

4. 2 湧水流量観測

4. 2. 1 流量観測選定および実施方法

(1) 流量観測点の選定

烏魯木齊河河川水は青年渠取水堰でほぼ全量取水されており、烏魯木齊河については既設観測所があり、新たに流量観測をする必要性は認められない。

また、農業用水幹線水路での流速は3 m/秒前後とかなり速く、日本から持込みの流量計の測定範囲(0～1 m/秒)を越えていた。農業用水の分水の実態を流量観測で把握することは調査範囲も広く、分水流量も、その都度、変わるので短期間の測定作業では難しい。

河川水、農業用水については、基本的に資料収集により把握できるので、実測データの少ない湧水流量を対象とすることとした。湧水流量の表流水観測点は、現地踏査の結果、調査対象地域北側の小泉溝、同支流、大泉溝西側に位置する苞房溝、大泉溝の4カ所を実施することとした。

(2) 観測方法

流量の観測方法は次の通り実施することとした。

- 流水断面形状の計測：10cm毎に水深を計る。
- 電気式流速計による流速の測定：水深が10cmを越えている場合には、水深を変えて流速を2点で測定する。
- 測定断面にはいつも同じ測線で計測できるように目印を設ける。

(3) 湧水流量測定

地 点	流量観測についてのコメント
小 泉 溝	河床変動の可能性あり。伏流水あり。
小泉溝右支流	河床変動は小さい。
苞 房 溝	流路が固定されて流量観測に適している。
大 泉 溝	橋があり。河床はコンクリートで固定されているが、上流側に農地が分布する。

4. 2. 2 湧水流量観測結果

(1) 流量計の測定値の検証

第1年次に日本側が持ち込んだ電気式流速計（低流速用：1台）の調子が思わしくなかったため、今回、調査団が新たに同型の機材を携行し、現地での測定値の対比を行った。その結果は表-4.2.1に示すとおりであり、第1年次の流速計について中国側が調整を行ったこともあり、大きな測定の違いはなく、中国側が測定した値を使用しても良いと判断される。

表-4.2.1 流速計の測定値の対比（単位：l/sec）

測定場所	第1年次の計器		第2年次の計器	
	10回計測	20回計測	10回計測	20回計測
①小泉溝本川の浅瀬	0.21	0.19	0.20	0.23
	0.21	0.22	0.22	0.24
	0.20	0.20	0.22	0.23
②大泉溝西側に位置する 苞房溝支流の急流部	0.82	—	0.82	0.80
	0.82	—	0.83	0.81
	0.83	—	0.79	0.81

(2) 流量測定結果

湧水流量測定は、中国側水文スタッフにより冬季も継続された。第1年次以降の測定結果は表-4.2.2(1)～(4)に示すとおりである。

小泉溝での測定結果の特徴は、厳密には議論できないが、次のとおりである。

- 湧水流量は年平均で本川7000 m³/日、支流で2200 m³/日であり、通年の傾向は冬季に流量が減少し、冬季の地表面の凍結が溶出す春先は流量が多くなる。降水による湧水流量への影響は、測定直前にかなりの降水があった場合に中間流出による湧水流量の増加が認められる。降雨時には地表流出の形態であろう。
- 本川のEC値は2000 micro S前後であるが、春先のEC値が高い（土壌との接触時間の長さに起因する可能性大）。

なお、大泉溝の観測点は上流側に農地があるので、灌漑が始まると流量が極端に少なくなり、5月16日をもって測定を打切っている。また、苞房溝支流での測定点は中国側のスタッフが途中で交代したこともあり、測定点異なる。

表-4.2.2(1) 湧水流量測定結果： 小泉溝本川

測定日	気温 (°C)	水温 (°C)	電気伝導度 (micro S)		湧水流量	
			測定値	補正值	(l/sec)	(m ³ /d)
89. 9. 2					95.7	8266.8
89. 9. 8		13.0	1500	1970	115.0	9931.7
89.11. 8		9.0	1240	1843	61.0	5273.0
89. 1.27	-12.0	1.0	1000	1934	39.0	3380.8
89. 4.13	14.0	9.5	2700	3949	93.0	8033.5
89. 4.28	18.0	12.8			77.8	6721.1
89. 5.16	23.5	12.0			66.7	5762.9
89. 5.30	20.0	13.0	1600	2101	88.8	7675.8
89. 6.15	23.0	13.0	1650	2167	70.1	6052.3
89. 7. 5	28.0	19.0	1900	2125	66.8	5772.4
89. 7.15	26.0	17.0	1000	1175	135.3	11689.1
89. 7.30	28.0	19.0	1950	2181	71.5	6175.0
89. 8.18	32.0	18.0	1800	2062	73.4	6337.4
89. 8.30	16.0	11.0	1350	1884	65.6	5671.3
89. 9.16	29.0	18.0	1800	2062	96.7	8358.3
平均値	20.5	13.2	1624	2121	81.1	7006.8

表-4.2.2(2) 湧水流量測定結果： 小泉溝右岸支流

測定日	気温 (°C)	水温 (°C)	電気伝導度 (micro S)		湧水流量	
			測定値	補正值	(l/sec)	(m ³ /d)
89. 9. 2		15.0	1800	2231	48.3	4171.4
89. 9. 8		13.0	2000	2626	33.8	2922.0
89.11. 8		6.0	1000	1638	15.7	1352.2
89. 1.27	-13.0	1.0	1490	2707	8.2	709.3
89. 4.13	8.0	8.0			19.8	1712.4
89. 4.28	18.0	14.0			35.5	3066.3
89. 5.16	23.5	12.0			29.9	2579.0
89. 5.30	23.5	12.5	1800	2399	22.7	1961.3
89. 6.15	23.0	12.0	2000	2706	18.7	1613.1
89. 7. 5	28.0	19.0	2400	2684	33.1	2861.6
89. 7.15	24.0	12.0	1900	2571	20.9	1803.2
89. 7.30	28.0	16.0	1800	2171	24.3	2095.2
89. 8.18	31.0	16.0	2050	2473	21.9	1890.4
89. 8.30	16.0	12.0	1400	1895	21.6	1865.4
89. 9.16	60.0	17.0	2300	2702	33.0	2852.1
平均値	20.0	12.4	1821	2400	25.8	2230.3

表-4.2.2(3) 湧水流量測定結果： 苞房溝支流

測定日	気温 (°C)	水温 (°C)	電気伝導度 (micro S)		湧水流量	
			測定値	補正值	(l/sec)	(m ³ /d)
89. 9. 2		15.0	1200	1488	92.4	7981.6
89. 9. 8		12.0	1000	1353	75.3	6506.8
89.11. 8		8.0	970	1488	90.9	7850.3
89. 1. 3	-9.0	7.0	観測地点が異なる。		0.7	62.0
89. 1.13	-14.0	4.0			0.9	75.1
89. 1.23	-8.0	5.0			0.9	75.1
89. 2. 3	-11.0	5.0			0.8	71.5
89. 2.13	-13.0	6.0			0.8	68.6
89. 2.23	-12.0	6.0			0.8	71.5
89. 3. 3	-8.0	6.5			0.9	75.1
89. 3.13	2.0	8.0			0.8	68.6
89. 3.23	8.0	10.0			0.8	68.6
89. 4. 3	17.0	10.0			0.8	68.6
89. 4.13	17.0	10.5			0.8	68.6
89. 4.23	18.0	12.0			0.8	68.6
89. 5. 3	18.0	11.5			0.8	68.6
89. 5.13	24.0	12.0			0.8	68.6
89. 5.23	23.0	14.5			0.9	75.1

表-4.2.2(4) 湧水流量測定結果： 大泉溝

測定日	気温 (°C)	水温 (°C)	電気伝導度 (micro S)		湧水流量	
			測定値	補正值	(l/sec)	(m ³ /d)
89. 1.27	-8.0	1.0	2500	3599	36.8	3183.0
89. 4.13	11.0	10.0			17.3	4085.0
89. 4.28	17.0	16.5			28.9	2492.6
89. 5.16	23.0	17.0	流量少なく測定できず			

4. 3 土地利用および水利用

4. 3. 1 河川水の利用

(1) 大西溝からの取水流量

大西溝（烏魯木齊河上流部の呼称）からの農業用水の取水は図-1.1.1に示す山岳部からの出口に設けられた知青干渠取水堰（上流側）と青年渠取水堰（下流側）の2ヶ所で行われている。

各取水堰の取水量は表-4.3.1(1)および(2)に示すとおりであり、1989年の取水量については収集が難しい。

表-4.3.1(1) 知青干渠取水堰年取水量
単位：万 m^3

年度	知青干渠 (左岸側)	黄草梁子干渠 (右岸側)
1985	1 9 5 7	1 5 0 8
1986	1 7 0 0	2 2 0 0
1987	1 9 6 2	2 1 7 4
1988	なし	なし

表-4.3.1(2) 青年渠取水堰年取水量
単位：億 m^3

年度	大西溝 河川流量	青年渠 取水流量
1985	1. 6 9	1. 4 4
1986	1. 4 3	1. 3 5
1987	2. 1 2	1. 7 9
1988	1. 7 7	1. 5 9

注：黄草梁子干渠(1985)は5月から7月までの取水量である。

調査地域から南の知青干渠はこの扇状地の最上流部を灌漑しており、この地域はシルト質の土壌であり、肥沃な農地となっている。青年渠取水堰で取水された水の方は、約6500万 m^3 は太平渠、幸福渠、団結渠に分水され農業用水として使用される。

調査対象地域およびその上流域で灌漑される農業用水は8500万 m^3 程度であると推定され、地下水の大きな涵養源となっている。

(2) 農業用水路管理事務所

① 知青干渠取水堰管理事務所

この管理事務所は§ 2.2.2に述べたように、烏魯木齊県水電局の管轄下にある。この取水堰から右岸側は黄草梁子干渠、左岸側は知青干渠の取水を行っている。

② 青年渠取水堰管理事務所

この管理事務所は烏魯木齊市水資源委員会の下部組織であり、青年渠の取水管理の他に、青年渠の支線である太平渠、幸福渠および団結渠の取水管理も行っている。

青年渠支線への1988年の計画分水量は表-4.3.2に示すとおりである。

表-4.3.2 青年渠からの計画分水流量(1988年)

	太平渠	幸福渠	団結渠	合計
流量(万ト)	1842	3228	1364	6434

③ 分水工管理事務所および末端水路の分水状況

幹線水路から支線水路への分水点および支線水路の名称は図-4.2.2に示すとおりであり、主要分水点には水管理事務所が置かれている。8月10日の現地踏査では、太平渠分水点事務所での分水状況についての聞き取り調査結果は次のとおりである。

- 青年渠流量 : 16.2 m³/秒
- 太平渠分水流量 : 3.2 m³/秒
- 幸福渠分水流量 : 3.0 m³/秒
- 団結渠分水流量 : 1.5 m³/秒

同日、西山水渠と小泉干渠との分水点にある西山管理事務所は不在であった。付近の人の話に寄れば、分水工の操作は必要に応じて行っており、農地に大量のかんがい水を引水する時期には、管理人が昼夜常駐するとの事であった。

また、支線水路の水は次々に分水されて行くわけであるが、末端の分水工では適宜、農民が分水しているようである。

4. 3. 2 土地利用

(1) 土地利用の状況

調査対象地域(300km²)は5つの行政区域(2380km²)にまたがっている。

「西山水源地水利土地利用図」によれば、この5つの行政区全体での土地利用の状況は表-4.3.3に示すように耕地面積は7,975haで全体の3.3%を占め、放牧地は199,698haで全体の83.9%、残りは裸地となっている。人口は28,456人で1km²当りの人口密度は12人である。

表-4.3.3 土地利用状況の概要

生産単位	人口 人	土地面積 ha	耕地		放牧地	
			ha	%	ha	%
104団	14,292	216,000	3,435	1.6	197,415	91.4
西山農場	3,964	8,386	3,273	39.0	1,955	23.3
薩馮込板	1,500	980	653	66.7	327	33.3
種蓄場	1,100	7,487	340	4.7		
永豊町	7,600	5,293	274	5.2		
合計	28,456	237,937	7,975	3.3	199,698	83.9

調査対象地域内での土地利用の状況は図-4.3.1に示すように農業用水路に沿って耕地が分布している。特に、西側の小泉干渠、西山干渠に沿う耕地多く、全体的には西側、南側に耕地が多く、北東の区域は耕地が少ない。

(2) 植生および作物

調査対象地域は風が強いため、作物の生育を助けるため、幹線道路沿いに新疆ポプラが植えられている。この寒冷地に適応できるようにカナダ産のポプラを品種改良したものである。

耕地での作付け作物は小麦が主体であり、所々にトウモロコシ、ヒマワリ等が栽培されている。

放牧地は背丈の低い、刺の多い植生が疎らに生え、羊が時々放牧されている。

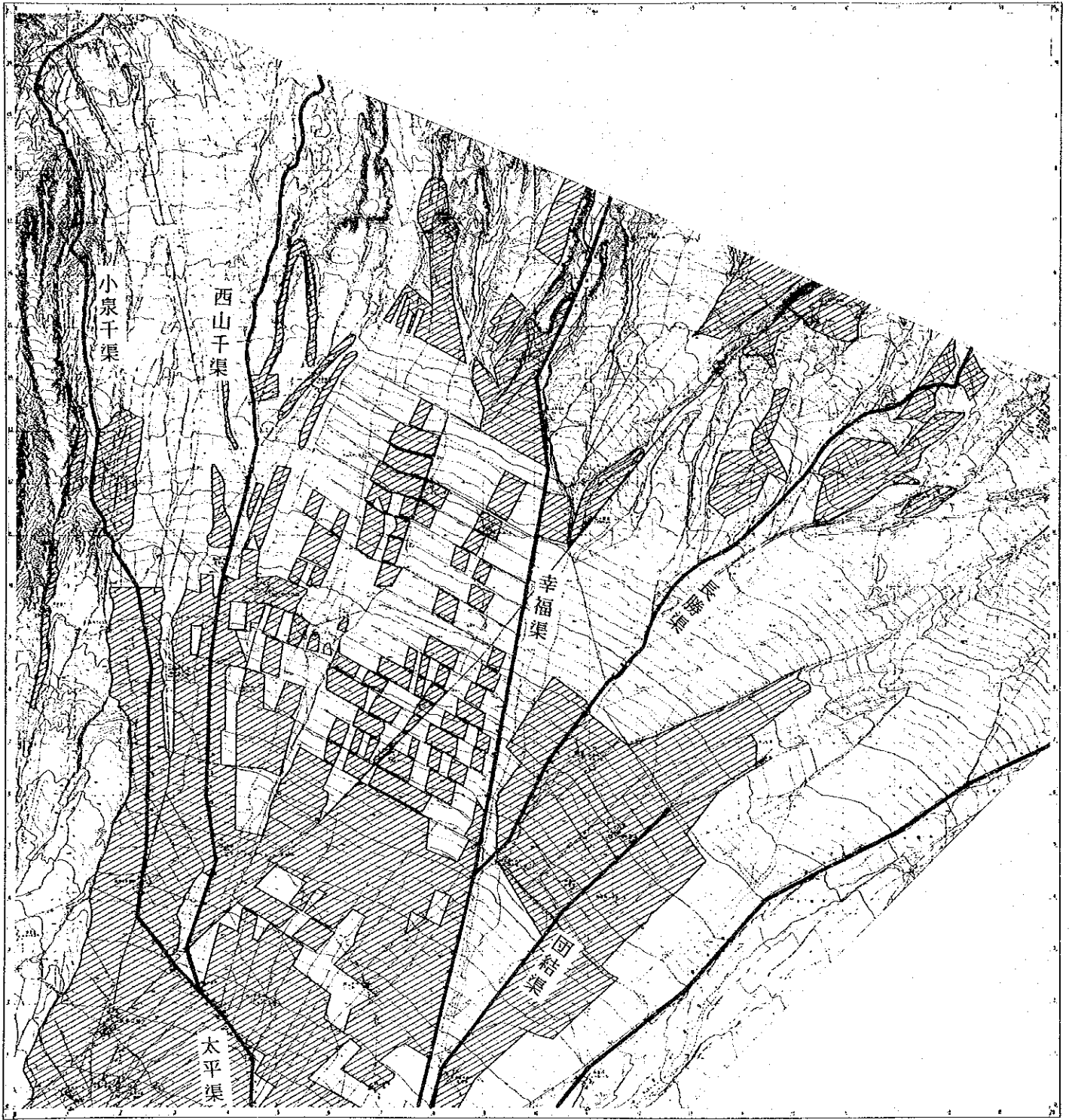


図-4.3.1 幹線水路および耕作地の分布

調査対象地域での作物と蒸発散量の関係については資料がないので、ある半乾燥気候区での作物別の資料を引用した。ここでの潜在蒸発散量は最大(夏季) 300mm/月、最小(冬季)90mm/月、年間で2,450mmである。

レタス	(10月～2月)	810mm
ピーンズ	(10月～2月)	610mm
ピース	(10月～3月)	940mm
メロン	(8月～1月)	1,160mm
オオムギ	(11月～3月)	710mm

(3) 農業用水の利水状況から見たかんがい水量

調査対象地域での地区別での耕作地面積をプランメータで計測して、単位面積当りのかんがい水量を算定したものが表-4.3.4である。薩馮込板、永豊組の地域ではかんがい水量が際だって大きい、これは提供資料の精度、境界の位置、水使用の区分等の条件が明確でないことになるもので、作物のかんがい水量の点からは、単位面積当りのかんがい水量は800～1000mm程度と推定される。

表-4.3.4 耕作地でのかんがい水量

地域名	耕地面積 km ²	取水量 万m ³ /年	かんがい量 mm
104団	24.88	2063	829
西山牧場	28.40	2400	845
薩馮込板	7.87	2577	3272
永豊組	11.13	1526	1372
種蓄場	21.19	1572	742

(4) 農業用水の水源

104団では調査対象地域の下流側に位置するため、農業水路からの取水量だけではかんがい水量が不足するため、地下水開発が実施されている。年間の地下水揚水量は表-4.3.5に示すように60万 m^3 である。

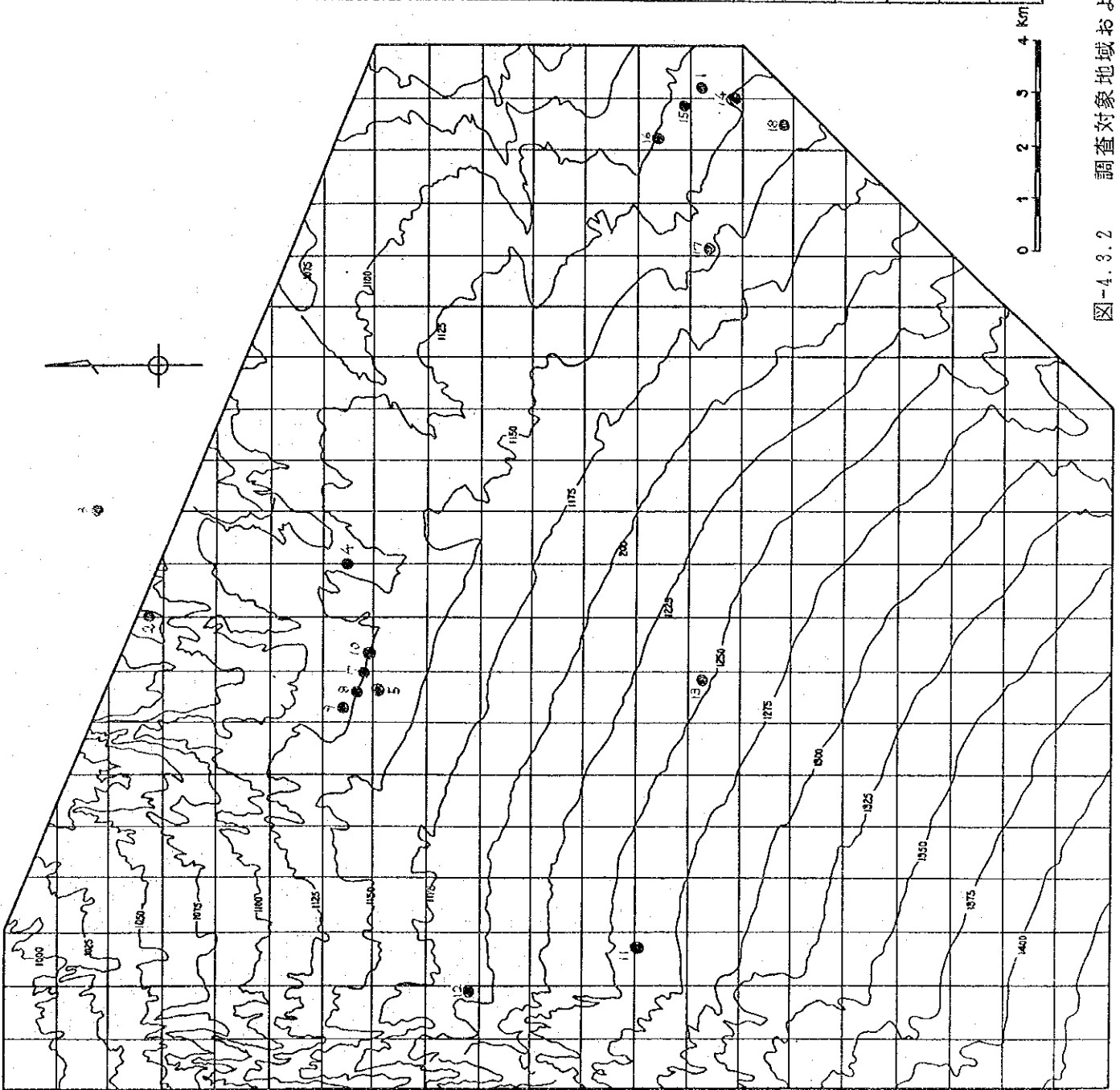
表-4.3.5 104団での農業用水利用状況

年 度	水 源	年取水量(万 m^3)		年利水量(万 m^3)		利用率(%)	
		計画値	実績値	計画値	実績値	計画値	実績値
1984	農業用水路	2305.1	2617.5	1939.6	1939.6	70.0	74.1
	井 戸	96.0	46.0	46.0	46.0	47.9	100.0
	年度合計	2401.1	2663.5	1659.6	1985.6	69.1	74.5
1985	農業用水路	2305.1	2488.1	1613.6	1920.8	70.0	77.2
	井 戸	60.0	47.0	47.0	42.0	78.3	89.4
	年度合計	2365.1	2535.1	1660.6	1962.8	70.2	77.4
1986	農業用水路	2305.1	2467.1	1613.1	1842.1	70.0	74.7
	井 戸	60.0	60.0	60.0	60.0	100.0	100.0
	年度合計	2365.1	2527.1	1673.6	1902.1	70.8	75.3
1987	農業用水路	2400.0	1680.0	1680.0	2062.7	70.0	122.8
	井 戸	60.0	60.0	60.0	60.0	100.0	100.0
	年度合計	2460.0	1740.0	1740.0	2122.7	70.7	122.0
1988	農業用水路	2460.0	1680.0	1680.0		68.3	
	井 戸	60.0	60.0	60.0		100.0	
	年度合計	2520.0	1740.0	1740.0		69.0	

4. 3. 3 調査対象地域での地下水揚水量

第2次調査で中国側が実施した調査対象地域内およびその周辺部での地下水の汲み上げは図-4.3.2に示す井戸でなされており、これらの井戸での1989年1月から8月までの地下水揚水量の実態調査結果は表-4.3.6に示すとおりである。

揚水の使用目的は農業用水、砂利採取の選別用水、生活用水等であり、農業用水の使用は5月～6月の期間に集中している。この時期の月揚水量は30万 m^3 程度であり、農業用水のない時期の月揚水量は13万 m^3 程度であり、年間の揚水量は400万 m^3 程度と推定される。



NO	地下水揚水地点名
1	水浜灣予制厂
2	永豊郷煤砒
3	104団青年中隊
4	104団6中隊
5	104団第2牛乳工場
6	104団7中隊
7	104団水管理所 2-2
8	104団水管理所 2-3
9	104団水管理所 2-4
10	104団水管理所 2-1
11	小泉五村
12	サツパン小泉六村
13	104団8中隊
14	区三点砂場
15	八家戸砂場
16	市建材総合工場
17	畜牧庁草原拠点工場
18	水収支研究所 #17-1

図-4.3.2 調査対象地域および周辺の揚水井の分布

表-4.3.6 調査対象地域及び周辺での地下水揚水量（1989年） 単位：m³

地下水揚水地点名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
水溪溝予制广		1,200	1,240	1,200	1,240	1,200	1,240	1,240
永豊郷煤砒	122,112	109,536	124,440	120,048	130,440	130,488	116,376	120,048
104団青年中隊	413	373	413	511				
104団6中隊	465	420	465	450	581	746		
104団第2牛乳工場	2,480	2,240	2,480	2,400	4,960	4,800	4,960	
104団7中隊			929	504	943	962	130	
104団水管所 2-2					40,950	37,450		
104団水管所 2-3					19,692			
104団水管所 2-4					36,900	32,670		
104団水管所 2-1					44,172	40,176		
小泉五村	10,473	13,913	15,780	15,267	15,780	15,267	15,780	
サツタハン小泉六村	819	623	639	249	300	316		
104団8中隊	2,250	810	458	480	1,913	194	1,665	2,130
区三点砂場							11,120	
八家戸砂場			780	1,480	1,800	1,800		
市建材総合工場					13,747	17,953	15,540	16,203
畜牧庁草原拠点工場				1,680	5,880	4,960	4,400	
水収支研究所 W17-1				753	4,460	847	960	
月揚水量合計	139,013	127,915	146,384	145,021	323,758	300,948	161,051	139,621

5 地下水

5.1 地下水位観測

5.1.1 井戸調査

(1) 地質礦産局実施の水文地質調査孔および管轄の地下水位観測井

これまでに、西山水源地に関して新疆地質礦産局第1水文地質大隊が実施してきたボーリング調査は表-5.1.1に示すとおりである。これらのボーリング孔の内、現在、確認できるボーリング孔は地点7(W-8)、地点37(W-39)、地点48(W-9)、地点54(W-33)および地点57(W-17)の5本である。

表-5.1.1 西山水源地ボーリング調査孔

プロジェクト名	調査実施期間	ボーリング調査地点	合計本数
烏魯木齊市 都市用水探査	1957 ~ 1960	34(158)	1本
烏魯木齊河流域 水資源総合評価調査	1982 ~ 1984	7(W-8), 14(W-49) 20(W-1), 35(W4-2) 37(W-39), 48(W-9) 54(W-33), 57(W-17)	8本
烏魯木齊市都市域 地質総合調査	1986 ~ 1987	3	1本

