

122
64.3
HFN

No. 16

タイ王国サンカンペン地熱開発計画調査 報告書 要約

昭和63年3月

国際協力事業団

鉦計資

JR

88—57

JICA LIBRARY



1065715[3]

17729

国際協力事業団

17729

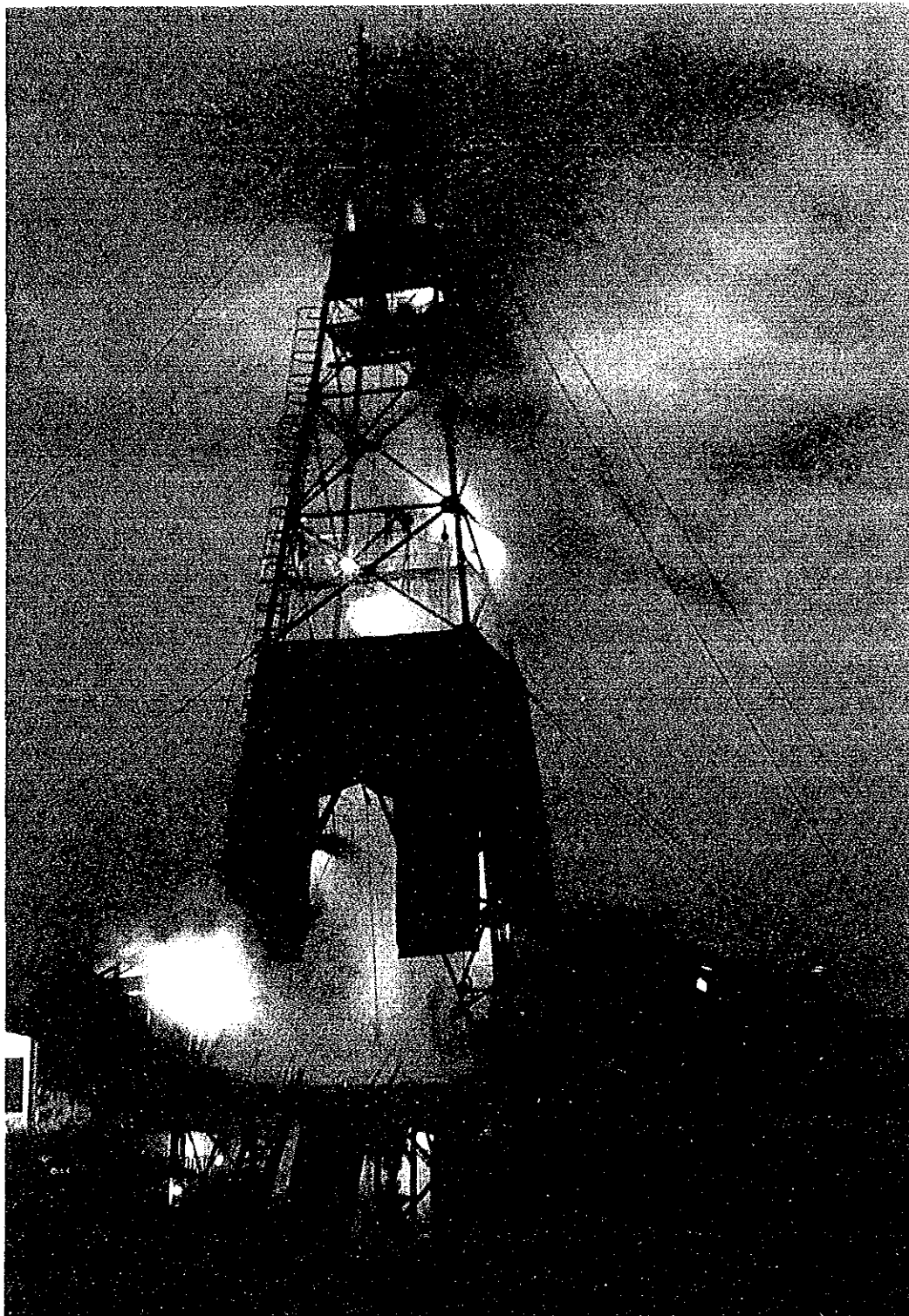
タイ王国サンカンペン地熱開発計画調査
報告書
要約

昭和63年3月

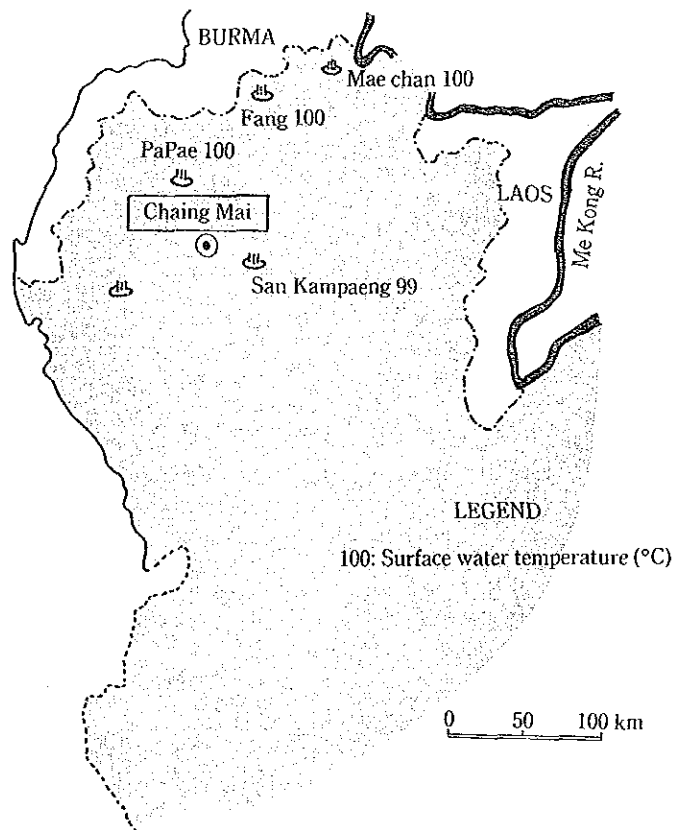
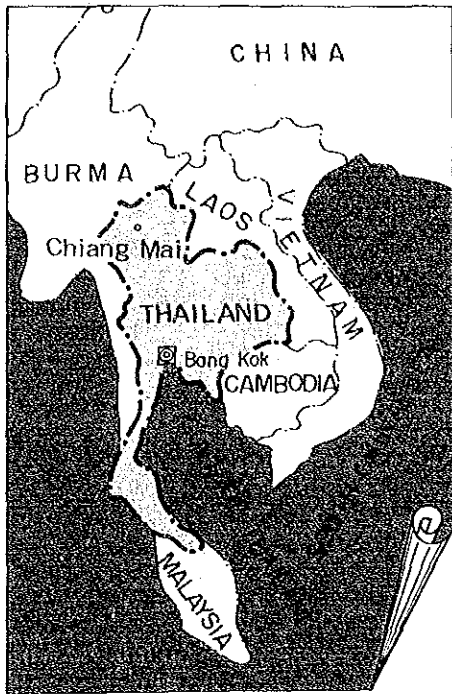
国際協力事業団



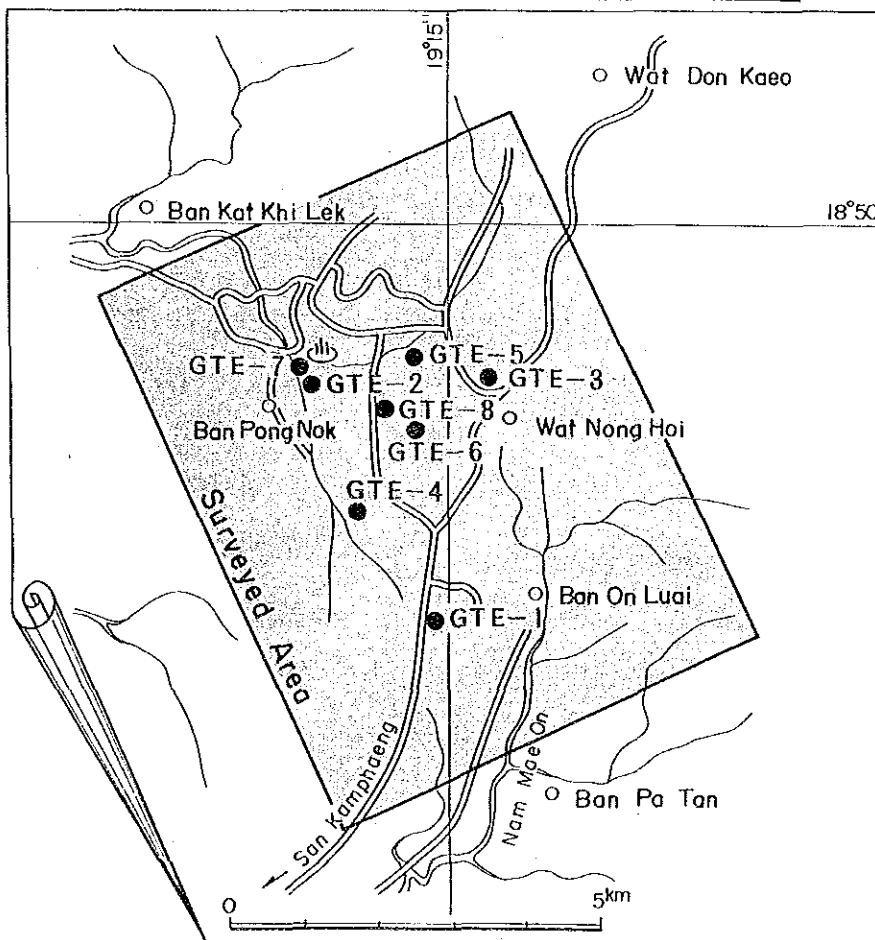
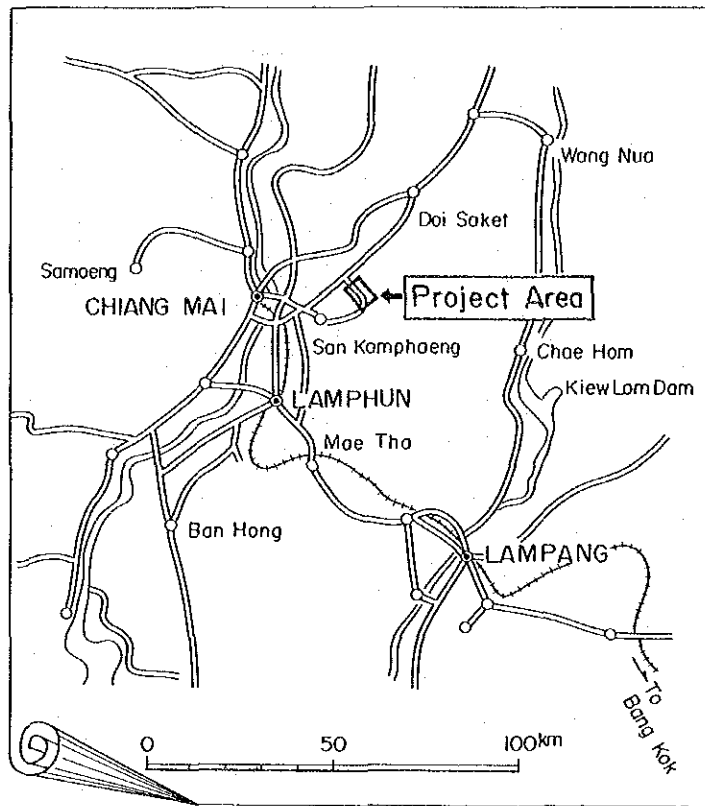
San Kampaeng Area



Producing fluid from GTE-8



Distribution Map of Geothermal Areas in Thailand



Location of Project Area

目 次

結 論	1
I 総 説	
1. 本計画調査の背景	3
2. 計画調査の目的	5
3. 調査地域の概要	5
4. 調査経過の概要	5
5. 調査工程と期間	6
6. 調査団員の氏名	6
II 調査内容	
1. 広域調査	17
1.1 地質調査	17
1.1.1 概 要	17
1.1.2 地質層序	18
1.1.3 地質構造	19
1.1.4 変 質 帯	20
1.1.5 坑井地質および温度分布	20
1.2 重力探査	21
1.2.1 概 要	21
1.2.2 調査結果	21
1.2.3 重力分布と地下構造	21
1.3 磁気探査	22
1.3.1 概 要	22
1.3.2 調査結果	22
1.3.3 磁気分布と地下構造	22
1.4 弾性波探査	22
1.4.1 概 要	22

1. 4. 2	解析方法	23
1. 4. 3	判明した地下構造	23
1. 5	深部電気探査	23
1. 5. 1	概 要	23
1. 5. 2	解析方法	24
1. 5. 3	判明した比抵抗構造	24
1. 6	地化学調査	24
1. 6. 1	熱水の化学分析	24
1. 6. 2	水理調査	25
1. 6. 3	地化学探査	25
2.	精査地域選定のための検討	54
2. 1	地熱徴候からの検討	54
2. 2	地質構造からの検討	54
2. 3	深部電気探査からの検討	54
3.	G T E—7 の掘削および調査解析	59
3. 1	掘削地点の選定	59
3. 2	掘削状況	59
3. 2. 1	概 要	59
3. 2. 2	掘削作業	59
3. 3	坑井地質調査	63
3. 3. 1	概 要	63
3. 3. 2	地 質	63
3. 3. 3	変 質	64
3. 3. 4	フラクチャー	64
3. 4	岩石試験	64
3. 4. 1	顕微鏡観察	64
3. 4. 2	X線回折分析	64
3. 4. 3	流体包有物測定	65
3. 4. 4	密度測定	65
3. 4. 5	帯磁率測定	66

3.4.6	熱伝導率測定	66
3.4.7	熱流量の試算	66
3.5	坑内検層	66
3.5.1	概 要	66
3.5.2	検層結果	67
3.6	深部電気探査の再解析	67
3.6.1	電気検層結果との対比	67
3.6.2	再解析方式	68
3.6.3	解析結果	68
3.7	温度分布についての解析	68
3.7.1	概 要	68
3.7.2	熱水系と地殻熱流量	69
3.7.3	サンカンペン地域の地熱系モデル	69
3.7.4	地層温度におよぼす浸透水の影響についての試算	69
3.7.5	G T E-7 の掘削により得られた地熱系モデル	70
3.8	総 括	71
4.	貯留層解析のための補足調査	94
4.1	概 要	94
4.2	フィンガープリント法地化学探査	94
4.2.1	調査方法	94
4.2.2	調査結果	95
4.2.3	判明した断裂構造	95
4.3	地下温度調査	96
4.3.1	温度調査孔の掘削	96
4.3.2	孔内温度測定	96
4.3.3	地温分布と断裂構造との関係	96
4.4	総 括	96
5.	G T E-8 の掘削および調査解析	102
5.1	掘削地点の選定	102
5.2	掘削状況	102

5. 2. 1	概 要	102
5. 2. 2	掘削作業	102
5. 3	坑井地質調査	106
5. 3. 1	概 要	106
5. 3. 2	地 質	106
5. 3. 3	変 質	106
5. 3. 4	フラクチャー	106
5. 4	坑井テスト	107
5. 4. 1	目 的	107
5. 4. 2	概 要	107
5. 4. 3	調査結果	108
5. 5	流体化学調査	109
5. 5. 1	概 要	109
5. 5. 2	調査結果	109
6.	貯留層評価	123
6. 1	目 的	123
6. 2	概 要	123
6. 3	結果および考察	125
Ⅲ.	調査結果の総括的評価	131
1.	貯留層の水理構造	131
2.	地熱開発の可能性	132

付 図

	Distribution Map of Geothermal Areas in Thailand	
	Location of Project Area	
Fig 1	OEC Specific Performance	135
Fig.1.1-1	Schematic Relationship between Hymalayan Orogetic Belt and Indosinian Orogenic Belt	18
Fig.1.1-2	Geological Column of San Kampaeng Area	26
Fig.1.1-3	Geological Map	27
Fig.1.1-4	Geological Profile	29
Fig.1.2-1	Flow Chart of Gravity Survey	31
Fig.1.2-2	Bouguer Anomaly	33
Fig.1.2-3	Underground Structure	35
Fig.1.3-1	Flow Chart of Magnetic Survey	37
Fig.1.3-2	Total Magnetic Intensity	39
Fig.1.3-3	Underground Structure	41
Fig.1.4-1	Flow Chart of Seismic Survey	43
Fig.1.4-2	Map of Estimated Reflector and Discontinuity (Line A)	45
Fig.1.4-3	Map of Estimated Reflector and Discontinuity (Line B.C)	47
Fig.1.5-1	Analysis Process of CSAMT Method and MT Method	49
Fig.1.5-2	Total Conductance	51
Fig.1.5-3	Two Dimensional Model Analysis (Section-1)	53
Fig.2.3-1	Total Conductance	55
Fig.2.3-2	Resistivity Profile (A)	57
Fig.2.3-3	Resistivity Profile (B)	58
Fig.3.1-1	Geothermal Model of the San Kampaeng Field	72
Fig.3.2-1	Drilling Chart of GTE-7	73
Fig.3.2-2	Casing Program of GTE-7	75
Fig.3.3-1	Compiled Column of GTE-7(1)	77
Fig.3.3-2	Compiled Column of GTE-7(2)	79

