

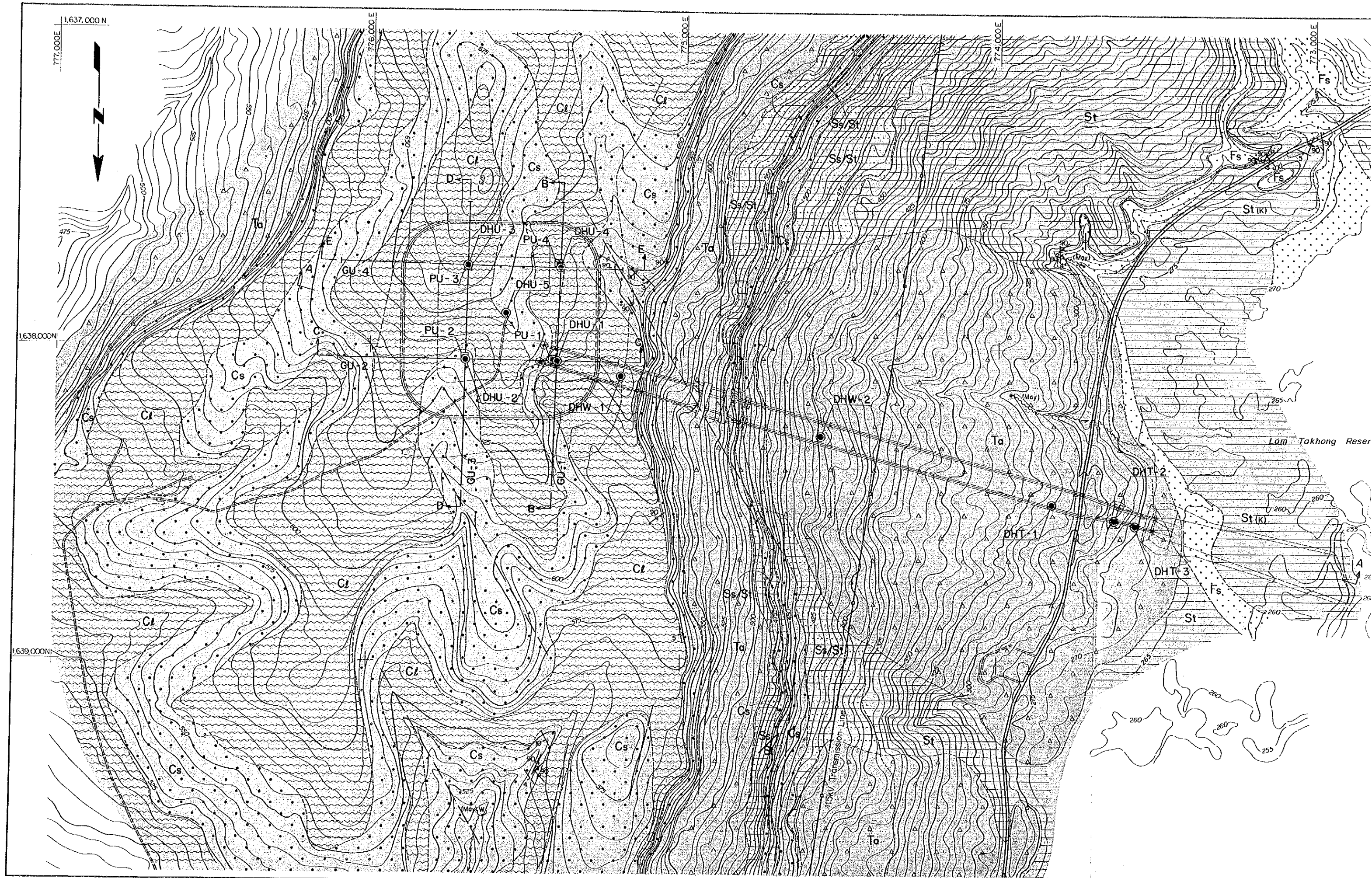
7.4 計画地点の地質概要

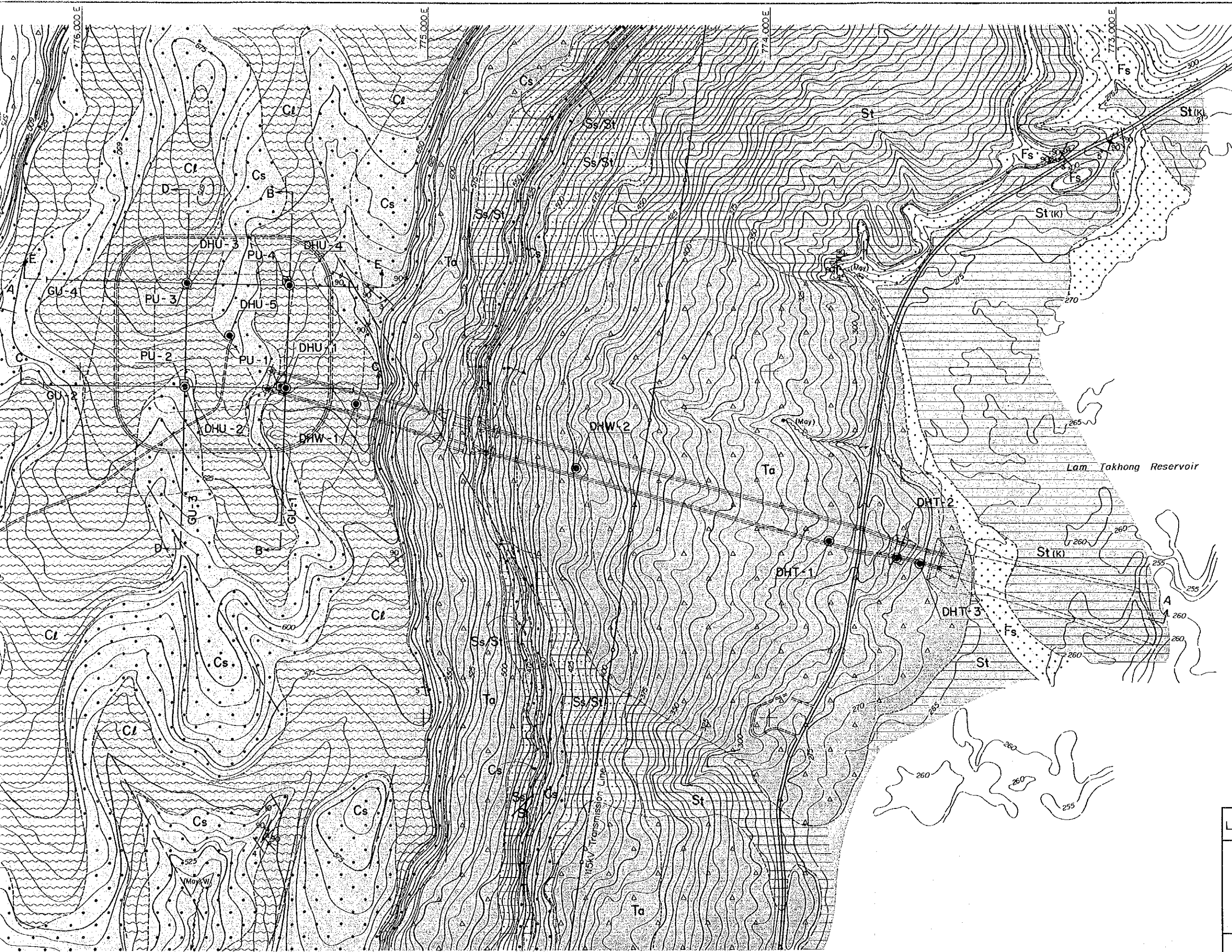
計画地域の基礎盤岩は、DWG. 7-3, 7-4に示すようにPhu Kradung層（シルト岩、細粒砂岩、一部礫岩）およびPhra Wihan層（粗粒砂岩、粘土岩、細粒砂岩シルト岩互層、シルト岩）で構成されている。岩質的には、砂岩および礫岩は全般に塊状堅硬であるが、シルト岩はやや固結度が低く、粘土岩は固結度が低い。各地層の関係は整合で、地層はN30°～70°Wの走向で、5°～10°（平均で約6°）NEに傾斜している。基盤岩を覆って、上部調整池地点には、厚さ数mの風化残留土が形成されており、放水路トンネル上の斜面には、厚さ30mに達する崩積土および崖錐堆積物が分布している。Table 7-6に本地域の地質層序区分を示す。なお水圧管路に分布する厚いシルト岩層は、主にシルト岩層から成るとされているPhu Kradung層に区分される可能性もあるが、本地点のみの調査結果からは判断が困難であるため、既存文献に示されている地層境界の位置に従い、Phra Wihan層に分類した。

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、また空中写真からも断層の可能性のある数本の線状模様が判読されている。Table 7-6には、各計画地点を構成する岩盤と、試験の結果得られたそれらの物性値の概略も示した。ボーリング柱状図をAppendix-Aに付す。

Table 7-6 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					
CENozoic	Quaternary	Colluvial Deposit Talus Deposit	Sandstone fragments and soil material: poorly sorted, including boulders	—	0~30	Slope over waterway	—	—		
		Residual Soil	Lateritic red soil: silty gravel~sandy clay rich in oxides of iron	—	0~4	Upper Reservoir	—	—	N-value:50<	
Mesozoic	Jurassic		Claystone: Massive, light-gray, silty	5<, 5-15, 1-3		Upper Reservoir	20-30	—	weathered	
			upper part	Medium to coarse-grained sandstone: weakly laminated, light-gray, quartzose, partly including claystone patch	25, 30-40	60<	Upper Reservoir, Intake	500-800	10,000-60,000	weathered RQD = 66 %
		Phu Wihan Formation	middle 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	50,000-80,000 11,000-25,000	fresh RQD = 75 %
				lower part	Medium to coarse-grained sandstone: weakly laminated, light-gray, quartzose	5, 25		700-800	50,000 -300,000<	fresh RQD = 92 %
		Phu Kradung Formation		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 %
					upper part	Siltstone and sandy siltstone: Reddish-purple to greenish-gray, calcareous	—		200-300 (sandy part : 500-800)	1,500-25,000
			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 %	





LEGEND

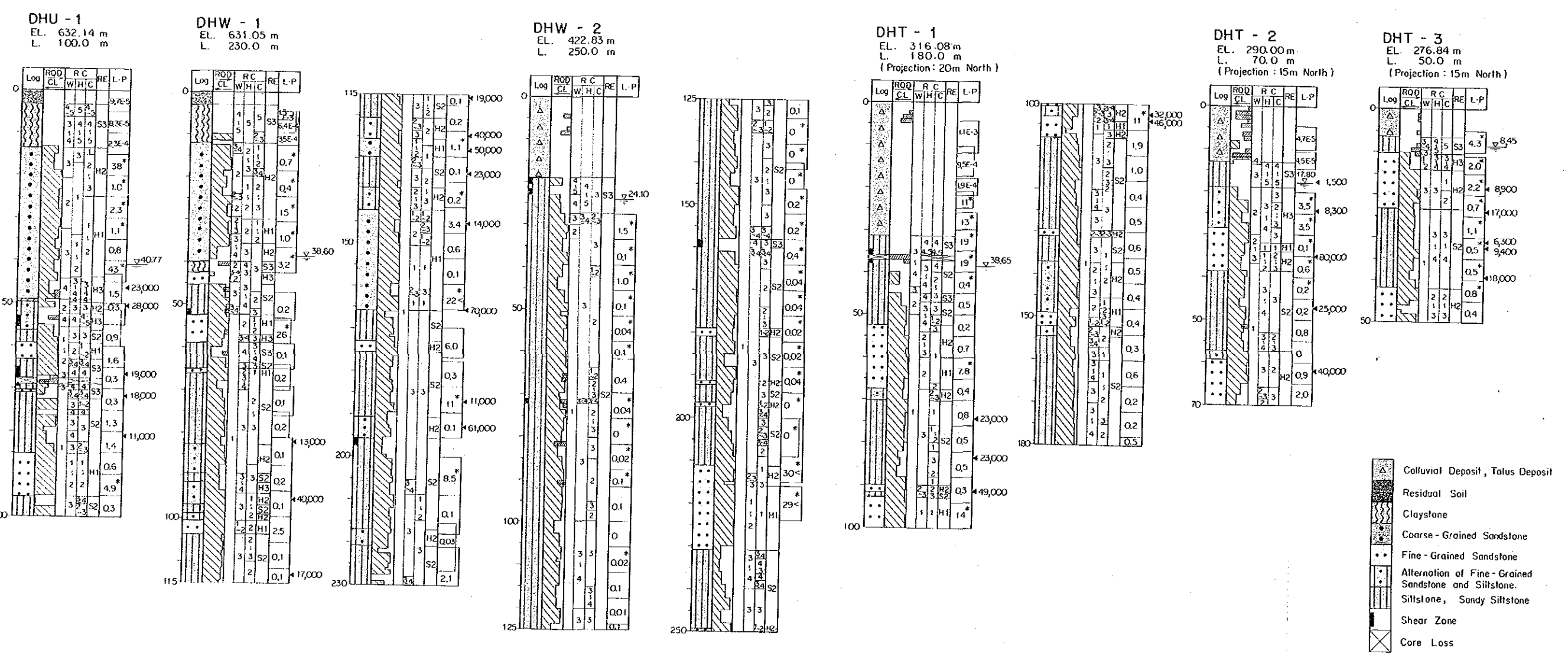
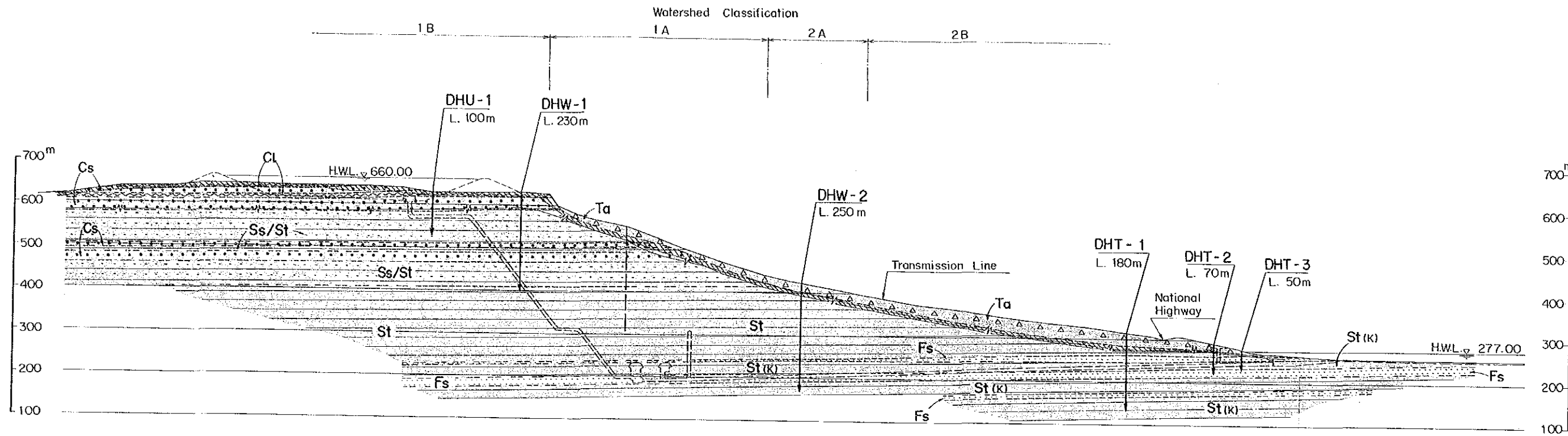
- Colluvial Deposit, Talus Deposit
 - Claystone
 - Coarse-Grained Sandstone (partly including claystone patch)
 - Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
 - Siltstone, Sandy Siltstone (with thin sandstone beds) (K) : Phu Krading Formation
 - Fine-Grained Sandstone (with thin siltstone beds)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

0 500m

LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

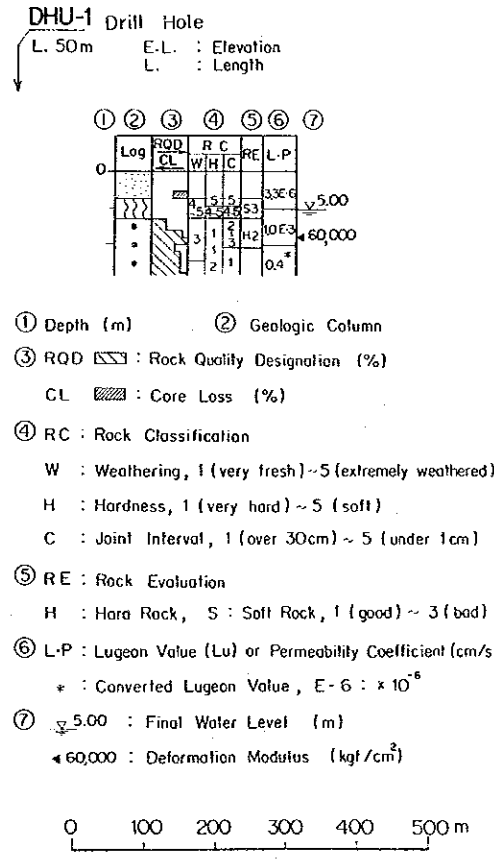
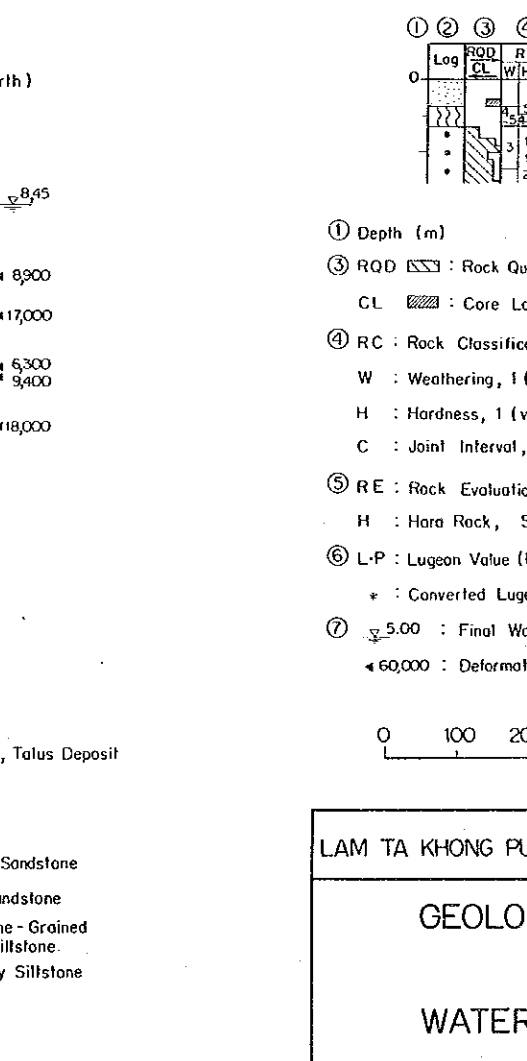
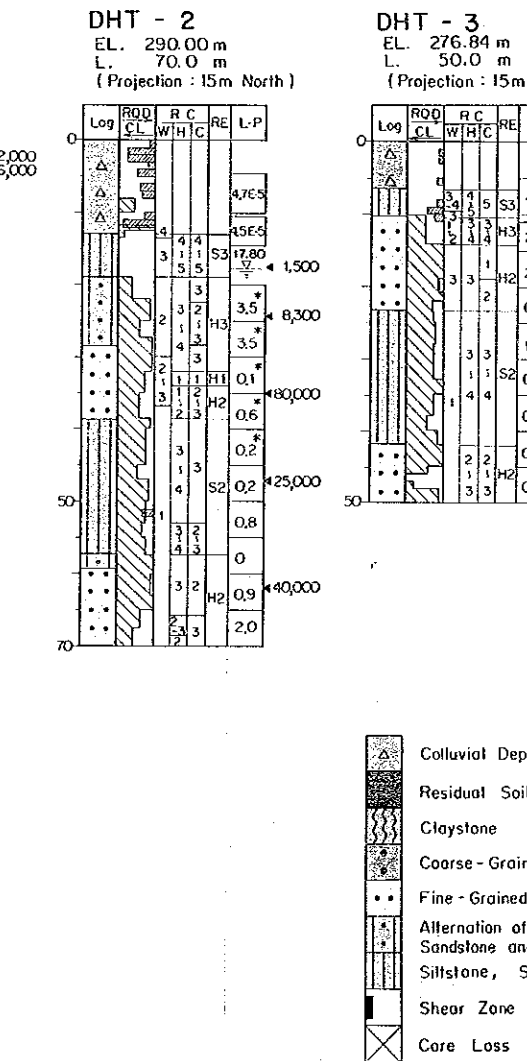
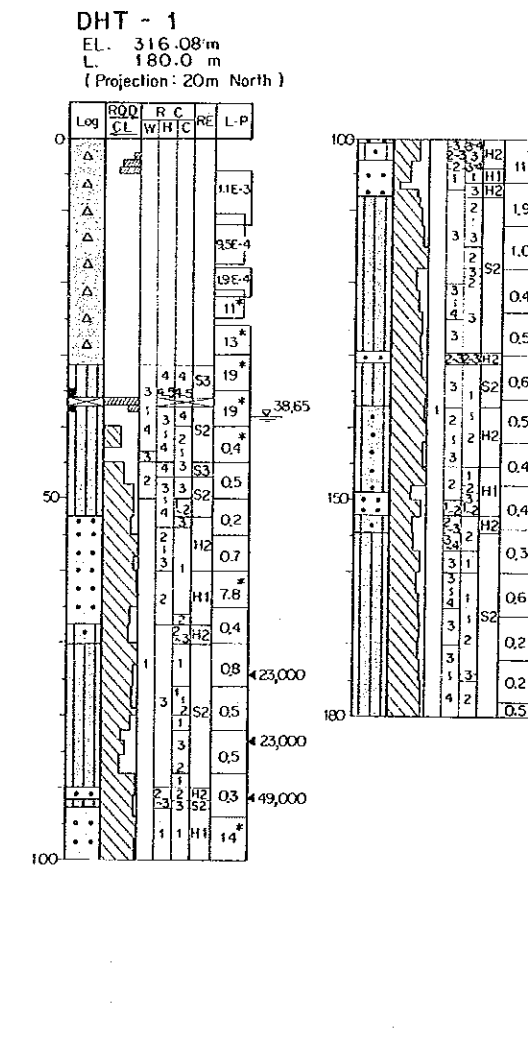
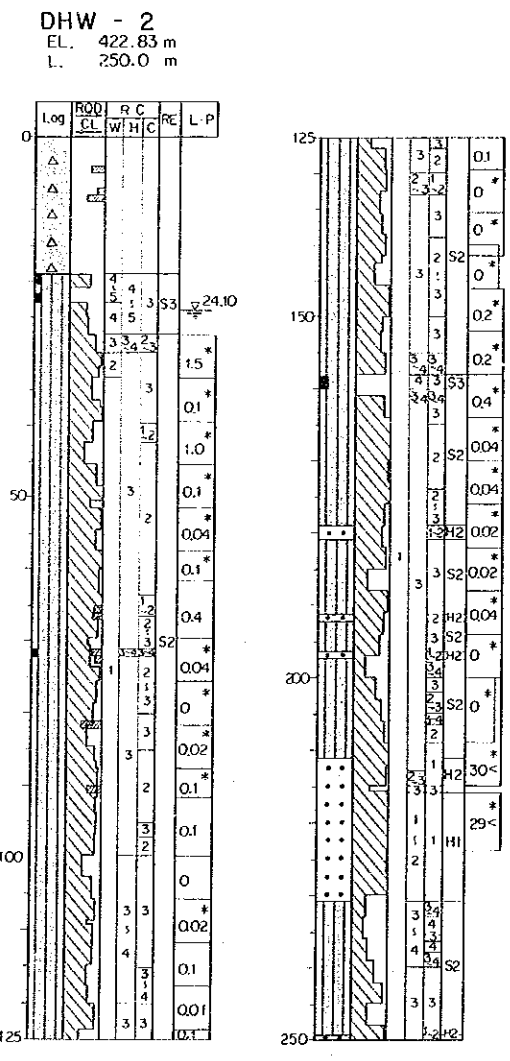
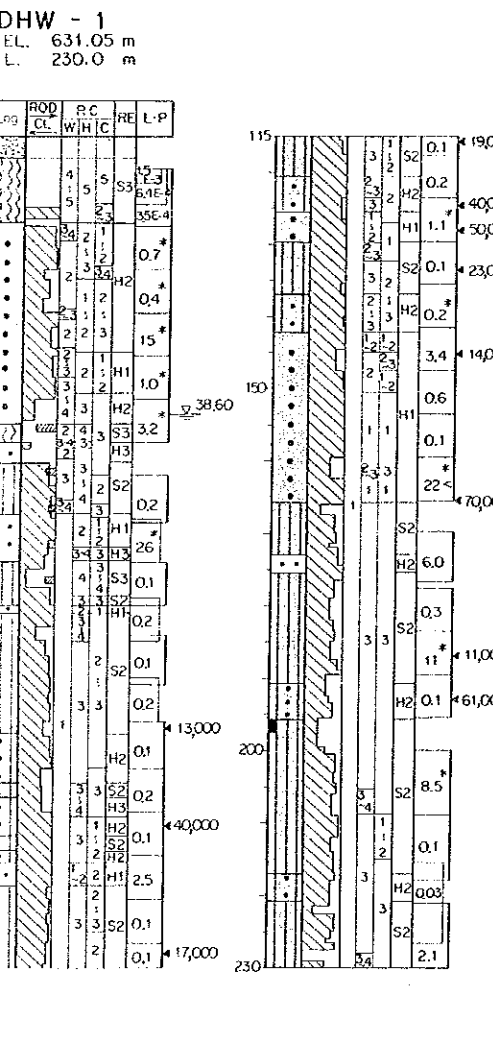
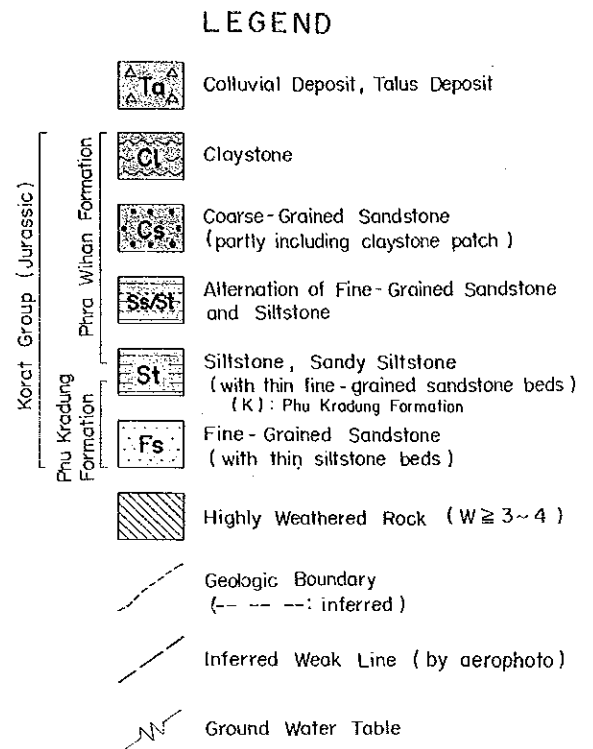
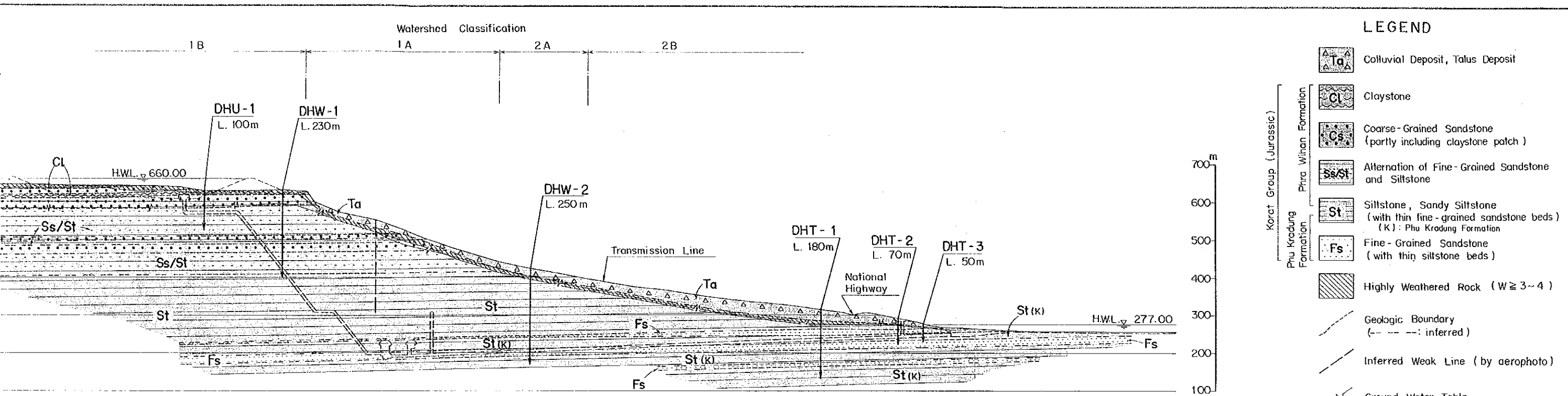
GEOLOGIC PLAN OF PROJECT AREA

