

パキスタン国

ラホール上下水道公社 (WASA Lahore)

ラホール開発庁 (LDA)

パキスタン国

ラホール給水設備エネルギー効率化計画

準備調査報告書

平成 26 年 7 月

(2014 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社 エヌジェーエス・コンサルタンツ

環境
CR (2)
14-137

要 約

1. プロジェクトの背景

パンジャブ州の州都であるラホールは、「パ」国ではカラチに次ぐ第二の大都市で、都市部に 7.4 百万人、農村部に 1.6 百万、計 9.0 百万人の人口（2012 年 12 月、州統計局推計）を擁している。都市部の水道人口普及率は 2011/12 年で 89%に達している。

ラホール都市部の水道水源はすべて 474 本の深井戸（2013 年 4 月現在）から汲み上げられる地下水に依存している。ラホールの年間平均人口増加率は州平均を上回る 3.0%で今日もなお人口集中が続いている。このため WASA は区域の拡大、人口の増加に対応して深井戸の本数を増やすことで水需要に対応しているが、これら深井戸の建設年代は 1979 年～2013 年に幅広く分布しており、ポンプ場の揚水能力低下のため毎年 20～30 箇所の、深井戸ポンプ場の更新を余儀なくされている。深井戸本数の増加は電力使用量の増大を招く一方で、燃料費調整メカニズムによって燃料費の上昇を料金に反映できる電力料金の値上げと相俟って、WASA の財務状況を悪化させており、営業収支率は 2012/13 年度で 0.55 と収入が支出を賄えない状況が続いており、州政府からの補助金によって、何年かに一度赤字分を一掃するということが行われてきた。州政府の承認を要する料金値上げが思うようにできない状況の中で、内部努力として経費（運転管理費）の中で最大のウェイトを占める電力費の削減に目が向けられ、深井戸ポンプ場運転におけるエネルギー効率化も WASA の取り組むべき大きな課題の一つとなっている。

深井戸ポンプ場自体の問題として以下のことが指摘される。

深井戸ポンプ場はほとんどが更新年限の 15 年を経過しており、深井戸スクリーンの目詰まりが想定される。しかも従来、深井戸の定期的洗浄が行われておらず、深井戸回復が図られていない。そのため、ほとんどの深井戸で、深井戸能力の低下が生じている。一方、ポンプについては揚水量や揚程に見合ったポンプが選定されていないケースがあり、これに地下水位の慢性的低下、不安定な電力供給が加わって、モータ焼損事故の多発、ひいてはポンプの老朽化をもたらし、揚水量を低下させ、これがポンプ効率の低下へとつながって、運転管理費の増大をもたらしている。

深井戸ポンプ場の揚水能力低下の原因が深井戸及びポンプの劣化に起因していると判断し、深井戸ポンプ場の平均耐用年数を過去の経験から 15 年に設定して、耐用年数を超えるとき、あるいは揚水能力に低下が観られるとき、深井戸ポンプ場の更新が行われてきた。

水源である地下水については以下のような問題を抱えている。

ラホールの地下水はすでに過剰汲み上げの状態に陥っている。地下水位は毎年平均 0.67 m (激しい地域では 1.38 m) の速さで低下が続いており。2008 年には-35m の地下水位等高線が観られたが、調査の結果、2013 年には-40m の等高線が現れ、2031 年には-65m の等高線が現れると予測できた。これまでのところ、地下水位の低下に伴う地盤沈下、塩水侵入といった副次的現象は報告されていないものの、地下水位の低下が何mまでなら許されるのか分からないため、懸念されている。また、2000 年代に入って地下水のヒ素汚染が顕在化し、WASA が 2010 年 6 月に PUIC に委託して行った深井戸全数検査では 85%が、さらに JICA 調査団が 2013 年 7 月に調査対象となった 140 本に対して行った水質調査でも 96%が WHO 水質ガイドラインに定めるヒ素濃度の 10 µg/L を超える結果となっている。ヒ素による健康被害の例はまだ確認されていないが、パンジャブ州政府と WASA は長期的には水道水源の置かれている状況を改善すべく、「BRB 灌漑用水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study for Construction of Water Treatment Plant to Treat the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore)」を本年度から開始する予定になっている。また、短期的には、WASA は「パ」国の飲料水質基準のヒ素濃度 50 µg/L から離れて、ヒ素濃度が 20 µg/L を超える深井戸を対象にヒ素除去施設を設置して飲料及び調理用水相当分を公共栓方式 (住民は容器をもって公共栓から水を汲んできて利用する) で給水すべく 2012 年より 2 年間に 100 箇所設置する事業を実施中で、今後さらにヒ素除去施設設置数を拡大することを計画している。このようなヒ素除去装置の設置も今後、WASA に運転管理費の増大をもたらすこととなる。

このような状況から、本プロジェクトは以下のことを目的として実施するものである。

- (1) ポンプ設備計画においてエネルギー効率化を図る。
- (2) 揚水能力の低下した深井戸ポンプ場を更新することにより揚水能力を回復する。

しかし、現在のラホールの地下水の状況に鑑み、以下のことに留意する。

- (1) 地下水位への影響を配慮する。
- (2) ヒ素濃度が 10 µg/L を超える深井戸については、健康被害へのリスクを最小化するために WASA はヒ素除去施設の設置を行う。

2. プロジェクトの実施機関

ラホールの上下水道事業はパンジャブ州政府住宅都市整備公衆衛生土木局 (HUD&PHED) の監督下にあるラホール開発庁 (LDA) の傘下にあるラホール上下水道公社 (WASA) によって運営されている。WASA はラホールの都市部を所管し、農村部は HUD&PHED の指導の下にコミュニティ基礎の管理組合が、軍管轄区域は軍が独自に水道事業を運営している。

本プロジェクトの実施機関は WASA である。

3. プロジェクトの概要

「パ」国政府の要請を受けて、日本国政府は「パ」国ラホール給水設備エネルギー効率化計画準備調査を行うことを決定した。これを受けてJICAは、事業規模及び内容の妥当性を検討した上で、その結果に基づき無償資金協力として適切な概略設計を行い、事業計画を策定し、概略事業費を積算することを目的とした調査を実施した。JICAは2013年6月27日～7月26日まで事業範囲確認、2013年8月18日～10月1日に概略設計、2014年2月23日～3月8日に概略設計調査報告書（案）説明のために調査団を同国に派遣した。

プロジェクトの目標を達成するために、以下の考えの下にプロジェクトの内容を定めた。

- (1) WASAの深井戸ポンプ場は深井戸スクリーンの目詰まりも想定されるが、これについてはこれまで深井戸の定期的洗浄を行ってこなかったため、現在利用可能なデータからはスクリーンの目詰まりによる影響が判断できない。ポンプについては、計画揚水能力別に単一の仕様を定めて設置することが行われてきており、結果的に更新される深井戸ポンプ場位置における地下水位を考慮しておらず、ポンプは最適効率点で運転されるようにはなっていない。このため、ポンプの仕様は、想定される地下水位等高線図に基づいて揚程を 1～2 段階に分けて設定し、ポンプの最適効率点で運転できるように配慮することにより、単位水量当たりの電力使用量の低減を図った。
- (2) 深井戸ポンプ場の揚水能力の回復は、揚水能力低下の原因が深井戸及び又はポンプにあるのか特定できないため、深井戸ポンプ場をまるごと新しいものにすることにした。この際、まだ耐用年数に達していなくて計画揚水能力の95%以上を発揮しているものについては対象より除外した。

上記、プロジェクトの内容を決定するに際し、以下のことに留意した。

- (1) 現在利用可能な地下水位データに基づいて現在の地下水位等高線図を作成し、地下水位のゾーンに応じてポンプの揚水能力を定めた。すなわち、地下水位の浅いところには揚水能力の大きなポンプを、深いところには小さいポンプを配置することにより、低下が著しいサイトにおける地下水位への影響を配慮した。
- (2) 地下水のヒ素汚染に対しては、WHO水質ガイドラインのヒ素濃度10 µg/Lを採用し、ヒ素濃度が10 µg/Lを超える深井戸についてはWASAによるヒ素除去装置の設置を前提とした。ここで、ヒ素濃度は2013年7月にJICA調査で行った水質試験結果をベースにしているが、ヒ素濃度が10 µg/L未満であっても、深井戸竣工時の水質確認試験で10 µg/Lを超えることがあり得るため、そのような深井戸についてもWASAによるヒ

素除去装置の設置を前提とした。ヒ素除去装置が設置された公共給水栓を利用するようWASAが啓蒙活動を行うこととするが、ヒ素濃度が10 µg/Lを超える深井戸の選定に当たっては、ヒ素濃度の低いものを優先し、飲用向けに公共給水栓を利用しなかった場合の健康被害リスクに配慮した。

プロジェクトの対象となる施設・設備は以下の通り。

1) 土木・建築

(a) 深井戸築造工：計 105 箇所

- 深井戸(能力 5.1~6.8m³/min、2031 年設計静水位<GL-35m)： 8 井
- 深井戸(能力 5.1~6.8m³/min、2031 年設計静水位 GL-35m~-65m)： 88 井
- 深井戸(能力 3.4m³/min、2031 年設計静水位 GL-35m~-65m)： 9 井

※暫定的な対策としてラホール WASA がヒ素濃度 20µg/L を超える井戸にヒ素除去装置を設置することを前提に、水質による失敗井は考慮しない。

(b) 井戸上屋建築工

- 井戸ポンプ室(レンガ造、床面積約 31.5 m²、建築設備)：105 箇所

(c) 連絡配管工

- HDPEφ200~φ300：105 箇所

2) 機械・電気

(a) 深井戸用ポンプ

- 縦軸ポンプ(吐出量 6.8m³/min、全揚程 51/47m、出力 90/75kW)： 41 基
- 縦軸ポンプ(吐出量 5.1m³/min、全揚程 64/62m、出力 90/75kW)： 55 基
- 縦軸ポンプ(吐出量 3.4m³/min、全揚程 64m、出力 75kW)： 9 基

(b) ポンプ附帯設備

- 弁類(逆止弁/仕切弁/空気弁)、タービン式流量計、附帯配管等：105 箇所
- 予備モーター(90/75/55kW)、チェーンブロック：各タウン 1 式

(c) 電気設備

- ポンプ動力制御盤(90/75kW 用)：105 面
- 配線工事：105 箇所
- 投込み式水位計：10 箇所
- 交換部品：各タウン 1 式

3) 調達機材:

- エネルギー監査機材(可搬式のパワーアナライザー、超音波流量計、水位計などエネルギー監査に使用する機材)

「パ」国側負担事項内容は以下の通り。

- (1) 深井戸ポンプ場の門柵・フェンスの設置

- (2) 廃棄既設深井戸ポンプ場の撤去
- (3) LESCO に対する深井戸ポンプ場受変電設備の負担金
- (4) 88 箇所のアリ素除去施設の設置
- (5) 深井戸竣工時の水質試験でアリ素濃度が $10\mu\text{g/L}$ を超えたときにアリ素除去施設の設置と深井戸からの原水送水管の敷設（もし必要あれば）

4. プロジェクトの工期及び概略事業費

プロジェクト実施に必要な工期は、政府間手続に 1.5 ヶ月、実施設計に 4.5 ヶ月、入札手続に 4 ヶ月、機材調達並びに建設工事に 19 ヶ月で、全体工期は 29 ヶ月である。これにはソフトコンポーネント実施機関約 2 ヶ月を含む。

全体事業費のうち一部は「パ」国側が負担する。「パ」国側の負担は、約 5.1 億円と見込まれる。

5. プロジェクトの評価

(1) 妥当性

WASA は現在全量を地下水に依存しているが、慢性的な地下水位の低下、地下水のアリ素汚染の進行に危機感を抱いて、新たな水道水源として表流水の導入を前提に、今年度か「BRB 灌漑用水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study for Construction of Water Treatment Plant to Treat the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore)」を開始する予定になっている。このような状況から長期的には表流水の導入を行うことが望ましいが、その実現には長い期間と膨大な費用が必要であり、しばらくは現在の地下水完全依存体制を継続して、これまでと同様に区域の拡大や人口の増加に対応して深井戸の数を増やして行かざるを得ない。

したがって、地下水以外に水源の選択肢がない現状では、本プロジェクトは地下水を水源とした給水サービス維持の観点から緊急性が高い。

WASA の深井戸ポンプ場はほとんどが基幹配水管網に接続されているため、個々の深井戸ポンプ場の給水区域を判別することは困難である。このため 105 箇所の深井戸の裨益人口は、総給水人口 5,772,000 人と総配水量 $1,980,000 \text{ m}^3/\text{day}$ (435 MGD) から単位水量 (m^3/day) 当たりの給水人口を求め、これに 105 箇所の深井戸の総配水量を乗じて 1,496,000 人と推定される。

単位水量当たりの給水人口: $5,772,000 \text{ 人} / 1,980,000 \text{ m}^3/\text{day} = 2.9 \text{ 人}/\text{m}^3/\text{day}$

裨益人口: $2.9 \text{ 人}/\text{m}^3/\text{day} \times 516,000 \text{ m}^3/\text{day} = 1,496,000 \text{ 人}$

注) $516,000 \text{ m}^3/\text{day}$ は総計画揚水量 $849,000 \text{ m}^3/\text{day}$ (347 cfs) \times 一日運転時間 14.6/24 より算出

上述したように、パンジャブ州と WASA は、「パ」国のヒ素濃度に係る飲料水質基準が 50 µg/L であるにもかかわらず、世論の動きもあって WHO 飲料水質ガイドラインの 10 µg/L に近づけるべく 20 µg/L をヒ素除去施設設置の判断基準としている。本プロジェクトもプロジェクト対象選択基準として WHO 水質ガイドラインに定めるヒ素濃度 10 µg/L を採用している。

このように、必要性、裨益対象人口の大きさ、人間への健康被害リスクの最小化、「パ」国の整備目標との合致という側面から観ても、本プロジェクトの妥当性は十分にあると判断される。

(2) 有効性

WASA における電力費は 2012/13 年度の総経費の 44.7% を占めており、電力費の削減は WASA にとって喫緊の課題となっている。本プロジェクトの実施は、WASA 水道事業のエネルギー効率化を目指すものである。

既存 54 箇所のポンプ場の揚水量 1 m³ あたりの電力消費量は、0.317 kW/m³ であった。一方、新規に建設する 105 箇所の井戸ポンプ場の揚水量 1 m³ あたりの電力消費量は、平均 0.202kW/m³ と算出されており、概ね 37% の電力使用量削減が期待できる。さらに、保護装置等により故障頻度、モータ焼損事故を予防し、補修及び維持管理費の削減もできる。

したがって、本プロジェクトは、ラホール WASA の経営状況改善という点においても有効である。

その他の定性的効果として、(1)水量が同じであれば従来のものより電力使用量は削減されるため WASA の財政状況は改善される、(2)ポンプの更新とその電氣的防護装置により故障回数は減少する、(3)ポンプ揚水能力の改善により出水不良地域は減少する、(4)温室効果ガスの削減、及び(5)エネルギー監査機材を用いたポンプ場揚水量の実測によりこれまで多くの仮定に基づいて計算されていた無収水の実態把握精度が高まりその対応強化が図れる、ことが期待される。

6. 今後に向けての提言

本プロジェクトの実施は所期の目的を達成するにしても、WASA の抱える根本的な問題を解決するものではない。WASA が抱える以下の問題にパンジャブ州政府及び WASA が今後、積極的に取り組むことが望まれる。

- (1) ラホールの唯一の水源である地下水においては地下水位の低下とヒ素汚染が進行している。これらの問題を解決するために、現在州政府と WASA が取りかかろうとしている「BRB 灌漑用水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study for Construction of Water Treatment Plant to Treat

- the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore) 」の実現に向けて最善の努力を払うべきである。表流水の導入によって、地下水への依存を徐々に減らすことができるようになるが、地下水の十分な涵養と地下水位の回復が期待できるようになるまで、決して手を緩めるべきではない。
- (2) 現在 WASA は、ヒ素濃度が 20 $\mu\text{g/L}$ を超える深井戸にヒ素除去装置の設置を進めており、将来的には対象を WHO 水質ガイドラインの 10 $\mu\text{g/L}$ まで拡大することを目指しているとされている。この方針は健康被害リスクを取り除くという観点から大いに評価されるものであり、今後事業の着実な遂行が望まれる。
- (3) 支出が収入を大きく上回っている WASA の財政上の持続可能性を確保するためには、水道料金の値上げ及び従量制料金体系の確立が必要であり、同時に、値上げが遅れれば遅れるほど値上げ幅が大きくなって、値上げそのものが難しくなるという悪循環に陥る可能性すらあるため、早期の対応が必要である。水道料金の値上げが難しい状況では、次善の策として今後とも州政府からの補助金による経営の安定化が欠かせない。
- (4) WASA は今後深井戸ポンプ場の長寿化に取り組み、現在約 15 年と言われる耐用年数の延伸を図るべきである。ポンプ設備は機械設備であるため、耐用年数 15 年はほぼ妥当なところであるが、深井戸の耐用年数は延ばすことは可能であり、そうすることによって深井戸とポンプの一式交換から、ポンプのみの交換で済ませることができるようになる。このための方策として、ラホールの深井戸に適した洗浄方式の確立し、建設後の早い段階から深井戸の定期的洗浄を行うことにより、洗浄効果を持続させることが期待される。また、機械・電気設備について、少なくとも年 1 回のポンプ全数の揚水量実測とエネルギー監査を定期的実施してきめ細やかな運転管理を推し進めることが望まれる。

パキスタン国ラホール給水設備エネルギー効率化計画準備調査

要約

目次

位置図／完成予想図／写真

図表リスト／略語集

目 次

第1章 プロジェクトの背景・経緯	1
1-1 当該セクターの現状と課題	1
1-1-1 現状と課題	1
1-1-2 開発計画	3
(1) ビジョン 2030.....	3
(2) 国家飲料水政策.....	3
(3) パンジャブ州飲料水政策.....	3
1-1-3 社会経済状況	4
1-2 無償資金協力の背景・経緯及び概要	5
1-3 我が国の援助動向	6
1-4 他ドナーとの援助動向	7
(1) WASA に対する他のドナーからの援助実績	7
(2) 本プロジェクトとの関連性.....	7
第2章 プロジェクトを取り巻く状況	9
2-1 プロジェクトの実施体制	9
2-1-1 ラホール水道事業の概要	9
(1) 概要.....	9
(2) 組織.....	9
(3) 財務状況.....	10
(4) ラホール水道事業の課題.....	13
2-1-2 調査対象地域の WASA 深井戸と地下水状況	16
(1) WASA 深井戸の現状.....	16
(2) 地下水位及び帯水層状況.....	18
(3) ラビ川及びラホール灌漑用水路による地下水の涵養.....	23
(4) 地下水関連の環境影響問題.....	24

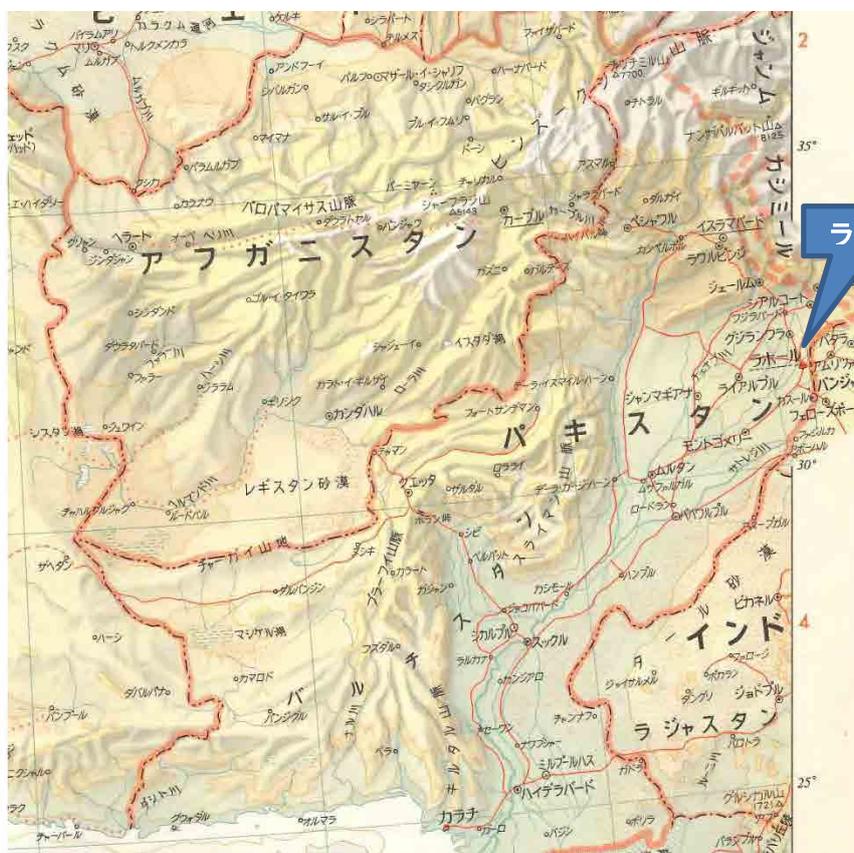
(5) WASA ラボによる水質試験結果	26
(6) 調査団による水質試験及び揚水量実測調査等	27
(7) ヒ素除去施設の設置状況	44
(8) ヒ素除去装置の利用状況	46
(9) 深井戸建設計画	51
(10) 地下水利用及び地下水位に関するその他の情報	59
(11) 深井戸ポンプ場機械設備の状況	63
(12) 深井戸ポンプ場電気設備の状況	73
(13) エネルギー監査機材の状況	75
2-2 プロジェクトサイト及び周辺の状況	76
2-2-1 関連インフラの整備状況	76
2-2-2 自然条件	76
(1) 気象	76
(2) 地形	79
(3) 地質	80
2-2-3 環境社会配慮	80
(1) 自然環境	80
(2) 社会環境	80
(3) スコーピング	81
(4) 代替案（ゼロオプション）	83
(5) 実施担当官庁	84
(6) 環境法令	85
(7) 用地取得	88
(8) 労働安全	88
(9) 騒音基準	89
(10) 施設建設時の負の影響と緩和手段	89
(11) 施設建設後の負の影響と緩和対策	92
(12) 環境監理計画	94
(13) 緩和策及び緩和策実施のための費用	95
(14) モニタリング計画	95
(15) モニタリングフォーム	96
(16) 環境チェックリスト	98
第3章 プロジェクトの内容	101
3-1 プロジェクトの概要	101
(1) プロジェクト目標	101

(2) 要請内容の評価.....	102
(3) プロジェクトの概要.....	103
3-2 協力対象事業の概略設計.....	105
3-2-1 設計方針.....	105
3-2-1-1 深井戸施設の設計.....	105
(1) プロジェクト対象深井戸の除外基準.....	105
(2) プロジェクト対象深井戸の採択基準.....	108
(3) プロジェクト対象深井戸の選定.....	113
3-2-1-2 深井戸ポンプ場機械設備.....	118
3-2-1-3 深井戸ポンプ場電気設備.....	124
3-2-2 基本計画.....	125
(1) 深井戸施設.....	125
(2) 深井戸ポンプ場機械設備.....	127
(3) 深井戸ポンプ場電気設備.....	129
(4) エネルギー監査機材.....	132
3-2-3 概略設計図.....	133
3-2-4 施工計画／調達計画.....	149
3-2-4-1 施工方針／調達方針.....	149
3-2-4-2 施工上／調達上の留意事項.....	150
3-2-4-3 施工区分／調達・据付区分.....	151
3-2-4-4 施工監理計画／調達監理計画.....	154
3-2-4-5 品質管理計画.....	156
3-2-4-6 資機材等調達計画.....	156
3-2-4-7 初期操作指導・運用指導等計画.....	159
3-2-4-8 ソフトコンポーネント計画.....	159
3-2-4-9 実施工程.....	162
3-3 相手国側分担事業の概要.....	164
3-4 プロジェクトの運営・維持監理計画.....	165
3-4-1 プロジェクト運営計画.....	165
3-4-2 プロジェクト維持管理計画.....	167
3-5 プロジェクトの概略事業費.....	167
3-5-1 協力対象事業の概略事業費.....	167
3-5-2 運営・維持管理費.....	168
3-6 協力対象事業実施にあたっての留意事項.....	170
第4章 プロジェクトの評価.....	172

4-1 事業実施のための前提条件.....	172
4-2 プロジェクト全体計画達成のために必要な相手方投入（負担）事項.....	172
4-3 外部条件.....	173
4-4 プロジェクトの評価.....	173
4-4-1 妥当性.....	173
4-4-2 有効性.....	174
4-5 今後に向けての提言.....	175

【資料】	A - 1
1 調査団員氏名、所属.....	A - 1
2 調査行程.....	A - 2
(1) 第一次現地調査（2013年6月27日～7月26日）.....	A - 2
(2) 第二次現地調査（2013年8月18日～10月1日）.....	A - 3
(3) DFR説明・協議（2014年2月25日～3月8日）.....	A - 4
3 関係者（面会者）リスト.....	A - 5
4 討議議事録（M/D）、WASA書簡.....	A - 6
(1) 討議議事録（2013年7月3日.....	A - 6
(2) 討議議事録（2013年8月27日）.....	A - 22
(3) 討議議事録（2014年3月6日）.....	A - 32
(4) WASA書簡（2013年8月11日_共有地に対するWASA見解）.....	A - 51
(5) WASA書簡（2013年11月26日_PC-1のUHD&PHED提出）.....	A - 52
(6) WASA書簡（2014年1月28日_プロジェクト付帯条件受け入れ-1）.....	A - 53
(7) WASA書簡（2014年2月10日_プロジェクト付帯条件受け入れ-2）.....	A - 54
(8) 議事録（2013年9月16日_LESCOに対する分担金負担）.....	A - 61
5 ソフトコンポーネント計画.....	A - 63
6 参考資料.....	A - 70
(1) 調査対象深井戸147箇所の水質試験結果.....	A - 70
(2) 調査対象深井戸147箇所の揚水量、静水位等実測結果）.....	A - 76
(3) 既存深井戸ポンプ場と新設深井戸ポンプ場の設計条件の比較.....	A - 85
7 WASAヒ素除去施設の概要.....	A - 88
8 サイトプラン図面.....	A - 99

位置図



完成予想図



写真



写真-1：既存井戸の外観

煉瓦造りの井戸ポンプ室。この中に井戸ポンプと操作盤が設置されている。



写真-2：井戸ポンプ外観

ラホールの井戸ポンプは、モータの維持管理が容易な陸上モータポンプが多く採用されている。



写真-3：井戸併設の公共栓

ポンプ室に公共栓を有する井戸もあり、ここでは無償で生活用水を手に入れることが可能である。



写真-4：自家発電設備

多くはないが、発電機を備えた井戸が見られる。



写真-5：ヒ素除去装置（1）

WHOのガイドライン値を超えるヒ素が、水源から検出されており、ラホールWASAはヒ素除去装置の導入を進めている。



写真-6：ヒ素除去装置（2）

3つのタンクで、砂ろ過、活性炭吸着、粒状水酸化第二鉄吸着処理が行われている。



写真-7：ヒ素除去装置（3）

最終仕上げ工程で、限外ろ過膜処理が行われている。

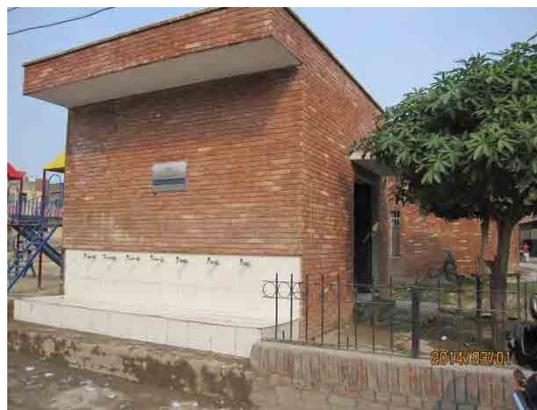


写真-8：ヒ素除去装置の公共栓

ヒ素除去された水は、配管を通じてではなく、公共栓により、無償で供給されている。



写真-9：水汲み

多くの住民がポリタンク等の容器に水を汲み、バイクや自転車で運んでいる。



写真-10：井戸掘削機

現地で一般的に用いられている掘削機械



写真-11：井戸スクリーン

ラホールでは、FPR製のケーシング、スクリーンが一般に使われている。



写真-12：消毒剤注入機

井戸の汲み上げ水を消毒するための消毒剤注入機。壊れたまま放置されている状況も見られた。

写真出典：エヌジェーエス・コンサルタンツ

図表リスト

表リスト

表 1-1 「パ」国の予想飲料水人口普及率	1
表 1-2 「パ」国主要上下水道事業者の比較	2
表 1-3 「パ」国要請書の内容とその対応	5
表 1-4 「パ」国に対する我が国の援助動向	6
表 1-5 ラホールWASAに対する他ドナーの援助動向	7
表 2-1 WASAの営業収支	12
表 2-2 標準井戸仕様	16
表 2-3 汚染表流水（ラビ川）の地下浸透による地下水汚染とその対策	25
表 2-4 WASA井戸水の平均水質	27
表 2-5 能力別タウン別深井戸ポンプ台数及び揚水量（2013年4月）	29
表 2-6 揚水量調査とデータ入手箇所	29
表 2-7 6.8 m ³ /min (4 cfs) ポンプ場10箇所運転状況	31
表 2-8 3.4 m ³ /min (2 cfs) ポンプ場6箇所	32
表 2-9 JICA調査深井戸水質のWHO水質ガイドライン / 「パ」国飲料水質基準との比較	34
表 2-10 ヒ素濃度の分布	35
表 2-11 PUICの水質試験で高濃度のヒ素検出した深井戸	39
表 2-12 サンプルングできなかった深井戸の情報	39
表 2-13 揚水量実測調査対象井戸の内訳	41
表 2-14 排砂量が50 mg/Lを超えている井戸	41
表 2-15 揚水量実測時と竣工時の比湧出量の比較による井戸湧水能力診断	44
表 2-16 ヒ素除去施設の浄化成績	46
表 2-17 井戸竣工時の揚水試験の解析結果（透水量係数と透水係数）	55
表 2-18 計画井戸端での揚水量と帯水層ロス（理論的水位降下量）	56
表 2-19 計画井戸端での揚水量と想定井戸ロス	58
表 2-20 147箇所深井戸調査による動水位降下の実測データ	59
表 2-21 ラホール分区における地下水統計のまとめ	62
表 2-22 タウン毎の井戸数、職員数	63
表 2-23 修理件数と金額	65
表 2-24 ラホールの気象条件	78

表 2-25	スコーピングリスト	81
表 2-26	環境法令・基準	86
表 2-27	本計画で土地転用を予定している土地の保有者	88
表 2-28	国家環境質基準（騒音）	89
表 2-29	施設建設時の負の影響と緩和手段	90
表 2-30	WASA所有の一般廃棄物処分場	92
表 2-31	ラホール市所有の一般廃棄物処分場(1)	92
表 2-32	ラホール市所有の新設一般廃棄物処分場(2)	92
表 2-33	施設建設後の負の影響と緩和対策	93
表 2-34	施設建設中及び建設後の施設稼働時の環境対策としてもモニタリング計画	96
表 2-35	モニタリング/フォーム案	97
表 2-36	本事業の実施により削減される温室効果ガス排出削減量	98
表 3-1	代替井戸を既に掘削済みのためにプロジェクト対象より除外される深井戸	106
表 3-2	そのまま継続使用すべき深井戸	107
表 3-3	用地取得ができないためにプロジェクト対象より除外される深井戸	107
表 3-4	共有地になっている代替深井戸予定地	108
表 3-5	排水施設を確保できないためにプロジェクト対象より除外される深井戸	108
表 3-6	既存構造物があるためにプロジェクト対象より除外される深井戸	108
表 3-7	用地が狭いためにプロジェクト対象より除外される深井戸	109
表 3-8	ヒ素濃度が 20 µg/L 未満の調査対象深井戸	110
表 3-9	ヒ素除去施設設置済みのプロジェクト対象深井戸	110
表 3-10	WASA によるヒ素除去施設設置を条件とするプロジェクト対象深井戸	110
表 3-11	プロジェクト対象深井戸の補充用予備 B	115
表 3-12	プロジェクト対象深井戸の選択	118
表 3-13	ポンプ形式の一般的な特徴	118
表 3-14	地元業者の修理能力	120
表 3-15	ポンプ能力の配置によるゾーン別の揚水量の変化	122
表 3-16	ポンプ能力の配置によるゾーン別の揚水量の変化	124
表 3-17	塩素注入設備の特徴	126
表 3-18	計画井戸の設計標準仕様	128
表 3-19	揚水量毎のポンプ台数	128
表 3-20	ポンプ仕様	129
表 3-21	揚水量毎の塩素注入設備	129
表 3-22	電動機 90 kW に対する変圧器容量比較	129
表 3-23	電動機 75 kW に対する変圧器容量比較	130

表 3-24	電動機 55 kW に対する変圧器容量比較	130
表 3-25	電動機の始動方式と特徴	132
表 3-26	エネルギー監査機材	132
表 3-27	両国政府の主な分担事項	152
表 3-28	施工・調達・据付区分	153
表 3-29	品質管理に係る分析・試験方法	156
表 3-30	ポンプ設備の調達先	158
表 3-31	建設用資材・機械調達先	159
表 3-32	初期操作指導	159
表 3-33	ソフトコンポーネント概要	162
表 3-34	ソフトコンポーネント全体実施工程	162
表 3-35	日本側負担費用	167
表 3-36	「パ」国側負担費用	168
表 3-37	105 箇所深井戸ポンプ場電力費の予測	169
表 3-38	105 箇所深井戸ポンプ場運転・維持管理人件費の予測	169
表 3-39	105 箇所深井戸ポンプ場維持管理費の予測	169
表 3-40	105 箇所深井戸ポンプ場水道料金収入の予測	169

図リスト

図 2-1	ラホールWASA組織図	10
図 2-2	WASAの営業収支	13
図 2-3	過去5年間におけるWASAの支出内訳の変化	13
図 2-4	WASA 井戸標準構造図	17
図 2-5	2013年5月の地下水位状況	19
図 2-6	2008年2月の地下水位状況	20
図 2-7	2008年～2013年における年間当たりの平均地下水位降下量の分布図	21
図 2-8	A 横断面図	22
図 2-9	B 横断面図	23
図 2-10	^{18}O 同位体分析によるラビ川及びラホール灌漑用水の深層地下水(深度80 m～200 m)及び浅層地下水(深度<50 m)の涵養地域状況	24
図 2-11	推定能力別深井戸ポンプ台数及び総揚水量	29
図 2-12	揚水量1 m ³ あたりのkW消費量	30
図 2-13	設計性能(揚水量6.8 m ³ /min、揚程64 m)と実運転点	32
図 2-14	設計性能(揚水量3.4 m ³ /min、揚程64 m)と実運転点	33
図 2-15	深井戸ポンプ場運転効率	33
図 2-16	ヒ素濃度分布	36
図 2-17	今回水質試験結果(JICA、2013年)に基づくヒ素濃度分布	37
図 2-18	PUIC水質試験結果(2011年)に基づくヒ素濃度分布	37
図 2-19	Sub-district別ヒ素濃度分布(%)	40
図 2-20	4 cfs 井戸で計画揚水量と実測揚水量との割合及びその時の井戸数の割合	42
図 2-21	2 cfs 井戸での計画揚水量と実測揚水量との割合及びその時の井戸数の割合	42
図 2-22	地域的低下地下水位(2013年7月)と現在の井戸揚水量の関係	43
図 2-23	ヒ素除去装置フローシート	45
図 2-24	ヒ素除去装置処理水月間及び一日総使用水量の推移	47
図 2-25	WASAのヒ素除去施設の配置(2013年9月末現在)	50
図 2-26	2005年～2008年におけるWASA深井戸静水位の変化	52
図 2-27	2005年～2013年における地下水位の変化	53
図 2-28	計画設定年(2031年)における地域的地下水位低下状況図	54
図 2-29	動水位降下量と帯水層ロス及び井戸ロスの関係	57
図 2-30	WASA給水区域内における民間の地下水の工業用水利用状況	60
図 2-31	パンジャブ州灌漑電力局地下水モニタリングゾーン	61
図 2-32	パンジャブ州地下水位等高線図	63

図 2-33	組織構成	64
図 2-34	修理件数と金額	65
図 2-35	ポンプ揚水量	71
図 2-36	パンジャブ州の気候分類	77
図 2-37	ラホールの年間気象変動	78
図 2-38	日中時間の年間変動	79
図 2-39	「パ」国の太陽光照射量	79
図 2-40	環境関係の行政組織	85
図 2-41	IEEとEIAの承認手続きの流れ	87
図 2-42	ラビ川への下水排水ポンプ場と残土処分場予定地	94
図 3-1	プロジェクト対象深井戸数の選定アルゴリズムとその試算結果	114
図 3-2	プロジェクト対象深井戸 105 箇所位置図	117
図 3-3	ポンプ揚水量	120
図 3-4	全揚程	121
図 3-5	6.8 m ³ /min (4 cfs)ポンプの代表的運転点での運転状況	123
図 3-6	計画深井戸の標準仕様	127
図 3-7	概略工事工程	163
図 3-8	プロジェクト全体の実施工程	164
図 3-9	プロジェクト実施体制図	166

写真リスト

写真 2-1	WASA ワークショップ設備	66
写真 2-2	WASA ワークショップ予備品	67
写真 2-3	修理業者	68
写真 2-4	修理業者設備	68
写真 2-5	地元業者製作のポンプ部品	69
写真 2-6	モータ修理業者	69
写真 2-7	既設ポンプ設備	70
写真 2-8	軸受用注水ボックス	70
写真 2-9	既設塩素注入設備	72
写真 2-10	塩素剤の貯蔵・分配	72
写真 2-11	受電用変圧器 (200 kVA)	73
写真 2-12	オープン形 Y- Δ 始動方式	73
写真 2-13	直入れ始動方式、力率改善用コンデンサー取付け無	74
写真 2-14	力率改善用コンデンサーが取り外された状態の始動盤	74

略語集

略語	英文名称	和文名称
A.I.T.	Allama Iqbal Town	アラマ・イクバル・タウン
CDGL	City District Government Lahore	ラホール市役所
CDM	Camp, Dressor & Mckenry	CDM (米国コンサルタント)
AUQAF	AUQAF Department	宗教局
DIR	Director	部長
DMD(Engg)	Deputy Managing Director (Engineering)	WASA 副総裁 (工務担当)
DMD(O&M)	Deputy Managing Director (Operation & Maintenance)	WASA 副総裁 (維持管理担当)
DOE	District of Environment	環境区
DWL	Dynamic Water Level	動水位
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EPA	Environmental Protection Agency	環境庁
EPD	Environmental Protection Department	環境局
ERD	Economic Affairs Division	経済局
FY	Fiscal Year	会計年度
DG	Director General	LDA 総裁
HUDPHED	Housing, Urban Development & Public Health Engineering Department	住宅・都市整備・公衆衛生土木局
ICP	Induced Coupled Plasma	誘導結合プラズマ
IEE	Initial Environmental Examination	初期環境調査
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
LDA	Lahore Development Authority	ラホール開発庁
MD	Managing Director	WASA 総裁
LESCO	Lahore Electric Supply Company Limited	ラホール配電会社
NRW	Non Revenue Water	無収水
NHA	National Highway Authority	パキスタン高速道路庁
P&DD	Planning & Development Department	計画開発局
PD	Project Director	プロジェクト責任者
PHA	Parks & Horticulture Authority	公園緑化庁
PUIC	Punjab University, Institute of Chemistry	パンジャブ大学化学研究所
SDO	Sub-district Officer	サブディストリクト管理者
SWL	Static Water Level	静水位
TMA	Town Municipal Administration	区 (タウン) 役所

略語	英文名称	和文名称
T/Ws	Tubewells	深井戸
UFW	Unaccounted-for Water	無効水量
UU	The Urban Unit, P&DD	計画開発局都市インフラ課
WB	The World Bank	世界銀行
WASA	Water and Sanitation Agency	上下水道公社
WSP	Water and Sanitation Program	水道衛生プログラム
XEN	Executive Engineer	上級技師
Y-Δ	Star-delta	スターデルタ起動方式
単位系		
cfs	cubic feet per second ($\text{ft}^3/\text{sec} = 1.6992 \text{ m}^3/\text{min}$)	流量単位 ($\text{cfs} = \text{ft}^3/\text{sec} = 1.6992 \text{ m}^3/\text{min}$)
HP	Horse Power (=745.700 W)	動力単位 (馬力 = 745.700 W)
lpcd	litre per capita per day	水量単位
MGD	million gallon per day	水量単位 (1 MGD = 4,550 m ³ /day)
NTU	Nephelometric Turbidity Units	濁度単位 (度 (ホルマジン))

第1章 プロジェクトの背景・経緯

1-1 当該セクターの現状と課題

1-1-1 現状と課題

WHO/UNICEFの”Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation” (Updated April 2013)によれば、「パ」国の衛生的な水源への人口アクセス率は1990年の85%から2011年の91%へと改善したが、2011年における個別パイプ給水は都市部の58%に対し、農村部は23%と大きな格差が観られる（表 1-1）。WHO/UNICEFによれば、給水サービスへのアクセスを、使用者の住まいから1km以内の距離にあって少なくとも1人一日20リッターの水を使用できる状態をいい、衛生的な水源とは、個別パイプ給水栓、公共栓、深井戸、保護された掘り抜き井戸、保護された湧水、集水された天水を指す。

表 1-1 「パ」国の予想飲料水人口普及率

	Urban (%)		Rural (%)		Total (%)	
	1990	2011	1990	2011	1990	2011
個別パイプ給水	56	58	8	23	23	36
その他の衛生水源	39	38	73	66	62	55
その他の非衛生水源	4	4	8	7	7	6
表流水	1	0	11	4	8	3

