

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

本計画は、1993年に世銀の支援により改訂されたファイサラバード市の上下水道マスタープラン（1-1-2 開発計画参照）に基づく、上下水道計画フェーズ II 事業の一環を支援することを目的とした。同計画に対し、我が国は本事業化調査までに表 3-1 のような支援を実施した。

表 3-1 プロジェクト実施の経過

	期間	実施内容	特記事項
1	1998 年	基本設計調査	「パ」国核実験に対する経済制裁のため中断
2	2002 年 12 月～ 2003 年 2 月	第 1 回基本設計調査 (第 1 次現地調査)	新規水源開発に対する住民反対運動のため、 中断
3	2003 年 8 月～ 同年 9 月	第 2 回基本設計調査 (第 2 次現地調査)	別の水源地を選定し、調査完了
4	2004 年 3 月	基本設計概要説明調査	「パ」国側合意
5	2005 年 1 月	第 1 期詳細設計調査	全体計画のうち、市内配水改善計画を対象
6	2005 年 6 月～ 同年 12 月	第 2 期詳細設計調査	水源から最終配水池までの新規給水施設計画を対象
7	2005 年 7 月～ 2006 年 3 月	第 1 期建設工事	2006 年 3 月末までに完成
8	2006 年	第 2 期建設工事入札	同年中に 3 回の入札を実施したが、いずれも 不調に終わり、2007 年 3 月、交換公文の期限により、事業中止となった
9	2007 年 7 月	事業化調査（本調査）	事業中止後、「パ」国側の事業継続要請を受けて実施

本事業化調査は、表 3-1 の経過を取った我が国による支援の過程で、2006 年の全体計画のうちに給水量増強のための新規給水施設建設事業を対象とする第 2 期の入札が連続で不調となった結果、工期が圧迫され、交換公文の期限が事業完成のために不足する事態となったので、「パ」国側との合意により事業を中止としたが、「パ」国側の本事業の必要性・重要性を踏まえた優先度に変化はなく、事業再開の強い要請に応じて実施となったものである。

第 2 回基本設計調査結果によると、WASA による 2003 年の推定人口 230 万人の市民に対する給水率は、世銀マスタープラン目標（2000 年で 70%）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 120～280ℓ にはるかに及ばない状況となっていた。一方、同市人口の伸長は勢いが衰えず、2007 年には約 260 万人に達したと推定される。この間 WASA は独自に給水量増加のための施設整備を実施し、現在も本計画とは別に WASA 独自の具体的な計

画を実施している。現時点の給水量は 1992 年の ADB フェーズ I 完成以来実質的に増加せず、逆に既設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。

このような都市部における給水と衛生環境の悪化は、都市部への急激な人口流入にインフラ整備が立ち遅れたためであり、ファイサラバードに限らず、近年パキスタン全土の各所で大きな問題となった。事態を憂慮した政府は、2005 年に良質の飲料水を全国民に提供するための指針として、「国家飲料水政策」(National Drinking Water Policy)を公布した(これに続いて、「国家衛生政策」も制定された)。同政策は、国民に対する安全な給水を確保するための支援方針および給水事業実施に関わる法制・行政・財政的な枠組みを明確に規定したものである。また量的な提供だけでなく、特に水質改善と水質保持のための詳細な方針を提示した。

主要方針は次のとおりである。

- 1) 最終的には全国民に安全な水供給を妥当なコストで提供することを目標とし、同政策の給水普及目標は、中期開発政策 (MTDF=Medium-Term Development Frame)とミレニアム開発目標 (MDGs) に基づき、2015 年までに全国民の 93%とする(現時点から 30%の増加)。
- 2) 最小給水量は、地方給水は 20 l/人/日、都市では 40 l/人/日とする。
- 3) 連邦政府は国家レベルにおける給水セクターのガイドライン設定や法整備を行う。一方実際の給水事業は、2001 年の「地方政府令」(Local Government Ordinance)に基づき各州政府の責務とし、各州政府は州内給水セクター政策の策定と法制整備を促進する。(州政府の中で、計画・開発省 - P&D=Planning and Development Department/Board - が中心的な役割を担うことを指定)。
- 4) 州政府は、給水目標達成のための資金割当てを検討し具現化する。
- 5) 連邦政府厚生省は WHO 基準を参照し「パキスタン飲料水質基準」(Pakistan Drinking Water Quality Standards)を定め、2007 年までに閣議・議会の承認を得て発令する。州政府は同法遵守のため末端行政組織まで含む適切なモニタリング機構を設定し、都市部サービス担当の水・衛生公社から一般買水業者にいたるまで、同法を徹底させる責任を持つ。違反者のための罰則を設定する。
- 6) 給水普及事業の進捗状況について、各州政府 P&D は連邦政府環境省に年次報告を行う。
- 7) この政策は 5 年ごとに見直しを行う。

同政策は大統領がメディアを通じ国民に直接発表した経緯があり、当時環境悪化が危機的状態にあった事実を反映している。しかしながら 2007 年の本事業化調査では、ファイサラバード市 WASA は連邦政府政策に基づいて、パンジャブ州政府 P&D より直面する上下水道の問題解決のための財政的支援を受けるとともに、水道料金徴収方法やメーター制移行政策におよぶ水道経営指導を受けていることが判明した。

P&D は、州政府による水道セクター体制整備の一環として、2006 年「都市部における上下水道改善のロードマップ」を策定し、この中で今後 5 年、10 年間のセクター投資を予測するとともに、政策実行のための指針を発表した。投資計画はラホールを別とする、ファイサラバードを含む州内主要 8 都市に対して 10 年間で 450 億ルピーに達するもので、ADB および我が国からの支援を期待している。

