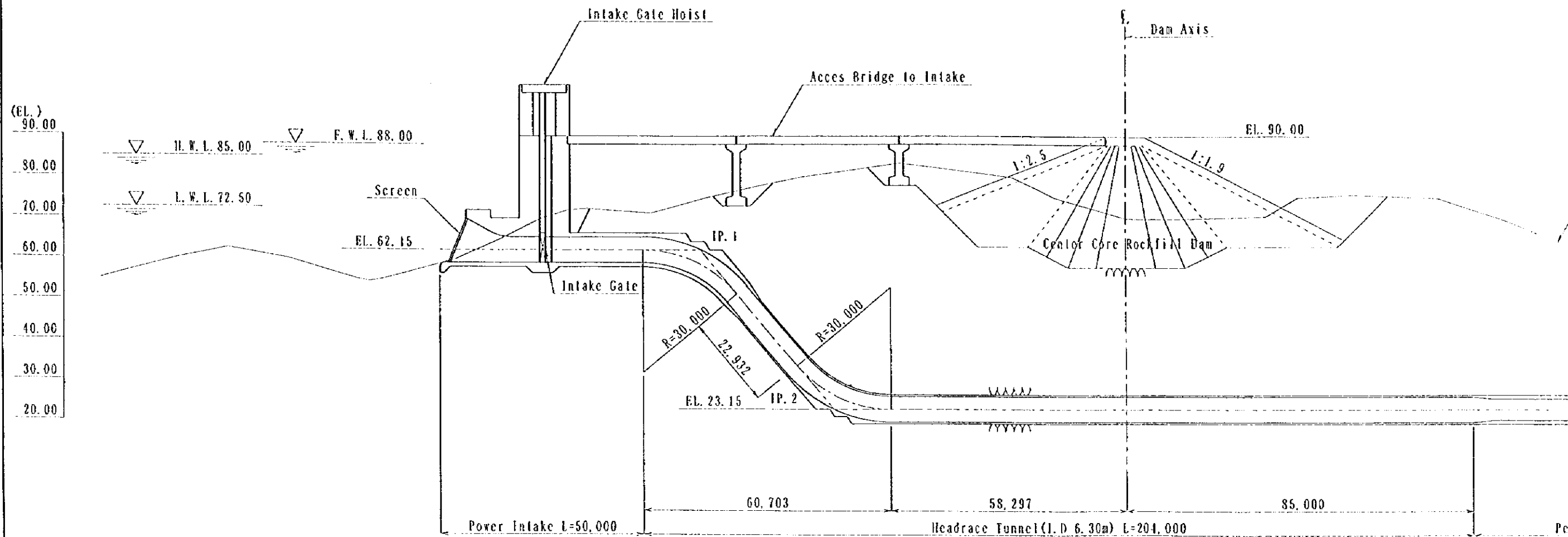


LONGITUDINAL SECTION ALONG DAM AXIS
(Scale 1:2,000)



LONGITUDINAL SECTION ALONG DAM AXIS
(Scale 1:2,000)

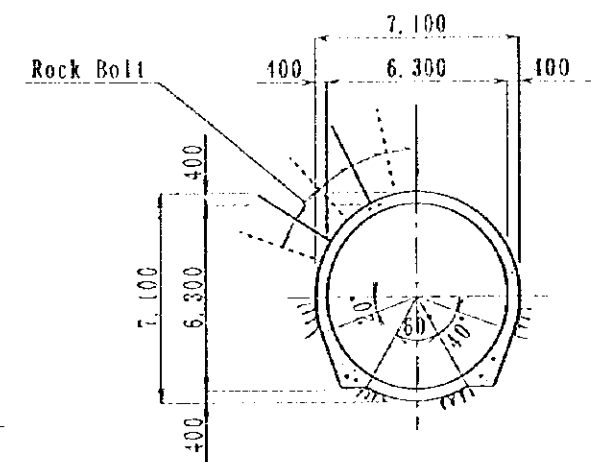
FEASIBILITY STUDY OF KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
Longitudinal Section along Dam Axis		
NEWJEC NEWJEC INC.	SCALE 1:2,000	DRAWING No.
	DATE	Fig. 8.3-3



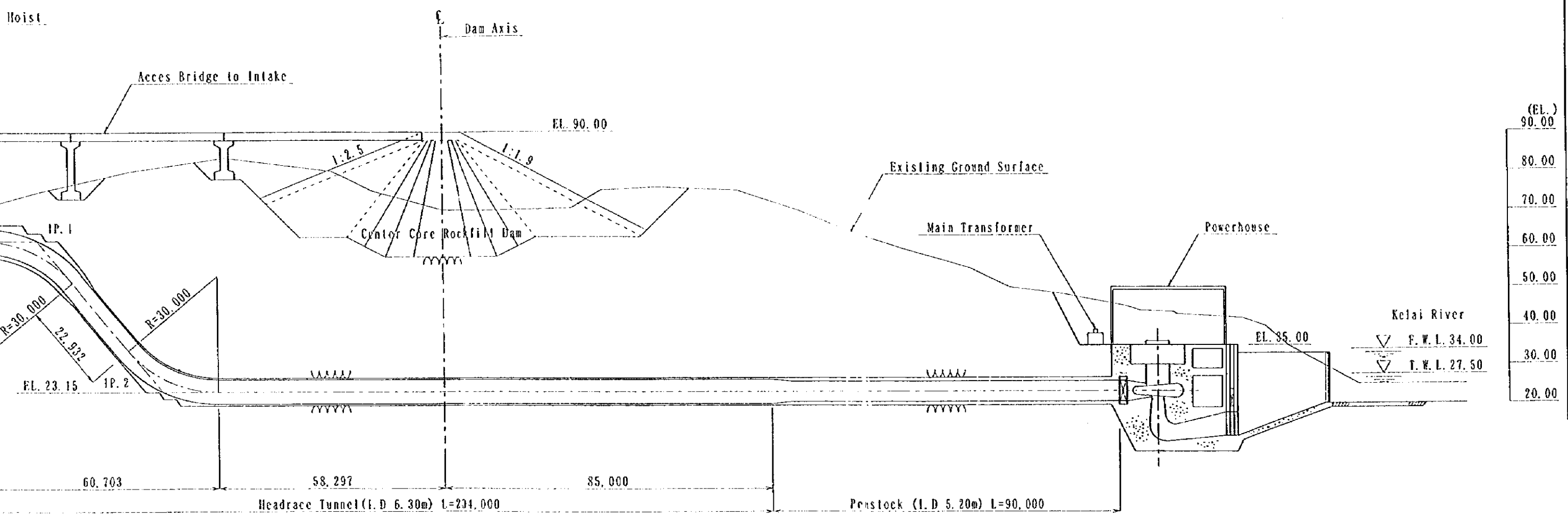
IP. 1
 IA=50-00-00
 R=30.000
 TL=13.989
 CL=26.180

IP. 2
 IA=50-00-00
 R=30.000
 TL=13.989
 CL=26.180

WATERWAY PROFILE AND SECTIONS
 (Scale 1:1,000)

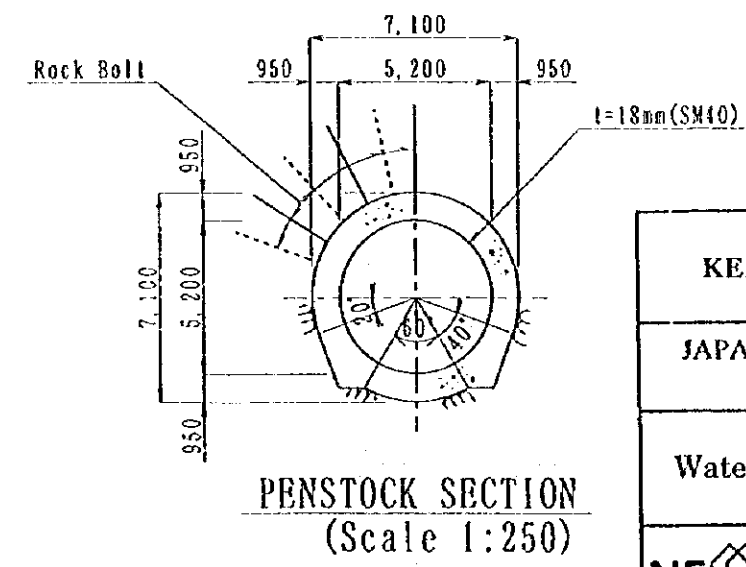
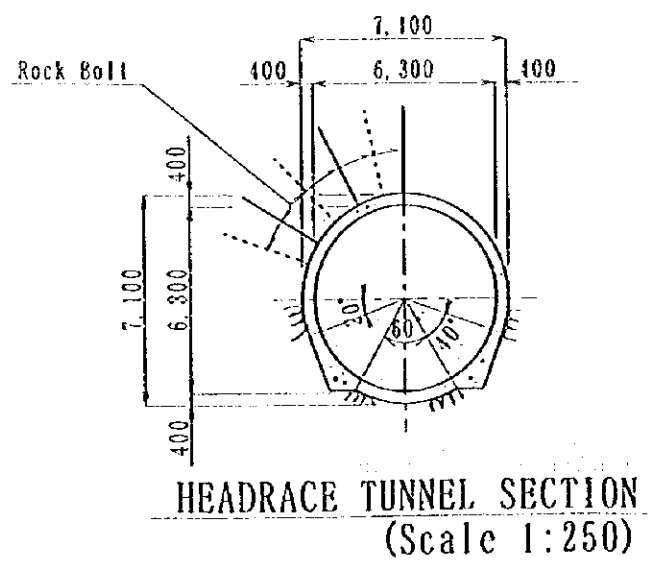


HEADRACE TUNNEL SECTION
 (Scale 1:250)

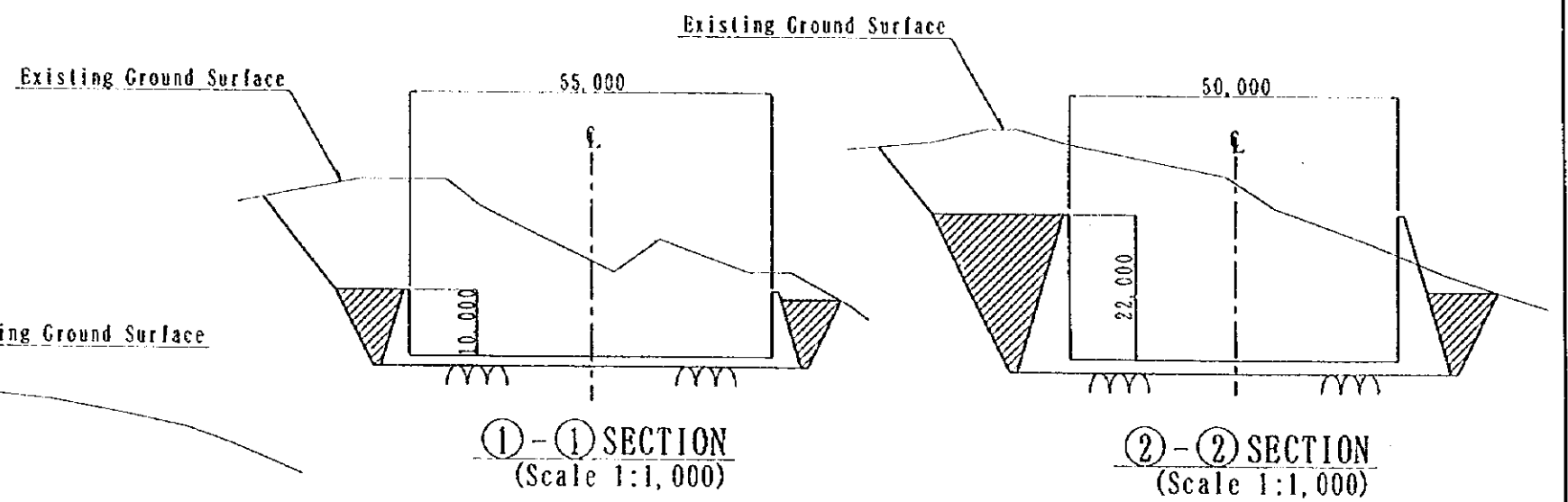
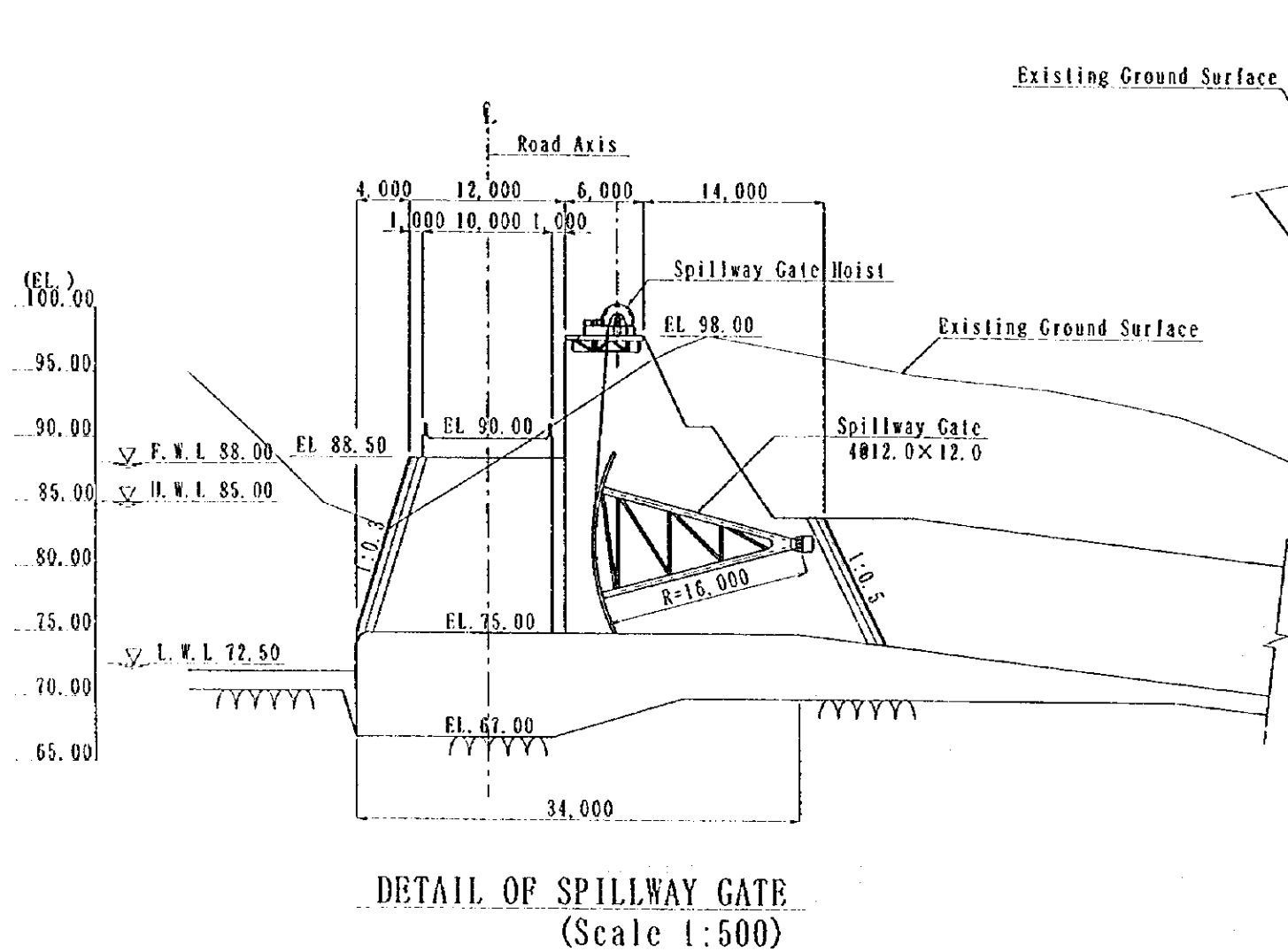
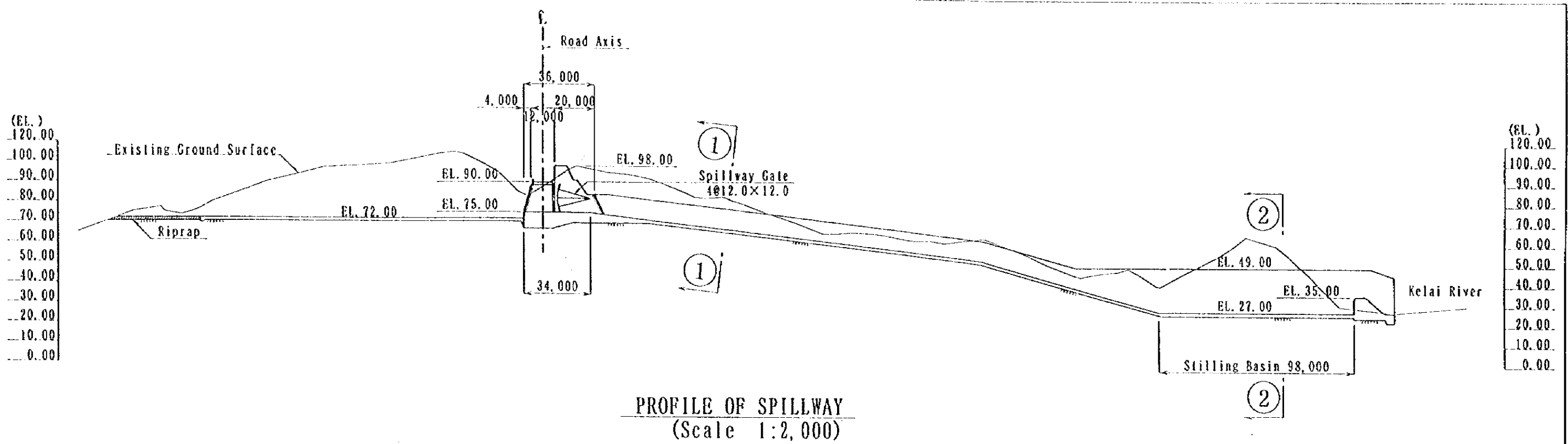


