

## 第6章 水文および気象



## 第6章 水文および気象

	頁
6.1 概要	6-1
6.1.1 地形	6-1
6.1.2 気候	6-6
6.1.3 降雨	6-11
6.1.4 蒸発および蒸発散	6-11
6.1.5 流量	6-18
6.1.6 水文周期	6-20
6.2 気象および水位観測所	6-23
6.2.1 気象観測所	6-23
6.2.2 水位観測所	6-23
6.3 流出解析	6-34
6.3.1 方法	6-34
6.3.2 1 KB28地点における流量	6-34
(1) 1975年から1987年における欠測補完	6-34
(2) データ作成	6-35
(3) タンクモデル	6-36
6.3.3 ダム地点流量	6-41
6.4 設計洪水量	6-48
6.4.1 既存調査のレビュー	6-48
6.4.2 方法	6-48
6.4.3 キハンシ流域におけるPMP	6-49
(1) 水文特性	6-49
(2) PMP (可能最大降水量) の算定	6-50
(3) PMPの降水分布	6-50
6.4.4 PMF (可能最大洪水量)	6-54
6.4.5 確率洪水量	6-55
6.4.6 設計洪水量	6-55

6.5 堆砂	6-55
6.5.1 方法	6-55
6.5.2 データ	6-55
6.5.3 計算結果	6-57

## List of Tables

Table 6-1 (1)	Meteorological Data at Iringa
Table 6-1 (2)	Meteorological Data at Morogoro
Table 6-2	Net Evaporation Loss from the Upper Kihansi Reservoir
Table 6-3 (1)	Hydrological Data List of Rainfall
Table 6-3 (2)	Hydrological Data List of Runoff
Table 6-4 (1)	Monthly Discharge at 1KB28
Table 6-4 (2)	Monthly Discharge at Upper Dam
Table 6-4 (3)	Monthly Discharge at Lower Dam
Table 6-5	Topographic Effect on Rainfall
Table 6-6	Process of PMP Estimation at Ifakara
Table 6-7	Probable Flood Discharge at 1KB28
Table 6-8	Flood Discharge Applied to Design

## List of Figures

- Fig. 6-1 Kihansi Basin and Its Stream Pattern
- Fig. 6-2 Profile of Kihansi River
- Fig. 6-3 Watershed Relief in the Kihansi Basin
- Fig. 6-4 Land Use of the Kihansi Basin
- Fig. 6-5 (1) Mean Surface Flow Patterns and Locations of Discontinuities in the Flow for January - June
- Fig. 6-5 (2) Mean Surface Flow Patterns and Locations of Discontinuities in the Flow for July - December
- Fig. 6-6 Typical Isohyetal Map on Annual Rainfall
- Fig. 6-7 (1) Seasonal Characteristics of Rainfall
- Fig. 6-7 (2) Seasonal Characteristics of Rainfall
- Fig. 6-8 Correlation of Daily Rainfall between Mapanda and Boma la Ngombe
- Fig. 6-9 Water Balance in the Kihansi Basin
- Fig. 6-10 Variation of Annual Rainfall at Ifakara
- Fig. 6-11 Mass-curve of Annual Rainfall at Ifakara and Annual Discharge of Zambezi River
- Fig. 6-12 Hydrometric Network
- Fig. 6-13 Rating Curve for 1KB28
- Fig. 6-14 Rating Curve for NC1
- Fig. 6-15 Rating Curve for NC3
- Fig. 6-16 Correlation of Monthly Runoff between 1KB28 and 1KB8
- Fig. 6-17 Rating Curve for 1KB8
- Fig. 6-18 Concept of Tank Model
- Fig. 6-19 (1) Result of Tank Model in 1975
- Fig. 6-19 (2) Result of Tank Model in 1981
- Fig. 6-19 (3) Result of Tank Model in 1982
- Fig. 6-20 Hydrograph at 1KB28 from 1927 to 1987
- Fig. 6-21 Duration Curve at 1KB28 from 1975 to 1987
- Fig. 6-22 Depth - Duration Envelope of PMP at Ifakara
- Fig. 6-23 Relation between Suspended Load and Discharge

6.1 概要

6.1.1 地形

キハンシ川は、ルフィージ川水系、キロンベロ川の支流でイリング地域南部に源を発する。キハンシ川源流地域は丘陵帯を形成し、部分的に耕作地が認められる他は草原状を呈する。

上流部での河道は著しい蛇行を形成するが、下流部になると多くの滝や淵が連続した河道となる。Fig. 6-1にはキハンシ流域および河道状況を Fig. 6-2にはキハンシ川の縦断形状を示す。

流域のほとんどは標高1,500m以上に位置し、川の縦断勾配は1/50から1/130程度となっているが、1,400m以下では勾配が1/30と一転して急となり、特に下部ダム地点と下部発電所地点の間では水平距離がわずかに4kmにすぎないにもかかわらず落差が800mにも及んでいる。Fig. 6-3には流域の起伏状況を示すが、同図における1区画は1km四方に相当し、グリッド中の数字は起伏の程度を表わしている。たとえばグリッド中に1とあるのは1km四方内に高低差が0~100mあることを意味し、同様に2とあるのは1km四方内に高低差が100~200mあることを示している。同図によれば、流域源流の北西部はきわめてなだらかな地形となっているが、南東部の流域界付近はかなり急峻な地形を成している。この流域界は北東-南西方向に延びるウズングワ山地の南東斜面と一致している。流域形状は大まかに見て2種類のパターンに分けられる。1つはキハンシ川本流に見られるような樹枝形状であり、もう1つはキハンシ川の1大支流であるルアハ川のように、ウズングワ山地に平行して直流するものである。この2つの流域は単に流域形状のみならず下記に示すような多くの点で相違点がある。

	キハンシ川本流	ルアハ川
植生 (Fig. 6-4 参照)	草地および耕作地	森林 (保護林)
河谷 (Fig. 6-3 参照)	比較的なだらか	急峻
(流域面積) / (河道長)	12km	5km
年平均比流量	2.5 m <sup>3</sup> /s/100km <sup>2</sup>	3.5 m <sup>3</sup> /s/100km <sup>2</sup>

Fig. 6-1 Kihansi Basin and Its Stream Pattern

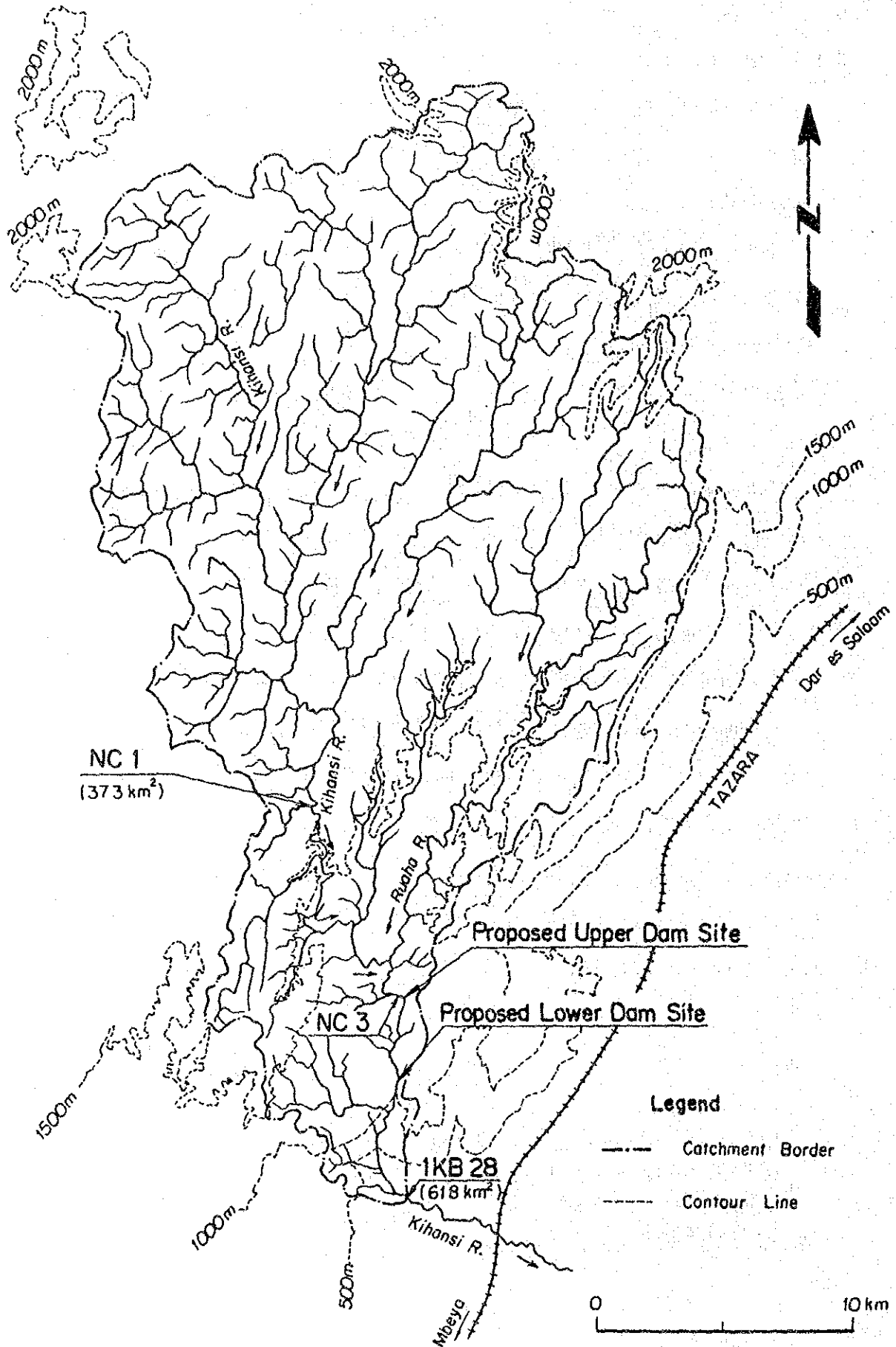




Fig. 6-2 Profile of Kihansi River

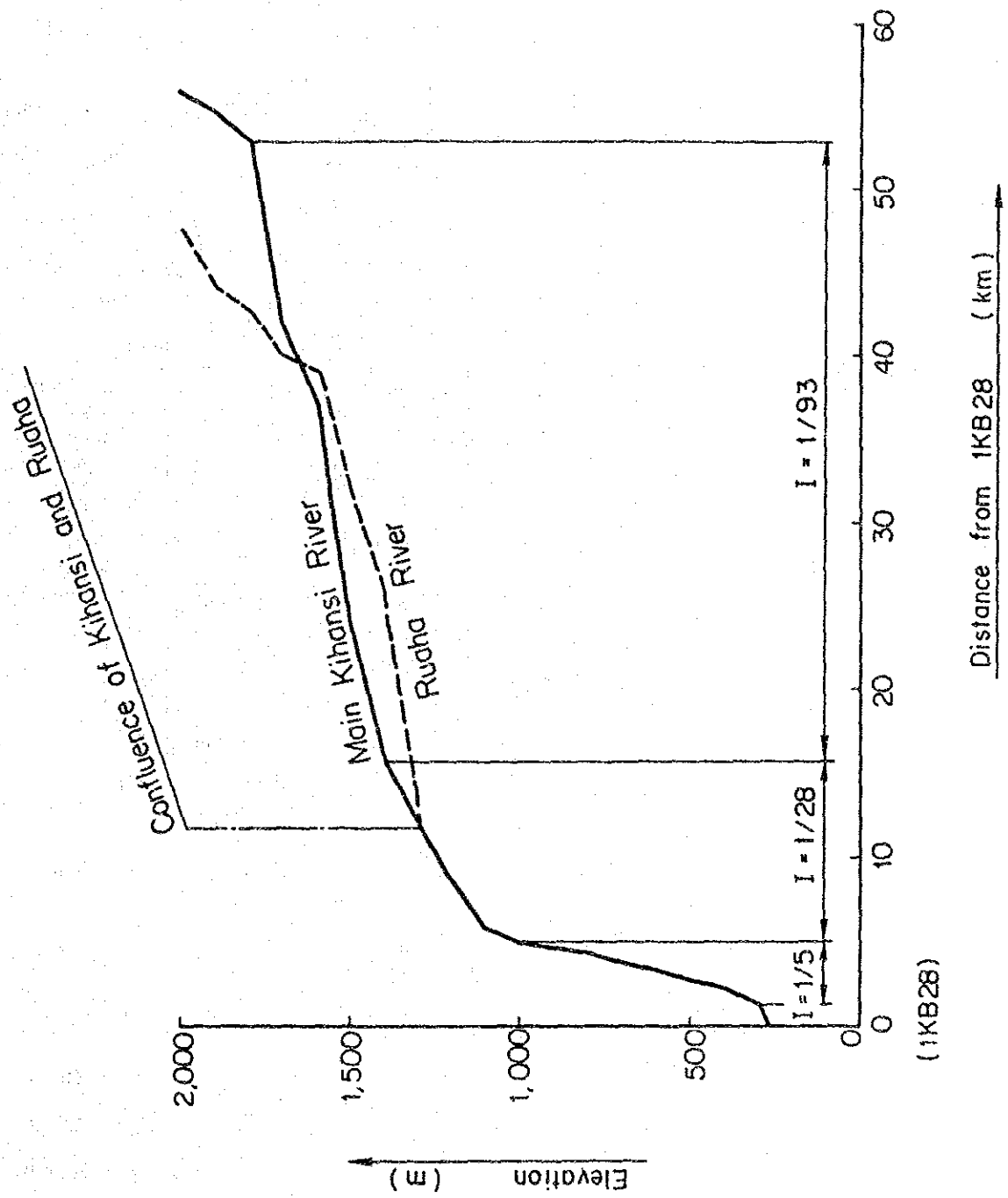
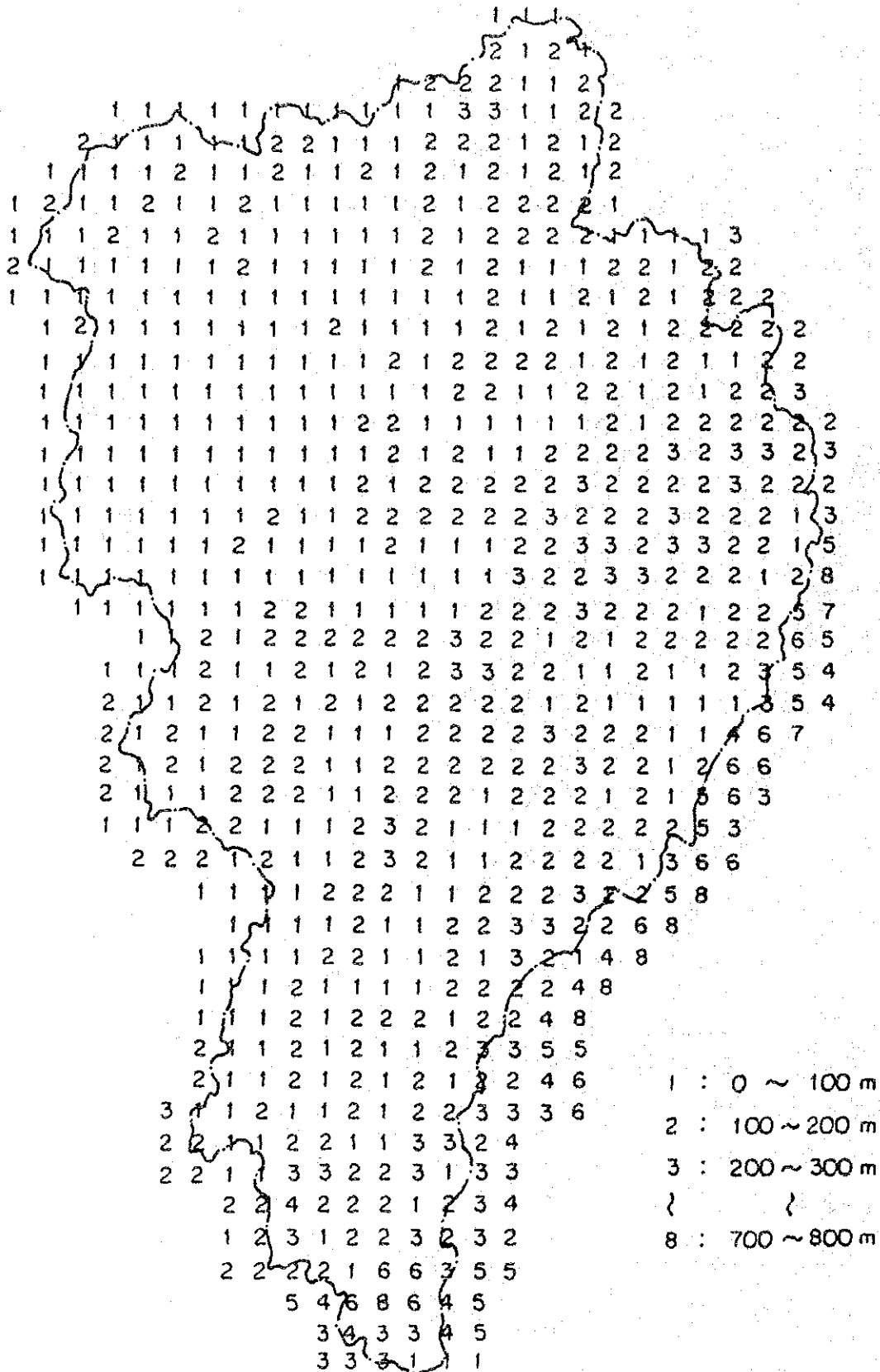


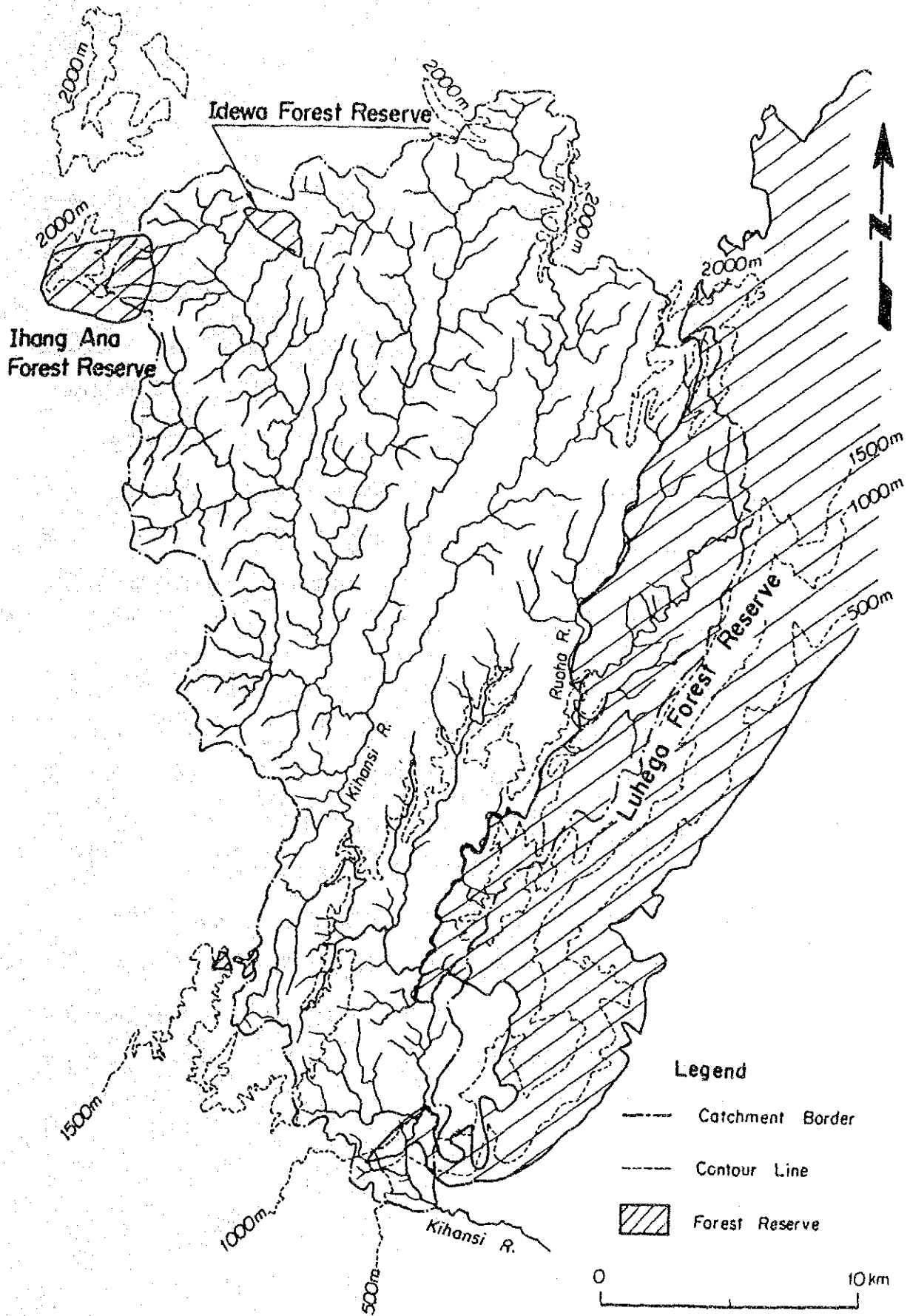
Fig. 6-3 Watershed Relief in the Kihansi Basin

( Each Grid is 1 km Square )



0 10 km

Fig. 6-4 Land Use of the Kihansi Basin



この内、年平均比流量が異なる理由は降水分布の違いに帰因しており、低水解析の際に問題となる。一方、他の要因は降雨-流出関係に直接影響を及ぼすため、洪水解析を行なう時に、以上の地形および気象特性を考慮する必要がある。

### 6.1.2 気 候

キハンシ計画地点を含むタンザニアのほとんどが熱帯サバンナ気候（または半乾燥熱帯気候）に属し、雨季、乾季という2つのはっきりした季節を有している。雨季は11月に始まり5月まで続く。降雨、風向、風速、湿度といった気象現象は主としてITCZ（熱帯収束帯）の動きに左右されており、特に降雨の原因はこのITCZの活動に基づく収束性降雨に限られ、台風や前線といった他の要因は過去の記録からは見い出すことはできない。アフリカ大陸におけるITCZの月毎の位置を Fig. 6-5に示す。

タンザニア全土の年間降雨量は400mmから2,000mmと場所により大きな違いがあるが、降雨の多少にかかわらず、ほとんどの降雨は雨季に集中している。キハンシ流域はタンザニアの中でも多雨地域に位置し、年平均降雨量は1,500mm程度と推定される。

降雨特性に関しては次節6.1.3で詳述する。

気温は主として標高に依存するため、流域の大部分を占める標高約1,500mの高地と標高約300mの下部発電所付近の2つに分けて説明する。計画地点より約100km北方に位置するイリングは流域高地の気温特性を代表すると考えられるが、その地点における年平均最高気温は26.2°C、年平均最低気温は14.3°Cとなっている。Table 6-1 (1)に示すように、最高気温、最低気温共に季節による変化は非常に小さく5°C以下しかない。一方、低地を適切に代表しうる気候データを収集することはできなかったが、参考までに計画地点より300km北東に位置する標高580mのモロゴロのデータをTable 6-1 (2)に掲載する。モロゴロの年平均最高気温は30.0°C、年平均最低気温は18.6°Cだが、イリングと同様最高、最低気温ともに季節変動は6°C以下と非常に小さい。

Fig. 6-5 (1)

Mean Surface Flow Patterns and Locations of Discontinuities in the Flow for January ~ June

( ASECNA , 1973 )