国家政策のうち予定されている「飲料水法」や「パキスタン飲料水質基準」はまだ公表されていないが、パンジャブ州における実態から、P&D は活発なセクター活動を展開している様子がうかがわれる。本計画調査団は、P&D に代表されるパンジャブ州政府代表と本計画の再開について合同会議を行ったが、席上同省を通じて本計画の優先度がきわめて高いことを確認した。本計画はこれまで記述した現行の国家飲料水政策を上位計画とする位置づけにある。

本事業化調査では、2003 年の第 2 回基本設計調査の結果を踏まえ、ファイサラバード市に対し、1997 年の事前調査団と合意された 91,000m³/日の給水量を増強し、現行給水サービスの窮状を緩和することを本計画の目標として設計した。同市人口は当時よりさらに増加しながら、給水量は 1992 年以来増加していない状態にあるが、一方先に述べた国家政策に基づき州政府開発予算による給水量増強計画（約 10,000m³/日を予定）が具現化の段階に至り、追加水量が確保される見通しである。本計画の計画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。本計画の実施により、現状の給水人口 143 万(給水率 55%)を 2010 年 168 万人に引き上げ(給水率 60%)、平均給水量を現在一人一日 100ℓ の水準から 130ℓ 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 ADB 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 ADB 事業で 1992 年に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一部は枯渇するなどの深刻な影響を受けており、基本設計調査の進行にともない、同地域の住民は本計画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が基本設計調査および詳細設計を通して明らかとなった結果、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（ジャン用水路左岸地域）は、調査結果によると、当初予定地（チェナブ川流域）と比肩する開発能力があり、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る。また、2004 年の基本設計概要説明調査の際に合意された社会配慮事項として、水源地および同地からの送水管路線周辺の 12 村落に対する中小規模の環境整備（排水や道路整備等）のプロジェクトが進行中であり、本計画の第 1 期工事実施中から実践された結果、2007 年までに 38 プロジェクトのうち 34 プロジェクトが完成した。このような経緯を通じ、本計画の実施方式は今後の WASA の整備計画モデル事業として位置付けられる。

本計画は 3-1 節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、「パ」国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」国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。本計画に必要な投入と活動、それにより期待される成果を表 3-2 にまとめる。

表 3-2 プロジェクト・デザイン・マトリックス (PDM)

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 (168 万人)

対象地域：ファイサラバード市
期間：2008 年 5 月～
作成日：2007 年 10 月

Ver. 2

プロジェクトの要約	指標	入手手段	外部条件
上位目標			
□ ファイサラバード市の給水率が向上する	□ 給水率が 60%(2010)となる	□ 実施機関年報(給水管整備率)、給水台帳	
プロジェクト目標			
□ <u>ファイサラバード市の給水サービスが改善する。</u>	□ 完成年次における給水人口が 168.7 万人となる □ プロジェクトにより給水率は 2010 年に 60%となる □ 計画年次において給水原単位が 130ℓ/人/日を満たしている □ 計画年次における給水時間が連続的となる □ 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 □ 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	□ 実施機関年報、給水台帳、センサス報告書 □ 実施機関給水記録、給水台帳 □ 実施機関揚水記録 □ 実施機関モニタリング記録	□ 整備された操業・運営体制を実施機関が維持する □ (国家飲料水政策によって)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 2010 年までに水源 (25 本)、取水施設が建設される 1-2 建設された水源により給水量が最大 91,000m ³ /日が増強される	1-1 プロジェクト完成報告書 1-2 施設 (試) 運転記録	□ 社会情勢の変化等に伴う急激な人口の増減が生じない □ 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
2. 取水施設からの導水・送水・配水施設が整備される	2-1 2010 年までに導水施設 (14.6km)、送水施設 (送水ポンプ場、送水管 11.3km)、配水施設 (配水ポンプ場) が建設される 2-2 給水量を最大 91,000m ³ /日に増加することが可能な施設が整備される	2-1 プロジェクト完成報告書 2-2 施設 (試) 運転記録	□ 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 □ 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
3. 既設配水幹線の補強により配水システムが改善される	3-1 2006 年までに市内配管 (6km) が整備される (先行事業により実施完了)	3-1 プロジェクト完成報告書	□ 政治的・経済的な情勢が安定的に推移する
4. 新規各戸接続が増加される (パキスタン側)	4-1 水道料金徴収率が向上する 4-2 水道経営における収支バランスが改善する	4-1 実施機関財務報告書 4-2 実施機関財務報告書	□ 収支バランスが悪化した場合に、補助金が確保できる
5. 施設の維持管理要員が組織化される	5-1 2010 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	

活動	投入	前提条件
<p><u>1. 施設建設/機材調達</u></p> <p>1-1 水源・取水施設を建設する</p> <p>1-2 導水、送水施設、配水施設を建設する</p> <p>1-3 市内の配水管を補強・整備する（実施機関自効努力分を含む）</p> <p>1-4 上記施設の運営・維持管理用機材を調達する(先行事業第1期において調達完了)</p> <p>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</p> <p><u>2. パキスタン側負担事項</u></p> <p>2-1 一次側電力工事を実施する</p> <p>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）</p> <p>2-3 確保した用地の整地、地均しをする</p> <p>2-4 アクセス道路を建設する</p> <p>2-5 給配水施設の整備等の建設負担事項の実施を行う</p> <p>2-6 給水施設の運営・維持管理を持続的に行う</p> <p>2-7 新規消費者と契約し、給水管を敷設する</p> <p>2-8 維持管理要員の新規雇用</p>	<p><u>【日本側】</u></p> <p>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</p> <p>資機材： 施設建設用資機材、運営・維持管理用資機材(先行事業第1期において調達完了)</p> <p>資金： 無償資金協力資金</p> <p><u>【パキスタン国側】</u></p> <p>人材： 実施機関カウンターパート技術者</p> <p>資機材： 既設給水施設、給配水施設建設用資機材</p> <p>資金： 公共セクター投資計画予算</p>	<p>□ 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</p>

