

### 3. 3 水収支

#### 3. 3. 1 水収支シミュレーション解析の概要

##### (1) シミュレーション解析の目的

第2次調査のシミュレーション解析は、第1次調査の解析結果を参照しながら、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。

なお、シミュレーションは、ある現象を説明したり、将来を予測するために、目的に応じて現象の簡素化の仮定条件を置き、現実の現象を離散化表現して種々の数値計算を行う手法である。

本調査で行ったシミュレーション解析は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。

##### (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。

そこで、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次の不備を是正するため地形に合わせて三角形で近似することとし、また、第2次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。

次に、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-3.3.1に示すとおりである。

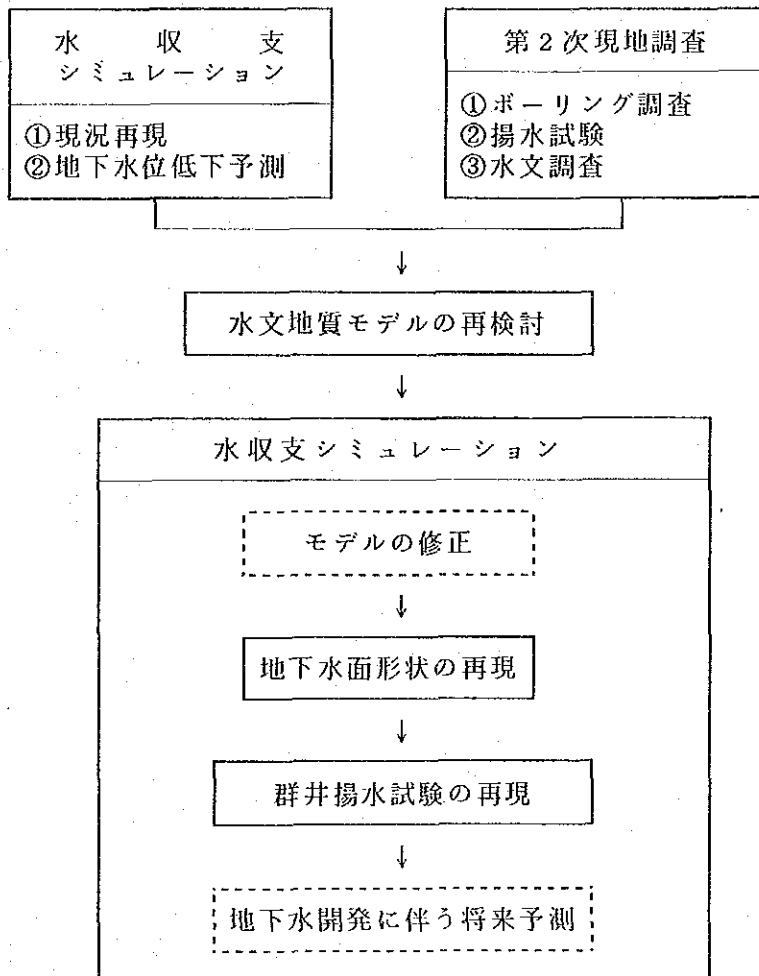


図-3.3.1 シミュレーション解析作業フロー

(4) シミュレーションの作業内容と計算結果の対比

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-3.3.1に示すとおりである。

表-3.3.1 第2次調査水収支シミュレーションの作業内容と計算結果との対比

分類		作業内容	ケース数	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		

(5) 調査対象地域での水収支の概念

水収支式は水の質量保存則を表現したもので、次式のように書き表される。

$$\Delta S = P + R_i + G_i - E - R_o - G_o \quad (3.3.1)$$

ここで、 $\Delta S$  : 貯留量の変化,  $R_i$  : 地表水流入量,  $G_i$  : 地下水流入量  
 $E$  : 蒸発散量,  $R_o$  : 地表水流出量,  $G_o$  : 地下水流出量

調査対象地域の場合、(3.3.1)式の各項は表-3.3.2のように評価される。

(3.3.1)式の内、地下水の水収支に着目すると、次のように書き換えることができる。

$$\mu \Delta H = G_i - G_o + G_r \quad (3.3.2)$$

ここで、 $\mu$  : 地下水位変化部の含水量変化、 $\Delta H$  : 地下水位変化  
 $G_r$  : 地下水涵養量

(3.3.2)式の $\mu \Delta H$ は定常状態では無視できる。 $G_r$ は灌漑水量と涵養率との積として与えられる。 $G_i$ および $G_o$ は理論的には透水量係数分布図と地下水位等高線を仮定すれば求めることができる。しかしながら、調査対象地域の場合は透水量係数、地下水位のデータ数が不足していること、また、データの精度も均質でないことから、本調査では、

水収支シミュレーションによる数値実験によりGiおよびGoを推定することとした。

表-3.3.2 水収支式の構成要素の評価

構成要素	評 価
$\Delta S$ : 貯留量の変化	地表部および不飽和帯の貯留量の変化は地下水の貯留量変化に較べると無視しうる。
P : 降 雨 量	降雨量は蒸発量および地表水流出量として流出するので地下への浸透量は少ない。
Ri : 地表水流入量	調査地域上流側には河川はない。地表水流入量は農業用水により導水され、農地を灌漑している。農地で蒸発散する以外の水量は地下水の主たる涵養水となる。
Gi : 地下水流入量	水文地質構造が複雑であるが、基本的には南側より地下水が流入してくる。また、小規模ではあるが西側は地下水面が高くなっており、地下水流入量がある。
E : 蒸 発 散 量	蒸発散量は降雨量の一部と、農業用水(地表水+地下水)を引水した農地からの蒸発散量の和である。
Ro : 地表水流出量	地表水流出量はある程度のまとまった降雨があった後の地表流出量と湧水の流出量との和である。
Go : 地下水流出量	地下水流出量は東側および北側に向う地下水流出量と地下水揚水量との和である。

#### (6) 水文地質構造のモデリング

##### 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造は、表-3.3.3に示すように、地下水盆の基盤をなす新第三系の泥岩層の上に、第四系の砂礫層主体層と砂礫/粘土互層の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。また、各層の透水性は地下水流動の水理的特性から表-3.3.4のように段階評価した。

表-3.3.3 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	砂礫主体層	主力帯水層
第2層	砂礫/粘土 互層	帯水層
第3層	基盤岩(泥岩)	難透水層~不透水層

表-3.3.4 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

② 断層の水文地質的評価

調査対象地域内で行った電気探査の結果、調査対象地域内における断層は緩やかに傾斜するものであり、シミュレーションモデルでは、基盤面の凹凸として処理することができる。

3.3.2 水収支シミュレーション

(1) 計算手法

調査対象地域の地下水の場合、帯水層の構造が2層からなっていることと、この帯水層の地下水が基本的に不圧地下水として取り扱えることなどの理由により、準3次元浸透流解析モデルを採用した。

数値計算の手法としては、差分法と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を採用する。

浸透流解析の基礎微分方程式はダルシーの運動方程式と連続式より次式のように書き表される。

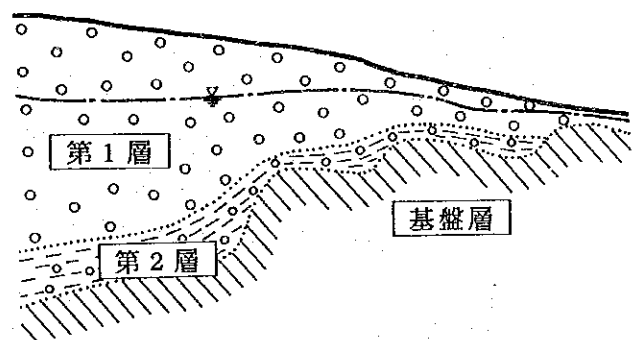


図-3.3.2 3次元帯水層模式図

$$\frac{\partial}{\partial X_i} \left[ T_{ii} \frac{\partial h}{\partial X_i} \right] = S \frac{\partial h}{\partial t} + q \quad (i, i=1, 2) \quad (3.3.1)$$

ここで、 $T_{ii}$  : 透水量係数、 $h$  : 全水頭水頭、 $S$  : 貯留係数、 $X_i$  : 距離  
 $ii$  : テンソル表示の添え字、 $t$  : 時間、 $q$  : 湧出し項

基盤を含めて3層構造として取り扱おうと(3.3.1)式の $T$ は次のように書き表せる。

$$T = K_1 b_1 + K_2 b_2 + K_3 b_3 \quad (3.3.2)$$

ここで、 $K_i$  :  $i$ 層の透水係数

$b_i$  :  $i$ 層の帯水部層厚

## (2) 計算領域の設定および要素分割

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-3.3.5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-3.3.5 計算領域外周の設定

	第 1 年 次	第 2 年 次
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。

第2年次の要素図を図-3.3.3に示す。

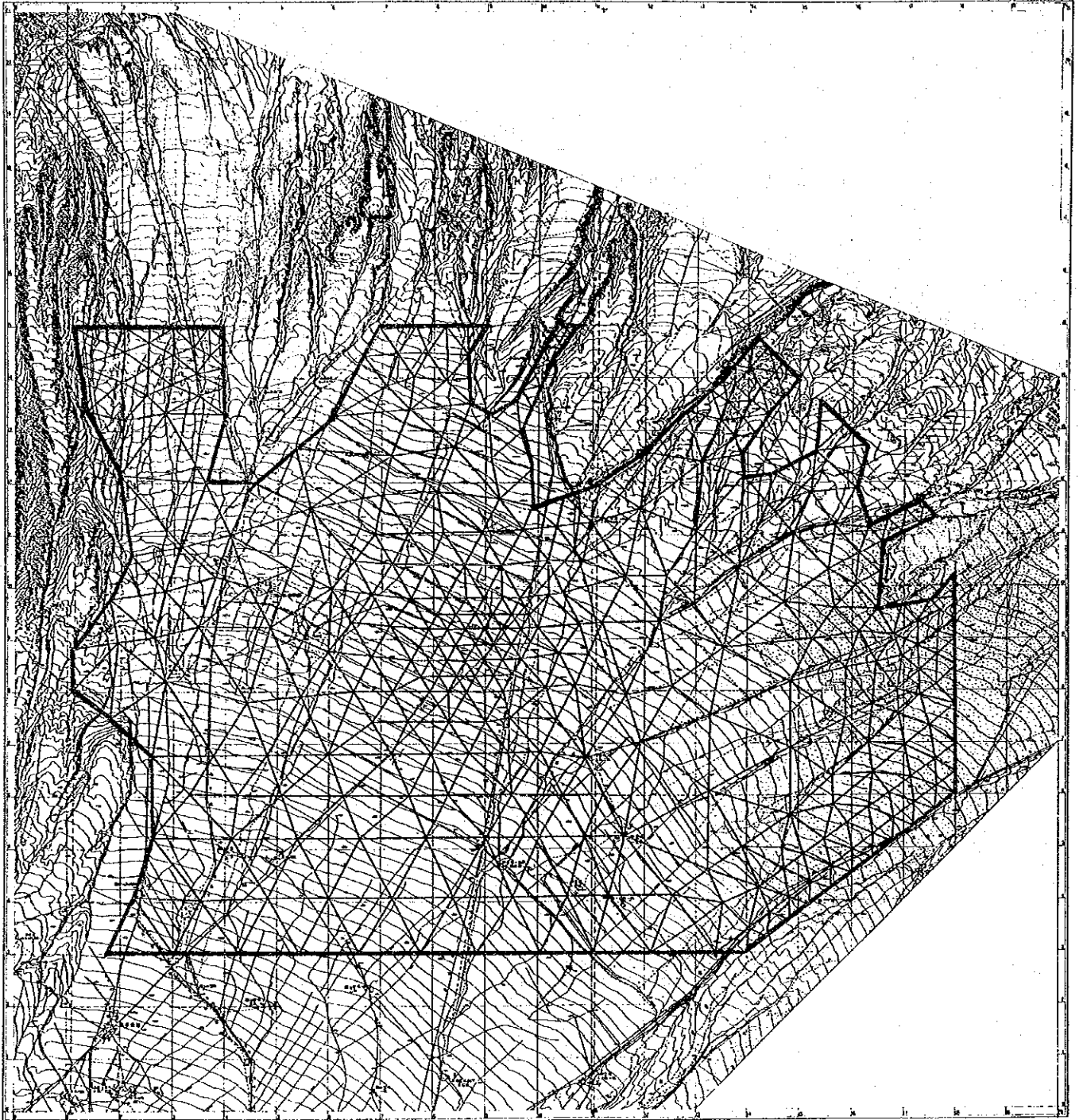


図-3.3.3 要素図 (第2次調査シミュレーション)

第1次および第2次調査の計算規模を表-3.3.6に示す。

表-3.3.6 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

### (3) 透水係数の分布に対する基本的アプローチ

透水係数は直角座標系ではX、Y、Z方向に3方向のスカラ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表現することができない。

帯水層の堆積環境を考えた場合でも、扇状地形成過程で堆積物が均一に堆積することではなく、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。このような矛盾を解決するために、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。

表-3.3.7 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
I	地下水盆中の高透水域の均一分布
II	地下水盆中に2系統の高透水脈の分布
III	地下水盆中に3系統の高透水脈の分布

### (4) 再現性の向上

定常解析で得られる計算結果は透水係数の分布を考慮したものであり、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される。

地下水面形状の再現計算は下記の条件を満たすように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



### 3. 3. 3 水収支シミュレーション解析結果

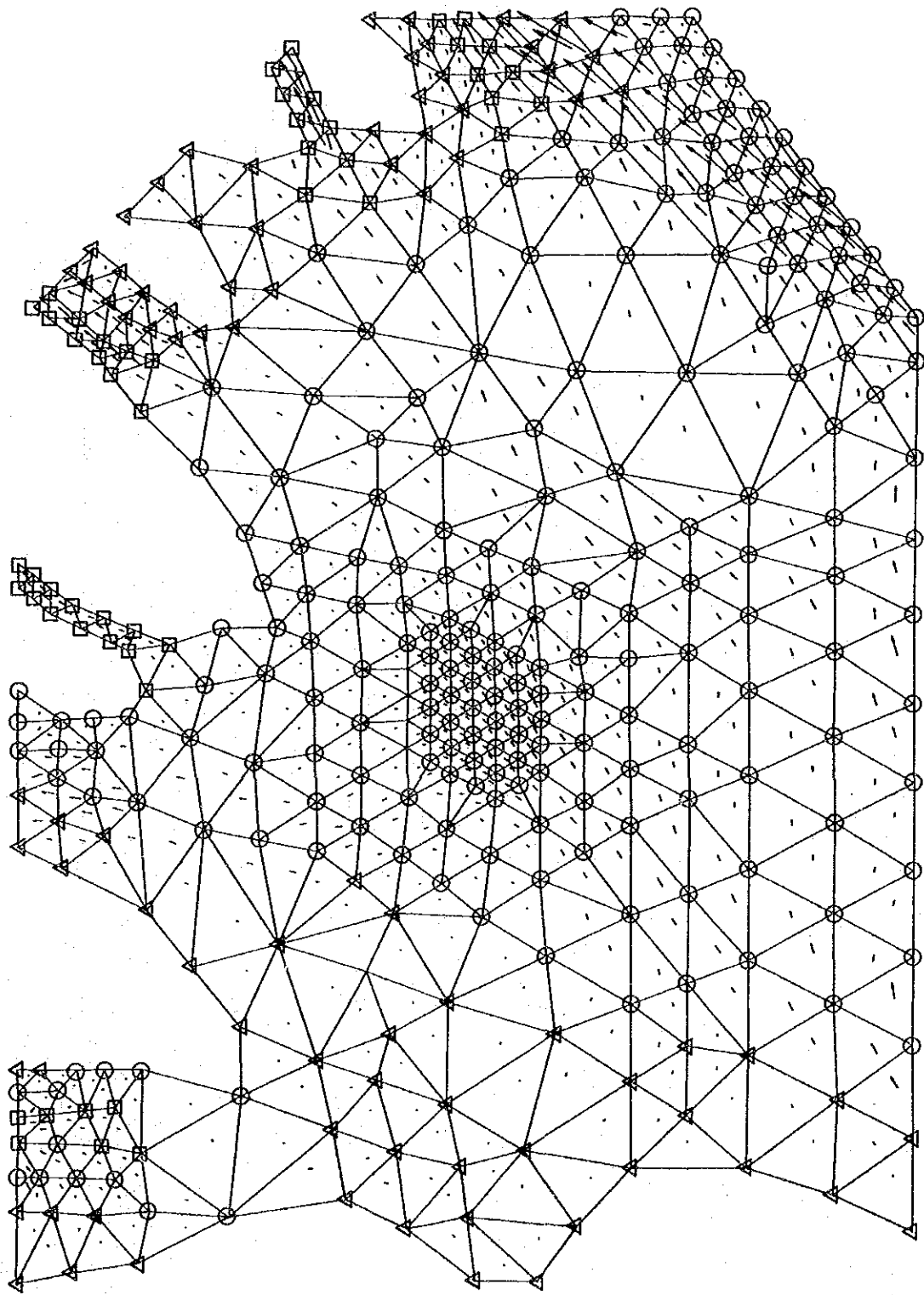
#### (1) 第1層の透水係数の分布と地下水流動との関係

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-3.3.8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-3.3.8 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	透水係数分布と地下水流動との関係
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-3.3.3
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-3.3.4
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-3.3.5



透水係数の評価

記号	透水係数 (m/日)
□	100
○	60
△	10
▲	5

図-3.3.4 地下水形状再現結果 (均一分布型)

