

資料6 技術資料

- (1) 水 理 地 質 調 査 報 告 書
- (2) 住民による水料金支払意志調査結果
- (3) ソフトコンポーネント提案書

6. 技術資料(1) 水理地質調査報告書

**技術マダガスカル共和国南西部地下水開発計画
基本設計調査（フェーズ）
水理地質調査報告書**

目 次

1.	物理探査	A - 45
1-1	調査方法	
	(1)電気探査	A - 45
	(2)電磁波探査	A - 47
1-2	調査結果	A - 54
2.	調査地の水理地質概要	A - 58
	(1)ツイリビヒナ三角州	A - 58
	(2)マンドロイラ川流域帯	A - 64
	(3)トミシィ川流域	A - 66
	(4)モロンダヴァ川流域地帯	A - 73
	(5)マハリボ川下流地域	A - 83
	(6)マハリヴォ川河口地域	A - 87
	(7)マンゴキ川北部海岸低地帯	A - 92
	(8)マンゴキ川右岸地域	A - 94
	(9)マンザ郡硬岩地帯	A - 99
	(10)アンキリザト地域	A - 120
	(11) d 地域	A - 130
	(12)マランバンディ地域	A - 138
	(13)アンパノトカ地域	A - 147
	(14)アンバラヒィ及びアンコトロフォツィ地域	A - 151

付 図 一 覧

- 図-1 Wenner 法による垂直探査の電極配置
- 図-2 TEM 法の模式図
- 図-3 スモークリング模式図
- 図-4 TEM 法解析流れ
- 図-5 一次元比抵抗構造解析流れ
- 図-6 TEM 法解析図
- 図-7 計画対象地区水理地質区分図
- 図-8 ツィリビヒナ三角州位置概略図
- 図-9 ツィリビヒナ三角州物理探査位置図
- 図-10 No.109 の電気探査解析結果と断面図
- 図-11 No.112 の電気探査解析結果と断面図
- 図-12 マンドロイラ川流域帯位置概略図
- 図-13 トミシィ川流域位置概略図
- 図-14 トミシィ川流域物理探査位置図
- 図-15 No. 82 の電気探査解析結果と断面図
- 図-16 No. 83 の電気探査解析結果と断面図
- 図-17 No. 89 の電気探査解析結果と断面図
- 図-18 モロンダヴァ川流域地帯位置概略図
- 図-19(1)~(2) モロンダヴァ川流域地帯の物理探査位置図
- 図-20 No. 67 の電気探査解析結果と断面図
- 図-21 No. 70 の電気探査解析結果と断面図
- 図-22 No. 94 の電気探査解析結果と断面図
- 図-23 No. 97 の電気探査解析結果と断面図
- 図-24 No. 99 の電気探査解析結果と断面図

- 図-25 マハリボ川下流地域位置概略図
- 図-26 マハリボ下流地域物理探査位置図
- 図-27 No. 25 の電気探査解析結果と断面図
- 図-28 マハリボ川河口地域位置概略図
- 図-29 マハリボ川河口地域物理探査位置図
- 図-30 No. 40 の電気探査解析結果と断面図
- 図-31 マンゴキ川北部海岸低地帯位置概略図
- 図-32 マンゴキ川右岸地域位置概略図
- 図-33 マンゴキ川右岸地域物理探査位置図
- 図-34 No. 17 の電気探査解析結果と断面図
- 図-35 No. 117 の電気探査解析結果と断面図
- 図-36 マンザ郡硬岩地帯位置概略図
- 図-37(1)~(2) マンザ郡硬岩地帯物理探査位置図
- 図-38 No. 15 の電気探査結果と断面図
- 図-39 No. 16 の断面図
- 図-40 No. 116 の電気探査解析結果と断面図
- 図-41 No. 120 の電気探査解析結果と断面図
- 図-42 No. 121 の電気探査解析結果と断面図
- 図-43(a) No. 15 電磁波探査解析結果
- 図-43(b) No. 16 電磁波探査解析結果
- 図-43(c) No. 120 電磁波探査解析結果
- 図-43(d) No. 121 電磁波探査解析結果
- 図-44 アンキリザト地域位置概略図
- 図-45 アンキリザト地域物理探査位置図
- 図-46(1) アンキリザト地域電気探査解析結果

- 図-46(2) アンキリザト地域断面図
- 図-47 No . 103 電磁波探査解析結果
- 図-48 d 地域位置概略図
- 図-49 d 地域物理探査位置図
- 図-50 d 地域の電気探査解析結果と断面図
- 図-51 d 地域電磁波探査解析結果
- 図-52 マランバンディ地域位置概略図
- 図-53 マラバンディ地域物理探査位置図
- 図-54 No . 106 の電気探査解析結果と断面図
- 図-55 No . 106 電磁波探査解析結果
- 図-56 アンパノトカ地域位置概略図
- 図-57 アンパノトカ地域物理探査位置図
- 図-58 No . 107 の電気探査解析結果と断面図
- 図-59 アンバトラヒィ及びアンコトロフォツィ地域位置概略図
- 図-60 アンバトラヒィ及びアンコトロフォツィ地域物理探査位置図
- 図-61 No.114 開発調査時電気探査による地質断面図
- 図-62 No . 115 の電気探査解析結果と断面図

付 表 一 覧

表-1	電気探査法の分類
表-2	電気探査による調査結果
表-3	電磁波探査による調査結果
表-4	公的機関による水質分析表
表-5	モロンダヴァ川流域地帯の水理地質
表-6	公的機関による水質分析表
表-7	マハリボ川下流部地域の水理地質
表-8	マンゴキ川右岸地域の水理地質
表-9	公的機関による水質分析表
表-10	公的機関による水質分析表

1. 物理探査

本調査では電気探査（垂直探査法）と電磁波探査（垂直探査法）を併用した。作業量は次表のとおりである。

物理探査正文	集落数	測点数（点）	探査延深度
電気探査	23	80	8,770m
電磁波探査	7	53	3,350m

1-1 調査方法

(1) 電気探査

電気探査法について

現在世界で用いられている物理探査法は次表に示した通りであるが、調査件数で見ると、地下水探査に用いられている物理探査法の約 90% が電気探査法で、現在は人工電位法に属する比抵抗法がその主流となっている。

表-1 電気探査法の分類

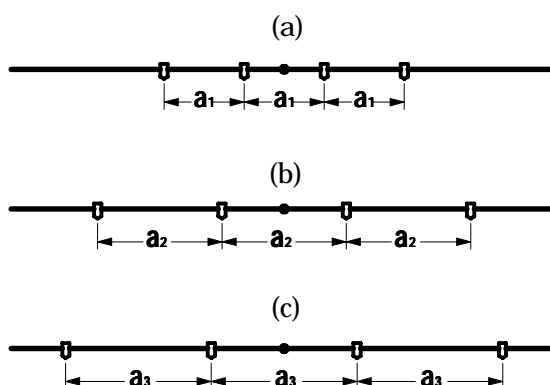
電気探査法	分極現象利用	自然電位法 (self-potential method) 強制分極法 (induced polarization method)	
	比抵抗分布利用	地電流法 (earth current method)	
		人工電位法 (artificial potential method)	比抵抗法 (resistivity method) 等電位線法 (equipotential line method) 電圧比法 (potential-drop ratio method)
		電磁法 (electromagnetic method)	流電電磁法 (conductive electromagnetic method) 誘導電磁法 (electromagnetic induction method)
	分極現象利用 (polarization phenomenon use) 比抵抗分布利用 (resistivity distribution use)	電気検層 (electrical logging)	

以下、比抵抗法についてその概要を述べることにする。

1916年、F. Wenner（米国）は、2個の電流電極とその間に2個の電位電極を接地し、電極の接地抵抗の影響を受けることなく、大地の比抵抗を測定する方法を考案した。このように、大地の比抵抗を測定するには2個の電流電極と2個の電位電極を接地することが必要である。その後、これ等電極の配列方式により、幾多の測定方法が考案されているが、Wenner法および Schlumberger法が代表的なもので、Wenner法がその主流となっている。ただ、ここで断りしておかなければならないことは、ボーリング以外の方法で地下に賦存する地下水を、直接捕捉する技術はまだ開発されていないことである。地下水調査に最も適応性の高いといわれている比抵抗法でも、地下にある地層の水理地質的性質を推定するに止まり、地質踏査や付近にある深井戸からの水理地質学的情報との関連において始めて、その成果を挙げうるものである。

Wenner法とよばれる電極系は次図(a)に示すように、中心点0に対して測定線上に電流電極と電位電極を対象的に配列し、かつ電極相互の間隔を等間隔に配置する方式である。電極系の移動は(b)、(c)図に示すように、中心点0に対して、上記の関係が満足されるように電極間隔を順次拡大し、中心点における垂直方向の見掛比抵抗を測定する方法である。

図-1 Wenner法による垂直探査の電極配置



Wennerの電極配列では、

$$\text{探査深度}(a) = \overline{C1P1} = \overline{P1P2} = \overline{P2C2}$$

$$\text{見掛比抵抗}(\rho) = 2\pi a \cdot \frac{V}{I}$$

調査仕様

使用機器	Terrameter	SAS300
測定間隔	100 ~ 200m	
電極間隔	1 ~ 4m	1m間隔
	~ 32m	2m間隔
	~ 100m	4m間隔
	~ 200m	10m間隔
	~ 300m	20m間隔

測定線の方向 原則として上下流方向

電極の接地 電極棒の打込みは 30cm 以上とし、極棒と大地の間に水を注入して接地をよくした。

測定について

先行開発調査では 142 測点の電気探査を行なったが ρ_a 曲線の乱れが甚しく、解析不能のもの約 1/3 あり。これは接地不良によるものと考えられたので、今回は電極棒の打込みを 30cm 以上とし、電極と大地の接する面に水を注入して接地を良くすることにし、ブースターで増幅し 100mA 以上の電流を流すよう心掛けた。

(2) 電磁波探査

電磁法の概要

時間変動する電磁波が地中に入射すると、地下の比抵抗分布に応じた電磁応答が生じる。この電磁応答を測定することにより、地下の比抵抗異常を検出したり、比抵抗構造を推定する物理探査手法を電磁法という。

電磁法水平探査を目的としたものには、VLF-MT 法・VLF-EM 法、垂直探査を目的とした

ものには MT 法、TEM 法等があるが、今回の調査には TEM 法を採用した。

TEM 法の概説

TEM 法とは、Transient Electro-Magnetic 法の略称で時間領域電磁 (Time Domain Electro-magnetic) 法とも呼ばれる。

地表に敷設した送信ループや接地した電流電極などの人工信号源に直流電流を流すと、一次電磁場が形成される。流している電流を急激に遮断すると、いままで形成されていた一次電磁場を維持しようとする誘導電流が地表付近に流れる。この電流は時間とともに順次地中深く浸透する。TEM 法は、この誘導電流がつくる二次電磁場の時間変化を解析をすることにより、地中の導体に関する情報を得ようとする方法である。以下に TEM 法の模式図を示す。

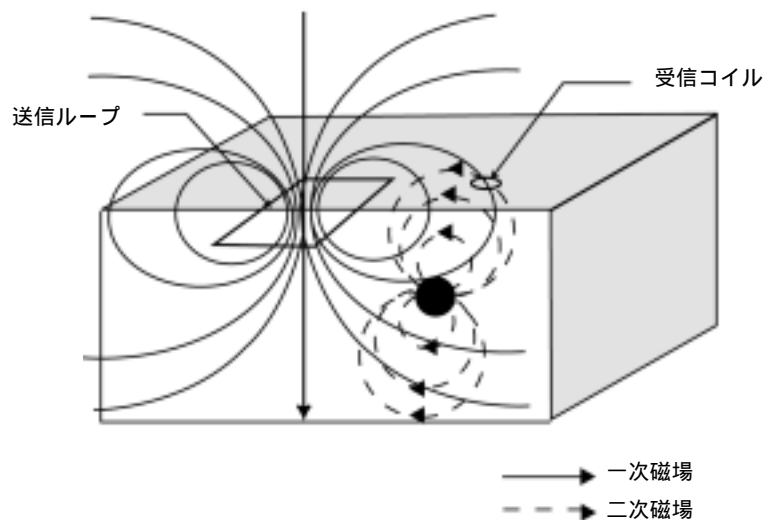


図-2 TEM 法の模式図

探査深度

層状大地の場合は、送信ループの電流を切断すると、その直後に誘導電流が発生する。この誘導電流は次の図に示すように、タバコの煙の輪に似た形 (スモーリング) をしており、時間とともに送信ループから地中深くに広がりながら移動する。また、このスモーリングの移動速度および減衰率は、大地の比抵抗値に左右され、比抵抗が低い程移動速度は遅く・減衰率は小さい、比抵抗が高いほど移動速度は早く・減衰率は大きい。均質大地におけるスモーリングの深度の近似値は以下の通りである。

$$d = 0.4 \sqrt{2 t / \rho} \sqrt{\mu}$$

d : 深度 (m)
 ρ : 比抵抗 (Ω m)
 μ : 透磁率 (4 π × 10⁻⁷)
 t : 時間 (sec)

この式から、例えば、大地の比抵抗が 10 Ω m の場合、電流切断後、1msec 経過するとスモークリングは深度約 160mに達するので、1msec までの二次磁場を測定することにより、深度約 160mまでの探査が可能である。

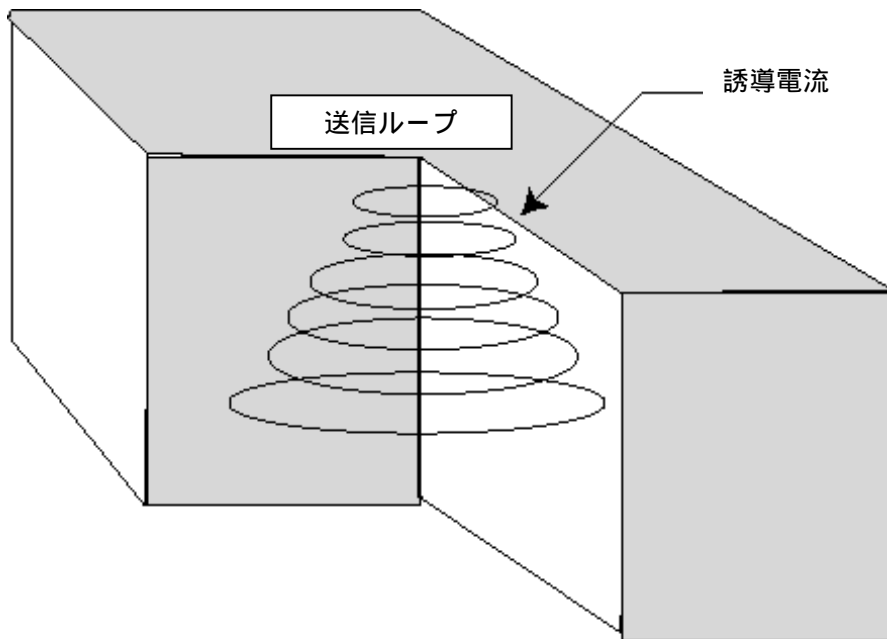


図-3 スモークリング模式図

測定方法

A. 測定点とループの配置

TEM 法における送信ループと測定点の配置には目的に応じて種々の組み合わせがあるが、本調査では移動式のインループ配置を採用した。送信ループのサイズは 10m × 10m とした。送信ループの中心に 5m × 5m の受信ループを設置した。測定点の配置は測線上に配点し、合計 59 点の測定を実施した。

B. 測定方法

各測定点において、送信ループに強さ 3A、繰り返し周波数 32Hz のパルス電流を流し、電流切断後、0.001 ~ 3.024msec の間の二次磁場を 3 回以上測定した。1 回の測定では 256 回以上のスタッキングを行った。受信した信号は AD 変換し、測定日、測定番号とともに受信機の RAM に自動的に保存した。保存されたデータは一日の測定終了後、RS-253C インターフェースを通してパーソナルコンピュータに転送し、その後のデータ処理、解析に利用した。測定に関する仕様は以下の通りである。

- (a) 送信電流・電圧 : 32Hz、3A、150V
- (b) 二次磁場の測定成分 : Z 方向
- (c) サンプリング時間 : 0.001 ~ 3.024 msec までの 31 チャンネル
- (d) 測定回数 : 3 回以上 / 1 測点
- (e) スタッキング回数 : 256 回以上
- (f) 送信ループ : 12m × 12m、2 回巻き
- (g) 受信ループ : 5m × 5m

C. 測定装置

今回使用した、ZONGE 社製の GDP-16 探査システムの仕様を以下に示す。

送信機	NT-20
	最大出力 4A, 180V
	繰り返し周波数 32Hz
受信機	GDP-16/3ch
	16 ビット CMOS マイクロプロセッサ 2 個内蔵
	受信電位差精度 0.03 μv
	最大入力電圧 10V
	入力インピーダンス DC ~ 10M
	ダイナミックレンジ 180db, 精度 16bit
	RAM 512 KB
	データ保存メモリー 896 KB

データ処理及び解析方法

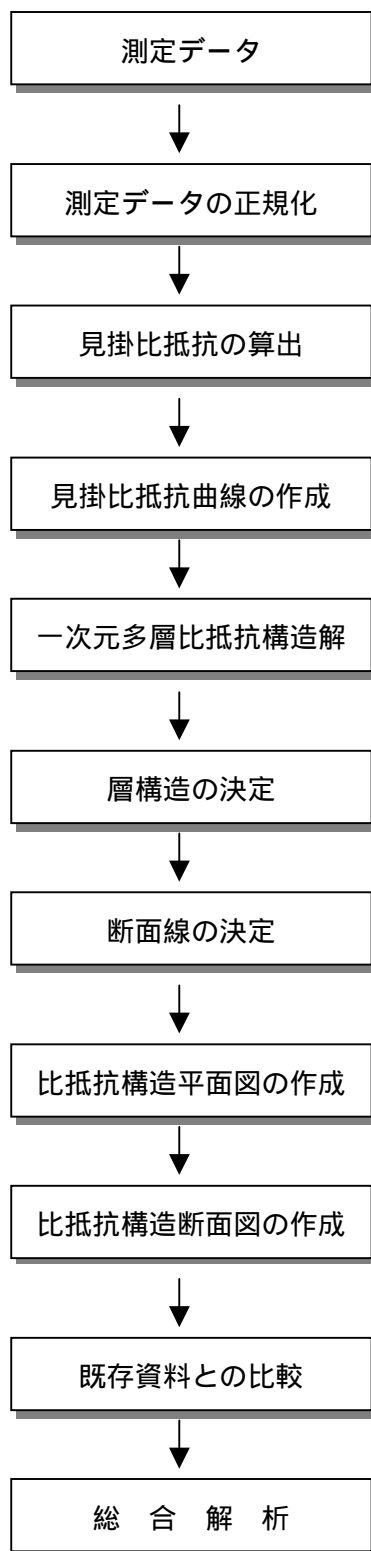


図-4 TEM 法解析流れ

A. 見掛比抵抗の算出

2次磁場の垂直成分の強度から各チャンネル毎に見掛比抵抗を算出した。また、見掛比抵抗の算出には以下の式を用いた。

$$a(t) = \mu / 4 \pi t \cdot (2 \mu A I / 5 t B_z)^{2/3}$$

a(t) : 見掛比抵抗 (.M)

t : 時間 (sec)

μ : 透磁率 (4×10^{-7})

A : ループ面積 (m^2)

I : 電流値 (A)

B_z : 二次磁場強度変 (volt)

B. 一次元比抵抗構造解析

水平構造に対する、一次元比抵抗構造解析の流れを下図に示す。

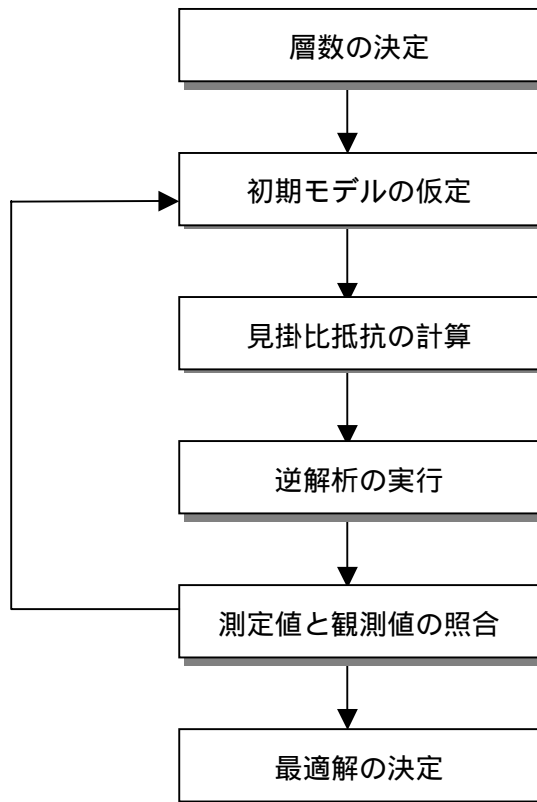


図-5 一次元比抵抗構造解析流れ

解析作業手順は以下の通りである。

- (a) 見掛け比抵抗曲線から最適と思われる層の数を決める。
- (b) 各層に初期値として適当な比抵抗値と厚さを与える。最下層の厚さは、無限大にする。
- (c) 初期値の一次元比抵抗構造に対する各チャンネル毎の見掛け比抵抗を計算し、測定値と比較する。傾向的に合うまで初期モデルを修正する。
- (d) 初期モデルを仮定し、逆解析プログラムにより自動的にモデルを修正し、計算値と測定値が合致するまで計算を繰り返し、最適解を求める。
- (e) 最適解による見掛け比抵抗曲線が測定見掛け比抵抗曲線と大きく異なる場合、初期モデルを修正し、もう一度逆解析を繰り返す。