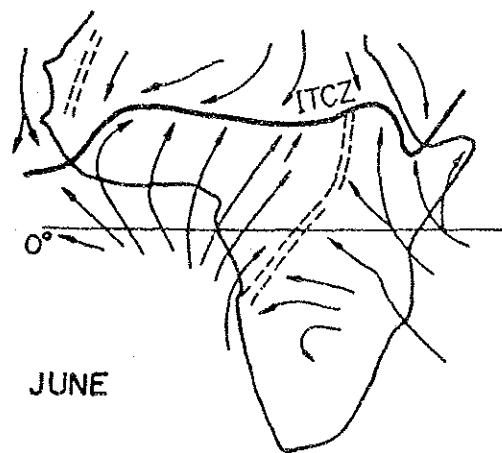
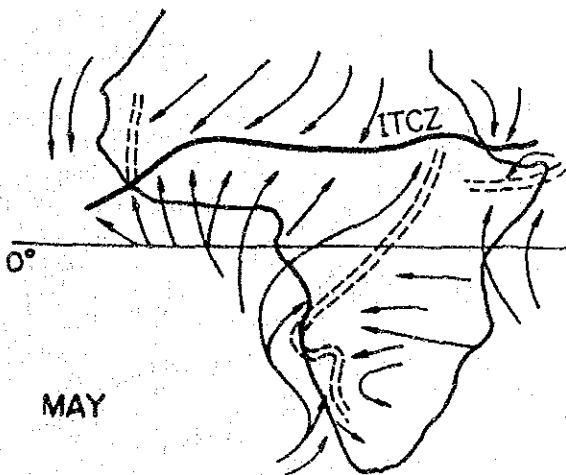
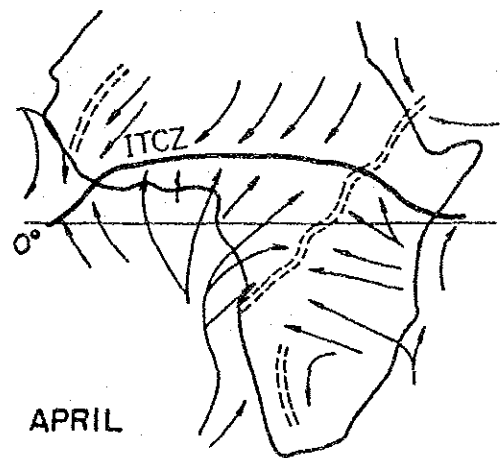
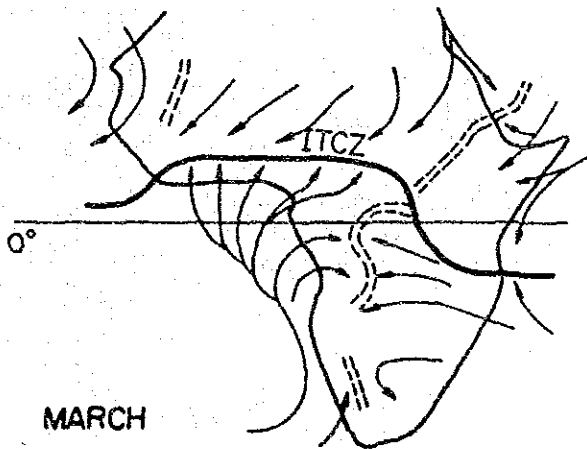
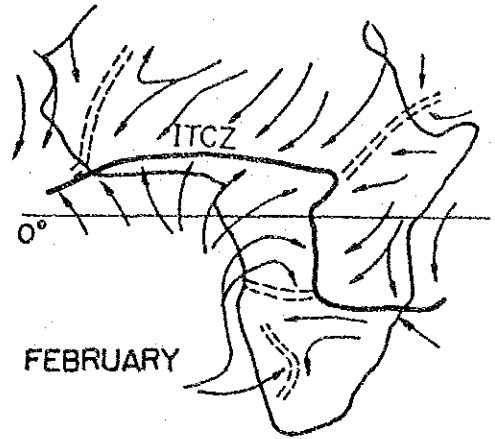
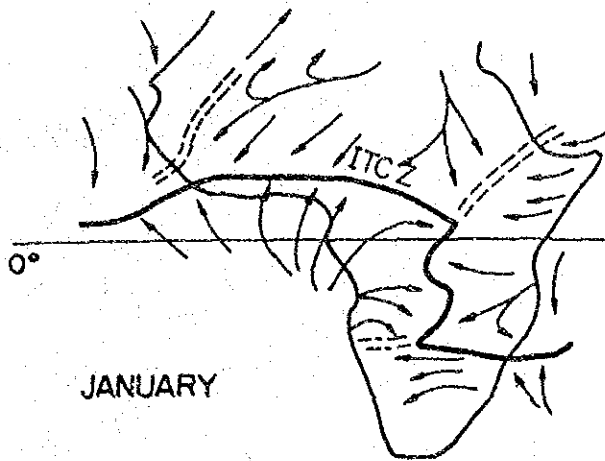


Fig. 6-5 (2)

Mean Surface Flow Patterns and Locations of  
Discontinuities in the Flow for July ~ December

( ASECNA, 1973 )

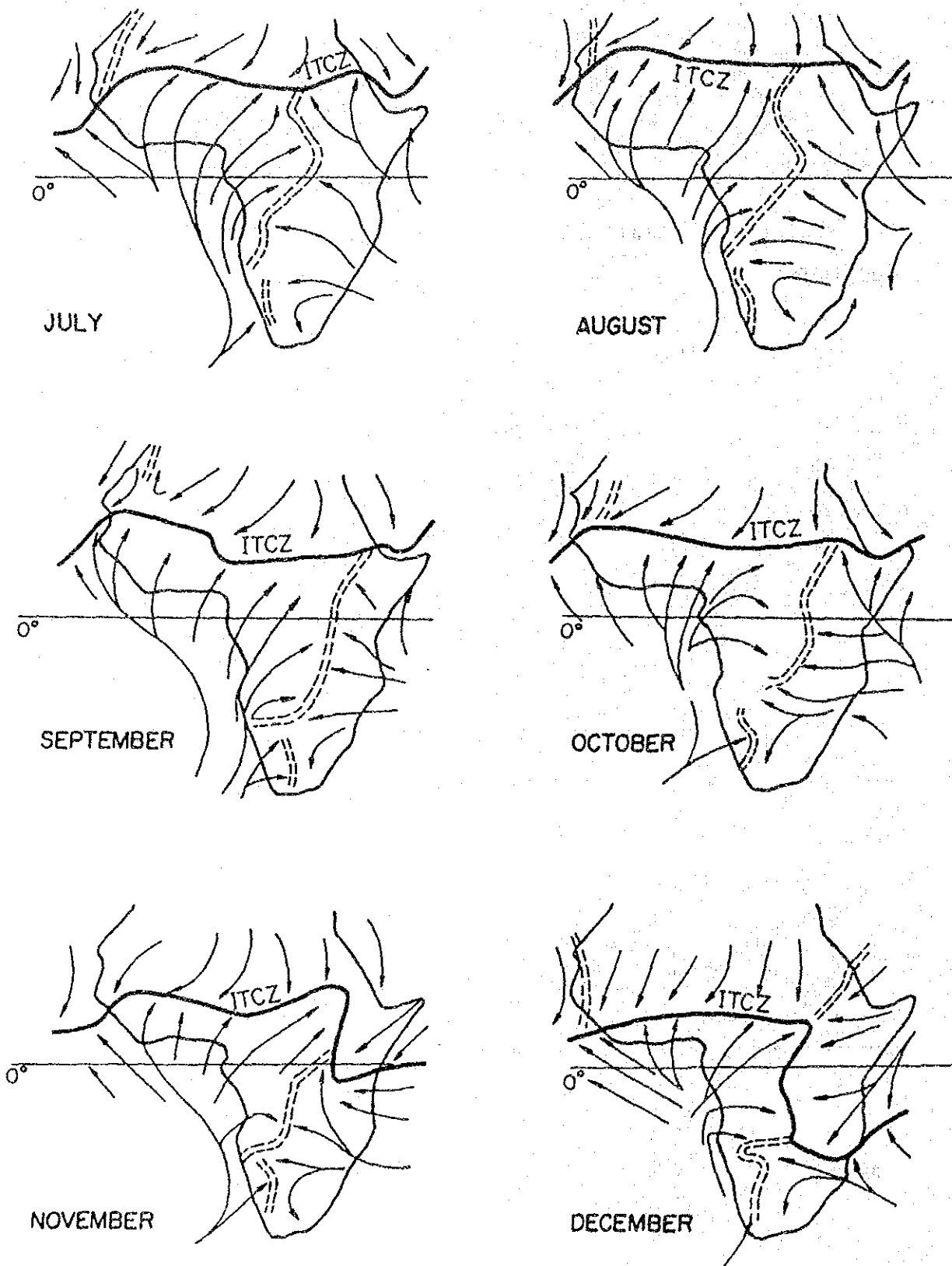


Table 6-1 (1) Meteorological Data at Iringa

Latitude 07° 40' S Longitude 35° 45' E Altitude 1428m

Month	Temperature (°C) (1960~80)		Relative humidity (%)		Rainfall (mm) (1960~80)		Mean number of days of		Monthly Evaporation (1973~80)
	Max.	Min.	6:00	12:00	Mean	Max. 24 hour fall	Rain ( > 1 mm )	Thunder	
Jan	25.8	15.7	79	61	138	88.5	13	10	146
Feb	25.8	15.5	81	62	115	45.7	12	9	138
Mar	25.9	15.3	79	63	130	55.1	14	11	128
Apr	25.8	15.2	76	60	63	67.3	9	5	123
May	25.5	14.1	68	50	10	25.1	3	1	142
Jun	24.9	12.4	62	42	1	10.6	0	0	160
Jul	24.3	12.0	63	42	0	0.6	0	0	171
Aug	25.0	12.1	60	41	1	9.4	0	0	190
Sep	26.7	13.6	55	37	1	3.8	0	0	212
Oct	28.4	14.3	53	37	4	22.8	0	1	244
Nov	28.8	15.6	57	42	27	58.4	3	4	223
Dec	27.0	16.1	72	55	159	102.4	12	11	177
Year	26.2	14.3	67	49	649	102.4	66	62	2,054

Table 6-1 (2) Meteorological Data at Morogoro

Latitude 06° 51'S Longitude 37° 40'E Altitude 579m

Month	Temperature (°C)		Relative humidity (%)		Rainfall (mm)		Mean number of days of		Monthly Evaporation (mm) (1973~80)
	Max. (1946~60)	Min.	6:00	12:00	Mean (1906~80)	Max. 24 hour fall	Rain (>1 mm)	Thunder	
Jan	31.5	21.0	83	55	96	70.4	6	12	
Feb	31.7	20.8	84	57	99	110.9	5	11	
Mar	31.5	20.8	86	60	162	93.0	9	14	
Apr	29.6	20.4	91	69	217	64.5	16	8	
May	28.2	18.8	91	68	92	59.0	9	1	
Jun	27.3	15.9	87	59	27	33.5	3	0	
Jul	27.2	15.0	87	54	14	38.1	3	0	
Aug	28.3	15.8	83	49	11	34.5	2	0	
Sep	29.8	16.6	80	47	18	62.0	2	0	
Oct	31.2	18.0	77	45	28	72.1	3	1	
Nov	31.8	19.5	77	49	60	87.9	6	4	
Dec	32.0	21.1	79	53	81	80.5	8	9	
Year	30.0	18.6	84	55	905	110.9	72	60	



### 6.1.3 降雨

Fig. 6-6の等雨量線図に示すようにキハンシ流域の年間降雨量は、1,000mmから1,800mmと場所により差がある。同図によると、流域南東部の急斜面に沿って、年間降雨量約1,800mmともっとも多量の降雨を記録するのに対し、北西に向かうに連れ徐々に降雨量は減少していく。

計画地域周辺の降雨観測所における月降雨量を Fig. 6-7に示す。12月から2月にかけてはどの観測所においても月降雨量は150から200mm程度となっている。この期間ITCZはタンザニアの南部付近に位置し、そのため流域周辺では北東風が卓越することとなり、急崖斜面の方向と風向とがほぼ平行するため、地形効果はそれほど顕著なものとはならない (Fig. 6-5 参照)。さらにこの場合、降雨の供給源であるインド洋と計画地域の間には多くの山地が存在するため、地形降雨の主要因である大気下層部の湿潤空気が計画地域に到達するまでに前衛山地の障壁作用によりカットされる。そのため、この期間における降雨は地形特性よりむしろ非地形性の様相を呈する。一方、3月から4月にかけてITCZはタンザニアを横切り、風向も東～南東向きとなるため、降雨分布は計画地域周辺では地形性の特徴を示すようになる。すなわち、湿潤空気が風向に対して直角に面する急斜面部にインド洋から直接吹き込み、さらに、この急崖部の南東に広がるキロンベロ湿原も水分補給源として一役を担っていると考えられる。このようにして、計画地域に流入した湿潤空気は、斜面沿いに強制的に上昇し、多量の降雨をもたらすことになる。一方、キハンシ流域の高地部一帯は、遮蔽地域となり、北西に向かうに連れ降雨量は減少していく。

降雨は通常雷を伴い、ある地点での降雨時間はせいぜい1時間程度しか続かず、しかもその降雨域は極めて局地的な範囲に限られる。降雨分布のパターンは特に認められず、その証拠に近接した2個所の観測所における日降雨量の相関が Fig. 6-8に示すように極めて悪い。

### 6.1.4 蒸発および蒸発散

計画地域周辺では、イリングアにおいて1973年より蒸発皿による蒸発量の観測が行なわれており、この値は、上部貯水池の蒸発およびキハンシ流域全体の可能蒸発散量を代表していると考えられる。イリングアにおける年間平均蒸発量は2,054mmである。

Fig. 6-6 Typical Isohyetal Map on Annual Rainfall

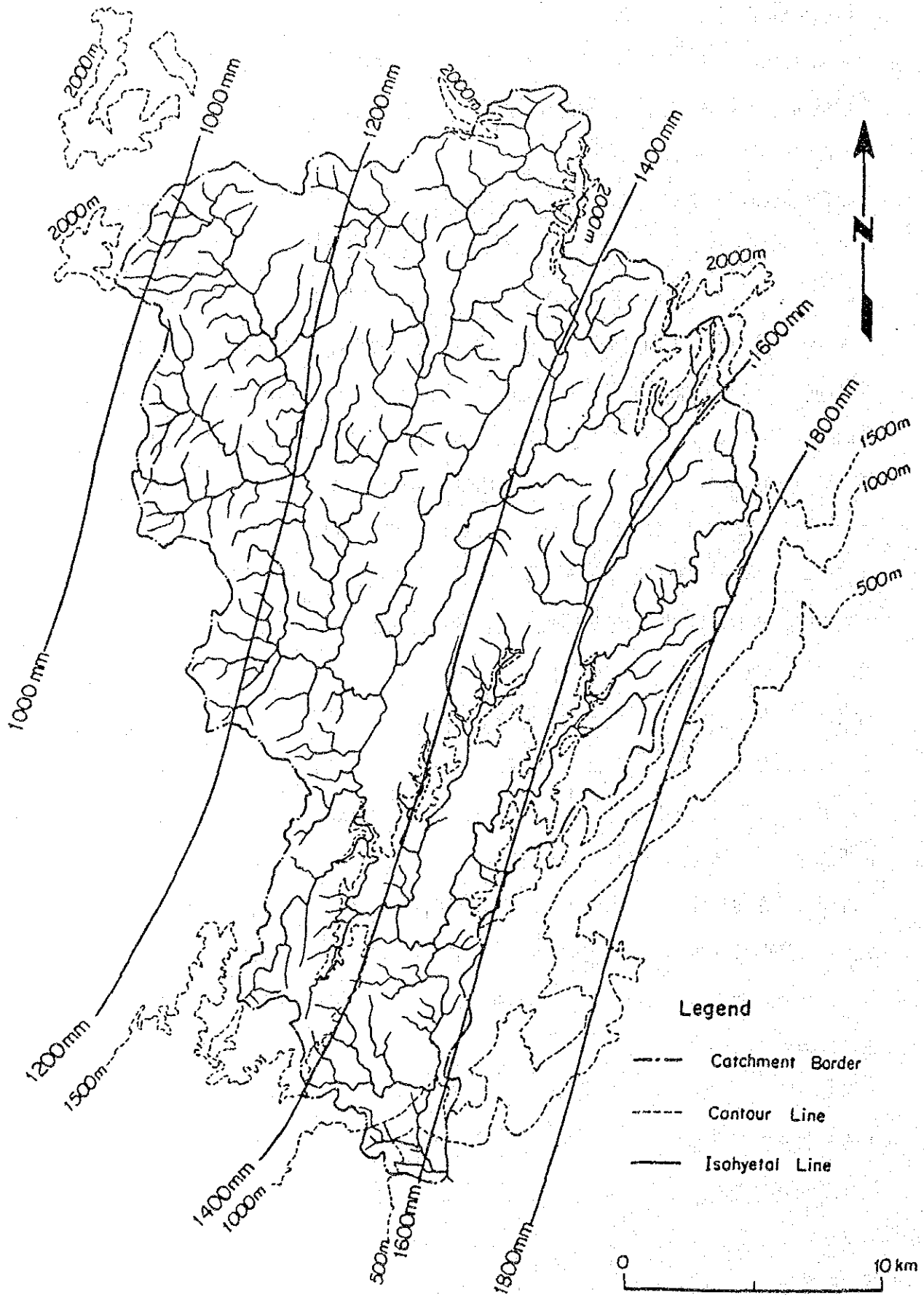


Fig. 6-7 (1) Seasonal Characteristics of Rainfall

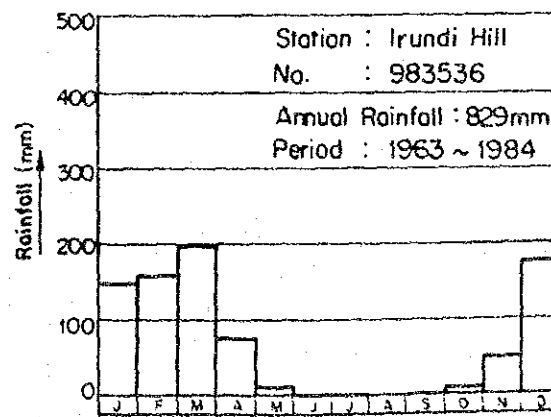
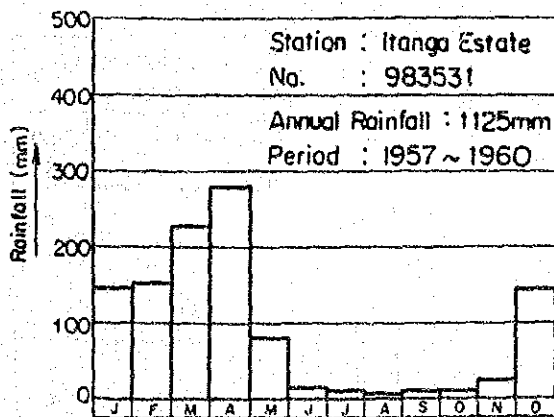
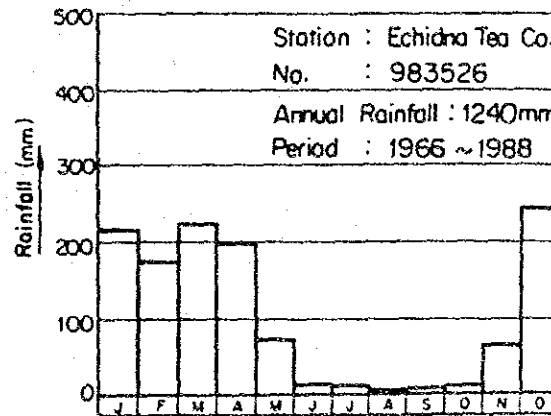
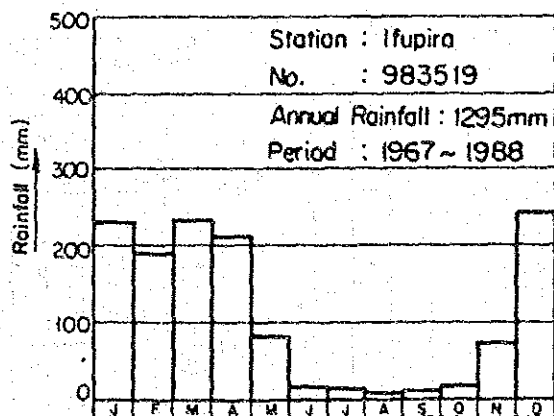
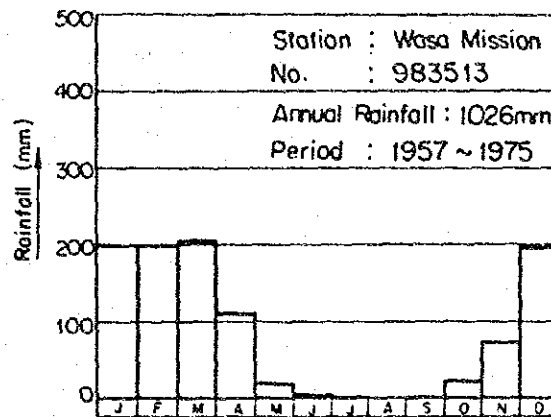
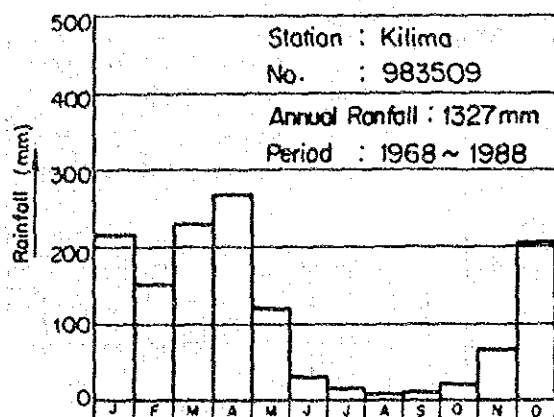
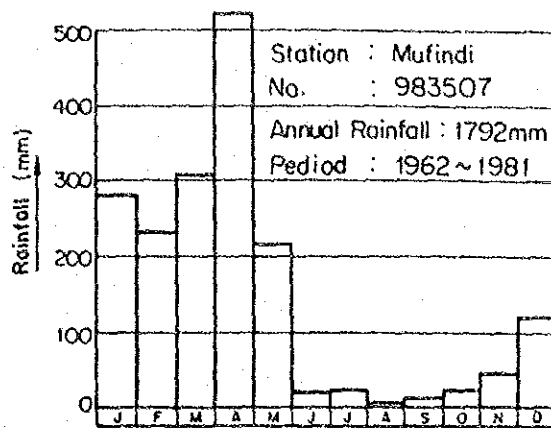
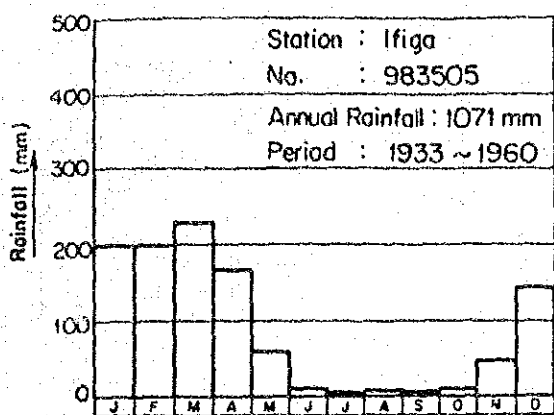