IP. 1 50-00-00 30.000 13.989 26.180	IP. 2 IA=50-00-00 R=30.000 TL=13.989 CL=26.180
---	--

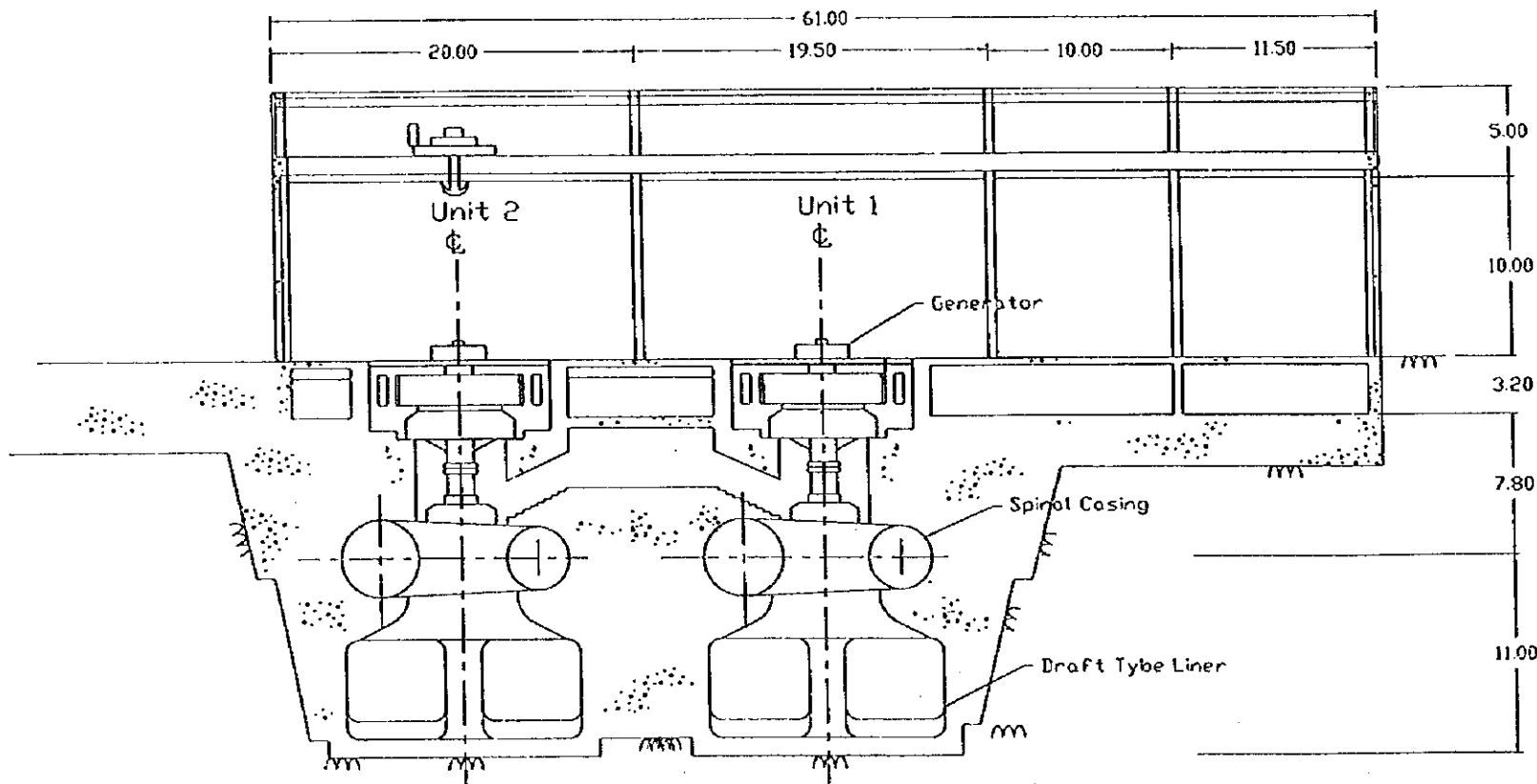
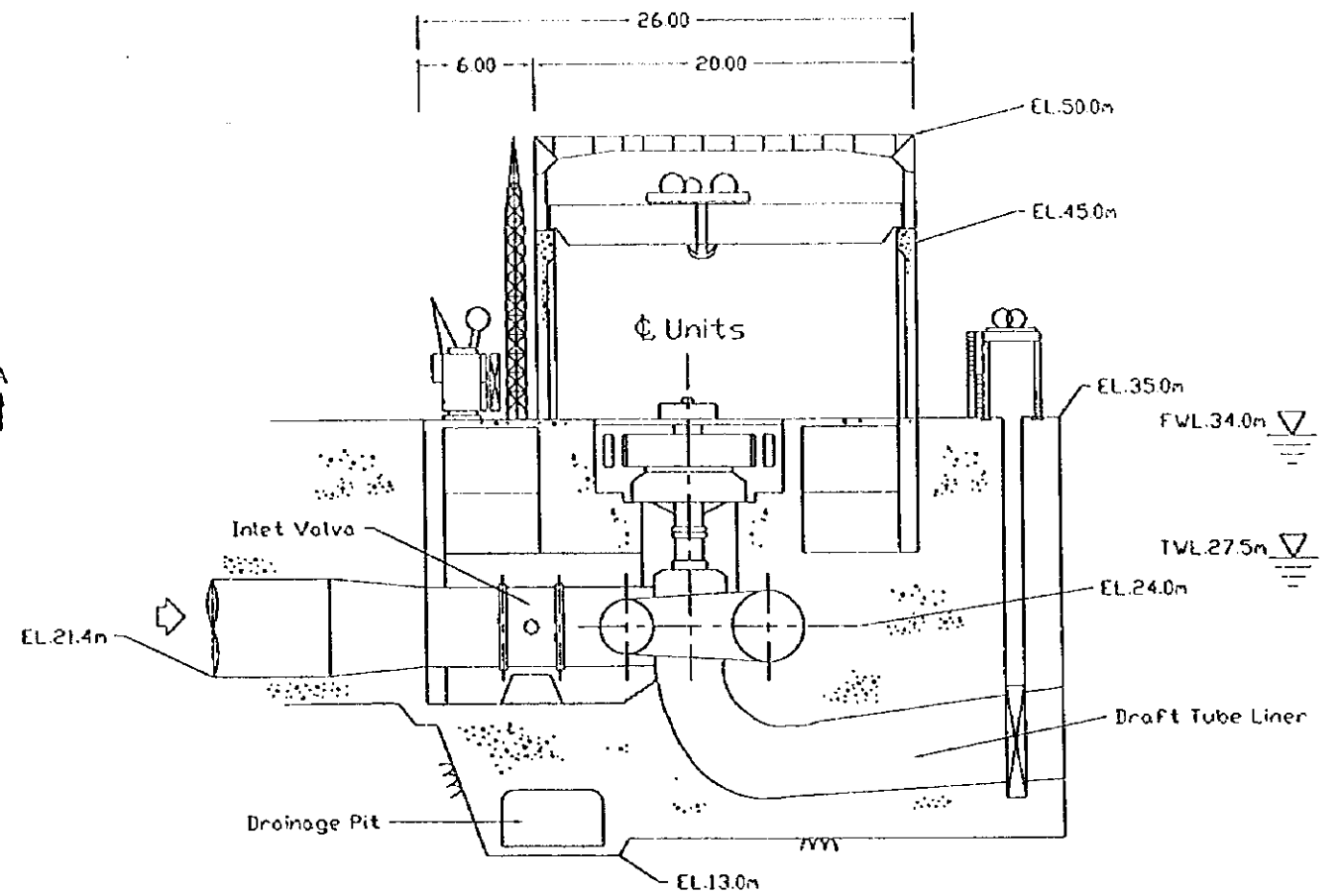
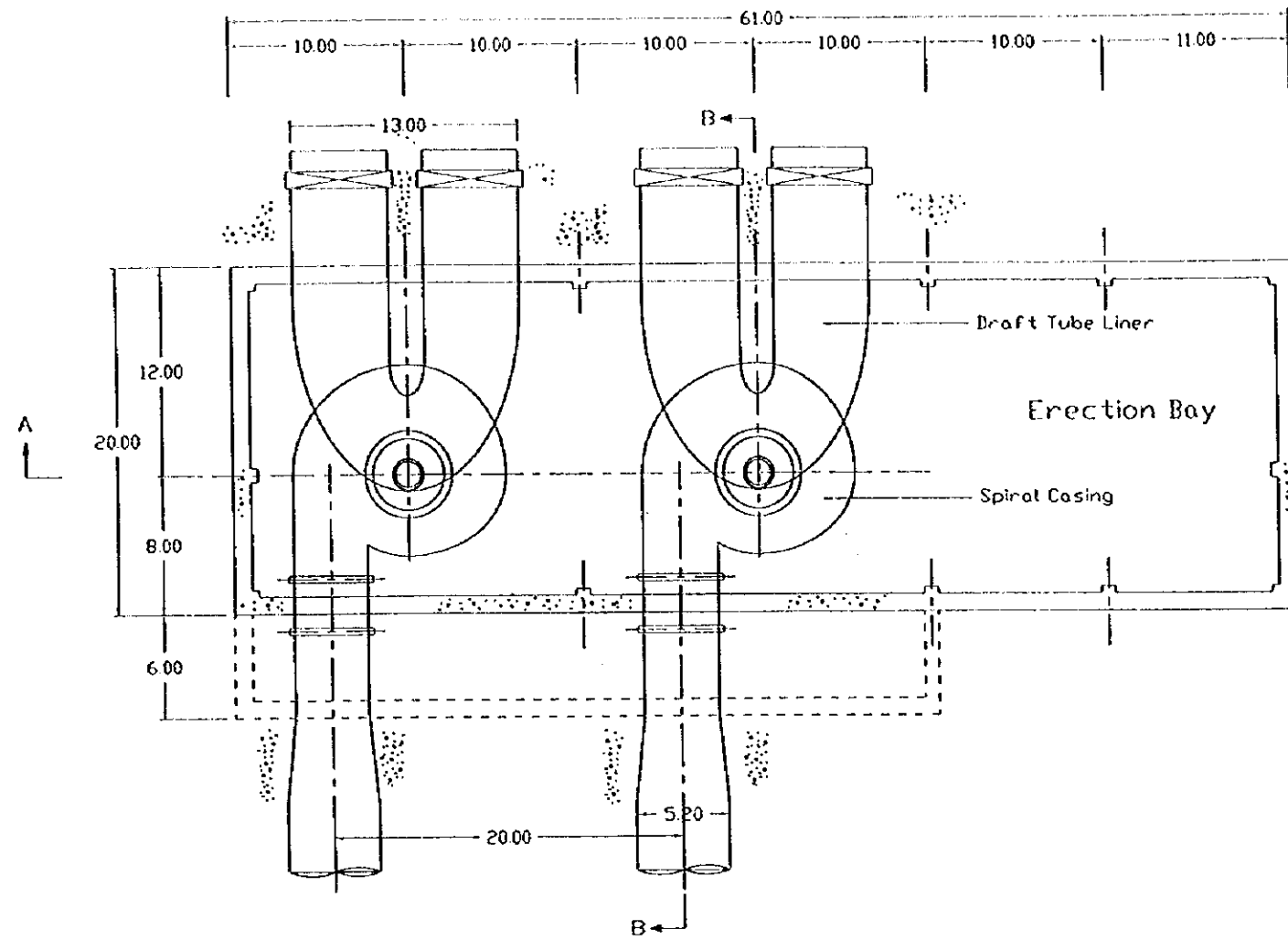
WATERWAY PROFILE AND SECTIONS
(Scale 1:1,000)