Source: WHO/UNICEF, "Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation" (Updated April 2013)

しかし、都市部においても給水サービスの質は十分とは言えず、給水時間はカラチ（人口普及率 90%）で 5 時間、ラホール（同 89%）で 14～18 時間、イスラマバード（同 100%）で 2.5 時間に止まっている（表 1-2）。

「パ」国の 10 主要上下水道事業者の支出に対する収入の比率は 0.22～0.97 で、運営費を賄えておらず、累積赤字分は時々州政府からの補助金で相殺されている。

上下水道事業者の水道接続数+下水道接続数当たりの職員数はカラチで 7 人、ラホールで 4 人、イスラマバードで 10 人と事業者によって大きな開きがある。

プロジェクト対象都市であるラホール都市部の水道事業は給水契約者数は約 62 万戸、給水人口 577.2 万人で、規模としては「パ」国ではカラチに次いで大きい。水源を全量 474 本の深井戸から汲み上げられる地下水に依存している。しかし、地下水はすでに過剰汲み上げの状態にあり、地下水位の慢性的低下が続いており、地下水のヒ素汚染が顕在化し給水区域全域に広がっているのが認められる。

表 1-2 「パ」国主要上下水道事業者の比較

	Unit	Islamabad	Punjab					Sindh		North-West Frontier	Balochistan
			Faisalabad	Gujranwala	Lahore	Multan	Rawalpindi	Karachi	North Siddh	Peshawar	Quetta
Established Year		1960	1978	1997	1976	1992	1988	1983	2009	1980	1986
Technical data											
Water source		SW + GW	SW + GW	GW	GW	GW	SW + GW	SW	SW + GW	GW	GW
No. of water connections	nos.	67,827	110,452	29,375	587,595	43,996	92,468	1,090,000	30,000	15,064	67,660
Residential	nos.	58,232	107,792	28,069	551,514	42,088	84,800	890,000	27,000	14,760	62,941
Commercial	nos.	8,995	2,317	1,240	32,584	1,903	7,763	140,000	3,000	304	3,647
Bulk/industrial	nos.	600	80	66	nil	5	5	60,000	nil	nil	45
Government	nos.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	484
Charitable	nos.	-	-	-	3,497	-	-	-	-	-	-
Annual Water Use											
Residential	%	50	41	60	97	60	43	82	30	N/A	93
Commercial	%	15	13	2	2	15	26	18	3	-	7
Industrial	%	-	15	3	1	3	-	-	-	-	-
Charitable	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NRW	%	35	31	35	22	22	31	67	67	-	-
No. of sewerage connections	nos.	67,827	217,026	97,236	583,532	175,615	38,437	840,000	242,857	15,064	10,400
Residential	nos.	58,232	201,452	90,294	543,664	161,266	34,646	N/A	218,571	14,760	N/A
Commercial	nos.	8,995	14,899	5,995	31,909	14,282	3,791	N/A	24,285	304	N/A
Bulk/industrial	nos.	600	651	947	4,603	67	nil	N/A	nil	nil	N/A
Charitable	nos.	-	-	-	3,356	-	-	-	-	-	-
Staff	pers.	1,350	2,692	267	4,269	1,271	1,098	12,879	895	225	1,903
Professional	pers.	40	99	25	208	34	35	674	17	17	95
Others	pers.	950	2,593	242	4,061	1,271	1,063	12,205	859	185	1,808
Financial data											
Total Revenue	10 ⁶ Rs.	844,020	735,027	276,975	1,977,500	298,540	494,101	4,004,730	7,546	46,818	346,028
Annual revenue collection	10 ⁶ Rs.	224,120	438,907	369,662	1,977,500	172,394	266,962	4,004,730	3,310	42,966	41,435
a) Current bill	10 ⁶ Rs.	213,764	311,667	34,662	1,582,000	73,340	224,605	2,803,310	3,310	39,584	121,325
b) Arrears collection	10 ⁶ Rs.	10,342	127,240	335,000	395,500	99,054	31,980	1,201,420	0,000	3,382	N/A
Nontariff income	10 ⁶ Rs.	N/A	208,120	242,313	109,000	126,146	227,139	446,000	0,000	N/A	N/A
Provincial government	10 ⁶ Rs.	617,000	88,000	84,992	-	nil	nil	nil	76,696	N/A	652,275
Total Expenditure	10 ⁶ Rs.	961,751	1,700,286	284,805	5,772,861	1,371,712	565,194	5,403,800	N/A	166,280	652,275
Accumulative arrears	10 ⁶ Rs.	N/A	2,217,750	335,000	2,167,184	663,598	700,000	35,127,000	N/A	3,382	346,028
Accumulative WAPDA arrears	10 ⁶ Rs.	N/A	nil	nil	1,096,447	186,220	-	14,000,000	180,000	N/A	nil
Provincial ADP allocation	10 ⁶ Rs.	N/A	1,286,191	369,000	1,414,316	594,435	47,000	1,185,860	520,000	N/A	nil
Annual capital expenditure	10 ⁶ Rs.	961,751	879,237	284,805	1,368,938	665,080	26,179	1,671,000	171,360	N/A	652,275
Annual O&M expenditure	10 ⁶ Rs.	961,751	115,901	34,493	4,403,923	33,113	193,568	3,732,800	273,309	N/A	89,010
Salary expenditure	10 ⁶ Rs.	469,417	373,888	96,915	1,464,300	198,777	170,095	2,435,520	56,228	N/A	306,505
WAPDA billed amount	10 ⁶ Rs.	321,457	331,260	127,760	2,088,500	237,371	201,531	3,087,000	205,000	N/A	256,700
WAPDA paid amount	10 ⁶ Rs.	321,457	331,260	-	2,000,000	-	201,531	-	62,502	89,451	256,700
Releases	10 ⁶ Rs.	N/A	879,237	369,000	890,783	335,791	47,000	1,175,100	649,603	N/A	N/A
Expenditures	10 ⁶ Rs.	961,751	879,237	361,792	880,479	314,732	47,000	991,170	786,947	166,280	N/A
Ave. production cost of water/liter	Rs./L	0.0058	0.00471	1.088	0.007	0.004	0.0058	0.008	0.08	0.0079	0.0075
Ave. capital expenditure/conn./year	Rs./conn/yr	14,179	2,687	110,57	2,330,000	3,028	200	1,591,420	N/A	N/A	803,33
Operating Ratio		0.88	0.43	0.97	0.34	0.22	0.87	0.74	N/A	0.28	0.53
Annual Billing											
Residential	%	78	45	88	84	56	41	24	65	N/A	93
Commercial	%	-	1	5	16	32	30	76	10	-	7
Industrial	%	22	54	6	-	3	-	-	-	-	-
Others	%	-	-	1	0	9	29	-	25	-	-
Annual O&M Cost											
Salary	%	49	46	40	33	35	32	65	41	N/A	47
Power	%	33	40	45	46	54	28	7	30	-	39
Others	%	18	14	15	21	11	40	28	29	-	14
Consumer Service											
Ave. monthly water consumption/HH conn.	m ³ /conn.	60	25.85	No metering	54,072	48.6	78.83	20.25	17	237	49.6
Ave. water bill / month / conn.	Rs./mo/conn	150	291.56	100	287.4	60	135	449	30	219	125
Ave. availability of water	hrs/day	2.5	6.5	14	14-18	5	8	5	8	9	1
No. of water & sewerage service complaints	nos.	3,000	24,911	15,721	170,670	33,742	10,220	38,744	10,828	10,890	14,400
No. of pipe breaks repaired	nos.	150	62	197	26,646	2,513	841	5,575	820	7,300	6,480
No. of sewerage blockages reported	nos.	1,200	515	15,350	144,024	29,214	4,574	6,277	7,120	2,541	105
Metering ratio		nil	1.47%	nil	7.75%	nil	0.24	0	0	nil	nil
Population											
Total population	10 ⁶	0.9	3.1	1.7	6,152	1.8	1.3	20	1.8	0.55	2.8
Population served	10 ⁶	0.4	1.55	0.554	5,475	1.2	1.17	18	1.0	0.55	1.5
Population growth rate		5.19%	3.58%	3.00%	2.36%	2.79%	3%	4.02%	3%	3.51%	2.75%
Water Supply											
Annual production	10 ⁶	110	87.1	91,171	655	35.51	97.74	1,078.56	30,991	17.64	1,204.75
Total distribution pipes	km	1,400	1,471	372	7,700	1,049	1,150	5,813	73	370	1,900
No. of treatment plants		7	2	nil	nil	nil	1	8	6	4	nil
Sewerage											
Total sewer pipes	km	1,628	1,711	380	4,940	1,204	250	5,187	60	164.25	82
Annual sewage generated	10 ⁶ m ³ /yr	65	514.31	468.3	556	107.58	38.40	3784.75	47,416	34.28	nil
Wastewater collected	10 ⁶ m ³ /yr	13	390.88	468.3	855	107.58	nil	91.25	45,045	34.28	nil
No. of wastewater treatment plants		4	1	nil	nil	nil	nil	3	3	4	1
Level of wastewater treated											
Primary	10 ⁶ m ³ /yr	√	1.09	nil	screening	nil	nil	√	√	nil	nil
Secondary	10 ⁶ m ³ /yr	√	1.09	nil	nil	nil	nil	√	nil	nil	nil
Tertiary		nil	nil	nil	nil	nil	nil	nil	nil	nil	nil
Service											
Water coverage		100%	50%	32%	89%	60%	90%	90%	40%	100%	70%
Sewerage coverage		100%	70%	65%	87.69%	60%	35%	80%	85%	100%	12.5%
Water availability	hrs/day	2.5	7	14	14-18	5	8	5	8	9	1
Per capita consumption	L/day	273	112.5	227	327	225	150	135	77	311.85	59
Efficiency											
Ave. unit production cost	Rs./m ³	5.72	4.71	0.109	6.73	4.14	5.79	7.69	0.08	7.90	0.75
Billing efficiency		100%	92%	25%	-	30.90%	100%	70%	80%	100%	60%
Collection efficiency		95%	51%	40%	98%	88.6%	75%	43%	60%	92.78%	21%
Financial		-	-	-	80%	-	-	-	-	-	-
Physical		-	-	-	64.14%	-	-	-	-	-	-
Staffing ratio		10	8	5	4	6	8	7	3	7	24

Source: "Pakistan Water and Sanitation Operators Directory", WSP, Oct. 2012

SW: Surface Water GW: Groundwater

1-1-2 開発計画

(1) ビジョン2030

「パ」国政府が2007年8月に公表した「2030年のビジョン（Vision 2030）」は、「都市の上下水道」について以下のように述べている。

都市水道に係る戦略は、急速に増大する生活用水及び工業用水に対する需要を満たし、新たな水移送システムへの投資を増やし、既存のシステムをもっと効率的に管理し、貧しい家庭に対する飲料水供給を確実なものにし、実現可能なところでは水の循環を図り、費用回収を強化することに基づく。衛生施設改善オプションは、腐敗槽監理の改善を含めて、より対費用効果のよい支払い可能な手段を通じて人間の排泄物の排水管理と処分をカバーする。廃棄物に対する戦略は、総合的な廃棄物監理システム及び衛生埋立を構築し、ごみ回収と発電を通じて廃棄物を最小化することにある。

(2) 国家飲料水政策

2009年に発表された「国家飲料水政策」ドラフトは「現状」で、「現在、パキスタン国民の65%以上が安全な飲料水へのアクセスを保有していると考えられる。しかし、都市部と農村部及び州・地域間には飲料水普及率に大きな偏りがある。供給される飲料水の質も劣悪で、細菌・ヒ素・フッ素及び硝酸塩が要注意である。既存の給水システムの持続可能性もまたセクター内の大きな問題となっている。」と述べ、「目標と目的」で政策の第I目的に、「2025年までにパキスタンのすべての国民に安全で持続可能な飲料水供給へのアクセスを確保する。」と謳い、「政策の原則」で「(1)安全な飲料水へのアクセスはすべての国民の人間として基本的権利であり、すべての国民にそれを整備することが政府の責務はである。(2)飲料目的への水の配分はその他の用途よりも優先される。」としている。

(3) パンジャブ州飲料水政策

パンジャブ州政府は2010年に公表した「パンジャブ飲料水政策（Punjab Drinking Water Policy）」において、政策の原則として、以下のことを謳っている。

- 生活目的のための飲料水への配分はその他の用途すべてに優先する、
- 法律・規制並びに住民意識の向上を通じて、表流水と同様に地下水帯水層をあらゆる種類の汚染から保護することを最優先する、

また、政策目標として法制面では、「パンジャブ州政府はすべての利害関係者（州政府関係部局、選挙で選ばれた代表者及び市民社会）の同意を得て、「パンジャブ都市用水法

(the Punjab Municipal Water Act)」を制定する。この法律は制定法に基づく独立した組織の設立を規定しており、これによって政策の根本方針、基準及びこの法律で考慮しているサービス提供機関の達成状況を規制する。この法律は2013年までに制定・施行する。」としている。

制度面では、「パンジャブ州政府は、組織改革プログラムに着手するが、これはサービス提供の改善だけでなく、合理的な料金設定・組織運営の改善・達成状況モニタリングシステムの導入といった関連問題にも取り組むことによって、2016年までにWASAが前向きで説明能力のある財務的に実施可能な組織に必ずや変身する。WASAはまた、2016年までにすべての顧客へのメータ取り付けを確実に行う。州政府はさまざまな住民参加アプローチを促進する施策を採ってサービス提供の様々な面での住民参加を確保する。」としている。

(4)ラホールにおける開発計画

ラホールは水源を全量474本の深井戸から汲み上げられる地下水に依存している。このため、市街化区域の拡大、人口の増大に対して深井戸の数を増やすことで対応してきた。しかし、地下水位の慢性的低下、地下水のヒ素汚染の顕在化によって水源を全量地下水に依存することへのリスクが認識され、パンジャブ州政府とWASAは、「BRB灌漑用水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study for Construction of Water Treatment Plant to Treat the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore)」を本年度から開始する予定になっている。また、当面の対策としてヒ素濃度が20 µg/Lの深井戸を対象に飲料水及び台所用水相当分をヒ素除去装置を設置して処理し、(住民がそのまま水を汲みに行く) 公共給水栓方式で給水する事業を2012年より着手しており2年間で100箇所の設置を目指しており、これに続いてさらに100箇所増設を計画している。

1-1-3 社会経済状況

「パ」国は、西はイラン及びアフガニスタン、北は中国、東はインドと接し、南はアラビア海に面する、79.6 km²の国土面積に180.7百万人の人口を要する人口規模ではアジアで第四の大国で、イスラム教を国教に定めている。識字率は2010/2011年度パキスタン経済白書で58%となっている。

主要産業は農業及び繊維産業で、主たる輸出品目は、綿布・綿糸・ニットウェア等の繊維・同製品及びコメ等の食品となっている。2010/2011年度パキスタン経済白書で一人当たりGNIは1,372米ドル、同国中央銀行年次報告書2010/2011年度で物価上昇率は13.9%、失業率は6.0%とされている。

プロジェクトの対象都市であるラホールはパンジャブ州の州都で政治・経済の中心となっているが、インド国境に近いこともあり、「パ」国の重要軍事拠点の一つでもあり、軍の管轄区域を有する。パンジャブ州統計局の統計年報(2012年)によれば2010年にラホール

ルには1986工場あって、総従業員数は166,470人とされている。従業員数が1,000人～5,000人規模の工場は15を数えるが、5,000人を超える工場はなく、従業員の約半数は500人以下の規模の工場に勤務しており、総じて中小企業が多い。また、業種から観ると繊維関連産業が約1/3を占めているが、これを除くと就業者は幅広い分野に分散している。

1-2 無償資金協力要請の背景・経緯及び概要

WASAは水道水源の全量を地下水に依存しており、給水区域内全域に広がる474本の深井戸にポンプを設置して揚水し、塩素滅菌して基幹配水管網に直接送水している。しかし、以下の対策を早急にとる必要がある。

- 105箇所の深井戸及びポンプ設備の揚水量が低下し、しかも電力を浪費している。
- 「パ」国はここ数年大きな電力不足に直面しており、この状況は効果的対策が緊急にとられなければさらに悪化するといわれている。WASAは幾つかの深井戸に自家発電機を設置する等の対策を行ってきたが、これも燃料価格の高騰に遭遇している。
- エネルギー価格が高騰する時代にあつては電力費の抑制と過剰な電力使用量のチェックが肝要である。
- WASA試験室はヒ素及びその他重金属を試験するのに十分な近代的設備を保有していない。いまや、水源である地下水のヒ素汚染が社会的問題となっており、原子吸光質量分光分析装置、誘導結合プラズマ（ICP）発光分析装置を整備するときが来ている。
- すべての深井戸に元メータを設置しメータ検量ワークショップを高度化することにより揚水量を正確に把握する。

このような状況から、表 1-3 に示す内容の「パ」国要請書（2012年9月7日）が提出された。

表 1-3 「パ」国要請書の内容

	項目	内容
1	既存深井戸のポンプ及びモータの交換、及び深井戸の掘り直し	<ul style="list-style-type: none"> ● 既存 4 cfs (6.8 m³/min)立型タービンポンプ及びモータの交換 × 25 セット ● 既存 2 cfs (3.4 m³/min)立型タービンポンプ及びモータの交換 × 80 セット ● 105箇所の深井戸のその他付属品一式 ● 深井戸のさく井 67箇所
2	太陽光発電による地下水給水システムの調達及び設置	<ul style="list-style-type: none"> ● 4 cfs (6.8 m³/min) 規模のもの一式 ● 3 cfs (5.1 m³/min) 規模のもの一式 ● 2 cfs (3.4 m³/min) 規模のもの一式 システムはは深井戸、ポンプ場上屋、深井戸ポンプ設備、電気設備、太陽光発電システムを含む 注) cfs はcubic feet per second の略 (1 ft ³ /sec = 1.6992 m ³ /min)
3	エネルギー監査機材	<ul style="list-style-type: none"> ● エネルギー・アナライザー

		<ul style="list-style-type: none"> 携帯デジタル式タコメータ クランプ・メータ サーモ・レザー 携帯超音波流量計 振動ペン ラップトップ型PC 上記を5セット
4	WASA水質試験室の改善	<ul style="list-style-type: none"> オフィスの自動化 分析機器 微生物水質試験機材 その他（COD/BOD設備、紫外線装置）
5	水道メータの検定・修理のためのワークショップと機材	

1-3 我が国の援助動向

表 1-4 「パ」国に対する我が国の援助動向

(1) 無償資金協力

協力案件名	金額 (億円)	交換公文 (E/N) 署名日	贈与契約 (G/A) 署名日	進捗状況等
ファイサラバード上水道整備計画	44.42	2008/7/23		完了
アボタバード市上水道整備計画（詳細設計）	0.53	2010/2/17	2010/2/17	完了
アボタバード市上水道整備計画	36.44	2010/7/27	2010/9/14	施工・調達中
ラホール市下水・排水機材緊急復旧計画	12.23	2010/8/26	2010/9/27	完了
ファイサラバード上水道拡充計画	7.99	2010/8/26	2010/9/27	完了
ラホール給水設備エネルギー効率化計画				調査中
ファイサラバード市送水施設改善計画				調査中
グジュランワラ下水・排水能力改善計画				調査中

(2) 有償資金協力

協力案件名	金額 (億円)	借入契約 (L/A) 署名日
首都圏給水事業（シムリ）	57.50	1989/3/30
首都圏給水事業（カンブールI）	125.18	1989/3/30
カラチ上水道改善事業	103.00	1994/11/22

(3) 開発調査・技術協力・その他

協力案件名	本プロジェクトとの関わり	調査完了
案件形成に係る基礎調査（上下水道）	なし	2007/12
カラチ上下水道整備計画調査	なし	2008/6
ラホール上下水道事業準備調査	Phase 1（2010-2017）事業として以下を提案 ・ 代替水源のためのM/Pの策定	2010/7

	<ul style="list-style-type: none"> • UFW、NRWの削減（メータの設置等） • 水質の改善（塩素注入装置の設置等） • O&M機器の調達 • 上記に係るコンサルティング・サービス 	
ラホール上下水道事業計画支援有償専門家派遣	エネルギー費削減をテーマにWASA内部に専門委員会を立ち上げて対策を討議	2010/4～2011/9
ラホール上下水道事業制度改善実施支援有償専門家派遣	なし	2012
パンジャブ州WASA能力改善プロジェクト	パンジャブ州5WASAの維持管理に関わる職員の能力アップ	準備中

1-4 他ドナーの援助動向

(1) WASAに対する他のドナーからの援助実績

ラホールWASAに対する過去5カ年のドナーの援助実績を表 1-5 に示す。

(2) 本プロジェクトとの関連性

本プロジェクトでは一部の深井戸についてWASAによるヒ素除去施設の設置を前提としているが、これらはWASAが現在申請中のPC-1（100箇所）のヒ素除去施設の設置によってカバーされることになる。

表 1-5 ラホールWASAに対する他ドナーの援助動向

プロジェクト名	援助国	内容	実施期間	援助額	「パ」国負担
パンジャブ州都市改善	世界銀行	パンジャブ州5大都市の都市サービスの改善（PCGIP）	2013/14～2017/18	UD\$150mil. *	—

* ラホールへの配分額はUS\$ 42.7 mil. (29%) で、そのうちWASAにはRs.353.557百万が配分され、一部は下表に示すように電力に充当されている。

対象コード番号	費目	WASA 全部門の補修・維持スキームに係る調達計画	2013-14年に実施済みの補修・維持スキームに対する請求分の返済に係る調達計画
327	水道管	—	Rs.78.195 百万
331	機械・設備の補修・維持用資材	Rs.43.405 百万	
328-A	排水スキーム	Rs.31.957 百万	
361-362	電力・エネルギー	-	Rs.200.000 百万
合計		Rs.75.362 百万	Rs.278.195 百万

第2章 プロジェクトを取り巻く状況

2-1 プロジェクトの実施体制

2-1-1 ラホール水道事業の概要

(1) 概要

パンジャブ州の州都であるラホールは、シンド州の州都であるカラチに次ぐ「パ」国第二の都市で、2012年の都市部予想人口¹⁾は7,397,000人とされている。

ラホールの水道事業はラホール上下水道公社（ラホール Water and Sanitation Agency: WASA、以下「WASA」という）によって運営されている。WASAは2010/11年の給水区域人口を6,152,000人、給水人口を5,475,000人²⁾として、人口普及率は89.0%であるとしている。WASAは水源を全量474本の深井戸からの地下水に依存している。2013年4月現在のWASAの契約給水戸は613,364戸で、そうちのメータ付き410,237戸、メータなし203,127戸で、一日配水量は1,815,450 m³/day（399 MGD）、無収水率（Non Revenue Water: NRW）は39%で、一人1日給水量は195 Lpcd（1戸当たり人数を9.34人として）となっている。

経常収支は後述するように料金収入で維持管理費を賄えておらず、2012/13年で営業収支（収入／支出）は0.55で、赤字分が貯まると州政府からの補助金によって相殺する方法をとっており、財政的には自立できていない。

郊外の農村部水道は州政府住宅都市整備公衆衛生土木局（Housing, Urban Development and Public Health Engineering Department: HUD&PHED）の指導・監督の下に住民組織（Community-Based Organization: CBO）によって運営されている。また、軍の管轄区域については軍がやはり地下水を水源とする水道事業を独自に運営している。

(2) 組織

WASAの組織は図 2-1 に示すように、総裁（Managing Director: MD）の統括の下に、それぞれ、エンジニアリング（Engineering）、維持管理（Operation and Maintenance: O&M）、財務・業務・経理（Finance, Administration & Revenue: A, F&R）担当の副総裁（Deputy Managing Director: DMD）が置かれ、その間に企画・評価（Planning & Evaluation: P&E）担当部長（Director: DIR.）が秘書役として介在し、WASAの経営トップグループを形成している。

2013年6月末現在、エンジニアリングには、計画・設計（Planning and Design: P&D）、調達・在庫管理（Procurement and Store: P&S）、建設（Construction）、水文（Hydrology）、

¹⁾ “Punjab Development Statistics 2012”, Bureau of Statistics, Government of the Punjab

²⁾ “Pakistan Water and Sanitation Operators Directory”, Water and Sanitation Program (WSP)

処理場（Waste Water Treatment: WWT）部門が所属し、178名の職員を擁する。維持管理はWASAの現業部門で、管轄区域を6つに分けてそれぞれの区域の水道・下水道・排水施設の日常の維持管理を行っており、4,750名の職員を抱えている。深井戸については1ヶ所のポンプ場を4人3交代制で運転している。また、財務・業務・経理は業務・研修・財務・経理・プログラミングに分かれ、特に経理は5つの地域事務所を有して、会計処理・苦情対応・回収を行っている。職員数は729名を数える。

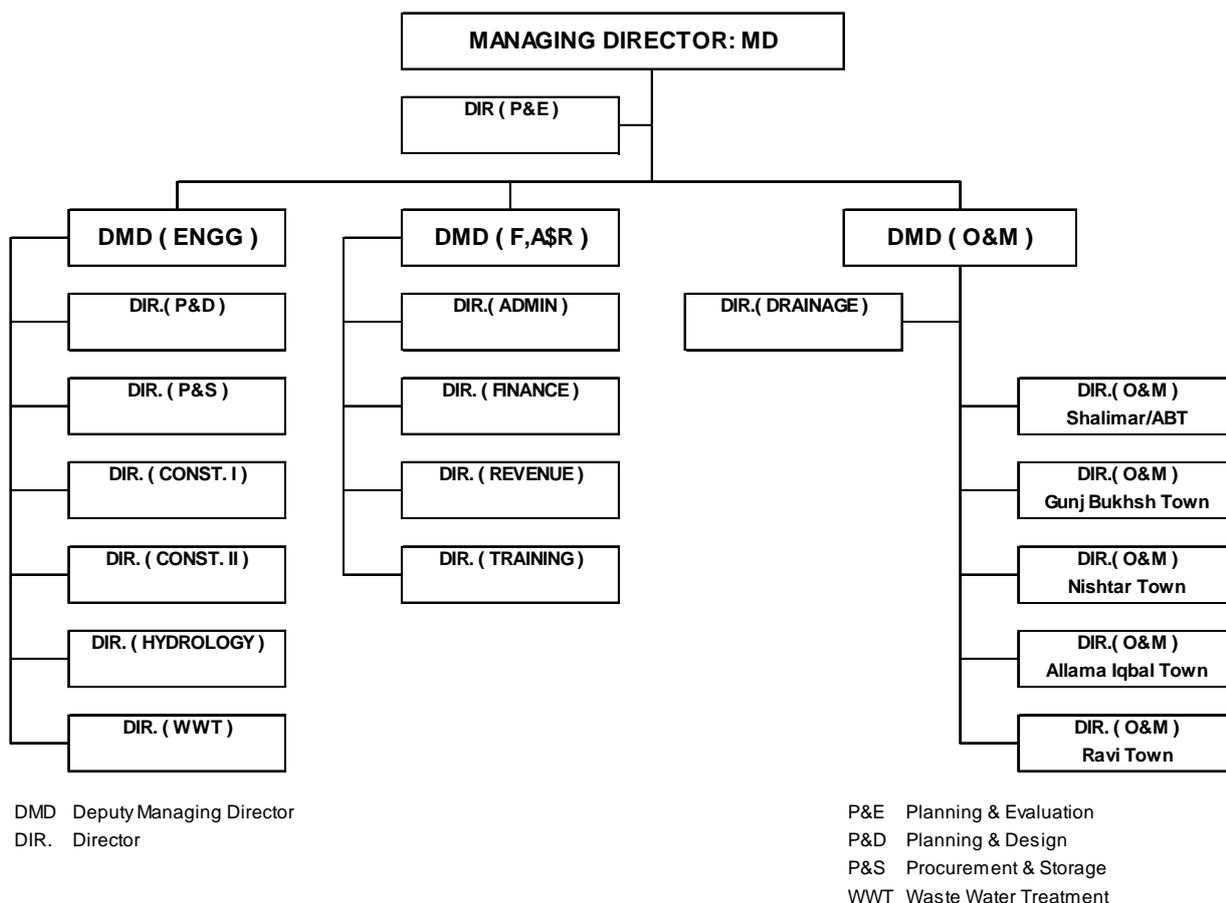


図 2-1 ラホールWASA組織図

(3) 財務状況

パキスタン国における会計年度は7月1日～6月30日であり、年度表示が2012/13となっているときは、2012年7月1日～2013年6月30日の期間を指す。

表 2-1 及び図 2-2 に示すように2004年の水道料金値上げによってWASAの営業収支は2008/09まで収入と支出がほぼバランスする状態を保っていたが、UIPの減少と電力費の増加に拠って営業支出に対する営業収入の比率は0.76と2009/10年に急速に悪化し、要望した水道料金値上げ申請が実現していないこともあって、WASAの財務状況の悪化に歯止めが掛からず、再び州政府からの多額の補助金に依存する状態が続いている。

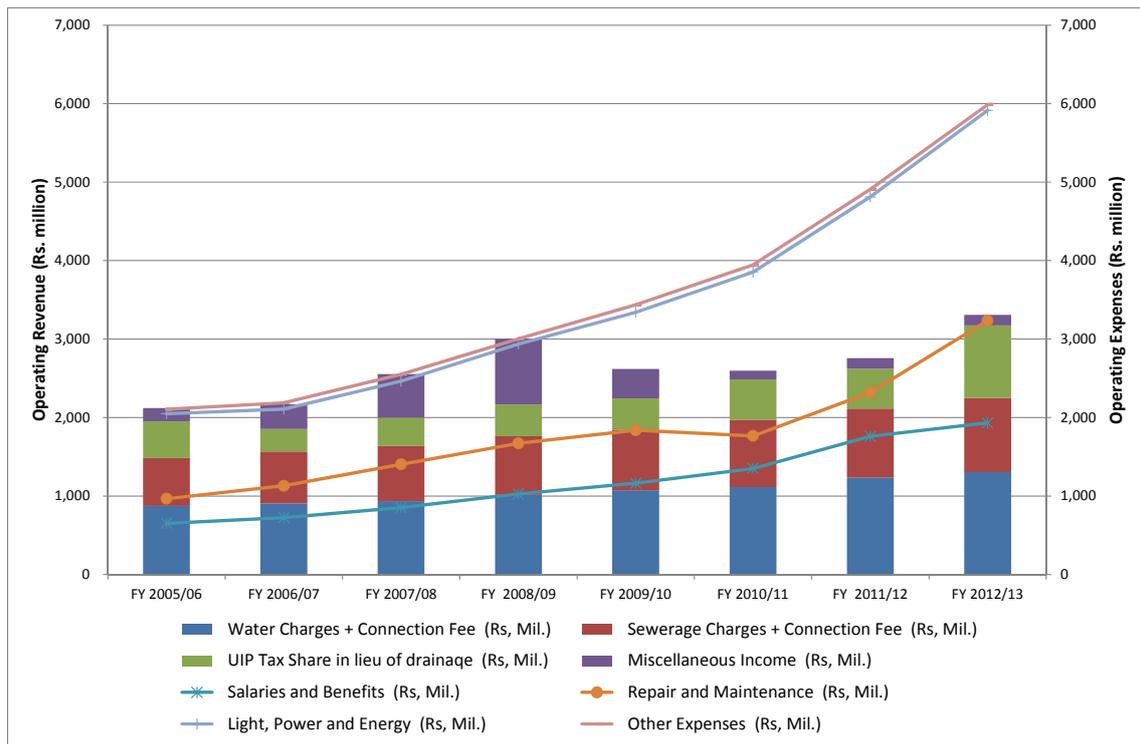
これを過去5年間における支出内訳（**図 2-3**）で見ると、営業支出総額は2007/08年のRs.2,552百万から、2012/13年にはRs.5,987百万へと135%増加し、その内訳は人件費127%、修繕維持費137%、電力費153%の増加で、なかでも電力費の増加が際だっている。営業支出総額に対する電力費のシェアは、2005/06年の51.4%から2007/08には41.5%まで低下したものの、2012/13年には44.7%まで盛り返している。

表 2-1 WASAの営業収支

		FY 2005/06	FY 2006/07	FY 2007/08	FY 2008/09	FY 2009/10	FY 2010/11	FY 2011/12	FY 2012/13
Number of Tubewells	(nos.)	400	406	417	424	460	452	457	484
Water Production	(MGD)	340	330	334	335	348	329	329	334
Accounted for Water	(MGD)	214	211	222	211	219	217	217	219
Unaccounted for Water	(MGD)	126	119	112	124	129	112	112	115
Number of Metered Connections	(nos.)	237,752	259,911	273,611	291,502	314,564	352,877	265,713	411,750
Number of Unmetered Connections	(nos.)	301,097	275,304	271,784	269,560	265,116	232,220	229,103	202,409
Water Charges + Connection Fee	(Rs, Mil.)	874	907	935	1,016	1,075	1,114	1,236	1,305
Sewerage Charges + Connection Fee	(Rs, Mil.)	612	660	705	747	770	860	878	944
UIP Tax Share in lieu of drainage	(Rs, Mil.)	467	289	360	403	399	513	509	926
Miscellaneous Income	(Rs, Mil.)	169	314	554	837	377	110	134	133
Total Operating Revenue	(Rs, Mil.)	2,122	2,170	2,554	3,003	2,621	2,597	2,757	3,308
Salaries and Benefits	(Rs, Mil.)	652	725	852	1,027	1,164	1,351	1,761	1,933
Repair and Maintenance	(Rs, Mil.)	315	406	553	645	675	416	559	1,302
Light, Power and Energy	(Rs, Mil.)	1,083	977	1,060	1,265	1,503	2,088	2,491	2,678
Other Expenses	(Rs, Mil.)	55	81	87	68	95	90	97	74
Total Operating Expenses	(Rs, Mil.)	2,105	2,189	2,552	3,005	3,437	3,945	4,908	5,987
Operating Profit (Loss)	(Rs, Mil.)	17	(19)	2	(2)	(816)	(1,348)	(2,151)	(2,679)
Operating Profit (Loss) B/F	(Rs, Mil.)	2	19	-	2	-	(816)	56	684
Subsidy by the Government	(Rs, Mil.)	-	-	-	-	-	2,220	2,779	2,179
Cumulative Surplus (Deficit)	(Rs, Mil.)	19	-	2	-	(816)	56	684	184
Collection - Current Demand	(Rs, Mil.)	1,251	1,295	1,357	1,448	1,485	1,568	1,693	1,787
Collection out of Arrears	(Rs, Mil.)	235	272	283	315	360	405	421	462
Total Collection in Fiscal Year	(Rs, Mil.)	1,486	1,567	1,640	1,763	1,845	1,973	2,114	2,249
Arrears Balance - Current	(Rs, Mil.)	383	375	395	375	408	334	303	288
Arrears Balance B/F	(Rs, Mil.)	1,548	1,659	1,751	1,831	1,846	1,989	2,321	2,625
Cumulative Arrears	(Rs, Mil.)	1,931	2,034	2,146	2,206	2,254	2,323	2,624	2,913
Source		(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)

(1) "Six Year Businwss Plan (FY 2010/11 to FY 2015/16)", December 2010, JICA Loan Expert

(2) Division of Finance, WASA



Source: Division of Finance, WASA

図 2-2 WASAの営業収支

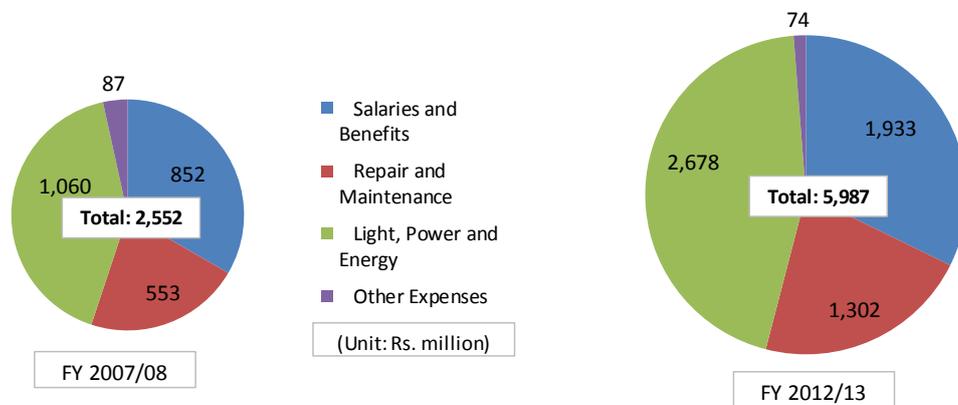


図 2-3 過去5年間におけるWASAの支出内訳の変化

(4) ラホール水道事業の課題

1) 地下水水源の問題

(a) 地下水位の低下

WASAは水源を全量474本の深井戸からの地下水に依存している。このため地下水位の低下が進行している。これまでのところ地盤沈下あるいは塩水侵入等の問題は確認されていないものの、地下水位の低下が深さ何mまでなら許容されるのか分からないため、

懸念されている。

- 1975年にCDMは、Shadman Colony近くにおける1955年～1974年の最大地下水位降下量は45ftで、年間降下速度は2.25 ft/yr (0.68 m/yr)と予測している。
- ”Integrated Master Plan for Lahore – Volume 1 (2002)”は、1987年～2000年の年間平均地下水位降下速度は2.03 ft/yr (0.62 m/yr)と述べている
- 2005年～2008年におけるWASAの各Sub Divisionの代表的深井戸の地下水位降下量を調べてみると、降下は22地点中20地点で発生しており年間平均水位降下速度は0.92 m、すなわちほぼ1 mで、前述の予測値よりも早くなっている。

(b) 地下水のヒ素汚染

ラホールの水源となっている深井戸のヒ素汚染が明らかになったのは、連邦政府科学技術省の研究機関であるPCRWR (Pakistan Council for Research in Water Resources) が、市内を16の升目に区切ってそれぞれの代表地点で2002年～2006年の5年間にわたってヒ素濃度の追跡調査を行ったのが嚆矢とされる。それによれば、2002年にヒ素濃度がWHO水質ガイドラインを超えていたのは16地点中11地点であったが、2003年には全地点でWHO水質ガイドライン (10 µg/L) を超え、2004年には2地点で「パ」国基準 (50 µg/L) を超え、全体としてヒ素濃度は上昇傾向にあることを指摘した。

2010年6月、州環境保護局がパンジャブ大学化学工学科のクロスチェックを受けたいうえで、WASAの深井戸392箇所を調査して253箇所がヒ素に汚染されていることを公表し、この時点ではヒ素による健康被害はいまだ確認されていないとも述べている。

これに対し、WASAは工科大学 (University of Engineering and Technology) にヒ素濃度のクロスチェックを依頼したが、その調査結果はWASAの深井戸466箇所中、WHO水質ガイドライン以下273箇所 (58.6%)、WHO水質ガイドラインを超え「パ」国基準以下のもの173箇所 (37.1%)、「パ」国基準以上20箇所 (4.3%)、というものであった。WASAはこれとは別にパンジャブ大学化学研究所に分析精度が最も良いとされるICPによるヒ素濃度の分析を依頼している。

これによれば、459箇所中WHO水質ガイドライン以下67箇所 (14.6%)、WHO水質ガイドラインを超え「パ」国基準以下のもの378箇所 (82.4%)、「パ」国基準以上14箇所 (3.1%) となっている。

(c) 表流水との組合せによるハイブリッドシステムの構築

このような地下水位の低下及び地下水のヒ素汚染の状況は、本JICA調査でも確認されている。水源を全量地下水に依存することへのリスクが認識され、パンジャブ州政府とWASAは、「BRB灌漑用水路から表流水を取水して処理する浄水場建設に係るフィージビリティ・スタディ (Feasibility Study for Construction of Water Treatment Plant to Treat

the Surface Water Intake from BRB Canal, Lahore)」を本年度から開始する予定になっている。また、当面の対策としてヒ素濃度が20 µg/Lの深井戸を対象に飲料水及び台所用水相当分をヒ素除去装置を設置して処理し、（住民がそこまで水を汲みに行く）公共給水栓方式で給水する事業を2012年より着手しており2年間で100箇所の設置を目指している。

2) 「パンジャブ都市用水法」の制定

2009年にPHED及びUUの草案作りから始まって、WSP、ADP、JICA等の助言を受けた「パンジャブ都市用水法」は、現在、地方自治・コミュニティ開発局にて検討中であり、その後、法制局にて精査されてから、法案として州議会に上程され、承認を得てから制定される。したがって、目標とする2013年中の制定は微妙な状況にある。

3) 財政状況の改善

一方、2010年のJICAが実施した「ラホール上下水道整備事業計画支援」では6箇年ビジネス計画を立案し、WASA財政状況健全化の第一段階として料金収入で運営費を賄うことを目的として、2011/12より5年間毎年30%ずつ値上げすることを提案したが、2004年に改訂された料金体系はその後改訂されることもなく今日に至っており、2016年までに財務的に実施可能な組織に変身させるという「パンジャブ飲料水政策」の目標達成は極めて困難な状況に置かれている。したがって、WASAとしては支出の削減という内部努力に傾注せざるを得ない状況にある。

6箇年ビジネス計画では内部努力として以下の目標を掲げている

- NRW及び不法接続による盗水の2%削減
- 予想／計画される補修及び維持管理に要する費用の5%削減
- 予想／計画される電力費の5%削減
- 予想／計画される事務費の2%削減

この中でも、運営費に占める電力費の削減はWASAにとって喫緊の課題となっており、WASAの深井戸474本中105本（約22%）を対象とする本プロジェクトの実施は、運営費の48.1%（2009/10年度実績）を占める電力費削減の一端を担うものである。

