

3.4 水 質

イエメン・アラブ共和国では、水道水源、給水の水質に関する資料は極度に不足している。また、国自体としても水質に対する関心は高いとは言えない。しかしながら、地方水道事業において、水質は重要な項目と云えるので、各サイトの各種水源の水を採取し、現場試験と日本での分析を行った。結果は、表17に一覧したとおりである。湧水 (Al Rajam) と礫質の沖積物中に賦存する地下水 (Al Zakira)の電気伝導度 (EC) は $100\mu\text{S}/\text{cm}$ 台できわめて低い値を示す。しかし、他の山間部及び海岸平野では $400\sim 1,500\mu\text{S}/\text{cm}$ の値となっている。 $700\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上の高いEC値はWadi Asfan, Shihara と海岸部のAd Dahi, Harad 地区で認められた。

硬度は、いずれの地区も500ppm以下で、Al Khashna, Al Rajam, Harad 地区では100ppm台ないしそれ以下の良好な値を示す。

フッ素は最高値がAl Khashnaの1.2ppm (WHO許容値は1.5ppm) で他はいずれもWHO基準の1.0をほぼ満足している。

カルシウムは、Wadi Asfanで143ppmと高い値を示す。他にAl Zakira ; 78ppm, Shihara ; 88ppm とAd Dahi; 84ppmが、WHO基準の75ppmを上回るが、許容値である200ppmについてはすべての地区で満足している。

水温は、早朝に測定したRajamの湧水が 16.0°C と低い値を示すもの他は、 $23^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ となっている。

pH値は、水源として考えられる地点の水については7.2～7.6の範囲にあり、給水を行ううえでとくに問題はない。

以上、2,3地区の予定水源で、一部の項目にWHOの基準以上の水質が認められたが、いずれもWHO許容値は満足しており、他の給水地区の水質と比較して、水道事業を行ううえでとくに問題はないといえる。

分析結果については若干のコメントと共に Appendix A-2-i に一覧した。

表17 調査地区の水質

地区	水温 (°C)	pH	EC (μ S/cm)	硬度 (ppm)	F (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cl (ppm)	摘要
Wadi Asfan	23.0	7.4	1,350	423(685)*	0.4	143	16	39	Hand dug well
Al Khashna	25.5	7.2	450	123(205)	1.2	38	7	27	Deep well
Al Zakira	24.0	7.6	110	331(520)	0.9	78	33	12	Deep well
Al Kheisen	24.5	7.5	680	279(445)	0.8	59	32	19	Deep well
Al Rajam 1	23.0	7.0	285	138(230)	0.2	32	14	12	Deep well
Al Rajam 2	16.0	6.8	150	83(120)	0.2	25	5	9	Spring
Shihara	26.2	7.4	765	343(470)	0.5	88	30	27	Hand dug well
Ad Dahi	30.0	7.2	1,450	354(480)	1.0	84	35	144	Deep well
Harad	32.5	7.6	730	21(310)	0.5	53	19	46	Deep well
Dimna	23.0	7.2	360	— (175)	—	—	—	—	Spring
Al Husun	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WHO Standard**	—	7.0-8.5	2,000<	500<	1.0< (1.5)	75< (200)	50 (150)	200<	—

* The values in the blanket are field analyses data.

** The values in the blanket show the guideline values for drinking water of WHO

3.5 地区別の現況

以下に地区別の自然概況、給水現況及び水源の現況等をまとめる。なお、既存施設、揚水試験データ、電気探査データ、及び構成集落名などの基礎資料の詳細は Appendix A-2,3 に一括して示した。

3.5.1 Wadi Asfan地区

1). 位置及び自然概況

Sana'a からJihanah に向う舗装路からAl Asnafの東側で南東に 2km程入った地点に調査地の 6村が散在している。標高は約2,100m。

当地区の年降雨量は、既存資料から判断して、300mm/年強と見積ることができ、Sana'a 市とほぼ類似した気象状態にあると考えられる。

集落は、Wadiの凹部のゆるい波状地形の部分に散在し、周辺に比高 60~80mの小丘をもつ。Wadiは大局的に東流し、東側集落で、南から北流するもう 1本のWadiと合している。Wadiの中は 50m~100m程度である。

基盤地質は、Yemen Volcanics の安山岩、玄武岩類で、これをN30~40W の方向性をもつ流紋岩質岩脈が貫いている。Wadi堆積物は粘土~砂からなり、層厚は20m 以下である。キレツ系は、岩脈と調和的に発達し、他にFW系のものも認められる。火山岩類は、表層近くでキレツに富み、浅い地下水の帯水層となっている。

耕作地は主にWadi沿いに発達し、ブドウ畑が広く分布している。他の農作物としては、ソルガム、牧草などがあげられる。集落の周辺の微高地は、石礫が多く、広く荒地となっている。

2). 給水現況

水利用施設としては、数個のシステムと手掘り浅井戸がある。しかし、いずれも飲料水としては利用されず、基本的にかんがい用及び、動物用に使われている。

飲料水は、近接する町村のPrivate wellからトラック輸送されたものを購入し各戸鉄製タンクに貯留して利用している。この水の価格は100YR / 2.4m^3 (m^3 当り約40YR)となる。

3). 水源の現況

8井以上の手堀井戸が存在したが、4井戸のみ現在利用可能である。井戸の深度は、いずれも20m～35mで、主にWadi沿いに設置されている。

現在利用されている井戸は、すべて個人所有で水は主にかんがいに用いられている。揚水施設としては、個人所有のボアホールポンプ、エンジンなどがある。しかし、これらの井戸は湧出量に規制され2～4時間/日から、30～40分/3～4日程度の運転時間となっている。

当地区の地下水は、地質的に沖積層及びキレツの多い基岩上部に賦存する浅い地下水と、断層などの破碎部を中心に存在する深い地下水に分けられる。

部分的に発達する岩脈は、一般に直立しているため浅い地下水をせき止めるような役割を果たしていると云える。

調査においては、浅い地下水の容量に問題があったので、深井戸を考慮して地区西方に水源候補地を選定した。電気探査結果に基づく候補地点の模式地質柱状図は下記のとおりで、深さ20m～70mまでが季節的変動を伴う地下水帯、それ以深が深い地下水帯と推定される。


深度(m)	想定地質	比抵抗値 ($\Omega\text{-m}$)	帯水状況	記 事
21	粘性土混り砂礫	21～42	季節的な帯水部	15～20m 
	極風化凝灰質安山岩	44		
70	凝灰質安山岩	164	帯水部 帯水した亀裂のある凝灰質安山岩	
150	凝灰岩	12		
170	凝灰質安山岩	410		
200				

図7 模式柱状図 (Wadi Asfan)

3.5.2 Al Khashna地区

1). 位置及び自然概況

当地区は、1集落のみからなりDhamarからRidaに向う舗装路をSanabanの先で4kmほど北に入った地点に位置する。標高は約2,400m。年降水量は、400mm/年程度と推定される。

当地区は1982地震の被災地で、これにより相当の離村者を出したと言われている。

集落は、広大な熔岩台地の中の小丘上にある。地質的には、多孔質でN25E22Wの流理構造をもつ安山岩熔岩（西側）と玄武岩（東側）からなり、この両者はN12E60Eの断層で接している。広大な平原であることと、基盤地質が多孔質の岩体からなることを考慮すれば、地下水開発に有利な状況にあると云える。

集落のある小丘の周辺は広く耕地として利用されている。主産物は大麦、小麦、大豆、ソルガムで、他に数種の野菜類も生産されている。

2). 給水現況

個人所有の井戸があり、主にかんがい用に使われている。しかし、取水の一部は簡易のタンクを利用した給水施設により生活用水としても用いられている。

調査によると1日1.5時間の揚水で、基本的な生活用水を水量的に確保している。

水価は、この個人井の水で1m³当り5YRである。他の給水施設として、かんがい用シスターンが耕地の中央部に設置されている。

3). 水源の現況

当地区には、利用可能な井戸として上述の個人所有の井戸と、MPW掘削の深井戸がある。深度は、それぞれ130m及び200mである。この他OECFローンによる深さ200mの井戸があるが、これは空井戸となっている。

水源水量の確認として個人所有の井戸を揚水し、(0.3m³/min、揚水20分間)約100m離れたMPW井戸の水位降下を調査したが、全く水位降下の兆候がなかった。したがって、給水事業を実施するうえで、水量的には全く問題はないと云える。

3.5.3 Al Zakira 地区

1). 位置及び自然概況

調査地は Turbah の南約15Kmに位置する。今回のプロジェクト対象地は、Al Zakira の一部 Gore 地区である。標高は、1,500m~1,700m、降雨量は 400mm/年程度と見積られる。

調査地は、急崖（比高200m程度）によって境される台地上にある。周辺の谷は下刻が激しく、急峻な様相を呈している。

地質的には、石英に豊む砂岩層を主とし、ときに泥岩層、流紋岩層を介在する地層からなる。一般の走向傾斜は、N30E20S で主断層はN30Wの方向性をもつ。水源のある Wadi は多量の礫を含む堆積物からなり、10m 以上の厚さをもつ。Al Zakira 地区の北側には、玄武岩体が分布し、砂岩層と断層により接している。

耕地はゆるい凹地あるいは台地上に広く分布し、大豆、ソルガム及び野菜類が栽培されている。

2). 給水現況

農業はシスターンを利用した天水農業である。生活用水は、Al Zakira 地区の中心 Al Kader まで、日本の無償資金協力により給水施設が完成している。今回の計画対象地の住民は、現在この給水施設の共同水栓まで、2Km 程の距離を取水に通っている。

3). 水源の現況

既存給水施設の水源は、日本の無償資金協力(1983)により地区西側の沢(Wadi 地区)に設置されている深さ180mの深井戸である。井戸掘削後の揚水試験に基づく計画揚水量は $0.3 \text{ m}^3 / \text{min}$ で、このときの動水位は90.9m となっている。静水位が 5.4m であるから水位降下は85.5m となる。

なお、現況把握ということで実施した揚水試験によると揚水量： $0.4 \text{ m}^3 / \text{min}$ 、51分間の揚水で水位降下は、64m であった。またその後19分間の回復水位は46m であった。以上の結果より、水源は水量的に問題はないと判断される。

3.5.4 Al Kheisen地区

1). 位置及び自然概況

当地区は、郡庁のある Khamer から Sa'dah に向って約5km の地点にある村落 Al Jiraf を東に約20km入った地点にある。標高は 2,100~2,300mで、降水量は300mm / 年程度と堆定される。

当地区は、5集落から構成される山間集落地である。周辺は岩石地、石礫地の多い開析の進んだ丘陵地で、基盤地質は石灰岩である。石灰岩の一般走向はN40Wで、傾斜は10~15° NWであるが、多数の断層により構造は優乱されている。主断層はN20 ~ 30° W 走向で直立しており、これに共役的にE-W 走向の断層が認められる。

Wadi堆積物は、石礫を主とし、兩岸は開析が進んで急斜している。

耕地は、集落の周囲にわずかに分布するのみで、広く荒地が広がっている。主要作物は、大麦、小麦、大豆及びソルガムである。

2). 給水現況

農業はシスターンを利用した完全な天水農業である。生活用水はHPW の深井戸が近くに掘削されている Beit Al Eyaniの住民を除いて、すべて他村からの購入という形をとっている。主な購入先は、CYDA 資金により深井戸が設置されている北方の Asfalaで、水はトラック運搬されている。この購入水は、10YR/20l (1m³ 当り 500YR)である。なお、湯水が長びくときには家畜用の水も購入によりまかなわれ、これは 1m³ 当り200YR となっている。

3). 水源の現況

給水施設としてHPW 掘削の深井戸 (315m deep) とこれの揚水施設がある。この深井戸は、N40W走向直立の断層上に位置し、裂か水を集水している。

なお、Beit Al Eyani の村人は村に近接するこの井戸の水を揚水して水を得ている。現地での揚水量確認によれば揚水量は 0.43 m³ /min であった。HPW 資料による静水位、動水位はそれぞれ100m、180mで、このときの揚水量は 0.19 m³ /min である。給水人口を考慮すれば、計画水源として量的に問題ないと判断される。

3.5.5 Al Rajam地区 (Block D)

1). 位置及び自然概況

調査地は、Shibanより未舗装路を西に約60km入った地点に位置する。当地区は標高1,940m~1,960mの南北に広がる平地とその北部に広がる標高2,040~2,400mの山岳部の南斜面から成る。降水量は、400mm/年程度と堆定される。平地部はSN及びNNW~SSE方向の断層谷で南北に細長く分布し、広く耕作地として利用されている。山岳部は標高2,400mの分水嶺までを範囲とし、ケスタ地形を示す。山頂部は主に集落として、また緩斜面は耕作地として利用されている。主要作物は、大麦、小麦、大豆、ソルガムなどである。

当地域の地質は上部中生代のTawilah Group及び新生代第三紀Mejd Seriesに属する砂岩層(礫質砂岩層、礫岩層夾在)と南側の中生代上部ジュラ紀Amran Seiesに属する石灰岩、頁岩互層により構成され、両者はNW-SE系の断層により接している。

Block Dの地域は上記砂岩層を主とし、走向、傾斜N20°~50°W、20°~30°SWの単斜構造を示す。

断層、亀裂系としてはN-S系NNW-SSE系が卓越しこれと斜行するNE-SW系の小断層が多数認められる。

2). 給水現況

Block D地区は、A~Dに4区分されたRajam地域最後の給水プロジェクト対象地区である。周囲のBlock A,B,Cの3地区はすでに日本の無償資金協力により給水システムが完成している。

Block D地区における生活用水の主水源は地区北部のNE-SW系断層に起因する湧水とシスターンであるが、飲料水はRajam中心地より購入されることが多い。水価は15 OYR/m³である。また、南部平地ではかんがい用水に深井戸が利用されている。地区内の水の運搬は人力、畜力によることが多く、給水施設は全く未整備の状態にある。

3). 水源の現況

湧水は、地域北端標高1,360mの北斜面にあり貯水池が並設され、よく管理されている。湧水量Q=22ℓ/min, EC=150μS/cmで水質は非常に良い。

地区南部の平地部には合計11井の井戸が掘削されているが5井は空井戸である。取

水可能な 6井のうちの 1井がBlock B の水源として利用されている。残り 5井のうち 2井は未使用で 3井は個人用として主に灌漑に利用されている。

上記の状況より、給水プロジェクトの水源は南部平地部に設定されることが妥当と云えるので、水源確定のための電気探査をこの平地部で 5点実施した。このうち地区外 (Block A) の点を含めて 4点が水源として有望であることが確認された。

近傍の井戸資料を参考にした代表地点の模式柱状図を下に示す。解析結果によると、季節的な帯水部である洪積層及び沖積層は層厚約40m と考えられ、その下位深度40～200m間は亀裂のある砂岩層と想定される。周辺井のデータより 100前後が水位と想定される。

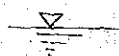
深 度 (m)	地 質	比抵抗値 (Ω -m)	帯水状況	記 事
5.0	沖積層 (粘性土)	10～40	非帯水部	30m (推定)  EC=285 μ S/cm T=23°C
40.0	洪積層 (砂礫層)	110～ 200	季節的な 帯水部	
200.0	亀裂のある砂岩	100～ 650	帯水部	

図 8 模 式 柱 状 図 (Al Rajam)

3.5.6 Shihara 地区

1). 位置及び自然概況

Shihara 地区はイエメン・アラブ共和国北西部の山岳地帯に位置する。アクセスは Sana'a-Sa'dah の舗装路を Huth で西に入り、Al Atche を経由するものである。

Huth からの距離は約 40km である。降水量は約 400mm/年と推定される。

地区の地形は、下記のように大きく 3区分できる。

丘陵地域 標高 1,200m～1,300m

山岳地域 標高1,300m~2,200m

山頂部地域 標高2,200m~2,500m

丘陵地域はSSW からNNE に流下するwadi woar の西側に分布し、標高1,160m~1,260mの段丘堆積層から成る。

Wadi Woar は NNE-SSW系の断層谷を北流するもので、300m~500mの中をもち、東岸に砂岩を分布させている。

山岳地域は標高1,300m~2,200mの急峻な地形を呈し中生代~古第三紀の頁岩、砂岩、凝灰岩、火成岩類等より成る。

標高2,200m~2,500mの山頂部には、同地域の中心部をなす集落 (Shihara)が位置する。プロジェクト対象地はこの山頂部 Shiharaの南東麓に散在して分布する22集落である。

なお、山頂の Shiharaは大規模な石英安山岩の貫入岩体上に位置し、周囲は急崖が形成されている。

耕地は斜面勾配の比較的ゆるい凹地部分に段々畑として発達しているほか、Wadi沿いにも広く認められる。主要農産物は、小麦、豆類及び野菜類である。

2). 給水現況

集落部における既存水源は、最下位に位置する Al Qabain (標高1,300m) に地下水取水のための浅井戸が存在する他は、湧水及びシスターンである。

湧水は、断層沿いに認められる小規模 (推定 100~1,000 Q / day) なもので、湧水口に貯水池あるいは貯水槽を並設して利用されている。この他、手堀横杭による利用形態も認められた。しかし、全般に生活用水としての水量は不足の状態にあり、飲料水は、Wadi沿いの集落から運搬されたものを購入している。価格は山頂で 1m^3 当りで375YR である。なお、山頂のShihara では幾つかのシスターンが設けられ生活用水源としても利用されている。

Shihara 地域に含まれる東端のWadi Woar には、良好な農地が分布し、手堀り浅井戸を水源とする簡易なかんがい農業が営まれている。

3). 水源の現況

集落に近接して利用されている水源は Al Qabainの浅井戸のみである。既設の井戸 (深度200m~300m) としては、NPW によるものが 2本、サウジアラビア資金のものが

2本、CYDAによるものが1本存在している。このうち、東側丘陵地の沢部に堀削されたMPWの深井戸を除いて4本は空井戸である。

またインタビューによると、利用されている既存井及びMPW井も、季節的な揚水可能量の変動が大きく、水量的にも問題を内在していると判断される。

以上より、山岳地帯及び丘陵地帯に、当地区給水プロジェクトの水源を求めることは、水量的にも問題があると判断されるので、かんがい農業が営まれ、地下水が多量に湧出しているWadi Woarに水源を計画することが妥当と言える。

