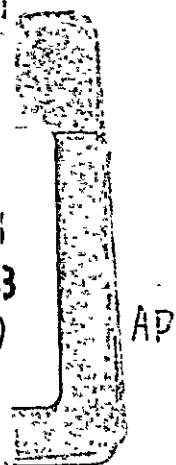


(農林)50-104

タンザニア・キリマンジャロ農業開発
実施設計調査報告書
(地下水調査)

昭和 51 年 3 月

国際協力事業団
農業開発協力部



JICA LIBRARY



1063685[03]

国際協力事業団	
受入 月日 84. 4. 17	416
登録No. 03497	83.3
	AD

AD

— は し が き —

わが国は農業協力プロジェクトをアジア地域以外にも拡大する方針から1973年3月東アフリカ4ヶ国にプロジェクトファイディング調査団を派遣し有望プロジェクトの発掘を試みました。その結果タンザニア国キリマンジャロ州が、農業開発上の種々の条件からみて最も可能性が高いという結論を得ました。

また、かねてよりタンザニア政府は我が国にキリマンジャロ州総合開発策定について、再三要請を行っていたこともあり、同国に対する農業分野でのプロジェクト協力はまことに時宜を得たものと考え、その実施のための手続を進めることゝいたしました。

この第一ステップとして、1973年11月同国農業開発協力の基本構想を立案するために実施計画調査団を派遣し、プロジェクト予定地域等あらましの協力方針を策定しました。引続き、1974年11月、実施調査団を派遣して、更に具体的な協力計画を作成し、タンザニア政府との間にRecord of Discussionを取りかわしました。

Record of Discussionでは、本格的協力実施を手がける予備段階として、①水資源開発調査、②試験研究協力、③農業基礎調査の3つの柱からなる事項につき協力を行うことゝいたしました。

今回実施した実施設計調査では、上記Record of Discussionに基づき、キリマンジャロ州において最も地下水開発の可能性を有するキリマンジャロ山山麓のカヘ・ミワレニ地域を中心に電気探査、揚水試験等による地下水開発の調査を実施いたしました。

本報告書は、上記調査団の調査結果をまとめたもので、第2段階としての本協力の策定に十分活用され、キリマンジャロ州農業開発に少なからぬ貢献を果すものと確信しております。

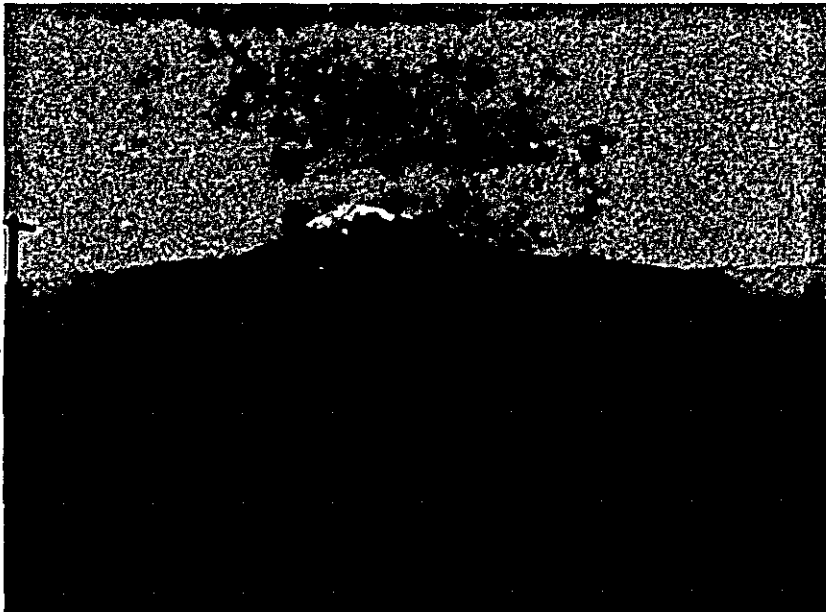
本報告書を取りまとめるにあたり、日本・タンザニア両国の友好が更に緊密化される事を願ってやみません。

終りに、この調査にあられた磯崎義正団長ならびに団員各位に謝意を表しますとともに、在タンザニア日本大使館、専門家各位に厚くお礼申し上げます。

昭和51年3月

国際協力事業団
農業開発協力部長
渡 辺 滋 勝

PHOTOS OF THE FIELD SURVEY



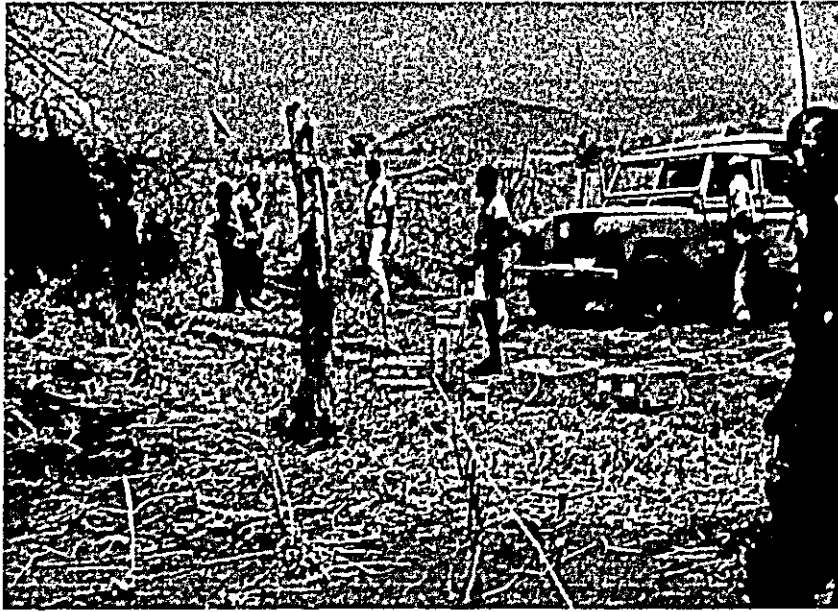
View of Mt. Kilimanjaro from Miwaleni Area



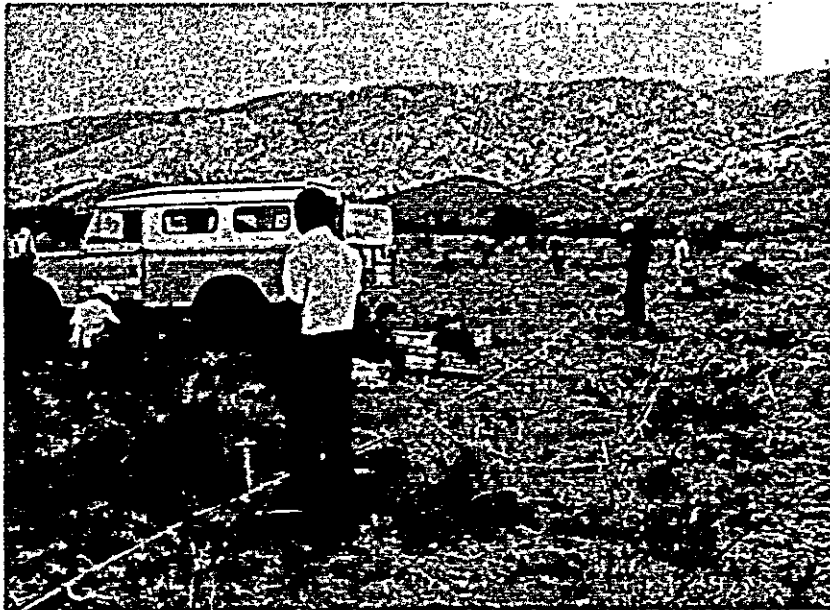
Electrical Sounding (Type ES-GI)



Electrical Sounding (Megger Type 3244)



Electrical Sounding in the Kahe-Miwaleni Area



Electrical Sounding in the Mkomazi Area



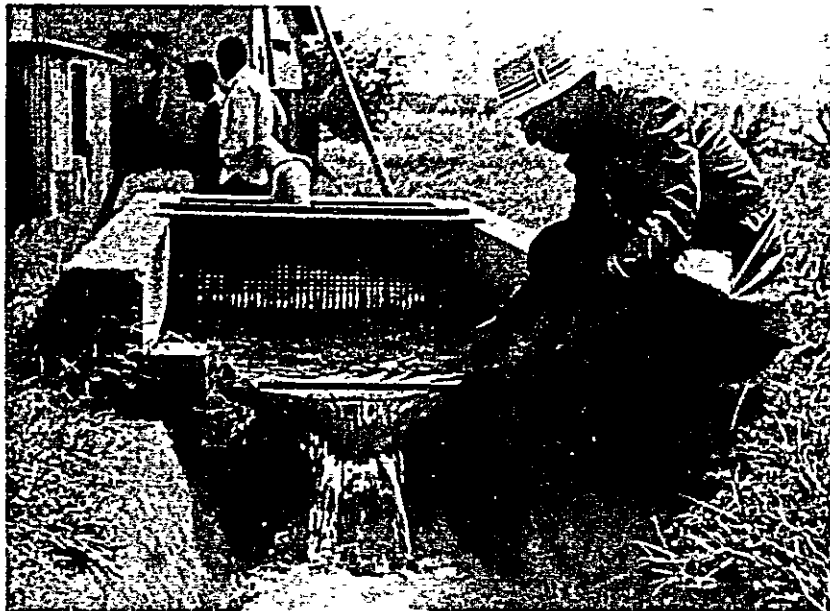
Cutting bush for Electrical Sounding



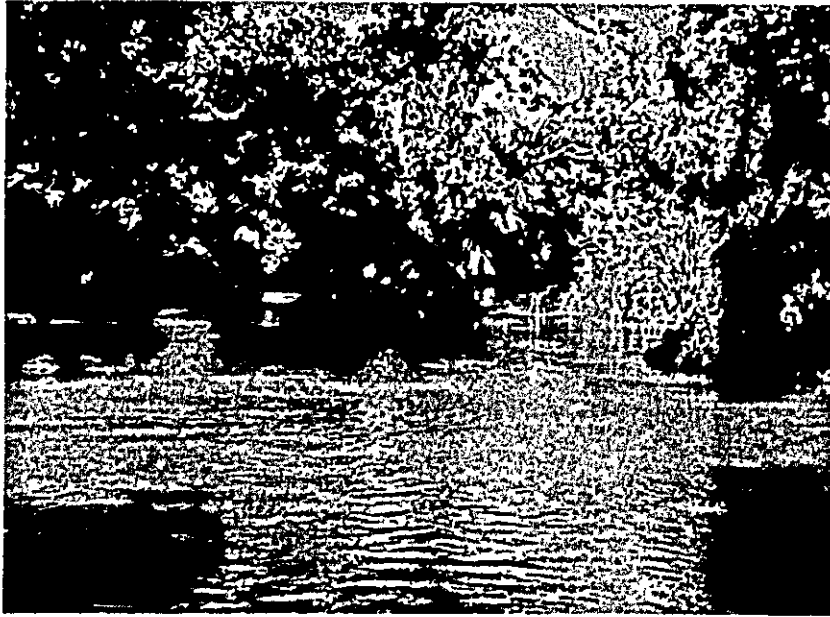
Selection of Electrical Sounding Points



Pumping Test - Miwaleni No. 1 Borehole



Pumping Test - Observation of Yield



Miwaleni Spring



Njoro Spring



Geological Reconnaissance



Geological Reconnaissance - No perenial flow except
for Rau and Mua River in
the Kahe-Miwaleni Area



Granulite near Gonja in the Mkomazi Area



Lava and Pyroclastics near Moshi-Himo Road
in the Kahe-Miwaleni Area

目 次

団長あいさつ

第1章	緒 言	2
第2章	調査団概要	4
2・1	経 緯	4
2・2	調査団の目的	4
2・3	調査団の日程	5
2・4	調査団の構成	8
第3章	調査概要	9
3・1	調査地域	9
3・2	調査内容	11
3・2・1	電気探査	11
3・2・2	揚水試験	13
3・2・3	水質調査	13
3・2・4	資料収集	13
3・2・5	地表地質調査	14
第4章	調査結果	17
4・1	Kahe-Miwaleni地域	17
4・1・1	地形・地質	17
4・1・2	水文・気象	24
4・1・3	地下地質構造	34
4・1・4	水理地質	40
	1. 地下水賦存機構	40
	2. 地下水利用現況	44
	3. 揚水試験	46
	4. 水質調査	50

5.	地下水収支	52
6.	揚水条件と影響範囲	56
7.	将来の地下水開発	64
	(1) Miwaleni地区	64
	(2) Msaranga Mandaka地区	65
	(3) Kahe地区	65
	(4) Arusha Chini地区	67
4・2	Mkomazi地域	68
4・2・1	地形地質概要	68
4・2・2	水文・気象	70
4・2・3	水理地質構造	74
4・2・4	地下水開発について	75
第5章	結論と今後の問題点	78
	参考文献	82
	資料	85

添 附 図 目 次

- Fig. 3・1-1 調査地域位置図
- Fig. 3・2-1 Kahe-Miwaleni 地域調査位置図
- 3・2-2 Mkomazi 地域調査位置図
- Fig. 4・1-1(1) Kahe-Miwaleni 地域地質図
- 4・1-1(2) Kahe-Miwaleni 地域地質推定断面図
- 4・1-2 雨量観測所及流量観測所位置図
- 4・1-3 月別降水量表
- 4・1-4 "
- 4・1-5 "
- 4・1-6 Miwaleni Spring 流量表
- 4・1-7 電気探査比抵抗値分布断面図 (Kahe-Miwaleni)
- 4・1-8 電気探査測点位置及断面線位置図
- 4・1-9 Kahe-Miwaleni 地域水理地質図
- 4・1-10 水理地質模式断面図
- 4・1-11 $S - r^2/t$ 関係グラフ (BH №1)
- 4・1-12 $S - t$ 関係グラフ (BH №1)
- 4・1-13 $S - t$ 関係グラフ (BH №2)
- 4・1-14 $S - t$ 関係グラフ (BH №3)
- 4・1-15 段階揚水試験グラフ
- 4・1-16 地下水収支図
- 4・1-17 Kilimanjaro 州井戸分布図
- 4・1-18 揚水継続時間と水位降下、影響範囲図
- 4・1-19 地下水開発適地予想図
- Fig. 4・2-1 Mkomazi 地域地質平面図
- 4・2-2 雨量観測所及流量観測所位置図
- 4・2-3 月別降水量表
- 4・2-4 Mkomazi 地域地質推定断面図

添 附 表 目 次

Table 4・1-1	Kahe-Miwaleni 地域地質層序表
4・1-2	年降水量一覽表
4・1-3	標高別年降水量表
4・1-4	月別平均流量
4・1-5	電氣探查測線概要
4・1-6	地下水利用現況表
4・1-7	水質調査結果表
4・1-8	水露頭別水質表
4・1-9	地下水水質分析結果表 (T. P. C.資料)
4・1-10	地下水涵養量計算表
4・1-11	Kilimanjaro 州井戸揚水条件一覽表
4・1-12	揚水継続時間と水位降下計算表
4・1-2	年降水量一覽表
4・2-2	標高別年降水量表

団 長 あ い さ つ

Tanzania 国 Kilimanjaro 州の農業開発については、1973 年以来各種の調査団が派遣され、開発計画の立案およびその実施のための努力がなされてきました。

今回の実施設計調査団の目的は、これら開発計画作成の一環として、水資源としての地下水の開発の可能性を概定するとともに、部分的にはさらに具体的な地下水の開発・利用の方法について方針を示すことでした。

この目的にそって、まずかんがい計画の立案が進められている Upper Miwaleni 地区およびその周辺地域 (Kahe-Miwaleni 地域) において、60 数点の電気探査、既設井の揚水試験、地表地質踏査および水文・気象資料の収集などを行なって、本地域における地下水の賦存状態および地下水収支を検討し、今後の地下水開発・利用の方針を示しました。また、州南部の South Pare Mts. 東側の Mkomazi 地域については、概括的な調査によって地下水の賦存様式を推定し、その開発の可能性について考察しました。

なお、Kahe-Miwaleni 地域の地下水については、Tanzania 政府あるいは F A O 関係の技術者による調査報告が出されていますが、いずれも概括的なもので、今回の調査で明らかにされたような、帯水層区分・井戸適地の概定・地下水収支などの定量的評価については、ほとんどふれられておりません。その意味で、今回の成果は今後の具体的な水利用計画作成において有効な基礎資料となりうるものと自負しております。

また、Mkomazi 地域については、これまで地下水に関する調査報告のあったことは聞いておりません。従って、本報告は概括的なものではありませんが、当地方の地下水に関する初めての報告となるものと思われまます。

しかしながら、日程的あるいは調査機器上の制約もあって、後述するような残された問題点も少なくはありません。今後の調査に期待しなければなりません。

現地調査は、1976 年 1 月下旬から同 2 月末まで実施されましたが、この期間は現地では最も暑い時期にあたり、文字通り炎天下でしかもブッシュに悩まされながらの作業でありました。このような悪条件にもめげず、熱心に調査に協力して下さった現地専門家の皆様、現地政府 Counterpart の皆様に心からお礼を申し上げます。また、調査機材の輸送、現地政府との連絡などで大変お世話になった日本大使館の皆様の御協力も忘れることが出来ません。これらの方々の御援助・御協力なしには、このような成果が得られなかったことを思い、団員一同深く感謝する次第であります。

昭和 51 年 3 月

タンザニア・キリマンジャロ農業開発
実施設計調査団長

磯 崎 義 正

第1章 緒 言

Kilimanjaro州は、東部Africa, Tanzania国の北東縁にあり、Kenya国と接している。南緯3°から4°の熱帯圏に属し、年間を通じて寒暖の差は少い。日照度も高いが州全体が高原地帯や山岳部からなり、湿度も低く涼しく熱帯圏としては、快適な気候条件下にある。

有名なAfrican Great Rift Valleyは東部Africaを南北に縦貫する断層陥没帯であるが、Kilimanjaro州はその東縁にあたり、Kilimanjaro火山はこのEast African Riftsの活動と密接な関係にあることが知られている(R. GIRDLER, 1972)。

世界最高の火山といわれるKilimanjaro山(5895m)は、この州の北部を占め、その広大な裾野は気象水文条件にも恵まれ古くから開発され、人口密度も高い。しかしながら、南部のPangani川流域低地やPare Mts. 東方地域は、山地斜面を除いて農業開発はおくれており、SwampやSteppeとして残されている。これは、熱帯圏特有の乾燥気候と雨期における低地のSwamp化がその原因とされている。

今回の調査の主要な目標は、これらMiddle~Lower Landにおける農業開発計画に資するため、水資源としての地下水開発の可能性を探ることである。

当地域の地下水に関する、これまでの調査報告も決して少くはない。Tanzania在住30年という経歴をもつオランダのEngineering Geologist, Costerは、Tanzania全体の地下水事情をまとめて1960年に出版している(文献-3)。Costerはこの著書の中で、すでにKilimanjaro火山山麓の地下水にもふれており、既存のBore holesの揚水量や水質について記述している。

その後、1960年代の初めには、盛んに1/125万地質図幅がTanzania地質調査所(Geological survey)から発刊されているが、その中に地下水や井戸に関する記載が散見される(文献-9, 10, 11, 12)。とくにKilimanjaro図幅の説明書には、同山麓一帯の水理地質の説明がのっており、地下水の賦存機構や井戸の揚水実績についてふれている(文献-13)。

また、同じ頃にはKilimanjaro南麓一帯について、地下水を対象とした調査が行なわれるようになり、その成果がWhittingham(1963)やRamsay(1965)などの報告にまとめられている(文献-5, 7)。これらの報告は、いずれも地形地質と既設井(existing well)の実績をもとにして、地下水の賦存機構や帯水層についてふれているのみで、帯水層の拡がりや厚さ、その水理学的性質および地下水収支(Groundwater Balance)などの地下水の量的な評価は加えられていない。

今回の調査は、これら従来の調査では必ずしも充足されなかった、地下水の量的評価を目途

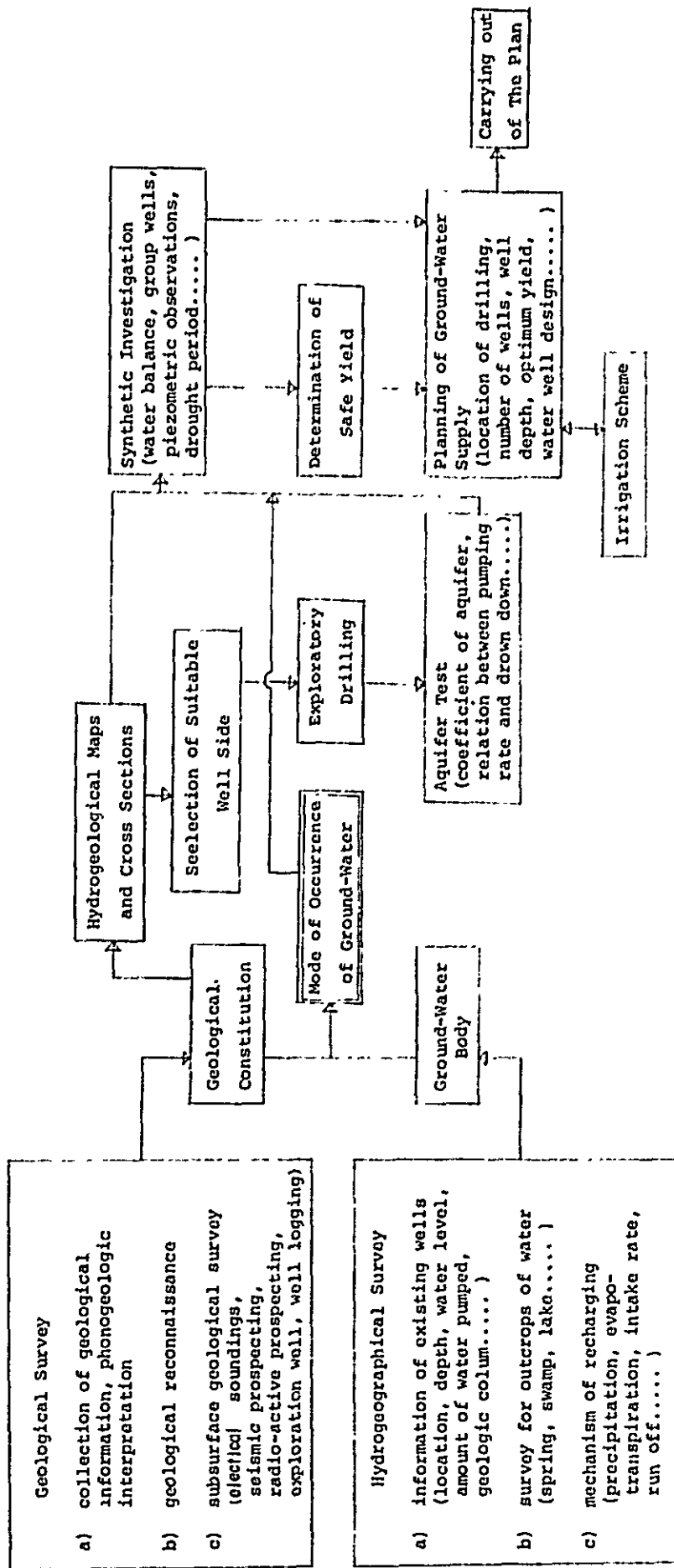
として実施されたものである。

調査は、基本的には Fig. 1-1 に示す方法と手順に従って実施されたが、調査期間が制約されており、調査手段、調査機器についても十分な対応はできえなかった。そのため、精度的に不満な点や調査が行き届いていない部分などもあり、残された問題点も少なくない。

なお、調査は主として Kilimanjaro 南麓の Kahe-Miwaleni 地域を対象として行なわれたが、South Pare Mts. 東側の Mkomazi 地域についても、予備的な調査を実施した。

本報告は、地表地質調査、電気探査、水文気象調査、揚水試験、資料収集などによって明らかにされた、調査地域の水理地質構造、地下水賦存様式、帯水層の水理学的性質、地下水盆内の水収支、将来の地下水開発などについて述べたものである。

Fig. 1-1 METHOD OF EXPLORATION FOR GROUND-WATER DEVELOPMENT



第2章 調査団概要

2・1 経緯

① Tanzania共和国では、数年来Kilimanjaro地域総合開発を最重点事項としてとり上げ、同地域の総合開発計画を我が国の手によって推進してほしいとの協力要請を、再三してきていた。又、日本国における農業協力事業も協力対象地域がアジアから中近東アフリカ、および中南米へと拡大する趨勢のなかで、この要請に応えるため、昭和46年国際開発センターに委託してTanzania開発に対する日本の協力のあり方、特にKilimanjaro地域の開発に対する協力の可能性について調査を行なった。

② 上記の調査団の報告に基いて、農業協力分野について将来我が国が農業技術協力を行なうとすれば、どのような分野で、どのようなかたちでの協力が可能であるかを探るべく、Tanzania農業技術の現状、及び開発計画の実態調査を行なうため東アフリカプロジェクトファイナディング調査団を昭和48年3月より13日間派遣した。その結果、Tanzania国Kilimanjaro地域は、自然条件、社会条件が恵まれており、農業条件開発の余地からも有望な対象地域である事が報告された。又、調査団訪問の際、Tanzania政府関係者は我が国からの協力を心から待ち望み、多くの期待を抱いている姿勢である旨が報告された。

③ 東アフリカプロジェクトファイナディング調査団の報告を受けて、昭和48年11月より35日間、農業協力の具体的基本構想を立案するために実施設計調査団を派遣した。本調査では、Kilimanjaro山麓地帯、既耕地及びLow land未開発地帯をつぶさに視察し、水利用状況、農作物事情、土壌改良問題、プロジェクト予定地域等につき調査、検討を加え、Tanzania政府関係者とプロジェクトの方針を協議した。

④ 翌年、Record of Discussionをとりまとめるため、実施計画調査団を派遣し、以下のような内容の合意をみた。

- イ) 協力方法を2段階として、第1段階はRecord of Discussionにより2年間の予備的協力の実施をする。その後本格的協力の実施を行なう
- ロ) 水文資料の収集、整理、地下水調査など農業開発に必要な水資源調査の実施
- ヘ) アルカリ土壌の改良と適作物の選定などの試験研究協力
- ニ) 土地利用、市場調査など農業基礎調査の実施

2・2 調査団の目的

1974年12月2日にとりまとめられたRecord of Discussionに盛り込まれた農業開発のための水資源調査がKilimanjaro州農業開発上最も重要であり、Kilimanjaro山、山

腕の Kahe-Miwaleni 地域を中心とする地下水開発が Kilimanjaro 州において最も可能性が高く、同州地下水開発上最優先となるべく結論を得たので、本実施設計調査においては Kahe-Miwaleni 地域を中心とする地域に、電気探査、揚水調査、現地踏査等を行ない、利用可能な水資源賦存量等を解析し、同地域の地下水開発の基本設計を作成することを目的とする。

2・3 調査団の日程

昭和51年1月22日～昭和51年3月5日（44日間）

月	日	事	項
1.	22 (木)	B A 911 便にて 9:15 東京発, 24:00 Dar es salaam 着	
	23 (金)	大使館表敬, 稲川書記官と調査日程, 調査方法等の打合せ	
	24 (土)	(午前) 水資源省表敬 (午後) 携行資機材引取のため, 大蔵省及び税関にて交渉, 16:00 EC にて Dar es Salaam 発, 17:00 Kilimanjaro 着	
	25 (日)	東郷, 早坂両専門家と調査日程, 調査方針等についての打合せ	
	26 (月)	(午前) Kilimanjaro Region, Regional Development Director, Mr. Semikiwa 表敬, 調査目的, 調査方法, 調査日程等を説明し協力方依頼及び意見交換, 出席者…… Mr. Semikiwa, Mr. Kigoda, 専門家(リーダーは公用にて不在), 調査団(団長は2月12日出発のため不在) (午後) Miwaleni 地区現地踏査	
	27 (火)	(午前) 東郷, 早坂両専門家と航空写真による調査, 意見交換 (午後) T.P.C. Ltd (Tanganyika planting company) にて資料収集, 及び視察 Kilimanjaro 州知事招待によるパーティー (出席者…… 専門家, 調査団員, 州政府関係者)	
	28 (水)	(午前) T.P.C. Ltd より収集した資料の整理及び専門家との意見交換 (午後) 航空写真, 資料等による分析 電気探査開始のための打合せ及び準備	
	29 (木)	(午前) 携行資機材の引取完了 (午後) 携行資機材点検, 調節	

- | | | |
|-----------|---|---|
| 1. 30 (金) | 電気探査開始 (Kahe-Miwaleni 地域) | |
| 31 (土) | (午前) 電気探査
(午後) 専門家と打合せ、明日から電探と現地踏査の2班に別れて行動
することに決定 | |
| 2. 1 (日) | 1. 電気探査
2. Rau River 流域, Kahe, Kifumbo 近くの Precambrian の地表踏査 | |
| 2 (月) | 1. 電気探査
2. 測線, 杭打ち | |
| 3 (火) | 一同上 | |
| 4 (水) | 一同上
測点, 杭打ちは予定の № 30 まで終了 | |
| 5 (木) | 1. 電気探査
2. Raw River 上流及び Njoro River の水質試験, 地表踏査 | |
| 6 (金) | 1. 電気探査
2. 測線のレベリング | |
| 7 (土) | 1. 電気探査
2. 揚水試験準備 | |
| 8 (日) | 1. 電気探査等整理, 解析作業
2. 揚水試験 (ステップ揚水) | |
| 9 (月) | 1. 電気探査
2. 揚水試験 | |
| 10 (火) | 一同上 | |
| 11 (水) | 1. 電気探査
2. 地質資料等解析 | |
| 12 (木) | 一同上 | ◦ BA911 にて団長東京発 → 22:50 Dar es Salaam 着 |
| 13 (金) | 1. 電気探査
2. 測点の測量
3. 資料整理 | ◦ 大使館表敬 |
| 14 (土) | | ◦ Dar es Salaam → Kilimanjaro (車にて行動) |
- 資料整理, 中間結果とりまとめ
団長に現況報告及び中間結果報告

- 明日からの日程及び調査方針の打合せ（調査団内）
2. 15（日） 専門家とのミーティング
1. 中間報告と今後の調査方針の決定
 2. 後半の日程打合せ
（出席者 管専門家リーダー，東郷，早坂専門家，調査団）
- 16（月）
1. 電気探査 （午前） 団長州政府表敬
 2. 測量
 3. 団長Miwaleni地区調査
- 17（火）
1. 電気探査
 2. Miwaleni地区，Moshi spring踏査
 3. 資料整理
- 18（水）
1. 電気探査
 2. Moshi地区，Rau川沿い，Kahe地区等現地踏査
- 19（木）
1. 電気探査
 2. Kilimanjaro 涵養区域の踏査
 3. 資料整理
- 20（金）
1. 電気探査
 2. Mkomazi地域地表踏査，及びBase Campの下見
- 21（土）
1. 電気探査（今日より1kmピッチに変更）
 2. Moshi西側地区踏査
 3. 資料整理
- 22（日）
1. 電気探査
 2. 資料整理
- 23（月）
1. 電気探査
 2. 資料解析
- 24（火）
1. 電気探査結果整理，解析
 2. 水文関係資料整理
 3. ボーリング技術指導
- 25（水）
- Mkomazi地域調査のため移動（2泊3日にて実施）
 - Mkomazi地域Kisiwani村電気探査
- 26（木） Mkomazi地域，Gonja及びKihurio村の電気探査及び地表踏査

2. 27 (金)	(午前) 調査結果の報告及び討議 (午後) Mkomazi 出発→Moshi 着 17:30
28 (土)	州政府報告内容とりまとめ
29 (日)	州政府報告内容を専門家と打合せ
3. 1 (月)	(午前) 州政府報告, 意見交換 出席者…… Regional Development Director Mr. Semikiwa Planning Officer, Mr. Kigoda 専門家, 調査団 (午後) 帰国準備
2 (火)	EC613 9:45 Kilimanjaro 発→10:40 Dar es Salaam 着
3 (水)	日本大使館表敬及び水資源省に調査結果報告
4 (木)	BA061 便, 12:45 Dar es Salaam 発
5 (金)	BA910 便 14:45 東京着

2・4 調査団の構成

氏 名	担当業務	所 属
磯 崎 義 正	団 長	農林省関東農政局計画部 地質官, 理博
外 村 昭 久	地 質 全 般	日本技術開発株式会社総合計画本部次長 技術士
光 永 忠 生	電 気 探 査	日本技術開発株式会社総合計画本部 主任技師
成 田 金 蔵	電 気 探 査	日本技術開発株式会社総合計画本部
田 村 文 雄	地 質 解 析	日本技術開発株式会社海外部 主任技師
石 井 正 克	業 務 調 整	国際協力事業団農業開発協力部

第3章 調査概要

3・1 調査地域

Kilimanjaro 州は Tanzania 国の北東端の州で、その位置はほぼ南緯 $3^{\circ} 30'$ 、東経 $37^{\circ} 30'$ にあり、Kenya との国境をひかえている。州の政府は Moshi にあり、Tanzania の首都 Dar es Salaam からは北へ約 600 km、交通は、鉄道、自動車路線の外、Kilimanjaro 国際空港を利用する事が出来る。

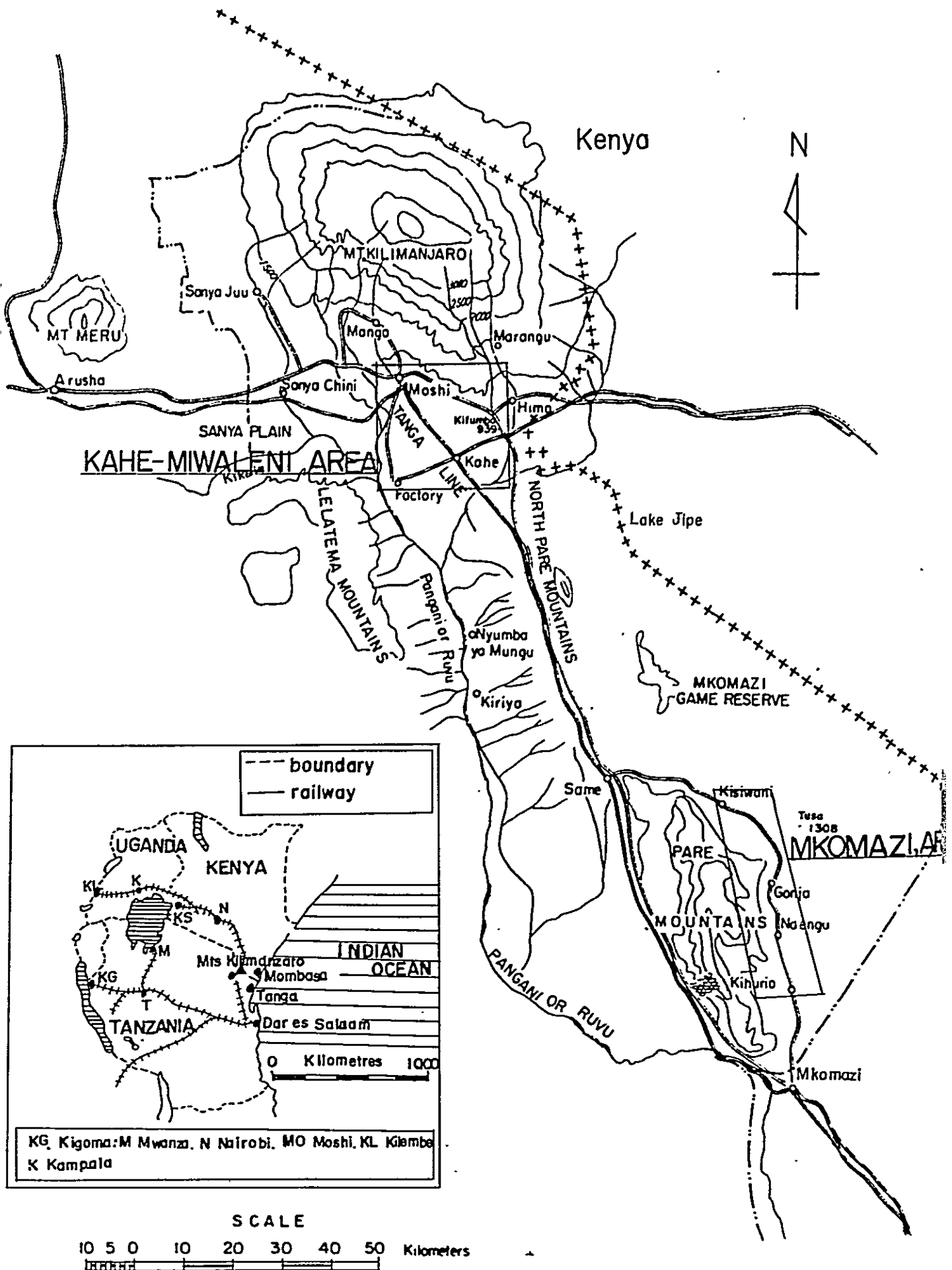
Kilimanjaro 州は、南北に長い州であり、地形上から次の 3 地域に大別される。北部は、Kilimanjaro 山とその山麓に広がる平原地域であり、南部は、North Pare Mts., South Pare Mts. を中心とする地域と Pangani 川流域の低地とである。北部の Kilimanjaro 山を中心とする地域は、自然条件の上でも比較的恵まれており、土地利用、人口密度も高く全ての面で南部とは開発の差が認められる。とくに北部地域のうちでも、Moshi を中心とする Kilimanjaro 山斜面では、農業を主とする土地利用度が高く、森林地帯まで開発が進んでいる。しかし Kilimanjaro 山の山麓平原は、T. P. C. (Tanganyika Planting Company) とその他若干の Estate 以外は土地利用が遅れており、Ujama 計画等による土地利用を高める努力がなされつつある。

今度の調査地域は、この開発のおくれている Kilimanjaro 山山麓平原の Kahe-Miwaleni を中心とする地域と、South Pare Mts. 東側の Mkomazi 川流域とを対象とし、位置は Fig. 3・1-1 に示してある。Kahe-Miwaleni 地域は、Moshi の南東、Kilimanjaro 山南麓に位置する標高 700 m 内外の平坦地で、このうちでも Moshi から約 20 km のところにある Miwaleni 地区を中心とし、Moshi 寄りの Msaranga, Mandaka 地区等も含めて Kahe-Miwaleni 地域全体を把握する目的で広範囲に調査をすすめた。従って、調査工程のうち、Kahe-Miwaleni 地域が全体の 80 % を占めている。

Mkomazi 地域は、South Pare Mts. の東側山麓の谷平原について、概査を行ったもので、主として、Kisiwani, Gonja, Kihurio の三ヶ所をその対象とした。

調査基地としては、Kahe-Miwaleni 地域は、Moshi から通う事が出来たが、Mkomazi 地域については、Same の東約 15 km にある Mkomazi Game Lodge を基地として現地調査をおこなった。

Fig.3.1-1 Location Map of the Project Area



3・2 調査内容

火山山麓や河谷平野などにおける地下水の賦存状態を把握するための水理地質学的調査としては、水文調査、地表地質調査、物理探査、ボーリング調査、揚水試験などが必要である。

これらをそれぞれ組合せて地下水調査をおこなうのが、より多くの情報を収集でき、その成果も期待できる。今回の調査は、気象水文調査、地表踏査、電気探査、揚水試験および井戸資料の収集によって、水理地質構造を把握した。

これら各調査の位置測点については Fig. 3・2-1, Fig. 3・2-2 に図示する。

調査の方法、数量、使用機械等に関しては次に述べるとおりである。

3・2・1 電気探査

電気探査は地質の露頭やボーリングの資料などと直接むすびつけて、調査地域の水理地質構造を解明する調査手段で電気探査法のうちでも比抵抗法が適用される。

比抵抗法は、大地における見掛けの比抵抗を測定し、その変化を調べ、露頭調査、ボーリング資料などと総合検討し地下の地質を推定するもので、ここでは垂直探査法により地下の比抵抗を計測解析した。

(1) 測点

電気探査の実施測点は二地域に大別され、その各地区の測点は次に示すとおりである。調査位置は Fig. 3・2-1, Fig. 3・2-2 に示した。測点合計は 71 点になる。

[Kahe-Miwaleni 地域]

◦ Miwaleni 地区

測点数	測点番号	探査深度	探査方法
34点	E-1~33 E-40	150~200m	Schlumberger法
15点	E-34~39 E-41~49	50~100m	4極 Wenner法

◦ Mandaka, Msaranga, Moshi 地区

測点数	測点番号	探査深度	探査方法
15点	E-50~64	50~100m	4極 Wenner法

[Mkomazi 地域] (Kisiwani, Gonja, Kihurio)

測点数	測点番号	探査深度	探査方法
7点	E-65~71	50~100m	4極 Wenner 法

(2) 使用計器

Africa 大陸の乾燥気候および現地の状況を配慮して、計器を準備した。

使用した計測器は次のとおりである。

名 称	型 式 性 能 等	数 量
交替直流式電気探査器 (応用地質)	Model ES-G1 600V 3A 可探深度 500m	1 組
大地比抵抗測定器 (横河電機)	Megger 型 3244 12V 可探深度 150m	1 台
電 極 棒	鉄製 $\phi 18\%$ $\ell 800\text{mm}$	10本
乾 電 池	BM-1 45V	50ヶ
蓄 電 池	12V 50AH	3ヶ
電 線	単線 $\phi 0.75\%$	5,000m
測 量 ロ ー プ	エスロン製	1,000m
トランシーバー		3 台
電気メガホン	警鳴装置付	1 台
トランシット		1 台
レ ベ ル		1 台
スタッフ及びポール		1 式
観 測 車	Jeep	1台/日

電気探査の測点間隔は Miwaleni 地区については、探査目的に応じて適宜変え。200m, 400m, 600m, 1,000m 等で行った。又、他地区については 500~1,000m 位の間隔で行った。Miwaleni 地区の探査のうち、探査深度 150~200m の測点については ES-G1 器を用いて Schlumberger 法で行い、Miwaleni 地区の残り、及び他地区の探査深度 50~100m の測点については Megger 型器で、四極 Wenner 法により行った。

なお、測定結果の解析については、前者は Schlumberger の二層標準曲線及び小野の補助曲線を用い、後者については Sundberg の標準曲線及び Hummer の補助曲線を用いて行った。

3・2・2 揚水試験

Kahe-Miwaleni地域の揚水条件、帯水層定数等を求める目的でMiwaleniにある井戸を利用して揚水試験を実施した。

Miwaleniには、約1000m間隔で3本の井戸があるが、そのうちの、最も西側にある№1井戸を利用して揚水試験を実施した。

試験を実施した井戸の諸元及、主な使用器材は次のとおりです。

井戸口径：250mmケーシングパイプ

ポンプ型式：水中ポンプ

ポンプ諸元：口径157mm, 27HP

ポンプ深度：35m

井戸深度：67m

水位計：テスター式 2台

試験の方法として、段階試験は、揚水量を次第に多くするDraw downと、揚水量を下げるDraw up とに分け、水中ポンプから揚水した水は、農場そなえつけの三角ノッチにより、揚水量をチェックし、揚水量と水位を測定し、1段階の揚水量による水位測定は原則として1時間として2日間にわたって実施した。

また定量試験は、一定揚水量による水位降下と時間についてを計測した。

3・2・3 水質調査

Kahe-Miwaleni地域の表流水、地下水、湧水等に関して、利用に当たっての水質検討、或は、水理地質解析の資料として、各水露頭における水質調査を実施した。調査は、Kahe-Miwaleni地域内のほか、その周辺、Kilimanjaro山南斜面を含む範囲について合計16地点で調べた。この調査地点はFig. 3・2-1の調査位置図のA～Pの地点である。

測定項目と使用機器は次に示す。

温度：電気伝導度：EST-3型電気水質計（東邦電探製）

PH：水素イオン濃度試験紙（東洋濾紙製）

塩分：FHK塩分測定器（富士平工業株式会社）

3・2・4 資料収集

地形・地質、気象、水文、地下水利用など、水理地質に関連する資料について現地政府或は、T.P.C.(Tanganyika Planting Company)等から資料収集をおこなった。

主な資料は次のようなものである

1. 気象、雨量、河川流量

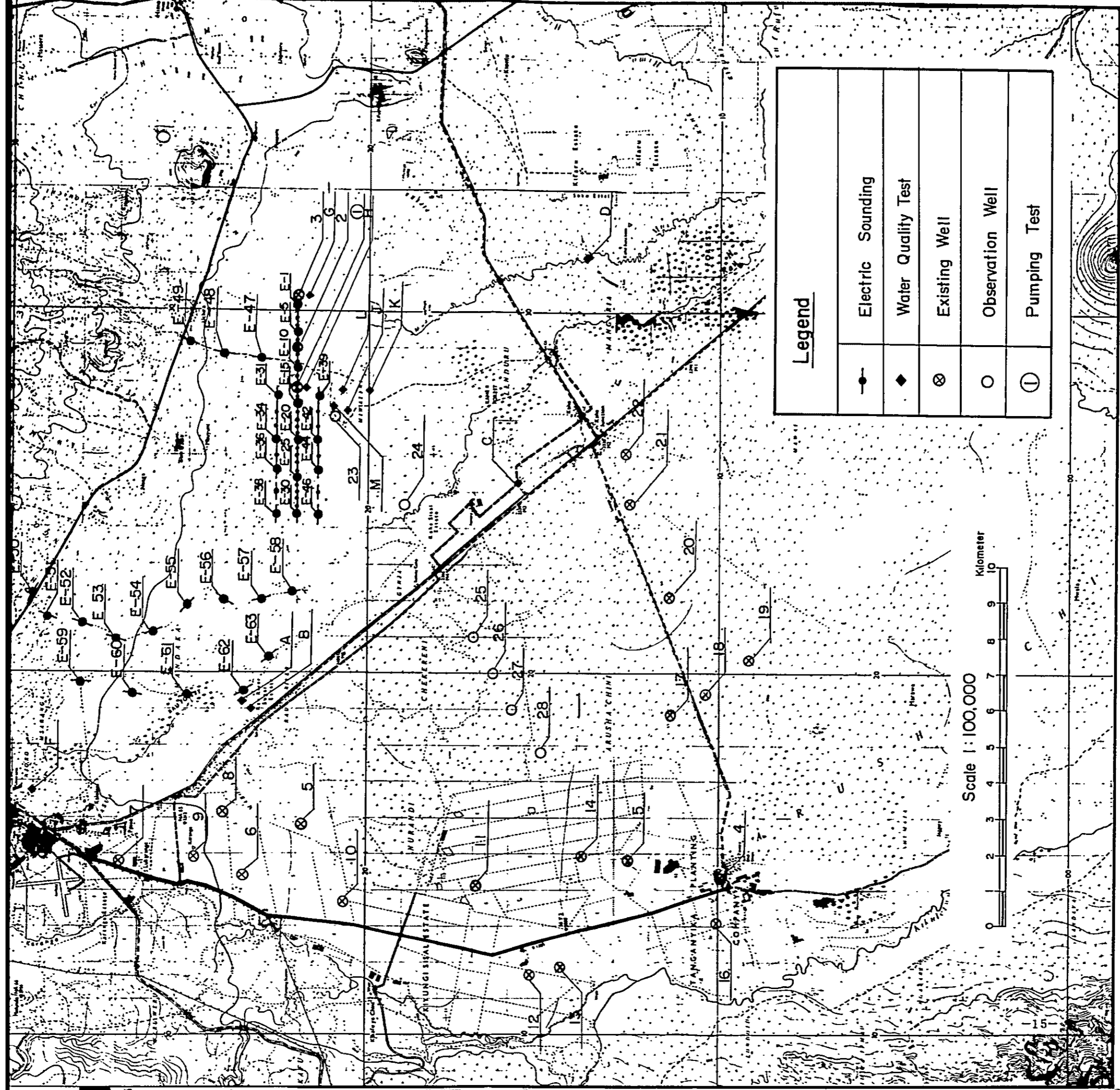
2. 地質柱状図, 深井戸揚水条件, 水質
3. 地下水利用量
4. 地質及地下水調査報告書 (F A O レポート等)
5. 地質図幅及説明書

