

第3章 プロジェクトの内容

第3章 プロジェクトの内容

3-1 プロジェクトの概要

3-1-1 上位計画とプロジェクト目標

本プロジェクトは、当初 1993 年世銀支援により策定されたファイサラバード市の上下水道マスタープランに基づき、1993 年から 2000 年までのフェーズ II 事業により、人口の 70%の給水率を目標とする計画の一環を支援することを目的とした。本調査の結果によると、現時点実施機関の WASA 給水事業の実態はマスタープラン目標と大きく乖離して 55%程度と推定され、平均給水量も世銀が想定した一人一日 120～280 ㍓にはるかに及ばない現状となっている。同市の人口は過去 10 年間勢いが衰えず伸長し、2003 年には約 230 万人に達したと想定され、WASA は独自に給水量増加のための施設整備を実施したが、実質的に水量は増加せず、逆に既存施設の老朽化等により水量が減少する傾向となり、給水サービスは悪化の一途をたどっている。

本基本設計調査の結論として、本プロジェクトは、当初合意された日量 91,000m³の給水量を増強し、現行給水サービスの窮状を緩和することを目的とする。同水量は水源開発地の制約の中で対象地域からの最大開発可能量の水準にあり、また現行給水量の約 40%に相当し、実質的に大きな貢献となる。本プロジェクトの実施により、現状の給水人口 127.2 万(給水率 55%)を 2008 年 156.4 万人に引き上げ(給水率 60%)、平均給水量を現在一人一日 100 ㍓の水準から 130 ㍓に増加することを目標とする。

3-1-2 プロジェクトの概要

1997 年の事前調査では、WASA による自主整備事業に合わせ、協力対象事業の目標として、一日 91,000m³の緊急に必要とする給水量を確保することが合意され、世銀マスタープランが提案する先行フェーズ I で整備されたチェナブ流域水源地の周辺を開発地と設定した。しかしながら、この地域は先行事業で 1992 年建設された水源地の操業開始後周辺一帯の地下水位が低下し、農村で多用する農業用井戸が深刻な影響を受けており、本調査の進行にともない、同地域の住民は本プロジェクトにおける追加水源地開発に強硬に反対したため、最終的に WASA は開発地点の変更を余儀なくされた。

これらの水源開発地の実態は本調査の結果として詳細があきらかとなり、WASA は改めて将来

の水源整備について、地域一帯の農村社会・経済の実情に融和・協調しながら開発する方針を策定する必要に迫られている。最終的に決定した水源計画地は、調査結果によると、当初予定地と比肩する開発能力があり、当初目標水量の開発は技術的に支障なく実施できると判定された。一方、当該地域の周辺農村に対しても社会配慮が不可欠であり、日本側との協議の結果、WASA および監督機関である州政府は具体策を検討し、対話を通じて住民合意を得る方針を決定した。このような経緯を通じ、本プロジェクトの実施方式は今後の WASA の整備計画のモデル事業として位置付けられる。

本プロジェクトは 3-1-1 で述べた目標達成のために、日本側が水源施設から市内最終配水池までの施設建設を行い、また市内配水幹線の改善工事を実施し、パ側は施設の電源引き込み工事、完成施設の道路建設等を負担する。施設完成前後の活動として、パ側は新規給水契約者の確保と契約者に対する給水管の整備を実施する。完成施設の運営・維持管理は新規要員を雇用し、実施機関が従来の給水サービスと合わせて、市民に対する効率的な給水サービスを行う。プロジェクトに必要な投入と活動、それにより期待される成果を表 3-1 にまとめる。

表 3-1 プロジェクト・デザイン・マトリックス (PDM)

Ver. 1

プロジェクト名:ファイサラバード上水道整備基本計画
ターゲット・グループ:ファイサラバード市民(約 156.4 万人)

対象地域:ファイサラバード市
期間:2004 年 8 月~

作成日:2004 年 5 月

プロジェクトの要約	指標	入手手段	外部条件
上位目標			
<input type="checkbox"/> ファイサラバード市の給水率が向上する。	<input type="checkbox"/> (給水率が 75%(2010)となる。)	<input type="checkbox"/> 実施機関年報(給水管整備率)、給水台帳	
プロジェクト目標			
<input type="checkbox"/> ファイサラバード市の給水サービスが改善する。	<input type="checkbox"/> 計画年次における給水人口が 156.4 万人となる。 <input type="checkbox"/> プロジェクトにより給水率は 2008 年 60%となる。 <input type="checkbox"/> 計画年次において給水原単位が 130 ㍉/人/日を満たしている。 <input type="checkbox"/> 計画年次における給水時間が 24 時間となる。 <input type="checkbox"/> 市人口の 1/3 を占める東部地区に対する不均等な配水が改善される。 <input type="checkbox"/> 計画年次において、本プロジェクト井戸群からの取水量は最大 91,000m ³ /日で、周辺地域の地下水位低下がない。	<input type="checkbox"/> 実施機関年報、給水台帳、センサス報告書 <input type="checkbox"/> 実施機関給水記録、給水台帳 <input type="checkbox"/> 実施機関揚水記録 <input type="checkbox"/> 実施機関モニタリング記録	<input type="checkbox"/> 整備された操業・運営体制を実施機関が維持する。 <input type="checkbox"/> (世銀マスタープランに基づき、)給水量増強のための施設整備が継続される。
成果			
1. 水源・取水施設が増強される。	1-1 2008 年までに水源(25 本)、取水施設が建設される。	1-1 プロジェクト完成報告書	<input type="checkbox"/> 社会情勢の変化等に伴う急激な人口の増減が生じない。 <input type="checkbox"/> 周辺農村環境が大きく変化し(生活排水の増大、工場の進出等)水源地の地下水水質を悪化させるような事態とならない。 <input type="checkbox"/> 水源地にて予測できない自然災害(大洪水等)による取水への影響がない。 <input type="checkbox"/> 地下水の補給に関わる自然条件と直接の補給源となる用水路が現状と大きく変化しない。 <input type="checkbox"/> 政治的・経済的な情勢が安定的に推移する。
2. 取水施設からの導水・送水・配水施設が整備される。	1-2 建設された水源により最大 91,000m ³ /日増強される。 2-1 2008 年までに導水施設(15.6km)、送水施設(送水ポンプ場、送水管 13km)、配水施設(配水ポンプ場)が建設される。	1-2 施設(試)運転記録 2-1 プロジェクト完成報告書 2-2 施設(試)運転記録	
3. 既存配水幹線の補強により配水システムが改善される。	2-2 給水量を最大 91,000m ³ に増加することが可能な施設が整備される。	3-1 プロジェクト完成報告書	
4. 新規各戸接続が増加される。(パキスタン側)	3-1 2006 年までに市内配管(6km)が整備される。	4-1 実施機関財務報告書	
5. 施設の維持管理要員が組織化される。	4-1 水道料金徴収率が向上する。	4-2 実施機関財務報告書	

	4-2 水道経営における収支バランスが改善する。 5-1 2008年までに新規施設の要員が配置される。	5-1 施設運転記録	<input type="checkbox"/> 収支バランスが悪化した場合に、補助金が確保できる。
活動 1. 施設建設 / 機材調達 1-1 水源・取水施設を建設する。 1-2 導水、送水施設、配水施設を建設する。 1-3 市内の配水管を補強・整備する。(実施機関自助努力分を含む) 1-4 上記施設の運営・維持管理用機材を調達する。 1-5 新規施設の技術者・操業要員に対し、運転・維持管理に必要な技術訓練を実施する。 2. パキスタン側負担事項 2-1 一次側電力工事を実施する。 2-2 施設建設に係る用地を確保する(地域住民との合意形成を行う)。 2-3 確保した用地の整地、地均しをする。 2-4 アクセス道路を建設する。 2-5 給配水施設の整備等の建設負担事項の実施を行う。 2-6 給水施設の運営・維持管理を持続的に行う。 2-7 新規消費者と契約し、給水管を敷設する。 2-8 維持管理要員の新規雇用	投入 【日本側】 人材： 基本設計調査団、詳細設計調査団、常駐監理コンサルタント、(運営・維持管理指導コンサルタント)、施設建設業者 資機材： 施設建設用資機材、運営・維持管理用資機材 資金： 無償資金協力資金 【パキスタン国側】 人材： 実施機関カウンターパート技術者 資機材： 既存給水施設、給配水施設建設用資機材 資金： 公共セクター投資計画予算	前提条件 <input type="checkbox"/> 施設建設予定地周辺の関連村落と合意形成が行われ、住民反対運動がおこらない。	

上表の各要素のうち、指標予測についての留意事項は次の通りである。

1)上位計画である世銀マスタープランは、作成当時と状況が大きく変化し、実態にあわせることが困難となったので改定の必要があるが、まだ着手されておらず、暫定的に。当初上位計画の目標値として2005～2010年フェーズIIIに対する計画を指標として設定した。特に、本調査を通じ給水量増加を目的とする水源開発の問題点が明らかとなり、世銀提案を近い将来実施する見通しはたたず、上位目標値は、参照値として取り扱うべきである。

実態としては、今後漏水の低減、市内ラック用水路水源の有効利用等により給水の効率化をはかり、あるいは2000年に実施したチェナブ水源地での追加井戸掘さくなど自主努力で対応できる開発計画を通じて、2008年完成を予定する本プロジェクトでの給水率目標の60%を維持ないしは漸増する計画を策定することが实际的である。

2)本調査による給水率の推定は、第3章第3-2-2-2節(2)-3)で検討するように、WASAによる市内配水・給水管の整備地区面積に基づく。これは、現在給水量不足のため、不法接続や料金不払い等混乱が激しく、給水実態の把握が困難であったことによる。そのため、指標としての給水率の伸びは、2003年以降のWASAの配水・給水管整備実績や新規契約数の調査等を通じて判断することが適切である。

3-2 協力対象事業の基本設計

3-2-1 設計方針

3-2-1-1 基本方針

1)協力の対象範囲

WASA からの要請に対する本プロジェクトの日本側協力の方針は、1997 年事前調査時点にパ
側と合意された 91,000m³/日の水量増強計画を基本とする。

先行調査が経済制裁のため中止後、WASA は調査再開の要請書で同規模の水源開発を要請し
た。したがって、同要請に基づく 2002 年本調査第一次では同水量を目標とし、最終的には 2003
年第 2 次調査における WASA との技術合意書において同目標を再確認した。これらの期間を通
じ、最終時点まで開発水量目標を変更しなかった背景には、1998 年から本プロジェクトの地下
水開発候補地における大量の地下水開発に対する地域農民の反発があり、現時点まで有効な対策
が打ち出されていないため、住民・環境配慮の制約から容易に開発水量を増大することができな
い事情がある。

協力の対象としては、2003 年第二次調査の結果、上記の目標水量開発のための水源施設をは
じめとし、水源地から市域における最終配水池・ポンプ場(Terminal Reservoir、以下「T/R」と
略す)までの導水・送水・配水に必要な施設建設を含むこととする。これらの施設構成は、1997
年の事前調査以来変更がないが、水源地変更による要項の相違点を次表に比較する。(図 3-1 参
照)

