

国際協力事業団  
タイ王国  
工業省鉱物資源局  
内務省公共事業局

# バンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査

## 最終報告書 (要約)

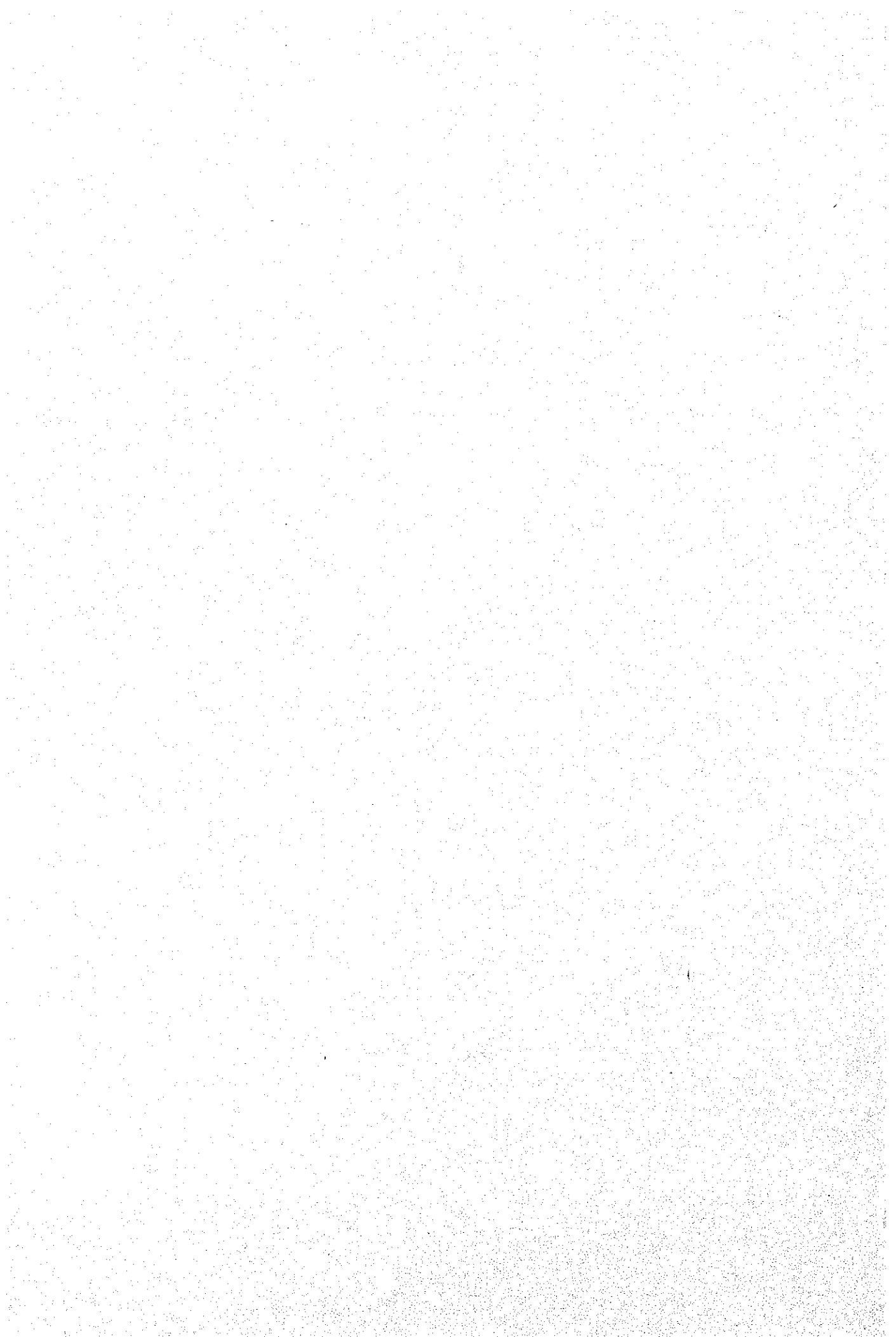
平成7年3月

国際航業株式会社

社調  
95-042

国際協力事業団、タイ王国、バンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査、最終報告書(要約)、平成7年3月、国際航業株

12-613-01



JICA LIBRARY



1122128 (0)

国際協力事業団

28323

国際協力事業団

タイ王国

工業省鉱物資源局

内務省公共事業局

# バンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査

最終報告書

(要約)

平成7年3月

国際航業株式会社

## 序 文

日本国政府は、タイ王国政府の要請に基づき、同国のバンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画にかかる開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成4年7月から平成7年2月までの間、7回にわたり国際航業株式会社の鎌田 烈氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団はタイ政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に、心より感謝申し上げます。

平成7年3月

国際協力事業団  
総裁 藤田公郎

バンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査

伝達状

平成7年3月

国際協力事業団

総裁 藤田 公郎 殿

タイ国バンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査の最終報告書を提出いたします。本報告書は平成4年7月から平成7年3月の間に実施された現地調査及び国内作業により作成されました。

本報告書には水文地質、地下水データベース、地下水質の検討結果やコンピュータモデルによる地下水位と地盤沈下の将来予測、さらに本調査で新しく建設した3カ所の地盤沈下モニタリングステーションが、詳しく述べられています。

この報告書に述べられた地下水管理計画が施行され、バンコク首都圏の地盤沈下の抑制に貢献することを希望する次第であります。

本報告書を提出するに当たり、全調査期間に渡り多大なご支援を賜った貴事業団、在バンコク日本国大使館の諸賢ならびに鉱物資源局（DMR）及び公共事業局（PWD）をはじめとするタイ国政府の関係各位に対し、心から感謝の意を表する次第です。

調査団長 鎌田 烈





## タイ国バンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査

調査期間：1992年7月～1995年3月

受入機関：工業省鉱物資源局

内務省公共事業局

### 概要

#### 1. 背景

タイ国バンコク首都圏は、近年の経済発展とともに水需要が増大し、地下水の過剰揚水に伴う地下水位低下、地盤沈下、塩水化現象が発生している。首都圏中心部では1980年代に地下水規制により、地盤沈下は一部沈静化した。首都圏の郊外や周辺部では、工業用水、生活用水の需要の伸びに上水道の拡張が追いつかず、地下水の汲み上げが急増したため、地盤沈下と塩水化がさらに一層激しくなっている。地盤沈下はバンコク首都圏のような低地では道路、橋、ビル、水路など建築物の直接的被害や洪水に伴う浸水など間接的被害の原因となり、地域の社会経済に及ぼす影響は深刻である。このため、地下水管理及び地盤沈下対策を確立することが急務となっている。

#### 2. 目的

本調査の目的は以下の3項目である。

- (1) 地下水管理システムの確立
- (2) 地盤沈下及び地下水塩水化抑制基本計画の策定
- (3) 調査を通じてのカウンターパートへの技術移転

#### 3. 調査対象地域

本調査の対象地域はバンコク首都圏及びその周辺地域を含む以下の地域であり、面積は約5,600平方キロメートルである。

バンコク、ノンタブリ、サムトプラカン、パトムタニ及びサムットサコン、ナコンパトム、チェチェンサオ、プラナコン・シ・アユタヤの一部。

#### 4. 調査結果の概要

本調査では地下水管理及び地盤沈下・塩水化対策のため次の3項目を確立した。

- (1) 地下水データベースシステムの構築
- (2) 地盤沈下観測施設の建設
- (3) 地下水モデル作成と将来予測

水文地質調査とコンピューターシミュレーションにより以下のような調査結果を得た。

##### 4-1 地下水揚水量

バンコク首都圏(調査範囲内)の地下水揚水量は1992年の井戸台帳からの推計によると約148万m<sup>3</sup>/dayに達している。揚水量は周辺地域のラットクラバン、パトムタニ、サムットサコンで著しく増加している。

##### 4-2 地下水位

主要帯水層の地下水位は海面下30mから60mに低下している。また、バンコク中心部の地下水位は周辺地域の揚水の影響により再び低下している。

##### 4-3 地盤沈下

調査地域のほぼ全域で20mm/year以上の地盤沈下が発生している。サムトプラカンでは50-60mm/year, ミンブリとラットクラバンでは40-55mm/year沈下しており、パトムタニとサムットサコンでは30-40mm/yearの沈下量が観測された。

##### 4-4 地下水の塩水化

地下水の塩水化はサムットプラカンからサムットサコンの海岸地域及びチャオブラヤ川沿いにかけて広がっており、主要な帯水層の塩分濃度は3,000-16,000mg/lに達している地域がみられる。

##### 4-5 地盤沈下観測システム

ラットクラバン、AIT及びサムットサコンの3地点に地盤沈下モニタリングステーションを建設した。これらの観測井のデータは自動的に記録され、データベース

に入力される。また既存のモニタリングステーションと併せて地下水管理に利用できる。

#### 4-6 地下水のモデル化

地下水位、地盤沈下、塩水化予測のために地下水シミュレーションモデルを作成した。これらのモデルにより地盤沈下と塩水化機構が解明された。

#### 4-7 地下水位と地盤沈下の予測

地下水モデルに将来揚水量のシナリオ案を代入して、バンコク首都圏の地下水位と地盤沈下の予測を行った。最悪のシナリオでは西暦2017年における累計地盤沈下量は200cm以上に達する。一方、最善のシナリオによると、累計地盤沈下量は35cm程度にとどまると予測された。

#### 4-8 許容揚水量

地盤沈下の抑制を要件として各シナリオ案によるシミュレーション予測結果を評価した結果、調査地域内の暫定許容揚水量は160万m<sup>3</sup>/dayと推定された。

#### 4-9 地下水管理計画

地下水管理は、現行規制地域の拡大及び揚水規制を行いつつ、西暦2005年に暫定許容揚水量を達成することを目標として推進する。このため地下水位・地盤沈下・地下水質のモニタリングを行い、データベースシステムと地下水シミュレーションシステムを結合して有機的に運用する。

### 5. 提言

#### (1) 地下水管理計画にかんする提言

規制地域の拡大

暫定許容揚水量目標値設定と揚水規制

新しいモニタリングステーションの建設

各機関で行われている水準測量の統一

量水計の設置義務の対象範囲拡大

データベースシステムの活用

地下水モデルの改良

許容揚水量の再評価

水文地質調査地域の拡大

(2) 総合的対策にかんする提言

代替水供給

水利用の合理化

地下水料金の見直し

人工地下水かん養

地下水委員会における技術小委員会の役割強化

DMR組織の強化

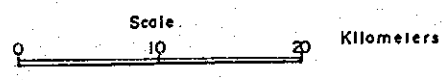
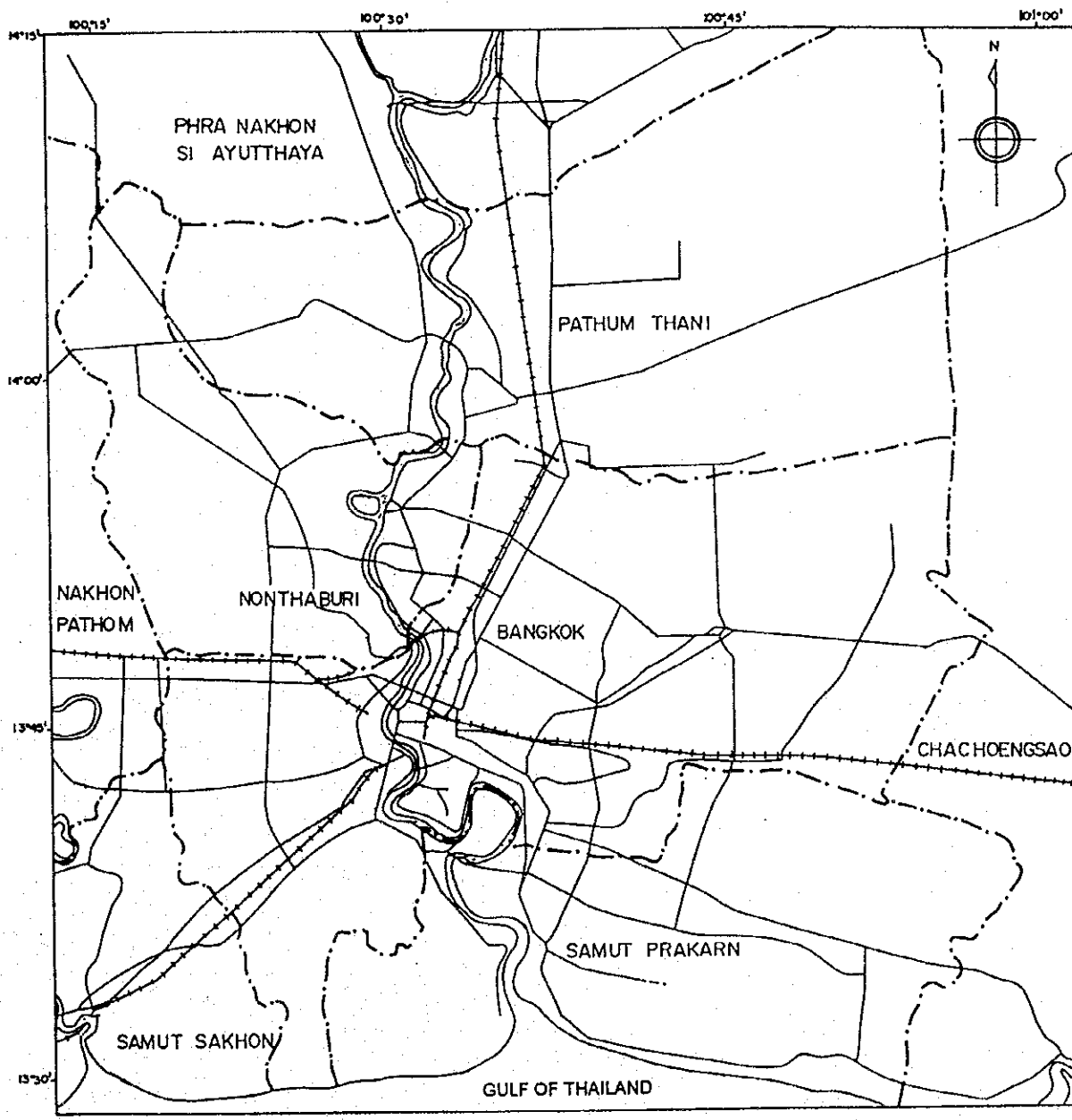


図 1.1

調査地域位置図

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE  
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