しかし、電力料金は国の管轄で燃料価格調整メカニズム（Fuel Price Adjustment Mechanism）によって石油価格の値上がりを電気料金に転嫁できるようになっているのに対し、水道料金は州の管轄で政治的思惑から値上げもままならない状況にある。このため、とくに水源を地下水に全面依存しそのポンプ揚水によって直接給水を行っているWASAは電気料金値上げの影響をまともに受ける形となっている。したがって、WASAの水道事業経営の持続可能性を確保するには料金値上げを通じて早急に料金収入で運営費を賄うようにするか、WASAの赤字分は今後とも州政府からの補助金によって補填され続ける必

要がある。

2-1-2 調査対象地域のWASA深井戸と地下水状況

(1) WASA深井戸の現状

WASAは、ラホール市の中心部地域約 350 km² 地域で地下水による給水を行っている。それに隣接する軍管轄地域、飛行場、及びその周辺のCBO給水地域（住民組織による給水施設運営地域）は含まれない。WASA給水地域には、約480本の深井戸が存在し市内に給水している。地下水が唯一の水源となっている。

井戸仕様は、標準井戸構造に基づいて、6.8 m³/min（4 cfs）と3.4 m³/min（2 cfs）の2仕様に分かれており、井戸深度、ポンプ井部分径、及びスクリーン径に違いがある。6.8 m³/min（4 cfs）と3.4 m³/min（2 cfs）のいずれの井戸構造も、ポンプ井部分とスクリーン部分の口径が異なるテレスコープタイプである。6.8 m³/min（4 cfs）と3.4 m³/min（2 cfs）の井戸は、ポンプ井部分の長さは同じであるが、6.8 m³/min（4 cfs）井戸の方が3.4 m³/min（2 cfs）井戸より揚水量が大きい為にスクリーン部分が高い。また、スクリーン部分は、同じ6.8 m³/min（4 cfs）井戸、或いは3.4 m³/min（2 cfs）井戸であっても、井戸建設場所ごとの帯水層を含む地下地質条件が異なるために、スクリーン長に違いがみられる。井戸仕様を表 2-2 に示す。標準井戸構造図を図 2-4 に示す。

表 2-2 標準井戸仕様

No	井戸計画揚水量	ポンプ井ケーシング径	ポンプ井ケーシング長	スクリーン径	井戸深度		
					最大	最小	平均
1	6.8 m ³ /min (4 cfs)	20" (500 mm)	240' (73 m)	10" (250 mm)	252 m	155 m	188 m
2	3.4 m ³ /min (2 cfs)	18" (450 mm)	240' (73 m)	8" (200 mm)	196 m	114 m	150 m

(注) ポンプ井ケーシング長は、スクリーン部分とのオーバーラップ部分(30'≒9 m)を含まない正味のポンプ井部分の長さ、スクリーン部分の長さは、井戸建設サイトの地下地質条件により場所ごとに異なる。この標準仕様は、2005年頃策定された。それ以前の仕様とは、ポンプ井ケーシング径や長さが異なる。

井戸材質は、全てのWASA井戸で、ポンプ井ケーシング部分が炭素鋼鋼管（mild steel）及びスクリーン部分がグラスファイバー製である。両者ともにパキスタンで製造されており、容易に調達可能である。グラスファイバー製のスクリーンは、縦に機械切りしたものであり、1.2～1.5 mmのスリット幅を持ち、その開口率は10%である。

水中ポンプを使用している15～20箇所の深井戸を除くと、残りの深井戸では、6.8 m³/min（2 cfs）又は3.4 m³/min（2 cfs）の縦型タービンポンプが設置されており、地上部の井戸上部にモータが設置されている。揚水管とモータの軸動力部分の境目から多量の漏水があり、台座の部分の孔から井戸内に流入している。塩素注入は、この台座部分の孔から簡易な注入装置を利用して井戸内に注入されている。しかしながら、実際には、塩素注入容器の中に塩

素水がほとんど入っていない例も多く（調査対象147箇所中29箇所）見受けられた。

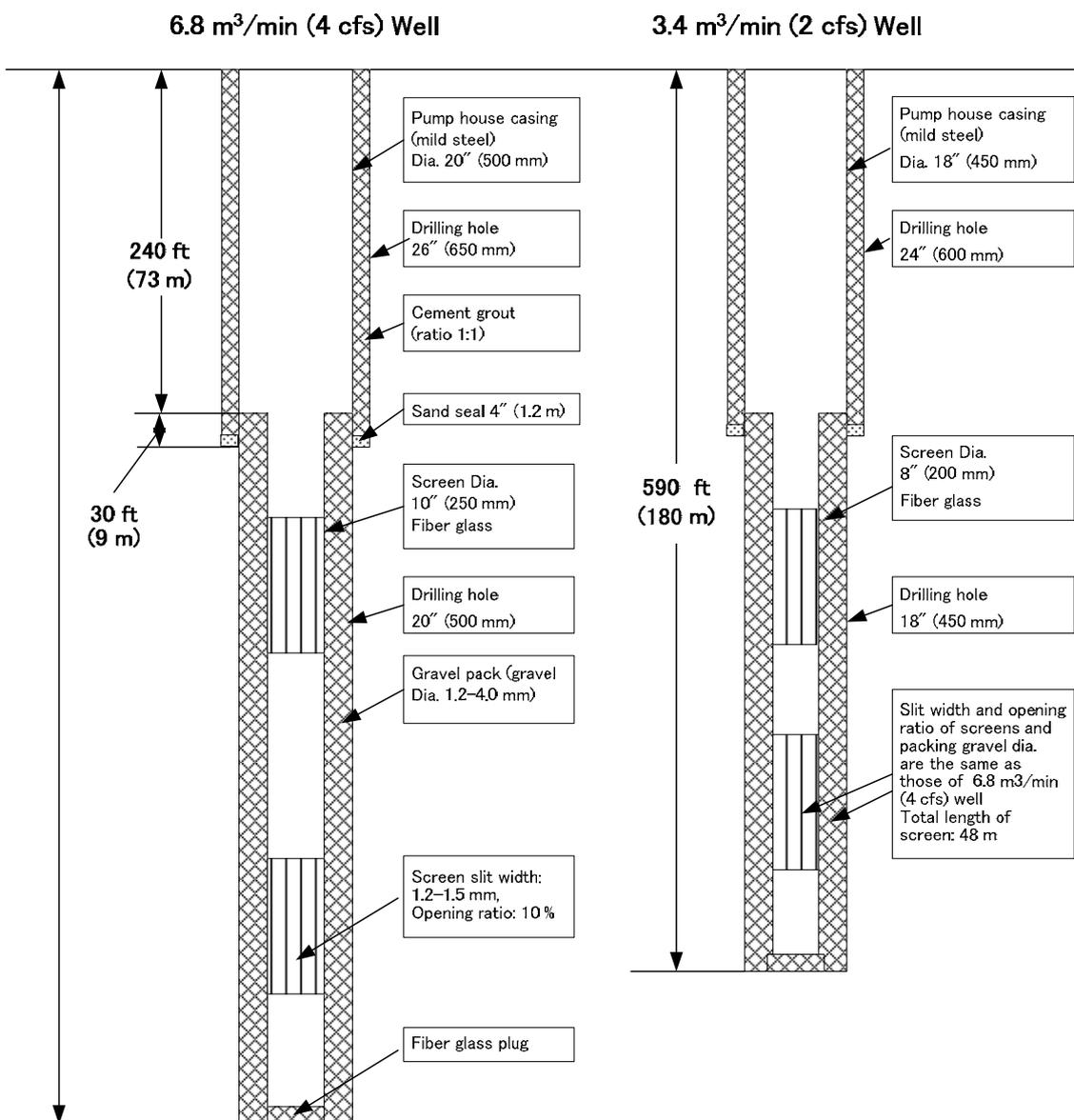


図 2-4 WASA 井戸標準構造図

（スクリーン長は、帯水層の地質状況により調節するため、場所ごとに多少異なる。）

井戸施設は、コンクリート支柱レンガ積みのポンプ場（約 $6\text{ m} \times 6\text{ m} \times \text{H}5\text{ m}$ ）にパネル盤とともに設置されている。天井には、井戸ポンプ引き上げ用の約 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 程度の取り外し可能な四角い天穴が存在する。この天穴を利用して、手動又はクレーン等でポンプの引き上げ・設置を行う。

WASAは、全て建設業者に井戸建設を委託発注しており、自前では全く掘削しておらず、工事監理のみを行っている。そのため、井戸建設機材は全く保有していない。

井戸は、発注時に標準デザインに基づき、既に、揚水量 $[6.8\text{ m}^3/\text{min} (2\text{ cfs})$ 又は $3.4\text{ m}^3/\text{min}$

(2 cfs)]が定まっております、その決定に従って設置するポンプ容量が決められ、設置される。井戸建設時に、通常実施されるような揚水試験（段階揚水試験・連続揚水試験・回復試験）は実施されておらず、井戸仕上げ時に、元々決定されている揚水量の75%、100%、125%、150%でそれぞれ約5時間以上揚水し、砂排出量が10 mg/L～痕跡程度であれば、井戸完成としている。そのため、井戸毎の限界揚水量や帯水層定数等を決定するための揚水試験は全く行われていない。井戸標準デザインや揚水試験の方法等は、Camp Dressor and McKee Ltd（ラホール Water Supply, Sewerage and Drainage Project, 1975）に基づいているとのことである。スクリーン構造に基づく可能井戸流入量を計算してみると、井戸建設時の新設井戸でさえ計画揚水量が可能井戸流入量よりも過剰揚水になっている場合が多い。

(2) 地下水位及び帯水層状況

地下水位は、一般的な傾向として、ラビ川右岸地域で浅く、11.35 m～19.25 mである。ラホール市中心部地域が展開するラビ川左岸地域では、地下水位は一段と深くなり、22.25 m～44.38 mとなっている。2013年5月における地下水位状況を図 2-5 に示す。各井戸の井戸位置と2013年5月時点での地下水位（静水位）から-15 m/-25 m/-35 m/-40 mの地下水位等高線図を作成した。ラビ川左岸沿いに-25 m線があり、その南東側に-35 m線が分布する。その内側に狭い範囲であるが、-40 m線の2つの最も低い地下水位低下地域が分布する。

一方、2008年2月の地下水位分布を図 2-6 に示す。2008年と2013年の地下水位分布を比べてみると、全域において約5年間の期間中に地下水位低下は、一段と進んでいるのがみられる。ラビ川右岸でも2008年には、川岸に近い1箇所を除いて、15 m以上深い地下水位は存在しなかったが、2013年には多くの場所で15 m以上の深い地下水位が分布する。また、ラビ川左岸地域では、一般的に-35 m以下の分布地域が2008年には比較的狭く、-40 m以下の地下水位低下地域は存在しなかったが、2013年には、-35 m以下の地域が拡大し、-40 m以下の水位低下地域がかなり広がっている。

2008年と2013年の期間における年間当たりの平均地下水位降下量の分布図を図 2-7 に示す。一部の地域で1 m/年以上の地下水位降下があり、大部分は、0.15 m～0.98 mの範囲に入る。一部水位降下の激しい地域の平均水位降下量は1.38 m/年、その他の大部分の平均水位降下量は0.67 m/年である。

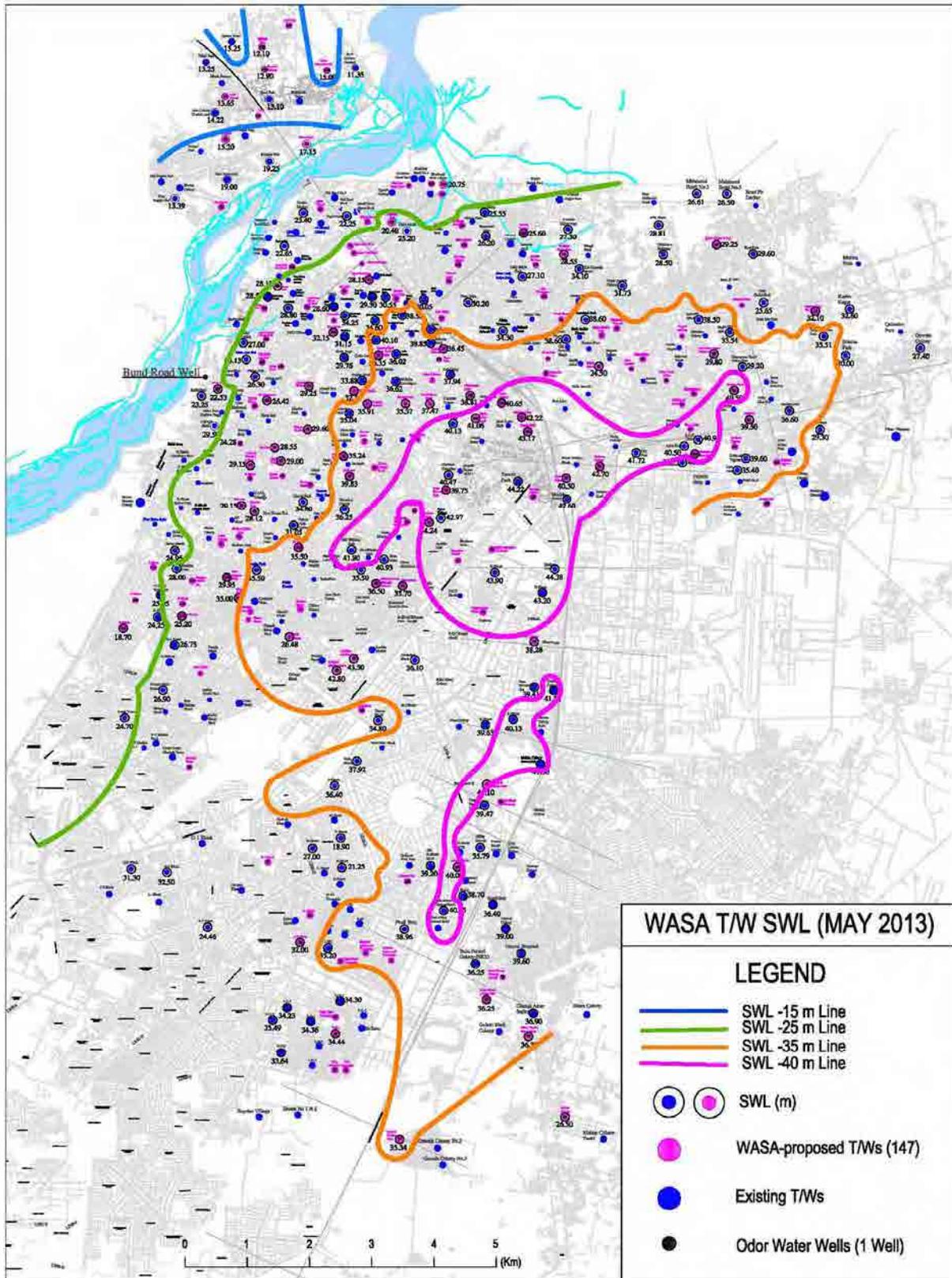


図 2-5 2013 年 5 月の地下水位状況 (WASA Monthly Report の地下水位資料を基に作成)

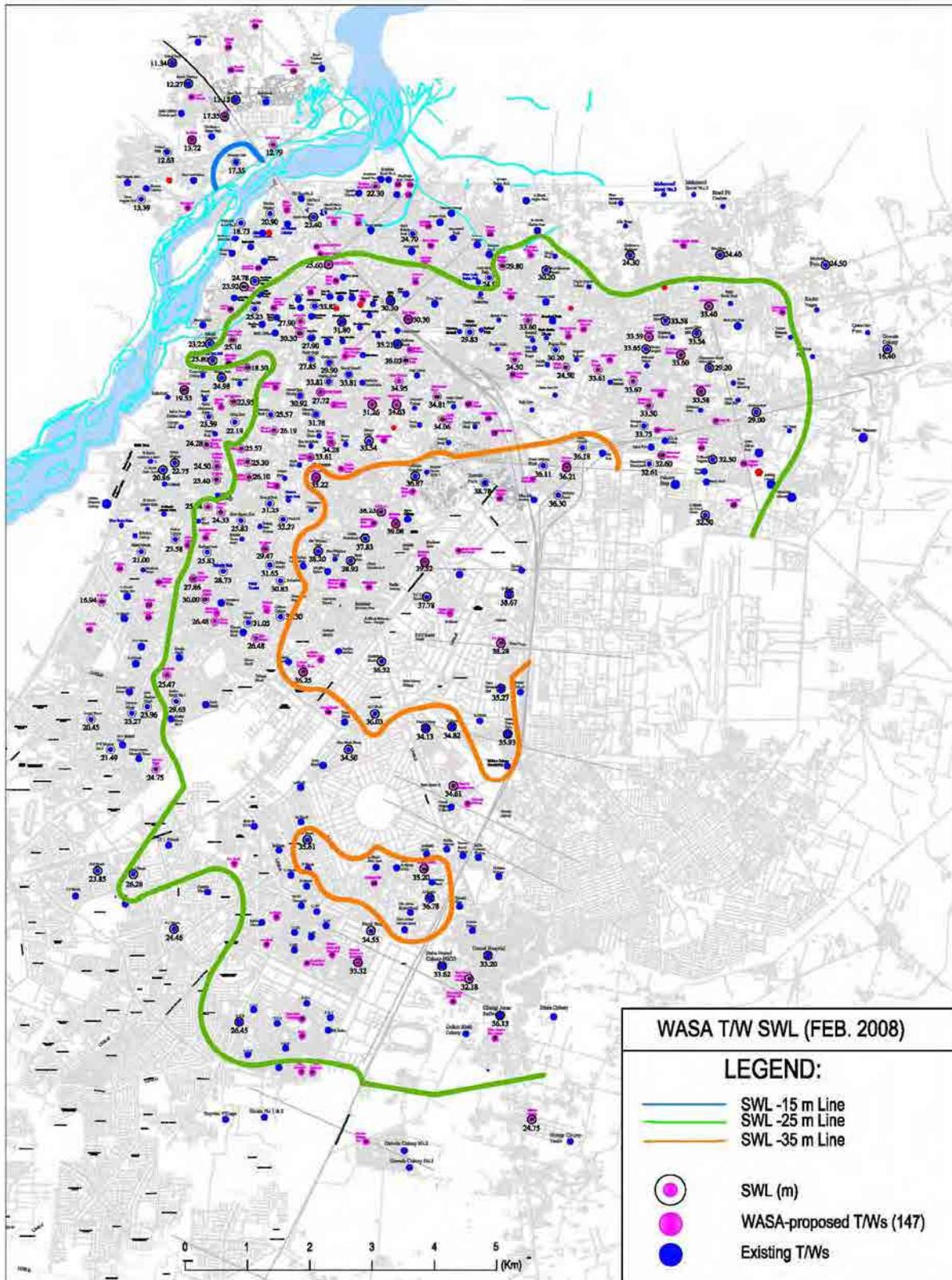


図 2-6 2008 年 2 月の地下水水位状況

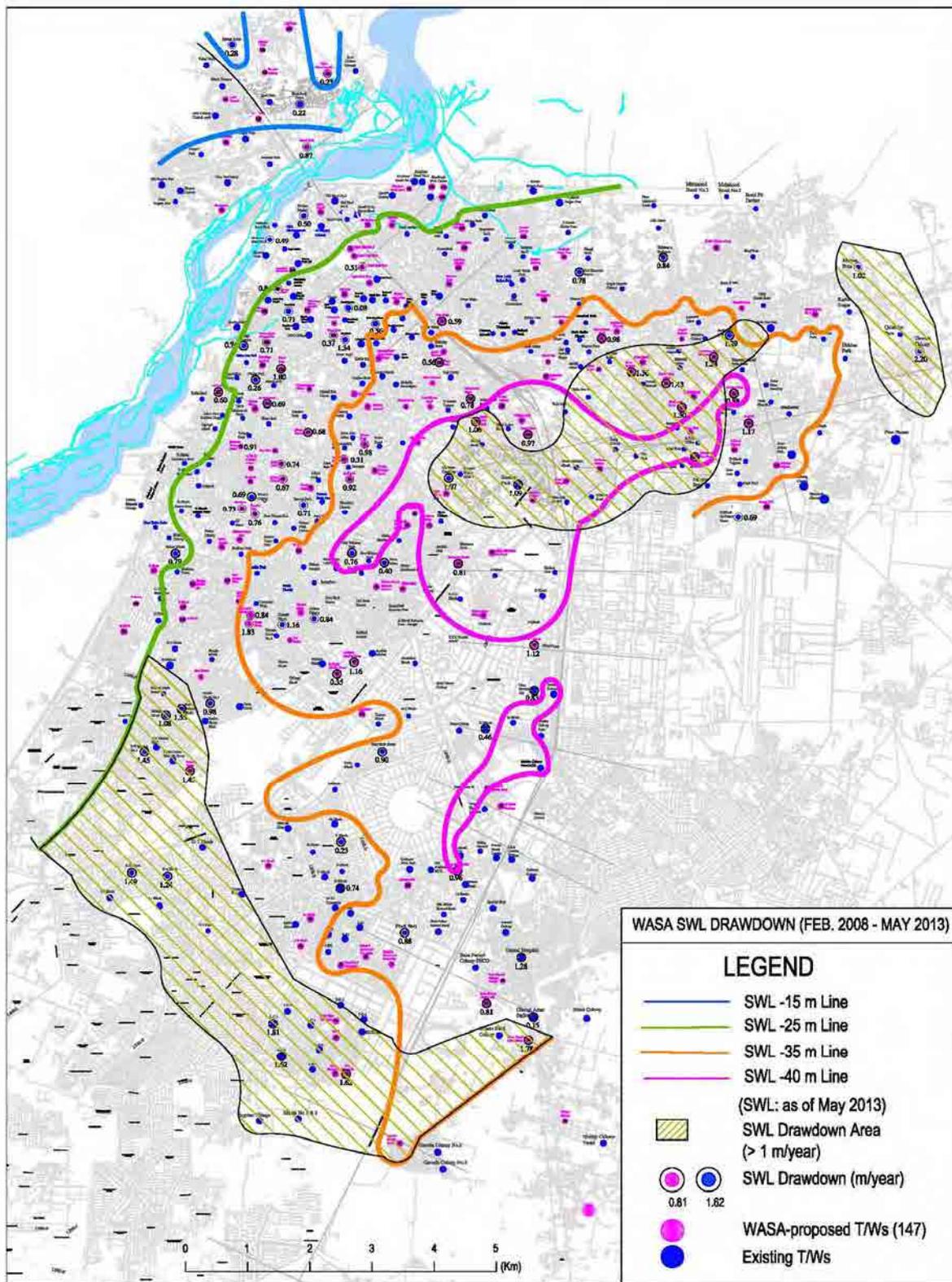


図 2-7 2008 年～2013 年における年間当たりの平均地下水位降下量の分布図

(図 2-5 の 2013 年 5 月の地下水位状況図に重ね合わせた図)

ラホールWASAの井戸は、最大約250 m の深度より地下水を取水している。それらの井戸が取水している帯水層状況をA断面図（図 2-8）及びB断面図（図 2-9）に示す。その断面線を図 2-5 に示す。帯水層は、約1.5 mの表土の下は、細砂/中粒砂/粗粒砂及び礫層からなり、このうち、礫層は極めて薄いか殆ど存在しない。帯水層は、数m～数十mの厚さの粘土層が狭在し分けている。特に、図の南部地域で厚くなり、30 m にも達する。

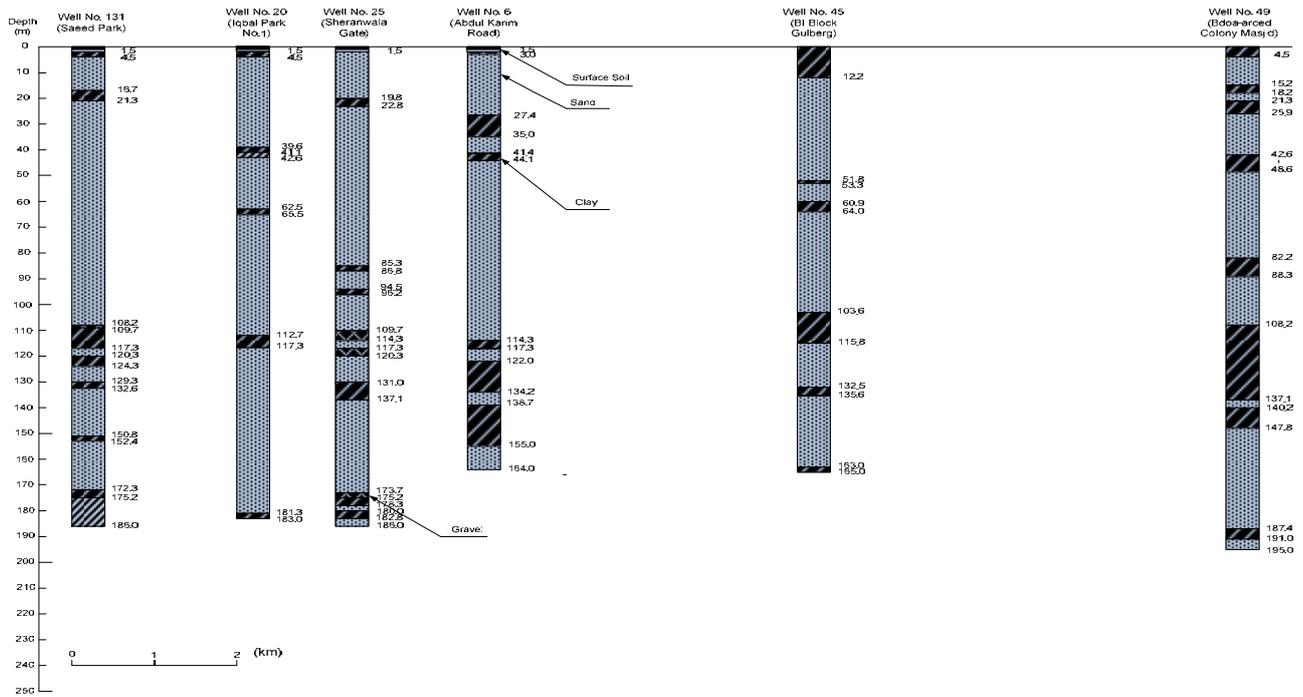


図 2-8 A 横断面図 (図 2.5 に横断面線を示す)

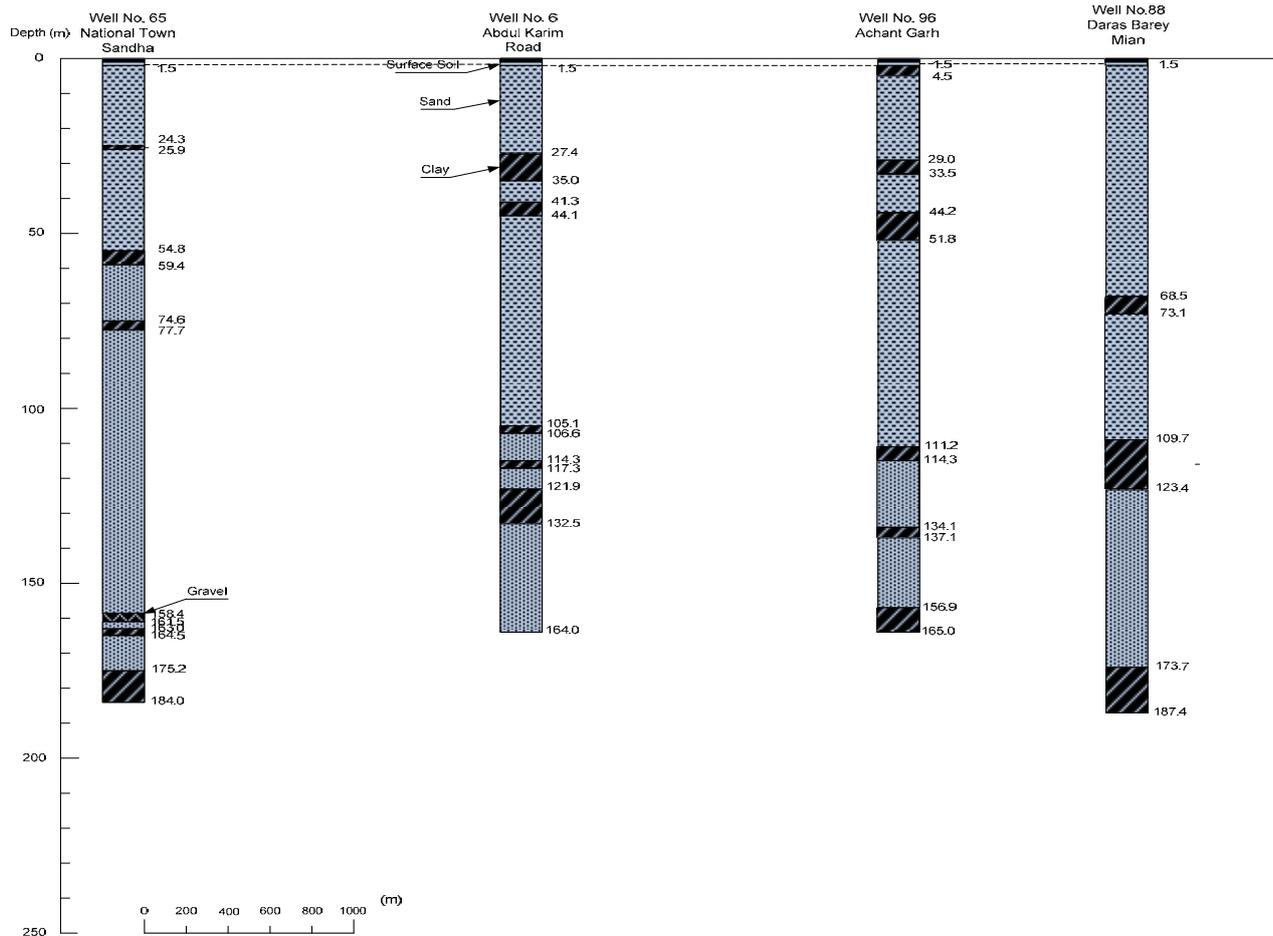


図 2-9 B 横断面図 (図 2.5 に横断面線を示す)

(3) ラビ川及びラホール灌漑用水路による地下水の涵養

ラビ川及びラホール灌漑用水路による浅層及び深層地下水の涵養は、「Hydrological Modeling of the Lahore-Aquifer, using Isotopic, Chemical and Numerical Techniques (Dr. Niaz Ahmed他, PINSTECH: Pakistan Institute of Nuclear Science & Technology)」に詳細に研究されている。著者らは、ラホール地域の地下水を浅層地下水(深度50mまで)と深層地下水(深度80 m~200 m)に分けて、ラビ川及びラホール灌漑用水の地下水への涵養状況を調べた。ラビ川及びラホール灌漑用水及び浅層・深層地下水の144サンプルの化学分析(Ca, Mg, Na, K, CO₃, HCO₃, SO₄, Cl)の主要水質成分及び¹⁸O, ²H, ³Hの同位体を分析し、その起源、由来を調査した。

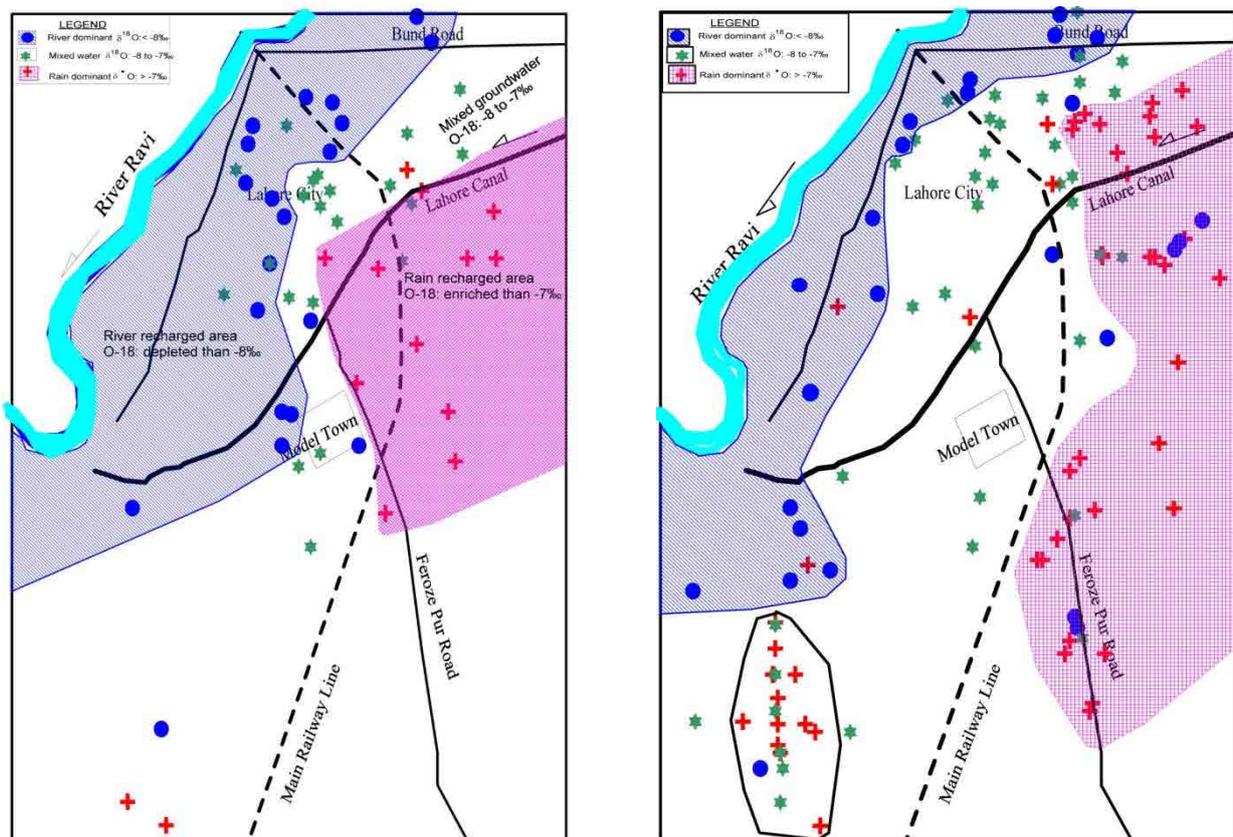
主要水質成分から地下水涵養源となりうる河川水、灌漑用水、浅層・深層地下水の化学成分を、Ca(HCO₃)₂水質系、Mg(HCO₃)₂水質系、NaHCO₃水質系、Na₂SO₄水質系、CaSO₄水質系に分類し、対象水質がどの水質に属するかを調べた。

その結果、ラビ川やラホール灌漑用水の水質はCa(HCO₃)₂水質系、遠方から輸送された深層地下水はNaHCO₃水質系であり、ラビ川に沿った浅井戸・深井戸の地下水は、ラビ川の表

流水の涵養を受けていることを明らかにした。

同様なことは、 ^{18}O 等を利用した同位体調査からも明らかにされ、WASAが揚水している深層地下水は、ラビ川に沿ったかなり幅広い地域でその河川水の涵養を受けていること、また、ラホール灌漑用水の近傍の地点の浅層・深層地下水はスポット的に灌漑用水により涵養されていること明らかになった。図 2-10 (a) に「Hydrological Modeling of the Lahore-Aquifer」により明らかにされた深層地下水へのラビ川表流水による涵養地域等、図 2-10 (b) に浅層地下水へのラビ川表流水による涵養地域等を示す。

注) 同位体は、水自体に含まれる構成物の一部であり、雨水が地下に浸透した後、その半減期にしたがって、時間とともに減少する。その濃度を測定し、その由来や地下水浸透後経過時間を計測する。



(a) 深層地下水へのラビ川による涵養図

(b) 浅層地下水のラビ川による涵養図

図 2-10 ^{18}O 同位体分析によるラビ川及びラホール灌漑用水の深層地下水(深度80 m～200 m)及び浅層地下水(深度<50 m)の涵養地域状況、

注) 青点はラビ川及びラホール灌漑用水の ^{18}O 濃度に地下水濃度を示す地下水、赤十字点は、降雨が混じった ^{18}O 濃度を示す地下水、緑印は、深層地下水と河川水及び雨水の混合地域を示す。青点がラホール灌漑用水に沿っても存在することに注意。これは灌漑用水からの漏水により地下水が涵養されていることを示す)

(4) 地下水関連の環境影響問題

ラホール地域においては、既に過剰汲み上げの状態にあり、深井戸により揚水すれば地下

水位の低下は避けがたい。しかし、ラホールは水道用水の100 %を地下水に依存しており、表流水の導入を実現するまではこの状態を続けざるを得ないため、地下水位の低下を止める手立てはないと言ってよい。地下水位の低下によってもたらされる環境への影響は地下水汚染と地盤沈下が想定される。

地下水汚染は、ラビ川が、乾季にはほとんどラホール市内の下水排水先となり、その汚染水の地下浸透により発生していると考えられる。約740万人の（都市部）人口を有するラホール市には下水処理場がないため、市内で発生する下水は14箇所に集められ、そこから開水路及びラビ川支流を経てラビ川に放流されている。モンスーン期（7月～9月）を除いて、ラビ川は上流のインド領側にダムが建設されているために極端に水量が少なくなり、ラホール市の下水排水が流量の多くの部分を占めるようになる。この下水放流量は2013年9月現在、67.08 m³/sec (2,369 cfs)と報告されている。

NESPAK (National Engineering Services Pakistan Ltd.) による地下水汚染調査 (“Objectionable Odor in the Water of Newly Installed Tubewell at T-No.5, UC-84, pp149 across Bund Road, Lahore”, Feb., 2013) によれば、ラビ川の左岸の河川敷に設置したUC-84井戸（深度169 m）、その周辺の比較的浅い帯水層の井戸(21m～76m)、及びラビ川と下水排水溝で、汚染指標である大腸菌群が検出されている。図 2-5 に示す1井で揚水井戸水に臭気があり、表 2-3 に示すように塩素滅菌を行いながら井戸水を給水している。

一方、WASAラボは、日常業務として、WASA井戸の水質分析及び市内の給水栓からの水道水を分析している。WASAラボが行っている分析項目のうち、地下水汚染に係る分析パラメータは、亜硝酸窒素（NO₂）及び大腸菌群である。2012年の年報によれば、ラビ川周辺のWASA井戸は、ラビ川左岸河川敷の井戸を除いて、殆ど全て分析しており、その結果は全て未検出である。そのため、ラビ川左岸の河川敷（約1.2km幅）を除いて、Bund Roadの内側（ラホール市内側）では、地下水汚染は発生していないと判断される。

表 2-3 汚染表流水（ラビ川）の地下浸透による地下水汚染とその対策

No	井戸名 (設置場所)	建設年	井戸深度 (m)	スクリーン 位置(m)	計画 揚水量 (cfs)	地下水汚染とその 対策
①	Bund Road	2012	169	125-166	2.0	井戸水に臭気あり、 塩素水により滅菌 後、配水している

出典) WASA 水文事務所、表中のNoは、図 2-2 の図中の井戸番号と対応している。

また、主要な水質分析と同位体を利用したPINSTECHの研究によれば、その混合割合は不明であるが、ラビ川に沿った地域の深井戸の地下水がその表流水により涵養されていることが報告されている。これが事実であれば、将来、深層地下水の汚染が進むことも考慮される。

ただし、対象地域の帯水層は、表層土壌や薄層であるが数枚の粘土層等を挟在しており、吸着・イオン交換が行われるために地下水汚染が即進行することは考えにくい。将来、もし

も、表層からの地下水汚染が生じた場合は、塩素滅菌を確実に行う等の対策を実施する必要がある。

一方、地下水汚染は、ラビ川の河川敷内の多数の浅井戸及びWASA深井戸1本でのみ発生しており、堤体内の市内地に存在する多数のWASA井戸では発生していない。また、既存井戸データを検討すると粘土層の層厚は数 mから15 m程度の薄層であるが、必ず数枚の粘土層が挟在していることが判明している。以上の状況から、浅層地下水と深層地下水とは粘土層により区切られているが、地下水汚染が発生したWASA井戸では、施工不良により、表流水や浅層地下水と深層地下水が完全に遮断されず、井戸構造の一部であるセメントグラウト層やバックグラベル等を通じて地下へと浸透している可能性がある。現在報告されている汚染されたWASA井戸が河川敷内の1本のみであることからその可能性は十分高いと判断される。

これを避けるために、ラビ川周辺でプロジェクト井戸を建設する場合は、なるべく浅層帯水層から深層帯水層への漏水を防ぐために、井戸の施工を確実に行うことが必要である。具体的に言えば、ポンプ井部分（浅い帯水層部分）から深い帯水層部分への垂直浸透を防ぐために、セメントグラウトを完全に施工する等の方策を取るべきである。

地盤沈下は、大量に地下水をくみ上げた場合に生じることが報告されている。しかし、従来、地盤沈下が大量の地下水の汲み上げにより発生しているのは、関東平野やバンコク等の粘土層が厚く堆積している地域である。これは、従来、一般的に粘土層からの地下水の絞りだしにより発生したと説明されている。調査対象地域には、井戸深度約200 mに対して層厚約数 m～約15 mの薄い粘土層が分布しており、その厚さは極めて薄い。その他は全て、砂層から構成されている。そのため、地盤沈下は、現在のように地下水位が-40 m程度であっても発生しておらず、社会問題にもなっていない。理論的には、地下水位の低下が生じれば、帯水層が砂層であっても、多少の縮小が発生すると考えられる。しかしながら、その程度が小さいこと、しかも不等沈下でなく、一様な沈下であれば、建物の倒壊を招くことはなく、地盤沈下問題は発生しにくいと考えられる。ラホール地域の帯水層は、大部分、砂層から構成されているので、地盤沈下が生じたとしてもその程度は小さく、一様な沈下であり、地盤沈下による問題の発生する可能性はかなり低いと考えられる。

