

2.6 水質確認サイトにおける調査結果

2.6.1 イグンガ県

(1) イグモ村

調査位置図を図 2.6.1 に、調査結果を図 2.6.2 に示す。

広域衛星画像で判読されたリニアメント周辺で探査を行った。

1) No.1 周辺

測線中央付近を境に北側が最大 1500 Ω -m、南側は最大 600 Ω -m と比抵抗分布に大きな差異が生じている。北側については、新鮮な基盤岩の分布が予想され、地下水開発の可能性は低いと判断される。南側については、全体的に比抵抗値は高いものの、リニアメントと整合する調和的な比抵抗の低下箇所が認められており、この箇所で地下水が胚胎している可能性を期待できる。IG-007BH1 を試掘地点として選定した。

(2) ブヘケラ村

調査位置図を図 2.6.3 に、調査結果を図 2.6.4 に示す。

広域衛星画像で判読されたリニアメントの延長線上で探査を行った。

1) ブヘケラ No.1 周辺

測線中央付近で、比抵抗値が周辺よりも 300 Ω -m 程度低下するゾーンで認められる。比抵抗の低下は地下水の影響を受けている可能性がある。平面的にも、リニアメントの延長線上に位置しており、このゾーンは何らかの構造を反映したものと考えられ、IG-012BH1 を試掘地点として選定した。

2) ブヘケラ No.2 周辺

測線南側に不明瞭ながら比抵抗が低下する箇所が認められるが、断裂系の存在を示唆するようなコントラストの差異は認められない。全体的に比抵抗は高く、周辺に地下水の存在する可能性は低いと考えられる。

(3) カゴングワ村

調査位置図を図 2.6.5 に、調査結果を図 2.6.6 に示す。

既存地質図により堆積岩の分布域と推測される箇所で探査を行った。

1) カゴングワ No.1 周辺

深度 40m より浅層に 100 Ω -m 以下の低比抵抗体が層状に分布し、その下位に最大 600 Ω -m の高比抵抗体が位置する。比抵抗が低いこと、周辺に堆積岩が露頭していることから、低比抵抗体を堆積岩、高比抵抗体を基盤岩をなす花崗岩と解釈した。

2) カゴングワ No.2 周辺

No.1 同様の構造を有する。なお、測線終点側に見られる比抵抗の落ち込む箇所は、基盤岩中に発達する断裂帯と推定される。

No.1、2 とともに差異はないが、露頭が確認され、確実に堆積岩の分布域と判断される No.1 周辺で試掘地点を選定した。

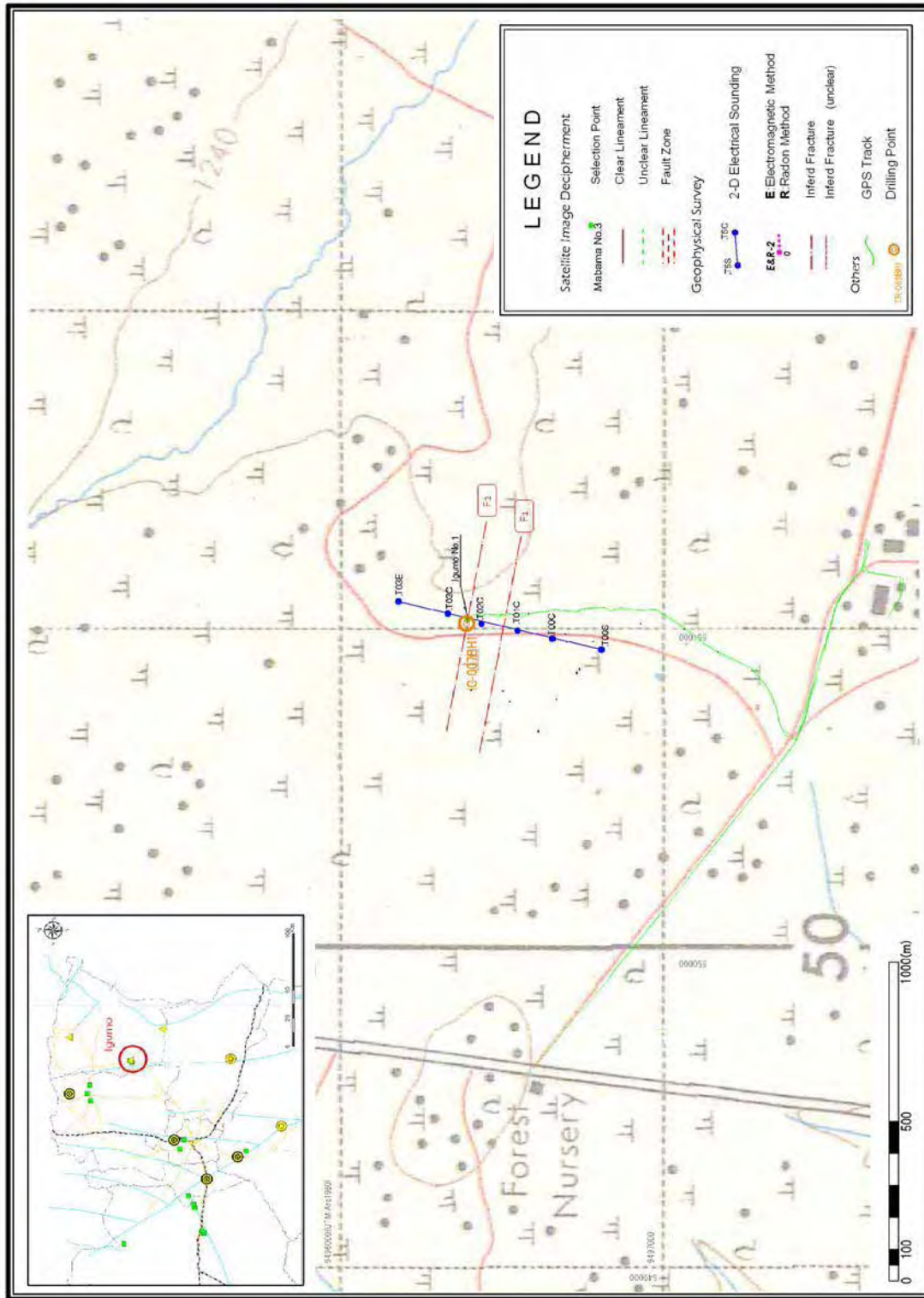


図 2.6.1 物理探査測線配置図 (水質確認サイト イグモ村)

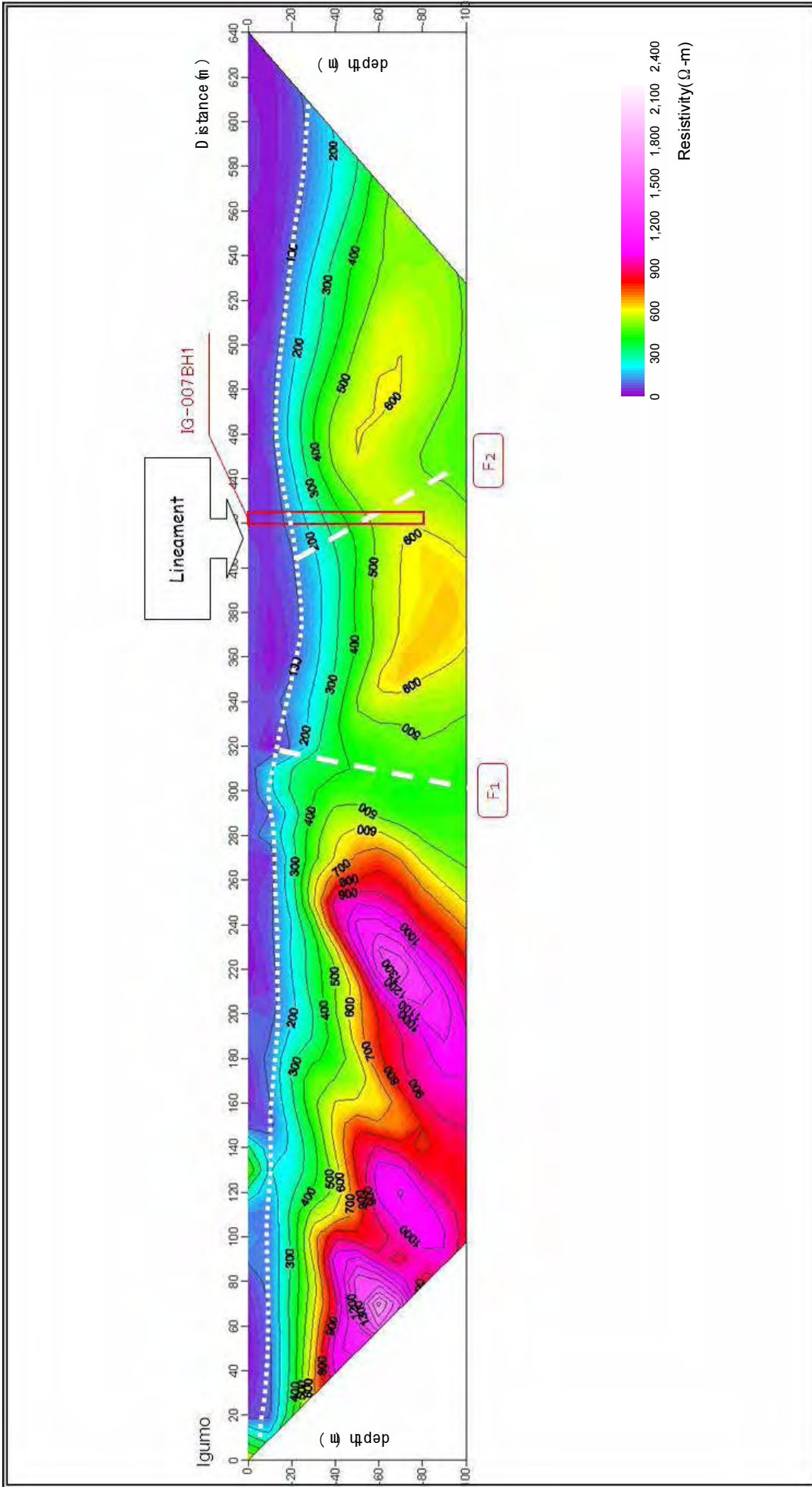


図 2.6.2 物理探査結果 (水質確認サイト イグモ村)

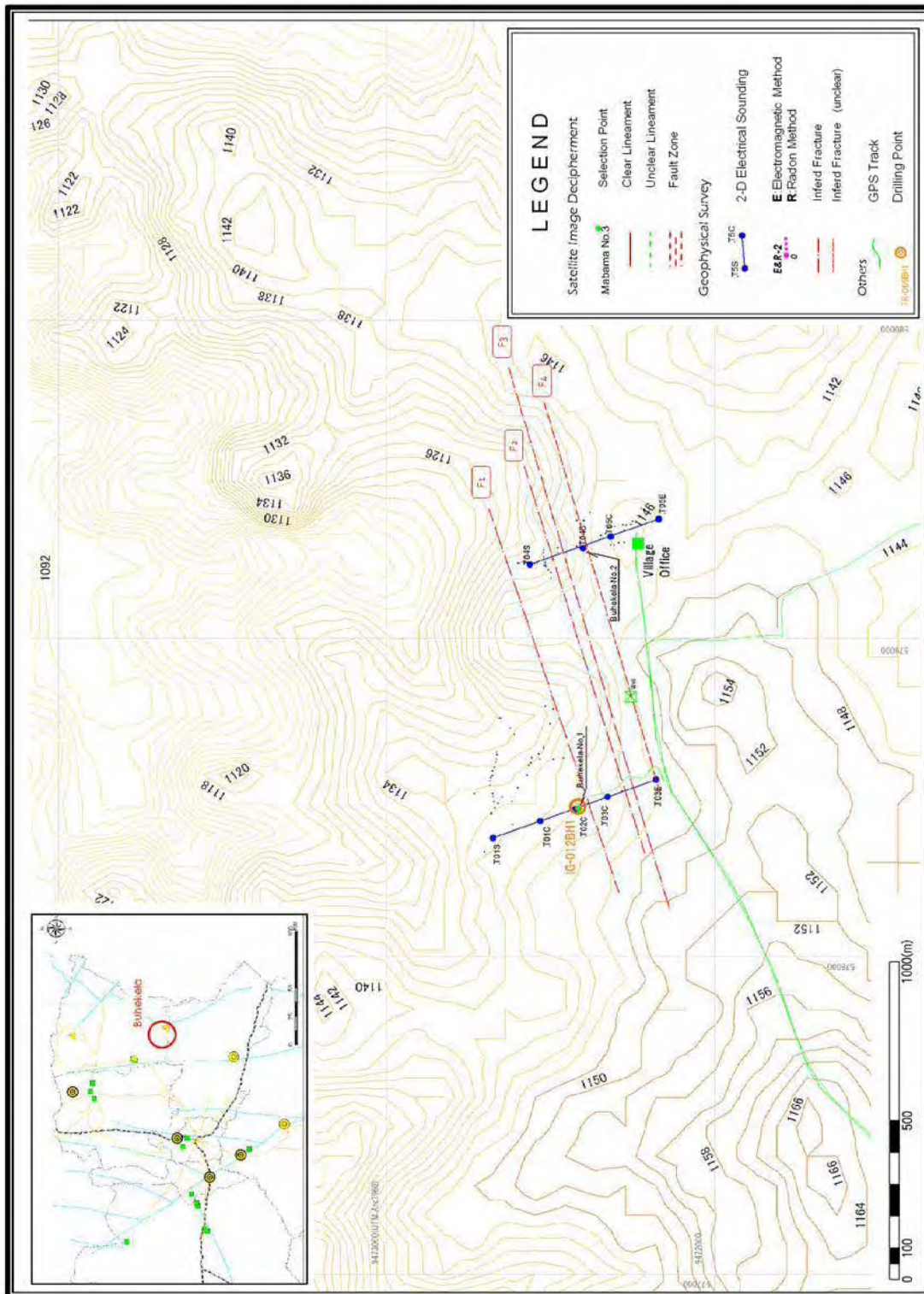


図 2.6.3 物理探査測線配置図 (水質確認サイト ブヘケラ村)

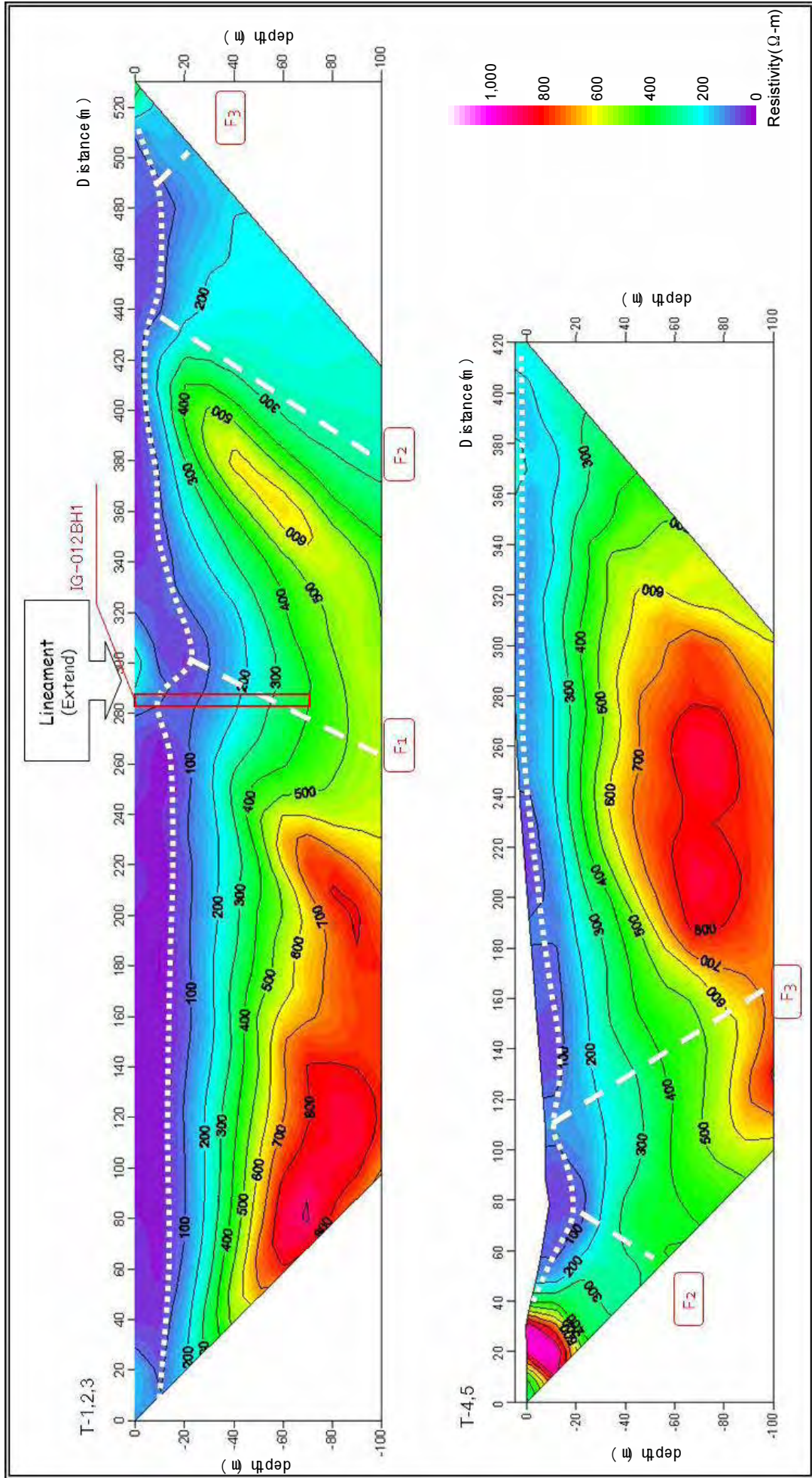


図 2.6.4 物理探査結果 (水質確認サイト ブヘケラ村)

