

### 2-2-3 環境社会配慮

本プロジェクトで環境対策の必要がある要素として地下水取水がある。前節の「自然条件」で検討したように、当該地域の地下水は地域の農業用水路網からの漏水が地下に浸透して形成された水資源であり、パンジャブ州からシンド州にかけて、用水路網が発達している地域ではすべて同様にこのような人工的に涵養された地下水を採水している。従来、水路浸透により上昇を続ける水位により、土壌中の塩分が上昇し、地表に塩害を引き起こす場合があり、政府は井戸による強制排水を通じて水位低下をはかるプロジェクトを現在も継続しており、人工的地下水の取水が自然破壊に結びつくケースは報告されていない。したがって、本プロジェクトをめぐる、これまで既存の WASA 水源井により周辺地下水位が低下したため、新規プロジェクトに対し農業井戸への影響を懸念する住民反対が発生している事態は、自然環境の問題よりも、社会環境に係る側面が大きい。

用水路地帯の農業井戸は、地下水位が地下数メートルの浅部にあり、約 100m<sup>3</sup>/時の水量を汲んでも水位降下が 1m 程度と小さいことから、水中ポンプを使って水位低下の変動に対応する必要がなく、地上に横型ポンプを設置して揚水する習慣が長年定着している。その場合、横型ポンプの吸込み能力は最大で 5, 6m 程度であるから、地下水位がなんらかの理由で数メートル下がった場合には、揚水が困難となる井戸がでてくる。当該地域における農業井戸の典型的な構造と揚水状況を図 2-9 に示す。

実際に、WASA の先行プロジェクトである ADB チェナブ水源地周辺では、1992 年から WASA 水源井の大量揚水が継続した結果、多数の周辺農業井戸が揚水困難となり、このような危惧が現実の問題となった。基本設計調査では、水理地質調査の一環として、地域一帯の地下水位の現況調査を実施したので、その結果をグラフ化し、図 2-10 に示す。同図は、WASA 水源地を中心として地下水位低下が進行し、周辺地域にその影響が及んでいる状況を端的に示している。このような地下水位の段階的な低下は、地下水を多用する地域農業にとって脅威となり、影響を受けた農民と WASA の間に軋轢が生じた。第 1 回および第 2 回基本設計調査 1 次現地調査において、水源候補地周辺の農村がプロジェクト反対のために調査を阻止する行動を展開したのは、このような背景によるものである。

第 2 回基本設計調査 1 次現地調査対象のチェナブ流域で住民反対の結果、ジャン用水路沿線の代替水源地に変更した本プロジェクトでは、このような社会・環境対策について検討し、適切な水源計画を策定するとともに、社会的影響として農業井戸に対する干渉が実際的な影響を与えた場合の補償を含めて、ジャン用水路周辺農村への社会的配慮が必要となる。

以上の観点から本プロジェクトは次のような方針で対処することとする。

#### ①水源計画

- a. 揚水量は、既存のチェナブ井戸群設計量、1 井あたり約 400m<sup>3</sup>/時 が一帯の地下水位低下を招いたことから、水位低下を最小におさえる経済的水量とする。そのめどとしては、用水路の浸透量試験結果の解析により、300 m<sup>3</sup>/時以下とする。



