

トンガ王国

ヌクアロファ上水道整備計画

基本設計調査報告書

トンガ王国

ヌクアロファ上水道整備計画

基本設計調査報告書

平成11年12月

平成11年12月

JICA LIBRARY



J 1155034 (0)

国際協力事業団
株式会社 パシフィックコンサルタンツインターナショナル
北海道開発コンサルタント株式会社

JICA
208
61.8
GRT
BRARY

調無二
CR(2)
99-192



トンガ王国

ヌクアロファ上水道整備計画

基本設計調査報告書

平成11年12月

国際協力事業団

株式会社 パシフィックコンサルタンツ インターナショナル

北海道開発コンサルタント株式会社



1155034 (0)

序 文

日本国政府は、トンガ王国政府の要請に基づき、同国のヌクアロファ上水道整備計画にかかる基本設計調査を行う事を決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、平成 11 年 6 月 6 日から 7 月 22 日まで基本設計調査団を派遣し、トンガ政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地区における現地調査を実施いたしました。

帰国後の国内作業の後、平成 11 年 10 月 25 日から 11 月 4 日まで実施された基本設計概要書の現地説明を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査に御協力と御支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 11 年 12 月

国際協力事業団

総 裁 藤 田 公 郎

伝 達 状

今般、トンガ王国におけるヌクアロファ上水道整備計画基本設計調査が終了致しましたので、ここに最終報告書を提出致します。

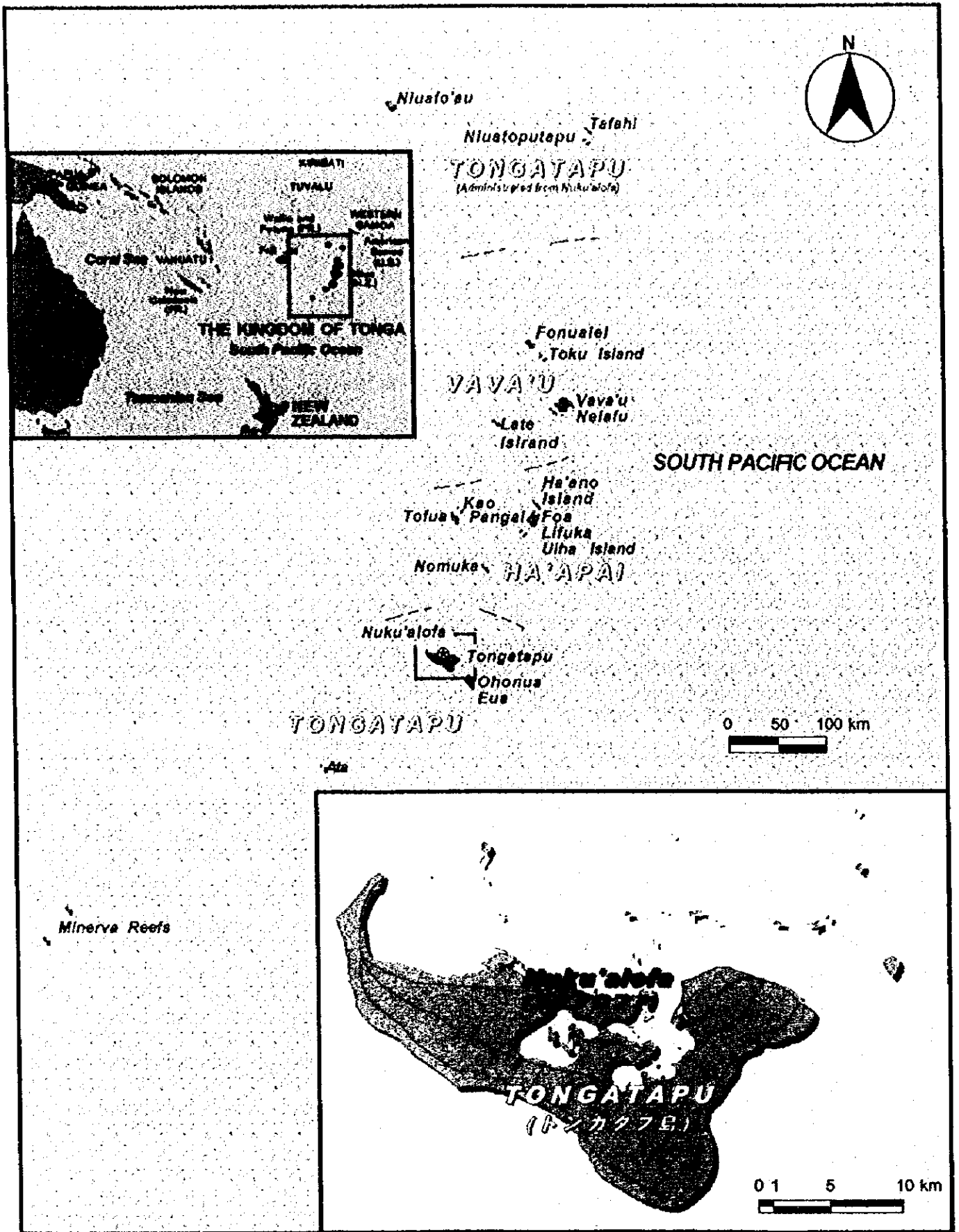
本調査は、貴事業団との契約に基づき弊社が、平成11年6月1日より平成12年1月10日までの7.5カ月にわたり実施いたしてまいりました。今回の調査に際しましては、トンガの現状を十分に踏まえ、本計画の妥当性を検証するとともに、日本の無償資金協力の枠組みに最も適した計画の策定に努めてまいりました。

つきましては、本計画の推進に向けて、本報告書が活用されることを切望致します。

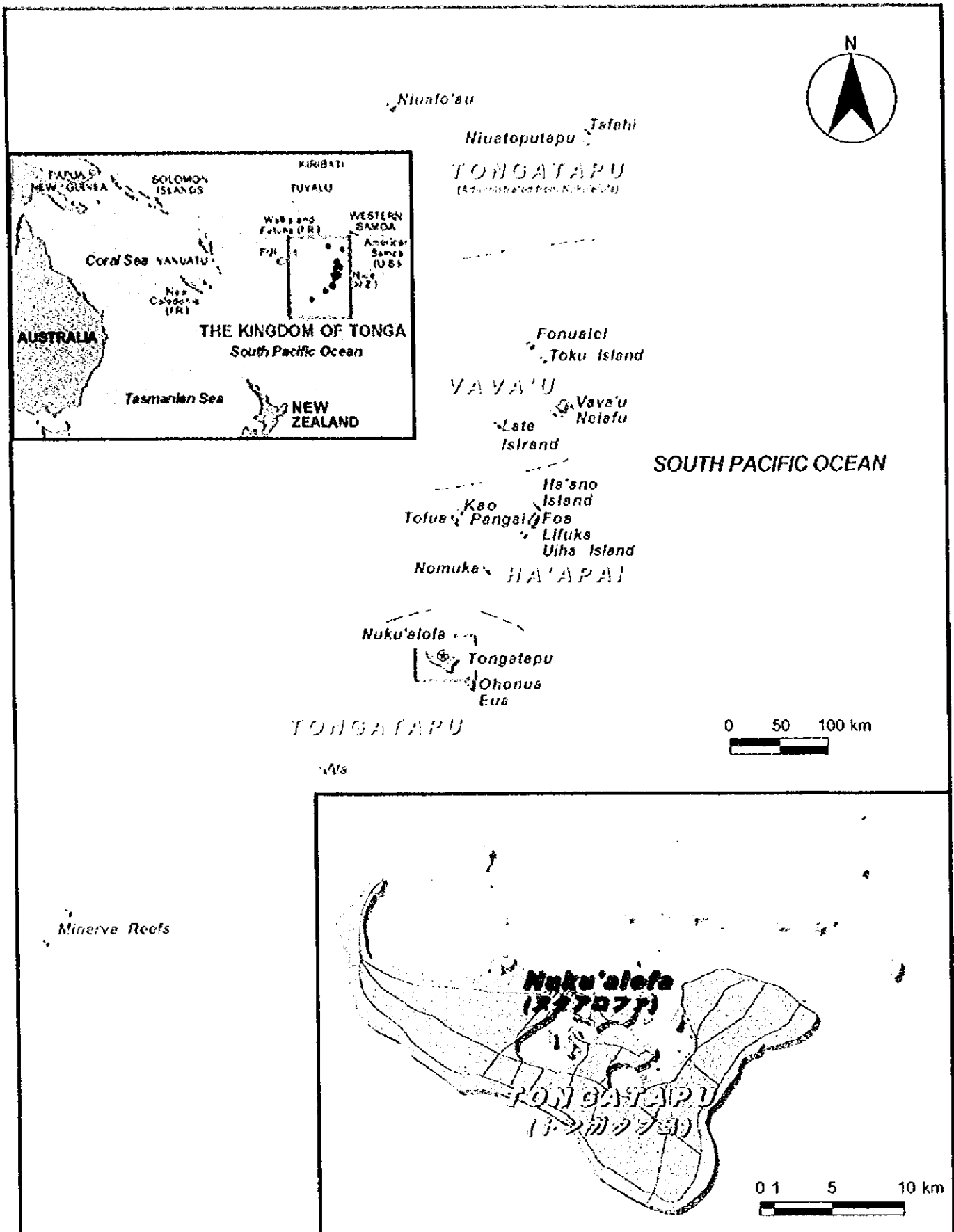
平成11年12月

トンガ国ヌクアロファ上水道整備計画基本設計調査
共同企業体 代表者
株式会社 パシフィックコンサルタンツインターナショナル

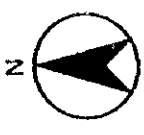
トンガ王国
ヌクアロファ上水道整備計画基本設計調査団
業務主任 岡 賀 敏 文



調査対象地域図



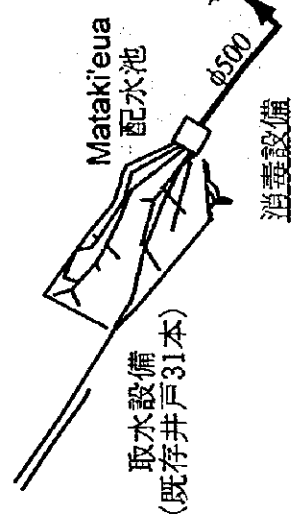
調査対象地域図



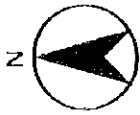
Pipe List

(To be constructed under the Project)

Pipe Diameter	Length	Material
φ500 mm	1,365 m	DI
φ400 mm	1,588 m	DI
φ350 mm	4,832 m	DI
φ300 mm	889 m	DI
φ250 mm	4,945 m	DI
φ200 mm	5,701 m	PVC
φ150 mm	11,469 m	PVC
φ100 mm	2,273 m	PVC
Total	33,062 m	DI+PVC



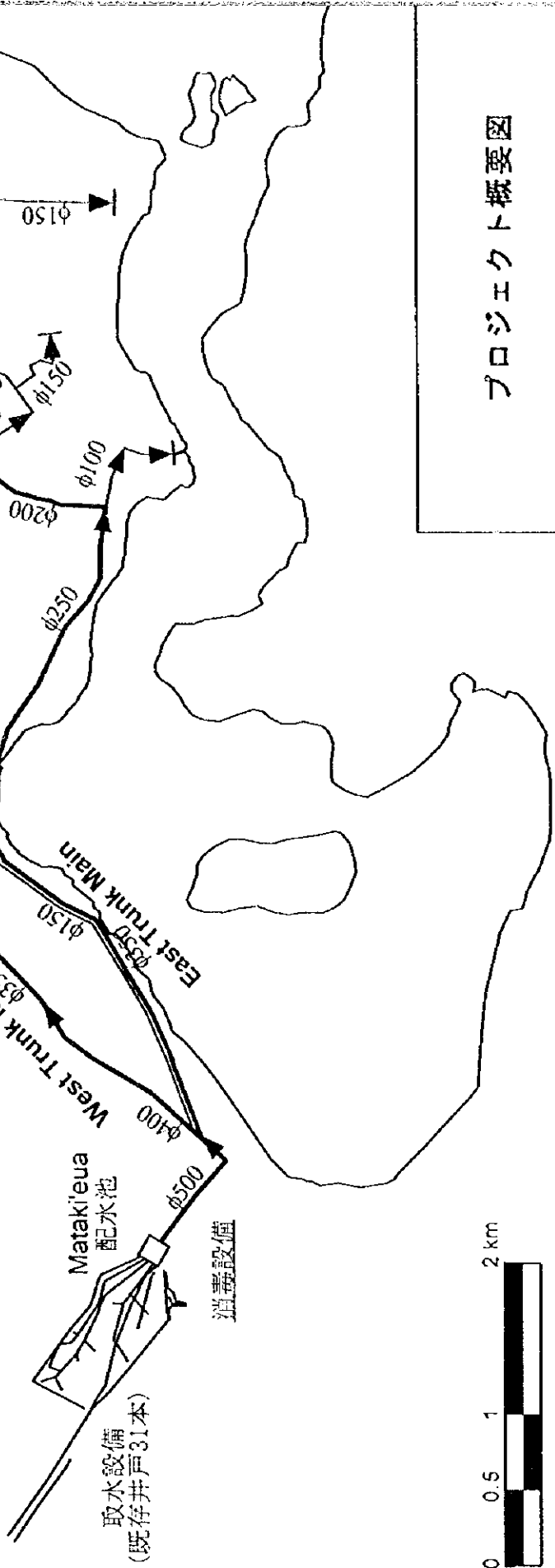
プロジェクト概要図



Pipe List

(To be constructed under the Project)