(5) WASA ラボによる水質試験結果

WASAラボの2011年のデータによれば、水源井戸水の平均的一般水質は、Ca、Cl 濃度ともに特に濃度が高いというわけではなく問題はない。重炭酸イオン(HCO_3) が249 mg/Lと比較的高いのは、地下水が涵養されてから帯水層中を長期間流動してきたからであると考えられる。平均の井戸水質を表 2-4 に示す。

表 2-4 WASA井戸水の平均水質

pH	TDS (mg/L)	EC (μ S)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Alkalin. (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	E.coli (nos./100 mL)
7.9	412	635	37.6	22.9	248	35	NIL	249	nil

出典) WASA ラボ、2012年Annual Reportによる。459 本の井戸水質を平均したもの。

パンジャブ州では塩水地下水となっている地域が多く存在するが、塩水問題は、ラホール市内域の WASAの井戸では、全く問題が生じていない。

(6) 調査団による水質試験及び揚水量実測調査等

1) 揚水試験の取り止め

当初、揚水試験を、深井戸の洗浄によるリハビリテーション（以下「リハビリ」という）効果を確認して、代替深井戸の掘削本数を削減することを目的として計画していた。しかしながら、WASA 井戸に対する井戸リハビリの実施可能性を検討した結果、以下のような事情により、その実施効果がないと判断されたため、調査内容より除外した。

井戸リハビリは、井戸建設後、初期に近い井戸能力を維持するために実施される。井戸リハビリを実施する必要性は、井戸建設時の揚水試験結果やそれに基づく比湧出量（Specific Capacity）、揚水時の動水位や揚水量データと経年時のデータとの比較により判定される。しかし、WASA は、正規の方法で実施した、井戸建設時の揚水試験等のデータを保有しておらず、僅かに残されている既存揚水試験データ等は極めて不正確なものである。そのため、今回、本調査により揚水試験を実施したとしても、井戸建設時のデータと比較し、井戸能力の低下状況を把握し、井戸リハビリの必要性を判断するには不可能な状況にあった。

また、井戸リハビリは、当初の井戸湧水能力の 25 % となった時期に実施しなければ、実施しても回復させることは困難であること、及び沖積層から取水している井戸では、2～5 年毎に実施するのが一般的であることが報告されている（Groundwater and Wells, 1987）が、WASA は正規の揚水試験方法による定期的な検査を実施したことはなく、したがって、既存井戸の井戸能力の評価もしておらず、定期的に井戸リハビリも実施していない。

経年変化とともに井戸能力を減退させる原因としては、以下が考慮される。

- グラベルパック部分の目詰まりによる閉塞
- 井戸スクリーンでのスケールの付着や生物付着による井戸揚水量の減少
- 井戸スクリーン周辺での細粒地層構成物による帯水層閉塞（これは、特に揚水の一時停止等により影響される）

これらの井戸能力を減少させる原因は、ラホール地域の地質・水質・井戸構造に大きく左右されるが、その原因や最適な井戸リハビリ方法は、現在、不明であり、まだ確立されていないのが実情である。

井戸リハビリ方法としては、(a) 酸による井戸内洗浄、(b) スワッピング法、(c) ジェッティング法、(d) バックウオッシング法等があり、ラホールの井戸に対してこれらのどれが最適な方法であるか、方法が確立されていないため、井戸建設後、井戸能力が25%程度低下した時期(2~5年以内)に井戸リハビリが必要な井戸にこれらの方法をテストし、その効果を判定し、最適なりハビリ方法を明らかにする必要がある。

以上のように、建設時の井戸資料がほとんどなく、また、あってもその揚水試験データが不正確であり、井戸リハビリの原因や必要性を検討するために利用できないこと、井戸リハビリは井戸建設後、井戸能力が25%低下した時点で実施する必要がある、それは井戸建設後、2~5年以内であるが、全く実施されていないこと、及びラホールの地質・水理条件に適したリハビリ方法が確立されていないこと等の理由により、本調査において、井戸リハビリ方法の実施は見送られ、代わりに、水道水源の復旧のために井戸とポンプの更新の必要性が検討され、実施計画が策定された。

2) 調査対象深井戸数の追加

当初の計画では105箇所の深井戸に対して簡易水質試験を実施し、20箇所の揚水試験対象深井戸にラボ水質試験を実施する予定であったが、簡易水質試験では深井戸間の水質の差異を明確にできないこと、及び一部において飲料水質基準を上回るヒ素濃度が検出される可能性が高いことからすべてをラボ水質試験の対象とし、簡易水質試験は取り止める。

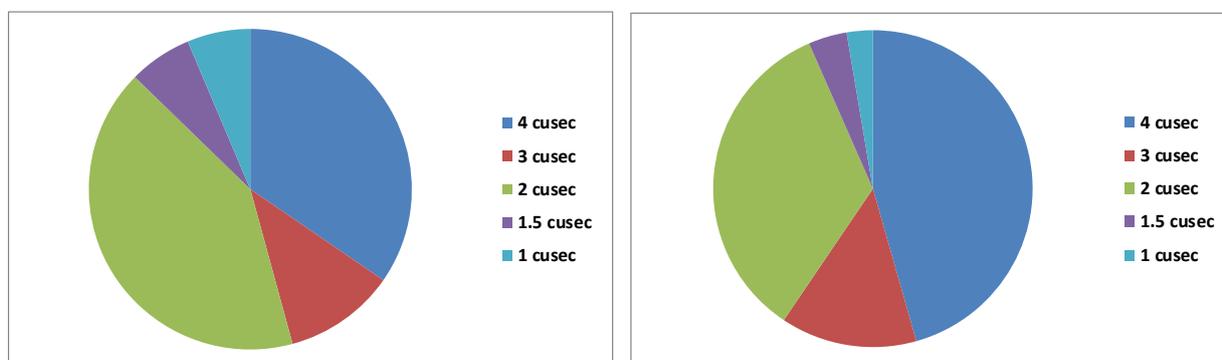
ラホールWASAの水質試験結果に拠ればヒ素濃度がWHO水質基準を越える深井戸の比率は457本中157本で全体の約38%に及んでいることから、飲料水質基準を満たすことを前提におくと必要井戸数は169本 $[= 105 / (1 - 0.38)]$ となるが、WASAより最大限として提示されたのは147本であるため、その全数をラボ水質試験の対象とし、代替深井戸掘削対象施設を選定する際に水質に係る失敗率(飲料水質基準不適合率)を事前に加味することとした。

3) 調査対象深井戸の運転状況

ラホールWASAの現在稼働中のポンプは2013年7月末現在、6.8 m³/min (4 cfs) 304台、6.0 m³/min (3.5 cfs) 1台、5.1 m³/min (3 cfs) 2台、3.4 m³/min (2 cfs) 174台、2.6 m³/min (1.5 cfs) 2台の合計5種類の483台とされている。しかし、稼働中の深井戸ポンプは能力が落ちているため、**表 2-5**、**図 2-11**に示すように運転状況より、計画能力が6.8 m³/min (4 cfs) であっても、6.8 m³/min (4 cfs)、5.1 m³/min (3 cfs)、3.4 m³/min (2 cfs) 相当というように実際の能力に応じてクラス分けし、この推定能力別台数に換算係数を乗じて総配水量を算出している。

表 2-5 能力別タウン別深井戸ポンプ台数及び揚水量 (2013 年 4 月)

	Sr. No.	1	2	3	4	5	6	
Capacity	Na me of Town	Allama Iqbal	Shalimar	Aziz Bhatti	Nishtar	Ravi	Gunj Bukhsh	Total
4 cusec	T/W (nos)	38	24	4	23	45	30	164
	Prod. (MGD)	42.18	26.64	4.44	25.53	49.95	33.30	182.04
3 cusec	T/W (nos)	7	6	3	9	12	16	53
	Prod. (MGD)	7.28	6.24	3.12	9.36	12.48	16.64	55.12
2 cusec	T/W (nos)	33	23	9	30	29	73	197
	Prod. (MGD)	22.77	15.87	6.21	20.70	20.01	50.37	135.90
1.5 cusec	T/W (nos)	1	0	5	5	6	13	30
	Prod. (MGD)	0.52	0.00	2.60	2.60	3.12	6.76	15.60
1 cusec	T/W (nos)	0	2	5	4	5	14	30
	Prod. (MGD)	0.00	0.70	1.75	1.40	1.75	4.90	10.50
Total	T/W (nos)	79	55	26	71	97	146	474
	Prod. (MGD)	73	49	18	60	87	112	399



推定能力別深井戸ポンプ台数

推定能力別深井戸ポンプ総揚水量

図 2-11 推定能力別深井戸ポンプ台数及び総揚水量

4) 揚水量実測調査

一方、本準備調査では、更新対象予定 147 箇所の既存井戸の運転状況を調査した。

既存井戸は、1)運転を停止している、2)水位を測定するための開口がない、3)吐出圧を測定するための開口がない等により、147 箇所すべてのデータを測定することはできなかった。エネルギー効率関連するデータを入手できた井戸の箇所数は、以下のとおりであった。

表 2-6 揚水量調査とデータ入手箇所

調査対象	流量	動水位	吐出圧	電流	電圧
147	103	27	16	123	119

深井戸ポンプ場の揚水量 1 m^3 あたりの kW 消費量を、次の二つの方法で算出できる。

方法① 揚水量 1 m ³ 当たりの kW 消費量 = 実測電流値・電圧値から算出した kW 消費量 / 実測揚水量
方法② 揚水量 1 m ³ 当たりの kW 消費量 = 1 年間の総使用電力量から算出した kW 消費量 / 実測揚水量

方法①は調査期間 30 分程度の運転から得られた電流値・電圧値を使用し、kW 消費量を算出する。方法②では、LESCO の 1 年間の電気料金請求書から kW 消費量を算出する。今回の解析にあたっては、方法②、1 年間の LESCO 電気料金請求書をベースとした。ただし、連続運転でないため、1 日当たりの運転時間は、WASA からの報告による各深井戸ポンプ場の平均的な運転時間を使用した。

運転実態調査を実施した 147 箇所の深井戸ポンプ場のうち、上記方法②により 92 箇所のポンプ場の揚水量 1 m³ 当たりの kW 消費量は、0.305 kW/m³ であった。147 箇所の深井戸ポンプ場の設計揚水量 6.8 m³/min (4 cfs) と 3.4 m³/min (2 cfs) の深井戸ポンプ場ごとの揚水量 1 m³ 当たりの kW 消費量を図 2-12 に示す。横軸は 1 時間あたりの揚水量、縦軸は揚水量 1 m³ 当たりの kW 消費量である。両者を比較すると、概して、3.4 m³/min (2 cfs) の深井戸ポンプ場のほうが、6.8 m³/min (4 cfs) 深井戸ポンプ場より揚水量 1 m³ 当たりの kW 消費量は少ない。

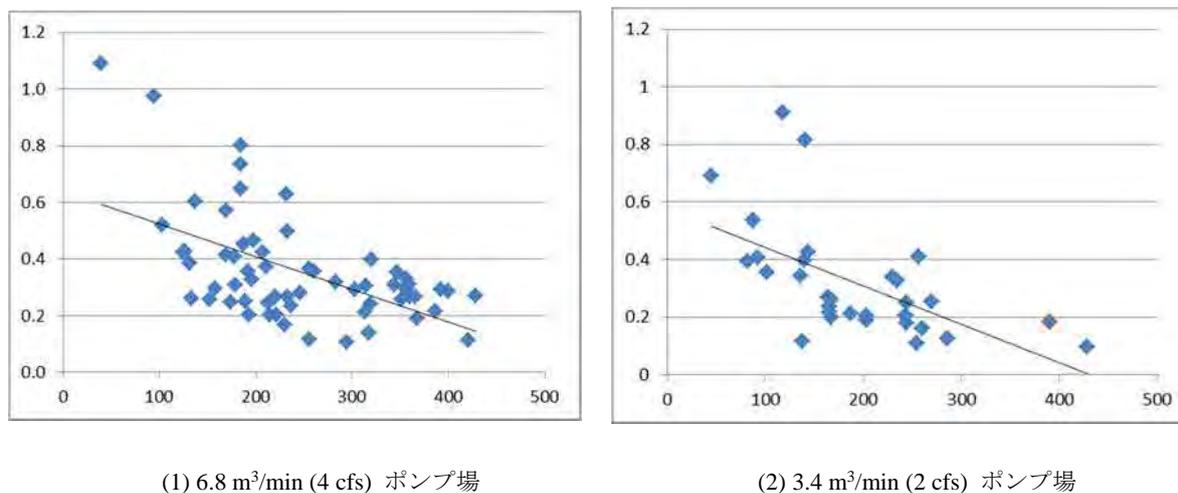


図 2-12 揚水量 1 m³ 当たりの kW 消費量

また、これらデータを使用することにより深井戸ポンプ場の運転効率を算出することができる。

深井戸ポンプ場運転効率＝揚水した水のエネルギー／投入した電気のエネルギー すなわち $= \text{実測揚水量} \cdot \text{水位} \cdot \text{水圧から算出した kW} / \text{実測電流値} \cdot \text{電圧値から算出した kW}$ もしくは $= \text{実測揚水量} \cdot \text{水位} \cdot \text{水圧から算出した kW} / \text{総使用電力量から算出した kW 消費量}$

今回、上記「実測揚水量・水位・水圧から算出した kW/実測電流値・電圧値から算出した kW」から深井戸ポンプ場の運転効率を算出した。

地下水の揚水動力を算出するために必要な揚水量、揚程、投入動力を算出するために必要な投入動力が収集できた 16 箇所（6.8 m³/min (4 cfs)ポンプ場 10 箇所、3.4 m³/min (2 cfs)ポンプ場 6 箇所）のデータと算出結果を示す。まず、6.8 m³/min (4 cfs)ポンプ場 10 箇所を **表 2-7** は以下のとおりであった。

表 2-7 6.8 m³/min (4 cfs)ポンプ場 10 箇所運転状況

揚水量	揚程	揚程*1	揚水動力	電流	電圧	投入動力	効率
m ³ /hr	m	m/4	kW	A	V	kW	%
152	57.5	14.4	23.73	100.0	414	60.9	38.9
184	48.2	12.1	24.15	111.2	392	64.2	37.6
320	49.3	12.3	42.81	129.8	394	75.3	56.9
185	53.3	13.3	26.74	80.0	328	38.6	69.2
313	59.0	14.8	50.21	117.0	412	71.0	70.8
189	55.5	13.9	28.53	82.0	381	46.0	62.0
137	53.7	13.4	20.03	150.0	410	90.5	22.1
367	48.2	12.1	48.08	141.1	390	81.0	59.4
315	56.2	14.1	48.03	141.7	371	77.4	62.1
192	52.4	13.1	27.29	111.6	401	65.9	41.4

揚程*1 は、6.8 m³/min (4 cfs)ポンプが 4 段であるため、1 段あたりの揚程を算出した。

これをポンプの性能曲線に示した。当初の設計性能（揚水量 6.8 m³/min、揚程 64 m（1 段あたりの揚程 16 m））に対し、10 箇所の深井戸ポンプ場の実際の運転を示した。

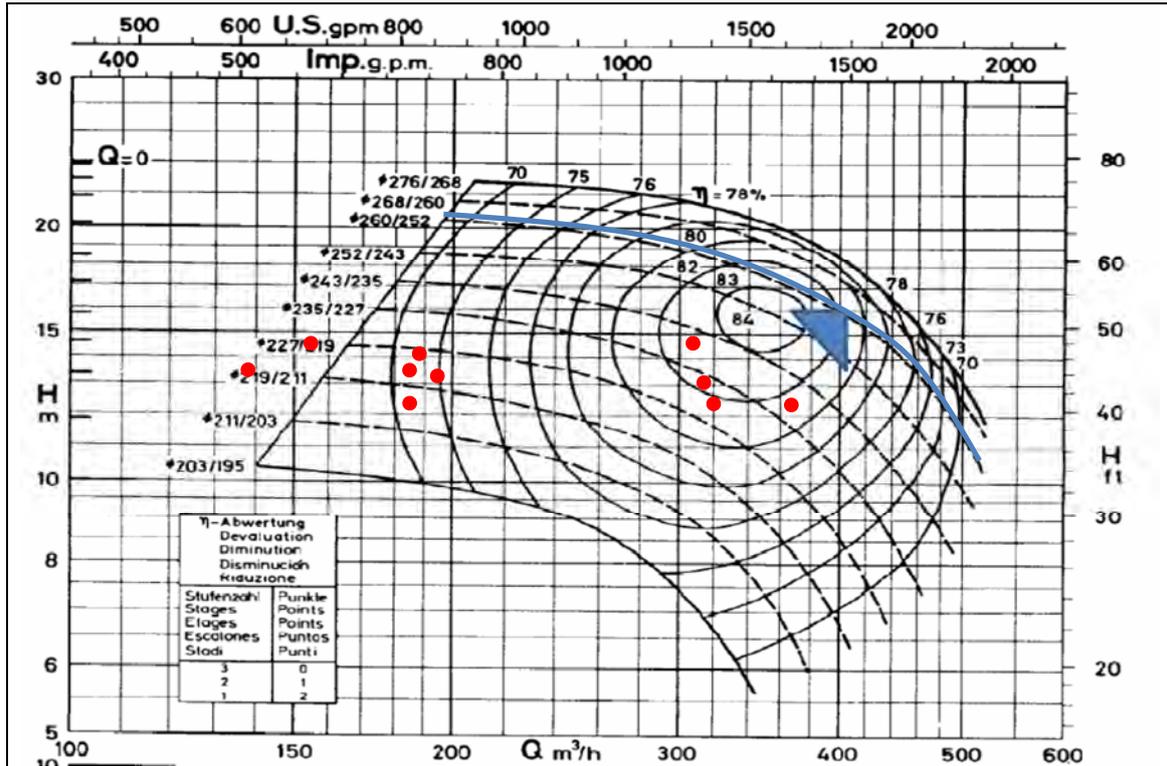


図 2-13 設計性能（揚水量 6.8 m³/min、揚程 64 m）と実運転点

➡ : 設計揚水量・揚程、↪ : ポンプ性能曲線、● : 実運転点

この図により、既存ポンプ場の効率が当初設計性能を大幅に下回っていることがわかる。本来ポンプは投入電力に比較し、ポンプ効率 82% x モーター効率約 90% = 総合効率 74% が期待されていたが、10 箇所の運転効率は、22% から 71%、平均 52% であった。

次に、3.4 m³/min (2 cfs) ポンプ場 6 箇所の運転状況は、以下表 2-8 のとおりであった。

表 2-8 3.4 m³/min (2 cfs) ポンプ場 6 箇所

吐出量	揚程	揚程*2	揚水動力	電流	電圧	投入動力	効率
m ³ /hr	m	m/5	kW	A	V	kW	%
102	61.5	12.3	17.03	66.5	400	39.2	43.5
45	47.1	9.4	5.73	34.0	377	18.9	30.4
187	57.5	11.5	29.28	74.0	376	41.0	71.5
140	52.6	10.5	20.07	66.6	373	36.6	54.9
256	54.5	10.9	37.93	128.0	366	69.0	55.0
118	54.5	10.9	17.47	58.8	364	31.5	55.4

揚程*2 は、3.4 m³/min (2 cfs) ポンプが 5 段であるため、1 段あたりの揚程を算出した。

同様に、揚水量 3.4 m³/min (2 cfs)、揚程 64 m (1 段あたりの揚程 16 m) のポンプの性能曲線に、6 箇所の深井戸ポンプ場の実際の運転を示した。

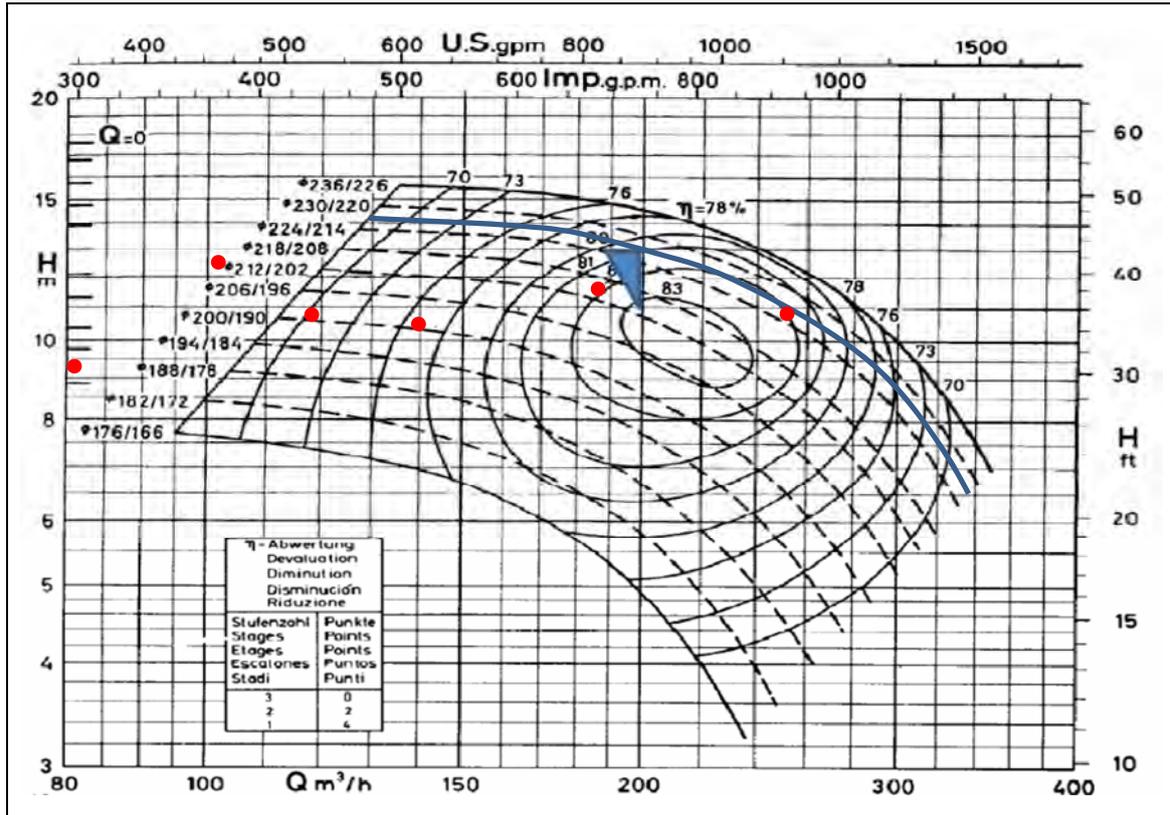


図 2-14 設計性能（揚水量 3.4 m³/min、揚程 64 m）と実運転点

▲ : 設計揚水量・揚程、● : ポンプ性能曲線、● : 実運転点

ポンプ効率 81% x モーター効率約 90% = 総合効率 73% が期待されていたが、6 箇所の運転効率は、30% から 71%、平均 52% であった。

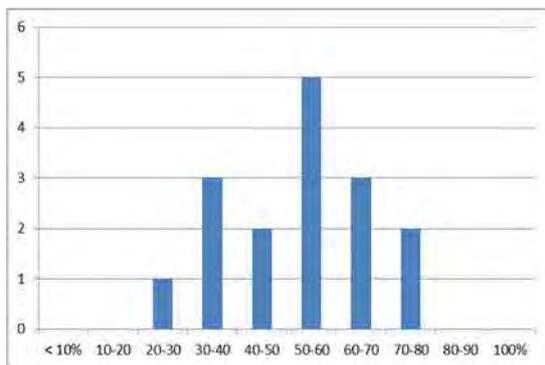


図 2-15 深井戸ポンプ場運転効率

調査対象 147 箇所の深井戸ポンプ場のうち、揚水量・動水位が実測できた 16 箇所の深井戸ポンプ場の運転効率を、図 2-15 に示す。ここで、縦軸は深井戸ポンプ場箇所数、横軸は運転効率である。図のとおり深井戸ポンプ場の運転効率は、22% から 71% であり、平均 52% であった。これは、ポンプ効率 80%、モーター効率 90% とした場合、ポンプ場の運転効率は 72% であり、多くのポンプ場の運転効率が著しく低下していることがわかる。

このような運転効率の低下は、詳細は 2-1-2 (10) 深井戸ポンプ場の機械設備の状況で述べるが、1) 施設の老朽化、2) ポンプ故障・修理時、コピー部品の使用、3) モーター焼損・修理時、不適切な修理等が、原因であると推察される。

4) 水質試験結果

(a) JICA調査水質試験結果（詳細は資料6表6-1参照）

現地再委託によりWASA井戸の調査サイト147箇所の水質試験を行った。その結果、井戸廃棄、縦型ポンプの付属モータの取り外し等により採水できない井戸が7箇所であったため、140箇所の水質を分析した。現地再委託先は、ISO/IEC17025認定試験所として世界最大級の検査機関であるSGSに依頼して分析を行った。特にヒ素分析には、ICP（誘導結合プラズマ分析器）を使用しており、その分析精度は高く、ヒ素の検出限界は5 µg/Lである。また、サンプリング法及び分析法の聞き取りによれば、分析精度は高く、信頼できる分析値であると評価される。

分析項目は、pH（試験室値）、EC、Cl、Total-Fe、Mn、F、As、NO₂、NO₃、大腸菌群、糞便性大腸菌群の11項目である。WHO水質ガイドライン及び「パ」国飲料水質基準と比べて評価した調査対象水源深井戸の水質傾向を表2.9に示す。

表 2-9 JICA調査深井戸水質のWHO水質ガイドライン / 「パ」国飲料水質基準との比較

No	水質分析項目	飲料水水質基準値		基準値を超えたサンプル数		基準値を超えた割合 (%)	
		「パ」国	WHO	「パ」国	WHO	「パ」国	WHO
1	ヒ素	50 µg/L	10 µg/L	3	131	2	94
2	全鉄	-	0.3 mg/L	-	5	0	4
3	大腸菌群	0 cfu/100 ml	0 cfu/100 ml	32	32	23	23
	糞便性大腸菌群	0 cfu/100 ml	0 cfu/100 ml	17	17	12	12

注1) 飲料水質基準から外れた項目のみを示す。

注2) 2013年7月に採水した140井戸についてのWHO/「パ」国の飲料水質基準値を超える水質

ヒ素は、「パ」国飲料水質基準 50 µg/L以上の濃度の井戸水は3箇所のみである。しかし、WHO水質ガイドライン10 µg/Lに比べると、その濃度以上の井戸水は94%に達する。WHO水質ガイドライン以下の濃度の井戸水は6サイトのみである。

全鉄は、パ国基準はなく、WHO水質ガイドラインでは 0.3 mg/Lとなっている。これ以上の濃度を有する井戸水は4%のみであり僅かである。

大腸菌群と糞便性大腸菌群について、「パ」国とWHO水質ガイドラインは同じであり、100 mLサンプルで検出されないこととなっている。全サンプルのうち、大腸菌群では23%、糞便性大腸菌群では12%のみが基準値を上回っている。サイト調査の結果、殆どの水源井戸で簡易塩素滅菌装置はあるものの、塩素滅菌溶液がなく、実際には機能していなかった。表層からの糞尿による汚染が疑われるので、塩素滅菌を実施すべきである。水質分析結果を表4-5に示す。

(b) JICA調査とPUIC調査におけるヒ素濃度の比較

WASAは2010年6月に州環境保護局より「WASAの深井戸は392箇所のうち253箇所はヒ素に汚染されている。」という指摘を受けて、同年10月にパンジャブ州立大学化学研究所と共同でWASA深井戸全数454ヶ所のヒ素濃度水質試験（以下においてはPUIC調査という）を実施している。以下においてJICAとPUIC水質試験結果の比較を行う。

両水質試験におけるヒ素濃度の分布状況を表 2-10、図 2-16 に示す。JICA 調査のヒ素濃度は 15 $\mu\text{g/L}$ ～35 $\mu\text{g/L}$ 、とくに 20 $\mu\text{g/L}$ ～30 $\mu\text{g/L}$ の狭い範囲に集中してその外側はまばらであるのに対し、PUIC 調査のそれは 20 $\mu\text{g/L}$ ～25 $\mu\text{g/L}$ をピークにして両側に緩やかに分布している。

表 2-10 ヒ素濃度の分布

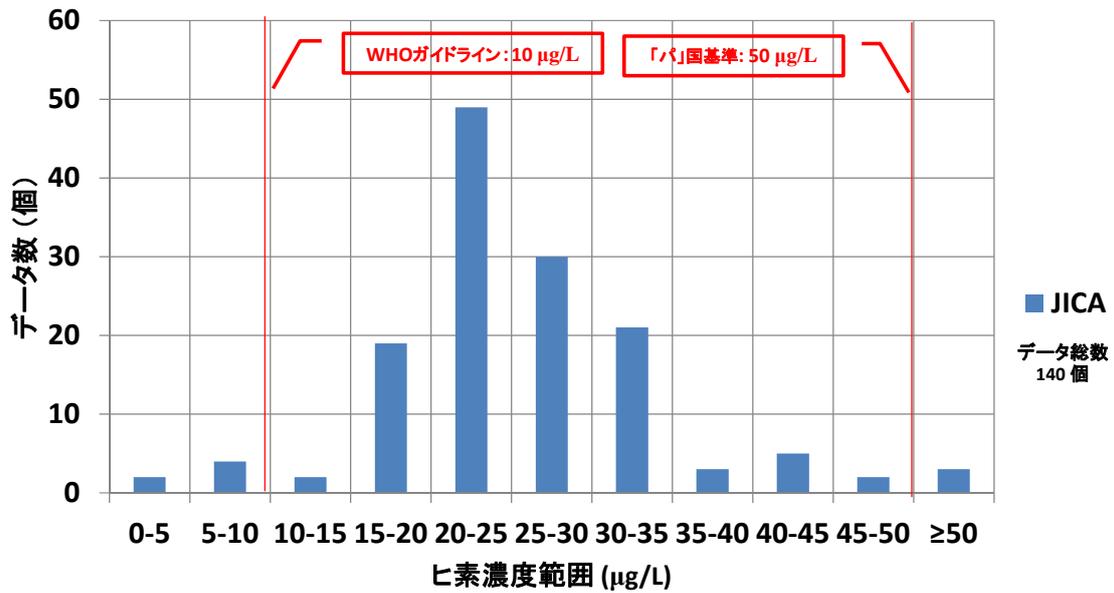
	ヒ素濃度 ($\mu\text{g/L}$)											Total
	<10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	≥ 50	N/S*	
JICA調査	6	2	19	49	30	21	3	5	2	3	7	147
PUIC調査	67	43	57	82	65	54	29	29	19	14	-	459

* N/S : Not sampled due to no operation, etc.

JICA及びPUIC水質試験結果に基づくヒ素濃度分布状況をそれぞれ、図 2.17、図 2.18 に示す。

図 2.17 のJICA調査によればヒ素高濃度（40 $\mu\text{g/L}$ 以上）がラビ川右岸のShahdara、Farrukhabad地区に、中濃度（30 $\mu\text{g/L}$ 以上40 $\mu\text{g/L}$ 未満）はその対岸のCity、Ravi Road地区に比較的集中し、WASA給水区域全体においてヒ素濃度はWHO水質ガイドライン（10 $\mu\text{g/L}$ 以上）を上回っている。図 2.18 のPUIC調査にも同様の傾向が見られるが、City、Altarkali、Ravi Road地区はShahdara、Farrukhabad地区と同様に高濃度が集中しており、JICA調査結果よりも高濃度・中濃度が全体に広く分布しているのが分かる。地下水位の関係で見ると結果的に地下水位が比較的浅い地区（-15 m～-35 m）に高濃度が集まっているものの、地下水位等高線のようにラビ川に沿って帯状に分布する傾向は見られない。

(1) JICA調査 (2013年7月)



(2) PUIC調査 (2011年10月)

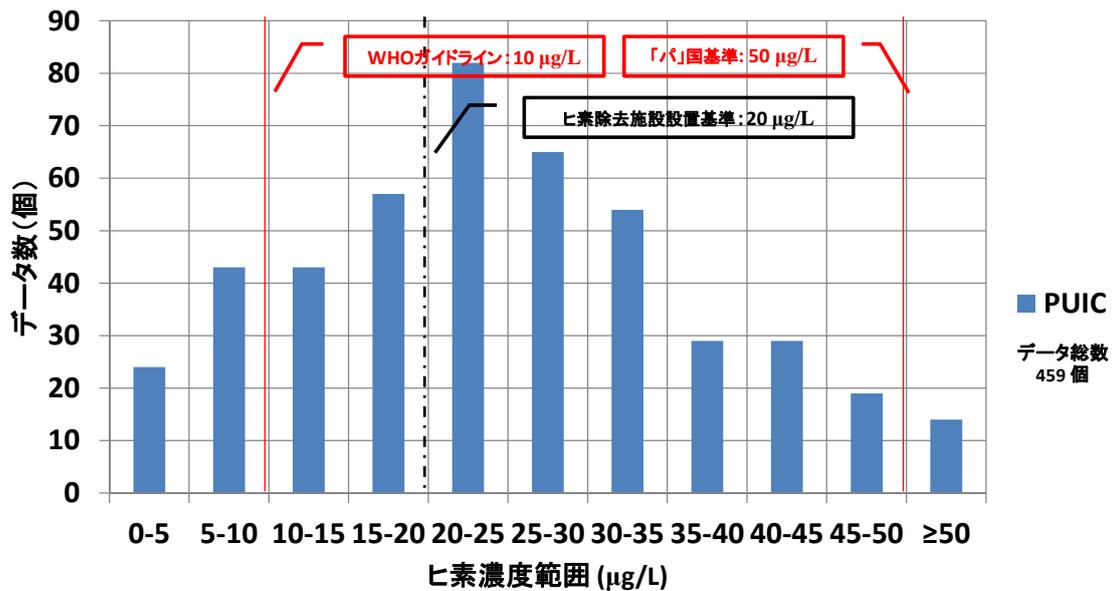


図 2-16 ヒ素濃度分布

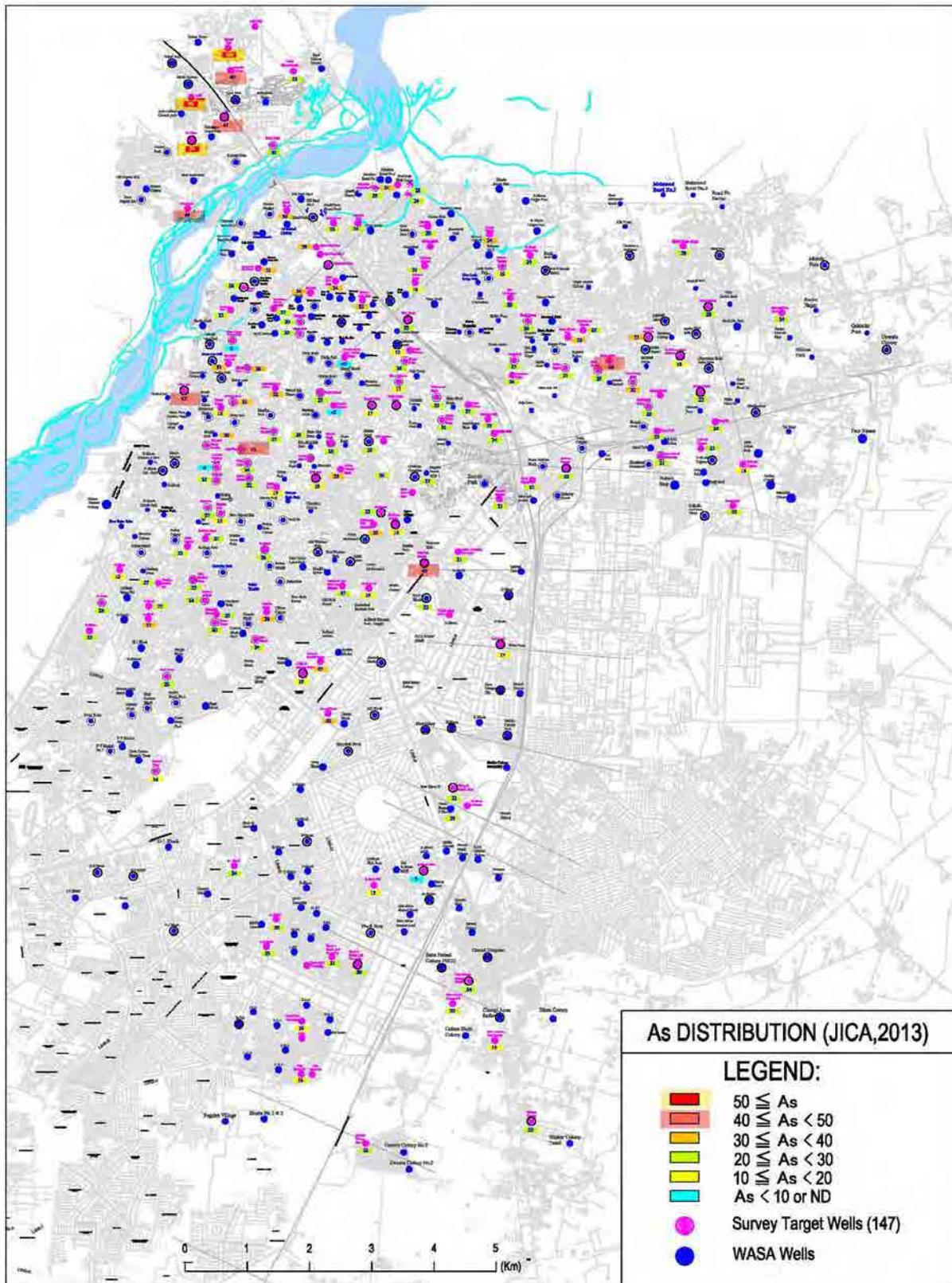


図 2-17 今回水質試験結果（JICA、2013 年）に基づくヒ素濃度分布

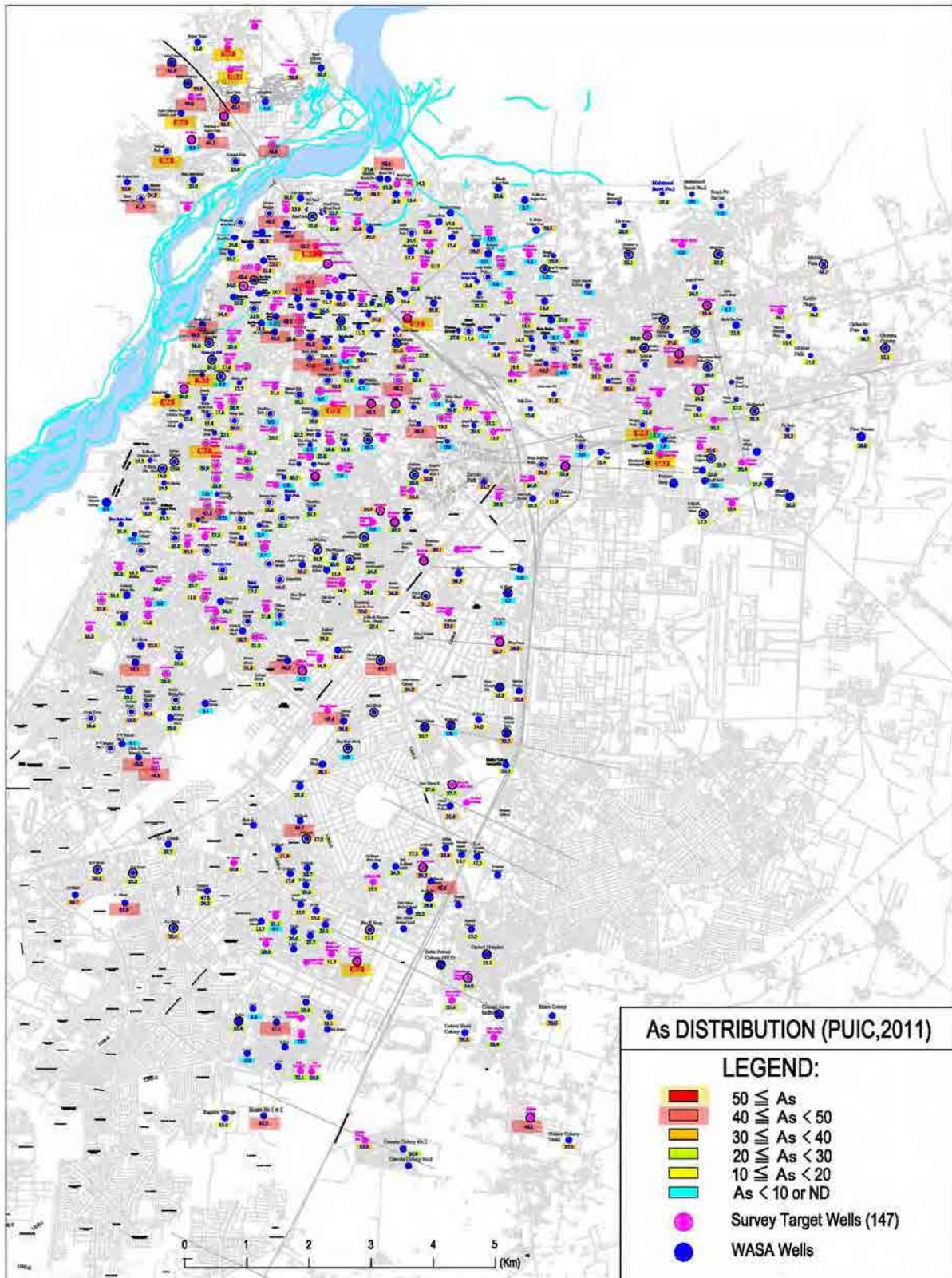


図 2-18 PUIC 水質試験結果 (2011 年) に基づくヒ素濃度分布

PUIC調査とJICA調査結果を比較すると、個々の深井戸で見ると値は異なっているが、地区として見たときは明らかにヒ素濃度が高い地区が幾つか存在する。図 2-12 に見られるようにサンプル数に大きな違いがあるものの、Shahdra、Farukhabad、City、Ravi Road の4地区は両方の試験でヒ素濃度が高い値を示しているものが多く、とくにShahdra、Farukhabad、においてはすべてが30 µg/Lを越えている。