## 目次

調査位置図

序文

伝達状

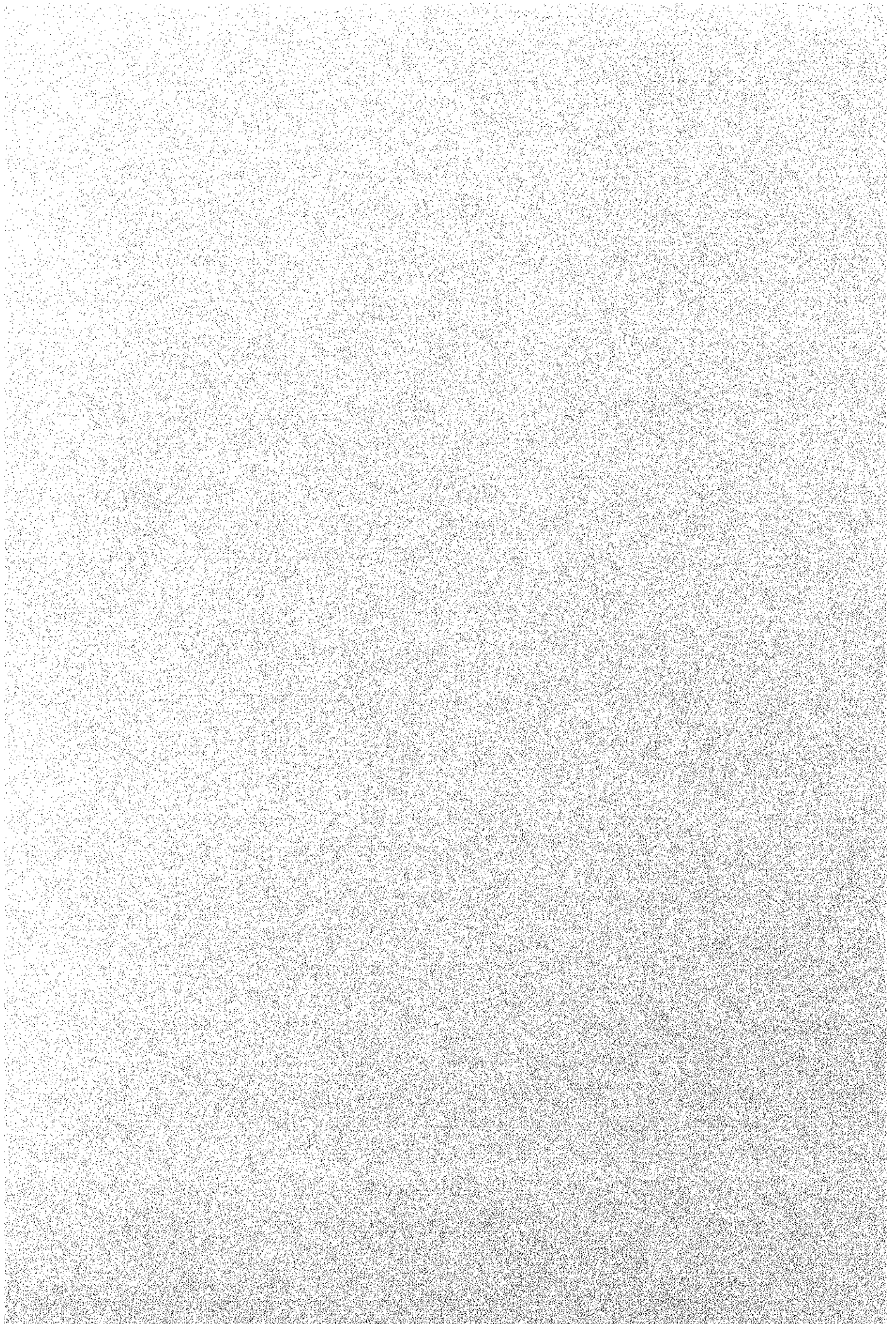
要約

1. 序論	
1. 1 調査の背景	1
1. 2 調査の目的及び対象地域	2
1. 3 調査期間とフレーム	2
1. 4 カウンターパート機関	2
2. 調査地域の概要	4
2. 1 自然条件	4
2. 2 社会経済	5
2. 3 水供給	6
2. 4 バンコクの地盤沈下概要	7
3. 水文地質構造	21
3. 1 地形と地質	21
3. 2 コアボーリング	21
3. 3 基盤構造	23
3. 4 帯水層単元	23
3. 5 観測井の建設	23
4. 地下水の水質	33
4. 1 DMR 観測井の水質	33
4. 2 JICA 観測井の水質	34
4. 3 塩水化	34
5. 地下水揚水量	46
5. 1 井戸台帳データベース	46
5. 2 1992年揚水量の集計	46
5. 3 経年揚水量	47
6. 地下水位と地盤沈下	51

6. 1	DMR 観測井	51
6. 2	JICA 観測井	52
6. 3	DMR 及び RTSD 水準点	53
7.	地下水モデル	67
7. 1	地下水モデルによるアプローチ	67
7. 2	モデル化の範囲とグリッド区分	67
7. 3	境界条件	68
7. 4	水文地質パラメーター	68
7. 5	モデルのキャリブレーション	68
8.	地盤沈下の予測	74
	シナリオ 1	74
	シナリオ 2	74
	シナリオ 3	74
	シナリオ 4	75
	シナリオ 5 A	75
	シナリオ 5 B	75
	シナリオ 5 C	75
	シナリオ 6	76
	シナリオ 7	77
9.	許容揚水量の評価	106
9. 1	許容揚水量の概念	106
9. 2	地盤沈下の影響	106
9. 3	暫定許容揚水量	106
10.	地下水盆管理	108
10. 1	当面の地下水管理行動	108
10. 2	地盤沈下の総合対策	109
11.	結論と勧告	111
11. 1	結論	111
11. 2	勧告	113



# 1. 序 論



## 1. 序論

### 1. 1 調査の背景

タイ王国の首都バンコクはチャオピヤ川下流の広大な沖積平野の末端に広がる東南アジア屈指の大都市である。その総人口はバンコク首都圏およびその周辺地域でおよそ820万人に達し、近年の急激な経済発展に伴って、道路・交通、上水、下水、ゴミなど都市問題がもはや放置できないほど深刻になってきている。

バンコク首都圏の水道は、首都圏水道公社(MWA)が運営・管理している。その水源の大半はチャオピヤ川下流サムレー地点で取水される河川水に依存しているが、急激な都市の膨張と工業化の進展に上水道施設の拡張が追いつかず、各地で上水道水源あるいは工業用水源として地下水利用が進められてきた。

しかし、無秩序な地下水開発と過剰揚水は、1970年代に入り首都圏各地で広域の地下水位低下と地盤沈下現象を発生させ、その累積沈下量は1978年から1987年の10年間で最大75cmにも達した。地盤沈下の被害は建物、道路、橋梁等の都市の諸施設に及ぶばかりでなく、沖積低平地特有の洪水災害を誘発させた。

こうした事態に対処するため、1980年代初頭に、工業省鉱物資源局(DMR)を中心とした政府機関とアジア工科大学(AIT)とが共同で調査を行い、その結果をもとに、1983年に「バンコク首都圏の地下水危機と地盤沈下対策」を閣議決定した。また、1985年には1977年制定の地下水法にもとずき、首都バンコクを含むチャオピヤ川下流6県を「地下水区」に指定し、私有井戸掘削の許可制と地下水使用料金の徴収を開始するとともに、地下水位と地盤沈下のモニタリングに力を注いできた。また一方で、MWAは所有する深井戸を順次廃止して表流水への水源転換を進めてきた。

しかしながら、こうした努力にもかかわらず、地下水位の低下と地盤沈下は首都バンコクの中心部では鈍化したものの、バンコク郊外の東部、西部及び北部の幹線道路沿いに広がる工業地帯を中心に、さらに一層激しさを増してきている。また、これに加えてバンコク首都圏南部および西部では、地下水の塩水化現象が進行している。

このような背景から、タイ国政府は日本国政府に対し、抜本的な地盤沈下抑制と地下水管理システムの確立を骨子とした「バンコク首都圏地盤沈下抑制計画調査」協力を1989年10月及び1990年3月、要請してきた。

この要請にもとづき、国際協力事業団は1992年2月に事前調査団を派遣し、

本格調査実施に係るSCOPE OF WORK (S/W)を締結した。

## 1. 2 調査の目的及び対象地域

### 1. 2. 1 目的

本調査の目的は以下の3点に要約される。

- ①地下水管理システムの確立
- ②地盤沈下及び地下水塩水化抑制基本計画の策定
- ③調査を通じてのカウンターパートへの技術移転

### 1. 2. 2 対象地域

本調査の対象地域は以下のとおりである(図1.1)。

BANGKOK, NONTAHBURI, SAMUT PRAKARN, PATHUM THANI及び CHACHOENSAO, SAMUT SAKHON, NAKHON PATHOM, PHRA NAKHON SI AYUTTHAYAの一部

### 1. 3. 3 調査期間とフレーム

調査は1992年7月から1995年3月までの33カ月間を、次の3つの段階に区分して実施した。

#### 第1段階：基礎調査

資料の収集整理、水文地質調査、地下水利用実態調査、データベース設計、観測井掘削地点の選定。

#### 第2段階：詳細調査

コアボーリング、観測井設置、コア分析・土質試験、水文地質調査、社会経済調査、水供給計画調査、データベース作成。観測井におけるモニタリング及び水質調査。

#### 第3段階：解析・計画策定

シミュレーションによる地下水・地盤沈下予測、塩水移動予測。地盤沈下抑制計画及び地下水管理計画の立案。

### 1. 4. 4 カウンターパート機関

タイ国工業省鉱物資源局(DMR)及び内務省公共事業局(PWD)がカウンターパート機関となり、調査団と共同で調査実施に当たった。調査メンバーは以下のとおりである。

J I C A 調査団

鎌田 烈  
大森正一  
REYNALDO R. MEDINA  
浅野睦夫  
三浦吉尚  
高橋忠二郎  
柴崎直明  
喜納政治  
竹森英治  
高橋 一  
PRECHA CHUNTAKORN

総括・水文地質  
地質  
水文  
土質  
ボーリング管理  
ボーリング管理  
地下水・シミュレーション  
都市開発  
水需要計画  
社会経済  
地下水利用実態

D M R

VACHI RAMNARONG  
SOMKID BUAPENG  
SAMRIT CHUSANATHAS  
ARANYA FUANGSWASDI  
SUCHAI SHINPOOL-ANANT  
PAISAL LAKANANURAK  
ORANUJ LORPHENSRI  
SANGUANSAK SUNGKABUN

研究専門官, MGL PROJECT DIRECTOR  
地下水データセンター主任  
水文地質  
水文地質  
水文地質  
情報地質  
水文地質  
水文地質

P W D

NATHAWUTH USOMBOON  
POSIT NIPPITAWASIN  
ROONGROJ KIATPANICHKIT  
CHAIPORN SIRIPORNPIBUL

深井戸掘削・開発部主任  
水文地質  
水文地質  
水文地質

## 2. 調査地域の概要

## 2. 調査地域の概要

### 2. 1 自然条件

#### 2. 1. 1 地形

タイ国の地形は中央平野、西部、南部及び北部の高地、東部の台地、東南部海岸平野、タイ半島部に大別される(図2.1)。中央平野は南はタイ湾から北はウタラディットまで延長約500km、東西幅100-200kmにわたって広がるタイ国随一の大平野である。この平野には北部山地からピン川、ヨム川、ナン川が流下し、平野中央のナコンサワンで合流してチャオプラヤ川となる。ナコンサワンでは平野の幅は狭まり、これを境に中央平野は上部平野と下部平野に分けられている。

下部平野は陸成及び海成堆積物からなる平野である。チャオプラヤ川はチャイナット付近でタチン川、ノイ川を分流しながら南下し、途中でパサック川を合流してタイ湾へ至る。下部平野の西側にはタチン川、東側にはバンパコン川が流れそれぞれタイ湾に注いでいる。

調査地域は、下部平野の末端に位置し、西及び東側をそれぞれタチン川とバンパコン川に画され、北はアユタヤ、南はタイ湾に面している。総面積はおよそ5,600km<sup>2</sup>の平野で、地形的には、扇状地、三角州、潮間帯からなる。平野の標高は0m-3mで、近年の地盤沈下により内陸部に標高0m以下の地帯が現れている(図2.2)。

#### 2. 1. 2 気候

調査地域は熱帯モンスーン気候区に属し、1年は5月から11月までの雨期、12月から翌年4月までの乾期に2分される。降雨量の85%は雨期に集中するが、年間降雨量の平均は、バンコクで約1,500mm、調査地域全体では約1,300mmである。また月平均気温はバンコクで25.4-29.7℃、月最低気温及び最高気温はそれぞれ、20.6℃及び34.9℃となっている(図2.3)。

#### 2. 1. 3 水文

調査地域の中央を流れるチャオプラヤ川は160,000km<sup>2</sup>の流域を有する大河川で、ナコンサワン地点での年平均流量は683.62m<sup>3</sup>/secである。下流のチャイナットにはチャオプラヤダムが建設されており、ダムの直下流の流量は336.1m<sup>3</sup>/secに減少する。チャイナットから下流では、チャオプラヤ川は幾つかの支川に別れるが、本流の流量はアユタヤ付近では358.02m<sup>3</sup>/secに増加する。しかしながら、河川流量の季節変動が大きく、アユタヤ付近では1月から8月までは495.8-835.5m<sup>3</sup>/se

cを示すのに対して、9月から10月にかけては1,000m<sup>3</sup>/secを越え、ときにアユタヤ付近の河道疎通能力1500m<sup>3</sup>/secを越える場合がある。このため、溢水により、低地部では、しばしば洪水が発生している（図2.4）。

## 2. 1. 4 地質と帯水層

タイ国の地質を概観すると、西部及び北部の山地及びタイ半島は先カンブリア紀層、古生層、中生層（三疊紀層）が分布し、東部及び南部の山地は中生層（三疊紀層）が分布する。また東北部の台地はジュラ紀以降白亜紀までの中生層が広く分布する。中央平野は主として新第三紀層と第四紀層からなる。

中央平野を埋める新第三紀及び第四紀堆積物の基盤はブロック化した地溝を形成しており、基盤までの深度は1,800m以上に達すると推定されている。新第三紀層の分布や性状については未だ明らかではないが、第四紀層は段丘堆積物、沖積層、ラテライト等からなる。

調査地域の地下地質と帯水層の分布については、多数の地質ボーリングや深井戸地質柱状図により解明が進められている。表層部はバンコク粘土層と呼ぶ軟弱な粘土層により広く覆われている。バンコク粘土層の下部には砂・れき・粘土からなる洪積層が分布する。主に、深井戸の電気検層結果にもとづき、平野地下の帯水層は次の8層に区分されている。

1. バンコク帯水層（50mゾーン）
2. プラパダン帯水層（100mゾーン）
3. ナコンルアン帯水層（150mゾーン）
4. ノンタブリ帯水層（200mゾーン）
5. サムコク帯水層（300mゾーン）
6. パヤタイ帯水層（350mゾーン）
7. トンブリ帯水層（450mゾーン）
8. パクナム帯水層（550mゾーン）

このうち、最も地下水の開発利用が進んでいるのは、プラパダン、ナコンルアン、ノンタブリの3帯水層である（図2.5）。

## 2. 2 社会・経済

### 2. 2. 1 経済発展

タイ国の過去10カ年の経済的発展は著しく、とくに1986年以降の国民総生産（GDP）は、製品輸出の増大、外国資本の流入、観光業の隆盛に支えられて高い



成長を示した。とくにこの3年間のGDPは平均10%以上の伸びを示している（表2.1）。

バンコク首都圏はタイ国経済のコアとなり、同国GDPの過半を占めるとともに、その成長率は年20%を越えている。しかし、こうしたバンコク首都圏への一極集中は地方との格差を拡大させ、人口の都市部への流入をもたらしている。一極集中の弊害は絶望的な道路渋滞や住宅、水道などの都市施設の不足、大気汚染・水質汚染などの環境問題となって現れてきている。

## 2. 2. 2 人口

1990年統計によればタイ国の人口は56,303千人で、このうちバンコク首都圏の人口は5,621千人である。また、調査地域に含まれる首都圏周辺地域7県の人口を加えると9,982千人に達する。バンコク首都圏では統計に現れない流入人口が多く、実際の人口は8,000千人を越えているものと思われる（表2.2）。

## 2. 2. 3 交通・輸送・電力

タイ国の陸上交通・輸送はハイウェイ及び一般道路で行われ、幹線道路はよく整備されている。しかし、バンコク首都圏では車の増加に道路の建設が追いつかず深刻な道路渋滞が起きており、今や都市活動に著しい弊害を与えている。車に代わる交通手段がほとんどないため、地下鉄・高架鉄道などの大量輸送システムの建設が急がれるところであるが、遅々として進んでいない。

バンコク首都圏ではほぼ100%、近県でも90%近い所帯に電力は供給されている。

## 2. 3 水供給

### 2. 3. 1 水供給組織

調査地域の内、バンコク都、サムットプラカン県、ノンタブリ県はMWAの水道管轄範囲である。また、それ以外の県は地方水道公社（PWA）が管轄しており上水道を供給している。しかし、MWAやPWAの水道のサービス地域外では地下水が利用されている。

水道サービス地域外の公共用水（役所、学校、病院など）は、地域振興局（ARD）、公共事業局（PWD）、鉱物資源局（DMR）、保健局（DOH）が深井戸を建設し、地下水を給水している。また、工業団地局（IEAT）は工業団地に給水するため独自に深井戸を建設し、地下水を取水している。

調査地域の大部分にはまだ上水道がないので、それらの地域の住宅、事務所、工場などの用水は深井戸から地下水を取水してまかなっている。これまで1万本以上に達する深井戸が掘削されているが、これらの民間井戸についてはDMRが掘削及び揚水の許認可を行っている。

### 2. 3. 2 MWA

MWAのサービスエリアは、責任範囲の全体面積3,195km<sup>2</sup>の約22%にあたる、710km<sup>2</sup>で、給水人口は560万人、給水率は78%である(1991年)。原水取水量は年間1,143.4百万m<sup>3</sup>(約313万m<sup>3</sup>/day)で、その97%はチャオプラヤ川から取水した河川水である。また残り約3%に当たる34百万m<sup>3</sup>(約9.3万m<sup>3</sup>/day)はMWA所有の41本の深井戸から取水している。MWAは1983年当時年間142.4百万m<sup>3</sup>(39万m<sup>3</sup>/day)の地下水を揚水していたが、地盤沈下対策のため、それ以降深井戸を順次廃止しつつある(図2.6、表2.3)。