3・2・5 地表地質調査

Kahe-Miwaleni 地域, Mkomazi 地域ともに水理地質解析に必要な, 周辺の地形, 地質, 水露头の状況等を観察するために現地踏査を実施した。

とくに Kahe-Miwaleni 地域は当該地区ばかりでなく, 地下水の涵養区域と考えられる Kilimanjaro 山南斜面について, Forest Zone の一部も含め調査をおこなった。従ってその区域としては, 北は Kilimanjaro 山南斜面の Kiwoso, Old Moshi, Lindima, Kirua, 南は Arusha Chini, Kahe, 西は Kikafu Ya Chini, 東は Kifumbo などを含む面積約 900 Km² について, 露头観察, 現地踏査をおこなった。

Mkomazi 地域については, Same から South Pare Mts. の東山麓を道路沿いに Kisiwani, Gonja, Kihurio 等にわたる延長約 80 Km の現地概査をおこなった。

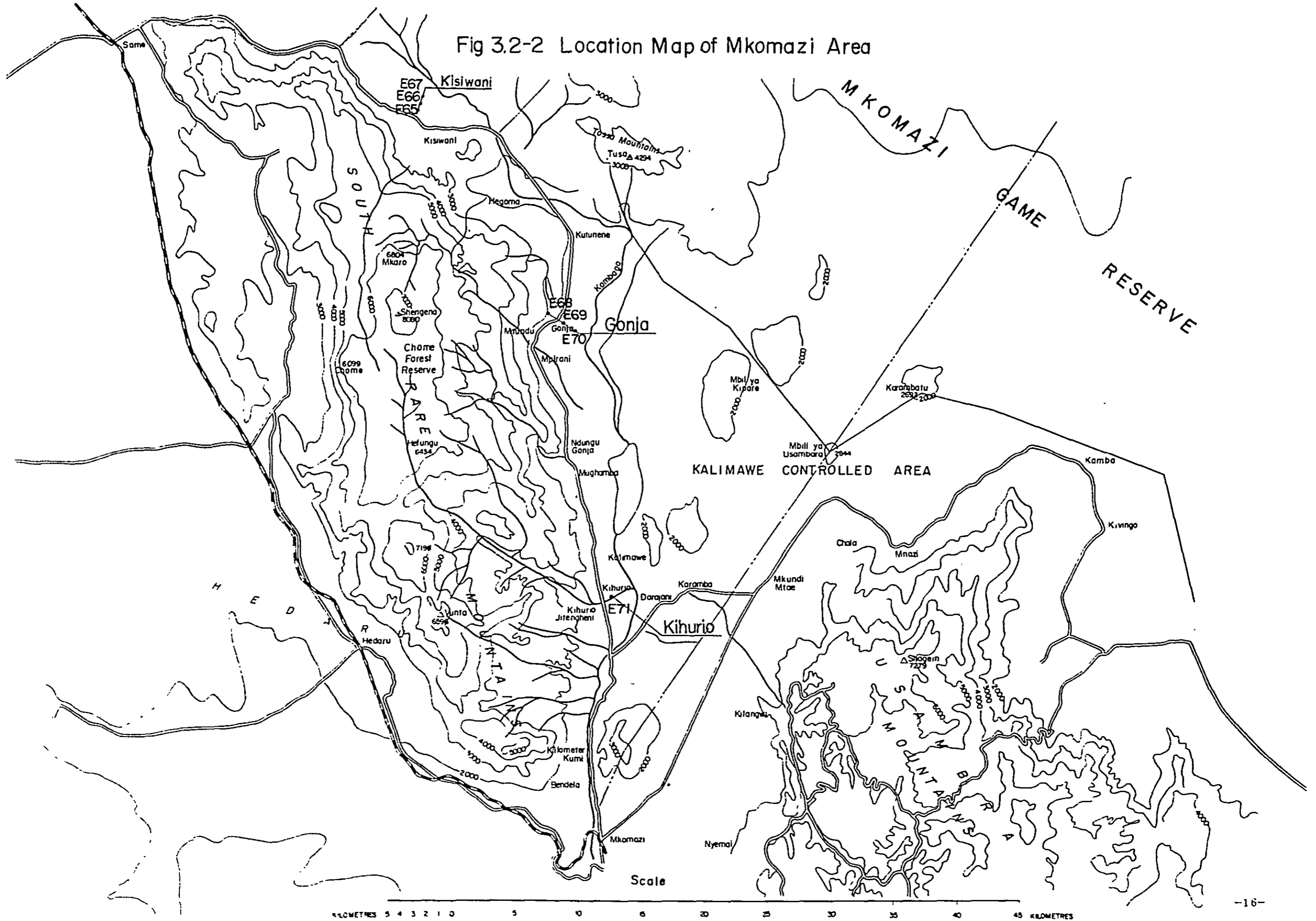


Legend

—●—	Electric Sounding
◆	Water Quality Test
⊗	Existing Well
○	Observation Well
Ⓛ	Pumping Test

Scale 1:100,000
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 Kilometer

Fig 3.2-2 Location Map of Mkomazi Area



第4章 調査結果

4・1 Kahe—Miwaleni 地域

4・1・1 地形・地質

Kahe-Miwaleni 地域は、Africa 大陸の最高峰 Kilimanjaro 山（標高 5,895 m）の南山麓にある広大な裾野平原で、西は Lelatema Mts.（標高 1,600 m）、東は North Pare Mts.（標高 2,000 m）の山々に囲まれ、南は Pangani 川の流域平原に広がっている。

Kilimanjaro 山はその中心に最高峰 Kibo（標高 5,895 m）をもち、西の Shira（標高 4,005 m）と東の Mawenzi（標高 5,148 m）の三峰からなる成層火山である。山の南麓は山頂から 30～50 km で平坦な裾野平原になるが、その接点は丁度 Moshi と Himo を結ぶ道路であり、道路より北側は Kilimanjaro 山の山腹斜面であるが南側は標高 700～750 m の平坦な平原で Kahe-Miwaleni 地域はこの平原に相当している。

Kilimanjaro 山の西には、同じような火山である Meru 山（標高 4,300 m）、Monduli 山（標高 2,660 m）があり、更に西方には Africa 大陸を南北に縦断する Rift Vally がある。これら火山群は、ほぼ東西方向に並んでおり、火山活動も Rift Vally の造構造運動に関連して、構造上の弱線に沿っていると云われている。

また、この地域の地形もとくに地質構造に支配されて、その特徴を明瞭にあらわしている。平原の東にある North Pare Mts. と西の Lelatema Mts. とは、いずれも断層崖で接し、Kahe-Miwaleni の平坦面は地溝帯を形成している。岩質の違いによる地形の変化は Kilimanjaro 山の南斜面にみられ、山頂から放射状にのびる溪谷は、Lava の風化程度、火山噴出時代の差、岩質の相異等から崩壊地形の発達した開析の進んだ谷（Old Moshi 付近の谷）と Moshi の北側にみられる硬質岩の分布する比較的浸食の小さい谷地形などがみられる。

Kahe-Miwaleni 地域の水系は殆んどが Kilimanjaro 山に源を発し、放射状に山腹斜面を開析しているが、大別して、東から Mua 川、Rau 川、Kikuletwa 川の三水系に大別される。この三水系は、それぞれ多くの支流を集めて南流し、平原南部で Pangani 川に合流する。また Kilimanjaro 山ろくには、火山山ろく特有の湧水（Spring）がみられる。代表的なものとしては、Moshi 近郊の湧水（Njoro Springs その他）、Lake Chala、Kenya にある Spring 群のほかに Miwaleni の大きな湧水（Springs）も流域、構造から判断して火山に関連した湧水（Spring）である。

Kilimanjaro 山は、赤道近くでありながら標高が高く、頂上付近には万年雪があり、氷河地形を示す終堆石（Terminal Moraines）が標高 3,000 m 付近にまで認められている。

山腹斜面は、地形、気象、標高等から次のように大別されている。

- | | | |
|-------------|----------------------|-----------------------------|
| (a) 氷河及高山荒地 | : 標高 4,000 m以上 | 万年雪、高山性斜面 |
| (b) 草地 | : 標高 3,000 ~ 4,000 m | 高山性草原 |
| (c) 森林地帯 | : 標高 2,000 ~ 3,000 m | 雨量の多い密林 |
| (d) 耕作地帯 | : 標高 1,200 ~ 2,000 m | 温帯~亜熱帯の植物、野さい等の
耕地、人口密度大 |
| (e) 半乾燥地帯 | : 標高 750 ~ 1,200 m | Steppe地帯 |

この地形区分からみると、Kahe-Miwaleni 地域は(e) Steppeに分類される。現在の土地利用は気象的に恵まれた(d)地域が最も開発されており、バナナ、コーヒー、野さい類の供給源である。(c)地域は大規模なさとうきびの Plantation、その他若干の Estateがあるが、耕地としての開発はこれからである。Kahe の南 30 Kmの Nyumba Ya Munguには Pangani 川をせきとめたダムがあり湛水地域はダムの北側に大きく広がっており Kahe-Miwaleni 地域の南部 Pangani 川流域はこの湛水区域に含まれ開発も制限される。

地質は大別して、Kilimanjaro山を構成する火山岩類 (Volcanic Rocks)、並びにプレカンブリア紀の片麻岩類 (Precambrian Gneiss) に分けられる。

これら地質層序の概要は Table 4・1-1 に、また地質図は Fig. 4・1-1 に示す。

[プレカンブリア紀岩類 (Precambrian Rocks)]

調査地域の基盤をなしている最も古い地層はプレカンブリア紀 (Precambrian) の片麻岩 (gneiss) と白粒岩 (granulite) で、分布地域は東の Kifumbo の丘に見られるほか、南東の North Pare Mts.、西の Lelatema Mts.、南側は Pangani 川沿い Nyumba Ya Mungu 付近に分布している。調査地付近での基盤の構造は Nyumba Ya Mungu 付近から基盤が次第に地下に埋没し北に傾斜して Kahe-Miwaleni 地域では地下深くに分布するものと想定される。Kahe-Miwaleni 地域は、このように東西側を Precambrian の山地と断層で接し、南には Precambrian の地層が浅く分布する一つの盆地をなしている。

この Precambrian の地層を構成しているのは Kilimanjaro 地質図幅によるとザクロ石-石英-長石白粒岩 (Garnet-quartz-feldspar granulite)、珪石 (Quartzite)、ザクロ石-珪線石-白粒岩 (Garnet-Sillimanite granulite)、角閃石片麻岩 (Hornblende gneiss)、角閃石白粒岩 (Hornblende granulite)、黒雲母片麻岩 (Biotite gneiss)、及び結晶質石灰岩 (Crystalline limestone) 等である。

[Kilimanjaro 火山岩類 (Volcanic rocks)]

Kilimanjaro 火山の活動は中新世 (Miocene) に始っている事が同位元素の測定から認

められており、更新世 (Pleistocene) から現世 (Recent) まで継続されている。現在ではわずかに局所的に噴気孔を残しているにすぎない。

活動初期の地史は、新しい火山堆積物に被覆されて明らかでないが、火山活動の中心は、Shira, Kibo, Mawenzi の三つの峰を主体としている。そして、これらの主峰とは別に小さい寄生火山群が西北西-東南東 (WNW-ESE) の方向に並んでいる。

主峰のうち最も古いのは Shira で西端に位置し殆んど Kibo group の火山岩類 (Volcanic rocks) により被覆されているが、主体は溶岩 (Lava) で火砕岩類 (Pyroclastics) も伴う。

Mawenzi は Shira に次ぐ活動により主として南側~東側に溶岩 (Lava) を流しており、岩質も玄武岩質岩 (Basaltic rock) を主体としている。また凝灰角レキ岩 (Tuff Breccia), 集塊岩 (Agglomerate) 等の記載もある。

最高峰の Kibo は最も新しいもので、主として南と北に Lava を流している。活動は更新世 (Pleistocene) から、現世にまたがっている。Kibo の溶岩 (Lava) は、長石 (feldspar) の斑晶 (Phenocryst) の発達した斑岩類 (Porphyry group) に属し比較的浸食抵抗が強く、ち密な岩相を示している。Moshi の市街地は、この Kibo の Lava の分布地域に位置しており、Lava の割れ目を通して来た水は、湧水として Njoro Spring, Prison 内の Spring の外に Nsere Spring, Shiri Spring などの湧水 (Spring) となって地表に湧出している。

Moshi の南西 Kahe-Miwaleni 地域の西側北部には Kibo の Lahar が分布している。これは大きさ 1~10 cm 前後の斑岩 (Porphyry) 礫によって形成されている。Lahar は大規模な (Debris Flow) によりできたもので、Kibo の主峰発達にともなって形成されたものと考えられている。

寄生火山は Kilimanjaro 火山活動に伴い、300 近い数が知られているが大きさは直径 100 m 内外、高さも 100 m 程度の小規模なものが多い。寄生火山を形成しているのは、主としてスコリア (Scoria) と火山灰 (Ash) で溶岩流 (Lava flow) は少ない。活動は主峰列とは交差する NWN~SES に並ぶ線上に最も多く認められる。

また、地質分類上寄生火山に含まれているもので、Moshi-Himo 道路の北側 Old Moshi を中心とする地域、Marangu から北及北東、そして Moshi の西北 Masama, Kyuu などを中心とする地域には厚い火山性粘土 (残積土) に覆われて、風化の著しい溶岩 (Lava), 集塊岩 (Agglomerate), スコリア (Scoria) などからなる岩層の分布する地域があり地形的にも浸食が進んでおり、崩かい地形も認められる。これらの火山岩類は、Moshi の北では Kibo

の溶岩に、また Himo の北では Mawenzi の溶岩によって被覆されている模様であるが露頭からは確認されていない。しかし、溶岩の風化の程度、浸食の状況などから推察して、かなり古い火山岩類と判断される。

〔新期堆積物 (Superficial deposits)〕

調査地域のうちでも Kahe-Miwaleni 地域の平原は、Mua 川、Rau 川、Kikuletwa 川の各河川流域に広がる沖積堆積物 (Alluvial deposits) が分布し、これらは、洗い出し堆積物 (Wash out deposits)、粘土、砂、礫 (Clay, Sand, Gravel)、および石灰質粘土 (Limy clay) 等の堆積物から構成されている。

洗い出し堆積物 (Wash out deposits) は、火山岩類 (Volcanic rocks) の分布地域と粘土、砂、礫、石灰質堆積物 (Clay, Sand, Limy deposits) 等の沖積堆積物 (Alluvial deposits) の漸移地域に石灰質堆積物等を被覆して分布する褐色のローム質粘土 (Loam clay) で、中には火山岩類の小さい礫 (1~5mm) を含んでいる。厚さは地表露頭の観察からは 5~10m 程度と考えられる。

洗い出し堆積物の下位には、主として Miwaleni から南、Kahe を中心に石灰質粘土を含む粘土、砂、礫からなる固結度の低い地層が広く分布している。この地層の特徴は灰白色の石灰質粘土を層状に含み、かつ、円礫を伴っている事である。円礫は直径 1~3cm 程度或はそれ以下の扁平な円礫が多く、殆んどが玄武岩 (Basalt) 或は斑岩 (Porphyllite) 等、Kilimanjaro 火山起源と想定される火山岩から構成されている。石灰質粘土は灰白色を呈し、貝化石も含まれており、湖底堆積物と想定され、この地域の堆積環境を示すものと考えられる。この層を含む沖積堆積物は、地表地質調査の結果から、Miwaleni Spring のほか、Rau 川下流、Kahe Mua 川下流等広範囲に観察され、さらに T・P・C (Arusha Chini) のさく井資料などにも記載があり、Kahe-Miwaleni 地域の地下に厚くかつ広範囲に分布していると想定される。この粘土、砂、礫は、露頭観察などから判断して、分級作用がよくない堆積環境にあったと予想され、礫層にも、粘土、砂が含まれ、水平方向への連続性はよくない。

また、これら堆積物の中には溶岩、その他の火山岩類を夾在することが知られており Kahe-Miwaleni 堆積盆地 (Sedimental Basin) を構成する地層は複雑な分布を示している。層厚は既存の井戸資料から判断すると少くも 150m 以上あるものと想定される。

この外、沖積堆積物としては、火山斜面を開析する谷地形の末端平原との接点に直径 10cm 程度の円礫を主体とする扇状地状堆積物が認められるが、岩質は全く火山岩類であり、谷に沿うごく狭い範囲の分布にすぎないと判断される。

〔土壤 (Soil)〕

調査地は、赤道に近く、高温、寡雨の気候条件下にあり、風化作用の激しい地域であり、表層の土壤は、母岩の地質を反映して特徴ある分布を示している。

Moshi-Himo 道路から北側の Kilimanjaro 山の南斜面は、溶岩の風化した褐色～暗褐色の火山灰質土壤より成り、表土の厚い部分が多く、耕地としての利用度も大きい。道路から南側の洗い出し堆積物の分布地は、斜面同様褐色の小礫まじりの粘土が風化分解した土壤となっている。

一方 Miwaleni 付近から南部の平原は石灰質堆積物の分布する地域であるため土壤も淡灰色～灰色を示し、全体として表層土壤もうすく、とくに鉄道 Kahe-Taveta 線より南側は植生にもその特徴を示している。

プレカンブリア紀の地層の分布する東部では、片麻岩が風化分解 (Laterite 化) した赤褐色砂質粘土が広く分布しているが、丘陵地では表土もうすく大きな樹木もあまり認められない。

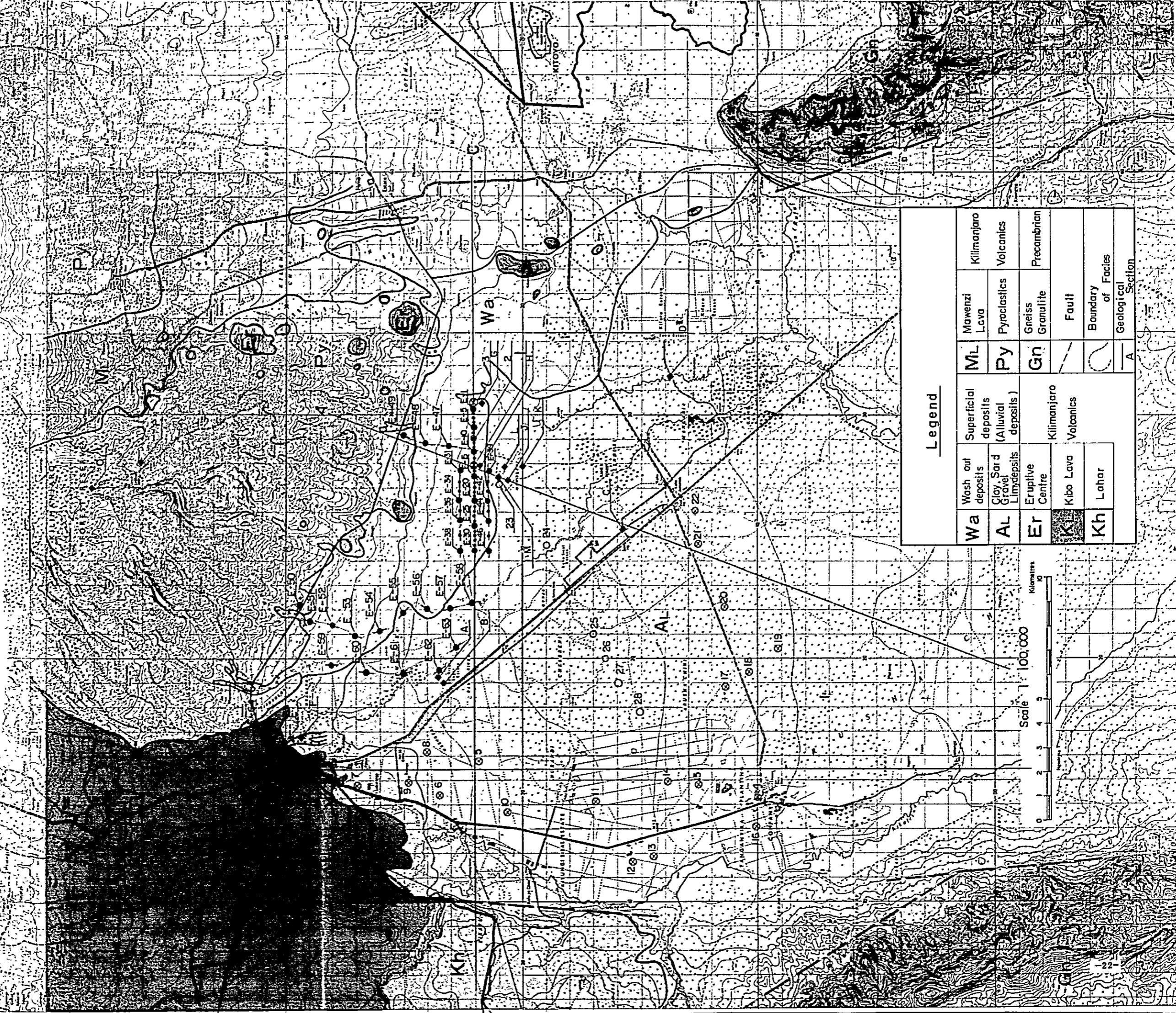
〔構造 (Structure)〕

この地域の地質構造を支配しているのは、南北性の Rift Valley 方向の構造である。Pare Mts. の西側と Lelatema Mts. の東側はいずれも断層で平原と接して Kahe-Miwaleni 堆積盆地を含む Pangani Trough を形成している。

Kilimanjaro 火山は、東西に方向性をもって西に延び Meru 火山等の火山はこの東西系の構造線上にある。更にこの東西系の構造線は西では Gregory Rift Valley と交叉するもので、この東西系の構造線は Rift Valley を形成した造構造運動に関連したものと考えられている。

調査地域の基盤と考えられるプレカンブリア紀の地層は東西を断層で切られ、北は火山体の地下深く、埋没しており南は次第に浅く、Pangani 川 Nunba Ya Mungu で地表に露出する。従って、Kahe-Miwaleni 地域は、地溝性の盆地構造 (Basin Structure) をなしていると判断される。

Fig. 4-1-1(I) Geological Map of Kahe-Miwaleni Area



Legend					
Wa	Wash out deposits	Superficial deposits	Ml	Mawenzi Lava	Kilimanjaro
AL	Clay, Sand, Gravel, Limestones	(Alluvial deposits)	Py	Pyroclastics	Volcanics
Er	Eruptive Centre	Kilimanjaro Volcanics	Gn	Gneiss, Granulite	Precambrian
K	Kibo Lava			Fault	
Kh	Lahar			Boundary of Facies	
			A	Geological Section	

Fig 4-1-1(2) Geological Section of Kahe-Miwalani Area

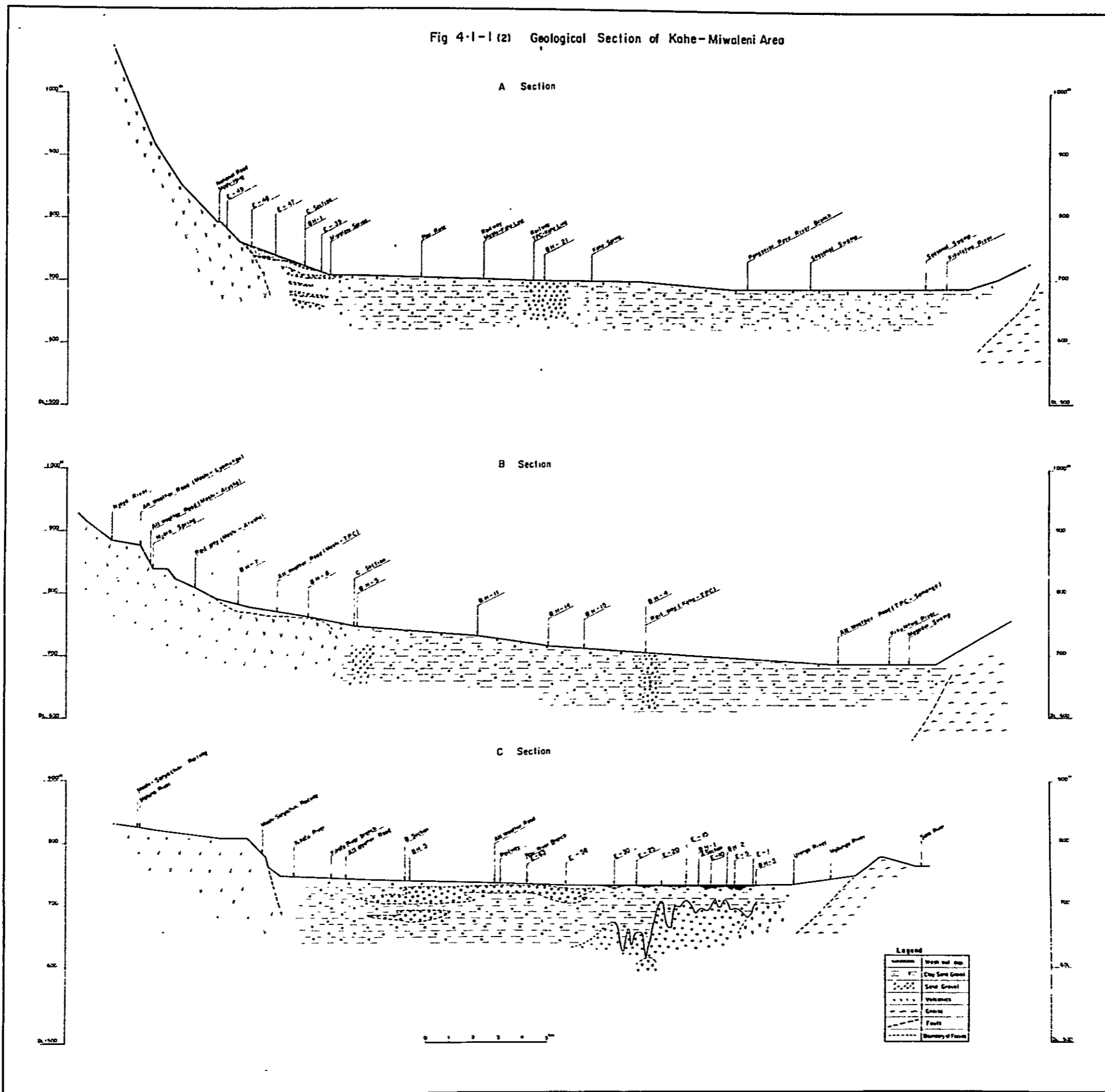


Table 4-1-1 Geological Formation

Era	Formation	Facies
Neogene	Superficial deposits (Alluvial deposits)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Wash out deposits (Loamy clay) ◦ Alternation of clay, sand, gravel & Limy deposits. ◦ Sand and Gravel ◦ Alluvial Fan deposits
	Volcanics (Kilimanjaro group)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Parastics (Scoria and Ash) ◦ Kibo (Lahar Porphyry) ◦ Mawenzi Trachybasaltic Lava, Agglomerate ◦ Shira Trachybasalt Agglomerate
Precambrian	Usagaran of Mozambiquian Orogenic Belt	Gneiss Granulite

4・1・2 水文・気象

(1) 水系

Kahe-Miwalni 地域の水系は、Kilimanjaro山に源を發し、放射状に谷を開析する、大別して東からMua川、Rau川及びKikuletwa川の三水系に分類される。これら水系は、それぞれ多くの支流を集めて南下し、平原南部にて合流し、Pangani川となり南流しインド洋へと流れる。

Mua川は平原の東部に位置し、Kilimanjaro山のうちでも、南東部のMawenzi南斜面に源を發している。乾季には、国道沿いのMua川水系には、表流水はほとんど認められず、下流の鉄道橋(Kahe-Taveta Line)附近の表流水は、殆んどMiwaleni Springsに水源をも

つものと考えられる。

Rau川は Kilimanjaro山の南斜面に源を発し、南下し、Moshiの東端を通り、ほゞ平原の中央を南流する。水系のうち、Rau川本流のみ乾季でも表流水が認められ、Moshiの東部に水源 (Springs) をもつ Njoro川と Moshi 南部で合流し、鉄道 (Tanga Line) に沿って流下し、流域には 5 kmにわたる Rau Forest を伴っている。

しかし、この表流水は平原における貴重なかんがい用水として利用され、Kaheの南側では表流水は全く認められない。

Rau川は Mua川と共に、Kaheの南 28 kmの地点で Pangani (Ruvu)川に合流し、Pangani川は鉄道 (Tanga Line) を横断して南流している。

Kikuletwa川は、その本流は Meru山の南斜面に源を発するが、途中、Kilimanjaro山の南西斜面に源を発する支流を合流させながら、Moshiの南約 40 kmの所で Pangani (Ruvu)川と合流し、Pangani川は Nyumba ya Munguの Damを経て Tanga港の南でインド洋にそそいでいる。

Kikulitwa川水系のうち Kilimanjaro山に水源を有する水系は Kibo, Shiraの南斜面に源をもつ Karanga川、Weruweru川および Kikafu川の三水系と、Shiraの南西～西斜面に源をもつ Kware川、Sanya川がある。この二水系のうち Kahe-Miwaleni地域に関係があると考えられるのは、前者の Kibo, Shira南斜面からの水系で乾季にも表流水があり、いずれも Moshi南部から Kikafu Ya Chini 付近にかけて平原に入って合流し、平原の西端を南流して Kikafu Ya Chiniの南 8 kmで Kikuletwa川に合流している。一方 Shiraの南西～西斜面からの二河川は平原に入る前 Nguluの南で Meruから流下する Kikuletwa川本流に合流している。

(2) 湧水

Kilimanjaro山の周辺には多くの Spring が分布している。

調査地域である Kilimanjaro山南山ろくには、とくに Miwaleni Springs で代表される大規模な Spring のほかに Moshi 近郊には直接溶岩の間から湧水する Njoro Spring 或は Prison内の Spring などが観察される。

そのほか Kilimanjaro山南東山ろく、北側山ろくにも多くの Spring があり、とくに Kenyaの Kitovu, Taveta, Ziwani, Loitokitok に大きな Spring が記載されている。また Lake Chalaの水源も Kilimajaro山とされている。

これらの Spring はいずれも Kilimanjaro山の天水が、火山碎屑物の中に浸透し、一部は溶岩の割れ目を通して直接地表に湧出、また一部は溶岩から沖積の堆積層を通して湧出して

いる。

(3) 降 水

Kilimanjaro州の季節は3～5月の大雨期, 11～12月の小雨期, 7～9月の乾期に大別される。

大雨期には年降水量の60%以上が降り, 乾期にはほとんど降雨がない。しかし, 乾期においても標高が高い所では多少の降雨がある。

Kahe-Miwaleni地域附近の雨量観測は, MoshiのMeteorological Station, Lyamunguの農業研究所及びMiwaleni分場等をはじめ, 学校, エステート等において行われており, それらのうち資料の比較的そろっているもので調査地域に近いものを選んでその年降水量を示せばTable 4・1-2の通りである。

Table 4・1-2 年降水量一覧表

場 所	標 高	年 降 水 量
Lyamungu	1,250 m	1,560 "
Miwaleni 分 場	725 "	630 "
Moshi Met. Station	870 "	880 "
Kilema Mission	1,113 "	1,940 "
Old Moshi School	1,067 "	960 "
Kiyungi Sisal Estate	747 "	680 "
Kahe Estate	710 "	530 "
Arusha Chini Estate	716 "	550 "
Himo Sisal Estate	792 "	720 "
Kibosho Mission	1,370 "	1,900 "

各観測所の位置は, Fig. 4・1-2の通りであり, 観測所における月別降水量は, Fig. 4・1-3～4・1-5の通りである。

また1974年2月の実施計画調査団報告書によれば, 標高別の降水量はTable 4・1-3の通りである。

Table 4・1-3 標高別年降水量表

標 高	年 降 水 量
5,000 ft = 1,524 m	1,950 mm
4,600 = 1,402	1,980
4,500 = 1,372	1,830
4,300 = 1,310	1,600
4,200 = 1,280	1,800
4,000 = 1,219	1,300
3,300 = 1,006	1,350
2,900 = 884	850
2,500 = 762	650
2,300 = 701	430

これらの図表からわかる様に、降水量は高標高部に集中し、山麓から平原部にかけて急減する。

(4) 気 温

調査地域は、南半球に属するので、気温の低くなるのは、6～8月で、高いのは1～3月である。気温の年較差は小さくむしろ日較差の方が大きい。調査地域附近における気温データのある所は、Lyamungu 農業研究所とMiwaleni分場、Moshi Met. Station及びKahe Estateである。月別平均気温を図示すればFig.4・1-3及び4・1-4の通りである。

(5) 蒸発量及蒸散量

蒸発計蒸発量の観測は、Lyamungu 農業研究所とMiwaleni 分場とにおいて行われており、年平均蒸発量は

Lyamungu 860 mm

Miwaleni 2,390 mm

である。観測はClass A Pan (φ4 ft)により行われている。

また、月別の蒸発量を示せばFig. 4・1-3の通りで、10月から3月にかけての気温の高い時期に多く、4～9月の低い時期には少ない。

蒸散量の直接観測値はないが、Class A Pan の蒸発量より算出する事ができる。標高の高い森林地帯及び国道より北の区域は、バナナ、コーヒー、等の栽培を行っているので、植生

の状態は良いと考えられる。国道から南の平原は、年降水量も500～600mmと少なく気温も高いので、植生も粗でトゲのある植物が多く、畑としても天水を利用して雨期にトウモロコシ、豆類等を栽培しているにすぎない。従って蒸散量と蒸発計蒸発量との比 (E/E_p) は、

国道以北の森林地帯を含めて $E/E_p = 0.7$ (年平均)

平原 " = 0.6 (")

程度と考えられる。

(6) 流 出

Kahe-Miwaleni地域に流入する河川は、Rau川及びMua川本流以外はほとんど季節河川で乾期には表流水はない。

Rau川にしても、Kilimanjaro山からの(森林地帯を含めて)表流水があるが、Moshi東部のNjoro Springsの湧水を集めている。

またMua川の水のほとんどは、Miwaleni Springsの湧水である。

本地区の年平均流出率は、IDC3A地点(Kahe Forest, Rau川)において降水量と流出量とを比較して試算すると約12%程度である。従って森林地帯は保水力もあると考えられるので、10%程度、国道以北の中間地帯では15%程度の年平均流出率と考えられる。

Kahe-Miwaleni地域附近の河川流量観測所の位置を図示するとFig. 4・1-2の通りであり、月別平均流量はTable 4・1-4に示される。

(7) Miwaleni Springs の湧水量

Miwaleni Springs の湧水量を1966～1970年の5年間の平均を示せば下図(Fig. 4・1-6)の通りである。またMiwaleni Springsの基底流量については、Report「Kahe Irrigation Scheme, Miwaleni Springs Discharge Analysis」(by T. H. Mather, 1964年11月)及び現地専門家の収集資料によれば、年による変化が多少みられるが、1958～70年間の観測データでは年平均 $3.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、年変化をみても $3.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ を切る事はない。

Fig 4.1-2 LOCATION MAP of RAINGAUGE & DISCHARGE MEASUREMENT STATION

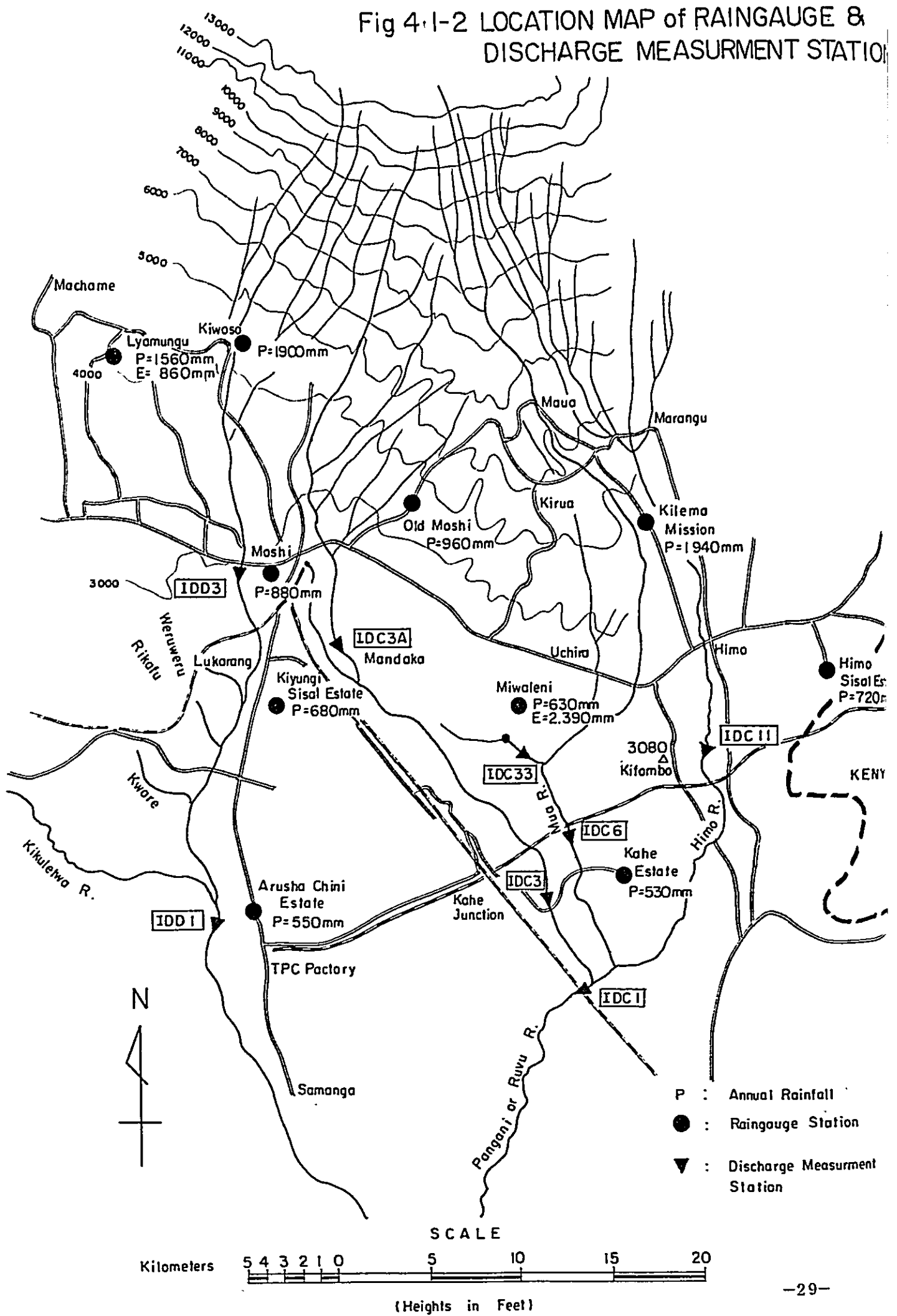


Fig. 4.1-3 Meteorological Data (1)

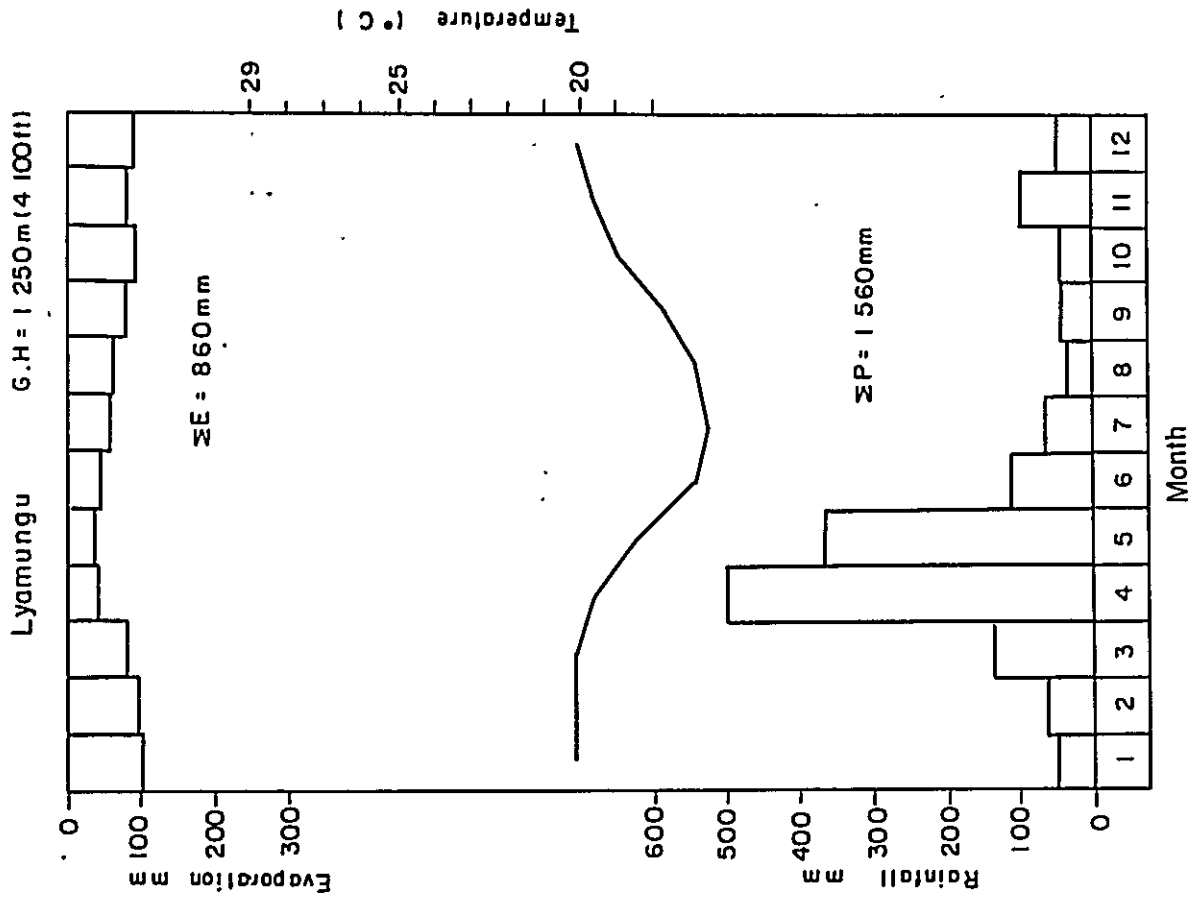
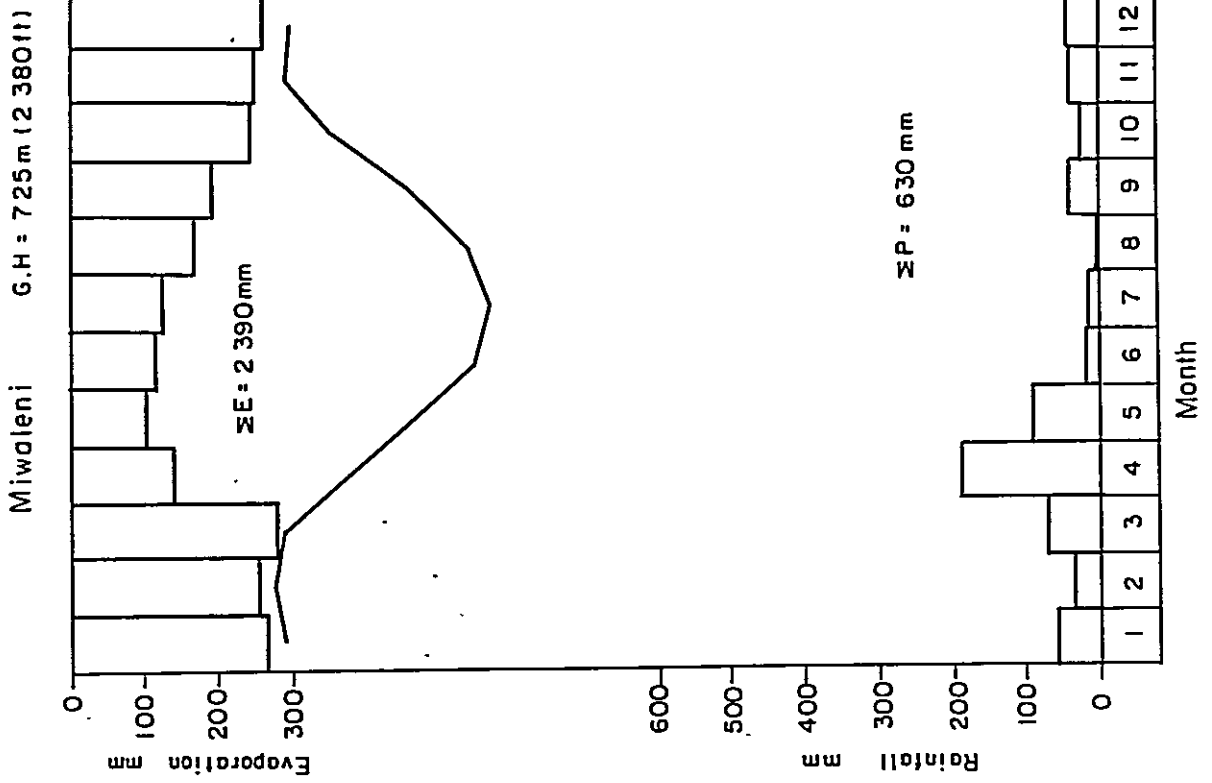
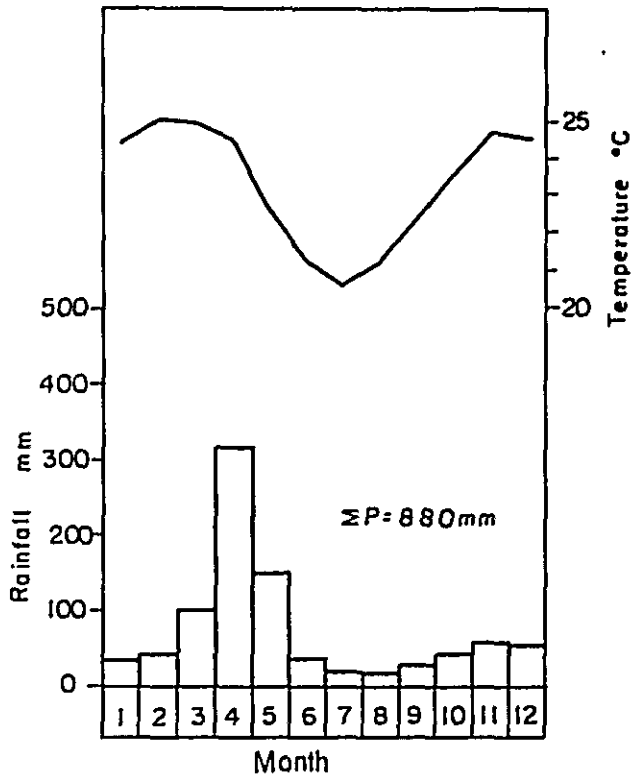