当調査では、水源を NNE-SSW系の断層谷を流下するWadi Woar 中流に求め、ここで電気探査を実施した。Wadi周辺の断層、亀裂系としては $N40^{\circ} E 70^{\circ} SE$ 、 $N25^{\circ} W90^{\circ}$ の2系が認められた。

電気探査結果として、代表的なE-2の模式柱状図を以下に示す。

深 度 (m)	地 質	比抵抗値 (Ω -m)	帯 水 状 況	記 事
9.00	粘性土	11~18		$\nabla 2\sim 3m$ ↓
74.0	粘性土混り 砂礫	37~48	効率の悪い帯水部	水質 EC=765 $\mu S/cm$ T=26.2 $^{\circ}C$
100.0	砂 岩	540	帯水部(亀裂の 少い砂岩)	
400.0	亀裂のある 砂岩	162	帯水部(亀裂の 多い砂岩)	

図9 模式形状図(Shihara)

近傍の浅井戸の資料を参考にすると深度74mまでは粘性土~粘性土混り礫からなる効率の悪い帯水層で、深度74m~100m間は亀裂の少ない砂岩、深度100m~200mは亀裂の多い砂岩の帯水層と推定される。

3.5.7 Ad Dahi

1). 位置及び自然概況

Ad Dahi と後述のHarad は共にTihama海岸平野に位置する。Tihama海岸平野は中央高地と紅海に挟まれた東西約50km南北約400km の規模を有す平地部である。標高は0～300mで、平均勾配 1/100 ～ 1/200 の緩傾斜を呈す。Tihama海岸平野はEolian Sandによって覆われた砂漠地帯と、その内陸側にある多くのWadiによって形成された扇状地帯に 2分されるが、境界は明確ではない。

Eolian Sand によって覆われている砂漠地帯にはおよそ500mの間隔で比高差10～20mの砂丘が東西方向に配列している。

Ad Dahi はAl Hudaydah の北約45km、海岸から約25kmの地点、Al Hudaydah-Harad の舗装道路の東約2km に位置し、標高は約80m である。Ad Dahi 中心地の南約1km にはWadi Surdad が西流している。降雨量は約 100mm/年と推定される。

地質はwadiの砂質推積物と風積砂を主とする上部層と、細粒分を含む砂、砂質土を主とする下部層から構成される。

耕地は集落の周囲に広く認められ、主に小麦、豆類、綿花、タバコなどが栽培されている。

2). 給水現況

15年前に整備された水源井を含む給水施設が稼動している。しかし、給水区域は旧集落を中心とし、地区の 6ブロック中 2ブロックにおいてのみ下記のような時間給水が行われている。

午後 2～ 3時間の給水区域

夕方 1時間の給水区域

施設としては各戸配管に近い埋設配管網、高架水槽、揚水施設が存在する。しかし、調査によるといづれも考朽化が激しく、下記の状態にあると判断される。

- ・配管網 — 老朽による漏水が著しく、水頭、水量の両点に関して十分な給水機能を果たしていない。
- ・高架水槽 — 老朽による漏水のため使用不能。
- ・ポンプ — 老朽のため揚水量、揚程が著しく低下している。
- ・エンジン — 同様に出力が著しく低下している。

なお、配管網が整っていない新興住宅地では、周辺の水源井で揚水された水を購入運搬して利用している。水価は現給水区域で、使用量を考慮して15～60YR/戸・月の範囲となっている。

なお、当地区にはUSAIDからの供与機材であるポンプ、エンジン、揚水パイプ等が保管されている。

3). 水源の現況

既存水源としては、現在利用されている水源井（深度60m）、とMPWが掘削した未使用の井戸（深度80m）の2本がある。

静水位は、20m～30m深度で、揚水による水位降下は小さいと推定される。

当地区が大規模なWadi沿いに位置することと、現在の水源状況を考慮すれば、当給水プロジェクトに対する水源として上記2本の井戸は水量的に十分であると判断される。

3.5.8 Harad 地区

1) 位置及び自然概況

Harad はAd Dahi と同様にTihama海岸平野の北部で、海岸から約40kmの地点、サウジアラビアとの国境近くに位置する。標高は約100mである。降水量は、100mm/年程度と推定される。Haradの主集落は、西流するWadi Haradの左岸扇状地頂部に位置する。集落の周辺は高ウネ（高さ0.5～1m）を持った畑として利用され、主産物は、大麦、小麦、豆類、ソルガム、ジャガイモ、キビ、野菜類と多岐に及んでいる。

地質は、地表から深度5～6mまで泥土が分布し、その下部はWadi周辺部で下限深度が110～120mと考えられる円礫を含む砂・砂礫となっている。

集落の東方には砂岩、石灰岩、安山岩等から成る山体が分布する。

2). 給水現況

水源としての井戸が 2本と給水タンク及び共同水栓が、給水施設として存在する。しかし、配管施設は全くない。北側の井戸、揚水施設及びタンクと南側のタンクは日本の無償資金協力により設置されたものである。

住民の生活用水は主に給水タンク脇の共同水栓から取水されている。また、一部の住民は水価 $100\text{YR}/\text{m}^3$ の水を購入して飲料水として利用している。

当地区の居住地はサウジアラビアにつづく道路の舗装が完成してから、道路沿に急速に拡張しており、取水に障害が生じている地区も増加の傾向にある。

3). 水源の現況

当地区に存在する水源は 2本の生産井である 1井は居住地の中心部付近にあり、深度30m、静水位約20mである。AppendixA-3-1 に示したように揚水後の水位回復はきわめて迅速で、生産井として全く問題はないと言える。なお現在の揚水量は $360\text{Q}/\text{min}$ である。

地区北側の井戸は深度100m、静水位20mである。本井はタンク、揚水施設と共に日本の無償資金協力によって設置されたもので、計画揚水量は $500\text{Q}/\text{min}$ となっている。水質はいずれも良好で水量的にも十分と判断される。

3.5.9 Dimuna地区

1). 位置及び自然概況

当地区は、郡都Dawranの中心地から約10km南に位置する。標高は2,300~2,600mで、この高度間に6村が分散している。年間降水量は、400mm/年程度と推定される。

地形的には、複合したカルデラの一部にあたり、急崖、急斜面が広く分布する。基盤地質は基性熔岩及び火山碎屑物を主とし岩石地、石礫地が各所に認められる。一般構造は、走向N40W、傾斜20SWで、低位部では塊状の熔岩となる。谷はほとんどV字形を呈し、N30~40EあるいはN50Wのキレツ系に調和的に発達する。

小さな凹地で土壌が分布する部分には、耕地がよく発達している。主要作物は、大麦、小麦、大豆等である。

2). 給水現況

農業は完全な天水農業である。生活水としては、ごくわずかな水を地区内の小湧水から主に取水し、シスターンの水も利用している。飲料水は地区北方約10kmのDawranあるいは周辺村落から運んでいる。

Dawran地区からトラック運送により運ばれる水は、村民の約1/3が購入し、価格は350YR/3m³ (m³当り115YR)である。残りの村民は、各自でロバ等を使い運搬している。価格はトラック運送のものに比較して半分程度となる。

当地区の給水状況は上述の状態にあり、生活水においてもきわめて窮した状態にある。

3). 水源の現況

当地区の水源状況は要請にある状況と大きく異り、既存とされていた浅井戸は存在しなかった。地区内唯一の水源は、Qoed Alaの南にある湧水のみで、湧水量はわずか500~700l/dayである。

当地区は、集水域がきわめて小さく塊状熔岩からなるうえ、急斜の多い高台に位置するため、地下水の発達には、不適な条件にあると云える。

また、当地区の北側に隣接し、当地区と類似した地形、地質からなるAl Hamra地区には、MPWによる深度150mの深井戸が掘削されているが、空井戸となっている。

以上のように地形、地質学的観点及び周囲の状況から当地区内に給水事業の水源を求めるとはむづかしいと判断される。

4). その他

当地区は、1982年地震の震源地付近にあたり、多大な被害を受けている。インタビューによると、この地震により離村民が増加したとのことである。現在は、当地区を含むDawran郡を中心に災害復旧事業が広く行われている。

3.5.10 Al Husun地区

1). 位置及び自然概況

本地区は、Marib の北約5km の地点に位置する準都市的な家屋密集地である。調査地の西部及び南部ではかんがいプロジェクトが進行中で、地区の西端に主水路が建設中であった。降雨量は 100mm/年程度で標高 1,000~1,100m。

調査地は広大なワジ平原の一部にある。ここは、広大なルブ・アルハリ砂漠の西端部にあたり、いくつかの孤立した砂丘が周辺に分布している。

基盤地質は玄武岩と考えられるが、厚くWadi堆積物、レス堆積物により被覆されている。被覆物は細砂、シルト、粘土で、調査地周辺には多くの耕地が分布している。

2). 給水及び水源の現況

かんがい用水、生活水は、すべて井戸から取水されている。井戸は深さ50~100mで、個人所有のものも含めて 6井以上ある。

設置されているMPW wellのデータによると静水位は20m で $0.38 \text{ m}^3 / \text{min}$ 揚水時の水位降下は30m である。水源としての水量は、地形・地質学的観点からとくに問題がないと考えられる。

活用水は、井戸脇に設置された共同水栓から取水されており、現時点では全く配管等の給水施設は存在していない。

3). その他

地区の給水プロジェクトはMPW によってすでに入札済みであり、イエメン・アラブ共和国政府より実施されることを確認した。

3.6 水利権及び用地問題

3.6.1 概 要

水利用におけるイスラム慣習では、水保全区域の設定、上流優先主義、公共利用権などの水法が確立されていると云われている。ここでは、主に井戸に関する権利についてインタビューを中心としてとりまとめる。

通常、イスラム慣習では水源の所有者は、水源を所有しない者に対して無償で生活水を分けなければならないとされている。しかし、現実的には、この慣習の適用範囲は同族間だけであり他部族に対しては有償か、取水を拒否している場合が多い。

土地所有権と水利権は基本的には独立した権利で、いずれも相続・売買の対象とできる。しかし、実際上は、土地の売買に付帯して水利権も移転するし、井戸を新設する場合は、その土地を購入する必要があるようである。

一般には、井戸を掘削した者が、その井戸の利用権を全面的に有すると考えられているが、上記の土地所有権に関係して井戸の水利権についても複雑な問題が絡んでいる。

給水事業用の井戸は、地元LDAが必要な用地を地主より購入したり、用地使用権及び水利権を有償あるいは無償で譲渡される場合が多い。しかし、農地の耕作権が他にあるなどの複雑なケースもあり、Shaykh*、裁判権をもつ長老などが調停を行うことが多い。

以上の問題が、異部族間に及ぶ場合は、紛争にまで発展することが多く、その解決は困難となる。

* 部族の総括者 (Tribal leader) で、部族社会の行政担当者、通常慣習的に家長、村長等の代表者によって選出されるが世襲の場合も少なくない。

3.6.2 本事業に対する検討

インタビューを含む現地調査の結果、本地方水道建設工事に伴い若干の水利権問題及び用地問題の発生が予知された。また、部族社会の形態を踏襲するイエメン・アラブ共和国の国情からも当問題に関しては検討が必要であると判断される。地区別に想定される両問題については Appendix A-2-j に一覧した。

以上の状況より、調査団は公共事業省に対し事業実施にあたって当問題を確認、解決

するよう依頼し、公共事業省から責任をもって対処する旨の確認を得ている。なお、プロジェクトが公共給水事業であること、調査期間における公共事業省職員の適切な対応を考えると当給水プロジェクトに関する水利権、用地問題はイエメン・アラブ共和国政府により適宜調整されるものと考えられプロジェクトの実施にあたっては、基本的に問題はないと判断される。しかし、事業の円滑な進行のために、村落代表者や土地所有者とは十分な事前打合せを行い、施工計画に関して明確な承認を得る必要がある。

4. 計画の内容

4. 計画の内容

4.1 計画の目的

本計画の目的は、YAR 国政府より要請のあった地方水道整備事業対象地区の住民に対して安全な生活用水を安定的に供給するための、給水施設を整備することで、これにより地区の生活環境は、大幅に改善されることとなる。

本基本設計調査の対象地は10サイトであるが、次項で論ずるように、無償資金協力の対象として妥当と判断されたのは8サイトである。本計画は、これら8サイトに対する計画であるものの、国家開発5ヶ年計画の主目的である地区社会基盤の向上に多大な貢献をするもので、結果的にYAR 国において有意義な効果を及ぼすものと判断される。

4.2 要請内容の検討

現地調査の結果を基に各地区の要請内容及び計画内容を検討する。

1). Wadi Asfan地区

要請にあたった既存浅井戸の水源では、当地区の計画給水量に対して容量不足と判断される。また、浅井戸水源として適当と考えられる地区北東部のWadi Holman は、土地所有権が他村落の住民にあるので利用できないことが確認された。

以上の結果から再調査（電気探査）を実施し、新たに水源適地を選定した。計画水源としては、地区西部の地点に深井戸を考えるのが妥当と言える。

水源の位置が要請と大巾に異なるので、パイプラインの路線も要請のものとは基本的に違うものとなる。

2). Al Khashna地区

現地調査の結果、要請にあった給水計画は、妥当なもので、基本設計は、要請内容を基本的に踏襲する。なお、要請通りに水源はMPW により設置済である。

3). Al Zakira 地区

当地区の要請は、無償資金協力第 2 期より建設された給水施設の拡張である。
水源、要請内容ともとくに問題はないので、要請内容を踏襲する。

4). Al Kheisen 地区

水源は既に MPW により揚水ポンプまで含めて設置済みであり、MPW の資料及び現地調査からも水量的に問題はないと云える。給水計画も妥当であるので、基本設計は MPW の計画を踏襲する。

5). Al Rajam 地区

要請の計画内容は、給水計画上当地区を 4 分割したうちの 1 つについて水源を新設し、さらに給水施設を完成させるというものであった。

現地調査の結果、水源としての井戸が確定できると考えられるので、給水施設についても資料をまとめ最適な給水施設を計画する。

6). Shihara 地区

当地区の給水プロジェクトはきわめて広範囲な F/S (Part II) の HA-3A 地区を対象とする。対象集落は約 20km^2 の範囲に散在する 22 村である。

水源としては、電気探査の結果を考慮して地区東端の Wadi Hoar を候補地とし、給水施設に関する基本計画は、一般及び測量資料等を整理し立案する。

しかし、当給水プロジェクトは広範な地区を対象とするので、無為に計画規模を大きくしないこととし、まず住民の取水状況の大巾な改善となる主送水管の完成と、数村単位の共同水栓までを今回の設計範囲とする。

7). Ad Dahi 地区

当地区は、郡庁所在地で、準都市的な家屋密集地である。すでに、15 年を経過した配管網が布設されているが、老朽化のため管閉塞などの障害を生じている。本計画では対策として、要請にあるように高架水槽を設置し、主配管の管網を整備することとする。また、老朽化施設については更新を考える。

8). Harad 地区

当地区には、無償資金協力第1期の深井戸、揚水施設及び地区の水源井がすでに存在し、利用されている。

しかし、配管施設が未だ整備されていないので本計画ではこれを整備する。

Ad Dahi 地区と同様の、平坦かつ家屋密集地であるので、高架タンク及び主配管網を給水施設として計画する。なお、老朽施設については更新を考える。

9). Dimuna地区

要請された当地区の給水計画はイエメン・アラブ共和国のMPWにより立案されたものである。

しかし、当地区の現況が要請内容のそれと著しく異っているため、大巾な計画の見直しを必要とする。とくに水源として予定されていた浅井戸が存在しないことに対して、まず計画水源を確定する必要がある。