### 2. 3. 3 PWA

調査地域内のパトムタニ県ではPWAが給水事業を行っている。1992年現在の給水サービスエリアの面積は180km<sup>2</sup>で、給水人口9.8万人、給水率は21%である。水源は地下水で、20本の深井戸により年間6.27百万m<sup>3</sup>を取水している。

### 2. 3. 4 民間井戸及び公共井戸

地下水法により登録された、調査地域内の民間及び公共深井戸の総数は約14,000本で、それらの総揚水量は約140万m<sup>3</sup>/dayに達すると推定される(第5章参照)。地下水法による許可水量に対し現在1m<sup>3</sup>あたり3.5パーツの水料金が課せられている。

### 2. 3. 5 IEAT

現在9つの工業団地に80本の深井戸があり、1992年の地下水揚水量は約33百万m<sup>3</sup>である(図2.7)。

## 2. 4 バンコクの地盤沈下概要

### 2. 4. 1 経緯

バンコクでは、1969年頃から、各地で井戸や建築物基礎の抜け上がり現象が見られるようになり、地盤沈下が発生していることが知られるようになった。地盤沈下の原因については1979年に開催されたセミナーにおいて、地下水の過

剰揚水であることが広く認識されるようになり、DMRやAITによる地盤沈下調査が開始された。その後の水準測量によると、地盤沈下は、バンコク都内のラプラオ、バンカピ、フアマーク、プラカノン、バンナ地域で激しく、年間沈下量は10cm以上に達していることが明らかとなった。また、これらの地盤沈下地域は地下水位の低下帯によく一致していることも明らかとなった。

#### 2. 4. 2 地下水揚水量

バンコク首都圏では地下水は、MWAやPWAの水道用水源として利用される他、多数の民間深井戸により、生活用水・ビル用水・工業用水として利用されている。1978年施行の地下水法により井戸掘削と揚水は許可制となり、1985年から一部の井戸に量水計が設置されるようになったため、揚水量の実態が明らかになってきた。1980年代を見ると、民間井戸許可揚水量とMWAの揚水量の合計は112万m<sup>3</sup>/dayから148万m<sup>3</sup>/dayに増加した。

#### 2. 4. 3 地下水位と地盤沈下

プラパダン、ナコンルアン、ノンタブリなど主な帯水層の水位は、1960年代末から低下し始め70年代を通じて低下地帯が広がり、80年代の初めには40-50mに低下した。しかし、1985年頃から、地下水法の施行と地下水規制に伴ってバンコク中心部では地下水位の回復が見られるようになった。一方で、バンコク東部のラカバン、北部のパトムタニや西南部のサムットサコンでは、工場、住宅団地の進出に伴い、地下水揚水量が増加し、地下水位の低下が激しくなっている。

地盤沈下の水準測量はタイ王立測量局(RTSD)、バンコク首都圏庁(BMA)、DMRなどの機関が実施している。RTSDの測量によると1978年から1987年の10年間の最大沈下量は75cmに達した。過去の測量記録をもとにすると、バンコクでは過去45年間の最大沈下量は160cm以上と推定される。前述のように1980年代初めのバンコク中心部の年間沈下量は10cmを越えていたが、1985年以降地下水位の上昇とともに地盤沈下は2cm/yearに減少した。しかし、東部のパンプリ、南部のサムットプラカン、西南部のサムットサコンでは年間5cm以上を示し、急激な地盤沈下が進行している。

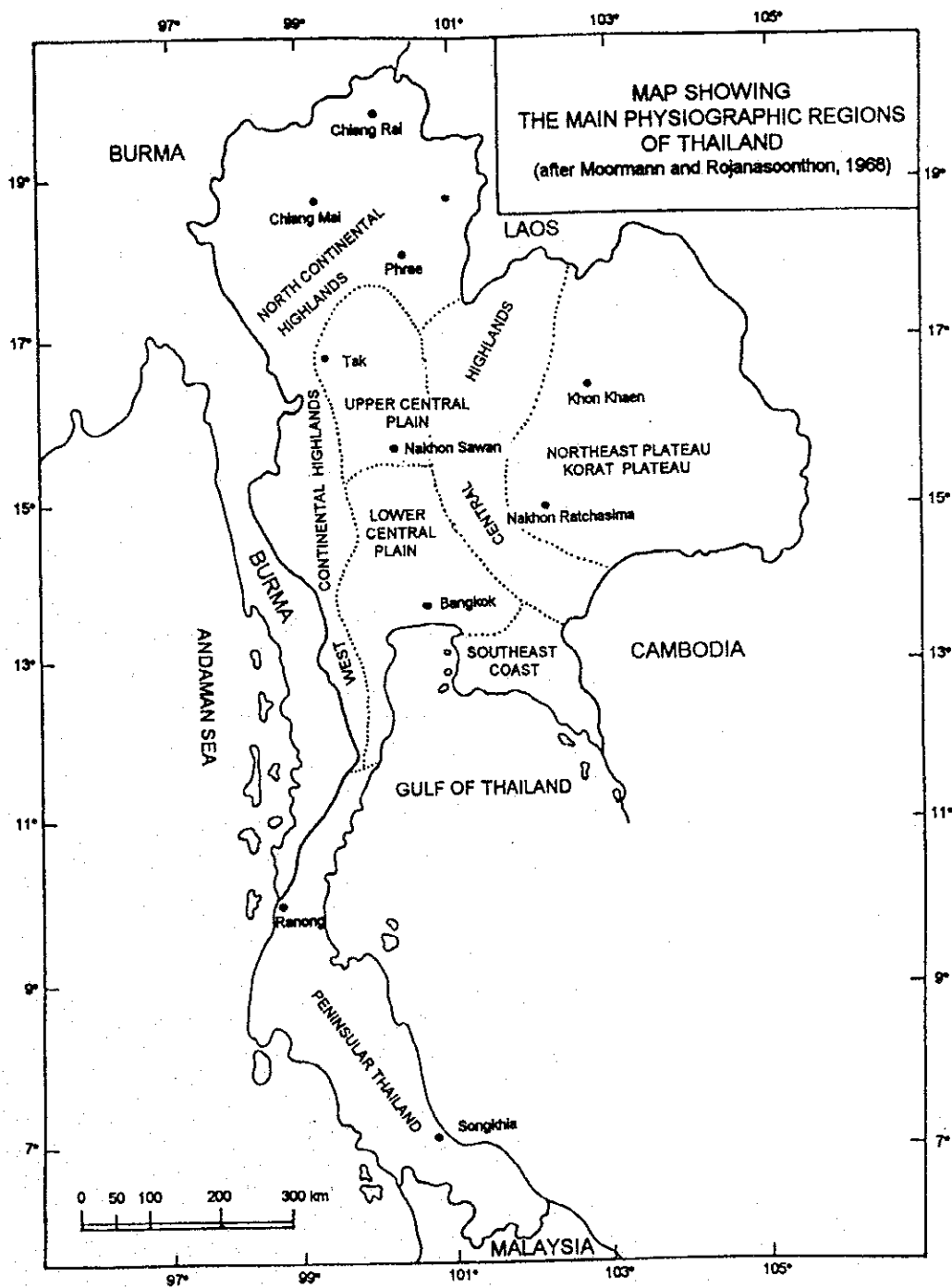
#### 2. 4. 4 法制度

タイ政府は地下水の保全管理・地盤沈下対策を目的として1978年に地下水法を施行した。この法律のもとでは、井戸掘削、地下水の利用及び廃水の井戸注入は全て許可制となった。その後、法律により、バンコク都と周辺の6県は全国に先駆け「地下水区」に指定され、この地域の民間深井戸は1985年以降地下水

の利用料金を徴収されることとなった。

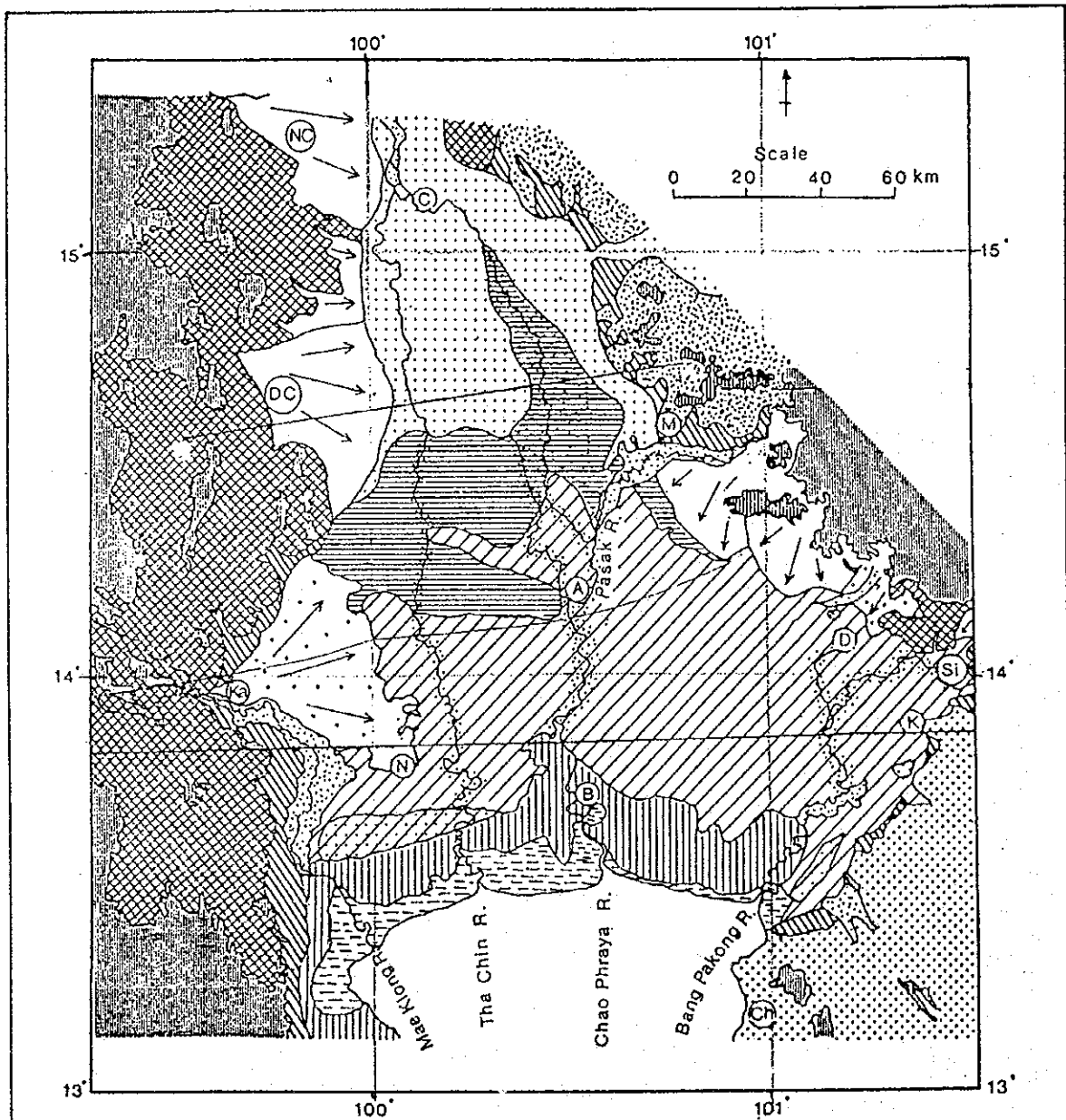
#### 2. 4. 5 地下水危機と地盤沈下対策

D M RとA I Tが共同で行った地下水・地盤沈下対策調査にもとづき、タイ政府は1983年に「バンコク首都圏の地下水危機と地盤沈下の対策」を閣議決定した。この決定は、主要帯水層の地下水位回復と地盤沈下の緩和はかるため、地下水揚水量を規制するもので、具体的には、バンコク首都圏内を3地域の規制地域に区分し、規制地域毎に年次目標を定めてM W A深井戸を廃止するとともに民間井戸の揚水量増加を抑制して、地下水位の回復と地盤沈下を軽減させるものである(図2.8)。1983年以降1987年まで、バンコク中心部ではこの対策の効果が現れ、地下水位の回復と地盤沈下量の減少が認められた。しかし、バンコク首都圏では1987年以降かつてない経済成長ブームが起こり、水需要が著しく増大したため、バンコク郊外で地下水位低下と地盤沈下が激しくなっているのは前述のとおりである。このため、早急な地下水規制・管理計画の見直しが必要になっている。



modified Thiramongkol, 1983

図 2.1	タイ国の大地形区分
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



(A) Ayutthaya (B) Bangkok (C) Chai Nat (Ch) Chon Buri (D) Ban Dong  
 Lekhon (K) Khok Pib (Ka) Kanchanaburi (M) Ban Mo (N) Nakhon Pathom  
 (Si) Si Maha Phot (DC) Don Chedi fan (NC) Nong Chang fan

- |  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

After Narong Thiramongkol (1983)

図 2.2	下部中央平野の地形区分
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

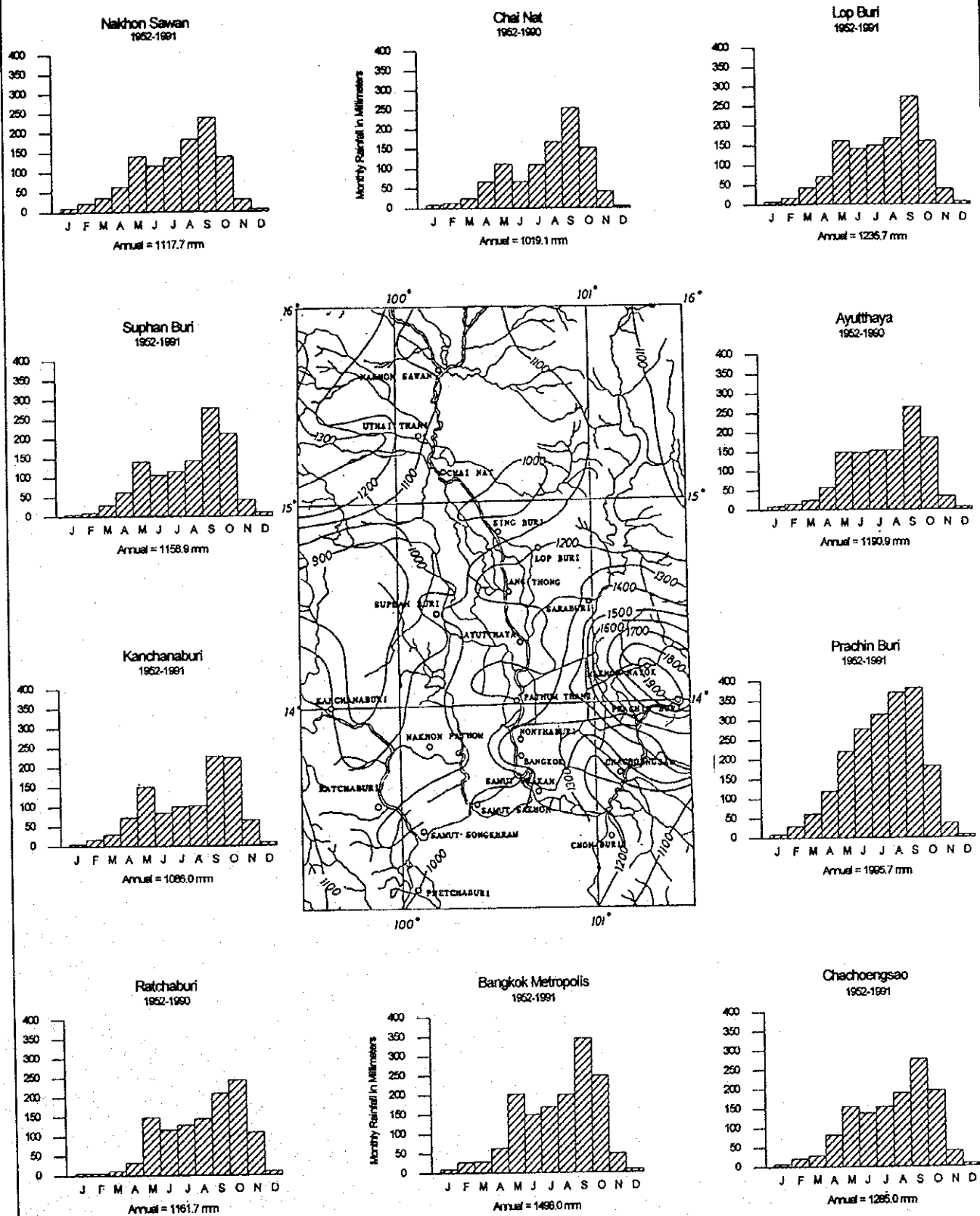


図 2.3 下部中央平野の年及び月降雨量分布

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE  
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