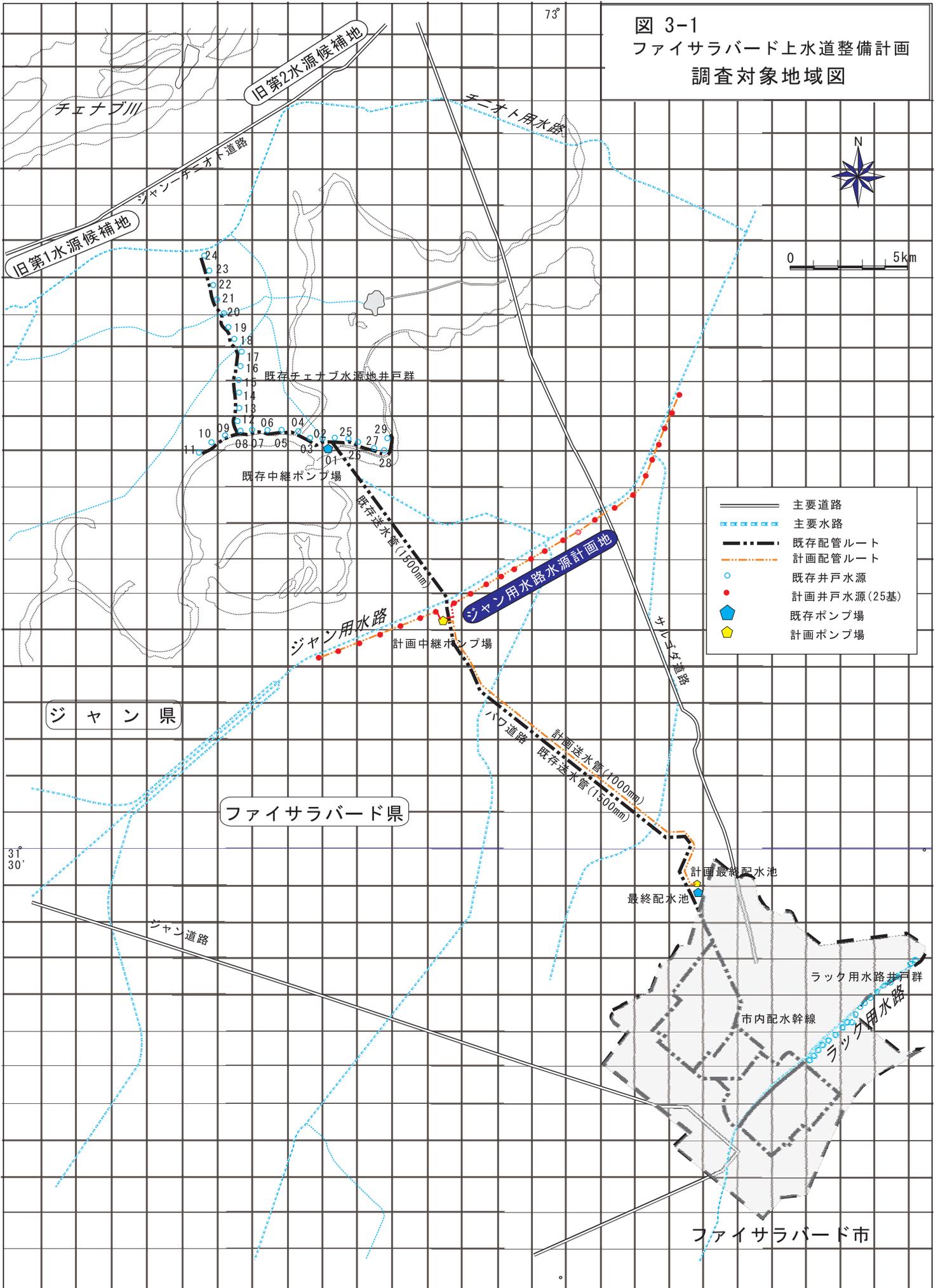
表 3-2 先行調査との施設構成比較

主要施設	1998 年先行基本設計調査／2002 年第 一次基本設計調査	2003 年第二次基本設計調査 (本調査)
水源施設	市城北西 30km 地点チェナブ沿岸 私有地	市城北西 13km 地点ジャン用水路沿線 公有地
中継ポンプ場	既存中継ポンプ場敷地内	ジャン用水路沿線公有地
送水管	口径 1,000mm x 25 km	口径 1,000mm x 13 km
配水施設	既存 T/R 敷地内、配水槽とポンプ場	変更なし。

一方、2002 年再開された本調査の第一次時点、特に T/R から配水距離が 15km 以上となる市
街東部区域(市街地の約 1/3)で給水状況が悪化し、水道料金の不払いなど問題が発生している事
実が明らかとなり、新規水源開発により水量が増加してもこの地域に給水が公平に行われな

図 3-1

ファイサラバード上水道整備計画
調査対象地域図



スクがあることが判明した。この問題について、2003年、WASAは中断した第一次調査の継続を要請するとともに、市内配水システムの改善について、調査と適切な対応を要請したので、第二次調査で詳細に原因を調べた結果、WASA給水サービスは水量不足が主因となり、一日3回あわせて最大約6時間程度ポンプによる配水ができるだけで、ポンプ運転時市内ではいっせいに蛇口をあけるため、T/Rに近い西部地区において消費が過大となる傾向があること、そのため現存システムのT/R配水ポンプや長大な配水幹線等が影響を受け、当初の設計能力を満たすことができない状況にあると推定された。対策の一つとして、WASAはT/Rに近い西部地区における浪費傾向を抑えるため、現在家屋の敷地面積を基準とする定額制の水道料金をメーター計量制に移行する計画を進めている。本計画では施設技術面での改善を目的として既存配水幹線の一部を補強することにより、東部地区へのより効果的な配水が期待できる支援を協力範囲に含める方針とする。

2) サイト選定

本計画が新規水源開発の対象とする候補地は、当初、世銀マスタープランが想定した市の西北約30km地点に位置するチェナブ川沿岸地域に選定され、先行事業で開発した既存水源地に隣接する地域に設定された。同地区の開発可能性については、実績によりすでに検証されていたが、先行事業の既存井戸25本での継続的な大量揚水の結果、周辺農村地域環境への影響が発生していたことから、最終的には市街から13km西方のジャン用水路左岸地域を候補とすることに変更された。調査の結果、代替水源開発の見通しは、水量・水質ともに、当初予定地と比較して遜色がないことが判明した。新規水源は近接する用水路の浸透による補給を受け、良好な水量・水質を維持できると予測される。

ジャン用水路はチェナブ川の本計画対象地域上流150km地点に建設されたパ国灌漑網最古のカンキ堰から取水する下チェナブ幹線水路(Lower Chenab Canal、以下LLCと略す)の下流で分かれ、2次幹線を構成する。LLCは同国用水路の中で最大規模にあり、パンジャブ州農業の生命線となっているので、州政府当局は同水路の流量増加と継続的な安定給水のため、近年老化が著しいカンキ堰を含めこの路線の大規模な補強・改修を計画している。また水路の安定給水をはかるため、全線土水路であった路線のライニング工事が計画されているが、対象は幹線以降の分水路から圃場までの末端水路だけで、ジャン水路自体のライニングは幹線の一部として対象外となっていることが確認された。このように、同用水路では将来現時点を上回る流量が予定されており、水路からの浸透による地下水資源を継続的に確保することが可能である。しかしながら、先行事業におけるような環境への影響を回避するため、本事業の水源開発には、技術面ともども社会環境での配慮を行う必要がある。(3-2-1-3「社会経済条件に対する方針」参照)

3)施設規模の設定

①送水管設計に関する検討

本プロジェクトは「パ」国主要都市に対する給水計画支援を目的とすることから、構成施設規模がいずれも大きく、特に大量の地下水開発が市域から遠距離にある水源地で実施されるため、市域までの輸送手段としての導水管・送水管の建設費が全体投資のうち大きな部分を占める。

フェーズIで建設された既存チェナブ井戸群はジャン用水路からさらに10km北部に位置し、同地に現存する中継ポンプ場から1,500mm送水管が市域T/Rまで、本計画の水源地であるジャン用水路を横断し、ファイサラバード市に至るバワ道路沿いに敷設されている(前出、図3-1参照)。本計画の送水管路は、同様にT/Rまで最短距離である同じ路線を通る計画が適切であることから、新規送水管の建設案とは別に、現在の送水量に余裕のある既存1,500mm送水管に用水路付近で接続し、同時送水する案を検討の対象とした。調査の結果、既存送水管は本計画の目標である一日91,000m³の水量を同時送水する余裕をもつことが判明し、WASAにその利用を提案したところ、WASAの維持管理費(電力費)負担が過大にならないければ、利用可能であるとの回答を得た。(資料5-2「Technical Note」参照)

両案の技術・経済比較検討の主要点を次表に示す。

表 3-3 送水管の検討

	A. 既存・新規水源合流送水案	B. 既存・新規別途送水案
1)技術的検討	既存1,500mm送水管の途中で新規送水管を接続し、合流送水する場合は、既存中継ポンプ場の中継ポンプ送水圧が不足するため、ポンプ3台を新規に大型ポンプと取り替える必要がある。	既存送水施設変更なし。
2)施設構成	a.ポンプ場 *チェナブ水源地既存中継ポンプ場 ポンプ更新(3台+予備1台) *ジャン用水路水源地新規中継ポンプ場 (新規3台+および予備1台) b.送水管 *既存送水管1,500mm x 18km *新規送水管(接続のみ)	a.ポンプ場 *チェナブ水源地既存中継ポンプ場 (変更なし、既存ポンプ3台+予備) *ジャン用水路水源地新規中継ポンプ場 (新規3台+および予備1台) b.送水管 *既存送水管1,500mm x 18km *新規送水管(1,000mm x 13 km)
3)経済比較	a. 建設費 B案と比較すると、ポンプ更新費が含まれるが、新規送水管が含まれないため、B案より建設費小。 b. 電力費 新規中継ポンプ場のポンプは両案同じであり、A案では既存ポンプ場の大型ポンプ化により、電力費が大となる。	a. 建設費 新規大口径送水管を13km敷設する必要があり、建設費はA案より大。 b. 電力費 電力費は、送水系統だけで比較するとB案はA案より年間2千万円ほど低い。

両案の経済比較は、プロジェクト・ライフを 40 年として、特に顕著な要素である建設費と電力費をとりあげて対比すると、B 案の新規送水管建設案が有利となるので、結論として本計画では送水管を新設する案を採用する。同案は上記 2 案のうち、WASA の年間維持管理費が最小となる効果がある。

②市内配水系統改善計画

本節第 1)項「協力の対象範囲」に述べたように、本プロジェクトでは、本計画との関連において市内配水系統の改善に効果のある措置を検討し、適切な範囲の支援を行う方針とする。

* 市内既存配水システム

市内の配水システムは、図 3-2 に示すように、次の 3 施設により構成される。

a. 最終配水池 (Terminal Reservoir : 以後「T/R」と略す)

市街の北西部郊外に位置し、チェナブ水源地からの送水を受ける。フェーズ I により建設。

b. 配水幹線

T/R から市内一円の配水を対象とする。また市内の従来水源であるジャル・カヌアナ浄水場、ラック用水路井戸群等の給水量も合流する。口径は 1,600mm から 500mm の範囲にあり、全長約 49km。フェーズ I により建設。

c. 市内貯留施設(高架水槽等)、配水支管・給水管

貯留施設は市内に 38 カ所。フェーズ I 建設後、配水幹線圧力が高い T/R に近い給水区ではほとんど使用していないが、幹線末端地区では幹線水圧が不足し、高架水槽からの給水に依存。これらの施設はパンジャブ州政府により建設された。

