

6. 地質, 建設材料, 地震

6.1 地質

(1) 地質概要

計画地域の岩盤は、DWG. 6-1, 6-2に示すように主にシルト岩、細粒砂岩からなるPhu Kradung層および粗粒砂岩、粘土岩、細粒砂岩シルト岩互層、シルト岩からなるPhra Wihan層で構成されている。岩質は、砂岩は全般に塊状堅硬であるが、シルト岩は固結度がやや低く、粘土岩は固結度が低い。各地層の関係は整合で、地層はN30° ~ 70° Wの走向で、5° ~ 10° (平均で約6°) NBに傾斜している。岩盤を覆って、上池地点には、厚さ数mの風化残留土が形成されており、放水路トンネル上の斜面には、厚さ30mに達する崩積土および崖錐堆積物が分布している。

Table 6-1に本地域の地質層序区分と各地層の主な物性値を示す。

本地域には露頭で確認された断層はないが、ボーリングでは小規模な断層の存在が確認されており、また空中写真からは断層の可能性のある数本の線状模様が判読されている。

(2) 主要構造物地点の土木地質的評価

(a) 上部調整池地点

岩盤は風化を受けた粗粒砂岩および粘土岩で構成され、粗粒砂岩は十分な強度を持ち、粘土岩もダム基礎岩盤として利用可能と考えられる。表層に分布する厚さ5m程度以下の風化残留土は強度が低く掘削除去する必要がある。

(b) 取水口および導水路トンネル地点

岩盤は粗粒砂岩および細粒砂岩・シルト岩互層で構成され、風化が進み脆弱に成っている部分があり、見掛けの幅が4m程度の断層破碎帯もあるが、構造物の建設に際して大きな問題となる程ではない。

(c) 水圧管路・地下発電所地点

岩盤は、細粒砂岩・シルト岩互層、粗粒砂岩、シルト岩および細粒砂岩で構成され、風化は受けておらず、断層も少なく、地質状態はほぼ良好である。シルト岩はボーリングコアでは、スレーキングのために不良に見える部分が多いが、孔内載荷試験の結果から岩盤の状態はそれほど不良ではないものと推定され、トンネルや地下発電所の建設は可能と考えられる。ただし掘削後は出来るかぎり早く

吹き付けを行い、岩盤の劣化を防ぐことが必要であろう。

地下発電所地点に分布する細粒砂岩は、非常に堅硬な岩盤であるが、透水性が大きく湧水の対策が必要となる可能性がある。

(d) 放水路トンネルおよび放水口地点

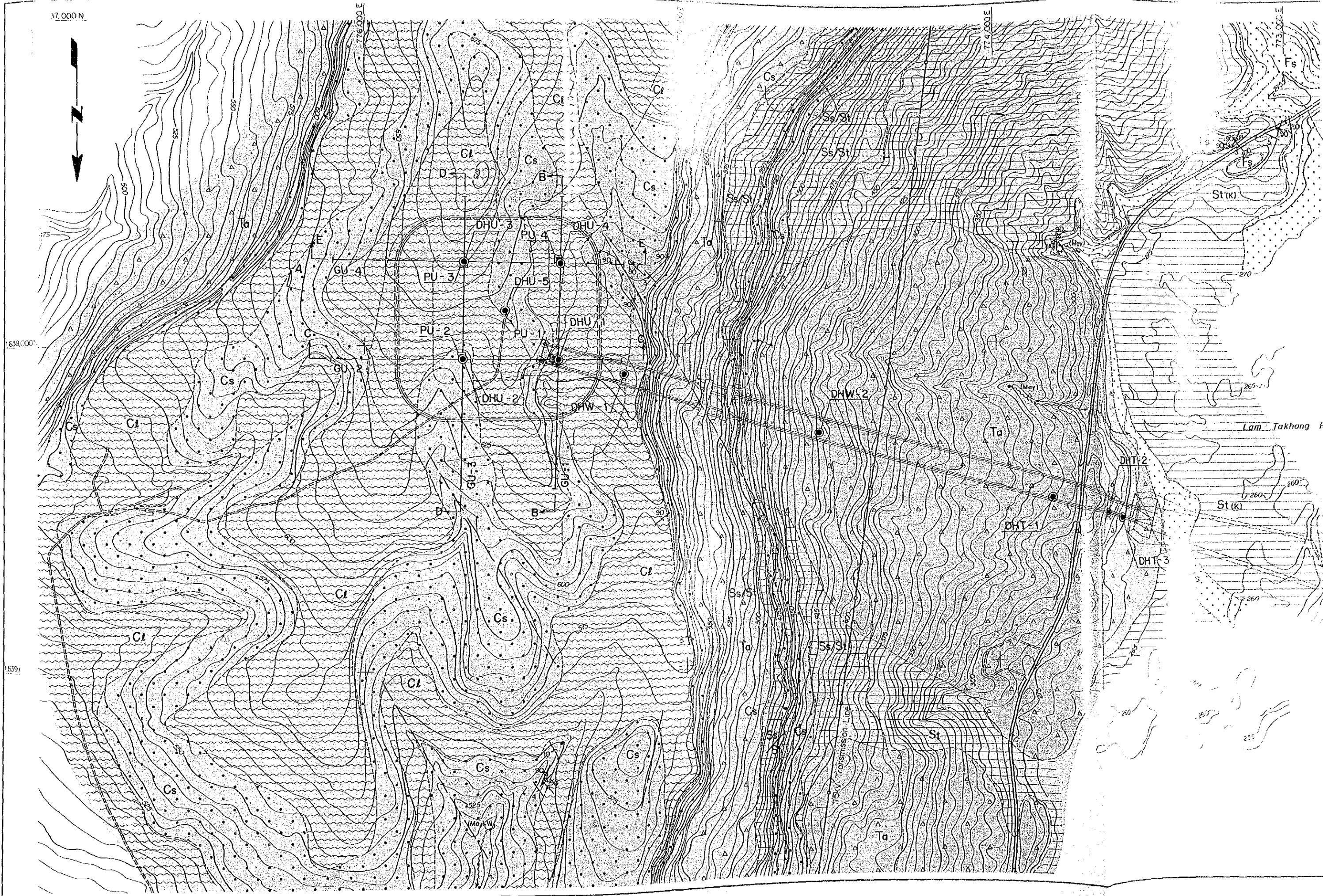
岩盤は、地下発電所地点と同じであるが、放水口地点付近では、深度が浅いため風化の影響を受け軟質化している。

水路斜面の中下部の崩積土～崖錐堆積物は、過去の地えりによって形成されたものである可能性が高い。現在の活動を示唆する現象は特に認められないが、放水口や開閉所や道路の斜面での掘削によって、安定性が損なわれる可能性があるので注意が必要である。

Table 6-1 Stratigraphy and Properties of Rocks in Project Area

Era	Period	Formation (Geologic Unit)	Lithology	Thickness (m)		Distribution	Compressive Strength (kgf/cm ²)	Deformation Modulus (kgf/cm ²)	Remarks	
				Unit bed	Total					
CENZOIC	Quaternary	Colluvial Deposit	Sandstone fragments and soil material: poorly sorted, including boulders	—	0~30	Slope over waterway	—	—		
		Talus Deposit	Lateritic red soil: silty gravel~sandy clay rich in oxides of iron	—	0~4	Upper Reservoir	—	—	N-value: 50<	
MESOZOIC	Jurassic	Phra Wihan Formation	Claystone: Massive, light-gray, silty	5<, 5-15, 1-3	60<	Upper Reservoir	20-30	—	weathered	
			Medium to coarse-grained sandstone: weakly laminated, light-gray, quartzose, partly including claystone patch	25, 30-40		Upper Reservoir, Intake	500-800	10,000-60,000	weathered RQD = 66 %	
		lower part	Alternation of sandstone and siltstone: Fine-grained sandstone; light-gray, calcareous, Siltstone and sandy siltstone; Reddish-purple to greenish-gray, calcareous	—	200	Headrace, Penstock	Fine-grained sandstone 500-1,100 Siltstone 200-300	50,000 -300,000<	fresh RQD = 75 %	
			Medium to coarse-grained sandstone: weakly laminated, light-gray, quartzose	5, 25						700-800
		Phu Kradung Formation	middle part	Siltstone and sandy siltstone: Reddish-purple to greenish-gray, calcareous, intercalated light-gray fine-grained calcareous sandstone	—	180	Penstock, Powerhouse	200-300 (sandy part : 500-800)	11,000-25,000	fresh RQD = 79 %
				Siltstone and sandy siltstone: Reddish-purple to greenish-gray, calcareous	—					
Phu Kradung Formation	upper part	Fine-grained sandstone: light-gray, calcareous, locally intercalated greenish-gray very coarse-grained sandstone and conglomerate	2-20, 20, 10	130<	Powerhouse, Tailrace, Outlet	700-1,100	9,000-80,000	partly weathered RQD = 79 %		

37,000 N



1638,000 N

1639,000 N

773,000 E

774,000 E

773,000 E

Lam Takhong Ro

15KV Transmission Line

St(k)

St(k)

