

つくっている。南端部のDzalanyama Ridgeを水源とするNamitete川も乾期には殆ど涸れている。

3-2-3 地質

マラウイ国の大部分は、先カンブリア紀から古生代初頭におよぶモザンビーク造山帯に属しており、片麻岩を主体とする変成岩類と、これを貫入する同時代の斑れい岩、花崗岩等の深成岩が分布する。この他、国内には古生代末期カルー系の堆積岩類、中生代の火成岩類、中生代白亜紀以降の堆積岩類が分布するが、基盤岩であるモザンビーク帯の分布区域に比べるとごく狭い範囲である。

また、地質構造として重要なものは、新生代第三紀になって活動を開始した断層運動によってマラウイ国を縦断する地溝帯が形成されたことで、第四紀以降も地溝帯の周辺は破碎され、数多くの断層破碎帯や引張り割れ目群ができています。

計画対象地域は地溝帯の西側の高原地帯に位置し、Mchinji Ridgeを始めとする高地で基盤岩が露出する他、高原地帯は全般に第三紀以降の未固結堆積物によって被覆されている。地質層序は次記のとおりである。

(1) 基盤岩類

先カンブリア期から古生代前期の黒雲母変麻岩および石英・長石質変麻岩（一部グラニュライト）を主体に構成され、珪岩等を挟んでいる。岩質は硬質で、空隙の少ない岩盤よりなり、調査地域全域に分布している。縞状構造はN-S性又はNW-SE性の走向を持ち、傾斜は全般に垂直に近い。

(2) 貫入岩類

基盤岩類と同時代の貫入岩類が認められ、主に花崗岩類と変斑れい岩類によって構成されている。花崗岩類は、調査対象地域の西部からMchinji Ridgeにかけて分布している。一方、変斑れい岩類は、調査対象地域の東部が主な分布地域である。貫入岩類の分布する地域は風化を受けにくく、差別侵蝕により残丘状の特異な地形を形成している傾向が認められる。

(3) 堆積層

堆積層は、風化岩から土壌生成作用を受けた残留堆積物が主体で、次の4種類となる。

1) 赤色砂質粘土

東北から東部に分布し、鉄分を含み、薄いラテライト層を伴う。

2) 砂質土

西から南部にかけて急峻地の山麓部に分布し、花崗岩起源の崩積土で石英を多く含む。

3) ラテライト

熱帯特有の風化土壌で、対象地域全体に分布する。西側では上部が崩積土で覆われている。

4) 泥質土

Dambo、水路等の低湿地帯の表層に分布し、主に微細砂、シルト、粘土粒径の細粒子分によって構成されている。

(4) 地質構造

片麻岩類の地質構造は、N-SまたはNW-SE方向の走向を示し、Mchinji Ridgeに沿って向斜構造が認められる。この褶曲軸の走向とほぼ直交関係で断層が確認されているが、高原地帯は厚く堆積層に被覆されているため、その延長は追跡されていない。

以上の地質の分布状況は、図3-2-3および図3-2-4の地質構造図および東西方向の地質断面図に示すとおりである。

图 3-2-3 地質構造图

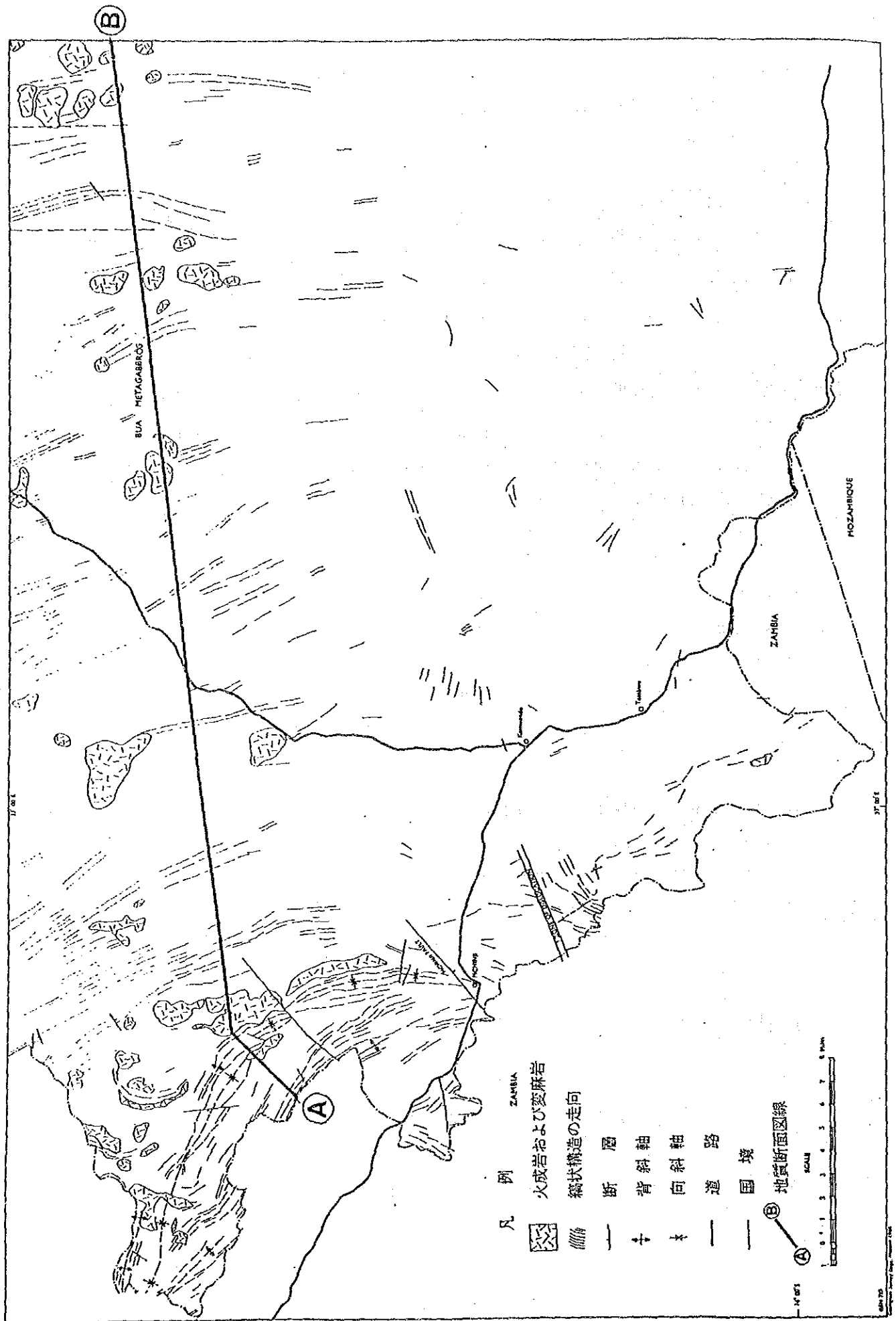
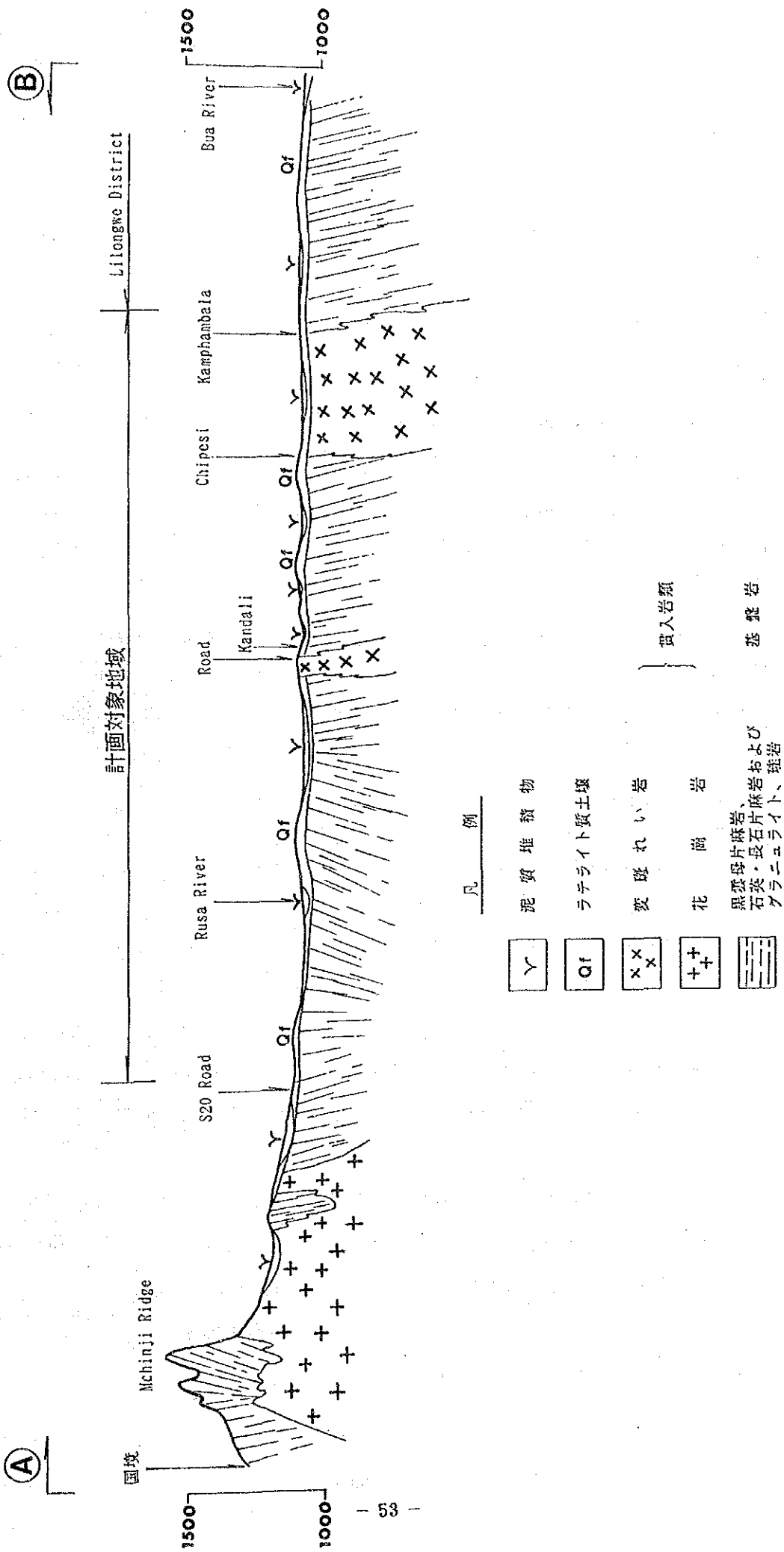


図 3-2-4 地質断面図

縮尺 V 1 : 20,000
H 1 : 200,000



3-3 水理地質状況

3-3-1 水理地質の概要

対象地域の水理地質の状況は、その地形および地質的な条件より次のとおり大別できる。

- (1) Dambo等の低湿地が発達する地形の平坦な高原地帯で、対象地域の大半が当地域に該当する。
- (2) 主に貫入岩体より構成された山塊の裾分でMchinji Ridgeおよびムチンジ県南部および南東分の丘陵（Hills）の周辺が該当する。

高原地帯は表層部に透水性の低い泥質土（シルト、粘土主体）の分布する場合が多いが、その下部にはラテライトや風化した片麻岩（土砂状～亀裂発達）が分布し、良好な滞水層となっている。

山塊部は、地形が急峻で雨水が流出しやすく、しかも表流水、雨水の地下への浸透がほとんど期待できない硬質岩を主体に構成されているが、山裾部では砂質土を主体とする未固結土砂、強風化岩、裂っかの発達した風化岩が分布し、滞水層となっている。しかし、未風化岩が浅所より分布する場合は、滞水層の分布は極めて貧弱となる。

いずれの地域でも、滞水層となるのは亀裂の発達した風化岩層が主体となる。また、平野部では風化の進行程度により図3-3-1に示したように2つのTypeの滞水層に区分される。Type-1の滞水層は山裾部にも共通する、亀裂の発達した風化岩層で、硬質部も含まれているものである。Type-2の滞水層は風化が進行し、粘土状～砂礫状部が主となっている強風化岩層となる。滞水層中の地下水は、雨期乾期の影響により水位が変動し易く、滞水層の分布条件は基盤岩の形状、地下水位に大きく左右される。

また、風化岩層以外では、断層等の構造線に沿って分布する基盤層中の破碎帯からも豊富な地下水が期待できる。しかし、対象地域の地形から判断すると、破碎帯の追跡には詳細な調査が要求される。なお、文献では対象地域東端を南北に流れるBua川に沿って構造線が通っていることも指摘されている。

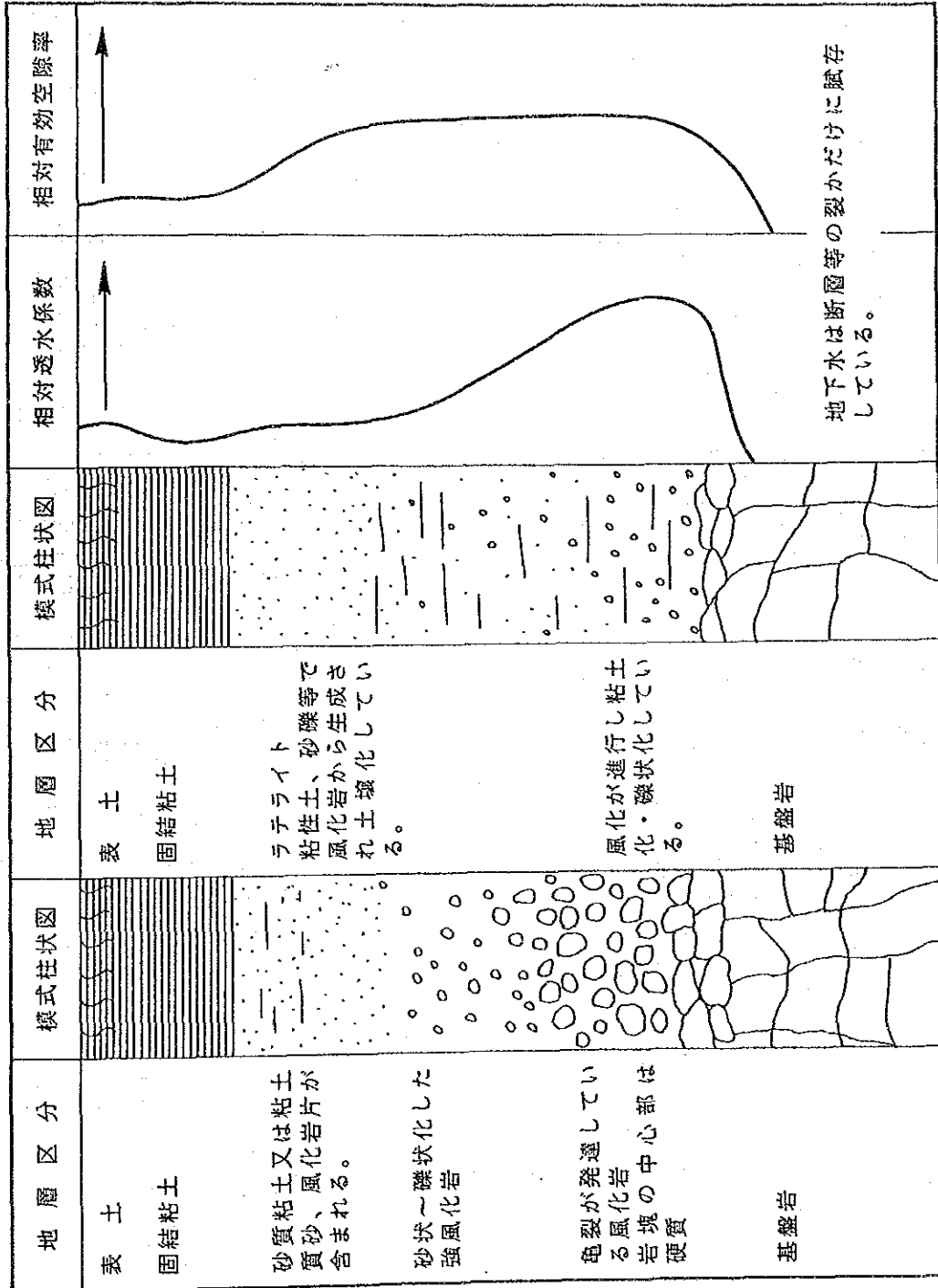
地表より涵養された地下水は、対象地域西側に位置するMchinji Ridgeから流出する現河川と同方向の動水勾配で南西から北東へ向かっていると考えられる（図3-3-2 水理地質図参照）。

また、一般に年間の水収支は次式によって概算する事ができる。

$$\text{降水量} \times \text{面積} = \text{蒸発散量} + \text{河川流出量} + \text{地下水涵養量}$$

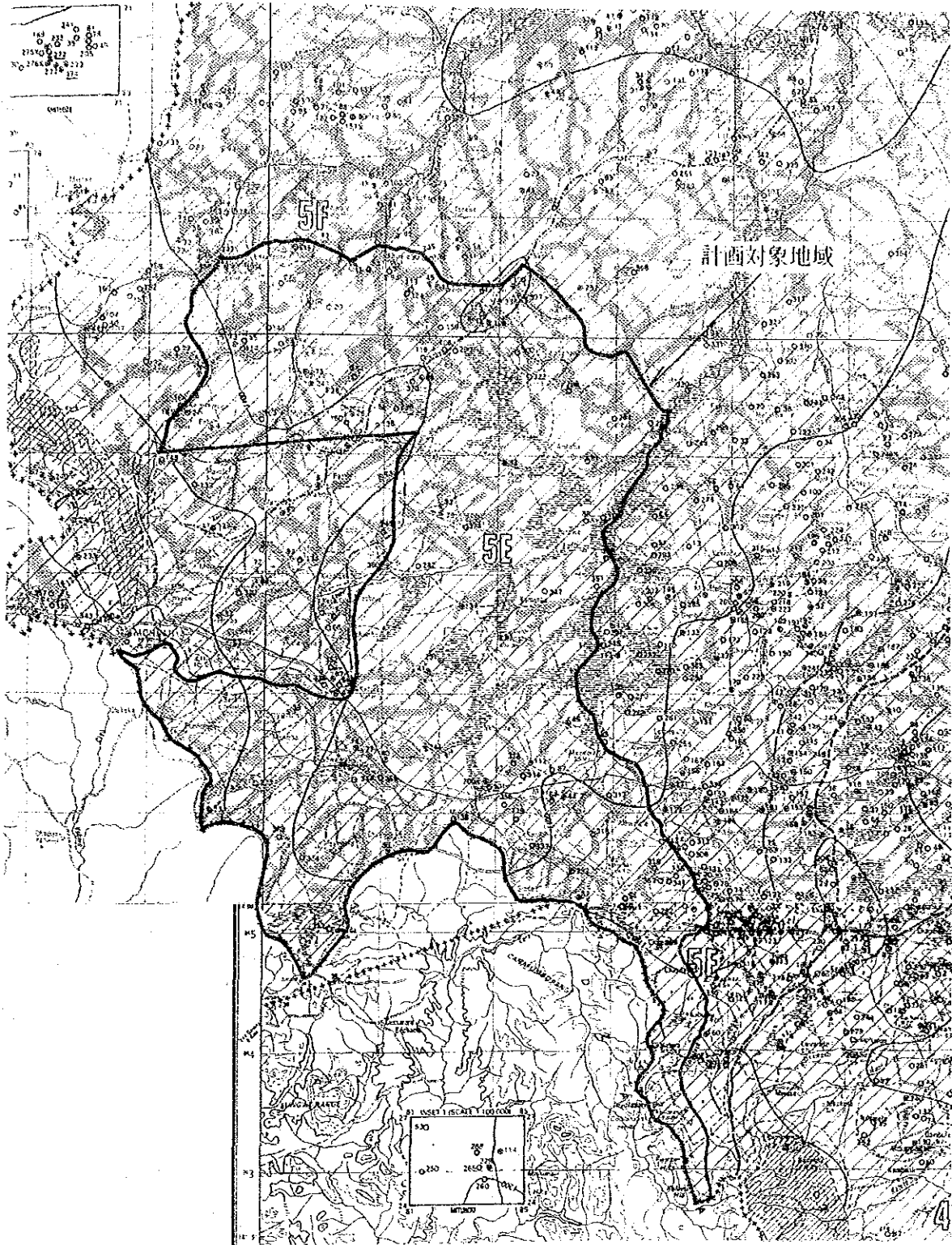
図 3-3-1 滞水層の様式図

Type 2



地下水は断層等の裂かだけに賦存している。

図 3-3-2 水理地質図



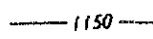
凡 例



裂か水を賦存する岩盤地帯



自由面地下水を賦存する風化岩地帯



1150 地下水位等高線

このうち、蒸発散量については、過大な測定例しかないため、対象地域と水理地質条件の類似したDowa Westでの資料を基に、目安としての地下水涵養量を試算する。

$$\begin{aligned} \text{対象地域の地下水涵養量} &= \text{面積} \times \text{平均地下水涵養量} \\ &= 1.730\text{km}^2 \times 16\text{mm}/\text{年} \quad \text{： Dowa Westの平均地下水涵養量} \\ &\approx 2.77 \times 10^7 \text{m}^3/\text{年} \quad \quad \quad (4 \sim 36\text{mm}/\text{年}) \end{aligned}$$