透水係数の評価

記号	透水係数 (m/日)
□	100
○	60
△	10
▲	5

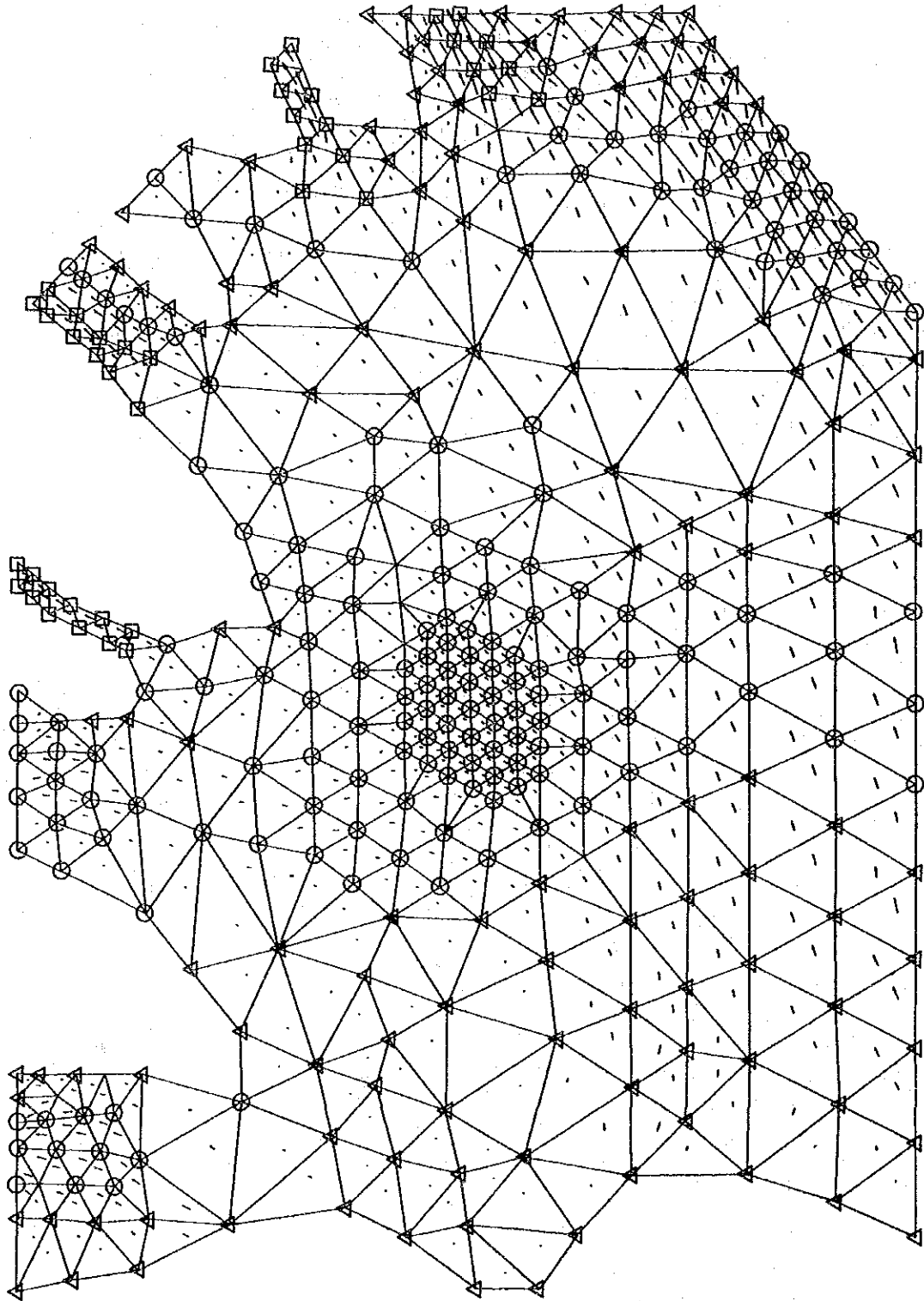
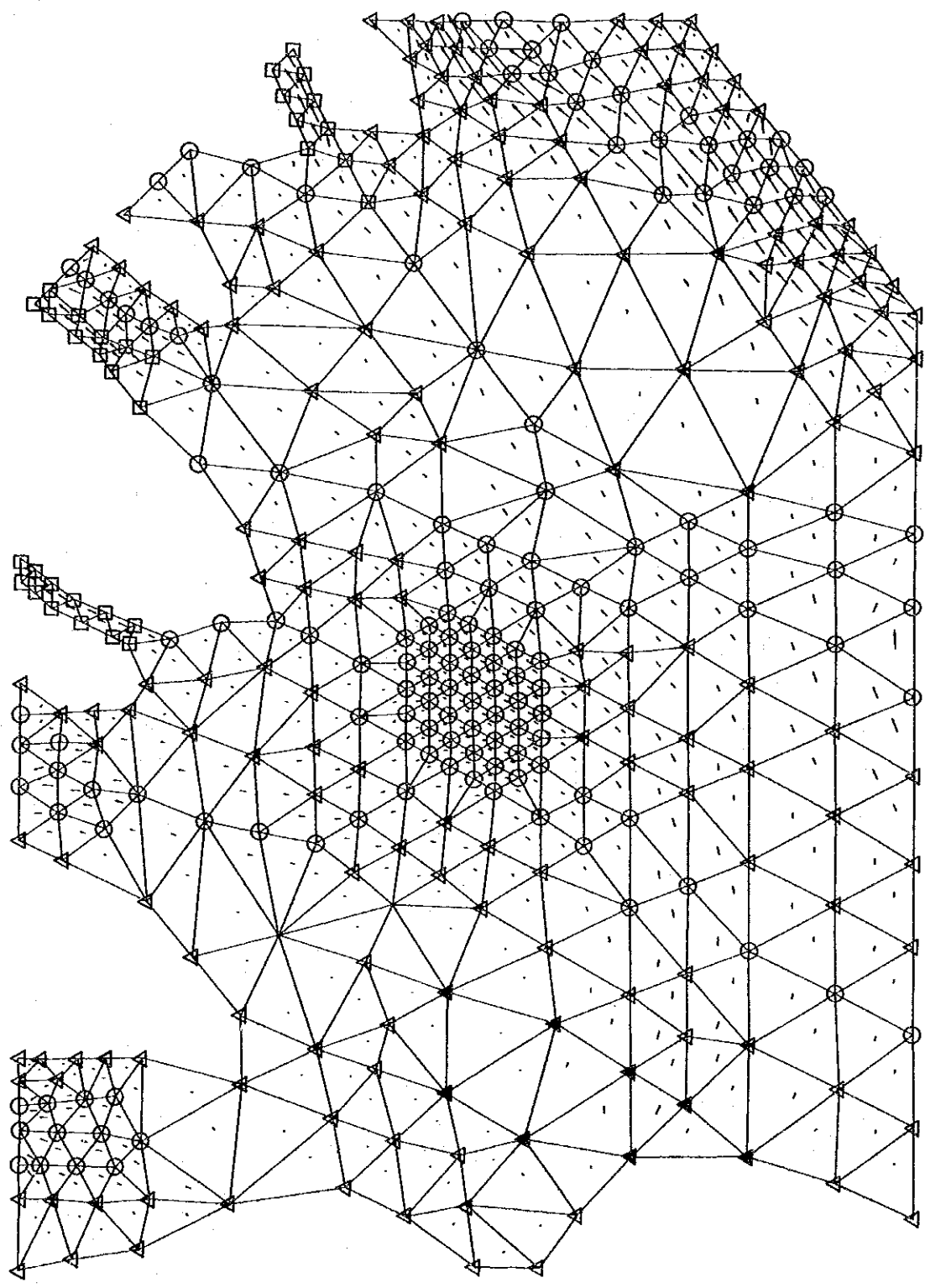


図-3.3.5 地下水形状再現結果 (2系統型)



透水係数の評価

記号	透水係数 (m/日)
□	100
○	60
△	10
▲	5

M-61

図-3.3.6 地下水形状再現結果 (3系統型)

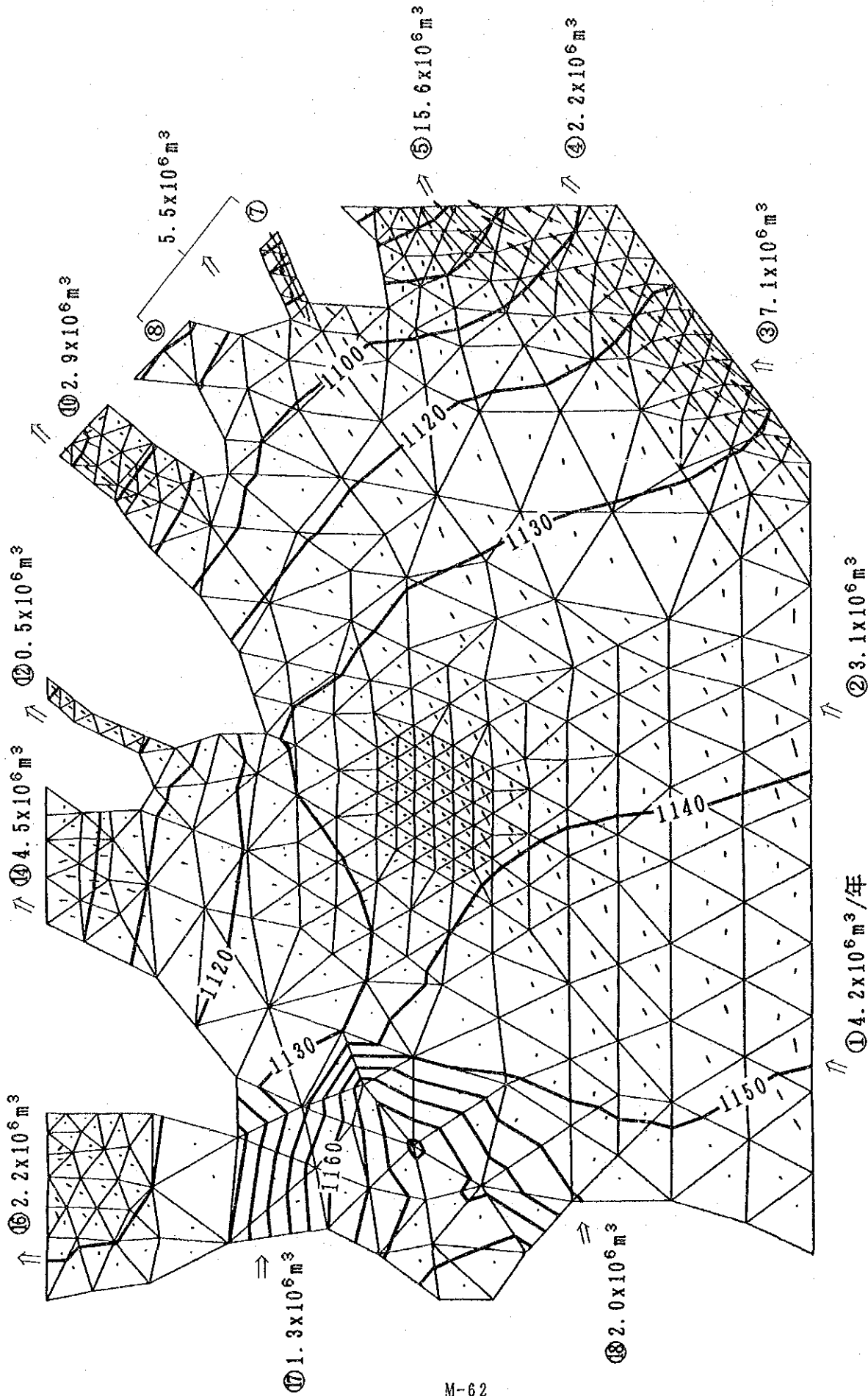


图-3.3.7 水取支計算結果

## (2) 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／砂礫互層であることから、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層の透水係数の与え方によって差のでてくる区域は高地下水位分布域である。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層の地下水流動は大きな成分となっている。

## (3) 地下水面形状

ケース6Eでの地下水位等高線は図-3.3.6に示すとおりである。この計算ケースでは大部分の節点で初期条件の水位と計算水位との誤差は2mの範囲内に納まっており、最も収斂性がよいので、このケースで求められた地下水面を現況の地下水面の推定面として採用した。この計算の中で、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誤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、透水性が不連続となり易い上に、地下水涵養量の入力条件もあるので、計算の収斂が悪くなると推定される。

## (4) 地下水賦存量

シミュレーションの計算対象領域である面積158.2 km<sup>2</sup>での地下水面下(ケース6E)の第1層および第2層の体積は各々8,737 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>および5,215 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>であり、地下水に浸っている帯水層の体積は合計13,952 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>である。群井揚水試験で求めた貯留係数(0.12)を有効間隙率と考えると、地下水賦存量は1,674 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>と試算される。

(5) 地下水流入、流出量

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、流出量を単元区分で集計計算することとした。計算結果は図-3.3.7および表-3.3.9に示すとおりである。

表-3.3.9 地下水流入、流出量(ケース6E)

単元		水収支計算上の位置づけ	集計番号	m <sup>3</sup> /日	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /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

## ① 地下水流入量

計算領域上流側に分布する耕地面積は概算で48km<sup>2</sup>であり、本シミュレーションと同じかんがい水量800mm/年および浸透率40%の条件で求めると、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、上流からの流入地下水が農業用水起源であるとする、これはほぼ妥当な数値であると考えられる。なお、計算領域西側からの流入量は $3.1 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$ で、そのほとんどが農業用水によるものである。

## ② 地下水流出量

### a) 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の直上流部に湧水しており、その規模が大きい。

### b) 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m<sup>3</sup>/年（12万m<sup>3</sup>/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。

### c) 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ろう。

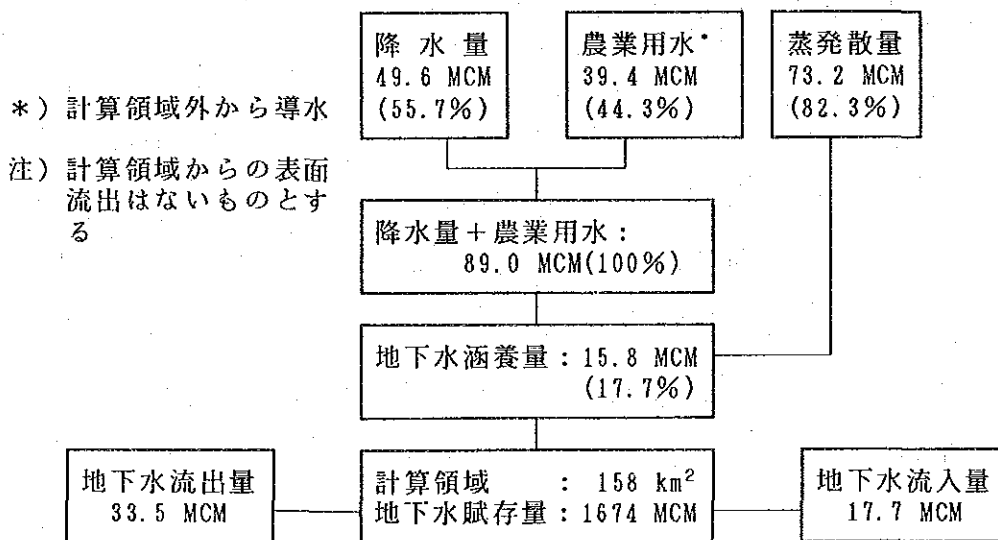


(6) 計算領域での水収支

シミュレーション計算結果に基づいて計算領域内の地下水の水収支計算を行った。この計算を試算する上で、地下水の賦存量の増減の評価はゼロと仮定している。水収支計算結果は表-3.3.10 に、その模式図は図-3.3.8に示すとおりである。

表-3.3.10 シミュレーション計算領域での水収支

項目	計算条件	計算結果(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	
地下水賦存量増減	賦存量の増減はないものと仮定	0	
流入	降水量	烏魯木齊気象台(1985~1988)の平均値313.7mmより試算(全量蒸発)	49,6
	農業用水	計算領域外から導水されている	39,4
	地下水流入量	シミュレーション計算結果	17,7
	流入量合計		106,7
流出	蒸発散量	農業用水量の60%と降水量との合計値が蒸発散量となるとして試算	73,3
	地下水流出量	シミュレーション計算結果	33,5
	流出量合計		106,8



(単位 : 百万m<sup>3</sup>/年)

図-3.3.8 現況水収支模式図

### 3.4 水質

#### 3.4.1 簡易水質測定結果

##### (1) 地表水の電気伝導度測定

現地調査での簡易水質測定地点と測定結果の概略図は図-3.4.1に示すとおりである。烏魯木齊河の地表水は非常に良好であるが、調査地域北側の湧水は電気伝導度が高く、水質的に悪くなる。大東溝を経て和平渠に流入してくる地下水は良好である。

##### (2) 孔内水質測定結果

孔内での水質測定は2回行われ、第1回目が9月5日～8日の期間に20孔で、第2回目が10月26日～11月3日の期間に25孔で実施された。

中国側測定担当者の意見では、測定時の計測値の変化は徐々に変化するのではなく階段状に急変することが指摘された。このことを考慮して、第2回目の測定結果を主体に各測定点での水深別の電気伝導度の評価を行うと、その結果は表-3.4.1のようになる。

孔内での水質分布のパターンは基本的に次の3つに分かれる。

##### ① 均一分布型

孔内での水質に変化がみられないタイプである。このタイプは孔内の測定深度の短いもの、ないしは、一時的にピエゾ水頭の高い層の地下水で孔内が占拠されたような場合に生じ易い。

##### ② 密度成層型

地下水中に含まれる塩分濃度が深度が増すに連れて増加するタイプで、成層構造として安定している。密度成層は、観測井S-5、S-12、S-19、揚水井Y-2、既設観測井W-9では特に明瞭である。

##### ③ 密度成層逆転型

比重の高い液相が低いものの上に乗っているタイプで、例えば、水が上で油が下の関係で成層構造としては非常に不安定である。この形態の孔内水質の分布は第1回目の測定時にS-4、S-7、S-10、S-13およびW-33で見られたが、第2回目の測定ではS-13のみで、その他の観測井では確認されなかった。この場合のEC値の変化範囲は密度成層型の変化に較べると非常に小さい範囲(100～400 micro S)である。

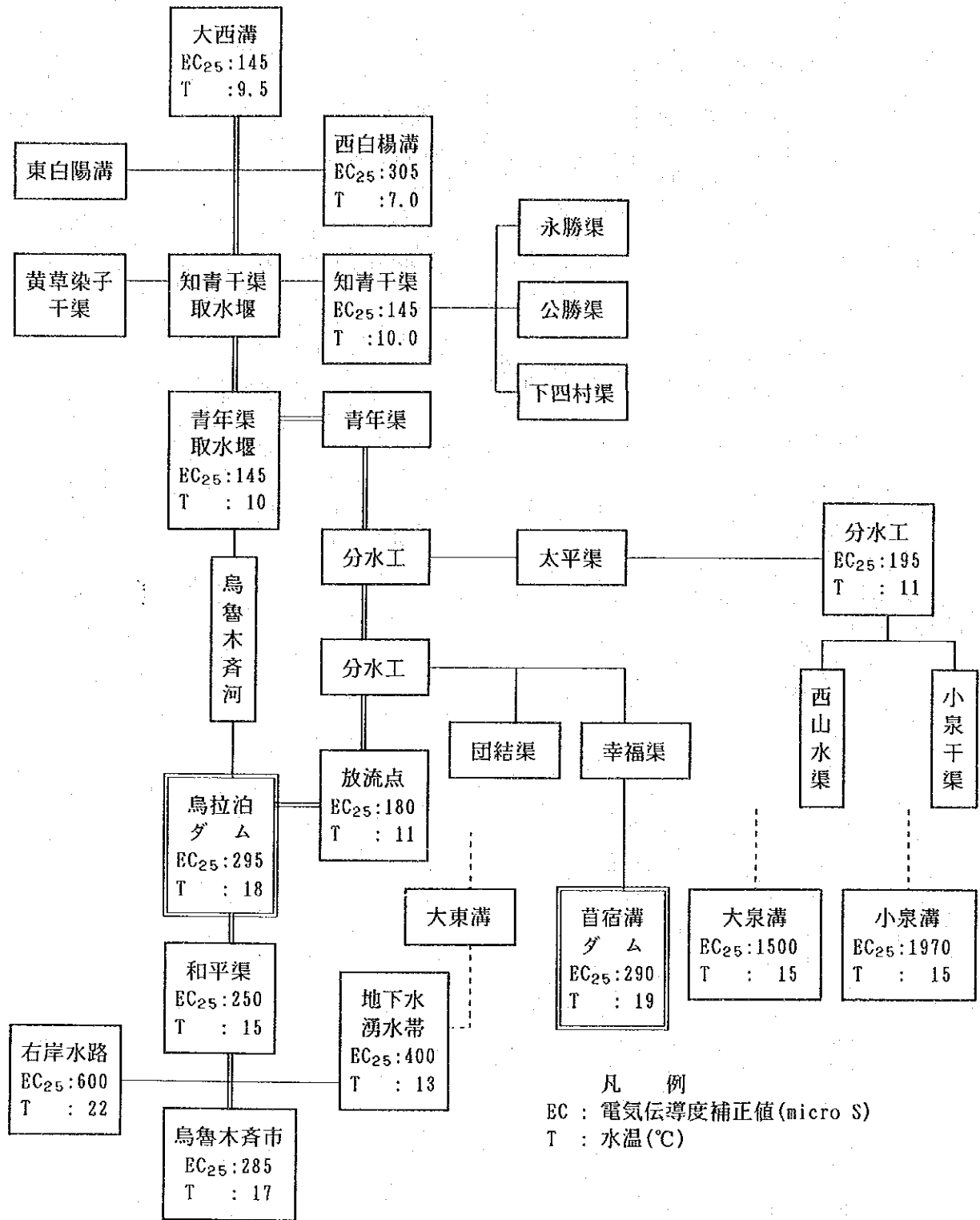


図-3.4.1 調査対象地域内および周辺での簡易水質測定結果

表-3.4.1 孔内水質測定結果：水深別電気伝導度

井戸	孔底深 (WL-m)	水温(℃)	水深別電気伝導度(EC25 micro S)			
			0m	10m	20m	40m 以深
S-1	32.70	9.6~ 9.9	1040~1160	1160	1160	
S-2	83.80	9.8~10.3	2970	2970	2970~3420	3420
S-3	15.00	8.5~ 8.6	380	380~ 470		
S-4	37.50	9.4~	1230	1230	1230	
S-5	40.70	9.4~ 9.7	690	690~1130	1130~1370	
S-7	30.10	9.5~	910	910	910	
S-8	20.90	9.7~	760	760		
S-9	5.70	9.5~	750			
S-10	46.00	10.4~10.5	870~ 910	910	910	
S-11	51.00	9.5~	1110	1110	1110	1110
S-12	95.60	10.2~11.8	1020	1020	1020	1020~4080
S-13	28.40	9.4~ 9.5	870	870~ 780	780	
S-15	41.10	9.0~	790~ 940	940	940	
S-16	33.60	9.1~ 9.4	590	590~ 700	700	
S-17	44.90	9.7~ 9.9	600	600~ 650	650	
S-18	6.20	10.9~	1130			
S-19	74.70	9.2~10.6	710	710	710~ 750	750~1070
Y-1	53.65	9.4~	1040	1040	1040	1040
Y-2	104.00	10.6~11.1	900	900~ 960	960	960~1810
Y-3	100.20	10.5~	860	860	860	860
Y-4	89.10	10.6~	900	900	900	900
W-8	78.50	9.2~ 9.6	2020	2020	1900~2070	2070
W-9	72.40	9.4~10.9	780	780	780~ 880	880~1300
W-10	24.30	9.0~	100	100~ 220		
W-17	44.00	9.5~	450	450	450	
W-33	8.60	9.5~	1260			
W-39	5.10	9.4~ 9.5	1030~1110			

