

6. 気象および水文

目次

6.	気象および水文.....	6-1
6.1	概要.....	6-1
6.1.1	地形・地質.....	6-1
6.1.2	気象・水文.....	6-1
6.2	気象および流量観測所.....	6-1
6.3	計画地点の流量.....	6-2
6.3.1	流量観測所新設の必要性.....	6-2
6.3.2	オシカラ流量観測所流量データの検証.....	6-2
6.3.3	タンクモデル法による観測所流量の算定.....	6-4
6.3.4	計画地点の流量.....	6-6
6.4	計画地点の洪水量.....	6-7
6.4.1	可能最大洪水量(PMF).....	6-7
6.4.2	確率洪水量.....	6-10
6.5	堆砂.....	6-11
6.5.1	堆砂量の予測.....	6-11
6.5.2	堆砂形状および洪水時背水計算.....	6-13

6. 気象および水文

6.1 概要

6.1.1 地形・地質

トロラ川流域内の地形は、レンパ川合流点では緩やかな丘陵地帯であるが、水源近くでは険しい山地もあり傾斜も厳しい。流域内で最も高い地点は、ホンジュラス国内の水源近くで海拔約 1,900 m であり、最も低い地点はレンパ川との合流点で海拔約 60 m である。

地質は、流域の大半が新生代の火山岩類および火山破屑岩類より構成され、降雨の流出の観点からは大きな差はないと判断できる。一方、植生についても、森林、耕地、草地の分布に大きな偏りがなく、降雨の流出の観点からは大きな差はないと判断できる。

6.1.2 気象・水文

計画地点の流域は、エルサルバドル国の中では年間降雨量が多い地域である。およそ 11 月～4 月の乾期と 5 月～10 月の雨期に分けられ、最も降雨量の少ない 12 月～2 月は殆ど降雨がなく、最も降雨量の多い 6 月、9 月においては 300～500 mm 程度に達する。これは、太平洋側からの貿易風と流域の北側山斜面とが原因でもたらされる地形性降雨によるものである。流域内の年間降雨量は 1,200 mm から 2,900 mm の範囲で変化する。Fig.6.1 および Fig.6.2 に流域雨量の年変化図および等雨量線図を示す。

流域内で洪水を引き起こす豪雨の多くは、カリブ海からのハリケーンによる非地形性降雨である。エルサルバドル国に影響を与えるハリケーンの多くは、カリブ海で発生し、ホンジュラス国やグアテマラ国に上陸する。これらのハリケーンの多くは、エルサルバドル国に接近する前に進路が北に変わるため、エルサルバドル国近くまで接近するハリケーンは殆どない。また、エルサルバドル国近くまで接近するハリケーンのほとんど全てがトロピカルストーム程度のものである。

気温は年間を通じて差が小さく、平野部（標高約 250 m）で日平均気温は 25°C～30°C、山間部（標高約 1,200 m）で 19°C～23°C 程度である。

6.2 気象および流量観測所

計画地点はトロラ川の中～下流域に位置するが、流域付近には Fig.6.3 に示す気象観測所とオシカラ測水所がある。観測所およびオシカラ測水所の主要な観測データ種類、観測記録保有期間を Table 6.1 に示す。各観測所の記録のない期間については、観測所間の相関関係により月雨量が補完されており、1942 年 1 月から 1997 年 12 月までの月雨量データが整備されている。

河川流量は、計画地点上流に位置するオシカラ測水所において観測されており、1962 年 2 月～1980 年 4 月の観測記録があるほか、1998 年 8 月より再建された測水所で観測が再開されている。

浮遊砂量の測定はオシカラ測水所において 1969 年から 1980 年および 1998 年以降の期間に行われている。

Appendix 6.1 に各観測所の観測月雨量データ、Appendix 6.2 に観測月平均流量データ、浮遊砂測定データを Appendix 6.3 に示す。

6.3 計画地点の流量

6.3.1 流量観測所新設の必要性

計画地点の流量算定については、基本的に上述の既設オシカラ測水所の観測記録が使用されるが、ここでは、その適用性について吟味し、計画ダム地点直近に新しい測水所を新設することの必要性について検討した。検討の結果、新たに測水所を新設する必要性はないとの結論に至った。以下に、その理由を記す。

- (1) オシカラ測水所と計画ダム地点は、同一河川の上下流に位置する。
- (2) オシカラ測水所と計画ダム地点の両流域内の地質条件及び植生条件が類似している。(Fig.6.4, Fig.6.5)
- (3) オシカラ測水所の流域面積と各計画ダム地点の流域面積に大きな差がない。
- (4) 一般的に、(1)、(2)、(3)の条件が整っている場合には、オシカラ測水所の流量データから単純流域面積比で流量算定を行うことが可能である。
- (5) ダム流域付近には、約 20 ヶ所の雨量観測所の記録が有り、上記既設測水所の流量データを用いたダム地点の流量算定精度を高めることが可能である。
- (6) 仮に、測水所流域とダム地点流域の流出特性が異なり、同一降雨に対する流出にタイムラグ等、差があるとしても、当該ダム計画は貯水池式発電方式で計画され、季節的に河川流量を調節する機能を有するため、これによる電力量に対する影響は殆どないと思われる。

6.3.2 オシカラ流量観測所流量データの検証

9つの雨量観測所(5204, U-070, Z-03, Z-04, Z-05, Z-07, Z-08, Z-12, Z-13)には 1942 年 1 月から 2000 年 12 月までの月雨量が整備されている。記録のない期間については、近傍の雨量観測所のうち、相関の良い観測所との相関関係を利用してデータを推定した。Appendix 6.4 に各雨量観測所月雨量およびオシカラ流域平均月雨量の 1942 年 1 月から 2000 年 12 月までの月雨量を示す。流域平均雨量は、9つの雨量観測所(1942 年 1 月～2000 年 12 月)を使用してティーセン法により求めた。

計画地点の流量算定は、流量実測値に加えて月雨量と月流量の相関を利用して流量データを補完し、これを整備することを基本とし下記の検討を行った。

(1) 流量データの検定と修正

1) 流量データの検定

オシカラ測水所の月流量は、1962 年 2 月から 1980 年 4 月までおよび 1998 年 8 月か

ら 2000 年 12 月までの観測記録がある。これらの月流量の観測記録の検定を行った。

Fig.6.6 にオシカラ測水所における 1962 年から 1980 年までの月雨量と月流量とのダブルマスカーブを示す。ここで、月雨量は Pre-FS 調査に記載されている 9 つの雨量観測所 (5204, U-070, Z-03, Z-04, Z-05, Z-07, Z-08, Z-12, Z-13) を使用してティーセン法により計算した流域内平均雨量を使用した。Fig.6.6 から、ダブルマスカーブ上の 1968 年に勾配の変化点があり、月雨量または月流量の何れかの資料のうち、1968 年以前のデータまたは 1969 年以降の資料の何れかが不均質であることがわかる。

まず、雨量または流量の何れかのデータが不均質な資料であることを調査するために、雨量とオシカラ測水所の流量に加えて、0101 測水所の流量との関係を調査するため、以下の 2 つのダブルマスカーブを作成した。

- 月雨量と 0101 測水所の月流量 (Fig.6.7)
- オシカラ測水所の月流量と 0101 測水所の月流量 (Fig.6.8)

0101 測水所を選定した理由は以下のとおりである。

- 0101 測水所は、GRANDE SAN MIGUEL 川にある測水所であり、トロラ川流域に近いこと。
- 勾配の変化点が発生している 1968 年前後の記録があること。
- 上流にダムがなく、流量に人為的な影響がないこと。
- 流域面積が $1,074 \text{ km}^2$ とオシカラ測水所の 862 km^2 と同程度であること。

この結果、オシカラ測水所の流量を含む 2 つのダブルマスカーブでは勾配の変化点が 1968 年に生じるのに対し、0101 流量と雨量のダブルマスカーブでは、1968 年に勾配の変化点が生じないことから、オシカラ測水所の流量が不均質であると判断した。

次に、オシカラ測水所の流量のうち 1968 年以前または 1969 年以降の流量データの何れかの資料が不均質であることを調査するために、1962 年から 1980 年までの流量データに加えて、1998 年から 2000 年の流量データを追加して、雨量とオシカラ流量のダブルマスカーブを作成した (Fig.6.9)。この際、雨量データは、雨量観測所 Z-13 の雨量とした。また、1998 年から 2000 年の雨量として、5 月から 10 月までの雨期の雨量を用いて、このダブルマスカーブは雨期についてのみ記載した。Fig.6.9 より、1998 年以降の勾配と 1969 年以降の勾配はほぼ同じであることから、1968 年以前の資料が不均質であると判断した。

2) 不均質流量データの修正

上記ダブルマスカーブによる流量検定結果に基づき、不均質流量データの修正を以下のように行った。

- Fig.6.6 のダブルマスカーブの勾配変化点前後の勾配を求める。
- 勾配変化点前の流量データに下記の定数を乗じ、勾配変化点前の勾配が勾配変化点後の勾配と同じになるように修正する。

$$\text{定数} = (\text{勾配変化点後の勾配}) / (\text{勾配変化点前の勾配}) = 0.73$$

(2) 流量と雨量の相関性の検証

Fig.6.10 に 1962 年から 1980 年までの雨期及び乾期を含む雨量とオシカラ流量の相関関係を示す。また、Fig.6.11, Fig.6.12 に 1962 年から 1980 年までの雨期の雨量とオシカラ流量の相関関係、1962 年から 1980 年までの乾期の雨量とオシカラ流量の相関関係を示す。これらの相関関係の相関係数は、それぞれ 0.697、0.581、0.164 と低く、相関関係を使用した流量の算定は、特に乾期の流量の精度が低くオシカラ地点の流量を精度良く評価することができないと判断された。

6.3.3 タンクモデル法による観測所流量の算定

前述のように、計画地点の流量算定を行う場合に、流量と雨量との相関で補完することが精度的に問題があることが判明した。従って、これに代わる流量算定方法として下記に述べる「タンクモデル法」の適用を検討した。

(1) タンクモデル法による流出解析

タンクモデルは、1968 年に日本の菅原正巳により開発された流出計算法で、流出機構を幾つかの貯留型タンクの組み合わせによりモデル化したものである。

すなわち、流域を側面に幾つかの流出孔を持つ容器(タンク)で置換え、雨はタンクモデルの最上段の容器に注入される。2 段目以下の容器は、1 段上の容器の底面の孔から水を受ける。各容器の水は、一部の側面の孔から外部に流出し、一部は底面の孔から 1 段下の容器に移行する。各段の容器の側面の孔からの流出の和が河川の流量となる。

Fig.6.13 は、流域の帯水層の構図をモデルに置換えたタンクモデルの概念図であり、Fig.6.14 にモデルによる流出解析手順を示す。

(2) 流出解析の手順

1) 流出モデルの作成

タンクモデルによる流出モデルは、モデルから計算で求めた月流量と実績月流量をハイドログラフ形状を含めて一致させ、流域の流出特性に対応するタンクの構成並びに各タンクの流出孔からの流出係数を求めることにより作成される。

2) 計算条件

a) 計算期間

モデル作成においては、1970 年 1 月から 1975 年 12 月までの月雨量および月流量の観測値並びに平均蒸発散量を使用した。この期間のデータを使用した理由は、以下の通りである。

- 連続する月雨量および月流量の観測データが長期間に渡って存在する期間である。
- 豊水年と渇水年がこの期間の中に含まれている。

b) 平均月蒸発散量

平均月蒸発散量は、以下のようにして求めた。

- “Potential evapo-transpiration in El Salvador, August 1985” に基づき、可能蒸発散量をペンマンの式により評価し、トロラ川流域の流域平均年可能蒸発散量を 1,500 mm とした。
- トロラ川流域内の SANTIAGO DE MARIA (年可能蒸発散量 1,457 mm) の月可能蒸発散量をトロラ川流域の月可能蒸発散量と仮定した。
- Table 6.2 にトロラ川流域の平均月雨量および月可能蒸発散量を示す。平均月雨量が月可能蒸発散量よりも小さい場合には、蒸発散量に十分な水分の供給がないと考え、平均月雨量が蒸発することとした。平均月雨量が月可能蒸発散量よりも大きい場合には、蒸発散量に十分な水分の供給があると考え、可能蒸発散量が蒸発することとした。Table 6.2 に月蒸発散量の計算結果を示す。この結果、年蒸発散量は 873 mm となった。
- 1962 年 1 月から 1979 年 12 月までの平均年蒸発散量を年雨量と年流量の差として求めたところ、平均年蒸発散量は 901 mm となり、先の 873 mm とほぼ一致した。従って、蒸発散量の評価値は妥当であると考えられる。

Table 6.2 Monthly Evapo - Transpiration (mm)

	Monthly Rainfall A	Monthly Potential Evapo-Transpiration B	Monthly Evapo-Transpiration Min (A,B)
Jan	3	122	3
Feb	3	123	3
Mar	24	149	24
Apr	70	144	70
May	272	131	131
Jun	374	113	113
Jul	220	134	134
Aug	272	131	131
Sep	419	95	95
Oct	287	108	108
Nov	56	99	56
Dec	5	108	5
Total	2,005	1,457	873

(3) 計算結果

1) 流出モデルの妥当性

Fig.6.15 に実績月流量および計算月流量を示す。また、実績月流量および計算月流量の相関関係を Fig.6.16 に示す。実績月流量および計算月流量の相関の相関係数は $R^2 = 0.854$ であり、作成されたモデルが流域の流出特性を比較的良く再現していることがわかる。

6.3.4 計画地点の流量

作成されたモデルに 1942 年 1 月から 2000 年 12 月までの月雨量および平均月蒸発散量を入力し、その期間のオシカラ測水所での月流量を計算した。なお、作成した流量のうち、実績流量がある月については、これを採用した。

計画地点の流量は、上記により算定したオシカラの流量に流域面積と流域雨量を考慮して補正した。Table 6.3 に計画地点の流量算定に使用した流域面積および流域の平均年雨量を示す。

Table 6.3 Catchment Area and Mean Annual Rainfall for Basins

	Catchment Area (km ²)	Mean Annual Rainfall for Basins (mm)
Osicala	862	2,005
La Honda	1,065	2,169
El Chaparral	1,233	2,145

オシカラ及び計画地点の流量を Appendix 6.5, Appendix 6.6 に示す。また、オシカラおよびエルチャパラルの流況図を Fig.6.17, Fig.6.18 に示す。オシカラおよび計画地点の月平均流量を Table 6.4 および Fig.6.19 に示す。また、オシカラおよび計画地点の 95%確率流量を Table 6.4 に示す。

Table 6.4 Mean Monthly Discharge and 95% Probable Discharge (Unit : m³/sec)

	Osicala	La Honda	El Chaparral
January	3.2	4.2	5.0
February	2.5	3.3	3.8
March	3.5	4.7	5.4
April	5.3	7.1	8.1
May	27.8	37.2	42.6
June	61.9	82.7	94.7
July	36.0	48.1	55.0
August	40.0	53.5	61.2
September	94.9	126.8	145.2
October	68.8	91.9	105.2
November	19.9	26.6	30.5
December	5.7	7.6	8.8
Total	30.9	41.2	47.2
95%	1.4	1.8	2.0

6.4 計画地点の洪水量

6.4.1 可能最大洪水量 (PMF)

ダムの設計洪水量は、本計画の経済的および社会的重要性を考慮すると、可能最大洪水 PMF (Probable Maximum Flood) を採用することが妥当であると思われる。PMF とは、ある地域で起こりうる最大の洪水と定義される。PMF (Probable Maximum Flood) は、以下の手順で計算される。

(1) 可能最大洪水量 (PMF)

- 可能最大降水量 (PMP) の計算
- ユニットハイドログラフの作成
- PMF の計算

1) 可能最大降水量 (PMP)

PMP は地形性降雨と非地形性降雨に大別されるが、計画地点の流域で引き起こされる洪水はカリブ海からのハリケーンによる非地形性降雨である。ここでは、2つのモデルによる PMP の算出を行った。

a) ハリケーンモデル

ハリケーンモデルは、米国の National Weather Service (NWS) により 1968 年に開発されたものであり、ハリケーン中心を中心とする同心円状の雨量分布、ハリケーンのルートおよび進行速度を想定し、ハリケーンが計画流域上を通過する期間の計画流域内の雨量の時系列を求める手法である。

エルサルバドル国に接近するハリケーンについて、National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) のデータからその特性をまとめると以下のようになる。

- エルサルバドル国を直撃したハリケーンは、1921年から2001年までの間には記録されておらず、国境近くまで接近したものが4回(1934, 1935, 1988, 1998)ある。
- このうち、トロラ流域に最も接近した過去のハリケーンは、1998年9月のMITCHである。
- ハリケーンは、エルサルバドル国近くにハリケーン規模で接近することはなく、トロピカルストームの規模で接近する。
- エルサルバドル国近くに接近したハリケーンは、時速10~25 km/hrの比較的遅い速度で移動する。