また、Dowa West地区の地下水涵養量の最低値4mm/年を使って計算しても、対象地域において $6.92 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$ 程度の地下水涵養量が期待できる。

3-3-2 地下水の賦存状態（電気探査結果）

対象地域内で電気探査を実施し、その結果および既存井戸資料を利用して水理地質構造の検討を行った。探査地点の選定にあたっては、山裾部を除けば、地形・地質条件に大差がないため、既存井戸の分布およびアクセスを考慮し、できるだけ広範囲をカバーできるようにした。各測点の配置は表3-3-1に示すとおりであり、探査位置については、図3-3-3に示した。

表3-3-1 電気探査位置一覧表

T. A. / S. T. A.	Zone 1	Zone 2	Zone 3	合計
T. A. Mlomyeni	9	—	—	9
S. T. A. Mavwere	9	—	—	9
T. A. Zulu	4	4	—	8
S. T. A. Mduwa	—	5	—	5
T. A. Mkanda	—	—	4	4
S. T. A. Dambe	—	5	2	7
合計	22	14	6	42

(1) 測定方法および使用計器

測定はWenner法を主とし、一部についてSchlumberger法の垂直探査を利用し、探査深度100m程度を目標とした。Schlumberger法において、低比抵抗層の測定で電位差が小さ過ぎて安定した結果が得られない事が起きた場合、

- 1) 電極の複数設置（特に電流電極）
- 2) 接地抵抗を低減させるための電極付近の散水
- 3) 印加電流を増加させるために高圧ブースタの使用

等の方法を採用し、探査の精度をあげるよう努めた。

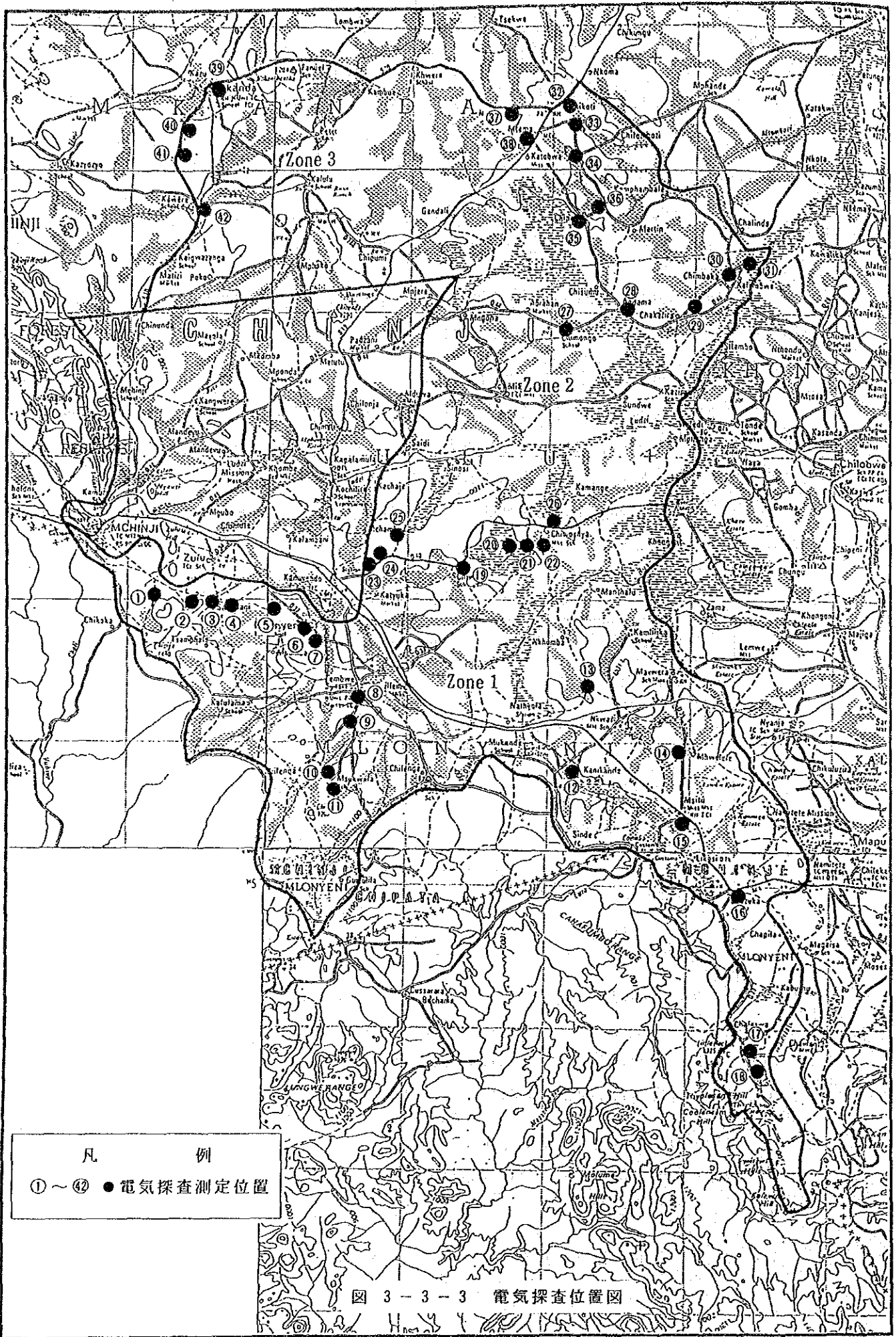


表 3 - 3 - 2 探査装置の仕様

機 種	仕 様
McOHM (日本製)	出力電圧：400V _{p-p} (定電流) 出力電流：1、2、5、20、50、100、200mA(定電流) 動作電圧：12VDC 入力インピーダンス：1MΩ 測定電位：±0.6V、±6V 分解能力：20μV スタック回数：1、4、16、64 データメモリ：ファイル登録 Max. 128 データポイント Max. 2000 インターフェイス：RS-232C

(2) 測定結果

各探査地点の測定データは、 ρ - a 曲線として資料編に、また、解析結果は図3-3-4の比抵抗断面図として整理した。地層は比抵抗値により3~5層構造として解析される。地表を第1層とし、以下第2層、第3層とすると、第3層が主な滞水層となる。滞水層は前述のように、地質によりType-1、2に区分され、第3層の比抵抗値が50Ω-m以上の場合はType-1に、50Ω-m以下の場合はType-2となる。これに対して、電気探査で得られた比抵抗層の分布は、基盤層の比抵抗値により表3-3-3に示すとおりA、B、Cの3つの型に分類される。

表 3 - 3 - 3 比抵抗値による層序区分

型	比 抵 抗 値 (Ω-m)			
	第1層	第2層	第3層	第4層
A	50~2,000	40~1,000	100~420	800 <
B	100~2,000	30~ 300	10~190	60~700
C	200~2,000	15~ 160	30~330	2~ 50

※ 第3層が主な滞水層となる。

1) A 型

この型が最も多く、探査地点の半数を占める。滞水層は風化岩層と推定され、良質な地下水が期待される。第4層は亀裂の少ない基盤層で透水性は低い。第4層までの深度および第3層の比抵抗値と厚さにより、水量が左右される。

破碎帯が分布しているケースだけで第4層からも採水が可能。

2) B 型

第3層は強風化岩~風化岩、第4層は風化岩~弱風化岩となり、共に滞水層であ

图 3-3-4 (1) 比抵抗断面图 单位: Ω -m

Zone 1 T. A. Mlonyeni

* Schlumberger's Electrode Array

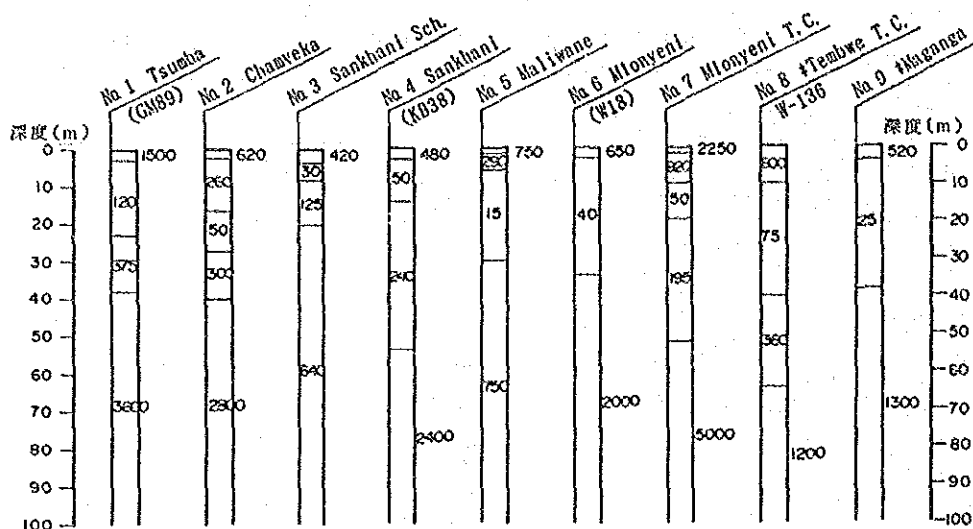


图 3-3-4 (2) 比抵抗断面图 单位: Ω -m

Zone 1 S. T. A. Mawwele

* Schlumberger's Electrode Array

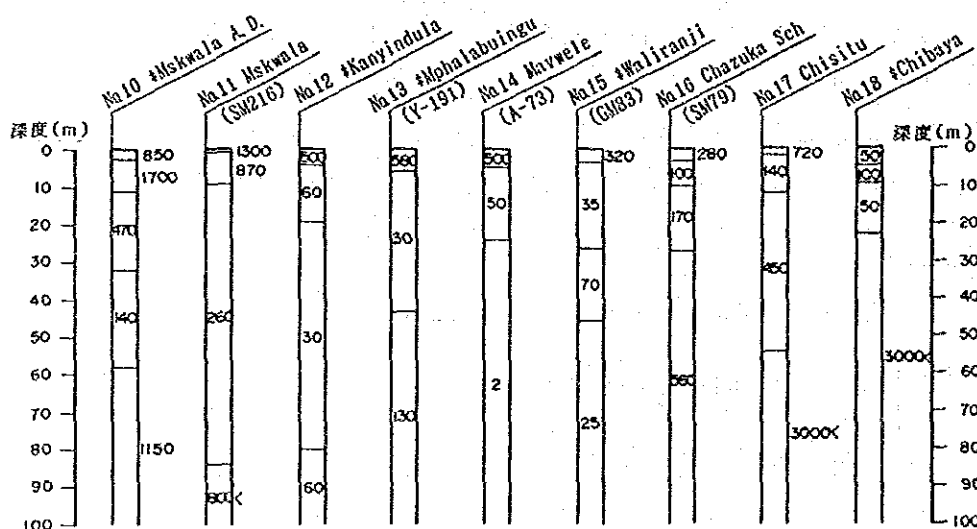


图 3-3-4 (3) 比抵抗断面图 单位: Ω -m

Zone 1 T. A. Zulu

Zone 2 T. A. Zulu

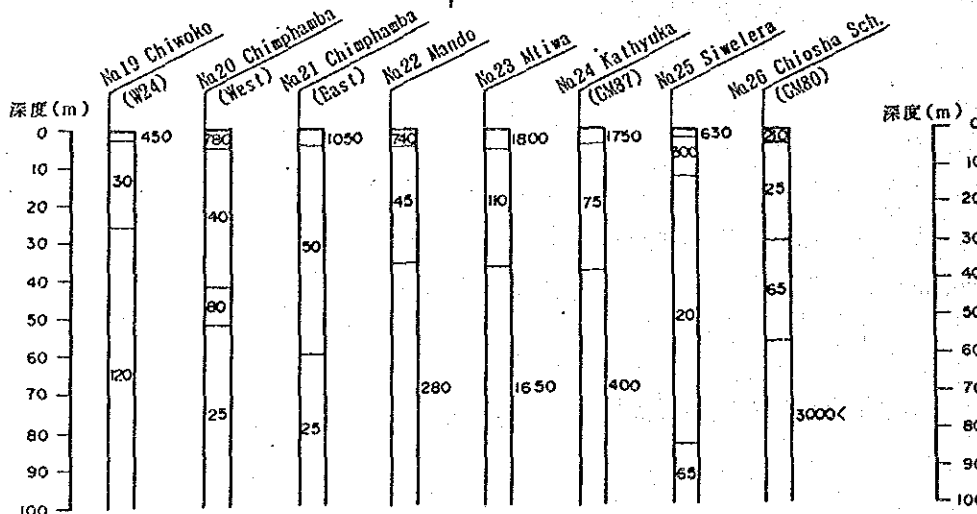


图 3-3-4 (4) 比抵抗断面图 单位: $\Omega \cdot m$

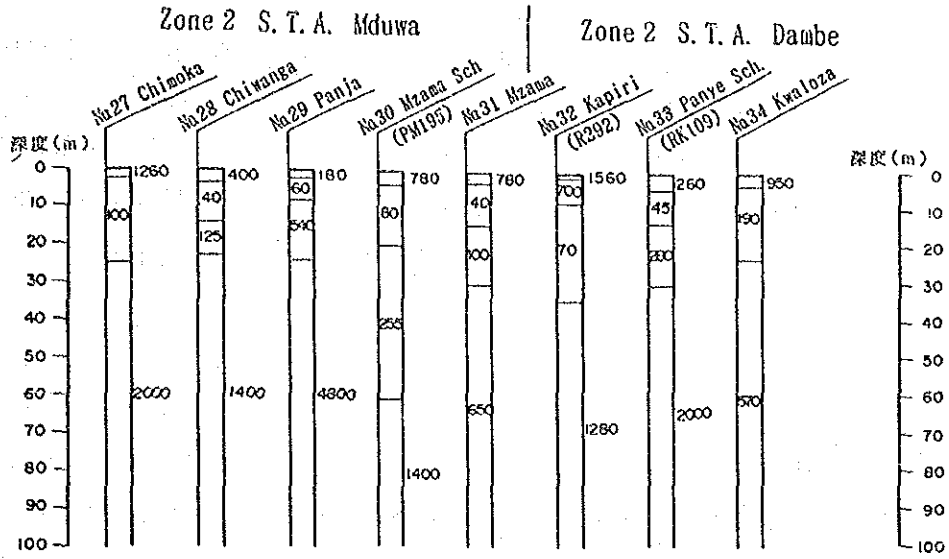
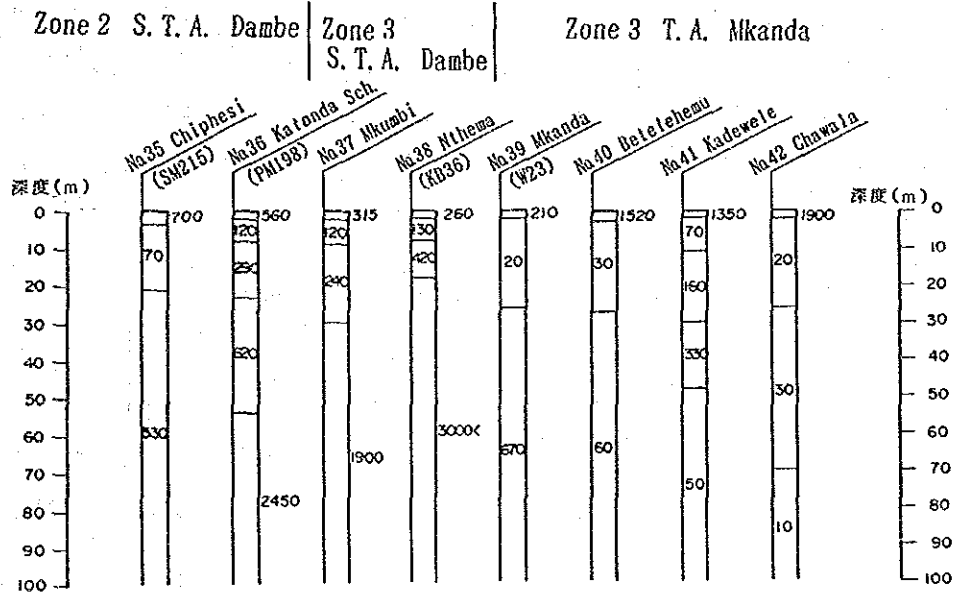


图 3-3-4 (5) 比抵抗断面图 单位: $\Omega \cdot m$



る。A型よりも第4層の比抵抗値が低い点が大きな違いとなる。この型では第3層の比抵抗値によって、さらに2つの型に区分できる。第3層の比抵抗値が $50\Omega - m$ 以下をB₁、それ以上を示す型をB₂とすると、B₁は風化が進行し、粘土化および砂状化している地層と推定され、透水性がやや低くなるか又は水質が悪い事が予想される。B₂の場合は、第4層までの深度が極端に浅くなければ十分な水量が期待できる。