これらの結果、見掛け比抵抗と時間の関係、モデル化した比抵抗と深度の関係を示す図が得られる。また、1次元モデルで示唆される様々な層を推断の基礎として、次図のように2次元の断面図を作図することができる。

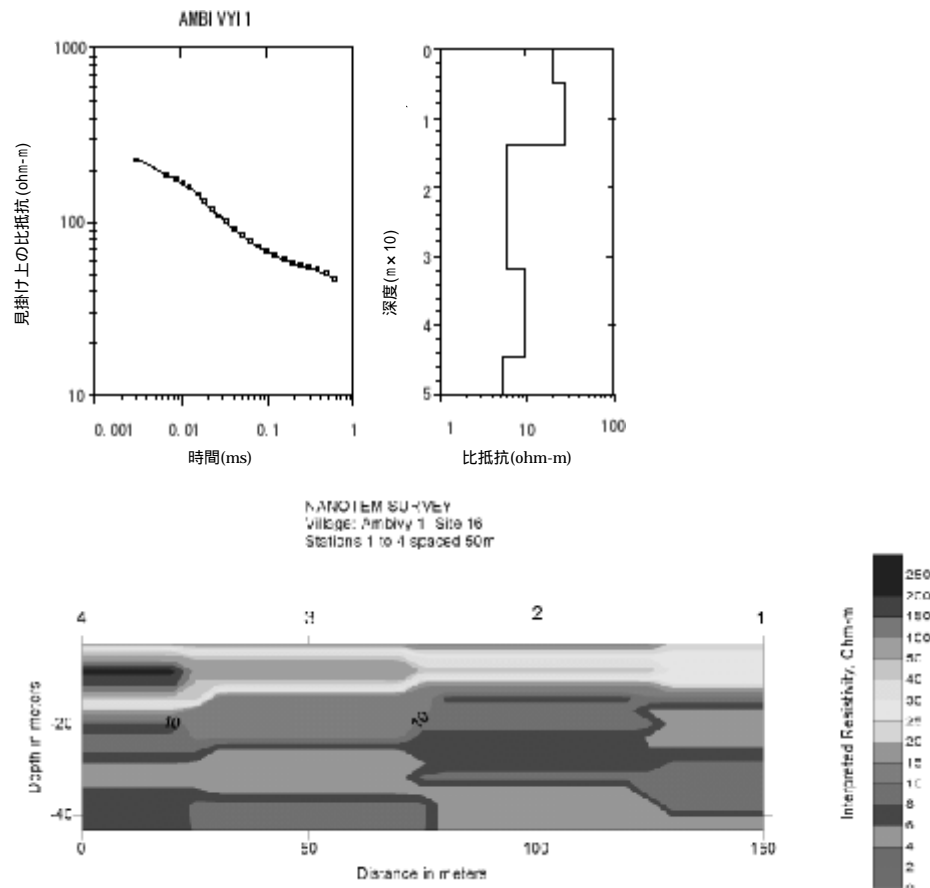


図-6 TEM 法解析図

1-2 調査結果(1)[電気探査による]

調査サイト別測点と推定される帯水層の深度

表-2 電気探査による調査結果

調査サイト		測点	探査深度(m)	地質	推定される帯水層の深さ(m)	地下水区分
NO.	名称					
15	Miary	15 - 1	100	白亜系の砂岩、泥岩、石灰岩	4~16、44~68	
		15 - 2	100	同上	3~14、56~68	
		15 - 3	100	同上	4~14、56~84	
17	Ambivy II	17 - 1	100	完新統の砂、始新統の石灰岩	0.6~14、40~100<	Ⅲ型
		17 - 2	100	同上	0.9~16、44~100<	
		17 - 3	100	同上	1~14、52~100<	
		17 - 4	100	同上	0.9~10、52~100<	
25	Befasy	25 - 1	100	更新統の砂、礫、粘土	2~12、30~100<	Ⅱ型
		25 - 2	100	同上	2~8、20~40、48~100<	
		25 - 3	100	同上	6~10、28~50、56~100<	
40	Monomentinay	40 - 1	100	完新統の砂、礫、粘土	4~14、40~100<	Ⅰ、Ⅱ型
		40 - 2	100	同上	3~14、48~100<	
		40 - 3	100	同上	0.9~8、48~100<	
		40 - 4	100	同上	0.85~8、44~100<	
67	Analaiva	67 - 1	100	更新統の砂、礫、粘土	0.9~16、24~100<	Ⅱ型
		67 - 2	100	同上	0.84~100<	
		67 - 3	100	同上	2~60、68~100<	
		67 - 4	100	同上	3~64、70~100<	
70	Ampandora	70 - 1	100	更新統の砂、礫、粘土	6~80、88~100<	Ⅱ型
		70 - 2	100	同上	4~100<	
		70 - 3	100	同上	14~100<	
82	Marofandiliha	82 - 1	100	更新統の砂、礫、粘土	18~48、56~100<	Ⅱ型
		82 - 2	100	同上	10~60、72~84	
		82 - 3	100	同上	6~88	
		82 - 4	100	同上	0.9~8、44~88	
83	Ampataka	83 - 1	100	更新統の砂、粘土	15~40	Ⅱ型
		83 - 2	100	同上	12~44	
		83 - 3	100	同上	4~44	
89	Ankaraobato	89 - 1	100	更新統の砂、礫、粘土	3~88	Ⅱ型
		89 - 2	100	同上	6~22、26~84	
		89 - 3	100	同上	10~30、28~84	
94	Ankilivalo	94 - 1	100	更新統の砂、礫、粘土	3~20、36~60	Ⅱ型
		94 - 2	100	同上	8~24、52~64	
		94 - 3	100	同上	4~26、32~60	
97	Bezezika	97 - 1	100	更新統の砂、礫、粘土	12~100<	Ⅱ型
		97 - 2	100	同上	12~92	
		97 - 3	100	同上	6~100<	
99	Ankilimida	99 - 1	140	更新統の砂、礫、粘土・始新統の石灰岩	0.82~16、24~30、56~64、76~	Ⅱ型
		99 - 2	140	同上	0.9~16、80~140<	
		99 - 3	140	同上	0.9~8、80~140<	
		99 - 4	140	同上	0.92~8、80~140<	
103	Ankilizato	103 - 1	100	白亜系の砂岩、泥岩	2~12	Ⅲ型
		103 - 2	100	同上	2~12	
		103 - 3	100	同上	4~15?	
		103 - 4	100	同上	4~24	
		103 - 5	100	同上	2~22	
		103 - 6	100	同上	2~24	
		103 - 7	260	白亜系の砂岩、泥岩、玄武岩	120~140、140~260<	
		103 - 8	260	同上	72~220	

調査サイト		測点	探査深度(m)	地質	推定される帯水層の深さ(m)	地下水区分
NO.	名称					
106	Malaimbandy	106 - 1	200	ジュラ系の泥岩、砂岩		Ⅲ型
		106 - 2	240	同上		
107	Ampanotoka	107 - 1	100	ジュラ系の砂岩、礫岩、泥岩	1.5~50、68~100<	Ⅲ型
		107 - 2	100	同上	1.1~60	
		107 - 3	100	同上	1.0~64	
109	Tsianaloka	109 - 1	100	完・更新統の砂、礫、粘土、始新統の石灰岩	8~24、24~100<	
		109 - 2	100	同上	2~10、30~48、56~68、76~100<	
112	Tsimafana	112 - 1	150	完・更新統の砂、礫、粘土、始新統の石灰岩	0.92~28、96~150<	I、II、Ⅲ型
		112 - 2	150	同上	0.9~14、120~150<	
		112 - 3	150	同上	1~14、120~150<	
115	Ankotrofotsy	115 - 1	100	更新統の段丘礫層、ジュラ系の砂岩、礫岩	2~100<	I、Ⅲ型
		115 - 2	100	同上	1~100<	
		115 - 3	100	同上	0.9~100<	
116	Tsianihy	116 - 1	100	始新統の泥岩、砂岩、石灰岩	14~44、60~100<	Ⅲ型
		116 - 2	100	同上	6~28、52~100<	
		116 - 3	100	同上	3~48、56~100<	
		116 - 4	100	同上	3~40、60~100	
117	Ankiliabo	117 - 1	100	完新統の砂・礫・粘土、始新統の泥岩・石灰岩	0.86~18、18~74、84~100<	I、Ⅲ型
		117 - 2	100	同上	0.9~22、22~80	
		117 - 3	100	同上	0.9~6、24~32、48~60	
		117 - 4	100	同上	0.9~6、24~32	
120	Soaserana	120 - 1	100	完新統の砂・礫・粘土、始新統の泥岩・石灰岩	2~8、26~44	I、Ⅲ型
		120 - 2	100	同上	2.5~6、26~40	
		120 - 3	100	同上	0.92~26、26~40	
		120 - 4	100	同上	1~22、22~40	
121	Antevamena-Sarodrano	121 - 1	100	始新統の砂岩、石灰岩	60~100<	Ⅲ型
d	Ampandrabe	d - 1	100	ジュラ系の石灰岩	6~64	Ⅲ型
		d - 2	100	同上	6~56	
		d - 3	100	同上	6~56	
		d - 4	100	同上	7~56	

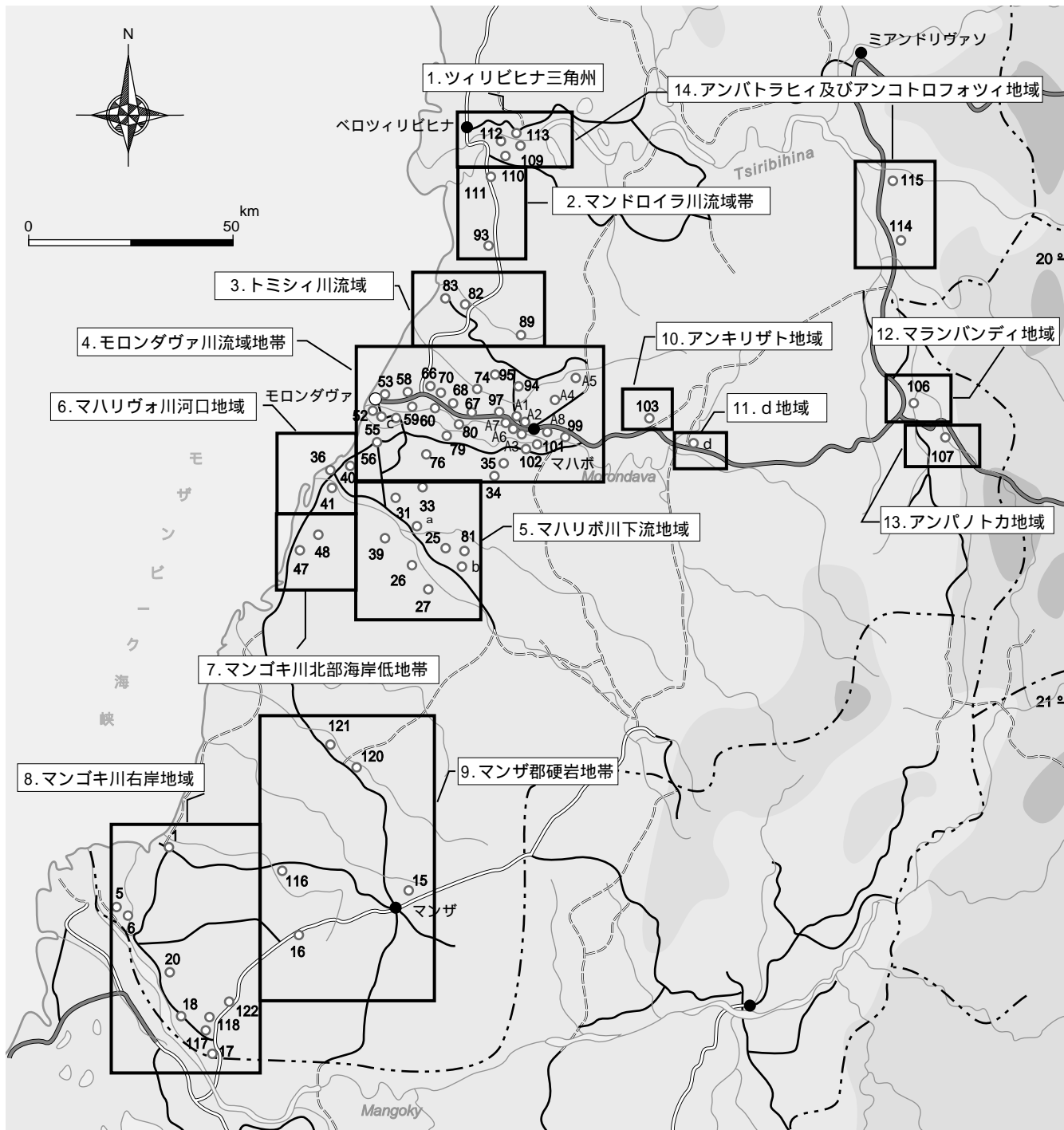
調査結果(2)[電磁波探査による]

調査サイト別測点と推定される帯水層の深度

表-3 電磁波探査による調査結果

調査サイト		測点	探査深度(m)	地質	推定される帯水層の深さ(m)	地下水区分
NO.	名称					
15	Miary	NT - 1	60	白亜系の砂岩、泥岩、石灰岩	1.7~10、13~40、	Ⅲ型
		NT - 2	60	同上	3~13、20~54	
		NT - 3	60	同上	2.8~10、18.2~60<	
		NT - 4	60	同上	4.8~11、17~44	
16	Ambivy I	NT - 1	50	始新統の砂岩、泥岩、石灰岩	5~14、32~45	Ⅲ型
		NT - 2	50	同上	6~12、12~34	
		NT - 3	50	同上	6~25、35~50<	
		NT - 4	50	同上	5~27、36~50<	
103	Ankilizato	NT - 1	60	白亜系の砂岩、泥岩、玄武岩	6~24	Ⅲ型
		NT - 2	60	同上	5.5~22	
		NT - 3	60	同上	12~16	
		NT - 4	60	同上	-	
		NT - 5	80	同上	4.6~16、65~	
		NT - 6	60	同上	5.2~27、56~	
		NT - 7	90	同上	6.7~13、34~	
		NT - 8	60	同上	2~25、53~	
		NT - 9	60	同上	4~20、56~	
		NT - 10	60	同上	4~7、52~	
		NT - 11	60	同上	7~17	
106	Malaimbandy	NT - 1	80	ジュラ系の泥岩、砂岩	-	Ⅲ型
		NT - 2	50	同上	-	
		NT - 3	50	同上	-	
		NT - 4	60	同上	-	
		NT - 5	70	同上	-	
		NT - 6	100	同上	-	
		NT - 7	90	同上	-	
		NT - 8	80	同上	-	
		NT - 9	60	同上	-	
		NT - 10	50	同上	-	
		NT - 11	50	同上	-	
		NT - 12	50	同上	-	
		NT - 13	60	同上	-	
		NT - 14	60	同上	-	
		NT - 15	40	同上	-	
		NT - 16	60	同上	-	
120	Soaserana	NT - 1	70	完新統の砂・礫・粘土、始新統の泥岩・石灰岩	0.92~40	Ⅲ型
		NT - 2	70	同上	1~40	
		NT - 3	100	同上	1~40	
		NT - 4	110	同上	1~33	
		NT - 5	80	同上	1~43	
		NT - 6	70	同上	2.5~40	
121	Antevamena-Sarodrano	NT - 1	70	始新統の砂岩、泥岩、石灰岩	9~27、51~	Ⅲ型
		NT - 2	70	同上	4~24、68~	
		NT - 3	70	同上	8~30、58~	
		NT - 4	60	同上	2~	
		NT - 5	60	同上	6~	
		NT - 6	50	同上	5~	
d	Ampandrabe	NT - 1	60	ジュラ系の石灰岩	6~	Ⅲ型
		NT - 2	60	同上	3.8~	
		NT - 3	40	同上	3.1~	
		NT - 4	50	同上	4~	
		NT - 5	50	同上	3~	
		NT - 6	50	同上	6~	

図-7 計画対象地区水理地質区分図



2. 調査地の水理地質調査概要

調査地を集水域を地下水賦存機構別分類から次のように分類とその概要を説明した。

(1) ツィリビヒナ三角州

本計画対象 4 村落が位置するこの地域は、ツィリビヒナ左岸の台地脚部と三角州低平地の接線に位置している。ツィリビヒナ川の度重なる流路変更に伴う台地脚部の侵食、第四紀に入ってから幾度か行われた海水面の上昇による小沢下流部の入江化と入江堆積物の沈積のため、台地脚部の接線は複雑化している。最上流部の No. 109 「ツィアナロカ」の村落部平地でも標高は海拔 6m 程度である。対象村落それぞれの調査結果を次に述べる。

) No. 109 「ツィアナロカ」

村落の乗る低平地において、開発調査でパイロット井が掘さくされた。当初 73m 掘さくしたが、26.0m まで完新統に属する砂～砂礫層で以深は始新統に属する石灰岩と粘土の互層となっており、静水位は 17.18m であった。同井は EC=5,230 と非常に高く実用とならないので、すぐ傍に上部の完新統の砂礫を対象に深さ 22m の井戸を掘り直したが EC=2,335 μ S/cm と高く、飲料用には不適な結果に終わっている。

本調査では、村落低平地において、測点間隔 330m で 2 測点の電気探査を実施した。層比抵抗は 10⁻⁴ m 以下の低比抵抗層で粘性の地層と海水侵入による地下水汚染が推定される。しかし、開発調査パイロット井の南方約 330m 地点(低平地より約 4m 高い小学校南側の小崖にラテライトが露出しており、地下の構成地質は更新統の堆積岩と推定される)で実施した電気探査[109-2]測点では、地表から 28m までが更新統の粘土、砂、砂礫層で、以深は始新統の泥岩、石灰岩、砂岩層と判定した。低平地の[109-1]測点に比べると層比抵抗は高く、砂や砂礫、砂岩、石灰岩は帯水層を形成していると考えられる。特に 10m～30m の粘土層、48～56m の泥岩層は海水侵入を遮断するキャップ・ベッドとしての役割を果たしているものと考えられるので、台地での地下水開発は期待がもてる(ハンドポンプ設置のため、集落よりあまり離れると利用されないので、新設井は小学校の校庭南端位と考える)。

) No. 110 「キボイ」

この村落は No. 109 村落の西方約 3.5km に位置する。標高約 18m の台地北斜面にあり、村落はラテライトで覆われた緩斜地にのる。現在スイス支援により NGO 団体が浅井戸を掘さく中で、調査時点 8 月 14 日深さ 10m まで掘さくしたが、底までラテライトが続いており、まだ地下水面に達せず、17m まで掘る予定ということであった。井戸深度 17m で採水に成功すれば井底標高は海面よりプラス 1m となり、海水による汚染の懸念は少ない。本村落

での地下水開発は期待が持てる。 現在、住民は河川水(ツィリビヒナ川)を利用している。

) No. 112 「ツィマファナ」

このグループの最西端に位置し、集落は標高 6m 位の三角州にのる。 村落南部は標高 20m 位のラテライトで覆われた台地となるが、北側は東西に連なる微凹地を数条持つ三角州低地で、渡舟場のツィリビヒナ左岸には標高 2~3m、幅 100m 前後の自然堤防が存在する。

村落内には 4 井の既設浅井戸がある。井深はともに 4~5m、静水位は大体 3m 位で、EC は 500~950 μ S/cm である。他に 30 年前に掘ったといわれる深井戸(?)跡があるが、詳細は不明である。掘さく後、ハンドポンプを設置したが、すぐに廃井となったということであり、水質が悪く使わなかった可能性が大きい。

この村落では、測点間隔 150m で 3 点の電気探査を実施した。 調査結果は添付図に示したが、地表から 12~14m まで完新統の砂、砂礫層と判定される 15~28 -m 層があり、その下位は 96m~128m まで更新統と考えられる 1.0 -m 前後の低比抵抗層(粘土優勢層であるが、[112-1]測点では、12~28m、76~96m 間に砂層と判定された地層をはさむ)で、以深は始新統の石灰岩をはさむ泥岩層と推定される。

すなわち、この村落の用水は地表近くに分布している完新統の砂~砂礫層を帯水層とする浅層地下水で、現状の使用量では水質も使用可能の線を維持しているが、消費量が増加し、水位低下が大きくなれば塩水が侵入する可能性が大きい。したがって、集落南方約 2km 位の台地上(標高 25~30m 地点)に更新統の砂~砂礫層を対象とする水源井を掘さくし、動力ポンプで揚水、送水、配水するシステム給水を考慮する必要がある。

