社会開発協力部報告書

中華人民共和国

天津市地下水涵養開発計画調査

（詳査対象地区）

主報告書

1987年12月

国際協力事業団

国際協力事業団
67-174

中華人民共和国

天津市地下水源開発計画調査
（黄庄窪地区）

主報告書

JICA LIBRARY
1041447[2]

1987年12月

国際協力事業団

国際協力事業団
受入月日 '88. 3. 2
登録No. 17262
105
61.8
SDS

序　　文

日本国政府は中華人民共和国政府の要請に基づき、同国天津市北部の黄庄窪地域において地下水開発計画調査を行うことを決定し、これを国際協力事業団が実施した。

事業団は、日本工営株式会社　宮本　昇氏を団長とする調査団を１９８５年１１月から１９８６年２月、及び１９８６年５月から１９８７年３月まで同国へ派遣し、中華人民共和国政府関係機関の協力を得て現地調査を実施した。

同調査団は、現地調査結果をもとに日本国内において解析・検討作業を行い、ここに最終報告書提出の運びとなった。

本報告書が中華人民共和国の地下水資源開発に寄与するとともに、日中両国の友好親善の促進に役立つならば、これに優る喜びはない。

最後に、今回の調査実施にあたり、多大の御協力をいただいた中華人民共和国政府関係機関、外務省、在中華人民共和国日本大使館の関係各位に深甚なる謝意を表するものである。

１９８７年１２月

国際協力事業団

総　裁　有田圭輝

伝　達　状

国際協力事業団

総　裁　　有　田　圭　輔　殿

ここに天津市地下水源開発計画調査の最終報告書を提出致します。本調査は、中華人民共和国天津市人民政府が国家的開発目標に従って実施している、天津市の地下水源開発に寄与するために作成しました。

報告書は５分冊より成り、第１冊は主報告書で天津市北部黄庄窪地域における地下水開発可能量を算定し、４つの導水計画地域の比較検討をして１９９０年を目標とした開発の方向を示し、第２冊は主報告書の要約版であります。第３冊と第４冊は６つの専門別の調査結果について詳しく述べております。第５冊は各専門別報告書のとりまとめに使用した資料を収集したものであります。

本調査の成果が、中華人民共和国天津市における今後の地下水開発のために、また同国の社会経済開発と福祉のために活用されるならば、これに優る幸いはないと存ずる次第であります。

１９８７年１２月

中華人民共和国

天津市地下水源開発計画調査団

団　長　宮本昇

天津市地下水源開発計画調査　主報告書

目　　次

まとめ

頁

第1章　序　　論 ---------- 1

1.1　はじめに ---------- 1
1.2　調査の背景と目的 ---------- 2
1.3　調査方法と調査工程 ---------- 4
1.3.1　調査方法 ---------- 4
1.3.2　調査工程 ---------- 6
1.4　調査体制と組織 ---------- 8

第2章　調査地域の概要 ---------- 13

2.1　位置と地形 ---------- 13
2.2　気候 ---------- 14
2.3　土地利用 ---------- 14
2.4　人口実態 ---------- 16
2.5　地下水利用 ---------- 16
2.6　導水計画地域 ---------- 19

第3章　水文地質構造 ---------- 22

3.1　帯水層区分 ---------- 22
3.2　帯水層の性質 ---------- 26
3.2.1　第Ⅰ帯水層 ---------- 26
3.2.2　第Ⅱ帯水層 ---------- 26

頁

3.2.3 第Ⅲ帯水層 ---------- 29
3.2.4 不透水性基盤岩 ---------- 29
3.3 地下水の流動と水位変動 ---------- 30
3.3.1 第Ⅰ帯水層 ---------- 30
3.3.2 第Ⅱ帯水層 ---------- 30
3.3.3 第Ⅲ帯水層 ---------- 31
3.4 水質 ---------- 32
3.4.1 調査内容と手法 ---------- 32
3.4.2 水文地質構造との関連 ---------- 34
3.4.3 塩水化について ---------- 37
3.4.4 水道原水としての適否 ---------- 38

第4章 地下水賦存量の評価と開発計画 ---------- 56

4.1 評価の手法 ---------- 56
4.2 地下水涵養量と灌漑用地下水利用量の評価 ---------- 57
4.3 地下水動態変化の復元と将来予測 ---------- 59
4.3.1 地下水動態変化の復元 ---------- 59
4.3.2 地下水動態変化の将来予測 ---------- 60
4.4 地下水開発区と最適取水 ---------- 68
4.4.1 開発量決定上の制約 ---------- 68
4.4.2 開発対象帯水層の決定 ---------- 70
4.4.3 開発可能量 ---------- 73
4.5 標準生産井戸の設定 ---------- 73

第5章 導水計画構想 ---------- 115

5.1 天津市水需給の現況及び将来予測 ---------- 115
5.2 天津市水道給水施設の現況 ---------- 115

頁

5.3 施設基本計画 ---------- 117
5.3.1 全体計画 ---------- 117
5.3.2 取水施設計画 ---------- 117
5.3.3 ポンプ施設計画 ---------- 121
5.3.4 導水施設計画 ---------- 126
5.4 概算事業費の算出 ---------- 126
5.5 導水計画案の比較と評価 ---------- 127

第6章 今後の課題 ---------- 138

6.1 環境影響予測と対策 ---------- 138
6.1.1 周辺の地下水位降下 ---------- 138
6.1.2 地盤沈下 ---------- 142
6.1.3 地下水の塩水化 ---------- 145
6.1.4 地下水の人工涵養 ---------- 147
6.2 モニタリング体制 ---------- 149

参考文献

付録：1）技術移転の概要
2）調査団が携行し、管理した資機材目録と仕様

－図表一覧－

－図一覧－

頁

図1.3.1　全体作業の流れ ---------- 10

図1.3.2　作業工程（1),(2) ---------- 11,12

図2.3.1　メッシュ毎土地利用状況 ---------- 20

図2.5.1　地域別・深度別井戸本数 ---------- 21

図3.1.1　模式地質断面図 ---------- 39

図3.1.2　調査井位置図 ---------- 40

図3.1.3　水文地質構造パネルダイアグラム ---------- 41

図3.1.4　帯水層模式断面図 ---------- 42

図3.3.1(1)　地下水位等高線図（1985年12月・第Ⅰ帯水層） ---------- 43

図3.3.1(2)　地下水位等高線図（1985年12月・第Ⅱ帯水層） ---------- 44

図3.3.2(1)　地下水位等高線図（1986年6月・第Ⅰ帯水層） ---------- 45

図3.3.2(2)　地下水位等高線図（1986年6月・第Ⅱ帯水層） ---------- 46

図3.3.3(1)　地下水位等高線図（1986年9月・第Ⅰ帯水層） ---------- 47

図3.3.3(2)　地下水位等高線図（1986年9月・第Ⅱ帯水層） ---------- 48

図3.3.4　代表的な地下水位変化グラフ ---------- 49

図3.4.1　水質調査位置図 ---------- 50

図3.4.2(1)　キイダイアグラム（既存資料による浅層地下水；深さ10m） --- 51

図3.4.2(2)　キイダイアグラム（既存水質分析資料より） ---------- 52

図3.4.2(3)　キイダイアグラム（既存井戸、河川水、今回分析分） ---------- 53

図3.4.2(4)　キイダイアグラム（揚水井・観測井） ---------- 54

図3.4.3　化石塩水残留地域 ---------- 55

図4.1.1　地下水シミュレーションの流れ ---------- 78

図4.1.2　準三次元多層帯水層系モデル・シミュレーションのフローチャート 79

図4.1.3　最適化取水・検討の流れ ---------- 80

図4.1.4　垂直二次元多層帯水層系モデル・シミュレーションのフローチャート 81

図4.2.1　タンクモデルの構成 ---------- 82

図4.2.2　メッシュ毎地下水涵養量（1976年） ---------- 83

頁

図4.2.3　メッシュ毎地下水利用量（1980年）　----------　84
図4.3.1　準三次元多層帯水層系モデル用有限要素網　----------　85
図4.3.2(1)　離散化された透水量係数値（第Ⅱ帯水層）　----------　86
図4.3.2(2)　離散化された透水量係数値（第Ⅲ帯水層）　----------　87
図4.3.3(1)　離散化された貯留係数値（第Ⅱ帯水層）　----------　88
図4.3.3(2)　離散化された貯留係数値（第Ⅲ帯水層）　----------　89
図4.3.4(1)　離散化去れた難透水層の層厚（第Ⅱ帯水層）　----------　90
図4.3.4(2)　離散化去れた難透水層の層厚（第Ⅲ帯水層）　----------　91
図4.3.5(1)　離散化された難透水層の透水係数（第Ⅱ難透水層）　---------　92
図4.3.5(2)　離散化された難透水層の透水係数（第Ⅲ難透水層）　---------　93
図4.3.6　準三次モデルの内挿検定結果（地下水位変化図：井戸番号G-2及びN-4）　94
図4.3.7　垂直二次元モデル用解析断面位置図　----------　95
図4.3.8(1)　解析断面１のセル分割図　----------　96
図4.3.8(2)　解析断面２のセル分割図　----------　97
図4.3.8(3)　解析断面３のセル分割図　----------　98
図4.3.9(1)　解析断面１の境界条件　----------　99
図4.3.9(2)　解析断面２の境界条件　----------　100
図4.3.9(3)　解析断面３の境界条件　----------　101
図4.3.10(1)　垂直二次元モデルの内挿検定結果－検定第２段階終了時の水頭　102
－（第１断面）－
図4.3.10(2)　垂直二次元モデルの内挿検定結果－検定第２段階終了時の水頭　103
－（第２断面）－
図4.3.10(3)　垂直二次元モデルの内挿検定結果－検定第２段階終了時の水頭　104
－（第３断面）－
図4.3.11　将来予測計算における涵養量・揚水量の取り扱い　----------　105
図4.3.12(1)　準三次元モデルによる将来予測計算結果－第Ⅰケース－　-----　106
（地下水位変化図、井戸番号G-2及びN-4）
図4.3.12(2)　準三次元モデルによる将来予測計算結果－第Ⅱケース－　-----　107
（地下水位変化図、井戸番号G-2及びN-4）

頁

図4.3.13(1)　将来予測計算による累積沈下量（第１断面、第Ｉケース）　---　108
図4.3.13(2)　将来予測計算による累積沈下量（第２断面、第Ｉケース）　---　109
図4.3.13(3)　将来予測計算による累積沈下量（第３断面、第Ｉケース）　---　110
図4.3.13(4)　将来予測計算による累積沈下量（第１断面、第Ⅱケース）　---　111
図4.3.13(5)　将来予測計算による累積沈下量（第２断面、第Ⅱケース）　---　112
図4.3.13(6)　将来予測計算による累積沈下量（第３断面、第Ⅱケース）　---　113
図4.5.1　標準生産井戸　----------　114
図5.2.1　天津市水道施設平面図（概要）　----------　129
図5.2.2　天津市内塘沽地区水道施設概念図（水量中心）　----------　130
図5.3.1　黄庄窪地下水源導水計画平面図　----------　131
図5.3.2　漢沽区と塘沽開発区に対する縦断図　----------　132
図5.3.3　李庄と大港に対する縦断図　----------　133
図5.3.4　水源開発地域図　----------　134
図5.3.5　黄庄窪開発地区平面図　----------　135
図5.3.6　井戸及取水池・送水ポンプ位置関係標準図　----------　135
図5.3.7　送水管網図　----------　136
図5.3.8　導水ポンプ場平面図　----------　137
図5.3.9　導水ポンプ場断面図　----------　137
図6.1.1　地下水位降下予測（2019.12－1985.12）　----------　140
図6.1.2　地下水位降下予測（2019.6－1986.6）　----------　141
図6.1.3　市原市における地下水くみ上げ・地下水位・地盤沈下の関係　-----　144
図6.1.4　平塚市における地盤沈下　----------　144

－表一覧－

表1.2.1　天津市の水需給　----------　2
表2.2.1　調査地域の気象表　----------　15
表2.4.1　人口実態　----------　17
表2.5.1　既存井戸調査表　----------　18

頁

表3.1.1　一般地質層序表 ---------- 23
表3.1.2　揚水井と観測井の掘削数量 ---------- 24
表3.1.3　黒狼口（Ha-1）と后邦道沽（Ha-3）の地層区分 ---------- 25
表3.2.1(1)　水理常数一覧表（その１） ---------- 27
表3.2.1(2)　水理常数一覧表（その２） ---------- 28
表3.4.1　地下水調査項目 ---------- 33
表3.4.2　水文地質学的調査項目 ---------- 33
表3.4.3　揚水井間の深度別相関マトリックス（深度100～200m） ---------- 36
表3.4.4　揚水井間の深度別濃度相関マトリックス（深度200～400m） ---------- 36
表3.4.5　揚水井間の深度別相関マトリックス（深度400m以上） ---------- 37
表3.4.6　連続揚水試験水間の濃度相関マトリックス ---------- 37
表4.2.1　調査地域の涵養量・地下水利用量 ---------- 58
表4.3.1　水位モニター点と水位観測井 ---------- 61
表4.3.2　地層のモデル化と物性値 ---------- 62
表4.3.3(1)　内挿検定で固定された垂直二次元モデル用水文パラメーター ---------- 63
－（第１断面）－
表4.3.3(2)　内挿検定で固定された垂直二次元モデル用水文パラメーター ---------- 64
－（第２断面）－
表4.3.3(3)　内挿検定で固定された垂直二次元モデル用水文パラメーター ---------- 65
－（第３断面）－
表4.3.4　新規地下水源開発後の水収支計算表 ---------- 67
表4.3.5　将来予測計算における累積沈下量 ---------- 69
表4.4.1(1)　連立方程式変形後の｛Po｝値及び目的関数の係数値 ---------- 71
（第Ⅱ帯水層＋第Ⅲ帯水層）
表4.4.1(2)　連立方程式変形後の｛Po｝値及び目的関数の係数値 ---------- 72
（第Ⅱ帯水層）
表4.4.2(1)　線形計画法問題への定式化とその解－第Ⅰケースの最適解－ ---------- 74
表4.4.2(2)　線形計画法問題への定式化とその解－第Ⅱケースの最適解－ ---------- 75
表5.1.1　天津市、市区部及び濱海区における水重要、給水バランス表 ---------- 116