①



②



③



④

典型的な農業用井戸構造

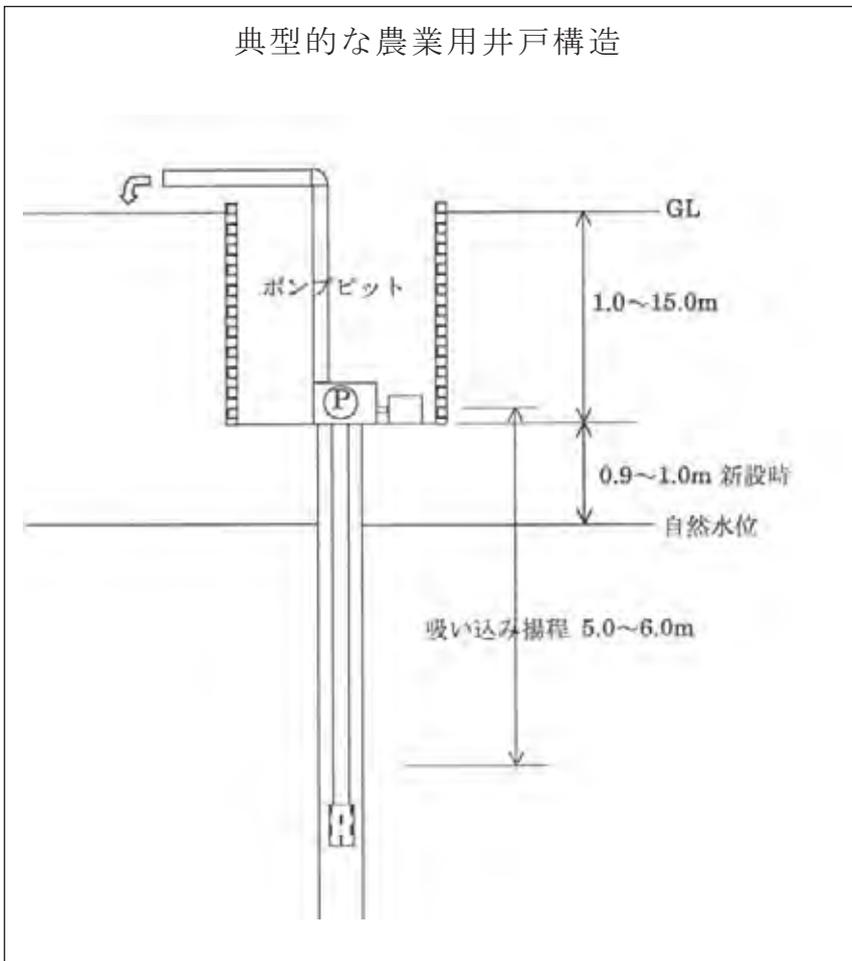


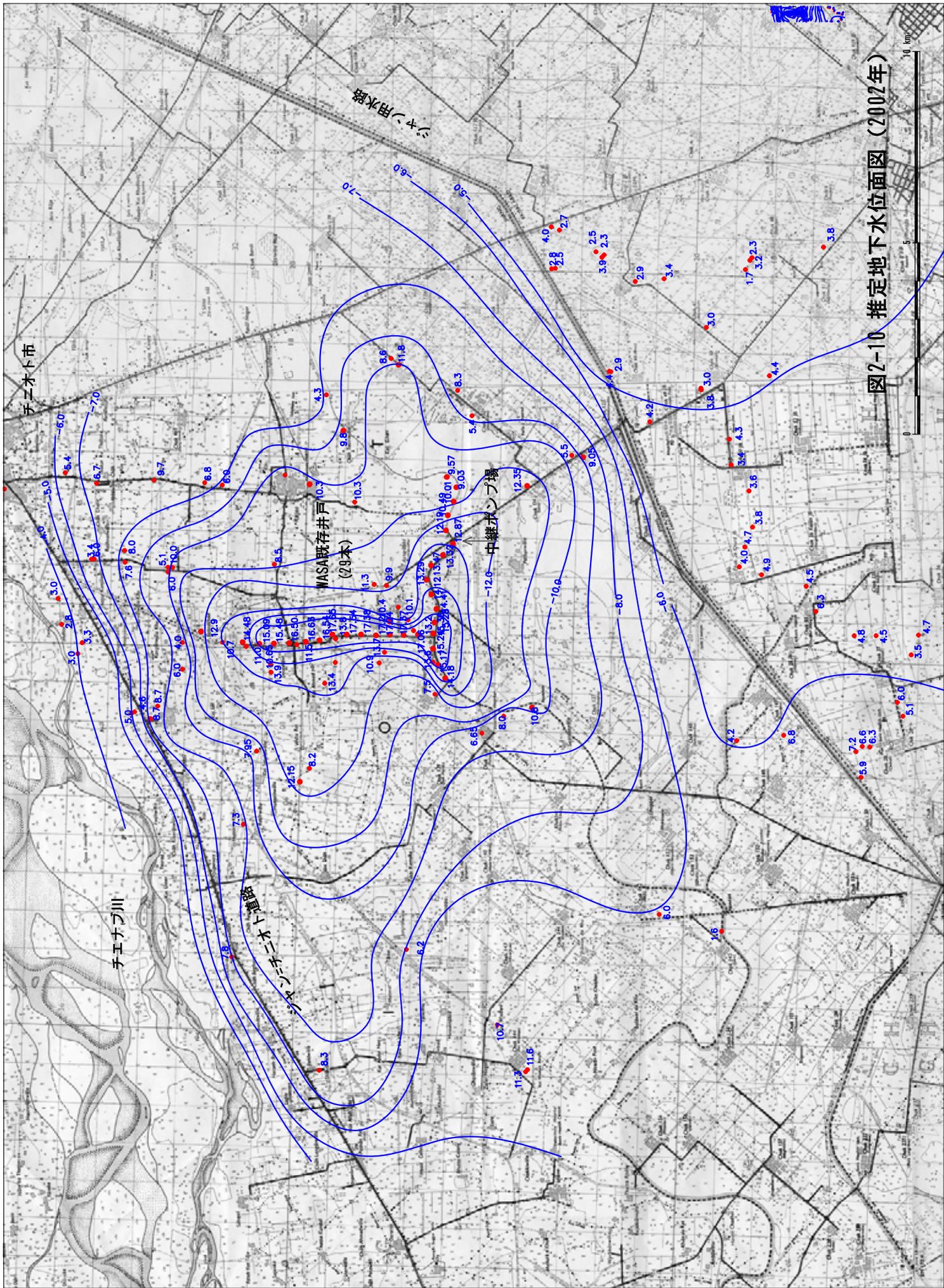
図2-9  
計画対象地域の  
一般的井戸構造

①井戸上部ピットの底部（動力は電動モータ駆動）

②稼動中の農業井戸。ここではベルト掛けエンジン駆動。

③稼動中の農業井戸。ここではベルト掛けエンジン駆動。

④用水路と農地（2002年12月えんどう豆を栽培中）。



- b. 井戸間隔は、チェナブ井戸群では 400m に設定したが、本プロジェクトでは相互の影響を最小とする距離に設定する。
- c. 全井による一日揚水量は、地下水位低下を最小とする観点から、水路からの推定一日補給量の範囲を目標とする。
- d. 水質基準については、従来 TDS 500mg/l 程度を上限としていたが、水質が劣化している市街地に接近するので、WHO 基準の推奨上限値である 1,000mg/l を目標値とする。

## ②社会配慮

長期的に見ると、地下水位の低下は、WASA の揚水だけでなく、気候など自然現象の影響、周辺の農業井の増加や WASA の既存井の影響も及ぶ可能性がある。これらの作用により、実質的に水源地周辺の農業井が影響を受けた場合の補償を含め、WASA は適切な対応が必要である。

この点について、1-2「無償資金協力要請の背景・経緯及び概要」で述べたように、日本側は、再三パ側に検討を促し、最終的に基本設計概要調査の段階で協議した結果、先方は適切な対策の策定、住民への広報と住民集会により政府方針について周知をはかり、プロジェクトに対して住民側の合意を得ることに合意した。

第 2 回基本設計調査 1 次現地調査において、候補地であったチェナブ川左岸流域村落、また 2 次現地調査ではジャン用水路左岸の水源地周辺主要集落に対して、新規水源計画についての住民調査を実施したので、その報告書を巻末の資料に示した。調査はパンジャブ大学・社会学部長を監修者として、同学部出身の専門家により実施されたが、WASA・行政機関側の住民に対する広報と継続的な対話、住民要望に対する柔軟な対応を勧告している。

なお、パ国の環境保護法は、1997 年に制定され、これまでに改定や追加の規定が発表されている。2000 年の IEE 及び EIA 基準見直し規定によると、事業の実施に伴い環境評価が必要となる基準として、事業費が 25 百万ルピー以上の水道案件は EIA (Environmental Impact Assessment) が必要とされている。そのため、本案件は EIA の実施が必要条件となり、パ側により 2007 年に実施された。

2007 年 3 月 19 日に WASA が提出した EIA 報告書に対し、2008 年 3 月 19 日付にて環境保護局より承認がおりている。この承認は現在も有効である。

EIA 報告書に則り、ネガティブインパクトおよび予防手段について、インパクトの防止、緩和、補償等について表 2-5 に環境社会配慮チェックリスト及び表 1-3 にモニタリング・プランを述べる。特にモニタリングについては、実施機関の WASA、コンサルタントおよび施工業者が責任をもってあたる必要がある。

また、EIA では、物理的および生物学的な環境への本プロジェクトによる影響はほとんどなく、水理地質環境（地下水源）への影響は、本プロジェクトが実施されることによる受益者へのサービスの向上と比べはるかに小さい、と報告されている。

また、プロジェクトサイトにおける水理地質環境については、本プロジェクトによる地下水源の減少は全くなく、プロジェクト実施後も地元での農業用井戸等の建設は可能であるとしている。