DHT-3

DHT-1

DHT-2

DHW-2

DHW-1

DHU-2

DHU-1

DHU-5

DHU-4

DHU-3

PU-2

PU-3

GU-4

GU-2

GU-3

GU-1

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

500

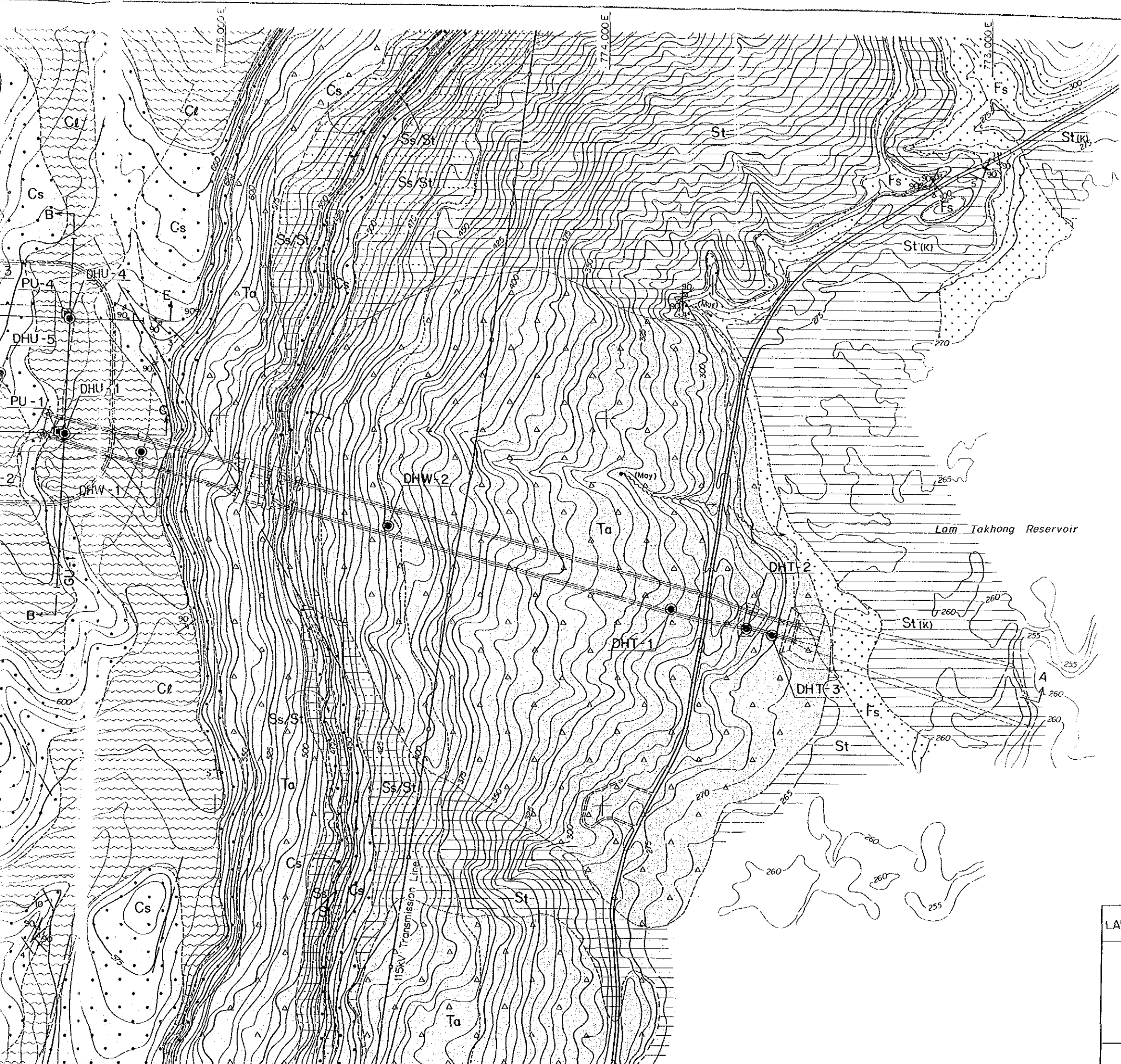
500

500

500

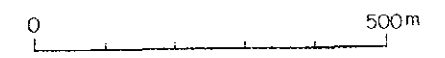
500

500



LEGEND

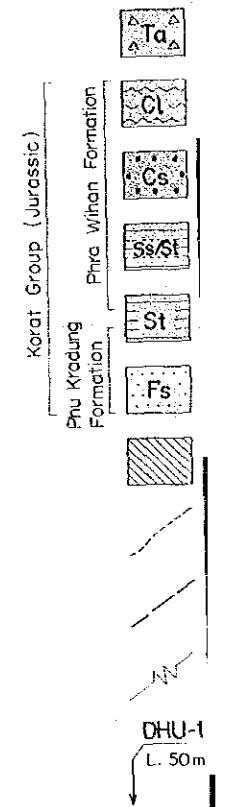
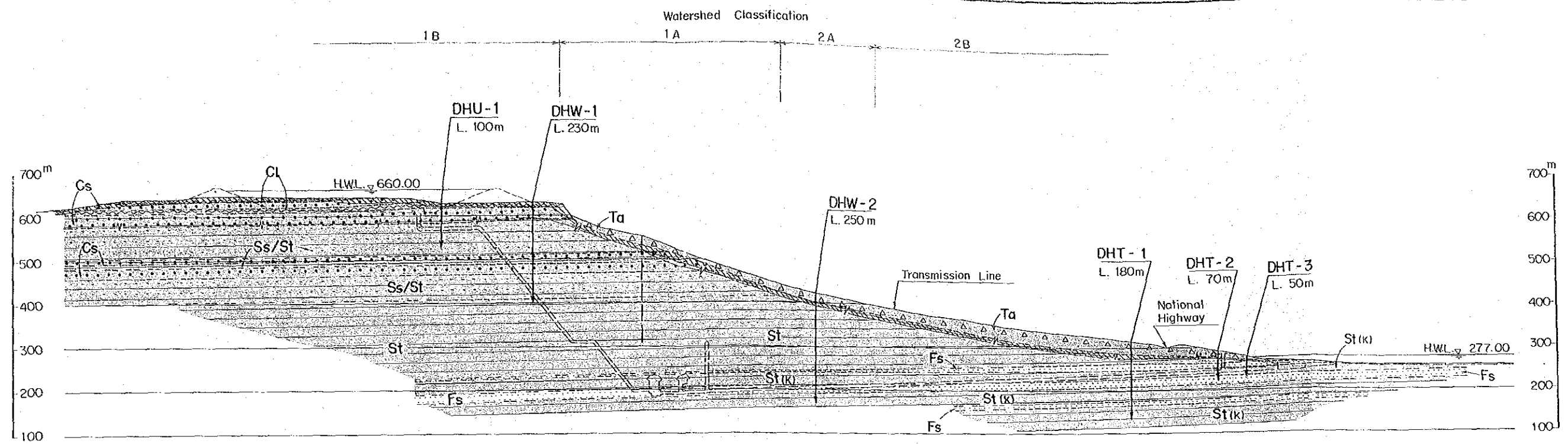
- Colluvial Deposit, Talus Deposit
 - Claystone
 - Coarse-Grained Sandstone (partly including claystone patch)
 - Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
 - Siltstone, Sandy Siltstone (with thin sandstone beds) (K) : Phu Krading Formation
 - Fine-Grained Sandstone (with thin siltstone beds)
- Korat Group (Jurassic)
- Phu Krading Formation
 - Phu Wihan Formation
- Geologic Boundary (-----: concealed part)
 - Strike and Dip of Bed
 - Strike and Dip of Joint
 - Inferred Weak Line (by aerophoto)
 - DHU-1 Drill Hole
 - PU-1 Test Pit
 - GU-1 Geophysical Prospecting
 - Cross Section
 - Spring
 - Stream



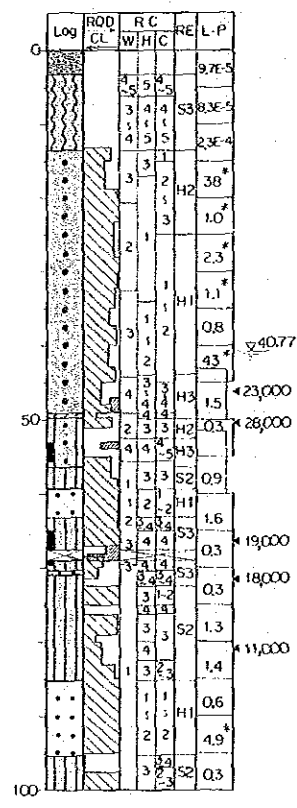
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

GEOLOGIC PLAN OF PROJECT AREA

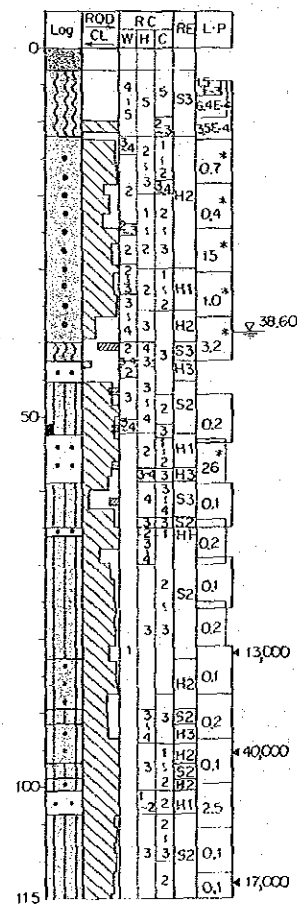
DWG. 6-1



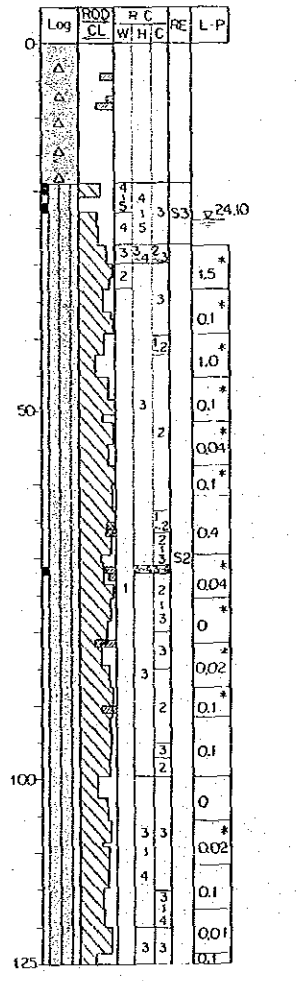
DHU - 1
EL. 632.14 m
L. 100.0 m



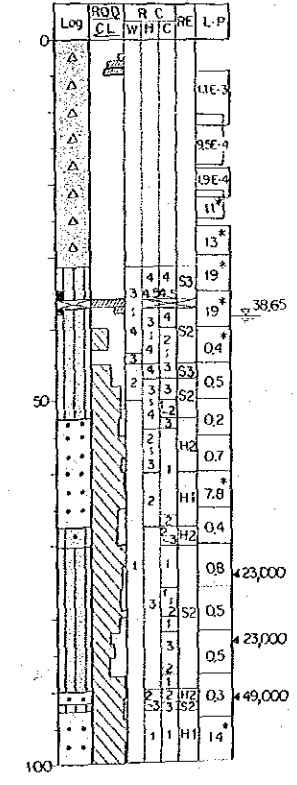
DHW - 1
EL. 631.05 m
L. 230.0 m



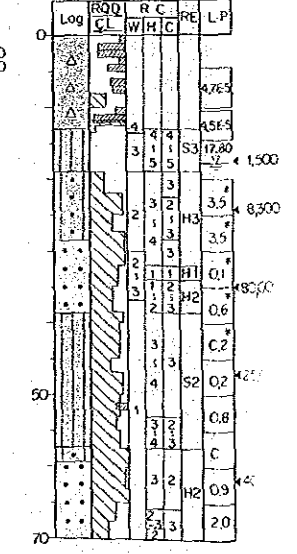
DHW - 2
EL. 422.83 m
L. 250.0 m



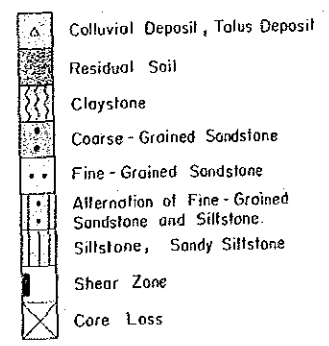
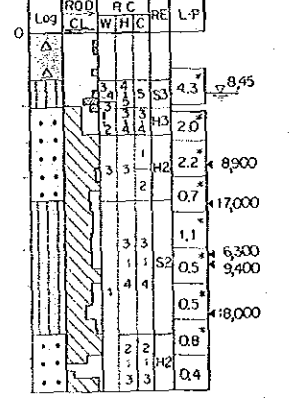
DHT - 1
EL. 316.08 m
L. 180.0 m
(Projection: 20m North)



DHT - 2
EL. 290.00 m
L. 70.0 m
(Projection: 15m North)