(2) 井戸調査の実施方法および調査項目

① 調査実施方法

新疆地質礦産局の長期地下水位観測井の状況を確認すると共に、現地踏査の中で新たに確認できた井戸について聞き取り調査を行い、関連資料の収集に努めた。

② 井戸基本台帳調査項目

- ・井戸位置：座標、標高
- ・井戸形式
- ・井戸規模：口径、井戸深度、ストレーナの位置、掘削年月日、施工業者
- ・井戸所有者、井戸管理者
- ・利水状況：利水目的、利水状況、揚水量
- ・地下水位：測水の可否、水位測定、測定日、地下水位変化の状況
- ・簡易水質現場測定：水温、電気伝導度

(3) 井戸調査結果および井戸の分布

井戸基本台帳調査は1988年8月の初めに実施した。既設井戸についての調査結果は表-5.1.2に、また、井戸の位置図は図-5.1.1に示すとおりである。

表-5.1.2 既設井戸調査結果総括表

井戸番号	測定月日 井戸の状況	地下水位 (GL- m)	電気伝導度 (micro S)	揚水量 (m ³ /y)	揚水期間	使用目的
No. 1	不可能	125.0	420	2409	1年中	生活用水
No. 2	廃棄					
No. 3	不可能	108.0	870	6570	1年中	生活用水
No. 4	88.8.02	75.3		30408	冬(11-4)	生活用水
No. 5	88.8.02	73.4	1600	18245	冬(11-4)	生活用水
No. 6	不明	80.0		13100	冬(11-4)	生活用水
No. 7	88.8.05	72.4		6516	冬(11-4)	生活用水
No. 8	不可能			9122	冬(11-4)	生活用水
No. 9	不可能		970	7118	1年中	生活用水
No. 10	位置不詳					
No. 11-1	不可能			32805	夏(5-7)	農業用水
No. 11-2	不可能			32805	夏(5-7)	農業用水
No. 11-3	88.8.10	32.5		不明	夏(5-7)	農業用水
No. 11-4	不可能			不明	夏(5-7)	農業用水
No. 11-5	廃棄					
No. 11-6	不可能			32805	夏(5-7)	農業用水
No. 11-7	不可能			不明	夏(5-7)	農業用水
No. 11-8	不可能			不明	夏(5-7)	農業用水
No. 11-9	88.8.10	18.4		32805	夏(5-7)	農業用水
No. 11-10	廃棄					
No. 11-11	廃棄					
No. 11-12	廃棄					
No. 11-13	廃棄					
No. 11-14	不明			不明	夏(5-7)	農業用水
No. 12	88.8.05	15.8	805	21900	1年中	生活用水
No. 13	88.8.05	8.0	1600	Handpump	1年中	生活用水

(4) 既存井戸での地下水位測定の可能性

8月の初めに既設井戸についての調査を行った。測水が可能であった井戸の多くは冬季に飲料水として汲み上げられる井戸であり、夏にポンプの保守、点検作業中でたまたま測定できたものである。地下水位の継続定期的観測に適した井戸は殆どない。

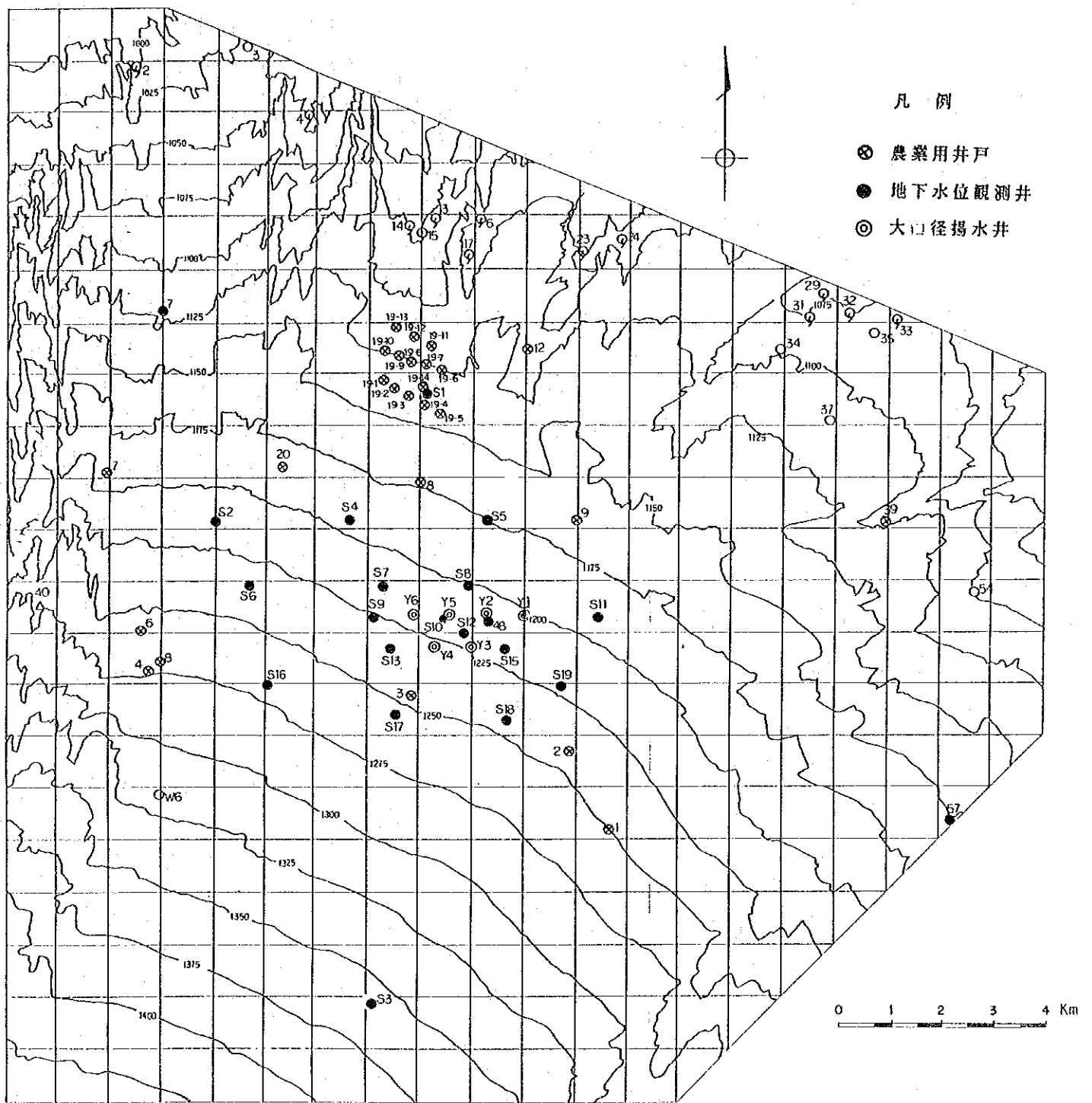


図-5.1.1 調査対象地域内での調査井および井戸の分布

5. 1. 2 地下水位観測

(1) 既往の地下水位観測

新疆地質礦産局第1水文地質大隊では、本調査に先がけて1985年よりこれまでに掘削した調査井を用いて長期の地下水位観測を行っていた。調査対象地域内および近隣での地下水位長期観測井は地点7(W-8)、地点48(W-9)、地点54(W-33)、地点57(W-17)およびW-10の5地点である。

また、これらの調査井は、周辺の遊牧民のいたずら、不注意による井戸の破損を避けるため、井戸孔口に嚴重な保護を施している。

(2) 斉一地下水位観測

1988年の斉一地下水位観測は8月上旬に行った井戸基本台帳調査の中で行った。

1989年の斉一地下水位観測は①地下水面形状の把握および②群井揚水試験による地下水位の低下影響範囲を把握する目的で実施した。

(3) 継続地下水位観測

継続地下水位観測は、地質局第1水文地質大隊で実施してきた長期地下水位観測井(調査地域内で4本、地域外で1本)をベースに、掘削中の新規観測井(1988年12本)を加えて表-5.1.3に示す地下水位観測網とすることとした。

表-5.1.3 継続地下水位観測（観測井）

番号	X (縦)	Y (横)	Z (高)	測点	管高	測水位	水位標高
S-1	13407.78	8367.40	1139.889	管蓋	1.03	32.77	1107.10
S-5	11100.56	9600.92	1174.756	管蓋	1.60	43.01	1131.73
S-6	9636.26	4517.20	1243.694	管蓋			1243.67
S-9	9261.11	7084.75	1228.875	孔口	0.59	91.07	1137.81
S-11	9312.99	11133.44	1195.064	管蓋	0.90	61.42	1133.63
S-12	8973.93	8738.56	1221.176	管蓋	0.63	85.40	1135.76
S-16	7794.21	4344.79	1276.662	孔口	0.43	112.91	1163.75
S-17	7431.25	7533.60	1257.277	管蓋	0.43	119.23	1138.03
S-18	7504.46	9400.46	1243.336	管蓋		108.29	1135.03
S-19	8119.29	10664.86	1221.366	管蓋	1.00	86.57	1134.78
W-8	15227.40	2973.33	1117.721	孔口	0.61	21.68	1096.04
W-9	9226.42	9321.62	1210.785	孔口	0.59	74.54	1136.25
W-33	9751.20	18647.00	1076.649	孔口	0.90	11.55	1065.10
W-39	13097.50	15887.50	1111.189	孔口	0.70	20.32	1090.87
G-42	20265.10	4570.86	1030.491	孔口	1.03	18.92	1011.57

(4) 自記水位計による地下水位観測計画

孔番号	自記水位計の設置理由	測定方法	設置深度
S-1	計画対象地域北側（下流側）の地下水位変化を把握する。	フロート式 （浮子式）	地下水面 GL-32.8m
S-5	計画対象地域北東側に良質地下水が分布している のでその変動特性を把握する。	フロート式 （浮子式）	地下水面 GL-43.0m
S-12	揚水試験井群の中央に位置し、揚水試験での水位 低下の影響を観測する。	圧力式	地下水面 下 10 m
S-17	計画対象地域南西側に良質地下水が分布している のでその変動特性を把握する。	圧力式	地下水面 下 10 m
S-19	計画対象地域南側に位置する地下水盆の水位変動 特性を把握する。	フロート式 （浮子式）	地下水面 GL-86.6m

5. 2 地下水位変動解析

第2次調査の地下水位観測は既設の長期観測井に、第1次調査で掘削された新規の観測井を加え実施した。水位の測定は携帯式水位計2台（測定深度100mと測定深度200m）、自記水位計5台（フロート式3台、圧力式2台）で行うことを計画した。

5. 2. 1 既設観測井による長期地下水位観測

(1) 地下水位データの処理

データの処理は第1次調査と同様に、測定資料（旬データ）に基づき、月平均値を計算した後、標高換算を行い、各観測井の変動特性について検討を試みた。昨年実施した観測井は、W-8、W-9、W-10、W-17およびW-33の5つの井戸であるが、本年ではW-17のデータが入手できていないので、それ以外の4つの井戸について行った。各々の図化結果は図-5.2.1に示すとおりである。

(2) 地下水位の長期変動特性

1985年から1987年までの地下水変動特性については現地調査報告書（1）に示すところであり、これに、1988年から1989年9月までのデータを加え、各観測井の長期的な変動特性について検討を行った。

① 観測井W-8

観測井W-8は標高1117.111mに設置され、調査対象地域の北西部の小泉溝流域に位置する。この観測井の水位変動は年周期の明瞭な季節性が認められおり、この特性は今回の分析でも明瞭であった。地下水位の低下時期は9～10月で、水位の上昇期は1～2月であるが、特に、地下水位の回復が鈍い1987年の場合は4月ピークを迎えている。冬季上昇型の水位変動である。

地下水位の全体的な傾向は1985年から1987年までは低下傾向であり、1988年以降は上昇傾向である。これは1987年および1988年の降水量が多かったことと符合している。

地下水位の季節変動幅は30～60cmの範囲内で、調査期間中の最高月平均水位は1989年1月の1097.20mであり、最低水位は1987年9月の1096.41mである。

② 観測井W-9

観測井W-9は標高1210.195mに設置され、計画対象地域の中央部に位置する。こ

EL m

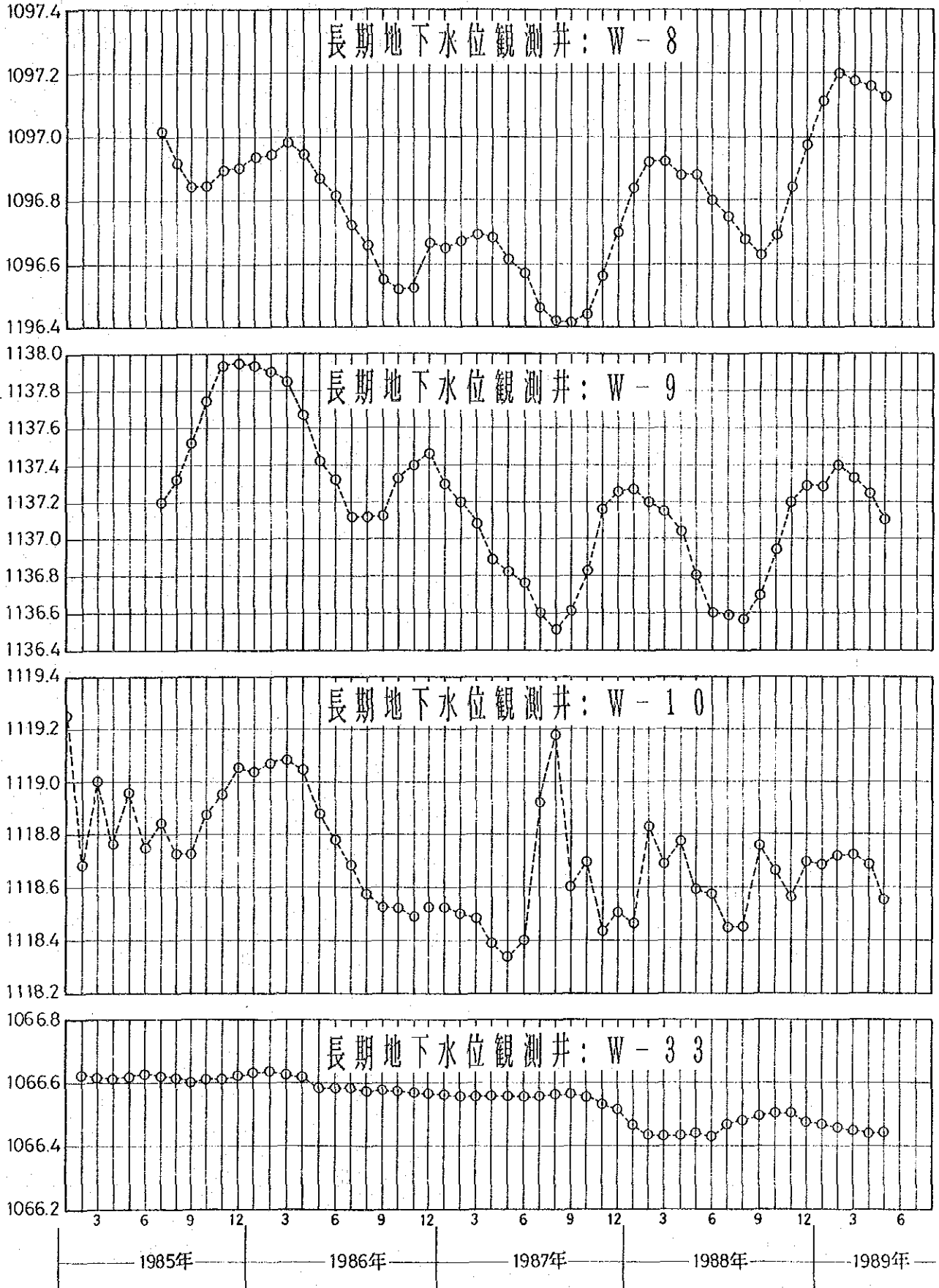


図-5.2.1 地下水位の長期変動特性

の観測井でも地下水位の明瞭な季節変動が確認された。地下水位の低下時期は 8～9月で、水位の上昇期は12月であるが、1989年の場合は、2月である。この観測井もW-8と同様に冬季上昇型の水位変動である。

地下水位の全体的な傾向は1985年から1987年までは低下傾向であり、1988年以降は横ばい、ないしは、やや上昇気味である。これは1987年および1988年の降水量が多かったことと符合すると考えてよい。

地下水位の季節変動幅は30～80cmの範囲内で、調査期間中の最高月平均水位は1985年12月の1137.96mであり、最低水位は1987年8月の1136.51.41mである。

③ 観測井W-10

観測井W-10は標高1174.414mに設置され、烏魯木齊河河床のすぐ側に位置している。この観測井での地下水位変動はW-8やW-9で見られるような季節性は示さず、短期間の鋭角的な地下水位の変動で昇降が激しい。1987年8月の水位上昇（上昇高84cm）は烏魯木齊河上流の大西溝（流域面積約1000km²）での流量が7月に極めて多く、流量の一部が烏魯木齊河に放流されたことに起因している。ここでの水位変化は烏魯木齊河の影響を強く受けるが、常時は上流の青年渠取水堰で取水されるため、烏魯木齊河の河川水は洪水放流の時のみとなっている。

地下水位の全体的な傾向は1985年から1987年までが低下傾向であり、1988年以降は上昇傾向を示す。これは降水量の変動と符合する。なお、1988年の夏季の降水パターンは降雨強度の強い雨が少なく、弱い雨が数多く降ったために洪水出水はなかったこと、または、大西溝流域での降水量が少なかったことが考えられる。

調査期間中の月平均最高水位は1987年8月の1119.17mで、最低水位は1987年4月の1118.33mである。

なお、1985年1～4月の不規則な水位変化については、水位測定方法のミスや、下流に位置する烏拉泊ダムの貯水位の変動等がその原因と思われる。

④ 観測井W-33

観測井W-33は標高1075.249mに設置されて、調査地域の東側の大東溝の下流部に位置し、烏魯木齊河旧河道の左岸に当たる。

この観測井での地下水位の変動は非常に小さく、また、水位変化の季節性はほと

んどない。水位の全体的な傾向はやや低下傾向であり、1987年11月から12月にかけて水位が10cm程度低下している。その原因については今のところはっきりしていない（下流には建設骨材の採取現場がある。）

これまでの月平均最高水位は1986年 2月の1066.62mで、最低水位は1988年 6月の1066.42mである。

5. 2. 2 新規観測井による長期地下水位観測

(1) データ処理の方針

新規観測井での地下水位観測は1988年 9月頃から開始され、順次、観測井がさく井完成する毎に観測体制に加わった。したがって、地下水位の年間の変動を横並びで検討するため、データの解析対象期間は1988年 9月から1989年 8月までの1年間とする。観測頻度は旬単位であるので、データも旬単位とした。

対象とした井戸は新規の観測井の他、既設の観測井もこれに加えた。

各観測井での地下水位の変動は図-5.2.2(1)～(4)に示すとおりである。

(2) 地下水位の変動特性の分析

観測井W- 8およびW- 9で認められた地下水位変動の季節性がどういうメカニズムで起こるのが調査当初からの最大の疑問点であった。着手報告書作成時に敢えて既設井戸の多い天山9防3隊の東側（計画対象地域の下流側、北側）に詳しい水位データを得る目的でS- 1を選定したのも、このためである。

基本的な地下水位の変動原因としては次のようなケースを想定していた。

- ① 農業用水からの地下への涵養水が地下水面まで到達するまでの時間的遅れ
- ② 下流側の水理条件の変化に伴う地下水位の堰上げ現象
 - 湧水帯の地表面凍結
 - 地下水流路の通水能力の不足による水位上昇
- ③ 上流側で涵養された地下水の移動に伴う時間的遅れ

新規の観測井は距離的にも近い範囲内で一連の連続する帯水層に掘削されたこともあり、ほとんどの観測井で地下水位の季節的変動が認められた。分析結果は表-5.3.1に示すとおりである。

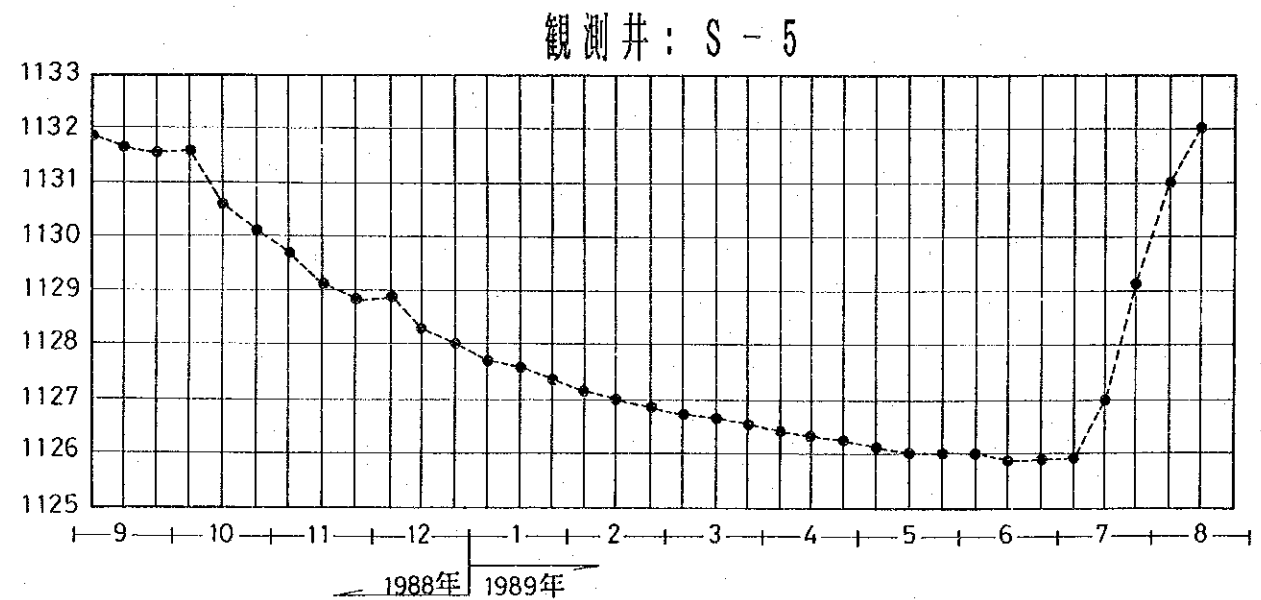
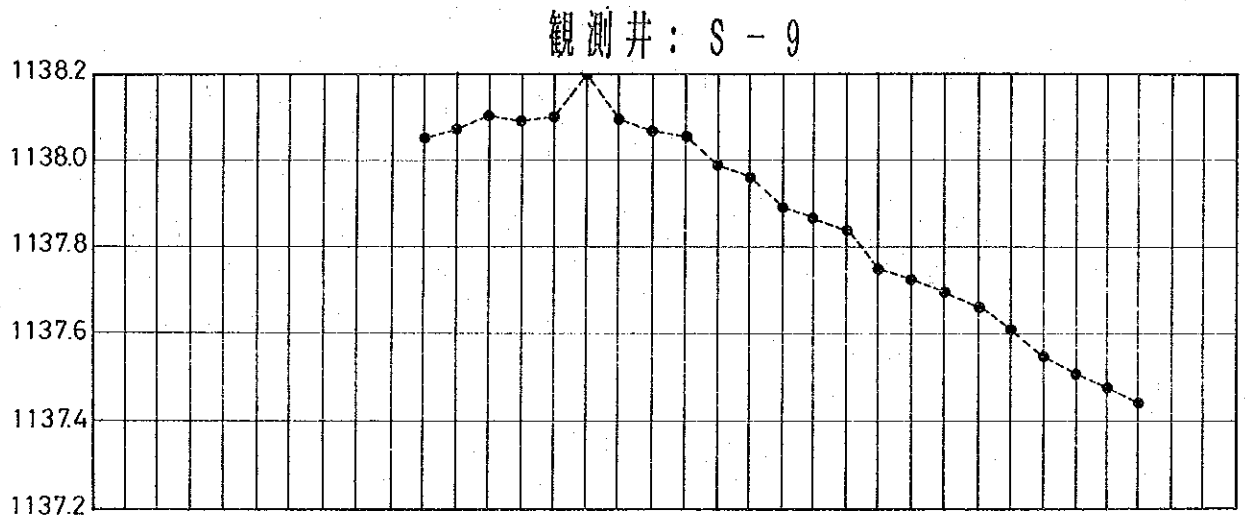
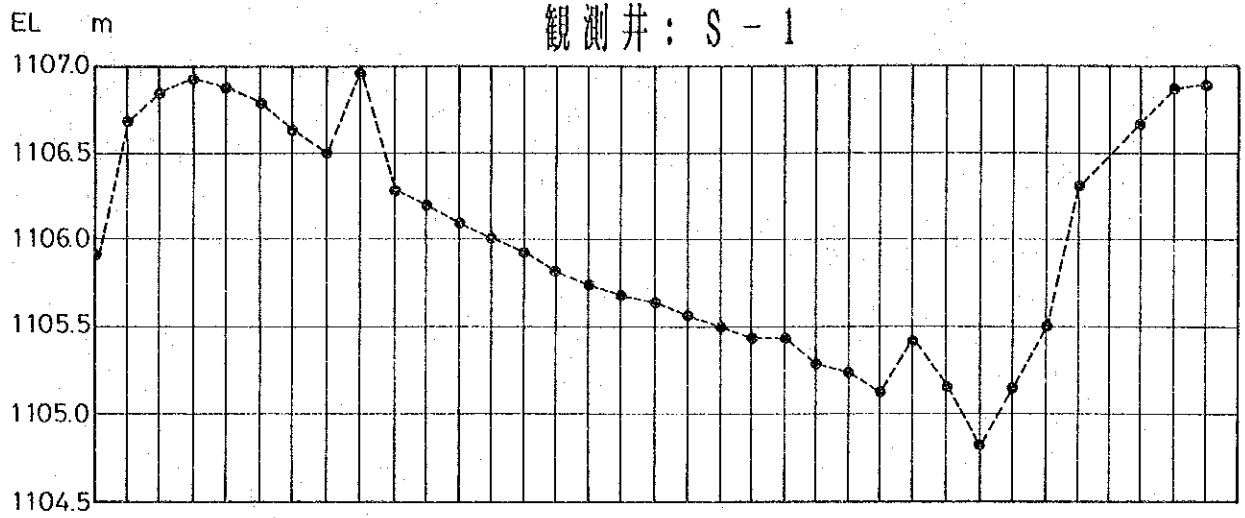
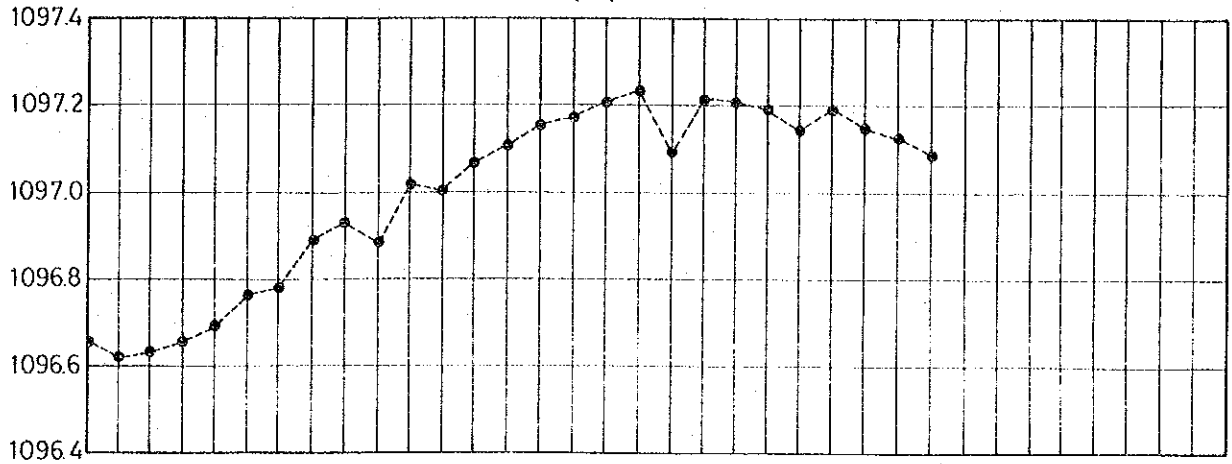