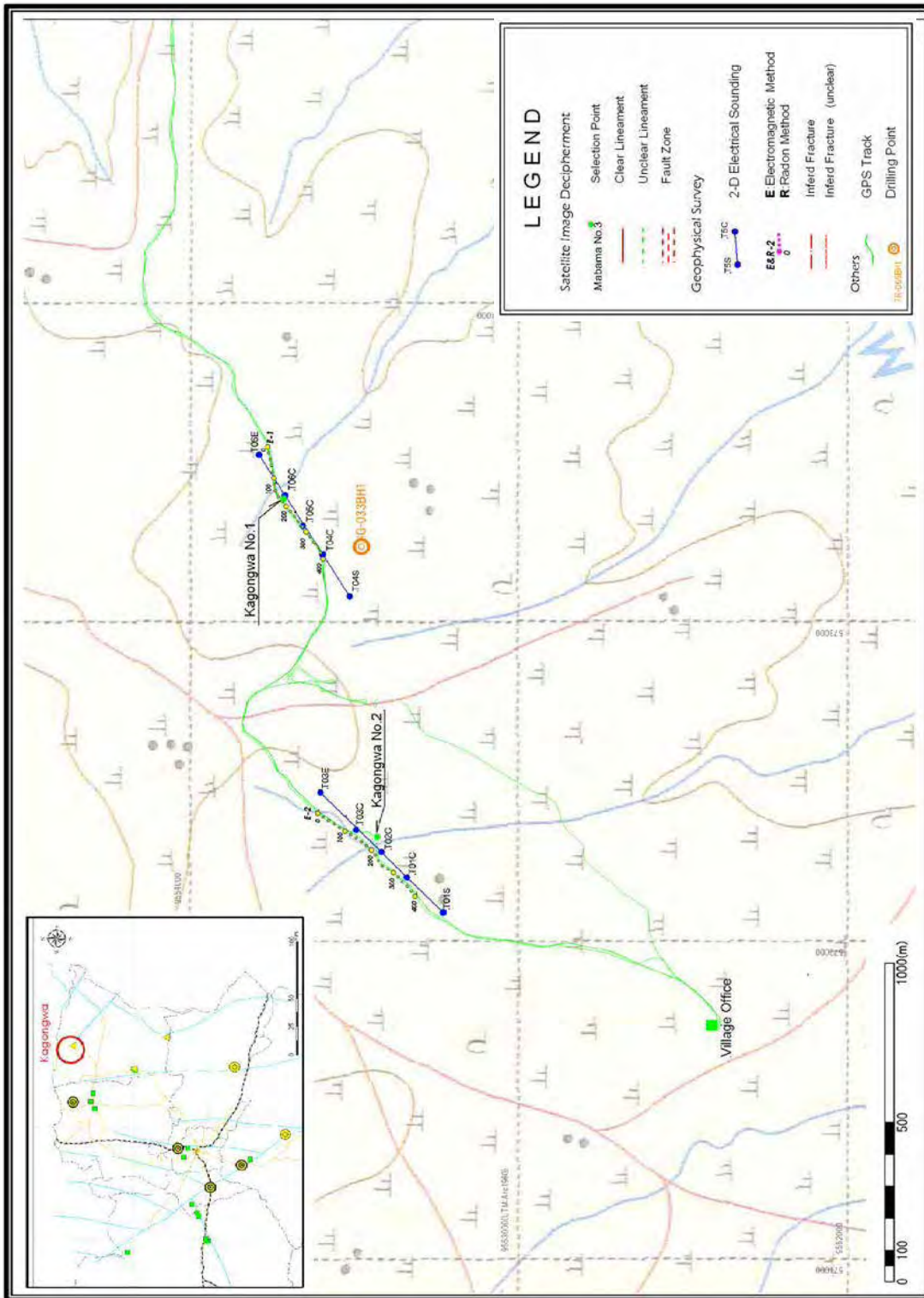


図 2.6.5 物理探査測線配置図 (水質確認サイト カゴングワ村)

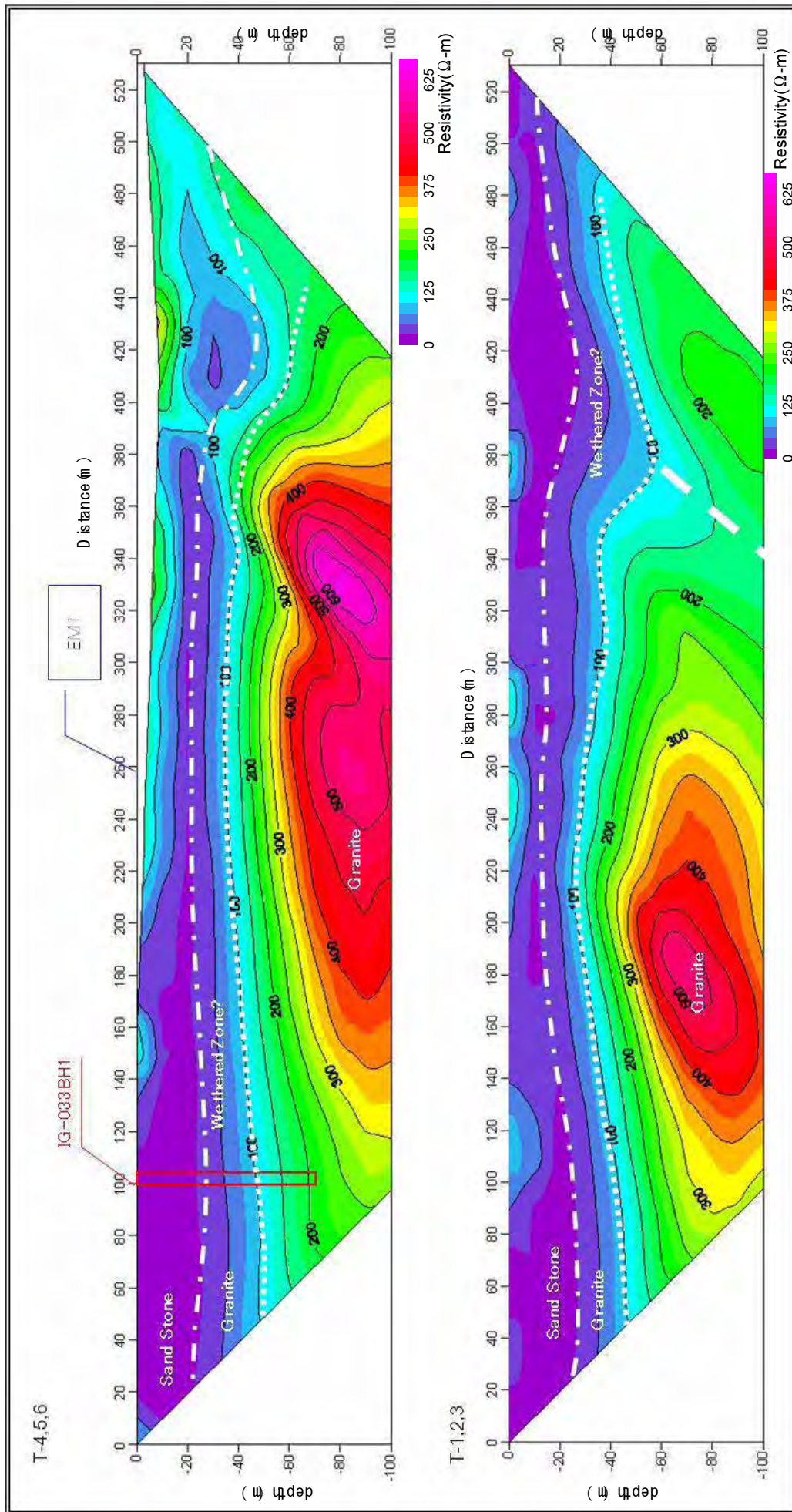


図 2.6.6 物理探査測線結果 (水質確認サイト カゴングラフ村)

2.7 物理探査結果総括

当該地域のような、岩盤地帯における地下水開発において、物理探査は必要不可欠である。探査によって得られた地盤の物性値と、試掘調査結果および露頭状況で得られた地形・地質情報等を比較し、精度の高い探査計画・方法について検討する。

以下に地質と比抵抗値の対比結果を示す。

表 2.7.1 比抵抗値と地質の比較

地質		比抵抗範囲 (Ω -m)	平均値	中央値
沖積層	未固結層	10 - 60	33	30
堆積岩類	砂岩	25 - 50	38	-
	頁岩	風化・亀裂発達	45	50
		新鮮部	40 - 300	122
火成岩類	花崗岩	風化・亀裂発達	105	70
		新鮮部	860	700
変成岩類	結晶片岩	40 - 80	60	-
	片麻岩	風化・亀裂発達	70	70
		新鮮部	430	190

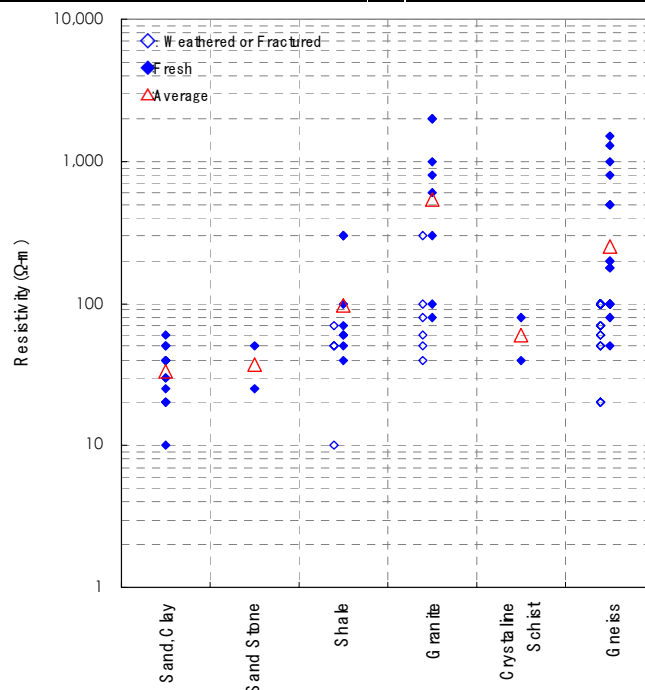


図 2.7.1 地質と比抵抗との関係

グラフから地質と比抵抗値との間に相関を読み取れるものの、比抵抗値に明瞭な境界は存在せず、単純に比抵抗のみでは、地質構造を推定することが難しいといえる。

また、各物理探査で得られたデータの鮮明度および相互の整合性、試掘結果で得られた地下水湧出量の関係を下図にまとめた。結果を以下に示す。

表 2.7.2 各調査結果と湧出量の関係

No	データの鮮明度				各データの整合性		湧出量 (m ³ /h)
	A	B	C	D	種別	整合 度合い	
	衛星 画像判読	ラドン法 探査	EM 探査	2次元 電気探査			
TR-069BH1	○	○	△	◎	BD	○	14.0
TR-054BH2	◎	×	△	◎	AD	○	7.0
TU-008BH1	◎	◎	×	◎	ABD	◎	6.0
NZ-047BH1	◎	○	○	◎	ABD	◎	3.7
NZ-047BH2	◎	○	○	○	AD	○	3.0
IG-007BH1	△	-	-	○	AD	○	1.0
TR-069BH2	○	○	△	◎	BD	○	0.8
SK-028BH2	○	△	○	○	ABD	○	0.8
SK-028BH1	△	-	-	◎	AD	○	0.2
SK-037BH2	○	×	○	○	AD	○	0.1
TR-054BH1	◎	×	○	◎	AD	○	ドライ
SK-037BH1	○	△	△	○	AD	○	ドライ
IG-033BH1	-	-	○	○	-	×	ドライ
IG-012BH1	-	-	-	○	-	×	ドライ
TR-069BH3	○	○	△	○	-	×	計測不能
TR-098BH1	△	-	-	△	AD	○	計測不能

検討の結果は次のとおり。

- **地形判読が行われていない場所では成功率が低い**
→岩盤地帯における地下水は断層等の構造帯に支配されていることが多いため
- **ラドン法探査とEM探査の組み合わせでは地下水開発を行うのは難しい**
→データの密度が粗いため
- **二次元電気探査およびラドン法探査結果の鮮明度が高く、また調和的である場合、多くの湧出量を期待できる。**
→異なる物性値で多角的に検討できるため、精度が向上する。

以上のことから、1)詳細な写真判読、2)二次元電気探査等の高密度探査、3)異なる物性値を得られる2つの物理探査を併用し相互で総合解析を行う、といった手順を確実に行うことが、物理探査の精度向上に繋がると考えられる。

第3章 試掘調査

3.1 概要

タボラ州のウランボ県を除く4県1市の10村において、16本の試掘調査を実施した。調査は現地再委託業務とし、試掘監理担当団員が調査工程の監理と結果の分析を行った。

本章では、まず調査目的および調査方法を述べ、次に調査結果から試掘井戸毎の地質状況、水質変化等について記述する。最後に、調査を通して得られたデータに基づき、考察を行う。

3.2 調査目的

ンゼガ県、シコンゲ県、タボラ・ルーラル県、タボラ市では、対象村落における給水施設建設のための地下水ポテンシャルの評価および水質確認することを目的に試掘調査を実施した。イグンガ県では、地下水の水質を調査するために実施した。

3.3 調査方法

3.3.1 調査対象および調査期間

試掘調査は表 3.2.1 に示す 16 箇所で実施した。調査位置は試掘に先立って実施された物理探査により決定された地点である。調査位置リストを表 3.3.1、位置を図 3.3.1 に示した。

本調査は、2010年8月17日に開始し、同年の11月8日に完了した。

表 3.3.1 試掘調査実施箇所

県/市	村	掘削 No.	UTM 座標		
				X	Y
ンゼガ県	イサンガ	NZ-047BH1	36M	0523911	9550830
		NZ-047BH2	36M	0524030	9550844
シコンゲ県	ウスンガ	SK-028BH1	36M	0492530	9368238
		SK-028BH2	36M	0494744	9368375
	ムポンブウェ	SK-037BH1	36M	0466529	9402556
		SK-037BH2	36M	0465785	9405719
タボラ・ルーラル県	ムプンブリ	TR-054BH1	36M	0549469	9413752
		TR-054BH2	36M	0549535	9413742
	マバマ	TR-069BH1	36M	0448218	9433981
		TR-069BH2	36M	0448362	9433208
		TR-069BH3	36M	0448517	9433250
ウフルマ	TR-098BH1	36M	0432350	9447793	
タボラ市	カコラ	TU-008BH1	36M	0482083	9462843
イグンガ県	イグモ	IG-007BH1	36M	0551014	9495593
	ブヘケラ	IG-012BH1	36M	0578471	9472418
	カゴングワ	IG-033BH1	36M	0573228	9553481