DWG. 7-3



- Watershed Classification**
- 1B, 1A, 2A, 2B
- Korat Group (Jurassic)**
- Phu Kradung Formation
 - Ta
 - Cl
 - Cs
 - Ss/St
 - St
 - Fs
 - Phu Wilan Formation
 - Cl
 - Cs
 - Ss/St
- Legend:
- Colluvial Deposit, Talus Deposit
 - Residual Soil
 - Claystone
 - Coarse-Grained Sandstone
 - Fine-Grained Sandstone
 - Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
 - Siltstone, Sandy Siltstone
 - Shear Zone
 - Core Loss

- DHU-1**
EL. 632.14 m
L. 100.0 m
- DHW-1**
EL. 631.05 m
L. 230.0 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)
- Legend:
- ① Depth (m)
 - ② RQD
 - ③ CL
 - ④ RC: Rock (W: Weathered, H: Hardness, C: Joint)
 - ⑤ RE: Rock (H: Hardness)
 - ⑥ L-P: Lugeon
 - * : Conversion
 - ⑦ 5.00: Fracture
 - ⑧ 60,000: Discharge



LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

GEOLOGIC PROFILE OF WATERWAY (A-A)

DWG. 7-4

7.5 上部調整池地点の地質

7.5.1 地形

上部調整池は、標高約600m～675mの台地上面の緩斜面に位置する。本地点の東側には谷があるため、この付近の台地面の幅は、約1.3kmとなっている。台地面は中央部ほど高く、緩やかな尾根状の地形を示し、北東～北西に向かう小規模な沢地形（流水は降水直後以外は見られない）が4本形成されている。斜面は東～北～西に3～15°程度の範囲で傾斜しており、全体としては5°程度北東に傾斜している。

上部調整池の掘削深度が最大となるのは、南東部で約40mである。またダム高が最大となるのは、北西部で約50mである。

上部調整池の北側には航空写真によって判読された北西－南東方向の線状模様があるが、現地ではこの地形は不明瞭である。この他には本地点には、線状模様や地回り地形等の問題となる地形は認められない。

7.5.2 地質

上部調整池が計画されている台地上には、主に風化残留土が分布し露頭は少ないが、所々に粗粒砂岩の露頭が見られる。これらの露頭、ボーリングの結果および弾性波探査の結果に基づいて明らかにされた上部調整池地点の地質をDWG. 7-3, 7-4, 7-5に示す。本地点の地質は、Phra Wihan層の粗粒砂岩、粘土岩、細粒砂岩シルト岩互層およびこれらの岩盤を覆う風化残留土から構成されている。

(1) 岩盤

岩盤は、下位より細粒砂岩シルト岩互層（厚さ：約80m）、粘土岩層（厚さ：約1～3m）、粗粒砂岩層（厚さ：約30～40m）、粘土岩層（厚さ：約0～15m）、粗粒砂岩層（厚さ：約25m）となっている。細粒砂岩シルト岩互層は灰白色の中～細粒の石英質砂岩と赤紫～緑灰色のシルト岩の厚さ数十cm～数mの不規則な互層から構成されており、シルト質砂岩や砂質シルト岩といった中間的岩石も見られる。岩質は細粒砂岩は塊状堅硬であるが、シルト岩は固結度が低くやや軟質である。粘土岩は灰白色で、固結度が低く軟質である。粗粒砂岩は、主に中～粗粒の石英粒子で構成され灰白色を呈し、良くセメントされており堅硬で、層理面の不明瞭な塊状の部分が多い。この地層は、部分的に数mm～数十cmの大きさのパッチ状の灰白色粘土岩（前述の下位の粘土岩）の偽礫を含む。このような堆

積構造は、粘土岩が堆積後ある程度固結した時点で、小規模なスランピングが発生したために形成されたものと考えられる。なお粗粒砂岩層は2層あるが、岩質はほぼ同じで、下位のは台地周縁部の急崖を構成して広い範囲に連続して分布し、上位のものは台地上の尾根部を構成している。

地層の走向傾斜は、前述のように N30° ~ 70° W、5~10° (平均で約6°) NBである。地層の横方向への岩質変化は粘土岩層や粗粒砂岩層の一部でやや顕著だが、全般には少なく、各層は連続的に追跡させる。

(2) 断層・節理

地表踏査では線状模様通過地点も含め、断層は全く確認されなかった。ボーリングでは細粒砂岩シルト岩互層中に小規模な断層破碎帯が見られたが、粗粒砂岩および粘土岩中には明瞭な断層は認められなかった。また、弾性波探査の結果でも断層は推定されておらず、地層の連続性からも上部調整池地点に大きな断層の存在する可能性は低いものと思われる。

各地層毎の節理の平均的分布頻度を計算した結果をFig. 7-1に示す。この図の作成にあたっては、まずボーリングコアで観察された節理 (Appendix-A参照) を、節理面の傾斜角15°単位で区分し、6クラスに分類した。次に分布頻度を、直径10mの大きさの岩盤の中に含まれる節理数として表現し、以下の式に基づいて計算した。

$$N_{10} = \frac{N_j}{L \cos \theta} \times 10, \quad \theta = \frac{a + b}{2}$$

ここで

- N_{10} : 直径10mの大きさの岩盤の中に含まれる傾斜 $a \sim b^\circ$ の節理数
- N_j : ボーリングコア中の傾斜 $a \sim b^\circ$ の節理数
- L : ボーリングコアの長さ (m)
- θ : 節理面の傾斜角 ($^\circ$)
- a, b : 区分された区間の最小値及び最大値 ($^\circ$)

上部調整池地点の主要な基礎岩盤である、粘土岩と粗粒砂岩の節理の特徴は、以下のようにまとめられる。

- 粘土岩には明瞭な節理は非常に少なく、全節理の分布頻度の合計は5本/10m程度である。
- 粗粒砂岩の節理の分布間隔は、数十cm以下と密な部分もあるが、一般には1～数mの間隔であり、地表付近で風化によって形成された節理を除けば、節理は少ない。全節理の分布頻度の合計も、11本/10m程度である。
- 露頭やボーリングコウで観察された節理は、以下の三種類に区分される。
 - (a) 5～15°の層理面に近い傾斜の極めて低角度の節理
 - (b) 15～60°の傾斜の低～中角度の節理
 - (c) 60～90°の傾斜の高角度の節理
 粗粒砂岩の節理としては、層理面に沿う(a)と層理面にほぼ直交する(c)が多い。
- 本地点では、鉱脈をとがう節理は見られない。

(3) 風化

地表付近の岩盤は褐色に風化し、軟質化している。未風化部の残留の少ない強風化部の深度は、最大で約20mで、亀裂面に沿って褐色の変質が認められる最大深度は約70mである。風化の程度は地表から深部に向かって単純には低下せず、深部にも部分的に風化の進んだ岩盤が分布する。これは後述するように下位の粗粒砂岩の下面付近に地下水位があり、その付近が地下水の作用で特に強く風化されていたためである。

(4) 表層堆積物

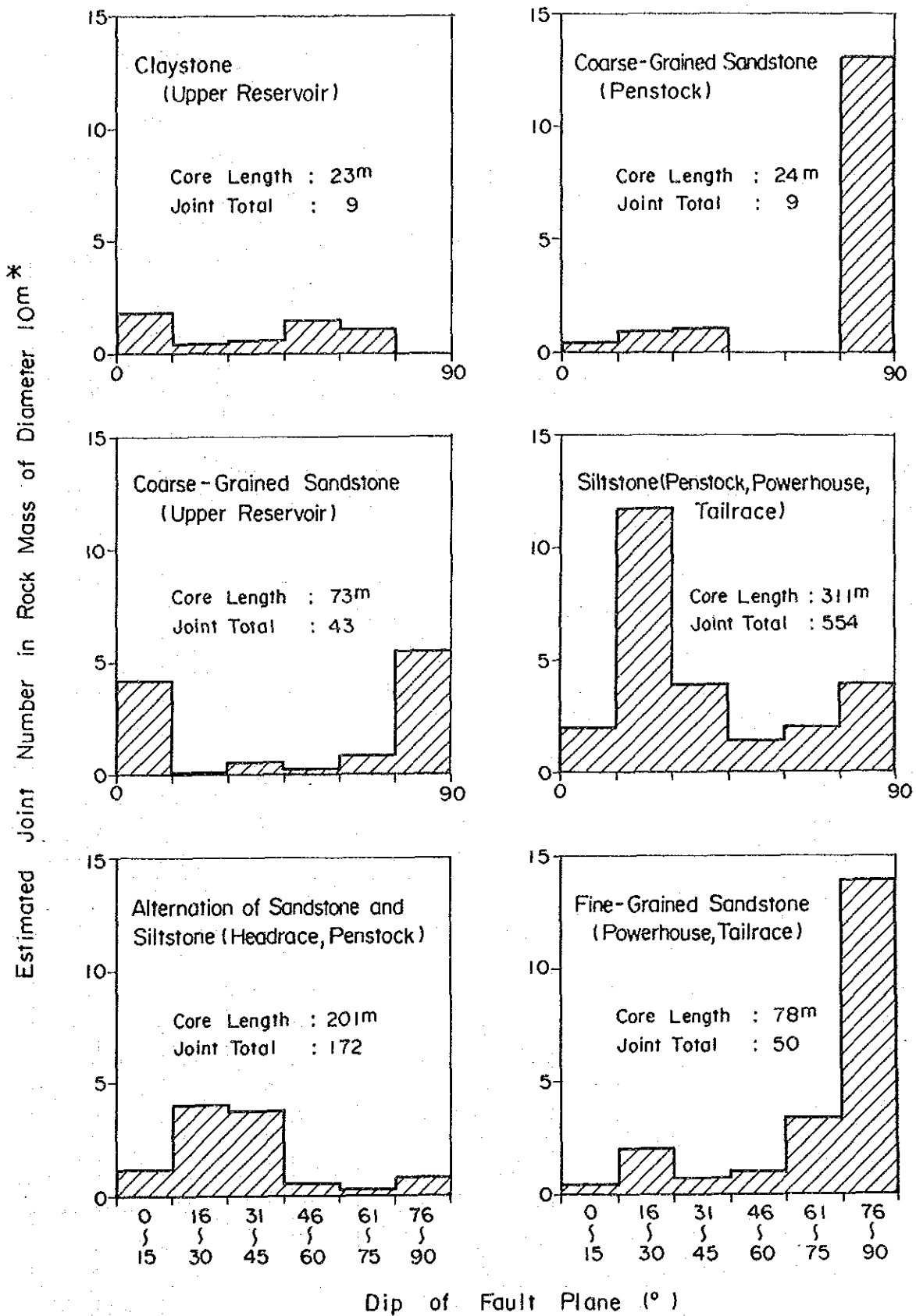
本地点には、粗粒砂岩が露出する一部の区域を除いて、基礎岩盤を覆って厚さ3～4mの赤褐色の風化残留土が広く分布している。この風化残留土はいわゆるラテライトで、統一土質分類上はシルト質礫(GM)に区分される。礫は赤鉄鉱や著しく風化した砂岩で構成されている。なお台地上に見られる小規模な沢には、河床堆積物はほとんど分布していない。

(5) 地下水位

上部調整池が計画されている台地上では、上部調整池地点の約1.5km北方の沢筋の標高約

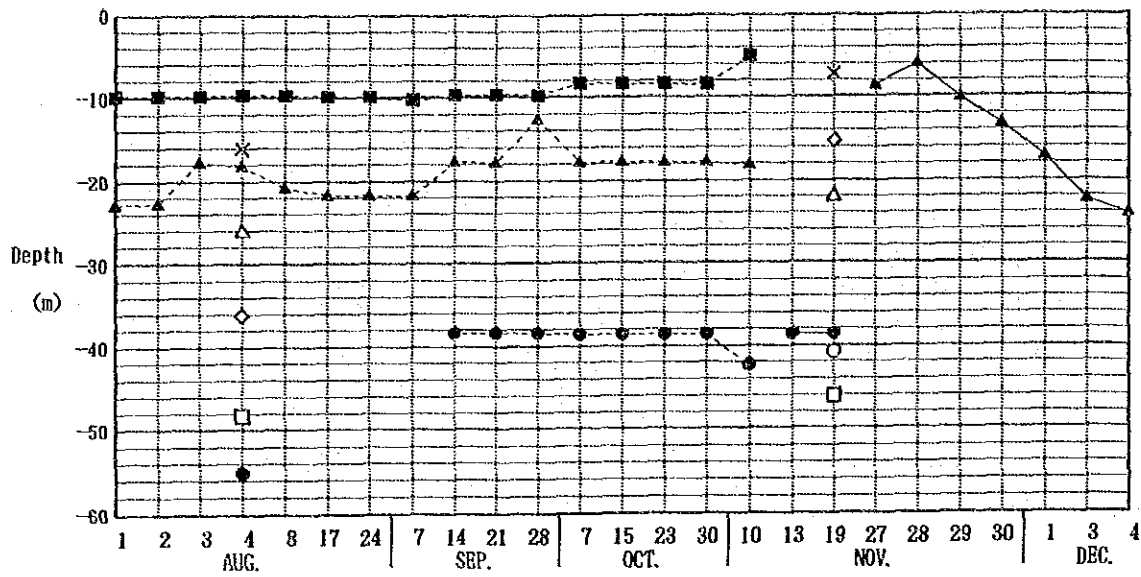
515mの地点で湧水が見られ、その下流に水流が連続している。この湧水は付近の居住者の話では1年中涸れることがないという。この地点には、下位の粗粒砂岩層の下部が分布している。この他に、上部調整池地点内の池や上部調整池地点の約1km北東の部落のアースダム（高さ：約7m、堤長：約70m）でも地表水が認められたが、これらは雨水が一時的に溜まったもので、乾期には枯渇することであった。

上部調整池地点で実施されたボーリングの孔内水位を、DWG. 7-4, 7-5及びFig. 7-2に示す。これらの結果によると、周辺の地下水位は、下位の粗粒砂岩層の主に下面付近（深度20～50m）に位置するものと考えられる。（DHU-2, 5の孔内水位は、岩盤の性状および周囲の地下水位の分布から考えて、真の地下水位を示していないものと判断される。）なおこれらのデータは、雨期に測定されたものなので、今後乾期も含めた長期的観測データが必要と考えられる。



* "Joint Numbers" can be calculated from true average joint spacing.

Fig. 7-1 Frequency of Joints in Each Layer Estimated from Joints in Drill Cores

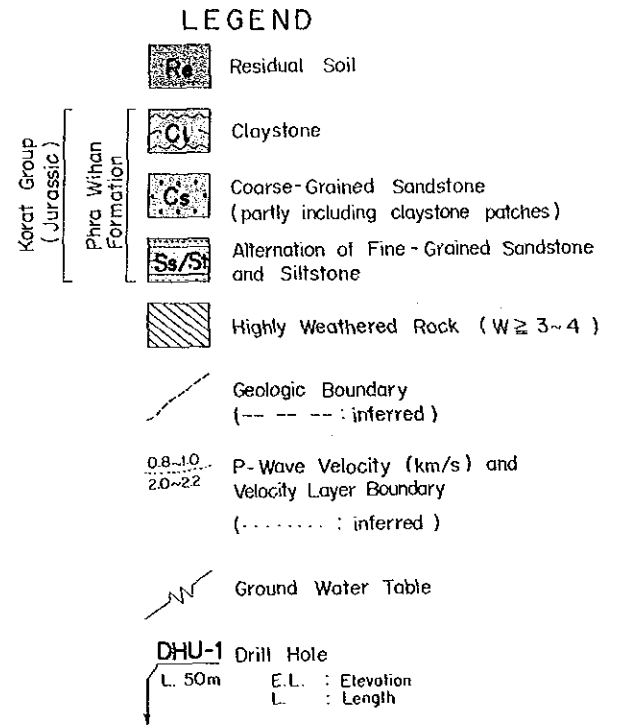
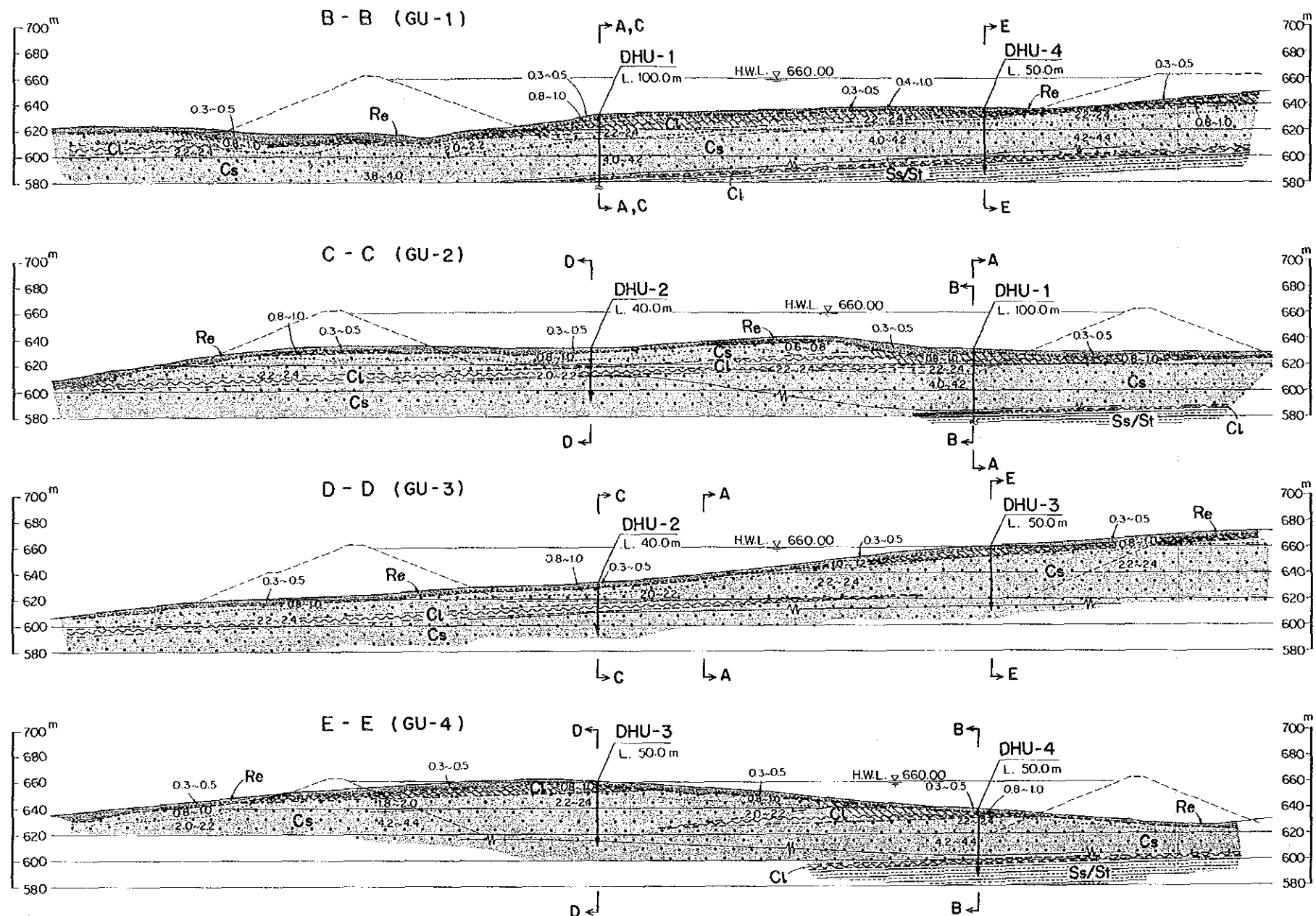


DATE	AUG. 1	AUG. 2	AUG. 3	AUG. 4	AUG. 8	AUG. 17	AUG. 24	SEP. 7	SEP. 14	SEP. 21	SEP. 28	OCT. 7	OCT. 15
DHU-1 —○													
DHU-2 —△				-26.0									
DHU-3 —□				-48.3									
DHU-4 —◇				-36.25									
DHU-5 —×				-16.05*									
DHW-1 —●				-55.2									
DHW-2 —▲													
DHT-1 —●									-38.4	-38.45	-38.5	-38.6	-38.6
DHT-2 —▲	-22.8	-22.65	-17.7	-18.2	-20.8	-21.7	-21.7	-21.8	-17.7	-17.8	-12.7*	-17.8	-17.75
DHT-3 —■	-9.8	-9.8	-9.8	-9.7	-9.75	-9.9	-9.9	-10.3	-9.75	-9.7	-9.8	-8.3	-8.4

DATE	OCT. 23	OCT. 30	NOV. 10	NOV. 13	NOV. 19	NOV. 27	NOV. 28	NOV. 29	NOV. 30	DEC. 1	DEC. 3	DEC. 4
DHU-1 —○					-40.8							
DHU-2 —△					-22.0							
DHU-3 —□					-46.1							
DHU-4 —◇					-15.4*							
DHU-5 —×					-7.3*							
DHW-1 —●				-38.6	-38.6							
DHW-2 —▲						-8.6	-6.0	-10.1	-13.3	-17.2	-22.5	-24.1
DHT-1 —●	-38.6	-38.65	-42.4									
DHT-2 —▲	-17.8	-17.8	-18.2									
DHT-3 —■	-8.4	-8.45	-5.1									

* : unreliable data □ : final water level

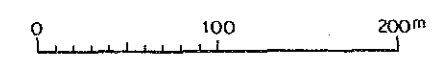
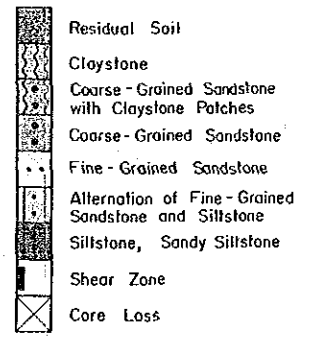
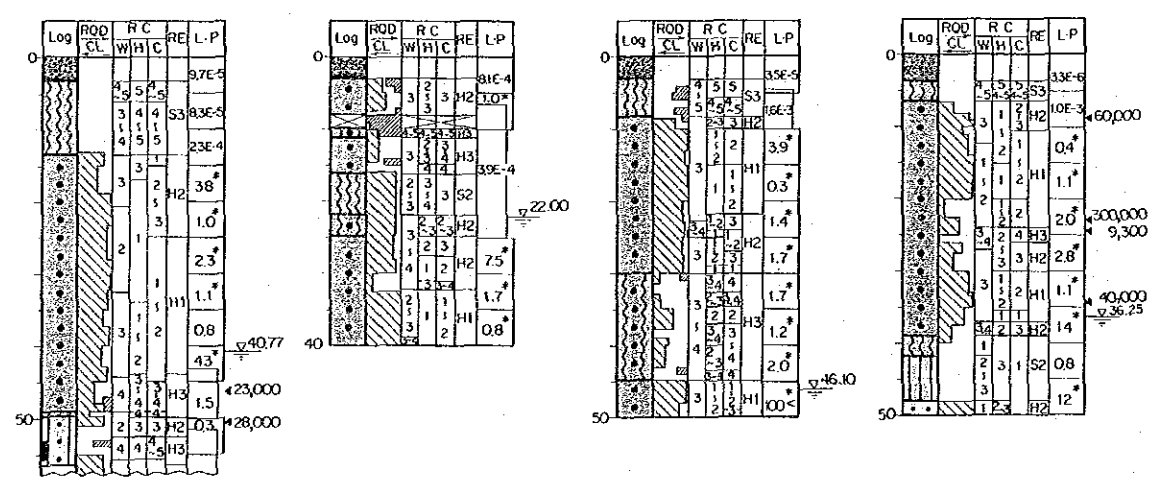
Fig. 7-2 Water Level in Drill Holes



①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
0	Log	RQD	RC	RE	L-P	
0	CL	CL	W	H	C	
5		5	5	33E-6		5.00
10		3	1	1	H2	60,000
15		3	1	1	H2	
20		2	1	0.4		

- ① Depth (m)
- ② Geologic Column
- ③ RQD : Rock Quality Designation (%)
 CL : Core Loss (%)
- ④ RC : Rock Classification
 W : Weathering, 1 (very fresh) ~ 5 (extremely weathered)
 H : Hardness, 1 (very hard) ~ 5 (soft)
 C : Joint Interval, 1 (over 30cm) ~ 5 (under 1cm)
- ⑤ RE : Rock Evaluation
 H : Hard Rock, S : Soft Rock, 1 (good) ~ 3 (bad)
- ⑥ L-P : Lugeon Value (Lu) or Permeability Coefficient (cm/s)
 * : Converted Lugeon Value, $E-6 : \times 10^{-6}$
- ⑦ ∇ 5.00 : Final Water Level (m)
 $\triangleleft 60,000$: Deformation Modulus (kgf/cm^2)

DHU - 1 EL. 632.14 m L. 100.0 m
DHU - 2 EL. 632.08 m L. 40.0 m
DHU - 3 EL. 660.93 m L. 50.0 m
DHU - 4 EL. 638.30 m L. 50.0 m



LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

GEOLOGIC SECTION OF UPPER RESERVOIR (B-B, C-C, D-D, E-E)

DWG. 7-5

7.8 水路ルート of 地質

7.8.1 地 形

取水口は、台地の西縁から約300mの標高約640mの地点に計画されており、その付近の斜面の傾斜は約10°である。導水路は、ほぼ平坦な台地の下を深度約70mで、台地の西縁から約200mの地点まで延びる。

水圧管路は、台地とその西縁の高さ約30mの急崖およびこの急崖の下方に広がる傾斜約18°の斜面の下を通過する。この斜面は、地下発電所から400mほど放水口側のボーリング DHW-2地点付近まで続き、発電所はこの斜面の地下約350mの地点に位置する。またこの斜面には南-北及び北西-南東方向の線状模様が航空写真から判読されている。

DHW-2 地点付近から放水口地点の手前にかけての地表部には、傾斜約 8° 程度の緩斜面が広がっている。この斜面は崩積土～崖錐堆積物で構成されており、斜面上には不規則な小さな凹凸が多数みられる。放水路ルート of 約250m南側には、放水路ルートと平行して浅い沢が刻まれている。放水口地点からその延長上の Lam Ta Khong 貯水池底部は、傾斜 3° 以下の極めて緩やかな地形となっている。

なお下部調整池となる Lam Ta Khong 貯水池は、全長約14kmで、放水口地点では幅約2.5kmとなっている。また、放水路トンネルは放水口の手前約250mの地点で、ハハウェイ（国道2号線） of 約60m下を通過する計画である。

7.8.2 地 質

水路ルート付近の地表部の露頭は極めて少なく、わずかに台地西縁の急崖や地下発電所地点上の斜面に粗粒砂岩が見られるだけである。主にボーリングの結果に基づいて明らかにされた水路ルート of 地質を DWG. 7-4 に示す。本ルート of 地質は、Phu Kradung 層 of シルト岩、細粒砂岩および一部に分布する礫岩と Phra Wihan 層 of 粗粒砂岩、粘土岩、細粒砂岩シルト岩互層、シルト岩およびこれらの岩盤を覆う崩積土～崖錐堆積物から構成されている。

(1) 岩 盤

岩盤は下位より次のように区分される。

(a) シルト岩層および細粒砂岩層からなる部分（全体の厚さ：約130m以上）

(b) 厚さ約180m of シルト岩層

(c) 厚さ約180mの細粒砂岩シルト岩互層

(d) 厚さ約1～3mの粘土岩層

(e) 厚さ約40mの粗粒砂岩層

(a)のシルト岩は赤紫～緑灰色で固結度がやや低く、比較的固結度の高い砂質シルト岩も部分的に含まれている。(a)の細粒砂岩は、主に石英質で灰白色を呈し塊状堅硬である。シルト岩層は20～35m、細粒砂岩層は3～20mの厚さのものが各々3層あることが確認されている。また一部には細粒砂岩・シルト岩の数十cm単位の互層となっている部分もある。

(b)は比較的固結度の高い砂質シルト岩も一部に含まれているが、ほとんど全て赤紫～緑灰色のやや固結度の低いシルト岩からなる。

(c)の細粒砂岩シルト岩互層は灰白色の中～細粒の石英質砂岩と赤紫～緑灰色のシルト岩の厚さ数十cm～10mの不規則な互層で、シルト質砂岩や砂質シルト岩といった中間的岩石も見られる。岩質は細粒砂岩は塊状堅硬であるが、シルト岩は固結度がやや低くやや軟質である。(c)には、厚さ約10mおよび20mの2つの粗粒砂岩層が含まれている。これは上池地点に分布するものと比べてやや粒度が細かく、中粒でラミネーションの発達した部分の多い石英質砂岩からなる堅硬な岩石で、粘土岩のパッチは含まれていない。(a)、(b)および(c)のシルト岩のかなりの部分は顕著なスレーキングを生じる。

(d)および(e)は、既に上部調整池地点の地質の項で述べたものと同一である。(a)～(c)の地層は全体に石灰質の部分が多く、また雲母が含まれていることが特徴となっているが、上部調整池地点の地層も含め、(d)層より上位の地層は非石灰質である。

地層の走向傾斜は直接は測定されていないが、上部調整池地点とほぼ同様と考えられる。

(2) 断層・節理

地表踏査では線状模様通過地点も含め、断層は全く確認されなかった。ボーリングでは細粒砂岩シルト岩互層やシルト岩層中に断層が認められた。

これらの断層の数を破砕幅、傾斜角ごとに整理すると、Fig. 7-3のようになる。観察された断層は主に15°～45°の低角度のものが多く、破砕幅が1mを越える

ものは、傾斜の不明な2本を含め合計9本である。ボーリングコアにおける破碎部の位置をDWG. 7-4に示す。最も顕著な断層はDHU-1の深度70mのもので、傾斜は不明、見掛けの破碎幅は4.4mで、破碎部は主に岩片で構成されている。