3) C 型

この型の特徴は、最下層の比抵抗値がその上位の地層よりも低くなっている点である。地質構造から判断すると、最下層は基盤岩であり、低比抵抗をもたらす要因としては断層破碎帯が分布する場合と、地下水中に多量に含まれる電解質分（塩分）による場合とがある。既設井のA-73 (Zone 1、S. T. A. Mawwere) は後者のケースであり、塩分が多くて使用されておらず、この付近の電気探査の結果では典型的なC型の比抵抗分布を示している。この測点では、第4層の比抵抗値は $2\Omega - m$ 程度まで低下し、地下水の電気伝導度は $5,000\mu S/cm$ と見積られる。従って、掘削前の調査でC型の比抵抗分布が得られた地点については、深度、地下水の分析、比抵抗値を充分吟味し、場合によっては新設井戸建設地点から除外するのが妥当である。

表 3-3-4 電気探査結果総括表

Zone	T. A. / S. T. A.	分布する比抵抗層の型		
		A 型	B 型	C 型
1	T. A. Mlonyeni	7	2	0
	S. T. A. Mawwere	4	3	2
	T. A. Zulu	0	2	2
	小 計	11	7	4
2	T. A. Zulu	2	2	0
	S. T. A. Mduwa	4	1	0
	S. T. A. Dambe	2	3	0
	小 計	8	6	0
3	T. A. Mkanda		2	2
	S. T. A. Dambe	2		
	小 計	2	2	2
合 計		21	15	6

A型は対象地域の北東部および南部に集中し、B型は全域に分布する。C型は中央部で北東方向に並んでいる。B₁型もC型と同様の傾向が見られ、これらの分布を整理するとMchinji Ridgeの褶曲軸方向および南端部のDzalanyama Ridgeに平行し、この方向に断層等の構造線が分布する可能性がある。

各比抵抗層と対応する地質は次のようにまとめられる。

表 3 - 3 - 5 比抵抗値と地質の対比

地 層		比 抵 抗 値 ($\Omega - m$)	対 応 す る 地 質
第 1 層		50~2,250	乾燥した表土、粘性土、シルト、砂質土、ラテライト
第 2 層		25~ 290	湿潤な粘土、砂、シルト、強風化岩
第 3 層		15~ 540	強風化岩~風化岩(粘土化部~新鮮部まで変化に富んでいる)
第 4 層	A 型	800<	亀裂に少ない硬質岩盤
	B 型	60~ 750	強風化岩~風化岩、B ₁ 型のうち300 $\Omega - m$ 以下の地層は破碎帯の可能性がある。
	C 型	< 50	強風化岩~風化岩、破碎帯又は高濃度の電解質分を含む地下水が分布

(3) 滞水層の評価

滞水層の比抵抗値は、地下水の比抵抗値と密接な関係があり、次の式で示される。

$$\rho_a = F \times \rho_w$$

ρ_a : 地層の比抵抗
 ρ_w : 地下水の比抵抗
 F : 地層係数、地層の間隙率に関係し、滞水層の場合には一般的には1~8の間となる。

Fが小さい場合は、シルト、粘性土等の透水性の低い地層、大きい場合は亀裂の少ない岩盤となり、やはり透水性が低くなる。

既設井の地下水比抵抗値 $\rho_w = 30 \sim 100 \Omega - m$ が大部分となり、この値を前述の式に使うと滞水層の比抵抗値 ρ_a は、

$$\rho_a = F \times (30 \sim 100)$$

$$= 30 \sim 800 \Omega - m \quad (: F = 1 \sim 8) \text{ となり、}$$

この範囲の比抵抗値を示す地層が滞水層として必要条件である。

既設井付近の電気探査の結果と掘削資料をまとめると、表3-3-6になる。これらのうち、地下水の比抵抗値（電導度から換算）が測定されている資料について検討すると次のようになる。

滞水層の比抵抗値 $\rho_w = 30 \sim 670 \Omega - m$ 、 $F = 1 \sim 9.3$ である。

$F = 9.3$ とやや大きい資料が1ヶ所あるが、この測点の滞水層は比抵抗値が $280 \Omega - m$ となり、地層比抵抗値としては範囲内である。 F が1に近い測点では、滞水層および地下水の比抵抗値が共に低く、AおよびB型では基盤層までの深度が充分でないと揚水量が低下し、またC型では水質の悪化が懸念される。

(4) 電気探査のまとめ

対象地域内で実施した電気探査の結果を整理すると次のようになる。

- 1) 滞水層の比抵抗値は $30 \sim 670 \Omega - m$ である。
- 2) A・B型の比抵抗分布を示す測点で、滞水層の比抵抗値が $100 \Omega - m$ 以下の場合には、基盤層までの深度が25m以上ないと揚水量が低下する傾向がある。
- 3) C型の比抵抗分布が得られた測点は、滞水層の比抵抗値を検討する必要がある。特に、 $30 \Omega - m$ 以下の比抵抗層が測定された場合、深部の地下水の水質が悪化している可能性が高く、掘削地点から除外するのが妥当である。
- 4) 基盤層（第4層）までの深度は次のようになる。

	<u>平均深度 (m)</u>
A型	44.0
B型	30.0
C型	50.0

B型については、基盤中に亀裂が発達している事から更に深く掘削した方が揚水量の増加が期待できる。なお、各電気探査測点の評価については表3-3-7に示すとおりである。

表 3 - 3 - 6 電気探査結果と既存井戸資料

Zone	T. A. / S. T. A.	Borehole No.	掘削深度 (m)	揚水量 (ℓ/min)	電導度 ($\mu\text{S/cm}$)	滞水層		地質	備考
						比抵抗 ($\Omega\text{-m}$)	深度 (m)		
1	T. A. Mionveni	GM 89	35.0	90.0	—	375	38		故障中
		KB 38	—	—	—	240	54		建設中
		W 18	36.0	72.0	—	40	34	強風化岩	粘土化部多い
		W 136	33.0	24.0	—	75	40	強風化岩	砂状
	S. T. A. Mavwere	SM 216	45.0	27.0	213	260	82		
		Y 191	45.0	30.0	—	30	43	風化岩	
		A 73	48.2	54.7	—	50/2	24	強風化岩	砂礫状、一部粘土化 塩分多く未使用
		GM 83	36.4	124.0	—	35/70	27/46		
		SM 79	45.0	85.5	270	170/560	27	風化岩	
	T. A. Zulu	W 24	30.5	54.0	165	30/120	26	フリット	
2	T. A. Zulu	GM 87	35.0	60.0	—	75	38	風化岩	
		GM 80	35.7	60.0	—	25/65	30/50		
	S. T. A. Mduwa	PM 195	58.8	54.0	331	255	61		
	S. T. A. Dambe	R 292	61.0	12.6	191	70/1.275	34	風化岩	
		RK 109	45.0	48.7	335	280/2.000	30		
		SM 215	45.0	108.0	—	70/530	21	風化岩	
		PM 198	45.0	33.0	274	290/620	23/54		
	T. A. Mhanda	W 23	30.0	18.2	467	20/670	26	強風化岩	砂礫状
3		GK 228	29.6	78.0	560	20~30	26		
	S. T. A. Dambe	KB 36	—	—	—	420/3.000<	18		建設中

表 3 - 3 - 7 (1) 地下水開発評価

No.	Zone	T. A. / S. T. A.	Village	滞水層		型	評価	備考
				比抵抗 (Ω -m)	深度 (m)			
1	1	Mlonyeni	Tumba	375	38	1-A	○	GM-89 揚水量90ℓ/min
2			Chamveka	300	40	1-A	○	
3			Sankhani Sch.	125	20	1-B	△	浅いため揚水量が少ない
4			Sankhani	240	54	1-A	○	KB-38 建設中
5			Maliwani	15	30	2-B	△	比抵抗が低い
6			Mlonyeni	40	34	2-A	○	W-18 揚水量72ℓ/min
7			Mlonyeni T.C.	195	52	1-A	○	
8			Tembwe T.C.	360	64	1-A	○	W-136 揚水量24ℓ/min、掘削深度不十分(33m)
9			Maganga	25	38	2-A	△	比抵抗がやや低い
10		Mawwere	Mskwala A. D.	140	58	1-A	○	
11			Mskwala	260	82	1-A	○	SM-216 揚水量27ℓ/min、掘削深度不十分
12			Kanyindula	30	80	2-B	△	基盤の比抵抗が低く水質に注意
13			Mphalabungu	30	43	2-B	○	Y-191 揚水量24ℓ/min
14			Mawwere	50	24	2-C	×	A-73 揚水量54.7ℓ/min、水質悪く未使用
15			Walliranji	70	46	1-C	○	GM-83 揚水量124ℓ/min

注) ○ : 有望な滞水層が分布する。
 △ : 揚水量が少ないか又は水質の悪化が懸念される。
 × : 掘削地点としては不適である。

表 3-3-7 (2) 地下水開発評価

No	Zone	T. A. / S. T. A.	Village	滞水層		型	評価	備考
				比抵抗 (Ω -m)	深度 (m)			
16	1	Mawere	Chazuka Sch.	170	27	1-B	○	SM-79 揚水量85.5ℓ/min
17			Chisitu	450	54	1-A	△	風化岩層が浅部から分布
18			Chibaya	50	23	2-A	×	基盤が浅すぎる
19		Zulu	Chiwako	30	26	2-B	○	W-24 揚水量54ℓ/min
20			Chimphamba (West)	80	52	1-C	○	
21			Chimphamba (East)	50	60	2-C	○	
22			Mando	45	36	2-B	○	
23	2	Zulu	Mtiwa	110	37	1-A	○	
24			Kathyuka	75	38	1-B	○	GM-87 揚水量60ℓ/min
25			Siwelerera	20	84	2-B	△	比抵抗値が低い
26			Chiosha Sch.	65	57	1-A	○	GM-80 揚水量60ℓ/min
27			Chimoko	100	25	1-A	△	基盤までの深度が浅い
28			Chiwanga	125	22	1-A	×	"
29			Panja	540	24	1-A	×	"
30			Mzama Sch.	255	61	1-A	○	PM-195 揚水量54ℓ/min 比抵抗値が高い

注) ○ : 有望な滞水層が分布する。
 △ : 揚水量が少ないか又は水質の悪化が懸念される。
 × : 掘削地点としては不適である。

表 3 - 3 - 7 (3) 地下水開発評価

No.	Zone	T. A. / S. T. A.	Village	滞水層		型	評価	備考
				比抵抗 (Ω -m)	深度 (m)			
31	2	Mduwa		100	30	1-B	○	
32		Dambe	Kapiri	70	34	1-A	○	R-292 揚水量12ℓ/min
33			Panye Sch.	280	30	1-A	○	RK-109 揚水量48.7ℓ/min
34			Kwaloza	190	23	1-B	○	
35			Chiphesi	70	21	1-B	○	SM-215 揚水量96ℓ/min
36			Katonda Sch.	290	23	1-B	○	PM-198 揚水量33ℓ/min
37	3	Dambe	Mkumbi	240	30	1-A	○	
38				Nthema	420	18	1-A	×
39		Mkanda	Mkanda	20	26	2-B	△	W-23 揚水量18.2ℓ/min、比抵抗値が低い
40			Betelehemu	30	27	2-B	△	滞水層、基盤層共に比抵抗値が低い
41			Kadeweile	330	48	1-C	○	
42			Chawala	30	70	2-C	△	基盤の比抵抗が低く、水質に注意

注) ○ : 有望な滞水層が分布する。
 △ : 揚水量が少ないか又は水質の悪化が懸念される。
 × : 掘削地点としては不適である。

5) 各Zone毎の特徴

a) Zone 1

測定は18村22ヶ所で実施し、滞水層基底までの平均深度は42mである。西側のT. A. MlonyeniおよびS. T. A. Mavwereの南東部にA型が集中し、亀裂の少ない硬質基盤層が浅く分布する測点も見られる。中央部から東部はB、C型の分布が多く、このうちB型は滞水層基底までの深度が30~40m程度とやや浅くなる。

b) Zone 2

測定は13村14ヶ所で実施し、滞水層基底までの平均深度は37mである。AおよびB型のみ分布し、C型は見られないが、基盤層基底の比抵抗値がC型同様に低いB₂型が南西部に1ヶ所分布している。滞水層基底までの深度は南部で40m以深となっているのに対して、北部では30m以浅となり、この付近に分布するA型の場合は揚水量の低下が懸念される。

c) Zone 3

測定は6村6ヶ所で実施し、大規模農場が多いため、測定地点はZone 2に近い北東側と調査区域の境界を南北に区分する西側の道路周辺とに2分されている。滞水層基底までの深度は平均36.5mである。北東部はA型が分布し、滞水層基底深度は30m以浅となる。西側では北から南にかけてB₁-B₂-Cと基盤層基底の比抵抗値が低下する傾向が見られ、滞水層基底深度も南側が深くなる。従って、南部については滞水層基底までの深度は充分であるが、深部に塩分濃度の高い地下水を滞水している可能性が高く、掘削時に水質を充分チェックし、適正な深度を決定する必要がある。

3-3-3 既存井戸と地下水の状況

対象地域内の生活用水は、安定した水源として既存の深井戸があるが、深井戸を利用できない住民は地形の起伏が少なく地下水位が浅いため、集落や個人単位で井戸を掘削し、Damboや手掘り井戸の水を生活用水としている。

Damboでは深度1~2mまで掘削し、湧き出す水を水源として利用しているが、乾期には水涸れする事が多く、深く掘り増したり、場所を変更して掘り直すため、掘削跡が村落周辺に散在している。

手掘り井戸は深度5~6m(最大約11m)が大半を占め、水深は数10cmである。水量が限られている事および地表からの汚染を受け易い事から、飲料用水源としては満足できるものではない。手掘り井戸の場合、粘土や砂層等の軟質な堆積層から採水するため崩壊しやすく、水深が浅くなっている。更に、有機物や粘土層中からの細粒分がコロイド状に混入し、水質の悪化を招いている例が多い。

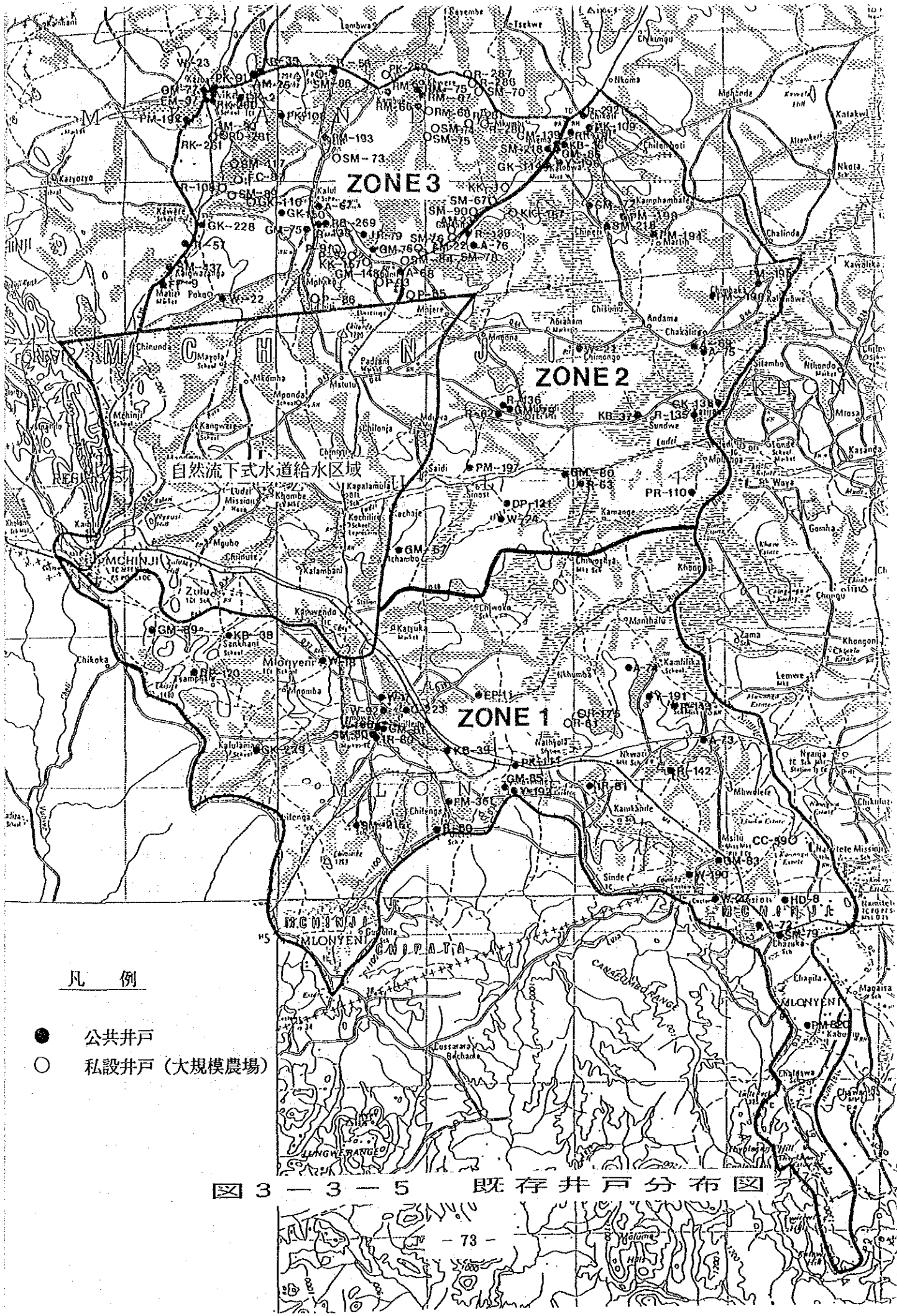
Dambo、手掘り井戸はいずれの場合も透水係数の小さな未固結堆積物から湧き出す水を利用しているため、壁が崩れ易く、湧水量が不十分であり、かつ地下水位の変動の影響を受け易いため、安定した生活用水源とは言えない。同時に、水質に関しても泥等による濁りがある場合が多く、地表からの汚染も受け易いため問題がある。

一方、既存の深井戸は地下深部の主に風化岩中の裂っかに賦存された地下水を利用している。計画対象地域内に深井戸計133井あり、このうち一般の村落住民が使える深井戸は95井である。既存深井戸の位置は、図3-3-5に、井戸諸元に関しては資料編の一覧表に示すとおりである。

また、各Zone毎の深井戸データから得られる水理地質的諸条件を整理すると、表3-3-8に示すとおりである。

表3-3-8 既存深井戸データ総括表

地域	施工年	掘削深度 (m)	地下水位 GL-(m)	揚水量 Q (ℓ/min)	水理定数	地質(滞水層)
Zone 1	1951~1991年 1960~1970年に建設したものが多 い。 現在建設中2井	30~60 平均41m	3~15	12~187 平均65	透水量係数 $T=8.9 \times 10^{-8} \sim$ $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ 貯留係数 $S=2.5 \times 10^{-1}$	風化片麻岩が最も多く、珩珩土、粘土~砂礫状の強風化層、一部破碎帯
Zone 2	1959~1991年 1970年代が半数を越える。 現在建設中2井	24~90 平均45m	3~13	18~330 平均79	透水量係数 $T=3.2 \times 10^{-8} \sim$ $1.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$	風化片麻岩が大部分を占め、一部珩珩土、粘土~礫状の強風化層となる。
Zone 3	1959~1991年 1970~1980年代に建設した井戸が大半である。 現在建設中1井	28~90 平均53m 大規模農場内の平均深度56.8m、公共用は47.6mである。	3~18	11~300 平均100 モーターポンプの平均揚水量は190ℓ/min、ハンドポンプでは62ℓ/min	透水量係数 $T=4.8 \times 10^{-9}$ $\text{ m}^2/\text{sec}$	風化片麻岩が最も多い。 珩珩土、粘土~礫状風化岩および珩珩岩の風化岩層
総括		ハカソン式掘削機による作業の為、掘削深度は概ね風化岩の厚さに匹敵する。相対的にZone 3の方が風化帯が厚くなる。	10m以浅が大半を占め別記浅井戸の深さとほぼ一致する。	現在稼働中の井戸は揚水量10ℓ/min以上期待できる。 $Q=50 \text{ ℓ/min}$ 前後の井戸が最も多い。	滞水層の透水量係数は、 $T=1 \times 10^{-8}$ $\text{ m}^2/\text{sec}$ 前後の値を示す。貯留係数については良好な試験データは得られていないが、概ね $S=2.5 \times 10^{-1}$ が妥当な値。	滞水層は風化片麻岩を主体とする。滞水層深度の頻度は、Zone 1で25~40m、Zone 2、3で30~45mに集中している。