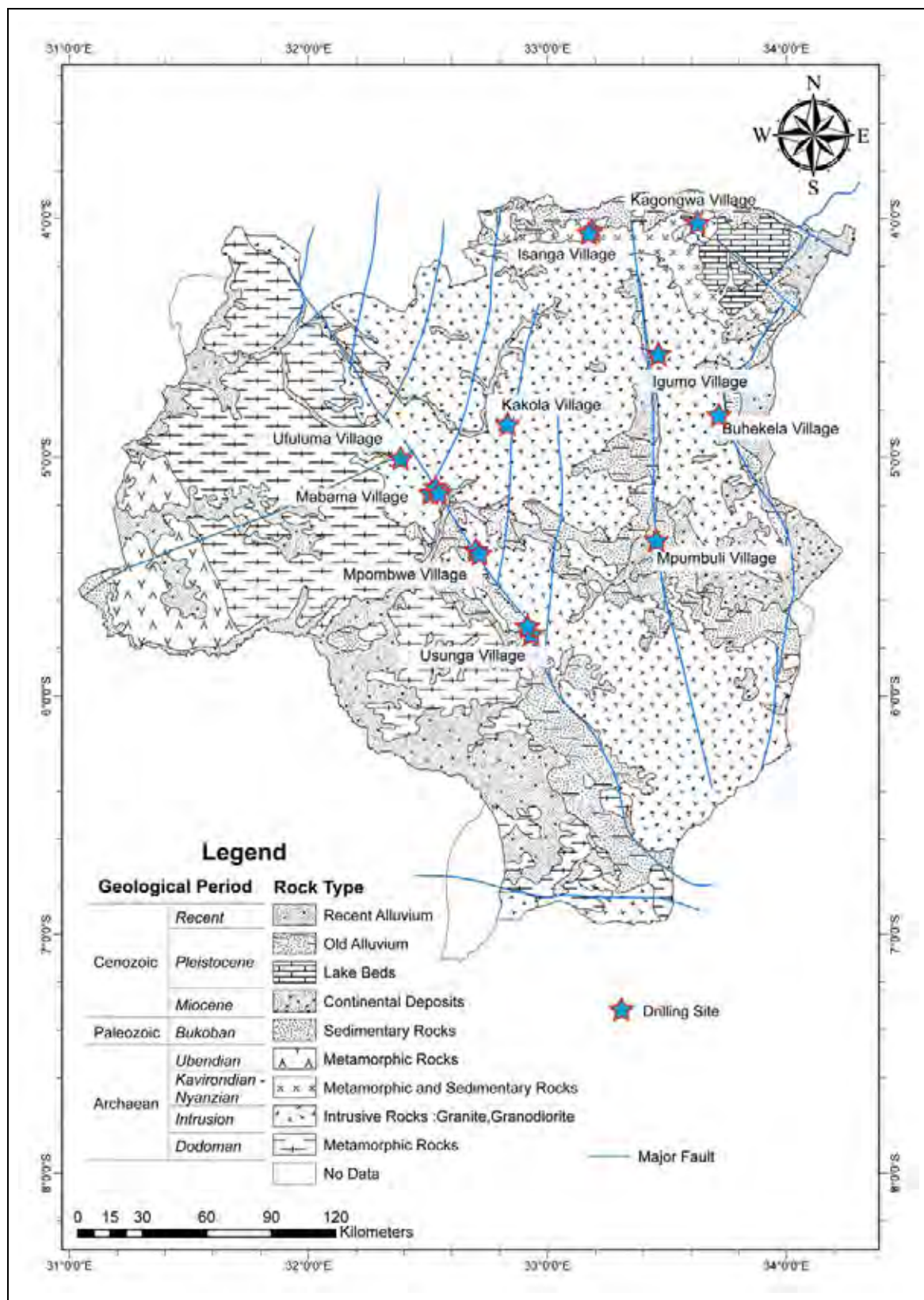


図 3.3.1 掘削地点位置図

3.3.2 試掘施工概要

(1) 井戸基本仕様

本調査で建設した井戸の基本的な仕様を下図に示す。

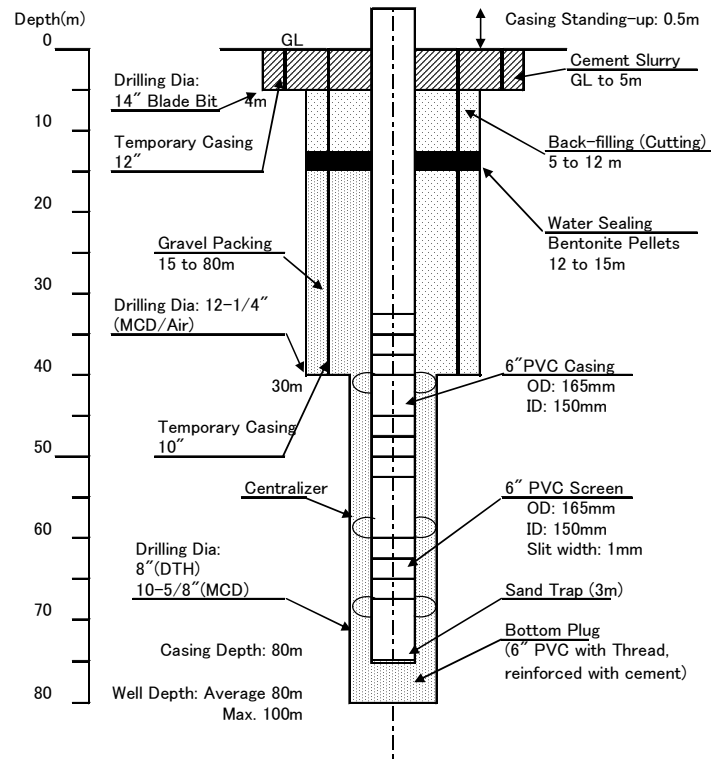


図 3.3.2 井戸基本仕様

土壌の崩壊を防ぐため、12 インチのコンダクターパイプを挿入した。エアハンマー掘削を主として採用するが、崩壊しやすい未固結層に対しては、泥水循環掘削を採用する。規定深度まで掘削し、水の存在が確認されれば、物理検層を実施し、仕上げ用 PVC ケーシング 6”を挿入した。

(2) 物理検層

掘削中に排出されるカッティングス資料は、地質状況の判定に非常に重要である。しかし、異なる深度の岩石が混合された状態で排出されるため、地層境界や亀裂の分布状況などは正確な深度を把握しにくい場合がある。地下の地質状況や地下水環境の解析に供するため、比抵抗、自然電位、ガンマ線強度の3項目についての測定を実施した。

1) 使用機種

応用地質株式会社製 Geologer 3030

2) 測定項目

i) 比抵抗 (ショート、ロング)

孔内比抵抗分布曲線から、未固結層・岩盤・亀裂などの地質状況の解析に用いる。

ii) 自然電位 (SP)

第3章 試掘調査

測定される孔内自然電位は、孔内水の帯水層への侵入に伴う粘土層との間の電池状態や、流動電位、酸化還元電位を含んでいる。孔内自然電位曲線の、変動レンジや異常スパイクをもとに、帯水層の層準の特定や酸化還元電位の解析に用いる。

iii) ガンマ線強度

主に粘土鉱物から発せられるガンマ線の強度を測定することで、粘土分の存在の程度を推定するのに用いる。

(3) 揚水試験

掘削時に地下水が確認され、ケーシングを挿入した井戸に対して、段階揚水試験、連続揚水試験および回復試験を実施した。段階揚水試験は、1段階当たり2時間を合計5段階の10時間、連続揚水試験は48時間を基本としたが、井戸能力によっては、段階試験を4段階に減らしたり、揚水時間を短縮したりした場合もあった。連続揚水試験を行う揚水量は、段階揚水試験結果をもとに得られた限界揚水量を採用した。

(4) 水質分析

掘削した井戸の水質を評価するため、水質分析を実施した。分析は調査団によるフッ素濃度、pH、電気伝導度および酸化還元電位の簡易分析と、水質分析機関に委託して実施した30項目の室内分析から成る。室内分析30項目および使用機器を下記に示す。

1) 分析項目

表 3.3.2 水質分析項目一覧

Aspects and Items		Unit	Tanzanian Standard (2008) *1	WHO Guideline (2008) *2
Microbial aspects	1 Total coliform bacteria	count/100ml	0	-
	2 Escherichia Coli	count/100ml	0	0
Chemicals that are of health significance	3 Cadmium (Cd)	mg/l	0.05	0.003
	4 Lead (Pb)	mg/l	0.10	0.01
	5 Arsenic (As)	mg/l	0.05	0.01
	6 Fluoride (F)	mg/l	4.0	1.5
	7 Nitrate (NO ₃)	mg NO ₃ /l	100	50
	8 Nitrite (NO ₂)	mg NO ₂ /l	-	3 / 0.2
	9 Nickel (Ni)	mg/l	-	0.07
	10 Manganese (Mn)	mg/l	0.5	0.4
Acceptability aspects	11 Hardness	mg/l	600	-
	12 Calcium (Ca)	mg/l	-	-
	13 Magnesium (Mg)	mg/l	100	-
	14 Iron (Fe)	mg/l	1.0	-
	15 Zinc (Zn)	mg/l	15.0	-
	16 Copper (Cu)	mg/l	3.0	2.0
	17 Chloride (Cl ⁻)	mg/l	800	-
	18 Total filterable residue*4	mg/l	2,000	-
	19 Ammonium (NH ₃ +NH ₄)	mg/l	-	1.5
	20 pH	-	6.5 - 9.2	-
	21 Taste	dilution	not objectionable	-
	22 Odour	dilution	not objectionable	-
	23 Colour	mg Pt/l	50	15
24 Turbidity (Tr)	NTU	30	5	
25 Temperature	°C	-	-	
26 Conductivity (EC)	mS/m	-	-	
Water quality items related to the characteristics of groundwater	27 Sodium (Na)	mg/l	-	-
	28 Potassium (K)	mg/l	-	-
	29 Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	mg/l	-	-
	30 Sulfate (SO ₄ ²⁻)	mg/l	600	-

*1: "Maji Review" Ministry of Water Development and Power vol. 1, No. 1, MoWDP, Dar es Salaam, 2008

*2: "WHO Guideline for Drinking Water Quality Third Edition", World Health Organization, Geneva, 2008

*4: Total filterable residue is equal to Total dissolved solids (TDS).

Items adopted for water quality evaluation.

2) 測定機器・測定方法

調査団による簡易分析

- i) フッ素濃度および pH 測定
東亜 DKK 株式会社製ポータブルイオン・pH 計 IM-22P
測定方式：イオン電極法
- ii) 電気伝導度測定
東亜 DKK 株式会社製電気伝導率計 CM-21P
測定方式：交流 2 電極法
- iii) 酸化還元電位
EUTEH 社製酸化還元電位計 Ecoscan

なお、フッ素濃度は、2 台の測定器を用いて測定値の個体間誤差を確認しながら測定した。更に、カコラ村とマバマ村の一本目の掘削中に、揚水の酸化還元電位 (ORP) を計測した。

水質分析機関による 30 項目の室内分析

Wagtech 社製 Photometer 7100

フッ素の測定法は、ジルコニウム-エリオクロムシアニン R 法

3.4 試掘調査結果

3.4.1 ンゼガ県

(1) イサンガ村 (BH1)

1) 掘削状況・地質概要

深度 20m 以浅は未固結堆積層、20m 以深は頁岩が分布している。20m から 44m 付近までは風化しており、44m 以深は新鮮である。亀裂は酸化している。比抵抗検層で値の低下が見られる層準は、水量の増加が見られた酸化亀裂の層準に相当する。頁岩構成粒子は、ほとんど肉眼では確認できず、シルトサイズ以下の粒子を主体としている。頁岩は通常、ガンマ線の強度は比較的強いが、ここでは、ほぼ 3cps 以下を示しており、ガンマ線を放出する粘土鉱物の割合は少ない可能性を示している。詳細な調査結果は、データ集 E.1 および E.17 に示す。

揚水試験については下記 3.4.1(3)を参照。

2) 水質

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.1 に示す。

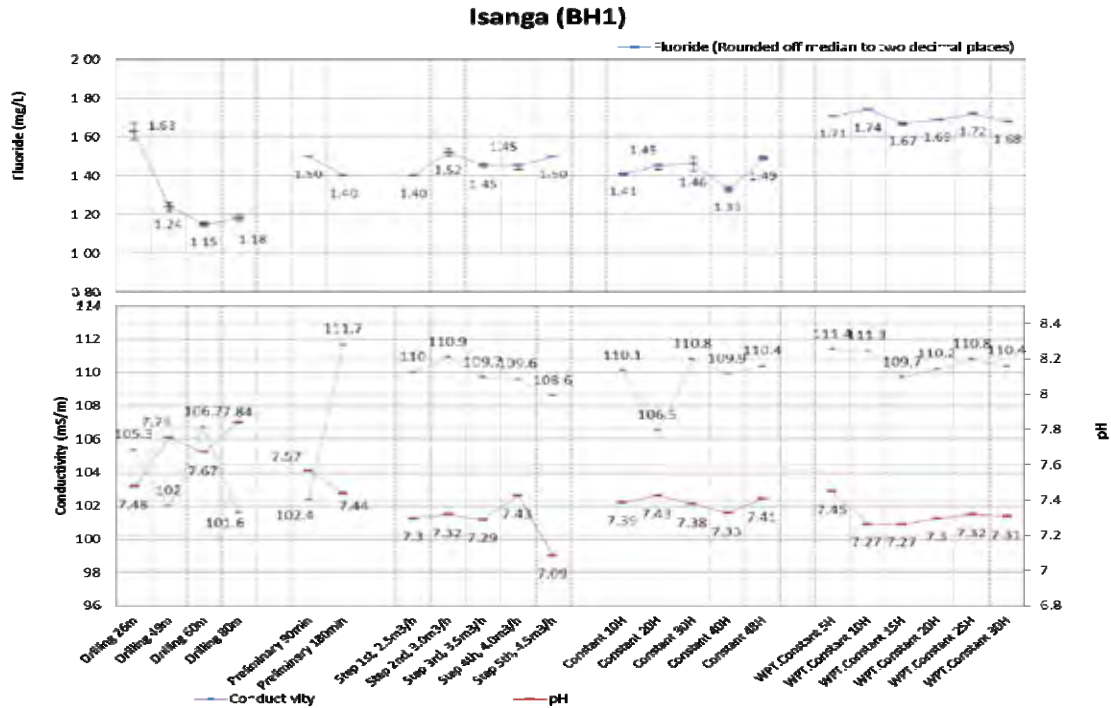


図 3.4.1 イサンガ村 BH1 の施工中の水質変化

3) 近隣の浅層地下水の水質

表 3.4.1 イサンガ村の浅層地下水の水質

Well Type	Coordinate			Well Depth	F (mg/L)	pH	Conductivity (mS/m)	Distance from Drilled Point(km)
NPW*1	36M	0523832	9550665	3m	9.3 - 9.5	9.4	190.09	0.18 km
River	36M	0524156	9550934	1m	1.36-1.39	-	-	0.26 km

*1 Non Protected Well

(2) イサンガ村 (BH2)

1) 掘削状況・地質概要

同村 1 本目 (BH1) よりも浅い深度 (4m) から頁岩が分布しているが、BH1 同様に 40m 付近まで風化している。亀裂は酸化されている。頁岩の特徴および物理検層の曲線の特徴も BH1 とほぼ同じである。詳細な調査結果は、データ集 E.2 および E.18 に示す。

