

タイ国  
バンコク首都圏地盤沈下対策計画調査  
事前調査報告書

平成4年5月

国際協力事業団

社調二

CR(3)

92-052

国際協力事業団

23794

JICA LIBRARY



1097855(9)

27994



## 序 文

日本国政府は、タイ国政府の要請に基づき、同国のバンコク首都圏地盤沈下対策計画に係る調査を実施することを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施することといたしました。

当事業団は、本格調査に先立ち、本件調査を円滑かつ効果的に進めるため、平成4年1月28日より2月12日までの16日間にわたり、社会開発調査部長・柳生忠彦を団長とする事前調査団（S/W協議）を現地に派遣しました。

調査団は本件の背景を確認するとともに、タイ国政府の意向を聴取し、かつ現地踏査の結果を踏まえ、本格調査に関するS/Wに署名しました。

本報告書は、今回の調査をとりまとめるとともに、引き続き実施を予定している本格調査に資するためのものです。

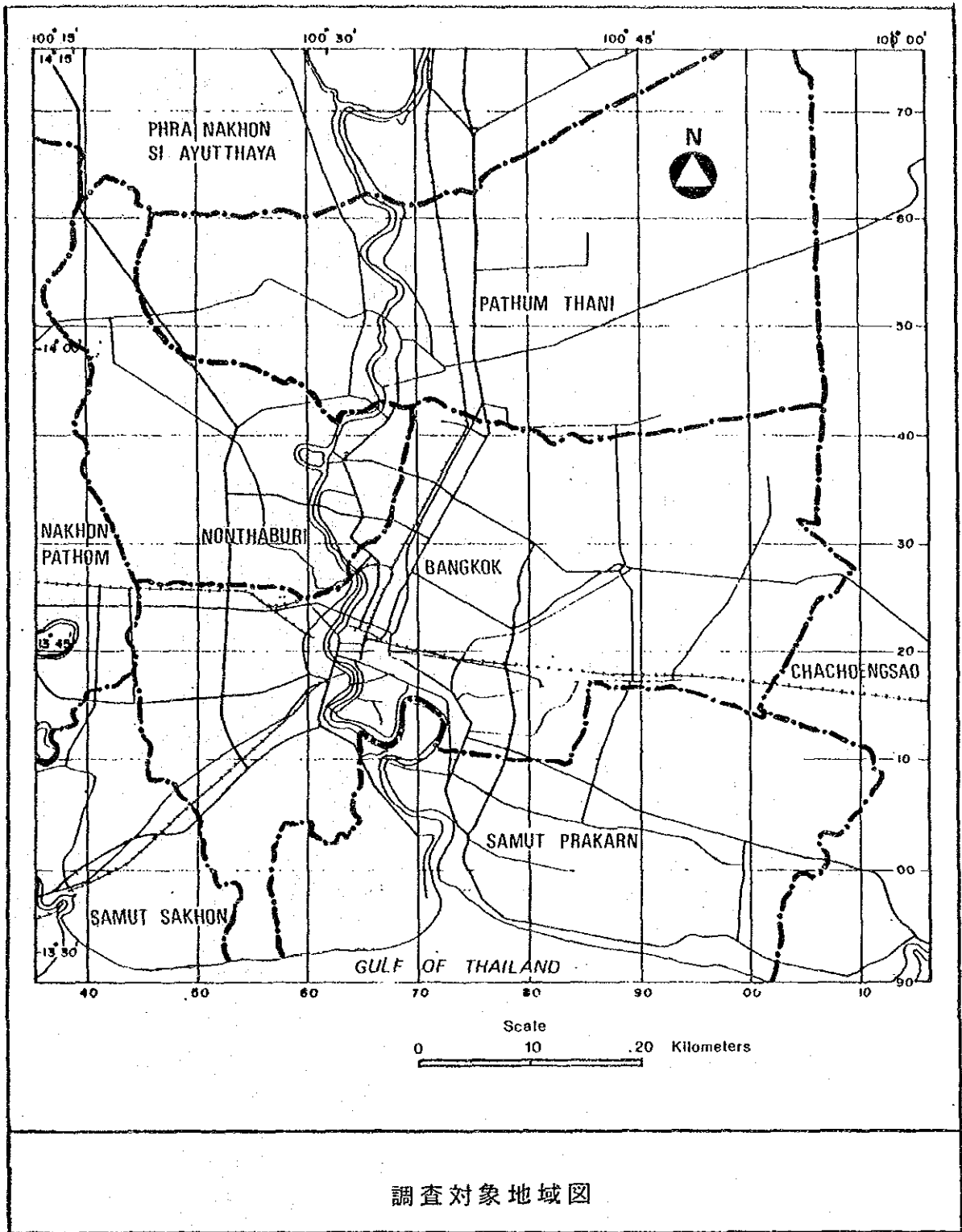
最後に、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成4年5月

国際協力事業団

理事 玉 光 弘 明

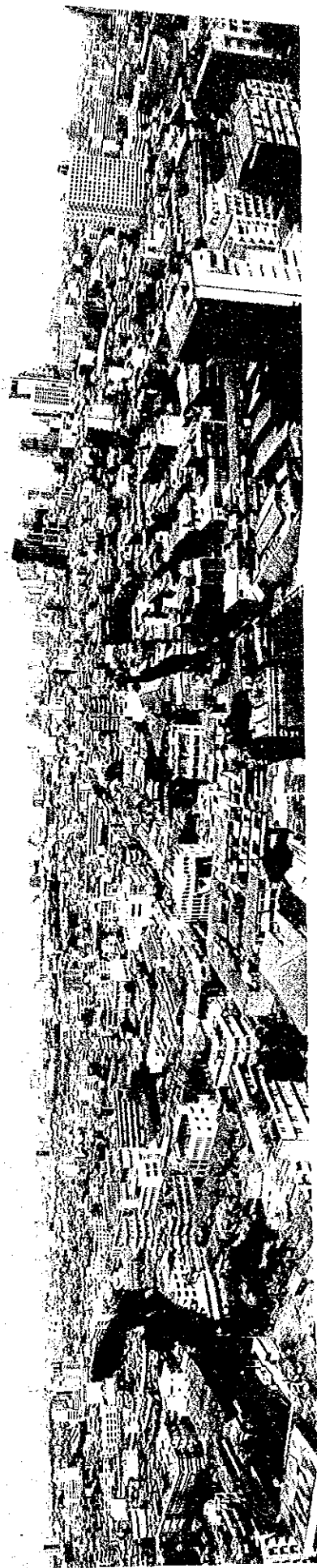
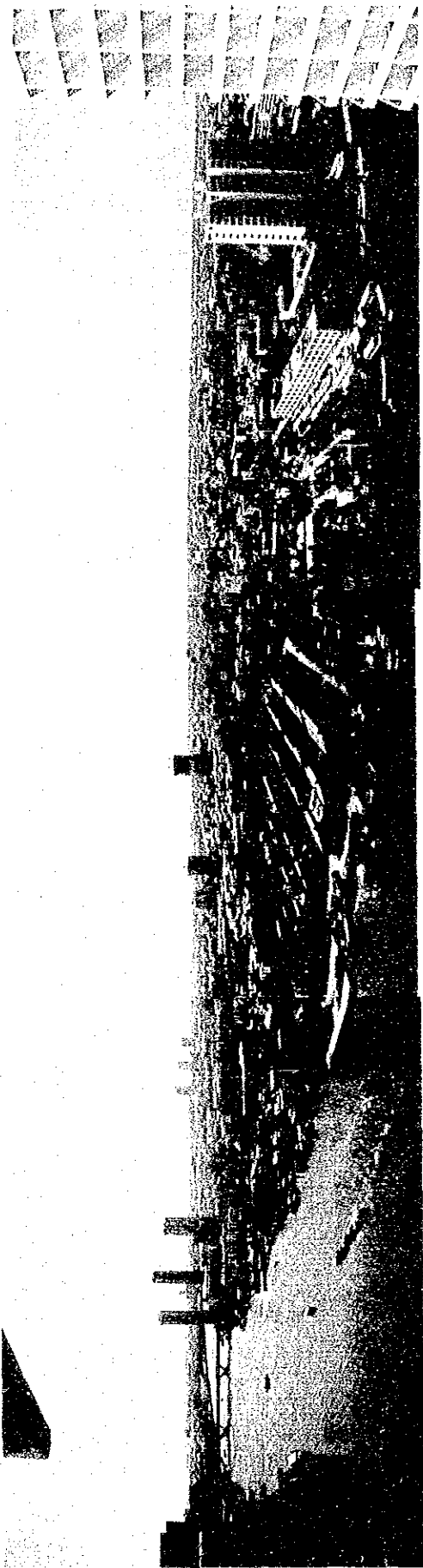




調査対象地域図

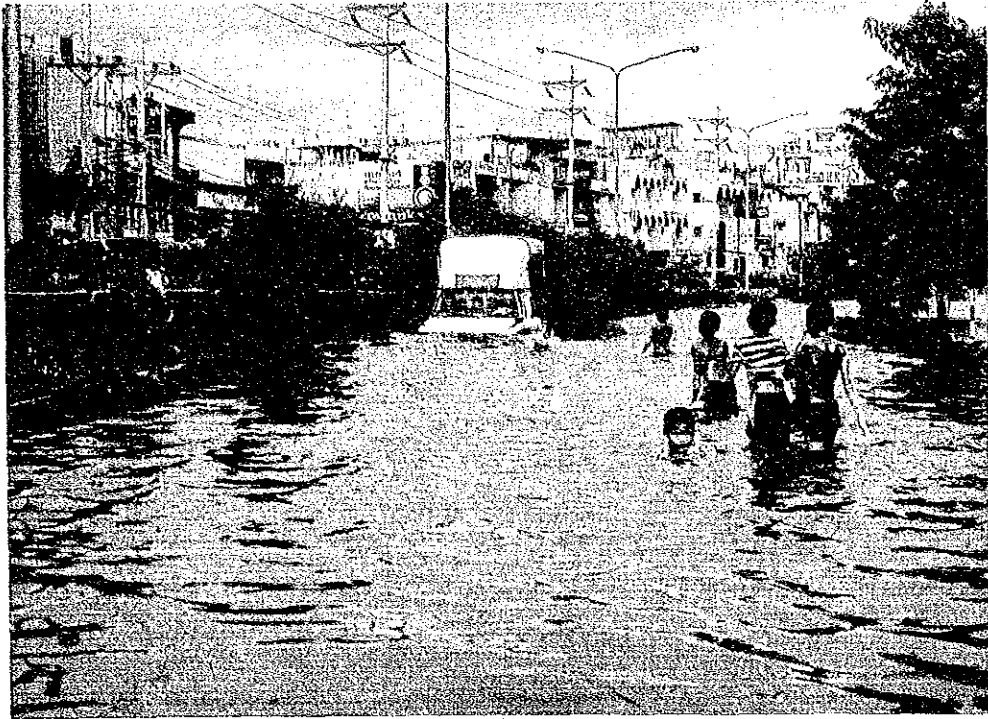




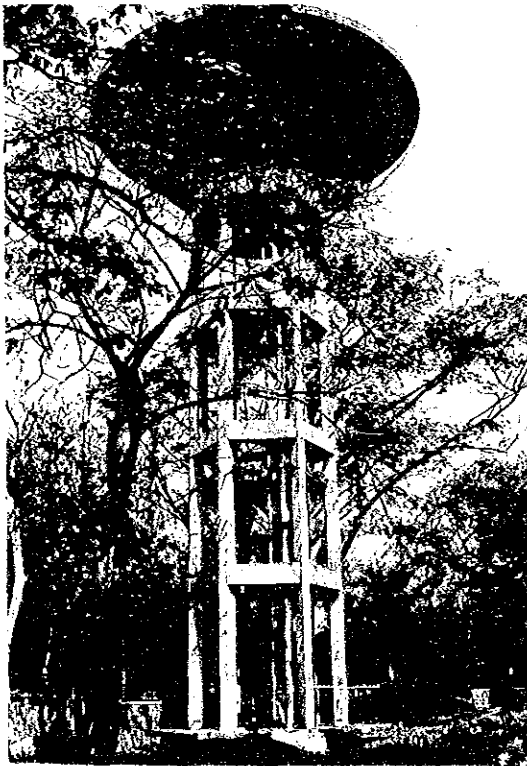


バンコク市内 パノラマ

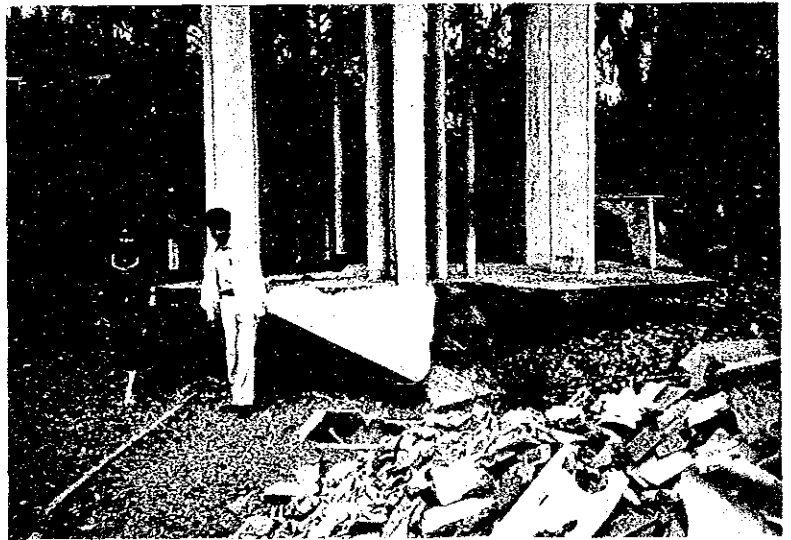




▲ ラムカムヘン通り 洪水被害状況、1983  
(BANGKOK METROPOLITAN FLOOD CONTROL CENTERより)

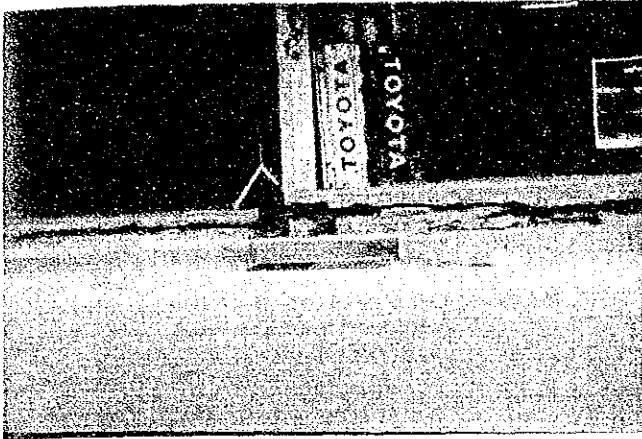


▲ Water Tower National Housing  
Authority 地盤沈下被害状況  
約 80 ~ 90 cm の沈下



▲ Water Tower 近景





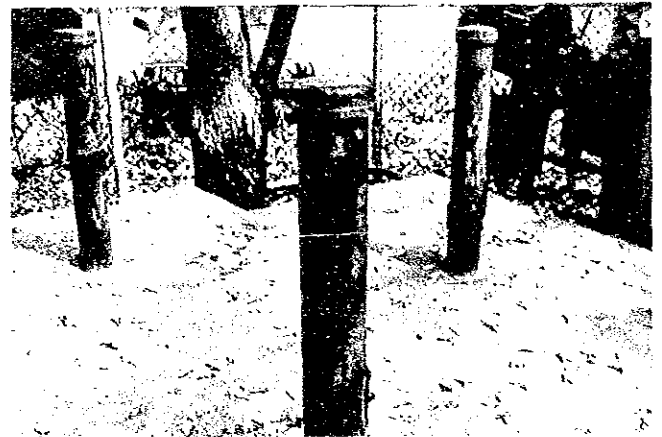
▲ 地盤沈下による道路の被害状況



▲ 地盤沈下による橋脚の抜け上がり現象



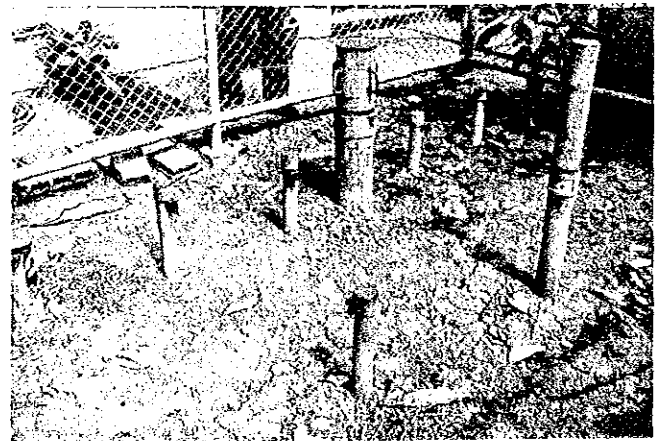
▲ 地盤沈下による橋脚の抜け上がり現象近影



▲ 地下水位観測井No.63 (National Housing Authority)  
深度はそれぞれ 112 m、166 m、220 m

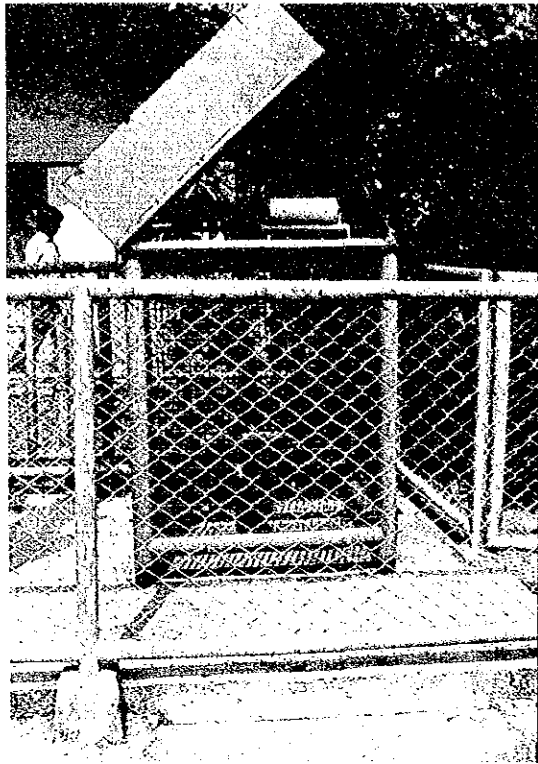


▲ 地下水位観測井No.63 水位測定状況



▲ 地盤沈下、地下水位観測井 ONEB No.10  
Khlong Chan





▲ 地盤沈下、地下水位観測井 ONEB  
No.10 Khlong Chan 2重管式 180m深  
自記記録計設置



▲ 地下水位観測井 No.10 Wat Khu Sang  
自記記録計設置



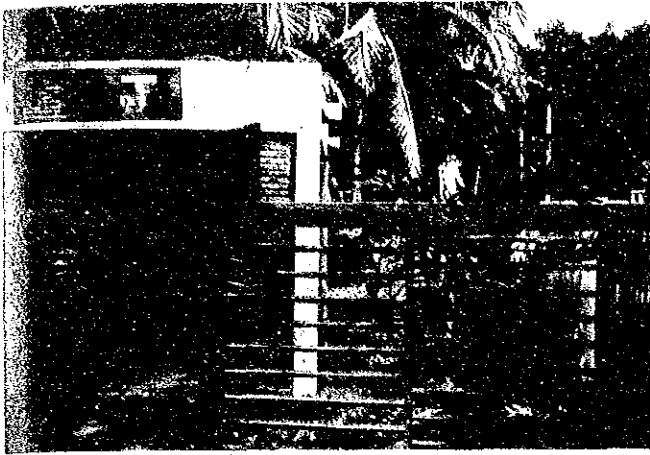
▲ 水準点



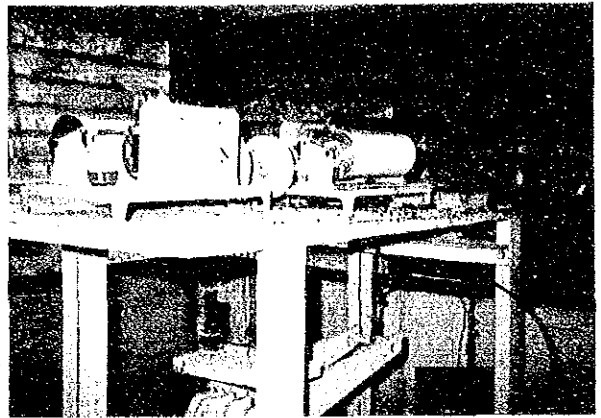
▲ 地盤沈下による観測井の抜け上がり現象







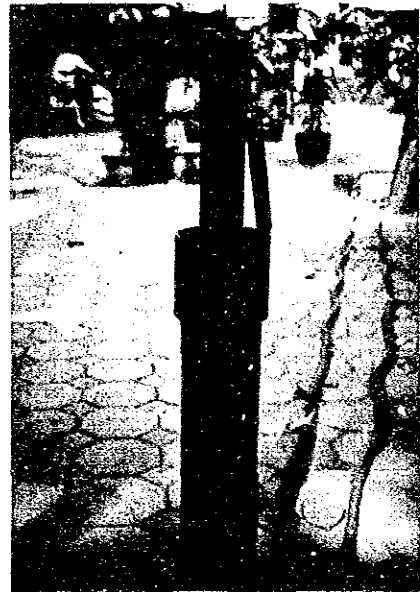
▲ 地盤沈下観測ステーション ONEB



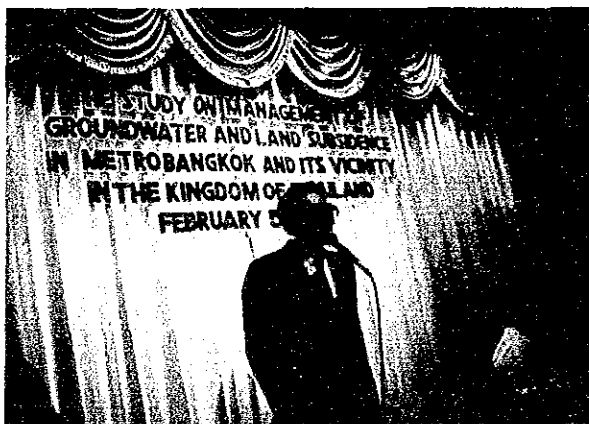
▲ 観測機器及び記録計類



▲ 地盤沈下観測井 深度 400m



▲ 地盤沈下観測井 ONEB  
地盤沈下による抜け上がり現象  
右側は Level Book



▲ 工業省 鉱物資源局長  
Mr. Visit Noiphan



▲ 内務省公共事業局  
Mr. Niyom Niyamanusorn (左から2番目)  
S/W、M/M 署名



# 目 次

序 文

調査地域図

調査写真

第1章 事前調査の概要	1
1-1 事前調査の目的	1
1-2 事前調査団の構成	1
1-3 相手国受入れ機関	1
1-4 調査行程	2
第2章 事前調査結果の概要	3
2-1 要請の背景及び経緯	3
2-2 要請の内容	3
2-2-1 DMRからの要請	3
2-2-2 PWDからの要請	4
2-3 日本側の調査対処方針	5
2-4 S/W協議の経緯及び結果	7
第3章 バンコク首都圏の地下水利用と地盤沈下の現況	10
3-1 バンコク首都圏の概要	10
3-2 関係機関の概要	13
3-3 バンコク首都圏の気象と地形・地質・地下水	14
3-3-1 気 象	14
3-3-2 地形・地質・地下水	14
3-4 地下水利用	21
3-5 上水道の現状と計画	23
3-6 既往の地下水、地盤沈下及び地下水塩水化調査	25
3-7 地下水位、地盤沈下及び地下水塩水化の状況	31
3-8 地下水管理体制及び地盤沈下、地下水塩水化対策の現況	39
3-9 地下水管理体制及び地盤沈下、地下水塩水化対策の問題点	44