頁

表5.3.1　黄庄窪地下水計画に伴う導水予定地の現状及将来計画 ---------- 118
表5.3.2　黄庄窪から目的地に至る各ルート案に対する施設・導水計画検討項目、
並びに概要と比較表 ---------- 119
表5.3.3　送水管網計算表 ---------- 120
表5.3.4　貯水池計算表 ---------- 121
表5.3.5　全揚程計算表 ---------- 122
表5.3.6　送水管及び導水管損失水頭 ---------- 123
表5.3.7　各案に対する基本条件表 ---------- 124
表5.3.8　ポンプ型式一覧表 ---------- 125
表5.4.1　概算事業費 ---------- 127
表5.5.1　比較、検討評価表 ---------- 128

報 告 書 の 構 成

1）主報告書

2）主報告書要約版

3）付属報告書（I）

　　－地下水探査・物理探査編

　　－井戸試掘編

　　－水文地質編

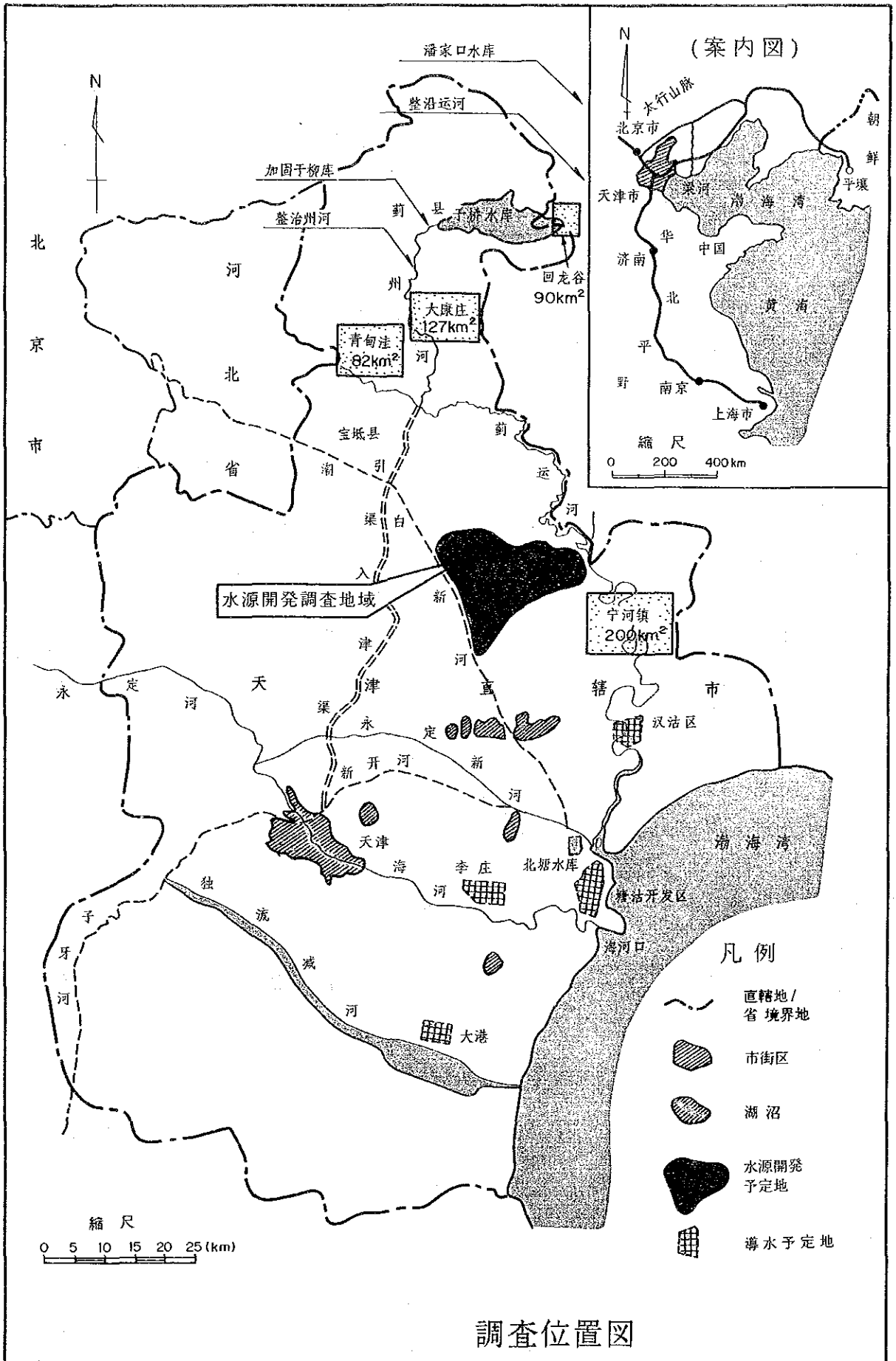
　　－水　質　編

4）付属報告書（II）

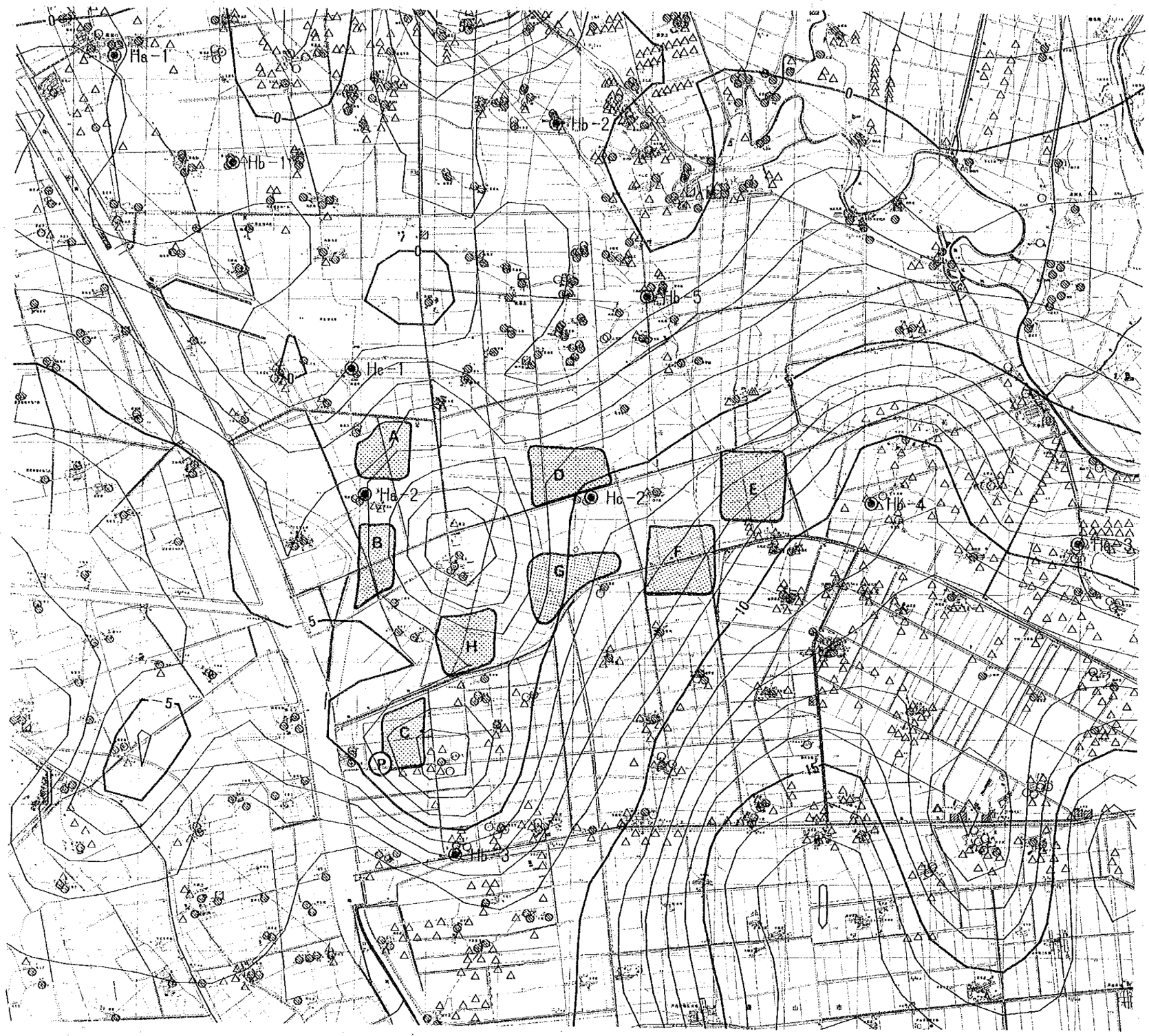
　　－地下水評価シミュレーション編

　　－導水計画構想編

5）付属資料集


(案内図)
N
太行山脈
北京市
朝鮮
平壌
天津市
渤海湾
華北平野
中国
済南
黄海
南京
上海市
縮尺
0 200 400km
潘家口水库
整沿运河
加固于柳库
整治州河
蓟县
于桥水库
回龙谷
90km²
大康庄
127km²
青甸洼
82km²
北京市
河北省
宝坻县
蓟运河
潮白新河
入海
水源開発調査地域
宁河镇
200km²
天津直辖市
永定河
永定新河
新开河
天津海河
李庄河
北塘水库
汉沽区
渤海湾
塘沽开发区
海河口
独流减河
大港
子牙河
凡例
直轄地/省境界地
市街区
湖沼
水源開発予定地
導水予定地
縮尺
0 5 10 15 20 25(km)

調査位置図



N

凡　例

新設調査井

Ha-1　新設調査井の位置及び番号
（全10ヶ所）

既設井の種類と分布

- 農業用井戸
- 飲用・生活用井戸
- 農業用及び飲・生活用兼用の井戸
- その他（工業用含む）の井戸

地下水位

10　地下水位等高線（標高m）
（1986年6月、第II帯水層）

水源開発計画

A～H　水源開発地域

P　導水ポンプ場

縮　尺　Km

0　2　4　6　8

中華人民共和国		
天津市地下水源開発計画調査		
水文地質と開発計画	図番	
	1987年12月	
製図	校正	JICA　国際協力事業団

ま　と　め

はじめに

1）　この報告書は、1985年11月より、1987年12月まで、３ヶ年度にわたって行われた天津市黄庄窪地域（約800km²）での地下水開発調査の結果をとりまとめ、今後の開発の方向を示したものである。

2）　調査は物理探査から井戸試掘、水文地質、水質に至る一連の地下水調査を含み、それらの結果を総合解析した後、水収支シミュレーションモデル計算によって地下水開発量を算出した。さらに地下水開発に伴う地盤沈下を予測し、最適な取水配置計画を明らかにした。最後に上水源として利用するため、開発地から４つの受益候補地に至る導水案について施設基本計画をたて、概算事業費を算出して評価を行った。

本調査は国際協力事業団の６つの分野にわたる専門家によって行われたが、中国側では天津市科学技術委員会が受け入れ機関となり、同地質鉱産局が実施機関となって調査を遂行した。

天津市の水需給予測と調査の背景

3）　天津市（全人口 796万人、1984年）の生活用水、工業用水と農業用水を含めた1990年の総需要量は、1984年の約 1.5倍の約 11.95億m³（ 327万m³/日）と予想され、2000年には更に 2.1倍の 16.44億m³（ 450万m³/日）になる見込みである。それに対する供給量は、水源開発と節水処置がなされた場合でも、それぞれの年で1.47億m³と3.89億m³の不足が生ずると予測されている。1990年の水源開発の内訳は、地表水（引滦入津）4.13億m³、黄河引水 3.8億m³、地下水 1.0億m³、その他（汚水再処理など）1.55億m³が計画されている。

このうち、黄庄窪地域の地下水開発量は 0.5億m³/年が計画され、地下水開発計画水量の半分を占める。

4）　上記の状況を背景とし、1985年６月に中国政府と、国際協力事業団の間で合意に達した実施細則では、「日本側は 1990年を目標とした天津市の生活用水改善に資するため、天津市地下水源地黄庄窪地区における地下水源開発基本計画を策定する。」と定められ、この基本方針に従って当調査は行われた。

地下水開発可能量算定の条件

5） 地下水開発可能量は、1987年７月に地質鉱産局が提示し、調査団が合意した次の条件に従って算定された。

（i） 開発期間は 1988年より 30年間とする。

（ii） 水収支基準年は年間降水量の２つの組み合わせとする。それは（平水年）・（平水年）・（平水年）・（1/4確率渇水年）と（平水年）・（平水年）・（平水年）・（1/10確率渇水年）の２ケースである。

（iii）地下水開発量の算定は；

a．第１条件：30年間の累積地盤沈下量を1.5mとし

第２条件：地下水位降下量を地表面下60mとした場合のケースと

b．年間開発量を 5000万m^3とした場合の累積地盤沈下量と地下水位降下量を推定するケースとする。

計算結果と開発計画

6） 上記地域に含まれる、開発対象地域（約 300km^2）に於て、1988年より 32年間にわたり、年間5000万m^3（137,000m^3/日または1.5855m^3/秒）の地下水を開発した場合、開発地区に於ける地下水位は最も低下したところで標高マイナス 40m（地面より約45mの深さ）に達すると予測される（現在の水位は標高マイナス 5m前後にある）。これに井戸損失を加えると、実際の井戸内における水位降下は地面下 60mに達すると考えられる。

その時の地盤沈下量は、32年間の累積で最大 40cm程度と予測される。これはいずれも中国側が提示した許容限度内にある。なお開発の対象となるのは第Ⅱ帯水層（深さ約 90～330m）である。

7） 地下水開発地区は、事前調査団と中国側で、1985年６月に合意された計画対象領域（約 300km^2）とし、８地区を選定した。一地区に 11～12本の井戸（深さ 350m）を掘り一本当たり 1500m^3/日（17.4㍑/秒）の揚水をする計画とした。井戸の総数は約91本となる。生活用水として水質に問題はない。