次に、孔内水質測定結果と地質層序の比較では、第1層の砂礫層主体は比較的均質な孔内水質を持つことが多いのに対して、第2層の粘土混じり砂礫層では場所的な変化が生じている。基盤岩の新第三系とジュラ系では電気伝導度および水温が高くなる傾向が認められる。

### 3. 4. 2 地下水水質の分布およびその変化機構

#### (1) 地下水の水質分布

調査対象地域の地下水の代表的な水質は次の3つに分類される。

- 硫酸ナトリウム型：主に、調査地域北西側の小泉溝流域に分布する。
- カルシウム塩型：調査地域の東側および北東側の地域に分布する。
- 中間組成型：主に、計画対象地域から大泉溝流域にかけての地域である。

計画対象地域の第四系の帯水層の不圧地下水は中間組成型とカルシウム塩型である。中間組成型の水質は塩素イオンの極めて少ないものと含むものとの二つに区分され、前者は農業用水からの涵養の影響が強く出ているものと推定される。

また、新第三系の帯水層の被圧地下水(S-6)の水質は中間組成型で、不圧地下水の塩素イオンを含む中間組成型とほぼ同じ水質である。

#### ③ 表層土壌での土壌塩分溶出液の水質

- 土壌中の塩分が少ない地域：調査対象地域内に点在している。
- 石膏( $\text{CaSO}_4$ )が多く分布する地域：長勝大隊付近の一带と調査対象地域西側の新第三系の丘陵部である。
- 硫酸ナトリウム( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )が多く含まれる地域は小泉溝流域下流側である。
- 硫酸ナトリウムと共に塩化ナトリウム( $\text{NaCl}$ )が混入してくる地域は計画対象地域の西側の地点8、地点42、地点45および東側の地点38、地点52に分布する。

(2) 水質の変化機構

降水、河川水、農業用水および化石水が地下水に与えるインパクト並びにその涵養過程ないしは混合過程での水質変化についての評価は次のとおりである。

起 源	地下水と関係	水 質 評 価
降 水	夏季の降雨は蒸発作用を受ける。冬季の積雪は土壌内の温度勾配から水分は上方に動く。降水起源の地下水は量的に限られている。	降水自体の水質は重炭酸型で良好であるが、量的にかん養量が限られるので地下水への影響度は少ない。
表 流 水	烏魯木齊河の流量のほとんどは農業用水として利水されていることから、烏魯木齊河の影響は洪水時の河床からの漏水によるかん養に限られる。	烏魯木齊河沿いの重炭酸カルシウム型の地下水であり、地下水の流動速度も速く、水質的な変化は少ないと考えられる。
農業用水	かんがい水は土壌中での蒸発散作用により塩分濃度が高くなる。また、調査対象地域の地下水循環に与える影響度は極めて高い。	かんがい水は重炭酸カルシウム型であるが、地表面から地下水面まで到達する過程で地表中に含まれる塩分の影響を受ける。
化石水	古い年代の地下水で地下水の流動速度が遅く、地下水盆の低地や、基盤岩に存在する。しかし、その賦存量は一般に大きい。	地層中に永く停滞していると考えられるので、塩分濃度も高く、水質変化は少ない。

また、地層中に含まれる含有塩類とそこを流下する地下水の水質変化の可能性は次のとおりである。

地層区分	地層中の含有塩類	地下水流下中の水質変化の可能性	
第四系帯水層	砂礫主体層 (上部層)	塩類を含有する地層を挟在していない。	砂礫層の透水性は高く、また、塩類も少ないので、水質変化は少ない。
	砂礫/粘土互層 (下部層)	粘土層中に炭酸カルシウムで膠結した灰白色の団塊や、石膏(CaSO <sub>4</sub> )、方解石(CaCO <sub>3</sub> )の微結晶を含む。	粘土層中に、塩類が多く含まれ、また、地下水の流動速度も遅いことから、水質が悪くなる。
基盤層	新第三系	泥岩中に石灰質団塊を多数含み、石膏や方解石の微結晶もしばしば認められる。	泥岩中に、塩類が多く含まれ、また、地下水の流動速度も遅いことから、水質が悪くなる。
	ジュラ系	主として砂岩、頁岩の互層よりなるが、石灰質団塊、石膏、方解石等は認められない。	砂礫/粘土互層、泥岩中を流下した地下水が停滞している可能性がある。

### (3) 環境同位元素

環境同位元素の分析項目は $^2\text{H}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{18}\text{O}$ の3つである。分析試料は雨水、雪、河川水、地下水、湧水から採取せられ、分析のため武漢に送付された。分析結果は次のとおりである。

#### ① 地下水の涵養年代の推定

地下水涵養年代を示すトリチウム( $^3\text{H}$ )の分析値から第四系の帯水層の地下水は地表水と同じ程度の値であり、極最近に涵養されたものと推定される。これに対して、新第三系の地下水はトリチウムの値が小さく、地下水の涵養年代は第四系のものより古いことが判明した。

分析試料	トリチウム含有量(TU)
地表水(雪、雨、河川水)	28.5 ~ 82.9
第4系帯水層の地下水	129.8 ~ 272.5
新第三系帯水層の地下水	< 3.5 ~ 6.7

#### ② 乾燥蒸発の影響

$^2\text{H}$ と $^{18}\text{O}$ との関係は図-3.4.2に示すような標準的な関係であり、調査対象地域の地下水は乾燥蒸発の影響を強く受けていない。

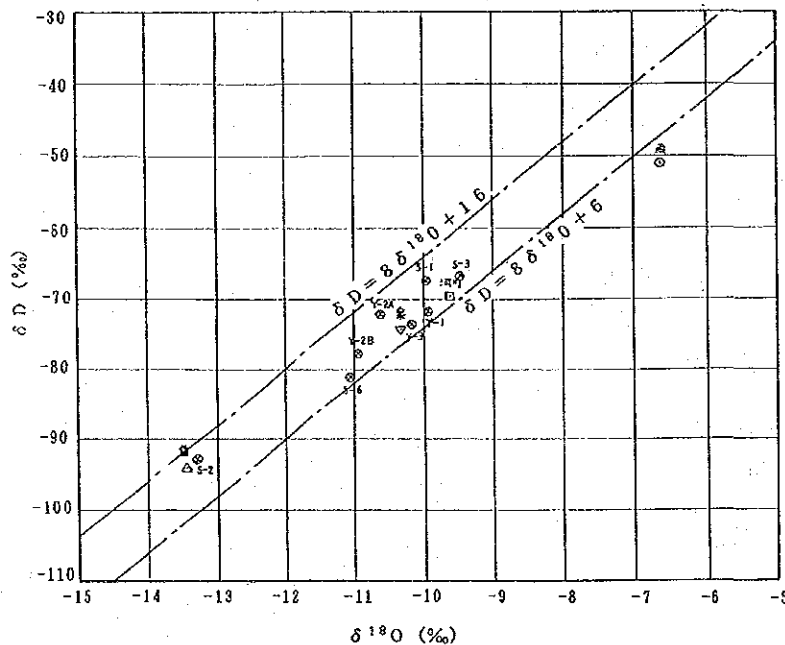


図-3.4.2 環境同位元素 $^2\text{H}$ と $^{18}\text{O}$ との関係

### 3.4.3 飲料水の水質基準

#### (1) 水質基準の比較

中国の生活飲料基準と日本の水道法で定める水道基準との間には基準値に若干の差違がある。参考までに主要項目の対比を示すと表-3.4.2に示すとおりである。

表-3.4.2 日中水質基準の対比

分析項目	中国基準値	日本基準値	備考
pH	6.5 - 8.5	5.8 - 8.6	
総硬度	< 450 mg/l	< 300 mg/l	as CaCO <sub>3</sub>
溶解性塩類	< 1000 mg/l	< 500 mg/l	日：蒸発残留物
硫酸塩	< 250 mg/l	--	
塩化物	< 250 mg/l	< 200 mg/l	日：NO <sub>2</sub> -Nを含む
硝酸塩	< 20 mg/l	< 10 mg/l	
鉄	< 0.3 mg/l	< 0.3 mg/l	
マンガン	< 0.1 mg/l	< 0.3 mg/l	
亜鉛	< 1.0 mg/l	< 1.0 mg/l	
銅	< 1.0 mg/l	< 1.0 mg/l	
フッ素	< 1.0 mg/l	--	
ヒ素	< 0.05 mg/l	< 0.05 mg/l	
カドミウム	< 0.01 mg/l	< 0.01 mg/l	
鉛	< 0.05 mg/l	< 0.1 mg/l	
細菌	< 100	< 100	個/m <sup>3</sup> 以下
大腸菌群	< 3	検出されないこと	個/m <sup>3</sup> 以下

#### (2) 揚水井で採水された地下水の水質評価

計画対象地域の揚水井Y-1、Y-2、Y-3、Y-5の水質分析結果と中国国家飲料水基準との対比を表-3.4.3に示す。



表-3.4.3 揚水井で採水された地下水の水質評価

	項目	中国基準値	揚水井での水質	水質評価
感官性及び一般化学指標	1. 色度	15度	なし	適合
	2. 濁度	3~5度	透明	"
	3. 臭気	異常のないこと	なし	"
	4. 可視物	"	なし	"
	5. pH	6.5~8.5	7.9~8.1	"
	6. 総硬度	450 mg/l	91.6~165.3	"
	7. 鉄	0.3 "	0.02~0.1	"
	8. マンガン	0.1 "	0.001~0.003	"
	9. 銅	1.0 "	0.001~0.003	"
	10. 亜鉛	1.0 "	0.043~0.06	"
	11. フェノール	0.002 "	0.000~0.003	"
	12. 陰イオン活性剤	0.3 "	0.005~0.007	"
	13. 硫酸塩	250 "	321.8~456.3	WHO基準では適合
	14. 塩化物	250 "	67.4~99.3	適合
	15. 溶解性固形物	1000 "	768.8~936.7	"
毒理学指標	16. フッ素(F)	1.0 mg/l	0.20~0.31	適合
	17. シアン(CN)	0.05 "	< 0.001	"
	18. ヒ素(As)	0.05 "	0.0005~0.00125	"
	19. セレン(Se)	0.01 "	0.0002~0.0004	"
	20. 水銀(Hg)	0.001 "	0.0~0.0001	"
	21. カドミウム(Cd)	0.01 "	< 0.001	"
	22. 六価クロム(Cr <sup>+6</sup> )	0.05 "	< 0.001	"
	23. 鉛(Pb)	0.05 "	0.003~0.01	"
	24. 銀(Ag)	0.05 "	分析値なし	"
	25. 硝酸塩	20 "	12.45~21.32	Y-1は不適、他は適合
	26. クロロフォルム	60 μ/l	分析値なし	異常がないと判定
	27. 四塩化炭素	3 "	"	"
	28. ヘキサクロロベンゼン	0.01 "	"	"
	29. DDT	1 "	"	"
30. BHC	5 "	"	"	
細菌	31. 細菌総数	100 個/ml	10 ~ 68	適合
	32. 大腸菌群	3 個/l	0 ~ 3	"
	33. 遊離塩素	0.05 mg/l	分析値なし	異常がないと判定
放射性	34. α放射性	0.1 Bq/L	0.20~0.37	飲用可
	35. β放射性	1 Bq/L	0.10~0.14	適合

注、① 国家水質基準に定める項目の内、今回の水質分析で実施しなかったものについては中国側がそれら項目の分析の必要がなく、水質上問題がないと判断したものであるとの説明を受けた。

② 硫酸塩のWHO基準（最大許容値）は400mg/lである。

### (3) 飲料水としての評価

#### ①硫酸塩についての見解

硫酸塩の多く含まれる水を飲用した場合には、味覚の点で劣り、下痢を起こしやすくなることが知られている。日本の場合は1958年制定の水道基準では200mg/ℓ以下の基準があったが、現行基準では特に必要ないとして撤廃された。

世界保健機構(WHO)でも、水質基準が厳しいと水源が確保できないとの観点から、最大制限値200mg/ℓから最大許容値400mg/ℓの基準を設けているが、これらの値に照合すると、5本の揚水井の硫酸塩濃度は320mg/ℓから450mg/ℓであり、平均としてとらえた場合、おおむねWHOの水質基準(最大許容値400mg/ℓ)に適合するものと考えられる。

#### ②硝酸塩についての見解

硝酸塩については、Y-1は20mg/ℓの基準値を越えているが、その他の3本は基準値内にある。一般に、硝酸塩と亜硝酸塩が共に検出される場合には人為的汚染の可能性があるが、計画対象地域で広範囲に検出される硝酸塩は鉱物起源のものであると推定され、亜硝酸塩濃度も低いので、汚染の程度は僅かと推定される。

#### ③計画対象地域の地下水の水道水原水としての可能性

これまでに得た周辺の情報を取りまとめると下記のとおりである。

- a) 西山水源地は水質的にみて優れた水質とは言えないが、水源が少ない烏魯木斉市の実情を勘案すると、健康に悪影響を及ぼす成分は特に検出されていないので、今後の水道水源として開発を進めていくことが得策であると思われる。というのも、烏魯木斉河水系の地下水は既に三通碑水源地で取水されており、その上流で開発することは下流への影響が考えられるため、烏魯木斉河水系に影響の出ない新しい水源を開発する必要がある、このような観点から、西山水源地が着目されるに至ったという背景がある。
- b) 今後地下水開発に伴い西山水源地の水質が悪化し(硫酸塩)、WHOの最大許容値を満たさなくなる場合には、硫酸塩の除去処理にはコストが非常にかかるので、三通碑水源地の原水と混合して、飲料水の水質基準を満たすように配慮して給水することも将来の対策の一つとして考えられる。

#### 4 地下水開発計画

##### 4.1 烏魯木斉市の給水事業の概要

##### 4.1.1 烏魯木斉市の給水事業の現況

##### (1) 烏魯木斉市の利水状況

烏魯木斉市の都市用水および工業用水の利水状況は表-4.1.1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-4.1.1 烏魯木斉市の利水状況（1987年）

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 <sup>3</sup> /年)		5110.00	2505.60	7515.60
実給水量 (万m <sup>3</sup> /年)		4771.64	2505.60	7277.24
生活用水 (万m <sup>3</sup> /年)	1403	3835.00	1050.00	6288.00
緑化用水 (万m <sup>3</sup> /年)	931	21.85		952.85
工業用水 (万m <sup>3</sup> /年)	4698	914.79	1455.60	7068.39
合 計 (万m <sup>3</sup> /年)	7032	4771.64	2505.60	14309.24

出典：地質礦産局提供資料

##### (2) 烏魯木斉市の水道事業の概要

烏魯木斉市の給水施設は1958年に建設され、当時の給水能力は7200ト/日であった。以来、同市の発展と共に、給水事業も急速に拡大され、市の都市計画委員会の下部組織である水道公司により1989年現在、5つの水源地から16万ト/日（内、地下水10万ト、表流水6万ト）の給水を行っているが、同市の給水能力は中国の他の都市に較べて未だに低い水準にある。

##### ① 水源地

水道公司による給水事業の水源地は地下水に依存しており、主な水源地の揚水量は表-4.1.2に示すように三通碑水源地がその大部分を占める。三角碑水源地では、井戸8井（揚程20m：井戸掘削深度50m）と横浸透型取水渠2基により、地下水が取水されているが、近年、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40m：井戸掘削深度80m)である。

表-4.1.2 1988年水源別揚水量 単位：万m<sup>3</sup>/年

	三通碑水源地	二宮水源地	水摩溝水源地	北部水源地
揚水量	4 7 7 3	4 6 9	2 4 2	1 1 2

## ② 水道会社の運営および水道料金

水道会社の事業収入は①生産に要する費用、②地方財政への租税および③会社の利潤として支出される。1988年の計画では、年間給水量は5000万トン、総事業費は750万元、利潤は90万元であった。

事業収入は水道料金の徴収により実施される。水道料金は基本的に水道料金単価(表-4.1.3)と水道メーターによる使用水量により算定される。

表-4.1.3 各種用途別の水道料金単価

用 途	水道料金単価	備 考
生 活 用 水	0.15 元/m <sup>3</sup>	
工 業 用 水	0.15 元/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	

## ③ 給水施設の概要 (図-4.1.1)

- 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

## ④ 水道水の水質

三角碑水源地の地下水は水質的に良好であるので、未処理のまま配水されている。烏魯木齊市の下流側(北側)に位置する哈馬山、二宮水源地では硬度が高くなる他、下水、汚水、ゴミ等による汚染があり、時には、硝酸イオン、細菌、大腸菌が飲料水の基準値を越えることもある。しかしながら、地下水起因の疾病事例は過去30年間ない。

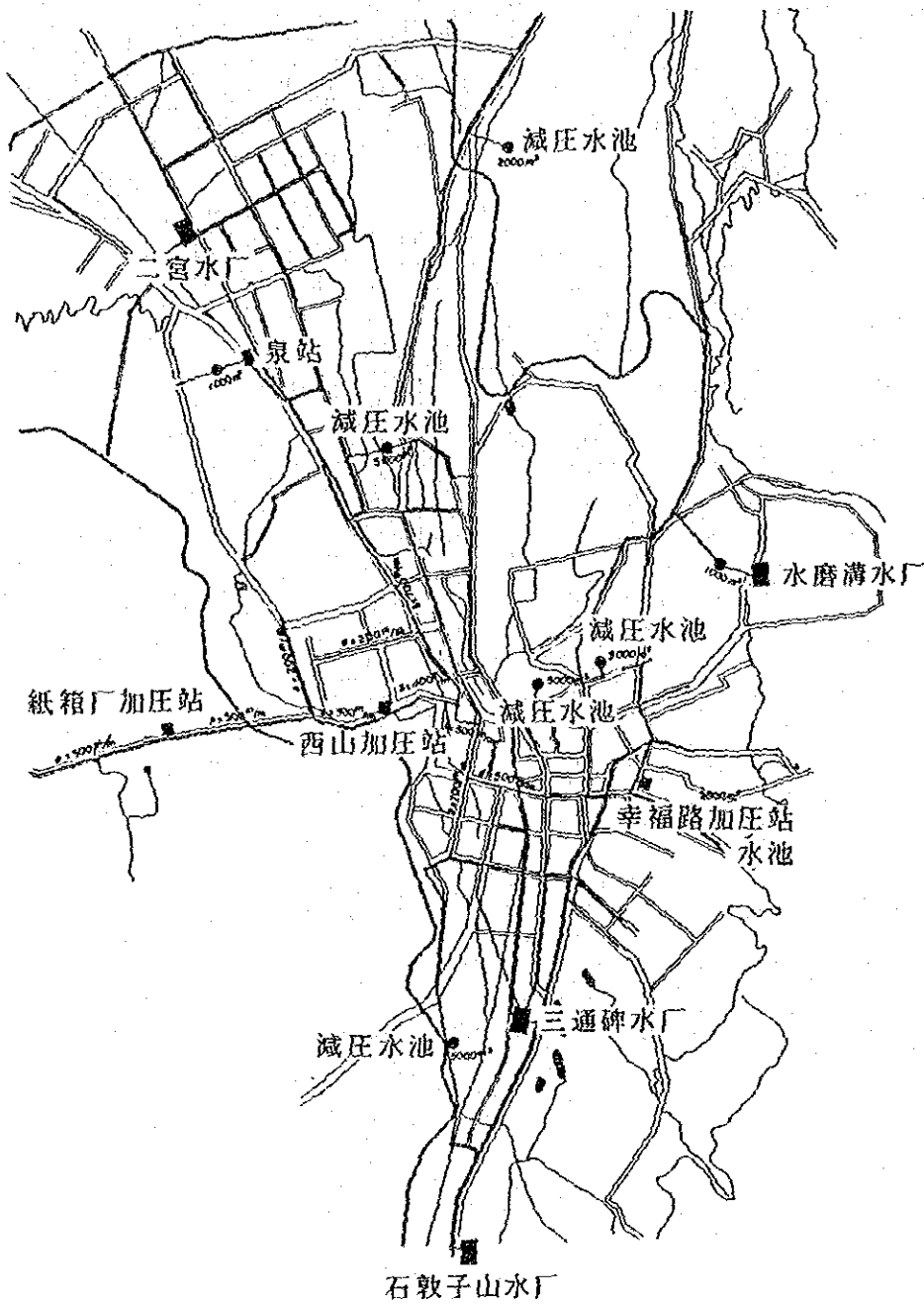


图-4.1.1 烏魯木齊市給配水管網圖

#### 4. 1. 2 給水事業に関連する行政組織

##### (1) 新疆維吾爾自治区政府

新疆維吾爾自治区政府は図-4.1.2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、表流水の開発調査および建設を、建設庁が都市計画（上水道事業を含む）を担当している。