) No. 113 「マナンジャキィ」

No. 112 村落の東方約 2.5km に位置する。村落は三角州低平地にあり、蛇行するツィリビヒナ川に最も接近する。村落の南側は台地の緩やかな傾斜地となっている。 村落内での地下水開発は困難と考えられるが、台地斜面では地下水開発の可能性がまったくないわけではない。ハンドポンプ井のため村落よりあまり離すわけにもいかず、井戸位置選定に留意が必要である。村落内での既設浅井戸は深さ 10m、静水位 5m、EC=969 μ S/cm である。

いずれにせよ、ツィリビヒナ三角州左岸地域で、地下水開発はかなり困難であるもののまったく期待できないわけではない。開発にあたっては、各村落 4~5 点、探査深度 100m 位の電気探査を実施し、妥当な井戸位置を選定する必要がある。

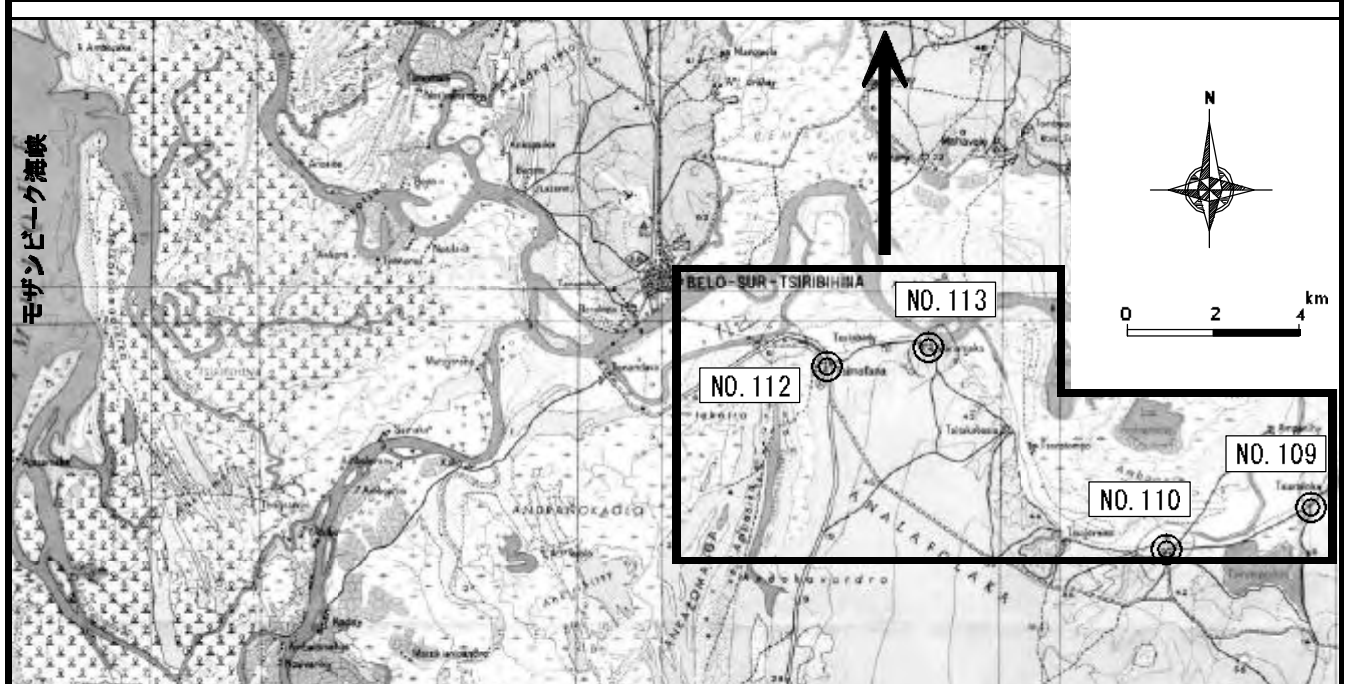
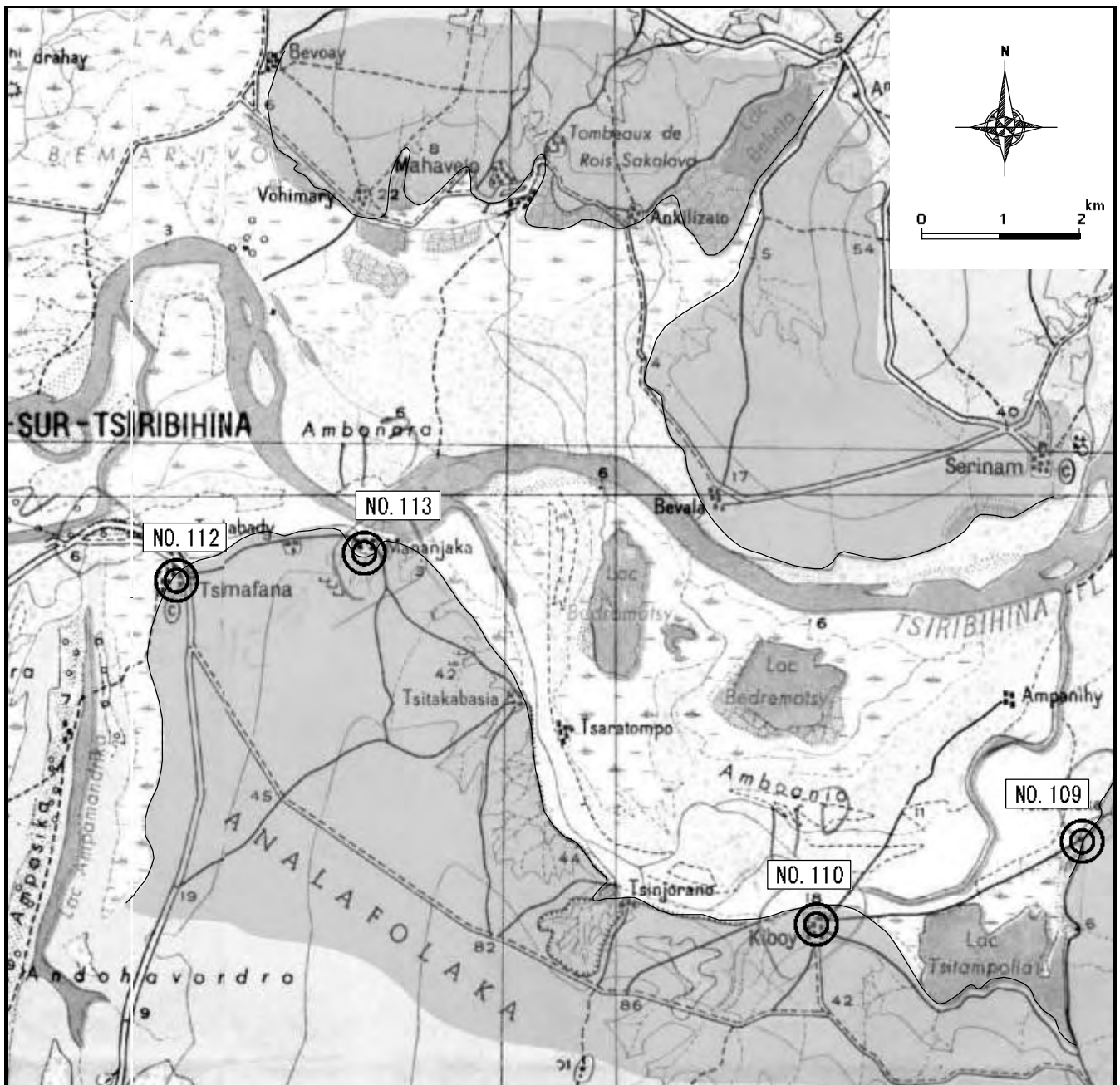
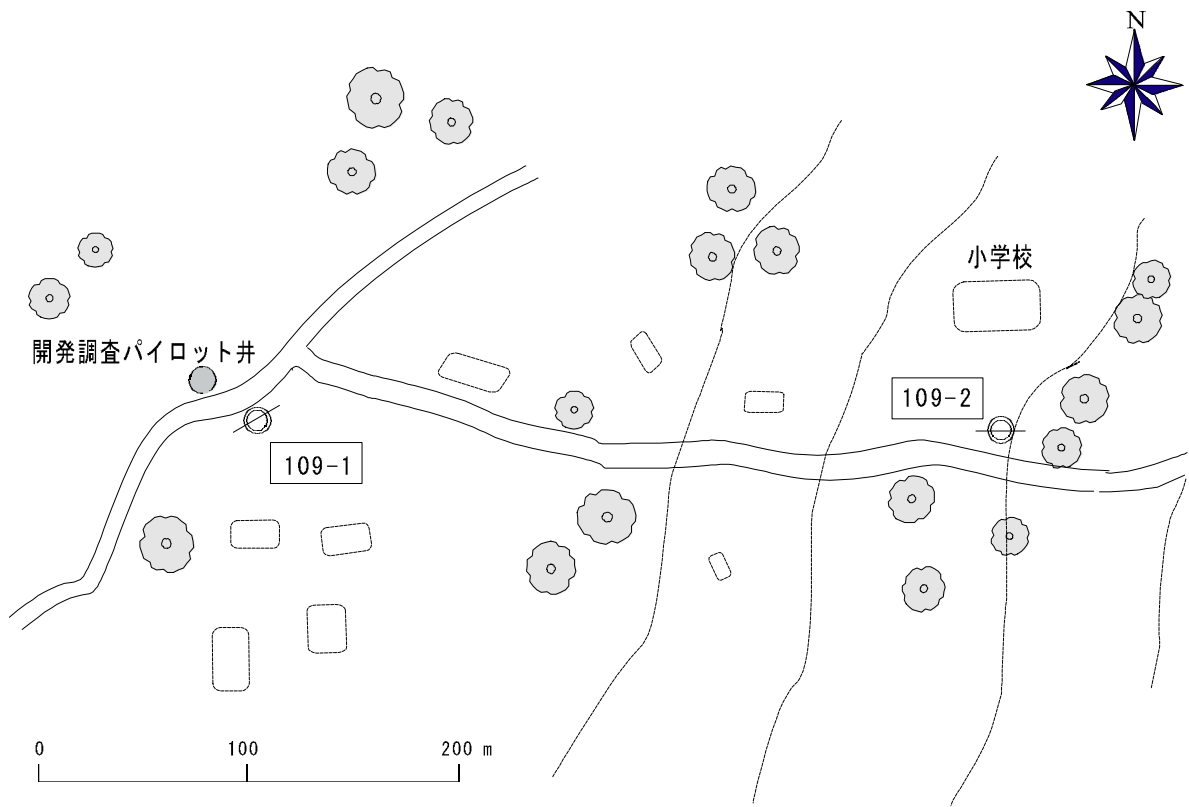


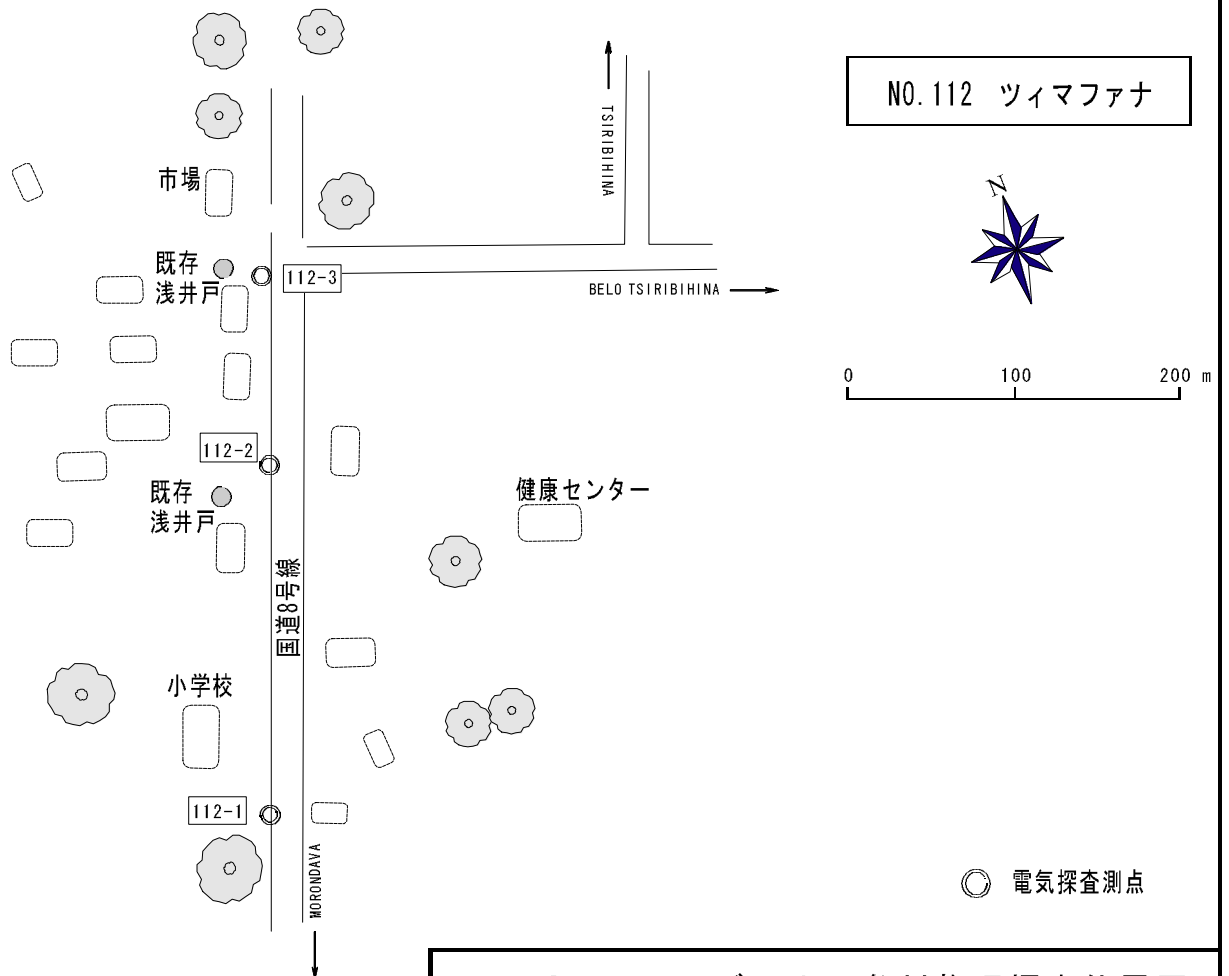
図-8 ツィリビヒナ三角州 (No. 109, 110, 112, 113) 位置概略図

○ 電気探査測点

NO. 109 ツィアナロカ



NO. 112 ツィマファナ



○ 電気探査測点

図-9 ツィリビヒナ三角州物理探査位置図

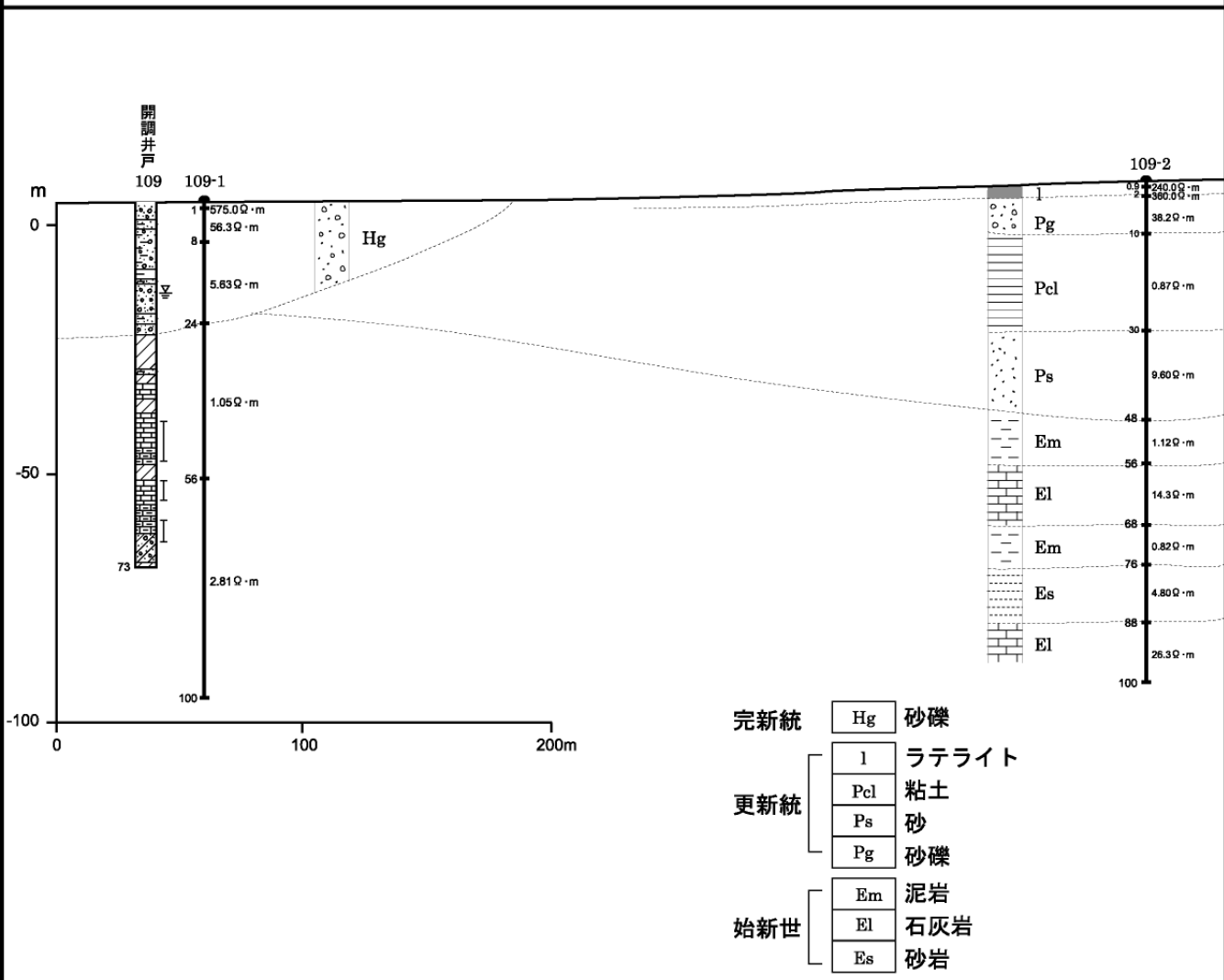
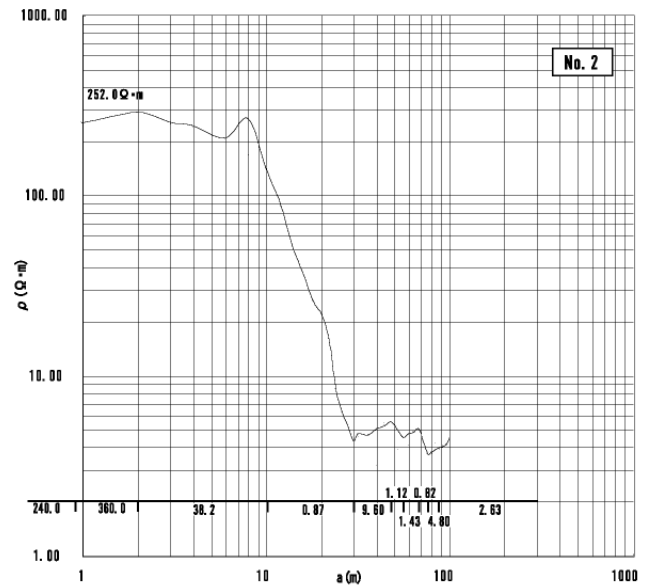
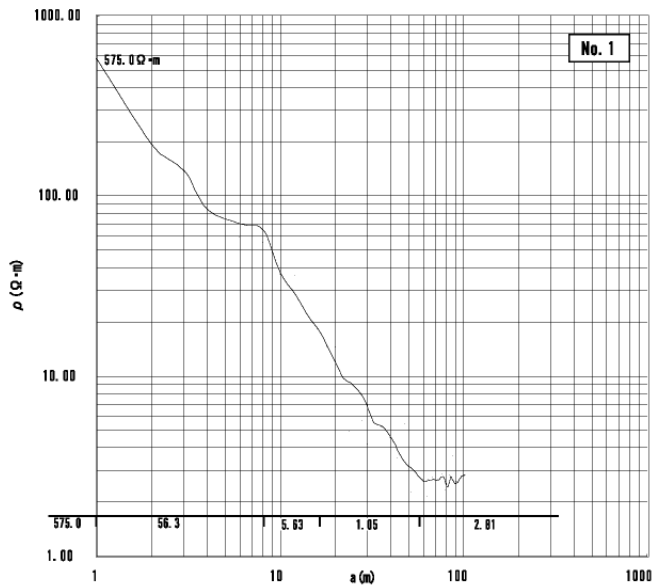