なお、調査の結果、地形・地質学的見地より、当地区内に水源を求めることは不可能と判断されるので、要請にあるような当地区内だけの給水計画立案は断念せざるを得ない。

以上の結果を踏えて、水源開発の可能性が高い地区を含めたより広範な給水計画(ex. Dawran-Dimuna給水計画)を立案することが妥当と判断される。

要請の給水計画に対し本調査では水源が確定できないので、当基本設計においては取り上げない。

10). Al Husun地区

現地調査の結果、当地区の給水事業は、すでにMPWの工事入札が完了していた。

この状況を踏えてMPWと打ち合せを行い、当地区の給水プロジェクトについては今回の無償資金協力からはずすこととした。

4.3 計画の概要

現地調査結果を基に、基本設計計画をとりまとめた。以下に、計画の実施、維持管理等を考慮した計画概要をとりまとめる。

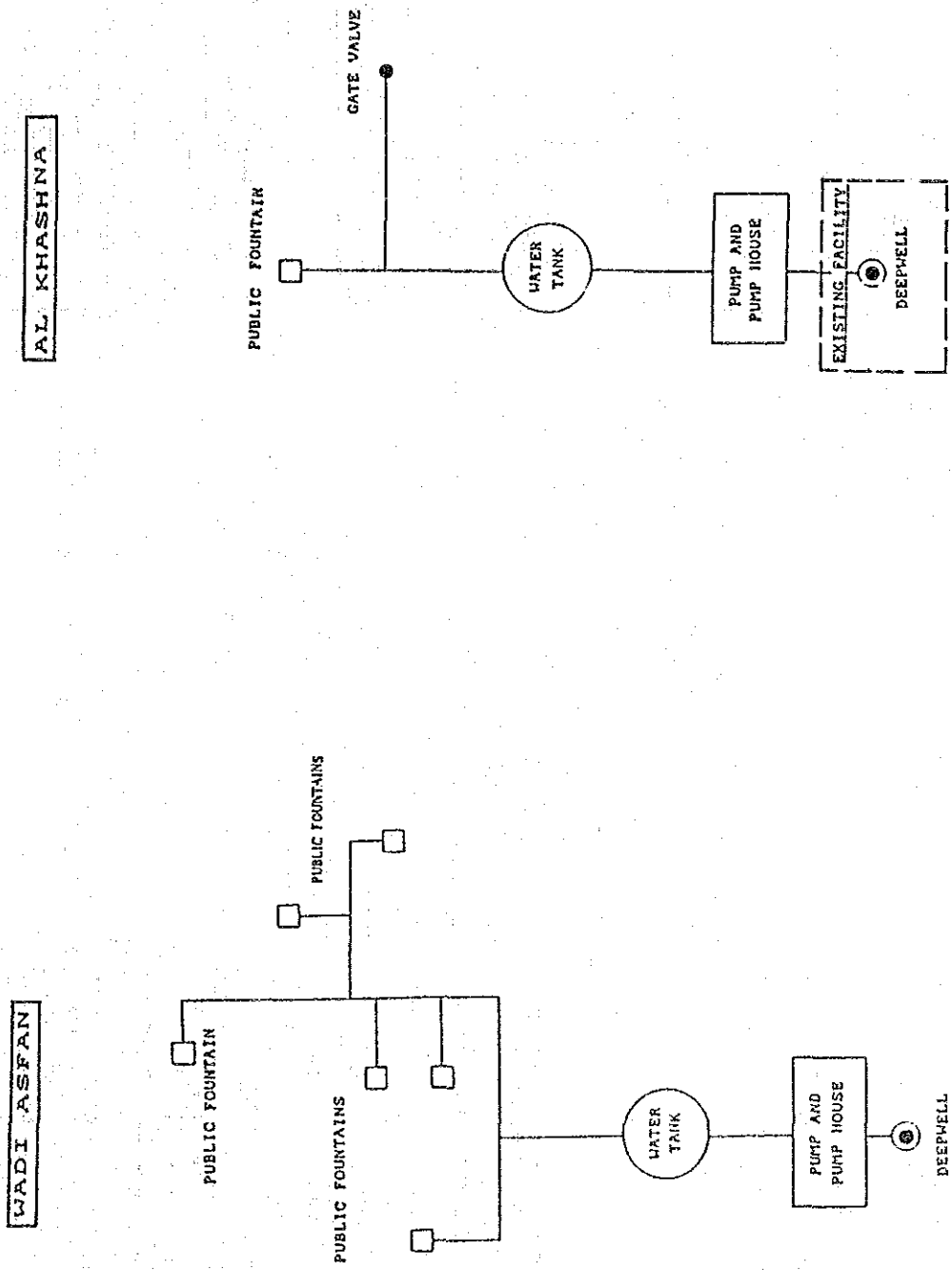
4.3.1 計画施設概要

計画施設の概要は図10「システム概要図」に示されるものとなり、各施設の数量については下表のように整理される。

表18 計画施設概要

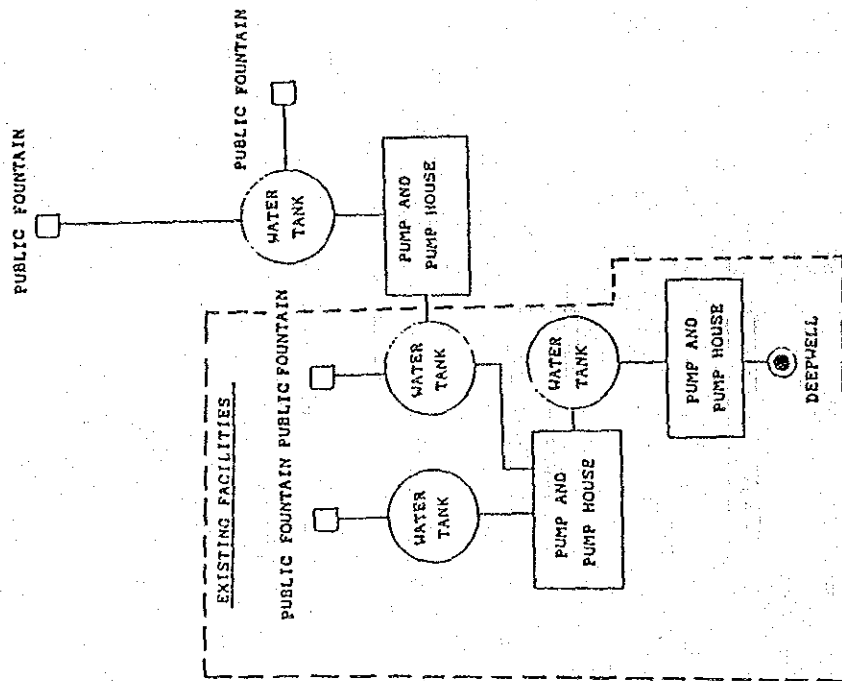
地区	施設 計画人口 (人)	計画給水量 (m^3 /日)	水源井 (深度)× (本)	送/配水 管 路	配 水 槽 (基)	公共水栓
Wadi Asfan	990	39.6	200m×1	3,475m	30 m^3 ×1	6基
Al Khashna	490	19.6	—	1,464m	30 m^3 ×1	1基
Al Zakira	820	32.8	—	3,270m	50 m^3 ×1	3基
Al Kheisen	1,170	46.8	—	5,077m	20 m^3 ×1 30 m^3 ×1	5基
Al Rajam	6,070	242.8	200m×2	14,178m	50 m^3 ×1 50 m^3 ×2	12基
Shihara	8,440	337.6	200m×1	14,871m	150 m^3 ×1 30 m^3 ×1 50 m^3 ×4 60 m^3 ×1	8基
Ad Dahi	9,030	634	—	7,200m	100 m^3 ×1 100 m^3 ×15(H) ×2	10基
Harad	6,920	488	—	6,595m	100 m^3 ×15(H) ×1	6基

図 10 システム概要図 (1/4)

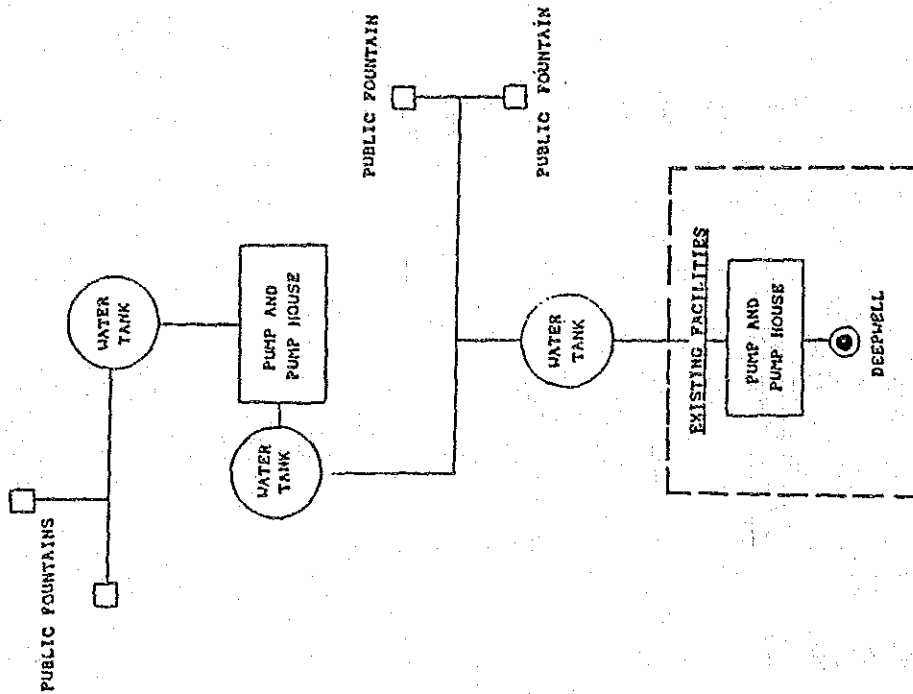


システム概要図 (2/4)

AL ZAKIRA

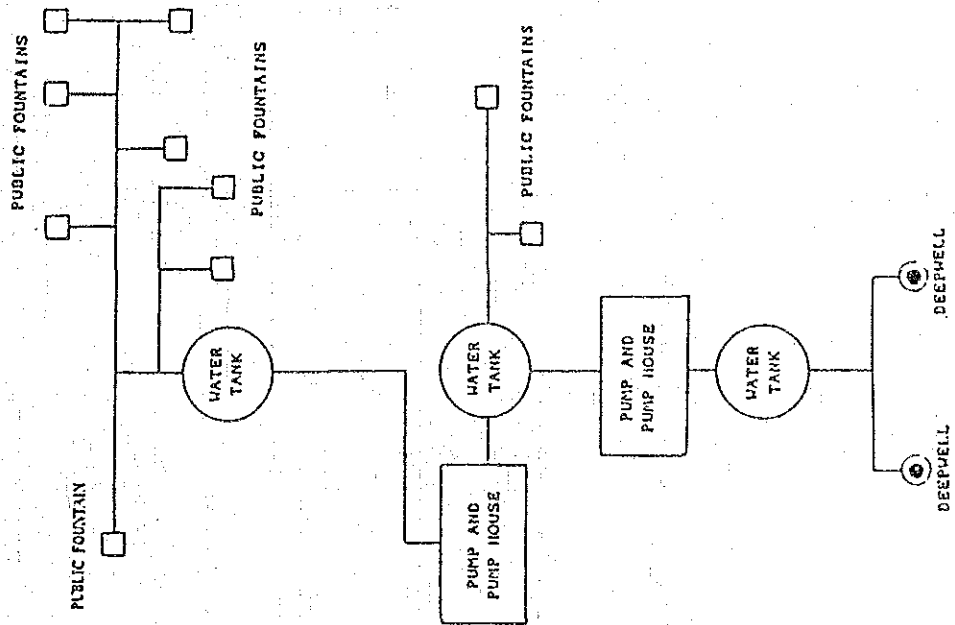


AL KHEISEN

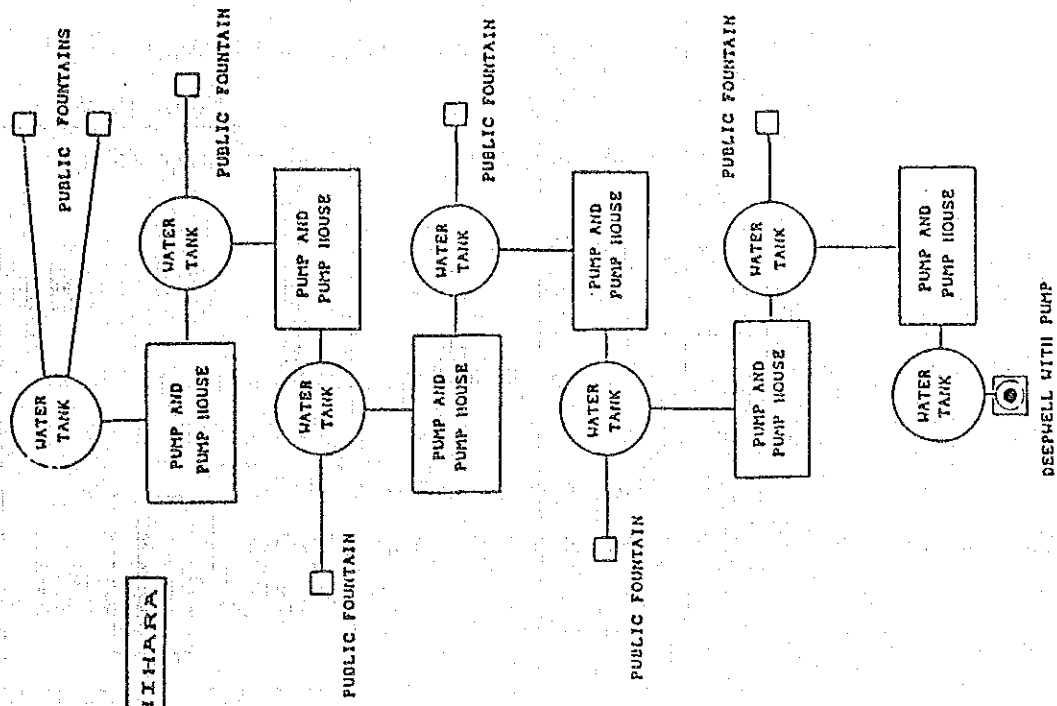


システム概要図 (3/4)

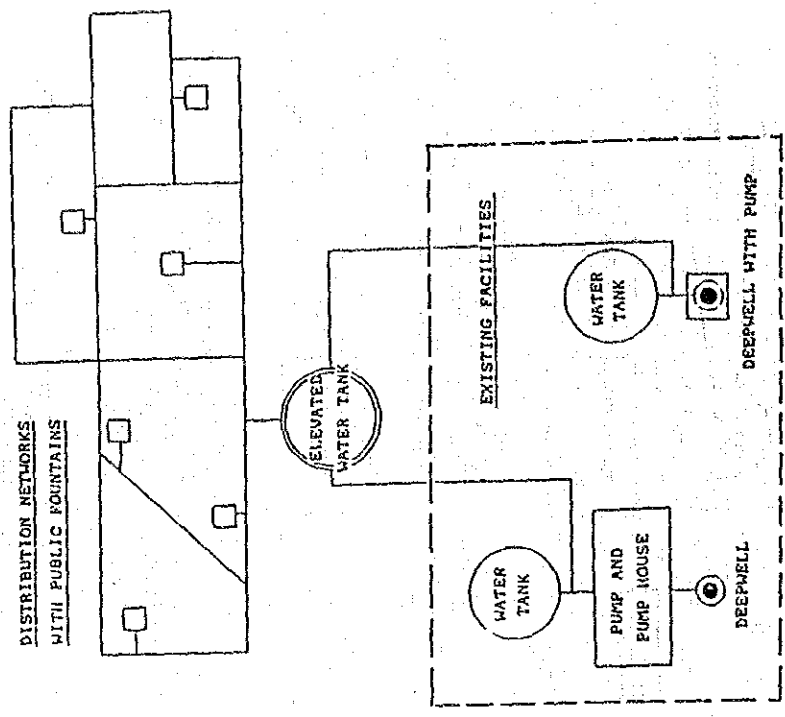
AL RAJAM



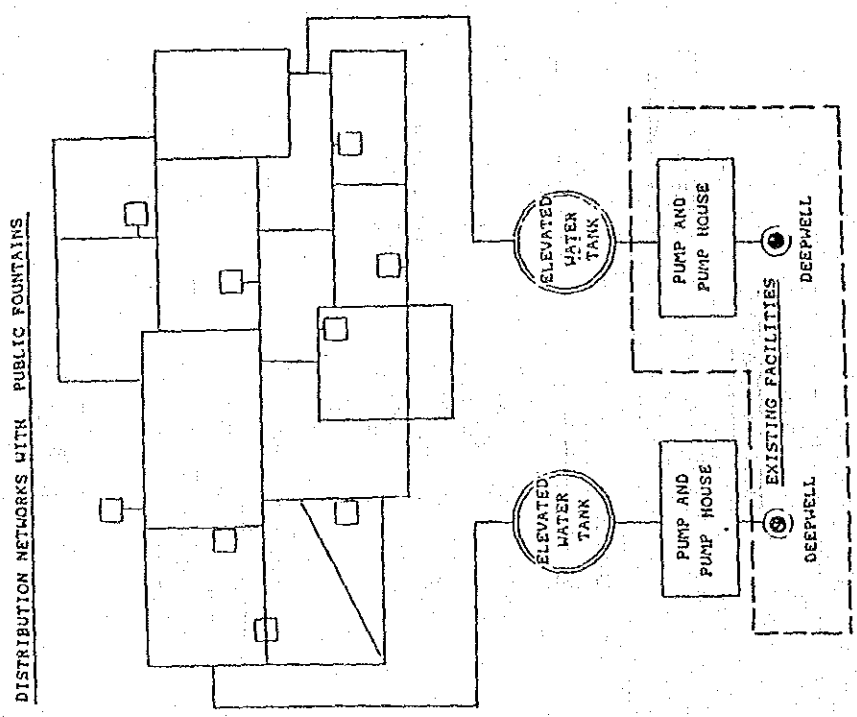
SHIHARA



HARAD



AD DAHI



4.3.2 実施体制

本地方水道整備計画の実施は、イエメン・アラブ共和国政府・公共事業省地方水道局が実施機関となる。

実施体制の詳細については 6. 「事業実施計画」で述べる。

4.3.3 維持管理

事業完了後の施設運営に係わる維持管理は、7. 「維持管理計画」の項にまとめた。なお、本計画においては、急傾斜配管、埋設配管の行なわれるサイトが含まれるので、建設に用いる急坂車、バックホウなどの特殊建設機械類及びトラック、ピックアップの各1台については、施設の維持管理用に使用することを考慮して、実施機関管理において供与機材とする。

4.3.4 供与機材の概要

供与機材の概要は下記のとおりで、仕様については Appendix A-5-x にとりまとめた。

表19 供与機材概要

種 類	数 量	記 事
バックホウ	1 機	・ 掘削用重機。 ・ Ad Dahi, Haradの埋設配管布設に用いる。
急坂運搬車	2 台	・ 急傾斜山岳地の資機材運搬用。 ・ Shihara, Rajam で使用。
ピックアップ	1 台	・ サイト巡回、管理用。
8トントラック	1 台	・ 維持、管理資機材の運搬用。

この他「4.3.1 計画施設概要」で述べた給水施設を完成させるために、建設用材料として、下記の資材が設計数量分必要となる。

- ・管 材（水道用亜鉛メッキ鋼管、配管用炭素鋼管）
- ・弁類、ジョイント他管路付帯材料
- ・水中モーターポンプ（取水用）
- ・横型タービンポンプ（送水用）
- ・ジェネレーター（動力）
- ・エ ン ジ ン（動力）
- ・パネル式水槽（特殊コーティング）及び架台材料
- ・水 柱
- ・電気計装設備（電柱、トランス、制御盤等）
- ・水源井資材（ケーシング、ストレーナー等）

4.4 基本事項の検討

4.4.1 基本方針

本事業の特色と基本方針を給水／施設計画の観点から以下に概括する。

- 1). 本事業は1979／80年のJICAによる社会開発調査に基づき、1981年より83年まで3期にわたり当国地方水道整備事業として実施された日本国無償資金協力の第4期分にあたる。
- 2). 当国は一部の紅海沿岸平野部を除き、高度2,000～3,000mの丘陵、山岳地帯にそのほとんどが占められている。このため、複雑な地形の中に散在する集落に対する水道計画は、水源をはじめ給水施設に至るまで多様な技術的困難と経済的困難を伴っている。

本計画の対象8サイトを地形／集落形態から分類すると以下の通りである。

グループA：山岳部中小集落

人口…………… 500～ 1,000人

1集落に含まれる部落数…………… 1～ 5

(これらの部落は山岳地形の中に点在し、全体は本村の首長のもとに統合されて行政区画としての1集落を形成している)

水道計画……………典型的な簡易水道

対象サイト数…………… 4サイト

グループB：山岳部複合集落

人口…………… 6,000～ 9,000人

1集落に含まれる部落数……………12～22

(含まれる各部落は中心となる本村を除きグループAの形態と全く変わらない。いわばグループAが複数個集まって1行政地区を形成したものである。対象面積は約10km²以上となる。)