凡 例

- 公共井戸
- 私設井戸 (大規模農場)

图 3 - 3 - 5 既存井戸分布图

3-3-4 水質

対象地域および周辺部で生活用水として利用している既存深井戸（Borehole）、手掘り井戸（Dug Well）、Dambo、河川、自然流下式水道およびダムから採水した45試料について水質分析を実施した。内訳は次のとおりである。

表 3-3-9 水質試験の水源別内訳

採水 源	試 料 数					備 考
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	周辺部	計	
既存深井戸	7 (2)	8 (4)	3 (2)	2 (2)	20 (10)	10試料は水質試験所で分析
手掘り井戸	12	5	3		20	深度は10m以浅、大半は5~6mである。乾期の水涸れが多い。
D o m b o	2				2	1~1.5mの深度、乾期に水枯れ、掘り直し場所を代える。
河 川	1				1	洗濯、水浴に利用している。
自然流下式水道				1 (1)	1 (1)	1試料は水質試験所で分析
ダ ム	1				1	
計	24 (2)	13 (4)	6 (2)	3 (3)	45 (11)	

注：（ ）内は水質試験所分析試料数

水質分析の結果は資料編水質試験結果に示すとおりである。

飲料水として利用している既存深井戸、手掘り井戸、Damboの水質分析結果より、水質の主な特徴は次のようにまとめられる。

表 3 - 3 - 10 水源別水質の特徴

分析内容	既存深井戸	手掘り井戸およびDambo
EC	150~500 μ S/cmが多く電解質に富んでいる。	50~200 μ S/cmと低く、表流水および浅部の地層水の特徴を示している。
PH	中性~弱アルカリ性	弱酸性~弱アルカリ性
濁度	無色透明で有機物の混入は見られない。	白濁~茶褐色を呈し、有機物および地層中の粘土分が混入している。
アンモニア	6試料について反応がある。	殆どの試料から検出されている。
大腸菌・一般細菌	若干の反応が認められる試料があるが、大半は検出されていない。	殆どの試料について顕著な反応がある。
Fe	3試料がマラウイの暫定基準値を越えている。	微量である。
SO ⁴⁻	全試料マラウイ暫定基準値の範囲内にある。	同左

以上の分析結果より、手掘り井戸およびDambo等浅部の水源は汚染され易く、また水量も少ないため飲料水としては不適である。

深井戸の地下水は概ね水質に良好であるが、一部の井戸で鉄分を溶存している。Fe成分については、手掘り井戸およびDamboの分析結果が示しているように元来地下水に多量に含まれるものではなく、ケーシングやポンプの揚水管から溶脱したと考えるのが妥当である。パイプ類をPVC等耐腐蝕性の材料に変更すれば解決されると判断される。

アンモニア・大腸菌および一般細菌が全部の浅井戸およびごく一部の深井戸で検出されているが、これについては排水設備の不備および井戸周辺が家畜の水飲み場となっているため、汚染されたと考えられる。排水設備の整備および村人に対する公衆衛生教育により解消できる問題である。

3-4 社会環境

3-4-1 インフラストラクチャー状況

ムチンジ県の県庁所在地であるムチンジ市は、マラウイ国西部における社会経済活動の中心地となっていると同時に、隣接するザンビア国との流通面における重要な拠点で、首都のリロンゲ市からは舗装された国道（M4）および鉄道が通じている他、空港や各種の中央官庁の出先機関が設けられている。M4道路は対象地域のZone 1を東西方向に横断しており、このM4道路からは対象地域内に向かって網の目状に支線道路が分岐している。これらの道路沿いには集落が発達し、種々の社会施設が配置されている（図3-4-1参照）。

教育施設として、小学校は61ヶ所にあり、ムチンジ県内に万遍なく配置されているが、中学校（4校）や通信教育施設（3校）に関しては、M4道路沿いの主要な集落のみである。

医療施設としては、ムチンジ市に総合病院があり、その他県内に診療所・産院規模の施設が9ヶ所に設けられている。

公設の市場としては、県内4ヶ所に設置されている。

電話局は、M4道路沿いのムチンジ、Kamwendo、Tembwe、Nkhwajiの他、北部のKapiriの各集落にあり、郵便局も兼ねている。また、郵便局のみの施設はこの他の5つの集落にある。

電気も現段階ではM4道路沿いの主要集落にのみサービスされているが、将来は北部のZone 3方面にも配電されることが計画されている。

3-4-2 道路状況

対象地域内の道路網は、一級国道（Main Road）、二級国道（Secondary Road）、県道（District Road）、一般道路（Other Road）に分類できるが、その概要は次記のとおりである。

(1) 一級国道

先述のM4道路が該当するが、全面的にアスファルトで舗装され、幅員は8mである。河川に架かる橋梁はコンクリート製になっており、アスファルト舗装部と同じ幅員が確保されているため、大型車輛の通行には全く問題はない。

(2) 二級国道

M4道路と北部の主要集落であるMkanda、Kapiriが二級国道で結ばれている。幅員は5.5m以上確保され、路盤はラテライトが使われており、両サイドに幅1m、深さ0.8mの

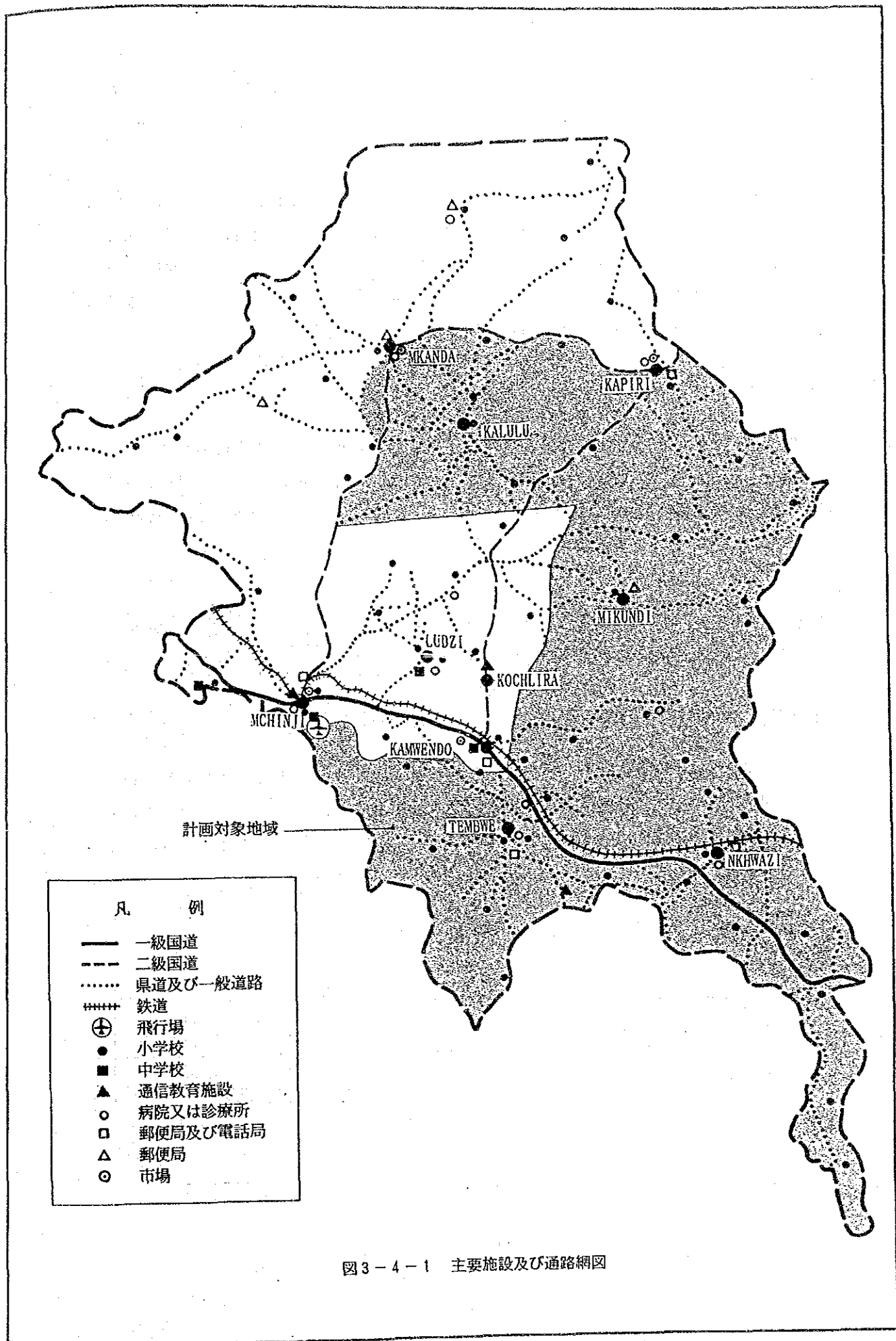


図3-4-1 主要施設及び通路網図

排水側溝が設けられている。また、Damboおよび小河川を跨ぐ橋梁は、コンクリート製で幅約3.5mとなっているため、大型車輛の通行に充分耐える構造となっている。

(3) 県道および一般国道

対象地区内の各村落は、上記幹線道路以外に県道、一般道路によって結ばれている。なお、図3-4-1に示す道路網の外にも車輛の通行が可能な一般道路で各村落は結ばれている。これらの道路の幅員は3.0~5.5m程度であり、未舗装で道路状態は多少悪くなるが、一部の区間を除き付近にラテライト質の土壌が広く分布するため、路盤は硬く雨期においても概ね車輛の通行は可能である。しかし、路面が砂質土によって構成されているところや、道路勾配が急な区間も含まれているため、雨期等においては四輪駆動車による走行も困難を伴う場合がある。

橋梁は県道レベルで二級国道並みの構造となっているが、一般道路に関しては一部で木造（幅員3.5m）があり、老朽化したものは強度等の面から大型車輛の通行は不可能である。しかし、Dambo等を避けた迂回コースにより大半の集落への大型車輛のアクセスは可能である。

3-4-3 社会状況

対象地域は全般的に起伏の少ない平坦な地形が形成され、Damboを除く地域は肥沃な農地となっているため、村落は地域内に万遍なく分布している。大規模農場の多い北部地域（Zone 2、3方面）は相対的に人口密度が低くなっているが、国道（M4）沿いの南部地域（Zone 1方面）では人口密度が高くなる傾向が認められる。

1977年の国勢調査に基づきリストアップされた対象地区内の村落数は合計812であり、人口レベル（1996年推定）と村落数の関係は表3-4-1、図3-4-2に示すとおりである。人口200人未満の小村落が68%と大半を占め、500人以上の大村落は6%にしか過ぎない。

表3-4-1 人口レベルと村落数

人口レベル	100 以下	100~199	200~299	300~399	400~499	500~599	600~699	700 以上	計
村 落 数	349	200	110	56	35	19	11	22	812
比 率 (%)	43	25	14	8	4	2	1	3	
	68		26			6			

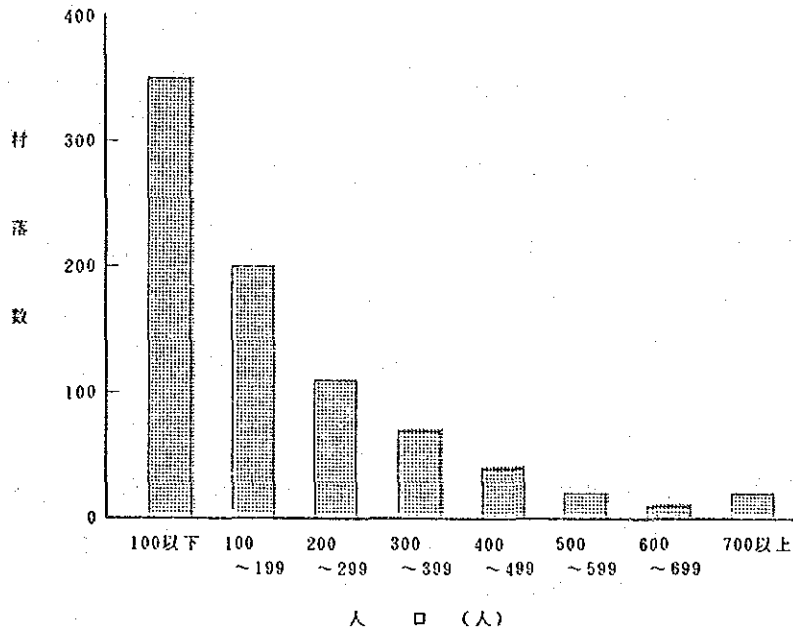
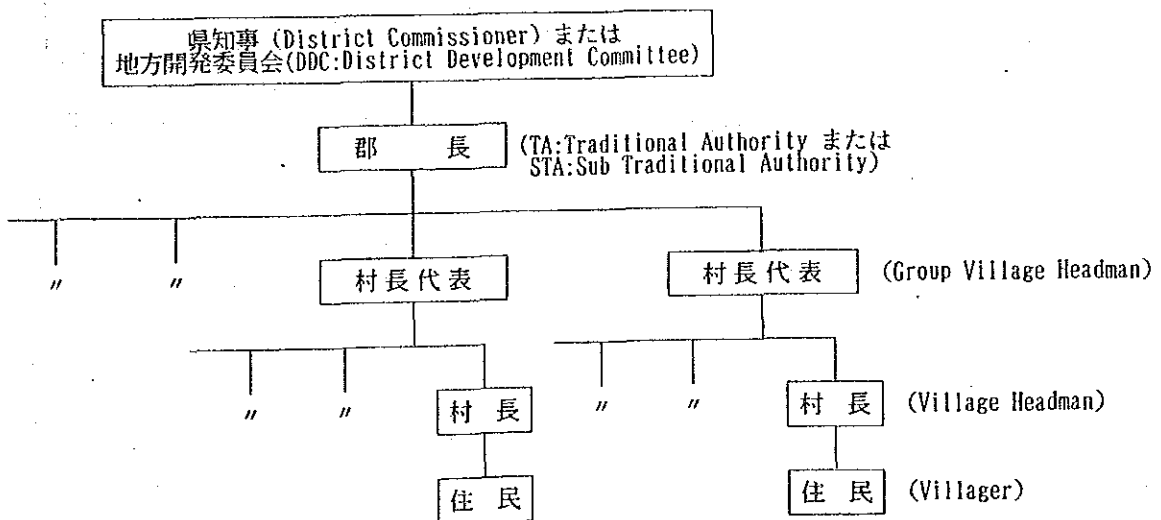


図 3 - 4 - 2 人口レベルと村落数

村落の社会構造は次図のとおりであり、裁判に関する問題は郡長および知事 (District Commissioner) レベルで処理されるが、開発や行政上の諸問題に関しては地方開発委員会 (DDC) で協議し、運営および決定が行われる。DDCは中央各庁の代表者および郡長 (T.A. & S.T.A.) より構成されている。なお、郡長は世襲制となっている。

図 3 - 4 - 3 村落の社会構造



3-4-4 経済状況

計画対象地域を含むムチンジ県は、総面積 3,346km²（うち可耕地：2,225km²）を有し、最も肥沃な地域の一つにあげられ、かつ食料の大量消費地である首都リロンゲに隣接しており、農業開発にとって重要な役割を担っている地域である。

従って、給水条件の整備を始めとするインフラストラクチャーの整備によって農作物のさらなる増産等、大きな普及効果が期待できる地域である。

計画対象地域（Zone 1、2 および 3）の住民の大多数は、農業に従事しているが、その現状は次記のとおりである。

ムチンジ県の主要農産物生産高は、表 3-4-2 に示すとおりであり、煙草、メイズ、落花生およびキャッサバが作付けされている。自給作物としてメイズ、キャッサバが、また換金作物として煙草が各々重要な役割を果たしている。

主要輸出作物である煙草は、大規模農業を中心に生産されており、表 3-4-2 に示すとおりである。大規模農業は主に煙道乾燥煙草（Flue-cured）とバーレー種（Burley）を、小自作農は主に火力乾燥煙草（Fire-cured）、天火乾燥煙草（Sun/Air-cured）を生産している。

ムチンジ県の主な畜産資源は、表 3-4-3 に示すとおり、牛、山羊、羊、豚、鶏等である。なかでも牛が最も重要な畜産資源となっており、その多くは小自作農により伝統的な方法で飼育されている。山羊、豚も貴重な蛋白源であるが、これらは畜産業者によって生産され市場に出荷される傾向にある。

表 3-4-2 ムチンジ県の小自作農による主要農産物の生産量
(単位：トン)

	1987/88年	1988/89年	1989/90年
メ イ ズ	54,577	77,249	74,691
煙 草	343 (12,805)	692 (13,500)	1,220 (17,362)
落 花 生	11,128	7,000	2,880
豆 類	185	128	127
大 豆	4.8	6.6	209
キャッサバ	3,091	2,200	3,671
さつまいも	2,878	2,760	1,197
じゃがいも	—	—	98

注：() 内は大規模農業による生産量
出所：Kasungu A. D. D. および煙草管理委員会

表 3-4-3 ムチンジ県の家畜資源の現状
(単位：頭/羽)

	牛	山羊	羊	豚	ロバ	鶏
1988年	23,411	25,793	294	27,982	14	25,489
1989年	25,339	24,238	414	21,742	17	47,328
1990年	28,227	23,961	398	22,614	22	49,682

出所：ムチンジRDP

3-4-5 給水事情

(1) 既存給水施設

ムチンジ県の給水施設としては、ムチンジ市を対象にした水道、Mchinji Ridge東麓部一帯を給水区域とする自然流下式水道およびその他の地域における深井戸に分けられる。

[ムチンジ市の水道]

地方の主要都市に対する水道施設の一つとして設けられており、水利局給水部の設計工事課および維持管理課が工事およびメンテナンスを受け持っている。

水源はMchinji Ridge南麓部の沢水（市街地から11km）が使われている。この施設は需要に応じて毎年拡張工事が行われているが、現在の施設の概要は次記のとおりである。

- 取入パイプ 4インチ
- 配水パイプ 6インチ、末端は2インチ
- 蛇口 個人用 245ヶ所
共同 6ヶ所
- 貯水タンク 高位置 20,000ガロン
低位置 14,000ガロン
- 水処理 塩素滅菌
- 1日当りの消費量 320m³/日