BH1 との距離が近い(120m)ため、同時揚水試験を実施した (3.4.1(3) を参照)。

2) 水質

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.2 に示す。

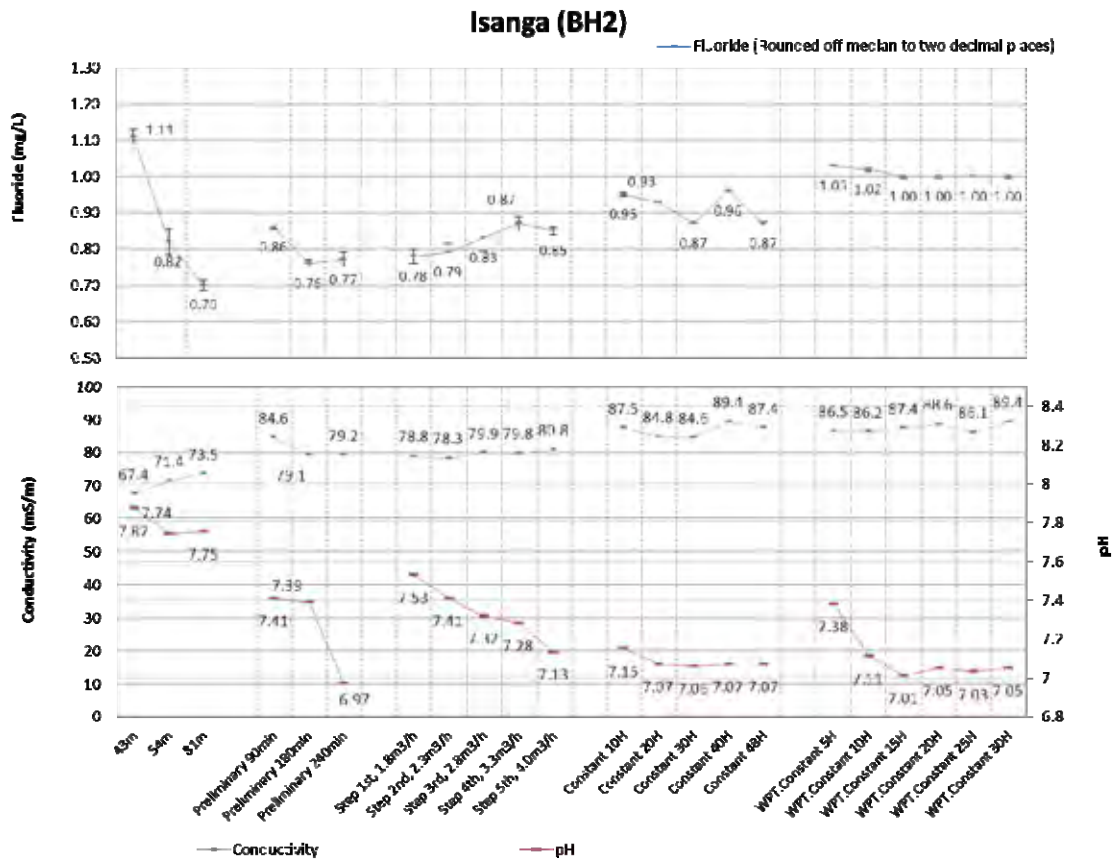


図 3.4.2 イサンガ村 BH2 の施工中の水質変化

(3) イサンガ村の BH1 および BH2 の揚水試験

BH1 および BH2 は互いに 120m 程度しか離れていないため、揚水に伴う干渉が懸念された。そのため、それぞれの単独揚水試験中には、もう一方の井戸で水位変化を観測した。更に、両井戸で同時に揚水を行い単独揚水試験時との差の有無を調べる同時揚水試験を実施した。

単独揚水試験中の同時計測では、揚水を行っていない方の井戸での水位低下は観測されなかった。更に、同時揚水試験においても、単独揚水試験時の水位降下曲線とほぼ同じの曲線を示した。結果としては、両井戸の揚水による干渉は確認されなかった。詳細な揚水試験結果は、データ集 E.19 および E.20 に示す。

3.4.2 シコンゲ県

(1) ウスンガ村 (BH1)

1) 掘削状況・地質概要

25m 付近以深で、ターゲット深度に亀裂はあり、湿り気の増減を繰り返したものの、定常的な揚水を得られるような亀裂には当たらなかった。98m まで掘削し、70m、83-85m、93m あたりで明瞭な酸化亀裂が見られたものの定常的な揚水には至らなかった。

検層結果は、70m 付近の比抵抗の低下する層準で、ガンマ線強度の上昇および、SP の負への緩やかなシフトを示している。酸化亀裂にはやや固結した粘土も伴われていることから、還元的な地下水の流入はあるものの、亀裂が粘土で充填されて亀裂の透水性を低下させて

第3章 試掘調査

いる可能性があると考え。掘削中のエアークンプレッサーの圧力により揚水が妨げられる場合があるため、ポンプ揚水で揚水量を確認するためにPVCを挿入した。

揚水試験を実施したが、揚水量は $0.2\text{ m}^3/\text{h}$ 程度に留まり、不成功井戸となった。

詳細な調査結果は、データ集 E.3 および E.21 に示す。

2) 水質測定

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.3 に示す。

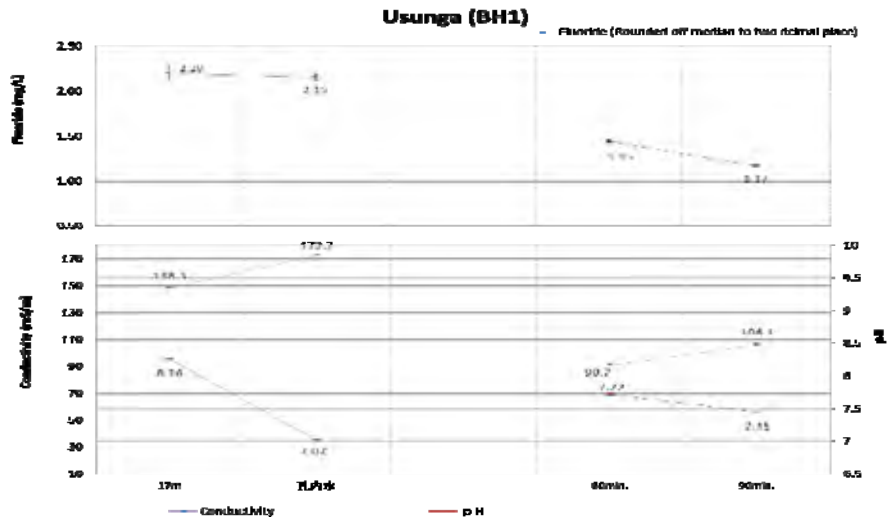


図 3.4.3 ウスンガ村 BH1 の施工中の水質変化

(2) ウスンガ村 (BH2)

1) 掘削状況・地質概要

ムポンブエ村およびウスンガ村 BH1 と同じ片麻岩が分布している。水を伴う主要な亀裂は、石英質なゾーン (35m–103m) の 49m と 60m 付近と、103m 以深の苦鉄質主体のゾーンに存在する亀裂帯から成る。比抵抗断面図上で亀裂帯として解釈された相対的に比抵抗のゾーンは、ほぼ、苦鉄質鉱物の割合が高いゾーンに相当する。酸化亀裂が目立って観察されるものの、やや固結した粘土も伴っており、亀裂が粘土で充填されている可能性がある。相対的に高い比抵抗で描かれているゾーンは石英質な部分に相当する。

比抵抗検層の低比抵抗層準と酸化亀裂とは必ずしも対応していない。SP 値は深部ほど、負へのシフトが見られると同時に、負へのスパイクは酸化亀裂の層準と対応しており (90m 付近、115 付近、130m 付近)、還元的な地下水の流入があることが考えられる。

単一の亀裂帯から十分な揚水が得られることはなかったが、揚水試験で $0.8\text{ m}^3/\text{h}$ で 48 時間揚水可能であることが確認された。今回のシコンゲ県での試掘で、唯一、水量がレベル 1 建設を満たす井戸となった。詳細な調査結果は、データ集 E.4 および E.22 に示す。

2) 水質

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.4 に示す。

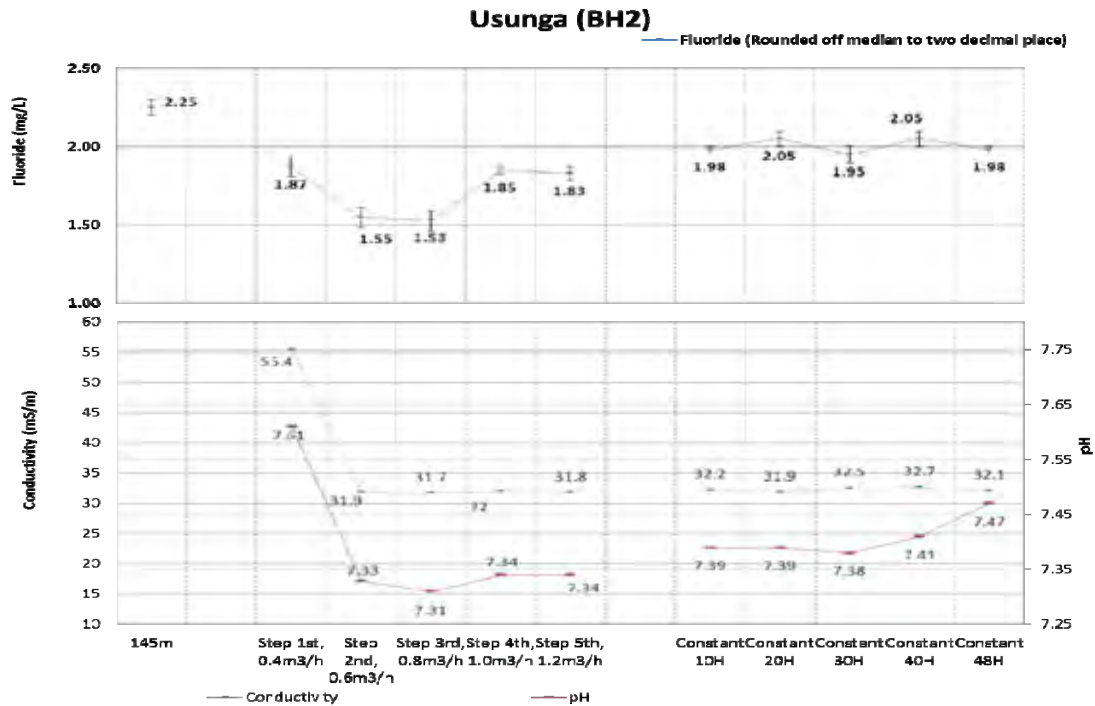


図 3.4.4 ウスンガ村 BH2 の施工中の水質変化

3) 近隣井戸の水質

表 3.4.2 ウスンガ村の浅層水の水質

Well Type	Coordinate		Well Depth	F (mg/L)	pH	Cond. (mS/m)	Dist. from Drilled Point BH1	
SW HP 1	36M	0496412	9365075	8 m	0.37-0.39	6.11	24.3	3.8 km
SW HP 2	36M	0496460	9375050	6 m	0.39-0.42	6.3	19.5	8.0 km
SW HP 3	36M	0492826	9369075	6 m	0.20-0.21	5.9	18.2	2.6 km
NPW	36M	0492721	9368314	3 m	0.52 - 0.54	6.96	35.9	2.0 km

SW HP = Shallow Well Hand Pump. NPW = Non Protected Well

(3) ムポンブウェ村 (BH1)

1) 掘削状況・地質概要

22m 付近、29m 付近、72m 付近でごくわずかに酸化亀裂が見られたものの揚水は全くなかった。ターゲット深度は 60-80m に推定された亀裂帯であるが、全く水は無く、79m で掘り止めとした。酸化亀裂に伴って、僅かながらやや固結した粘土が観察された。掘削翌日の孔内水位は 77m で推進 2m。不成功井戸となった。

物理検層、揚水試験、水質測定は実施していない。

詳細な調査結果は、データ集 E.5 に示す。

(4) ムポンブウェ村 (BH2)

1) 掘削状況・地質概要

24-25m に目立った亀裂があり、1 m³/h 程度の揚水があったものの、それ以深では、湿り気が続く程度が続いた。ターゲットとなる 40m 以深では、小さな亀裂に頻りに当たり、掘進率が上がり湿り気の増減を繰り返した。掘削中のエアークンプレッサーの圧力により揚水が妨げられる場合があるため、ポンプ揚水で揚水量を確認するために検層後に PVC を挿入した。

水位の回復が遅いため、物理検層は工事用水を注水して実施した。42m、52m、58m、70m、80m、85m 付近は比抵抗の若干の低下がみられ、ガンマ線強度もやや低い。この層準は石英質の岩相で、僅かに酸化亀裂の見られる層準に相当するが亀裂は非常に薄い。SP の変動曲線が深部ほどマイナスへのシフトが見られるのは、還元状態にある地下水の流入によるものと考えられる。

揚水試験の結果、0.1 m³/h の揚水量しかないことが確認され、不成功井戸となった。

詳細な調査結果は、データ集 E.6 および E.23 に示す。

2) 水質

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.5 に示す。

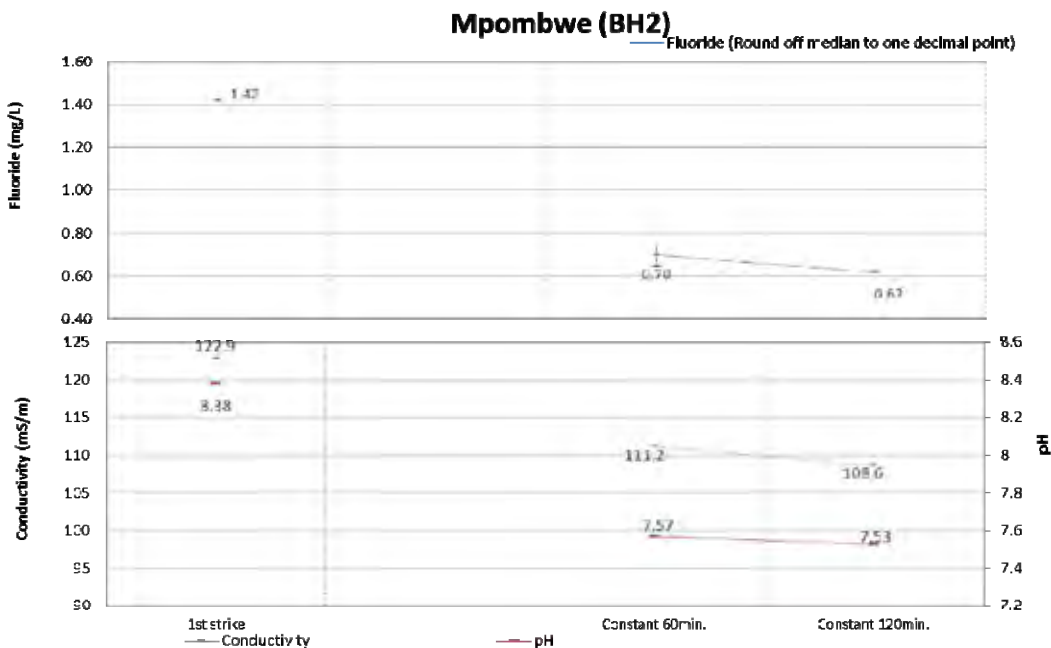


図 3.4.5 ムポンブウェ村 BH2 の施工中の水質変化

3.4.3 タボラ・ルーラル県

(1) ムプンブリ村 (BH1)

未固結 - 半固結の砂泥堆積層主体の地層が分布する。40m 辺りで、わずかに湿り気が増した以外は、全く水無し。50m まで掘ったが湿り気が増すこともなかった。掘削はドラグビットでエア掘り。泥水やコンダクターパイプを使用しなくても孔壁は自立していた。比抵抗断面図では、コントラストに変化が出てくるのが 70-80m 以深であるため、深度 70m

以浅は同様の地層が続く可能性が高いと判断した。2 本目のターゲットは、掘削深度が深くなる可能性があるため、掘削深度をセーブする意味も含めて、50m で掘り止めとした。

揚水が全く無かったため、物理検層、揚水試験、水質試験は実施していない。詳細な調査結果は、データ集 E.7 に示す。

(2) ムンプリ村 (BH2)

1) 掘削状況・地質概要

57m まで、砂礫あるいは半固結砂泥堆積層。57m 以深は、暗灰色硬質頁岩で、頻繁に亀裂を伴っており、亀裂周辺は酸化が見られる。5 cm 程度のカッティングス表面にスリッケンラインやスリッケンサイドが確認される。92 - 94m、114 - 115m、118 - 120m で、亀裂をとらえた。特 92 - 94m、114 - 115m の亀裂で揚水量が増大していると考えられる。

検層では、亀裂の層準で比抵抗の低下がみられる。SP 値は、深部ほど、負へシフトする同時に負のスパイクが確認される。これは、深部ほど還元環境にあることと、亀裂から孔内へ、より還元状態にある地下水が流入してきているためであると考えられる。