水道計画……………広域簡易水道

対象サイト数…………… 2サイト

グループC : 平野部中小都市

人口…… 6,000～ 9,000人

(平野部における人口 1万人弱の準都市で群部地域の集散地となっている。)

水道計画………小都市型水道(市街地で管網を形成する)

対象サイト数…… 2サイト

3). MPW は、近年の給水プロジェクトについて、配水主管+公共水栓までを計画範囲と定めているので、本事業もこの原則を踏襲する。しかし、無償資金協力システムに基づく本事業で大規模広域水道建設を行うことは諸々の制約があるため、後にサイト各論で述べるように現地調査に基づき無償事業の最適規模と判断される計画を各サイトにつき提言する。

4). 施設基準としては、事業の実施機関である公共事業省地方水道局の設計基準に加えて、計画規模が日本の簡易水道クラスであることを考慮し、「簡易水道施設基準」の内容を計画地域の実情に照合して採用する。

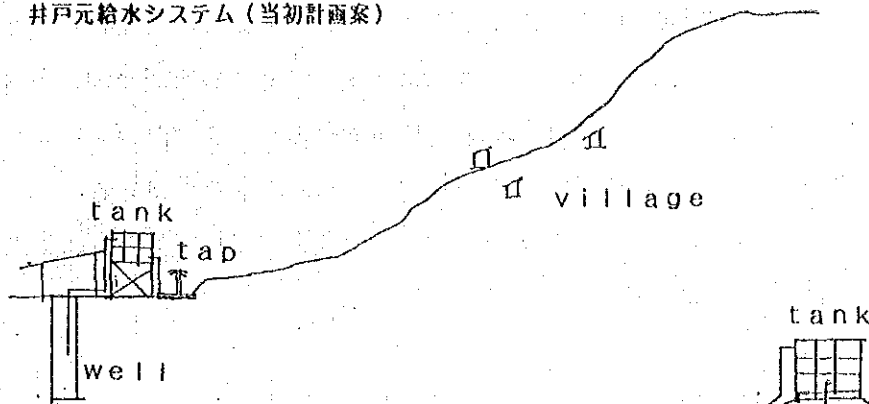
なお、先行事業と今期設計の設計基準については、「4.4.3 給水計画諸元の比較」で、各項目に関して比較を行う。

4.4.2 先行事業との関係

今期の計画に先行する日本国援助による地方水道事業は、1977年 E/N, 1978 年より実施されたOECD有償資金協力プロジェクト(対象42地区)と1980年JICA社会開発F/S調査後、1981年より 3期にわたって実施された無償資金協力プロジェクト(9地区)がある。

OECD有償資金協力事業では、調査、設計、実施の各段階で計画内容に変更があり、当初の計画では、井戸元給水システムを基本として設計していたが、実施段階では次図(b)のような改良型システムを採用している。

a) 井戸元給水システム (当初計画案)



b) 改良型給水システム (実施例)

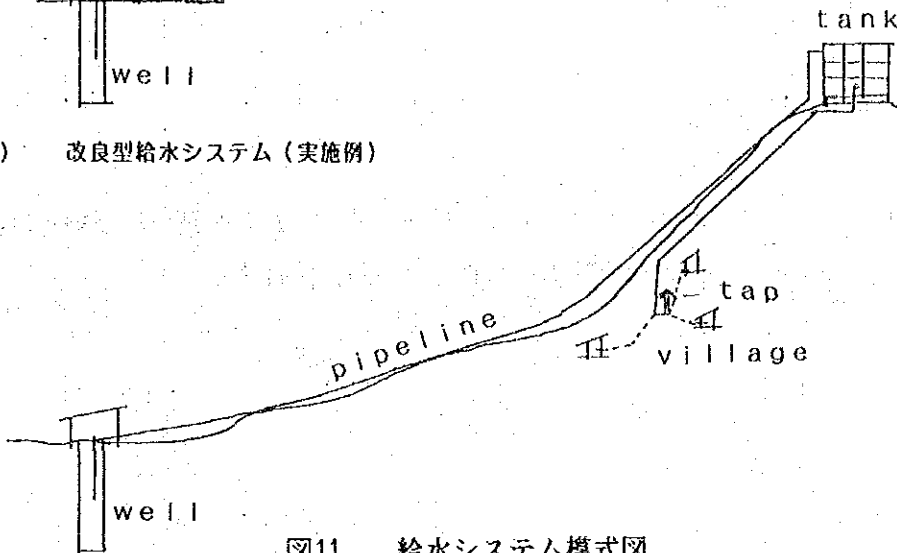


図11 給水システム模式図

変更の理由は、生活の安定を背景とした集落住民からの各戸給水に対する強い要望を地方水道局が受けざるをえなかったためといえる。OECD有償資金協力の42サイトのうち、この改良型システムを利用した各戸配水が完成していない地区は、約1/5の区であり、他の大部分の地区では開発共同組合(LDA's)による各戸給水を対象とした水道経営が行われている。

無償1~3期の場合も、当初は井戸元給水型を計画内容の基本とした。この例が、無償第1期のHaradであって、本地区は海岸平野の中に位置する中規模集落であったが、ハイウェイの開通で準都市的發展を見せ市内給水計画が急務となっている。このため、配水管網整備を含む施設拡充が今期の要請内容に含まれたものといえる。第2~3期においては、井戸元給水型から各戸給水を目指す改良型システムへの移行を反映し、配水槽位置の選定に将来の各戸給水を配慮した。また中小規模の集落には配水管と公共水栓を過大な規模とならない範囲で建設する内容としている。しかし、大規模な複合集落の構成部落全部に対して配水管を布設する計画は、実施の対象としなかった。例えばAL RAJAMのBlock-A, B, Cでは配水槽までの送水管路建設を基本計画としている。当地区では、地区LDAが地方水道局に対して配水管布設を交渉中であるが、

技術、資金両面からの制約で、完成は難行している。このような現状から、今期に含まれるAL RAJAH/D地区には、当初から配水管計画を対象とする要望が地方水道局、住民双方にあり、他の中小対象地区と同様に、配水管路の建設までが要請内容となっている。今期におけるAL ZAKIRA の増設計画についても同様な背景がある。

なお、地方水道局では、局の責任範囲を配水管建設までとし、その先の給水施設（各戸給水管等）は受益村落負担を原則としている。

4.4.3 給水計画諸元の比較

OECD有償資金協力プロジェクト計画調査（1978～79）、社会開発F/S 調査（Part II、1979～80）および本基本設計の給水計画諸元を表20に比較する。

表20 設計諸元の比較

計画諸元	OECF有償プロジェクト	社会開発調査 (1979/80)	今回の設計	記 事
1. 給水人口	1975年の中央企画庁によるサンプリング調査を参考に各地区聞き込み調査を主体に決定。 増加率：地方集落 3% 都 市 6%	1981年CVDAIによる人口調査と各地区聞き込み調査を参考に推定。 増加率：大規模集落 6% 中 " 3% 小 " 2.5%	1981, 1986年CPO人口統計を参考に推定。 増加率：山岳部 1.7% 平野部 2.9%	人口速報(1986, CPO)より1982-'86の人口動向を考慮して推定。
2. 計画目標年	15~20年後	15年後	20年後 (10年後)	施設容量を可能なかぎり大きくする というRMSDの要請を考慮し、 RMSDの基準を採用。
3. 給水源単位	村 落：45ℓ /d/c 都 市：70ℓ /d/c (ただし家畜用水含む)	村 落：40ℓ /d/c 都 市：70ℓ /d/c (家畜用水を別途加算)	同 左 (家畜用水は含まず)	現況を考慮し、開発調査の基準を適用。
4. 計画給水量	平均給水量 = (給水源単位) × (計画年次人口) 日最大給水量 = (平均給水量) × 1.5	平均給水量 (同 左) 時間最大給水量 = (10 時間平均給水量) / 10時間 × 1.5	平均給水量 (同 左) 時間最大給水量 (有償に同じ)	簡易水道基準 (日本)。
5. 給水時間	とくに基準なし	10時間	24時間	現況の水消費パターンを考慮。
6. 水源及び取水ポンプ	深井戸 (水中モーターポンプ：SP) 浅井戸 (ボアホールポンプ：BP)	深井戸 (水中モーターポンプ)	有償に同じ (揚程：200m以上 SP) 200m以下 BP)	RMSDの基準に準拠。
7. 配水槽	鉄パネルタンク 容量：計画平均給水量の 12時間分	同 左 容量：(時間最大 × 3時間) + 非常予備用	同 左 容量：1日最大給水量 or 1日最大の 数時間分	RMSD及び地元の要望により容量を 大きくとるものとし、RMSD基準な いし簡易水道基準に準拠する。
8. 管路	水道用亜鉛メッキ鋼管 管径計算：ヘーゼン・ウィリアムズ式	同左及び配管用炭素鋼管 同 左	同 左	
9. 給水システム	当初は井戸元給水型を基本としたが、 のちに改良型とし、配水槽は村落居 住区内に位置させることとした。 末端は公共水栓。	井戸元給水を基本とする。 末端は公共水栓。 ただし、無償としての実施時には一部 で改良型を採用。	改良型システムを基本とし、都市部で 主配管網を整備する。	調査時の一般的システムである改 良型を採用。 ただし、密集地については、都市 型の給水システムを配座する

4.4.4. 水源の検討

1). 概 論

イエメン・アラブ共和国における水道普及が遅れている主因の1つとして、水源開発の難度の高いことがあげられる。紅海に面したテイハマ低平地には沖積層が広がっているが、海岸沿いは地下水の塩分濃度が高い。このため当国唯一の港湾都市Al Hudaydah等の沿岸都市における給水は海岸から数10Km離れた山岳の深井戸により賚られている。テイハマ低平地の水質は、内陸部に入るにしたがって次第に改善され、本事業に含まれる2都市Addahi及びHaradの既存水源は、いずれも内陸部の地下水に相当し、量、質的に問題はない。

残る2/3を占める国土は、平均標高2,000m以上の岩石が露頭した山岳、高原地帯である。本地域の地下水はいわゆる裂か水を主とし、枯れ谷wadiを縦横断する断層や硬石の亀裂に賦存している。住民はwadi低平地を見下す山陵に石造の住居を構えるのが通例であり、かつては居住区内にシスターンを造るか、wadiに設けた手掘り浅井戸、または山腹の湧泉が唯一の水源であった。近年、山間地にも深井戸さく井技術が導入されるようになったが、山岳地域における水源開発は地下水賦存形態上も容易でなく、公共事業省地方水道局はこのさく井の困難度をよく認識している。同局によるさく井の成功率は近年70%に達していると評価されているが、精度の高い揚水試験はまだ行われる件数が少なく、十分な揚水を保障する井戸の開発に対しては疑問が残る。

本事業の対象地では、山岳集落の3サイトに同局による既存水源が設置されている。計画ではこれを水源として採用するが、後述のように給水量を満足する揚水量のあることが確認されており問題はない。

山岳集落の残る3サイトでは、新水源として深井戸建設が必要である。今回の調査では各サイトにおける地表踏査と電気探査により水源開発の可能性を探査した。詳細は次項及びAppendix A-3に調査解析結果および開発方法として述べるが、各サイトとも有望であることが結論づけられた。なお、各サイトの新設井戸仕様の検討は5.1.3「新設水源の検討」の項で述べる。

2) 開発可能量の検討

計画サイトについて水文学的及び水理学的手法により水源開発可能量を検討した。詳細は Appendix A-3-n にまとめたが、結果は計画揚水量と伴に下表のように整理される。

表21. 水源及び開発可能量

	サイト名	水源種類	対象地層	予定揚水量	1本当りの開発可能量
1.	WADI ASFAN	新設深井戸 (200m)	火山岩	150lit/分 39.6m ³ /day	416.9 m ³ /day
2.	AL KHASHNA	(既設深井戸) (150m)	火山岩	150lit/分 19.6m ³ /day	48.9 m ³ /day
3.	AL ZAKIRA	(既設深井戸) (180m)	砂岩	300lit/分 32.8m ³ /day	93.7 m ³ /day
4.	AL KHEISEN	(既設深井戸) (315m)	石灰岩	190lit/分 46.8m ³ /day	301.6 m ³ /day
5.	AL RAJAM	新設深井戸 2本(200m)	砂岩	各280lit/分 242.8m ³ /day	150.8 m ³ /day
6.	SHIHARA	新設深井戸 (200m)	沖積/ 火山岩	450lit/分 337.6m ³ /day	2,372.0 m ³ /day
7.	AD DAHI	(既設深井戸) 2本: 80m, 60m	沖積層	各600lit/分 634.0m ³ /day	658.7 m ³ /day
8.	HARAD	(既設深井戸) 2本: 80m, 50m	沖積層	各400lit/分 488.0m ³ /day	1,296.3 m ³ /day

以上の開発可能量はAl Rajam地区を除いて計画給水量よりいずれも大きいので、水源としての問題はないと判断される。Al Rajam地区については、2本の水源井を設置することにより計画給水量を確保するよう配慮する。

なお、新設水源が必要な3地区については、周囲の状況を考慮した推定値である。

また、本基本設計で利用が計画されている既存水源の仕様は下記のとおりである。

表22 既存水源概要

地区	深度 (m)	口径 (mm)	静水位 -GLm	揚水施設の有無及び タイプ*	設置事業名
Al Khashna	150	200	85	無	MPW 水源井設置事業
Al Zakira	180	250	5.4	有、G & SP	日本無償協力 2期
Al Kheisen	315	250	100	有、E & BP	MPW 水源井設置事業
Ad Dahi	60	250	28	有、E & BP	地区共同体による
-do-	80	200	45	無	MPW 水源井設置事業
Harad	50	250	19	有、E & BP	地区共同体による
-do-	81.4	350	15.7	有、G & SP	日本無償協力 1期

* G & SP: ジェネレーター及び水中ポンプ

E & BP: エンジン及びボアホールポンプ

4.4.5 計画目標年度

計画目標年度は構造物の耐用年数、施設拡張の難易、今後の発展の予想等の要素を勘案して決定すべきである。本事業に関わる施設基準の計画年次は以下の通りである。

表23 施設の計画年次一覧

設計基準 公共事業省、地方水道局	簡易水道施設基準 日本	調査報告書 JICA/1980
20年 (施設の規模が大となる 単一プロジェクトにおい ては数次にわたる追加建 設を行うことを認める。)	10年後 (ただし計画時点より。)	15年 (ただし中間年度におい て計画再検討、見直しを おこ行うものとする。)

耐用年数は、施設の主要素である深井戸、配水槽等で15年程度とされている。が、実績としては定期的なメンテナンスを行うことにより、井戸の場合は半永久的に、また配水槽については20年以上とすることができる。ポンプ、エンジン、発電機等は日本国の基準では4～6年であって、数年毎に修理、または取替が必要となる。これらを総合すると施設全体としての計画年次は主要構成要素の井戸水源、配水槽を基準として15～20年とすることが妥当と判断される。

本事業の計画対象地域はその立地条件、集落形態、人口動態等が多様であるため、サイトを類似条件を持つ山岳部と平野部の2区域に分け、各区域に対する施設拡張の難易度、地域発展等を予測して計画年次を考察する。

1). グループA 及びB : 山岳部中小村落及び山岳部複合集落 計 6サイト

(WADI ASFAN, AL KHASHNA, AL ZAKIRA, AL KHEISEN, AL RAJAM, SHIHARA.)

これ等の集落は、山腹に点在する居住区、イエメン様式の家屋及び生活が昔ながらの伝統で守られている。生活基盤である産業は各地区の地形、気候、のもとで発展の余地が限られている。集落規模の変化は小さいと推定され、今後の施設拡張の可能性は少ない。したがって、計画年次を20年とすることが妥当である。

2). グループC : 平野部小都市 計 2サイト

(AD DAHI, HARAD)

YAR 北端のサウジアラビアと国境を接するHARAD 地区の近年の発展は著しいものがある。とくに、近年開通したハイウェイ沿いには住居、店舗が急速に拡大している。

AD DAHI 地区についても同様な傾向を認めることができ、両地区とも的確な将来予測を行うことには無理がある。したがって、当面、目標を10年後に設定し、計画の見直しを行うことが適当といえる。本基本設計では、以上を配慮し、配水管等の取り替え増設が困難なものを除き、目標年次を10年後とする。なお、配水管については山岳地区と同様に20年後を想定する。

したがって、目標年次については、以下のように整理することができる。

山岳部のサイト：すべての施設 — 20年後(2007年)

平野部のサイト：配 管 等 — 20年後（2007年）

その他の施設 — 10年後（1997年）

なお、計画目標年を基本的に20年後とし、施設規模に余裕をとることに關しては、当国関係者の了解をとりつけている。

4.4.6 計画給水区域

計画給水区域としては、計画対象地域としてあげられたサイト名で区画される行政区全域を現地調査で確認し、それぞれのサイトの給水区域とした。各給水区域には一部を除いて複数の部落が含まれる。

下表は各サイトの構成部落数を示す。

表24 構成部落数

サ イ ト 名	構成部落数
1. WADI ASFAN	6
2. AL KHASHNA	1
3. AL ZAKIRA(QORE地区)	3
4. AL KHEISEN	5
5. AL RAJAM(BLOCK D)	12
6. SHIHARA	22
7. AD DAHI	平野部市街地
8. HARAD	平野部市街地

これら複合集落では、古来からの土地所有制度を背景に村落境界が定められている。山岳部の集落は、このように複数の部落によって構成されているものが大半で、各部落が起伏に富んだ山間地に散在するため、効率的な給水計画を困難にしている。

本基本設計においては、構成部落全村に配水管を敷設し、各部落ごとに公共水栓を設置する計画を原則とする。しかし、Shihara 地区では広大な地域に散在する全山村に配水管を延長することは過大投資になるため、主送水管沿いに建設される配水槽に周辺の全村落の給水量を見込む計画とした。

4.4.7 給水人口

第3章において述べた今回の調査における各サイトの現在人口と推定増加率から、10年、15年、20年後の人口を予測し、4.4.5で定めた計画目標年次の人口を各サイトの給水人口と定める。各サイトの構成部落毎に計算した給水人口リストを Appendix A-2-g に示すが、以下に8サイトの計画目標年次における給水人口をまとめて提示する。

表25 計画給水人口

サ イ ト 名	計画給水人口	計 画 年 次
1. Wadi Asfan	990 (人)	2007年
2. Al Khashna	490	〃
3. Al Zakira(Qore地区)	820	〃
4. Al Kheisen	1,170	〃
5. Al Rajam	6,070	〃
6. Shihara	8,440	〃
7. Ad Dahi	6,779(9,030)	1997(2007)年
8. Harad	5,198(6,920)	1997(2007)年