FEASIBILITY STUDY OF KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
Waterway Profile and Sections		
NEWJEC NEWJEC INC.	SCALE 1:1,000, 250	DRAWING No.
	DATE	Fig. 8.3-4



FEASIBILITY STUDY OF KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
Spillway Profile and Sections		
NEWJEC NEWJEC INC.	SCALE 1:2,000, 1,000 500	DRAWING No.
	DATE	Fig. 8.3-6



LONGITUDINAL SECTION
A-A

TRANSVERSE SECTION
B-B

FEASIBILITY STUDY OF KEAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
POWERHOUSE PLAN AND SECTION		
NEWJEC NEWJEC INC.	SCALE 1/400	DRAWING No. Fig. 8.3-7
	DATE	

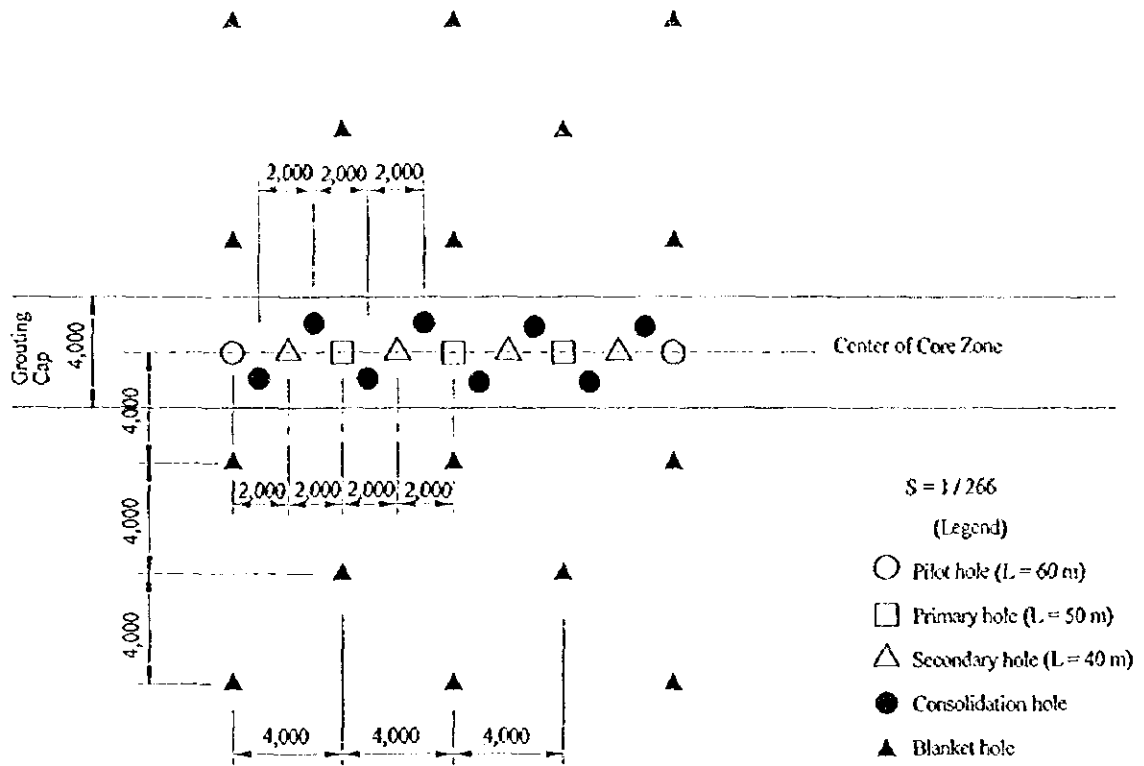


Fig. 8.3 - 8 (1) Plan of Grouting Work

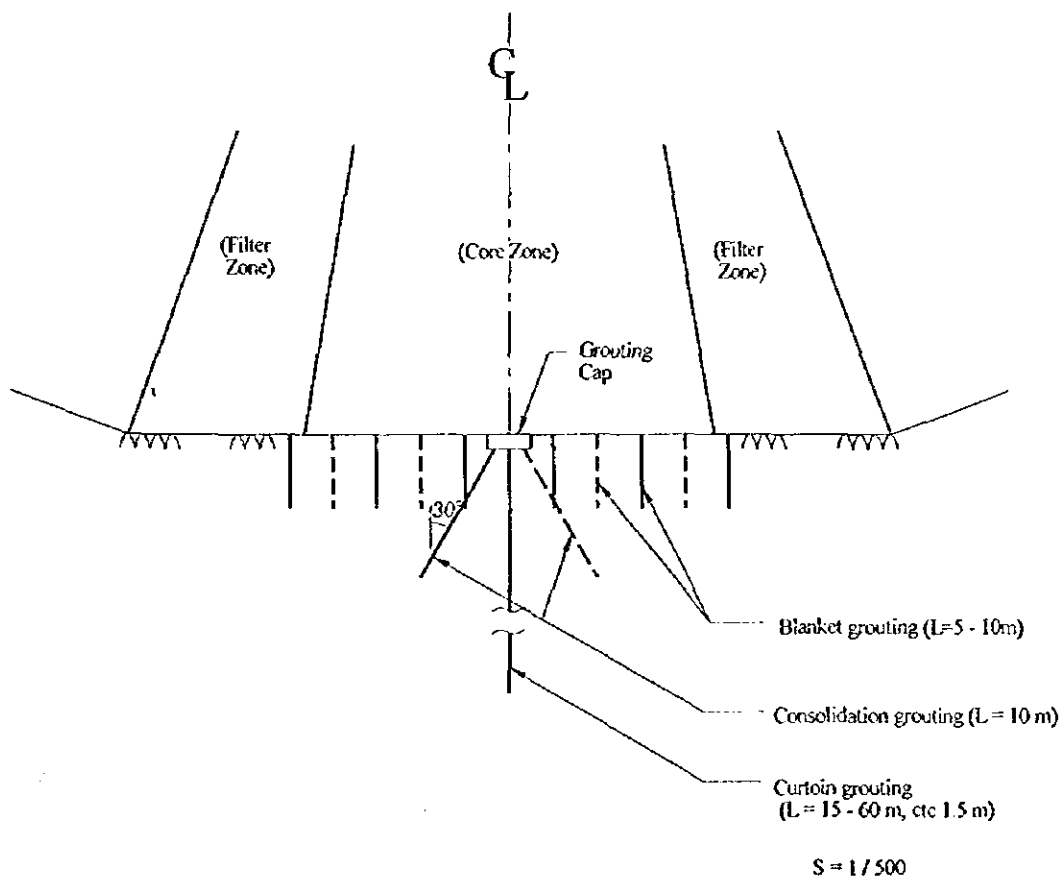


Fig. 8.3 - 8 (2) Cross Section of Grouting Work

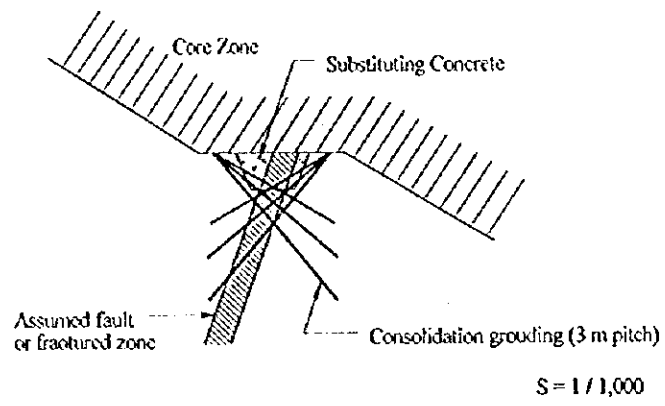


Fig. 8.3 - 8(3) Treatment of Fault

8.4. 電気機械設備

8.4.1. 水車・発電機の台数

水車・発電機の台数は次のような各項目について十分な検討を行った上で決定される。

(1) 建設コスト

建設費の面から考えると、台数を減らして単機容量を大きくした方が有利である。台数を減らせば、土木・建築コストが低減され、かつ水車や発電機のコストも少なくなる。

(2) 効 率

水車や発電機の効率は、単機容量が大きくなればなるほど高くなる。したがって、台数を減らせば単機容量が大きくなり、機器の効率が良くなるため発電所効率が高くなる。

(3) 機器のサイズと輸送

台数を減らして単機容量が大きくなると、機器のサイズもおのずから大きくなっていく。あまりに大きくなると、水車や発電機を分割して輸送せざるを得なくなったり、輸送コストが非常に高くなる場合がある。輸送の便宜上分割数を増やすと、現地での組立工数が増すことになり、据付工程が長くコスト高になる。

(4) 保 守

機器の保守のことを考えた場合、台数を増やした方が有利になる。1台しかない場合は、保守・点検期間は運転できず、発電することが出来ない。したがって、点検・保守のことを考慮した場合、台数を増やした方が良い。

(5) 系統への影響

発電所の事故時の系統への影響を考えた場合には、台数を増やした方が当然安全度・安定度が増すことになる。したがって、設置される地域における発電電力の割合が大きい場合は少なくとも2台以上とすべきである。

(6) 有効落差と流量の変化

一日または月、季節による落差や流量の変動が大きい場合は、台数を増やして各ユニットの運転効率が最適になるようにした方が有利となる。

上記の3)～5)を考えると、1台案を取る事は推奨できない。

しかしながら、3台以上とするとコスト的に本プロジェクトでは適当ではなくなる。

よって、2台案がもっとも有利であると判断される。

8.4.2. 水 車

(1) 水車出力

水車設計のための選定された諸元は以下の通りである。

ー最大流量	250.0 m ³ /sec	(2台)
ー最高水位	85.0 m	
ー設計水位	80.8 m	
ー最低水位	72.5 m	
ー放水路水位	27.5 m	(2台運転時)
ー最大総落差	57.5 m	: (85.0 - 27.5)
ー設計総落差	53.3 m	: (80.8 - 27.5)
ー最小総落差	45.0 m	: (72.5 - 27.5)
ー水路損失水頭	1.5 m	(1ペンストック, 最大流量時)
ー最大有効落差	56.0 m	: (57.5 - 1.5)
ー設計有効落差	51.8 m	: (53.3 - 1.5)
ー最小有効落差	43.5 m	: (45.0 - 1.5)

水車の定格出力は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} P_t &= 9.8 \times Q \times H \times \eta_t \\ &= 9.8 \times 125.0 \times 51.8 \times 0.91 \\ &= 57,744 \\ &\approx 57,700 \text{ kW} \end{aligned}$$

ここに、 P_t : 水車定格出力 (kW)
 Q : 1台あたりの最大使用水量 (m³/sec.)