Fig. 4-1-4 Meteorological Data (2)

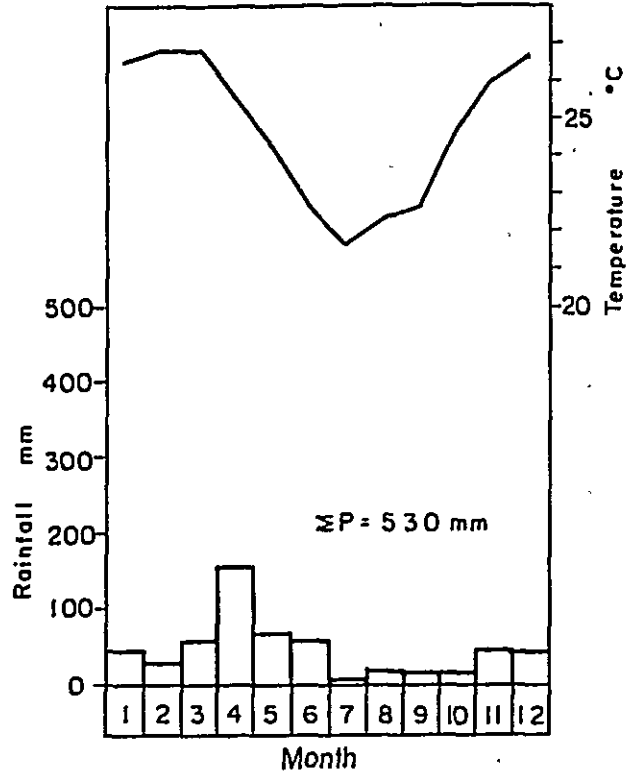
Moshi (Met. Station)

G.H = 870m (2850ft)



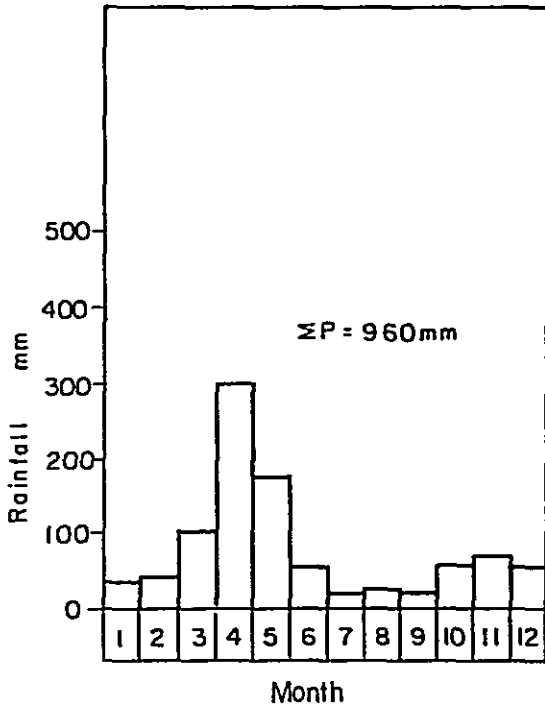
Kahe

G.H = 710m (2330 ft)



Old Moshi (School)

G.H = 1067m (3500ft)



Kilema (Mission)

G.H = 1113m (3650ft)

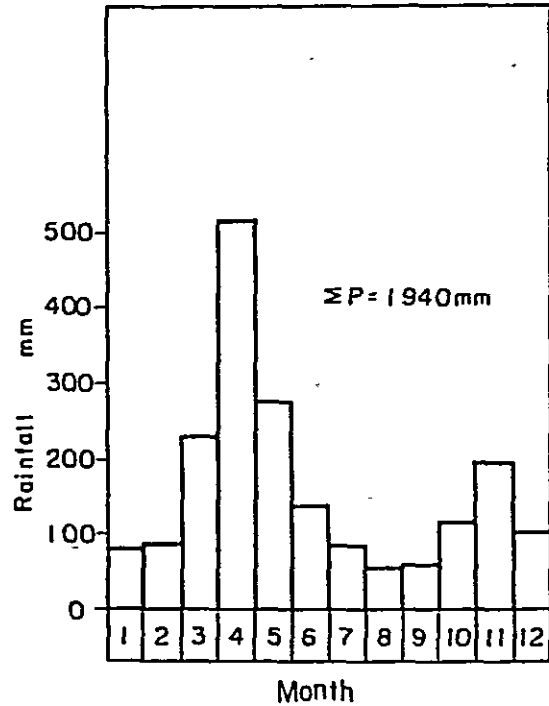
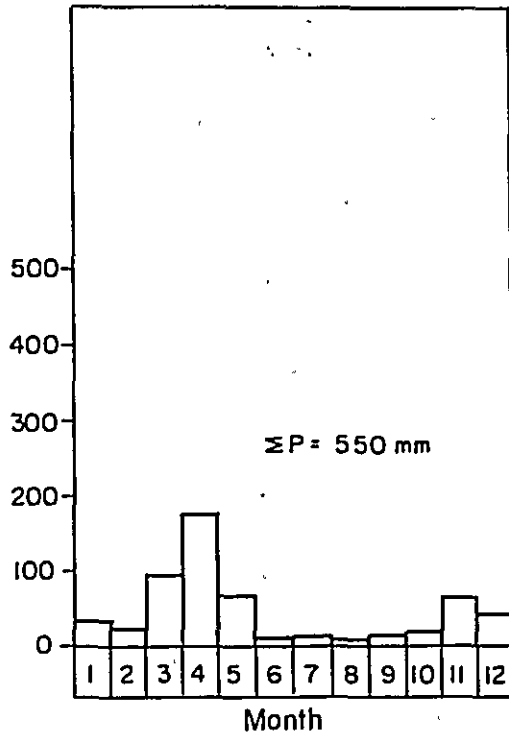


Fig.4-1-5 Meteorological Data (3)

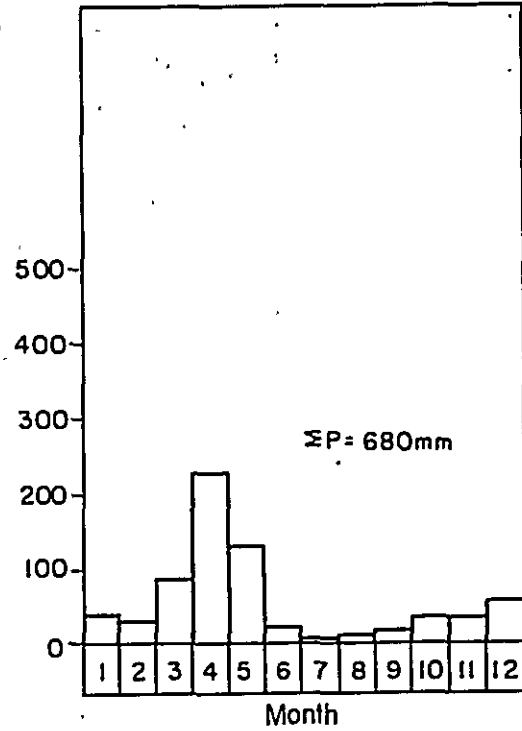
Arusha Chini Estate

G.H. = 716 m (2350 ft)



Kiyungi Sisal Estate

G.H. = 747 m (2450 ft)



Himo Sisal Estate

G.H. = 792 m (2,600 ft)

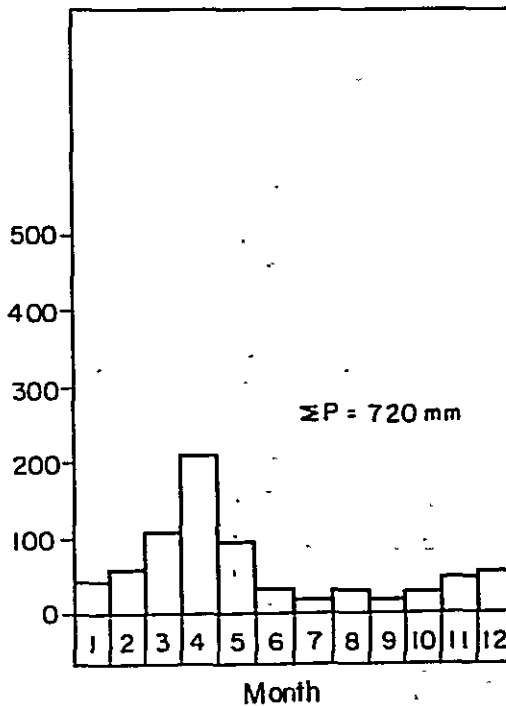
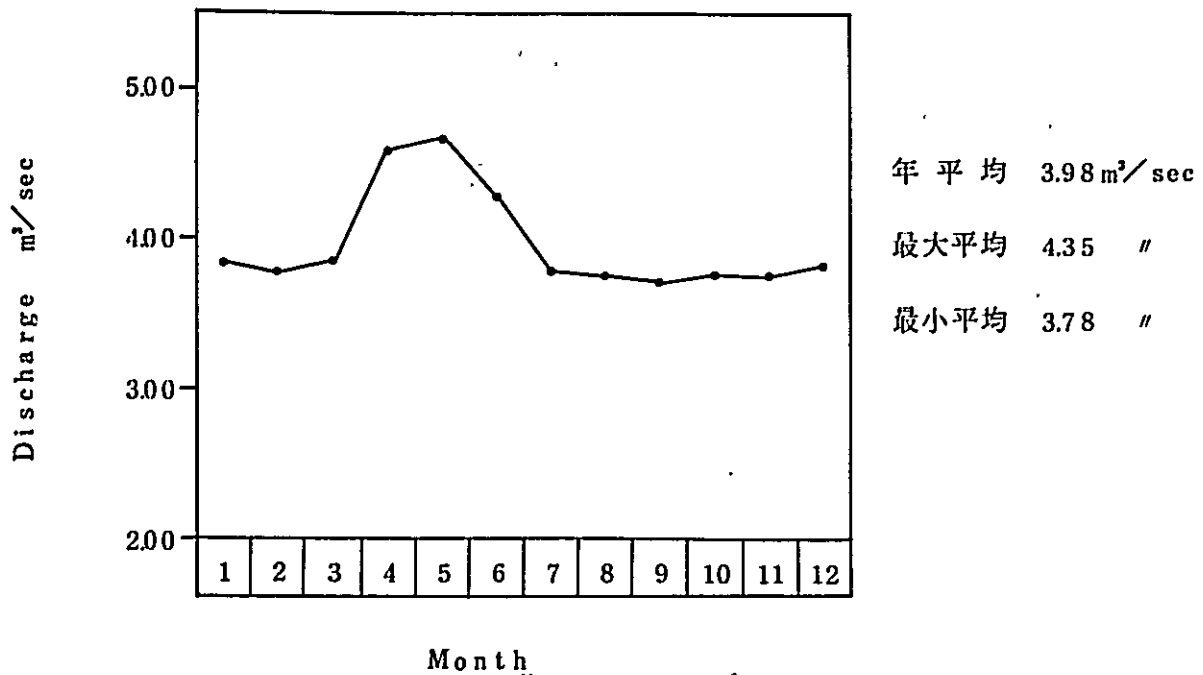


Table 4.1 - 4 River Discharges of Kahe - Miwaleni Area

Station No	Location	Name of River	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual Mean	Remarks
IDC 3 A	Kahe Forest	Rau	0.72	0.77	1.20	0.73	1.07	1.19	0.96	0.60	0.51	0.44	0.38	0.34	0.72	1969~70
IDC 3	Kahe	"	0.51	0.56	0.47	0.66	1.46	1.37	1.32	0.94	0.77	0.67	0.88	0.95	0.88	1957~59
IDC 33	Miwaleni	Miwaleni Springs	3.86	3.80	3.89	4.54	4.65	4.32	3.84	3.76	3.71	3.79	3.79	3.85	3.98	1966~70
IDC 6	Railway Bridge	Mua	3.55	3.52	3.55	3.74	7.58	5.62	3.92	3.47	3.44	3.47	3.60	4.02	4.12	1957~59
IDC 11	Himo	Himo	1.24	0.90	0.90	2.10	7.45	5.50	3.00	2.15	1.68	1.13	0.84	0.89	2.32	1958~59
IDC 1	Railway Bridge	Ruvu	16.35	11.57	10.16	16.07	20.44	14.90	12.88	12.06	10.81	10.61	13.68	16.93	13.87	1959~65
IDD 3	Arush-Moshe Road	Karanga	0.63	0.93	0.47	4.33	10.63	6.46	3.13	1.37	0.43	0.27	0.43	0.74	2.49	1954~59
IDD 1	Londotu	Kikuletwa	16.94	18.32	16.38	44.27	56.40	34.96	27.33	20.83	15.57	13.40	16.87	14.05	24.61	1969~75

Fig. 4・1-6 Miwaleni Springs 下流の IDC33地点の流量 (1966~1970平均)



4・1・3 地下地質構造

1. 電気探査結果と地質との対比

電気探査は Kahe-Miwaleni 地域の北部、Miwaleni 地区から Msaranga, Mandaka 地区にかけての平原で実施した。ここは地質的には、Kilimanjaro 山の火山岩類と平原に堆積する新期堆積物の接点に相当している。火山岩類は、溶岩のほか火砕岩類もみられ、これらは新期堆積物中に夾在することもある。新期堆積物としては、火山岩地域から流出したローム状粘土、平原の大部分を占める粘土、砂、砂礫、そして扇状地性堆積物である礫層などがある。

今回の探査は地下水の賦存する地層の構造把握が主目的であるが、比抵抗値と既知の地質との対比を目的に探査を行った所もある。

解析の結果得られた比抵抗値と地質との対比には、Miwaleni 地区の 3 本のボーリング (BH № 1 ~ № 3) の地質資料と、溶岩露出地点での測定結果等を参考にした。地質と比抵抗値との相関については、粘土質層、砂礫層、溶岩類等が各々かなり明瞭な比抵抗値の違いを示した。

〔比抵抗値とボーリングの地質資料との対応〕

$\rho = 4 \sim 7 \Omega\text{-m}$ 粘土を主体とする層

$\rho = 40 \sim 80 \Omega\text{-m}$ 砂礫を主体とする層

$\rho = 110 \sim 130 \Omega\text{-m}$ 火山岩 (溶岩)

〔その他の溶岩の比抵抗値〕

$\rho = 135 \sim 190 \Omega\text{-m}$ (測点 E-48 E-49 付近)

$\rho = 400 \Omega\text{-m}$ (測点 E-50)

$\rho = 250 \Omega\text{-m}$ (測点 E-64)

上記のうち E-50 の比抵抗値が特に大きいのは、付近の溶岩がスコリヤ質でかなり空隙が多いためと考えられる。

電気探査の解析結果の解釈については、上記の如き比抵抗と地質との対比を根拠にして行った。

〔探査結果〕

解析の結果を測線(一方向の測点群)毎に、比抵抗分布断面図として Fig.4・1-7 に示した。又測線断面位置は Fig.4・1-8 に示した。測線の概要は Table 4・1-5 に示す。

Table 4・1-5 測線概要

測線名	地区	方向	摘要
E - a	Miwaleni	E - W	一番北側
E - b	"	E - W	E - a の 600 m 南側
E - c	"	E - W	E - b の 600 m 南側
E - d	"	N - S	Miwaleni 東部
E - e	Mandaka	N - S	
E - f	Msaranga	N - S	E - e の約 1.5 km 西側

各測線毎について以下に述べる。

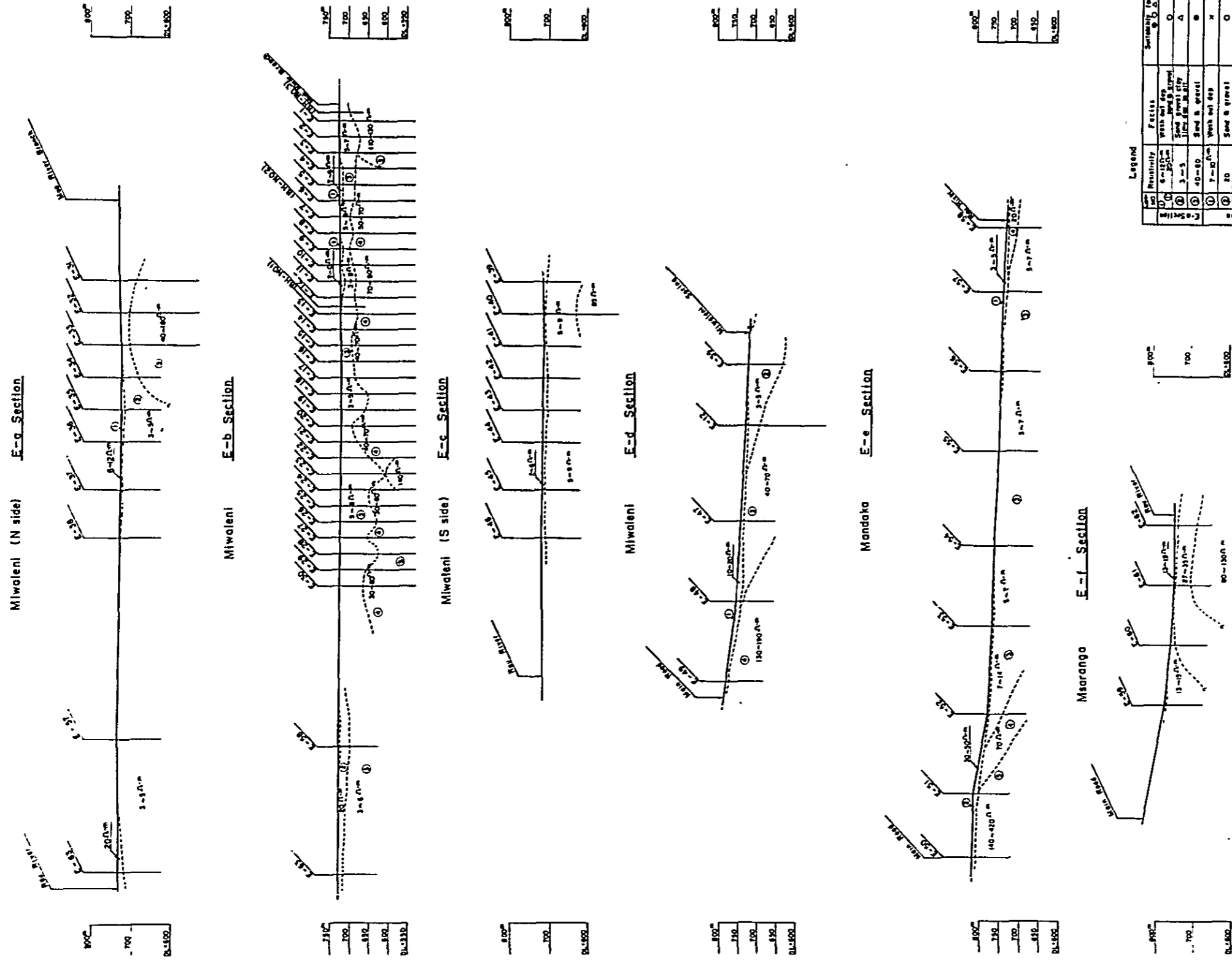
a). E - b 線

この測線は電気探査の測点間隔を最も短かく密にとった測線で地質対比の資料とした3本のボーリング(BH№1~№3)もこの測線上にある。位置はMiwaleni地区の中心である。

電気探査の結果は、東端のBH№3より西側約500mの区域は、30~50m以深に $\rho = 110 \sim 130 \Omega\text{-m}$ の高比抵抗層が認められ、この層はBH№3の資料より溶岩と判定される。これに続いて西側の約3kmの区域は、30~50m以深は多少凹凸を呈しながら、比抵抗は若干低い $\rho = 40 \sim 90 \Omega\text{-m}$ の層が分布している。この層はBH№1~2の資料よりほぼ砂礫層に相当する。更にこの西側ではこの層は80~100mの深さとなっているがよく連続している。

これらの溶岩や砂礫層の上部層は、一般に低比抵抗値を示し、 $\rho = 3 \sim 8 \Omega\text{-m}$ で粘土を主

Fig 4.1 - 7 Cross Section of Kahe - Miwaleni Area
(After Electrical Soundings)



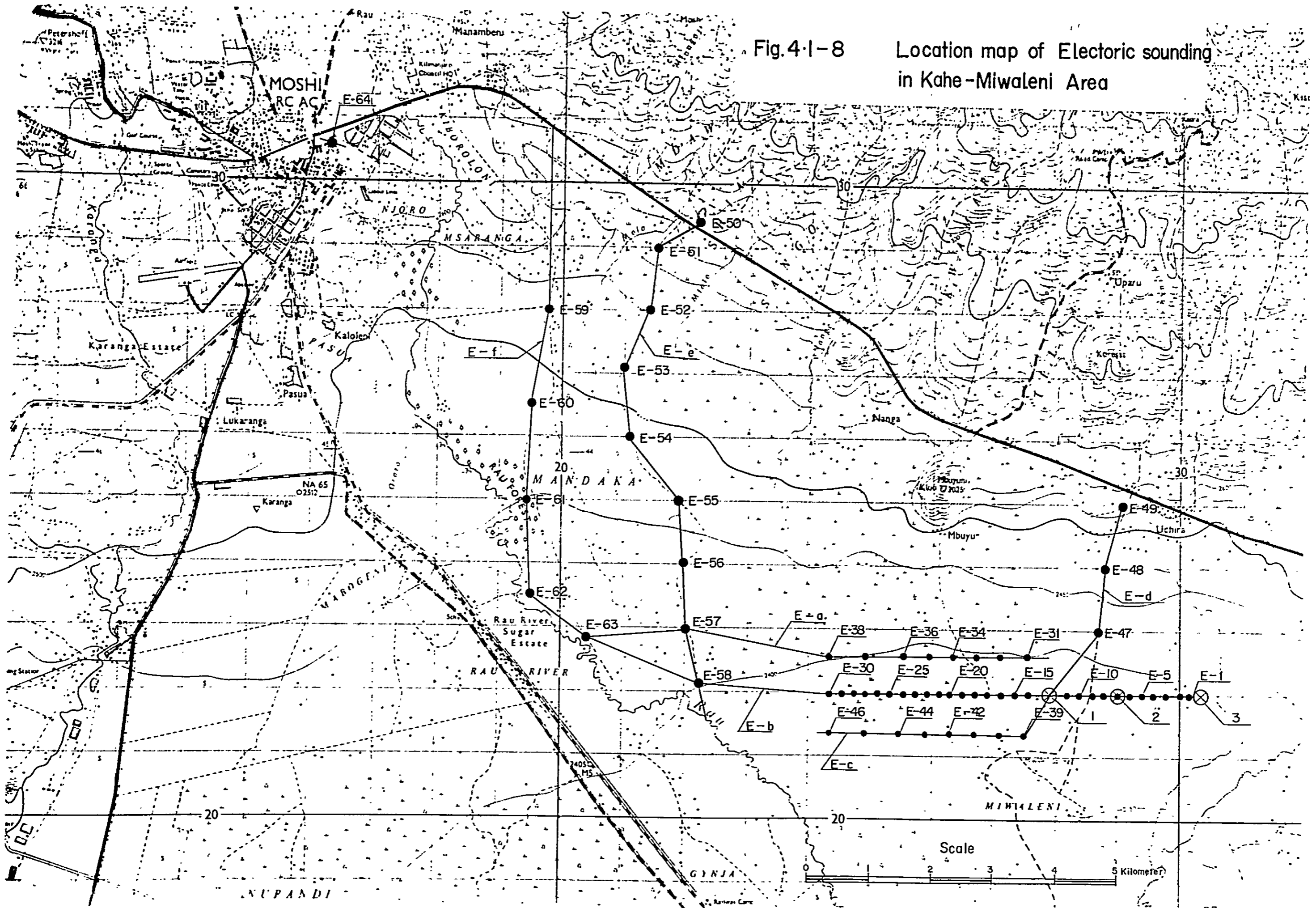
Legend

Soil Resistivity	Soil	Facies	Remarks for Appointer
10-15	①	Wash soil dep	W.S.D.
15-20	②	Wash soil city	W.S.D.
20-25	③	Wash soil city	W.S.D.
25-30	④	Wash soil city	W.S.D.
30-35	⑤	Wash soil city	W.S.D.
35-40	⑥	Wash soil city	W.S.D.
40-45	⑦	Wash soil city	W.S.D.
45-50	⑧	Wash soil city	W.S.D.
50-55	⑨	Wash soil city	W.S.D.
55-60	⑩	Wash soil city	W.S.D.
60-65	⑪	Wash soil city	W.S.D.
65-70	⑫	Wash soil city	W.S.D.
70-75	⑬	Wash soil city	W.S.D.
75-80	⑭	Wash soil city	W.S.D.
80-85	⑮	Wash soil city	W.S.D.
85-90	⑯	Wash soil city	W.S.D.
90-95	⑰	Wash soil city	W.S.D.
95-100	⑱	Wash soil city	W.S.D.
100-105	⑲	Wash soil city	W.S.D.
105-110	⑳	Wash soil city	W.S.D.
110-115	㉑	Wash soil city	W.S.D.
115-120	㉒	Wash soil city	W.S.D.
120-125	㉓	Wash soil city	W.S.D.
125-130	㉔	Wash soil city	W.S.D.
130-135	㉕	Wash soil city	W.S.D.
135-140	㉖	Wash soil city	W.S.D.
140-145	㉗	Wash soil city	W.S.D.
145-150	㉘	Wash soil city	W.S.D.
150-155	㉙	Wash soil city	W.S.D.
155-160	㉚	Wash soil city	W.S.D.
160-165	㉛	Wash soil city	W.S.D.
165-170	㉜	Wash soil city	W.S.D.
170-175	㉝	Wash soil city	W.S.D.
175-180	㉞	Wash soil city	W.S.D.
180-185	㉟	Wash soil city	W.S.D.
185-190	㊱	Wash soil city	W.S.D.
190-195	㊲	Wash soil city	W.S.D.
195-200	㊳	Wash soil city	W.S.D.
200-205	㊴	Wash soil city	W.S.D.
205-210	㊵	Wash soil city	W.S.D.
210-215	㊶	Wash soil city	W.S.D.
215-220	㊷	Wash soil city	W.S.D.
220-225	㊸	Wash soil city	W.S.D.
225-230	㊹	Wash soil city	W.S.D.
230-235	㊺	Wash soil city	W.S.D.
235-240	㊻	Wash soil city	W.S.D.
240-245	㊼	Wash soil city	W.S.D.
245-250	㊽	Wash soil city	W.S.D.
250-255	㊾	Wash soil city	W.S.D.
255-260	㊿	Wash soil city	W.S.D.



Fig.4-1-8

Location map of Electric sounding in Kahe-Miwaleni Area



体とした層に相当している。又、地表面を薄く覆って、層厚2～5 mで $\rho = 7 \sim 50 \Omega - m$ の層が認められるが、この層は山地より流出した風化土砂に相当する。この測線の西方のRau川に近い部分では、20～30 mの深度まで $\rho = 20 \Omega - m$ の層が認められ、それより深部は $\rho = 3 \sim 6 \Omega - m$ の層となる。これらは何れも粘土を主体とした地層であろうが、上の層はかなり礫を多く含んでいるものと推定される。

b). E - a 測線

E - b に平行で、北側に600 m離れた測線である。

東側に $\rho = 40 \sim 80 \Omega - m$ の層が深度約20 mの所に認められ、砂礫層の可能性が強い。西側ではこの層は漸次深くなり100 m以上の深度まで分布する。これの上部層は $\rho = 3 \sim 5 \Omega - m$ の低比抵抗層で粘土が主体で砂や礫分は少いと考えられる。

c). E - c 測線

E - b に平行で、南側に600 m離れた測線である。

深度100 m付近までは全域ほぼ $\rho = 5 \sim 7 \Omega - m$ の低比抵抗層に占められており、殆んどは粘土が主体で、砂礫層は有っても薄層で挟在する程度であろう。一部90 m付近に $\rho = 85 \Omega - m$ の層が認められるが、砂礫層に相当すると考えられる。

d). 上記三測線のまとめ

E - b 線では、30～50 m以深に広く砂礫層と見做される層が分布するが、北側のE - a 測線では、この層は約20 mと浅くなり分布範囲が非常に狭くなっている。

また、南側のE - c 測線では、この砂礫層の連続はあまり明瞭ではないが、深度約100 m近くにまで深くなっている様である。

e). E - d 測線

Miwaleni 地区の東端に位置する南北方向の測線で、北端は地質との対比を目的に、Kilimanjaro 山裾の溶岩露出地域に測点をとってある。

地表付近の地層の比抵抗値は、北より南にかけて変化し、 $\rho = 130 \sim 190 \Omega - m$ 、 $40 \sim 70 \Omega - m$ 、 $3 \sim 5 \Omega - m$ と順次小さくなる。これらは各々溶岩類、砂礫層、粘土層及び砂層にそれぞれ相当するものと考えられ、その境は南に向って傾斜する。このことは、山側に分布する溶岩類の末端が砂礫層と指交関係(interfingering)にあり、更に砂礫層が粘土を主体とする地層に漸移していく構造を示していると考えられる。

f). E - f 測線

Mandaka 地区における南北方向の測線で、北端は溶岩分布地域に位置する。

地質構造はMiwaleni地区のE - d 測線とほぼ同じ様である。北側の溶岩分布地帯での比抵

抗は $\rho = 140 \sim 420 \Omega - m$ で、Miwaleni 地区の溶岩より比抵抗は大きい、これはこの付近の溶岩はスコリア質で空隙が多い為と考えられる。この高比抵抗層の南側では、小規模ながら $\rho = 70 \Omega - m$ の層が認められ、これは砂礫層に相当するものと考えられる。これより南側は広く Rau 川付近まで深度 100 m 前後までは殆ど $\rho = 5 \sim 7 \Omega - m$ の低比抵抗層に占められ、粘土や砂層が主体で、礫層は殆ど無いか、有っても薄層で挟在する程度と推定される。なお南端の Rau 川流域付近には地表より深度約 30 m 位まで $\rho = 20 \Omega - m$ の層が認められ、礫質な部分と考えられる。

g) E - f 測線

E - e 測線より更に西側の南北方向の測線である。

南側は深度 50 ~ 60 m 以深は比抵抗が高く、 $\rho = 90 \sim 130 \Omega - m$ を示す。これはその値から一応溶岩に相当すると考えられ、Moshi 市街に分布する溶岩の一部が舌状にこの付近 (E - 61, 62) まで潜入している可能性がある。この溶岩らしきものの上部層は、約 $\rho = 30 \Omega - m$ の層で、礫分は少いかもしいないが、一応砂礫層と考えられ、北側で厚くなっている。この測線の北端は山に近いが、溶岩らしきものは認められず、 $\rho = 13 \sim 15 \Omega - m$ で粘土や砂が主体と考えられる。

h) 溶岩分布地域の測定結果のまとめ

溶岩が地表付近に分布している地域に関する測線は、上述の E - d, E - e, E - f の 3 測線であるが、その他 Njoro Spring 上部で溶岩地帯の比抵抗を測定した (E - 64) がその値は $\rho = 255 \Omega - m$ を示した。当地域付近の溶岩類の比抵抗値は、岩質の違いや他地層の影響で場所により若干異なるが、概ね $\rho = 100 \sim 400 \Omega - m$ の値を示す。

なお山麓と平原の境付近では溶岩類の裾に多くの場合砂礫層が発達している傾向が認められる。

2. 地下地質構造

電気探査、地表地質踏査、資料収集の結果から地下地質構造を描いたものが Fig.4・1-1・(2) A・B・C 断面である。

この地域の地質構造の特徴は Kilimanjaro 山ろくにおいて、大規模な構造性の堆積盆地に形成されたと想定される地層が発達する事である。この盆地を埋める堆積物は粘土、砂、砂礫、及び石灰質粘土等より構成され、更にこれら堆積と時期を相前後して流れたと想定される Kilimanjaro の火山岩類を挟在あるいはこれと指交しておりかなり複雑な地質構成を呈している。

構造性盆地の基盤は、プレカンブリア紀の片麻岩類と想定され、これは Pangani 川の Ny-

umba Ya Mungu ダム付近から北に深く埋没し、調査地区では200 m以上の深部に分布していると予想される。

盆地の東西は、C断面にみるように断層で接し、この断層はそれぞれ西のLelatema Mts. 東のNorth Pare Mts.で代表される地壘山脈(Block Mts.)を形成し、この地域はこの両山脈に挟まれた地溝性の盆地で、北部のKilimanjaro山南斜面に源をもつ水系は殆んどこの構造的盆地へ流れ込み、盆地南部でPangani川に集約されている。

盆地に厚く堆積する新期堆積物は巨視的にみて、礫質土の厚い部分細粒土の厚いとこ3等面的な特徴が電気比抵抗値から推定される。しかし、上下の地層の分類とその水平的な連続性については不明確な部分も少ない。

Miwaleni付近で見られる礫は、比較的小さく(1~3 cm)、扁平があるが、火山山ろくの沢沿いには扇状地状堆積物と考えられる火山岩起源の礫層(大きさ10 cm~20 cmの円~亜円礫)が分布している。これは、火山岩類と新期堆積層の接点付近によく分布している模様である。

Kilimanjaro 火山の溶岩類は、盆地の北部で東西方向に峰の伸長方向をもち、最も新しいKiboの溶岩流は主として南斜面および北斜面に流れている。盆地に関連する火山岩類は、Kiboの溶岩、Mawenziの溶岩とそれらより旧期のものと考えられる溶岩及び火砕岩類で、とくに旧期の火山岩類はKilimanjaroの山体骨格をなすのみならず、構造的堆積盆地の深部まで分布すると想定される。

従って、火山活動の時期と新期堆積層の堆積時期そしてRift Valleyを中心とした造構造運動の影響等このKahe-Miwaleni地域の平原形成にかかる地質学的諸条件は複雑なものであろう。

4・1・4 水理地質

1. 地下水賦存機構

水理地質学的にはプレカンブリア紀の片麻岩、白粒岩はいずれも不透水性の岩盤で、Kahe-Miwaleni地域の基盤をなしている。この基盤岩の構造からKahe-Miwaleni構造堆積盆地は地下水理的に一つの地下水盆を形成していると考えられる。地下水盆を埋めている堆積物は新期堆積層である粘土、砂、砂礫と、溶岩類とである。新期堆積層はいずれも未固結層であり、地下水の賦存に適した地層である。また溶岩類はKilimanjaro火山起源を想定されており、岩質としては、割れ目にとみ帯水層の条件を備えている。

この地域の水理的な環境を考えると、地域を構成する平原はステップと称される半乾燥気候地帯に属し、降雨量も年間650 mm程度であり、蒸発量が降雨量を上廻るような地域である。

地域の西部及東部も標高 1,500 ~ 2,000 m の山はあるがいずれも近似した気象条件にあり、南部は Pangani 川流域のステップに属する平原がひろがっている。地域の北部は標高 5,895 m の Kilimanjaro 山があり、頂上は万年雪におおわれ、中腹に森林地帯をもっている。山の南斜面は降雨も多く、森林地帯の下、平原との中間地帯は自然環境に恵まれ、農業を主体とする土地利用が進んでいる。山腹斜面を開析する谷は山頂から放射状にのび、南斜面のこれら沢、谷は殆んど、Kahe-Miwaleni 地下水盆地に流入する。水系の主なものは三系統あるが、このうち、地下水盆地東の Mua 川は、乾期に表流水はなく、中央の Rau 川は上流から地下水盆地に流れ込む表流水はごく僅かで、平原内の表流水は湧水によってまかなわれている。最も西の Kikuletwa 川は水量が多い。この水系別の流況を地質と対比させると、最も水量の豊富な Kikuletwa 川は Kilimanjaro 山のうちでも最高峰である Kibo とその西 Shira の南から南西斜面を集水域としており、とくに Kibo から源を有する Karanga 川、Weruweru 川は Kibo の溶岩の上を流下している。Rau 川は、丁度 Kibo 溶岩流の東端を流れるもので若干の水量はあるが、前者に比して少ない。一方 Rau 川の東斜面と表流水のない Mua 川の水系を集水域は、主として風化の著しい溶岩、あるいは火砕岩等より構成されている。この水系と、地質との関係からみて、西の Kibo 溶岩を流下する川は比較的硬質で密な斑岩類の分布地を集水域としているため、地下に滲透する水が他に比して少なく、Mua 川のように風化著しい溶岩や火砕岩等の空隙に富む透水性地盤からなる集水域をもつ川では、降雨等は地下滲透して表流水に乏しくなるためであろう。これら、岩質の相異による流況のちがいは、Moshi を中心とする国道上でよく観察することが出来る。

この Kahe-Miwaleni 地域をとりまく水理環境から、地下水胚胎の機構を考えると天水及び河川による伏流その他による平坦地での涵養は殆んど望めない。地下水のかん養源は Kilimanjaro 山南斜面に限定され、このうちでも Kibo と Mawenzi の中間にある風化溶岩、火砕岩類の分布地域が最も有力な涵養区域と想定される。この地域は、地形的にも Kibo 溶岩地域に比して開析がすすんでおり、岩質の相異を示している。降雨量も Kilimanjaro 中腹で 1,500 mm 以上の観測値があり、森林地帯は更にそれを上回る降雨量があるといわれている。この森林地帯及び標高 1,000 ~ 1,500 m の中間地帯から地下に滲透した水は溶岩類の間を通り山ろくの平原では新期堆積物中に夾在する溶岩の中から、砂、砂礫等の新期堆積物に滲透していると想定される。

このような地下水胚胎の機構は、溶岩流の末端からの湧水である Moshi 近郊の Njoro 湧水、Moshi の Prison 内の湧水などからも類推されるものである。この地下水理についてとりまとめたものが Fig. 4・1-9 水理地質平面図であり、Fig. 4・1-10 の模式断面図で

Fig. 4.1-9 Hydrogeological Map of KaHe-Miwaleni Area

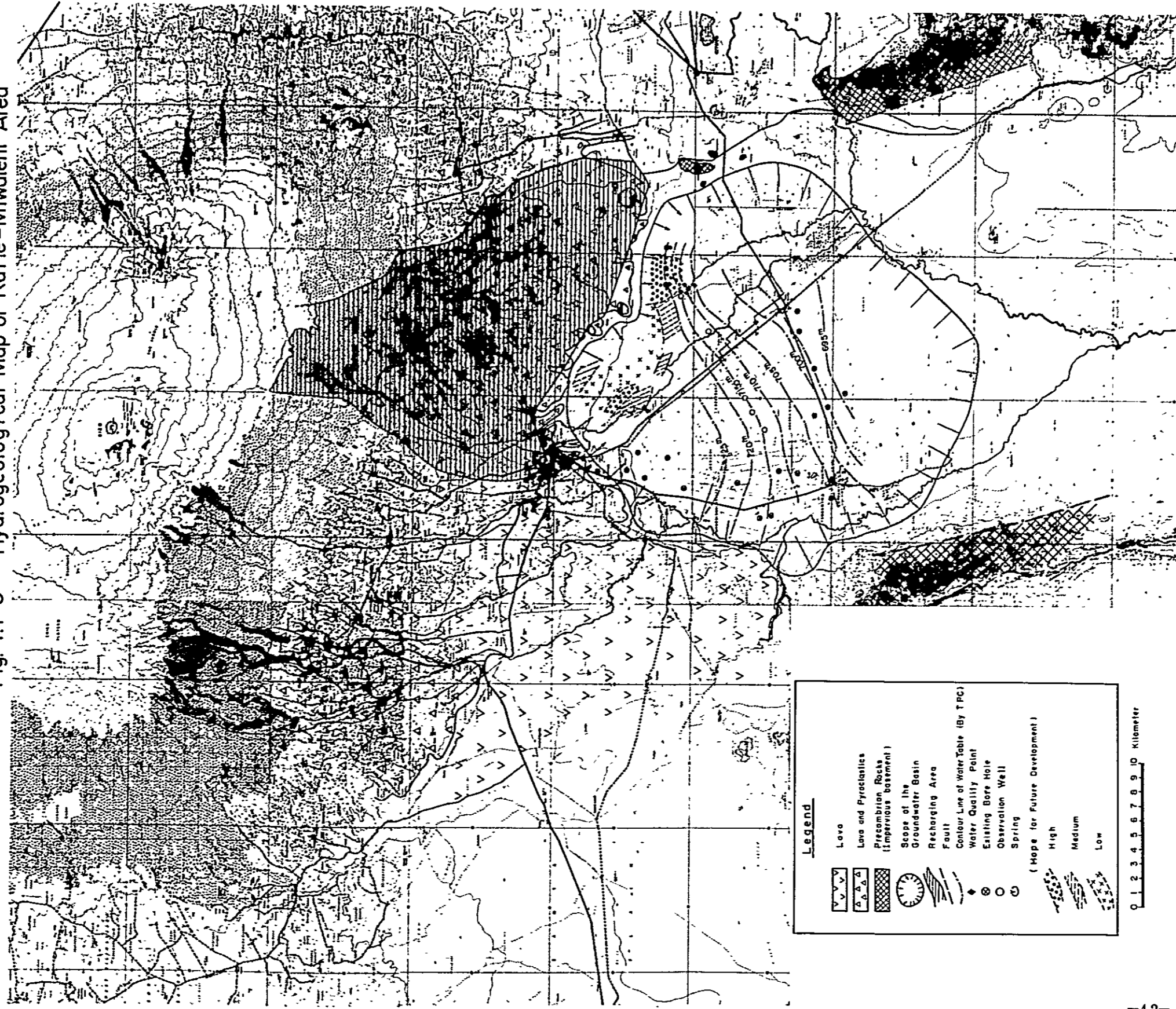
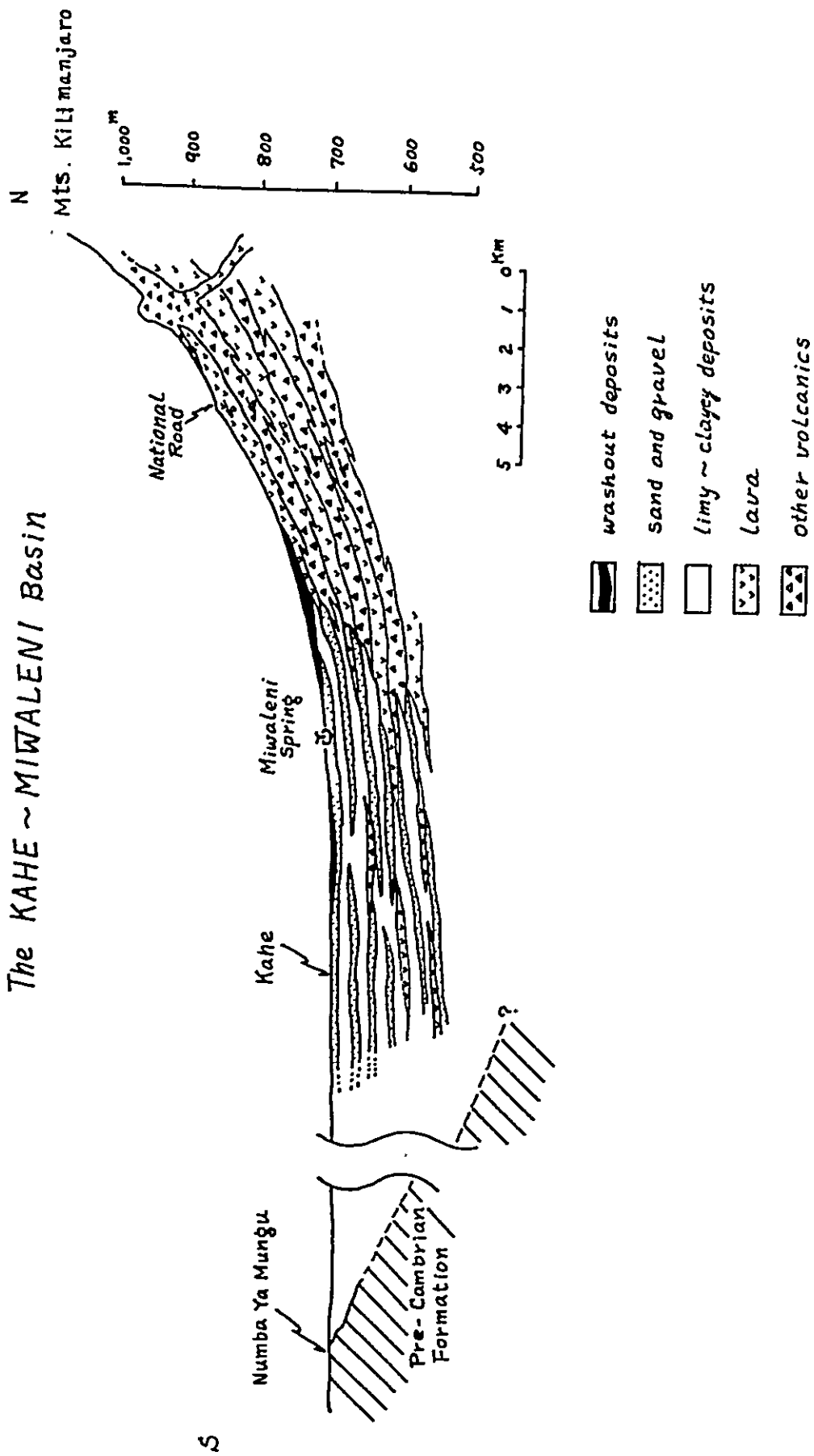


Fig. 4.1-10 Schematic Profile of
The KAHE ~ MIWALENI Basin



ある。

模式断面図にも示されるように、種々の帯水層が識別されるが、このうち砂礫層が最も良好な帯水層になっている。溶岩類は割れ目に富む部分で Moshi 近郊の湧水群や B H № 3 にみられる如く流動水を含み、又は帯水層となる事もあるが、確実な帯水層とはいえない。しかし当地域での溶岩類は地下水の涵養源となっている事は明らかである。これらの事から、溶岩類に接し、かつ規模の大きい砂礫層があるならば地下水賦存の最もよい条件になる。電気探査の結果で比較的規模の大きい砂礫層が Miwaleni 地区の東部と Mandaka 地区から Rau 川沿いに認められる。これらの砂礫層は溶岩類にも接しているため涵養源に近く良好な帯水層の分布地と判断される。とくに Miwaleni では、南部に大きな Miwaleni Spring をもち、この湧水も湧水池北部の規模の大きい砂礫層の一部からの溢流ではないかと考えられる。Miwaleni Spring 付近の地下水等高線は既存資料によるとその東西方向からも地下水が流れ込む水位変化を示しており、広い地域に分布する砂礫層の構造が大きな Miwaleni の湧水池形成に関連していると想定される。

またこの地域の地下水の水位は Miwaleni の B H № 1 で地表下約 4 m 弱、その他資料からみづれも地表下浅いところにあり、収水深度に比して水位は高く、被圧水となっている。しかし、地表に自噴しているのは Miwaleni Spring にみられる湧水と、付近の水位観測孔のみで他はない。

その他 Kahe や、Arusha Chini ではすでに地下水開発がなされており、Miwaleni Spring の影響を考慮して地下水位の観測を常時おこなっている。