* 給水現状

a. T/R は給水量不足等が原因で、一日 3 回、各回 1~2 時間ずつの時間制限給水を行う。

b. 給水が開始されると、T/R に近い給水区域(図 3-2 の「西部区域」)に消費が集中するため、幹線末端地区(同「東部区域」)では水圧が 0.5kg/cm² しか確保できず、幹線から支線、給水管に到達するまでに水圧は 0 に近くなるため、ほとんど水が出なくなる。

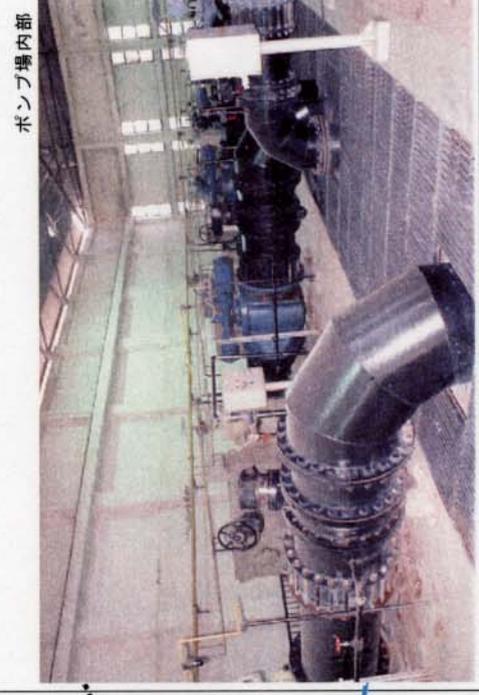
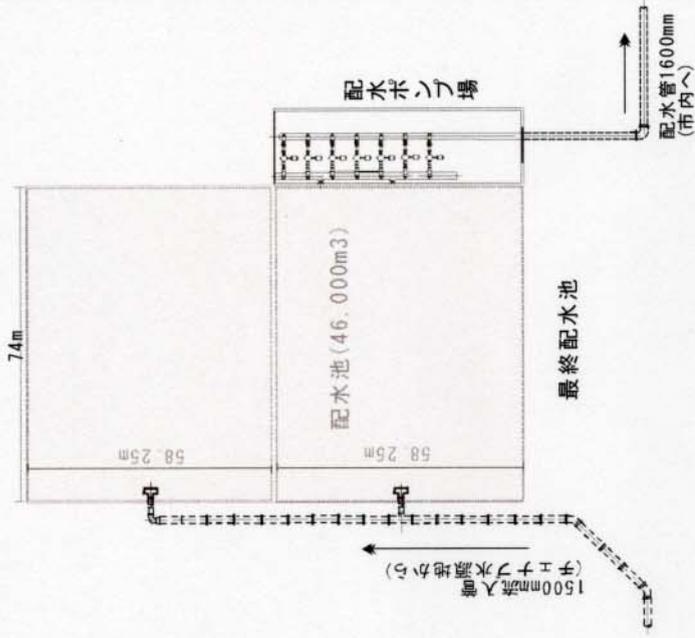
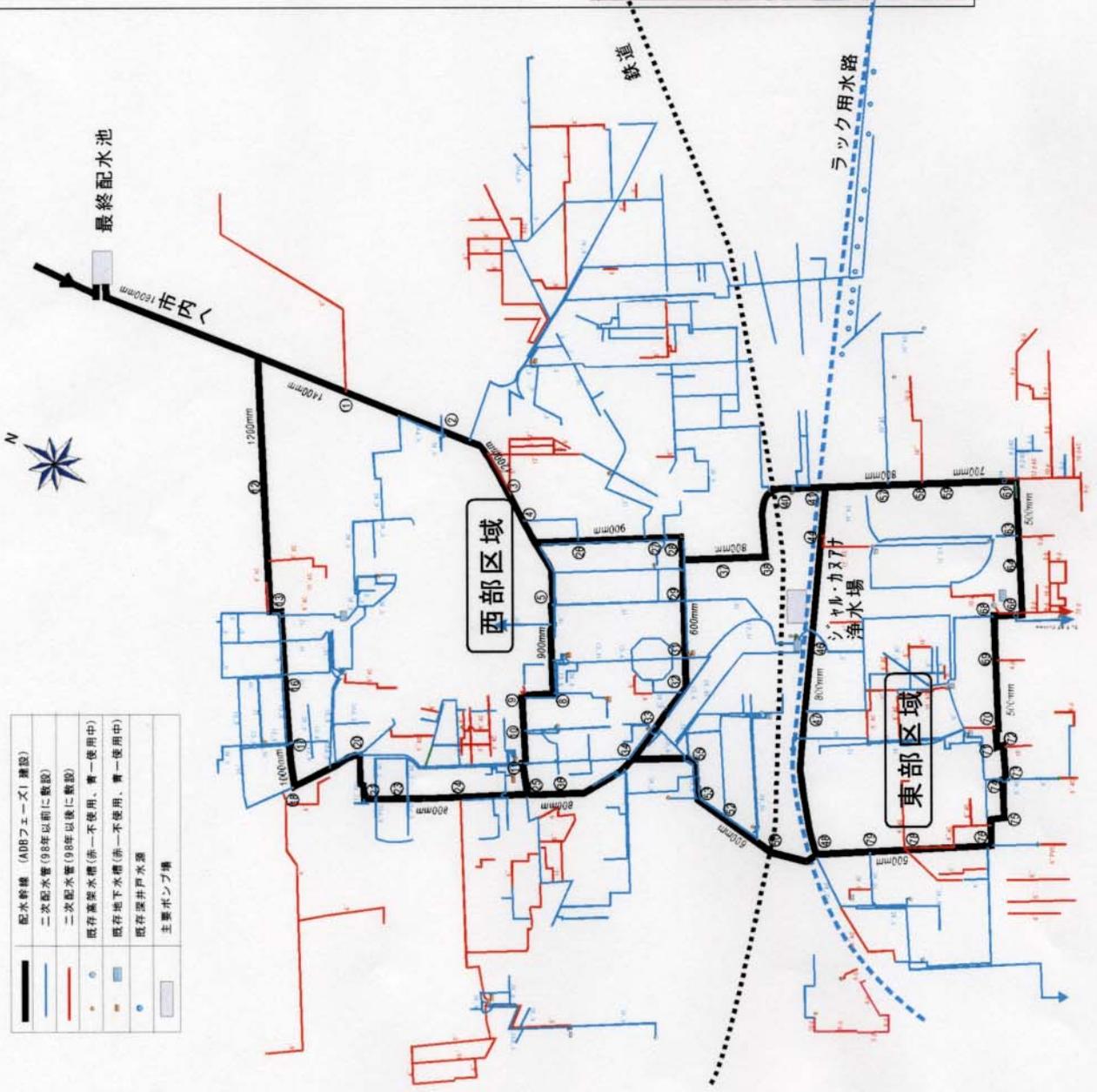
c. 配水ポンプが運転休止している間は、配水槽の貯水が自然流下により幹線を通じて配水され、その量は毎時 4,000m³ に達している。市内の地形はほとんど平らであるが、T/R は市内各所から数メートル高所となり、水槽の高さを含め自然流下が可能となっている。しかしながら、ポンプ休止の間、東部区域の幹線水圧は 0 でまったく水が出ない。

d. このため、市街のほぼ 1/3 を占める東部区域は慢性的な給水不良となり、世帯の多くが飲料水を買水に頼る。この地区では料金不払いが続いている。

* 対策

本プロジェクトで新規水源地からの水量増強を実施した場合、水量増加による給水時間の延

	配水管線 (A06フェーズ1) 建設
	二次配水管 (98年以前に敷設)
	二次配水管 (98年以後に敷設)
	既存事業水櫃(赤一不使用、青一使用中)
	既存地下水櫃(赤一不使用、青一使用中)
	既存既井戸水源
	主要ポンプ場



ポンプ場内部

図3-2
ファイサラバード
既存配水システム図

長等の効果が見込まれるが、依然として東部地区住民の水量配分についての不満を解消できない状況が続くことが予想される。第二次調査において、WASA とその対策を協議した結果、WASA から次の提案があった。(資料 5-2 「Technical Note」 参照)。

- a. 給水不良地域の東部地区中央部に位置する WASA ジャル・カヌアナ浄水場は、市内を貫流するラック用水路から取水し、緩速ろ過処理の後、浄水を配水幹線に圧入している。同浄水場は老朽化により処理能力が当初の 1/3 以下にさがり、東部地区の給水改善に実質的な寄与ができない現状となっているが、立地上、WASA の東部給水サービスの拠点であることから、同地に東部地区配水用の貯留能力を高めるため、新規配水池を建設し、同配水池から東部地区配水幹線に圧送するための配水ポンプ場を新設することにより、東部地区の改善を推進する。
- b. 既存の配水幹線は市内主要部をカバーしているが、各ループの範囲が大きいので末端に近づくにつれて圧力低下が大となる。そこで T/R から距離が遠い地区へ上流からの補助路線を補強することにより、水圧分布の改善をはかる。要請路線は図 3-2 に示すとおりで、予想される効果の点から路線(1)を優先候補とする。

これらの WASA 提案を検討した結果、(a)案の市内に新規配水ポンプ場を建設する案は、上位計画である世銀マスタープランと大幅に実態が乖離している現状、WASA 全体給水計画の見直しがまだ確立していない段階で、大型投資は効果が明確ではないため、見合わせることにし、(b)案の配水幹線補強について効果的な路線整備を支援する方針とする。調査結果を分析した結果、WASA の要望に含まれる路線(1)とその延長計 6km を整備すると、水圧分布の改善効果があがり、ポンプ送水時点、東部地区の幹線で現在 0.5kg/cm^2 程度の低圧路線を倍以上とすることが可能となると推定される。(図 3-3 参照)

3-2-1-2 自然条件に対する方針

本計画は、200 万都市に対する地下水主体の給水計画であり、州都ラホール(500 万人)と同様に、地下水源が水量・水質ともに良好であることから、浄水処理を伴わず塩素注入のみで給水し、維持管理費が小さいという利点のある事業である。この潤沢な地下水源は、主として、人工的に建設された農業用水路からの浸透により常時補給を受けて形成されるというインダス流域水路網で灌漑される農業地帯固有の特徴による。

本計画では対象地域における主用水路の沿線に水源開発地を選定し、水路からの補給を有効利用する方針とする。また、目標水量確保に必要な井戸本数や井戸間隔は、水路からの浸透量を実測試験結果に基づいて推定した基準補給量から設定する。