Fig. 6-7 (2) Seasonal Characteristics of Rainfall

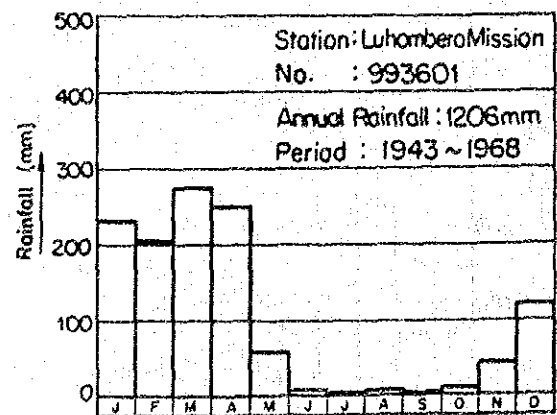
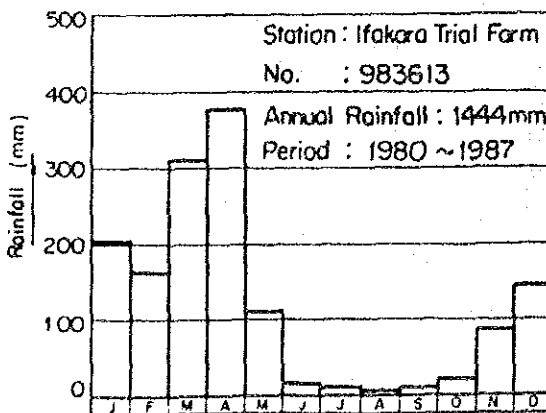
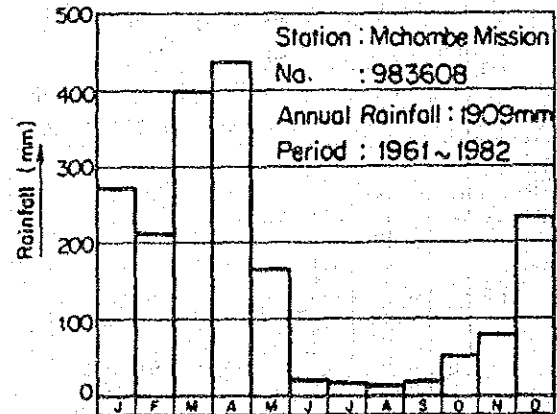
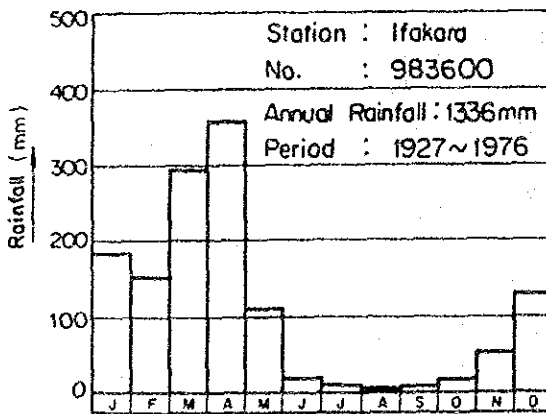
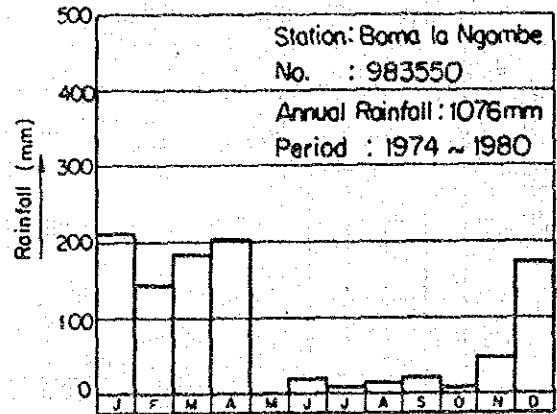
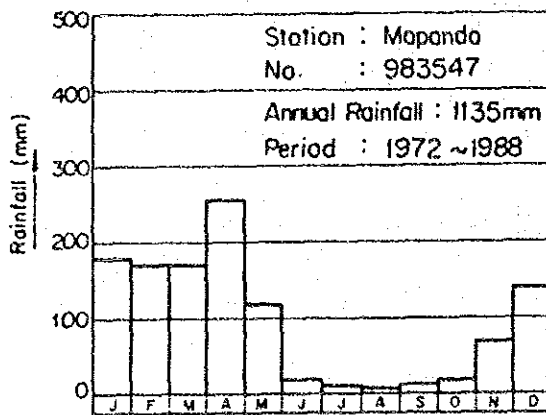
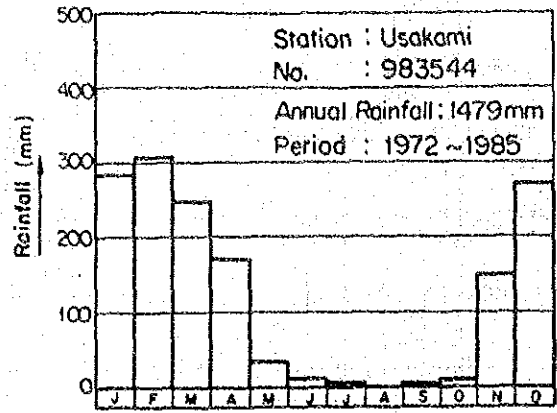
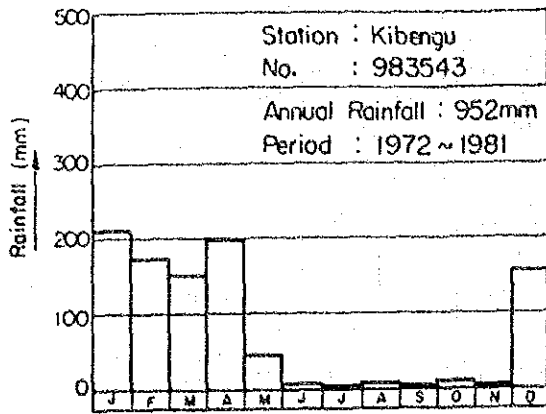
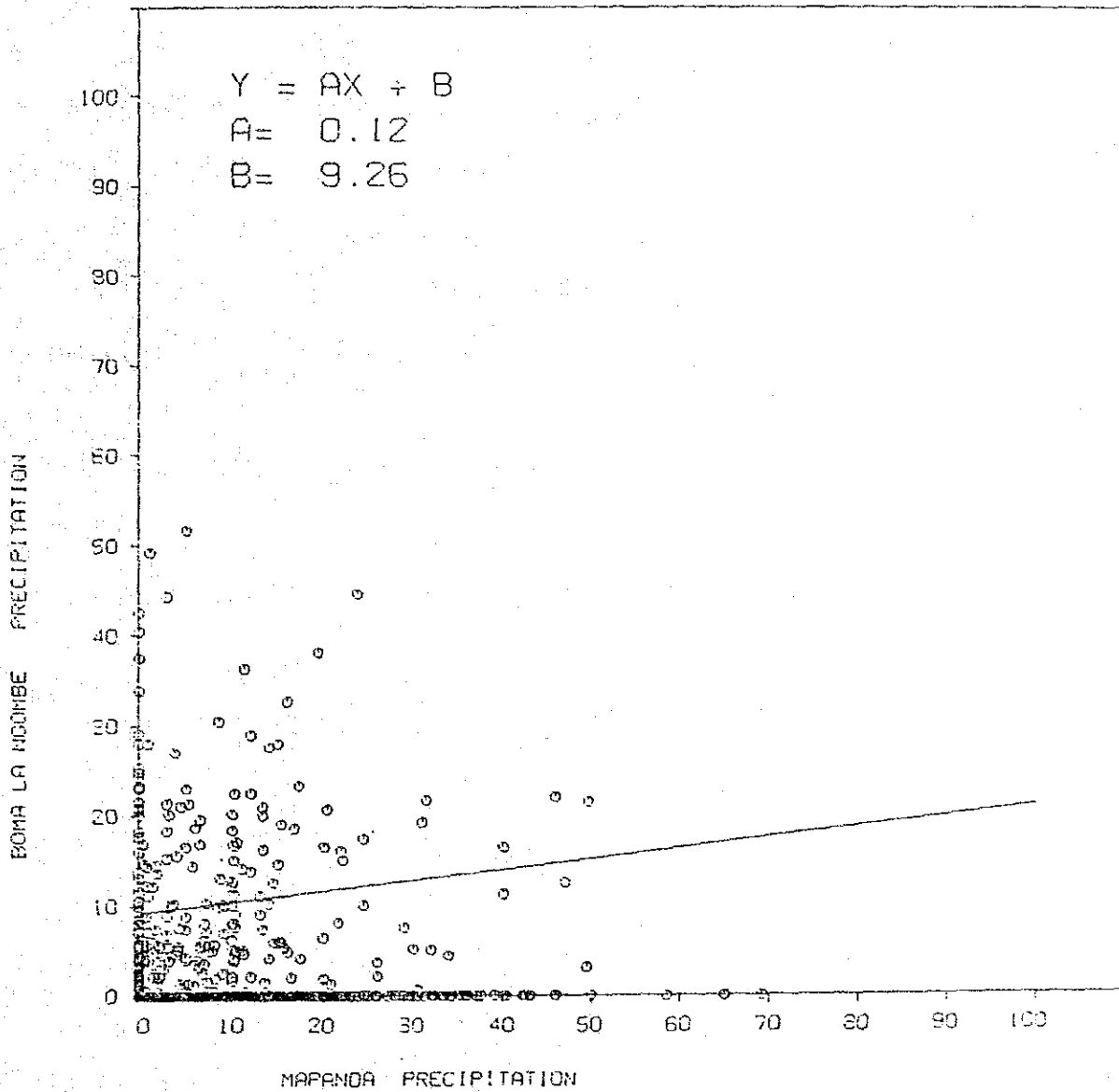


Fig. 6-8 Correlation of Daily Rainfall between Mapanda and Boma la Ngombe

R= 0.123      COUNT=5232      720101 - 881231



可能蒸発散量とは、植物に必要な土中水分が一時も不足することがない状態で発生する水分の損失量と定義される。理想的な条件のもとで可能蒸発散量は自由水面の表面からの蒸発量に近似できると言われている。1968年にT. Woodheadの発表した「Studies of Potential Evaporation in Tanzania」によれば、イリングにおける可能蒸発散量はペンマン式を用いると年間 1,919mmと推定される。ペンマン式では、気候条件のみをパラメーターとし、地表の植生、降雨形態、土中水分などの他の要因は考慮していないため、貯水池からの蒸発量を算定するには実蒸発散量を把握する必要がある。本報告書では、蒸発散量を求める目的が貯水池の完成前後における蒸発散量の変化を把握することにあるため、以下の手順に従って正味の蒸発散による損失量を計算することとする。

- i) マパンダとムチョンベの平均雨量を上部貯水池面上に降る降雨量とする。
- ii) T. Woodheadによって求められたイリングの可能蒸発量を可能蒸発散量と等しいと仮定する。
- iii) i) の降雨量と ii) の可能蒸発散量の内、小さい方を実蒸発散量として採用する。
- iv) この実蒸発散量を降雨と流出の水収支が合うように、次に示す補正係数を乗じて各月毎に補正する。

$$\begin{aligned} \text{補正係数} &= \frac{(\text{年平均降雨量}) - (\text{年平均流出量})}{(\text{実蒸発散量})} \\ &= \frac{1,522 - 912}{1,034} \\ &= 0.59 \end{aligned}$$

- v) イリングにおけるクラスAの蒸発皿で実測した実蒸発散量に0.7を乗じた値を上部貯水池からの自由水面蒸発量と仮定する。
- vi) 正味の蒸発による損失量はiv) の実蒸発散量の補正值からv) の自由水面からの蒸発量を差し引くことによって得られる。

Table6-2に計算結果を示すが、上部貯水池ができることによって新たに年間828mmの蒸発による損失が貯水池面から生じることになる。この値に貯水池面積を乗じることによって、流量の損失分が計算できる。

Table 6-2 Net Evaporation Loss from the Upper Kihansi Reservoir

Month	i) Precipitation (mm)	ii) Potencial Evapotranspiration (mm)	iii) Actual Evapotranspiration (mm)	iv) Adjusted actual Evapotranspiration (mm)	v) Free-water Evaporation (mm)	vi) Net Evaporation Loss (mm)
Jan	225	149	149	88	102	- 14
Feb	189	131	131	77	97	- 20
Mar	282	149	149	88	90	- 2
Apr	346	145	145	86	86	0
May	140	149	140	83	99	- 16
Jun	19	143	19	11	112	-101
Jul	12	150	12	7	120	-113
Aug	8	168	8	5	133	-128
Sep	11	184	11	6	148	-142
Oct	32	199	32	19	171	-152
Nov	72	186	72	42	156	-114
Dec	186	166	166	98	124	- 26
Year	1,522	1,919	1,034	610	1,438	-828

### 6.1.5 流量

キハンシ流域には、1 KB28, NC 1, NC 3 の3測水所がある。この内、1974年に設置された1 KB28がもっとも記録期間が長く、次いでNC 1が1982年、NC 3が1985年に設置された。3測水所に関しては次節、6.2 気象および水位観測所、で詳述することとする。キハンシ川の流出特性は以下の通りである。

- 流量は雨季末期の4月もしくは5月に最高値となり、それ以後は徐々に減じ、乾季末期の10月もしくは11月に最低値となる。
- 乾季はほとんど降雨がないにもかかわらず、その間の流量は、他の近傍河川に比べ著しく多い。Fig. 6-9に示す水収支によれば、乾季の豊富な基底流量を説明するには有効降雨（降雨から蒸発分を差し引いたもの）のおよそ半分が地下水に涵養されなければならないことになる。このことは、地形および地質の両面から説明が可能である。すなわちキハンシ流域は、なだらかな丘陵地形を成し、多くの窪地とラテライトという高い浸透能と貯留能力を有する厚い風化層に被われているからだと思われる。
- 上述した地形、地質要素に加え降雨が局地的に発生し、しかも降雨継続時間は非常に短いため、流域全体では大規模かつ急激な流出量の変動はほとんど起こりえない。
- 1 KB28の年平均比流量はNC 1に比べ1.26倍多い。この違いは降雨分布の多少から説明できるが、仮に蒸発散が両流域ともに等しいと仮定すれば、各々の流域における年間降雨量は次のように推定できる。

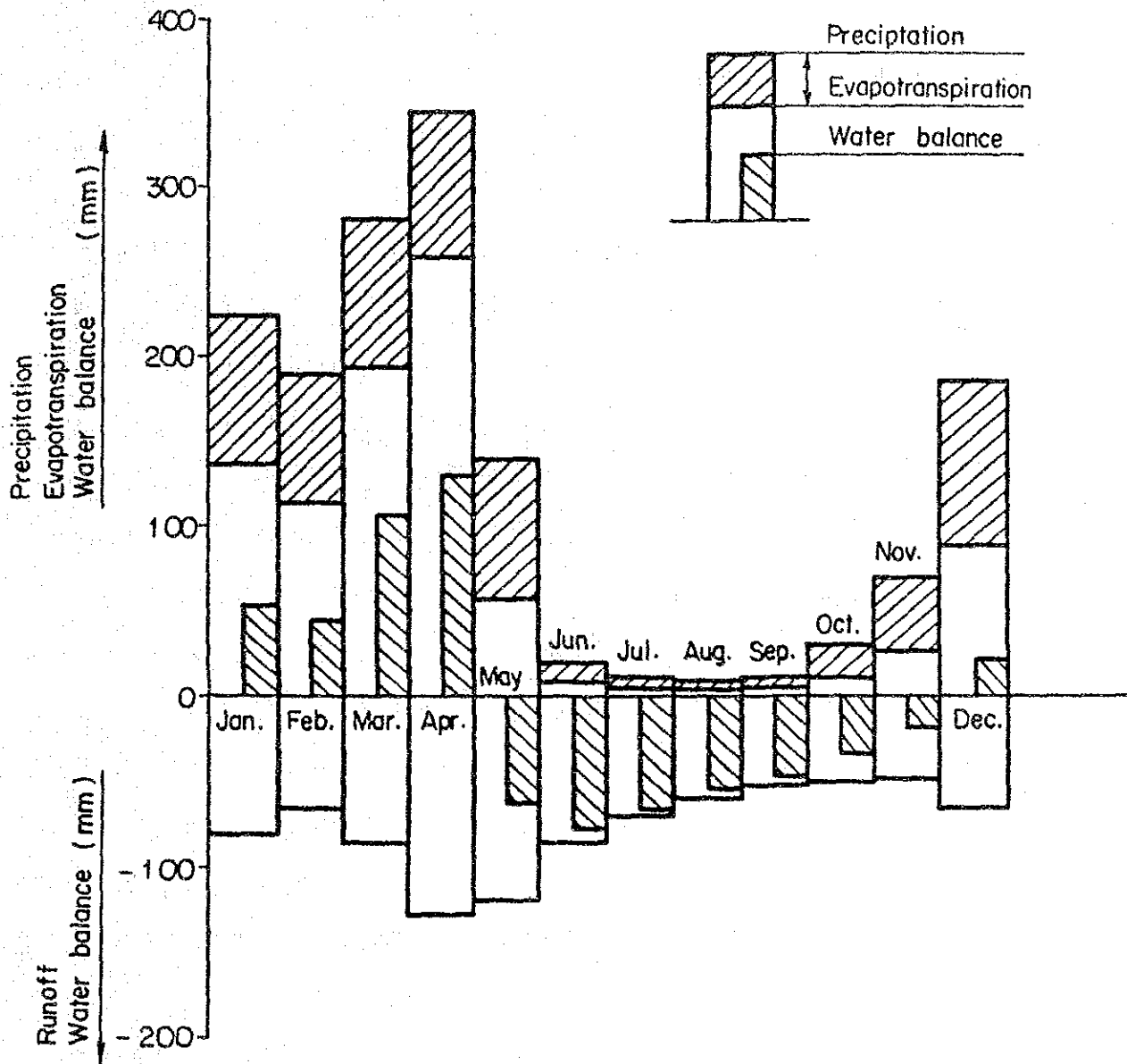
	年流出量	蒸 発 散	年降雨量
NC 1流域 (373 km <sup>2</sup> )	720 mm	610 mm	1,330 mm
1 KB28流域 (618 km <sup>2</sup> )	910 mm	610 mm	1,520 mm
残 流 域 (245 km <sup>2</sup> )	1,200 mm	610 mm	1,810 mm

(1 KB28-NC 1)

月流出量毎に見ると、1 KB28とNC 1の流量の違いは、4月と5月に顕著であるが、この現象は6.1.3節の降雨で述べたような気象特性に帰因している。



Fig. 6-9 Water Balance in the Kihansi Basin



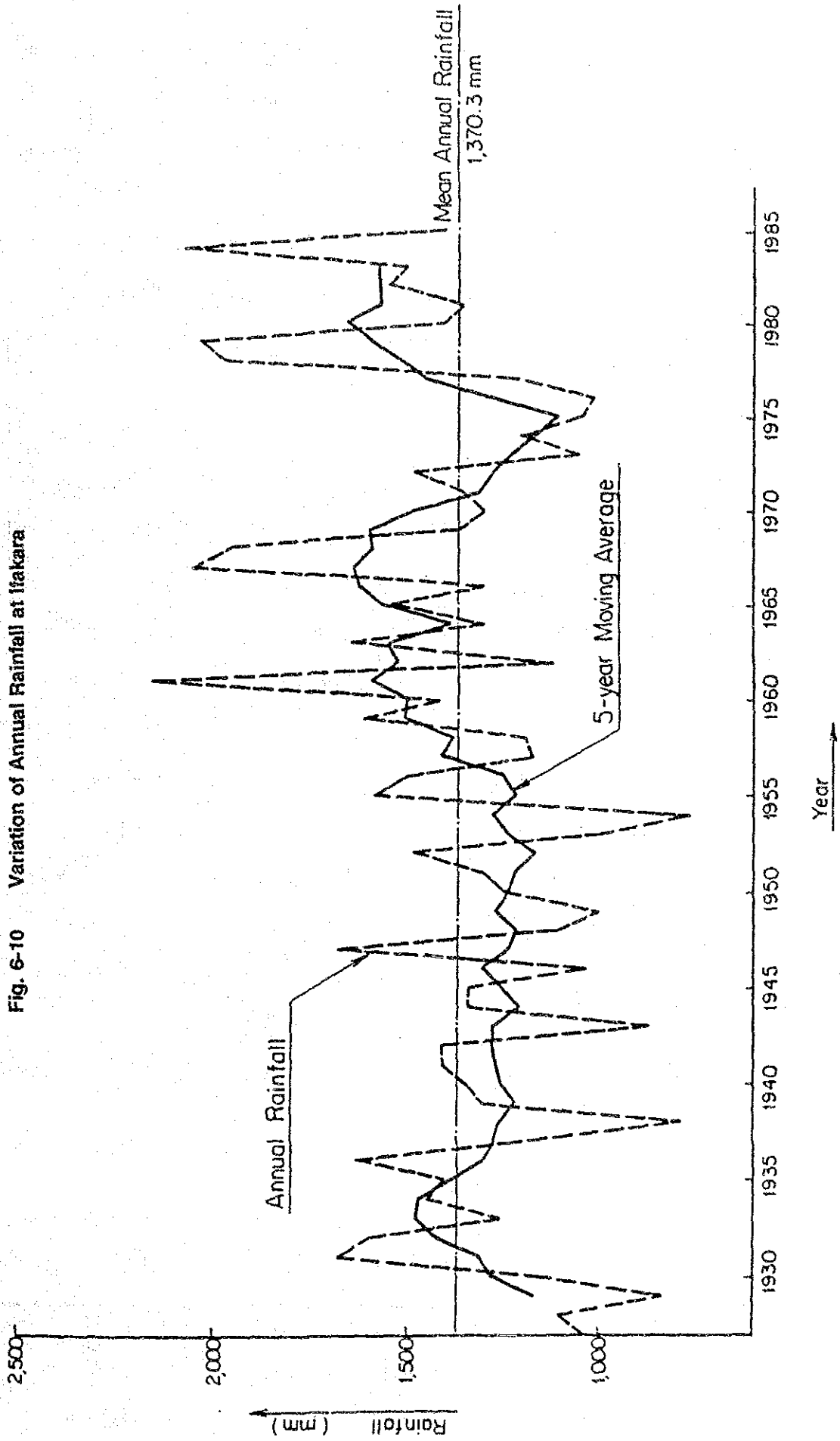
### 6.1.6 水文周期

水文現象は、長期に及ぶ観測結果を見ると、ある周期が存在することは、一般に認められており、この周期性を見出すことは、貯水池運用並びに電力量の算定にとってきわめて重要なことと考えられる。

既存の研究によれば、最渇水年に関して、2つの異なった意見がある。1つは、1984年に Norconsult によって提出された Rufiji Basin Hydropower Master Plan であり、同書によると流量データを見る限りキハンシ流域の近年における渇水期は1957年から1962年までで、一般に言われているような40年代における顕著な渇水は認められないと報告している。一方、1985年（1989年に一部見直し）に ACRES によって提出された Power Sector Development Plan によれば、グレートルアハ川およびパンガニ川水系では1952年から1956年にかけてと1974年から1977年にかけての2回にわたり、顕著な渇水期が存在した他、1940年から1954年までの期間はその後の1956年から1979年に比べ流量が著しく少なかったと報告している。このような渇水期に対する考えの相違により、電力量を算定するのに必要な水文年についても両者では異なる見解を出している。すなわち、Master Plan では1955年から1979年を代表年としているのに対し、Power Sector Development Plan では1940年から1979年を代表年としている。

Fig. 6-10 にはイファカラにおける年降雨量の変動の様子を示しているが、イファカラは比較的長期にわたって精度の高い観測が行なわれており、しかもキハンシ流域から100 km程度しか離れていないため、キハンシ流域の特性を十分反映していると考えられる。事実、キハンシ流域内のマパンダとイファカラの月降雨量の相関係数は0.861 と非常に高い相関関係が認められる。同図によると、1950年代半ばを境に2つの傾向があることがわかる。すなわち、それ以前の降雨量は、それ以降に比べ総じて少ない傾向を示している。この現象は、Fig. 6-11に示すマスカーブにより、さらに明確に指摘される。同図中の点線はジンバブエを流れるザンベジ川の年流出量のマスカーブを表わしているが、この曲線は多少の時間のずれがあるものの、イファカラの年降雨量のマスカーブと非常に類似している。さらに、ビクトリア湖の水位変動も上記2つの曲線とほぼ同様の傾向を示す。ビクトリア湖の水位は、東アフリカを含む熱帯地域の気候変動を代表すると考えられる。ビクトリア湖の水位は19世紀後半より観測されており、その記録によると、1870年代にはかなり高水位にあったのが、20世紀初頭に向け徐々に水位を下げていき、その後およそ60年間には比較的安定した水位を維