詳細な調査結果は、データ集 E.8 および E.24 に示す。

2) 水質測定

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.6 にしめす。

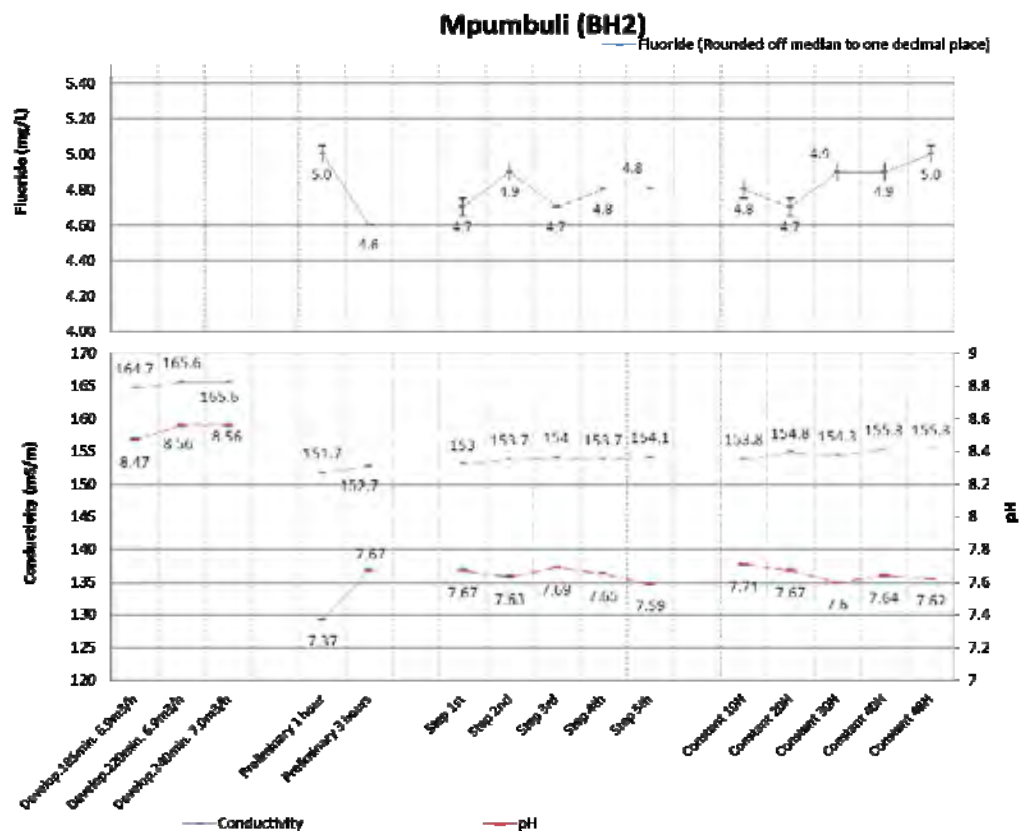


図 3.4.6 ムンプリ村 BH2 の施工中の水質変化

フッ素は、揚水試験を通じて 4.6~5.0 mg/L で変動している。揚水時間が長いほど、やや低い値から 5.0mg/L に近づいている。電気伝導度と pH は掘削時に比べて揚水試験時はやや

第3章 試掘調査

値が下がっているものの、揚水試験中における変化は極めて小さい。

3) 近隣の浅層地下水の水質

表 3.4.4 ムブンブリ村の浅層地下水の水質

Well Type	Coordinate			Well Depth	F (mg/L)	pH	Conductivity (mS/m)	Distance from Drilled Point(km)
Shallow well	36M	0552846E	9413274N	7-8m	0.29	4.6	25.1	3.4 km
Shallow Well	36M	0552704E	9413386N	<20m	0.3	5.2	16	3.2 km

近隣の浅井戸 2 か所から水サンプルを採取し、簡易水質測定を行った。電気伝導度は 25.1(mS/m)および 16 (mS/m)で、掘削井戸に比べて溶存塩類が極めて少ないと考えられる。これは、地下水の滞留時間が掘削井戸の方が長いことに起因すると考えられる。フッ素は、浅井戸では 0.29 mg/L と 0.30 mg/L を示し、浅層土壌を溶出源としている可能性はあるものの、深井戸に比べて極めて濃度は低い。

(3) マバマ村 (BH1)

1) 掘削状況・地質概要

深度 18m まで未固結堆積層。18m~21m が片麻岩の強風化層、21m 以深は弱風化片麻岩が続く。21m まで泥水掘削し、メタルケーシングを挿入した後、DTH に切り替え掘削を継続した。21m~37m あたりは酸化亀裂および粘土を伴っているものの、水は全く無い。38m 付近から 58m までは亀裂はほとんど見られず、新鮮な岩盤である。59m で亀裂に当たり、水量が急速に増した。61m での計測では 6.6 m³/h。79m で揚水量 11 m³/h。比抵抗断面図の結果および水量の増加の程度から、既に有望な亀裂帯は抜けていると考えられたため、79m で掘り止めとした。

岩盤は一様に片麻岩であり、亀裂水であるが、38m 以深のカッティングスサンプルには酸化亀裂が観察されない。カッティングスに酸化の跡が見られないことと、61m 以深の水の ORP が -14~7mV を示し比較的還元環境にあることとは調和的である。

水量が著しく増加した 59m 以深では、比抵抗の明瞭な低下がみられる。20m 以深で SP 検層の値が徐々に正へシフトしていることは、ORP の測定値が掘削が進むにつれて上昇していることと調和的である。

詳細な調査結果は、データ集 E.9 および E.25 に示す。

2) 水質測定

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.7 にしめす。

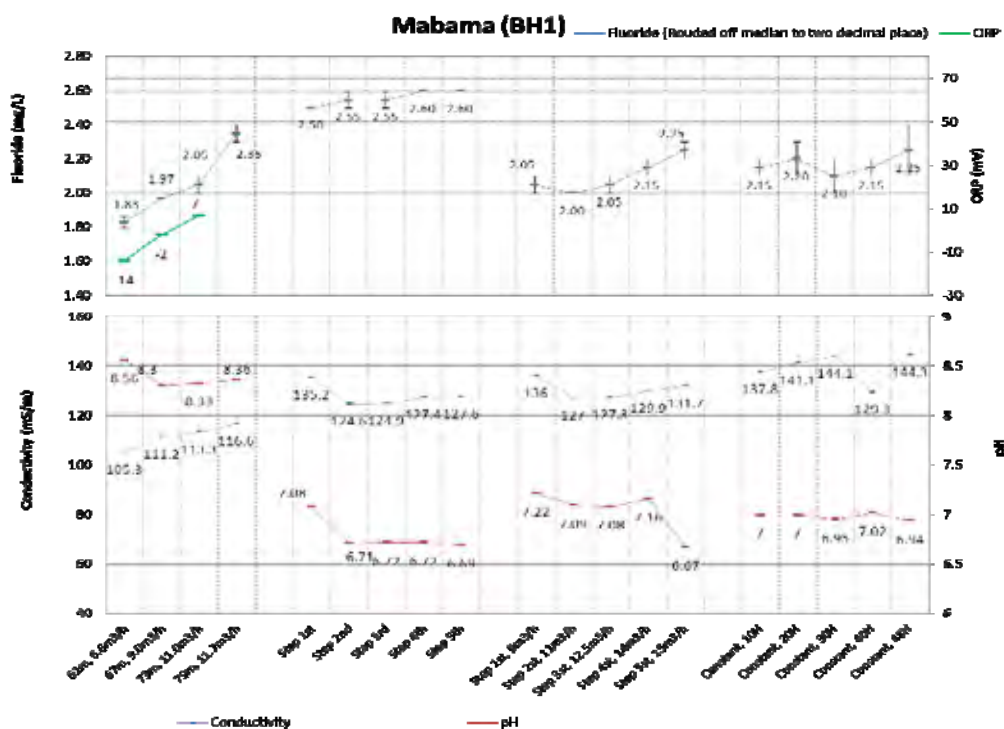


図 3.4.7 マバマ村 BH1 の施工中の水質変化

3) 近隣井戸の水質

表 3.4.4 マバマ村の井戸の水質

Well Type	Coordinate		Well Depth	F (mg/L)	pH	Cond. (mS/m)	Dist. from Drilled Point BH1
NPW	36M	0447574 9434083	N/A	0.185-0.187	5.73	9.00	0.7 km
DW HP 1	36M	0447443 9434070	N/A	0.47-0.48	6.01	76.0	0.8 km
DW HP 2	36M	0448057 9432295	N/A	0.25-0.26	6.05	7.24	1.7 km
DW HP 3	36M	0449672 9430063	N/A	0.12-0.14	5.64	11.02	4.2 km
DW HP 4	36M	0445374 9435000	N/A	1.00-1.01	6.50	174.8	3.0 km

NPW=Non Protected Well. DW HP=Deep Well Hand Pump

(4) マバマ村 (BH2)

1) 掘削状況・地質概要

深度 30m で湿り気を帯び始め、40m で揚水量 0.8 m³/h、48.5m で揚水量 1.3 m³/h。しかし掘り進むうちに徐々に水量が減り、深度 55m 以深では、全く水量の増加が見られなかった。掘り止め時の揚水量は 1.2 m³/h。岩石は、新鮮な花崗片麻岩であり、片麻岩中の亀裂にはマバマ村 BH1 と同様に酸化亀裂が見られない。

詳細な調査結果は、データ集 E.10 および E.26 に示す。

2) 水質

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.9 にしめす。

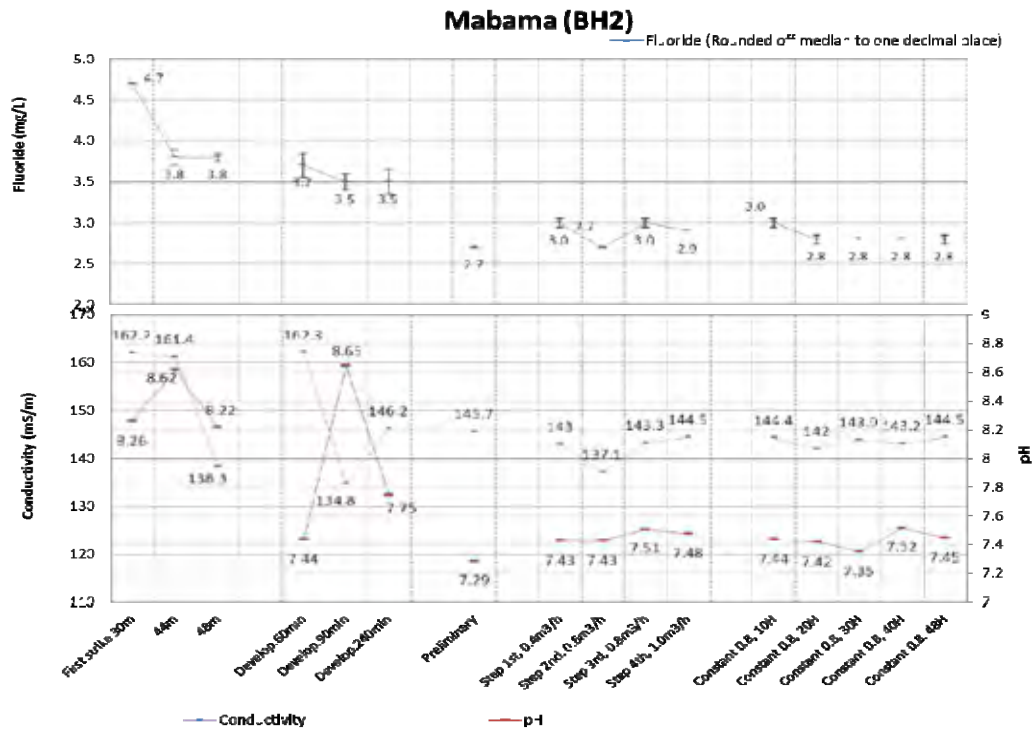


図 3.4.9 マバマ村 BH2 の施工中の水質変化

(5) マバマ村 (BH3)

1) 掘削状況・地質概要

未固結堆積層と岩盤とのコンタクトには水は無い。20m 付近以深から、湿り気があり、わずかに水を伴う亀裂があったものの、86m 掘削時点で揚水量は計測不能。70m 以深では掘進率も低下し、また比抵抗断面図からも 86m 以深における水の可能性が期待できないことから、86m で掘り止めとした。詳細な調査結果は、データ集 E.11 に示す。

水量不足により不成功のため、PVC を挿入せず、揚水試験、水質試験は実施していない。掘削中の簡易水質測定では、フッ素濃度は 3.1 - 3.2 mg/L (表 3 - 3 - 5) が確認された。

表 3.4.5 マバマ村 BH3 の掘削中の水質

Sampling	Well Depth	F (mg/L)	pH	Conductivity (mS/m)
Drilling	86m	3.1 - 3.2	8.16	134.5

(6) ウフルマ村 (BH1)

28m~31m で湿り気が増したものの、その後は湿り気の増減を繰り返し、最終的に計測不能な程度の揚水しか無かった。比抵抗断面図上ではターゲットは 60m までであり、ターゲットは超えたので掘り止めとした。

比抵抗検層では 68m 付近で相対的に比抵抗の低下がみられるが、カッティングス上では特に明瞭な亀裂は確認できない。カッティングスには、酸化はほとんど観察されておらず、マバマ村の試掘井と非常によく似た地質状況である。

水量不足により不成功のため、PVC を挿入せず、揚水試験、水質試験は実施していない。

詳細な調査結果は、データ集 E.12 に示す。

3.4.4 タボラ市

(1) カコラ村 (BH1)

1) 掘削状況・地質概要

深度 22m でわずかに揚水が始まり、深度 30m の未固結堆積層と花崗岩質岩とのコンタクトで一気に増量 ($3.8\text{m}^3/\text{h}$) し、それ以深では、揚水量は増減を繰り返した。

花崗岩質岩と結晶片岩様の岩石が繰り返しているが、両者の関係をはっきりさせるのは難しい。結晶片岩様の岩石は片麻岩の苦鉄質部分との明確な識別は難しいが、暗灰色～暗緑色で片理構造がおよび黒雲母結晶が確認され、ここでは、結晶片岩として記載した。花崗岩質岩は赤桃色で黒雲母が散在する石英主体の粗粒結晶から成る。深度 55m 辺りまでは花崗岩質岩優勢で、それ以深は結晶片岩様岩石優勢の岩相となる。もし、結晶片岩と花崗岩が断層により繰り返しているのであれば、岩石の成因を考慮すると非常に大きな断層であり、破碎帯を伴うはずであるが、そのような破碎帯の存在は確認できない。花崗岩質岩が貫入した可能性も否定はできないが、結晶片岩様の岩石にホルンフェルス化は確認されない。これらのことから、砂岩泥岩互層のような堆積岩を源岩とした変成岩が再溶融し、石英が優先的に溶融する部分溶融を被ったペグマタイトではないかと考える。

水を伴う主要な亀裂は花崗岩質岩に存在しているとみられるが、結晶片岩の亀裂においても比抵抗検層に現れるような明瞭な亀裂部分では揚水量の増加が確認されている。この試掘地点は、亀裂帯を非常にうまくとらえたと言える。

ガンマ線強度検層で 4cps 以上を示す層準は、水を伴う亀裂の発達する層準にほぼ相当している。このことは、亀裂の発達に伴い、ガンマ線を発する物質（粘土）が生成している可能性を示していると考えられる。カッティングスでは、亀裂に伴って極僅かながら粘土分が確認されている。

SP 検層において、100m 付近で負のシフトが見られる。深度 96m 以深を掘削中の ORP 測定では、それ以浅よりも低い値を示していることから、SP 検層の負のシフトは、還元的な地下水の流入によるものと考えられる。

詳細な調査結果は、データ集 E.13 および E.27 に示す。

2) 水質

掘削中のフッ素濃度は、31m と 49m の間、78m と 82m の間で、明瞭な減少が見られる。ORP は 36m と 49m、54m と 60m、82m と 84m、96m と 102m の間で値の上昇がみられるものの、全体としては減少傾向がみられる。特に 90m と 96m の間の減少は比較的大きい。90m - 96m 間における変化はカッティングスでは識別ができなかったが、この層準は二次元比抵抗断面図では $80\ \Omega\text{-m}$ から $70\ \Omega\text{-m}$ へ比抵抗が減少する境界付近にあたる。また、先に物理検層の項目で触れたように、検層の SP が地下水の ORP を反映している可能性があり、ORP の観点からは 90 - 96m を境に水塊が上下で異なっていると考えられる。ORP とフッ素濃度の値を散布図に表すと、集団が 3 つに分かれる。これは、地下水流動形態の異なる水塊が少なくとも 3 つ存在する可能性を示していると考えられる（図 3.4.9 および図 3.4.10）。