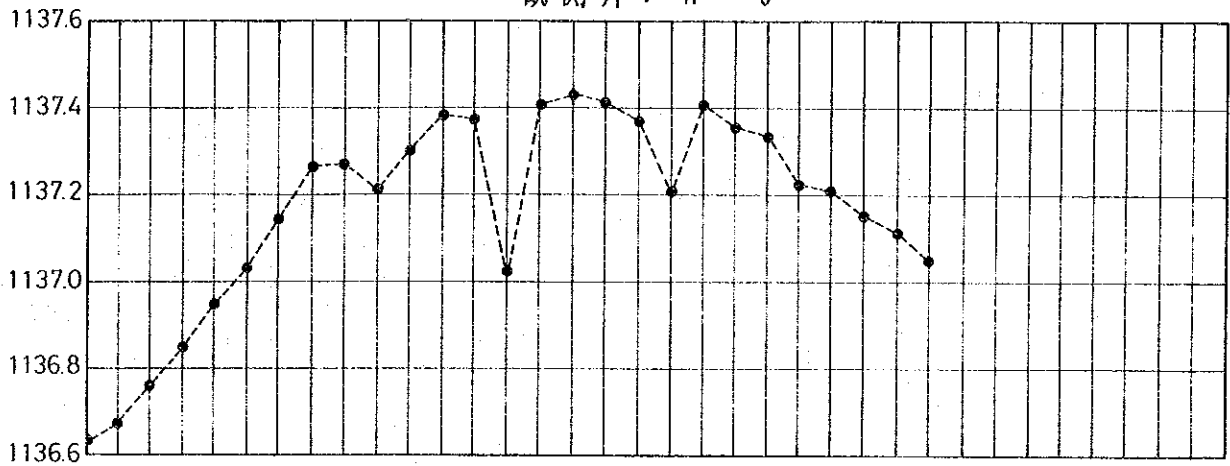
図-5.2.2(1) 地下水位変動特性(1988年 9月~1989年 8月：旬データ)

EL m

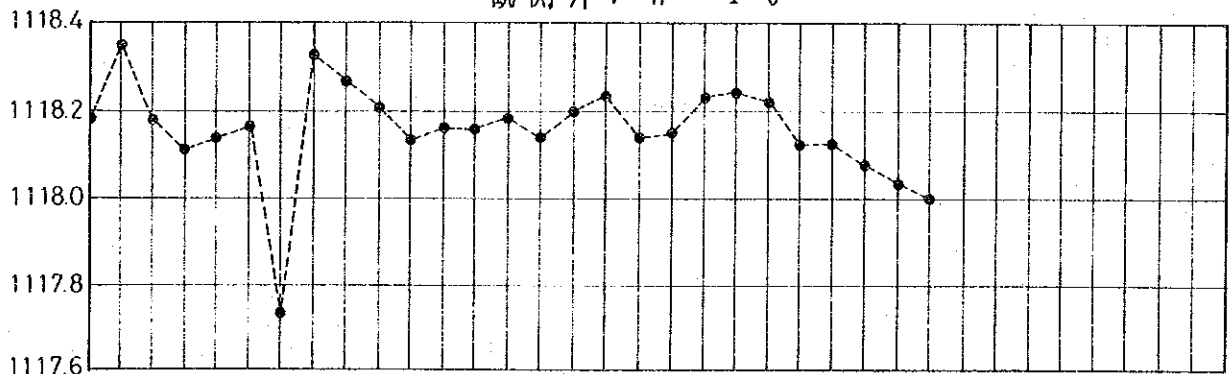
観測井：W-8



観測井：W-9



観測井：W-10



長期観測井：W-33

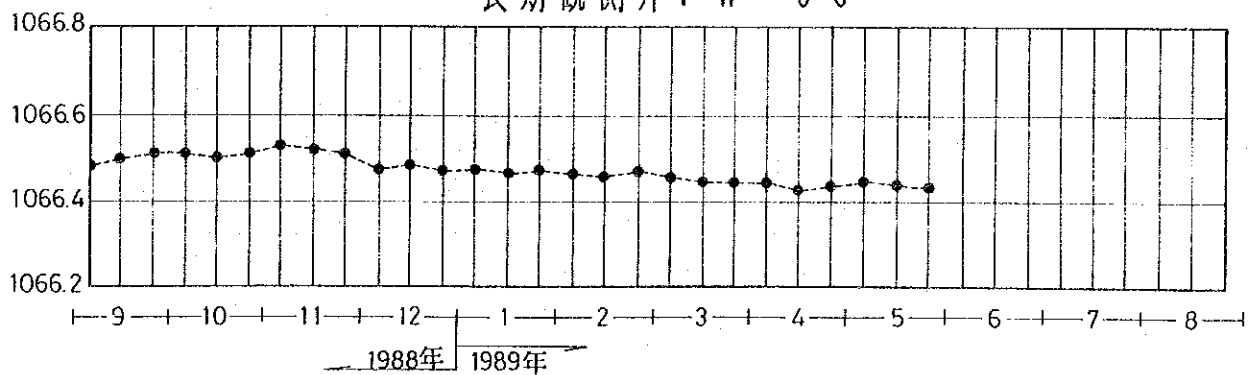


図-5.2.2(2) 地下水位変動特性(1988年 9月~1989年 8月：旬データ)

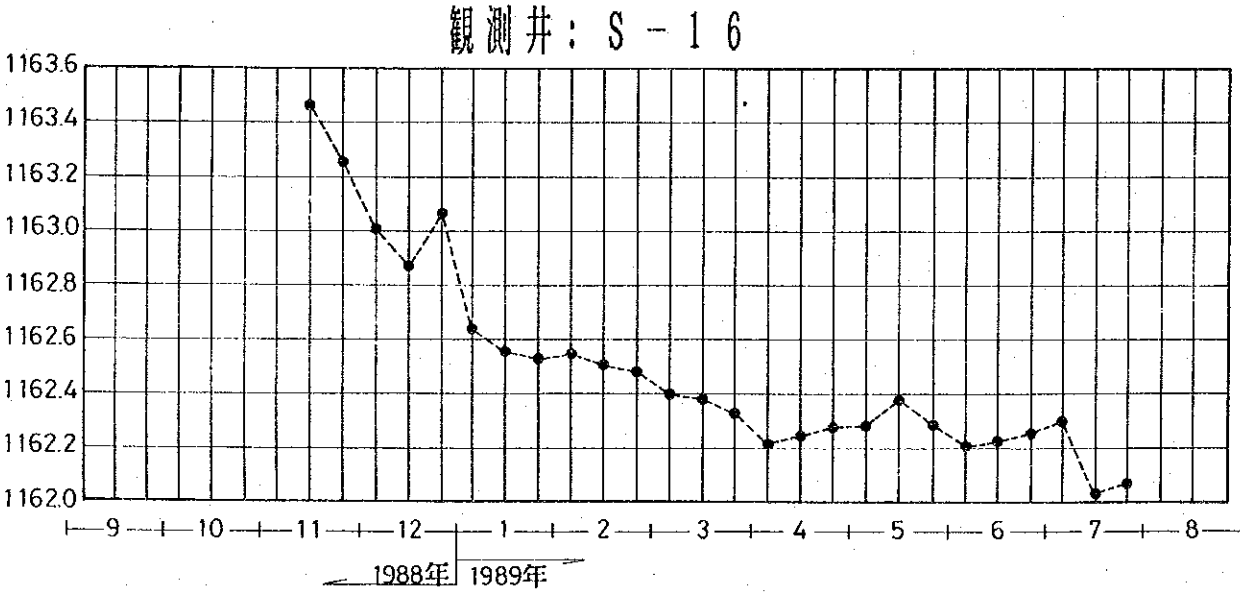
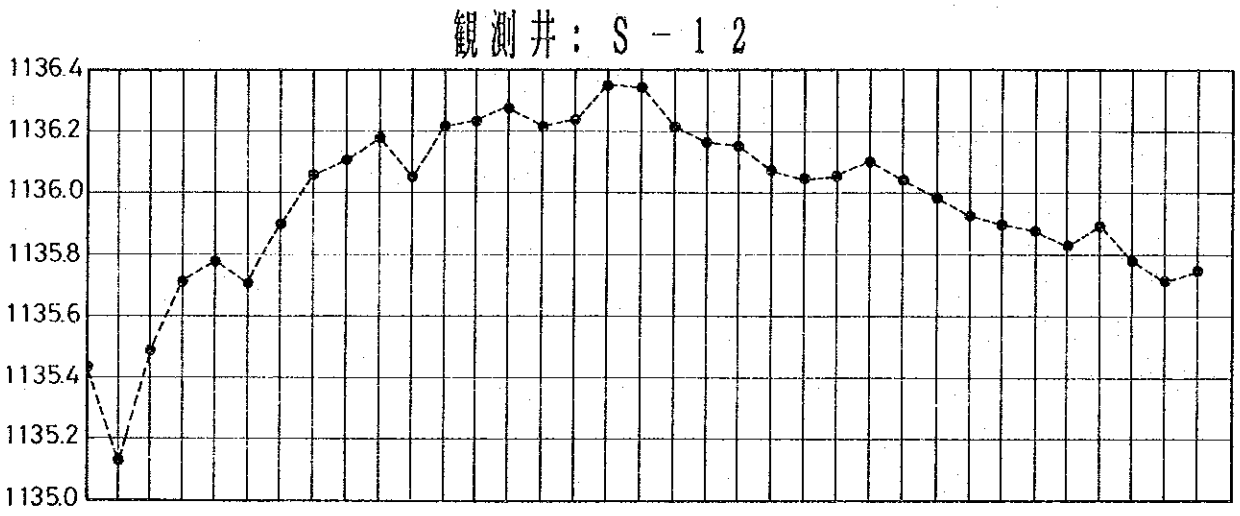
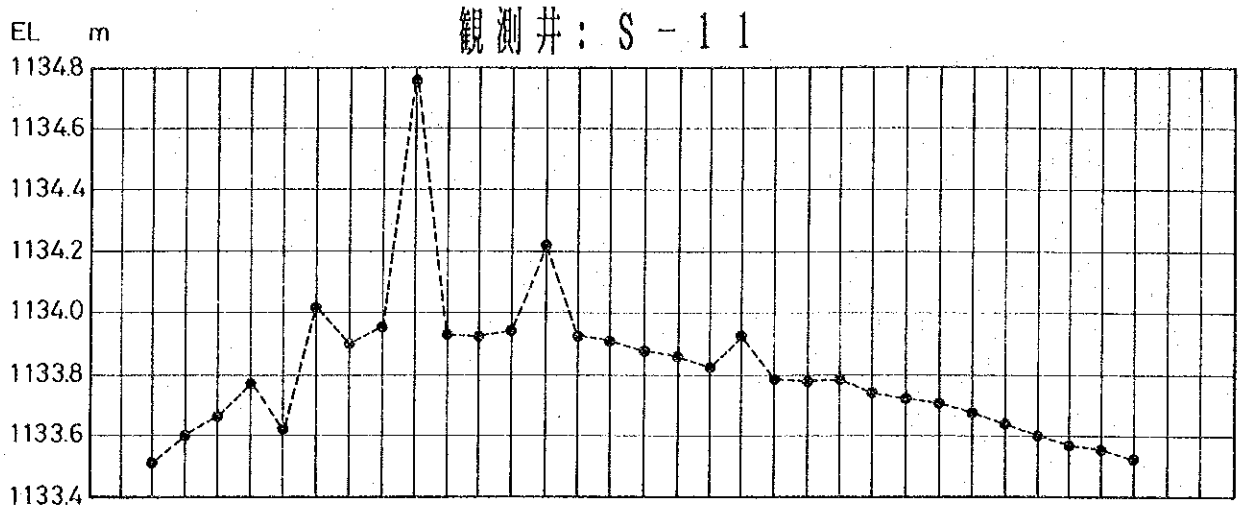


図-5.2.2(3) 地下水位変動特性(1988年 9月~1989年 8月:旬データ)

表-5.2.1 地下水位変動特性分析結果(1988年 9月~1989年 8月)

井戸名	井戸位置	地下水位変動特性			
		上昇期	下降期	変動幅	分類
S-1	大泉溝流入部	6~9月	10~5月	1.5 m	夏季上昇型
S-5	計画地域北東側	7~8月	10~5月	5.3 m	〃
S-9	計画地域西側	9~1月	2~7月	0.7 m	冬季上昇型
S-11	計画地域東側	9~1月	2~7月	0.4 m?	〃
S-12	計画地域中央部	9~2月	3~8月	1.0 m	〃
S-16	西山農場の南側	-	11~7月	1.2 m?	夏季上昇?
S-17	計画地域南側	9~2月	3~8月	0.9 m?	冬季上昇型
S-18	計画地域南側	-	2~7月	0.4 m?	冬季上昇?
S-19	計画地域東側	11~12月	1~6月	0.4 m	冬季上昇型
W-8	小泉溝流域	10~2月	3~月	0.6 m	〃
W-9	計画地域中央部	9~1月	3~月	0.8 m	〃

(3) 計画対象地域での地下水位変動の結論

計画対象地域および周辺での地下水位は年周期の水位変動をしている。表-5.2.1に示すように、下流側に位置するS-1およびS-5での水位上昇が早期に発生し、しかも、その上昇高が大きく、その上流側では水位上昇の時期も遅く、上昇高も小さくなる。

この現象は図-5.3.3に示すように下流側での水位上昇の影響が地下水位の堰上げ現象として作用し、同時に、上流からの地下水涵養水が到達すると解釈するのが一般的である。

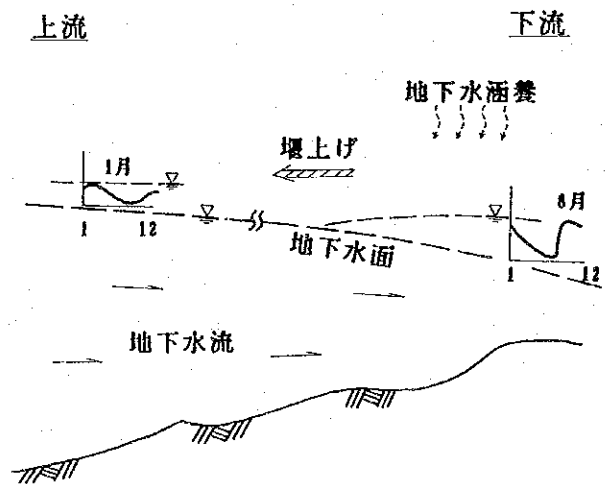


図-5.2.3 地下水位上昇過程の模式図

5. 2. 3 自記水位計による地下水位観測

(1) 自記水位計設置観測井

自記水位計はフロート式3台および圧力式2台の合計5台である。これらの機材は1988年9月中頃に到着したが、冬季の最低気温が-30℃にも達することから、持込み計器の温度仕様の限界を越えているため、中国側との協議の上、冬季の自記水位計による地下水観測は取り止め、観測は厳寒期の過ぎた1989年4月から始めることとした。

自記水位計による観測計画および実施状況は表-5.2.2に示すとおりである。

表-5.2.2 自記水位計による観測計画および実施状況

観測井	設置計器	観測期間	観測の状況
S-1	フロート式	6月7日～10月31日	良好
S-17	〃	6月6日～9月22日	孔壁にフロートが接触する
S-19	〃	5月27日～9月22日	〃
S-5	圧力式	6月7日～10月31日	良好
S-12	〃	6月6日～10月31日	良好

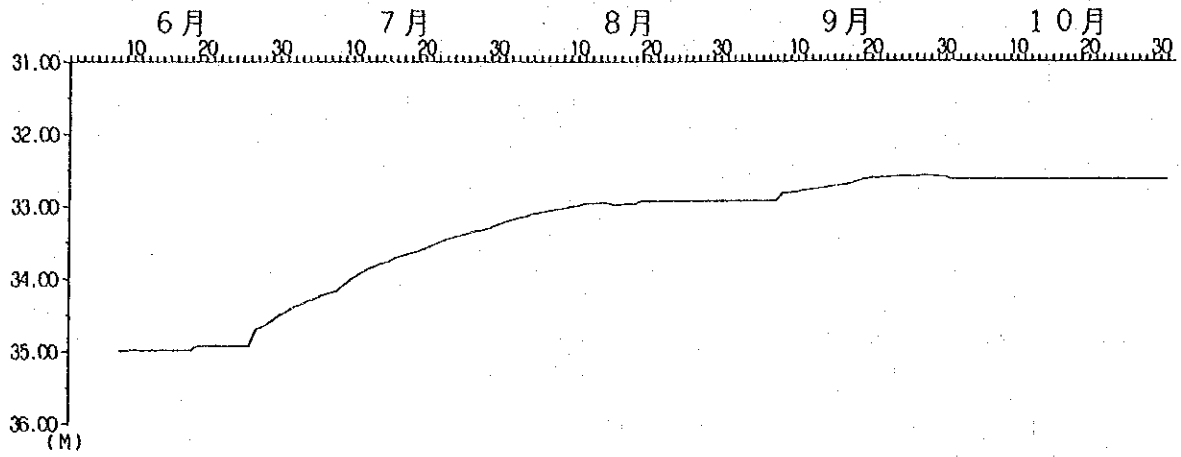
(2) 自記水位計による観測結果

フロート式の水圧計を設置したS-17、S-19ではフロートが孔壁に接触して、記録データが階段状になるため9月22日をもって観測を打ち切った。また、これら2孔以外での観測は1989年10月31日をもって終了し、同口、機材を撤収した。

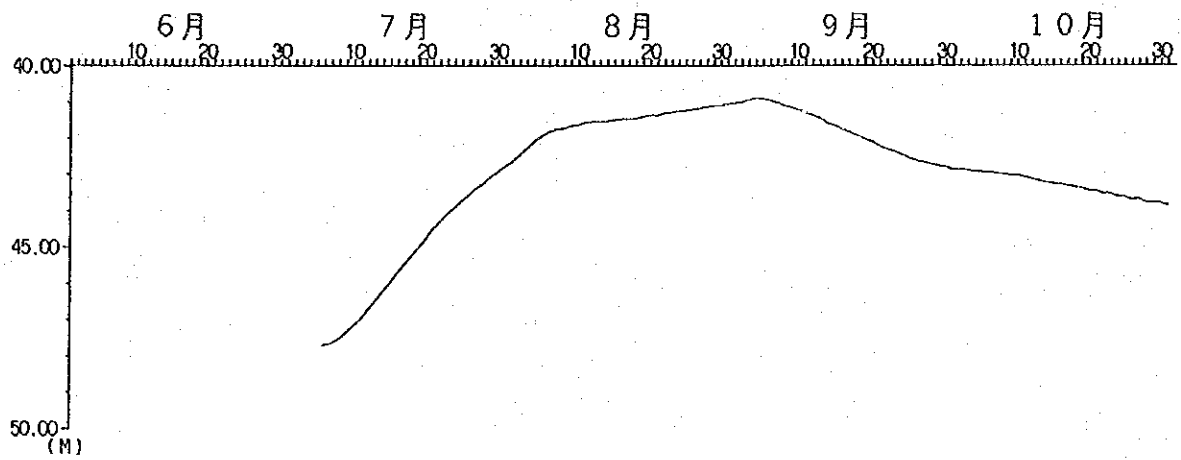
S-17、S-19での観測結果は孔壁接触のため不良である。その他のS-1、S-5、S-12での観測結果は図-5-2.4に示すとおりである。S-1、S-5での水位変化はなめらかであるが、S-12は日変動の他、9月29日より始まった群井揚水試験での影響を顕著に示している。

第2次調査の現地調査期間が短くなり過ぎたので、詳細な気圧データの入手ができなかったけれども、S-12の水位の日変動が被圧地下水の特徴を有する可能性があるので、今後、気圧と水位データとの対比を検討していくことが必要であろう。

観測井：S-1



観測井：S-5



観測井：S-12

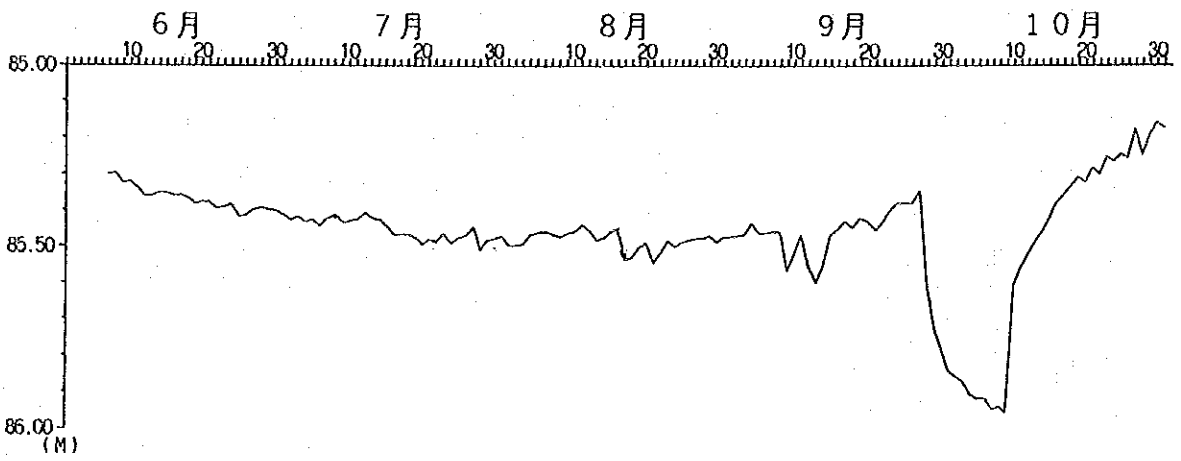


図-5.2.4 自記水位計による地下水位観測

IV. シミュレーション

F. 水収支シミュレーション

	頁
1 シミュレーション解析の目的および作業方針	F- 1
2 シミュレーション解析の構成	F- 4
2. 1 シミュレーションモデル	F- 4
2. 2 入出力データおよびプログラムの編成	F-10
3 地下水水面形状シミュレーション	F-18
3. 1 計算条件の設定	F-18
3. 2 地下水水面形状	F-22
3. 3 地下水流動	F-24
3. 4 現況水収支	F-29
4 群井揚水試験シミュレーション	F-32
4. 1 計算条件の設定	F-32
4. 2 貯留係数と地下水位低下量との関係	F-34
4. 3 井戸干渉についての考察	F-36
5 地下水開発に伴う将来予測	F-37
5. 1 将来予測の計算条件	F-37
5. 2 地下水開発に伴う将来予測の計算結果	F-40
5. 3 地下水開発についての考察	F-44

図リスト

図-1.1	シミュレーション解析作業フロー	F-2
図-2.1.1	3次元帯水層模式図	F-6
図-2.1.2	第2次調査シミュレーション要素図	F-9
図-2.3.1	シミュレーション計算流れ図	F-17
図-3.1.1	境界条件：Bタイプ	F-20
図-3.2.1	地下水面形状再現計算結果	F-23
図-3.3.1	透水係数の分布と地下水流動との関係：均一型	F-26
図-3.3.2	透水係数の分布と地下水流動との関係：2系統型	F-27
図-3.3.3	透水係数の分布と地下水流動との関係：3系統型	F-28
図-3.4.1	地下水収支計算のための单元区分	F-29
図-4.2.1	群井揚水試験再現結果	F-35
図-5.1.1	揚水井の配置計画案	F-39
図-5.2.1	地下水開発に伴う地下水流動の変化	F-42
図-5.2.2	地下水開発に伴う地下水位低下域の伝播	F-43

表リスト

表-1.1	第2次調査水収支シミュレーションの概要	F- 3
表-2.1.1	調査対象地域での水文地質構成	F- 4
表-2.1.2	シミュレーション モデルの比較	F- 6
表-2.1.3	計算領域外周の設定	F- 8
表-2.1.4	シミュレーション解析の計算規模	F- 9
表-2.2.1	入力データ総括表	F-10
表-2.2.2	節点および要素データの作成方法	F-11
表-2.2.3	水文地質構造データ作成方法	F-11
表-2.2.4	透水係数の段階評価	F-12
表-2.2.5	地下水涵養量データ作成方法	F-13
表-2.2.6	シミュレーション計算結果の出力	F-14
表-2.2.7	群井揚水試験再現計算での出力ステップ	F-15
表-2.2.8	地下水開発に伴う将来予測計算での出力ステップ	F-16
表-3.1.1	地下水面形状シミュレーションの計算条件組合せ	F-18
表-3.1.2	第1層の透水係数分布パターンの分類	F-21
表-3.3.1	透水係数の分布と地下水流動との関係	F-25
表-3.4.1	水収支計算結果(ケース6E)	F-30
表-4.1.1	群井揚水試験シミュレーションの計算条件組合せ	F-32
表-4.1.2	群井揚水試験における周辺観測井での水位降下観測結果	F-33
表-4.2.1	貯留係数の影響度	F-34
表-4.3.1	井戸間の干渉	F-36
表-5.1.1	地下水開発区域の範囲	F-37
表-5.2.1	地下水開発に伴う水収支の変化(P1)	F-40
表-5.2.2	地下水開発に伴う水収支の変化(P2)	F-41

1 シミュレーション解析の目的および作業方針

(1) シミュレーション解析の目的

シミュレーション解析は、現実には複雑な現象を、目的に応じて仮定条件を設けて簡素化し、現象を数値計算の場に移行してやり、そこでの計算結果を用いて現象の説明や将来予測を具体的にを行う手法である。

したがって、シミュレーション解析は1種の数値実験的な側面があり、解析結果には仮定条件の影響が残ることを十分理解した上で、開発計画の基礎資料として活用することが望まれる。

第1次調査のシミュレーション解析は、既往資料と第1年次の水文地質調査資料に基づいて水理常数、境界条件等の差異による地下水面形状の再現性への影響を明らかにすると共に、地下水開発に伴う地下水位低下を予測することを目的とした。