図-10 No. 109の電気探査解析結果と断面図

(2) 「マンドロイラ」川流域帯

マンドロイラ川の沖積台地を挟んでその北側及び南側は標高 24m～30m の台地で、更新統によって形成されている。 マンドロイラ川の左岸には No. 93「ベレボカ南」、右岸には No. 111「クロワスマン - アンツォカ」がある。

i) No. 93「ベレボカ南」

マンドロイラ川左岸の標高 30m の地点に位置する。 先行開調井（井戸深度 75m、静水位 6.12m、 $s = 6.11m$ で 721 / d）の採水に成功している。 EC は $650 \mu s/cm$ の良質で、地下水開発は何等問題ない。 ハンドポンプが破損し現在未使用。

) No. 111「クロワスマン - アンツォカ」

マンドロイラ川右岸の台地上にあり、No. 93 より北方約 8km にある。 浅井戸掘さく中で 8月14日現在 12.5m まで掘っている。 静水位は 10m、水質良好と言う。 南方にある No. 93 の開調井の状況より推定して、地下水開発は充分可能と考えられる。

表-4 公的機関による水質分析表

サイト No.	TH	Ca	Fe	Mn	F	Cl	NH4	NO3	濁度	色度	臭度	化学的酸素 要 求 量
111	19.2	72.80	0.017	-	0.43	173.95	0.000	0.576	2.9	無色	なし	微量

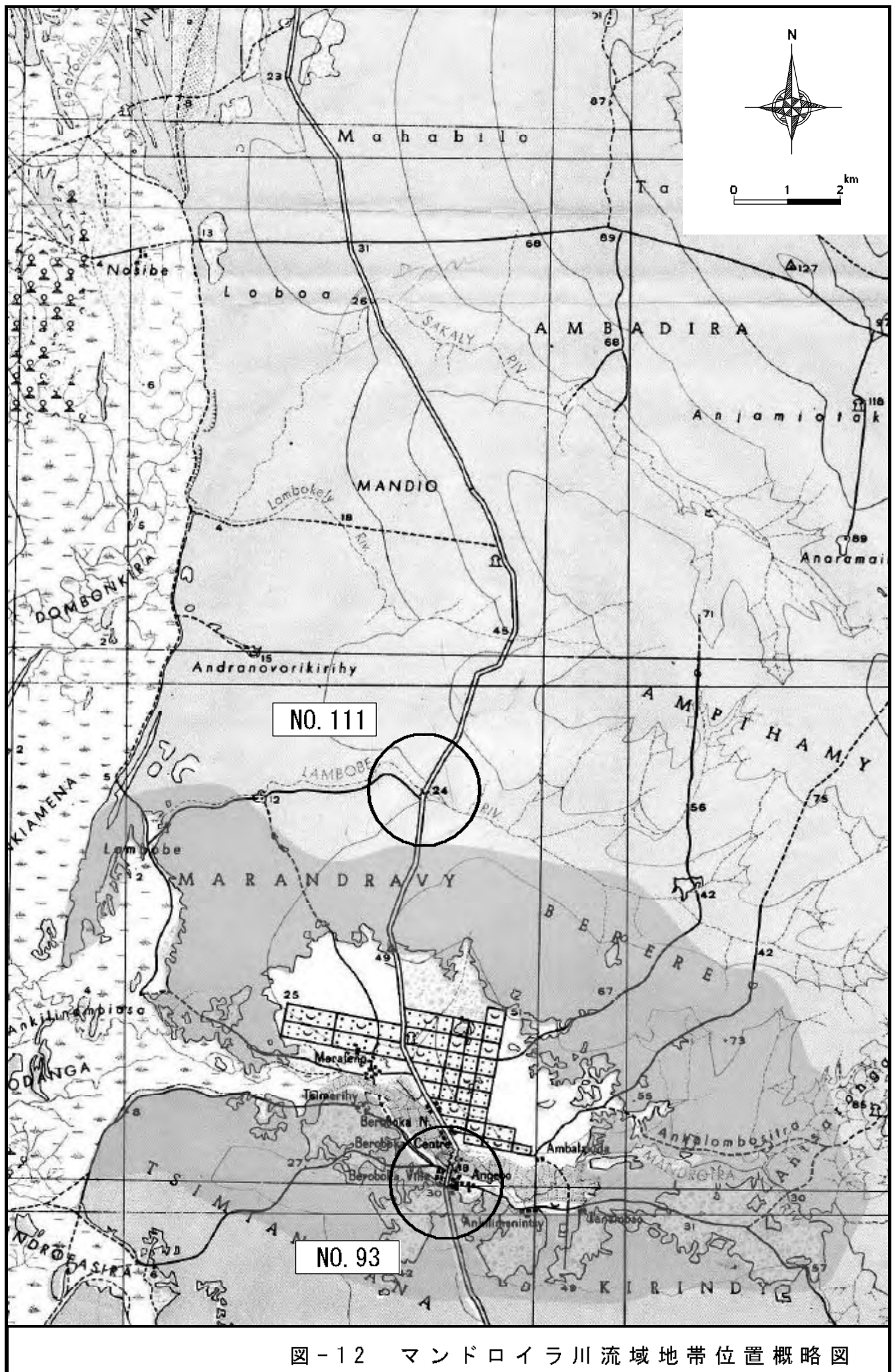


図-12 マンドロイラ河流域地帯位置概略図

(3) 「トミシィ」川流域

この地域では、モロンダヴァとペロ・ツィリビヒナ市を結ぶ主要地方道 8 号線を横断する「トミシィ」川左岸の台地上にほぼ東西に並ぶ 3 村落を対象とする。同地域中心村落の No. 82 「マロファンディリハ」は 8 号線沿いに位置し、その西側、海岸線に近く No. 83 「アンパタカ」と、東側、内陸方向に No. 89 「アンカラオバト」がある。最下流部の No. 83 アンパタカは標高 7m であるが、村落はラテライトで覆われた台地西端部に位置する。同地域の北側を西流するトミシィ川は台地を下刻する開析谷で、比高差 4~5m の侵食崖をもつが、乾期には流水がない涸れ谷となる。

i) No. 83 「アンパタカ」

地域最下流の台地西端部に位置する。村落はラテライトが覆う台地緩斜面上にあるが、西部はすぐにトミシィ川沖積低地となる。この沖積低地にはトミシィ川が氾濫で造った三日月湖が多数あり、河川の動水勾配が極めて緩やかなので、大汐時の海水進入域はかなり広くなる。

村落の東部に NGO 団体「G.S.M」により設置された深さ 8m のコンクリート筒浅井戸が 2 基存在する。静水位は 5.5m で、EC=1,951 μ S/cm と高いため、住民は利用せず、池沼や河川水に依存している。本調査時点、住民組織により村落内に手掘り浅井戸を建設中であり、8月13日、黄褐色の砂層を 4m 掘り込んでいたが、まだ地下水面に達していなかった。

本調査では、村落内に 150m 間隔で 3 測点の電気探査を実施したが、層比抵抗は 3 -m 以下ときわめて低く、更新統に属する泥質層が主体でかつ塩水化の傾向が懸念される。しかし、深さ 24m 位までに砂層と考えられるやや比抵抗が高めの地層(2.7~3.8 -m)が分布し、これに若干の地下水が期待できると想定される。

) No.82 「マロファンディリハ」

同村落は標高 22m の台地頂面平坦部にあり、地表はラテライトが広く覆っている。村落内には、深さ 7m のコンクリート筒浅井戸がある。静水位は 4.5m、EC は 4,650 μ S/cm と高塩分のため、雑用水程度にしか利用できず、住民は村から約 800m 離れた南方の沼を水源としている。

同村落に対しては間隔 150 で 4 測点の電気探査を実施した。既設浅井戸の傍の測点[82-2]における深さ 6m までの高比抵抗層が既設井の帯水層となっている。しかし、6~10m 間には粘土層と考えられる低比抵抗層(1.8 -m)が分布し、その下部に 10~30 -m の高比抵抗層が続く。この下位高比抵抗層は良好な帯水層を形成していると想定され、深層地下水の開発が期待される。

) No.89 「アンカラオバト」

この流域最上流部にある村落で、標高 35m の台地頂面に位置する。村落内には深さ 8m 位のコンクリート筒浅井戸が 3 井あるが、1 井は廃井となっている。静水位はともに 5m、EC は NGO 団体「フィタシ」建設井で 1,170 μ S/cm、教会団体「F.L.M.」井が 1,027 μ S/cm、廃井が 1,593 μ S/cm と高く、F.L.M.井には虫が湧くとのことであった。

同村落で 150m 間隔で 3 測点の電気探査を実施した結果、深さ 30m~80m に砂礫層~粗砂層と判定される高比抵抗層が分布しており、これが良好な帯水層を形成している可能性が大きい。同様な地質条件が、No. 82 村落でも推定されている。

トミシ川左岸の 3 村落において見られる浅層地下水の高 EC 帯が東西に連続する原因としては、上流部における地層中の鉱物成分に起因するとも考えられるが、同様な状況が南部森林地帯の No. 25 「ベファシ」や周辺村落においても発生しており、同地域の調査結果も合わせると、これらの村落が位置する乾期に補給の少ない山林地帯では、浅層地下水の低下と蒸発散による地下水濃縮が、塩分高濃度化の最大原因になると推測される。したがって、雨期には水質も改善されるものと考えられる。特に上位に粘土層がある場合、その下位の帯水層中の深層地下水は乾・雨期を問わず水質は良好と想定されるので、3 村落の中では No. 83 「アンパタカ」を除き、地下水開発は可能と考察される。新設井掘さくにあたっては、各村落で追加として 3 点程度の電気探査を新たに実施し、水理地質構造をさらに詳細に把握したうえで、掘さく地点を選定すべきである。

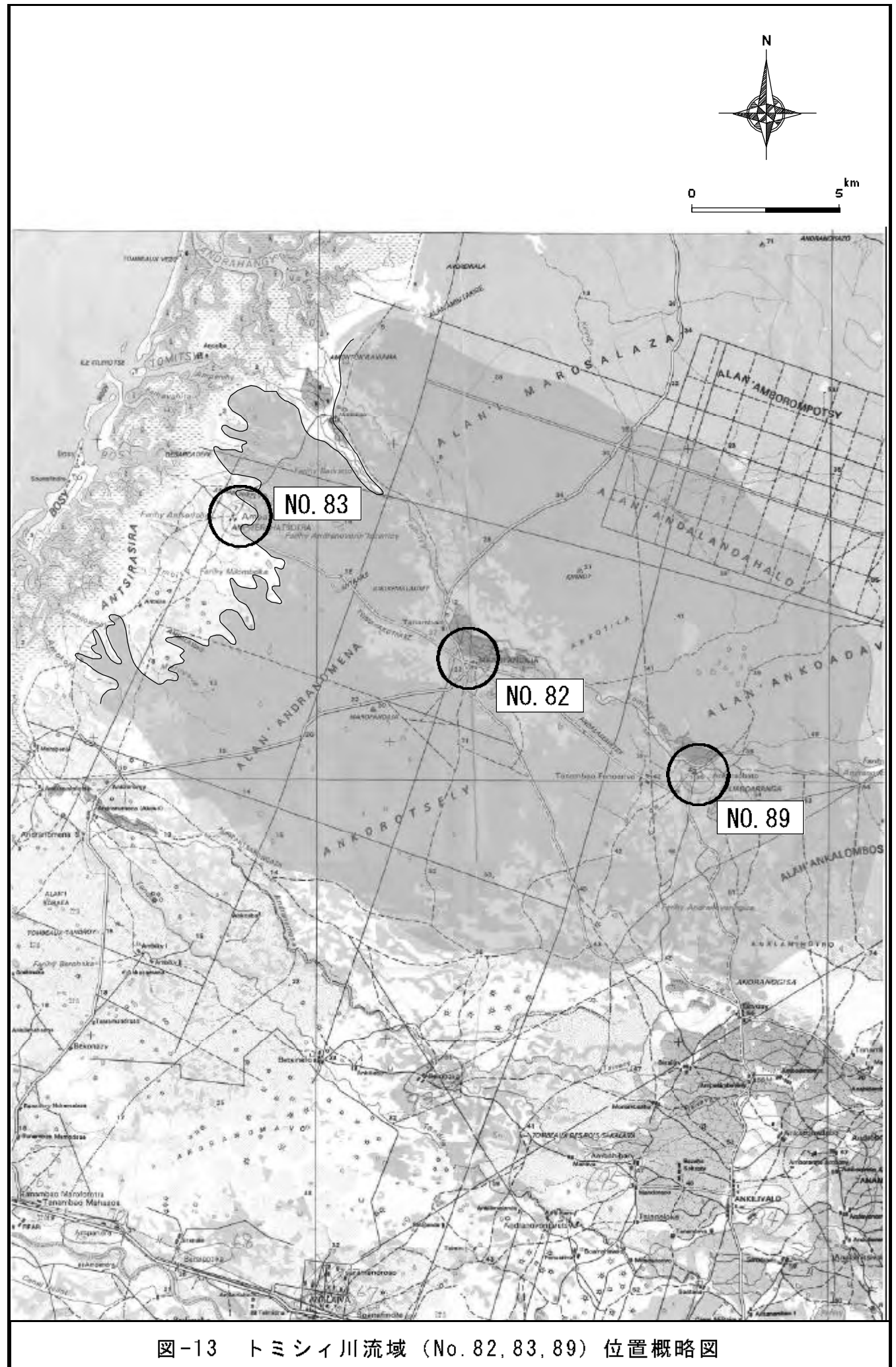
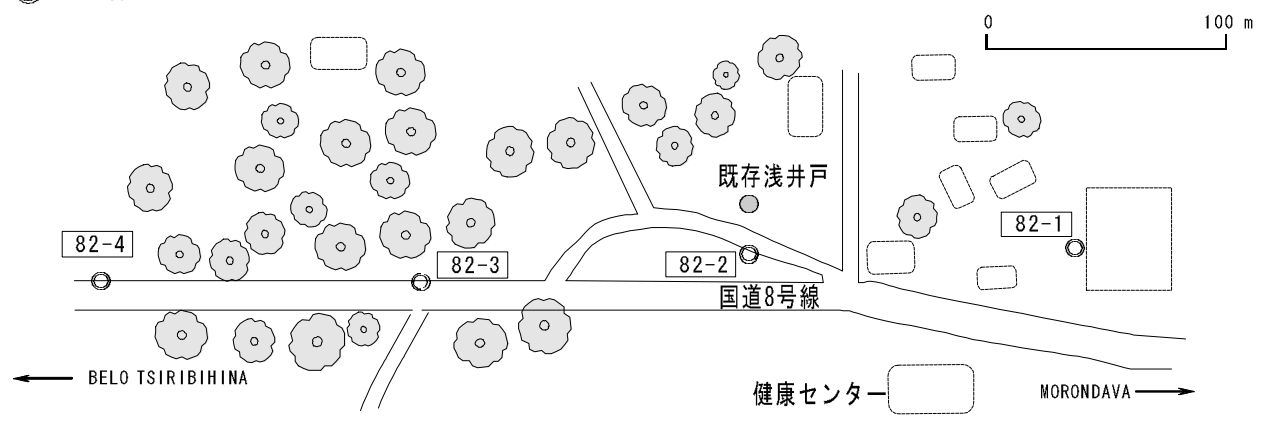