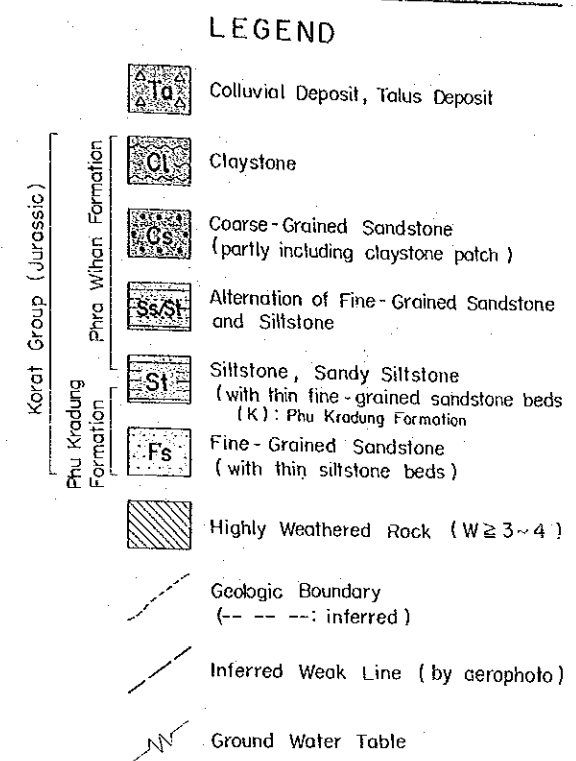
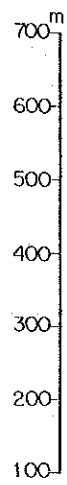
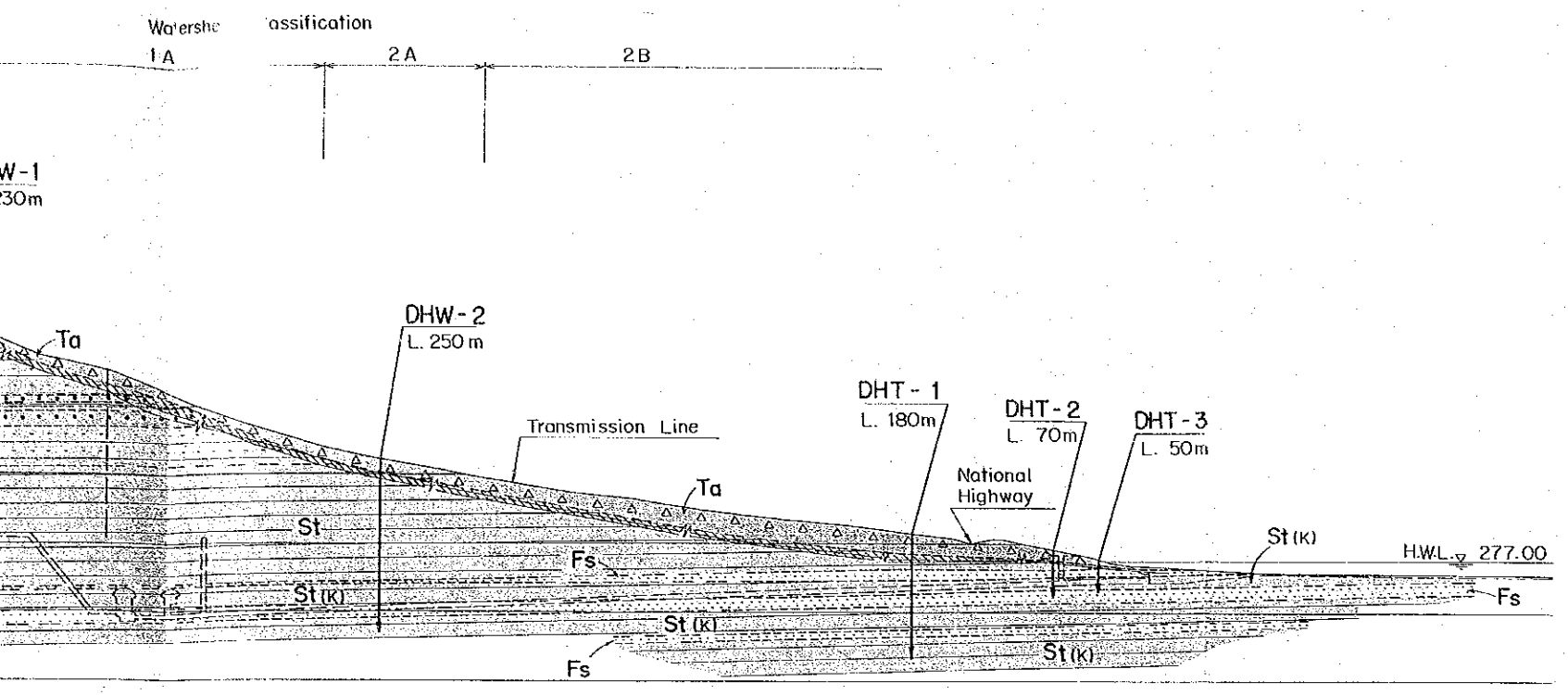
DHT - 3
EL. 276.84 m
L. 50.0 m
(Projection: 15m North)



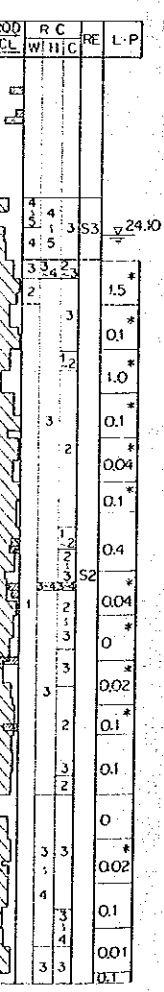
- ① Depth
- ③ ROD
- CL
- ④ RC
- W
- H
- C
- ⑤ RE
- H
- ⑥ L-P
- ⑦

LAM TA

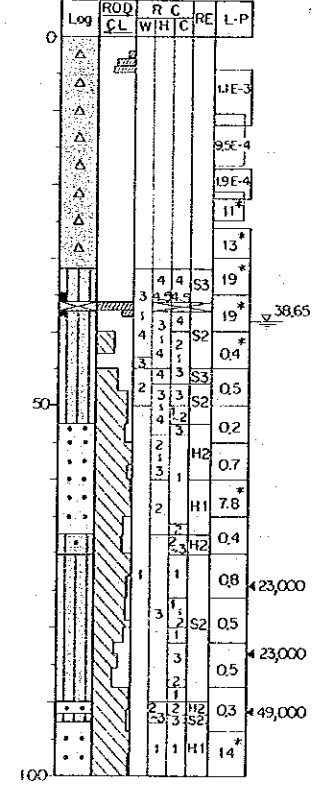
DW



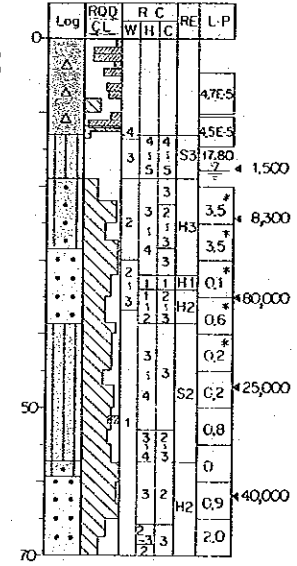
W - 2
 422.83 m
 250.0 m



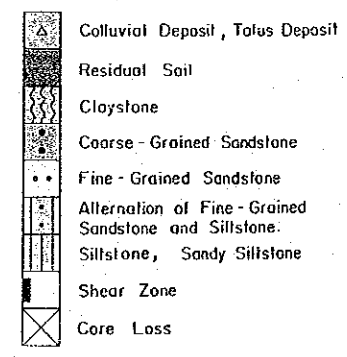
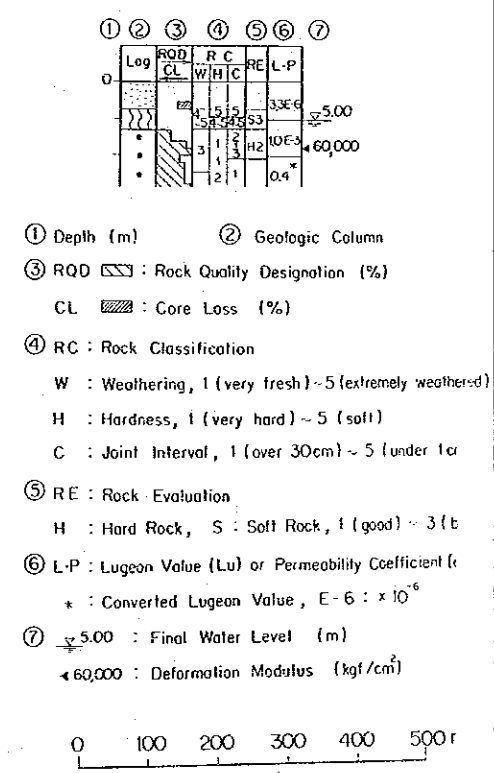
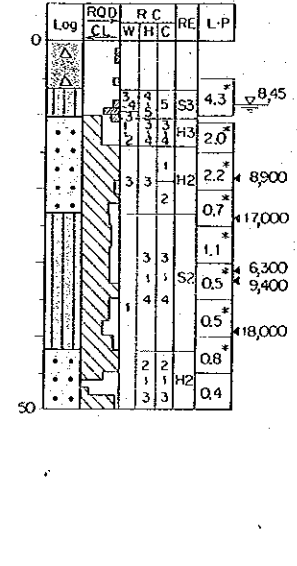
DHT - 1
 EL. 316.08 m
 L. 180.0 m
 (Projection : 20m North)



DHT - 2
 EL. 290.00 m
 L. 70.0 m
 (Projection : 15m North)



DHT - 3
 EL. 276.84 m
 L. 50.0 m
 (Projection : 15m North)



LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

**GEOLOGIC PROFILE
 OF
 WATERWAY (A-A)**

DWG. 6-2

6.2 建設材料

(1) 上部ダム盛立材料

上部ダム盛立材料としては、上部調整池の掘削によって得られる風化残留土、粘土岩および粗粒砂岩を利用することが考えられる。粗粒砂岩は、コア試験や骨材試験の結果から、盛り立て材料として問題はないものと考えられる。粘土岩および風化残留土は、材料試験の結果、不透水性材料として適したものであることがわかったが、粗粒砂岩と適当に混合して盛り立て材料として利用することが十分可能である。

(2) コンクリート骨材

計画地点周辺地域では、河床砂礫の採取は困難で、骨材は砕石場から採取する必要がある。砕石場の候補地点としては、Pak Chong の南西約12km (計画地点の南西約30km) のRatburi層群の石灰岩分布地点にある既存の砕石場と、上部調整池地点の約1.5km北東の粗粒砂岩分布地点が考えられる。

既存の砕石場の石灰岩は、ASTMおよびJIS(Japan Industrial Standards) に定められている基準値に適合する。ただしこの岩石は苦灰石成分を含んでおり、アルカリ炭酸塩反応によりコンクリートに有害となる可能性もあるので、今後より詳細な試験による確認が必要である。

粗粒砂岩は、密度が 2.35g/cm^3 程度でJISの基準値(2.50g/cm^3)を下回っているが、その他は基準値を満足している。密度の基準値は絶対的なものではないと考えられるので、今後骨材の選定に当たっては設計条件、経済性等を考慮した総合的検討が必要である。

6.3 地震

東南アジアという大きな観点から見た時、タイ国は北部を除くと地震の極めて少ない国であると考えることができ、タイ国の地震活動度は、ミャンマー、インド、中国、ネパール、日本等の周辺諸国に比して著しく地震活動性の低い地域であると指摘することができる。また Lam Ta Khong 計画地点は、褶曲や変成作用を受けていない安定な Khorat 高原に位置し、周辺には活断層や大規模な断層は存在しない。

計画地点において揺れが感じられた地震を NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) の地震データファイルから検索してみたところ、Lam Ta Khong 上池地点から半径 200km 以内では 0 回、500km 以内では 8 回、1,000km 以内で 543 回との結果を得た。

この事から明らかなように計画地点では、1959年から1987年に至る期間にダムその他構造物の設計上考慮すべき歴史地震はないと考えられる。歴史地震に基づく地震危険度評価の結果、Lam Ta Khong 上池地点で想定する地震動の最大加速度は、せいぜい 20gal であるとの結論を得た。なお、活断層についても、計画地点周辺には明確な存在が報告されていないことから、この結果は妥当なものであると判断する。