第2次調査のシミュレーション解析は、第1年次の解析結果を踏まえ、新規の観測井、揚水井での水文地質資料を加えた①現況の地下水面形状の再現、②群井揚水試験の再現および③地下水開発に伴う将来予測の3つの目的からなる。

(2) 第2次調査のシミュレーション作業方針

第1次調査のシミュレーションは、調査対象地域の水文地質構造が基本的に砂礫層、粘土混じり砂礫層および基盤の3層に区分されることから、有限要素法による準3次元浸透流モデルを用いて行った。第1段階のシミュレーションではパラメータに不確定要素が多く、トライアル計算を数多く必要としたため、それぞれの計算目的に応じたデータの作成を容易にすることと、計算時間を短縮するため、要素の形状は格子型を中心とした。しかし、この格子型のモデルでは、調査対象地域の北側および北東側に位置する谷地形の再現性に限界があった。

第2次調査のシミュレーションでは計算手法は第1次調査と同様の準3次元浸透流モデルを踏襲しているけれども、要素分割は第1次調査の不備を是正するため、地形に合わせ三角形で近似することとし、また、第2次調査の現地調査で得られた新規データを加えてデータベースを更新した。

(3) 作業フロー

解析の作業は、先ず、地下水面形状の再現の定常解析を行い、境界条件、水収支、地下水の流況等を比較検討する。

引き続いて、このモデルで適合性の良い水文地質の諸常数を用いて、群井揚水試験の再現の非定常解析を行い貯留係数を決定する。このようなプロセスを経て定まった条件に基づいて地下水開発に伴う将来予測を非定常解析で行い、下流側に与える影響を検討する。

解析作業の手順は図-1.1に示すとおりである。

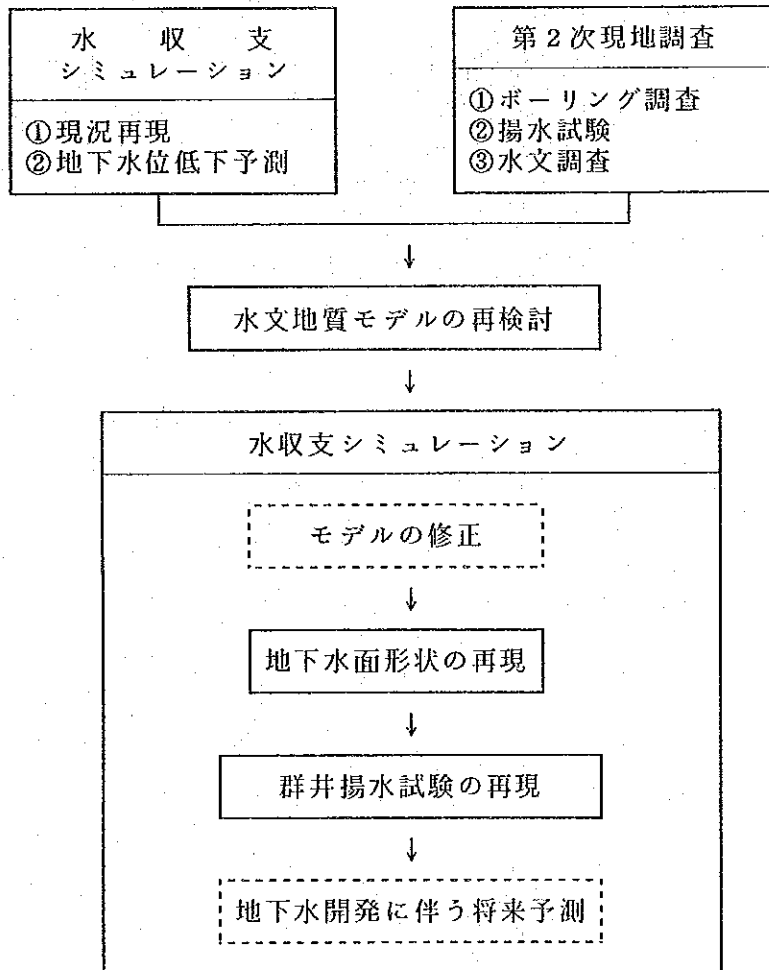


図-1.1 シミュレーション解析作業フロー

(4) シミュレーション解析の概要

第2次調査で実施したシミュレーションは上述したように①地下水面形状の再現、
②群井揚水試験の再現および③地下水開発に伴う将来予測の3つに区分される。

各々の作業内容、計算ケース数および計算結果は表-1.1に示すとおりである。

表-1.1 第2次調査水収支シミュレーションの概要

分 類		作 業 内 容	ケ-ス 数	計 算 結 果
定常 解析	地下水面形状の再現	①透水係数の同定	5	①現況の水収支 ②地下水流動方向
		②地下水涵養量の調整	2	
		③境界条件の修正	4	
非定常 解析	群井揚水試験の再現	①定常解の収束精度の向上	5	①地下水位低下量 ②井戸干渉
		②貯留係数の同定	5	
		③単井での地下水位低下量	4	
	地下水開発に伴う 将来予測	①地下水低下量の計算	2	①地下水位低下量経 時的変化 ②地下水流動の変化
		②計算結果の図化		

2 シミュレーション解析の構成

2.1 シミュレーションモデル

2.1.1 水文地質構造の取り扱い

(1) 地下水盆の構造および水文地質構成

調査対象地域の水文地質の基本的構成は、表-2.1.1に示すように、地下水盆の基盤をなす新第三系の泥岩層（一部にはジュラ層）の上を、第四系の砂礫層と砂礫／粘土の互層の2つの層が覆っており、シミュレーション解析では2層構造の浸透流モデルとして基本的に取り扱うことができる。

表-2.1.1 調査対象地域での水文地質構成

層 序	主な地質	水文地質区分
第1層	砂礫層主体層	主力帯水層
第2層	砂礫／粘土の互層 粘土混じり砂礫層	帯水層
第3層	泥岩	難透水層～不透水層

(2) 断層構造が地下水に与える影響

調査対象地域内で行った電気探査の結果、調査対象地域内での第四系および新第三系中の断層は明瞭な断裂面を有するものではないため、断層沿いに不透水層が形成されたり、高透水性の水みちが形成されている可能性は少ない。

したがって、シミュレーション モデルでは、調査地域内の断層は基盤面の凹凸として処理することができる。

(3) 地下水面形状の推定

井戸の分布が、調査対象地域の中央部から北側にかけて遍在していることや、西山農場の西側の地下水位が高くなっていることから、地下水面形状は扇状地の形状とは異なり、地下水位等高線の推定を難しくしている。

第2年次のシミュレーションでは、新規の地下水位データを加えて初期条件となる地下水位等高線を作成し、透水係数の分布、境界条件、地下水涵養量等を考慮しながら、地下水面の形状を推定することとする。

(4) 地下水流動

地下水流動モデルの基本的構成要素は①地下水の涵養源、②地下水の賦存状況、③地下水の流動方向、④帯水層の水理的性質である。ここでは、現地調査結果、水文地質解析結果、水文資料の分析結果、地下水の水質分布等を考慮して、地下水流動の特徴について述べる。

①地下水の涵養源の想定

全体的に見た調査対象地域内での地下水の涵養源は、主として、農業用水からの地下への浸透であり、降水からの浸透量は少ないものと判断される。

なお、西山農場付近(S-6)の被圧地下水の取り扱いについては、第2年次に掘削したS-2の結果から、この被圧帯水層の分布は小規模であり、独立した別の帯水層であると判定されるので、第四系の帯水層への影響は少ないものとして取り扱う。

②地下水の賦存状況

調査地域内での基盤面は北側で浅く、南側では基盤が深くなる。このため、地下水は北側に位置する基盤の高まりがあるため、これより上流側での不圧地下水が堰上げられた形で湛水し、地下水面の勾配は緩やかである。それとは反対に、下流側では地下水の流路が狭められるため、その勾配は急になっている。

③地下水の流動方向

地下水の流動方向は基本的に扇状地が形成された南北方向に準ずると推定される。なお、調査対象地域西側(西山農場の西側)に地下水位の高い区域については、透水性を低く評価して、全体への影響を少なくすることとした。つまり、均質な透水性をもつ帯水層で考えると、地下水は西から東に向かうこととなり、このことは水質の分布を説明しづらい。

④帯水層の透水性

帯水層の水理的性質は、粒径の大小の他に、堆積後の地下水の流動環境の差異により大きく変化する。地下水が流れ易い所では、地層中に含まれる細粒の土粒子が洗い流され、そこでの透水性は大きくなる。これとは反対に、流動に乏しい所では、そこでの透水係数は大きくなる。特に、烏魯木齊河沿いや基盤岩の谷筋沿いは、地下水の水みちとなり易く高透水性の帯水層が分布するものと推定される。

2. 1. 2 シミュレーション モデルの選定

(1) モデルの選定および計算手法

シミュレーションに用いられる平面2次元、断面2次元、準3次元および3次元モデルの特徴は各々表-2.1.2に示すとおりであり、図-2.1.1に示す調査対象地域での2層構造の帯水層の場合は、準3次元浸透流解析モデルを採用することが最も適している。

数値計算の手法としては、①微分方程式を差分展開した差分法と②微分方程式を積分形に直した有限要素法に大別されるが、任意三角形が取り扱うことのできる有限要素法の方が、計算領域の設定の面で有利であるので、この方法を採用する。

表-2.1.2 シミュレーション モデルの比較

モデル	モデルの特徴	適否判定
平面2次元 浸透流解析	①均一な帯水層の広域地下水解析に適している。 ②データ作成も容易である。 ③解析事例が非常に多い。	適用可能
断面2次元 浸透流解析	①長大構造物の局所浸透流解析に適している。 ②地層別のデータが必要である。	不適
準3次元 浸透流解析	①帯水層の鉛直方向の透水係数、貯留係数の変化を考慮することができる。 ②広域の地下水解析に適している。 ③地層別のデータが必要である。	最適
3次元 浸透流解析	①最も表現力のある解析手法である。 ②重要地下構造物に適用される。 ③地層別の詳細なデータが必要である。 ④計算処理、収束誤差に問題を抱えている。	データが不足する。

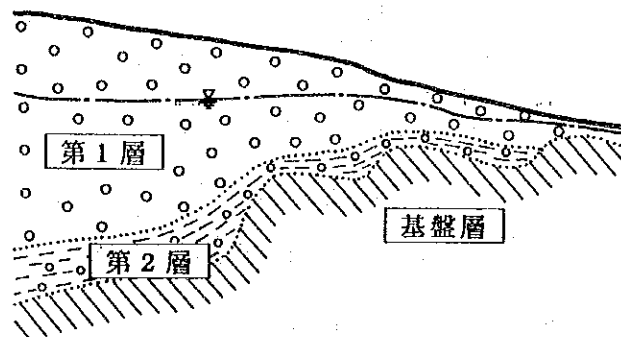


図-2.1.1 3次元帯水層模式図

(2) 準3次元浸透流解析の基礎微分方程式

図-2.1.1に示すような3次元地盤内を流れる浸透に関して、鉛直方向の流れの成分が微少であり、この成分を無視しうるとするモデルの簡素化の条件 (Dupuit-Forchheimer 準一様流の仮定) を適用すると、ダルシーの運動方程式と連続式より次の基礎微分方程式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[T_i \frac{\partial h}{\partial x_j} \right] = S \frac{\partial h}{\partial t} + q \quad (i, j=1, 2) \quad (2.1.1)$$

ここで、 T_i : 透水量係数 h : 全水頭水頭
 S : 貯留係数 x_i : 距離
 i : テンソル表示の添え字 ($i=1, 2$)
 t : 時間 q : 湧出し項

①透水量係数

式 (2.1.1) 中の透水量係数 (T_i) は帯水層各層の透水係数と層厚との積の和として定義される。2層の不圧帯水層と基盤層の一部を考慮した場合の透水量係数は次のように表される。

$$T = K_1 b_1 + K_2 b_2 + K_3 b_3 \quad (2.1.2)$$

ここで、 K : 透水係数
 b : 層厚
 $1, 2, 3$: 帯水層を示す添え字 (第1層、第2層、基盤層)

②貯留係数

貯留係数 (S) は、被圧帯水層では対象とする層の比貯留係数 S_s と層厚との積とであり、不圧帯水層では水位が低下することにより単位体積当りの土の間隙から排水される水の量 (有効間隙率) S_y である。調査地域の帯水層は基本的に後者の不圧帯水層である。

③湧出し

式 (2.1.1) 中の湧出し項 q は降雨などにより流入する量や、揚水などにより流出する量である。

2. 1. 3 計算領域の設定および要素分割

(1) 計算領域の設定

計算領域は地下水の流出路となる谷地形を三角形要素で近似し、台地の部分は不透水帯として取り扱った。

表-2.1.3に第1次と第2次調査の計算領域の設定を対比させて示してある。

表-2.1.3 計算領域外周の設定

	第 1 次 調 査	第 2 次 調 査
上流側	調査対象地域の南側は地下水位データがないので上流側の境界を調査対象地域の境界よりも北側に設けた。	同 左
下流側	北側の境界は湧水帯を目安として境界とした。	谷形状を近似し、水みちのみの流路となるので南側に少し移動させた。
西 側	新第三系の丘陵と第四系の扇状地との境界線	地形形状を考慮して近似した。
東 側	調査地域境界線および烏魯木齊河	谷形状を近似し、その他の部分は第1年次と同じである。

(2) 節点および要素

数値計算で取り扱う微分方程式の離散化過程では、水文地質および水理常数等の情報はシミュレーション計算の各節点で入力され、節点以外の所での値は近傍の節点での値により線形補間される。実際には滑らかな平面形状を持つものは、数値計算上では、幾つかの多面体の近似で表現されることとなる。計算領域での分割は多いほど表現力が増すが、それに見合った情報量が必要になり、データの作成、計算処理にも時間を要する。

第1次調査の解析作業は、調査の中途段階での解析でもあり、計算の前提となる基礎条件に不確定な要素も多く含まれている。このため、試行錯誤しながら計算を数多く実施する必要性から、要素形状は格子型を中心として、節点数も少なくした。

第2次調査の解析作業では、地形形状を三角形で近似し、観測井、揚水井等に対応して節点を設けた他、地下水開発の対象となる計画対象地域での要素を密にし、群井揚水試験の再現、地下水開発に伴う将来予測がやり易くなるように配慮した。なお、三角形の要素形状が扁平になると計算上の収束、発散の問題が発生するので、できる

だけ正三角形に近くなるように配慮した。

第1次および第2次調査でのシミュレーション解析の計算規模を表-2.1.4に、また、第2次調査での要素図を図-2.1.2に示す。

表-2.1.4 シミュレーション解析の計算規模

解 析	要素形状	節点数	要素数
第1次調査シミュレーション	格子型	281	262
第2次調査シミュレーション	三角型	354	590

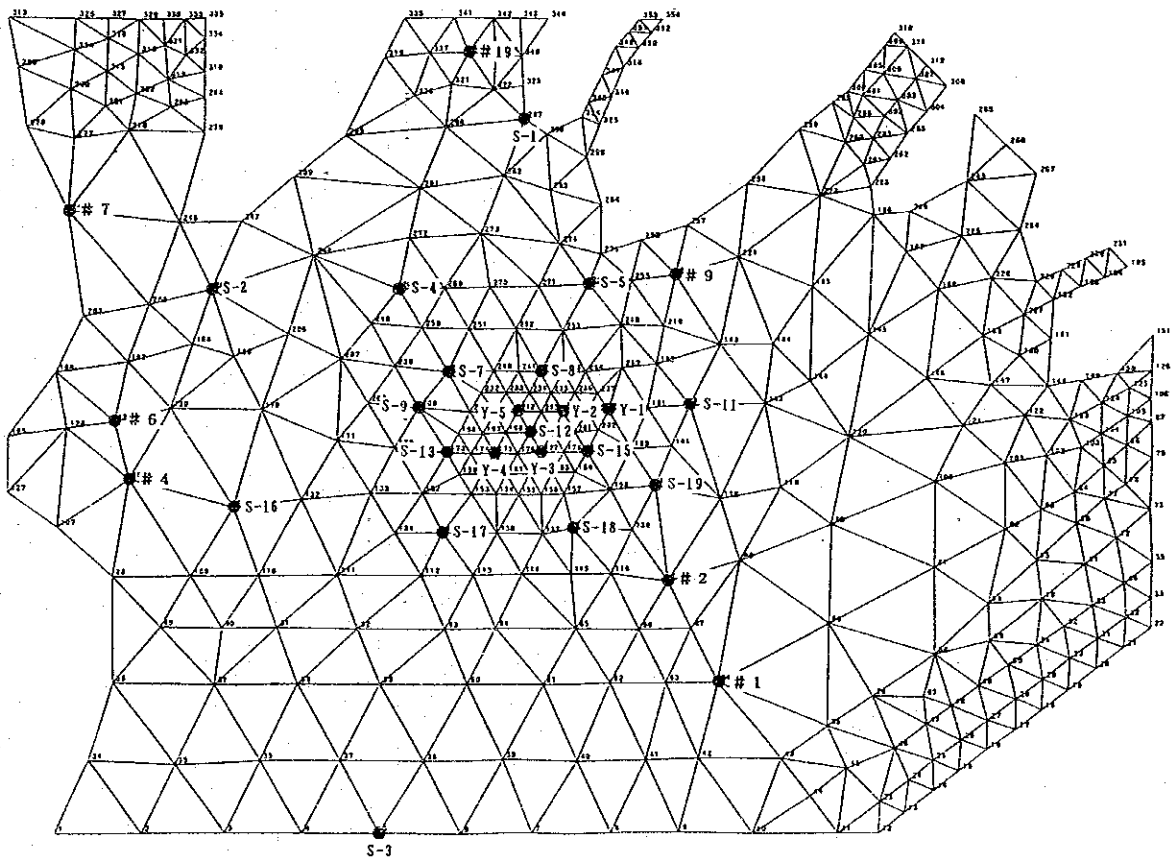


図-2.1.2 第2次調査シミュレーション要素図

2. 2 入出力データおよびプログラムの編成

2. 2. 1 入力データ

(1) 入力データの概要

準3次元浸透流解析プログラムを実行するために必要な入力データは各節点での構造データ、物性データのファイルの他、計算を開始するために初期条件、境界条件を示すファイルおよび計算を制御するための時間ステップ、収束条件の書式を満たすことからなる。

地下水面形状の再現は定常解析であり、群井揚水試験の再現および地下水開発に伴う将来予測は非定常解析である。各々の解析での入力データは表-2.2.1に示す内容で作成した。

表-2.2.1 入力データ総括表

区分	データ	定常解析	非定常解析
構造データ	節点、要素	共通	共通
	層厚、標高	共通	共通
物性データ	透水係数	透水係数の分布を変えて検討する。	定常解析の最適解に同じ。
	貯留係数	定常解析では無視される。	群井揚水試験での地下水位低下域を再現することにより決定する。
	地下水涵養量	地下水涵養量を変えて検討する。	定常解析の最適解に同じ。
初期条件	地下水位	推定地下水面	定常解析の最適解の計算結果。
境界条件	地下水流量または水位	計算が安定してきてから、基盤または台地部との接触部は不透水性境界として取り扱う。	定常解析の最適解に同じ。
計算	時間ステップ	17ステップ	群井揚水試験：27ステップ 将来予測：28ステップ
	収束条件	漸定収束誤差 1 m 以下 収束誤差 1 cm 以下	収束誤差 1 cm 以下

(2) 構成データ

地形図に落としたメッシュ図の節点および要素に番号を振り当て、表-2.2.2に示すようにデータを作成する。

表-2.2.2 節点および要素データの作成方法

項目	データの内容	作成形式
節点データ	地形図上の節点の座標 (X, Y, Z)	読み取り入力
要素データ	要素番号と節点番号との組合せ	同じ

水文地質構造データは、基本的に各層の下面標高データとそこでの層厚データからなる。本シミュレーション計算では表-2.2.3のように作成した。

表-2.2.3 水文地質構造データ作成方法

層序	地層下面標高	作成形式	層厚	作成形式
第1層	基盤面標高に第2層の層厚を加算する	計算	地表面標高から第1層の標高を差し引く	計算
第2層	基盤面標高	読み取り入力	第2層層厚	読み取り入力
第3層	基盤面が浅い所での計算の円滑処理のため、仮想基準面を設けた	定数入力	基盤面標高から仮想基準面の標高を引き算する	計算

注：地表面標高データは節点座標データとして与えられている。

(3) 透水係数

第2次調査で実施した大口徑ボーリングによる揚水井での揚水試験結果から、第1層の砂礫層での透水係数は第1次調査の入力データ（透水係数 $K = 10 \sim 30$ m/日）より2～4倍程度大きいことが判明した。

透水係数が大きくなった理由は、①従来の小口径ボーリングでのエアリフトによる簡易揚水試験法では透水係数が小さく評価されることと、②今回の揚水井では通水性のよいジョンソンスクリーンを用いて、さく井し、水中ポンプによる本格的な揚水試験を行い、より精度の高い試験結果が得られたことが挙げられる。

したがって、調査対象地域での透水係数は第1次調査よりも大きな値となる。次に地下水流の流向と水質分布との関係から、調査対象地域西側の高地下水位の水質は烏魯木齊河沿いの地下水より塩分濃度の高い水であり、調査対象地域西側から烏魯木齊

に向う地下水流は流動に伴って塩分濃度が低くなることであり、このようなことは現実的でない。このような地下水位の分布と水質分布との関係は、帯水層の透水係数が南北方向に大きく、東西方向に小さいと言う異方性の概念を導入することにより解決した。

調査対象地域での精度の高いデータは今回実施した揚水試験だけであり、この試験結果を計算領域に拡げるためにはマクロな透水係数の分布を仮定する必要がある、このため、第2次調査の透水係数は表-2.2.4に示す段階方式で評価して、入力データを作成した。

表-2.2.4 透水係数の段階評価

層 序	評 価 対 象	ランク	透水係数
第1層	水みちの形成され易い谷筋、川筋	A	100m/日
	水みちに通じる流路(高透水性ゾーン)	B	60
	透水性が中程度と想定される区域	C	10
	地下水の流れにくいと想定される区域	D	5
第2層	第1層の透水係数を考慮する。	D	5~10
第3層	基盤岩の透水係数は流量計算上の影響は大きくないので、第1年次と同じ。	E	0.01

(4) 貯留係数

群井揚水試験での特徴は地下水位降下の伝播速度が揚水井の極く周辺で特に速いことである。これを従来の方法で解析すると、貯留係数が極端に小さくなる。このことは地下水賦存量が小さくなることを意味する。

しかし、群井揚水試験での地下水位低下域の拡がりについて見ると貯留係数が極端に小さいとは考えにくいので、特に、第1層の不圧地下水については有効間隙率に近い計算条件を基準に数ケースの入力データを作成した。

また、各層の貯留係数は第1次調査と同様に均一型と仮定した。

(5) 地下水涵養量

透水係数の値が第1次調査に較べて2~4倍大きくなったことから、地下水涵養量を大きく評価することとした。地下水涵養量の算定方法は第1年次と同様に表-2.5.1に示すとおりである。

表-2.2.5 地下水涵養量データ作成方法

項目	作成方法	パラメータの内容
地下水涵養量	読取り入力 + 計算処理	計算式 $\varepsilon = \alpha \times I_r \times A \times R_i \times \beta$ ε : 地下水涵養量 α : 単位換算係数 I_r : 単位面積当りのかんがい水量 A : 節点が代表する面積 R_i : 節点が代表する耕地面積率 β : かんがい水の浸透率

(6) 初期条件、境界条件の設定方法

① 初期条件

現況再現シミュレーションの定常解析では、想定地下水面の地下水位を初期値とする。また、地下水開発量予測のための非定常解析は現況再現シミュレーション計算結果の地下水位を初期値として設定する。

② 計算領域外周の境界条件

境界条件は、①地下水位、②流量の数値、または、数式で与えられるが、地下水面形状の現況再現シミュレーション計算の第1段階では、初期条件の地下水位データと計算結果との対比を図り、また、その水収支計算結果に基づいて、入力データの修正作業が容易に行えるように、台地部と接する節点以外の境界条件は水位型で与えた。

計算結果が安定した後、第2段階として西側基盤面との境界での条件を水位型から流量型に変更した。西側の境界付近は耕作地であるので、それに対応する浸透量を流量で与えた。高地下水位と接する境界節点では、高地下水位分布域を再現するため、地下水流入量を適宜追加して、想定地下水位と計算水位とを調和させた。

更に、西山農場の西側に位置する基盤の高まりは計算の収束が悪いので、これに対応する節点を $q = \text{一定}$ の内部境界条件に修正した。

2. 2. 2 出力形式

(1) 出力項目

準3次元浸透流解析プログラムを走らせると、各計算ステップ毎に、水位、流量のデータが更新されていく。これら全てのデータを記憶させておくことは大型電算機内の割当て記憶容量を大きく取るので、計算結果として必要なものを重点的に保存する方式を取った。

また、計算結果を判断し易くするため、表-2.2.6に示すように、出力として保存した水位および流量データを①図化プログラムを用いて図化出力する方法と、②目的に応じて集計計算し作表する方法を用いた。

表-2.2.6 シミュレーション計算結果の出力

出力項目	出力目的	地下水面 形状再現	群井揚水 試験再現	地下水開発 将来予測
①入力データ	地層データ、地下水面(初期条件)等の入力状態の確認	○	—	—
②地下水位等高線 図	1)地下水面形状の再現 2)地下水面形状の変化	○	◎	◎
③誤差コンター図	1)初期水位と計算水位との差 2)地下水位低下量	○	◎	◎
④流量ベクトル図	1)地下水の流向の検討 2)地下水の流向の変化把握	○	◎	◎
⑤水収支集計表	水収支準元毎の地下水流入 流出量の検討	△	—	○
⑥水位経時変化図	特定節点での地下水位の経 時変化の把握	まれに	○	○
⑦水位、流量データ	計算結果に不備のある場合 のデバッグ作業用	まれに	—	—

注. ◎：計算領域の全体図と揚水井周辺の拡大図の出力

○：計算領域の全体図の出力

△：地下水面形状再現計算で結果の良好なものについて出力

(2) 地下水面形状再現の計算方法と収束条件

水収支計算に適用した準3次元解析プログラムは非定常解析用の汎用プログラムであるので、定常解析である現況再現シミュレーションの解は、最初に設定した初期条件、境界条件から計算を始めて、境界条件の影響が計算対象領域内の全域に広がって、領域内での各節点の地下水位がある一定値に収束することとして求められる。

定常解の収束条件は、計算結果と比較するため第1年次と同様に時間ステップ毎の各節点での計算値(地下水位)の収斂差が1 m以下とした。

一方、群井揚水試験での再現計算では、群井揚水試験による地下水位低下の影響を把握するため、地下水面形状再現計算の最適解の収斂誤差が1 cm以下になるように再計算を行い、計算精度の向上に努めた。