Pipe Diameter	Length	Material
φ500 mm	1,365 m	DI
φ400 mm	1,588 m	DI
φ350 mm	4,832 m	DI
φ300 mm	889 m	DI
φ250 mm	4,945 m	DI
φ200 mm	5,701 m	PVC
φ150 mm	11,469 m	PVC
φ100 mm	2,273 m	PVC
Total	33,062 m	DI+PVC



プロジェクト概要図

目次

第1章	要請の背景	1-1
第2章	プロジェクトの周辺状況	
2-1	当該セクターの開発計画	2-1
2-1-1	上位計画	2-1
2-1-2	財政事情	2-2
2-2	他の援助国、国際機関等の計画	2-2
2-3	我が国の援助実施状況	2-6
2-4	プロジェクトサイトの状況	2-6
2-4-1	自然条件	2-6
2-4-2	社会基盤整備状況	2-8
2-4-3	既存施設・機材の現況	2-10
2-5	環境への影響	2-29
第3章	プロジェクトの内容	
3-1	プロジェクトの目的	3-1
3-2	プロジェクトの基本構想	3-1
3-3	プロジェクトの最適案に係わる基本設計	3-2
3-3-1	設計方針	3-2
3-3-2	基本計画	3-3
3-4	プロジェクトの実施体制	3-34
3-4-1	組織	3-34
3-4-2	予算	3-35
3-4-3	要員・技術レベル	3-36

第4章	事業計画	
4-1	施工計画	4-1
4-1-1	施工方針	4-1
4-1-2	施工上の留意事項	4-3
4-1-3	施工区分	4-4
4-1-4	施工監理計画	4-4
4-1-5	資機材調達計画	4-5
4-1-6	実施工程	4-7
4-1-7	相手国負担事項	4-7
4-2	概算事業費	4-8
4-2-1	概算事業費	4-8
4-2-2	維持・管理計画	4-9
第5章	プロジェクトの評価と提言	
5-1	妥当性に係わる実証・検証及び裨益効果	5-1
5-2	技術協力・他ドナーとの連携	5-1
5-3	課題	5-2

基本設計図

- No.1 配水管新設平面図位置図
- No.2 配水管新設平面図 その1
- No.3 配水管新設平面図 その2
- No.4 配水管新設平面図 その3
- No.5 配水管新設平面図 その4
- No.6 配水管路縦断面図 (1)...東部 No.1
- No.7 配水管路縦断面図 (2)...東部 No.2
- No.8 配水管路縦断面図 (3)...東部 No.3
- No.9 配水管路縦断面図 (4)...西部 No.1
- No.10 配水管路縦断面図 (5)...西部 No.2
- No.11 掘削断面標準図 (PVC管)
- No.12 掘削断面標準図 (DIP管)
- No.13 掘削断面標準図 (DIP管・側管付き)
- No.14 配水場内施設平面図
- No.15 次亜塩素酸カルシウム注入システム系統図
- No.16 次亜塩素酸カルシウム注入システム施設配置図

添付資料

- 添付資料 1 調査団名簿
- 添付資料 2 調査日程
- 添付資料 3 関係者名簿
- 添付資料 4 当該国の社会・経済事情
- 添付資料 5 給水人口および水需要
- 添付資料 6 水源
- 添付資料 7 TWB 財務諸表
- 添付資料 8 導水管・取水ポンプ水理計算
- 添付資料 9 高架水槽配水方式の検討
- 添付資料 10 配水管網水理解析
- 添付資料 11 漏水調査
- 添付資料 12 既存石綿セメント管観察記録
- 添付資料 13 塩素注入施設の検討
- 添付資料 14 資料リスト

— 付表リスト —

第2章	プロジェクトの周辺状況	
表2-1	国家財政.....	2-2
表2-2	諸外国からの援助実績 (1992-1996年)	2-2
表2-3	経営強化計画 (AusAID) の概要.....	2-4
表2-4	本計画との関連計画.....	2-4
表2-5	経営強化計画の改善効果	2-5
表2-6	月平均気温	2-7
表2-7	月平均降水量.....	2-7
表2-8	月平均蒸発散量.....	2-7
表2-9	水使用実態 (1998年)	2-12
表2-10	生産水の水収支と不明水の内訳.....	2-12
表2-11	水質試験結果.....	2-17
表2-12	導水管・管種別一覧表	2-18
表2-13	危険度推定法の老朽度ランク区分.....	2-20
表2-14	配水池容量	2-20
表2-15	配水管一覧 (1999年7月現在)	2-21
表2-16	口径別漏水率.....	2-23
表2-17	現有機材の概要.....	2-25
表2-18	TWB保有車輛リスト	2-26
表2-19	TWB技術部の要員体制および業務内容	2-26
第3章	プロジェクトの内容	
表3-1	施設の計画水量.....	3-4
表3-2	漏水率の設定.....	3-4
表3-3	本計画の実施内容	3-5
表3-4	本計画の漏水率低減により節約できる水量	3-6
表3-5	井戸稼働条件と取水量.....	3-6
表3-6	高架水槽配水方式比較表	3-7
表3-7	配水管工事 (日本側施工) リスト.....	3-9
表3-8	配水管工事 (TWB負担) リスト	3-9
表3-9	塩素剤の比較表.....	3-12
表3-10	機材調達概要.....	3-14
表3-11	漏水対策実施スケジュール.....	3-15

表 3 - 1 2	漏水対策用車輛運行計画表.....	3 - 16
表 3 - 1 3	TWB の経常収支推移 (1994/95 年度 - 1998/99 年度)	3 - 35
表 3 - 1 4	「ト」国側負担工事費	3 - 35

第 4 章 事業計画

表 4 - 1	事業負担区分および実施項目	4 - 1
表 4 - 2	調達区分一覧表	4 - 6
表 4 - 3	日本側負担経費	4 - 8
表 4 - 4	「ト」国側負担経費	4 - 8
表 4 - 5	プロジェクト実施後収入予測 (ヌクアロファ配水系)	4 - 9
表 4 - 6	プロジェクト実施後支出予測 (ヌクアロファ配水系)	4 - 10

— 付図リスト —

第2章	プロジェクトの周辺状況	
図2-1	既存給水区域.....	2-11
図2-2	不明水率の推移.....	2-12
図2-3	給水地域の水圧.....	2-13
図2-4	Matakieua 地区模式断面図.....	2-14
図2-5	マタキエウア井戸水源および導水管路.....	2-19
図2-6	既設配水管網（ヌクアロファ：1999年）.....	2-22
図2-7	ステップテスト区域図.....	2-27
図2-8	ステップテスト概念図.....	2-28
第3章	プロジェクトの内容	
図3-1	本計画システムフロー.....	3-5
図3-2	計画配水管路図（日本側負担）.....	3-10
図3-3	計画配水管路図（トンガ側負担）.....	3-11
図3-4	消毒設備フローシート.....	3-13
図3-5	漏水対策フローチャート.....	3-15
図3-6	政府関連組織図.....	3-34
図3-7	TWB 組織図.....	3-34
第4章	事業計画	
図4-1	工事実施体制.....	4-2
図4-2	実施工程.....	4-7

— 略語集 —

ACP	Asbestos Cement Pipe	石綿セメント管
AFW	Accounted for Water	有収水量
DIP	Ductile Iron Pipe	ダクタイル鉄管
PVC	Polyvinyl Chloride (Pipe)	塩化ビニル (管)
TWB	Tonga Water Board	トンガ水道公社
UFW	Unaccounted-for Water	不明水量

— 為替レート —

1	= 115 円
1 T\$	= 73.4694 円
1 AS\$	= 77.1560 円

要約

要 約

トンガ王国（「ト」国）は、南緯 15～23.5 度、西経 173～177 度の南太平洋上に位置する約 170 に及ぶ珊瑚礁の島からなり、国土面積約 700km²、人口約 97,000 人（1996 年）の立憲君主国である。本計画地域であるヌクアロファ市はこれら点在する島の中で 258 km² と最大の面積を有するトンガタブ島にある「ト」国の首都である。

ヌクアロファ市の給水は 1966 年に開始され、現在では市人口の約 95% が水道水による給水を受けている。しかしながら、市の東端に位置する Popua 地区および西端の Sopa 地区をはじめとする一部地域において、給水量不足が深刻化しており、そのうえ水圧も低いため、住民は朝と夕方には蛇口からの水がほとんど流れ出ないという状況にある。同地区の住民は家庭内に貯留槽を設置して夜間の貯留や雨水の貯留、または近隣からのもらい水で水不足をしのいでおり、生活に支障をきたしている。

「ト」国の水道整備は、トンガ水道公社（Tonga Water Board：TWB）が事業体として実施している。トンガタブ島は地質が珊瑚礁であるために雨水のほとんどは地下浸透してしまうために河川がなく、ヌクアロファ市の水道水源は地下水である。TWB は、給水量の拡張に伴い、地下水開発を行ってきたが、揚水量が増加することにより、将来、地下水の塩水化が起きることが懸念されている。現在、主要水源である地下水を継続して使用していくために、地下水の保全が重要な課題となっている。

また、ヌクアロファ市の水道施設は老朽化が進んでおり、特に配水管施設での漏水量が多く、住民への給水量不足の大きな要因となっている。TWB は、地下水の保全を図りながら給水需要量を満足させる方策として漏水量の低減を計画した。1996 年以來オーストラリアの援助を受けて計画を実施してきたが、老朽化した施設は修繕箇所が多く、十分な予算が確保できないために、漏水対策の効果はなかなか現れていない。また、配水管末端地区や地盤の高い地区での圧力低下も未解決のままとなっている。

このような背景から、「ト」国政府は、ヌクアロファ市の上水道整備計画に係わる無償資金協力を日本国政府に要請した。国際協力事業団は、平成 10 年 12 月に予備調査を実施し、要請内容、施設の現状確認を行った。

予備調査結果として策定した基本設計調査方針では、本計画を水環境システムに貢献しつつ、首都の水供給を改善するプロジェクトと位置づけ、給水状況の改善および水資源保全・水源の水質保全をプロジェクトの目的とした。また、調査方針として、送・配水方式の検討、老朽化石綿セメント管（ACP）の全面布設替え、漏水防止対策と塩化ビニル管（PVC）の改修、財務状況の改善とサステナビリティの確認を行うこととした。

国際協力事業団は、平成 11 年 6 月から 7 月まで基本設計調査団を現地へ派遣し、「ト」国政府関係者との協議を行うと共に現地調査を実施した。調査団は、帰国後の国内解析の後、基本設計概要書を作成し、平成 11 年 10 月に現地での説明・協議を行った。その結果をもとに本報告書を取りまとめた。報告書の要約を以下に述べる。

ヌクアロファ市の給水普及率は、市人口 30,706 人（1998 年）に対し 95%である。しかし、施設の老朽化に伴い、不明水（漏水、メーター誤作動、不払い等）が年々増加し、1998 年では不明水率 53%に達し、住民の給水量不足の要因となっている。一方、新たに地下水開発を行って取水量を増加させることは、地下水の塩水化を引き起こすことが懸念され、環境面から問題となっている。

TWB の料金台帳によると、生活用水の一日一人当たり平均給水量は 84 ℓ/人/日である。しかし、1992 年策定の水道マスタープランの水需要目標や首都としての生活レベルの実態から考えられる必要量としての 140 ℓ/人/日との差は大きく、給水量の絶対量が不足しているといえる。また、給水量が地域ごとに大きく偏っており、給水圧力の高い水源近くでは、約 140 ℓ/人/日の使用量であるのに対し、配管末端地域である市の東端および西端地域では、水量が 30~50 ℓ/人/日程度しかない。住民は雨水を補助水源としたり夜間に貯水するなどして凌いでいるものの、これら住民の給水量不足は深刻化している。

既存施設の主な問題点は、配水管からの漏水が多いことである。総延長約 127km の既存配水管においては、ACP の漏水率は約 40%に達し、PVC の漏水率 26%と合わせると全体では配水量の 34.3%の漏水が発生している。現在、TWB により漏水防止計画が実施されているものの、調査用資機材、車輛、人員等の不足のために大きな効果は未だ現れていない。また、配水の消毒については、現状、人力による塩素剤投入方式を行っており、安定した残留塩素濃度の確保が困難となっている。

以上の現地調査内容を基に、本プロジェクトの基本設計緒元として以下の通り策定した。

- ・ 本計画目標年は2003年とする。
- ・ 環境上、地下水源の保全のために新たな地下水開発をしない。
- ・ 漏水率を現状の34.3%から15%まで低減することによって取水量の節約と有収水量の向上を図る。
- ・ 配水地区を東西配水区域に2分し、給水圧力の不均衡を改善する。管網解析に基づき所要配水量に対応する管径を検討する。それらの対応によって高架水槽の建設はしない。
- ・ 安全な水を安定供給するため機械式の塩素注入機を導入する。
- ・ 取水施設の維持管理のために必要な機材を調達する。
- ・ 漏水防止実施計画に沿って必要性および緊急性を検討し機材の調達を検討する。
- ・ その他「ト」国より要請のあった、新規拡張工事中用建機、事務所用車輛は必要かつ緊急性が薄いため本計画では調達をしない。
- ・ 本計画の施設設計条件は以下の通り決定した。