4.4.8 給水原単位

各施設設計の基準となる給水原単位は、対象を生活用水に限り、洗車や散水といった雑用水は含まない。生活水準の向上は認めるものの現地調査に基づく水消費の実態は、JICA(1980)による社会開発調査時とそれほど大差ない。しかし、山岳地帯でも四輪駆動の2トン給水車による運搬及び売水が行き渡って来たため、各家庭でも生活用水に不足を生ずることがなくなっている。聞き込み等の調査によると消費量は、山岳部で15~25lit /人/日、平野部で20~40lit /人/日であった。

本事業が完成すると、各村部落には公共水栓が設置され、さらにCYDA等の手で各戸配管が接続されることになる。これに伴い消費量は増大するものと推定されるが、下水施設が未整備なために急激な使用量の増大は不可能である。したがって、給水原単位としては下記の地方水道局が採用している原単位に近い数値を用いるのが妥当と判断される。YARの地方水道に関する基準として地方水道局設計基準と1980年 JICA 調査報告書の基準を以下に示す。

表26 給水原単位基準

地方水道局基準	JICA(1980)報告書基準
(1) 公共水栓給水施設 45 lit/人/日	(1) 一般農村給水施設 40 lit/人/日
(2) 80~120 lit/人/日 家庭給水実施地区、山岳部 では低い数値を、海外平野 部では高い数値をとること。	(2) 小都市対象 70 lit/人/日

本基本設計では、計画年次を山岳部：20年、都市部：10~20年と長期間に設定してあり、当初の水消費漸増分は施設の余裕により保障できるので、より少ない使用量のJICA・F/S調査報告書基準を採用する。なお将来、各戸配管が一般的となり、水量不足が懸念される場合は、実際上の問題として、中間時点で計画の見直しを提言する。したがって原単位は下記のように定める。

- ① グループ A, B, 山岳部サイト 40 lit /人/日
- ② グループ C 平野部小都市 70 lit /人/日

4.4.9 計画給水量

1). 1日最大給水量

配水槽等の施設容量計算の基準となる本項目に関しては、地方水道局基準に明確な規定はない。当国における水道事情には維持管理上問題点があり、故障の修理に日数を費やすことが珍らしくない。よって、これら実情から考慮して配水槽には十分な容量が必要であると判断される。本設計では日本国の簡易水道施設基準を参照して下記のように定める。

山岳部/平野部両地域の 3グループ共通

$$1日最大給水量 = 計画給水人口 \times 給水原単位 (1日平均給水量) \times 1.5倍$$

2). 時間最大給水量

本要素は配水管設計の基準となる。本事業完成後の村民の水消費パターン、さらに近い将来自助努力により完成されると予想される各戸配管を接続した時の消費パターンは、消費量の大小の差こそあれ日本国の使用状況に相似してくることが想定される。このような観点から、本項目については配水施設と給水施設の相関関係を一般的な水消費パターンに基づいて定めた日本国の簡易水道施設基準を適用することが妥当と判断される。下図は給水人口別に最大給水量と時間最大給水量の比率を定めグラフで、本計画でもこれを基本とする。

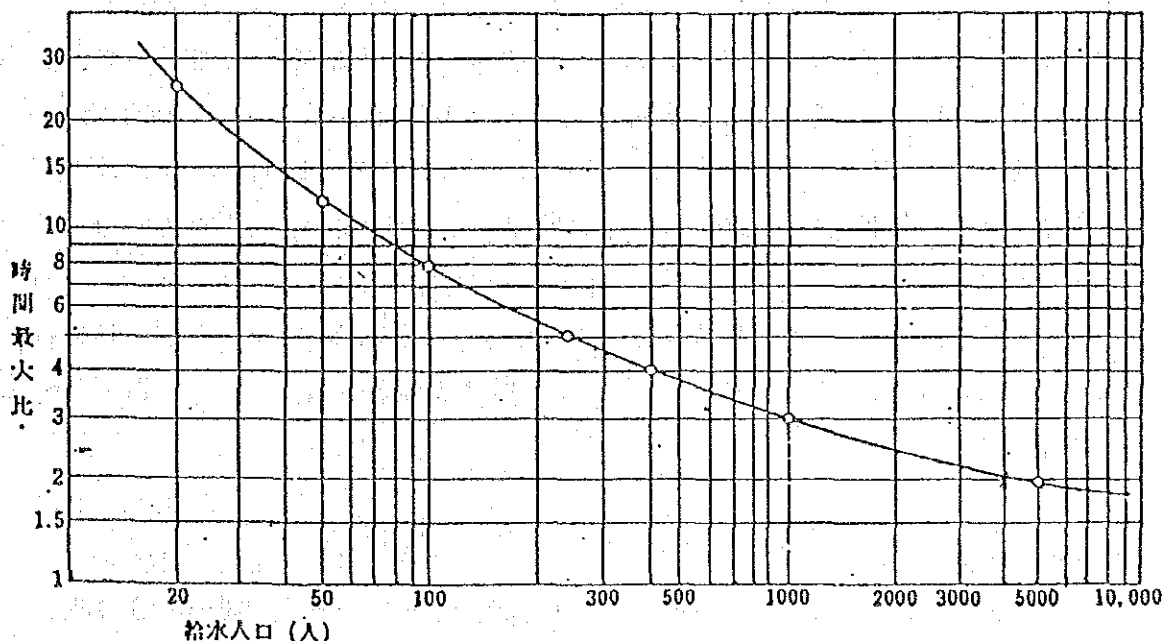


図12 給水対象人口—時間最大比（時間最大給水量／日最大給水量）

3). 公共使用水量

公共使用水量の取扱いについては地方水道局に基準がないため、以下のような実際の水消費傾向を基に給水量計算の基準とした。

- a. 学校：地区内居住の児童が集まるため、計画給水量全体には影響を与えないと考え加算水量としない。

山岳地区における実際の使用水量は、1～2リットル/人/日程度であって、主にトイレの洗水用に使用されている。給水施設整備後の使用量は、5リットル/人/日程度に増加するものと推定されるが、全体給水量分布への影響は少ない。

これに対し、平野都市のAD DAHI 地区とHARAD 地区では学校に浸透柵式水洗便所が設置されており、インタビューによると、使用量は15リットル/人/日程度となっている。2都市における小・中学校は市内に分散しているため、配水管径計算のためにはこれらの給水地区の使用水量を勘案して給水量分布を定める。

b. 病院：山岳地区SHIHARA 本村に1棟（ベッド数15）、平野都市AD DAHI（同：5）とHARAD（同：10）にも1棟ずつある。ここでは、付添人も含めての消費量を地方水道局で通常用いる200リットル/日/ベッドとして計画給水量に加算することとする。しかし、いずれも小規模施設のため全体給水量に大きな影響を与えるものでない。

c. 商店街：調査結果によると平野都市における飲食店の使用量がとくに目立っている。これは調理用の消費に加えて来客の食前、食後の手洗いによるものと判断される。一般に、これらの店舗は、給水区域の中に分散して存在しているため、給水量分布において特に配慮を加える必要はないと判断する。

d. モスク：通常1回/人の使用量は1ℓ以下で、洗浄場には数 m^3 のタンクが設置されている。したがって、計画給水量に対する影響は少ないと云えるので、計画には考慮しない。

4). 計画給水量

計画給水量は、給水人口、給水原単位、計画年次、公共使用水量等の要素により決定し、各地区の計画給水量は下式によって計算される。それぞれの給水量については5.7「地区別の給水施設」に設計諸元として示した。

① 山岳集落 6地区

$$(\text{給水原単位} = 40\ell / \text{c/d}) \times (\text{2007年の給水人口}) + \{ (\text{病院ベッド数}) \times 200\ell \}$$

② 平野都市 2地区

$$(\text{給水原単位} = 70\ell / \text{c/d}) \times \text{2007年の給水人口 (管路設計等)} \\ + \{ (\text{病院ベッド数}) \times 200\ell \}$$

4.4.10 給水時間

村落電化に伴う現在の水消費パターンは、図13のように想定することができる。

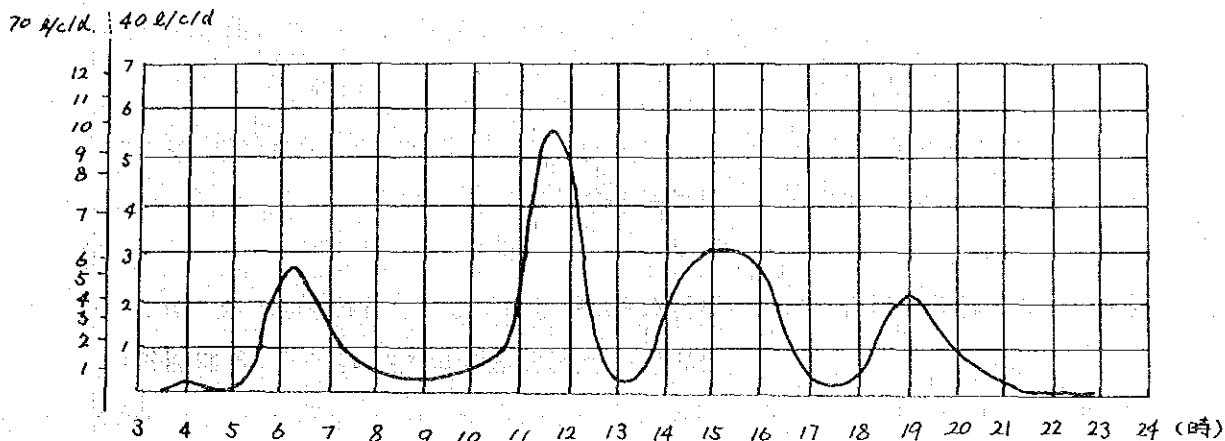


図13 1日の水消費パターン

上図によれば、給水時間は深夜を除くほとんどの時間帯に幾つかのピークをもって持続している。したがって、本事業においては24時間給水を原則とする。なお現在の連続給水を可能にしているのは、各家庭における $1 \text{ m}^3 \sim 2 \text{ m}^3$ のブリキ製タンク貯水槽の普及であると推定される。

4.4.11 配水槽容量

全般的に、当国では配水槽の容量を大き目に選定する傾向があり、地方水道局では小村落に対しても最少 50 m^3 を基準としている。これはアフターケア体制が未整備なため、機器故障に対する予備用水を出来るだけ多く貯水しておく傾向が強いからである。よって、本設計における水槽容量の決定も過大とならない範囲で大きくとるよう配慮し、各対象地域の現地条件を考慮した基準とする。

配水槽容量は 1日最大給水量を基準として、各対象地域の条件に応じて下記のように定めることとする。詳細な検討は Appendix A-4-r にとりまとめた。

表27 配水槽容量の基準

地 区	基 準
グループA : 山岳部中小集落	1日最大給水量 (20年後)
グループB : 山岳部複合集落	簡易水道施設基準により 1日最大給水量 (20年後) の数時間分 (送配兼用の場合は+ 1~2 時間分)
グループC : 平野部小都市	10年後の給水量に対して、グループB と同様の基準

4.4.12 給 水 圧

地方水道局の施設基準によると、公共水栓出口水頭は5m、配水管動水圧は10m を最小とすることと定められている。

したがって、本計画では事業完成後、自助努力にて各戸給水を完成することができるように配水管動水圧に配慮し、給水圧については地方水道局の基準値を下回らない管径設定とするよう注意を払うこととする。

4.5 給水システム

現在の当国における地方集落給水システム施設は、低地に建設した井戸水源で取水し、これを管路によって高所の配水槽に送水、山腹に散在する集落に給水する形式が主流となっている。地方水道局はこれを改良型給水システム（Improved Water Supply Systems）と呼称し、かつての井戸元給水システムと区別している。本計画における給水システムもこれを踏襲し下図のような構成を基本とする。

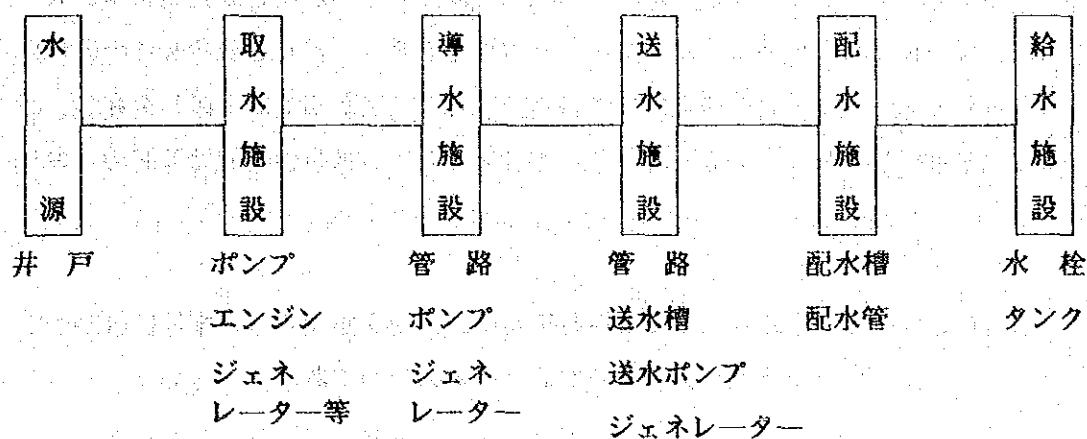


図14 基本給水システム

水源は、対象 8サイト全部において深井戸である。給水施設は基本的に公共水栓のみで、各戸給水に関しては地域住民の自助努力とする。

なお、YARにおける水道事業では首都 Sana'a の一部を除いて基本的に消毒を考慮していない。これは、水道事業の水源が、水質的に良好な深層地下水を対象としていること及び輸入に頼る消毒用薬品の入手が困難なことに原因している。また、消毒施設は技術的にも維持管理上の問題があり、現時点のYARの技術レベルを考えると遊休施設となる可能性が大きい。分析結果に基づく計画対象地の水源の水質は、前述のように飲用として特に問題ないと判断されるので、本計画では特に消毒設備を設けないこととする。しかし、原水保護に対しては十分に配慮することとし、水源井の汚染防止対策を考慮する。

参考として、本計画規模の施設に適用可能な消毒施設を Appendix A-4-d に示したが、水消費の増加に伴い、将来は、本施設についても適用を行う方向で検討を行う必要があると推定される。

対象地区のシステムは、上記構成要素のうち一部を既に有するものから全面的に新設しなければならないものまで存在し、さらに立地条件、集落形態、給水人口等の要素により規模の相違やシステムのバリエーションがある。これについては、5.7「地区別の給水施設」において述べる。

4.6 既存施設との関連性と評価

地方水道局では、旧来の井戸元給水システムを拡張したいいわゆる改良型給水システムの普及に力を入れている。また、地区からの地方水道局に対する要請もこの改良型に関するものが多い。本計画の対象地区においても5地区がすでに水源井を有し、これを拡張する計画となっている。地区名と本計画における拡張の概要は下記のとおりである。

- a. Al Khashna (地方水道局による水源井を基に改良型を建設する。本地区はかつての有償資金協力事業の対象サイトの1つである。)
- b. Al Zakira (無償資金協力2期で完成したサイトであるが、本地区に含まれる奥地部集落への送配水施設の増設。)
- c. Al Kheisen (地方水道局による井戸元給水型を改良型に拡張。)
- d. Ad Dahi (老朽化した小規模既存システムを市の全域を対象とする改良型に一新する。)
- e. Harad (無償資金協力1期にて完成した井戸元給水型を、その後の急激な市域発展にあわせて改良型に拡張する。)

なお、本基本設計と既存施設の関連については図10 システム概要図にまとめたとおりとなる。

4.7 将来計画との関連性

将来計画としては、主管をさらに拡張し、地区の給水システムを完備する将来拡張計画と配水支管を整備する各戸配水が考えられる。また、運営という観点からは水道経営を考察することができる。

1). 将来拡張計画

本計画完成後さらに将来拡張を必要とするサイトは Shihara地区のみで、主送水管から周辺集落へ分岐送水するシステムが想定される。各集落に公共水栓を設置するよう拡張を行うと、さらに15km以上の総送水管路建設と、5ヶ所以上の送水ポンプステーションを新設する必要がある。本計画ではこの周辺集落への拡張計画を第2段階と考え、当設計でとりあげる送水主管による山頂までの揚水となる第1段階と区別する。

2). 各戸給水

本設計における、自然流下式の配水管計画では村落の公共水栓における水圧を5m以上にすることを基準に管径選定してあるので、配水管から公共水栓に分岐する配水支管に接続口を設け、分岐管に給水管を接続すれば各戸配管をすることが可能である。将来は、地区自助努力による各戸給水設備が期待される。

3). 地域水道経営

地方集落では最近 CYDA の活動が活発で、地域社会の連帯感は緊密度を増している。これより、新しい給水システムの完成は、システムの操作維持管理をめぐって地域水道経営体制を発生させることになると想定される。

4.8 本施設設計の特長

全地区を通じた本基本設計の留意点、特長等を下記にまとめる。

- 1). 本事業基本設計においては、特に全構成部落に対する給水に都合の良いタンク位置選定や効率的な配水管路設計を行うよう留意し、給水地区全域に公平な水配分ができるような管路設計を考慮した。ただし、Shihara の場合は、水源から山頂までの送水施設だけでも大規模な施設内容となり、さらに構成する22ヶ村は広域な山腹に拡散しているため全村に配水管を布設することは過大な規模となると考えられるので、第1段階として本事業においては、主送水管路の完成までを取り上げた。しかし各配水槽は遠隔地の村落に対する容量を設計に見込んであり、将来の地区全体システムとしての配水管拡長にも考慮を払ってある。
- 2). 海岸平野 2都市では密集住民地区に対する最適給水システムとして配水管網の設計を行った。
- 3). 山岳部複合集落の ShiharaとAl Rajamでは、送水施設の一部において電力による集中制御方式を採用した。当国においては地方電化が急速に進んでおり、Sana'a県にある山岳都市 Manakhah では電化により送水を行う施設が地方水道局の手により完成されている。しかし、運営については、部族間のトラブル、制御技術、給水バランス等の点に多大な問題が残されている。Shihara, Al RajamはManakhahと比較するとより山岳部落の形体を強く留めた地域複合社会であるため、以上の観点から電力による制御については最も効率的な必要最小限に限ってある。なお、Manakhah等の既完大規模給水システムについては、Appendix A-4-vに概要をまとめた。