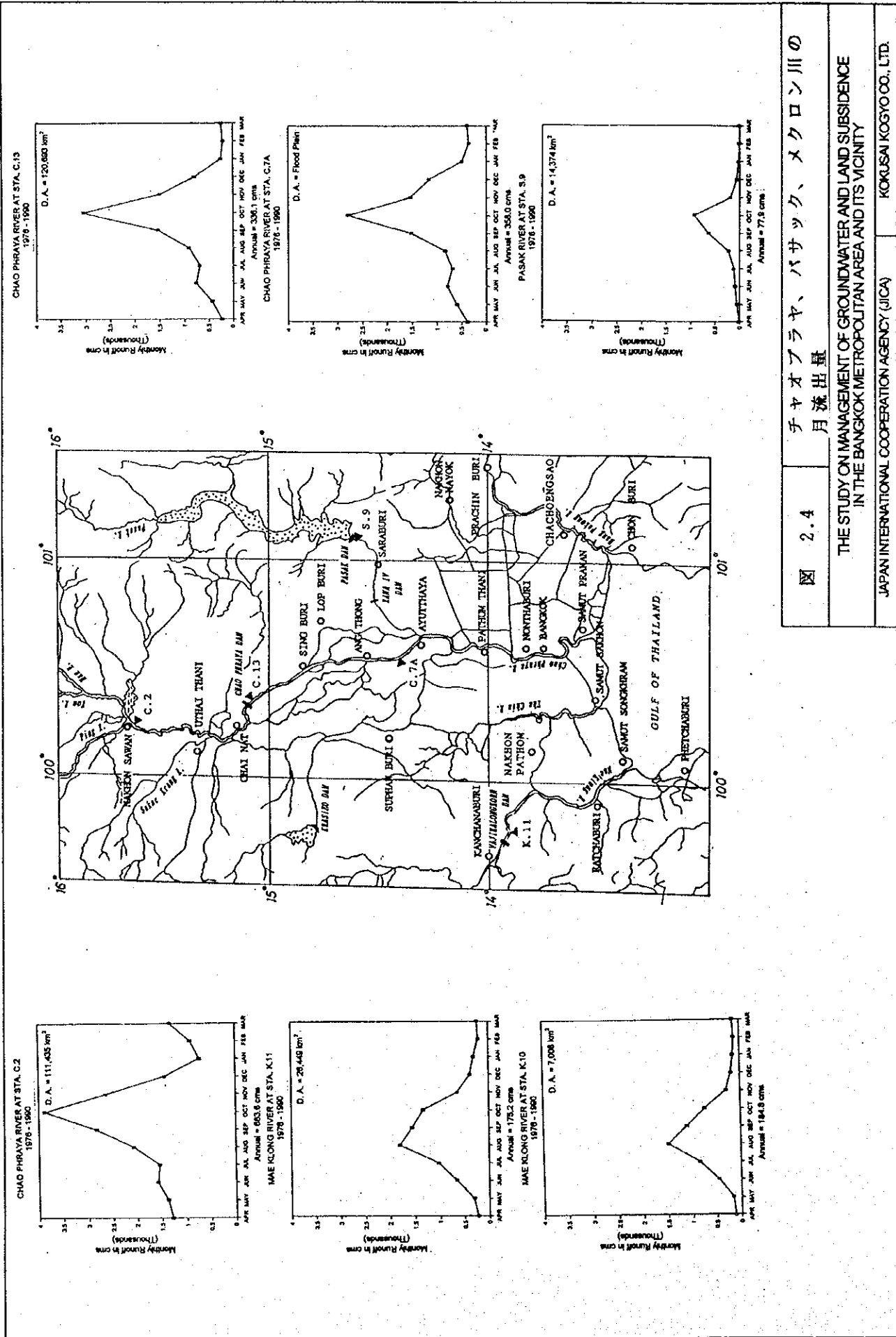


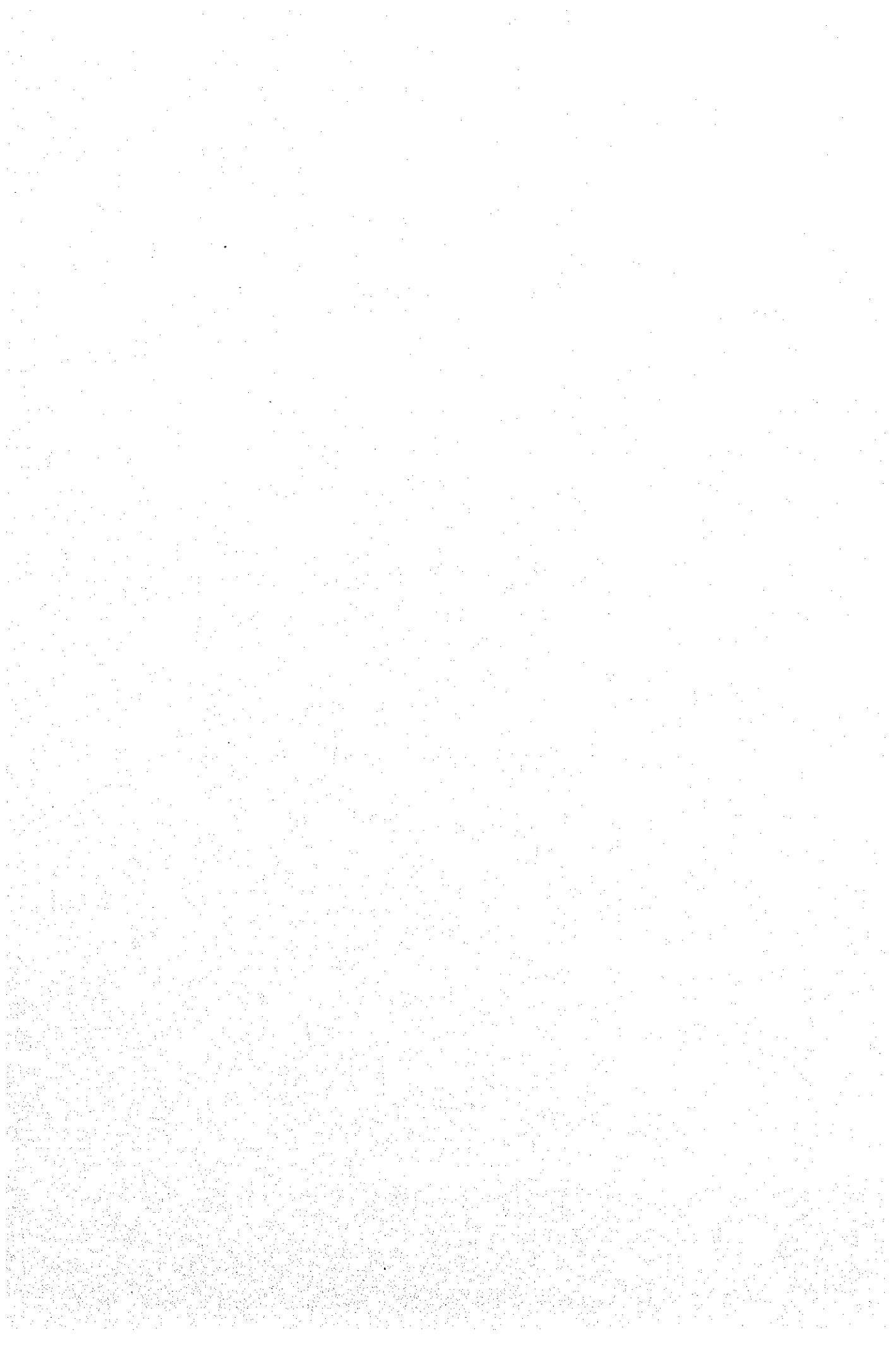
図 2.4 チャオプラヤ、バサック、メクロン川の月流出量

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

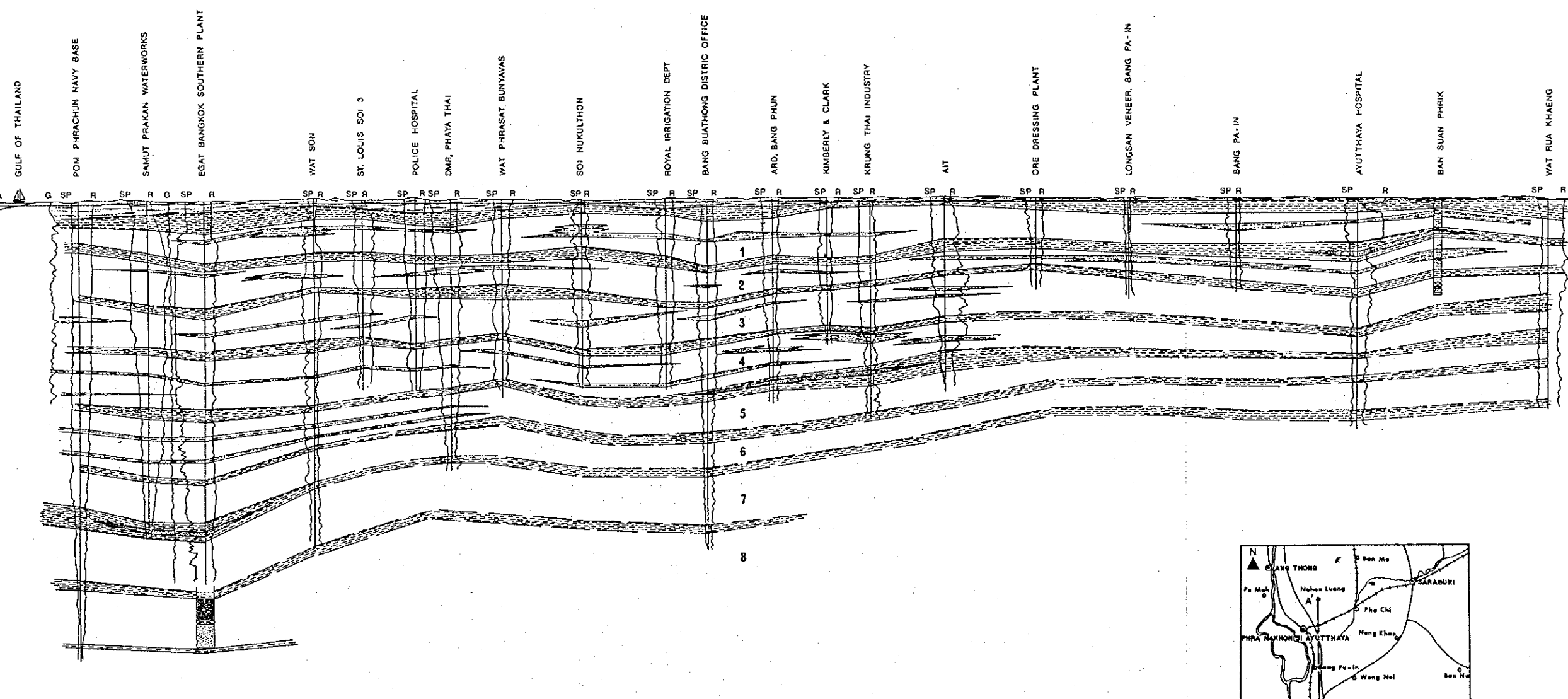
KOKUSAI KOGYO CO., LTD.













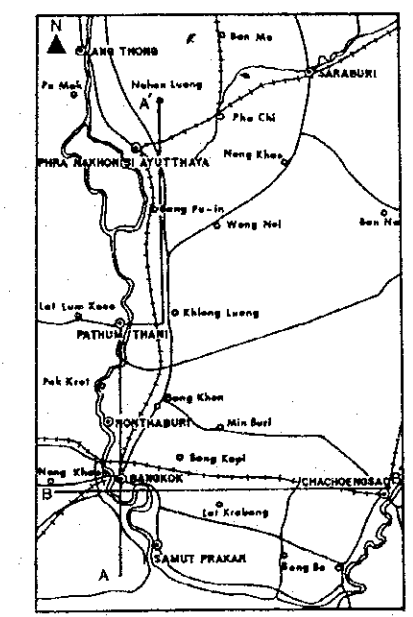
SOUTH  
Scale  
Meter  
+30  
0  
-50  
-100  
-150  
-200  
-250  
-300  
-350  
-400  
-450  
-500  
-550  
-600  
-650

NORTH  
Scale  
Meter  
+30  
0  
-50  
-100  
-150  
-200  
-250  
-300  
-350  
-400  
-450  
-500  
-550  
-600  
-650



- 
 Electrical log, SP curve on the left, Resistivity (R) curve on the right
- 
 Gamma ray log (G)
- 
 Drilled log
- 
 Top Clay: dark gray to black, very soft, known as "Bangkok soft clay"
- 
 Clay (confining bed): consisted predominantly of stiff clay, with localized sandy clay or fine sand layers or lenses. Boundaries are correlated through electrical logs, and dashed where approximate.
- 
 Sand and gravel (aquifer): consisted of sand and gravel of various sizes and colors, moderately to well sorted, subangular to rounded. The aquifers are commonly interbedded by clay layers and lenses.
- 
 Clay layer: intercalating in the sand and gravel aquifer.
- 
 Sand layer: intercalating in the confining clay bed.

2.5



INDEX MAP SHOWING PROFILE-LINE  
Scale 1:1,000,000  
A—A Profile-line  
● Amphoe (district)  
● Changwat (province)

チャオプラヤ川下流平野の南北方向の水文地質断面  
DMR, 1979

<b>HYDROGEOLOGICAL NORTH-SOUTH PROFILE OF THE LOWER CHAO PHRAYA BASIN</b>	
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