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)事業化調査による給水率の推定は、「3-2.協力対象事業の基本設計」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。

2)連続運転についての詳細は3-2-2-3節を参照。

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計画の日本側協力の方針は、1997 年事前調査時に「パ」国側と合意された 91,000m³/日の水量増強計画を基本とする。

事前調査に続く 1998 年の第 1 回基本設計調査は「パ」国の核実験実施に対する経済制裁のため中止されたが、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 年第 2 回基本設計調査（第 1 次現地調査）では同水量を目標とし、最終的には 2003 年第 2 回基本設計調査における 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 年から本計画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。本事業化調査でも、水源開発をめぐるこのような地元の事情に変化はないことを確認した。

このような状況を背景として、本計画は、既に地元住民を含む関係者一同の合意が得られた水源開発計画を引き継ぐ方針とする。

協力の対象としては、2003 年第 2 回基本設計調査（第 2 次現地調査）の結果、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。(図 3-1 参照)

2007 年本事業化調査では、これらの施設構成は基本設計調査結果と同じとすることが合意された。表 3-3 に、先行した基本設計調査および今回の事業化調査結果の比較を示す。一部の施設については、仕様を再検討した結果、変更することが合意された。

表 3-3 のうち、市内配水幹線補強計画は本計画の第 1 期対象として設定され、2005 年 8 月に準備工開始、翌 2006 年 3 月末に口径 800～700mm、全長 6km のバイパス管路が完成した。2007 年 3 月には同工事の瑕疵検査が実施され、同じく第 1 期において供与された管路試験機材の一部である超音波流量計により管路水压を測定したところ、問題地区への給水压が改善傾向にあることが確認された。最終的な効果は、本計画により給水量を増加した結果により判定する。

表 3-3 先行調査との施設構成比較

		基本設計調査		事業化調査	
分類		施設・機材	仕様	施設・機材	仕様
(1) 水源・取水施設	①水源深井戸		25 井(予備 2 井)、 基準深度 160m	①水源深井戸	変更なし
	②取水設備			②取水設備	
	a. 深井戸ポンプ室		25 棟 45.4m ²	a. 深井戸ポンプ室	変更なし
	b. 深井戸ポンプ		25 式、型式: 電動縦軸タービン・ポンプ 単位取水量:200 m ³ /時	b. 深井戸ポンプ	変更なし
	③操作員宿舎棟		1 棟 170.0m ²	③操作員宿舎棟	(先方政府負担)
(2) 導水施設	①導水管		呼径 400～900mm x 15.6 km ダクタイル鋳鉄管およびプラスチック被覆鋼管	①導水管	呼径 400～900mm x 14.6 km ダクタイル鋳鉄管およびプラスチック被覆鋼管
(3) 送水施設	① 送水ポンプ設備			① 送水ポンプ設備	
	a.送水ポンプ場		1 棟 415.8m ²	a.送水ポンプ場	変更なし
	b.ポンプ設備		25.3m ³ /分、4 台(1 台予備)	b. ポンプ設備	変更なし
	c. 塩素注入機		1 式 (注入機、除害設備、ポンベ等)	c. 塩素注入機	変更なし
	d.二次側動力・制御設備		三相電源 11kV～3.3kV～400V, 単相電源 240V	c.二次側動力・制御設備	変更なし
	②ポンプ井		1 池、容量 4,000m ³	②ポンプ井	変更なし
	③管理・宿舎棟		1 棟 170.0m ²	③管理・宿舎棟	(先方政府負担)
	④ 送水管		呼径 1,000mm x13 km プラスチック被覆鋼管	④ 送水管	呼径 1,000mm x11.3 km プラスチック被覆鋼管
(4) 配水施設	①最終配水池		1 池、容量 : 36,000m ³	①最終配水池	変更なし
	②最終配水ポンプ設備			②最終配水ポンプ設備	
	a.最終配水ポンプ場		1 棟 545.8m ²	a.最終配水ポンプ場	変更なし
	b.ポンプ設備		31.6m ³ /分 4 台(1 台予備)	b.ポンプ設備	31.6m ³ /分 2 台 63.2 m ³ /分 3 台 (変更)
	c. 二次側動力・制御設備		三相電源 11kV～3.3kV～400V, 単相電源 240V	c. 二次側動力・制御設備	ポンプ出力変更に対応
	d. 管理・宿舎棟		1 棟 170.0m ²	d. 管理・宿舎棟	(先方政府負担)
	③市内配水幹線補強		呼径 700～800mm×6km ダクタイル鋳鉄管	③市内配水管線補強	先行第 1 期で完了 (2006 年 3 月)

(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、市の西北約 30km 地点に位置する、ADB フェーズ I で開発された既設水源地に隣接するチェナブ川流域に設定された。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、先行事業の既設井戸 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 地点に建設されたカンキ堰から取水する「下チェナブ幹線水路」(LCC) の下流で分かれ、2 次幹線を構成する。LCC 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、近年老朽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、ライニングされていなかった全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、ジャン用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。

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、技術面と合わせ社会環境での配慮を行う必要がある(3-2-1-3 「環境社会配慮に対する方針」参照)。

(3) 施設規模の設定

1) 送水管設計に関する検討

本計画は「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、特に大規模地下水開発が市域から遠距離にある水源で実施されるため、市域までの輸送手段としての導水管・送水管建設費が全体投資のうち大きな部分を占める。

ADB フェーズ I で建設された既設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、既存チェナブ井戸群に位置する中継ポンプ場から、本計画の水源開発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、呼径 1,500mm の送水管が市域 T/R まで布設されている(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設送水管にジャン用水路付近で接続して送水する案を検討の対象とした。調査の結果、既設送水管は本計画の目標である 91,000m³/日の水量を同時送水する余裕をもつことが判明し、WASA と協議の結果、WASA の維持管理費(電力費)負担が過大にならない場合には、利用を前向きに検討することとした。両案の技術・経済比較検討の主要点を表 3-4 に示す。