Fig. 6-10 Variation of Annual Rainfall at Ifakara



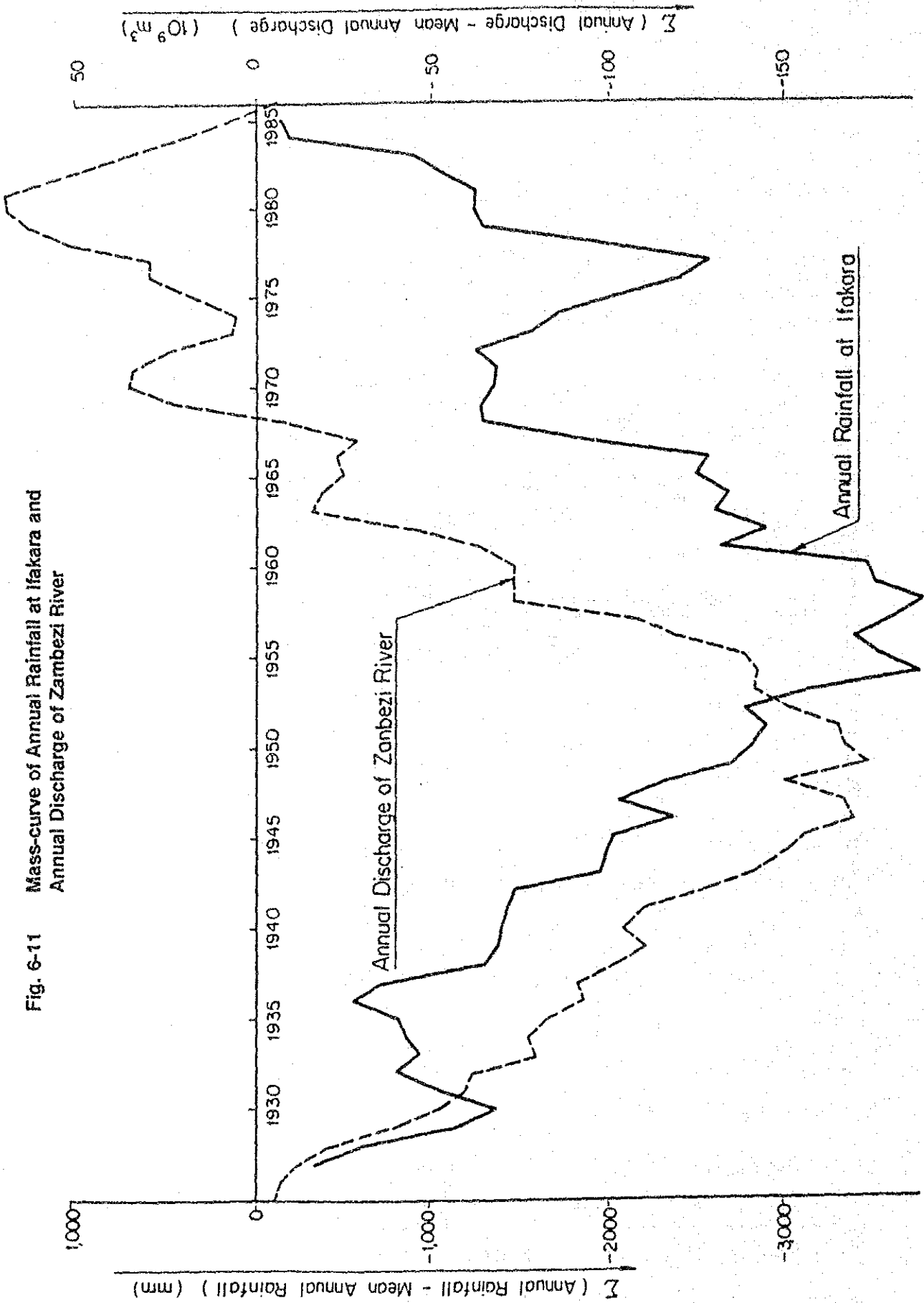


Fig. 6-11 Mass-curve of Annual Rainfall at Ifakara and Annual Discharge of Zambezi River

持していた。それが、1962年以降急激に水位が上昇し、現在に至っている。以上より、豊水年、渇水年の両者を反映した適切な電力量、特に保証電力量を算定するには、1955年以前のデータをできるだけ長期にわたって準備することが望ましい。

## 6.2 気象および水位観測所

キハンシ計画地点周辺の雨量並びに水位観測所の位置をFig. 6-12に、各観測所の観測期間をTable 6-3に示す。

### 6.2.1 気象観測所

雨量観測所の絶対数が少ない上に、ほとんどの雨量データには程度の差はあるものの欠測箇所が随所に見られ、また、主として転記ミスと思われる誤データが多く含まれているために、キハンシ流域の降雨パターンを適切に把握することは非常に困難である。983543（キベング）、983547（マパンダ）、983550（ボマ ラ ンゴンベ）の3観測所がキハンシ流域内に位置しているが、この内983547（マパンダ）は比較的長期にわたってまとまったデータが存在する。983547（マパンダ）と他の観測所の月降雨量の相関を計算したところ、983543（キベング）、983600（イファカラ ミッション）、983608（ムチョンベ ミッション）といずれも急崖部に沿って位置する観測所の降雨データと0.8以上という高い相関を示したのに対し、983513（ワサ ミッション）、983536（イルンディ ヒル）、983544（ウサキミ）といった高地に位置する観測所の降雨データとは0.7以下という低い相関しか認められなかった。

従って、キハンシ流域の降水パターンは4月、5月の南東風が持ち込む湿潤空気に強く影響を受け、地形性降雨の特性を備えていると考えられる（6.1.3 降雨を参照のこと）。

### 6.2.2 水位観測所

キハンシ計画に関連する観測所の概要を以下に述べる。

#### i) 1 KB28（キハンシ川）

1 KB28の水位記録は、この測水所がキハンシ川下流部に位置し、キハンシ川の流出量、特に上部貯水池と、下部取水ダムへの流入量を代表することから、きわめて重要である。1 KB28はキロンベロ川と平行して延びる地方道がキハンシ川を

Fig. 6-12 Hydrometric Network

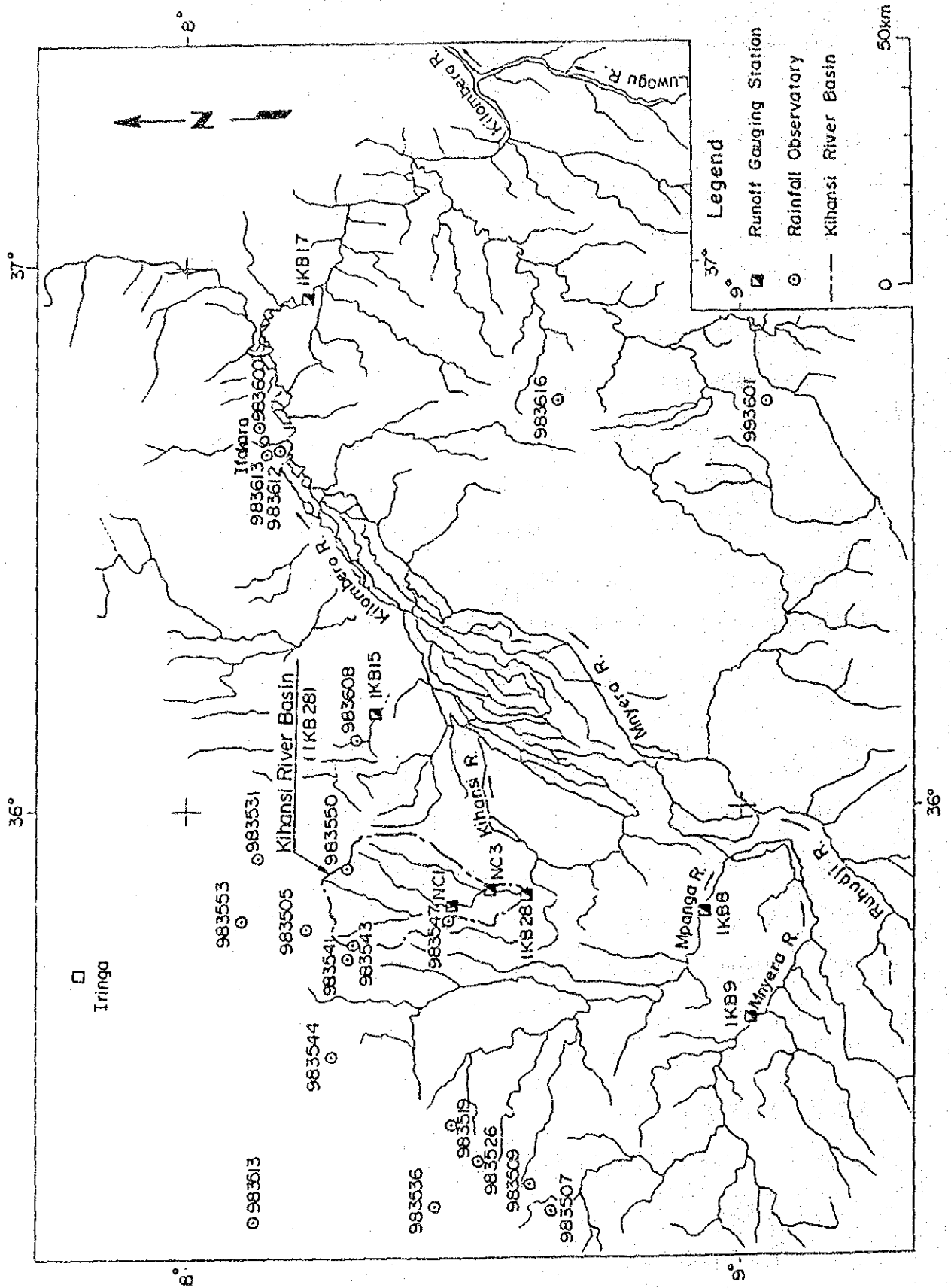


Table 6-3 (1) Hydrological Data List of Rainfall

Name of Rainfall Gauging Station	Station Number	Daily or Monthly	1930	1940	1950	1960	1970	1980
Ifiga	983505	D						
Mufindi Forest	983507	D						
Kilima	983509	D						
Nasa Mission	983513	M						
Ifupira Mufindi	983519	D						
Echidna Tea Co.	983526	D						
Itanga Estate	983531	M						
Irundi Hill	983536	D						
Luganga Kilolo	983541	D						
Xibengu	983543	D						
Usakimi	983544	M						
Mapanda	983547	D						
Boma la Ngombe	983550	D						
Ifakara Mission	983600	D						
Mchoabe Mission	983608	D						
Luwero H./Met.	983612	D						
Ifakara KATRIN	983613	D						
Kasita Seminary	983616	D						
Luhombero H./Met.	993601	D						

Table 6-3 (2) Hydrological Data List of Runoff

Station Number	Name of River	Location	Catchment Area (km <sup>2</sup> )	Year				
				1950	1960	1970	1980	1990
1KB 8	Mpanga	Mpanga	2535					
1KB 9	Mnyera	Taveta	4760					
1KB15	Mieta	Mchome	321					
1KB17	Kilombero	Ifakara	33400					
1KB28	Kihansi		618					
NC 1	Kihansi		373					
NC 3	Kihansi		580					
1KA 3	Great Ruaha	Kidatu	80040					
1KA 5	Great Ruaha	Mtera	67884					



横切る橋の近くに位置し、流域面積は618km<sup>2</sup>、それに対し、上部ダム地点では583km<sup>2</sup>、下部ダム地点では590km<sup>2</sup>の流域を有している。1 KB28においては1974年以来1日3回の水位観測が実施されており、現在までの欠測日数は全部で146日である。

Fig. 6-13に示す水位流量曲線は Norconsult によって作成されたものだが、約0.8mの水位の付近で顕著な折れ点が認められる。これは、この標高を境に川の横断形状が著しく変化することにもとづいている。Rufiji Basin Hydropower Master Plan によると、この曲線は0.4mから3.5mの範囲では十分の精度を有することを報告しているが、ほとんどの測定記録がこの範囲内に収まるため、本報告書においても水位から流量に換算する式をこの曲線を用いて算定した。

なお、1989年3月14日にフロート式の自記水位計を1 KB28地点に新たに設置し、時間単位の測定を実施している。

#### ii) NC 1 (キハンシ川)

NC 1 は、1982年10月にマパンダ村とウハフィワ村を結ぶ道路がキハンシ川を横切る橋のたもとに設置された。流域面積は373km<sup>2</sup>であり、設置当時 Norconsult が提案していた上部ダム地点の流入量を把握することを目的に設置された。現在、上部ダム地点はキハンシ川の下流へと変更されたが、NC 1 のデータは依然キハンシ流域上流部の流出特性を理解する上で重要な役割を担っている。

水位-流量曲線は1982年から1983年にかけて実施された56個の実測値をもとに Norconsult によって作成されたものがあるが、今回は1984年に行なわれた実測結果も考慮して、多少修正を加えた。Fig. 6-14には、修正前後の2本の曲線を提示するが、この曲線に関しては1989年3月1日にJICA調査団によって検証が行なわれた。なお、実測値は、高水位部を網羅していないため、洪水流量を算定するには外挿法を用いた。

#### iii) NC 3 (キハンシ川)

NC 3 は、1984年から1985年にかけて Norconsult によって提案された下部ダム地点近くに設置された。現在この地点は上部ダム地点とほぼ一致しており、流域面積は582 km<sup>2</sup>と見積もられる。上部、下部両計画における電力量を正確に計算するには、継続した流量観測が不可欠なため、1989年2月28日に同地点に圧力式の自記水位計を設置し、さらに少なくとも1週間に1回流量の測定が実施されてい

Fig. 6-13 Rating Curve for 1KB28

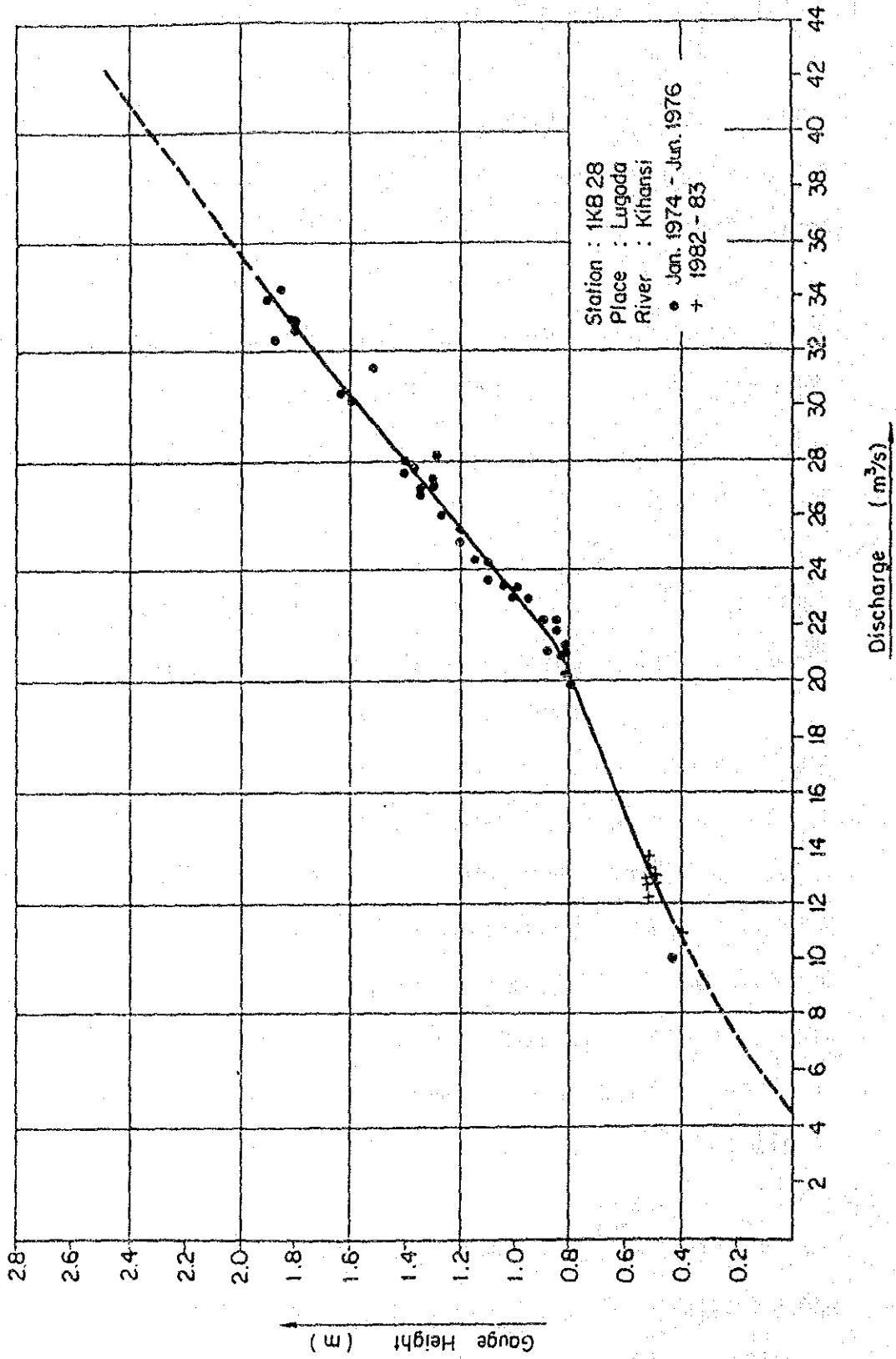
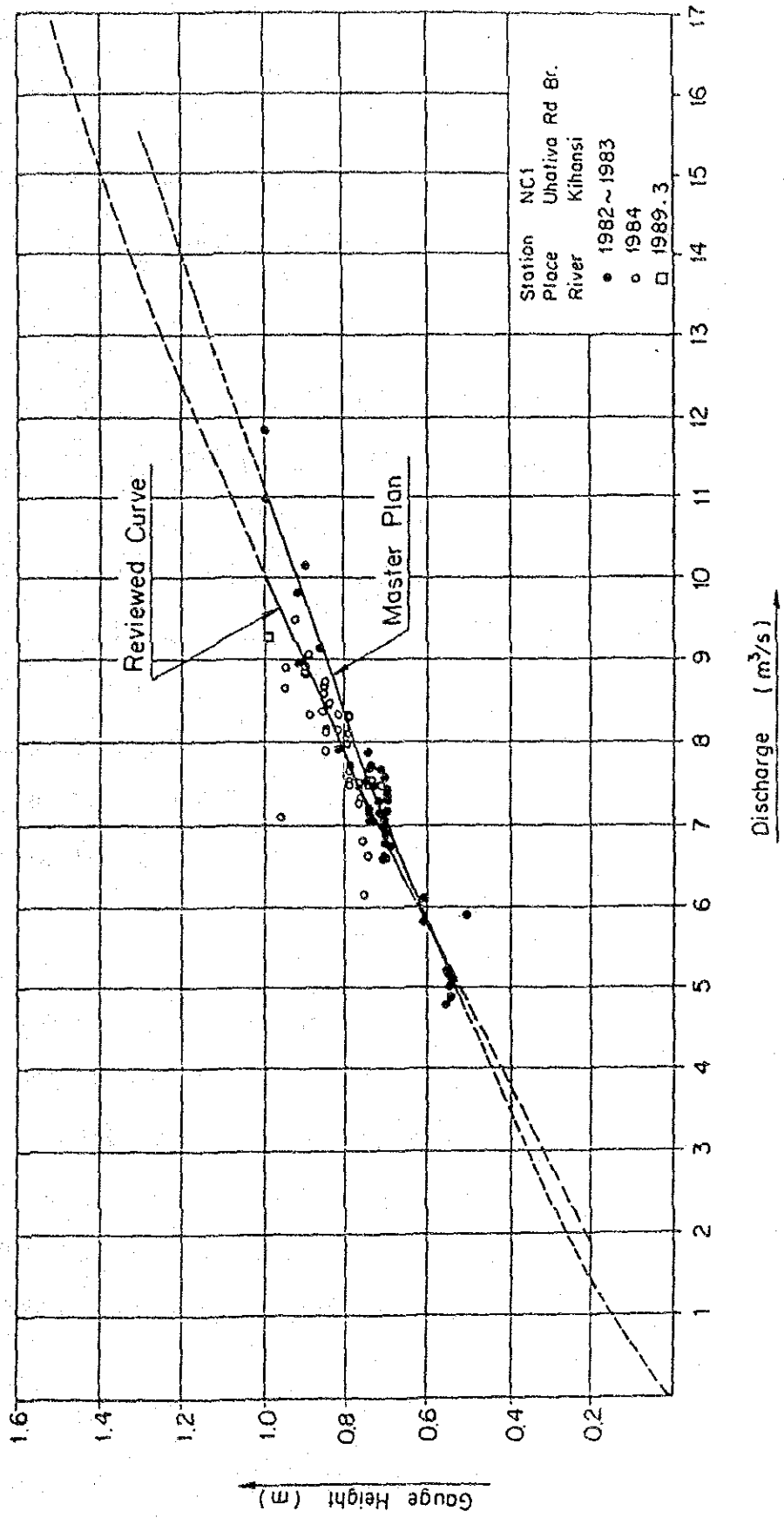


Fig. 6-14 Rating Curve for NC1



る。水位-流量曲線は Norconsult により、現地における流量と水位の同時観測値をもとに作成する従来法に代わって、水理模型を用いた方法によって作成された。1989年2月以降実施している実測値と比較した限りでは、この水理模型により作成した曲線は、きわめて精度の高いことが判明した。しかし、河道は常に一定の状況を維持することではなく、徐々に形状を変えるため、もし可能ならば、流量の実測を実施することが望ましい。Norconsultにより作成された水位-流量曲線をFig. 6-15に示す。

#### iv) 1 KB 8 (ムパンガ川)

1 KB 8における日水位観測は、1955年から実施されている。1 KB 8におけるムパンガ川の流域面積は2,535km<sup>2</sup>と1 KB 28に比べ約4倍の広さを有するが、Fig. 6-16に示すように相関係数は月データで0.845、日データでは0.784と比較的高い値を示している。このことは両測水所流域の流出量だけでなく、降雨パターンや地形状況も似通っていることを示唆している。従って1 KB 8のデータは、4.0m以上の水位になると欠測箇所がいくらか目立つものの、1 KB 28の欠測データを補うに足るだけの信頼性を有している。Rufiji Basin Hydropower Master Planによると、1 KB 8の水位-流量曲線は、1961年4月に現在の曲線に変更されたと報告しているが、それ以前の曲線も、現在のものも十分な精度を有していると思われる (Fig. 6-17参照)。

#### v) 1 KB 9 (ムニェラ川)

Rufiji Basin Hydropower Master Planによると、1 KB 9の水位-流量曲線は複数存在するため、どの曲線を用いるかによって全く別の流量が算定されてしまう恐れがあり、さらに水位の実測値自体、測定位置が移動したりするなどの誤データが多く含まれている可能性があると報告している。1 KB 9のハイドログラフは、1 KB 28とかなり異なった形状を示しており、事実、相関係数も月単位で0.609、日単位で0.580と極めて低い値となっているため、1 KB 9のデータは1 KB 28の欠測補完には用いなかった。

#### vi) 1 KB 15 (ムゲタ川)

1 KB 15と1 KB 28は流域面積がそれぞれ321km<sup>2</sup>、618km<sup>2</sup>であり、さらに、両者共ウズングワ山地東面の急斜面に沿って位置し、多雨地帯に属するなど類似点が多いことから、当初1 KB 15のデータは1 KB 28の欠測部を補完する有用な情報源とな