H	: 設計有効落差	(m)
η_t	: 水車効率	(%) 91%と想定

(2) 水車の型式

水車の型式は一般的に、使用される流量と落差から決定される。

一般的にペルトン水車は超高落差で、フランシス水車は高/中落差で、カプラン水車は低落差で使用される。

添付 Fig.8.4-1 からもわかるように、本発電所の流量と落差はフランシス水車とカプラン水車の範囲に位置する。

一般的に、落差や流量の変化が大きい発電所ではカプラン水車を使用されるし、機器の効率の面からも効果的である。

しかし、機器コストや保守費用を考えると、若干割高になるためフランシス水車が有利となる。

本発電所では、落差や流量の変化がほとんど無く一定であると考えられることと、機器コストや保守・点検の立場から、縦軸・単段のフランシス水車が推奨される。

(3) 水車の定格速度

一般的に、回転速度を高くすると機器の大きさが小さくなるために、建設コストが小さくなるメリットがある。

しかし実際は、流量・落差に関連する比速度限界が存在するため、限りなく高い回転速度とすることは出来ない。

比速度の値は水車の吸出し高さ、使用される材料、設計方法や運転条件などに異なってくるが、技術革新により少しずつ高い値が取れるようになってきている。

比速度と定格速度は以下のように決定される。

(a) 比速度限界

比速度限界の1つは添付 Fig.8.4-2 に表されるように、JEC 4001 (1992 年) によって以下の通り示されている。

$$\begin{aligned} N_s &= 21000 / (H + 25) + 35 \\ &= 21000 / (51.8 + 25) + 35 \\ &= 308.4 \quad (\text{m-kW}) \end{aligned}$$

ここに、 N_s : 比速度 (m-kW)
 H : 設計有効落差 (m)

(b) 定格速度

定格速度 N と 比速度 N_s には以下のような関係がある。

$$\begin{aligned} N_s &= N \times P^{1/2} / H^{5/4} \quad (\text{m-kW}) \\ 308.4 &= N \times 57,700^{1/2} / 51.8^{5/4} \end{aligned}$$

よって、

$$N = 178.4 \quad (\text{rpm})$$

ここに、 N : 定格速度 (rpm)
 P : 水車出力 (kW)
 H : 設計有効落差(m)

一方、系統の周波数と発電機のポール数の関係から、水車の定格速度は以下の式を満足しなければならない。

$$\begin{aligned} N &= 120 \times F / P_o \\ 178.4 &= 120 \times 50 / P_o \end{aligned}$$

よって、

$$P_o = 33.6$$

ここに、 F : 周波数 (Hz) 50 Hz
 P_o : 発電機のポール数

発電機のポール数は、整数でかつ偶数でなければならないことを考えると、以下の値が導き出される。

定格速度 (N)	ボール数	比速度 (m-kW)
187.5	32	324.2

最近の水車の設計・製作技術の進歩により、比速度は先に(a)で述べた計算値 308.4 m-kW より高めに取られる傾向にある。

したがって、定格速度は 187.5 回転とする。

(4) 水車の据付高さ

水車の据付高さは、放水路水位とランナー出口の高さの差を表す吸出し高さによって決まってくる。

吸出し高さのいかんによっては、キャビテーションが発生しやすくなり、騒音や振動とともに効率の低下と機器寿命を短くすることになる。

ランナーのキャビテーション係数 σ と、吸出し高さの限界には一定の関係があり、吸出し高さは落差と設定地点における大気圧水頭、水の蒸気圧に相当する水頭の大きさやランナーの大きさによって決定される。

実際の吸出し高さは、計算から求められた数値に、安全率を考慮して最終決定される。

吸出し高さの決定に関して、トーマ教授はキャビテーション係数との関係を以下のように提唱している。

$$\sigma = (H_a - H_v - H_s) / H$$

ここに、 σ : キャビテーション係数

H : 設計有効落差 (m)

H_a : 大気圧水頭 (m Aq) 10.31

H_v : 水の蒸気圧に相当する水柱高 (m Aq) 28°Cで 0.32

H_s : 吸出し高さ (m)

一般的に水力発電所のキャビテーション係数 σ_p は、十分な安全率を考慮してビューロー オブ リクラメーション (BOR) の式によって、以下のように定義

される。

$$\begin{aligned}\sigma_p &= N_s^{1.64} / 39100 \\ &= 324.2^{1.64} / 39100 \\ &= 0.335\end{aligned}$$

一方、キャビテーションが発生する限界の係数 σ_c は、フランス水車の場合関西電力 (KEPCO) の模型水車試験結果から、以下のように表されている。

$$\begin{aligned}\sigma_c &= 0.0348 \times (N_s / 100)^{1.283} \\ &= 0.0348 \times (324.4 / 100)^{1.283} \\ &= 0.157\end{aligned}$$

添付 Fig.8.4-3 に、フランス水車の場合のキャビテーション係数を示す。

最近の傾向としては、BOR の式による値よりもかなりきびしい数値を取ることが可能になってきているため、ここではキャビテーション係数を 0.28 とする。

キャビテーション係数を 0.28 とすると、 σ_p と σ_c の比率 σ_p/σ_c は $0.28/0.157$ で 1.78 となり、これがキャビテーションを引き起こす限界値に対する安全率となる。

したがって、吸出し高さはトーマの式より以下のように計算され；

$$\begin{aligned}H_s &= H_a - H_v - \sigma_p H \\ &= 10.31 - 0.32 - 0.28 \times 51.8 \\ &= -4.51 \text{ m}\end{aligned}$$

水車の据付高さは以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}EL_r &= Z_1 + H_s + h \\ &= 27.5 - 4.51 + 1.0 \\ &= 23.99 \text{ m} \\ &\approx 24.0 \text{ m (EL)}\end{aligned}$$

ここに、 h : 水車出口とランナーの中心高さ (m) 1.0 m と仮定する
 $Z1$: 放水路水位 (m) 27.5 m (EL.)

吸出し高さ H_s , 水車据付高さ EL_r , h , 放水路水位 $Z1$ の関係について Fig.8.4-4 に示す。

8.4.3. 発 電 機

(1) 発電機の形式

発電機の形式は、このクラスの水力発電所でもっとも一般的に採用されている、3相、縦軸全閉内冷同期発電機とする。

縦軸の発電機は軸受の設置位置により次の3つに分類される。

- (a) 普通型
- (b) 準傘型
- (c) 傘 型

各方式の違いについては添付 Fig.8.4-5 を参照方。

どの形式とするかは、回転速度、回転子の直径と高さによって決まるが、製作メーカーの設計によっても異なってくる。

一般に、準傘型や傘型は 300 回転以下の低速の場合に用いられることが多い。

本発電所では、回転速度が低速であることから準傘型を推奨する。

(2) 発電機の実出力

発電機の定格出力は発電機効率と力率から以下の通り計算される。

$$\begin{aligned} P_g &= P_t \times \eta_g \\ &= 57,700 \times 0.97 \\ &= 55,969 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{gr} &= P_g / P_f \\
 &= 55,969 / 0.9 \\
 &= 62,188 \\
 &\approx 62,300 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

ここに、 P_g : 発電機出力
 P_{gr} : 発電機定格出力
 P_t : 水車定格出力 (kW)
 η_g : 発電機効率 (%) 97%と想定
 P_f : 発電機力率 (%) 90%遅れと想定

(3) その他

最近もっとも多く採用されている、サイリスタを用いた自己励磁型の励磁装置を各発電機に設け、系統への速応を確実にする。

また、励磁装置への電源は、励磁用の変圧器を介し発電機の主回路から供給されるものとする。

絶縁階級は、このクラスの発電機で一般に採用されている F 種絶縁を採用する。

8.4.4. 天井クレーン

発電設備の組立・据付と運転開始後の保守・点検のため、天井走行クレーンを 1 台設ける。

クレーンで持ち上げられる最大重量物は、一般に発電機の回転子であり、発電機軸と合わせて約 120 トンと想定される。

したがって、天井クレーンの定格荷重は 150 トンとし、軽い荷重の機器を取扱うため 30 トンの補巻と 5 トンホイストを装備する。

8.4.5. 主変圧器と回路接続方式

変圧器は単相変圧器 3 台で屋外型、冷却方式は油循環空冷式とする。

一般的に、変圧器の冷却方法は以下の通りに代表される。

- (1) 油入自冷式 (ONAN)
- (2) 油入風冷式 (ONAF)
- (3) 送油自冷式 (OFAN)
- (4) 送油風冷式 (OFAF)
- (5) 送油水冷式 (OFWF)

このクラスの変圧器には、経済性と冷却効果の面から送油風冷式が一般的に広く使われている。

発電機と変圧器との接続法は以下の2種類に分けられる。

- (1) 単位方式 : 発電機1台と変圧器1台を1単位として結合する
- (2) 複合方式 : 発電機と変圧器の間に母線を設けて複数台の発電機を変圧器1台に結合する

一般に単位方式は、2系統以上に送電する、発電機が3台以上の場合に用いられる。一方複合方式は、変圧器台数を減らせる代わりに変圧器の容量が大きくなるため、小容量発電所に採用されることが多い。

ここでは、発電機は2台であるが接続される系統が最大4回線となるため、発電機の事故時の系統に対する影響を少なくする単位方式を採用する。

したがって、2台の変圧器を設ける。

典型的な発電機・変圧器の単線結線図を添付 Fig.8.4-6 に示す。

各変圧器の容量は、62,300 kVA で発電機の出力と同じとする。

8.4.6. 開閉所

150 kV の開閉所を、発電所から 200 m 程度離れた下流左岸の山側に建設する。

開閉所の結線は、信頼性を高めるためと開きの点検・系統運用を便利にするため 2重母線1遮断器方式とする。

設備の形式は、経済性と予備品の供給問題を考慮し SF6 ガスを利用した密閉型の設

備ではなく、一般的な屋外型の気中絶縁形の設備とする。

発電された電力は、開閉所から 80 km 離れたタンジュンレデブと、265 km 離れたボンタンに送電される。

現時点での送電系統には 2 つの案がある。

- (1) 1 つは 1 回線のみとし、タンジュンレデブを經由しボンタンまで送電する。
- (2) もう 1 つは 2 回線として、タンジュンレデブとボンタン各々別々な線路を設ける。

添付 Fig.8.4-7 に、2 回線とした場合の開閉所のレイアウトを示す。

開閉所の主要機器は以下の通り。

- (a) 遮断器
- (b) 断路器
- (c) 変流器
- (d) 電圧変成器
- (e) 避雷器

8.4.7. 変電所

第 7 章の Fig.7.2-2 に示されるとおり、タンジュンレデブとボンタンでは各々 8 MW と 10 MW の需要が見込まれ、配電用の変電所を設置する必要がある。

同じく、途中のムアラワハルでも 2007 年ベースで 0.1 MW の需要が予測されるが、非常に小規模な需要であるため、現時点では変電所の建設は必要ないと考えられる。

タンジュンレデブは新設の変電所となるが、ボンタンではバタカン発電所からの送電ルートが、2007 年時点では既に建設されていると考えられるので、配電設備はケライからの送電線の増設工事のみ必要と考えられる。

すなわち、変圧器の設備は本プロジェクト以外で供給・設置され、増設に必要なき気は開閉機器と分路リアクトルのみとなる。

変電所機器の型式は開閉所と同様に、一般的な屋外型の気中絶縁形がもっとも適切である。

タンジュンレデブ変電所の結線方式は、現時点における需要予測が 8 MW とあまり

大きくないので、経済的にも単母線方式が望ましいと考えられる。

しかしながら、将来の需要増大を予想して、2重母線方式に増設できるような計画とする。

ボンタン変電所は、本計画とは別に設計されるものだが、信頼性と保守・運用の観点から2重母線1遮断器方式を適用するものと考えられる。

2つの変電所の単線結線図の概略を添付の Fig.8.4-8 に示す。

なお、ボンタン変電所については、増設部分以外はあくまで予想となる。

変電所における主要機器は以下の通り。

- (a) 配電用主変圧器
- (b) 遮断器
- (c) 断路器
- (d) 変流器
- (e) 電圧変成器
- (f) 避雷器
- (g) 分路リアクトル

ケライからの送電ルートは、非常に長く軽負荷であるため系統が不安定になりやすい。したがって、第7章の Fig.7.2-2 に示されるような、無効電力の調整のための分路リアクトルの設置が必要となる。

8.4.8. 電機機器の輸送

全体の輸送計画は第9章の9.3節で述べられており、タンジュンレデブで水切りし、その後カリマンタン・ハイウェイを使って発電所まで陸送されるが、港の港湾設備や陸路途中での大きな障害は無いようである。

開閉所を含む発電設備では、変圧器がもっとも大きな重量物となり、60 MW クラスの3相機器では、油を抜いても80トンから100トンになると考えられる。

したがって、海上輸送はともかく、陸上輸送は非常に困難または大規模な設備が必要となるため、3台の単相変圧器とする必要がある。

3台に分割した際の最大重量は最大で30トン程度になると予想され、輸送上の限界重量以下になるものと考えられる。

その他のドラフトチューブ、ケーシング、回転子、固定子などの発電設備は、通常このクラスの発電設備で行われているように必要に応じて分割輸送し、現地で組立てることで輸送上の問題は特にないと考えられる。

変電機器の輸送では、タンジュンレデブ変電所の場合、水切り港の近くであり陸路が非常に短いことと、配電用の変圧器の重量もせいぜい 30 トンと予想されるため弊害はない。