このように Kahe-Miwaleni 地域には、地下 100 m 付近までの間で、礫質層を主体とする良好な帯水が分布しており、地域の西部及び南部ではすでに地下水を利用して土地利用が進んでいるが、調査地域においても有望な地下水の賦存が考えられ、今後の開発に期待がもたれるところである。

2. 地下水利用現況

Kilimanjaro 山南斜面、Moshi の市街地などを含め、この地域の全体的な水利用をみると、Kilimanjaro 山の沢水は南斜面の農業用水として、或は一部の飲料水としてダムや水路で取水されその殆んどが有効に利用され下流へ流れる水はごく少ない。

Kahe-Miwaleni 地域で最も水利用の多いのは、Arusha Chini にある T・P・C で、そのほかに Kahe Estate、Miwaleni 農場などがある。これらの農業用水は、Miwaleni Spring の水、或は Kikuletwa 川の表流水などの外、地下水の揚水によってまかなっている。

この地下水は調査結果からみて殆んど 100 m 程度の深度から揚水しているもので、地下水

Table 4.1-6 List of Existing Well

Kahe - Miwaleni Area

Location	Locality	Depth	Yield	Amounts of Ground Water	Columnar Section	Condition of Aquifer	
1	Miwaleni	67.1 m	104 m ³ /h	832 m ³ /d	o	Dry hole	
2	Miwaleni	74.7	0	0	o		
3	Miwaleni	59.5	0	0	o		
4	T.P.C.	91.5			o		
5	T.P.C.	91.5			o		
6	T.P.C.	97.6	255	2,040	o		
7	T.P.C.	91.5			o		
8	T.P.C.	91.5	255	2,040	o		
9	T.P.C.		0	0	x		
10	T.P.C.		510	4,080	x		
11	T.P.C.				x		
12	T.P.C.		611	4,888	x		
13	T.P.C.		765	6,120	x		
14	T.P.C.		611	4,888	x		
15	T.P.C.		510	4,080	x		
16	T.P.C.		550	4,400	x		
17	T.P.C.		510	4,080	x		
18	T.P.C.		204	1,632	x		
19	T.P.C.		357	2,856	x		
20	Kahe	54.9	173	1,384	o		
21	Kahe	54.9	100	800	o		
22	Kahe	61.0	100	800	o		
23	T.P.C.	30.0	0	0	o		Observation hole
24	T.P.C.	30.0	0	0	o		Observation hole
25	T.P.C.	30.0	0	0	o		Observation hole
26	T.P.C.	30.0	0	0	o		Observation hole
27	T.P.C.	30.0	0	0	o		Observation hole
28	T.P.C.	30.0	0	0	o		Observation hole

理的にはKahe-Miwaleni堆積盆地内の地下水である。Kahe-Miwaleni 盆の地下水を取得していると想定される場所について、既存資料からとりまとめたものがTable 4・1-6の地下水使用量である。このうちで最も多量に揚水しているのはT・P・Cで、ここだけで地下水として約1.5 m³/sec, 1日当り約41,000 m³の利用がなされている。

Miwaleniは3本の井戸があるが、このうちで稼働しているのは1井のみであり、使用量も現在多くて1,000 m³/d程度と判断される。Kaheでは3本の井戸から約3,000 m³/d程度の揚水で、Kahe-Miwaleni地域全体でも地下水の取得量は1日当り約45,000 m³程度と考えられる。T・P・Cから提供された地下水取水量はかなり大きな数字を示しているが、各井の揚水試験時のデータや、その他の報告(文献-3,5)などから考えて過大に思われる。

3. 揚水試験

揚水試験はMiwaleniの№1揚水井で行ったもので、№2, №3については工事中であり測定出来なかった。観測井はなく№1を揚水井とした定量試験, および段階試験を実施した。

試験にあたって、流量は既設の三角ノッチを利用したがこの三角ノッチの角度が100°であったため、90°の角度として換算するH-Q曲線(資料5)を作成し、揚水量を算出した。

[定 量 試 験]

定量試験は、揚水量Q = 0.0234 m³/secで行った。その結果を用いてTheisの非平衡式によって透水量係数を求める。

試験の記録及び計算は(資料6・7)の通りで、この結果よりs-r²/tの関係図を作成した。

Fig. 4・1-11, s-r²/tの関係
(№ 1)

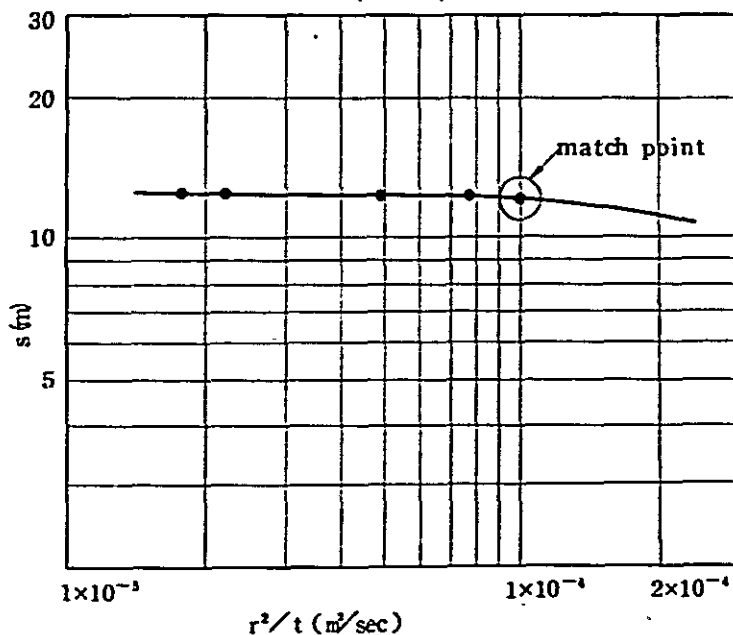


Fig. 4・1-11のグラフ及びW(u) - $\frac{r^2}{4t}$ 標準曲線からマッチポイントとして次の値が得られる。

$$s = 12.0, \quad r^2/t = 1.0 \times 10^{-4}$$

$$W(u) = 11.0, \quad \frac{r^2}{4t} = 1.2 \times 10^{-5}$$

この値を用いてTheisの式によって透水量係数を求める。

$$T = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot s} W(u) \quad \text{--- (1) Theis の式 ---}$$

T : 透水量係数

Q : 揚水量 (m³/sec)

W(u): 井戸関数

s : 水位降下

(1)式から

Q = 0.0234 m³/sec, s = 12.0 m, W(u) = 11.0 として, T = 1.70 × 10⁻³ m²/sec が得られる。

この透水量係数から理論式にもとづいて貯留係数を求めると,

$$S = 4 \cdot \frac{u}{u} \cdot T \cdot t / r^2$$

ここで

$$T = 1.70 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}, \quad t / r^2 = \frac{1}{1.0 \times 10^{-4}} \text{ sec}/\text{m}^2 \text{ として}$$

$$S = 8.16 \times 10^{-4} \text{ が得られる。}$$

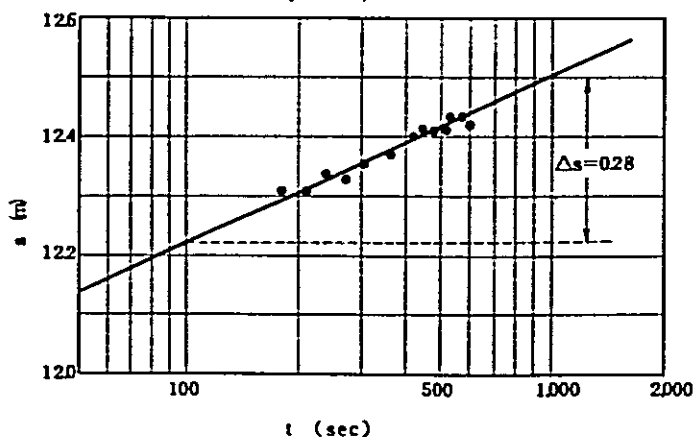
なお、貯留係数 S については、観測井を設置した試験でないので、過小に評価されているものと思われ、実情にそぐわない。

また、透水量係数を Jacob の式で試算すると,

$$T = \frac{2.30 Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta s}$$

Fig.4・1-12 は揚水継続時間(t)と水位降下(s)の関係 (Jacobの直線法) のグラフである。Fig.4・12 から Δs = 0.28 が求められる。

Fig.4・1-12 s - t の関係
(A&1)

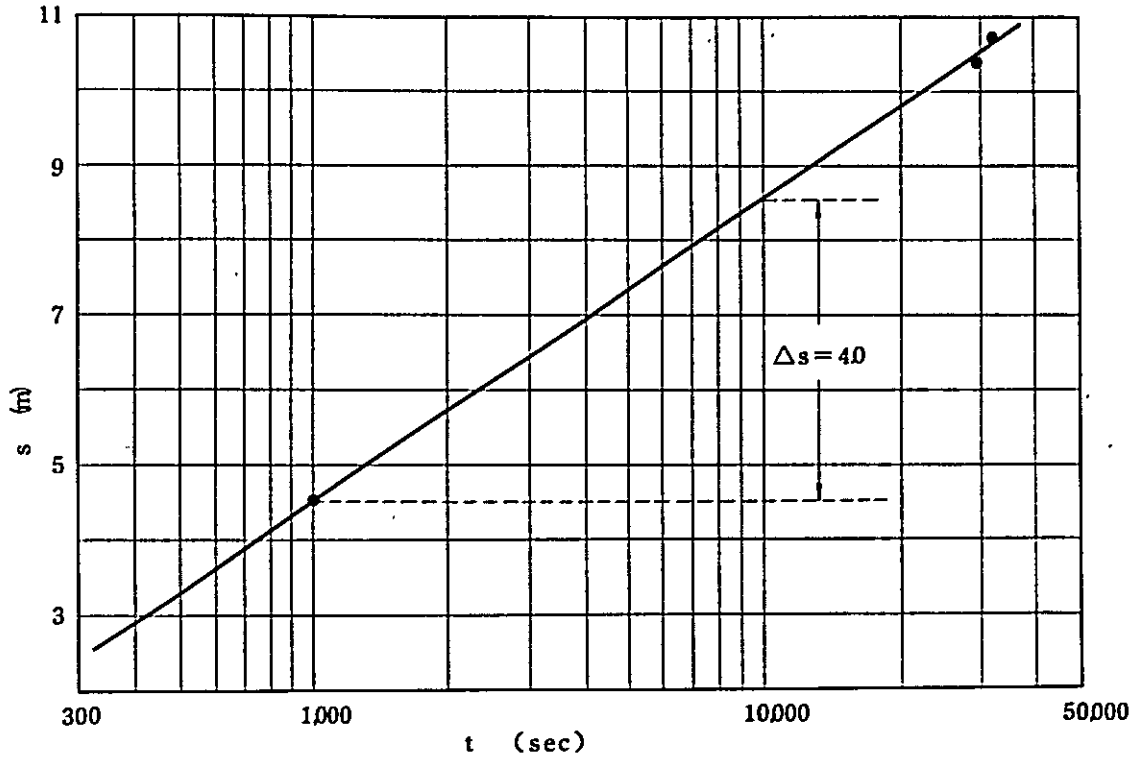


従って

$T = 1.53 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$ が得られる。

このように Theis の理論式では $T = 1.70 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$, Jacob の式によると $T = 1.53 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$ が得られる。他の井戸における帯水層条件を参考までに試算すると, № 2, № 3 は工事中で揚水試験が出来なかったため, 過去における資料から得られた試験結果によって透水量係数をいづれも Jacob の式によって試算する。

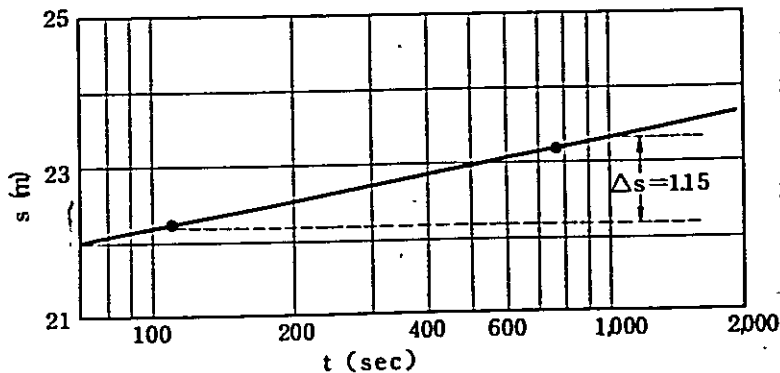
Fig. 4・1-13, s-t の関係 (Bore Hole № 2)



№ 2 では, Fig. 4・1-13 のグラフより $\Delta s = 4.0$ となり, そのときの揚水量 $Q = 0.0273 \text{ m}^3/\text{sec}$ であるから,

$T_2 = 1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ が得られる。

Fig. 4・1-14 s-t の関係
(Bore Hole № 3)



№ 3 では Fig. 4・1-14 のグラフより $\Delta s = 1.15$ となり, $Q = 0.0218 \text{ m}^3/\text{sec}$ であるから

$T_3 = 3.46 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ が得られる。

T_2, T_3 ともに $\alpha \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ となっているが、これを地層の状況から判断すると、 No. 3 は玄武岩溶岩の中に帯水層があると推定され、水理地質的には溶岩は一般には不透水性の地層であり、地下水の賦存形態からみても裂き中の地下水である可能性が大きい。

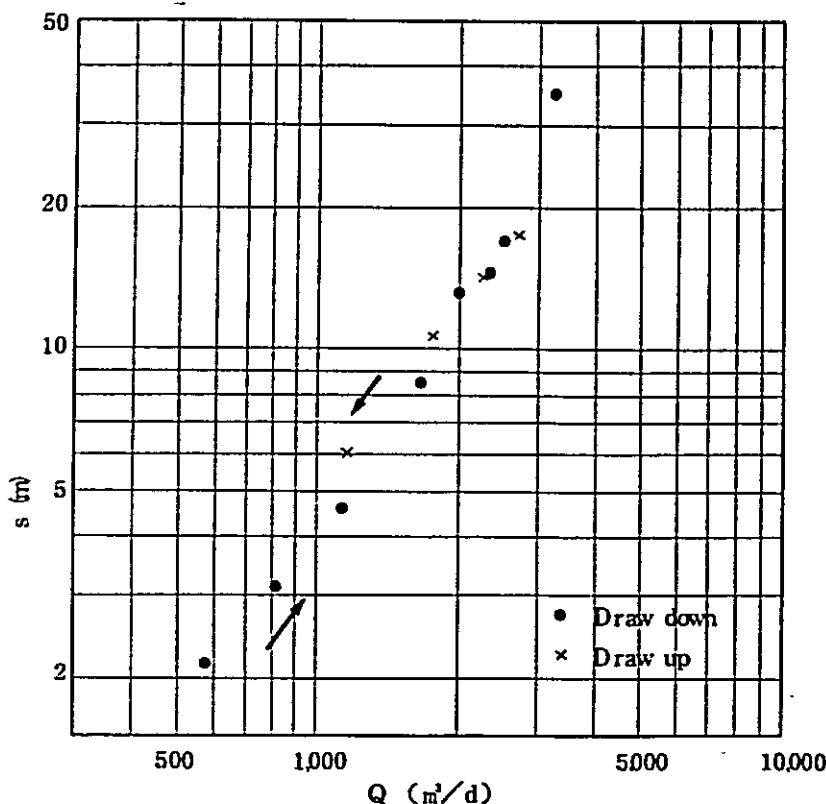
一方 No. 2 は、 No. 1 同様の砂、或は礫層中の地下水と推定され、地層としては略 No. 1 と同様な帯水層から揚水していると考えられる。

従って、帯水層定数としても No. 1 、 No. 2 は比較的近似した値をとることが考えられ、地層を構成している砂及礫の大きさ、地層の状況等現地調査の結果を加味して判断すると No. 1 での透水量係数としては $T = 1.70 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ を考えるのが妥当であろう。

〔段階試験〕

揚水量と水位低下の関係を求める目的で段階揚水試験を2日間にわたって実施した。試験は揚水量を8段階に分けてそれぞれ動水位の安定するまで原則として1段階の揚水量に対して1時間の水位測定を行い、試験結果を出した。その試験結果は Fig. 4・1-15 のとおりで揚水量が $2,700 \text{ m}^3/\text{d}$ ($31 \ell/\text{sec}$) で水位降下 17.5 m が得られ $3,100 \text{ m}^3/\text{d}$ ($36 \ell/\text{sec}$) では水位降下が激しく 33 m におよんでいる。従って限界揚水量としては $2,700 \sim 3,100 \text{ m}^3/\text{d}$ にあるものと判断され、経済的揚水量としては Fig. 4・1-15 のグラフから判断して $2,500 \text{ m}^3/\text{d}$ ($29 \ell/\text{sec}$) 以下が望ましいであろう。

Fig. 4・1-15 s-Qの関係
(No. 1)



適正揚水量としては、一般に限界揚水量の80%程度を考慮する場合もあるが、これは揚水井の口径、揚水継続時間、井戸間隔その他地下水理条件によっても相異なるため、一概には云えない。

後述するような揚水計画に応じた群井としての検討が必要である。

4. 水 質 調 査

水露頭における電気伝導度を主体とする水質調査の結果をTable 4・1-7に示す。この結果から水露頭の種類別に整理したものがTable 4・1-8である。

Table 4・1-8 水露頭別水質表

水露頭種類	区 分	水 温	P H	電気伝導度	摘 要
表 流 水	河 川	15.7~22.4 °C		77~335 $\mu\text{v}/\text{cm}$ at 25°C	
	ダ ム	22.1	—	27	
地 下 水	深 井 戸	22.5~24.7	7.2	382~389	
	浅 井 戸	—	7.0	238	
湧 水	Kibo Lava	18.2~19.5	7.0	115~146	
	Alluvial	21.2~23.5	7.0~7.6	220~928	LimydepsitsではとくにPH=7.6 C=928と高い

表流水の水温は、とくに谷の上流を除くと20°C~22°Cである。Miwaleniの深井戸の地下水は22°C~24°Cでかなり高く、湧水ではMoshiの近郊のKiboのLavaを母岩とするところで18~19°Cと低いが、MiwaleniのSpringは21°C~23°Cを示している。また電気伝導度では表流水はやはり上流で非常に小さい値27~77 $\mu\text{v}/\text{cm}$ を示すが、下流の平野では殆んど200以上を示している。地下水ではとくにMiwaleniの井戸は380 $\mu\text{v}/\text{cm}$ あり、他のMoshiのSpring等に比して大きい。

Springでは、Kibo Lavaを母岩とするMoshi近郊では小さいが、Miwaleni Springではおよそ220~400がその代表値と考えられ、このうち、石灰質堆積層から湧出が確認されている水は、C=928 $\mu\text{v}/\text{cm}$ と大きく、PHも7.6で他に比して高いのが特徴である。

参考までにT・P・Cの井戸における水質試験結果を資料により整理したものがTable 4・1-9の水質分析表である。

Table 4.1-7 Measurement of Water Quality

No.	Location	Kind of Water	Water Temperature (°C)	Electric Conductivity ($\mu\text{V}/\text{cm}$)		pH	Salinity Cl (ppm)	General Geology
				Measurement	at 25°C			
A	Rau River	River	20.2	185	204	7.2	—	
B	Rau Sugar Estate	Well (shallow)	28.0	252	238	7.0	—	Alluvial
C	Kahe Irr. Scheme Canal	River	21.2	310	335	7.4	—	
D	Mua River	River	22.4	324	342	7.2	—	
E	Njoro Spring	Spring	18.2	99	115	7.0	—	Kibo Lava
F	Njoro River	River	19.1	100	113	7.0	—	
G	Miwaleni B.H No3	Well	24.7	380	382	7.2	—	
H	Miwaleni B.H No1	Well	22.5	370	389	7.2	12.4	
I	Moshi Hotel	Water Supply	21.0	139	151	7.0	—	
J	Miwaleni Springs	Spring	21.2	203	220	7.0	10.6	Pebble
K	Kahe Irr. Scheme Intake	River	22.0	310	330	7.2	10.6	
L	Miwaleni Springs	Spring	22.2	390	413	—	12.4	Pebble
M	Miwaleni Springs	Spring	23.5	900	928	7.6	124.1	Limy deposits
N	Prison Spring	Spring	19.5	130	146	—	—	Kibo Lava
O	Nanga River (Upstream)	River	15.7	63	77	—	—	Pyroclastics
P	Mwororo Dam	Dam	22.1	25	27	—	—	—do—

Table 4・1-9 Water Analysis of T・P・C・Well

項目	Kiyungi №1	Kiyungi №3	Remarks
PH	8.2	7.3	
Conductivity $\mu\text{v}/\text{cm}$	522	110	
Ca ⁺⁺ ppm	Tr	Tr	
K ⁺ ppm	23	13	
Na ⁺ ppm	65	42	
SO ₄ ⁺⁺ ppm	tr	Tr	

水質調査、水質分析資料から、Kilimanjaro山南山ろくの地下水の水質を考えると、溶岩を母岩としている湧水では水温も低く、電気電導度の小さい良好な水質である。一方、湧水でも Miwaleni のように沖積性堆積物を母岩とする水は溶岩のものに比して若干温度電気電導度ともに高い。また同じ沖積性堆積物を主な帯水層としている地下水も Miwaleni Spring と同じような水温水質を示している。しかし、地下水の水質も T・P・C の分析結果によると比較的良好的な水質である。これら沖積堆積物中の地下水は溶岩等火山岩類中の涵養源から、地下水が沖積堆積物に浸透して水質が変化しているのであろう。

5. 地下水収支

Kahe-Miwaleni 堆積盆地を一つの地下水盆とする水収支の概要について検討する。

水理地質構造から、この地域での地下水涵養源としては、Kilimanjaro山南斜面の降水が最も重要である。地下水盆付近は気象的には半乾燥帯に属し雨量も年間 650 mm 程度であり、蒸発量が雨量をはるかに上廻る地域であり、降水による直接の地下水補給は望めない。表流水は Mua 川では乾期には上流からの流入はなく、Rau 川は僅かの表流水が認められるが、いずれもむしろ下流で湧水等から涵養されている。Kikuletwa 川は、Kahe-Miwaleni 堆積盆地のうちでも西端に流れており、地下水盆全体として巨視的には、河川からの伏流水等による涵養は望めない状況にある。従ってこの地下水盆に賦存する地下水の涵養源はあくまでも後背山地と推定される。

盆地の東西は不透水性の基盤岩であるプレカンブリア紀の硬質岩分布であり、また気候的にも降水量が少ない。盆地の北に位置する Kilimanjaro 山は、標高 5,895 m の高峰で、標高別の年間降水量は Table 4・1-2~3 に示されるように中腹斜面で非常に多い。

Kilimanjaro 山は成層火山で多くの寄生火山も伴うが、山体は溶岩流の外、集かい岩や

火砕岩により構成されている。

火砕岩や溶岩のうちでも古期の風化の著しいところでは浸透量も多く、貴重な涵養源となる。一方Kibo 溶岩流の地域ではそのわれ目等を通して地下水が涵養されるが、平均して前者ほどの浸透は考えられない。また山体の中腹には森林地帯があり、涵養源としての機能を充分備えている。このような状態から判断してKahe-Miwaleni地域の地下水は、その殆んどがKilimanjaro山南斜面森林地帯及びその下平原までの中間地帯を涵養源として考えることが出来る。

一般に地下水収支を考える場合その一年間の涵養量としては次式が成立する。

$$QR = \{ P - (D + E) \} \times A_R$$

QR: 地下水としての涵養量(地下浸透量)

P: 降水量

D: 流出量

E: 蒸発量

A_R : 涵養区域面積

Kilimanjaro山南斜面からKahe-Miwaleni地域に供給されると予想される地下水の涵養量を(1)式によって求めるため、P、D、Eについて4・1・2項による数値から検討する。

降水量Pは、標高による区分から次による。

森林地帯 2,000 mm/year

中間地帯 1,500 mm/year

流出量Dは、流出係数が森林地帯でC = 0.10、中間地帯でC = 0.15から

森林地帯 200 mm/y (2,000 × 0.10)

中間地帯 225 mm/y (1,500 × 0.15)

蒸発量Eは森林地帯で700 mm/y、中間地帯で860 mm/yからこれの70%をEとして考え

森林地帯 490 mm/y

中間地帯 600 mm/y

これら数値から地下水としての涵養量を求めると、その涵養区域をFig. 4・1-9に示すようなRau川、Mua川流域の確実に涵養が考えられるごく限られた部分について試算すると、Table 4・1-10となる。

Table 4・1-10 地下水涵養量計算表

涵養区分	面積 A_R km ²	降水量 P mm/y	流出量 D mm/y	蒸発量 E mm/y	滲透量 G mm/y $G=P-(D+E)$	涵養量 Q m ³ /y $Q=A_R \times G$	摘要
森林地帯	72	2,000	200	490	1,310	$94,320 \times 10^3$	
中間地帯	245	1,500	225	600	675	$165,375 \times 10^3$	
						$259,695 \times 10^3$	

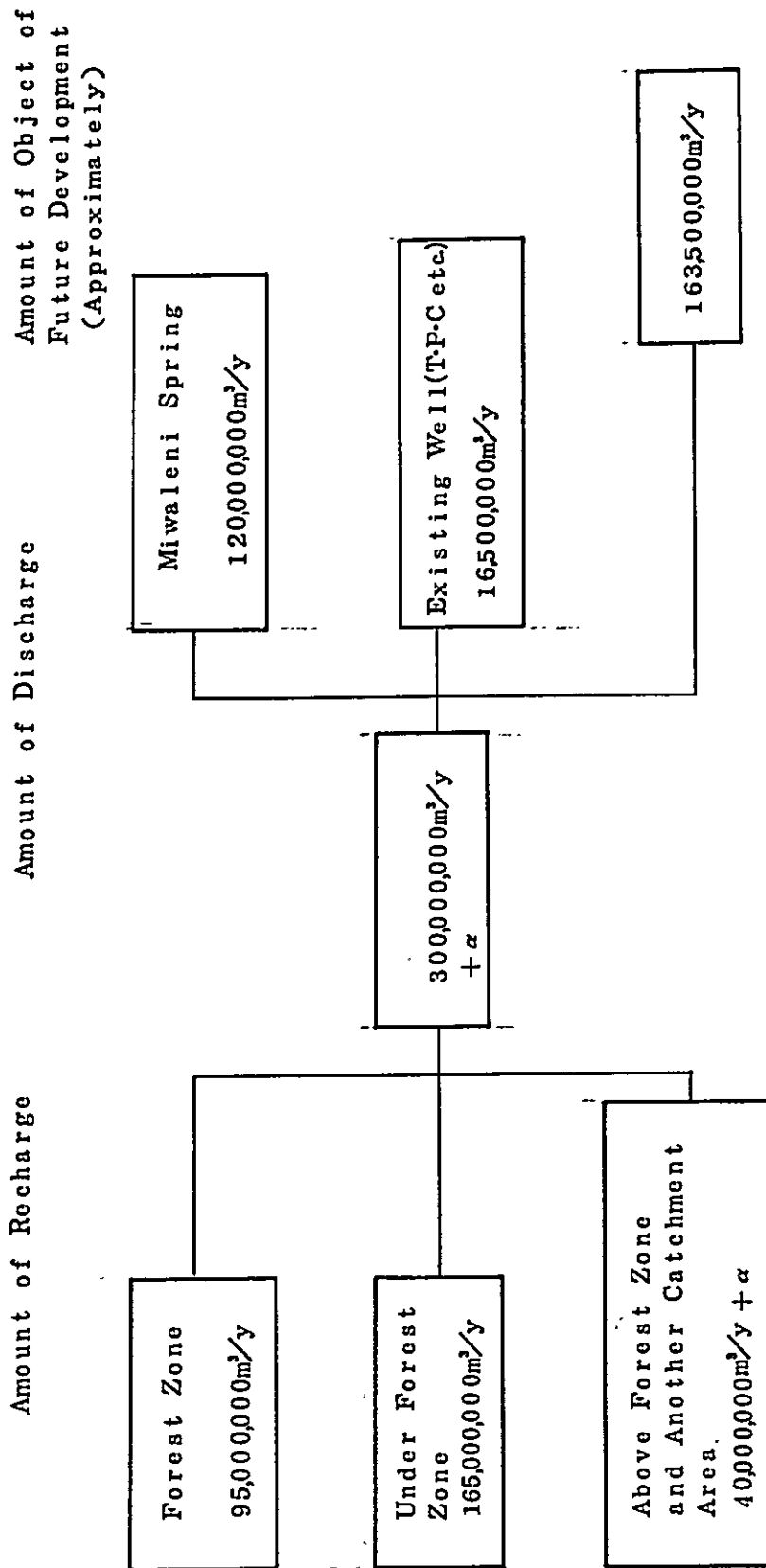
最低限度としての涵養源から試算される地下水としての涵養量は約2.6億m³である。しかし、Kiboの溶岩類の下位にはShira、その他古期の溶岩、火砕岩類が分布しており、割れ目を通してこれらの地域への滲透が若干は考えられる。さらにこの地域へ流入するKikafu川上流域には火砕岩類で代表される水を通しやすい地層の分布地域があり、この流域からの涵養量を試算すると約4,000万m³ある。従ってKahe-Miwaleni地域の地下水として考えられる涵養量としては、Rau川、Mua川流域からのものに、他からのものを考慮して総計約3億m³の地下水涵養が可能となる。

Kahe-Miwaleni地下水盆からの流出は、Miwaleni Springの外にT・P・C等における井戸からの地下水揚水がある。

Miwaleni Springからの湧水は4・1・2から年平均最少3.78m³/sec、また地下水の利用は4・14の地下水利用現況から45,000m³/dayで、この地域の地下水収支をまとめるとFig. 4・1-16に示すようになる。

このように現在のKahe-Miwaleni地下水盆での利用及流出量は、涵養可能な地下水量の約50%と予想されるが、これらの試算はあくまでも概算であり、かつ、森林地帯における降水量、蒸発等に関しての実測値がなく、資料等からの推定で求めたもので、今後、更に実測の結果から検討する事が必要であろう。

Fig 4.1 - 16 Groundwater Balance of
The KAHE ~ MIWALENI Basin



6. 揚水条件と影響範囲

Kilimanjaro州の全井戸について、揚水条件等整理したものはTable 4.1-11に示すとおりで、この位置はFig 4.1-17に示す。

この表からみて、Kilimanjaro州でもKahe-Miwaleni地域は他のKilimanjaro山東ろく、North Pare Mts山ろくのSame地域及びSouth Pare Mtsの東斜面のMkomazi地域などに比してはるかに揚水条件はよい。

Kahe-Miwaleni地域の地下水盆では、比湧出量 $200\text{ m}^3/\text{D}/\text{m}$ 前後を示す井戸が多く、揚水条件のよいところで $2000\text{ m}^3/\text{day}$ は可能である。しかし他の地域では、比湧出量も小さく、せいぜい $200\text{ m}^3/\text{day}$ 程度の揚水しか行なわれていない。従って、水利用に当って、大規模な揚水を計画出来るのはKahe-Miwaleni地域しかない。

ここでは揚水試験の結果からMiwaleni地区での揚水条件と影響範囲等について検討する。

揚水試験の結果、揚水量及び帯水層定数は次のように計算された。

$$Q = 29\ell/\text{sec} \quad (\text{ステップ試験からの経済限界揚水量})$$

$$T = 1.70 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$S = 8.16 \times 10^{-4}$$

Q : 揚水量, T : 透水量係数, S = 貯留係数

ここで、Sの値については、水位降下量からみて実測値とひらきがあり、また観測井のない条件下での計測試算であるため、現況にマッチしない。従って、実測の揚水量及び水位降下量を用いてTheisの非平衡式よりSを試算する。

$$T = 1.70 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$Q = 0.0234 \text{ m}^3/\text{sec} \quad (\text{実測})$$

$$s = 1250 \text{ m} \quad (//)$$

$$t = 43200 \text{ sec}$$

s : 水位降下, t : 揚水継続時間

から井戸関数 $W(w)$ を求めSを計算すると

$$S = 1.10 \times 10^{-1}$$

が得られる。

揚水井の帯水層は砂礫層であり、貯留係数として $S = 1.10 \times 10^{-1}$ は充分予測される値である。

従って、揚水条件を次に示す如く仮定する。

$$Q = 1880 \text{ m}^3/\text{day} / 1 \text{ 井 (1 日 1 8 時間運転, 単位揚水量 } 29 \text{ l/sec)}$$

$$T = 147 \text{ m}^2/\text{day} \text{ (} 1.70 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec} \times 86,000 \text{ sec)}$$

$$S = 1.10 \times 10^{-1}$$

この条件から

$$s = \frac{Q}{4\pi \cdot T} W(u) = 1.018 W(u) \quad \text{--- (1) ---}$$

$$u = \frac{S \cdot r^2}{4 \cdot T \cdot t} = 1.87 \times 10^{-4} \cdot \frac{r^2}{t} \quad \text{--- (2) ---}$$

が得られる。

(1)及び(2)から揚水継続時間 t を、1日、30日、60日、90日、180日の5段階について井戸間かく r と水位降下 s の関係を求めると Table 4.1-12 の表および Fig 4.1-18 の図となる。

Fig 4.1-18 からみて揚水量 $1,880 \text{ m}^3/\text{d}$ では、その影響範囲は $600 \text{ m} \sim 1000 \text{ m}$ となる。

この揚水条件 $1,880 \text{ m}^3/\text{d}$ により Miwaleni 地区の農業用水を計画した場合、 800 ha のかんがいを $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ の水でおこなうと仮定すると深度 $70 \sim 80 \text{ m}$ 直径 250 mm の井戸が23井必要である。その時の井戸間かくは約 600 m となる。また揚水量を $1,500 \text{ m}^3/\text{d}$ では29本の井戸が必要で井戸間かく 525 m になる。

従って60日(2ヶ月)程度の運転継続では $1,880 \text{ m}^3/\text{d}$ の揚水可能ではあるが、この試算は、調査結果からも帯水層条件の良好なところと推定され、しかも試験精度としても観測井がなく満足すべきものではない。他の揚水井全部が揚水条件、帯水層定数ともに、No1と同じと考えることは危険で、むしろ条件としては最良と考えねばならない。

このように揚水試験結果から試算した群井での揚水条件は、試験の精度、試験位置、等から充分この地区全体を代表しているものではない。今後、電探結果とも対比して、溶岩の中の地下水或は礫質土の少ない低比抵抗値の得られている地帯での揚水試験を行うと同時に Miwaleni No1揚水井と近似した地層条件のところについても観測孔を伴った揚水試験により帯水層定数をチェックした上で、利用計画を設計する事が必要である。

Fig. 4-1-17 Location Map of Existing Well in Kilimanjaro Region

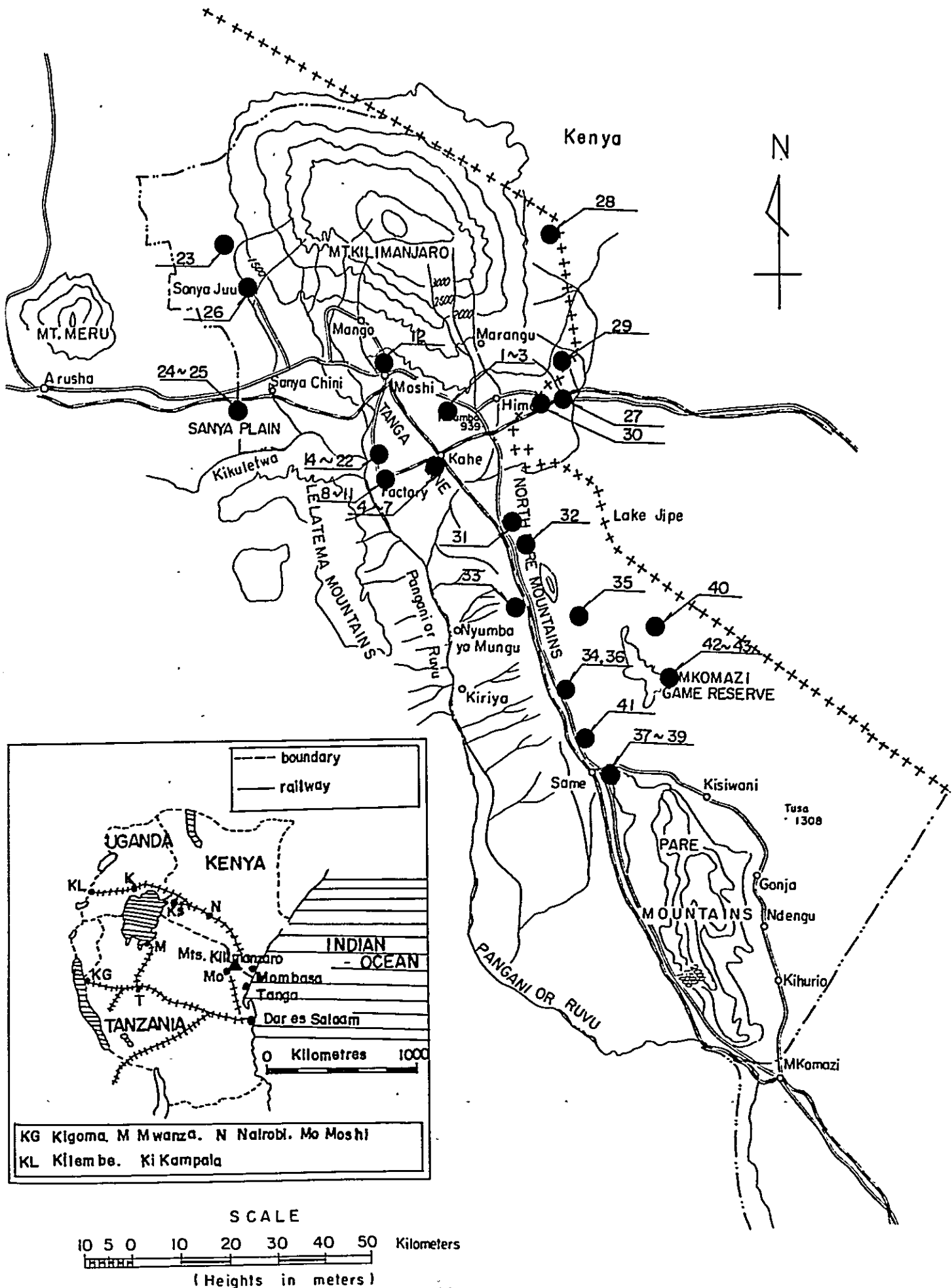


Table 4.1-11 Existing Well of Kilimanjaro Region

Location	BH No.	Locality		Depth	W.S.	Water Level	Draw Down	Yield	Specific Capacity	Quality etc
		Area	Locality							
1	36/64	Kahe-Miwaleni	Miwaleni	60.0	23-35 35-open	3.7	12.5	104	199	good
2	27/65		"	74.0	14,36 55,67	8.0	15.0	120.4	192	"
3	29/65		"	67	22.5-50	2.1	25	94.4	90	"
4	8/65		Kahe	61	9.15	7.93	10.68	100.32	225	"
5	12/65		"	53	9.15	6.89	10.98	100.32	219	"
6	22/65		"	55	7.63	6.41		173.8		"
7	31/71		"	61		4.30		12.77		"
8	21/72		Arusha Chini	91.5	4.90	1.40		22.2		"
9	249/73		"	91.5	1.8	0.92		12.62		"
10	47/70		"	161.7	2.1	2.9		161.70		"
11	52/71		"	87	4.6	5.5		-		"
12	/51	Moshi	Moshi	69.2	6.10	3.97		7.11		"
13	126/71		Tanzanite Mine Moshi	213.5	178	63.7		0.045		
14	146/72	Arusha Chini	T.P.C.	97.6		1.4	3.8	22.2	140	good
15	8/71		"	91.5		3.3		not tested		
16	80/70		"	30.5		0.61		"		
17	260/73		"	91.5		0.98		10.03		
18	202/73		"	91.5		4.70		10.14		
19	201/73		"	91.5		1.0		12.62		

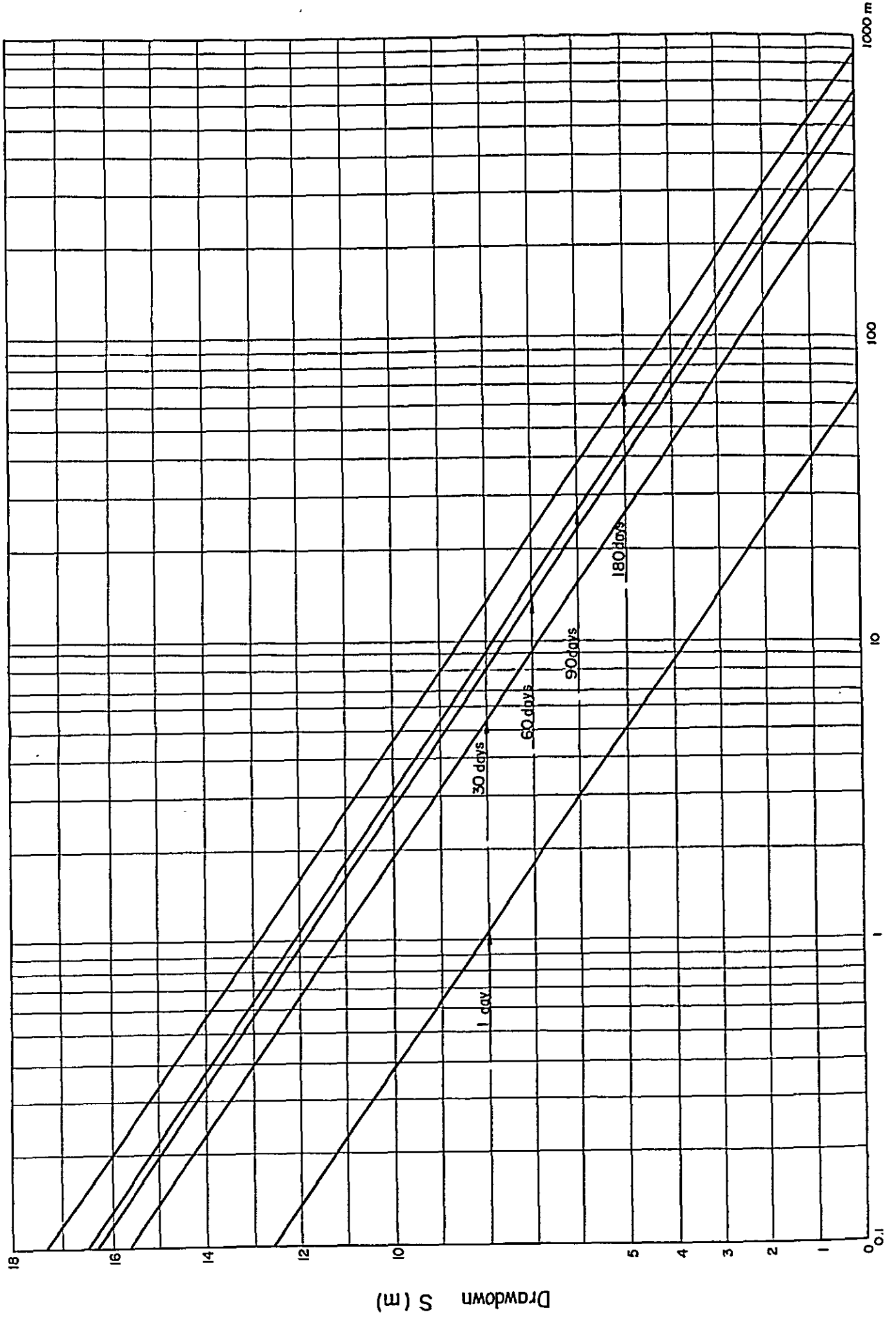
Location	BH No.	Locality		Depth	W.S.	Water Level	Draw Down	Yield	Specific Capacity	Quality etc	
		Area	Locality								
20	64/73	Arusha Chini	T.P.C.	m 91.5	m	m 0	m	m ³ /h 14.40			
21	87/69			156.2		2.1		95.76			
22	73/69			61		7.0		47.10			
23	28/70	West of Moshi	Sanya Juu Air Port	89.4	24.4 70.2	28	28.2	45.6	39	good	
24	104/70		International Air Port	91.5	82.4	49.7		8.2		bad	
25	82/69		"	"	91.5	24.4 36.6 82.4	30.7	54.6	38.76	17	
26	12/58		Sanya Juu	61.0	4.9	2.1		10.94			
27	51/67		Taveta	154.6	91.8- 147.6	79.8		5.44		good	
28	7/65	Rombo	Shoshoro-Rambo	91.5	74.7 79.3	68.3	85.4	9.58	2.7	bad	
29	8/64		Chala-Rambo	160.1	134 151	132.2		6.02		good	
30	1/64		Latema	58.5	47.6	46.4		9.12		good	
31	21/63		North Pore	Kisangiro	58.3	28.7 45.7	28.06	-	7.87		"
32	12/61			Mwanga		9.8 17.1 23.4 25.6			9.12		"
33	7/54			Lembeni	27.8	10.7	8.2		10.94		"
34	43/70			Mgagao	152.5	86.1 122 152.5	53.74	128.3	2.84	0.5	"
35	24/61	Same	Kimori Same	94.6	61.0	55		100.32		"	
36	2/58		Ngagan Same	91.5	83.5	73.2	-	50.16		"	

Location	BH No.	Locality		Depth	W.S.	Water Level	Draw Down	Yield	Specific Capacity	Quality etc
		Area	Locality							
37	80/69	Same	Same	140.3		43.6	53.7	14.53	6.5	
38	17/56		Same	80.8	46.1 74.7	35.4		8.21		
39	17/52		Same	82	50.6 77.8	40.0		11.40		
40	28/61		Ndea Same	106.8	80 94	61.0		13.68		
41	13/61		Njoro Same	65.6	48.8 62.6	47.3		9.12		
42	20/63	Mkomazi	Mkomazi	91.2	81.7	80.8				dry
43	7/63		Mkomazi	141.8	73.2 85.4	73.2		0.14		bad

Table 4.1-12 揚水継続時間と水位降下

揚水継続時間 t	揚水井からの距離 r	u	W(u)	s	摘要
1 日	$r_0 = 0.125\text{m}$ (揚水井)	3.02×10^{-6}	1 2.5 0	1 2.7 2 5 m	
	$r_1 = 10\text{m}$	1.87×10^{-2}	3.5 0	3.5 6 3	
	$r_2 = 50\text{m}$	4.675×10^{-1}	0.6 3	0.6 4 1	
3 0 日	$r_0 = 0.125\text{m}$	1.00×10^{-7}	1 5.5 0	1 5.7 8	
	$r_1 = 100\text{m}$	6.23×10^{-2}	2.4 0	2.4 4	
	$r_2 = 200\text{m}$	2.493×10^{-1}	1.1 0	1.1 2	
6 0 日	$r_0 = 0.125\text{m}$	5.00×10^{-8}	1 6.0 0	1 6.2 9	
	$r_1 = 100\text{m}$	3.12×10^{-2}	3.0	3.0 5	
	$r_2 = 200\text{m}$	7.79×10^{-1}	0.3 4	0.3 5	
9 0 日	$r_0 = 0.125\text{m}$	3.35×10^{-8}	1 6.2 0	1 6.4 9	
	$r_1 = 100\text{m}$	2.08×10^{-2}	3.4 0	3.4 8	
	$r_2 = 500\text{m}$	5.19×10^{-1}	0.6 0	0.6 1	
1 8 0 日	$r_0 = 0.125\text{m}$	1.68×10^{-8}	1 7.0 0	1 7.3 1	
	$r_1 = 100\text{m}$	1.04×10^{-2}	4.2 0	4.2 7	
	$r_2 = 500\text{m}$	2.60×10^{-1}	1.0 5	1.0 7	