表 2-5 環境社会配慮チェックリスト

事業実施主体名または投資先企業名： ファイサラバード上下水道公社

分類	環境項目	主なチェック事項	環境配慮確認結果
1 許認可・説明	(1)EIA および環境許認可	① 環境影響評価報告書 (EIA レポート)等は作成済みか。 ② EIA レポート等は当該国政府により承認されているか。 ③ EIA レポート等の承認は無条件か。付帯条件がある場合は、その条件は満たされるか。 ④ 上記以外に、必要な場合には現地の所管官庁からの環境に関する許認可は取得済みか。	①EIA レポートは 2007 年に作成済み ②州環境保護局により 2008 年 3 月 19 日付承認されている ③付帯条件の記載は緩和策として記載されている。条件は現在ではなく今後対応すべき事項。 ④ 該当なし
	(2)地域住民への説明	① プロジェクトの内容および影響について、情報公開を含めて地域住民に適切な説明を行い、理解を得るか。 ② 住民および所管官庁からのコメントに対して適切に対応されるか。	① 新聞に都度報道されており、住民の認知度は高い。また、周辺住民が水位低下の影響を心配し反対議員が先導し、デモが行われる事態が発生した。そのため実施機関および州政府は住民会議を再三開催し、理解を得るように努めた。その対話を通じて、補償工事などを実施している。 ②すでに補償プログラムが実施された。補償プログラムは 12 村落で道路整備、排水整備などの事業で構成され、35 プロジェクト、総額 45 百万ルピーに達する。周辺住民には、技術的に水位が下がらない配慮をしていることを説明し、合意を得ている。また、補償プロジェクトについては村落と相談の上実施しているので納得している。
2 汚染対策	(1)大気質	① 消毒用塩素の貯蔵設備、注入設備からの塩素による大気汚染はないか。作業環境における塩素は当該国の労働安全基準を満足するか。	今回のスコープに関しては該当しない。
	(2)水質	① 施設稼働に伴って発生する排水の SS、BOD、COD、pH 等の項目は当該国の排水基準を満足するか。	該当なし
	(3)廃棄物	① 施設稼働に伴って発生する汚泥等の廃棄物は当該国の基準に従って適切に処理・処分されるか。	該当なし
	(4)騒音・振動	① ポンプ施設等からの騒音・振動は当該国の基準を満足するか。	人家からは遠く、また、騒音は発生しない。
	(5)地盤沈下	① 大量の地下水汲み上げを行う場合、地盤沈下は生じないか。	既存井戸の利用で地盤沈下は生じていない。理由として、井戸の水位変化が少なく(動水位は 10m 前後)、帯水層が砂であるが、目の細かいスクリーンを利用し、揚水による砂の流出が少ない。そのため、地盤沈下は発生しない。本事業でも同様な仕様で井戸を仕上げるため、井戸を増設しても地盤沈下は発生しない。
3 自然環境	(1)保護区	① サイトは当該国の法律・国際条約等に定められた保護区内に立地していないか。プロジェクトが保護区に影響を与えないか。	立地していない。
	(2)生態系	① サイトは原生林、熱帯の自然林、生態学的に重要な生息地(珊瑚礁、マングローブ湿地、干潟等)を含まないか。 ② サイトは当該国の法律・国際条約等で保護が必要とされる貴重種の生息地を含まないか。 ③ 生態系への重大な影響が懸念される場合、生態系への影響を減らす対策はなされるか。 ④ プロジェクトによる取水(地表水、地下水)が、河川等の水域環境に影響を及ぼさないか。水生生物等への影響を減らす対策はなされるか。	① 含まない ② 含まない ③ 該当しない ④ 影響はない

分類	環境項目	主なチェック事項	環境配慮確認結果
4 社会 環境	(1)住民移転	① プロジェクトの実施に伴い非自発的住民移転は生じないか。生じる場合は、移転による影響を最小限とする努力がなされるか。 ② 移転する住民に対し、移転前に移転・補償に関する適切な説明が行われるか。 ③ 住民移転のための調査がなされ、正当な補償、移転後の生活基盤の回復を含む移転計画が立てられるか。 ④ 移転住民のうち特に女性、子供、老人、貧困層、少数民族・先住民族等の社会的弱者に適切な配慮がなされた計画か。 ⑤ 移転住民について移転前の合意は得られるか。 ⑥ 住民移転を適切に実施するための体制は整えられるか。十分な実施能力と予算措置が講じられるか。 ⑦ 移転による影響のモニタリングが計画されるか。	① 住民移転は発生しない ②、③、④、⑤、⑥、⑦は該当なし 民有地の用地取得はない。
	(2)生活・生計	① プロジェクトによる住民の生活への悪影響はないか。必要な場合は影響を緩和する配慮が行われるか。 ② プロジェクトによる取水（地表水、地下水）が、既存の水利用、水域利用に影響を及ぼさないか。	①② 地下水位の低下が予想され、その影響で既存の井戸が使用できなくなる可能性がある。そのため、水源井戸群の設計は、井戸間隔や揚水量の制限を検討し、水位降下が発生しても最小限とする考慮をしてある。また、万一住民井戸が水位降下で使用できなくなる場合は、用水路からの取水量増加等が行われる。
	(3)文化遺産	① プロジェクトにより、考古学的、歴史的、文化的、宗教的に貴重な遺産、史跡等を損なわないか。また、当該国の国内法上定められた措置が考慮されるか。	① 該当なし
	(4)景 観	① 特に配慮すべき景観への悪影響はないか。必要な対策は取られるか。	① 該当なし
	(5)少数民族、先住民族	① 当該国の少数民族、先住民族の権利に関する法律が守られるか。 ② 少数民族、先住民族の文化、生活様式への影響を軽減する配慮がなされるか。	①、② 該当なし
5 その他	(1)工事中の影響	① 工事中の汚染（騒音、振動、濁水、粉塵、排ガス、廃棄物等）に対して緩和策が用意されるか。 ② 工事により自然環境（生態系）に悪影響を及ぼさないか。また、影響に対する緩和策が用意されるか。 ③ 工事により社会環境に悪影響を及ぼさないか。また、影響に対する緩和策が用意されるか。 ④ 必要に応じ、作業員等のプロジェクト関係者に対して安全教育（交通安全・公衆衛生等）を行うか。	① 特に必要とされないが、粉塵、建設廃棄物に関しては適切に処理するように指示する。 ② 該当しない ③ 工事中の土工事、車輛の運行により粉塵発生が予想される。散水などの処置を行うように指導する。また、大型車輛の頻繁な通行が増えるため、交通整理員適所に配置するように工事業者に求める。 ④ 特に交通安全教育および公衆衛生教育を実施する必要がある。
	(2)モニタリング	① 上記の環境項目のうち、影響が考えられる項目に対して、事業者のモニタリングが計画・実施されるか。 ② 当該計画の項目、方法、頻度等は適切なものと判断されるか。 ③ 事業者のモニタリング体制（組織、人員、機材、予算等とそれらの継続性）は確立されるか。 ④ 事業者から所管官庁等への報告の方法、頻度等は規定されているか。	① 水位観測は実施される。 ② 今後計画に関し詳細を協議する。 ③ 既存井戸も水位が観測されているため、同要員が水位観測の実施に当たると考えられる。 ④ 特に規定されていないが EIA の承認条件となった項目に対して対応する必要がある。
6 留意点	環境チェックリスト使用上の注意	① 必要な場合には、越境または地球規模の環境問題への影響も確認する。（廃棄物の越境処理、酸性雨、オゾン層破壊、地球温暖化の問題に係る要素が考えられる場合等）	① 該当なし

表 2-6 モニタリング・プラン

## 【工事中】

モニタリング項目	場所	モニタリング回数	方法/基準	担当	責任機関	報告先
安全管理	集落、学校や学校周辺工事	工事实施時 安全会議/ 月	目視 施工業者の作成する施工計画に従い確認	WASA 担当者 コンサルタント	WASA	EPA
現地業者およびWASAへの技術移転	工事サイト	工事中および完工後の技術指導	本邦工事業者による現地業者の管理および工事終了時の試運転時の技術指導の確認	WASA 担当者 コンサルタント	WASA	EPA
健康と安全に係るバックアップ体制の構築	工事サイト	工事实施前 安全会議/ 月	施工業者が作成する施工計画に従い確認	WASA 担当者 コンサルタント	WASA	EPA
資材管理	資材ヤード	工事中	目視 資材管理は規定の場所に保管すること。 水の散水は埃による汚染を管理するため規則的に行なわれなければならない。	WASA 担当者 コンサルタント	WASA	EPA
交通安全	工事サイト	工事中	交通警察の連携をとる。 (施工業者が作成する施工計画にて対応を要求)	WASA 担当者 コンサルタント	WASA	EPA
EIAレポートの共有		工事实施前	施工業者に手交	WASA	WASA	EPA
未舗装道路での散水の実施	工事サイト	工事中	目視	WASA 担当者 コンサルタント	WASA	EPA
建設廃棄物	工事サイト	工事中 月1回の確認	目視	WASA 担当者 コンサルタント	WASA	EPA
騒音・振動	工事サイト	工事中 適宜確認	聴音	WASA 担当者 コンサルタント	WASA	EPA