地下発電所周辺のボーリングDHW-1とDHW-2の間以外の区間は、地層の連続性が確認されており、また周辺地域に断層が少ないことも考慮すると、水路ルートには大きな変位を伴うような断層が存在する可能性は低いものと思われる。

各地層毎の節理の平均的分布頻度を、上池地点の節理と同様にFig. 7-1に示す。

水路ルートの主要な岩盤である、細粒砂岩シルト岩互層、粗粒砂岩、シルト岩、細粒砂岩の節理の特徴は、以下のようにまとめられる。

- 露頭やボーリングコアで観察された節理は、上池の場合と同様に以下の三種類に区分される。
 - (a) 5～15°の層理面に近い傾斜の極めて低角度の節理
 - (b) 15～60°の傾斜の低～中角度の節理
 - (c) 60～90°の傾斜の高角度の節理
- (b)タイプの節理はシルト岩に多く、(c)タイプの節理は砂岩に多い。
- 細粒砂岩シルト岩互層では、特にシルト岩部に傾斜角15°～45°程度の(b)タイプの節理が多く、このタイプの節理の分布頻度の合計は約8本/10mである。
- 粗粒砂岩の節理の大部分は(c)タイプで、このタイプの節理の分布頻度は約13本/10mである。
- シルト岩の節理は、傾斜角15°～45°程度の(b)タイプの節理が多い。シルト岩の節理の分布はかなり不均質であるが、このタイプの節理の分布頻度の合計は平均的には約16本/10mになる。
- 細粒砂岩の節理は(c)タイプが多く、このタイプの節理の分布頻度は約17本/10mである。
- 節理に伴う鉱脈として、細粒砂岩シルト岩互層より下位の地層中には、しばしば方解石脈(厚さ数mm以下)がみられ、水圧管路下部のシルト岩層より下位には石膏脈(主に厚さ数mm以下、最大厚さ2cm)も分布している。

(3) 風化

風化の影響が認められるのは、合地部では前述のように深度70m程度までであり、水圧管路～放水口の斜面では深度30～50mまで、放水口地点付近では深度20m程度までとなっている。従って水路は大部分が未風化の岩盤中に位置し、取水口、放水口および放水口ゲートのみが、風化を受けた岩盤中に位置している。

取水口地点の粗粒砂岩層の中上部は、節理面に沿って風化が見られる程度であるが、最下部の5mほどの部分では、その付近に地下水面があり、その影響を受けて岩盤全体に風化が進み軟質化している。

放水口ゲート～放水口地点にかけては、地表部には崩積土～崖錐堆積物が分布しており、その下の岩盤には、上部調整池地点で見られた様な強い風化部は無く、節理に沿った風化が深度20～40mまで認められる。特にこの地点では風化によるシルト岩の軟質化が著しい。

(4) 表層堆積物

地下発電所から放水口にかけての斜面には、航空写真判読や現地踏査から、厚い崩積土～崖錐堆積物の分布が推定されていたが、ボーリングでその分布が確認された。この堆積物の厚さは、斜面のやや下部のボーリングDHT-1地点付近で最大で、約30mとなっている。堆積物は、細粒～粗粒砂岩の礫（最大のものは直径5m程度に達する）とその間を埋めるシルト～粘土からなる。礫は岩盤を構成する砂岩に由来するもので、風化程度は様々ものが見られる。砂岩礫を含む堆積物は基礎岩盤中に砂岩の分布しない斜面下部にも広く分布しており、砂岩礫は水平距離で1km以上を移動したものである。また基礎岩盤のシルト岩が直径数mのブロックとして取り込まれている部分も見られる。このような性状から、この堆積物は過去の地じりによって形成されたものと推定される。

この堆積物中には成層構造は認められない。また基盤との境界は漸移的で不明瞭な部分が多い。ボーリングDHT-1のコアでは、岩盤との境界部付近の本堆積物中に5～15°の傾斜の鏡肌が見られ、本堆積物中にじり面が形成されているものと推定された。この様なじり面が見られたのはこの地点だけであった。周囲の地形地質状況を考慮すると現在滑動中の大規模なじり面ではないものと思われるが斜面の掘削によって不安定化することも考えられるので、今後の調査の際には注

意が必要である。

(6) 地下水位

水路ルートで実施されたボーリングの孔内水位を、DWG. 7-4, Fig. 7-2 に示す。既に述べたように、上部調整池の台地の地下水位は、主に上部ダム基礎岩盤の下位の粗粒砂岩層下部にあり、その水位は台地西縁に近いボーリングDHW-1地点でも低下していない。水圧管路から下部の斜面では、地下水位は地表面からは20～40mの深度にあるが、岩盤の表面から見ると数mより浅い部分にある。

水路ルート周辺で、地表水が見られたのは、前述の(c)層中の粗粒砂岩層の露頭の直下及び放水路ルートの南側約250mの沢であった。この沢では特に降雨直後ではなかったが、標高320mの地点からLam Ta Khong貯水池まで水流が認められた。沢には岩盤は露出しておらず、透水性の大きい表層堆積物が分布しているにもかかわらず沢に水が見られることから、沢の両岸の斜面には岩盤が分布し、そこで地下水位が沢底より高くなっている可能性が高いと考えられる。

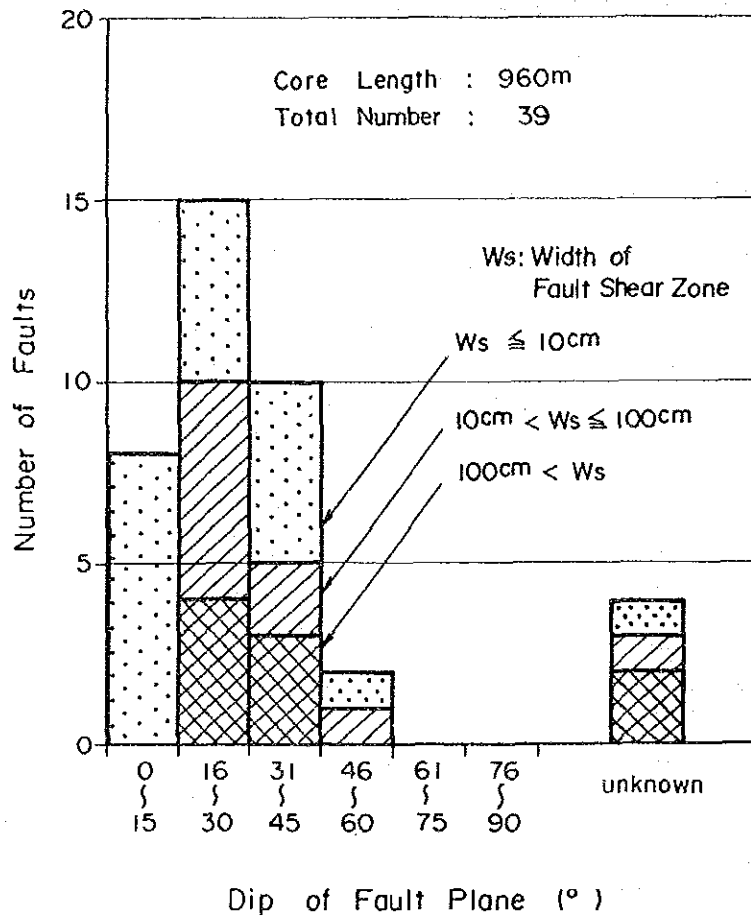


Fig. 7-3 Fault Number in Drill Cores

7.7 上部調整池地点の弾性波探査

上部調整池地点の基礎岩盤の地質性状を把握することを目的として、弾性波探査（屈折法）が実施された。

(1) 位置及び数量

調査数量は測線長900mのものが、4測線で、合計3,600mである。測線の配置をDWG. 7-2に示した。

(2) 方法

主にハンマーの打撃を発振源とし、受振点の間隔は5～10m、発振点の間隔は50mとして、シグナルエンハンスメント法により測定を行った。Fig. 7-4に弾性波探査方法の概念図を示す。測定に用いた各機器の仕様を以下に示す。

(a) 地震探査装置

名称	ES-1210	McSBIS 1300 MODEL-1191
メーカー	GeoMetrics/nimbus (USA)	OYO (JAPAN)
チャンネル数	12	12
最大利得	96	86
周波数帯域	3～800 Hz	5～1,000Hz
サンプリングレート	2,048～51.2 samples/ms	20～1 samples/ms
レコード長	51.2～2,048 ms	50～1,000 ms

(b) 地震計 OYO (USA) : 周波数 28 Hz

(3) 結果

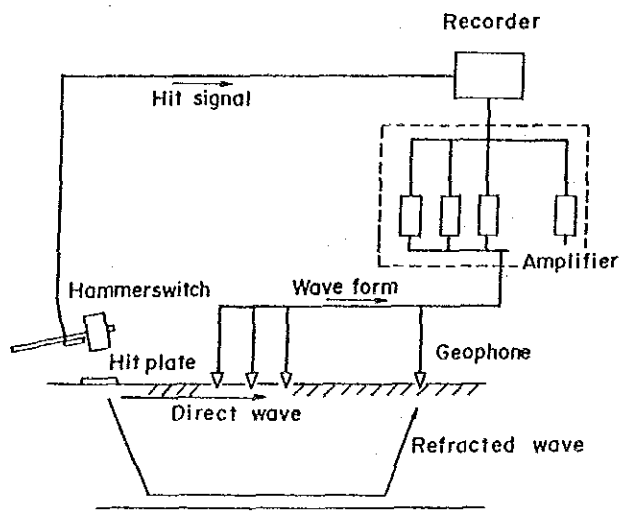
調査結果は、萩原の方法及びその拡張法を用いて解析した。走時曲線及び解析断面図をDWG. 7-6 (1)～(4)に示す。発破を利用出来なかったため、明瞭な受信波形が得られなかった部分も多かったが、これらは図に示したように信頼性の低いデータとして区別し、解析には用いなかった。

解析結果はTable 7-7のようにまとめられる。解析結果は、ボーリング調査結果とほぼ整合的で、第1層は風化残留土に相当し、その厚さは1～5 m、第2層

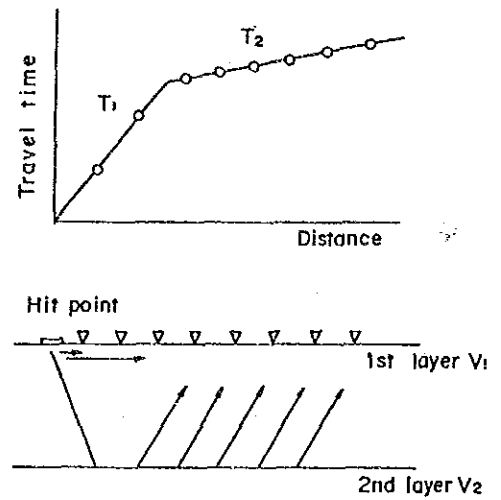
は風化した粘土岩あるいは、強風化～中程度に風化した粗粒砂岩に相当し、その厚さは2～10mとなっている。

Table 7-7 Summary of Seismic Prospecting

Layer No.	P-wave Velocity (km/s)	Thickness (m)	Geologic Condition	Ripperbility
1st layer	0.3~0.5	1 ~ 5	• residual soil	ripperble
2nd layer	0.6~0.8	2 ~ 10	• weathered claystone	ripperble
	0.8~1.0		• highly weathered coarse-grained sandstone	
3rd layer	2.0~2.2	6 ~ 15	• claystone] ripperble] not ripperble
	2.2~2.4		• moderately weathered coarse-grained sandstone • coarse-grained sandstone including claystone patch	
4th layer	4.0~4.2	—	• slightly weathered coarse-grained sandstone	not ripperble
	4.2~4.4			

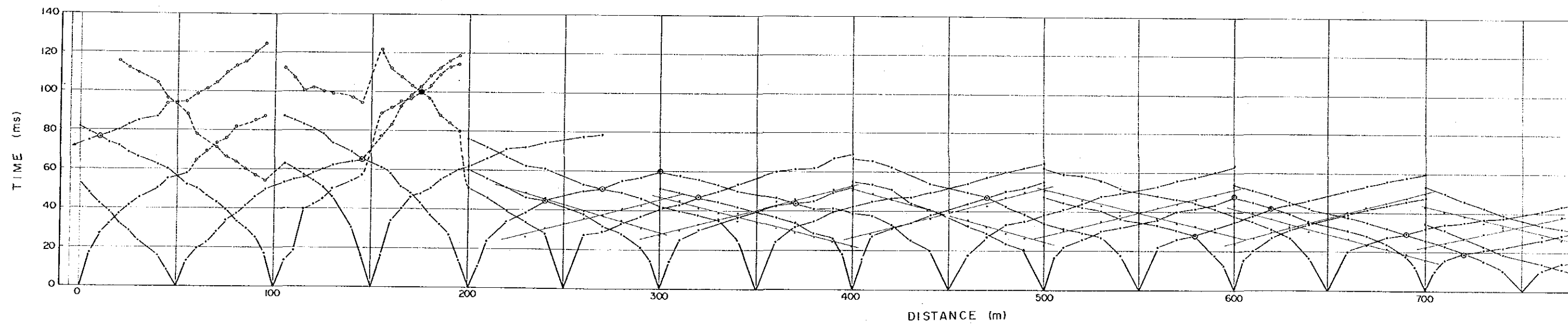
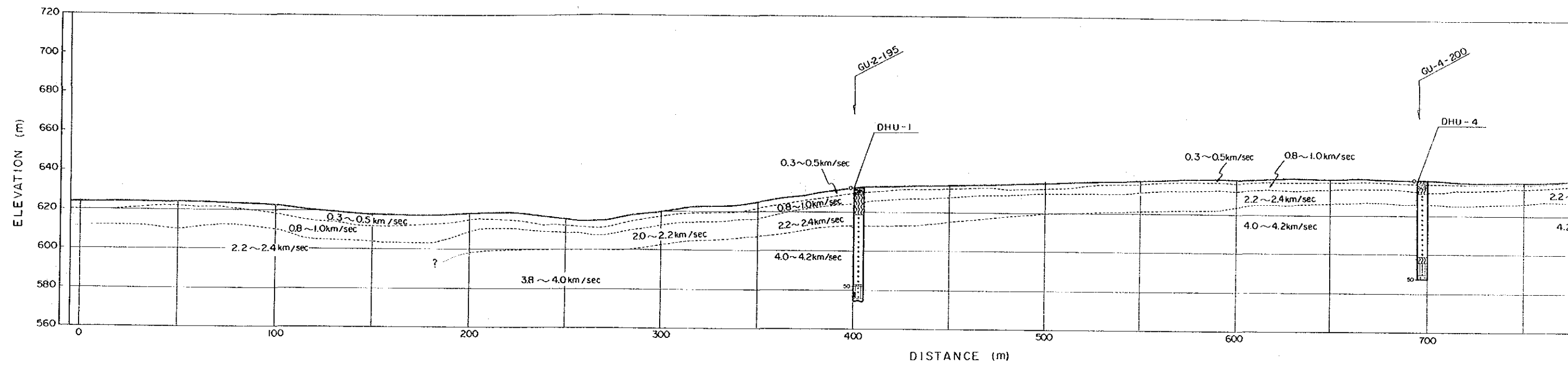


a) Measurement

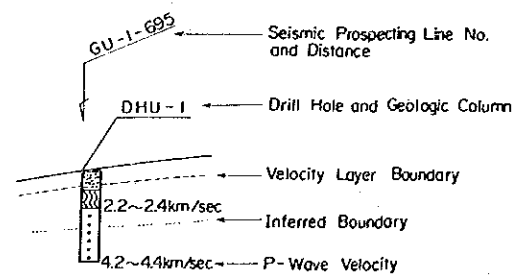


b) Refraction paths and Travel time

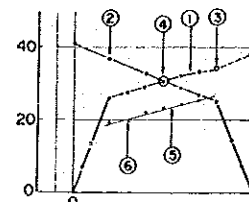
Fig. 7-4 Diagram of Seismic Prospecting Method



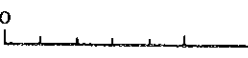
LEGEND

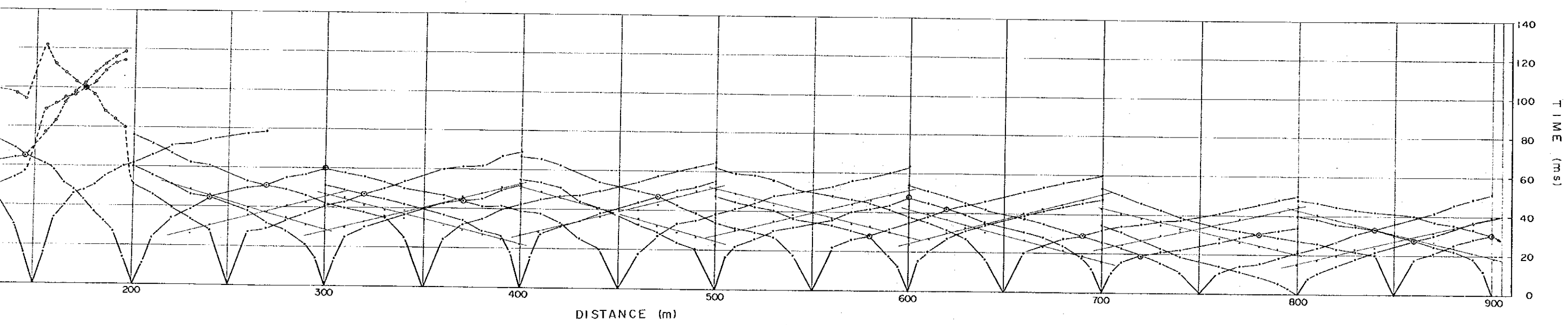
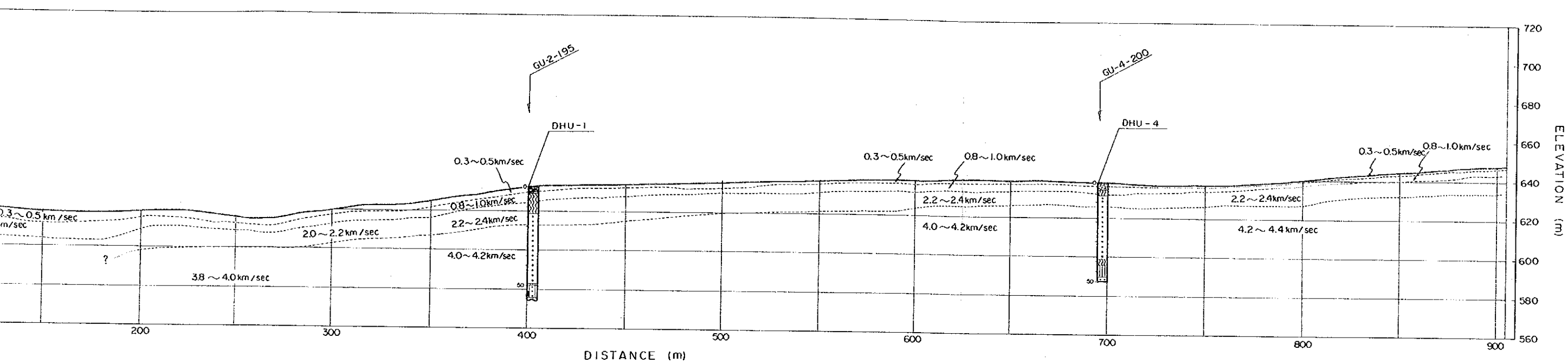


- Residual Soil
- Claystone
- Coarse-Grained Sandstone with Claystone Patches
- Coarse-Grained Sandstone
- Fine-Grained Sandstone
- Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
- Siltstone, Sandy Siltstone
- Shear Zone
- Core Loss

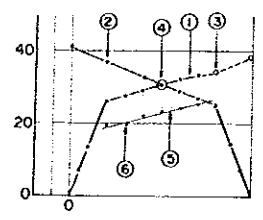


- ① Time-Distance Curve
- ② Travel Time Data (reliable)
- ③ Travel Time Data (unreliable)
- ④ Double Data
- ⑤ Velocity Travel Time Curve
- ⑥ Velocity Travel Time





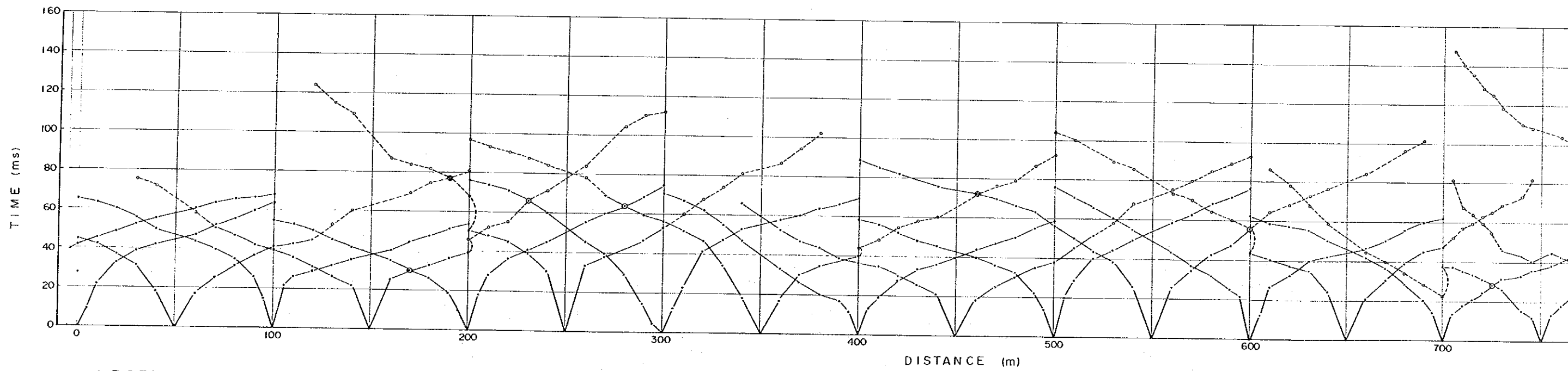
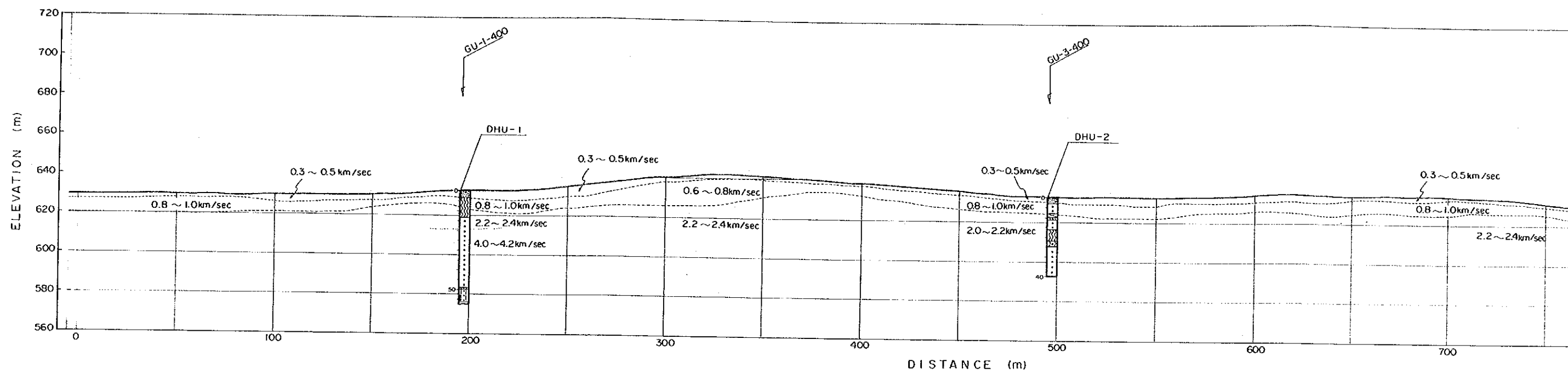
- Residual Soil
- Claystone
- Coarse-Grained Sandstone with Claystone Patches
- Coarse-Grained Sandstone
- Fine-Grained Sandstone
- Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
- Siltstone, Sandy Siltstone
- Shear Zone
- Core Loss



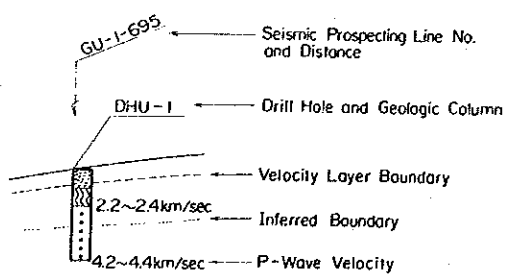
- ① Time-Distance Curve
- ② Travel Time Data (reliable)
- ③ Travel Time Data (unreliable)
- ④ Double Data
- ⑤ Velocity Travel Time Curve
- ⑥ Velocity Travel Time



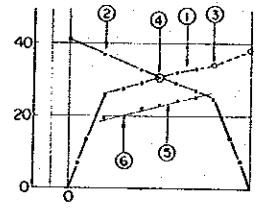
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
SEISMIC PROFILE	
TIME-DISTANCE CURVE (GU-1)	
DWG. 7-6 (1)	



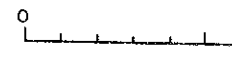
LEGEND

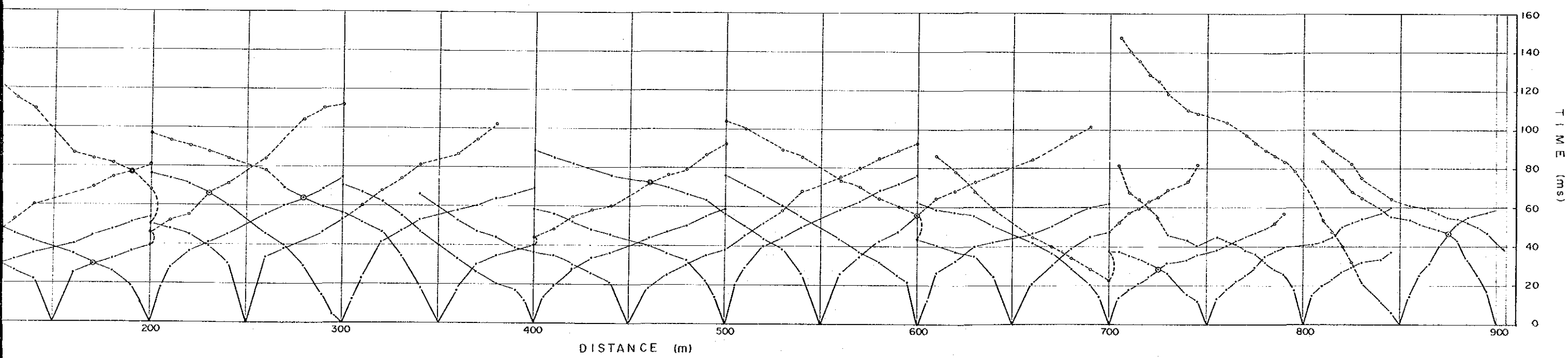
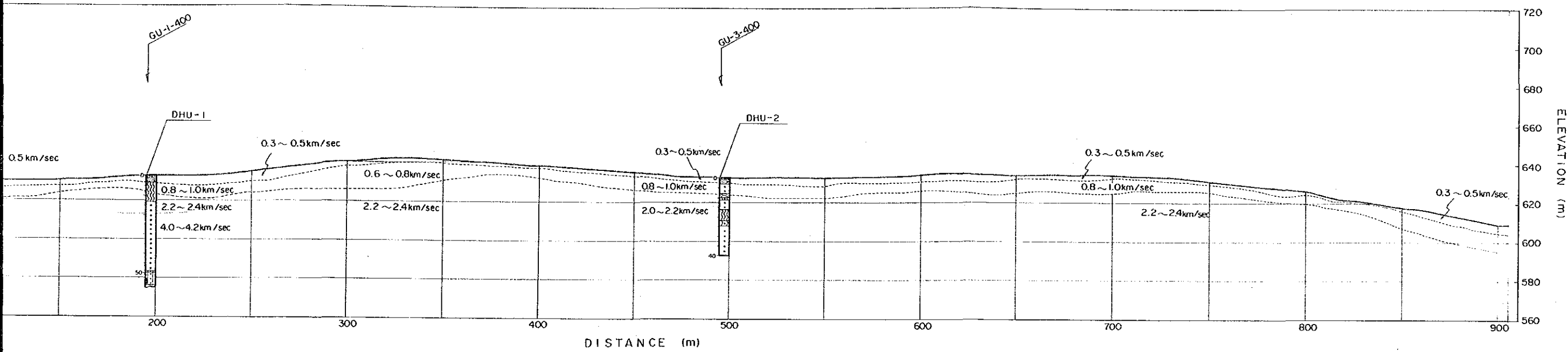


- Residual Soil
- Claystone
- Coarse-Grained Sandstone with Claystone Patches
- Coarse-Grained Sandstone
- Fine-Grained Sandstone
- Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
- Siltstone, Sandy Siltstone
- Shear Zone
- Core Loss

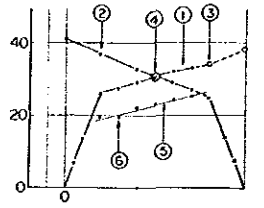


- ① Time-Distance Curve
- ② Travel Time Data (reliable)
- ③ Travel Time Data (unreliable)
- ④ Double Data
- ⑤ Velocity Travel Time Curve
- ⑥ Velocity Travel Time