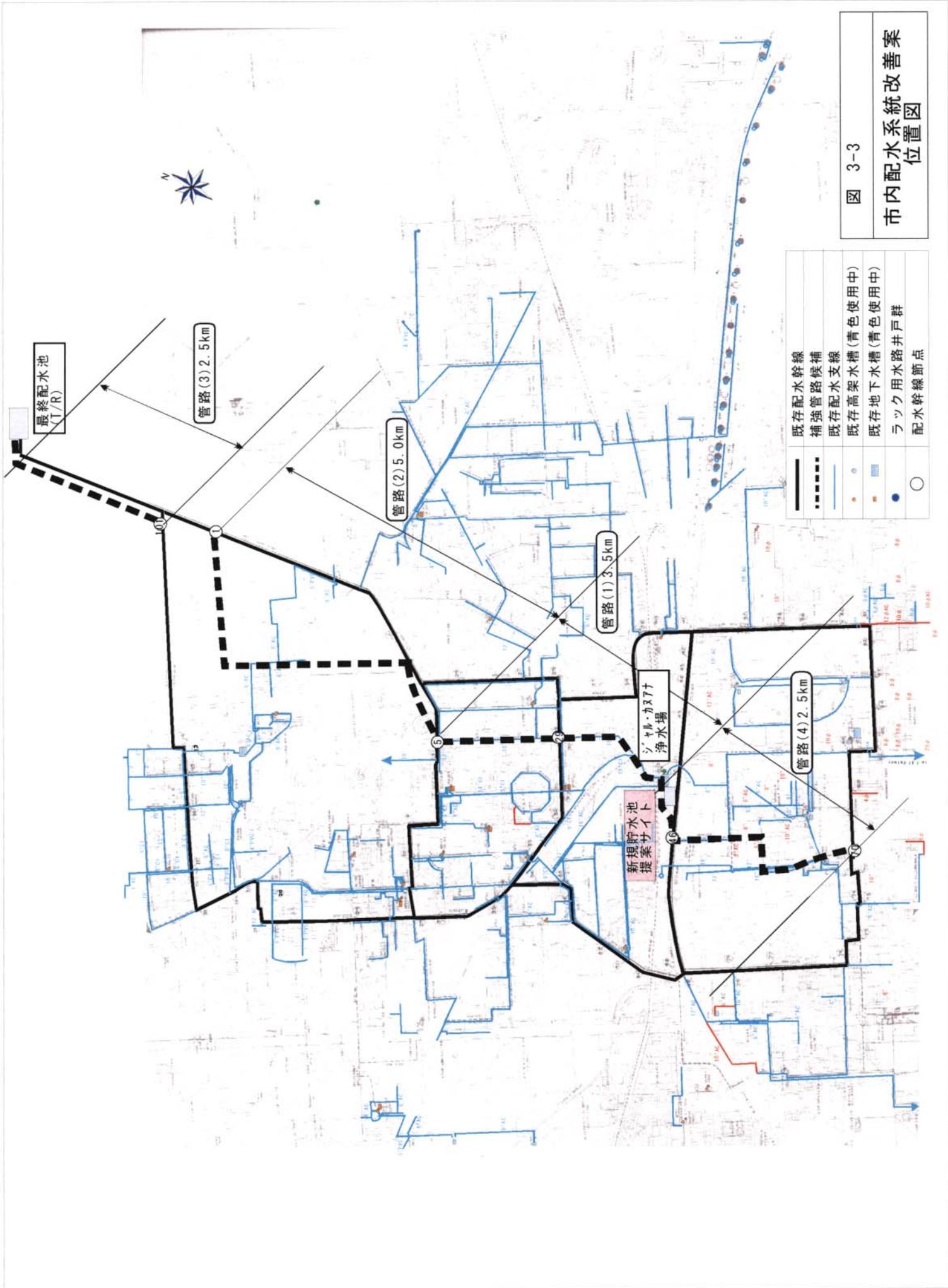


図 3-3

市内配水系統改善案
位置図

これら取水計画の基本要素は、地域の地下水位と直接関連し、農業井戸を利用している地域の農村への配慮として地下水位の低下を最小限に留めるため、基準補給量を超えない範囲に設定する。

3-2-1-3 社会経済条件に対する方針

新規水源開発を計画する対象地域一帯は、19世紀後半英国統治時代インダス本・支流からの用水路建設後、入植により形成されたパンジャブ州の典型的な農村地帯である。インダス流域の農業は用水路による灌漑に依存して発展したが、基本的に水路からの配水量だけでは不足するため、近年井戸による地下水灌漑を併用する傾向が強まり、本計画対象地域の農村地帯でも多数の井戸が建設された。調査によると、本計画の水源候補地周辺では、平均1km²に1本の農業井戸が現存し、地域農業に対する配慮が不可欠である。技術的には、前項で記述したように、現時点で利用できる浸透量試験結果をもとに、影響を最小にとどめる設計内容としたが、基準とする同試験は、誤差が大きいことが過去の調査でも指摘されており、地域の地下水位低下が発生する可能性を否定できないため、本計画では次のような対策をとる方針とした。

- a. 地域の地下水位モニタリング計画を策定し、水源井戸群の操業開始時点から、井戸群自体の水位・水質およびモニタリング井の水位の連続的な観測を行い、実際的な影響の有無、範囲、程度を確認する。
- b. 周辺農村が懸念する地下水位低下(危機レベルは約3mと言われている)が発生した場合に備え、住民との集会・対話を通じ、適切な補償を含む対策を確立する。(この対策について、本調査を通じパ側と協議を重ねた結果、本事業のパ側監督機関であるパンジャブ州政府の主導により促進する方針となった。現在、用水路水量の増加等の対策を検討中である。)

3-2-1-4 現地地製品・企業の採用に係る方針

パ国は近年の工業化政策の成果により、ポンプ機器、管材等について本計画で利用可能な優良な品質の製品を生産しているため、代替品と比較検討し、可能なかぎり現地製品を採用する方針とする。

施工面では、本計画に先行するADBフェーズIにおける建設工事は、複数のパ国業者により完成された。同事業に参画した複数の業者は、パ国各地から入札に参加した結果、選定されたものであるが、現在では本計画の井戸掘さく、建築・土木工事の各工種に対し、ファイサラバード市自体また近接する州都ラホールで有資格の地元業者が多数存在するので、これらの企業を積極的に起用することが推奨される。

3-2-1-5 施設・機器のグレードの設定に係る方針

本計画で建設する水道施設と施設を構成する機器類は、これまで先行事業で実施機関 WASA が実際に操業し、維持管理にも熟達している型式を選定し、既存施設との整合性をはかった。

先行事業では、運転の中心となるポンプ機器について、井戸ポンプ、送・配水ポンプとも堅牢で、安定した運転が可能な機種が選定されており、本計画でも同種の機器を採用する（井戸ポンプは縦軸タービン・ポンプでパキスタン製、送・配水ポンプは両吸込み渦巻きポンプで日本ないしは第三国製）。

これら施設は既存施設と整合性を保ちながら同時運転することになるが、送水系統が別になっているので、操作上特に難度がないが、最後の配水ポンプ場では新旧ポンプが既存配水管に対し同時送水するので、性能は両者を合成したものに变化する。既存ポンプは需要の変動が激しいために運転機能が制限されているが、新旧同時運転の場合も同様な傾向となる。本来給水需要の変動が激しい場合は、ポンプの回転数の自動速度制御によりポンプ流量を対応させるが、パ国では維持管理が困難な高度なシステムであるため採用が困難であり、代替案として新規ポンプに対して手動による簡易速度制御機器を装備し、難度の高い同時運転に対応する方針とする(旧ポンプには同機器は装備できない)。同種の制御機器は先行事業の別のポンプ場で採用されており、維持管理上も問題がないと判断される。

3-2-1-6 工期に係る方針

本計画を構成する施設はいずれも大型で、全体システムとして機能する性格であるため、無償資金協力における単年度実施の枠組みの中で、別個に建設することが困難であり、複数年で対応することが必要となる。しかしながら市内配管改善工事は、他施設から別個に、既存システムの配水状況の改善に効果があり、また施工規模も単年度で完了できるものである。そこで、同配管改善工事を第 1 期として通常は無償資金協力により実施し、他施設は一括して複数年案件として第 2 期において実施する期割り工程を設定する。

3-2-2 基本計画

3-2-2-1 水源計画

(1)本調査における水理地質調査

1) 調査目的

本水源調査は、最終的に第二次調査で水源計画地となったジャン用水路地域の水理地質特性を明らかにし、用水路の水量が変化しないように、次のような水源計画策定の基本資料を得ることを目的とした。

- ①ジャン用水路水源地における 1 井あたりの適正揚水量
- ②設定揚水量で揚水した場合の水位降下
- ③影響圏の範囲
- ④群井の適正配置
- ⑤群井同時揚水時の水位降下
- ⑥将来の水位降下予測
- ⑦新規井戸群の水質
- ⑧ジャン用水路流況

2) 調査内容

本調査第一次および第二次における水理地質調査の構成は次表の通りである。

表 3-4 本調査における水源調査の構成

	調査項目	調査時期	調査内容	備考
1.	水理地質踏査	1 次、2 次	地質踏査・既存井戸調査	
2.	地表電気探査	2 次	24 カ所測点における探査	本節第 3)項① 資料 8-3
3.	試掘調査	2 次	試験井 x 150m 1 基、観測井 x 120m 2 基	本節 3)項② 資料 8-4
4.	帯水層試験	2 次	試験井 x 1, 観測井 x 2 による。 (WASA は観測井 3 基を本試験のために提供した。)	本節 3)項③ 資料 8-4
5	水質試験	1 次、2 次	実地簡易試験と WASA 試験所による詳細試験	資料 8-10

WASA と協議の結果、ジャン用水路からファイサラバード市までの調査地域に対しては、過去に次のような水理地質調査が実施されているので、解析にはそれらを参考資料として利用する方針とした。

- a. 1960 年代 「パキスタン水・電力公社」
- b. 1975 年 英国コンサルタント「Binnie & Partners」社
- c. 1981 年 パ国コンサルタント「Republican Engineering Co.」社(以下「REC」と略す)

また、WASA は、2003 年今次調査終了後、パンジャブ州灌漑省付属の灌漑研究所に依頼して、独自に水路の浸透試験を実施した。これらの浸透試験は水路からの浸透量を計測するもので、当該地域における補給量に関する重要な資料として、計画要素の検討に利用することとする。本調査およびこれら先行調査の実施地点については、調査の種類を分類して、図 3-4 に示す。