5. 基本設計

5 基本設計

5.1 水源施設

5.1.1. 揚水量

全般的に降雨量が少く、地下水賦存量の小さい当国にあっては、井戸によって掘りあてた水を最大限汲むという傾向が強い。このため、経済的揚水量（安全揚水量）というような概念からは程遠い実情にある。とくに、さく井工事が比較的容易となり、集落所有土地内にある限られた面積の WADI 低地の中に生活用水のみならず灌漑用の井戸まで複数掘られるようになって来た現在、地域の地下水保全は重要な問題となりつゝある。なお、当国には未だ地下水保全に関する立法はなく、このため無計画な過剰揚水の地域も存在すると云われている。本計画においての開発可能量は、水文学的手法及び水理学的手法により検討するものとするが、揚水量の限度としては現地試験により、地域の水資源保全を考慮し、我が国の上水道施設基準に従って、最大揚水量の70%を採用する。

各サイトの計画 1日揚水量は 1日最大給水量とし、1日平均給水量の 1.5倍を基準とする。ポンプ能力を決定する 1分当りの揚水量は安全揚水量を基本とし、各地区の井戸データを参考にして次表のように設定する。

表28 揚水量に関する検討

Site	計画揚水量 (Q / min)
Wadi Asfan	150
Al Khashna	150
Al Zakira	300
Al Kheisen	190
Al Rajam	280
Shihara	450
Ad Dahi	各 600
Harad	各 400

5.1.2 井戸の本数

4.4.4 「水源の検討」に述べたとおり、1本当りの開発可能量と、計画揚水量から、

Wadi Asfan	1本
Al Khashna	(1本)
Al Zakira	(1本)
Al Kheisen	(1本)
Al Rajam	2本
Shihara	1本
Ad Dahi	(2本)
Harad	(2本)

注) () は既存のもの。

が必要本数となる。

5.1.3 新設水源の検討

1) 井戸の位置

井戸の位置は、現地調査を踏まえて実施した電気探査地点のうち、もっとも有望と推定される地点を選定する。選定位置は次のとおりである。

- ・ Wadi Asfan 集落西方のE-3 地点
- ・ Al Rajam 南部沖積低地のE-1, E-4地点
- ・ Shihara Wadi Wear のE-2 地点

(詳細はAppendix A-2-hを参照。)

2) ストレーナー

計画の新設井戸におけるストレーナーの長さについて、地層条件及び井戸構造の両面から以下の検討を行う。

対象となる帯水層が地下水で飽和されている場合、揚水時に土粒子が井戸内に流出しないよう、限界流速が定められている。揚水量(Q)とストレーナー開孔面積(A)、流入速度(V)の関連を次式で示すと、

$$Q = AV \dots\dots\dots (1)$$

ストレーナー開孔面積は次式で算出される。

$$A = 2\pi r \ell \times \alpha \dots\dots (2)$$

$$\therefore \ell = \frac{A}{2\pi r \alpha} \dots\dots\dots (2)'$$

(r = ストレーナー半径、 ℓ = ストレーナー長、 α = ストレーナー開孔比)

なお、限界流速は以下のとおり。

表29 限界流速 村下(1979)

土の分類	シルト	微細流	細砂	中砂	粗砂
粗径 mm	0.01~0.05	0.05~0.1	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~1.0
限界流速 mm/s	2.8>	2.8~9.6	9.6~27	27~52	52~97

計画では、対象とする帯水層が火山性の互層を主とするので、安全を考慮して微細砂の限界流速をとることとする。ここでは、Al Rajamを取り上げてストレーナー長を検討する。なお、本計画では、開孔率の大きなパイプベーススクリーンタイプの巻線型ストレーナーを採用し、集水性を高めるものとする。詳細な構造図は設計図にとりまとめた。

- Q : 揚水量 (280 ℓ/m)
- r : ストレーナー半径(100mm)
- α : ストレーナー開孔率(15%)
- ℓ : ストレーナー長(m)
- ν : 限界流速 2.8mm/s = 0.168m/mm(上表より、微細砂下限)

$$\ell = \frac{Q}{2\pi r \cdot \alpha \cdot \nu} = \frac{0.28}{2 \times 3.14 \times 0.1 \times 0.15 \times 0.168} \approx 1.8 \text{ m}$$

よって微細砂の限界流速(2.8mm/s)に流入速度を押さえるためには、ストレーナー長は、18m以上でなければならない。

一方、井戸構造から見た場合、対象となる帯水層の厚さに対して十分なストレーナー長を取らないと、流入曲線が乱れ抵抗が増えるため水位降下が過大となる。経済長としては、帯水層厚の70~80%の貫通比が効果的とされている。本計画の対象地区では、電気探査結果によると100~60mが水層判定されているが、従来の経験より、いずれの地区も裂か水が対象で、電気探査による判定帯水層のうち1/2程度が亀裂に富んだ部分と考えられる。この場合は最短としても約30mのストレーナーが必要となる。

以上より、流入流速面からは18m以上、貫通比の観点からは30mが最小となる。ここでは井戸の保全を考えてストレーナーを長めにとることとし、貫通比の最小30mを採用することとする。

3) 井戸構造の検討

① Wadi Asfan地区

0~20m厚の沖積層及び風化凝灰質安山岩(50m厚)に自由地下水/半被圧地下水(Semi-Confined Aquifer)が期待され、被圧地下水(Confined Aquifer)は下部の凝灰岩質安山岩に裂か水として期待される。それぞれの帯水層深度は、200m以浅であるため、深井戸掘削深度は200mとし上部の自由地下水/半被圧地下水の期待される深度70mまでは井戸口径を500mm(φ20")、さらに下部の被圧地下水の期待される深度70m-200mについては、井戸口径200mm(φ8")とする。ストレーナーは自由地下水/半被圧地下水を対象とし、口径500mm(φ20")のものを5m、下部の被圧地下水を対象として口径200mm(φ8")のものを全長で25m設置する。井戸上部については地表よりの汚水等の浸透を防ぐために、セメントシールを確実に行う。又、上部の自由地下水/半被圧地下水の帯水層保護のため、井戸深度70mまでの部分については砂利充てんを行う。

② Al Rajam地区

地下水は、下部の石英質砂岩層にのみ被圧地下水が期待される。

本調査の電気探査解析結果より、帯水層が数ヶ所200mに以浅において存在する可能性があるため、井戸掘削深度は200mとする。井戸口径については期待される被圧帯水層の深度が100m以深であることから、200mm（φ8"）とし、ストレーナーも全長で30mとする。井戸上部からの汚水侵入、井戸元保護のため、コンダクターパイプを設置し、十分なセメント・プラグ、セメント・シールを行う。

③ Shihara 地区

Wadi底の深度74m 達する比較的厚い粘性土～粘性土混り礫から成る地層に自由地下水／半被圧地下水が賦存する。帯水層能力は既存浅井戸等の揚水状況から判定すると良好とは言えない。下部の砂岩は深度74m～100mは硬質で亀裂が少ないが、100m以深200m深度は亀裂が良く発達し良好な被圧地下水を形成していると判断される。このため井戸深度は200mとし、上部自由地下水開発のために井戸口径500mm（φ20"）、深度30mを計画し、それ以深については井戸口径200mm（φ8"）で裂か水の開発を行う。

上部自由地下水層に対しては口径500mm（φ20"）のストレーナー全長で5m設置し、砂利充填(gravel Pack)を行う。下部の被圧地下水部分については口径200mm（φ8"）のスクリーンを適切なヶ所に全長25m設置する。井戸元上部については、セメントシールを十分に行い、汚水浸透のない構造とする。

以上の結果をまとめた、新設の井戸構造は次頁のように示される。

NEW WELL DESIGN OF THE SITES

SITE NAME	WELL DESIGN	DESCRIPTION
<p>(1) WADI ASFAN</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Total Depth : @ 200 m x 1 well 2. Well Diameter : ϕ 500 mm (0 - 70 m) ϕ 200 mm (70 - 200 m) 3. Screen : ϕ 500 mm (12m) ϕ 200 mm (18 m) 4. Casing Pipe : ϕ 500 mm (58 m) ϕ 200 mm (112 m) 5. Discharge Rate : 150 lit/min 6. Static Water Level : 20 m 7. Gravel Pack <p>* Well Logging * Pumping Test</p>
<p>(2) AL RAJAM (Block-D)</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Total Depth : @ 200 m x 2 wells 2. Well Diameter : ϕ 200 mm (0 - 200 m) 3. Screen : ϕ 200 mm (30 m) 4. Casing Pipe : ϕ 200 mm (170 m) 5. Conductor Pipe : 300 mm (1.20 m - Cementing) 6. Discharge Rate : 280 lit/min 7. Static Water Level : 110-120m <p>* Well Logging * Pumping Test</p>
<p>(3) SHI- HARA</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Total Depth : @ 200 m x 1 well 2. Well Diameter : ϕ 500 mm (0 - 30 m) ϕ 200 mm (30 - 200 m) 3. Screen : ϕ 500 mm (12m) ϕ 200 mm (18 m) 4. Casing Pipe : ϕ 500 (18 m) ϕ 200 (152 m) 5. Discharge Rate : 450 lit/min 6. Static Water Level ; 3 m 7. Gravel Pack <p>* Well Logging * Pumping Test</p>

図15 計画井戸構造

5.2 揚水施設

5.2.1 設 備

揚水施設としては、ディーゼル発電機駆動の水中モーターポンプ、あるいはディーゼル・エンジン駆動のボアホール型ポンプの両者が使用されている。とくにYARにおいては水中に潜るポンプ部分が羽根車のみで駆動部分がすべて地上にあるために、保守が容易なボアホール型ポンプが普及している。しかし、一般的に高揚程になるとボアホールポンプは構造上不利となり、水中モーターポンプが推奨される。このため高揚程を必要とした日本による有償及び無償資金協力の先行事業では水中モーターポンプが主に用いられている。地方水道局では揚程 200m 以下にはボアホール型、200m 以上には水中モーター型の採用を基準としている。本基本設計では 100m 以浅の井戸も対象とするので、地方水道局の方針に従うこととする。ポンプの揚水量に関しては次式を基準とする。

$$\text{ポンプ揚水量} = \text{安全揚水量 (lit/分)}$$

$$\text{運 転 時 間} = \text{計画 1日揚水量} \div \text{安全揚水量} < 20\text{時間}$$

なお、ポンプ選定の詳細については Appendix A-4-s にとりまとめた。

5.2.2 運 転 時 間

本項目については維持管理計画において詳しく説明するように、基本的に完成された施設は地区共同体の自主管理により運営、維持管理されることになる。したがって、村民負担となる維持管理等の経費を可能なかぎり少なくするために、運転時間は短くすることが適当である。地方水道局においても時間短縮の方針を推奨しており、基準では最長でも20時間/日を越えないこととしている。本計画でもこれを考慮し、1日の運転時間は20時間以内とする。各地区の計画運転時間は下表のとおり。

表30 計画運転時間

地 区	運転時間(hr/日)
Wadi Asfan	6.6
Al Khashna	3.3
Al Zakira	3.3 (増設施設分)
Al Kheisen	6.2
Al Rajam	10.9 (× 2)
Shihara	18.8
Ad Dahi	13.2
Harad	15.3

5.3 送水ポンプ施設

5.3.1 送水ポンプ

計画対象地区の中で給水区域が広域でかつ高低差の大きいサイトでは、水源から遠く、高所にある配水槽まで送水するため、中間地点に1ヶ所ないし複数の中継送水施設を設ける必要が生じる。本計画の中では、小規模送水ポンプ設備が Al Zakira と Al Kheisen の 2地区に、大規模な設備が広域の Al Rajam と Shihara の 2地区にそれぞれ建設されることになる。

使用される送水ポンプは、送水量に相違があるもののいずれも高揚程であり、機種としては多段タービン・ポンプが選定される。このうち水量が小さく小規模設備となる地区では、据付スペースが小さく操作も単純で容易なディーゼル・エンジン駆動を採用する。一方、大規模施設となる Al Rajam、Shihara 地区については、地域条件、完成後の維持管理を考慮した場合、特殊な高揚程ポンプの採用は好ましくないため、先行事業の経験を踏襲し 200～250m 揚程の送水ポンプを基本的に配置するよう計画する。なお、両地区については Appendix A-4-s で検討したように、馬力：30～45kw、回転数：2,900rpm の駆動施設が必要となり、エンジン駆動より電動機直結がより適しているためこれを採用する。

5.3.2 コントロール設備

検討の結果、送水ポンプが Shiharaでは 6ヶ所、Al Rajamで 2ヶ所必要となる。通常の立地条件にある給水地区の場合、これら送水系統は 1ヶ所に発電設備を設けて集中制御するシステムが最適である。しかし、両地区はいずれも急峻な山岳地であり、送変電設備の建設に不適である。さらに、維持管理上の対応が当国では未整備と判断されるので、各ポンプ場は専用発電機による各自運転を原則とする。

ただし、集中操作に適すと考えられる一部のシステムには小規模な集中制御方式を導入し、施設経過の合理化を促進する内容とする。集中制御の詳細については 5.7 「地区別の給水施設」の項に詳述する。

5.4 管 路

5.4.1 管路の種類

本事業の給水システムに含まれる管路を下記のように分類する。

- a. 導/送水管 井戸水源から水槽へ送水するための管路。本設計では深井戸ポンプによる通水管路を導水管とし、中間の配水槽から横型多段タービン・ポンプより配水槽までの通水管路を送水管と呼ぶ。
- b. 配水管 配水槽から各村落に配水する管路。サイトにおける高所に設置した配水槽から自然流下方式で各村落に達する。

5.4.2 管 種

山岳域では岩石露頭部が多く、管の埋設が不可能なため、ほとんど露出配管となる。したがって、採用される管種は、耐食性があり、高水頭に耐えると共に強度的にも十分な材質のものとする。本設計では以上の条件を考慮して、 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下の水頭部には水道用亜鉛メッキ鋼管 (JIS G3442)を採用する。SHIHARA、AL RAJAM地区の送水管は、最大使用水頭が $20\text{kg}/\text{cm}^2$ を越えるので(一部は $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上)高水頭用の管種として圧力配管用炭素鋼管 (JIS G3454 スケジュール40)相当品を使用する。一方、平野都市部では埋設配管となるが、管種を統一して水道用亜鉛メッキ鋼管を採用する。

詳細は、Appendix A-4-qで検討する。

5.4.3 管 径

導/送水管の管径は基本的に経済流速により決定する。しかし、長管路で高圧となる SHIHARA および AL RAJAM 地区の導/送水管路については、水撃圧防止対策を考慮して管内流速を最適速度より遅くとして管径を決定する。詳細は Appendix A-4-q にとりまとめた。

配水管は、給水区域の村落配置を考慮した上で決定した高所配水構から各村落までの自然流下を原則とし、コストが過大とならないよう配慮する。管径は、その管路が分担する給水量（時間最大）に対し、経済速度を考慮して給水点（公共水栓）において 5m 以上の有効水圧があることを基本として算定する。

管径の算定に使用した公式は以下の通りである。

$D \leq 50$ 東京都実験公式

$D > 50$ ヘーゼン・ウィリアムス公式

5.4.4 管路付帯設備

管路の付帯工としては各種弁類がある。主な弁類と目的は下記のとおりで、地形、管路線形、及び水圧を考慮して必要な部分に設置することとする。

表31 弁 類

種 類	目 的
仕 切 弁	維持管理用、流量調整
逆 止 弁	水撃圧防止、逆流防止
泥 吐 弁	管路の排泥
空 気 弁	混入空気の排出

選定バルブの詳細は Appendix A-4-q にとりまとめる。

5.5 配水槽

5.5.1 配水槽の材質

従来より、YAR ではコンクリート製タンク、石積みタンクなどが造られている。しかし、日本による援助施設では、特殊耐食コーティングを施したスチールパネル・タンクが広く用いられている。このパネルタンクは、プレハブのため運搬性、施工性及び耐食性に優れているので、本計画でもこれを用いる。

5.5.2 配水槽容量

4.4「基本事項目の検討」の項で、容量の設計方針をまとめたが、Appendix A-4-rに詳述する地区別の検討結果は、表32のようにとりまとめられる。

表32 水 槽 容 量

地 区	水 槽 の 種 類	水 槽 容 量
Wadi Asfan	配 水 槽	50m ³
Al Khashna	”	50m ³
Al Zakira	”	50m ³
Al Kheisen	第 1 配 水 槽	50m ³
	第 2 配 水 槽	30m ³
	送 水 調 整 槽	20m ³
Al Rajam	送 水 槽	50m ³
	送 / 配 調 整 槽	50m ³
	配 水 槽	150m ³
Shihara	送 水 調 整 槽	50m ³
	第 1 送 / 配 調 整 槽	60m ³
	第 2 ”	50m ³
	第 3 ”	50m ³
	第 4 ”	50m ³
	第 5 ”	50m ³
	第 6 ”	30m ³
	配 水 槽	100m ³
Ad Dahi	高 架 配 水 槽	200m ³
		(100m ³ × 2基)
Harad	”	200m ³
		(100m ³ + 既存地上配水調整槽)

5.6 公共水栓

給水施設として配水主管から分岐した配水支管末端に公共水栓を設置する。水栓の形式は、地方水道局の先行事業を参考として、2栓型、4栓型、6栓型とする。また、水栓数は地方水道局の基準を用いて 200人 / 1栓により算出する。

なお、公共水栓の計画水頭はピーク流量に対して可能なかぎり 5m 以上とし、給水量は、人口配分により求める。内容は、地区毎に5.7 で詳述する。

5.7 地区別の給水施設

前述した基本設計の方針に基づき決定された、各地区の計画諸元と主要施設構成を以下に示した。

5.7.1 Wadi Asfan地区

所在地	Sana'a県 Khowlan 郡				
施設高度	水源井 2,276m MSL : 配水槽 2,395m				
構成村落	6 村				
人口	1986年 695人		2007年 990人		
計画給水量	1人 1日平均 40ℓ /c/d		39.6 m ³ /日		
施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
水源	深井戸	■	深度 200m 20" × 0~ 70m 8" × 71~ 200m	1 基	
取水施設	深井戸 ポンプ	■	水中モータ・ポンプ 150ℓ/分×212m×11KW	1 台	
	駆動装置	■	ディーゼル発電機	1 台	
	ポンプ室	■			
導水施設	導水管	■	50m/m	305m	
送水施設	—	—	—	—	
配水施設	配水槽	■	50 m ³ 地上型	1 基	
	配水管	■	80m/m	440m	
			50m/m	1,835m	
給水施設	公共水栓	■	4 栓 型	1 基	
			2 栓 型	7 基	