Fig.3.3 — 3	Compiled Column of GTE-7(3)	81
Fig.3.3 — 4	Compiled Column of GTE-7(4)	83
Fig.3.3 — 5	Compiled Column of GTE-7(5)	85
Fig.3.5 — 1	Temperature Logging Chart of GTE-7	87
Fig.3.5 — 2	Electrical Logging Chart of GTE-7	88
Fig.3.6 — 1	Comparison of MT Interpretation Result and Electrical Well Logging Result (GTE-7)	89
Fig 3.6 — 2	Flow Chart of Interpretation (2nd time)	90
Fig 3.6 — 3	Resistivity Map (SL=-1,000m)	91
Fig 3.7 — 1	Geothermal System Revised by Drilling Data of GTE-7	93
Fig 4.2 — 1	Flow Chart of Fingerprint Geothermal Survey	94
Fig 4.2 — 2	Point and Pattern of Fault Fractures	98
Fig 4.2 — 3	Gas Concentration Anomaly	99
Fig 4.3 — 1	Fault Structure and Temperature Pattern	101
Fig 5.2 — 1	Drilling Chart of GTE-8	113
Fig 5.2 — 2	Casing Program of GTE-8	115
Fig 5.3 — 1	Geological Column of GTE-8	117
Fig 5.3 — 2	Homogenized Temperature of GTE-8	119
Fig 5.4 — 1	GTE-8 Well Logging (Temperature, Pressure)	120
Fig 5.4 — 2	Characteristic Curve of Flow Rate of GTE-8	121
Fig 5.4 — 3	Change of Production on GTE-8 and GTE-6	122
Fig 6.2 — 1	Area of Reservoir Analysis	126
Fig 6.2 — 2	Conceptual Reservoir Model	127
Fig 6.2 — 3	Distribution of Permeability	128
Fig 6.2 — 4	Distribution of Initial Temperature	128
Fig 6.2 — 5	Distribution of Initial Pressure	128
Fig 6.2 — 6	Change of Reservoir Pressure and Temperature in Time in Production Zone	129

付 表

表－ 1	調査工程表	7
表－ 2	調査期間	9
表－ 3	調査団の構成	12
表－ 4	タイ側カウンターパート	14
表 1.1－ 1	東南アジアの地質概要	17
表 1.1－ 2	サンカンペン地域の構造区分	19
表 3.2－ 1	G T E－ 7 掘削作業総括	61
表 3.2－ 2	G T E－ 7 掘削工程実績	62
表 3.4－ 1	G T E－ 7 岩石物性測定結果	65
表 3.5－ 1	G T E－ 7 検層概要一覧	66
表 3.7－ 1	G T E－ 7 坑内温度マッチング結果	70
表 5.2－ 1	G T E－ 8 掘削作業総括	103
表 5.2－ 2	G T E－ 8 掘削工程実績	104
表 5.4－ 1	G T E－ 8 坑内検層および各種試験一覧	107
表 5.5－ 1	G T E－ 8 流体地化学調査作業工程	109
表 5.5－ 2	G T E－ 8 蒸気凝縮水分析結果	110
表 5.5－ 3	G T E－ 8、G T E－ 6 および E G A T－ 1 熱水分析結果	111

結

論

結 論

昭和57年度以降6年間に亘りJICAはEGATの緊密な協力の下で、サンカンペン地域における地熱開発計画調査を進めてきた。この間、GTE-7の掘削結果から期待通りの成果が得られず、調査期間はさらに延期されることになったが、GTE-8の掘削の結果および坑井内の諸調査の結果から貯留層の解析、評価に必要な資料が収集され、当計画調査が目的とするサンカンペン地域の地熱貯留層の評価および地熱開発の事前評価についての見解をまとめることが可能となった。

調査の結果を総括すると、サンカンペン地域の地熱貯留層から貯留層の圧力を維持する状態で約1,000 t/hの熱水の生産は可能であり、この熱水を用いてバイナリーサイクル方式による地熱発電を行った場合、5,000 kW程度の出力が見込まれる見通しが得られた。

但し、現状におけるバイナリーサイクル発電の経済性は熱水の多目的利用を考慮しない限りなお従来の方式による発電に比べコスト高になることは免れないので、バイナリーサイクル方式による発電が経済的になりつつ時期が到来するまで、本格的な開発調査を延期すべきであると結論される。

とはいえ、今回の計画調査により、サンカンペン地域の地熱貯留層の全貌が明らかとなり、一地域で少なくとも5,000 kW程度の出力が期待できる点の裏づけが得られたことは本計画調査の成果であると評価されるので、EGATが政策的観点から経済性のみに重点を置くことなく3,000~5,000 kW規模のバイナリーサイクル方式による地熱発電所の建設計画を進めようとする場合には、次に示すようなステップに従い開発調査を進める事が望ましい。

- ・ 設定された貯留層の区域内には3本の調査井(GTE-2、GTE-6、GTE-8)があるが、1,000 m以上掘削されたものはGTE-8のみである。今後、貯留層の実態を把握する上からいってさらに1,000 m以上の調査井を追加掘削する。
- ・ シリカ温度計を用い流体温度を推定した結果では160℃という値が得られた。GTE-8の流体温度は深度900 m台で125℃であったが、掘削地点を変えることにより、より高温の熱水が得られるものと期待される。
- ・ GTE-2、GTE-6、GTE-8の掘削結果から判断して、フラクチャーは東側に傾斜すると考えられる可能性が強い。このため次の調査井(GTE-9)は、より地熱徴候地に近づけ、かつ高温帯の中心を結ぶ線よりやや東側によせた附近に掘削地点を求めることが望ましいと思われる。掘削深度は1,500 mを目標とする。

- ・ G T E - 9 もまた G T E - 8 と同じように、多数の透水性に優れたフラクチャーに遭遇した場合には次の掘削地点 (G T E - 1 0) を G T E - 8 のむしろ東南側に移し、果してフラクチャーが存在するか否かを調査することが望ましい。G T E - 8 に加え、上記 G T E - 9 および G T E - 1 0 を掘削することにより、サンカンベン地域の地熱貯留層の実態がほぼ解明されるものと期待される。

- ・ 上記調査井掘削後、G T E - 8 の場合と同程度の坑内調査を始め坑井間の干渉試験等を行う必要がある。また、貯留層区域内の地質調査も補足的に行うことが必要である。

いま述べた 3,000~5,000kW 規模の発電所を建設する案の他に今回 G T E - 8 から噴出した熱水を利用し、200~300kW のデモンストレーションプラントを設置する案も想定される。

その理由は次のような考え方にもとづく。

- ・ これまで、全世界の非火山国の中で、地熱発電が行われているところはまだ知られていない。非火山国における地熱発電を実証する点、その場所がリゾートエリアとして整備され、観光客が増加している点、ホテル、レストランの電源として利用価値が望める点などを考えると、調査地域内に 200~300kW のバイナリーサイクル発電方式によるデモンストレーションプラントを建設することに十分価値を見出すことができる。

- ・ 発電に使用後の熱水はなお 60℃ 程度の温度を有するので、多目的に利用することが可能である。産業、農業、保養、観光方面等その利用面は広く、地域開発に貢献する点からいっても熱水の多目的利用は大いに推進すべきである。

- ・ 以上述べた理由により、サンカンベン地域に G T E - 8 より噴出する地熱流体を用い、200~300kW 規模の地熱発電所を建設する価値は十分あるといえることができる。

この案は、今回の計画調査の成果を具体的に生かそうとする発想から生まれたものであるが、3,000~5,000kW 発電計画の場合と同様、その経済性を見込む訳にはいかない。従って、この案を採用するかどうかはやはり E G A T の判断に委ねられることになるが、かりに採用された場合、現在、G T E - 8 から得られる熱水の生産量の範囲内で発電の規模を設定し、デモンストレーションプラントを建設することが、直接的であり、かつ効果的であるように思われる。

I. 総説

1. 本計画調査の背景

タイ王国は非火山国といわれているが、比較的温泉に恵まれ、国内の60以上の地点に温泉の存在が知られている。特に、タイ北部では水温70℃以上の高温泉が約20地点から湧出し、中でもサンカンペン (San Kampaeng)、ファン (Fan)、メチャン (Mae Chan)、パバエ (Pa Pae) そしてメチャム (Mae Cheam) 地域には沸騰泉の存在すら認められている。

タイ王国は、石油代替エネルギー開発の一貫として、地熱資源の開発に着目し、昭和52年(1977年)以降、タイ電力公社 (EGAT; Electricity Generating Authority of Thailand)、チェンマイ大学 (CMU; Chiang Mai University) および鉱物資源局 (DMR; Department of Mineral Resources) が中心となり調査団を組織して温泉地域の概査を行ってきたが、その結果をとりまとめ、いわゆる精査地域としてサンカンペンとファンの二地域を選定した。

本計画調査は、国際協力事業団 (JICA; Japan International Cooperation Agency) がタイ王国からの要請にもとづき、技術協力の一貫として、EGATの協力の下に上記二精査候補地域のうちサンカンペン地域において同地域の地熱貯留層を総合的に解析し、地熱開発の可能性を事前に評価することを目的として実施されたものである。

当初計画では、昭和57年度以降に広域地質構造解明のための第一次調査とJICA調査井掘削地点選定のための第二次調査、昭和58年度は上記調査結果の解析と掘削地点の選定、昭和59年度はJICA調査井の掘削とその結果にもとづく総合評価を行い、ファイナルレポートを作成して3ケ年に亘る地熱開発計画調査を終了する予定であったが、次に述べる理由により、調査期間が昭和62年度まで3カ年延長されることになった。

期間延長の理由は下記のとおりである。

- (1) JICA調査井 (GTE-7) の坑内温度が予想外に低く、坑内温度分布の解析結果から掘削地点は水の滲透地域に位置することが判明し、結果的に貯留層解析のために必要な資料が得られずに終わった。
- (2) 本計画調査の目的遂行のためには調査期間を延長し、貯留層解明のための補足調査を行う必要が生じたが、これにはEGATからの要請を受けて断層追跡調査と地下温度分布調査を実施することに決定した。
- (3) 上記補足調査の結果、地熱貯留層の存在範囲がほぼ明らかになり、かつEGATが貯留層確認のための調査井 (GTE-8) の掘削を行うことになったことから、この調査井を利用し、産出試験、プロダクション検層を行い、その結果にもとづき貯留層の解析さらに地熱開発事前評

価を折り込んだファイナルレポートを作成し、本開発計画調査を終了することが決定した。

以上述べたように、本計画調査の調査期間は当初計画より3カ年延長となったが、EGATのGTB-8の掘削の結果及び坑井内の諸調査の結果から貯留層の解析、評価に必要な資料が得られたので、ここに本計画調査が目的とするサンカンペン地域の地熱貯留層の評価および地熱開発の事前評価についての見解をまとめることが可能となった。

最終年度に実施したプロダクション検層等の結果から、サンカンペン地域における地熱資源は流体温度の点からみて蒸気発電は困難であるがバイナリーサイクル発電には十分利用可能である見通しが得られた。出力規模は5MW程度とみなされるが、現段階では発電コストが高くなり経済的になりたない点に問題がある。但し、最近この地域がリゾート地域として開発されているので、200～300KW程度のバイナリーサイクル方式によるデモンストレーションプラントを設け、非火山国における地熱発電を実証することと併せてリゾート地域の電力源として活用することが調査結果を生かす面からみて有効な方法であるように思われる。また、発電に使用後の熱水を多目的に利用することも地域開発に貢献するところ大なるものがあると思われる。

2. 本計画調査の目的

本計画調査の目的は、タイ国政府の要請にもとづき、国際協力事業団（JICA）が、タイ電力公社（EGAT）を始めチェンマイ大学（CMU）および鉱物資源局（DMR）の協力の下で、タイ王国北部のサンカンペン地熱地域において地質調査、物理探査、調査井の掘削を含む諸調査を実施し、その結果にもとづき、同地域の地熱貯留層を評価し、地熱開発の可能性についての見解をまとめることにある。

3. 調査地域の概要

調査地域は、タイ王国北部のチェンマイ州、サンカンペン地域にあり、チェンマイ市東方約30kmに位置する。調査地域は、北緯 $18^{\circ}45' \sim 18^{\circ}50'$ および東経 $99^{\circ}13' \sim 99^{\circ}17'$ の範囲を占め、その面積は約50km²である。

地熱徴候地は、調査地域の北西部のWat Pong Hom と Ban Pong Nok の中間にあり、多数の高温温泉の湧出によって特徴づけられる（Fig. 2）。

調査地域の西部には海拔500～650mのDoi Luang山地が、南部には海拔500～800mのMae Tha 山地がほぼ南北に走り、その間数kmに亘って海拔350～400mの平地が発達する。

4. 調査経過の概要

本計画調査は第一次調査から第三次調査に亘る手順で実施された。

第一次調査としては昭和57年度に地質構造の解明を目的として地質調査、重力調査、磁気調査およびテスト井を用いての予備的な坑内検層機の検証調査が実施された。

第二次調査は昭和57年度後半に計画され、上記の調査結果を踏まえ、調査井掘削地域の選定を目的として弾性波調査および深部電気探査（MT法）が実施された。

以上の調査結果から西部山地に近いBang Pong Nok 地域に地熱貯留層存在の可能性が認められたため、具体的な掘削地点を選定する必要上、第二次調査の補足調査として昭和58年度にMT法による深部電気探査の補足調査が実施された。

昭和59年度に計画された第三次調査は地熱貯留層の確認、評価を目的として1,500m級のJICA調査井（GTE-7）の掘削、物理検層およびコア調査が実施された。

掘削の結果としては地層が硬かったため1,227.34mで掘止めとなり、かつ割れ目に乏しくまた孔底温度も99.8℃程度にすぎず、この結果からサンカンペン地域の地熱貯留層を評価することは困難であると判断された。

このため、地熱貯留層の確認に重点を置き、EGATの協力の下に、昭和60年度に第三次調査の補足調査として断層追跡調査及び100m深度の地下温度調査が実施された。

上記調査の結果、地熱貯留層の存在範囲について有力な手掛りが得られたためEGATが調査井(GTE-8)を掘削することとなり、この調査井から得られる資料に基づき貯留層の評価を行うことが決定された。

EGATの調査井(GTE-8)は昭和61年度から62年度に亘って掘削され、昭和62年12月に深度1,049mで掘止めとなった。掘削中はしばしば割れ目に達し、かつ熱水を噴出したため深度915mから930mに亘るフィードゾーンを利用してプロダクション検層及び流量特性調査を実施し、地熱貯留層解析、評価のための基礎資料を収集した。

サンカンペン地域における地熱開発事前評価は上記の解析結果によりなされ最終的にファイナルレポートを作成し昭和62年度で本計画調査の全過程が終了した。

5. 本計画調査の工程と期間

昭和57年度から62年度に亘って実施された調査の工程と期間をそれぞれ表-1、表-2に示す。

6. 調査団の氏名

JICA調査団の構成員及びタイ側協力者の氏名を表-3、表-4に示す。

表一1 調查工程表

[illegible]

凡例：—— 事前準備期間。■ 現地調査期間。□ 国内作業期間。△——△ 報告書等の説明。▨ カウンターパートの作業。

表-2 調査期間

調査項目		期 間	現 地 調 査	国 内 解 析
第 一 次 調 査	地 質 調 査		自 S.5 7. 7. 6 至 S.5 7. 8. 5 } 31日間	自 S.5 7. 8. 1 7 至 S.5 8. 3. 3 1
	重 力 探 査		自 S.5 7. 1 1. 1 至 S.5 7. 1 2. 2 8 } 58日間	自 S.5 8. 1. 4 至 S.5 8. 3. 3 1
	磁 気 探 査		自 S.5 7. 1 1. 1 至 S.5 7. 1 2. 2 8 } 58日間	自 S.5 8. 1. 4 至 S.5 8. 3. 3 1
	モデルテスト井の 検層と技術指導	(第1回目)	自 S.5 7. 7. 2 8 至 S.5 7. 8. 1 6 } 20日間	—
		(第2回目)	自 S.5 8. 1. 2 3 至 S.5 8. 2. 1 } 10日間	
第 二 次 調 査	深 部 電 気 探 査		自 S.5 8. 1. 4 至 S.5 8. 2. 2 2 } 50日間	自 S.5 8. 6. 1 至 S.5 8. 9. 3 0
	弾 性 波 探 査		自 S.5 8. 1. 4 至 S.5 8. 3. 3 1 } 87日間	自 S.5 8. 4. 1 至 S.5 8. 9. 8
	調査井データの収集		自 S.5 8. 6. 1 5 至 S.5 8. 6. 2 4 } 10日間	
	ドラフトテクニカル レポート現地説明		自 S.5 8. 1 0. 1 7 至 S.5 8. 1 0. 2 3 } 7日間	—
第補 二次調 査	深 部 電 気 調 査		自 S.5 9. 1. 1 0 至 S.5 9. 2. 8 } 30日間	自 S.5 9. 2. 1 5 至 S.5 9. 3. 2 0
第 三 次 調 査	調 査 井 掘 削 (GTE-7)	(事前調査)	自 S.5 9. 5. 9 至 S.5 9. 5. 1 8 } 10日間	自 S.6 0. 3. 1 1 至 S.6 0. 3. 2 3

調査項目		期 間	現 地 調 査	国 内 解 析
第 三 次 調 査	調 査 井 掘 削 (GTE-7)		(掘 削) 自 S.5 9. 6. 5 至 S.6 0. 3. 8 } 261 日間	
	物 理 検 査 (GTE-7)		(検層機器整備) 自 S.5 9. 6. 2 1 至 S.5 9. 6. 2 9 } 9 日間	自 S.6 0. 3. 1 1 至 S.6 0. 3. 2 3
			(第 1 回目) 自 S.6 0. 1. 7 至 S.6 0. 1. 1 6 } 1 0 日間	
			(第 2 回目) 自 S.6 0. 2. 2 5 至 S.6 0. 3. 8 } 1 2 日間	
	コ ア 調 査 (GTE-7)		自 S.6 0. 2. 1 2 至 S.6 0. 3. 8 } 2 5 日間	自 S.6 0. 3. 1 1 至 S.6 0. 3. 2 3
第 三 次 調 査 ・ 補 足 調 査	掘削装置の解体		自 S.6 0. 8. 2 6 至 S.6 0. 9. 2 1 } 2 7 日間	—
	撤収指導		自 S.6 0. 1 0. 2 8 至 S.6 0. 1 2. 5 } 3 9 日間	自 S.6 0. 1 2. 2 3 至 S.6 1. 2. 8
	断層追跡調査		自 S.6 0. 8. 5 至 S.6 0. 1 0. 1 5 } 7 2 日間	—
	100m地下温度調査		自 S.6 1. 3. 1 1 至 S.6 1. 3. 1 5 } 5 日間	—
	中間報告書説明		—	—
	物 理 検 査		—	自 S.6 0. 9. 3 至 S.6 0. 9. 2 0
	深部電気探査 弾性波探査		—	自 S.6 0. 9. 3 至 S.6 0. 1 0. 7