給水区域	既存給水区域と同じ
給水普及率	95%
給水人口	30,151人
1人当たり需要量	155 l/日
水需要量 (日平均需要量)	5,549 m ³ /日
日平均給水量	6,528 m ³ /d (漏水率: 15% *1)
日最大給水量	8,160 m ³ /d (日最大係数: 1.25)
時間最大給水量	170 l/sec (時間最大係数: 1.80)

*1: 漏水率の設定はACP 10%、PVC 20%である。

- ・ 本計画での水道システム全体のフローは下図の通りである。



本計画で実施される施設内容は下表の通りである。

施設名	実施項目	実施内容
消毒設備	塩素注入設備の建設	溶解槽、塩素注入ポンプ（1式）及び配管の建設工事
配水場内配管	流量計設置および主配管の更新	配水池周り配管・弁類の更新および流量計（1台）の設置工事
配水管	配水管の更新と増設	<ul style="list-style-type: none"> ・既存 ACP*から DIP**および PVC***への更新工事ならびに口径変更工事 ・既存 PVC の口径不足路線への追加布設工事 DIP (250mm～500mm)：約 14km PVC (50mm～200mm)：約 19km ・給水用側管工事 (PVC 50mm)：総延長：約 9km
給水管	既存給水管の復旧工事	新設管入れ替え工事で切断された給水管の再接続の復旧工事（約 800ヶ所）

- * ACP: 石綿セメント管
- ** DIP: ダクタイル鉄管
- *** PVC: 塩化ビニル管

本計画では、配水管の更新(35km)及び既存 PVC 配水管の漏水率低減により、配水管全体の漏水率を現状の 34.3%から 15%まで低減する計画である。このうち、TWB は PVC 配水管(2km)の更新および既存 PVC 配水管の漏水率を現状の 26.3%から 20%まで低減させる。

本計画実施後は、TWB が水道施設の維持管理を継続的に実施しなければならない。現状では取水施設と漏水低減計画に必要な機器類が不足しているため、維持管理活動が十分ではない。本計画で調達される機材は、TWB の漏水対策計画に資するために必要な機器類である。

本計画で実施される機材調達概要は下表の通りである。

使用目的	調達概要		
	機材名	数量	機材の必要性
① 漏水調査 及び補修	配管切断機	2 台	漏水個所の修復として現在 PVC 切断は手作業である。速やかな復旧が必要である。また、家庭への接続個所からの漏水修理も多いために 2 台必要。
	コンクリート切断機	2 台	配管敷設個所のほとんどは、舗装道路下である。交通遮断を最小限とするために、速やかな作業が必要となる。
	コンパクション	1 台	補修後埋め戻し、突き固め用に使用。2 班で 1 台とする。
	予備品	1 式	現地で緊急に調達しにくい部品について通常機器のオーバーホールを必要としない期間として 2 ヶ年分必要

使用目的	調達概要		
	機材名	数量	機材の必要性
② 取水施設 維持管理	ディーゼル駆動ポンプ	3台	<ul style="list-style-type: none"> ・需要のピーク時には取水設備の100%運転が必要となる。予備設備として倉庫予備ポンプを調達し、運転中のポンプの故障時にポンプを入れ替えることにより、ほぼ100%連続運転が可能となる。 ・現状のポンプ平均故障率の実績値(10%)から予備ポンプ台数を決定するものとし、31本の井戸について、予備ポンプ3台を調達する。
	小型クレーン付きトラック、4トン	1台	現在、故障ポンプの交換は手作業のため作業効率が悪く、また予備井戸を持っていないことから、需要のピーク時にポンプを常時全台数稼働させるためには、故障ポンプを迅速に交換する必要があり、機械化により作業の効率化を図る。
	予備品		現地で緊急に調達しにくい部品について通常機器のオーバーホールを必要としない期間として2ヶ年分必要

本プロジェクトの全体工期は、実施設計に6ヶ月、工事期間に20ヶ月の合計26ヶ月程度が必要とされる。

本事業の実施にかかる概算事業費は1,257百万円（日本側事業費：1,250百万円、「ト」国側事業費：7百万円）と見積もられる。（為替レート：1US\$=115円、1T\$=73.4694円、1AU\$=77.1560円）

本計画の実施により、24時間連続して、十分な圧力で、安全な水を給水することが可能となる。また、計画給水人口30,151人（目標年次2003年での推定総人口：31,738人）に対し日平均給水量は一人当たり155ℓ/日まで改善される。それによって、衛生面や日常生活面で住民の生活レベルの改善が期待され、また、既存施設の漏水率の低減は、水道料金収入の増加ともなり財務基盤が強化される。

本計画は環境保全型の上水道整備計画として位置付けられている。現在、水源の塩水化については既存の揚水量と地下水の涵養量とのバランスはとれており、塩水化の問題は起きていない。しかし、新規水源開発については塩水化のリスクが伴う。本計画では、既存取水量の有効活用を目的に不明水の改善によって新たな地下水開発を防ぐことができる。

TWBが水量・水質ともに安定した給水サービスを維持し、本施設を適切に運営するために塩水化防止のために継続した地下水の水質の監視、2003年までに計画された工程に従い漏水調査および修理の完了と将来にわたっての漏水防止活動、有収水量を上げる等が必要である。

第1章 要請の背景

第1章 要請の背景

トンガ王国（「ト」国）は、南緯 15～23.5 度、西経 173～177 度の南太平洋上に位置する約 170 に及ぶ珊瑚礁の島からなる国土面積約 700km²、人口約 97,000 人（1996 年）の立憲君主国である。本計画地域であるヌクアロファ市はこれら点在する島の中で 258 km² と最大の面積を有するトンガタブ島にある「ト」国の首都である。

ヌクアロファ市の給水は 1966 年に開始され、現在では市人口の約 95%が水道水による給水を受けている。しかしながら、市の東端に位置する Popua 地区および西端の Sopa 地区をはじめとする一部地域において、給水量不足が深刻化しており、また水圧も低いため、住民は朝と夕方には蛇口からの水がほとんど流れ出ないという状況に悩まされている。これら住民は家庭内に貯留槽を設置して夜間に水を貯留したり、近隣からのもらい水で水不足をしのいでいるが、生活に支障をきたしている。

住民の多くは雨水貯留槽を持ち、主に飲料用として利用している。雨水は水不足に備えるだけでなく、水道水に比べて軟水であることから、味が良いという理由で飲用されている。しかし、雨水の利用は、ゴミや雑菌の混入が考えられるほか、少雨の時期には貯水量が不足するなど、衛生面や水量の安定確保の面で問題となるため、水道水を通じて安全な水を安定供給することが望まれている。

「ト」国の水道整備は、トンガ水道公社（Tonga Water Board：TWB）が事業体として実施している。トンガタブ島は地質が珊瑚礁であるために雨水のほとんどは地下浸透してしまうために河川がなく、ヌクアロファ市の水道水源は地下水である。TWB は、給水量の拡張に伴い、地下水開発を行ってきたが、揚水量が増加することにより、将来、地下水の塩水化が起きることが懸念されている。現在、主要水源である地下水を継続して使用していくために、地下水の保全が重要な課題となっている。

また、ヌクアロファ市の水道施設は老朽化が進んでおり、特に配水管施設での漏水量が多く、住民への給水量不足の大きな要因となっている。TWB は、地下水の保全を図りながら給水需要量を満足させる方策として漏水量の低減を計画した。1996 年以来オーストラリアの援助を受けて計画を実施してきたが、老朽化した施設は修繕箇所が多く、十分な予算が確保できないために、漏水対策の効果はなかなか現れていない。また、配水管末端地区や地盤の高い地区での圧力低下も未解決のままとなっている。

漏水低減計画の遅れは、住民への給水サービスの低下であり、早急に抜本的な改善計画の実施が必要となった。

このような背景から「ト」国政府はヌクアロファ市の上水道整備計画に係わる無償資金協力を日本政府に要請し、国際協力事業団は、1998年に予備調査を実施し、要請内容、施設の現状確認を行い、以下の基本設計調査方針を策定した。

① 本計画の位置づけ

水道施設の整備・リハビリではなく、水環境システムに貢献しつつ、首都の水供給を改善するプロジェクトとして位置付ける。

② 給水状況の改善

給水地区の水圧のバランスを改善することにより、低水圧地区の給水量を確保し、恒常的な給水不良の状態を解消する。

③ 水資源保全、水源の水質保全

地下水の新規開発については需要量と供給量を分析し、必要最小限とする。

④ 送・配水本管と高架タンク

均等な水圧及び給水量を確保するために送・配水方式を検討し、水理解析を行った上でコストとメンテナンス性に十分配慮して設計する。

⑤ 石綿セメント管(ACP)の布設替え

漏水の主要な原因となっていると考えられるため、全面的に布設替えすることを前提に調査を行う。

⑥ 漏水防止対策と塩化ビニル管(PVC)の改修

「ト」国側の自助努力によって対応されるべきであり、本計画の無償資金協力の対象とはしない。

⑦ 財務状況の改善とサステナビリティ

TWBに本計画実施後の財務状況の見込みを作成させ、今後の水道事業のサステナビリティを確認する。

以上の方針のもとに、基本設計調査を実施し、本報告書を取りまとめた。

第2章 プロジェクトの周辺状況

第2章 プロジェクトの周辺状況

2-1 当該セクターの開発計画

2-1-1 上位計画

「ト」国では、従来、国家開発5ヶ年計画により、5年を一つの区切りとして社会、経済、産業等の開発計画目標を定め、その目標達成に努力してきた。しかし、従来計画である第6次国家開発計画（1991年 - 1995年）は、諸外国からの援助計画を包括して立案したものであったことから、以降の国家開発計画の策定にあたっては、特に財政面における自立を色濃く反映する内容に計画策定方式を改めることとした。国家計画局は、「ト」国の財政的独自性を基本とした2025年までの総合的な長期的展望を描いた長期国家開発計画を策定し、1999年にその骨子が国の承認を得た。この長期計画を基に短期計画である第7次国家開発計画（1998/99年 - 2000/01年）を現在策定中である。

長期国家開発計画の重点項目は、住民社会の結束による立憲君主国としての政治の安定化、国民生活レベルの向上、自然資源と環境の保全、さらに諸外国への援助要請を必要最小限として安定した財源基盤を確立するための環境整備を主な項目としている。

第7次国家開発計画では、①農業、②漁業、③観光という優先開発分野の開発促進によって国庫の収益増を目標としている。目標を達成するためには①保健、②教育、③水と衛生、④公共インフラの整備への投資が必要であるとしている。

トンガ水道公社（TWB）は、法律（公共サービス法 第92節、日本の公営企業法に相当する）によって定められた設立主旨に基づき、住民の生活レベル向上の一翼を担うことを上位目標としている。目標を達成する上で、公社は独立採算での安定経営を図り、需要者へ質の高いサービスをすることを施策としている。具体的には組織財務の強化と有収水量の向上、環境面からの地下水保全である。

1992年に策定された水道マスタープランの中で、設計条件（生活レベル、施設計画等）については、今後の上水道整備計画の基本条件として適用することができるが、社会・経済条件（人口、投資動向等）は、マスタープラン策定時と現状との差異が大きく、整備計画策定時において見直す必要がある。

2-1-2 財政事情

「ト」国政府の財政は、国家財政の他に国際援助機関からの開発援助資金が大きなウェイトを占めている。国家財政の歳入、歳出および開発援助資金を表 2-1 に示す。

表 2-1 国家財政

単位：百万 T\$ (百万円)

	自主財源		援助資金
	歳入	歳出	
1994/95 年度	55.6 (4,085)	53.6 (3,938)	48.9 (3,593)
1995/96 年度	58.2 (4,276)	58.2 (4,276)	48.9 (3,593)
1996/97 年度	61.7 (4,533)	60.6 (4,452)	48.5 (3,563)

(資料：国家計画局、1999)

「ト」国政府の財政は、自主財源と国際援助機関からの援助資金から成る。1996/97 年度の国家予算はおよそ 80 億円であり、そのうち自主財源が約 45 億円で、援助資金が約 35 億円である。過去 3 年間の予算は、ほぼ横ばいで推移しており、各々の占める割合もほぼ変化がない。援助資金は全体予算の 44% に相当し、大きなウェイトを占めている。援助資金の割合を省別に見ると、公共事業省が第 1 位で、続いて国土・地理・天然資源省、首相府、農業林業省の順である。1996/97 年に上水道建設に充当された援助資金は、2.7 百万 T\$ (2 億円) であり、国家予算の約 3% 程度である。

2-2 他の援助国、国際機関等の計画

(1) 「ト」国に対する援助

「ト」国に対する援助のほとんどが無償資金協力によるものである。1992 年からの累計援助額では、日本が第 1 位の実績である。援助機関別の援助額実績を表 2-2 に示す。

表 2-2 諸外国からの援助実績 (1992-1996 年)

援助国/援助機関	援助形式	1992-1996 年援助額	
		(百万 US\$)	円換算 (百万円)
日本	無償	52.6	6,049
オーストラリア	無償	40.5	4,656
ニュージーランド	無償	22.1	2,542
ADB (アジア開発銀行)	借款	19.7	2,266
EU (欧州連合)	無償	9.9	1,139
その他	無償	16.2	1,863
合計		161.0	18,515