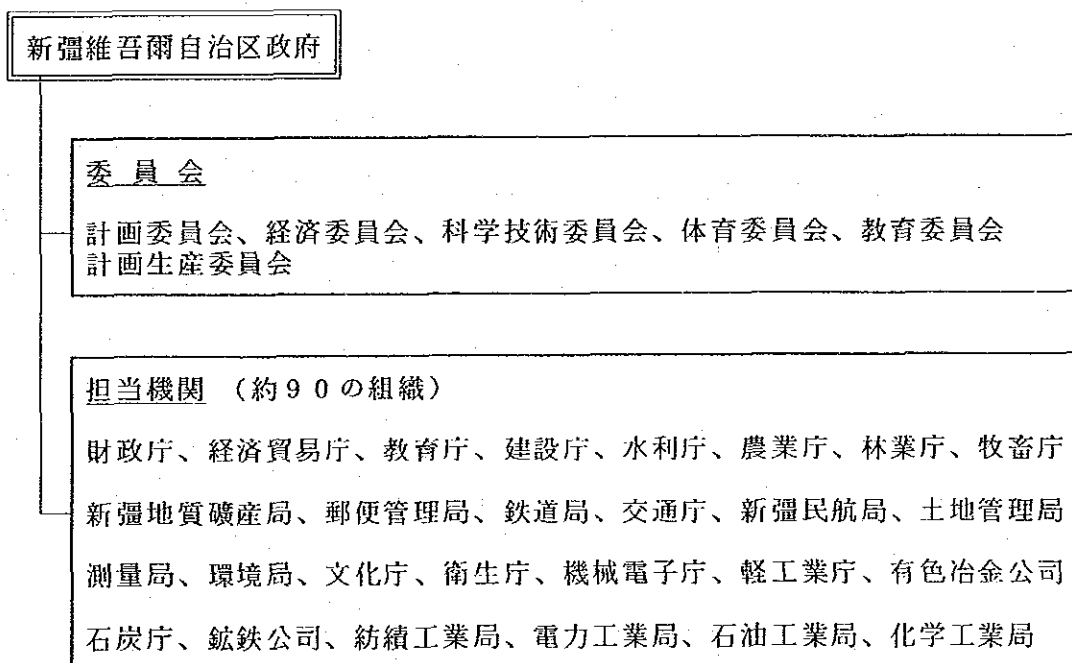


図-4.1.2 新疆維吾爾自治区政府の構成

##### (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委員会と担当機関（その多くは局および公司）から構成される。給水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-4.1.3に示す機関が所属している。

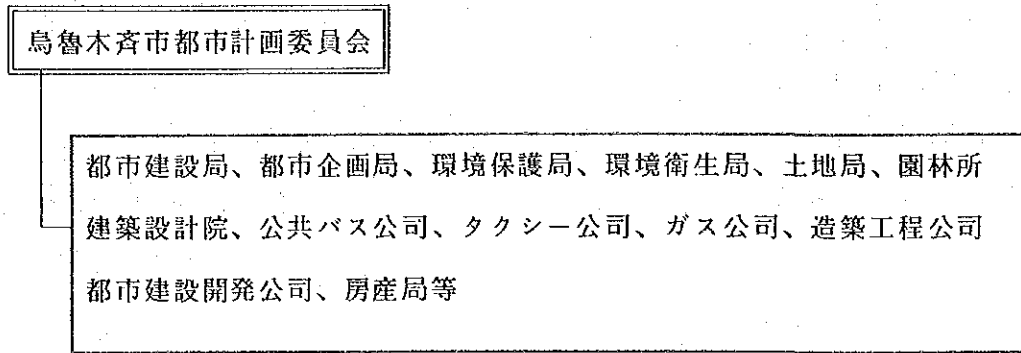


図-4.1.3 烏魯木齊市都市計画委員会の構成

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-4.1.4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がここに含まれる。

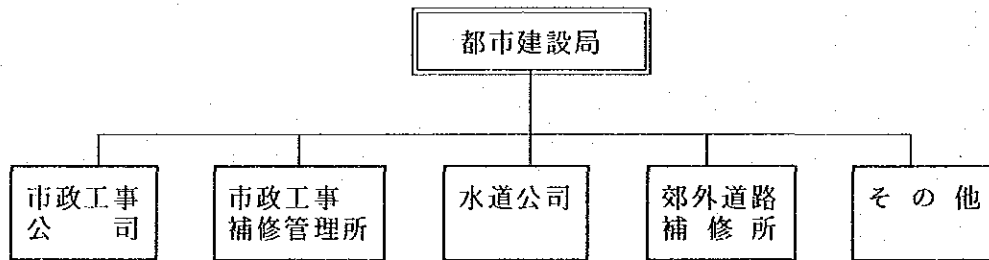


図-4.1.4 烏魯木齊市都市建設局の構成

(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-4.1.4に示すような内容となる。

表-4.1.4 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
新疆维吾尔自治区	地質矿产局	—	◎	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。特に烏魯木斉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になっている。烏魯木斉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になっている。

地下水調査が実施された後の事業化に向けての手続きは図-4.1.5に示す手順でなされ、新規事業の実施の採択は中国の事業の投資対効果の判断基準で判定される。

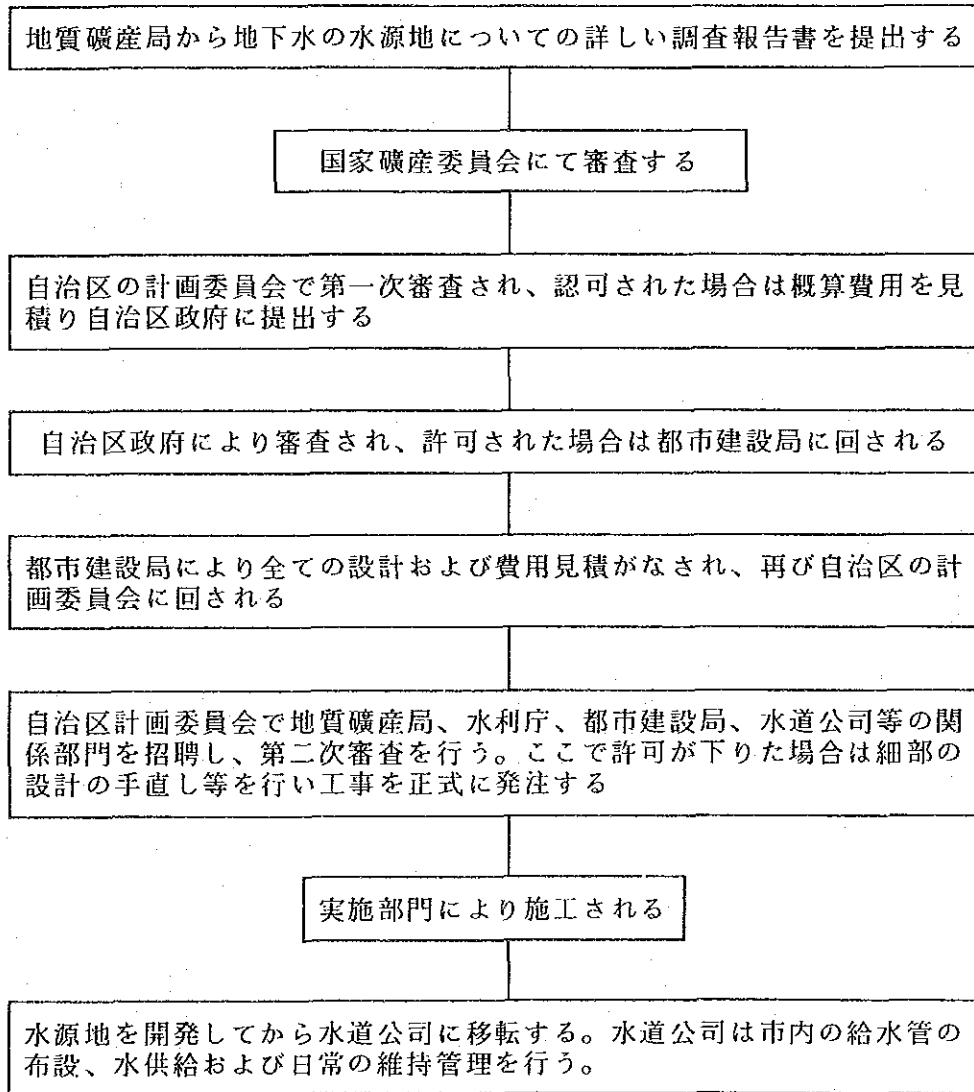


図-4.1.5 調査段階から実施段階までの給水事業の流れ



## 4. 2 地下水開発可能量

### (1) 地下水開発量試算の基本的考え方

地下水開発計画の観点からは、農業用水が地下水を涵養している形態と、新第三系丘陵部より地下水が流入している形態を比較すると、前者の方が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地下水の水循環を計画のベースとする。

### (2) 地下水開発水量を検討する上での指標

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

(表-3.3.9、図-3.3.8参照)。

#### ① 農業用水からの涵養量

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からの地下水流入量は現況の水収支計算で1,440万 $m^3$ /年程度と推定される。

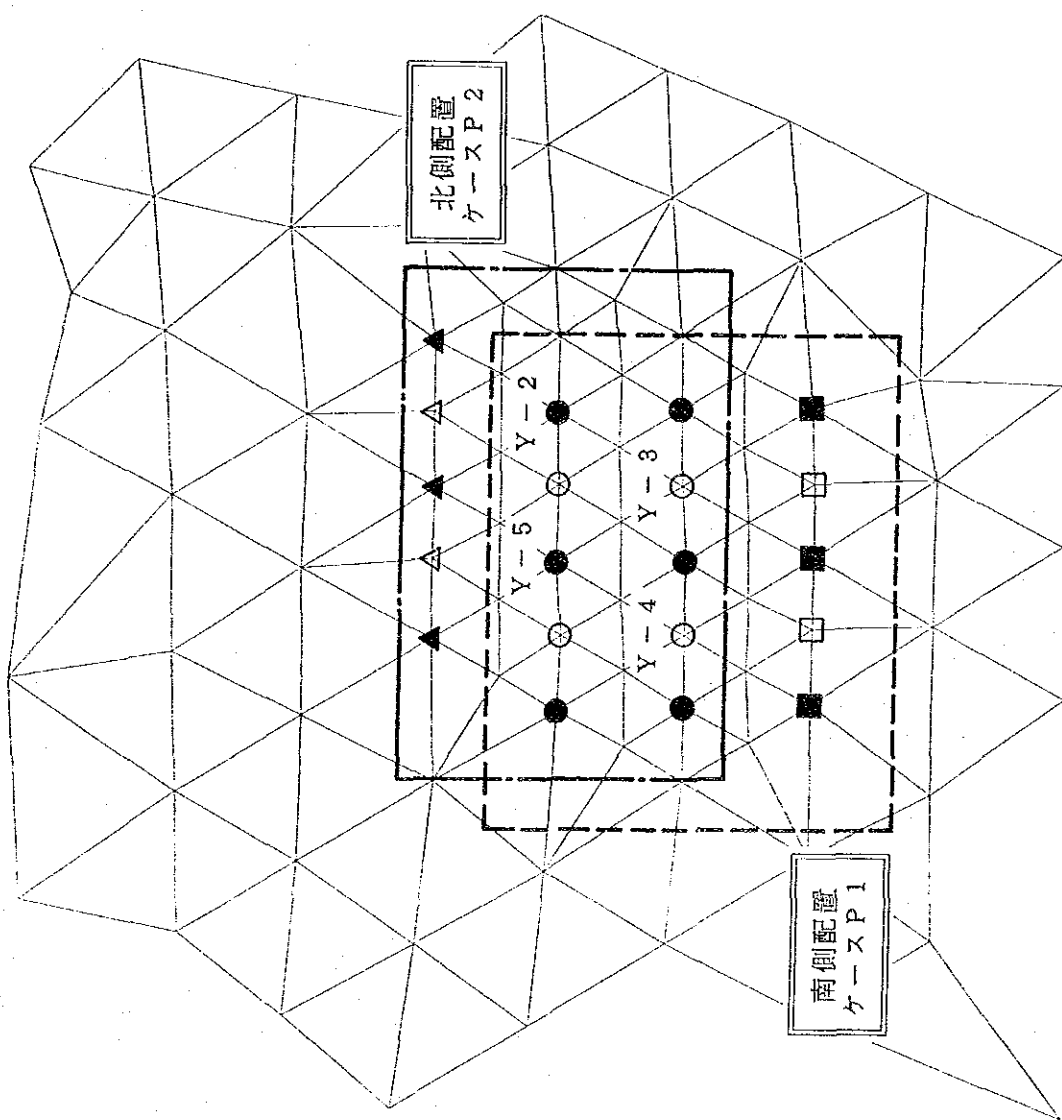
#### ④ 西山水源地に対する開発水量の目安

烏魯木齊市当局は日量3万 $m^3$  (約1100万 $m^3$ /年)以上の供給を希望している。

### (3) シミュレーション計算の実施方針

日量3万 $m^3$ 規模の地下水開発が水収支計算結果から見て可能であると判断される。日量3万 $m^3$ での開発に伴う将来予測のシミュレーション計算では、図-4.2.1に示すの2つの揚水井配置計画に従って計算を実施した。各集水ラインでの揚水量は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。

- 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。



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：揚水量入力節点

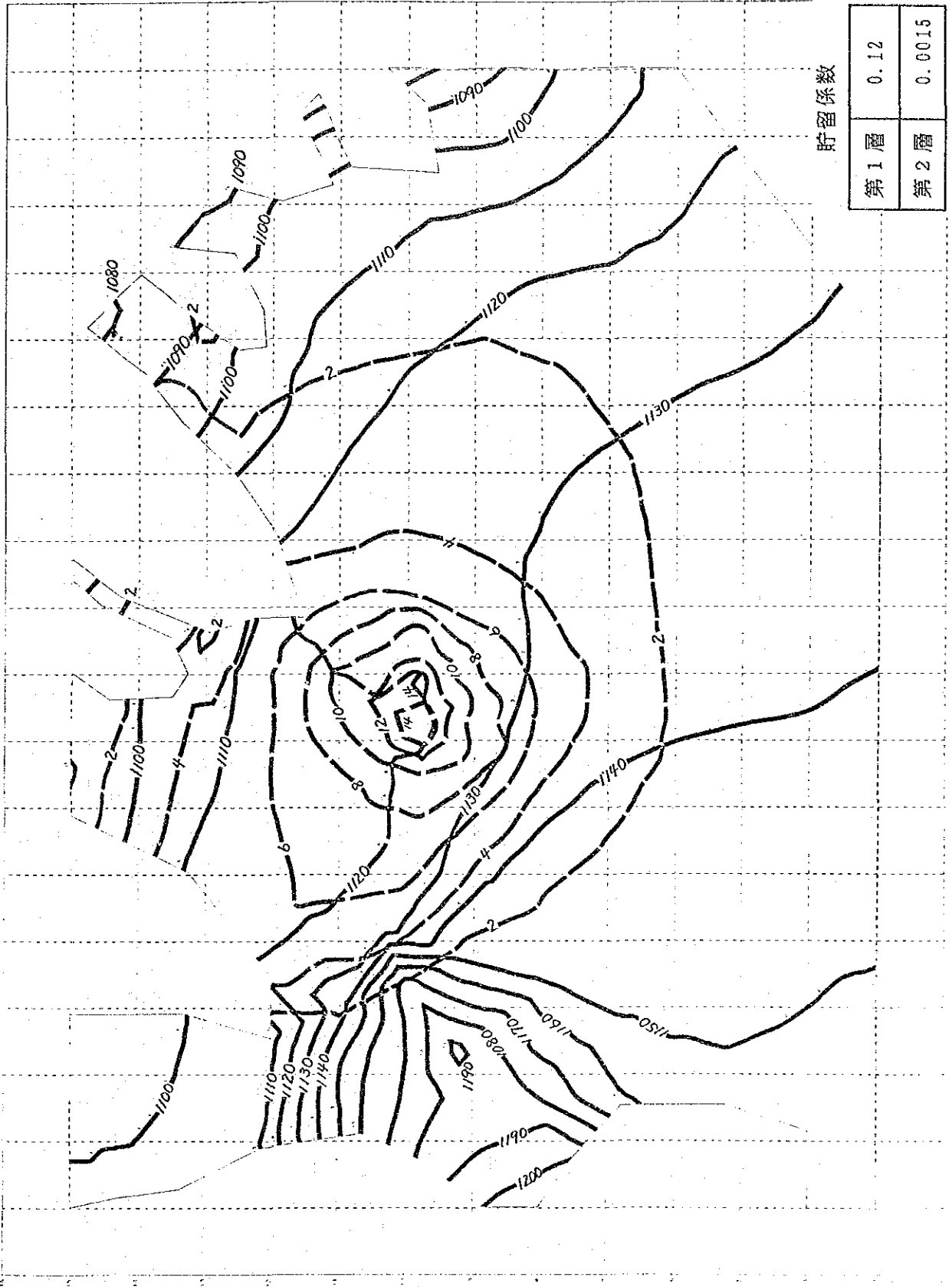
図-4.2.1 将来予測シミュレーション計算での井戸配置計画案

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。

#### (4) 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計算結果にそれほど大きな差異がない。図-4.2.2に示すように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程度であると推測され、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。

なお、日量3万 $m^3$ を越える開発を必要とする場合には、更に詳しい水文地質調査を行った上で検討すべきである。



図一4.2.2 地下水開発に伴う水位低下の範囲（ケースP2）

#### 4.3 地下水開発に伴う下流への影響評価

##### (1) 境界での地下水流入、流出量の変化

シミュレーション計算による地下水開発に伴う水収支単元毎での地下水流入、流出量の変化は、ケースP1およびP2でほぼ同じ計算結果となった。各単元での開発後30年までの地下水流入、流出量の変化は表-4.3.1に示すとおりであり、その特徴は次のとおりである。

##### ① 地下水開発に伴う地下水流入、流出量の変化が大きい地域

南側（上流側）からの流入量が2.3倍ほど増大し、大泉溝および苜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-4.3.1 地下水開発に伴う水収支の変化(P2)

単位：m<sup>3</sup>/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

地下水開発後1ヶ月と30年との地下水の流動ベクトル図を図-4.3.1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ですが、烏魯木齊河から大東溝にかけての透水ゾーンからの供給はほとんどない。

## (3) 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。

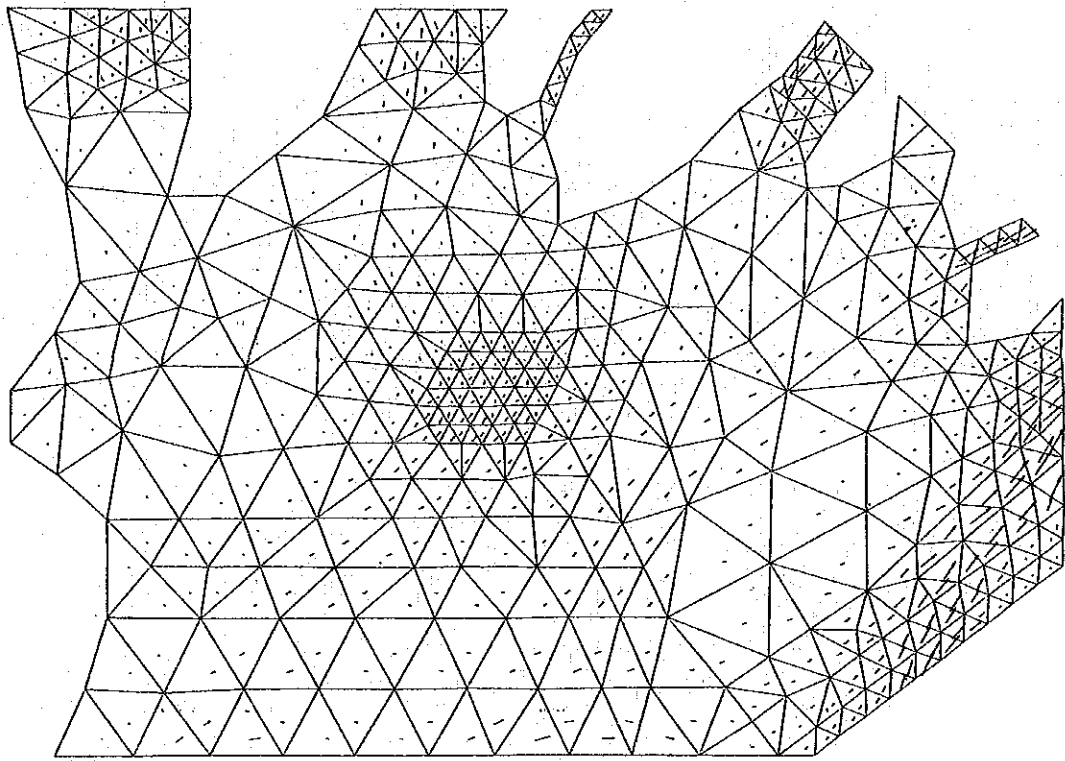
計画対象地域の下流側に位置する大泉溝、苜宿溝、長勝大隊では流量が少なくなる。しかし、この地域での地下水は西山水源地よりも水質が悪い水であり、西山水源地での地下水を途中で分水することにより解決する。