1) 水源井は、浅層地下水及び深槽地下水の両方について取り水可能となる構造とする。

5.7.2 Al Khashna地区

所在地	Dhamar県 Anse郡				
施設高度	水源井 2,380m MSL : 配水槽 2,450m				
構成村落	1 村				
人口	1986年 350人		2007年 490人		
計画給水量	1人1日平均 40ℓ /c/d		19.6 m ³ /日		
施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
水源	深井戸	□	8" × 150m	1 基	
取水施設	深井戸	■	水中モータ・ポンプ	1 台	
	ポンプ	■	150lit/分×230m×11KW		
	駆動装置	■	ディーゼル発電機	1 台	
	ポンプ室	■	400V, 30KVA	1 棟	
導水施設	導水管	■	65m/m	650m	
送水施設	-	-	-	-	
配水施設	配水槽	■	30 m ³ 地上型	1 基	
	配水管	■	50m/m	50m	
			40m/m	414m	
			32m/m	350m	
給水施設	公共水栓	■	6 栓	1 基	

5.7.3 Al Zakira 地区

所在地	Taizz 県 Hozaria 郡				
施設高度	水源井 1,450m MSL : 配水槽 1,770m MSL				
構成村落	全地区 6村 本事業増設対象 QORE 地区: 3村				
人口	全地区 2,700人 (既給水人口約2200人)				
	QORE地区	1986年	576人	2007年	820人
計画給水量	1人1日給水量: 40ℓ /c/d		32.8 m ³ /日		

施設名	内 容	新設 既設□	仕 様	数 量	注 記
水 源	深 井 戸		8" × 180m	1 基	
取水施設 □	深井戸ポンプ	□	水中モータ・ポンプ 250l/m × 245m × 18.5kw	1 台	
	発 電 機	□	ディーゼル発電機 60KVA、400V		
	井戸ポンプ室	□		1 棟	
導/送水 施 設	送水ポンプ	□	電動機直結多段タービン ポンプ 300l /m × 270m × 22kw	1 台	
		□	エンジン直結多段タービ ンポンプ 100l /m × 100m × 15ps	1 台	
	発 電 機	□	60KVA	1 台	
	送水ポンプ室	□		1 棟	
	導 / 送水管	□	80m/m 高圧管 Sch 40 50m/m、JIS 10kg/cm ²	2,250m 1,350m	
	給配水 施 設	配 水 槽	□	24 m ³ 地上型 50 m ³ 地上型 100 m ³ 地上型	1 基 1 基 1 基
	公 共 水 槽	□	6 栓 型	3ヶ所	
送水施設	送水ポンプ	■	エンジン直結多段タービ ンポンプ 120lit/m × 76m	1 台	
	駆 動 機	■	水冷ディーゼル・エンジ ン 10ps	1 台	
	送水ポンプ室	■	1 棟		
	送 水 管	■	50m/m	1,460m	
配水施設	配 水 槽	■	50 m ³ 地上型	1 基	
	配 水 管	■	50m/m 40m/m	1,550m 260m	

施設名	内 容	新設 <input checked="" type="checkbox"/> 既設 <input type="checkbox"/>	仕 様	数 量	注 記
給水施設	公 共 水 柱	<input checked="" type="checkbox"/>	2 柱 型	2 基	
			4 柱 型	1 基	

1). 既存施設は、無償 2期(1982 年)において、Al Zakira のAl Kader地区(本村およびWadi内村落)を対象に建設された施設である。

2). 最終給水地点には 100 m³ 配水槽が建設されたが本事業はさらにその奥地に入った QORE 地区を対象とする。水源は既存井をそのまま利用する。なお、計画給水施設を追加しても、既存の施設容量は、以下に述べるように充分対応できると判断される。

3). 既給水地区との関連

当地区における本計画はAppendix A-4-tに示したように、既給水施設の拡張計画である。

全域についての給水人口及び給水量は下記のとおりとなる。

単位：人

地 区	1986年	1987年	2002年	2007年	
AL KADRA地区	1,300	1,338	1,674	1,821	無 償
WADI 地 区	900	1,065	1,159	1,261	2 期
QORE地 区	576	684	744	820	本 期
合 計	2,776	3,087	3,577	3,902	

地 区 名	2007年	
	1日平均給水量	1日最大給水量
AL KADRA	73 m ³	110 m ³
WADI	50 m ³	75 m ³
QORE	33 m ³	50 m ³
合 計	156 m ³	235 m ³

各施設容量は次のとおり評価され、本計画を実施する上で、既存施設を再拡張する必要はないと判断される。

深井戸：計画揚水量 250ℓ /分に対し、2007年の全計画給水量が 235 m³/日であるので、 $235 / (0.25 \times 60) = 15.7$ 時間/日の運転で、これに十分対応できる。

配水槽：Al Kadra地区を対象とする 100 m³ タンクからの拡張となる。Al Kadra地区の2007年日最大給水量は 110 m³ で、本設計で用いたように配水槽容量に 1 日最大給水量を見込む場合はわづかに容量不足となるが、当面15年後までは問題とならないので、本設計ではとくに拡張する必要はない。

また、AL ZAKIRA に対する計画は、無償 2期及び今回の増設を通して、内容、設計基準、施設規模に関し一貫した継続性を持つものと評価される。

5.7.4 Al Kheisen地区

所在地	Sana'a県 Khamer郡				
施設高度	水源井 2,200m HSL : 配水槽 2,260m				
構成村落	5 村				
人口	1986年 824人		2007年 1,170人		
計画給水量	1人 1日平均 40ℓ /c/d		46.8 m ³ /日		
施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
水源	深井戸	<input type="checkbox"/>	250m 深度	1 基	地方水道局建設
取水施設	深井戸	<input type="checkbox"/>	ボアホール型	1 台	現在稼動中
	ポンプ		190ℓ /m× 300m		
	駆動装置	<input type="checkbox"/>	ディーゼル・エンジン	1 台	〃
	井戸	<input type="checkbox"/>		1 棟	
	ポンプ室				
導/送水施設	導水管	<input checked="" type="checkbox"/>	65m/m	200m	
	送水ポンプ	<input checked="" type="checkbox"/>	エンジン直結多段タービンポンプ 100lit/m × 130m	1 台	
	駆動装置	<input checked="" type="checkbox"/>	水冷ディーゼル・エンジン 12ps	1 台	
	送水管	<input checked="" type="checkbox"/>	50m/m	700m	

施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
配水施設	配水槽	■	50 m ³ 地上型	1 基	
			30 m ³ 地上型	1 基	
			20 m ³ 地上型	1 基	
	配水管	■	80m/m	1,437m	
			65m/m	2,140m	
50m/m			250m		
40m/m			350m		
給水施設	公共水栓	■	2 栓型	3ヶ所	
			4 栓型	1ヶ所	
			6 栓型	1ヶ所	

1). 東西に 2分される各地区の山頂に配水槽を設置する。西地区は 1ヶ所の中継送水場により連結されている。

5.7.5 Al Rajam地区 (Block D)

所在地	Al Mahweet県 Al Rajam郡				
施設高度	水源井 1,975m HSL : 配水槽 2,390m				
構成村落	13 村				
人口	1986年 4,055人		2007年 6,070人		
計画給水量	1人 1日平均 40ℓ /c/d		242.8 m ³ /日		
施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
水源	深井戸	■	8" × 200m	2 基	
取水施設	深井戸 ポンプ	■	280lit/m × 215m ×18.5kw (駆動については電気 計装の項参照)	2 台	
	井戸 ポンプ室	■	スチール製プレハブ ユニット	2 基	地下埋込型
導水施設	導水管	■	80m/m	970m	

施設名	内容	新設■ 既設□	仕様	数量	注記
送／配水 施設	送水調整槽	■	50 m ³ 地上型	1 基	第 1送水場
	送／配水槽	■	50 m ³ 地上型	1 基	第 2送水場
	配水槽	■	150 m ³ 地上型	1 基	
	送水ポンプ	■	第 1送水ポンプ： 電動機直結タービン ポンプ 560Q /m×219m×37Kw 第 2送水ポンプ： 460Q /m×283m×45Kw	1 台 1 台	
	送水 ポンプ室	■		2 棟	
	送水管	■	100m/m 高压管、Sch 40	3,530m	
給水施設	配水管	■	100m/m、JIS 10kg/cm ²	835m	
			80m/m "	1,253m	
			65m/m "	2,445m	
			50m/m "	2,945m	
			40m/m "	2,200m	
電気計装 設備	発電機	■	水冷式ディーゼル発電機 200KVA、400V	1 台	井戸ポンプ 2台 + 第 1送水ポンプ 用
			水冷式ディーゼル発電機 175KVA、400V	1 台	第 2送水ポンプ 用
			変圧器	■	6KV/380V 30KVA
制御盤	■	取水ポンプ集中制御盤	1 面		
		取水ポンプ現場操作盤	2 面		

施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
電気計装 設備	制御盤		第1 送水ポンプ制御盤	1 面	
			第2 送水ポンプ制御盤	1 面	
	送電設備	■	鋼管製電柱 150mm/φ × 10m 高	19 本	
			動力ケーブル 6KV、CVT 8	1,020m	
			制御ケーブル CVV-SS 2× 7C	1,020m	

1). 中間の50 m³ 送/配水槽から 3村に、山頂 150 m³ 配水槽からは10村に、総延長約10kmの配水管が布設される。また送水管も高所まで 2ヶ所の中継場を経て送水さる。高圧配管となるので圧力用管種の使用が必要である。

2). Wadi 低地には深井戸 2井と第 1送水場が建設されるが、この 3ヶ所を集中制御運転することによって維持管理面の便をはかる計画とする。共用電源として、第 1送水場に大型低圧発電機を配す。送電は架線方式とし中央制御盤で6KV にステップ・アップし、井戸元にて変圧器により使用電圧380Vにおとして現場操作盤に導くものとする。

3). 本地区は施設内容が大規模なため、2分割し施工する計画が妥当である。前期は深井戸水源 2井と水槽 1基を完成し、後期で残る全工事を完成することとする。

5.7.6 Shihara 地区

所在地	Hajja 県 Shihara 地区	
施設高度	水源井 1,800m MSL	: 配水槽 2,600m
構成村落	22 村	
人口	1986年 5,972人	2007年 8,440人
計画給水量	1人 1日平均 40ℓ /c/d	337.6 m ³

施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
水源	深井戸	■	総深度 200m 20" 0~30m 8" 31~200m	1基	
取水施設	深井戸 ポンプ	■	水中モータ・ポンプ 450lit×184m×30kw	1台	
	駆動装置	■	水冷ディーゼル発電機 175KVA、400V		第1送水ポンプ 兼用
	井戸 ポンプ室	■		1棟	第1送水ポンプ も設置する
導水施設	導水管	■	80m/m	20m	
送／配水 施設	送水ポンプ	■	型式：電動機直結多段 タービンポンプ 第1送水ポンプ 440ℓ/m×89mm×15Kw 第2送水ポンプ 385ℓ/m×225m×30kW 第3送水ポンプ 370ℓ/m×352m×45kw 第4送水ポンプ 285ℓ/m×165m×22kw 第5送水ポンプ 215ℓ/m×295m×30kw 第6送水ポンプ 215ℓ/m×299m×30kw	1台 1台 1台 1台 1台	
	駆動装置	■	水冷式ディーゼル発電 機 400V 75KVA 100KVA	1台 2台	第4送水ポンプ用 第2送水ポンプ用

施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
	駆動装置	■	175KVA 200KVA	1 台 1 台	第 3送水ポンプ 第 5,6送水ポンプ集中操作電源
	送/配水槽	■	30 m ³ 地上型 50 m ³ 地上型 60 m ³ 地上型 100 m ³ 地上型	1 基 4 基 1 基 1 基	第 6送水場 第1,第3,第4, 第5 送水場 第 2送水場 山頂 Shihara 配水槽
	送水管	■	高压管 Sch40、100m/m 水道用鋼管 150m/m 100m/m 80m/m	8,880m 4,100m 20m 40m	第 1送水場から 第 2送水場まで
	配水管	■	水道用鋼管 80m/m 50m/m	1,200m 600m	
	送水 ポンプ室	■		5 棟	
供給施設	公共水栓	■	2 栓 型 4 栓 型 6 栓 型	1ヶ所 1ヶ所 6ヶ所	
電気計装 設備	制御盤	■	集中制御用受変電盤 送水ポンプ制御盤 15kw + 30kw、400v 22kw 30kw 45kw	1 面 1 面 1 面 4 面 1 面	取水ポンプ及び 第 1送水ポンプ 兼用 第 4 〃 第2,5.6 送水ポ ンプ 第 3送水ポンプ
	変圧器	■	50KVA、 6KV/380V	1 基	第5,第6 送水ポ ンプ集中制御用

施設名	内容	新設 <input checked="" type="checkbox"/> / 既設 <input type="checkbox"/>	仕様	数量	注記
電気計装設備	送電設備	<input checked="" type="checkbox"/>	鋼管製電柱 150m/m	24 本	
			10m高		
			動力ケーブル 6KV, CVT 8×3C	1,114m	
			制御ケーブル CVV-SS 2×7C	1,148m	

1). Wadi 低地の水源井から山頂Shihara までは比高差約1,300m、距離13kmとなり、送水施設の規模が著しく大きくなる。

2). 送水管路はほぼ現在の山岳道路に沿って布設されるが、最後のアプローチである第5送水場から第6送水場を経て山上Shiharaの配水槽までは、管路短縮のため、旧道(車輛通行不可)に沿って送水管を布設する計画とする。この区間は急傾斜の斜面でアクセスが最悪のため、中間に設置される第6送水場は第5送水場の発電器を利用する集中操作とする。

送、変電システムはAl Rajamと同様とする。

3). 給配水施設は、山頂Shiharaの広場と公共施設、及び送水管途中の送/配水槽を計画した各村落に設置し、遠隔地村落への配水管布設用の接続口を用意する。

5.7.7 Ad Dahi 地区

所在地	Hudaydah県, Ad Dahi 郡		
施設高度	70m MSL		
村落形態	平野部市街地		
人口	1986年 5,093人	1997年 6,779人	2007年 9,030人
計画給水量	1人1日平均 70ℓ /c/d	476 m ³ /日 (1997)	634 m ³ /日 (2007)

施設名	内容	新設 既設	仕様	数量	注記
水源	深井戸	□	1号井 8" × 60m	1 基	現在使用中
		□	2号井 8" × 80m	1 基	完成後未使用
取水施設	深井戸 ポンプ	取替	ベルト掛エンジン駆動 ボアホールポンプ 90 m ³ /H × 64m 23ps/1,000rpm	1 台	現在の1号井の 老朽ポンプと 取替
		■	エンジン駆動ボアホー ルポンプ 600l/m × 80m エンジン出力 20HP	1 台	
	井戸 ポンプ室	■	1号井ポンプ室	1 棟	
		■	2号井ポンプ室	1 棟	
送水施設	送水管	■	100m/m	80m	
配水施設	高架水槽	■	100 m ³ 容量 × 15m 高	2 基	
	配水管	■	150m/m	70m	
			100m/m	150m	
			80m/m	6,200m	
			50m/m	600m	
			40m/m	100m	
給水施設	公共水栓	■	2 栓式	8ヶ所	
			6 栓式	2ヶ所	

- 1). 一部老朽配水管があるが、本計画で配水主管網を市内に新設することとした。なお、給水は、2ヶ所の新設高架水槽により行う。公共施設に対しては水槽の設備があるので配水支管を延ばしバルブ止めとし接続が容易となるよう便をはかった。

5.7.8 Harad 地区

所在地	Hajja 県, Harad 郡				
施設高度	90m MSL				
村落形態	平野部市街地				
人口	1986年 3,905人 1997年 5,198人 2007年 6,920人				
計画給水量	1人 1日平均 70ℓ /c/d 367 m ³ /日(1997), 488 m ³ /日(2007)				
施設名	内容	新設■ 既設□	仕様	数量	注 記
水 源	深 井 戸	□	1号井: 深度 50m	1 基	使用中
	深 井 戸	□	2号井: 8" × 100m	1 基	使用中
取水施設	井戸ポンプ	取 替	1号井戸用 ベルト掛エンジン駆動 ボアホールポンプ 400ℓ /m × 70m エンジン出力 13HP	1 台	現在の老朽ポン プと取替
		□	2号井戸 水中モータ・ポンプ 400ℓ /m × 50m × 7.5kw 同上用発電機 45kVA、400V	1 台	
	ポンプ室	■	1号井戸用ポンプ室	1 棟	
		□	2号井戸用ポンプ室	1 棟	
送水施設	送水ポンプ	■	2号井戸用 電動機直結遠心渦巻 ポンプ 400ℓ /m × 35m × 5.5kw	1 台	既設ポンプ室内 設置可。 電源は井戸ポン プ発電機共用可。
	送水管	■	100m/m	660m	

施設名	内容	新設 <input checked="" type="checkbox"/> 既設 <input type="checkbox"/>	仕様	数量	注記
配水施設	高架水槽	<input checked="" type="checkbox"/>	100 m ³ 容量×15m 高	1 基	
	配水調整槽	<input type="checkbox"/>	100 m ³ 地上型	1 基	1号井
		<input type="checkbox"/>	200 m ³ 地上型	1 基	2号井
給水施設	公共水栓	<input checked="" type="checkbox"/>	100m/m	5,035m	配水調整槽そば
		<input checked="" type="checkbox"/>	50m/m	600m	
		<input checked="" type="checkbox"/>	40m/m	300m	
		<input type="checkbox"/>	6 栓 型	2ヶ所	
		<input checked="" type="checkbox"/>	2 栓 型	3ヶ所	
		<input checked="" type="checkbox"/>	6 栓 型	3ヶ所	

1). 既存施設は、浅井戸水源関連の施設をのぞいて無償 1期によるものである。本設計ではこの既存施設をシステムの一部として利用するよう配慮した。

2). 公共水栓を要所に設置する主配管網を計画する。なお、主要公共施設には配水支配管を布設し、配水管接続が即急に可能となるよう配慮した。

5.8 概算事業費

本基本設計に基づく、地方水道整備事業の総事業費は約23.5億円と見積られる。事業は、施工計画上 3期に分割して実施されるが、日本国政府負担となる各期の概算事業費は下記のとおりとなる。