図-13 トミシイ川流域 (No. 82, 83, 89) 位置概略図

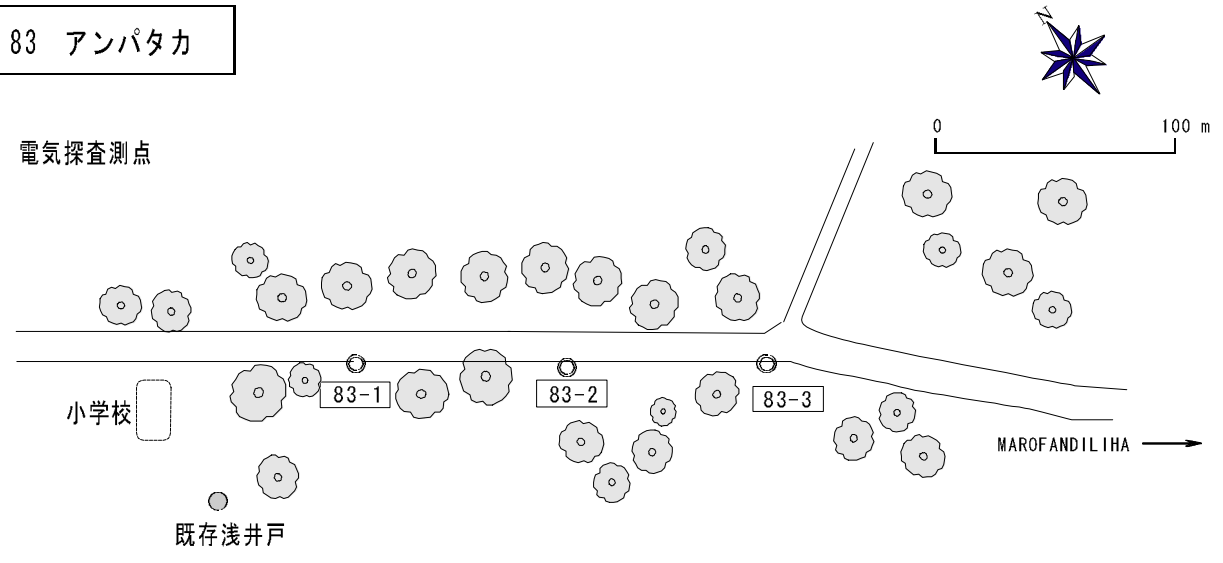
NO. 82 マロファンディリハ

○ 電気探査測点



NO. 83 アンパタカ

○ 電気探査測点



NO. 89 アンカラオパト

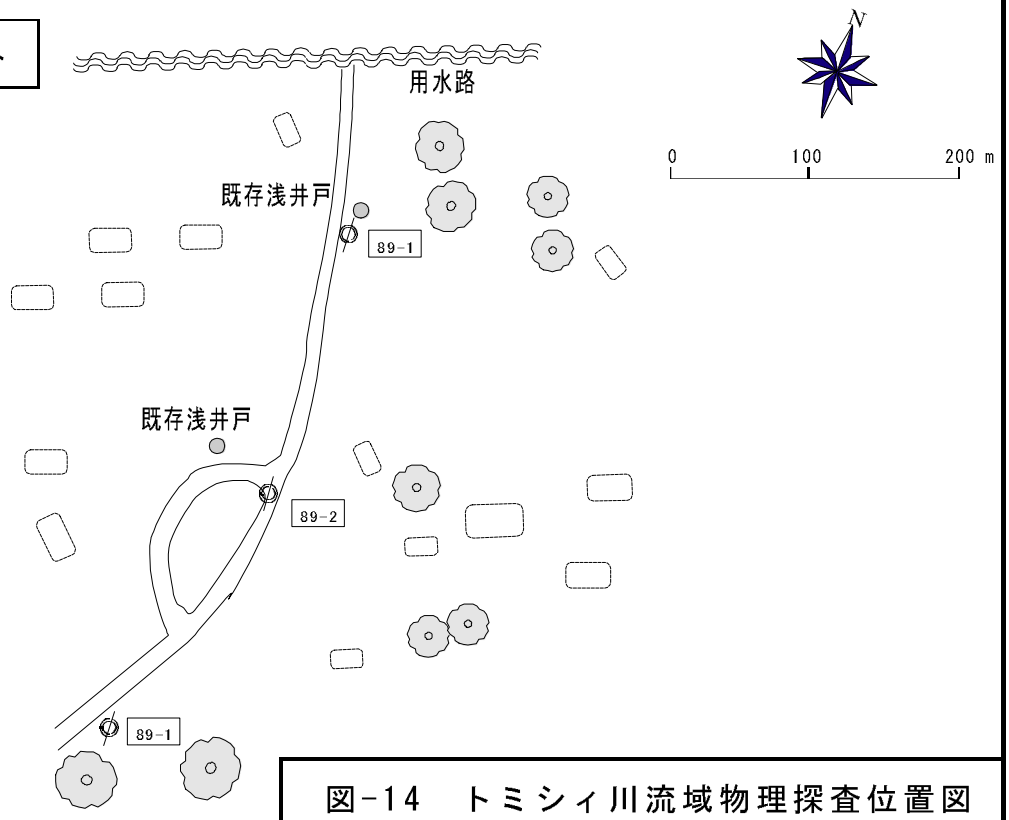


図-14 トミシ川流域物理探査位置図

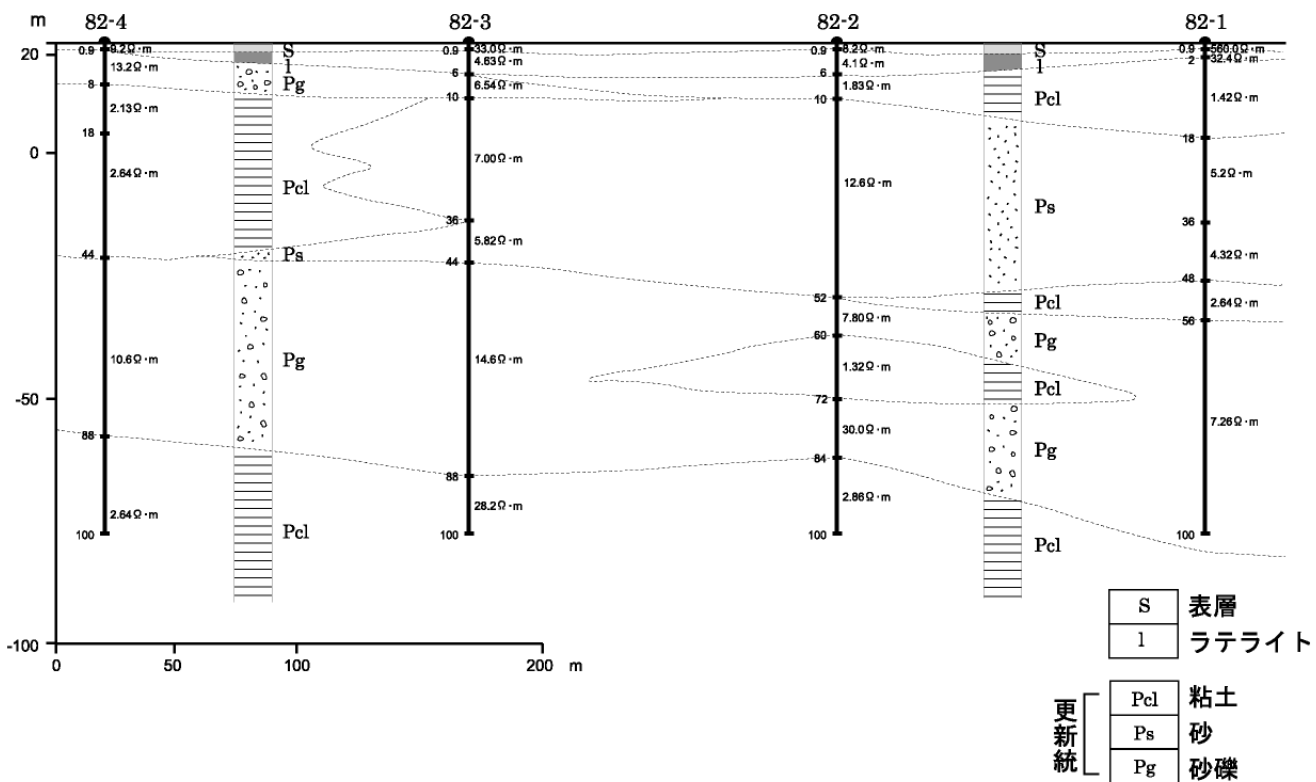
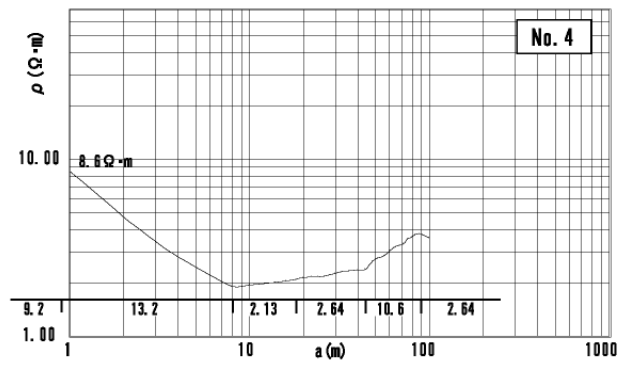
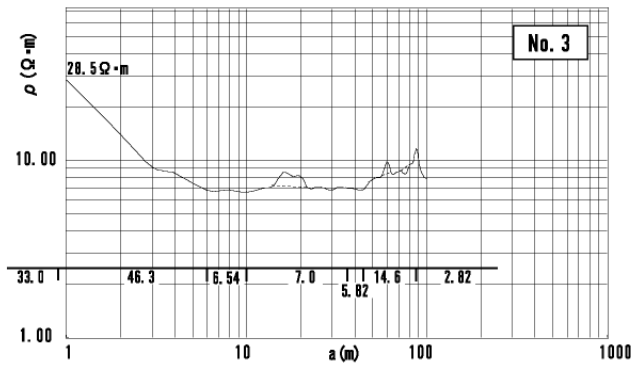
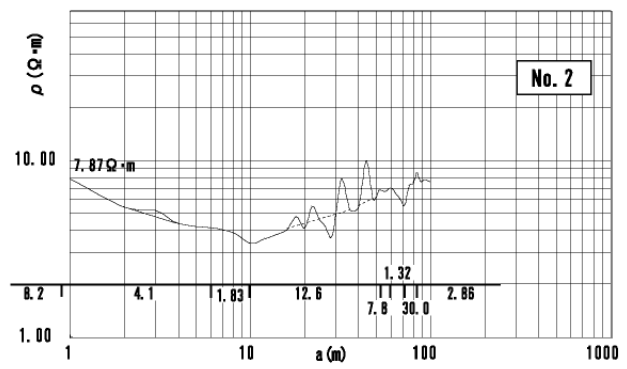
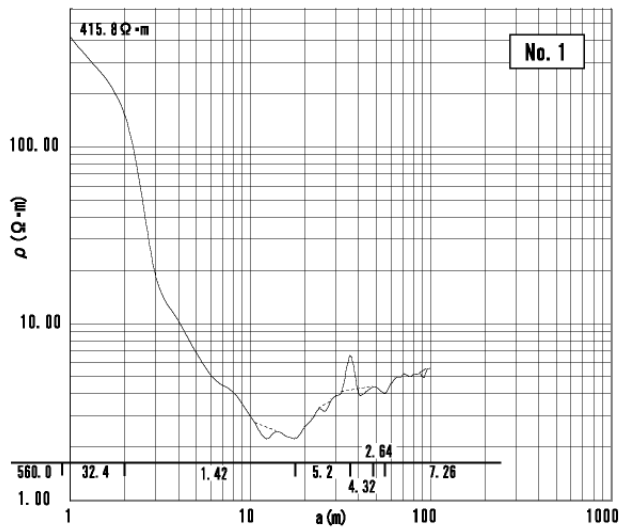


図-15 No. 82の電気探査解析結果と断面図

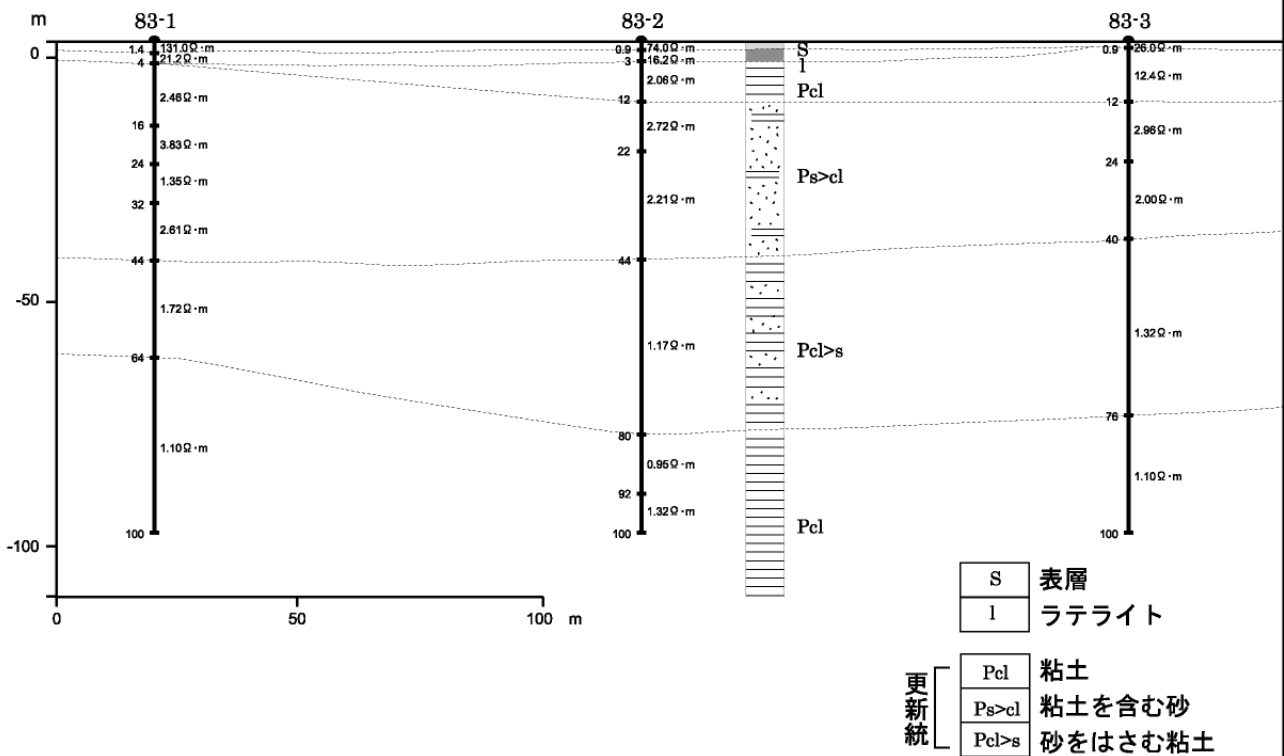
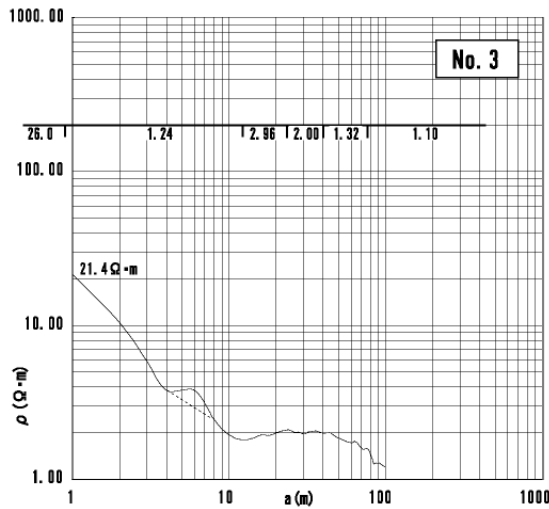
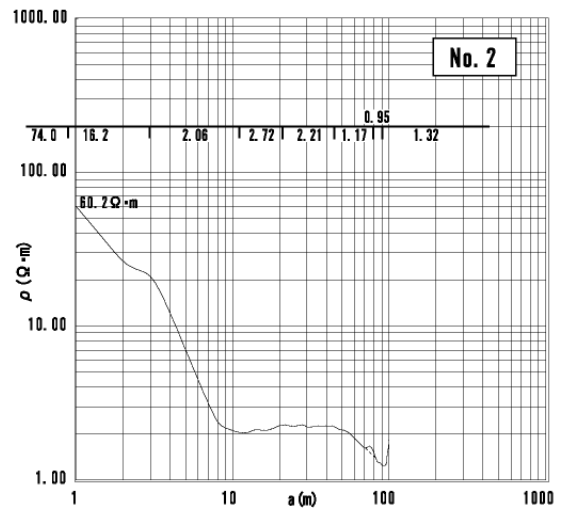
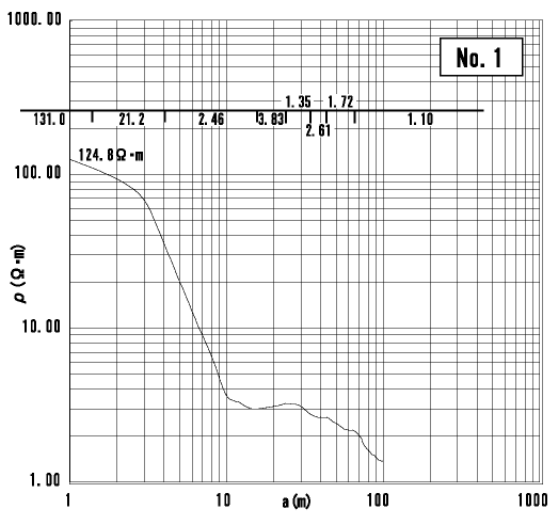


図-16 No. 83の電気探査解析結果と断面図

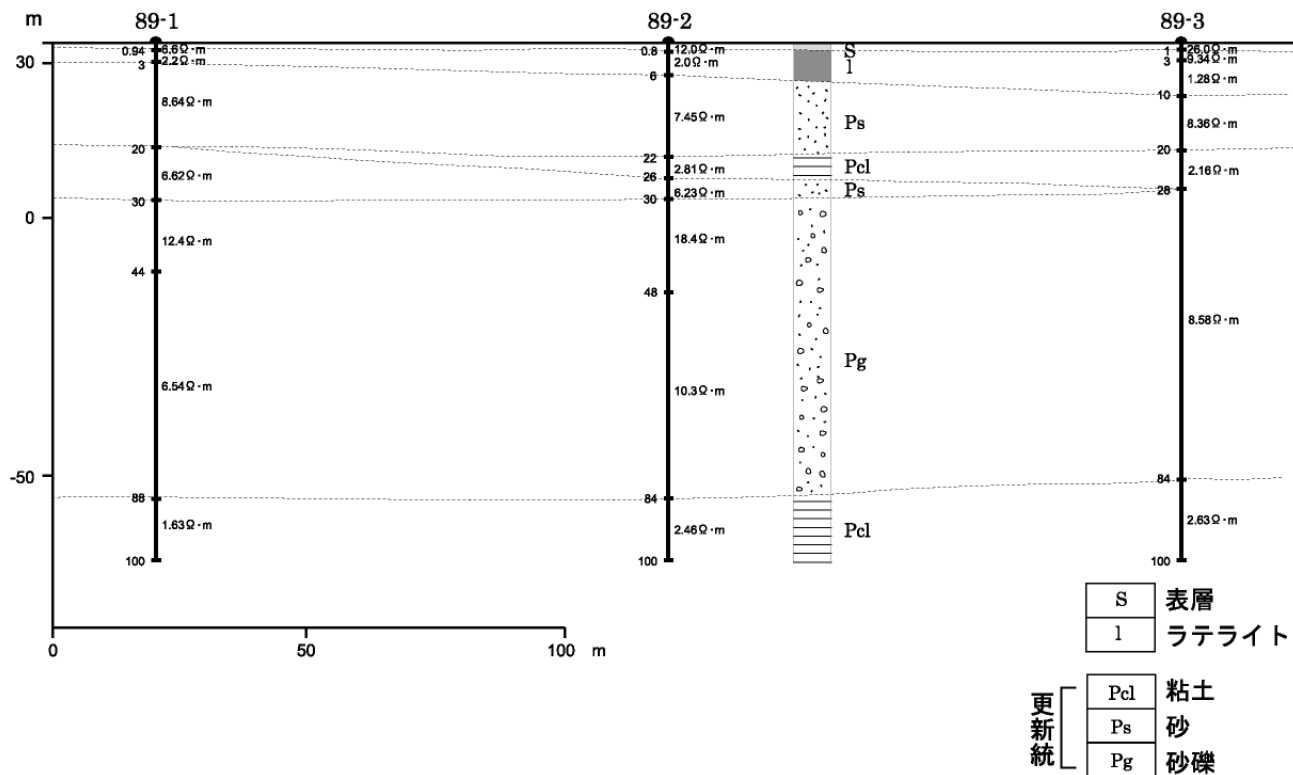
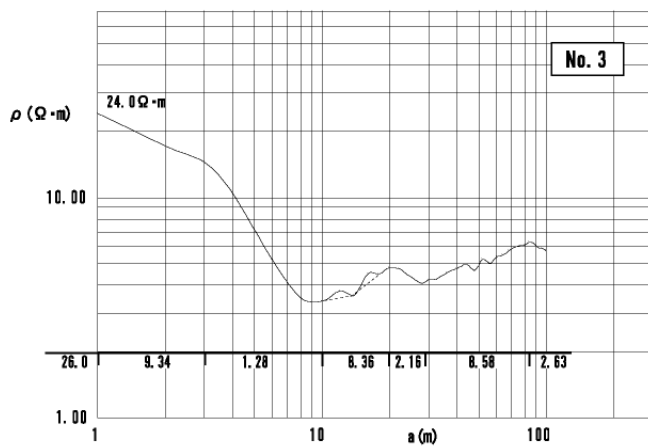
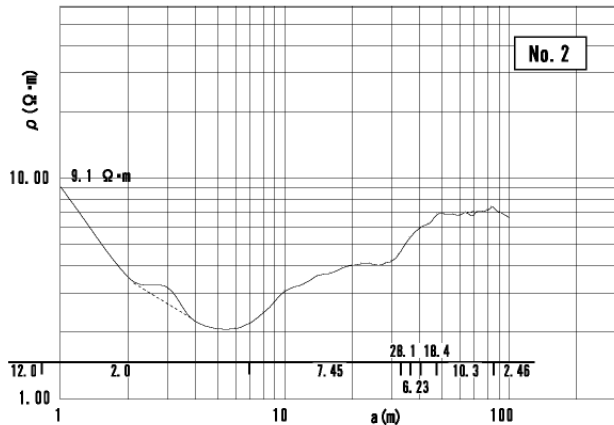
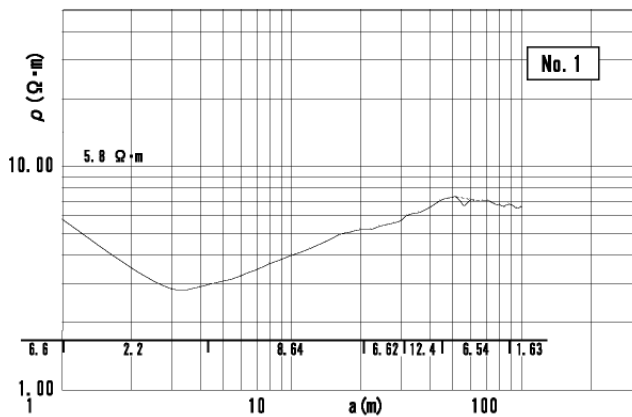


図-17 No. 89の電気探査解析結果と断面図

(4) モロンダヴァ川流域地帯

モロンダヴァ川はマンダベ北東部の山地に源を発して北流する大河川であるがアンキリザト南部で大きく流路を変じ西流する。「ダバラ」ダム付近で丘陵地を脱し台地を開析して広大な氾濫原をつくりながらモザンビーク海峡に流入する。モロンダヴァ川に沿って東西に走る国道 35 号線沿線とモロンダヴァ川兩岸の台地には 27 の対象集落が点在している。

この地域は殆どが更新統の砂、砂礫、粘土によって構成されているが、広い水田（湿田）と殆ど素掘りのできている農業用水路が縦横に走っており、これらが地下水の良好な涵養源となっている。

表-5 モロンダヴァ川流域地帯の水理地質

サイト No.	標高 (m)	地質	既存井	水質 EC(μ s/cm)	帯水層	判定	記事
34	56	更新統の砂、砂礫、粘土	浅井戸	482	更新統の砂、砂礫		
35	55	"	-	-	"		
52	7	"	浅井戸	755 ~ 1,017	"		
53	4	"	-	-	"		
55	8	"	-	-	"		
56	6	"	浅井戸	830	"		
58	12	"	浅井戸(2)	545 ~ 815	"		
59	9	"	浅井戸(3)	780 ~ 1115	"		
60	12	"	浅井戸(3)	420 ~ 735	"		
65	69	"	-	-	"		
66	19	"	浅井戸	468	"		
			用水路	127	"		
67	33	"	浅井戸(4)	130	"		電気探査実施 開調井あり
			深井戸(1)	214	"		
68	26	"	浅井戸(1)	930	"		
70	21	"	浅井戸(1)	860	"		電気探査実施
74	35	"	河水	287	"		
76	34	"	沼	113	"		
79	27	"	浅井戸	440	"		
80	33	"	浅井戸	215	"		
81	68	"	-	-	"		
94	50	"	浅井戸(4)	580 ~ 635	"		電気探査実施
95	47	"	浅井戸(1)	205	"		
97	55	更新統の砂、砂礫、粘土	浅井戸(1)	195	更新統の砂、砂礫		開調井あり 電気探査実施
99	71	"	浅井戸(2)	405 ~ 470	"		電気探査実施
100	80	"			"		
101	40	"			"		
102	35	"			"		
c	6	"			"		
A01	60	"	浅井戸	315 ~ 654	"		
A02	58	"	"	342	"		
A03	58	"	"	504	"		
A04	64	"	河川水	158	"		
A05	56	"	浅井戸	158	"		
A06	56	"	"	2,714	"		浅井戸未使用
A07	54	"	"	1,760	"		
A08	64	"	"	387	"		

地下水開発容易

地下水開発可能

No.67、No.97には先行開発井がある。井戸深度は48～72m、静水位は3.70～6.12m、ECは214～250 μ s/cmと良好である。また、No.67、No.70、No.94、No.97、No.99では電気探査を実施した。既存井柱状図と電気探査結果型に属する地下水で次のことが判明した。