この結果から判断すれば、Lam Ta Khong 上池地点における設計震度は、ほとんど考慮しなくても良い程度であると判断されるが、構造物の重要性を考慮して設計震度は 0.05 を採用する。

7. 環境影響評価

タイ国では、急速な農業の発達および人口増加により、過去20年間で森林が急速に減少している。タイ国政府は公共の利益と繁栄のために森林の利用、開発を管理する政策をたて、タイ国全土を標高、勾配、地形、地質、土壌、気候、産業資源、生態資源（動植物）等により評価して、5つに区分している。DWG. 7-1に計画地域の環境開発規制区分（Watershed Classification）を示す。

E G A Tは本計画に係わる自然・社会経済的な側面から環境調査を実施しており、この環境調査の目的は次の通りである。

- プロジェクト地域の自然・社会経済的環境の現況を調査する。
- プロジェクトの実施により発生する様々な環境に対するポテンシャルインパクトを検討する。
- プロジェクトの実施により発生する環境影響に対する緩和対策を検討する。

上記のE G A Tの調査結果は、このレポートの環境部門の現地調査及び検討に対し有用な情報を提供している。

更にE G A Tは自ら実施した調査結果に基づいて、タイ国環境庁（National Environment Board, NEB）のガイドラインに則って、NEBの許可を受けた第三者機関（Khon Kaen大学）に、より詳細なアセスメント（Environmental Impact Assessment, EIA）を委託し、必要な調査内容や問題点などを検討している。

環境的資源および価値に対して本計画が与える影響は以下の二種類のものがある。

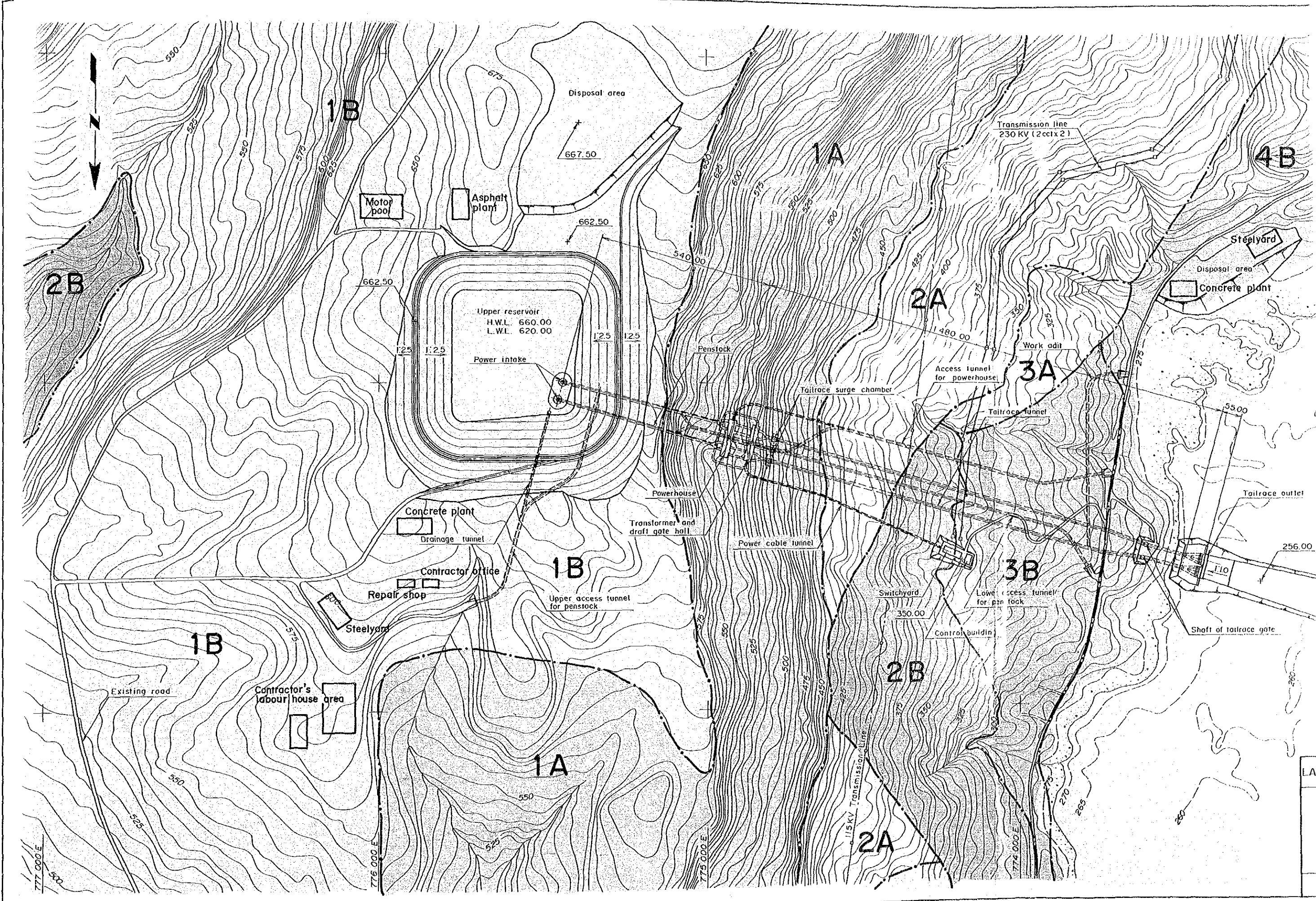
- 建設中に発生する短期的な影響
- 運転中に発生する長期的な影響

前者の影響は、一般に特定の地域に限定されていて、プロジェクトの建設と同時に緩和対策（濁水処理、粉塵・騒音・振動対策、交通規制対策、保健・安全対策）を実施することにより、これを最小とすることができる。

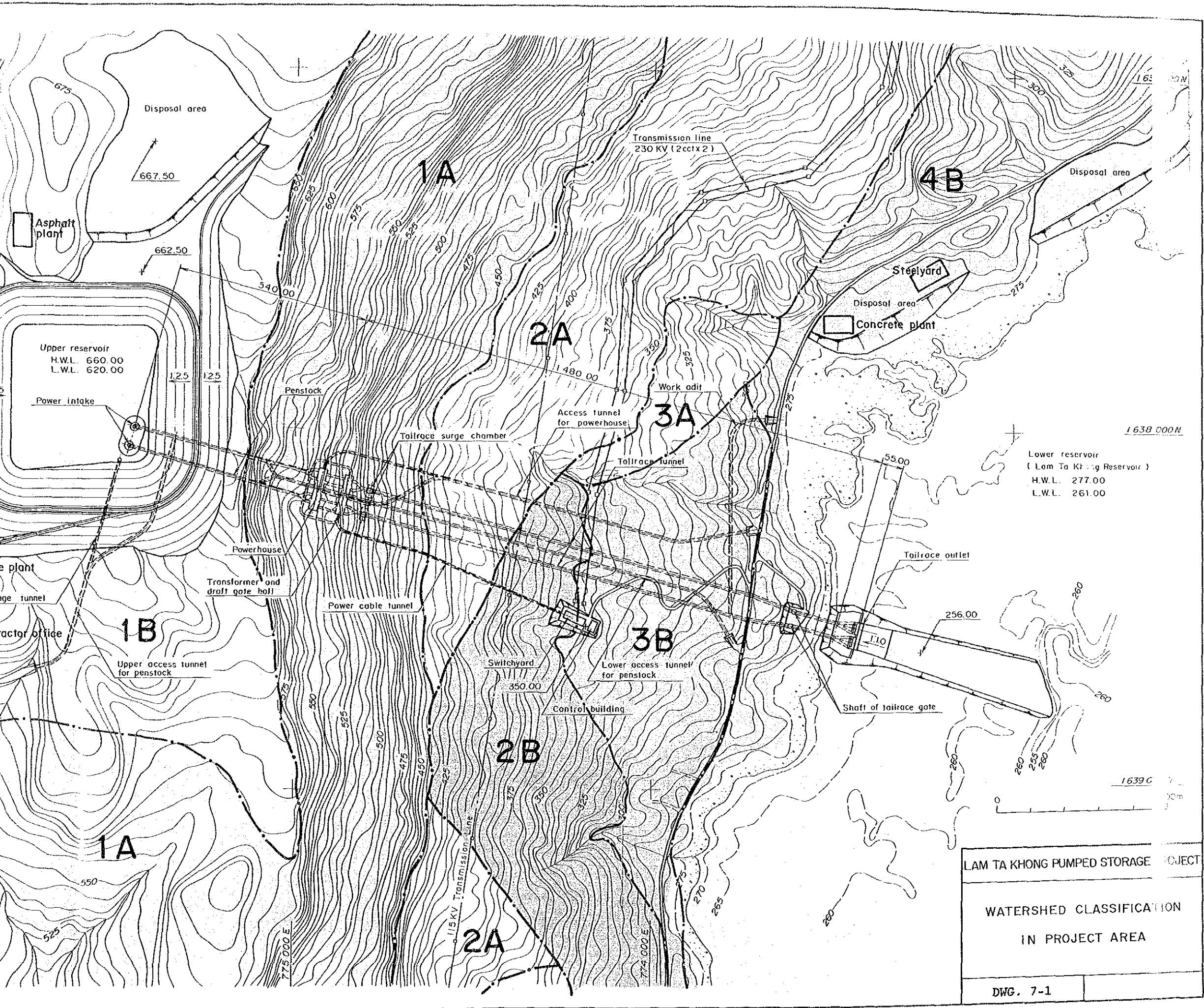
また、後者の影響に対しては下記の対策が必要である。

- 上部調整池地点の水没補償および影響を受ける世帯に対する職業対策
- 既設Lam Ta Khong貯水池の水産資源の保全と開発
- 土捨場及びその周辺の土地の緑化
- プロジェクトにより増大するリゾート資源の有効活用

一 将来の水需要に応じた既設Lam Ta Khong貯水池の適正な水利用計画



LAM



LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
WATERSHED CLASSIFICATION IN PROJECT AREA	
DWG. 7-1	

8. 開発計画

(1) レイアウトの選定

検討の初期段階で、上池の位置および発電所位置が地形、地質、環境および経済性の観点から検討された。検討および現地踏査の結果、最適なレイアウトが選定された。

(2) 揚水動力

Lam Ta Khong発電所の揚水動力が検討され、揚水に必要な電力量が火力発電所から十分供給されることが確認された。

(3) ユニット容量

Lam Ta Khong揚水のユニットの容量は揚水起動および揚水停止時の系統周波数変動を調査し、250MWとした。

250MWユニットの揚水起動および揚水停止により生ずる周波数変動は1997年系統で、0.22Hz～0.47Hz、その確率は70%と想定されるが、この周波数変動は現在レベルよりも小さい。

周波数変動は系統容量が大きくなると小さくなる。それ故、周波数変動の面からは250MWユニットの採用に問題はない。

しかしながら、Lam Ta Khong揚水に300MWユニットを導入することは推奨出来ない。

300MWユニットが採用されると250MW機により生ずるよりも20%程大きな周波数変動が生じ、系統の周波数は火力機の系統解列の周波数レベルである50.5Hzを超えることもしばしば起きることと思われる。

当揚水への250MWユニットの導入は機器の製作技術、現地輸送などにも特に問題はない。

(4) 開発規模の検討（調査段階）

Lam Ta Khong地点の揚水発電資源を最も有効に利用する観点から、設備出力（500MW～1,200MW）および上池の貯水容量（4～14時間）を変化させて最適開発規模を検討した。検討は便益、費用を基に行った。検討の結果最大出力1,000MW、池容量8時間の案が他の代案より優れており採用された。

(5) 開発方式に関する検討 (フィージビリティ設計段階)