## (4) シミュレーション計算の限界

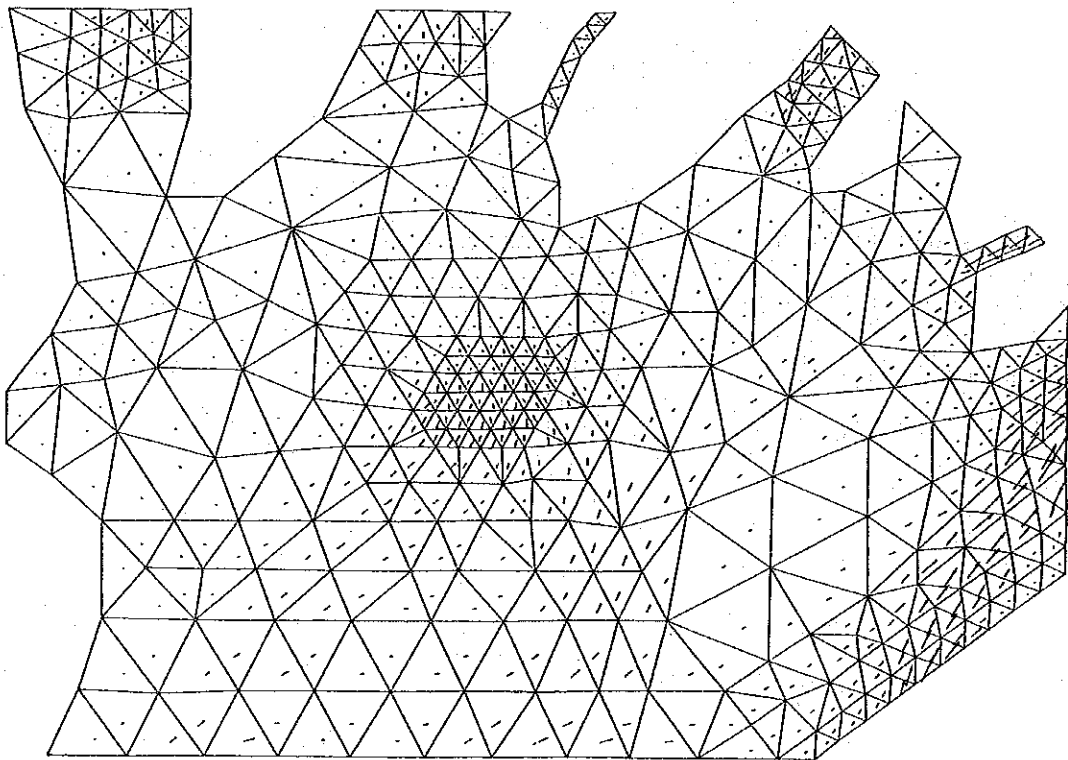
今回行ったシミュレーション計算は現地調査で得られた調査結果の精度および数学モデルの離散化表示のレベルに準ずるものである。

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、開発後の水位並びに水質の監視体制を確立して置くことが大切である。



(1) 開発後1ヶ月



(2) 開発後30年

図-4.3.1 地下水開発に伴う地下水流動の変化

#### 4. 4 地下水開発計画基本フレーム

##### 4. 4. 1 給水事業の拡張計画

###### (1) 水需要予測

烏魯木斉市の人口は1988年の調査では124万人であり、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。

市当局（都市建設局、水道公司）の試算では、表-4.4.1に示すように、現在、日量約16万 $m^3$ の給水を行っているが、人口124万人の中の85万人（共同水栓の利用者を含む）の給水をカバーするに過ぎない。1人当りの給水量も80 $lit$ /日と低く、未給水区域を考慮すると、なお、日量5万トンの水が不足する。

中・長期的な給水量の目標では、2000年には、人口は130万人に達すると共に、生活レベルの向上に伴い一人当たりの消費水量は180 $lit$ /日/人となる。また、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。

表-4.4.1 給水量の目標値

計画年度	給水人口	1人当り消費水量	必要水量
現 況	85万人	80 $lit$ /日	16万 $m^3$ /日
1990年	108万人	120 $lit$ /日	21万 $m^3$ /日
2000年	130万人	180 $lit$ /日	33万 $m^3$ /日

###### (2) 開発の対象となる水源

烏魯木斉市の人口が急増してきたことから、1人当りの水資源の年間利用可能量（年降水量×面積/人口）は中国全体の平均値2700 $m^3$ に対し、烏魯木斉の場合は212 $m^3$ に過ぎない。

河川水である烏魯木斉河は上流の青年渠取水堰では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中心であり、その開発候補地域は表-4.4.2に示す水源地である。

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、烏魯木斉市からも近く



距離的にも有利であり、給水先への送水は地形的に自然流下となる。一方、柴窩堡、達板城は烏魯木齊から遠く、また、送水が山越えになる。

西山水源地は量的には少ないが、開発計画に着手しやすいことから、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付けられる。

表-4.4.2 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

水需要予測と地下水資源の開発計画との関係は図-4.4.1に示すような開発計画が考えられる。

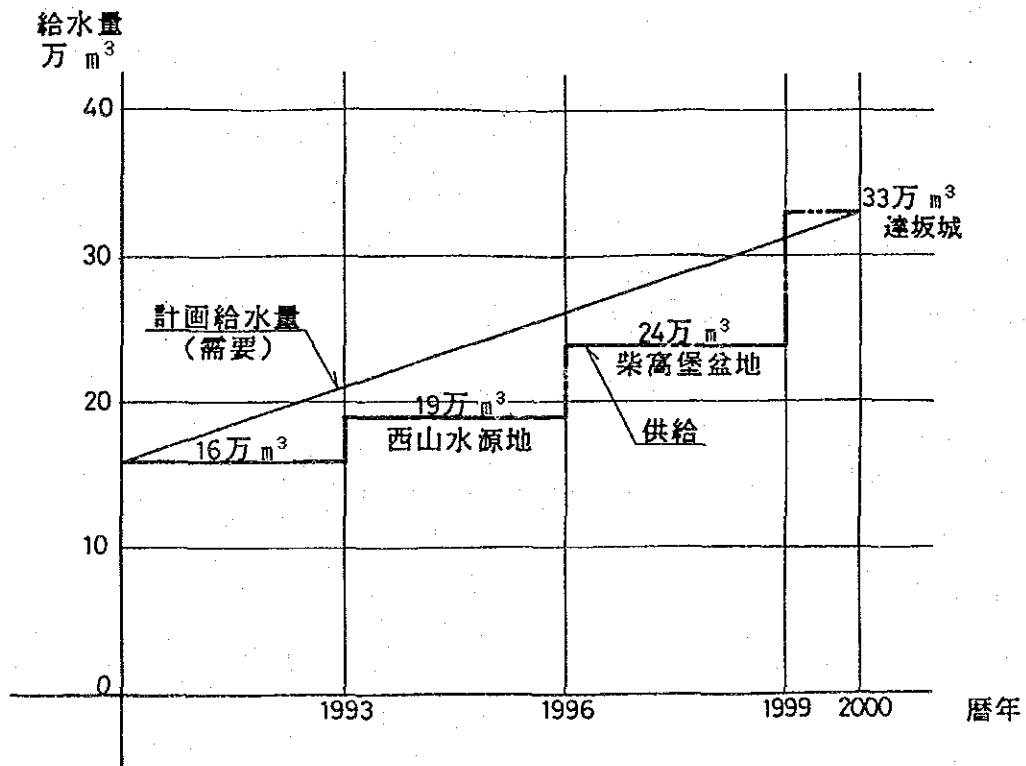


図-4.4.1 地下水開発計画全体工程 (推定)

#### 4. 4. 2 西山水源地開発計画

##### (1) 西山水源地に対する評価

西山水源地は他の水源開発候補地に較べて烏魯木斉市から近く距離的にも有利であり、今回実施した詳細調査の結果から、同水源地の帯水層は水量的に極めて良好である。市内の北側に位置する水源地の地下水は水質的に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おり、現在の塩素注入殺菌の設備だけでの対応は難しくなりつつある。これらの水源地での水質が更に悪化するならば、抜本的な水処理が必要となり、水処理に費用がかかることとなる。

これに対して、西山水源地の地下水は水源地周辺に汚染源がなく、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の水供給量の不足を補う最も有力な開発候補地と判断される。

##### (2) 給水対象地区および給水目標値

西山水源地からの給水対象地域は、現在、烏魯木斉市内で最も給水事情の悪い烏魯木斉河左岸に位置する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計画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斉河左岸（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を実施したけれども、人口増加が急であったため、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ので、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。

市当局の試算によれば、西山地区に於ける中・長期的な給水量の目標は、①西山地区での給水量、②西山地区に送水される送水管路周辺の集団農場・工業の住民に対する給水量および③工業用水・緑化用水を含めて、表-4.4.3のようになっている。

表-4.4.3 西山地区の給水量目標値

目標年度	人 口	総 給 水 量
1990年	100,000人	2.0万m <sup>3</sup> /日
2000年	140,000人	4.0万m <sup>3</sup> /日

#### 4.4.3 西山地区給水事業の概要

##### (1) 導水管布設ルート

西山水源地から烏魯木齊市内への送水管の布設ルートについては、①烏庫公路を利用する南側ルートと②首宿溝を經由し西山公路を利用する西側ルートの2つのルートを比較した結果、後者の西側ルートの方が有利であり、中国側関係者との協議の上、このルートを採用することとした。

##### (2) 導水管からの分岐および接続先の基本的条件

西山水源地から給水先への接続条件を表-4.4.4に示す。

表-4.4.4 導水管からの分岐および接続先の基本的条件

計画送水量	30,000m <sup>3</sup> /日
既設配水管 接続条件	- 鑄鉄管の管種及び管径：A種、径300mm - 埋設深さ：2m - 計画送水量時残存水頭：30m
そ の 他	導水管路途中より分岐弁を設け、水源地近隣農家への給水を考慮する。 本計画で開発する地下水を灌漑用水として利用することは現時点では基本的に考えない。

##### (3) 給水施設の構成

給水施設の構成は次の3つである。

- ①揚水ポンプ設備：生産井、集水管、管理センター
- ②導水管路：管路、減勢工、支障構造物対策
- ③集水池：配水池、塩素注入装置

西山水源地と給水地区との標高差はかなり大きいので、この水頭差を利用して小水力発電を行うことも可能である。

#### 4.5 井戸配置計画

西山水源地での地下水開発は日本から持ち込んだ大口径掘削機を用いて、今後も生産井をさく井することを前提として、本計画を策定するものとする。

##### (1) 地下水開発区域

第1年次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年次の揚水試験の結果から、計画対象地域での生産井の掘削適地は表-4.5.1に示す制約を受ける。

表-4.5.1 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。

##### (2) 井戸間の干渉

群井揚水試験の再現計算では揚水井近傍での要素数が少ないので、水位降下量は実測値よりやや小さくなる。揚水井 Y-2での水位降下量が大きいため、この周辺の節点の透水係数を変えて種々計算を行ったが、再現性はよくならなかった。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最も有力と考えられる。

群井揚水試験と単井揚水試験との水位降下量は、表-4.5.2に示すように単井の水位降下量の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それほど大きくないので、水位低下による電力消費量への影響は少なく、揚水効率の低下はほとんどない。

表-4.5.2 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

### (3) 井戸の配置間隔

第2年次に掘削した揚水井を活用しながら、集水管の設置を経済的に行うためには、井戸の配置間隔は現状の配置間隔(700m)の半分の350mでよい。また、開発区域での生産井の掘削は井戸の維持管理上の余裕を見て計画するので、井戸の稼働状態を適正に管理すれば、実際に運転中の井戸の間隔は現状の配置間隔(700m)に近い状態であり、井戸の干渉による影響は少ないと推測される。

### (4) 井戸の掘削本数

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り、揚水井1本当たり3000~3500m<sup>3</sup>/日の揚水が可能である。

日量3万m<sup>3</sup>を開発するためには10本の揚水井が常時稼働していなければならない。このためには、地下水位低下の抑止、井戸の保守管理等を考慮して稼働率を65%程度と仮定すると、揚水井は15本必要になる。したがって、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となる。

### (5) 井戸の配置

1系統の集水ラインは350m間隔で5本の揚水井を配置することを基本とする。15本の揚水井の配置では集水ラインが3系統となる。井戸の配置は既設揚水井を活用することことから、3つの集水ラインの内、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ある。

シミュレーション計算のケースP1およびケースP2の計算結果には大きな差異がないので、ケースP2(北側配置案)の方が掘削延長の面で有利であり、また、送水距離の面でも有利であるので、第3の集水は揚水井 Y-2と Y-5を結ぶラインの北側に設けることとする。

なお、生産井の配置計画に際しては、揚水井 Y-3と Y-4を結ぶ系統では西端の1本が深くなるので、この1本を揚水井 Y-2と Y-5を結ぶライン上に移して計画した。

#### 4. 6 給水施設計画

##### 4. 6. 1 径路選定

###### (1) 想定される給水路線の状況

西山水源地から受益地の烏魯木齊市内西山地区への導水管の布設ルートについては、  
 図-4.6.1に示されるように次の2つのルートが考えられる。

- ① 烏庫公路を利用する南側ルート
- ② 首宿溝を經由し西山公路を利用する西側ルート

これら2つのルートの特徴及び比較は表-4.6.1に示すとおりであり、西山地区に供給する場合、西側ルートの方が有利である。また、将来、市全体の水量を増強することが必要となった場合には、南側ルートを増強策として利用する可能性が残される。

表-4.6.1 導水管布設ルートの比較

検討項目	ルートの特徴	比較結果	
		西側ルート	南側ルート
導水管路	水源地から接続地点までの導水管路長はほぼ同じである。	約15km	約15km
接続先	西側ルートは直接受益地に接続されるのに対して、南側ルートは既設施設に接続され、ここを經由して受益地に送水される。	有利	不利
送水方式	西側ルートは全区間重力方式で送水される。南側ルートは一部区間でポンプアップが必要となる。	有利	不利
障害物	西側ルートには導水管布設に伴う障害物はほとんどない。南側ルートは鉄道と交差する。	有利	不利
施工性	西側ルートは農耕地を用地とし、作業性には問題はないが、資機材搬入のための道路には舗装がなく輸送の点で若干南側ルートに比して不利である。南側ルートは全線舗装道路沿いにあり、運搬上は非常に有利だが同時に工事中の資材、掘削土の仮置き等のため交通規制の必要がある。	やや有利	やや不利

## (2) 導水管布設ルート of 地形条件

以下の記述は導水管のルートとして予定される首宿溝、西山公路経由の西側ルートについての概要である。まず本ルートの地形条件は次のようである。西山水源地を出て約1000mは烏庫公路に沿って北上し、幸福渠との合流点で幸福渠に沿って公路を離れ電話通信線と隣接の用地を通る。幸福渠との2箇所の交差を含むが首宿溝の水庫(ダム)付近までは比較的平坦な砂礫層の農耕地である。水庫の湛水域周辺には道路がなく迂回の必要があるため丘陵部を登り降りることになっている。水庫下流への道路部分には岩盤の露出部があり工事で掘削にさいして考慮する必要がある。水庫下流からはまた水路に沿った道路の路肩部分を利用して下って行き、小工場群を経由し西山公路に至る。

同西側ルートの概略経路、概略縦断および標準的な横断方向の断面は、各々、図-4.6.2、及び図-4.6.3に示すとおりである。

## (3) 導水管布設ルート of 地質

導水管の布設は西山水源地から北に向い、首宿溝を経て西山公路へ連続するルートで計画されている。このルート沿いの地質はほぼ全線にわたり砂礫層である。砂礫層は径3-15cmの礫と粗砂より成り、表層の10-40cmの部分はシルト混じりの表土となっている。砂礫層は全体によく固結しており、2-3mの垂直壁でも自立する。この様に砂礫層は導水管路及びその他構造物の基礎として十分な支持力を有していて、特に問題はないといえる。

導水管路の下流部に向い基盤岩が浅くなる傾向があり、局部的であるがルート沿いで岩盤が露出あるいは非常に浅くなる部分がある。これらの地点は首宿溝水庫直下流部、及び西山公路近傍地域である。基盤岩はジュラ系の砂岩及び頁岩より成り、岩質は比較的軟質であるため、機械掘削で充分対応できるものと考えられる。

## (4) 導水管布設ルート上の支障構造物

ルート上の現地踏査で見える限り、本給水計画における構造物に支障のある既設の構造物には大きな物はなく、いずれも技術的に容易に解決可能である。上流の揚水井区域より接続点までに考慮しなければならない構造物は以下のとおりである。