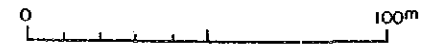




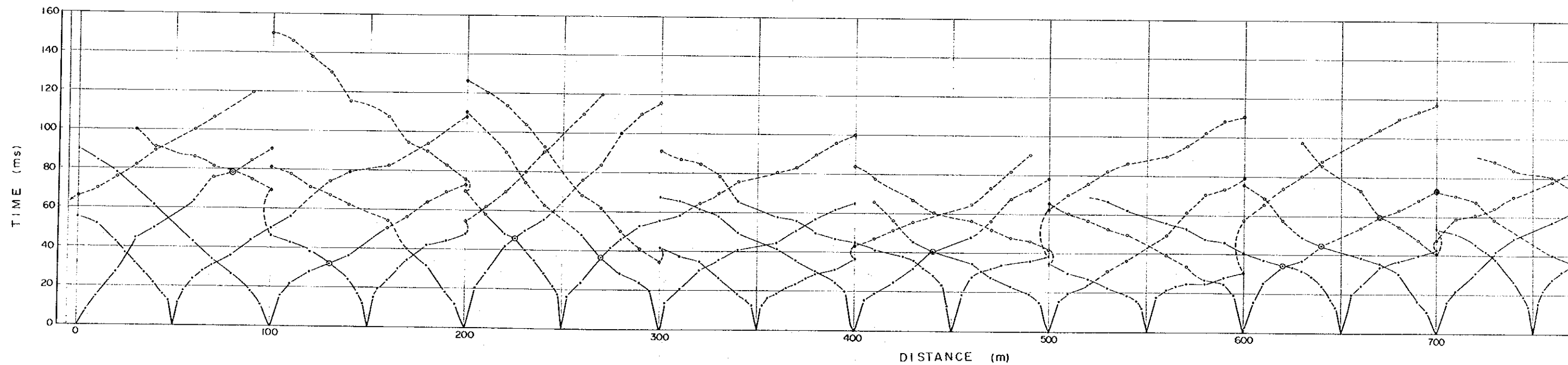
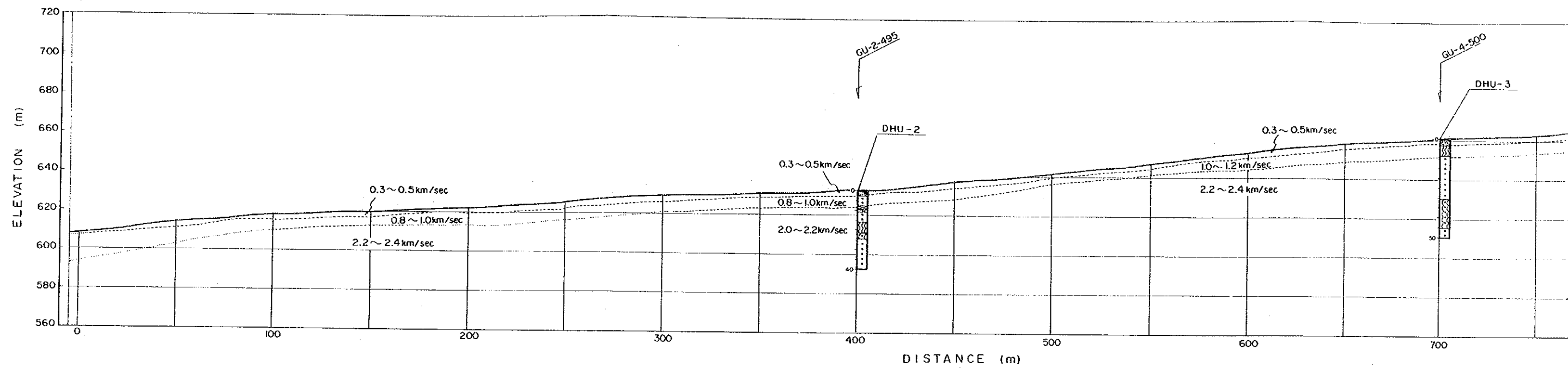
- No. _____
- Column _____
- Residual Soil
 - Claystone
 - Coarse-Grained Sandstone with Claystone Patches
 - Coarse-Grained Sandstone
 - Fine-Grained Sandstone
 - Alteration of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
 - Siltstone, Sandy Siltstone
 - Shear Zone
 - Core Loss



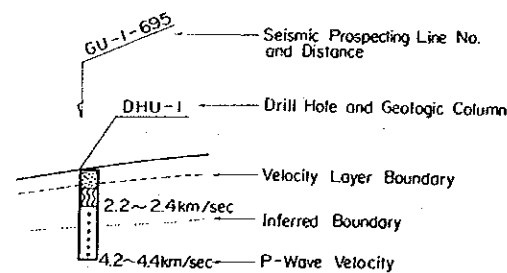
- ① Time - Distance Curve
- ② Travel Time Data (reliable)
- ③ Travel Time Data (unreliable)
- ④ Double Data
- ⑤ Velocity Travel Time Curve
- ⑥ Velocity Travel Time



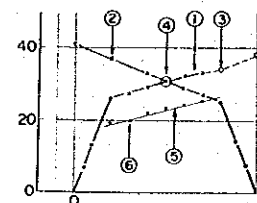
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
SEISMIC PROFILE	
TIME-DISTANCE CURVE (GU-2)	
DWG. 7-6 (2)	



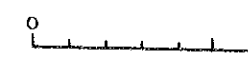
LEGEND

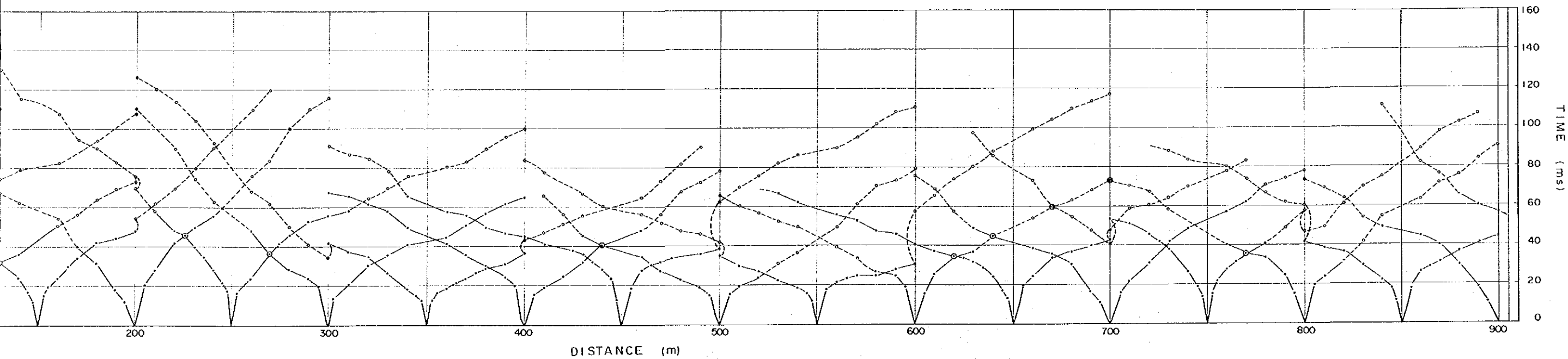
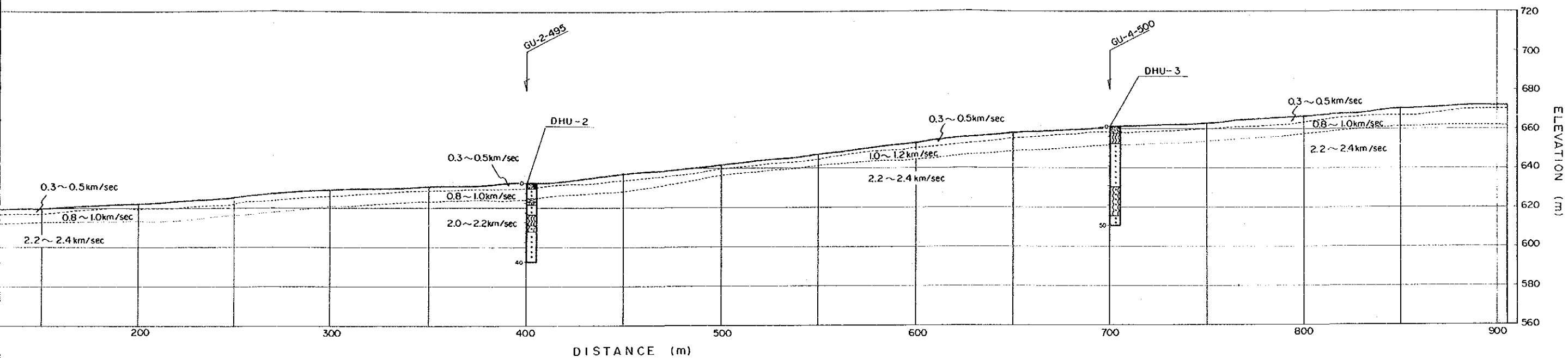


- Residual Soil
- Claystone
- Coarse-Grained Sandstone with Claystone Patches
- Coarse-Grained Sandstone
- Fine-Grained Sandstone
- Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
- Siltstone, Sandy Siltstone
- Shear Zone
- Core Loss

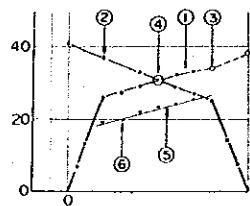


- ① Time-Distance Curve
- ② Travel Time Data (reliable)
- ③ Travel Time Data (unreliable)
- ④ Double Data
- ⑤ Velocity Travel Time Curve
- ⑥ Velocity Travel Time

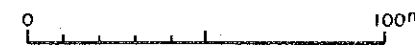




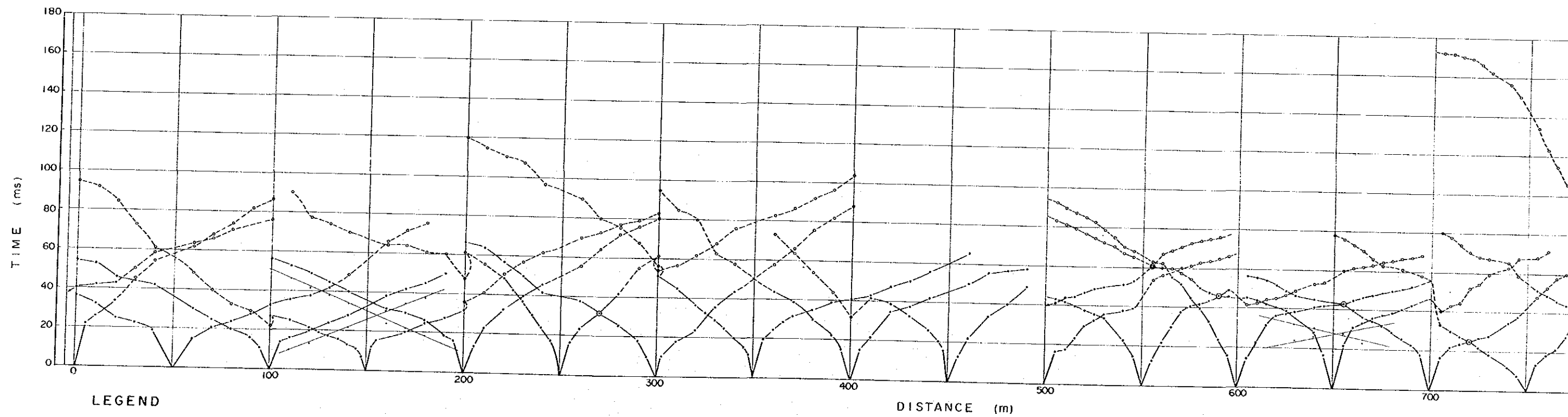
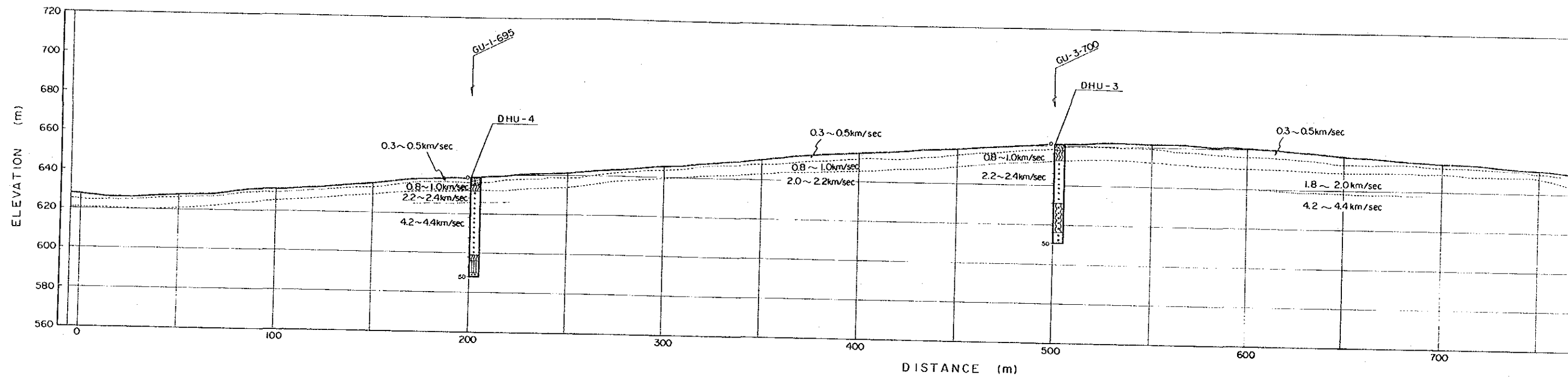
- Residual Soil
- Claystone
- Coarse-Grained Sandstone with Claystone Patches
- Coarse-Grained Sandstone
- Fine-Grained Sandstone
- Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
- Siltstone, Sandy Siltstone
- Shear Zone
- Core Loss



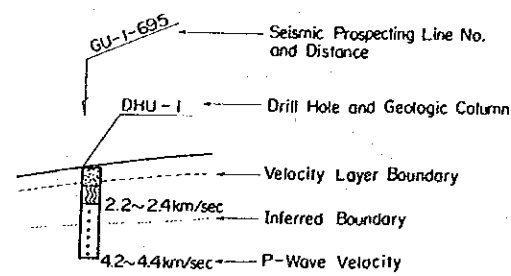
- ① Time-Distance Curve
- ② Travel Time Data (reliable)
- ③ Travel Time Data (unreliable)
- ④ Double Data
- ⑤ Velocity Travel Time Curve
- ⑥ Velocity Travel Time



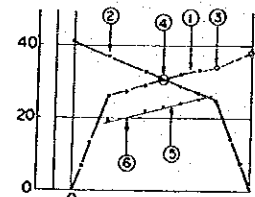
LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT	
SEISMIC PROFILE	
TIME-DISTANCE CURVE (GU-3)	
DWG. 7-6 (3)	



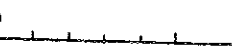
LEGEND

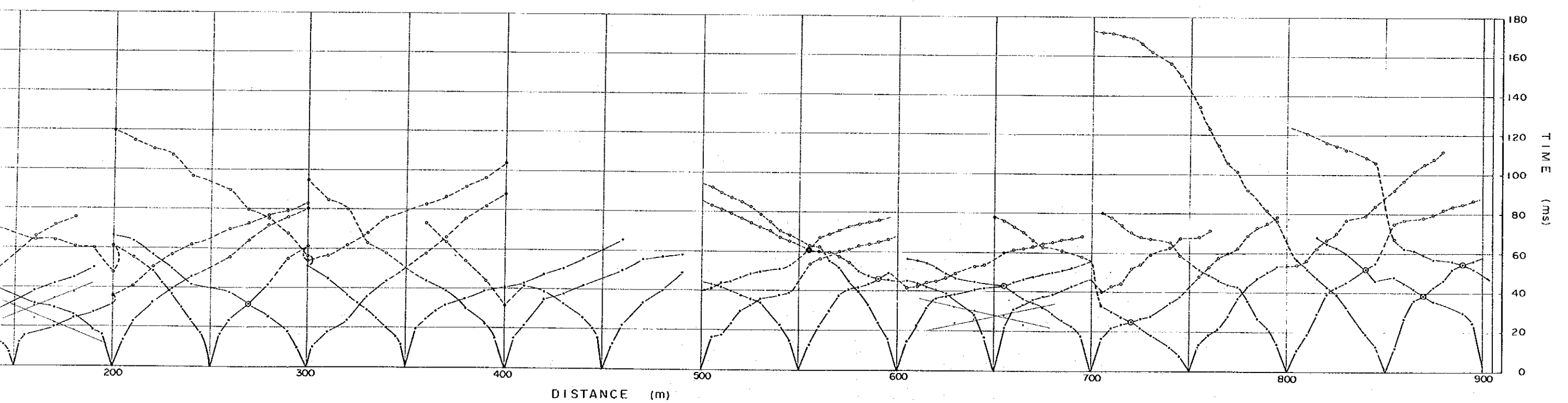
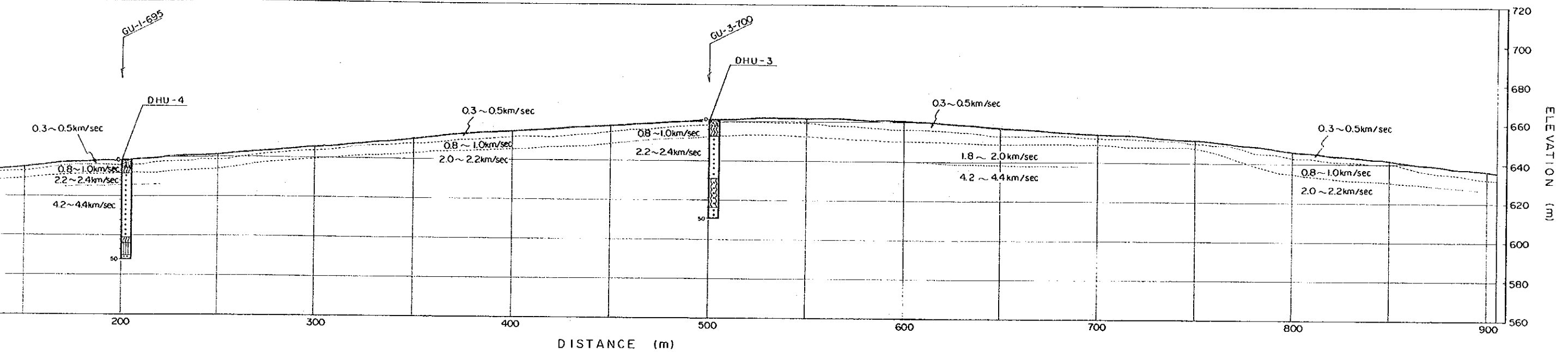


- Residual Soil
- Claystone
- Coarse-Grained Sandstone with Claystone Patches
- Coarse-Grained Sandstone
- Fine-Grained Sandstone
- Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
- Siltstone, Sandy Siltstone
- Shear Zone
- Core Loss

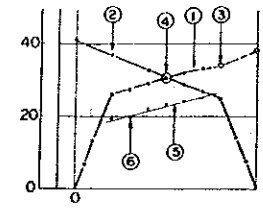


- ① Time - Distance Curve
- ② Travel Time Data (reliable)
- ③ Travel Time Data (unreliable)
- ④ Double Data
- ⑤ Velocity Travel Time Curve
- ⑥ Velocity Travel Time

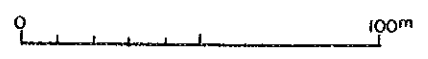




- Residual Soil
- Claystone
- Coarse-Grained Sandstone with Claystone Fitches
- Coarse-Grained Sandstone
- Fine-Grained Sandstone
- Alternation of Fine-Grained Sandstone and Siltstone
- Siltstone, Sandy Siltstone
- Shear Zone
- Core Loss



- ① Time - Distance Curve
- ② Travel Time Data (reliable)
- ③ Travel Time Data (unreliable)
- ④ Double Data
- ⑤ Velocity Travel Time Curve
- ⑥ Velocity Travel Time



LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT

SEISMIC PROFILE

TIME-DISTANCE CURVE (GU-4)

DWG. 7-6 (4)

7.8 標準貫入試験

試験位置および数量は、Table 7-2に示したとおりである。

試験結果を Table 7-8 に示す。上部調整池地点で実施されたDHU-1 ~ 5およびDHW-1の試験結果では、風化残留土及び岩盤の表面部の強風化部ではN値が50以下であるが、深度5 m程度でN値は50以上と成っており、風化により著しく軟質化した部分は薄いことがわかる。

水路ルートのパージングの試験は崩積土～崖錐堆積物中で実施されている。大きなN値が測定されているのは、礫の影響を受けたためと考えられる。

Table 7-8 Results of Standard Penetration Test

Drill Hole	Depth (m)	N-value	Description		
			Geology (Rock Classification)	Water Cont.	Plasticity
DHU-1	1.15 ~ 1.45	8	Residual soil : clayey silt	moist	low
	2.15 ~ 2.45	8			
	3.15 ~ 3.45	21	Weathered claystone (4-5.5, 4-5)*	moist	low
	4.15 ~ 4.45	36			
	5.15 ~ 5.45	52			
DHU-2	1.15 ~ 1.45	29	Residual soil : silt with gravel	moist	low
	2.15 ~ 2.45	80			
DHU-3	1.15 ~ 1.45	70	Residual soil : silt	moist	low
	2.15 ~ 2.45	67			
	4.70 ~ 5.00	30/1.5"	Weathered claystone (4-5, 4-5, 4-5)*	moist	low
DHU-4	1.15 ~ 1.45	43	Residual soil : clayey silt.	moist	low
	2.15 ~ 2.45	40	Residual soil : silt with gravel	moist	low
	3.15 ~ 3.45	35			
	4.15 ~ 4.45	64	Weathered claystone (5, 4, 4)*	moist	low
DHU-5	1.15 ~ 1.45	60/4.5"	Weathered coarse-grained sandstone	moist	very low
DHW-1	3.15 ~ 3.45	42	Weathered claystone (4-5, 4-5, 4)*	moist	low
	4.15 ~ 4.45	70			
DHW-2	1.00 ~ 1.45	5	Residual soil : clayey silt	moist	medium
	2.00 ~ 2.45	10		moist	low
	3.00 ~ 3.45	17			
	4.40 ~ 4.50	70/4"	Residual soil : silt with gravel	moist	low
DHT-2	1.15 ~ 1.45	9	Residual soil : silt with gravel	moist	very low
	2.15 ~ 2.45	43			

* (weathering, hardness, crack spacing) , see Table 7-19

7.9 透水試験

7.9.1 孔内透水試験

ボーリング孔内ではルジオン試験を実施し、透水性が大きく水圧を上げることが困難な部分については、定水位透水試験を実施した。Table 7-9 に示すような限界圧力の認められた試験については、限界圧力以下のデータに基づいて換算ルジオン値を求めた。

また注入量の多い試験データについては、Table 7-10に示したようにロッド内の損失水頭を評価してルジオン値を求めた。内径20mmのロッドの損失水頭の算定式(*)はFig. 7-5に示したBGATが実施した試験結果から求めた。なおDHW-1, 2およびDHT-1の内径が60.3mmのワイヤーラインボーリングについては、Weisbachの式(**)により損失水頭の影響がほとんどないものと判断された。

$$* \quad P_l = 3.5 \times 10^{-5} Q^{1.04} L \quad P_l : \text{損失水圧} \quad (\text{kgf/cm}^2/\text{m})$$

$$Q : \text{注入量} \quad (\text{l/min})$$

$$** \quad P_l = 8.6 \times 10^{-8} Q^2 L \quad L : \text{ロッドの長さ} \quad (\text{m})$$

試験結果はDWG. 7-4, 7-5, および Table 7-10に示した。詳細な試験データはAppendix-Aに付す。岩種別に見ると粗粒～細粒砂岩は未風化部でもルジオン値の大きい部分が多く、シルト岩は砂質部や風化部を除くと、大部分が1Lu以下で、低透水性の岩盤であるといえる。

7.9.2 ピット内透水試験

上部調整池地点のピットの底面で次の2種類の透水試験を実施した。

・ Uncased Well Permeameter Method : EARTH MANUAL (U. S. Department of the Interior) Field Permeability Test (Well Permeameter Method), Designation B-19

・ Open-end pipe method : EARTH MANUAL (U. S. Department of the Interior) Field Permeability Tests in Boreholes, Designation B-18

試験結果はTable 7-12の通りで、著しく風化した粘土岩の透水係数として、いずれの試験でも $1 \sim 2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ の値が得られた。ピットの地質スケッチと詳細な試験データをAppendix-Aに付す。

Table 7-9 Critical Pressure of Bedrock

Drill Hole Number	Test Depth (m)	Geology	Critical Pressure (kgf/cm ²)
DHU-2	5.0-10.0	Coarse-grained sandstone and claystone	1.6
DHU-5	5.0-10.0	Coarse-grained sandstone	1.2
DHW-1	75.0-81.0	Siltstone	9.7
DHW-1	117.5-23.5	Siltstone and alternation of fine-grained sandstone and siltstone	9.3
DHW-2	27.5-33.5	Siltstone	3.9
DHT-1	21.0-25.0	Talus deposit	4.3
DHT-2	20.0-25.0	Alternation of fine-grained sandstone and siltstone	5.8
DHT-2	35.0-40.0	Fine-grained sandstone and siltstone	6.7
DHT-3	5.0-10.0	Talus deposit and siltstone	1.6

Table 7-10 Lugeon Value and Friction Head Loss in Drill Hole

Drill Hole Number	Test Depth (m)	Geology	Apparent Effective Pressure (kgf/cm ²)	Discharge (ℓ/min)	Apparent Lugeon Value (Lu)	Friction Pressure Loss (kgf/cm ²)	Effective Pressure (kgf/cm ²)	Lugeon Value (Lu)
DHU-1	15.0-20.0	Coarse-grained sandstone	2.97	46.0	30.9	0.6	2.4	38
DHU-1	40.0-45.0	Coarse-grained sandstone	3.3	53.4	32.4	0.8	2.5	43
DHU-2	25.0-30.0	Coarse-grained sandstone	6.1	21.8	7.1	0.3	5.8	7.5
DHU-3	45.0-50.0	Coarse-grained sandstone, claystone	2.9	77.0	53.1	4.7	0	100<
DHU-4	35.0-40.0	Coarse-grained sandstone, claystone	6.3	37.2	11.8	1.0	5.3	14
DHU-4	45.0-50.0	siltstone, Fine-grained sandstone	9.7	47.2	9.7	1.9	7.8	12

Table 7-11 Summary of Lugeon Test

Geology		Rock Classification and Rock Evaluation *		Data Qt.	Lugeon Value (Lu)	
Rock Name	Description	W, H, C	RE		Range	Mean
Colluvial deposit, Talus deposit		—	—	2	11~13	12
Coarse-grained sandstone	fresh part	1-2, 1-3, 1-3	H1	5	0.1~22<	5.2<
	weathered part	2-4, 1-4, 1-4	H1-H3	22	0.3~100<	10<
	with claystone	3-4, 2-4, 3-4	H3	3	0.8~1.7	1.2
Fine-grained sandstone	fresh part	1, 1-4, 1-3	H1-H3	10	0.4~29<	8.6<
	weathered part	2-3, 3-4, 2-4	H2-H3	3	0.1~2.2	1.4
Alternation of fine-grained sandstone and siltstone	fresh part	1-2, 2-4, 1-3	H1-H3	2	0.4~3.5	2.0
	weathered part	—4, 3-4, 3-5	H2-H3	1	0.3	0.3
Siltstone	fresh part	1-2, 3-4, 1-4	S2 (partly S1, S3)	54	0.0~8.5	0.7
	weathered part	3-4, 3-4, 2-5	S2-S3	3	0.4~19	7.0

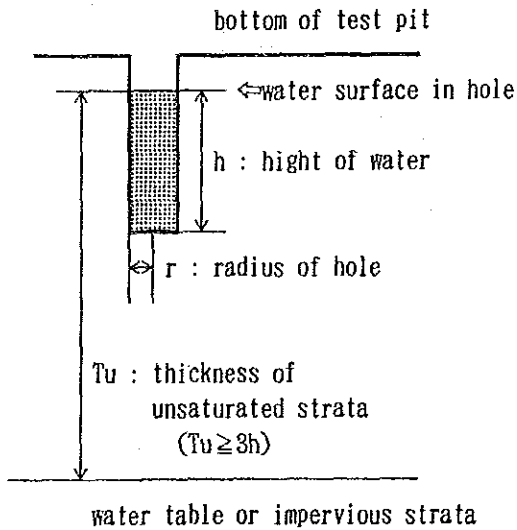
* see Table 7-19, 7-20 ; W : weathering H : hardness C : crack spacing
 weathered part : $3 \leq W$