導水計画構想

8）　中国側は開発地下水を管路により、天津市南東部にある４つの工業地区（漢沽、塘沽、李庄、大港）に導水し主として生活用水として利用する構想を提示している。導水延長は一番近い漢沽地区で41kmから遠い大港地区で 75kmに及び、４地区内の生活用水の供給の現況と将来の需要量の予測は、それぞれ異なっている。

9）　中国側の提示案に従い、調査団は水道給水施設の現況を調査し、施設基本計画を策定した。概算事業費は取水施設費から導水施設費までを含んで合計 1.21億元（48.4億円）から、1.78億元（71.2億円）となる。この差は導水延長の長短の差である。これを開発水量当りの導水管端末に於ける金額にすると、7,632万元/m^3/秒（30.5億円/m^3/秒）から 11,227万元/m^3/秒（44.9億円/m^3/秒）となる。

10）　４地区の導水計画案は、概算事業費による経済性の比較のみならず、生活用水の重要性、必要性をより明らかにして、優先度を判定し、また４案の折衷案や、分岐案なども考えたうえで評価する必要がある。

今後の課題

11）　当地域の地下水開発に伴って、周辺地域に分布する既存井戸（主として農業用水、生活用水）の地下水位降下や取水困難などの影響が発生することが予測される。また浅層の化石塩水による水質汚染の恐れもある。

　したがって、地下水源を持続的に有効に活用するためには地下水開発事業と共に、① 現況のより正確な把握 ② 環境基準の作成 ③ 監視機構の設置 ④ より広域な地下水盆管理の段階を踏んだ、適切な施策が実施される必要がある。

第 1 章

序　　論

第1章 序　論

1.1 はじめに

この報告書は、1985年11月より1987年11月まで、３ヶ年度にわたって行われた天津市黄庄窪地域（約800km^2）での地下水開発調査の結果をとりまとめ、開発の方向を示したものである。

調査は物理探査から井戸試掘、水文地質、水質に至る一連の地下水調査を含み、それらの結果を総合解析した後、水収支シミュレーションモデル計算によって地下水開発量を算出した。さらに地下水開発に伴う地盤沈下を予測し、最適な取水配置計画を明らかにした。最後に上水源として利用するため、開発地から受益候補地に至る導水計画について予察的な企業化調査をした。

本調査は国際協力事業団の６つの分野にわたる専門家によって行われたが、中国側では天津市科学技術委員会が受け入れ機関となり、同地質鉱産局が実施機関となって調査を遂行した。

本調査を実施するに当たっては、資料や観測記録の提供、現地調査への援助など数多くの方々に御世話になっている。ここにその機関名を記し、深甚なる謝意を表すると共に、本調査が日中両国の友好と発展の一助となることを切望するものである。

宝抵県人民政府、同水利局、同気象站、寧河県人民政府、同水利局、同気象站、宝抵県黒狼口、糙淘庄、林亭口、袁罗庄、欢喜庄、八門城、黄庄の各郷人民政府及び水利管理站、寧河県東棘坨、赵本庄、大辛庄、寧河鎮、康庄、の各郷人民政府及び水利管理站、自来水公司、石油化学公司、天津市水利局、同規画局。

本調査報告書の構成は、主報告書において各専門家別報告書の概要をまとめると共に、調査全般にわたる総括をした。主報告書要約版は主報告書の要点を集約したものである。

付属報告書は６つの専門別の調査結果について詳細に述べたもので、その（Ⅰ）は地下水探査・物理探査、井戸試掘、水文地質及び水質の４編を含み、その（Ⅱ）は地下水評価シミュレーションと導水計画構想の２編を含んでいる。付属資料集は各専門別報告書のとりまとめに使用した資料を収集したものである。

1.2 調査の背景と目的

天津市街地区の1984年の水需要は、年間で生活用水1.39億m³、工業用水4.22億m³、農業用水2.39億m³で合計8.00億m³（219万m³/日）になる（表1.2.1）。

表1.2.1 天津市の水需給 （億m³）

年	1984	1990	2000
城鎮人口	437万人	502万人	610万人
全市人口	796万人	856万人	< 950万人
供給水量	8.00億m³ (219万m³/日)	10.48億m³ (287万m³/日)	12.55億m³ (334万m³/日)
地下水	} 4.49(56.1)	0(0)	0(0)
引滦入津		4.13(39.4)	4.13(32.9)
黄河引水	—	3.8(36.3)	3.8(30.3)
地下水	3.09(38.6)	1.0 (9.5)	1.0 (8.0)
その他	0.42 (5.3)	1.55(14.8)	3.62(28.8)
需要水量	8.00億m³ (219万m³/日)	11.95億m³ (327万m³/日)	16.44億m³ (450万m³/日)
生活用水	1.39(17.4)	2.68(232.4)	4.12(25.1)
工業用水	4.22(52.8)	5.56 (46.5)	7.91(48.1)
農業用水	2.39(29.8)	3.44 (28.8)	3.86(23.5)
その他	—	0.27 (2.3)	0.55 (3.3)
差	0(%)	-1.47億m³(%) (40万m³/日)	-3.89億m³(%) (107万m³/日)

天津市科学技術委員会提供資料より抜粋．開発及節水措置を採用した場合の数字．

これに対する天津の水源は大別すると1983年までは海河からの取水と、深井戸700本による地下水の採取で各々4.6～5.6億m³/年、1.38億m³/年を得ていた。これに、北の滦河からの引水工事が1983年11月に完成して、4.13億m³/年（約13.1m³/秒）の導水が成され、

合計約11.1億m³/年の給水が可能になった。しかし、引滦入津水路は実際には全長234kmにおよぶ長距離輸送のため、土水路より地下への浸透と水面からの蒸発を合わせると損失は約30～40%に達すると言われ、また特に滦河は水量が年間を通じて安定せず干ばつの影響を受けやすい欠点がある。更に天津市街区での地下水の過剰開発は地下水位の低下とこれに伴う地盤沈下（1959～1982年間で最大２m）をもたらしている。

また、天津市街地区（1984年）の人口は437万人で一日当たりの一人の生活用水使用量は87㍑であるが、1990年には人口502万人に対して生活用水使用量は146㍑/日/人を目標としている。

生活用水、工業用水と農業用水を含めた1990年の総需要量は1984年の約1.5倍となる約11.95億m³と予想され、2000年には更に約2.1倍になる見込みである。開発と節水措置が採用された場合でもそれぞれ1.47億m³と3.89億m³の不足が生ずることが予測されている。この水を補うために新たに大規模で安定した表流水を黄河から導水する計画があるが、技術的な困難さと投資額の巨大さで近年中に実現することは不可能と考えられている。

上述の生活用水の不足を短期間に解決し、将来の大規模表流水導水計画実現までの安定供給対策として、天津市北方の５ヶ所に地下水水源候補地が選ばれ、その内今回の調査対象として、黄庄窪地区を中心とした地域での地下水開発が中国側から提案された。1982年６月プロジェクト案件として、それ以降は開発調査案件として1983年３月、1984年２月に要請があり、1984年９月修正要請が成され、さらに1985年６月には中国政府と国際協力事業団の間で、協力の内容と範囲が合意に達し、実施細則で次のように定められた。

<u>協力の内容及び範囲</u>

（１）日本側は1990年を目標とした天津市の生活用水改善に資するため、天津市地下水源地「黄庄窪」地区（300km²）における地下水源開発基本計画を策定する。

（２）日本側は本調査の期間中、調査に参画する中国側の専門家に対し調査業務を通じ、技術移転を行う。

注）　調査地域については、黄庄窪地区（約300km²）は計画対象領域、それを含む周辺域（約800km²）は調査対象領域と再定義することで、国際協力事業団と中国側で1986年７月に合意した。

現在のところ中国側は黄庄窪地区で開発される地下水を各生産井から管路で直接臨海工業地区に送水し、利用することを考えており、次の４つの送水予定地がある。

１）漢沽地区

２）塘沽開発区

３）李庄

４）大港

中国側では黄庄窪地区においては、これまで27ヶ所の試掘井または調査井を掘削しており地区内の水文地質図と地質断面図が作成されている。

各調査のとりまとめ方はかなり高い水準で実施されており、スタッフの技術力も充分ある。いっぽう調査機器の不足、地下水の定量的評価方法についての実践不足、更に地下水管理計画も確立されていないので日本の効率的な技術協力を必要としている。

以上の背景を基に、今回の調査は黄庄窪地区における地下水開発の可能性を、総合的な水文地質解析によって水収支モデルを構築し、コンピューターシミュレーションを実施して、適正な地下水開発規模を設定し、1990年を目標とした地下水源開発基本計画を策定することを目的としている。

同時に日本側は本調査の期間中、調査に参画する中国側専門家に対し調査業務を通じ技術移転を行うものとする。

1.3 調査方法と工程

1.3.1 調査方法

1985年11月より開始され、３ヶ年度にわたって行われた調査の項目と、その基本的手法は下記のとおりである。調査は中国での現地調査と日本国内での解析作業に分れ、図1.3.1に示す全体作業の流れに沿って各専門家による作業が行われた。

a）<u>基本資料の整備</u>　この資料は６つの専門にわたるもので、地形図、空中写真、地質柱状図、井戸記録、測水記録、揚水試験、水質、土地利用、水文気象、人口、導水施設資料などを含んでいる。

大部分は現地調査と地質鉱産局内資料によって収集されたが、導水施設に関す

る資料は天津市各関係機関より収集された。

b）地下水物理探査　第一次調査では、ＶＬＦ探査（221点）を実施し、浅層の地質、特に残留塩水の度合いの分布について精査した。第二次調査では、シュランベルジャー法による電気探査（47点）を行い、深度約500mまでの電気比抵抗値を測定した。その結果水文地質構造を解析して、揚水井、観測井に基づく地質柱状図の補完をした。

c）揚水井・観測井掘削　地質層序、水文地質構造、帯水層の柱状と土性値の評価を行うため、調査地域の10ヶ所で11本の揚水井と12本の観測井を掘削し、標本を採取した。その総掘進長は約8680m、仕上げ深度は約8303mに達する。各井は帯水層の深度別の性状を明らかにするため、深さ500m、400m、300m及び80mの４種類を標準とした。井戸仕上げの後揚水試験を行い、帯水層の水理常数と井戸損失を算出した。岩芯（コア）標本を用いて各種の土質試験と古地磁気、有孔虫、花粉の分析を行った。

d）地下水位観測　地下水位観測は調査地域での地下水の動態の把握や地下水の利用状況を間接的に認識するのに有効なだけではなく、地下水シミュレーションにおける検定及び将来予測にも不可欠である。本調査では、既設井の長期水位観測資料の収集と整理に加え、既設井戸群（約150井）を対象にした３度の一斉測水と、今回掘削した揚水井と観測井の水位測定を定時（５日毎）と、自記水位計による連続観測（13点）によって実施した。

e）既存井戸の現況調査　既存資料と現地調査により、調査地域にある井戸について、位置、構造、用途、概略の揚水量、建設年などを明らかにした。その数は約1100本に達する。

f）水質分析　地下水の水質は水文質構造に密接に関連し、その起源や流動経路について重要な情報を与える。本調査では37箇所の既存井と、今回掘削した揚水井と観測井により採水した地下水（連続揚水試験時の11試料と現位置採水の29試料）

について水質分析をし、水文地質構造との相関性の解析と上水源としての適否を判定した。

g）水文地質解析　既存資料と今回の調査結果を総合解析し、調査地域の水文地質構造を明らかにしたうえで、水収支シミュレーションのための帯水層モデルを構築した。それは地下水の開発可能量の量的評価を行うための準三次モデル、地盤沈下の将来予測ための二次元モデルである。

h）地下水開発可能量の算定　地下水位の実測値を用いて検証された準三次元水収支シミュレーションモデルを用いて、地下水の開発可能量を算定した。さらに地下水開発に伴う地下水位の異常降下によって発生する地盤沈下の将来予測をした。

i）生産井の配置計画　前項の計算によって決定された適正な開発可能量をいかに種々の障害を最小限にして揚水できるかを、計算の試行錯誤によって求め、開発地域における生産井の配置計画を策定した。

j）導水計画に関する助言　本調査は地下水利用を目的とした水源開発計画であるので算定された開発可能水量に基づいて開発地域と４つの受益予定地を結ぶ導水路、導水に必要な施設、工事に要する費用及び受益地の水需要について検討し、中国側に助言した。

1.3.2　調査工程

前節で述べた各調査は図1.3.2に示す工程で進められた。その概要は下記のとおりである。

a）1985年度の調査は1985年11月9日より1986年2月3日まで行われた。この間各方面にわたる既存資料の収集、現地調査と聴聞による必要資機材の抽出、ＶＬＦ物理探査、渇水期の一斉測水調査を行った。以上の調査結果と計画については着手報告書（Ｉ）と現地報告書（Ｉ）にとりまとめた。なお中国側の揚水井、観測井の掘

削作業は年度末の1986年3月より、黒狼口（Ha-1）と后邦道沽（Ha-3）での観測井における岩芯採集が開始された。

b）1986年度は前年度に行った資料収集と、その解析作業の成果及び各種調査の技術仕様書を踏まえて、現地作業が進捗した年である。1986年8月に着手報告書（II）を提出して調査方針と内容を述べ、1987年3月に当年度の調査結果を総括して現地報告書（II）と資料集を提出している。その内容は次のとおりである。

1）揚水井と観測井の掘削やそれに付随する必要な調査（各種の検層や揚水試験）を実施し、23本の掘削を完了した。
2）水文地質、電気探査、水質など各部門の現地調査、資料収集を行い、水文地質構造や地下水位変動を解明した。
3）導水計画構想に必要な資料を収集し、中国側と認識を共通にするため各部門の専門家と協議し、４つの導水予定地への導水路と供給地の状況を明らかにした。
4）揚水井、観測井の掘削や地下水、気象に関する収集資料を電子計算機にデータベースとして整理し、水収支シミュレーション計算の準備をした。
5）掘削機を初めとする各種の日本側携行調査資機材の取扱について、現地作業を通して中国側に技術移転をした。

c）1987年度は、前年度までの成果に基づいて、地下水賦存量評価のため、水収支シミュレーション計算を行い、最終報告書をとりまとめるソフトウエアを主体とした年であった。この間の主たる検討対象は次のとおりであった。