(資料：被供与国に対する各国の援助、OECD 1998 年)

(2) 上水道セクターへの援助内容

1) 村落給水

村落給水は保健省が担当しているが、1980年初頭よりオーストラリアとニュージーランドによる雨水給水設備（建物の屋根で雨水を集水し地上タンクに貯水する設備）の無償資金協力計画が開始された。両国の援助額は、ほぼ同額であり毎年 T\$100,000 (7.3 百万円) から T\$400,000 (2.9 百万円) 程度である。日本からも 1995 年から学校、公共施設に対する同様の雨水給水設備の援助が草の根無償によって続けられており援助総額はおよそ T\$300,000 (2.2 百万円) である。

2) 都市水道

都市水道はトンガ水道公社 (TWB) が管轄している。諸外国、関連機関からの援助内容は以下の通りである。

(a) EU (欧州連合)

ババウ島 (Vava'u) の中心都市であるネイアフ市 (Neiafu) に対し、水道整備を含む総合開発計画を実施した。建設総額は約 3 百万 T\$ (約 2.2 億円) である。水道整備計画の内容は、現状の施設の撤去工事および、施設容量約 1,000 m³/日とする、取水 (地下水)、配水池、配水管等の拡張工事である。詳細設計はオーストラリアの援助により実施した。

(b) ニュージーランド

トンガタブ島の近くで東南に位置するエウア島 (Eua) の上水道整備調査を 1999 年より開始し、2000 年度の無償資金協力で実施する予定である。

(c) オーストラリア (AusAID)

1989 年—1991 年にヌクアロファ市上水道マスタープラン調査 (計画年：1991 年—2011 年) を実施し、報告書を作成した。

1994 年に TWB に対し、TWB 全体の業務の効率化、給水設備の整備拡充および漏水の改善を目的とした、経営強化計画 (Institutional Strengthening Project) を実施した。実施期間は 1995—1999 年、援助額 T\$5,500,000 (4.0 億円) である。計画はサブプロジェクトに別れており、概要を表 2-3 に示す。

表2-3 経営強化計画(AusAID)の概要

サブプロジェクト /計画名称	計画対象地域	計画目標・内容	実施 期間	備考
①業務の効率化	TWB 本部及び各支所	事務系、技術系の事務の効率化を目指し業務の機械化及び職員訓練	1994-1999年	実施中
②漏水防止計画	ヌクアロファ市(首都)	配水管路の漏水の調査及び整備に関する設計、建設 職員訓練の実施	1994-1999年	実施中
③水源拡張計画	ヌクアロファ市(首都)	取水量増量のための水源開発	1996-1997年	プロジェクト完了 また、水源維持管理用倉庫の建設も実施された
④バンガイ市給水整備計画	バンガイ市 (ハアパイ諸島郡庁所在地)	地下水取水量の増加と塩水対策及び配水設備の拡張に対する設計、建設	1998-1999年	予算：約 T\$180,000 (約 13 百万円) で TWB は総予算の 3 分の 1 を負担
⑤ネイアフ市給水改善計画	ネイアフ市 (ババウ諸島郡庁所在地、 「ト」国第二の都市)	フィージビリティ調査および詳細設計	1998年	総合開発計画(漁港、市場、道路、都市排水)の一部として上水道施設改善が計画された、建設資金は EU の無償援助協力

(3) 本計画との関連

本計画と関連する他援助機関の実施プロジェクトは、オーストラリアの経営強化計画(表2-3)のうち、サブプロジェクト①、②、③である。本計画との関連計画として各プロジェクトの詳細を表2-4に示す。

表2-4 本計画との関連計画

計画目的	内容・方法	機材供与
業務効率化計画 ・事務および設計業務の効率化を図る	・料金台帳、経理台帳処理のコンピューター化 ・経営、事務処理、機械操作への職員の訓練	・デスクトップコンピューター×15台 ・ワークショップ用事務機器(OHP、プロジェクター)
漏水改善計画 ・配水管の漏水を減少させ 原水の有効利用	・1996年、漏水原因調査団の派遣 ・調査区域を7個所に区切りステップテストの指導及び研修	・漏水調査器具(データローガによるメーター読み取り器具、圧力計、音聴棒、弁、配管) ・車両(調査に使用したもの)×1台
水源拡張計画 ・原水取水量の増量	・取水井6個所の開発 ・水源の塩水化を防ぐ目的で7個所の観測井の建設	・井戸ポンプ修理工具(電動穿孔機、フライス盤等)

関連プロジェクトの改善効果について、経営強化計画の開始前と開始後の経営内容の比較を表 2-5 に示す。

表 2-5 経営強化計画の改善効果

比較項目	経営強化計画実施前 (1995/96 年)	経営強化計画実施後 (1997/98 年)
職員数	137 人	95 人
水道専門技術者数*	1 人	4 人
職員効率 (給水栓数/職員数)	61 栓/人	90 栓/人
職員一人当たり収益	10,777 T\$/人	19,048 T\$/人
職員一人当たり経費	8,796 T\$/人	13,275 T\$/人
職員一人当たり利益	1,420 T\$/人	3,168 T\$/人
事務機器 (コンピューター) *	0 台	15 台
事務関連海外研修回数*	0 回	2 回 (合計 2 名)
事務所内ワークショップの開催*	無し	有り
漏水調査専任技能者*	0 人	3 人
配水管修理回数	245 回/年	185 回/年
給水設備修理回数	1,577 回/年	2,190 回/年

資料：TWB1997/1998 決算報告書、※は TWB 聞き取り調査による

経営強化計画の実施後、コンピューターの導入と職員訓練によって職員の合理化が図られた結果、職員効率が約 50% 向上し、職員一人当たり利益が増加した。ただし、1997/98 年度に増益となっているのは、水道料金制度を切り替えた効果により水道料金収入が前年度に比べ約 30% 増収となったことが大きな要因であるが、これを考慮しても経営上の改善効果が上がっていると言える。

漏水防止計画関連では、プロジェクト実施後の修理箇所数は全体で増加傾向を示し、配水管施設が耐用年数の限界に近づいていることがうかがえる。配水管修理回数が減り、給水設備修理回数 (需要者敷地内の設備、水道メーター及び給水栓までの配管・弁類) が増えているのは、需要者の要求を最優先とすることが原因で、給水設備修理の対応に人員を取られてしまい、配水管修理に対応しきれないからである。

配水管の漏水改善技術の導入はオーストラリアによって開始され、TWB は専任チームを組織した。しかし、必要な資機材の不足から計画の実施が大幅に遅れている。オーストラリアの援助方針は既存管路の漏水箇所の応急的修理を主眼としたものであり、老朽化した ACP を全更新する等の抜本的な解決策ではなく、年々増加傾向にある漏水事故件数に対処しきれなくなっている。このため、配水管を更新することで漏水を低減させ、有収水量を高めることが早急に求められている。

2-3 我が国の援助実施状況

「ト」国に対する我が国の援助は過去、病院、道路、水産への無償資金協力が実施されている。上水道セクターへの援助は、草の根無償による地方水道計画（1000 以上の貯水槽と雨水集水機材の配布）を実施している。

2-4 プロジェクトサイトの状況

2-4-1 自然条件

(1) 地形地質

トンガタブ島をはじめ、「ト」国の島々は珊瑚礁が隆起してできたものとされている。トンガタブは、厚さ 250m に及ぶ鮮新世の石灰岩層からなり、地盤標高は高い所で 65~70m に達している。島の南側は狭い尾根（標高 20m 以上）が海岸線に沿って弧を描くように北東と北西へと伸びている。山稜は暁新世の珊瑚礁からできていると思われる。尾根から北に、起伏のない低地が展開し海岸に至っているが、所々に 10~25m 程度の石灰岩の丘陵が見られる。

表層は古いもので 2 万年前、新しいもので 5 千年~1 万年前にトファ アーク (Tofua Arc) の火山群が噴火し、火山灰が島々を覆い、その堆積物が現在の表土を形成した。トンガタブ島の表土は東部で硬い粘土 (heavy clay) , 西部でシルト混じり粘土 (silty-clay loam) となっている。トンガタブは噴火源から離れた地に位置しているので、細粒の火山灰のみが到達し現在の表層となっている粘土層を形成したとされている。

(2) 気象

(a) 気温、湿度

トンガの気候は、湿潤型の亜熱帯性気候である。過去 10 年間の毎月の平均気温データより、年によって毎月の平均気温はやや変動があるが、年間を通しては、おおむね季節の変化に応じ、摂氏 21°C 前後（7 月~9 月、冬期）から 27°C 前後（1 月~3 月、夏期）を推移し、例年 7~8 月が最も気温が低く、2 月に最も気温が高くなる。

湿度は、夏期を中心とした 11 月から 4 月が比較的湿度が高い。1 日値の湿度変化は、通常およそ 65% から 95% の間で変動し、最も低くなるのは気温が最高となる日中の午後である。

表2-6 月平均気温

(°C)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
平均	26.3	26.9	26.8	25.4	23.7	22.8	21.8	21.6	21.9	23.4	25.0	26.2	24.3
最高	27.3	27.7	27.4	26.3	24.5	23.7	22.7	22.9	23.1	24.7	26.2	27.4	24.9
最低	25.6	26.4	26.2	24.2	22.6	21.4	20.8	20.1	20.7	22.3	23.7	24.5	23.8

(資料：1989-1998年気温データ、ヌクアロファ観測所)

(b) 降水量

過去10年間(1989~1998年)の毎月の平均降水量データから雨は夏に多く、冬に少ない。夏期を中心とした11月から4月が雨季、冬期を中心とした5月から10月は比較的雨の少ない乾季と言える。年間の最低月降水量は20mm前後であることが多いが、これも年により8mm~47mmと幅がある。1992年は、年降水量が1033mmと10年中最低だが、1991年の9月から1992年6月まで、10ヶ月にわたり月降水量が80mm以下となっていた。数十ミリの月降水量が5ヶ月程度続くことは、過去10年の間にも何回かある。

過去50年間のデータから、1980年代以降が、それ以前に比べやや小雨傾向にあると言える。1981、1983、1987年は年間降水量1,000mm以下となっている。1980年代前半には、いわゆるエル・ニーニョ現象が起き、南太平洋全域にわたって干ばつが記録されている。

表2-7 月平均降水量

(mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
平均	180	208	207	119	112	87	102	127	84	84	110	147	1,567
最高	469	726	483	285	212	163	213	342	175	233	223	421	2,154
最低	16	58	39	34	33	18	29	25	38	8	24	15	1,015

(資料：1989-1998年降水量データ、ヌクアロファ観測所)

(c) 蒸発散量

地下水の涵養量推定に必要な蒸発散量(Thompson, 1986)を表2-8に示す。

表2-8 月平均蒸発散量

(mm/month)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
164	137	139	108	89	77	85	96	116	144	152	154	1,461

(Estimate of Penman Potential Evapotranspiration)

(d) 風、サイクロン

「ト」国は南太平洋の貿易風が発生する地帯に位置し、トンガタブ島付近は年間を通して東～南東の風が多い。平均風速は、4～7ノットの間で変動し、11月から4月のサイクロンシーズンに最も強くなる。

サイクロンは、平均すると年に1～2個以上がトンガに上陸している。1939年から1985年の46年間で、トンガ全域に大きな影響を及ぼしたサイクロンは17個、その他に41個のサイクロンが「ト」国北部域、38個のサイクロンが南部域に上陸している。過去の記録から、20年間で最大の被害を与えたものを見ると、1997年に Niuafu'ou 島を襲ったもので、最大風速 87m/sec、家屋の90%が失われた。サイクロンは竜巻を伴いそれによる被害が大きい。

(e) 地震

トンガ国は平均して年に4～5回の有感地震に見舞われる。大きなもので1910年以降マグニチュード7.0～8.3クラスが19回も記録されている。その内1977年の7.2が最大のものである。次に1998年に4.6が記録されている。そのために、構造物は耐震構造にする必要がある。

2-4-2 社会基盤整備状況

(1) 下水道

トンガの下水道事業実施体は保健省である。現状のヌクアロファ市には、都市下水道システムはなく、85%が合併浄化槽を持つ水洗式トイレ、15%が地下浸透式の便壺式トイレである。浄化槽からの上澄水は道路の側溝に放流されている。汚泥は、定期的にバキュームカーによってトンガタブ島の東端にある乾燥床に運搬され処理された後、廃棄物埋め立て場に投棄される。しかし、汚泥搬入用のバキュームカーは2台のみであり、現在発生する全汚泥量を搬送するには十分でない。そのために、各家庭の浄化槽内の汚泥堆積量が多くなり処理機能が損なわれ、放流水の水質悪化が起きる場合がある。

市の地形がほぼ平坦であるために、集中式の都市下水道を設置するためには、中継ポンプ場が必要となり、かなり割高となる。そのために保健省は現状の合併浄化槽式が環境面と技術、経済的にみて受け入れられる最良の方法と考えている。