PUIC 調査で「パ」国基準の 50 µg/L を上回る高ヒ素濃度を示した深井戸と JICA 調査との比較を表 2-11 に示すが、PUIC 調査と JICA 調査のヒ素濃度には大きな差異が見られる。後述するように PUIC 調査において高ヒ素濃度を示した深井戸を対象にヒ素除去施設の設置を優先的に進めていることが見て取れる。

表 2-11 PUIC の水質試験で高濃度のヒ素検出した深井戸

No.	Location	Sub-District	JICA (µg/L)	PUIC (µg/L)	Filtration Plant
9	Patiala Ground	Anarkali	<5	67.0	Installed
27	Iqbal Park-II (Abandoned Well)	City	-	69.3	Installed
51	Block No.6 Sector-A-II Township	Industrial Area	20	67.2	Installed
65	National Town Sandh (Jhangir Park 近傍)	Krishan Nagar	30	84.1	Installed
128	Majeed Park Shahdara UC-6.	Shahdra	106	92.9	-
132	Paracha Colony	Shahdra	43	103.6	-
143	Ghaziabad Bus Stop	Tajpura	21	166.9	Installed

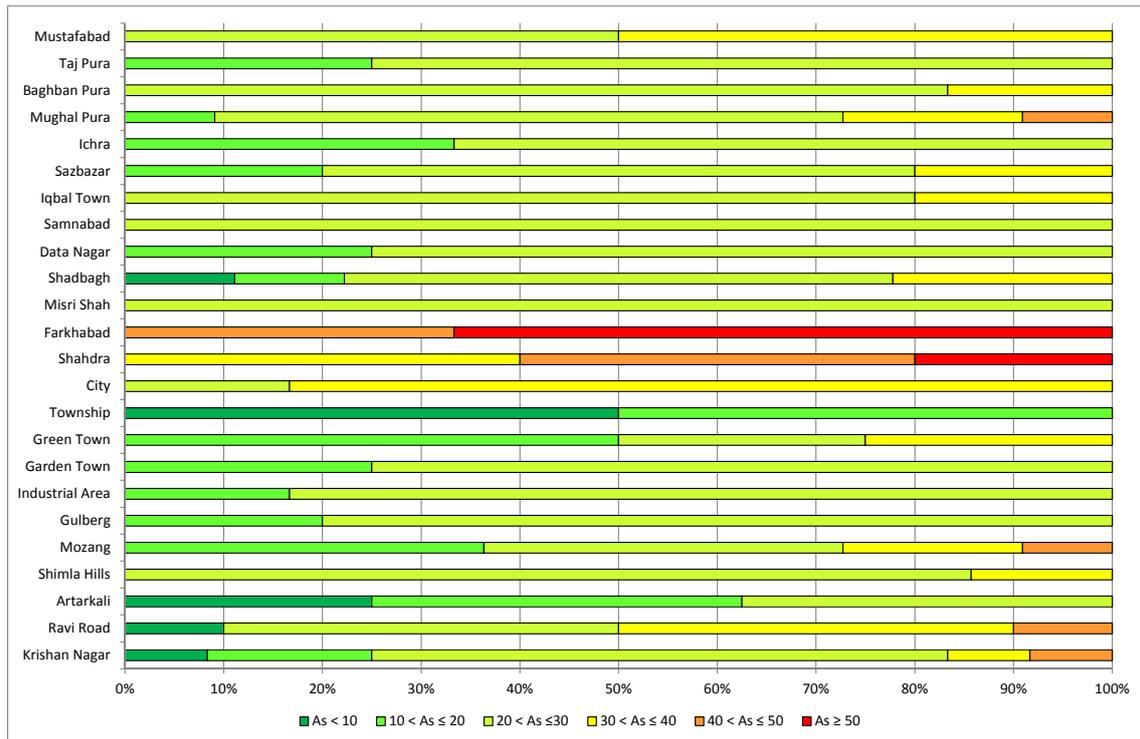
(c) サンプルングできなかった深井戸のヒ素濃度の仮定

前述したように、JICA 調査では 7 ヶ所でサンプルングができず、ヒ素濃度は不明である。これらの深井戸は表 2-12 に示すようにでは PUIC 調査でも対象となっていないものが多い。このため、図 2-19 において所属する Sub-district の 75% 値が入る濃度ゾーンの最大値を適用する。例えば、ある Sub-district の 75% 値が $20 \leq As < 30$ µg/L の濃度ゾーンに入っているとき、その Sub-district でサンプルングできなかった深井戸のヒ素濃度は 29 µg/L であると仮定する。

表 2-12 サンプルングできなかった深井戸の情報

No.	Location	Sub-District	JICA (µg/L)	PUIC (µg/L)	Assumed (µg/L)
23	Iqbal Park Fort	City	-	-	39
27	Iqbal Park-II (Abandoned)	City	-	69.3	39
36	D-1Block III	Garden Town	-	UD	29
38	Tanki No.4 Township	Township	-	-	19
39	Tanki No.3 Township	Township	-	-	19
86	Mujahidabad	Shahdra	-	-	39
133	Latif Park	Shahdra	-	-	59

a) JICA 調査



b) PUIC 調査

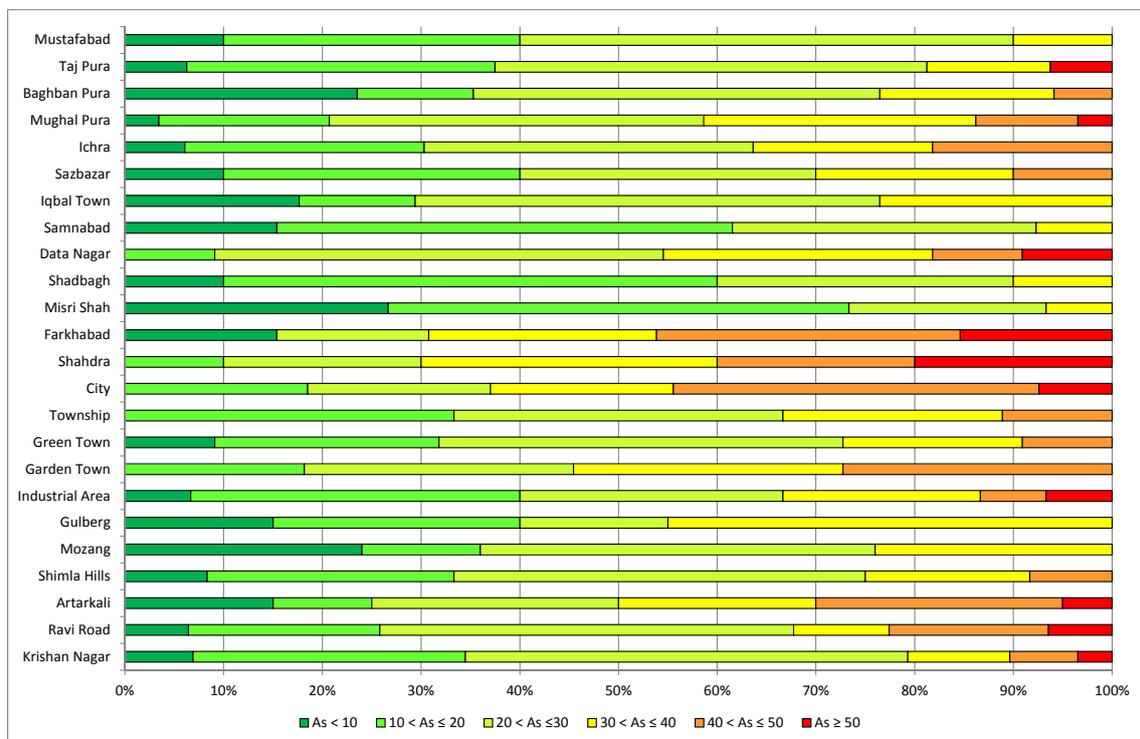


図 2-19 Sub-district 別ヒ素濃度分布(%)

5) 揚水量実測調査及び揚砂量目視観測結果

WASAは、既存のWASA井戸について、主に目視により揚水量を推定しており、全ての井戸の揚水量が減少していると判断している。また、揚水時の動水位は、極めて限られたデータしかなく、実際の井戸状況を判断できるだけの基礎資料がないため、静水位及び動水位測定と共に、超音波流量計を日本より3台持参し、揚水量実測調査を行った。それに加えて、深井戸のJIS規格「深井戸ポンプ運転には、排砂量 <50 mg/Lとする」に従い、排砂量目視観測調査を行った。調査に当たっては、井戸の所在地（GPSデータ収集）、ポンプや井戸の現況、ポンプの平均稼働時間等も調査を行った。147調査対象井戸のうち、廃棄井戸、縦型ポンプ用の地上設置モータなし、或いはモータ故障、配水管が直ぐ地下に潜ってしまうために適当な調査箇所がない、ポンプが空気を吸っていて揚水量が変動し測定できない等の理由により、揚水量を実測できない井戸が45箇所あり、実際に揚水量実測調査が実施できたのは、102箇所に限られた。表 2-13 に揚水量実測調査対象井戸の内訳を示す。

表 2-13 揚水量実測調査対象井戸の内訳

分類	調査できなかった理由	深井戸数
揚水量実測調査ができなかった深井戸	廃棄井戸	12 箇所
	モータなし/故障	10 箇所
	井戸元配水管で適切な測定箇所なし	11 箇所
	空気吸い込み/配水管の振動により測定不可	7 箇所
	その他、（数日以上稼働せず）	5 箇所
揚水量測定実施深井戸		102 箇所
深井戸総数		147 箇所

(a) 排砂量目視観測結果

排砂量目視観測結果によれば、排砂量がJIS B8234の深井戸用ポンプ規定で設定されている排砂量が50 mg/Lを超えている井戸は、以下の2ヶ所の井戸のみであった。なお、排砂量はポンプインペラ等が長期に使用した場合摩耗するために設定されている。

表 2-14 排砂量が50 mg/Lを超えている井戸

井戸番号	井戸設置場所名	排砂量
68	A-III Johar Town	>50 mg/L
96	Sehar Road	>50 mg/L

注) 排砂量目視観測結果による。

(b) 揚水量実測結果

揚水量の実測結果を井戸建設時の計画揚水量の比較を、図 2-20 と図 2-21 に示す。図中の右の凡例中に計画揚水量と比べた実測揚水量の割合を、円グラフに各割合における井戸数の割合を示した。

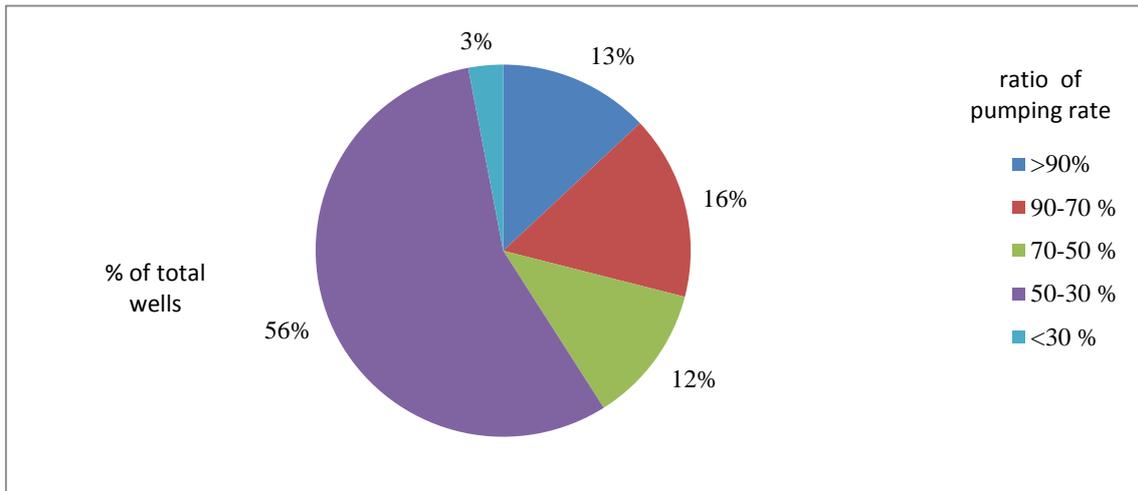


図 2-20 4 cfs 井戸で計画揚水量と実測揚水量との割合及びその時の井戸数の割合

4 cfs 井戸では、実測揚水量が計画揚水量の90%以下である井戸数を合計すると87%となり、大部分の井戸で、計画揚水量に相当する水量が揚水されておらず、下回っている結果となっている。

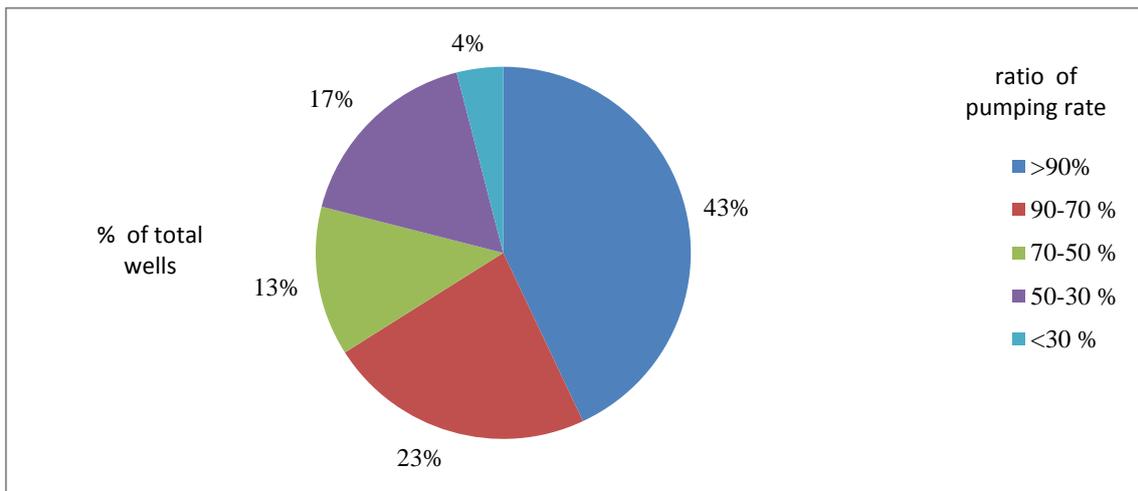


図 2-21 2 cfs 井戸での計画揚水量と実測揚水量との割合及びその時の井戸数の割合

一方、2 cfs 井戸では、計画揚水量の90%以上の水量を揚水している井戸数が43%であり、多数の井戸で計画揚水量に近い水量を揚水している。既に、図 2-5 に示したように、2013年5月では、2008年2月時点に比べて地域的地下水位低下がラホール地域全体で進んでおり、4 cfs 井戸では、この影響を受けて、井戸揚水量が計画時の水量を下回る井戸が殆どであるのに対して、2 cfs 井戸では、揚水量が少ないために、各井戸の水位降下量が4 cfs と比べて小さく、地域的地下水位低下の影響をあまり受けておらず、現在の揚水量が計画揚水量に近い値となっていると判断される。

(c) 地域的低下地下水位と現在の井戸揚水量の関係

4 cfs 井戸で現在の揚水量が計画揚水量を下回る井戸が多いのは、地域的地下水位低下の影響を受けているのではないかとの推論を確認するために、**図 2-5** の2013年の地域的地下水位低下地域分布図を基にして、地下水位深度① -15 m～-25 m、② -25 m～-35 m、③ -35 m～-40 m、④-40 m以上の4地区に区分し、その中に含まれる調査対象井戸の平均揚水量と低下した地下水位との関係を調べた。その結果を**図 2-22** に示す。

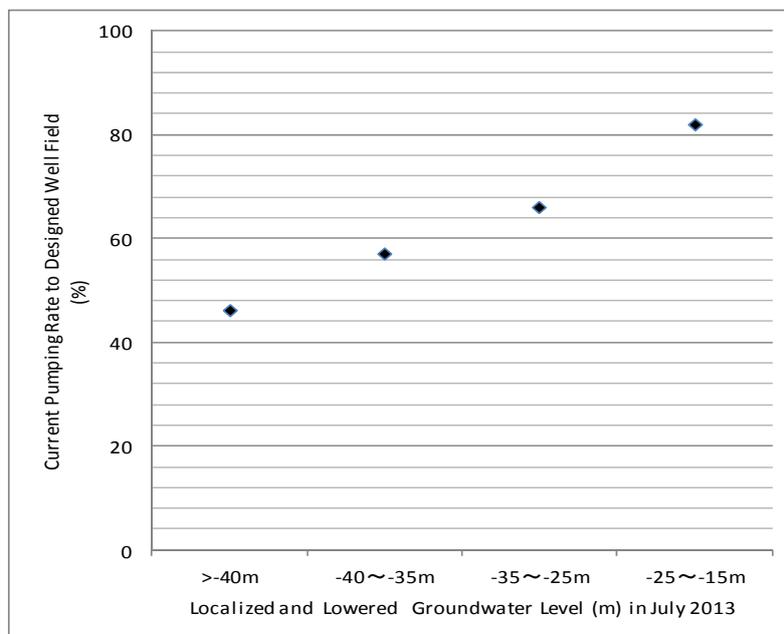


図 2-22 地域的低下地下水位(2013年7月)と現在の井戸揚水量の関係

図 2-22 に示したように、地域的に低下した地下水位と現在の井戸揚水量には、明確な関係が認められる。地下水位が低下しているほど、計画揚水量に比べてその地域に立地する井戸の揚水量は少ない。これは、地域的地下水位の低下量が大きいほど、ポンプ揚程が大きくなり、そのために、揚水量が減っていると解釈される。

(d) 比湧出量による井戸湧水能力診断

揚水量実測調査と同時に地下水位（静水位及び動水位）を測定し、その結果を基に、比湧出量（Specific Capacity）を算定し、井戸建設時のそれとを比較して、井戸湧水能力の診断を行った。揚水量実測調査時に動水位を測定できた井戸は、井戸内の揚水管をつなぐフランジに水位測定器のセンサーが引っかかることやフランジ及び井戸地表部のポンプからの漏水により水位センサーが反応してしまうことなどから極限られており、さらに、WASAが所蔵する建設時の井戸試験データ数が少ない等の理由により、建設時と今回の揚水量実測調査データから求めた比湧出量を比較できたのは、限られた8箇所の井戸のみであった。

比湧水量の算定式

比湧出量 (m³/時間・m) = 揚水量 (m³/時間) / 水位降下量 (m)

減少率の算定式

減少率(%) = (建設時の比湧出量 - 現在の比湧出量) / (建設時の比湧出量) × 100

一般的に減少率がスクリーンの目詰まり、井戸湧水量の状況を示すと言われている。

表 2.15 揚水量実測時と竣工時の比湧出量の比較による井戸湧水能力診断

Sr No	井戸番号	井戸所在地名	井戸建設年	比湧出量(m ³ /sec・m)		減少率 (%)
				揚水量実測時	井戸建設時	
1	6	Abdul Karim Road (Mela Ram Park)	2003	0.002	0.049	96
2	55	B-Block Gulsahn-e-Ravi	1998	0.003	0.029	90
3	58	A-Block Gulsahn-e-Ravi	1998	0.004	0.021	81
4	59	Nonarian	1997	0.009	0.021	57
5	71	Kanji House Misri Shah	1998	0.008	0.024	67
6	79	Faseeh Road	2002	0.008	0.026	69
7	99	Dev Samaj Road (Communication Office)	1999	0.009	0.026	65
8	122	Shahab Stadium (Fazal pura)	1998	0.009	0.023	61

同じ井戸で井戸建設時と今回の揚水量実測時との比湧水量を比較した場合、57%～96%まで減少している。この理由として、「4) 地域的低下地下水位と現在の井戸揚水量の関係」の節に述べたように、地域的地下水位の低下量が大きいほど、ポンプ揚程が大きくなり、そのために、揚水量が減ってくることで、即ち、同じ動水位降下量でも揚水量が減少することと井戸自体のスクリーン等目詰まり等の両者が関係していると考えられる。比湧出量の減少は、井戸建設年に関係なく生じているので、建設年に関係なく井戸更新を進めるべきである。

(7) ヒ素除去装置の設置状況 (詳細は資料7参照)

現在 WASA は州政府の予算を使って、地下水ヒ素濃度が 20 µg/L 以上の WASA 深井戸を対象にヒ素除去施設の整備を進めており、2012~2013 年の 2 年間に 100 箇所の設置を予定している。WASA は引き続いてさらに 100 箇所のヒ素除去施設整備のための PC-1 (事業認可申請書) を既にパンジャブ州政府に提出している。現在は地下水ヒ素濃度が 20 µg/L 以上の深井戸を対象としているが、最終的には 10 µg/L 以上まで範囲を拡げるのがパンジャブ州政府の基本方針とされている。WASA は動物園等人的の集まる場所にも設置を進めていく意向である。なお、政治的圧力によって設置基準となっているヒ素濃度が 20 µg/L 未満の深井戸にもヒ素除去装置が設置されている例がいくつか見られる (詳細は資料表 7-1、表 7-2 参照)。

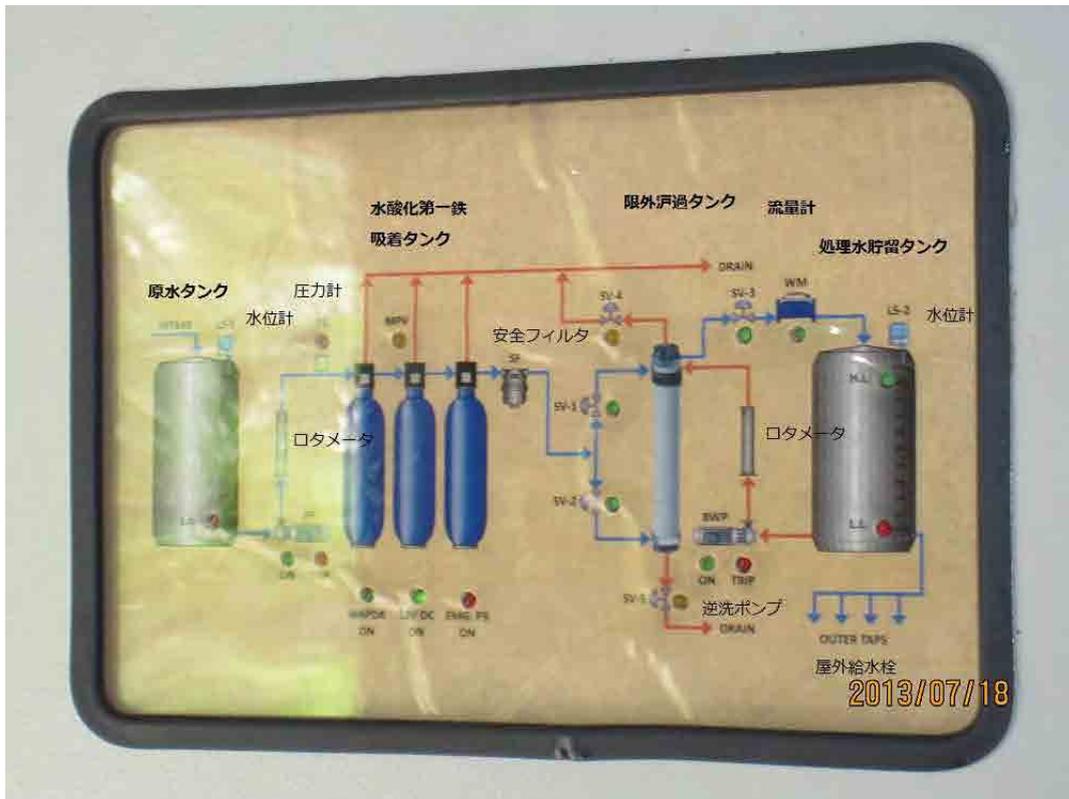


図 2-23 ヒ素除去装置フローシート

- 使用目的： 飲料水及び台所用水としての使用
- 計画能力： 4 m³/hr (96 m³/day)
- 計画人口： 約 4,800 人
- 浄水方式： 砂濾過+活性炭吸着+粒状水酸化第二鉄吸着+限外濾過膜
- 設置対象： ヒ素濃度が 20 µg/L 以上の深井戸
- 貯留能力： 400 L
- 給水方式： 公共栓
- 浄化成績： 濁度： 5 NTU 以下
ヒ素： 5 µg/L 以下
大腸菌：ゼロ
- 建設費： 一式 約 Rs.2,000,000.-
- 所要面積： 12 ft × 12 ft
- 設置個数： 2012 年~2013 年の 2 年間に 100 箇所設置する、現在 78 箇所完成
さらに 100 箇所設置すべく PC-1 を州政府に提出済み
- 維持管理： KSB と 3 ヶ年 (31/10/2012~31/10/2015) のメンテナンス契約を締結
- その他： パンジャブ工科大学環境工学研究所教授によると、吸着能力は年とともに劣化するため 3 年毎に交換が必要

Source: Tribune dated July 22, 2012, July 30, 2012, & October 1, 2012)

飲料水・台所用水の一人1日使用水量を20Lと仮定すると、ヒ素除去施設1ヶ所当たりの給水人口は4,800人となる。

深井戸のヒ素濃度を基準にしているため図2-24に示すように一部地域ではヒ素除去施設の利用圏（ここでは深井戸から半径250m以内、平均歩行速度を5km/hourとしたとき3分の歩行圏内に設定）が重なっている。ヒ素除去施設の処理水はその公共栓まで実際に水を汲みに行かなければ利用できないこと、及び基幹配管網が通っている沿線では何処でもヒ素除去施設の設置が可能であることを考えると、もっとヒ素除去施設の利用圏が広がるように配置することが提言される。

ヒ素除去施設の浄化成績を表2-16（詳細は資料表7-3参照）に示す。これによれば、現在設置が進められているヒ素除去施設は、濁度・ヒ素・大腸菌群数の除去に効果があり、ヒ素は流入水濃度に関わりなく流出水はWHO飲料水質ガイドラインの10µg/Lを満たしている。

また、2014年1月22日～28日に実施された91箇所のヒ素除去装置処理水の大腸菌及びヒ素に係る水質検査では全数がWHO水質ガイドラインの飲料水質基準適合で、ヒ素濃度は6µg/L 1箇所、5µg/L 10箇所、4µg/L 12箇所、3µg/L 18箇所、2µg/L 17箇所、1µg/L 5箇所、検出せず28箇所となっている。

表 2-16 ヒ素除去施設の浄化成績

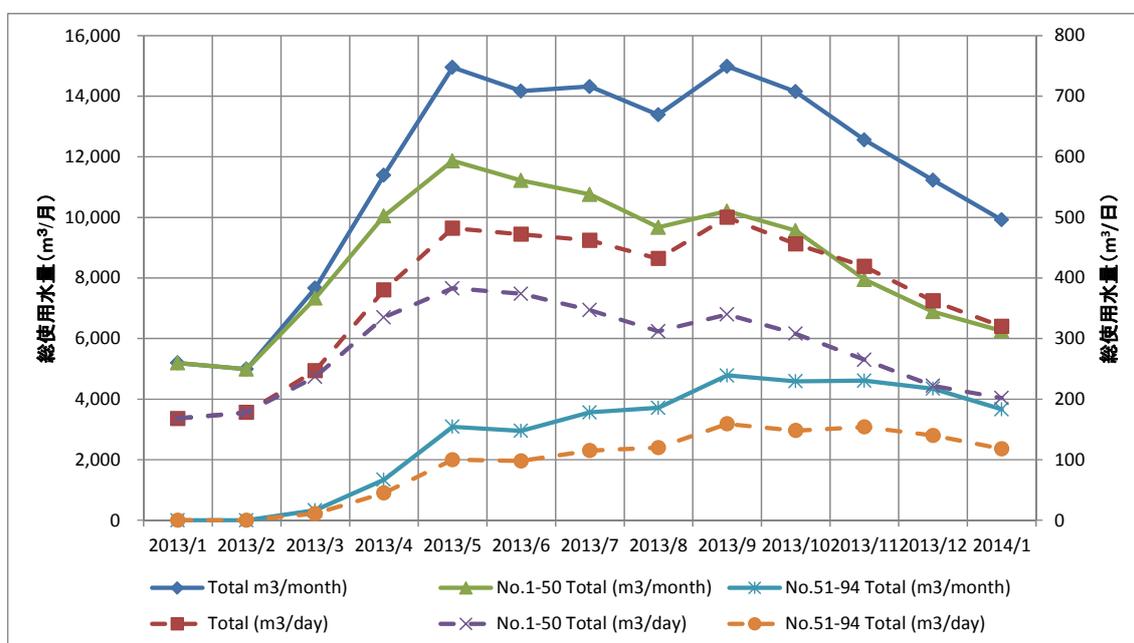
Name of T/W	Sub-district	Turbidity (NTU)		Arsenic (µg/L)		Coliform (cfu/100mL)	
		Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
Rahat Park	Ichra	1.2	0.4	31.9	1.6	0	0
Jahangir Road	Mughalpura	1.0	0.3	48.2	5.3	0	0
Sehar Road	Mughalpura	0.9	0.3	51.1	4.3	0	0
A-III Johar Town	Ichra	2.1	0.2	51.9	0.1	0	0
Faisal Park	Mughalpura	1.9	0.3	31.5	1.7	16	0
Nabi Bukhsh Park	Shadbagh	2.6		46.3	10.0	0	0
Aziz Colony	Farukhabad	3.2	0.2	56.2	Nil	0	0
Jamshed Park	Misri Shah	2.7	0.3	47.8	Nil	6	0
WHO Guideline			5-25		10		No colony

Source: Analysed at Central Research Laboratory, Public Health Engineering Department Punjab

(8) ヒ素除去装置の利用状況（詳細は資料7参照）

各ヒ素除去装置別月間使用水量一覧表が維持管理を請け負っているKBSよりWASAに月報として提出されている。これによれば、2012年末において50基が稼働していたが、2013年末には93基、2014年1月には94基に稼働数が増加している（6基は未着手）。

図 2-23 に月間総使用水量と一日総使用水量の推移を示す。これによれば、供用ヒ素除去装置は増えているにも拘わらず、総使用水量は右肩上がりとならずにむしろ9月を境に減少に転じている。これは季節変化の影響を受けて、気温の高い5月～9月（月間平均気温 30°C~33°C）に使用水量が伸び、気温の低い10月～4月（月間平均気温 12.5°C~25°C）に使用水量が落ち込むことを示している。図 2-23 は同様に2012年に稼働した50基と2013～2014年に稼働した44基の月間総使用水量と一日総使用水量の推移も示しているが、前者に季節変化の影響が強く表れており、後者はヒ素除去装置の稼働基数の増加に伴い右肩上がりの傾向を示しているものの、10月以降には季節変化の影響が見られる。このような季節変動要素を取り除いて2013年1月～2014年1月の間の増分を見ると既存50基で1,060 m³/年、新設44基で3,665 m³/年で、既存50基の増加率は20.4%に止まっており、利用が大いに進んでいるとは言えない状況にある。



注) 図 2-23 において実線は左側目盛り、点線は右側目盛りによる。

図 2-24 ヒ素除去装置処理水月間及び一日総使用水量の推移

一人1日使用水量を飲料水として2Lpcdとして使用人口を求めると、ピークの2013年5月で241,000人であり、これはWASAの総給水人口5,772,000人の4.2%に過ぎず、調理用水分を加味するとその比率は2%以下と推定される。したがって、現状においてはヒ素除去装置の利用者は限られており、普及の兆候が見られていないと言ってよい。この大きな原因はWASA自身がヒ素除去装置による安全な水の供給を市民に広くアピールしていないことにあるが、それではヒ素除去装置を設置する意味がなく、利用促進のキャンペーンを実施することが望まれる。

WASA は 5 月 27 日付の書簡でヒ素除去装置処理水の利用促進に向けて以下の計画をを明らかにしている。

キャンペーンの目的

ヒ素除去装置設置後に、市民意識改革キャンペーンを以下の目的を持って実施する。

- 飲料に適しない水の使用は有害であるという意識を市民に植え付ける。
- 特に飲料と調理付いては、ヒ素除去装置浄化水の使用を促進する。
- コミュニティおよびそれらの健康に、ヒ素除去装置の設置は長期的恩恵のあることを強調する。

戦略と実施

コミュニケーション・プランは主に分かり易いメッセージによるものとし、IEC (Information, Education & Communication) 手段を通じて配信する。印刷物は、主要街路、目に付く・関連のある場所、学校、大学、専門学校、学生・コミュニティが中心になっている組織に掲示し、使用言語は英語又は二カ国語を活動の基礎に置く学生向けに設計されたものを除き、ウルドゥ語とする。

① 第一目標

社会経済的背景が異なるラホール市民

② メッセージのテーマ

- 清浄な飲料水へのアクセスは基本的人権であり、WASA 深井戸に設置されるヒ素除去装置の設置によって確保される。
- 特定ニーズ別に水の使い分けを奨める。
- 最近設置されたヒ素除去装置より安全で無料の飲料水を使用する。
- 市民の協力がこの事業の成功に不可欠である。

③ メディア

- IEC 手段
- 印刷物及び電子的メディア
- 直接的な市民参加

④ 意識啓蒙キャンペーンチーム

- WASA は SM 担当副部長を責任者として、企画評価部 (Planning & Evaluation) の運営管理の下で動く社会動員 (Social Mobilization: SM) ユニットを設立した。彼はこのキャンペーンのすべてを統括する。
- チームは SM 担当部長補、維持管理部及び歳入部の現場スタッフ、キャンペーンのニーズに応じて一時的に雇用される現場作業員が、SM 担当副部長を補佐する。

⑤ チームの重要な活動

チームの重要な活動表が作成されており、そこには、目標・活動案・期待される成果が Phase-1 と Phase-2 に分けて記載されている。この活動表は暫定的なもので、キャンペーンのニーズと要求に応じて改訂されると付記されている。

⑥ 作業計画表

作業計画が作成されており、そこには作業項目、2014年の第3四半期～2015年の第3四半期までの実施期間、責任者、目標が記載されている。この作業計画は初期の活動から成る暫定的なもので、必要に応じて追加があると付記されている。

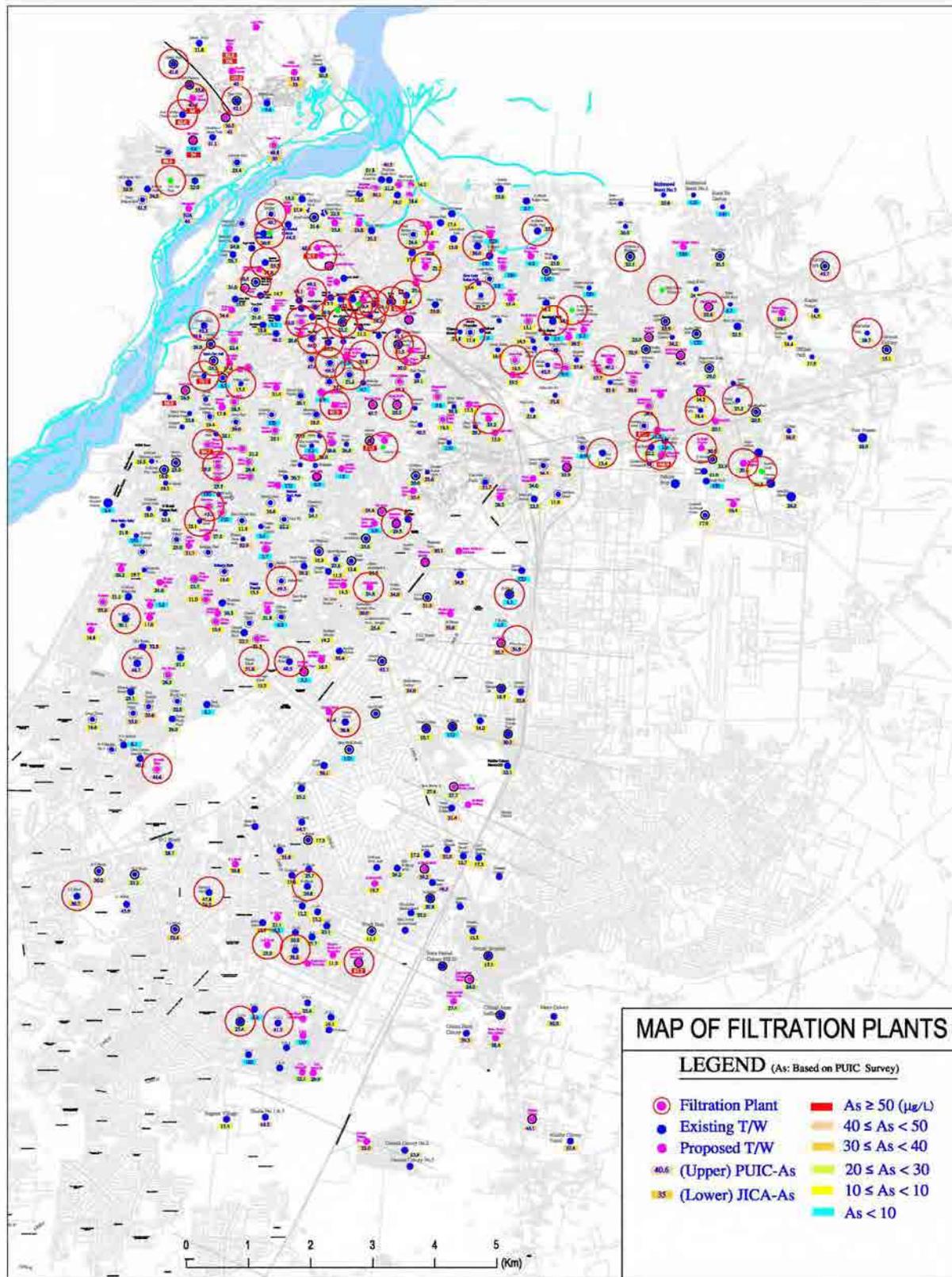


図 2-25 WASA のヒ素除去施設の配置 (2013 年 9 月末現在)

(9) 深井戸建設計画

1) 深井戸の計画目標年度

IBRDにより実施されたCDM (Camp Dresser & Mckee) (1975年) 報告書「Lahore Water Supply, Sewerage and Drainage Project」による、WASA既存井の廃棄年数の実績により策定された井戸寿命15年とする検討結果に基づき、井戸建設後、少なくとも、15年は利用されることを勘案し、また、本計画が順調に実施手続きに進んだ場合、3年後に建設が終了することを考慮すると、2031年まで建設後井戸が利用されなければならない。そのため、井戸継続利用計画年を2031年とする。

2) 深井戸の計画目標年度における地下水状況

井戸計画年における地下水状況を検討するために、調査対象147井戸の2005年5月～2013年5月までの静水位測定データにより、その水位変化等を検討した。年毎の同じ時期の静水位を比べてその変化の経緯を見るためには、各年に同じ井戸で静水位観測されている必要がある。しかしながら、複数の地域で全く井戸水位が観測されていない年や、極めて観測井戸数が少ない年があり、検討対象の2005年～2013年の8年間に継続して、同一の観測井戸で観測された静水位は、極めて少ないのが実情である。検討の結果、継続して同じ井戸で、静水位が測定された井戸は7箇所しか存在しないことが判明した。これらの井戸は、ラホールのWASA給水区域内に散在している。

ラホール市内では、年毎に人口が増大し、総井戸数の増加とともに井戸汲み上げ量も増加していると考えられるが、ほとんどの井戸で流量計は付いていないか、存在しないこと、又はWASAは従来主に目視により揚水量を測定している状況であるので、過去及び現在に至るまで揚水量の確実な資料は存在しない。

そのため、過去8年間の地下水位低下状況を調べて、それがどのような傾向にあるかを調べた。その結果を図 2-26に示す。

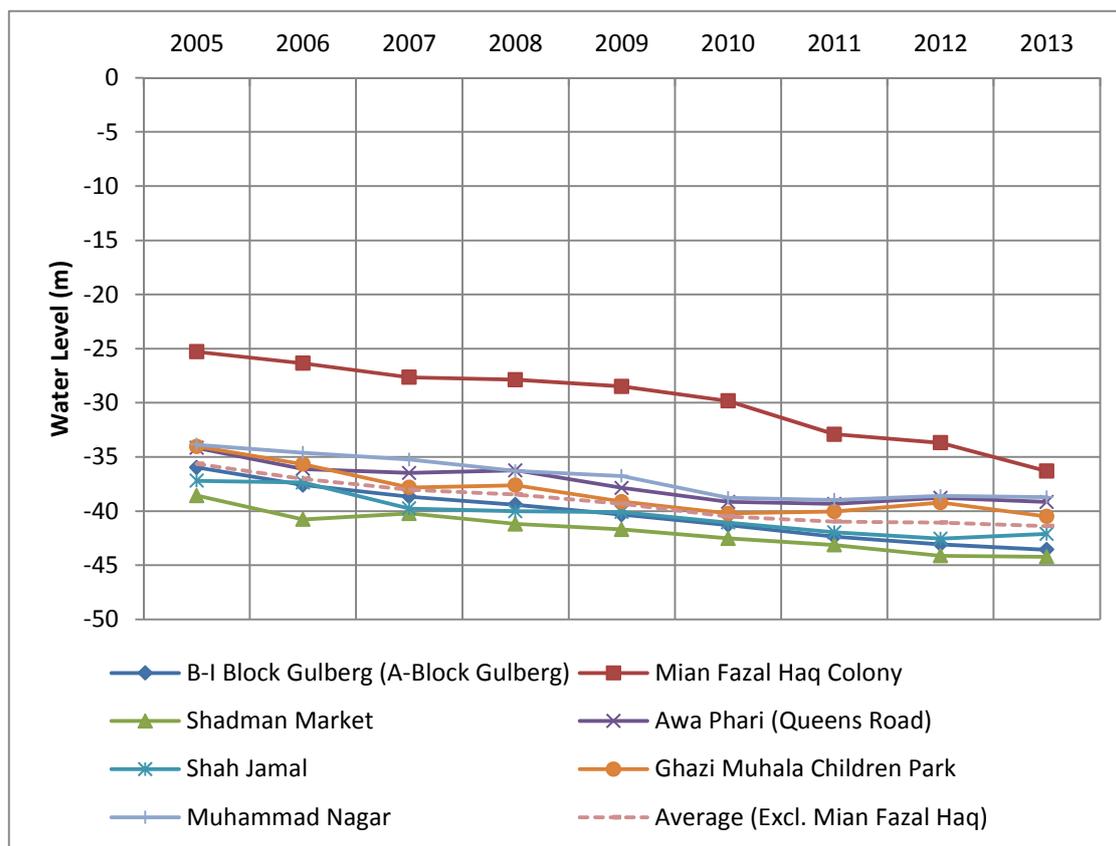


図2-26 2005年～2013年におけるWASA深井戸静水位の変化

注) 各年実測時期は5月を示す。

上記の観測静水位のうち、Mian Fazal Haq Colonyはグラフの最下段にその曲線が示されているが、これは、ラホール市南部はずれの工業地域であり、最近開発が進んでいるところであるため、2005年当時は揚水井戸が少なく、年毎に急激に開発が進み、地下水位低下が生じていると解釈される。グラフからも分かる通り、地下水開発の結果としての静水位低下状況からみれば、その他の地域と異なる特異的な地域であるといえる。その他の地域では、一定の変動幅の中で、静水位深度が2005年～2013年にかけて増大している。