Fig. 6-15 Rating Curve for NC3

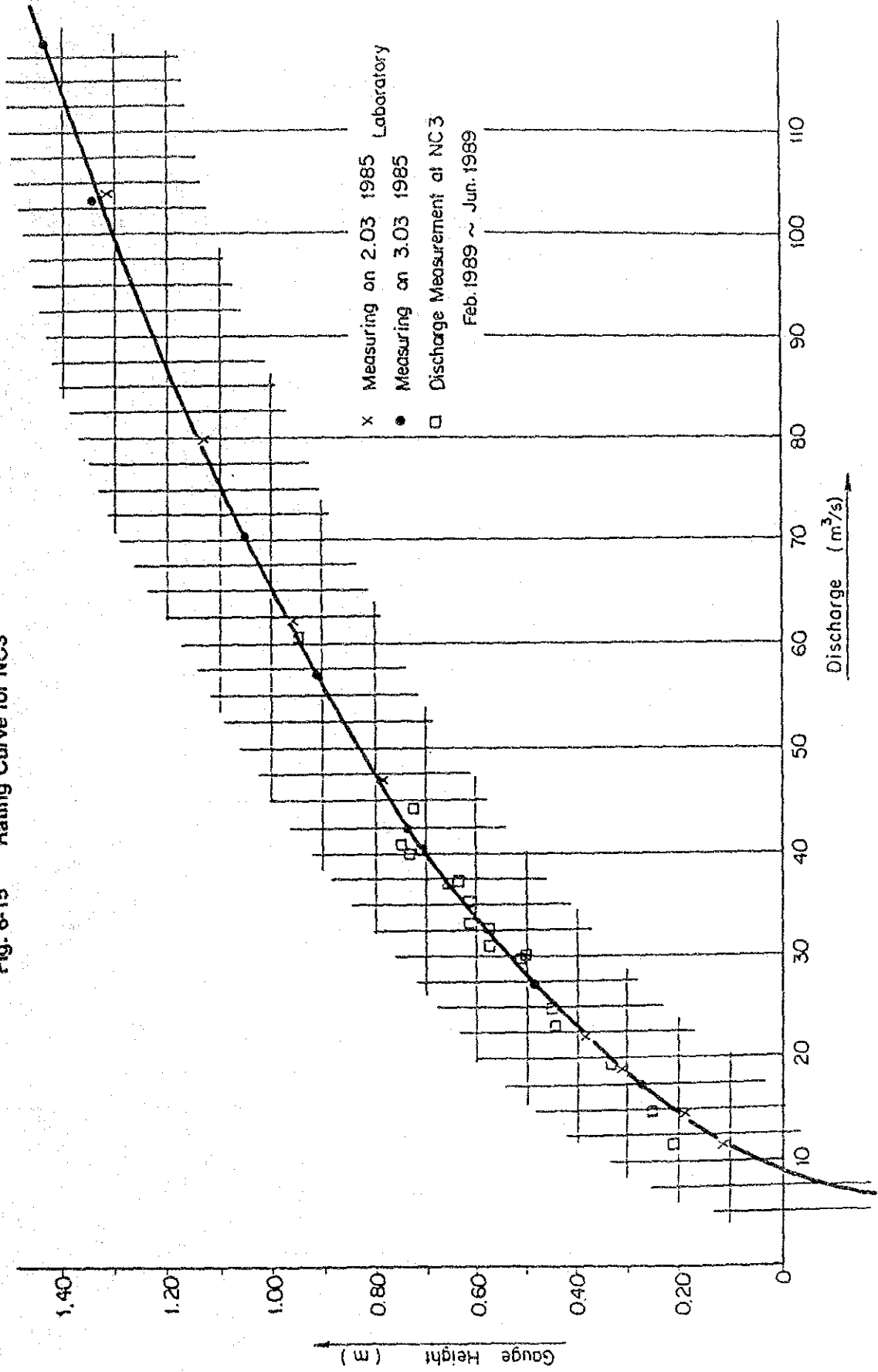


Fig. 6-16 Correlation of Monthly Runoff between 1KB28 and 1KB8

R= 0.845      COUNT= 71      7601 - 8512

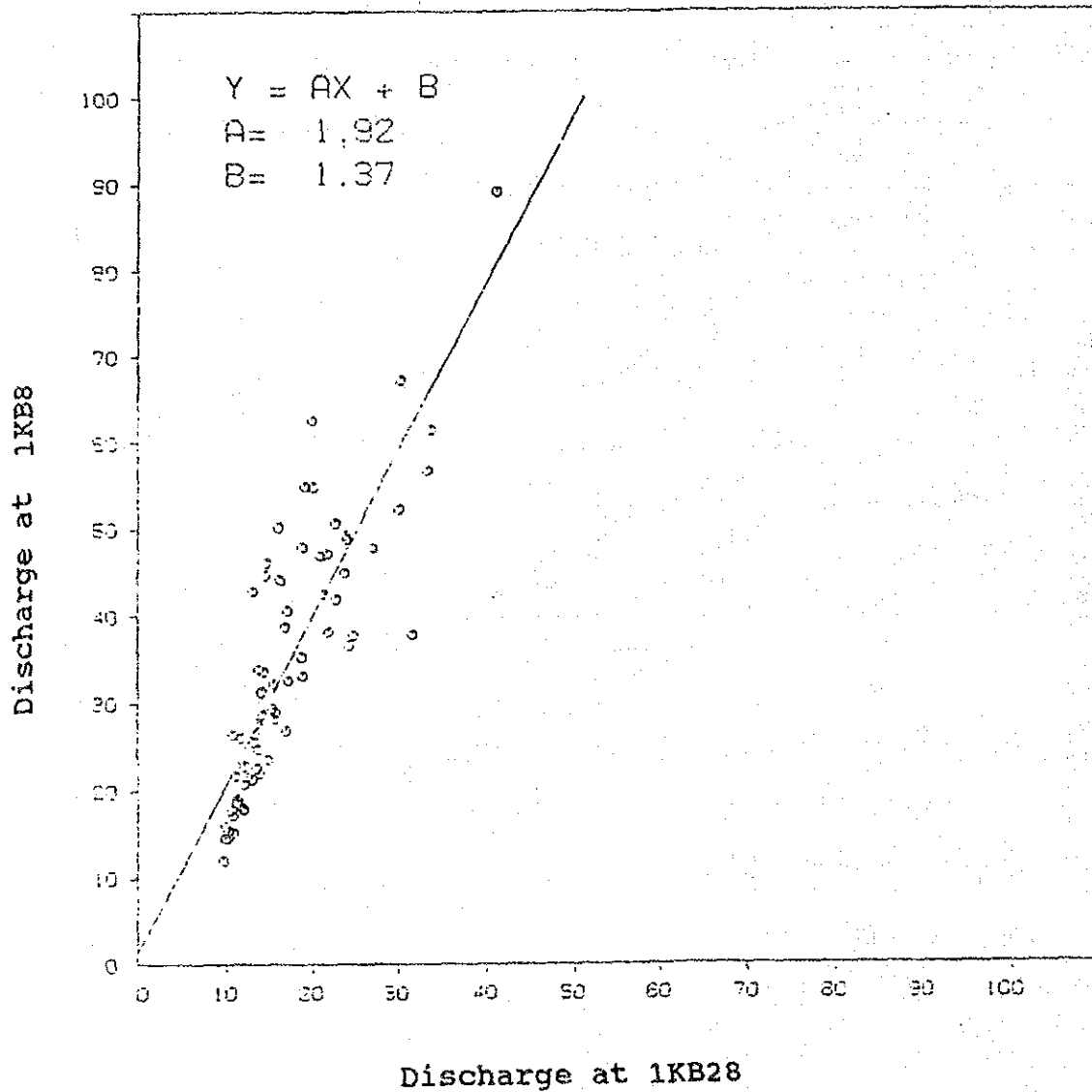
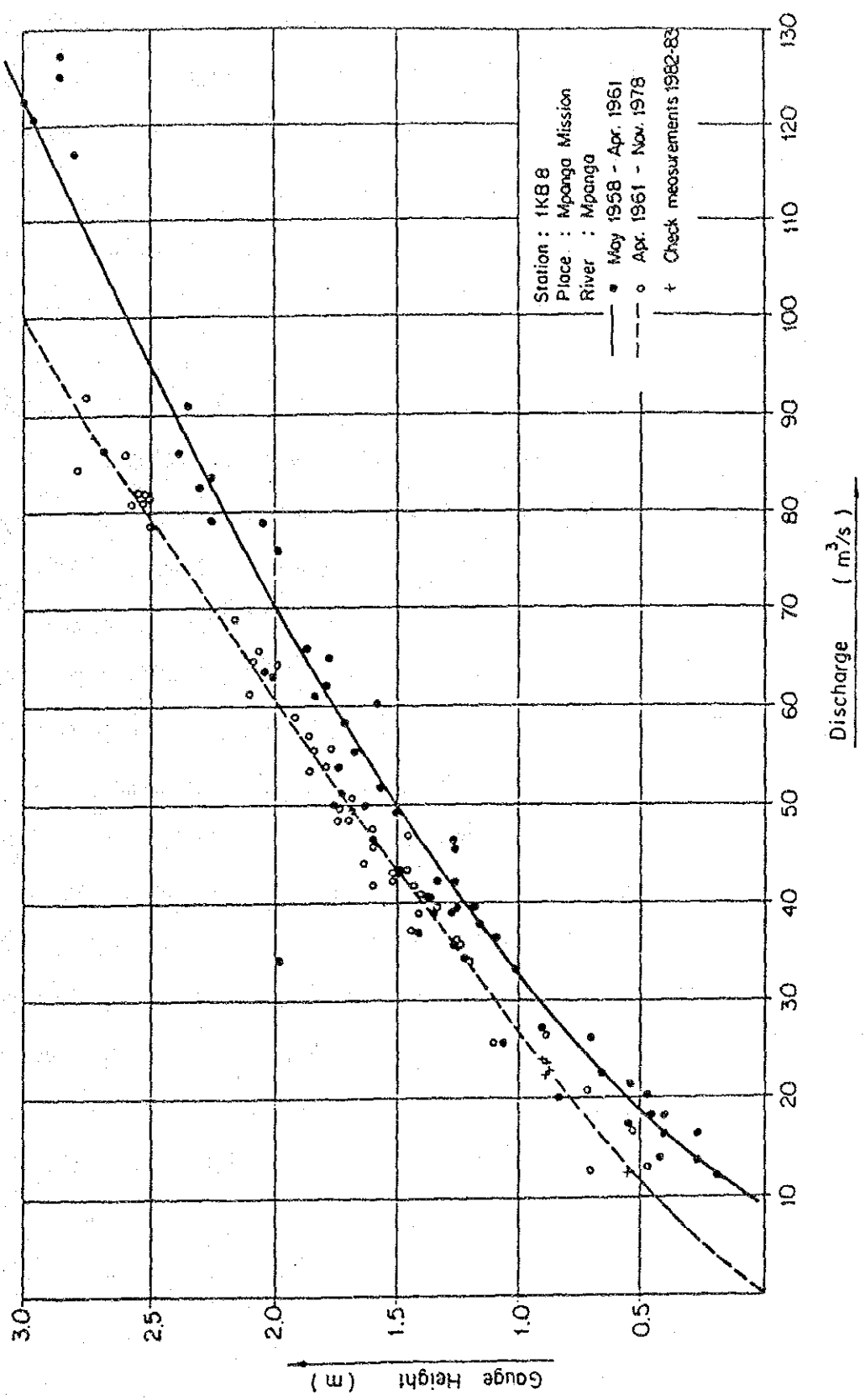


Fig. 6-17 Rating Curve for 1KB8



ると期待された。

しかし、両測水所の相関係数は月単位で0.745、日単位で0.714と期待したほどの値を示さなかったため、1KB15は1KB8のデータが欠測の時のみ1KB28の欠測補完に用いることとした。1KB15の水位-流量曲線は次式で与えられる。

$$Q = 31.1 H^{2.31} \quad H \leq 0.76$$

$$Q = 22.2 H^{1.111} \quad H > 0.76$$

### 6.3 流出解析

#### 6.3.1 方法

6.1.6節 水文周期で述べたように、適切な電力量を算定するためには上部キハンシ、下部キハンシの両ダム地点における流量データはできるだけ長期にわたって準備する必要がある。1KB28の流域面積と両ダム地点の流域面積の差はほとんどないため、ダム地点の流量は1KB28のデータに流域面積比を乗じることによって得ることができる。しかし、1KB28の水位データは、1975年から1987年のわずか13年しかないため、水文解析手法を用いたデータ作成が必要となる。データ作成に関しては、現在までのところ、1984年に提出された Rufiji Basin Hydropower Master Plan (以後 M/Pと略す)と1985年に提出された Power Sector Development Plan (以後PSDPと略す)において異なった2つの手法が提案されている。M/Pでは、U.S. Army Corps が開発した HEC-4 モデルを採用した。同法は測水所間の流量データもしくは流量データと降雨データ間の月単位の相関関係をもとに流量を作成する手法だが、1955年以前では適当な相関関係が見い出されなかったため、データの延長は1955年どまりとなった。PSDPも基本的には相関関係を利用した回帰分析法を用いており、1957年以前については Ran-ked Rainfall and Discharge法を用いて、1940年までデータを拡張した。本報告書はデータ作成に関し、回帰分析に加え日本の菅原正巳氏により開発されたタンクモデル法を採用し、1927年までデータを拡張することとした。

#### 6.3.2 1KB28地点における流量

##### (1) 1975年から1987年における欠測補完

欠測箇所は基本的には次の規則により補完した。



- i) 同一日のNC 1のデータが存在する時は、1 KB28とNC 1の回帰式を用いて補完する。
- ii) NC 1のデータがなく、1 KB 8のデータがある時は1 KB28と1 KB 8の回帰式を用いて補完する。
- iii) 欠測日が1日でも乾季の時は、NC 1、1 KB 8のどちらかのデータが存在してもそれを用いずに、欠測日前後の値の平均値を補完値とする。
- iv) ある一定期間欠測が続き、その期間に相当するNC 1および1 KB 8のデータが存在しない時は、タンクモデル法により雨量から流量を推定する。

## (2) データ作成

1975年以前のデータについては、次の2通りの方法で計算した。1957年から1974年については、1 KB 8および1 KB15のデータを1次回帰式で変換したのに対し、1927年から1956年についてはタンクモデル法を用いた。

### i) 1957年から1974年のデータ作成

Fig. 6-16によれば、1976年から1985年の1 KB28と1 KB 8の相関係数の値は高いため、1975年以前の1 KB28地点における流出量の算定は、回帰式のみで求めることができる。しかし、1 KB 8のデータは合計して約400日に及ぶ欠測日があるため、その部分については1 KB15のデータを代用することとした。数値変換は基本的には日単位で行なったが、日単位の相関は月単位に比べ若干劣るため、電力量計算は月単位で行なうこととする。

ii) 1927年から1956年のデータ作成

この期間の流出量は後述するタンクモデル (Fig. 6-18) を用い、次の手順に従って算出した。

各パラメータの決定 (Fig. 6-19(1)、(2)、(3)参照)

雨量データ : マパンダおよびムチョンベ

流量データ : 1 KB28

蒸発データ : イリンガ

同定期間 : 1975年、1981年、1982年

精度の検定

イファカラの雨量データを用いて算定した流出量と1 KB28の実測値を、1975年から1985年の11年間、月単位で相関を計算したところ0.733という値が得られた。この値自体は決して高いとは言えないが、M/P 及びPSDPで行なった結果に比べると、相関という点では、はるかに改善されている。

データ作成

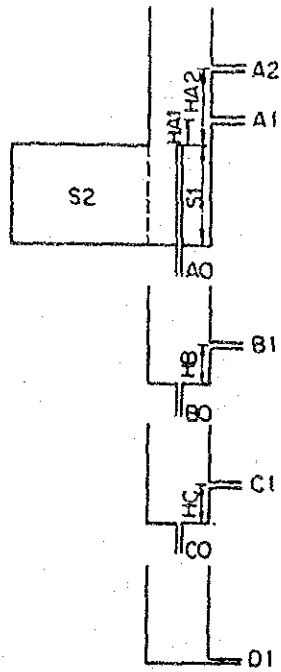
キハンシ流域の降雨を代表するマパンダおよびムチョンベと高い相関を示すイファカラのデータを用いて流量変換を実施した。

(3) タンクモデル

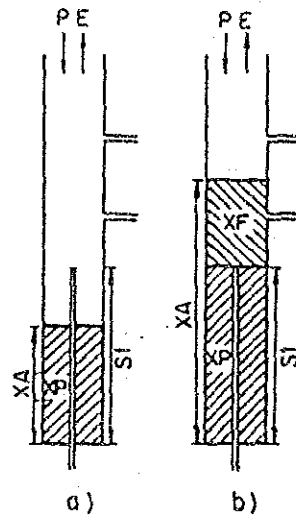
タンクモデルの概念図をFig. 6-18に示す。降雨Pは、上段タンクに入力値としてインプットされ、また蒸発Eは上段タンクの貯留量より差し引かれる。各タンクの水は一部は底部の流出孔より下部に浸透する一方、側面の流出孔からの流出量の総和が河川流出量として計算される。Fig. 6-18(1)に示すモデルは、上段タンクに土壤水分構造を有しており、主に熱帯地域用に開発されたものである。このモデルでは、上段タンクの貯留量XAがS1より小さい時は、その水分はFig. 6-18(2) a) に示すように浸透もしなければ流出もしない。この場合、すなわち、 $XA \leq S1$ ,  $XP$  (一次土壤水分) = XA,  $XF$  (自由水) = 0の時は、XAが一次土壤水分として定義され、上段タンクには自由水が存在しない。

XAがS1より大きくなると、Fig. 6-18(2) b) に示すようにその超過分は流出孔を経て浸透もしくは河川流出となる。この場合、すなわち、 $XA > S1$ ,  $XP = S1$ ,  $XF = XA - S1$ の

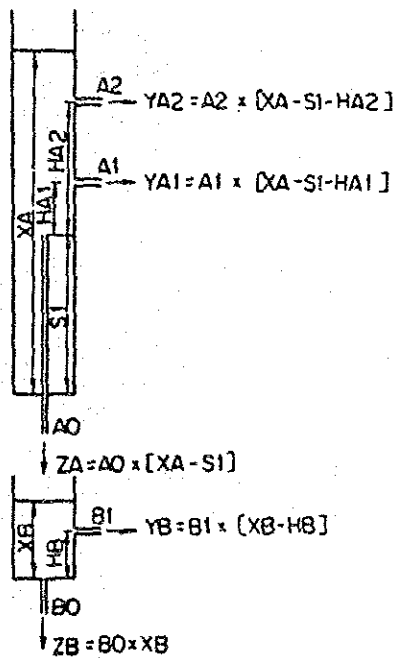
Fig. 6-18 Concept of Tank Model



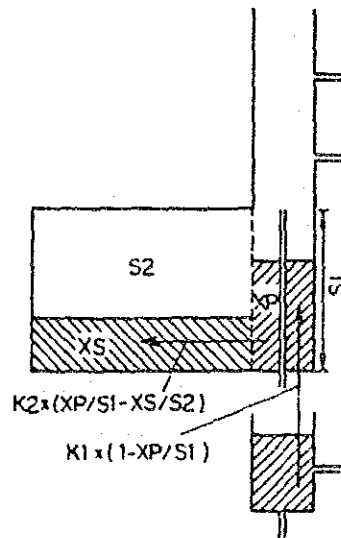
(1) Tank model with soil moisture structure