下水道事業は保健省が直轄で運営しており、住民から各月30¢/戸を徴収しているが、維持

管理費として十分ではなく、年間必要経費約 T\$200,000(14.7 百万円)の大部分は国の一般会計からの補助により賄っている。

(2) 廃棄物

トンガタブ島ではヌクアロファ市だけが公共廃棄物処理（住民の 90%が利用）を実施しており、他地域は個人処理（住宅敷地内に投棄・処分）をしている。

市の廃棄物処理は家庭より収集された廃棄物を無選別で、直接投棄・埋め立てしている。現在、埋め立て場の敷地面積がほぼ満杯に達しており新たな処理方法と処理場計画用地についての検討が必要であるとされている。また、現状の投棄方法では、年間平均雨量が 1,000mm 以上もあること、また島の地質が珊瑚礁でできていることから、廃棄物からの浸出水が地下水に与える影響が懸念されている。

廃棄物処理の実施事業体は保健省である。保健省が収集、処分場を直接運営・管理している。住民から毎月 30¢/戸の料金徴収をしているが、年間必要経費約 T\$50,000(3.7 百万円、1998 年実績、保健省資料) のおよそ 90%は国の一般会計からの補助で賄っている。

(3) 電力

電力供給の実施事業体はトンガ電力公社である。発電施設は重油によるディーゼル発電機であり、電力公社が公営企業から一部民営化された近年、ADB(アジア開発銀行)からの借款によって施設が拡張され、電力供給の安定化が図られている。

国全体の電力普及率は 91% (1996 年)、首都ヌクアロファ市のあるトンガタブ島の普及率は 96%、ヌクアロファ市では 98%である。

(4) 道路

トンガタブ島の道路延長は約 988km であり、幹線道路及び準幹線道路の合計 253km は、ほぼ舗装されており、残りの 735km は未舗装道路である。未舗装道路は砂利道であるが道路幅が 7m 以上あり整備状況も比較的良く、交通量は少ない。

2-4-3 既存施設・機材の現況

(1) 給水状況

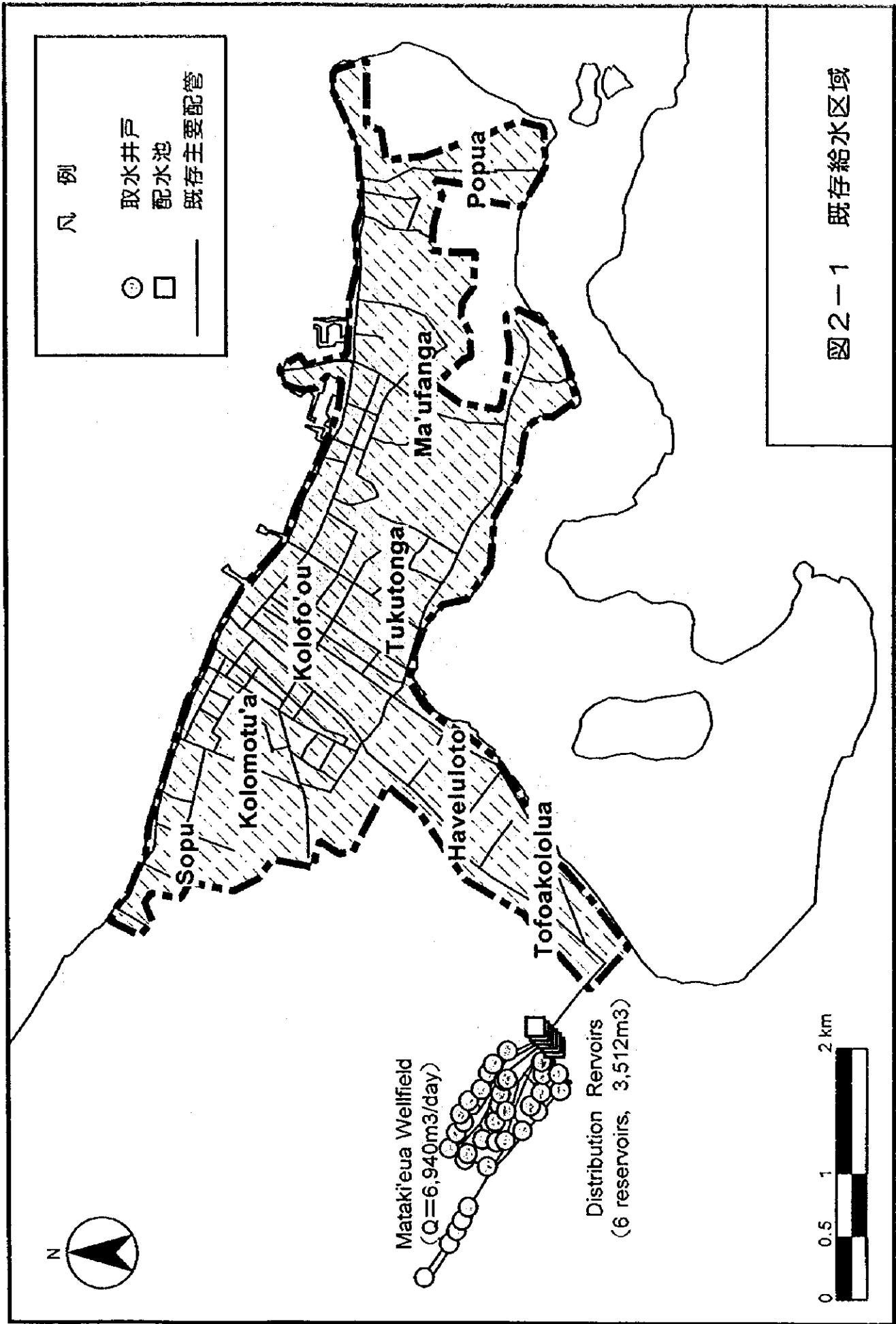
1) ヌクアロファ市の給水事情

ヌクアロファ市の給水が始まる 1966 年以前の給水施設は、自家用の浅井戸での給水であったが、井戸周囲からの汚水の浸入や乾季での井戸涸れがあり、住民にとって満足できるものではなかった。1966 年に WHO の援助を得てトンガ水道公社が設立され、市中心地域で水道による家庭用の給水を開始した。その後、給水地域の拡張に伴い、取水ポンプ、配水池の増設および配水管の延長が実施され、現在では、市人口 30,706 人 (1998 年) に対し給水普及率が 95% まで達している (現状給水地域を図 2-1 に示す)。

給水地域の中でも配管末端地域や高台に居住している住民の多くは水不足に悩まされており、需要のピーク時 (朝 7:00 および夕方 5:00 頃) には蛇口での水圧がほとんどないため、水が糸状にしか流れ出ない所もある。これら地域の住民は、家庭内に独自で貯留槽 (ドラム缶) を設置し、夜中に貯留したり、近くの軍隊基地や工場からのもらい水等で水不足をしのいでいる。これら対策をしてもシャワー、洗濯の回数は著しく制限されるなど、不便な生活を強いられている。

2) 雨水の利用

市の住民の約 60~70% は雨水貯留槽を持ち、飲料用として利用している。雨水は水不足に備えるだけでなく、水道水に比べ軟水であることから、味が良いと言う理由で飲用されている。雨水は、家庭の屋根で雨を受けタンク (標準 2 m³) に貯水し使用しているために、屋根からのごみや細菌の混入が考えられること、密閉タンクの清掃の問題等、飲料として使用する場合、雨水は必ずしも安全な水とは言えない。また、過去の降水量が少なかった年 (1996 年) には 2~3 ヶ月間貯水ができず、安定した水源とはいえない。



凡例

- 取水井戸 (Water Well)
- 配水池 (Distribution Reservoir)
- 既存主要配管 (Existing Main Pipeline)

図2-1 既存給水区域

3) 水使用量

水使用の実態を表2-9に示す。水道水使用量は年平均1人当たりになおすと84ℓ/人/日である。マスタープランの目標給水量が140ℓ/人/日であること、給水区域の約80%以上の住民が洗濯機を所有し、水洗便所、シャワーを使用している実態等を考えると、現状での雨水利用も含めた平均使用量としての87ℓ/日は低いといえる。

表2-9 水使用実態 (1998年)

需要者	水道公社水道水			雨水	合計水使用量
	(1) 給水人口/ 接続数	(2) 日平均使用 量(m ³ /日)	(3)=(2)/(1) 需要者当り 使用量	(4) 需要者当り 使用量	(5)=(3)+(4) 需要者当り使用量
生活用水	29,170人	2,446	84ℓ/人/日	3ℓ/人/日	87ℓ/人/日
公共用水	131接続	326	2,487ℓ/接続/日	124ℓ/接続/日	2,611ℓ/接続/日
商工業用水	540接続	487	901ℓ/接続/日	46ℓ/接続/日	947ℓ/接続/日
合計		3,259	112ℓ/人/日		115ℓ/人/日

注) 1: (1)接続数、(2)日平均使用量はTWB水道台帳(1998年7月～12月の平均)
 2: (3)及び(5)需要者当り使用量合計は使用量合計を給水人口で除したもの
 3: (4)雨水需要者当り使用量は現地インタビューから以下の通り推定
 生活用水: 飲用のみに使用する水量として3ℓ/人/日
 公共用水/商工業用水: 水道使用量に対し約5%の使用量

4) 不明水

不明水とは、配水池から配水される生産水のうち、配水施設での漏水や各戸の給水メータの誤作動等により給水メーターで計量されない水、つまり料金収入にならない水であるが、TWBの不明水率は1998年では53%であった。現状の有収率および漏水調査結果から推定した、生産水の水収支及び不明水の内訳を表2-10に示す。

表2-10 生産水の水収支と不明水の内訳

生産水 (100%)	有効水	有収水	給水メーターで計量	47%	有収水 (47%)
		管理損失 (有効無収水)	給水メーター誤作動	11~16%	不明水 (53%)
	不払い(消火用他)	2%			
	無効水	漏水	35~40%		

TWBの不明水の推移を図2-2に示す。組織強化プロジェクトによって料金徴収体制が強化され、管理損失の経年変化はあまりないが、漏水による損失が年々増加するために、全体として不明水の増加となっている。

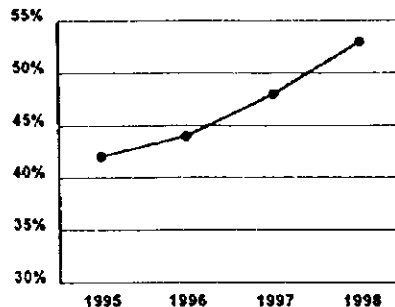


図2-2 不明水率の推移

5) 水圧のアンバランス

市内への給水は配水池からの自然流下によって供給されているが、配水池の水位が低い(海拔標高+24m)ので、最大静水圧も約 20m と小さい。従って、給水水圧も制限される。「ト」国の設計水圧基準値は 10m である。給水地域の水圧の現況を図 2-3 に示す。

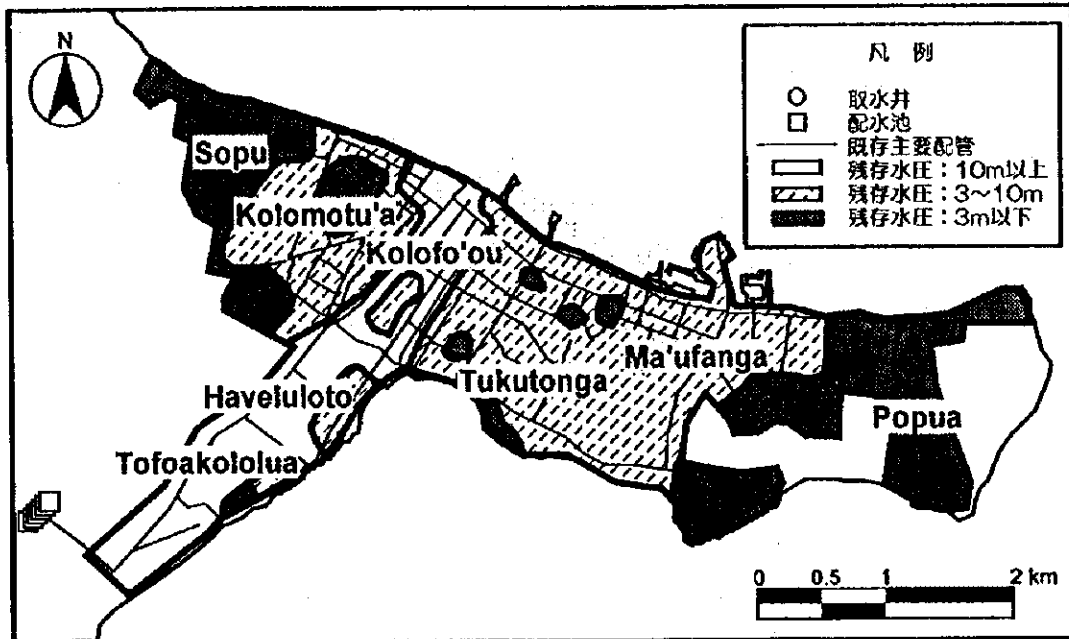


図 2-3 給水地域の水圧

西部地域は配水池から比較的近い地域なので、ある程度の水圧を確保できるが、配管末端で口径が小さいので時間帯によっては低水圧になり十分な給水を得られない。特に海岸沿い西側末端の Sopus 地区では水圧が低い。また、東部地域は配水池から最も遠い地域で、東進するほど低水圧傾向が顕著となり、最東端の Popua 地区では水圧が殆ど無い。これらの水圧の低い地域では、必要量の給水が得られない場所でもあるため一人当たりの給水量は 30~50 ℓ/人/日と低い。一方、官公庁・ホテル・商店街が集中する市中心部は、配水池・配水本管から近いので、比較的十分な給水圧力が確保されており、一人当たり平均使用量は 130~140 ℓ/人/日となっている。このように、水圧と水量が地域によって大きなアンバランスとなっていることが給水上の大きな問題となっている。