なお、当水道はムチンジ市の住民4,542人（1987年）だけでなく、隣接する村落の住民にも利用されていると考えられており、正確な受益者人口は把握されていない。

[ムチンジ県の自然流下式水道]

Mchinji Ridge東麓部の沢に小規模の取水堰が設けられており、山塊東側の地域に給水されている。給水区域は要請区域から除外されている。この施設の管理は、水利局給水部地方水道給水課が担当している。施設の概要は次のとおりである。

- 配水パイプ 90mm~19mm 総延長 136km
- 蛇口 215ヶ所
- 貯水タンク 約150m³、4ヶ所
- 水処理 なし
- 消費量 37,000人×36ℓ/日（建設時 20,000人×36ℓ/日）
- 工事完了年 1976年

現在、貯水タンクから離れた位置における水の出方は極めて貧弱であり、隣接する前記ムチンジ市上水道から分水する構想がねられている。しかし、山麓部の水源は限

られたものであり、施設の拡張は計画されていない。

[計画対象地域の深井戸]

前記水道による給水区域以外は、給水施設として深井戸（平均深度45～50m）が設けられている。計画対象地域内の深井戸の分布は、表3-4-4および図3-3-5に示すとおりである。また、各深井戸の諸元については資料編に整理した。

表3-4-4 既存深井戸の分布状況

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	計
T. A. Mlonyeni	9	—	—	9
S. T. A. Mavwere	19 (3)	—	—	19 (3)
T. A. Zulu	9	2	—	11
S. T. A. Mduwa	—	12	—	12
T. A. Mkanda	—	—	18 (9)	18 (9)
S. T. A. Dambe	—	15 (2)	11 (24)	26 (26)
計	37 (3)	29 (2)	29 (33)	95 (38)

注：公共用深井戸本数

() 内は大規模農場内の深井戸本数

計画対象地域内の深井戸は計133井あり、このうち大規模農場を除く公共施設としての深井戸は95井である。1井当りの給水人口は250人と考えられているので、対象地域人口 138,585人（1987年）に対する給水普及率は17%にしか過ぎない。深井戸の分布状況は北部のZone 3が最も密度が高いが、南部のZone 1方面ではM4道路沿いを除きその分布密度は低くなっている。

施工は1951年以来行われており、1971～1980年が最も多く、1982年以降1960年以前は極めて少ない。

1960年以前	11井
1961～1970年	26井
1971～1980年	63井
1981年以降	22井
現在工事中	5井
施工年不明	6井

これらの深井戸に設置されているポンプは、施工時の記録によるとマラウイ、英国、

南アフリカ製等世界各国のハンドポンプが使われていたが、現在では後述するIFAD援助によるリハビリプロジェクトにより、大半がアフリデフポンプに替えられている。しかし、このアフリデフポンプも改良前の型式のため、ポンプヘッド等において状態が良くないものが多く、2井のポンプが故障中で使用されていなかった。

(2) 地下水開発に対する援助の動向

当地域に関係する援助による地下水開発プロジェクトは、既存井戸に対するリハビリが主体となっており、今までに実施されたプロジェクトおよび計画中のものは次記のとおりである。

1) Kasungu/Mchinji/Dowa East プロジェクト

深井戸248本のリハビリ(1987~1990) IFAD

当プロジェクトは1990年に完了しており、ムチンジ県内では95ヶ所の深井戸のリハビリが対象になった。プロジェクト地域内の大半の深井戸もこれに含まれている。

2) Dowa/Kasungu/Mchinjiプロジェクト

深井戸61本の新設工事(1991~1992.3) IFAD

このプロジェクトは現在進行中であり、計画対象地域内では5ヶ所で工事が行われている。工事位置の内訳はZone 1のT. A. Mionyeneni、T. A. Zulu各1ヶ所、Zone 2のS. T. A. Mduwa、S. T. A. Pambe各1ヶ所、Zone 3のT. A. Mkanda 1ヶ所である。

3) Northern & Central Regionプロジェクト

深井戸1,050本のリハビリ(1991~1992) IDA

近々工事開始される予定のプロジェクトで、ムチンジ県内では27ヶ所の深井戸がリハビリの対象となっている。対象井戸に関しては、現在水利局で検討中である。

以上のとおり、他の援助関係のプロジェクトでは、現状の低い給水普及率を維持するだけに留まっており、日本からの援助の期待が極めて大きい。

(3) 給水事情

対象地域内における深井戸による給水普及率は17%であり、公共の給水施設の恩恵に浴さない残りの住民は、手掘りの井戸(Dug Well)、沼地(Dambo)や河川の水を生活用水としている。これら深井戸以外の水源の水質は3-3-3項で記したとおり、汚染が著しく飲料水としては不適當である。同時に、乾期になるとこれらの水(深井戸以外)も涸れてしまい、遠方の水場から水を運搬しなければならない。この水運びの作業は女性の仕事になっており、その負担は極めて大きい。

生活用水の実態を把握するため、対象地域内の30村落において主婦を対象にアンケート調査を行った。調査の結果は表3-4-5に整理した。同時に、深井戸による給水施設が整備されている地域の事例として、北カウインガ地区におけるアンケート調

表3-4-5 主婦からの聞き込み調査の結果

地域及び水源の種類	生活用水量 (ℓ/日・人)						生活用水に対する満足度		発生頻度の高い水質汚染		水質に要する時間 (時間/日)		備 考												
	全生活用水			飲料水・料理用水			量	質	下痢	赤痢	コレラ	寄生虫													
	1 5	6 10	11 15	16 20	21 25	26 30	31 以上	1 5	6 10	11 15	16 20	21 25		26 30	31 以上										
ムチンジ DAMBO (2件)	Av=15			Av=7			2	2	3	1	Av=1.5		<ul style="list-style-type: none"> 水運搬に要する時間は、集落の近辺で比較的水を得やすいため、Boreholeとの大きな差異は認めない。しかし、乾期末には水車が溜まることが多く、他に水源をさがすか、井戸を掘り直す必要にせまられる例が多い。 生活用水量はBoreholeの1/2以下となるが、水源の水深が極めて浅く、水位の回復が遅い事に起因する。 												
計画対象地域 DUG WELL (21件)	Av=21			Av=10			11	10	9	11	Av=1.7		<ul style="list-style-type: none"> 水質は白濁、茶濁し、臭気を発するものまで認められるが、住民自身水質に不満のある比率は40%程度である。しかし、下痢を始めとする水系疾病にかかる率が極めて高く、Borehole等から清浄な水を供給し、保健衛生に関する教育を施すことが重要。 												
地域 (30件) BOREHOLE (7件)	Av=41 (Av=29) ()は農家の主婦のみ			Av=24 (Av=15)			7	5	2	1	Av=1.3		<ul style="list-style-type: none"> 生活用水量、水運搬時間に関しては北カウインガ地区とはほぼ近似したデータが得られた。 水質については不満を持っている住民はいるが、一部の井戸水が鉄分を多く含むためである。その主な原因として、ケーシング、揚水管の腐蝕に伴い、鉄分が溶脱されたためと考えられる。 												
北カウインガ地区 BOREHOLE (7件)	Av=34			Av=18			7	7	調査せず		Av=1.2		<ul style="list-style-type: none"> ◎Boreholeの工事着工前と竣工後を対比すると、 生活用水量は約2倍に増えた。 水質に関しても以前は全員何らかの不満を持っていたが、竣工後は十分に満足している。 水運搬に要する時間は、約1/5に短縮された。 												
地区 (7件) BOREHOLE 建設前の DUG WELL & DAMBO を利用 していた時	Av=16			Av=9			4	3	7	調査せず		Av=5.9													
	1 5	6 10	11 15	16 20	21 25	26 30	31 以上	1 5	6 10	11 15	16 20	21 25	26 30	31 以上	満 足	不 満 足	満 足	不 満 足	下 痢	赤 痢	コ レ ラ	寄 生 虫	な し	1 以 下	1 2 3 以上

査も同表に併記した。

1) 水汲みに要する時間

深井戸を生活用水源とする住民の場合、水汲みに要する時間は平均1.3時間である。一方、手掘り井戸やDamboの水を利用している住民は1.5～1.7時間で約15～30%労働時間が長くなっているが、これも比較的地下水位の高い豊水期の状態であり、渇水期(2～4ヶ月)においては他の水源を求めて探し廻ることになり、水汲みの労働時間は大幅に増えることになる。なお、北カウイング地区の場合、深井戸工事前の水汲み労働時間が約6時間と極めて長かったが、これら全般に河川水、Dambo等が乏しく、同時に浅井戸から容易に水が得られなかった事に起因する。

2) 生活用水量

深井戸を利用する住民の生活用水量は、30ℓ/日・人前後を示しており、マラウイ国で設定している地方住民の目標給水量27ℓ/日・人よりも若干多い値となる。一方、深井戸以外の水源を利用する住民の生活用水量は15～21ℓ/日・人となり、深井戸利用住民の約1/2～2/3程度の使用量である。彼らの生活用水量が少なくなる原因としては、水源の水深が10cm前後と極めて浅く、汲み揚げる地下水の水位回復が極めて遅い事によるものである。

3) 水質

発生頻度の高い水系疾病に関する質問では、深井戸の場合5件のうち1件において下痢症状の訴えがあったにすぎないが、浅井戸、Damboの場合は17件の調査のうち14件(80%以上)が下痢、赤痢、コレラ、寄生虫等の発病率が高いとの回答が得られた。これは、細菌等に汚染された不衛生な水を飲用していることを反映しているものである。しかし、水質に対する不満は60%程度で、住民自体水質の悪い水を生活用水としていることに対する認識が低いことを示している。

また、一部の深井戸において水質に不満を感じている場合があったが、これは古い井戸においてケーシング、揚水管の腐蝕に伴い鉄分が溶脱されたためと判断される。

4) 生活用水に係わる現状の問題点

以上の調査結果より、ムチンジ県の場合、地下水の豊水期には容易にDambo、浅井戸より生活用水が得られたため、深井戸による衛生的な給水施設の建設が遅れていたものと考えられるが、深井戸以外の水源を利用する住民は、生活用水量が少なく、また水質の面でも問題をかかえていることが判明した。浅井戸やDamboの水を昔から利用していた住民は、現在の生活用水の水質が悪いという認識が乏しいが、ハンドポンプ付の深井戸等の施設を充実させることにより、保健衛生の観念が身に着いて行くものと判断される。

3-4-6 水系疾病

マラウイ国およびムチンジ県における1986~1990年の間の水系疾病は、表3-4-6に示すとおりである。

この統計資料によると、ムチンジ県の全人口 248,161人（1987年）に対する患者数は比較的少ないことになるが、しかし3-4-5項のアンケート調査で記載したとおり、現実には浅井戸、Dambo等の不衛生な水を生活用水として利用している住民のうち、約80%が何らかの水系疾病に罹っている。即ち、病院や診療所から離れた地域の住民は、交通手段等の問題から通院できる人の比率が少ないことを示しており、実際の患者数としては統計データよりも可なり多いと理解しておくのが適当である。

これを改善するには、清浄な飲料水の安定供給だけでなく、住民への衛生教育を徹底させることも重要と判断される。

表3-4-6 マラウイ国・ムチンジ県における水系疾病の状況

病名	地域	1986年		1987年		1988年		1989年		1990年	
		患者数	死者数	患者数	死者数	患者数	死者数	患者数	死者数	患者数	死者数
チフスおよびパラチフス	全国	988	100	855	81	936	79	1,284	116	1,293	127
	ムチンジ県	4	1	1	0	19	1	11	1	12	2
細菌性および非細菌性赤痢	全国	677	20	967	12	1,281	54	1,371	72	1,479	97
	ムチンジ県	29	1	36	0	43	2	55	5	24	0
腸炎および下痢	全国	12,636	879	9,760	601	16,473	905	13,139	923	19,502	1,239
	ムチンジ県	245	12	328	16	255	13	321	16	317	25
住血吸虫	全国	886	7	958	7	978	9	903	12	1,009	8
	ムチンジ県	32	0	27	0	24	0	54	0	35	1
十二指腸虫	全国	1,212	12	1,404	26	1,782	9	1,230	14	1,599	1
	ムチンジ県	36	0	72	0	70	0	62	0	47	0
その他の寄生虫	全国	354	2	445	5	822	4	544	1	935	8
	ムチンジ県	6	0	4	0	16	0	25	0	21	0
マラリア	全国	41,851	1,604	44,916	1,529	53,572	2,241	50,990	2,276	57,748	2,586
	ムチンジ県	1,373	38	1,681	50	1,844	37	1,987	40	1,695	93
肝炎	全国	537	39	472	33	489	52	643	55	401	59
	ムチンジ県	5	0	5	0	5	0	5	0	0	0

出所：保健省

3-5 給水行政組織

計画対象地域の給水行政組織としては、水利局の出先機関としてMamitete維持管理事務所が存在するのみである。この事務所は、M4道路沿いのムチンジ県とリロンゲ県の県境に位置し、その役割は主に井戸に据付けられたハンドポンプの修理である。

管轄範囲はムチンジ県の全域とリロンゲ県の一部に跨っており、組織の現況は図3-5-1に示すとおりである。

ポンプに不具合が生じた場合の修理に到るまでの流れは次記のとおりである。

- (1) 各井戸の責任者（地方村落の住民）よりポンプの故障状況を記した修理依頼のハガキを水利局本部へ送る。
- (2) 水利局が手紙の内容について検討し、地方事務所経由で維持管理事務所に指示を出す。
- (3) 維持管理事務所からOperatorが派遣され、無償で修理を行う。

Namitete維持管理事務所の過去4年間の予算の実績は表3-5-1に示すとおりである。この事務所には、5 tonクレーン付トラックが配置されており、車輛が老朽化しているため年間予算のうち車輛費および機材費が約80%を占めている。

図 3-5-1
ムチンジ県における深井戸の維持管理組織（現況）

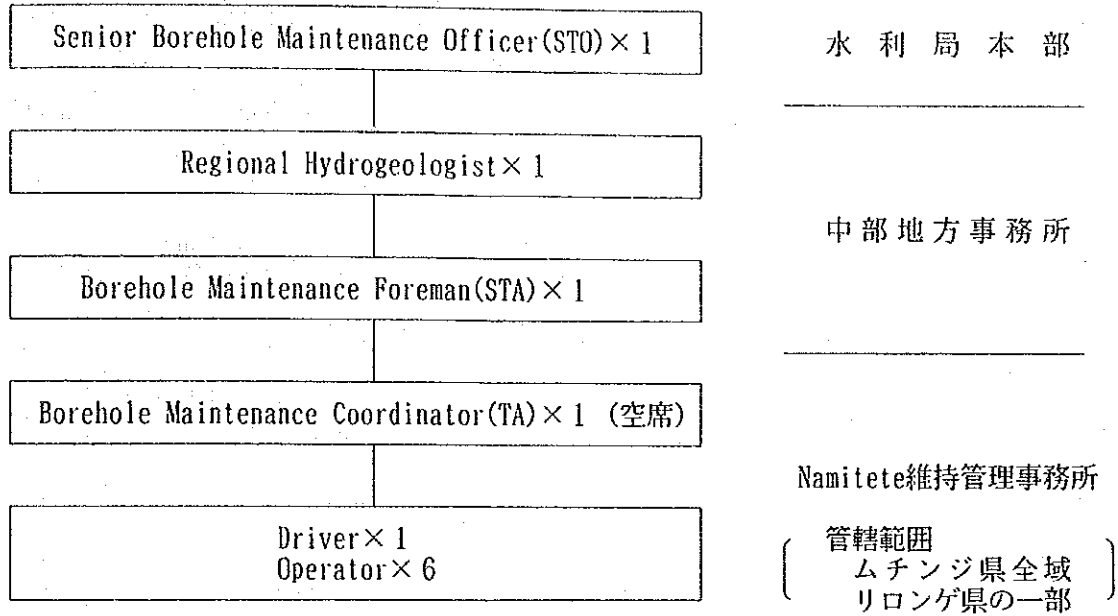


表 3-5-1
Namitete維持管理事務所の予算実績
(単位: K (クワチャ))

	1987/88	1988/89	1989/90	1990/91
人件費	6,000	6,000	6,960	6,960
燃料費	2,900	3,300	3,600	3,960
車輛および機材費	85,300	97,650	101,500	103,880
出張手当其他	12,450	15,230	18,900	25,200
計	106,650	122,180	130,960	140,000

第4章 計画の内容

第4章 計画の内容

4-1 計画の目的

マラウイ国政府は、国家長期開発政策（1987～1996年）の重要課題として、地方住民に対する生活用水の量的な確保、水運搬労働時間の低減、水系疾病発生率の低減を目標とする地方における生活用水の開発をあげている。具体的な目標としては、1996年までに地方における給水普及率を74%、給水人口 5,860,000人まで高めることとしており、今後5年間に新たに 967,000人分の給水源を確保することが必要である。しかし、財政事情等から国家開発計画全体の立ち遅れが目立ち、地下水開発についても同国が独自で計画を実施することが困難な状態にある。

地方における生活用水の不足に対処するため、同国政府は生活用水の特に困窮するムチンジ県に300本の深井戸の開発計画を策定しており、同計画の実施に必要な深井戸建設工事、工事に必要な資機材の調達および技術協力を我が国の無償資金協力によって実施しようとするのが本計画の目的である。

4-2 要請内容の検討

4-2-1 計画の妥当性・必要性の検討

(1) 「国家長期開発政策」においてあげられている地方の給水普及率74%の目標を達成するためには、今後5年間で1,000本の深井戸建設工事を行うことが必要である。マラウイ国では、国際機関や先進国の援助によって、この目標達成に向けて推進しており、既に671本分の先進国からの援助が決定している。ムチンジ県の300本の深井戸開発計画もこの上位計画の一翼を担うものであり、我が国からの援助は国家計画を推進するうえで重要な役割を演じることになる。

(2) ムチンジ県は、肥沃な土地であり、食料の大量消費地である首都に隣接した立地条件から、農業開発を重要政策とするマラウイ国にとって重要な地域である。全国レベルのモデル県として「ムチンジ県総合開発計画」（大統領府/UNDP/UNCHS:1987）が策定されており、この中で、農業、工業、旅行者サービス、雇用問題、人口分布、都市機能、土地利用および交通、電力、生活用水、医療・教育施設、郵便、電話のインフラストラクチャー等多方面に渡りその開発整備の必要性について言及している。しかし、地方住民に対するインフラストラクチャーサービスのうち、最も基礎的な生活基盤である給水施設は特に立ち遅れが目立ち、給水普及率17%と極めて低いのが現状である。従って、本プロジェクトが実施された場合、目標給水普及率を約50%まで高めることが可能となり、ムチンジ県における地下水開発は裨益効果が極めて高いと

同時に、緊急性を要するプロジェクトと判断される。

- (3) 計画対象地域の住民の大多数は、生活用水を不衛生な手掘り浅井戸やDamboの水に依存しているが、これらの水源は乾期になると多くは涸れてしまい、遠方の水場からの水運びを余儀なくされ、その労力が住民の大きな負担となっている。地下水開発による衛生的で安定した生活用水の確保は、旱魃や乾期の水不足問題の解消および不衛生な飲料水に起因する水系疾病の大幅な減少が期待され、農民の生活の安定と向上、村落への人口の定着化、保健衛生環境の改善、非生産的水運搬労働からの解放等に大きく貢献するだけでなく、深井戸を中心とした村落共同体の社会経済開発の促進に寄与する。即ち、本計画は、我が国の無償資金協力の主旨よりみて妥当性があると判断される。