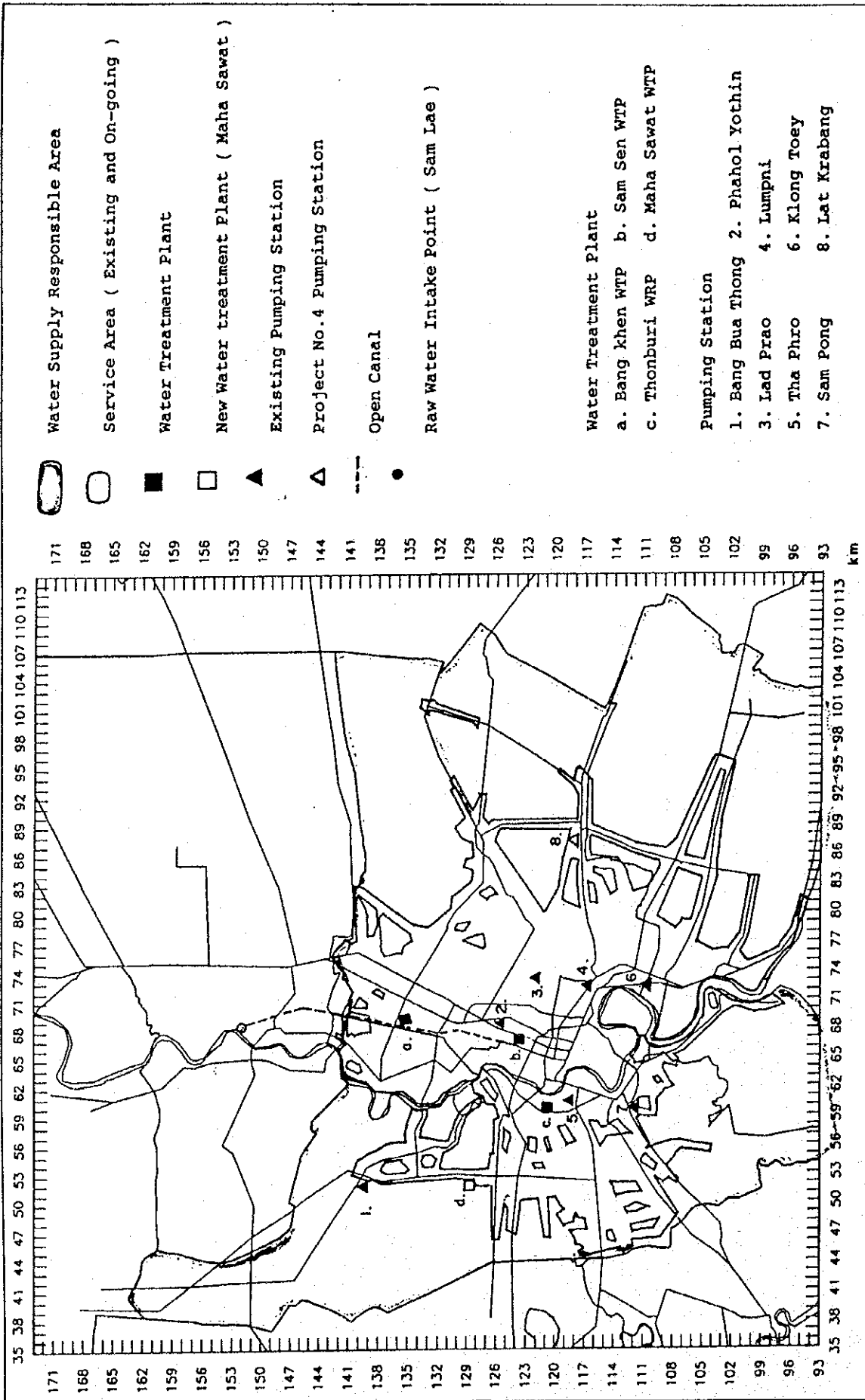
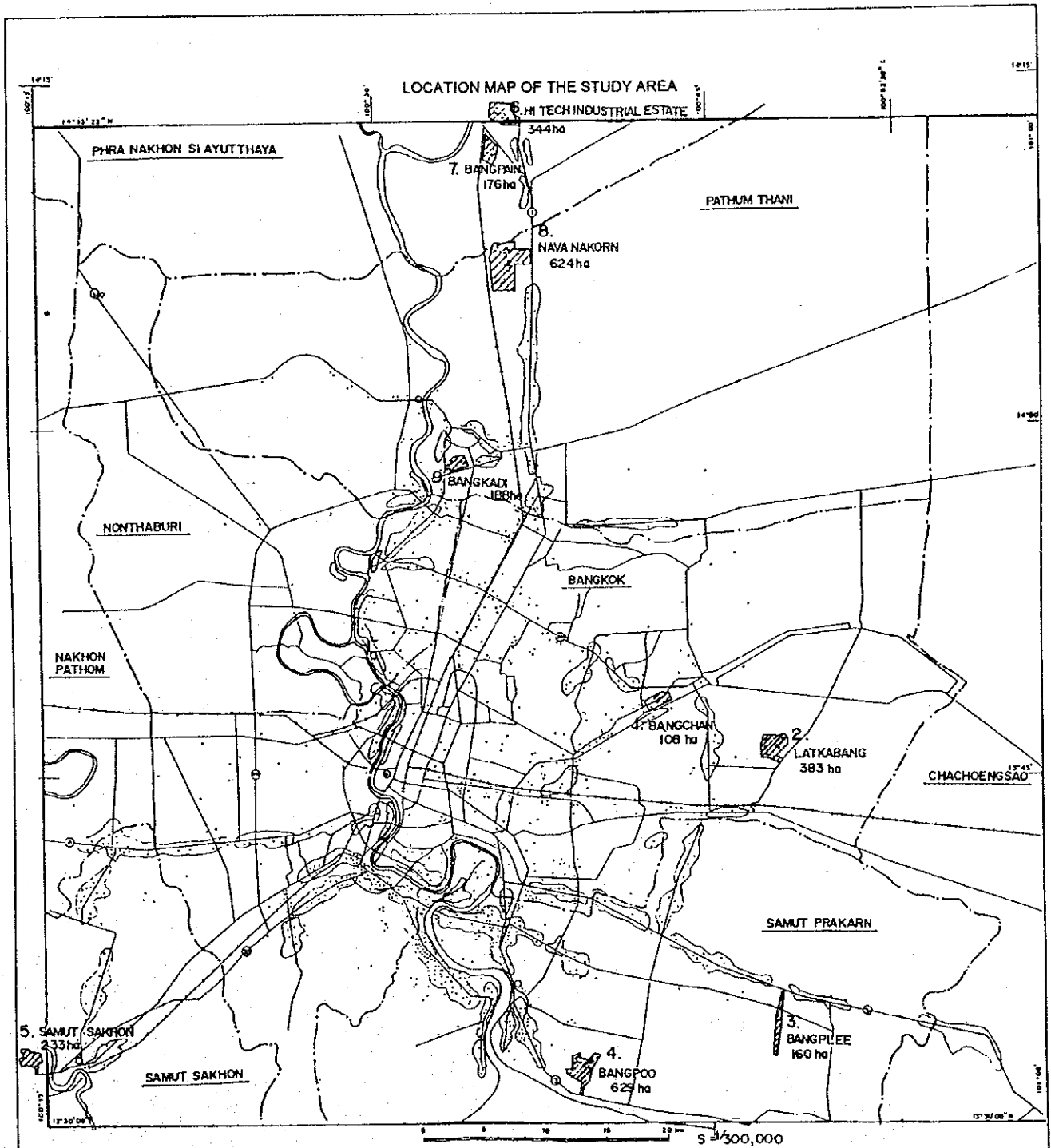




図 2.6 MWAの供給範囲

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE  
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)    KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



**REMARKS**

- WELL POINT OF REGISTERED UNDER THE DMR
-  IEAT and PRIVATE INDUSTRIAL ESTATE
-  INDUSTRY AREA OF PRIVATE SECTOR, AND RESIDENTIAL TOWN

 2.7	主な工業団地と工業地域
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

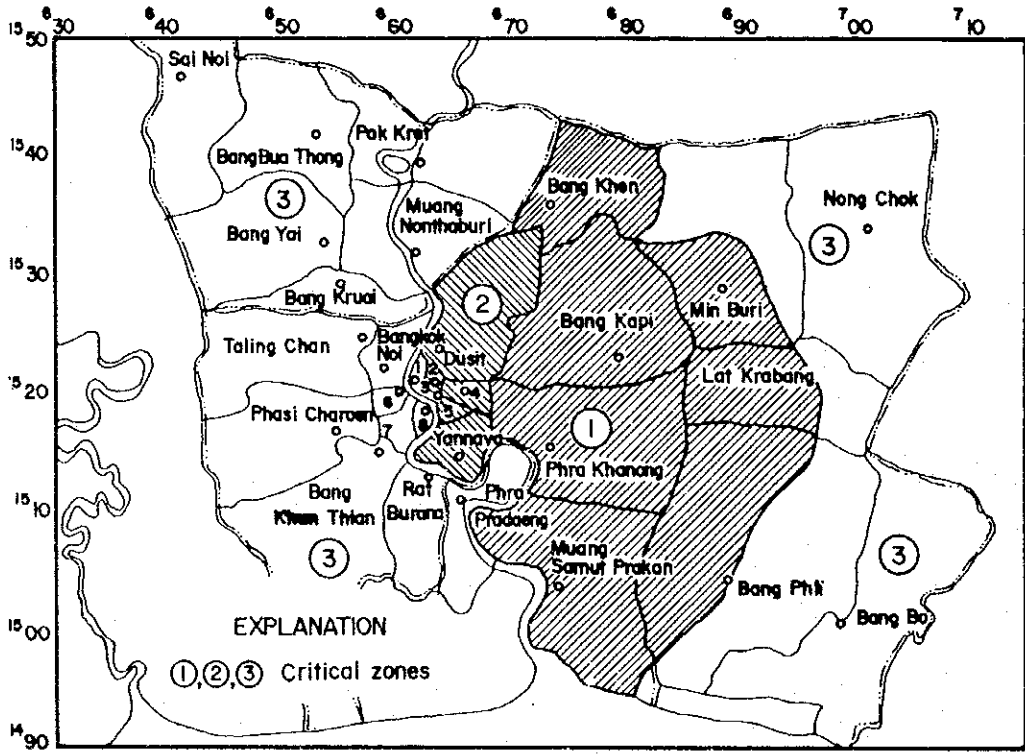


図 2.8 バンコク首都圏の現在の地下水規制地域

表 2.1 実質GDP及び1人あたりGNPの成長率

Year	Real GDP	Agriculture	Industry	Services	Real per Capita GNP
60 - 65	7.2	4.8	11.5	7.2	-
65 - 70	8.6	6.0	10.4	9.5	-
70 - 75	5.6	3.8	7.3	5.6	2.9
75 - 80	7.9	4.0	10.6	8.2	5.3
80 - 85	5.6	4.9	5.0	6.3	3.5
86	4.5	0.2	7.1	4.6	2.6
87	9.5	-0.2	12.8	11.1	7.7
88	13.2	10.2	17.4	11.6	11.4
89	12.0	6.6	16.2	11.1	10.5
90	10.0	-1.8	15.8	10.0	8.5

Source : National Economic and Social Development Board (NESDB)

表 2.2

## 調査地域の県別及び年別人口 1980-1991

PROVINCE	1980	1981	1982	1983	1984	1985	
WHOLE KINGDOM	44,824,540	47,875,002	48,846,927	49,515,094	50,583,105	51,795,651	
Bangkok	4,697,071	5,331,402	5,468,286	5,018,327	5,174,682	5,363,378	
Nonthaburi	369,777	403,809	422,392	456,588	478,199	504,424	
Pathum Thani	319,674	332,111	341,336	357,809	366,767	384,713	
Samut Prakarn	484,829	557,292	585,320	623,514	640,316	662,612	
Samut Sakhon	247,168	270,744	278,949	296,714	301,631	315,373	
Ayutthaya	602,021	626,590	631,285	630,799	637,845	652,977	
Nakhon Pathom	525,906	569,649	590,588	585,931	596,257	609,316	
Chachoengsao	445,000	498,092	507,422	503,184	510,308	525,717	
TOTAL	7,691,446	8,589,689	8,825,578	8,472,866	8,706,005	9,018,510	
PROVINCE	1986	1987	1988	1989	1990	1991	Av. Annual Grow. Rate 1980-1991
WHOLE KINGDOM	52,969,204	53,873,172	54,960,917	55,888,393	56,303,273	56,961,030	2.20
Bangkok	5,468,915	5,609,352	5,716,779	5,832,843	5,546,937	5,620,591	1.65
Nonthaburi	525,475	571,871	596,381	627,667	668,760	703,187	6.02
Pathum Thani	402,080	415,193	435,409	441,930	452,693	465,968	3.48
Samut Prakarn	689,631	741,905	789,060	829,412	854,883	882,164	5.59
Samut Sakhon	327,677	334,170	340,952	349,680	358,155	365,274	3.61
Ayutthaya	664,245	668,611	677,626	680,100	685,394	691,075	1.26
Nakhon Pathom	617,596	619,518	630,805	646,803	657,182	664,190	2.14
Chachoengsao	540,864	550,787	569,411	575,731	582,783	589,829	2.59
TOTAL	9,236,483	9,511,407	9,756,423	9,984,166	9,806,787	9,982,278	2.40

Source : Department of Local Administration

表 2.3

## MWAの給水実績

Description	Unit	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
A. Total Water Production (Include Groundwater) B + Water Loss + I	M. m3	624 .7	630 .3	626 .5	731 .2	801 .8	820 .8	841 .3	859 .6	934 .3	1049 .3	1109 .2
B. Water Sales 1)+2)	M. m3	334 .2	340 .8	360 .7	423 .4	477 .4	485 .0	523 .0	570 .3	628 .2	718 .7	781 .5
1) Residence	M. m3	191 .1	194 .6	205 .0	239 .4	280 .4	280 .0	305 .2	328 .5	328 .0	369 .4	391 .7
2) Business, Gov. Agencies	M. m3	143 .1	144 .3	162 .3	182 .7	195 .4	204 .0	216 .2	240 .3	298 .7	347 .9	377 .7
C. Water Sales %, B/A	%	53.5	54.2	59.0	57.9	59.5	59.1	62.2	66.4	67.4	68.5	70.5
D. Total Customers, No.	1000	423	445	468	520	602	660	721	790	867	949	1028
E. Population Responsible Area, Person	1000	6292 .5	6476 .0	6098 .4	6293 .2	6530 .4	6684 .0	6923 .2	7102 .2	7289 .9	7070 .6	7205 .9
F. Water Consumption Ratio, Q/Person/day	Q	148	142	148	163	178	169	172	172	164	188	190
G. Service Area	km2	315	330	350	390	430	475	520	580	625	680	710
H. Water Supply Ratio	%	56	58	62	64	66	68	70	74	75	76	78
I. Groundwater Supply Volume	M. m3	186 .2	163 .4	143 .4	130 .8	109 .9	71 .3	76 .7	72 .6	59 .3	28 .7	34 .2
J. Groundwater Supply Ratio, I/A	%	29.8	25.9	22.8	17.9	13.7	8.6	9.1	8.4	6.3	2.8	3.1

Source : MWA

M. m3 =Million m3

Note: MWA service area is BKK Metropolis, Nonthaburi and SamutPrakarn.



### 3. 水文地質構造

#### 3. 1 地形と地質

下部中央平野の地形と地質の模式図を図3.1に示す。平野の西側と東側にはそれぞれ山地が広がり、山麓から平野にかけては高位及び中位段丘が分布する。また、山地から平野の出口にかけては現河川に沿って新旧の扇状地が発達している。平野はデルタと潮間帯からなり、平野上流のチャイナット周辺では陸水性堆積物、アユタヤ周辺では気水性堆積物からなるデルタが発達し、下流のバンコク首都圏地域は厚いバンコク粘土層に覆われたデルタと潮間帯が広がっている。バンコク粘土層 (soft clay)の<sup>14</sup>C年代は4千年から7千年前を示すことから沖積海進に伴う堆積物と考えられる。バンコク粘土層の下には基盤岩まで洪積層と鮮新層が500-1800mの厚さで堆積している。

#### 3. 2 コアボーリング

地下地質を調査するため、下記の3地点でコアボーリングを行った。採取したコアは地質観察した後、微化石分析、<sup>14</sup>C年代測定、塩分分析及び土質試験を行った。

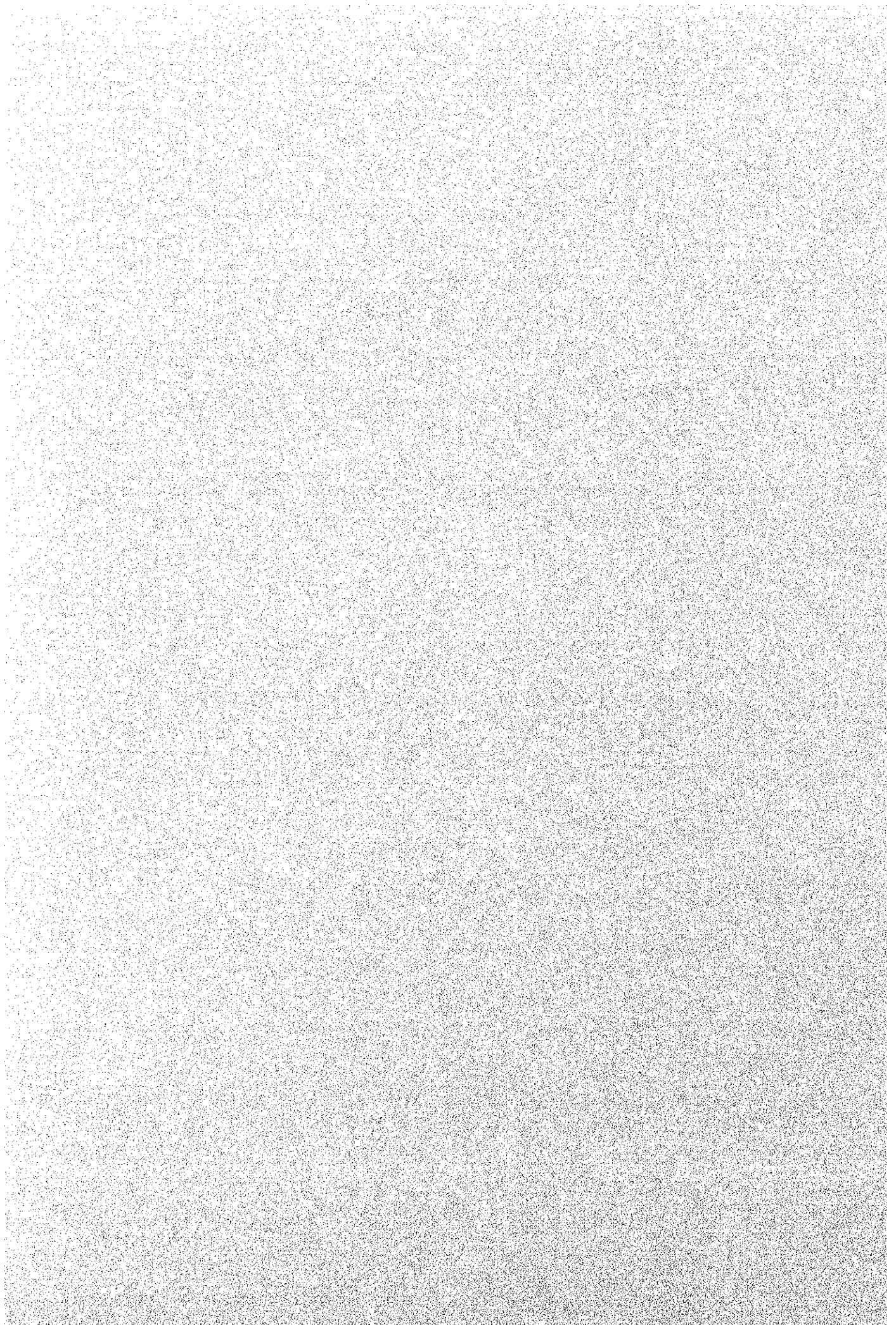
サイトA： ラットクラバン 住宅局 (NHA) 敷地内 : 深度 600m  
サイトB： AIT 構内 : 深度 300m  
サイトC： サムットサコン ワット・クロン・クルー : 深度 325m