E G A Tの2006年までの送電線増強計画に基づく系統安定を考慮すると、Lam Ta Khong計画の揚水可能限度は500MWであり、発電は1,000MWが可能である。J I C A調査団は、将来的には系統が強化され1,000MW揚水が可能になると予想しているが、本検討では、現時点で最も確実な500MW揚水、1,000MW発電の条件で行う。

1,000MWの開発方式として模式図をFig. 8-1に示す以下の4ケースが検討された。

Case-1 (DWG. 8-1)

- 開発のステージ : 2段開発
- 第1期開発 : 貯水池 (500MW×8時間)、250MW×2台用の土木工事、
および2台の機器 (1997年運転開始)
- 第2期開発 : 同上 (2007年運転開始と仮定)

Case-2 (DWG. 8-2)

- 開発のステージ : 2段開発
- 第1期開発 : 貯水池 (1,000MW×8時間)、250MW×2台用の土木工事、
および2台の機器 (1997年運転開始)
- 第2期開発 : 250MW×2台の機器 (2007年運転開始と仮定)

Case-3 (DWG. 8-3)

- 開発のステージ : 2段開発
- 第1期開発 : 貯水池 (1,000MW×8時間)、および第2期の土木工事、
250MW×2台の機器 (1997年運転開始)
- 第2期開発 : 250MW×2台の機器 (2007年運転開始と仮定)

Case-4 (DWG. 8-3)

- 開発のステージ : 1段開発
- 250MW×4台 (1997年運転開始)
- 貯水池容量 : 1,000MW×8時間

検討の結果はTable 8-1および以下にその主要点を示す。

全開発 (1,000MW)に関しては、Case-4が投資額が最も小さく経済的に最も優れている。この場合の日発電可能時間は系統の強化がなされるまでの間4.1時間となる。

(6) 採用された開発計画案

Lam Ta Khong計画の開発計画案として、前出の検討結果およびEGATとの打合せに基づき設備出力1,000MW、貯水池容量8時間が採用された。採用案をTable 8-2およびDWG. 8-3に示す

日負荷曲線 (2000年)における本計画の位置付けをFig. 8-2に示す。

Table 8-1 Comparison of Development Methods

	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4
	1st Stage	1st & 2nd Stage	1st Stage	1st & 2nd Stage	1st Stage	1st & 2nd Stage	1st Stage
(500 MW Pumping)							
Installed Capacity (MW)	500	1,000	500	1,000	500	1,000	1,000
Start of Operation	1997	2007	1997	2007	1997	2007	1997
Construction Cost (M\$)	6,466*	12,636	7,261	11,861	8,465	11,432	11,254
NPV (M\$) OF B-C	310	351	-274	140	-1,111	-310	1,504
B/C	1.05	1.05	0.96	1.02	0.84	0.96	1.16

(Note) Condition: 500 MW pumping, 1,000 MW generating

(Note) 1st stage: year of 1997, 2nd stage: year of 2007

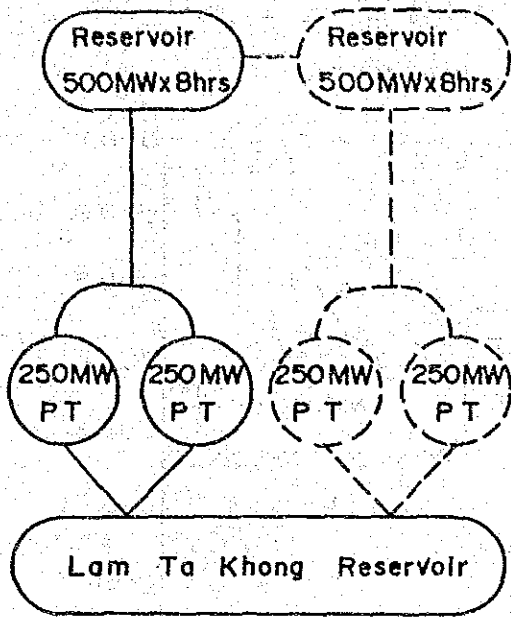
(Note) * including cost of a part of connecting conduit between two upper reservoirs and cost of the outlet for the 2nd stage

Table 8-2 Description of Adopted Development Plan

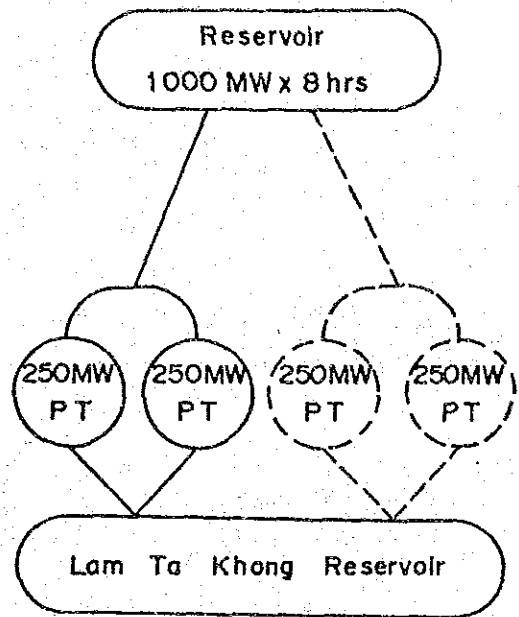
Item	Upper Reservoir	Lower Reservoir*
Normal High Water Level (WL.m)	660	277
Low Water Level (WL.m)	620	261
Available Drawdown (m)	30	16
Effective Storage Capacity (MCM)	5.0	290
Intake Water Level (m.MSL)		653
Tail Water Level (m.MSL)		276
Normal Effective Head (m)		357
Maximum Discharge (m ³ /s)		340
Installed Capacity (MW)		1,000
B-C (M\$)		1,504
B/C		1.16

* : The Lam Ta Khong Reservoir (existing)

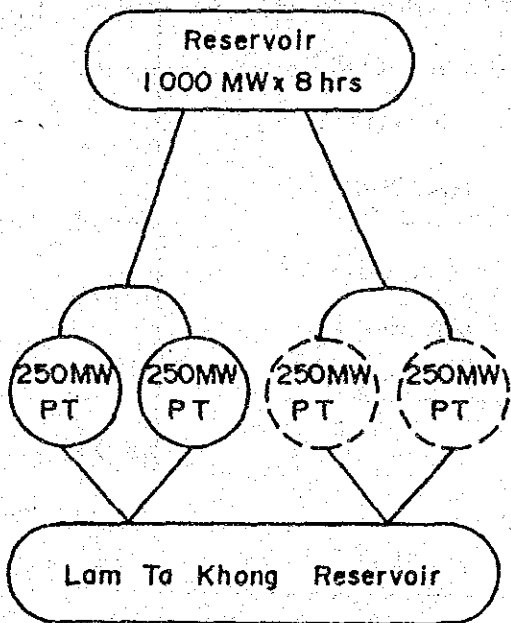
Case 1



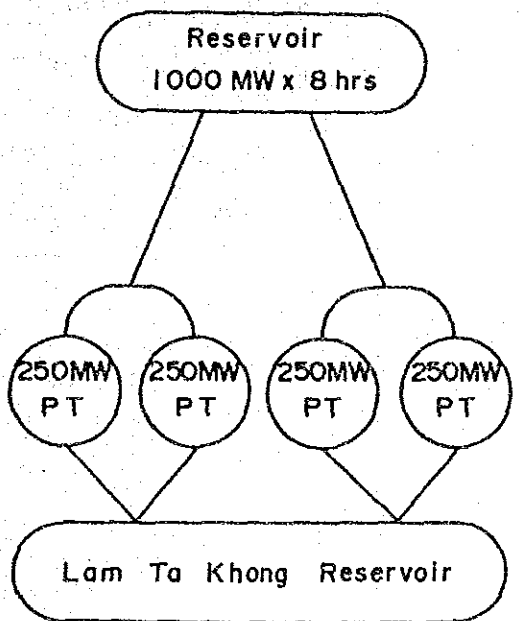
Case 2



Case 3



Case 4



(Note) Solid line : 1st Stage
 Dotted line : 2nd Stage
 PT : Pump Turbine (Including Generator)

Fig. 8-1 Development Cases of 1000 MW

Load Duration Curve on 25 Sept. 2000 (Monday)