1）新規の地下水源開発に伴う地下水動態の変化を予測
2）地下水動態の変化に伴う地盤沈下発生の有無及び発生した場合のその規模の予測
3）最適取水計画
4）導水計画の策定と事業費の積算に基づく４案の比較・評価

1.4 調査体制と組織

1985年11月より1987年12月まで約25ヶ月間行われた調査実施の基本方針は、1985年6月に国際協力事業団と天津市科学技術委員会の間で合意された実施細則にあるとおり、現地調査の実施主体は中国側であり、解析及び設計については、中国側と調査団が共同で技術移転をしながら実施した。

上記目的の遂行のため、国際協力事業団は団長のほか６つの分野にわたる専門家からなる調査団を構成した。その氏名、担当分野及び稼働月数は次のとおりである。

氏　名	担　当	中国内	日本国内
宮本　昇	総　括	2.8	2.0
辻　和毅	副総括/水文地質	7.0	4.3
斉藤　庸	地下評価シミュレーション	8.5	3.3
鈴村忠男	地下水探査/物理探査	6.0	0
吉武長栄	さく井指導	3.5	0
柳田泰邦	積算/施設計画	1.5	1.2
井手明彦	水　質	1.0	0.5
		30.3	11.3

中国での現地調査は30.3M/M、日本での解析作業は11.3M/Mであった。これに対し、中国側は、天津市科学技術委員会が受け入れ機関となり、同地質鉱産局が実施機関となって調査を遂行した。また導水計画構想に関しては、科学技術委員会が主体となって各機関にまたがるプロジェクト班を編成した。その機関は同建設委員会、同規画局、同水利局、同抗旱打井弁公室及び同地質鉱産局であった。

このなかで、調査団と常時接触し、共同して調査に当たった部門は次のとおりである。

総括	科学技術委員会外事処、地質鉱産局
水文地質	地質鉱産局水文地質分隊
地下水評価シミュレーション	地質鉱産局水文地質分隊
地下水探査／物理探査	地質鉱産局物理探査分隊

さく井指導	地質鉱産局第一及び第二地質勘探大隊
積算／施設計画	天津市建設委員会、規画局他
水質	地質鉱産局試験室水質分析組

さらに報告書の図表の一部は地質鉱産局製図分隊で、井戸標高の測量は測量分隊で、鋼管やスクリーンなど井戸資材の調達は資材調達処でなされた。

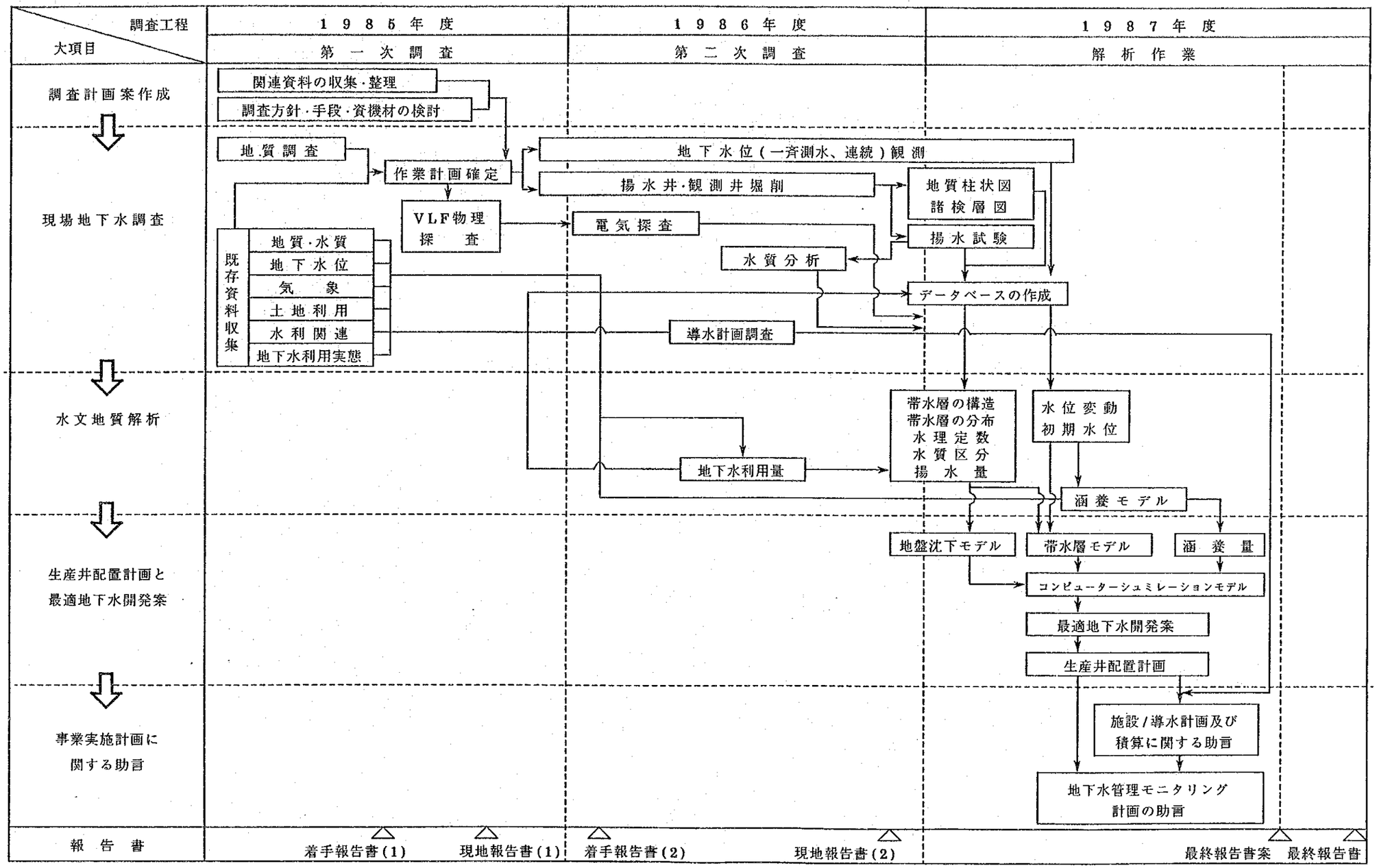


図 1.3.1　全体作業の流れ

中華人民共和国
天津市地下水源開発計画調査
国際協力事業団

（1／2）

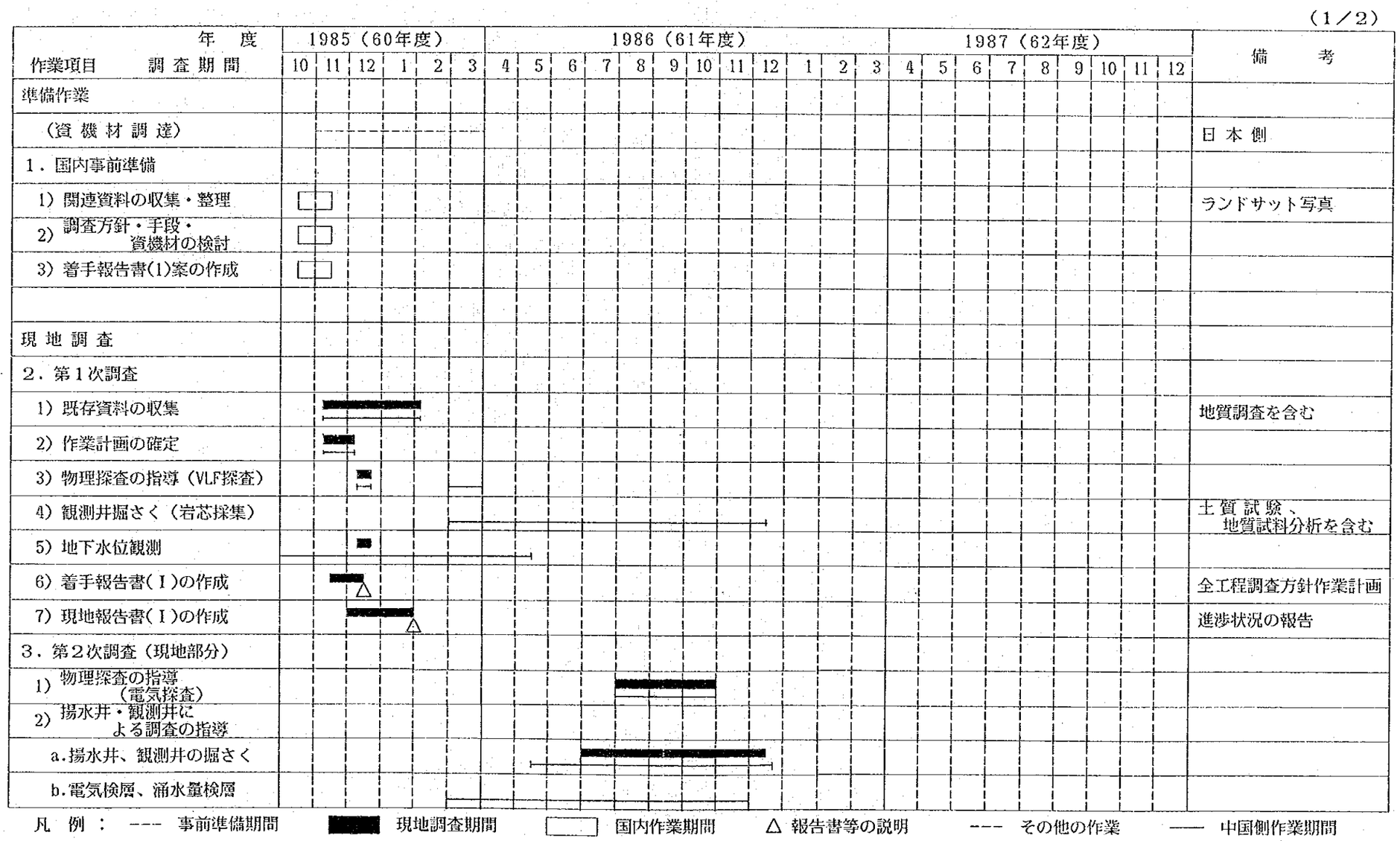


図 1.3.2　作業工程（1）

中華人民共和国
天津市地下水源開発計画調査
国際協力事業団

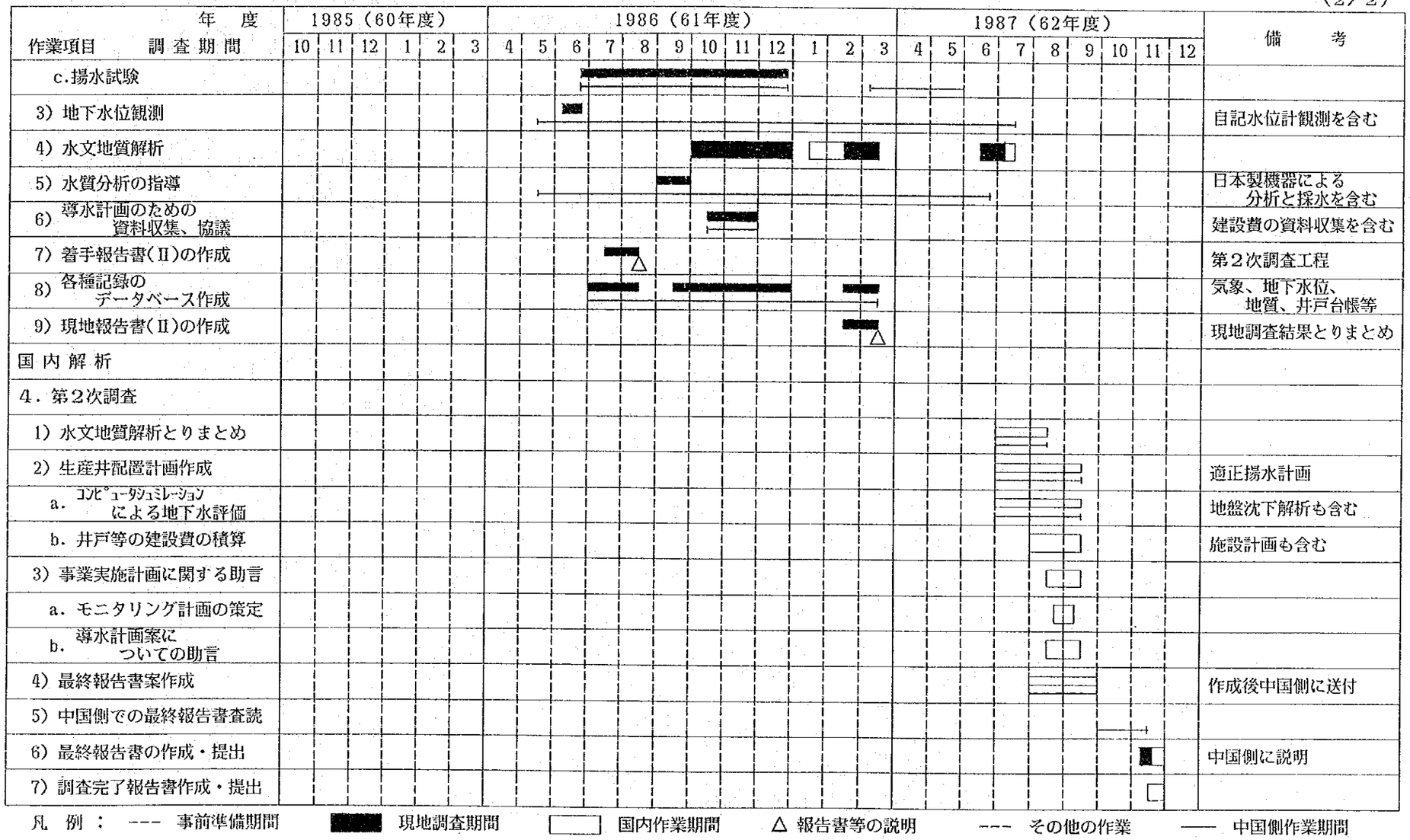


図 1.3.2　作業工程（2）

中華人民共和国
天津市地下水源開発計画調査
国際協力事業団

第 2 章

調 査 地 域 の 概 要

第２章　調査地域の概要

2.1　位置と地形

当調査の対象地域が属する天津直轄市（面積11,200km²）は、広大な沖積平野である華北平野の北端、北京の南東約120kmに位置し、東は渤海湾に面している。調査対象地域は天津市街地の北東約50km、北緯39°30'、東径117°30'付近の約800km²（東西約30km，南北約27km）にわたる地域であり（巻頭参照）、その南端は海岸より約35kmの距離にある。