**【供用時】**

モニタリング項目	場所	モニタリング回数	方法/基準	担当	責任機関	報告先
水位	井戸	毎日	水位計による計測	WASA 担当者	WASA	EPA
水質	井戸	3ヶ月に一回	水質分析室での分析	WASA 担当者	WASA	EPA

\*\*\*\*\*

## 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

パ国政府は1995年に我が国に対しファイサラバード市上水道整備に係る支援を要請した。当該プロジェクトは水源、導水、送水および配水施設により構成され、全体で91,000m<sup>3</sup>/日の給水量増加を目標とする。以後、本計画は第1章1-2「無償資金協力要請の背景・経緯及び概要」に述べた経過を辿り、パ国の政治・社会情勢や世界的な経済変動の影響を受け、連続的な入札不調など円滑な実施が妨げられたが、両国政府・関係機関の努力により当初計画の主要コンポーネントの大部分は実施の段階に至った。全体計画を完成するためには、当初の計画内容から分割された単独コンポーネントである水源施設の具現化が必要であるため、今回の事業化調査により、協力の対象範囲を最終的に決定する方針とする。

水源施設計画に対する協力範囲は、これまでに第2回基本設計調査および2007年における第2期事業化調査により、両国で合意されており、本調査は2007年時点の合意を再確認し、事業費の見直しをはじめとする必要な変更を検討することを目的とした。調査の結果、再積算のほかは大きな変更を必要とする事項はなく、これまでの合意事項を基本として、次のような日本側協力の対象範囲を設定する。

- ① 深井戸水源                    25 基（うち2基は予備井、1井あたり約4,000 m<sup>3</sup>/日）
- ② 深井戸ポンプ室            25 棟
- ③ 深井戸ポンプ                25 基（堅型電動機駆動 縦軸水中ポンプ、3相 400 V、最大 60 Kw）
- ④ ポンプ室配管・配線工事   25 カ所

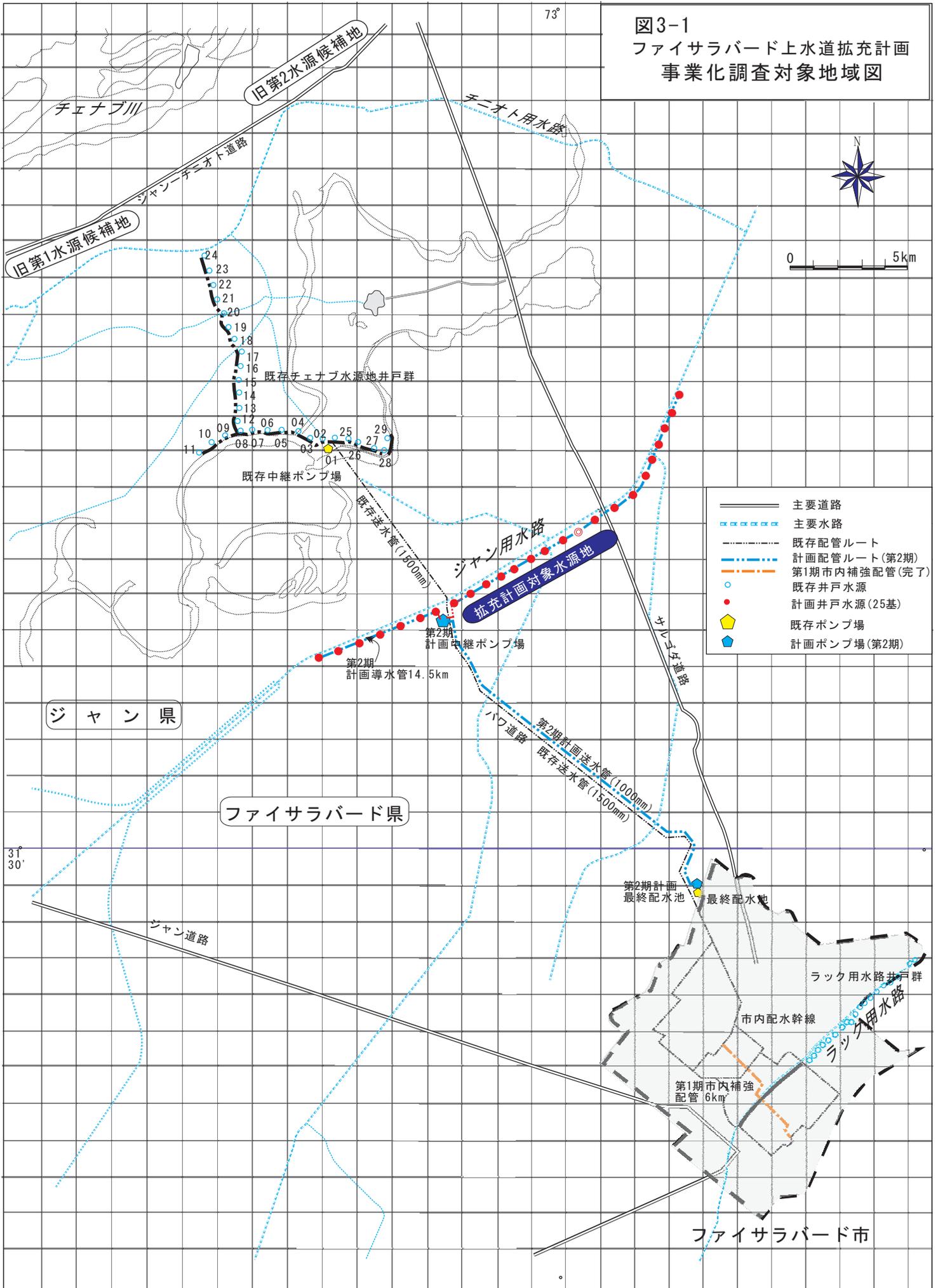
これに対し、パ側は、電力供給のための一時側電源工事（高圧11KV～低圧400V）、用地取得、水源地のアクセス道路建設（約15km）などを担当する。

表3-1に、先行調査と本事業化調査の対象となった各施設構成の比較を示す。またすでに建設完了・建設中の他主要施設と本事業化調査対象の水源地の位置関係を図3-1に示す。

表 3-1 先行調査との施設構成比較

		基本設計調査 (2002～2003)		第 2 期事業化調査 (2007)		拡充計画事業化調査 (2009)	
分類	施設・機材	仕様	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	①水源深井戸	変更なし 25 井(予備 2 井) 基準深度 160m	
	②取水設備		②取水設備		②取水設備		
		a. 深井戸ポンプ室 25 棟@45.4m <sup>2</sup> 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 <sup>3</sup> /時	a. 深井戸ポンプ室 変更なし b. 深井戸ポンプ 変更なし	a. 深井戸ポンプ室 変更なし b. 深井戸ポンプ 変更なし	a. 深井戸ポンプ室 変更なし b. 深井戸ポンプ 変更なし	a. 深井戸ポンプ室 25 棟 @45.4m <sup>2</sup> b. 深井戸ポンプ 25 式、電動縦軸ター ビンポンプ、取水量 200 m <sup>3</sup> /時	
	③操作員宿舎棟	1 棟 170.0m <sup>2</sup>	③操作員宿舎棟	(先方政府負担)	③操作員宿舎棟	変更なし (先方政府負担)	
(2) 導水施設	①導水管	口径 400～900mm x 15.6 km ダクタイル鋳鉄管およびブ ラスチック被覆鋼管	①導水管	口径 400～900mm x 14.6 km ダクタイル 鋳鉄管およびブ ラスチック被覆鋼管	①導水管	(第 2 期事業にこより 実施中)	
(3) 送水施設	① 送水ポンプ場	1 棟 415.8m <sup>2</sup>	① 送水ポンプ場	変更なし	① 送水ポンプ場	(第 2 期事業にこより 実施中, 09 年 12 月)	
		a. ポンプ設備 25.3m <sup>3</sup> /分、4 台(1 台予備) b. 塩素注入機 1 式 (注入機、除害設備、 ポンベ等)	a. ポンプ設備 b. 塩素注入機	変更なし	a. ポンプ設備 b. 塩素注入機	(第 2 期事業にこより 実施中, 09 年 12 月) (第 2 期事業にこより 実施中, 09 年 12 月)	