水圧のアンバランスの原因は、管網解析結果から見ると、現行の管径が小さ過ぎ、また現在の配水方式は給水地域が全市 1 区域になっているので水圧の大きな不均衡が発生するからである。

(2) 水源

1) 帯水層

ヌクアロファ市の給水施設の水源地域となっている Matakī'eua 地区は、配水池が設置されている地点で海拔が 24m と高く、取水井戸群はこの西に 5km 離れた地点まで広がっている。この地域の地質は、大きく 2 層に分けることができる。第 1 層（表層）は火山灰起源による褐色～暗褐色のシルト質粘土層であり、第 2 層は珊瑚礁起源の石灰岩である。第 1 層の層厚はおおむね 2m から最大で 3～4m である。下部の石灰岩層は、風化や破碎の程度に幅があるが、全体としては透水性に富んだ帯水層となっている。

地下水は、空隙の多い石灰岩層中に不圧地下水として存在し、地下水位は全体として海拔 +0.5m 程度（地表面下 2～13m）である。モニタリング井戸による観測結果によれば、水面下 10m 程度以深では電気伝導度が高くなり、海水の影響を受けていると思われる。帯水層の様子を図 2-4（Matakī'eua 地区の模式断面図）に示す。

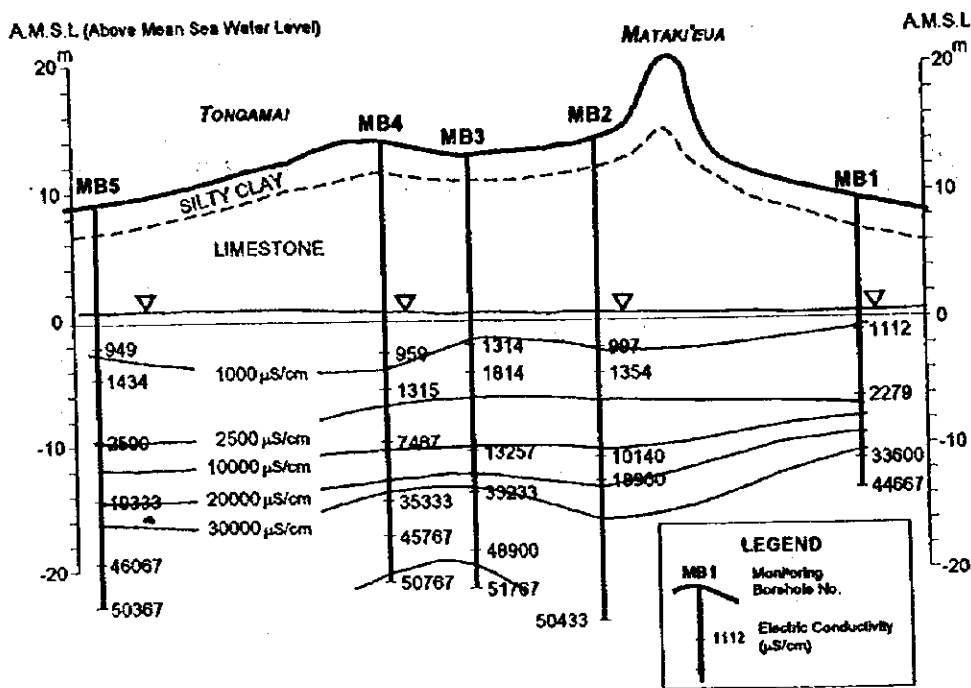


図 2-4 Matakī'eua 地区模式断面図

この帯水層の透水性は非常に高く、過去の地下水調査の結果から、帯水層の透水係数を、1300 m/day-2000 m/day と推定できる。前述のように帯水層は石灰岩層中の不圧帯水層であり、その貯留係数（比産出率）S は石灰岩層の有効間隙率にほぼ等しい。その場合、S は 0.2～0.3 とみなすことが出来る。

2) 賦存量

マタキエウア井戸群地域の地下水賦存量は以下の計算で求められる。

- [1]: マタキエウア井戸群の面積=2.75 km²
- [2]: 淡水レンズの厚さ=10 m (モニタリング井戸の観測結果)
- [3]: 帯水層となっている石灰岩層の有効空隙率= 0.2 ~ 0.3
- [4]: 賦存量=[1]×[2]×[3]=2,750,000 x 10 x 0.2 ~ 0.3
=5,500,000 ~ 8,250,000 m³

現在揚水されている1日7,000m³程度を維持するとすれば、約785~1178日分の容量ということになる。ただし、上の数字は、マタキエウア井戸群が設置されている限られた面積を対象に計算したものである。実際は、帯水層はかなり広い範囲にわたって連続して存在しており、井戸群から地下水を揚水すれば、それに応じて井戸群周辺域の帯水層からの流入が生じている。

帯水層は、降水による涵養も行われており、一定の揚水量が継続されれば、降水による涵養、井戸群に隣接する周辺帯水層からの流入、帯水層を経由した地下水の流出、下部からの塩水の影響などの地下水の流出・流動状態が平衡を保つことになる。現状では、既存揚水量7,000m³/dで平衡状態が成立していると考えられる。

3) 涵養量

過去10年の涵養量は、1988年から1998年までの10年間の月平均気温及び月平均降水量から、以下の水収支式で年間涵養量を算出できる。

$$Gr = P - E - R - dM$$

Gr: 地下水涵養量

P: 降水量

E: 蒸発散量

R: 地表流出量

dM: 不飽和体の土湿変化

一つの季節サイクルである一年間を対象とすると、dMは、P、Eと比較して無視出来るほど小さくなると考えられる。また、トンガタブ島では全体に表層の土質の浸透性が高いことと、地形の高低差が少ないために、降水は流出する以前に大部分が地下浸透をするか蒸発してしまう(トンガタブ島には河川が存在しない)。そのため地表流出量Rは非常に小さ

い。ヌクアロファ市街などの舗装された地域以外は、地表流出量ゼロとしている。 $R=0$ と仮定すると、年間の地下水涵養量は、年降水量 P から年間の蒸発散量 E を差し引いたものとして計算出来る。

Turc の式によって求めた蒸発散量 E を用いて計算した結果から、1989～1998年の、平均年降水量は1585mm、平均涵養量は439mmであり、比率は降水量の27.7%となる。平均涵養量439mmを量として換算すると、約1200 m³/km²/dayとなる。この降水量と涵養量の比率は年間の降水量の値によって大きく変動している。例えば、マスタープランでの計算によれば年間降水量が800mm程度の年(1981、1983)は涵養量がゼロとなっており、最近10年でも降水量が1033mmの年(1992)は計算涵養量は132mm(12.8%)、1015mm(1995)では涵養量は119mm(11.7%)となっている。

現在のマタキエウア井戸群の面積は3km²弱であるが、帯水層はマタキエウア地区を中心に大きな広がりを持っているものと考えられる。トンガタブ島の西半部の約60km²を涵養域と考えると、年間の平均涵養量は26,340,000 m³(72,000 m³/day)となる。

ただし、島嶼の場合、この涵養量のすべてが開発可能というわけではない。マスタープラン(TWB, 1992年)では、得られた年平均涵養量(528mm)の20%、すなわち106mm/yearをトンガタブ島における暫定的な持続可能揚水量としている。先に求めた最近10年の年平均涵養量にこれを当てはめると、トンガタブ島西半部全域での開発可能量は、5,268,000 m³/year(14,400 m³/day)となる。マスタープランでも検討されているとおり、これらの値は現在得られるデータからとりあえず見積もられた数値であり、今後、帯水層(淡水レンズ)の広がり・形状や地域の水理地質構造などを明らかにしてゆくことにより、さらに詳細に検討してゆく必要がある。

4) 地下水の水質

本調査での現地簡易水質試験(携帯式電気伝導度計)とTWBの水質実験室のデータから水源の電気伝導度は年間平均で1250μS/cmである。「ト」国の飲料水基準は電気伝導度に換算すると約2500μS/cm(塩素イオン濃度:600mg/l)以内であり、またWHOガイドライン値(WHO:世界保健機構)である1,300μS/cm以下でもあることから、飲料水として使用できる。

本調査で実施した、その他水質項目の分析試験結果およびWHOのガイドラインを表2-11に示す。

表2-11 水質試験結果

(単位: mg/L)

項目名	分析値	WHO	項目名	分析値	WHO
全硬度	205.2	300	マンガン	< 0.05*	0.1
カルシウム	55.8	-	カドミウム	< 0.001*	0.003
マグネシウム	10.5	-	砒素	< 0.001*	0.01
重炭酸	53.9	-	亜鉛	0.03	3
硫酸イオン	12.8	250	銅	< 0.01*	2
TDS(全溶解性物質)	605	1000	pH	7.7	-
アルミニウム	< 0.01*	0.2	有機リン	< 0.1*	-
鉄	< 0.01*	0.3	糞便性大腸菌	0	0ヶ/100mg

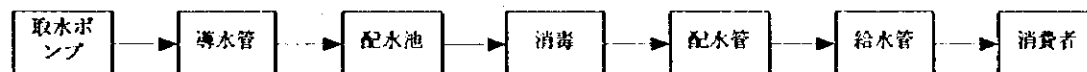
注) 採水日時: 1999年7月12日

* 定量下限値以下であることを示す。

水質全般ではやや硬度が高く TDS(全溶解性物質)も高いが飲料水として健康を害するおそれはなく、重金属類も検出されていない。水源付近の畑は焼畑式が多く、肥料はあまり使用していない。農薬類は、水源付近の畑に使用する殺虫剤のみでイソキサチオン等有機リン系が使用されている。有機リンの分析結果では、検出が認められない。

(3) 既存施設

既存水道施設の設計水量は約 7,000 m³/day である。施設内容は、地下水を水源とし、消毒を施した上、マタキエウアの高台にある配水池から自然流下で配水管により各戸給水するものであり、下記フローの通りである。



既存施設給水フロー

1) 取水施設

1997年7月現在、揚水可能な井戸が30井あり(そのうち2井(No.213、214)は1999年3月から新たに稼働開始したもの)、このうち13井は手掘り井戸、17井はボーリングマシンによる掘削井戸である。いずれも150mmのケーシング管が挿入されており、その中に取水ポンプおよび揚水管が収められている。この他に、廃棄された井戸の代替として掘削され、1999年8月にポンプ設置が予定されている井戸が1井(No.104)あり、1999年12月までには31井の稼働が見込まれている。

井戸現況調査と TWB 技術部月報(TWB Engineering Division, Monthly Report)による井戸の平均取水量は、現状では1井当り2.8~2.95 liters/secの取水量である。1井あたり取水量を2.9 liters/sec とすると、31井が稼働可能であることから、取水施設の最大取水可

量は、 $2.9 \text{ liters/sec} \times 31 \text{ wells} = 89.9 \text{ liters/sec} = 7,767 \text{ m}^3/\text{日}$ である。

ポンプの平均稼働率は、1999年1月から4月のTWB技術部月報によると、89.6%である。ポンプの運転状況は、ポンプ設備の老朽化により故障が多いために、必要稼働率を確保できないこともある。現在、予備ポンプが無く、また、ポンプ揚水管の引上げ作業も人力で行っているために、故障修理の際には取水井の稼働を長時間停止せざるを得ない状況にあり稼働率が落ちる原因となっている。

ポンプの多くはディーゼルエンジン駆動型であり、老朽化したエンジンからオイルが漏れ、地表に油膜が認められる。原水中に油の混入は認められない程度であるが、ポンプ小屋の床をコンクリートで遮蔽構造とするなどの対策により、油の地下浸透を避ける必要がある。近年建設されたポンプ小屋は、エンジンを屋内、ポンプを屋外と分離した構造としてあり、また、コンクリート床にオイル溜め用のピットを設置し、漏れた油を回収できる構造となっている。

2) 導水管

31個の井戸から取水された地下水は、8条の管路によってマタキエウア配水池に導水されている。管径・管種は下表のように、300mm (ACP:石綿セメント管) ~50mm (PVC:塩化ビニル管) で、総延長10,721mとなっている(表2-12 導水管・管種別一覧表、図2-5 導水管図参照)。