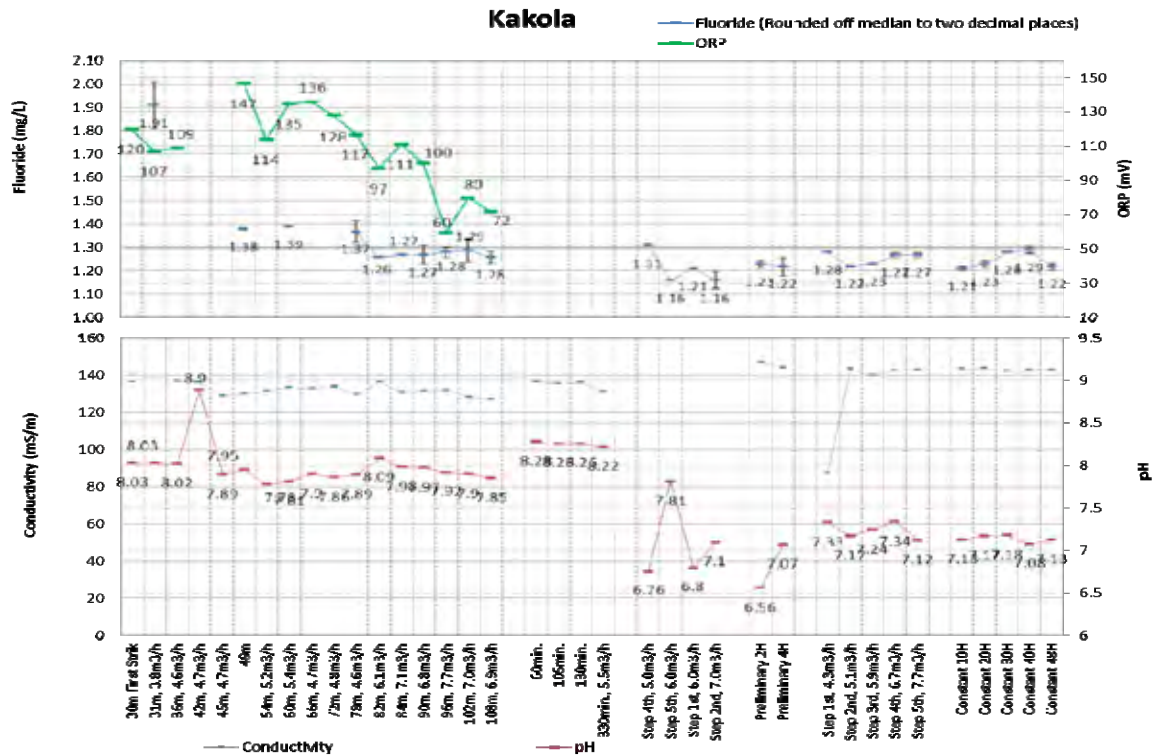


図 3.4.9 カコラ村 BH1 の施工中の水質変化



図 3.4.10 カコラ村 BH1 における掘削中の揚水のフッ素濃度と ORP の散布図

3.4.5 イグンガ県

(1) イグモ村 (BH1)

1) 掘削状況・地質概要

4m 以深は、全て片麻岩である。38m 以深で水を伴う亀裂にあたり、80m 掘削終了時には 15 m³/h 程度の揚水を確認した。

80m 掘削完了時に採取されていた揚水サンプルを簡易分析した結果、揚水サンプルのフッ素濃度は、36m 以浅では 4.9mg/L 以上であるが、67m 以深で 4mg/L 程度を示していたことから、深部でフッ素濃度の低い水がある可能性が示された。検層結果では 55-75m で比抵抗の低下がみられるものの、SP 値は 40m 付近と 53m 付近で負のスパイクが見られる。負のスパイクはより還元的な地下水の流入に起因すると考えられることから、主要な帯水層は 40m 付近と 53m 付近であると考えられる。しかし更に下位の亀裂から採水することで、タンザニア基準のフッ素濃度 (4mg/L) を下回ることが出来ると考え、66.2-72.1m にのみ

スクリーンを設置し、62m以浅はシーリングする井戸構造とした。しかし、ケーシング設置後の揚水試験で限界揚水量が1.0 m³/hであることが示された。揚水試験後のフッ素濃度簡易測定結果は、掘削時の濃度と変化は見られなかった。水質分析機関からのフッ素の測定結果は7.0mg/Lを示した。原因としては、掘削時の水量計測の間違いあるいは、揚水サンプルの採取層準の間違いが考えられる。

詳細な調査結果は、データ集 E.14 および E.28 に示す。

2) 水質

掘削から揚水試験までの水質変化を図 3.4.11 にしめす。

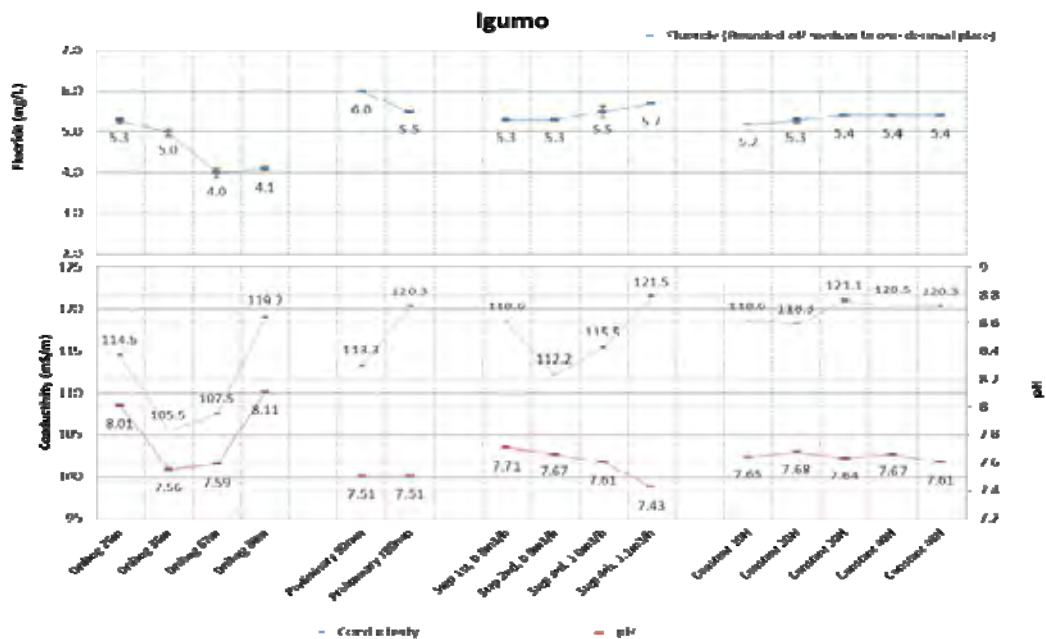


図 3.4.11 イグモ村 BH1 の施工中の水質変化

3) 近隣井戸の水質

表 3.4.6 イグモ村の浅層地下水の水質

Well Type	Coordinate			Well Depth(m)	F (mg/L)	pH	Cond. (mS/m)	Dist. from Drilled Point(km)
HP SW	36M	0551674	94993828	2	0.19 - 0.20	6.2	15.2	1.9 km

HP SW = Hand pump Shallow well

(2) ブヘケラ村 (BH1)

深度 2m 以深はすべて片麻岩が分布している。44m 付近でごくわずかに揚水があったものの、すぐに枯れてしまった。宙水であったと考えられる。酸化亀裂は、30m 以浅および 36 - 39m で見られるものの、水は得られず、不成功井戸となった。

注水して検層を行ったところ、比抵抗は 150 Ω·m 以下という、非常に低い値を示している。検層器の接地電極を差し直して、再度計測を試みたが、同様の値を示した。比抵抗の相対的な変化は、掘進率とよく対応しており、亀裂の有無などを反映していると考えられるが、

第3章 試掘調査

比抵抗値のレンジが 150 Ω-m 以下であること理由は不明である。

詳細な調査結果は、データ集 E.15 に示す。

(3) カゴングワ村 (BH1)

1) 掘削状況・地質概要

深度 25m までは、半固結泥質砂層が主体である。25m 以深は片麻岩で、しばしば酸化亀裂を伴うものの、揚水は全くない。注水して行った検層では、酸化層準と比抵抗の低下している層準がよく一致しており、亀裂の存在は明瞭である。揚水が無いにもかかわらず SP 値に変動が見られるのは、投入した水が亀裂への浸透することによる流動電位の発生が考えられる。

揚水がないため、不成功井戸となった。揚水試験および水質試験は実施不能である。

詳細な調査結果は、データ集 E.16 に示す。

3.5 考察

3.5.1 岩相分布

今回の試掘で確認された岩盤種は、片麻岩と頁岩を主体とする。同一村内での掘削では、同種の岩石が産出した。カコラ村の試掘で産出した岩石はミグマタイトではないかと考えられる。

既存の地質図では、花崗岩の広域の分布が示されており、露頭でも花崗岩は頻りに観察される。しかし、今回の試掘では、苦鉄質鉱物が優勢な岩石や頁岩が主として産出した。花崗岩露頭が地表で多く観察されるのは、風化耐性の違いから、苦鉄質鉱物主体の岩石や頁岩は選択的に風化されて堆積物に覆われ、比較的強い石英主体の岩体が風化に耐えて地表存在しているためと考えられる。

表 3.5.1 岩種の分布

岩種	村名
灰色(灰白色)–黒色片麻岩	マバマ村・ウフルマ村・ブヘケラ村
桃色(暗桃色・暗赤色)–黒色片麻岩	ウスンガ村・ムボンブウェ村・カゴングワ村
頁岩	イサンガ村
硬質頁岩	ムブンブリ村
ミグマタイト	カコラ村

3.5.2 水質分布

(1) フッ素

掘削中から揚水試験を通じて行った簡易水質測定の水質濃度の変化傾向を、一覧表(表 4.2) に示す。イサンガ村の二本の井戸は互いによく似た変化傾向を示している。これは、これらの井戸が互いに距離が近く、非常に良く似た地質構造を掘り抜いていることによると考える。イサンガ村を除けば、それぞれの井戸は特有の変化傾向を示している。

浅井戸の水質濃度計測では、イサンガ村の浅井戸が突出して高い値(9.3-9.5mg/L)を示し

ている。イサンガ村以外のサイトでは浅層地下水のフッ素濃度は試掘井より低濃度を示している。これは、土壤中にトラップされているフッ素がイサンガ村で特に多量に溶出しているためと考えられる。しかし同村の河川中の手掘り井戸のフッ素濃度は 1.36-1.39mg/Lを示しており、同村エリアは他地域よりも複雑な地下水塊の存在が示唆される。

揚水量とフッ素濃度の散布図（図 3.5.1）は、同一地質内における井戸では、近い範囲あるいは直線状（揚水量は対数）にプロットされることを示している。マバマ村では揚水量とフッ素濃度との関係は BH1(14 m³/h ; F 1.5 mg/L)、BH2(0.8 m³/h ; F 2.24 mg/L)、BH3(計測不能 ; F 3.2 mg/L)であり、揚水量が少ないほどフッ素濃度が高くなっている。これら三点は同一の断層系から選定されており、また岩石種は同じであることから、同一の地下水塊を形成している可能性がある。揚水量の差は、開口亀裂の大きさや集中の程度によるため、マバマ村では揚水量が少ない井戸は亀裂が小さく少ないことを意味しており、透水係数は小さい。そのため、地下水の移動が遅く滞留時間が長く、岩石との接触時間は長くなる。接触時間が長いほどフッ素濃度が高まるとすると、フッ素の供給源は、接触している岩石である可能性が示唆される。

表 3.5.2 施工中のフッ素濃度の変化傾向

サイト名	掘削中	段階揚水試験	連続揚水試験	測定フッ素濃度 (mg/l)	
				ラボ分析値	近隣浅井戸 (事務所分析値)
イグモ村 (BH1)			(1.0 m ³ /h)	7.00	0.19 - 0.20
イサンガ村 (BH1)			(3.7 m ³ /h)	2.40	9.3 - 9.5
イサンガ村 (BH2)			(3.0 m ³ /h)	1.10	1.36 - 1.39
ムボンブウェ村 (BH2)			(0.1 m ³ /h)	1.10	N/A
ウスンガ村 (BH1)			(0.2 m ³ /h)	1.46	0.20 - 0.50
ウスンガ村 (BH2)			(0.8 m ³ /h)	2.53	0.20 - 0.50
カコラ村 (BH1)			(6.0 m ³ /h)	1.61	N/A
ムブンブリ村 (BH2)			(9.0 m ³ /h)	3.95	0.29 - 0.30
マバマ村 (BH1)			(14.0 m ³ /h)	1.50	0.185 -
マバマ村 (BH2)			(0.8 m ³ /h)	2.24	0.187

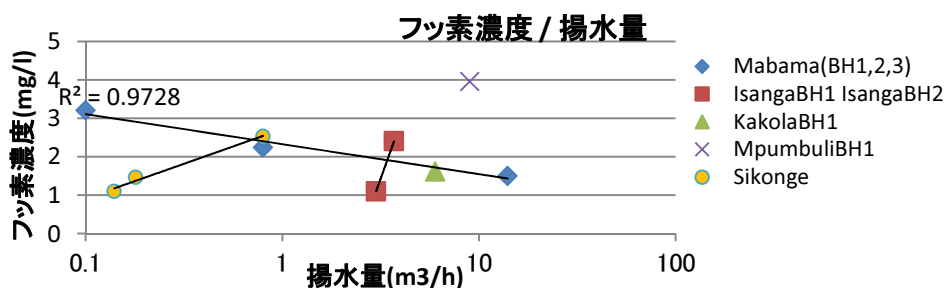


図 3.5.1 揚水量とフッ素濃度の散布図

(2) 自然電位 (SP)

自然電位の発生要因は、主に、地下水の流動に起因する流動電位ならびに酸化還元電位 (ORP) がある。帯水層の位置を特定するために用いる SP 検層では、透水層 (砂礫) と難透水層 (粘土) との間で生じる電位差の異常を識別する。この帯水層の特定に用いる自然電位異常は、相対変化である。一方、それぞれの井戸で得られる値の範囲は、井戸毎に異なっており、その要因を説明するには、帯水層における流動電位や電池の発生以外の説明が必要である。SP 測定は、孔壁には基本的に非接触であり、孔内水とのみ接触していることから、SP 測定値は孔内水の酸化還元電位に大きく影響を受けると考えられる。即ち、SP 検層で得られる値は、孔内水の ORP をバックグラウンドとし、帯水層の影響による変動が反映されていると考える。

まず、図 3.5.2 に、揚水量が $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上の井戸について、岩盤層準の SP 検層測定値の頻度分布グラフの比較図を示す。 $(0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 未満の揚水量の井戸では、孔内水位が非常に深いため、検層時に孔内へ注水を行った。それらの井戸では、孔内水の ORP は投入された水に支配されるため、ここでの比較からは除外した。) カコラ村 BH1 とマバマ村 BH1 については掘削中の揚水の ORP 測定値は、カコラ村 BH1 に比べマバマ村 BH1 が相対的に還元環境にあることを示している。SP 検層の値についても、マバマ村 BH1 がカコラ村 BH1 よりも低い値の範囲にあることを示しており、ORP 測定傾向と整合的である。マバマ村 BH1 とマバマ村 BH2 の主要 SP 検層値は、他地域と比較しても低い領域にある。一般に、掘削岩石サンプル観察において、亀裂部分では酸化が見られることが多いが、マバマ村とウフルマ村の掘削岩石サンプルでは亀裂に酸化が見られなかった。マバマ村の帯水層に酸素がもたらされない還元状況下にある可能性をしめしている。このことは、マバマ村における SP 値が他地域に比べて低く、相対的に還元状況下にあることと整合的である。マバマ村では、地表で涵養されてからの地下滞留時間が他地域に比べて長いことを示していると考えられる。