調査項目	期 間	現 地 調 査	国 内 解 析
第 三 次 調 査 ・ 補 足 調 査	掘 削 指 導 (GTE-8)	(第1回目) 自 S.6 1.1 1.1 0 至 S.6 2. 3.2 0 } 131 日間	
		(第2回目) 自 S.6 2. 5.2 5 至 S.6 2.1 2.2 3 } 213 日間	
	地 質 調 査 (GTE-8)	(第1回目) 自 S.6 2. 3. 4 至 S.6 2. 3.2 0 } 17 日間	
		(第2回目) 自 S.6 2.1 0. 4 至 S.6 2.1 0.2 0 } 17 日間	
	坑 内 検 層 (GTE-8)	自 S.6 2. 3. 4 至 S.6 2. 3.2 0 } 17 日間	
	坑 井 試 験 (GTE-8)	自 S.6 2.1 0. 4 至 S.6 2.1 0.2 0 } 17 日間	
	噴 気 特 性 試 験 (GTE-8)	自 S.6 2.1 0.1 1 至 S.6 2.1 0.2 0 } 10 日間	
	貯留層解析およびフ ァイナルレポートの 作 成		自 S.6 2. 8.2 0 至 S.6 2. 9.1 9 自 S.6 2.1 1. 2 至 S.6 2.1 1.2 4 自 S.6 3. 1. 5 至 S.6 3. 1.2 3 自 S.6 3. 2.2 3 至 S.6 3. 2.2 5
	フ ァ イ ナ ル レ ポ ー ト の 説 明	自 S.6 3. 2.1 5 至 S.6 3. 2.1 9 } 5 日間	

表-3 調査団の構成

担当調査	調査段階	氏名	所属機関
団長	第一～第三次	中村久由	日本重化学工業㈱
地質調査	第一～第三次	若林健介	三井金属資源開発㈱
	同上	田上勇吉	同上
	同上	井出俊夫	日本重化学工業㈱
重力探査	第一次	木村美紀夫	三井金属資源開発㈱
同上及び微気探査	第一～第三次	三好福次郎	三井金属資源開発㈱
物理検層	第一次及び第三次	武山孝夫	開発工業㈱
	第一次～第三次	小原幸正	日本重化学工業㈱
深部電気探査	第一～第二次	野淵和久	日本重化学工業㈱
	第二～第三次	高杉真司	同上
	同上	関純夫	同上
弾性波探査	第一～第二次	有部明	宇部興産㈱
	同上	野原和良	同上
	同上	河村虹児	同上
	同上	鈴川俊道	同上
	同上	堀敬史	同上
	第二～第三次	高杉真司	日本重化学工業㈱
掘削	第三次	上村尚	日鉄鉦コンサルタント㈱
	同上	昆盛	同上
	同上	藤井究哉	同上
	同上	草野章平	同上
	同上	畠山悦雄	同上
	同上	藤貫秀宣	同上
断層追跡調査	第三次	柴田精久	三井金属資源開発㈱
	同上	福田宗弘	同上
	同上	井出俊夫	日本重化学工業㈱

担 当 調 査	調 査 段 階	氏 名	所 属 機 関
噴 気 特 性 試 験	第 三 次	藤 井 幸 夫	日本重化学工業㈱
坑 井 試 験	第 三 次	小 原 幸 正	日本重化学工業㈱

表 - 4 タイ側カウンターパート

調 査 名	氏 名	所 属 機 関
全 般	Mr. Chaya Jivacate	EGAT
	Mr. Chai-Asa Bhotirungsiyakorn	EGAT
	Mrs. Amara Atibodhi	EGAT
	Dr. Kamol Takabut	EGAT
	Mr. Kiatichai Patikornsilp	EGAT
	Mr. Songkeat Limsiri	EGAT
	Mr. Chayant Nakswat	EGAT
	Mr. Somchai Wongpornpaxdee	EGAT
	Prof. Tavisakdi Ramingwong	CMU
	Mr. Amnuaychai Tienprasert	DMR
地 質 調 査	Mr. Surachai Praserdvigai	EGAT
	Mr. Adichat Surinkum	DMR
	Mr. Prapat Sophonpongphipat	DMR
物 理 探 査	Mr. Surachai Praserdvigai	EGAT
	Mr. Visit Coothongkul	EGAT
	Mr. Precha Laochu	DMR
	Mr. Pairoj Pangpolsumrit	DMR
	Mr. Wanchai Prasartkhetwittaya	EGAT
	Mr. Suebsak Solgosoom	DMR
	Mr. Suthep Lertsrimongkol	EGAT
坑 内 検 査	Mr. Jirakom Patumanond	EGAT
	Mr. Buncha Kongsupapkul	EGAT
	Mr. Ekachai Sinratanpakdee	EGAT
	Mr. Pramual Wongpunga	EGAT
	Mr. Sommart Siri	EGAT

調 査 名	氏 名	所属機関
掘 削	Mr. Wanchai Silapanon	EGAT
	Mr. Puchong Chinpongsanond	EGAT
	Mr. Surachai Praserdvigai	EGAT
	Mr. Wanchai Prasartkhetwittaya	EGAT
	Mr. Udom Kunarak	EGAT
	Mr. Songsak Bhaddee	EGAT
	Mr. Patana Hutakorn	EGAT
	Mr. Tanit Songchan	EGAT
	Mr. Prasert Kidchalard	EGAT
	Mr. Pratueng Nokyoongtong	EGAT
	Mr. Sompis Boonpairote	EGAT
	Mr. Phadung Dangkongko	EGAT
	Mr. Thavorn Jangsri	EGAT
化 学 調 査	Mrs. Nitiya Petchpaibool	EGAT

その他の協力メンバー

専 門	氏 名	所属機関
化 学	Associate Prof. Benjavun Ratanasthien	CMU
地 質	Assistant Prof. Charn Tantisukrit	CMU
物 理 探 査	Associate Prof. Kitichai Wattananikorn	CMU
地 質	Assistant Prof. Surapong Lerdtusnee	CMU

EGAT : Electricity Generating Authority of Thailand

DMR : Department of Mineral Resources

CMU : Chiang Mai University

Ⅱ. 調 査 内 容

1. 広域調査

1.1 地質調査

1.1.1 概 要

(1) タイ王国の地質構造的背景

サンカンペン地熱地域を含むタイ国北部は、インドシナ半島のほぼ中央部に位置する。

タイ国を含む東南アジアの地質は、次のように概括される（表 1.1-1）。

表 1.1-1 東南アジアの地質概要

構 造 区 分			地 域	時 代
ヒマラヤ期造山帯			ビルマ西半部～アンダマン諸島 ～スマトラ島～ジャワ島	白亜紀～第四紀
インドシナ プラットフォーム	Indosinia	インドシニア期造山帯	インドシナ山脈（中国南部、ビルマ東半部、ラオス、ベトナム、大部分のタイ、マライ半島）	二畳紀～ジュラ紀 （主に三畳紀）
	Annamia	ヘルシニア期造山帯	インドシナ半島（北東タイ、ラオス、カンボジア、ベトナム）	古生代後期 （主に石炭系）
	Kraton	変成基盤岩類	同上	先カンブリア紀～ 古生代初期

すなわち、東南アジアの地質構造は変成岩類を基盤とし、ヘルシニア期、インドシニア期およびヒマラヤ期の造山帯が順次外側に付加する形で発展してきた。

サンカンペン地域を含むタイ北部の地熱地帯はインドシニア造山帯に属し、インドプレートの沈み込み（サブダクション）による圧縮を広域的にうけているとともに、アンダマン海の拡大による引っ張り応力場の影響もうけているものとみられる（Fig. 1.1-1）。

アンダマン海の拡大の中心軸はNE-SW性であり、NS性の右横ずれ断層によってきられ、多少位置のずれと拡大の強さは弱まるもののタイ国北部にまで延びている可能性が強い。この拡大に伴う引張応力場が、断裂の形成と高温のマントル物質の上昇およびそれに伴う高熱量をもたらしていると考えられる。

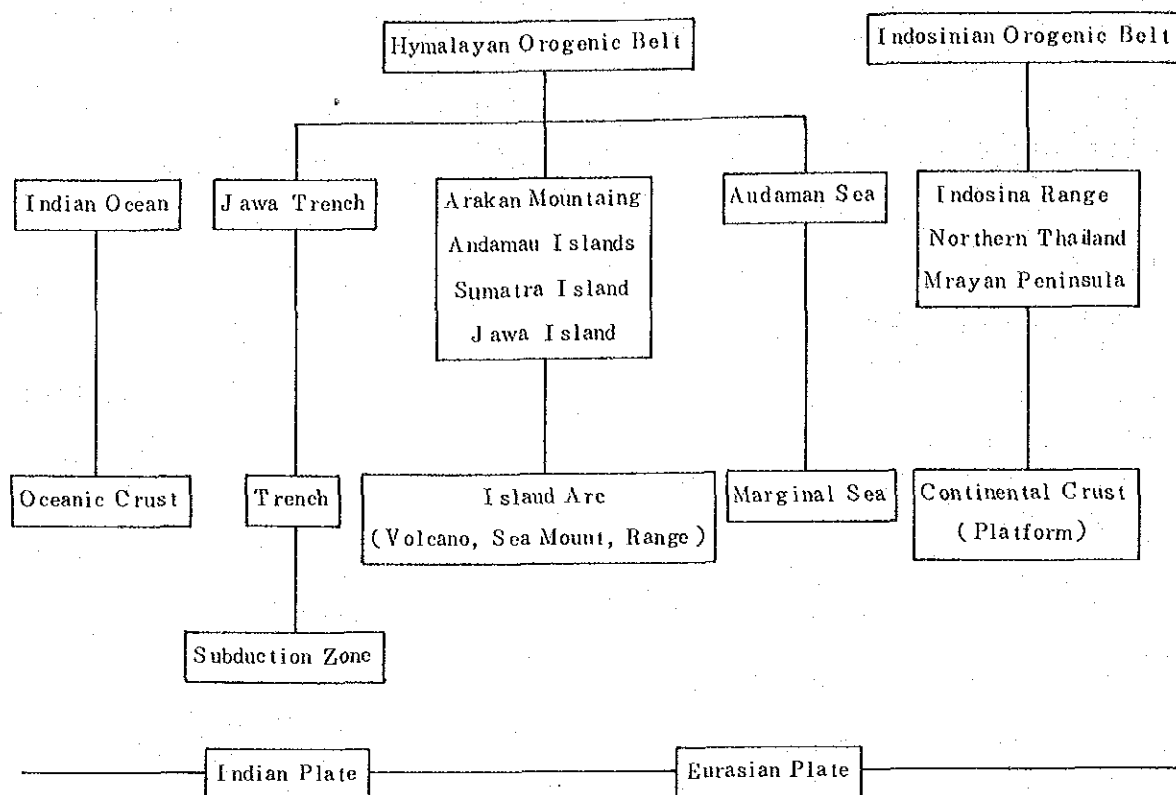


Fig. 1.1-3 Schematic Relationship between Himalayan Orogenic Belt and Indosinian Orogenic Belt

(2) 調査概要

地質調査は、面積 50 Km²、ルート長約 9.5 Km にわたって実施された。調査にあたっては、主要ルートの路線地質調査および変質帯調査もこれに加えられた。

岩石の分析・測定としては顕微鏡観察・化石鑑定・年代測定・X線回折分析がとり上げられ以上の調査・分析にもとづいて、地質図・地質断面図・変質分帯図等を作成し、地熱貯留層構造の解析を実施した。

1.1.2 地質層序

サンカンベン地域を構成する地層は、下位から石炭紀の Mae Tha 層、二疊紀の Ratoburi 層群中の Kiu Lom 層、三疊紀の花崗岩類および第四紀の沖積層からなる (Fig. 1.1-2)。

Mae Tha 層は、地域の西部山地および東部山地に分布する。主として中密質、堅硬な白色塊状の中粒砂岩からなり、東部山地では黒色頁岩薄層を挟有する。

Kiu Lom 層は、両側を Mae Tha 層に挟まれた形で地域中央部をしめて、ほぼ NNW-SSE 方向の広い範囲に分布する。本層は、その岩相から下部の堆積岩類 (砂岩、頁岩、石灰岩、チャート等)、中部の石灰岩・火山岩類 (玄武岩溶岩、同質凝灰岩等) および上部の火山岩

類（玄武岩類）に3区分される。

花崗岩類は、調査地域の北東部に分布し、長石の斑晶の大きい黒雲母花崗岩である。

本岩のK-Ar法による年代測定結果は、 $212 \pm 10 \text{ m.y.}$ であり、その貫入の時期は三疊紀末に相当する。

沖積層は地域中央部の低平地に分布し、周辺の岩石から供給された砕屑物からなり、その層厚は10m程度である。

1.1.3 地質構造

(1) 構造区分

本地域は、主要断層によって構造的にDoi Luang隆起帯、Ban Pong Hom沈降帯およびMae Tha 隆起帯に3区分される（Fig. 1.1-3、4）。これらの構造帯を境しているのは、Huai Pong 断層とHuai Mae Koen 断層であり、いずれもNNW-SSEの正断層である（表1.1-2）。

表 1.1-2 サンカンペン地域の構造区分

項 目	Doi Luang 隆起帯	Ban Pong Hom 沈降帯	Mae Tha 隆起帯
地 形	西部山地	中央低地	東部山地
地 層	Mae Tha 層：塊状砂岩	Kiu Lom 層：砂岩・頁岩・石灰岩・玄武岩	Mae Tha 層、Kiu Lom 層、花崗岩
褶 曲	NW-SE性断層、密だが傾斜緩い	同斜構造、 $50-80^\circ$	N-SないしNW-SE性
断 層	NW-SE、EW、NS性断層、EW性節理	NNE-SSW、NNW-SSE、NW-SE性	NNW-SSE性卓越

1.1.4 変質帯

地熱徴候地を中心とする約2Km²の地域について変質帯調査を行い、採取した試料についてX線回折分析を行い変質鉱物を同定した。変質帯はGTE-2を中心として、EW方向の延びを示す。内側から外側に向かってアルナイト帯→カオリン帯→カオリン・モンモリロナイト帯→モンモリロナイト帯→ハロイサイト帯の順に累帯配列を示す。

1.1.5 坑井地質および温度分布

サンカンペン地域では、これまでEGATにより地温分布調査を目的とした10m級ボーリング、地温分布と構造調査をかねた100m級ボーリングおよび500m級地熱調査井が掘削されてきた。ここでは、500m級地熱調査井の地質と温度分布について述べる。

(1) GTE-1

地域南東部のEGAT CAMP付近に位置し、深度は500mである。

地質は、Kiu Lom 層上部の玄武岩が主体をなす。本坑井の最高温度は深度462mにおける80.4℃であり、温度勾配は12.0℃/100mである。

(2) GTE-2

Wat Pong HomとBan Pong Nokのほぼ中間で地熱徴候地内に掘削され、深度は500mである。地質はKiu Lom 層下部の堆積岩類で、シルト岩、頁岩、石灰岩の互層からなる。掘削直後の坑内温度分布をみると、深度300m付近でもっとも高く約106℃を示すが、それ以深ではむしろ温度が低下する。

(3) GTE-3

GTE-2の約2.5km東方で、Wat Nong Noi近傍に位置する。地質は、Kiu Lom 層上部の玄武岩質凝灰岩で、細粒で密な岩質で、フラクチャーに乏しい。深度160m付近までの温度はほぼ60℃と一定であり、地温勾配は他の坑井に比べて非常に小さい。

(4) GTE-4

GTE-1の約1.4km北西の地点で、深度は500mである。地質は、深度0-302.5m間は安山岩質凝灰岩と玄武岩質安山岩(Kiu Lom層中部)を主体とし、深度302.5-500m間は砂岩・頁岩互層(Kiu Lom層下部)からなる。最高温度は深度164mで44℃で、温度分布は直線的に上昇しており、熱伝導型であることを示している。

(5) GTE-5

GTE-2の約750m北東方の地点で、地熱徴候地に隣接し、深度は500mである。地質

は Kiu Lom 層下部の堆積岩類で、砂岩、頁岩、チャート、安山岩質凝灰岩等からなる。温度分布は典型的な熱伝導型で、温度勾配は $12^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ と比較的大きい。

(6) GTE-6

GTE-2 の南東 690m の地点で、深度は 489m である。地質は頁岩・砂岩互層 (Kiu Lom 層) からなる。流体温度はフラクチャーに到達した坑底付近で 118°C を示す。

1.2 重力探査

1.2.1 概要

現地調査は、面積 50km^2 内に測点 230 点を設けて行った。測点は水準測量により、位置を決定した。重力基点 No. 1000 は、EGAT CAHP の西方 100m に設置し、重力基準値として、 $S.V = 978,497.981\text{mgal}$ とした。調査にあたっては、密度測定用の岩石試料を採取した。室内解析として、密度測定、重力値の補正、データコンパイル、等重力線図の作成、フィルター処理等を行った (Fig. 1.2-1)。

1.2.2 調査結果

密度測定の結果、調査地域の岩石は高密度層 ($2.9\text{g}/\text{cm}^3$ 以上)、中密度層 ($2.6-2.7\text{g}/\text{cm}^3$) および低密度層 ($2.55\text{g}/\text{cm}^3$) に 3 区分される。

重力分布の等値線は、全体的にみて NS 性を示す (Fig. 1.2-2)。東部は重力変化の少ない高重力域で、Kiu Lom 層上部の玄武岩類が分布する。東部の南北に連続する等値線の密な配列は、Huai Mae Khu Ha 断層に相当する。西部は重力変化の少ない低重力域で、Kiu Lom 層下部の頁岩、チャート、砂岩等が分布する。地熱徴候地は、この大きな NS 性の低重力域の内部に位置する。

重力断面は、密度の 3 層構造にもとづいて解析した。

1.2.3 重力分布と地下構造

本地域は、重力分布からみて東から西に向って Mae Tha 低重力帯、東部高重力帯、西部低重力帯および Doi Luang 高重力帯に 4 区分される (Fig. 1.2-3)。

Mae Tha 低重力帯は、Mae Tha 層の砂岩と Kiu Lom 層の頁岩が分布し、Huai Mae Koen 断層によって東部高重力帯と接している。東部高重力帯は、Kiu Lom 層上部の玄武