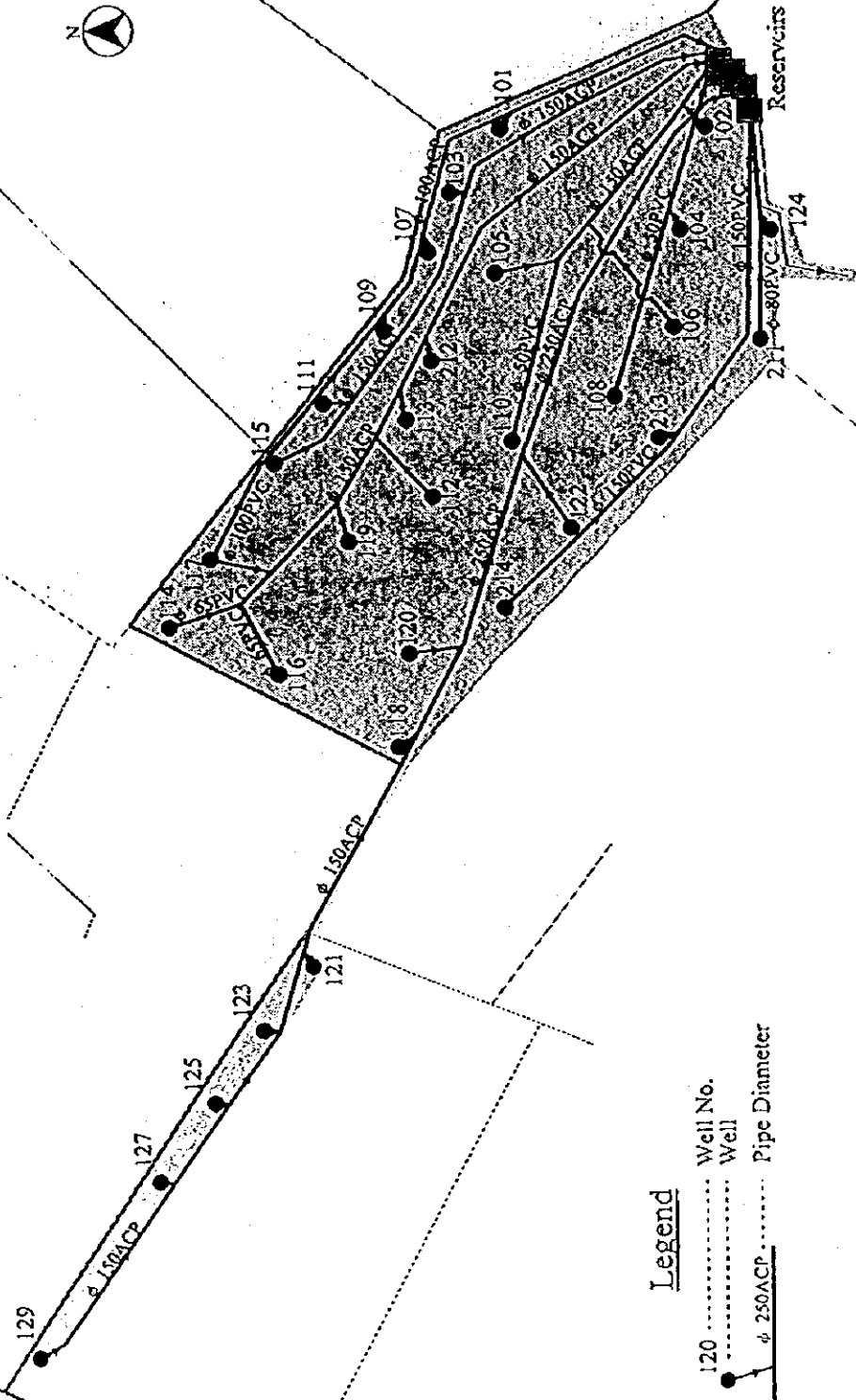
代表管路は井戸群のほぼ中央を西から東方向へまっすぐ配水池に向かう路線で、8か所の井戸からの地下水を導水している。延長は2,332mで、管径・管種は、250 mm ACP (1,248m) 及び150 mm ACP (1,084m)である。この管路について水理解析および取水ポンプ計算を行った結果、既存管路口径は既存井戸からの地下水をほぼ支障なく導水できる状態にある。

表2-12 導水管・管種別一覧表 (1999年7月現在)

口径	ACP 延長	PVC 延長	
300 mm	74 m	-	
250 mm	1,246 m	-	
150 mm	3,721 m	951 m	
100 mm	1,342 m	44 m	
80 mm	-	725 m	
65 mm	-	319 m	
50 mm	-	2,298 m	総延長
計	6,384 m (60%)	4,337 m (40%)	10,721 m

Mataki'eua Wellfield and Raw Water Mains

マタキエウア井戸水源および導水管路



Legend

- 120 Well No.
- Well
- φ 250ACP Pipe Diameter

ACPの老朽度（表2-13参照）について考察すると、代表管路である150mm ACPの年間平均事故件数が0.64であり、危険度指数（A）は $A=0.16$ と小さく、また、現場の状況としては、i) 現地踏査では地上漏水の兆候が見られなかったこと、ii) 同時に実施した簡易漏水率測定では、漏水率が数%以内程度の範囲であったこと、iii) 埋設現場はTWBの保全用地内であり、部外者の通行がなく、埋設管が外的衝撃・通行車輛等による繰り返し荷重を比較的受けていない。これらのことから、導水管の更新は本計画での緊急整備項目ではない。

表2-13 危険度推定法の老朽度ランク区分

老朽度ランク	事故率 A (件/km/年)				
	50 mm	75 mm	100 mm	150 mm	200 mm 以上
1	$A > 8.3$	$A > 3.7$	$A > 3.0$	$A > 1.7$	$A > 1.3$
2	$8.3 > A > 3.3$	$3.7 > A > 2.3$	$3.0 > A > 1.6$	$1.7 > A > 0.7$	$1.3 > A > 0.4$
3	$3.3 > A > 0$	$2.3 > A > 0$	$1.6 > A > 0$	$0.7 > A > 0$	$0.4 > A > 0$
4	0	0	0	0	0

(資料：水道用石綿セメント管診断マニュアル)

3) 配水池

取水ポンプで揚水された地下水は導水管を経て全量が、海拔標高+24mの丘にあるマタキエウア配水場内の配水池に集水される。配水池は6池あり、すべて矩形の鉄筋コンクリート構造となっている。配水池容量を表2-14に示す。

表2-14 配水池容量

配水池	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	計
容量	317 m ³	323 m ³	286 m ³	479 m ³	1,055 m ³	1,055 m ³	3,515 m ³

配水池の全容量は3,515 m³であり、ヌクアロフア市の24時間水消費パターンでは、配水池の理論的貯水量は5.4時間分であり、現状、消火水量を見込んでも既存施設の最大配水量の11.4時間分に相当し、配水池容量として十分な量である。

実際の記録からも、既設配水池の有効水深3.0mのところ、常時変動（利用）しているのは、上部の1.0m弱であり（1999年7月8日の記録では、変動幅は上部の0.25mであった）、十分な余裕がある。

配水池の躯体は築造後30年以上を経過しているが、現状では壁体からの漏水は見られない。なお、配水池の流入および流出バルブで機能していないものがあり（流出弁100mm1個、150mm1個、流入弁100mm1個）、補修または取り替えが必要である。

4) 配水管

マタキエウア配水池に貯留された水は、配水管により自然流下で、給水管を經由して各戸へ給水されている。図 2-6 に配水管図を示す。

配水管管種は本管が ACP、支管が PVC である。配水管延長は表 2-15 のように、ACP (管径：300mm~100mm) 延長 18,734m (15%)、PVC (管径：100mm 以下) 延長 108,505m (85%)、合計延長 127,239m (100%) となっている。

表 2-15 配水管一覧 (1999 年 7 月現在)

口径	ACP	PVC	
300 mm	2,701 m		
250 mm	2,637 m		
200 mm	998 m		
150 mm	4,196 m		
100 mm	8,202 m	2,874 m	
80 mm		30,903 m	
65 mm		17,565 m	
50 mm		35,045 m	
40 mm		14,436 m	
32 mm		1,762 m	
25 mm		5,349 m	
20 mm		516 m	
15 mm		55 m	総延長
計	18,734 m	108,505 m	127,239 m

配水本管として使用されている ACP の殆どは 1966 年からの水道創設時期に布設された管であり、既に 30 年以上経過している。そのために老朽化が進み漏水事故の非常に多い配管系統である。

Existing Distribution Networks
(Nukualofa, 1999)

既設配水管網
(ヌクアロファ：1999年)



具体的な耐用限界を把握するために、①危険度指数すなわち過去の管修理頻度、②漏水率、③目視観察、④埋設環境、⑤関係者からの事情聴取等といった老朽化の判断データについて以下に示す分析を行った。

○ 危険度指数による判定

管の耐用限界を示す危険度指数に関する配水管の既存データは、事情聴取によって得られたデータを加えて、配水池から比較的近くに埋設されている大きな管（配水本管：径300mmと250mm、延長5,338m、これはACP配水管全長18,732mの28%に相当する）のみであった。1996年、1997年の年間平均事故件数は82.5回で、この配水管の危険度指数(A)はA=15.4であり、危険度1の基準値A=1.3を大きく超えていた。すなわち、耐用限度を超えている。

○ 漏水率による管の判定

漏水調査を100 mm PVC、150 mm ACP、200 mm ACPについて実施した。この結果をもとに、現地での管目視と管内圧力調査（管内圧力が高いほど漏水率は大きくなる）から、口径250 mm以上は口径200 mmの調査実測値と同率とし、またPVCは調査実測値をそのまま採用した。主な口径別漏水率を表2-16に示す。

表2-16 口径別漏水率

口径 (mm)・管種	延長	漏水率	管容積比 (1)	管容積比 (2)
300 ACP	2,701 m	44.2%	38.9%	60%
250 ACP	2,637 m	44.2%	26.4%	
200 ACP	998 m	44.2%	6.4%	
150 ACP	4,196 m	28.5%	15.1%	
100 ACP	8,202 m	28.5%	13.2%	
PVC	108,505 m	26.3%	—	40%

上表から、各口径別の配管延長距離から口径別の管容積を求め、口径別の容積比が求められる。各口径の給水圧力は一定であるとの仮定から、ACP全体の漏水率は口径別管容積比から39.7%となる。また、PVC全体の漏水率は26.3%であるからACP:PVCの容積比から配水管全体の漏水率は34.3%となる。

○ スクアロフアにおける既設ACPの実態調査結果

- i) 埋設管を目視すると、管表面は必ずしも老朽化が顕著ではない。ただし、カラー継ぎ手のシーリングにはゴムリングが使用されていて、回収されたゴムリングは悉くゴムの欠損が甚だしい。製造者であるオーストラリアのゴム会社からの報告によると、ある種のバクテリアによるゴム浸蝕被害であるとされている。この浸

蝕が進んでゴムリングが水圧に耐えきれなくなると、一挙に継ぎ手から漏水が発生するわけである。漏水している継ぎ手箇所から回収したゴムリングの浸蝕度合いから判断すると、既存埋設 ACP の全ての継ぎ手部分（4～6m ごとに継ぎ手がある）が同様の状態にあると予想される。なお、このゴム浸蝕は布設当時（1966 年）のゴム材質に起因している。生ゴム（天然ゴム）またはそれに近い材質のものであったので、バクテリアによる経年浸蝕を受けた。ただし、最近使用しているゴムリングは全て合成ゴム製となっていて、これは耐バクテリアの材質となっている。従って布設替えすれば、この浸蝕被害はないものと判断できる。現に、ヌクアロフアでも、ACP 以降に布設された PVC の合成ゴム製シーリング材には浸蝕が見られない。

- ii) ACP の管体からの漏水は、継ぎ手部分での漏水に比べて少なく、土壌条件や埋設状況により異なるが、老朽化の進んだ管において漏水が発生している。また、分岐管の接続部分及び締め付けボルト部分などからの漏水も発見されている。
- iii) TWB は ACP の漏水箇所の修理に多大の労力と費用を投入している。漏水修理のために漏水箇所の掘削、継ぎ手の取り替え、埋め戻しは漏水修理班が担当しているが、全て人力で実施しているために、効率が悪い。費用としても、継手管は内面ゴム張りのステンレス・スチール製の特製製品で、オーストラリアから輸入している高価品（300 mm 用で約 T\$200）である。
- iv) 小口径の ACP（150/100mm）は配水池から遠距離に埋設されているが、距離に反比例して水圧が低くなっているため、漏水は発見されにくく、漏水率としては径の大きい管（300/250mm）よりも小さい。しかしながら、継ぎ手は大口徑と同じシーリング材であるため、浸食による漏水は起きていると推定される。

以上の調査結果から、ACP は漏水率および漏水原因から全ての配管が使用限界にきていると判断される。PVC は比較的漏水率も低く、管使用年数も新しいために部分修理で今後とも使用できる。

5) 塩素処理

配水の消毒のために、塩素剤として粒状の次亜塩素酸カルシウム（有効塩素分 65%）を使用している。塩素の注入は、次亜塩素酸カルシウムをバケツに溶いた溶液を毎日午前 7 時と夕方 7 時の 2 回、配水池 No. 6 に人力で投入するものである。そのため、末端での残留塩素は時間帯により大きくばらつき、基準の 0.2～0.5mg/l をはるかに超える値がでるときと、ほとんど残留塩素が検出しない時間帯がある。現状の注入システムでは安定した残留塩素

濃度の確保が困難となっている。

また、職員は人力で溶解・投入する作業をしているので、薬液の付着等により、皮膚のかぶれ等に悩まされている。

(4) 機材の現況

TWB の運営と維持管理に係わる機材の概要を表 2-17 に示す。維持管理の中で最も深刻な問題は、取水設備の維持管理である。現在、老朽化したポンプが多く故障率が高くなっている反面、修理時のポンプの取外し・取付けは手作業で実施されている。ポンプ修理時には運転が休止する。そして保守のための時間がかかりすぎて設備の運転率が 90%と低下している。

TWB は漏水箇所を多数抱えているなかで、漏水調査および修理のための掘削、埋め戻しなどの作業を手作業で行っていて、効率が悪いばかりか、漏水対策用機材を運搬するための専用車両がないため、漏水防止活動に支障をきたしている。