第4章 本格調査の概要	45
4-1 調査の目的	45
4-2 調査の基本方針	45
4-3 調査対象地域とその範囲	46
4-4 調査項目及び内容	46
4-5 調査工程	53
4-6 報告書作成	54
4-7 要員計画	54
4-8 本格調査資機材リスト（事前調査団案）	56

#### 附属資料

1. 要請書	57
2. S / W	89
3. 議事録（M/M）	97
4. 面談者リスト	103
5. 収集資料リスト	105
6. 巻末資料	107

## 第1章 事前調査の概要

### 1-1 事前調査の目的

タイ国政府の要請に基づき、以下の目的により事前調査を実施した。

- 1) 相手国の要請内容の確認
- 2) 相手国の調査実施体制の確認
- 3) 既存調査、資料の収集及び有無の確認
- 4) 現地の状況調査
- 5) 調査内容（対象地域、調査項目、調査期間）の意向確認
- 6) 本格調査のS/W、M/M協議及び署名

### 1-2 事前調査団の構成

事前調査団は、以下の6名から構成された。

<u>担当分野</u>	<u>氏名</u>	<u>所 属</u>
団長・総括	柳生 忠彦	国際協力事業団社会開発調査部長
地盤沈下対策	岡野 真久	建設省河川局防災課建設専門官
水文・水理	水野 雅光	建設省北陸地方建設局河川部河川管理課長
水文地質	丸尾 祐治	国際協力専門員
地下水開発	中村 哲	応用地質株式会社
調査企画	館林 史子	国際協力事業団社会開発調査部社会開発調査第二課

### 1-3 相手国受入れ機関

DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES, MINISTRY OF INDUSTRY (DMR)  
(工業省鉱物資源局)

PUBLIC WORKS DEPARTMENT, MINISTRY OF INTERIOR (PWD)  
(内務省公共事業局)

1-4 調査行程

日順	月日(曜日)	調査内容
1	1月28日(火)	東京-バンコク (JL717)
2	29日(水)	AM JICA事務所、日本大使館、DTEC表敬、打合せ PM DMR、PWD表敬、打合せ
3	30日(木)	AM S/W説明 (DMRにて) PM 現地踏査 観測井及び地盤沈下被害状況 National Housing Authority Khleng Chan, Bnagkapi Ram Kamhaeng University Wat Khu Sang, Wat Thung Kru
4	31日(金)	Aグループ (岡野、丸尾、中村) AM AIT表敬、資料収集 PM MWA表敬、資料収集  Bグループ (柳生、水野、館林) AM ONEB、MBA表敬、資料収集 PM IEAT、RTSD表敬、資料収集
5	2月1日(土)	資料整理
6	2日(日)	AM 団内打合せ PM 資料整理
7	3日(月)	S/W協議
8	4日(火)	AM S/W協議 PM M/M協議
9	5日(水)	AM S/W、M/M署名、JICA事務所、日本大使館報告 PM 資料整理
10	6日(木)	バンコク-東京 (TG 640) 柳生、岡野、水野、丸尾、館林各団員帰国
11	7日(金)	補足資料収集
12	8日(土)	補足現地踏査 (ポーリング候補地)
13	9日(日)	資料整理
14	10日(月)	補足現地踏査 (人工涵養実験地)、現地聴込み調査
15	11日(火)	補足資料収集、整理
16	12日(水)	バンコク-東京 (TG 640) 中村団員帰国

DMR 工業省鉱物資源局  
 PWD 内務省公共事業局  
 MWA 首都圏水道公社  
 ONEB 国家環境委員会  
 BMA バンコク首都圏庁  
 RTSD タイ測量局  
 IEAT 工業用地公社  
 AIT アジア工科大学

## 第2章 事前調査結果の概要

### 2-1 要請の背景及び経緯

近年の都市化、工業開発に伴う水需要の急増に対応して地下水が過剰揚水され、地盤沈下災害に悩まされてきたバンコク首都圏では、1970年代後半より地下水管理を目的として観測、研究を開始した。特に沈下の著しい地域である南東部においては、過去50年間に1 m 60 cmもの沈下が見られ、現在でも年平均10 cm程度の沈下が観測されている。元来低地で軟弱な沖積平野に立地するバンコクは、これらの地盤沈下により水害等の被害を受けている。

首都圏水道公社（MWA）では、2017年までの表流水開発によるバンコク首都圏の水道普及計画を策定しており、現在の地下水依存率も5%に過ぎない。しかし、工業地域など水道が普及していない地域は依然として地下水に頼っている。

工業省鉱物資源局（DMR）は1978年にGROUNDWATER ACT及び1983年にREMEDIAL MEASURESを策定したが、地下水の効果的管理はまだ確立しておらず、特に私有井、工業用水井の揚水量は増加し、地盤沈下は進行する一方である。

このような状況の中で、DMR及び内務省公共事業局（PWD）は、それぞれ1990年3月、1989年10月に、バンコク首都圏とその周辺部における地盤沈下対策計画策定のための調査を要請してきた。これを受けて、1991年12月にそれらの要請を一本化し、1992年1月、S/W署名を目的とした事前調査団を派遣した。

### 2-2 要請の内容

DMR及びPWDからのT/R（TERMS OF REFERENCE）の骨子は次のとおりである。

#### 2-2-1 DMRからの要請

##### (1) プロジェクトの目標

地下水位の低下をコントロールし、地盤沈下及び地下水塩水化の進行を抑える。

##### (2) プロジェクトの目的

- a) バンコク首都圏周辺の工業地域における地盤沈下の現状を把握する
- b) 80 m～200 mにまたがる3つの主要な帯水層に関し、揚水量と地下水位低下の相関関係を解明する
- c) 帯水層パラメータ及び土質を調査する
- d) 地下水塩水化機構を解明する
- e) 地下水モデルのシミュレーションにより、揚水量の地下水位及び地盤沈下への影響を将来予測する

(3) プロジェクトサイト

バンコク首都圏とその周辺の工業地域

Samut Sakhon、Ransit、Pathum Thani、Phra Pradaeng、Samut Prakan

(4) 調査期間

3年間

(5) 調査内容

- a) 地下水及び地盤沈下に関する既存データの収集及び検討
- b) 地下水位観測井の掘削、電気検層、土質調査及び水質分析
- c) 地盤沈下観測所の設置
- d) 3年間の地下水位、水質及び地盤沈下の観測及び得られたデータの検討
- e) 工業地域における6か月毎の水準測量及び結果の比較検討
- f) 揚水試験
- g) 地下水流動、地盤沈下及び地下水塩水化モデルの開発
- h) モデルシミュレーションによる揚水量と地下水位、地盤沈下及び地下水塩水化との関係解明と将来予測
- i) 地下水管理システム計画の策定
- j) 地下水揚水の法規制、水利用合理化及び代替水源開発に関する提言

2-2-2 PWDからの要請

(1) プロジェクトの目標

地盤沈下及びその被害の緩和

(2) プロジェクトの目的

- a) “GROUNDWATER ACT” の地下水位回復に対する効果の査定
- b) 地盤沈下要因の検討
- c) 地下水人工涵養の総合的評価
- d) 地盤沈下対策代替案の比較検討
- f) 地盤沈下対策策定

(3) プロジェクトサイト

バンコク首都圏とその周辺地域

(4) 調査期間

1年

(5) 調査内容

- a) 既存調査及び関連データの収集及びレビュー
- b) 地下水人工涵養の総合計画、代替案策定（手段、実施場所、規模及び時期）



- c) 最適涵養システムの選定
- d) 人工涵養実験の実施
- e) 地下水位、地盤沈下及び水質（塩水）のモニタリング
- f) “GROUNDWATER ACT”の地下水位回復に対する効果の査定
- g) 地盤沈下対策総合計画の策定

## 2-3 日本側の調査対処方針

### (1) 調査実施機関及びS/W署名相手側

本案件は、DMR及びPWDからの要請を統合したものであるため、調査実施機関として上記2機関を予定していた。その後、DMR、PWD双方の話し合いにより、DMRがPRIMEとなった。そのうえ、当方のS/W（案）には地下水人工涵養実験が含まれないため、上記実験の実施を強く希望していたPWDとしては、本調査に対し重要性を示さない可能性があった。

以上の背景を踏まえて、先方署名者、カウンターパート機関としての位置付けについて、当方としては両機関に対応してもらう方針であるが、タイ国側の意向を確認のうえ対処することとした。

### (2) 本格調査の内容

本格調査の骨子はS/W（案）のとおりとするが、タイ国側からの要望があった場合には、以下の対処方針に従って調査団内で検討し、その結果を報告することとした。

#### ① プロジェクト名

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

要請書においてはDMRの場合“INDUSTRIAL AREAS”という言葉が明確に示され、また、PWDでは“FEASIBILITY STUDY”と、明記されているが、双方を1つにまとめたため、上記のプロジェクト名とした。DMR、PWDより修正の希望があった場合には、タイ国側の意向を尊重し、DMRについては調査対象地域説明時、PWDにおいては調査内容の範囲説明時に対処することとした。

#### ② 調査の目的

S/W（案）に記載されている目的は、DMR、PWDからの要請を含んでいるが、PWDの人工涵養計画の評価に関しては、プロジェクト名同様に、調査内容の範囲説明時に対処することとした。

#### ③ 調査対象地域

「バンコク首都圏にまたがる地下水盆を対象とする」

記述が曖昧であるため、まず初めに地下水盆の領域を把握する必要がある。また、同領域は広大であるため、PLANNINGの段階で地域を限定する必要があるが、タイ国側の意向を踏まえて対処することとした。

#### (4) 調査内容の範囲

##### ① 地下水人工涵養実験

初めにタイ国側の人工涵養の知識と取組み方を認識し、人工涵養実験要請の目的をはっきりさせ、基本的に、地下水管理計画策定を中心とし、地下水人工涵養実験（深井戸の圧力注入）は実施しない方針で行った。その理由として以下が考えられた。

##### a) 注入水源

注入水源として、チャオピア川の水が想定されるが、チャオピア川の水は汚染されており、濁度が高いため、目づまりの可能性がある。また、地下水汚染の原因ともなりかねない。

##### b) コスト

上記の水を浄水して注入するとすれば、費用がかかり、地下水よりも表流水を代替水源として開発したほうが効果的であると考えられる。

##### c) 人工涵養の効果

部分的な効果は得られるだろうが、バンコク首都圏全域の地盤沈下対策にはならない。

##### d) 我が国の技術

いくつかの試験的施工は見られるが、総合的に高い評価が得られたものはない。

##### ② 水準測量

現存の基準点自体が沈下しているらしいので、確実なデータを得るには、水準測量が必要であると考えられる。基準点の状況により、その実施を検討することとした。

##### ③ ボーリング計画

現在問題とされている、主要な3つの帯水層（100～200 m）のそれぞれについて観測井を設置する予定であるが、サンプリングを含めると1か所に最低4本必要であること、バンコク首都圏に既存の41の観測井を考慮し、タイ国側の意向を踏まえてボーリング本数のオーダーを決定し、その旨をミニッツに記載することとした。また、上記の帯水層以外も考慮する必要がある場合は、その旨をミニッツに記載することとした。

##### ④ 調査期間

S/W（案）では、調査開始から最終報告書提出まで約30か月を予定しているが、タイ国側の要望（DMRの要請では、3年となっている）、現地の状況、関連資料の有無などにより再検討の必要がある場合には、調査団内において30か月～36か月の範囲で検討し、その結果を報告することとした。

⑤ 調査用機材の購送

タイ国側の保有資機材の状況を勘案し、調査に必要なものに限る。また、必要資機材については、現地の状況を十分考慮のうえ、仕様などを決定する。なお、タイ国側より機材譲渡要請があった場合は、その旨をミニッツに記載することとした。

⑥ 技術移転

a) 調査団は、調査期間中、タイ国側カウンターパート（C/P）との共同作業を通じて現地にて技術移転を実施する。また、C/Pの本邦研修を通じての技術移転の要請があった場合は、その旨をミニッツに記載することとした。

b) タイ国側よりセミナーの開催等による調査成果の公表及び技術移転について要請があった場合は、その旨をミニッツに記載することとした。

2-4 S/W協議の経緯及び結果

事前調査団は、日本にて打ち合わされた対処方針及びS/W（案）をもとに、工業省鉱物資源局（DMR）及び内務省公共事業局（PWD）との協議及び現地踏査等の結果を踏まえて、2月5日、DMRのVISITH NOIPHAN及びPWDのNIYON NIYAMANUSORNと柳生忠彦事前調査団長との間で、S/W及びS/W協議に係るM/Mの署名、交換を行った。主な協議内容は以下のとおりである。

(1) プロジェクトタイトル M/M 3-a)

調査団提案の“The Study on Management of Groundwater and Land Subsidence in the Greater Bangkok Metropolitan Area”において、“The Greater Bangkok Metropolitan Area”は一般的でないとの指摘を受け、“The Bangkok Metropolitan Area and its Vicinity”と変更してほしい旨要請があり、変更しても調査内容に支障がないことから、先方の要望どおり“The Study on Management of Groundwater and Land Subsidence in the Bangkok Metropolitan Area and its Vicinity”にすることで合意した。

(2) 調査対象地域 M/M 3-b)

S/W（案）において“バンコク首都圏にまたがる地下水盆”を対象地域として提案したが、当該地域の地下水盆の規模は広大なものであり、限定できないことから、バンコク首都圏とその周辺部とし、M/M別添の地図にて示した。また、ボーリング計画地及び地盤沈下、地下水塩水化対策計画地については、本格調査開始後詳細に検討することで合意した。

(3) 調査期間 M/M 3-c)

全体の調査期間については双方合意したが、タイ国側より分析・計画策定期間（第19か月～第27か月）は日本国内ではなくタイ国において実施してほしい旨の要望があり、団内で協

議の結果、初めの数か月はタイ国で実施しても調査には支障がなく、また、技術移転の面からも効果的であることから、タイ国側の要望を受け入れて第19か月目から4か月程度はタイ国内で実施することに合意した。

(4) 調査関連機関 (M/M 3-d)

本調査に関連する機関は多数あり、総合的かつ有効な地盤沈下及び地下水塩水化対策を策定するには、それらの協力が必要である。調査団は、それら関連機関の協力を得るためタイ国側に“STEERING COMMITTEE”の設置を提案したところ、DMRより“STEERING COMMITTEE”という表現は控えてほしい旨要望があり、M/Mには、以下のように、その協力内容と関連機関の記述にとどめた。

① 関連機関

工業省鉱物資源局 (DMR)、内務省公共事業局 (PWD)、首都圏水道公社 (MWA)、国家環境委員会 (ONEB)、バンコク首都圏庁 (BMA)、測量局 (RTSD)、工業用地公社 (IEAT) 及びアジア工科大学 (AIT)

② 協力内容

関連機関はデータ収集などに協力し、各調査レポート提出時にはDMRを議長とした会議に参加し意見交換を行う。

(5) カウンターパート (M/M 3-e)

日本側は、調査期間中、必要なカウンターパートを各本格調査団員に対して配置することを要望し、タイ国側はこれを承知した。

(6) ボーリング計画 (M/M 3-f)

ボーリング及び地盤沈下等の観測所の設置数は、以下のとおりで合意した。なお、配置は本格調査開始後詳細に協議し、ボーリング用地はタイ国側で確保することを承知した。

- 1) 8つの帯水層 (600 m深) 各々に1本ずつ観測機を設置した観測所を1か所
- 2) 5つの帯水層 (300 m深) 各々に1本ずつ観測機を設置した観測所を2～3か所

(7) 水準測量 (M/M 3-g)

本格調査団による新設の観測所と基準水準点を結んだルート上を測量し、DMRが本調査に測量技師を提供することを確認した。

(8) 地下水人工涵養 (M/M 3-h)

タイ国側のT/Rにおいて地下水人工涵養実験の要望があったが、調査団による事前の対処方針どおり人工涵養の問題点を指摘し、本調査では既往調査及び実験のレビュー及び評価を実施することで合意した。

(9) 地下水位一斉観測 (M/M 3-i)

地下水流動機構を把握するため、地下水位一斉観測は1年の観測期間のうち、少なくとも

2回実施することを確認した。

(10) 調査用資機材 (M/M 3-j)

調査に必要なものとして、以下の資機材調達の要望があり、M/Mに記載した。

地下水位記録計、地盤沈下記録計、地下水位計、水サンプラー、水質分析機器、モーターポンプ、水準測量機材、車両、マイクロコンピューター（データベース用）、レーザープリンター

なお、当初S/W（案）VII UNDERTAKINGS OF THE KINGDOM OF THAILAND の3において日本側が要請していた車両については、タイ国側での準備は不可能であるということで、抹消した。

(11) 研修員受入れ (M/M 4-a)

タイ国側は、地盤沈下及び地下水人工涵養に係る日本国における研修を要望した。

(12) 調査終了後のセミナーの開催 (M/M 4-b)

タイ国側は、調査の成果を関連機関などに広く知らせるため、調査終了後にセミナーを開催することを要請した。

(13) 調査終了後の調査用資機材の譲渡 (M/M 4-c)

タイ国側は、JICAより本格調査団に貸与されタイ国に持ち込まれた調査用資機材を調査終了後譲渡するよう要請した。

(14) 本格調査団の入国ビザ (M/M 5)

本格調査団派遣手続き変更による一般旅券での渡航に伴い、本格調査団の入国ビザのためのINVITATION LETTERの発行を日本側より要請し、タイ国側はこれに同意した。

## 第3章 バンコク首都圏の地下水利用と地盤沈下の現況

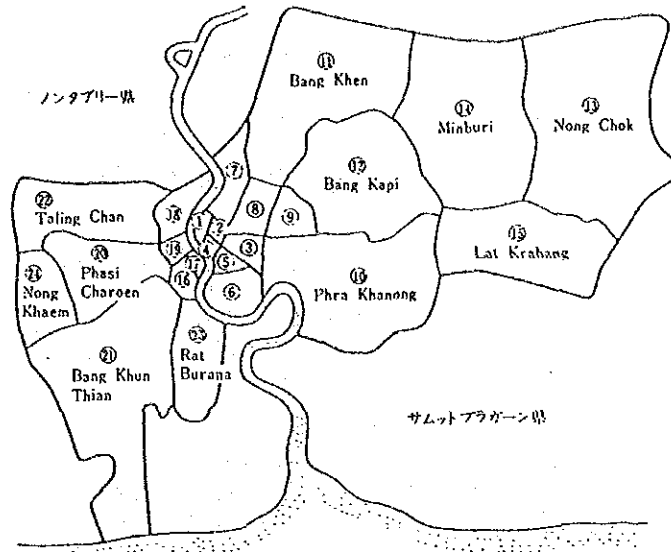
### 3-1 バンコク首都圏の概要

バンコクは16世紀前半、アユタヤ朝時代にこの地に城塞が築かれたことで、その名前が歴史に登場した。その後、タークシン大王（1767～82年）がトンブリ（チャオピア川西岸）に王宮を移し、それに続いてチャクリ将軍が1782年トンブリの対岸である現在のバンコク中心部に新都を移したことで、その発展の基礎が築かれた。その後、バンコクはタイ王国の首都としての発展が続き、現在はタイ全人口の1割強、国内総生産の3割、製造業付加価値総額の6割を生み出す大きな位置を占めている。

バンコクの人口は1919年には50万人に過ぎなかったが、1987年には560万人と大幅な増加を示している。この間、人口の伸び率は1950、1960年代が5%弱、1970年代は3.5%と非常に高い伸び率を示した。1980年代に入ると伸び率は1.7%に低下したものの、今後15年間の伸び率は3.8%が予想されている。世界の大都市の中でも最も人口伸び率の高い都市の1つになると予想されており、バンコクと近隣5県を含む首都圏の人口は、2001年には1154万人に増加すると見込まれている。

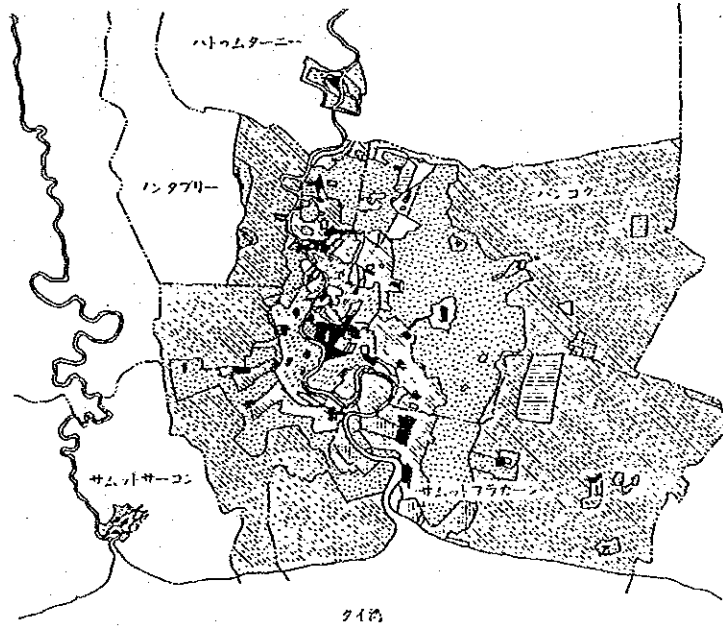
首都バンコクは、正式には「バンコク都（Krungthep Mahanakhon）」と呼ばれる特別な地位を与えられており、図3-1に示すような24の区に分けられている。しかし、急激に膨張する首都バンコクは既にこの24区内にとどまらず、近隣のノンタブリ、サムットプラカン県などに拡散しつつあるのが実状である。図3-2、3-3に示すように、市街地は1970年初めまでは主に東へ向けて拡大していたのに対し、それ以降は西岸のトンブリ側を含む全方向に向けて拡大している様子がうかがえる。特に、この傾向は工場地帯において著しく、1960年代まではバーンラック、ヤンナー、パトゥムンなどのバンコク24区内に集中していた工場は、1974年以降はサムットプラカン県プラプラデー地区、ミンブリ郡バーンチャン地区などバンコクの近県に建設されている。

こうしたバンコクの急激な都市集中は深刻な都市問題を引き起こしている。中でも深刻なものは交通渋滞及び洪水である。もともと、低平な沖積平野に形成されたバンコクは地盤沈下によっていよいよその高さが減じ、洪水被害をより激しいものにしており、その都市機能を大きく損なう結果となっている。



- |                      |               |               |
|----------------------|---------------|---------------|
| ① Phra Nakhon        | ⑥ Yan Nawa    | ⑪ Khlong San  |
| ② Pom Prap Sattrupai | ⑦ Dusit       | ⑫ Bangkok Noi |
| ③ Pathumwan          | ⑧ Phya Thai   | ⑬ Bangkok Yai |
| ④ Sampantawong       | ⑨ Huai Khwang |               |
| ⑤ Bang Rak           | ⑩ Thon Buri   |               |

図 3 - 1 バンコク区分図



- |          |         |      |      |
|----------|---------|------|------|
| 低密度集住住宅地 | 文化保存地区  | 台地   | 軍事用地 |
| 中密度集住住宅地 | 工業・倉庫地区 | 商業地区 |      |
| 高密度集住住宅地 | 政府・公共地区 | 教育地区 |      |
| 農産地区     | 娯楽地区    | 宗教地区 | 県境   |

出所) NESDB et al., Bangkok Metropolitan Regional Development Proposals 1887~1991, Bangkok, 1986.