##### 3. 2. 1 サイトA

深度600mまでの層相は16区分できる。また、コアボーリング終了後掘削した観測井 (深度550m)の物理検層結果と対比して帯水層を区分した結果は次のとおりである。

水文地質区分	深度
バンコク粘土 (soft clay)	1.50- 17.20m
バンコク粘土 (stiff clay)	17.20- 20.30m
バンコク帯水層	20.30- 57.80m
プラパダン帯水層	57.80-121.50m
ナコンルアン帯水層	121.50-178.28m
ノンタブリ帯水層	178.28-280.80m
サムコク帯水層	280.80-361.40m
パヤタイ帯水層	361.40-440.00m
トンプリ帯水層	440.00-482.00m

### 3. 水文地質構造



### 3. 2. 2 サイトB

深度300mまでの層相は11区分出来る。観測井の物理検層結果と対比して、帯水層区分した結果は次のとおりである。

水文地質区分	深度
バンコク粘土 (soft clay)	2.00- 9.00m
バンコク粘土 (stiff clay)	9.20- 15.80m
バンコク帯水層	15.80- 49.00m
プラパダン帯水層	49.00- 126.25m
ナコンルアン帯水層	126.25- 193.40m
ノンタブリ帯水層	193.40- 281.13m
サムコク帯水層	281.13- 300.00m†

### 3. 2. 3 サイトC

深度300mまでの層相は13区分できる。観測井の物理検層結果と対比して、帯水層区分した結果は次のとおりである。

水文地質区分	深度
バンコク粘土 (soft clay)	1.40- 14.50m
バンコク粘土 (stiff clay)	14.50- 19.45m
バンコク帯水層	19.45- 43.45m
プラパダン帯水層	43.45-108.00m
ナコンルアン帯水層	108.00-170.00m
ノンタブリ帯水層	170.00-281.00m
サムコク帯水層	281.00-300.00m†

### 3. 2. 4 <sup>14</sup>C年代

バンコク粘土層 (soft clay)の<sup>14</sup>C年代は、サイトA地点及びサイトB地点で1,110±100年から8,620±340年を示し、沖積海進による堆積物であることが分かった。

### 3. 2. 5 微化石分析から見た堆積環境

バンコク粘土層に含まれるけい藻類は極めて少ない。また、有孔虫もあまり含まれていないが、これらの微化石の同定によると、粘土層は縁海 (marginal sea)の

堆積物と考えられる。

### 3. 2. 6 塩分濃度

コアの塩分濃度を室内分析した結果、サイトAでは深度30-90m, サイトBでは深度30m付近、サイトCでは、30-50mで高い値を示した。これらは、バンコク帯水層の塩水化現象を反映している。

### 3. 2. 7 土質試験

バンコク粘土層は地盤沈下の主原因となる被圧密層と考えられるので、シンウオールサンプラーにより不攪乱試料を採取して、物理試験と圧密試験を行った。また、深部の洪積粘土層も地下水位低下により圧密を受けると考えられるので、コアサンプルの物理試験と圧密試験（一部は高圧圧密試験）を行った。地盤沈下予測計算は、これら土質試験結果を使用した。

## 3. 3 基盤構造

既存資料と今回のコアボーリング結果を総合して、下部中央平野の基盤構造を推定すると図3.3のようである。調査地域では、チャオプラヤ川右岸側の基盤深度は深く、1000m以上と推定される。また、チャオプラヤ川河口の左岸側では500mより浅いことが確認されているが、サイトAの深度600mのボーリングでは基盤に到達していないため、左岸側全体では500-1000mの深度と推定される。

## 3. 4 帯水層単元

既存資料とコアボーリングの結果にもとづき、調査地域の帯水層の分布と構造を明らかにし、地下地質断面図及び帯水層等深線図を作成した。帯水層区分はDMRの定義に従って8層に区分した。図3.4に代表的な南北断面と図3.5.1から図3.5.3には主帯水層の等深線図を示す。

## 3. 5 観測井の建設

各帯水層の地下水位と地盤沈下を観測するため、コアボーリング地点に深度の異なる観測井を掘削した。各地点ごとの観測井数と深度は図3.6に示す。また観測井の構造は図3.7に示す。各観測井には水圧式水位計と地盤沈下計を設置した。なお、これらの観測井では揚水試験を行い、各帯水層の水理定数を把握した。

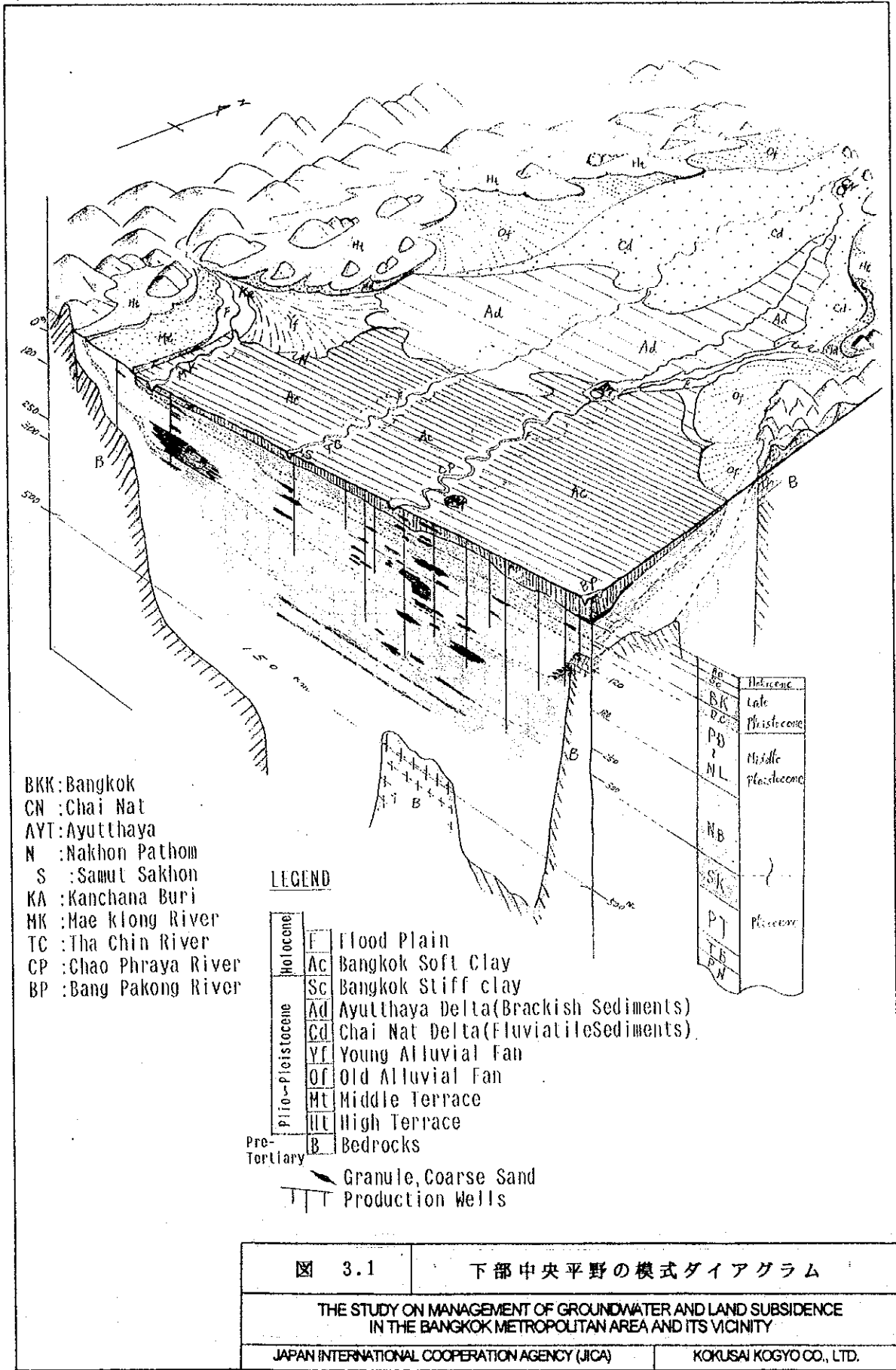
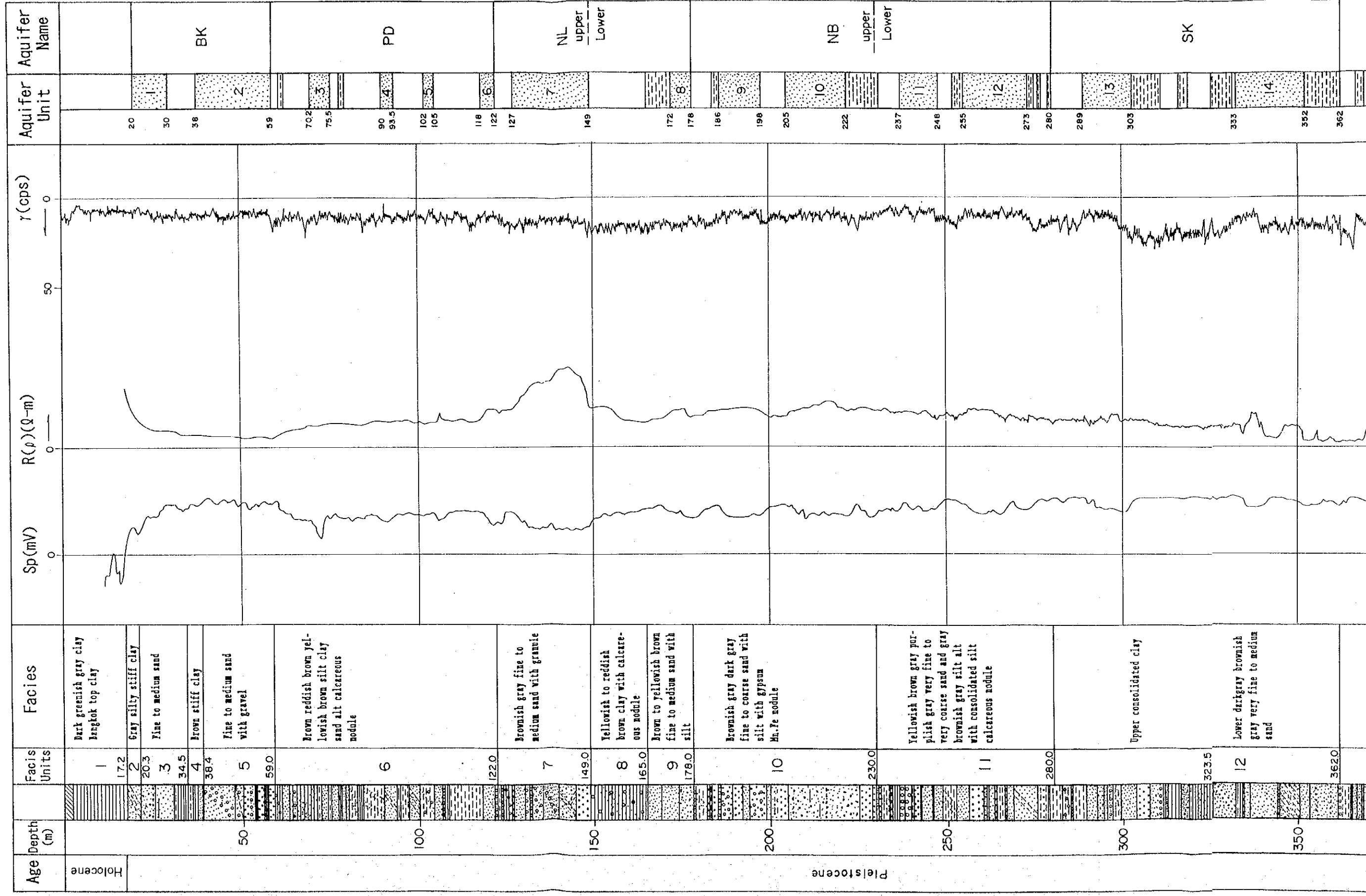


図 3.1 下部中央平野の模式ダイアグラム  
 THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE  
 IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.