以上より、計画流域のPMPを求めるハリケーンとして、以下のハリケーンを設定した。

- モデルハリケーンのルートをFig.6.20に示す。このルートは、ハリケーンがエルサルバドル国を直撃したことがないことを考慮し、1998年のMITCHのルートを国境付近に移動したルートとする。
- モデルハリケーンの規模は、トロピカルストーム規模のハリケーンしかエルサルバドル国近くに接近しなかった過去の実績を考慮し、MITCHがハリケーンからトロピカルストームに変化したときの地表の中心気圧が約950ヘクトパスカルであったことから、地表中心気圧を950ヘクトパスカルに設定した。
- 過去ハリケーンがエルサルバドル国近くを通過したときの移動速度を考慮し、モデルハリケーンの移動速度は、8 km/hrとする。

上記のモデルハリケーンを使用してPMPを求める際の計算条件を以下のように設定した。

- トロラ川流域に南北5kmの格子を設定した。計算時間間隔は、1時間とした。
- Wind Adjustmentは、1968年のNWSのレポート“Preliminary Memorandum HUR 7-79 and Memorandum HUR 7-79A”に基づき、0.6とした。
- Ocean Temperature Adjustmentは1.0とした。これは、ハリケーンの発生の多い7月から9月のカリブ海とエルサルバドル国近くの太平洋の水温がほぼ同じの実績に基づいている。
- Orographic Adjustmentは、1.3とした。これは、トロラ川流域の年降雨量とエルサルバドル国海岸付近の年降雨量の比が、 $2,150 \text{ mm} / 1,700 \text{ mm} = 1.26 \approx 1.3$ であることによる。

以上より、ハリケーンモデルにより求めた雨量に係数($0.6 \times 1.0 \times 1.3 = 0.78$)を乗じて、計画地点のPMPを算出した。

Fig.6.21に、エルチャパラルでのPMPを示す。ラオンダ及びエルチャパラルの24時間PMPはそれぞれ502 mm、486 mmである。

b) Hershfield 法による PMP の算出

ハリケーンモデルによる PMP の検証のために、Hershfield 法による PMP の算出を行った。Hershfield 法は、1965 年に Hershfield により開発された手法であり、過去の年最大 24 時間雨量データに基づき、PMP の 24 時間雨量を計算するものである。Z-05 の雨量観測所では比較的長期の 24 時間雨量データを有しており、このデータを利用して PMP を求めた。その結果、Hershfield 法による 24 時間 PMP は 477 mm であった。ハリケーンモデルによる PMP と Hershfield 法による PMP は同程度となった。計算フロー及び計算結果を Table. 6.5 に示す。

Table 6.5 PMP calculated by Hershfield Method

Mean of annual series of maximum observed rainfall: X_n	104.2 mm
Mean of annual series of maximum observed rainfall except the largest one : X_{n-m}	99.8 mm
Standard deviation of annual series of maximum observed rainfall: S_n	29.45
Standard deviation of annual series of maximum observed rainfall except the largest one : S_{n-m}	24.07
Period of records	17 years
X_{n-m} / X_n	0.9578
S_{n-m} / S_n	0.8173
Adjustment for mean of annual series of maximum observed rainfall	1.01
Adjustment for mean of annual rainfall for period of records	1.03
Adjustment for standard deviation of annual series of maximum observed rainfall	0.973
Adjustment for standard deviation of annual rainfall for period of records	1.12
Mean of annual series of maximum observed rainfall after adjustment	103.8 mm
Standard deviation of annual series of maximum observed rainfall after adjustment	26.23
Function of rainfall duration and mean of annual series	15
PMP before adjustment	497 mm = 103.8 + 26.23 × 15
Adjustment for fixed interval rainfall amount for number of observational units within the interval	1.13
Adjustment for PMP of catchment area	0.85
PMP after adjustment	477 mm

2) 可能最大洪水量 (PMF)

a) ユニットハイドログラフ

ユニットハイドログラフの算出には、適用する時間雨量、時間流量のデータが必要であるが、1974 年のハリケーン FIFI のデータのみがこの目的のために利用可能

であり、同ハリケーンに対応する Z-03, Z-04, Z-05 の時間雨量およびオシカラ測水所の時間流量データを使用した。Snyder の方法により、オシカラ測水所の遅れ時間、継続時間、ピーク流量、その他のパラメータを決定した。また、ユニットハイドログラフの形状については FIFI の洪水波形を基に関数の組合せにより表した。計画地点のユニットハイドログラフは、オシカラ測水所での各パラメータのうち、流域面積、L 及び Lc を計画地点の値に見直すことにより求めた。オシカラにおけるハリケーン FIFI の時間雨量、時間流量を Appendix 6.8 に示す。また、エルチャパラルのユニットハイドログラフを Fig.6.22 に示す。

b) PMF

各計画地点の PMP 及びユニットハイドログラフを基に、計画地点の PMF を求めた。エルチャパラル、ラオンダの PMF 最大流量はそれぞれ $6,484 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、 $6,197 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、PMF ハイドログラフを Fig.6.23 に示す。

6.4.2 確率洪水量

確率解析を行うには、先ず年最大流量の実績データに最も適合する分布関数を求める必要がある。ここでは、対数 Pearson III 型関数を採用した。

オシカラ測水所の年最大実績ピーク流量は、Table 6.6 に示す 1962 年から 2000 年のうちの 19 年間のデータがある。このうち、 $3,248 \text{ m}^3/\text{sec}$ のデータについては、流量算定において大きな誤差が生じていると判断されるため、このデータを棄却した。また、1968 年以前の流量データは前述のとおり、測定値が大きめに評価されていると考えられるため、修正した。

オシカラ測水所における確率洪水量から各計画地点の確率洪水量への変換は、Creager の式により行った。Table 6.7 にダム地点における確率洪水量を示す。

Table 6.6 Instantaneous Maximum Discharge for Frequency Analysis

Year	Instantaneous Maximum Discharge (m ³ /sec)
1962	701 *
1963	734 *
1964	745 *
1965	1,138 *
1966	3,248 * & ***
1967	1,648 *
1968	1,540 *
1969	2,409
1970	1,381
1971	1,509
1972	1,454
1973	2,121
1974	2,914 ***
1975	1,106
1978	981
1979	795
1998	3,086 ****
1999	2,802
2000	1,223

* : These data were modified from original records because they are considered to be measured larger than actual discharge.

** : This data is not used because it contains error .

*** : Hurricane FIFI

**** : Hurricane MITCH

Table 6.7 Probable Flood Discharge (Unit : m³/sec)

Year	Osicala	La Honda	El Chaparral
1	614	680	728
2	1,386	1,534	1,644
5	2,105	2,331	2,498
10	2,641	2,924	3,134
20	3,199	3,543	3,796
30	3,560	3,942	4,224
40	3,790	4,197	4,498
50	3,989	4,417	4,733
100	4,634	5,131	5,498

6.5 堆砂

6.5.1 堆砂量の予測

浮遊砂の測定はオンカラ測水所において 1966 年から 1980 年および 1998 年以降の期間に行われている。Fig.6.24 に日浮遊砂量と流量の関係を示す。また、セロングランデ、シンコデノビエンブレおよびキンセデセプテンブレの 3 ダムにおいて、水深測量による堆砂調査が行われている。Table 6.8 に 3 ダムにおける堆砂調査結果を示す。

Table 6.8 Data of Bathometric Investigation

	Incremental Area (km ²)	Yearly Sediment (10 ⁶ m ³ /year)	Specific Sediment (m ³ /km ² /year)
Cerron Grande	5,816	6.57	1,130
5 de Noviembre	1,279	0.76	594
15 de Septiembre	7,661	4.87	636

浮遊砂量の算定は、浮遊砂量の観測範囲が比較的小さな流量の範囲であることを考慮し、安全側の値として、Fig.6.24 のデータより 95%上側期待値の式を求め、この式により年比浮遊砂量を求め、695 ton/km²/年の結果を得た。

掃流砂量の測定方法は確立されておらず、浮遊砂量との比率で表されることが多い。掃流砂量は、一般的に浮遊砂量の 10%から 20%の間であり 25%を超えることは殆どない。ここでは、掃流砂量を過小評価しないために大きい割合を採用し、掃流砂量を浮遊砂量の 25%とした。

貯水池の捕捉効果は、Brune による捕捉効果と総貯水量/年間総流入量の関係を使用して求めた。ここでは、安全側の検討のため捕捉効果を 100%とした。

堆砂密度は、セロングランデ、シンコデノビエンブレおよびキンセデセプティエンブレの 3 ダムにおける堆砂調査より、浮遊砂の堆砂については 1.25 ton/m³、掃流砂の堆砂については 1.5 ton/m³を採用した。

オシカラ地点およびダム地点の堆砂量の算定結果を Table 6.9 および Table 6.10 に示す。ダム地点の比堆砂量は 700 (m³/km²/year) であり、Fig.6.24 において 95%上側期待値を用いた安全側の算定方法であるにも拘らず、Table 6.8 に示す既設ダムの実績データと同程度の値であることから、妥当な値であると判断した。

Table 6.9 Specific Sediment (Unit : m³/km²/year)

	Weight (ton /km ² /year)	Specific Gravity (ton/m ³)	Volume (m ³ /km ² /year)
Suspended Load	695	1.25	556
Bed Load	174	1.50	116
Total	—	—	672
Adopted Amount	—	—	700

Table 6.10 Annual Sediment (Unit : m³/year)

Osicala	La Honda	El Chaparral
603,400	745,500	863,100

6.5.2 堆砂形状および洪水時背水計算

(1) 堆砂形状の予測

貯水池内堆砂形状の予測をシミュレーション計算により実施した。計算の概要を下記に示す。

1) 計算手順

- a) 初期河床状態について不等流計算を行う。
- b) 各計算断面について摩擦速度 ($u_*=(gRI)^{0.5}$) を求める。
- c) 流砂量式により各断面の流砂量を求める。
- d) 連続式により河床変動量を求め、各断面の河床高を求める。

浮遊砂 (Lane・Kalinske 式)

掃流砂 (芦田・道上式)

$$\partial z / \partial t = 1 / (1 - \lambda) \cdot 1 / B \cdot \partial (q_B \cdot B) / \partial x$$

z : 河床高、 λ (底質の空隙率) = 0.4、 B : 河床幅員、 q_B : 流砂量(単位幅当り)

この場合、上流端の断面においては河床における流砂量 (浮遊砂+掃流砂) に相当する土砂が、常に上流から補給されているものとする。

- e) 以上の計算を繰り返し、50年後の堆砂形状を予測する。

2) 計算条件

- a) 河床における底質の粒度分布は、河床砂礫粒度分布調査結果 (ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM C-136) を使用した。
- b) 流量データ
オシカラ測水所日流量データを用いた。
- c) ダム水位
発電運用を考慮した貯水池水位データを用いた。

3) 計算結果

河床変動計算の結果を Fig.6.25 と Appendix 6.9 に示す。これによると、堆砂の前面は 50 年後においてもダム近傍まで到達していないが、貯水池の背水端付近の堆砂により有効容量が若干減少することがわかる。従って、浚渫等により堆砂の湖内移動を行う必要がある。

(2) 洪水時背水計算

堆砂形状の予測計算を基に、洪水時のダム上流部の背水計算を実施した。計算条件は下記に示す通りであり、対象洪水を PMF 洪水量(6,484 m³/sec)とし、ダム建設前後のダム上流水位の比較を行った。

Table 6.11 Backwater Calculation Condition

	Flood Discharge (m ³ /s)	Water level at dam site
before dam construction	6,484	EL 150.85 m
after dam construction	6,484	EL 212.00 m

計算結果を Fig.6.26 および Appendix 6.9 に示す。ダム建設前後の水面形は、ダム地点より約 11 km 地点付近で接近し始め、約 13 km 付近では、両水面形の水位差はなくなっていることから、同地点までがダム建設による水没影響範囲であると言える。

Table 6.12 Backwater Calculation for a Flood (Qf = 6,484 m³/s)

Distance (m)	water level after 50 yr (EL m)	Water level before dam construction (EL m)	difference between two (m)
Dam	212.00	150.85	61.15
500	212.01	154.71	57.31
1,000	212.03	157.37	54.65
1,500	212.02	158.35	53.67
2,000	212.02	164.40	47.63
2,500	212.03	168.28	43.74
3,000	212.03	171.32	40.71
3,500	211.98	175.05	36.93
4,000	211.96	178.25	33.71
4,500	212.05	183.63	28.42
5,000	212.05	184.15	27.90
5,500	212.06	188.27	23.79
6,000	212.03	191.97	20.06
6,500	212.04	195.45	16.59
7,000	211.88	197.38	14.50
7,500	212.11	202.05	10.06
8,000	211.92	201.76	10.16
8,500	212.22	205.54	6.68
9,000	212.69	207.55	5.14
9,500	212.55	207.72	4.82
10,000	213.61	210.38	3.23
10,500	213.39	210.37	3.02
11,000	213.38	211.85	1.53
11,500	216.65	216.03	0.62
12,000	218.05	217.48	0.57
12,500	219.45	218.81	0.64
13,000	221.36	221.46	-0.09
13,500	222.06	222.08	-0.02