(4) 配 水 施 設	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	変更なし	c.二次側動力・制御設 備	(第2期事業により 実施中)
	②ポンプ井	1 池、容量 4,000m <sup>3</sup>	②ポンプ井	変更なし	②ポンプ井	(第2期事業により 実施中)
	③管理・宿舎棟	1 棟 170.0m <sup>2</sup>	③管理・宿舎棟	(先方政府負担)	③管理・宿舎棟	変更なし (先方政府負担)
	④送水管	口径 1,000mm x13 km プラスチック被覆鋼管	④送水管	口径 1,000mm x11.3 km プラスチック被覆 鋼管	④送水管	(第2期事業により 実施中)
	①最終配水池	1 池、容量：36,000m <sup>3</sup>	①最終配水池	変更なし	①最終配水池	(第2期事業により 実施中)
	②最終配水ポンプ場	1 棟 545.8m <sup>2</sup>	②最終配水ポンプ場	変更なし	②最終配水ポンプ場	(第2期事業により 実施中)
	a.ポンプ設備	31.6m <sup>3</sup> /分 4 台(1 台予備)	a.ポンプ設備	変更 31.6m <sup>3</sup> /分 2 台 63.2 m <sup>3</sup> /分 3 台	a.ポンプ設備	(第2期事業により 実施中)
	b.二次側動力・ 制御設備	三相電源 11kV～3.3kV～ 400V, 単相電源 240V	b.二次側動力・制 御設備	ポンプ出力変更に対 応	b.二次側動力・制 御設備	(第2期事業により 実施中)
	c.管理・宿舎棟	1 棟 170.0m <sup>2</sup>	c.管理・宿舎棟	(先方政府負担)	c.管理・宿舎棟	変更なし (先方政府負担)
	③市内配水幹線補強	口径 700～800mm×6km ダグダイル铸铁管	③市内配水管線補強	先行第1期で完了 (2006年3月)	③市内配水管線補強	先行第1期で完了 (2006年3月)



## 3-2 協力対象事業の概略設計

### 3-2-1 設計方針

#### 1) 水源地サイト選定

当初、水源地サイトは、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とされ、先行した ADB 支援事業で開発した既存水源地に隣接する地域であった（図 3-1 参照）。同地域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、ADB 事業の既存井戸 25 本での継続的な大量揚水の結果、周辺農村地域における地下水位低下など、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、代替水源地の地下水開発は、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。新規水源地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 LCC 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。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、本事業の水源地開発には、技術面ともども社会環境での配慮を行う必要がある。（本節 4）「環境社会配慮に対する方針」（3-6 頁）参照）

#### 2) 施設規模の設定

本水源拡充計画の施設規模は、給水量増加の目標を当初要請に基づく 91,000 m<sup>3</sup>/日に設定し、施設計画を行う。

1995 年の要請以来、この目標水量は変更されていない。同水量は上位計画である 1993 年の世銀マスタープランの計画に基づくものであるが、当時から実質的な施設増強計画は実施されていないため、人口増加による不足水量は当時の 2 倍以上に達し、現在マスタープランそのものの見直しが必要となっている。

一方、1998 年の本プロジェクトの調査開始以来、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、実施機関をはじめとする政府関係機関と地域住民の間で協議が行われた結果、地下水位降下などの住民不安を軽減するための技術的対策と住民・環境配慮対策について 2005 年に合意に達した。このような事情を背景として、2007 年の第 2 期事業化調査において当初目

標水量の開発が確認され、最終的には本拡充計画事業化調査において、2009年12月に再確認された。したがって、本計画は、すでに地元住民を含む関係者一同の合意が得られており、これまでの水源拡充計画を引き継ぐ方針とする。

一方、実施機関の WASA では、慢性的な水量不足を改善するため、州政府資金による水源開発計画を推進するとともに、他ドナー支援による改善計画の具現化を図っている。我が国支援の当該プロジェクトが完成し、これら現在の計画が実現すると現状は大幅に改善される。

### 3) 自然条件に対する方針

本計画は、300万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(600万人)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でき、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灌漑地の特徴による。

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。

### 4) 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、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1km<sup>2</sup>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単位取水量・影響範囲を採用したが、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。具体的には、用水路配水量の増加などがある。

今回の事業化調査で確認したところでは、先行して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 件の中小事業はすでに完成した。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。

#### 5) 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ため、代替品と比較検討し、可能な限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 事業フェーズ 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。本計画では、2006 年 3 月完成した第 1 期の市内配水幹線補強工事において、ラホール市及び地元ファイサラバード市を本拠とする専門業者を採用し、要求される品質を確保することができた実績を有する。

#### 6) 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源深井戸の設計は、基本設計調査の結果に基づき、ADB 事業におけるチェナブ水源深井戸水源の構造に準拠する。既存水源が位置するチェナブ沿岸から、本計画水源地のジャン用水路までは、インダス川が運搬した地質年代の新しい堆積物が同様に分布しており、同様な井戸構造が地域の地下水開発に適すると判断される。

また機器類は、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、既存施設との整合性をはかった。先行する ADB 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（井戸ポンプは堅軸タービン・ポンプでパ国製を採用する計画である）。

## 3-2-2 基本計画

### 3-2-2-1 水源計画

本プロジェクトの水源計画は、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を確認したので、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

基本設計調査による水源調査は、2003年第2回基本設計調査2次現地調査で水源計画地と決定したジャン用水路地域の水理地質特性を明らかにし、持続的に計画取水量を確保するために、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

基本設計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 3-2 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
3.	試掘調査	2次	試験井 x 150m 1基、観測井 x 120m 2基
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。)

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
---	------	-------	-------------------------

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年基本設計現地調査終了後、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ら、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