表 3-4 送水管の検討

	A. 既設・新規水源合流送水案	B. 既設・新規別途送水案
1)技術的検討	既設 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、既設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	既設送水施設変更なし
2)施設構成	a.ポンプ場 *チェナブ水源地既設中継ポンプ場 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 *既設送水管 1,500mm x 18km *新規送水管(接続のみ)	a.ポンプ場 *チェナブ水源地既設中継ポンプ場 (変更なし、既設ポンプ 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 *既設送水管 1,500mm x 18km *新規送水管(1,000mm x 11.3 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 案では既設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 11.3km 布設する必要があり、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) 新規配水池容量の検討

ADB 支援による市の既設給水施設は 1992 年に完成し、今日まで給水施設の中核となって稼動を継続している。しかし、既設配水施設は容量 46,000m³の配水池のうち、下部の 23,000 m³をポンプ揚水できないという設計上の問題がある。このため、貯水容量が給水量の 2 時間分程度しかなく、貯水能力不足となっている。給水継続のためには最小 6 時間分の貯水能力が必要であり、本計画では、建設予定の既設配水池敷地の中で可能な範囲で新規配水池の設計容量を考慮し、全体貯水能力を高める方針とする。

3-2-1-2 自然条件に対する方針

本計画は人口 200 万都市に対する地下水開発が主体の給水計画であり、州都ラホール(人口 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可能である。このため、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の農業灌漑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。

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する。したがって、農業井を利用している農村地域への配慮として、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 環境社会配慮に対する方針

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、井戸による地下水灌漑を併用する傾向が近年強まり、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1 km²に2本の農業井が現存し、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、実地的な影響の有無、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、本事業化調査を通じ「パ」国側と協議を重ねた結果、本事業の「パ」国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。

2007年の本事業化調査で確認したところでは、2005年から実施された第1期建設工事時点からWASAと水源地周辺農村との協議・合意が進み、WASAは主として対象農村の環境整備事業を実施し、全体で38プロジェクトの中小事業のうち、すでに34プロジェクトが完成している。WASAは、これらの補償工事により、関連農村の協力が確保できたとしている。

3-2-1-4 現地製品・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ので、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。

また、ADBフェーズⅠにおける建設工事は、複数の「パ」国業者により施工されたものである。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。現在では、本計画の井戸掘さく、建築・土木工事の各工種について、ファイサラバード市また近接する州都ラホール市で有資格の地元業者が多数存在するので、施工面では、これら地元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 ADB 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、既設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」国製、送・配水ポンプは両吸込み渦巻きポンプで日本もしくは第三国製を検討）。

新規施設は、既設施設と整合性を保ちながら同時運転することになる。送水系統は別になっているので、操作上特に難度がないが、最終配水ポンプ場では新旧ポンプを合同運転して既設配水管に同時送水するので、性能は両者を合成したものに変化する。現在市内給水は、給水量不足のため、一日 6 時間程度の時間制限給水が実施され給水時間に需要が集中する。このためポンプは過負荷運転となり低圧となるため、ポンプにキャビテーションが発生する一因となっている。新旧ポンプ同時運転の場合も同様となる可能性があり、新規ポンプの保護対策が必要となる。

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、キャビテーションを防止させる。しかし、「パ」国にとっては、維持管理が困難な高度なシステムとなるため採用が難しい。従い、制御弁にキャビテーション防止効果の高い物を採用する等の方策により対応することとする。

3-2-2 基本計画

3-2-2-1 水源計画

本計画の水源計画は、2003 年の第 2 回基本設計調査において主要な調査を実施し、その結果に基づき策定された。一部の詳細については、2005 年の詳細調査時点に確認を行っている（最終的に決定された井戸地点における電気探査の実施等）。今回の事業化調査では、水源地周辺の自然環境に変化がないことが確認されたので、基本設計調査による計画を引き継いで採用する方針とする。以下にその調査結果を記述する。

(1)基本設計調査における水理地質調査

1) 調査目的

水源調査は、2003 年第 2 回基本設計調査第 2 次現地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、取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

第 2 回基本設計調査第 1 次および第 2 次現地調査における水理地質調査の構成は表 3-5 の通りである。

表 3-5 第 2 回基本設計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
1.	水理地質現場踏査	第 1 次、第 2 次	地質踏査・既設井戸調査
2.	地表電気探査	第 2 次	24 カ所測点における探査
3.	試掘調査	第 2 次	試験井 x 150m 1 基、観測井 x 120m 2 基
4.	帯水層試験	第 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)
5	水質試験	第 1 次、第 2 次	実地簡易試験と WASA 試験所による詳細試験

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 年第 2 回基本設計調査（第 2 次現地調査）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、独自に用水路の浸透試験を実施した。これらの浸透試験は用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した。

3) 調査結果概要

①電気探査

- a. 深度 200m まで 24 地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後、その地点で再測定し、確認する（詳細設計調査地点実施済み）