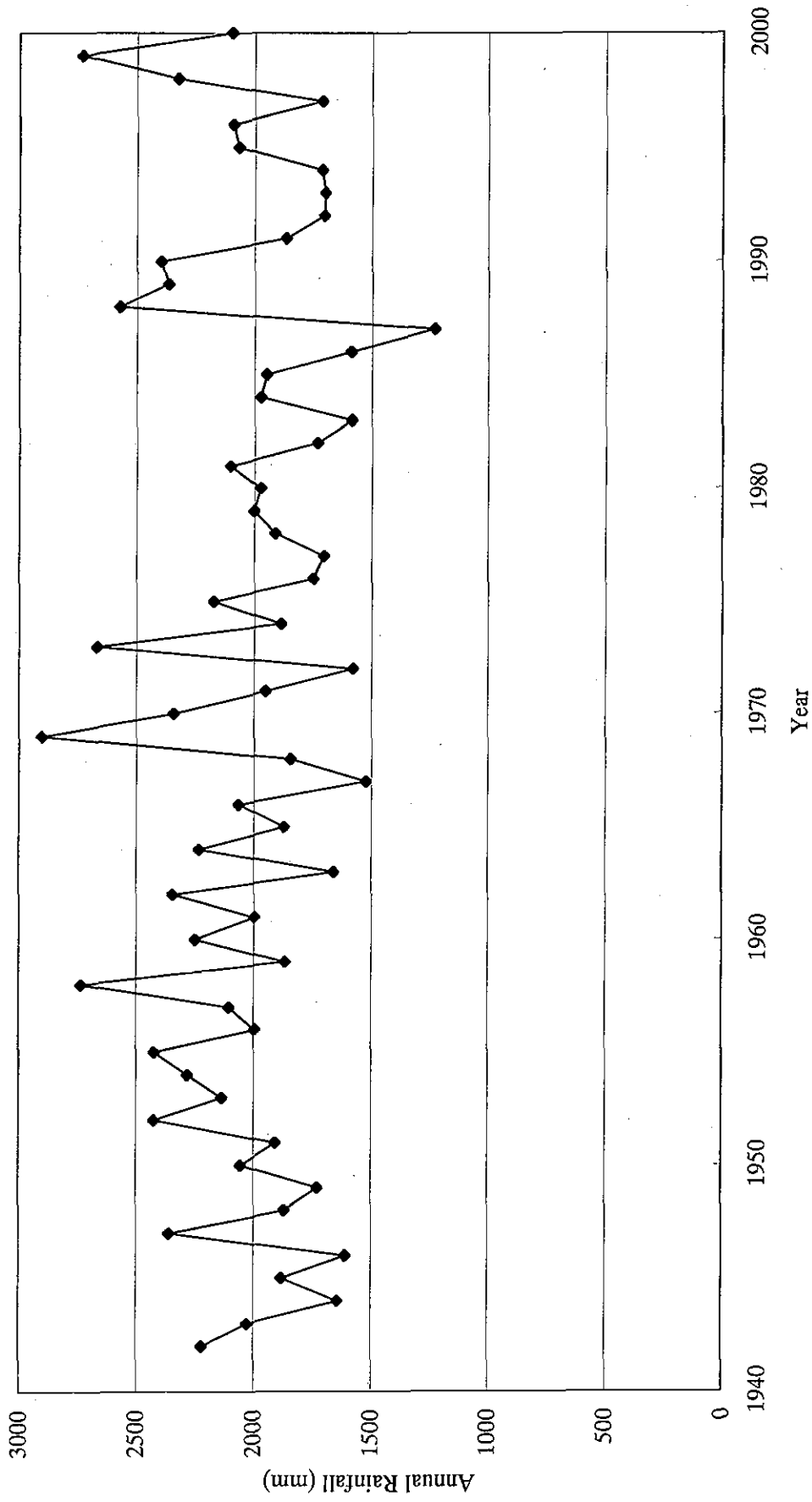


Fig. 6.1 Annual Rainfall Distribution for Oscala Basin

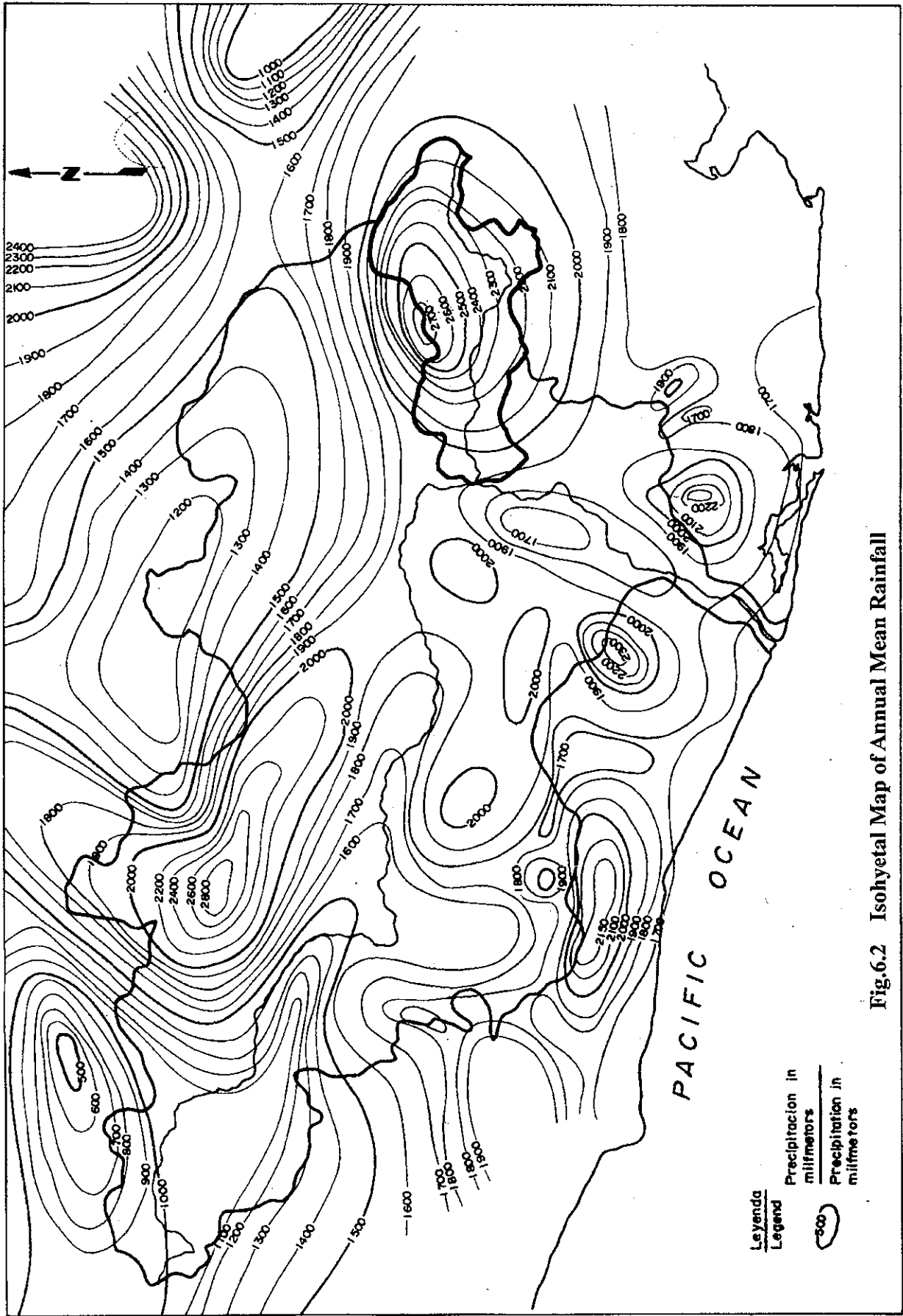


Fig.6.2 Isohyetal Map of Annual Mean Rainfall

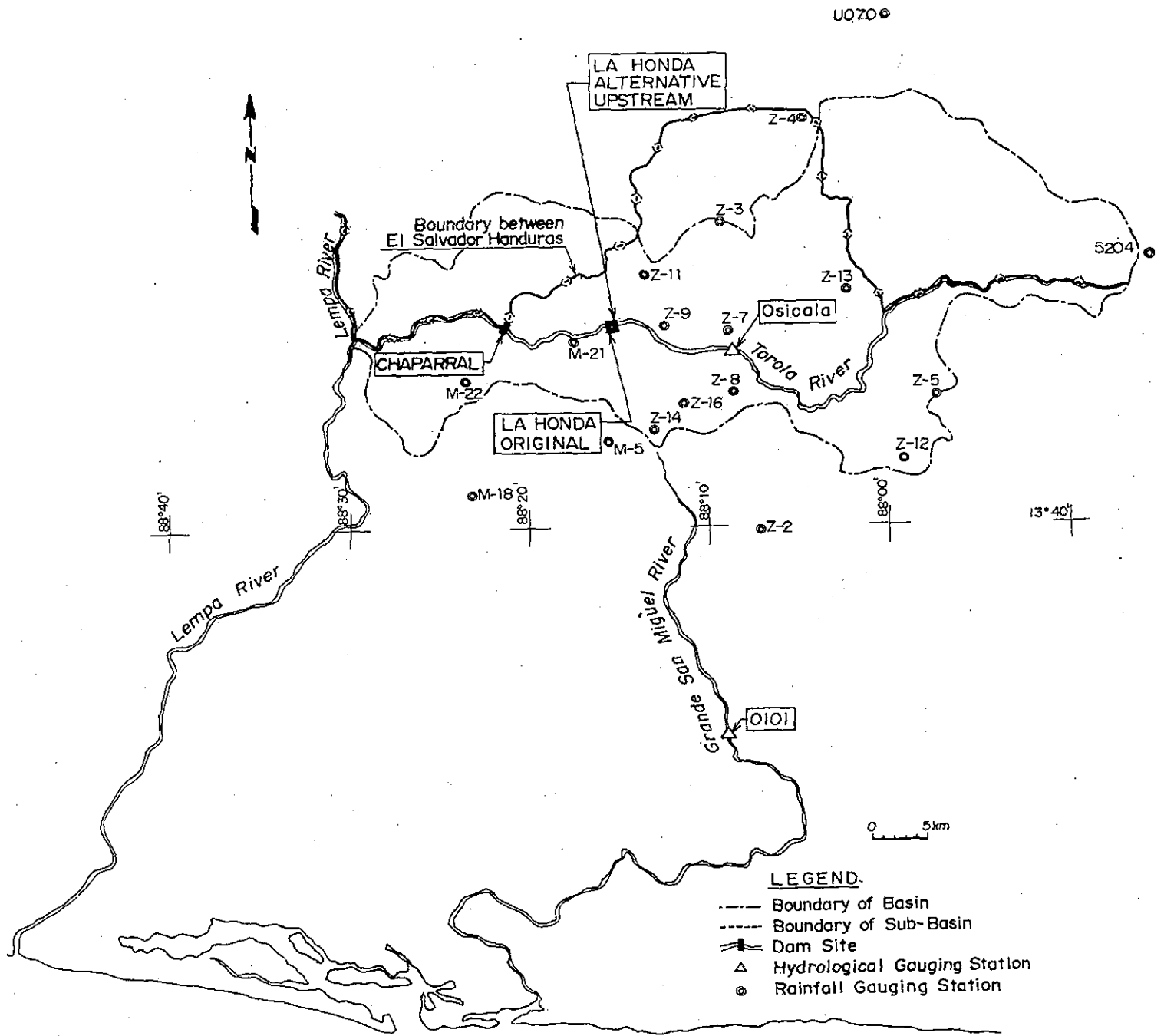


Fig.6.3 Location of Hydrological Guaging Station

126

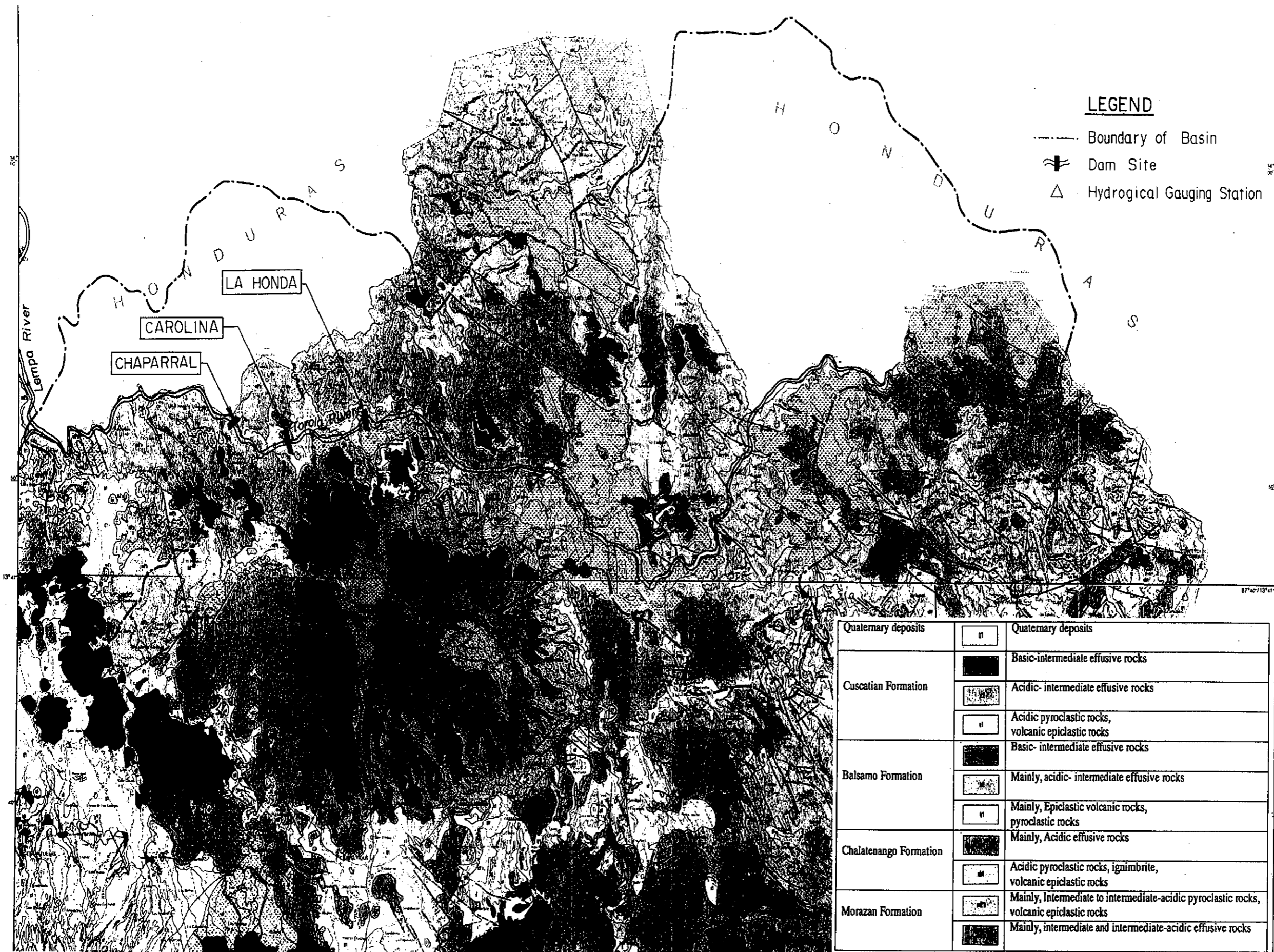


Fig.6.4 Geological Map for Torola Basin

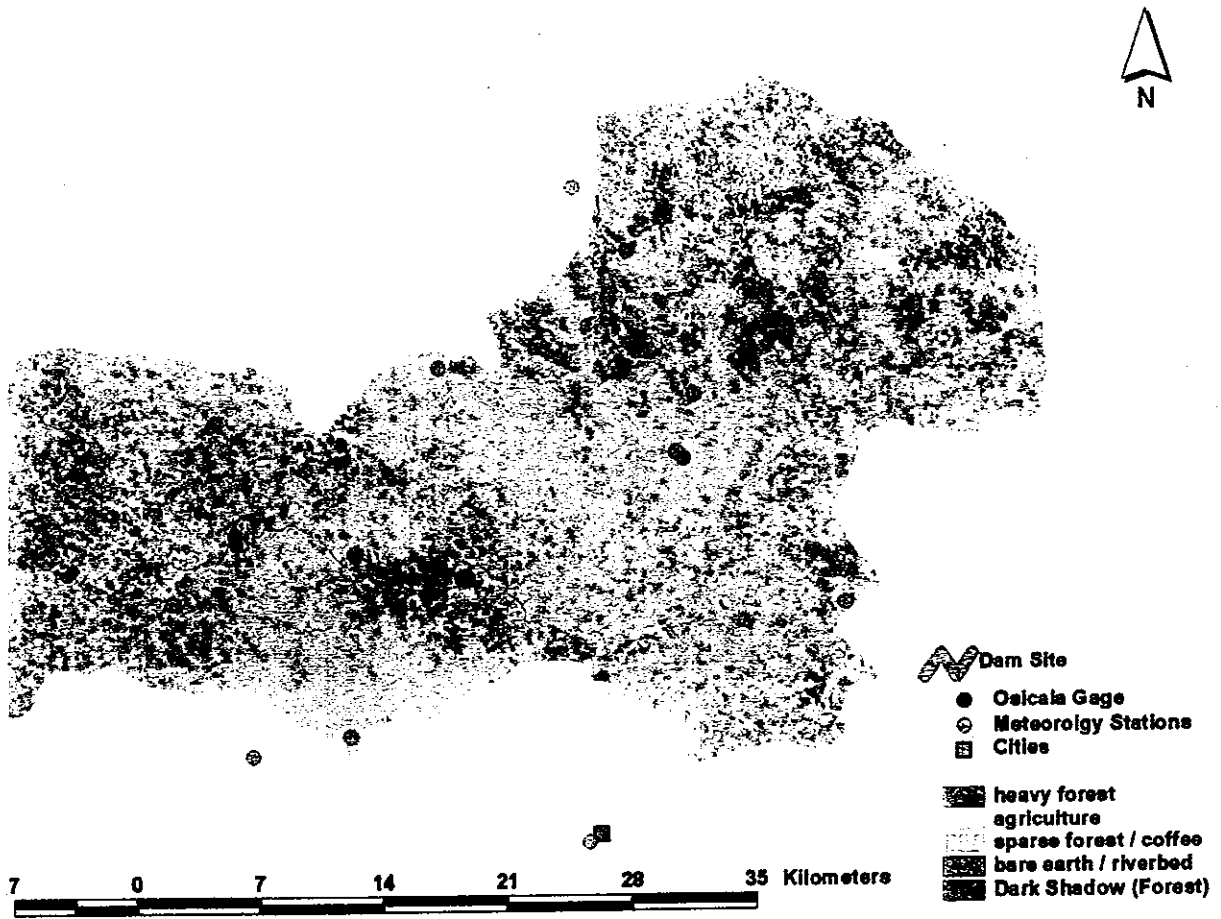


Fig.6.5 Vegetation Map for Torola Basin

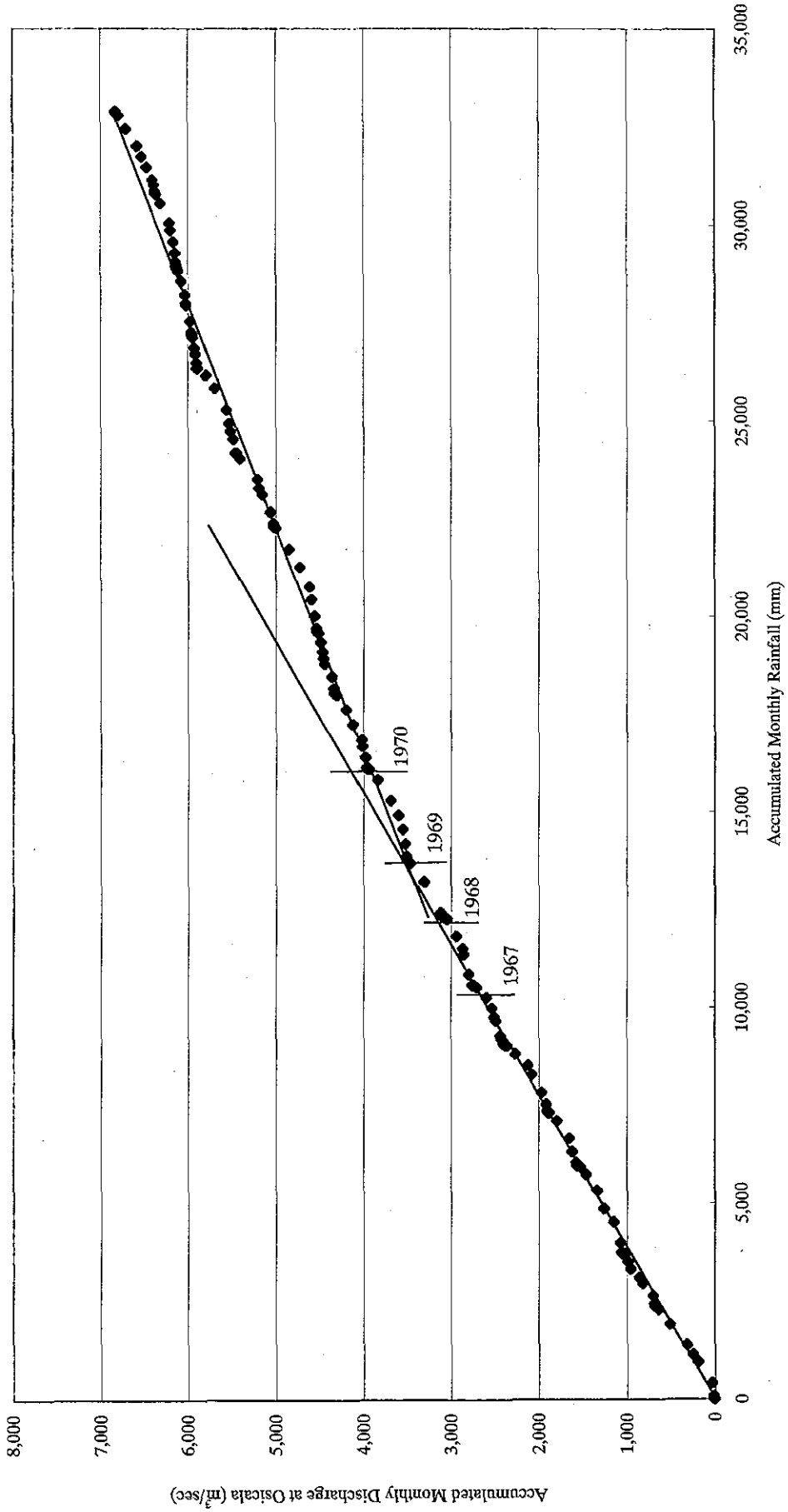


Fig. 6.6 Double Mass Curve between Rainfall and Discharge at Osicala

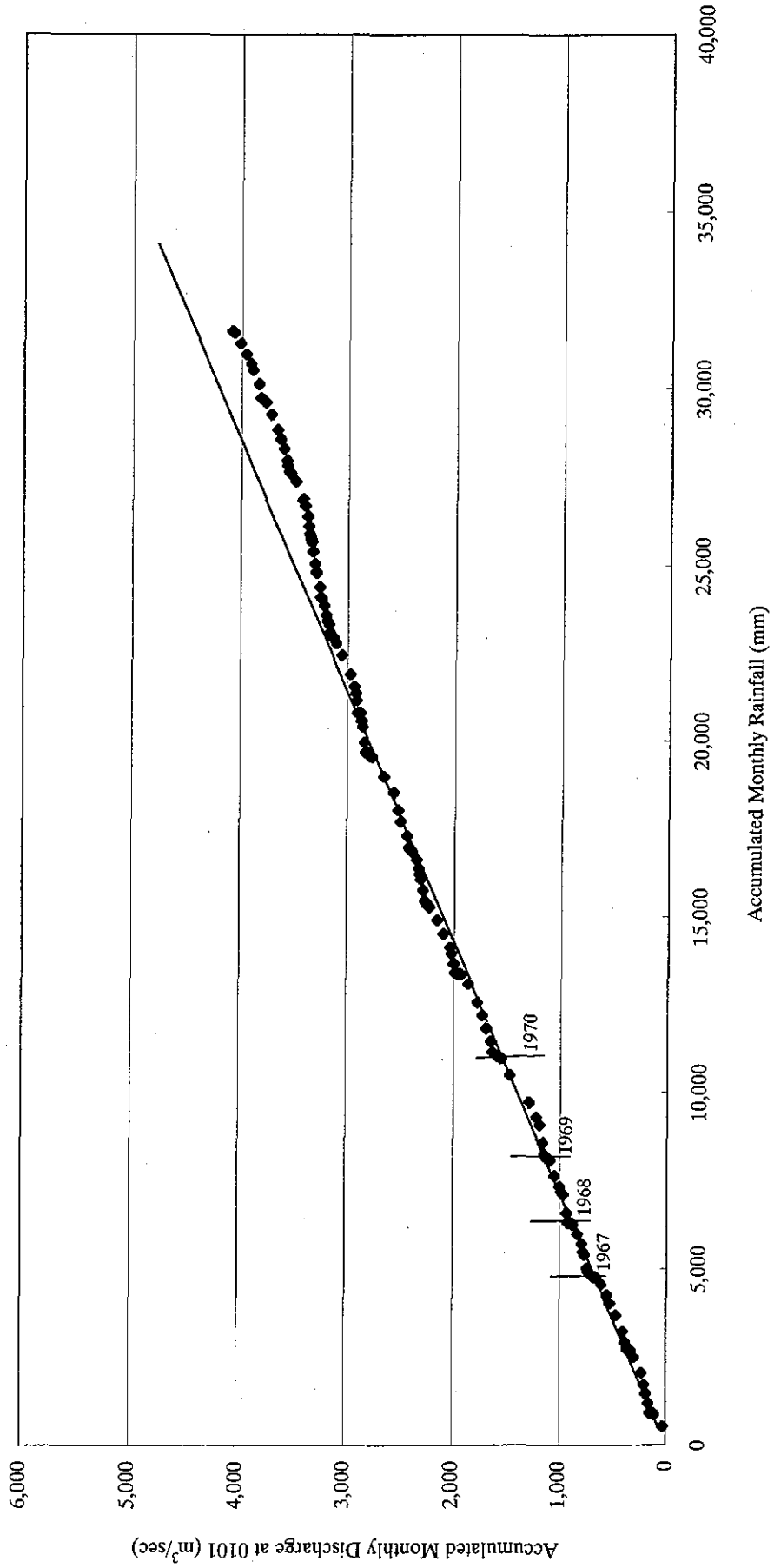


Fig. 6.7 Double Mass Curve between Rainfall and Discharge at 0101

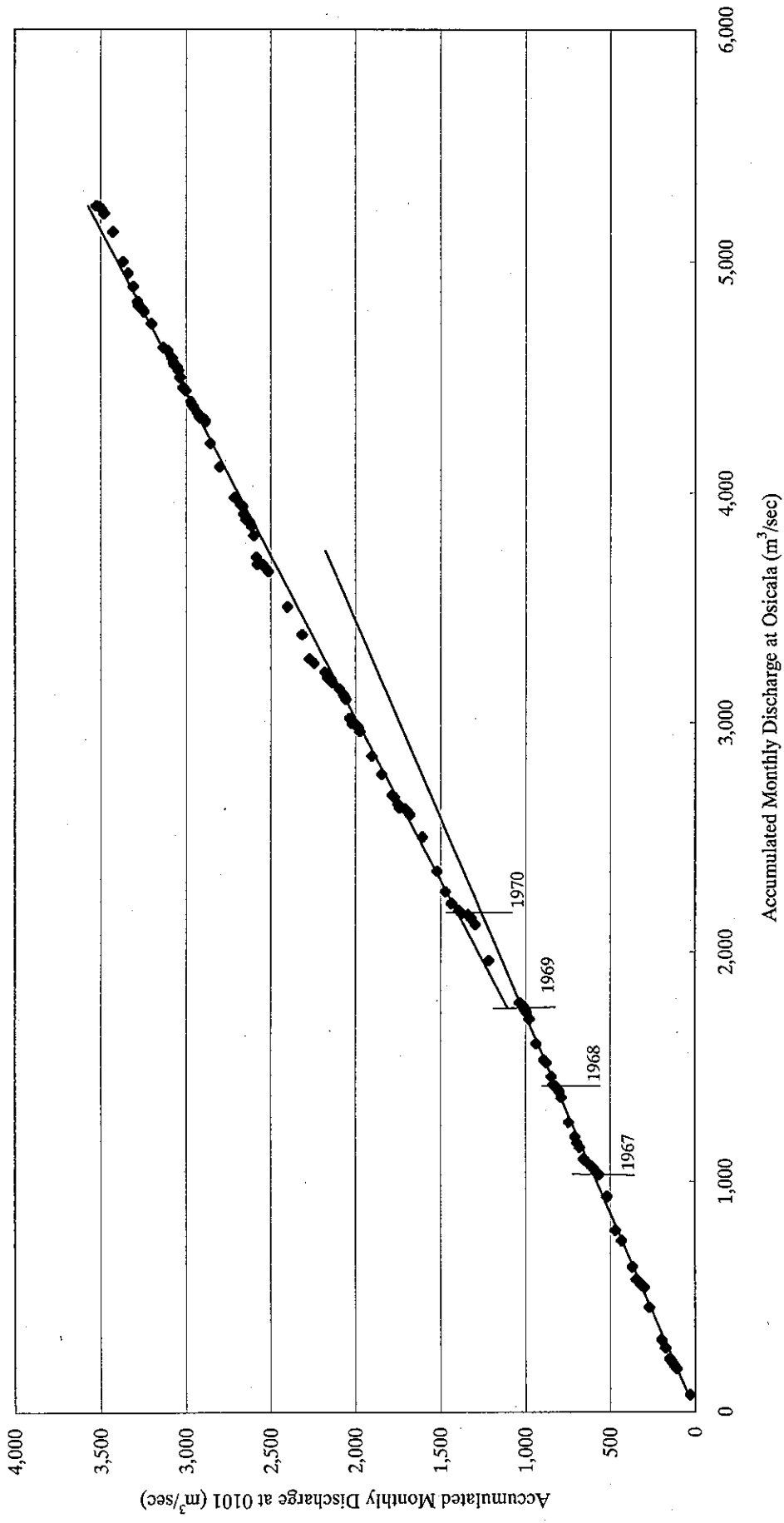