表 2-17 現有機材の概要

項目	使用目的	機材	使用状況
運営	経営、検針、料金徴収	コンピューター	・台数、人員は十分である。 ・操作技術は習熟している。
		車輛	・台数は使用目的に対し十分である。
技術	設計	コンピューター、プロッター	・台数、人員は十分である。 ・操作技術は習熟している。
施設維持管理	取水設備維持管理	車輛	・修理用ポンプは重いために運搬（積み込み、荷下ろし）に苦勞している。
		ポンプ修理工具	・ポンプの修理工具は十分である。 ・故障ポンプの取り外し、取り付けが手作業のために作業効率が悪い。
		給油用ローリー車	・使用目的に対し十分稼働している。
	配水設備維持管理	漏水調査器具（音聴棒、水道メーター、メーター用データロガー、仕切弁）	・音聴棒は使用されていない。 ・水道メーターは固定式で必要数量が不足している。また、設置のために断水が起きる。 ・仕切弁が不足しているために調査工程が大幅に遅れている。
		漏水修理工具（ガソリン発電機、電動カッター、止水バンド、手回り工具）	・電動カッターは老朽化しているために故障が多い。 ・漏水修理技術に習熟している技能者はいる。
		車輛	・車輛が他の業務との兼用のために漏水関連作業に支障をきたしている。
施設拡張工事	配管工事	スコップ等	・掘削、埋め戻しの工事効率が悪い。
		車輛	・長尺の配管材等の運搬に無理がある。

TWBの現有車輛リストを表2-18に示す。

表2-18 TWB保有車輛リスト

	車種	管理部署	車輛の主用途	購入年	走行距離 (km)
1	Nissan SKYLINE GXL	管理部	経営に関する連絡車輛 理事会 職員研修	1996年 中古	153,304
2	Toyota KIJAN VAN	財務部	経理事務(銀行ほか) 検針 資材管理	1997年 新車	29,364
3	Toyota HILUX Dual Cab 4WD	技術部	取水施設維持管理	1998年 中古	39,080
4	Toyota HILUX Dual Cab 4WD	技術部 /財務部	不払対策 広報	1996年 新車	65,285
5	Toyota HILUX Dual Cab 4WD	技術部	漏水防止 水質試験 環境対策	1996年 新車	63,120
6	Toyota TOYOACE Van 2tons	技術部	住民サービス	1997年 中古	114,610
7	Toyota TOYOACE Van 2tons	技術部	建設工事	1997年 中古	178,661

(5) 施設維持管理のための要員体制

施設の維持管理はTWB技術部が担当しており、要員体制および業務内容は表2-19に示す通りである。

表2-19 TWB技術部の要員体制および業務内容

部門	主な業務内容	要員数
生産課	取水施設の運転・管理、配水池の管理、塩素注入	10名
計画課	水道施設の計画、漏水対策	9名
配水課	給配管工事、水道メーター保守	9名
水質課	水源及び給水の水質検査	3名

取水設備および配水池の維持管理は、TWB技術部の配水場事務所が管轄しており、生産課職員がルーチン業務を担当している。

取水設備は、ポンプ及びエンジンの保守点検として、1日2回運転状況を確認し、その際、時刻と積算流量計の数字を記録している。これをもとに平均揚水量を算出し、極端に少ないなどの異常値が出た場合、ポンプ等の詳細な点検を行うこととしている。また、ポンプ

メーカーによる定期点検マニュアルをもとに定期的な点検も行っている。破損した部品等の修理も行っているが、経済的事情等で純正の部品を手に入れることが出来ないため、有り合わせの材料による補修で賄っている現状である。

配水池に関しては、配水池水位の監視・流量記録および塩素注入を主業務として行っている。

配水管の漏水対策として、計画課の漏水調査班 3 名が漏水調査を実施しており、また配水課職員の 6 名が管路の維持管理・補修を行っている。

現在、TWB の漏水調査はステップテストの名称で実施されている。ステップテストは給水区域を 8 区域に分割し、各区域について個々の漏水率を測定するものである。ステップテストの各区域を図 2-7 に示す。市の中心地区である No.8 地区は、ステップテスト実施のために起こる断水および交通渋滞などの影響が大きいため、現在保留となっている。なお、本計画実施後の漏水対策については 3-3-2 項(4)基本計画の中で述べる。

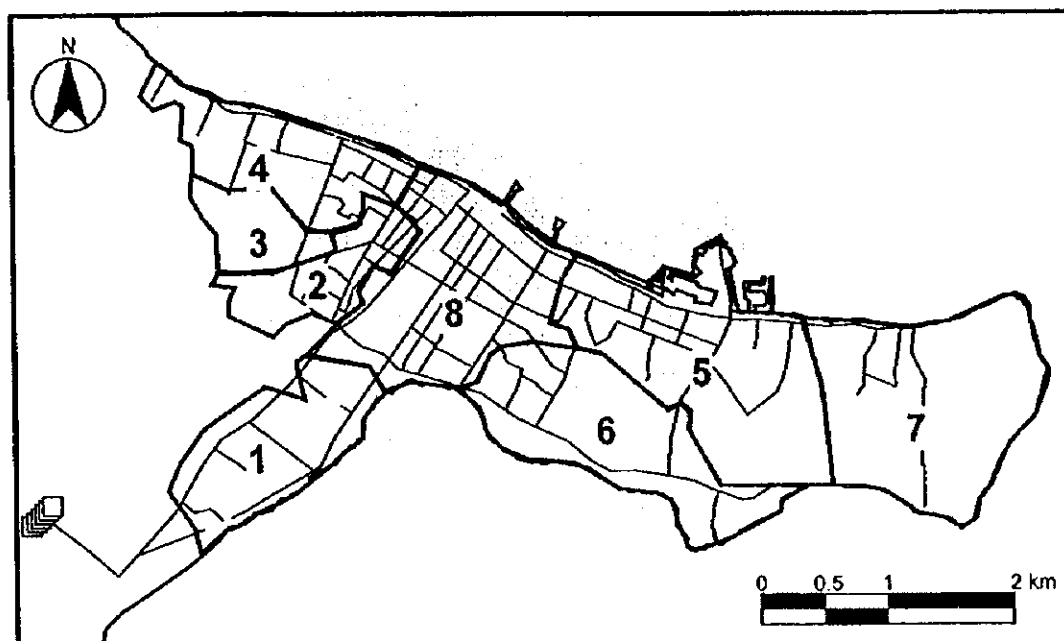


図 2-7 ステップテスト区域図

ステップテストの概念図を図 2-8 に示す。ステップテストでは、調査準備として、流量計および各弁を配管上に取りつける。配水区域 A から C までの全区域調査のために、弁 1 を閉じて流量計で流量の時間推移を記録する。次に弁 2 を閉じ、給水地域 A および B のために、順次弁 3、4 を閉じる。調査は最小流量法という方法で、一番使用量の低い夜間で、漏水量を推定する方法であり、調査は夜間 2 時以降から明け方にかけて実施される。

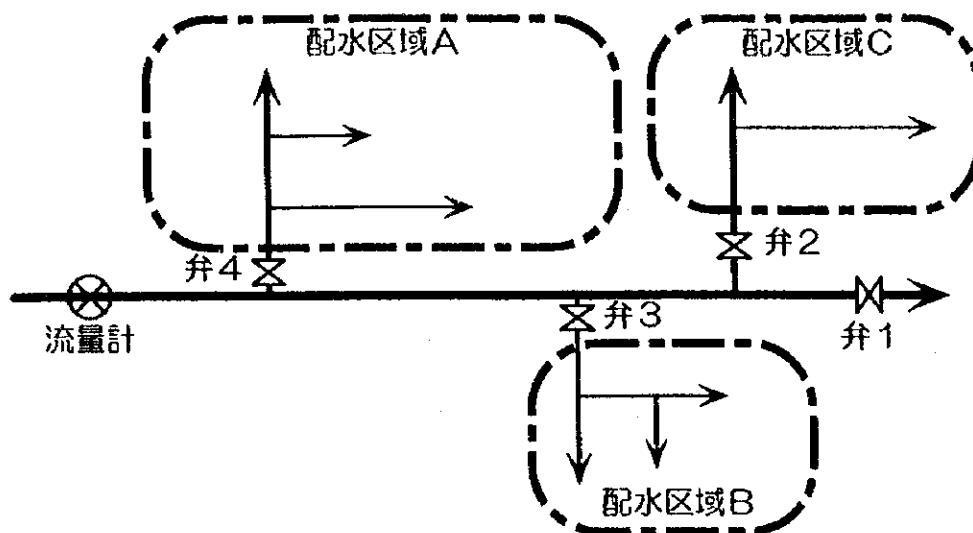


図2-8 ステップテスト概念図

この調査の現状の問題点は以下の通りである。

- 調査に必要な弁類が不足しており調査が予定通り進んでいない（当初計画では1998年末に終了であったが、1999年7月現在、1区域の調査を終えたのみである）。
- 設定された地区別の漏水状況の把握はできるが、漏水個所の特定には時間がかかる。
- 最小流量法（需要量がゼロに近い状況下での調査方法）であるために、調査地域に夜間操業の工場など有る場合、調査精度が落ちる。
- 流量計は配管を切断し接続する直結型のために、取り付けのために本管の断水をしなくてはならない。

ステップテストは、漏水地域の特性を把握するには有効な漏水調査方法である。しかし、以上述べた問題点を解決し、漏水箇所の特定をするためには、ステップテストと組み合わせた詳細テストの実施が必要である。また、流量計の改善等が必要である。

2-5 環境への影響

本計画を実施することによる環境への影響は、実施後の地下水の塩水化、排水量の増加が最も懸念される。また、工事期間中の残土処理についても環境問題となる恐れがある。

(1) 地下水の塩水化

島嶼の淡水レンズ型帯水層の利用という状況から、過剰な揚水は地下水の塩水化を引き起こす可能性がある点に十分留意しなければならない。本調査時での水質試験および TWB 水質実験室のデータから、大きく以下の 3 つの時期に分けて変化している傾向を見ることができる。

1966 年～1979 年 : 電気伝導度が 750 μ S/cm 前後

1980 年～1994 年 : 電気伝導度 1000 μ S/cm 前後

1995 年～近年 : 電気伝導度 1250 μ S/cm 前後

この傾向は、一般的には次のように説明出来る。すなわち、ある揚水量のもとでは、降水による涵養、井戸群に隣接する周辺帯水層からの地下水の流入、下部からの塩水の影響などが、一定の平衡状態に達しており、その揚水量が維持されている限りこの平衡状態は保たれ、水質（電気伝導度）も比較的安定している。その後揚水量が増えたり涵養量が大きく変化するなど、平衡状態の条件が変わると、一時的に平衡が崩れ、やや塩水の影響が大きくなり電気伝導度が上昇したところで、あらたな平衡状態になる。

マタキエウア井戸群の場合、マスタープラン作成時（1991 年）には稼動井戸が 22 井であったが 90 年代半ばにさらにポンプが追加され全体の揚水量が増加し（1999 年では 30 井が稼動）、それにつれて電気伝導度の変動傾向が見られることは、上記のような現象が生じていると考えることが出来る。その場合、現在の揚水量の状態を保つ限り、電気伝導度はここ数年見られる 1250 μ S/cm を推移する状態を保つことになる。

国土・地理・天然資源省は水理地質課が島内全域の井戸について定期的にモニタリングを行っており、塩水化が急激に進展しているという認識ではない。

これらのことから、現時点ではマタキエウア井戸群周域での急激な塩水化の進行は生じておらず、今後も現状の揚水量が保たれる限り、平均的には 1250 μ S/cm 程度の水質が保たれることが予測できる。本計画では新たな水源開発を計画しないことから、塩水化に対する問題は生じない。

しかしながら、将来、水需要量の増加に伴い水源開発が必要になる場合には開発地域に対し新たなモニタリング井戸を建設し、地下水の水質を管理する必要がある。

(2) ACP（石棉セメント配管）の処置

本計画では ACP の配水管はすべて更新される。その際、既存管はそのまま地中に埋没したままとなる。石棉の組成は珪酸塩を主体とした繊維状鉱物であり、鉱物自体は有害物質ではない。また、長時間経過しても化学反応によって有害物質に変化もしない。但し、掘り起こした場合、完全に処理しなければ、風化等によって粉末がでる粉塵公害の原因ともなる。ACP の処理は原則として「ト」国負担となるが、ACP の処理設備は、現在、「ト」国にはなく、また処理費用も TWB が負担できるものではない。以上の状況から、更新後、そのまま地中に残すのが最良の策であると考えられる。

(3) 給水量の増加に伴う排水量の増加

本計画によって約 20%近い使用水量の増加が見込まれる。使用水量の約 90%は生活用水として使用される。現在計画給水地域の約 85%の世帯が各戸で合併浄化槽を有しており本計画で増加される水量はこれら浄化槽で対応可能な範囲であると考えられる。また浄化槽を有しない 15%については、水量が少なく、周囲に対する環境汚染源となる恐れは少ない。

(4) 建設残土

本プロジェクトを実施すると、約 12,000m³の建設残土（新設管の周囲を砂で保護する計画であり、管体と砂の体積に相当する土量が残土となる）が発生する。残土処分については、トンガは標高の低い島であり、土の絶対量が少ないことから、土は貴重とされており、土を引き取る希望者（庭等の敷地内造成に土を用いる）が多数いるため、残土の処分は容易であり、環境への悪影響は発生しない。