ラホール市の人口が増大するにつれて、市中心部でも人口は増大するが、市域も拡大し、給水区域も増大する。市域拡大に伴って、新規に開発された地域でも給水井戸が新たに建設されている。そのため、ラホール市の人口増大に伴う、地下水揚水量増大により、地下水の静水位は一様に増大すると考えられる。

これを確認するために、図 2-26 に於ける、2005年5月の静水位を出発点としてその後どのように地下水位変化が生じているか図 2-27に示した。

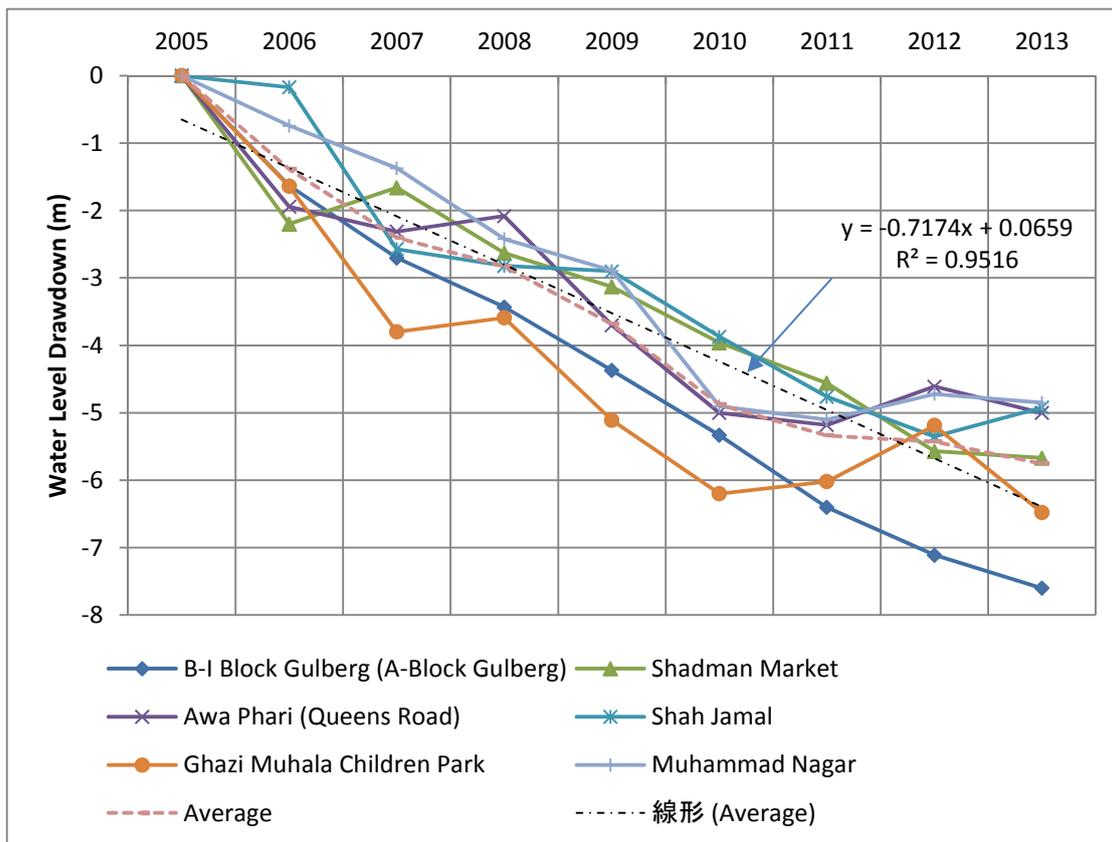


図2-27 2005年～2013年における地下水位の変化

注) 各年実測時期は5月を示す。ただし、図2-18に示すMian Fazal Haq Colonyは他地域と異なり、ラホール市の中でも最近開発が急激に進んだと考えられる工業地域に属し、ここ数年に急激な地下水位低下を示した特異的な地域であるので図から除外した。

図 2-27 の2005年を基準とする2013年までの地下水位変化図によれば、その静水位は、ほぼ一様に、低下してきたと考えられる。

この結果をもとに、この傾向が将来ラホール市の人口が増大しても保たれると仮定して、その期間中でも比較的地下水位の測水データが多い、2008年と2013年の期間における5年間の平均水位降下量がその後も続くと設定して求めた計画設定年2031年におけるラホール市域の地下水位低下状況を図 2-28 に示す。ラビ川右岸では、殆どの地域で、地下水位は-15m～-25 mの深度となり深くなる。ラビ川左岸では、2013年より一段と地下水位低下が進み、大部分の地域が地下水位-55m以下となり、最も深い部分では、-65 m以上となる。-55 mよりも浅い地下水は、ラビ川沿いに帯状に分布し、ラビ川に近くなるほど水位は浅くなるが、その深度は約32mである。

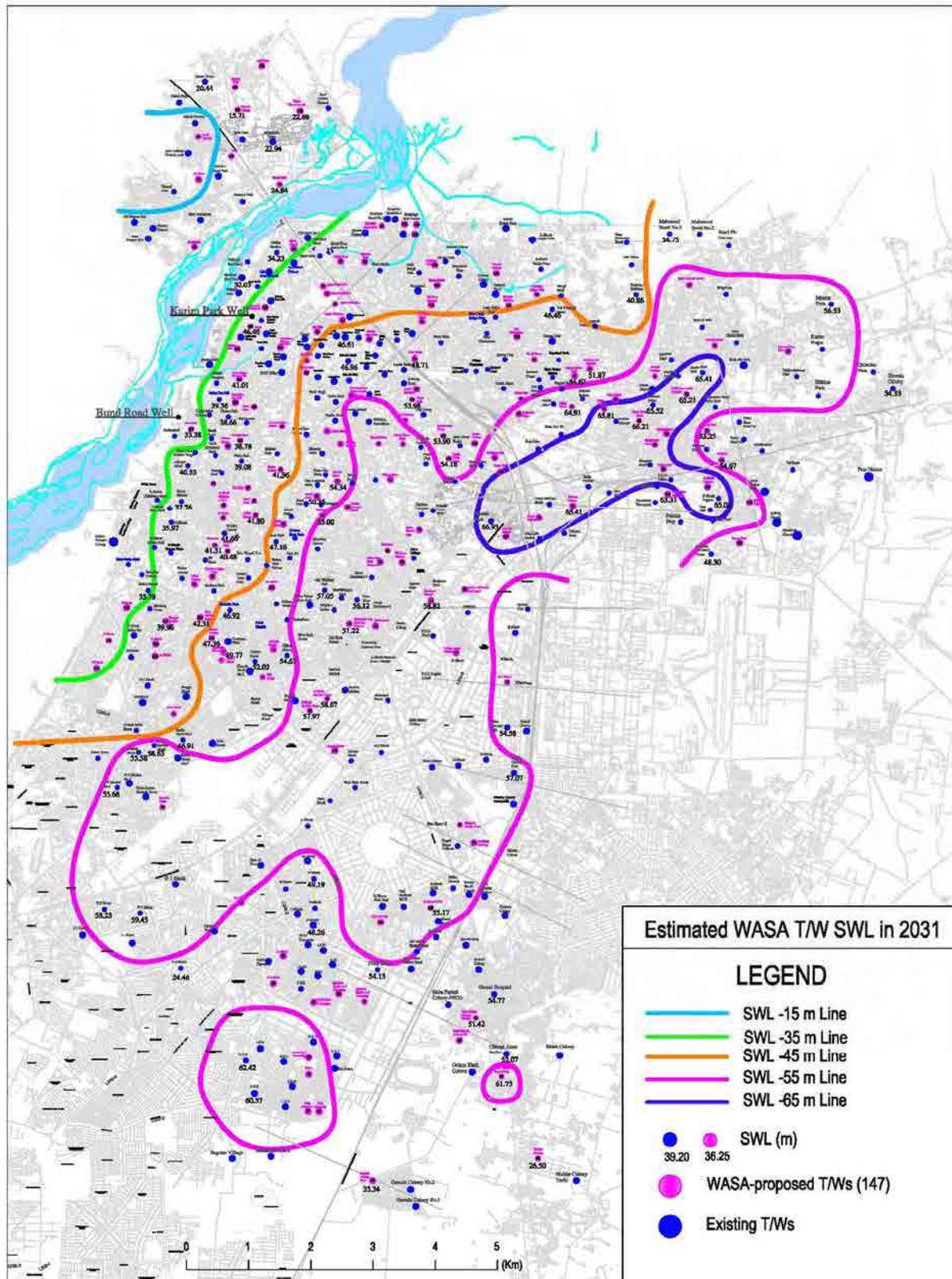


図 2-28 計画設定年（2031 年）における地域の地下水位低下状況図

3) 深井戸動水位の設定

(a) 深井戸竣工時の揚水試験資料に基づく動水位の設定

147箇所の調査対象井戸サイトのうち、38箇所の井戸竣工時の揚水試験資料がWASA、水文事務所から得られた。WASAは、通常実施されているような段階揚水試験、連続揚水試験、回復試験をしておらず、また、回復試験では、通常（48時間）よりも少ない数時間の連続試験の実施後、回復試験を実施している。回復試験では、水位測定の間隔が少ないことなどの不備は認められるが、それを利用して、Theis式により水理解析し、透水量係数(T)及び透水係数(K)を得た。38箇所の井戸データのうち、データ資料が読み取れない、回復試験データが欠如している等の理由により、6箇所のデータが解析不能であった。残り32箇所の井戸データについて解析でき、その結果を表 2-17 に示す。解析法と解析式を下記に示す。

表 2-17 井戸竣工時の揚水試験の解析結果（透水量係数と透水係数）

Sr. No.	Well No.	Name of TW	Installation Year of TW	Well Structure			Discharge Well Design Q1 (cusec) (m ³ /sec)	Hydraulic Conductivity	
				Total Depth of TW (m)	Pump house casing (m)	Screen (m)		T (m ² /day)	K (cm/sec)
1	2	Neelam Block	2007	218 m	59 m	59 m	4 cusec	4,166 m ² /day	8.17 × 10 ⁻² cm/sec
2	5	Ravi Block	1998	171 m	64 m	58 m	4 cusec	2,109 m ² /day	4.21 × 10 ⁻² cm/sec
3	6	Bdul Krim Road (Mela Ram Park)	2003	158 m	58 m	37 m	2 cusec	1,581 m ² /day	4.95 × 10 ⁻² cm/sec
4	14	Suraya Jabeen Park	2003	201 m	64 m	55 m	4 cusec	5,971 m ² /day	1.25 × 10 ⁻¹ cm/sec
5	19	Madhu Lal Hussain	1999	203 m	64 m	58 m	4 cusec	2,109 m ² /day	4.21 × 10 ⁻² cm/sec
6	20	Iqbal Park-I	1998	177 m	64 m	55 m	4 cusec	4,597 m ² /day	9.67 × 10 ⁻² cm/sec
7	22	Chomala	2005	175 m	70 m	35 m	2 cusec	1,844 m ² /day	6.10 × 10 ⁻² cm/sec
8	25	Sharanwala Gate	1998	178 m	64 m	56 m	4 cusec	5,118 m ² /day	1.06 × 10 ⁻¹ cm/sec
9	26	Ali Park	1998	189 m	64 m	56 m	4 cusec	3,655 m ² /day	7.55 × 10 ⁻² cm/sec
10	27	Iqbal Park-II	1998	177 m	58 m	55 m	4 cusec	3,320 m ² /day	6.99 × 10 ⁻² cm/sec
11	28	Raheem Road Data Nagar	1998	194 m	64 m	60 m	4 cusec	2,524 m ² /day	4.87 × 10 ⁻² cm/sec
12	32	Jia Musa	2003	154 m	58 m	37 m	2 cusec		
13	34	Farrukh Abad	1998	183 m	64 m	56 m	4 cusec	4,427 m ² /day	9.14 × 10 ⁻² cm/sec
14	37	D-II Block-III (4-D-2)	1997	158 m	58 m	30 m	2 cusec	1,229 m ² /day	3.84 × 10 ⁻² cm/sec
15	45	B-I Block Gulberg (A-Block Gulberg)	1998	163 m	64 m	56 m	4 cusec		
16	46	Mehboob Park, Ichra	2001	154 m	64 m	56 m	4 cusec	3,894 m ² /day	8.05 × 10 ⁻² cm/sec
17	49	Fareed Colony Printing Press	1999	189 m	62 m	59 m	4 cusec	3,732 m ² /day	7.32 × 10 ⁻² cm/sec
18	54	Mian fazal Haq Colony	1999	189 m	54 m	59 m	4 cusec		
19	58	A-Block Gulsahn-e-Ravi	1998	176 m	61 m	54 m	4 cusec	1,866 m ² /day	3.99 × 10 ⁻² cm/sec
20	59	Nonarian	1997	198 m	64 m	60 m	4 cusec		
21	65	National Town Sandha	1996	178 m	64 m	67 m	4 cusec	3,036 m ² /day	5.24 × 10 ⁻² cm/sec
22	71	Kanji House Misri Shah	1998	178 m	64 m	61 m	4 cusec	2,326 m ² /day	4.41 × 10 ⁻² cm/sec
23	79	Faseeh Road	2002	200 m	64 m	55 m	4 cusec	5,778 m ² /day	1.22 × 10 ⁻¹ cm/sec
24	87	Angori Bagh Scheme-II	2001	151 m	58 m	35 m	2 cusec	3,689 m ² /day	1.22 × 10 ⁻¹ cm/sec
25	88	Daras Barey Main	1997	177 m	64 m	59 m	4 cusec		
26	89	Kotli Pir Abdur Rehman	2001	183 m	64 m	56 m	4 cusec	4,478 m ² /day	9.14 × 10 ⁻² cm/sec
27	91	Sansi Quarter	1996	212 m	64 m	58 m	4 cusec	1,628 m ² /day	3.25 × 10 ⁻² cm/sec
28	93	Shah Kamal	1998	194 m	64 m	58 m	4 cusec	7,788 m ² /day	1.55 × 10 ⁻¹ cm/sec
29	94	Lal Pul Fayyaz Park	1998	209 m	64 m	56 m	4 cusec	4,071 m ² /day	8.41 × 10 ⁻² cm/sec
30	96	Achant Garh	2003	160 m	58 m	37 m	2 cusec	2,270 m ² /day	7.10 × 10 ⁻² cm/sec
31	99	Dev Samaj Road (Communication Office)	1998	195 m	64 m	58 m	4 cusec	3,582 m ² /day	7.15 × 10 ⁻² cm/sec
32	101	Mohni Road Salmat Mohalla	1998	171 m	61 m	61 m	4 cusec	1,905 m ² /day	3.58 × 10 ⁻² cm/sec
33	105	M. C. High School Sanda	1997	170 m	64 m	67 m	4 cusec	3,655 m ² /day	6.31 × 10 ⁻² cm/sec
34	106	Karim Block B	1990	187 m	64 m	65 m	4 cusec	2,420 m ² /day	4.31 × 10 ⁻² cm/sec
35	112	B-Block Sabzazar	2002	143 m	58 m	37 m	2 cusec	2,012 m ² /day	6.29 × 10 ⁻² cm/sec
36	122	Shahab Stadium (Fazal pura)	1998	198 m	64 m	56 m	4 cusec	3,142 m ² /day	6.49 × 10 ⁻² cm/sec
37	131	Saeed Park	1998	175 m	64 m	58 m	4 cusec	2,357 m ² /day	4.70 × 10 ⁻² cm/sec
Average							4 cusec	3,602 m ² /day	7.14 × 10 ⁻² cm/sec
							2 cusec	2,104 m ² /day	-ditto-

回復試験データの解析法Theis式 $T = 0.183 \times Q / \Delta S$ T: 透水量係数(m²/day)Q: 揚水量 (m³/day) $K = T / H$ K: 透水係数(cm/sec)

H: 帯水層の厚さ(m)

透水量係数(T)の平均値は、計画揚水量6.8 m³/min (4 cfs) 井戸でT=3,602 m²/day、3.4 m³/sec (2 cfs) 井戸でT=2,104 m²/dayである。透水係数(K)の平均値は、7.14×10⁻²cm/secである。透水係数は、砂層の平均的値を示している。

この値を利用して、計画井戸の帯水層ロス（理論的水位降下量）を計算した。なお、この理論的水位降下量は、井戸竣工時の井戸目詰まりのない状況での帯水層の水理条件のみにより決定される値を示している。解析に利用した式を下記に示す。

帯水層ロスの計算理論式

Jacobの修正式

$$S_w = 0.183Q/T \cdot \log 2.25Tt/r^2S$$

S_w: 帯水層ロス (m)Q: 揚水量 (m³/day)T: 透水量係数 (m²/day)

t: 揚水継続時間 (day)

r: 井戸中心からの距離 (m)

S: 貯留係数

揚水継続時間を仮にt=180日として計算した計画井戸端での理論的水位降下量を表2-18に示す。

表 2-18 計画井戸端での揚水量と帯水層ロス（理論的水位降下量）

Sr. No	揚水量	理論値計算条件	帯水層ロス (m)
1	6.8 m ³ /min (4 cfs)	T=3,602 m ² /day, Q=9,789 m ³ /day 井戸半径(r)=0.125m, 揚水継続時間(t)=180日	4.62 m
3	3.4 m ³ /sec (2 cfs)	T=2,104 m ² /day, Q=4,895 m ³ /day 井戸半径(r)=0.1m, 揚水継続時間(t)=180日	3.83 m

注) 揚水量(Q)=3 cusec及び1 cusecの場合の透水量係数(T)は、実際の井戸竣工時資料が存在しないために、平均及び比例配分により求めた。

(b) 実際の水位降下量と理論値との比較

実際の井戸における水位降下量と帯水層ロス値（理論的解析値）+井戸ロス値とを比較した。もし、井戸目詰まりがなく、井戸竣工時の状態が保たれていれば、実際の井戸

の水位降下量は帯水層ロス値（理論的解析値）及び井戸ロス値の合計値に一致するはずである。

井戸ロス値は、地下水のスクリーンを通じて井戸内への流入する時に発生するロスである。この値は、段階揚水試験が、5段階、各段階2時間の揚水継続時間の条件で実施されていれば、計算上求められる値である。しかし、WASAの既存資料を検討した結果、段階揚水試験が適切な方法で行われていないために、井戸ロス値の解析に利用できないことが判明した。一方、井戸ロスと帯水層ロスの比は、井戸効率より取り上げられることが多く、60%～80%とされている。

$$\text{井戸効率} = (\text{総水位降下量} - \text{井戸損失降下量}) / \text{総水位降下量}$$

$$\text{総水位降下量} = \text{帯水層ロス} + \text{井戸ロス}$$

上式から、井戸効率は以下のように変形できる。

$$\text{井戸効率} = \text{帯水層ロス} / (\text{帯水層ロス} + \text{井戸ロス})$$

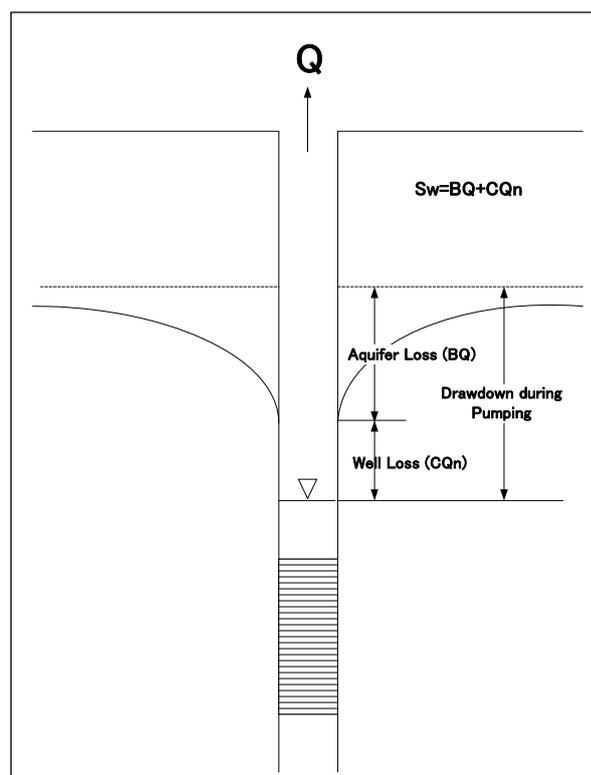


図 2-29 動水位降下量と帯水層ロス及び井戸ロスの関係

井戸効率を60%とすると、想定井戸ロスは、表 2-19 のように計算される。

表 2-19 計画井戸端での揚水量と想定井戸ロス

Sr. No	揚水量	帯水層ロスと計算条件	想定井戸ロス (m)	想定動水位 (帯水層ロス+井戸ロス)
1	6.8 m ³ /min (4 cfs)	帯水層ロス : 4.62 m T=3,602 m ² /day, Q=9,789 m ³ /day 井戸半径(r)=0.125m, 揚水継続時間 (t)=180日	3.08 m	7.70 m
3	3.4 m ³ /sec (2 cfs)	帯水層ロス : 3.83 m T=2,104 m ² /day, Q=4,895 m ³ /day 井戸半径(r)=0.1m, 揚水継続時間 (t)=180日	2.55 m	6.38 m

注) 揚水継続時間を長くしていくと帯水層ロスの値は、徐々に大きくなっていくが、その割合は、それほど大きな値ではないこと、及び現実には、数時間で停電が生じているため、仮に180日に設定した。

本調査では、井戸の現状を明らかにするために、超音波流量計による揚水量実測調査と併せて、井戸水位測定を実施した。このうち、動水位を測定できたのは、測水センサーの揚水管のフランジへの引っかかりや上部及びフランジからの漏水により感応してしまうことなどの原因により測定できたのは、24箇所と僅かである。その結果を下記に示す。

設計揚水量6.8 m³/min (4 cfs) 井戸において、水位降下量は、2.93 m~18.75mの範囲にある。24井戸のうち、15井戸(63%)においてその水位降下量が帯水層ロス(4.62m)+想定した井戸ロス値(3.08m)の合計値(7.7m)を上回っている。これは、多くの井戸で井戸目詰まりが発生し、理論値の水位降下量の2倍以上に水位降下が実際には低下していることを意味している。この理由として次のことが考慮される。井戸目詰まりが発生しているのは、(1) 井戸周辺の帯水層の透水性の損傷、(2)グラベルパック部分の閉塞、(3)井戸スクリーンの閉塞等が考慮される。この一つの大きな原因として、井戸竣工時から井戸取水構造を上回る過剰揚水が行われていることによる機械的な井戸スクリーン部分の閉塞に加えて、深井戸の地下水は、WASAラボによる水源井戸水質の分析データによれば、比較的Caが多く、その平均濃度は37.6 mg/Lであり、また、重炭酸(HCO₃)が平均249 mg/Lと多いために、CaCO₃となって井戸スクリーンやグラベルパック中に析出して、井戸の水みちをふさいでいることが十分考慮される。ランゲリア指数が+となっているのでスケールが発生する可能性があり、また、WASA水文事務所所長が井戸竣工後、多くの井戸で水位低下が1年毎に激しくなり、3年経つと低い水位で安定すると語っているので、井戸建設後3年以内にCaCO₃を除去するために酸を利用し、また、機械的な目詰まりを除去するためにグラベルパック及びスクリーンに振動を与える方法等を併用する井戸リハビリを実施することを試してみる必要があると思われる。

表 2-20 147箇所深井戸調査による動水位降下の実測データ

Sr. No	No	Name of TW	Installation Year of TW	Total Depth of TW (m)	Designed Q	Actual Measured Groundwater Level (m) bgl		
						SWL	DWL	Drawdown
1	6	bdul Krim Road (Mela Ram Park)	2003	158 m	2 cusec	38.15	51.50	13.35
2	28	Raheem Road Data Nagar	1998	194 m	4 cusec	34.20	37.13	2.93
3	31	Siddique Pura	1995	-	4 cusec	24.30	36.55	12.25
4	42	Zafr Ali Road/Jail Road	1996	219 m	4 cusec	43.90	47.10	3.20
5	46	Mehboob Park, Ichra	2001	154 m	4 cusec	38.50	47.50	9.00
6	47	A-Block Muslim Town	1993	223 m	4 cusec	44.20	48.10	3.90
7	48	C-Block Muslim Town	1998	-	4 cusec	45.46	52.18	6.72
8	55	B-Block Gulsahn-e-Ravi	1998	165 m	4 cusec	28.10	42.60	14.50
9	58	A-Block Gulsahn-e-Ravi	1998	176 m	4 cusec	29.80	38.20	8.40
10	59	Nonarian	1997	198 m	4 cusec	29.60	39.30	9.70
11	71	Kanji House Misri Shah	1998	178 m	4 cusec	37.10	43.30	6.20
12	79	Faseeh Road	2002	200 m	4 cusec	35.20	44.50	9.30
13	82	Shah Jamal	1993	196 m	4 cusec	43.90	49.01	5.11
14	84	Sadi Park	1994	-	4 cusec	31.30	44.45	13.15
15	97	Canal Bridge	1995	-	4 cusec	40.80	47.90	7.10
16	99	Dev Samaj Road (Communication Office)	1998	195 m	4 cusec	30.60	42.00	11.40
17	105	M. C. High School Sanda	1997	170 m	4 cusec	26.70	45.45	18.75
18	115	N-Block, Samanabad	1995	-	4 cusec	36.50	43.90	7.40
19	117	Pir Buddan Shah Dholanwal	1991	210 m	4 cusec	30.50	40.20	9.70
20	118	Juggian Shahab Din	1997	-	4 cusec	28.70	38.30	9.60
21	122	Shahab Stadium (Fazal pura)	1998	198 m	4 cusec	36.50	46.20	9.70
22	129	Takia Khusrianwala Shahdara UC-6	1989	170 m	4 cusec	15.30	32.30	17.00
23	132	Paracha Colony	1995	-	2 cusec	13.30	29.15	15.85
24	136	Tegore Park	1992	-	4 cusec	38.95	42.45	3.50

(c) 計画動水位降下量

理論的揚水位低下に加えて、井戸建設後、経年とともに井戸目詰まり等による動水位降下が発生するとの判断にたち、実際測定された最大揚水位低下量（18.75m≒19m）を計画動水位降下量とする。下記に示したように、帯水層ロスや井戸ロスによる水位降下量は、この実水位降下量に含まれるものと考慮される。

$$\begin{aligned} \text{計画動水位降下量} &= \text{実最大動水位降下量} \\ &= \text{帯水層ロス} + \text{井戸ロス} + \text{目詰まり等による水位降下量} \end{aligned}$$

(10) 地下水利用及び地下水位に関するその他の情報

1) WASA 給水区域内における地下水の工業用水利用

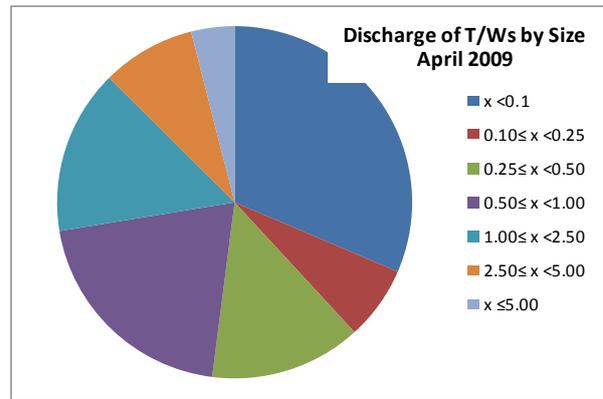
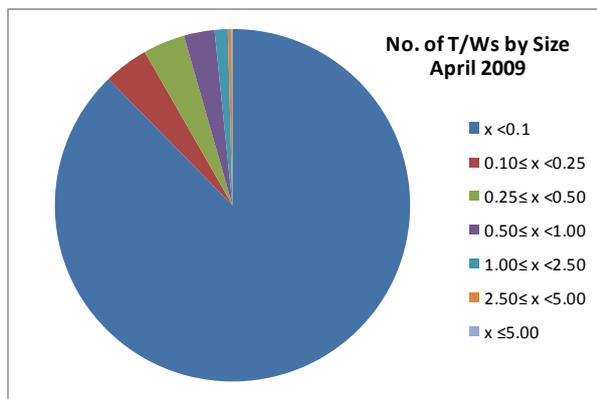
WASA は給水区域内における地下水の汲み上げは規制できず、使用料も徴収できないため、汲み上げに起因する排水に対して深井戸の規模（ポンプの揚水能力）に応じて下水道／排水施設使用料として徴収している。このため、深井戸の規模の査定を行っており、WASA 給水区域内における民間の工業用水利用状況を把握することが可能である。

図 2-30 は規模別の深井戸本数及び総揚水量を WASA データに基づいて 2009 年 4 月と 2013 年 6 月について比較したものである。これに拠れば、深井戸の設置本数は 2009 年の

4,003 本から 2013 年の 4,965 本へと 24.0%も増加しているが、総揚水量から見ると 2009 年の 448,279 m³/day から 2013 年の 193,766 m³/day へと逆に 56.8%も減少している。

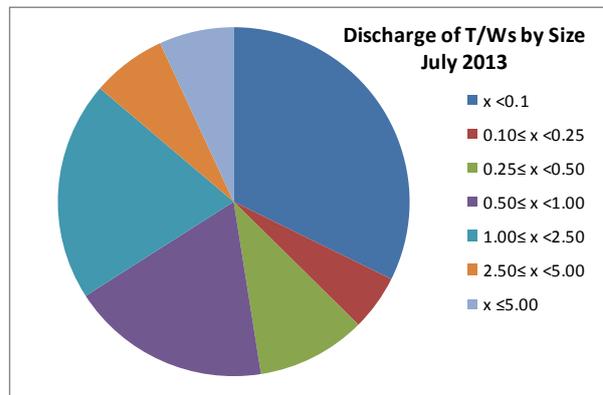
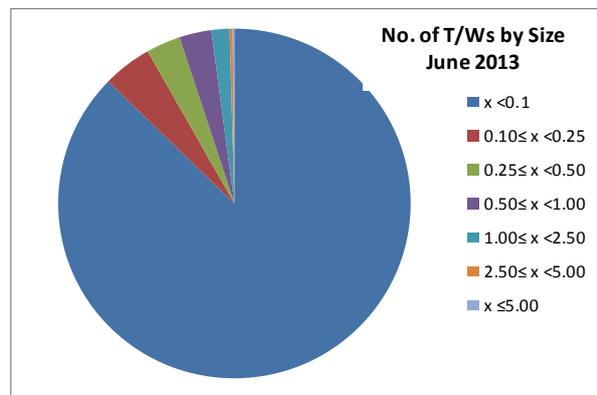
Industrial Use of Groundwater within WASA Service Area (April 2009)

Size of T/W	Alama Iqbal Town		Gunj Burksh Town		Ravi Town		Shilimar Town		Nishtar Town		Total		
	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(m ³ /day)
x < 0.1	635	36	653	40	1,106	41	417	19	699	37	3,510	173	140,940
0.10 ≤ x < 0.25	30	6	48	11	42	10	10	2	34	8	164	37	30,275
0.25 ≤ x < 0.50	10	5	47	24	31	16	15	8	49	25	152	76	61,978
0.50 ≤ x < 1.00	13	13	59	59	12	12	7	7	21	21	112	112	91,336
1.00 ≤ x < 2.50	7	13	21	36	8	14	5	8	7	12	48	83	67,684
2.50 ≤ x < 5.00	8	28	5	17	-	-	-	-	1	3	14	47	38,329
x ≤ 5.00	1	6	1	8	-	-	-	-	1	8	3	22	17,737
Total	704	105,900	834	194,076	1,199	93,135	454	43,651	812,000	112,937	4,003	549,699	448,279



Industrial Use of Groundwater within WASA Service Area (July 2013)

Size of T/W	Alama Iqbal Town		Gunj Burksh Town		Ravi Town		Shilimar Town		Nishtar Town		Total		
	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(nos.)	(cfs)	(m ³ /day)
x < 0.1	954	18,679	867	19,438	1,150	14,489	530	8,362	833	15,812	4,334	76,780	62,614
0.10 ≤ x < 0.25	34	1,758	94	4,961	37	2,070	11	0,573	48	2,854	224	12,216	9,962
0.25 ≤ x < 0.50	10	1,611	54	8,185	27	3,723	14	2,111	52	8,276	157	23,906	19,495
0.50 ≤ x < 1.00	29	8,999	71	21,784	17	4,501	7	1,890	22	6,555	146	43,729	35,661
1.00 ≤ x < 2.50	34	21,777	28	15,863	7	3,833	5	2,333	8	4,500	82	48,306	39,394
2.50 ≤ x < 5.00	6	7,167	5	5,500	-	-	-	-	3	3,667	14	16,334	13,320
x ≤ 5.00	4	7,750	1	2,667	1	1,917	-	-	2	4,000	8	16,334	13,320
Total	1071	67,741	1120	78,398	1239	30,533	567	15,269	968	45,664	4965	237,605	193766



Source: WASA Revenue

図 2-30 WASA 給水区域内における民間の地下水の工業用水利用状況

2) ラホール周辺部の地下水位の状況

ラホール周辺部における地下水の農業及び工業用水利用については、灌漑利用に関する以下の情報を除くとその実態は明らかでない。

州統計局（Bureau of Statistics）の”Punjab Development Status 2012”によれば、ラホール District における灌漑用深井戸保有数は 2004 年の 5,829 ヶ所から、2009/10 年の 5,357 ヶ所へと減少している。しかし、ラホール Division としてみたときには 71,465 ヶ所から 81671 ヶ所へと増加しており、ラホール Division を構成するラホール、Kasur、Nankana Sahib、Sheikhupura の 4 District の中で、ラホールのみが減少する結果となっている。ポンプ能力に関する情報は与えられていないため、揚水量については予測不能であるが、少なくともラホール周辺の農村部における灌漑利用は減りつつあると言える。

パンジャブ州灌漑電力局は州を 7 つの灌漑ゾーンに分けて地下水の水位及び水質をモニターしている、ラホールはラビ川を挟んでストレェッジ川とチェナブ川を南北の境界とする州東北部に設定されたラホール灌漑ゾーンに属する（図 2-31 の茶色部分）。

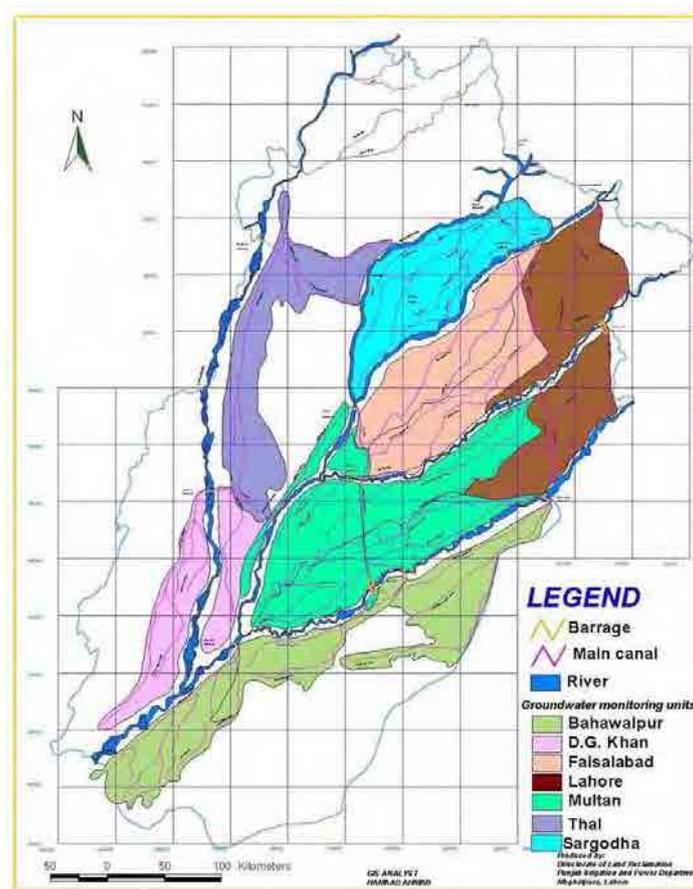


図 2-31 パンジャブ州灌漑電力局地下水モニタリングゾーン

ラホール灌漑ゾーンはさらに 9 つの分区（District）に細分化され、このうちラホールの

農村部をカバーするラホール分区には 31 の観測点が設定されている。ラホール分区における 2003 年～2011 年の 9 年間における地下水位の変化を表 2-21 に示す。これに拠れば、2003 年のプレ・モンスーン以降、平均水位は 7.9 m (26 ft) ～9.1 m (30 ft)、最浅水位は 1.2 m (4 ft) ～3.4 m (11 ft)、最深水位は 31.1 m (102 ft) ～35.4 m (116 ft) の範囲にある。ラホール分区では pre-2003～pre-2011 に地下水位は低下傾向にあること示しており、ラホール市街部における地下水汲み上げの影響が周辺に拡大しつつあることを示している。地下水位が最も深い観測井 (LHE9) は WASA 給水区域内の Canal Bank, Mughalpura, Lahore にあるパンジャブ州土地埋立部 (Directorate of Land Reclamation Punjab) の敷地内にある。この観測井は給水区域内にある多数の水道用深井戸における地下水揚水の影響を受けていると考えられ、これを除外すると最高水位は 14.3 m (47 ft) (pre-2011) となる。

表 2-21 ラホール分区における地下水統計のまとめ

Year	Status of Piezometre			Groundwater Level (ft.) Descriptive Statistics			
	Total	Damaged	Working	Minimum	Maximum	Mean	STDEV
Pre-03	15	4	11	11	103	27	26
Post-03	15	3	12	10	102	26	25
Pre-04	15	3	12	11	103	27	25
Post-04	15	3	12	10	102	26	25
Pre-05	31	3	28	4	102	27	18
Post-05	31	3	28	4	102	26	18
Pre-06	31	4	27	5	106	27	19
Post-06	31	4	27	4	108	26	20
Pre-07	31	6	25	5	109	27	20
Post-07	31	7	24	5	109	26	21
Pre-08	31	2	29	8	110	27	19
Post-08	31	3	28	4	107	26	20
Pre-09	31	5	26	6	112	30	20
Post-09	31	4	27	4	114	29	20
Pre-10	31	5	26	10	116	30	21
Post-10	31	6	25	5	114	27	22
Pre-11	31	5	26	8	115	30	21

Source: "Ground Water Monitoring, Analysis & Overview in Punjab for the Year of 2009-2011, Vol.I", Irrigation Department

図 2-32 によればラホール周辺の地下水位は 12 m～15 m の範囲にある。

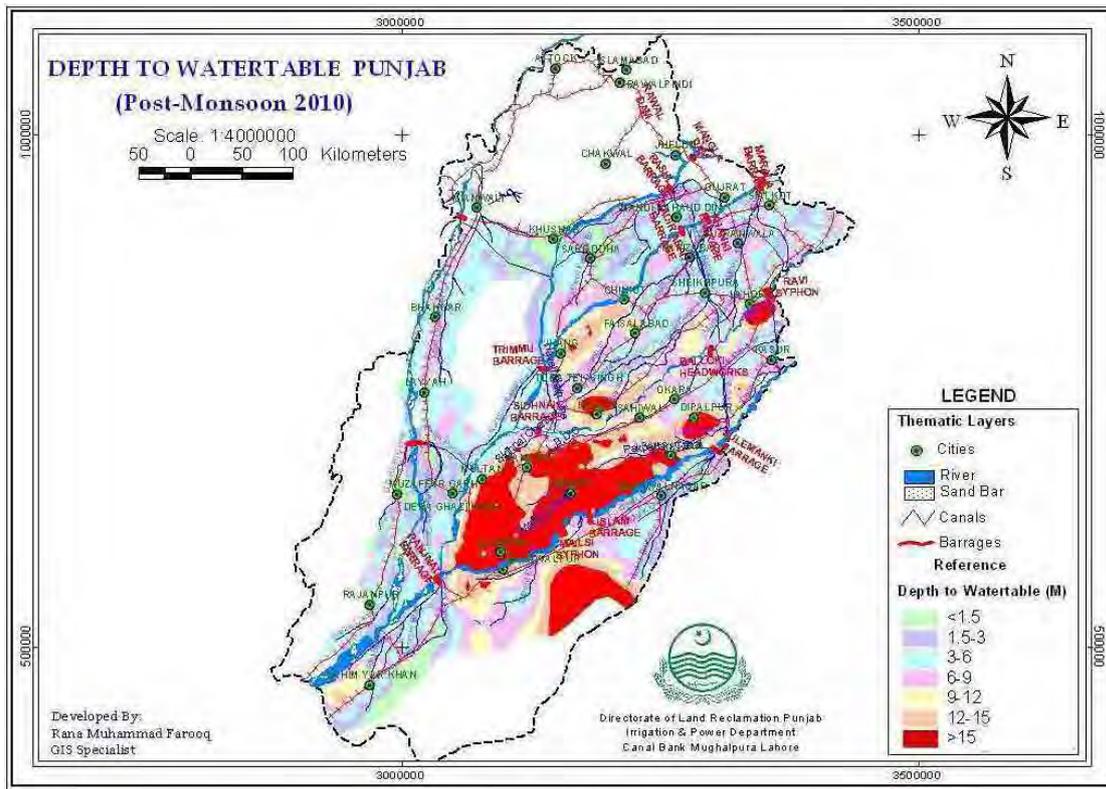


図 2-32 パンジャブ州地下水位等高線図

(11) 深井戸ポンプ場の機械設備の状況

1) 深井戸ポンプ場の運転・維持管理体制

ラホール WASA の 3 名の副総裁のうち運転・維持管理担当副総裁 (Deputy Managing Director、DMD (O&M)) が、水道、下水道、排水施設の運転・維持管理を所管している。この副総裁の下、各タウンに Director 5 名が置かれて 6 タウンの運転維持管理を所管している (Aziz Bhatti タウンは規模が小さいため、Shalimar タウン担当 Director が所管している。)。また、各タウンは 2~6 つの Sub-Division から構成され、それぞれ Sub-Division Officer (SDO) が置かれている。各タウンの職員数は、表 2-22 に示す。