Fig. 6.8 Double Mass Curve Discharge between Osicaia and 0101

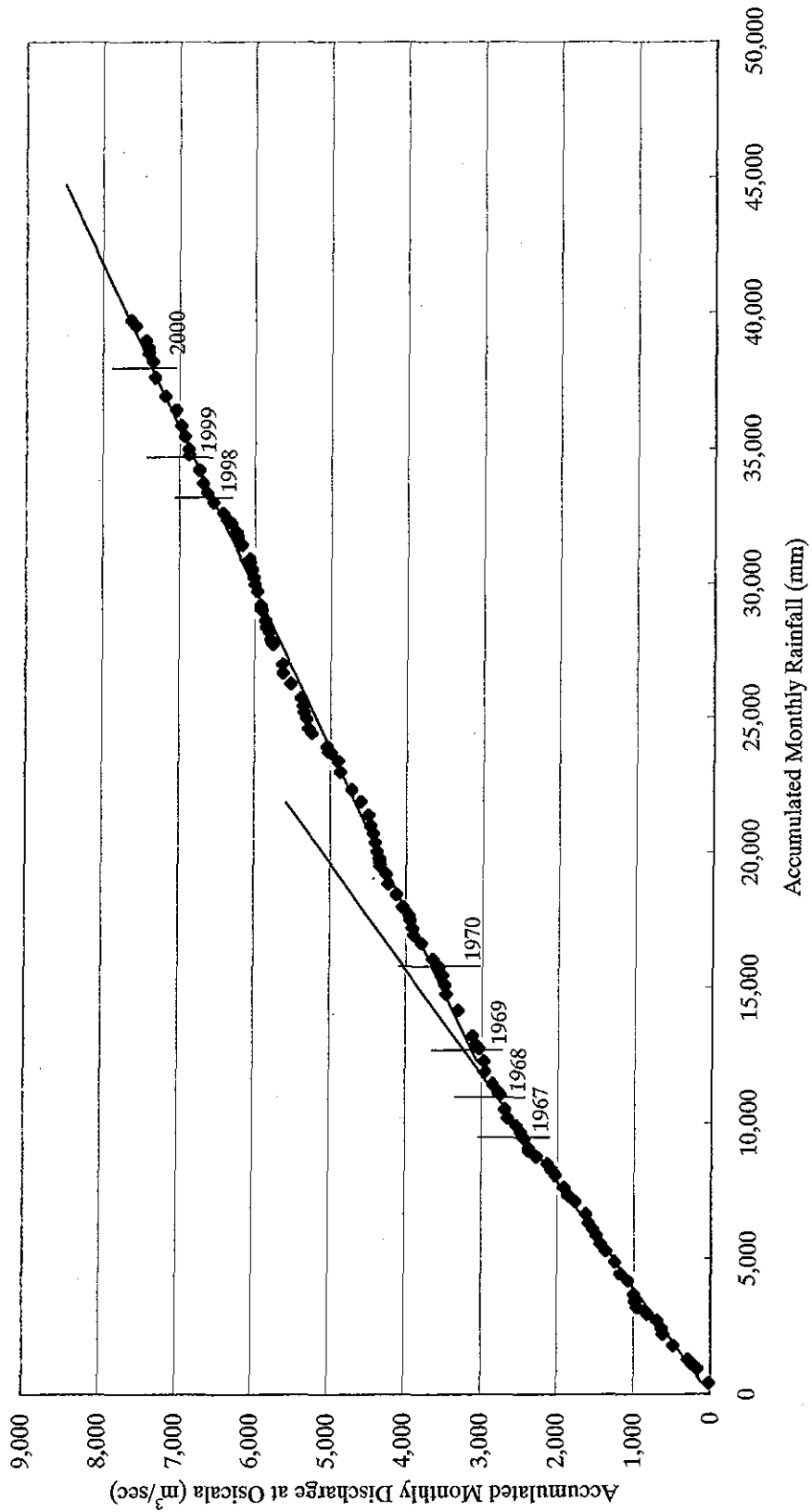


Fig. 6.9 Double Mass Curve between Rainfall and Discharge at Oscala

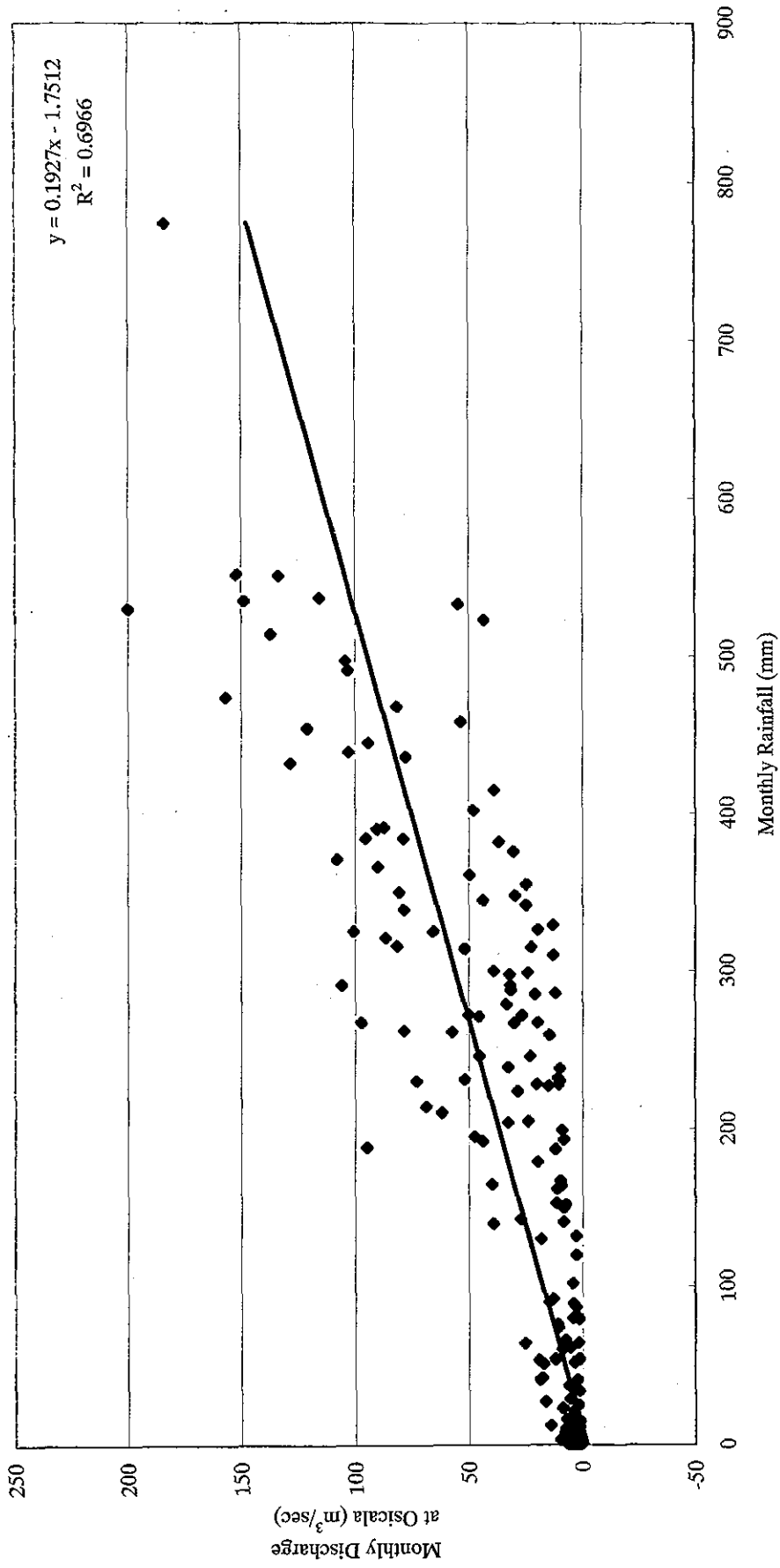


Fig. 6.10 Correlation between Rainfall and Discharge

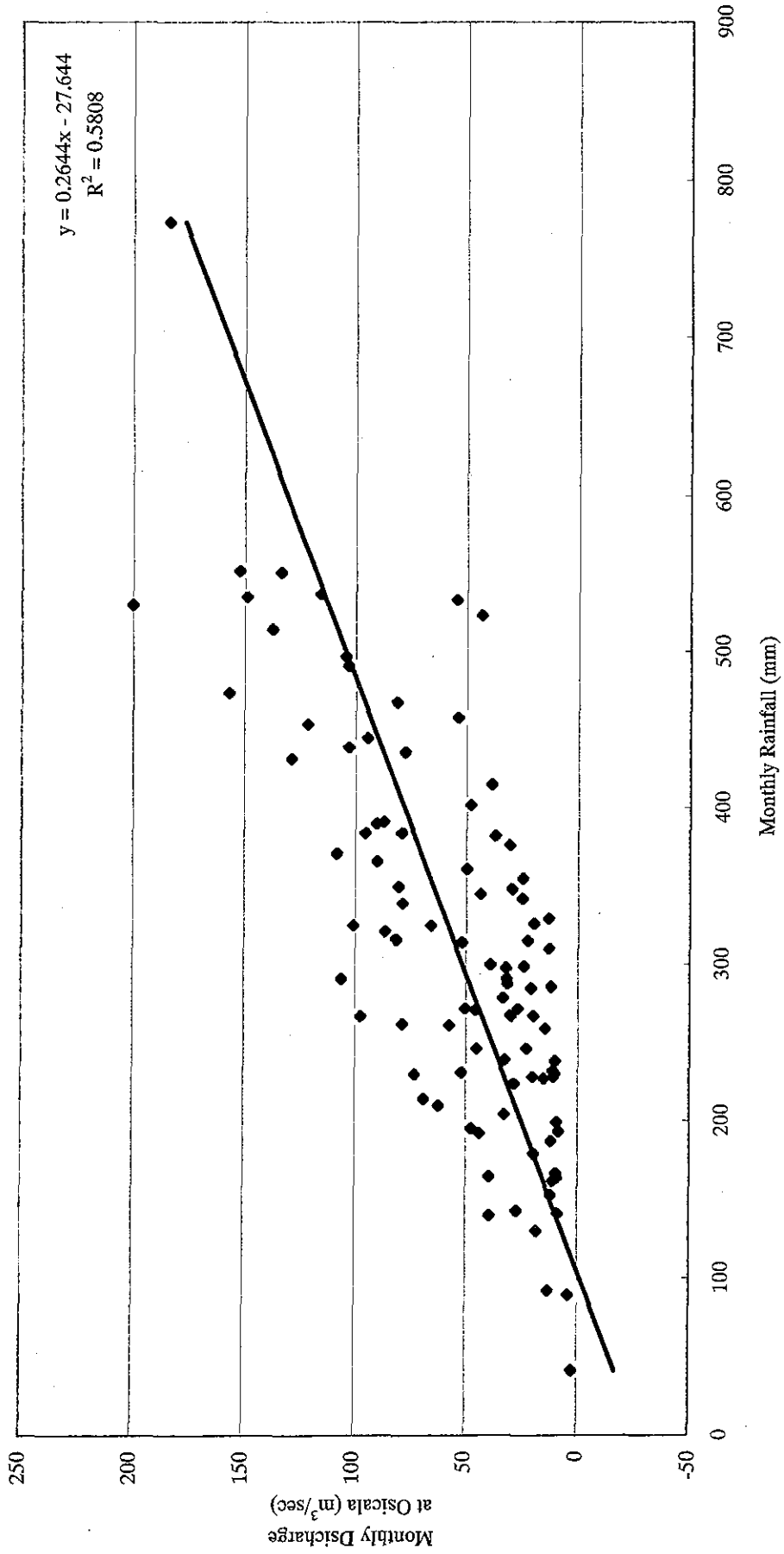


Fig. 6.11 Correlation between Rainfall and Discharge during Rainy Season

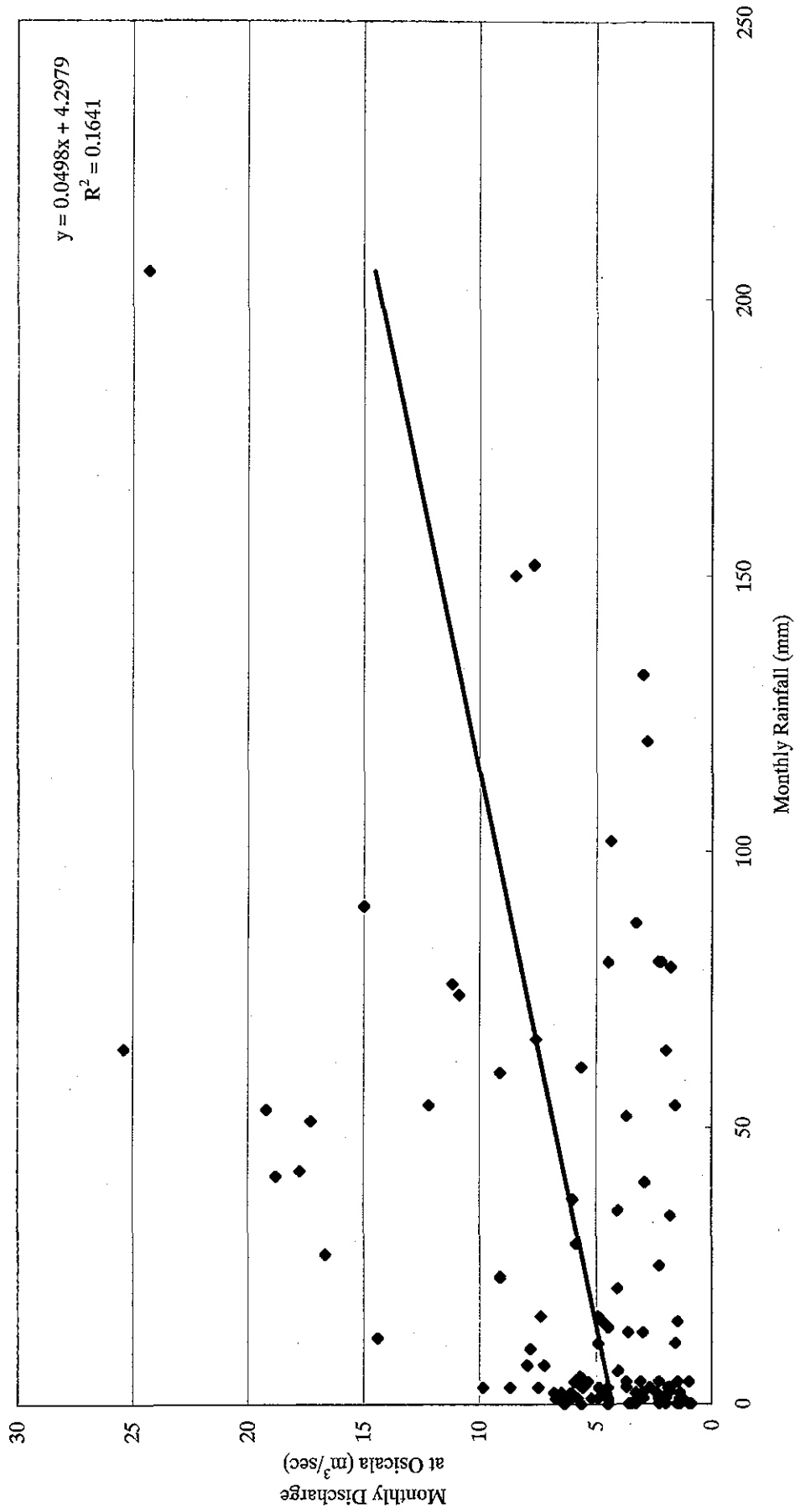


Fig. 6.12 Correlation between Rainfall and Discharge during Dry Season

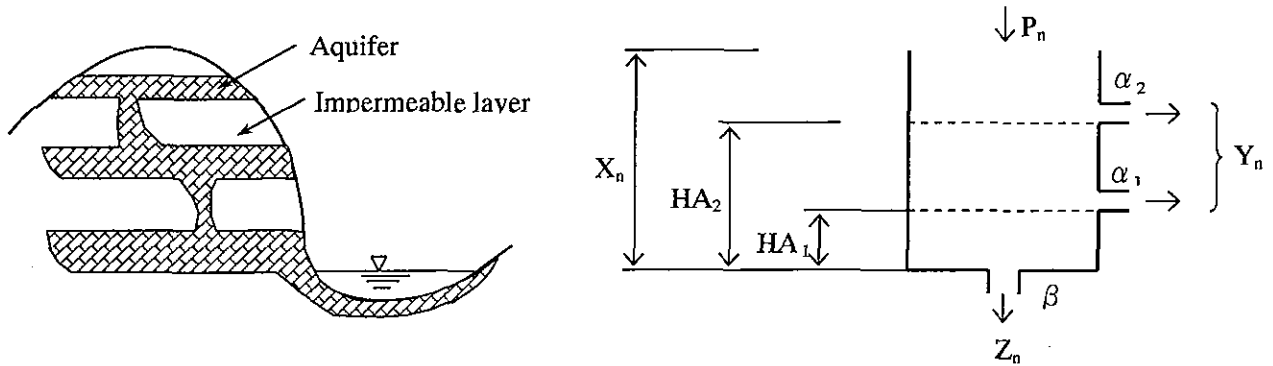


Fig. 6.13 Concept of Tank Model

The runoff amount and infiltration amount are acquired in the following equations.

$$Y_n = \begin{cases} 0 & \dots\dots\dots 0 \leq X_n \leq HA_1 \\ a_1 \times (X_n - HA_1) & \dots\dots\dots HA_1 < X_n \leq HA_2 \\ a_1 \times (X_n - HA_1) + a_2 \times (X_n - HA_2) & \dots\dots\dots HA_2 < X_n \end{cases}$$

$$Z_n = \beta \times X_n$$

$$0 < a_1, a_2$$

$$\beta < 1$$

where,

- a_1, a_2 : runoff coefficient (parameter of side outlets)
- β : infiltration coefficient (parameter of bottom outlet)
- HA_1, HA_2 : heights of the side outlets
- P_n : rainfall
- X_n : water storage volume
- Y_n : runoff amount from the side outlet
- Z_n : infiltration amount from the bottom outlet

Remainder X'_n in the tank is $X'_n = X_n - Y_n - Z_n$

The remaining balance of X_{n+1} at time $(n + 1)$ is expressed in the following equation;

$$X_{n+1} = X'_n + P_{n+1}$$

$$= X_n - Y_n - Z_n + P_{n+1}$$

The calculation is repeated in time series.