また同様に、ボンタン変電所ではケライ回線の開閉器機の増設のみとなるので、輸送上の問題は全くない。

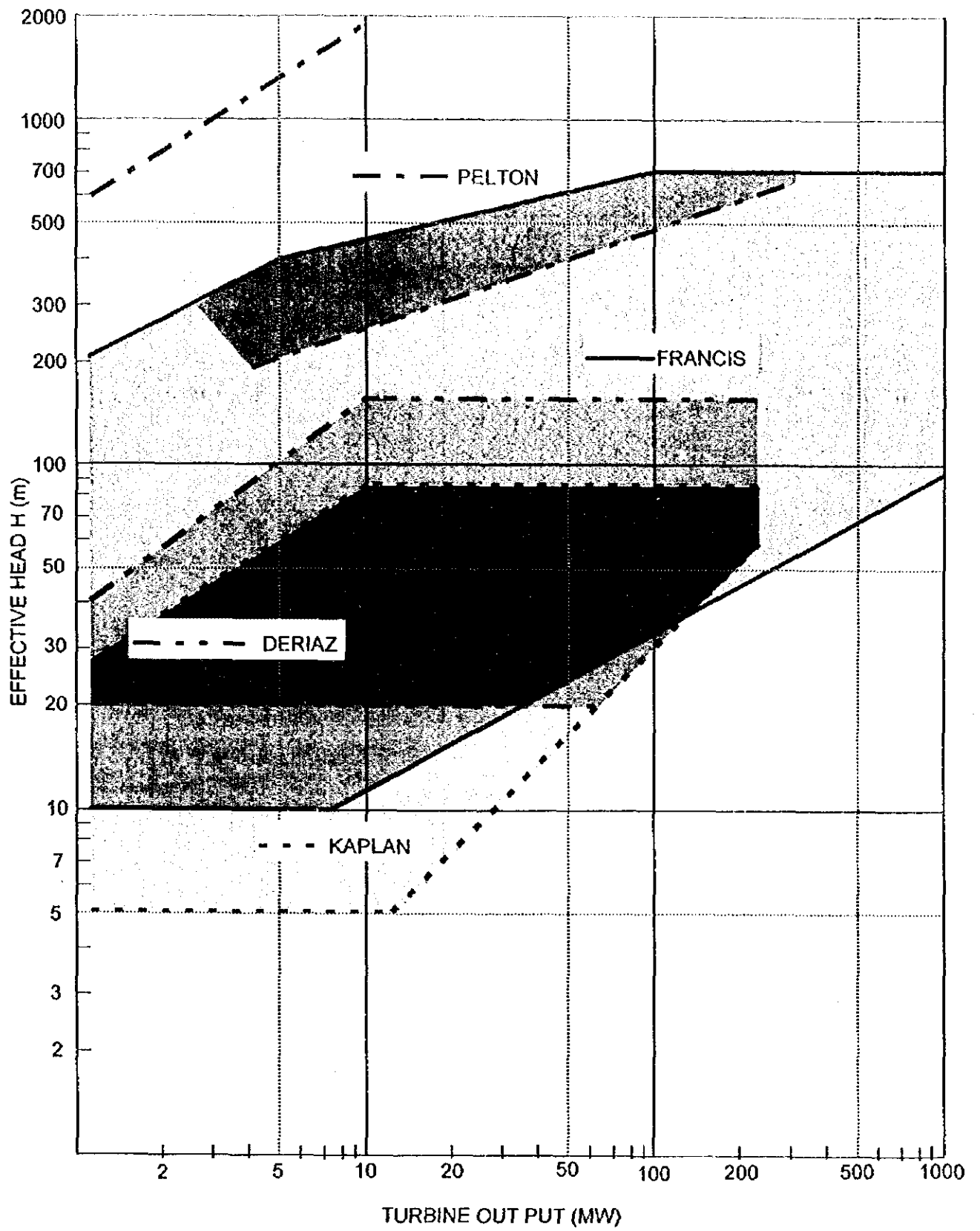


Fig.8.4-1 Major Turbine Type Selection Diagram

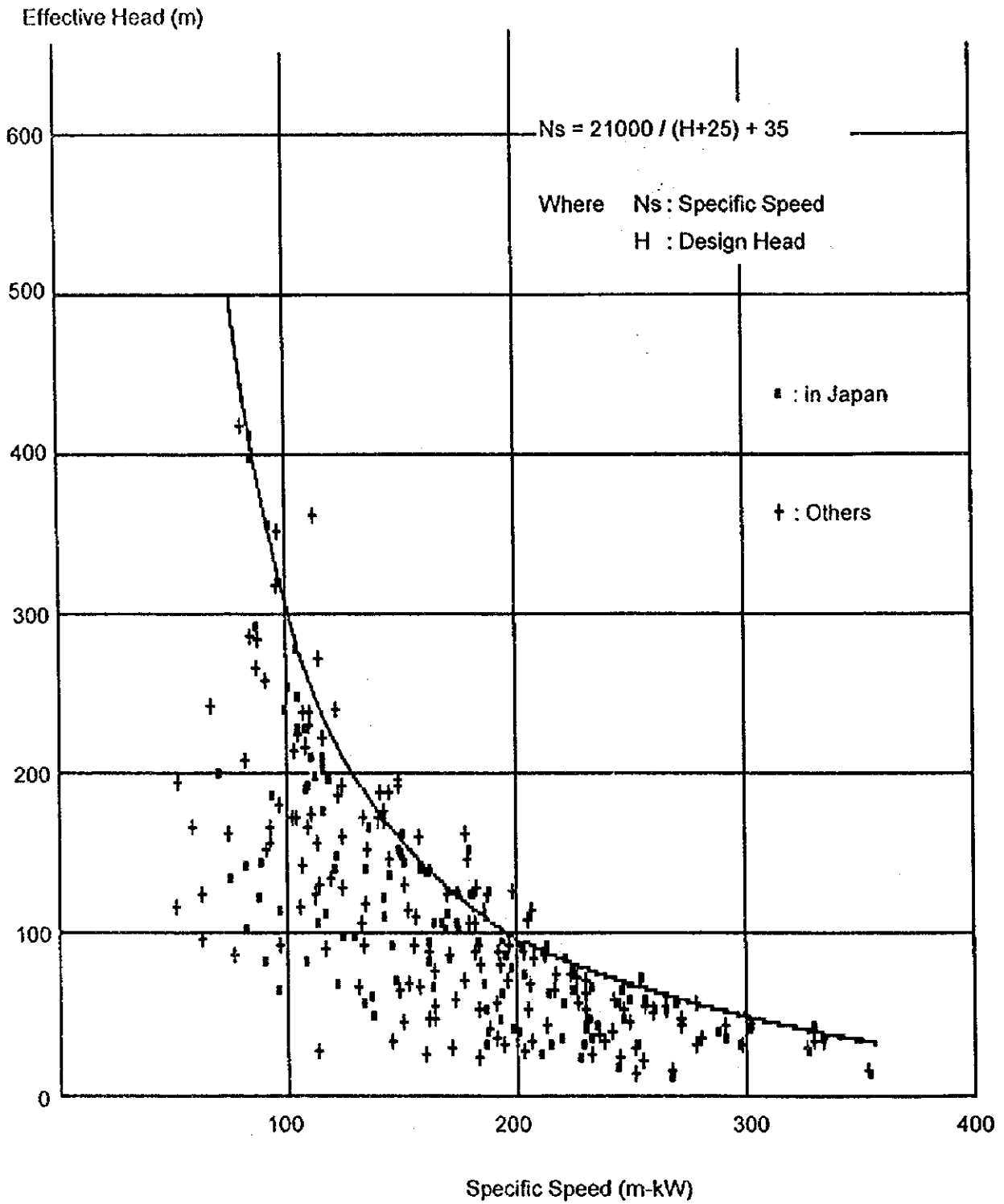
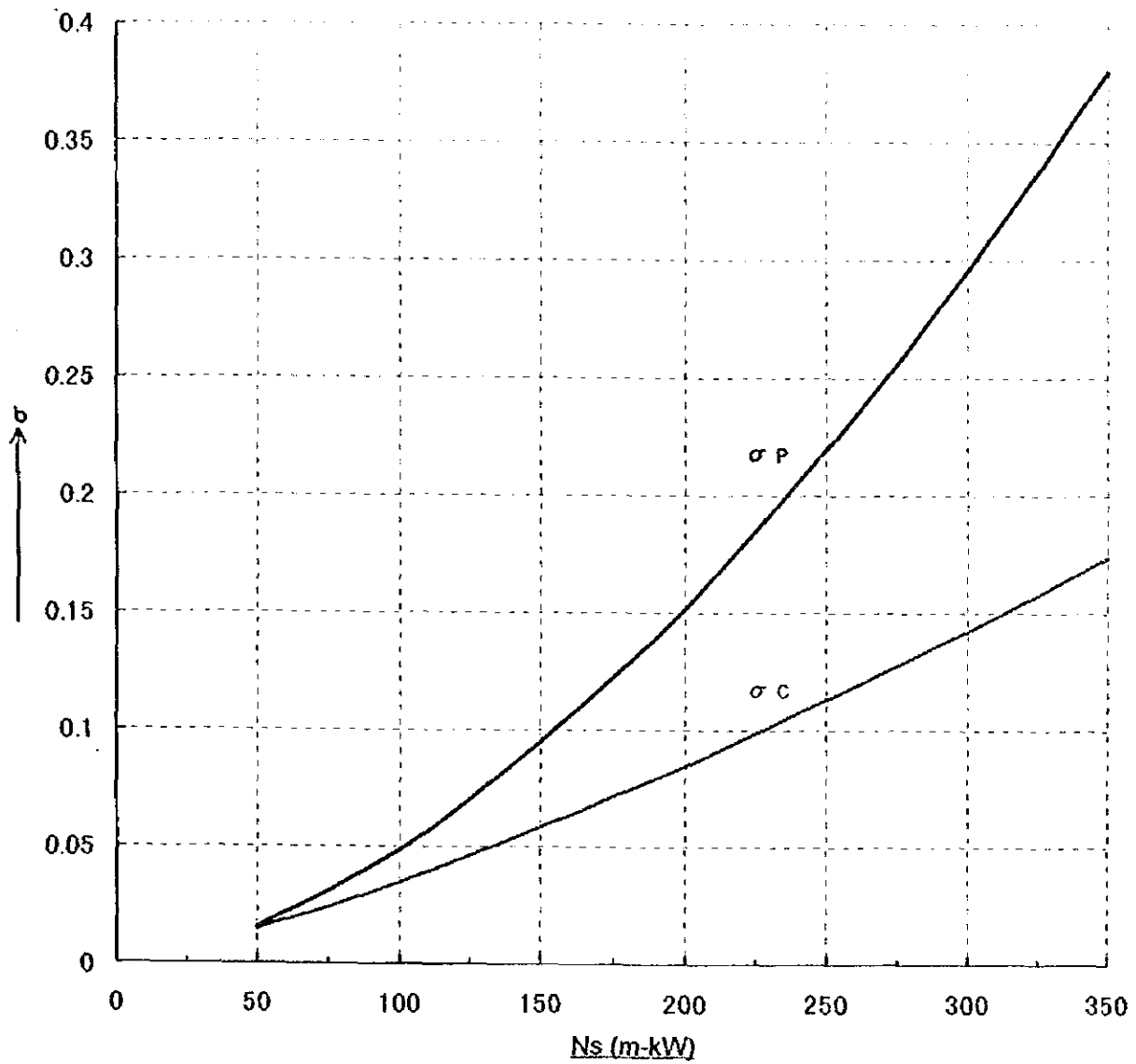


Fig. 8.4-2 Specific Speed N_s and Design Head H for Francis Turbine

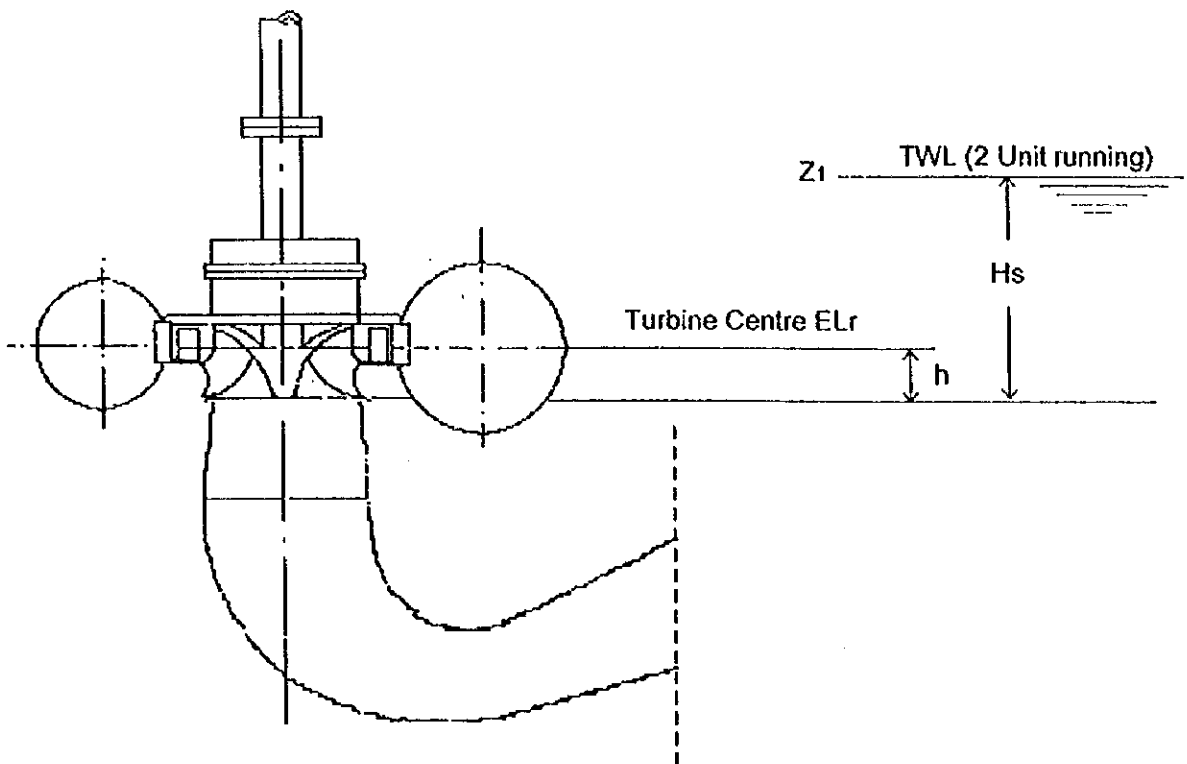


where, N_s : specific speed (m-kW)
 σ_P : hydroplant cavitation coefficient
 σ_C : critical cavitation coefficient

Bureau of Reclamation $\sigma_P = N_s^{1.64} / 39100$

KEPCO criteria bases $\sigma_C = 0.0348 \times (N_s / 100)^{1.283}$

Fig.8.4-3 Cavitation Coefficient σ and Specific Speed N_S
for Francis Turbine



Setting elevation of runner center : $ELr = Z_1 + H_s + h$

where Z_1 : Tail race water level.....27.5 m (EL)

H_s : draft head (m) = $H_a - H_v - \sigma \rho H$

h : Dimension between Runner outlet and Runner center (m)