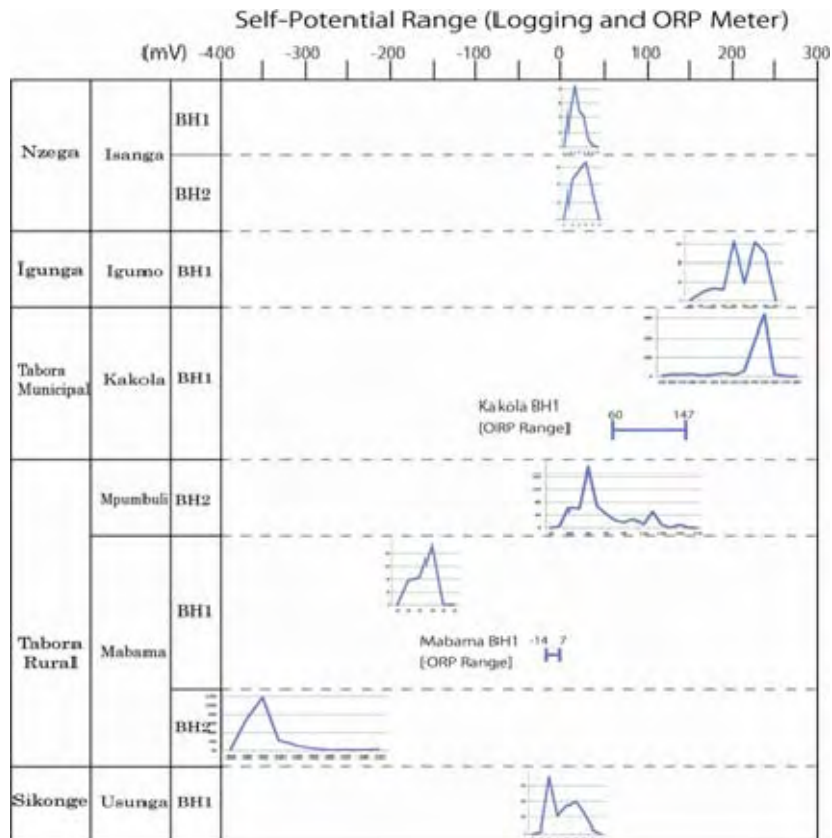


図 3.5.2 SP 検層測定値の頻度分布の比較

上図(図 3.5.2)の頻度分布図それぞれの最頻値と、揚水量との比較を行った結果(図 3.5.3)、マバマ村とそれ以外の掘削井とを区別すれば、揚水量と SP 検層最頻値との間に正の相関傾向があるとみられる。揚水量が多い井戸では亀裂が大きく連続しており、小さな亀裂よりも地下水が移動しやすいために、主要な“水みち”となって、相対的に酸化的な水が供給されているためではないかと考える。

掘削地点探査では、しばしば SP 探査が用いられているが、タボラ地域においても SP 探査を行うことで、同一地域内における掘削地点候補の可能性比較が出来るのではないかと考える。

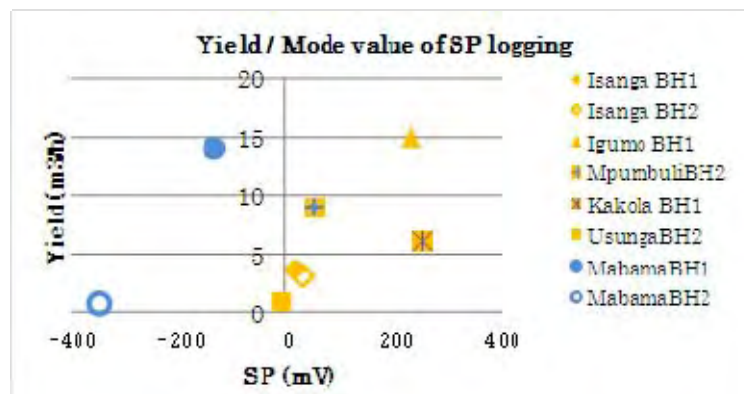


図 3.5.3 揚水量と SP 検層最頻値との散布図

第3章 試掘調査

3.5.3 掘削深度と井戸成功率の関係

全16か所の掘削結果に基づき、掘削深度と成功率の関係についての検討を行った。表3.5.3に掘削結果の一覧、表3.5.4に揚水試験結果の一覧を示す。

表 3.5.3 掘削結果一覧

District	Village	Drilling No.	Coordinate		Registered No. of Tanzania	Drilling		Yield at the end of Drilling (m ³ /h)	PVC Depth (GL- m)	Screen Paiton	Total Screen Length (m)	Yield by AirLifting (m ³ /h)								
			X	Y		Bit Type	Drilling Diameter (inch)						Drilling Depth (GL- m)	Logging Date						
Nzega	Isanga	NZ-047BH1	36M	0523911	672/2010	2010/9/24	2010/9/27	DTH	7-5/8"	80	30.75-36.05	42.55-45.54	45.45-54.35	57.3-86.15	72.05-75	20.55	3.5			
		NZ-047BH2	36M	0524030	673/2010	2010/9/27	2010/9/29	DTH	7-5/8"	80	30.75-36.05	42.55-45.54	45.45-54.35	57.3-86.15	72.05-75	20.55	3.5			
		SK-028BH1	36M	0492530	670/2010	2010/9/14	2010/9/17	DTH	7-5/8"	98	0.1-0.27	98	0.1-0.27	98	0.1-0.27	98	0.1-0.27	2.7		
		SK-028BH2	36M	0494744	671/2010	2010/9/18	2010/9/22	DTH	7-5/8"	150	0.4	137.5	49-60	8.667-69.85	78.5-81.46	84.4-87.35	108-113.9	125.7-131.6	0.8	
Sikonge	Mpombwa	SK-037BH1	36M	0466529	9402556	2010/9/12	2010/9/13	DTH	7-5/8"	92	0.1-0.27	92	0.1-0.27	92	0.1-0.27	92	0.1-0.27	0.8		
		SK-037BH2	36M	0465785	9405719	2010/8/17	2010/8/17	Air + Drag	7-5/8"	7	0	7	0	7	0	7	0	0.8		
		TR-054BH1	36M	0549469	9413752	662/2010	2010/8/18	2010/8/19	DTH	7-5/8"	130	7	2010/8/23	123	66.00-86.65	92.55-107.30	113.20-122.05	44.25	7	
		TR-054BH2	36M	0549535	9413742	664/2010	2010/9/1	2010/9/3	DTH	7-5/8"	79	11.7	2010/9/8	75.3	58.0-69.8	75.3	58.0-69.8	5.9	12	
Tabora Rural	Mabama	TR-069BH1	36M	0448218	9433981	2010/9/10	2010/9/13	DTH	7-5/8"	82	0.6	2010/9/12	63.7	31.25-34.2	37.15-46.51	49-54.85	17.7	0.8		
		TR-069BH2	36M	0448362	9433208	2010/9/10	2010/9/13	DTH	7-5/8"	82	0.6	2010/9/12	63.7	31.25-34.2	37.15-46.51	49-54.85	17.7	0.8		
		TR-069BH3	36M	0448517	9433250	2010/9/14	2010/9/19	DTH	7-5/8"	86	I.M.	2010/9/16	---	---	---	---	---	---		
		TR-069BH4	36M	0432350	9447793	2010/9/14	2010/9/22	DTH	7-5/8"	86	I.M.	2010/9/22	---	---	---	---	---	---		
Tabora Urban Municipal	Kakola	TU-008BH1	36M	0482083	9462843	663/2010	2010/8/26	2010/8/31	DTH	7-5/8"	108	6.9	2010/8/29	102	28.25-46.95	45.9-54.86	60.7-69.55	78.4-84.3	87.25-96.1	5.8
		TU-008BH2	36M	0482083	9462843	663/2010	2010/8/26	2010/8/31	DTH	7-5/8"	108	6.9	2010/8/29	102	28.25-46.95	45.9-54.86	60.7-69.55	78.4-84.3	87.25-96.1	5.8
		IG-007BH1	36M	0551014	9495593	675/2010	2010/9/24	2010/9/28	DTH	7-5/8"	80	15.4	2010/9/27	78	66.2-72.1	---	---	---	5.1	1
		IG-007BH2	36M	0578471	9472418	2010/9/29	2010/10/1	DTH	7-5/8"	70	0	2010/10/6	---	---	---	---	---	---		
Iringa	Kagongwa	IG-033BH1	36M	0573228	9553481	2010/9/29	2010/10/1	DTH	7-5/8"	82	0	2010/10/1	---	---	---	---	---	---		

I.M. = Incapable Measurement

表 3.5.4 揚水試験結果一覧表

District	Village	Drilling No.	Step Draw Down Test												Constant Rate Test				Recovery Test						
			Date	Starting Water Level (GL- m)	1st Step (Discharge Rate (m ³ /h), Dynamic Water Level (GL- m), Duration (hours))	2nd Step (Discharge Rate (m ³ /h), Dynamic Water Level (GL- m), Duration (hours))	3rd Step (Discharge Rate (m ³ /h), Dynamic Water Level (GL- m), Duration (hours))	4th Step (Discharge Rate (m ³ /h), Dynamic Water Level (GL- m), Duration (hours))	5th Step (Discharge Rate (m ³ /h), Dynamic Water Level (GL- m), Duration (hours))	Discharge Rate (m ³ /h)	Starting Water Level (GL- m)	Discharge Rate (m ³ /h)	Dynamic Water Level (GL- m)	Specific Capacity (m ³ /h/m)	Dynamic Water Level (GL- m)	Dynamic Water Level (GL- m)	Measuring Duration (hours)	Recovered Water Level (GL- m)	Critical Yield (m ³ /h)						
Nzega	Isanga	NZ-047BH1	2010/10/17	17.4	2.5	24.4	3.5	2	29.27	4	44.36	4.5	74.2	2010/10/17	2.82	3.7	48	63.55	0.061	48	2.05	3.7			
		NZ-047BH2	2010/10/20	5.52	1.8	23.7	2.8	2	28.61	3.3	38.11	4	53.09	2010/10/20	6.64	3	48	42.98	0.083	24	6.17	3			
		SK-028BH1	2010/10/11	55.01	0.2	36.3	12.5	2	47.21	14	55.12	15	67.53	2010/10/11	46.2	0.3	130	93.9	0.006	24	40.27	0.18			
		SK-028BH2	2010/9/27	17.39	0.4	37.66	0.8	2	58.24	1	97.89	1.2	128.75	2010/9/28	17.24	0.8	48	117.29	0.008	24	17.51	0.8			
Sikonge	Mpombwa	SK-037BH1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
		SK-037BH2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		TR-054BH1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		TR-054BH2	2010/10/6	33.04	5	6.11	7	2	73.62	8.2	66.95	9.8	107.68	2010/10/7	33.09	9	48	101.38	0.132	24	33.30	9			
Tabora Rural	Mabama	TR-069BH1	2010/9/22	5.93	9	36.3	12.5	2	47.21	14	55.12	15	67.53	2010/9/23	6.21	14	48	66.69	0.231	24	8.59	14			
		TR-069BH2	2010/9/19	11.68	0.4	21.89	0.8	2	40.08	1	56.53	1.2	60.23	2010/9/16	11.2	0.8	48	60.2	0.016	16	11.06	0.8			
		TR-069BH3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		TR-069BH4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tabora Urban Municipal	Kakola	TU-008BH1	2010/10/2	14.06	4.3	26.84	5.9	2	31.7	6.7	62.54	7.7	97.28	2010/9/23	14.35	6	48	87.78	0.082	24	14.37	6			
		TU-008BH2	2010/10/2	14.06	4.3	26.84	5.9	2	31.7	6.7	62.54	7.7	97.28	2010/9/23	14.35	6	48	87.78	0.082	24	14.37	6			
		IG-007BH1	2010/10/27	9.61	0.8	42.19	1	2	53.63	1.1	75.87	1	9.61	2010/10/27	9.62	1	48	49.03	0.025	24	9.62	1			
		IG-007BH2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Iringa	Kagongwa	IG-033BH1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

(1) 掘削深度

成功井戸の掘削深度は、シコンゲ県のウスンガ村(BH2)が 150m と他と比べて突出して深い。シコンゲ県エリアでは、成功井戸を得るには他の地域よりもより深い掘削深度が必要と考えられるため、タボラ州をエリア A「ンゼガ県、イグンガ県、タボラ市、タボラ・ルーラル県」およびエリア B「シコンゲ県」に区分して検討を行う。

エリア A は、不成功も含めた平均掘削深度は 85m であるが、成功井戸のみの掘削平均深度は 92m である。これは、水が出た井戸でケーシングを挿入する際に数 m の増し掘りを行ったためと考えられる。給水プロジェクトの実施段階では、推奨掘削深度を平均 90m とするのが望ましいと考える。

エリア B では、80m 未満の掘削深度でターゲットとなる帯水層を狙っても、十分な水は得られず、150m 掘削の井戸のみで基準を満たす水量が得られた。どの井戸においても水を伴う亀裂は薄いため、掘削深度を深くして採水層を厚くにとって水をかき集めるより他ない。シコンゲ県での推奨掘削深度は、150m とする必要があると考える。

表 3.5.5 地域別掘削深度

エリア		掘削深度 (m)			推奨掘削深度 (m)
A	ンゼガ県、 イグンガ県、タボラ市、 タボラ・ルーラル県	全井戸	最大	130	90m
			最少	50	
			平均	85	
		成功井のみ	最大	130	
			最低	79	
			平均	92	
B	シコンゲ県	全井戸	最大	150	150m
			最少	79	
			平均	105	
		成功井のみ	150		

(2) 成功率

ハンドポンプを設置可能な揚水量をここでは $0.72 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上とし、これを基準に成功率を検討する。

今回の試掘全体の揚水量の成功率は 50%となる。最終的に水質基準を満たさなかった井戸はイグモ村の一か所のみ(フッ素)であり、揚水を確認した井戸に対しては、9%となる。

表 3.5.6 揚水試験およびフッ素分析結果の集計

揚水試験	$0 \text{ m}^3/\text{h}$	4	25%
	$0 < \cdot < 0.72 \text{ m}^3/\text{h}$	4	25%
	$0.72 \leq \text{ m}^3/\text{h}$	8	50%
フッ素 (11 サンプル)	≤ 1.5	4	36%
	$1.5 < \cdot \leq 4.0 \text{ mg/L}$	6	55%
	$4.0 < \text{ mg/L}$	1	9%
合計	Drilled borehole	16	44%
	Success	7	

しかし、シコンゲ県のみ他県と区別して成功率について集計を行うと、シコンゲ県における成功率が他県に比べて極めて低いことが示される。

表 3.5.7 揚水試験実施数に対する成功率

揚水試験		揚水試験実施井戸数	揚水量成功井戸数	揚水試験成功率
		ンゼガ県、イグンガ県、タボラ市、タボラ・ルーラル県	7	7
	シコンゲ県	3	1	33%
	合計	10	8	80%

揚水量が 0.72 m³/h 以上の井戸は、エリア A が 58%、エリア B が 25%である。更にフッ素濃度基準値超過井戸（イグモ村）を差し引くと、エリア A の成功率は 50%になる(表 3.5.8)。

表 3.5.8 地域別成功率

	県	No	揚水量			フッ素濃度			対サイト数割合	
			揚水量 (m ³ /h)	サイト	割合	濃度 (mg/l)	サイト	割合		
A	ンゼガ県、イグンガ県、タボラ市、タボラ・ルーラル県 < 12 sites >	12	0	3	25%	≤1.5	2	33%	17%	50%
			0 < ・ < 0.72	2	17%	1.5 < ・ ≤ 4.0	4	57%	33%	
			0.72 ≤	7	58%	4.0 <	1	17%	8%	
B	シコンゲ県 < 4 sites >	4	0	1	25%	≤1.5	0	0%	0%	
			0 < ・ < 0.72	2	50%	1.5 < ・ ≤ 4.0	1	100%	25%	
			0.72 ≤	1	25%	4.0 <	0	0%	0%	

3.5.4 まとめ

(1)10 か村において合計 16 本の試掘を実施した。揚水量 0.72 m³/h 以上で水質に問題のない井戸は 7 本。レベル 2 建設に供される井戸は 5 本（4 か村）となった。

(2)成功率は、全体では 44%。エリア A（ンゼガ県、イグンガ県、タボラ市、タボラ・ルーラル県）とエリア B（シコンゲ県）に分けると、エリア A では 50%、エリア B では 25%となる。

(3)計 16 か所の掘削井戸は、極めて多様な地質的特徴を示している。岩相は地域ごとに異なっており、施工中の水質の変動も極めて多様である。自然電位、フッ素濃度、揚水量の観点からは、マバマ村で掘削された断層帯が他に比べて還元環境にあることが示される。

(4)試掘に先立って行われた物理探査で作成された比抵抗断面図の地下状況の差異は、非常に良く反映されていた。詳細は物理探査の章に記載されているが、岩相、特に風化や鉱物組成の違いに起因する比抵抗分布の差まで表現されており、さらに水を得られた地下構造と得られなかった地下構造とでは、比抵抗断面図における差異が見られた。無償資金協力実施段階の掘削地点調査では、今回の探査結果と試掘結果をフィードバックすることで、成功率の向上が望めると考える。

(5)SP 検層結果の考察から、自然電位と揚水量との間に相関関係がある可能性が示された。掘削深度と掘削成功率の観点からは、シコンゲ県における深井戸成功率の低さが際立って