4-2-2 実施運営計画の検討

本計画の実施機関は、建設省が総括責任者であり、プロジェクト実施の監督は水利局水資源部地下水課が担当する計画となっている。また、深井戸完成後は、VLOM方式（前述）に基づく維持管理が実施される計画である。

水利局は、これまで我が国からの経済援助を北カウイング地区の地下水開発計画において経験し、無償資金協力のシステムを十分に理解しており、本計画を遂行するうえで支障のない組織とスタッフを備えている。本計画に係わる要員としては、表2-2-2に示すとおり、水利局地下水課に属する職員551名のうち58名が予定されている。その内訳は、水利局本部の全技術職員とムチンジ県を管轄とする中部地方事務所の技術職員が主体となっている。この外に南部地方事務所および北部地方事務所に所属する掘削班のドリラーも各1名づつ含まれているが、これは日本から供与された掘削機に対する運転技術のOn-the-job Trainingを目的としている。

プロジェクト実施運営（On-the-job Trainingも含む）のための予算は、外国援助プロジェクトの場合、開発予算として援助額に加え、マラウイ国側独自の予算が工事費（資機材費を除く）の約3%程度計上されることになっている。地下水課の開発予算の推移を表2-2-1に示したが、年度毎の増減が認められる。これは、開発予算の中に地下水開発に係わる援助金が大半を占めるため、その年の援助金額によって大きく予算額は左右されていることを意味している。しかし、北カウイングプロジェクトの例をとれば、マラウイ国側負担分の開発予算として、過去4年間に91,879クワチャが国庫から計上され、滞りなくプロジェクトを完了させているという実績があり、本計画においても実施段階におけるマラウイ国側の予算措置は問題ないものと判断される。

深井戸完成後のVLOM方式による維持管理体制は、村落レベルでの自主的なメンテナンスを目標としており、地下水課の出先の維持管理事務所に属するOperatorが100本の深井戸について1名の割合で技術的な対応を行う予定になっている。

このVLOM方式による維持管理は、Lilongwe N.E、Livulezi、Karongaプロジェクトの大規模地下水開発プロジェクトによって開発された井戸の管理において適用され、十分な実績を持っている。北カウインガ地区に関しては、現在準備中で1992年度よりVLOM方式体制がとられる予定である。

この維持管理に対するマラウイ国の予算措置は、村落住民からの料金の徴収はなく、全て国家の一般予算から計上されることになっている。深井戸300本の場合、1年間に

人件費（オペレーター3名）	K100/月×12ヶ月×3名	=K 3,600
車両費、燃料費、機材費等	K500/井×300井	=K150,000
出張手当	K20/日×10日×12ヶ月×3名	=K 7,200
	計	K160,800 /年

が予定されている。

一方、ムチンジ県およびリロンゲ県の一部の深井戸を管轄するNamitete維持管理事務所予算額は、表3-5-1に示すとおりであり、1990年度はK140,000が計上されている。この事務所が管理する深井戸本数は、約300本程度であり、本プロジェクトの規模と同程度の管理経費が支出されている。従って、上記維持管理費の支出は可能と考えられる。

4-2-3 類似計画の検討

ムチンジ県における地下水開発分野の外国援助については、前述のとおりであるが、新期の深井戸開発プロジェクトとしてはIFADの援助により5本の深井戸工事が行われており、1992年3月には完了が予定されている。これら5本の井戸も本報告書では前章の既存井95本のなかに含めているが、計画対象地域の必要深井戸本数813本（1996年推定人口203,130人/250人/本として計算）から見てもまだまだ不十分な数量である。

一方、今後のプロジェクトとしてIDAの援助によりムチンジ県内27ヶ所において既存井戸のリハビリが予定されているに過ぎない。

ムチンジ県内の給水普及率を大幅にアップし、地方住民の生活環境の改善を主旨とした当計画に比べると、いずれのプロジェクトも県内レベルでは小規模であり、当計画と重複するものではないと判断される。

4-2-4 計画の構成要素の検討

(1) 対象受益者

計画対象地域における現在の生活用水の受益者は、全人口の約17%にしかすぎないが、要請の300本の深井戸を新設することにより1996年の推定人口203,130人に対する受益者人口（既存井戸を含む）は概ね100,000人、50%となり、国家計画の目標

(1996年の地方における給水普及率74%)に近づけることができる。

(2) 目標給水量

現地の聞き込み調査によると、深井戸に近接する住民の生活用水量は約30ℓ/日・人程度であるが、前回調査の北カウイング地区の例では井戸から離れた村落の住民の生活用水量は12~20ℓ/日・人と少なくなっており、平均的な値として目標給水量の27ℓ/日・人は妥当な値と判断される。

また、対象地区全体の水収支で見ると、地下水涵養量として少なく見積もっても1年間に $6.9 \times 10^6 \text{m}^3$ /年が期待できる(3-3項参照)。一方、目標給水量27ℓ/日・人、1井当りの給水人口250人とした時の395本の深井戸から汲み揚げられる地下水量は $0.97 \times 10^6 \text{m}^3$ /年と計算される。

以上のとおり、地下水涵養量が地下水の使用水量を大幅に上廻っており、将来の人口増加、給水原単位増加による地下水需要量の増加に対しても十分に余裕のある涵養量と判断される。

(3) 深井戸1本当りの給水人口

井戸1本当りの給水人口250人、1日1人当たり27ℓの給水量とすると、1井当たり 6.75m^3 /日の揚水量を必要とする。一方、マラウイ国における地方の一般的なポンプ稼働期間は午前5時間、昼間1時間、夕方2時間と計8時間であり、ポンプの揚水量を15ℓ/minとすると1日当りの揚水可能量は 7.2m^3 /日と計算され、マラウイ国で設定している深井戸1井当りの標準給水人口は妥当な値である。

また、人口250人以上の集落について検討すると、深井戸は日の出前から日没後まで利用されており、井戸の利用可能時間は14時間程度と見込むことができる。この時の最大揚水可能量は 12.6m^3 /日と計算されるので、人口400人以上の集落においても全住民に必要な生活用水を供給することができる。

(4) 目標深井戸建設本数

計画対象地域における1996年の推定人口は203,130人となり、目標給水人口250人/本の深井戸として単純計算すると、必要深井戸本数は813本で、既存の深井戸95本を除くと新設深井戸本数は718本となる。しかし、対象地区内の村落数は812あり、そのうち人口200人未満の小集落が549村、68%を占めている。これ等の全村落を給水の対象とするのが望ましいが、給水施設の普及が遅れている現段階では過大な計画になるため、当面は人口の分布に重点を置いた計画とするのが適当と判断される。

以上の観点から、井戸の配置を概ね人口200人以上の集落を対象とし、大集落においては前記(3)の検討結果に基づき約400人に1本の深井戸が割り当てられるようにすると、計画対象地域における必要な深井戸本数は約300本となる。

(5) 深井戸工事の優先順位

計画対象地域はZoen 1～Zoen 3の3地域に分けられているが、給水普及率、人口密度等の面から判断し、Zoen 1、2、3の順で深井戸工事を行う。

表 4 - 2 - 1 計画対象地域の給水普及率および人口密度 (1987年)

地 域	人 口	既存井戸数 (本)	給水普及率 既存井戸×250人/人口 (%)	人口密度 (人/km ²)
Zoen 1	77,700	37	11.9	91.4
Zoen 2	36,739	29	19.7	65.6
Zoen 3	24,146	29	30.0	75.4
平 均	138,585	95	17.1	80.1

(6) 水理地質条件と計画井戸の平均掘進長

対象地域は、年間 1,000mm程度の雨量があり、滞水層として期待できる基盤岩の風化帯が全般的に広がっているため、地下水開発にとって有利な条件を備えている。また、北カウイング地区と比較しても全般的に基盤岩風化帯が厚くなる特徴を有している。しかし、この風化帯はかなり起伏に富んでいることが判明した。従って、井戸位置の最終決定に当たっては事前に電気探査を実施し、地下の地質構造を詳細に把握し、地下水開発に有利な地点を選定することが重要となる。

ここでは、今回の現地調査、即ち電気探査結果、地形地質的特徴および既存深井戸データを整理し、新設井戸の暫定的な井戸深さを設定すると、最大掘進長75m、平均掘進長約50mとなる。

(7) 地下水開発チーム数

1) 要請に沿ったロータリー・エアハンマー併用型の掘削機を使用した場合の対象地区での井戸工事（移動、掘削50m、ケーシング挿入まで）は北カウイング地区等の実施例から判断して1週間で1～2本程度掘削することが可能と推定されるので、平均掘進能率は12m/日とする。

2) 計画対象地区のさく井工事は、次記の条件を考慮し、失敗率20%を採用する。

a) 北カウイング地区の深井戸建設工事の成功率が約75%である。

b) 当地区は北カウイング地区より滞水層の条件が良く、成功率をあげることが可能である。

c) しかし、水質の悪い区域があり、一部で生活用水として利用できない井戸があ

ることを考慮する必要がある。

3) 作業期間は乾期(4~11月)の8ヶ月間が最も適しているが、当地区は比較的
道路条件が良く、雨期にも主要道路沿いの工事が可能であることを考慮し、1年間の
実働時間をオーバーホール期間も見込み3月中旬から翌年3月中旬までの12ヶ月
(掘削期間11ヶ月)とする。

4) 上記の設定条件を基に、地下水開発チーム2チームによる工事期間について検討す
る。

総掘進長: $50\text{m} \times 300\text{本} \times 1.2 = 18,000\text{m}$

必要掘進日数: $18,000\text{m} \div 10.5\text{m/日} \div 2\text{台} = 860\text{日} = 29\text{ヶ月}$

この他にも、工事の準備や機械の整備期間も考慮する必要がある。

5) 以上の検討結果、完全整備の地下水開発チームを2チーム編成すれば、3年間の
工事期間で計画を達成できると判断され、技術移転の期間を考慮すると妥当な工程
である。

(8) 目標年次

本計画は、国家長期開発政策(1987~1996年)に基づいて実施されるもので、1996
年度までに完了させることを目標としている。当プロジェクトの開始年次を1992年と
した場合、資機材の調達期間を考慮して、作業期間は4年間に跨がるが、目標年次内
に完了させることができる。

(9) 資機材

深井戸建設に際しては、掘削機を始めとする資機材が必要となる。水利局に所属す
る掘削機は、先に日本から供与された掘削機を除き全般に老朽化が激しく、極めて作
業効率が悪いので、工程どおりの工事を期待することが出来ない。日本からの供与機
材2セットはそれぞれ中部および南部地方事務所に配属されている。

南部地方事務所に所属する掘削機は、UNHCR(モザンビーク難民関係)やPhalombe
の災害対策関係の緊急プロジェクトにおいて重要な戦力として活躍しており、今後も
継続した作業が予想される。

このため、ムチンジ県の地下水開発に際しては、中部地方事務所に配属された掘削機
1台と日本から新たに供与する掘削機の2台体制で工事を行うこととする。

また、本プロジェクト終了後、新しく供与された掘削機は、作業能力の劣る北部地
方事務所へ配属されることが予定されており、全国的に直営工事のレベルアップを図
ることができるため、掘削機1台の供与は妥当である。

10) ポンプ

ポンプに関しては、同国で推進しているVLOM体制を配慮し、アフリデフポンプを採用する。

4-2-5 要請施設・資機材の検討

(1) 要請施設

当プロジェクトにおけるマラウイ国側の要請施設は、深井戸とその付帯構造物よりなる給水施設であるが、計画対象地域内では隣接部の自然流下式水道給水区域のように水処理を必要としない清潔な表流水が得られていないため、深層の地下水を水源とする深井戸による給水施設が建設コスト、維持管理面等より判断し最適と考えられる。

1) 深井戸

井戸の形状のうち、深さについては4-2-4項での検討したとおり地質条件に沿って設定するのが適当である。井戸の仕上がり孔径については、ポンプ下部構造（アフリデフポンプの揚水管外径約82mm）、井戸管理上の問題（井戸孔内の清掃作業）を考慮すると、最低100mmを確保する必要があり、孔径100mmが適当であると考えられる。

2) 付帯構造物

受水用エプロン、排水路、洗い場等を備えつけた設備が付帯構造物となる。これ等の配置については、マラウイ国の標準仕様に沿って計画すれば問題はないが、現地における既設の深井戸等では、① 井戸口元のポンプとコンクリートスラブ間の緩み、② コンクリートの亀裂等の不具合が認められるため、鉄筋の使用等構造的な配慮を行うことが必要と判断される。

また、井戸周辺の排水条件の悪い地点では、表層に溜まった水に動物等のふん尿が混り、地下水を汚染する原因となるため、一部の井戸に対し排水対策を講ずることが必要と判断される。

(2) 要請資機材

マラウイ国側の資機材に関する要請内容は、掘削用機材1組、北カウイング地下水開発計画で供与された機材1組分のツールスおよびスペアパーツおよび深井戸工事300本分の井戸資材（ケーシング等）、設備用機材（ポンプ）よりなる。

4-2-4項で検討したとおり、供与済掘削用機材2組全てを当プロジェクトに使用すると、UNHCRのモザンビーク難民関係のプロジェクトに支障をきたす事、また、新しく掘削用機材を1組供与（技術協力を伴う）することによりマラウイ国政府自体の工事能力の強化充実を図る事等より、掘削用機材1組の供与は必要と判断される。

要請内容に資機材の具体的なリスト、数量は計上されていないが、① 計画対象地域の地質構成が北カウインガ地区の地質条件とほぼ類似している事、② 北カウインガ地区の業務が成功裏に完了させることが出来た事。以上2点より同じ基本方針（5-1項で詳述）、機種および組合せでリストアップしてゆく事が妥当と判断される。なお、工事のコスト低減を図るため、現地産PVCパイプ製のケーシング、ベントナイトに替わる輸送コストの安い泥水済の採用等も5-4-5項において考慮する。

4-2-6 技術協力の必要性検討

マラウイ国側からの技術協力に関する要請は、① 日本から供与した掘削機に対するドリラーの研修と② ハイドロジオリジストの研修に分けられる。

掘削技術に関しては、先に実施された北カウインガ地区地下水開発の業務を通して、2名のドリラー（中部地方事務所、南部地方事務所各1名）が技術研修を受けている。彼らは一通りの技術をマスターしており、プロジェクト終了後もマラウイ国独自で深井戸工事を実施してきたが、掘削技術、事故処理、メンテナンス等の面で経験不足によるトラブルの発生もあり、さらに研修を積むことへの要望が強い。同時に、当プロジェクトの実施に伴いマラウイ国政府所属の掘削機も3台体制となるため、多くのドリラーが掘削技術をマスターしておくことが必要である。

地下水開発プロジェクトを担当している水利局には、水理地質学を修めた高等技術者を抱えており、業務管理の経験や一通りの水理地質学的な知識はあるが、組織制度上現場における実務を担当する機会が少なく、日本における研修を強く望んでいる。

4-2-7 協力実施の基本方針

本計画の実施については、以上の検討によりその成果、実現性、実施体制等が確認されたことで、本計画の効果が無償資金協力の制度に合致していること等から、日本の無償資金協力で実施することが妥当であると判断された。よって、日本の無償資金協力を前提として、以下において計画の概要を検討し、基本設計を実施することとする。

4-3 計画の概要

4-3-1 事業計画

事業計画は、下記のような内容から構成されている。

- (1) 対象地域は、中部州ムチンジ県のT. A. / S. T. A. Mlonyeni、Maywere、Zule、Mduwa、Mkanda、Dambeに跨がる約1,730km²の区域とする。
- (2) 給水施設は清浄かつ量的にも安定した飲料水を得るための設備であり、安定した水質と水量が確保できる深井戸とする。
- (3) 目標とする給水条件は、1日1人当たりの給水量27ℓ、深井戸1本当たりの給水人口250人を基準とする。
- (4) 基盤岩の風化帯及び裂か中に賦存されている質量共に良好な地下水が水源である。
- (5) 乾期においても水涸れしない滞水層中にストレーナーを設置する。
- (6) 揚水方式は、1井当たりの受益者人口が少ないことを考慮し、維持管理が容易で、経済性に富むポンプを設置する。
- (7) 付帯構造物は、衛生面及び機能性を考慮し、井戸口元をコンクリートでまき、受水用エプロン、排水路、洗い場を備えた設備とする。
- (8) 人為的な二次水質汚染を防止する目的で、住民に対して公衆衛生面での指導を行う。
- (9) 深井戸建設本数は300本とし、対象区域内の村落別の人口分布および既存の深井戸施設の分布を考慮して配置する。
- (10) 深井戸給水施設による普及率を現在(1987年)の17%から工事完了時には約50%まで高め、受益者人口を約100,000人とする。
- (11) 深井戸建設工事は、1年目80本、2年目110本、3年目110本の3ヵ年計画で実施する。
- (12) 施工順序は、給水普及率の最も低いムチンジ県の南部(Zone 1)から始め、順次北部方面(Zone 2、Zone 3)へ進めて行く。

以上の事業計画を実施するために必要な供与資機材は、水利局保有の深井戸建設用機材を考慮し、リストアップすると次表のとおりである。

表 4 - 3 - 1 供与資機材計画一覧表

	今回供与	マ国側提供	プロジェクト数割
トラック搭載型掘削機 (ロータリー・エアハンマータイプ)	1台	1台	2台
コンプレッサー	1台	1台	2台
トラック搭載型揚水試験機材	1台	1台	2台
電気探査器	1組	1組	2組
電気検層器	1組	1組	2組
その他の試験機材			
地下水位測定器	1組	1組	2組
電気伝導度計 (温度計付き)	1組	1組	2組
PHメータ	1組	1組	2組
車 輛			
4WDステーションワゴン	2台	—	2台
4WDピックアップ	2台	—	2台
5tonクレーン付トラック	2台	—	2台
3tonクレーン付トラック	1台	1台	2台
モーターバイク	3台	—	3台
給水タンク (4 m ³)	1台	—	1台
通信機	1式	—	1式
ケーシングおよびスクリーン (PVC)	300ㇰ井分	—	300ㇰ井分
ポンプ (アフリデフポンプ)	330台	—	330台
修理用機材	1組	—	1組
泥水剤、発泡剤	300ㇰ井分	—	300ㇰ井分
土木用資材	1組	1組	2組
現地基地設備	1組	—	1組
今回供与機材スペアパーツ・他	1式	—	1式
供与済機材スペアパーツ・他 (掘削機のツールズ等)	1式	—	1式

4-3-2 深井戸配置計画

深井戸建設地点は、次の基本方針に基づき選定する。

- (1) 工事の着手順位をZone 1、2、3とする。
- (2) 1996年のZoneおよびT. A. 毎の推定人口および既存井戸本数より、各Zone、T. A. の井戸本数を決定する。

(各ZoneにおけるT. A. / S. T. A. 毎の新期掘削井戸数計算式)