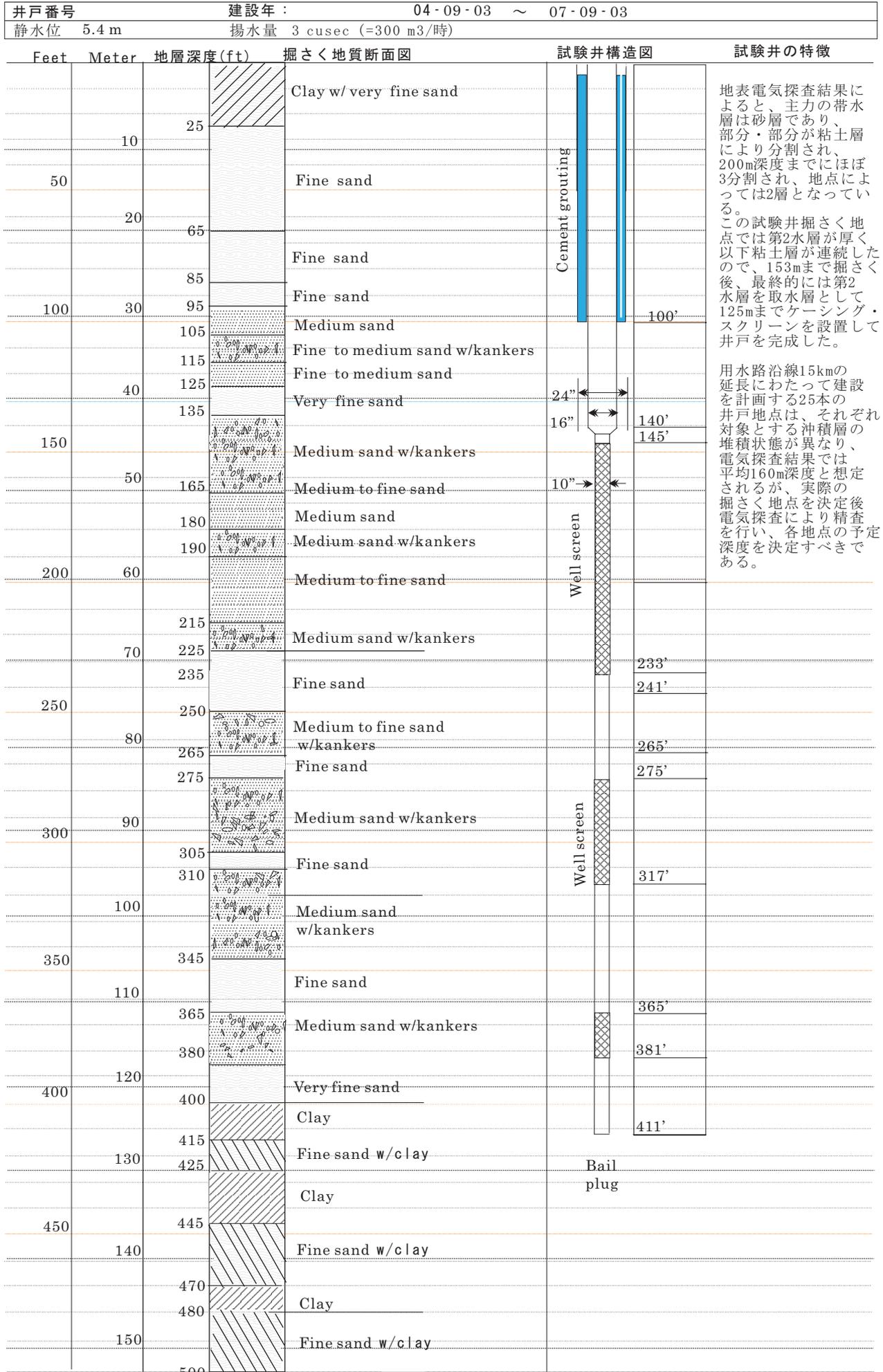
- a. 試掘調査の地点、揚水井と観測井の配置を図 2-2 に示す。
- b. 揚水井の掘さく断面図、完成井戸のケーシング・スクリーン構造を図 2-3 に示す。

#### 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3-3 基本設計調査・試験井構造図 および地質断面図

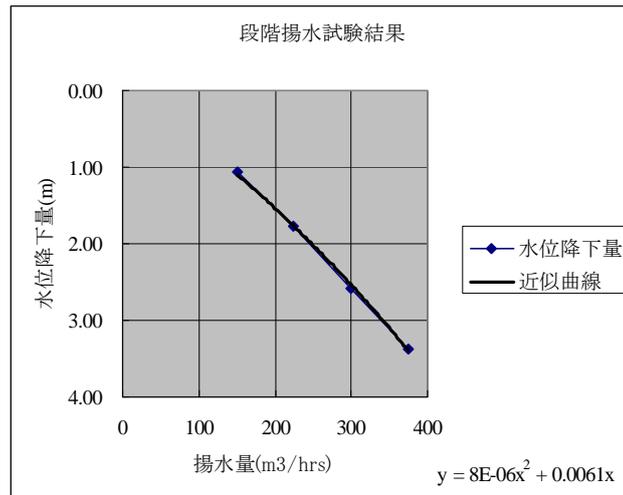


## 2) 水源計画

### (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(=200~400m<sup>3</sup>/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。

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、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 m<sup>3</sup>/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、その際、水位の回復はポンプ停止後約6時間を要した。
- ② WASAの既存チェナブ井戸群は単位揚水量が4cusec(約400 m<sup>3</sup>/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200m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日
- 井戸 1 本の揚水量 2 cusec = 2 00m<sup>3</sup>/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 300m<sup>3</sup>/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ため、200m<sup>3</sup>/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、第二次調査終了後 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 3-3 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 <sup>3</sup> /時/km=15,192 m <sup>3</sup> /日/km
2	WASA/灌漑研究所	2003	437 m <sup>3</sup> /時/km=10,488 m <sup>3</sup> /日/km
		平均	535 m <sup>3</sup> /時/km=12,840 m <sup>3</sup> /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、計算に利用した。

## 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1 cusec (100m<sup>3</sup>/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、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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日/km
- c. 本計画の水源井戸の単位揚水量=200m<sup>3</sup>/時 x 20時間運転/日=4,000m<sup>3</sup>/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 3-4 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 <sup>3</sup> /日
2	1井あたり計画一日取水量	200 m <sup>3</sup> /時 = 4,000 m <sup>3</sup> /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

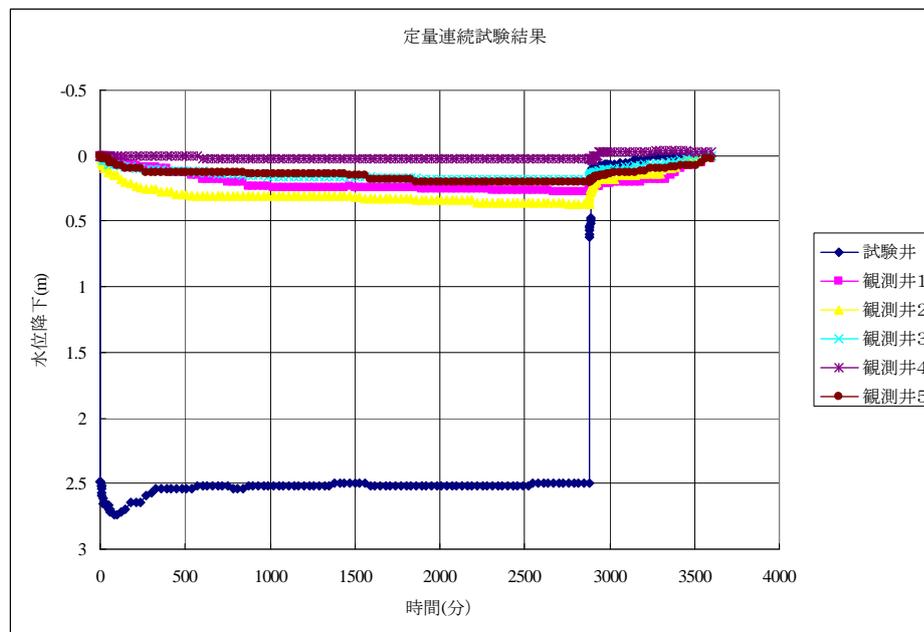
灌漑用水補給のため、農業井戸により地下水を常時多用している。本調査において、これら地域農民のプロジェクト反対運動が多発したことから、本計画ではこれら農業井戸に対する影響を最小にとどめることが課題となっているので、これまでに設定された水源計画各单元について、周辺に対する影響の範囲を次に検討する。