(2) Water storage in the top tank



(3) Runoff and infiltration



(4) Water transfer of soil moisture

Fig. 6-19 (1) Result of Tank Model in 1975

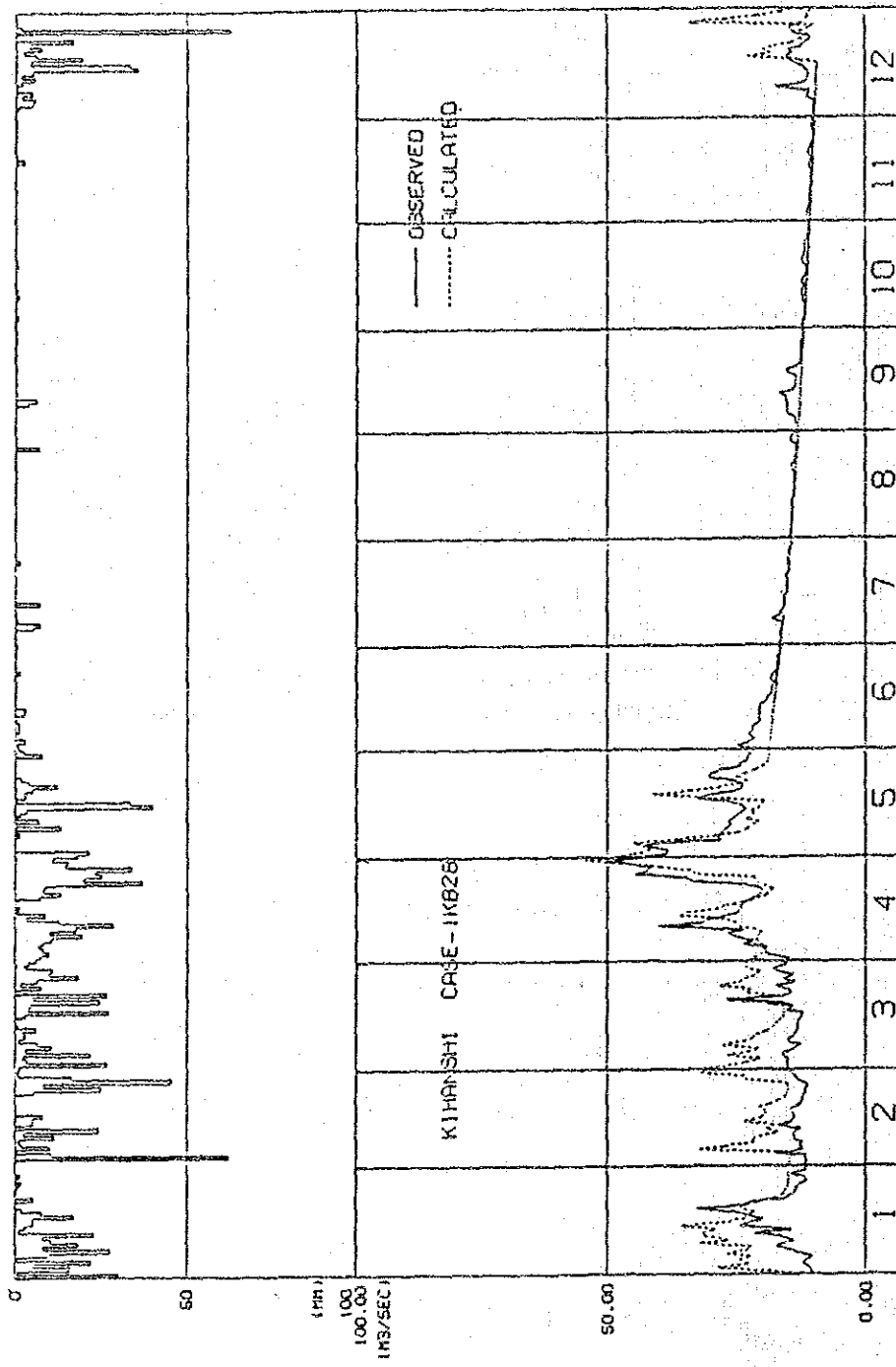


Fig. 6-19 (2) Result of Tank Model in 1981

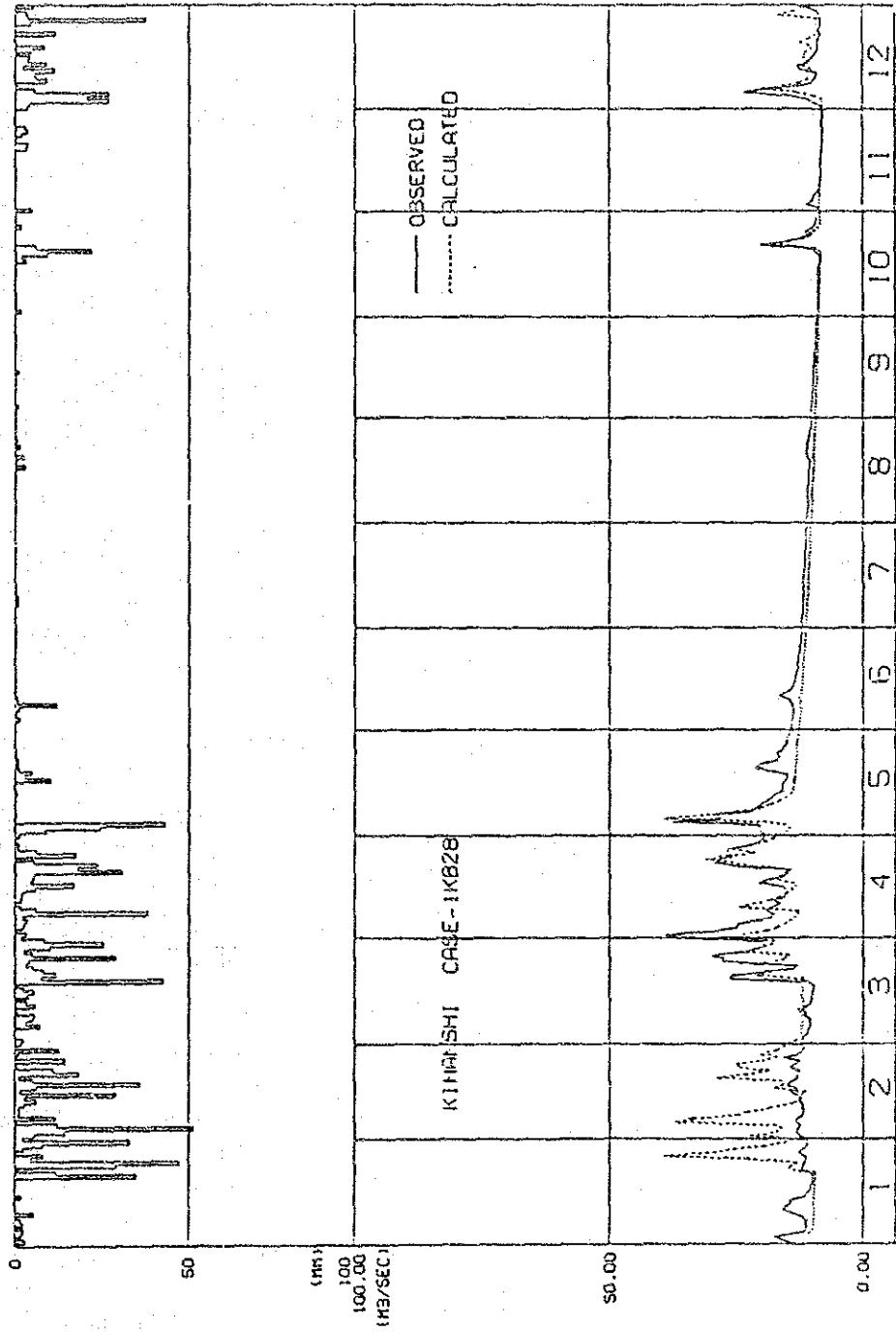
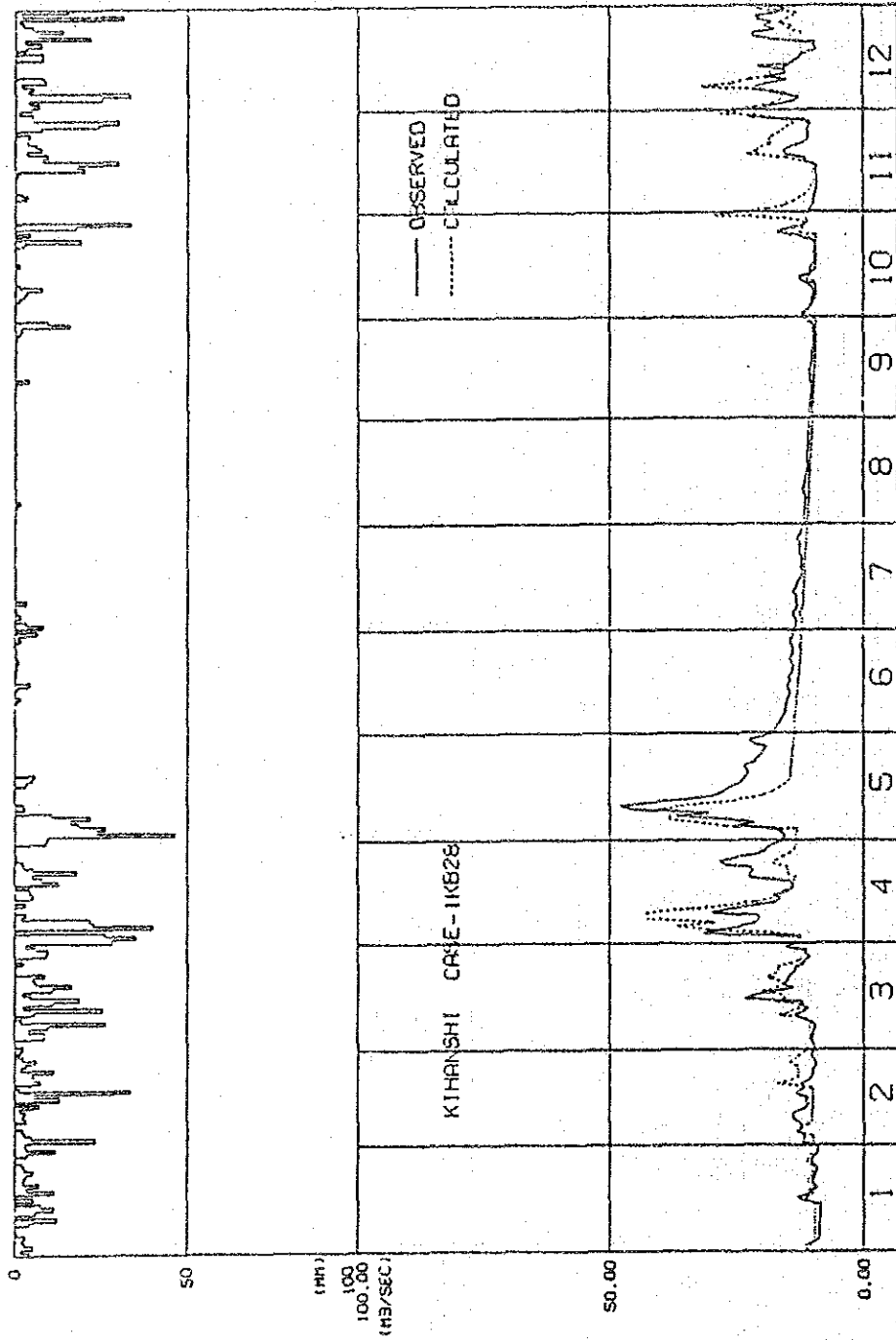


Fig. 6-19 (3) Result of Tank Model in 1982



時は、1次土壤水分は $XP=S1$ （ここで $S1$ は一次土壤水分の飽和容量）の状態に飽和しており、自由水 $XF$ は $XA-S1$ で与えられる。簡単に言うと、水分が上段タンクを底部から満たしていった時、Fig. 6-18(2)に示すように最下層部が一次土壤水分を形成することとなる。上段タンク以外のタンクについては、常時飽和状態にあると考えられるため、土壤水分構造は設定する必要はない。

各タンクの自由水は一部は側孔より流出し、一部は底孔より次のタンクへと浸透していく。流出孔を通る単位時間毎の流出量あるいは浸透量は、流出孔における水位差に比例する。Fig. 6-18(1)に示すように、便宜的に上段からタンクにA, B, C, Dという名前をつけ、各孔の流出係数を $A1, A2, B1, C1, D1$ 、浸透係数を $A0, B0, C0$ 、各タンクの側孔の高さを $HA1, HA2, HB, HC$ と呼ぶことにする。同様に、各タンクの貯留量( $X$ )、側孔からの流出量( $Y$ )、底孔からの浸透量( $Z$ )のような変数については、その後にA, B, C, Dという添字をつけて表現することとする。一例をFig. 6-18(3)に示すが、ここで $[ ]$ 記号は、 $X$ が負でない時は $[X] = X$ を、 $X$ が負の時は、 $[X] = 0$ と定義される。

Fig. 6-18(1)に示すように、一次土壤水分同様、それに隣接して、二次土壤水分量が別に存在する。まず雨や雪といったインプット値が一次土壤水分を満たした後、Fig. 6-18(4)に示すように、徐々に二次土壤水分に浸透していく。蒸発がある時は貯留量 $XA$ から差し引かれ、一次土壤水分がなくなった時初めて、二次土壤水分から水が一次土壤水分側に戻っていく。

### 6.3.3 ダム地点流量

以上のようにして算定された1KB28地点における流量は、面積比を乗じることによって、それぞれ上部ダム地点、下部ダム地点の流量へと変換される。Table 6-4(1), (2), (3)とFig. 6-20に月流量の結果を示すが、これは、電力量計算に用いられる。また、Fig. 6-21には1975年から1987年の1KB28の実測データに基づく日単位の流況図を示す。

Table 6-4 (1) Monthly Discharge at 1KB28

(Unit: m<sup>3</sup>/s)

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	average
1927	17.11	10.61	13.10	16.40	12.54	11.33	10.36	9.62	9.12	8.65	8.21	11.50	11.56
1928	9.29	9.82	19.69	19.69	15.34	12.02	10.93	9.95	9.60	9.43	9.58	12.43	12.32
1929	9.67	8.72	13.27	28.33	12.34	10.87	9.77	8.96	8.40	7.89	7.52	7.98	11.13
1930	12.20	9.45	25.83	29.13	15.22	13.22	11.56	10.28	9.41	8.76	8.14	7.53	13.41
1931	10.46	15.14	31.08	41.27	23.88	17.33	14.93	13.01	11.53	10.33	9.41	10.33	17.38
1932	15.65	22.03	28.73	43.91	20.15	16.68	14.52	12.85	11.44	10.32	9.88	9.77	17.95
1933	17.96	19.80	23.33	28.02	17.59	14.81	13.00	11.65	10.54	9.63	8.93	8.32	15.26
1934	19.48	13.41	13.88	20.68	18.09	17.16	14.14	12.72	11.55	10.45	9.46	12.44	14.46
1935	14.99	15.95	23.74	14.90	13.61	12.14	11.00	10.01	9.31	9.62	9.59	25.43	14.21
1936	22.87	16.93	14.34	54.85	32.16	19.34	16.98	14.70	12.96	11.56	10.38	11.30	19.83
1937	13.92	11.48	29.19	26.58	22.57	15.91	13.94	12.36	11.51	10.69	9.82	9.07	15.62
1938	8.37	8.83	8.49	16.80	10.86	9.82	9.01	8.47	8.05	8.81	8.56	8.14	9.51
1939	13.79	9.13	13.29	44.73	19.50	14.68	12.83	11.39	10.42	9.49	8.95	8.69	14.73
1940	20.94	15.46	14.91	30.48	16.15	13.44	11.82	10.69	9.75	9.77	8.83	10.86	14.41
1941	10.97	20.82	20.52	15.63	20.31	13.18	11.67	10.43	9.49	8.92	12.08	11.62	13.76
1942	19.75	11.96	26.74	36.33	22.13	16.67	14.44	12.65	11.24	10.09	9.31	12.82	17.04
1943	9.27	12.11	14.16	16.17	24.16	12.27	10.83	9.69	8.96	8.38	7.81	7.34	11.77
1944	9.39	7.72	10.28	33.15	18.16	13.16	11.57	10.29	9.28	8.54	9.83	14.90	13.01
1945	17.47	13.83	15.26	27.35	25.43	14.97	13.18	11.60	10.35	9.33	8.58	11.02	14.87
1946	8.66	7.78	9.93	37.54	15.44	12.55	11.02	9.82	8.90	8.31	8.32	7.97	12.17
1947	17.02	15.08	20.72	23.50	20.31	15.73	13.41	11.79	10.50	9.55	8.69	23.37	15.83
1948	21.67	16.04	24.82	17.35	16.44	13.37	11.81	10.65	9.64	8.90	11.69	8.54	14.25
1949	10.58	21.67	12.72	21.16	13.68	11.66	10.38	9.36	8.61	8.05	7.51	7.07	11.79
1950	7.00	9.17	24.06	20.57	21.04	13.59	11.91	10.58	10.00	9.07	8.42	7.89	12.80
1951	8.26	11.73	11.36	23.31	14.80	11.31	10.37	9.22	8.50	7.90	16.67	11.13	12.02
1952	16.62	19.67	20.65	30.75	37.87	17.47	14.96	12.94	11.38	10.15	13.48	9.56	17.94
1953	8.71	7.80	12.36	13.62	17.05	10.92	9.79	8.86	8.21	7.74	7.26	9.71	10.19
1954	13.47	9.83	10.32	13.19	12.10	9.54	8.57	7.92	7.45	7.15	6.79	6.69	9.42
1955	7.68	17.74	15.56	41.69	23.69	17.59	14.81	12.86	11.28	9.99	9.84	8.77	15.90
1956	20.44	18.17	16.38	41.20	19.77	15.74	13.65	11.95	10.61	9.54	8.68	8.85	16.21
1957	20.13	19.50	17.62	37.96	30.06	15.93	14.09	13.22	12.27	11.47	10.88	12.31	17.93
1958	14.09	15.73	27.56	40.54	25.05	14.98	13.42	12.77	12.11	11.52	10.73	16.05	17.88
1959	14.57	15.99	22.09	22.58	15.94	12.94	12.32	11.80	11.11	10.81	10.69	12.37	14.42
1960	11.13	15.90	31.07	54.53	24.93	15.97	11.89	10.28	9.13	9.21	10.09	10.42	17.84
1961	12.44	15.53	16.31	20.74	22.03	10.39	10.92	11.75	9.38	9.18	11.81	16.82	13.94
1962	37.84	35.61	40.97	42.58	29.55	19.86	17.67	15.82	12.51	13.25	11.81	13.73	24.20
1963	27.48	31.24	41.21	54.33	28.76	18.59	18.36	15.89	14.33	13.06	19.08	10.99	24.36
1964	18.72	23.79	38.69	52.88	30.58	23.48	20.25	18.47	16.04	14.19	13.19	14.83	23.73
1965	17.57	20.19	28.12	43.20	21.55	15.64	14.41	13.68	12.56	12.10	11.62	13.70	18.66
1966	17.17	18.06	32.05	46.16	23.68	17.40	14.43	14.03	12.89	8.38	8.21	8.89	18.42
1967	15.98	17.94	21.14	29.00	29.22	18.92	15.37	14.16	12.70	11.89	13.80	32.62	19.41
1968	27.22	30.65	53.09	61.30	38.92	30.85	24.83	20.89	18.37	15.78	15.81	19.87	29.77
1969	21.62	20.14	24.28	34.47	25.36	15.94	14.30	14.22	12.44	11.21	11.59	12.35	18.14
1970	21.37	32.76	30.99	27.71	17.51	14.16	13.54	12.55	11.64	10.45	9.51	18.14	18.27
1971	15.51	20.37	21.87	39.51	21.24	14.36	14.92	13.10	12.31	14.99	11.57	12.72	17.66
1972	17.89	17.33	34.60	47.50	31.84	19.54	16.72	14.17	14.94	13.41	12.99	23.21	22.02
1973	32.64	23.64	30.76	45.32	34.09	19.60	17.19	15.01	14.19	13.24	13.00	15.12	22.81
1974	20.28	28.44	18.40	45.99	41.78	21.42	17.42	14.37	14.21	13.02	12.43	9.73	21.38
1975	15.81	12.76	14.52	29.04	26.78	18.38	14.79	13.40	13.01	11.17	10.04	11.64	15.95
1976	14.54	16.02	21.09	30.06	27.06	21.82	16.70	14.63	12.85	11.66	10.24	9.83	17.20
1977	13.73	10.74	14.64	26.27	22.67	15.63	13.40	12.00	10.72	9.96	11.17	15.66	14.73
1978	15.68	14.31	19.07	29.00	24.71	16.90	13.72	11.96	10.77	9.68	11.71	14.80	16.03
1979	20.79	19.87	28.89	41.65	42.22	32.33	23.72	18.32	15.49	13.25	13.20	16.19	23.84
1980	17.09	17.22	16.36	21.64	23.95	15.58	13.74	12.36	11.10	10.23	9.92	11.74	15.07
1981	12.18	13.03	16.12	21.43	18.95	13.52	11.74	10.91	9.76	9.89	8.56	10.77	13.07
1982	9.32	11.18	12.64	20.45	25.35	14.55	12.57	11.03	10.12	10.74	11.63	16.43	13.85
1983	25.31	16.75	20.41	33.68	33.32	24.24	18.86	14.89	12.96	11.57	10.60	11.03	19.48
1984	12.75	13.21	20.02	30.22	30.13	21.67	17.15	14.16	12.80	11.85	11.25	18.64	17.83
1985	24.87	18.81	23.82	41.30	31.63	22.58	18.72	15.33	13.63	12.01	14.05	21.15	21.50
1986	25.41	27.41	26.97	44.07	40.20	30.10	23.29	19.41	15.48	13.47	16.11	23.28	25.41
1987	24.58	22.38	24.58	23.98	24.77	18.98	16.09	13.93	12.08	11.57	11.72	14.71	18.26
Ave.	16.55	16.79	21.78	32.25	23.54	16.47	14.16	12.55	11.34	10.51	10.68	12.96	16.62



Table 6-4 (2) Monthly Discharge at Upper Dam

(Unit: m<sup>3</sup>/s)

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	average
1927	16.14	10.01	12.36	15.47	11.83	10.69	9.77	9.08	8.60	8.16	7.75	10.85	10.91
1928	8.76	9.26	18.57	18.57	14.47	11.34	10.31	9.39	9.06	8.90	9.04	11.73	11.62
1929	9.12	8.23	12.52	26.73	11.64	10.25	9.22	8.45	7.92	7.44	7.09	7.53	10.50
1930	11.51	8.91	24.37	27.48	14.36	12.47	10.91	9.70	8.88	8.26	7.68	7.10	12.65
1931	9.87	14.28	29.32	38.93	22.53	16.35	14.08	12.27	10.88	9.74	8.88	9.74	16.40
1932	14.76	20.78	27.10	41.42	19.01	15.74	13.70	12.12	10.79	9.74	9.32	9.22	16.93
1933	16.94	18.68	22.01	26.43	16.59	13.97	12.26	10.99	9.94	9.08	8.42	7.85	14.40
1934	18.38	12.65	13.09	19.51	17.07	16.19	13.34	12.00	10.90	9.86	8.92	11.74	13.64
1935	14.14	15.05	22.40	14.06	12.84	11.45	10.38	9.44	8.78	9.08	9.05	23.99	13.41
1936	21.57	15.97	13.53	51.74	30.34	18.24	16.02	13.87	12.23	10.91	9.79	10.66	18.71
1937	13.13	10.83	27.54	25.07	21.29	15.01	13.15	11.66	10.86	10.08	9.26	8.56	14.74
1938	7.90	8.33	8.01	15.85	10.24	9.26	8.50	7.99	7.59	8.31	8.08	7.68	8.97
1939	13.01	8.61	12.54	42.20	18.40	13.85	12.10	10.74	9.83	8.95	8.44	8.20	13.90
1940	19.75	14.58	14.07	28.75	15.24	12.68	11.15	10.08	9.20	9.22	8.33	10.24	13.59
1941	10.35	19.64	19.36	14.74	19.16	12.43	11.01	9.84	8.95	8.41	11.40	10.96	12.98
1942	18.63	11.28	25.23	34.27	20.88	15.73	13.62	11.93	10.60	9.52	8.78	12.09	16.07
1943	8.75	11.42	13.36	15.25	22.79	11.58	10.22	9.14	8.45	7.91	7.37	6.92	11.10
1944	8.86	7.28	9.70	31.27	17.13	12.41	10.91	9.71	8.75	8.06	9.27	14.06	12.27
1945	16.48	13.05	14.40	25.80	23.99	14.12	12.43	10.94	9.76	8.80	8.09	10.40	14.03
1946	8.17	7.34	9.37	35.41	14.57	11.84	10.40	9.26	8.40	7.84	7.85	7.52	11.48
1947	16.06	14.23	19.55	22.17	19.16	14.84	12.65	11.12	9.91	9.01	8.20	22.05	14.93
1948	20.44	15.13	23.41	16.37	15.51	12.61	11.14	10.05	9.09	8.40	11.03	8.06	13.44
1949	9.98	20.44	12.00	19.96	12.91	11.00	9.79	8.83	8.12	7.59	7.08	6.67	11.12
1950	6.60	8.65	22.70	19.41	19.85	12.82	11.24	9.98	9.43	8.56	7.94	7.44	12.08
1951	7.79	11.07	10.72	21.99	13.96	10.67	9.78	8.70	8.02	7.45	15.73	10.50	11.34
1952	15.68	18.56	19.48	29.01	35.73	16.48	14.11	12.21	10.74	9.58	12.72	9.02	16.92
1953	8.22	7.36	11.66	12.85	16.08	10.30	9.24	8.36	7.75	7.30	6.85	9.16	9.61
1954	12.71	9.27	9.74	12.44	11.41	9.00	8.08	7.47	7.03	6.75	6.41	6.31	8.89
1955	7.25	16.74	14.68	39.33	22.35	16.59	13.97	12.13	10.64	9.42	9.28	8.27	15.00
1956	19.28	17.14	15.45	38.87	18.65	14.85	12.88	11.27	10.01	9.00	8.19	8.35	15.29
1957	18.99	18.40	16.62	35.81	28.36	15.03	13.29	12.47	11.58	10.82	10.26	11.61	16.91
1958	13.29	14.84	26.00	38.24	23.63	14.13	12.66	12.05	11.42	10.87	10.12	15.14	16.87
1959	13.74	15.08	20.84	21.30	15.04	12.21	11.62	11.13	10.48	10.20	10.08	11.67	13.60
1960	10.50	15.00	29.31	51.44	23.52	15.07	11.22	9.70	8.61	8.69	9.52	9.83	16.83
1961	11.74	14.65	15.39	19.57	20.78	9.80	10.30	11.08	8.85	8.66	11.14	15.87	13.15
1962	35.70	33.59	38.65	40.17	27.88	18.74	16.67	14.92	11.80	12.50	11.14	12.95	22.83
1963	25.92	29.47	38.88	51.25	27.13	17.54	17.32	14.99	13.52	12.32	18.00	10.37	22.98
1964	17.66	22.44	36.50	49.89	28.85	22.15	19.10	17.42	15.13	13.39	12.44	13.99	22.39
1965	16.57	19.05	26.53	40.75	20.33	14.75	13.59	12.91	11.85	11.41	10.96	12.92	17.60
1966	16.20	17.04	30.23	43.55	22.34	16.41	13.61	13.24	12.16	7.91	7.75	8.39	17.38
1967	15.07	16.92	19.94	27.36	27.57	17.85	14.50	13.36	11.98	11.22	13.02	30.77	18.31
1968	25.68	28.91	50.08	57.83	36.72	29.10	23.42	19.71	17.33	14.89	14.91	18.74	28.08
1969	20.40	19.00	22.90	32.52	23.92	15.04	13.49	13.41	11.74	10.58	10.93	11.65	17.11
1970	20.16	30.90	29.23	26.14	16.52	13.36	12.77	11.84	10.98	9.86	8.97	17.11	17.24
1971	14.63	19.22	20.63	37.27	20.04	13.55	14.08	12.36	11.61	14.14	10.91	12.00	16.66
1972	16.88	16.35	32.64	44.81	30.04	18.43	15.77	13.37	13.07	14.09	12.65	21.90	20.77
1973	30.79	22.30	29.02	42.75	32.16	18.49	16.22	14.16	13.39	12.49	12.26	14.26	21.52
1974	19.13	26.83	17.36	43.39	39.41	20.21	16.43	13.56	13.41	12.28	11.73	9.18	20.17
1975	14.91	12.04	13.70	27.40	25.26	17.34	13.95	12.64	12.27	10.54	9.47	10.98	15.05
1976	13.72	15.11	19.90	28.36	25.53	20.58	15.75	13.80	12.12	11.00	9.66	9.27	16.23
1977	12.95	10.13	13.81	24.78	21.39	14.74	12.64	11.32	10.11	9.40	10.54	14.77	13.90
1978	14.79	13.50	17.99	27.36	23.31	15.94	12.94	11.28	10.16	9.13	11.05	13.96	15.12
1979	19.61	18.74	27.25	39.29	39.83	30.50	22.38	17.28	14.61	12.50	12.45	15.27	22.49
1980	16.12	16.24	15.43	20.41	22.59	14.70	12.96	11.66	10.47	9.65	9.36	11.08	14.22
1981	11.49	12.29	15.21	20.22	17.88	12.75	11.08	10.29	9.21	9.33	8.08	10.16	12.33
1982	8.79	10.55	11.92	19.29	23.91	13.73	11.86	10.41	9.55	10.13	10.97	15.50	13.07
1983	23.88	15.80	19.25	31.77	31.43	22.87	17.79	14.05	12.23	10.91	10.00	10.41	18.38
1984	12.03	12.46	18.89	28.51	28.42	20.44	16.18	13.36	12.08	11.18	10.61	17.58	16.82
1985	23.46	17.74	22.47	38.96	29.84	21.30	17.66	14.46	12.86	11.33	13.25	19.95	20.28
1986	23.97	25.86	25.44	41.57	37.92	28.40	21.97	18.31	14.60	12.71	15.20	21.96	23.97
1987	23.19	21.11	23.19	22.62	23.37	17.91	15.18	13.14	11.40	10.91	11.06	13.88	17.23
Ave.	15.61	15.84	20.55	30.43	22.21	15.54	13.36	11.84	10.70	9.92	10.07	12.23	15.68