②試掘調査

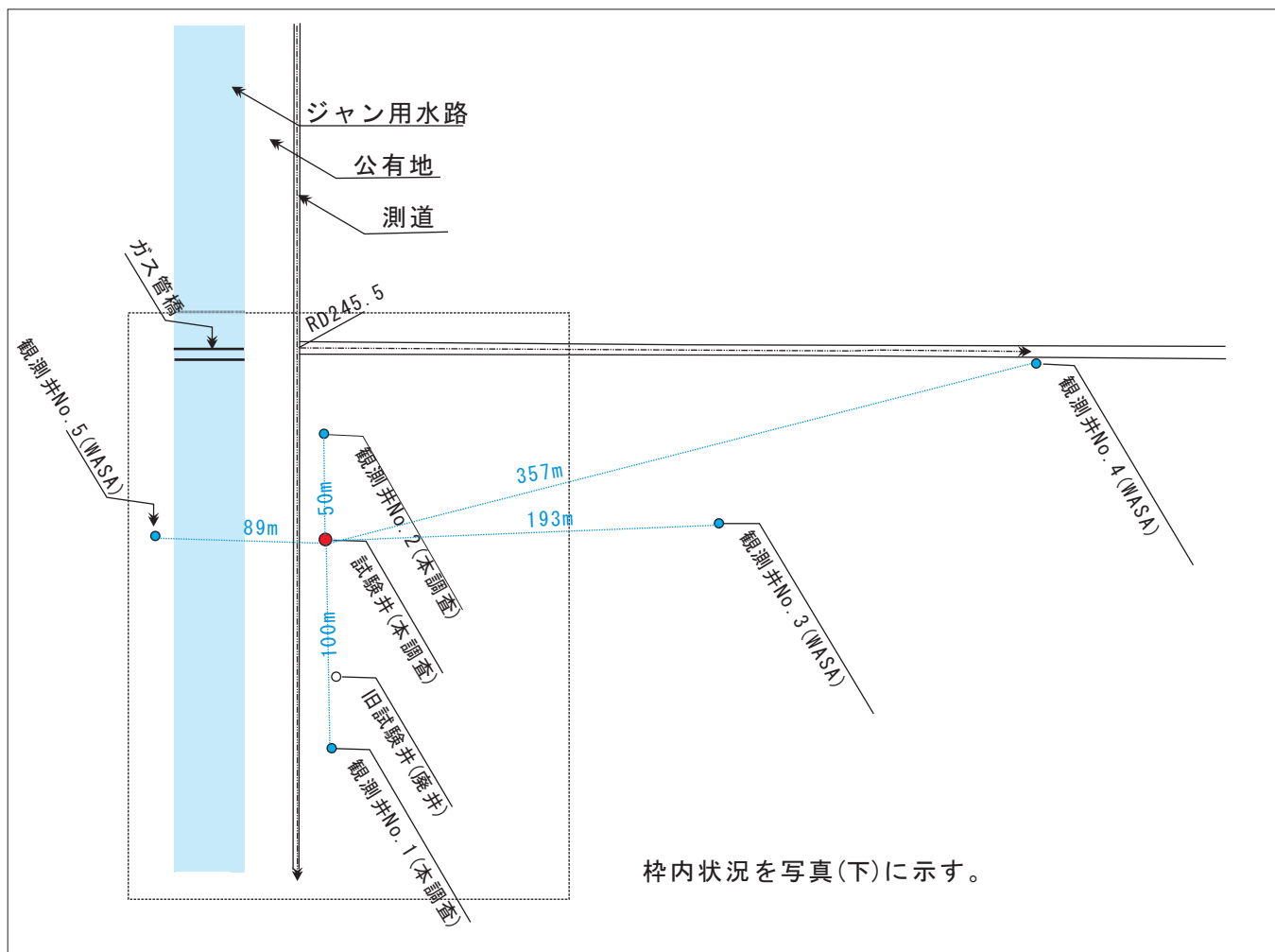
- a. 試掘調査の地点、揚水井と観測井の配置を図 3-2 に示す
- b. 揚水井の掘さく断面図、完成井戸のケーシング・スクリーン構造を図 3-3 に示す

③帯水層試験

- a. 同試験は揚水開始後 360 分で用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

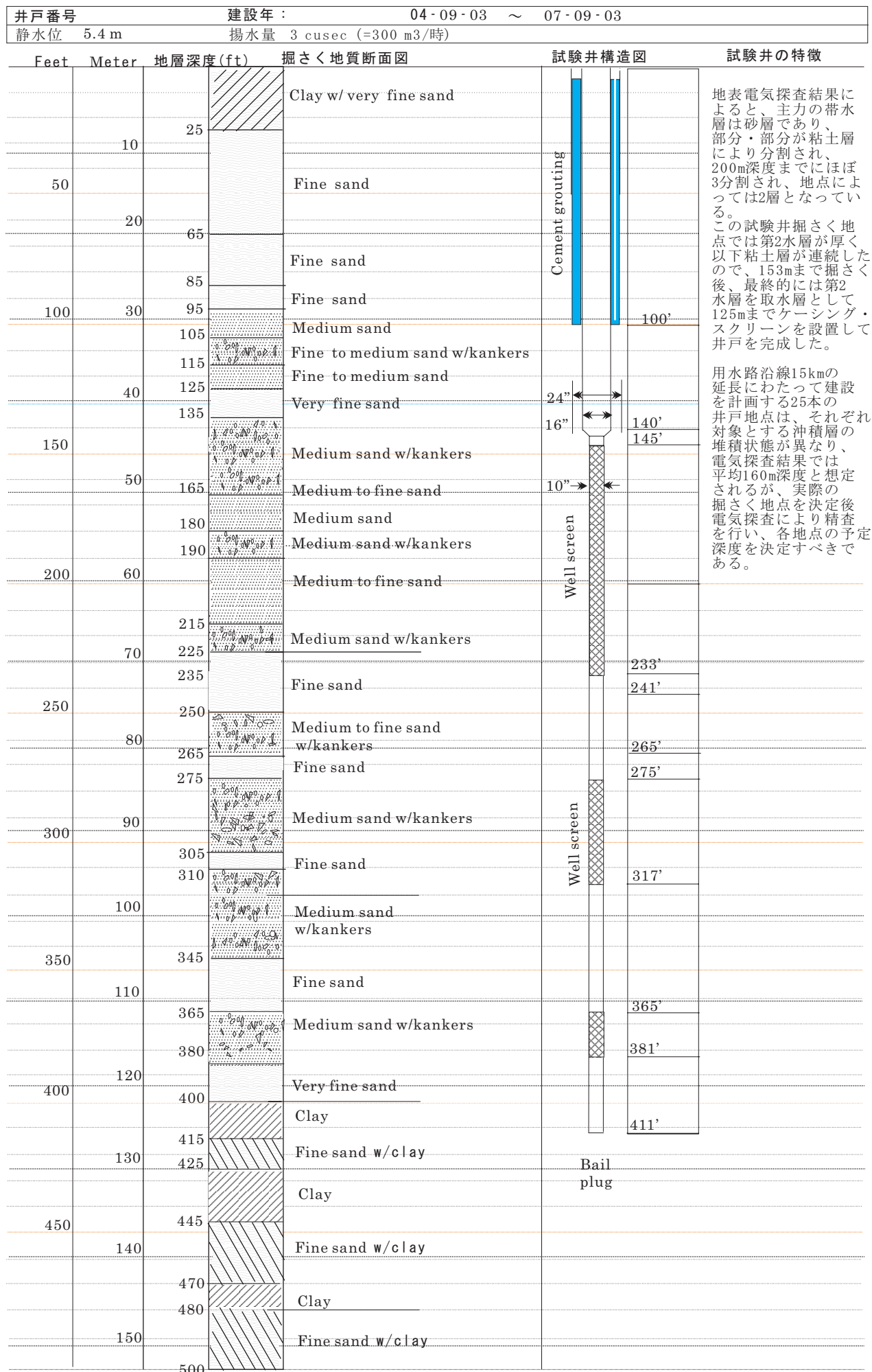
- b. 水路からの補給により、適切な単位取水量と井戸間隔を設定すれば、周辺地下水位に対する影響はほとんどないと想定されるが、水路の補給がない休止期の揚水は水位低下を伴う
- c. 試験結果の検討は次節「水源計画」に記述する