岩類が分布し、NS性の広い高重力域を形成している。西部低重力帯は、Kiu Lom 層中部の石灰岩層から西側で、Huai Pong 断層によって Doi Luang 高重力帯に接している。

Doi Luang 高重力帯は、Mae Tha 層の砂岩からなる。

1.3 磁気探査

1.3.1 概 要

現地調査において、901点の磁気測定、9箇所の In-situ の帯磁率測定および84個の岩石試料を採取した。磁気基点はEGAT CAMP に設置し、磁気基準値は43,556 γ と定めた。磁気測定値には、日変化補正を施した。

日変化補正値にもとづいて全磁力図等を作成し、スペクトル解析、モデル計算、断面解析を行った (Fig. 1.3-1)。

1.3.2 調査結果

帯磁率測定の結果によると、本地域の帯磁率はばらつきが大きく、 $2 \sim 13 \times 10^{-6}$ cgsemu/cc 程度である。

磁気分布における正・負の異常は、閉じた等値線としてあらわされるが、これらの異常は断層の周辺に分布する傾向にある。

1.3.3 磁気分布と地下構造

本地域は、磁気分布の特徴から東部、中部および西部に3区分される (Fig. 1.3-2, 3)。解析された磁性体は中部地域に多く、Ban Mae Khu Ha断層、Huai Wai 断層周辺に集中する。磁性体は、断層に沿う火成岩体の貫入が推定される。

地熱徴候地周辺の地層は磁性のきわめて弱い堆積岩類であり、地熱活動に起因する消磁体の検出は困難である。

1.4 弾性波探査

1.4.1 概 要

現地調査において、地熱徴候地を中心にして5測線を設定した。測線の総延長は14,225

Km、発破孔数は 315 孔である (Fig. 1.4-1)。

1.4.2 解析方法

(1) データ処理

静補正用の屈折法解析および浅層速度層把握のための屈折法 3 層構造計算を行った。

水平 6 重合法処理を行い、重合記録の周波数分布解析、S-N 比分布解析、回折源分布解析を実施した。

(2) 解 析

周波数解析断面、反射波振幅断面図を作成した。

(3) 解 釈

処理断面から、反射面、反射面の縦方向の不連続、低周波数卓越帯域等の抽出を行い、断層・地層面等の構造を推定した (Fig. 1.4-2、3)。

1.4.3 判明した地下構造

各測線について、明瞭な反射面と、反射面の縦方向の不連続が抽出された。周波数解析断面図から、低周波数卓越域を抽出した。

1.5 深部電気探査

1.5.1 概 要

第 2 次調査では、深部電気探査として MT 法および CSAMT 法による比抵抗探査を実施したが第 2 次調査の解析により明らかとなった低比抵抗地域を中心に第 3 段階調査では、調査井掘削地点選定のために補足調査を行った。測点数は、第 2 次調査で 33 点、補足調査で 20 点の合計 50 点であった。MT 法での観測成分は、地下における自然の電場 2 成分 (E_x 、 E_y) および磁場 3 成分 (H_x 、 H_y 、 H_z) であり、CSAMT 法の観測成分は、ループにより誘起される磁場 2 成分 (H_x 、 H_z) および電場 1 成分 (E_y) である。

MT 法の現地調査は、測点の選定→測定準備→測定の順序で行った。測定に当っては、測点上でたがいに直交する長さ 200m の 2 測線を設定し、自然の電磁場を測定した。

CSAMT 法の現地調査は、1kW 発電機を用い発電したのち、トランスミッターで電流を一边が約 300m の正方形ループから約 700~1,500m 離れた場所に受信器を設置し、 H_x 、

H_y、E_yの各センサーによって信号を受信した。

1.5.2 解析結果

調査から得られたデータにもとづき1次元モデル解析を行い、トータルコンダクタンス分布図、電気的基盤図等を作成し、それらの中の、導電性異常地域について2次元モデル解析を行った(Fig 1.5-1)。

1.5.3 判明した比抵抗構造

第2次調査の解析結果から見掛け比抵抗分布(Fig 1.5-2)、トータルコンダクタンス分布、導電性地層頂部形状、高比抵抗被覆層アイソパック、電気的基盤の形状等の比抵抗構造に関する資料が得られた。

調査地域は、全体として見掛け比抵抗がかなり高い。しかし、Ban Pong Homを中心とする地熱徴候地およびGTE-1をふくむ地域南東部は、低比抵抗分布域である(Fig 1.5-3)。

このうち、地熱徴候地はトータルコンダクタンスが200mho以上の高導電性地域であり、貯留層の範囲が比抵抗分布により明瞭にあらわされている。又、補足調査結果から、200mho以上の高コンダクタンスの分布、5Ω-m以下の低比抵抗帯の分布が地質構造、地下温度の分布を調和的であることが判明した。

1.6 地化学調査

タイ側によりなされた地化学調査の結果を要約すると次の通りである。

1.6.1 熱水の化学分析

熱水の化学成分はNa-HCO₃-SO₄型に属し、溶存固形物総量が1,500mg/ℓ以下と非常に少ないことが特徴である。化学成分の解析の結果、次のことが明らかになった。

- ① 貯留層の熱源として、マグマからの火山ガスや高温の水蒸気が直接の源であるとは考えにくい。
- ② トリチウム濃度の分析から4.5および9.0 TUの値がえられ、本地域の熱水は30年前のやや古い年代であることが推定された。
- ③ 温泉の化学分析から、シリカ温度として159℃、Na-K温度として176℃、Na-K-Ca温度として192℃と207℃の値がえられた。

1.6.2 水理調査

水理調査から、本地域の天水供給量は 150×10^4 kg/day/km²と見積もられた。

1.6.3 地化学探査

地化学探査として、CO₂、Hg、Rnの各ガス濃度探査が行われた。その結果、地熱徴候地における高ガス濃度の確認、断層との関係が把握された。

Geological Unit		Stratigraphic Column	Thickness (m)	Description
Quaternary				Alluvial, terrace deposit
Triassic				Porphyritic granite batholith
Permian	Rathuri Group	Kiu Lon Formation	6,500 ⁺	
		Upper		
		Middle		
		Lower		
Carboniferous			1,600 ⁺	

Fig. 1.1-2 Geological Column of San Kampaeng Area

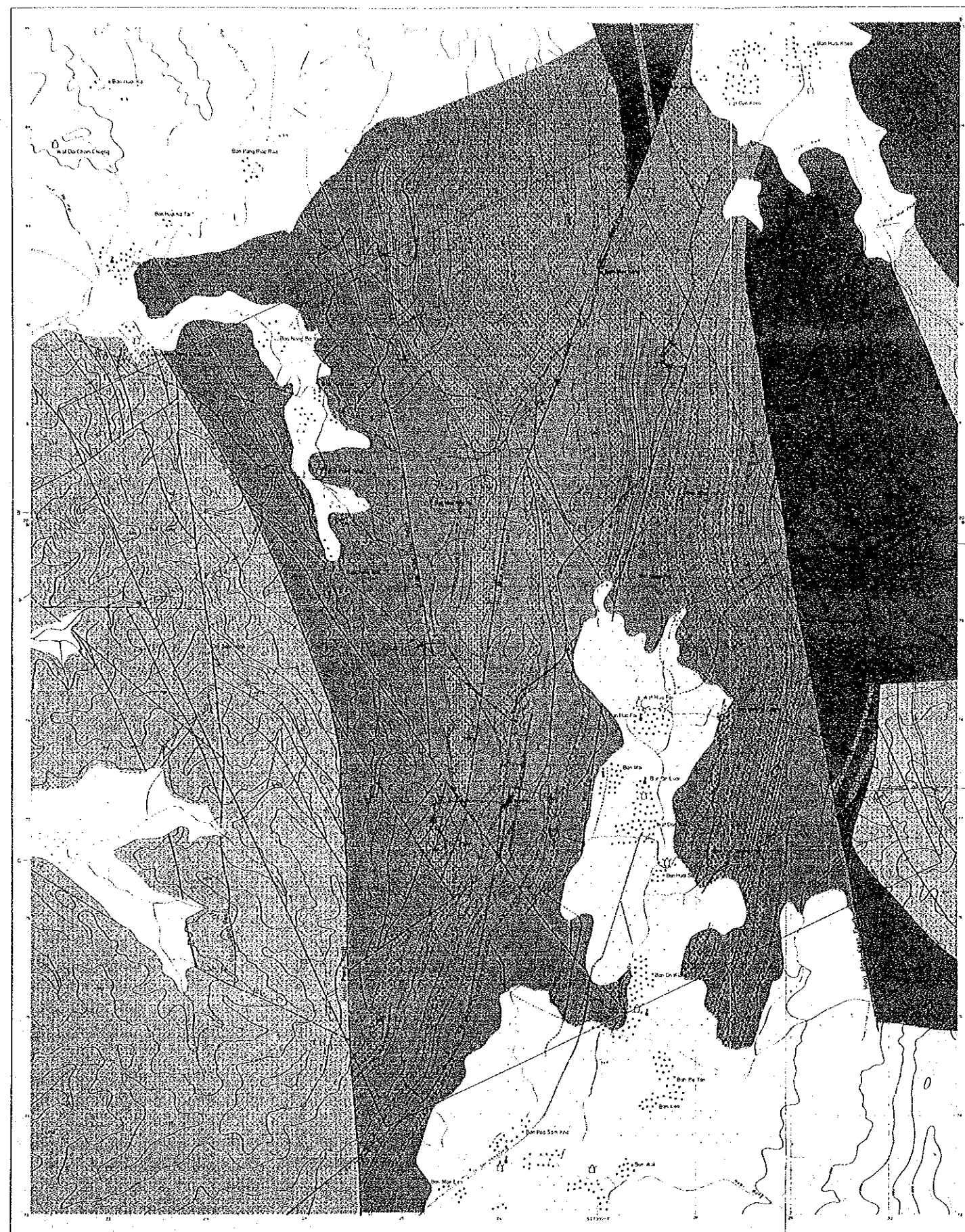
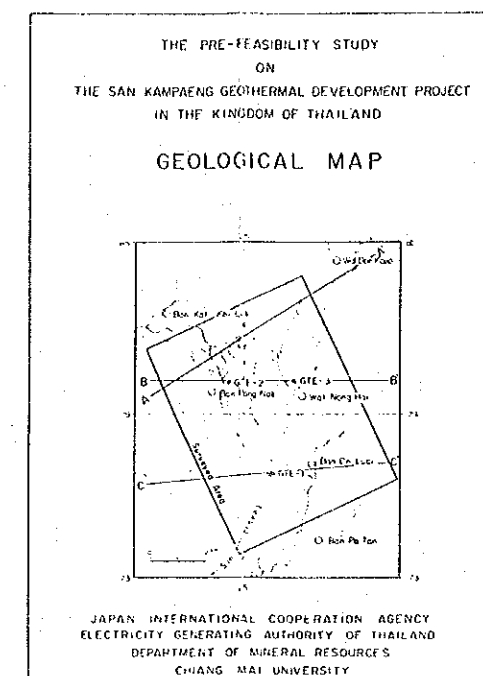


Fig. 1.1-3 Geological Map



LEGEND

Quaternary	Alluvial deposit
	Basaltic tuff
	Basaltic tuff breccia, Lapilli tuff
	Basalt
	Shale
	Siltstone > Sandstone
Permian	Sandstone
Kiu Lam Formation	Chert
	Sandstone > Chert
	Chert > Sandstone
	Shale > Sandstone > Chert
	Limestone
Carboniferous	Shale
Mae Tha Formation	Sandstone
	Porphyritic granite
	Bedding plane
	Joint
	Fracture
	Quartz vein
	Fault
	Anticline axis
	Syncline axis
	Structure line
	Location of geological Profile