図 3 - 2 バンコク土地利用図

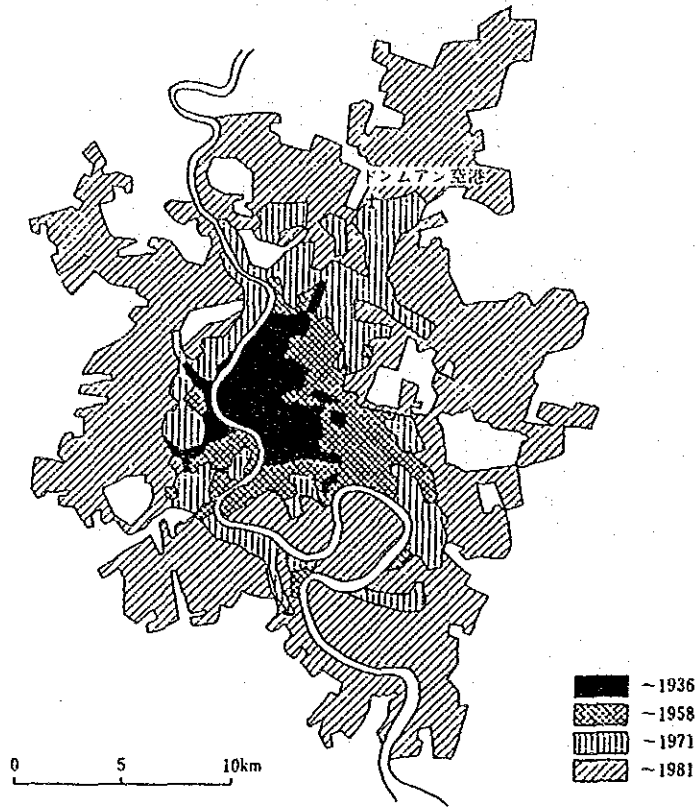


図 3 - 3 バンコク の 発 展 過 程



### 3-2 関係機関の概要

地盤沈下の原因及びその対策には複雑な要因が絡むため、タイ国においてもこの問題に関係する機関は多岐にわたっている。以下では、関係諸機関の名称とその役割をとりまとめた。また、DMR、PWD、BMA、IEAT、ONEB、MWAの組織図を附属資料6.(巻末資料)として掲載した。

#### 1) 鉱業資源局、DMR (Department of Mineral Resources, Ministry of Industry)

地下水部 (Groundwater Division) があり、地下水揚水規制を実施している。自らボーリングクルーを持ち井戸を掘削するほか、全国の民間の井戸はここで登録し、利用料金を支払うよう義務づけられている。バンコクの地盤、地下水状況についてはここで資料が集められ、地質図、帯水層の水圧分布図、塩水化状況図等が発行されている。

#### 2) 公共事業局、PWD (Public Works Department, Ministry of Interior)

上水道事業部門を持ち、バンコク首都圏以外での水供給に責任を持っている。ただし、地方の水供給についてはPWDから独立したPWA (Provincial Waterworks Authority) も事業を行っており、両者の分担地域区分ははっきりしない。

水道用井戸掘削部門を持ち、自ら地下水の開発を行うほか、地下水涵養実験も当機関で実施されている。

#### 3) 首都圏水道公社、MWA (Metropolitan Waterworks Authority)

バンコク首都圏の水供給に関して責任を持っている。現在、4か所41井戸の井戸揚水を行っているが、近い将来、地下水揚水は全廃される予定である。

#### 4) 国家環境委員会、ONEB (Office of National Environmental Board)

地盤沈下問題に関して、国内調整を行う主務者である。自ら沈下観測施設を持ち観測を行うほか、他省庁のデータもここに集約される。これらのデータを基にバンコクの地盤沈下状況について6か月毎に報告がなされることとなっている。ただし、本機関では揚水規制、涵養などの具体的施策は実施しないので、関係各官庁の実施する施策に協力するといった態度になり、地盤沈下問題に対してイニシアチブを取るには至っていない模様である。また、当委員会は、近いうちに組織替えの予定である。Ministry of Science, Technology and Energyの外局であったものが、Ministry of Science, Technology and Environmentの3局のうちの1つになる。

#### 5) バンコク首都圏庁、BMA (Bangkok Metropolitan Authority)

市内の排水及び下水の整備に責任を持つ官庁である。排水下水道局 (DDS) がこれを取り扱っている。また、当機関の手によっても地表の沈下が測定されている。公共事業局の用地部 (Department of Public Works) においては585のベンチマークを所有しており、過去3回にわたって測量している。

#### 6) 測量局、RTSD (Royal Thai Survey Department)

測量、地図作成に責任を持つ官庁である。バンコク地域の地盤沈下の把握のため15年前から水準点を設置し、年1回水準測量を実施している。現在、バンコク首都圏地域に748(1級146、2級602)のベンチマークを持ち、継続的に地表の沈下が測量されている。これらのベンチマーク測量のための基準点として、チャオピア川西部に設置された基準点(深さ6,089フィート)が用いられている。

#### 7) 工業用地公社、IEAT (Industrial Estate Authority Thailand)

タイ国全体の工業用地開発を実施する機関であり、工業用地内の水供給にも責任を持つ。上水道の配管されていない箇所では井戸が掘削され、地下水が利用されている。地下水利用は1つの工業地区(広さは1,000Rai、1 Rai = 1,600m<sup>2</sup>)当たり1~2万m<sup>3</sup>/日である。

#### 8) アジア工科大学、AIT (Asian Institute Technology)

各機関に協力してバンコクの地盤沈下の研究を行っている。地盤沈下問題は主に、地盤工学及び交通工学科 (Division of Geotechnical & Transportation Engineering) で取り扱われている。

### 3-3 バンコク首都圏の気象と地形・地質・地下水

#### 3-3-1 気象

タイ国チャオピア川流域はケッペル気候区分ではAw(サバナ気候)に区分され、顕著な雨期、乾期の差と高い気温が特徴である。当地域の年間降雨量は1,000mm程度(西部)から1,400mm程度(北東部)の範囲にあり、そのうち約80%が雨期である4月~10月に集中している。また、熱帯低気圧は、時には1降雨100mmを超える降雨をもたらす場合もある。平均気温は、雨期が27℃~32℃、乾期が20℃~27℃の範囲である。

#### 3-3-2 地形・地質・地下水

バンコク首都圏はチャオピア川によって形成された沖積平野上に位置している。この平野(Lower Central Plain)は南北200km、東西175kmの広がりを持ち、北部のUpper Central Plainとは小規模な丘陵地帯により境されている。平野はおおむね海拔0mから15m程度の平坦な地形を呈しており、北から南にかけて緩く傾斜している。しかし、今回の調査対象となるバンコク首都圏は大部分が、この平野の中でも最も低平な海拔2.5m以下の地域に位置している。(図3-4参照)

平野の東側の山地には古生代石炭紀の花崗岩が、西側には中生代白亜紀の堆積岩が分布する。平野部においてもこれらの岩盤が基盤を構成していると考えられており、その分布深度は400~1,500mといわれている。

平野部では図3-5に示すように、深度600m付近までの地質構成が判明している。この

部分の地質は新生代第三紀鮮新世から第四紀最新世にかけての砂質土と粘性土のリズミックな互層で構成される。これらは、主に地下水帯水層に着目して以下の8層に区分されている。

名 称	深度 (GL-m)
Bangkok 帯水層	50
Phra Pradaeng 帯水層	100
Nakhon Luang 帯水層	150
Nonthaburi 帯水層	200
Sam Kok 帯水層	250
Phya Thai 帯水層	350
Thonburi 帯水層	400
Paknam 帯水層	550

しかし、これらの地盤の堆積環境は浅い海、もしくは陸性と考えられ、地層は縦方向にも横方向にも激しく変化する。そのため、単一層の連続性はかなり悪いものと考えられ、実際の地層は図3-5に示されるような連続性の良いものではなく、粘性土と砂質土が交差する変化に富んだものであると予想される。

調査地域において深い位置でのサンプリング、土質試験はわずかな資料しかない。その代表的な試験結果は図3-6に示すようなものであり、深度50m付近以深の粘性土では自然含水比は20%以下と塑性限界を下回り、間隙比も0.5前後と極めて小さな値を示している。また、その圧密特性は図3-7に示すように圧縮性の小さいもので、コンパクションされた砂に近いような圧縮特性を示している。

地表付近においては、バンコククレイとして有名な軟弱粘土が分布する。この層厚は15~30m程度であるが、そのうち、上部約10数mは極めて軟弱で含水比が高く、土木工学上問題の多い粘土である。バンコクに建てられた建築物は、軽量なもの以外は大部分が深い基礎によって、この粘土よりも下の支持層で支えられている。

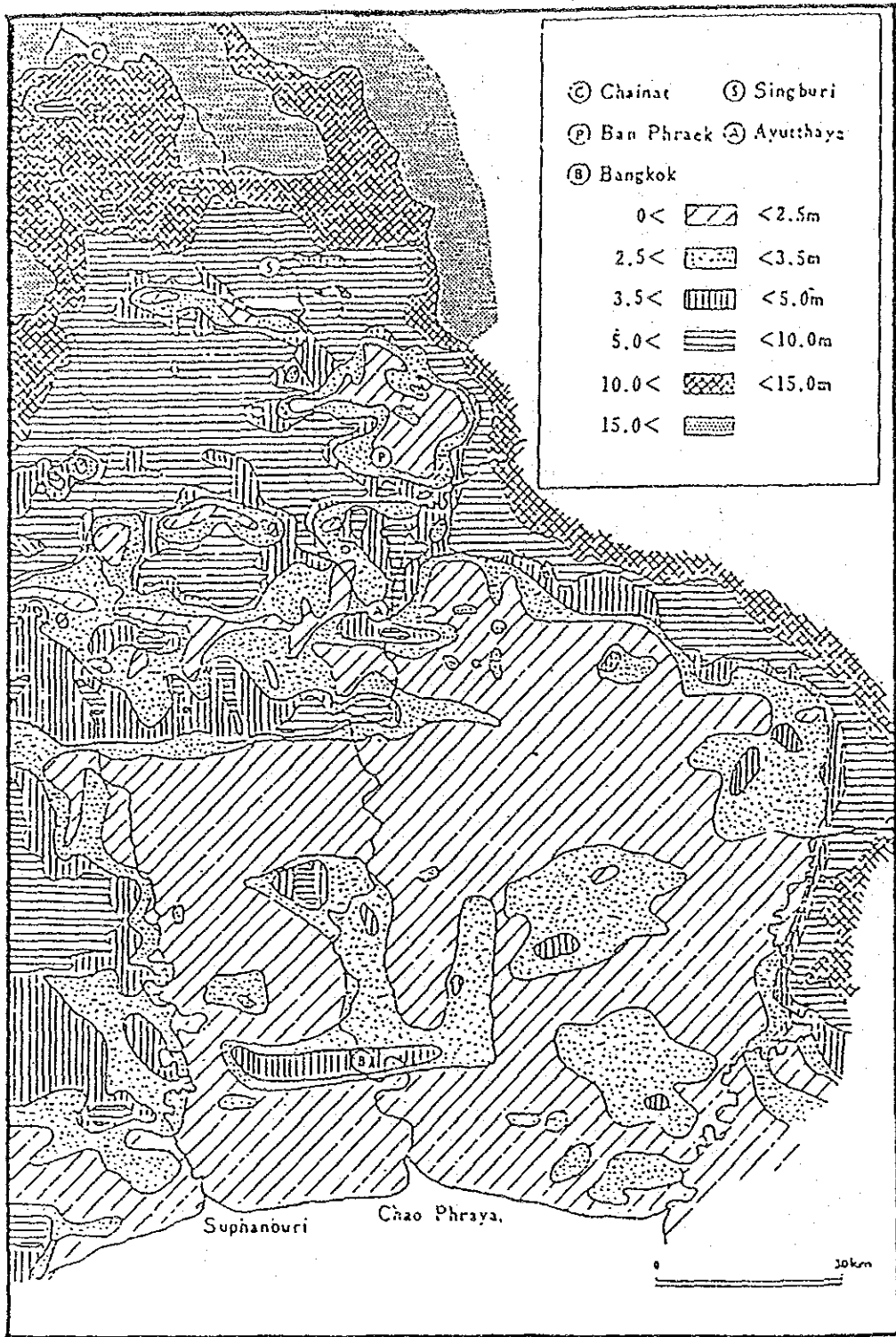


図 3 - 4      バンコク地盤標高図









EXPLANATION

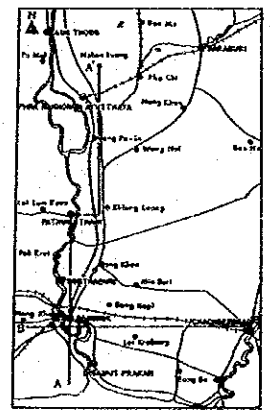
STRATIGRAPHIC SECTIONS OF BANGKOK AND ADJACENT AREAS

AND THEIR WATER-BEARING PROPERTIES

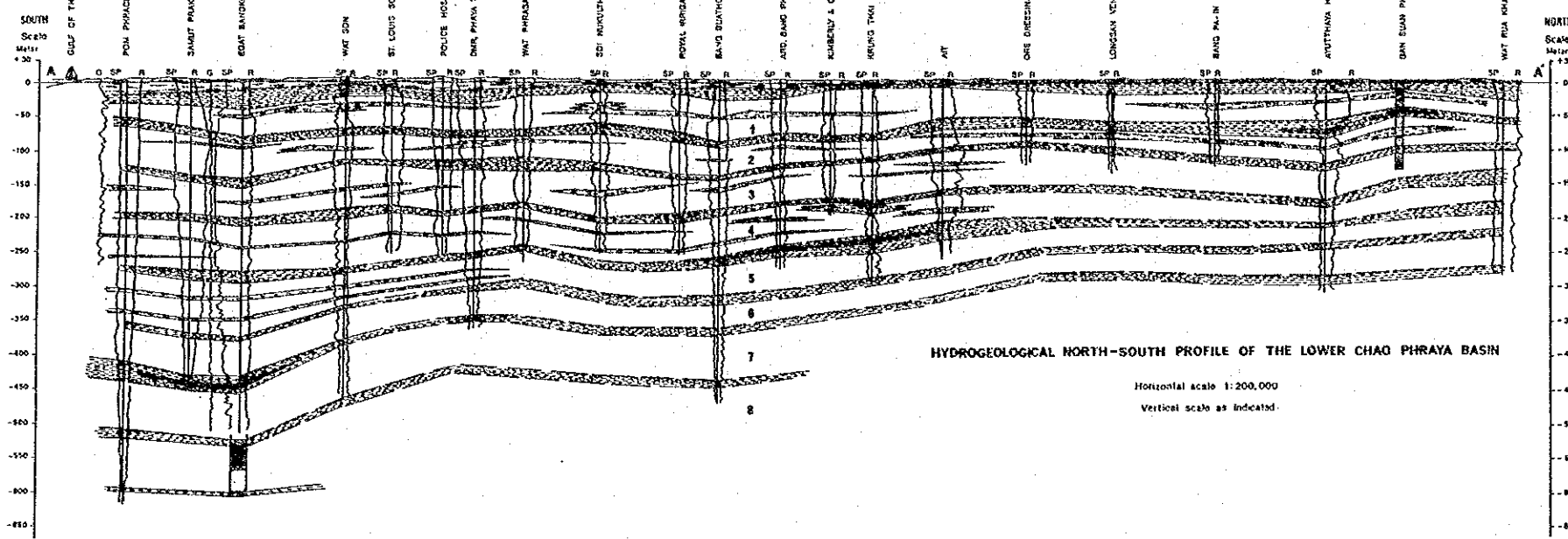
AGE	AQUIFER	Thickness (meters)	Lithology	Water-bearing Properties
LATE-PLISTOCENE TO RECENT	1 BANGKOK (50-m zone)	± 50	Topsoil clay is generally dark gray to black, blocky laminar in the upper portion. Coarse sand, gravel and pebbles are subangular to rounded, moderately to well sorted, composed mostly of various types of fragments.	Yields considerable quantity of water of good quality, brackish to salty and highly mineralized. Naturally not developed for ground water resource.
	2 PIKA PRADANG (100-m zone)	± 50	Separated from the Bangkok aquifer by a dark stiff clay bed. Coarse sand is characteristically white to pale gray, subrounded to rounded, fairly well sorted; composed mostly of quartz, chert and other rock fragments; with carbonized woods and peats at the lower part. Clay lenses interbedded in places.	Yields water of good quality only in the south and southwest of Bangkok; in other areas the aquifer yields brackish to salty water.
LOWER TO MIDDLE PLISTOCENE ?	3 NAKHON LUANG (150-m zone)	± 50	Combed by thick and hard clay bed. Sand-gravel layers which form the aquifer are rather thick (10-20 m). Fragments are mostly quartz, feldspar and granite; are subangular to subrounded, moderately to well sorted. Interbedded clay is whitish to yellowish to grayish brown, sandy and blocky, non-plastic.	Has been heavily developed for public water supply. Yields 100-250 m <sup>3</sup> /hr of water of excellent quality. Only in the south and southwest of Bangkok wells yield salty water due to salt water intrusion into the aquifer.
	4 NONTHEBURI (200-m zone)	± 50	General characteristics of the formation are the same as the Nakhon Luang aquifer. It is composed of rather medium thick sand and gravel with minor sandy clay lenses. The formation can be divided into three units separated by leaky clay layers.	It is one of the more productive aquifers which yield up to 200 m <sup>3</sup> /hr of water of excellent quality. The water has been extensively used for bottled drinking water and beverage as well as domestic supply.
	5 SAM KHOK (300-m zone)	± 100	The formation is composed of sand, gravel and clay. Sand-gravel is yellowish brown to dirty brown, but may grade to white color, medium to very coarse grained, angular to subrounded, fairly well sorted, subangular to rounded due to lower fragment sizes in places with interbedded clay. Both sand-gravel and clay beds are moderately to highly coarsened.	Yields slightly less than those of the Nakhon Luang and Nonthaburi aquifers. Normally penetrated by productive wells in Nonthaburi Bangkok area shallow aquifers yield water of higher iron content.
PLIOCENE (?)	6 PHAYA THAI (350-m zone)	± 50	Combed of sand gravel and clay. Sand and gravel are dirty brown, angular, sizes ranged from medium sand to gravel size, poorly to fairly well sorted; quartz and chert being major composition. Clay is brown to dark brown, compact, calcareous and laminar.	Wells drilled in Central and Southern Bangkok yield brackish to salty water where those in Northern Bangkok produce fresh water. The aquifer is generally not popular due to its great depth.
	7 THON BURI (450-m zone)	± 100	Separated from the upper formation by hard and compact clay. Sand and gravel beds are usually alternated layering with clay beds. Color is generally gray to brownish gray to occasional white sand layers.	No production wells ever constructed, but the greater part of several test holes indicate that the water is fresh to slightly brackish or mineralized in places. The aquifer is not so productive as the above aquifers due to the presence of clay in many horizons.
	8 PAK NAM (550-m zone)	± 100	Separated from the upper formation by a leaky clay to sandy clay layer. Sand and gravel beds, generally thicker than that of the Thon Buri aquifer, are white to gray and well sorted. The clay is generally very compact, olive gray to dark gray, with carbonaceous matter.	The aquifer is very permeable and yield considerable quantities of water of good quality. Water temperature is as high as 43°C. It is, however, too deep to reach by domestic wells, except in areas where there is no salt marine potential aquifer, i.e. the Southern Bangkok.