(3) 群井揚水試験再現の計算方法と出力ステップ

1989年9月28日22時から10月10日15時まで実施された群井揚水試験のシミュレーションは、揚水井に対応する節点に揚水量の条件を与えて計算される。初期条件の地下水位は上述のとおり地下水面形状再現計算の収束解を用いる。

準3次元浸透流プログラムの計算時間ステップの仕様は指数型と定間隔の2種であるため、この2種類の形式を併用して時間ステップを定めた。表-2.2.7に示す累計時間に達した計算ステップで、図化出力のために計算結果が記憶装置に送信されるようにした。

表-2.2.7 群井揚水試験再現計算での出力ステップ

出力ステップ	計算ステップ	累計時間
1	1	1 時間
2	7	2 日
3	15	6 日
4	27	12 日

注. 時間ステップ間隔: min 1時間、max 12時間

(4) 地下水開発に伴う将来予測の計算方法と出力ステップ

掘削を予定している揚水井の候補地点に対応する節点に揚水流量の条件を与え、開発対象期間を30年として計算する。

出力ステップは表-2.2.8に示すとおりである。

表-2.2.8 地下水開発に伴う将来予測計算での出力ステップ

出力ステップ	計算ステップ	累計時間
1	5	31日
2	7	127日
3	9	511日
4	11	1095日(3年)
5	18	3650日(10年)
6	38	1095日(30年)

注. 時間ステップ間隔: min 1日、max 365日

2.3 プログラムの編成

準3次元浸透流解析のプログラム編成は次の3つからなる。

- ①前処理プログラム: 各種データファイルから解析プログラムへの移行
- ②解析プログラム: 準3次元浸透流計算
- ③後処理プログラム: 出力データの図化処理等

データ作成から図化出力までの流れは図-2.3.1に示すとおりであり、プログラムの実行は①前処理、②解析、③後処理の順に対話形式で処理された。

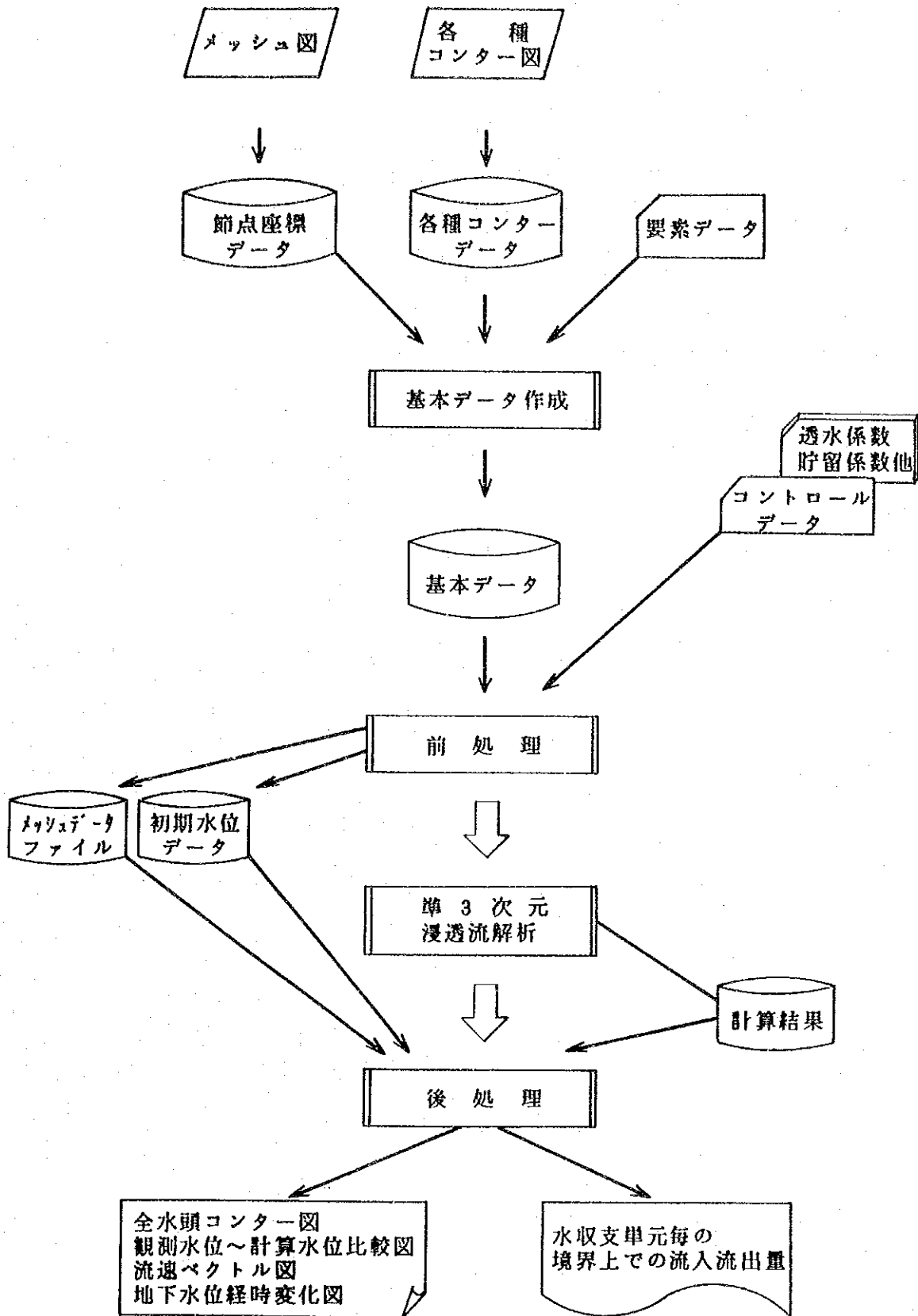


図-2.3.1 シミュレーション計算流れ図

3 地下水面形状シミュレーション

3.1 計算条件の設定

(1) 計算条件の組合せ

計算条件の組合せは、①地下水面形状の境界条件、②地下水盆内の透水係数の分布、および③地下水涵養量に関する条件の組合せである。

計算の実施は第2年次現地調査に基づく推定地下水面を出発点として、表-3.1.1に示すように、得られた計算結果を参考にしながら、より現実の地下水面形状および流況に近い計算結果が得られるように試行錯誤法で行った。

表-3.1.1 地下水面形状シミュレーションの計算条件組合せ

計算ケース	透水係数の分布	かんがい水 (mm/年)	浸透率 (%)	西側流入量 (m ³ /日)*	境界条件	備考
1	タイプ-1	800	20	—	O	収斂せず
2	タイプ-2	800	20	—	A	—
3	タイプ-2	800	40	—	A	—
4	タイプ-3	800	40	—	A	—
5	タイプ-4	800	40	—	B	—
6	タイプ-5 A	800	40	—	B	—
6 A	タイプ-5 A	800	20	—	B	—
6 B	タイプ-5 A	800	40	440	B	—
6 C	タイプ-5 A	800	40	880	B	—
6 D	タイプ-5 B	800	40	880	B	—
6 E	タイプ-5 B	800	40	1200	B	最適解とする

*) 1 接点当たりの流入量

(2) 地下水涵養量

帯水層の透水係数が揚水試験の結果第1次調査のシミュレーションで用いた値の2倍以上に評価されると、地表面から地下への涵養水量も2倍程度増加させないと地下水面形状の再現性が悪くなることが予見された。

このため、計算ケース2および3では耕地での単位面積当りのかんがい水量を第1

年次と同様800mm/年を用いて浸透率20%と40%とで比較計算を行った。その結果、浸透率を40%にした方が地下水面形状の再現性のよいことが数値計算でも示された。

地下水涵養量に関する入力データは、単位面積当りのかんがい水量800mm/年と浸透率40%であるが、これは単位面積当りの地下への浸透水量が320mm/年と推定されるということである。

(3) 境界条件

境界条件は3種類(O型、A型、B型)に区分されるが、O型は計算が収斂せず不適であり、A型は計算を安定させるため計算上不安定であった西側境界を水位固定で与えた過渡的なプロセスのものである。B型はA型の計算結果を検討し、西側境界を流量型の条件に修正したものである。したがって、シミュレーションでは図-3.1.1に示すB型の環境条件を3種類の中で最適とする。

—— : 水位一定境界

—— : 不透水境界

■■■■■■■■ : 流量一定境界

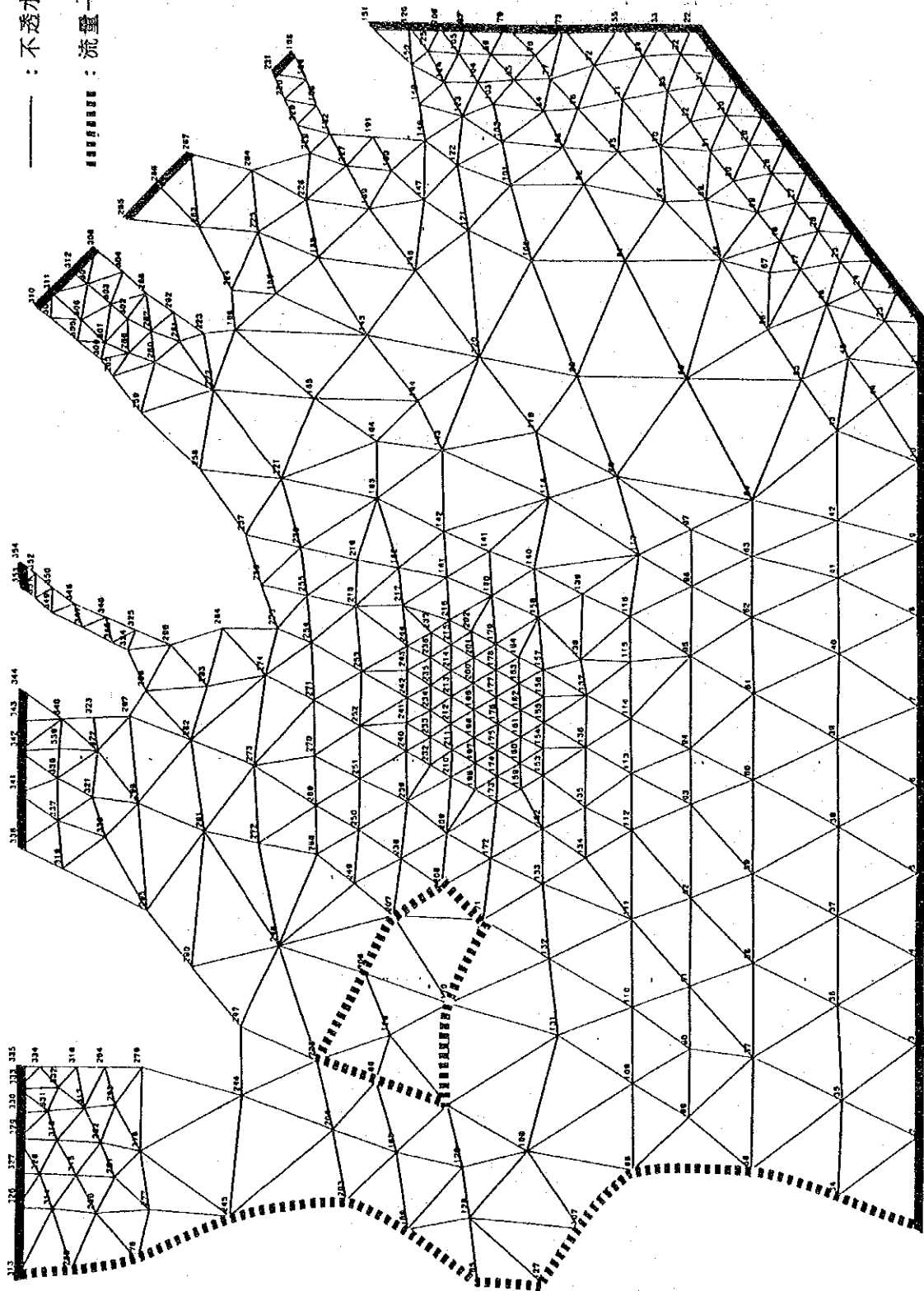


図-3.1.1 境界条件：Bタイプ

(4) 透水係数の分布

揚水井での揚水試験結果から第1層（砂礫層）の透水係数が大きいことが判明した。帯水層の透水係数の分布は第1層の透水係数の段階評価が中心で、第2層（粘土／砂礫層の互層）は透水性も低く、また、分布が偏っていることもあり、第一段階では均一と仮定した。その後、第1層の透水係数の分布を考慮しながら第2層の透水係数を微調整することとした。

第1層の透水係数の分布パターンは、次のような仮定の下に第1段階のデータを準備した。

- ① 谷地形沿いに水みちが発達している。
- ② 台地部分の透水性は低い。
- ③ 西山農場西側の高地下水位の区域の透水性は地下水等高線が密となっているので、この区域の透水性が低い。
- ④ 計画対象地域の南側の地下水盆（基盤が深くなる地域）の透水係数は高透水性で均一分布とした。

計算結果として得られる地下水位等高線図、流量ベクトル図および誤差分布図を用いて、透水係数の分布に関する入力データは次の3つの条件をできるだけ満たすように修正を加えた。

- ① 初期水位（推定地下水面）と計算水位との誤差の縮小
- ② 地下水の水質分布特性に合った地下水流動方向の再現
- ③ 烏魯木齊河側の基盤面の高まりによる透水性への影響評価

このような計算作業の中で用いた第1層の透水係数の分布パターンは表-3.1.2に示す3つに大別される。

表-3.1.2 第1層の透水係数分布パターンの分類

区分	第1層透水係数分布の特徴	透水係数分布形式	備考
I	地下水盆中の高透水域の均一分布	タイプ1, 2	図-3.3.1
II	地下水盆中に2系統の高透水脈の分布	タイプ3, 4	図-3.3.2
III	地下水盆中に3系統の高透水脈の分布	タイプ5A, 5B, 6	図-3.3.3

注、透水係数の分布図は後述の§3.3に示す。

3. 2 地下水面形状

(1) 計算結果の位置づけ

第2年次の現地調査結果に基づいて作成した推定地下水位等高線は、十分な水位データがあるとは言い難く、ある程度の誤差を含むものである。このため、地下水位測定点での測定水位と計算水位がある程度の誤差範囲内に入れば、地下水面形状は再現されたと判断するものとした。

(2) 地下水面形状の再現性

第1次調査の解析結果を参照したこともあり、調査地域の地下水面形状はケース2とケース3の段階である程度の再現性を確保することができた。

それ以降の計算は下記の条件を満たすように地下水面形状の再現性の向上に努めた。

- ① 谷地形沿いの透水係数の調整
- ② 地下水流動方向の適性化
- ③ 高地下水位域の再現性の向上
- ④ 境界条件の適性化

ケース6Eの地下水位等高線は図-3.2.1に示すように、大部分の節点で誤差は2mの範囲内に納まっている。西山農場西側の基盤の高まりと高地下水位分布域については推定水位と計算水位との差が縮まらないけれども、この部分は透水性も低いので、地下水流動に与える影響は少ない。特に、この区域の節点130は、基盤と帯水層が接する節点であり、透水性が不連続の上、地下水涵養もあるので計算の収斂が悪くなっている。

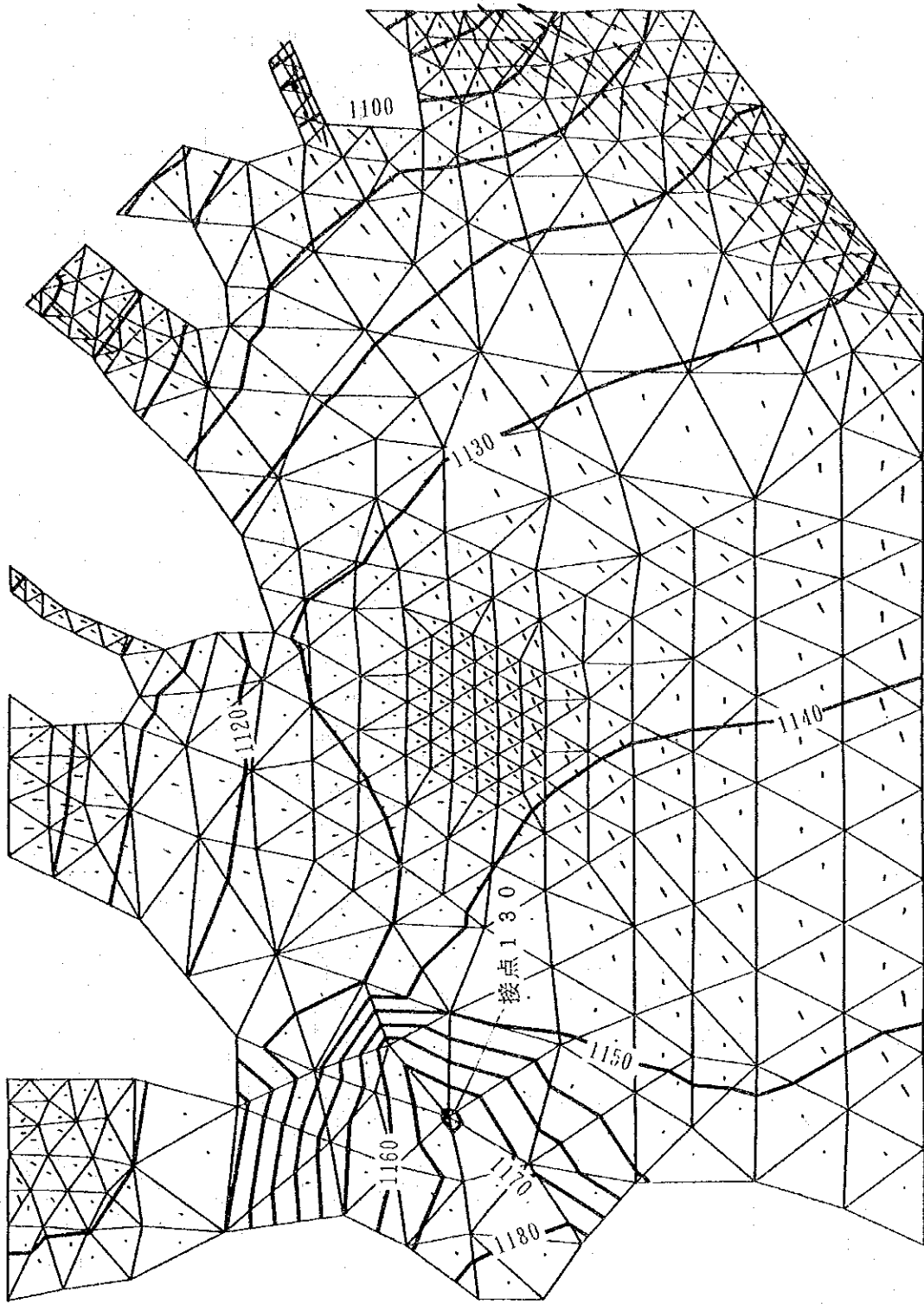


图-3.2.1 地下水形状再现计算结果

3. 3 地下水流動

(1) 基本的アプローチ

透水係数は直交座標系ではX、Y、Z方向に3方向のスカラー量をもつものであるが、今回用いた準3次元プログラムでは透水係数の異方性を厳密に表現することができない。

地形、地質の上でも、扇状地形成過程で堆積物が均一に堆積することはなく、また、その中での透水性が均一で等方媒体になることは少ない。

今回のシミュレーション計算では、地下水面形状がある程度の範囲に再現されたとしても水質分布と矛盾するものであれば、現実の地下水流動にそぐわないと考えられるので、帯状に異なった透水係数を入力することにより透水係数の分布に異方性の概念を導入して数値実験を行った。

また、第1次調査のシミュレーションでも、計画対象地域の周辺の地下水は停滞性で、微妙な条件の差異が計算結果に現れることが知られている。

(2) 第1層の透水係数の分布と地下水流動との関係

第1層の地下水盆中の高透水帯の分布パターンから均一分布型、2系統型および3系統型の3種類の入力条件で検討を行った。各々の条件での地下水流動についての計算結果は表-3.3.1のように要約される。これらの条件の中では、第1層内の高透水帯の分布パターンが3系統型のものが地下水の水質分布および水収支の面から最も整合がよい。現在までの地質調査では計画対象地域の南側に広がる扇状地での情報は少なく、この仮説は確認されていないが、水質組成に大きな差異があることから3系統以上の地下水脈が存在することが考えられる。

いずれの条件でも、調査対象地域での最も大きな流れは烏魯木齊河から大東溝へ流れることを示している。

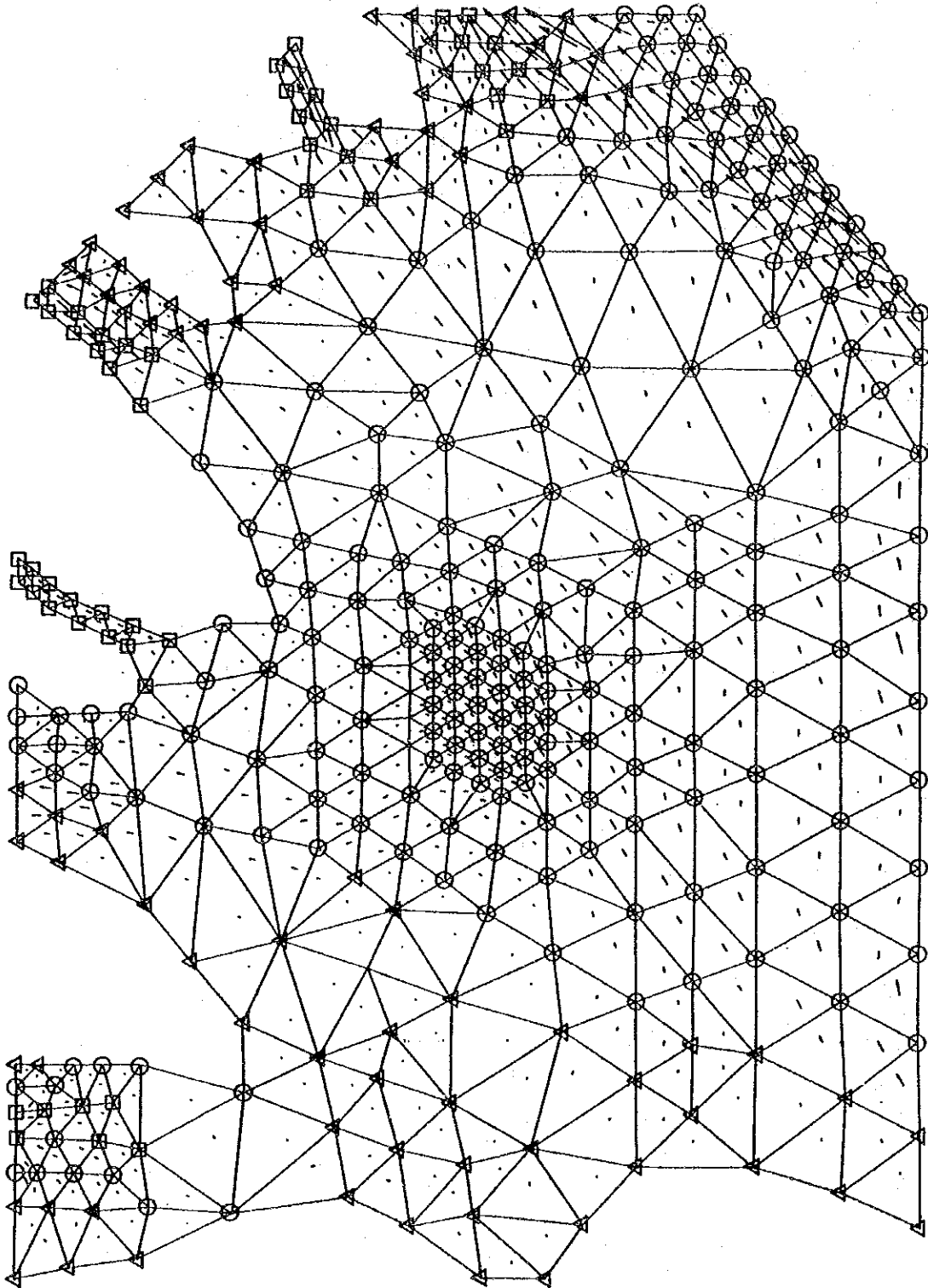
表-3.3.1 透水係数の分布と地下水流動との関係

区分	第1層透水係数分布パターン	地下水流動の特徴	透水係数分布との関係
I	均一分布型	地下水盆での透水係数を均一分布で与えると、地下水の計画対象地域南側の方向は、西南西から東北東であり、一致しない。	図-3.3.1
II	2系統型	2系統型の分布は烏魯木齊河沿いの地下水が淡水に近いものであり、その西側の塩分濃度の高い地下水の流れを分離させる目的で設定した。 この分布形式では南側境界部西側が流出となることや、計画対象地域での地下水面形状がやや低くなる。また、水質分布の面でも依然とし整合していない。	図-3.3.2
III	3系統型	3系統型の分布は2系統型を更に改良して、上述の問題を解決するために設定したもので地下水面形状の再現および水質分布の面でも大幅に改善された。 地下水面勾配の影響の下で透水係数の異方性、つまり、扇状地の勾配方向である南北方向に高透水帯が発達するという概念を導入することにより地下水の流動方向は、①烏魯木齊河沿いの淡水②カルシウム型の地下水③中間型の地下水の3系統に分離して表現できる。	図-3.3.3