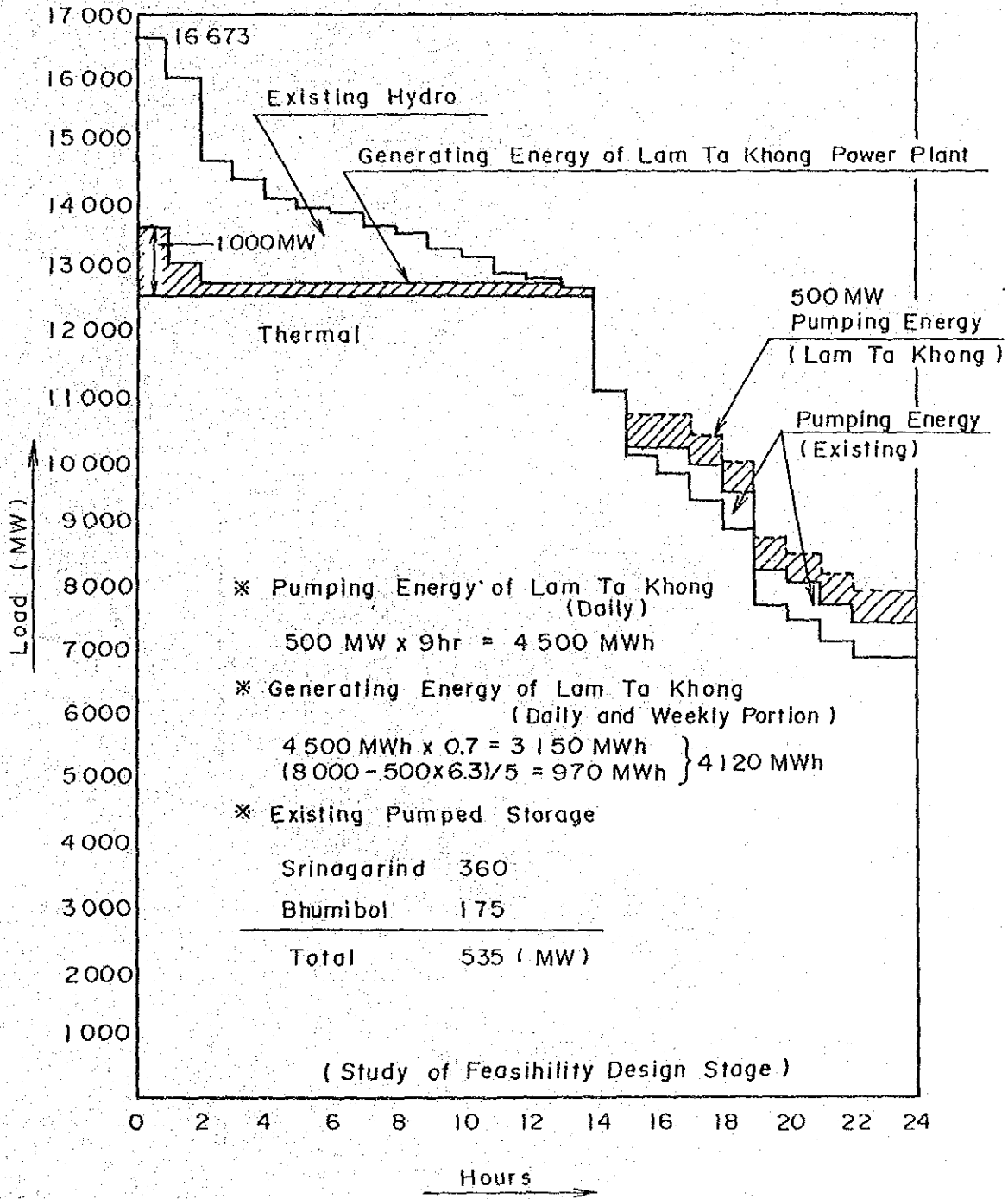
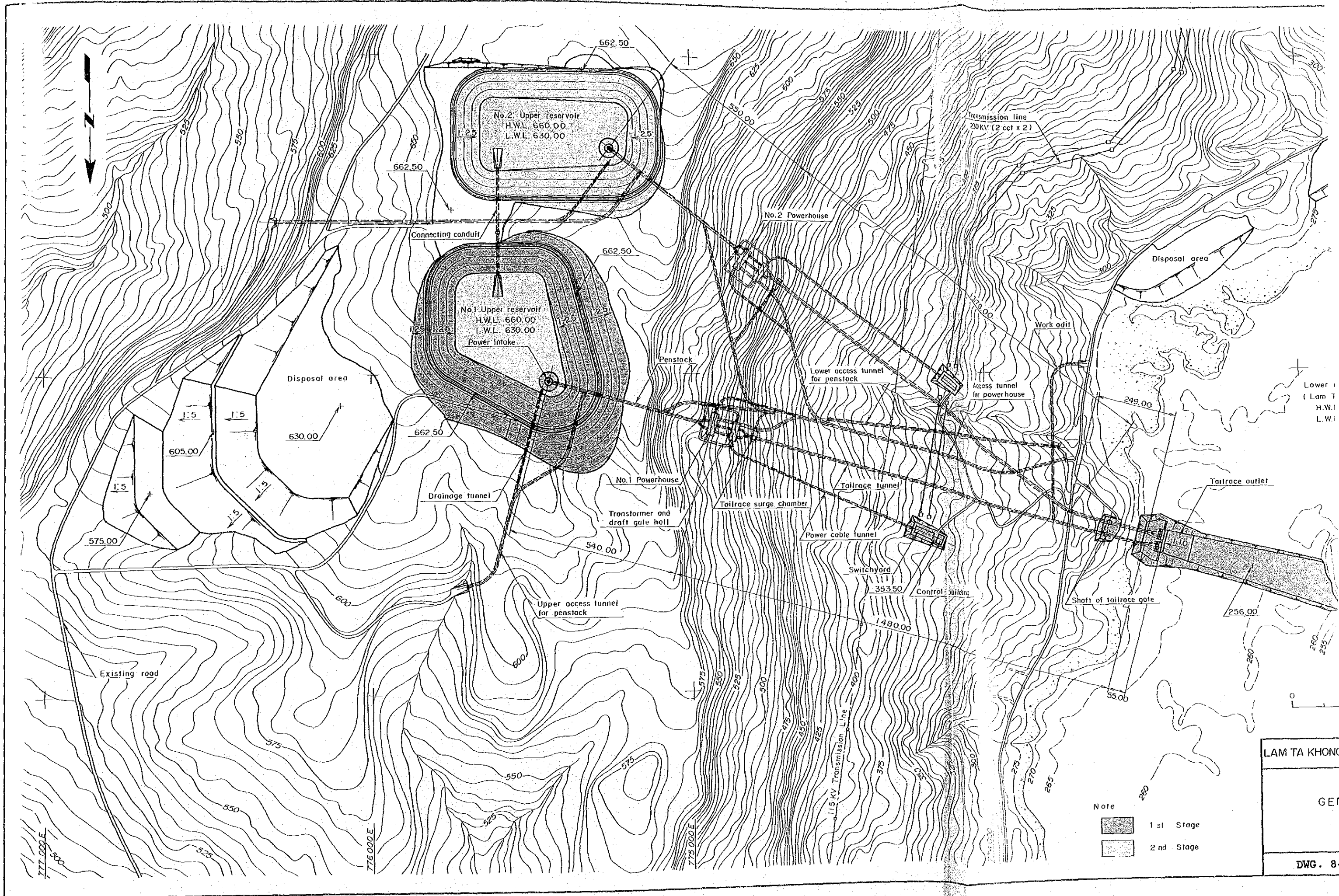
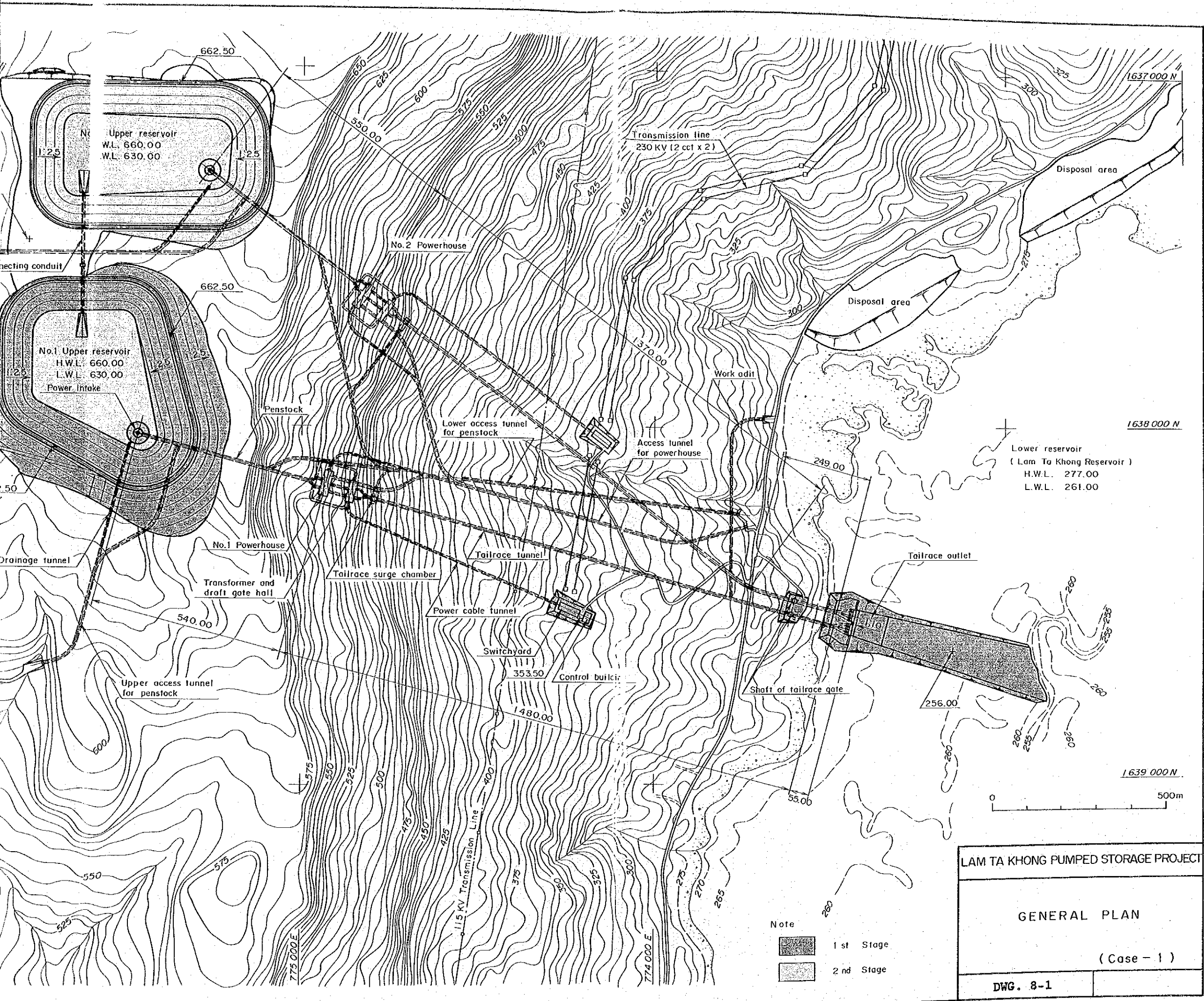