# JICA - A LOGGING



Pleistocene

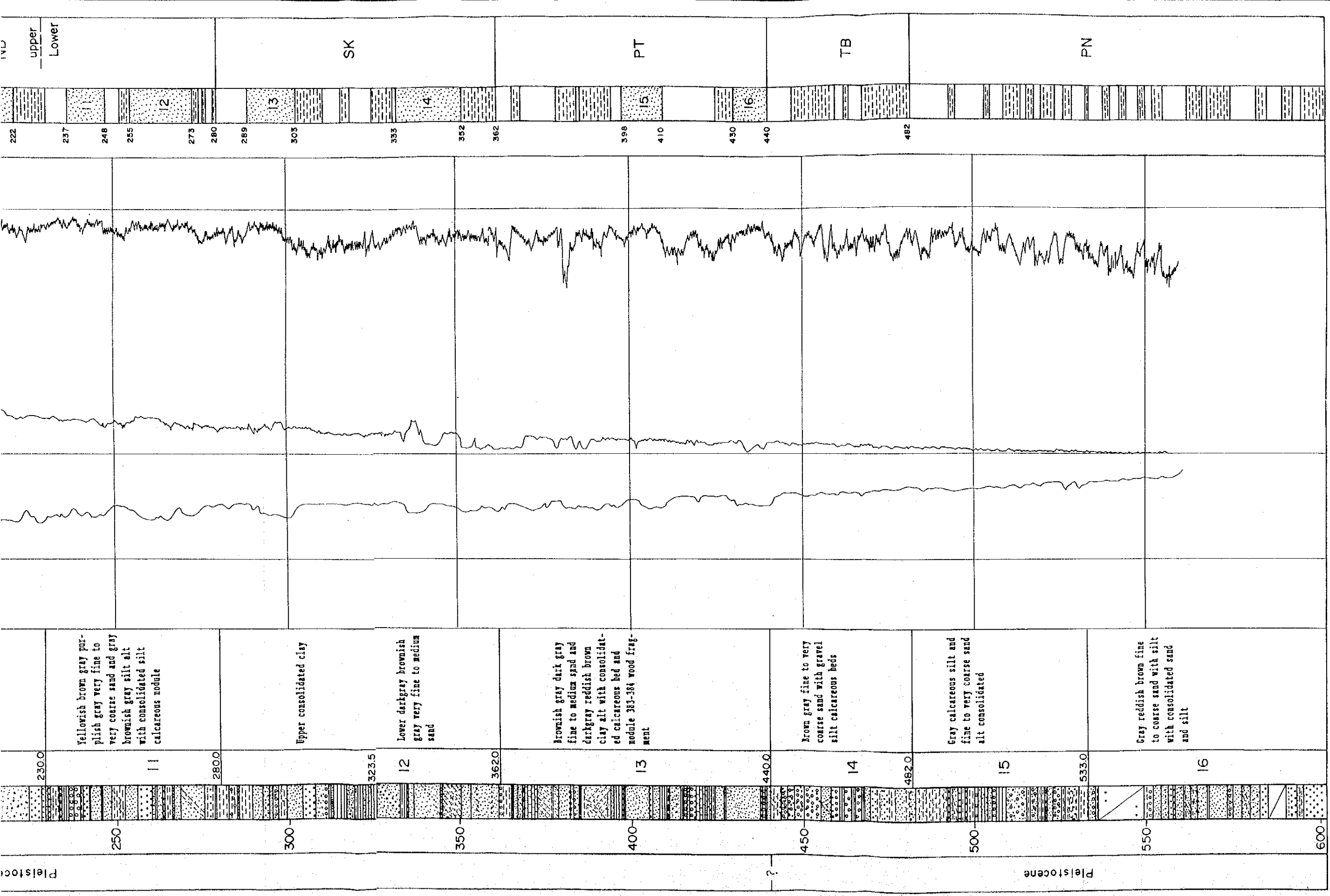
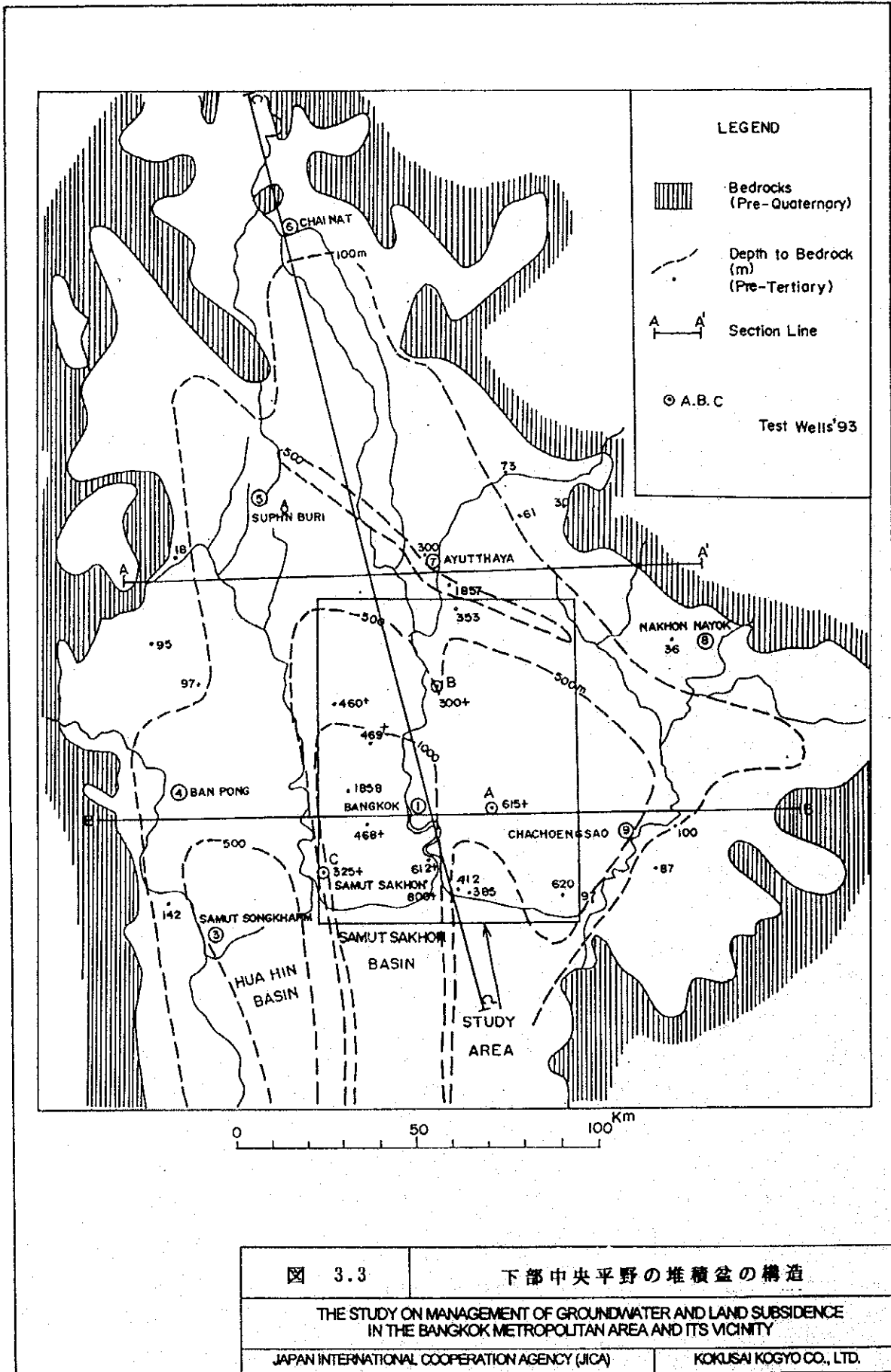
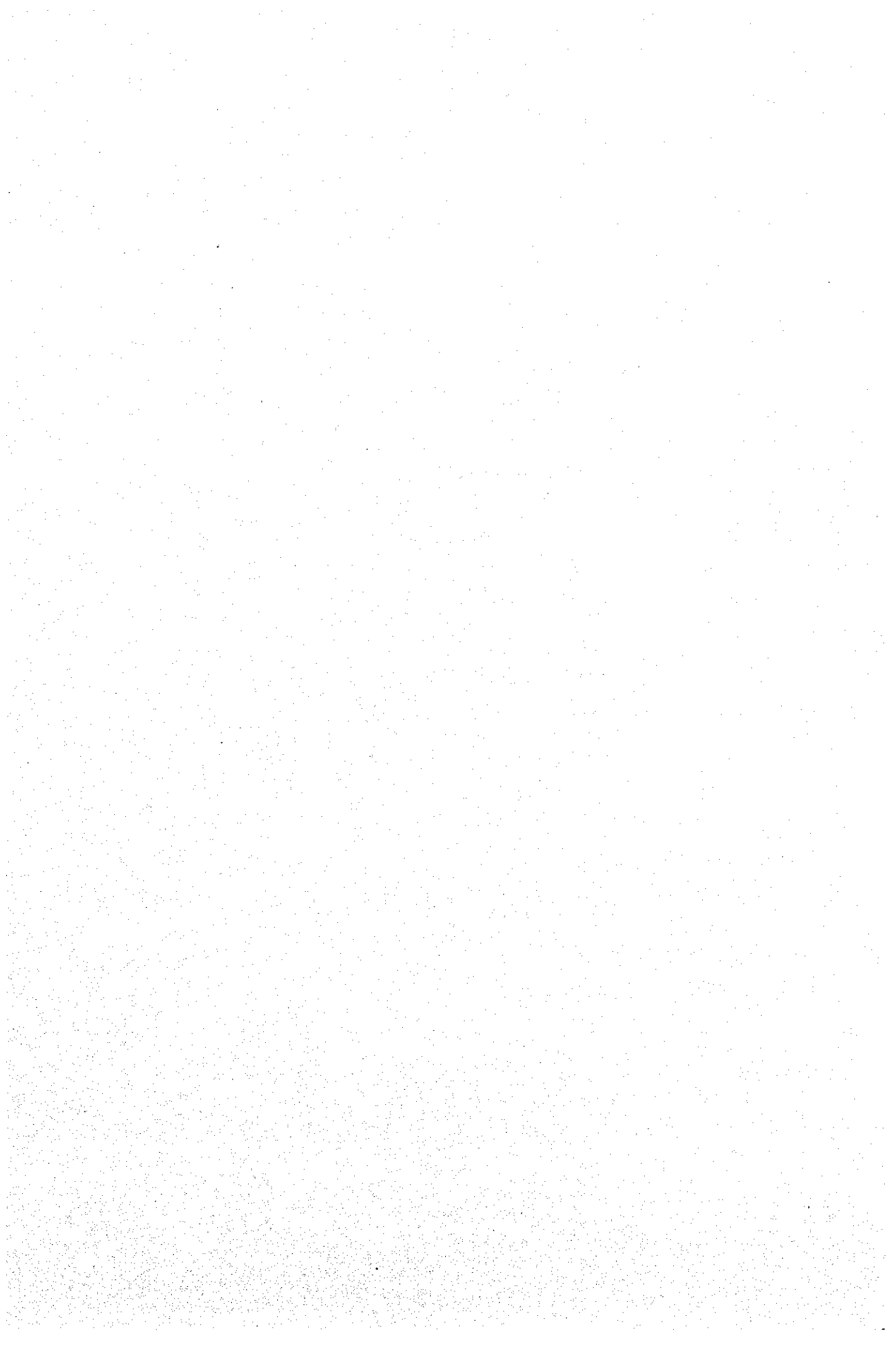


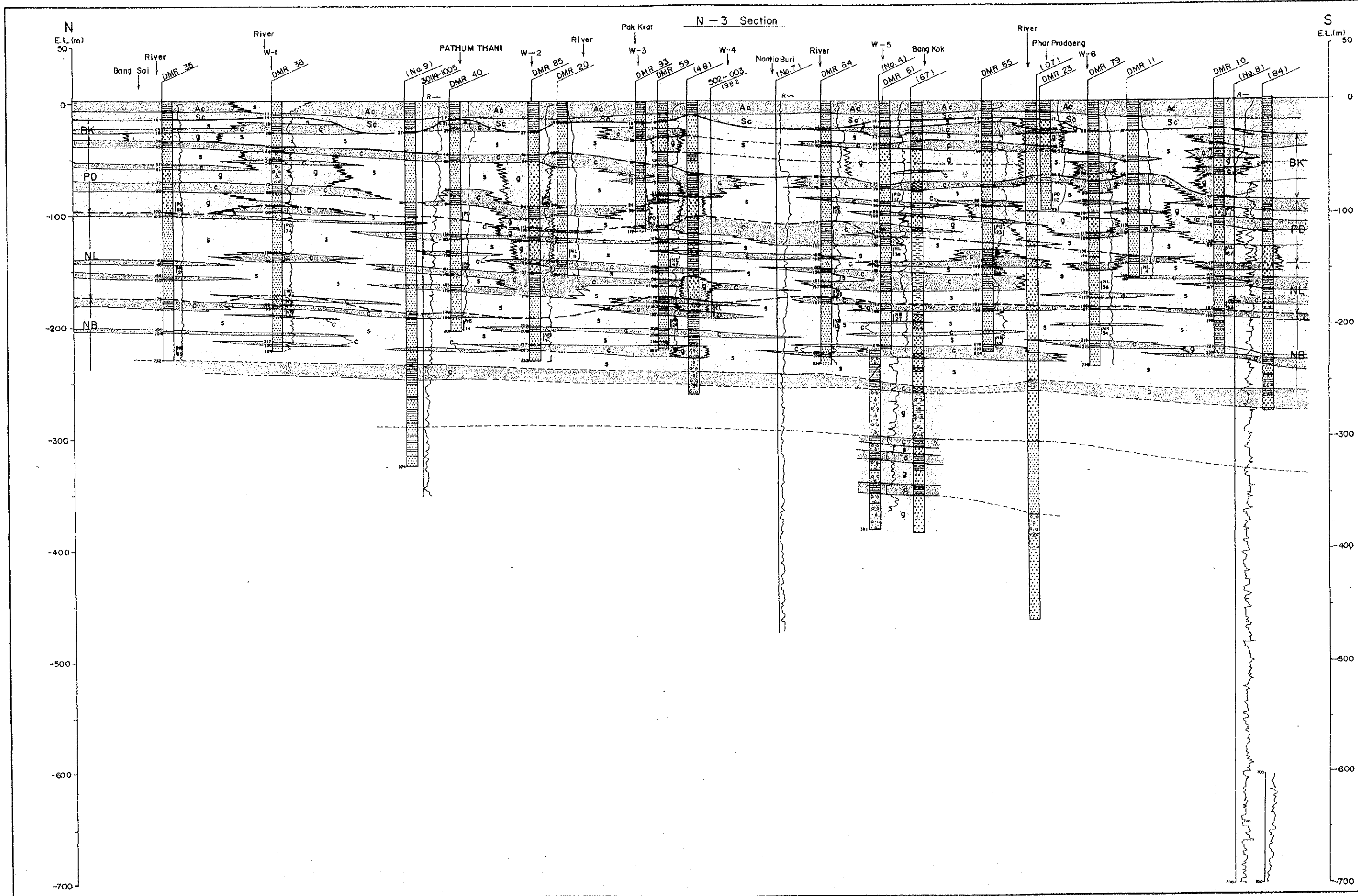
図 3.2 JICAモニタリング井戸 (サイトA) の地質柱状図

JICA - A Logging and Aquifer  
 THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE  
 IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.









T1  
 JAPAN I

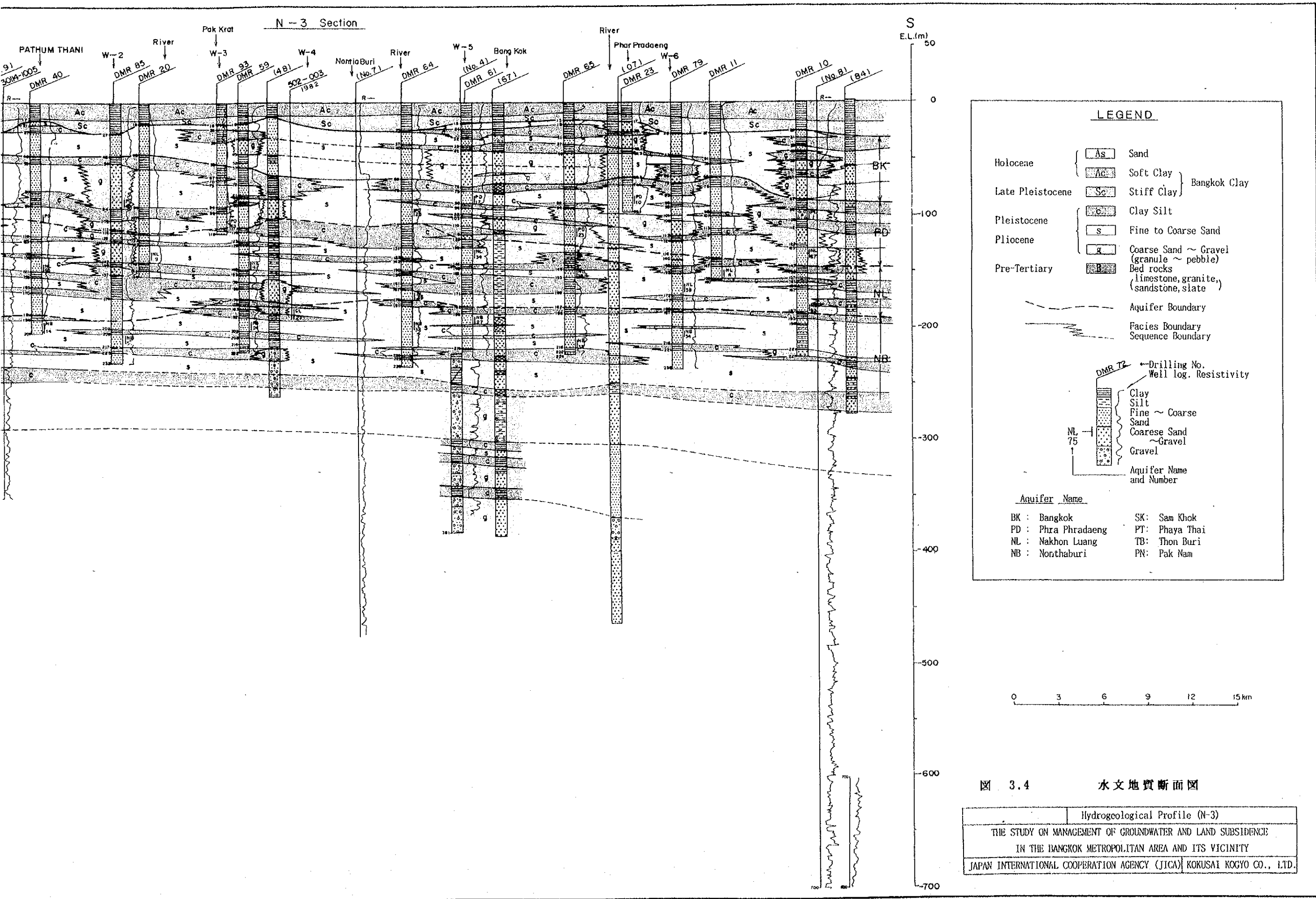
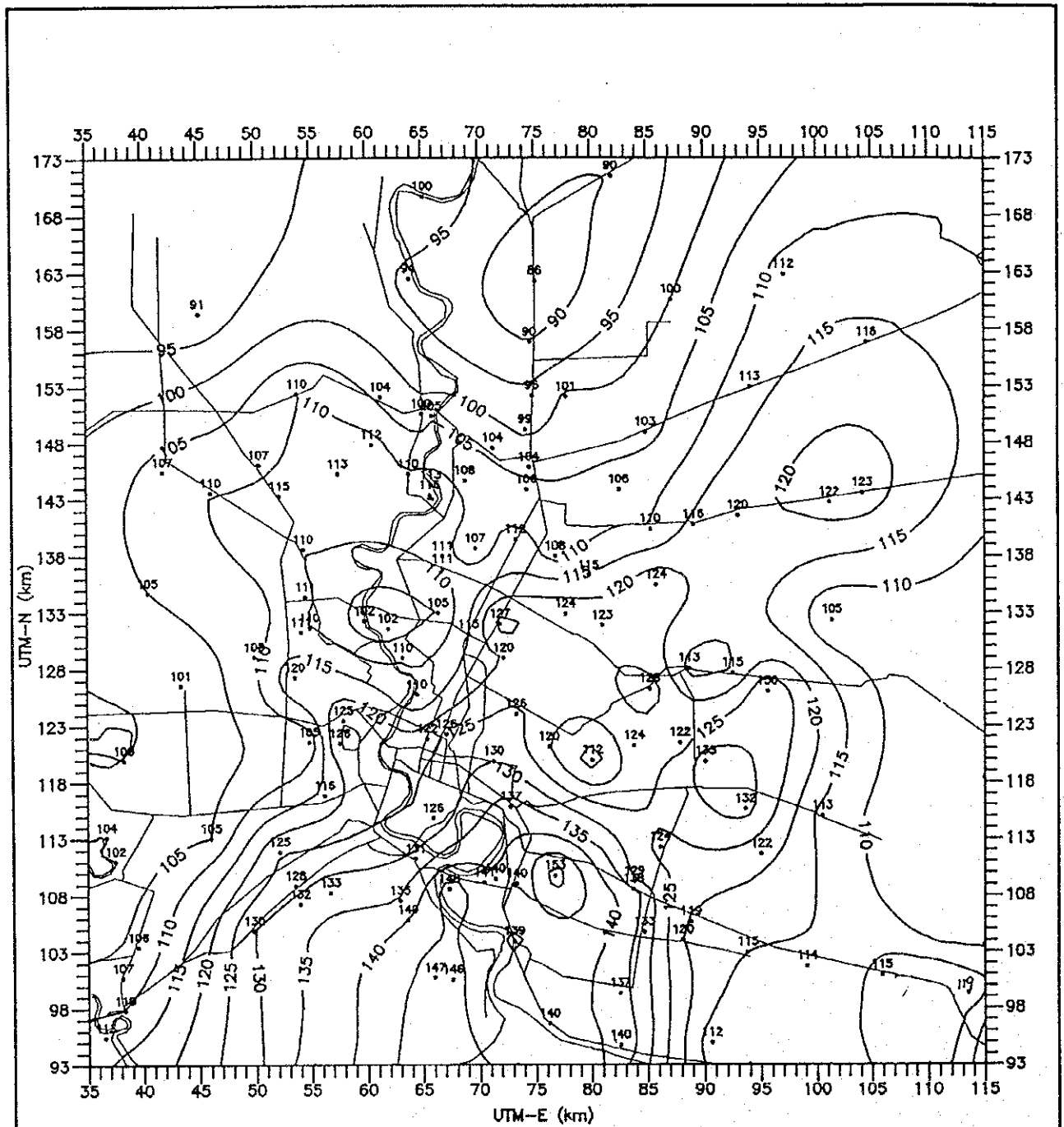