Table 6-4 (3) Monthly Discharge at Lower Dam

(Unit: m<sup>3</sup>/s)

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	average
1927	16.33	10.13	12.51	15.66	11.97	10.82	9.89	9.18	8.71	8.26	7.84	10.98	11.04
1928	8.87	9.38	18.80	18.80	14.64	11.48	10.43	9.50	9.17	9.00	9.15	11.87	11.76
1929	9.23	8.32	12.67	27.05	11.78	10.38	9.33	8.55	8.02	7.53	7.18	7.62	10.63
1930	11.65	9.02	24.66	27.81	14.53	12.62	11.04	9.81	8.98	8.36	7.77	7.19	12.80
1931	9.99	14.45	29.67	39.40	22.80	16.54	14.25	12.42	11.01	9.86	8.98	9.86	16.59
1932	14.94	21.03	27.43	41.92	19.24	15.92	13.86	12.27	10.92	9.85	9.43	9.33	17.14
1933	17.15	18.90	22.27	26.75	16.79	14.14	12.41	11.12	10.06	9.19	8.53	7.94	14.57
1934	18.60	12.80	13.25	19.74	17.27	16.38	13.50	12.14	11.03	9.98	9.03	11.88	13.80
1935	14.31	15.23	22.66	14.22	12.99	11.59	10.50	9.56	8.89	9.18	9.16	24.28	13.57
1936	21.83	16.16	13.69	52.36	30.70	18.46	16.21	14.03	12.37	11.04	9.91	10.79	18.93
1937	13.29	10.96	27.87	25.38	21.55	15.19	13.31	11.80	10.99	10.21	9.38	8.66	14.91
1938	7.99	8.43	8.11	16.04	10.37	9.38	8.60	8.09	7.69	8.41	8.17	7.77	9.08
1939	13.17	8.72	12.69	42.70	18.62	14.01	12.25	10.87	9.95	9.06	8.54	8.30	14.06
1940	19.99	14.76	14.23	29.10	15.42	12.83	11.28	10.21	9.31	9.33	8.43	10.37	13.76
1941	10.47	19.88	19.59	14.92	19.39	12.58	11.14	9.96	9.06	8.52	11.53	11.09	13.14
1942	18.86	11.42	25.53	34.68	21.13	15.91	13.79	12.08	10.73	9.63	8.89	12.24	16.27
1943	8.85	11.56	13.52	15.44	23.07	11.71	10.34	9.25	8.55	8.09	7.46	7.01	11.24
1944	8.96	7.37	9.81	31.65	17.34	12.56	11.05	9.82	8.86	8.15	9.38	14.22	12.42
1945	16.68	13.20	14.57	26.11	24.28	14.29	12.58	11.07	9.88	8.91	8.19	10.52	14.20
1946	8.27	7.43	9.48	35.84	14.74	11.98	10.52	9.38	8.50	7.93	7.94	7.61	11.62
1947	16.25	14.40	19.78	22.44	19.39	15.02	12.80	11.26	10.02	9.12	8.30	22.31	15.11
1948	20.69	15.31	23.70	16.56	15.70	12.76	11.27	10.17	9.20	8.50	11.16	8.15	13.60
1949	10.10	20.69	12.14	20.20	13.06	11.13	9.91	8.94	8.22	7.69	7.17	6.75	11.26
1950	6.68	8.75	22.97	19.64	20.09	12.97	11.37	10.10	9.55	8.66	8.04	7.53	12.22
1951	7.89	11.20	10.85	22.25	14.13	10.80	9.90	8.80	8.11	7.54	15.91	10.63	11.48
1952	15.87	18.78	19.71	29.36	36.15	16.68	14.28	12.35	10.86	9.69	12.87	9.13	17.13
1953	8.32	7.45	11.80	13.00	16.28	10.43	9.35	8.46	7.84	7.39	6.93	9.27	9.73
1954	12.86	9.38	9.85	12.59	11.55	9.11	8.18	7.56	7.11	6.83	6.48	6.39	8.99
1955	7.33	16.94	14.86	39.80	22.62	16.79	14.14	12.28	10.77	9.54	9.39	8.37	15.18
1956	19.51	17.35	15.64	39.33	18.87	15.03	13.03	11.41	10.13	9.11	8.29	8.45	15.48
1957	19.22	18.62	16.82	36.24	28.70	15.21	13.45	12.62	11.71	10.95	10.39	11.75	17.12
1958	13.45	15.02	26.31	38.70	23.92	14.30	12.81	12.19	11.56	11.00	10.24	15.32	17.07
1959	13.91	15.27	21.09	21.56	15.22	12.35	11.76	11.27	10.61	10.32	10.21	11.81	13.77
1960	10.63	15.18	29.66	52.06	23.80	15.25	11.35	9.81	8.72	8.79	9.63	9.95	17.03
1961	11.88	14.83	15.57	19.80	21.03	9.92	10.43	11.22	8.96	8.76	11.27	16.06	13.31
1962	36.13	34.00	39.11	40.65	28.21	18.96	16.87	15.10	11.94	12.65	11.27	13.11	23.10
1963	26.23	29.82	39.34	51.87	27.46	17.75	17.53	15.17	13.68	12.47	18.22	10.49	23.26
1964	17.87	22.71	36.94	50.48	29.19	22.42	19.33	17.63	15.31	13.55	12.59	14.16	22.65
1965	16.77	19.28	26.85	41.24	20.57	14.93	13.76	13.06	11.99	11.55	11.09	13.08	17.81
1966	16.39	17.24	30.60	44.07	22.61	16.61	13.78	13.39	12.31	8.00	7.84	8.49	17.59
1967	15.26	17.13	20.18	27.69	27.90	18.06	14.67	13.52	12.12	11.35	13.17	31.14	18.53
1968	25.99	29.26	50.68	58.52	37.16	29.45	23.71	19.94	17.54	15.07	15.09	16.97	28.42
1969	20.64	19.23	23.18	32.91	24.21	15.22	13.65	13.58	11.88	10.70	11.06	11.79	17.32
1970	20.40	31.28	29.59	26.45	16.72	13.52	12.93	11.98	11.11	9.98	9.08	17.32	17.44
1971	14.81	19.45	20.88	37.72	20.28	13.71	14.24	12.51	11.75	14.31	11.05	12.14	16.86
1972	17.08	16.54	33.03	45.35	30.40	18.65	15.96	13.53	14.26	12.80	12.40	22.16	21.02
1973	31.16	22.57	29.37	43.27	32.55	18.71	16.41	14.33	13.55	12.64	12.41	14.43	21.78
1974	19.36	27.15	17.57	43.91	39.89	20.45	16.63	13.72	13.57	12.43	11.87	9.29	20.41
1975	15.09	12.18	13.86	27.72	25.57	17.55	14.12	12.79	12.42	10.66	9.59	11.11	15.23
1976	13.88	15.29	20.13	28.70	25.83	20.83	15.94	13.97	12.27	11.13	9.78	9.38	16.42
1977	13.11	10.25	13.98	25.08	21.64	14.92	12.79	11.46	10.23	9.51	10.66	14.95	14.06
1978	14.97	13.66	18.21	27.69	23.59	16.13	13.10	11.42	10.28	9.24	11.18	14.13	15.30
1979	19.85	18.97	27.58	39.76	40.31	30.87	22.65	17.49	14.79	12.65	12.60	15.46	22.76
1980	16.32	16.44	15.62	20.66	22.86	14.87	13.12	11.80	10.60	9.77	9.47	11.21	14.39
1981	11.63	12.44	15.39	20.46	18.09	12.91	11.21	10.42	9.32	9.44	8.17	10.28	12.48
1982	8.90	10.67	12.07	19.52	24.20	13.89	12.00	10.53	9.66	10.25	11.10	15.69	13.22
1983	24.16	15.99	19.49	32.15	31.81	23.14	18.01	14.22	12.37	11.05	10.12	10.53	18.60
1984	12.17	12.61	19.11	28.85	28.76	20.69	16.37	13.52	12.22	11.31	10.74	17.80	17.02
1985	23.74	17.96	22.74	39.43	30.20	21.56	17.87	14.64	13.01	11.47	13.41	20.19	20.53
1986	24.26	26.17	25.75	42.07	38.38	28.74	22.23	18.53	14.78	12.86	15.38	22.23	24.26
1987	23.47	21.37	23.47	22.89	23.65	18.12	15.36	13.30	11.53	11.05	11.19	14.04	17.43
Ave.	15.80	16.03	20.79	30.79	22.48	15.72	13.52	11.99	10.83	10.04	10.19	12.38	15.87

Fig. 6-20 Hydrograph at 1KB28 from 1927 to 1987

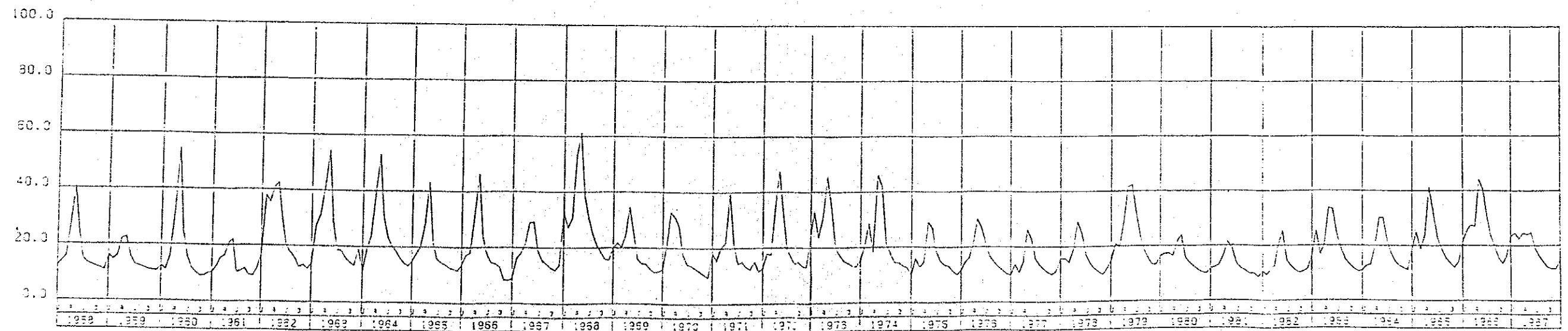
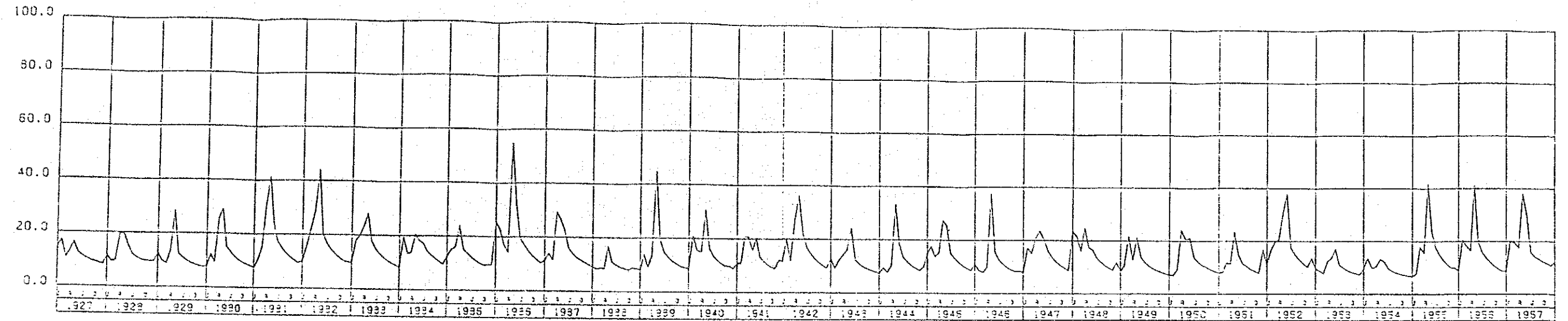
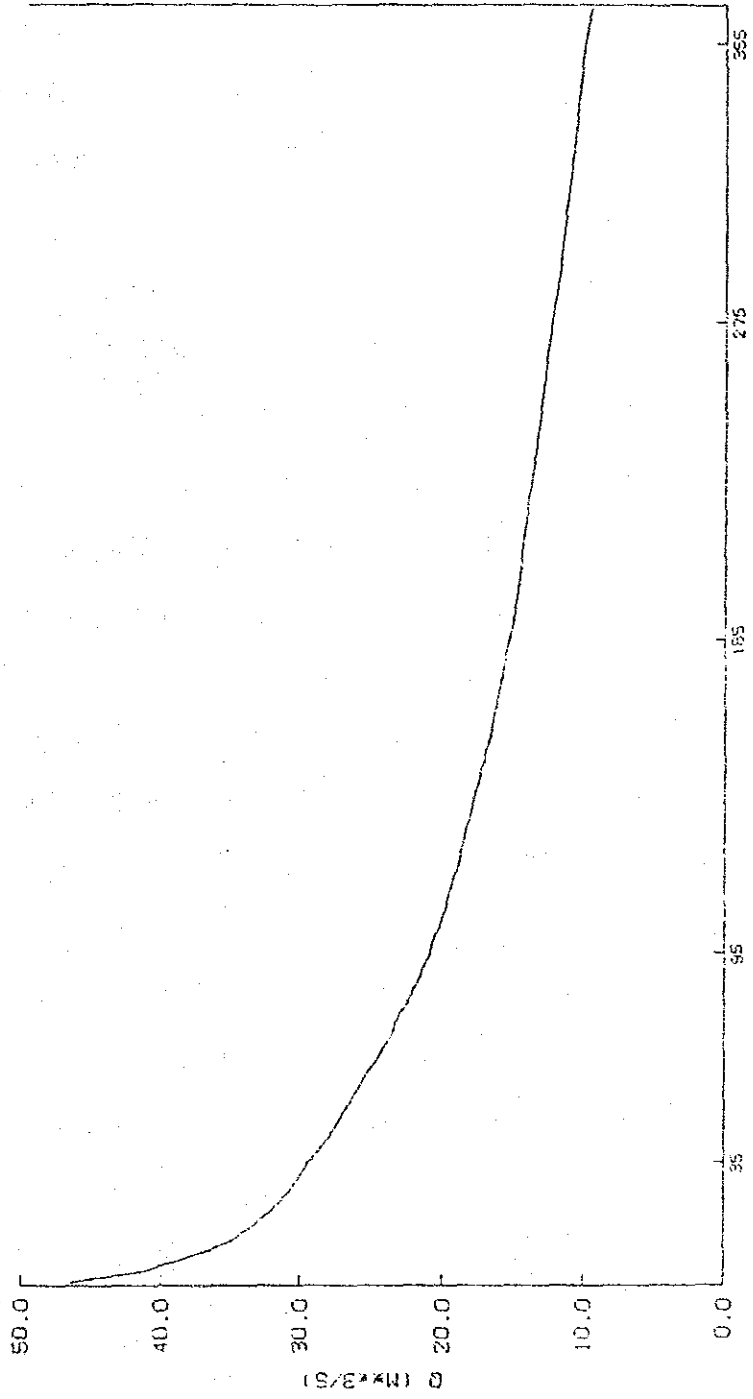




Fig. 6-21 Duration Curve at 1KB28 from 1975 to 1987

1KB28 DISCHARGE <PAPA-AVERAGE> C.A = 618.0 (M<sup>3</sup>/S) YEAR = 1975--1987



## 6.4 設計洪水量

### 6.4.1 既存調査のレビュー

洪水解析は、現在まで M/Pでのみ実施されており、同報告書では、キロンベロエスカーブメントに対して算定した地域洪水確率曲線を用いて洪水量を求めている。この手法は、BlH 法と呼ばれ、イギリス水文協会が開発されたものである。同手法は、互いに似通った地域で発生する洪水は、ある確率洪水と年平均洪水との比率において共通の関係を有するという考えに基づいている。この手法は、MAF（年平均洪水量）というパラメータにより、1度に多くの異なった流域面積で発生する洪水を算出できるという長所がある反面、同一地域の範囲を誤まって選定した場合過大もしくは過少評価する可能性も有している。M/Pによれば、キロンベロ流域には2つの明確な地域洪水確率曲線が存在し、1つは極めて平坦な性状を示すキロンベロエスカーブメント群に代表され、

もう1つは前者に比べかなり急な曲線を示すアッパールフジ群に大別される。キハンシ川はキロンベロエスカーブメント群に属するが、M/Pではこの曲線と他の近傍流域の洪水確率分布、さらに降雨の確率分布曲線とを比較した結果、キロンベロエスカーブメント群の曲線を異常値として扱え、この曲線とアッパールフジ曲線とを合成したものを改めてキロンベロエスカーブメント曲線と定義し直し、キハンシ川に適用している。曲線式は次式で与えられる。

$$Q/\bar{Q} = 0.33 + 0.4529289 e^{0.28683y}$$

ここに  $y$  はガンベルの規準極値変数

確率年が10,000年の時、 $y$  は 9.21029になり、 $Q/\bar{Q}$  は16.3となる。一方、各測水所毎にGumbel法を用いて計算した結果では、10個所の測水所の内1 KB19を除きいずれも 5.8以下としかならず、M/Pによる結果は1 KB19に含まれる1個の異常値のために100年確率値以上について、かなり過大側に評価している恐れがある。事実、1 KB28の $Q/\bar{Q}$ に 5.8を代入した場合10,000年確率洪水は 270 m<sup>3</sup>/S程度にしかならず、M/Pの洪水量に対し 0.4程度にしかならない。

### 6.4.2 方法

流量観測期間は長くてもせいぜい30年にしかすぎないため、10,000年のような長期間の確率解析を行なうのは精度的に問題がある。さらに、キハンシ計画は、上部、下

部両発電所が運開した時点で、タンザニア全系統のおよそ 1/3を占める発電力を有するために経済的にも、社会的にも重要な役割を担うため、設計洪水量の算定に PMF の概念を取り入れることが妥当と考えられる。しかし、今回は、正確な PMF 値を算出するのに必要な情報が極めて限られたため、やむを得ず解析の過程で一部簡略化したり、他地域のデータを転用した個所がある。

PMF は次の手順に従って推定した。

- i) キハンシ流域の水文特性の把握
- ii) イファカラにおける代表豪雨の選定
- iii) PMP 算出のための豪雨の最大化
- iv) 地形効果を勘案した降雨部分の決定
- v) タンクモデル法による PMP から PMF への変換

イファカラの降雨データを採用した理由は、観測期間が60年以上に及びしかも信頼度が高いからである。なお、PMP および PMF はその妥当性を確認するために確率計算結果との照合もあわせて行なった。

#### 6.4.3 キハンシ流域における PMP

##### (1) 水文特性

キハンシ流域は降雨パターンに関しては、非地形性と地形性両者の性格を兼ね備えている。しかし、地形性降雨は、主として南東から吹き込む湿潤空気と、その流線方向に直角に対峙した急崖部の存在によって成立するため、この向きの風が卓越する雨季末期の3月および4月に顕著となる。この時期、急崖部に沿った地域で発生する豪雨の頻度は、キハンシ流域北西部に比べはるかに高い。イファカラにおける降雨データはキロンベロ流域において、地形効果がないと仮定すると、非地形性降雨として扱うことが可能となる。このような仮定の基で、イファカラの降雨とキハンシ流域の降雨を比較すれば、実際にどれだけの地形効果があるか判別できる。6.1.1節 地形で述べたように、キハンシ流域は、大まかに言って2つの流域に分けられる。1つは、NC1流域にほぼ相当する緩傾斜地域であり、もう1つは1KB28とNC1の残流域に相当する急傾斜地域である。仮に、緩傾斜地域の降雨を代表する観測所をマパンダ(983547)、急傾斜地域の代表観測所をムチョンベと仮定して、イファカラの降雨と比較した結果を Table 6-5 に示す。

急傾斜地域は明らかに地形による影響を受けており、イファカラの降水量に比べ、年平均降水量で10%、既往最大日降雨量で30%の増加を示している。一方、緩傾斜地域の降雨は、遮蔽効果のために、降雨が減少するが、この傾向は、特に強雨側において顕著である。

## (2) PMP（可能最大降水量）の算定

PMPは通常、実測された過去の大豪雨に、露点をもとに算出した最大化率を乗じることによって求められる。この率は、実測豪雨発生時における実際の気中の水分量と、その豪雨が発生した時期に考えうる可能最大水分量との差と定義される。この可能最大水分量は、12時間持続露点から求められ、通常、包絡線の形で示される。しかし、今回、露点に関してはモロゴロにおける月平均値しか入手できなかったため、最大化率は各月の12時における実測平均露点と各月の最低気温の最小値との比率と仮定した。大豪雨発生時は湿度も飽和しており、12時間持続露点はその日の最低気温にはほぼ等しくなると仮定しても、それ程間違いはないため、今回採用した比率は考える中で最大の値を与えようと考えられる。

露点を可降水量に変換した後、各月の最大化率および最大化された豪雨はTable6-6に従って求められた。その結果、イファカラにおけるPMPは、4月の280mmと推定されるが、この値は別に対数正規分布により求めた10,000年確率豪雨とほぼ等しくなった。同様の方法により、2日、3日、4日、5日のPMPもそれぞれ360mm, 400mm, 430mm, 440mmと計算されたが、結果をFig.6-22に示す。4日PMPと5日PMPの増加量はわずか10mmにしか過ぎないため、PMF（可能最大洪水量）算定に当たっては、5日分の降雨を見込めば十分であることが判明した。

## (3) PMPの降水分布

(1)項で述べたように、キハンシ流域における降雨分布および雨量強度は、地形の影響を受けている。イファカラにおける豪雨が、非地形性ならば、キハンシ流域における豪雨はイファカラの実測豪雨に地形効果を考慮したある率をかけることによって推定できる。この比率は、既往最大降雨ないしは10,000年確率豪雨のものを採用するのが望ましい。



Table 6-5 Topographic Effect on Rainfall

Item	Ifakara Mission (983600) Rainfall (mm)	Mapanda (983547)		Mchombe (983608)	
		Rainfall (mm)	Ratio to Ifakara(%)	Rainfall (mm)	Ratio to Ifakara(%)
<b>Monthly Rainfall</b>					
January	1 8 3. 5	1 7 8. 3	9 7	2 7 1. 7	1 4 8
February	1 5 3. 9	1 6 5. 9	1 0 8	2 1 2. 7	1 3 8
March	2 8 9. 2	1 6 4. 9	5 7	3 9 8. 2	1 3 8
April	3 5 5. 7	2 5 6. 4	7 2	4 3 6. 4	1 2 3
May	1 1 1. 5	1 1 4. 3	1 0 3	1 6 4. 7	1 4 8
June	1 7. 8	1 7. 1	9 6	2 1. 1	1 1 9
July	8. 8	8. 6	9 8	1 5. 8	1 8 0
August	5. 4	4. 5	8 3	1 1. 5	2 1 3
September	7. 9	8. 6	1 0 9	1 3. 2	1 6 7
October	1 4. 7	1 4. 2	9 7	5 0. 5	3 4 4
November	5 5. 4	6 5. 4	1 1 8	7 8. 1	1 4 1
December	1 3 2. 0	1 3 6. 7	1 0 4	2 3 5. 0	1 7 8
<b>Annual Rainfall</b>	1 3 4 3	1 0 9 0	8 1	1 8 7 7	1 4 0
<b>Historical Daily Maximum Rainfall</b>	1 6 9. 0	6 9. 2	4 1	2 2 0. 0	1 3 0
<b>10000 year Daily Storm(LogNormal)</b>	2 9 5. 0	1 7 8. 0	6 0	3 3 9. 0	1 1 5