T. A. / S. T. A. の新期掘削井戸数

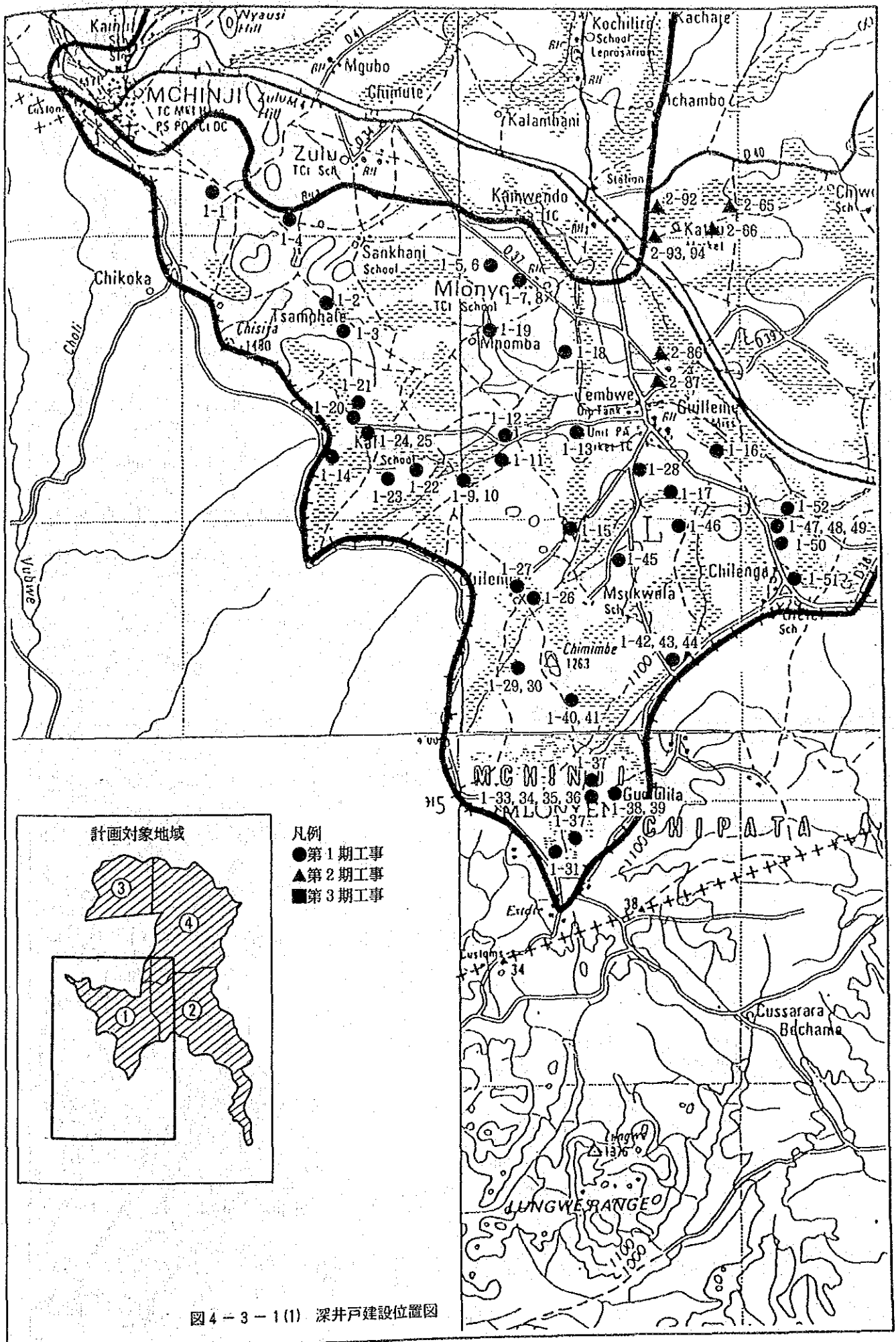
$$= \left\{ \begin{array}{l} (300 \text{ 本} + 95 \text{ 本}) \times \frac{\text{T. A. / S. T. A. の人口}}{203,130 \text{ 人}} \\ \text{新期掘削井戸数} \quad \text{既存井戸数} \quad \text{全体の人口} \end{array} \right\} - \text{T. A. / S. T. A. の既存井戸数}$$

- (3) 村落住民の人口を重視し、人口200人以上の村落を優先する。井戸を2本以上必要とする集落については、最低400~500人に1井の割合で井戸を配置する。
- (4) 小集落が散在する地域においても、地理的な配慮（渇水時の代替水源として）をして決定する。
- (5) 水理地質条件を考慮する。
- (6) 水質の悪い地域は除外する。
- (7) 工事に際してアクセス道路の条件が悪い集落は除外する。
- (8) 学校、病院、公設市場等の公共施設のある村落を優先する。

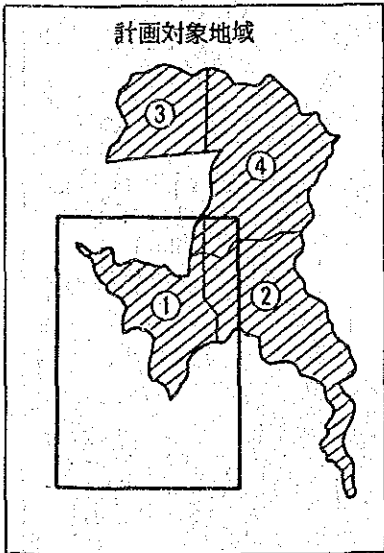
上記基本方針に沿って選定した各Zoneおよび各T. A. / S. T. A. 毎の深井戸建設数量および位置は表4-3-2、図4-3-1に示すとおりである。また、深井戸建設の村落名については資料編に整理した。

表 4 - 3 - 2 T. A. / S. T. A. 毎の深井戸建設数

Zone	T. A. / S. T. A.	推定人口 (1996)	深 井 戸 本 数			期 別		
			計	既存深井戸	新規深井戸	第1期	第2期	第3期
1	Mlonyeni	18,700	37	9	28	28	—	—
	Mavwere	67,470	131	19	112	52	60	—
	Zulu	22,310	43	9	34	—	34	—
	Sub Total	108,480	211	37	174	80	94	—
2	Zulu	15,640	31	2	29	—	16	13
	Mduwa	20,180	39	12	27	—	—	27
	Dambe	21,070	41	15	26	—	—	26
	Sub Total	56,890	111	29	82	—	16	66
3	Mkanda	21,790	42	18	24	—	—	24
	Dambe	15,970	31	11	20	—	—	20
	Sub Total	37,760	73	29	44	—	—	44
Total		203,130	395	95	300	80	110	110



計画対象地域



- 凡例
- 第1期工事
 - ▲ 第2期工事
 - 第3期工事

図4-3-1(1) 深井戸建設位置図

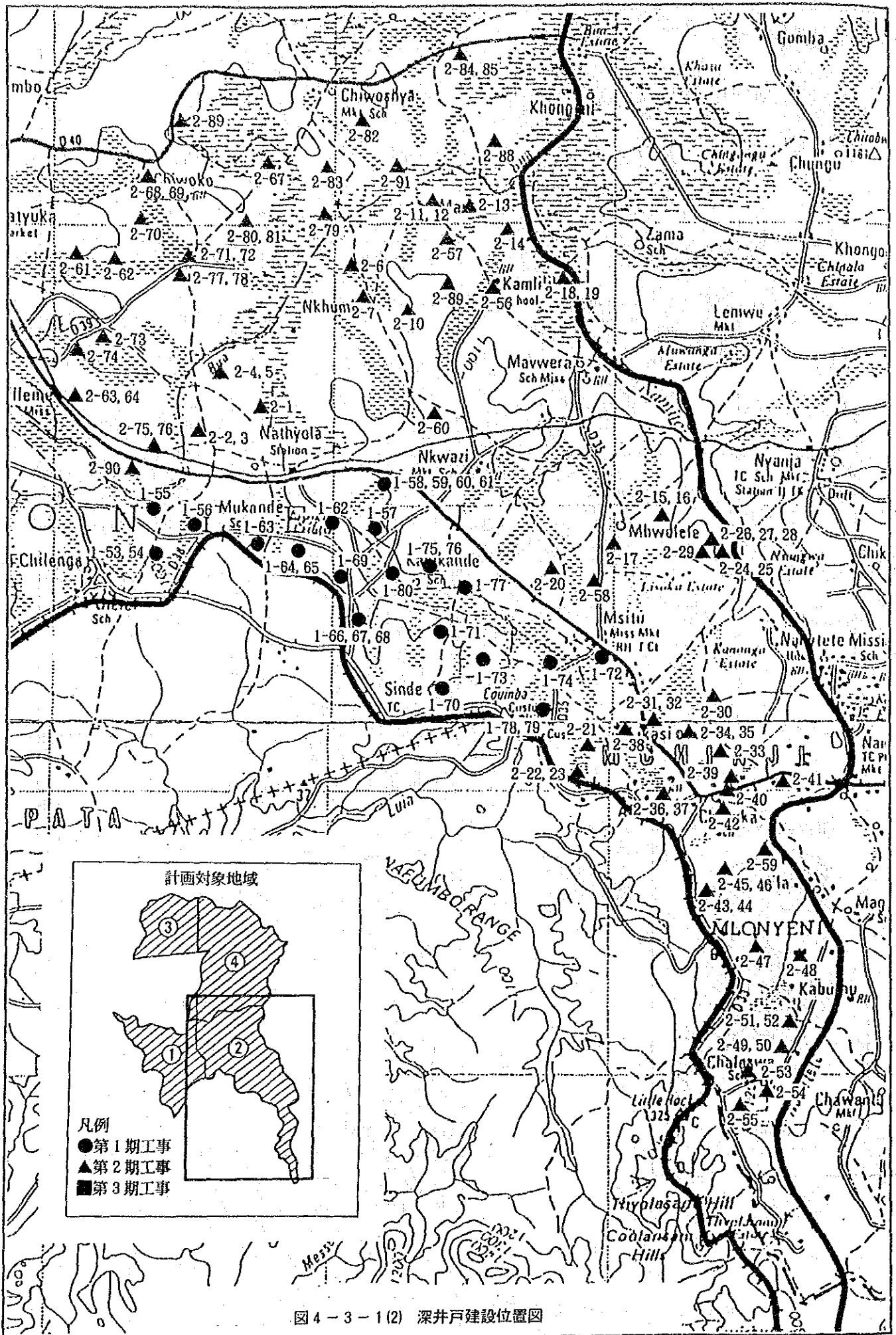
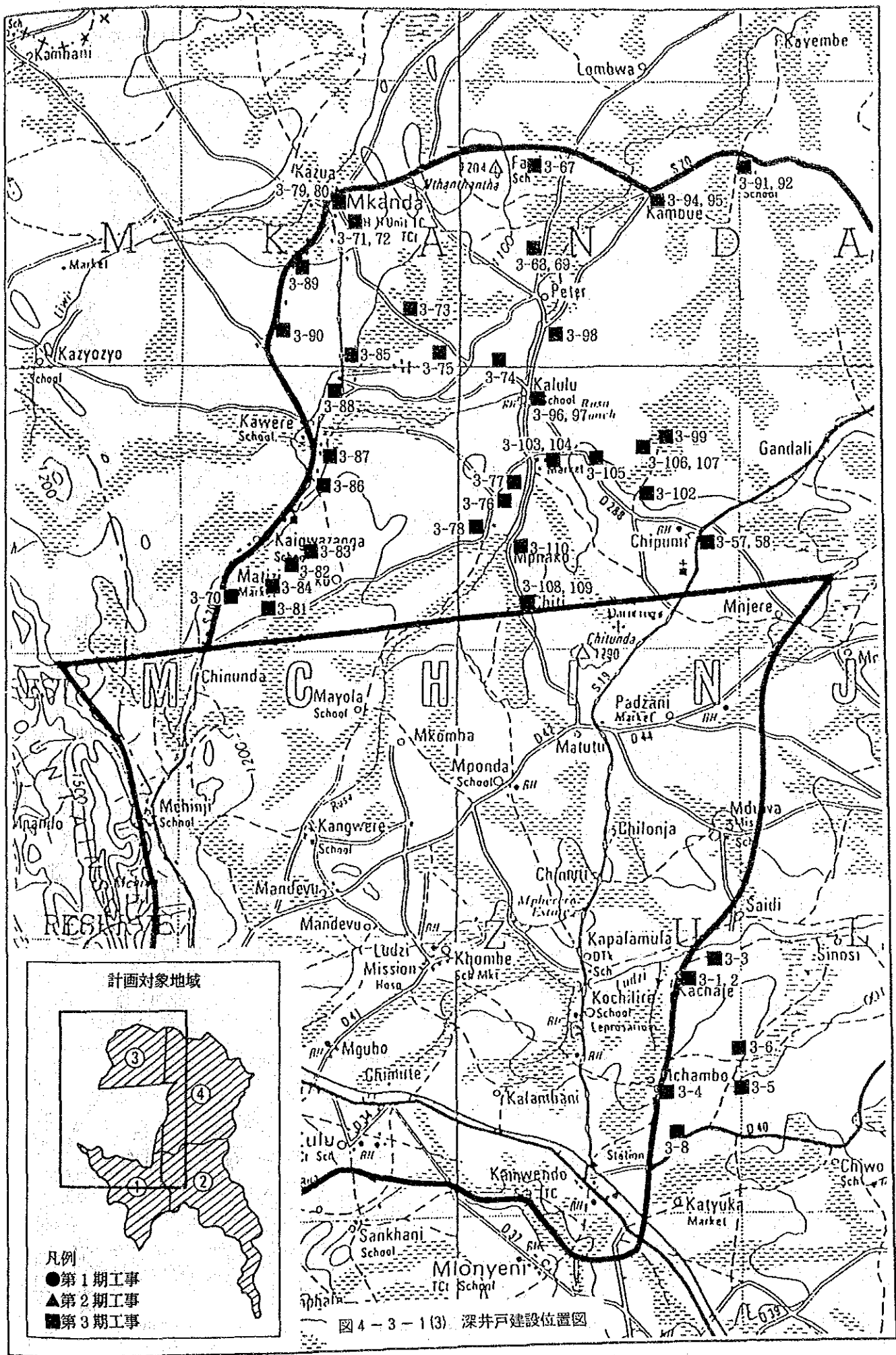


図 4-3-1(2) 深井戸建設位置図



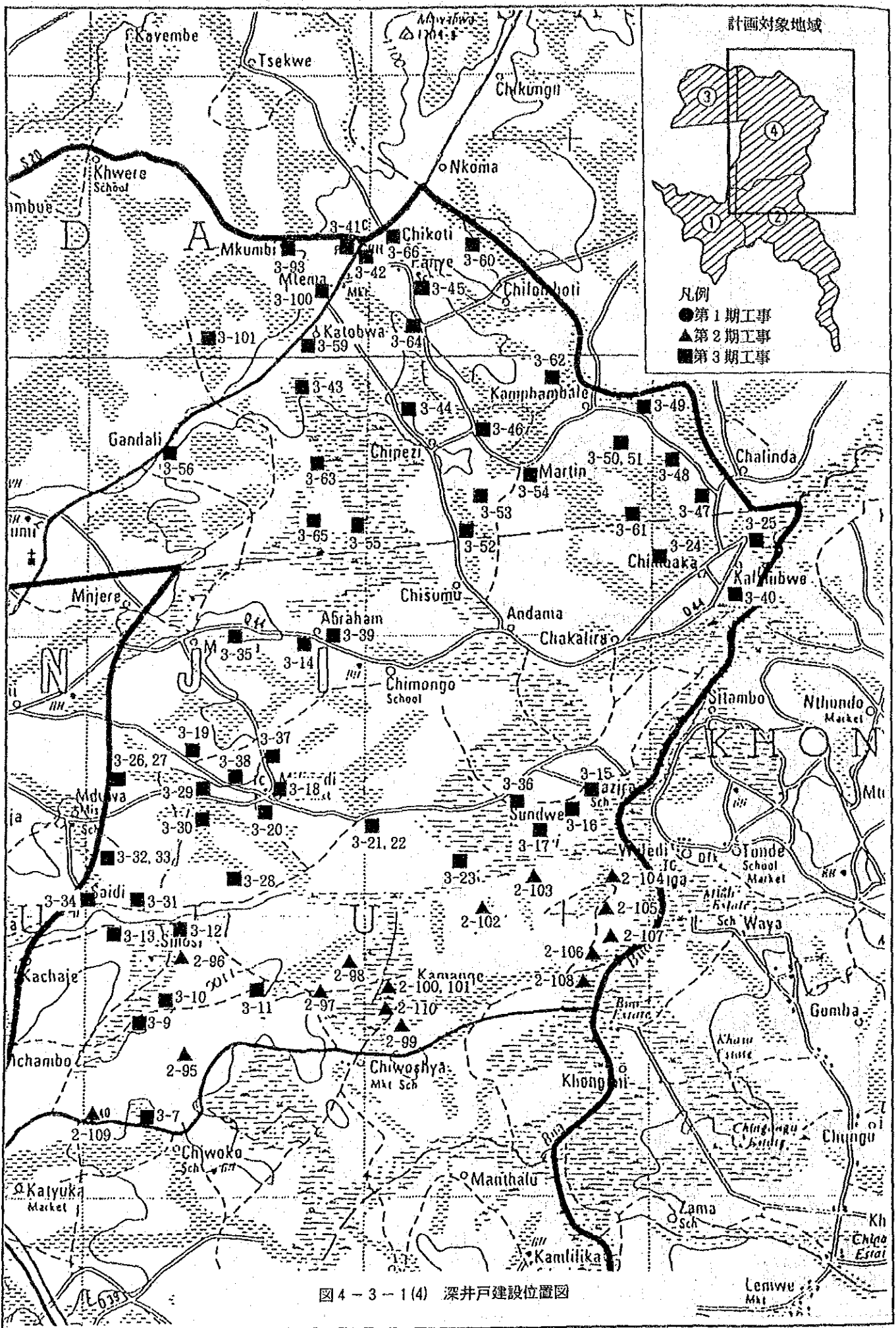


図 4 - 3 - 1 (4) 深井戸建設位置図

4-3-3 技術協力

(1) 掘削技術

北カウインガ地区地下水開発プロジェクトにおいて、1989年に日本から2台の掘削機が供与され、水利局のドリラー（2名）は同プロジェクトの工事を通して供与機械の操作・掘削方法について一通りの技術研修を受けている。現在、彼らは南部地方におけるUNHCR（モザンビーク難民関係）やPhalombeの災害対策関係の緊急プロジェクト、また、中部地方においてはIFADの資金による農業省のプロジェクトで活躍中である。しかし、次記の点で、経験、技術力が不十分であり、掘削技術に関する再研修を強く望んでいる。

1) 多様な地質条件に対する掘削技術

エアロータリー式、エアパーカッション式による掘削の経験を積んでいるが、泥水を使った掘削の経験が不足しているため、不適切な掘削方法を採用し、機械に能力以上の負担をかけたり、掘進中の事故の原因となっている。このような問題を解消し、掘削機を有効に活用していくためには、多様な地質条件に対する掘削技術を身に付けると同時に、地質条件に応じて適切な掘削方法を判断できる能力が必要である。

2) 掘削中の事故に対する処理

北カウインガプロジェクトでは、掘削作業中の事故にほとんど遭遇しなかったが、掘削機のコンディション、地盤条件および誤操作等、種々の原因で事故が発生するものである。このような事故に対する処理方法について指導を受ける必要がある。