Fig. 8-2 Position of Lam Ta Khong Power Plant in Load Duration Curve

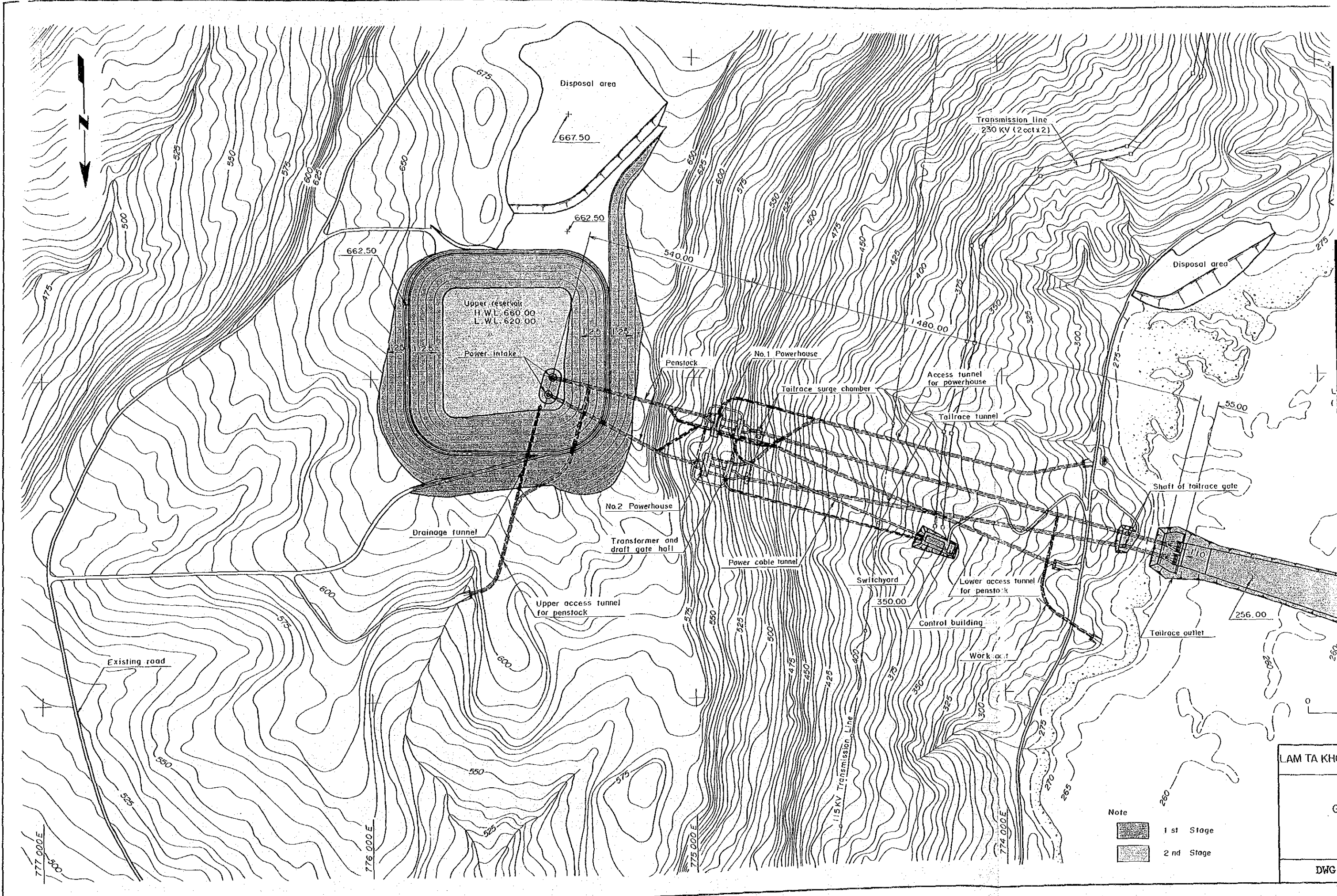




Note

- 1 st Stage
- 2 nd Stage

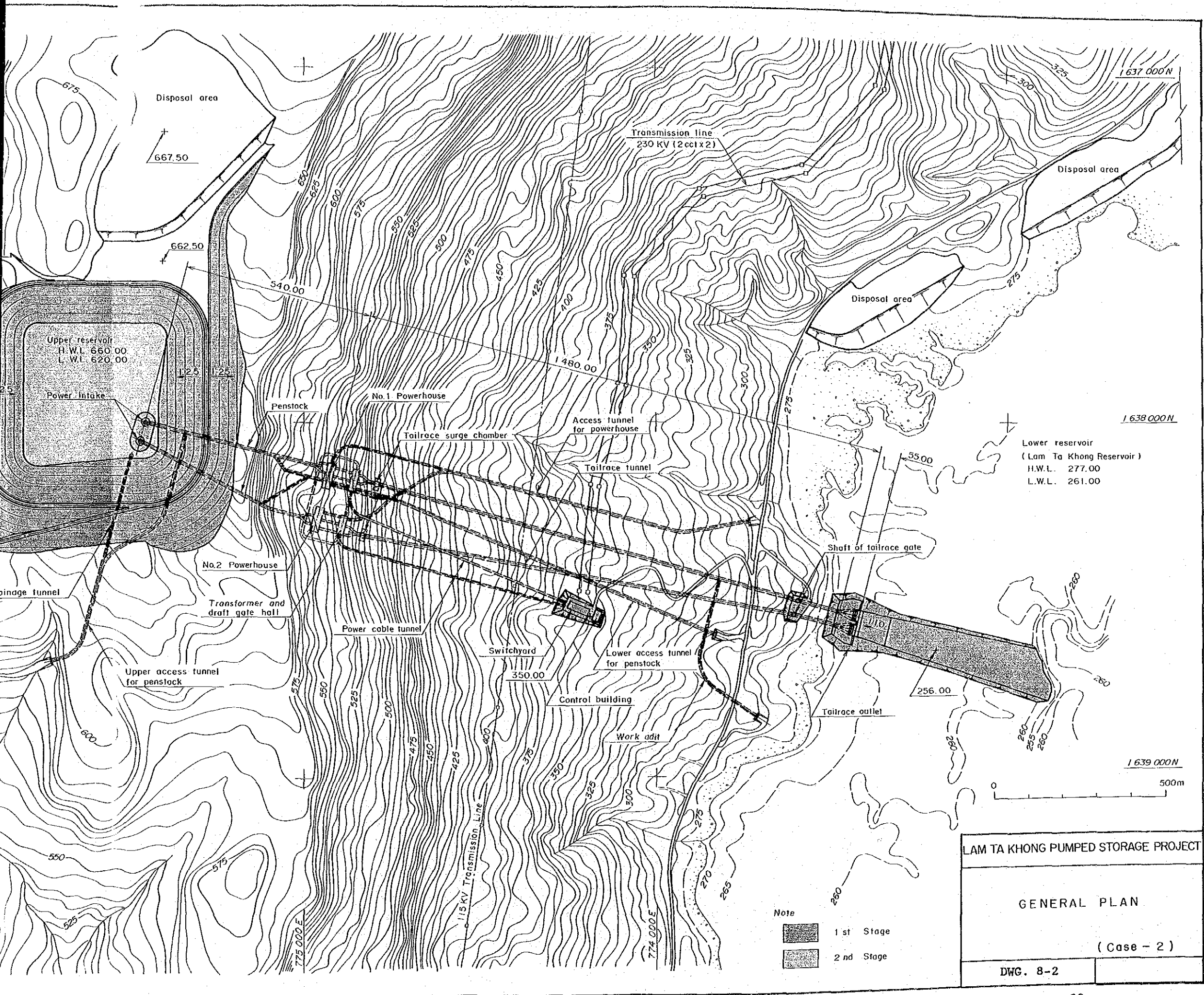
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
GENERAL PLAN	
(Case - 1)	
DWG. 8-1	



Note

	1 st Stage
	2 nd Stage

LAM TA KHO
G
DWG.

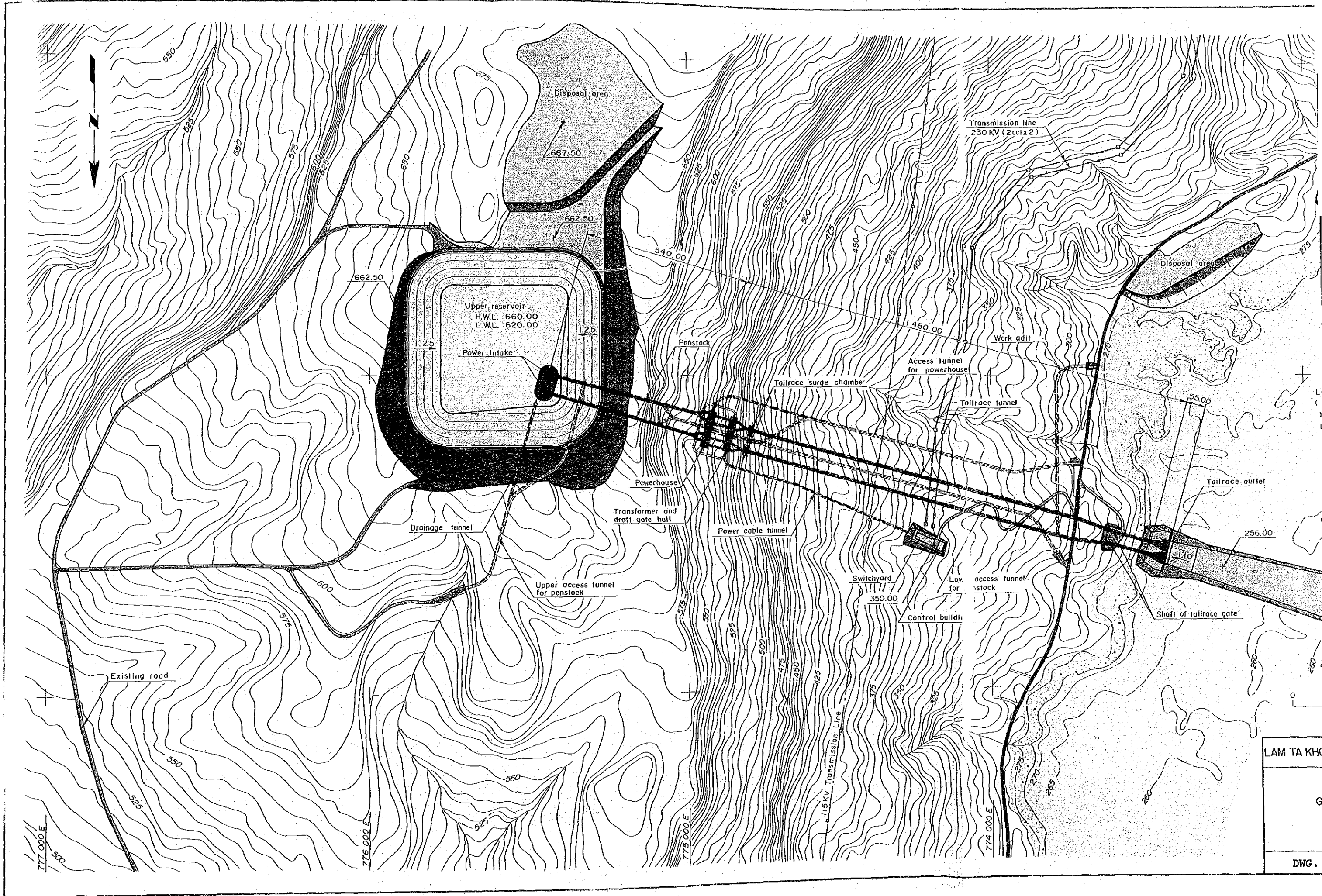


LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

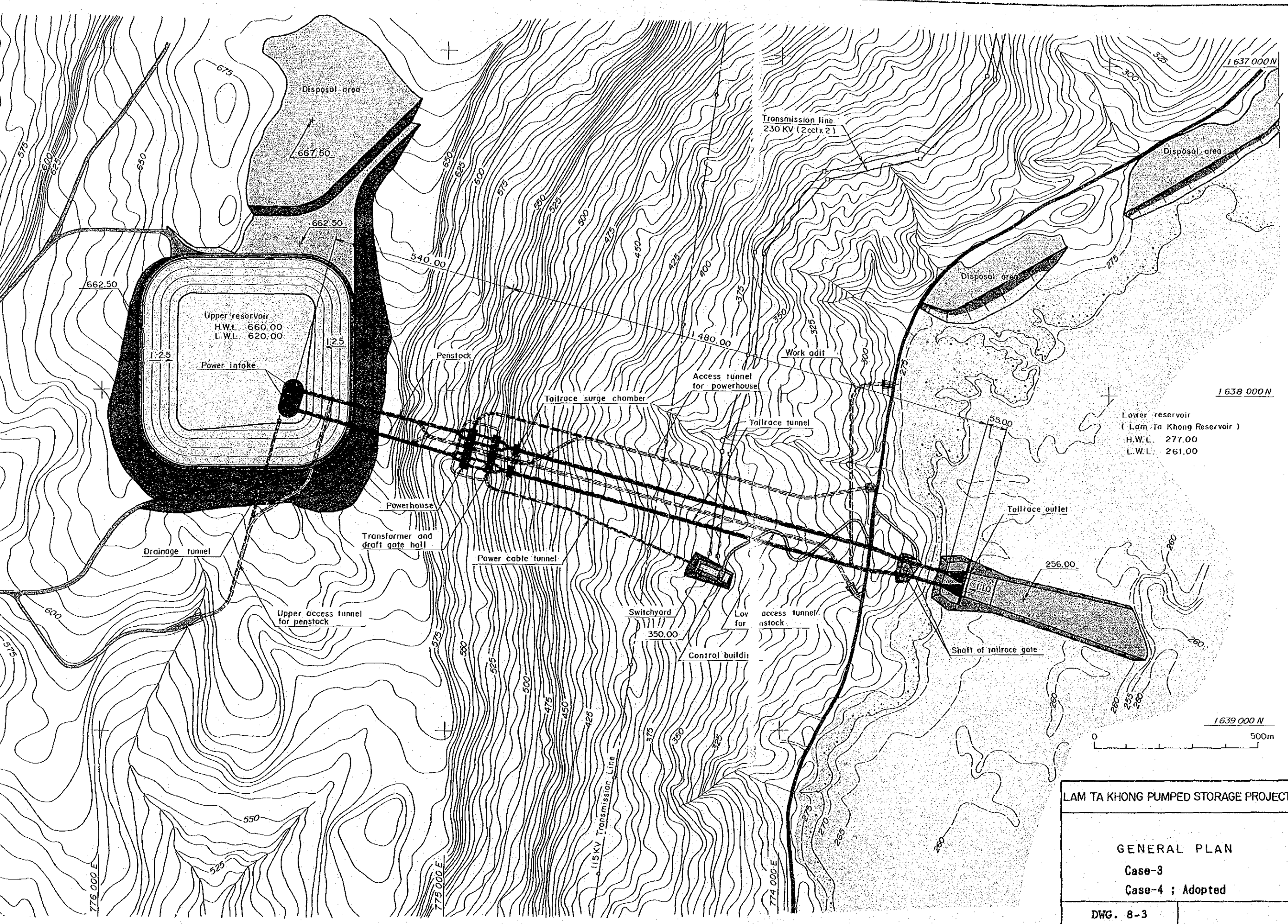
GENERAL PLAN

(Case - 2)