- 農業用開水路横断
- 舗装道路横断
- 小河川横断

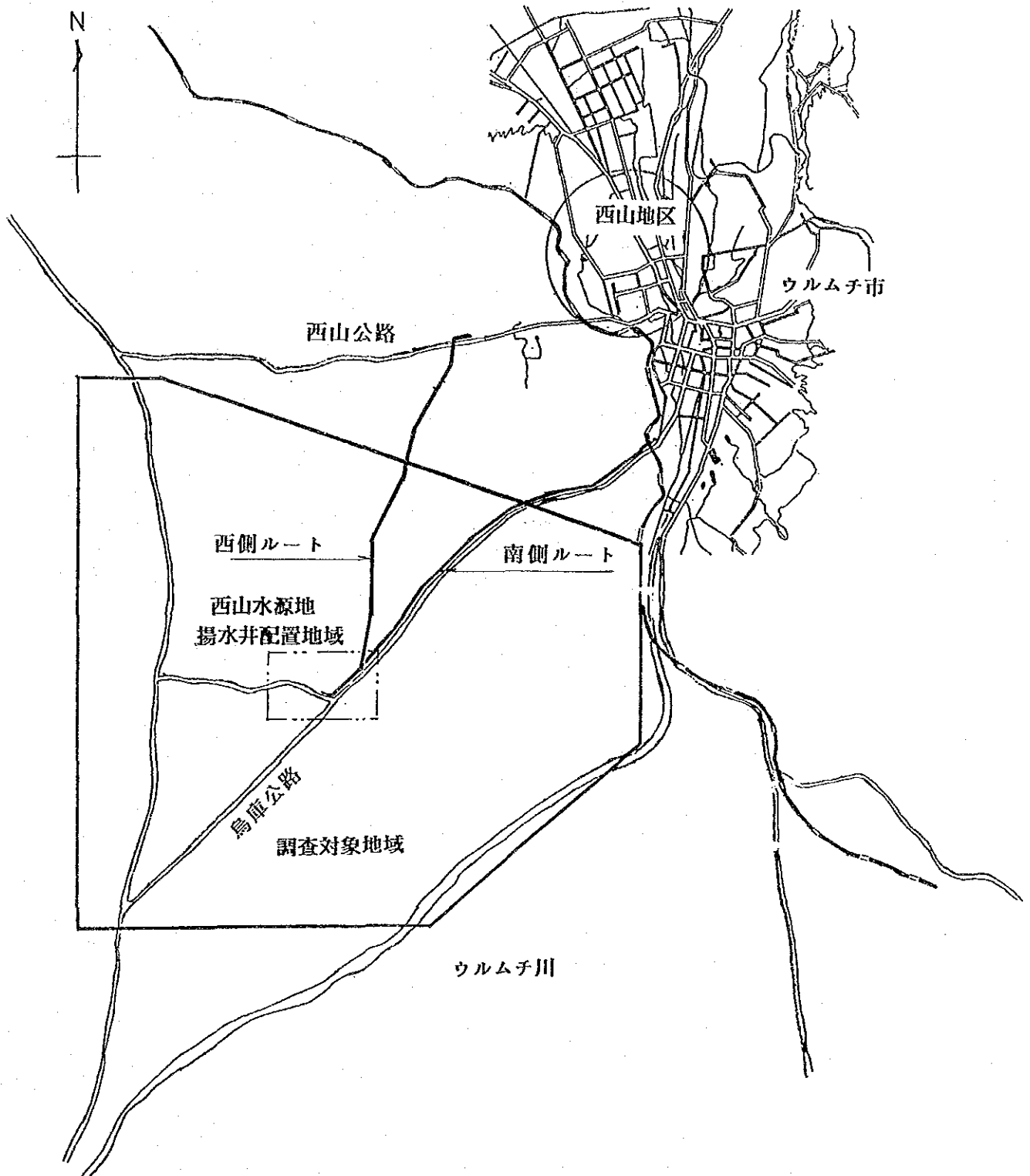


図-4.6.1 導水管路経路案 概略位置図



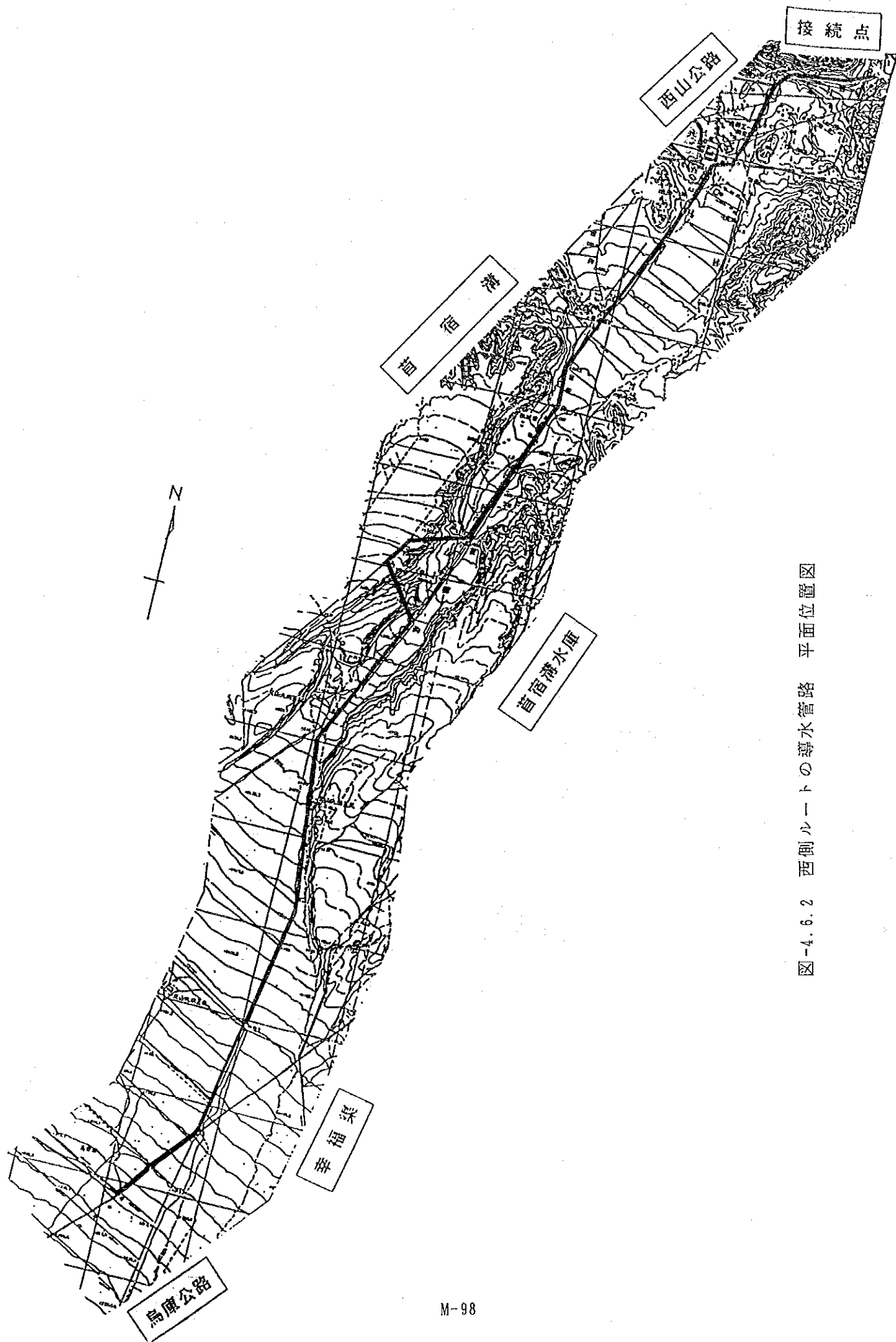


図-4.6.2 西側ルートの導水管路 平面位置図

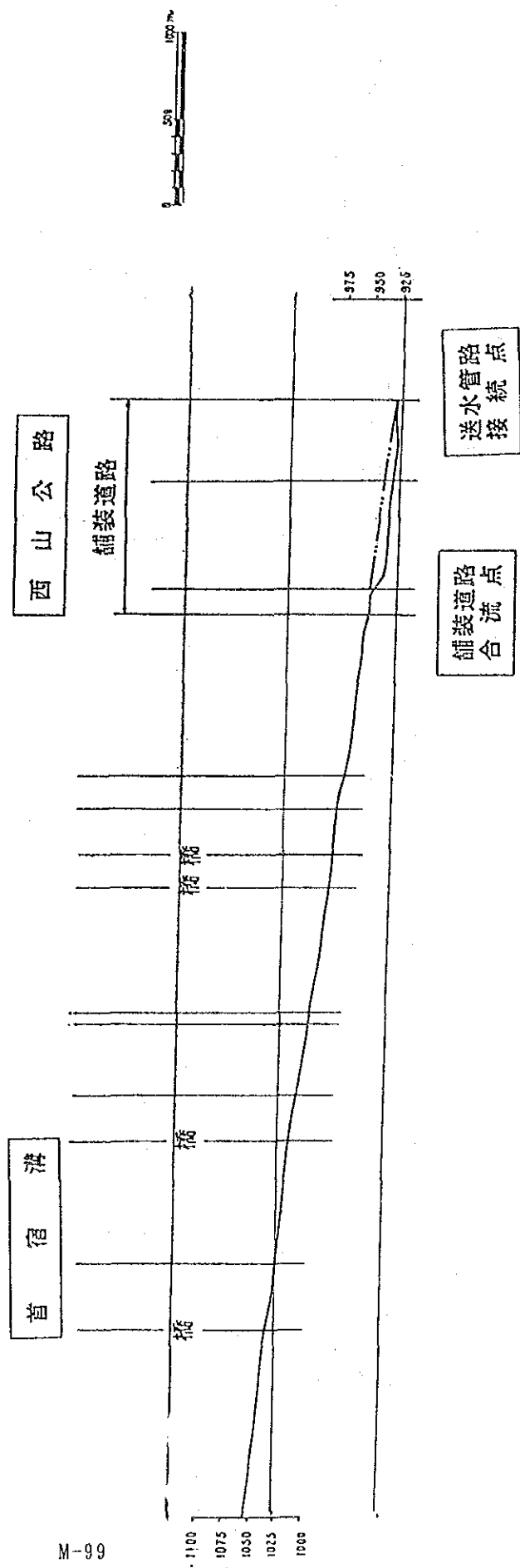
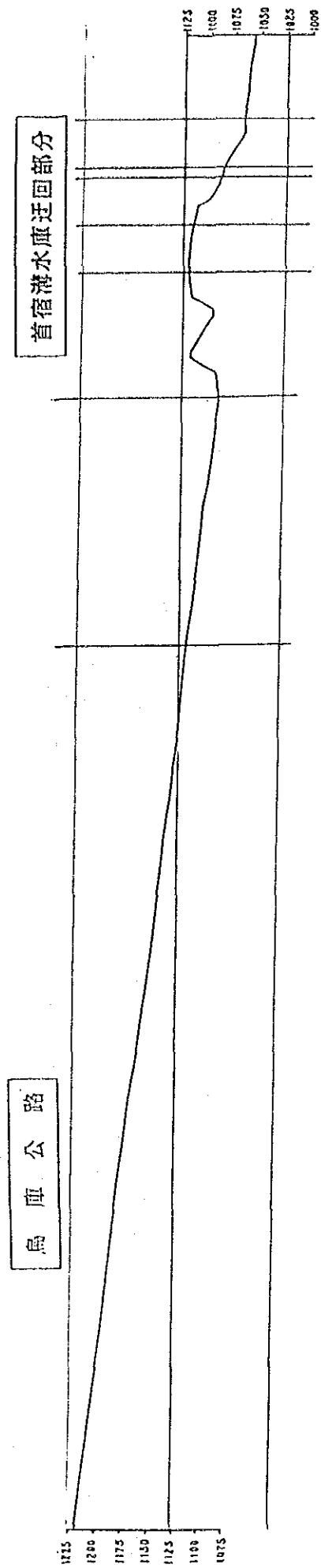


図-4.6.3 西側ルート of 導水管路 縦断面図

#### 4. 6. 2 施設基本系統及び制御

本給水施設計画の特質を考えた場合、基本系統及び制御における技術的課題は次の3項目に集約される。

- 揚水量の給水量への対応
- 寒冷地対策
- 標高差

##### a. 揚水量の給水量への対応

本給水計画は都市生活用水としての事業であるから、給水量は季節、天候、時間によって変化する。これに対応し、送水量（即ち揚水量）を一定に保ち、導水管路の断面を最小限にするため給水地点に配水池を設けることは当然としても、いずれ給水量に応じて揚水量を管理する必要がある。約1.6 km離れた2点間で情報をやり取りする必要がある。また揚水には電力が消費されるため汲み上げた水を放流するといったことは許されないことであり、したがって、ポンプの台数制御が求められる。

##### b. 寒冷地対策

施設の計画地域は冬季に $-40^{\circ}\text{C}$ に達する可能性がある。基本的に今回の給水事業において取り扱う地下水の水温は年間を通じ約 $10^{\circ}\text{C}$ で一定しており流下中は問題がないと言えるが、停止時あるいは地上露出部の凍結あるいは低温による機能低下に十分な配慮が必要である。

##### c. 標高差

導水管経路は前述したように上・下流端で約300 mの標高差がある。延長が約1.6 kmであるからその平均勾配は1.8%と水路としては急勾配であり、適切な材料・機器による水圧対策、及び減勢工あるいはエネルギー回収が必要である。本給水施設計画では高水圧管路の採用、絞り弁及び水路構造物による減勢工に加え、小水力による発電設備について検討を行った。

なお、給水施設計画の全体平面配置及び全体縦断形状を図-4.6.4、機械系統図を図-4.6.5及び電気系統図を図-4.6.6に示す。



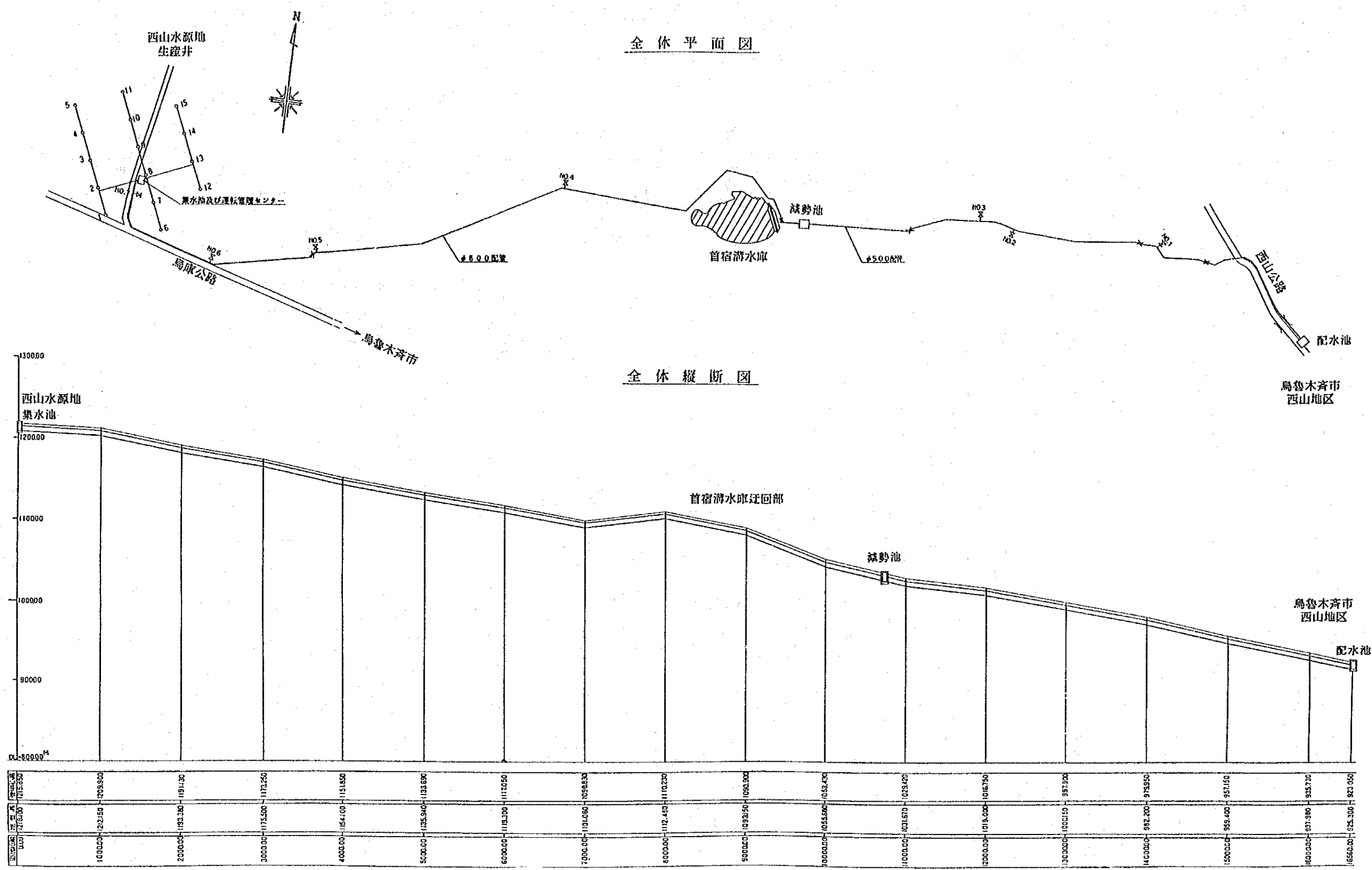


図-4.6.4 給水施設計画 全体図

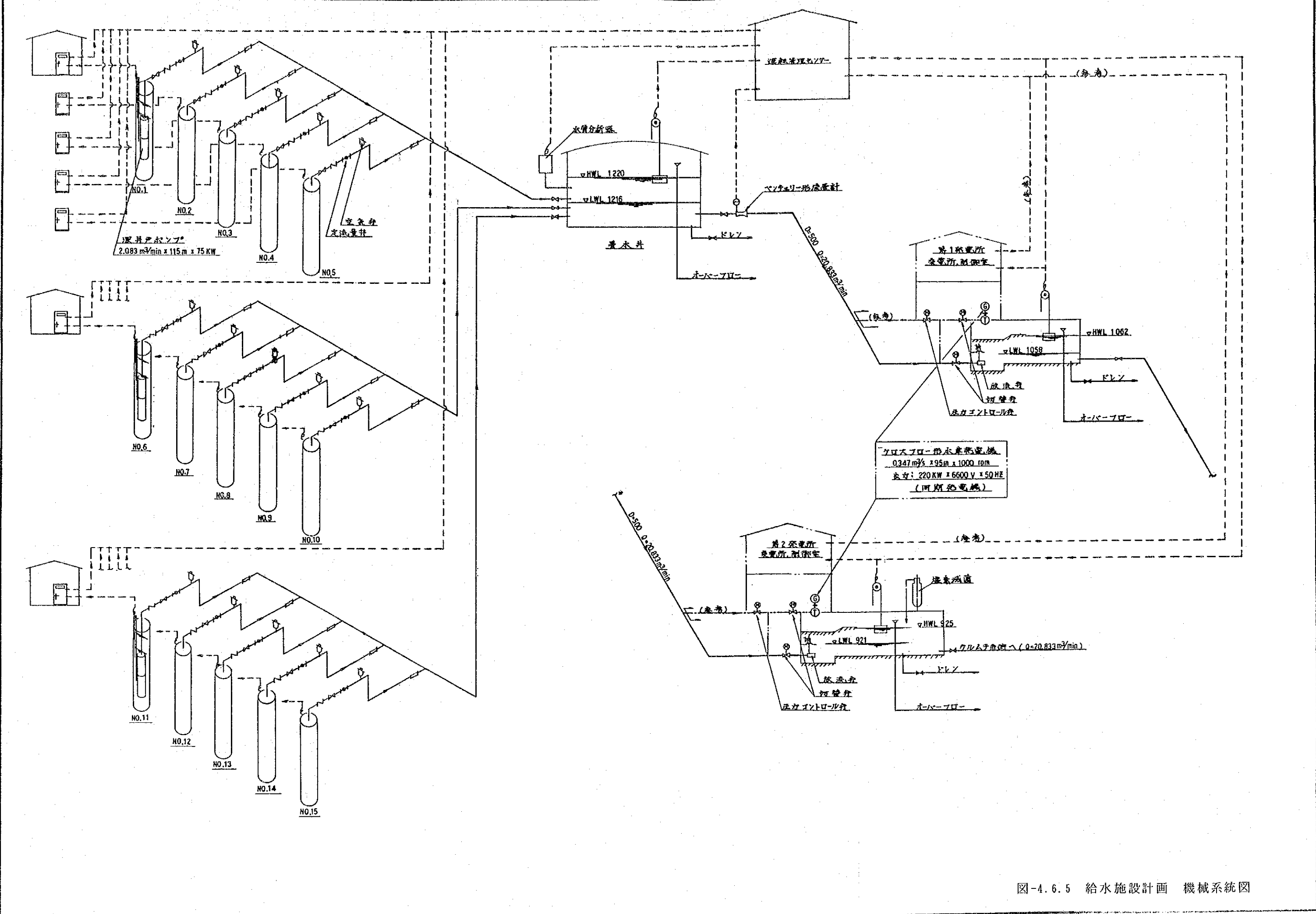


図-4.6.5 給水施設設計画 機械系統図

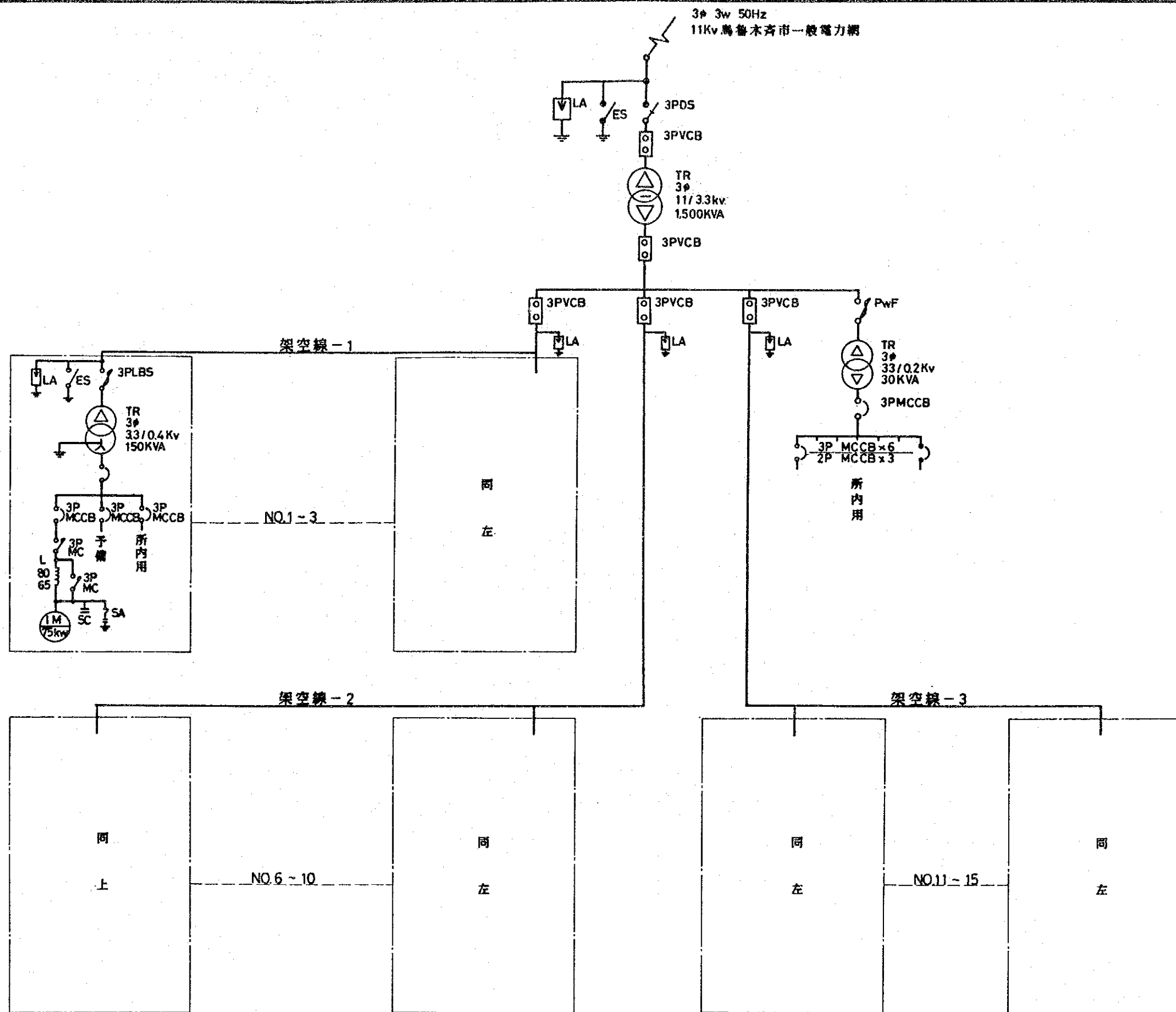


図-4.6.6 給水施設計画 電気系統図





#### 4. 6. 3 給水施設の概略設計

##### (1) 給水施設計画基本条件

- 西山水源地での日可能取水量 30,000トン/日
- 揚水井の日産出量 3,000トン/日/揚水井一本当り
- 送水量 30,000トン/24時間
- 計画外気温
  - 40℃で機器、構造物が破壊しないこと
  - 30℃～+40℃で正常に稼働すること
- 電源 11kVの公共送電線より受電する