- i) 地表部から井底部まで砂、砂礫の累層で顕著な粘土層は挟まれていない。
- ii) 浅井戸は更新統の砂～砂礫層で、これは極めて良好な帯水層を形成している。
- iii) 浅井戸の地下水に2～3ヵ所高ECが認められたが、これは未使用井の死に水と井戸構造の不備による廃水流入に原因するらしい。先行開調井の深層地下水は良質である。ただモロンダヴァ市の近くや海岸寄りの地域では、海水浸入による塩水化の懸念は否定できない。
- iv) この地域には農業用水路が縦横に走り、広大な水田地帯となっている。水田は2毛作で年間を通じて水が張られている。先行開調井の柱状図からも明らかなようにマハボ以西では顕著な粘土層は分布しないので、農業用水路や水田からの浸透水が容易に地下水に転化している。このように水理地質と地下水補給の面から見て、この地域は地下水は極めて恵まれた地域といえることができる。
- v) 「マハボ」東方丘陵寄りの地域での更新統は粘土優勢層となり、帯水層となり得る砂～砂礫層が少なくなるので、井戸成功率は若干低くなる。

表-6 公的機関による水質分析表

サイト No.	TH	Ca	Fe	Mn	F	Cl	NH4	NO3	濁度	色度	臭度	化学的酸素 要 求 量
67	11.8	37.60	0.011	-	0.405	170.40	0.00	0.00	0.6	無色	なし	微量
97	4.8	16.00	0.015	-	-	17.75	0.00	0.00	0.9	-	-	0.1

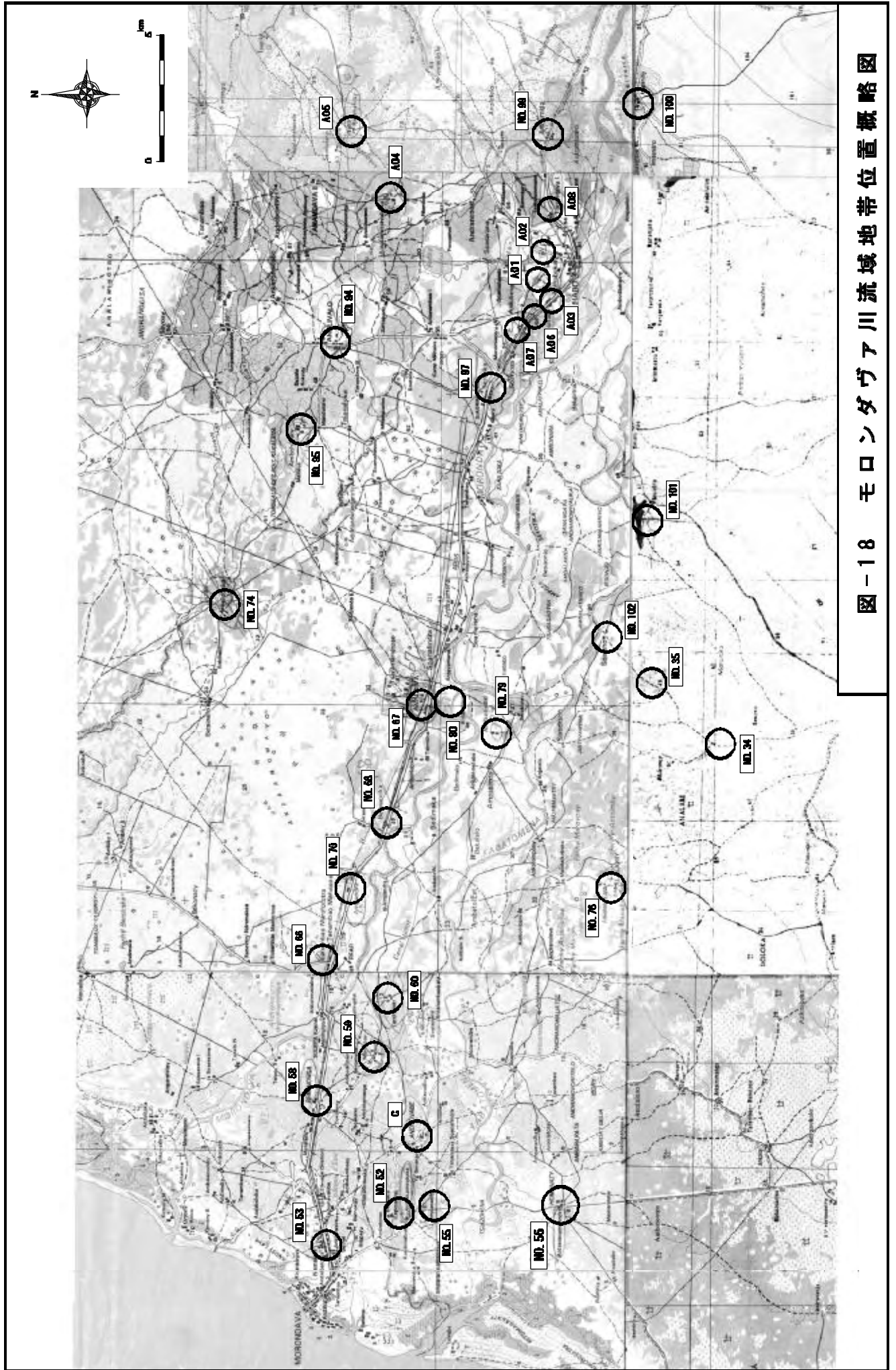
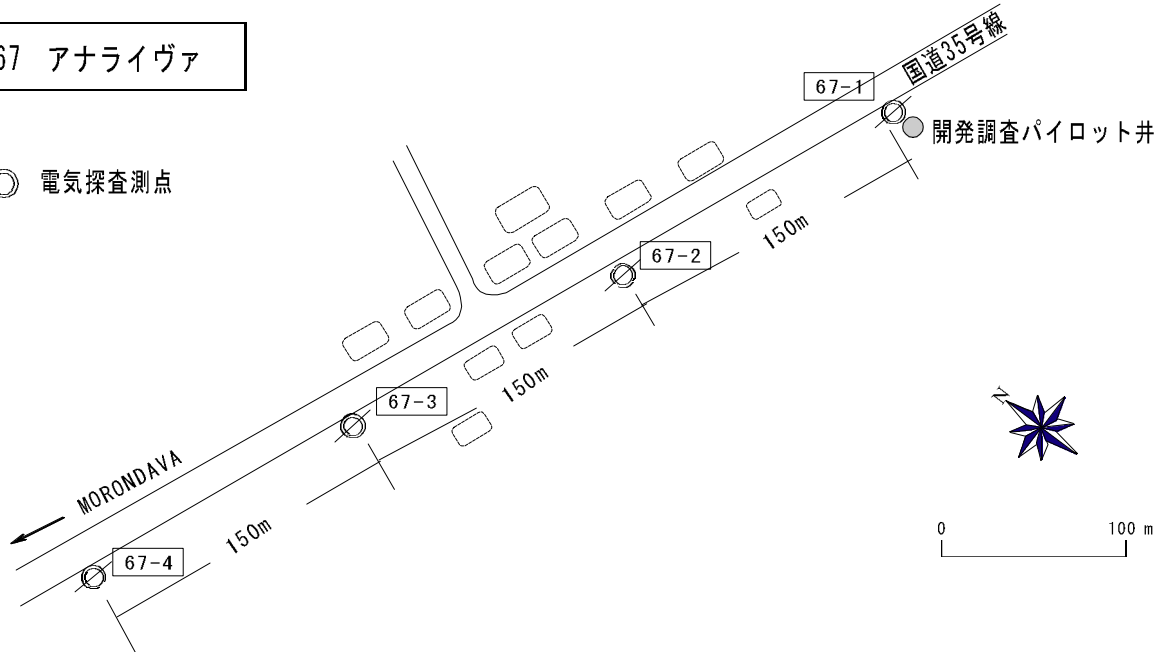


図-18 モロンダヴァ川流域地帯位置概略図

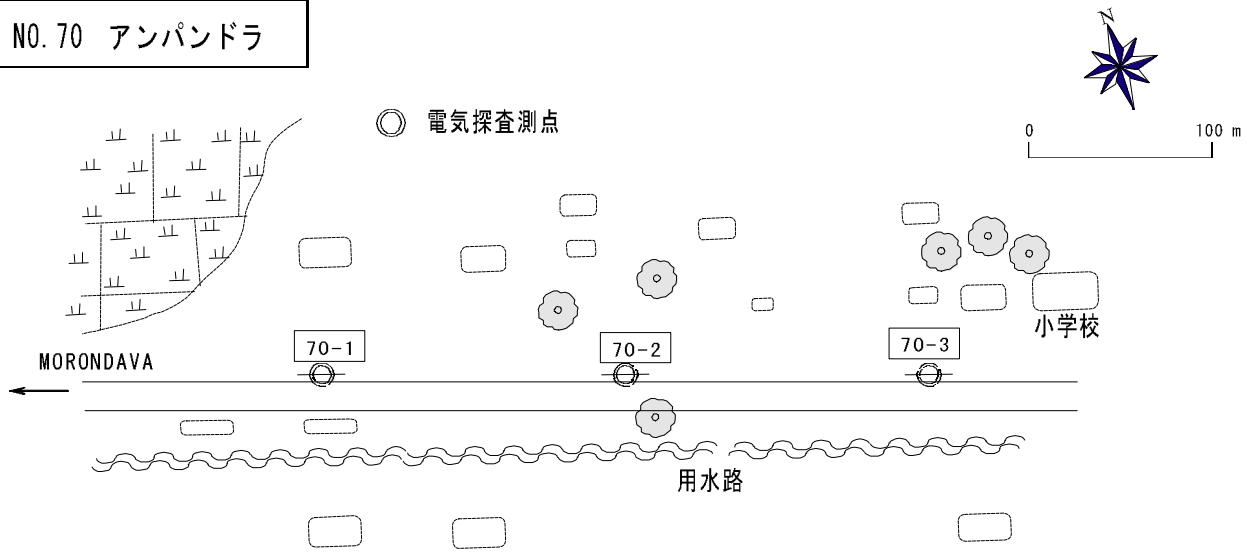
NO. 67 アナライヴァ

◎ 電気探査測点



NO. 70 アンパンドラ

◎ 電気探査測点



NO. 94 アンキリヴァロ

◎ 電気探査測点

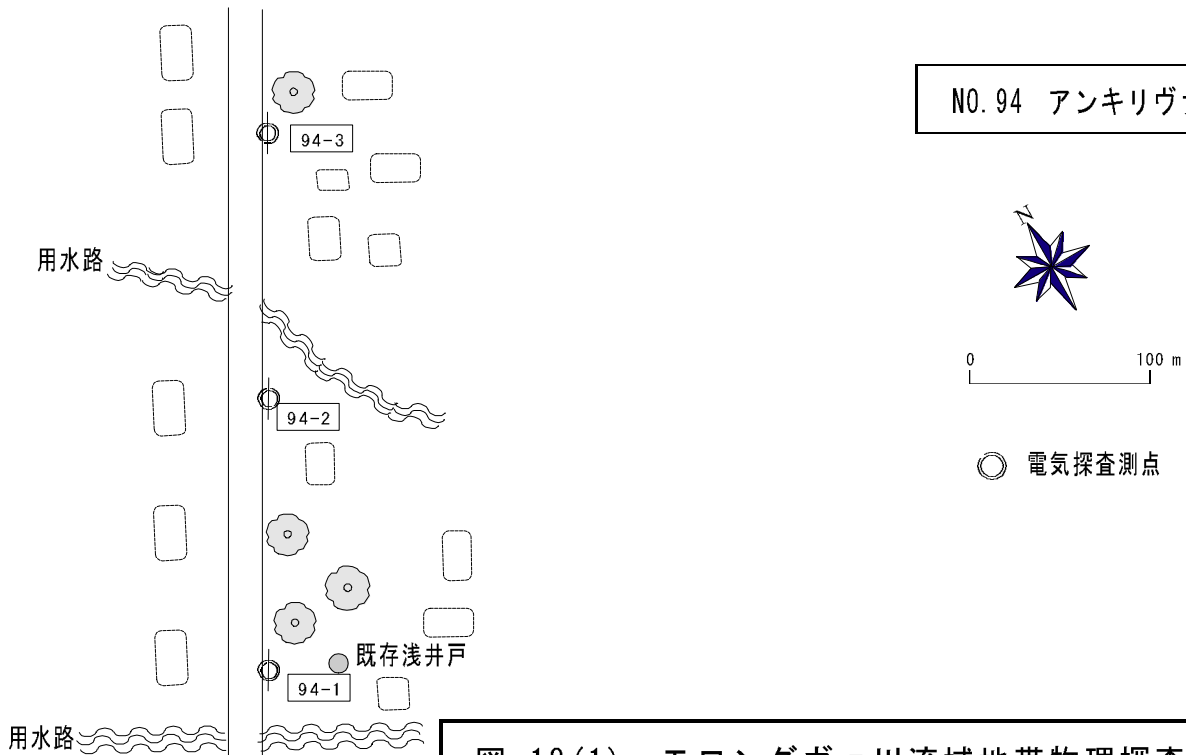
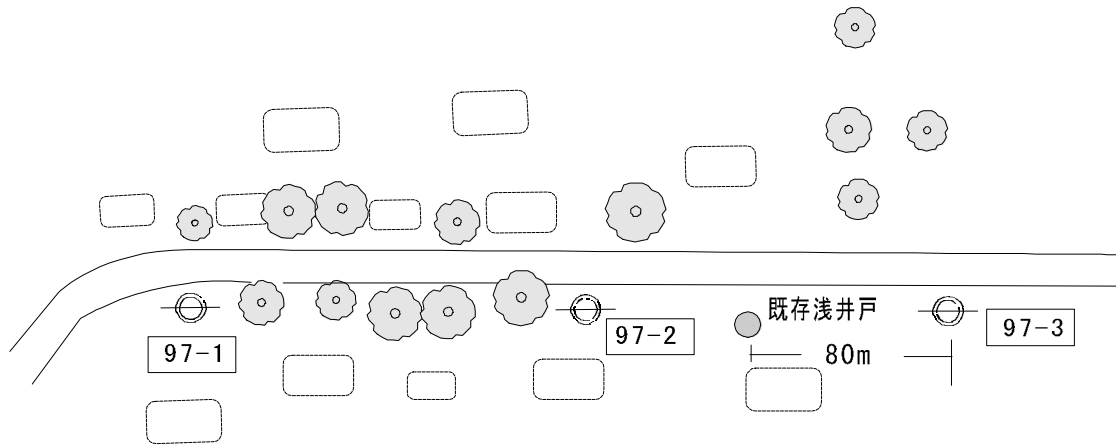
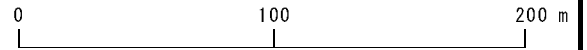


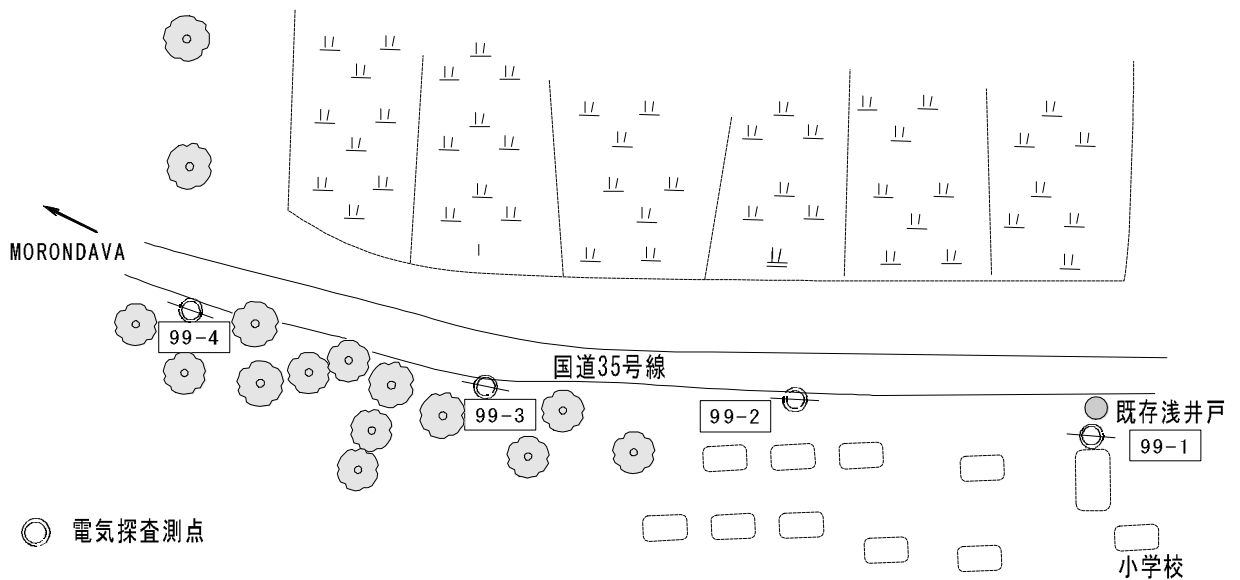
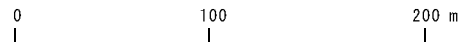
図-19(1) モロンダヴァ川流域地帯物理探査位置図

NO. 97 ベゼジカ



◎ 電気探査測点

NO. 99 アンキリミダ



◎ 電気探査測点

図-19(2) モロンダヴァ川流域地帯物理探査位置図

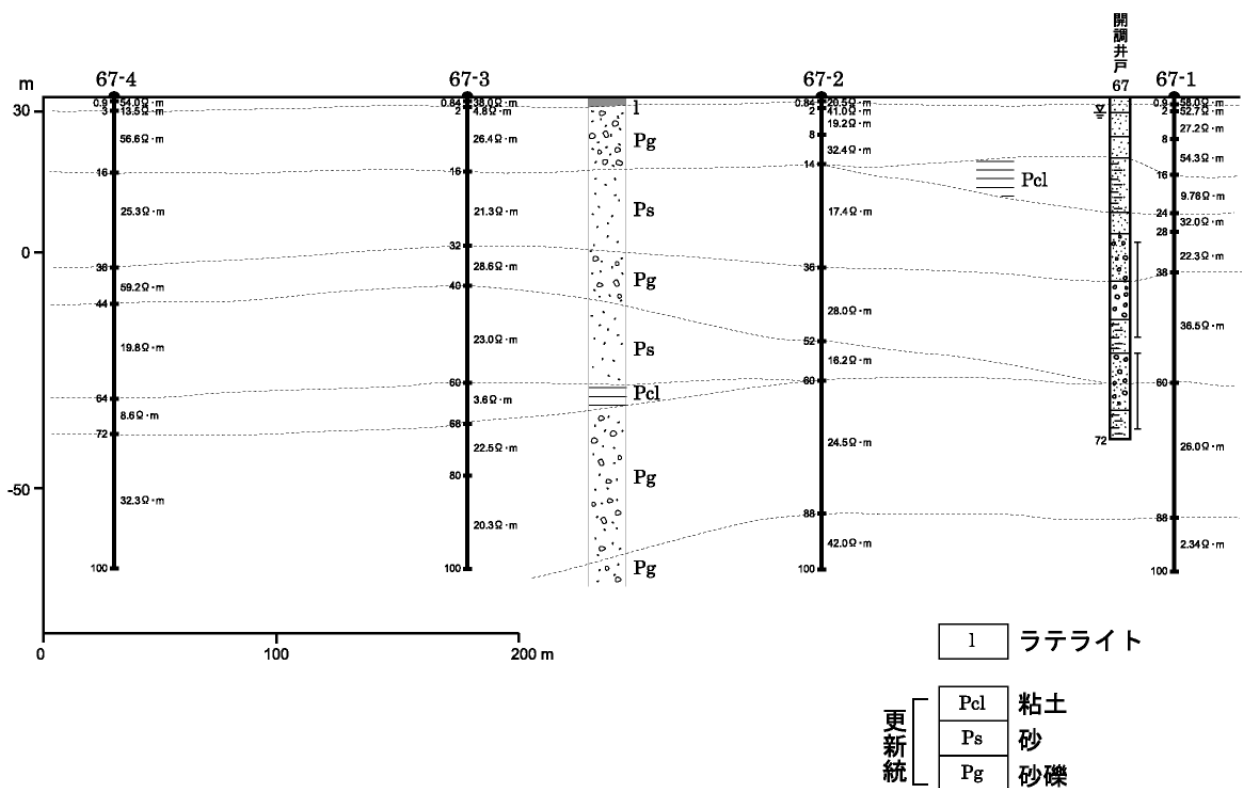
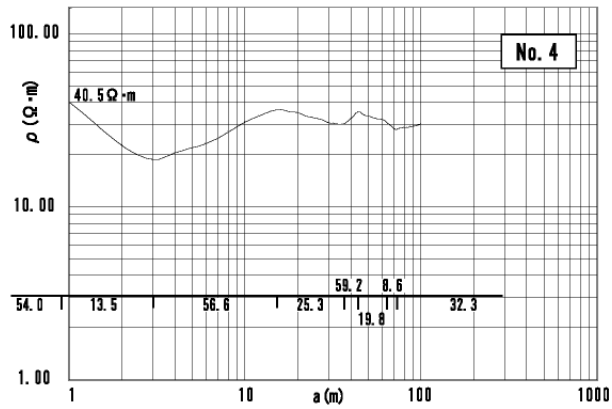
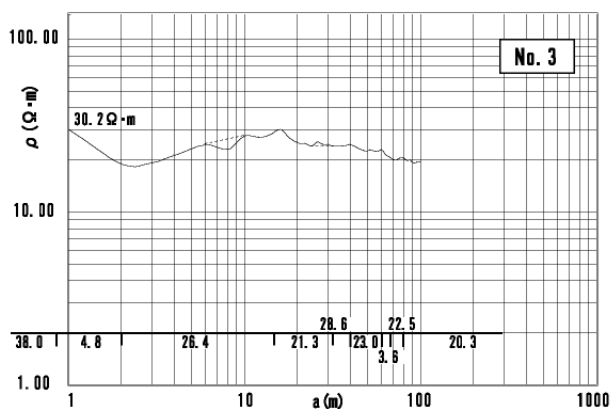
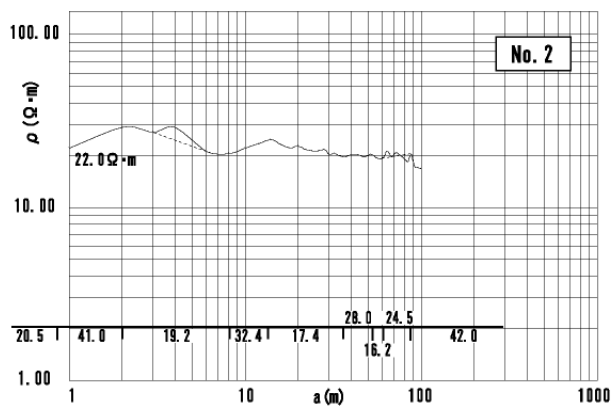
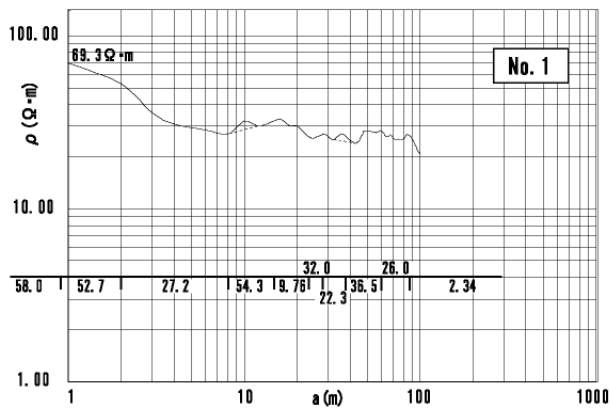