3) 掘削機に対するメンテナンス

ある程度の掘削機のメカニズムを理解し、簡単な故障に対して修理できる技術をマスターし、修理機材を使いこなせることが必要である。

本プロジェクトの実施により、新しい掘削機が導入される計画であるため、研修経験者の再研修だけでなく、未経験者の研修も必要不可欠である。

上記問題点のうち、1)については本プロジェクトの工事における On-the-job Trainingによってある程度解決することができると考えられるが、2)、3)に関しては工事を通して全てを経験するのは難しく、日本国において整備されたカリキュラムに沿って研修を受ける必要がある。

従って、ドリラーの研修に対する技術協力として、マラウイ国側は次のとおり要望している。

<u>研修方法</u>	<u>研修対象</u>	<u>研修期間</u>
工事におけるOn-the-job Training	A × 2名	工事期間中
”	B × 1名以上	”
日本での研修	A × 2名	短期

注) A : 再研修ドリラー

B : 未経験ドリラー

(2) 地下水開発

地下水開発プロジェクトを担当している地下水課には、12名のハイドロジオロジストが所属しており、彼らは一般的な業務管理を行っており、一通りの水理地質学に関するカリキュラムを修めているが、組織制度上、現場での実務を担当する機会が少ない。今後、供与された掘削機を用いて自主的に地下水開発を推進していくためには、実務に役立つ広範囲な水理地質学の知識を習得する必要がある。従って、ハイドロジオロジストを対象とした技術協力として、マラウイ国側は地下水開発の研修を次のとおり要望している。

<u>研修方法</u>	<u>研修対象</u>	<u>研修期間</u>
日本国における研修	A × 1名	長期
”	B × 1名	短期

注) A : 水利局での経験が5年未満のハイドロジオロジスト

B : 水利局での経験が5年以上のハイドロジオロジスト

第5章 基本設計

第5章 基本設計

5-1 資機材選定の基本方針

4-2-4項で検討したとおり、1989年に日本より供与し、現在水利局が所有する2組の深井戸建設用機材のうち、中部地方事務所に所属する1組と新たに供与する機材の2組体制で深井戸300本の工事を行うことを前提とする。

供与資機材の機種および数量の選定については、地下水開発計画を円滑に遂行させるために、次の事項を基本方針とした。

- (1) 対象地域の自然条件・社会・経済・インフラストラクチャー状況等に留意し、選定する。
- (2) 水利局の組織・スタッフ・技術レベル・実績・保有資機材等を参考に選定する。
- (3) 対象地域が広い範囲で、数多くの深井戸を建設するため、機動性に優れた設備を選定する。
- (4) 深井戸を効率よく建設するために、掘削機チーム、揚水試験チームに区分し、専門分担制を採用する。
- (5) 掘削機は土砂から硬岩まで、多種多様な地層に適合性のある機種を選定する。
- (6) 資機材については、適合性、操作性、耐久性、維持管理、価格等を重視して選定する。
- (7) 掘削機チーム、揚水試験チームをそれぞれ2チームずつ編成し、資材とスペアパーツは3年分の数量とする。
- (8) 掘削機資機材を供与するだけでなく、技術移転のためのOn-the-job Trainingを行うことを原則とする。

5-2 主要資機材の検討

(1) 掘削機材の機種

掘削機材の機種および数量については、地下水開発計画を円滑に遂行させるために、次のような事項について留意して選定した。

- 1) 深井戸の掘削および建設に必要な資機材
- 2) 資材数量については3年分の工事を前提とする。
- 3) 1989年に日本から供与した深井戸建設用機材の実績
- 4) 掘削機チームは2チームとする。
(うち1チーム分は日本より供与した機材を使用する)
- 5) 対象地域の自然条件・社会・経済・インフラストラクチャー状況等
- 6) 操作性・耐久性・適合性等

- 7) マラウイ国政府の要請内容と地下水開発計画
- 8) 水利局の組織・スタッフ・技術レベル・実績等

本計画の主役となる掘削機については、表5-2-1に各種の特徴を述べ、表5-2-2において評価を行った。なお、評価にあたって計画対象地域の地質状況および計画の内容より、次の条件を満足する必要がある。

- a) 対象地域の地質条件は、表層に比較的ルーズな未固結堆積物と強風化岩が分布し、下部は先カンブリア紀の片麻岩類を主体とする硬岩によって構成されている。地下水の賦存は強風化帯から硬岩層上部の裂か帯に跨がって期待されるもので、これらの多種多様な地質に適合性がある機種であることが必要である。
- b) 水利局が現在所有しているパーカッション式掘削機より作業効率の良い機種であること。
- c) 泥水正循環工法により、崩壊性の軟弱な地層から硬質岩の分布する基盤まで比較的大孔径で掘削できる能力を有すること。
- d) エアーハンマーの使用により、硬岩中を高能率で掘進できる能力を有すること。
- e) 深井戸建設候補地は広大な範囲にわたって散在しているので、掘削機は機動性に優れたトラック搭載型とし、泥水ポンプ、インジェクションポンプ（フォームドリリング用）、油圧起倒式試錐機を備えたものとする。

上記前提条件を基に、機種の選定理由について記すと次のとおりである。

- ① 掘削機の機種として、パーカッション式、泥水正循環ロータリー式、泥水逆循環ロータリー式に大別できる。

パーカッション式の場合、構造が単純なため、運転、修理等が容易であるが、掘進スピードが遅く、硬岩の掘削が不可能なため、地質状況、工期等を考慮すると、本計画には不適當である。

また、泥水逆循環ロータリー式掘削機の場合も450mm以上の大孔径掘削に適用されるもので、本計画の井戸の仕様に合致するものではない。

残りの泥水正循環ロータリー式掘削機の場合、種々の地質条件や仕様に対応できると同時に、エアロータリー、エアーパーカッション掘削も併用できる機能を期待することが可能である。

- ② 前記①に述べたとおり、掘削機として泥水正循環ロータリー式が本計画に適當となるが、この方式の場合、スピンドル型、テーブル型、トップドライブ型の3機種がある。スピンドル型は、スピンドルの移動量が少ないため、掘進中の作業が増え（非能率で）、調査ボーリング等の小規模工事に向いている。一方、テーブル型は数100m以上の深度の井戸の掘削に適しているものであり、本計画ではトップドライブ型が最も適當である。

表5-2-1 掘削工法




区分	特徴及び概要	掘削方法	回転掘削	上下掘削	排泥
					
パーカッション ボーリング	ビットを一定の高さに吊り上げてから自由落下させその衝撃により掘進する。深いボーリング方法の中で最も古い歴史がある。機器は安い、固結層には不適である。	打撃	しない	ワイヤー	採泥器
スピンドル型 ロータリー ボーリング	ドリルパイプを固定したスピンドルを回転及び上下させて掘進する。コンパクトな機械でコア掘に適する。	回転	スピンドル	スピンドル	泥水 正循環
テーブル型 ロータリー ボーリング	ロータリーテーブルにより回転し、吊り上げワイヤーにより上下し掘進する。大きな回転力を与えることができるが、大型機となる。	回転	ターンテーブル	ワイヤー	泥水 正循環
トップドライブ型 (パワーヘッド型) ロータリー ボーリング	ドリルパイプの上部の油圧モーターにて回転し、油圧ジャッキにより上下して掘進する。比較的小型軽量となり、ドリルパイプの操作等能率が良い。	回転	油圧モーター	油圧ジャッキ	泥水 正循環
リバース ロータリー ボーリング	ロータリーボーリングとは、掘削泥水の流れが全く逆の方法。多量の泥水を使用し、比較的大口径に適する。	回転	スピンドル ターンテーブル 油圧モーター	スピンドル ワイヤー 油圧ジャッキ	泥水 逆循環
エア ロータリー ボーリング	ロータリーボーリングの泥水のかわりに圧縮空気を用いて排泥する。能率は良いが、深掘りはできない。	回転	スピンドル ターンテーブル 油圧モーター	スピンドル ワイヤー 油圧ジャッキ	圧縮空気 発泡剤 正循環
エア パーカッション ボーリング	エアロータリーのドリルパイプの先端のハンマーにより回転を与えながら、打撃して掘削する方法である。能率はきわめて良いが、深掘りはできない。	回転 と打撃	スピンドル ターンテーブル 油圧モーター	スピンドル ワイヤー 油圧ジャッキ	圧縮空気 発泡剤 正循環

表5-2-2 掘削機種種優劣表

◎最も良い ○良い △やや劣る ×劣る

機種・工法	掘進能力		適用地質			地下水での適合性	⑥、⑦水に対する適合性	類似品 入手難易	操作性	耐久性	維持管理	工事期間	通経経費	価格※	要望	総合評価
	深さ (m)	孔径 (mm)	土砂	堆積岩	基礎岩											
① パーカッション (ケーブソール)	100~ 200	100~ 600	○ △	△ ×	×	△	×	○	○	◎	○	×	○	1.00	×	×
② ダイレクトロータリー スピンドル型	500以上	46~ 1,500	○	○	△	○	○	○	○	○	○	△	○	0.90	×	×
③ ダイレクトロータリー テーパー型	500以上	46~ 1,500	○	○	△	○	○	△	△	○	△	△	○	1.25	×	×
④ ダイレクトロータリー トップドライブ型 パワーヘッド型	500	46~ 1,500	○	◎	△	○	◎	△	△	○	△	△	○	1.10	△	×
⑤ リバースロータリー	100	450~ 1,500	○	△	△	○	×	×	△	○	△	△	—	1.55	×	×
⑥ エアロータリー	100	100~ 200	◎	○	×	△	—	△	△	○	△	—	—	—	△	×
⑦ エアパーカッション	100	100~ 200	×	△	◎	△	—	△	△	○	△	—	—	—	△	×
⑧ スピンドル型 I7-R-グリ、I7-B-カッション	500以上	46~ 1,500	◎	○	◎	○	—	△	△	○	△	○	○	1.55	△	○
⑨ テーパー型 I7-R-グリ、I7-B-カッション	500以上	46~ 1,500	◎	○	◎	○	—	△	△	○	△	○	○	1.95	△	○
⑩ トップドライブ型 I7-R-グリ、I7-B-カッション	500	46~ 1,500	◎	◎	◎	○	—	△	△	○	△	◎	○	1.75	◎	◎

※:①を1とした時の比率

(注) ⑧=②+⑥+⑦

⑨=③+⑥+⑦

⑩=④+⑥+⑦

- ③ この泥水正循環ロータリー式の3機種に対し同じ能力(馬力)のエアロータリー、エアパーカッションの機能を備えた掘削機の場合、価格、運転、経費等で比較すると、ほとんど各機種の差がなく、作業能率の面から機種が選ばれるべきものである。

以上の検討の結果、掘削機の基本方針は、前回供与した機種と同様に油圧式トップドライブパワースイベル型となる。また、本計画の予定最大掘削深度は75m程度と推定されることから、エアハンマー掘削において掘削最終孔径170mm、最大掘削深度100m以上の十分に余裕のある掘削能力を有し、かつ高能率、安全作業のできることおよび水利局の要請に基づき軽量で走行性能が良いことも条件となる。

掘削機チームは2チームであるので、2台の掘削機が必要であるが、1台は供与済掘削機のスペアパーツの補充・修理により使用できると判断して1台を採用し、選定機種の性能に準じてコンプレッサーやさく井ツール等を選定した。

(2) 揚水試験機材

揚水試験機材チームの主な役割は次の通りである。

- 1) 掘削機チームによって掘られた井戸の孔内洗浄
- 2) 揚水試験を実施することにより揚水可能量の判定
- 3) ポンプのセット
- 4) 水質試験を実施し、水質の適否の判定を行う

以上のような揚水試験機材チームの役割から少なくとも次の様な資機材が掘削機1台につき1組計2組必要であるが、1組は供与済揚水試験機材で対応できると判断し、1組を採用した。

- a) 機動性の良いトラック搭載型揚水試験機材とし、コンプレッサーおよびエアリフト、エアージェッティソニングのツールを昇降させるための槽およびウィンチを兼備し、ポンプの据付けにも使用できるもの。
- b) 水中ポンプ、発電機、地下水位測定器等の揚水試験および電気伝導度、温度、PH測定器等の水質試験に必要な装備を備えている。

(3) 物理探査器

物理探査器は、井戸位置を選定するための地下水調査に適切な電気探査器とし、2組必要であるが、1組は供与済探査器で対応できると判断し、1組を採用した。

(4) 孔内検層器

孔内検層器は、井戸掘削後ケーシング、ストレーナーの組合わせを決めるために必要な機器で、電気検層器とし、掘削機に1組ずつ計2組が必要であるが、1組は供与

済検層器で対応できると判断し、1組を採用した。

(5) 車 輛

現地の道路事情から、車輦はモーターバイクを除き全て右ハンドル、4輪駆動車とする。また、前項(1)、(2)で記した作業を効率的に行うために車輦の組合わせを検討した。

1) クレーン付カーゴトラック

現地基地に集結した資機材を各現場に運搬し、掘削開始後は掘削用ツールズ、掘削用水、グラベル、井戸用ケーシング、スクリーン等の運搬、また井戸廻りの施設用のセメント、砂、砂利、レンガ、ラテライトおよびガソリン、軽油（ドラム罐）の運搬等を目的として使用するため、5 tonクレーン付トラックおよび3 tonクレーン付トラックを各々1台必要となるが、前回供与した5 tonクレーン付トラックが事故により修理不能のため、新たに1台追加し、計3台のクレーン付トラックを採用した。

2) ステーションワゴン

井戸建設工事にあたっては、井戸建設位置が散在していることにより作業員の移動用および井戸の維持管理用として本車種が必要不可欠である。

井戸掘削チーム2チーム編成であるので、標準的に2台必要である。

うち1台は前回供与したステーションワゴンを使用することも検討したが、現在の走行距離が10万km前後であり、本プロジェクト開始時には走行距離が15万kmを越えることに加え、未舗装の土漠道路での走行が主になることを考慮し、掘削チーム1チームに対応する1台に加えて新たに1台追加し、計2台のステーションワゴンを採用した。

3) ピックアップ

発電機・溶接機等の修理機器、測定機器の運搬、連絡・支援車として必要不可欠である。供与済の1台は前項 b) と同様にプロジェクト開始時に走行距離が15万kmを越えることおよび道路事情から買換えが必要と判断し、新たに1台を加え計2台を採用する。

4) モーターバイク

建設された井戸の保守・管理のために、各井戸位置を巡回する目的で使用するので、マラウイ国では維持管理事務所のoperator 1人につき100ヶ所の井戸を管理することになっている。3年間の工事において300ヶ所の井戸が設けられることになるため、モーターバイクは3台採用した。また、現場の道路事情より、オフロード用100～125ccが適当である。

(6) 給水タンク

掘削用水の運搬に水タンク（4 m³）を必要とするが、このタンクはトラック搭載型とせず、車輛の有効活用を図るためクレーンを使用し、必要に応じ積み降ろしが可能な水タンクを採用した。

(7) 通信機

井戸建設工事を実施する上で、資機材の集結地となるムチンジ市が現地基地（プロジェクトの統轄、現場管理、資機材保管）になると予想されるが、水利局本部と現地基地の連絡は電話回線が設けられており可能である。しかしながら、現地基地とサイト（移動局）の間には連絡手段が必要となり、以下の無線通信設備を採用した。

現 地 基 地 : FM通信機 1台

サイト（移動局）: FM通信機 5台

(8) ポンプ

ポンプに関しては、マラウイ国の要請に加え2-2-2項で述べたように、メンテナンスの容易性、堅牢性、将来スペアパーツの確保等を考慮し、村落レベルでの深井戸運営・維持管理方式（VL0M）の実施のために必須であるアフリデフポンプを採用した。

(9) ケーシングおよびスクリーン

ケーシングおよびスクリーンについては、前回の供与ではFRPパイプを採用したが、今回はPVCパイプを採用する。

これは、PVCパイプの現地生産体制が整い、小口発注、早期納入が可能となり、FRPパイプと比較して熱に対する品質の安定性が低いPVCでも現場において必要最小限のパイプをストックすることで、常時新しいものを使用できるため、熱によるパイプの変形、劣化が起りにくいと判断したためである。

(10) その他、井戸資機材

スペアパーツを含むその他の資機材の数量は、深井戸を3年間（3期）に300本建設するための消費を想定し、リストアップする。但し、1989年に供与した深井戸用建設機材1チーム分の有効利用を図るため、オーバーホール用のスペアパーツも1チーム分を含めた形で計上する。

(11) 現地基地用設備

計画資機材の保管・維持管理（修理を含む）および深井戸建設工事の管理面から、現地基地が必要で、管理事務所およびワークショップ用設備として36m³程度の窓付きコンテナ2台の他、必要な付属機材を現地基地用設備として計上する。

5-3 基本計画

5-3-1 深井戸建設工法および付帯構造物の設計

供与資機材による深井戸建設工事の手順の概要は下記のとおりである。

- (1) 井戸の口元は孔径10 5/8"で深さ6mまで泥水掘りにて掘削し、内径10"のコンダクターパイプを挿入する。
- (2) 以深の土砂または強風化岩が分布する範囲（深度10～20m）は孔径8 1/2"で泥水掘りを行い、内径7 1/2"のガイドパイプを挿入する。また、ガイドパイプを挿入する前に必要に応じ電気検層を行い、滞水層の確認を行う。
- (3) 以深の硬岩部は孔径6 3/4"でエアーハンマー工法により掘削する。
- (4) 所定の深度まで掘削した後、電気検層により滞水層のチェックを行い、内径4"のスクリーンおよびケーシングを設置する。
- (5) スクリーンの周辺には所定の粒径の砂利を、ケーシングの周辺には粘土類を確実に充填する。
- (6) エアーリフト装置により、孔内の洗浄を清水に変わるまで実施する。
- (7) 水量、水質のチェックのため揚水試験、水質試験を行い、井戸の適否を判定する。揚水試験は必要に応じて段階揚水試験や回復試験を実施する。
- (8) (7)の試験の結果井戸として合格すると、ポンプのセットおよび付帯構造物の受水用エプロン、洗い場、排水路工事を行い、井戸は完成する。

付帯構造物は、基本的条件として次の考え方に沿って設計する。

- 1) 深井戸周辺を清潔に保つため、環境面での配慮をすると同時に、受益者が利用し易いように各種設備を配置する。
- 2) 耐久性のある構造とする。
- 3) 水汲み作業に支障をきたさない面積として、受水エプロンは4 m²程度確保し、かつ頭にバケツを乗せ易いようにバケツスタンドを設ける。
- 4) 井戸口元周辺部の泥ねい化防止のための排水路の延長は7.6mとする。
- 5) 洗い場には2ヶ所洗い盆を設ける。
- 6) アフリデフポンプを使用するため、ポンプの背面に受水エプロンと同じ構造の足場を確保する。
- 7) 深井戸周辺の排水条件の悪い地点では、地表に水が溜まり、家畜が集まってくるため、地下水を汚染する原因となっている。また、このような水溜りは蚊の発生を助長する。従って、このような地点に建設する井戸に対しては排水枡を設けることとする。但し、家畜の進入を防ぐための排水枡廻りの木柵は、現地村落住民が設けるものとする。

深井戸、付帯構造物および排水枡の構造図は各々図5-3-1、図5-3-2および