Fig. 6.14 Flow of Calculation by Tank Model

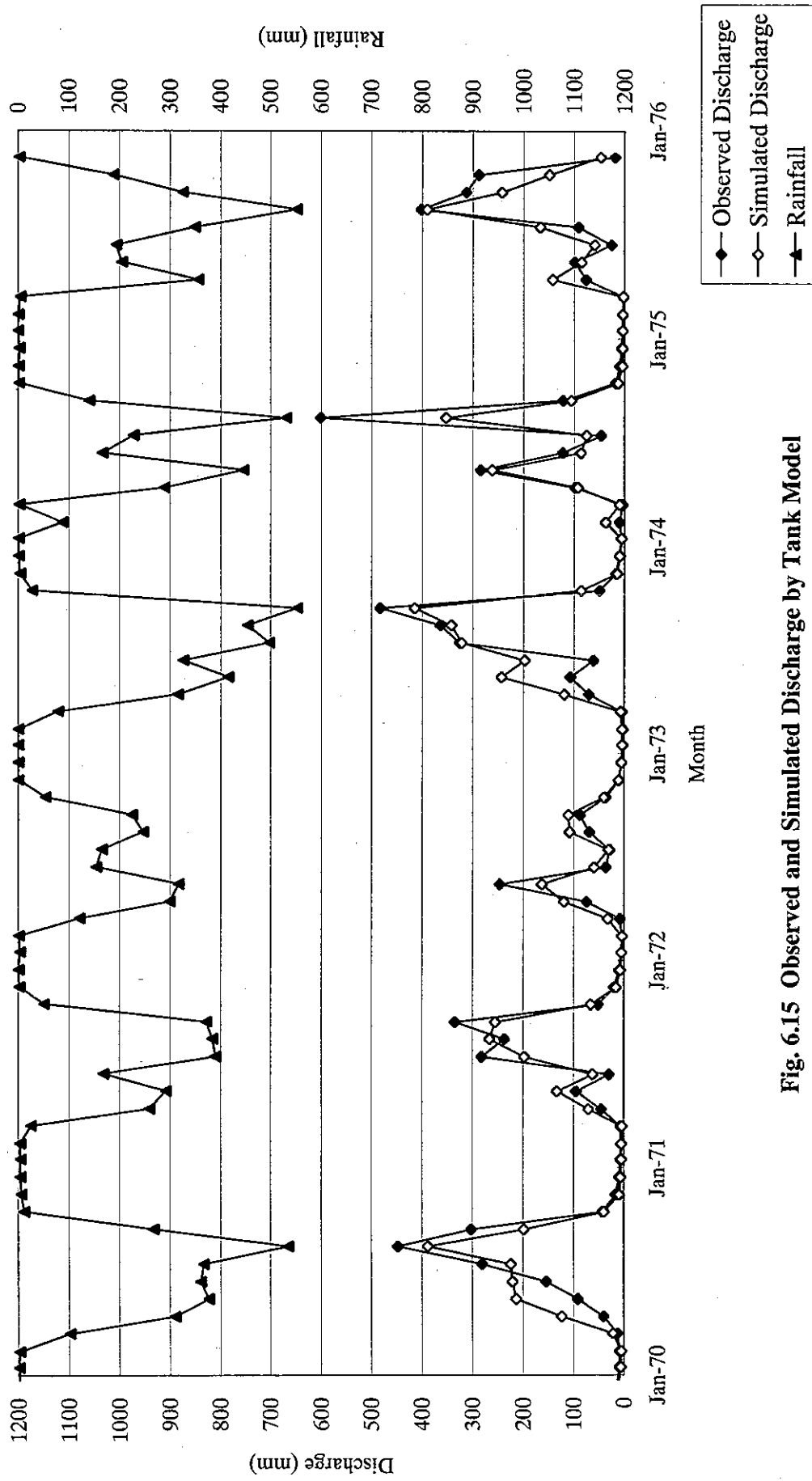


Fig. 6.15 Observed and Simulated Discharge by Tank Model

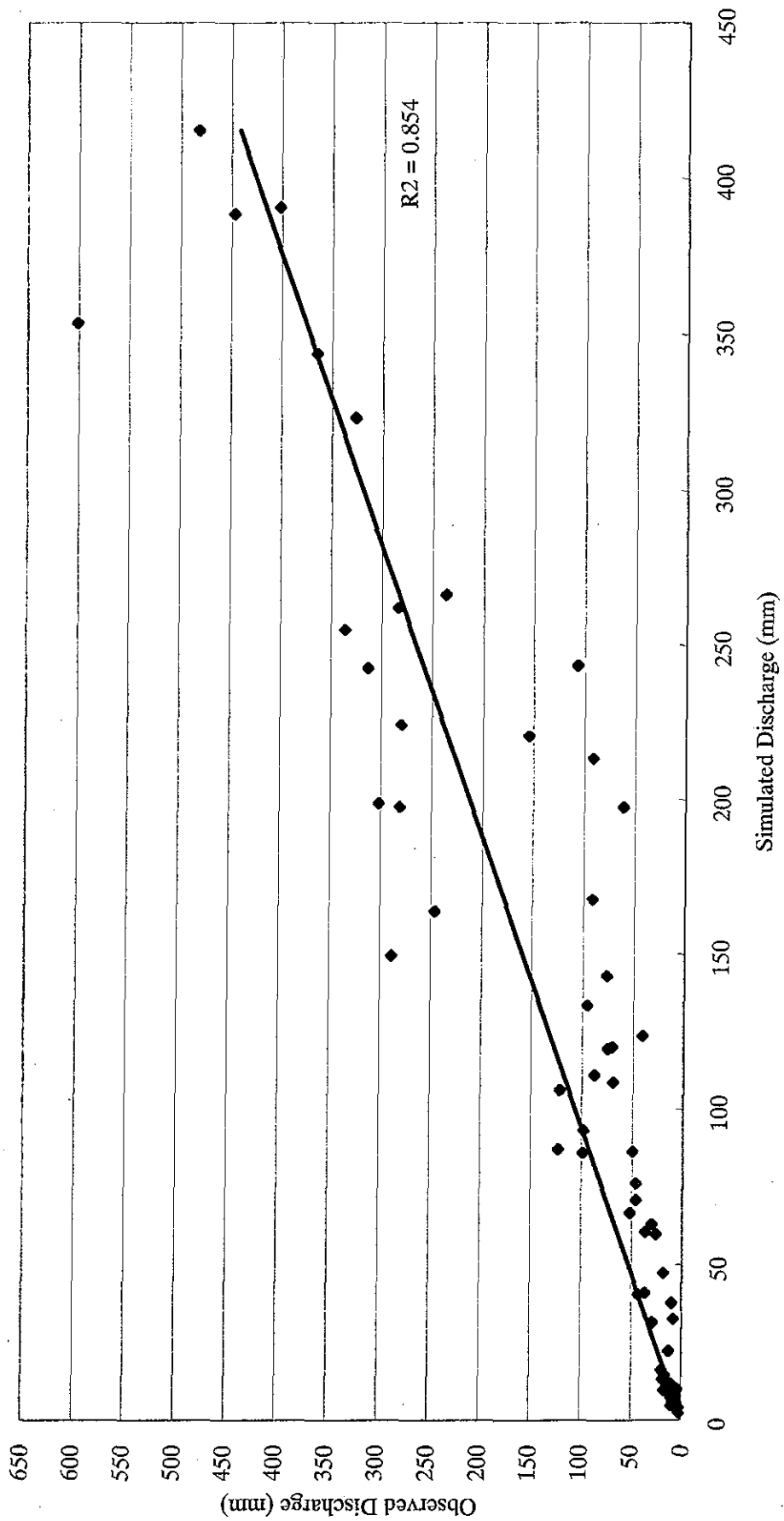


Fig. 6.16 Correlation between Observed and Simulated Discharge

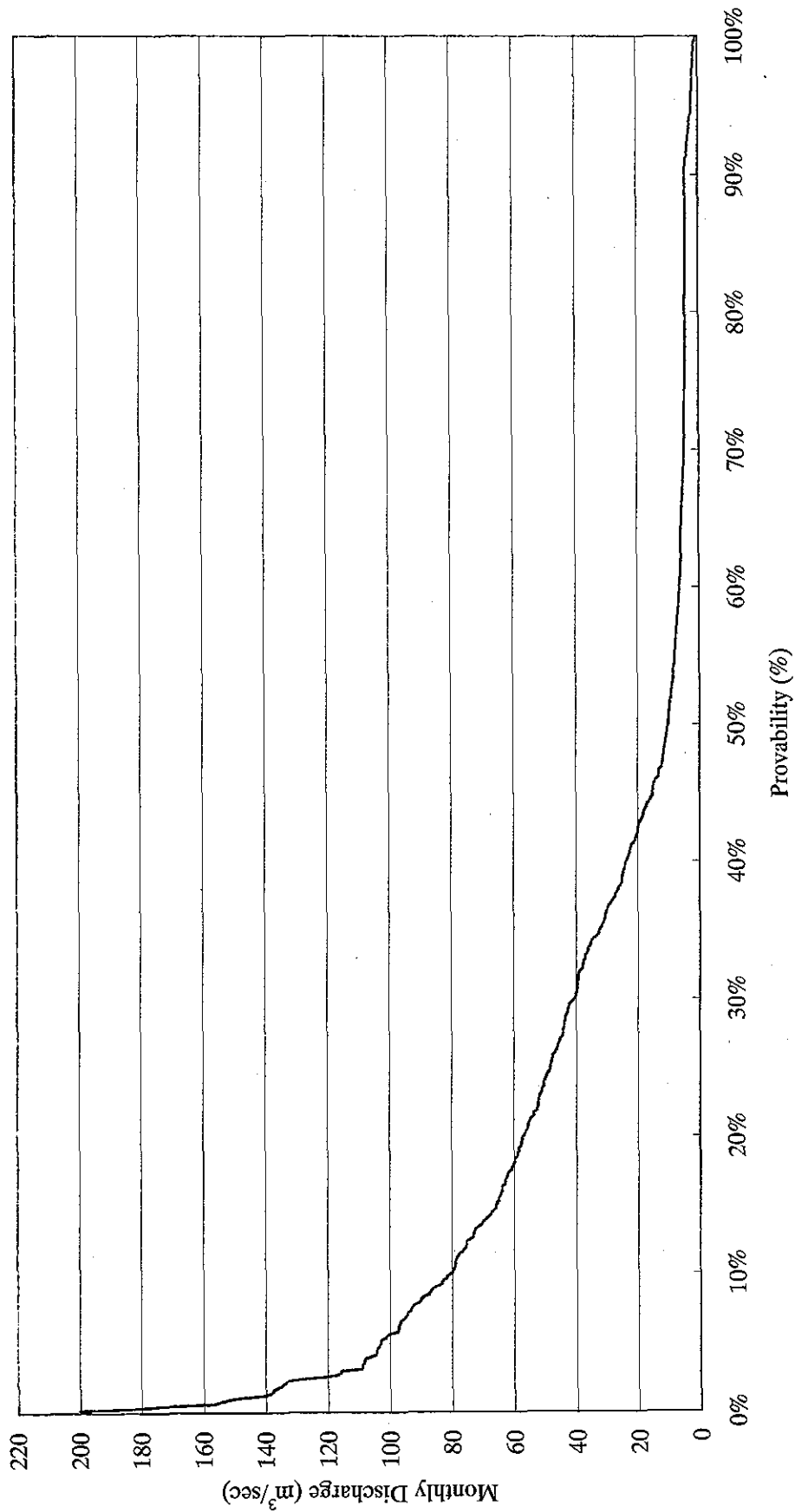


Fig. 6.17 Duration Curve at Oscala

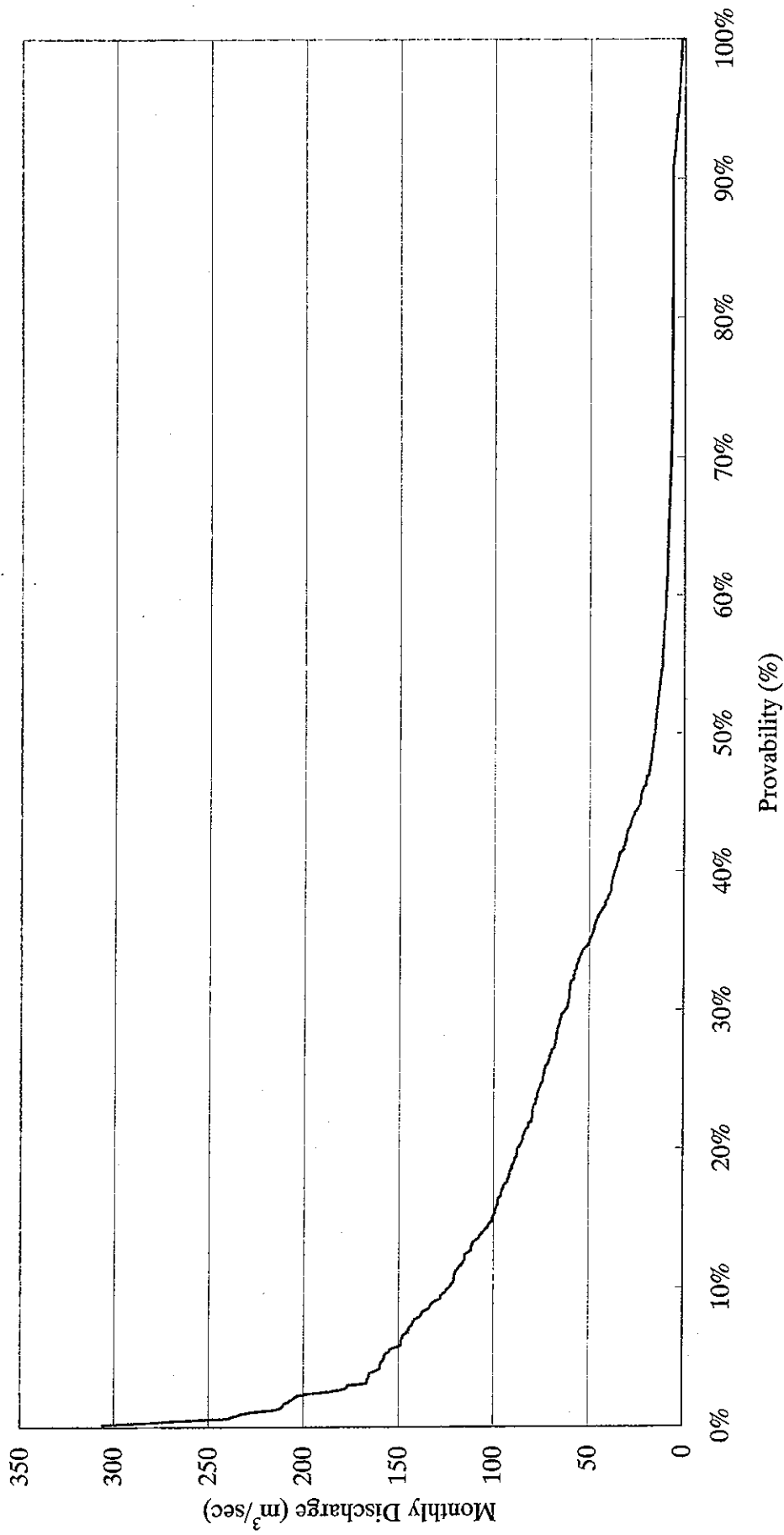


Fig. 6.18 Duration Curve at El Chaparral

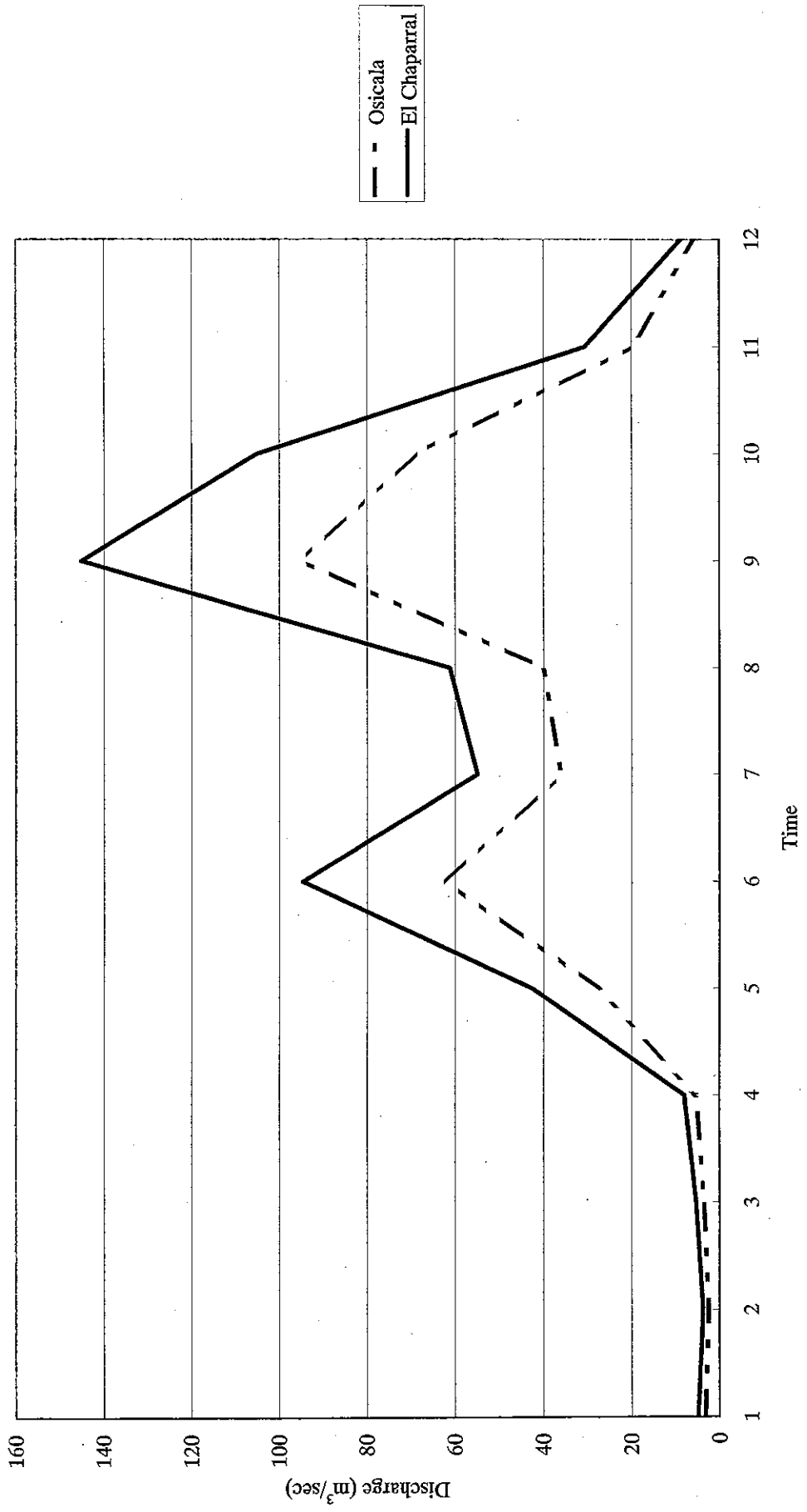


Fig.6.19 Mean Monthly Discharge

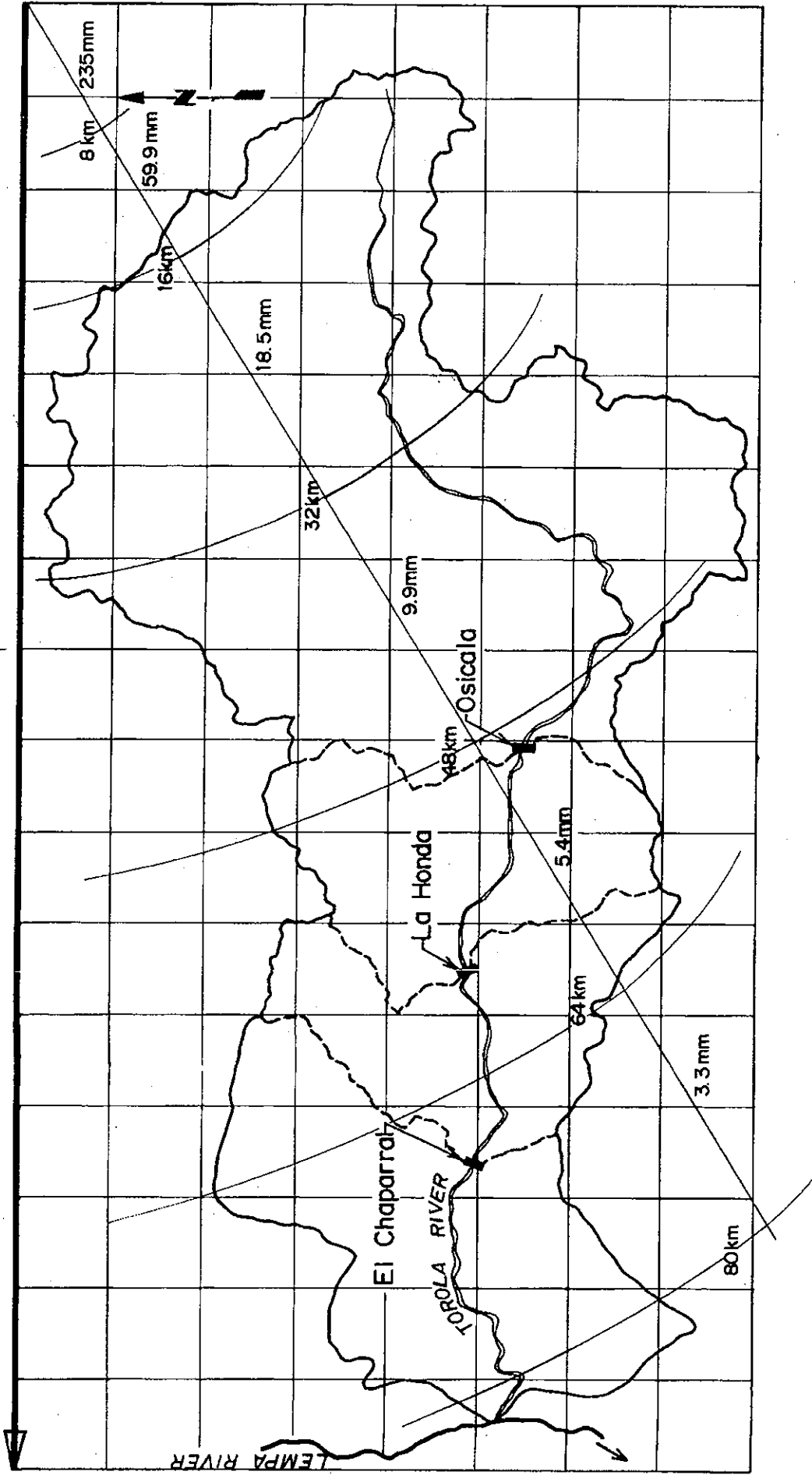


Fig. 6.20 Modeled Hurricane Route

251

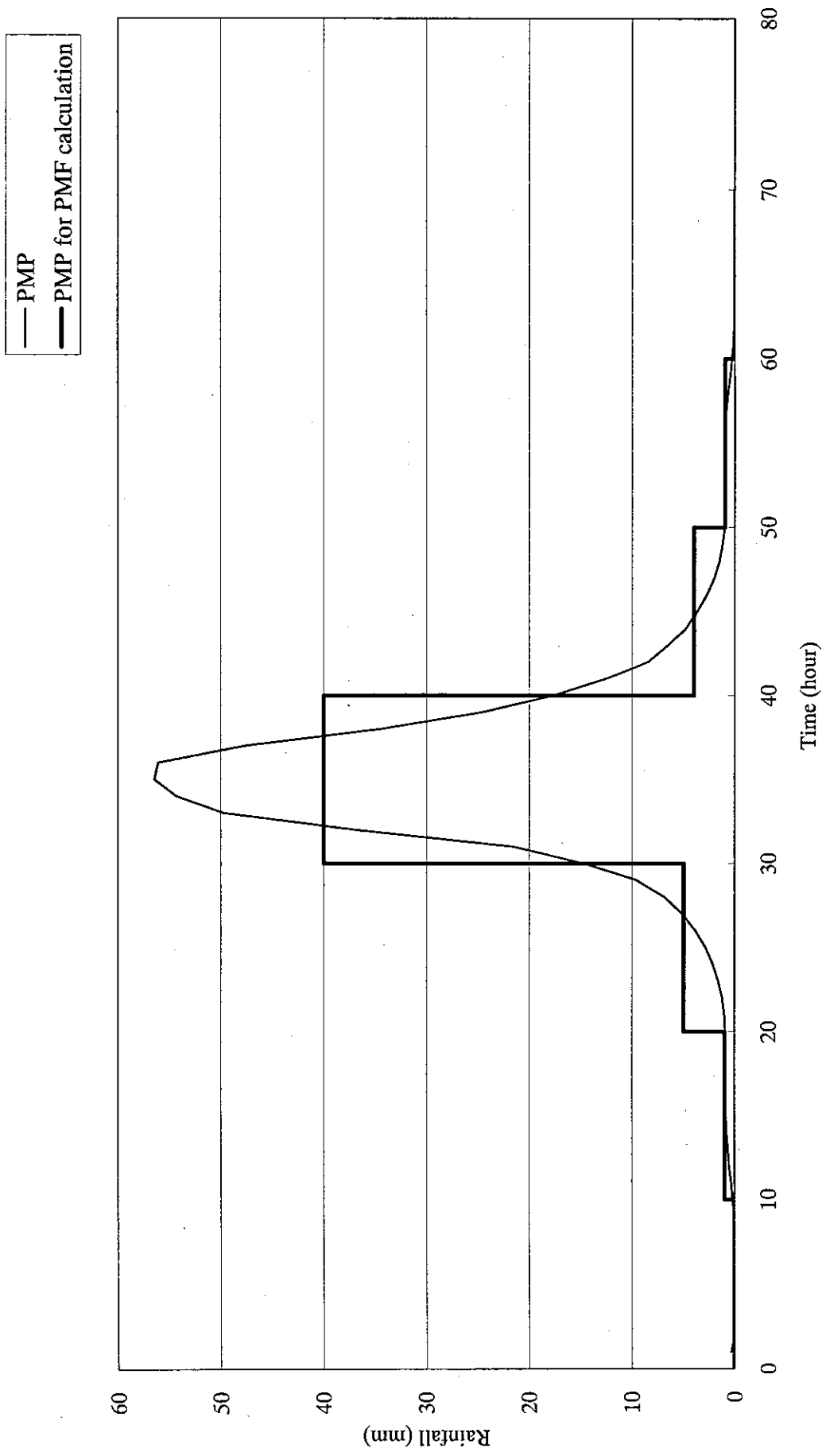


Fig. 6.21 PMP for El Chaparral

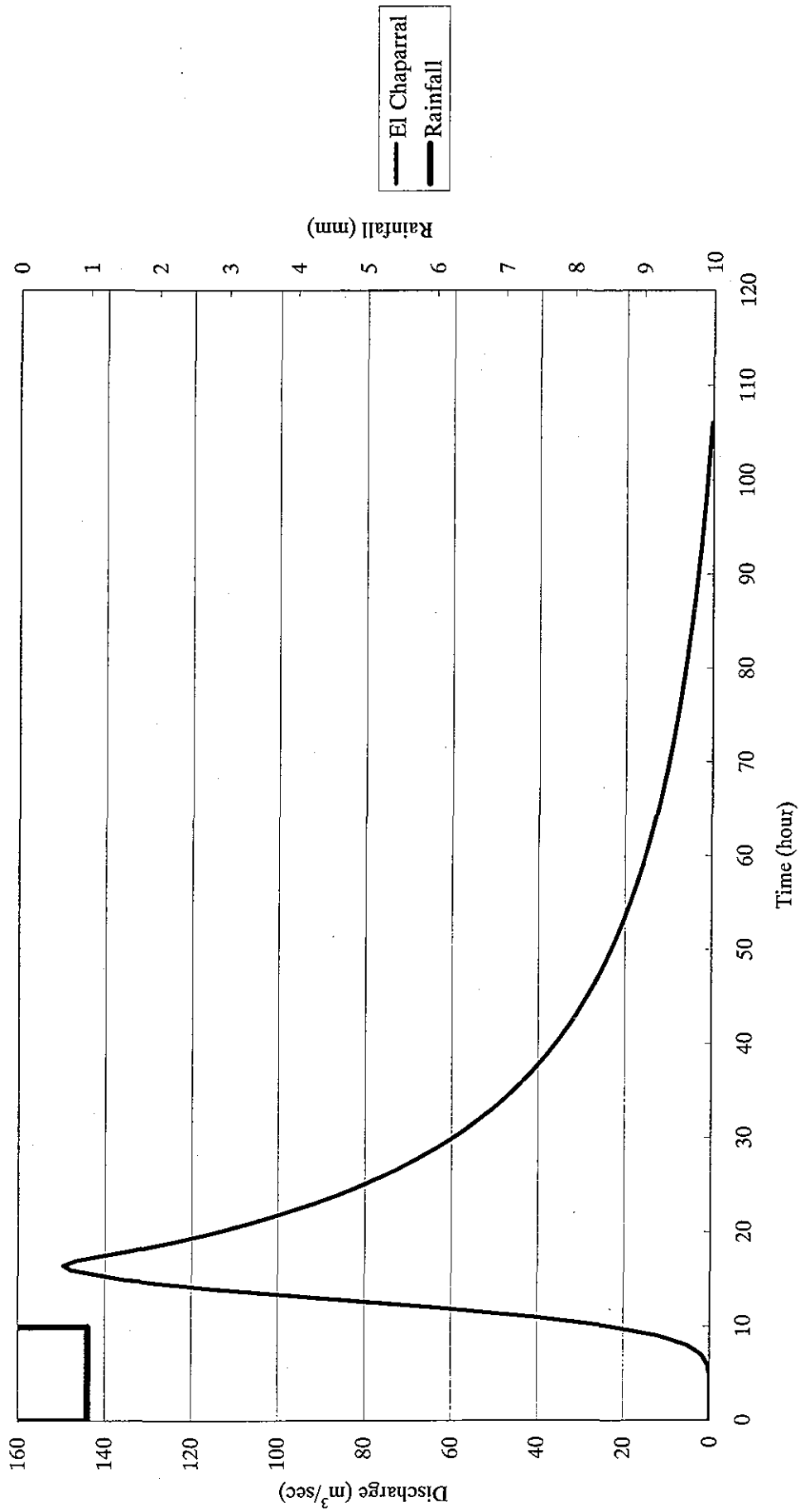


Fig. 6.22 Unit Hydrograph for El Chaparral

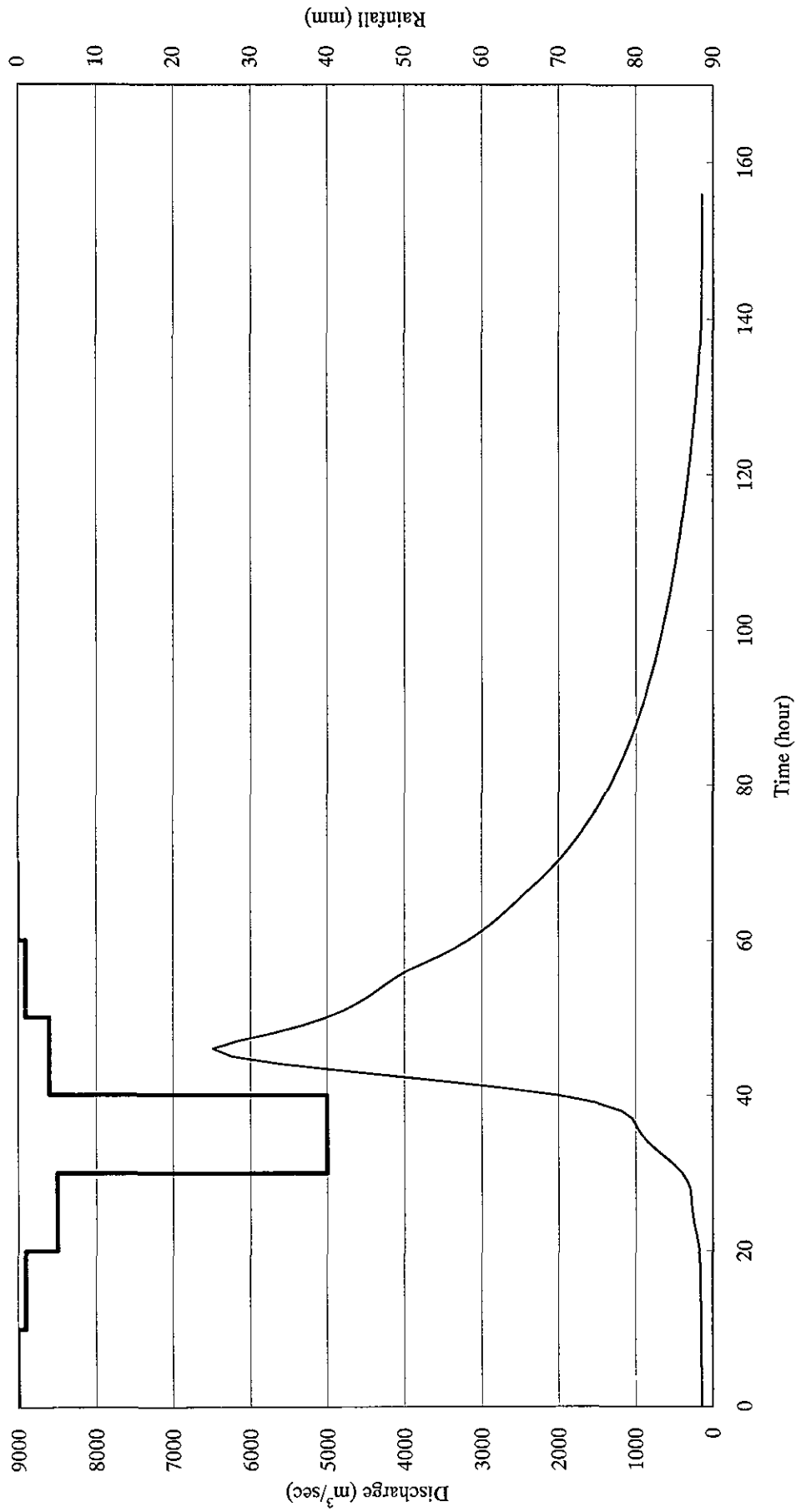


Fig. 6.23 PMP and PMF at El Chaparral

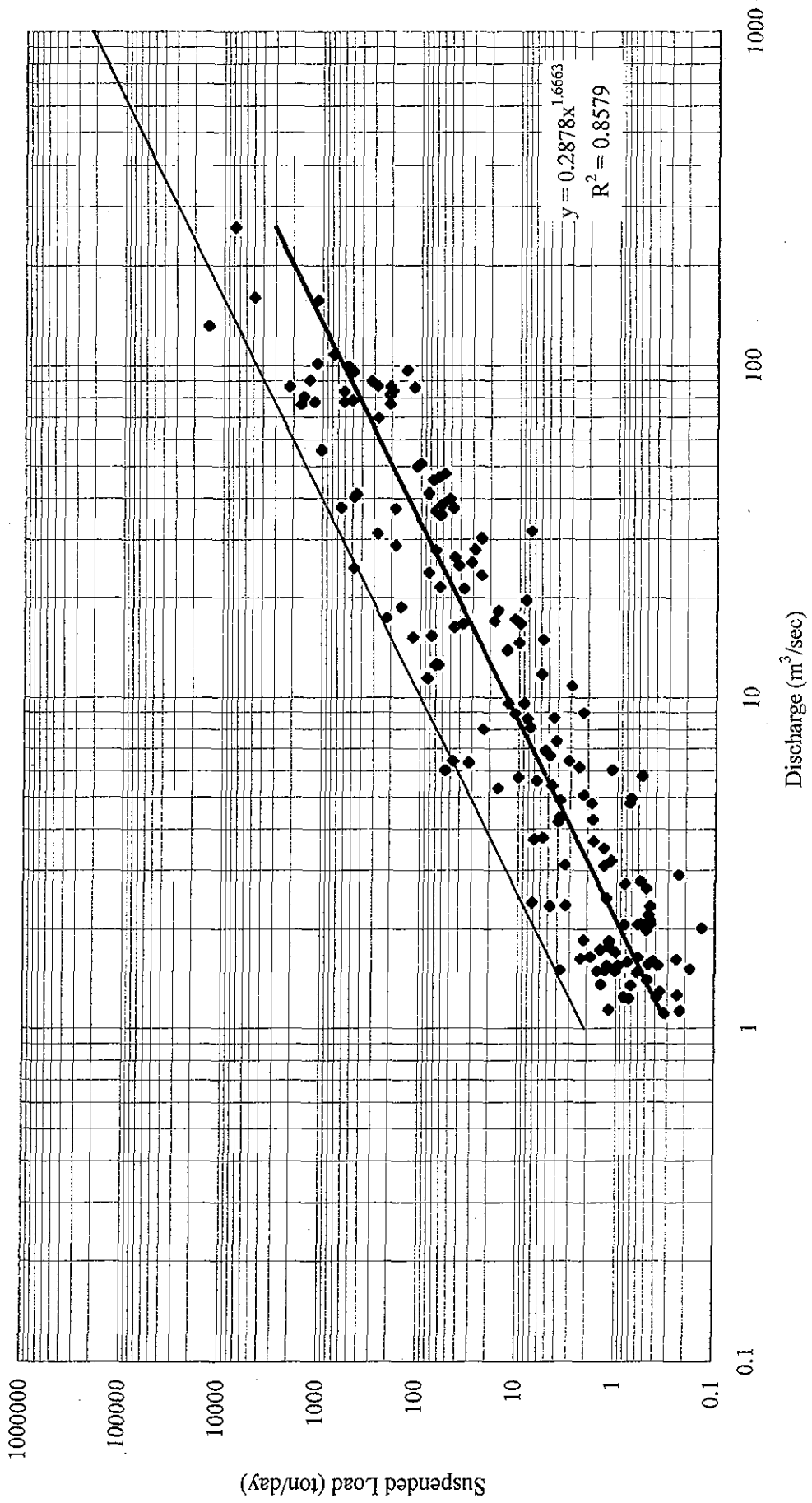


Fig. 6.24 Correlation between Suspended Load and Discharge at Osicala

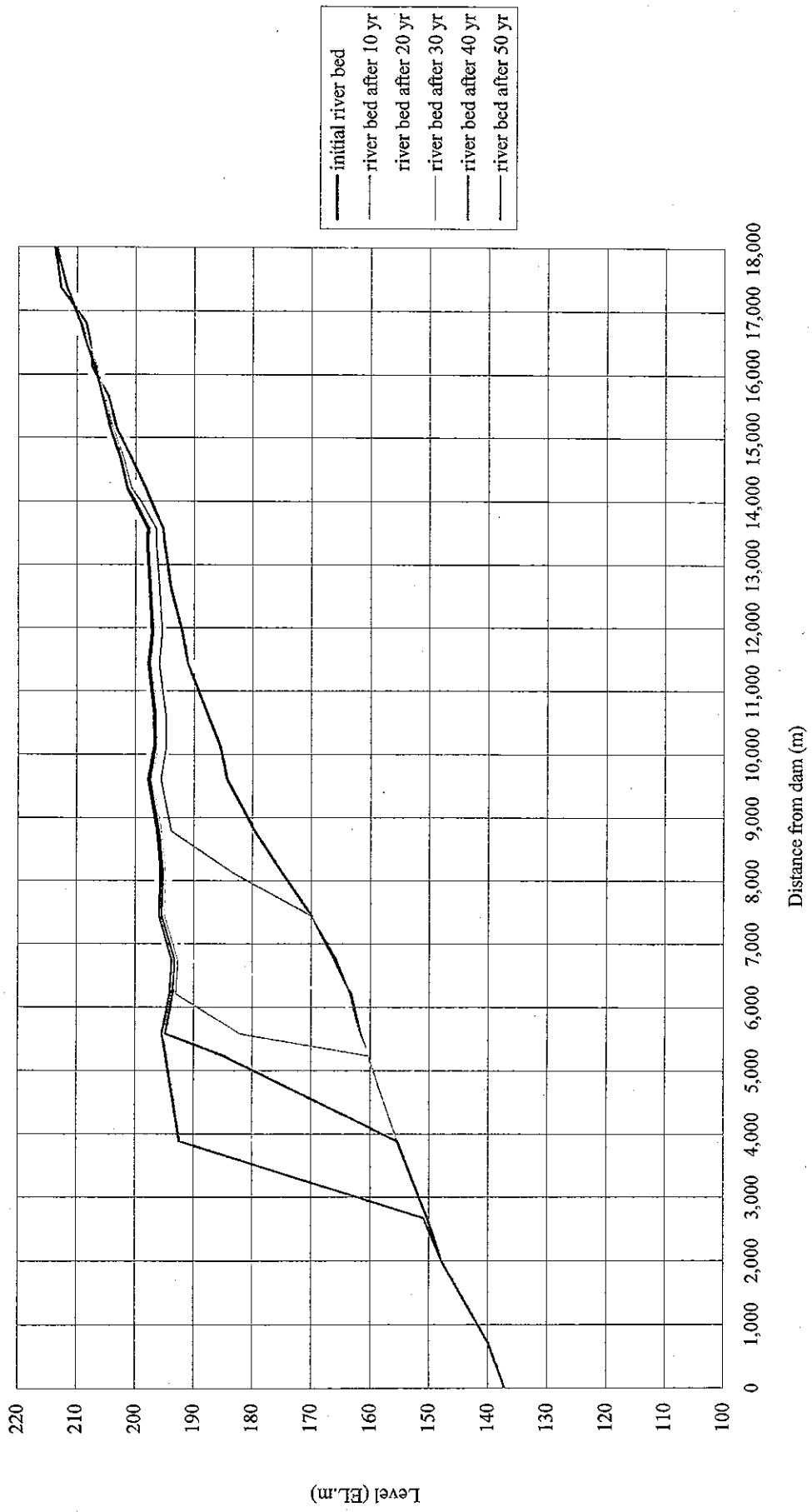


Fig. 6.25 Simulation of Sedimentation

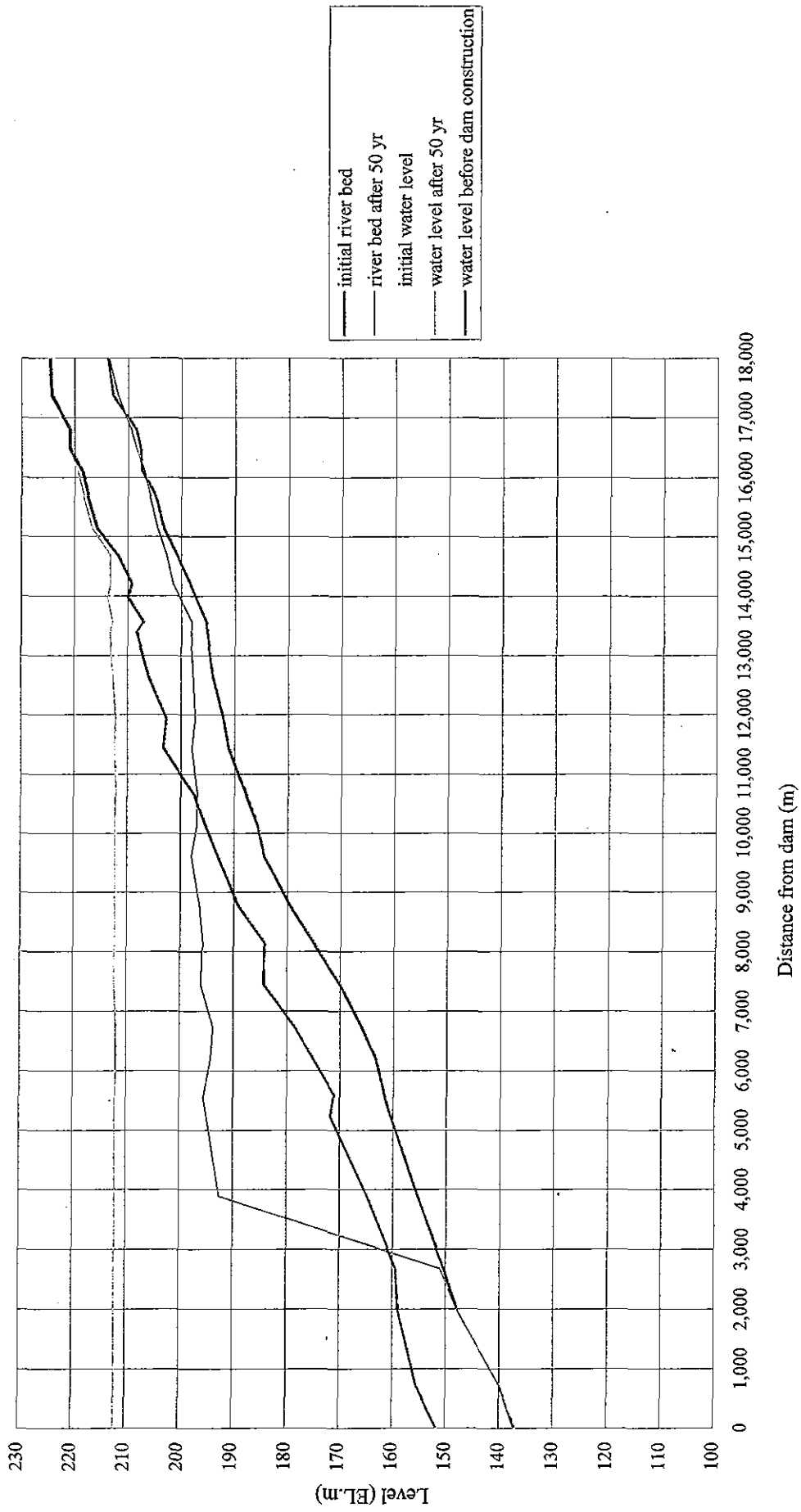


Fig. 6.26 Backwater Curve with a Flood Discharge ($Q_F=6,484 \text{ m}^3/\text{s}$)

7. 地 質

目次

7.	地質	7-1
7.1	計画地域の地質概要	7-1
7.2	調査工事	7-1
7.2.1	既往調査	7-1
7.2.2	FS の地質調査	7-2
7.3	エルチャパラル計画地域	7-6
7.3.1	貯水池地域	7-6
7.3.2	ダム地点	7-6
7.3.3	発電所	7-14
7.3.4	建設材料	7-15
7.4	ラオンダ計画地点	7-20

7. 地質

7.1 計画地域の地質概要

計画地域の地形に関しては、1/5 万地形図、1/33,000 空中写真により地形を判読し、一部を現地調査で確認している。

トロラ川流域はエルサルバドル国北東の山地に位置している。山地の標高は 500 m から 1,800 m で稜線や山腹斜面は一般に比較的なだらかである。

計画地域においてトロラ川は標高 150~300 m を蛇行しながらも概ね西に向かって流れている。水系には目立った方向性はないが左岸の Cacahuatique 山(標高 1,663 m)周辺では山頂から放射状の谷が発達している。本流は所々で V 字谷を形成するとともに、蛇行の攻撃斜面が急斜面になっている。本流沿いには、平地は少なく、洲が散在し、数段の段丘が断続している程度である。カロリナ付近では低いなだらかな丘陵地が広がり唯一小さな盆地状呈している。計画地域の山地にはなだらかな地形と急峻な地形が同居している。基本的になだらかな丘陵や谷は軟らかい岩石の分布を示し、急斜面や尾根は固い岩石の分布を示すものと思われる。急斜面はこのほかに最近侵食を激しく受けてきた場所にも認められる。前述の蛇行の攻撃斜面のほか、支谷や沢の下刻に伴って形成された V 字谷の斜面で、このような V 字谷は左岸の Cacahuatique 山の山腹に多い。また、山地斜面には地すべり性の地形が所々に認められる。

トロラ川流域には第三紀から第四紀の火山活動で形成された地層が分布している。第三紀の地層は下位から酸性ないし中性の Morazan 層、酸性の Chalatenango 層および塩基性ないし中性の Balsamo 層で、いずれも火山岩、火山砕屑岩から構成されている。Morazan 層はエルサルバドルで最も古い火山岩と言われている。第四紀の地層は Cuscatlan 層で酸性から塩基性にいたる火山岩、火山砕屑岩で構成されている。

計画地域は Morazan 層が最も広く分布している。Morazan 層は主に凝灰角礫岩や玄武岩から構成されている。(Fig 7.1)

Balsamo 層は Cacahuatique 山を主に構成している。