Table 6-6 Process of PMP Estimation at Ifakara

Contents	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
① Maximum Dew Point (°C)	20.5	20.8	21.4	22.0	20.5	17.6	15.9	15.5	15.9	16.9	18.7	20.1
② Reduction① to 1000mb (°C)	22.8	23.1	23.7	24.3	22.8	19.9	18.2	17.8	18.2	19.2	21.0	22.4
③ Precipitable Water (mm)	66-5 = 61	67-5 = 62	71-5 = 66	74-5 = 69	66-5 = 61	52-4 = 48	45-3 = 42	43-3 = 40	45-3 = 42	49-3 = 46	57-4 = 53	64-5 = 59
④ Representative Dew Point(°C)	17.2	17.3	17.3	16.7	13.9	10.6	10.0	9.2	13.2	14.2	16.1	16.2
⑤ Reduction④ to 1000mb (°C)	19.5	19.6	19.6	19.0	16.2	12.9	12.3	11.5	15.6	16.5	18.4	18.5
⑥ Precipitable Water (mm)	49-4 = 45	49-4 = 45	49-4 = 45	47-3 = 44	37-3 = 34	28-2 = 26	26-2 = 24	24-2 = 22	33-3 = 30	38-3 = 35	46-3 = 43	46-3 = 43
⑦ Maximizing factor ③/⑥	1.36	1.38	1.47	1.57	1.79	1.85	1.75	1.82	1.40	1.31	1.23	1.37
⑧ Maximum Rainfall (mm) (Year)	171.2 (1986)	168.4 (1959)	138.8 (1937)	178.3 (1978)	85.9 (1977)	30.2 (1986)	36.3 (1967)	56.5 (1976)	44.3 (1972)	51.9 (1982)	136.3 (1935)	159.8 (1967)
⑨ Maximizing ⑦×⑧ (mm)	233	232	204	280	154	56	64	103	62	68	167	219

Fig. 6-22 Depth - Duration Envelope of PMP at Ifakara

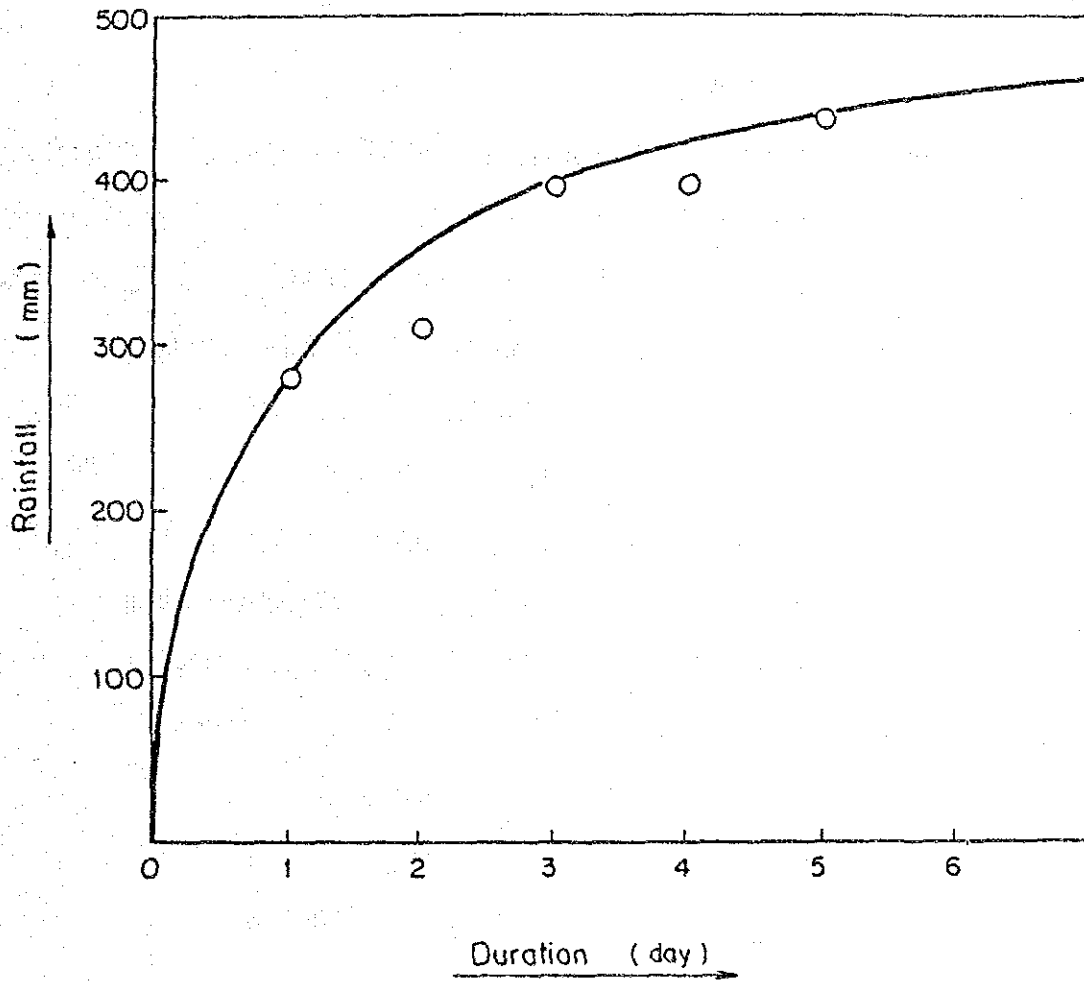


Table 6-5 によればマパンダ雨量で代表される緩傾斜地域とイファカラとの降雨比率は既往最大で41%、10,000年確率で60%となるのに対し、ムチョンベ雨量で代表される急傾斜地域との比率はそれぞれ130%、115%となっている。PMP値は10,000年確率値に近いことから、今回のPMF解析には10,000年確率値に基づく比率を用いることとした。その結果、緩傾斜地域における1日PMP168mm、急傾斜地域は322mmとなった。タンザニア全土の過去の実測最大降雨記録はインド洋上のペンバ島およびザンジバル島を除き、ほとんどが100mmから200mmの範囲にあることから判断しても、この結果は妥当だと考えられる。

#### 6.4.4 PMF (可能最大洪水量)

キハンシ流域では、洪水時に占める基底流量の割合が他流域で見られる通常の洪水と異なり、ほぼ過半を占める程重要な要素となっている。さらに、降雨は非常に局地的に発生し、しかもその継続時間は非常に短いために、降雨から流量に変換する際に単位図法のような従来法は適用できない。従って、今回の検討では、まずタンクモデルを用いてPMPを算出した後、ピーク洪水量を得るために、洪水波形を尖鋭化させることとした。タンクモデルによって得られたハイドログラフによると、大洪水は1929年、1936年、1967年、1968年、1971年、1978年、1979年の各年に発生する可能性が見い出された。6.4.3(2)項で算出したPMPが上記各年の大豪雨時に発生したとすると、その結果得られる洪水量の内最大のものが、PMFとなると考えられる。今回、PMPの時間分布は次のように仮定した。

	緩傾斜地域	急傾斜地域
1日目	18 mm	35 mm
2日目	48 mm	92 mm
3日目	168 mm	322 mm
4日目	24 mm	46 mm
5日目	6 mm	12 mm

もし、原データが、上記値よりも大きい場合には原データを採用する

こうして得られたPMFに1.55というピーク率をかけることによって、ピーク洪水量が得られる。なおこの率は、1日3回行なわれている実測値に基づいて算定された。

以上より、1KB28地点におけるPMFは380 m<sup>3</sup>/sとなり、上部および下部ダム地点では、流域面積比をかけることにより両地点とも360 m<sup>3</sup>/sという値が得られる。

#### 6.4.5 確率洪水量

1975年から1987年の13年間に及ぶ1KB28の流量記録をもとに、対数正規分布、対数ピアソンⅢ型、ガンベル分布法を用いて行なった確率洪水解析結果をTable 6-7に示す。表中、対数ピアソンⅢによる計算結果が最高値を示す傾向がある。

#### 6.4.6 設計洪水量

上部ダム地点、下部ダム地点、下部発電所地点における設計洪水量は、流域補正用の換算係数をかけた後、端数を切上げた。上部ダムの河流処理工事に用いる対象洪水量は、このダムがロックフィルタイプであり、ダム工事が工期を左右することから、20年確率洪水量を採用することとし、下部ダムはコンクリートダムであり、多少の越流は許容されるため5年確率洪水量とする。結果をTable 6-8に示す。

### 6.5 堆砂

#### 6.5.1 方法

キハンシ川実測浮遊砂データおよび近傍河川のデータを使って流量と浮遊砂の関係式を算出したのち、掃流砂、貯水池の捕捉効果も勘案して、年堆砂量を推定する。なお、貯水池の堆砂量は、ダム耐用年数と同じ50年を採用する。

#### 6.5.2 データ

流量	1KB28 (キハンシ川)	1975-87	実測日データ
実測浮遊砂	1KA3 (グレートルアハ川)	1958-59	FAOにより実施
	1KA5 ( " )	1956-60	
	1KB17 (キロンベロ川)	1958-59	
	1KB8 (ムパンガ川)	1958-59	
	NC3 (キハンシ川)	1989	今回実施
	NC1 ( " )	1983	RUBADA

**Table 6-7 Probable Flood Discharge at 1KB28**

Return Period	Lognormal Distribution		Log Pearson III		Gumbel	
	Daily	Peak	Daily	Peak	Daily	Peak
2	46	71	44	68	46	71
5	51	79	50	78	51	79
10	54	84	55	85	55	85
20	56	87	59	91	59	91
50	59	91	67	104	63	98
100	62	96	73	113	67	104
200	63	98	79	122	70	109
500	66	102	89	138	75	116
1000	68	105	96	149	78	121
10000	72	112	128	198	90	140

(Peaking factor is assumed to be 1.55.)

**Table 6-8 Flood Discharge Applied to Design**

Objects	Discharge (m <sup>3</sup> /s)	Method
Upper Kihansi Dam	400	PMF
Upper Kihansi Powerstation	400	PMF
Lower Kihansi Dam	400	PMF
Lower Kihansi Powerstation	400	PMF
Diversion for Upper Dam	90	20 year probable discharge
Diversion for Lower Dam	80	5 year probable discharge

### 6.5.3 計算結果

キハンシ川で得られた資料数は現在までに14個しかなく、しかもほとんどが平均流量以下のため、これだけでは信頼度の高い堆砂予測は不可能である。そこでFAOにより、1950年代後半に実施された比較的豊富なデータより各河川の浮遊砂式を算定し、その分布とキハンシ川の実測分布とが似通っているものを今回の推定式とした。

浮遊砂の濃度分布はFig. 6-23に示すようにキハンシ川に隣接するムパンガ川(1KB8)のものと非常に傾向が類似しているため、1KB8の分布式を採用した。

$$q_s = 0.996 \times q^{1.169}$$

ここに  $q_s$  : 浮遊砂量 (mg/l)

$q$  : 流量 (m<sup>3</sup>/sec)

この式よりさらに年間の浮遊砂量を算出するには次式を用いる。

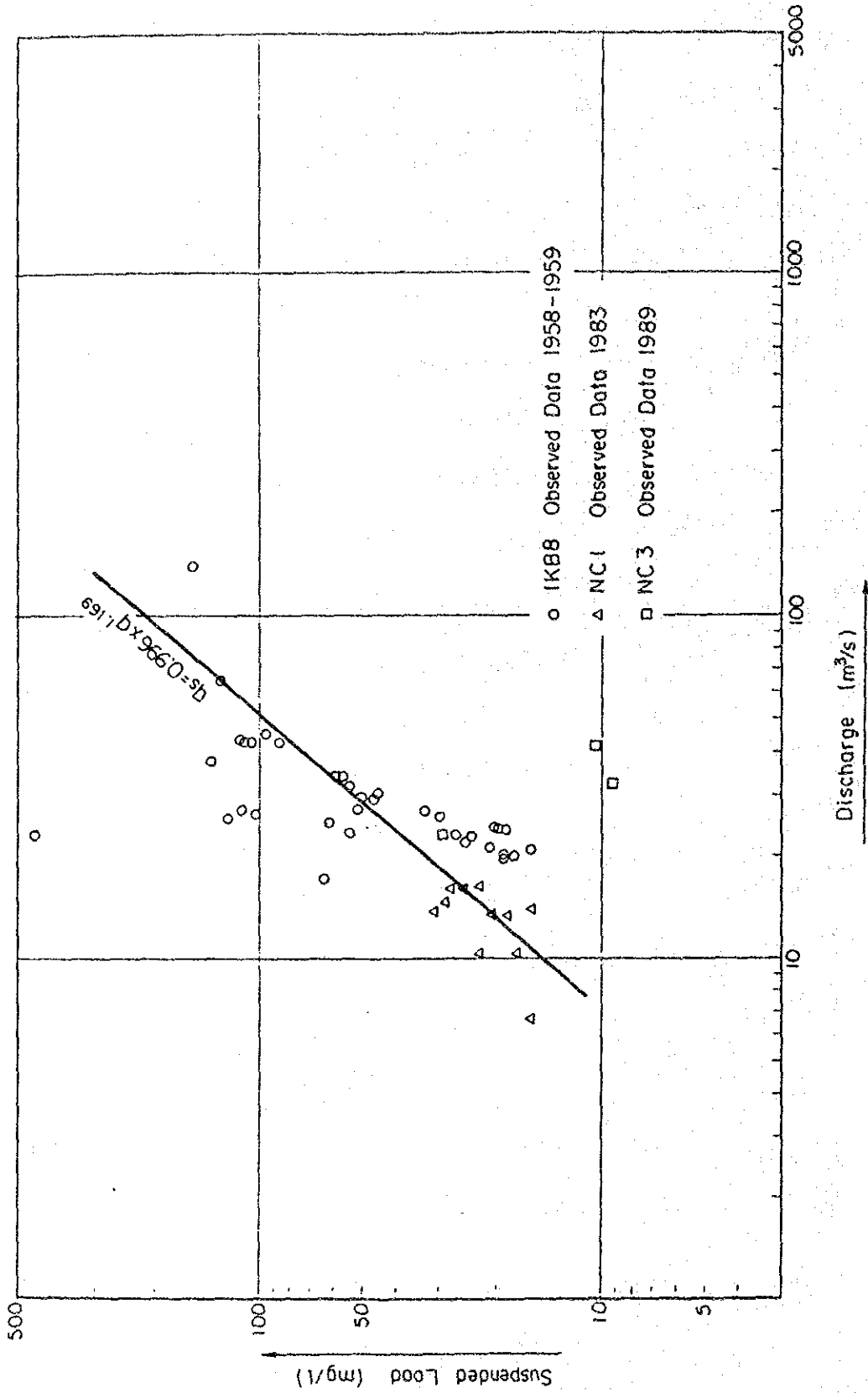
$$\begin{aligned} Q_s &= \sum_{i=1}^{365} (Q_i \times q_{si} \times 86,400) \\ &= \sum_{i=1}^{365} (Q_i \times 0.996 \times Q_i^{1.169} \times 86,400) \end{aligned}$$

ここに  $Q_s$  : 年浮遊砂量 (g)

$Q_i$  :  $i$ 日のダム地点流量 (m<sup>3</sup>/sec)

$q_{si}$  :  $i$ 日のダム地点浮遊砂量 (mg/l)

Fig. 6-23 Relation between Suspended Load and Discharge





以上の結果を次に示す。

上 部 ダ ム (10<sup>3</sup>ton)

年	堆砂量	年	堆砂量	年	堆砂量
1975	14.0	1980	11.4	1985	26.8
1976	16.4	1981	8.7	1986	37.6
1977	11.7	1982	10.1	1987	17.0
1978	14.1	1983	21.8		
1979	34.4	1984	18.0	平均	18.6

下 部 ダ ム (10<sup>3</sup>ton)

年	堆砂量	年	堆砂量	年	堆砂量
1975	14.4	1980	11.6	1985	27.5
1976	16.9	1981	9.0	1986	38.6
1977	12.1	1982	10.4	1987	17.5
1978	14.4	1983	22.4		
1979	35.3	1984	18.5	平均	19.1

上記年平均値を流域面積で割ると、単位面積当りの平均年浮遊砂量は、

$$18.6 \times 10^3 \text{ ton} / 583 \text{ km}^2 = 32 \text{ ton} / \text{km}^2 / \text{Yr}$$

となる。

次に貯水池の堆砂量を推定するに当り掃流砂の割合を仮定しなければならないが、ここでは20%とした。

また、捕捉率についてはBruneの方法が一般に用いられている。同方法によると上部ダムでは総貯水容量 $125 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、年間流入量 $494 \times 10^6 \text{ m}^3$ よりcapacity inflow ratioは0.25となり捕捉率は94%となる。一方、下部ダムでは総貯水容量 $0.73 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、年間流入量 $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ よりcapacity-inflow ratioは0.0015となり、捕捉率はほとんど0となるが、今回は15%を採用した。

以上より各々の貯水池における年堆砂量は以下のようになる。ただし、堆砂密度は1.4 と仮定した。

上部ダム

$$V_s = 18.6 \times 10^3 \times (1 + 0.2) \times 0.94/1.4 = 15.0 \times 10^3 \text{ m}^3$$

50年後の堆砂量および堆砂位は

$$V_{s50} = 15.0 \times 10^3 \times 50 = 750 \times 10^3 \text{ m}^3$$

堆砂位標高=約 1,300m

下部ダム（上部ダムがないものとする）

$$V_s = 19.1 \times 10^3 \times (1 + 0.2) \times 0.15/1.4 = 2.5 \times 10^3 \text{ m}^3$$

50年後の堆砂量および堆砂位は

$$V_{s50} = 2.5 \times 10^3 \times 50 = 125 \times 10^3 \text{ m}^3$$

堆砂位標高=約 1,125m

## 第7章 地質、材料および地震



## 第7章 地質、材料および地震

	頁
7.1 調査概要	7-1
7.1.1 現地調査	7-1
7.1.2 地質調査工事	7-1
7.1.3 既存資料	7-2
7.2 広域地質	7-7
7.2.1 地形	7-7
7.2.2 地質	7-7
(1) タンザニアの地質概要	7-7
(2) キハンシ川流域の地質	7-8
7.3 調査地域の地質概要	7-13
7.3.1 地形	7-13
7.3.2 上部および下部計画地点の地質	7-13
(1) 構成地質	7-13
(2) 地質構造および断層	7-14
(3) 風化	7-14
(4) 地すべり地形および崩壊地	7-14
(5) 岩盤評価	7-14
7.4 上部計画地点の地質	7-23
7.4.1 貯水池	7-23
(1) 地形	7-23
(2) 地質	7-23
(3) 土木地質的評価	7-24
7.4.2 ダム	7-24
(1) 地形	7-24
(2) 地質	7-24
(3) 土木地質的評価	7-26

7.4.3	水路経過地および発電所	7-27
(1)	地形	7-27
(2)	地質	7-27
(3)	土木地質的評価	7-27
7.5	下部計画地点の地質	7-37
7.5.1	調整地	7-37
(1)	地形	7-37
(2)	地質	7-37
(3)	土木地質的評価	7-37
7.5.2	ダム	7-37
(1)	地形	7-37
(2)	地質	7-38
(3)	土木地質的評価	7-39
7.5.3	導水路および水圧管路トンネル	7-40
(1)	地形	7-40
(2)	地質	7-40
(3)	土木地質的評価	7-41
7.5.4	発電所	7-42
(1)	地形	7-42
(2)	地質	7-42
(3)	土木地質的評価	7-43
7.6	建設材料	7-55
7.6.1	試験数量および試験項目	7-55
7.6.2	試験結果および考察	7-55
(1)	土質材料	7-55
(2)	コンクリート骨材	7-55
(3)	考察	7-56
7.7	地震	7-68
7.7.1	タンザニアの地震概要	7-68
(1)	地震発生の背景	7-68

1 地震活動度 .....	7-68
7.7.2 設計震度 .....	7-72
(1) 計画地点における最大加速度の推定 .....	7-72
(2) 採用設計震度 .....	7-75





## List of Tables

Table 7-1	List of Geological Investigations
Table 7-2	List of Reference Data
Table 7-3	Standard of Rock Classification for Drilled Core
Table 7-4	Rock Evaluation
Table 7-5	Results of Drilled Core Test
Table 7-6	Quantity and Items of Laboratory Test for Construction Materials
Table 7-7	Results of Laboratory Test for Construction Materials
Table 7-8	Distribution of Magnitude and Epicentral Distance of the Seismic Data during 1910 - 1987
Table 7-9	Annual Maximum Accelerations during 1963 - 1987
Table 7-10	Maximum Accelerations for Six Return Periods (gal)

## List of Figures

- Fig. 7-1 Location Map of Investigation Works
- Fig. 7-2 Topographic Map of Tanzania
- Fig. 7-3 Regional Geological Map
- Fig. 7-4 Geological Map of Project Area (1 of 2)  
(Upper Kihansi Project Area)
- Fig. 7-5 Geological Map of Project Area (2 of 2)  
(Lower Kihansi Project Area)
- Fig. 7-6 Result of Seismic Prospecting  
(Upper Kihansi, Reservoir Area)
- Fig. 7-7 Geological Plan of Upper Dam Site
- Fig. 7-8 Geological Section of Upper Dam Site
- Fig. 7-9 Geological Plan and Profile of Upper Waterway and  
Powerhouse Site
- Fig. 7-10 Geological Plan of Lower Dam Site
- Fig. 7-11 Geological Section of Lower Dam Site
- Fig. 7-12 Geological Plan and Profile of Lower Headrace  
and Penstock Tunnel Route
- Fig. 7-13 Geological Plan of Lower Powerhouse Site
- Fig. 7-14 Geological Profile of Lower Powerhouse Site
- Fig. 7-15 Location and Geological Log of Construction  
Material Site
- Fig. 7-16 Grain-size Analysis of Core Material
- Fig. 7-17 Proctor Test of Core Material
- Fig. 7-18 Grain-size Analysis of Concrete Aggregate
- Fig. 7-19 Seismicity Around the Project Site during  
1910 - 1987, and  $\Delta < 1,000$  km
- Fig. 7-20 Locations of Magnitudes
- Fig. 7-21 Seismic Map of Tanzania

## 7.1 調査概要

### 7.1.1 現地調査

JICA調査団の現地調査のうち、地質調査は以下に示す2期間に分けて実施された。

<u>期間</u>	<u>調査内容</u>
・1989年6月1日～6月30日	地表地質踏査 地質調査工事の立案と契約 地質資料の収集
・1989年8月1日～12月15日	地質調査工事施工管理 弾性波探査（火薬を使用しない） 地表地質踏査 地質調査工事結果の調査と評価 地質資料の収集

本章は、これらの期間に得られた地質データをもとに、計画される主要構造物及び建設材料地点の地質的、水理地質的、土木地質的条件を述べたものである。

なお上部計画に関してはプレフィージビリティステージ、下部計画に関してはフィージビリティステージであることから、主要構造物地点については、上部がスケール1/5000地形図をして下部がスケール1/1000地形図をもとに地質的検討がなされている。

### 7.1.2 地質調査工事

JICA調査団及びTANESCOによって、上部計画及び下部計画の各地点に於いて実施された地質調査工事は、以下の通りである。

<u>地点</u>	<u>調査項目</u>	<u>数量</u>
上部計画地点	ボーリング（含透水試験）	3 孔 計 130m
	弾性波探査（火薬を使わない）	2 測線 計 105m
下部計画地点	ボーリング（含透水試験）	5 孔 計 100m
材料調査地点	ボーリング	2 孔 計 40m
	テストピット	4 坑 計 6.8m