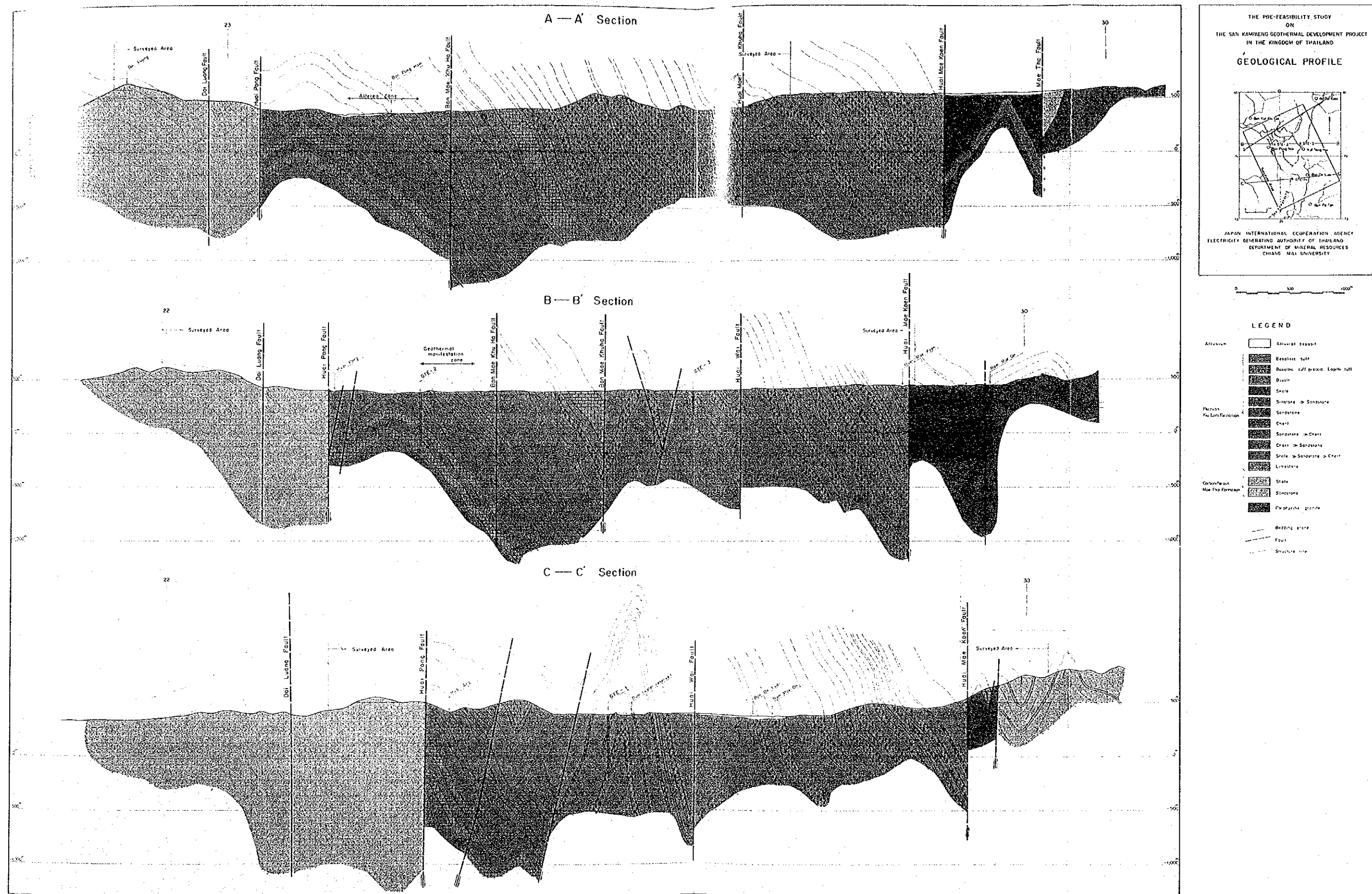


Fig. 1.1-4 Geological Profile

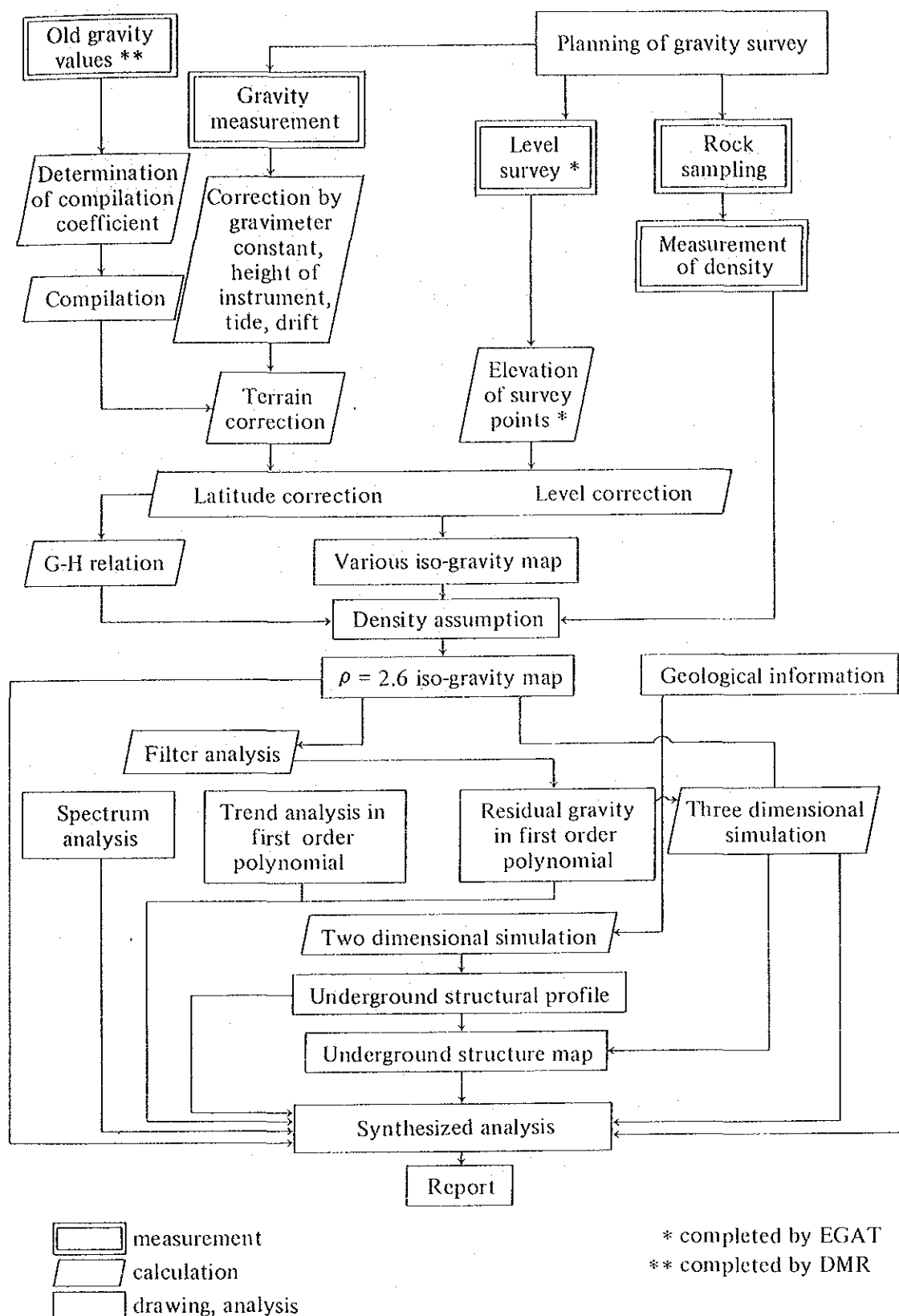
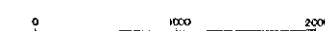
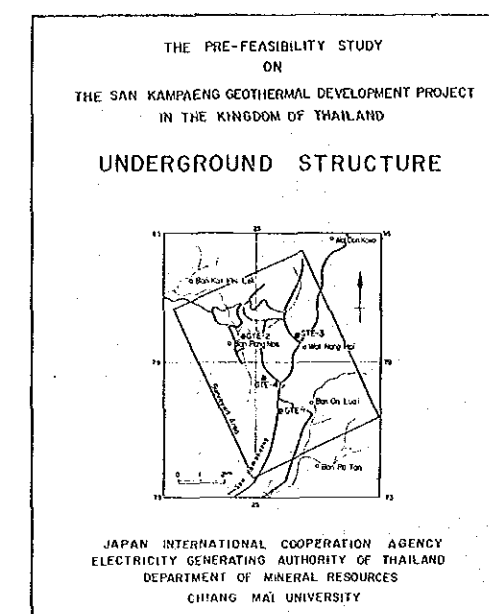
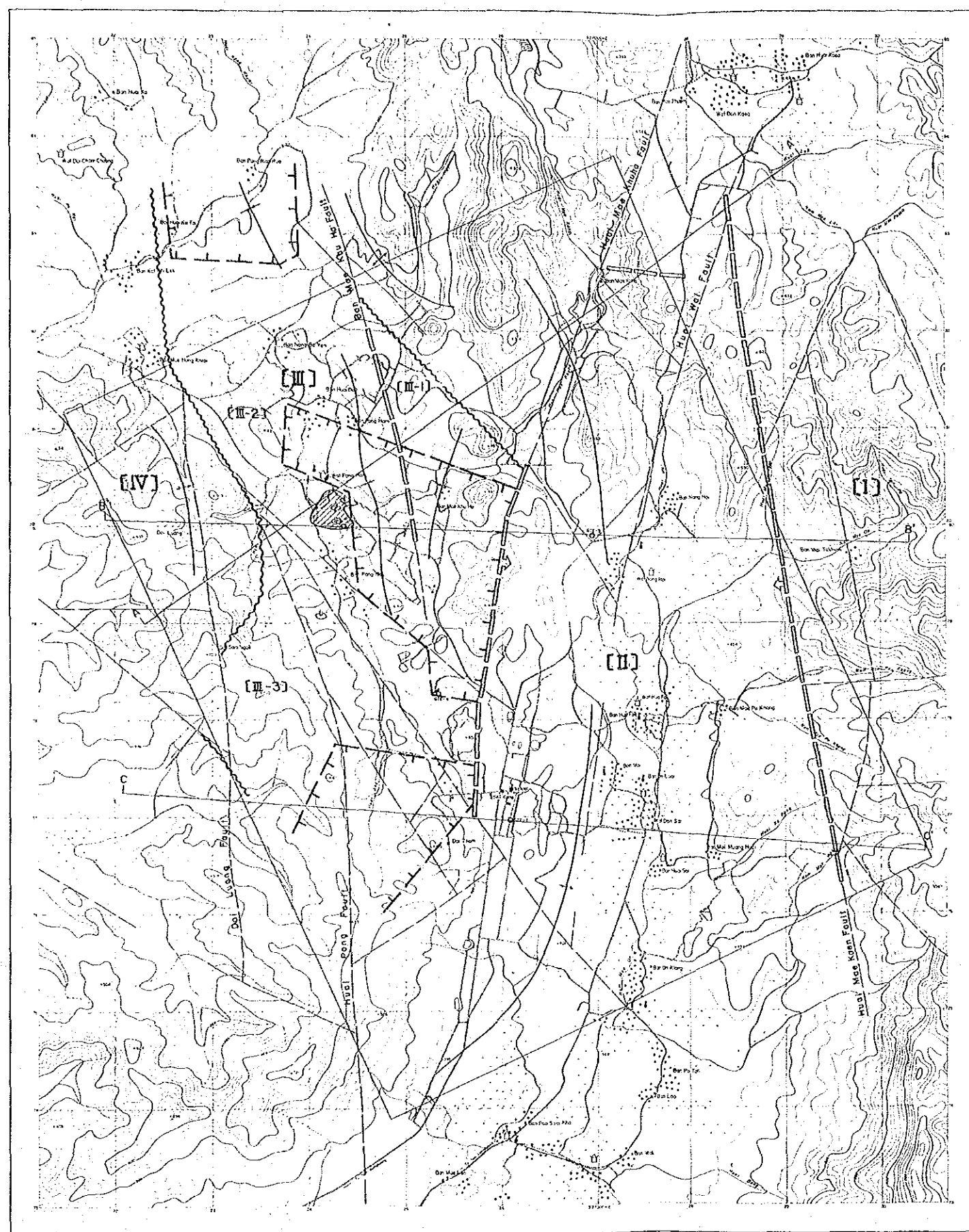


Fig. 1.2-1 Flow Chart of Gravity Survey



LEGEND

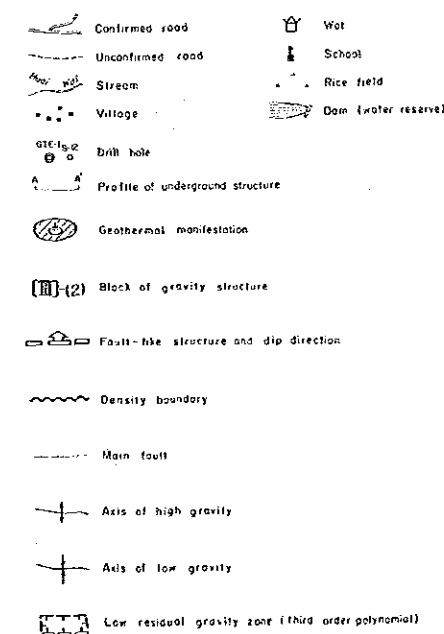


Fig. 1.2-3 Underground Structure

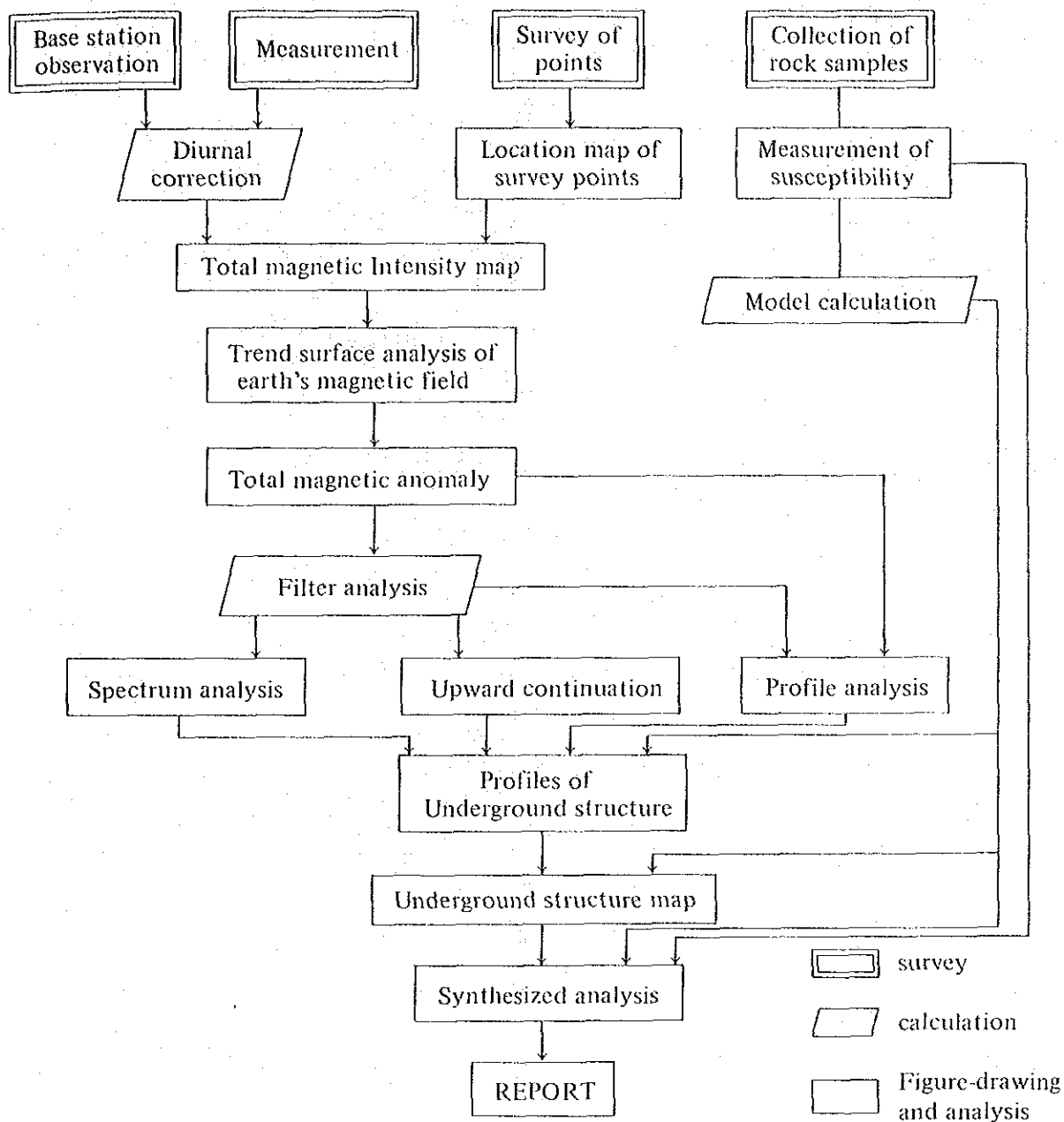


Fig. 1.3-1 Flow Chart of Magnetic Survey

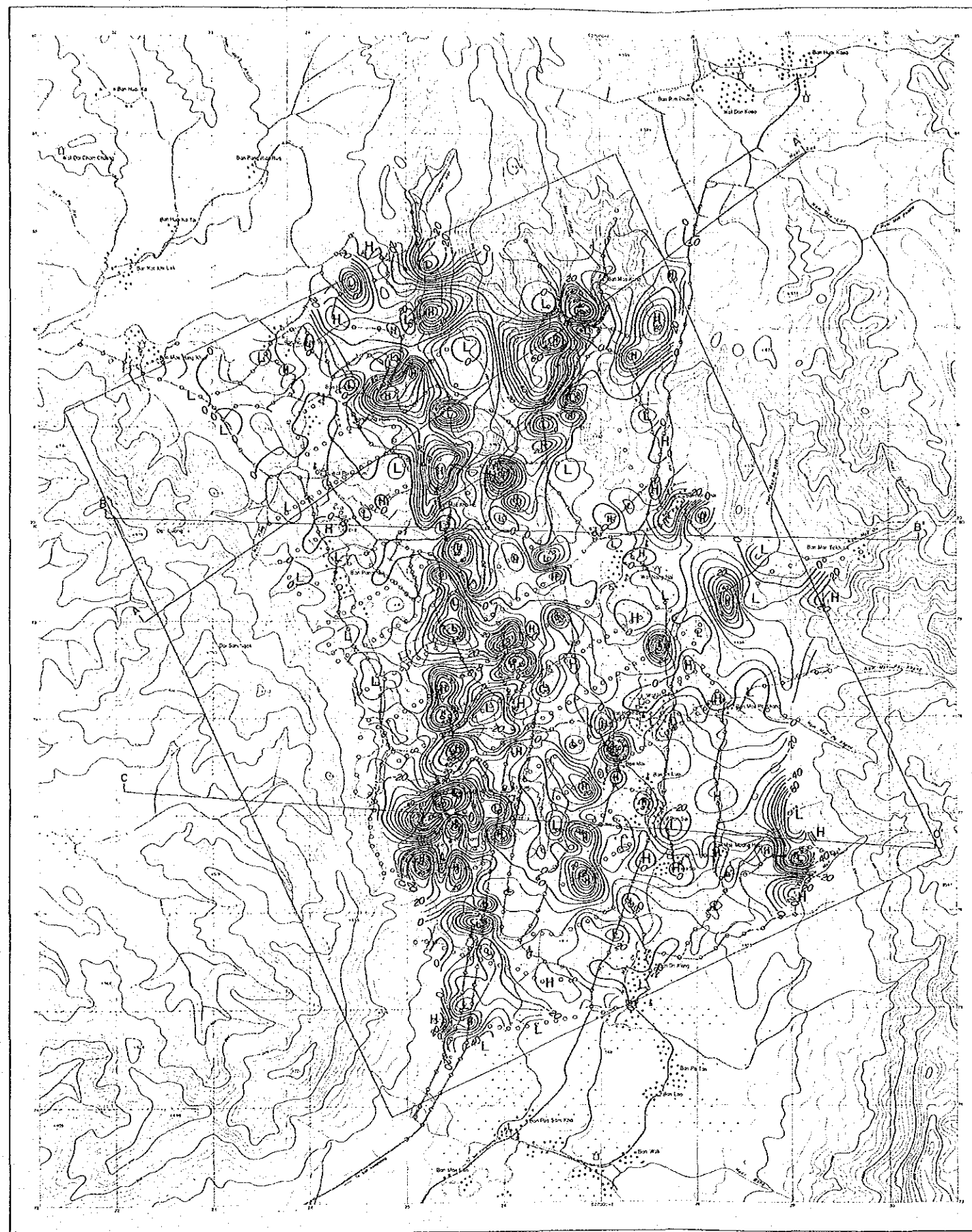
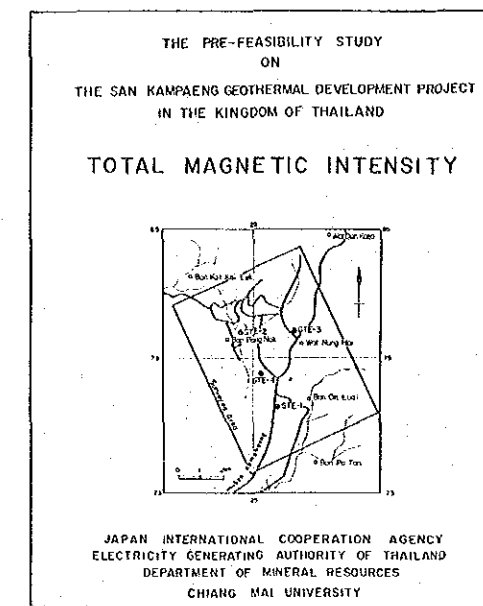


Fig. 1.3-2 Total Magnetic Intensity



0 1000 2000m

LEGEND

- | | |
|-------------|---------------------|
| Wide road | Wat |
| Narrow pass | School |
| Stream | Rice field |
| Village | Dam (water reserve) |

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Magnetic station | |
| Drill hole | |
| 20 gamma | Contour line |
| 5 gamma | |
| H | High magnetic anomaly |
| L | Low magnetic anomaly |
| Profile of underground structure | |