Fig.4.1-18 Relation of Drawdown and Area of Influence



7. 将来の地下水開発

4.1.4-5の地下水収支から、かん養可能な地下水量は、おおよそ3億 m^3 と試算された。

ここでは、地下水盆の揚水条件から、開発可能な地下水がどの程度あるかを検討する。Kahe-Miwaleni 地下水盆として、その流動可能な地下水量 Q_f は、地下水盆の面積を A 、平均貯留係数を S 、平均地下水水頭変化量(水位降下)を h とすると、(1)式であらわされる。

$$Q_f = A \cdot S \cdot h \quad (1)$$

S は盆地全体の平均であるから、Miwaleni 地区の計算値の50%として $S = 1.10 \times 10^{-1} \times 0.5 = 5.5 \times 10^{-2}$ 、 $A = 480 \text{ Km}^2$ 、 $h = 5 \text{ m}$ として

$$Q_f \approx 160 \times 10^6 \text{ m}^3$$

流動可能量は1.6億 m^3 となり、Fig 4.1-16からみて全かん養量の約半分に相当し、

Miwaleni Springの湧出を除く、年間のかん養量に近似している。しかし、この流動可能量は、取得可能量ではなく、かん養源からの距り、地層の水理条件、揚水施設などから判断して取得可能な地下水量は流動可能量の約 $\frac{1}{2}$ 程度とみて、8000万 m^3 ぐらいとなろう。

現在、TPCを含めてKahe-Miwaleni地下水盆から取得している地下水量は、年間1700万 m^3 弱(4.1.4-2、地下水利用現況より)と考えられており、これらを差引くと今後開発可能な地下水量としてはおおよそ5000~6000万 m^3 ぐらいが推定される。しかし、この数値は地下水盆を巨視的にみての開発可能量であり、現況の揚水井分布、あるいは地下水理条件のちがいにより、その揚水出来る量及び影響などは地区によって異なる。故に揚水計画は各地区での詳細な調査により設計することが必要である。また開発にあたっては、保全を充分配慮した計画、設計を立案することが必要で、1ヶ所での大量揚水、或はかん養量以上の開発は地下水公害をもたらすものである。

Kahe-Miwaleni地下水盆のうちでもすでに南部のように地下水の開発が進んでいるところもある。今回の調査は地下水開発のあまり進んでいない北部を中心に実施したが、その結果にもとづいて、北部地帯を採水条件の良否によって分類図示したのが、Fig 4.1-19である。

次に、この図をもとにして、なお詳しい説明を試みることにする。

(1) Miwaleni 地区

Upper Miwaleni Schemeを目的として、今度の調査でも多くの電探を実施し、また、揚水試験もおこなった。その結果No1.揚水井を中心として良好な帯水層が分布し、揚水条件も比較的良く、揚水量約1900 m^3/d とすれば、その影響範囲は600m~1000mと試算された。また、電探等による良好な帯水層のひろがりをFig 4.1-19に示すように水理条件の良否により区分けした。この区分けから判断してもこの地区はBHNo1~No2でみられる良

好な帯水層と、やや良好な帯水層がある。従って将来の地下水の開発は最も有望な地区である。帯水層定数については試験条件を考慮して、実施計画については、観測孔を伴う揚水井による揚水試験を、電探結果の帯水層条件別を実施し、各々の水理定数を使って、揚水量、影響範囲について検討し計画を進めるべきである。またコアボーリングによって地層を確認し、電探結果のチェックが必要である。

とくにこの地区は Miwaleni Spring という年間 1.2 億 m³ の大きな湧水がある。地下水の収水深度は異なっても、地下水理的には、砂礫層中の地下水であり、Upper Miwaleni Scheme における一時の大量揚水は湧水に影響することも予想される。従って、帯水層定数による適正な井戸配置、揚水量を計画し、過剰揚水はさけて、広い地域での適正揚水をおこなうことが経済的にも、地下水保全の立場からも必要なことである。Miwaleni Spring の表流水も十分に活用し、これら表流水のおよばない区域では地下水を利用することも一つの水資源保護の方法である。

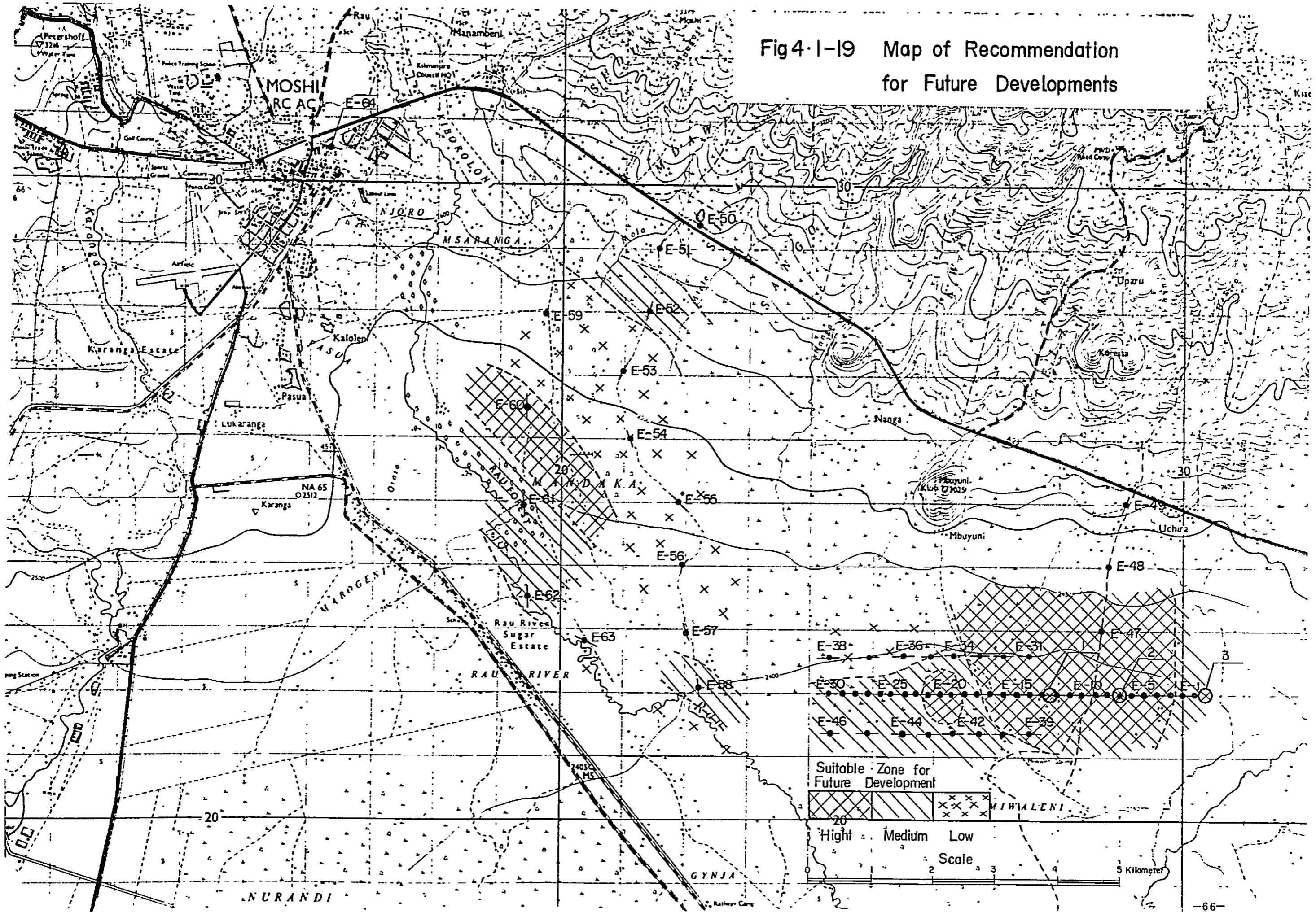
(2) Msaranga Mandaka 地区

Miwaleni の北西 Moshi との間にあるこの地区は、さく井資料はなく、電探の結果から地下水理を推定したものである。この地区は Kahe - Miwaleni 地域のうちでも Miwaleni 地区同様、Kilimanjaro 山南斜面に近く、かん養源との距りも近い。地下の地質構造も、Miwaleni の最も良質な帯水層に匹敵する砂礫などで構成された地層の存在が Fig 4.1 - 19 から予測され、充分地下水の開発が可能である。とくに Mandaka 附近は Miwaleni に匹敵する帯水層条件をもつ良好な地帯とやや良好な地帯がある。これらはいずれも地下 100 m ぐらゐの範囲に分布していると予測され将来地下水開発が期待される。Mandaka の東部でも、100 m 以上の深部或は Miwaleni よりの今度の調査できなかつたところなど充分今後の調査結果に期待のもたれるところがある。全体的にこの地区は調査地点も間かく 500 ~ 1000 m で、概査の域をでていないため、今後電探もこれら空間を埋め、またコアボーリングによる電探結果のチェック、さらには揚水試験等調査精度を高め適正な揚水計画を樹てることが望ましい。

(3) Kahe 地区

Miwaleni 南部から Kahe にかけてはすでに Kahe 附近で揚水井があり、資料からも Miwaleni に匹敵する水理条件が想定される。地表踏査からも、礫質土の分布が Miwaleni から南部 Kahe にかけて広い地域にわたっており、地下水理的にもかなり良好な水理条件を有しているものと推察される。しかし、Kahe の揚水井でみられるように、すでに開発もすすんでおり、僅かに Miwaleni の南部 Rau 川に到る付近で開発の余地が残されているのではないかと判断さ

Fig 4.1-19 Map of Recommendation for Future Developments



れる程度である。しかし開発にあたっては、やはり井戸間かく及び揚水量等水理地質調査、試験結果で計画をすることが望ましい。

(4) Arusha Chini 地区

この地区は T P C で使用される揚水井が多く存在し、その資料から判断してもかなり開発が進んでいる。T P C の揚水井は、北は Moshi の南 6 Km の Lukaranga から南部の Arusha chini に到る大きな区域に散在しており、Miwaleni に到る水位観測井もあり、地下水の挙動を詳細にチェックしている。これらは、おそらく T P C 自身が各井戸の揚水条件を維持し、地下水保全を配慮した上で、取得利用しているものと推察され、将来さらに地下水を開発することは困難ではないかと思われる。またこの地区の南部は基盤のプレカンブリア紀地層に近い上、Nynba Ya Mungu ダムの湛水区域が広がっているため、土地利用の面からも、水理地質的にも、地下水開発の余地は少ない。

Kahe-Miwaleni 地域を大別して将来の地下水開発についてのべたが、開発の期待としては Miwaleni から Moshi 南東の Rau 川に到る平原地帯であり、水理条件を充分考慮した地下水利用計画を設計することが開発と保全をマッチさせることでもあり、水資源の有効利用につながるものである。

4・2 Mkomazi 地域

4・2・1 地形・地質概要

Mkomazi 地域は、Moshi の南東約 150 Km, Kilimanjaro 山に支配される Kahe-Miwaleni 地域とは、全く山系を異にし、略南北にのびる South Pare Mts.の東麓平原にある。

South Pare Mts.は、北側の Same から、南側の Mkomazi に到る地域に分布する標高 1,750 m~2,500 m の山脈で南北 60 Km, 東西 15 Km の南北に細長い山塊を形成している。South Pare Mts.を開析する谷は西側はごくわづかであるが東側は比較的水系が発達している。これら東側の水系は、South Pare Mts.の東 10 Km 付近を Pare Mts. 沿いに北から南に流れる Kisiwani 川, Kambaga 川に合流し、Mkomazi 川となっている。

Mkomazi の谷は、この Mkomazi 川を中心とする南北にのびる盆地状の平原で、谷の東側には Kisiwani Mts.(標高 1,000 m), Tossa Mts.(標高 1,300 m) などの丘陵性山地がある。また南北に広がる平原の中には残丘状の小さい丘陵が散在し、そこでは平原の幅も著しくせまくなって川の流路も明らかでないところや季節的湿原がみられる。標高は北の Kisiwani 付近でおよそ 650 m, Gonja が 550 m, 南の Kihurio が 500 m, Mkomazi で 450 m と 60 Km 間の落差は約 200 m ある。

Ndungu と Kihurio の間では谷巾のせばまりを利用して、Dam による Kalimawe の人造湖が作られ付近の農業用水として貴重な水源となっている。Kihurio 付近では、この水を利用して米作が行われている。

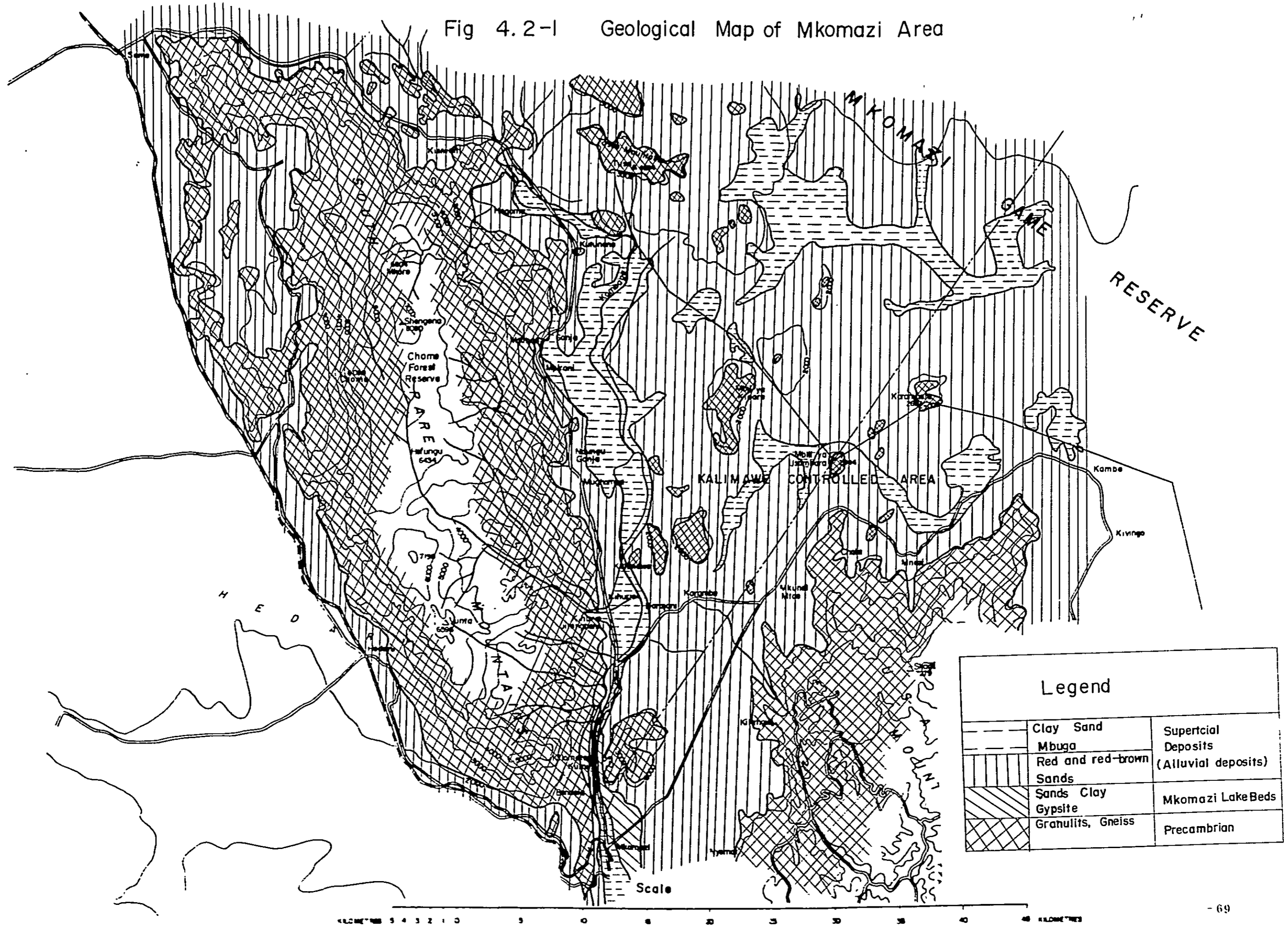
South Pare Mts.の北には、同規模の North Pare Mts. が分布している。Mkomazi 川の源流はこの North Pare Mts. の南端にある。North Pare Mts. は South Pare Mts. に較べて、山体の開析も進んでおり、また西斜面は断層からなる急崖で Pangani Trough に接している。

South Pare Mts. の西側は Pangani 川の流域平原がひろがっており、鉄道 Kahe-Tanga 線がこの Pare Mts. の西麓 Pangani 平原の東端を南北に走っている。

South Pare Mts. の南東には Usambara Mts.(標高 2,000 m) がある。Kihurio 付近から南部は、この Usambara Mts. との間の谷として発達し谷幅も Mkomazi にかけて 10 Km 内外となる。

この地域の地質は大別して、プレカンブリア紀の変成岩類と、新期堆積物に分けられる。岩質や層序の概要は Fig 4・2-1 に示す。

Fig 4.2-1 Geological Map of Mkomazi Area



Legend		
Clay Sand	Supercial Deposits	
Mbuga	(Alluvial deposits)	
Red and red-brown Sands		
Sands Clay Gypsite	Mkomazi Lake Beds	
Granulites, Gneiss	Precambrian	

プレカンブリア紀の地層は、地域の基盤をなしており、North Pare Mts. , South Pare Mts. , Usambara Mts.の各山体をなしているほか、Kisiwani Mts, Tossa Mts.等の丘陵、更にはMkomaziの谷平原に点在する丘陵性の小丘等を形成している。このプレカンブリア紀の地層は、主として白粒岩(Granulites)で、ザクロ石、黒雲母(Garnet, Biotite)などを多く伴うことで特徴づけられる。

新期堆積物は、殆んどが粘土、砂等からなり、Mkomazi川流域の谷を埋めて分布している。この沖積性の地層中には排水状態の悪い環境で堆積した暗灰色粘土や湖成堆積物等も分布している。粘土や砂は、主として白粒岩(granulite)の風化分解したもので、山に近い平原には、これらの赤褐色砂質粘土(Reddish Brown Sandy Clay)が堆積している。また、South Pare Mts.やUsambara Mts.の高地には、赤色土(Red Soil)が厚く分布している模様でこれらもおそらく白粒岩(Granulite)の風化残積土と推定される。湖成層(Lake Beds)については、この谷の盆状地形から判断して、排水不良なClosed Systemの中で、しかも乾燥気候下で積成されたものと推察され、南のMkomazi Townにはその明瞭なLake Bedの分布が記載されている。

地質構造は、全て、プレカンブリア紀の地層によって支配されており、North Pare Mts., South Pare Mts.そしてUsambara Mts.ともに断層によるBlock Mountainであり、山体を構成する白粒岩(Granulite)の流理構造はNW~NWN方向、傾斜は全て東傾斜を示している。断層はNouth Pare Mts.の西斜面急崖で見られるが、その他は、新期堆積物にかくされて明瞭でない。

4・2・2 水文・気象

(1) 水系

Mkomazi地域は、South Pare Mts.の東側である。South Pare Mts.の東側を流下する河川で、乾季にも表流水がある大きなものは、北からKisiwani川、Gonja川及びZaseni川の3つである。3河川とも源をSouth Pare Mts.の最高峰Shengena山に発し、Kisiwani川は北に流路をとり、Gonja川は北流後、東へ流下し、Zaseni川は南流した後東へ向きを転じ、ともにSouth Pare Mts.の東側に沿って存在する湿原へ流入している。この湿原をつなぐ様に、Kambaga川が流れ、それを堰止めてつくられたLake Kalimaweを通り、Mkomazi川となり、南流して、Korogweの上流附近でPangani川に合流する。

Mkomazi川は、このSouth Pare Mts.の東側水系のほかNorth Pare Mts.の南水

系、Kisiwani Mts. Tossa Mts. からの水系、および Usambara Mts. の北西側水系を集めている。

(2) 降 水

Mkomazi 地域は、Kahe-Miwaleni 地域と同様、3～5月が大雨季、11～12月が小雨期、7～9月が乾期とに分けられ、乾期には、全く降水がないと言って良い。降雨は、風向の関係もあり、South Pare Mts. の東側は、西側よりも多い。雨量観測の行われている所は、Kilimanjaro 山麓ほどの数はないが、Fig 4・2-2 に示す通りである。各観測所の月別平均降水量を示すと Table 4・2-1 の通りである。

Table 4・2-1 年降水量一覧表

場 所	標 高	年 降 水 量
Gonja Estate	549 m	940 mm
Kalimawe	503 "	300 "
Same	869 "	630 "
Hassani Sisal Estate	488 "	570 "

また、1974年2月の実施計画調査団報告書によれば標高別の降水量は Table 4・2-2 の通りである。

Fig.4-2-2 LOCATION MAP of RAINGAUGE STATION

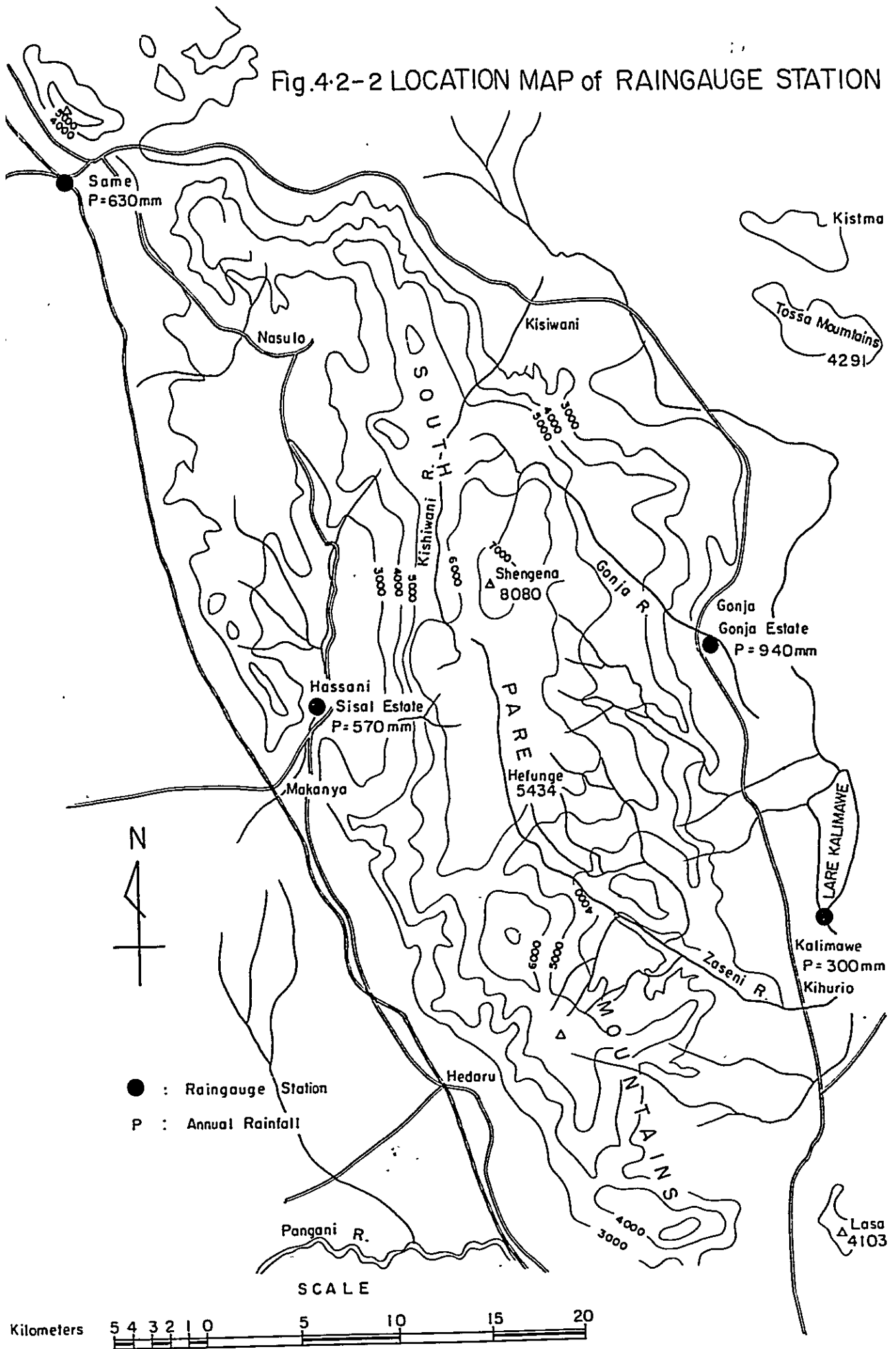
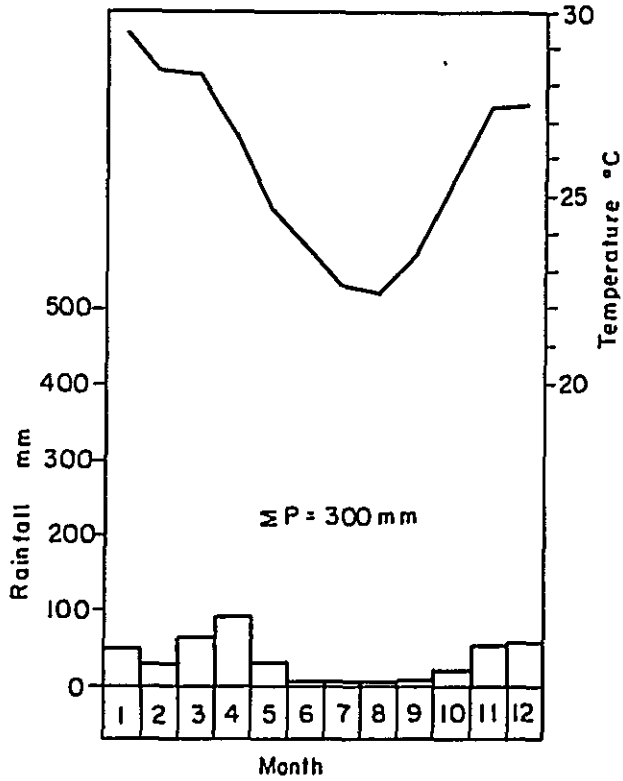


Fig.4-2-3 Meteorological Data

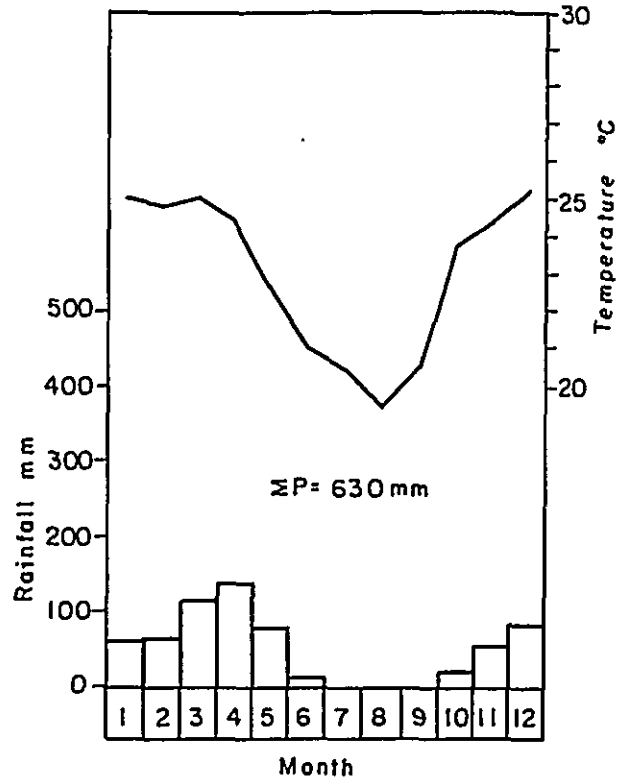
Kalimawe

G.H = 503m (1650ft)



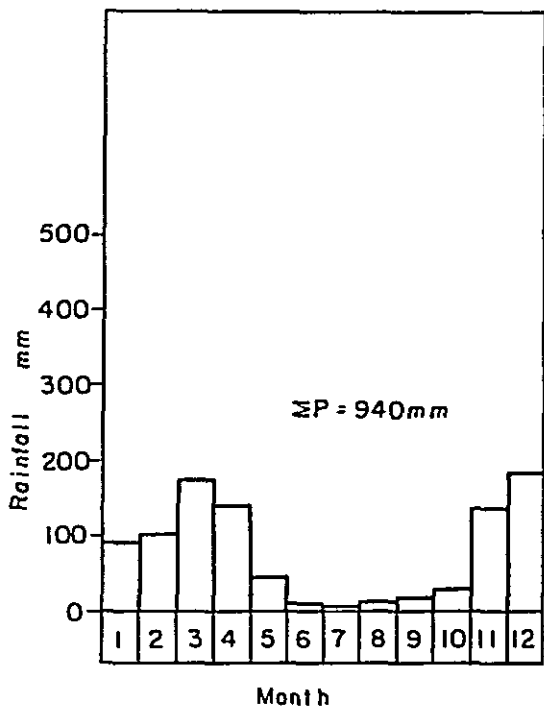
Same

G.H = 869 m (2850 ft)



Gonja Estate

G.H = 549 m (1800 ft)



Hassani Sisal Estate

G.H = 488 m (1600 ft)

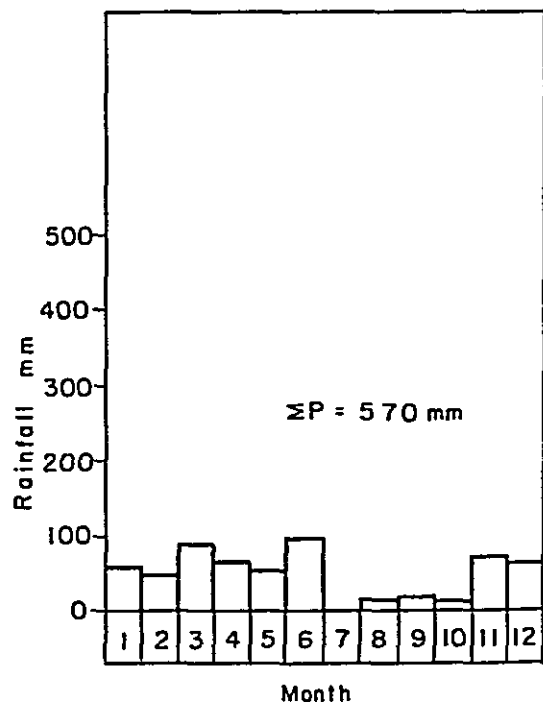


Table 4・2-2 標高別年降水量表

標 高	年 降 水 量
4,500 ft = 1,372 m	1,300 mm
4,000 " = 1,219 "	1,190 "
2,900 " = 884 "	500 "
2,500 " = 762 "	500 "
2,200 " = 670 "	460 "

(3) 気 温

気温は、Kahe-Miwaleni Area と同様で、標高による差があるが6～8月が低く、1～3月が高い。

月別平均気温を図示すればFig 4・2-3の通りである。

(4) 蒸 発 量

蒸発計蒸発量の観測データは、年間を通したものがなく、Kalimawe (W.D.& I.D.)における1975年10月の蒸発量が

$$E_p = 190.6 \text{ mm (Class A Pan)}$$

である。これをMiwaleni 分場における蒸発量に対応し、比例するものと仮定すると、Kalimaweの蒸発量は1,880 mm程度と考えられる。

4・2・3 水理地質構造

Mkomazi 地域における電気探査および地表地質調査結果からKisiwani, Gonja, Kihurioそれぞれの地区での地下地質を推定したものがFig 4・2-4である。

Kisiwani, Gonja両地区では測点E65, E68で、基盤であるプレカンブリア紀の地層が近くに露出しているところで比抵抗を計測したが、その結果、基盤の白粒岩(Granulite)と推定される部分で $\rho = 40 \sim 100 \Omega\text{-m}$ が得られた。基盤から遠ざかった地点では、いずれも比抵抗値が $4 \sim 18 \Omega\text{-m}$ と低い値を示している。このうちでもKisiwani では $\rho = 4 \sim 5 \Omega\text{-m}$ の地層が地下100 m以上あると推定され、Gonja では谷の中央に近いE70では $18 \Omega\text{-m}$ で、E69地点に比して若干高くなっている。しかし深度方向の変化はごく小さい。Kihurio では $\rho = 17 \Omega\text{-m}$ の地層が100 m以上分布している。

地表での観察からみると、Kisiwani 地区の表層は暗灰色の粘土が卓越しており、白色の貝がらも観察される。また片麻岩、白粒岩(Gneiss, Granulite)の転石も認められる。Gonja では、山腹斜面に近い崖すい層にはプレカンブリア紀の地層基源の礫がみとめられる。沢の露頭では黒雲母-ザクロ石-白粒岩(Biotite-Garnet-Granulite)等が分布し、表

流水もある。谷平原は灰白色～灰色の粘土或は砂がみられ荒地のほか、小さい湿原もある。Gonja の西 3 Km には Thernton 滝があり表流水は付近の農業用水として利用されている。Kihurio はその南に水量の比較的多い Zaseni 川が流れ、谷平原は上流にある Kalimawe ダムからの水で かんがいが完備して、水田などの土地利用がなされている。

さく井資料等地下の地質を直接判定する資料がないので電気探査と、踏査等の結果を総合して、Mkomazi の谷平原の地質構造を推定すると、低い比抵抗値を示す沖積性堆積物が山ざわで急激に深くなり、South Pare Mts. が Block Mountains である事などより判断して、沖積性堆積物とは Fig 4・2-4 で示す如く断層で接しているものと判断される。

水理地質構造としては、South Pare Mts. を形成する白粒岩 (Granulite) 類は、不透水性の基盤であり、この基盤上に堆積している未固結の沖積堆積層中に帯水層の存在が考えられる。この沖積堆積物は、比抵抗値から判断して細粒土により構成されていると想定されとくに Kisiwani では粘土を主体とする地層と判断される。Gonja と Kihurio では粘土のほか砂、礫の存在が考えられる。従って Mkomazi 川中流では、粘土、砂或は一部礫を含む地層の互層が谷を埋めて存在しているものと予測され、地下水の取得も可能であろう。しかし Kahe-Miwaleni 地域のそれと比較して、比抵抗値等から判断して、帯水層規模も小さく、かつ涵養源としての後背山地は、不透水性の白粒岩 (Granulite) を主体とするため、降水の地下浸透も少なく、Kahe-Miwaleni 地域におけるような地下水涵養はこの地区ではおこなわれない。また地表付近は粘土を主体とするため、伏流水もなく表流水の浸透もあまり期待出来ない。従って、揚水条件も Kilimanjaro 山ろくに比して著しく小さいと判断される。

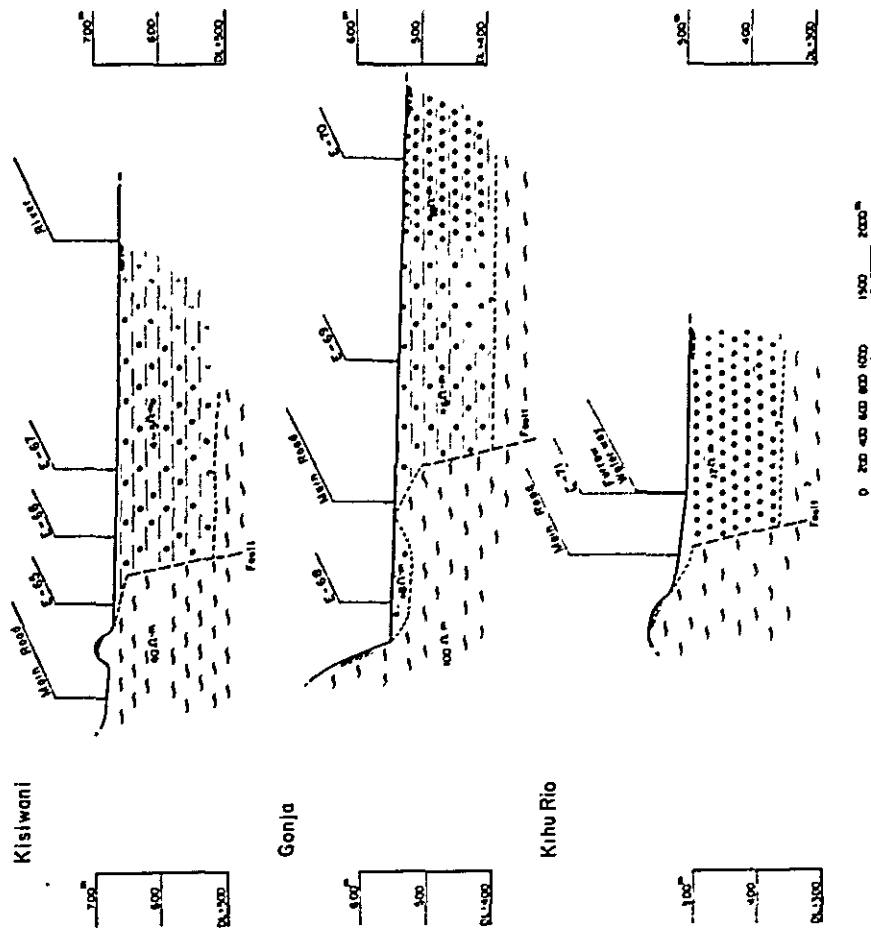
この地域は沖積堆積層に胚胎する地下水の外に断層破砕帯の地下水が Block Mountains の山ろくで期待出来るが、これは、地下水の賦存する位置の探査が技術的に難しい。

4・2・4 地下水開発について

Mkomazi 川流域の平原は沖積堆積層中の砂を帯水層とする地下水と、South Pare Mts. の山ろくに予想される断層破砕帯に胚胎する地下水の開発が対象となるが、後者については、地下水胚胎の機構が複雑で、探査は難しいが、地震探査、放射能探査などによって、採水適地が発見される可能性がある。

沖積堆積物については、その中の粗粒物質に帯水層を求める事が出来、調査結果では Gonja 付近で多少の地下水開発の期待がもたれる。今度の調査深度、方法だけでは不十分で、更に深部に達する電探をおこない基盤深度を調査し、基盤に近いところの構成物質を確認するとともに、ボーリングによる地層の肉眼観察と電探結果の対比により帯水層となり得る地層の規模を予測することが必要である。

Fig 4-2-4 CROSS SECTION OF MKOMAZI AREA
(After Electrical Soundings)



Legend

Mark	Resistivity (ohm-ft)	Facies	Suitability For Aquifer
(Symbol)	4-6	Clay Sand Lime deposits	Δ
(Symbol)	17-18	Clay Sand gravel	○
(Symbol)	40-100	Lime deposits Precambrian granulite gneiss	X
(Symbol)		Fault	
(Symbol)		Boundary	

揚水量、揚水条件等については、Kahe-Miwaleni 地域に比してはるかに小さいと予想され、大規模な地下水開発は期待薄で、水道用水程度の利用として開発を考える事が望ましい。

第5章 結論と今後の問題点

次に以上の調査結果を結論的にまとめ、残された問題点を指摘して結論に代えることとする。なお、最後に今回の調査対象にはならなかったが、Kilimanjaro州の他地域の地下水開発の可能性について、主として地形・地質学的観点から概観しておく。

5・1 Kahe-Miwaleni 地域

5・1・1 ま と め

本地域は、Fig. 4・1-1に示されるごとく東・西および南側の三方を断層あるいは Precambrianの基盤岩類で画された、盆地状構造(Basin Structure)を呈している。この盆地を埋積している物質は、主として砂、礫、粘土および石灰質堆積物で、ところどころに Kilimanjaro火山源の溶岩(Lava)や火山砕屑岩(Pyroclastic rocks)を挟んでいる。北方の Kilimanjaro 山体に近づくとつれ、火山岩が優勢となる(Fig. 4・1-1参照)。これらの堆積物は、一般に空隙に富み、帯水層(Aquifer, Waterbearing formation)を形成している。その厚さについては明確でないが、南部で少くも130m以上、北部ではさらに厚くなる傾向がある。

このように、本地域は水理地質学的に1つの地下水盆(Groundwater Basin)を形成しており、その中での水収支を考慮することなしに将来の地下水開発計画を樹立することは危険である。

Fig. 4・1-16に示すように、Kahe-Miwaleni地下水盆に涵養される総水量はおよそ3億 m^3 /年程度と推定され、地表流出(主としてMiwaleni湧水)、汲み上げによって消費される水量は現在で約1億数千万 m^3 /年と推定されるので、涵養量の約半が将来の地下水開発の対象となる。しかしながら、これをそのまま開発可能量と考えることはできない。採水の施設や水理的な制約のために、全部を採水することは技術的に不可能であるからである。従って、実際の将来可能採水量は、安全をみるとこの量の半以下、約5,000万 m^3 /年程度と考えるべきであろう。

かんがい計画が進められている Upper Miwaleni 地区周辺については、Fig. 4・1-7に示すようなさらに具体的な帯水層区分を行ない、採水条件の良否を示す平面図(Fig. 4・1-19)を提示した。

また、既設井の揚水試験(Pumping test)の結果、この地区で最も採水条件の良い部分の帯水層定数(Coefficient of Aquifer)は

透水量係数 (Transmissibility) $T = 1.70 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$

貯留係数 (Storage Coefficient) $S = 1.10 \times 10^{-1}$

と算定された。また、段階揚水試験 (Step draw down test) の結果、経済的な限界揚水量は、口径 250 mm 程度、深度 70 ~ 80 m の井戸で 1 井当り 1,800 ~ 2,000 $\text{m}^3/\text{日}$ と試算された。なお、この場合の適正井戸間隔は、約 2 ヶ月程度の連続揚水と群井の相互干渉を考慮すると 600 ~ 1,000 m 程度となり、水位降下は 12 m 程度となる。

5・1・2 問題点と今後の調査方針

- 1) 揚水試験は諸種の事情によって、帯水層条件としては最もすぐれている 1 井でしか実施しておらず、観測井 (Observation well) も設置できなかった。そのため、連続揚水時の水位低下量、適正井戸間隔などの算定過程に種々の仮定や推定条件が入り、精度上の問題が残されている。従って、今後 Fig. 4・1-19 に示した帯水層条件の異なる地点 (少くも 3 点) において、テストボーリングを行ない帯水層の性質を確認するとともに、2 ~ 3 井の観測井を設置して揚水試験を行なって帯水層定数を求める必要がある。その際揚水時間は 3 日 ~ 5 日継続し、長期揚水時の水位低下量を確認すべきである。
- 2) 今回実施された電気探査は、日程的な制約もあり、線的な調査に終わった。従って主要な地下断面を描くことはできたが、平面的な帯水層のつながりが不明な部分が残されている。今後電気探査の点数を補足して、充実をはかる必要がある。
- 3) 地下水収支に使用した気象水文データは、既往のものをういたが雨量、蒸発散量、地表流出量などの実測データの精度が必ずしも満足すべきものではなく、今後観測地点を増やし精度を高める必要がある。

5・2 Mkomazi 地域

5・2・1 ま と め

South Pare Mts. の東側の Mkomazi 地域は、Precambrian の変成岩類からなる山体がほぼ南北方向に並列しており、それらの山体の間を埋めるように沖積低地が発達している。沖積低地での電気探査の結果では、Precambrian の基盤が少くも 100 m 以上と、深い基盤の谷の存在が推定される。この谷を埋める物質は、電気比抵抗および地表露頭の観察から粘土、砂、石灰岩などの比較的細粒の堆積物からなるものと推定される。

従って、Kahe-Miwaleni Basin におけるような優れた帯水層は期待できない。現にこの地域で掘られた 2 ~ 3 の Bore hole は、ゼロかせいぜい数 100 $\text{m}^3/\text{日}$ 程度の揚水量しかない。かんがい用水源としての地下水が、1 井当り数 100 $\text{m}^3/\text{日}$ 以下では経済的に Pay し

ないことが多いことを考えると、Mkomazi 地域では、かんがい用水源を地下水に依存することは得策ではない。むしろ、比較的降雨量の多い Pare Mts. 東側斜面に小ダムを築造して、かんがい用水を確保すべきであり、その技術的可能性も充分考えられる。

5-2-2 問題点と今後の調査方針

前述したように、本地域では一般的には多量の地下水は期待できないと思われるが、なお Kisiwani, Gonja などの沖積層の厚い谷部で 100 m 程度のテストボーリングを行なって、帯水層の性質や揚水可能量を確認することが望ましい。

また、本地域には断層や破砕帯の発達が著しいので、それらの破砕部に含まれる fissure water が期待される。従って、今後電気探査や地震探査によって有力な地下水を発見できるかも知れない。

用水源としてダムを考えた計画を進めるにあたっては、1) ダムサイトの選定、2) 貯水可能量、3) ダム基礎地質および築堤材料などの調査がまず必要となる。1)、2) については、今後現地踏査および河川流量観測地形測量などによって、具体的な作業を進めねばならない。3) については、終局的にはボーリング等による確認調査が実施されねばならないが、基盤は堅硬ち密な片麻岩類で、ダム基礎としての問題は少いと思われる。また、ダムタイプについては、附近で容易に豊富に求められる基盤岩の残積土（赤土）を不透水性材料とし、全風化帯（礫まじり土）をランダム材料としたフィル・ダムが経済的にも有利と考えられる。

5・3 その他の地域の地下水について

Kilimanjaro 州は、地形的に 1) 北部 Kilimanjaro 山とその山麓地帯、2) Pangani 川流域の低地および 3) Pare Mts. とその東側の小山地群とその間を埋める低地帯からなる地域とに 3 分される。

1) の南麓部については Kahe-Miwaleni Basin としてすでに詳述してある。東側の山麓部から沖積低地にかけては、Kahe-Miwaleni 地域と同じような水理地質構造を示すものと推定され、地下水賦存条件も優れているものと思われる。しかしその主部は Kenya 領となっており、Tanzania 領の Rombo 地方は山腹斜面部にあたり、南麓斜面と同じく火山岩類の厚層からなっているものと思われる。これらの岩層は、一般に透水性の地層であるが不透水性基盤が深いため、地下水は Sealed される前に下方に流下してしまい、部分的な Perched water を除いて地下水の採取は困難であろう。現に 1/125 万「kilimanjaro」地質図巾の説明書（1964）によれば、Kenya での 1 つの Bore hole が成功しているのみで、Mkuu, Mas-hati などの 5 箇所 of Bore hole は不成功に終わっているという。

従って東麓の地下水開発については、今後詳細な物理探査（電気探査、放射能探査が有効）をまず実施して、地下水の賦存状態を明らかにし、次いで Test boring によって確認すべきであろう。

2)の Pangani 川流域地帯は、Pare Mts. と Lelatema Mts. とに挟まれた南北に伸びる地溝 (Graben) 性の低地とされているが、処々に基盤岩の露頭があり (Ex. Numba Ya Mung Dam 地点) 水理地質学的には、前述した 3) の Mkomazi 地域とほとんど同じであると考えられる。従って、Mkomazi 地域と同じような方針で今後の調査を進めるべきであろう。