Table 7-12 Results of Permeability Tests in Test Pits

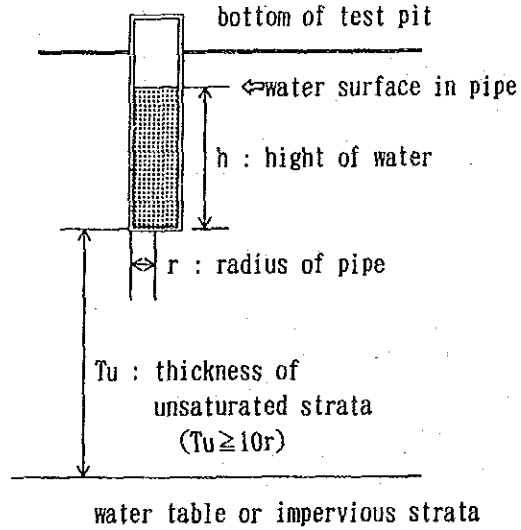
Test Pit	PU-1	PU-1	PU-3	PU-3
Test Method	Well permeameter #1	Open end pipe #2	Well permeameter	Open end pipe
Test Depth (m)	5.0-5.6	5.7	4.9-5.5	5.6
Geology	Weathered claystone (W:4-5, H:4-5, C:4-5, Rock Evaluation: S3) ※			
Test hole radius r (cm)	6.6	15.0	6.85	15.0
Hight of water h (cm)	68.0	24.4	64.0	23.7
Discharge rate Q (cm ³ /s)	0.25	0.0393	0.113	0.0321
Permeability k (cm/s)	1.7×10 ⁻⁵ *1	2.0×10 ⁻⁵ *3	0.89 ×10 ⁻⁵ *2	1.6×10 ⁻⁵ *3

※ see Table 7-19, 7-20 ; W : weathering H : hardness C : crack spacing

#1: Well permeameter test



#2: Open end pipe test



*1 when $h \geq 10r$,

$$k = \frac{Q}{2\pi h^2} \left[\ln \left\{ \frac{h}{r} + \sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2} \right\} - 1 \right]$$

*2 when $h < 10r$,

$$k = \frac{Q}{2\pi h^2} \left[\ln \left\{ \frac{h}{r} + \sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2} \right\} - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{h}\right)^2} + \frac{r}{h} \right]$$

*3 $k = \frac{Q}{5.5 r h}$

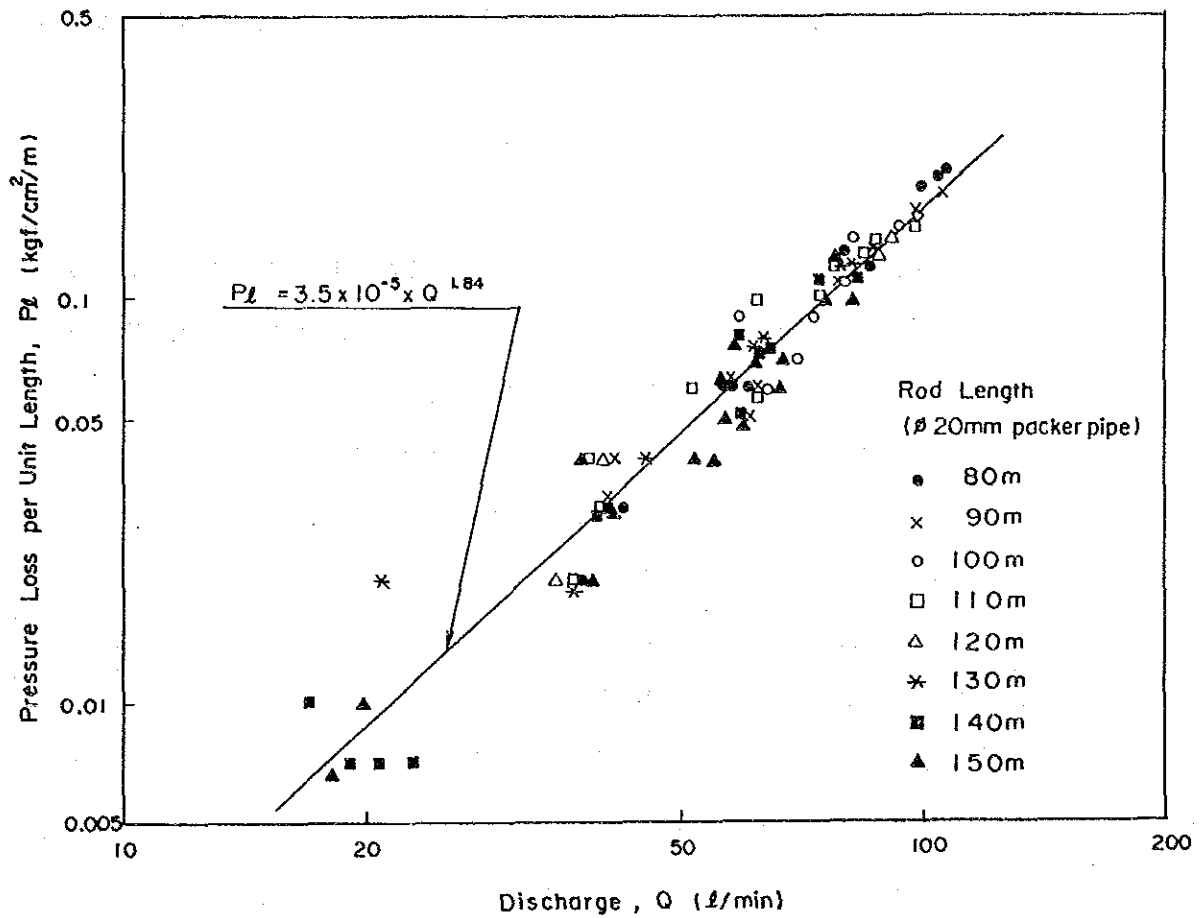


Fig. 7-5 Test Data for Friction Head Loss in Drill Rod

7.10 孔内載荷試験

基礎岩盤の変形特性の把握を目的として、円筒形のゴムチューブによりボーリング孔壁に半径方向の圧力をかけ、圧力と孔径の変位の関係を測定した。

(1) 位置及び数量

上池のボーリング孔 2 孔、水路のボーリング孔 2 孔、放水路のボーリング孔 3 孔において、各構造物に関係する代表的岩盤について、合計41点で試験を実施した。

(2) 試験方法

孔内載荷試験の概要をFig. 7-6に示す。試験装置としてはエラストメーター 200(OYO, Japan) を用い、繰り返し載荷を行って、圧力と変位を測定した。エラストメーター 200 の仕様は以下のとおりである。

名称	: エラストメーター 200 MODEL 4130
最大圧力	: 200 kgf/cm ²
有効ゴムチューブ長	: 520 mm
変位計測システム	: コンタクトパランサー方式
半径変位測定	: 測定限界 9.5 mm
	: 最小目盛り 0.01 mm
加圧装置	: 水圧ポンプ

標準載荷パターンは以下のとおりとしたが、ピーク圧力は岩盤の性状や試験地点の深度に応じて適当な値に変更された場合もある。なおピーク圧力からの除荷は1分程度の時間で行った。

ピーク圧力	: 25, 50, 100, 100 kgf/cm ²
載荷速度	: 5 kgf/cm ² /min
ピーク圧力保持時間	: 4 min
最低基準圧力保持時間	: 4 min

(3) 解析

圧力と孔径変位の関係から、次の式に基づいて変形係数と割線弾性係数を求めた。変形係数の算出には処女荷重時の孔径変位を、割線弾性係数の算出には繰り返し荷重時の孔径変位を用いた。

$$D, E_s = (1 + \nu) \cdot R_m \cdot \Delta P / \Delta r$$

ここで	D	: 変形係数	(kgf/cm ²)
	E _s	: 割線弾性係数	(kgf/cm ²)
	ν	: ポアソン比 (0.3と仮定)	
	R _m	: 平均孔径	(cm)
	ΔP	: 圧力増分	(kgf/cm ²)
	Δr	: 孔径変位増分	(cm)

降伏圧力は、圧力変位曲線が直線から外れる点から求めた。

(4) 結果

試験結果はTable 7-13のとおりである。また各試験の詳細なデータをAppendix-Aに付す。地下発電所地点に最も近いDHW-2孔においても6点の試験を計画したが、試験機の不調のため、信頼性のあるデータが得られなかった(参考までにこの内の2点のデータをTable 7-13に示した)。また粘土岩の部分ではボーリング孔径が大きく試験が実施出来なかった。試験結果は次のようにまとめられる。

- 粗粒砂岩の変形係数は、亀裂が少ないため、風化部でも約41,000kgf/cm²と大きく、粘土岩のパッチを含む部分でも約10,000kgf/cm²となっている。
- 風化を受けていないシルト岩の変形係数は17,000kgf/cm²で、降伏が認められた試験データは放水口地点の浅部の地点のデータだけであり、岩盤としてはそれほど不良ではないことが分かった。
- 岩石の構成粒子の粒度に注目して岩種別に結果を整理すると、Table 7-14, Fig. 7-7のようになる。変形係数は、岩石の構成粒子が粗粒であるほど大きくなる傾向が見られた。

Table 7-13 (1) Results of Drill Hole Deformation Test

Drill Hole No.	El. of Drill Hole Head (m)	Test Depth (m)	Geology	Rock Classification, Evaluation		Yield Pressure Py (kgf/cm ²)	Deformation Modulus		Secant Elastic Modulus	
				W, H, C	RE		D (kgf/cm ²)	Stress Range	Es (kgf/cm ²)	Stress Range
DHU-1	632.14	46.2	c-ss	4, 3-4, 2	H3	90 <	23,000	20~90	50,000	0~90
DHU-1	632.14	50.45	clayey f-ss	2, 3, 2-3	H2	90 <	28,000	25~90	94,000	0~90
DHU-1	632.14	66.5	sts (sheared)	2-3, 4, 5	S3	90 <	19,000	25~90	52,000	0~90
DHU-1	632.14	71.7	sts	1, 3-4, 2-3	S2	82 <	18,000	22~82	61,000	0~82
DHU-1	632.14	81.0	sts (sheared)	1, 4, 3	S3	85 <	11,000	20~85	43,000	0~85
DHU-4	638.30	8.7	c-ss	3, 2, 2	H1	55 <	60,000	15~55	100,000	5~55
DHU-4	638.30	23.0	c-ss	2, 1-2, 1	H1	55 <	300,000 <	15~55	300,000 <	5~55
DHU-4	638.30	24.4	c-ss with cls layers	3, 3-4, 3-4	H3	55 <	9,300	15~55	31,000	5~55
DHU-4	638.30	34.3	c-ss	3, 2-3, 2	H2	55 <	40,000	15~55	200,000	5~55
DHW-1	631.05	82.0	silty f-ss	1, 3-4, 2-3	H3	50 <	13,000	15~50	50,000	0~40
DHW-1	631.05	95.5	alt of f-ss & sts	1, 3, 1	H2	87.5 <	40,000	12.5~87.5	100,000	0~87.5
DHW-1	631.05	113.0	sandy sts	1, 3, 2	S2	85 <	17,000	10~85	70,000	0~85
DHW-1	631.05	115.7	sts	1, 3, 1-2	S2	87.5 <	19,000	12.5~87.5	100,000	0~87.5
DHW-1	631.05	124.35	alt of f-ss & sts	1, 3, 2-3	H2	87.5 <	40,000	12.5~87.5	90,000	0~87.5
DHW-1	631.05	127.9	c-ss	1, 1-2, 1	H1	85 <	50,000	10~85	200,000	0~85
DHW-1	631.05	133.5	sandy sts	1, 3, 1	H2	82 <	23,000	22~82	57,000	2~82
DHW-1	631.05	145.3	c-ss with clay patches	1, 3-4, 2	H3	82.5 <	14,000	22.5~82.5	26,000	0~82.5
DHW-1	631.05	165.6	c-ss	1, 1, 1	H1	82 <	70,000	7~82	400,000	7~82
DHW-1	631.05	187.0	sts	1, 3-4, 2-3	S2	80 <	11,000	20~80	19,000	0~80
DHW-1	631.05	193.0	alt of sts & silty f-ss	1, 3, 3	H2	85 <	61,000	25~85	200,000	0~85

ss : sandstone c- : coarse-grained f- : fine-grained sts: siltstone cls: claystone
 alt: alternation W : weathering H : hardness C : crack spacing RE : rock evaluation

Table 7-13 (2) Results of Drill Hole Deformation Test

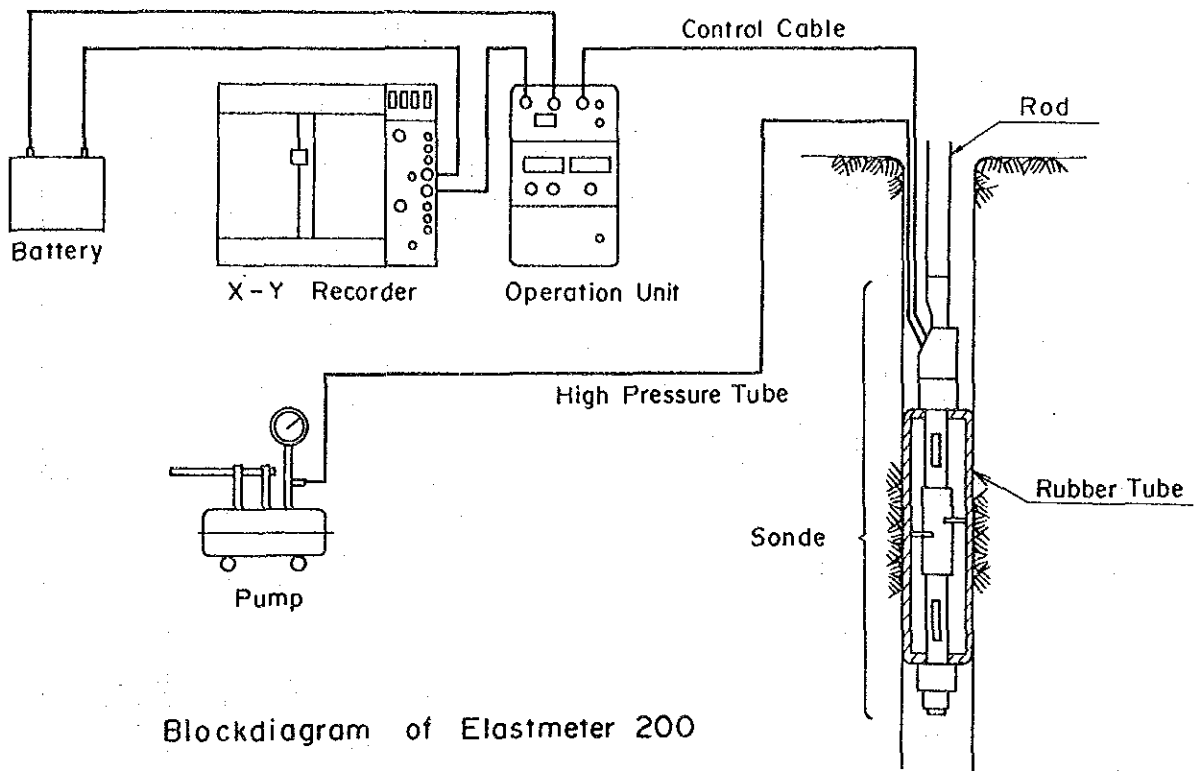
Drill Hole No.	El. of Drill Hole Head (m)	Test Depth (m)	Geology	Rock Classification, Evaluation		Yield Pressure Py (kgf/cm ²)	Deformation Modulus		Secant Elastic Modulus	
				W, H, C	RE		D (kgf/cm ²)	Stress Range	Es (kgf/cm ²)	Stress Range
DHW-2	422.83	130.5	sandy sts	1, 2-3, 1-2	S2	50 <	* 63,000	8~33	*150,000	3~33
DHW-2	422.83	155.0	sts	1, 3-4, 3	S2	80 <	* 44,000	20~80	*400,000	0~80
DHT-1	316.08	74.3	sts	1, 3, 1	S2	90 <	23,000	20~90	—	—
DHT-1	316.08	83.5	sts	1, 3, 2-3	S2	85 <	23,000	15~85	110,000	0~85
DHT-1	316.08	91.3	silty f-ss	1, 2-3, 1	H2	90 <	49,000	20~50	82,000	0~50
DHT-1	316.08	102.3	alt of f-ss & sts	1, 2-3, 2-3	H2	87 <	32,000	22~87	140,000	0~87
DHT-1	316.08	103.8	f-ss	1, 2, 3	H1	85 <	46,000	20~85	140,000	0~85
DHT-1	316.08	123.3	sts	1, 3, 2-3	S2	85 <	*170,000	15~85	*400,000 <	0~85
DHT-1	316.08	135.0	sts	1, 3, 1-2	S2	85 <	* 95,000	25~85	*400,000 <	0~85
DHT-1	316.08	156.0	sts	1, 3, 1-2	S2	82 <	*150,000	22~82	*400,000 <	2~82
DHT-2	290.00	17.5	sts	3, 4-5, 5	S3	16 <	1,500	4~14	4,000	4~14
DHT-2	290.00	24.3	sandy sts	2, 3-4, 2	S3	94 <	8,300	19~94	29,000	4~94
DHT-2	290.00	35.0	f-ss	2-3, 1-2, 1	H1	94 <	80,000	19~94	500,000	4~94
DHT-2	290.00	47.0	sts	1, 3-4, 1	S2	92 <	25,000	17~92	60,000	2~92
DHT-2	290.00	62.0	silty f-ss	1, 3, 1	H2	91 <	40,000	16~91	500,000 <	1~91
DHT-3	276.84	18.5	f-ss	3, 3, 1	H2	143 <	8,900	28~63	60,000	3~63
DHT-3	276.84	24.0	sts	1, 3-4, 3	S2	67	17,000	17~62	100,000	2~42
DHT-3	276.84	31.0	sts	1, 3-4, 3	S2	95 <	6,300	15~40	50,000	0~40
DHT-3	276.84	32.5	sts	1, 3-4, 3	S2	65	9,400	15~60	70,000	0~40
DHT-3	276.84	39.3	sandy sts	1, 3-4, 3	S2	90 <	18,000	15~90	200,000	0~40
DHT-3	276.84	43.7	sts with f-ss	1, 3, 1	S1	90 <	*100,000	15~90	*200,000 <	0~40

ss : sandstone c : coarse-grained f : fine-grained sts: siltstone cls: claystone
 alt: alternation W : weathering H : hardness C : crack spacing RE : rock evaluation
 * : large error

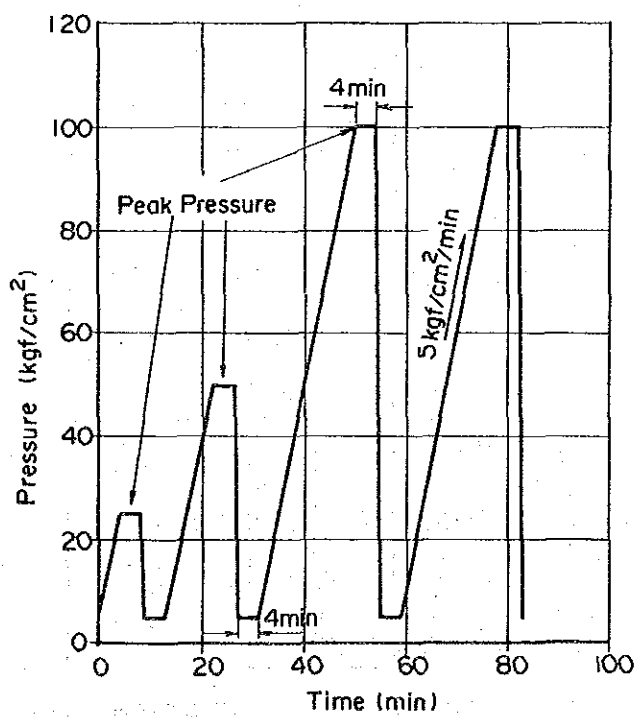
Table 7-14 Summary of Drill Hole Deformation Test

Geology		Rock Classification, and Rock Evaluation *		Data Qt.	Deformation Modulus D (kgf/cm ²)		Yield Pressure Py (kgf/cm ²)
Rock Name	Description	W, H, C	RE		Range	Mean	
coarse-grained sandstone	fresh part	1-2, 1-2, 1	H1	3	50,000 ~ 300,000 <	140,000 <	55 <
	weathered part	3-4, 2-4, 2	H2	3	23,000 ~ 60,000	41,000	55 <
	including claystone patches	1-3, 3-4, 2-4	H3	2	9,300 ~ 14,000	12,000	55 <
fine-grained sandstone	Fresh or slightly weathered part	1-3, 1-2, 1-3	H1	2	46,000 ~ 80,000	63,000	85 <
	weathered part	3, 3, 1	H2	1	8,900	8,900	143 <
alternation of sandstone and siltstone	fresh part	1, 2-3, 1-3	H2	4	32,000 ~ 61,000	43,000	85 <
silty fine-grained sandstone	fresh part	1-2, 2-4, 1-3	H2	4	13,000 ~ 49,000	32,000	50 <
sandy siltstone	fresh part	1, 3-4, 1-3	S2	3	17,000 ~ 23,000	19,000	82 <
	weathered part	2, 3-4, 2	S2	1	8,300	8,300	94 <
siltstone	fresh part	1, 3-4, 1-3	S2	11	6,300 ~ 25,000	17,000	65, 67 and 78.5 <
	weathered part	3, 4-5, 5	S3	1	1,500	1,500	16 <

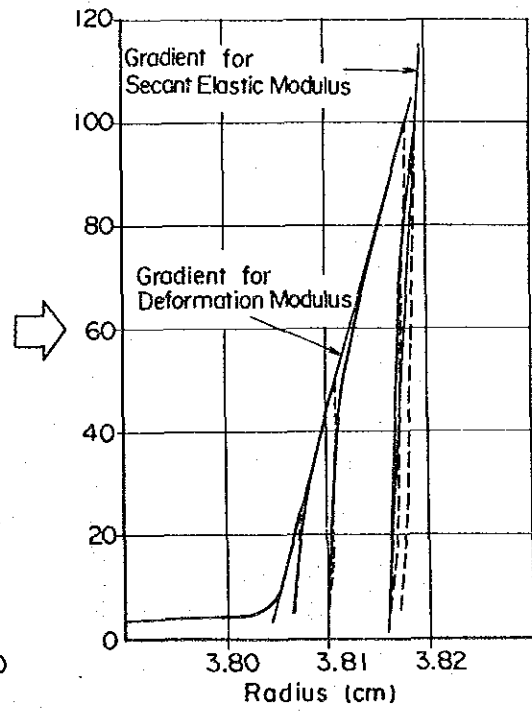
* see Table 7-19, 7-20 ; W : weathering H : hardness C : crack spacing RE: rock evaluation



Blockdiagram of Elastmeter 200



Standard Loading Pattern



Pressure-Radial Displacement Curve

Fig. 7-6 Outline of Drill Hole Deformation Test

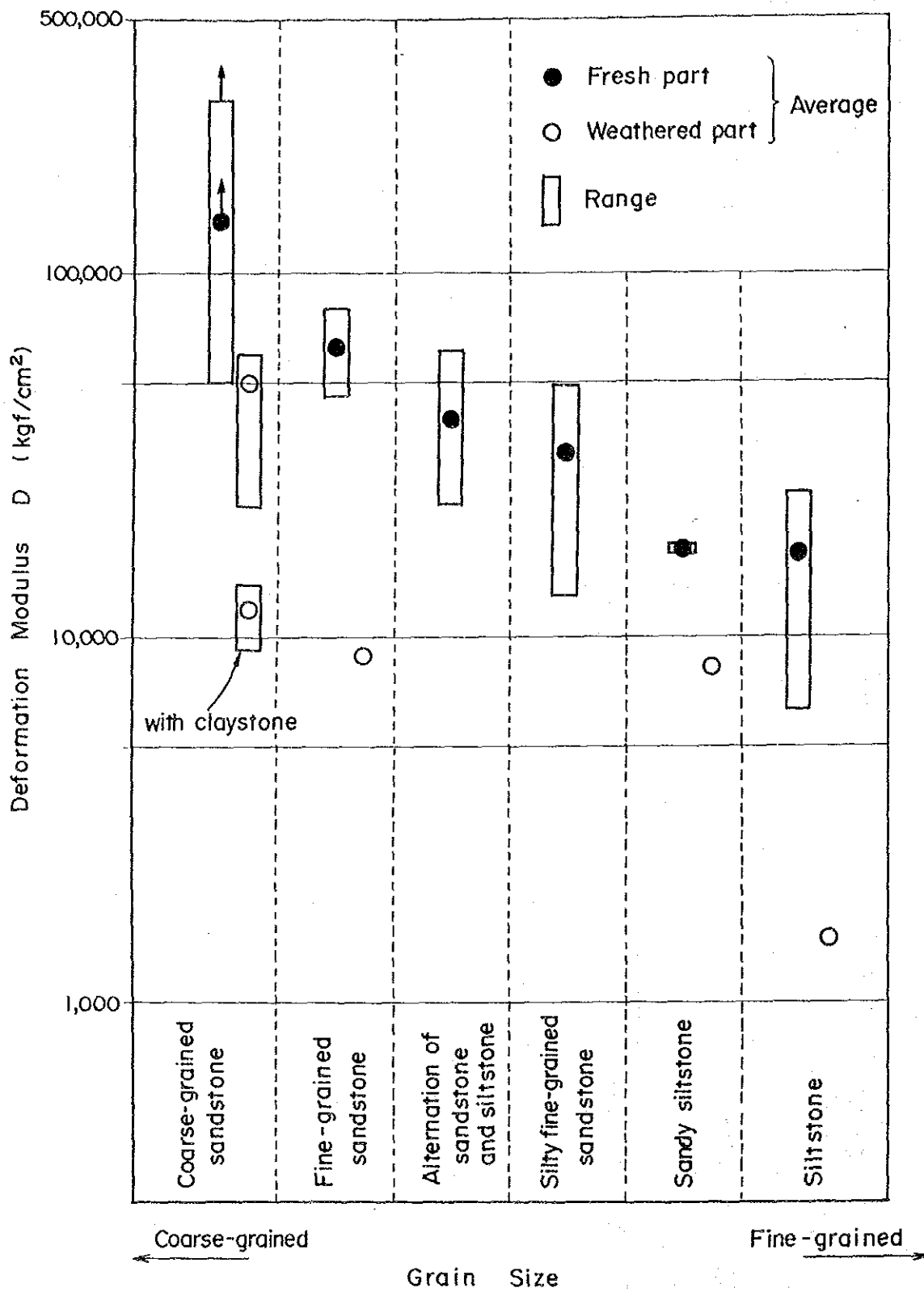


Fig. 7-7 Relation Between Grain size and Deformation Modulus

7.11 室内試験

7.11.1 ボーリングコア試験

(1) 試験項目、数量および方法

ボーリングコアから採取されたサンプルについて実施された室内試験の項目、数量および方法は、次に示すとおりである。

試験項目	数量	方法
比重・吸水率試験	9	ASTM Standard C-127
一軸圧縮試験 (自然自然含水比 および乾燥密度を含む)	35 *	ASTM Standard D-2938
P波伝播速度試験	19 *	ASTM Standard D-2664

* 各サンプルについて 1~6 供試体

(2) 結果

試験結果を Table 7-15, 7-16 に示す。また各試験の詳細なデータを Appendix-A に付す。試験結果は以下のようにまとめられる。

- 乾燥密度は粗粒な岩石ほど軽い（ただし粘土岩は除く）。
- 吸水率は粗粒な岩石ほど大きい（ただし粘土岩は除く）。
- P波伝播速度は、著しく風化した粘土岩で約1.0km/s、新鮮な粗粒砂岩で約3.8km/sで、それぞれ弾性波探査の第2層の速度値 0.6~1.0 km/s、第4層の速度値 4.0~4.4 km/s にほぼ対応する。
- 一軸圧縮強度は、粗粒砂岩が細粒砂岩よりやや小さな値となっている点を除くと、全体としては細粒な岩石ほど値が小さい。
- シルト岩の一軸圧縮強度は平均で約300kgf/cm²であったが、コア試験が実施出来たのは比較的堅硬でスレーキングを生じない部分であったので注意が必要である。

7.11.2 不攪乱試料試験

(1) 試験項目、数量および方法

ピットPU-1, 3, 4の深度5 m付近から採取された合計3種類の不攪乱サンプルについて三軸圧縮試験 (ASTM Standard D-2850, CU試験) を実施した。

(2) 結果

試験結果をTable 7-17に示す。また試験の詳細なデータをAppendix-Aに付す。

有効応力条件下での強風化粘土岩の粘着力 (C) は約 $0.3 \sim 0.4 \text{ kgf/cm}^2$ で、内部摩擦角 (ϕ) は約 $27.4 \sim 32.7^\circ$ であった。PU-4のサンプルの C が小さいのは、Table 7-22に示したように、このサンプルの細粒粒子の含有量が大きいと推定される。

ここで得られた C , ϕ の値から以下の式に基づいて一軸圧縮強度 (σ_c) を計算すると、約 1 kgf/cm^2 となる。

$$\sigma_c = \frac{2C \cos \phi}{1 - \sin \phi}$$

この値はTable 7-15(1)に示したDHU-5の深度14.3~16.8mの粘土岩の試験結果である 16 kgf/cm^2 よりかなり小さく、岩盤の表面部は風化が著しいため、同じ粘土岩の中でもかなり強度に差があることがわかる。