Cuscatlan 層は尾根部や斜面中腹に小規模に分散して分布している。

なおカロリナ付近の盆地には第四紀堆積物が分布している。

7.2 調査工事

7.2.1 既往調査

計画地域においては、1999 年にプレ FS 調査が実施されている。この調査はトロラ川の 7 つの水力地点を対象に Harza 社により実施されている。調査の概要は次のとおり。

- トロラ川流域の空中写真判読。成果としてリニアメント分布図が作成されている。
- 本計画に関連してエルチャパラル計画、カロリナ計画及びラオンダ計画の地質踏査、弾性波探査、骨材調査が実施されている。

弾性波探査の数量は次の通り。

Table 7.1 Seismic Prospecting in Pre FS Study

Project	Seismic Prospecting
El Chaparral	6 展開、780 m
Carolina	3 展開、455 m
La Honda	3 展開、405 m

骨材試験は立坑を掘削し試料を採取して実施されている。

試験項目は

粒度(C-117)、比重・吸水率、アッターベルグ限界、ロサンゼルス磨り減り減量(C-131)、安定性

7.2.2 FSの地質調査

(1) 概要

FSにおける調査は Table 7.2 の通り。位置を Fig.7.2 および Fig.7.3 に示す。

調査は Swissboring 社に再委託して 2001 年 10 月に開始され、2003 年 3 月に終了した。現地作業は道路の状態が悪化し、増水による渡河が困難になる雨季（5 月から 10 月）を避けて、乾季に実施された。

(2) 地質踏査

地質踏査はダム地点を対象に実施された。踏査には地形図（縮尺 1 : 1,000）を使用した。

(3) 弾性波探査

現地測定において観測には Geometrics Smartseis を用い、ハンマーにより起震し、10 m 測点間隔、個々の展開長 130 m で実施された。観測記録の解析は Rimrock Geophysics 社の S.I.P.Q.C. のプログラムを用いて現地で実施された。解析には多くの測線で 2 層モデルが採用された。その結果は速度層断面図に示されている。

(4) ボーリングおよび透水試験

ボーリングおよび透水試験で使用した器機は Table 7.3 に示すとおり。

Table 7.2 Quantity of Geological Investigation Work

Geological Mapping

Area	Quantity (km ²)
El Chaparral dam site	0.86

Seismic Prospecting

Area	Name of Prospecting Line	Quantity	
		(lines)	(m)
El Chaparral Dam Site	CBS-1		650
	CBS-2		260
	CBS-3		260
	CBS-4		260
	CBS-5		260
Subtotal		5	1690
Borrow Area	CGS-1		390
	CGS-2		130
	CGS-3		130
	CGS-4		130
	CGS-5		390
	CGS-6		130
	CGS-7		130
Subtotal		7	1430
TOTAL		12	3120

Core Drilling and Permeability Test

Area	Name of Drill Hole	Q'ty of Core Drilling		Q'ty of Permeability Test (section)
		(holes)	(m)	
El Chapparal Dam Site	CDB-1		70	14
	CDB-2		60	10
	CDB-3		50	6
	CDB-4		80	9
	CDB-5		70	11
	CDB-6		70	8
	CDB-7		50	8
	CDB-8		50	2
Subtotal		8	500	68
Borrow Area	CGB-1		10	
	CGB-2		10	
	CGB-3		1.7	
	CGB-4		10	
	CGB-5		10	
Subtotal		5	41.7	
TOTAL		13	541.7	68

Laboratory Tests

Excavation and Tests		Quantity	ASTM Standard
Excavation	Pit (each 3 m deep)	6 pits	
	Rock	1 place	
Concrete Aggregates Test	Samples obtained from Outcrops	1 set	C127, C131, C535, C88, D2938, C295, C289, C227
Concrete Aggregates Test	Samples obtained from River Floors	6 sets	C127, C128, C131, C535, C88, C136, C142 etc.
Intact Rock Core Test		13 sets	D2938