参 考 文 献

1. A.M. Quennel (1956): Summary of the Geology of Tanganyika,
Part I: Introduction and Stratigraphy
2. J.F. Harris (1956): Summary of the Geology of Tanganyika,
Part IV: Economic Geology
3. F.M. Coster (1960): Underground Water in TANGANYIKA
Printed by the Government of Printer, Dar es Salaam,
1960
4. W. Halcrow and Partners (1962): Report on the Development of
the Pangani River Basin, Oct. 1962 (Consultants Company)
5. J.K. Whittingham (1963): Geological and Geophysical Investigations
for Water Supply in Moshi Area
6. T.H. Mather (1964): Kahe Irrigation Scheme, Miwaleni Springs
Discharge Analysis (Appendix E), Dec. 1964
7. J.C. Ramsay (1965): Kilimanjaro - Sources of Water Supplies,
Tanganyika Notes and Records, Mar. 1965
The Journal of the Tanganyika Society
8. 志 村 馨 (1965): 電気探査法, 昭晃堂
9. Geological Survey of Tanzania (1965): Geological Map of
"DALUNI", Sheet No. 91 & 110, compiled and published
by Geological Survey Division, Dodoma, 1965
10. Geological Survey of Tanzania (1965): Geological Map of
"SAME", Sheet No. 89, compiled and published by
Geological Survey Division, Dodoma, 1965

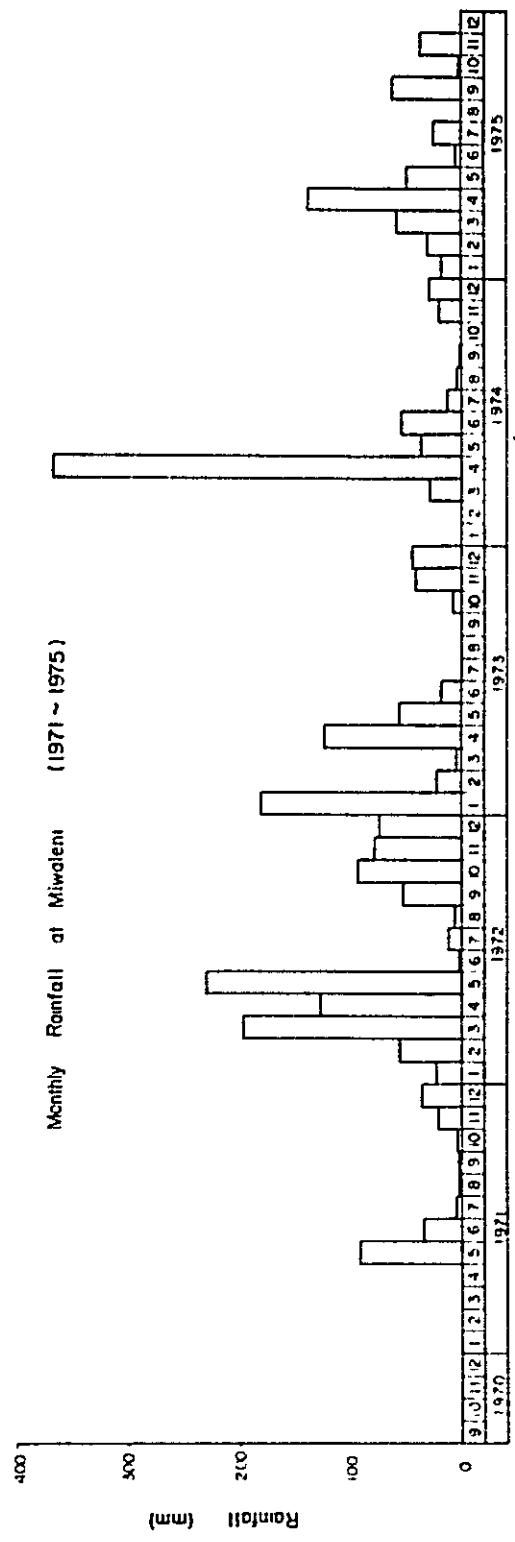
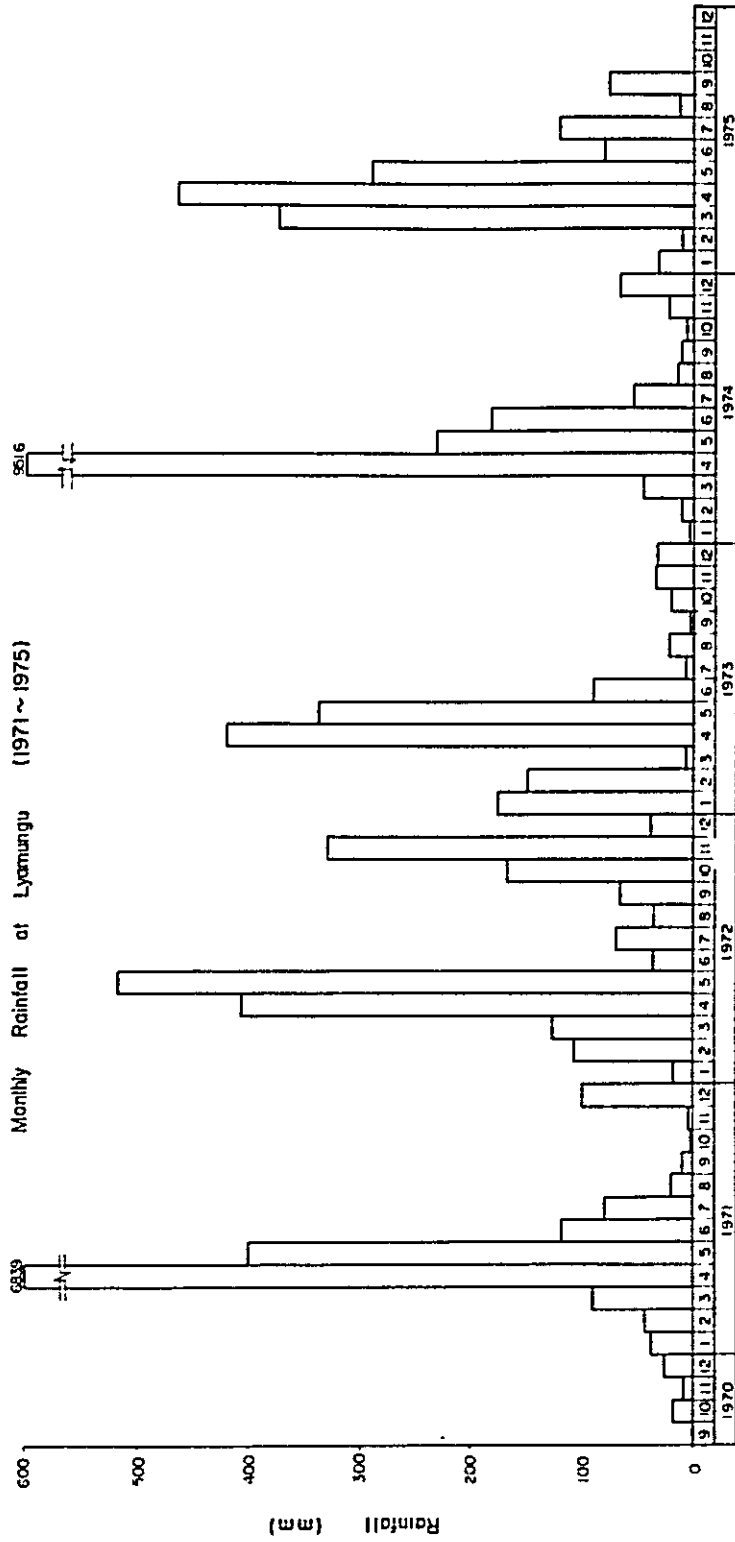
11. Geological Survey of Tanzania (1963): Geological Map of "MNAZI (KALIMAE)", Sheet No. 90, compiled and published by Geological Survey Division, Dodoma, 1963
12. Geological Survey of Tanzania (1962): Geological Map of "NORTH PARE", Sheet No. 73, compiled and published by Geological Survey Division, Dodoma, 1962
13. Geological Survey of Tanzania (1965): Explanatory Notes on the Geological Map of "Kilimanjaro", Geological Survey Division of Tanzania, 1965
14. I. Matsuzawa (1966): A Study on the Formation of the African Rift Valley, Dec. 1966
The Journal of Earth Sciences, Nagoya Univ., Vol. 14
15. P. Schroeter (1966): Hydrogeological Investigation of the Miwaleni Spring, Near Moshi, Northern Tanzania (Vol. III, Section 3) Oct. - Dec. 1966
16. East African Academy (1966): Research Services in East Africa
17. E. Felfadi (1967): Summary of Subsurface Investigations for Kahe-Miwaleni Area, Report of F.A.O., June 1967
18. 山本 莊 毅 (1968): 揚水試験と井戸管理, 昭晃堂
19. K. Suwa (1969): Metamorphic Rocks of the North Pare Mountains, Tanzania, The Journal of Earth Science, Nagoya Univ., Vol. 17 (Special Volume) 97-106
20. Nagoya Univ., Department of Earth Science (1969): Nagoya University African Rift Valley Expedition 1968 Report, Dec. 1969

21. Davis & Sorensen (1969): Handbook of Applied Hydraulics
Printed by McGraw-Hill Book Company
22. Balasha & Jalon Consultants and Engineers Ltd. (1969):
Master Plan of Development and Utilization of
Ground Water in Tanzania, Oct. 1969
23. R.W. Girdler (Ed.) (1972): East Africa Rifts - Developments
in Geotectonics - Vol. 7, 179p, (Elsevier, Amsterdam,
- London - New York, 1972)
24. 水収支研究グループ編(1973): 地下水資源学, 共立出版 KK
25. 海外技術協力事業団(1974): タンザニア・キリマンジャロ農業開発実施
計画調査団報告書, Feb. 1974
26. K. Suwa (Ed.) (1975): First Preliminary Report of African
Studies, Association for African Studies,
Nagoya Univ., Mar. 1975
27. Atlas of Tanzania: Hydrology, Mean Annual Rainfall,
Rainfall Probability, Physical, Geology, Soils,
Regions and Districts, Potential Land Use and Others
28. 古今書院: 世界気候誌Ⅱ「アフリカの気候」

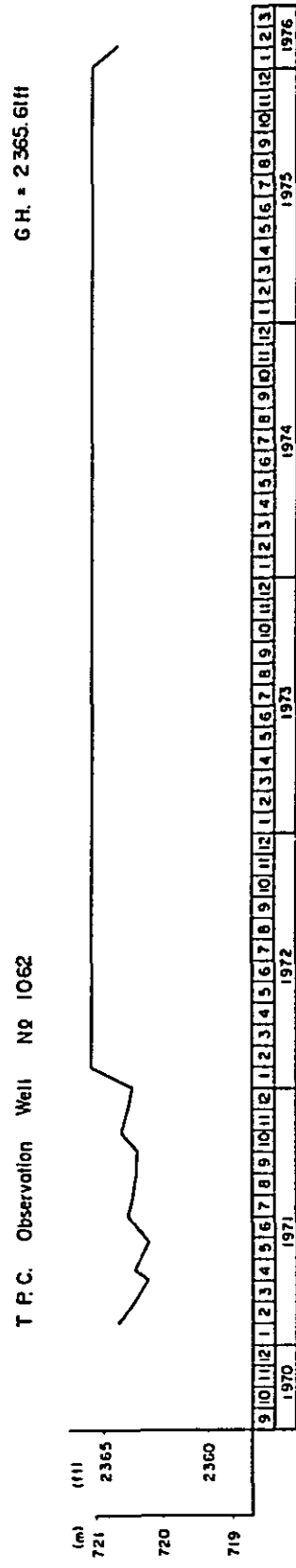
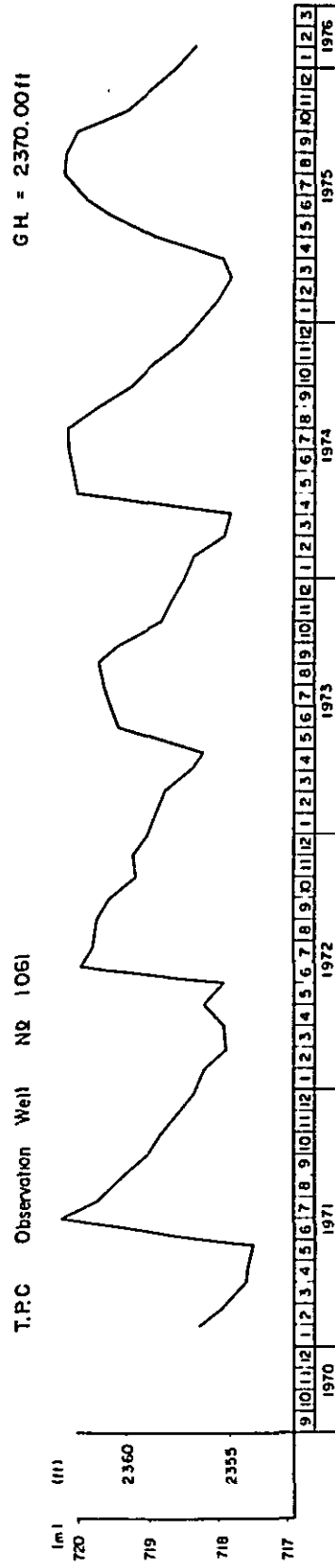
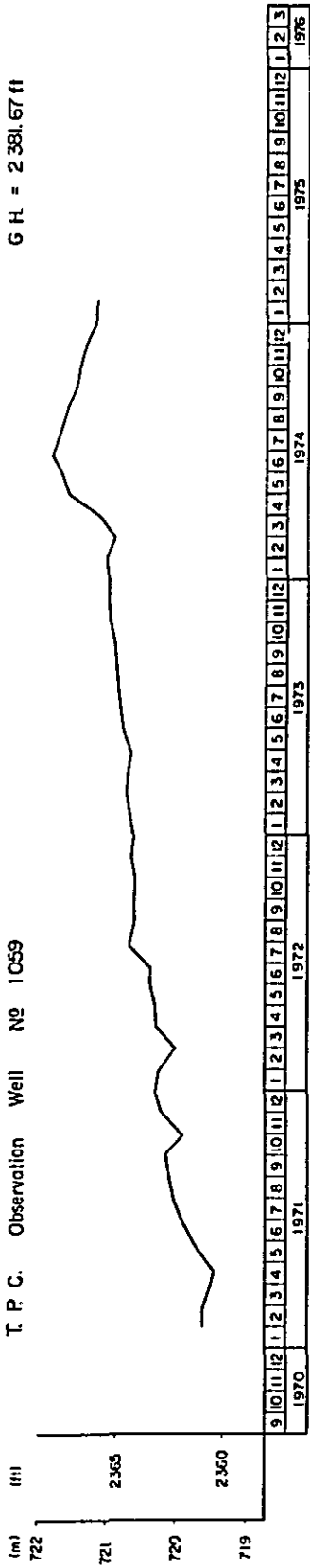
資 料 目 次

Annex 1	Monthly Rainfall of Lyamunga
2	Monthly Variation of Ground Water Table (1971-1975 T.P.C. Observation Well)
3	ρ - a Curve
4	Colamnar Section
5	Discharge Curve of Triangular Weir ($2\theta = 100^\circ$)
6	Data of Pumping Test (B.H. - No. 1)
7	Pumping Test Curve (B.H. - No. 1)
8	Data of Pumping Test (B.H. - No. 2)
9	Data of Pumping Test (B.H. - No. 3)

Annex I



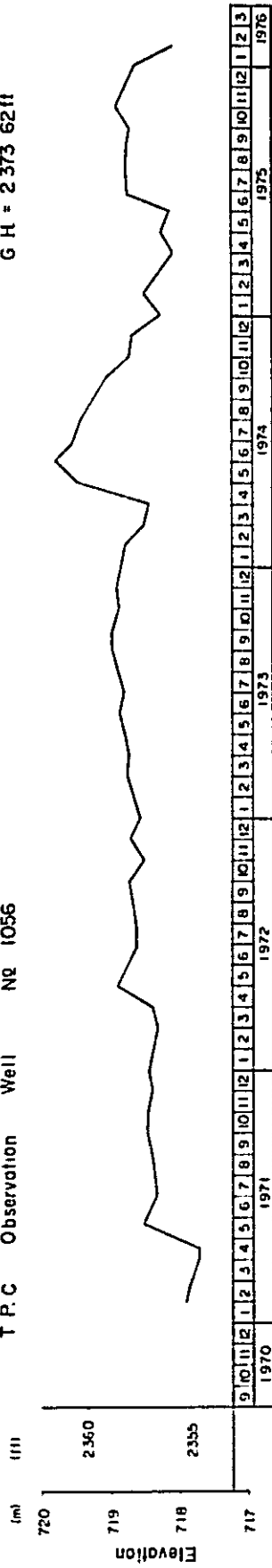
Annex 2 Monthly Variation of Ground Water Table (1971 ~ 1975)



Annex Monthly Variation of Ground Water Table (1971 ~ 1975)

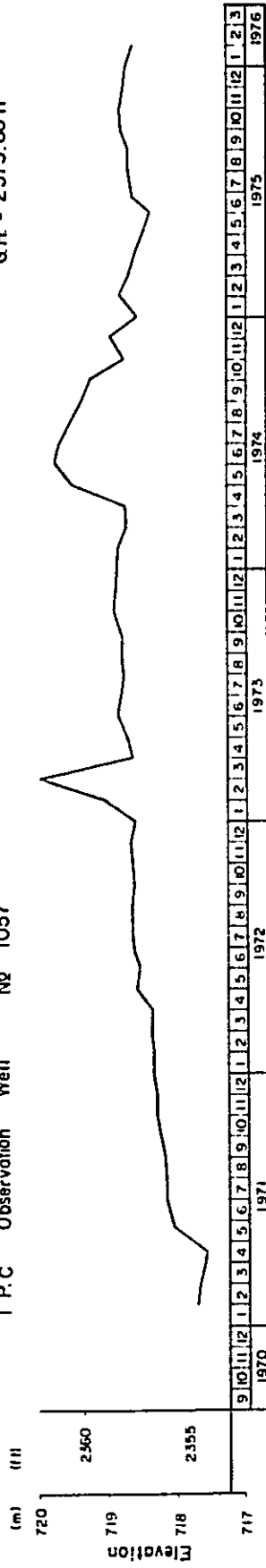
G.H. = 2373.62 ft

T.P.C. Observation Well No. 1056



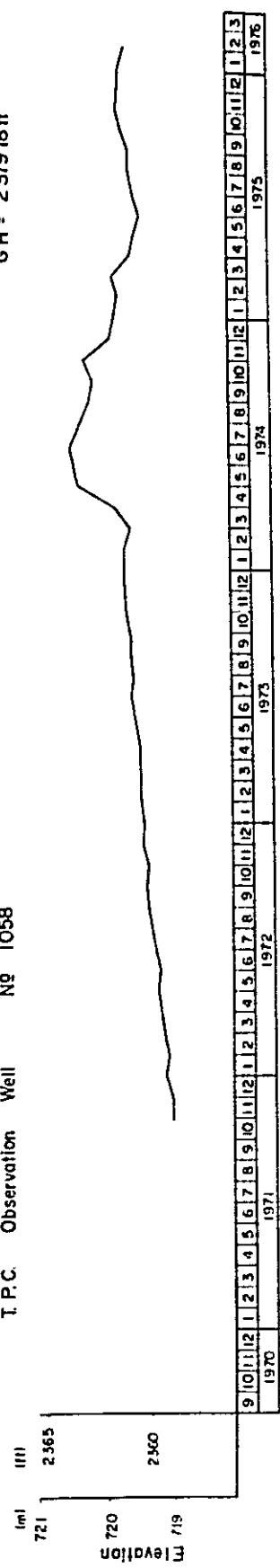
G.H. = 2373.80 ft

T.P.C. Observation Well No. 1057

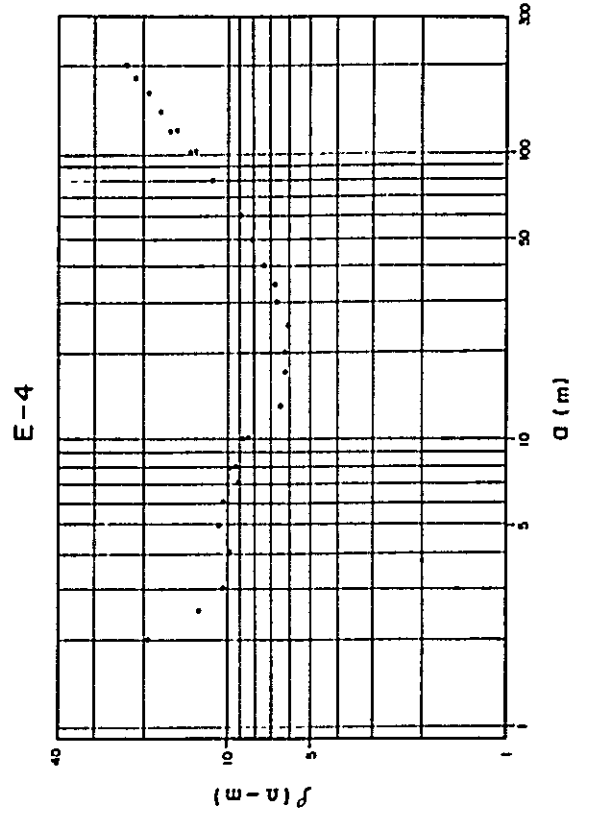
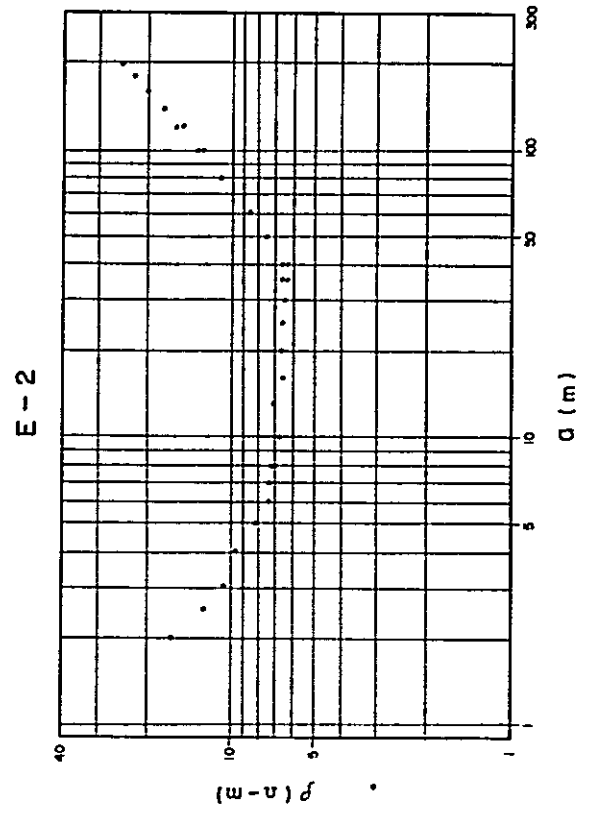
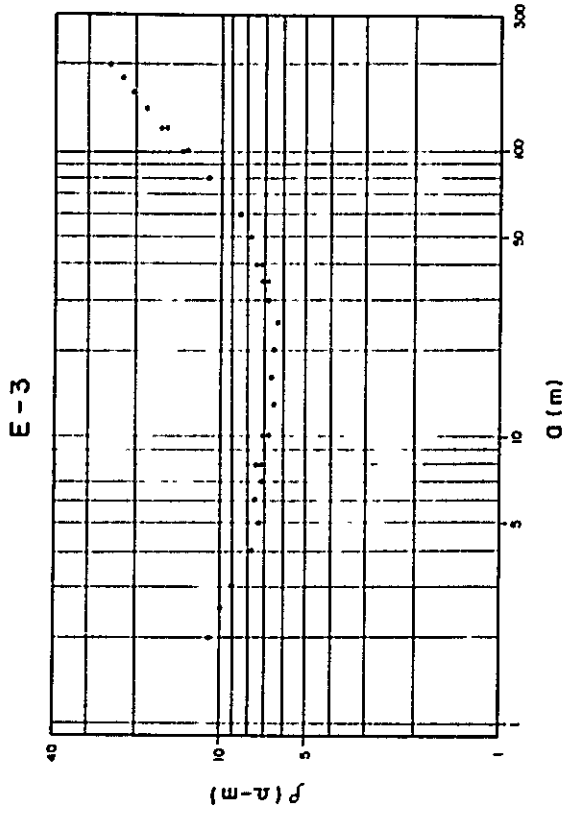
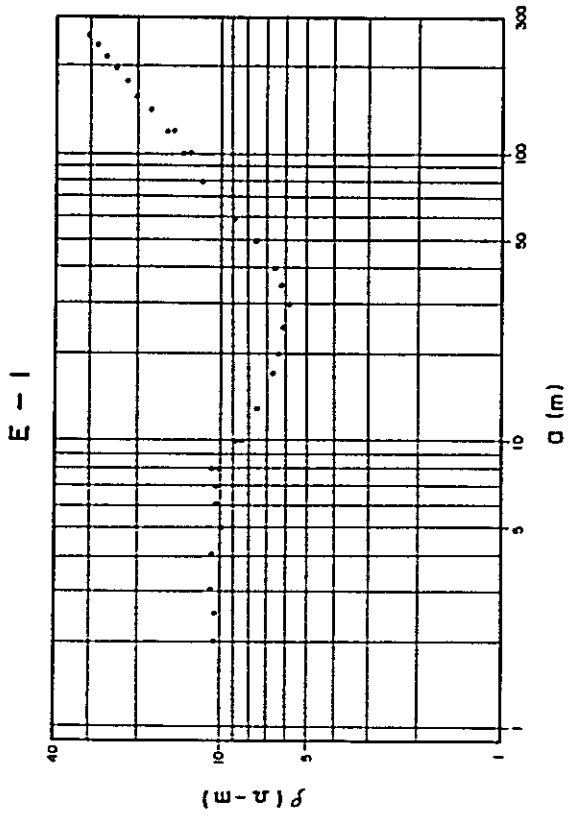


G.H. = 2379.18 ft

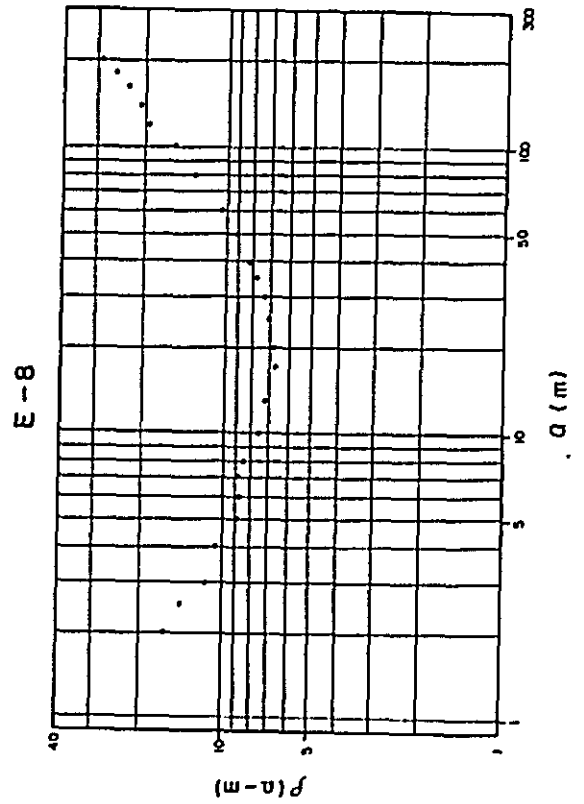
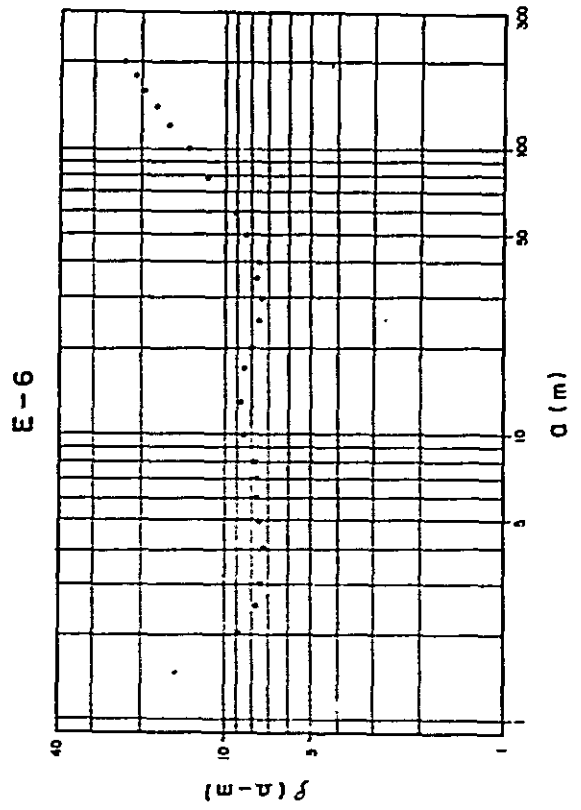
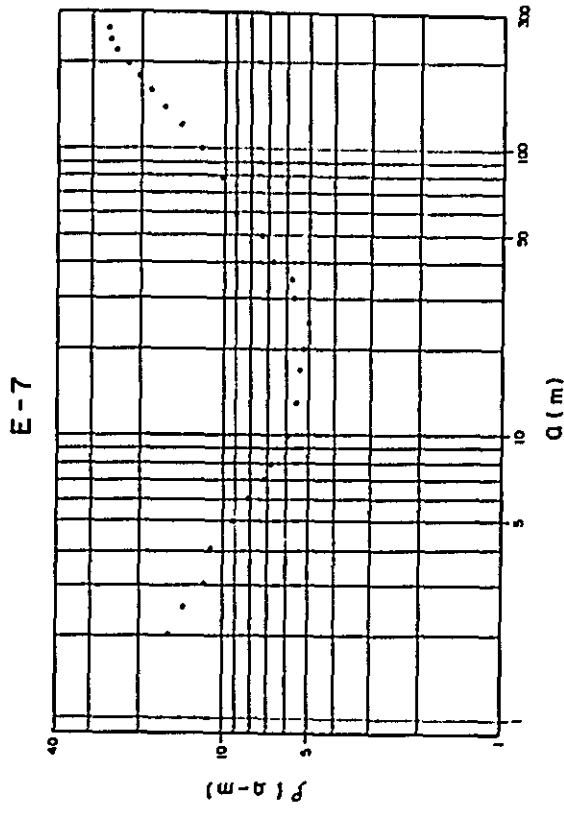
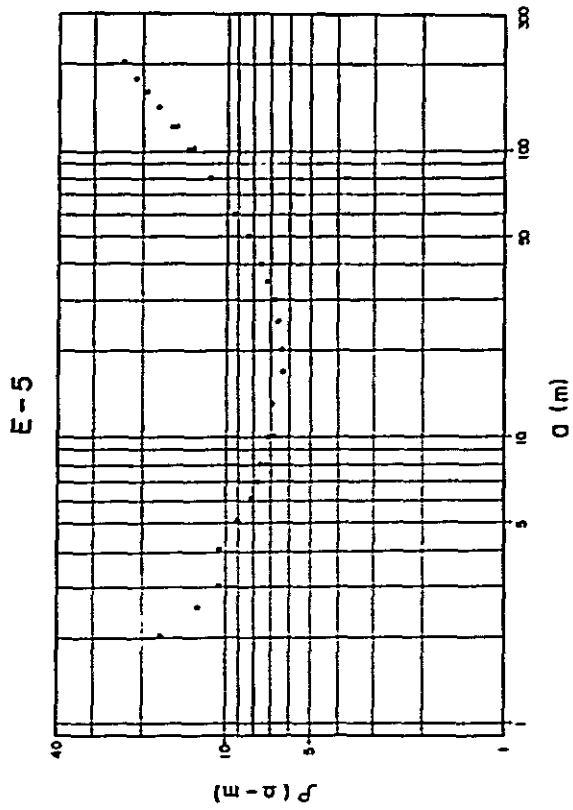
T.P.C. Observation Well No. 1058



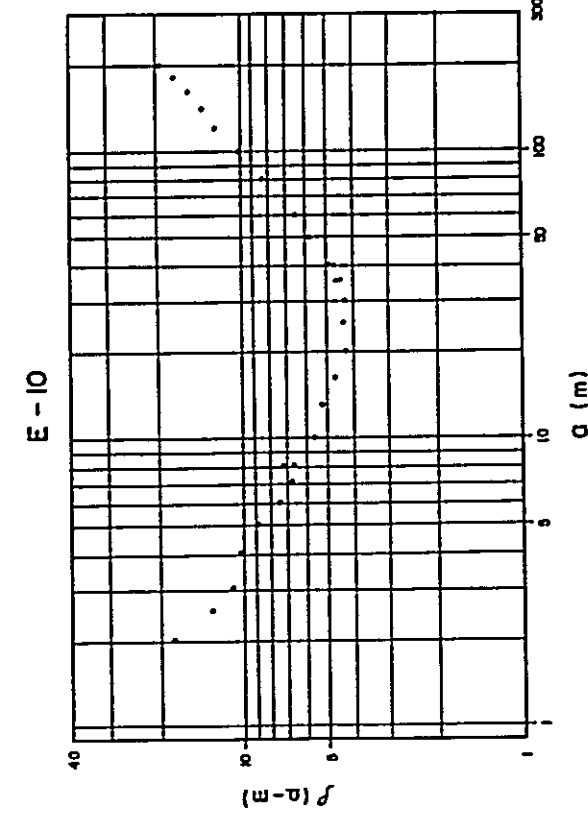
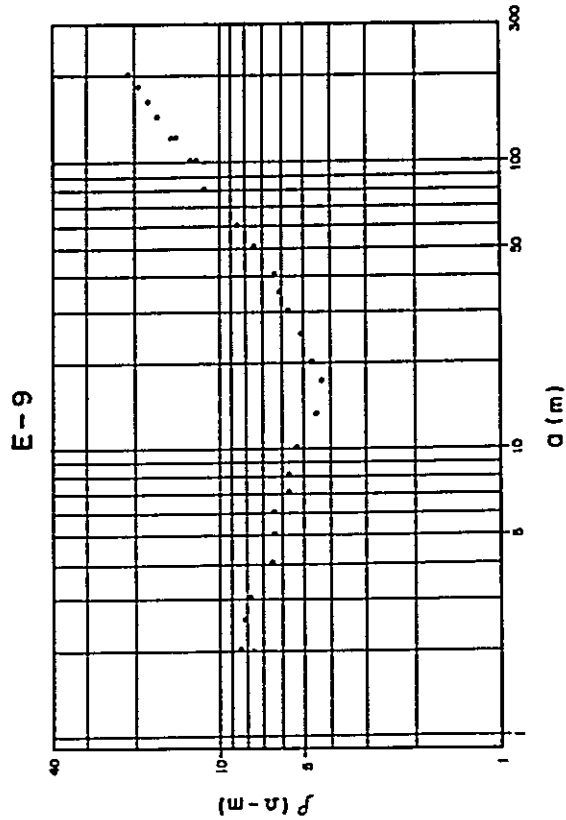
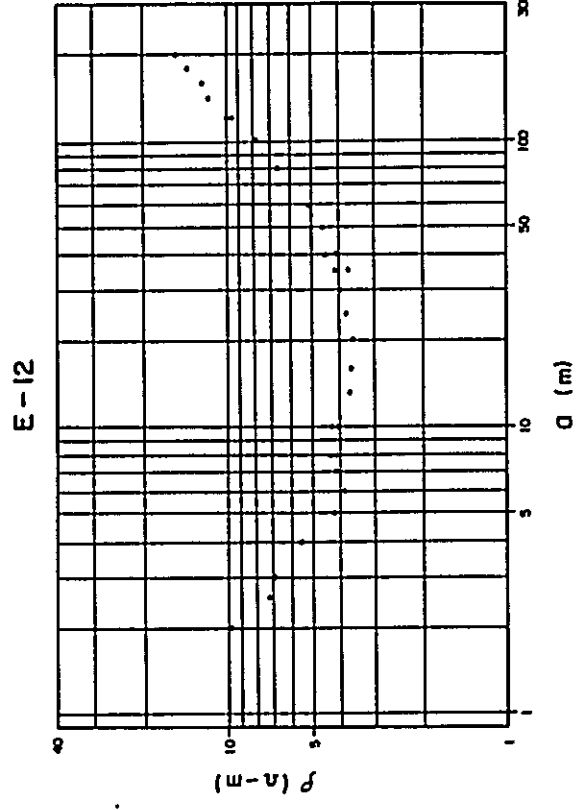
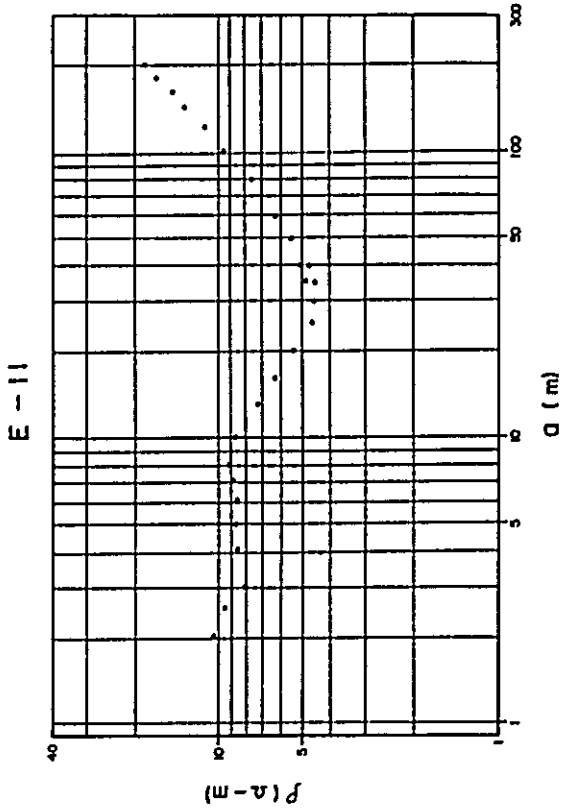
Annex 3 ρ - α Curve (Kahe-Miwaleni Area)



Annex ρ - σ Curve (Kahe-Miwaleni Area)

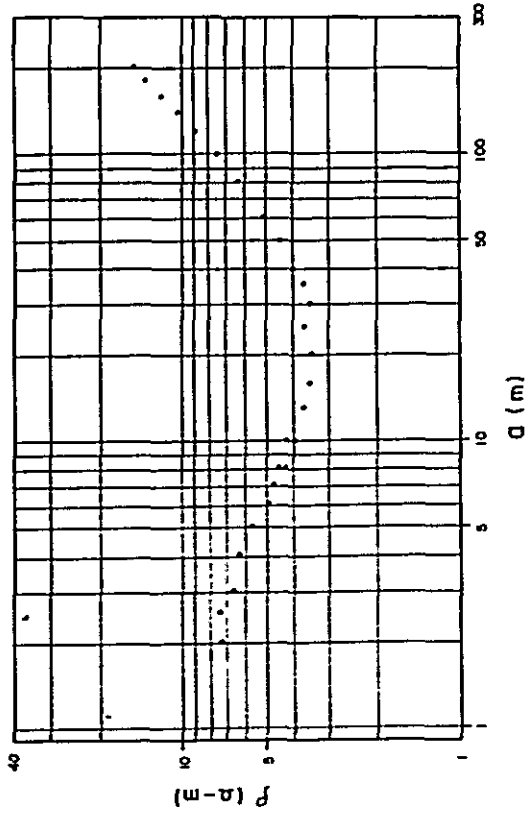


Annex ρ - α Curve (Kahe-Miwaleni Area)

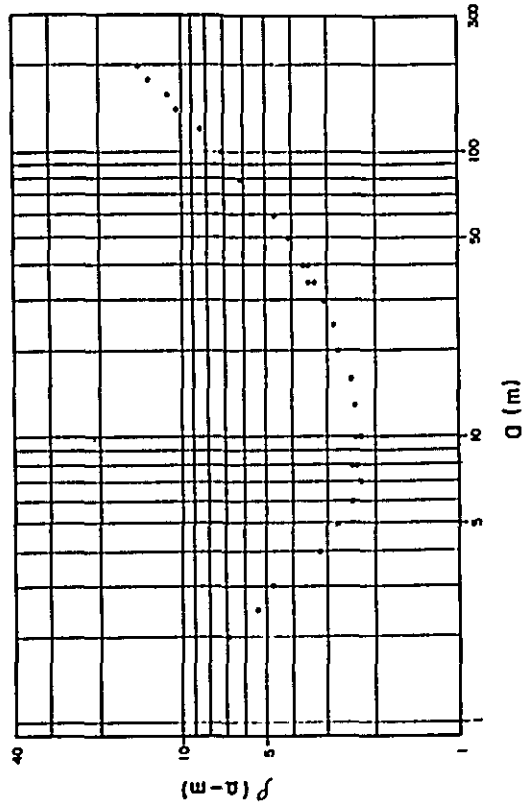


Annex : P - a Curve (Kahe-Miwaleni Area)

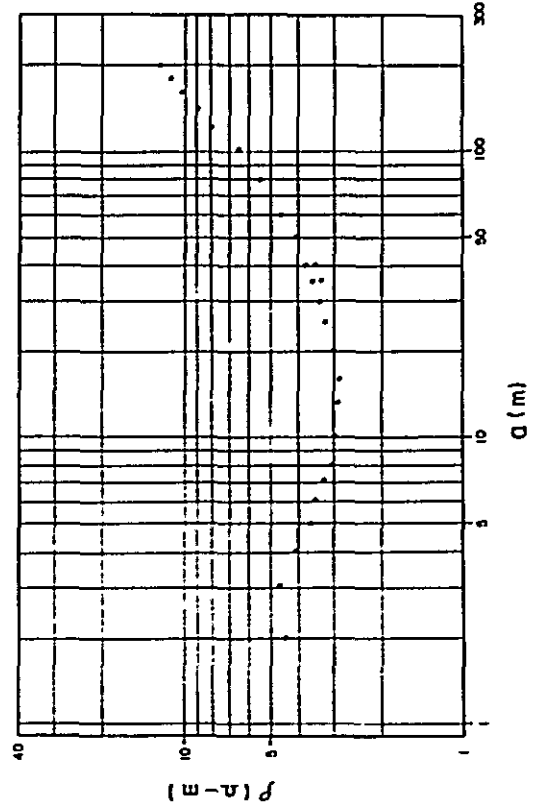
E-13



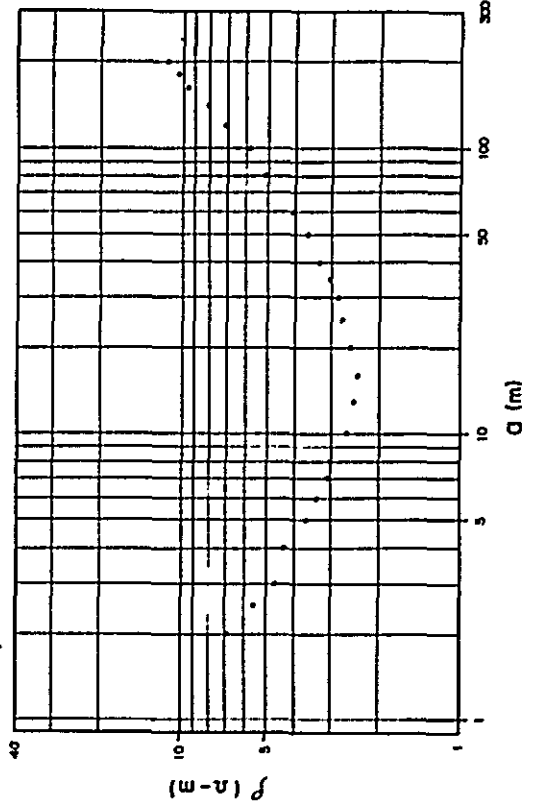
E-15



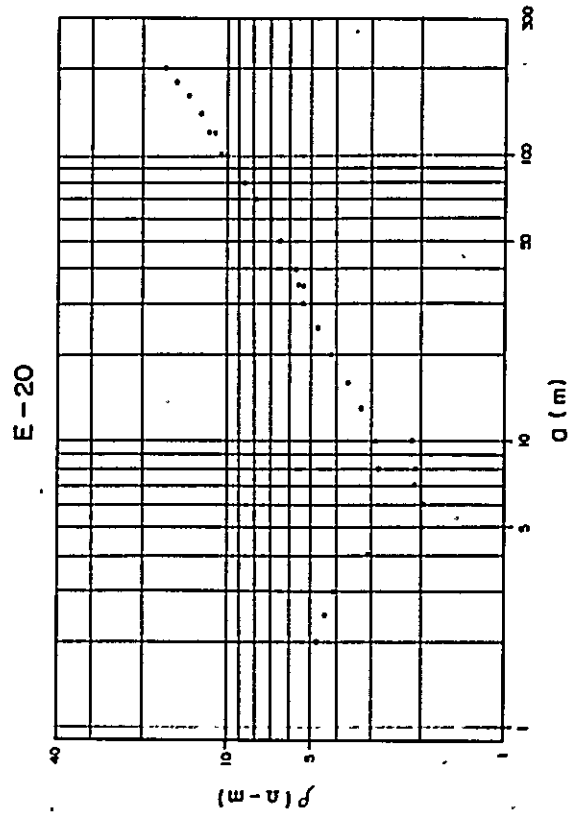
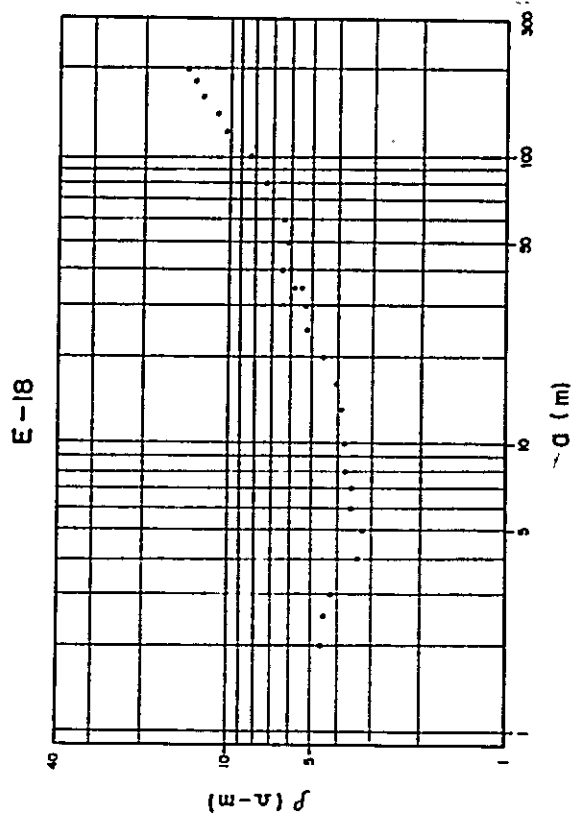
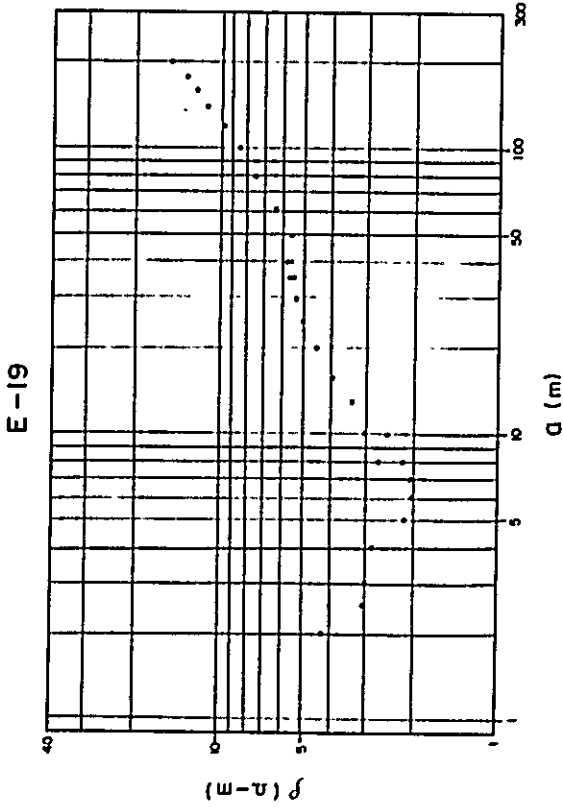
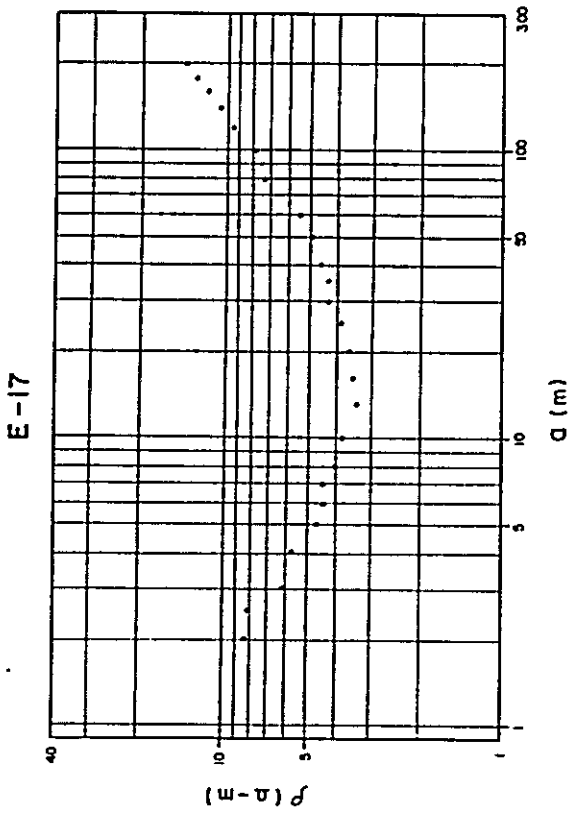
E-14