### 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 300m<sup>3</sup>/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 2-5 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。

- 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。
- 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 6-6 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。

算定の結果を次表にまとめて示す。

表 3-5 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 <sup>2</sup> /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 RTW2	回復法	5,312	2.50E-02
	回復法	7,080	1.27E-01
ADB18 号井 <sup>(1)</sup>	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 m<sup>2</sup>/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。

本計画では、1 井あたり 200m<sup>3</sup>/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。

#### 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。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 圏内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 圏内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 圏内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 (全溶存固形物質) 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。表 3-6 に 2009 年の既存井水質試験結果を示す。
- 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/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3-6に示す。

本調査では、2002年基本設計調査第一次現地調査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年基本設計調査第二次現地調査で、さらに追加試験を行った。

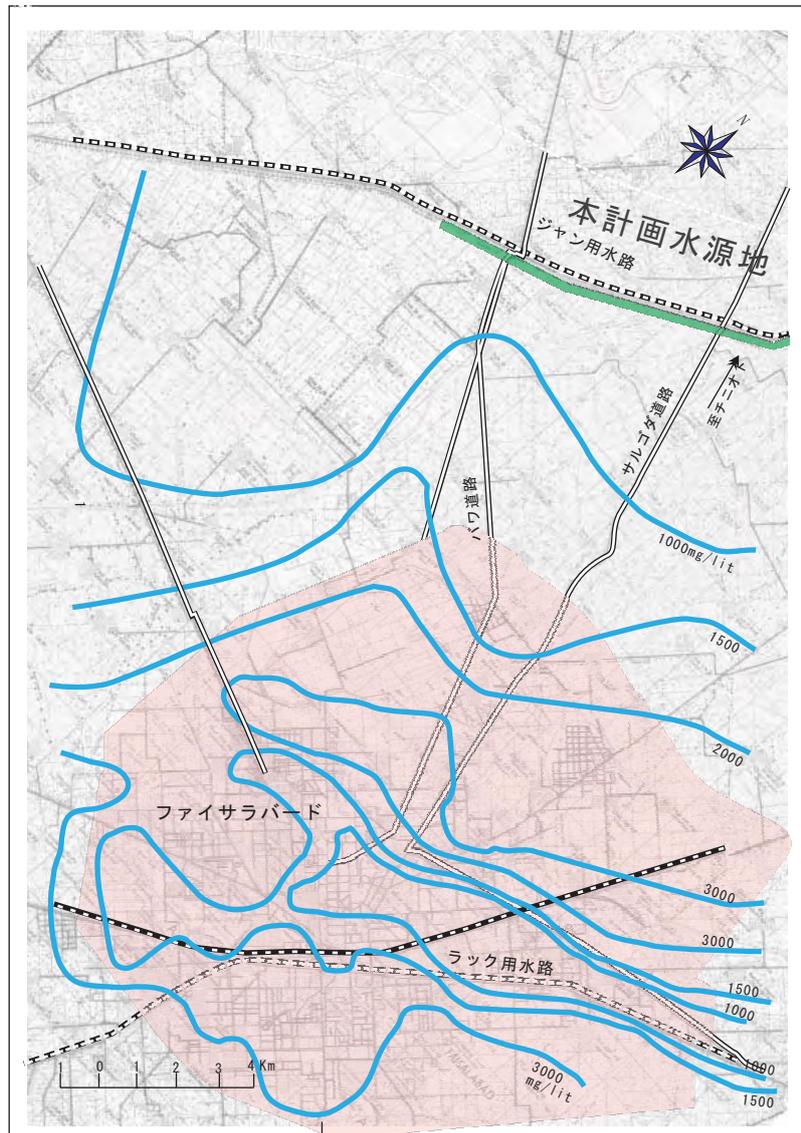
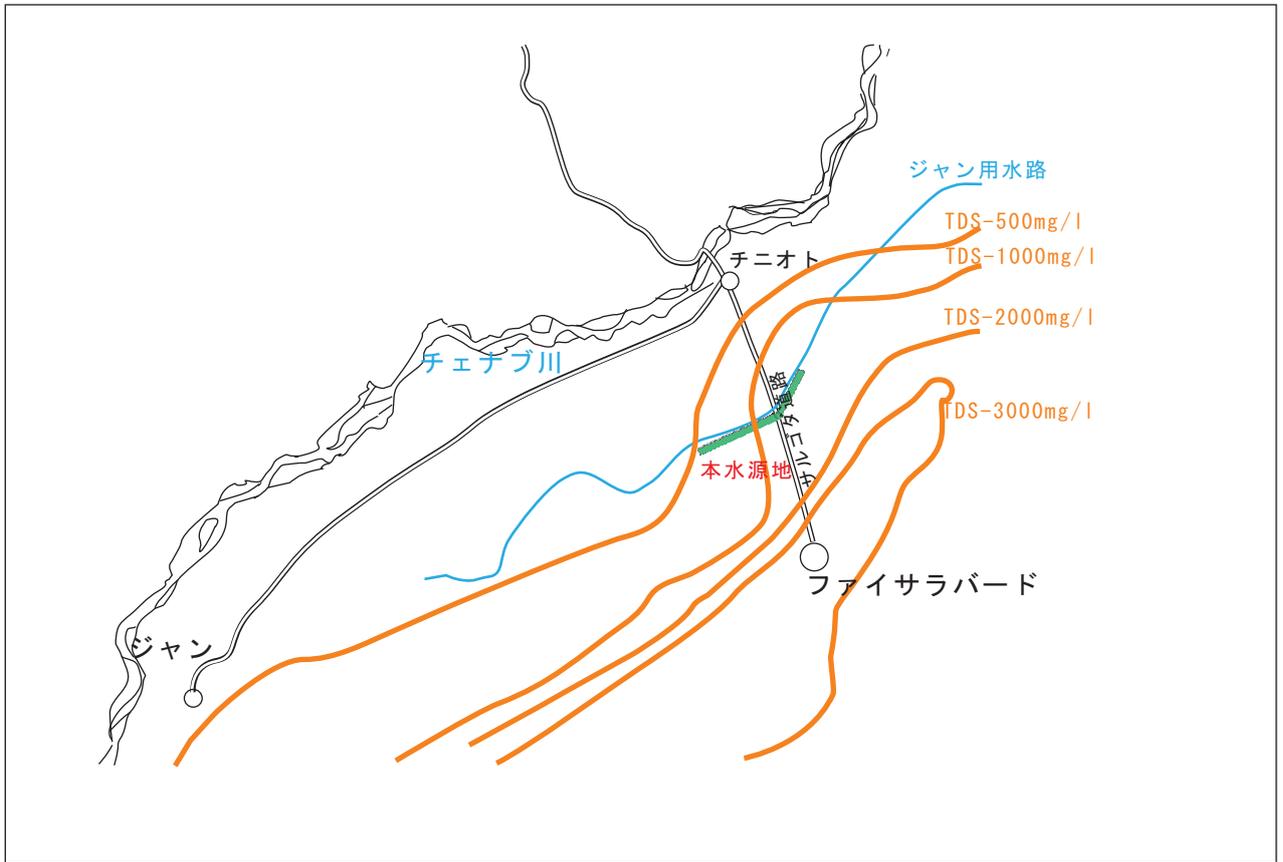
基本設計調査第二次現地調査では、水源計画地のジャン用水路で試験井を掘さくして帯水層試験の際、連続48時間運転の最終段階で試験井から採水し、水質試験を実施した。同試験結果および参考として、用水路左岸から約100mの範囲内で操業している既存農業井2本の水質試験結果を表に示す。試験結果、水路沿線の水源地では良好な水質が期待できると想定される(表3-7参照)。