図3-2 試験井位置図



中央掘さく機
位置が試験井。
その後方が
その又地点が
観測井2号。左
掘さく機左後
に見え黄色の
管が用水路を
横断するガス
管橋。

図3-3 基本設計調査・試験井構造図 および地質断面図

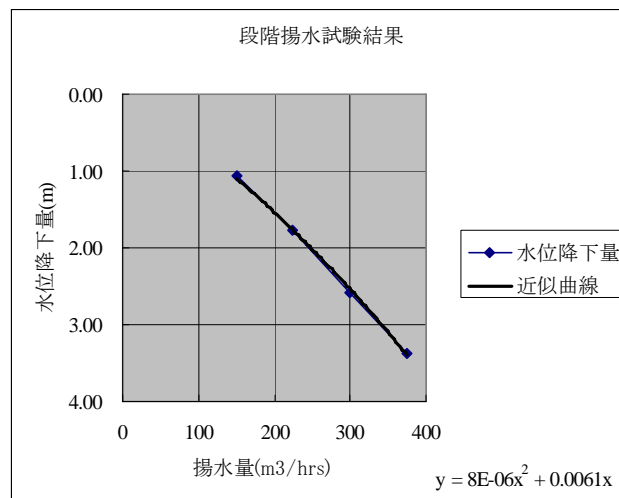


(2) 水源計画

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。第2回基本設計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、図3-4にまとめる。

図 3-4 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、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。第2回基本設計調査時の揚水量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。
- ② WASAの既設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 = 2 00m³/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に依存する。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 2 回基本設計調査 (第 2 次現地調査) 終了後の 2003 年 11 月、州政府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 によってジャン用水路調査において実施されている。表 3-6 にその結果を示す。

表 3-6 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。しかし、本計画の井戸群は水路の近傍に建設され、揚水中、水路からの直接補給を受けるので、水路から余分な用水を引き出さないための目安として、参考と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、計算に利用した。

②農業井揚水量

①で推定された水路浸透量は、地域の農業井にも利用されていると考えられる。この浸透量のうち、農業セクター推定利用量について検討した。概略は次の通りである。

- a. ジャン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 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 1 cusec (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ない。通常一日の運転時間は最長 10 時間程度である。平均稼働率は最大でも 40%と推定される。
- d. 農業井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推定利用量は、推定浸透量(平均値)の 40%程度となる。

③井戸間隔の設定

計画揚水量を浸透量に依存する場合、以上の補給量その他利用を減算し、本計画で利用可能な補給量をもとに、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×安全率(=0.9 と仮定)=12,840 × 0.9=11,556 m³/日/km
- b. 本計画利用可能浸透量=(a)－(農業セクター推定利用量)=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×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)

以上の算定の結果、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表 3-7 にまとめる。

表 3-7 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する。この農業生産のため、農業井から地下水を常時多量に揚水している。基本設計調査においても、これ

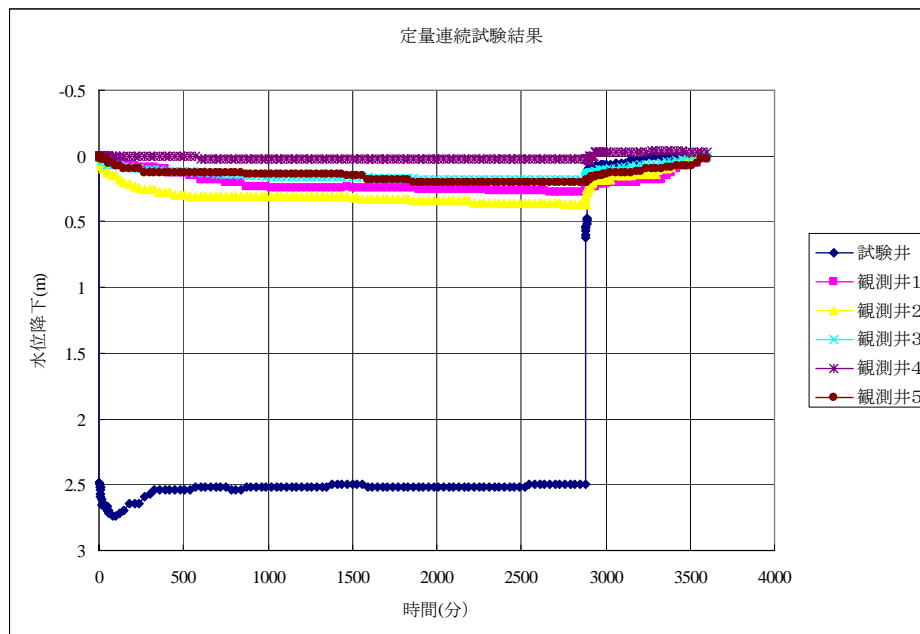
ら地域農民のプロジェクト反対運動が多発したことから、本計画ではこれら農業井に対する影響を最小にとどめることが課題となっている。これまでに設定された水源計画各单元について、周辺に対する影響の範囲を次に検討する。