E-16

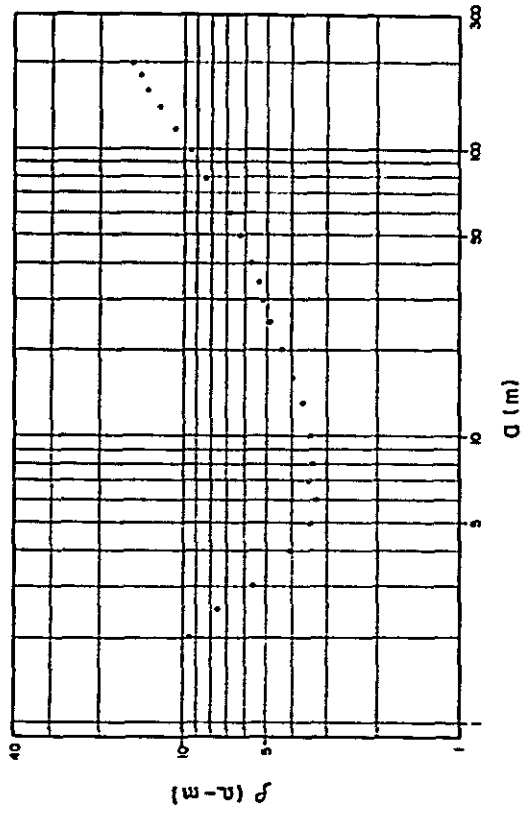


Annex ρ - α Curve (Kahe-Miwaleni Area)

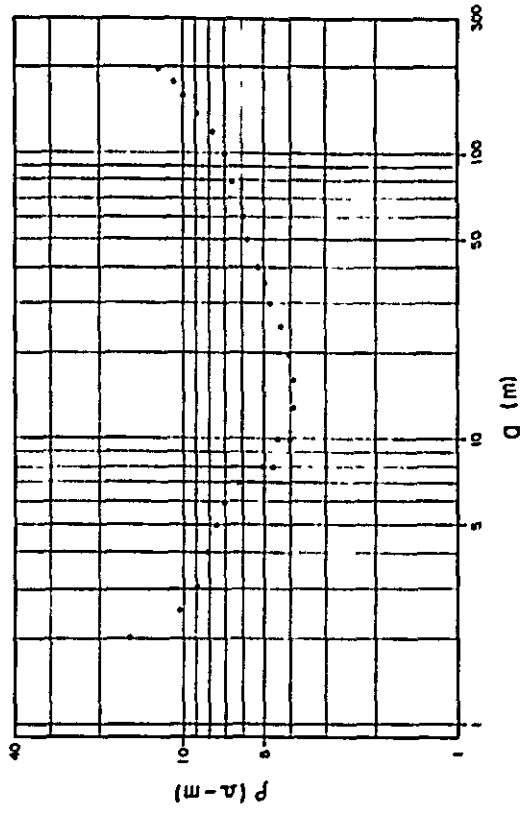


Annex p - a Curve (Kahe-Miwaleni Area)

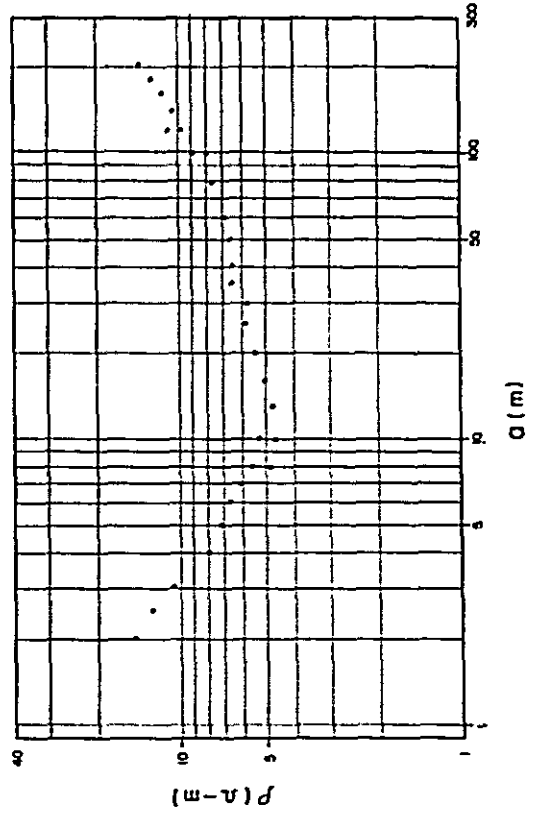
E-21



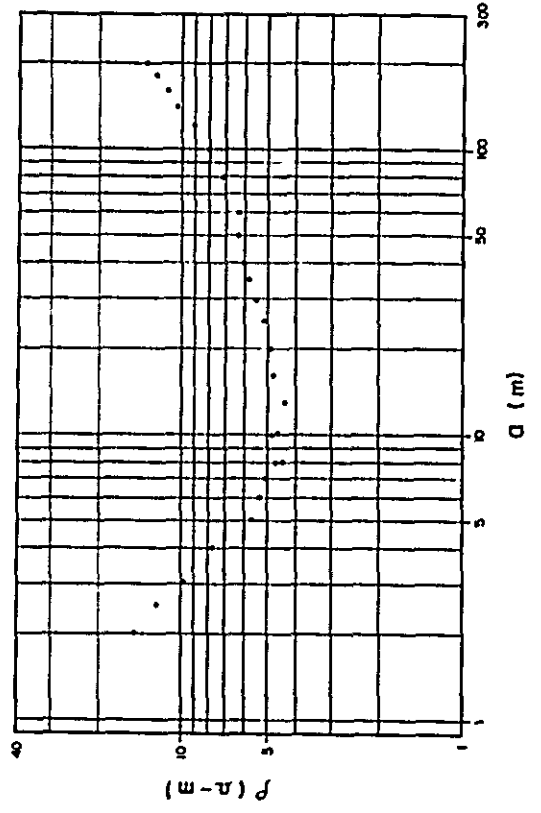
E-23



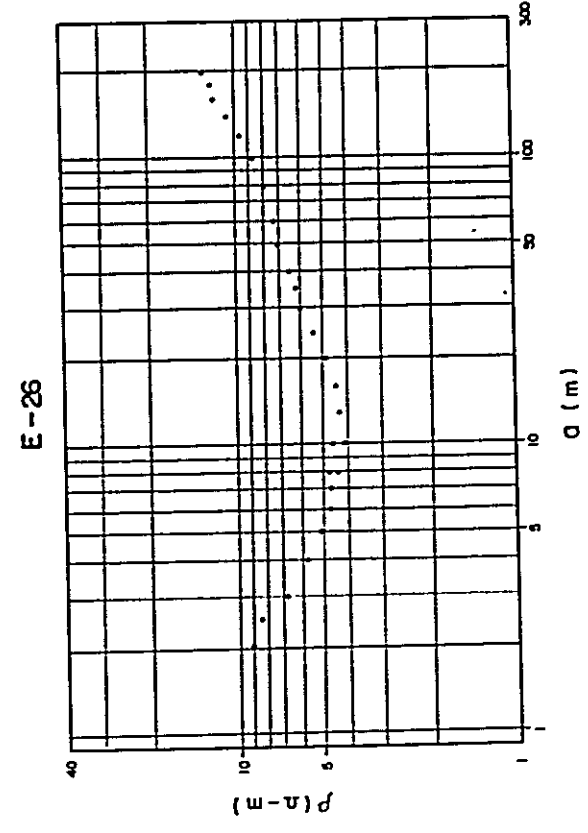
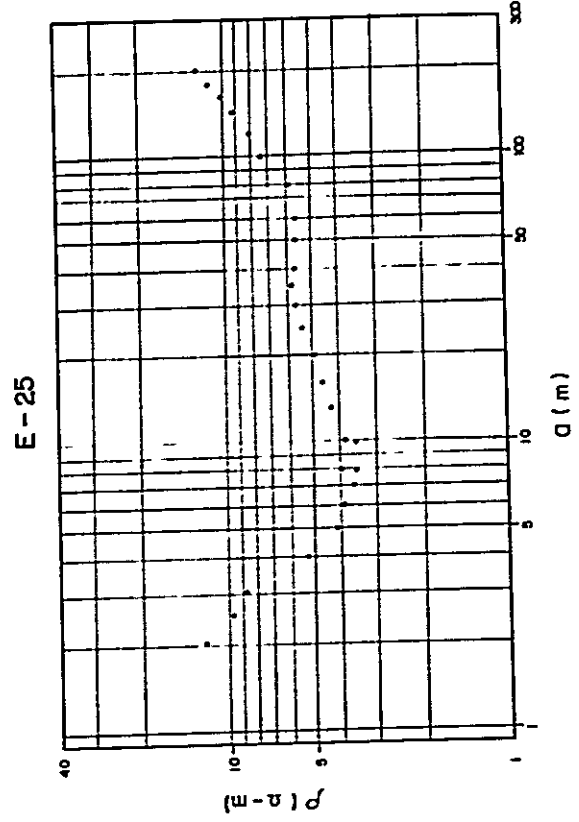
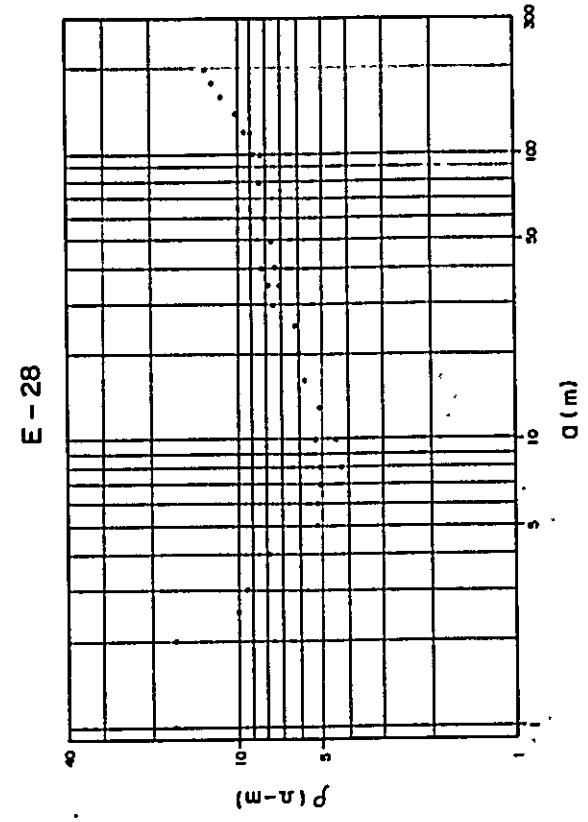
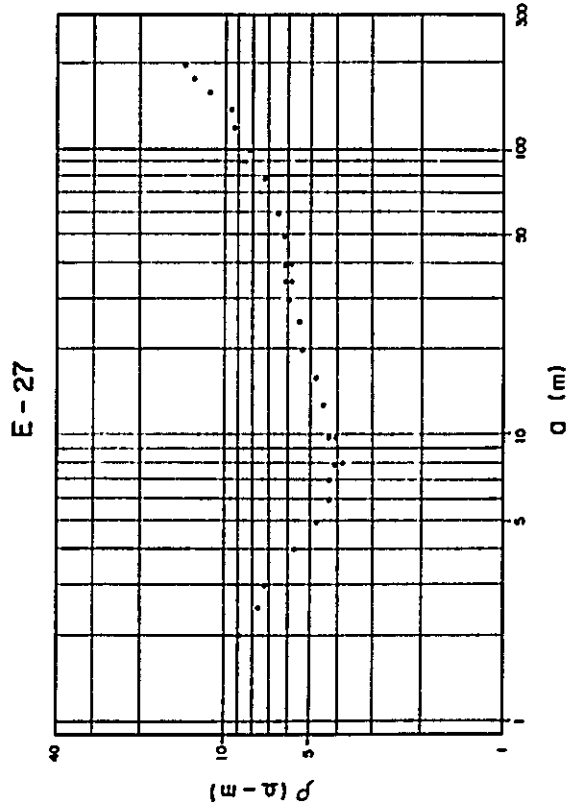
E-22



E-24

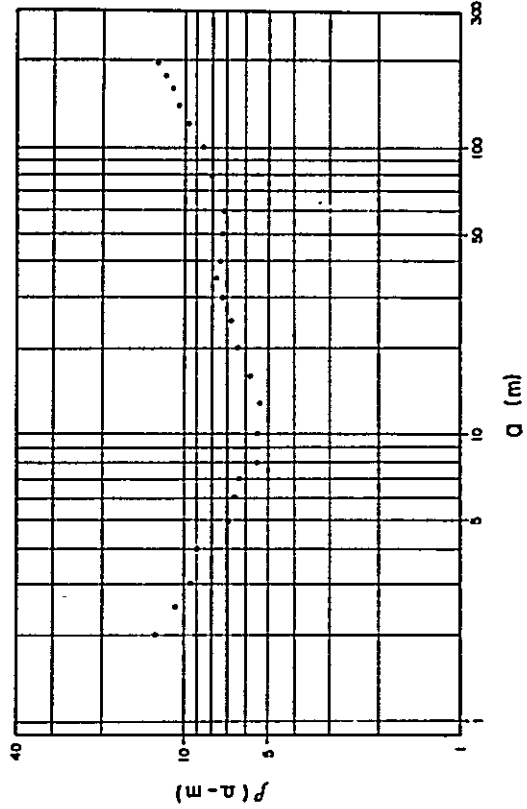


Annex ρ - q Curve (Kahe-Miwaleni Area)

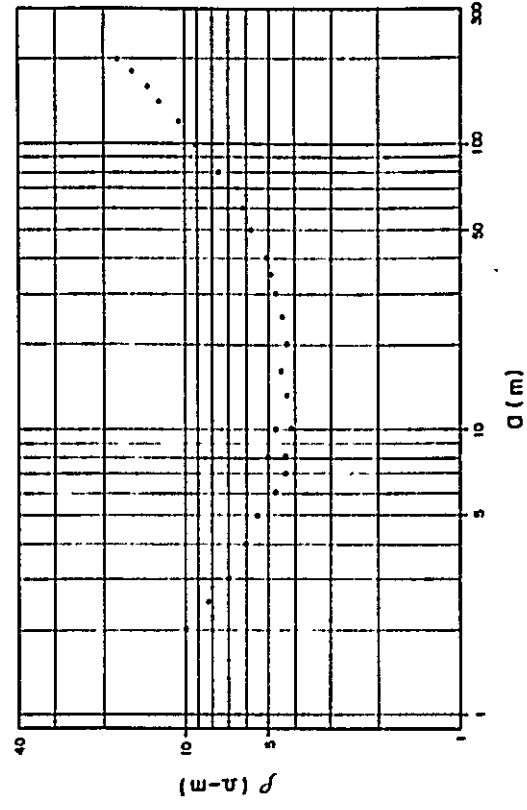


Annex : ρ - α Curve (Kabe-Miwaleni Area)

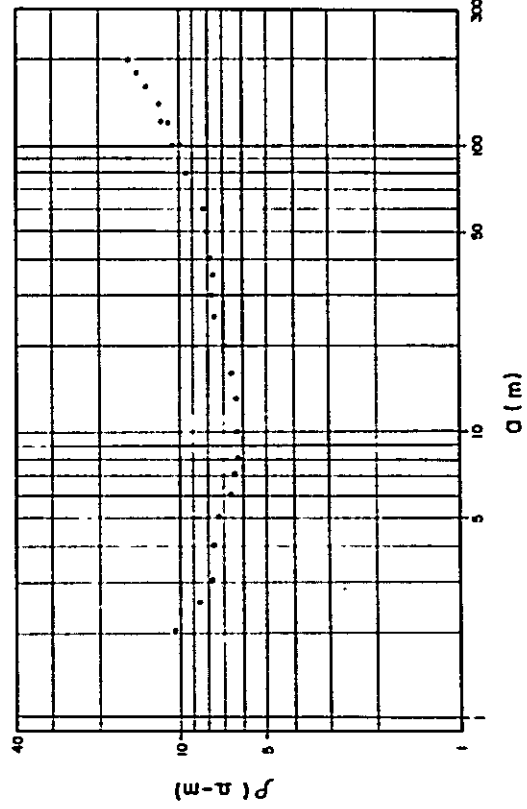
E-29



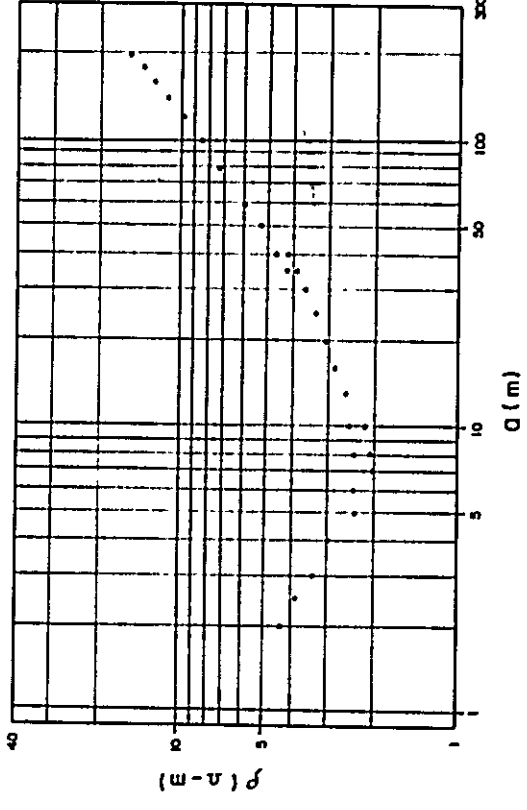
E-31



E-30

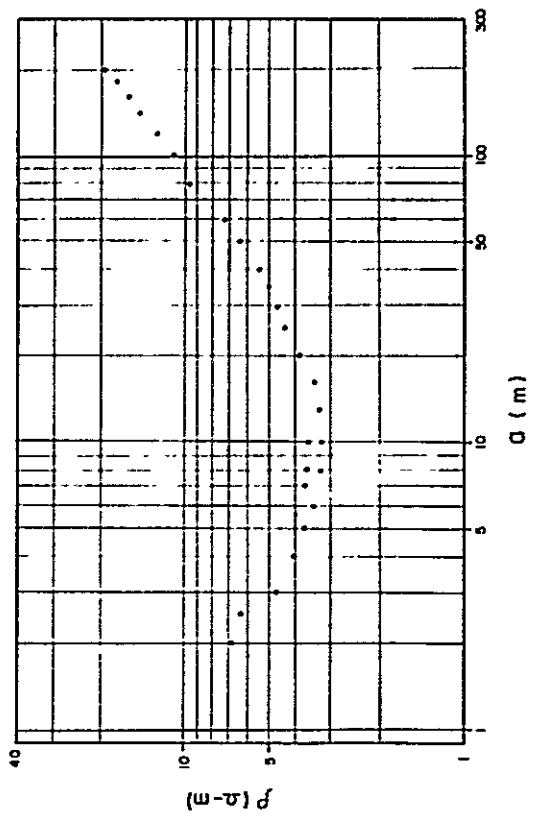


E-32

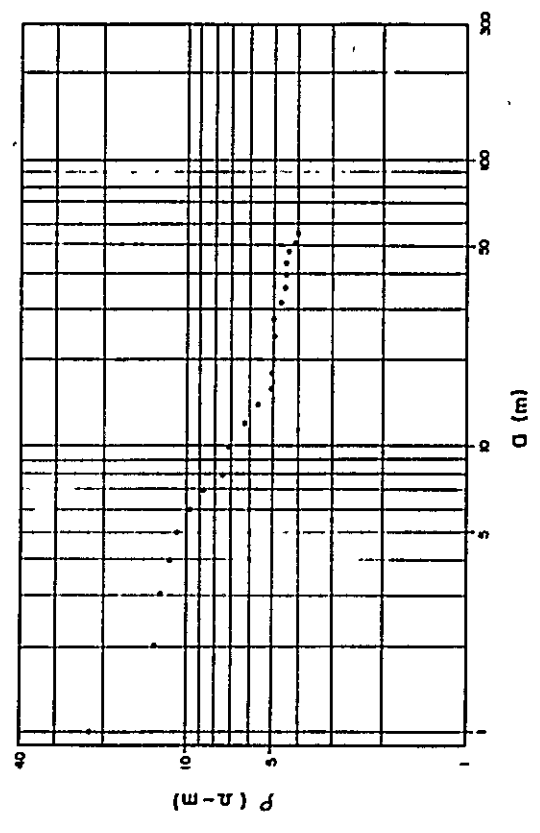


Annex ρ - σ Curve (Kahe-Miwaleni Area)

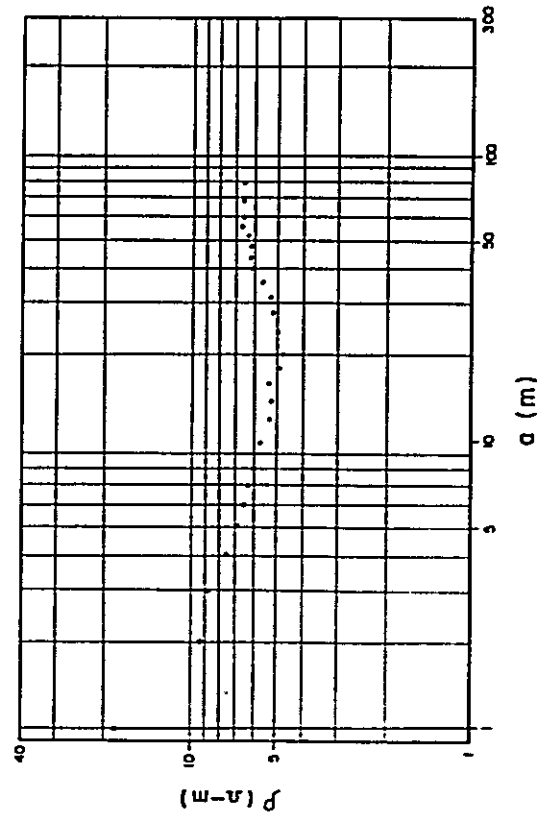
E-33



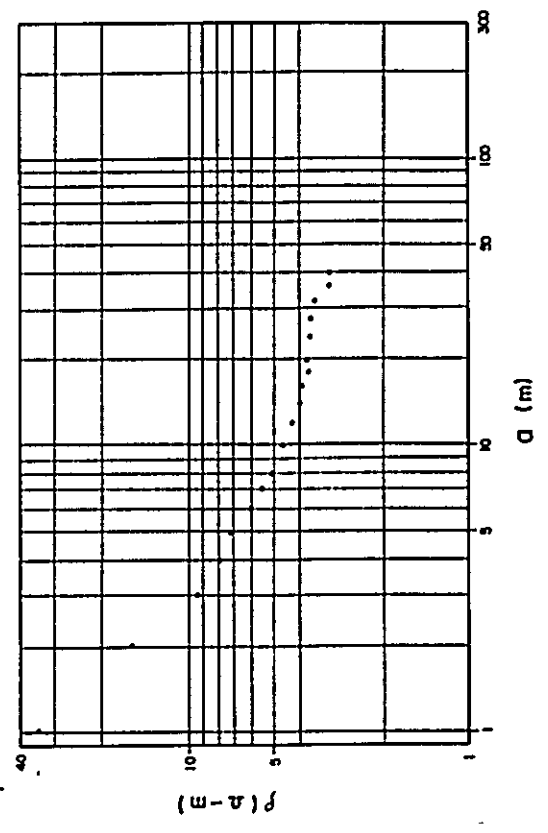
E-35



E-34

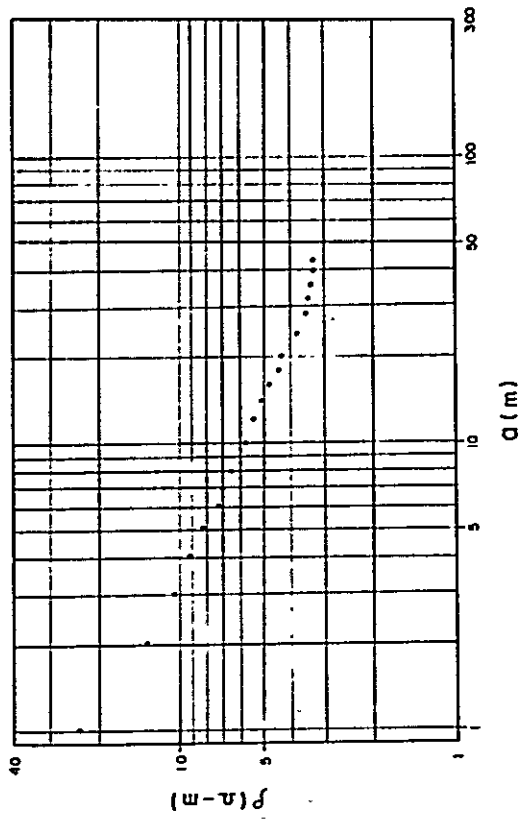


E-36

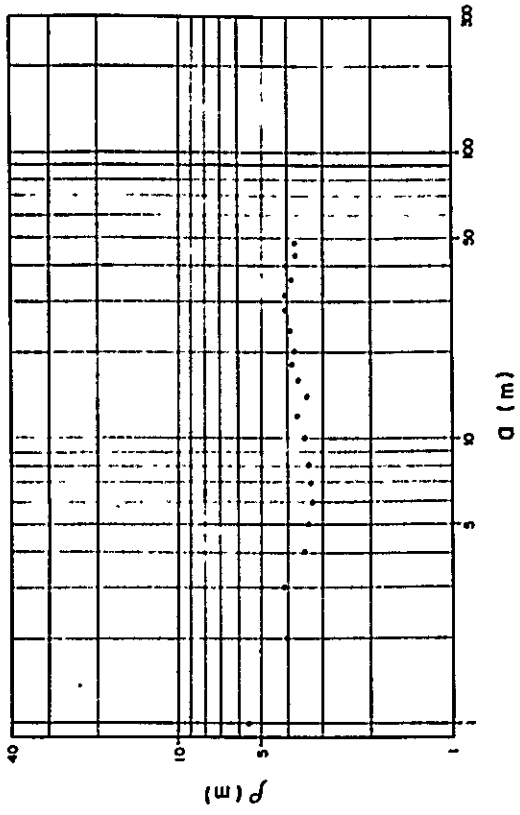


Annex ρ - q Curves (Kaha-Miwaleni Area)

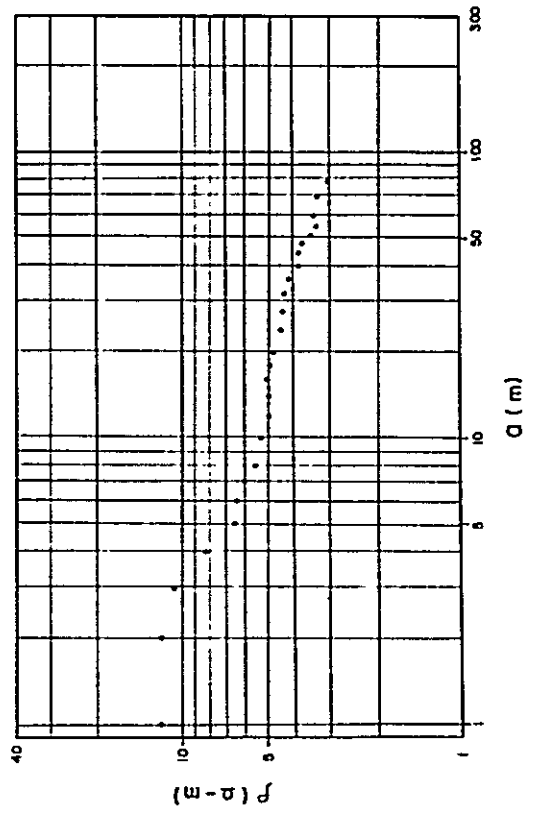
E-37



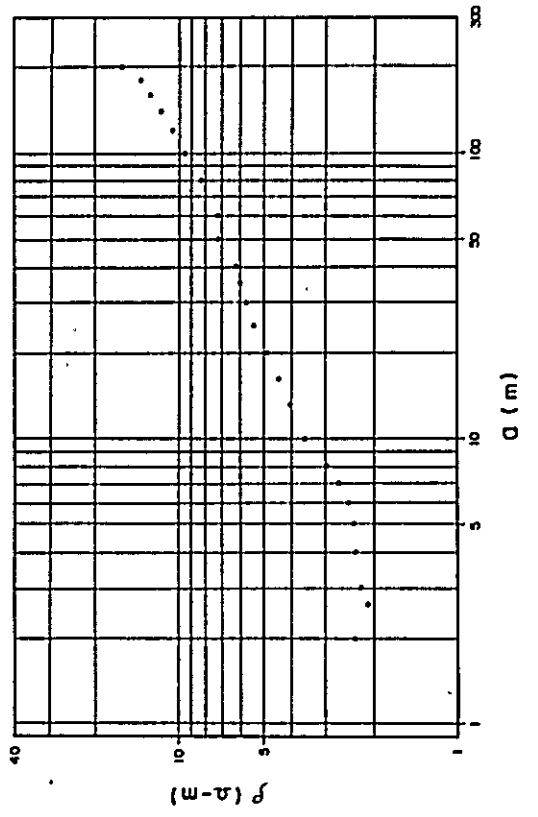
E-39



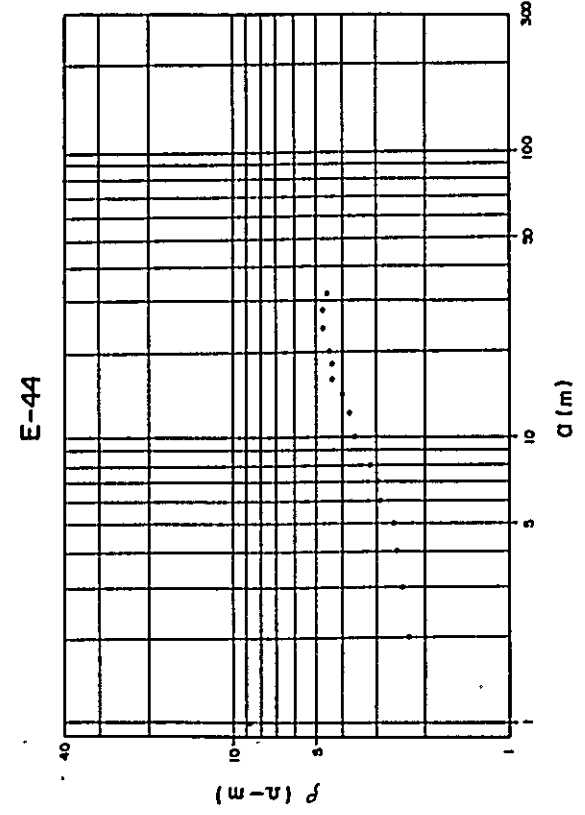
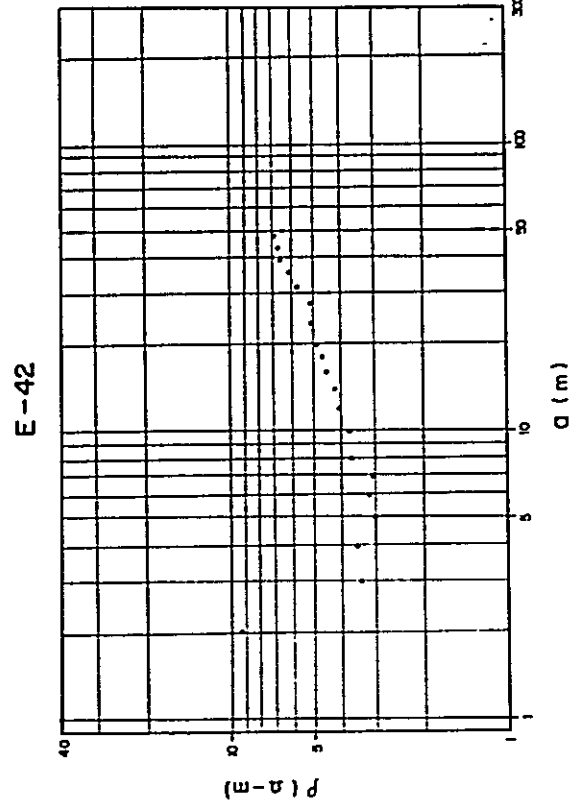
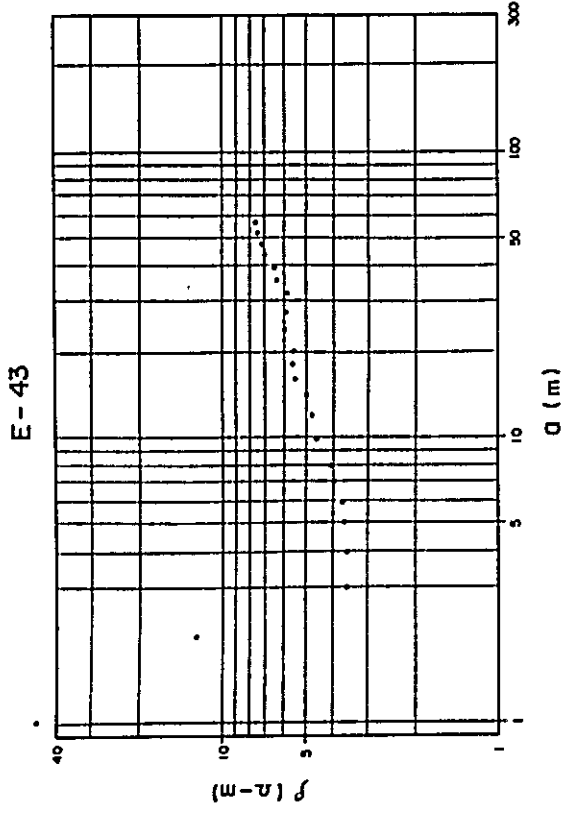
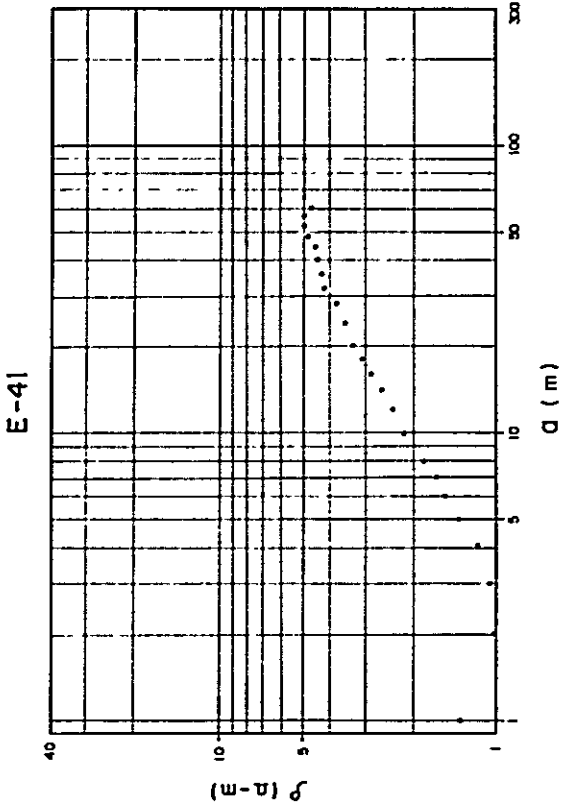
E-38



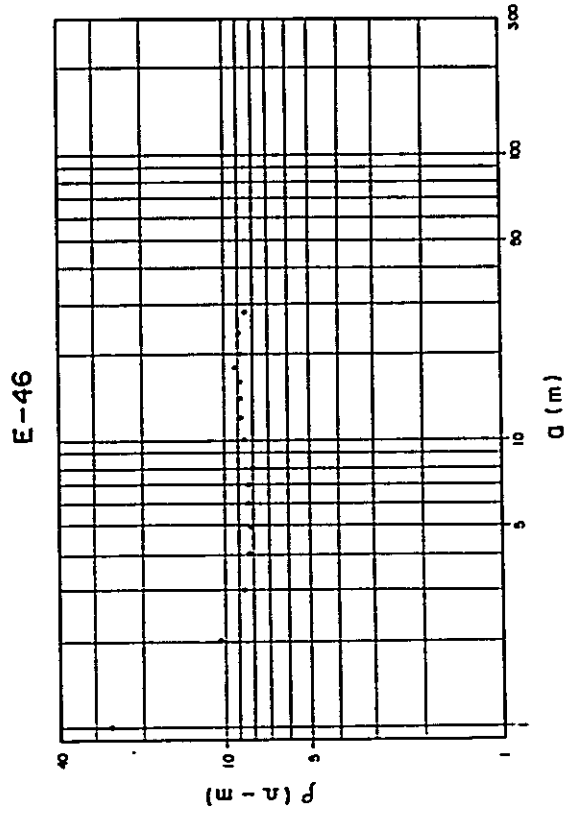
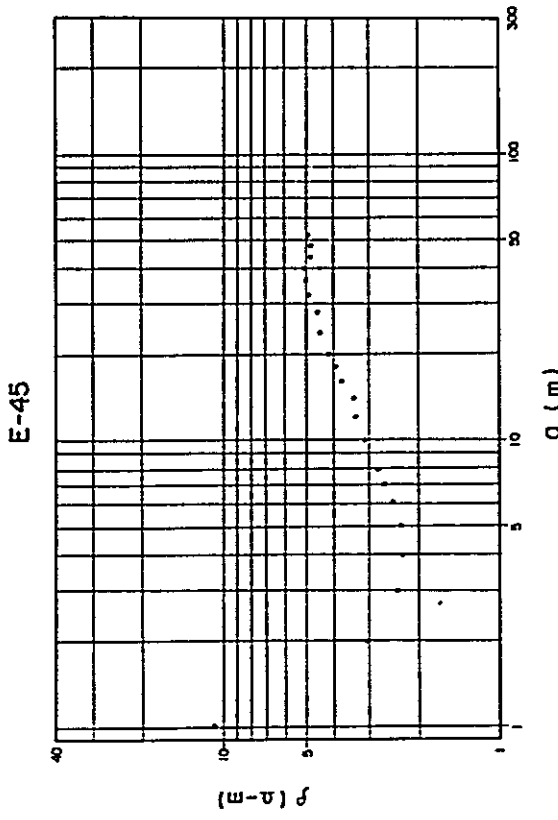
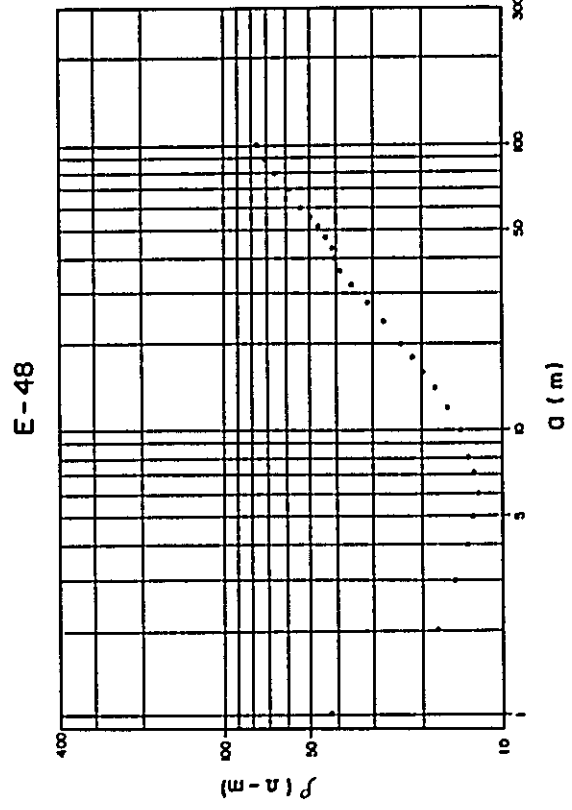
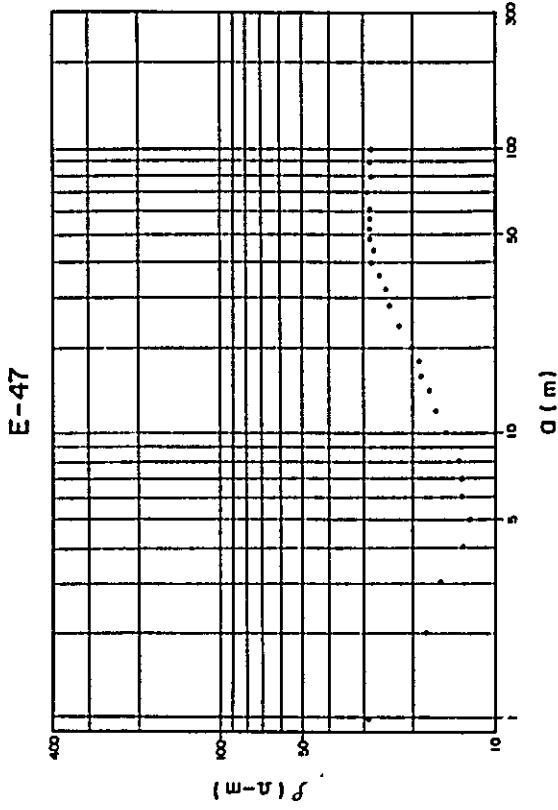
E-40



Annex ρ - a Curve (Kahe-Miwaleni Area)

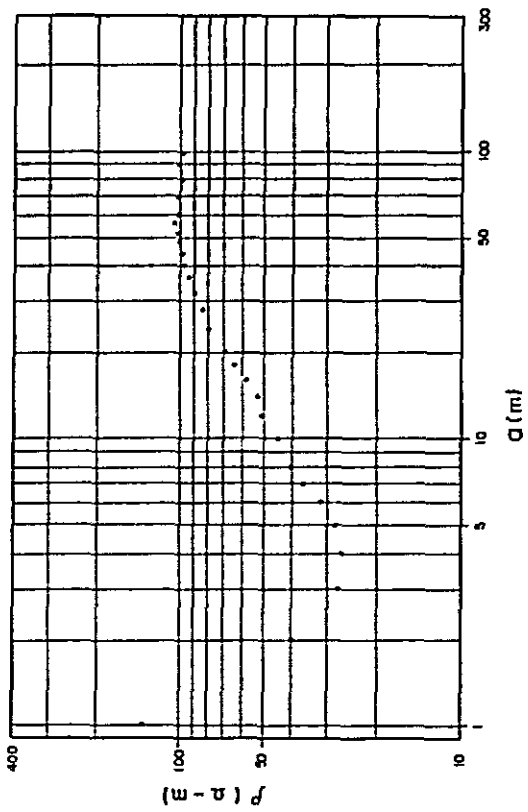


Annex ρ - α Curve (Kahe-Miwaleni Area)

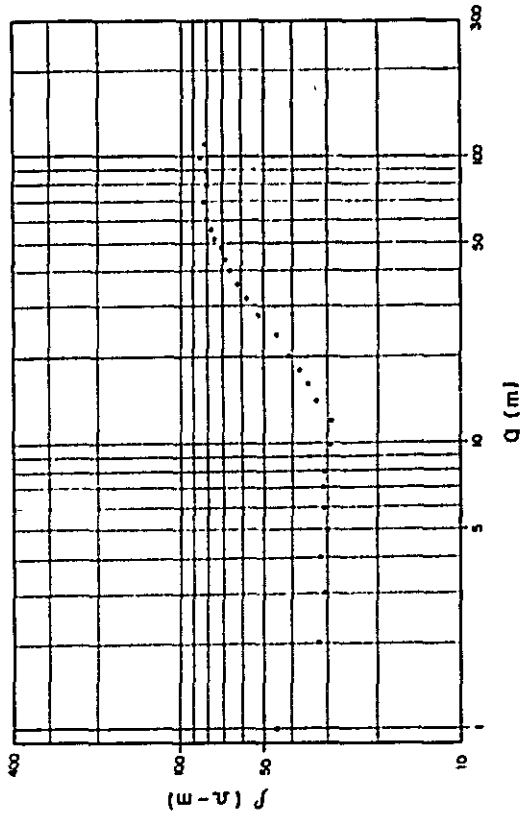


Annex : : : p-q Curve (Kahe-Miwaleni Area)