行政区域は天津市宝抵県の南部から、同市寧河県の北部に含まれ、ほぼ全域が平坦で農業を主な産業とする地域である。宝抵県庁所在地の宝抵は調査地域の北縁より約5km北西に在り、寧河県の芦台は南縁より約15km南に在る。

調査地域南部の黄庄窪には、天津市街地より車で１時間40分で到着する。地域内には全天候型アスファルト舗装された主要幹線道路として、宝抵県の黄庄から林亭口に南北に抜ける林黄公路、林亭口と黒狼口を結ぶ道路、林亭口、八門城、寧河県の后邦道沽を通る戦備道路、南部の寧河県の衛夏引河沿いの東西に走る道路、その分岐である赵本への道路がある。ほかは砂利敷き、または自然の支線道路で、雨季には軟弱になり、車による通行が不可能となる。

調査地域の標高は海抜3.1～6.6mと低く、北側の燕山山脈から流下する潮白河、蓟运河やそれらの派川の氾濫原の末端に当たる。調査地域の大部分は、比較的近年まで潮白河の派川導流川と別の派川である箭杵河の合流する付近に在った、黄庄窪と呼ばれる湛水域であったが、1971年潮白新河の河川改修により、黄庄窪は干陸されて耕地となった。調査地域には、蛇行する自然河川の他に、縦横に運河が開削され農業用水が引水、排水されている。

調査地域の北、約50kmには燕山山脈が東西に走り、その標高は最高1000m前後である。その山麓には三段以上の段丘（標高20～60m）があり、南に緩く傾斜し、沖積平地の北端で地形に変化をつけている。

2.2 気候

調査地域は、乾季と雨季が明瞭に別れ、また冬季が氷点下となる亜寒帯海洋式気候帯に区分される。

気象観測は調査地域北側の宝抵と南側の芦台で行われており、その観測は前者で1960年より、後者では1964年より開始されている（表2.2.1）。両者間の距離は約62kmで、調査地域はほぼ両者の中間に在る。月平均気温は7月に最高（25.7～25.8℃）、1月に最低（-5.7～-5.9℃）を記録し、年平均は11.1℃である。宝抵と芦台ではほとんど差がない。年間降水量は広域的には天津市街区で550mmで、内陸に向かうほど降水量が多くなり、薊県北部の山岳地で800mmとなる。宝抵では年平均降水量は約595mmで、蒸発量（蒸発皿による）は約1,815mmである。南の芦台ではそれぞれ626mm、1,625mmである。6月から9月にかけて年降水量の82～83%が集中し、11月から3月までの降水量はわずかである。宝抵の降水量は芦台より30mmほど少ない。

2.3 土地利用

調査地域は集落地を除きほぼ全域が農業地帯に含まれる。土地利用は1984年7月及び1985年2月撮影のランドサツト写真の解読と現地での補足調査によって明らかになった（図2.3.1）。夏季と冬季では利用形態が変わる地域もあるが、地下水利用と密接に関連するのは夏季の作付であるため、夏季の土地利用を示した。その利用形態にはいくつかの特徴がある。(1)東～南東地域には圧倒的に水田が多い。これは農業用井戸が数多いことと符合している。(2)中央の、1970年代当初まで湛水していた黄庄窪地域には未利用の荒地や牧場が多い。(3)他地域はトウモロコシ（玉米）、高粱、小麦を主とする畑作地域である。北部に小麦が多く、東部と西部はトウモロコシと高粱を主としている。

統計資料に依れば、灌漑用水を多く必要とする稲作や、商品価値の低い高粱は減少の傾向にあり、綿花が増加している。今後は野菜や果樹、養魚など都市近郊農業としての特徴を強めていると思われる。また近年では1地区1特産品が奨励され、八門城の紅麻やトウガラシ、大辛庄の稲作、袁罗庄のニンニクなど特色ある土地利用がなされている。

表2.2.1　調査地域の気象表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
宝　抵	-5.9	-3.1	3.9	12.7	19.0	23.8	25.8	24.6	19.5	12.4	3.5	-3.6	11.0
芦　台	-5.7	-3.5	3.7	12.4	19.0	23.1	25.7	24.9	20.0	12.9	4.1	-3.2	11.1

月平均気温　[宝抵 1960～86　芦台 1964～86]　(℃)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合計
宝　抵	1.8	4.9	7.5	21.6	26.4	87.5	210.0	158.4	43.0	21.5	8.7	3.9	595.1
芦　台	3.6	4.6	9.7	25.1	28.5	84.0	200.3	183.6	43.0	27.5	8.3	7.7	625.9

月平均降水量　[宝抵 1960～86　芦台 1964～86]　(mm)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合計
宝　抵	55.9	67.9	136.4	226.5	279.4	267.0	199.5	167.1	159.2	128.2	74.8	53.4	1815.4
芦　台	44.7	57.9	123.5	202.1	244.2	229.5	185.5	164.2	147.2	112.7	67.2	46.3	1625.0

月平均蒸発量　[宝抵 1960～86　芦台 1964～86]　(mm)

2.4 人口実態

調査地域は宝抵県の南半分と、寧河県北部及び玉田県の西南端を含んでいる。その各郷別の人口と面積は表2.4.1に示すとおりである。調査地域内の総人口は約140,000人、人口密度は132人/km²である。人口は調査地域北部の八門城、糙洵庄と南部の東棘坨、大唐庄に多く、中央部に少ない。特に黄庄は人口密度が80人/km²と一番少なく土地開発の遅れを反映している。黄庄を含む八郷の人口統計によれば、平均家族構成は4.4人/戸となっている。郷内の各集落ではほぼ1井ずつ生活用の井戸が掘られており、その揚水量は人口によって推計した。

2.5 地下水利用

調査地域は地下水利用が盛んな地域である。それは表流水は水質が悪いため地下水が唯一の生活水源として利用されていること、4月～7月の稲作や畑作の灌漑期に、不安定な表流水の補完水源として、あるいは独立した唯一の農業用水源として利用されていることによる。既存資料と現地調査の結果、井戸の総数は約1100孔に達し、ほぼ1.2孔/km²の密度になる（表2.5.1）。

井戸は調査地域北部と、南～南東部にかけて多く分布し、中央部には少ない。井戸は150～200mの深さのものが最も多く、北東部で浅く、南西と西にゆくに従って深くなる傾向がある。その深度は平均で136mから251mに増加する（図2.5.1）。用途は農業用が58%と圧倒的に多く、次いで生活用が34%を占める。農業と生活用の兼用のものが5%であるから、農業用と生活用で97%を占め、当地域の地下水利用形態を明瞭に示している。

揚水期間は4月から7月に集中している。一日の揚水時間は早朝から半日ぐらいとされているが、揚水ポンプの電気事情が必ずしも満足できる状態でないため、実際には少ないのかもしれない。この点に、本地域の揚水量を正確に把握できない原因がある。一井戸当たりの揚水量は10～15㍑/秒のものが多く、3.5～7haの畑地あるいは水田を灌漑している。生活用の井戸は10㍑/秒前後の揚水をしており、ほぼ集落に1～2本の割合で分布している。早朝に1～2時間揚水して、タンクに貯水して利用している。

宝抵県総計局資料による地下水利用量は、電気使用料や井戸ポンプの年間運転時間などによる推計とされている。1984年の利用は7郷（黒狼口、糙洵、林亭口、八門城、欢喜、

表2.4.1　人　口　実　態

県	宝　抵　県											小　計
郷	黒狼口	糙洵庄	林亭口	袁罗庄	周良庄	大白庄	黄　庄	歓喜庄	八門城	尓王庄	大唐庄	
面　積	58.7	64.6	43.4	43.0	56.2	85.4	112.2	40.4	78.6	93.7	55.4	731.6
人　口	6,827	9,313	5,531	5,183	3,049	7,159	8,941	4,194	18,641	6,926	10,726	86,490

県	寧　河　県					小　計	玉　田　県		小　計	合　計
郷	大辛庄	東棘坨	赵本庄	宇河鎮	廉　庄		石臼萬	流殉頭		
面　積	41.3	102.8	60.6			204.7	6.9	33.9	40.8	977.1
人　口	6,703	13,542	6,044	3,435	4,695	34,419	5,337	10,660	15,997	136,906

面　積（km²）、人　口（人）

表 2.5.1　既存井戸調査表

郷		面積 Km²	井戸数	用途 農業	用途 生活	用途 農・生兼用	用途 工業	用途 観測	人口 (人)	深度 m 最浅	深度 m 最深	深度 m 平均	井戸数 Km²
宝抵県	黒狼口	58.7	29	17	11	1			6,827	185	274	230	0.49
	糖淘庄	64.6	101	53	41	7		0	9,313	92	300	193	1.58
	林亭口	43.4	42	19	23				5,531	104	470	190	0.97
	元歳庄	43.0	58	35	22		1	0	5,183	80	303	136	1.39
	周良庄	56.2	15	2	13				3,049	220	260	231	0.27
	大白庄	85.4	26	2	22			2	7,159	120	383	246	0.32
	黄　庄	112.2	46	16	27			3	8,941	40	501	212	0.41
	欽喜庄	40.4	56		47	6	1	2	4,194	80	502	202	1.39
	八門城	78.6	130	85	40		4	1	18,641	60	652	159	1.68
	尓王庄	93.7	14	6	8				6,926	180	300	244	0.15
	大唐庄	55.4	40	12	27			1	10,726	190	400	251	0.72
	小　計	731.6	(557) %	247 (44.4)	281 (50.4)	14 (2.5)	6 (1.1)	9 (1.6)	86,490				(0.77)
宁河県	大辛庄	41.3	68	56	4	6		2	6,703	12	497	148	1.67
	東棘坨	102.8	151	97	40	14			13,542	80	315	146	1.48
	赵本庄	60.6	134	110	18	3	1	2	6,044	120	500	164	2.21
	宁河鎮		67	56	4	7			3,435	108	178	129	
	廉　庄		55	36	4	10	5		4,695	90	501	144	
	小　計	204.7	(475) %	355 (74.7)	70 (14.7)	40 (8.4)	6 (1.4)	4 (0.8)	34,419				(2.33)
玉田県	石白萬	6.9	32	22	9				5,337	160	160	160	4.49
	流洵頭	33.9	31	14	15	2			10,660	147	250	200	0.91
	小　計	40.8	(62)	36 (58.1)	24 (38.7)	2 (3.2)			15,997				(1.52)
合　計		977.1	1094 %	638 58.3	375 34.2	56 5.1	12 1.1	13 1.3	136,906				1.22

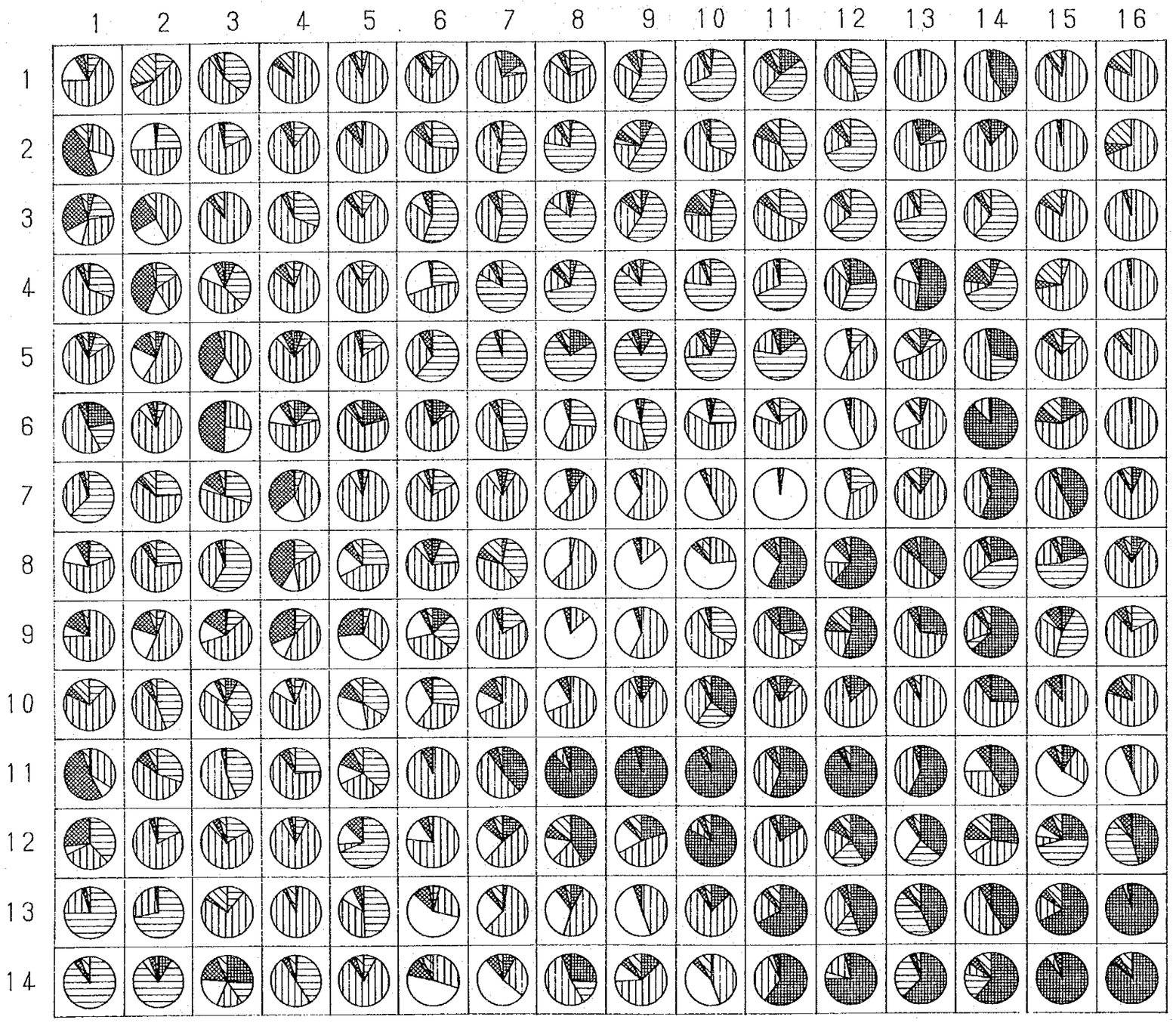
黄庄、袁罗）の合計で約10.72×10^6m^{3}になり、1982年から1985年にかけては毎年20～35%の高い伸びを示している。この数値に基づいて井戸数比によって調査地域全域の利用量を推定すると約25×10^6m^{3}となる。南部の寧河県では北に比べ利用率は高いから、実際の利用量はこれを上回る可能性がある。一方現地調査で得た農業用既存井戸の標準的な揚水量や揚水期間に基づいて地下水利用量を推定すると約19×10^6m^3/年になる。生活用水は人口数から約3×10^6m^3/年と推定される。また畑地灌漑のための利用量は要水量と耕地面積から推定すると4×10^6m^3/年となる。以上三者の合計は約26×10^6m^3/年となり、宝抵県統計局資料の数字から推測した値とあまり大きな差はなく、当調査地域における地下水利用量はおおよそ25×10^6～30×10^6m^3/年前後ではないかと思われる。なお揚水量からみると、1980年は1/4確率渇水年、1983年は1/10確率渇水年、1984年は1/4確率豊水年に相当している。