Table 7-15(1) Laboratory Test Results of Drill Cores

Drill Hole No.	Sample Depth (m)	Geology	Rock Classification, Evaluation		Water Content (%)	Dry Density (g/cm ³)	P-Wave Velocity (m/s)	Uniaxial Compressive Strength (kgf/cm ²)
			W, H	RE				
DHU-1	12.10- 13.30	cls	3-4, 5	S3	3.87	2.18	—	31
DHU-1	61.00- 62.00	silty f-ss	1-2, 2	H1	0.41	2.48	—	548
DHU-1	73.20- 74.20	sts	1, 3	S2	3.49	2.48	627	223
DHU-1	87.00- 87.45	f-ss	1, 1-2	H1	0.94	2.57	3,210	850
DHU-2	17.20- 17.90	cls	2-3, 4	S3	0.99	1.96	1,230	17
DHU-3	10.70- 11.00	c-ss	3, 1-2	H1	0.15	2.31	3,830	562
DHU-3	15.70- 16.00	c-ss	3, 1	H1	0.11	2.31	3,970	635
DHU-3	24.80- 25.00	c-ss	3, 1	H1	0.05	2.31	3,660	508
DHU-3	36.00- 36.45	c-ss with cls	3-4, 3-4	H3	0.12	2.10	3,830	275
DHU-4	18.00- 19.00	c-ss	1-2, 1	H1	0.37	2.31	4,170	769
DHU-4	34.00- 34.70	c-ss	3, 1-2	H1	0.22	2.27	4,320	664
DHU-4	37.40- 37.60	c-ss	3-4, 2-3	H2	1.24	1.96	3,440	228
DHU-5	6.05- 7.45	c-ss	4, 2	H2	0.11	2.22	2,440	351
DHU-5	14.30- 16.80	cls	5, 5	S3	0.78	1.88	1,070	16
DHW-1	154.00-155.00	c-ss	1, 1	H1	0.92	2.42	2,780	718
DHW-1	223.30-223.60	sts	1, 3	S2	3.02	2.50	—	306
DHW-2	72.55- 72.90	sts	1, 3	S2	2.68	2.52	—	272
DHW-2	130.00-131.00	sandy sts	1, 2-3	S1	1.23	2.56	—	583

ss : sandstone c- : coarse-grained f- : fine-grained
 sts: siltstone cls: claystone
 W : weathering H : hardness RE : rock evaluation

Table 7-15(2) Laboratory Test Results of Drill Cores

Drill Hole No.	Sample Depth (m)	Geology	Rock Classification, Evaluation		Water Content (%)	Dry Density (g/cm ³)	P-Wave Velocity (m/s)	Uniaxial Compressive Strength (kgf/cm ²)
			W, H	RE				
DHW-2	150.15-150.30	sandy sts	1, 3	S2	0.41	2.62	—	460
DHW-2	164.80-164.95	sts	1, 3	S2	0.58	2.56	—	219
DHW-2	173.20-174.00	sandy sts	1, 2-3	S1	0.55	2.62	3,370	772
DHW-2	207.20-207.55	sts	1, 3	S2	3.05	2.53	2,450	308
DHW-2	222.00-223.00	f-ss	1, 1-2	H1	0.90	2.50	2,960	727
DHW-2	236.15-236.40	sts	1, 3	S2	1.77	2.60	—	567 *
DHW-2	244.20-244.35	sts	1, 3	S2	2.35	2.58	—	335
DHT-1	75.10- 76.55	sts	1, 3	S2	2.88	2.52	2,770	265
DHT-1	104.00-104.95	f-ss	1, 1	H1	1.24	2.40	2,670	710
DHT-1	112.10-112.40	sts	1, 3	S2	3.05	2.51	—	325
DHT-1	114.30-114.50	sts	1, 3	S2	2.64	2.56	—	332
DHT-1	133.50-135.00	sts	1, 3	S2	2.19	2.58	—	327
DHT-2	56.00- 57.50	sandy sts	1, 3	S2	1.55	2.59	—	481
DHT-2	66.00- 67.00	f-ss	1, 2	H1	1.17	2.53	—	1,148
DHT-3	22.00- 23.00	f-ss	3, 3	H2	1.43	2.46	—	729
DHT-3	43.00- 44.00	silty f-ss	1, 2-3	H2	1.15	2.59	—	934
DHT-3	49.00- 50.00	silty f-ss	1, 2-3	H2	1.25	2.57	2,300	1,083

* exceptional value for siltstone

ss : sandstone c- : coarse-grained f- : fine-grained
 sts: siltstone cls: claystone
 W : weathering H : hardness RE : rock evaluation

Table 7-15(3) Laboratory Test Results of Drill Cores

Drill Hole No.	Sample Depth (m)	Geology	Rock Classification, Evaluation		Bulk Specific Gravity, Dry	Bulk Specific Gravity, Saturated	Bulk Specific Gravity, Apparent	Absorption (%)
			W, H	RE				
DHU-1	61.00- 62.00	silty f-ss	1-2, 2	H1	2.47	2.56	2.70	3.45
DHU-3	36.00- 36.45	c-ss with cls	3-4, 2	H3	2.17	2.26	2.40	4.35
DHU-4	18.00- 19.00	c-ss	1-2, 1	H1	2.37	2.44	2.53	2.60
DHW-1	154.00-155.00	c-ss	1, 1	H1	2.41	2.49	2.63	3.46
DHW-2	222.00-223.00	f-ss	1, 1-2	H1	2.49	2.56	2.69	3.06
DHT-1	104.80-104.95	f-ss	1, 1	H1	2.46	2.55	2.68	3.34
DHT-2	66.00- 67.00	f-ss	1, 2	H1	2.54	2.60	2.69	2.20
DHT-3	43.00- 44.00	silty f-ss	1, 2-3	H2	2.57	2.63	2.72	2.07
DHT-3	49.00- 50.00	silty f-ss	1, 2-3	H2	2.60	2.64	2.70	1.53

ss : sandstone c- : coarse-grained f- : fine-grained
 sts: siltstone cls: claystone
 W : weathering H : hardness RE : rock evaluation

Table 7-16 Summary of Drill Core Test

Geology		Rock Classification	Rock Evaluation	Data Qt.	Dry Density (g/cm ³)	P-Wave Velocity (m/s)	Uniaxial Compressive Strength (kgf/cm ²)
Rock Name	Description						
coarse-grained sandstone	fresh part	1-3, 1-2	H1	6	2.32	3,790	648
	weathered part	3-4, 2-3	H2	2	2.09	2,940	290
	including claystone	3-4, 3-4	H3	1	2.10	3,830	275
fine-grained sandstone	fresh part	1, 1-2	H1	4	2.50	2,950	859
	weathered part	3, 3	H2	1	2.46	—	729
silty fine-grained sandstone		1-2, 2-3	H1-2	3	2.55	—	855
sandy siltstone		1, 2-3	S1	2	2.59	3,370	678
		1, 3	S2	2	2.61	—	471
siltstone		1, 3	S2	11	2.54	2,610	317
claystone	slightly~ moderately weathered part	2-4, 4-5	S3	2	2.07	1,230	24
	highly weathered part	5, 5	S3	1	1.88	1,070	16

ss : sandstone c- : coarse-grained f- : fine-grained
 sts: siltstone cls: claystone alt: alternation
 W : weathering H : hardness C : crack spacing RE : rock evaluation

Table 7-17 Triaxial Test Result of Undisturbed Samples of Test Pits

Pit No.	Sample Depth (m)	Geology [Rock Evaluation]	Water Content (%)	Dry Density (g/cm ³)	Shear Strength (CU test)	
					Cohesion \bar{C} (kgf/cm ²)	Friction Angle $\bar{\phi}$ (°)
PU-1	4.8	highly weathered claystone [S3]	14.10-14.69	1.880 -1.920	0.36	32.6
PU-3	5.0	highly weathered claystone [S3]	13.28-15.11	1.785 -1.910	0.30	32.7
PU-4	4.9	highly weathered claystone [S3]	12.57-14.56	1.712 -1.772	0.35	27.4

7.12 ボーリングコアの鉱物・化学分析

(1) 分析項目、数量および目的

Table 7-18に示す上部調整池地点のボーリングコア5試料と水路・放水口地点のボーリングコア6試料について、岩石薄片およびX線回折法による鉱物分析と蛍光X線分析法による化学分析を実施した。分析の目的についてもTable 7-18に示した。

(2) 結果

分析結果をTable 7-18に示す。また分析の詳細なデータをAppendix-Aに付す。

分析結果は次のようにまとめられる。

- 風化残留土（ラテライト）は主に石英、赤鉄鉱、カオリン鉱物で構成されている。
- 風化残留土や風化した粗粒砂岩に見られる風化生成鉱物はカオリン鉱物である。
- 細粒砂岩のセメント物質は緑泥石である。
- 粘土岩の構成鉱物はカオリン鉱物、石英、絹雲母である。
- シルト岩の主要構成鉱物は石英、長石、絹雲母、緑泥石である。赤色のシルト岩には赤鉄鉱がかなり含まれており、 Fe_2O_3 の含有量は約7%に達する。赤鉄鉱の少ない部分は緑泥石のために緑色を呈する。また方解石や石膏を含むことも多く、 CaO の含有量が約8%に達する部分もある。モンモリロナイト等の膨潤性粘土鉱物は含まれていない。

Table 7-18 Results of Mineralogical and Chemical Analyses of Drill Cores

Sample No.	Sampling Point		Geology	Items of Analyses			Purpose of Analyses	Constituent Minerals ※							Remarks		
	Drill Hole No.	Depth (m)		Thin Section	X-ray Diffraction	Chemical Composition		Quartz	Plag.	Hemat.	Seric.	Chlor.	Calc.	Gypsum		Kaolin	
SU-1	DHU-3	0.5	residual soil (laterite)		○#.##		identification of constituent minerals of lateritic crust and weathered rock	◎		+++	++			+	+++	Gibbsite is not identified.	
SU-2	DHU-3	0.5	nodule in residual soil (lateritic crust)		○#			+++		◎							
SU-3	DHU-3	5.5	weathered claystone		○#.##			◎		++	+++			++	+++		
SU-4	DHU-4	15.0	medium-grained sandstone	○	○#		◎			+++				+++			Cement material is kaolin, which may have been originally chlorite.
SU-5	DHU-4	26.9	claystone		○#.##		○			+++				◎			
ST-1	DHT-2	57.8	fine-grained sandstone with calcareous spots	○			identification of calcareous spots	◎	○	++	+++	++	+++			Calcareous spots may be calcareous algae.	
ST-2	DHT-3	29.5	siltstone (red, slaking)		○#.##	○*		◎	+++	+++	+++	+++	+++				
ST-3	DHT-2	53.8	silty sandstone (green, slightly slaking)		○#.##	○**		◎	○		+++	+++	○			Green clay mineral is chlorite.	
ST-4	DHW-2	194.0	siltstone (red and green, slightly slaking)	○	○#.##	○*		◎	+++	++	+++	+++	○	++			
ST-5	DHW-2	220.8	fine-grained sandstone (gray, not slaking)	○	○#			◎	+++	+	+++	+++	+++			Cement material is chlorite and calcite.	
ST-6	DHW-2	232.8	siltstone (green, not slaking)		○#.##			◎	+++		+++	+++		++			

bulk analysis * : SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO.
 ## clay fraction analysis MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, H₂O⁻, H₂O⁺
 **: Fe₂O₃, FeO, MgO

※ Plag.: Plagioclase Hemat.: Hematite Seric.: Sericite
 Chlor.: Chlorite Calc.: Calcite
 relative quantity : abundant ◁ ◎ ○ +++ ++ + ⇔ trace

Sample No.	Chemical Composition Oxides (wt%)												
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺
ST-2	53.96	0.76	17.30	7.03	1.05	0.04	3.25	2.01	2.02	3.76	0.17	1.78	5.07
ST-3	—	—	—	1.21	0.63	—	2.24	—	—	—	—	—	—
ST-4	54.05	0.62	13.32	4.36	0.83	0.15	2.56	7.92	1.85	2.57	0.13	1.26	4.00

Fe²⁺, Fe³⁺ : wet process chemical analysis
 the others : fluorescent X-ray analysis

7.13 岩盤評価

ボーリングコアの岩盤分類は、Table 7-19に基づいて行った。この岩盤分類データに基づいてTable 7-20に示す様な総合的な岩盤評価を行った。本地点の岩盤は、砂岩を主とする固結度の高い岩石から成る岩盤と、シルト岩を主とするやや固結度の低い岩石から成る岩盤に大区分され、それぞれの岩盤は元々の固結度の差や風化・破碎の程度の差によって、さらに細区分された。

Table 7-21 に岩盤評価と原位置および室内試験で得られた物性値の関係を示す。岩盤評価のS2の一軸圧縮強度は、7.11で述べたように、本地点の岩盤全体の代表値としてはもっと小さな値となる可能性がある。

Table 7-19 Standard of Rock Classification for Drill Core

WAETHERING	
Classification	Description
1	Very fresh. No weathering of mineral component.
2	Fresh. Some minerals are weatherd slightly. Usually no brown crack.
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered material.
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.
5	Strongly weathered. Most minerals are weathered and altered to second minerals.

HARDNESS	
Classification	Description
1	Very hard. Broken into knife-edged pieces by strong hammer blow.
2	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.
3	Brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.
4	Very brittle. Easily broken into piecesby slight hammer blow.
5	Soft. Able to dig with hammer.

CRACK SPACING	
Classification	Spacing
1	Over 30 cm
2	10 ~ 30 cm
3	3 ~ 10 cm
4	1 ~ 3 cm
5	Under 1 cm

Table 7-20 Standard of Rock Evaluation

		HARDNESS*								
		1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
CRACK SPACING*	1	H 1	H 1	H 1	H 2	H 2	/	/	/	/
	1-2	H 1	H 1	H 1	H 2	H 2	H 3	/	/	/
	2	H 1	H 1	H 1	H 2	H 2	H 3	/	/	/
	2-3	H 1	H 1	H 1	H 2	H 2	H 3	/	/	/
	3	H 2	H 2	H 2	H 2	H 2	H 3	/	/	/
	3-4	/	/	/	H 3	H 3	H 3	/	/	/
	4	/	/	/	H 3	H 3	H 3	H 3	/	/
	4-5	/	/	/	/	/	/	H 3	/	/
	5	/	/	/	/	/	/	/	/	/

 S 1
  S 2
  S 3
 * see Table 7 - 19

Rock Type	Rock Evaluation	Suitability for Structures		
		Upper Dam	Tunnel	Powerhouse
Hardrock • coarse-grained sandstone • fine-grained sandstone	H 1	○	○	○
	H 2	○	○	○
	H 3	○	△	△~×
Softrock • siltstone • sandy siltstone • claystone	S 1	○	○	○
	S 2	○	○~△	△
	S 3	△	△	×

○: good △: not good ×: bad

Table 7 - 21 Rock Evaluation and Physical Properties

Rock Evaluation	In situ Deformation Modulus (kgf/cm ²)		Dry Density (core) (g/cm ³)	P-Wave Velocity (core) (m/s)	Compressive Strength (kgf/cm ²)	Geology	
	Range	Mean				Rock Name	Description
H 1	46,000~ 300,000 <	100,000 <	2.39	3,510	729	c-ss, f-ss	fresh and slightly weathered part
H 2	8,900~ 61,000	36,000	2.34	2,940	646	c-ss, f-ss alt, silty f-ss	wethered part fresh part
H 3	9,300~ 23,000	15,000	2.10	3,830	275	c-ss silty f-ss	including cls patch soft part
S 1	---	---	2.59	3,370	678	sandy sts	small part in fresh part
S 2	6,300~ 25,000	17,000	2.55	2,610	343	sandy sts sts	fresh or weathered part fresh part
S 3	1,500~ 19,000	10,000	2.01	1,150	21	sts cls	weathered or sheared fresh or weathered part

ss : sandstone c- : coarse-grained f- : fine-grained
 sts: siltstone cls: claystone alt: alternation of sandstone and siltstone
 W : weathering H : hardness C : crack spacing RE : rock valuation

7.14 主要構造物地点の土木地質的評価

7.14.1 上部調整池地点

(a) 本計画のダム基礎岩盤は、風化を受けた粗粒砂岩（岩盤評価：H1-3）および粘土岩（S3）である。粗粒砂岩には節理が少なく、RQDの平均値は約66%であり、粘土岩のパッチを多量に含む岩盤評価H3の部分でも変形係数は9,000kgf/cm²以上あり、ダム基礎として十分な強度を持っている。

粘土岩も標準貫入試験、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験の結果から判断して、特にダム高の大きな部分を除けば基礎岩盤として利用可能と考えられる。なお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) ダムの北側部分はダム高が大きく、最大高さは北西コーナーで約50mである。ダム高が大きな部分の基礎岩盤は掘削によって粗粒砂岩とすることが可能であり、本計画のダム基礎岩盤として強度・変形・圧密特性共に問題はない。

(c) ただし粗粒砂岩と粘土岩の変形特性の差による不同沈下については今後評価する必要がある。

(d) 上池基礎岩盤の透水性に関しては、粘土岩は 10^{-5} cm/sオーダー以下で低透水性の部分が多いと考えられるが、粗粒砂岩には節理があり、10Luを越える高透水性の部分も多く、表面遮水壁を用いずにこの岩盤を上部調整池の基礎とするのは困難である。なお上部調整池地点の地下水位は深度20～50mに位置する。

(e) 粗粒砂岩は堅硬で亀裂が少ないため、上池の掘削に際してはかなりの部分について発破による掘削が必要となるものと推定される。

(f) 上池掘削土砂および岩盤は、後述のように築堤材料として有効に活用することが可能である。

7.14.2 取水口および導水路トンネル地点

(a) 取水口地点の基礎岩盤は粗粒砂岩（H1-3）で、風化が進んでおり脆弱に成っている部分があるが、孔内載荷試験で約20,000kgf/cm²の変形係数が確認されており、構造物の築造上問題となる程ではない。

(b) 導水路トンネル地点の岩盤は細粒砂岩・シルト岩互層（主にH1およびS2-3、シルト岩優勢）で、部分的に風化の影響を受けている可能性があり、見掛けの

幅が4.4mの破砕帯もあるので注意が必要である。

- (c) 導水路トンネル地点は深度が浅いため、地質状態はやや不良であるが、変形係数は10,000~20,000kgf/cm²であり、深度の割に大きいのでトンネルの掘削上大きな問題とはならないものと考えられる。なお導水路トンネルは地下水面の下約15m程度に計画されている。
- (d) 導水路トンネル地点の地層はほぼ水平で、Fig. 7-1に示したように低角の節理が多いので、トンネル天盤の安定性に注意を払う必要がある。

7.14.3 水圧管路地点

- (a) 水圧管路地点上部の岩盤は、細粒砂岩・シルト岩互層（主にH1-2およびS2、シルト岩優勢）および粗粒砂岩(H1)で、風化は受けていない。また断層も少なく、地質状態はほぼ良好である。
- (b) 水圧管路地点下部の岩盤はシルト岩（S2、砂質シルト岩を含む）で、その地質状態は断層も少なくほぼ均質であると推定される。シルト岩はボーリングコアでは、スレーキング及び収縮亀裂が発生し不良に見える部分が多いが、ボーリング孔が自立していること及び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く、トンネルの掘削は可能と考えられる。ただし掘削後は出来るかぎり早くコンクリート吹き付けを行い、岩盤の劣化を防ぐことが必要であろう。
- (c) 本地点は地下水面の下20~320mの深度にあり、砂岩には高透水性の部分（20Lu以上）があるので、掘削時には湧水が発生することが考えられる。

7.14.4 地下発電所地点

- (a) ボーリングDHW-2の結果によれば、地下発電所地点の岩盤はシルト岩(S2)及び細粒砂岩(H1-2)で構成され、断層は少ないものと推定される。
- (b) 細粒砂岩は主に地下発電所空洞の下部に分布し、その層厚は約20mである。この岩盤は亀裂が少なく、RQDは大部分が100%である。同種の岩盤の物性値の平均値は変形係数が約63,000kgf/cm²、一軸圧縮強度が約900kgf/cm²であり、強度・変形特性上は地下発電所の岩盤として非常に良好である。ただし、本地点は地下水面の下270m以上の深度にあり、高透水性の部分（Lu値が20以上）

が多いので、湧水の対策が必要となる可能性がある。

- (c) シルト岩の変形係数は平均で約17,000kgf/cm²であり、一軸圧縮強度は平均約300kgf/cm²である。地下発電所地点の地表からの深度は約350mなので、岩盤の湿潤密度を約2.7g/cm³ (Table 7-15 (3)参照) として、初期地圧の概略値を見積もると100kgf/cm²程度となる。従って地山強度比は、約3となる。これらの試験結果からは、地下発電所の建設は可能なものと判断されるが、既に述べたようにシルト岩の一軸圧縮強度はやや大きめに評価されている可能性もあり、この条件下では空洞は十分安定とは言えない。
- (d) シルト岩にはスレーキングが認められるが、空洞掘削後出来る限り岩盤の本来の状態を保つため、早期にコンクリート吹き付け等の適切な処置を講じる必要があるものと考えられる。
- (e) シルト岩と細粒砂岩の境界面はほぼ水平で、シルト岩中には低角の節理が多いので空洞アーチ部の岩盤の安定性に注意を払う必要がある。
- (f) 地下発電所地点周辺の地質状態は、今回の調査によって概略が把握されたが、ボーリング孔は、地下発電所地点そのものに直接掘削されていないので、砂岩層の厚さや断層・節理の分布や岩石の固結度が多少異なるものと考えられる。従って今後計画地点を直接ボーリングや横坑によって調査する必要があるものと考えられる。

7.14.5 放水路トンネルおよび放水口地点

- (a) 放水路トンネルおよび放水口地点の岩盤は、地下発電所地点と同じであるが、放水口地点付近では、深度が浅く成るため風化の影響を受けている。
- (b) 水路斜面の中下部の崩積土～崖錐堆積物は、過去の地沈みによって形成されたものである可能性が高く、現在の活動を示唆する現象は特に認められず、将来も大規模な活動を起こすことは考えにくい。ただし、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はあるので注意が必要である。
- (c) 放水口付近の放水路トンネルは、シルト岩中に掘削される計画になっているが、風化はこの地層の上位の細粒砂岩層までしか達しておらず、このシルト岩層の掘削自体は特に問題とはならないものと考えられる。ただし、上部には風化により間隙率及び透水性の大きくなった岩盤があり、また下池に近く周辺の地

下水位が高いため、断層や節理が存在すると湧水が発生する可能性もある。

- (d) 将来の下池貯水池水面下での放水口工事を考えると、今後貯水池内の放水口地点及びその周辺部の地質状態の把握も必要になるものと考えられる。

7.15 建設材料

7.15.1 上部ダム盛り立て材料

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適当に混合して利用することが考えられる。これらの材料は物理特性がかなり異なるが、風化残留土および粘土岩について、ピットから攪乱試料を採取して試験を実施したのでその概要を述べる。なお粗粒砂岩については試験は実施されていないが、コア試験や後述の骨材試験の結果から、盛り立て材料として特に問題はないものと考えられる。

(1) 試験試料

風化残留土および著しく風化した粘土岩の攪乱試料を、ピットPU-1, 2, 3, 4から合計10試料採取した。試料の地質名称、および統一土質分類をTable 7-22に示す。

(2) 試験項目、数量および方法

試験項目	数量	方法
比重試験	9	ASTM Standard C-127
含水比試験	10	ASTM Standard D-2216
液性限界・塑性限界試験	10	ASTM Standard D-4318
粒度分析試験	10	ASTM Standard D-422
突き固め試験	9	ASTM Standard D-698
透水試験	9	ASTM Standard D-2434
三軸圧縮試験	2	ASTM Standard D-2850

(3) 試験結果

試験結果をTable 7-22に示す。また各試験結果の詳細なデータをAppendix-Aに付す。試験結果は以下のようにまとめられる。

- 液性限界は31~56%、塑性指数は9~20%程度である。
- 突き固めによる最大乾燥密度は1.7~1.9 g/cm³程度、最適含水比は14~21%程度であり、最小透水係数は 1.1×10^{-8} ~ 1.8×10^{-8} cm/s程度である。
- 75 μ m以下の粒子の含有量は10~77%と差が大きい。この原因は、粘土岩分布域の風化残留土が粗粒砂岩分布域のものより細粒であること、風化残留土の上

部にラテライト殻が含まれ粗粒になっていることによる。

- 強風化粘土岩は風化残留土に比べて、最大乾燥密度がやや小さく、75 μ m以下の粒子の含有量が大きい。
- せん断強度はTable 7-17の不攪乱試料と同程度の比較的大きな値が得られている。

以上の結果によれば、これらの試料は不透水性材料に適したものであるが、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。

またTable 7-18に示した風化残留土および粘土岩の鉱物分析結果でも、材料として特に問題となるような鉱物は含まれていない。

7.15.2 コンクリート骨材

計画地点周辺地域の河床堆積物は、主にシルトで構成されているため、河床砂礫の採取は困難で、碎石場から骨材を採取する必要がある。碎石場としては、上部調整池の約1.5km北東の粗粒砂岩分布地点が候補地点として挙げらる (DWG. 7-1)。この地点は粗粒砂岩が台地の東縁で急崖を成している部分で、粘土岩等の挟在層や節理が比較的少なく、また風化残留土も少ない。粗粒砂岩層の厚さは25m以上あり、台地に沿って掘削することにより必要量を確保することが可能と考えられる。

この他に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碎石場も候補地点となる (DWG. 7-1)。この地点周辺には多数の碎石場があり、既存のプラントの設備面の問題を除外すれば、必要量の確保は十分可能と考えられる。

(1) 試験・分析項目および方法

石灰岩と粗粒砂岩の各 1試料について、以下の試験・分析を実施した。

試験・分析項目	方 法
比重・吸水率試験	ASTM Standard C-127
すりへり試験 (ロサンゼルス試験機)	ASTM Standard C-131, C-535
安定性試験	ASTM Standard C-88
碎石試験 *	British Standard 812
鉱物分析	岩石薄片、X線回折法
化学分析	蛍光X線分析法

* 粗粒砂岩についてのみ実施

石灰石は工場で生産された碎石を試験試料としたため実施せず。

(2) 試験・分析結果

試験・分析結果をTable 7-23, 7-24に示す。また試験・分析結果の詳細なデータをAppendix-Aに付す。

石灰岩試料はTable 7-23に併記したASTMおよびJIS (Japan Industrial Standards) に定められている基準値からみて、コンクリート骨材として利用可能と考えられる。構成鉱物の面からは、モンモリロナイト、シリカ鉱物、ガラス、沸石、石膏等のコンクリートに有害な鉱物は含まれていない。この試料は化学分析の結果によれば厳密には苦灰岩質石灰岩と呼ぶべきもので(石灰石:苦灰石(モル比) = 2:1)、希ではあるが苦灰石がアルカリ炭酸塩反応を起こし、コンクリートに有害なケースがあるので、今後コンクリート角柱試験等のより詳細な試験による確認が必要である。

粗粒砂岩は、乾燥密度が2.35g/cm³でJISの基準値(2.50g/cm³)を下回っているが、その他は基準値を満足している。粗粒砂岩は、Table 7-15(3)に示したように新鮮部でも空隙が多いために乾燥密度は2.4g/cm³程度である。密度の基準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。

Table 7-22 Laboratory Test Results of Disturbed Samples of Test Pits

Pit No.	Sample Depth (m)	Geology [Unified Soil Classification]	Water Content at Received (%)	Specific Gravity	Atterberg Limits		Gradation (wt%)							Compaction and Permeability			
					LL (%)	PI (%)	-3/4" (19mm)	-# 4 (4.75mm)	-#10 (2.00mm)	-#40 (425 μm)	-#200 (75 μm)	-10 μ (10 μm)	- 2 μ (2 μm)	Max. dry Density (g/cm ³)	Optimum Water Content(%)	minimum Permeability (cm/s)	Molded Water Content(%)
PU-1	0.5-3.0	Re [GM]	4.03	2.72	56.00	20.04	91.51	66.15	57.43	52.99	49.64	39.00	31.98	1.71	21.3	1.8×10 ⁻⁸	22.0
PU-1	3.0-5.0	w-cls [ML]	6.19	2.67	44.00	16.71	96.71	81.65	79.23	78.20	76.37	50.23	29.12	1.72	18.6	7.0×10 ⁻⁸	21.0
PU-2	0.3-1.2	Re [ML-CL]	4.78	2.63	31.40	9.38	100.00	98.77	97.06	94.71	55.96	39.51	31.43	1.77	15.5	9.0×10 ⁻⁸	16.9
PU-2	1.2-1.8	Re [GM]	5.14	—	41.20	12.59	100.00	38.41	15.64	14.42	10.30	7.96	6.62	—	—	—	—
PU-3	0.7-3.1	Re [GM]	10.95	2.78	53.30	17.18	87.80	42.70	30.28	27.50	24.67	20.41	16.88	1.90	16.4	1.1×10 ⁻⁶	17.0
PU-3	3.1-5.0	w-cls [GM]	6.62	2.67	47.00	17.65	83.42	56.64	51.14	47.52	43.26	30.29	22.03	1.77	17.7	1.6×10 ⁻⁷	18.9
PU-4	0.6-3.1	Re [GM]	5.06	2.81	45.00	13.43	77.71	48.89	34.39	31.55	27.26	20.44	16.05	1.91	16.5	1.1×10 ⁻⁷	17.1
PU-4	3.1-4.4	Re [GM]	5.13	2.72	45.80	17.84	75.70	53.12	47.61	45.30	40.97	28.07	20.82	1.90	15.1	1.0×10 ⁻⁷	16.6
PU-4	4.4-5.0	w-cls [ML-CL]	3.99	2.80	45.90	20.00	100.00	85.68	81.57	80.33	76.65	51.51	35.57	1.77	17.1	1.0×10 ⁻⁷	19.0
PU-4	0.6-5.0	Re and w-cls[GM]	3.14	2.79	46.40	17.30	100.00	57.56	44.56	42.12	37.59	26.50	16.50	1.92	14.2	1.3×10 ⁻⁷	16.2