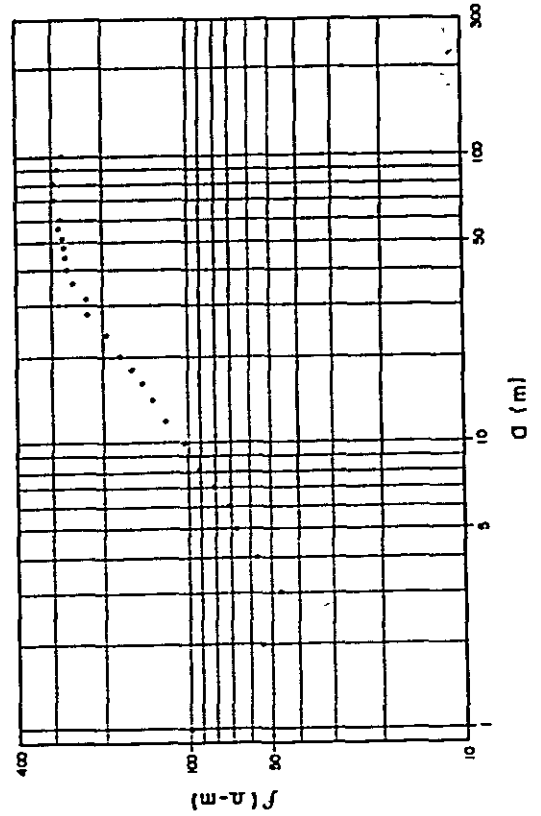
E-49



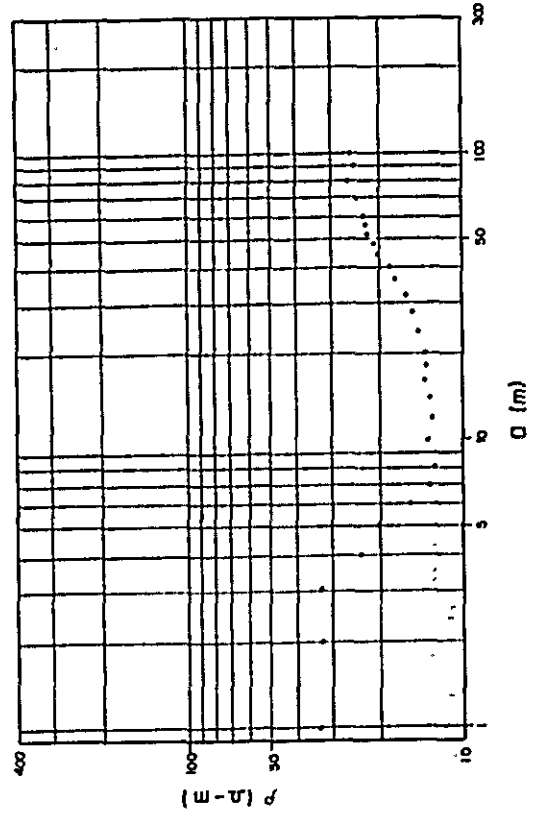
E-51



E-50

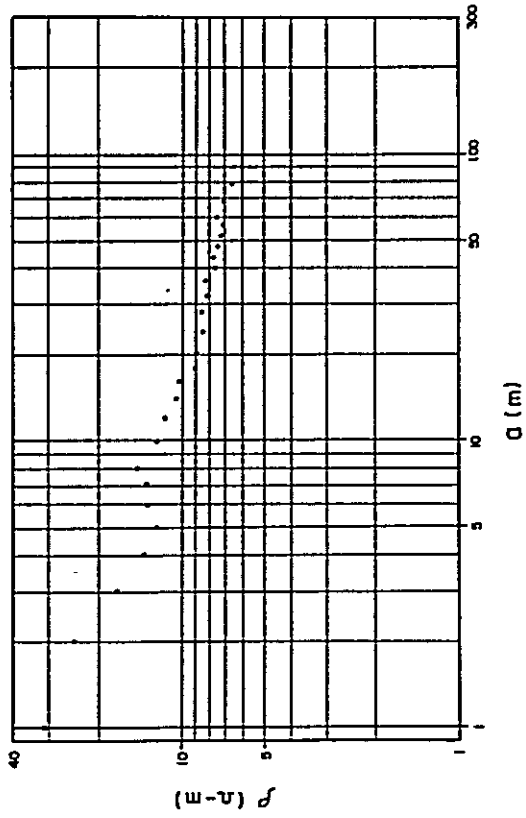


E-52

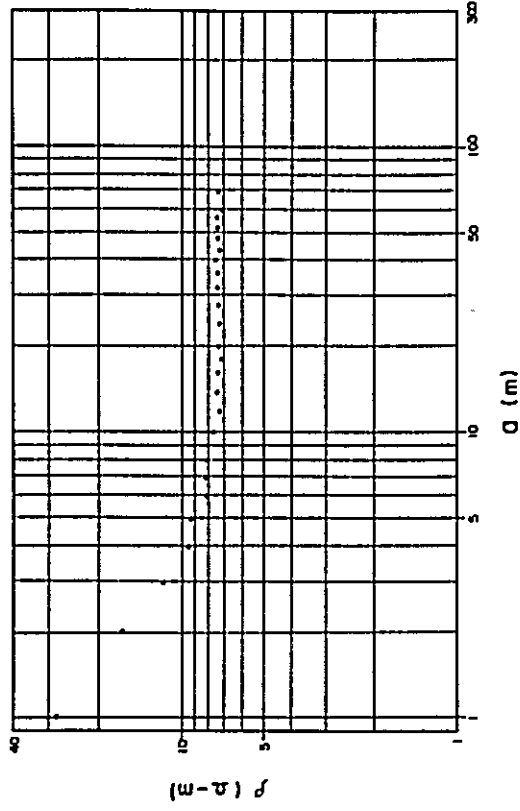


Annex : ρ - a Curve : (Kahe-Miwaleni Area

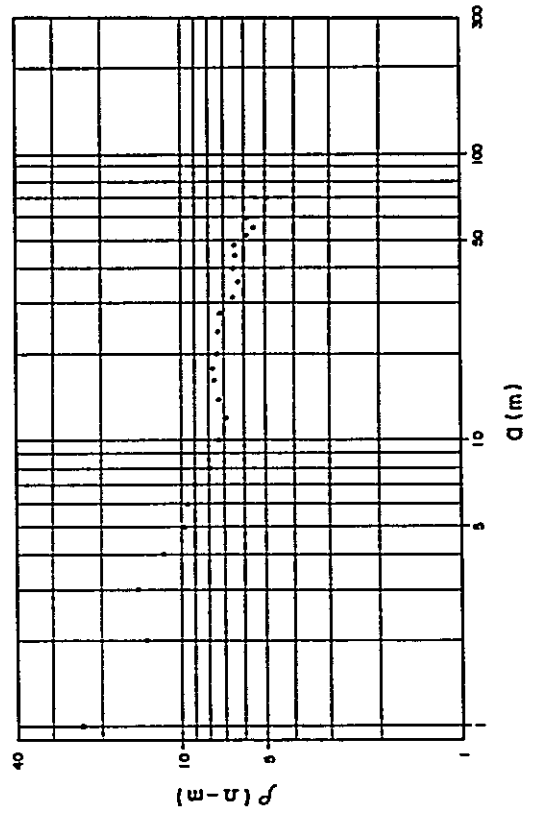
E-53



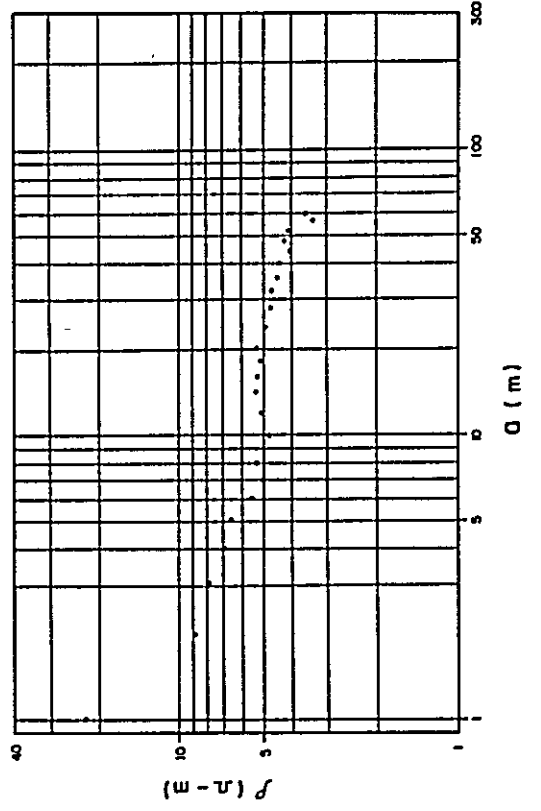
E-55



E-54

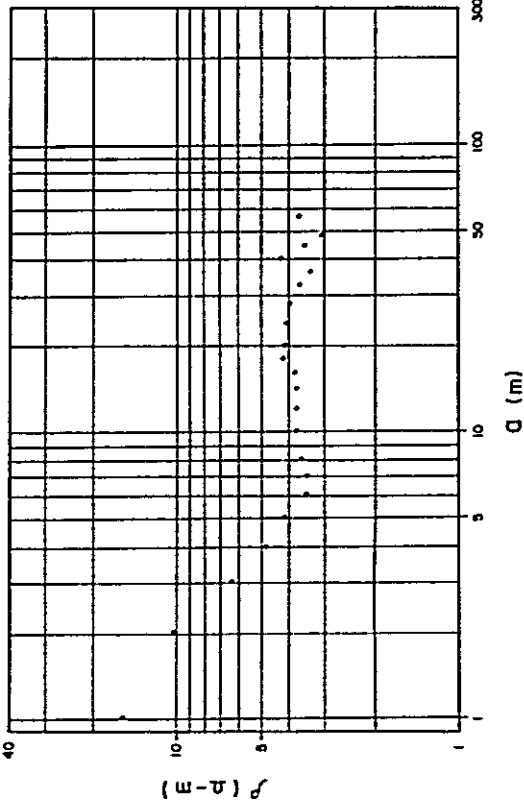


E-56

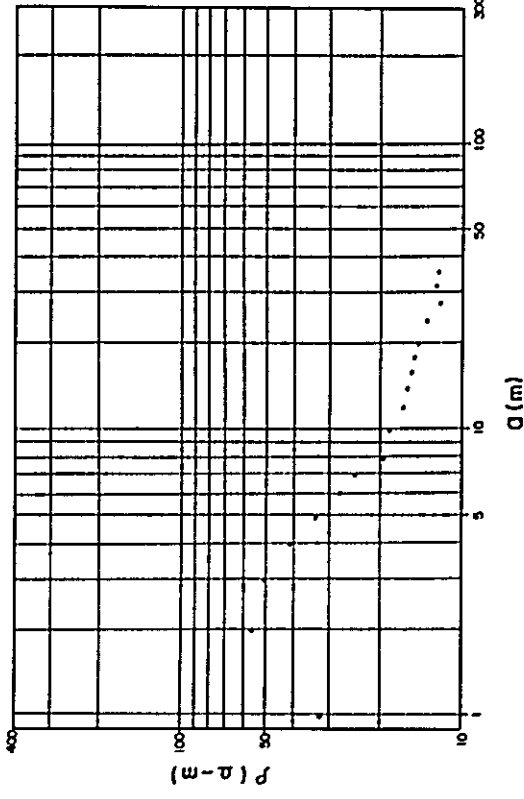


Annex ρ - a Curve : (Kahe-Miwaleni Area

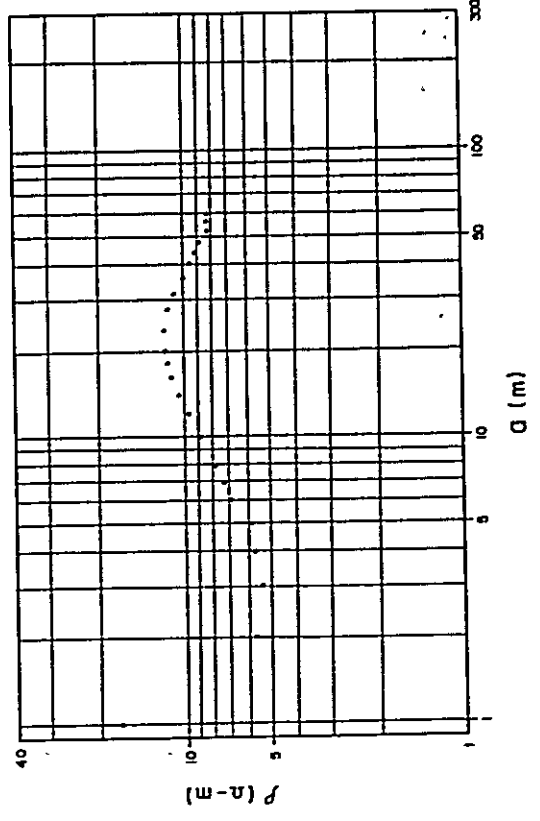
E-57



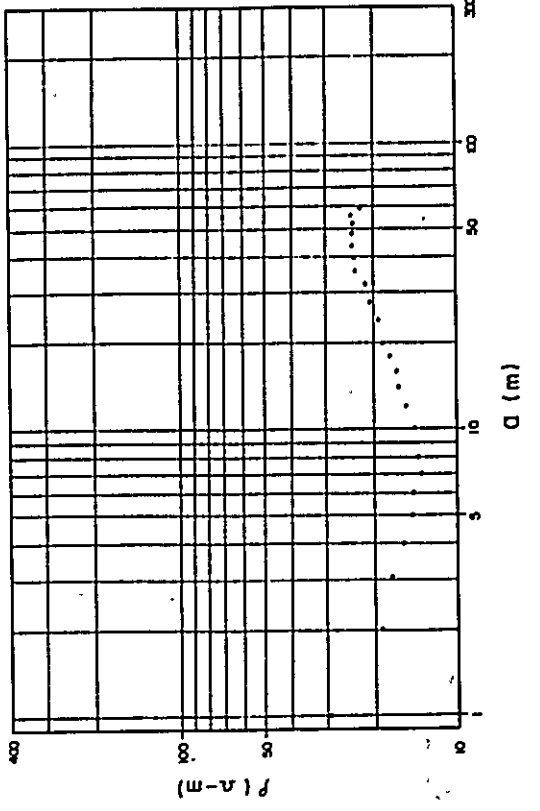
E-59



E-58

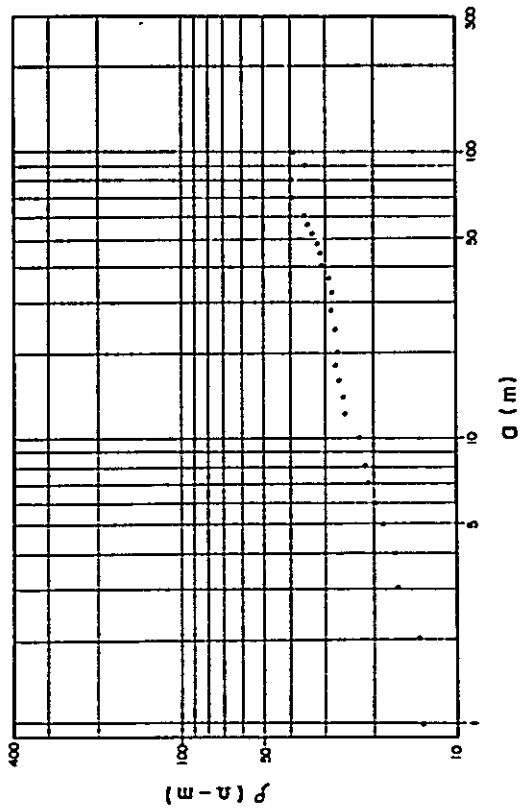


E-60

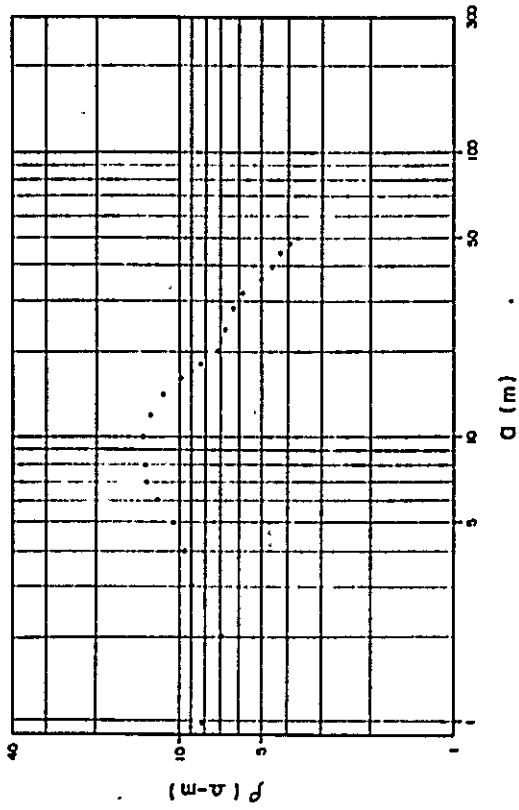


Annex . . . ρ - α Curve . (Kahe-Miwaleni Area

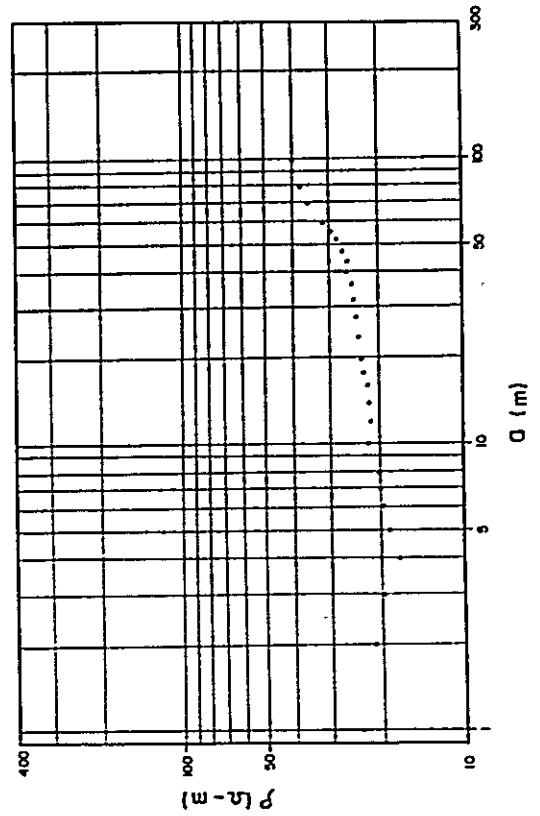
E-61



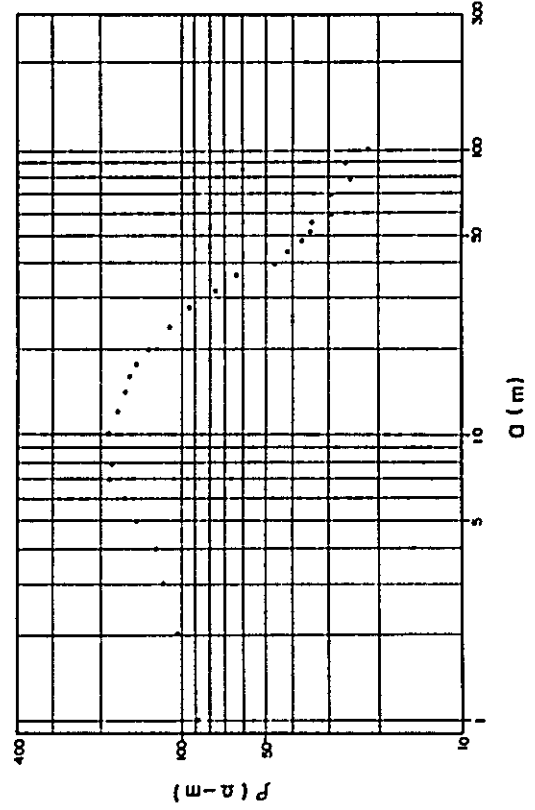
E-63



E-62

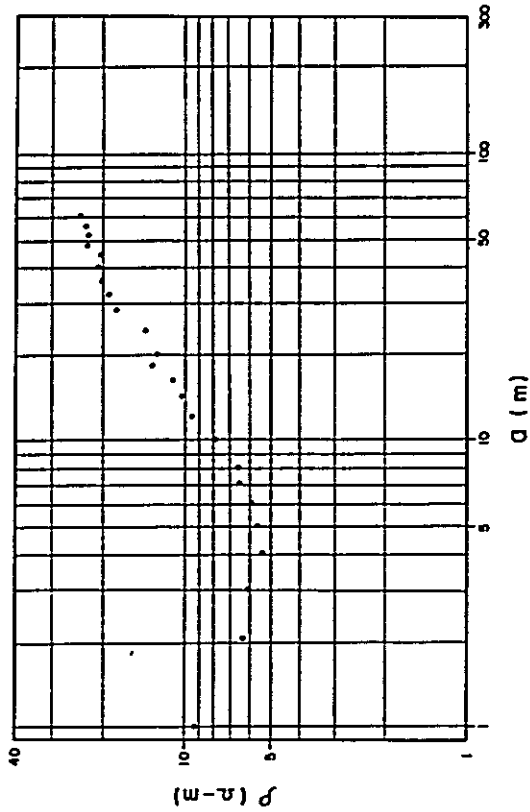


E-64

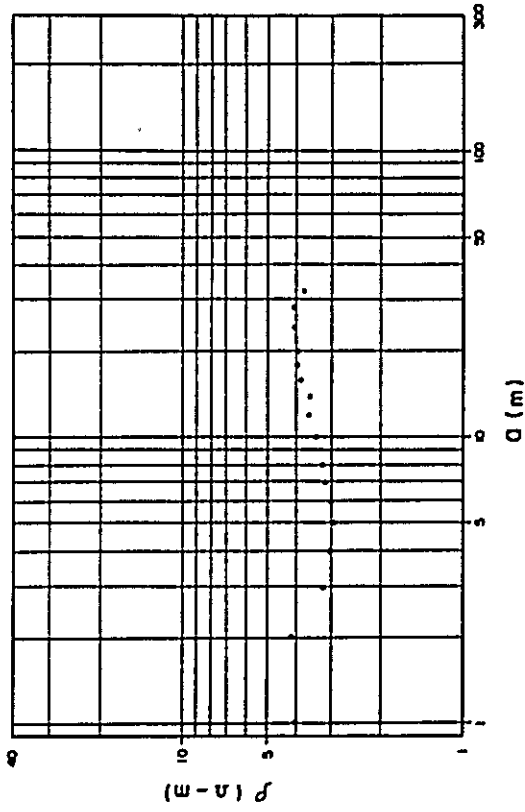


Annex ρ - α Curve (Mkomazi Area)

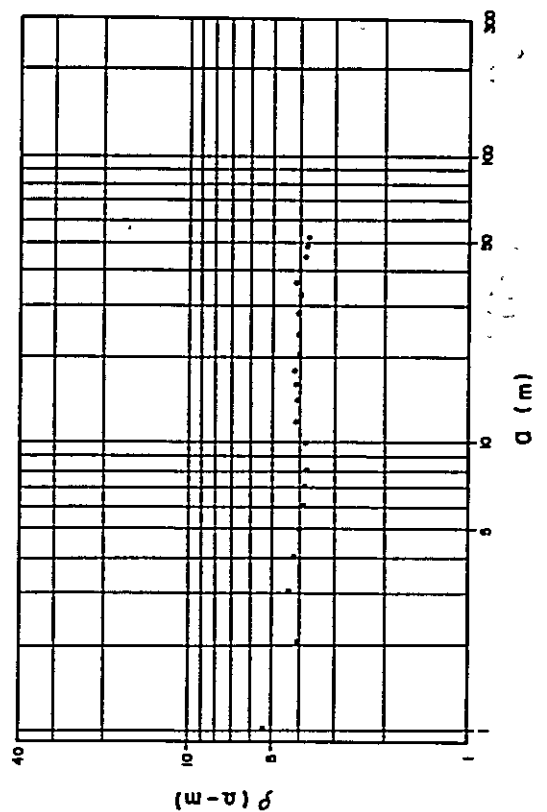
E-65



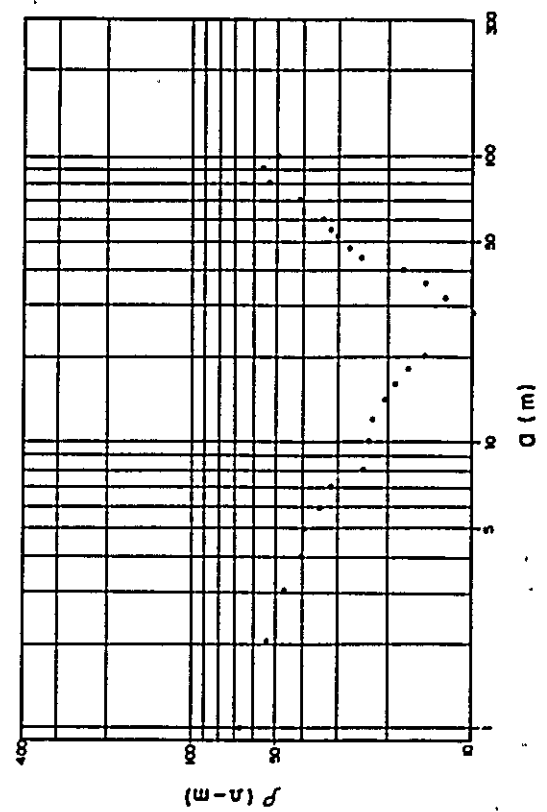
E-67



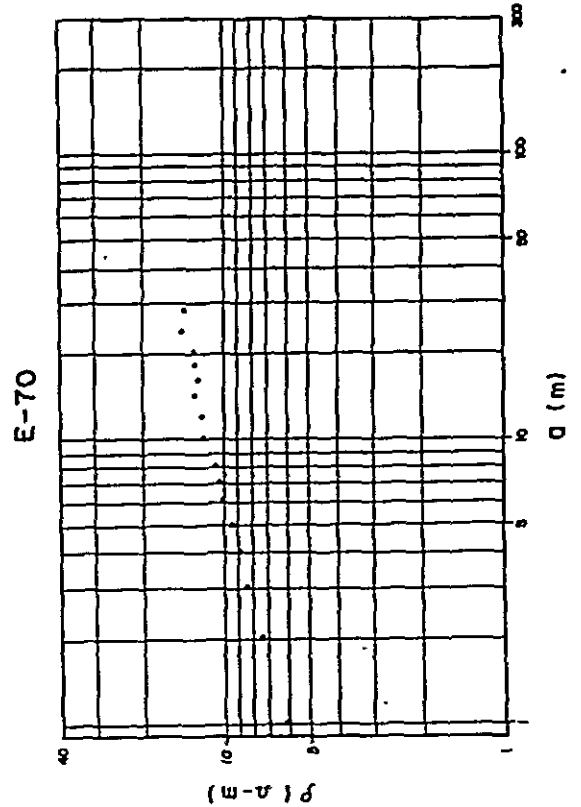
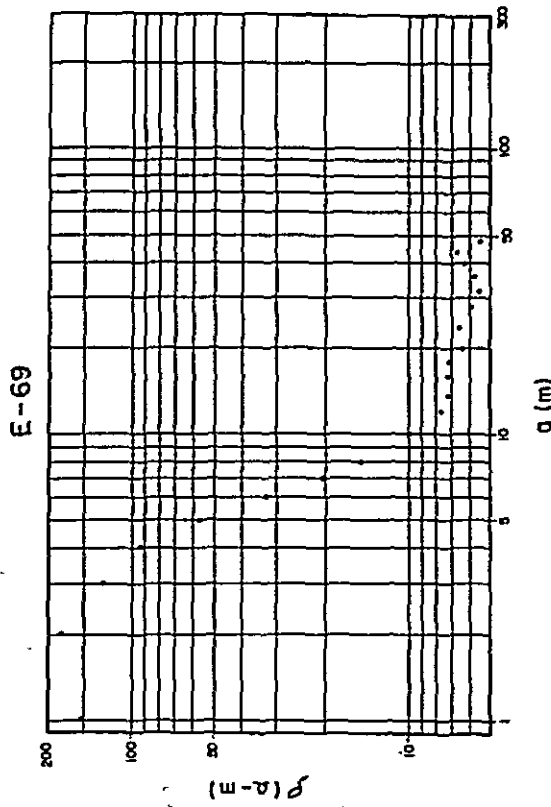
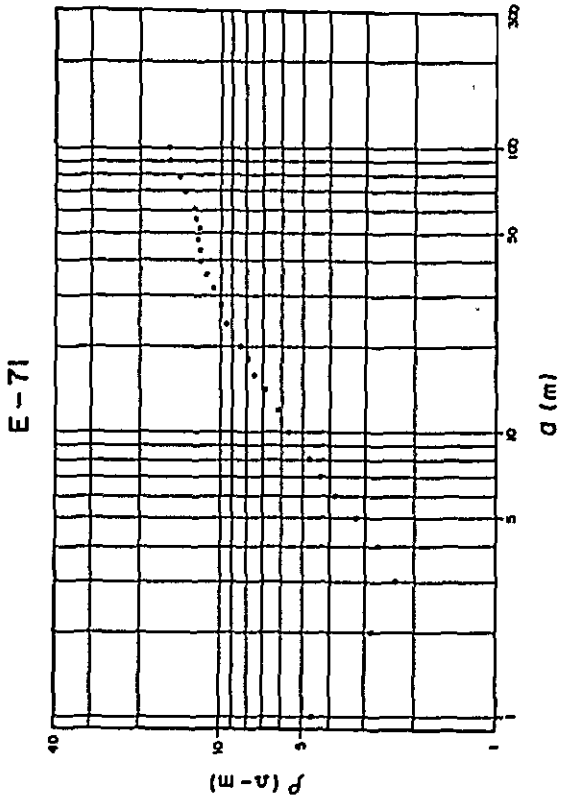
E-66



E-68

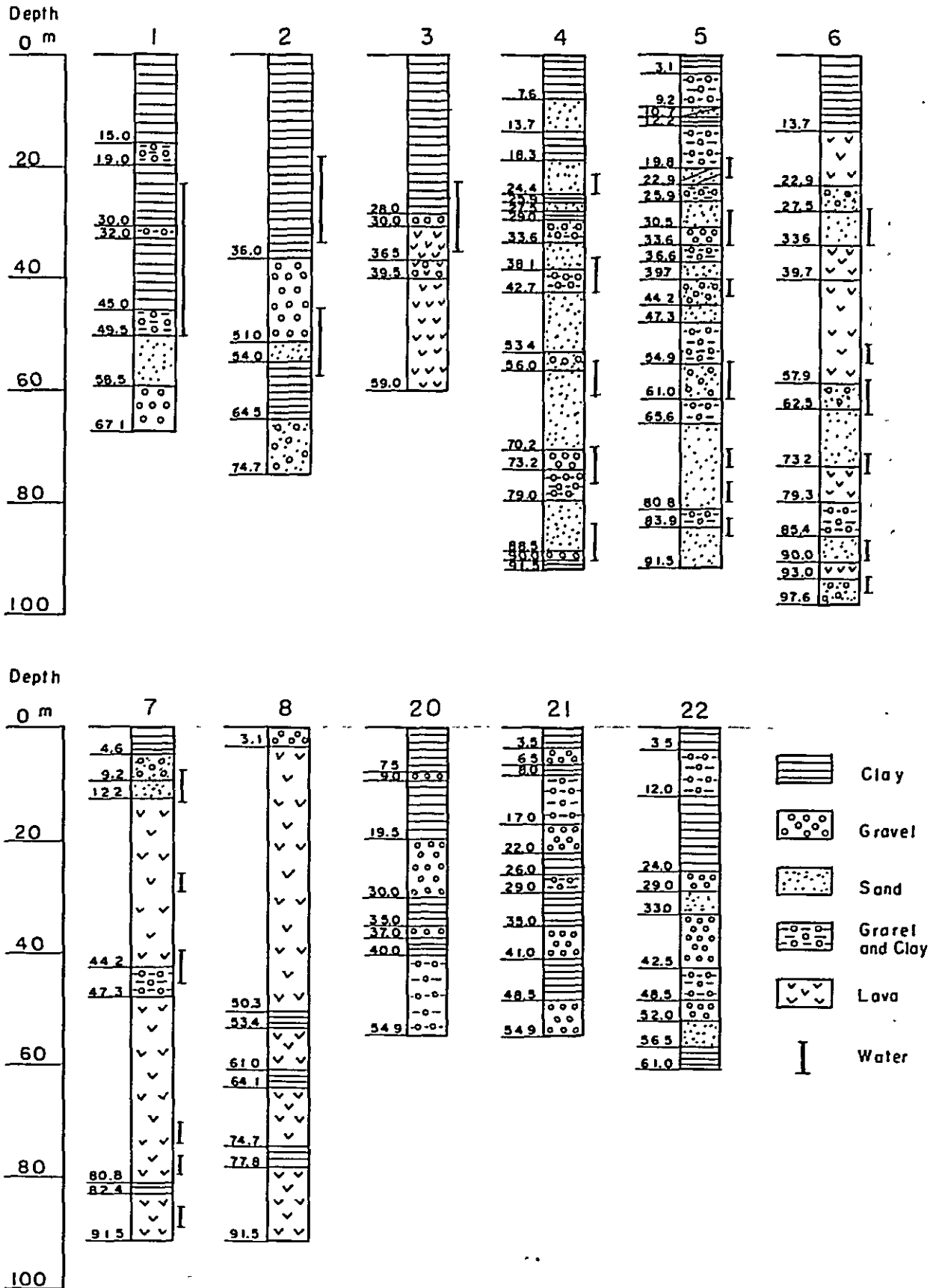


Annex ρ - a Curve : (Mkomazi Area)

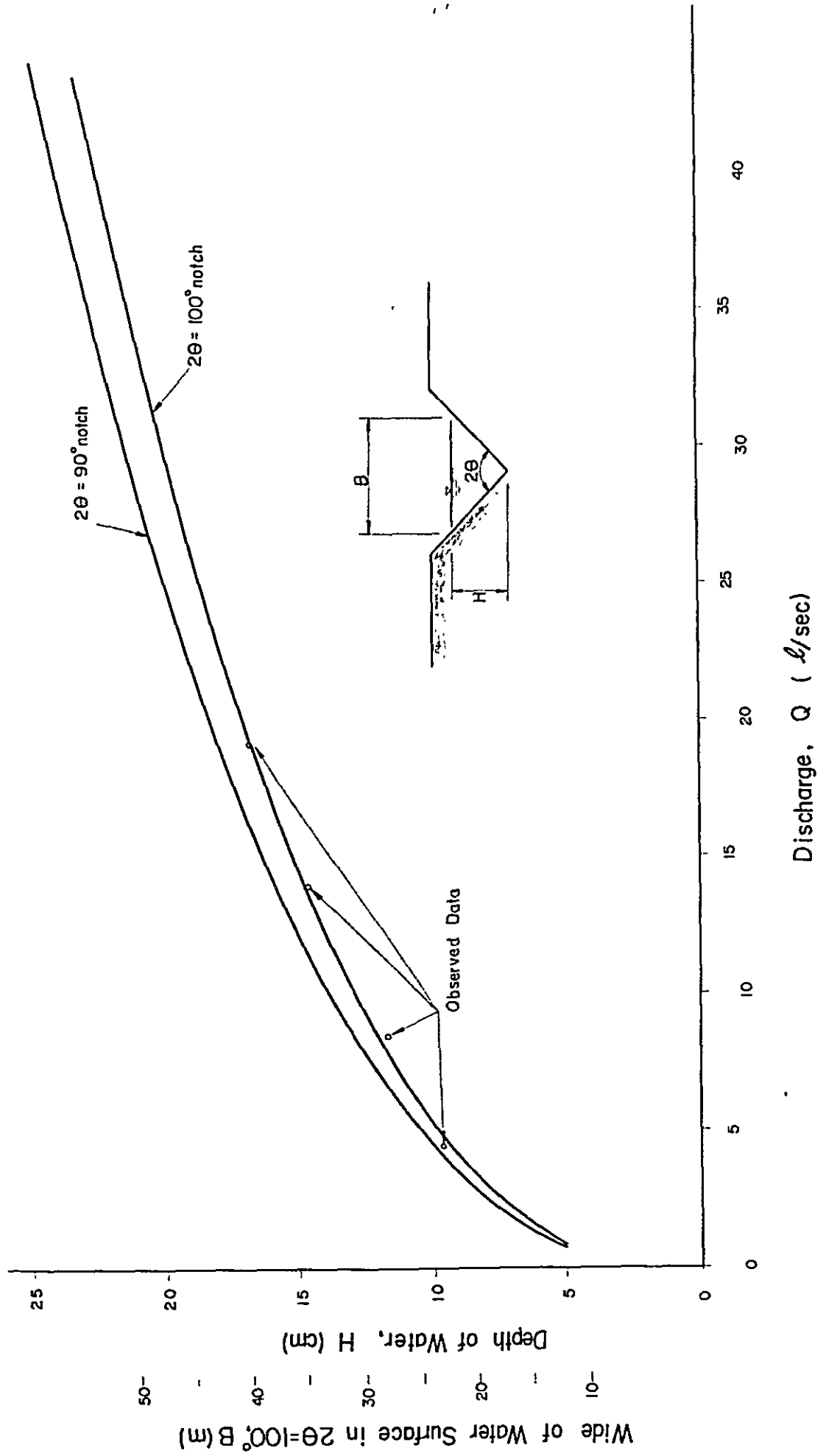


Annex 4

Colamnar Section



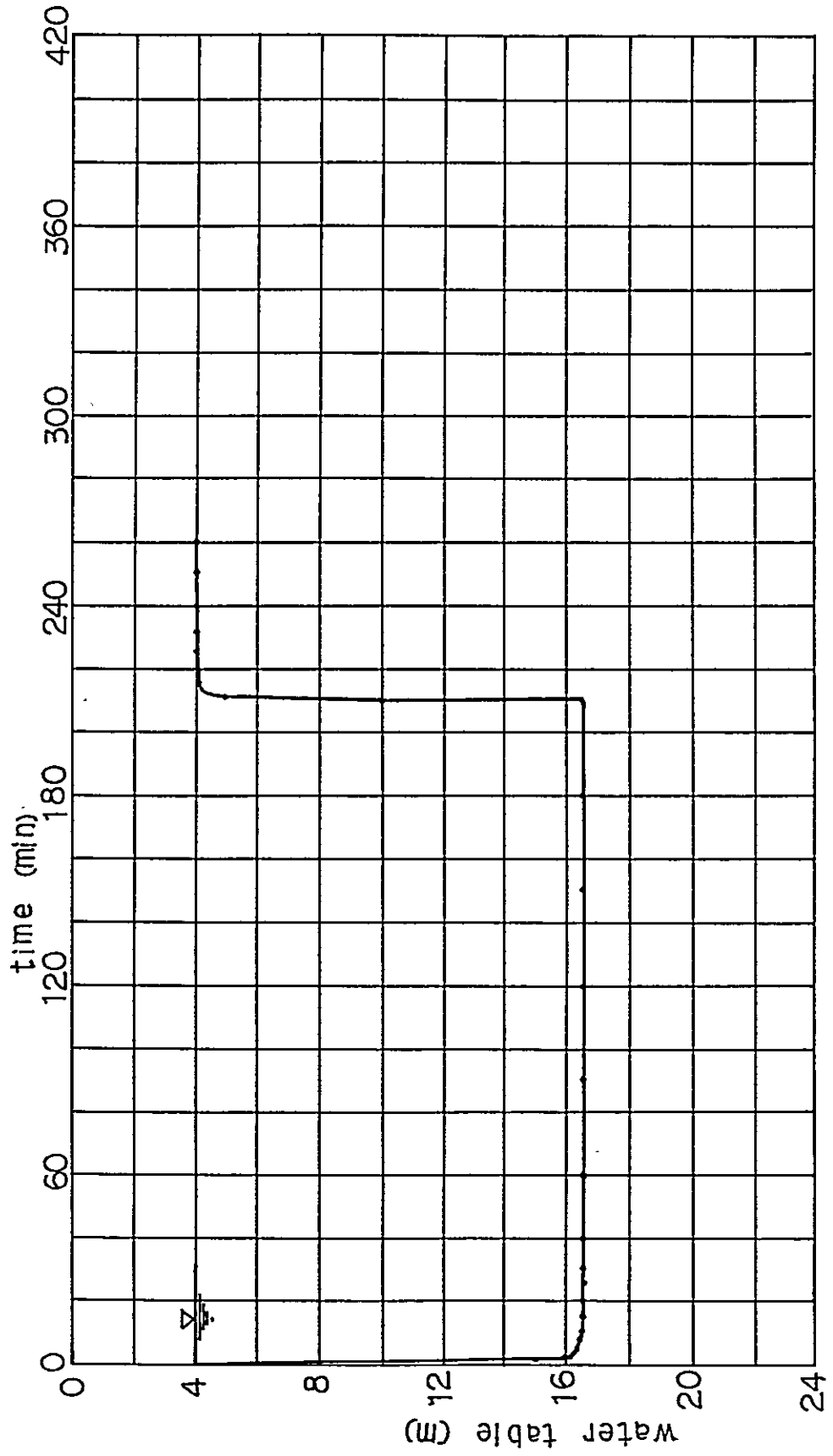
Annex 5 Discharge Curve of Triangular Weir ($2\theta = 100^\circ$)



Annex 4. Data of Pumping Test (P.W. No. 1)

Time Hr. min. sec.	Time after Pumping Started t' (sec.)	Time after Pumping Stopped t'' (sec.)	Depth of Water Table from Ground Surface h (m)	Draw-down s (m)	r' ²	log r'/r''	Radius of Well r (m)	r ² /Q	Pumping Rate Q (m ³ /sec.)	Remarks
10 00 00	0	4,000	0	0					0.0234	Pumping Start (hr)
1 15 75	75	15,000	11,000	11,000			0.127	2.151×10^{-4}	0.0234	
1 00 30	30	16,310	12,310	12,310			0.127	8.961×10^{-5}	0.0234	
1 30 210	210	16,310	12,310	12,310			0.127	7.680×10^{-5}	0.0234	
4 00 240	240	16,335	12,335	12,335			0.127	6.720×10^{-5}	0.0234	
4 30 270	270	16,325	12,325	12,325			0.127	5.974×10^{-5}	0.0234	
5 00 300	300	16,350	12,350	12,350			0.127	5.376×10^{-5}	0.0234	
5 30 330	330	16,350	12,350	12,350			0.127	4.89×10^{-5}	0.0234	
6 00 360	360	16,370	12,370	12,370			0.127	4.480×10^{-5}	0.0234	
7 00 420	420	16,400	12,400	12,400			0.127	3.840×10^{-5}	0.0234	
7 30 450	450	16,410	12,410	12,410			0.127	3.584×10^{-5}	0.0234	
8 00 480	480	16,410	12,410	12,410			0.127	3.360×10^{-5}	0.0234	
8 30 510	510	16,410	12,410	12,410			0.127	3.162×10^{-5}	0.0234	
9 00 540	540	16,430	12,430	12,430			0.127	2.987×10^{-5}	0.0234	
9 30 570	570	16,430	12,430	12,430			0.127	2.830×10^{-5}	0.0234	
10 00 600	600	16,420	12,420	12,420			0.127	2.688×10^{-5}	0.0234	
15 00 900	900	16,450	12,450	12,450			0.127	1.792×10^{-5}	0.0234	
20 00 1200	1200	16,450	12,450	12,450			0.127	1.344×10^{-5}	0.0234	
25 00 1500	1500	16,460	12,460	12,460			0.127	1.075×10^{-5}	0.0234	
30 00 1800	1800	16,475	12,475	12,475			0.127	8.961×10^{-6}	0.0234	
35 00 2100	2100	16,460	12,460	12,460			0.127	7.680×10^{-6}	0.0234	
40 00 2400	2400	16,460	12,460	12,460			0.127	6.720×10^{-6}	0.0234	
45 00 2700	2700	16,465	12,465	12,465			0.127	5.974×10^{-6}	0.0234	
50 00 3000	3000	16,465	12,465	12,465			0.127	5.376×10^{-6}	0.0234	
55 00 3300	3300	16,460	12,460	12,460			0.127	4.89×10^{-6}	0.0234	
11 00 3600	3600	16,460	12,460	12,460			0.127	4.480×10^{-6}	0.0234	
30 00 3400	3400	16,470	12,470	12,470			0.127	2.987×10^{-6}	0.0234	
12 00 00 7200	7200	16,470	12,470	12,470			0.127	2.210×10^{-6}	0.0234	
30 00 9000	9000	16,480	12,480	12,480			0.127	1.792×10^{-6}	0.0234	
13 00 00 10000	10000	16,475	12,475	12,475			0.127	1.493×10^{-6}	0.0234	
25 00 12000	12000	16,460	12,460	12,460			0.127	1.311×10^{-6}	0.0234	
30 00 12600	12600	16,360	12,360	12,360			0.127		0	Pumping Stop 13h 30min
08 12600	12600	0.000	0.000	0.000	1016.4	3.208	0.127		0	
30 12650	12650	4.970	0.970	254.0	2.405	2.405	0.127		0	
31 20 12640	12640	4.430	0.430	138.9	2.701	2.701	0.127		0	
32 00 12720	12720	4.290	0.290	106.0	2.025	2.025	0.127		0	
33 00 12780	12780	4.190	0.190	71.0	1.851	1.851	0.127		0	
34 00 12840	12840	4.155	0.155	61.0	1.785	1.785	0.127		0	
35 00 12900	12900	4.125	0.125	53.5	1.728	1.728	0.127		0	
36 00 12960	12960	4.095	0.095	47.7	1.678	1.678	0.127		0	
37 00 13020	13020	4.065	0.065	43.0	1.633	1.633	0.127		0	
38 00 13080	13080	4.065	0.065	39.0	1.586	1.586	0.127		0	
39 00 13140	13140	4.060	0.060	36.0	1.556	1.556	0.127		0	
40 00 13200	13200	4.050	0.050	33.3	1.523	1.523	0.127		0	
41 00 13260	13260	4.045	0.045	31.0	1.491	1.491	0.127		0	
42 00 13320	13320	4.040	0.040	29.0	1.462	1.462	0.127		0	
43 00 13380	13380	4.030	0.030	27.25	1.435	1.435	0.127		0	
44 00 13440	13440	4.030	0.030	26.3	1.386	1.386	0.127		0	
45 00 13500	13500	4.025	0.025	25.0	1.342	1.342	0.127		0	
46 00 13560	13560	4.020	0.020	24.1	1.303	1.303	0.127		0	
47 00 13620	13620	4.015	0.015	23.5	1.267	1.267	0.127		0	
48 00 13680	13680	4.010	0.010	23.4	1.234	1.234	0.127		0	
49 00 13740	13740	4.005	0.005	23.4	1.204	1.204	0.127		0	
50 00 13800	13800	4.000	0.000	23.4	1.176	1.176	0.127		0	
					15.0	1.150	0.127		0	
					14.1	1.126	0.127		0	
					13.4	1.103	0.127		0	
					12.7	1.103	0.127		0	
					12.1	1.081	0.127		0	
					11.5	1.061	0.127		0	

Annex 7 Pumping Test Curve



Annex 8		Data of Pumping Test (B. H-#2)		
Recovery Time		Depth of Water Table from Ground Surface (m)	Drawdown s (m)	Remarks
min.	sec.			
0		5.49	0	Q = 0.0273 m ³ /sec.
10'	600	9.15	3.660	
15'	900	12.2	6.710	
300'	18,000	14.945	9.455	
320'	19,200	15.25	9.760	

Annex 9		Data of Pumping Test (B. H-#3)		
Recovery Time		Depth of Water Table from Ground Surface (m)	Drawdown s (m)	Remarks
min.	sec.			
0		2.135	0	Q = 0.0218 m ³ /sec
	30"	15.25	13.115	
1'50"	110"	24.4	22.265	
12'50"	770"	25.315	23.180	
1°	3600"	25.315	23.180	