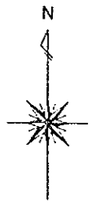
2.6 導水計画地域

現在のところ、中国側は、黄庄窪で開発される地下水を４つの工業地区（漢沽地区、塘沽開発区、李庄、大港）のいずれかに送水して利用することを考えている。

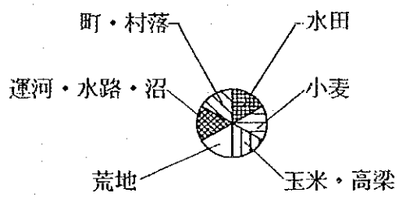
この地区はいずれも調査地域の南部にあり、導水延長は最も近い漢沽区で41km、最も遠い大港で75kmになる。このうち大港は既に黄庄窪の北部対挙水庫から約106kmの送水管によって地下水の供給を受けているが、他の地区にはそのような長距離の導水施設は無い。

漢沽は天津市の重要な化学工場地区で、主として生活用水源として地下水は既に利用されている。今後大工場の建設を予定しており、黄庄窪で開発される地下水に期待をしている。塘沽開発区は1984年に開発を開始した臨海対外業務地区で、３地区に分け、３段階の開発計画を実施中である。李区は塘沽の西約20kmの内陸にあり、塘沽と天津市街地を結ぶ幹線道路沿いにある。これから開発にとりかかる予定の経済発展区であるので開発規模や水需要については確定していない。大港は現在対挙水庫から供給された50,000m^3/日の地下水によって石油化学工場が動いており、今後種々の化学工業関連企業の発展を計画中である。新規地下水は主として生活用水源として考えているが、化学繊維部門では水質に対する要求が強く、黄庄窪からの地下水とその水質に期待している。





凡　例



中華人民共和国			
天津市地下水源開発計画調査			
メッシュ毎土地利用状況 (分類別面積比率)			図番 2.3.1
			1987 年12月
製図	校正	JICA	国際協力事業団

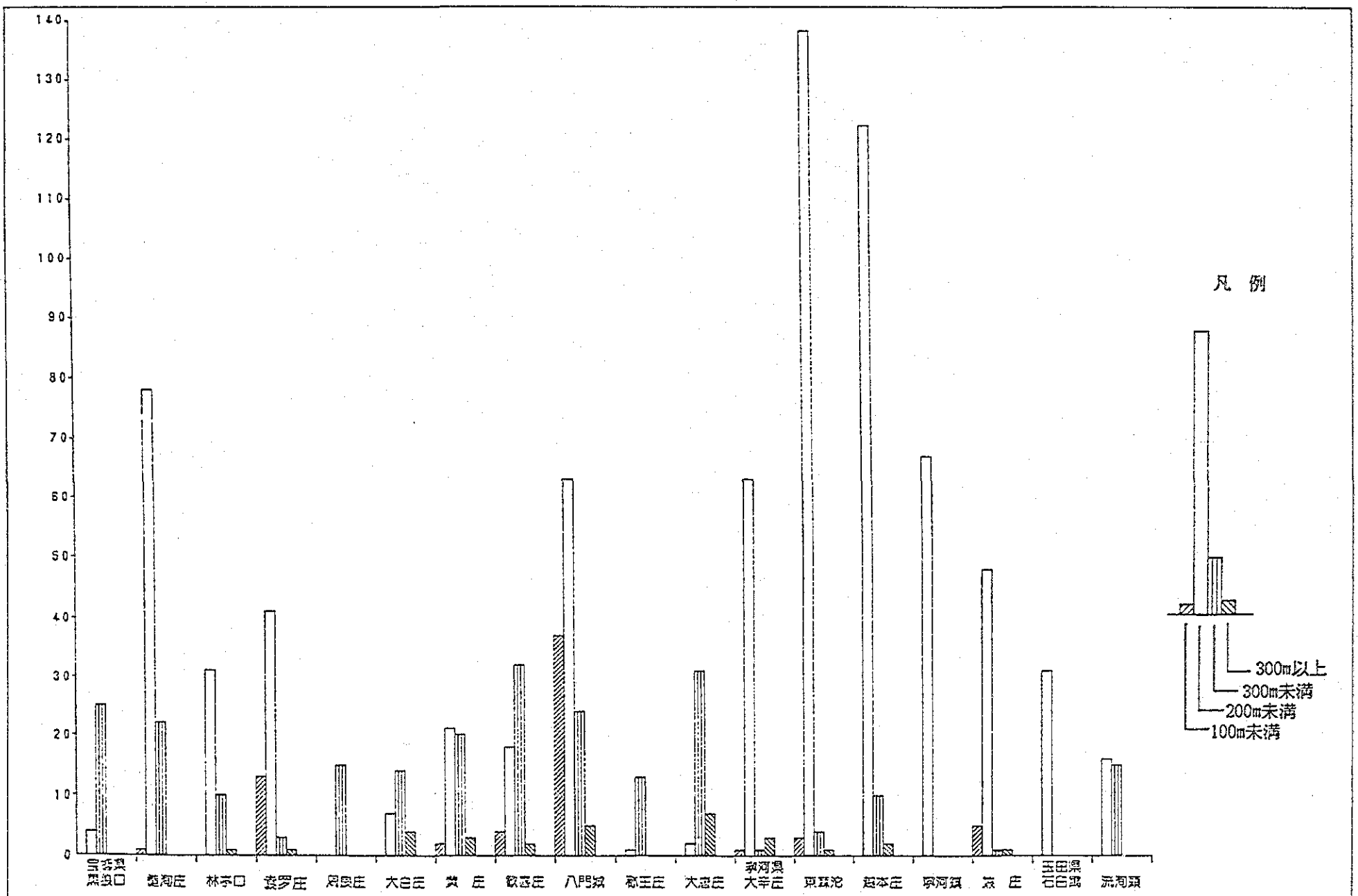


図 2.5.1 地域別・深度別井戸本数（1986年現在）

中華人民共和国
天津市地下水源開発計画調査
国際協力事業団

第 3 章

水 文 地 質 構 造

第３章　水文地質構造

調査地域の地質構造は、大きく二つに区分される。ひとつは燕山山脈を構成する古い地質時代に形成された固結した岩石であり、不透水性基盤をなしている。二つはその上位に不整合関係で重なり、帯水層を含む弱～未固結の砂層、粘性土層の頻互層である（表3.1.1）。地表面から基盤岩に達する深さは、調査地域の西端で行われたボーリングによって882mで確認されている。電気探査でも700～1000mの深さに存在することが推定されている。砂層、粘性土の頻互層は第三紀末から第四紀の比較的新しい地質時代に堆積したもので、その境界は深さ400m前後に推定される（図3.1.1）。

今回の調査では、表3.1.2に示すように深さ500mの試掘が３ヶ所で、深さ400mの試掘が５ケ所で、深さ300mの試掘が２ケ所で行われ、地質の層序、帯水層の状況が明らかになった（図3.1.2）。

3.1　帯水層区分

深さ500mまでの地質は、砂層（極細砂～細砂が大半）と粘土、シルト（シルトが優勢）の頻互層より構成され、その単層の厚さは、砂層で0.8～20m、粘土、シルト層で0.4～35mになる。この頻互層は、２つの粘性土が優勢な地層群によって大きく３つに区分され、３層の帯水層構造が認められる（図3.1.3）。この帯水層は上位から第Ⅰ帯水層、第Ⅱ帯水層及び第Ⅲ帯水層と名付けた。粘性土の優勢な地層群は、地表より連続する浅層のものを加え、上位から第Ⅰ難透水層、第Ⅱ難透水層及び第Ⅲ難透水層とした。その深度は断面図（図3.1.4）に示すとおり、第Ⅰ帯水層（Ⅰaqf）は地表面下10～45mの厚さの第Ⅰ難透水層（Ⅰ aqd）と、深度60～90mから70～110m間に連続する第Ⅱ難透水層に挟まれる。第Ⅱ帯水層（Ⅱaqf）は上記の第Ⅱ難透水層と深さ350m前後に連続する厚さ30～50mの第Ⅲ難透水層（Ⅲaqd）に挟まれる調査地域で最も有力な帯水層である。第Ⅲ帯水層（Ⅲaqf）は第Ⅲ難透水層の下底より深い所に存在する帯水層で、深度500mの試錐ではその下底は確認されていないが、既存の深い試錐と電気探査結果によれば、深さ500mよりやや深い区間に厚い粘土優勢層が連続し、実質的な帯水層の下底を示しているようである。岩芯標本を採取し、正確に層相の変化が判る黒狼口（Ha-1）と后邦道沽（Ha-3）における帯水層区分の深度と砂層と粘性土層の割合を表3.1.3に示した。

表3.1.1　一般地質層序表

地質時代			岩相	深度、層厚(m)	水理地質
新生代	第四紀	完新世	砂、シルト、粘土	15～20m	浅層の帯水層、一部化石塩水含む。
		洪積世	礫、砂、シルト、粘土	400～500m (?)	最有力な帯水層で開発対象となる。
	第三紀		砂岩、泥岩 一部貫入岩	? 600～900m (?)	深層の帯水層、一部熱水を含む。 調査地域では開発対象とならない。
古生代	二畳紀		砂岩、粘板岩、礫岩	調査地域では不明だが、北部では深さ200m付近で確認されている。山地に露出する。	一部では裂力地下水を含むが、調査地域では不透水性基盤岩を構成する。
	石炭紀		砂岩、粘板岩、石炭		
	オルドビス紀		石灰岩、粘板岩、白雲岩		調査地域ではオルドビス系のみが確認されている。
	カンブリア紀		石灰岩、粘板岩		
原生代	ﾌﾟﾚｶﾝﾌﾞﾘｱ紀 (震旦系)		非変成珪岩、白雲岩	調査地域では不明。 北部山地に露出する。	調査地域では確認されていない。

------ 不整合関係、　——— 整合関係

表 3.1.2 揚水井と観測井の掘削数量

番号		地盤標高 (m)	掘削深度 (m)	ｹｰｼﾝｸﾞ深度 (m)	φ10″ ｹｰｼﾝｸﾞ深度、m	静水位 GL-m	掘削完了時期	掘削単位	備考
Ｈａ－１	ＴＷ	6.505	507.14	503.73	53.54	3.60	86.6.15	第二大隊	
黒狼口	ＯＨ	6.505	507.17	506.90	φ4″	3.91	86.5.5	第二大隊	
Ｈｂ－１	ＴＷ	4.802	328.83	328.83	60.19	4.04	86.11.4	第二大隊	
黄土坎	ＯＨ	5.180	388.80	328.50	φ4″	4.04	86.8.26	第二大隊	
	ＯＨ	4.385	80.00	80.00	φ4″		86.9.3	第二大隊	
Ｈａ－２	ＴＷ	3.939	504.70	504.70	50.06	9.46	86.9.13	第二大隊	
苑洪橋	ＯＨ	4.299	504.20	503.70	φ4″	9.82		第二大隊	
Ｈａ－３	ＴＷ	4.616	476.50	476.50	59.00	10.71	86.9.15	第二大隊	日本機
后邦道沽	ＴＷ	4.901	426.54	364.64	59.23	8.60	86.8.22	第二大隊	日本機
	ＯＨ	4.807	504.91	503.73	φ4″	10.93	86.7.8	第二大隊	
	ＯＨ	5.089	371.75	363.12	φ4″	8.43	86.10.20	第二大隊	日本機
	ＯＨ	5.046	98.00	85.88	φ4″	6.80	86.7.30	第二大隊	日本機
Ｈｂ－２	ＴＷ	5.059	400.00	353.14	71.37	3.97	86.9.10	第一大隊	
葫芦窩									
Ｈｂ－３	ＴＷ	5.437	375.50	371.11	70.90	14.22	86.6.20	第一大隊	
史庄子	ＯＨ	5.442	406.70	382.43	φ4″	11.86	86.5.20	第一大隊	
Ｈｂ－４	ＴＷ	6.566	381.59	375.98	70.49	13.09	86.6.15	第一大隊	
大月河	ＯＨ	6.069	411.15	380.68	φ4″	13.07	86.5.15	第一大隊	
Ｈｂ－５	ＴＷ	5.373	408.47	373.65	61.55	5.00	86.8.3	第二大隊	
大洛里沽	ＯＨ	4.514	395.50	391.51	φ4″	4.71	86.5.27	第二大隊	
Ｈｃ－１	ＴＷ	5.788	300.70	237.67	64.76	6.76	86.12.10	第一大隊	
陳浦亮	ＯＨ	5.401	300.61	272.50	φ4″	6.72	86.12.1	第一大隊	
Ｈｃ－２	ＴＷ	4.461	300.42	289.09	67.55	8.56	86.9.8	第一大隊	
水流庄	ＯＨ	4.364	300.91	288.81	φ4″	7.82	86.10.31	第一大隊	
合　計			8,680.09	8,302.80					