Re: Residual soil w-cls: weathered claystone

Pit No.	Sample Depth (m)	Geology [Unified Soil Classification]	Water Content (%)	Dry Density (g/cm ³)	Shear Strength (CU test)	
					Cohesion C (kgf/cm ²)	Friction Angle φ (°)
PU-3	3.1-5.0	weathered claystone [GM]	18.81 -19.64	1.671 -1.683	0.30	33.12
PU-4	0.6-5.0	weathered claystone [GM]	16.68 -17.03	1.792 -1.797	0.24	32.21

Table 7-23 Laboratory Test Results for Concrete Aggregate

Sample Name	SA-1	SA-2	Allowance for Concrete Aggregate	
Sample Location	Sila Sakol Patana quarry (existing)	Proposed site of sandstone quarry		
Rock Name	Dolomitic limestone	Coarse-grained sandstone	ASTM C-33	JIS A-5005
Bulk Specific Gravity	2.67 (dry) 2.69 (saturated) 2.73 (apparent)	2.35 (dry) 2.41 (saturated) 2.51 (apparent)	— — —	more than 2.5 — —
Absorption (%)	0.84	2.76	—	less than 3.0
Abrasion Loss * (%)	24.52	34.46	less than 50	less than 40
Uniform Hardness Factor	0.22	0.21	—	—
Weight Loss in Soundness Test ** (%)	3.27	0.27	less than 18	less than 12
Crushing Value (%)	—	23.22	—	—
Elongation Index (%) [Nominal particle size (mm)]	—	1.00[7.125] 1.00[12.75] 0.83[17.46] 0.83[22.22] 0.43[28.45] 0.37[34.8] 0.23[44.45]	—	—
Flakiness Index (%) [Nominal particle size (mm)]	—	0.33[7.125] 0.27[12.75] 0.33[17.46] 0.27[22.22] 0.50[28.45] 0.53[34.8] 0.63[44.45]	—	—

* by the Los Angeles Machine, after 500 cycle

** by sodium sulfate

Table 7-24 Results of Mineralogical and Chemical Analyses for Concrete Aggregate

(a) Items of Analyses

Sample No.	Sample Location	Rock Name	Items of Analyses			Purpose of Analyses
			Thin Section	X-ray Diffraction	Chemical Composition	
SA-1	Sila Sakol Pattana quarry	Dolomitic limestone	○	○#	○*] to examine alkali reactivity of aggregate by petrographic methods
SA-2	Proposed site of sandstone quarry	Coarse-grained sandstone	○	○#, ##	○*	
			# bulk analysis	* analysis for SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , FeO, MnO, MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , H ₂ O ⁻ , H ₂ O ⁺		
			## clay fraction analysis			

(b) Constituent Minerals

Sample No.	Sample Name	Constituent Minerals				Remarks
		Calcite	Quartz	Kaoline	Sericite	
SA-1	Dolomitic limestone	⊙	++] Zeolites, Smectite and amorphous material are not included.
SA-2	Coarse-grained sandstone		⊙	+	+	
relative quantity : abundant ⇔ ⊙, ○, +, ++, +++ ⇔ trace						

(c) Chemical Composition

Sample	Oxides (wt%)												
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺
SA-1	3.38	<0.01	0.30	<0.01	0.16	<0.01	10.42#	42.04#	0.88	0.04	<0.01	0.06	0.06
SA-2	93.45	0.11	2.46	0.01	0.06	<0.01	0.91	0.43	1.35	0.16	0.02	0.04	0.82

* Fe²⁺, Fe³⁺ : wet process chemical analysis, the others : fluorescent X-ray analysis
 # calcite : dolomite = 65.5 : 34.5 (mole ratio)

第 8 章 地 震

第 8 章 地 震

目 次

	頁
8.1 概 要	8-1
8.2 地 質 構 造	8-1
8.2.1 インドシナ半島の地質概要	8-1
8.2.2 タイ国の地質構造	8-2
8.2.3 タイ国および計画地域周辺の主要断層	8-2
8.3 タイ国の地震活動度	8-7
8.3.1 タイ国周辺地域のネオテクトニクス	8-7
8.3.2 タイ国周辺の地域的応力場	8-8
8.3.3 タイ国の地震活動度	8-8
8.3.4 プロジェクト計画地点の地震活動性	8-9
8.4 地震危険度解析	8-14
8.4.1 最大加速度の評価	8-14
8.5 計画地点の設計震度	8-20

List of Tables

**Table 8-1 Maximum Acceleration expected at the Project Site for Four
Return Periods (gal)**

List of Figures

- Fig. 8-1 General Geological Structure of Southeast Asia
- Fig. 8-2 Schematic Structural Map of Thailand and Surrounding Regions
- Fig. 8-3 Major Faults around the Project Area
- Fig. 8-4 Distribution of Major Tectonic Plates on the Earth and Plate Boundaries
- Fig. 8-5 Epicenters of Earthquakes of Magnitude : $M \geq 4$ and Focal Depth : $H \leq 100$ km which Occurred during the Period from 1964 to 1982 in the World
- Fig. 8-6 Epicenters of Earthquakes of Magnitude : $M \geq 4$ and Focal Depth : $H \geq 100$ km which Occurred during the Period from 1964 to 1982 in the World
- Fig. 8-7 Lithospheric Plates and Microplates in North-eastern to Middle Asia and the Direction of Micro Plate Movements relative to the India-Eurasia Collision
- Fig. 8-8 Epicenters of Earthquakes Occurred in Asia
- Fig. 8-9 Average Positions of Pressure Axes in Southeast Asia
- Fig. 8-10 Average Positions of Tension Axes in Southeast Asia
- Fig. 8-11 Distribution of Shallow Earthquakes ($M \geq 6$) since 1900
- Fig. 8-12 Asismic Area in Asia
- Fig. 8-13 Distribution of Epicenters of Strong Earthquake and Structural Lines in Asia
- Fig. 8-14 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(1) [Oliveira]
- Fig. 8-15 Return Period for Maximum Acceleration Estimated by Eq.-(2) [McGuire]

Fig. 8-16 Return Period for Maximum Acceleration Estimated
by Eq.-(3) [Esteva & Rosenblueth]

Fig. 8-17 Return Period for Maximum Acceleration Estimated
by Eq.-(4) [Katayama]

第 8 章 地 震

8.1 概 要

計画地点は、バンコクの約180km 北東方のコラート高原の南西縁部に位置する。この地域の地質構造は単純で、地層は緩やかに傾斜しているだけで、顕著な褶曲はなく、大きな構造線もない。

本章では計画地域の地質構造、地震活動度・地震危険度および、耐震設計に用いるべき設計震度の評価等について述べる。

8.2 地 質 構 造

8.2.1 インドシナ半島の地質概要

インドシナ半島地域の最古の岩石は、先カンブリア時代末期または古生代初期の造山運動で生じた変成岩類である。この地域では、古生代後期から現在までの間に次に示すような3回の造山運動が起こった。

(造山運動)	(活動時期)
(1) ヘルシニア期	石 炭 紀
(2) インドシナ期	二畳紀～ジュラ紀 (主に三畳紀)
(3) ヒマラヤ期	白亜紀～第四紀

新しい時代の造山帯は、古い時代の造山帯を同心円状に取り巻くように生じた。現在の陸地はヘルシニア期造山運動により初めて形成されたと考えられており、この陸地は、古地理学的には“Annamia”と呼ばれている。その後、ヘルシニア期造山帯を取り囲むようにインドシナ期の造山帯が形成された。インドシナ期の造山運動によって、この地域に形成された大陸塊は“Indosinia”と呼ばれている。このIndosinia大陸の周縁部は、後にヒマラヤ期造山帯に取り囲まれたが、Indosinia大陸の大部分は現在まで安定大陸として残存している。これらの造山運動では、常に既存の大陸周縁部は新しい造山帯に取り囲まれ、新しい造山帯の大部分は既存の大陸の周囲の大洋底に形成された。従って大陸地殻は次第に外側に成長して行った。インドシナ半島地域の概略の地帯構造をFig. 8-1に示す。

8.2.2 タイ国の地質構造

タイ国を地形、地質、地質構造発達史を基に分類すると、以下の3つに区分することができる。

- (1) Khorat高原に代表されるタイ東部
- (2) タイ湾とその北方延長にあたる中央峡谷の低地帯
- (3) 南方のマレーシア山脈に続く西部～北西山岳地帯

この区分によつて、本計画地域は1)に属している。

タイ国およびその周辺地域の概略の地質構造をFig. 8-2に示す。

インドシナ半島西域の海底は、シルル紀にShan-Thai大陸地殻の東縁に沿って沈み込みを開始した。この西側への沈み込みは初期中生代まで続き、中央タイの安山岩質ならびに流紋岩質の火山岩で代表される火山性弧状統が形成された。その後三畳紀～前期ジュラ紀にShan-Thai大陸地殻とインドシナ大陸地殻の衝突が生じ、この衝突によって、変動帯がほぼ南北に走るタイ国中央の地質学的特徴が形成された。なおインドビルマ山脈は、新生代にインドプレートがユーラシアプレートの下に沈み込んだ結果形成された。

タイ東部地域に広く分布している中生代後期の堆積物は、大陸性あるいは浅海性堆積物である。Shan高原の西側にはジュラ紀の褶曲ならびに変成作用が見られるが、タイ国東部のKhorat高原のテーブル状の分布形態を示す赤色地層は、本質的に褶曲ならびに変成作用を受けていない。

なおタイ国には火山は無く、火山性地震等の火山活動は認められない。

8.2.3 タイ国および計画地域周辺の主要断層

Fig. 8-2に示したようにタイ国の主要断層は北東-南西ならびに北西-南東方向にならんでいる。タイ国西部地域には北西-南東方向に数百km程度連続するThree Pagoda断層やMoei-Uthai Thani断層等の大規模断層がある。

計画地域の周辺の断層としてはFig. 8-3に示したように、西方の古生代の地層の分布する地域に長さ10km程度以下の断層が多数認められ、また北方の古生代の地層の分布する地域には60km程度連続する断層が認められる。

これらの他にもタイ国周辺地域には小規模な断層が見受けられるが、震央域そのものには活断層は認められていない[BGAT, 1985]。またタイ国には活断層として指

摘されている断層は存在しない。従ってタイ国では、たとえ地震エネルギーの放出があったとしても、地表に現れている断層の運動には直接の関係はないものと思われる。

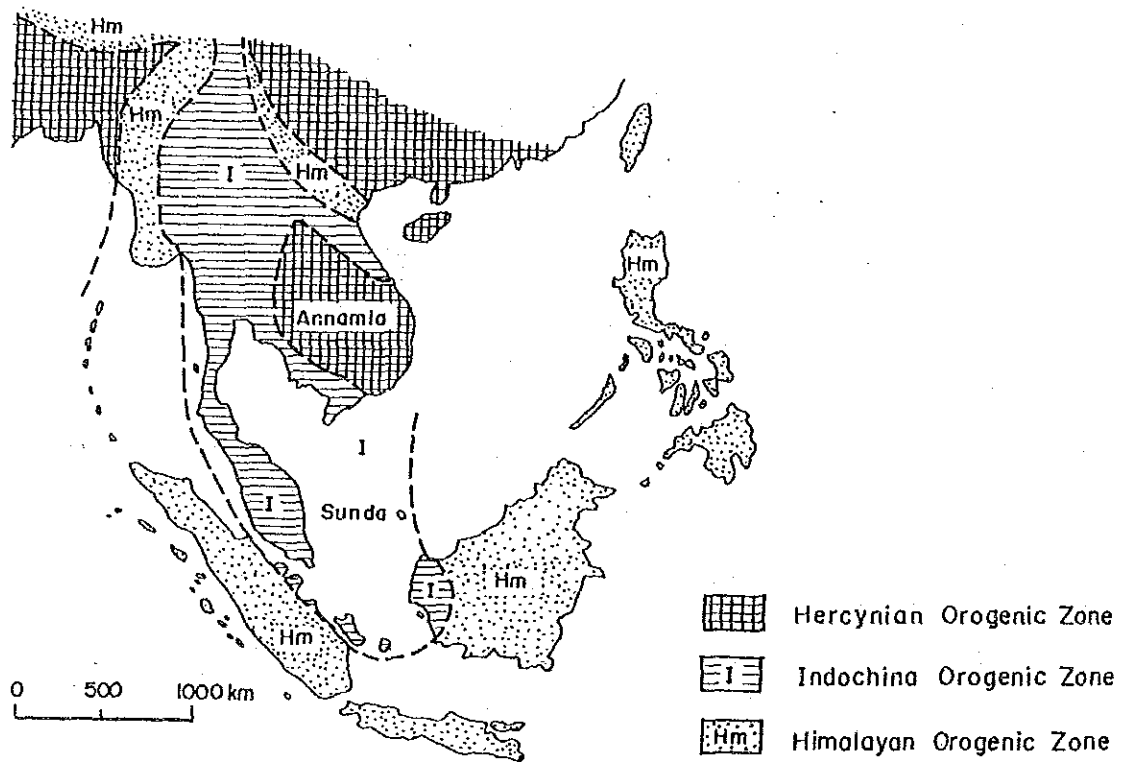


Fig. 8-1 General Geological Structure of Southeast Asia

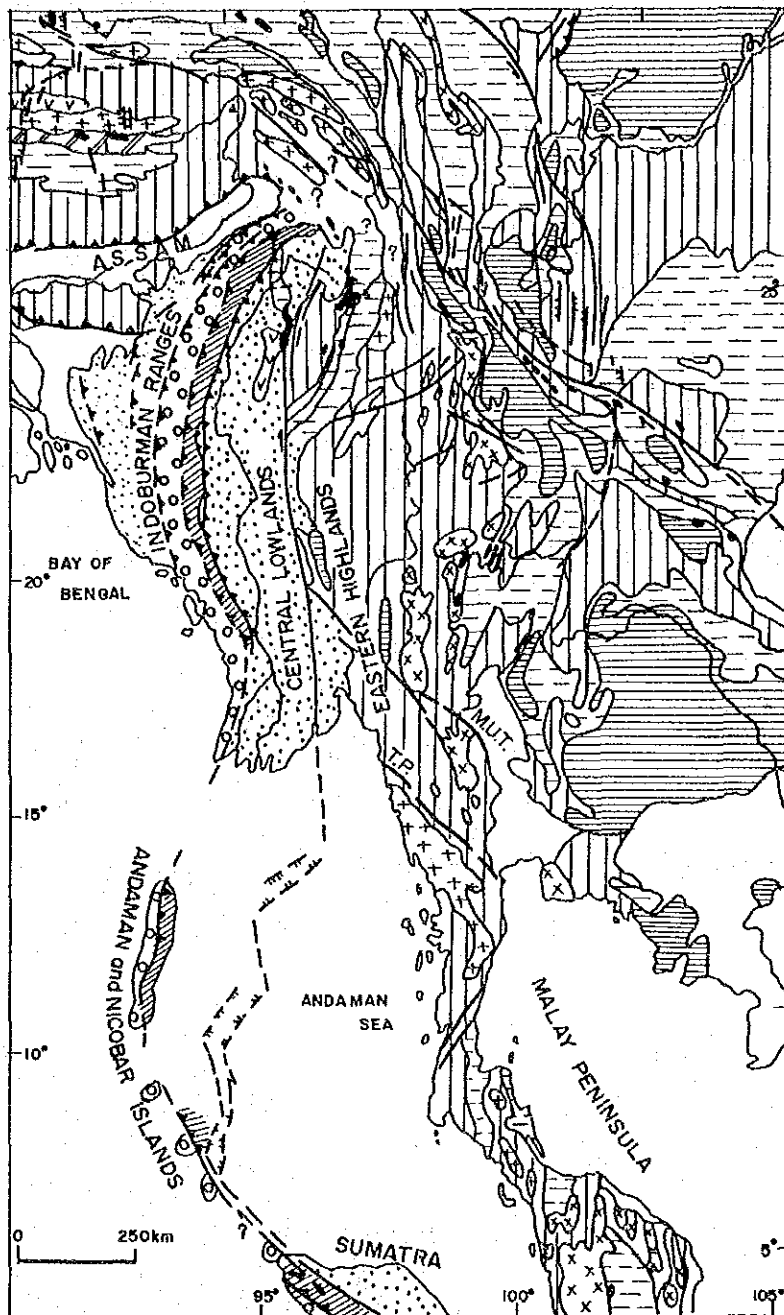
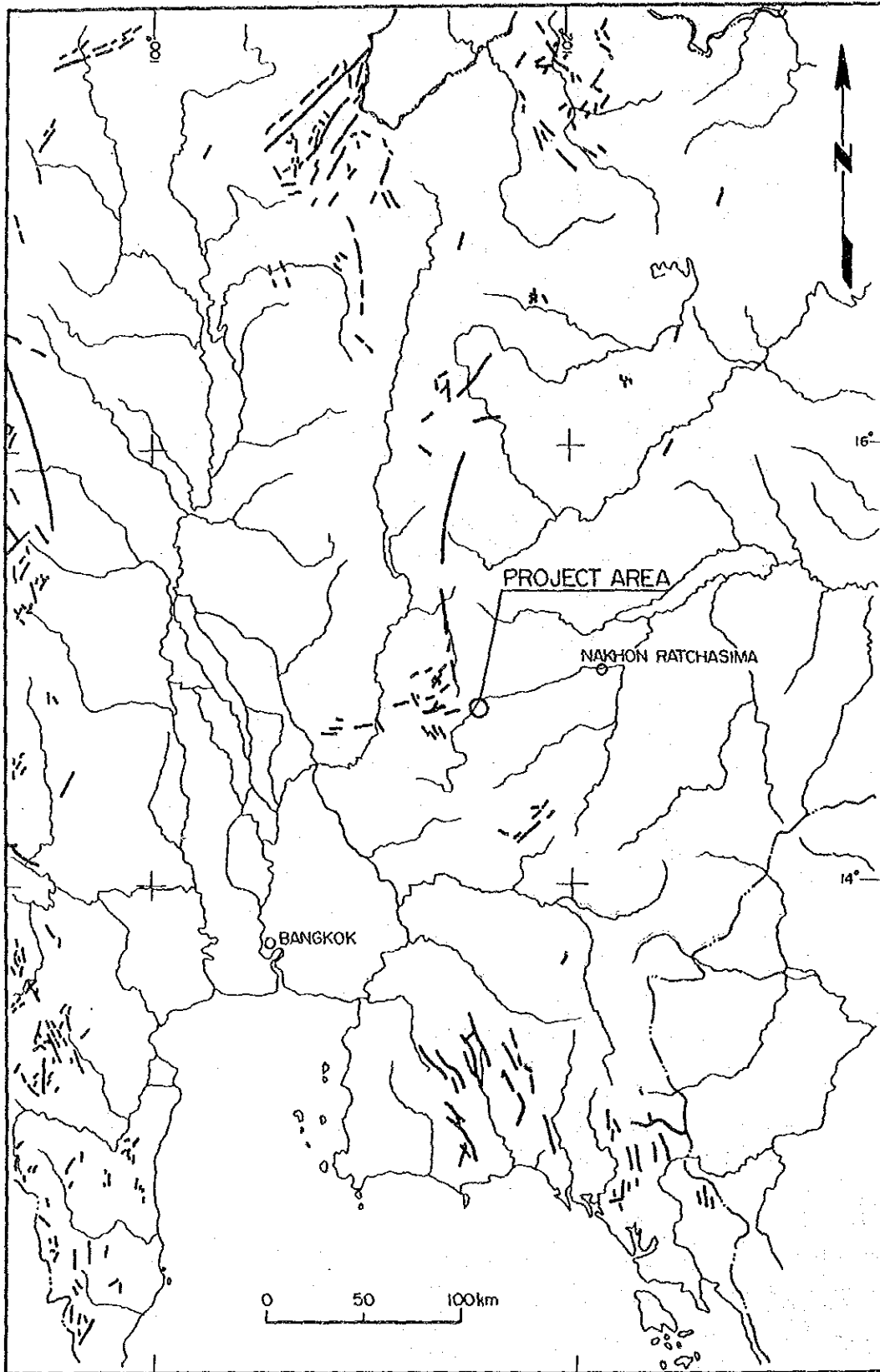


Fig. 8-2 'Schematic Structural' Map of Thailand and Surrounding Regions.
(after Le Dain et al (1984))

(Legend)

Oligocene Molasses	Indus Triassic flysch	Metamorphic complex (Naga Hills in particular)	Tertiary volcanics
Eocene to Pleistocene molasses of the Burma Lowlands	Mesozoic, including Lower Mesozoic flysch	Upper Mesozoic platform sediments	Strike slip
Eocene flysch (with exotic blocks at places)	Paleozoic and Proterozoic	Late Paleozoic to Early Mesozoic granites	Major Fault Overthrusts
Flysch and melanges with exotic blocks	Ophiolites	Middle to late Mesozoic granites	Normal
			M. U. T. Moei - Uthol Thonl Fault
			T. P. Three Pagoda Fault



(Compiled from S. Vimuktanandana, 1984)

Fig. 8-3 Major Faults around the Project Area

8.3. タイ国の地震活動度

8.3.1 タイ国周辺域のネオテクトニクス

個別的に発生する巨大地震、あるいは、特定地域の中小規模の群発地震などの地震活動は、岩石の破壊現象という物理的側面とともに、その地域の造構運動の一環としての地学的側面を有する。

すなわち、個々の巨大地震は、造構運動の端的な結果であり、特定地域に集中した中小規模の群発地震は、岩石の破壊特性、地震断層の活動メカニズム、地震発生の統計的性質等について詳細な研究を行い、最終的には、造構運動と地震活動性との関連性を解明することが肝要である。

世界的に主要なプレートならびにプレート境界の分布をFig. 8-4 に示す。また、1964年から1982年の期間に世界で発生したマグニチュード4以上の地震の震央をFig. 8-5（震源の深さ100km以浅）、Fig. 8-6（震源の深さ100km以深）に示す。Fig. 8-4とFig. 8-5、Fig. 8-6との比較から、地震は主として造構運動の結果としてプレート境界で発生していること、すなわち、プレート相互間の相互作用の結果として発生していることが良く理解できよう。更に、タイ国周辺域の主要プレート及びマイクロプレートの分布、ならびにインドプレートとユーラシアプレートの衝突に関連するマイクロプレートの移動方向をFig. 8-7に、アジアで発生した地震の震央をFig. 7-8に示す。

アジア地域においても地震活動度の高い地域は、プレート境界の限定された地域に分布しており、一方、安定地域あるいは地震活動度の低い地域は、プレート内部に広く分布している。大陸の橋状地や大洋底の大部分は安定地域、もしくは、地震活動度の低い地域となっている。

タイ国周辺地域のプレートテクトニクス進化の最も代表的な特徴は、3つの主要プレート、すなわち、ユーラシアプレート、太平洋プレート、インドプレートの相互作用の結果として一般に説明することができる。ユーラシアプレートは、静止していると考えられている。また、インドプレートは、時計方向回転成分を含む北向きの動きを示し、その結果太平洋プレートは全体として西方向へ移動している。この相互作用の影響で、これらプレートの境界線ならびにタイ国周辺地域の造山性断層の殆どは薄型断層ならびに走行移動断層となっている。さらにインド洋と東海にある2つの拡大中心域、および2つの並列沈み込み域は活動しており、三畳紀から

現在にいたるまで東海方向へ移動している。このような特徴は、本地域の地震メカニズムにも現れている。すなわち走行移動が断層活動の主要形態となっており、これによって浅発地震が発生している。走行移動断層はこの地域における造構断層の典型をなしている。やや深発地震（震源の深さが中程度の地震）については、斜向移動運動が震源における主要形態となっている。

8.3.2 タイ国周辺の地域的応力場

東南アジアにおける地震の圧力軸ならびに引張軸をFig. 8-9ならびにFig. 8-10にそれぞれ示す。東南アジアでは殆ど全ての構造ならびに断層系は北西-南東方向に向いている。インドシナ半島地域は、4つの小さな区域に分割して考えることができる。

まず第一の区域は、大規模なRed River 断層を有する北部ベトナム中生代褶曲ゾーンを含む地域である。この区域における地震は全て地殻で発生している。

第二の区域は、子午線方向あるいは北西-南東方向に走る1連の大規模断層を有する西部ミャンマー新生代褶曲帯である。この区域では、上部マントルに達する深さで多数の地震が発生している。

第三の区域は、新生代褶曲ゾーンであり、子午線方向の断層を有する地域である。この区域では、地震は地殻あるいはそれ以深の狭いバンドで発生している。

第四の区域は、Sumatra（インドネシア）の新生代の褶曲ゾーンの一部を含む地震であり、太平洋新生代造構帯のアジア地震帯に属する。この区域における地震の殆どは、プレートの沈み込みゾーンで発生しており、深さは上部マントルに達する。

8.3.3 タイ国の地震活動度

近代の地震観測網の発達によって、マグニチュード5以上の地震については世界中のどこで発生しても、もれなく検知されるようになっている。

マグニチュード6以上の地震に関しては、今世紀を通じて世界中の地震データを入手し、地震危険度解析等に活用することができる状況にある。

NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 地震データファイルからマグニチュード6以上の地震を抽出して作成した1900年以降のアジアにおける地震分布をFig. 8-11に示す。また、アジアにおける無地震地帯の分布をFig. 8-12に

示す。すでに記述したように、地球上には大別して地震活動性による2種類の地域、すなわち高地震地帯と低地震地帯が存在する。

一般的に、インドシナ半島地域は、地震が少なく、タイ国は北部では若干地震活動が見られるが、全体としては安定した地震の少ない地域であると考えられる。

1500年以降に発生したマグニチュード6以上の地震の震央と、アジア主要地質構造をFig. 8-13に示す。

東南アジアという大きな観点から見た時、タイ国は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。

8.3.4 プロジェクト計画地点の地震活動性

プロジェクト計画地点において揺れが感じられた地震をNOAA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、1000km以内で543回との結果を得た。

この事から明らかなようにプロジェクト計画地点では、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。

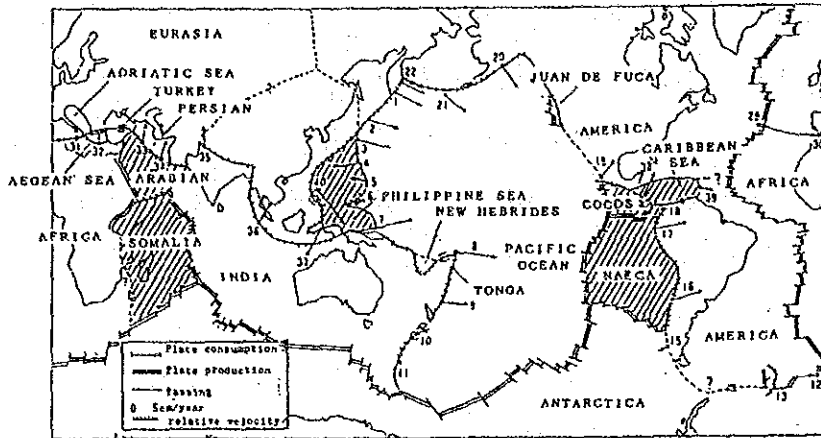


Fig. 8-4 Distribution of Major Tectonic Plates on the Earth and Plate Boundaries

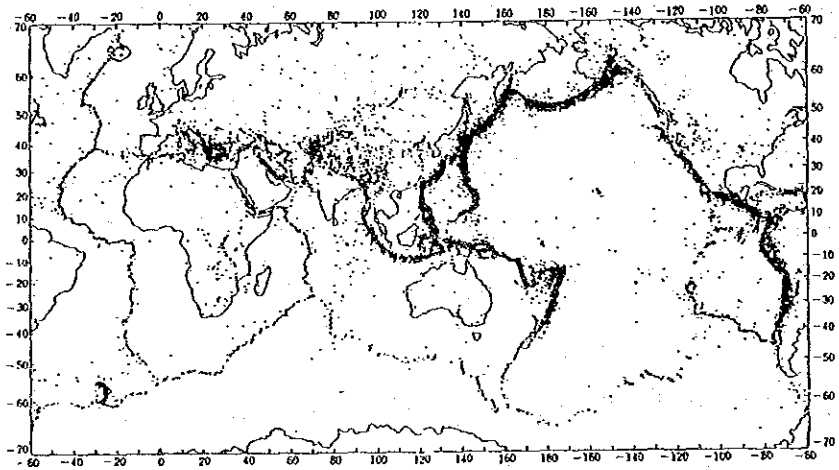


Fig. 8-5 Epicenters of Earthquakes of Magnitude : $M \geq 4$ and Focal Depth : $H \leq 100$ km which Occurred during the Period from 1964 to 1982 in the World

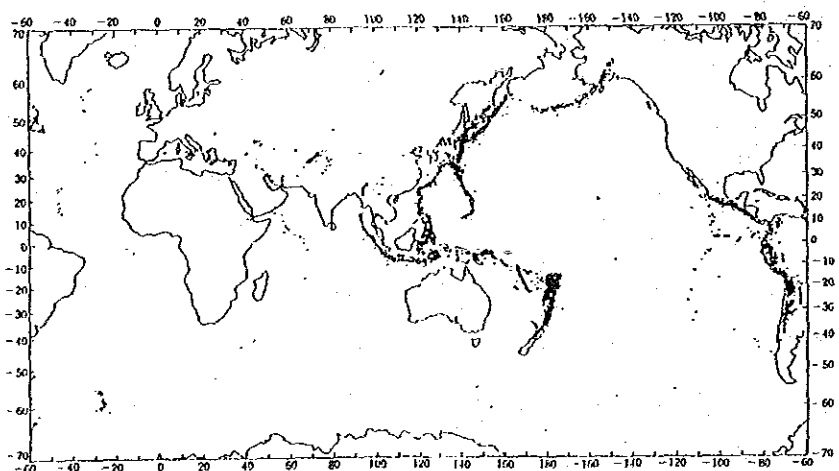


Fig. 8-6 Epicenters of Earthquakes of Magnitude: $M \geq 4$ and Focal Depth : $H \geq 100$ km which Occurred during the Period from 1964 to 1982 in the World