Inclination : 15°N
Declination : N 6°W
Total intensity : 43,556 gamma

✓

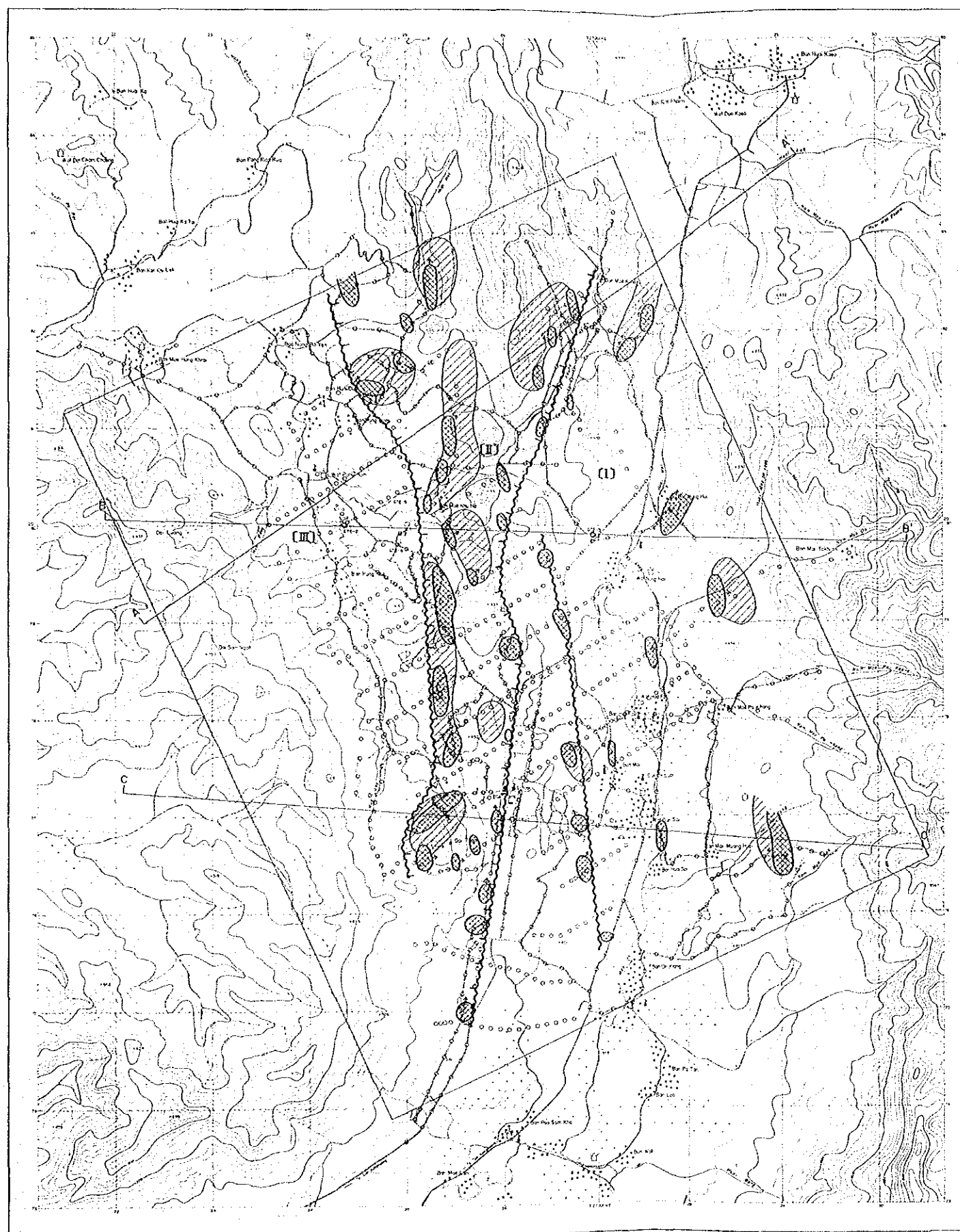
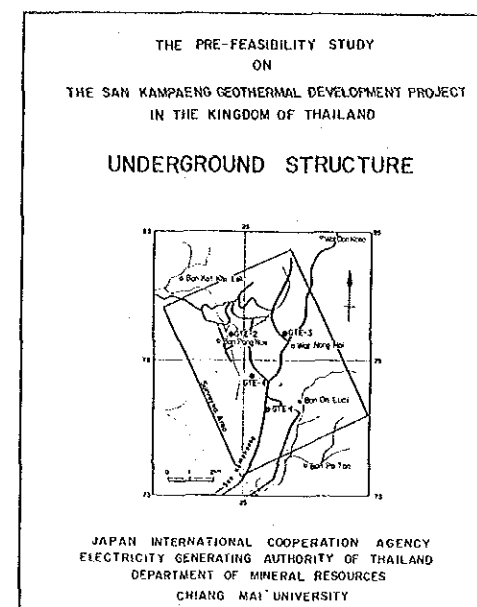


Fig. 1.3-3 Underground Structure



0 1000 2000m

LEGEND

- | | |
|-------------|---------------------|
| Wide road | Wai |
| Narrow pass | School |
| Stream | Rice field |
| Village | Dam (water reserve) |

- | |
|---|
| Magnetic station |
| Drill hole |
| Shallow magnetic body and dip direction |
| Deep magnetic body |
| Magnetic boundary |
| High susceptibility zone |
| Profile of underground structure |

Inclination : 15°N
Declination : N 6°W
Total intensity : 43,556 gamma

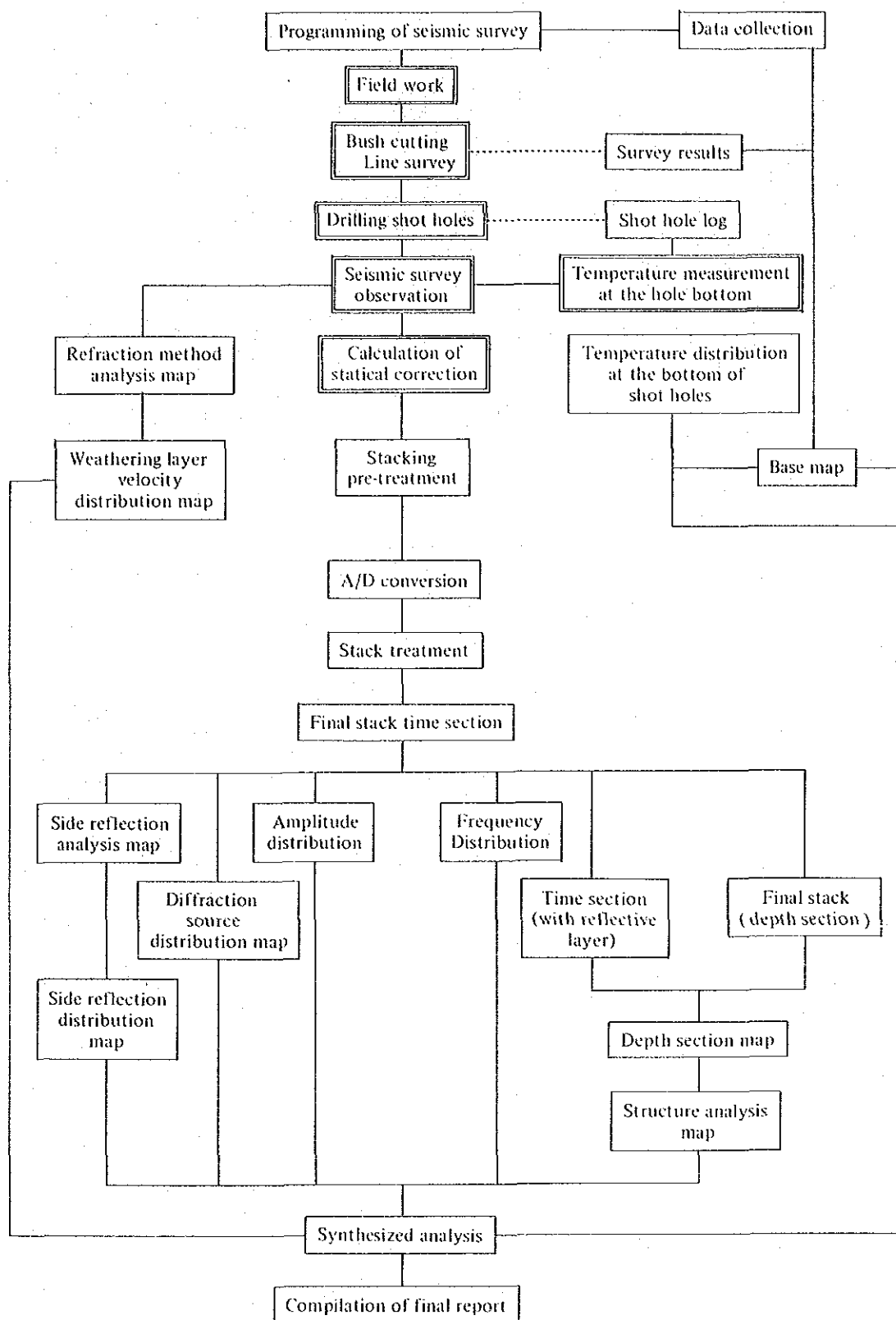
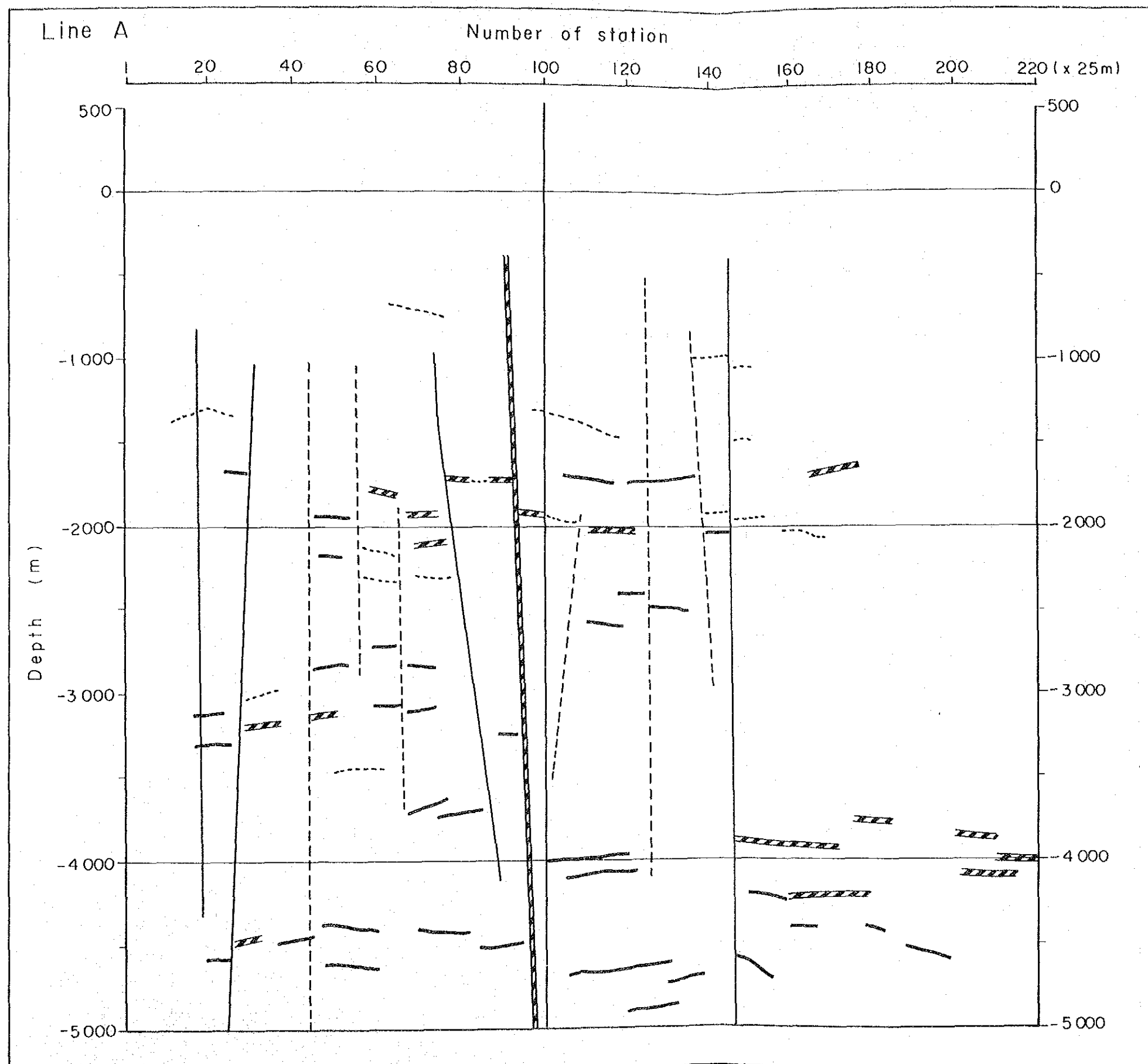


Fig. 1.4-1 Flow Chart of Seismic Survey



—LEGEND—

(Reflector)

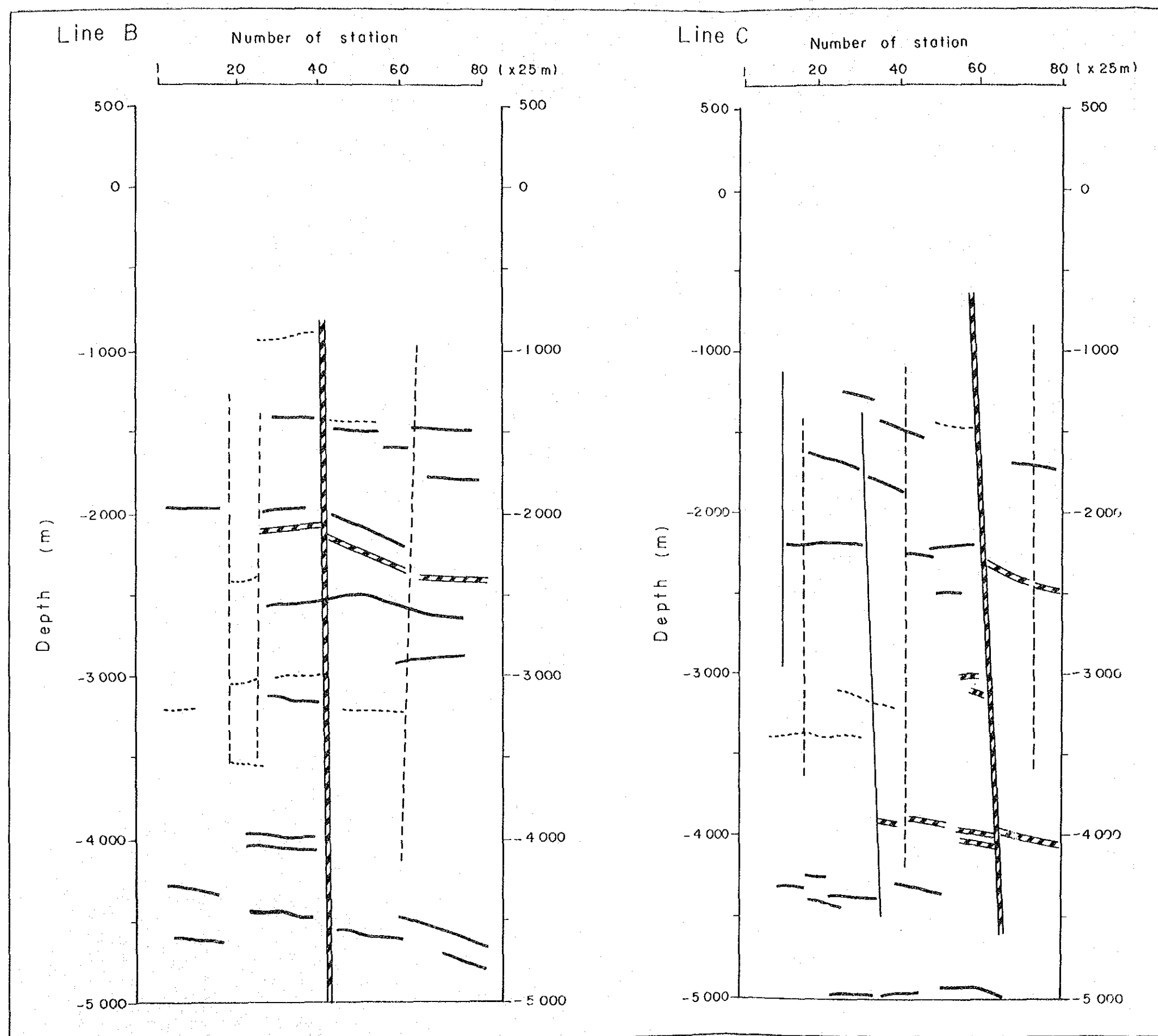
- (1)  clear
- (2)  
- (3)  unclear

(Discontinuity)

- (1)  clear
- (2)  
- (3)  unclear

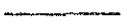
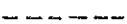
0 0.5 1 km

Fig. 1.4-2 Map of Estimated Reflector and Discontinuity (Line A)



—LEGEND—

(Reflector)

- (1)  clear
- (2)  
- (3)  unclear

(Discontinuity)

- (1)  clear
- (2)  
- (3)  unclear

0 0.5 1 km

Fig. 1.4-3 Map of Estimated Reflector and Discontinuity (Line B, C)