総事業費 2,194 百万円

I 期	II 期	III 期
320百万円	908 百万円	966 百万円

また、イエメン・アラブ共和国政府及び地方共同体の負担分は、工事用用地の取得、補償、アクセス道路の整備、カウンターパートに関する経費及び維持管理準備費で推定の内訳は以下のとおりとなる。

表33 YAR 国政府負担分

工事用用地の取得及び補償 (12000 m ²)	120万YR	(1600万円)
仮設置の整備 (28200 m ²)	280万YR	(3800万円)
カウンターパート経費 (122 人月)	610万YR	(8200万円)
維持修理準備費 (19 人)	60万YR	(810万円)
(トレーニング費)		
その他上記の10%	107万YR	(1400万円)
合 計	約12百万YR	(約 160百万円)

6. 事業実施計画

6. 事業実施計画

6.1 実施体制

本事業の実施は、公共事業省地方水道局によって主管される*。直接の窓口は同局の外国プロジェクト部 (Bilateral Project Office) であるが、技術的にはさく井水理地質部 (Drilling and Hydrogeology Dept.) とプロジェクト技術部 (Projects Dept) がサポートする。

同局に対する日本側の実施体制は、イエメン・アラブ共和国政府と直接契約を結び実施設計及び施工監理を行うコンサルタントと、受注により建設工事を行う日本の施工業者から構成される。本事業における工事現場は、首都Sana'aを中心としてYAR 国全域の東西南北に分散しているので建設にあたる施工業者は、地方水道局との折衝や工事の総合管理のために、Sana'aに本部事務所を構える必要がある。本部には総括主任技術者を配置し、全工事の統括管理を行うものとする。さらに工事規模等を考慮して現場主任技術者を効率的に配し、全体的に工事が円滑に進行するよう配慮する。実施体制の概要は図16に示すとおりとなる。

注)* 現地調査期間中 (1986.11) に、地方水道局の全組織が水電気省 (MEWS) に移管されるという内容の閣議決定がなされた。実際上の移管スケジュールは不明であるが、早ければ1987年内にも水電気省地方水道局 (あるいは、地方水道公社) としての新体制が発足することになる。ただし、地方水道局としての基本組織には全く変更のないことが確認されており、大局的に本事業の実施体制に変更はない。なお、実施設計時には、この点を十分に調査し、実施体制の最終確認を行う必要がある。

6.2 施工計画

6.2.1 建設事情

当国の地方水道建設に関わる建設事情は以下の通りである。

1) 工事に係わる一般項目

まず、本計画に関連する工種の当国における状況を概説し、これを参考として施工計画上の留意点としてまとめる。

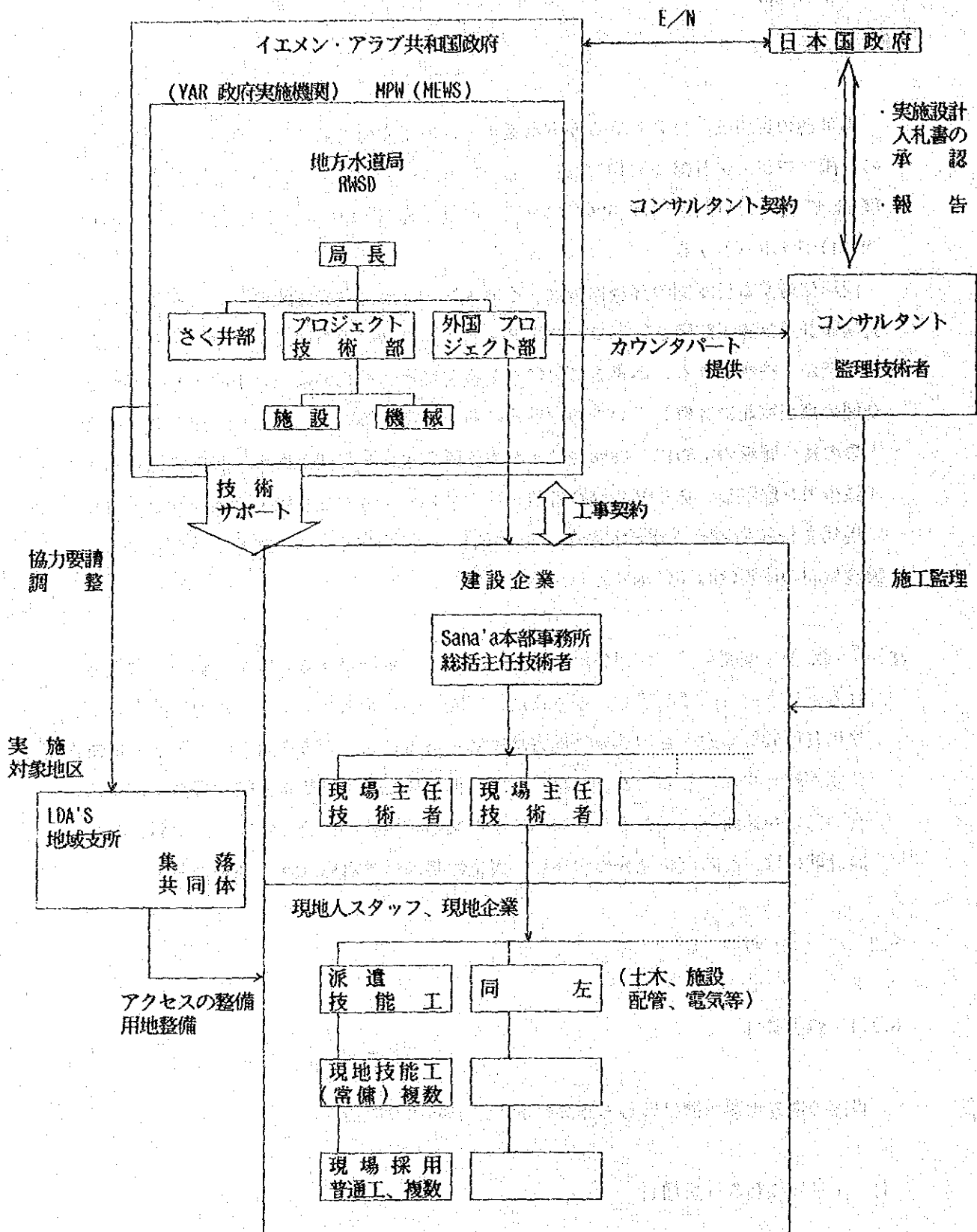


図 16 実施体制

a. さく井工事

YAR 全国に30社程度のさく井企業が存在するとされている。しかし、このうち首都Sana'aで地方水道局の入札に参加出来る企業は3～4社である。

各社の保有機械台数は3台程度といわれ、全般的に企業体質は弱体で技術的にも低いレベルにある。

b. 設備工事

改良型給水システムが定着するにつれ配管、揚水機器等の設備工事を行う現地企業が出現している。しかし、一般に設備関係企業は小規模経営で、近代的な企業組織を形成するまでに至っていない。

なお、当国の大規模建設工事（公共建築や道路）に従事している企業は、主として外国企業（中国、韓国、EC諸国等）で、ボーリングフォアマン等の高等技能工については近隣諸国からの出かせぎも少なくない。

本事業を構成する各種工事は、中小集落に関する限りでは仕上りや工期の点はともかく地元業者も手がけ得る内容となっている。しかし、本計画でとり上げたAl RajamやShiharaのような大規模設備施設工事や、Shihara, Wadi Asfanのような特殊な井戸構造のさく井工事については、日本の施工業者が直接工事・工程管理を行ない、適切な範囲で日本人技術者、技能工を投入しなければ、良好な完成度を望むことはできない。

以上の各要素と全国に散在する現場状況を考慮して、施工形態を考察すると、施工業者への一括発注方式による施工が適切で、工事にあたっては実質上現地の請負業者あるいは現地人技能工を施工業者が責任をもって直接管理する形態がのぞましい。

また、施工実施組織については、良好な完成度と工期内完了を考慮して、日本人技能工を責任者とする工種別の作業班を構成するのが適当で、工種別の工程を配慮して作業班を配置することとする。

なお、労務者は、雇傭が比較的容易な首都や大都市で採用することとする。ただし、軽作業に従事する普通作業員クラスは、宿舍の節約、工事の円滑化を計るため地域代表者を通じ現地雇いとするのが適当である。

また、YAR 政府は有償資金協力事業の実施に対し地元企業と全額の30%分の契約を義務づける施策を最近発表している。本事業は交換公文の条文により日本企業が当国

実施機関と契約することになるが、YAR 国企業、またはイエメン人技能工、労務者を可能な範囲で起用し政府方針に沿う施工形態をとることが望ましい。

2) 歩掛りに関する考察

工事工程の検討及び設計にあたっては、現地労務者の熟練度を考慮する必要がある。現地事情として、通常の労働時間は、8:00pm~1:00pm, 3:00pm~6:00pmであるが、昼食後の労働は極度に低下する傾向がある。また、当国においては、技能工の職種に明確な細分化がなく、各工種に対して熟練度の高い技能工を期待することはむづかしい。人力掘さく等の作業能力を日本の標準歩掛りと比較すると、約 3倍以上の熟練度補正を行う必要があると判断される。

3) 気象に係わる項目

YAR 国の気象条件から、工事工程を検討する。当国は、4~9月に雨季をもつが、降雨量は、通年でも 500mm以下で、とくに工事の支障となる気候条件ではない。しかし、紅海沿いのティハマ海岸平野は、一年を通して高温多湿で、日最高気温は、ほとんど30℃以上、湿度は70%以上である。

以上の点より、山岳部に位置する 6サイトについては、気象条件に関してとくに工程上の配慮を行う必要はないが、海岸平野部のAd Dahi, Harad地区については、施工能率について補正を行う必要がある。本計画では、山岳地帯の 1日 8時間の労働時間に加えて、1時間の休憩時間を見込むこととし山岳部の工事能率の7/8 を海岸部の工事能率と考える。

6.2.2 工種及び内容

本事業に含まれる工種は以下のように大別され、日本の会計年度による制約及び工事規模などから3期分けにより実施されるスケジュールとなる。

① 水源深井戸工事（第2期）

3サイトに4本の深井戸を建設する。構造はそれぞれ異なるが深度は200mまでを予定している。

② 機械設備工事（第1～3期）

○深井戸 --- 深井戸ポンプ/駆動装置据付工事

○送水施設 --- 送水ポンプ/駆動装置据付工事

③ 機械室建築工事（第1～3期）

ポンプ及び駆動装置を収納する機械室。壁面コンクリート、ブロック積鉄筋コンクリート構造とする。

④ 配水槽建設工事（第1～3期）

容量は 20 m^3 ～ 150 m^3 まで各種ある。基礎は鉄筋コンクリート製とし、プレハブ工法によりパネル・タンクを設置する。平野部では高架水槽（鉄骨製）で15m高とする。

⑤ 配管工事（第1～3期）

導/送/配水管の敷設工事。山岳部6サイトは山腹に沿う露出配管となる。平野部2サイトは埋設による管網配管である。

⑥ 公共水栓建設工事（第1～3期）

複栓付きのスタンドで、鉄筋コンクリート構造。

6.3 資機材調達計画

当国において建設に使用される材料のうち、セメント、骨材等の資材以外はすべて輸入品である。さらに、数年前にはじまった外貨不足によるリヤル貨暴落が現在も進行中で、政府は全面輸入制限の措置を取るなど対策に苦慮している。しかも、輸入品価格の極端な高騰、一部製品の入手難、価格の不安定が現在の市場状況となっている。このような流通環境の中では、工事材料の調達に下記のような基本方針が推奨される。

1). 現地調達材料

現地調達材料の主要なものは資材類とし、以下の材料を選定する。

- a. セメント（年間50万トン及び35万トン生産能力の2プラントが稼働しており入手は容易である。）
- b. 骨材、水（骨材は全般的に質が悪く、比較的良質のものは購入地が限定される。Sana'a近郊のものが最も良質で量的にも保障されるので、この地の調達を考慮する。用水については建設現場、集落周辺にて調達が可能である。）
- c. コンクリート・ブロック（一般建築の壁面に使用されるため生産は盛んで入手は容易である）
- d. 燃料（車輛／建設機械用燃料とオイルで、最近国産石油精製も開始されたが、大部分はサウジアラビアからの輸入である。価格は比較的安価であって、供給も安定している。）

2) 日本での調達材料

ポンプ、パイプ等その他一般設備材料は、前述の理由により価格が安定し品質のすぐれた日本製品の調達を推奨する。本事業に使用される日本からの調達品となる主導材料は以下の通りである。

- a. 深井戸工事関係 - ケーシング・パイプ、スクリーン
- b. ポンプ類 - 深井戸ポンプ、送水用多段タービンポンプ
- c. 駆動装置 - エンジン、発電機
- d. 管材料 - 水道用鋼管、継手、弁類
- e. 配水槽材料 - 鋼板製パネル・タンク、鉄骨製架台

3). 建機・車輛

本事業の対象8サイトはYAR全国に分散し、数地区で作業が同時進行するため資材の投入をはじめ、首都 Sana'a の本部事務所を中心とする工程品質管理には相当台数の大型トラック、四輪駆動の乗用車等の車輛が必要とされる。また重量物の取扱いにはクレーン車等の重機が要求される。現地での調整が困難といえるので、これら車輛

は基本的に日本調達とする。

4). 仮 設 資 材

当国の地方水道建設の場合、工事内容が小規模に限られるため仮設物質の準備は一般に不十分であり、この分野における現地調達は不可能に近い。したがって、他の建設資機材と同様に基本的に日本からの調達とすることが好ましい。

6.4 工事の範囲

1). イエメン・アラブ共和国の負担範囲

本事業は、地方水道局主管のもとで日本国のコンサルタントが実施計画、施工監理を行ない、日本の施工業者が建設工事を一括請負う体制となる。工事を円滑に行うためのYAR側担当範囲は以下の通りである。

- ① 建設用地の確保と整地。
- ② 首都 Sana'a および各地区における現場事務所、倉庫等のための用地の確保と整地。
- ③ 各対象地区における建設現場へのアクセスの整備。
- ④ 輸入資機材の迅速な荷揚げ、通関、免税措置の手配。内陸輸送の安全と迅速化の保護。
- ⑤ 本事業に従事する日本国籍者に対する関税、国内税その他の課徴金の免税措置の手配。
- ⑥ 本事業に従事する日本国籍者に対する入国、滞在ビザの確保。
- ⑦ 無償資金協力の供与範囲外で本事業に必要な経費の負担。
- ⑧ 地方水道局内の各種工事に対するカウンターパート支援体制の組織。
- ⑨ 本事業の遂行に必要な現地資機材の調達に対する便宜提供。
- ⑩ 完成された施設に対する適正かつ効果的な維持管理の実施。

2). 日本国政府の負担範囲

日本国政府の負担分は以下のとおりである。

- ① 本基本設計に含まれる水道施設建設工事一式の費用
- ② この工事に係る資機材の輸送および保険に要する費用

6.5 実施スケジュール

本事業の実施スケジュールは、第 1 段階において交換公文締結、第 2 にコンサルタントによる詳細実施設計があり、これに続いて入札による業者選定、建設工事の段取りとなる。事業の全工事量、及び無償資金協力事業のシステムを考慮した場合、本事業は 3 期に分割して実施するスケジュールが最適と考慮される。各期のスケジュール概要は次のとおりとなる。

1). 第 1 期

E/N 期日にもよるが、詳細設計、入札の期間を考慮すると、建設工事期間は 8～9 ヶ月となる。そのうち資材調達、製作期間が約 4 ヶ月かゝり、海上輸送と通関の 1 ヶ月～ 2 ヶ月をあわせると、実質現地工事期間は 2～3 ヶ月しか残らない。この期間で工事完了が可能なサイトは施設規模の小さい Al Khashna, Al Zakira, Al Kheisen の 3 ヶ所である。したがってこれを第 1 期の候補サイトとする。

2). 第 2 期

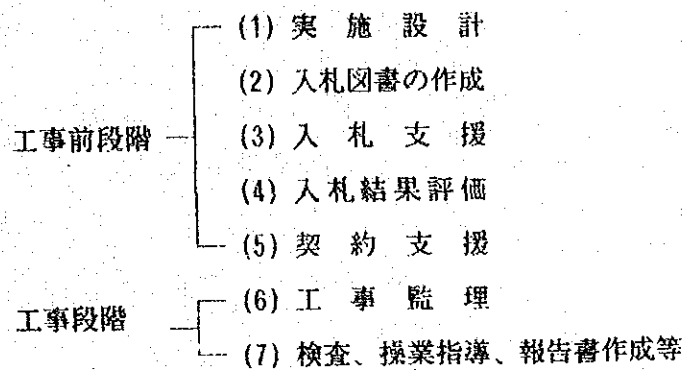
残る 5 サイトを次期 1 期にて完結することは、工事量を考えた場合、相当な人材、資機材量の同時投入が必要になり、経済的施工計画とはならない。そこで、施設規模のきわめて大きい Al Rajam、Shihara については井戸元給水システムの完成までを 2 期工事分として、以降の工事を第 3 期に分離する。計画上、現地の工事期間は、10 ヶ月となる。

3). 第 3 期

残工事となる Al Rajam、Shihara 地区の給水設備工事を完成させる。現地の工期は 10 ヶ月を必要とする。

6.6 実施設計及び施工監理計画

実施設計をはじめとして、入札関連業務、工事監理及び換業指導に至るまでの業務が、日本国のコンサルタントによって次の様な手順で行われる。



工事前段階に関しては、まず現地調査作業を含む事業実施に必要な詳細設計を各計画地区について行い、施設計画、資機材仕様が定められる。次にこれ等に関連する入札図書が作成され、これを基に、関連官庁との協議入札業務のプログラムを作成する。入札に当っては実施機関を支援し、また入札結果については入札図書に照らして評価を行い、実施機関と対象企業との契約業務を支援する。

工事段階においては、現地に派遣する技術者によって各計画地区のサイト・トランスファーをはじめとしてプロジェクト推進上の必要な問題について、各機関の整合をはかり品質管理、工程監理を行う。施設の完成期においては、供給される設備機器の受け入れ検査及び装置の点検を行い、操業要員に対する操業と保守に関する指導を実施し、竣工に際しての関連報告書を作成する。