Note: Detail stratigraphic sections of Bangkok and adjacent areas and their water-bearing properties is after Chanchaisong, 1960.

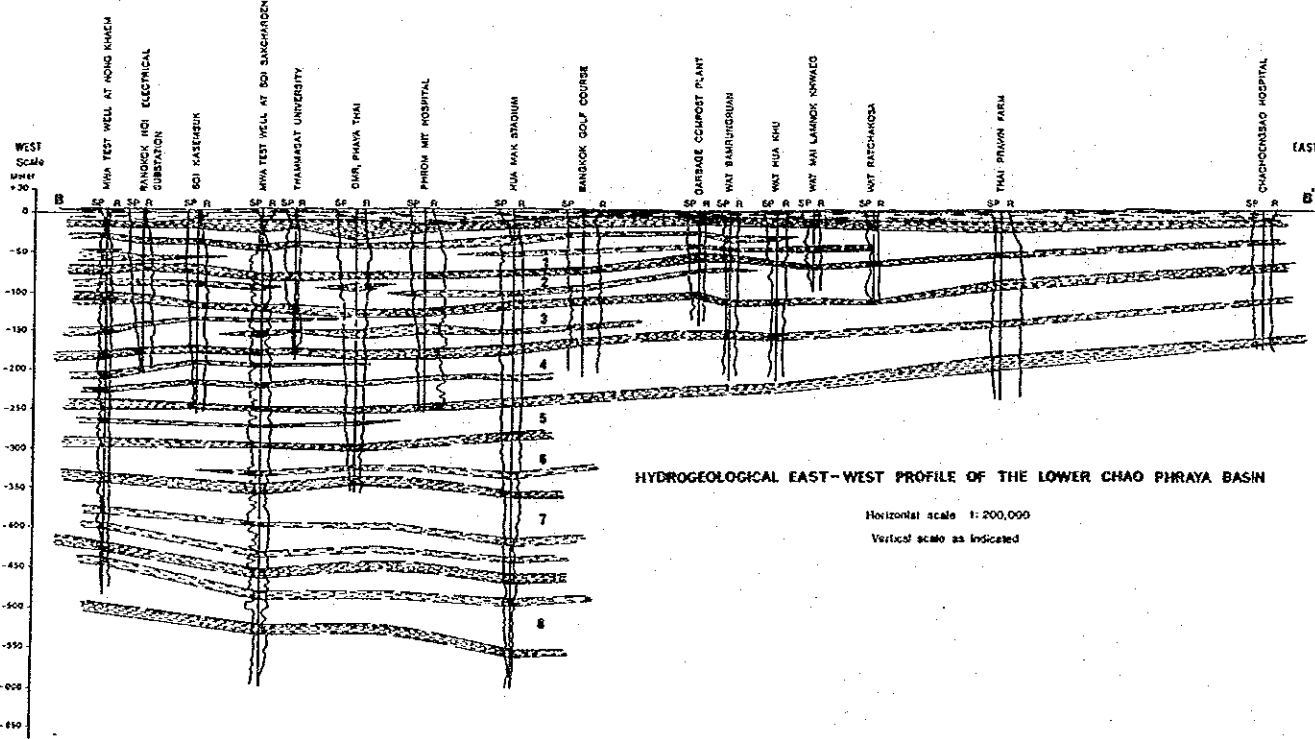
-  Electrical log, SP curve on the left, R<sub>c</sub> resistivity (R<sub>s</sub>) curve on the right
-  Gamma ray log (G)
-  Drilled log
-  Top Clay: dark gray to black, very soft, known as "Bangkok soft clay"
-  Clay (confining bed): composed predominantly of stiff clay, with localized sandy clay or 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.



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



HYDROGEOLOGICAL NORTH-SOUTH PROFILE OF THE LOWER CHAO PHRAYA BASIN  
Horizontal scale 1:200,000  
Vertical scale as indicated.



HYDROGEOLOGICAL EAST-WEST PROFILE OF THE LOWER CHAO PHRAYA BASIN  
Horizontal scale 1:200,000  
Vertical scale as indicated.

图 3-5 地質断面图

DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES  
BANGKOK, THAILAND

MITIGATION OF GROUNDWATER CRISIS AND LAND SUBSIDENCE  
IN BANGKOK METROPOLITAN AREA PROJECT

HYDROGEOLOGICAL PROFILE OF THE LOWER CHAO PHRAYA BASIN  
SHOWING PRINCIPAL AQUIFERS

BY: CHAROEN PANCHAROEN  
VACHU RAMHARONG  
GOMKID BUAPENG

PREPARED: 1979  
PUBLISHED: 1987



### Basic Properties

Borehole No. 26D Location National Environment Board Grid Reference 664241

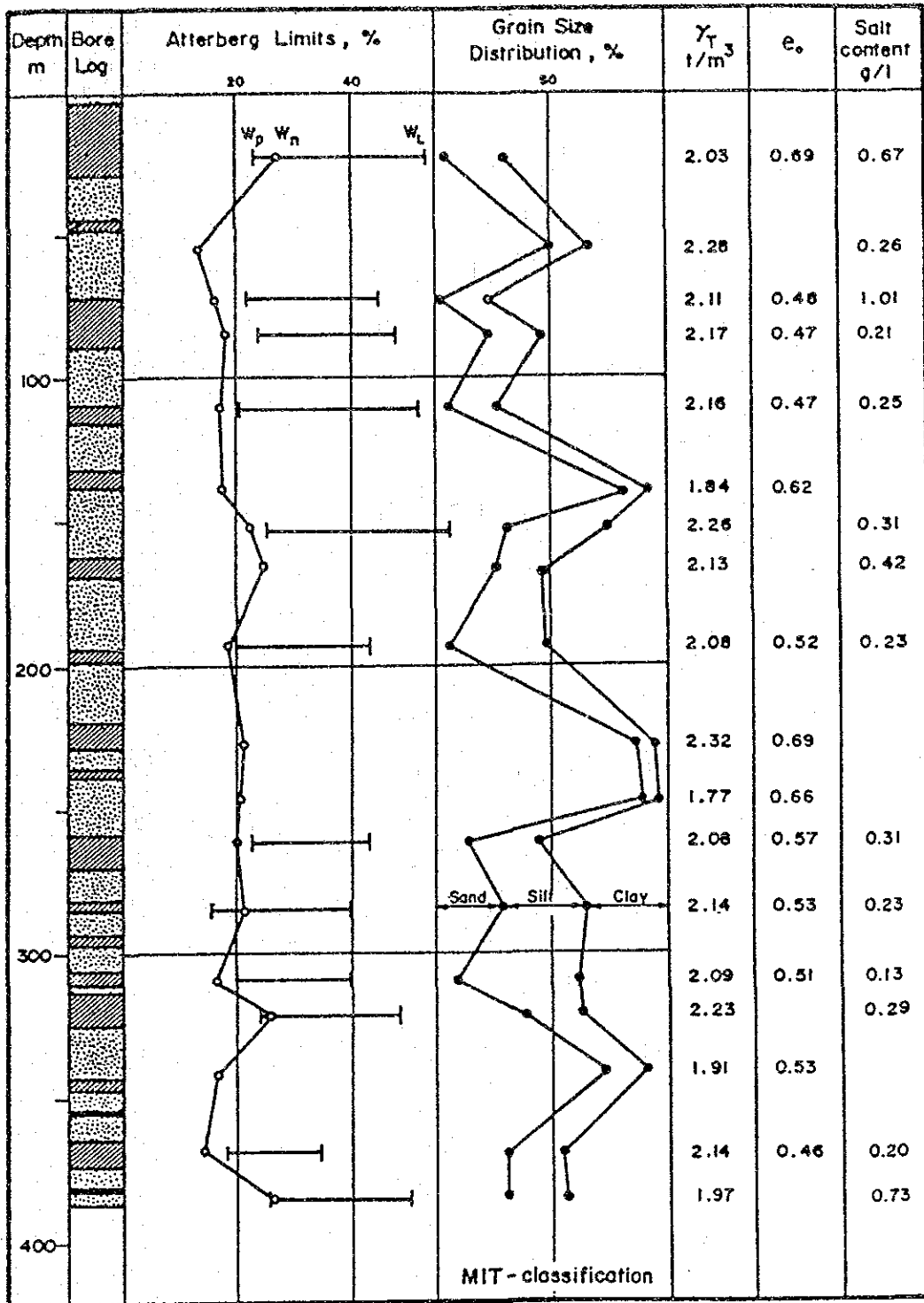


Fig.56 Basic Properties of Soil Samples from Borehole No. 26D

图 3 - 6 代表的地盤性状柱状图

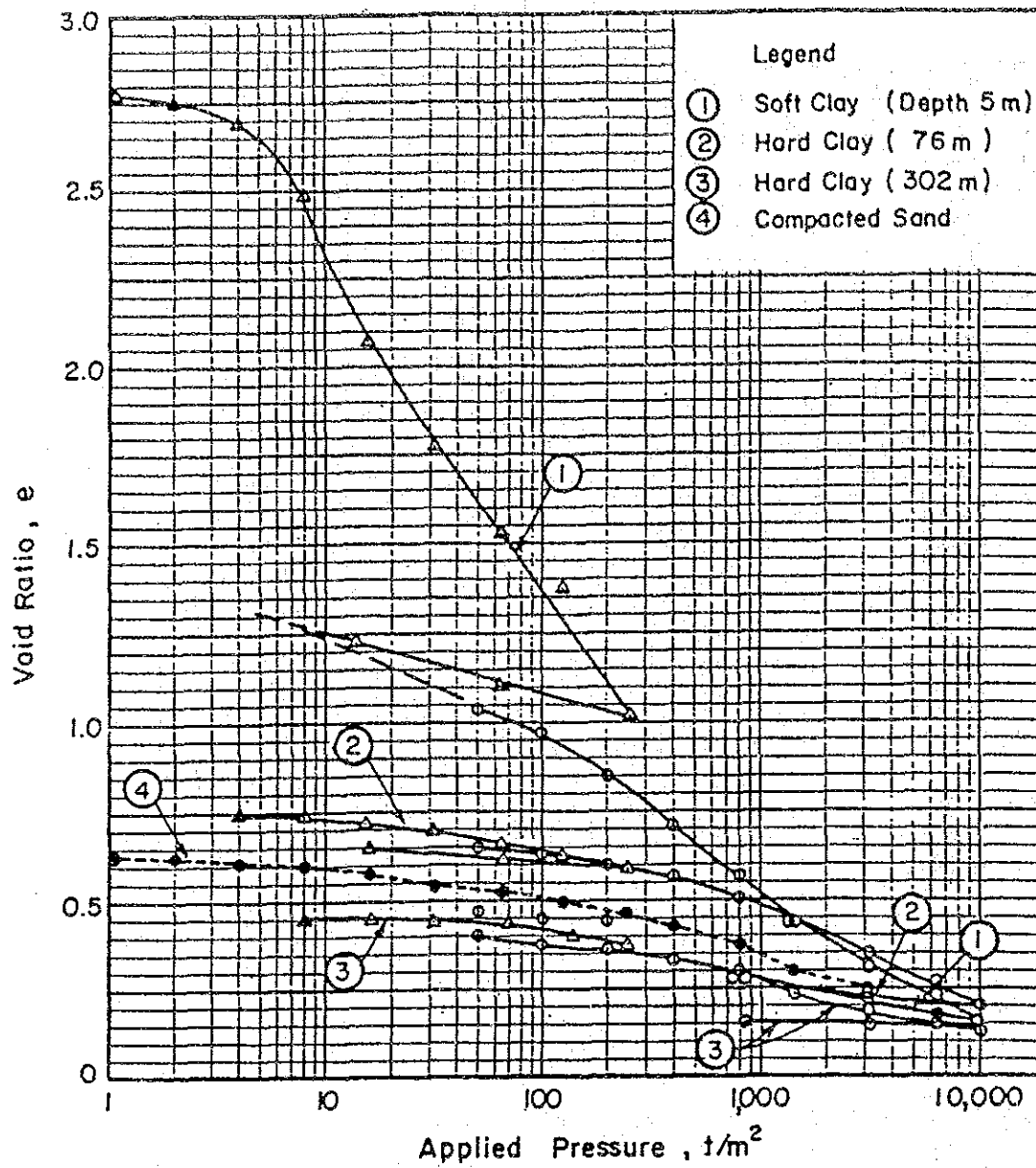


Fig.64 Summary of Compression Characteristics in the Range 1-10,000 t/m<sup>2</sup> for Four Samples

図 3 - 7 粘性土の圧密試験結果図



### 3-4 地下水利用

バンコクにおける地下水の利用は、1954年に上水道のために8,360m<sup>3</sup>/dayの量が取水されたのが最初であるといわれている。その後、図3-8に示すように地下水の利用は1967年を境に急速に増加しはじめる。特に1975年から1983年にかけては工業化の急速な進展とともに地下水揚水は加速度的に増大した。1983年から1987年にかけては、市中心部での揚水規制（後述）とMWAの揚水量低下により揚水量は急減したが、その後、私営工場の揚水量増大により1991年には1983年とほぼ同じ、約1.4 MCD（MCD：Million Cubic meter per day）の水が揚水されている。ただし、この中にはMWA以外の公的機関、工業団地等の揚水は含まれていない。

前述のように、バンコク首都圏の帯水層は8層に区分される。このうち、第1層のBangkok帯水層（深度50m付近）は水質が悪く、現在はほとんど利用されていない。これまで主として利用されてきた帯水層は第2層 Phra Pradaeng 帯水層（深度100m付近）、第3層 Nakhon Luang 帯水層（深度150m付近）、第4層 Nonthaburi 帯水層（深度200m付近）である。しかし、これらの帯水層も近年、揚水量の低下、水質の悪化が激しくなっており、かつ第5、6層は汽水で水質が悪いため、揚水井はより深く、第7から第8層へ向けて掘られるものが増えている。

タイ国において地下水の利用には料金が課せられている。私有の各井戸にはメータが設置され、1m<sup>3</sup>当たり約1バーツ（水道の有無、使用料により若干異なる）が徴収されている。

1991年11月現在における私用井戸の数、揚水量をまとめると以下のようである。

表3-1 調査対象地域の私用井戸の現況

用途	一般家庭	業 務	農 業	合 計
井戸本数	2,087	2,578	146	4,811
揚水量 (m <sup>3</sup> /day)	260,053	844,714	15,340	1,123,103

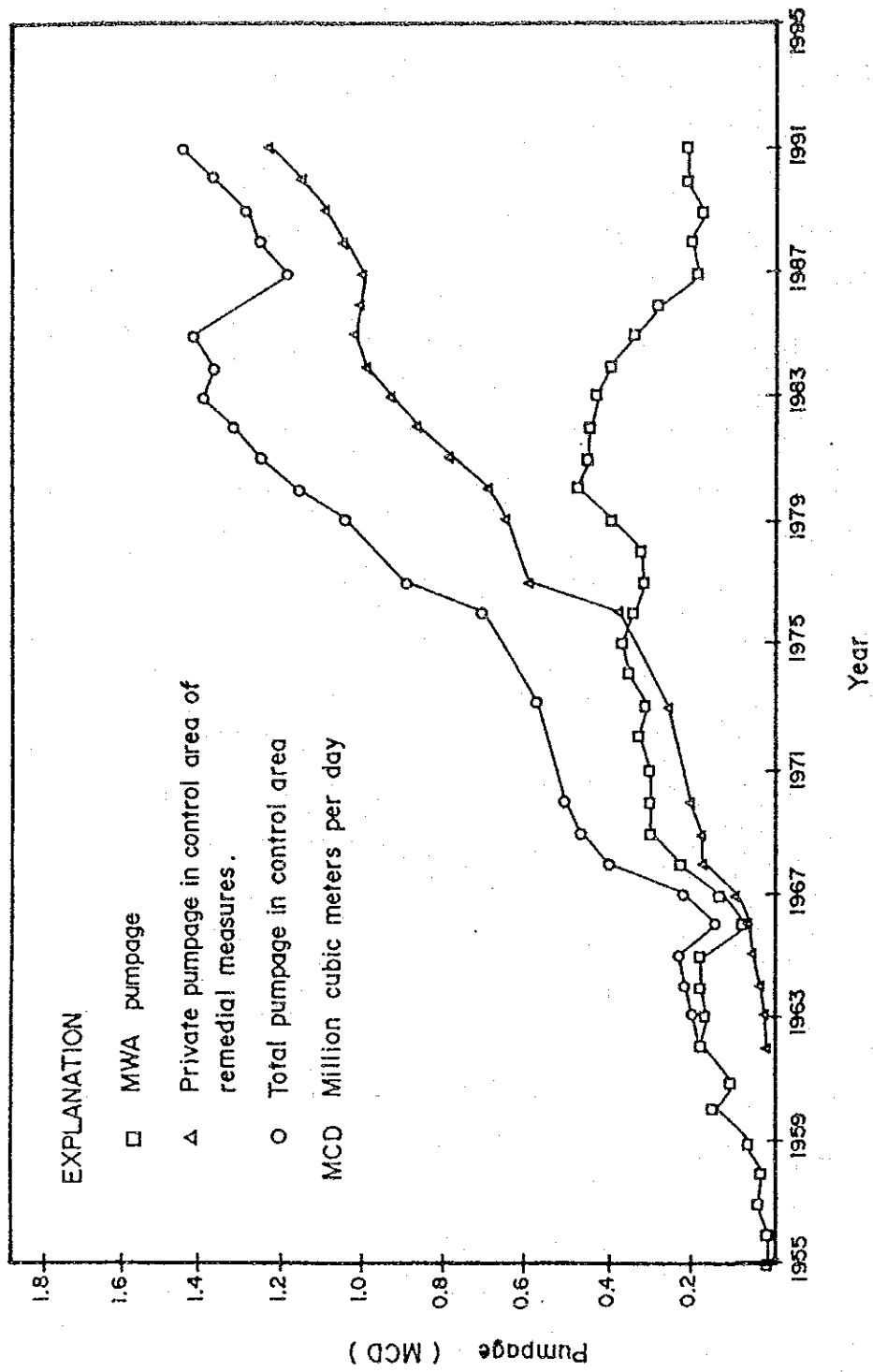


图 3-8 地下水利用状况历年变化图

### 3-5 上水道の現状と計画

タイ国における水道給水は以下のような責任分担で実施されている。

機 関 名	責 任 範 囲
MWA	バンコク首都圏、ノンタブリ県、 サムットプラカン県 3,080 km <sup>2</sup> (図 3-8 参照)
PWD、PWA CWSD	上記以外

※ PWA : Provincial Waterworks Authority

※ CWSD : Consession Water Supply Division

バンコク地域においては現在、MWAの責任範囲約3,000km<sup>2</sup>のうち約700km<sup>2</sup>に上水道が給水されている。給水量は1990年時点で約2.87MCDで、そのうち約50%が一般家庭に、36%がビジネス及び工場に、14%が政府機関に給水されている。ただ、地盤沈下の影響もあって、送水管、家庭給水管の破損が激しく、このうち32%が漏水等によって無駄となっている。上水道のための水源は主に表流水であり、地下水の利用は全体の約5%を占めるに過ぎない。地下水揚水のための井戸は7か所、41井が数えられるが、最大能力の約3分の1程度しか揚水しておらず、近い将来に全廃するといわれている。

バンコク地域の上水道は2017年の完成を目標としたマスタープランにより整備されつつある。これはターチン川、メクロン川などの水源開発及び浄水設備、配水設備の整備を骨格としたもので、このプランの完成により給水能力は1989年の2.77MCDから2017年の7.90MCDに向上することが予定されている。

โครงการปรับปรุงกิจการประปาแผนหลัก  
BANGKOK WATER SUPPLY IMPROVEMENT PROJECT

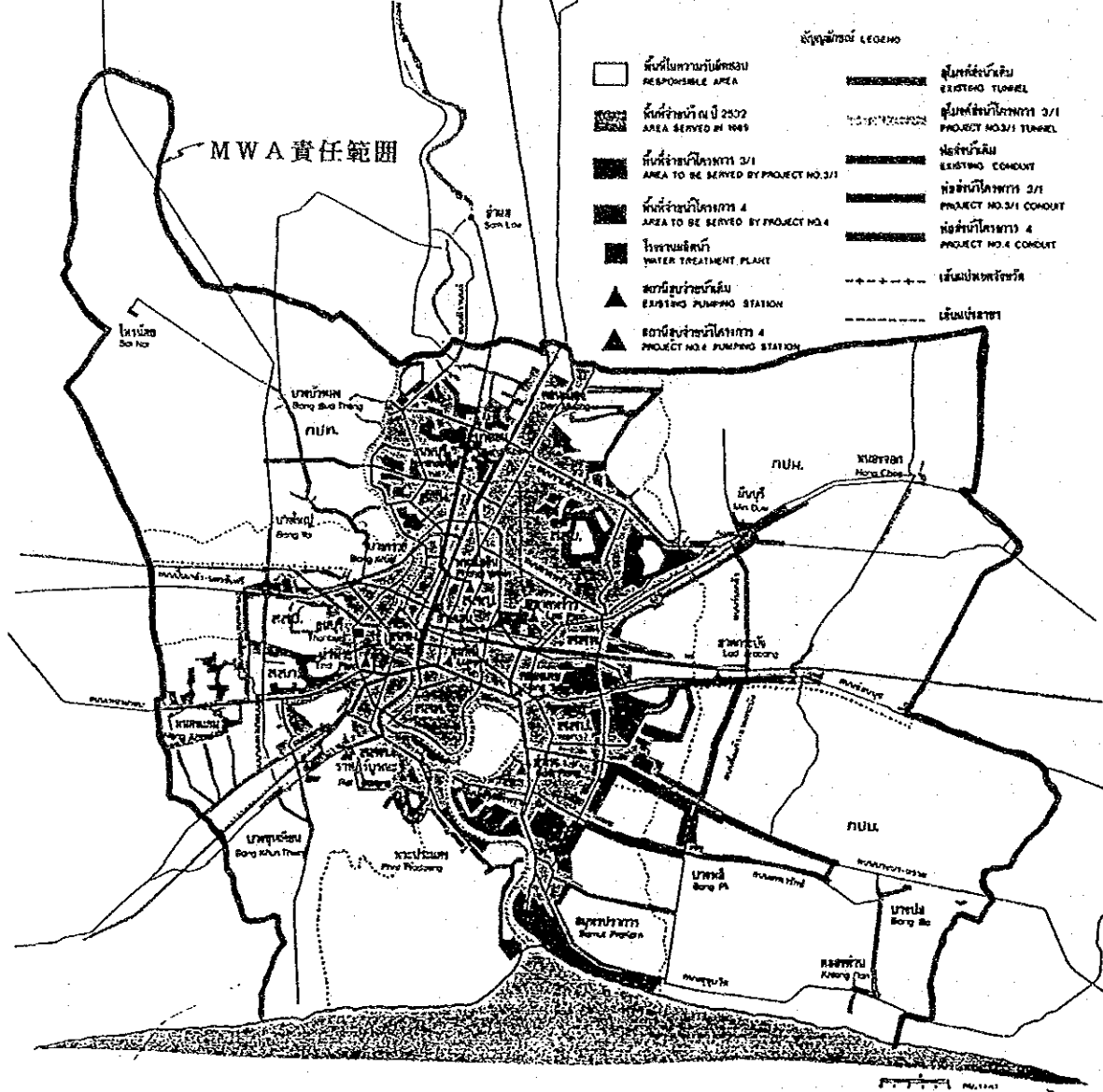


图 3 - 9 MWA 给水责任范围图

### 3-6 既往の地下水、地盤沈下及び地下水塩水化調査

#### 1) 1978年以前の調査

バンコクの地盤沈下は既に1930年代に約80か所のベンチマークが設置され、観測が行われている。1978年にRTSDが測量を実施した際にはこれらのうち11か所のベンチマークが残っており、この期間に最大85cmの沈下が生じていることがわかった。