いる。無償資金協力実施段階では、シコング県における深井戸掘削の難易度を考慮するのが望ましいと考える。

タボラ州の水理地質状況は、多様な地質条件に規制されており、単純にタボラ州を一纏めにして解釈することは難しい。今回の試掘調査の掘削地点はそれぞれの地域の特徴を表している可能性があり、非常に有意義な調査結果であったと考える。

第4章 ハンドポンプ修理

4.1 概説

4.1.1 はじめに

既存のハンドポンプ給水施設のうち、軽微な修理で機能改善が見込まれるものに対し、改修工事を実施した。施工の際には、ユーザーの代表者数名に対し、ハンドポンプの構造や維持管理方法についての講習を同時に実施した。補修対象のハンドポンプは、本プロジェクト1年次に実施されたハンドポンプ調査をもとに選定された。修理対象のハンドポンプモデルは TANIRA と AFRIDEV である。修理作業は現地再委託業務とし、監理担当団員が工程監理と結果分析を行った。

4.1.2 実施内容

(1) 修理対象

タボラ州5県1市において、軽微な修理で機能改善が見込まれる46本のハンドポンプ(TANIRA および AFRIDEV) を対象に修理を実施した。表 4.1.1 に修理対象のハンドポンプを示す。

(2) 施工期間

2010年7月29日に現場修理作業を開始し、2010年10月21日に46か所の検査が完了した。

4.2 現場作業内容

本業務は、ユーザーへの講習も修理業務と同時に実施するため、まずユーザーグループから講習を受けるメンバーを選出した。講習は、ポンプの構造、破損箇所、日常メンテナンス、故障時の対処方法などをユーザーに理解させることを目的に、修理作業の進行に沿って適宜実施した。故障箇所を確認しパーツの交換・修理を行うという修理作業の流れの中で講習の効果を高めるため、安全な修理作業についてはユーザーが手伝いながら行った。

完了検査では、請負業者より施工完了の報告を受けたのちに、調査団のメンバーがサイトを訪れ、ポンプが正常に機能していることを確認した。

4.2.1. 修理・講習

(1) 受講者の選出

まず、修理対象のハンドポンプのユーザーのなかで講習を受けるメンバーを村の代表者と相談し選ぶ。講習の受講者は、主に、水利用グループや水委員会のメンバー、学校の先生といった指導的立場の人物を選んだ。

(2) 作業内容の説明

受講者に対し、15分程度で作業概要の説明を行った。各自メモをとれるようにボールペンとノートも配布した。

(3) 故障箇所の確認

ハンドポンプの故障箇所の確認を行った。必要であれば、ポンプの引き上げも受講者が参加して行った。

(4) パーツ交換・修理・講習

受講者にポンプの構造を説明しながら、故障パーツの交換ならびに修理を行った。メンテナンスの方法も同時に説明した。

(5) コンクリート構造物の補修

コンクリート構造物の破損がポンプの使用に悪影響を及ぼしている場合は、破損箇所を補修した。

4.2.2 検査

修理完了後にハンドポンプが正常に修理され機能しているかについて、検査を実施した（データ集参照）。

4.3. 交換パーツの概要

交換を行ったパーツをポンプモデル別に集計し、主要な交換パーツについて検討した。

4.3.1. TANIRA

第4章 ハンドポンプ修理

TANIRA の修理総数 19 か所の修理で使用したパーツおよび、コンクリート構造物の修理内容のリストを表 4.3.1 に示す。

最も交換数の多い Shock absorber および Sleeve bearing はポンプハンドルの可動を支えている部分のため、非常に消耗しやすい。ポンプスタンドを固定するネジはしばしば紛失しやすく、3番目に多い修理部品となっている。井戸中へ挿入している揚水管の中で稼働している Plunger 関連部品が比較的消耗しやすい。Riser main および Rod は、破損による交換のみではなく、乾季のために水位が降下した井戸において揚水深度を深くするために追加したものも含まれている。

表 4.3.1 TANIRA 19 か所の交換パーツ

交換パーツ	ポンプ箇所数	パーツ個数	19 か所に対する割合
Shock absorber	18	18 pcs	95%
Sleeve bearing	16	16 pcs	84%
Hex screws	8	29 pcs	42%
Rod	7	12.5m	37%
Cylinder	7	7 pcs	37%
Plunger ring	6	6 pcs	32%
Riser main	5	7m	26%
Nut	4	16 pcs	21%
Plunger ring assembly	2	2 sets	11%
Handle	1	1 pc	5%
Riser coupling	1	1 pc	5%
Cast in pedestal	1	1 pc	5%
Gasket	1	1 pc	5%
Pump handle assembly	1	1 pc	5%
Pump stand	1	1set	5%
コンクリート構造物修理			
Well cover	14		74%
Apron repair	12		63%
Inspection cape	4		21%

4.3.2. AFRIDEV

AFRIDEV の修理総数 27 か所で使用したパーツおよび、コンクリート構造物の修理内容のリストを表 4.3.2 に示す。

最も交換数の多い Bearing Bush は、ハンドルの可動を支えるプラスチック製ベアリングであり、非常に消耗しやすい。交換を怠ると、ベアリングを支えている軸である、Fulcrum pin までが破損してしまうため、早めの交換が必要である。O-ring および Cup u seal は揚水管中でピストンの漏水を防ぐゴムパーツであるため、摩耗により消耗しやすい。Riser main および Rod は、

破損による交換のみではなく、乾季のために水位が低下した井戸において揚水深度を深くするために追加したものも含まれている。

表 4.3.2 AFRIDEV 27 か所の交換パーツ

交換パーツ	ポンプ箇所数	パーツ数量	27か所に対する割合
Bearing bush	26	26 sets	96%
O-ring	24	24pcs	89%
Cup u seal	23	23pcs	85%
Flapper rubber	19	19pcs	70%
Bolt&Nuts	6	23pcs	22%
Rod centralizer	6	27pcs	22%
Fulcrum pin	5	5pcs	19%
Riser main	5	50m	19%
Rope	4	340m	15%
Rod	4	15m	15%
Cylinder	3	3sets	11%
Foot valve	3	3pcs	11%
Handle pump	3	3pcs	11%
Foot valve receiver	2	5pcs	7%
Plunger ring	2	2pcs	7%
Cylinder pipe	1	1pc	4%
Handle assembly	1	1pc	4%
Plunger ring assembly	1	1pc	4%
Plunger ring assembly and o-ring	1	1pc	4%
Pump body	1	1pc	4%
Socket joint	1	1pc	4%
コンクリート構造物修理			
Apron repair	12		45%
Well cover repair	4		15%

4.4 故障ハンドポンプの放置に係る要因について

故障していたハンドポンプの全てが、故障後に修理されることなく放置されたものであった。ハンドポンプ修理および施工後の検査のなかで、ユーザーからの聞き取りや、状況観察をもとに、ハンドポンプが故障して放置されていた要因について検討を行った。(図 4.4.1)

4.4.1 直接要因

壊れたまま放置することの直接理由としては、次の3つが考えられる。

- ・修理部品を調達できない。修理技術者を呼べない。
- ・お金をかけてまで修理して使用したいという意識にならない。
- ・適切な指導がなされていない。

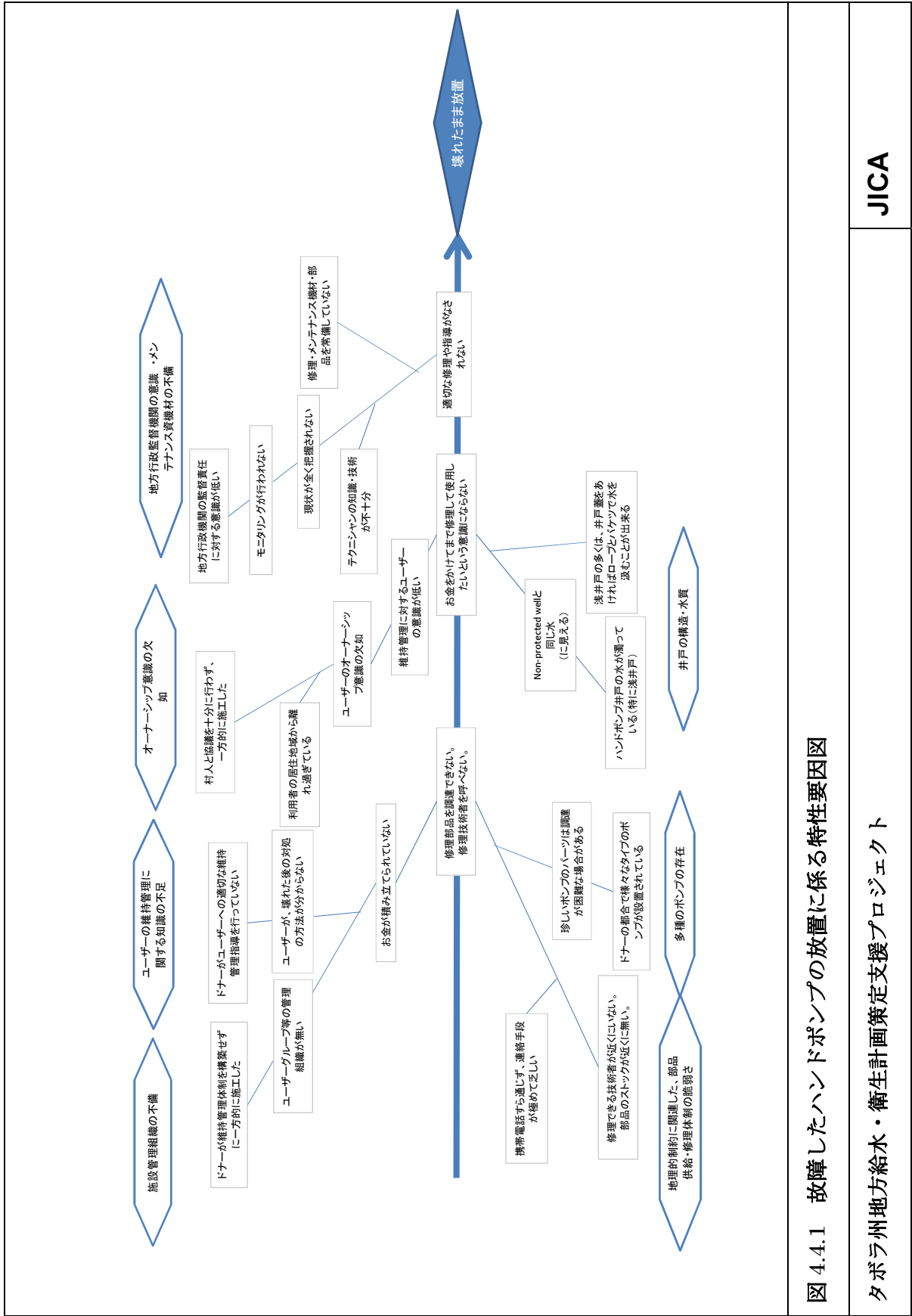


図 4.4.1 故障したハンドポンプの放置に係る特性要因図

タボラ州地方給水・衛生計画策定支援プロジェクト

JICA

4.4.2. 直接要因の背景

上記の直接要因は、背景に存在する複数の要素の結果、生じるものと考えられる。現状の改善のため、直接要因の背景を7つに分類し、検討を行った。

(1) 施設管理組織の不備

ドナーが維持管理体制を構築せず、一方的に施工したことによると考えられる。組織的に費用の積み立てがなされず、修理できないことの要因と考える。

新規施工施設は、施工時に適切な維持管理体制を構築し、既存施設は監督機関によりユーザーへの指導を行うことが有効と考える。

(2) ユーザーの維持管理に関する知識の不足

ドナーがユーザーへ適切な維持管理指導を行わずに施工したことにより、壊れた時の対処方法に関する知識が不足していると考えられる。お金が積み立てられていなかったり、お金はあっても対処方法がわからないために修理が出来ないことの要因と考える。

新規施工施設は、施工時に適切な維持管理指導を行い、既存施設は監督機関によるユーザーへの指導を行うことが有効と考える。

(3) オーナーシップ意識の欠如

ドナーがユーザーと十分な協議を行わずに施工したり、居住エリアから離れているなどの理由により、ユーザーのオーナーシップ意識が欠如していると考えられる。壊れた時に、お金をかけてまで直そうという意識にならないことの要因と考える。

新規施工時には施工時にユーザーとの協議を十分に行い、オーナーシップ意識を高めることが重要である。既存施設においては、監督機関がユーザーへの指導を行うことが有効と考える。

(4) 地方行政監督機関の意識・メンテナンス資機材の不足

地方行政機関の施設監督責任に対する意識が低いことにより、ユーザーの使用状況が把握されていなかったり、技術者の知識や技術、またメンテナンス資機材が不十分な状況が生じていると考えられる。監督機関により、適切な管理指導がなされないまま放置されることになっていると考える。

改善には、行政機関の意識向上が重要である。

(5) 地理的要因に関連した部品供給・修理体制の脆弱さ

資機材を調達しやすい町から遠く離れた村では、連絡手段も乏しく、修理部品や技術者の調達が著しく困難になることの要因として考える。

村独自では改善することは極めて困難なため、行政機関も含めて連絡手段を改善する努力が必要である。

(6) 多種のポンプの存在

タボラ地域には、ドナーの都合により様々なタイプのポンプが設置されている。珍しい種類のポンプは修理部品や修理技術者を調達することが困難な場合が多く、修理できないことの要因になると考える。

改善には、一般的に広く使用されており部品調達などが比較的容易なポンプを選定することが重要である。既に設置されているポンプで、維持管理が困難な特殊なポンプは、維持管理が容易なポンプに交換することも必要であろう。

(7) 井戸の構造・水質

ハンドポンプが設置されている井戸の水が、Non-protected well と同じような濁った水であれば、ポンプ井戸を使うことの意義をユーザーは認識しにくいと考えられる。深井戸であっても、井戸の施工に不備があれば、濁り水が出てくることがある。また、浅井戸の多くはポンプを取り外したり、井戸蓋を開けることで、バケツで直接水を汲めるようになる。これらの要因により、お金をかけてまでポンプを直そうとする意識になりにくい場合が非常に多いと考える。これは、浅井戸が壊れたまま放置されていることの主な要因と考える。

改善には、清潔な水を利用することの重要性に関する啓蒙活動が重要である。また、井戸の施工品質も、安全な水を供給する上では重要な要素である。

4.5 まとめ

今回修理を行ったポンプは、軽微な修理で機能改善が可能であることが選定の基準であったため、実際の修理でも簡単な交換で済む場合が多かった。言い換えれば、簡易な補修で使用できるようになるにも拘らず、放置されていたことになる。

AFRIDEV の Bearing Bush が破損した場合に、速やかに交換すれば、Fulcrum pin の寿命を延ばすことが出来る可能性がある。また、コンクリートの台座が破損すれば、ポンプスタンドの安定が損なわれ、ポンプの破損やネジの紛失を招きやすくなるが、速やかに台座を補修することで、これらを防ぐことが出来る。つまり、ポンプが故障した際に速やかに修理を行うことで、結果的に修理費用を抑え、ポンプの寿命を延ばすことに繋がると考える。

補修と同時にユーザーを対象に実施されたメンテナンス講習は、非常に有益であったとみられる。イグンガ県モヨフケ村では、講習後にポンプが不調になった際、ユーザー自らポンプを引き上げて、スペアパーツの交換を試みた例が見られた。また、ンゼガ県カセラ村では講習を受けたユーザーが、村の会合において、ポンプの維持管理に関する協議を取りまとめた例もあった。ユーザーおよび地方行政監督機関のテクニシャンに適切な指導を行うことで、ユーザーのオーナーシップ意識を高め、彼らが自ら修理することも可能となると考える。

ポンプが壊れるとそのまま放置される直接要因としては、ユーザー自身に「お金を掛けても直

して使いたい」という意識が欠けていること、あるいは補修したくてもパーツや技術者が調達できず、どうしていいかわからない、ということが、考えられる。井戸を提供する側（ドナー）の責任だけでなく、地方行政監督機関の監督責任が欠けているのではないかとの印象も強く持った。

壊れたハンドポンプをユーザーが放置してしまう状況は、複合的な要因によるものと考えられる。問題の要因は多岐にわたるが、ドナー、行政機関、ユーザーの適切な協議を経て、施工から維持管理まで行われることで大幅に軽減されるのではと考える。しかし、ドナーは瑕疵保証期限以降は故障に対応することは難しく、またユーザーは複雑な修理への対応は難しい。ユーザーの維持管理意識を高く維持し、パーツ供給システムを構築・維持していくには、District Water Office レベルでの主体的な行動が重要な鍵になると考える。