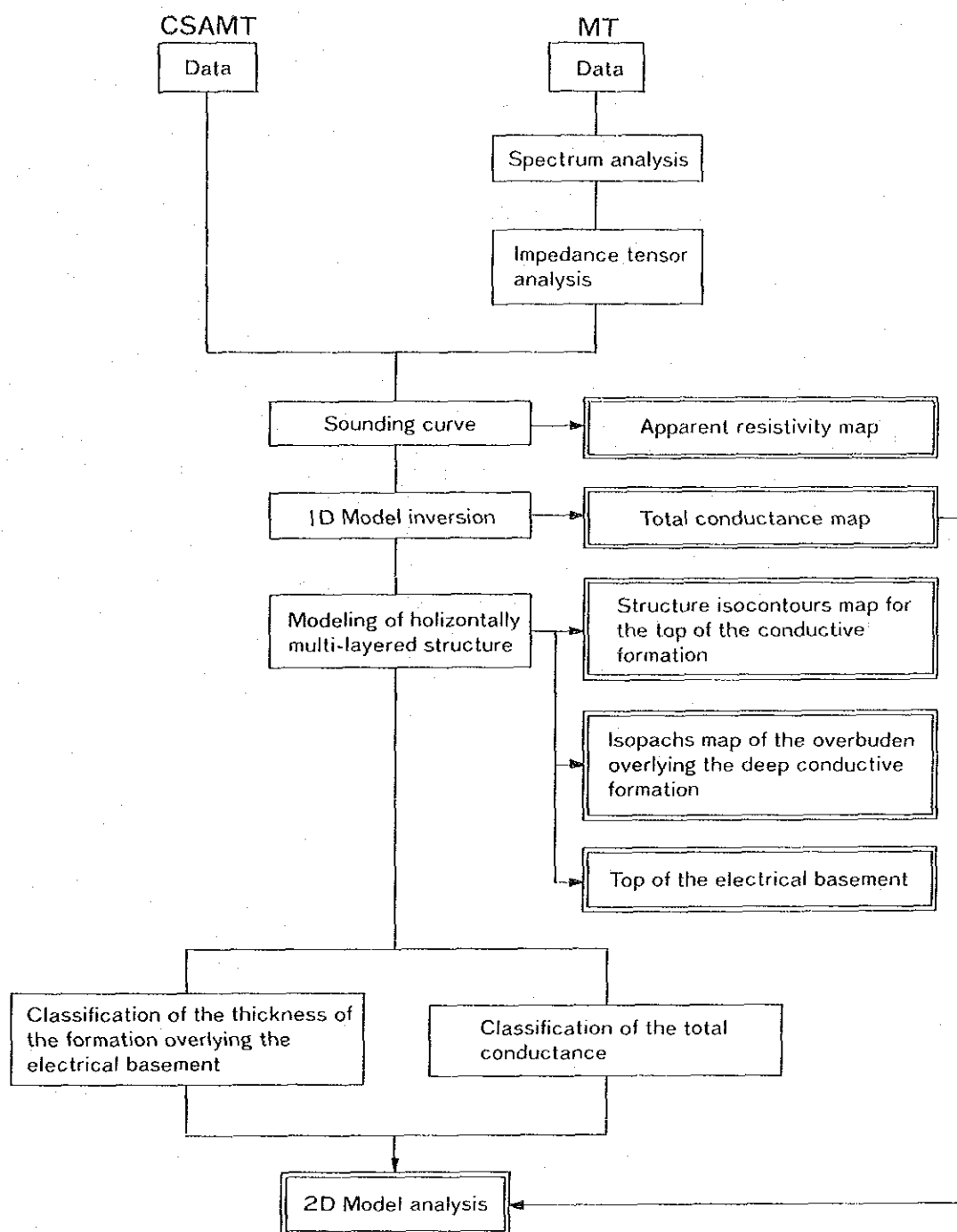


Fig. 1.5-1 Analysis Process of CSAMT Method and MT Method

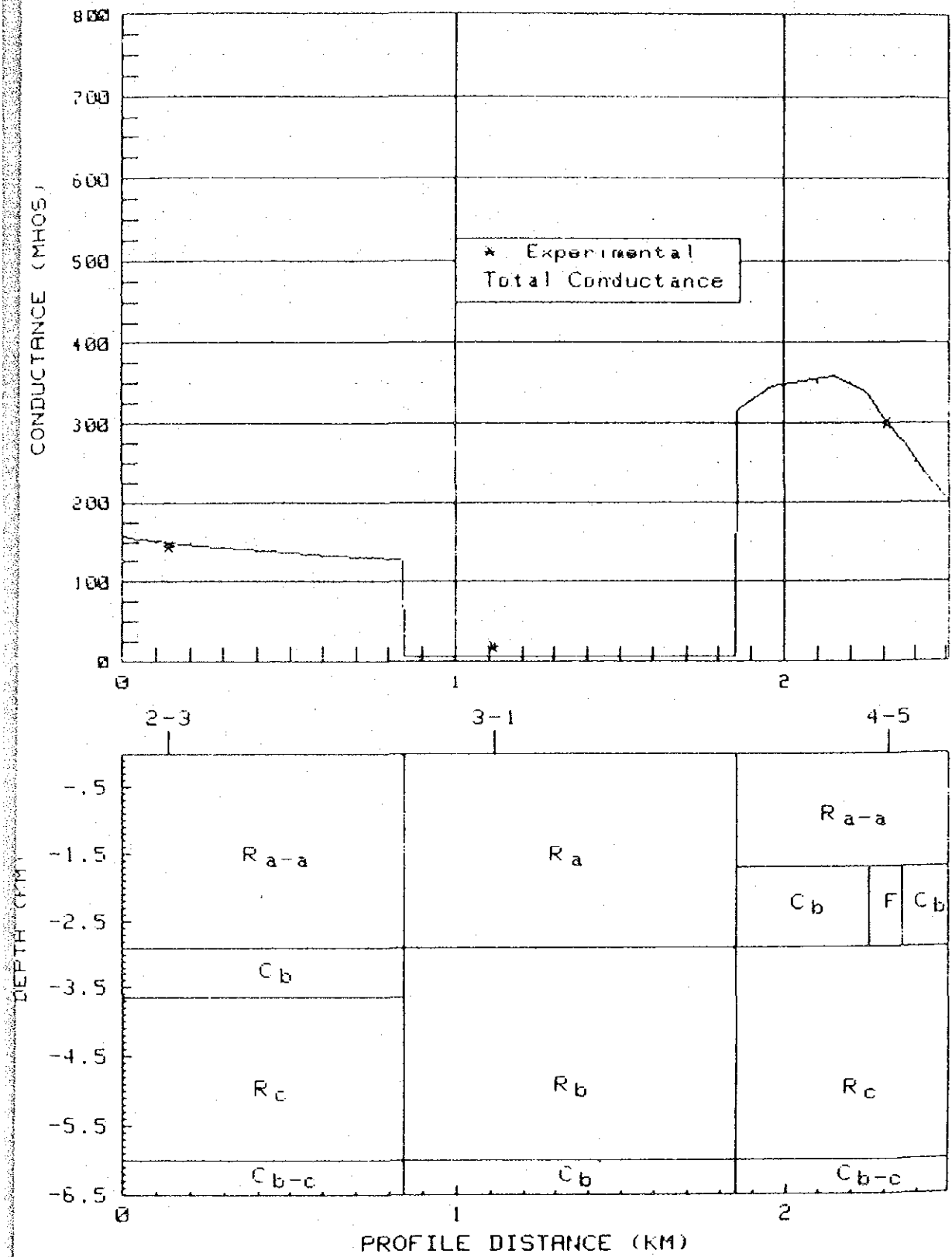


Fig. 1.5-3 Two Dimensional Model Analysis (Section-1)

2. 精査地域選定のための検討

2.1 地熱徴候からの検討

温泉・噴気・heated ground等の地熱徴候は、Huai Ang 川右岸の Wat Pom Hom から Ban Pong Nok にかけての地域に分布する。10 m 深地温分布における高温異常もこの地熱徴候地とまったく一致し、調査井 S-13 を中心としてほぼ同心円状に分布する。また本地域には地熱徴候地を中心として変質帯が分布するが、中心から外側に向かってアルナイト帯→ハロイサイト帯に累帯配列を示す。地化学探査の結果によると、高ガス濃度異常は現在の地熱徴候地および断層において認められる。

以上の検討から、サンカンペン地域の浅部地熱貯留層は、Huai Ang 川の右岸で Wat Pong Hom から Ban Pong Nok にかけて広がっていることが推定される。

2.2 地質構造からの検討

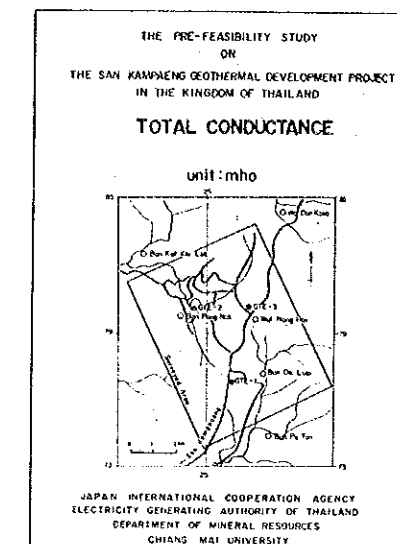
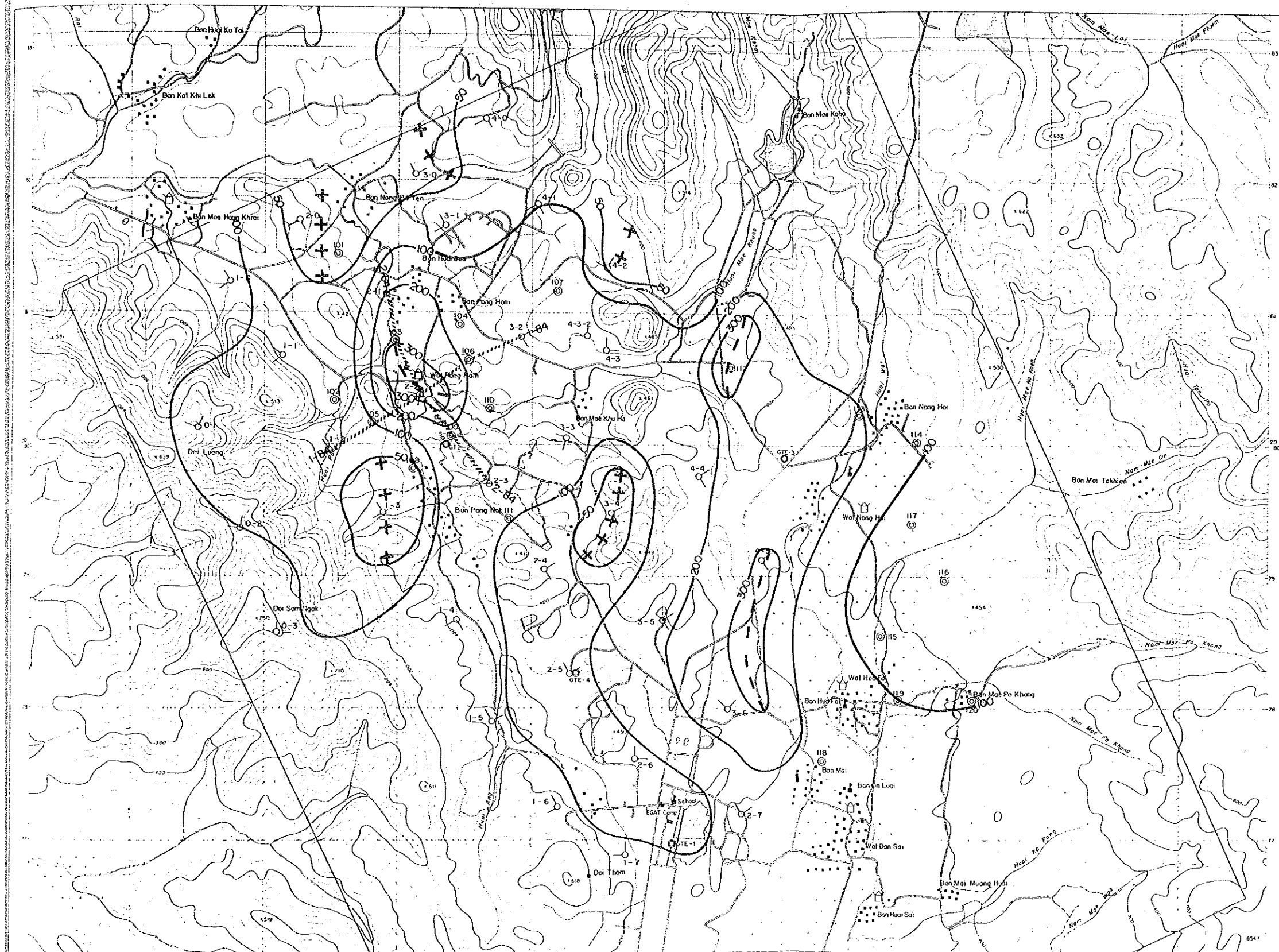
地熱徴候地は Ban Pong Hom 沈降帯の西縁部の背斜軸部に位置し、NS 性の Ban Mae Khu Ha 断層、Huai Pong 断層およびそれらから派生する NW-SE 性断層にかこまれた地域内に分布する。

本地域は、重力的にみて西部の低重力域の内部に位置し、かつ3次残差の低重力異常域の縁辺部に相当する。

すなわち、断層にかこまれた低重力異常域が地熱貯留層の範囲を示唆するものと考えられる。

2.3 深部電気探査の補足調査

Wat Pong Hom 付近で実施された補足調査の結果、200mho 以上の高コンダクタンスの分布、50-m 以下の低比抵抗帯の分布が地質構造、地下温度の分布と調和的であることから、この低比抵抗帯は NNW-SSE 方向の Huai Pong 断層および Ban Mae Khu Ha 断層と、これに直交する NW-SE 方向の断層に沿って形成された破碎帯に当り、この破碎帯が当地域の地熱貯留層を形成すると判断された (Fig 2.3-1~3)。



LEGEND

- Confirmed road
- Unconfirmed road
- Stream
- Village
- Wat
- School
- Rice field
- Dam (water reserve)

- 3-50 Measurement point (1983)
- 112 Measurement point (1984)

2D CROSS-SECTION LOCATION

- 1-84
- 2-84

Fig. 2.3-1 Total Conductance

San Kampaeng Cross—Section #1-84

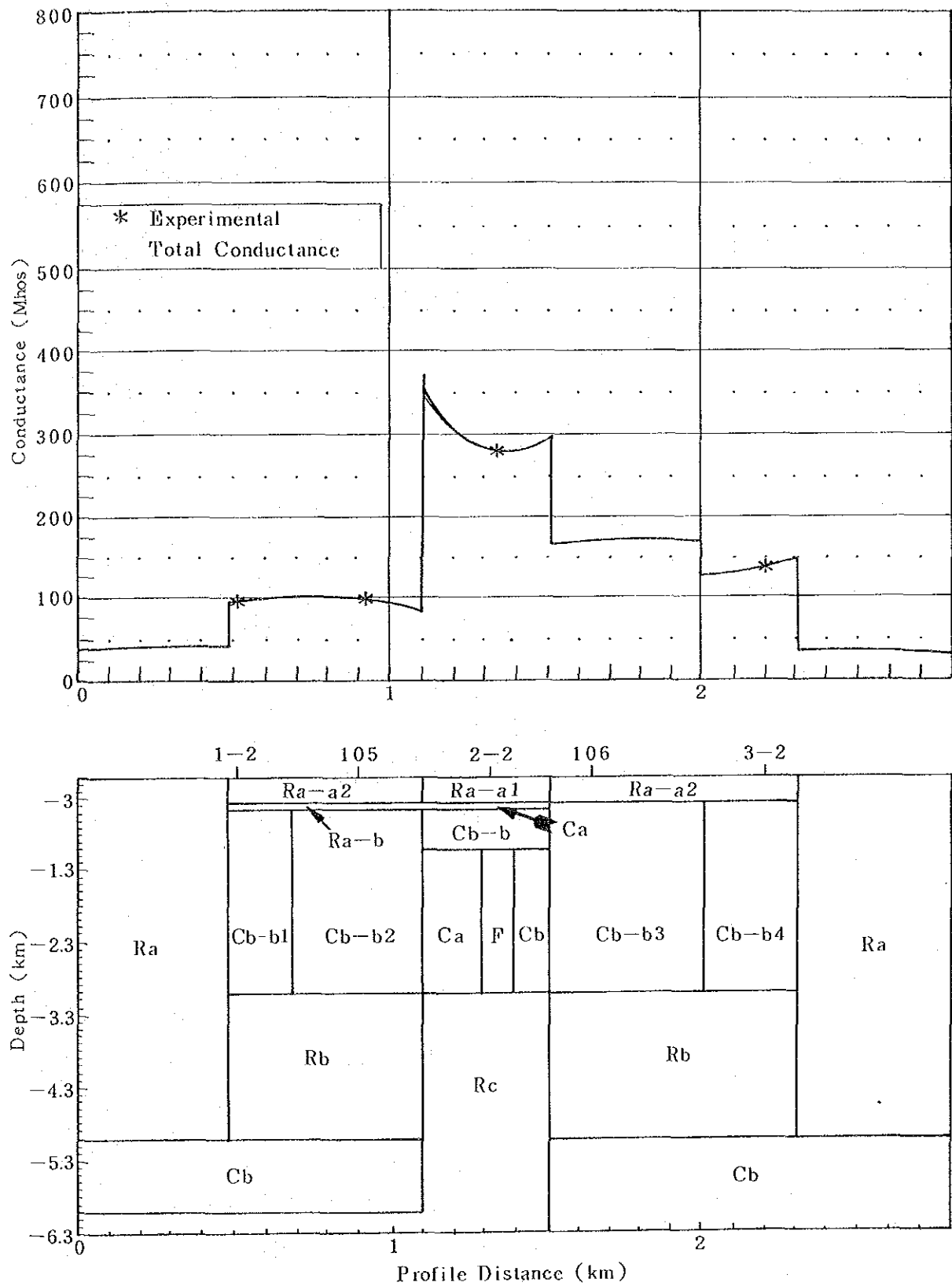


Fig. 2.3-2 Resistivity Profile (A)

San Kampaeng Cross-Section #2-84

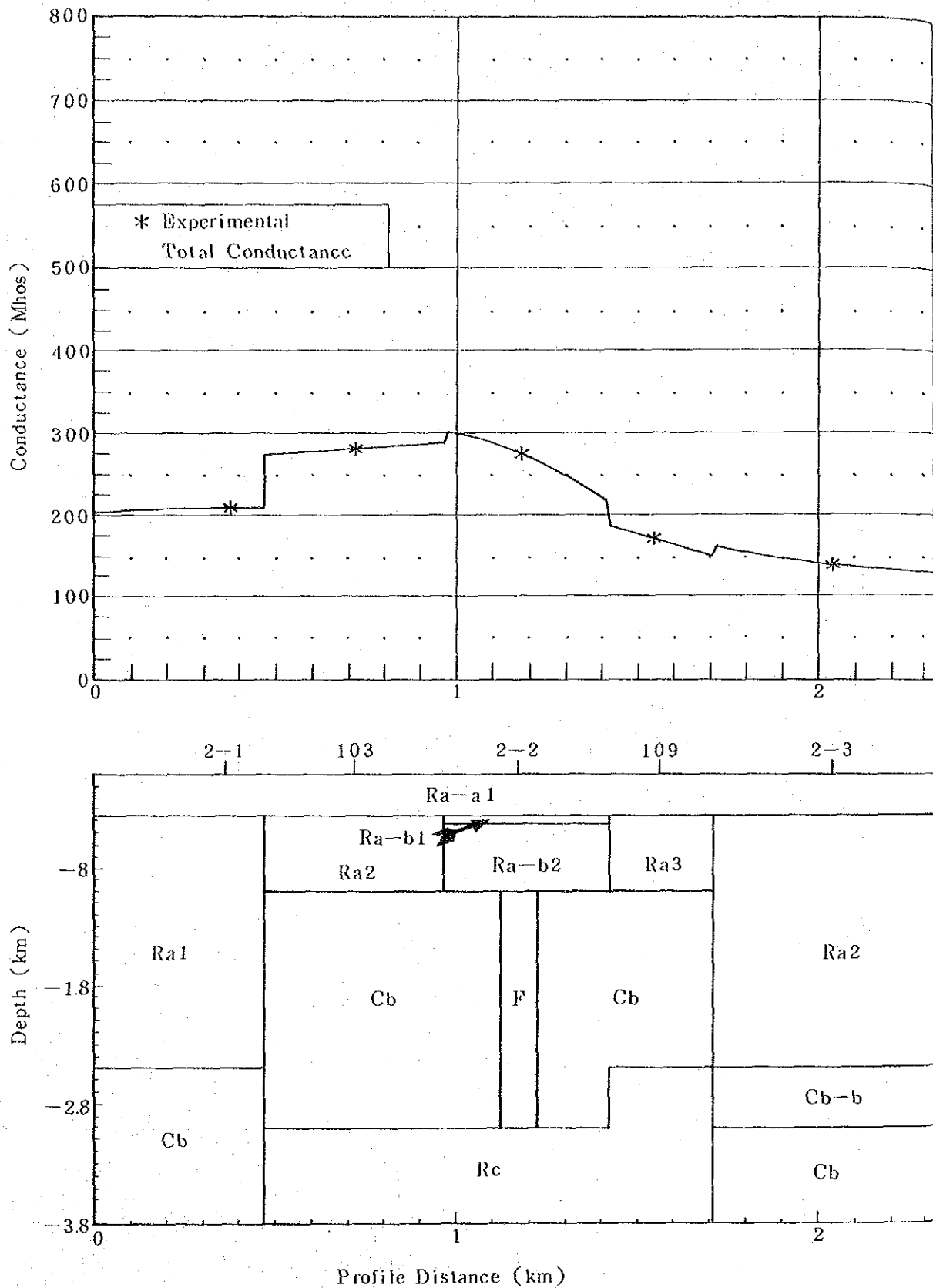


Fig. 2.3-3 Resistivity Profile (B)