3) 調査結果概要

以上の各調査結果の詳細はそれぞれ添付資料に示す。水源計画に関して、特に重要な項目については下記の通りである。

①電気探査

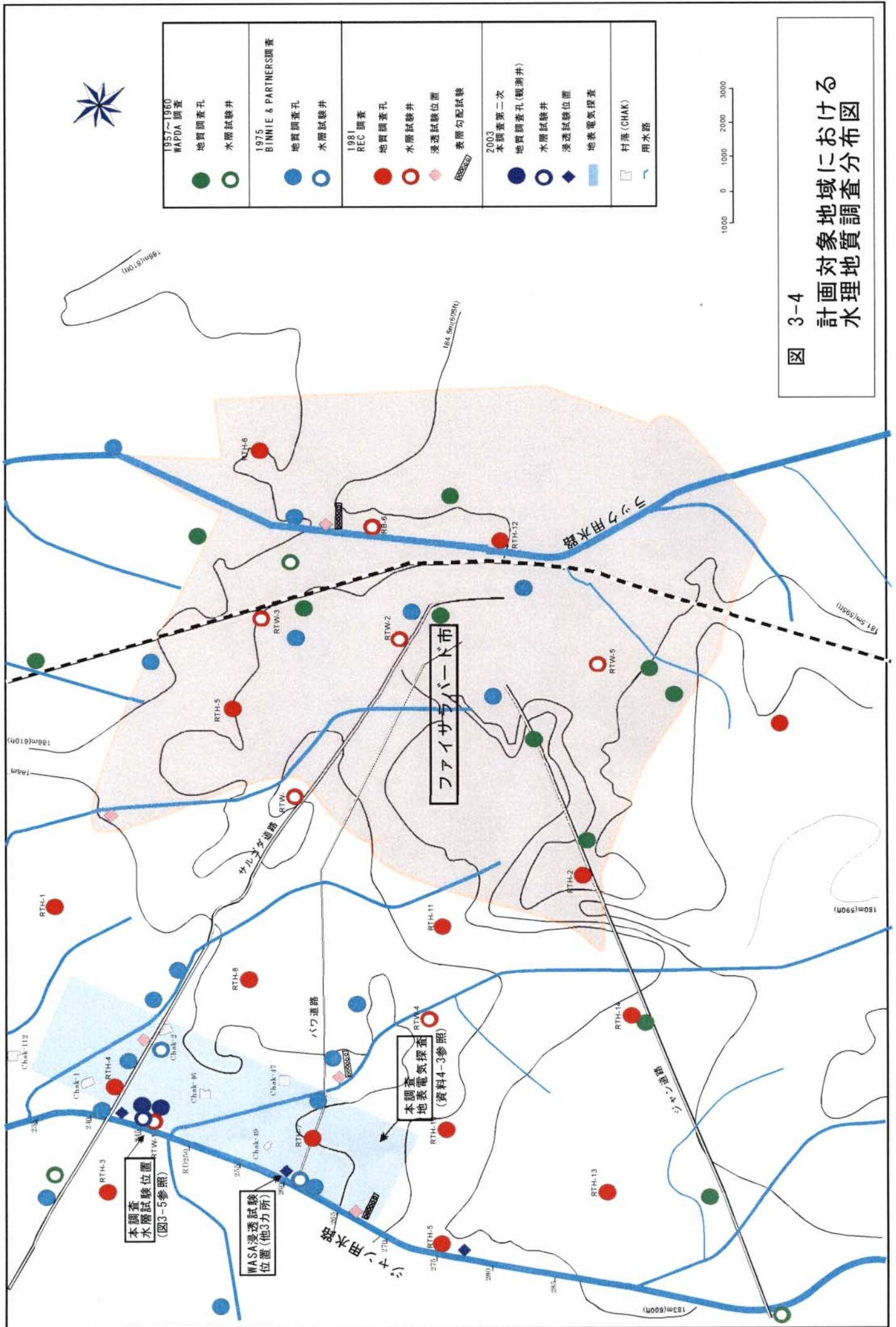
- a. 深度 200m まで 24 点の探査を実施した結果、地層は垂直方向に大きく 3 層に分かれ、特に第 2 層が地下水のポテンシャルが高い。
- b. 実際の井戸掘さく深度は、160m を基準とすることが適切であるが、地点により多少の相違があるので、井戸掘さく地点を最終的に決定したら、その地点で再測定し、確認することが推奨される。
- c. 詳細は資料 8-3 参照。

②試掘調査

- a. 試掘調査の地点、揚水井と観測井の配置を図 3-5 に示す。
- b. 揚水井の掘さく断面図、完成井戸のケーシング・スクリーン構造を図 3-6 に示す。
- c. 試掘調査実施要領は資料 8-4 を参照。

③帯水層試験

- a. 同試験は揚水開始後 360 分で水路からの強制補給を受け、試験井、観測井ともに水位が安定した。
- b. 水路からの補給により、適切な単位取水量と井戸間隔を設定すれば、周辺地下水位に対する影響はほとんどないと想定されるが、水路の補給がない休止期の揚水は水位低下を伴う。
- c. 試験結果の検討は次節「水源計画」および資料 8-6 に示す。

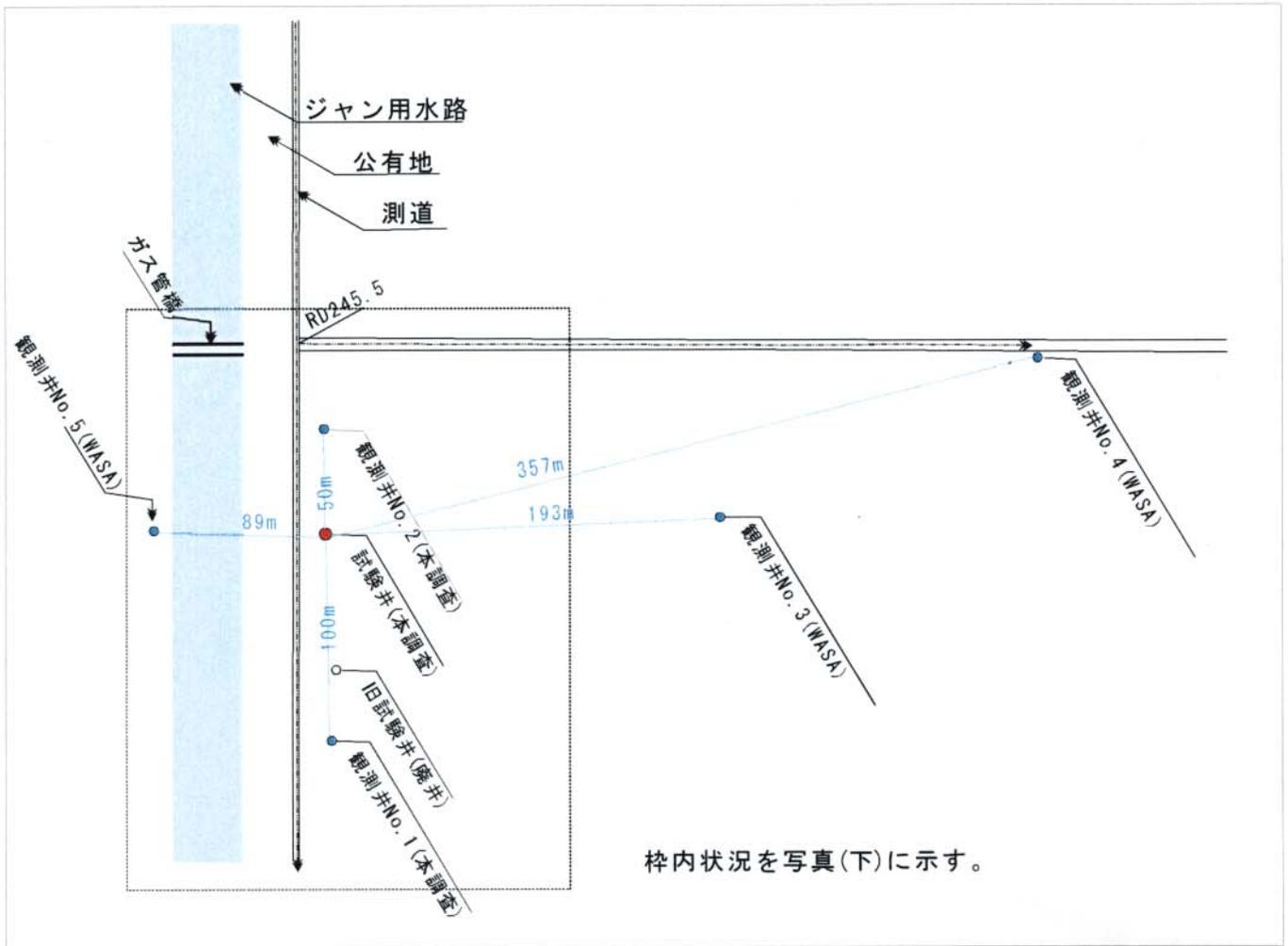


1957~1960 WAPDA 調査	● 地質調査孔	○ 水層試験井
1975 BINNIE & PARTNERS調査	● 地質調査孔	○ 水層試験井
1981 REC 調査	● 地質調査孔	○ 水層試験井
2003 本調査第二次	● 地質調査孔(観測井)	○ 水層試験井
	◆ 浸透試験位置	■ 地表電気探査
	▨ 表層勾配試験	□ 村落 (CHAK)
		└ 用水路



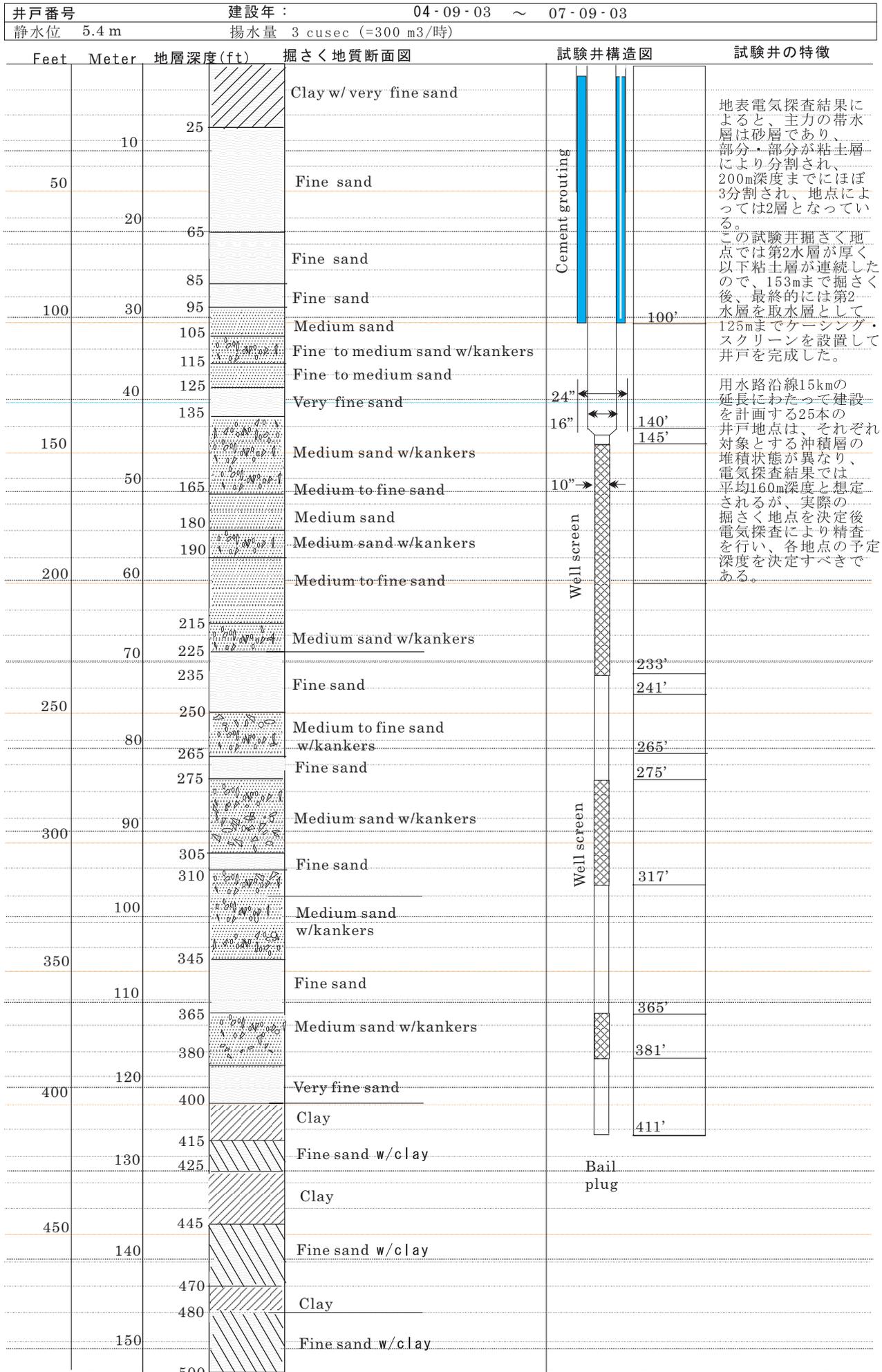
図 3-4
計画対象地域における
水理地質調査分布図

図 3-5 試験井位置図



機井。方が
くが。後
さ方。左
掘又地点。黄色を
中央の三測さく機用水路が
位置の観測井が見え用する
掘に管横断橋。

図 3-6 基本設計調査・試験井構造図 および地質断面図

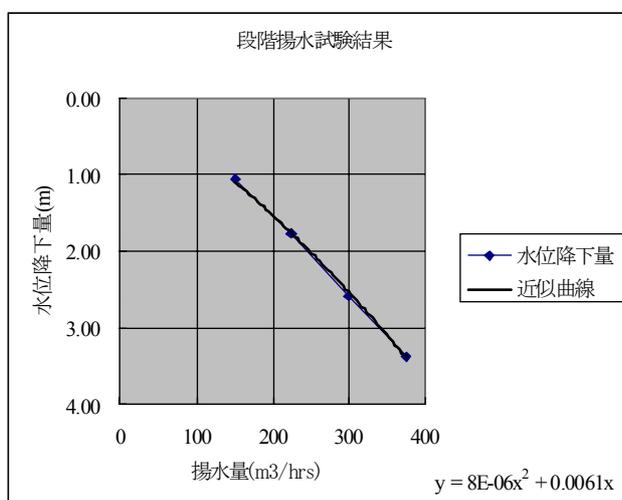


(2) 水源計画

1)揚水量

1980年にジャン用水路水源地の水理地質調査を実施したRECは、当該地域の揚水量として、1井あたり2～4cusec(=200～400m³/時)を推奨した。本調査の段階揚水試験で、その範囲で4段階に揚水量を変化させて実施した結果を、揚水量と水位降下を対比して、次のグラフにまとめる。(段階揚水試験の解析は添付資料8-5参照。)