(3) 第2層の透水係数の影響度

第2層の透水係数は層相が粘土/砂礫互層があることから、第1層に較べると透水性は低く、分布範囲、層厚も限られているので、計算全体に与える影響は小さい。

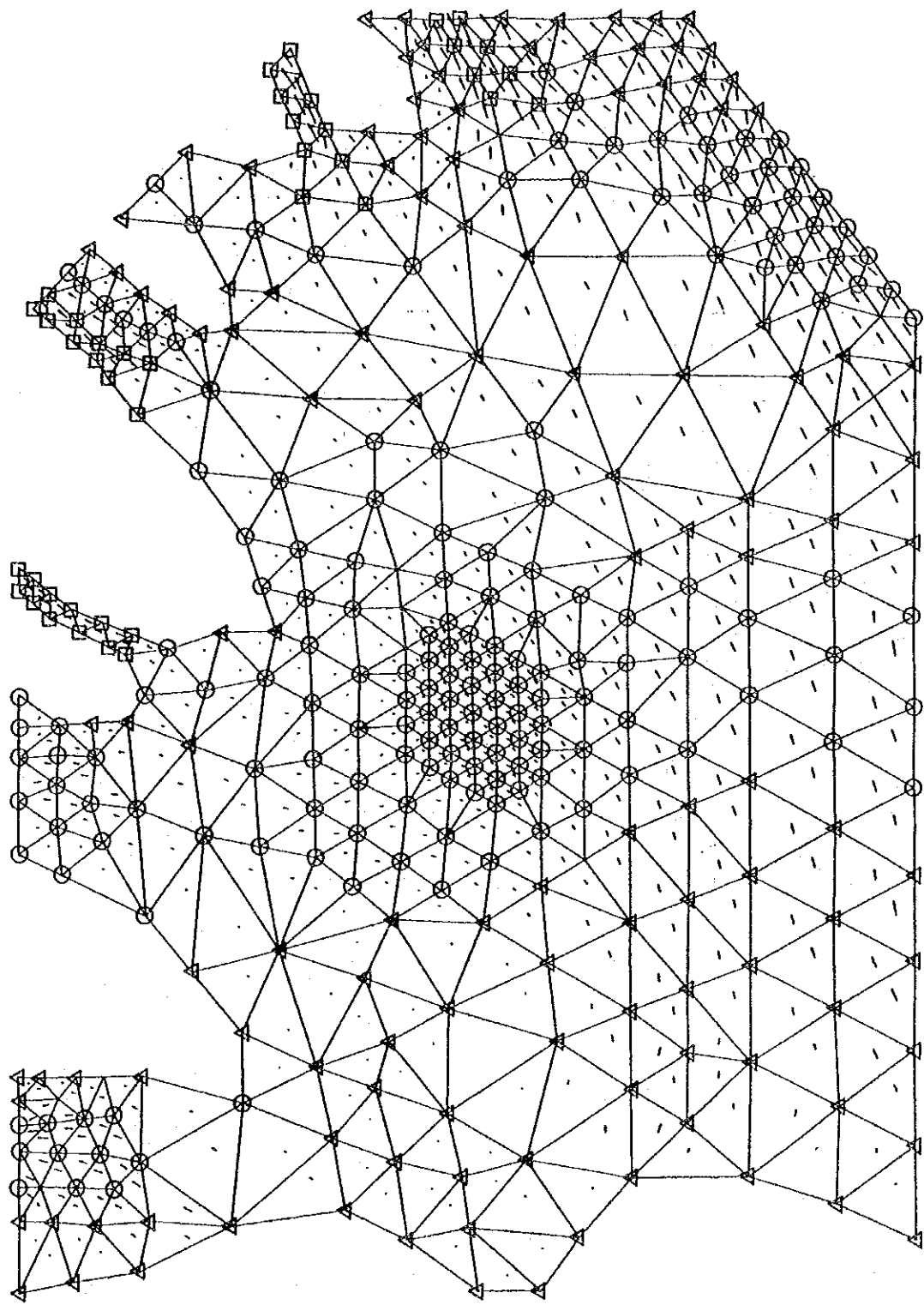
第2層の透水係数の差異により影響のでてくる区域は西山農場の西側の高地下水位分布域で、ここでは第1層の透水係数が低く評価されているので、第2層の流量は地下水流動の上で大きな成分となっている。



透水係数の評価

記号	透水係数 (m/日)
□	100
○	60
△	10
▲	5

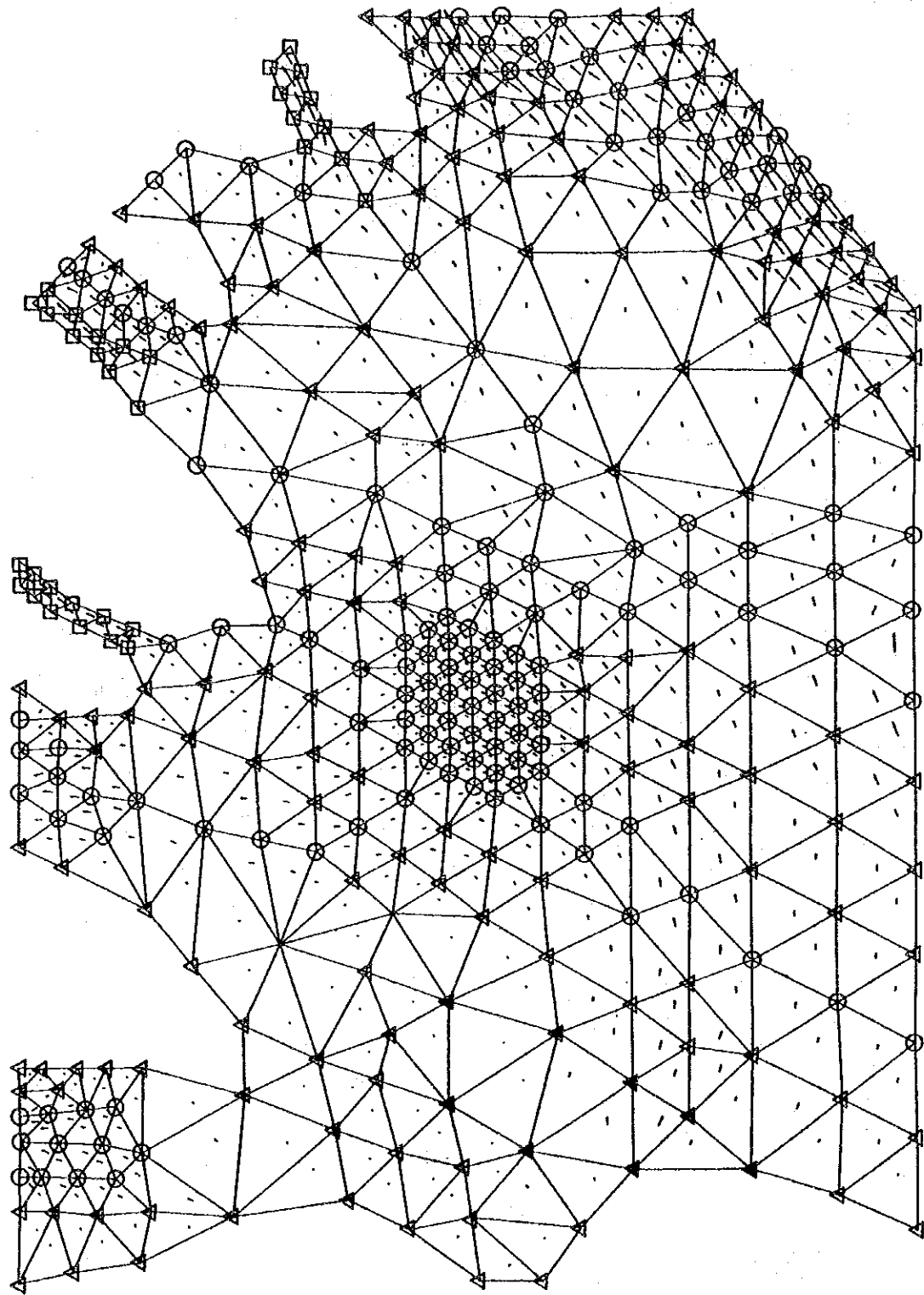
図-3.3.1 透水係数の分布と地下水流動との関係：均一型



透水係数の評価

記号	透水係数 (m/日)
□	100
○	60
△	10
▲	5

図-3.3.2 透水係数の分布と地下水流動との関係：2系統型



透水係数の評価

記号	透水係数 (m/日)
□	100
○	60
△	10
▲	5

図-3.3.3 透水係数の分布と地下水流動との関係：3系統型

3. 4 現況水収支

3. 4. 1 水収支計算

(1) 水収支計算の単元区分

水収支計算、つまり、計算領域内および境界線上での水の出入りの関係を検討するため、各節点で計算された地下水の流入、流出量を図-3. 4. 1に示す単元区分で集計計算した。

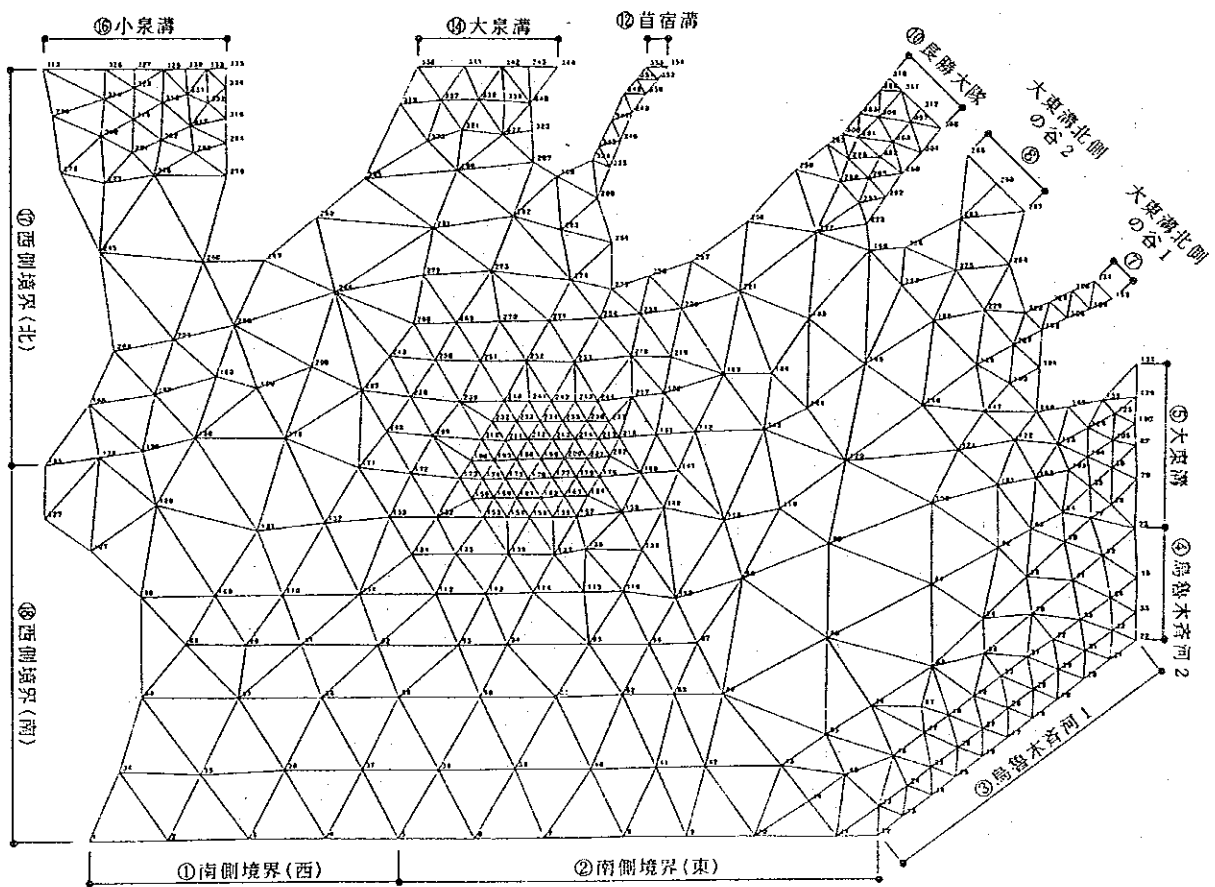


図-3. 4. 1 地下水収支計算のための単元区分

(2) 水収支計算結果

最適解ケース6Eの水収支計算結果について水収支単元毎に地下水流入、流出量および計算領域内での地下水涵養量を集計した。水収支の計算結果は表-3.4.1に示すとおりである。

表-3.4.1 水収支計算結果(ケース6E)

単元		水収支計算上の位置づけ	集計番号	m ³ /日	10 ³ m ³ /年
南側境界	西側	上流側からの流入量	①	11,572	4,224
	東側	〃	②	8,356	3,050
烏魯木齊河	南東側	烏魯木齊河からの流入量	③	19,403	7,082
	東側	烏魯木齊河への流出量	④	-6,085	-2,221
大東溝		下流側への流出量	⑤	-42,885	-15,653
大東溝北側の谷		〃	⑦⑧	-15,015	-5,480
長勝大隊		〃	⑩	-7,928	-2,894
首宿溝		〃	⑫	-1,262	-461
大泉溝		〃	⑭	-12,407	-4,529
小泉溝		〃	⑯	-6,085	-2,221
西側境界	北側	農業用水、新第三系帯水層からの浸透量	⑰	3,581	1,307
	南側	〃	⑱	5,539	2,022
計算対象領域		領域内での農業用水からの浸透量		43,216	15,774

注. 正: 流入量 負: 流出量

3. 4. 2 水収支計算についての検討

(1) 地下水流入量

計算領域の上流側に分布する耕地面積は概算で48km²であり、本シミュレーションと同じ条件（かんがい水量800mm/年および浸透率40%）で求めると、上流での地下水涵養量は $15.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ である。計算領域での上流側からの流入量は、①～③の集計値 $14.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ であり、上流側からの流入地下水が農業用水起源であるとする、上述の数値と比較してほぼ妥当であると考えられる。なお、計算領域西側からの流入量は $3.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ である。

(2) 地下水流出量

① 烏魯木齊河から大東溝

烏魯木齊河から大東溝にかけての地下水は重炭酸カルシウム型の地下水であり、その水質が非常に良好であるので、この系統の地下水の流動は多いと考えられる。この地下水は三通碑水源地の直上流部に湧水しており、その規模が大きい。

② 大泉溝

大泉溝下流に位置する永豊郷煤砒での地下水揚水量は250万m³/年（12万m³/月）程度である。また、途中にも湧水帯があり、農業用水として利用されている。第1次調査のシミュレーションでは、うまく表現できなかったが、今回のシミュレーション結果では大泉溝流域への地下水の流出量が $4.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ あり、この量は地下水基底流出量として妥当であると思われる。

③ 小泉溝

調査対象地域西側の新第三系の丘陵からの地下水流入量を低く評価したため小泉溝の地下水流出量は、第1次調査のシミュレーション計算結果より大幅に小さくなった。計算結果は $2.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ であり、65ℓ/秒である。計算領域の下流側6kmの湧水測定での流量は39～135ℓ/秒であり、小泉溝の地下水流出量はやや少な目であるが、地下水基底流出成分の一部と見れば計算条件設定の誤差範囲にある。

この小泉溝の地下水は水質的に独立したものであり、基盤である新第三系ないしはジュラ系からの地下水の供給を今後考慮に入れる必要がある。

4 群井揚水試験シミュレーション

4.1 計算条件の設定

(1) 計算条件の組合せ

群井揚水試験結果の再現シミュレーションは、地下水面形状再現で得られた結果を基に、揚水井での揚水量の条件を加えて行った非定常解析である。計算結果と群井揚水試験井の周辺で測定された地下水位低下量を対比し、この誤差が少なくなるように帯水層の貯留係数の条件を変えて計算を試みた。

揚水井とその近傍の水位観測井と地下水位降下量の関係から解析手法で求めた貯留係数は不圧地下水の貯留係数としてはかなり小さな値となったので、この点を確認するためもう少し広域での地下水位の低下伝播の状況を再現しうる貯留係数を求めた。

続いて、群井揚水試験での井戸間の水位干渉を検討するため、貯留係数の最適値を用いて各揚水井毎の単井での揚水シミュレーションを行った。

計算条件の組合せは表-4.1.1に示すとおりである。

表-4.1.1 群井揚水試験シミュレーションの計算条件組合せ

計算 ケース	透水係数	貯留係数		涵養量		境界 条件	揚水量 (m^3 /日)	
		第1層	第2層	涵養量 /浸透率	西側 流入量			
群井揚水試験	T1	タイプ-6	0.15	0.0015	800/40	1200	B	Y2=3845, Y3=2880 Y4=2938, Y5=3485
	T2	タイプ-6	0.12	0.0015	800/40	1200	B	同上
	T3	タイプ-6	0.08	0.0015	800/40	1200	B	同上
	T4	タイプ-6	0.02	0.0015	800/40	1200	B	同上
	TT	タイプ-6	0.12	0.0015	800/40	1200	B	ケースT2に対して収束を高めるための定常計算
単井揚水試験	Y2	タイプ-6	0.12	0.0015	800/40	1200	B	Y2=3845
	Y3	タイプ-6	0.12	0.0015	800/40	1200	B	Y3=2880
	Y4	タイプ-6	0.12	0.0015	800/40	1200	B	Y4=2938
	Y5	タイプ-6	0.12	0.0015	800/40	1200	B	Y5=3485

注 ・非定常計算に使用する初期水位は、定常計算ケース6Eの計算水位を用いた。

・非定常計算で用いている透水係数分布図はタイプ5Bの井戸Y-2周辺の透水係数を一部変更したものである。

(2) 群井揚水試験結果

群井揚水試験は1989年9月27日22時から10月9日15時までY-2、Y-3、Y-4、Y-5の4本の揚水井を同時に揚水をすることによって行われた。水位測定は試験開始前から揚水終了後、水位が回復するまで1週間程度にわたり、揚水井および周辺の観測井で実施された。

周辺観測井での水位降下の状況は表-4.1.2に示すとおりである。

表-4.1.2 群井揚水試験における周辺観測井での水位降下観測結果

観測井	最寄りの揚水井 までの距離(m)	水位降下 開始時間(分)	最大水位降下量 (cm)	最大水位降下発生時 (分)
S-2	4880	1435	13cm	4408~5145
S-3	6500	1365	47cm	65874
S-4	2770		水位上昇	
S-5	1930			
S-7	1200	1380~5070	20cm	13000~15145
S-8	700	1380	16cm	16680~16950
S-9	1330	2880	7cm以上	測定中断
S-10	12	2	76cm	13072~16852
S-11	1900	6542	8cm	14419~15175
S-12	350			
S-13	700	1380	13cm 8cm	15240~15960 13080~15960
S-15	700	1380	15cm	14520~15240
S-16	3950		水位上昇	
S-17	1400	不明瞭	9cm	60450~64043
S-18	1200	1080 1380	17cm 9cm	15200 14440~15200
S-19	1770		水位上昇	
W-9	15	1	320cm	13080~16860
大東溝	5430	3630	4~8cm	

(3) 計算結果の収斂

群井揚水試験では、揚水井の周りに生じる地下水位低下域の拡がりを検討する必要から、初期条件の地下水位および各計算ステップでの収斂精度はcm単位とした。

4. 2 貯留係数と地下水位低下量との関係

(1) 貯留係数の影響度

貯留係数が群井揚水試験により生じる地下水位低下に与える影響は表-4.2.1に示すとおりである。

表-4.2.1 貯留係数の影響度

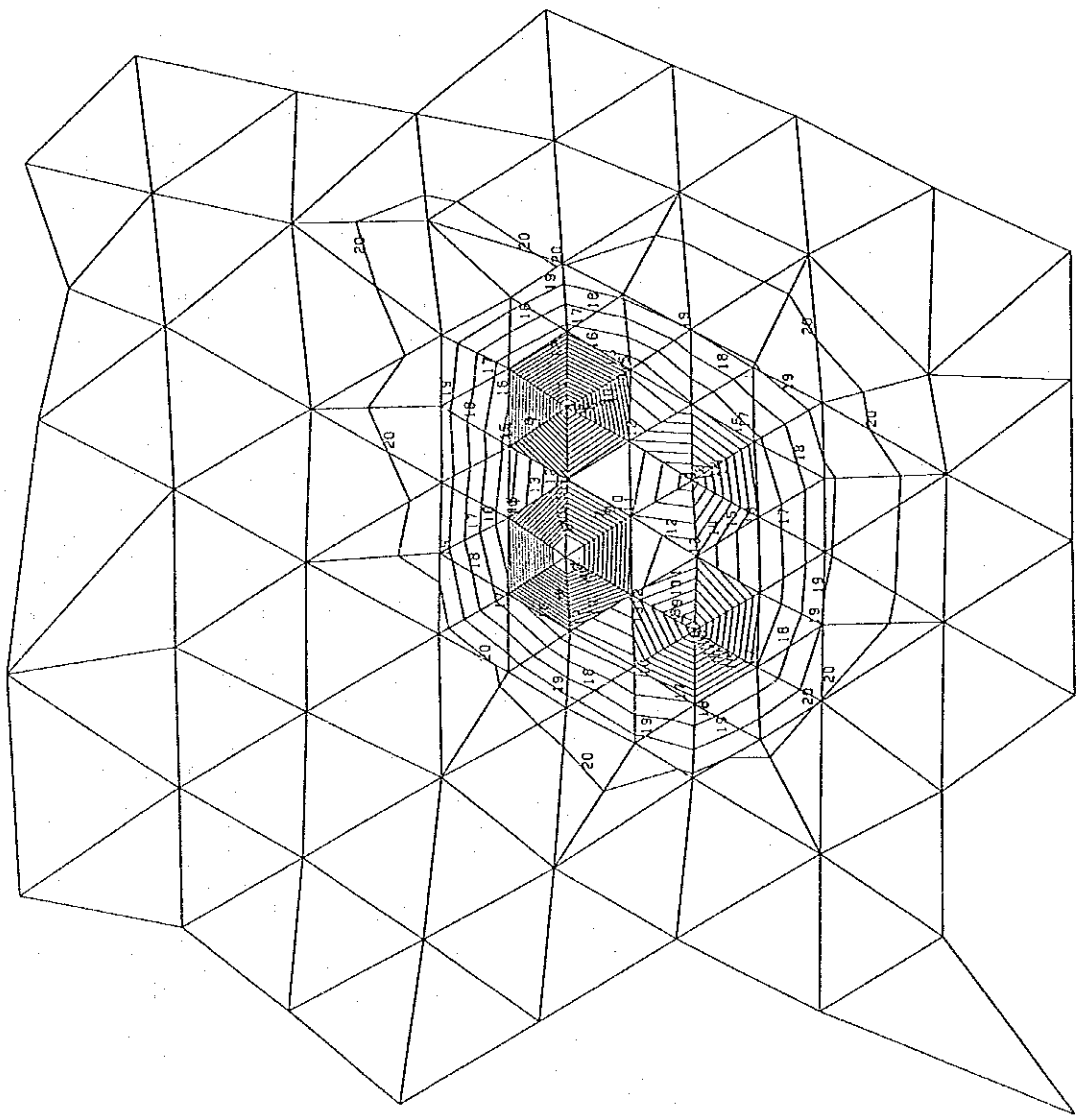
	不圧状態での貯留係数	被圧状態での貯留係数
第1層	貯留係数が大きければ、地下水位低下速度および、その影響範囲の拡大速度も小さい。一方貯留係数が小さくなれば、その逆の結果となる。	地下水位の低下量の大きい区域が広範囲にわたる。
第2層	計算に与える影響はほとんどない	同 左

(2) 計算結果

群井揚水試験実施中の揚水井から約700 mに位置する観測井S-8、S-13、S-15での地下水位低下量は15cm程度であり、このような水位低下を再現しうる計算結果を最適解とした。

計算ケースTT（最適解）での貯留係数は第1層で0.12、第2層で0.0015であり、計算結果は図-4.2.1に示すとおりである。

実際の水位観測結果と計算結果の対比は資料集に示してある。



- 1) 1.0000
- 2) 0.9500
- 3) 0.9000
- 4) 0.8500
- 5) 0.8000
- 6) 0.7500
- 7) 0.7000
- 8) 0.6500
- 9) 0.6000
- 10) 0.5500
- 11) 0.5000
- 12) 0.4500
- 13) 0.4000
- 14) 0.3500
- 15) 0.3000
- 16) 0.2500
- 17) 0.2000
- 18) 0.1500
- 19) 0.1000
- 20) 5.00-2

貯留係數

第1層	0.12
第2層	0.0015

圖-4.2.1 群井揚水試驗再現結果

4. 3 井戸間の干渉

井戸間の干渉については理論解を用いても評価できるが、ここでは透水性、層厚等の変化を考慮するため、表-4.3.1に示すように群井揚水試験と単井揚水試験との計算値の比較を行った。

群井揚水試験の再現では揚水井近傍での要素数が少ないので、水位降下量は理論値よりやや小さくなる傾向がある。

また、揚水井 Y-2での水位降下量を大きく算定できるように、この周辺での透水係数を低く評価して計算してみた。計算結果にはそれほど大きな変化はないので、ここでの水位降下が大きくなる要因としては粘土/砂礫層のピエゾ水頭が第1層の砂礫層よりも高いことが考えられる。Y-2 以外での粘土/砂礫層のピエゾ水頭は第1層の砂礫層との差異が少ないものと推測される。

シミュレーション解析では群井揚水での水位降下量は単井揚水での水位降下量の1.1~1.4倍であろうと推定される。水位降下量の絶対値が1~3m と非常に小さいので、水位低下による電力消費量への影響は少なく、したがって、揚水効率の低下もほとんどないと判断される。

表-4.3.1 井戸間の干渉

揚水井	実測値 (m)	群井揚水 (m)	単井揚水 (m)	水位降下量の増加率 (単井/群井:%)
Y-2	-3.80	-1.10	-0.99	111
Y-3	-0.83	-0.63	-0.45	140
Y-4	-1.21	-0.74	-0.63	117
Y-5	-1.85	-1.21	-1.06	114

5 地下水開発に伴う将来予測

5.1 将来予測の計算条件

(1) 基本条件

地下水開発計画の観点からは、農業用水を主体とする地下水涵養形態の方が、第1年次のシミュレーションで検討した新第三系丘陵部よりの地下水流入量を大きめに評価する形態のものに較べて、計画を立案する上で安全側に働くので、農業用水を主体とする地下水涵養形態の定常解析解を、地下水開発に伴う地下水位低下の将来予測のための非定常解析の基本データとすることとした。

(2) 地下水開発区域

第1次調査シミュレーションによる地下水開発可能量の試算結果および第2次調査の揚水試験の結果から、計画対象地域での地下水開発区域は次のような制約を受ける。

表-5.1.1 地下水開発区域の範囲

開発区域の境界	地下水開発上の制約条件
①東側境界	Y-1のように硫酸イオンが400mg/lを越える。
②西側境界	西側に位置する基盤の高まりにより揚水効率が落ちる。
③南側境界	地下水面までの深度が深くなり、揚程が大きくなるので、揚水ポンプの能力および消費電力が大きくなる。
④北側境界	北側に位置する基盤の高まりにより揚水効率が落ちる。

(3) 地下水開発水量

地下水開発量を設定する上での水収支計算結果からの指標は次のとおりである。

① 農業用水からの灌漑水量

計画対象地域の位置する烏魯木齊河左岸で使用される農業用水は約8500万 m^3 /年であり、この内の40%にあたる約3400万 m^3 /年が地下に浸透すると推定される。

② シミュレーション計算領域内での地下水涵養量

計算領域内での農業用水からの地下水涵養量は1580万 m^3 /年程度と推定される。

③ 計画対象地域の上流側からの地下水流入量

計画対象地域の上流側、計算領域の南側境界からの地下水流入量は1,440万 m^3 /年程度と推定される。

また、烏魯木齊市西山地区での給水事業を増強するための供給水量として、市当局は日量3万 m^3 （約1100万 m^3 /年）以上の供給を希望している。この水量は上述の水収支計算結果からみて開発可能と判断される。

（4） 井戸配置計画

第2年次に実施した大口径ボーリングによる揚水試験の結果、計画対象地域の帯水層は極めて良好である。揚水井1本当り3000～3500 m^3 /日の揚水が可能である。