##### (2) 揚水ポンプ設備

###### a. 生産井

給水施設としての生産井は開発調査でさく井された試験用井戸の結果に基づき、下記の構造とする。各井戸の構造は詳細設計で地質条件を考慮し決定すべきであるが、想定される標準的な構造を図-4.6.7に示す。

本数 : 30,000トンの送水に必要な井戸本数は10本である。  
ただし連続運転による水位低下、維持管理用の予備及び送水量の調整用の予備を考慮して、生産井を15本とする。そのうち、開発調査用井戸で、水質・水量的に良好なもの5本を利用する。したがって新たに掘削される井戸は10本となる。

掘削孔径 : 上部17-1/2"、下部14-3/4"

深さ : 150 - 190m

ケーシング : 上部12"

スクリーン : 上部ポンプ収納部12"、下部集水部10"

###### b. 揚水ポンプ

ポンプは予備品の保管を少なく、保守点検を容易にするため全ポンプを同一機種とし、ポンプの並列運転及び各井戸の定量取水を考慮し、下記仕様とする。設置の概念図を図-4.6.8に示す。

種類 : 深井戸型水中ポンプ 径12.5

吐出量 : 2.083m<sup>3</sup>/分

揚程 : 115 m

モーター : 75 kW

電圧 : 380 V

c. ポンプ制御盤

ポンプ機側に運転盤を設け、市内西山地区での給水量の変化に迅速に対応するため、運転管理センターよりの遠隔操作を行う。

d. ポンプ小屋

水源地の冬季の気温低下による凍結防止対策としてポンプ及び制御盤を収納するための建屋を考慮する。水中ポンプの維持管理には屋根に設けた開口により作業を行う。建物諸元は図-4.6.8に示すとおりである。

(3) 集水配管・集水池

水源としての生産井は図-4.6.9に示されるように1.2 km x 1.8 kmの範囲に15本配置されており、導水管路への集水が必要となる。生産井は集水池への経路に沿って3系統の配管に分割されるが、各井戸の標高、集水池までの距離、生産能力の違いによってポンプの並列運転に問題が生じる。これに対応するため定流量弁を各井戸に設置し安定・高効率運転を計る。なお集水池には送水量の1時間程度の容量を確保する。

a. 集水配管

管材料 : ダクタイル鋳鉄管

管径 : 径200 - 350 mm

b. 集水池

構造 : 半地下式鉄筋コンクリート水槽

容量 : 1250 m<sup>3</sup>

#### (4) 運転管理・水質監視センター

本給水施設が地下水を利用するものであり、給水地の烏魯木斉市との距離もあるため水源地に運転管理センターを設置し、同時に水源の水質を監視する。

##### a. 受変電設備

施設の電源は11kVの公共送電線から受電し、ポンプ運転、及び施設内電源に必要な380V、200Vに変圧する。ただし各生産井までの送電は効率を考え3.3kVの電圧を使う。

##### b. 運転管理設備

集水池水位と下流側配水池水位及び現在給水量の情報から揚水ポンプの運転計画及び運転操作が行えるよう遠隔操作盤を設置する。またこの遠方監視のための方法としては、導水管路沿いに埋設される有線通信線方式を、信頼性の点及び中間の減勢工の状況を同時に入手するため採用する。

##### c. 水質監視設備

塩素滅菌を除き、水処理は行わず給水されるので水源での水質管理として、下記項目の水質を常時監視し、必要に応じ警報を発する設備を設置する。これらの設備は正式水質分析を補完することが目的の自動測定装置であるので、詳細な正式水質分析を別に定期的実施しなければならない。

監視項目 電導度、濁度、pH、硬度

警報装置 設定値を超える値が測定された場合に中央操作室に警報を発し  
運転員に注意を促す。

##### d. 運転管理センター建屋

運転員は常時センターに勤務することが必要で、そのための事務室・居室を含む建屋(7m×22m)を設置する。

(5) 導水管路

西山水源地と給水地点の配水池との標高差は293mあり、集水池と配水池を結ぶ導水管の締切圧は一本で結んだ場合29.3kg/cm<sup>2</sup>にも達する(図-4.6.4)。この圧力の場合配管上のフランジや弁類の耐圧特性及び管路の維持管理上の問題が大きく、何等かの減圧対策が必要となる。対策としては、①減圧弁、②減勢工が考えられるが、本給水計画では、

- 減圧弁は性能上4-5箇所必要となり、かつ減圧弁をつけても締切圧は避けることが出来ず、安全弁が必要となる。
- 減圧弁には細い配管が付属しており、外気温の低下時に凍結し弁が機能しなくなる恐れがあり、これを防ぐためさらにヒーターが必要となる。
- 定期的なパッキンの交換等、維持管理上問題がある。

したがって、減圧対策としては管路の途中に減勢工を設置し圧力を解放することにする。なお、減勢工の数・構造は使用する配管材料により決定される。

a. 管路

高水圧管路：高水圧用の管路材料としては鑄鉄管とダクティル管が考えられるが、本計画の条件で照査すればそれぞれ次の表-4.6.2に示される特徴を持っており、本施設計画ではダクティル管を使用することが有利である。したがって減勢工は1箇所とし最大圧力は15.8kg/cm<sup>2</sup>となる。

表-4.6.2 鑄鉄管-ダクティル管比較

	普通鑄鉄管	ダクティル管
国内調達	中国で生産している	中国では入手が難しい
最高圧力	フランジの使用圧力から7.5kg/cm <sup>2</sup> が最高	フランジの使用圧力から20kg/cm <sup>2</sup> 以下
減勢工	3箇所は必要で費用と工期がかかる	1箇所で済むので費用と工期の点で有利である
管体強度	衝撃強さ0.5以下 長距離の国内輸送には耐ええない	衝撃強さ6.0以上 輸送の問題はない。
重量	比較的に重い	比較的に軽い

管径 : 下の表-4.6.3に示されるとおり導水管路の径は地形上の水頭差及び圧力損失の点からは管径400mmの使用も可能であるが、以下の事項を考慮し管径500mmを採用する。

- 送水量に対する余裕
- 流速の抑制
- 小水力発電によるエネルギー回収

表-4.6.3 管径による流速及び圧力損失

管 径	流 速	圧 力 損 失
400mm	2.76m/秒	265m
500mm	1.77m/秒	90m

流量=0.347m<sup>3</sup>/秒, ヘーゼン・ウィリアム係数 Ch=130

管厚 : 管路は日本のJIS規格によるダクタイル管とし、その管厚は減勢工付近の工水圧部で2種8.1mm、その他一般部分で3種8.0mmを適用する。

管路 : 導水管路は全線冬季の低温時の凍結防止対策として、土被り2mの位置に埋設する。また河川横断部の様に地表部に出る部分は保温材を巻く。

#### b. 減勢工

減勢工としては管路のほぼ中央の首宿溝水庫の直下流部に1箇所、設ける。したがって減勢の必要な水頭は約120m程度である。構造的には減勢池の大きさを出来る限り小さくするため絞り弁を設置する。(図-4.6.10)

絞り弁 : ジェットフローゲート型

減勢池 : 半地下式鉄筋コンクリート水槽

容量 : 1250m<sup>3</sup>

#### c. 干渉構造物対策

農業用水路横断 (5箇所)

小河川横断

## (6) 配水池・消毒設備

生活用水としての原水、地下水はこれまでの水質調査において、当面无処理で給水できるとの結論であり、長期的な水質監視を実施することで塩素注入設備を設置する。

配水池は季節的なあるいは夜間の使用量の減少を考慮し1日当りの送水量の50%から30% (10,000-15,000 m<sup>3</sup>) が一般的に必要とされるが、既に烏魯木齊市内には5,000 m<sup>3</sup>級の配水池がかなりあり、それらを含めた総合的な運営が可能のため本施設計画では、6,000 m<sup>3</sup> (1日送水量の20%) を設置する。

### a. 塩素注入設備 (需要地での注入、塩素のハンドリング)

給水地点の配水池で消毒用の塩素注入を行う。液化塩素は少量でも非常に有毒であり、実施の計画の中では烏魯木齊市全体の給水施設との関連で貯留、注入設備の内容を決定して行かねばならない。

塩素剤 : 液化塩素

残留塩素量 : 遊離残留塩素 0.1 ppm

### b. 鉄筋コンクリート配水池

給水地点での最終の減勢工を兼ね、送水量と給水量の調整を行うため配水池を設置する。(図-4.6.11参照)

構造 : 半地下式鉄筋コンクリート

容量 : 6,000 m<sup>3</sup>

## (7) 水力発電設備 (参考)

既に何度か述べられてきたように、本給水施設の大きな特徴として導水管路の300 mにも及ぶ標高差の問題があり、水圧対策と共に大がかりな減勢工の設置を余儀なくされている。しかしこれは言い替えばエネルギー回収も可能であるということの意味しており、小水力発電の利用について検討した。経済効果としても導水管路を給水施設として負担するものと考えれば、発電に必要な費用は水車・発電機と送電電気設備であり、一般的な発電原価を適用すれば、事業化 (内部収益率で5%程度) は充分可能と考えられる。

発電可能容量は、下にまとめたように400 kw程度であり、水源地における揚水ポ

ンプの消費電力（約700kw）の60%程度に相当し、全量を賄うことは不可能であるため、どうしても一般電力系統との接続が必要となる。このため送電系統の同期装置あるいは保護回路等に十分な配慮をする必要がある。発電設備の概略計画を図-4.6.10に示す。

a. 発電設備

設置場所 : 中間減勢工位置及び最終配水池位置の2カ所

使用水量 : 送水量全量  
0.347 m<sup>3</sup>/秒

有効落差 : 95 m

水車 : クロスフロー型（貫流型）  
出力244 kw  
2台

発電機 : 三相同期発電機  
定格出力 275 kva  
電圧 6,600 v  
力率 0.8  
回転数 1,000 rpm  
最大出力 220 kw  
2台（総出力440 kva）

b. 発電機建屋

建屋 : 平面諸元 8 m x 23 m  
天井走行クレーン 釣上げ荷重3トン

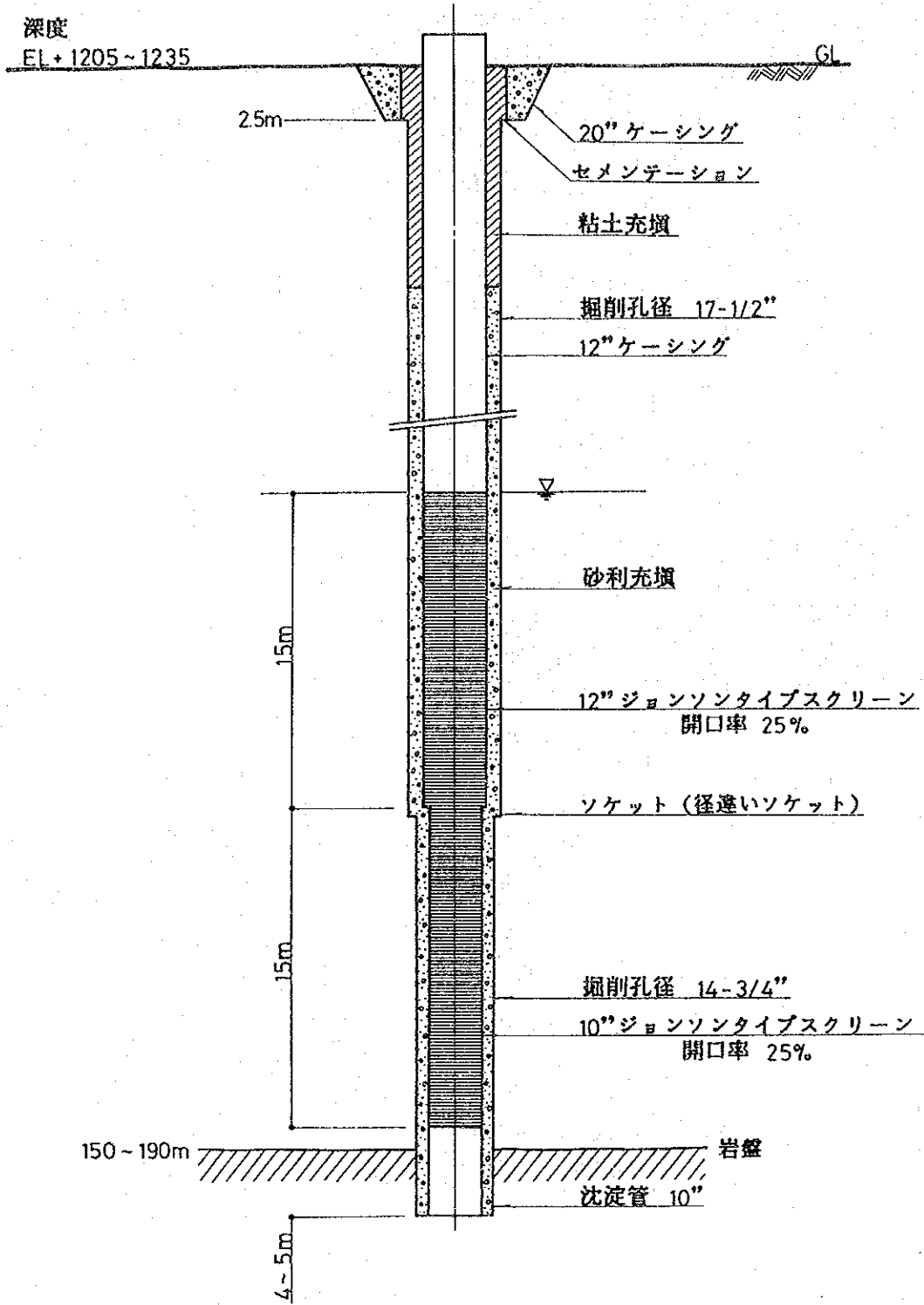


図-4.6.7 生産井 構造標準図



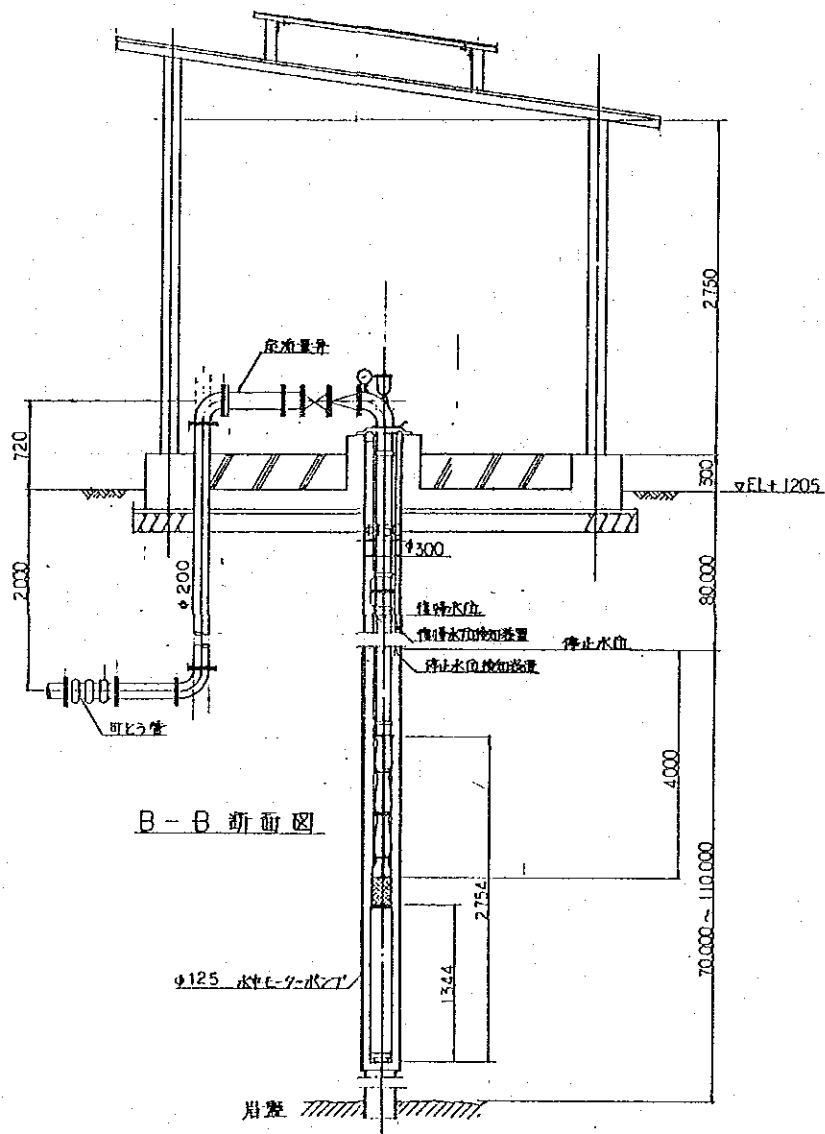
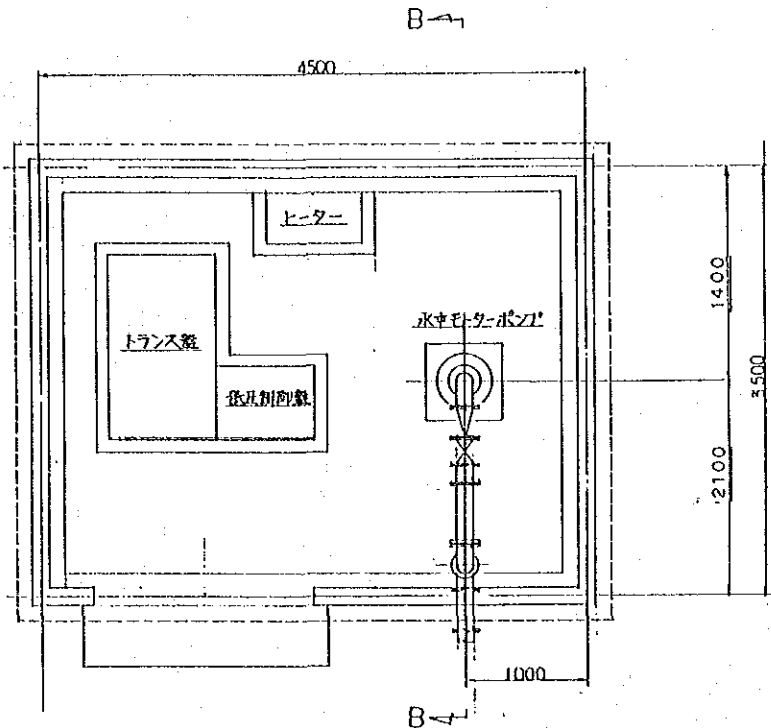