#### 2) バンコク地域の深井戸揚水に起因する地盤沈下の研究(1978～1981年)

バンコクにおける本格的な沈下、地下水調査は1978年に標記のプロジェクトとして開始された。このプロジェクトはNEB、AIT、DMR、RTSDが中心となって実施されたもので、観測は地表沈下、深度別沈下、地下水位の測定が行われている。

これらの観測の概要をまとめると以下のようである。

##### a) RTSD ベンチマーク測量観測ステーション

地表付近に設置されたベンチマークを一等水準測量により観測しているものである。現在748(1級146、2級602)のベンチマークが設置されており、毎年RTSDにより測量が行われている。測量のための水準原点は深さ6,089フィートの深さの岩盤上に埋設されたチャオピア川右岸ランチャブリ地区のベンチマークが使用されている。

##### b) NEB、AIT 深度別沈下観測ステーション

地中に挿入された内管と地表との間の相対変位を観測し、深度別の沈下を測定するものである。内管の深度は10m程度、50m程度、200m程度の3深度であり、かなり粗いものである。記録はすべて連続自記記録となっており、現地ではCompression Indicatorと呼ばれている。また、このステーションではスタンドパイプを用いて地下水位の観測も同時に行われている。

##### c) DMR 地下水観測ステーション

複数の帯水層に設置された観測井を用い、各帯水層の水頭が測定されている。ただ、ほとんどの観測井は第4帯水層(Nonthaburi層)の200m付近までしか達していない。また、このステーションには地表ベンチマークも設置され、測量による地表の沈下も同時に測定されている。

#### 3) BMA ベンチマーク沈下観測ステーション

上記のプロジェクトとは別にBMA公共事業局用地部によってベンチマークが設置され、測量による観測が行われている。このベンチマークの多くは深度20mの深さに設置され、表面の軟弱層の沈下を除いた深い部分の沈下が観測されている。ベンチマークの数は1979年に120点、1986年に470点、1990年に585点のものが設置されている。測量は3年おきに行われており、次回は1993年に実施が予定されている。

#### 4) AIT、McGill大学の共同研究

IDRCの資金援助により両大学の共同研究が進められている。この研究では現地観測は実施されておらず、バンコク地盤の水文地質解析、水収支解析、自然及び地下水人工涵養の研究が行われている。

#### 5) DMR 塩水化調査

1986年にDMR 所有の観測井を利用して塩素イオン濃度の測定が実施されている。ただし、この調査では各帯水層毎のデータが少なく、濃度のばらつきも非常に大きい。

現在、各機関の所有する観測施設をまとめると表3-2のとおりである。

表3-2 地盤沈下、地下水観測施設一覧表

機関名	地下水位観測井	観測ステーション (深度別沈下等)	地表ベンチマーク
DMR	232本	0	86か所
RTS	0	0	758か所
NEB	0	42か所	-
BMA	0	0	585か所 *(250)

\*()内は深度20mのベンチマーク

各観測施設は図3-10に示すようにバンコク市街を中心に約80km四方の範囲に設置されており、沈下の激しい箇所などに随時追加されている。代表的な観測機器の詳細を図3-11に示した。

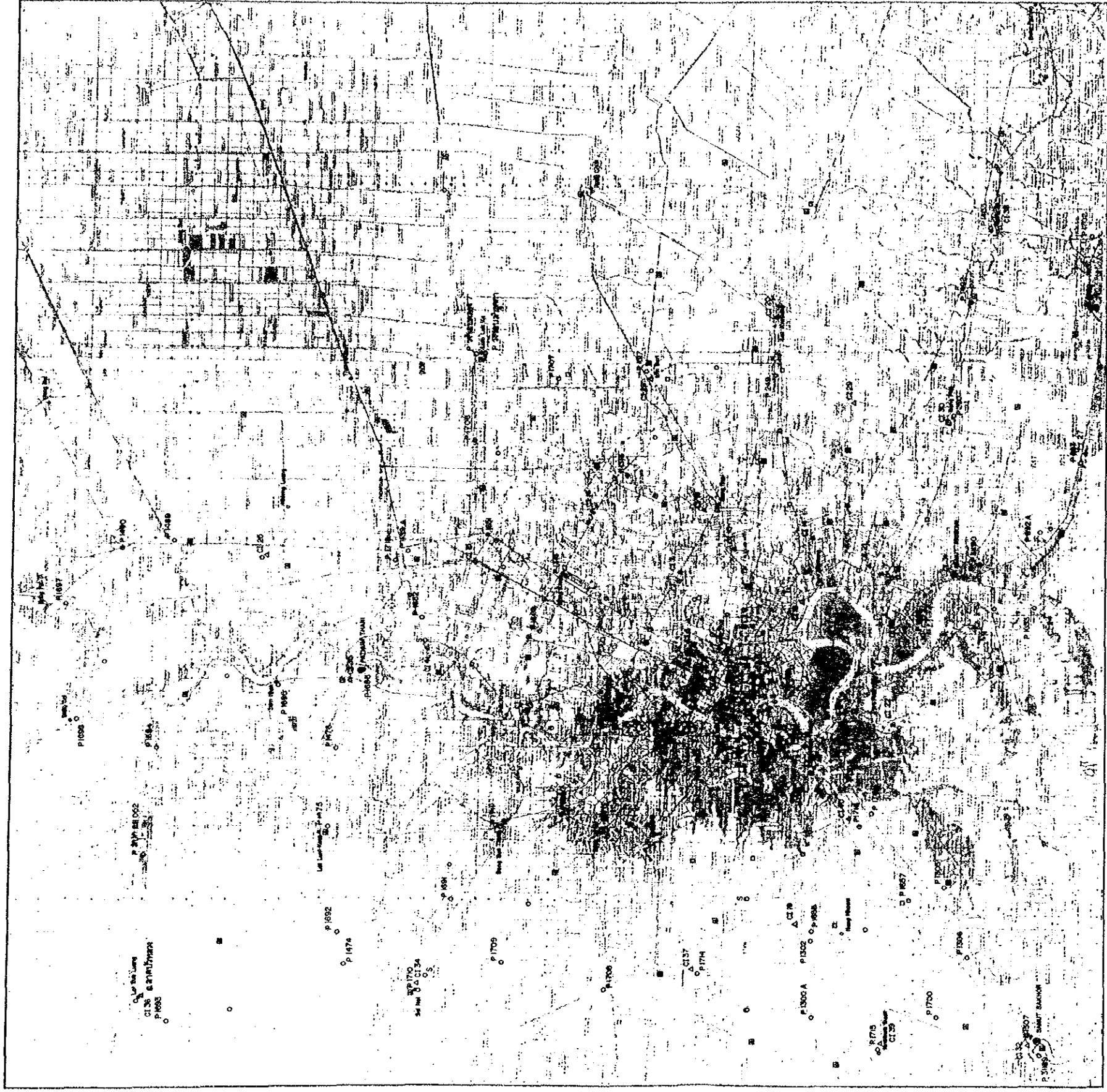
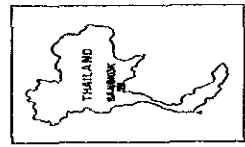


图 3 - 10 地下水、地下観測施設位置図

EXPLANATION

- RTSD Subsidence Station, P-series bench mark
- ⊙ RTSD Subsidence Station, S-series bench mark
- △ NEB Subsidence Station, CI-compression indicator
- BMA Subsidence Station
- DMR Subsidence Station
- RTSD The Royal Thai Survey Department
- NEB National Environment Board
- BMA Bangkok Metropolitan Administration
- DMR Department of Mineral Resources
- Province
- District



DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES BANGKOK, THAILAND.
MITIGATION OF GROUNDWATER CRISIS AND LAND SUBSIBNCE IN THE BANGKOK METROPOLITAN AREA PROJECT
LOCATION OF LAND SUBSIBNCE STATIONS IN BANGKOK METROPOLITAN AREA
By : YACHI RAMARONG SOMKID BUAPENG SUNRIET CHUSANATHAS





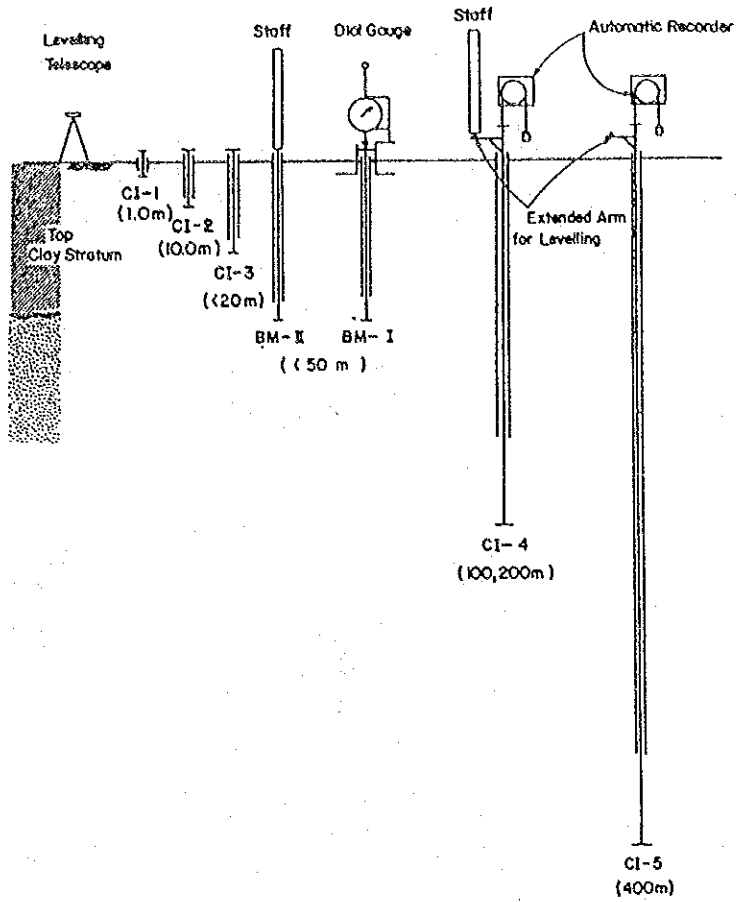


图 3 - 11(a) 觀測機器全体概念圖

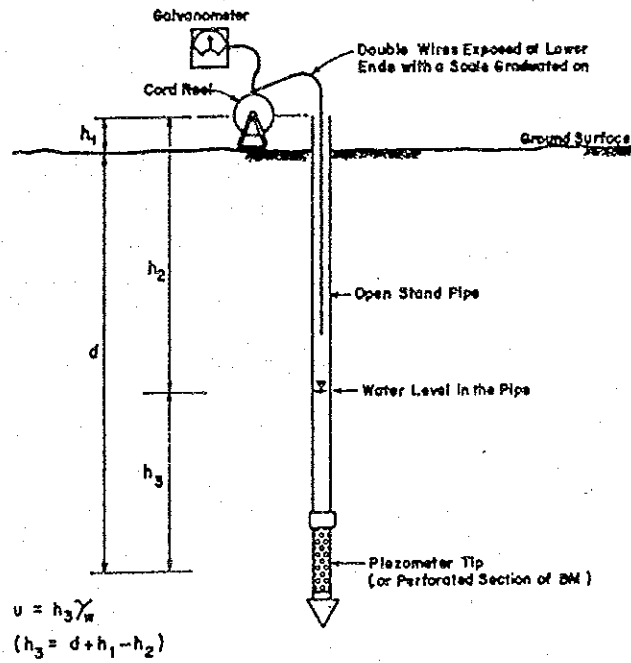


图 3 - 11(b) 水位觀測施設概念圖

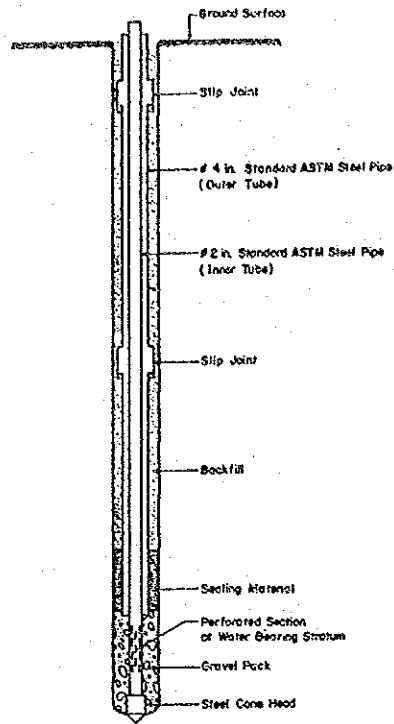


圖 3 - 11 (c) 層別沈下計概念圖

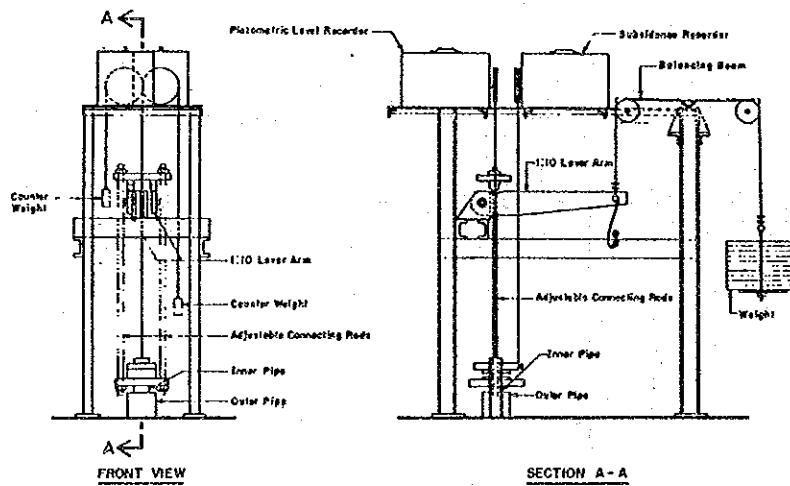


圖 3 - 11 (d) 水位、沈下自記記錄機器概念圖

### 3-7 地下水位、地盤沈下及び地下水塩水化の状況

地下水揚水以前においては、各帯水層の間隙水圧は静水圧分布しており、水位は地表付近にあったものと考えられる。しかし、過剰な揚水の結果、水位は急激に低下し、1980年ころには、Phra Pradaeng (PD) 帯水層 (50m 付近)、Nakhon Luang (NL) 帯水層 (150m 付近) の水位は地表から40~50m 付近にまで低下した。(図3-12参照)

しかし、1983年の「バンコク地下水危機及び地盤沈下対策」及び1985年の地下水揚水への課金により、地下水揚水量は急速に低下した。この期間、MWA の揚水は57%低下し、バンコク中心部全体では約14%の揚水量が低下することとなった。その結果、3枚の帯水層(PD、NL、NB)では急速に水位が回復した。図3-13-1に示すように、バンコク中心部のNL帯水層では大きな箇所では20m近い水位の回復がみられた。しかし、地下水対策の効果の及ばない郊外においては、依然として水位は下がり続けている。特に、宅地開発、工業地区開発の盛んな、バンコク東部のバンプリ地区、南西部のサムサコン地区では1986年以降、図3-13-2に示すような顕著な地下水位の低下が認められる。

1978年から1987年にかけての総沈下量及び沈下の最も激しい箇所での経年沈下を図3-14に示した。この期間中の地盤沈下は主としてチャオピア川左岸で発生し、バンカピ付近を中心とする同心円状の沈下等高線を示している。この間、総沈下量は最も激しいCI 10-1観測ポイントで約80cmを示しており、沈下速度はバンコク東部の沈下の激しい箇所では10cm/year、市中心部でも5~10cm/yearに及んでいる。ただ、これらの地域においては上述の地下水揚水量低下、地下水位の回復とともに、沈下速度は低下し、現在では2~3cm/yearとやや落ち着いている。しかし、近年、地盤沈下は郊外へ広がる傾向が顕著であり、図3-15に示すように、地盤沈下速度等高線は複数の中心を持つ複雑な形状となっている。

いくつかの箇所で深度別の沈下動向が計測されている。その代表的なものは図3-16に示すCI 21 (Bang Na Station) であり、この結果では各深度の沈下に占める割合は、以下のようなものであり、50m以深の地盤で発生している沈下が大きな割合を占めていることがわかる。ただ、この深度では粘性土の間隙比は0.5前後と非常に小さな値であり、果して、この地盤でこれほど大きな沈下を生じるのかといった点については疑問が残り、質の高い観測でもって確認する必要がある。

表3-3 層別沈下の割合

深度 (GL-m)	沈下量 (mm)	総沈下に占める割合 (%)
0-10	40	5
10-53	220	29
53-194	490	65

塩水化については、あまり詳細な調査は行われていない。ただ、1986年にDMRの観測井戸で塩素イオン濃度が測定されており、そのうち濃度が1,000 mg/l以上を示す地域を図3-17に示した。

バンコクにおける地下水の塩素イオン濃度は50mg/lから4,000mg/l以上まで幅広い範囲で分布する。このうちチャオピア川左岸においてはPhra Pradaen帯水層以外は50~100mg/l程度の値を示し、塩水化の兆候はみられない。ただ、Phra Pradaen帯水層においては、市東部において1,000mg/lをやや超える値を示している。

チャオピア川右岸においては、市南部及び北部に塩水化の兆候が認められる。特に、市南部ではNonthaburi帯水層に4,000mg/l以上の値が観測されており、塩水化の傾向が著しい。

塩水化の原因については、海水の侵入または地層中の塩分の漏出の2つが考えられている。海底面には厚く粘性土が堆積していると考えられることから、海水の侵入は難しいと考えられるが、市南部の塩水化は海岸部を中心に発生しているように見え、現在、原因を特定することは難しい。

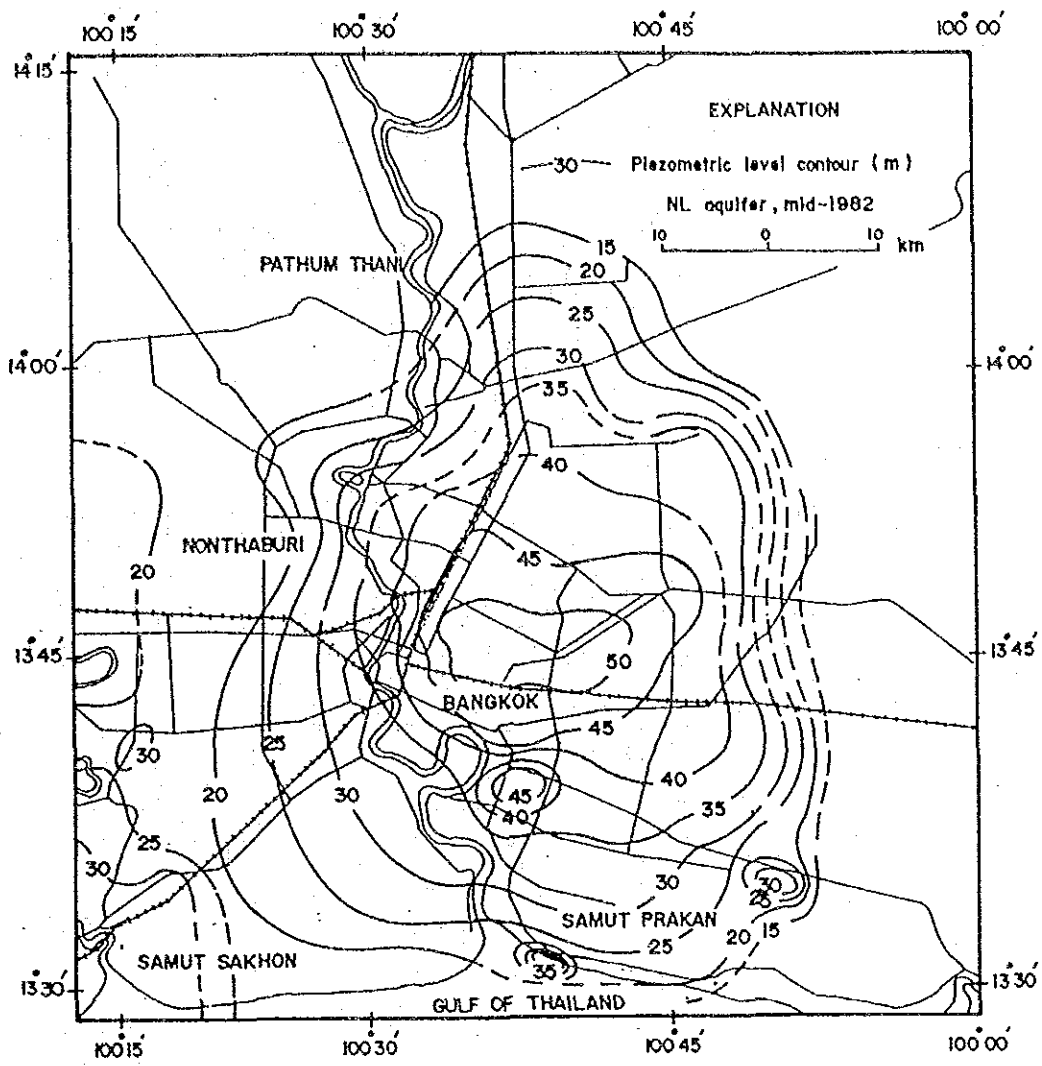


図 3 - 12 1982 年の N L 帯水層水頭図

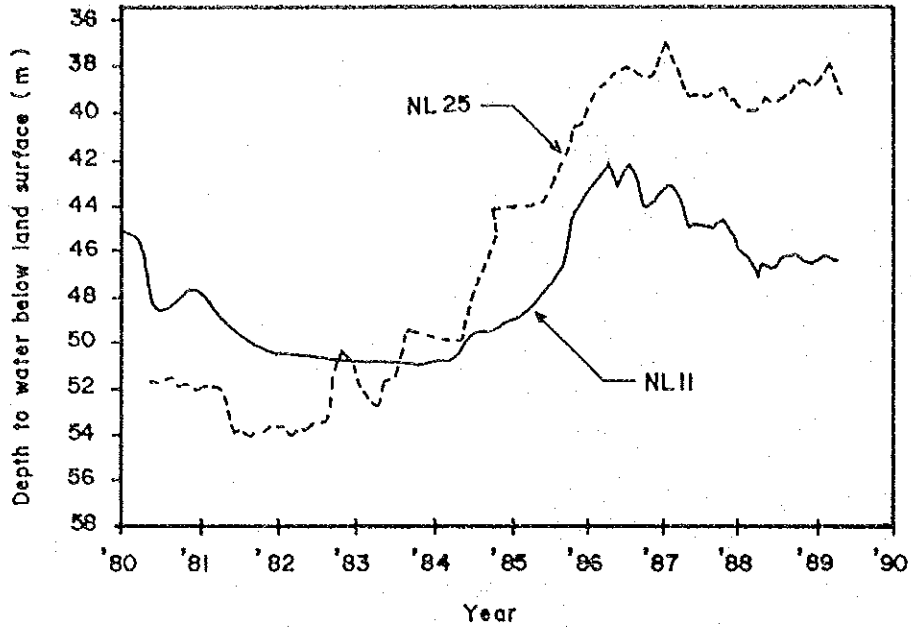


図 3 - 13 - 1 市中心部帯水層の水頭回復  
 Figure 6. Hydrographs of piezometric levels of monitoring wells penetrated Nakhon Luang aquifer. Well NL 11 at Hua Mark Golf Course and NL 25 at Wat Kunnathi, Huai Khwang.