表 2-22 タウン毎の井戸数、職員数

タウン	Sub-Division	井戸数	職員数
Gunji Bukhsh	6	146	1,234
Ravi	6	97	906
Shalimar	2	55	906
Iqbal	5	79	691
Nishtar	4	71	721
Aziz Bhatti	2	26	299

深井戸ポンプ場、排水ポンプ場の運転は運転員で行い、3 シフトで運転を行っている。維持管理については、深井戸ポンプ場、排水ポンプ場は主に機械電気監督員が、機械電気作業員とともに、日常点検、簡易な修理等を行っている。また、機械電気維持管理チームは、ポンプ場で事故・故障が発生した場合、軽微な場合は維持管理チームが修理、中大規模な事故・故障の場合は、民間業者に修理を委託する。

水道送配水管、下水管の軽微な補修等は WASA 維持管理チームの現場作業員が実施しているが、配管取り替え等の中大規模な工事は民間業者に発注しており、機械電気設備も同様に、民間業者に発注している。

タウンの代表的な組織は、**図 2-32** のような構成になっている。



図 2-33 組織構成

2) 深井戸ポンプ場の運転状況

電力供給が 24 時間安定して供給されていた当時、夜間井戸ポンプの運転停止を行っていた。夏季午後 11 時～午前 3 時、冬期午後 10 時～午前 4 時の間、井戸ポンプの運転を停止し、夜間の水需要低下に対応させていた。しかし近年、電力供給が不安定となり、停電が頻発するようになり、深井戸ポンプ場は 24 時間運転ながら、停電が発生した場合、停電の間、井戸ポンプは停止する。

今回、調査対象事業の井戸 147 本のうち、情報の得られた 127 本の井戸においては 2013 年 4 月～6 月、3 か月間の運転時間は、1 日当たりの平均運転時間は、最長 20.3 時間、最

低 8.8 時間、平均 13.4 時間であった。この運転停止時間の多くは、LESCO がラホール市内で計画的に停電を実施しているため、運転時間が限られている。

深井戸ポンプ場は、24 時間 3 シフトで運転員が常駐しているが、ポンプ運転時間の記録をとっておらず、また、塩素剤(次亜塩素酸ソーダ)も連続的には注入されていない。このような状況から、現状の WASA 深井戸ポンプ場運転は、改善の余地が多い。

3) 深井戸ポンプ場の維持管理状況

機械電気維持管理チームは、ポンプ場で事故・故障が発生した場合、軽微な場合は修理、中大規模な事故・故障の場合は、「事故報告書」を作成し、SDO に報告する。SDO は報告書に基づき、修理の内容・費用を積算する。Executive Engineer、Director の承認を得て、登録された民間業者から見積もりを徴取、最低価格者に発注する。

Shalimar Town では、1 年間に 207 件、33 百万円の民間業者への発注実績がある。表 2-23 および図 2-34 に Shalimar Town 2012/13 年 1 年間の民間業者への発注実績を示す。

表 2-23 修理件数と金額

Job	No.	Rs.
Electrical Repair	64	7,690,580
Water Pipe Repair	34	7,628,907
Sewer Repair	20	5,536,281
Rewinding	35	4,741,986
Materials Supply	21	2,561,628
Mechanical Repair	26	2,494,079
Civil	7	2,359,277
Total	207	33,012,738

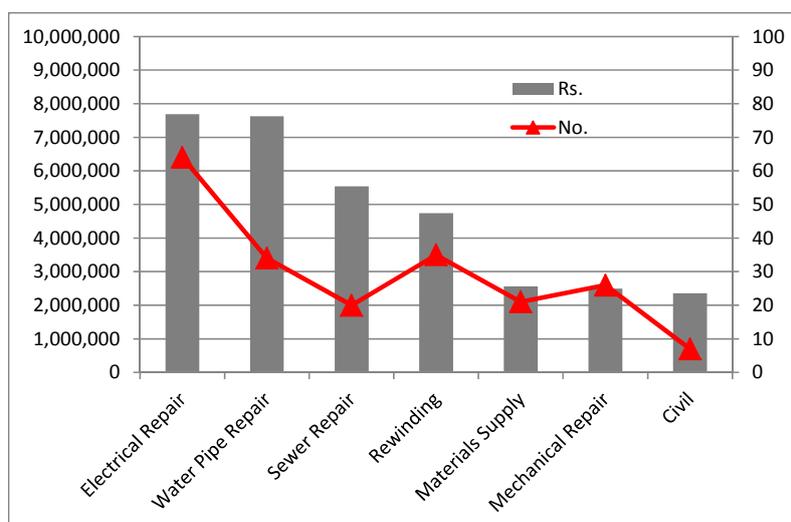


図 2-34 修理件数と金額

これは、Shalimar タウンの実績ではあるが、ラホール市全域での上下水道施設において、同じ状態で維持管理が実施されている。

ラホール市の上下水道を運営する事業者としては、大規模な配水管・下水管の補修更新が必要であり、多額の補修費が必要となる。しかし、それを上回る件数・費用の機械・電気設備の補修に、多額の費用が支出されている。

”Mechanical Repair”で陸上モータ立軸タービンポンプの修理実績は年間 14 件・1.72 百万 Rs であった。これ以外に”Mechanical Repair”には水中ポンプ等の修理等も含まれている。また、モータのリワインディングは年間 20 件・3.08 百万 Rs となっている（表中の”Rewinding”には変圧器のまき直し等も含まれている）。これら電気関連の補修費は、全体の 40%弱に相当する。これは、電力会社 LESCO の配電状況に起因するものと考えられる。

Shalimar タウンには 55 本の井戸があるため、平均的にポンプはおおよそ 4 年、モータは 3 年に一度外部委託民間業者による修理を行っている。

一方、WASA ワークショップでは以前はポンプの修繕、モータのまき直しを行っており、必要な機械設備も要しているが、現在はこれらの業務は外部委託しており、ワークショップにある工作機械等は使用されていない。



写真 2-1 WASA ワークショップ設備

Iqbal タウンの維持管理チーム事務所を視察した。Iqbal タウンにおいては、ポンプ建屋に常駐するオペレータが 3 シフト制、機械・電気系技能職員・作業員が 2 シフト制となって勤務している。この事務所に、予備モータとグランドパッキンの予備品が保管されていることを確認することができたが、それ以外のポンプ、モータ、電気盤の予備品は保管されておらず、必要になった都度、調達するとの説明があった。

ポンプ故障の際には、作業員 7、8 人が 5～6 時間かけてポンプを引き上げている。今後作業の効率化のため、タウン Director から電動チェーンブロックの納入が要望された。



写真 2-2 WASA ワークショップ予備品

以上の調査にて基本的に WASA のワークショップではポンプ・モータの修理等は行っておらず、外部修理業者へ依頼していることが把握できた。

ラホール WASA は、故障時対応（事後保全）に忙しく、日常点検・簡易な修理（予防保全）を実施できる状況にはない。このような日常点検・簡易な修理が大きな故障を未然に防ぐことができるが、まだまだ、WASA には予防保全を実施する体制が確立できていない。

4) 深井戸ポンプ場維持管理 外部委託民間業者

前述のとおり、主要な修理業務が外部委託されていることから、外部委託業者について調査した。

(a) ポンプ修理業者

ポンプの修理業者 2 社を訪問し、修理内容や設備の確認をした。修理内容はポンプ持ち込み後、分解、新規部品組み込み、再組立を行っている。どちらの業者も設備は旋盤、ボール盤が設置されており、その他にグラインダーがあった。持ち込まれたポンプはケーシングやシャフトがかなり錆びているがサンドブラストは無いため、錆を落とすなどの処理は行っていない。損傷が激しいものは新製している。



写真 2-3 修理業者



写真 2-4 修理業者設備

ケーシング、インペラ等は現地の鋳物業者がオリジナルの KSB ポンプからコピーを製作している。コピーされたインペラの木型も見ることができた。また、ゴム軸受についてはローカルのマーケットで入手することができる。ただし、いずれの製品もオリジナルとは比べるべくもなく品質は低い。鋳物は巣が多く、ケーシング内部の案内羽根はつぶれている。流路の出来が悪ければポンプ効率の低下につながり、巣が多いと損傷、欠損が起きやすく部品の消耗が速くなる。ゴム軸受についてもゴムの品質は確認できないが、シェルは新品の時点で錆が多い。



写真 2-5 地元業者製作のポンプ部品

(b) モータ修理業者

モータについてもポンプ同様、現地の業者がモータ巻き直しを行って修理している。モータ復旧までの日数は WASA より 2 日と指示されているとのことである。今回は 2 つの業者を視察した。どちらの業者もモータ巻き直しを行ったあと、絶縁抵抗測定や無負荷試験の為に測定機器は所持しておらず、これら試験を実施していなかった。



写真 2-6 モータ修理業者

ラホール WASA が、ポンプ修理、モータ巻き直しを外部委託業者に発注することは、WASA 内に職員を雇用するよりも、コストを抑えることができる。しかし、現状外部委託業者の修理作業の品質にばらつきが多く、不完全な修理が、ポンプ故障・効率低下、モータ再焼損につながっている。

多くの場合、故障が発生した場合、給水が停止したことへの住民からのクレームを最小限にするため、1~2 日以内の修理が求められており、外部委託業者の品質管理状況にかかわらず、短納期で修理できるところに発注している。今後、修理作業の品質が担保できる業者だけへの発注に留めるべきである。

5) 深井戸ポンプ場機械設備

(a) 深井戸ポンプ

現在、ラホール WASA が深井戸ポンプ場に使用しているポンプは、モータが陸上にある立軸多段タービンポンプである。陸上モータ立軸多段タービンポンプが、井戸用ポンプとして使用されている事例は、世界的に極めて稀であり、多くの国では水中ポンプ（ポンプは立軸多段タービンポンプで、水中モータにより駆動）が使用されている。ラホール WASA にも、水中ポンプが設置されているが、15～20 台のみである。また、ラホール WASA では、この陸上モータ立軸多段タービンポンプには、慣例的にパキスタン KSB 社製が使用されている。

既設ポンプは、ほぼすべてのポンプ・グラウンド部には布が巻かれている。(写真 2-7) これは、グラウンド部からの漏れ量はかなりのため、周囲に飛び散るのを防ぐためである。陸上部を見る限り、それ以外の部分の、経年劣化や駆動軸のぶれ・振動を除き、著しい損傷は見られない。



写真 2-7 既設ポンプ設備

その他、いくつかのポンプには水でモータ側面に水が満たされた鋼板製箱があった(写真 2-8)。これは、運転停止時に空中に揚水管の中にある駆動軸軸受けが乾燥するため、運転前に水中から出ている軸受（ゴム軸受）へシャフトを伝って注水し、ゴムの焼き付き等の劣化を防ぐためにある。しかし、この箱に水が補填されていない井戸ポンプも多く見られた。



写真 2-8 軸受用注水ボックス

既設ポンプの計画揚水量 $6.8 \text{ m}^3/\text{min}$ (4 cfs) と $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ (2 cfs) の現在の揚水量を超音波流量計で測定した結果を図 2-34 に示す。平均揚水量はそれぞれ $6.8 \text{ m}^3/\text{min}$ (4 cfs) ポンプでは $4.15 \text{ m}^3/\text{min}$ (2.4 cfs) 計画揚水量の約 61%、 $3.4 \text{ m}^3/\text{min}$ (2 cfs) ポンプでは $2.98 \text{ m}^3/\text{min}$ (1.74 cfs) 計画揚水量 88% であった。

揚水量減少の原因としては既設ポンプ納入時より井戸水位の低下が起こっており、それによるポンプ運転点が設計吐出圧より高压側・少水量側へ移動したことがあげられる。また、ポンプの部品がオリジナルから現地業者製作のものへ入れ替わったことによる性能の低下が考えられる。

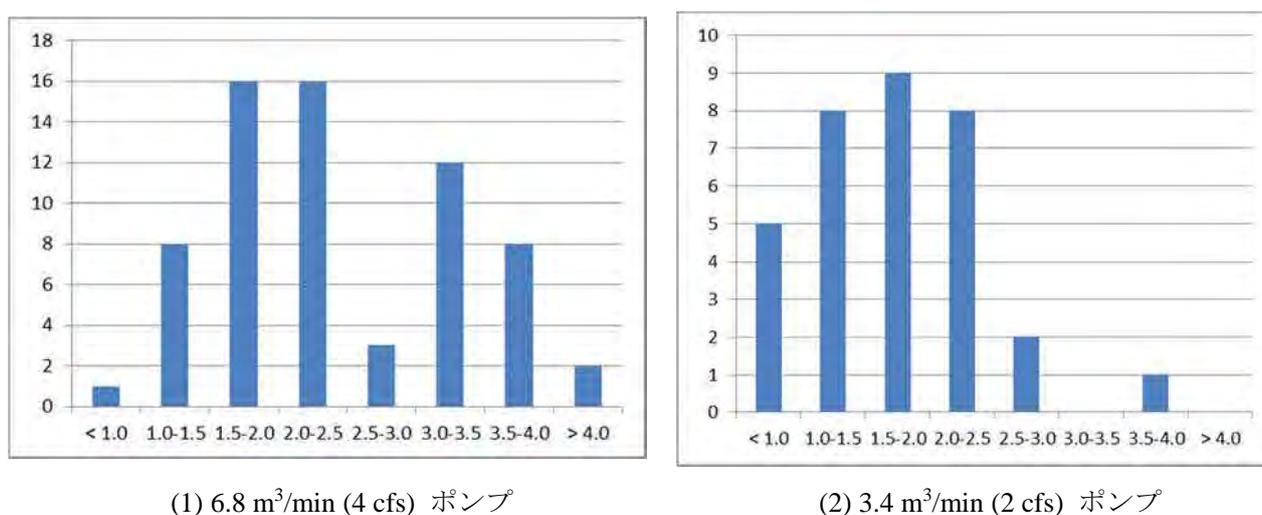


図 2-35 ポンプ揚水量

(b) 深井戸ポンプ用モータ

ポンプ用モータとして、Siemens パキスタン社製が使用されている。Siemens パキスタンは、このモータを最近までパキスタン・カラチ工場にて製作していたが、Siemens 社の世界的な生産ラインの再編により、今後は Siemens チェコより輸入することになっている。さらに、価格競争力から Siemens 中国からの輸入も検討している。

ラホール WASA が陸上モータ立軸多段タービンポンプを使用し続けているのは、頻繁に発生しているモータ焼損事故が理由である。陸上モータは、モータの焼損事故時、地元業者で容易に巻き直し可能であるが、水中モータでは、地元業者では巻き直しすることができない。モータ焼損事故の原因としては以下が上げられる。

- ① 電力会社 Lasco の電力供給が不安定である。頻繁な停電、電圧変動が大きい等
- ② 低電圧等の保護回路で、ポンプが停止時、ポンプ運転を継続のため保護回路をバイパス
- ③ 焼損事故のモータを巻き直し、効率・耐力の下がったモータを使用し、再度焼損

等(一度焼損事故を起こしたモータは再度焼損事故を起こす可能性が非常に高い)

④ 巻線の温度測定用の温度計等が無く、モータ保護装置が十分ではない。

(c) 塩素注入設備

塩素注入はダイヤフラムポンプにより吐出管へ注入する方法と塩素タンクから井戸へ直接注入する2つの方法(写真2-9)がとられていたが、どちらも運用されているといえる状態ではない。視察したポンプ室に設置されていたダイヤフラムポンプはすべて故障しており、井戸への注入もパイプが詰まっているものが多く、注入できていても塩素成分によりポンプ材質の腐食も招いている。



写真 2-9 既設塩素注入設備

使用されている塩素剤は次亜塩素酸ナトリウムである。薬品は WASA の注文で地元薬品業者が 10ton のタンクローリにて WASA ワークショップへ配達する。有効塩素濃度は 12%程度、注入率は 0.5 kg/cfs/hr とのこと。配達の頻度は雨季では週 3 回、それ以外では週 2 回程度である。その後、275 L タンクにて貯蔵され(写真 2-10)、さらに 35 L 程度のポリタンクで各タウンのポンプ室へ配られている。その頻度も週 2~3 回程度である。



写真 2-10 塩素剤の貯蔵・分配

(12) 深井戸ポンプ場電気設備の状況

WASA の深井戸定格吐出流量として、 $6.8 \text{ m}^3/\text{min}$ (4 cfs) 及び $3.4 \text{ m}^3/\text{分}$ (2 cfs) の標準規格があり、ポンプ選定についてもその揚程に関係なく 2 種類のポンプ (150 HP 及び 90 HP) を適用している。電動機においてもポンプ容量に見合った出力の 110 kW (150 HP) 及び 60 kW (80 HP) のものを適用している。この電動機選定は、深井戸建設後の初期運転において実際の揚程が標準ポンプのそれより低い場合は過流量、ひいては電動機の過電流となり電動機の焼損の一因となっていることが想定される。逆に実際の揚程がポンプのそれより高い場合は定格流量より少ない吐出量となる。

「パ」国全体で言えることであるが、当地ラホールにおいても電力事情は供給能力が需要を下回っており、地域配電会社 (LESCO、ラホール電気供給会社) もロードシェディング (負荷制限) 運転を余儀なくされている。また電力供給の質的観点においても電圧変動および不平衡などの問題があり、ポンプ電動機に悪影響があると考えられる。LESCO の負荷制限運用は各深井戸においては頻繁な停電となり、電動機の頻繁な始動・停止を引き起こし、また深井戸の稼働時間低減の原因にもなっている。

深井戸ポンプ電動機電源として LESCO より 110 kW 電動機には 200 kVA、60 kW 電動機には 100 kVA の変圧器を介して給電されている。電動機始動方式にはオープン形 Y- Δ (スターデルタ) 方式が適用されている。オープン形 Y- Δ 始動方式により 110 kW 電動機を 200 kVA 変圧器のもとで始動した場合、始動時の電圧降下がその一般的な許容値 (10% 程度以内) を超えることになり変圧器への過負荷の要因となっていることが推察される。建設年度が古い場合、Y- Δ 方式ではなく直入れ始動方式が適用されている場合もある。この場合始動時の電圧降下は Y- Δ 方式より更に悪くなり 40% を超過することも推定される。また、外部からのサージに対す保護装置である避雷器 (サージ保護装置) も取付けられていない。



写真 2-11 受電用変圧器 (200 kVA)

写真 2-12 オープン形 Y- Δ 始動方式



写真 2-13
直入れ始動方式、力率改善用コンデンサー取付け無

各深井戸に設置されているポンプ始動盤には、電動機保護のための短絡保護、過負荷保護等の各種保護装置が組み込まれている。然しながら、現場での操作員の判断にて過負荷保護装置をバイパスした運転を行っている状況が多くの井戸で見受けられた。このような運転は危険であり、電動機焼損に直結する要因となる。また、電動機の力率を少なくとも0.9以上まで改善するためにコンデンサーが設置されているが、操作員のコンデンサー機能に対する理解不足および本部からの運転操作方法教育の徹底不備により有効的に運用されていない。建設当初よりコンデンサーの設置されていないものや当初設置されていたコンデンサーが取り外されたままの状態のポンプ始動盤も見られた。LESCOの電力供給規定によれば力率が0.9を達成されない場合罰金が課されることになっており、適切なポンプ始動盤の運転であれば支払う必要のない罰金を支払うケースもある。



写真 2-14
力率改善用コンデンサーが取り外された
状態の始動盤

(12) エネルギー監査機材の状況

1) エネルギー監査の現況

現在、エネルギー監査を担当している部署は、維持管理担当副総裁（Deputy Managing Director: DMD(O&M)）の下にあるエネルギー管理班(Energy Management Cell)であり、1992年に設立された。Executive Engineer (XEN、課長クラス電気技師)が長となり、電気を専門とするSub-Divisional Officer (SDO、主任クラス電気技師)が2名所属する。

主な活動は、ラホール Electric Supply Company (LESCO)からの深井戸ポンプ場ごとの電気料金請求書を確認・分析し、LESCOに電気料金の修正・払い戻しを請求することである。LESCOがWASAに、2013年5月までの約2年間の過払いに対し約863百万Rs返済することを認めた。

2) 保有エネルギー監査機材の状況

現在所有するエネルギー監査機材は、クランプメータ(簡易電流・電圧計)で、本年5月に10箇所の深井戸ポンプ場のポンプ運転時の電流値調査を実施している。これは、従来のLESCO電力料金を確認・分析を超え、本来のエネルギー監査の緒となるものではあるが、この電流値は揚水量、井戸水位等により変動があり、電流値だけで井戸ポンプのエネルギー効率を判断することは困難である。

3) 技術レベル

エネルギー管理班には、班長をはじめ3名の電気技師がいる。現状のLESCO電気料金の確認・分析から次のステージへ進むことが望まれる。

今すぐ要請されたエネルギー監査機材を使いこなすことは困難ではあるが、監査機材の使用方法習得に1ヶ月、機材を利用してエネルギー監査を行うためには、さらに2ヶ月程度のトレーニングを実施することにより、使いこなすことが可能となろう。

4) 必要性和妥当性の評価

エネルギー管理班は、現状のLESCO電気料金の確認・分析から次のステージへ進むことが望まれる。次のステージとして、エネルギー監査は適切なプログラムである。今回要請されたエネルギー・アナライザー、超音波流量計等の機材により、エネルギー効率性を解析することが可能となる。

本来、井戸ポンプのエネルギー効率性を検討する場合、電気エネルギー投入量と水エネルギー使用量により深井戸ポンプ場の効率が確認でき、ポンプ・モータの運転時の効率を知ることができ、ポンプ・モータの修理・更新の手掛かりとなる。さらに、揚水1 m³あた

り電動機で消費した電力量(kWh/m³)でも深井戸ポンプ場ごとの効率を比較することもできる。

このようにポンプ場の効率的運転を調査するには不可欠な機材であり、ソフト・コンポーネント等のトレーニングの実施により有効に活用できるようになる。

2-2 プロジェクトサイト及び周辺状況

2-2-1 関連インフラの整備状況

ラホール WASA はラホール市都市部の水道、下水道、排水施設の建設及び維持管理を所管している。

下水道は分流式を採用しているが、雨水の下水道への流入、下水の排水施設への排出が方々で見られる。

下水道計画によれば、都市部は六つの処理区に分けられ、一部の処理区については下水処理場の用地取得がなされているものの、まだ下水処理場は一つも建設されておらず、下水は下水ポンプ場に集められてから全量無処理でラビ河の支流に放流されている。現在の下水道システムは 582 km の幹線、2,926 km の一次枝線、12 箇所 of 下水ポンプ場 (Disposal Station) と 79 箇所の中継ポンプ場 (Lift Station) で構成されている。

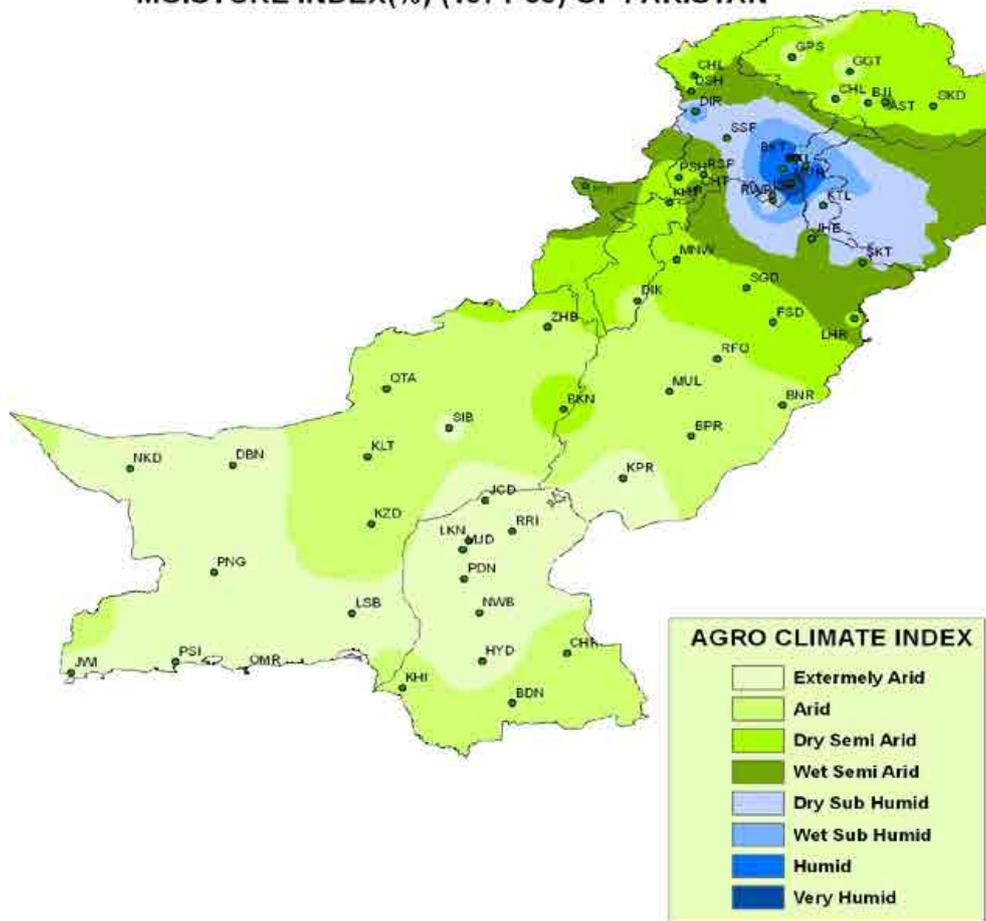
雨水排水については都市部は 7 つの排水区に分けられ、雨水は排水ポンプ場よりラビ河の支流に排出されている。既存配水施設は幹線排水路 82.15 km、二次排水路 133.53 km、4 箇所の排水ポンプ場 (Drainage Pumping Station) で構成されている。

2-2-2 自然条件

(1) 気象

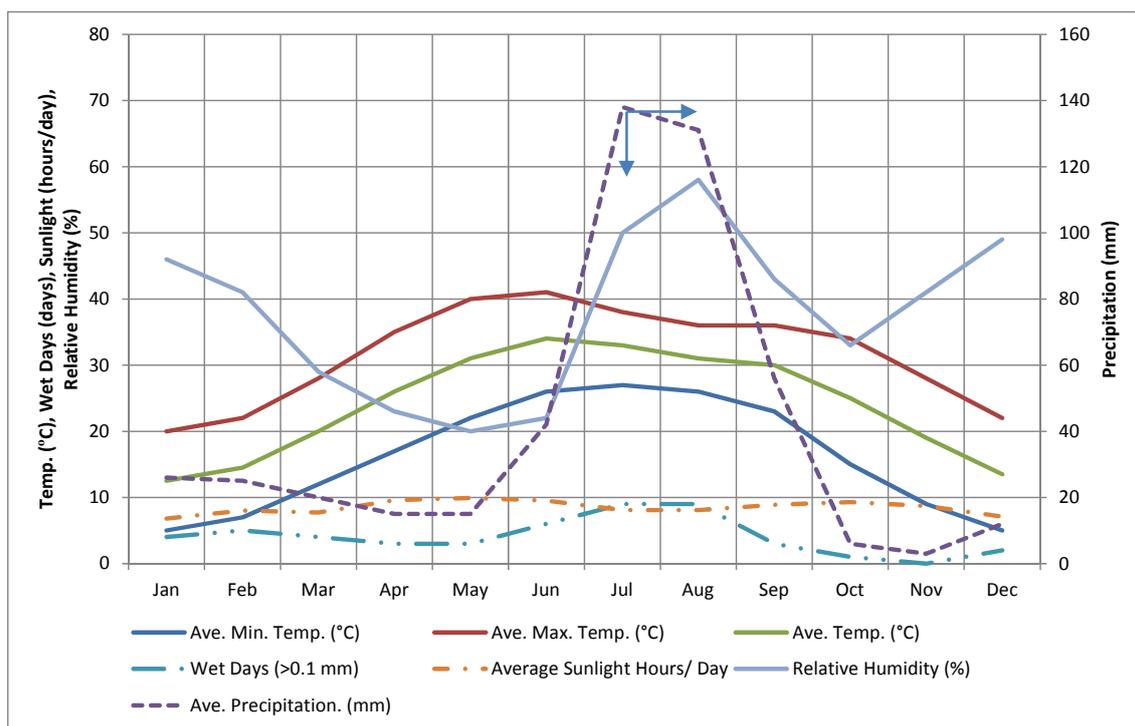
ラホールは熱帯性半乾燥気候帯 (hot semi-arid climate) に属する。半乾燥帯は、雨の降る長く異常に暑い夏、乾燥した暖かい冬、モンスーンと砂塵あらしで特徴付けられる。モンスーンシーズンは6月下旬に豪雨に見舞われる。最暑月は5月と6月、最寒月は1月で過去10年間のデータによると、月間平均最高気温は2012年の6月に41.8°C、月間平均最低気温は2003年1月に6.6°Cを記録している。降雨量は7月、8月に集中して降るものの、年によって前後することがある。過去10年間の月間最大降雨量は2011年6月の288.0 mmであった。相対湿度は12月～1月が最も高く7月～9月がこれに次ぎ、4月～6月が最も乾燥している。

ANNUAL CLIMATIC CLASSIFICATION ON THE BASIS OF MOISTURE INDEX(%) (1971-00) OF PAKISTAN



Source: http://www.pmd.gov.pk/ndmc/index_files/Page3406.htm

図 2-36 パンジャブ州の気候分類



注) 図 2-37の点線は右目盛りによる。

図 2-37 ラホールの年間気象変動

表 2-24 ラホールの気象条件

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
平均最低気温(°C)	5	7	12	17	22	26	27	26	23	15	9	5
平均最高気温(°C)	20	22	28	35	40	41	38	36	36	34	28	22
平均気温(°C)	12.5	14.5	20	26	31	34	33	31	30	25	19	13.5
降雨量(mm)	26	25	20	15	15	42	138	131	56	6	3	12
雨天日(日)	4	5	4	3	3	6	9	9	3	1	<1	2
平均日照時間(時/日)	6.8	8	7.7	9.6	9.9	9.5	8.1	8.1	8.9	9.3	8.7	7.1
相対湿度(%)	46	41	29	23	20	22	50	58	43	33	41	49
平均風速()	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

出典 : <http://www.lahore.climatemps.com/#table>

ラホール国際空港観測データに拠れば、ラホールにおける日の出から日の入りまでの日中時間は図 2-37 に示すように10.04時間（12月）～14.12時間（7月）の間にあり、平均日照時間は6.8時間（1月）～9.9時間（5月）の間にあり、年間平均日照時間は8.6時間である。

USAIDによればラホール周辺の太陽光照射量は図 2-38 に示すよう4.5~5.0 kWh/m²/dayの範囲にある。

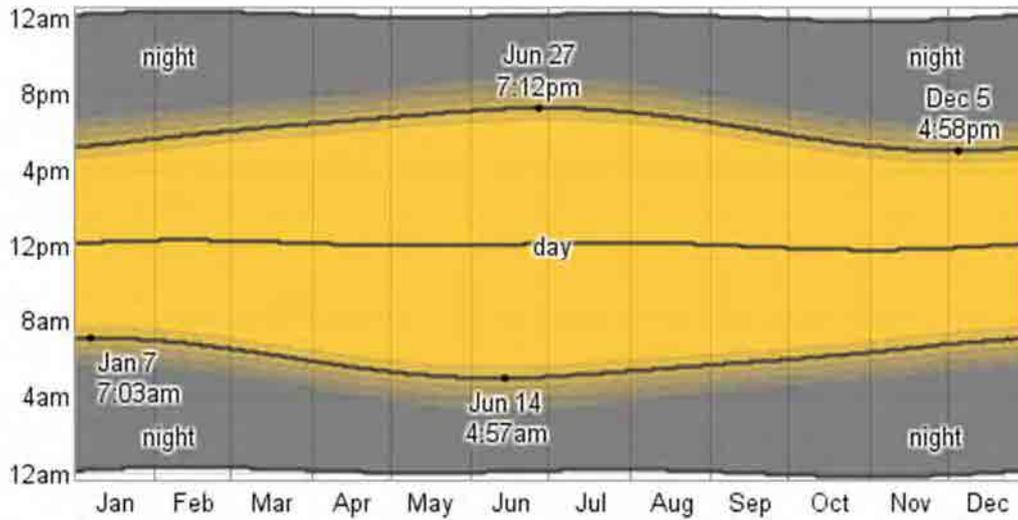


図 2-38 日中時間の年間変動

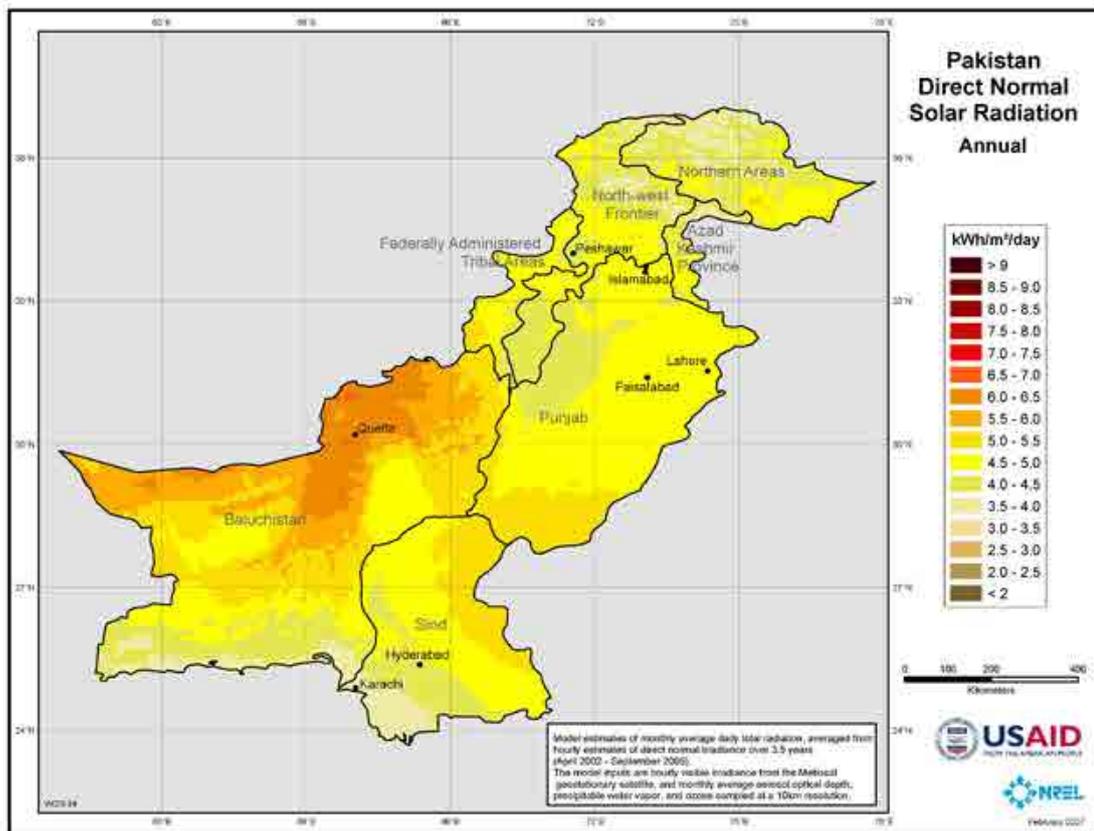


図 2-39 「パ」国の太陽光照射量

(2) 地形

ラホールはパンジャブ州の東中部に位置し、インド国境と接している。西側をラビ川、東側を BRB 灌漑用水路、北側をラホール環状高速道路、南側をフディアラ川 (Hudiyara Drain)

に挟まれた区域に市街地を形成している。地形は概ね平坦で東北から南西に向かって緩やかに傾斜しており、標高は北側のラホール環状高速道路で約 212m、南側をフディアラ川（Hudiara Drain）で約 208m、目立った丘陵も存在しない。

(3) 地質

調査対象地域には、井戸深度約 200 m に対して層厚約数 m～約 15 m の薄い粘土層が分布しており、その厚さは極めて薄い。その他は全て、砂層から構成されている。

2-2-3 環境社会配慮

(1) 自然環境

パンジャブ州地域では、長大な灌漑施設が発達している。ラホール市内においても、BRB 灌漑用水路（Bambanwala-Ravi-Bedian Link Canal）からのラホール分水路（Lahore Branch）が市域の中心部を北東から南西方向に横切っている。この灌漑用水は、パンジャブ州の北西部を北東から南西方向に貫流するインダス河の支流チェナブ（Chenab）川から水を導水しており、ラホール市内に隣接して北東から南西方向に流下するラビ川をサイホンにより横断して配水している施設である。灌漑施設の起源は古く、19世紀中頃までには、広大なネットワークが形成されていた。

しかしながら、灌漑用水は、その流路がコンクリート張りではないため、地下浸透が激しく、途中多くの漏水を引き起こしている。このため、地下水涵養が生じ、地下水位の上昇をまねく結果となった。地下水面が上昇する一方、当地域では、乾季と雨季の降雨量の差が著しく、乾季には、毛管現象と地表面蒸発により、地下水からの塩分を土壌中に集積させる結果となり、それはまた、逆に、土壌から地下水への塩分の溶脱作用により、土壌への塩分集積と塩水地下水の原因ともなってきた。灌漑用水とともに多数の農業用井戸による地下水の揚水も行われているが、塩水地下水に対する問題の解決にはなっていない。灌漑用水は通年であるが、モンスーン時期である夏の季節に取水源の河川流量が多いため、流量が多く、逆に冬季には少なくなる。土壌への塩分の集積と塩水地下水のために、全農地のうち、約58%で生産量低下等の影響を受けており、そのうち約26%で耕作が放棄されている。なお、ラホール市域では、塩水地下水は確認されていない。

ラホール市の南東方向、約42kmの距離に立地するKasur市周辺には、塩水地下水が存在するといわれており、将来、ラホール市域が人口増加により拡大し、市周辺部に飲料用の地下水取水井戸が多数建設された場合、塩水地下水がラホール市域まで及ぶ可能性があるため、地下水質のモニタリングが必要である。その場合には、市域の地下水揚水を抑制する必要がある。

(2) 社会環境

ラホール市は、パンジャブ州の州都であり、パキスタン全土でも、カラチに次いで人口の多い約700万人を有する大都市である。パキスタンでは、州の行政権が認められており、絶大な権力を有している。そのため、各州内の問題は、ほとんど全て州政府により決定され、主要官庁は、ラホール市に集中している。そのため、州立病院や州立大学は国立と同等の意味を有する。

ラホール市の行政組織として、従来、最下部組織にユニオン委員会(UC:Union Council)があり、その上位に8つのタウン組織があり、アシスタントコミッショナーが各タウン長を務めている。この8つのアシスタントコミッショナーの上部にラホール市 District調整官(DCO:District Coordination Officer)が所在し、市の行政を管轄している。最少の市行政単位として、地図上では、ユニオン委員会地区が表記されている場合があるが、実際には、機能しておらず存在しない。

なお、通常は、各州をいくつかのDistrictに分けて、その長としてDCOが機能し、Districtの中に市・町等の行政区域があるが、ラホール市は、1市で1つのDistrictを形成している。DCOの任期は4年であり、Punjab州政府から任命される。

(3) スコーピング

スコーピング結果を、表 2-25 のスコーピングリストに示す。

表 2-25 スコーピングリスト

分類	No	影響項目	評価		評価理由
			工事前 工事中	供用時	
汚染 対策	1	大気汚染	B-	D	工事中：建設機材の稼働に伴い、一時的ではあるが、大気質の悪化が想定される。 供用時：ポンプ・モータは、商業用電力により稼働されるので、大気汚染は想定されない。
	2	水質汚濁	B-	D	工事中：井戸仕上げ時の濁水、揚水試験時の排水による水質汚濁が予想される。
	3	廃棄物	B-	D	工事中：建設残土や廃材の発生が予想される。
	4	土壌汚染	B-	D	工事中：建設用機材のオイル流出等による土壌汚染の影響が考えられる。 供用時：特に影響はない。
	5	騒音・振動	B-	D	工事中：工事は、市街地で行われるので、建設用重機・発電機、輸送車両の稼働等により騒音・振動の発生が想定される。 供用時：ポンプ稼働用のモータは、コンクリート・レンガ製の密閉したポンプ場の中に設置されるので、想定されない。
	6	地盤沈下	D	D	少なくとも過去8年間にWASAを含めた地域の過剰揚水により、地下水位の低下が生じてきたが、地盤沈下は問題になっていないので、近い将来に