図3-7 段階揚水試験グラフ



上図に見られるように、揚水量の変化に対する水位降下の比率はほぼ一定で安定しており、急激な曲線変化がないことは、揚水量がいずれも安定揚水量の範囲にあることを示し、先行試験におけるRECの判定を裏付ける。

単位揚水量は、優先的条件として水位降下を最小とする方針を考慮し、次のように決定した。

- ①井戸は、一般に揚水量の増加に比例して水位降下が増大するが、河川等の補給水源が近接している場合は、そこからの直接的な補給を受けて水位が安定する。降下水位はポンプ運転終了後、補給量に応じて、時間の経過とともに最初の水位に回復する。本調査の揚水量3cusec(300 m³/時)による定量連続試験では、ジャン用水路からの補給を受けて、運転開始後360分で水位が安定したが、そのさい、水位の回復はポンプ停止後約6時間を要した。
- ②WASAの既存チェナブ井戸群は単位揚水量が4cusec(約400 m³/時)と大きく、運転休止時間は一日4時間程度である。そのため、運転再開時の水位は前日の水位に完全復帰しておらず、

連日同じ運転を継続した結果、井戸群の位置する地域の水位降下が徐々に累積し、時間の経過とともに周辺に影響が拡大した。

- ③以上の実地経験から、水位降下を最小にし、さらに水位回復のための運転休止時間を WASA 現行の 4 時間程度を基準とすると、3cusec をかなり下回る単位揚水量とする必要があり、2cusec 程度、200m³/時を本計画の最小経済揚水量として設定することとする。

2) 井戸本数

井戸本数決定の要素は次の通りである。

- 本計画最大揚水量 91,000 m³/日
- 井戸 1 本の揚水量 2 cusec = 200m³/時
- 井戸の一日運転時間 20 時間/井 (休止時間 一日 4 時間)

休止時間については、これまでの調査結果を基準とし、WASA 現行運転状況を参考に定めた。調査試験井では 300m³/時を 48 時間連続揚水し、約 6 時間で当初の静水位に復帰したので、200m³/時の場合は、ほぼ設定時間に近い時間での回復が想定される。

以上の考察に基づき、井戸本数を次のように算定する。

$$91,000 \text{ m}^3 \cdot \text{日} / ((200 \text{ m}^3 \cdot \text{時}) \times 20 \text{ 時間}) = 22.75 \text{ 井} = 23 \text{ 井}$$

また、維持管理上、井戸保守作業の期間における代替井が必要となり、1 割の余裕を見込み 2 本を加算する。したがって、井戸本数は 25 本とする。

3) 井戸間隔

①浸透量の推定

本計画の水源地はジャン用水路からの浸透による補給が期待できる。井戸の取水量が水路補給量の範囲におさまる場合は、揚水による一時的な水位降下があっても、適切な休止時間をとれば水位が回復し、地域の連続的な地下水位降下の懸念は解消されるはずである。

WASA は、実際にこの補給量(浸透量)を調べるため、第二次調査終了後 2003 年 11 月、灌漑省に属する灌漑研究所に依頼し、ジャン用水路沿線 3 カ所で浸透量試験を実施した。同様な試験は過去にも REC によるジャン用水路調査において実施されている。次表にその結果を示す。

表 3-5 ジャン用水路浸透試験結果

	試験担当機関	実施年度	浸透量
1	FDA/REC	1981	633 m ³ /時/km=15,192 m ³ /日/km
2	WASA/灌漑研究所	2003	437 m ³ /時/km=10,488 m ³ /日/km
		平均	535 m ³ /時/km=12,840 m ³ /日/km

浸透試験は、試験法、試験を実施した路線状況、水路の流況等に影響され、かなり誤差が大きいためといわれており、推定浸透量は概算値として取り扱う性質のものであるが、本計画の井戸群は水路の側近に建設され、揚水中、水路からの直接補給を受けるので、水路から余分の用水を引き出さないための目安としても参照しなければならないと考えられる。本計画では、上記 2 回の試験結果の平均値を採用して、計算に利用することとする。

②農業井揚水量

推定された水路浸透量はこれまで地域農業井戸に利用されているので、農業関連の利用について概略を検討すると次の通りである。

- a 用水路左岸で本計画候補水源地に相当する約 20km 路線で水路から 3km の距離にある帯状地域の農業井戸本数は、WASA 調査結果によると、108 井に達する。
- b. これら農業井戸 1 本あたりの取水量は、普及している井戸構造・ポンプ性能から平均すると 1cusec (100m³/時) である。
- c. 例年 7、8 月の雨季、収穫終了時期にはほとんど揚水は行われぬ。通常一日の運転時間は最長 10 時間程度である。したがって、平均稼働率は最大でも 40%と推定される。
- d. 農業井戸全体の揚水量の試算は次の通りである。

$$\begin{aligned} \text{水路単位距離あたり一日揚水量} &= ((108 \text{ 井}) \times (100\text{m}^3/\text{時}/\text{井}) \times 24(\text{時間}) \times 0.4) / 20 (\text{km}) \\ &= 5,184 \text{ m}^3/\text{日}/\text{km} \end{aligned}$$

概算による農業セクター利用量は、推定浸透量(平均値)の 40%程度となる。

③井戸間隔の設定

以上の補給量の他利用を減算し、本計画で利用可能な補給量をもとに、計画揚水量を浸透量に依存する場合、運転井戸 23 本の間隔は次のように算定される。

- a. 全体利用可能浸透量=平均浸透量 x 安全率(=0.9 と仮定)=12,840 x 0.9=11,556 m³/日/km
- b. 本計画利用可能浸透量=(a) - (農業関連推定利用量)=11,556 - 5,184=6,372 m³/日/km
- c. 本計画の水源井戸の単位揚水量=200m³/時 x 20 時間運転/日=4,000m³/日
- d. 浸透量で揚水量を補給できる水路長=(c)/(b)= 0.627(km)

以上の算定結果、井戸間隔は 600m 以上必要となる。最小間隔として 600m を基準とすると、

予備井を含め全体で 25 本の井戸を水路に沿って一直線に配置するので、その延長距離は((25-1)本 x 0.6km) で約 14.5km となる。

以上の検討結果に基づき、決定した水源計画の主要素を次表にまとめる。

表 3-6 水源計画構成主要素

No.	計画要素	目標値
1	計画一日最大取水量	91,000 m ³ /日
2	1 井あたり計画一日取水量	200 m ³ /時 = 4,000 m ³ /日
3	井戸本数	23 本 + 予備井 2 本=25 本
4	井戸運転時間	20 時間/日
5	水路沿線井戸配置間隔	600m

4)水位降下と影響圏の検討

計画対象地域の水源候補地は、サトウキビ栽培を主とする広大な農産地に位置し、用水路による灌漑用水補給のため、農業井戸により地下水を常時多用している。本調査において、これら地域農民のプロジェクト反対運動が多発したことから、本計画ではこれら農業井戸に対する影響を最小にとどめることが課題となっているので、これまでに設定された水源計画各单元について、周辺に対する影響の範囲を次に検討する。

①定量連続試験結果

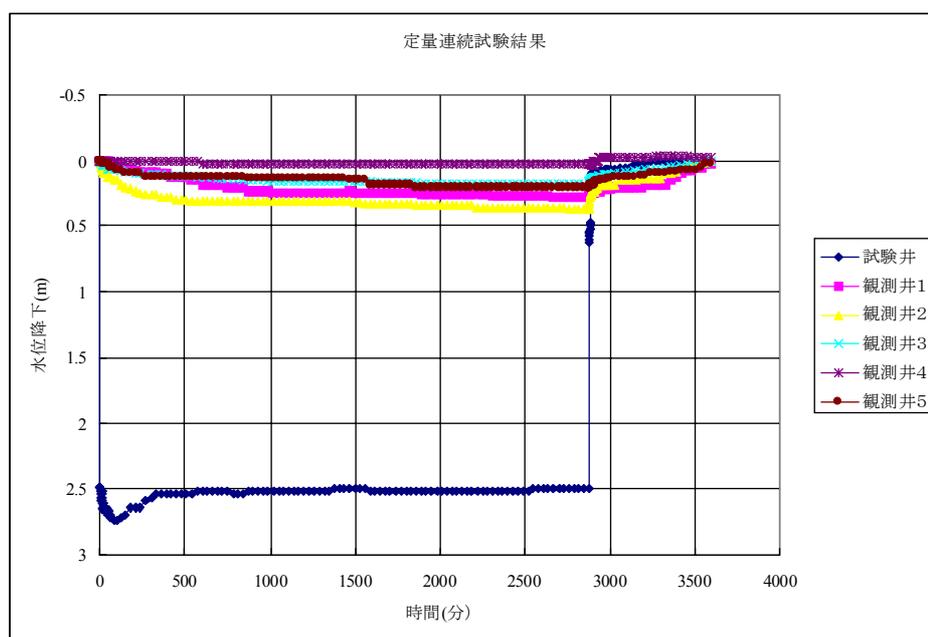
井戸の水位降下と揚水井による周辺地域地下水位の影響は、試験井の帯水層試験のうち定量連続試験と回復試験結果を解析し、帯水層の湧水能力を示す「浸透量係数」(=「T」)と「貯留係数」(=「S」)を決定した後、これらの係数を利用した水理計算式やグラフ解法により推定される。

本調査では、試験井の揚水量を 3 00m³/時に設定して 48 時間連続運転を行い、その間における試験井および 5 本の観測井の水位降下を測定し、ポンプ停止後これら 6 本の井戸における回復水位を測定した。これら試験結果を図 3-8 のグラフに示す。

試験結果には次のような特徴がある。

- a. 試験井の静水位は地下 5.334m。連続揚水を開始してから約 360 分後水位が 7.83m に安定し、2880 分の連続揚水終了時まで同水位(水位降下量)2.5m を維持した。試験井における水位の安定化は、補給源が近くにあり、試験井の揚水による強制的な補給が安定化したことを意味し、この井戸の場合はジャン用水路からの強制的な補給を受けていると推定される。
- b. 一方、観測井では試験井からの距離により時間差があるが、微量な水位降下が継続し、ほぼ 300 分程度で一様に安定した。