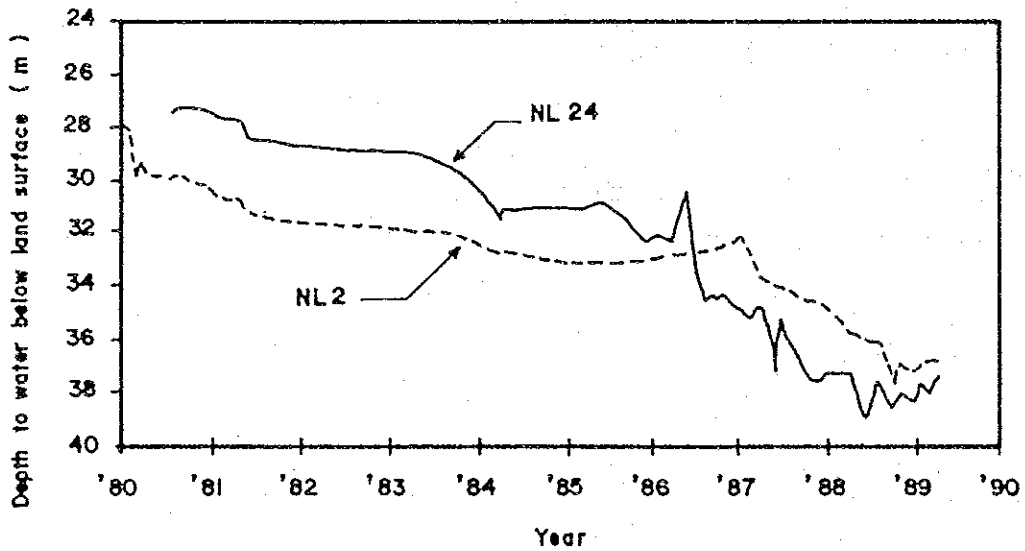


図 3 - 13 - 2 郊外帯水層の水頭低下  
 Figure 7. Hydrographs of NL 2 at Phun Charoen Wittaya School, Bang Phli and NL 24 Wat Bang Ping, Samut Sakhon.

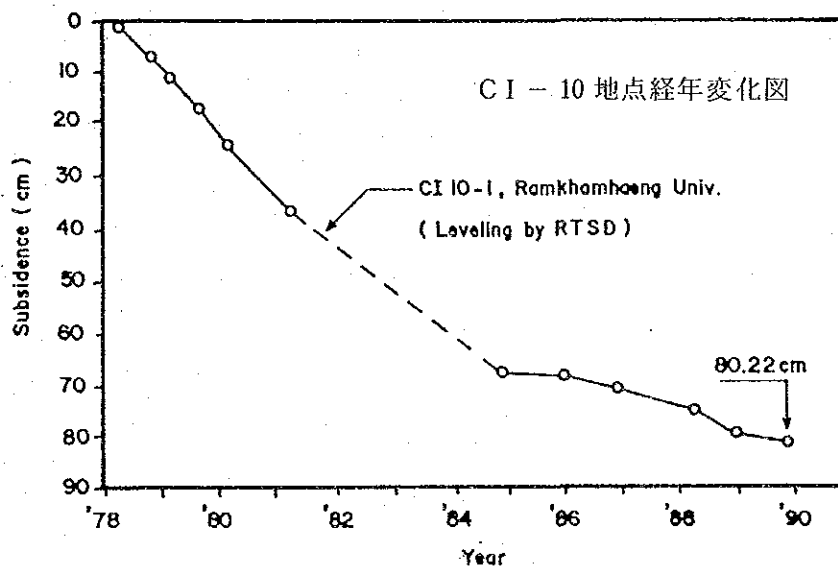
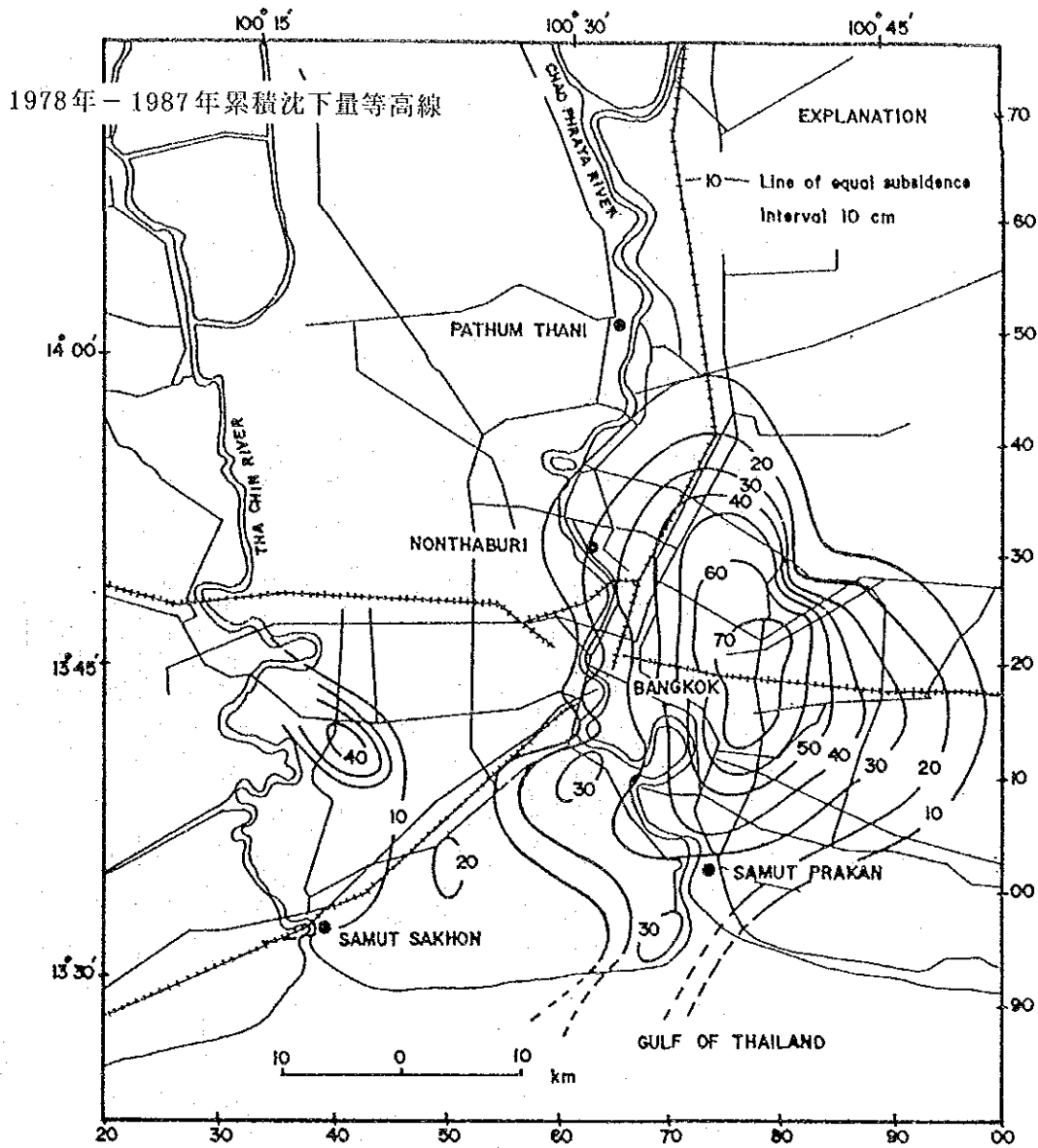


图 3 - 14 地盤沈下状況図

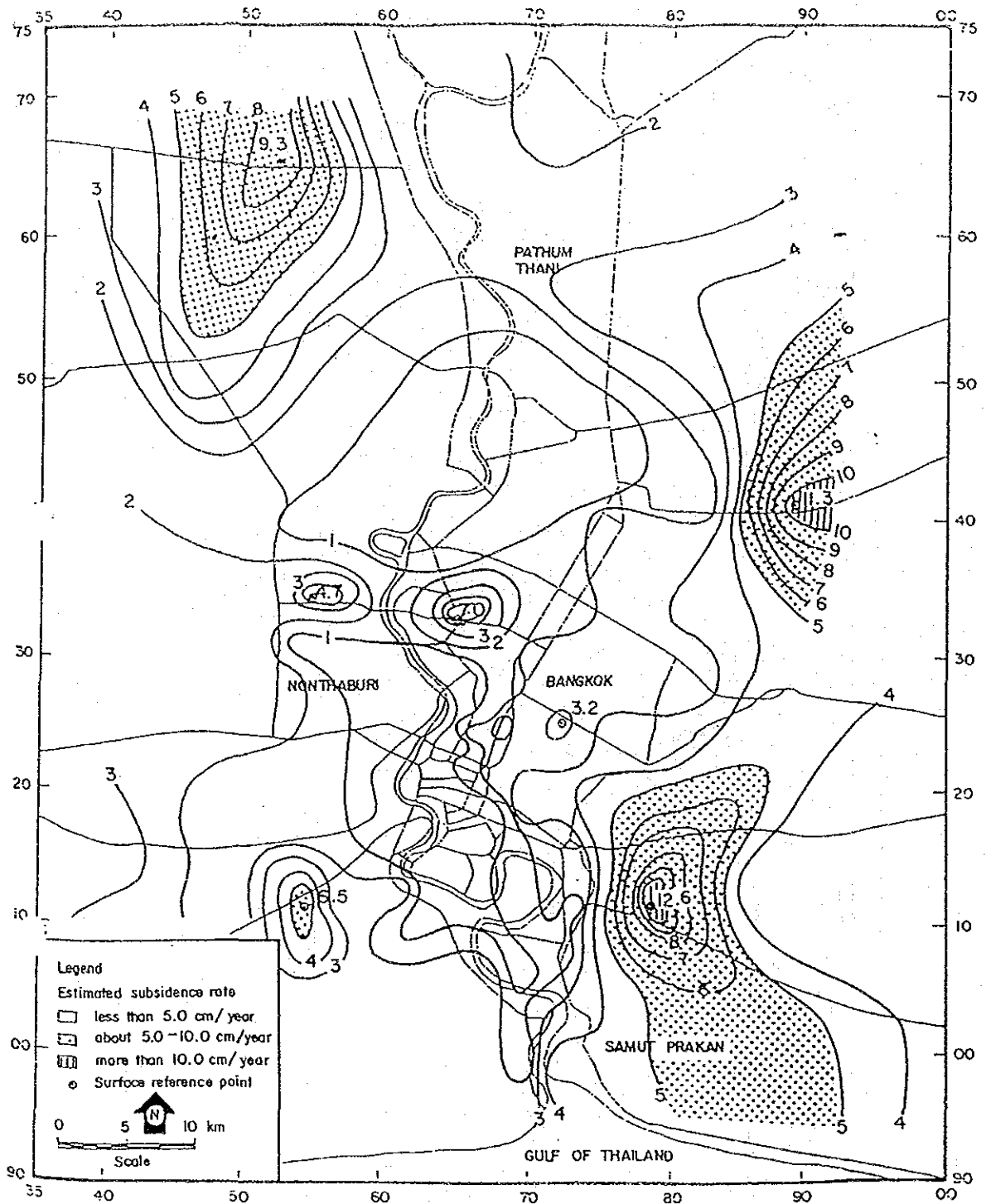


图 3-15 1987年沈下速度等高线图

Fig. 2 g) Land Subsidence Rate in 1987



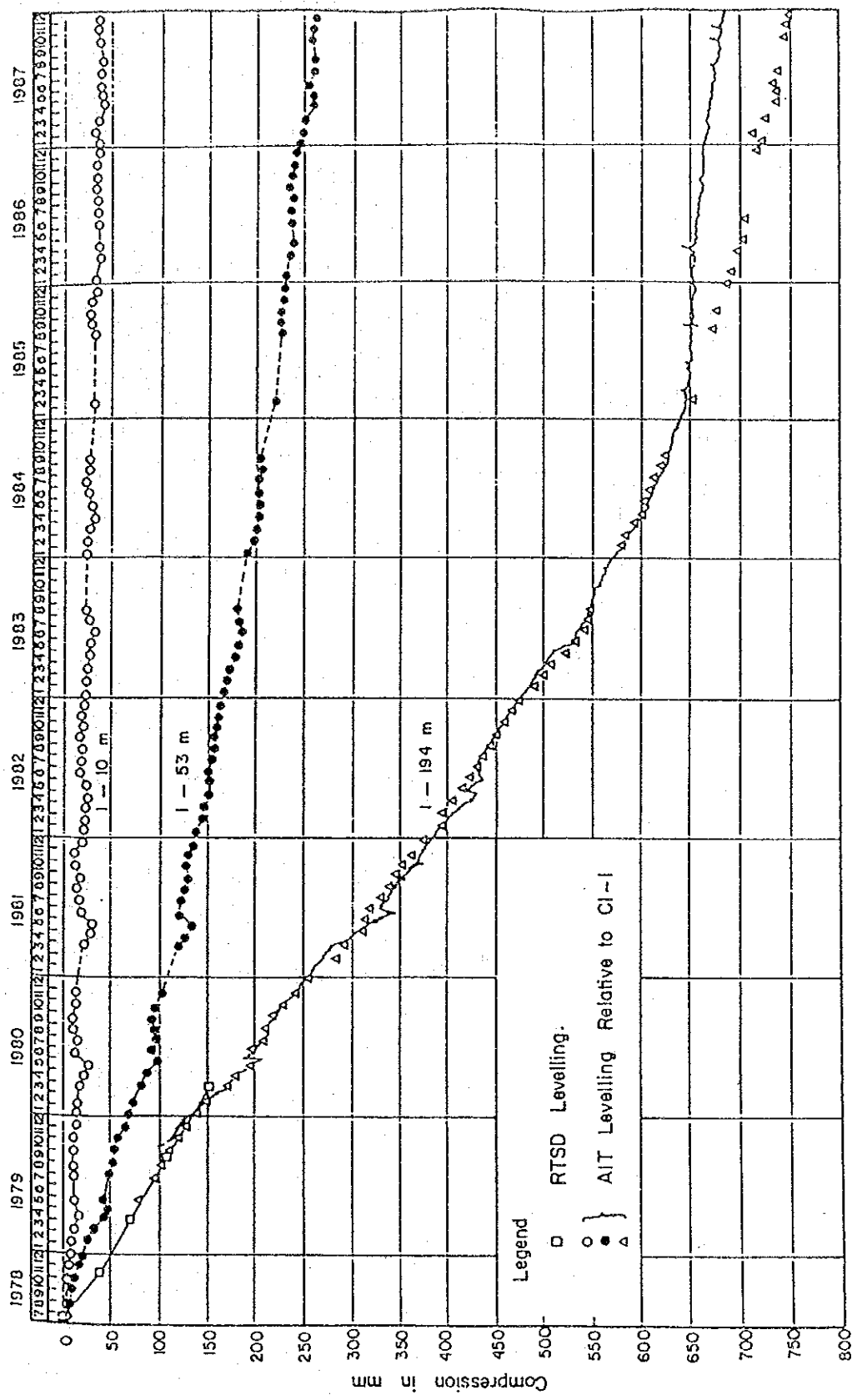
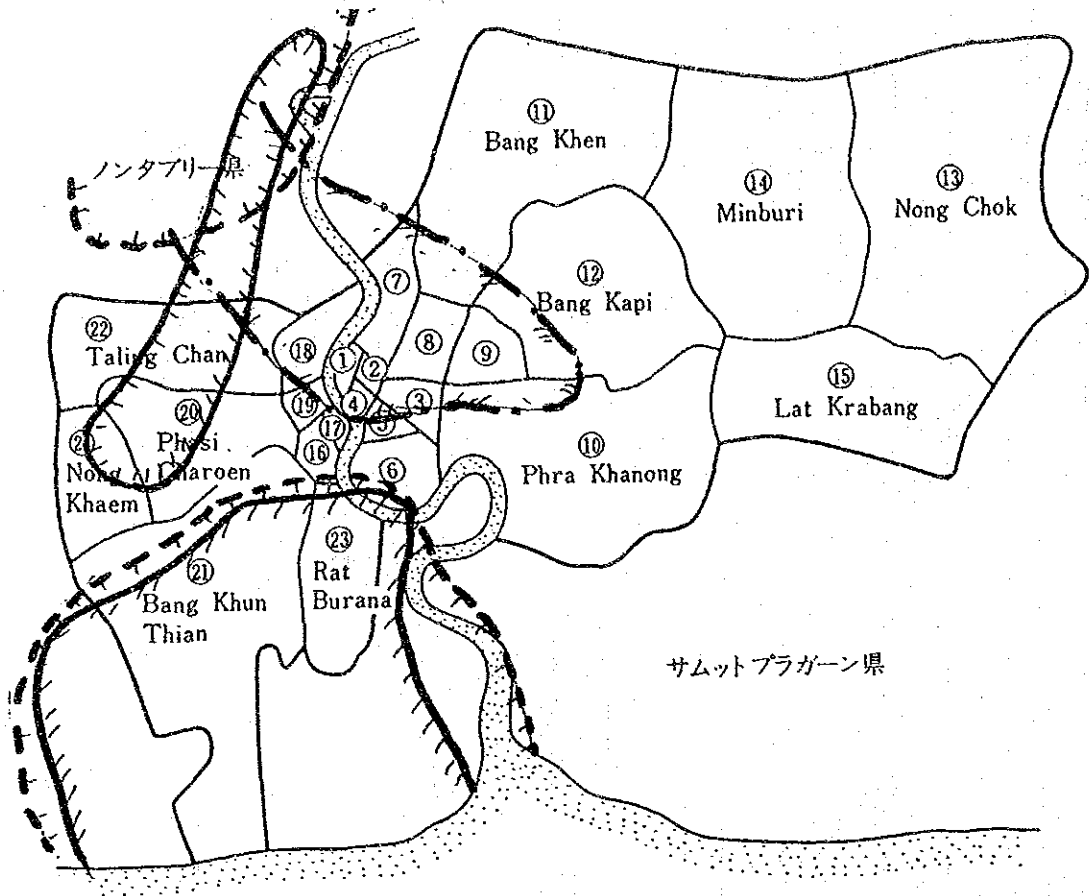


图 3 - 16 深度別沈下経年変化图

Fig. 4 Subsidence of Station 21 (Bang Na Station) Observed from Automatic Recorder and Levelling.