ＴＷ：揚水井　ＯＨ：観測井　第一大隊：第一地質勘探大隊　第二大隊：第二地質勘探大隊

表３．１．３　Ｈａ－１（黒狼口）とＨａ－３（后邦道沽）の地層区分

水理地質構造			Ha-3,后邦道沽		Ha-1, 黒狼口	
記号	帯水層区分	地層区分	深度(m)	層厚m(%)	深度(m)	層厚m(%)
Ⅰaqd	Ⅰ難透水層	粘土	31.2	31.2(100)	19.6	19.6(100)
Ⅰaqf	Ⅰ帯水層	砂	59.1(27.9)	26 (93)	67.2 (47.6)	30 (64)
		粘土		2 (7)		17 (36)
Ⅱaqd	Ⅱ難透水層	粘土	75.9(16.8)	17 (100)	93.7 (26.5)	27 (100)
Ⅱaqf	Ⅱ帯水層	砂	85.8(209.9)	128 (61)	351.3(257.6)	88 (34)
		粘土		82 (39)		169 (66)
Ⅲaqd	Ⅲ難透水層	粘土	340.9(55.1)	55 (100)	383.2(257.6)	32 (100)
Ⅲaqf	Ⅲ帯水層	砂	485.5(144.6)	112 (71)	505.7 (122.5)	63 (45)
		粘土		46 (29)		77 (55)

3.2 帯水層の性質

3.2.1 第Ⅰ帯水層

帯水層厚は40～60m前後あるが、間にレンズ状の粘土、シルト層を挟んでいる。帯水層は中～細砂を種とするが、東部では粗砂が挟在する。本層の地下水は濃度の薄い塩水を含み、その電導度は2000μ℧/cm，一部では4000μ℧/cm以上となる。また水温は一般に10°C以下で下位に比べ大幅に低く、明らかに下位の地下水とは隔離されている。塩水は第四紀末海進時の化石塩水が残留したものと思われ、調査地域の北～北西部に当たる内陸側には存在しない。また残留地域は遍在しているので、化石塩水を含む帯水層がレンズ状をなし、難透水層に封鎖されていると考えられる。本層の地下水位は全般に高く、地表面下数mにあり、被圧水頭を示しているが、難透水層の薄い一部では不圧水となっているようである。調査地域内に網状に開削された運河からの浸透が大きいと思われる。また本層の地下水は第Ⅱ帯水層の地下水位の低下に伴って漏水すると考えられる。

本層は水質の点から、将来地下水開発の対象とならない。

第Ⅰ帯水層の水理常数については、400m²/日ほどの透水量係数が苑洪橋で算出されている（表3.2.1(1)、(2)）が、帯水層厚は地域差が大きく、特に東～北部では厚くなっているので、大き目に評価する必要がある。

3.2.2 第Ⅱ帯水層

本層は第Ⅱ難透水層と深さ350m前後に連続する厚さ30～50の第Ⅲ難透水層に挟まれる被圧帯水層で、調査地域で最も有力な帯水層である。西側では全般に粘性土層が優勢で、砂層が連続しない所があるが、東部は砂層優勢で、粒度も粗くなる（表3.1.3）。本層はまた深度方向にも粒度の変化がみられ、深度200～250mまでの上半部が粒度が粗く、中～細砂であるのに対し下半分は細～極細砂層となる。以上のことから、透水量係数は東部で大きく、なおかつ上半分で大きいという、大きな傾向があると考えられる。揚水井の湧水量検層の結果、ほとんどの揚水井において、深度160～300m区間のスクリーンからのみ地下水が湧出しているのは、下位のスクリーンの洗浄不足による目詰まりの影響で、帯水層の能力の差に起因するものではないと思われる。

表 3.2.1(1) 水理常数一覧表 (その1)

井号・地名	種類	地盤標高 m	深度 m	静水位 m	水管長 m	揚水量 ℓ/s	水位降下 m	比湧出量 ℓ/s/m	JACOB法 揚水 T m²/d	JACOB法 揚水 S	JACOB法 回復 T m²/d	HANTUSH法 T m²/d	HANTUSH法 S	HANTUSH法 K'/b' day⁻¹
Ha−1 黒狼口	揚水井	6.505	503.73	4.97	405〜500 (39.07)	23.5	32.78	0.72	100	−	71			
	観測井	6.505	506.90	3.91	405〜502 (35.0)	−	1.75	−	−	5.4×10^{-1}	−			
Hb−1 黄土坎	揚水井	4.802	328.89	4.04	101〜324 (82.8)	23.04	20.82	1.11	694	−	486			
	観測井	5.180	328.50	4.04	101〜324 (71.0)	−	1.41	−	607	4.76×10^{-2}	759			
	観測井	4.385	80.0	2.43	52〜77 (25.0)	−	−	−	−	−	−			
Ha−2 苑洪橋	揚水井	3.939	504.70	9.46	423〜500 (38.63)	20.46	19.42	1.05	223	−	249			
	観測井	4.299	503.70	9.82	425〜499 (35.0)	−	5.16	−	300	3.25×10^{-4}	196	297	2.74×10^{-4}	2.95×10^{-5}
	既設井(Hs4)	4.144	332.95	9.98	269〜327 (34.03)	25.30	19.42	1.30	348		235			今回実施
	既設井(Hs4)	4.144	332.95	9.97	269〜327 (34.03)	24.49	19.32	1.27	−		251			1982年実施
	既設井(Hr5)	4.471	215.65	9.48	115〜209 (66.79)	29.03	18.04	1.66	607		513			1983年実施
	既設井(Hx6)	4.494	82.13	2.27	25〜75 (34.49)	28.07	18.3	1.53	435		358			1983年実施
Ha−3 后邦道沽	揚水井	4.616	476.50	10.71	369〜474 (49.65)	37.3	17.81	2.09	324	−	278			
	観測井	4.901	503.73	10.99	442〜499 (37.8)	−	2.16	−	522	1.03×10^{-1}	454			
	揚水井	4.807	363.35	8.60	125〜362 (82.5)	23.0	17.42	1.32	419	−	606			

表 3.2.1(2) 水理常数一覧表 (その2)

井号・地名	種類	地盤標高 m	深度 m	静水位 m	水管長 m	揚水量 ℓ/s	水位降下 m	比湧出量 ℓ/s/m	JACOB法 揚水 T m²/d	JACOB法 揚水 S	JACOB法 回復 T m²/d	HANTUSH法 T m²/d	HANTUSH法 S	HANTUSH法 K′/b′ day⁻¹
Ha−3	観測井	5.089	363.12	8.08	126〜356 (76.0)	23.0	4.27	−	404	2.14×10^{-4}	466			
后邦道沽	観測井	5.046	85.88	8.15	47〜80 (21.05)	−	−	−	−	−	−			
Hb−2 葫芦寅	揚水井	5.059	353.14	5.12	144〜338 (83.49)	32.51	10.11	3.51	816		714			
Hb−3	揚水井	5.437	371.11	14.22	128〜362 (77.04)	25.3	18.83	1.34	552	−	471			
史庄子	観測井	3.442	382.43	14.31	129〜369 (67.0)	−	3.66	−	485	2.87×10^{-4}	485	474	2.7×10^{-4}	6.14×10^{-5}
Hb−4	揚水井	6.566	375.98	13.09	119〜366 (74.87)	30.6	8.69	3.52	569	−	711			
大月河	観測井	6.069	380.68	13.00	115〜366 (74.0)	−	2.09	−	440	6.25×10^{-2}	1052	1006	1.93×10^{-3}	1.32×10^{-4}
Hb−5	揚水井	5.373	372.7	5.00	126〜372 (68.0)	32.1	25.67	1.25	597	−	668			
大洛里沽	観測井	4.514	395.81	4.71	126〜391 (75.0)	−	0.76	−	(1692)	8.99×10^{-2}	(1586)			
HC−1	揚水井	5.788	300.70	6.08	142〜260 (55.5)	27.29	21.71	1.26	227	−	332			
陳浦亮	観測井	5.401	300.61	6.43	147〜261 (56.0)	−	2.76	−	502	4.04×10^{-3}	490			
HC−2	揚水井	4.461	288.07	8.06	151〜278 (50.0)	24.73	10.12	2.44	767	−	977			
水流庄	観測井	4.364	288.81	7.91	148〜277 (52.5)	−	1.52	−	850	6.63×10^{-3}	1029			

既存井戸の大部分は本層の上半部から取水しており、調査地域に広く分布するため、本層が将来開発された場合には地下水位降下や極端な場合には井戸枯れなどの影響が発生することが予想される。

本層は、その能力や水質の点から将来の開発対象となる帯水層を考えられる。

今回の調査の主たる目的の一つは本層の層相や能力を明らかにすることにあり、揚水試験や水質分析など多くの調査がなされた。水温は15～20°Cの範囲にある。算出された水理常数（表3.2.1(1)、(2)）はいろいろの要素を勘案して評価する必要がある。透水量係数はおおむね1000～4000m²/日の範囲に入るようであるが、地下水位等高線の形状から巨視的に見ると一部ではこれより小さい値もあるように思われる。透水係数は 1×10^{-2} cm/秒のオーダーである。難透水層の透水係数については土質試験によって1×10^{-7}～1×10^{-8}cm/秒オーダーの値が得られている。貯留係数は、全般には1×10^{-3}～1×10^{-4}オーダーの妥当な値を示している。

3.2.3　第Ⅲ帯水層

本層は深さ350m前後に連続する第Ⅲ難透水層によって、上位の第Ⅱ帯水層から区分される被圧帯水層である。本層は西部では砂層の割合が少ないが、東部では粒度が粗くなっており、一部では礫岩も存在する。この傾向は第Ⅱ帯水層と同じである（表3.1.3）。本層の地下水は第Ⅱ帯水層とは水質も異なり、水温も25～26°Cとかなり高く、隔離された地下水であることを示している。本層の水理常数は今回の調査によって150～300m²/日の透水量係数が得られている（表3.2.1(1)、(2)）が、仕上がり井戸の深度が足りない点や井戸洗浄不足などを勘案すれば少し大き目に評価する必要がある。

本層は帯水層の能力も東部地域を除いて小さく、工事費も大きくなることから、将来特に開発対象層とするのは適当でないと考えられる。また水質もＰＨが飲用水の標準を越えて高い点も問題がある。

3.2.4　不透水性基盤岩

当調査地域の地下水盆を構成する、砂と粘性土からなる頻互層の厚い堆積岩類は原生界や古生界などからなる硬い岩石の上に不整合に重なっている。この岩石類が真の不透

水性基盤岩と言うべきものである。それは調整地域西端の石油調査井によって、深さ882mで確認されている。電気探査によっても、深さ700～1000m以深に100Ω・m以上の高い電気比抵抗値を示す、基盤岩と思われる層が広く確認されている。その埋没表面は多少起伏を示すものの、全般的には準平原的な平坦面に近いもので、この谷構造は巨視的には地下水盆の地下水流動を支配していると思われる。本層中には開発の対象となる地下水は賦存されていない。

3.3 地下水の流動と水位変動

調査地域の地下水流動の形態は、一斉測水の結果に基づいて作成された地下水位等高線図（図3.3.1～3）から読み取ることができる。一斉測水は1985年12月、1986年6月、同年9月の三回行われた。経年的な地下水位変動は、中国側で1970年代初めから行われている5日毎の測水調査で、1986年以後は、調査団によって設置された自記水位計による連続観測で知ることができる。

3.3.1 第Ⅰ帯水層

観測点が少なく、調査地域全体の流動を把握することは難しい。地下水位は東北部で地表面下1～3m、南部で2～3mと浅い。地域内に縦横に開削された運河や河川の水位に影響され、水位変動は小さい。大部分は第Ⅰ難透水層を賦圧層とする被圧水であるが、同層が薄い南東部では不圧水となっているようである。したがって巨視点には地形起伏に調和して、東北から南西ないしは南に向かう流動をしていると考えられる。

3.3.2 第Ⅱ帯水層

まず、調査地域の季節変化に伴う地下水位の変動は、最高水位が4～8月、最低水位が11～1月に現われる井戸と、最高水位が12～2月に、最低水位が5～8月に現われる井戸がある。降水量は6～9月に年間の80%以上が集中し、冬季にはほとんど無いから、前者が自然状態の変動を示しており、後者は5～7月に集中する揚水による地下水位降下の影響を強く受けた水位変動と思われる。

揚水の影響の少ない時期では、地下水位等高線はほぼ東西に走り、北部から南部に低くなっている。北部で地面下4m前後（標高0m）、南部で同15m前後（標高-12m）となる。全域が第Ⅱ難透水層を賦圧層とする被圧地下水である。平均動水勾配は1/2200ほどで、北から南に地下水は流動しているが、細かくみると、北半分で1/1400ときつく、南半分で1/3400と緩い動水勾配になっている。

豊水期（6～9月）には第Ⅰ帯水層に比べ、全般的に5～6m低い地下水位を示すが、北部にゆくほどその差は小さくなるようである。

一方、揚水中には状況が一変する。揚水による局地的な地下水位降下の影響が、特に南部と北部で現われ、動水勾配が急になったり、水位等高線が閉じる目玉が出現する。

しかし全般的な流動方向は北から南で、中央部での平均動水勾配は揚水の影響の少ない時期に比べ1/1100と２倍ほど急になる。水位標高は南端で-15mに達する。

第Ⅱ帯水層の地下水位の経年変化は古いもので1973年から観測されている。その代表的な２例を図3.3.4に示した。1973年からの長期変動をみると、1981年春までは、横ばいか、変動があっても1～2m前後の季節変動を繰り返し、一年で元の水位に回復している。しかし1981年夏以降揚水のパターンが急変したようで5～10mもの急激な水位降下が生じ、季節変動幅も大きく、元の水位に回復しないまま、漸次降下する傾向を見せている。これは1981年が20年確率の渇水年（年間降水量358m）に相当する干ばつであり、1982～83年も同様に渇水年であったことから、地表からの涵養が減少すると共に、主として表流水不足を補完するため灌慨用井戸による揚水が増加したためであろう。だが、1984年秋以降になると、全域的に回復に転じ、1986年半ばには、1981年以前の地下水位に近いところまで回復している。