日量3万 m^3 を開発するためには10本の揚水井が常時稼働していることとなる。このためには、地下水位低下の抑止と井戸の維持管理のために井戸の稼働率を65%程度と仮定すると、揚水井は15本必要になる。このため第2年次に掘削した揚水井5本の他に、新規に10本掘削することが必要である。

井戸の配置は既設揚水井を活用することと、揚水井で汲み上げられた地下水を効率よく集水するため、集水ラインは3系統とし、1系統の集水ラインは基本的に350 m間隔で5本の揚水井を配置する。

3系統の集水ラインの内、2系統は①揚水井 Y-2と Y-5を結ぶラインと②揚水井 Y-3と Y-4を結ぶラインである。残りの1系統については、揚水井 Y-3と Y-4を結ぶラインの南側に設ける案と、揚水井 Y-2と Y-5を結ぶラインの北側に設ける案が考えられる。

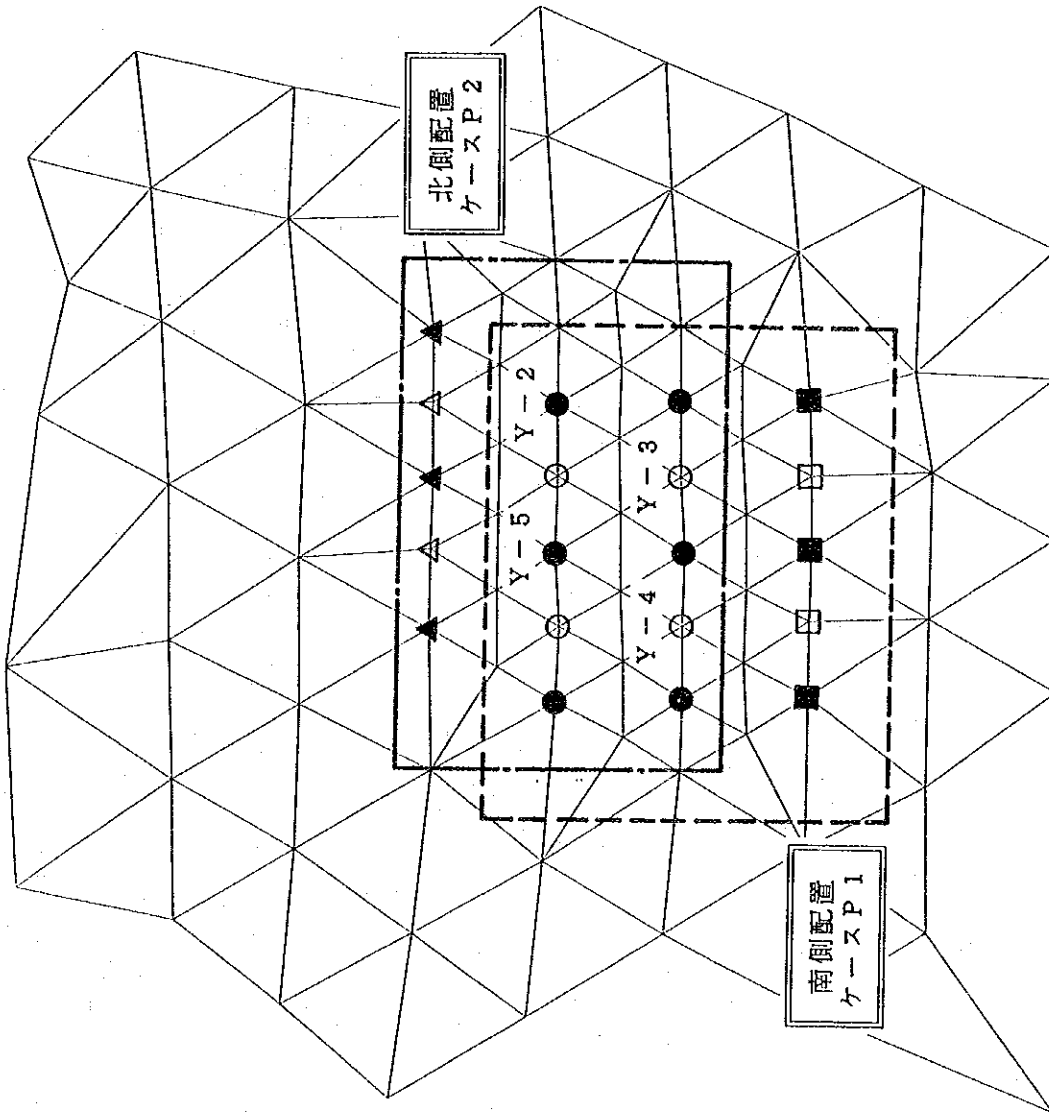
（5） シミュレーション計算での揚水量の表現

日量3万 m^3 の規模での地下水開発に伴う地下水位低下予測のシミュレーション計算では、上述の2つの揚水井配置計画に従って計算を実施する。

①ケースP1：上流側案で揚水井 Y-3と Y-4を結ぶラインの南側に第3の集水ラインを設ける。

②ケースP2：下流側案で揚水井 Y-2と Y-5を結ぶラインの北側に第3の集水ラインを設ける。

各集水ラインでの揚水量は図-5.1.1に示すようにライン両端と中央の3つの揚水井に対応する節点に揚水量の条件を与える。揚水量は3500 m^3 /日/井で、9つの揚水井から31500 m^3 /日の揚水量で揚水し、開発後30年までの地下水位低下の予測を行った。



凡 例

記号	揚水井の位置づけ
●	既設揚水井を含む 集水ライン
■	南側集水ライン
▲	北側集水ライン

注、黒塗：揚水入力節点

図-5.1.1 揚水井の配置計画案

5. 2 地下水開発に伴う将来予測の計算結果

(1) 境界での地下水流入、流出量の変化

地下水開発量に伴う境界への流入、流出量の変化は出力ステップ毎に水収支単元別に集計した。ケースP1およびP2での各単元での流入、流出量の変化は各々表-5.2.1および表-5.2.2に示すとおりであり、地下水位低下量の予測はほぼ同じ計算結果となっている。計算領域の境界上での地下水の流入、流出量の変化は次のとおりである。

① 地下水開発に伴う基本的変化

南側（上流側）からの流入量が2.3倍ほど増大し、大泉溝および首宿溝への地下水流出量が30%ほど減少する。長勝大隊から大東溝北側の谷にかけての地下水流出量の低下は西から東に向かうに従って影響は小さくなる。

② 地下水低下の影響の少ない地域

小泉溝および大東溝への影響はほとんどない。

表-5.2.1 地下水開発に伴う水収支の変化(P1)

単位：m³/日

境界 番号	水収支単元	31日 (1ヶ月)	127日 (約4ヶ月)	1095日 (3年)	3650日 (10年)	10950日 (30年)
①	南側境界西	11,547	11,787	15,352	16,440	16,523
②	南側境界東	8,356	9,893	21,257	24,291	24,509
③	烏魯木齊河南東	19,411	14,457	21,055	21,745	21,798
④	烏魯木齊河東	-6,085	-6,080	-5,800	-5,616	-5,602
⑤	大東溝	-42,884	-42,880	-42,602	-42,349	-42,328
⑦	大東溝北側の谷	-11,292	-11,291	-10,913	-10,460	-10,422
⑧	大東溝北側の谷	-3,712	-3,711	-3,528	-3,272	-3,249
⑩	長勝大隊	-7,884	-7,884	-7,281	-6,214	-6,132
⑫	首宿溝	-1,257	-1,257	-1,109	-772	-710
⑭	大泉溝	-12,404	-12,401	-11,154	-9,241	-8,898
⑯	小泉溝	-6,086	-6,088	-6,084	-6,044	-6,017
⑰	西側境界北	3,581	3,581	3,581	3,584	3,586
⑱	西側境界南	5,539	5,539	5,549	5,553	5,553

表-5.2.2 地下水開発に伴う水収支の変化(P2)

単位：m³/日

境界 番号	水収支単元	31日 (1ヶ月)	127日 (約4ヶ月)	1095日 (3年)	3650日 (10年)	10950日 (30年)
①	南側境界西	11,544	11,677	14,692	15,816	15,907
②	南側境界東	8,321	9,364	20,123	23,415	23,654
③	烏魯木齊河南東	19,410	19,444	21,010	21,763	21,816
④	烏魯木齊河東	-6,085	-6,081	-5,803	-5,605	-5,590
⑤	大東溝	-42,884	-42,880	-42,604	-42,333	-42,311
⑦	大東溝北側の谷	-11,292	-11,291	-10,909	-10,425	-10,383
⑧	大東溝北側の谷	-3,712	-3,711	-3,526	-3,253	-3,228
⑩	長勝大隊	-7,884	-7,884	-7,200	-6,006	-5,915
⑫	苜宿溝	-1,257	-1,257	-1,041	-614	-539
⑭	大泉溝	-12,404	-12,398	-10,666	-8,324	-7,904
⑯	小泉溝	-6,086	-6,088	-6,083	-6,039	-6,010
⑰	西側境界北	3,581	3,581	3,581	3,584	3,586
⑱	西側境界南	5,539	5,539	5,547	5,551	5,552

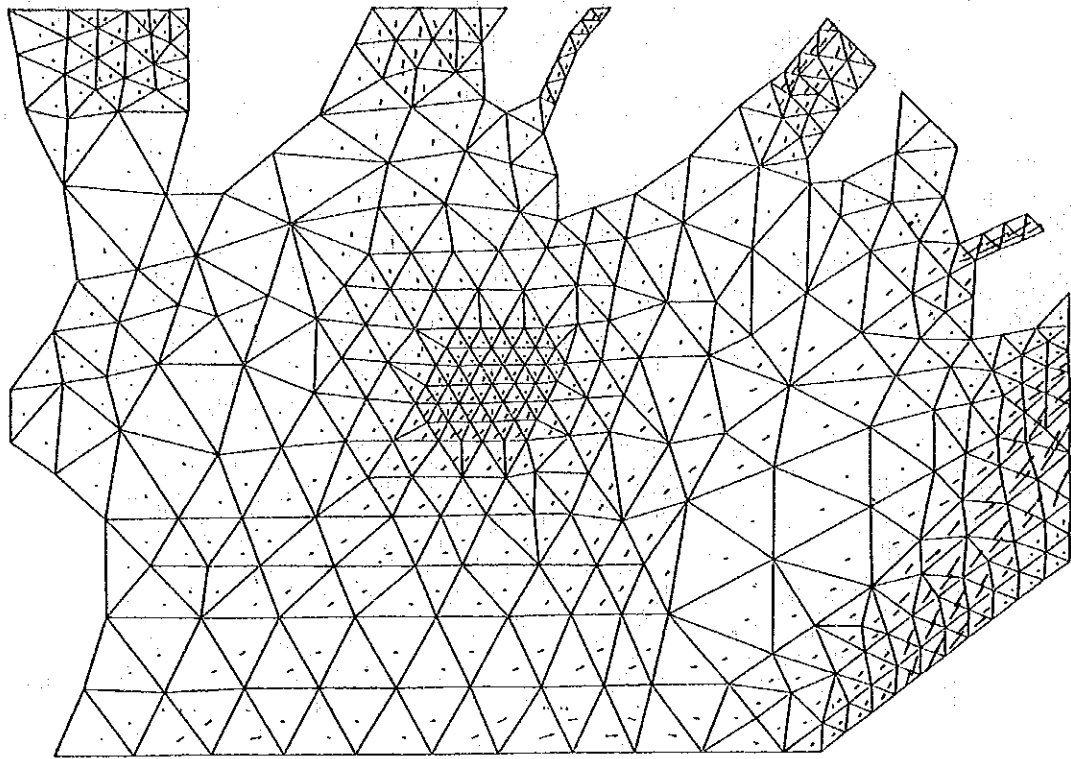
(2) 地下水流動方向の経時的変化

地下水流動方向の経時的変化はケースP₁およびP₂でほとんど差がない。ケースP₂の地下水開発後1ヶ月と30年との地下水流動ベクトル図を図-5.2.1に示す。地下水開発直後から開発区域への地下水流入は区域の南側からの流入が大きく、この傾向は次第に拡大し、30年後では3系統ある高透水ゾーンの内、中央のゾーンからの地下水の供給が顕著となっている。また、西側の高透水ゾーンからの地下水の供給も大きい。烏魯木齊河から大東溝にかけての東透水ゾーンからの供給はほとんどない。

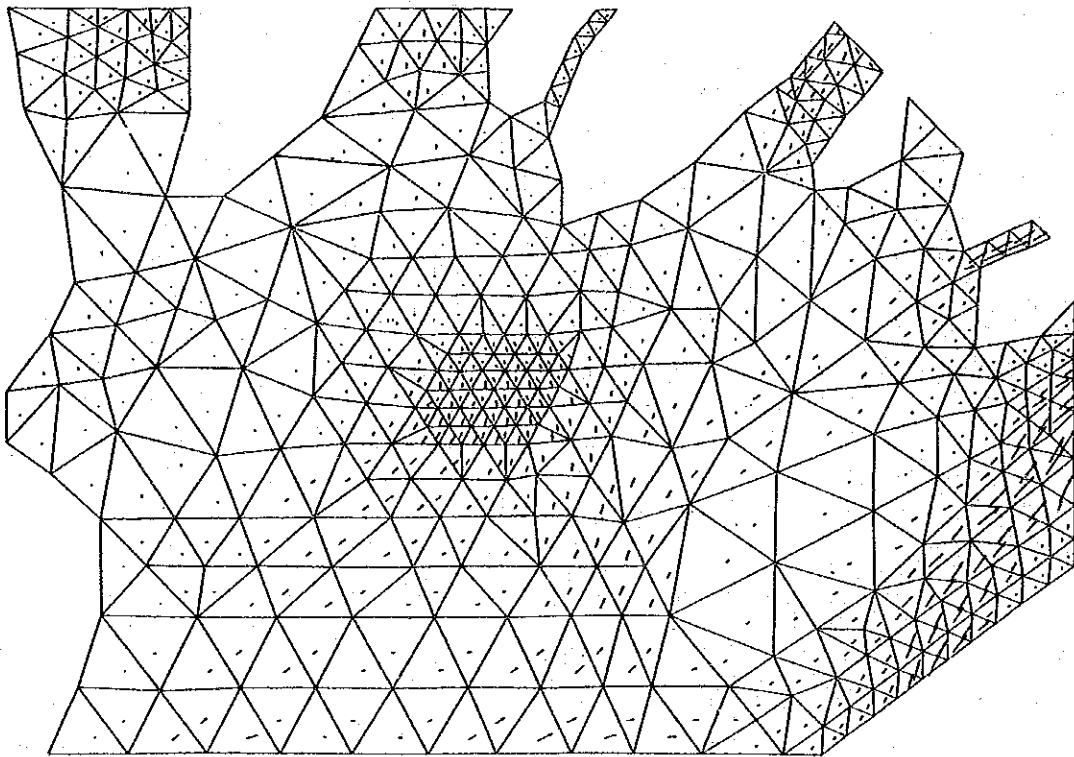
(3) 地下水位低下域の伝播

地下水位低下の伝播についてもケースP₁、P₂でほとんど差がない。ケースP₂の地下水位低下域の伝播は図-5.2.2に示すように計算時間に伴い開発地域の外側に拡大していく。これに伴い開発区域の地下水位低下量も次第の大きくなっていく。

計画対象地域の西側にある基盤の高まりのため、小泉溝への地下水位低下の影響はほとんどない。

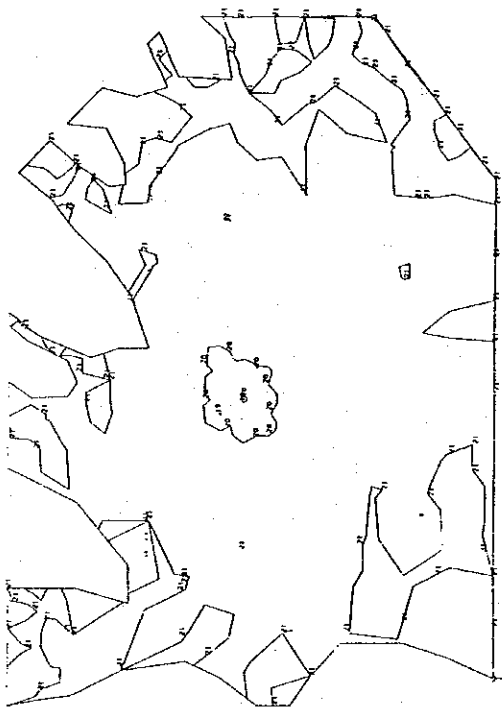


(1) 開発後1ヶ月

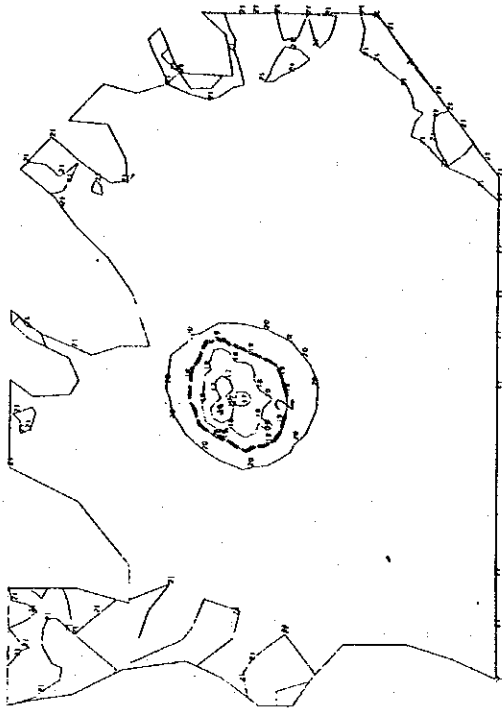


(2) 開発後30年

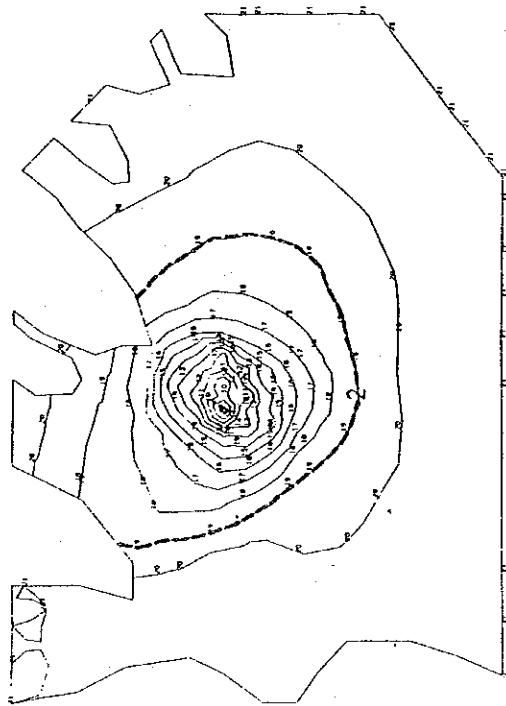
図-5.2.1 地下水開発に伴う地下水流動の変化



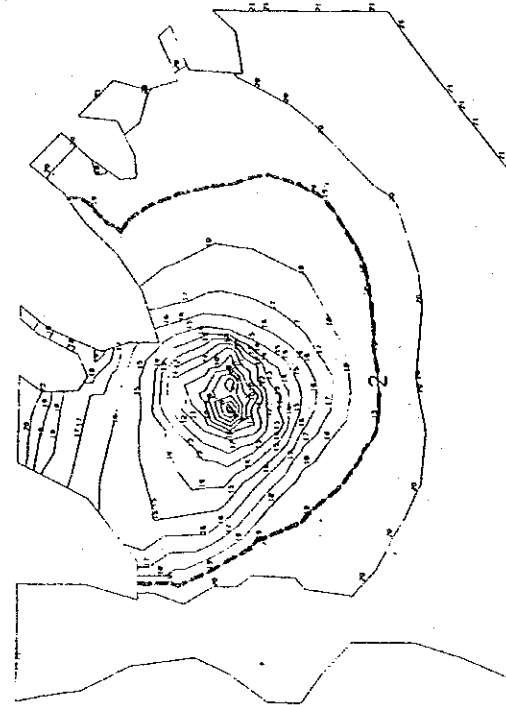
(1) 開発後1ヶ月



(2) 開発後4ヶ月



(3) 開発後3年



(4) 開発後30年

図-5.2.2 地下水開発に伴う地下水位低下域の伝播

5. 3 地下水開発についての考察

(1) 地下水開発水量

ケースP1およびケース2とも日量3万 m^3 の規模での地下水開発を行ってもそれほど大きな差異がなく、開発区域内での地下水位低下量も開発後30年の時点で最大16~17m程度であろうと推測され、シミュレーションの予測結果では日量3万 m^3 の規模での地下水開発は可能であると判断される。

(2) 地下水開発に伴う下流側への影響

西山水源地開発に伴う下流への影響では、現在烏魯木齊市の主要水源である三通碑水源地（大東溝から和平渠）への影響はほとんどないと推測されるので、西山水源地での開発を進める上での最大の問題は解決した。

計画対象地域の下流側に位置する大泉溝、首宿溝、長勝大隊では流量が少なくなる。しかし、この地域での地下水は西山水源地よりも水質が悪い水であり、西山水源地での地下水を途中で分水することにより解決する。

(3) 地下水の供給源

地下水開発に伴う地下水の供給源は南側から供給されることが推測され、地下水の水質が現在よりも良くなる可能性がある。

(4) シミュレーション計算の限界

今回行ったシミュレーション計算は現地調査で得られた調査結果の精度および数学モデルの離散化表示のレベルに準ずるものである。

シミュレーション計算に用いた数学モデルはダルシーの法則の適用を前提としており、この仮定から隔たる現象はそのことを念頭において計算結果を解釈する必要がある。特に、群井揚水試験の結果から開発地域の帯水層の透水性がきわめて高く、透水係数の異方性や水みちの存在がこのことに該当するので、開発後も地下水位の監視体制を確立して置くことが大切である。

G. 給水計画

G 給水計画

	頁
1. 烏魯木齊市都市用水需給計画の概要	G- 1
1. 1 現地調査	G- 1
1. 2 烏魯木齊市給水事業の現況	G- 2
1. 3 水需要計画	G-10
2. 給水施設計画	G-13
2. 1 径路選定	G-13
2. 2 施設基本系統及び制御	G-18
2. 3 給水施設の概略設計	G-19
3. 建設費及び維持管理費	G-26
3. 1 建設費積算及び維持管理費算定の方針	G-26
3. 2 建設費	G-26
3. 3 維持管理費	G-32
3. 4 水価	G-33
3. 5 発電事業の費用と便益	G-35
4. 事業実施計画	G-37
4. 1 実施体制	G-37
4. 2 事業分担	G-37
4. 3 西山地区開発工程	G-37
5. 設計図面	G-38

図リスト

図-1.2.1	新疆維吾爾自治區政府の構成	.....	G- 3
図-1.2.2	烏魯木齊市都市計畫委員會の構成	.....	G- 4
図-1.2.3	烏魯木齊市都市建設局の構成	.....	G- 4
図-1.2.4	調査段階から実施段階に至るまでの流れ	.....	G- 5
図-1.2.5	烏魯木齊市給水施設 配置図	.....	G- 8
図-1.3.1	烏魯木齊市における水需給の時系列図	.....	G-11
図-2.1.1	導水管路経路案 概略位置図	.....	G-15
図-2.1.2	西側ルート of 導水管路 平面位置図	.....	G-16
図-2.1.3	西側ルート of 導水管路 縦断図	.....	G-17

表リスト

表-1.2.1	給水事業関連部門の業務分担	G-4
表-1.2.2	1987年鳥魯木斉市利水状況総括表	G-6
表-1.2.3	1988年水源別月取水量	G-7
表-1.2.4	各種用途水別の水道料金単価	G-7
表-1.3.1	給水量目標値	G-10
表-1.3.2	地下水開発候補水源地	G-11
表-1.3.3	西山地区給水量目標値	G-12
表-2.1.1	導水管布設ルートと比較	G-13
表-2.3.1	鋳鉄管-ダクタイル管比較	G-23
表-2.3.2	管径による流速及び圧力損失	G-23
表-3.2.1	建設費集計	G-26
表-3.2.2	設備別建設費内訳	G-27
表-3.2.3	中国現地建設・工業資源単価	G-29
表-3.2.4	国外調達費用	G-31
表-3.3.1	維持管理費	G-32
表-3.5.1	発電事業の費用と便益(単位千元)	G-35
表-3.5.2	費用及び便益	G-36
表-3.5.3	日本の電力需給及び発電原価	G-36

1. 烏魯木齊市都市用水需給計画の概要

1. 1 現地調査

今回の現地調査は西山水源地での地下水開発事業が烏魯木齊市の水道事業に於てどのような位置づけにあるのかを明確にすると共に、地下水開発計画調査の最終段階である給水計画を策定する上での基礎資料の収集を行った。

1. 1. 1 調査項目

a. 烏魯木齊市の社会・経済的背景

b. 烏魯木齊市の水資源開発と利用の現況

- 1) 水資源開発と利用施設建設・運営管理の組織
- 2) 水資源開発及び水道関連法規・基準
- 3) 現在供給水量
- 4) 既開発水源（6箇所）及び施設
- 5) 給水施設仕様及び概要
- 6) 水資源開発財政
- 7) 基本公共料金
- 8) 主要工事材料仕様及び工事単価

c. 烏魯木齊市水資源開発計画の概要

- 1) 計画目標年次
- 2) 水需要計画
- 3) 水資源開発計画
- 4) 給水計画

d. 現地踏査

- 1) 烏魯木齊市給水事業関係者との懇談
- 2) 水道施設視察
- 3) 給水施設候補路線現地踏査

1. 1. 2 現地調査協力機関

本調査の中国側実施機関である新疆地質矿产局の調整を得て、給水計画に関連した協議、資料収集および聞き取り調査を実施した政府・行政機関は以下のとおりである。

所属行政機関	給水事業関係機関
維吾爾自治区政府	建設庁
烏魯木齊市政府	建設委員会 都市建設局 水道公司

1. 2 烏魯木齊市給水事業の現況

1. 2. 1 烏魯木齊市の概要

烏魯木齊市は新疆維吾爾自治区の区都であり、自治区の政治、経済、文化、交通、産業等の中心である。同市の歴史は200年余りと浅いけれども、急速な発展を遂げ、同市は中国西北部随一の大都市である。自治区は豊富な鉱物資源に恵まれており、社会主義の開発理念に基づいて本格的な開発準備が急テンポに進められており、同市の重要性は今後益々高くなり、都市の規模は拡大の一途を辿るものと推測される。

実際に本調査を始めてからも、高層の建築物が都市の至るところに建造されており、その姿は首都北京を凌ぐ勢いである。

烏魯木齊市は多民族の都市であり、人口は1988年の調査では124万人であり、民族的に維吾爾族、漢族、回族、哈薩克族等から構成されている。また、人口の年齢構成は、若年層に比率が高く、自治区以外の他の地域から労働人口が流入するタイプである。人口の増加率は8%程度あり、この傾向は今後とも続くと予測される。