図 3-8 定量連続試験グラフ



- c. 試験井から最も遠距離(359m)に位置する観測井 No. 4 では、水位変動が 2cm 程度の範囲にあり、ほとんど影響を受けていない状況にあると推定される。
- d. ポンプ停止後の水位回復試験では、試験井が 6 時間後、観測井は 10～12 時間で当初の静水位に回復した。

②水層係数の算定

本調査の揚水試験では一定時間経過後用水路からの補給が継続し、その期間の揚水試験データは水層特性を示すものとはならず、係数の計算には不適切であるため、資料 8-6 に説明する手法を用い、試験井、観測井それぞれの距離と時間の関係を利用して、解析した。また、算定結果を評価するため、過去に REC により同地域で実施された揚水試験結果解析による水層係数、また先行事業である ADB プロジェクト井の資料を参照した。

算定の手順については資料 8-6 に示す通りである。 その結果を次表にまとめて示す。

表 3-7 対象地域帯水層係数一覧表

対象井戸	算定方法	透水量係数(T), m ² /day	貯留係数(S)
本調査試験井 および観測井	距離・水位法(1)観測井のみ	15,686	3.22E-02
	距離・水位法(2)試験井含む	2,840	3.88E-02
	回復法 (観測井 No. 2)	13.071	8.47E-03

	回復法（観測井 No. 3）	24,674	1.40E-02
REC 調査 RTW1	回復法	5,312	2.50E-02
RTW2	回復法	7,080	1.27E-01
ADB18 号井 ⁽¹⁾	揚水試験	11,094	
	回復試験	9,861	

注記 (1) ADB 井は掘さく当初の完成報告書に記載されている解析値であるが、貯留係数は算定されていない。

23 井の T の平均値は、12,000 m³/day と報告されている。

上表に示す本調査で得られた水層係数については、次のような点に留意しなければならない。

- a. 本調査における試験井、観測井はいずれも用水路からの直接的な強制補給があったと推定され、そのため得られた各井のデータの関連づけがきわめて困難となり、解析結果にはかなりの誤差がある。
- b. しかしながら、得られた係数は一部を除き、過去の試験結果と比較しても特別顕著な差異がなく、精度に限界があるものの、水理計算に適用できる値と判断される。

③影響圏の予測

以上の水層係数を利用し、本調査の試験のうち、試験井と観測井の距離・水位変化の測定結果を利用して、影響圏について検討した。（詳細は資料 8-7 参照。）

本計画では、1 井あたり 200m³/時で揚水し、一日 20 時間連続運転を行い、4 時間を休止時間と設定している。その場合の予測結果を要約すると次の通りである。

- a. 本計画における井戸相互の距離は 600m であることから、各井戸が揚水中、お互いの影響が及ばない範囲は半径 300m である。算定によると、一日 20 時間連続揚水後の影響圏範囲（揚水井における揚水の影響により周辺の自然地下水位が低下する井戸からの距離）は、揚水が始まると用水路からの強制補給があることから、300m 以内にとどまり、周辺地域における地下水位低下は発生しない。
- b. しかしながら ジャン用水路は例年冬期 1 カ月間水路の補修のため全施設の配水を休止するので、この期間は補給が皆無となり、揚水の影響が直接に周辺に拡大することが予想される。その場合、落水 30 日後に影響が及ぶ範囲を算定すると、水層係数の値により差があるが、最小 2.5km、最大では 5km となる。実際はこの中間的な範囲となると予想される。
- c. いま、最小の影響圏が予想される場合をとりあげると、用水路休止 30 日後、0.25m の水位低下となる地点は、井戸群から約 730m の半径内にある。一方、最悪のケースとして最大影響圏の場合は 1.900m に及ぶ。井戸間隔は 600m であるから、相互干渉が発生し、各地点でほぼ

単独井戸による影響の 2 倍の水位低下となると予測される。両者の平均をとると、1.3km 地点で約 0.5m の水位低下が発生すると想定される。

- d. このように周辺で低下した地下水位が、用水路の給水再開後、休止以前の状況に戻る可能性は、用水路の補給状態によるが、本計画における前提として、本プロジェクト井と農業井により水路の補給量を最大限まで利用することとしているので、水位が現状復帰する可能性は低い。その場合、周辺水位は例年低下を続け、5 年以内に 1km 四周で 1m 程度地下水位が低下する可能性が高い。
- e. 本水源井の揚水計画は、用水路からの補給に大きく依存しており、周辺水位低下の予想も水路の補給度によるところが大きい。WASA による浸透試験により、その補給水準はほぼ明らかとなったが、広域の対象地域全体への作用については不明の部分が多く、水路休止のさい最悪のケースとして、周辺における地下水位の低下が徐々に進行すると予測する。
- f. 一方、本調査では、対象地域の 5km 北に位置する既存チェナブ水源地の水位低下の影響についても考察した。同地では年々水位低下が継続し、影響圏も拡大しつつある。過去 10 年間の 28 井の水位測定記録に基づく検討結果によると、同地で従来の揚水をこれからも継続する場合、その影響圏はまもなくジャン用水路地域にもおよび、今後 10 年間に 2~3m の水位低下がこの地域にも発生することが見込まれる。検討の詳細は資料 8-8 に示す。

④地下水位モニタリング・システム

以上の影響圏についての検討結果から、本事業が実施されると、対象地域では徐々に地下水位の低下が進行し、5 年程度の単元では一部の農業井戸に影響を及ぼすリスクが予想される。ただし、本調査における水層試験は水路に沿って長さ 15km の水源地の 1 地点における試験井 1 本の結果から判断していることから、精度に限界があるため、影響圏に関する確度の高い将来予測は WASA が適切な水位観測システムを構築し、継続的な観測とデータ解析により確立することが必要である。このモニタリング・システム設定と観測に関わる留意事項は次の通りである。

- a. モニタリング井は、WASA の標準水位観測用井戸とする(構造については資料 8-9 を参照)。計画井 25 基が配列される延長 15km の用水路線に対し、距離 500m、1km、3km の各ラインに沿って最小 5 井のモニタリング井を設置する。
- b. 生産井の実際の運転開始後、連日 25 井の静水位ならびに運転停止直前の動水位を測定する。また量水器により各井の一日取水量を確認する。
- c. 操業開始後 1 カ月程度の期間、特に 500m 距離ラインの観測井に重点を置いて、30 分~1 時間程度の間隔で、各観測井の水位変化を測定する。測定はその地域を担当するポンプ室操作員が実施する。様子により、1km ラインの観測井も測定対象に含める。

以上の測定により、用水路が機能している期間における影響圏について確度の高い予測が可能となる。用水路休止期間の場合は、測定対象の観測井を 3km ラインにも広げる必要があるかもしれない。操業開始後 1 カ月を経過したら、揚水井自体の水量記録と水位測定は毎日実施するが、観測井の測定は一日数回に設定する。用水路休止期間における測定を含めると、操業開始後 1 年間で、将来にわたる周辺地域への影響の予測が確実に構築できることになる。

本調査における試験結果を検討すると、WASA の井戸揚水により、程度の大小はあるが、周辺地域の地下水位低下が発生するリスクが指摘される。WASA は、技術的には、観測井戸を適切に配置し、広い地域での継続的な水位モニタリングを実施して、地域全般の地下水位変化を科学的に検討するとともに、社会的な側面として、WASA と地域村落で構成する関連委員会を組織し、地域社会の認識と動向に常時接触することにより、問題が発生した場合に積極的で実践的な対応を示すことが重要である。

5)水質の検討

本計画調査対象地域の、チェナブ川左岸からジャン用水路を横断し、ファイサラバード市に至る約 30km の範囲における水質の特徴については、過去の調査、また本計画に伴う先行調査結果から次のような傾向が明らかとなっている。

- ①チェナブ川流域は河川の新鮮な堆積が約 200m 深度の基盤上まで連続し、水質が良好である。TDS 値は大半の地域で 500~1,000mg/lit 程度となっている。この地域では水平・垂直の双方向に水質が良好である。
- ②チェナブ川とジャン用水路の中間に位置する WASA 既存水源地はチェナブの旧河道にあたり、現在の河道との連続性があると推定され、1992 年操業開始以来の継続水質試験結果、ほぼ 500mg/lit の水準を維持している。
- ③一方、市街地に接近するにつれて水質は劣化する。地層は平野部中央では古い堆積が優勢となり、地下水の塩分濃度が高く、かつ浅層部は市域の人為的汚染により TDS 値は最大 5,000mg/lit に達する。
- ④ただし、市内を貫流するラック用水路沿線の带状地帯だけは、水路からの浸透水によりレンズ状の清水域が形成され、500~1,000mg/lit の水質が確保できる。清水域は水路両岸幅 70~90m、深度 70m の範囲にある。(同地帯は旧来からの市水源で、現在も WASA の補足的な水源として、深井戸が約 20 本稼動している。かつては井戸が 50 本以上乱立し、過剰揚水の結果、水質劣化、水量減退等の問題が発生したのち、1992 年世銀マスタープランが浸透量を評価した結果をふまえて、2001 年現在の本数に再整備された。WASA はラック水路水源についても継続的な水質試験を実施している。)
- ⑤1970~90 年代における過去の調査における当該地域の水質検討結果を図 3-9 に示す。

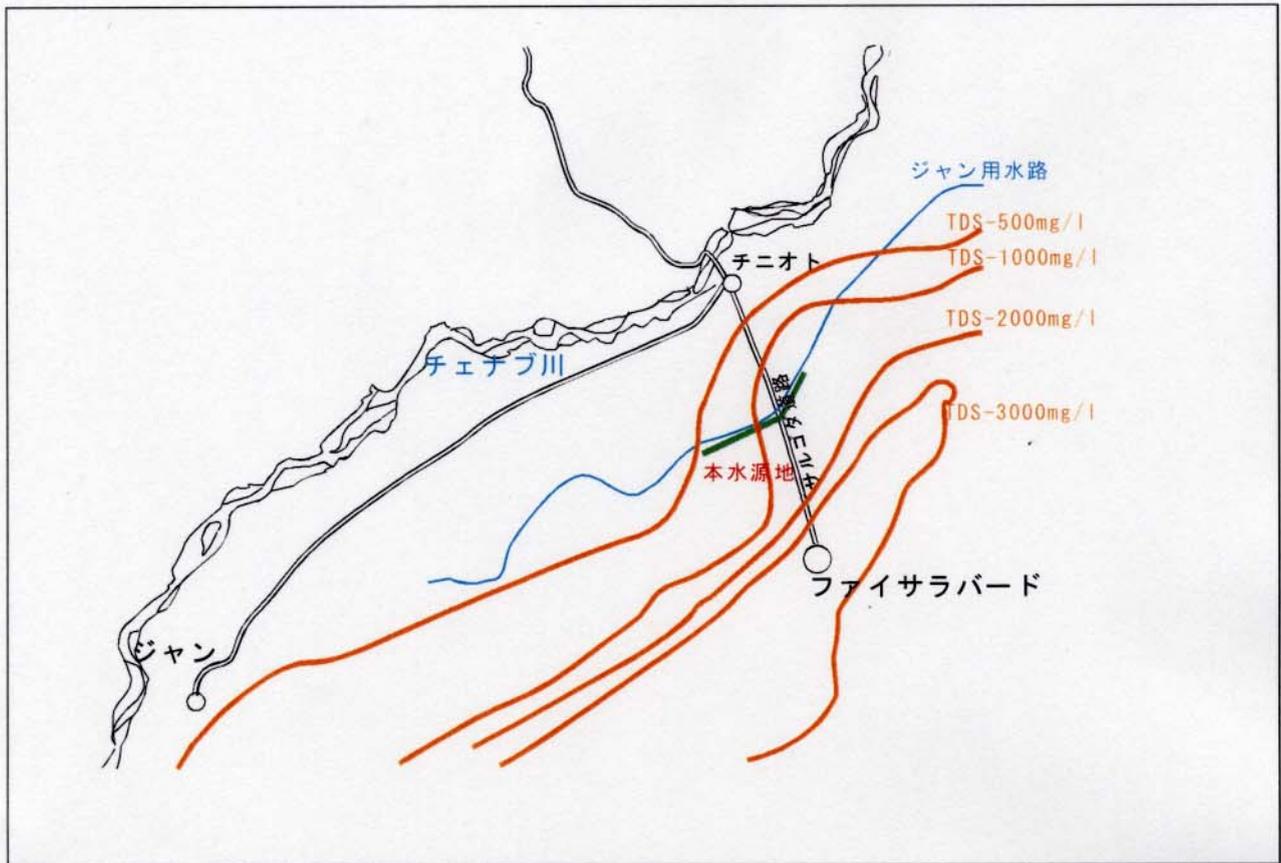


図 3-9

過去の調査における
対象地区水質分布図

- ㊦1993年世銀マスタープラン
におけるTDS分布想定図
- ㊧1984年REC調査による
TDS分布推定図

本調査では、2002年第一次において農業井戸を含む広範囲な水質の確認を実施し、2003年第二次で、さらに追加試験を行った。その結果を一覧表として資料 8-10 にまとめた。