3. GTE-7の掘削および調査解析

3.1 掘削地点の選定

サンカンペン地域の地熱貯留層は、Huai Pong断層、Ban Mae Khu Ha断層およびこれに交わるNW-SE性断層に囲まれた地域で、深度10mにおける高地温分布、変質帯分布、MT探査による高コンダクタンス帯に一致すると考えられた。

地熱系モデルとして、断層に伴う破碎帯にそって地熱流体が上昇し、地上付近に到着したあと、その両側の破碎帯にそって下降する対流系が想定された(Fig. 3.1-1)。

以上の探査データからGTE-7は、10m深地温の50℃以上の地域で、かつ200mhos以上の高コンダクタンス地域の重なりあうWat Pong Hom南方に選定された。

3.2 掘削状況

3.2.1 概要

GTE-7の掘削深度は1,227.34mで、最終坑径はH Q (101mm)の垂直井である。

掘削のための資機材は、昭和59年4月中旬に日本から発送され、5月上旬にタイ王国に到着した。6月11日から7月15日にかけて、資機材の開梱および設営作業を行った。7月16日から掘削作業を開始し、昭和60年2月26日に深度1,227.34mをもって掘削を終了した(Fig. 3.2-1)。解体作業は、JICA技術者の指導のもとで昭和60年8月26日から9月21日の間に行われた。

3.2.2 掘削作業

(1) ケーシングパイプ

ケーシングパイプは14"SGP、10"SGP、8"STPG-38、6"STPG-38、4½"STOJ-55の5段をセットした(Fig. 3.2-2)。

(2) 逸泥

掘削中の逸泥は、深度15m(80ℓ/min)、455m(30ℓ/min)および1,005m(5-30ℓ/min)で発生した。それぞれの逸泥にたいしては、テルシール・テルストップ等の逸泥防止剤で対処した。深度1,005mの逸泥は掘削中に一時減少したが、完全には止まらなかった。深度1,062m付近で5klの逸泥が発生したが、それ以後逸泥量に変化はなかったの

で、以後逸泥掘りを行った。

(3) 温度測定

掘削中は、1時間おきに入排泥温度を測定し、30mごとに坑底温度を測定した。

(4) 掘削経過

深度区分ごとの作業内容は、以下のとおりである(表3.2-1、2)。

① 0-4.20m

昭和59年7月16日に掘削を開始し、深度4.20mまで掘進した時点で14"ケーシングパイプをセットし、セメントで固定した。

② 4.20-30.00m

12 1/4"トリコーンビットで、深度4.20-30.00m間を掘削した。その後10"SGPケーシングパイプをセットし、フルホールセメンチングを実施した。以深のコア掘りのさいの孔曲がりの防止のために、4 1/2"の仮ケーシングを深度30.00mまでセットした。

③ 30.00-200.00m

この区間は、HQ-WLダイヤモンドビットでコア掘りを行った。この区間の岩質は多少崩壊性であった。ついで9 5/8"トリコーンビットで、深度200.00mまで掘削した。その後8"STPG-38-Sch40ケーシングパイプを、深度199.00mまでセットした。

④ 200.00-504.00m

この区間は、HQ-WLダイヤモンドビットでコア掘りを行った。この区間の岩質は破碎性で、コア詰まりが激しかった。ついで7 5/8"トリコーンビットで掘削し、6"STPG-38-Sch40ケーシングパイプをセットした。

⑤ 504.00-1,002.75m

この区間は、HQ-WLダイヤモンドビットでコア掘りを行った。深度700m位から岩石が珪質となり、非常に硬くなったため掘進率が低下した。ついで5 5/8"トリコーンビットで掘削し、4 1/2"STOJケーシングパイプをセットした。

⑥ 1,002.75-1,227.34m

この区間は、HQ-WLダイヤモンドビットでコア掘りを行った。深度1,005.00mで逸泥が発生し、逸泥掘りとなった。岩石が非常に硬く掘進率が極端に低下したため、計画深度1,500.00mまで達しなかったが、深度1,227.34mで掘り止めとした。

(5) 泥 水

表 3.2 - 1 GTE-7 掘削作業総括

Depth (m)	Well Diameter (mm)	Bit			Drilling mud				Casing		Lithology	Drilling activities	
		Type	Size	Bit load (kg)	Rotation (r.p.m)	Temperature in/out (°C)	Mud Supplied (L/min)	Type	Lost Circu- lation	Size (inch)			Depth inserted (m)
0.00 ~ 420	357.60	S.C.T	357.6	1000	40	-	100	Bentonite	-	14	420	Over burden	Penetration rate : 27.5m/h
420 ~ 3000	311.20	Tricone	12 1/4	1000 ~3000	45	-	850	Bentonite	80ℓ/min at 1500m	10	2810	Shale, Sandston	Coring : 131.4m~167.8m Core recovery : 76.6% 10" CP one plug cementation Penetration rate : 15.9m/h
3000 ~ 20000	244.50	Tricone	9-5/8"	3000 ~5000	40~60	40.9/39.5	850	Libonite	None	8"	19900	Shale Sandstone Siltstone Limestone	Core recovery : 96.5% None core Penetration rate : 12.9m/h 8" CP two plug cementation
20000 ~ 50400	193.70	Tricone	7-5/8"	1000 ~4000	40~45	47.7/48.0	600~700	Libonite	30ℓ/min at 455.00m	6"	501.00	Shale Limestone Chart Sandstone Siltstone	Core recovery : 97.1% None core Penetration rate : 0.96m/h 6" CP two plug cementation
50400 ~ 100275	142.90	Tricone	7-5/8"	1000 ~3000	40~50	34.3/44.2	350	BH	None	4 1/2	100000	Shale Limestone Chart Sandstone Siltstone	Core recovery : 99.6% None core Penetration rate : 1.35m/h 4 1/2" CP one plug cementation
100275 ~ 122734	101.00	Diamond	HQ-WL	1000 ~1500	100~150	36.3/43.9	100	BH	5~30 ℓ/min at 1005.00m	None	-	Sandstone Shale	Core recovery : 99.4%

表 3.2 - 2 GYE-7 掘削工程実績

Items		Date		1984							1985				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3				
Mobilization & Preparation		5 ¹⁰ H													
Rig Up	Foundation Works	11 ¹⁷ H													
	Rig Up	11 ¹⁷ H	15												
	0m ~ 4.20m		16 ²⁰ H												
	4.20m ~ 30.00m		21 ³¹ H												
	30.00m ~ 200.00m														
Drilling	200.00m ~ 504.00m			2 ¹⁷ H											
	504.00m ~ 1002.75m					18						14			
	1002.75m ~ 1227.34m											15		26	
	1st logging			27 ^H											
	2nd logging						12 ^H								
Well Logging	3rd logging											7 ¹⁰ H			
	4th logging												13 ^H		
	Measurement of hole deviation													27 ²⁸ H	
	Demobilization														4 ⁸ H

掘削に使用した泥水は、掘削方法（ビットの種類、掘削等）・坑井地質・温度等により組成をかえ、新規調泥・補泥・全量交換で対処した。泥水はベントナイト泥水を主体としたが、リボナイト泥水等も使用した。

3.3 坑井地質調査

3.3.1 概 要

坑井掘削終了後、カッティング・コアの地質調査を行った。深度 0.00–30.00m の区間はカッティングで、深度 30.00–1,227.34m の間はオールコアである。調査においては、地質・変質・フラクチャーに留意し柱状図を作成した。また試験、測定用の岩石試料を採取した。

3.3.2 地 質

GTE-7 の地質は、砂岩・頁岩・石灰岩・チャートの互層からなり、二疊紀の Kiu Lom 層に対比される (Fig. 3.3-1~5)。

① 0.00–158.20m

灰白色砂岩と黒色頁岩の互層からなる。地層の傾斜は 50° 以上である。55m 付近で破碎帯が発達し、それ以後で風化作用により地層が軟弱化している。

② 158.20–181.50m

石灰岩を主体とし、シルト岩・頁岩互層をはさみ、石灰岩との境界部に粘土・石英脈が存在する。地層の傾斜は、 40° – 80° である。

③ 181.50–274.40m

黒色頁岩を主体とし、泥岩・シルト岩・チャートの薄層をはさむ。チャートはコア採取率が低下し、破碎が認められる。地層の傾斜は 85° を示すものもあり、きわめて急傾斜である。

④ 274.40–334.20m

石灰岩と黒色頁岩の互層からなる。地層の傾斜は 60° – 80° を示す。

⑤ 334.20–688.00m

黒色けつ岩を主体とし、砂岩・チャート・石灰岩をはさむ。地層の傾斜は全体に 50° 以上で、一部で 90° を示す。

⑥ 688.00–887.50m

灰色～灰黒色チャート・灰色石灰岩・黒色炭質頁岩の互層からなる。地層の傾斜は30°～50°前後である。

⑦ 887.50～1,003.00m

チャート・石灰岩互層および凝灰質泥岩・シルト岩の互層からなる。地層の傾斜は40°以上で、平均55°前後である。

⑧ 1,003.00～1,227.34m

砂岩を主体とし、黒色頁岩をはさむ。砂岩は中粒珪質で、きわめて硬い岩質である。しばしば石英脈が発達し、全体に珪化作用がいちじるしい。地層の傾斜は20～50°ないし50°を示す。

3.3.3 変質

GTE-7の岩石の変質は、全般に弱い。フラクチャーにそって方解石・石英脈が発達している。その付近で炭酸塩化・珪化作用がみとめられるほか、全体に黄鉄鉱の鉱染が発達する。珪化作用は、とくに深度1,100mより深い部分でいちじるしい。

3.3.4 フラクチャー

本坑井のフラクチャーは、異なる岩石の境界部・互層部・チャート層の一部・脈鉱物の周辺に発達する傾向にある。掘削中の逸泥は、深度15m、455m、1,005mで発生したが、それぞれ地層中の開口性フラクチャーの存在を示す。

3.4 岩石試験

3.4.1 顕微鏡観察

観察した岩石試料は14個で、砂岩・頁岩・石灰岩である。砂岩は、石英・斜長石・アルカリ長石を主成分とする。頁岩は、石英・斜長石・セリサイト・緑泥石からなる。石灰岩は泥質で、石英・斜長石・セリサイトを含む。本坑井の岩石は、一般に変質が弱い、一部に炭酸塩化作用がみとめられる。

3.4.2 X線回折分析

X線回折分析により、石英・斜長石・カリ長石・セリサイト・緑泥石・カオリナイト・方

解石・ドロマイト・黄鉄鉱・石膏・螢石が検出された。

3.4.3 流体包有物測定

深度によって流体包有物の充填温度の特徴が異なる。

- ① 0—455m : 充填温度の範囲は、最低 175℃から最高 295℃以上に達し、非常に高い。
- ② 455—1,005m : 測定に適する試料はみつからなかった。
- ③ 1,005—1,227.34m : 流体包有物の均質化温度は、103℃から 116℃と低い。流体包有物測定は、GTE-2 および GTE-5 の岩石試料についても行われた。

GTE-2 でも、深くなるにつれて均質化温度が低下する傾向にある。

GTE-5 は、全体に均質化温度はほぼ一定である。

3.4.4 密度測定

湿潤密度は、2.60—2.75 g/cm³の範囲にある。一部珪質砂岩で 2.47 g/cm³ と小さい値を示す。空隙率は密度と逆相関の関係にあり、0.55 から 4.11 とかなり小さい値を示す（表 3.4—1）。

表 3.4—1 GTE—7 岩石物性測定結果

項 目	数 量	備 考
1. 薄片顕微鏡観察	14 枚	ただし、GTE-2、5 を含む
2. X線回折分析	14 件	
3. 流体包有物測定	14 件	
4. 密度測定（3 状態）	14 試料	
5. 帯磁率測定	14 試料	
6. 熱伝導率測定	14 試料	

3.4.5 帯磁率測定

本坑井の岩石の帯磁率は、約 $6 \sim 19 \times 10^{-6}$ cgsemu/cc の範囲にある。岩石の種類によって帯磁率はほとんど変化しないことが特徴である。

3.4.6 熱伝導率の測定

本坑井の岩石の熱伝導率は、 $6 \sim 17 \times 10^{-3}$ cal/cm·sec·°C の範囲にある。岩石の種類によって熱伝導率はほとんど差異がみられないのが特徴である。

3.4.7 熱流量の試算

GTE-7 の近傍地域の熱流量は、次式によって求められる。

$$Q = K \times dt/dz$$

ここで K (熱伝導率) : 10×10^{-3} cal/cm·sec·°C

dt/dz (温度勾配) : 0.4×10^{-3} °C/cm

求められた熱流量の値は 4HFU ($\times 10^{-6}$ cal/cm²·sec) であり、平均的地殻熱流量の値より高く、一般の地熱地帯のそれよりも小さい。

3.5 坑内検層

3.5.1 概 要

GTE-7 の坑内検層をつぎの 3 段階に分けて実施した (表 3.5-1)。

表 3.5-1 GTE-7 検層概要一覧

検 層 段 階		検 層 項 目	備 考
第 1 回	200 ~ 504m	電気検層、温度検層	タイ側で実施
第 2 回	500 ~ 1,003m	電気検層、温度検層 (2 回) 圧力検層	技術指導
第 3 回	1,000 ~ 1,227m	電気検層、温度検層 (2 回) キャリパー検層、音波検層	技術指導

温度検層は坑内の温度分布を連続的に測定するもので、測定範囲は0～300℃である。これによって、貯留層内の温度分布および熱流量を知ることができる。

圧力検層は坑内の圧力分布を連続的に測定するもので、測定範囲は0～200kg/cm²Gである。これによって、貯留層内の圧力状態を把握することができる。

電気検層は地層の比抵抗と自然電位を連続的に測定するもので、地層の比抵抗分布・孔隙率が明らかになり、岩相の識別・対比のデータがえられる。

音波検層は坑内で超音波を発信・受信し、伝播時間・振幅・波形等から地層のフラクチャー・孔隙等を推定する検層である。

キャリパー検層は、坑井の坑径を測定することによって、岩質の差異・フラクチャーの位置を検出するもので、50～300mmの範囲の測定が可能である。

3.5.2 検層結果

温度検層による坑内の温度分布は、地表から深度30m付近までは65℃とやや高温を示すが、それ以深から深度150m付近にかけて逆に温度が低下する。またそれ以深から坑底にかけて温度は上昇するが、温度勾配はきわめて小さく、坑底で99.8℃と低い値である (Fig. 3.5-1)。

圧力検層の結果によると、坑底で105kg/cm²Gである。

電気検層の結果によると、坑内の比抵抗分布は高いゾーンと低いゾーンが交互にあらわれており、岩質の差を示している。深度1,000m付近から比抵抗が高くなり、1,200m付所で2,500Ω-mとなり、岩石が非常に硬く導電性に乏しいことを示す (Fig. 3.5-2)。

音波検層の結果も、地層が硬くフラクチャーに乏しいことを示す。

キャリパー検層によると、坑径の変化はとくにみられず、崩壊やフラクチャーの発達は少ないものと推定される。

3.6 深部電気探査の再解析

3.6.1 電気検層結果との対比

GTE-7が地熱貯留層のどの部分に位置しているかを検討するため、深部電気探査の再解析結果とGTE-7の電気検層結果を比較・対比した (Fig. 3.6-1)。

- ① 電気検層による比抵抗値は、深部電気探査結果にくらべて相対的にやや高い値を示すが、両者の比抵抗分布パターンは類似している。
- ② 電気検層による比抵抗は深度によりばらつきがあるが、深部ほど高い傾向をしめす。この傾向は、深部電気探査でも認められる。
- ③ GTE-7 は砂岩・頁岩・石灰岩・チャートの互層からなり、電気検層による比抵抗もきわめて変化に富む。深部電気探査による比抵抗構造はそれらの平均値ではなく、より低い比抵抗値を反映していると考えられる。

3.6.2 再解析方法

1次元モデル解析により得られた理論曲線をもちいてポストイック解析を行い、比抵抗分布（コンター平面、断面）を求めた。この図から、調査地域の比抵抗分布の縦方向および水平方向の比抵抗変化とその不連続コントラストを抽出した。また1次元モデル解析結果から電気的基盤図を作成して、基盤のくいちがい・不連続を抽出した（Fig. 3.6-2）。

3.6.3 解析結果

- ① Wat Pong Homを中心として低・中比抵抗域が分布し、電気的基盤の盛り上がり的一致する。また低・中比抵抗域の北縁沿いに、電気的基盤の急激な落ち込みが想定され、断面においても比抵抗のくい違いとしてあらわれている（Fig. 3.6-3）。
- ② 地域東部のWat Hua Fai、Wat Nong Hoi周辺に広範囲に低・中比抵抗域が存在し、深くなるほど広くなり、かつ比抵抗も低くなる。
- ③ Ban Mae Khu Ha南西部に高比抵抗域があり、その中心部で1,000 Ω -m をこえており、かなり緻密な岩体が想定される。この地域は電気的基盤の盛り上がりに対応し、その南縁に沿って電気的基盤の急激な落ち込みがみられ、断裂系の存在が推定される。
- ④ 地域北・西部のBan Nong Bo Yen、Ban Mae Hong Khrai、Doi Luang 周辺に高比抵抗域がみられ、電気的基盤の盛り上がり部に相当している。

3.7 温度分布についての解析

3.7.1 概 要

GTE-7 の温度分布の特徴として、つぎの2点があげられる。