図-4.6.8 揚水ポンプ 設置概念図

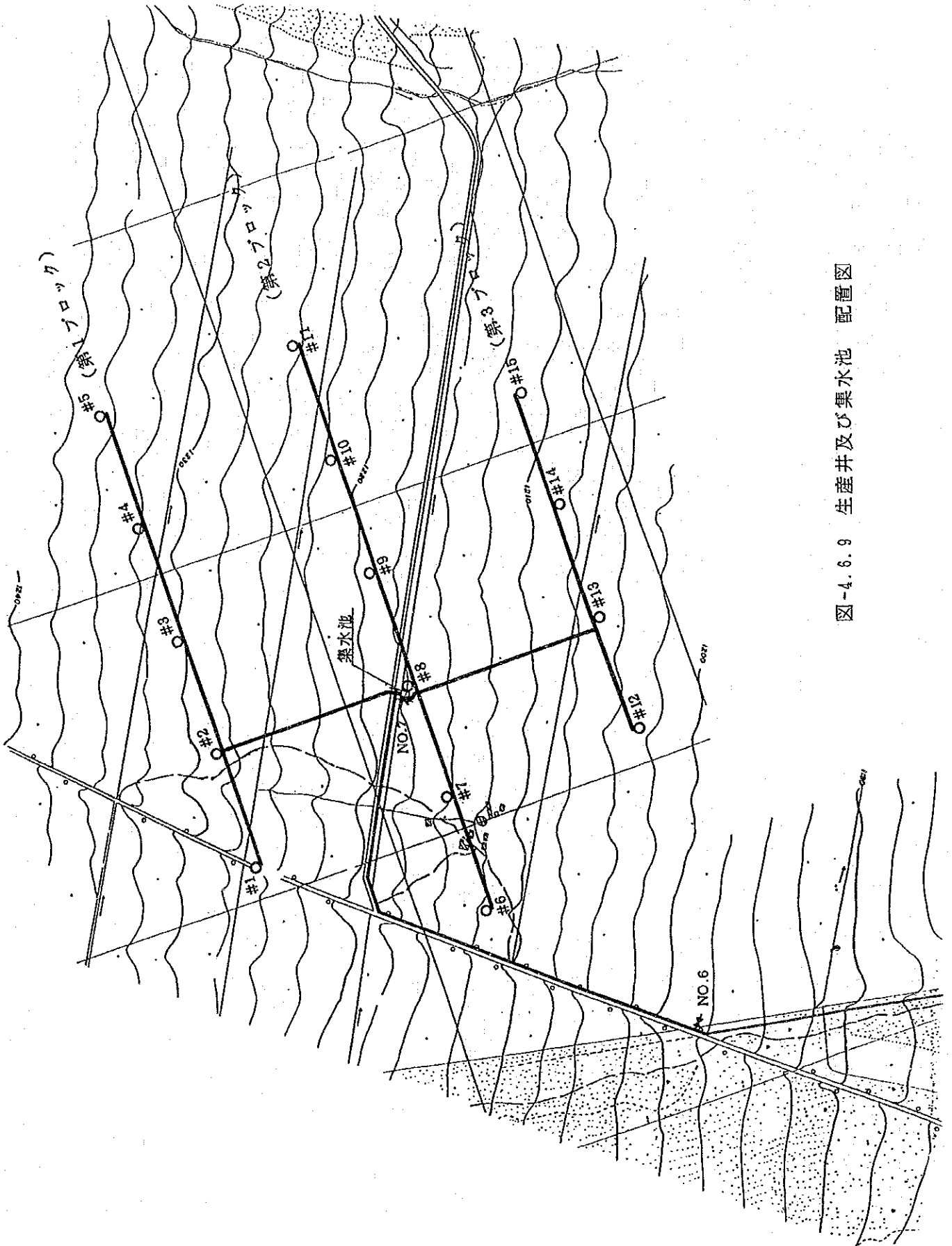


図-4.6.9 生産井及び集水池 配置図



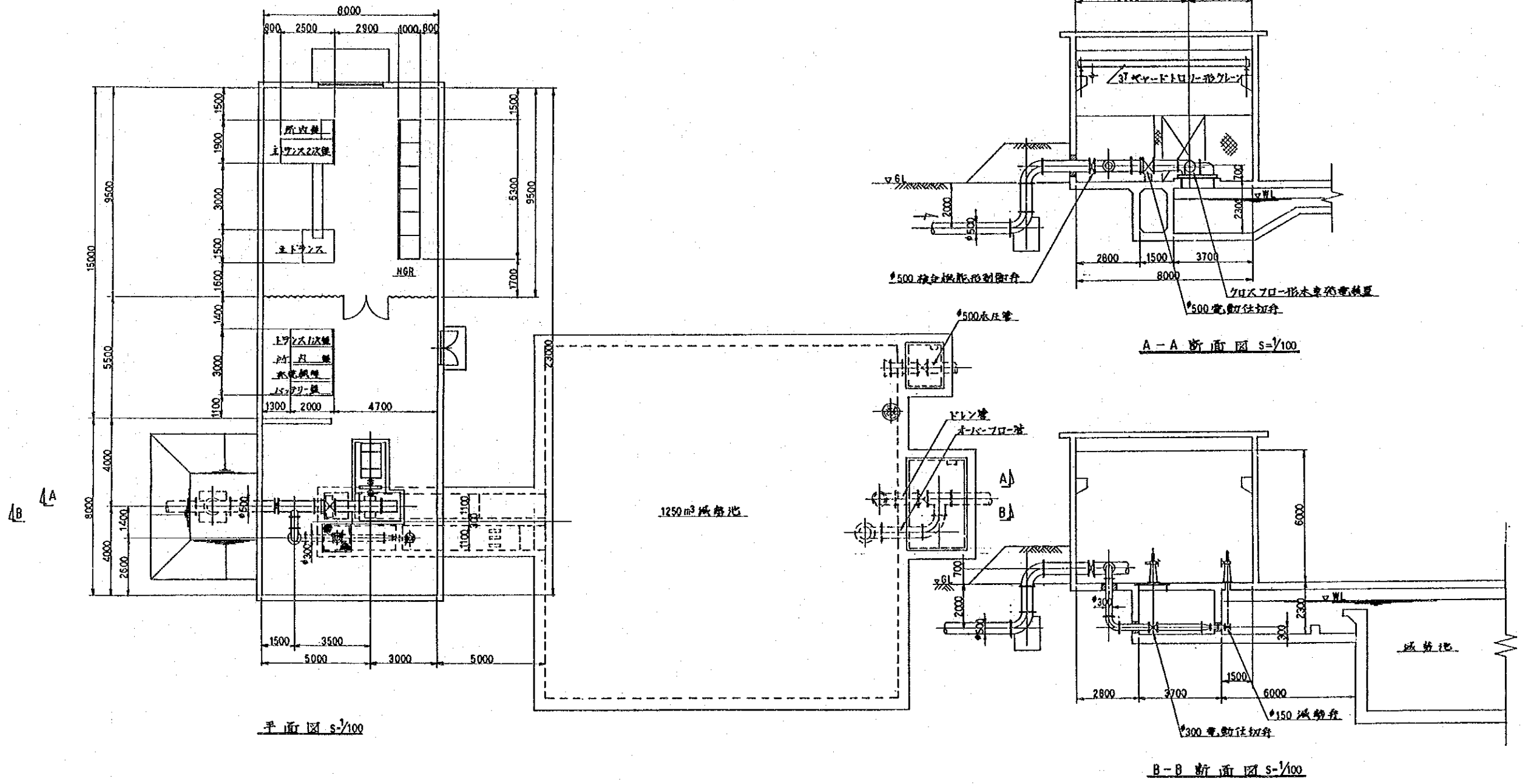


図-4.6.10 給水施設計画 減勢工構造及び発電設備図

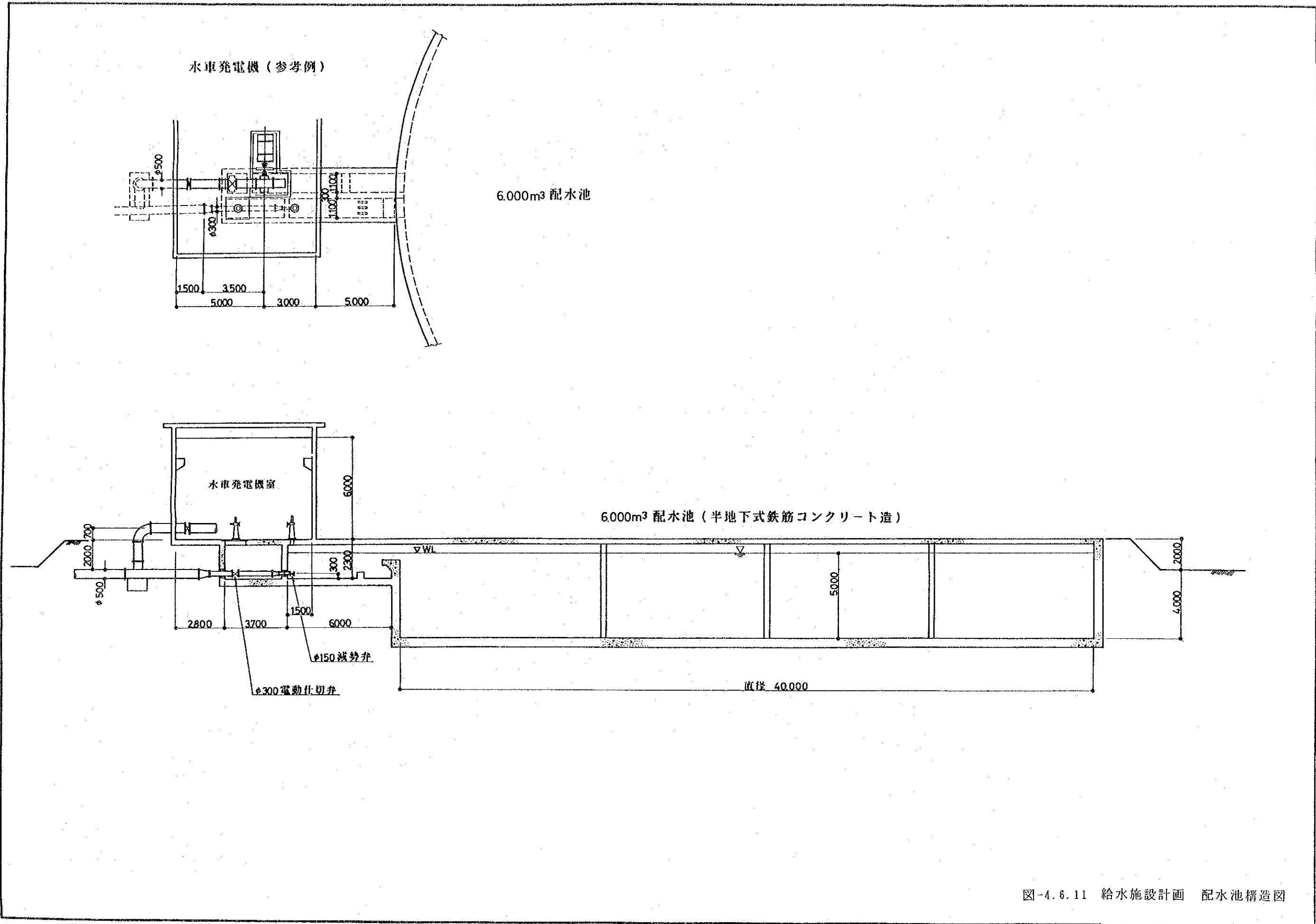


図-4.6.11 給水施設設計画 配水池構造図



#### 4. 6. 4 建設費及び維持管理費

##### (1) 建設費積算及び維持管理費算定の方針

今後の本給水計画の事業化に向けて参考とするため、用地取得費用を除く事業費の検討を行う。したがって事業費には設計監理役務費用を含む建設費及び維持管理費があり、さらに中国国内で調達あるいは実施される費用及び前に述べた給水計画の機器・資材内容により国外より調達の必要な資機材の費用がある。これらについて国内調達分は1989年9月の2年次現地調査時点での建設単価・費用を基本とし、国外調達分は1989年12月の給水施設計画実施時の日本国での一般的資機材単価を利用する。ただし、計画が概念設計の段階であるため、各事業費用の算出において、中国国内・国外のいずれの費用の場合も詳細な資機材あるいは工事数量の積み上げに基づく算出ではなく、計画検討用の指標単価、例えば建築構造物は建築延べ面積当りの経験的工事費が用いられる。

また、維持管理費についても、類似の事業での総建設費に対する比率を用いて参考的な試算を行っている。

##### (2) 給水施設建設費

§ 4. 6. 2で述べられた給水施設計画に基づく建設費（設計監理費用、資機材及び工事費を合わせ）は概略以下のように算出された。

表-4.6.4 建設費集計

施 設	建 設 費
a. 揚水ポンプ設備 (揚水井 3, 000 m <sup>3</sup> /日 15本)	28, 225 千元
b. 導水管路 (管路徑 500 mm 約 1.6 km)	23, 590 千元
c. 配水池 (容量 6, 000 m <sup>3</sup> 1基)	3, 785 千元
合 計	55, 600 千元
d. 水力発電設備(参考) (220 kw 2基)	11, 170 千元

(3) 維持管理費

給水施設における維持管理費は、中国烏魯木斉市の場合は、日本の大規模給水施設の場合にも、年間ベースで施設建設費の15%程度とされるが、1988年度実績で見れば、年間給水量5000万トンに対し6,600千円の事業費であり、絶対値としての単位給水量当りの維持管理費では大きな差がある(1.8元/m<sup>3</sup>対0.13元/m<sup>3</sup>)。この理由は職員の給与ベースが異なり、施設を構成する設備の内容から維持管理の内容が異なるためと考えられる。そこで本給水計画では施設を次の3種類の設備に分類し、維持管理の費用についてもそれらを考慮し、それぞれの建設費に対する比率を中国、日本の類似事業から検討し下記の数値を求めた。

- a. 構造物で通常の点検程度の管理を除き、特別な維持管理の必要がない設備  
 適用設備 : 導水管路、コンクリート水槽等  
 維持管理費 : 年間に当該設備総建設費の3%
- b. 機械電機設備の内、日常の操作・運転及び調整・修理が必要な設備  
 適用設備 : 集水管、発電設備等  
 維持管理費 : 年間に当該設備総建設費の4%
- c. 機械電機設備の内、日常の操作・運転及び調整・修理が必要で、かつ燃料、薬品を消耗する設備  
 適用設備 : 揚水ポンプ設備、塩素注入設備等  
 維持管理費 : 年間に当該設備総建設費の7%に  
 直接経費(電力費・液体塩素費)を加える。

上記の方式に基づく本給水施設における年間の維持管理費は概略以下のとおりである。

表-4.6.5 維持管理費

a. 揚水ポンプ設備	2,073	千元/年
b. 導水管路	708	千元/年
c. 調整池	347	千元/年
合 計	3,128	千元/年
d. 水力発電設備(参考)	447	千元/年



#### 4. 6. 5 水価比較

水資源開発の経済的な効率を相対的に評価するために、供給される水の費用を建設費も含めた形で算出し比較することが一般的に行われる。

しかし、本給水計画を厳密に経済評価するための現在運用されている既存施設での水価は不明であり、かつ前述されたように、絶対的な生活用水の不足の状況下で、かつ将来開発可能な水資源開発計画が限られているという条件と前提のもとでは、本開発計画が量的、距離的に有利なことは明らかであるのでコスト・ミニマムを目的とした施設計画を実施した。したがって経済評価は行わないが、今後の水資源開発及び水道事業の推進上の参考とするため、前出の建設費及び維持管理費を用いて水価を試算し、烏魯木齊市での現行水道料金との比較及び日本における平均的な水価との比較を行う。

##### - 現行水道料金

0. 15 元 / m<sup>3</sup> (生活用水：烏魯木齊市水道公司資料)

##### - 日本の全国平均上水道 1 立方メートル当りの費用

4. 76 元 (147. 69 円：日本水道協会資料)

##### - 計算式

本給水計画において、地下水開発の施設の評価の参考数値としての水価は、次の計算式を用い算出する。

$$\text{水価} = C / Q$$

ここで、C = 施設の年間総コスト  
Q = 施設による年間開発水量

$$C = IC \cdot (1+r)^Y \cdot \frac{r}{(1+r)^Y - 1} + OM$$

IC = 施設の建設費  
r = 建設費に考慮すべき資金の年率  
Y = 施設の耐用年数  
OM = 施設の年間維持管理費

本給水計画の数値を当てはめれば水価は、

$$C / Q = 0. 67 \text{ 元 / m}^3 \quad (27 \text{ 円})$$

と計算される。

#### 4. 7 事業実施計画

##### 4. 7. 1 実施体制

本事業の内容は、生活用水供給施設の建設であるから事業主体は烏魯木斉市水道公司であるが、事業内容に地下水開発、小水力電源開発、および都市開発を含むため、事業の実施にあたっては新疆地質磁産局、自治区建設庁および烏魯木斉市建設局の全面的な協力が必要である。

##### 4. 7. 2 事業分担

本給水計画により建設される施設は下記のとおりである。

- ① 西山水源地揚水井（径12”、深度100m）－10井
- ② 運転管理・水質監視センター
- ③ ダクタイル鑄鉄導水管路－16km
- ④ 5000m<sup>3</sup>配水池及び塩素注入設備－1基

上記の施設の内、揚水井さく井工事については、新疆地質磁産局が本調査対象地域を通じて調査及びさく井工事の技術移転を受けているので、新規のさく井工事についても揚水井の配置、構造、あるいは、さく井工法等に関して地質磁産局の全面的な参画が望ましい。残りについては烏魯木斉市建設局の工事範囲となる。

##### 4. 7. 3 実施工程

本給水開発計画事業の工程には約3年を要するものと考えられ、その内訳は図-4.7.1に示すとおりである。

作業項目	1年次	2年次	3年次
測量・地質調査	-----		
基本設計		-----	
詳細設計		-----	
機材調達(国内)		-----	-----
機材調達(国外)		-----	-----
建設工事		-----	-----

図-4.7.1 給水施設建設工程

#### 4. 8 事業の評価

地下水開発、特に給水施設計画で比較の対象となる水価について、本施設計画においては0.67元/m<sup>3</sup>(27円)と試算され、他の中国での水価に比較し概ね妥当と判断され、さらに以下の点で事業の実施に値するものと評価できる。

- 烏魯木齊市としての将来の水需要もさることながら、現状での水不足の解消は緊要であり、本事業の実施により西山地区の約10万人が給水の恩恵を受け、烏魯木齊市の給水事情の改善に大きく寄与する。
- 烏魯木齊市の水資源開発計画の中で唯一の河川である烏魯木齊河の表流水の利用は既に100%近くに達しており、今後の水需要を満たすには地下水開発による他ない。地下水開発の候補地点のうち西山水源地は他の候補地点に比して、市までの導水距離が明確に短い。
- 西山水源地は賦存量が充分あり、水質的にも飲料水としての規準を満たしている。
- 取水量および運営状況にもよるが将来本施設の導水路を利用した小水力発電の可能性もあり、その場合便益はさらに増える。

## 5 結論および提言

### 5.1 結論

#### (1) 開発可能水量

調査対象地域周辺の地質は古生代二畳紀から新生代第三紀鮮新世にかけての地層を基盤とし、新生代第四紀の地層が埋積している。調査対象地域の地下水盆の構造は地表面から①砂礫主体層、②粘土／砂礫互層および③基盤岩の順に層状に推積し、第1層の砂礫層は透水性が高く、賦存量の大きい有望な帯水層である。

水収支解析の結果、現在烏魯木斉市の主要水源となっている三通碑水源地（大東溝から和平渠）への影響を考慮して、西山水源地では日量3万 $\text{m}^3$ 程度の地下水開発が可能と判断される。

#### (2) 飲料水としての適性

西山水源地は水質的にみて硫酸イオン濃度が高いきらいはあるものの、健康に悪影響を及ぼす成分は特に検出されていないので、今後の水道水源として開発を進めていくことで支障がない。

#### (3) 地下水開発計画

烏魯木斉市の給水施設は都市建設局水道公司により運営され、地下水10万 $\text{m}^3$ 、表流水6万 $\text{m}^3$ を利用した16万 $\text{m}^3$ /日の給水能力を持つが、給水の水準は一人一日当り給水量が80リットルと低い水準にある。特に、烏魯木斉河左岸の西山地区では条件が悪く、水運搬車により給水を実施している。この地区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ていない。同地区での優先的な給水施設の整備が必要である。

西山水源地の地下水開発可能量の3万 $\text{m}^3$ /日および市内西山地区への給水の必要性に基づく給水施設計画が①西山農場付近における10本の生産井(150~190m)による揚水設備、②水源地と給水先を結ぶ自然流下方式による管路(管径500mm、延長16km)、および③水消費量の日変化を吸収するための給水地点における地下式配水池(6000 $\text{m}^3$ )によって経済的、技術的に実施可能である。

## 5. 2 提言

### (1) 補足調査の実施および地下水監視体制の確立

今回行った調査の結果、計画対象地域周辺の水文地質構造は新構造運動により極めて複雑になっていることが判明したが、これをより一層明らかにするために、広域にわたる水文地質調査を行っていく必要がある。また、地下水開発後の下流域への影響を把握するための水位および水質の監視体制を確立すべきである。

### (2) 原水利水方法

今後、地下水開発に伴い西山水源地の水質が硫酸塩が増加するなどして悪化し、WHOの最大許容値を満たさなくなる場合には、硫酸塩の除去処理には非常にコストがかかるので、この基準を満たすことを目的として三通碑水源地の原水を混合、給水することも将来の対策の一つであると考えられる。

### (3) 水源地の保全

今回の水収支検討の結果、地下水の主な涵養源が農業用水であると考えられるので、水源地として開発利用するに際し、地下水汚染を防ぐため、これらの農地を水源保全地区に指定して、農薬等を使用する場合には事前にその対策を十分に検討する必要がある。











JICA