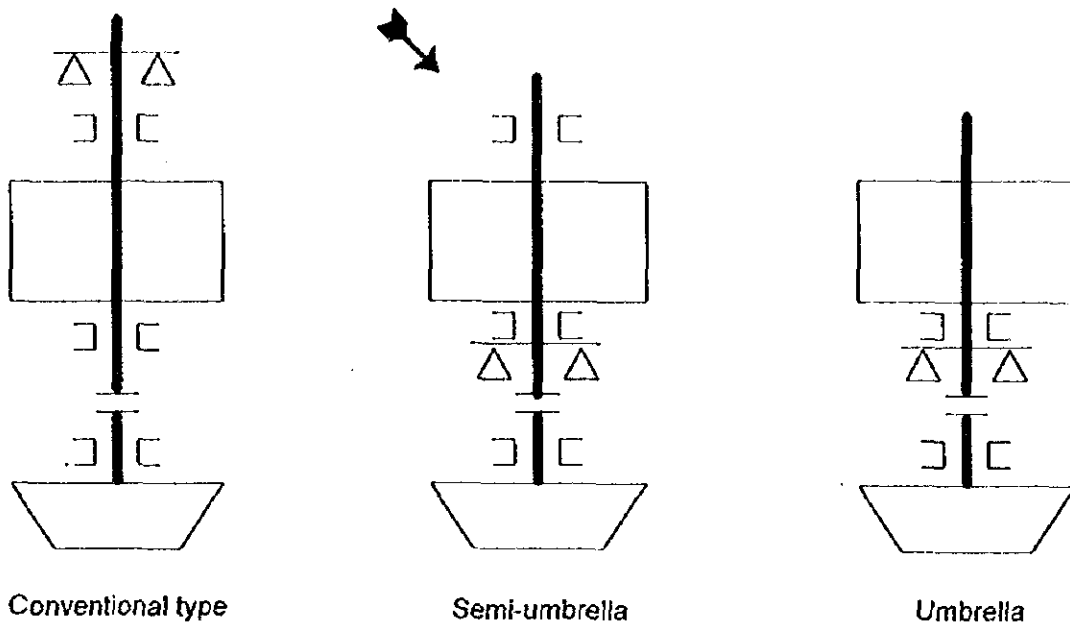
$\sigma \rho$: hydroplant cavitation coefficient

H : net head (m)

H_a : atmospheric pressure (m Aq)

H_v : vapour pressure at the water temperature (m Aq)

Fig.8.4-4 Definition of Drafthead for Francis Turbine



Remarks

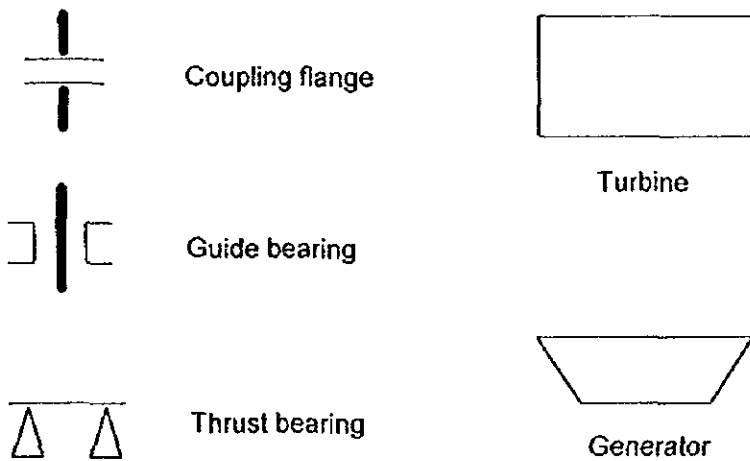
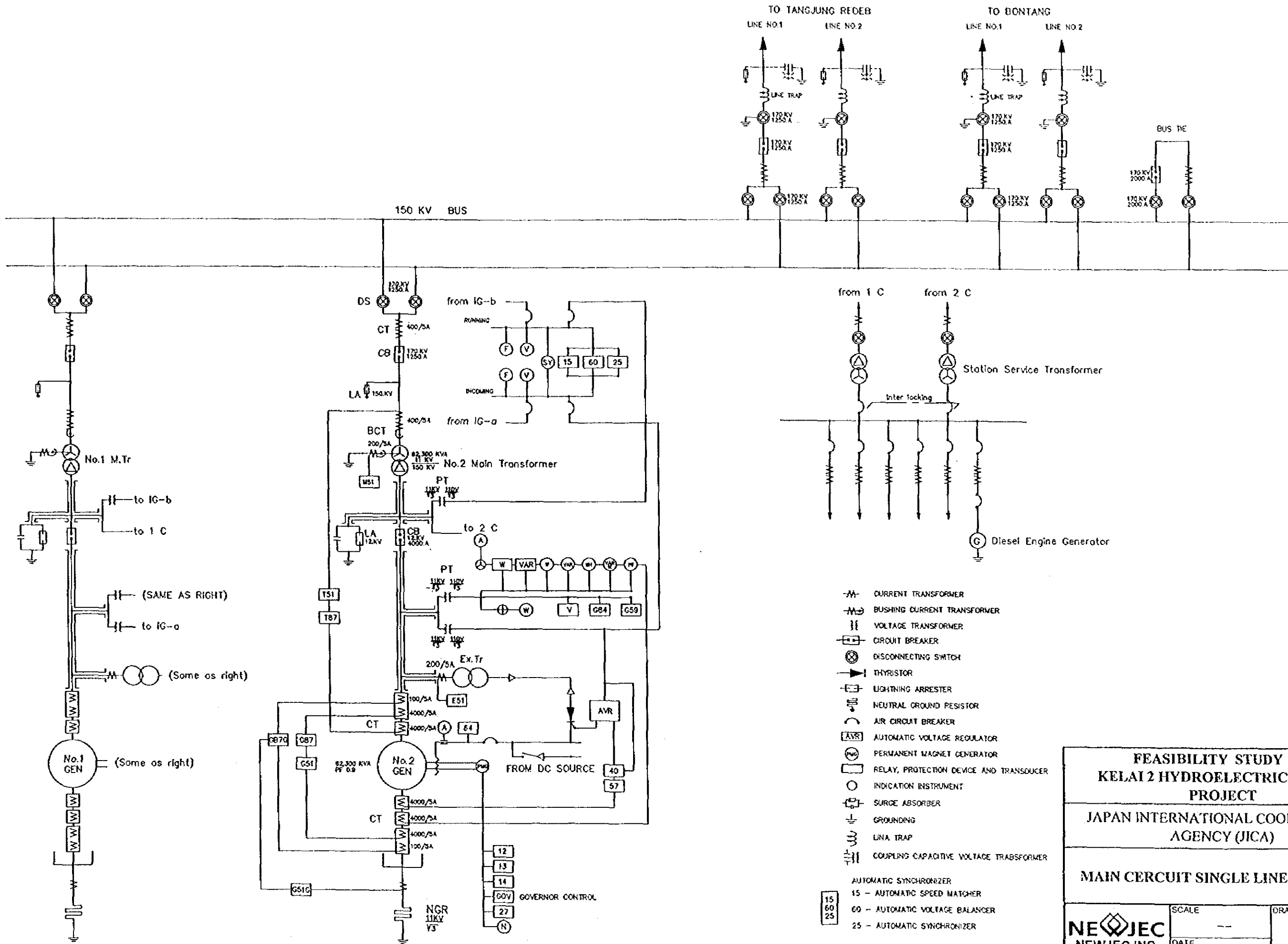
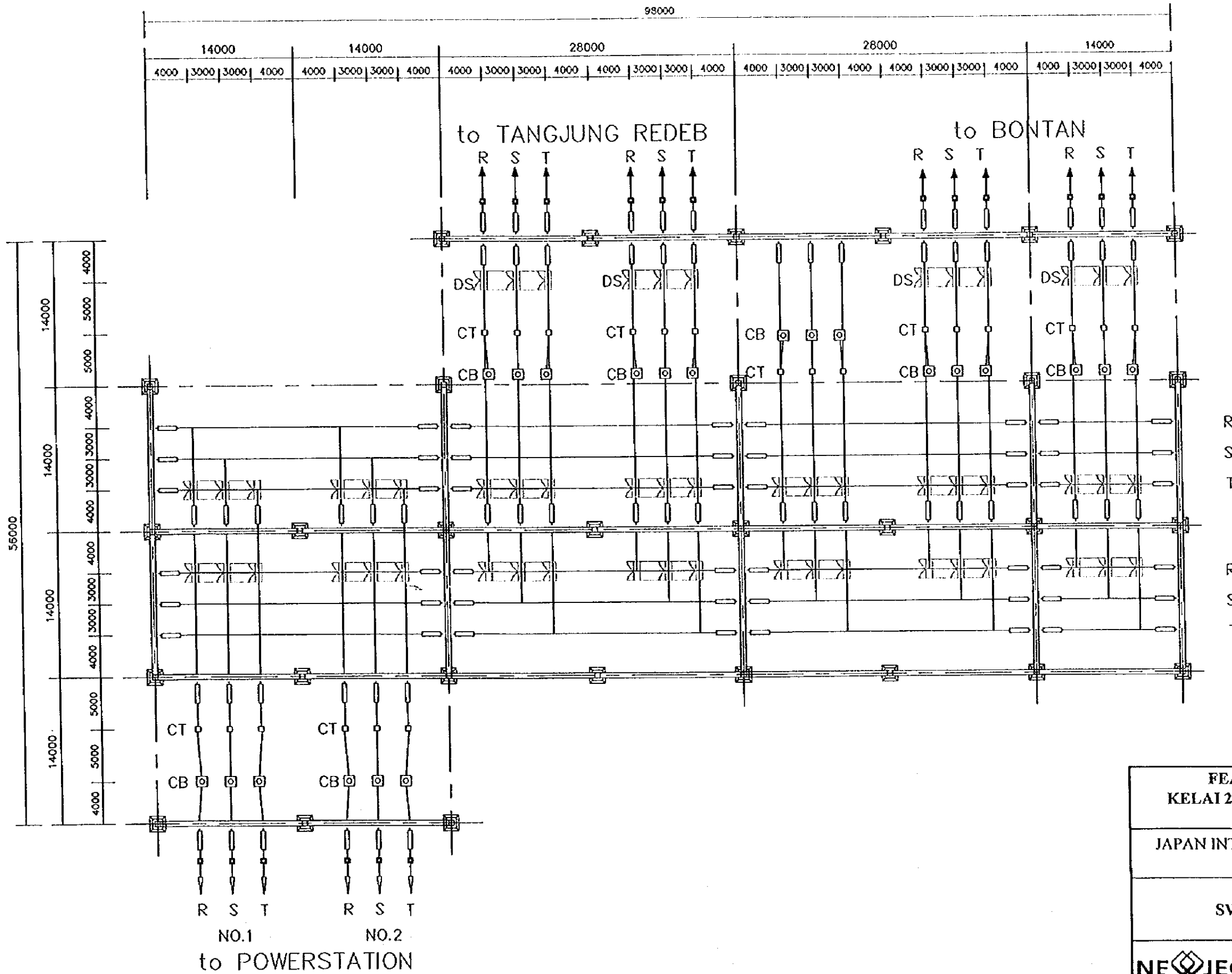


Fig.8.4-5 *Typical Type of Bearing Arrangement for Generator*











- CURRENT TRANSFORMER
 - BUSHING CURRENT TRANSFORMER
 - VOLTAGE TRANSFORMER
 - CIRCUIT BREAKER
 - DISCONNECTING SWITCH
 - THYRISTOR
 - LIGHTNING ARRESTER
 - NEUTRAL GROUND RESISTOR
 - AIR CIRCUIT BREAKER
 - AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR
 - PERMANENT MAGNET GENERATOR
 - RELAY, PROTECTION DEVICE AND TRANSDUCER
 - INDICATION INSTRUMENT
 - SURGE ABSORBER
 - GROUNDING
 - LINE TRAP
 - COUPLING CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER
- AUTOMATIC SYNCHRONIZER
 15 - AUTOMATIC SPEED MATCHER
 60 - AUTOMATIC VOLTAGE BALANCER
 25 - AUTOMATIC SYNCHRONIZER

FEASIBILITY STUDY OF KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
MAIN CERCUIT SINGLE LINE DIAGRAM		
NEWJEC NEWJEC INC.	SCALE ---	DRAWING No.
	DATE	Fig. 8.4-6