					においても同様の状態が保たれると考えられる。
	7	悪臭	D	D	特に悪臭を引き起こす施設は想定されない。
	8	底質	D	D	河川等の底質に問題を与えるような工事は実施されない。
自然環境	9	保護区	D	D	事業対象サイト及びその周辺に、保護区は存在しないので、影響はない。
	10	生態系	B-	D	事業対象サイトは公園や学校等である。希少な動物は存在しないが、できるだけ生態系を保護するために、灌木があれば、同じ敷地内・又は別の適地に植え替える。
	11	水象	D	B-	私有井戸を含む地域的な過剰揚水によって地下水位低下が少なくとも8年前より平均約0.9m/年の割合で生じている。本事業計画は、既存井戸の更新であり、現在ポンプ故障等により休止している井戸も稼働するために、現在よりも多少地下水位を低下させることが予想される。また、将来、市の人口がさらに増加し、井戸数や揚水時間を増加して、地域の地下水揚水量が増加した場合、地下水位低下が一段と進行すると想定される。
	12	地形・地質	D	D	本事業は、平地をそのまま利用して、井戸建設やポンプ場を建設することから、大規模な切土や盛り土は計画されておらず、地形・地質への影響は全くない。
社会環境	13	住民移転	D	D	更新井戸の代替地は全て公用地であるので、住民移転は発生しない。
	14	貧困層	D	B+	貧富の差はあるが、特にスラムといった貧困地域はない。水源井戸の復旧による、給水状況の改善は、全市民を対象としており、貧困層に関係なく、一般市民全般に正の影響を与える。
	15	少数民族・先住民族	D	D	ラホール市は、約700万人を擁する大都会であり、少数民族・先住民族の問題は存在しない。
	16	雇用や生活手段等の地域経済	B+	D	工事中：臨時作業員の雇用に伴う地域経済への正の影響が見込まれる。
	17	土地利用や地域資源利用	D	D	WASA井戸の更新による土地利用や地域資源の活用に伴う影響は想定されない。
	18	水利用	D	B+	ラホール市の給水は、WASA井戸能力が劣化している場合、その周辺への給水量が限定される傾向がある。本プロジェクトの実施によって給水状況が改善することが期待されるので、住民の生活環境に対して正の影響があると想定される。
	19	既存の社会インフラや社会サービス	B-	D	工事中：井戸建設中は、工事が都市化した狭い路地や人口密集地域で工事が行われる。そのため、道路交通を阻害する可能性がある。 供用時：特段の支障はないと考えられる。
	20	社会関係資本や地域の意思決定機関等の社会組織	D	D	水道事業は、社会インフラの一部である。更新されたWASA井戸は、担当地区のWASA維持管理部により稼働される。

21	被害と便益の偏在	D	D	井戸建設工事サイトは、市街地や商業地域の中の一隅を占め、短期間に工事が終了するため、特段の被害を与えることはない。 一方、プロジェクトによる給水状況の改善は、市内の一般住民に対して正の影響を与える。
22	地域内の利害対立	D	D	WASA既存井戸は、市域に万遍なく散らばっており、しかも配水管は全て連絡しているため、本計画による地域内の利害対立はない。
23	文化遺産	D	D	事業対象サイト及びその周辺に文化遺産等は存在しない。
24	景観	D	D	ポンプ場は、高さ4.6m・幅6.2m・奥行5.6mの小型の建物であり、景観に影響を与えないと想定される。また、建設地は、住宅及び商業地域等であり、特別な保存すべき景観はない。
25	ジェンダー	D	D	市域では、元来、各戸給水が基本であり、特にジェンダーに影響を与えることはない。
26	子供の権利	D	D	本事業は、井戸水源復旧計画であり、子供の権利への影響はない。
27	HIV/AIDSの感染症	B-	D	工事中：工事の実施に伴って臨時作業員の雇用が幾分行われると思われ、感染症への配慮が必要である。
28	労働環境(労働安全を含む)	B-	D	工事中：建設作業員の労働環境に配慮する必要がある。 供用時：保護等級(IP42)仕様であるので安全であり、問題はない。
29	事故	B-	D	工事中：工事用重機、道路上でのパイプ敷設のための掘削時、交通事故・車両の取扱い事故に対する配慮が必要である。
30	越境の影響及び気候変動	D	D	本計画は、水道水源井戸の更新であり、越境の影響及び気候変動には関係がない。

- 注) A+/-：重要な正負のインパクトが期待される。
 B+/-：ある程度の正負のインパクトが期待される。
 C+/-：正負のインパクトの影響範囲は不明である。(更なる検討が必要であり、そのインパクトの影響は、調査の過程で明らかになる。)
 D：インパクトはないと想定される。

(4) 代替案 (ゼロオプション)

本計画は、既存WASA井戸の更新(リハビリ)を目的としている。現在、ラホール市の水道水源として、これ以外にはなく、従って代替案はない。市内には、遠方のチェナブ川から導水しているラホール灌漑用水があるが、水道水源として利用するためには、農業灌漑省との合意が必要であり、取水許可を取り付けることは簡単ではない。

また、本計画事業を実施しなかった場合は、WASAの予算により、緊急性の高いWASA井戸の更新を年間15本程度実施することになる。既存井戸のうち、井戸及びポンプ等の更新を必要とする井戸がかなりあるために、給水が十分に行きわたらない給水地域も多く存在す

ることになる。

(5) 実施担当官庁

環境に係る中央省庁は、環境・自治・農村開発省 (Ministry of Environment, Local Government and Rural Development) であり、その下部組織のパキスタン環境保護庁 (PEPA: Pakistan Environmental Protection Agency)を統括している。パキスタンの環境法令・環境政策等は、PEPAにより策定される。これらの官庁は、首都のIslamabadに所在する。

各州には、環境保護局 (EPD: Environmental Protection Department) があり、その傘下に環境保護庁 (EPA: Environmental Protection Agency) が所管されている。各州は、独立した行政権を保有しており、Punjab州のIEE/EIAのレビューや承認事項は、Punjab州のEPAの所管事項である。ただし、環境法やIEE/EIAの手続き等はパキスタン全土で同じ内容が適用される。

Punjab州のEPAは、環境保護庁長官 (Director General) の下に、5人の部長 (Director) が所在し、その一人がEIAの審査等を担当している。その部長の下のEIA担当の副部長がおり、IEE/EIAのレビューを所管している。一方、環境保護庁長官の下には、35人のDistrict担当所長 (DOE: Department of Environment) が存在し、IEE/EIAに係る現地での確認事項については、DOE Lahore支所が担当し、EIA担当の副部長に連絡等を行い、業務を行う体制である。

図 2-40 に環境関係の行政組織を示す。

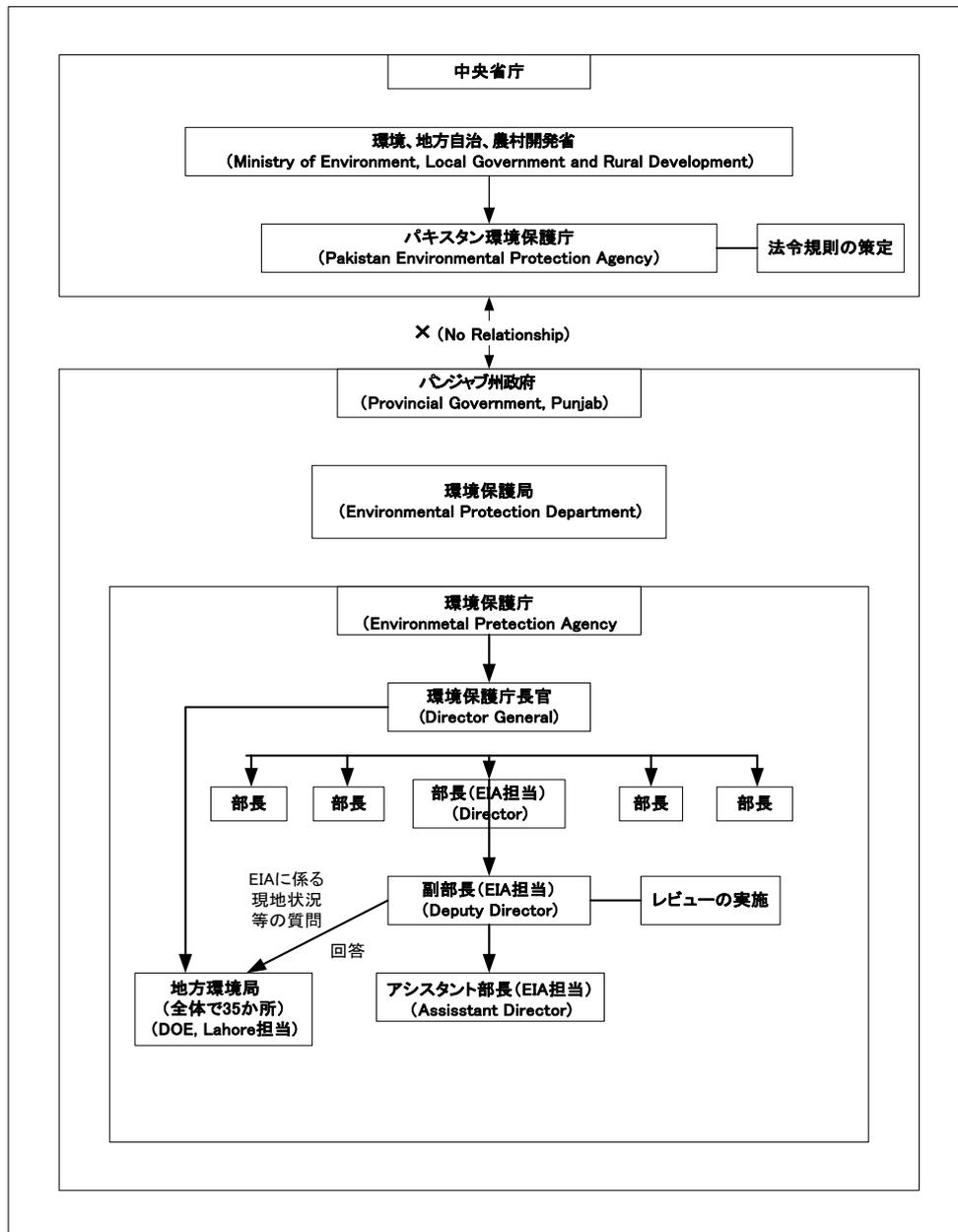


図 2-40 環境関係の行政組織

(6) 環境法令

本計画は、既存のWASA井戸の更新プロジェクトであり、新規に計画する代替地は、すべて公有地を選定している。そのため、私有地の用地取得等の問題はなく、そのための社会配慮等の問題は存在しない。公有地から代替地への転用は、WASAによれば、約1か月程度で手続きが完了するとのことである。

また、環境法令についても、ごく限られた法令・環境基準しかないのが実情であり、しかも、細かい規定や罰則規定等がない。以下に本計画に関する環境法令・基準を示す。

表 2-26 環境法令・基準

No.	環境法・ガイドライン・基準名	制定年	内容
1	環境保護法	1997年	プロジェクトの建設又は稼働の前に、IEE/EIA調査を実施する必要性を記載している。
2	用地取得法	1894年	公共目的及び会社のための用地取得責任者・手続き・保障等を定める。
3	パキスタン罰則法, 1860年	1860年	市民迷惑法、公共・私有財産に影響を及ぼす意図的/事後的/非意図的の行為による違反を扱う。地方行政当局に騒音/有毒ガス/流出水の排気に対して権限を与える。
4	工業規則法, 2012年	2012年	労働組合の結成、労働争議、ストライキ等の内容を定める。
5	労働政策, 2010年	2010年	最低賃金、若年労働者の雇用、子供の雇用、労働組合等従来の法律で制定された労働法の集大成
6	パキスタン環境保護庁規則 (IEE/EIAのレビュー) 2000年	2000年6月	IEE/EIAの必要なプロジェクト、手続き、申請書フォーム、公聴会、IEA/EIAの承認、有効期限等を定める。
7	パキスタン環境保護庁、EIAガイドラインズ-概要	記載なし	EIAに係る各種ガイドライン・環境基準の要約を記載する。
8	EIA等の環境報告書の準備とレビューのためのガイドライン	1997年11月	EIAに盛り込まれる内容及びレビューの手続きを詳しく説明している。
9	環境大気質基準、S.R.O. 1062 (I)/2010年	2010年11月	SO ₂ , NO, NO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ 等の年間・24時間平均値を定める。
10	飲料水質基準、S.R.O. 1063(I)/2010年	2010年11月	飲料水の水質基準を定める。細菌テスト、物理試験、化学的無機イオン、有機物イオン、放射エネルギーの基準等から構成される。
11	騒音基準、S.R.O. 1064(I)/2010年	2010年11月	住居地域(A)、商業地域(B)、工業地域(C)、静謐地域 (D) の4つのカテゴリーに騒音防止地域を区分し、昼間・夜間の等価騒音の限界値を定める。

1) IEE/EIA手続き

IEEは、Rs 2,500,000以下の給水プロジェクトに、EIAは、Rs 2,500,000以上の給水プロジェクトに必要となる。この件について、パンジャブ州のEPD傘下の環境保護庁(EPA)職員と協議した結果、本計画は水源施設の復旧計画であり、それについては、環境保護法に規定がなく、EPA職員の協力と協議次第では、IEEのみの提出にすることが可能であるとのことであった。IEEの手続きには約45日間、EIAの手続きには約90日間を必要とする。

図 2-40 にその実施プロセスを示す。

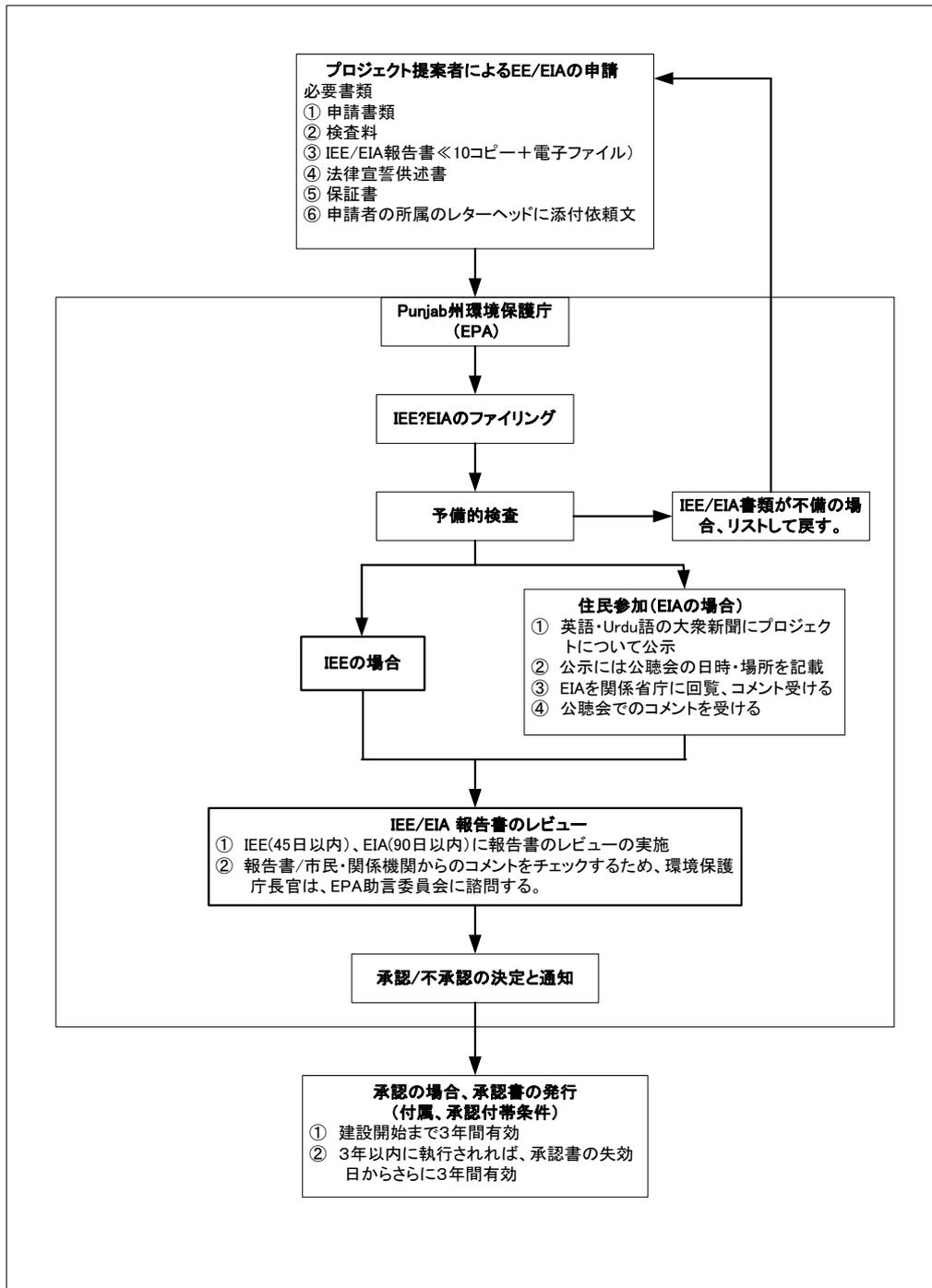


図 2-40 IEEとEIAの承認手続きの流れ

2) IEE及びEIA報告書

WASAには、環境分野を担当する職員は所在せず、必要な時には、ローカルコンサルタントに依頼して、IEE及びEIA報告書を作成している。

過去のWASAプロジェクトで作成されたIEE/EIA報告書を入手し、その内容を調べてみ

ると、特に両者の報告書の記述項目に差異はない。ただし、IEE報告書は、小規模のプロジェクトを扱うために、プロジェクト内容の記述で記載量が少なくなっている。記載内容は以下の通りである。

- 1) 序論、プロジェクト背景、調査目的、計画の提案者、プロジェクトの概要等
- 2) 環境法とガイドライン
- 3) プロジェクト内容
- 4) プロジェクト代替えプラン
- 5) 環境記述
- 6) 社会・環境インパクトと緩和手段
- 7) 環境管理プランとモニタリングプラン
(ベースライン調査結果を記載する。)

(7) 用地取得

用地取得法(1894年)は、政府が公共事業をしようとする場合、政府が対象場所に土地を保有しておらず、民有地を収用する場合に適用される。本計画の場合、更新予定井戸の代替地は、総て他の政府機関が保有している。したがって、本計画には、用地取得法は適用されない。土地の所有官庁名を示す。

表 2-27 本計画で土地転用を予定している土地の保有者

土地の所有者略称	正式名称又は名称の内容
PHA	Parks & Horticulture Authority
CDGL	City District Government Lahore
Education Department	Education Department
AUQAF	宗教庁
Forest Department	Forest Department
Railway Authority	Railway Authority
NHA	National Highway Authority

更新井戸の計画地の保有者は、政府機関・準政府機関であり、WASAの各地区担当の維持管理担当部長が依頼文を書いて提出すれば、100%他の機関からWASAの更新井戸予定地に土地利用を変更できる。依頼文には特に仕様はない。土地変更手続き期間は、1週間～1ヶ月間である。

(8) 労働安全

労働関係問題の所轄官庁は、パキスタン政府では、労働・海外出稼ぎ関連省(Ministry of Labor, Manpower and Overseas Pakistans)、パンジャブ州政府では、労働・人的資源局(Labor and Human Resources Department)である。

パキスタン憲法には、奴隷・強制労働・弱小年労働者の使用の禁止、労働組合の結成の自

由、性差別の禁止等の労働法関連の条項が盛り込まれている。工業関係法（2008年）には労働組合結成・登録・労働争議の解決等が規定されている。また、労働政策（2010年）には、最低賃金、若年労働者の年齢と保護、労働組合の結成等労働法全体の趣旨が記載されている。しかしながら、労働安全のための環境基準は、まだ、パキスタンでは、作成されていない。そのため、環境管理計画(EMP)において、労働安全について配慮する。

(9) 騒音基準

国家環境騒音基準を表—1に示す。本計画対象地域であるWASA井戸は、ほとんどが住居地域又は商業地域の中の一隅に存在する。そのため、住居地域又は商業地域の騒音基準が適用される。夜間の騒音基準は厳しいため、日中に工事が行われるべきである。なお、工事には、騒音の少ない小型の機械又はサイレンサー等の防音装置を付けて実施することが望ましい。

表 2-28 国家環境質基準（騒音）

No	地域/ゾーンの категория	2012年7月から有効	
		d B(A) Leq*単位による限界値	
		日中	夜間
1	住居地域 (A)	55	45
2	商業地域 (B)	65	55
3	工業地域 (C)	75	65
4	静謐地域 (D)	50	45

(注) 国家環境基準（騒音）による。

(10) 施設建設時の負の影響と緩和手段

本計画は、ラホール市内に474箇所所在するWASA井戸のうち、105箇所の既存井戸を更新するものである。更新井戸の約半分が同じ敷地内に選定されており、最も遠いところでも300mほどである。代替え地の面積は、工事用敷地を含めて、10m×20m程度である。更新井戸完成後は、ポンプ場が建設され、揚水した井戸水は直近の既存配管に圧送される。既存接続管までの距離は、平均10m程度、最延長部で100m程度である。これらの敷地は、ほとんどが公園、モスク及び道路用付属地等である。

表 2-29 施設建設時の負の影響と緩和手段

No.	環境インパクトの種類と内容	緩和手段	関係官庁と関係法令
1	大気汚染 井戸掘削リグの稼働中、及び工事用車両、資材運送トラックの往来時のみ自動車の排気ガスが排出される。	工事用車両・発電機等の機材は、できるだけ新しいものを使用する。	EPA Punjab, 国家環境質基準（環境大気）（2010年）
2	水質汚濁 井戸仕上げ時、泥水が排水溝や下水管の中に排水され、側溝等に土砂が堆積し、流水の流れが悪くなることが想定される。	泥水は、大きめの沈殿槽を作り、土砂を堆積させてから排水する。側溝の土砂の溜まり具合を観察し、取り除く。	EPA Punjab, IEE/EIAに記載される。
3	廃棄物 (1) 工事現場・宿舍周辺で発生するごみや汚物処理 (2) 建設残土の発生 更新井戸から配水管を既存管までつなぐ場合、管の設置に伴い、多量の残土が発生する。 (3) 工事用と揚水試験用水の排水 工事中には、井戸仕上げ時及び揚水試に験時の排水が大量に排水される。	工事現場や工事作業員用の宿舍周辺は常に清潔に保たねばならない。ごみは、油や一般ごみ、危険物と分別する廃棄箱を設け、適切に処理をする。工事現場や作業員用宿舍周辺には、簡易トイレ、洗浄用給水施設を設けて清潔さを保つ。 建設残土は、舞い散らないようにカバーを荷台に設置したトラックにより、WASA/市の廃棄処分場に埋める。 更新井戸の代替地の選定時に、WASAが下水排水路等の有無及び距離（通常20m,遠方200m）を報告し、それらが存在している場所を選定している。流水をアスファルト道路脇に流すとき、流出路を確認し、必要などころでは適切なカバーや排水管を設ける。	同上
4	土壌汚染 井戸建設サイトにおいて、建設用機材のオイル流出等による土壌汚染事故が発生する。	建設機材へのオイル注入時、オイル漏れ等が発生しないように注意して工事を遂行する。また、オイル等は分別して廃棄処理する。	同上
5	騒音・振動 更新井戸の代替地は、人口密度の高いラホール市内に集中している。そのため、工事中に多少の騒音の発生が問題となることが想定される。	夜間の工事を避け、できるだけ日中に作業を行う。大きな騒音を発生する機器にはサイレンサーを付ける。	EPA Punjab, 国家環境質基準（騒音）（2010年）
6	生態系 WASAの類似プロジェクトのIEE/EIA報告書には、ラホール市内には、人口の増加や都市化のために、植物園、道	代替え敷地内に樹木があった場合に、移植を行う。動物を発見した場合は、同じ公園/他の公園に逃がす。この件についてコントラクタ	EPA Punjab

	路際の植栽や公園以外には、非常に動物や鳥の数が少ないことが報告されている。本計画の更新井戸の代替地は、公園を対象とすることが多いので、多少の影響が見込まれる。	一従業員に周知徹底させる。	
7	HIV/AIDSの感染症	工事開始前、或いは必要な時には何時でも、工事施工業者は、HIV/AIDSの感染症の拡大の可能性やその抑止策について、工事労働者について講習を行い、その意識を高める。	同上
8	労働環境（労働安全を含む）	工事現場に立ち入る人は、必ず、工事用作業靴と安全帽をかぶるようにする。また、工事現場監督は、毎朝作業員を集めて朝礼を行い、その席で作業員に工事現場の安全管理について訓示を行い、安全管理を徹底する。 工事用重機の稼働する現場では、重機の作業域のなかには、関係者以外立ち入らないようにする。	同上
9	事故及び道路通行関連事項 (1) 道路通行と道路渋滞 本計画の対象サイトは、工事用トラックがぎりぎり通れるような狭い路地に立地している場合が多い。従って、道路通行の妨害を生じ、道路渋滞を引き起こすことが多い。 (2) 資機材、残土の輸送による塵芥の発生	工事用資機材運搬用車両は、できるだけ大型車両を避け、中・小型車両を利用する。交通整理を行う。 工事現場で散水を行い、また、トラックには、カバーをかけ、粉じんが飛び散らないようにする。	TEPA (Traffic Engineering and Planning Agency)

1) 残土処分場

WASA所有の一般廃棄物処分場及びラホール市所有の一般廃棄物処分場の場所を図3-1に示す。

(a) WASA所有の一般廃棄物処分場

WASA本部から北北西方向に8.5km離れた、Mehmood BootiにWASA所有の一般廃棄物処分場があり、塀で囲まれている。その一角には、Mehmood Booti下水ポンプ場があり稼働している。主要な仕様を下記に示す。廃棄費用は無料である。

表 2-30 WASA所有の一般廃棄物処分場

No	項目	内容
1	処分場名称	Mehood Booti WASA一般ごみ処分場
2	施設建設年	1996年
3	施設面積*	0.01 km ²
4	所員数	11人
5	処分場状況	下水ポンプ場以外はほとんど空き地で利用されていない。

(注)施設面積は推定。

2) ラホール市所有の一般廃棄物処分場

(a) Mehmoood Booti処分場

WASA本部から9 km離れた、Mehmoood Bootiにラホール市(Lahore City District)が管轄する一般廃棄物処分場がある。その詳細は以下のとおり。廃棄費用は無料。

表 2-31 ラホール市所有の一般廃棄物処分場(1)

No	項目	内容
1	処分場名称	Mehmoood Booti 一般ごみ処分場
2	施設建設年	1996年
3	施設面積	0.13 km ²
4	運営会社	半官半民のLahore Waste Management Companyにより運営されている。所員数30人
5	平均日廃棄量	4500 tonn/日
6	処分場状況	2013年～2014年に満杯になるため、閉鎖する予定

(b) Lakho Dair処分場

Mehmoood Booti処分場から東に約2kmの距離にある新規処分場。Mehmoood Booti処分場が閉鎖した後、新規処分場として利用される予定である。Mehmoood Booti処分場よりも規模が大きい。

表 2-32 ラホール市所有の新設一般廃棄物処分場(2)

No	項目	内容
1	処分場名称	Lakho Dair処分場
2	施設建設年	未定
3	施設面積	0.52 km ²
4	運営会社	未定
5	平均日廃棄量	未定
6	処分場状況	2013年～2014年にMehmoood Booti処分場が満杯になった後稼働される予定である。

(11) 施設建設後の負の影響と緩和策

施設建設後の負の影響と緩和策を表 2-33 に示す。

表 2-33 施設建設後の負の影響と緩和策

No	負のインパクト	緩和手段	関係官庁と関係法令
1	<p>本計画により、現在モータ故障等により休止している井戸が復旧し揚水されるようになり、現状よりも多少井戸揚水量が増加するため、その揚水量増加に伴う地域的な地下水低下が幾分生じると考えられる。また、現在、地下水位は、毎年平均約 0.9mほど低下しており、この傾向は将来も続くと考えられる。これは、既存のWASA深井戸、軍管区の深井戸、私有井戸の揚水により発生していると思われるが、それぞれの揚水量の実態は不明である。</p> <p>将来人口が増加し、地域全体での地下水揚水量が増加した場合、地域的な地下水位低下は一段と進むと推定される。</p>	<p>本計画では、将来における地下水位低下予測から、その低下状況に基づいてゾーン別（3つ）に分け、地下水位低下の程度に応じて、設計揚水量の大きさ（2 cfs, 3 cfs, 4 cfs）を変えたポンプを設置する計画としている。即ち、最も地下水位低下の激しいゾーンには従来の4 cfsポンプに換えて2 cfsポンプを設置し、そうでないゾーンには、3 cfs、又は4 cfsのポンプを設置する計画である。</p> <p>これにより、最も地下水位低下が激しいゾーンの集中的な揚水を軽減し、地域全体の地下水位低下を緩和することを計画している。</p>	WASA Hydrology Directorate

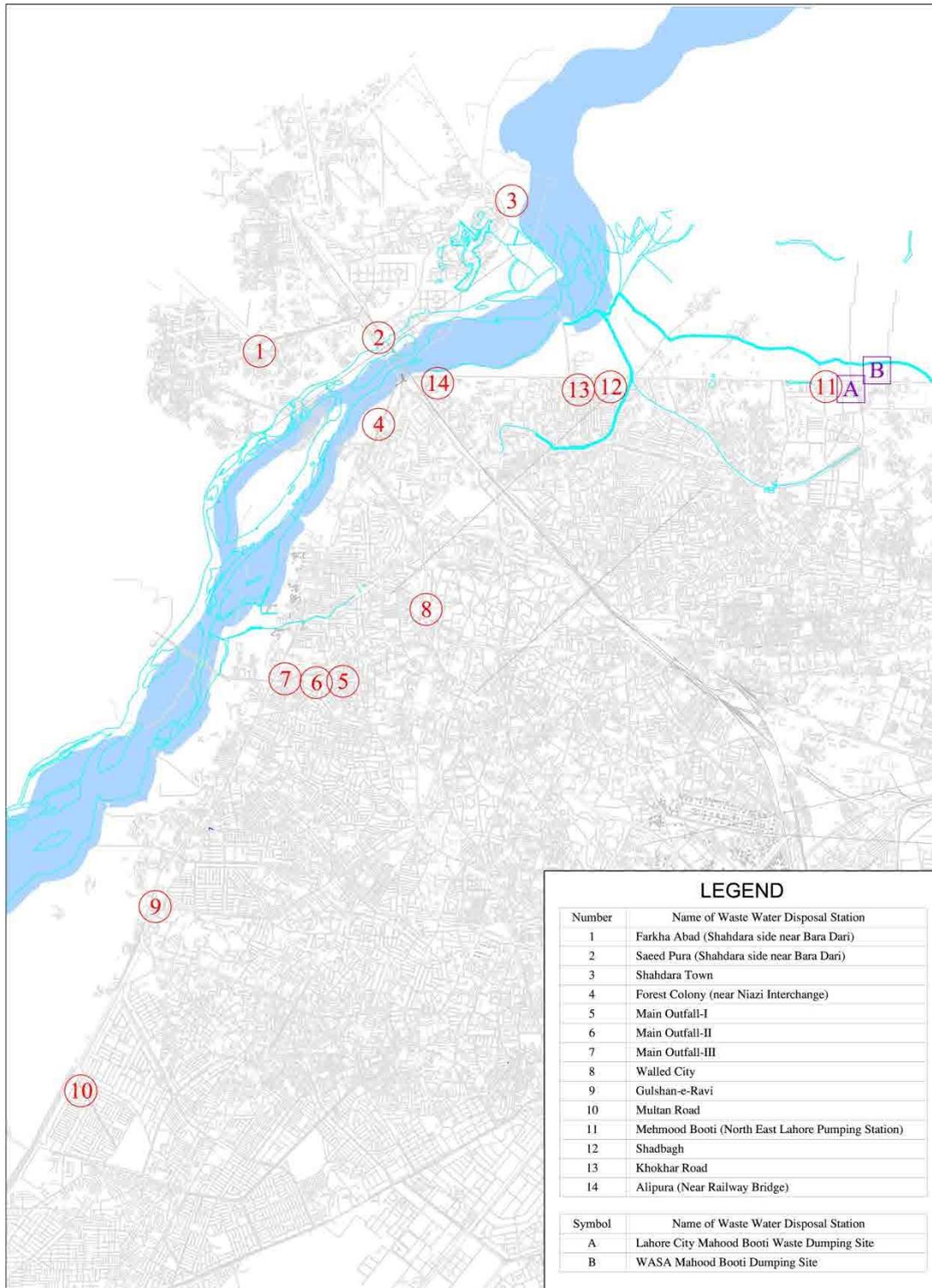


図 2-42 ラビ川への下水排水ポンプ場と残土処分場予定地

(12) 環境管理計画 (EMP)

更新井戸やポンプ場等の施設建設中の環境管理計画は、コントラクター及びWASAのプロ
 ジェクト管理者 (Project Director) が中心になって実施すべきである。その結果は、必要で

あれば、EPAに報告しなければならない。

本計画は、ラホール市街の都市化地域で実施される井戸更新計画である。そのため、井戸建設時の車両の通行による混雑や井戸掘削及び揚水試験に伴う工事用水・地下水の排水が問題になる。このため、市民からの苦情も来ることが想定される。コントラクター及びWASAのプロジェクト管理者は、市民からの苦情受付責任者を工事チームごとに決定し、工事チーム全体に伝えなければならない。それとともにその対応を工事責任者から各現場責任者に連絡する体制を取らなければならない。

(13) 緩和策及び緩和策実施のための費用

施設建設時及び稼働時の環境への負の影響に対する緩和手段に要する費用は、井戸更新工事自体が極めて小規模であり、特別なモニタリング機器の設置及び特別な環境管理のための専門家の雇用を必要としない。環境管理は、コントラクター及びWASAのプロジェクト部長が中心になって実施すれば十分である。そのため、緩和策及び緩和策実施のための費用は見込まない。ただし、コントラクター及びWASAは、数人の人材で環境管理のための体制造りをする必要がある。

(14) モニタリング計画

施設建設中に発生する負の影響と緩和対策及び更新井戸の建設後の施設稼働中の環境対策に係るモニタリング計画を表 2-34 に示す。なお、モニタリング結果は、記録用紙又はコンピュータデータベースに記録して保存する。

表 2-34 施設建設中及び建設後の施設稼働時の環境対策としてもモニタリング計画

No	負の影響と対策	モニターする要素	モニタリング場所	モニター方法	モニター頻度	モニター実施者
建設工事中						
1	パイプの敷設に伴う残土処分	安全で清潔な残土処分場の維持	残土処分場 (WASA保有 下水汚泥処分場)	物理的観察	1 回/週	コントラクター及びWASAプロジェクト管理者
2	井戸建設及びパイプ敷設時の騒音振動	騒音振動	全ての工事現場	住民による苦情	工事中	同上
3	工事に伴う埃やダストの防止	埃やダスト	全ての工事現場	住民による苦情	工事中	同上
4	道路でのパイプ敷設工に伴う路上での交通事故防止	安全交通方法の適切さ	全ての井戸建設現場、パイプ敷設場所の車両出入口	物理的観察	2 回/週	同上
5	工事に伴う工事車両の出入りに伴う危険性対策	安全交通整理方法の適切さ	全ての井戸建設現場、パイプ敷設場所の車両出入口	物理的観察	2 回/週	同上
6	資機材輸送や残土処理運搬車両による道路への落下物による交通事故防止や汚れたタイヤによる道路汚染防止	道路の汚れ具合	工事用資機材及び残土等の輸送車両の通行道路	物理的観察	2 回/週	同上
7	工事に伴う排水対策	適切な排水処理の確認	全ての工事現場	物理的観察	1 回/週	同上
8	工事現場・作業員休息所周辺でのごみや汚物処理	ごみ及び汚物処理	全ての工事現場及び作業員休息所周辺	物理的観察	1 回/週	同上
9	工事作業員の安全管理	工事現場の安全管理規則や安全靴、安全帽の着用等	全ての工事現場	物理的観察	1 回/週	同上
建設工事完了後の施設の運転時						
1	過剰揚水による地域的地下水位の低下	地下水位	10 箇所の地下水位の自動モニタリング井戸	物理的観察	1 回/月	WASA、Hydrology Directorate

(15) モニタリング・フォーム案

建設期間中は進捗状況報告書四季報の一部として発注者に提出するものとする。

表 2-35 モニタリング/フォーム案

1) Imposed Conditions for IEE/EIA Approval and Countermeasures (Sample)

No	IEE/EIA Approval Number	Approval Conditions	Countermeasures
Control Measures of Dust at the Earthworks and Construction Works in the Construction Stage			
1	IEE/EIA Approval Condition 1		
2	IEE/EIA Approval Condition 2		

2) Monitoring Plan

No	Monitoring Factor	Monitoring Place	Monitoring Results	Countermeasure
Construction Stage				
1	Keeping of dumping sites which are sanitary and safety.	Dumping site owned by WASA or City Dumping Site..		
2	Complain by citizen on noise and vibration.	All the construction site of the wells and pump house.		
3	Fog and dust	All the construction site of the wells and pump house.		
4	Appropriate traffic control with safety	Entrance and exit places of vehicles at all the construction sites and on roads		
5	Protection of traffic disturbance and accident	Entrance and exit places of vehicles at all the construction sites and pipe laying sites		
6	Protection of dirtied roads by adhering tires of wetted soils and fallen objects by vehicles for transportation of equipment and surplus excavation soils	Passage roads of vehicles for transportation of equipment and surplus excavation soils.		
7	Disposal of water generated by construction works	All construction sites		
8	Disposal of wastewater and solid waste generated at construction sites and camps	All construction sites, laborers camp, and its neighboring sites		
9	Safety control for construction workers	All construction sites		

Operating Stage After Completion of Facilities				
1	Well water's level	10 replacement wells with automatic monitoring system of groundwater level		

(16) 本プロジェクト実施による温室効果ガスの排出削減について

本プロジェクトは、ラホール市内に給水している約480本の水源深井戸のうち、105本を更新する計画である。この水源深井戸の運転には、大きな電力を必要としており、2012/2013年におけるWASAの支出総額に占める電力費は、約50%と大きな割合を占めている。本プロジェクトの実施により、計画更新深井戸105本に適切なポンプ効率のポンプ及びモータを設置し、電力使用量を削減する計画である。本プロジェクトの実施に伴う単位揚水量当たりの電力消費量は0.323 kW/m³から0.202 kW/m³へと37.5%改善され、電力会社が発電する際に排出したCO₂（温室効果ガス）を間接的に削減でき、地球温暖化防止に貢献することができると考慮される。

本事業の計画対象深井戸105本の既存井戸と計画深井戸の総揚水量と電力消費量の実測値と計画値を比較した。その結果を表1に示す。計画時と現況とを比較すると計画時には、総揚水量が167,087 m³/日 増加し、その一方で、適切なポンプ効率のポンプ及びモータを設置することにより、電力消費量は、6,460 kW/日（269.2 kWh）減少すると見込まれる（単位揚水量当たりの電力消費量が36.3%改善されるにも関わらず、プロジェクト対象深井戸105本の電力消費量が5.8%の削減にとどまっているのは、表 2-36 に示すようにプロジェクトの実施により総揚水量そのものが増大することによる。）。

プロジェクトの実施により、温室効果ガス排出は月換算で約 94.9 t-CO₂、年間換算で約 1,138.8 t-CO₂削減されると見込まれる。

表 2-36 本事業の実施により削減される温室効果ガス排出削減量

No	実測/計画揚水量	井戸本数	総揚水量* (m ³ /日)	単位揚水量当たり消費電力量 (kW/m ³)	消費電力量 (KW/日)
プロジェクト実施前（現況）					
1	0.65～12.8 m ³ /min	105	349,666 m³	0.317	110,844 kW
プロジェクト実施後					
1	4 cfs (6.8 m ³ /min)	41	244,229 m ³		
2	3 cfs (5.1 m ³ /min)	55	245,718 m ³		
3	2 cfs (3.4 m ³ /min)	9	26,806 m ³		
合計		105	516,753 m³	0.202	104,384 kW
差引			167,087 m³		- 6,460 kW
月換算温室効果ガス排出削減量					94.9 t-CO₂

注1) 現況深井戸の総揚水量*は、計画値と比較するために、測定できた54本の深井戸揚水量 12,317 m³/hour（資料6.3 参照）の平均を求めてそれを105本の深井戸数に換算。

12,317 m³/hour × 14.6 hours/day × (105/54) = 349,666 m³/day

プロジェクト計画値の電力消費量**は、ポンプ予想性能曲線から新規の揚水機器における消費電力量

を計算で求めた。

注2) cfsのm³/minへの換算係数を1.7として計算。

注3) プロジェクト実施後の計画揚水量は運転時間を14.6 時間として計算。

注4) $269.2 \text{ kW} \times 0.000483 \text{ t-CO}_2/\text{kWh} \times 30.4 \text{ days/month} \times 24 \text{ hours/day} = 94.9 \text{ t-CO}_2$

注5) 注5)において、0.000483 t-CO₂/kWhは、JICAの「気候変動対策支援ツール／緩和策 試行版Ver.1.0 2011年6月」の「再生可能エネルギーセクター」の「省エネルギー・エネルギー・再生可能エネルギー別表」の「別表C-1 各国のグリッド電力のCO₂排出係数」よりパキスタン国における既存発電所と最近建設された発電所の平均排出係数を使用。