図-20 No. 67の電気探査解析結果と断面図

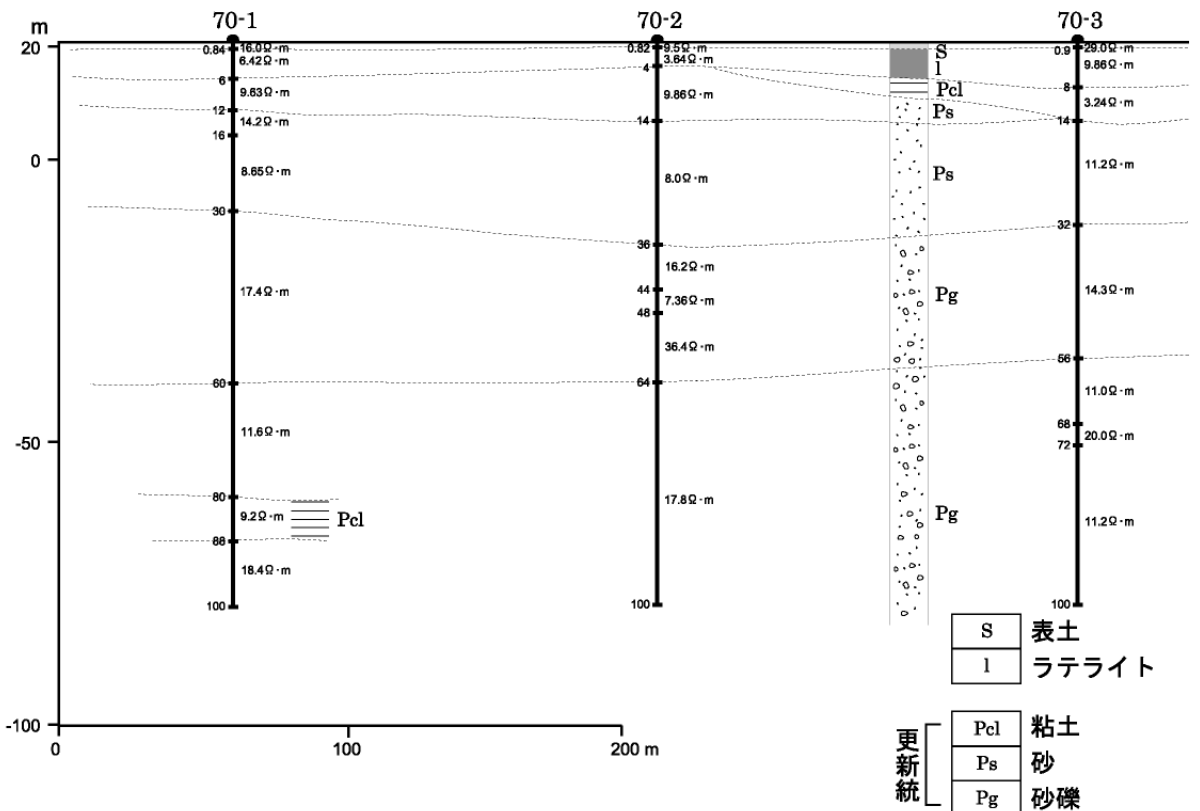
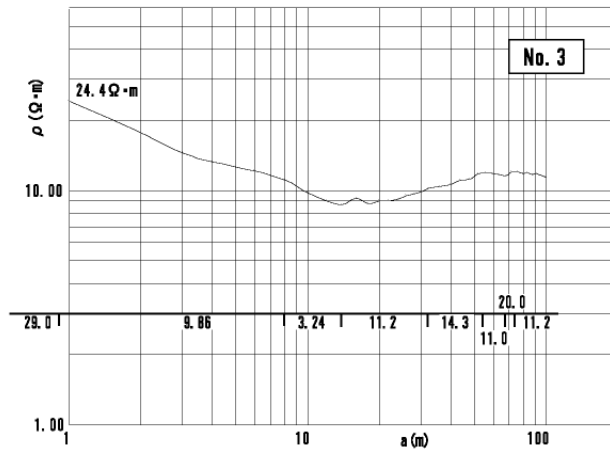
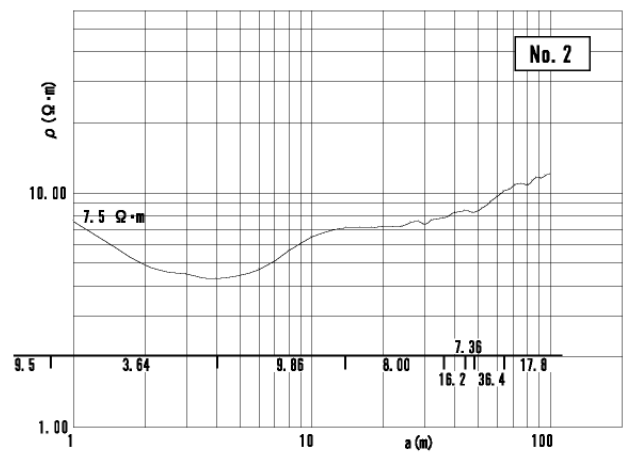
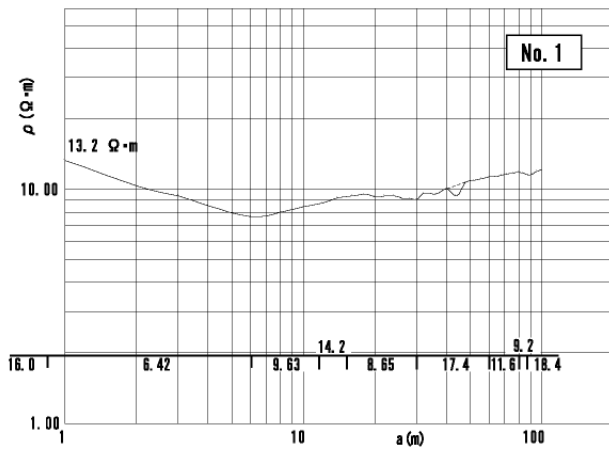


図-21 No. 70の電気探査解析結果と断面図

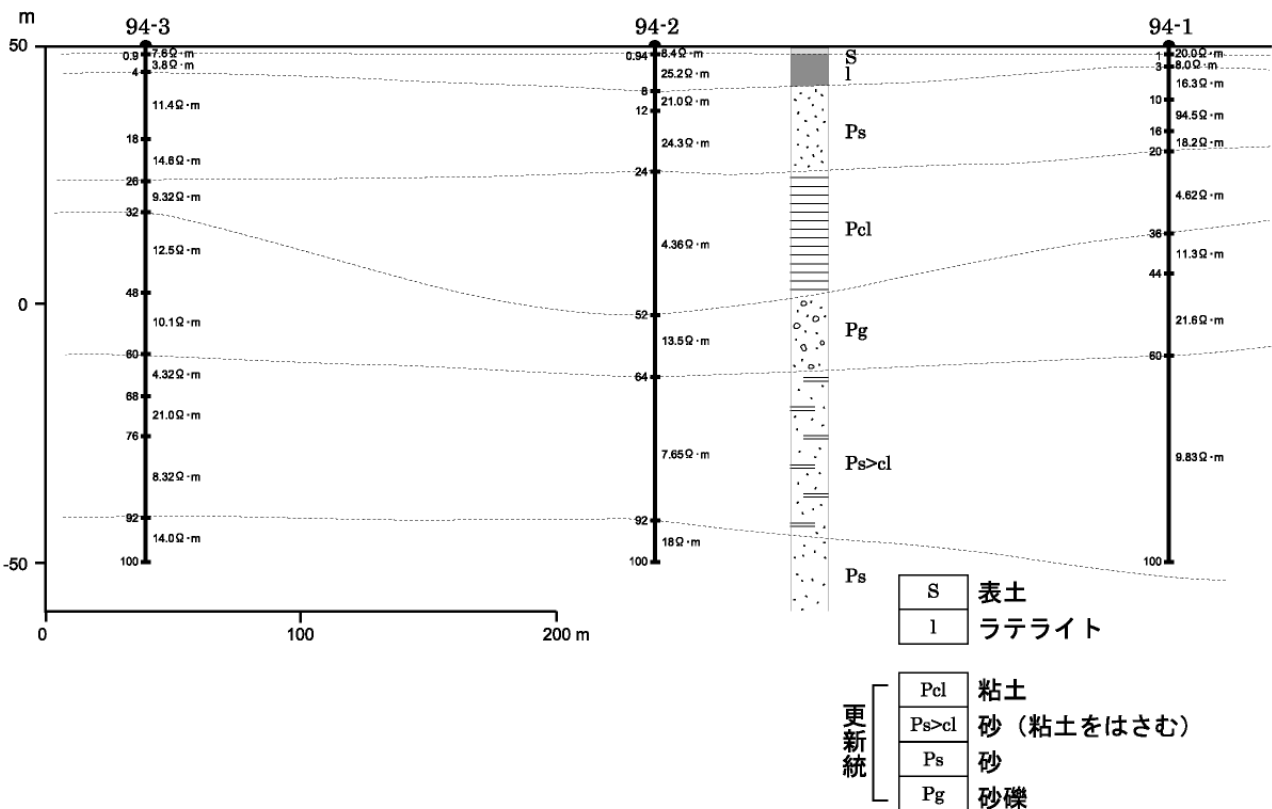
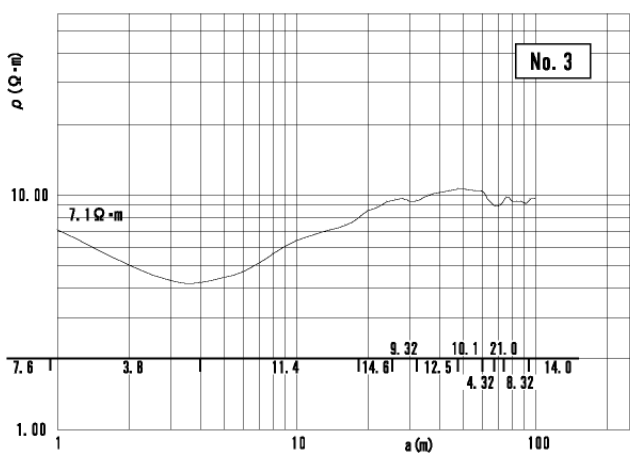
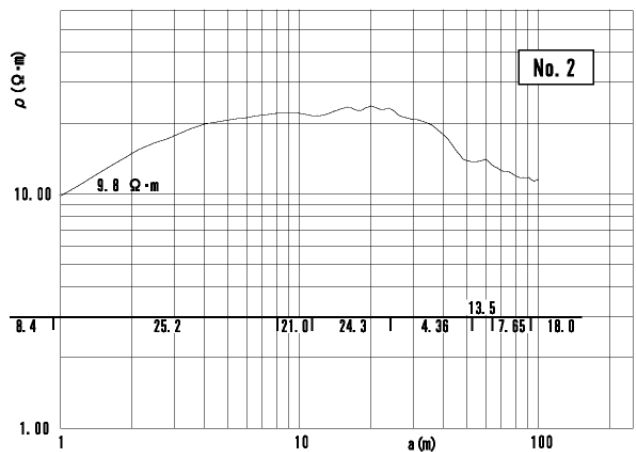
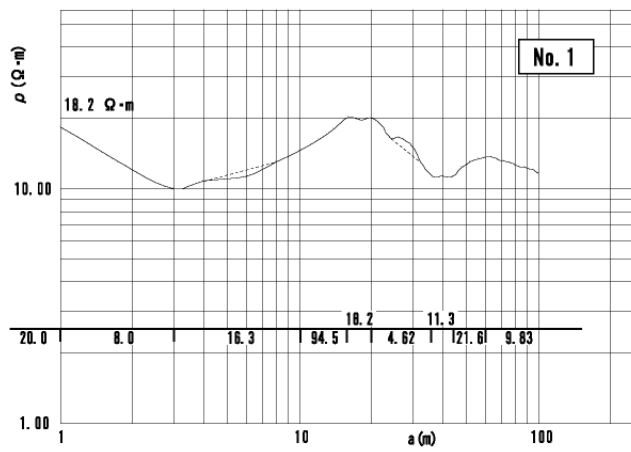


図-22 No. 94の電気探査解析結果と断面図

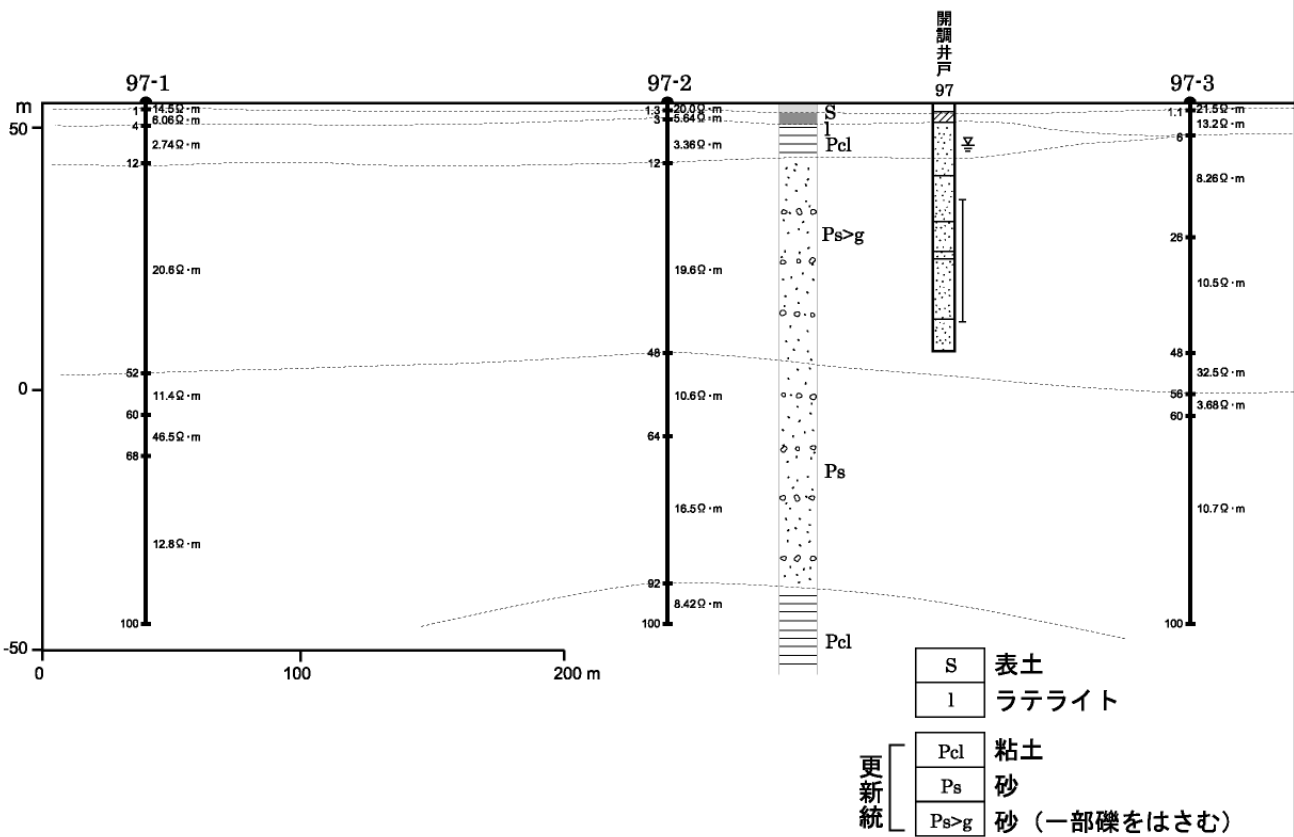
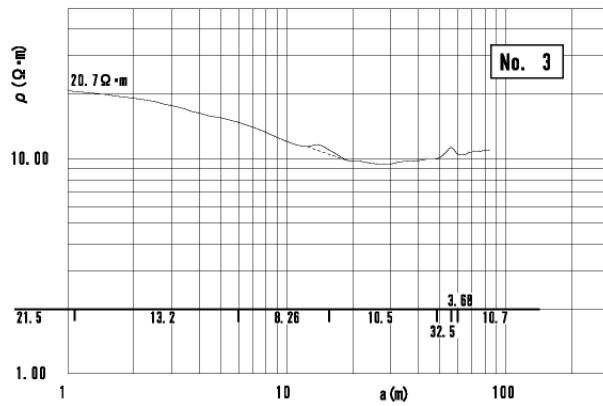
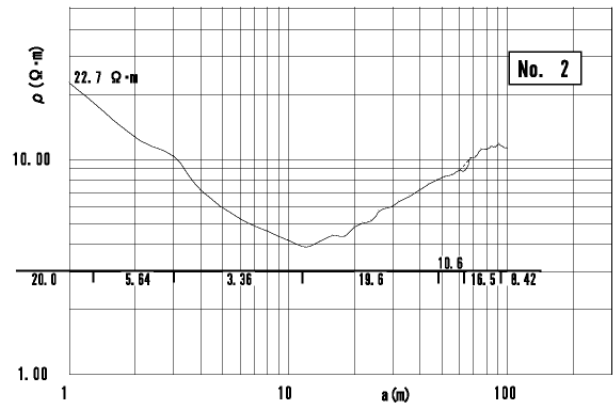
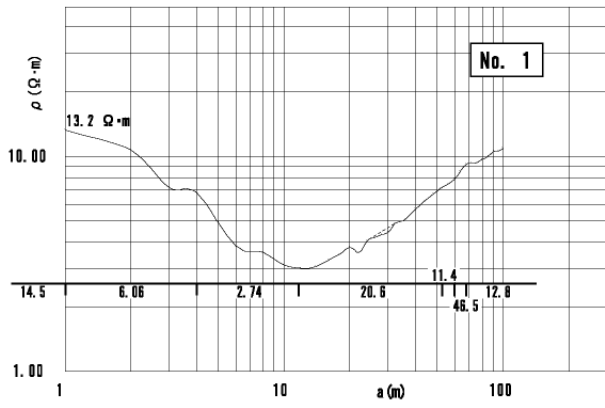