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。

第2回基本設計調査では、試験井の揚水量を $300\text{m}^3/\text{時}$ 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 3-5 のグラフに示す。

図 3-5 定量連続試験グラフ



試験結果には次のような特徴がある。

- 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。
- 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。
- 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。
- 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

第 2 回基本設計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 7-6 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 事業のプロジェクト井の資料を参照した。

算定の結果を表 3-8 にまとめて示す。

表 3-8 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 /日)	貯留係数(S)
第 2 回基本設計調査 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 RTW2	回復法	5,312	2.50E-02
	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 m²/日と報告されている。

表 3-8 に示す第 2 回基本設計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。

- 第 2 回基本設計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。
- 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

得られた水層係数を利用し、第 2 回基本設計調査の試験のうち、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。

本計画では、1 井あたり 200m³/時で揚水し、1 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。

- 本計画における井戸間距離は 600m であることから、各井戸が揚水中、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、1 日 20 時間連続揚水後の影響圏範囲(揚水井から周辺の自然地下水位が低下する井戸からの距離)は、揚水がはじ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. しかしジャン用水路は、例年冬期 1 カ月間、水路の維持管理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。補給がない場合、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。実際に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 1.9km 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 倍の水位降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。本計画では、本計画井と農業井で水路の補給量を最大限まで利用することを前提としているので、水位が現状復帰する可能性は低い。最大限に利用した場合、周辺水位は例年低下を続け、5 年以内に 1km 四方で 1m 程度地下水位が低下する可能性が高い。
- e. 本計画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い。水路休止の際、最悪のケースとしては周辺の地下水位低下が徐々に進行すると予測する。
- f. 一方、対象地域の 5km 北に位置する既設チェナブ水源地の水位降下の影響についても考察した。同地では年々水位降下が継続し、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。

以上の点を踏まえ、2-2-3 節、環境社会配慮に記述の通り、影響を最小限に留めるように水源計画を検討する。

④地下水位モニタリング・システム

影響圏についての検討結果から、本計画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 年程度の単位では一部の農業井に影響を及ぼすリスクが予想される。ただし、第 2 回基本設計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は限界がある。影響圏に関わる確度の高い将来予測を立てるには、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。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 1 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。状態により、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、用水路に用水が流下している期間の影響圏について、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 1 カ月後には、揚水井自体の水量記録と水位測定は毎日実施する必要があり、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できることになる。

第 2 回基本設計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。しかしながら、水源計画通りの適切な揚水と、地下水位モニタリングの継続的な実施により、地下水位低下は最小限に留められ、環境に対する影響は微少であると考えられる。

その条件として WASA は、技術的には観測井を適切に配置し、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必要がある。また社会的には、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を常に把握し、積極的に実践的な対応を示すことで問題を軽減させることが出来る。

5) 水質の検討

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/l 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 既設水源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の結果、TDS 値はほぼ 500mg/l の水準を維持している。
- ③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い。浅層部は人為的汚染により TDS 値は最大 5,000mg/l に達する。
- ④ただし市内を貫流するラック用水路沿線の帯状地帯だけは、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/l 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 の補足的水源として深井戸が約 20 本稼働している。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。しかし、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 3-6 に示す。