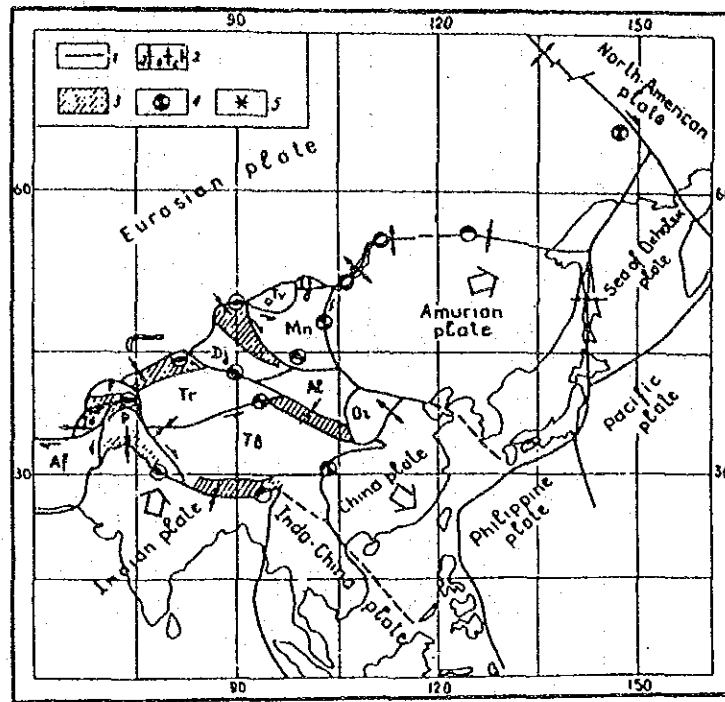


Fig. 8-7 Lithospheric Plates and Microplates in North-eastern to Middle Asia [after Zonenshain and Savostin (1981)] and the Direction of Micro Plate Movements relative to the India-Eurasia Collision

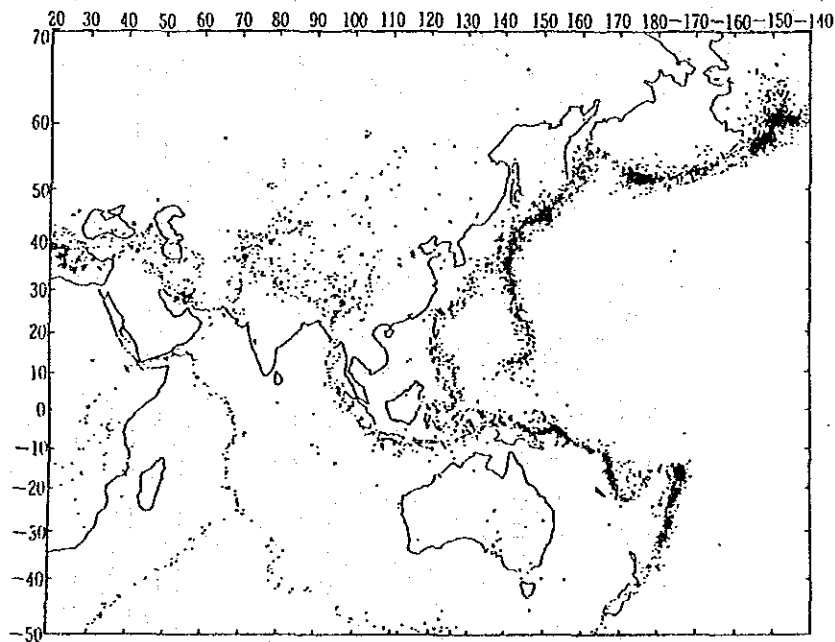


Fig. 8-8 Epicenters of Earthquakes Occurred in Asia

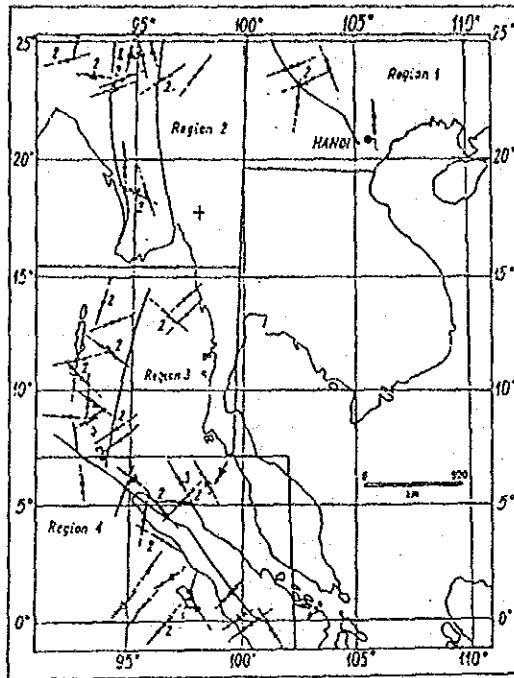


Fig. 8-9 Average Positions of Pressure Axes in Southeast Asia
 Black dots and triangles show the location of single epicenters for shallow and intermediate earthquakes, respectively. The earthquakes with almost identical mechanism are shown by the numbers next to their average positions. The longest arrows indicate the plunge from 0 to 30°, the medium arrows from 31 to 60°, and the shortest from 61 to 90°. The solid lines show the main geological faults.

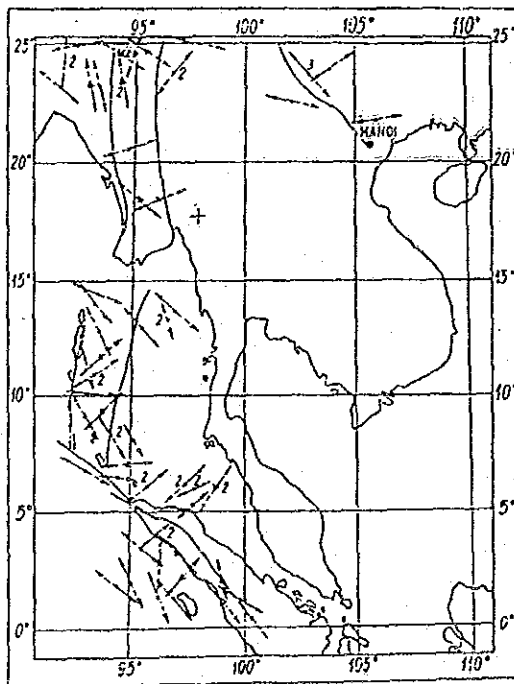


Fig. 8-10 Average Positions of Tension Axes in Southeast Asia
 The symbols are the same as in Fig. 7-9.

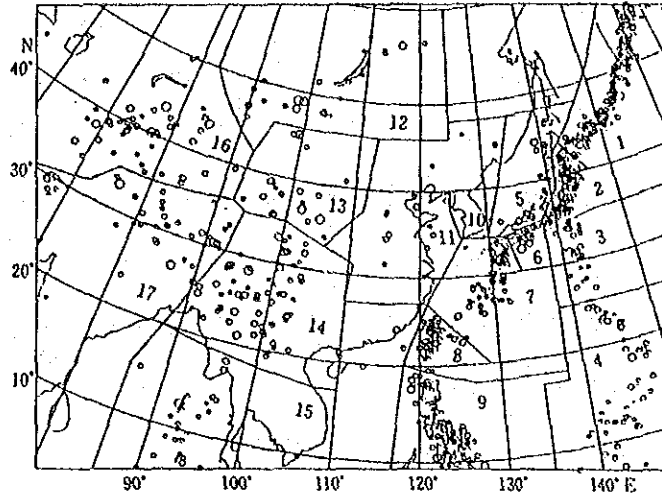


Fig. 8-11 Distribution of Shallow Earthquakes ($M \geq 6$) since 1900

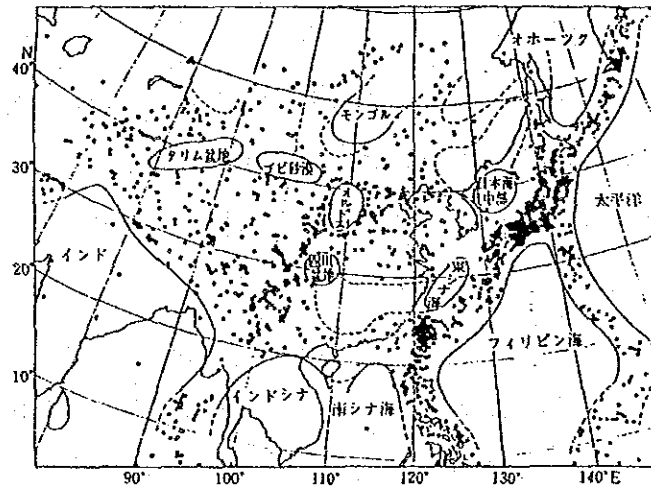


Fig. 8-12 Aseismic Area in Asia

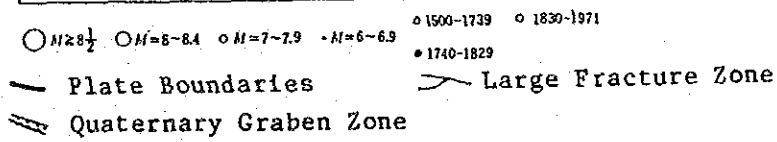
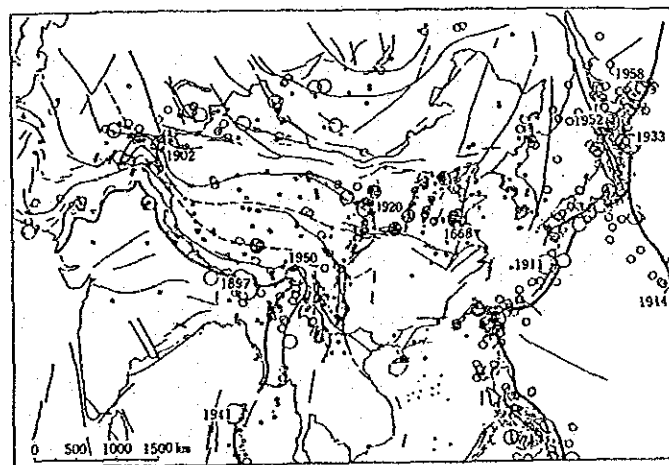


Fig. 8-13 Distribution of Epicenters of Strong Earthquake and Structural Lines in Asia

8.4. 地震危険度解析

8.4.1 最大加速度の評価

(1) 地震データ

ここでの予測評価では、米国の国立地球物理データセンター提供のNOAA地震データファイルによる地震データを利用した。

Lam Ta Khong上池サイトから半径1000km以内に発生した地震は、1959年から1987年までの期間に543回を数えた。

評価対象としてここでは半径1000kmを設定したが、この設定は地震動の最大加速度の減衰特性を考慮すれば、十分な評価対象範囲であると判断される。

(2) 距離減衰モデル

最大加速度の予測評価に適用した距離減衰式は、すでに提案されているものの中から次の4つの式を用いた。

なお、式中の“*A*”は最大加速度(gal)、“*M*”は地震のマグニチュード、“*R*”は震源距離(km)を示す。

$$\text{Log } A = 3.090 + 0.347 M - 2 \text{ Log } (R + 25) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Proposed by C. Oliveira

$$\text{Log } A = 2.674 + 0.278 M - 1.301 \text{ Log } (R + 25) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Proposed by R. K. McGuire

$$\text{Log } A = 2.041 + 0.347 M - 1.6 \text{ Log } R \quad \dots\dots\dots (3)$$

Proposed by L. Esteva and E. Rosenblueth

$$\text{Log } A = 2.308 + 0.411 M - 1.637 \text{ Log } (R + 30) \quad \dots\dots\dots (4)$$

Proposed by T. Katayama

(3) Gumbelの極値理論

確率変数 X が確率関数 $G(X)$ に従うと仮定すれば、

$$G(X) = Q(X \leq X)$$

X が X_1, X_2, \dots, X_n のいずれよりも大きい確率は次のように定義される。

$$P_n(X) = Q(X_1 \leq X, X_2 \leq X, \dots, X_n \leq X) = G_n(X)$$

この時、再来周期： $T(X)$ と変換変数： Z は次式のように表される。

$$T(X) = 1 / \{1 - P_n(X)\}$$

$$Z = \ln \{-\ln P_n(X)\}$$

Gumbelの極値理論(1958)は、確率変数の原分布が既知でなくても適用ができるが、地震事象に対して極値理論を適用する場合は、次のような仮定条件が満足されることを前提に、地震の発生頻度、および再来周期を予測評価することができる。

仮定① 過去における地震の発生状況は将来も確実に継続する。

仮定② 与えられた時間間隔の中で観測された最大地震事象は、独立事象である。

仮定③ 与えられた時間間隔の中の将来における最大地震の発生動向は、過去におけるのと同様である。

Gumbelの極値理論では、確率変数の最大値の挙動特性に応じて3種類の極値漸近分布が提案される。

第一漸近分布 $P_n(X) = \exp \{-\exp(-dn)(x-V)\}$

第二漸近分布 $P_n(X) = \exp \left[\left\{ - \frac{(V - \varepsilon)}{(x - \varepsilon)} \right\} \kappa \right]$

第三漸近分布 $P_n(X) = \exp \left[\left\{ - \frac{(W - x)}{(W - V)} \right\} \kappa \right]$

第1漸近分布は、確率変数に対する上限・下限がない。第2漸近分布には、確率変数に対する下限があり、第3漸近分布には上限がある。

ところで、ここで検討しているプロジェクト計画地点で想定される最大加速度の確率関数は未知である。しかし、任意の地点における地震動の最大振幅には上限があると考えられる事から、第3漸近分布を適用するのが合理的であると判断される。第3漸近分布式の中で、 W は最大振幅の上限、 κ は形状係数、 V は特性

最大値、そして x はランダムな確率変数を示す。ある地点の単位期間の最大地動振幅を A_{max} とすれば x は次式で表される。

$$x = \text{Log } A_{max}$$

また、単位期間の最大地震振幅のプロット位置は、次式で求められる。

$$P(m) = (N - m + 1) / (N + 1)$$

N は解析対象とした単位期間の個数、 m は最大値からの序列順を示す。

(4) 統計解析結果

統計解析による最大加速度の予測評価では、1959年から1987年までの29年間の地震データ（地震数 543）を使用した。ここではGumbelの“極値理論”に基づく確率モデルを等時間間隔を一年にとることにより設定した。Lam Ta Khong上池計画地点において予想される最大加速度の確率関数は未知であるが、前述のようにある地点における最大加速度の値には上限があると考えるのが合理的であることから、第3漸近分布を仮定した。最大加速値をプロットした結果をFig. 8-14～Fig. 8-17に示す。

これらの図には、第3漸近分布関数を用いて評価した2種類の回帰曲線が実線で示されている。回帰曲線〔A〕は最大加速点を通るように評価された結果であり、回帰曲線〔B〕は全部の年最大加速点に対する最小二乗法による評価結果である。これらの結果から任意の再来周期に対する最大加速値を評価することができる。

3つの再来周期50年、100年、200年に対するダム計画地点における最大加速度の推定結果をTable 8-1に示す。1959年から1987までの期間の地震データに基づく統計解析の結果によれば、McGuire式によって評価された結果は他の予測式、すなわちOliveiraの式、Esteva-Resenbluerhの式、片山式によって評価された結果に比して大きな最大加速度を与えている。

Table 8-1 Maximum Accelerations Expected at the Project Site
for 4 Return Periods (gal)

Attenuation Model	Return Period (Year)		
	50	100	200
(1) by C. Oliveira	1.4	1.6	1.8
(2) by R. K. McGuire	12.0	13.0	14.0
(3) by Bst. & Rosen	1.4	1.6	1.7
(4) by T. Katayama	4.4	5.0	6.0

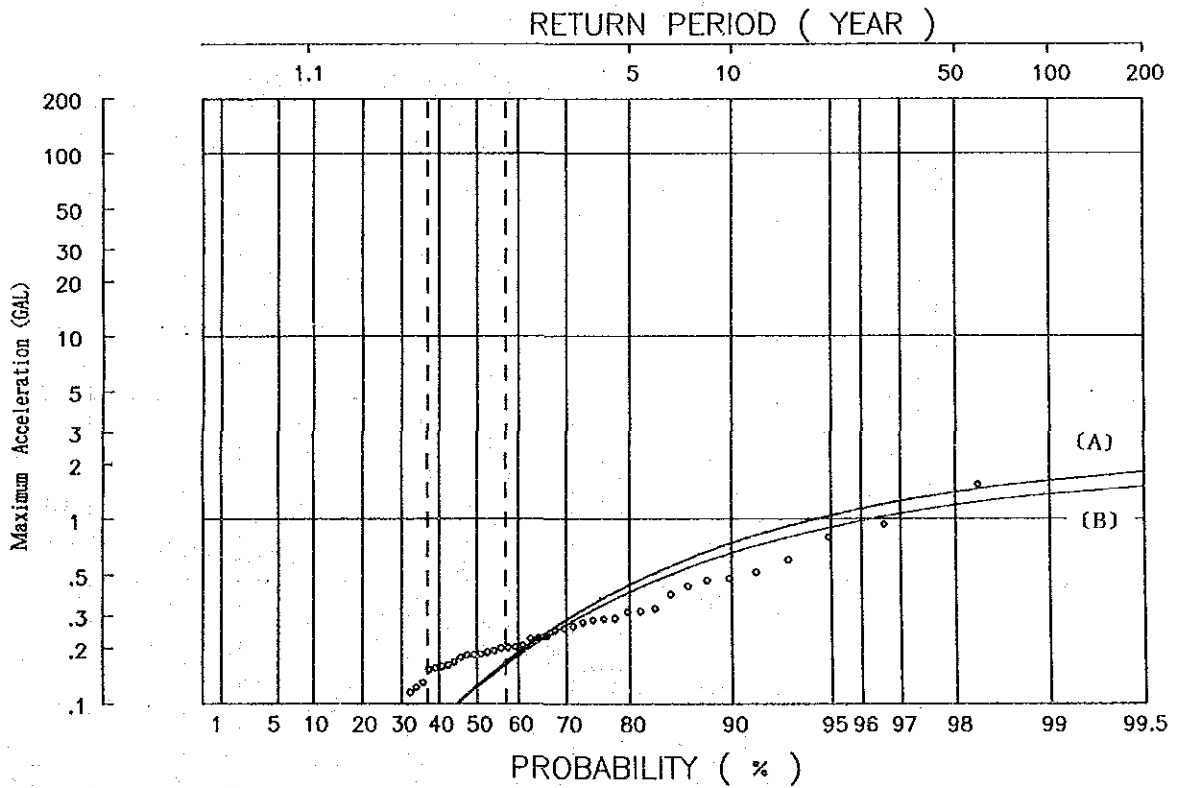


Fig. 8-14 Return Period for Maximum Acceleration Estimated
by Eq. -(1) [Oliveira]

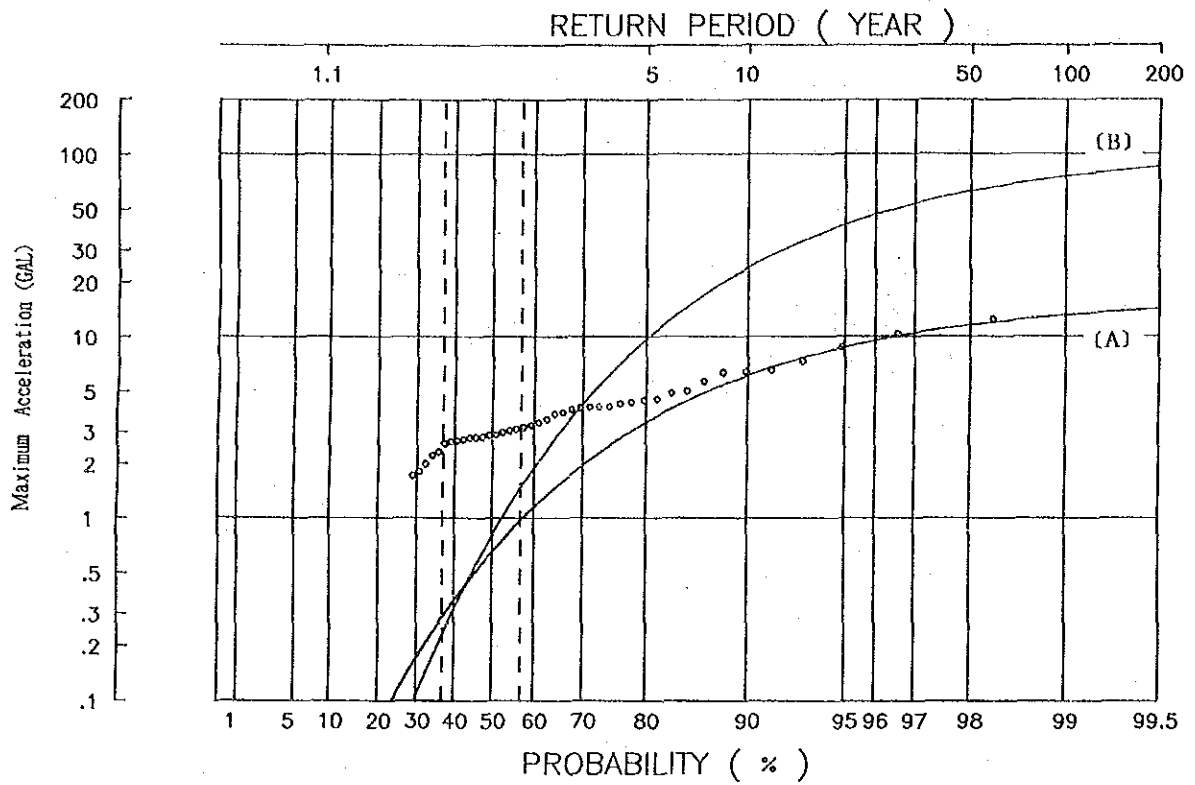


Fig. 8-15 Return Period for Maximum Acceleration Estimated
by Eq.-(2) [McGuire]

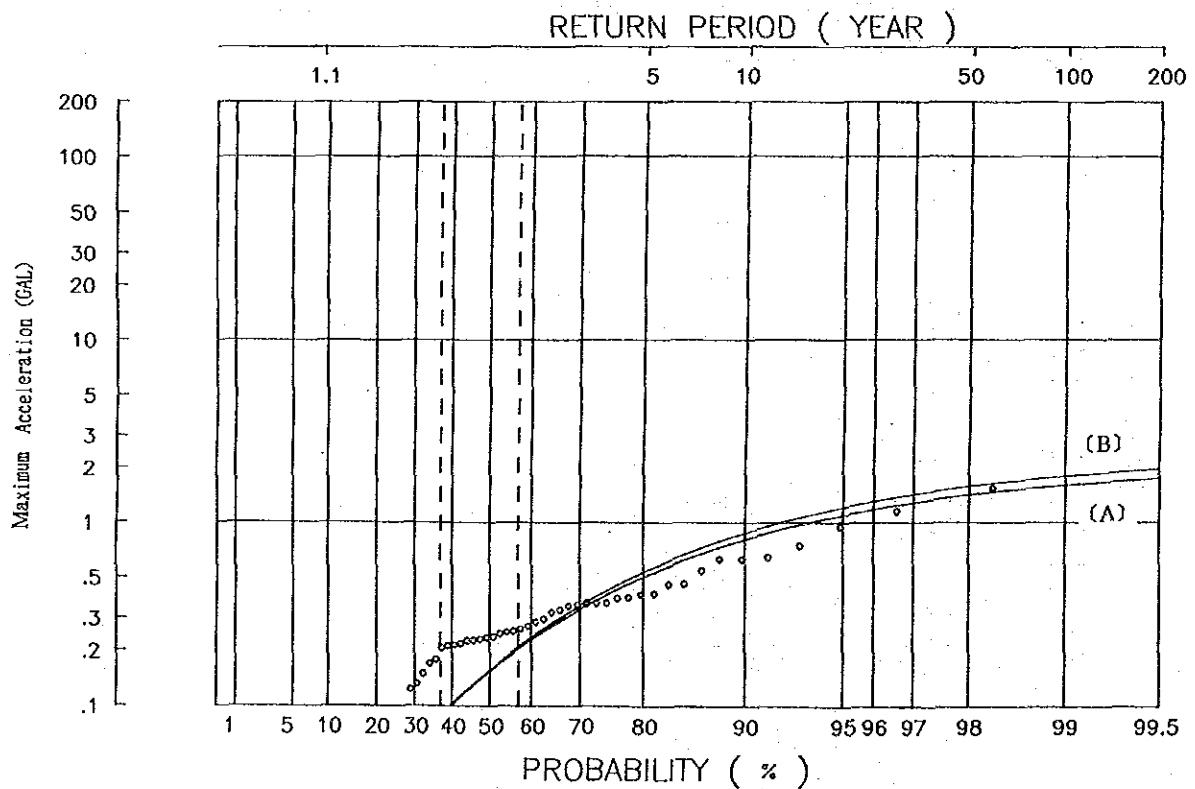


Fig. 8-16 Return Period for Maximum Acceleration Estimated
by Eq.-(3) [Esteva & Rosenblueth]

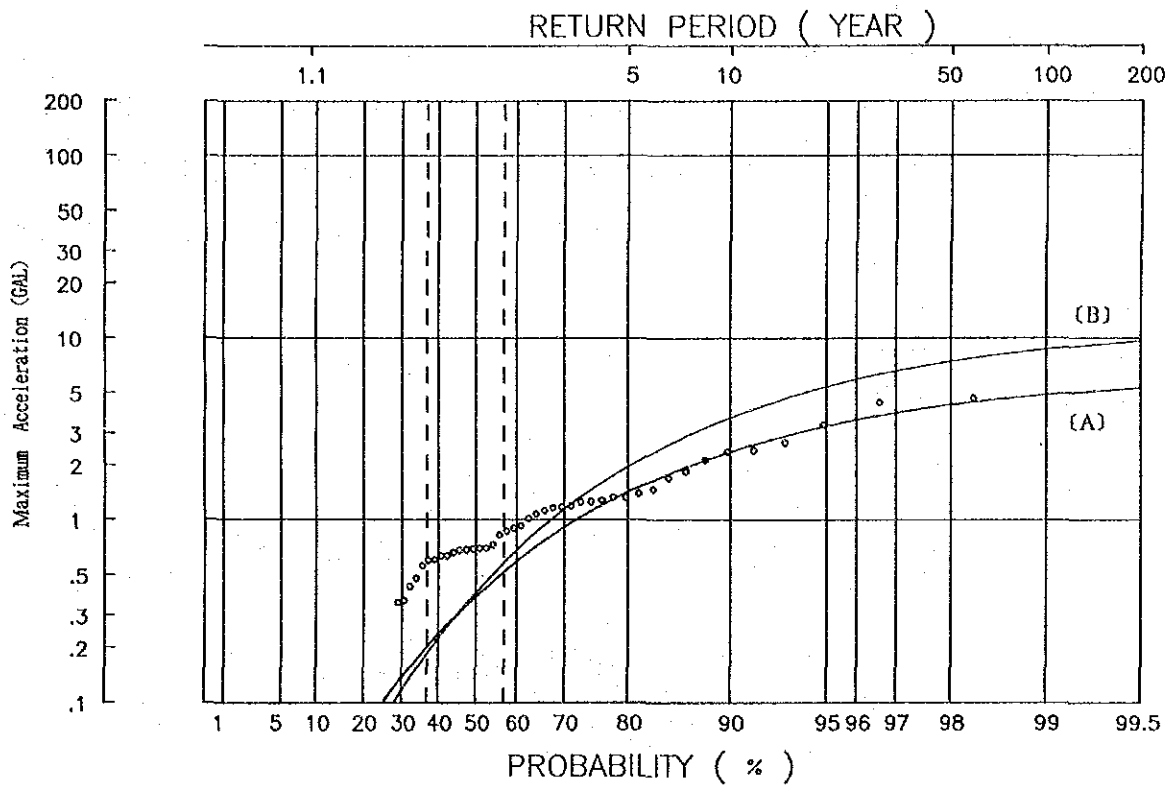


Fig. 8-17 Return Period for Maximum Acceleration Estimated
by Eq. -(4) [Katayama]

8.5 計画地点の設計震度

地震動の最大加速度と設計震度の値の関係については、確率された理論はいまのところないがここでは次式を用いることとした。この式は経験的な知見に基づき提案されたものであるが、実用的な方法であると判断される。

$$\alpha_{\text{eff}} = R \times \alpha = R \times A_{\text{max}}/980$$

α_{eff} : 有効設計震度

R : 低減係数

(低減係数は経験的には0.5 ~ 0.65程度の値が用いられる)

α : 設計震度

A_{max} : 地震動の最大加速度 (gal)

980 : 重力加速度 (gal)

歴史地震に基づく地震危険度評価の結果、Lam Ta Khong上池サイト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。

設計震度は、この結果から推定すれば、

$$\alpha_{\text{eff}} = (0.5 \sim 0.65) \times 20/980$$

$$\approx 0.01$$

となる。

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。

なお、活断層についても、サイト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。