塩素イオン濃度 = 1,000 mg/l 以上の地層

- : Phra Paradaeng 帯水層
- : Nakhon Luang 帯水層
- : Nontaburi 帯水層

図3-17 塩水化状況図

### 3-8 地下水管理体制及び地盤沈下、地下水塩水化対策の現況

地下水管理体制及び対策は、1977年の地下水法（Groundwater Act, B. E. 2520）及び1983年の閣議決定「バンコク首都圏地下水危機及び地盤沈下対策（Mitigation of Groundwater Crisis and Land Subsidence in Bangkok Metropolis）」に集約されている。

地下水法のポイントは以下のようにまとめられる。

- 1) 第4条：この法律は水供給に責任のある政府機関、公社には効力を及ぼさない。
- 2) 第7条：委員会のアドバイスをもとに、担当大臣は地下水利用料金を定めた規制を發布できる。料金は1 m<sup>3</sup>当たり1 バーツを越えてはならない。
- 3) 第9条：DMR 局長を議長とし、PWD、RID（Royal Irrigation Department）、PHD（Public Health Department）、MWA の各局長をメンバーとする地下水委員会が組織される。委員会はこの法律に関して政府から出される規制、通知について意見、アドバイスを行う。
- 4) 第16条：地下水地域に指定された地域では、DMR 局長の許可がない限り、地下水に関する活動を行ってはならない。
- 5) 第38条：これに違反した場合は6 か月以内の懲役、もしくは20,000 バーツの罰金が課せられる。

この地下水法に基づき、私用の井戸はすべてDMR 所有の井戸データベースに登録され管理されている。このデータベースはUNDP の援助により1985年に完成したものである。入力されているデータは表3-4に示すようなものであり、場所、深度、口径などのほか、水質も表示されている。

1978年から1981年にかけてONEB、DMR、AIT、RTSDによって総合的な地盤沈下観測及び地下水シミュレーションが行われた。閣議決定「バンコク首都圏地下水危機及び地盤沈下対策」はこの研究に基づくもので、1983年から2000年にかけての地下水揚水を段階的に減少させていくことを目的としたものである。これらの内容を要約すると以下のようである。

- 1) バンコク首都圏は図3-16に示されるように、その沈下及び地下水低下の速度によってゾーン1（沈下速度10 cm/year 以上）からゾーン3（沈下速度5 cm/year 以下）の3つのゾーンに分けられる。
- 2) 地下水シミュレーションの結果では、最悪の場合、ゾーン1では2000年までに1 m以上の沈下が生じることが予想された。（図3-18）
- 3) 1983年から1987年にかけては私用の地下水利用を5%以内の増加率に抑えること及び1987年から1992年にかけては-5%に減少させること、1993年から1997年にかけては-10%に減

少させることが目標とされた。

4) 地下水利用を減少させるために以下の事項が閣議決定された。

- a) ゾーン1、2の地域においては、MWAは1987年までに地下水揚水を止める。関連政府機関はMWAに対して1986年までに表流水を供給する。(実際にはトンネル工事の遅れ等により、まだ、わずかながら揚水が継続している)
- b) 私用の地下水利用に対して、上水道の利用に相当する利用料金を課す。(1985年2月から、バンコク地下水揚水地域(Bangkok、Samut Prakan、Non thaburi、Pathum Thani、Ayuttaya、Samut Sakhon)の私用の井戸に対して地下水利用料金を徴収することがDMRに対して認められている)

また、地盤沈下対策として、地下水人工涵養も試みられている。これは主にPWDによって行われており、バンコクドムアン空港近くのサイトでは屋根に降った雨水を砂濾過し、第2帯水層(100～150m)に注入している。ただ、現在はこの実験は終了しており、サイトには施設は残されていない。今後、より大規模な実験を行うべく、予算を申請中とのことである。

WELL NO	LOCATION	DRILLING DEPTH (FT)	DATE (FT)	CASING DIAMETER (IN)	PERFORATION INTERVAL (FT)	ROCK TYPE	ACQUIFER LOGIC UNIT	PUMP TYPE	INSTALLED CAPACITY SETTING	SHL (FT)	YIELD (GPM)	PH	IRON (MG/L)	CL (MG/L)	TDS (MG/L)	TOC (MG/L)
D95	KASET SOMBUN - NONG BUA DAENG ROAD KASET SOMBUN : KASET SOMBUN AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	170	03-21-62	8 / 110	80-110	SHALE	JLK	HAND PUMP	24.00	24.00	66.00	7.4	0.02	122	1032	606
D332	BAN NA HUA SOK SCHOOL, MU THI 6, 3 KM E OF KM 20 KASET SOMBUN - NONG BUA DAENG ROAD TAMBON : BAN BUA AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	120	03-28-73	6 / 120	80-120	SHALE	JLK	HAND PUMP	59.12	59.41	6.56	7.6	3.40	21	299	222
D337	BAN PAO PUBLIC AREA MU THI 9, 12 KM N OF AMPHOE KASET SOMBUN COMPOUND TAMBON : BAN PAO AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	100	05-24-73	6 / 100	60-100	SHALE	JLK	SUBMER.	24.22	24.70	51.70	7.69	500	1300	390	
N234	BAT BURAPHA (BAN KUT KHANG) 5 KM N OF KM 13 PHU KHIEO - KASET SOMBUN ROAD TAMBON : BAN HAN AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	100	04-07-76	4 / 100	60-100	SHALE	JLK	HAND PUMP	22.67	23.21	53.15	8.4	90	28	564	140
N235	BAN KUT DAENG PUBLIC AREA 2 KM N OF KM 14 PHU KHIEO - KASET SOMBUN ROAD TAMBON : BAN HAN AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	105	04-13-76	4 / 105	65-105	SILTSTONE	JLK	HAND PUMP	23.91	27.61	57.77	8.4	1080	2900	136	
N287	BAN PAO SCHOOL 2 KM N OF KM 16 KASET SOMBUN - NONG BUA DAENG ROAD TAMBON : BAN PAO AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	200	07-21-77	5 / 200	180-200	CLAY	QCP	SUBMER.	15.00	15.00	75.00	7.00	120	FT	18.60	
P51	BAN DON MAKHANG PUBLIC AREA, MU THI 13, 1 KM NW OF KM 18 PHU KHIEO - KASET SOMBUN ROAD TAMBON : BAN HAN AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	110	09-14-64	8 / 110	70-110	SHALE	JLK	HAND PUMP	25.95	25.20	45.88	7.2	222	350	1290	230
P52	BAN TALAT PUBLIC AREA, MU THI 3 2 KM NW OF KM 14 PHU KHIEO - KASET SOMBUN ROAD TAMBON : BAN HAN AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	100	09-21-64	8 / 60	50-60	SHALE	JLK	SUBMER.	22.95	24.89	24.29	7.00	767	96		
P53	BAN NA HUA PUBLIC AREA, MU THI 7 2 KM NW OF KM 20 KASET SOMBUN - NONG BUA DAENG ROAD TAMBON : BAN HAN AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	100	09-28-64	8 / 70	50-70	SHALE	JLK	HAND PUMP	16.27	22.60	50.59	7.8	69	180	580	180
MJ785	BAN NOK IANG KAO PUBLIC AREA, M. 6, 1 KM W OF KM 5 KASET SOMBUN - NONG BUA DAENG ROAD TAMBON : BAN HAN AMPHOE : KASET SOMBUN CHANGWAT : CHAIYAPHUM	140	04-14-90	5 / 140	120-140	SHALE	JLK	SUBMER.	23.35	11.28	4.28	7.2	480	280	980	

表 3-4 井戸データベース出力例

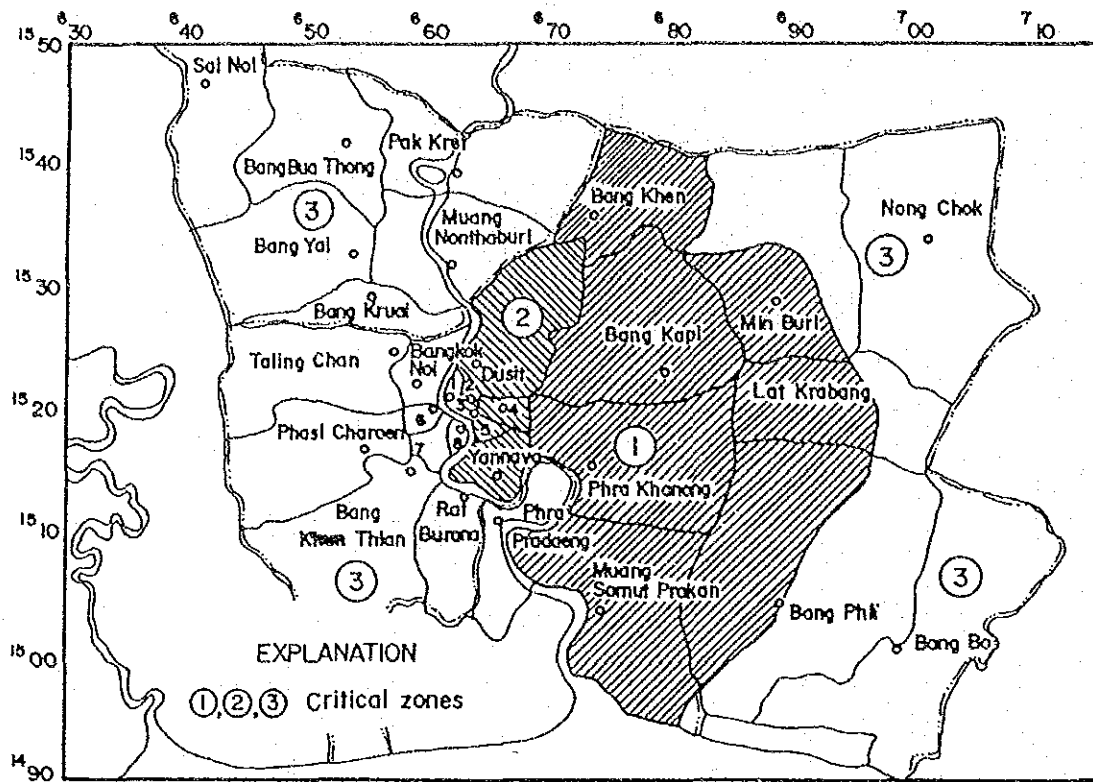


Figure 5. Map showing critical zones of Bangkok Metropolitan Area.

図 3 - 18 バンコク首都圏ゾーン区分図

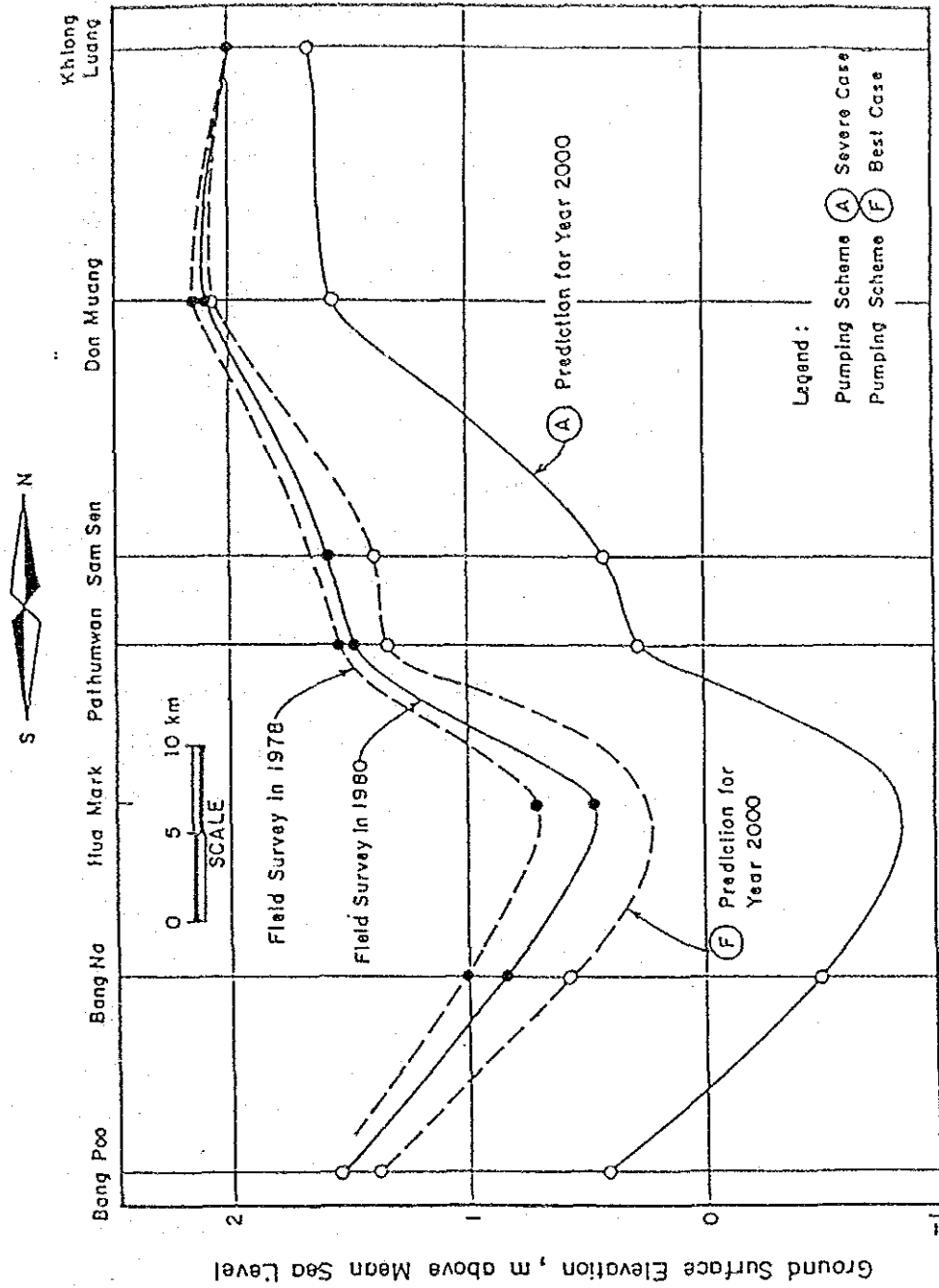


Fig. 4 Profiles of Ground Surface Elevation through Bangkok from Field Survey 1978 - 1980 and Predicted by a Model for Year 2000 (Adapted from AIT, 1981)

図 3 - 19 地下水、沈下シミュレーション結果図

### 3-9 地下水管理体制、地盤沈下及び塩水化対策の問題点

1983年閣議で決定された施策は大きな効果がみられ、1983年から1987年の私的な地下水利用増加率は2.3%に抑えられ、MWAの地下水揚水も急激に低下した。この効果は1983年以降の地下水位低下率の減少、バンコク中心部の地盤沈下動向の落ち着きにはっきりと認められる。

しかし、バンコク首都圏における地下水、地盤沈下の問題は依然として継続しており、以下のような問題点が指摘できよう。

- 1) 政府関連機関(工業団地を含む)の地下水揚水は地下水法の対象外となっており、その実態が把握されていない。近年の地盤沈下は、宅地開発地域、工業団地開発地域で発生しており、これらの井戸の正確な揚水量の把握が、今後のバンコク首都圏の地下水問題検討のためには必須であろう。
- 2) 地下水位、地盤沈下観測ステーションはかなりの数が設置されており、バンコク首都圏の地下水、地盤沈下の概要が把握されている。しかし、どの深度の地盤が沈下しているのか、また、地盤の物性はどのようなものであるか、といった点では、まだ不十分であり、質の高い、正確な調査が望まれる。
- 3) 地下水塩水化といった点では、まだ、ほとんど調査が実施されていないというのが実状である。既存の観測井戸等を用い、どの地域、どの帯水層で塩水化が発生しているか、ということを正確に把握することが、まず必要であろう。



## 第4章 本格調査の概要

### 4-1 調査の目的

本件調査の目的は、以下のとおりである。

- 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

### 4-2 調査の基本方針

#### (1) 地下水位及び地盤沈下観測

これまでDMR及びONEB等で実施されてきた地下水のモニタリングは、そのほとんどが深さ約200mの第4帯水層(Nonthaburi帯水層)までしか達しておらず、それ以下の帯水層、被圧層毎の水位や沈下量は算定できていない。既存の調査によれば、全体の沈下量の中で、200m以深の地層の沈下量は2割程度あると推定されており、また、首都圏での生産井の主たる揚水の対象が200m以深の帯水層に移りつつあるといわれている。以上の状況を判断し、本件調査においては、200m以深においても、それぞれの帯水層に観測井を設け、水位、沈下量の観測及びデータの解析を実施する。

#### (2) 技術移転とマニュアル作成

本調査で新たに掘削する観測井での水位、沈下の観測は少なくとも1水文年実施するが、観測施設が表層地盤になじむのに時間がかかることや、地下水位の低下に対する応答としての地盤の圧密沈下が時間的に遅れることも考えられることから、この期間では必ずしも十分ではない。観測はタイ側のカウンターパートによって更に長期間継続されなければ本調査の意味が半減してしまうので、より多くのデータを蓄積することにより、沈下モデルの精度を向上させるよう努めなければならない。したがって、タイ側カウンターパートへの沈下モデルのプログラミング過程での技術移転は特に念入りに行い、沈下モデルの作成方法、各種仮定や条件の設定の仕方、データの入力、計算の実行あるいは総合的な地下水管理を効果的に行うためのマニュアルを作成する。

#### (3) 地下水塩水化機構の解明

地下水塩水化については、1986年にDMRの観測井で塩水イオン濃度の測定がなされている。しかし各帯水層毎のデータ数が少なく、濃度の分布にかなりばらつきがみられ、調査を実施した機関自身が、その結果に疑問を呈している。塩水化の原因についても海水の侵入によるものか、被圧帯水層の水位低下による被圧層からの塩分漏出によるものか、特定されていない。本調査では塩分濃度観測用の特別な井戸の掘削は実施しないものの、既存観測井で

の試料採取は、できるだけ高精度のデータが得られるような方策をとり、また単一の帯水層からの取水が確認される既存生産井からの資料採取に努める。塩素イオン濃度分布図、水質の化学分析による各種イオンの構成タイプ、地下水の年代測定、粘性土の間隙水の塩素イオン濃度、各帯水層の水頭勾配等を総合的に考察し、それぞれの地域での塩水化機構を解明する。

#### (4) 地下水人工涵養

これまで我が国、タイ国あるいはその他の国々で様々な方法の地下水人工涵養実験がなされ、一部では実用化も進んでいる。しかし、これまでのところ、バンコク帯水盆のように広大で複数の被圧帯水層から成る地域での地盤沈下対策としての人工涵養の実施には、涵養のための良質水の確保、注水等の技術的、経済的見地から否定的な意見が多い。本調査では特別な人工涵養実験を実施せず、これまでの内外の人工涵養実験結果を詳細に検証し、バンコク帯水盆あるいはその涵養域を含め、人工涵養の実用化を図るにはどのような方法が適当か、を検討する。

#### (5) 最適揚水計画の策定

バンコク地下水盆の水収支を明らかにするとともに、地盤沈下の現状を詳細に把握し、地下水頭の変化と沈下量との相関を数値モデルに表現する。本モデルのコンピューターシミュレーションを基に、沈下を抑制するために適正な地下水揚水計画を作成する。併せて、バンコク首都圏の既存水資源開発計画を検討して、代替水源確保を考慮した揚水規制等の法規制への提言、水利用合理化、価格体系等の対策計画を策定する。

#### (6) 関連機関

本件調査関連機関は多数あり、それぞれが重要な役割を持っている。したがって、総合的かつ有効的な対策計画を策定するには、これら関連機関との連絡を密にしなければならない。調査団は関連機関から調査に必要な資料を収集するとともに、調査結果などの情報を提供し地盤沈下対策計画策定にあたり協議する必要がある。

### 4-3 調査対象地域とその範囲

本件調査対象地域は、バンコク首都圏とその周辺地域（SAMUT PRAKAN、SAMUT SAKHON、NOMTHABURI、PATHUM THANI、CHACHOENGSAROの一部を含む）である。

（調査対象地域図参照）

ボーリング計画地、地下水モニタリング計画及び地盤沈下、地下水塩水化対策計画策定地については、実施調査開始後、詳細に詰めるものとする。

### 4-4 調査項目及び内容

調査基本方針及び目的に従い、本格調査はおおむね4つのステージに分けて実施される。調

査の項目と内容は以下のとおりである。

## 1. 基礎調査

### (1) 既存資料の収集及び整理

事前調査団が収集した資料は附属資料 5. (収集資料リスト) に示したが、主に以下に示した項目について重点的に資料及びデータを収集、整理する。

- 1) 社会・経済データ
- 2) 地形・地質図
- 3) 気象・水文データ
- 4) 土質・地質データ
- 5) 潮位観測データ
- 6) 地盤沈下量データ
- 7) 地下水圧データ
- 8) 水質データ
- 9) 既存井戸・関連施設
- 10) 土地利用図 (既存・計画)
- 11) 水需要・供給 (現況・予測)
- 12) 調査関連の法規制等
- 13) 既存調査及び関連プロジェクト
- 14) その他関連資料

### (2) 既往関連調査のレビュー

(1)において収集した既往関連調査すなわちバンコク地下水盆の水文地質・水収支調査、地盤沈下調査、地下水塩水化実態調査、被害実態調査、人工涵養調査、給水施設マスタープラン等の結果を詳細に吟味する。

### (3) 地表・地質調査

バンコク地下水盆全域及びその涵養域の地形・地質について空中写真解析あるいは地表踏査によって調査し、水理地質予察図としてまとめる。

### (4) 水文調査

水収支モデル作成のため、調査地域を流れる主要な河川の涵養域や調査地域内の各地点での降雨・流出量、灌漑、上下水等の地表水利用状況等を主として既存資料を基に調査する。

### (5) 井戸台帳作成予備調査

民間の生産井に関しては、位置・深度・口径・スクリーンの位置・揚水量等の情報が全国を対象とした既存データベースに登録されている。しかし公共機関が所有する生産井あるいは工業団地内の生産井に関しては、DMRは所轄しておらず、情報も把握していない。カウンターパートの協力を得て、これらの生産井の存在を確認し、データを収集する。また、既存データベースについても、必要があればデータの更新または補足を行う。

(6) 地元削井業者実態調査

本件調査では総計約4,000 m、深度600 mに及ぶ観測井の掘削と揚水試験、それに先立ち被圧層である粘性土の採取を目的とした試掘を各観測地点で実施する。これらの削井、試掘を請け負う業者を選定するため、現地業者の機械保有状況、技術力等を詳細に調査する。

(7) 観測井設置地点選定調査

8本の観測井を有する観測施設が1か所、5本の観測井を有する観測施設が2か所の合計3か所の位置を決定するために、詳細な検討が必要である。これらの地点は施設毎に多数の井戸を掘削するため、かなりの広さ（8本の場合500㎡～600㎡）が必要であり、機械、機材の搬入が可能で、観測井を長期間保護する建屋も必要となる。また、これらの施設を長期間保持するには、公共用地であることが望ましい。観測井の設置は地盤沈下傾向の著しい地点でなければならないが、このような地域では大量の揚水が行われているはずである。しかし、既存井戸の運転の影響を避けるため、それらからなるべく離れた地点を選定しなければならない。