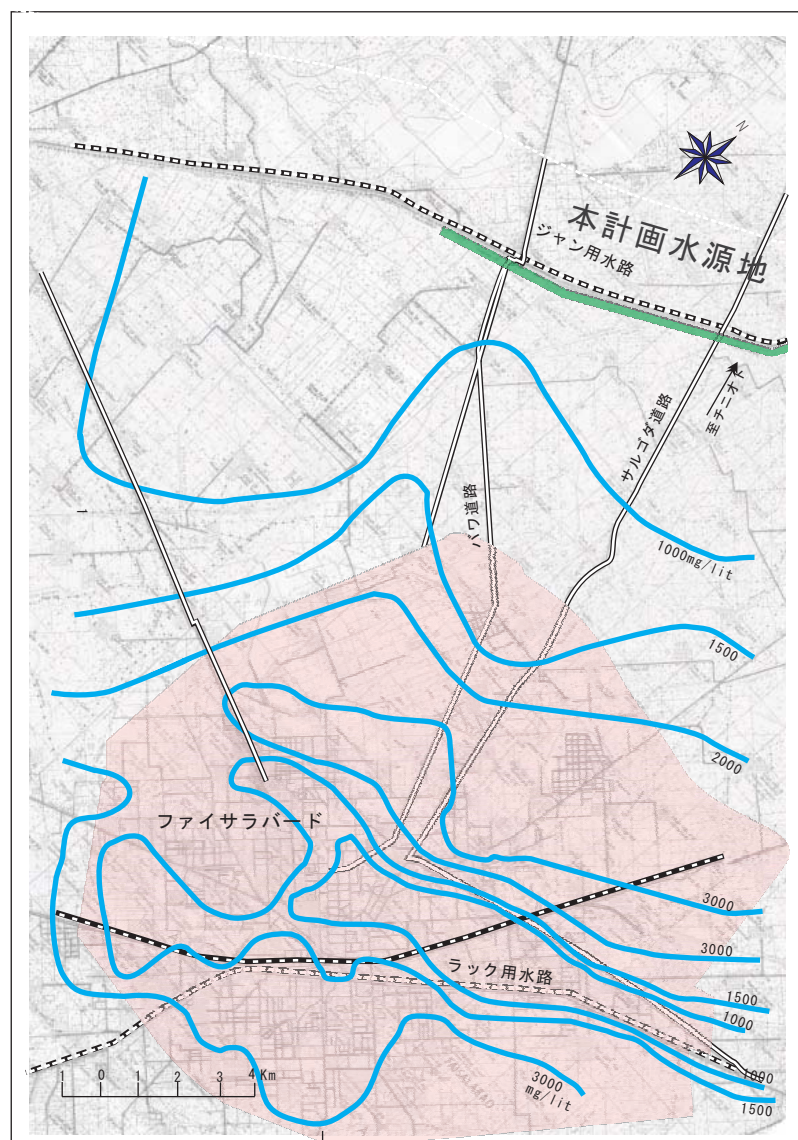
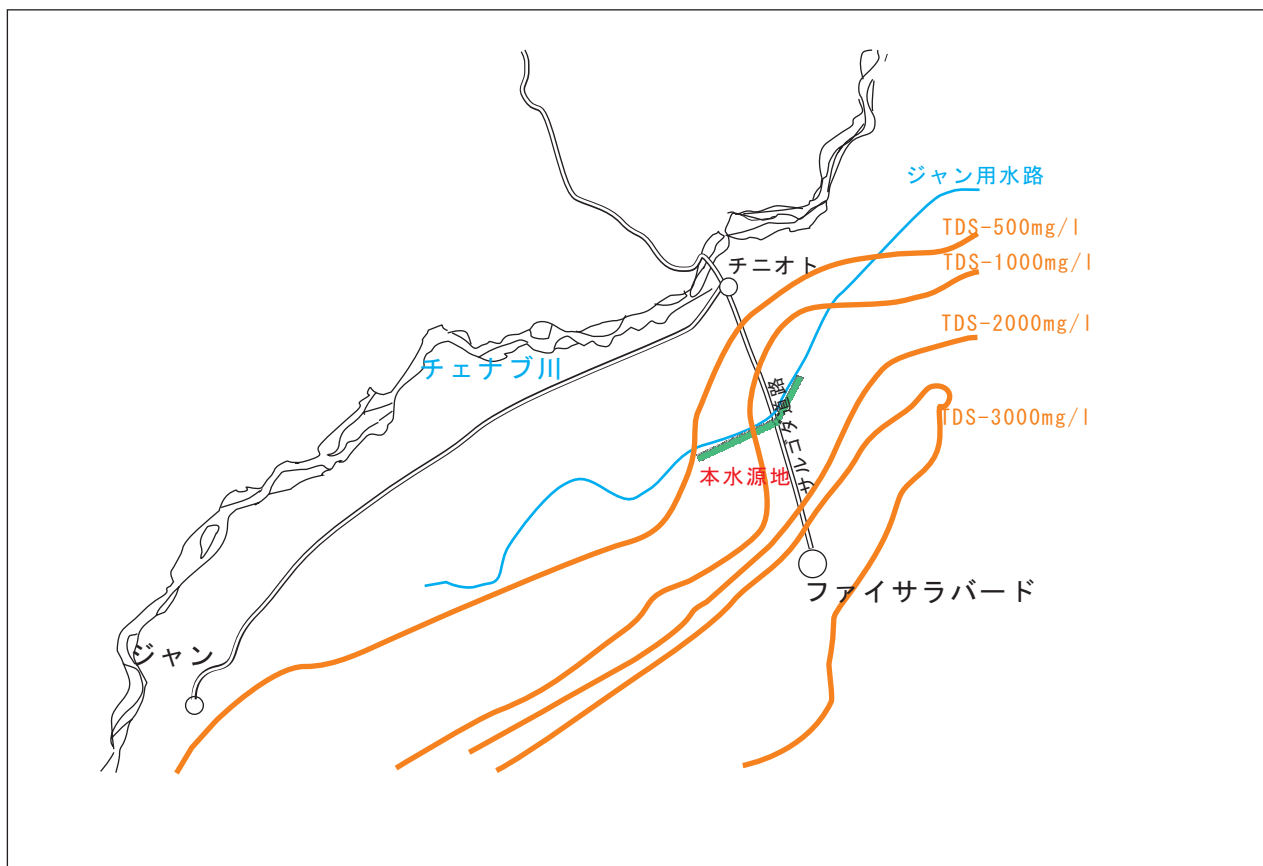
第 2 回基本設計調査では、2002 年第 1 次現地調査において農業井を含む広範囲な水質の確認を実施し、2003 年第 2 次現地調査で、さらに追加試験を行った。

第 2 次現地調査では、水源計画地のジャン用水路で試験井を掘さくしての帯水層試験の際、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。その試験結果とともに、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設農業井 2 本の水質試験結果を表 3-9 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/l 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、ジャン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。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違いとなっている。これらの良質の地下水は、チェナブ川やジャン用水路浸透水の補給範囲内で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である。

WASA では従来から TDS 値を水質判定の基準指標とし、500mg/l 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。しかし、本計画水源地は水質劣化地域に近接しているため、WASA では WHO が目標値と設定している 1,000mg/l までを許容範囲と考えている。

図 3-7 は、2003 年第 2 回基本設計調査第 2 次現地調査において、現場で実施した簡易水質試験結果と、その一部を同時に WASA が実施した詳細項目試験結果とを総合した、対象地域とその周辺における 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。



- ⑤ 1993年世銀マスタープランにおけるTDS分布想定図
- ⑥ 1984年REC調査によるTDS分布推定図

図3-6

過去の調査における
対象地区水質分布図