3.3.3　第Ⅲ帯水層

本層の地下水位に関する情報は限られているため、広域的な流動の形態は把握できない。北西部の黒狼口では地面下3.6mに被圧水頭があり、第Ⅱ帯水層の被圧水頭と変わらないか、少し高めの水頭を示している。中央西部の苑洪橋では、被圧水頭は地面下9.45mで、やはり第Ⅱ帯水層と変わらない。中央東部の后邦道沽では地面下10.30mで、第Ⅱ帯水層に比べ1.3mほど低い。以上のことから考えると、全般的な傾向として、北～北西部から南～南東に向かう地下水流動が考えられる。后邦道沽で第Ⅲ帯水層の地下水位が第

II層に比べ低いのは、下流側（漢沽）の地下水開発に因るのか、后邦道沽周辺で第II帯水層の揚水が大きいため、上向きの漏水が、一時的に生じた結果なのか、原因は不明である。

本層の地下水位の経年変化に関しては、本調査によって掘削された三本の観測井による記録のみである。期間が一年に満たないため、季節変動の全貌は把握されていないが、黒狼口では1986年7月に低く、冬季に高くなる傾向を見せている。

現段階で、調査地域では第III帯水層は開発されていないから、第II帯水層の揚水によって漏水が発生して夏季の地下水位が降下しているのかもしれない。

3.4 水質

3.4.1 調査内容と手法

地下水の水質は水文地質構造と地下水流動の形態と深く結びついている。それは地下水が帯水層や難透水層を流動したり、滞留する間に、地層からの成分溶出、酸化から還元状態への環境変化、粘土鉱物とのイオン交換などによって水質組成が変化してゆくからである。

本調査では他部門の調査結果とあわせて、水質面から水文地質構造を総合的、有機的に解明する基礎資料を得ることと、地下水の水道水源としての適否・問題点を明らかにするために、今回掘削した揚水井・観測井と（運河）水より採水し、水質分析をした。また既存の分析資料を収集し、両者をあわせて総合解析をした。水質分析数は、揚水井・観測井によるもの40個（連続揚水時11回、現位置29個）、既存井戸（37個）、河川（運河）水（5個）である。収集した既存分析数は深井戸（15個）、浅井戸（17個）である。その調査地点を図3.4.1に示した。

水質分析は上記のうち、揚水井の連続揚水時の試料については、地下水利用調査項目、（表3.4.1）と水文地質学的調査項目（表3.4.2）について行ったが、日本より購送した分析機器を用いて分析をし、その操作法について中国側に技術移転をした。

表3.4.1　地下水利用調査項目

	水　質　項　目
生活環境項目	PH,DO,COD,大腸菌群数,一般細菌,NO_2,NO_3,NH_4,Cl^-,水温
健康に係る項目	Hg^{2+},T-Cr.Cr^{6+},As^{3+},Ca^{2+},CN^-
その他の項目	Cu^{2+},Fe^{2+},Zn^{2+},Pb^{2+},F^-,I^-,SiO_2,硬度

表3.4.2　水文地質学的調査項目

	水　質　項　目
陽イオン	Na^+,K^+,Ca^{2+},Mg^{2+}
陰イオン	HCO_3^-,CO_3^{2-},Cl^-,SO_4^{2-}
微量成分	F^-,NO_3^-,NO_2^-,PO_4^{3-},NH_4^+

分析結果はキイダイアグラム、パターンダイアグラムによる図示及び濃度相関マトリックス法を用いて、分析値の間の相関性を量的に評価することによって水質の解析をした。

まずキイダイアグラムは、地下水の水質は陽イオン（Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}）と陰イオン（HCO_3^-、CO_3^{2-}、Cl^-、S_4^{2-}）で代表でき、陽イオン（Na^+＋K^+）、（Ca^{2+}＋Mg^{2+}）と陰イオン（HCO_3^-＋CO_3^{2-}）、（Cl^-＋S_4^{2-}）の各々の成分の当量濃度比で図示するものである（図3.4.2(1)～(4)）。

パターンダイアグラムは上記４成分の当量濃度比を水平軸上にプロットし、各点を結んで作成した形状によって、水質の差を表現する図である。

濃度相関マトリックスは水彩地点間の関連性を示す目的で、各成分の濃度比を求め、これを数量的に相互に比較する方法で、本調査ではNa^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、HCO_3^-、Cl^-、SO_4^{2-}の７成分について濃度相関マトリックスを作成した。

3.4.2 水文地質構造との関連

a）キイダイアグラムによる区分と地域性

深さ10mの浅井戸は大部分Ⅲ～Ⅳ型に属する（図3.4.2(1)）。Cl^-は600～1800mg/ℓ、SO_4^{2-}は250～2000mg/ℓの範囲にある。いずれも高い濃度を示し、当地域が有楽町海進（縄文海進）時浅海～干潟であったという水文地質の解釈と調和する。浅井戸はいずれも粘性土の中にあり、第Ⅰ難透水層に相当する。ちなみに海水のCl^-は19,000mg/ℓ、SO_4^{2-}は2,650mg/ℓである。

ストレーナーが100～500m間にあり、第Ⅱ帯水層と一部第Ⅲ帯水層に相当する既存の深井戸14本と、25～75m間にストレーナーがある第Ⅰ帯水層の揚水試験水の分析結果（図3.4.2(2)）は、前者が全部Ⅱ型に属し、後者の一井のみⅣ型に含まれる。Ⅱ型の地下水も深度が深くなるにつれて、より炭酸ナトリウム側に寄った傾向を示し、地下水の化学的進化と水文地質構造区分とがよい調和を見せている。

今回分析した37個の既存井戸の地下水（図3.4.2(3)）は、概ねⅡ型、Ⅲ型、Ⅳ型に区分される。ストレーナーが深度100m前後にあり第Ⅰ帯水層に属するものはⅣ型に属し、10mの浅井戸と同様海水の残留があるものと推定される。ストレーナー深度が200～220mの井戸はⅡ型に入るが、さらにNa^+やK^+の濃度が高く、より化学的進化が進んで深部の地下水に区分される井戸も多い。いずれも第Ⅱ帯水層の水質を反映している。

今回掘削した揚水井、観測井の結果（図3.4.2(4)）はいくつかのグループ（A～E）に区分される。まずこれらの井戸は大部分が第Ⅱ帯水層と第Ⅲ帯水層の地下水であり、揚水試験中の試水の水質と、現位置のそれを区分して考える必要がある。また現位置試料は採取に不確実さがあり、湧水量検層の結果第Ⅱ帯水層の下半分ストレーナー（深さ約250～350m）に目詰まりがあることからその分析値の解析には注意を要する。

AグループはⅡ型に属するがⅠ型との中間型に近い水質を示している。地域的には北から北東に分布する。ここは地下水位等高線が高く、地下水流動の上流域に当たる。これはAグループの中でも化学的進化の早い段階に属するという水質結果とよく調和する。

Bグループは、AグループよりNa^+とHCO_3^-が高く地下水の化学的進化がやや進んでいる。Aグループの下流側に位置する。

Cグループはストレーナー深度が浅く、第Ⅰ帯水層の影響を強く受けている。いわば

Bグループの上位の水質を示していると考えれば良いが、一部の現位置試料は採取の確実さに欠けるため分析値の取り扱いには注意を要する。

DグループはII型に属するが、AグループよりNa⁺成分が高いため、より地下水の化学的進化が進んでいる。地域的にはHb-4（大月河）やHc-2（水流庄）は南の下流側に位置するが、Hb-1（黄土坎）はむしろ上流側にあり、必ずしも地域的分布とは調和しないようである。

Eグループは第III帯水層に属する深層の地下水で、II型の中でもCO_3^{2-}が25～35mg/ℓと高く、PHも9以上を示して化学的進化が最も高いグループである。

b）パターンダイアグラムによる水質の垂直区分

水質の垂直（深度）方向の差異は、現位置試水で知ることができるが、前述したように採取に確実さを欠くため分析値の取り扱いには注意を要する。それは電導度検層と水質に調和しない例（Hc-1やHc-3）が見られるためである。深度別の水質には同一井戸内においては著しい差異は認められないが、揚水試験水とは差がある。

これは揚水をした場合には帯水層の上下に存在する難透水層からの吸い込みの影響ではないかと思われる。採取が確実であるとすると、帯水層の上下方向の差異がないことは、地下水に上下方向の動きが優勢であることを示唆しており、当地域の地下水の涵養機構を考えるうえで、かなり重要なことである。

c）濃度相関マトリックスによる相関性

この結果によれば、同一揚水井の深度別の相関は高いが、調査地点間の相関は一部を除いて小さく、全域的に同一帯水層と推察される地点間においても小さい（表3.4.3～6）。このことは、各地点間における地下水成分は帯水層の上下間の粘土層からの溶出、イオン交換などによる方が大きく、同一帯水層と考えられる地点間でも、井戸間の距離が数km以上と離れており、このため水質組成が少しずつ異なるものと考えられる。逆に同一孔内における上下方向の相関性は高く、パターンダイアグラムによる解析結果と同様なことが言える。

表3.4.3　揚水井間の深度別濃度相関マトリックス（深度100m～200m）

	Ha-3 (130)	Hb-1 (105)	Hb-2 (160)	Hb-3 (150)	Hb-4 (200)	Hb-5 (125)	Hc-1 (145)	Hc-2 (150)	Hc-2 (190)
Ha-3(130)	1.00								
Hb-1(105)	0.19	1.00							
Hb-2(160)	0.19	0.19	1.00						
Hb-3(150)	0.04	0.23	0.23	1.00					
Hb-4(200)	0.14	0.47	0.09	0.23	1.00				
Hb-5(125)	0.04	0.14	0.57	0.47	0.19	1.00			
Hc-1(145)	0.23	0.14	0.09	0.09	0.09	0.14	1.00		
Hc-2(150)	0.23	0.52	0.19	0.14	0.61	0.14	0.19	1.00	
Hc-2(190)	0.23	0.47	0.19	0.09	0.57	0.23	0.19	0.14	1.00

表3.4.4　揚水井間の深度別濃度相関マトリックス（深度200m～400m）

	46	51	52	55	56	59	60	63	64	67	68	71	72	76
	Ha-3 (210)	Hb-1 (220)	Hb-1 (280)	Hb-2 (250)	Hb-2 (320)	Hb-3 (260)	Hb-3 (360)	Hb-4 (290)	Hb-4 (320)	Hb-5 (250)	Hb-5 (340)	Hc-1 (205)	Hc-1 (255)	Hc-2 (270)
Ha-3 (210)	1.00													
Hb-1 (220)	0.19	1.00												
Hb-1 (280)	0.23	0.76	1.00											
Hb-2 (250)	0.19	0.28	0.28	1.00										
Hb-2 (320)	0.09	0.28	0.19	0.76	1.00									
Hb-3 (260)	0.04	0.09	0.23	0.33	0.33	1.00								
Hb-3 (360)	0.04	0.19	0.28	0.33	0.28	1.00	1.00							
Hb-4 (290)	0.14	0.57	0.42	0.09	0.09	0.09	0.19	1.00						
Hb-4 (320)	0.28	0.61	0.57	0.33	0.14	0.09	0.19	0.71	1.00					
Hb-5 (250)	0.04	0.14	0.14	0.33	0.52	0.66	0.61	0.14	0.09	1.00				
Hb-5 (340)	0.04	0.14	0.14	0.42	0.42	0.33	0.42	0.14	0.14	0.71	1.00			
Hc-1 (205)	0.28	0.19	0.00	0.09	0.04	0.14	0.09	0.19	0.09	0.09	0.04	1.00		
Hc-1 (255)	0.28	0.19	0.04	0.09	0.04	0.33	0.09	0.09	0.04	0.14	0.04	1.00	1.00	
Hc-2 (270)	0.19	0.71	0.47	0.14	0.14	0.09	0.14	0.66	0.61	0.14	0.14	0.14	0.14	1.00

表3.4.5　揚水井間の深度別深度相関マトリックス

（深度400m～）

	39	40	42	43
	Ha-1 (405)	Ha-1 (105)	Ha-2 (220)	Ha-2 (280)
Ha-1 (405)	1.00			
Ha-1 (460)	1.00	1.00		
Ha-2 (430)	0.47	0.47	1.00	
Ha-2 (470)	0.52	0.38	0.95	1.00

表3.4.6　連続揚水試験間の濃度相関マトリックス

	Ha-1	Ha-2	Ha-3	Hb-1	Hb-2	Hb-3	Hb-4	Hb-5	Hc-1	Hc-2
Ha-1	1.00									
Ha-2	0.00	1.00								
Ha-3	0.19	0.09	1.00							
Hb-1	0.28	0.14	0.38	1.00						
Hb-2	0.14	0.14	0.38	0.23	1.00					
Hb-3	0.04	0.09	0.28	0.19	0.23	1.00				
Hb-4	0.38	0.28	0.42	0.28	0.19	0.23	1.00			
Hb-5	0.09	0.14	0.61	0.33	0.23	0.42	0.23	1.00		
Hc-1	0.14	0.19	0.47	0.42	0.19	0.57	0.33	0.04	1.00	
Hc-2	0.23	0.19	0.19	0.14	0.04	0.23	0.19	0.19	0.28	1.00

3.4.3　塩水化について

調査地域の深度100m以浅の第Ⅰ帯水層は、残留塩水による影響を受けている（図3.4.3）。その範囲は調査地域の南半分に及んでいるが、Cl^-濃度は北部にゆくに従って小さくなっており、化石塩水の影響は調査地域の北部が北限と考えられる。その濃度は最大
1800ppmである。影響の残っている個所は深度的にも偏りがみられることから、難透水層に封鎖されたり、粘性土中に吸着されている塩水であろうと思われる。