第二次調査では、水源計画地のジャン用水路で試験井を掘さくして帯水層試験のさい、連続 48 時間運転の最終段階で試験井から採水し、水質試験を実施した。同試験結果および参考として、用水路左岸から約 100m の範囲内で操業している既存農業井 2 本の水質試験結果を表に示す。試験結果、水路沿線の水源地では良好な水質が期待できると想定される。

この地帯における TDS 値 200mg/lit という水準はあきらかに水路からの浸透水の水質を反映したものであり、この水路脇でも市内ラック水路沿線同様、レンズ状の清水域が形成されていると考えられるが、この地域はチェナブ川の地質時代最近世における流路左岸の周縁部と考えられており、チェナブ流域との連続性があるので、基盤まで良質の地下水が分布している点が、ラック水源地との大きな差異となっている。しかしながら、きわめて良質の地下水は、水路浸透水の補給範囲内の取水により維持されるものであり、施設完成後は、各水源井および周辺井戸を含めての継続的な水質監視が必要となる。

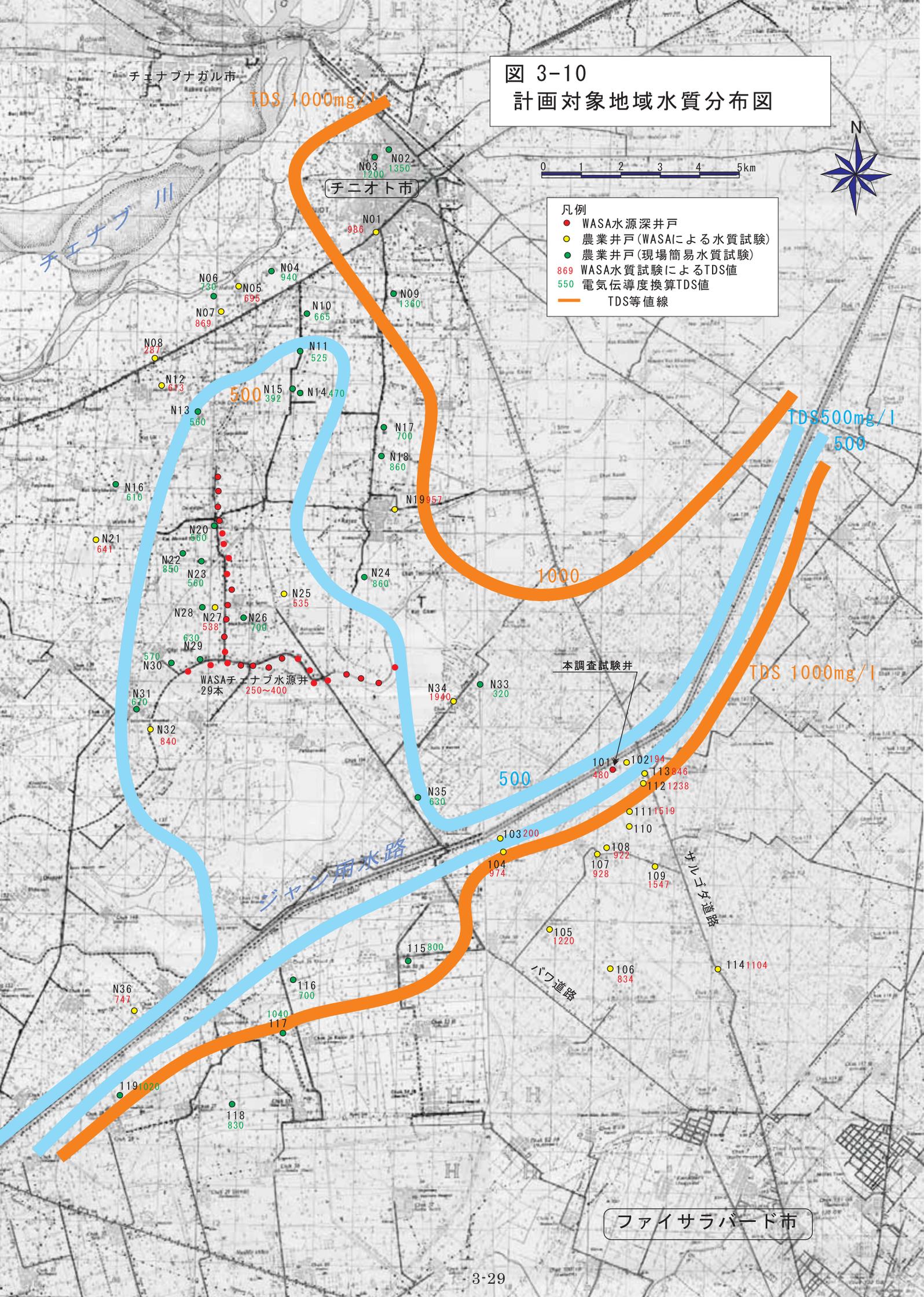
WASA では従来から TDS 値を水質判定の基準指標とし、500mg/lit 以内を目標としてきた。先行事業におけるチェナブ水源地(本計画対象水源地の北 5km から 10km の範囲)では、ほぼこの目標値を達成してきた。(資料 8-10 参照。)しかしながら、本計画水源地は水質劣化地域に接近するため、WASA では WHO が目標値と設定している 1,000mg/lit までを許容範囲と考えている。

図 3-10 は、第一次、第二次調査で調査団が現場で実施した簡易水質試験およびその一部を WASA で詳細項目試験を行った結果を総合した対象地域と周辺における TDS 値の分布状況を示す。その結果を旧図と比較すると近年対象地域周辺では水質の劣化が進行している状況がうかがわれる。

世銀のマスタープランでは、チェナブ川流域を将来の追加水源地候補として設定し、市街地の劣化した地下水(TDS3000~5000mg/lit)はジャン用水路が緩衝地帯となり、チェナブ流域まで拡散するおそれはないと判断した。しかしながら、本調査結果によると、水源地の北西部、チェナブ河畔に位置するチニオト市(人口 25 万人)を起点として、人為的な汚染が下流地域に拡大している状況が推定される。特に同市は市内に発生する生下水をチェナブ川左岸に接近する側流に放流しているので、水路に近い「メタ」村落(第一次調査の水源地候補地)の農業井は影響を受け、水質劣化の傾向が現れていると考えられる。

一方、ジャン用水路の周辺には、現在人口 1 万人規模の村落が各所に散在する。これら人口密度の高い集落における日常生活や地域農民の主たる現金収入源となっている畜産・搾乳などの

図 3-10
計画対象地域水質分布図



経済活動は、周辺における地下水の人工的汚染を進行させる原因となっている。特に顕著な現象として、これらの村落では各家庭が生活排水をそのまま道路脇の側溝や水路に流し、汚水は最終的に集落内の排水用溜池に集まって集落内に大きな汚水溜めが形成されている。本調査でこれらの村落を対象とする住民調査を実施した結果によると、各村落とも排水処理が地域最大の問題の一つとなっている。用水路から約 1km 以南で、村落居住地域に近い井戸が、周辺と比較して異常に高い TDS を示すケースは、これら生活排水の影響を示すものであると推定される(図 3-10 における N02, N03, N34, 112 等)。

農業地帯であるので、農薬汚染が懸念されるが、1998 年先行調査および本調査第一次において試験した結果では、その影響は現れていない。農民の大多数が貧困であるため、全国的に農薬使用量がきわめて少ない傾向があり、影響がおさえられている可能性が考えられるが、最近市内では、WASA 水質試験所と連携し、農薬試験を実施する体制を整備する動きがあるので、今後はこの分野での監視を含め総合的な水質モニタリング体制の確立が望まれる。

以上のように周辺で人工的汚染が進行している傾向が推定されるが、本計画でジャン用水路の側近に水源井を設置する場合、水質問題については、過去の市内ラック用水路沿線水源井の経験から、水路からの補給とのバランスをとりながら取水するかぎり、周辺の汚染による影響を受ける可能性は少ないと判断される。

また、汚染が進む浅い地下水は、村落住民のハンドポンプや自家用井戸による生活用水源でもあり、村落で憂慮するように、適切な環境改善対策が急務となっており、水源地水質保全の観点からも行政側の積極的な対応が望まれる段階となっている。

表 3-8 試験井および用水路沿線農業井水質試験結果

	試験 時期	温度 (°C)	pH	EC (μ M/cm)	濁度 NTU	TDS mg/ ι	Ca mg/ ι	Mg mg/ ι	全硬度 mg/ ι	塩化物 mg/ ι	全鉄 mg/ ι	総窒素 mg/ ι	硝酸性 窒素 mg/ ι	アンモニア性 窒素 mg/ ι	総リン mg/ ι	硫酸イオン mg/ ι
1	試験井 101	24.0	7.80	230	1.5	480	24	10	100	36.0	0	0	0	0	0	0
2	農業 102	22.3	7.91	260	0	194	32	41	244	29.7	-	0	0	0	0	-
3	農業 103	23.2	8.30	247	0	200	54	26	240	50	-	0	0	0	0.04	-
参 考	用水路 参照値	27.9		160												

注記 1) 温度および EC は採水時、現場にて測定。
 2) サンプル(1) 試験井の水質試験は、掘さく業者によりラホールの公的試験所に依頼して行った。
 3) サンプル(2)および(3)は、WASA 水資源局に属する WASA 水質試験所にて行った。
 4) 井戸地点(番号)については、図 3-10 「対象地域水質分布図」を参照。同図には、第一次、第二次で実施した側水調査時点、揚水している農業井を網羅した。これら揚水井に対し、温度、電気伝導度、pH を現場測定し、その一部を WASA 試験所で水質試験を行った。添付資料 8-10 「対象地域水質試験資料」にその一覧表を示す。WASA チェナブ井戸群水質は、WASA の 2002 年試験成績記録による。同資料も添付資料に示した。