同市は東経87度、北緯43度、天山山脈の北麓、ジュンガル盆地の南縁に位置し、標高は680～920mである。同市の地形は東山と西山に挟まれた比較的幅の広い平坦な谷地形であり、東西方向の広さは2～6km、南北方向には16kmで面積は49.3km²あり、南東から北西にかけて12～15:1000の緩やかな傾斜を持つ。

烏魯木齊河の旧河道は同市の中心部を南から北に貫いているが、上流側での河川の取水、ダムの築造による堰止めのため現在は流れていない。市の行政区はこの川を境に東と西の2区に分かれる。同市の地質条件は断層が多いため、建造物の設計に当たっては中国の耐震設計基準の7級を適用することになっている。

同市の気象・水文条件については補助報告書の水文調査の章を参照されたい。

1. 2. 2 給水事業関連組織

(1) 新疆維吾爾自治区政府

新疆維吾爾自治区政府は図-1.2.1に示すように各種委員会と各分野の担当機関（庁または局）から構成される。委員会の中でも計画委員会、経済委員会および科学技術委員会の3つの委員会は分野間の総合調整を行う組織であり、その長は当該分野の長から選任される。各分野の担当機関は自治区政府直属の機関の他、中央政府の地方局からなり、その数は90にも及ぶ。各機関の上下関係はなく、すべて横並びの構成となっている。

これらの機関の中で給水事業に関連する機関では、新疆地質矿产局は地下水資源の開発調査を、水利庁は河川の維持管理の他、表流水の開発調査、建設を、建設庁が都市計画（上水道事業を含む）を担当している。

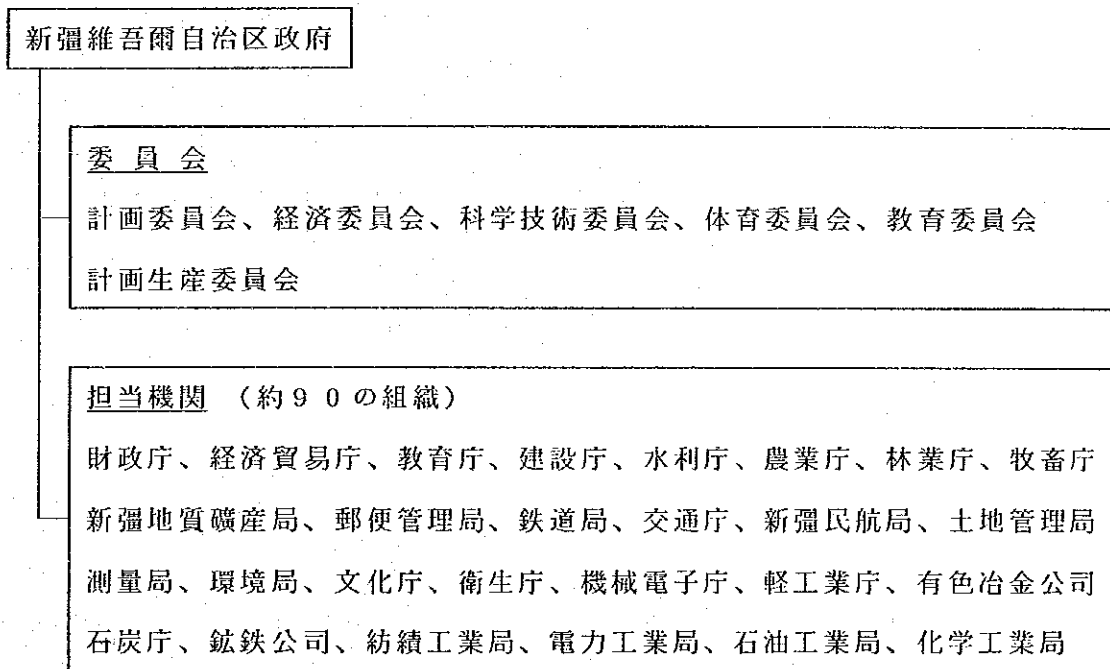


図-1.2.1 新疆維吾爾自治区政府の構成

(2) 烏魯木齊市政府

烏魯木齊市政府の構成は基本的には新疆維吾爾自治区政府と同様に各種委員会と各分野の担当機関（その多くは局および公司）から構成される。委員会には計画委員会、経済委員会、科学技術委員会等の委員会があるが、給水道事業については都市計画委員会が担当しており、この委員会には図-1.2.2に示す機関が所属している。

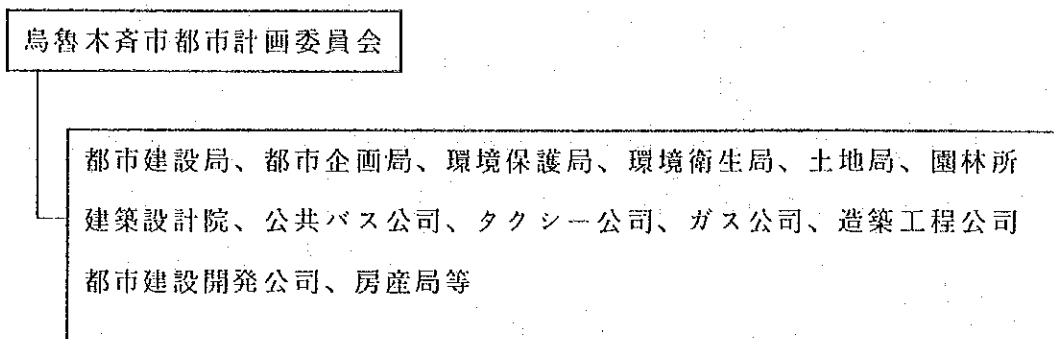


図-1.2.2 烏魯木齊市都市計画委員会の構成

烏魯木齊市都市計画委員会の中で給水事業を所管する機関は都市建設局であり、この局は図-1.2.3に示す下部組織から構成され、給水事業の直接管理組織である水道公司在ここに含まれる。

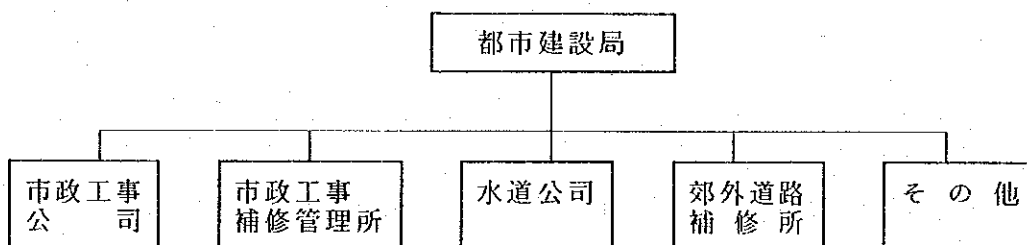


図-1.2.3 烏魯木齊市都市建設局の構成

(3) 給水事業に関連する機関の業務分担

給水事業に関連する機関の業務分担は表-1.2.1に示すような内容となる。

表-1.2.1 給水事業関連部門の業務分担

給水事業関連部門		都市計画	開発計画	開発調査	建設工事	管理運営
新疆 維吾 爾 自 治 区	地質礦産局	-	◎	地下水	◎	-
	建設庁	自治区	◎	-	◎	-
	水利庁	-	◎	河川水	◎	◎
烏魯 木齊 市	都市計画局	市内	-	◎	◎	-
	都市建設局	-	◎	-	-	-
	水道公司	-	-	-	◎	◎

(4) 新規給水事業の実施形態

新規給水事業に要する設備工事費は国家および自治区政府の補助金を受ける。特に烏魯木齊市の場合は国家の重点施策都市であり、その費用は全て国家が負担することとなっている。烏魯木齊市以外の新疆維吾爾自治地区の都市については、その費用の70%を国家が負担し、残りの30%を自治区政府が負担することとなっている。

新規事業の実施の採択に当たっては基本的に事業の投資対効果で判定される。

現地調査における新疆地質礦産局の説明では、地下水開発調査が実施された後の給水施設の事業化に向けての手続きは図-1.2.4に示す手順でなされる。

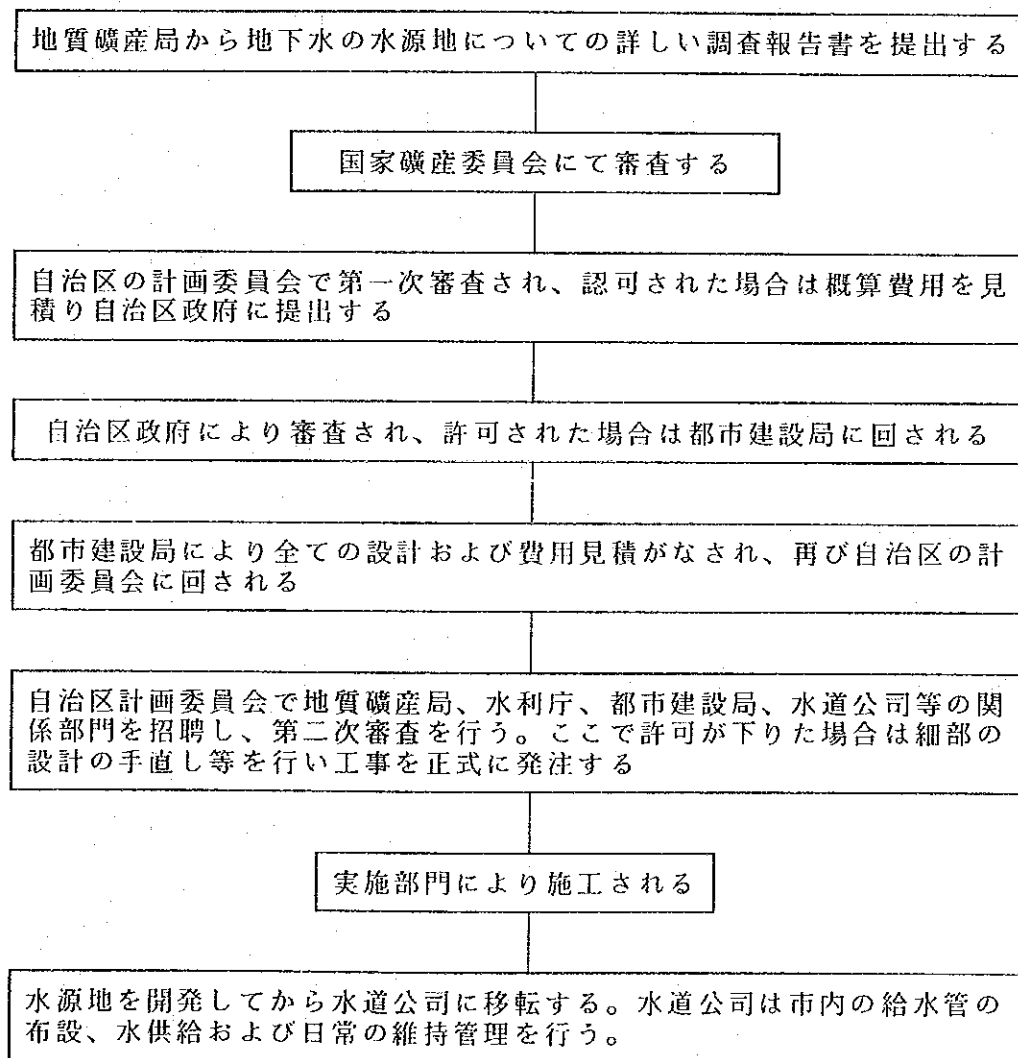


図-1.2.4 調査段階から実施段階に至るまでの流れ

1. 2. 3 烏魯木齊市内の給水現況

(1) 烏魯木齊市の利水状況

烏魯木齊市の都市用水および工業用水の利水状況は表-1.2.2に示すとおりであり、特に生活用水については全体の78%を地下水に依存している。

表-1.2.2 1987年烏魯木齊市利水状況総括表

項 目	地表水	地 下 水		合 計
		水道公司	個別揚水	
人 口 (万人)				120
給水人口 (万人)		86.78	17.32	104.1
給水能力 (万m ³ /年)		5110.00	2505.60	7515.60
実給水量 (万m ³ /年)		4771.64	2505.60	7277.24
生活用水 (万m ³ /年)	1403	3835.00	1050.00	6288.00
緑化用水 (万m ³ /年)	931	21.85		952.85
工業用水 (万m ³ /年)	4698	914.79	1455.60	7068.39
合 計 (万m ³ /年)	7032	4771.64	2505.60	14309.24

出典：地質産産局提供資料

(2) 烏魯木齊市の水道事業の概要

烏魯木齊市の給水施設は1958年に建設され、当時の給水能力は7200m³/日であった。以来、同市の都市の発展と共に、給水事業も急速に拡大され都市建設局水道公司により運営されている。1989年現在、5つの水源地があり16万m³/日（内、地下水10万m³、表流水6万m³）の給水能力を持つが、中国の他の都市に較べ同市の給水の水準は未だに低いレベルにある。

同市の人口は124万人で、その内の85万人（共同水栓の利用者を含む）が水道公司からの給水を受けている。1人当りの給水量は80ℓ/日である。一般的に、さく井された井戸の場所により水質が大きく変化し、飲料水の基準に適合しない給水地域があり、このような地域では水運搬車により給水を実施している。特に、このように条件の悪い地域は烏魯木齊河左岸の西山地域である。

水道公司の水源は地下水に依存しており、水処理は塩素注入による滅菌法で実施されている。

主な水源地の揚水量は表-1.2.3に示すように三通碑水源地がその大部分を占める。三角碑水源地には、井戸8井（揚程 20 ㍍：井戸掘削深度 50 ㍍）と横浸透型取水渠 2 基がある。この水源地の地下水位は著しく低下してきている。また、二宮水源地は井戸 4 井（揚程 40 ㍍：井戸掘削深度 80 ㍍）である。また烏魯木齊市内の水道施設の位置及び主要給水配管網は図-1.2.5に示されるとおりである。

表-1.2.3 1988年水源別月取水量

単位：万 m³/月

	三通碑水源地	二宮水源地	水摩溝水源地	北部水源地
1月	353	42	27	5
2月	333	36	16	8
3月	335	36	34	6
4月	358	48	17	9
5月	346	45	16	7
6月	370	36	16	7
7月	415	28	29	11
8月	611	39	15	16
9月	393	38	13	11
10月	356	45	12	10
11月	461	30	16	7
12月	443	39	31	112
合計	4773	469	242	

水道事業の事業収入は水の料金収入より実施されており、基本的には表-1.2.4に示す水道料金単価と水道メーターによる使用水量により算定される。

表-1.2.4 各種用途水別の水道料金単価

用途	水道料金単価	備考
生活用水	0.15 元/m ³	
工業用水	0.15 元/m ³	供給制限水量を越えて使用した場合の料金は通常の2～5倍となる。
消防・緑化用水	0.07 元/m ³	

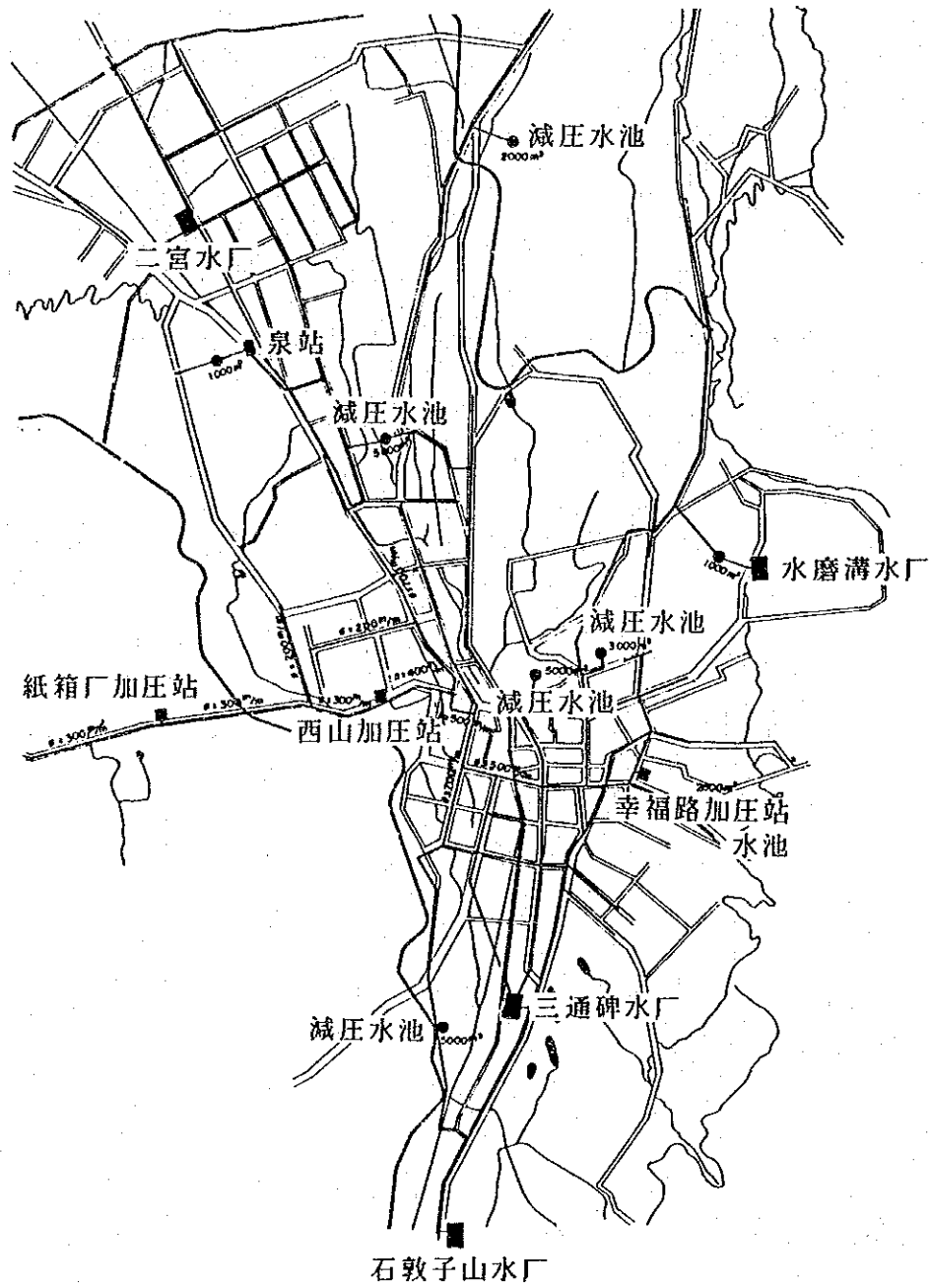


图-1.2.5 乌鲁木齐市给水设施 配置图

水道会社の料金収入は生産に要する費用、地方財政への租税および会社の利潤となる。現地調査で実施した水道会社での聞き取り調査では、年間給水量5000万 m^3 （1988年計画値）に対し、総事業費は750万元で、利潤は90万元程度である。

市内の配水本管の規模、埋設深度等は下記のとおりである。

- ポンプ稼働率： 96%
- 給水時間： 24時間（地域によっては時間給水を実施している）
- 水道管の管径： 150 - 700 mm
- 管路勾配： 20/1000
- 管路埋設深度： 2.0 m 冬季の凍結深度： 1.7 m

生活用水の水質については下記のとおりである。

- 三角碑水源の水質は良好のため未処理のまま送水されている。
- 水質は烏魯木斉市の下流側に位置する哈馬山、二宮水源地では硬度が高くなる。また、下水、汚水、ゴミ等による環境汚染があり、硝酸イオン、細菌、大腸菌が検出されることもある。水質合格率は98%で、不合格の原因は細菌、大腸菌、硬度等である。
- 地下水起因の疾病事例は過去30年間ない。

1. 2. 4 給水事業の現況の問題点および今後の課題

今回の調査期間中に中国側から受けた説明を整理すると、給水事業の現況の問題点および今後の課題は次のとおりである。

① 水不足の深刻化

現状で約16万 m^3 /日の給水を行っているが、水道会社の推定では現時点で日量5万トン程度の水量が不足している。また、2000年には人口は130万人に達すると推定され、市民生活のレベルが高くなり、一人当たりの消費水量は1801/日/人程度となり、工業用水・緑化用水を含めると日量33万 m^3 の水量が必要となる。この目標達成のためには今後10年間に17万 m^3 /日の水資源を開発しなければならない。新たな水源が開発されなければ、水問題が烏魯木斉市の都市発展の阻害要因となるだろう。

② 水不足の最も深刻な地域

特に、市中央部の西山地区（烏魯木齊河左岸）は地形的に標高の高い区域であり、配水本管が布設され、また、給水圧の増圧施設も設置されているにも拘らず、市全体の給水量が少ないことから、満足に給水されずにいる地域であり、市内で最も給水事情の悪い地域である。

③ 水質問題

烏魯木齊市内で揚水される地下水の水質は悪化する傾向にあり、水質監視体制の強化が必要となっている。今後、更に水質が悪くなる場合には現在の塩素注入殺菌の設備だけでの対応は難しくなり、抜本的な水処理が行うため処理コストが水価に上乗せされるので、これまでのような低廉の水価で市民に水を供給することが難しくなる。

1. 3 水需要計画

1. 3. 1 給水事業の将来展望

(1) 中・長期の給水事業必要水量

市当局（都市建設局、水道公司）の試算によれば、烏魯木齊市全体の中・長期的な給水量の目標は将来の人口の増加、1人当りの水需要量の増加等を考慮して表-1.3.1のようになっている。

表-1.3.1 給水量計画値

計画年度	給水人口	1人当り消費水量	必要水量
1990年	108万人	120 ㍉/日	21万m ³ /日
2000年	130万人	180 ㍉/日	3.3万m ³ /日

(2) 開発の対象となる水源

烏魯木齊市の人口が急増してきたことから、1人当りの水資源の利用可能量は中国全体の平均値2700m³に対し、烏魯木齊の場合は212m³に過ぎない。

河川水である烏魯木齊河は上流の青年渠取水堰でほぼ全量取水されるため、洪水時の放流水はあるものの今後の水源としては余り期待できない。

したがって、今後の都市用水の開発では地下水が主力であり、その開発候補地域は表-1.3.2に示す水源地である。

表-1.3.2 地下水開発候補水源地

地点名	位置	予測開発水量
1 西山水源地	南西 15 km	3万m ³ /日
2 柴窩堡盆地	南東 35 km	8万m ³ /日
3 達板城	南東 95 km	10万m ³ /日

出典：地質矿产局の推定

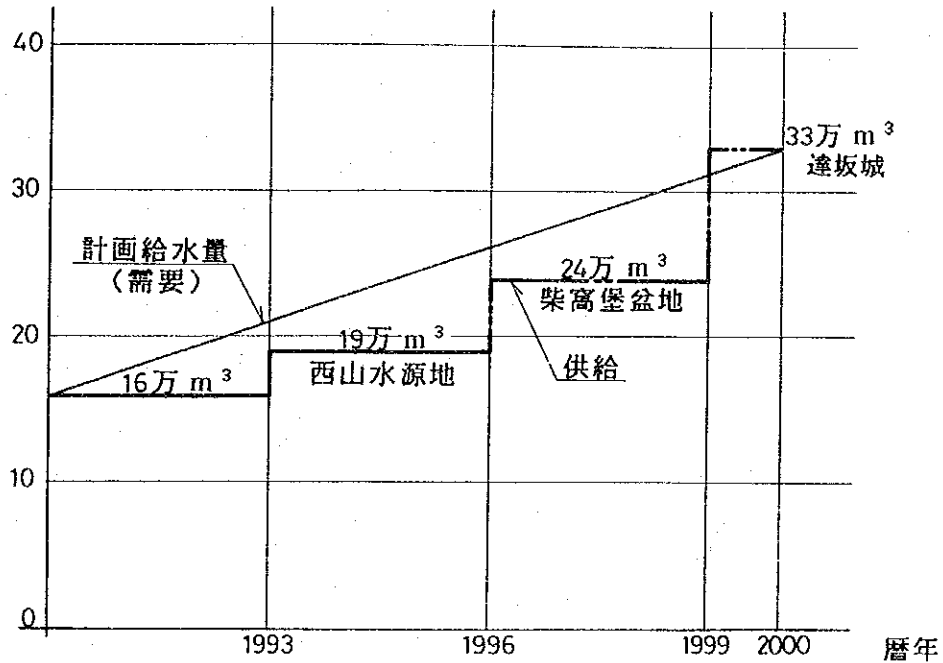


図-1.3.1 烏魯木齊市における水需給の時系列図

(3) 西山水源地に対する評価

西山水源地は柴窩堡盆地あるいは達板城の水源地に較べると烏魯木齊市からも近く距離的にも有利であり、かつ柴窩堡・達板城からの送水が山越えになるのに対して、西山からの送水は地形的に自然流下となる。水量的には西山水源地は劣るとされているが、開発計画の面では緊急の水源地として、また、柴窩堡盆地・達板城の方は将来の開発地域として位置づけられる。

開発調査の段階も西山水源地は詳細調査の段階にあり、水質、水量の検討が本調査で明かにされつつある。調査での揚水試験の結果から、同水源地の帯水層は水量的に極めて良好であり、水質も相対的に良好である。

したがって、西山水源地の開発は現在最も有力な開発候補地と判断される。

1. 3. 2 西山水源地の給水計画

(1) 給水対象地域

西山水源地からの給水対象地域は、現在、烏魯木齊市内で最も給水事情の悪い西山地区を選定するものとする。この地区は水源地から見て最短の給水先に当たる。

なお、同じ西山の名称が用いられているので、それぞれの位置関係について補足する。西山水源地は市中心部から西南方向、約20kmの郊外にある本地下水開発調査の調査地域であり、西山地区は市内を南北に流れる烏魯木齊河左岸（西側）に位置し、西山公路、陶器工場、老満城、九家湾一带を含む市街地を指す。

西山地区の配水本管の布設は既になされており、同地区の標高が中心部よりも20～30m高いことから、市当局は加圧ポンプ設備の設置等の改善策の実施したけれども、市の人口増加が急速であり、給水量の確保が追いつかず、市全体の給水の絶対量が不足しているため、同地区に割り当てられる水量が少なく、また、加圧ポンプを稼働させねばならない等の地形的な不利のために、同地域の給水事情は極めて悪い。

(2) 西山地区の給水量の中・長期的展望

市当局（都市建設局、水道公司）の西山地区に於ける中・長期的な給水量の目標は将来の人口の増加、1人当りの水需要量の増加等を考慮して表-1.3.3のようになっている。

表-1.3.3 西山地区給水量計画値

計画年度	人 口	総 給 水 量
1990年	100,000人	2.0万m ³ /日
2000年	140,000人	4.0万m ³ /日

注、1) 給水対象人口は水源地より西山地区に至る送水管路周辺の
集団農場・工業の人口を含む。

2) 総給水量には工業用水・緑化用水を含む。