図-23 No. 97の電気探査解析結果と断面図

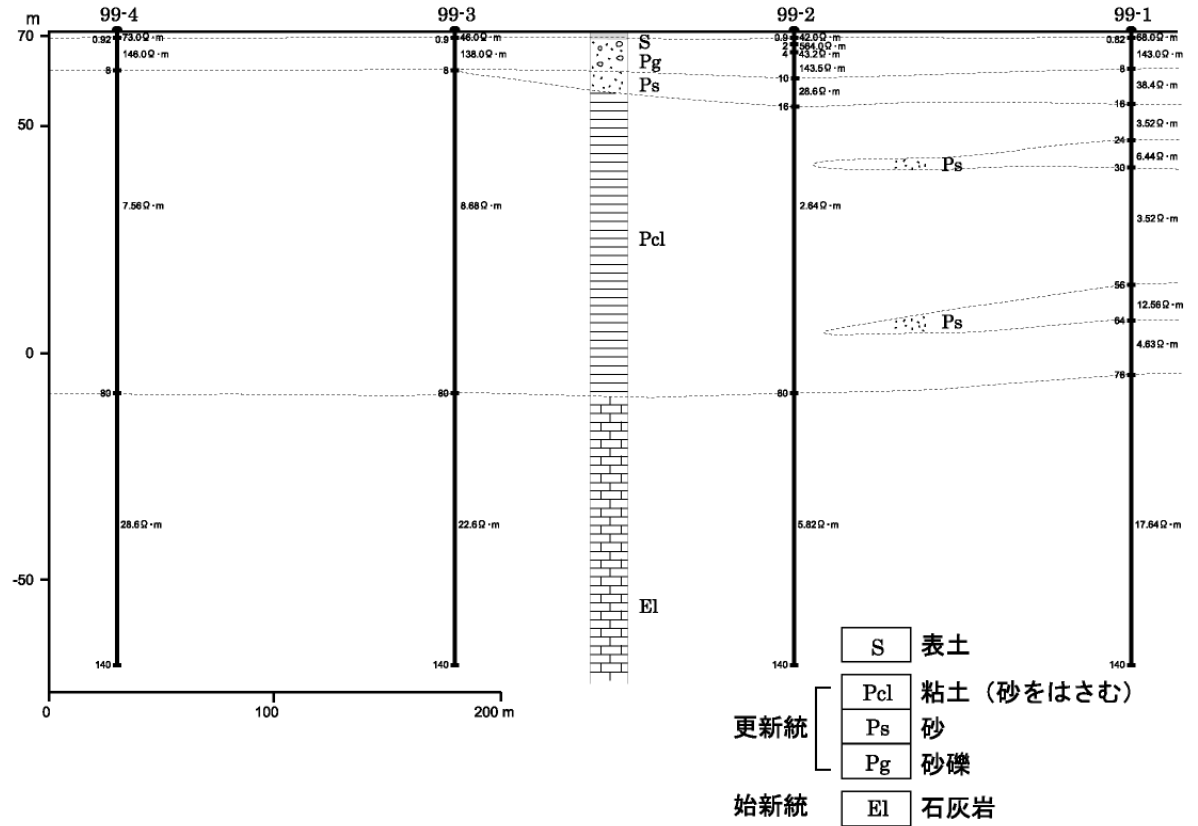
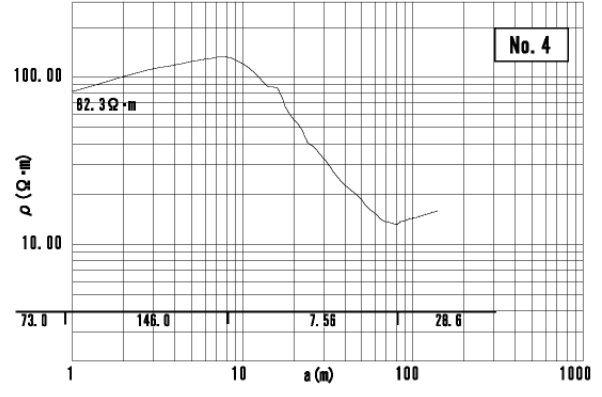
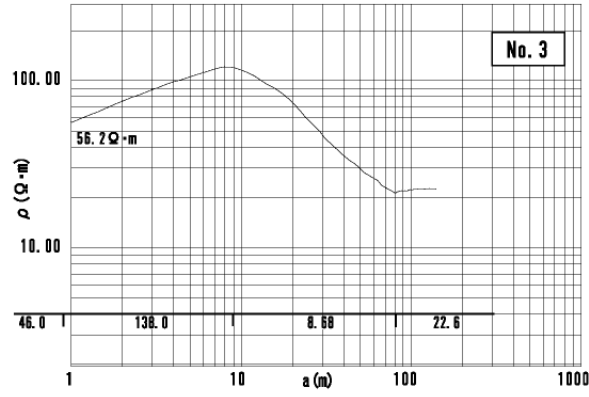
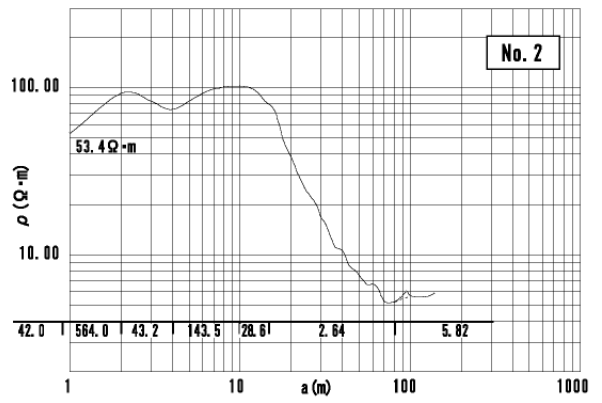
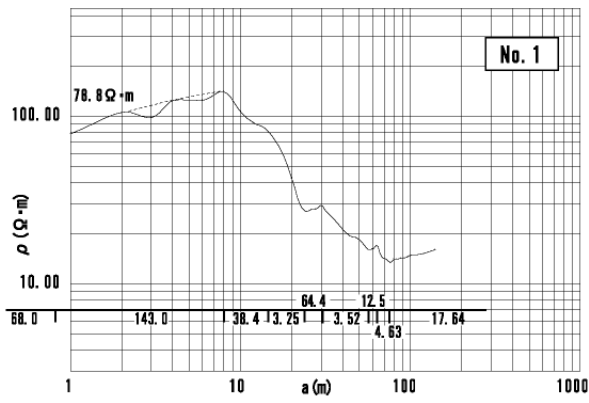


図-24 No. 99の電気探査解析結果と断面図

(5) マハリボ川下流地域

この地域はマハリボ川右岸に沿って北西～南東に走る幹線道付近に点在する 6 集落およびマハリボ川左岸に点在する 3 集落を包含する。

マハリボ川の沖積低地の南北側は更新統によって構成された台地となっている。地下水には地表近くに賦存する浅層地下水と地下 30m 以深に賦存する深層地下水があり、深層地下水は良質であるが浅層地下水の電気伝導度は高いのが多い。

表-7 マハリボ川下流部地域の水理地質

サイト No.	標高 (m)	地質	既存井	水質 EC(μ s/cm)	帯水層	判定	記事
25	53	更新統の砂、砂礫、泥土	浅井戸(4)	1,400~1,900	深さ 10m より浅い砂		電気探査実施
			開調井(1)	364	深さ 22m 以深の砂礫		
26	52	"	浅井戸(1)		地表近くの砂層		
27	74	"	浅井戸(2)		"		
31	28	"	浅井戸(1)	1,680	"		
			溜池(1)	138	"		
33	46	"	浅井戸(2)	406~1,194	"		
39	28	"	なし				
81	68	"					未調査
A	35	"					
B	68	"					

本地域で深井戸が既存するのは No.25「ベファセエ」のみである。この深井戸は深さ 63 m、22.7~62.2m にスクリーンを設け、静水位 5.57m で良質 (EC = 364 μ s/cm) の地下水 800m³/d を得ている。地表から更新統の砂、砂礫、粘土層で 10~22m まで粘土層が分布している。浅井戸は深さ 10m までの砂、砂礫層を対象としているが、EC は 1,400~1,900 μ s/cm と高い。この付近は水田がなく殆ど山林で、農業用の用水路もないので乾期における地下水の補給は殆ど行なわれていない。厚い粘土層で下位帯水層と遮断された浅層地下水は乾期における補給の減少と蒸発散による濃縮により高 EC になったと考えられる。この現象は約 2km 西方の「アンディマカ」集落の水源からも肯定し得る。すなわち集落のある台地から約 10m 低い小川に小さな水田がある。この水田用水は周辺の台地急斜地からの滲出水で賄われているが、水田水の EC は 1,111 μ s/cm であるのに対し滲出水の溜まり水は 4,540 μ s/cm と高い。

このように乾期における地下水の補給が少ない地域では補給量の減少による水位低下(地下水賦存量の減少)と蒸発散量の増加により、浅層地下水は高 EC 化するが、厚い粘土層で遮断された深層地下水は良質が保存されるので、深層地下水の開発により良質の地下水を得ることが可能と考えられる。

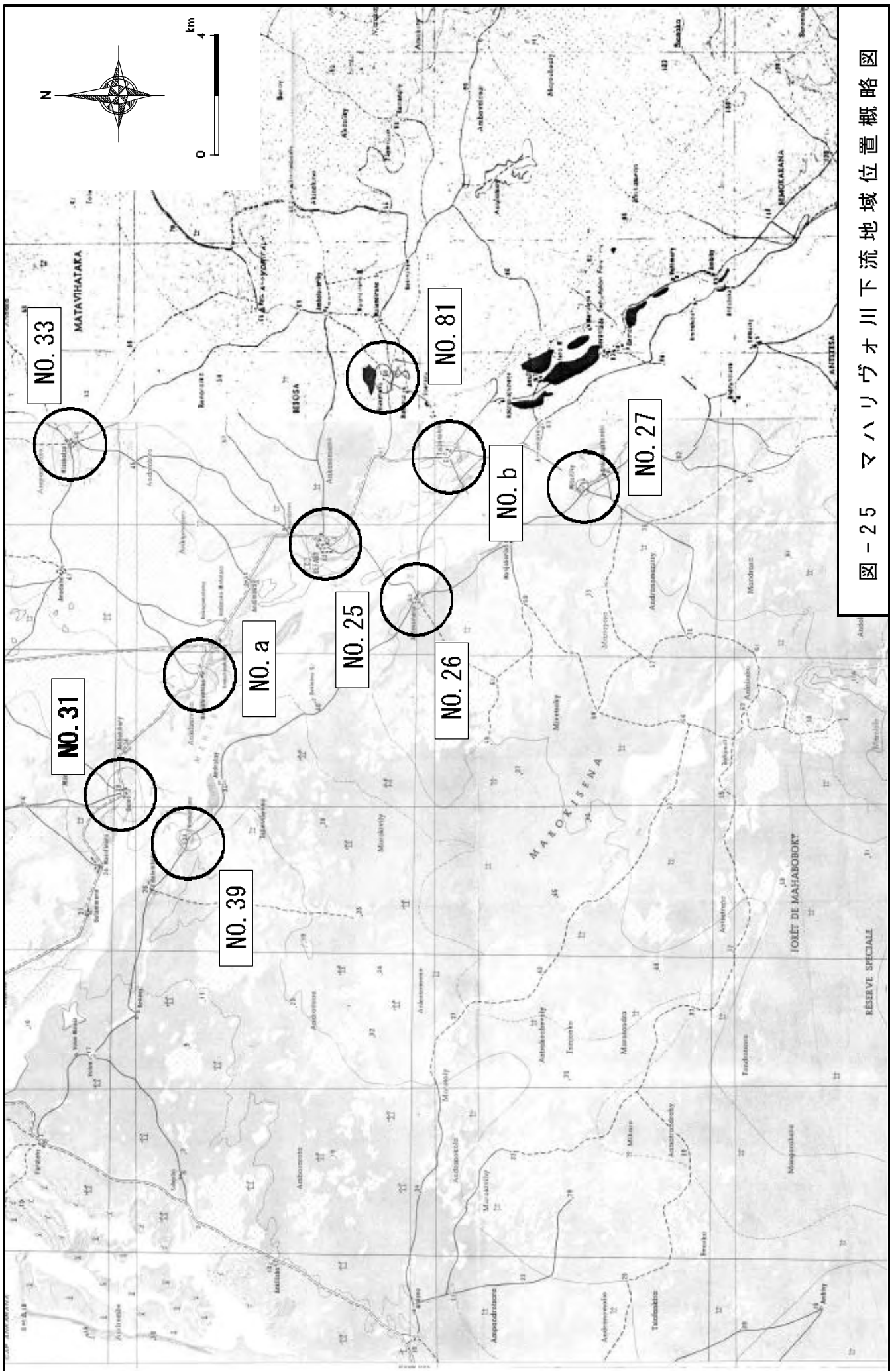


図-25 マハリヴァオ川下流地域位置概略図

NO. 25 ベファシィ



0 100 m

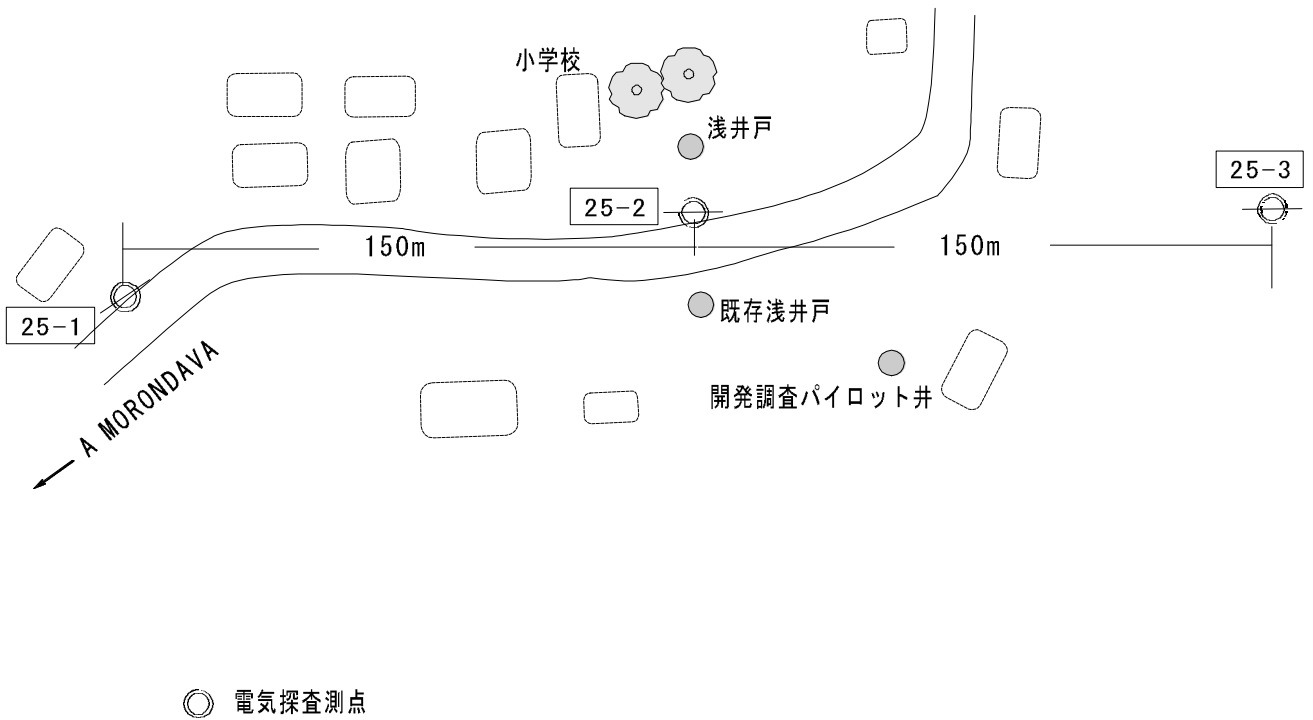


図-26 マハリヴォ川下流地域物理探査位置図

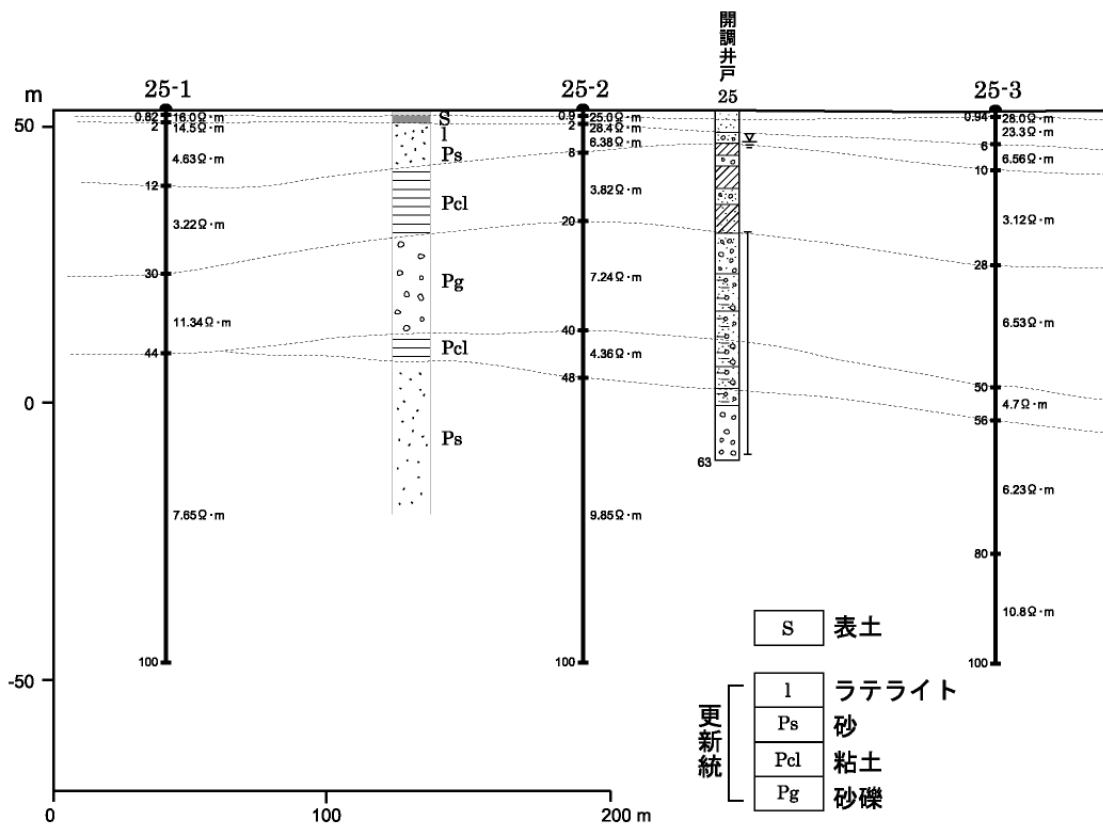
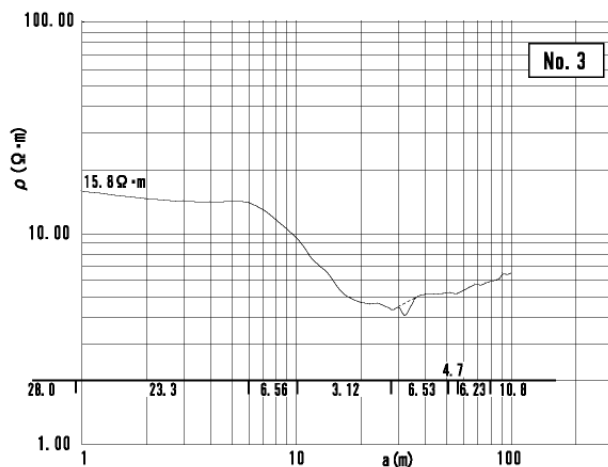
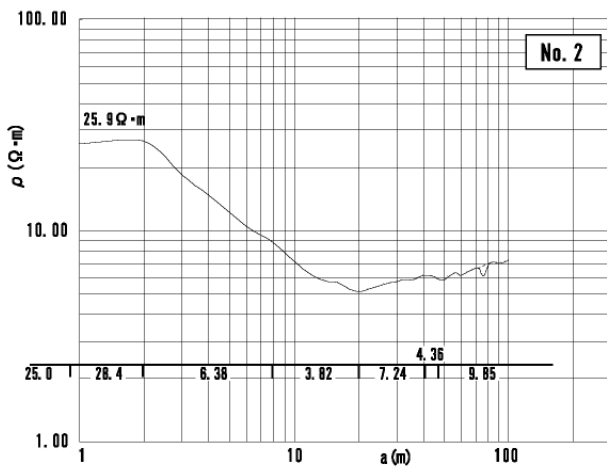
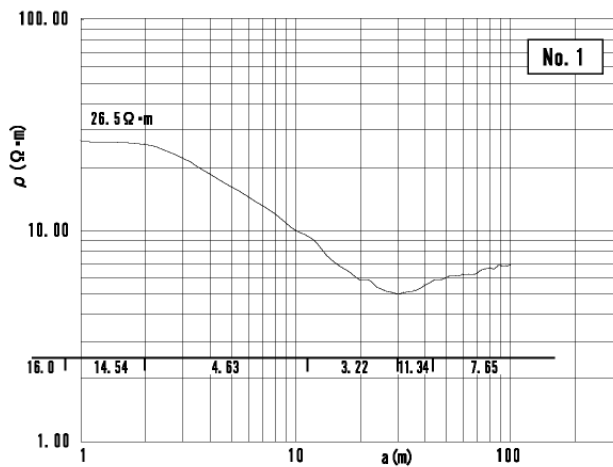


図-27 No. 25の電気探査解析結果と断面図