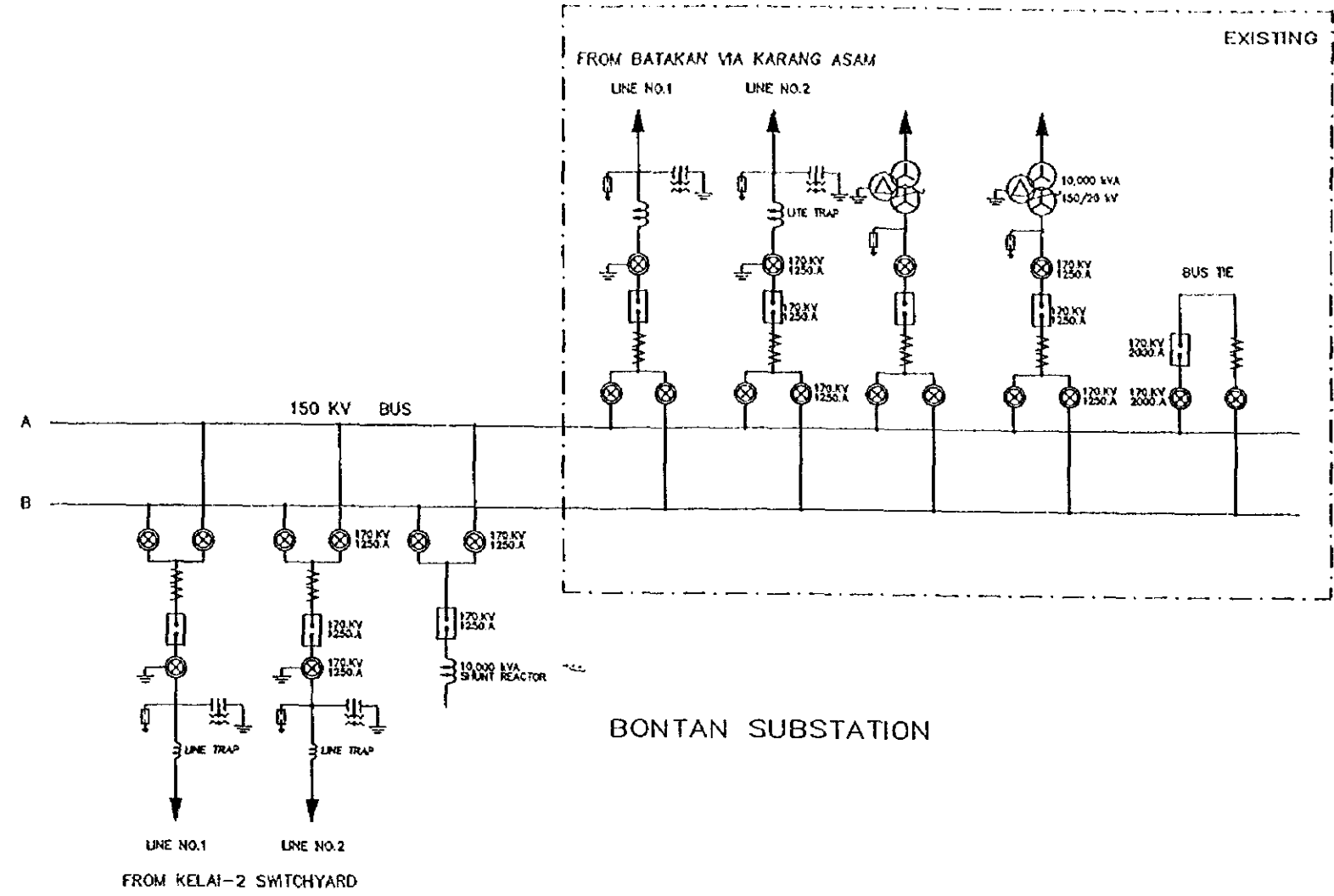
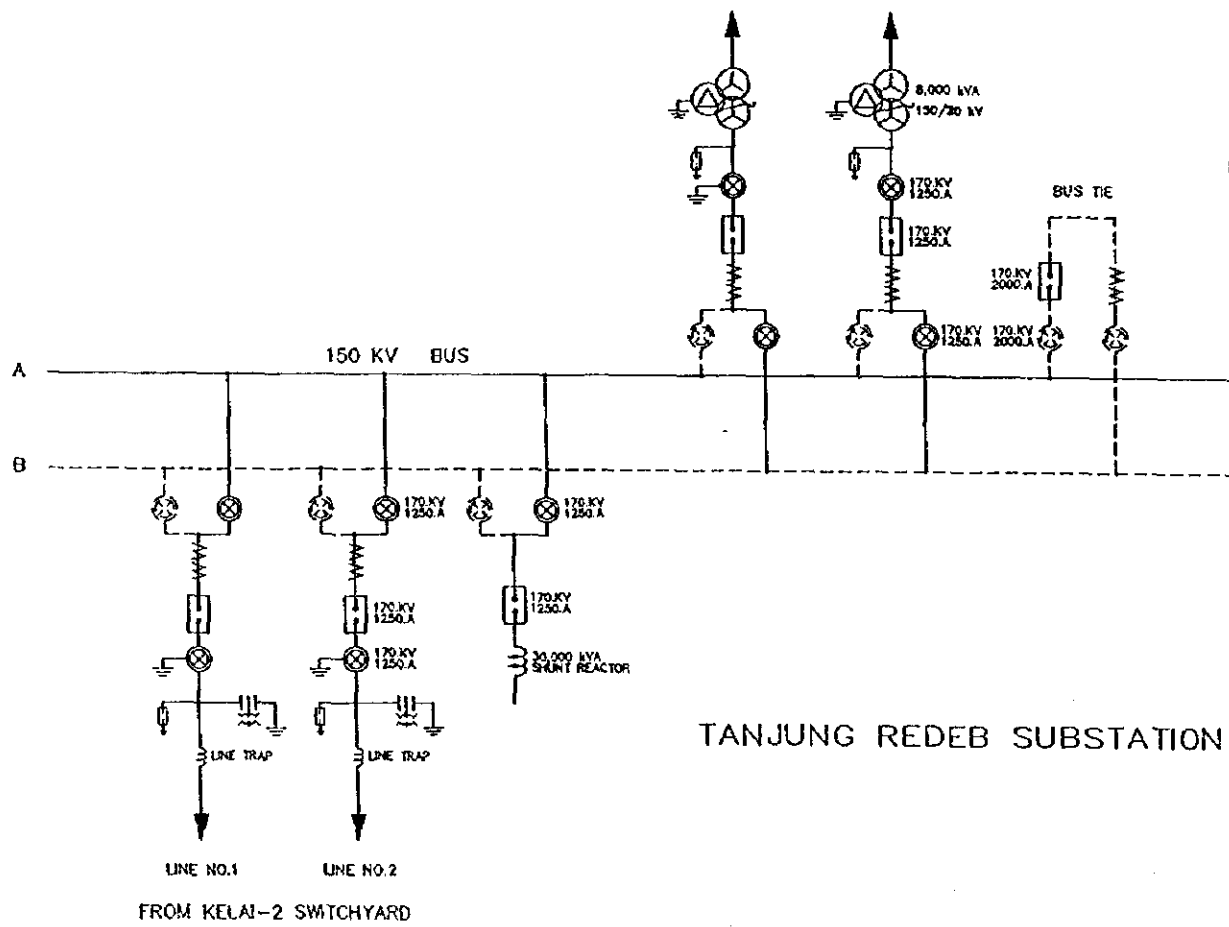



FEASIBILITY STUDY OF KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
SWITCHYARD LAYOUT		
NEJEC NEWJEC INC.	SCALE	DRAWING No.
	DATE	Fig. 8.4-7

-  DISTRIBUTION TRANSFORMER
-  CURRENT TRANSFORMER
-  CIRCUIT BREAKER
-  DISCONNECTING SWITCH
-  LIGHTNING ARRESTER
-  SHUNT REACTOR
-  COUPLING CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMER
-  GROUNDING

DOTTED LINE IN TANJUNG REDEB IS FUTURE EXTENSION

DASHED LINE IN BONTAN IS EXISTING AND ESTIMATION



FEASIBILITY STUDY OF KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
SUBSTATION SINGLE LINE DIAGRAM		
 NEWJEC INC.	SCALE ---	DRAWING No.
	DATE	Fig. 8.4-8

8.5. 送電線設備

8.5.1. ルート

(1) 概要

送電線 (T/L) ルートとしては、2 つの案が考えられる。1 案は、ムアラワハウを通りカリマンタンハイウェイからボンタンへ至るルート (山側ルート) であり、もう 1 案は、海岸線沿いの既設道路に沿ってサンクリランを通り、半島を横断南下するルート (海側ルート) である。これら T/L ルートの大きな特徴としては、いずれの案も、オランウータンの生息地を含め、深い森林地帯を通過することが上げられ、T/L 建設並びに保守のため、多量の樹木伐採が必要となる。ルートの概要を Fig.8.5-1 に示す。

今回、T/L ルートの選定に当たり、主に留意した点を次に記す。

- (a) 建設費の低減と T/L 完成後の保守を考慮し、ルートは可能な限り既設道路沿いに計画した。
- (b) 海側ルートの場合には設備への塩害が考えられるが、懸垂がい子個数の追加、アルミ覆鋼線の採用等、設備強化で対応するものとした。
- (c) T/L ルートを既設道路沿いに選定する場合、電話線等と T/L との間に電磁・静電誘導が発生するが、その対策は比較的容易であるため、この段階では特に考慮しないものとする。

(2) 山側ルート (延長 345 km)

- (a) ケライ 2～タンジュンレデブ及びムアラワハウ間
比較的幅の広いカリマンタンハイウェイ沿いにルート選定した。
- (b) ムアラワハウ～スンガタ間
T/L ルートは、比較的幅の狭い既設道路に沿って東に向い、その中間点でオランウータンの住む森林地帯を十数キロにわたって横切ることとなる。
- (c) スンガタ～ボンタン間
T/L ルートは再び南下し、国道沿いにボンタンへ至る。

(3) 海側ルート (延長 420 km)

- (a) ケライ 2～タジュンレデブ間
山側ルートと同様
- (b) タンジュンレデブ～タリヤサン間
比較的道路状態の良い既設道路沿いに、海岸線に沿ってルート選定した。
- (c) タリヤサン～サンクリラン
T/L ルートは既設道路沿いに半島を横切ることとなる。また、この中間点では、オランウータンの住む森林地帯を十数キロにわたって横切る。既設道路の状態は良好であるが、南下するにつれ枝分かれし、細くなっていくため幹線の選定が難しくなる。従って詳しい現地調査が必要と判断される。
- (d) サンクリラン～ボンタン間
山側ルートと同様

8.5.2. 設 備

(1) 概 要

(a) 山側ルート

区 間 : ケライ 2 P/S ~ ボンタン
ムアラワハウ～上記区間の分岐鉄塔 (T分岐)
ケライ 2 P/S ~ タンジュンレデブ
互 長 : 345 km

(b) 海側ルート

区 間 : ケライ 2 P/S ~ タンジュンレデブ ~ サンクリラン ~ ボンタン
互 長 : 420 km

(c) 共通部

電 圧 : 154 kV
電 線 : ACSR 240 もしくは ACSR/AW 240

回線数 : 2
 架空地線 : GSW55 もしくは AW 55
 保護通信設備 : 送電線搬送通信設備

(2) 支持物

本計画規模の T/L 支持物としては、インドネシアでは、鉄筋コンクリートを擁する亜鉛メッキアングル鉄塔が一般的である。Table 8.5-1 にインドネシアにおける標準的な鉄塔型を示すとともに、Fig.8.5-2,8.5-3 に、それぞれの鉄塔型の外観とクリアランスの概要を示す。

Table 8.5-1 標準的な鉄塔型

Application	Tower Type	Standard Span [m]	Line Angle [degree]
Suspension	A	350	~ 3
Tension	B	350	~ 20
Tension	C	350	~ 40
Tension	D	350	~ 60 or Dead End
Tension	E	350	~ 90

(3) 絶縁システム

1 がい子連当たりのがい子数は次の項目から検討される。

- (a) 開閉サージ
- (b) 50 Hz 異常電圧
- (c) アーキング ホーン
- (d) 汚損設計

150 kV 送電線においてがい子数を決定する際、一般的には開閉サージが最も重要な要素であり、SU120CN (JEC-206) を使用した場合には、9 個の懸垂がい子が必要となる。

海岸部を通過する T/L ルートについては、塩害対策を施す必要がある。一般に、海岸線より 1 ~ 10 km 区間では最大 0.125 mg/cm^2 の塩が付着するものと考えられ、それに従えば、1 がい子連当たり 12 個の碍子が必要となる。但し、がい子連の汚損の状況は、風向、風速によって変化するため、がい子数の最終決定は、適切な調査の後に行われる必要がある。

また、インドネシア各地域は多雷地域であるため、アーキングホーンを各鉄塔に設置するものとする。

(4) 電 線

電線サイズ、種類は、次の項目を検討することにより決定される。

- (a) 送電容量
- (b) 送電系統の信頼度
- (c) 大気の汚損状況

ケライ 2 水力発電所の設備出力は 111 MW である。一方、ACSR 240 の送電容量は、PLN の標準によれば、139 MW である。従って、本計画案の ACSR 240 × 2 cct の採用によって、1 回線事故時においても、ケライ 2 発電所の全出力を送電可能である。

T/L ルートの一部は海岸部を通ることから電線の塩害（鋼心の錆）が予想される。従って、この地域には防錆対策として、ACSR/AW（アルミ覆鋼心アルミより線）の採用が有利と思われる。