DWG. 8-2



LAM TA KHON
 GE
 C
 C
 DWG. B



LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

GENERAL PLAN

Case-3

Case-4 ; Adopted

DWG. 8-3

9. 送電計画および電力系統解析

9.1 系統解析によるLam Ta Khongの容量

Lam Ta Khongプロジェクトの容量を1997年～2000年の電力系統の安定度解析により調査した。

450MWから1,000MWまでの容量について、いくつかの代案を検討したが、500MWと600MWについては特に詳細に検討した。

解析の結果は下記の通りである。

- 1) 同揚水が1997年に開発される場合、電力系統安定度から深夜時の揚水電力は500MW以下に制限される。
- 2) 600MW以上になると、特に深夜揚水時の系統不安定性を解決するために、電力系統設備への投資が非常に大きくなる。
- 3) しかしながら、ピーク時の1,000MW 発電には安定度上の問題はない。

従って、同揚水に250MW ユニット4台を設置し、深夜時は2台で揚水し、ピーク時は4台で発電することが可能である。

Fig. 9-1およびFig. 9-2に、この発電所運用パターンに従った1997年の電力系統の電力潮流を示す。電力潮流計算の結果、1997年系統には、Lam Ta Khong揚水の送電に関するMae Moh-Tha Tako-Thalan 3-Saraburi 2 の送電系統に過負荷等の問題が生じる箇所はない、しかし、Thalan 3-Ang Thong 2の送電線が1,000MW 発電時に過負荷になるおそれがあることが分かった。これを避けるために何らかの方策が必要である。電圧を適正なレベルに維持するために、多くの変電所に無効電力供給設備の設置が必要になる。Saraburi 2変電所とNakhon Ratchasima 2変電所は当揚水に距離的に近いので、電圧維持に注意を払う必要がある。

当プロジェクトの開発の詳細調査に並行して、各変電所の無効電力設備計画を検討する必要がある。

各変電所の電圧を常に公称値の約100%あるいは、100%を若干上まわる程度に維持することは、系統をより安定に、強くする点から必要である。

1990年代以後には電力系統の安定度が非常にきびしくなるので、北部電源の開発を進めるならば系統強化の調査が必要になる。また、同時に、同揚水の設備の有効利用を図るため、3台揚水あるいは4台揚水の可能性を検討していく必要がある。

9.2 送電計画

Lam Ta Khongプロジェクトの発生電力の送電方法は、その開発規模によって異なってくるが、系統解析の結果より、当プロジェクトは1,000MWの発電が可能であることが判明したので、送電計画はこの容量に相応するものとした。

送電計画の推奨案は次の通りである。

- (1) Lam Ta Khong揚水発電所を、Sraburi 2-Nakhon Ratchasima 2間を結び、当プロジェクトサイト近傍に敷設されている既設230kV 2回線送電線に1πで接続する。
- (2) また、同発電所をThalan 3変電所に230kV、2回線送電線で接続する。
- (3) このため、Lam Ta Khong揚水と外部電力系統との間に、230kV 2回線送電線を2ルート設置する。
- (4) 電線は既設送電線に使われているACSR 1,272MCMとする。

Fig. 9-1 POWER FLOW DIAGRAM
1997 PEAK

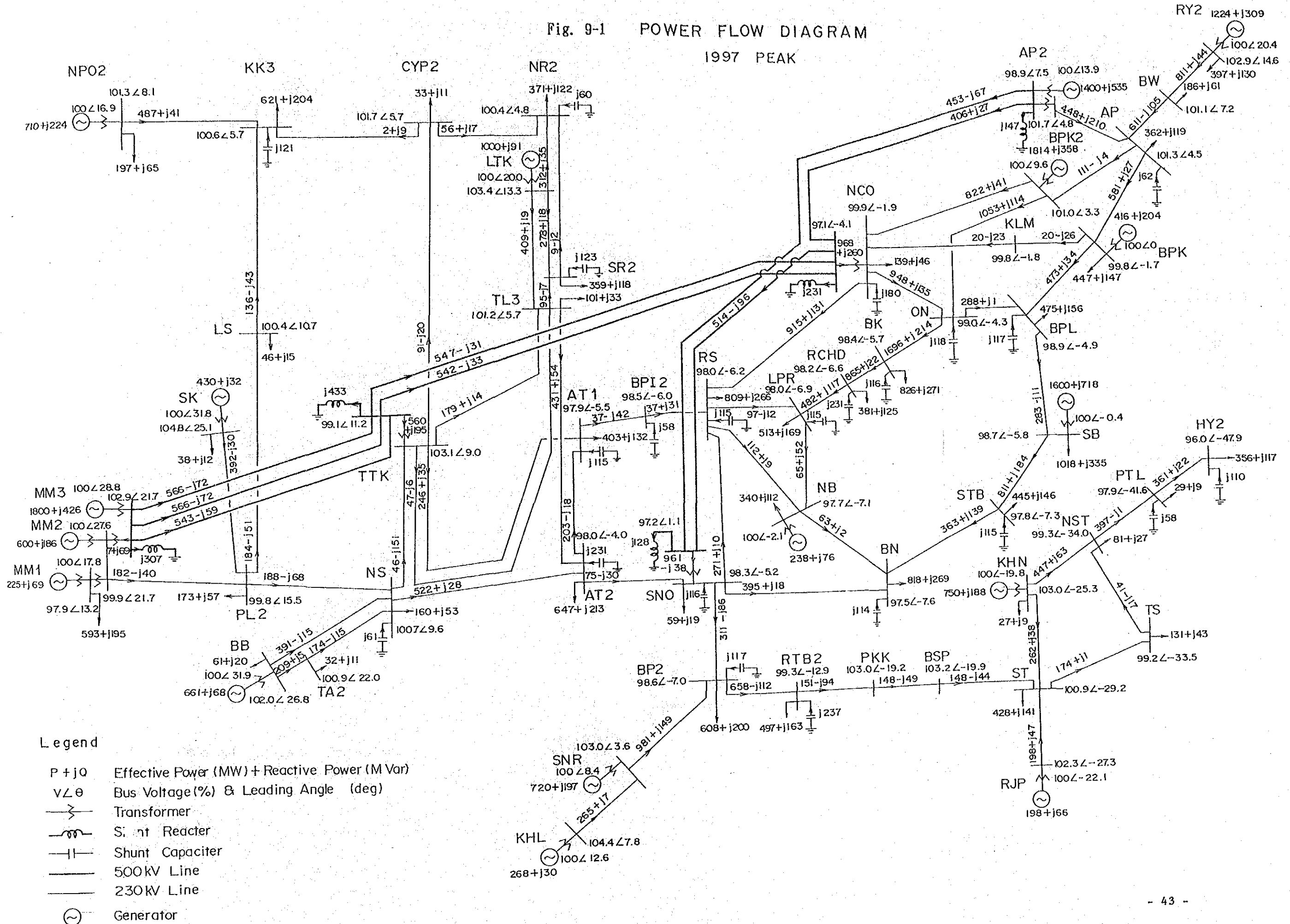
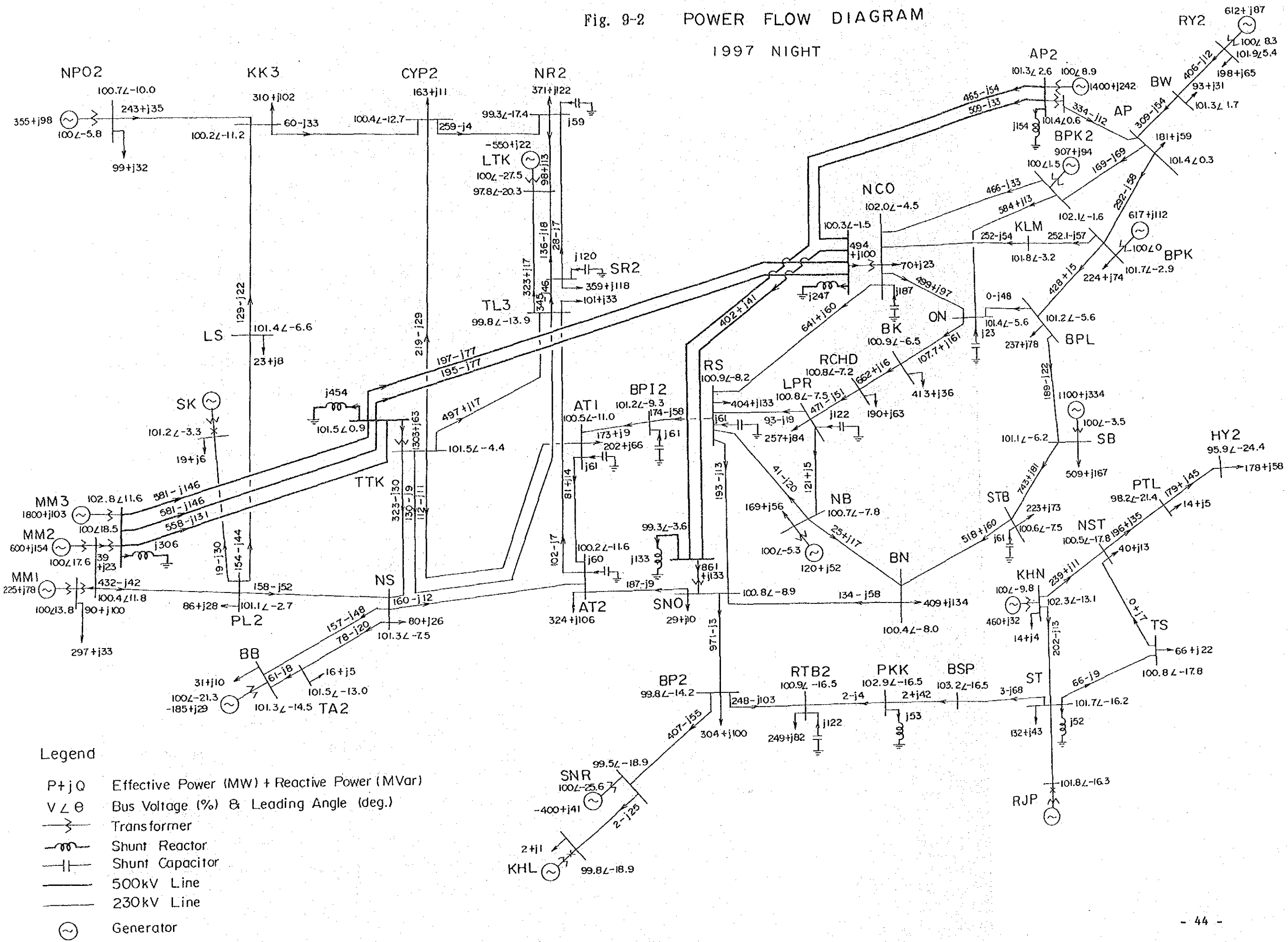


Fig. 9-2 POWER FLOW DIAGRAM

1997 NIGHT



Legend

- P+jQ Effective Power (MW) + Reactive Power (MVar)
- V ∠ θ Bus Voltage (%) & Leading Angle (deg.)
- Transformer
- Shunt Reactor
- Shunt Capacitor
- 500kV Line
- 230kV Line
- Generator