图 3.4 水文地质断面图

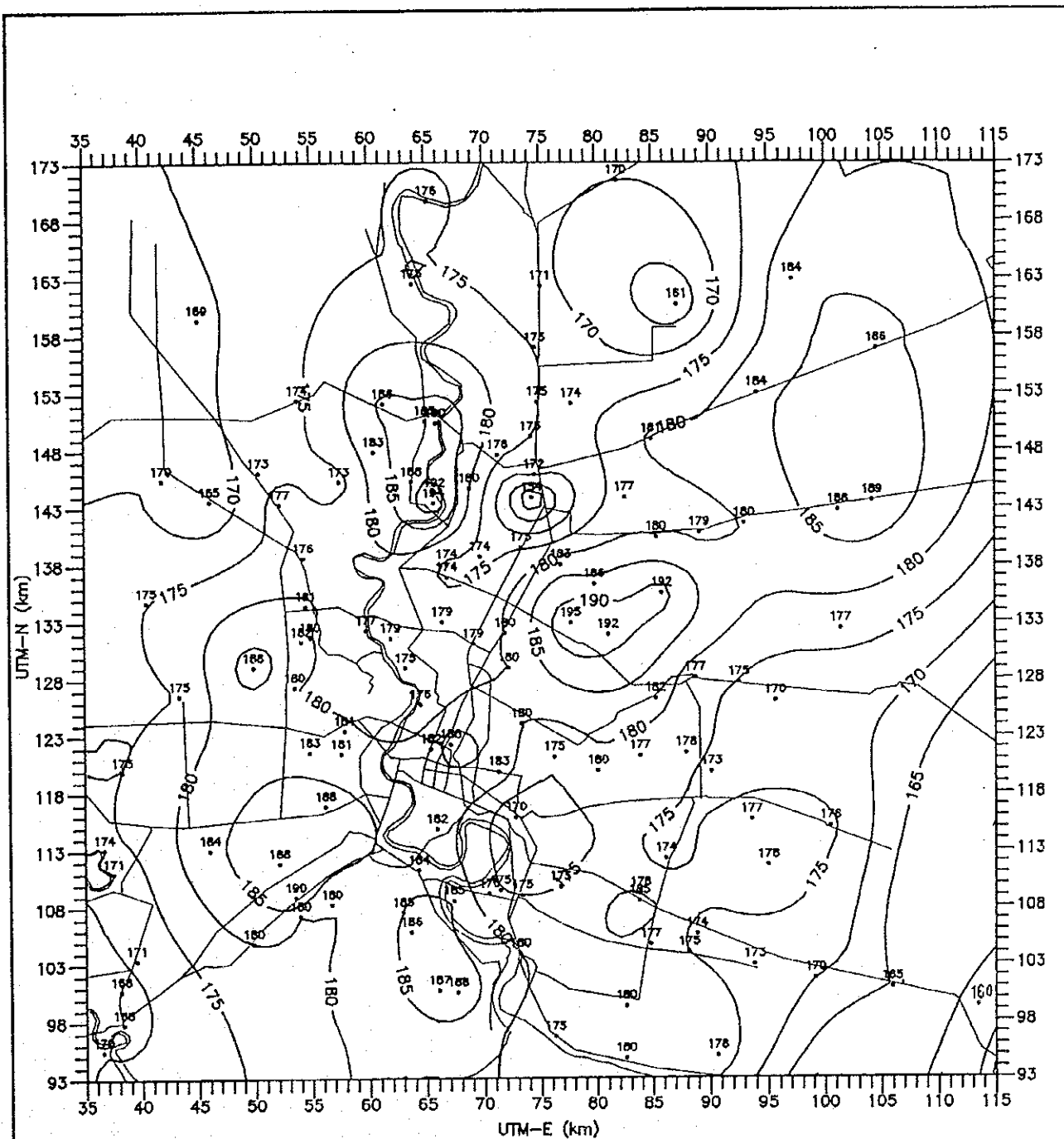
Hydrogeological Profile (N-3)  
 THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE  
 IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND

- LINE OF EQUAL DEPTH TO AQUIFER BOTTOM  
(m below ground surface)
- 120 INVESTIGATED WELL  
WITH DEPTH TO AQUIFER BOTTOM  
(m below ground surface)

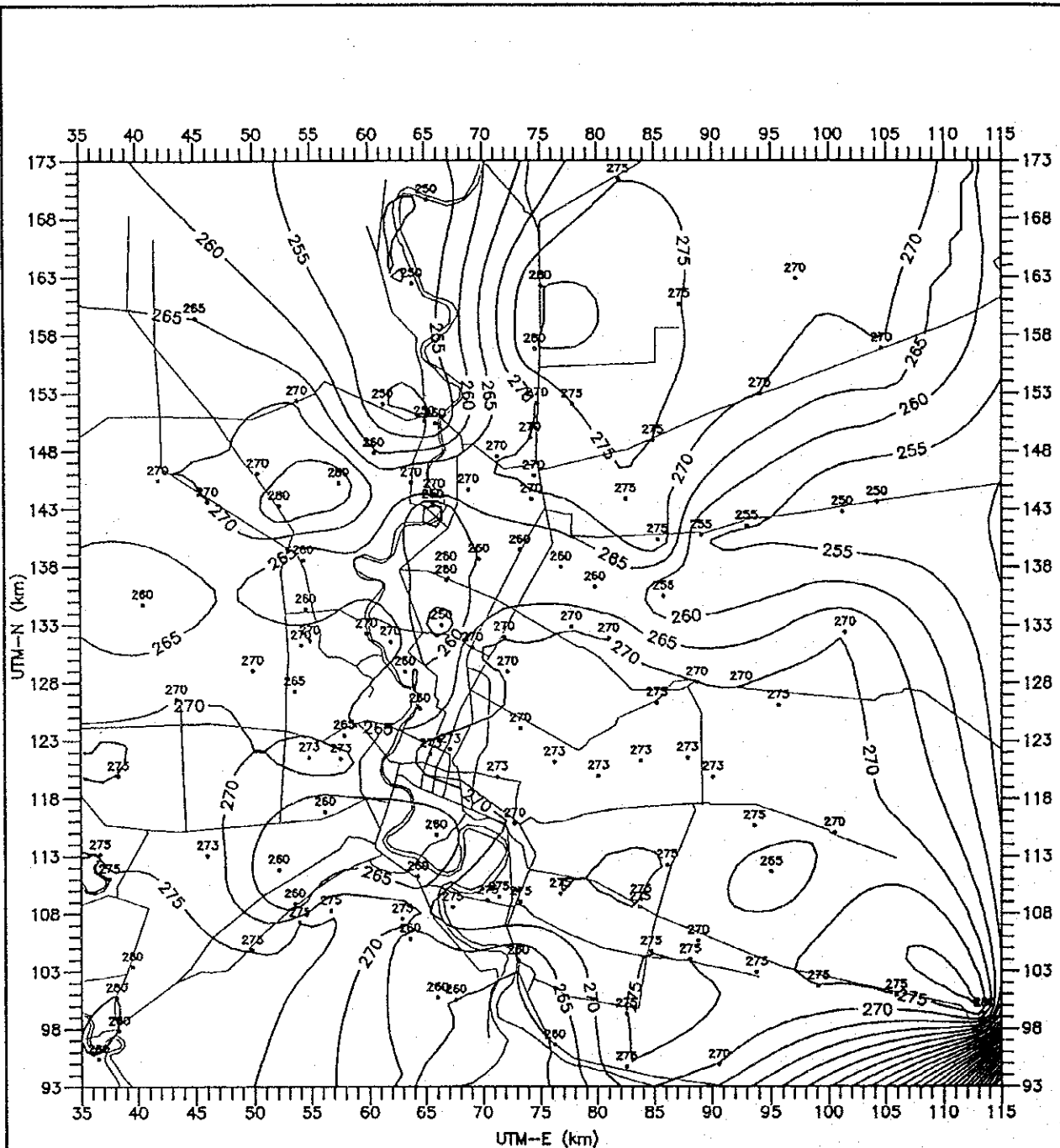
<p>図 3.5.1</p>	<p>ブラバダン帯水層の等深線</p>
<p>THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY</p>	
<p>JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)</p>	<p>KOKUSAI KOGYO CO., LTD.</p>



LEGEND

- LINE OF EQUAL DEPTH TO AQUIFER BOTTOM  
(m below ground surface)
- 120 INVESTIGATED WELL  
WITH DEPTH TO AQUIFER BOTTOM  
(m below ground surface)

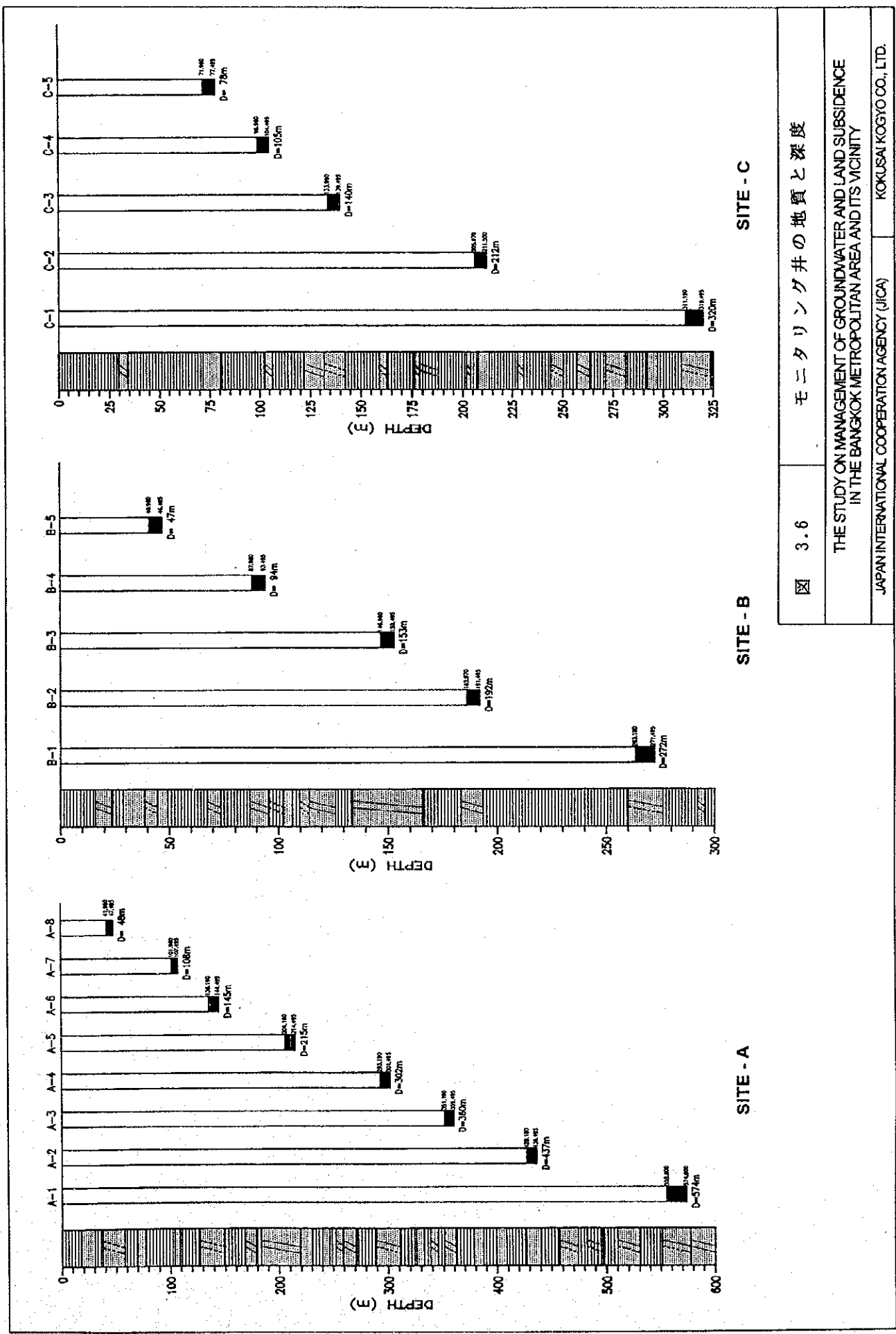
図 3.5.2	ナコンルアン帯水層の等深線
THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)	KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



LEGEND

- LINE OF EQUAL DEPTH TO AQUIFER BOTTOM  
(m below ground surface)
- 120 INVESTIGATED WELL  
WITH DEPTH TO AQUIFER BOTTOM  
(m below ground surface)

<p>図 3.5.3</p>	<p>ノンタブリ帯水層の等深線</p>
<p>THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY</p>	
<p>JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)</p>	<p>KOKUSAI KOGYO CO., LTD.</p>



3.6 モニタリング井の地質と深度

THE STUDY ON MANAGEMENT OF GROUNDWATER AND LAND SUBSIDENCE  
IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA AND ITS VICINITY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

KOKUSAI KOGYO CO., LTD.



図 3.7 観測機器の配置