この地帯におけるTDS値200mg/litという水準は明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。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3-7は、2003年基本設計第一次、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。(図3-6参照)

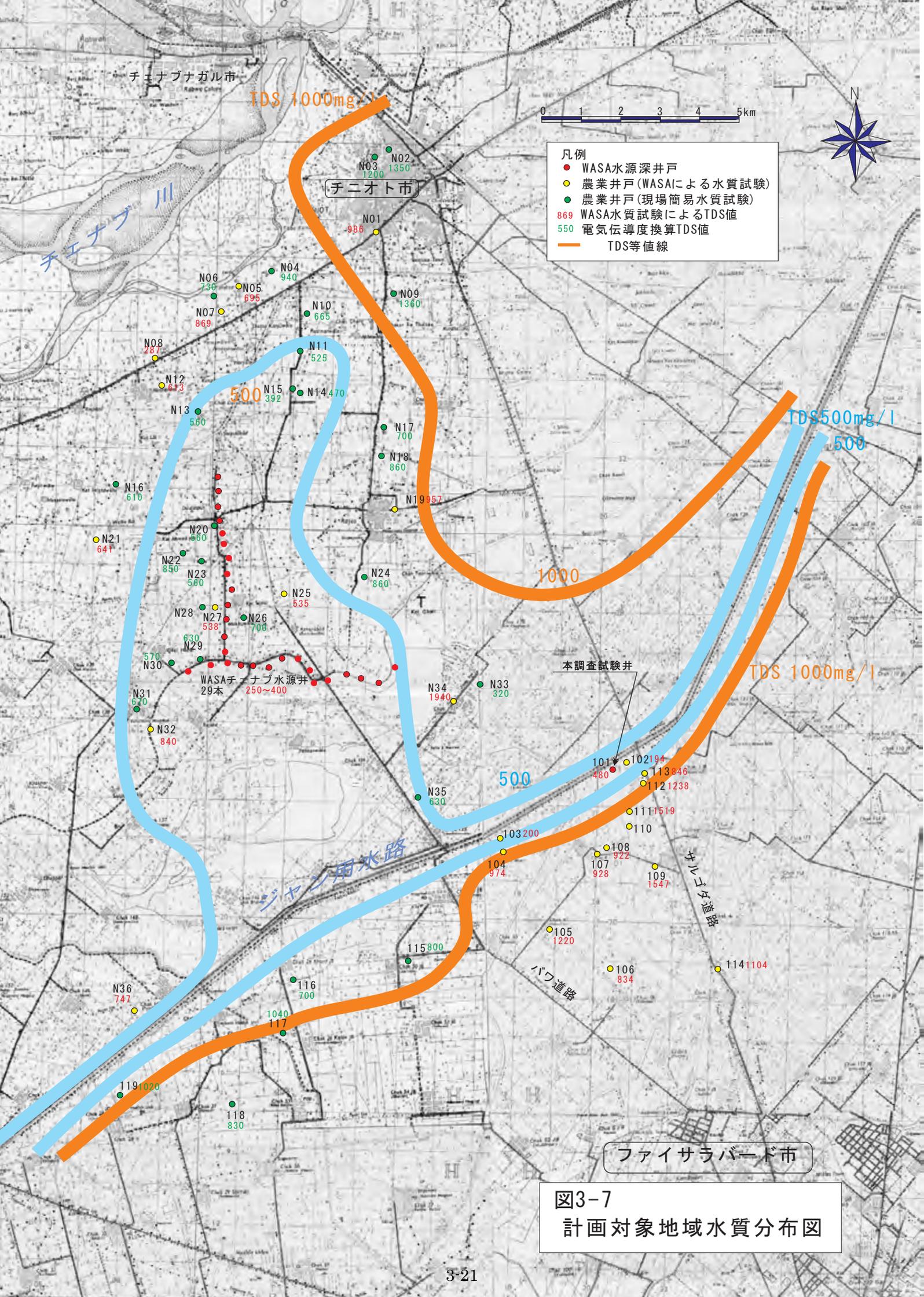
世銀のマスタープランでは、チェナブ川流域を将来の追加水源地候補として設定し、市街地の劣化した地下水(TDS3000～5000mg/lit)はジャン用水路が緩衝地帯となり、チェナブ流域まで拡散するおそれはないと判断した。しかしながら、本調査結果によると、水源地の北西部、チェナブ河畔に位置するチニオト市(人口25万人)を起点として、人為的な汚染が下流地域に拡大している状況が推定される。特に同市は市内に発生する生下水をチェナブ川左岸に接近する側流に放流しているので、水路に近い「メタ」村落(第一次調査の水源地候補地)の農業井は影響を受け、水質劣化の傾向が現れていると考えられる。(図3-7参照)



- ㊦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

図3-6

過去の調査における対象地区水質分布図



チエナブナガル市

TDS 1000mg/l

0 1 2 3 4 5 km



- 凡例
- WASA水源深井戸
  - 農業井戸 (WASAによる水質試験)
  - 農業井戸 (現場簡易水質試験)
  - 869 WASA水質試験によるTDS値
  - 550 電気伝導度換算TDS値
  - TDS等値線

チニオト市

チエナブ川

500

1000

TDS500mg/l  
500

TDS 1000mg/l

WASAチエナブ水源井  
29本  
250~400

本調査試験井

ジヤン用水路

サルニダ道路

バフ道路

ファイサラバード市

図3-7  
計画対象地域水質分布図

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 3-7 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 年先行調査および基本設計調査第一次現地調査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 3-6 WASA チェナブ水源既存井水質試験結果 (2009 年 9 月)

井戸 No	色	臭気	味	pH	EC μ s/cm	TDS mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	総硬度 mg/l	炭酸塩 mg/l	重炭酸 mg/l	Cl mg/l
No. 3	無色	なし	良	7.5	758	531	50	37	275	Nil	160	100
No. 4	無色	なし	良	7.5	625	435	48	31	250	Nil	250	92
No. 5	無色	なし	良	7.6	634	446	51	31	280	Nil	180	70
No. 6	無色	なし	良	7.5	493	346	52	38	230	Nil	170	78
No. 7	無色	なし	良	7.5	482	339	48	27	200	Nil	170	100
No. 8	無色	なし	良	7.5	467	329	40	25	250	Nil	180	40
No. 18	無色	なし	良	7.5	570	400	40	25	200	Nil	150	55
No. 19	無色	なし	良	7.5	638	447	48	52	250	Nil	200	42

表 3-7 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 ( $\mu$ M/cm)	濁度 NTU	TDS mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	全硬度 mg/l	塩化物 mg/l	全鉄 mg/l	総窒素 mg/l	硝酸性 窒素 mg/l	アンモニア性 窒素 mg/l	総リン mg/l	硫酸イオン mg/l
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 3-7 「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、揚水していた農業井を網羅した。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。WASA チェナブ井戸群水質は、WASA の 2002 年試験成績記録による。