(5) 架空地線

電線に ACSR を採用する地域については GSW55 を架空地線として採用する。一方、海岸部については電線と同様に AW55（アルミ覆鋼線）を採用する。

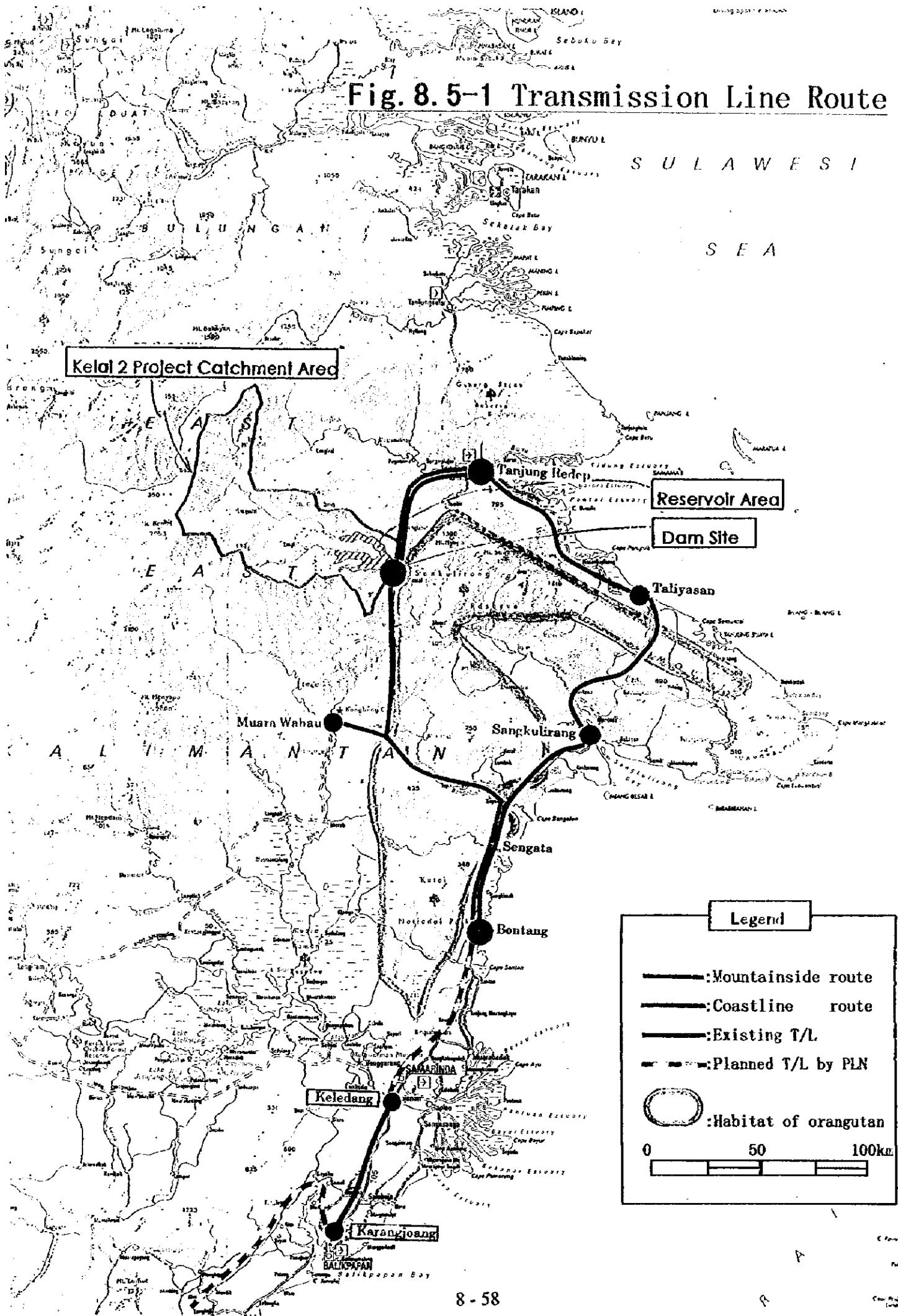
(6) 保護設備

送電線亘長が長いため、事故点の発見・復旧に時間がかかることから、次の設

備の採用を検討する必要がある。

- (a) 送電線搬送通信設備
- (b) フォルト ロケータ
- (c) キャリヤ方式送電線保護装置

Fig. 8.5-1 Transmission Line Route

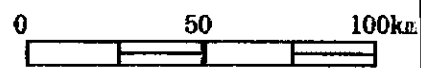


Reservoir Area

Dam Site

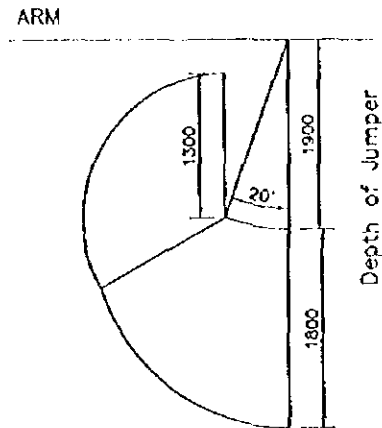
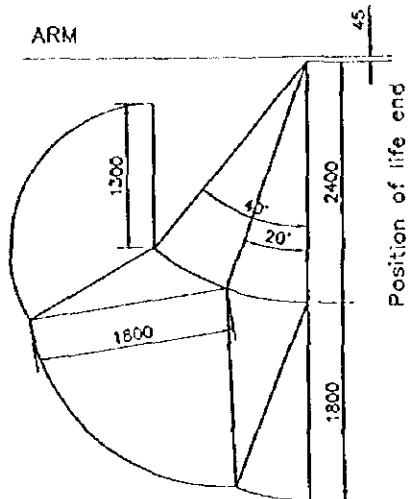
Legend

- : Mountainside route
- - -: Coastline route
- (thick): Existing T/L
- - - (thick): Planned T/L by PLN
- ▨: Habitat of orangutan



SUSPENSION INSULATOR STRING

TENSION INSULATOR STRING



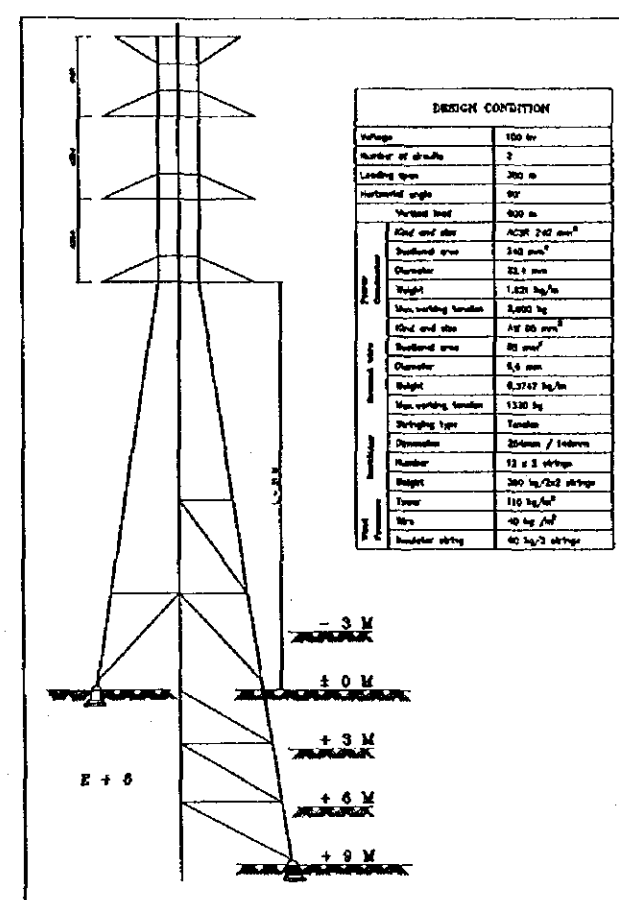
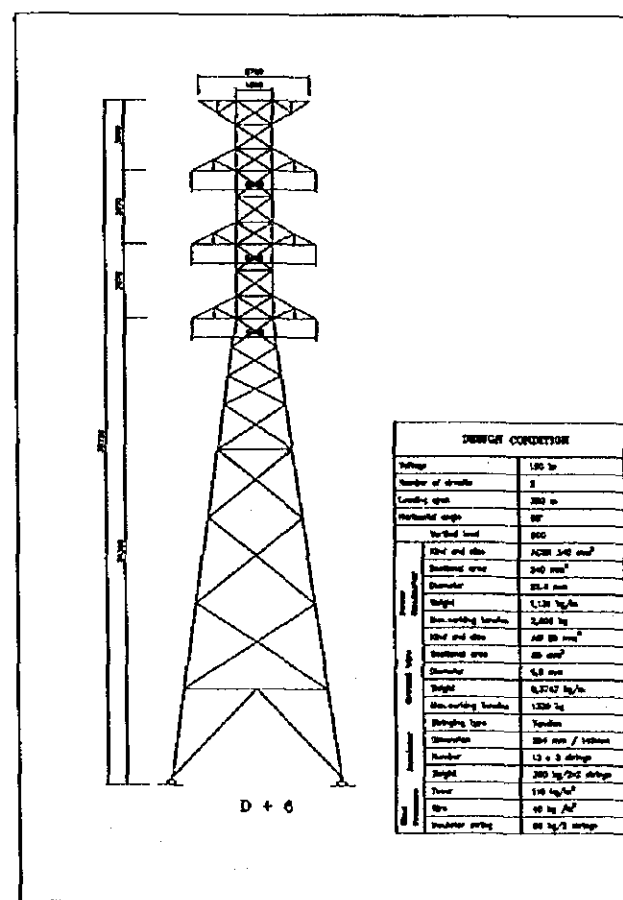
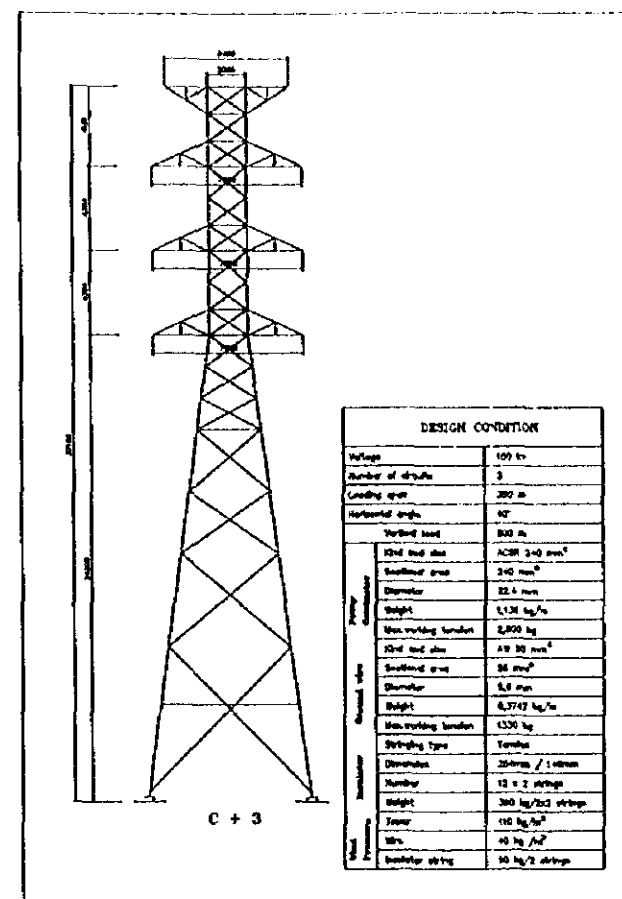
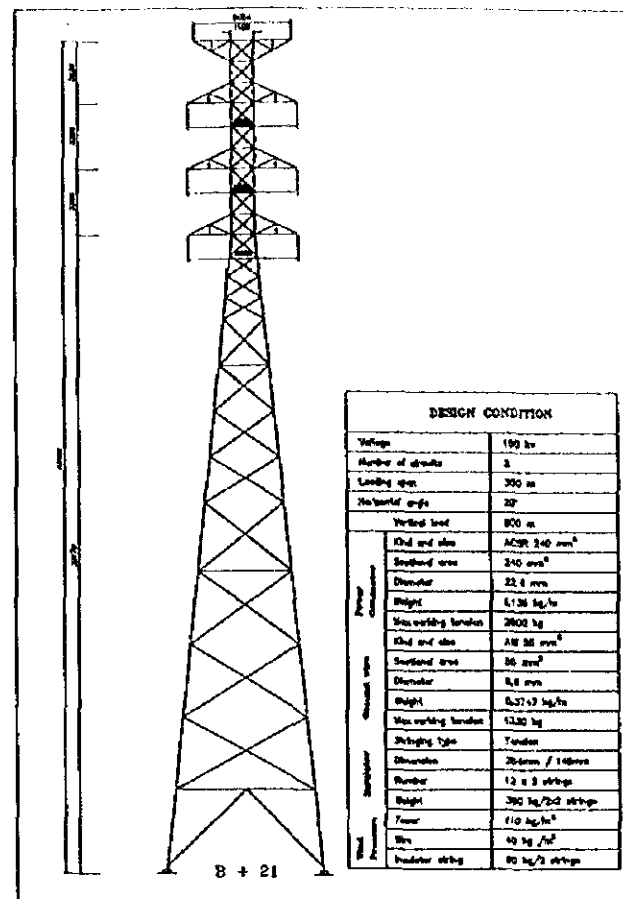
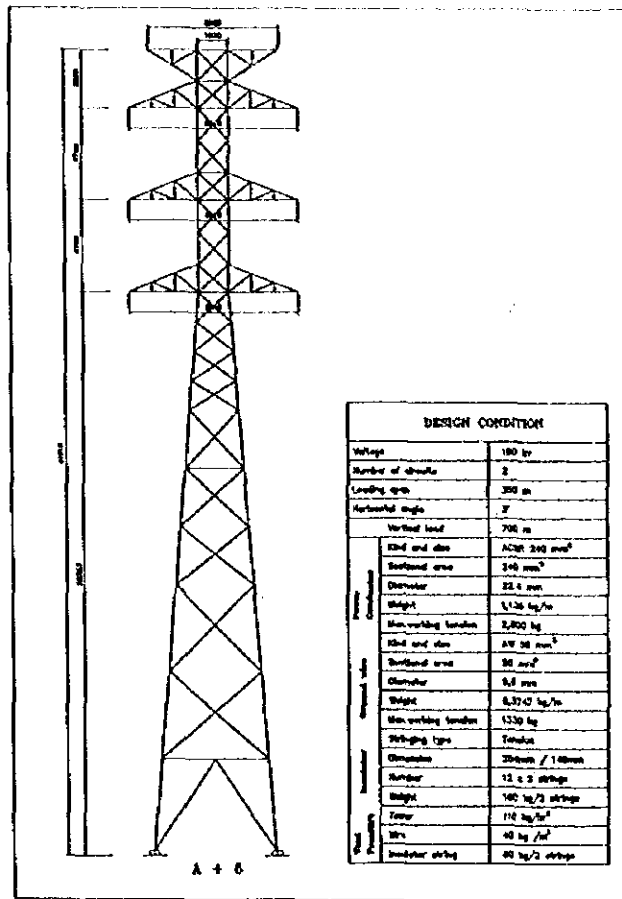
CLEARANCE

ITEM	UNIT	SUSPENSION	TENSION
		12. UNITS (For Double)	12. UNITS (For Double)
Length of Insulator string	mm	1752	1752
Length of horn gap		1250	1250
Normal Insulation clearance		1800	1800
Minimum Insulation clearance		1300	1300
Depth of Jumper (Between Arm and Jumper bottom)		-	1900

SWING ANGLE

ITEM	SWING ANGLE (Degree)	
	Normal	Maximum
Suspension insulator string	20	40
Jumper	-	20

FEASIBILITY STUDY OF KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER PROJECT		
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)		
A Sample of Clearance Diagram		
NEWJEC NEWJEC INC.	SCALE	DRAWING No.
	DATE	



**FEASIBILITY STUDY OF
KELAI 2 HYDROELECTRIC POWER
PROJECT**

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION
AGENCY (JICA)

**A Sample of
Steel Tower Appearance**

NEWJEC NEWJEC INC.	SCALE	DRAWING No.
	DATE	8 - 60

Fig.8.5-2