(8) 首都圏都市開発動向調査

首都圏各地での今後の水需要、地下水揚水量の変化を推定するために、関連する各種開発計画をレビューし、適正揚水計画、地盤沈下対策計画策定のための基礎資料とする。

(9) 地下水管理・運営のための組織及び体制調査

今後の地下水管理をより効果的に実施する提案をするために、既存の関連組織、法律、規制、実施体制等の実態を把握する。

(10) データベースシステム確立準備作業

井戸台帳、気象資料、水文資料、水文地質資料及び関連文献のデータベース構築の準備作業として、データの調整及び整理、最適様式の検討を行う。

(11) 詳細調査計画の策定

ボーリング計画すなわち試掘・観測井の掘削、観測計器類の設置地点及び方法や、土質試験、一斉測水、水質分析、水準測量等の実施方法を検討し、策定した詳細調査計画に関し先方関連機関の合意を得る。

## 2. 詳細調査

### (1) ボーリング・土質調査

ワイヤーライン工法により、深度 600 m 1 か所と 300 m 2 か所のコアボーリングを実施し、土質試料を採取する。概深度 50 m 程度までの柔らかかな粘性土は、デニソンサンプラーにより乱さない試料を採取する。採取試料は詳細な記載を行い、50～60 試料の室内土質試験を外部委託して実施する。

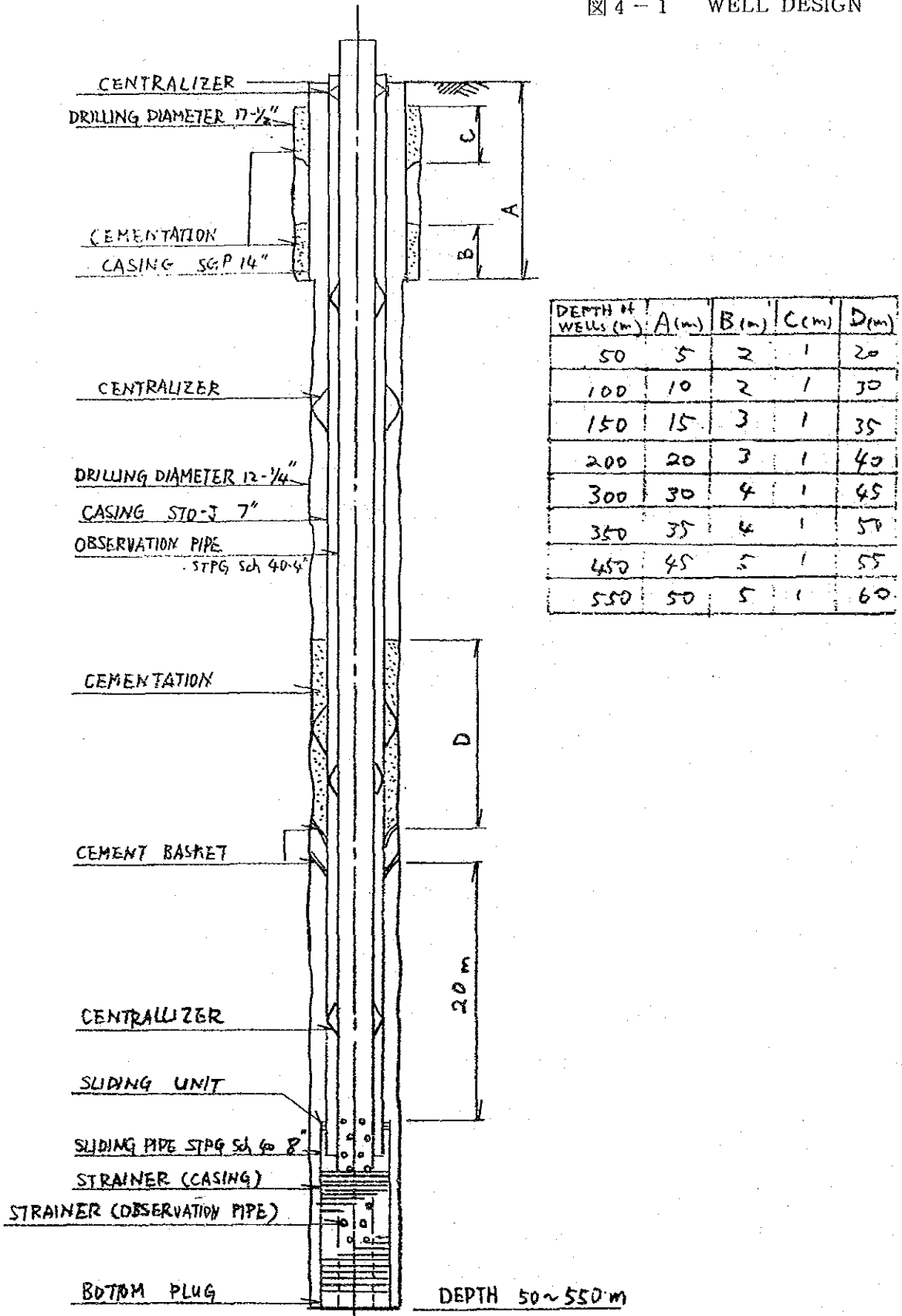
試験項目を以下に示す。

密度、粒度、土粒子比重、含水量、含水比、アッターベルグ限界、一軸圧縮強度、間隙水の化学分析（17）水質分析項目参照）、微化石分析（ $^{14}\text{C}$  年代測定）8 試料及び高圧圧密試験（22 試料）

### (2) 観測井掘削

以下に示す帯水層毎の観測井の設計仕様を図 4-1 に示す。井戸は二重管式の沈下計を設置するため、8 インチのケーシングと孔底にソケットを有した 6 インチの内管をセットした仕様とする。

图 4-1 WELL DESIGN



バンコク層 (50 m)、プラ・プラダエン層 (100 m)、ナコン・ルアン層 (150 m)、  
ノンタブリ層 (200 m)、サム・コック層 (300 m)、パヤ・タイ層 (350 m)、ト  
ン・ブリ層 (450 m)、パク・ナム層 (550 m)

(3) 電気検層

電気検層はそれぞれの観測地点で最深の観測井掘削時に実施し (総計 1,200 m)、ノーマル比抵抗、 $r$  線及び SP 検層を行う。

(4) 揚水試験

各観測井で以下に示す段階・連続・回復の揚水試験を行う。

段階揚水試験：6 段階各 3 時間、 回復試験：8 時間

連続揚水試験：48 時間、 回復試験：8 時間

(5) 水位、地盤沈下観測

(2)にて掘削した観測井に自記記録計を装備した二重管式の沈下計と地下水位計を設置する。少なくとも今後数年間の長期継続的観測が可能であるように観測井、計器類を保護する適当な施設を建設する。本件調査においては最低 1 年間の連続記録を取る。

(6) 水準測量

チャオピア川西岸の基準水準点と各観測地点を結んだループ沿線上にある王立測量局の水準点の測量を、観測井の設置時に 1 回実施する。観測終了時には、600 m 以深の層が沈下していないことを確認するために、観測井付近の水準点の測量を実施する。

(7) 水質調査・地下水塩水化実態調査

既存及び新設する観測井の各帯水層から約 250 試料を採水し、地下水の水質分析を実施する。分析項目は以下のとおりである。なお、既存観測井からの水質分析用試料採取に先立ち、ストレーナーの目づまりを解消させ、井内の淀んだ水を除去するため一定時間の揚水を行うものとする。

水温、pH、電気伝導度、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、第 1 鉄イオン、マンガンイオン、アンモニウムイオン、重炭酸イオン、炭酸イオン、硫酸イオン、塩素イオン、硝酸イオン、亜硝酸イオン

また各帯水層毎に地下水の年代を推定するため、トリチウム分析 24 試料を実施する。

(8) 井戸台帳作成詳細調査

基礎調査によって確認し得られた情報を基に、井戸の掘削年、位置、口径、日揚水量、静水位、動水位等のデータをカウンターパートの協力により調べ、公共井の井戸台帳を作成する。また私有井に関しても、できる限りデータを更新する。

(9) データベースシステム入力

以下に示すデータベースシステムを作成する。

① 井戸台帳

DMR管理井及び公共井において、それらの位置、所有者、井戸深度、口径、ポンプ、スクリーン、水位、揚水量などの詳細を入力する。

② 気象資料

各観測所の位置、観測期間、降水量、気温、蒸発量、湿度、風速、日照時間等を入力する。

③ 水文資料

各水文観測所の位置と水位、流量等を入力する。

④ 水文地質資料

既存及び新規観測井の地下水位、水質、揚水試験記録、帯水層定数、地盤沈下量等を入力する。

⑤ 関連文献

バンコク首都圏における地下水開発調査レポート、地下水調査・研究論文、水資源開発調査レポート等のタイトル、著者、発行日及び要旨を入力する。

3. 解析・検討

(1) 水質調査結果解析

地下水の化学分析結果をヘキサダイアグラム等にまとめ、年代測定、水位観測等の資料と合わせ、地下水の涵養・流動機構について考察する。

(2) 地下水塩水化調査結果解析・検討

地下水の塩分濃度分布、そのイオン構成のパターン、被圧層の塩分濃度、地下水の水頭勾配等を総合的に考察し、塩水化の機構を検討する。

(3) 地盤沈下調査結果解析

沈下計や水準測量の結果から、各帯水層、被圧層毎の年間・累積の沈下量を求め、その地域の地下水揚水量、水頭変化との関係を考察する。

(4) 地下水収支モデル作成

詳細調査で作成したデータベースを基に、涵養及び調査地域での降雨・流出・蒸発散などの水文資料や、細分した地域毎の揚水量、水頭変化等を総合的に検討して、各帯水層の涵養量を推定し、調査地域の境界条件を設定して地下水収支モデルを作成する。

(5) 地下水・地盤沈下モデルの作成・検討

地盤沈下解析、地下水収支モデル及び土質試験結果を基に、各帯水層毎の地下水揚水量



と水頭変化を考慮した沈下量予測の準三次元数値モデルを作成し、国内に持ち帰り更に詳細な検証を加え、数値モデルを完成させる。

(6) 地下水人工涵養適用化の評価

既往地下水人工涵養実験の詳細な考察、技術的、経済的評価により、バンコク帯水盆への適用可能な方法について検討する。

4. 計画策定

(1) コンピューターシミュレーション解析

上記沈下予測数値モデルを使用し、今後の都市開発計画を参考にし、地域毎の種々多様な地下水揚水状況を10例ほど想定してコンピューターシミュレーション解析を実施する。

(2) 最適揚水計画（地盤沈下・地下水塩水化抑制基本計画）

コンピューターシミュレーション解析結果を基に、地盤沈下の著しい地域、将来著しい沈下が予測される地域において、沈下抑制のための適正揚水量を計測し、当該地域での既往水資源開発計画により代替水源を検討しつつ、以下のような地盤沈下及び地下水塩水化抑制のための基本計画を策定する。

揚水規制（タイムスケジュール、規制区域検討）

価格体系の検討・整備

水利用合理化 等

(3) 地下水管理システム・マニュアルの作成

本件調査終了後も、タイ側カウンターパートによって、効果的に地下水管理を継続させるため、沈下予測モデルのプログラミング、観測井の維持管理及び地下水管理システムのマニュアルを作成する。また、今後の地盤沈下対策のためのモニタリング計画を併せて策定する。

(4) 社会影響評価

本調査において提案される諸計画の社会に及ぼすインパクト（利水権等の問題）についての評価を行う。

4-5 調査工程

本格調査はS/Wに示したスケジュール（30か月）を基本とする。ただし、ボーリングに時間がかかることから、36か月程度まで延長が予想される。

#### 4-6 報告書

次の報告書を作成してタイ国側に提出し、説明及び協議を行う。

(1) インセプションレポート

英文 30部

現地調査開始時提出

(2) プログレスレポート

英文 30部

調査開始後2か月以内に提出

(3) インテリムレポート(1)

英文 30部

調査開始後12か月以内に提出

(4) インテリムレポート(2)

英文 30部

調査開始後25か月以内に提出

(5) ドラフトファイナルレポート

英文 メインレポート 30部

サポーティングレポート 30部

データ 2部

サマリー 30部

調査開始後30か月以内に提出

(6) ファイナルレポート

英文 メインレポート 50部

サポーティングレポート 50部

データ 2部

サマリー 50部

上記レポートは、ドラフトファイナルレポートのタイ国側のコメントを得てから1か月以内に提出。

#### 4-7 要員計画

本件調査には、おおむね次のような専門分野を担務する要員構成が必要と考えられる。

- ① 総括
- ② 水文地質
- ③ 水質分析

- ④ 土質分析
- ⑤ 地盤沈下
- ⑥ ボーリング計画
- ⑦ シミュレーション（地下水、地盤沈下）
- ⑧ 都市計画
- ⑨ 水需給計画
- ⑩ 社会分析
- ⑪ 経済分析
- ⑫ 組織・管理

4-8 本格調査資機材リスト (事前調査団案)

調査項目	資機材	数量	仕様	備考
a) ボーリング、土質調査	1) ボーリング機械 (コアボーリング)	3台	ワイヤライン式	地元下請業者
	2) ボーリング機械 (井戸掘削用)	3台		地元下請業者
	3) 電気検層機	1台	ノルマル比抵抗、 $\gamma$ SP、測定深度 600 m	損料対象
	4) 揚水試験用水中ポンプ	1台	揚水量 700 m <sup>3</sup> /day 以上	地元下請業者
	5) 揚水試験用三角ノッチ	1台	測定水量 ~ 1,000	地元下請業者
	6) 携帯用水位計	1台	ケーブル 150 m	
	7) 携帯用水質測定器	1台	水温、pH、電気伝導度	
b) 水位、地盤沈下観測	1) 水位計	18台	水圧式、測定範囲 30 m	
	2) 沈下計	18台	隔測式、精度 1 / 100 mm	
	3) データロガー	3台	16チャンネル 1台 10チャンネル 2台	
	4) メモリカードリーダー	1台	IBM パソコンへのコンバート装置、ソフト含む	
	5) 電源装置	3式	AC 220 V 用	
	6) ケーシング(4インチ)	3,942m	内管用、肉厚	
	7) ケーシング(7インチ)	3,942m	外管用	
	8) スクリーン(4インチ)	108m	NST	
	9) 観測小屋	3か所	基礎、小屋、沈下不動点含む	地元下請業者
c) 水質調査、地下水塩水化実態調査	1) 水中ポンプ (井戸洗浄用)	1台	揚程 100 m 以上	
	2) 携帯用水位計	1台	ケーブル 150 m	
	3) 携帯用水質計	1台	水温、pH、電気伝導度	
	4) 採水器	3台	採水深度 600 m	
	5) 採水容器	750個	1,000 cc	
d) その他	1) パソコン (データベース用)	1式	32ビット、IBM コンパチブル、ハードディスク 100 MB、レーザープリンター付き	
	2) パソコン (解析用)	1式	32ビット	
	3) パソコン用ソフト	1式	汎用データベース、日、英ワープロ、表計算	
	4) 自動車	2台	4WD	

## 附 属 资 料

### 1. 要 请 书



Request for  
Technical Assistance  
on  
The feasibility Study on Remedial Methods  
against  
Bangkok Land Subsidence

バンコク 首都圏  
地盤沈下対策 F/S

Submitted by  
Provincial Water Supply Division  
Public Works Department  
Ministry of Interior

June 1989

Project Title : The Feasibility Study on Remedial Methods  
against Bangkok Land Subsidence.

Requesting Agency : Public Works Department, Ministry of  
Interior

Proposed Source of Assistance : Japan

## 1. BACKGROUND INFORMATION AND JUSTIFICATION FOR THE PROJECT

### 1.1 Present Condition of the Land Subsidence Problem in Bangkok

Bangkok Metropolitan area is located at the Lower Central Plain of Thailand. This area is the center of the country in various meaning, and its importance can not be overestimated. It is very regrettable that this area is suffering from severe land subsidence supposedly caused by excessive pumping of groundwater.

The southern part of the Lower Central Plain, where the Bangkok is situated, has been formed from deltaic sediments of Chao Phraya River and assumes a very wide area extending from Singburi to Chao Phraya estuary. The sedimentation had taken place under the influences of cycles of transgression and regression of the sea levels.

A thick surface clay blanket known as Bangkok clay is generally present to the depth of more or less 30m. Underlying this blanket marine clay, eight confined aquifers separated by clay layers has been recognized to a depth of 650 m. The upper three of the eight has been significantly utilized.

The present discharge rate of groundwater pumping are excessive and the piezometric level has dropped from the original free flow artesian condition in the 1950's to more than 40m, below ground surface in Bangkok Metropolitan area for all the three main aquifers.

The total amount of groundwater pumped up in 1981 was 1.4 million cu.m./day. The lowest piezometric level observed in 1981 was about 52 m,



below ground surface in Phra Khanong and Bangkok area. The overdraft of groundwater caused great damages to the environment.

In accordance with government policy to decrease the usage of groundwater, the pumpage in city core area where piped water supply is available has been decreased for the environmental protection. However rapid growth of Bangkok to the north, southeast, and the south-west suburbs where piped water has not reached yet, necessitates the pumpage in these areas. So that the total amount of groundwater pumpage at present is almost the same as that of 1981.

Bangkok is located only around one metre above sea level. Some parts of the city lie even below sea level. Thereby the city suffers from poor drainage all the time, and it worsens in the rainy season. So that, the possibility of the inundation of the Chao Phraya River is getting higher. The King's dike project which was constructed as a polder system to guard the city is losing its power because of the land subsidence.

The effect of such enormous overdrafts has led to the environmental destruction, such as land subsidence and salinity intrusion, which is supposedly caused by mixing of squeezed salt water from clay layers. The rate of subsidence at present ranges from 4 cm to 10 cm per annum (5 cm on average). Though the rate is decreasing in the city core because of the pumpage control, the subsidence area is extending to the said suburbs. It has been realized that the land subsidence is directly effected by the excessive abstraction of the groundwater, and consequently, it is necessary to find-out an eternal countermeasures for the environmental observation.

## 1.2 Necessary Remedial and Preventative Measures

- a) To switch the usage of groundwater to surface water and control the withdrawals of groundwater. This measure has been introduced according to "Groundwater Act" since 1985.
- b) To restore the piezometric level of the aquifers through artificial recharge.

## 2. DETAILS OF THE PROJECT

### 2.1 Program Goal

To mitigate the land subsidence and consequently alleviate the adverse effects.

### 2.2 Project Objectives

- a) to assess the effectiveness of Groundwater Act regarding the recovery of piezometric levels
- b) to assess the parameters controlling Bangkok subsidence
- c) to evaluate the overall artificial groundwater recharge plan against the land subsidence
- d) to prepare recommendations for remedial and preventative measures for land subsidence to be adopted in Bangkok by comparative study.
- e) to determine the priority of countermeasures against land subsidence

### 2.3 Scope of works

- a) to review the previous investigations and existing data of groundwater condition, hydrogeological and geotechnical informations
- b) to evaluate field parameters that control subsidence
- c) to plan the overall scheme for artificial groundwater recharge, including study of alternative plans of artificial recharge methods, location, scale, and time.
- d) to identify the optimum recharge system(s)
- e) to carry out the artificial recharge experiment
- f) to monitor the Bangkok ground surface levels

- g) to monitor the piezometric levels
- h) to monitor the rate of Bangkok land subsidence
- i) to monitor the quality of groundwater with the emphasis on salt water intrusion
- j) to assess the effectiveness of Groundwater Act on the recovery of piezometric level
- k) to formulate the Over all plan for prevention of land subsidence.
- l) Transfer of knowledge

#### 2.4 Project Collaborating Institutions

- a) **Public Works Department**
  - project coordinator
  - artificial recharge experimentation and overall plan
  - report preparation
- b) **Department of Mineral Resources**
  - Groundwater Act assessment, amendment and enactment proposal
  - piezometric levels monitoring and report
  - groundwater quality monitoring and report
- c) **Asian Institute of Technology**
  - evaluation of field parameters and report
  - monitoring rate of subsidence and report
  - groundwater and subsidence modelling and prediction
  - geological and geotechnical information procurement, collection, evaluation and report
- d) **Royal Thai Survey Department**
  - First order levelling for absolute subsidence monitoring and report

- e) National Environment Board
  - legislation and control-measures preparation and proposal
  - subsidence monitoring and report

2.5 Recommended Sources of Information and Data related to the Project, necessary for Project Verification:

- (1) Reports and Thesis from Asian Institute of Technology
- (2) Reports from the Department of Public Works
- (3) Reports from the National Environment Board
- (4) Reports from Department of Mineral Resources

2.6 Duration of the project

year, 1990 - 1991

2.7 Project Sites

The greater Bangkok metropolitan area and the vicinity

2.8 Schedule of the Study and Reports

The period of the study will be 24 months in total. A tentative work schedule is shown on Fig. 1.

The tasks to be carried out by the Study Team will be divided into two phases:

First stage (8 months)

- Collection/Review of previous studies
- Core boring and soil test
- Hydrogeological field investigation and analysis
- Ground levelling survey
- Assessment of surface water resources
- Water quality monitoring
- Assessment of land subsidence
- Design of experimental recharge system
- Review and preparation of groundwater simulation models
- Cost analysis

- Study of Groundwater Act
- Socio-economic study

Second stage (16 months)

- Installation of observation well and experimental recharge system
- Supplementary Monitor
- Operation of experimental recharge system
- Formulation of groundwater simulation models
- Evaluation and assessment of land subsidence
- Preparation of overall prevention and remedial measures for land subsidence

The output from the study will consist of following six reports:

- (1) An "Inception Report" within 1 month after commencement of the study, describing the summary of the objectives of the study, initial findings and a detailed plan of operation and methodology of the study.
- (2) A "Progress Report-1" within 5 months after commencement of the study, summarizing the result of review of the previous study and field investigation.
- (3) An "Interim Report" within 8 months after commencement of the study, summarizing the result of field investigation and home work of the 1st stage, comparison among several prevention and remedial methods against land subsidence and identification of design of the experimental recharge system.
- (4) A "Progress Report-2" within 15 months after commencement of the study, summarizing the result of installation and operation of groundwater monitoring system including recharge system.
- (5) A "Draft Final Report" within 23 months after commencement of the study, describing overall prevention and remedial measures for land subsidence in Bangkok.