Petrological Analysis	Microscopic Observation	5 samples	
	X-Ray Diffraction	5 samples	

Table 7.3 Equipment of Core Boring and Permeability Test

Investigation Work	Equipment	Popular Name	Specification
Core boring	Boring machine	Longyear 34	Drilling capacity 275 m with HQ
	Pump	FMC535	Flow rate of 135 l/min at 500 psi
	Rod and core barrel		HQ and NQ
	Bit and reamer		HQ and NQ
	Casing and casing shoe		HW and NW
Permeability test	Flowmeter and pressure gage		
	Air compressor	Aerosub-plus	6000 psi compressor and 3 air bottle of 2500 psi
	Packer		HQ pneumatic packers

ボーリングはダム地点および骨材採取地域で実施され、透水試験はダム地点で実施された。掘削口径はNQで採取されたコアの径は47.6 mmである。

ダム地点の右岸の2孔（CDB-5およびCDB-6）については、透水試験が十分実施されなかったため、それらの約5 m 脇で再削孔（CDB-5A および 6A）が実施され透水試験が実施されている。

採取されたボーリングコアは、木製のコア箱に収納され、ボーリングコア写真撮影、ボーリング柱状図作成が実施された。ボーリング柱状図にはコア採取率、RQD、ルジオン値、地質記載、岩盤区分が示されている。岩盤区分は Table 7.4 に示す基準で分類がされている。

Table 7.4 Standard of Rock Classification of J-Power for Drilled Core

CLASS	WEATHERING	HARDNESS	CRACK SPACING
1	Very fresh. No weathering of mineral component.	Very hard. Broken into knife-edged pieces by strong hammer blow.	over 30 cm
2	Fresh. Some minerals are weathered slightly. Usually, no brown crack.	Hard. Broken into pieces by strong hammer blow.	10 to 30 cm
3	Fairly fresh. Some minerals are weathered. Cracks are stained and with weathered mineral.	Brittle. Broken into pieces by medium hammer blow.	5 to 10 cm
4	Weathered. Fresh portions still remain partially.	Very brittle. Easily broken into pieces by slight hammer blow.	1 to 5 cm
5	Strongly weathered. Most of minerals are weathered and altered to secondary minerals.	Soft. Able to dig with hammer.	under 1 cm

なお、削孔終了後ボーリング孔は坑口の保護が実施され、水位観測が CEL により継続されている。

(5) 室内試験

室内試験としてはダム地点の岩石の物性および鉱物学的特徴の把握のための試験・分析がボーリングコア試料を用いて実施された。また、コンクリート骨材の品質を把握するための試験が、ダム地点付近の露頭から採取した玄武岩試料、骨材採取地域立坑で採取した河床砂礫試料を用いて実施された。(Table 7.5)

Table 7.5 Sample and Test Method of Laboratory Test

Location	Sample	Item	ASTM
Physical Property and Petrology	Boring core at dam site	Density	D2938
		Unconfined compression strength	D2938
		Microscopic observation	
		X-ray diffraction	
Quality of Concrete Aggregate	Basalt at the vicinity of dam site	Density	D2938
		Unconfined compression strength	D2938
		Soundness (Na ₂ SO ₄)	C88
		Abrasion	C131, C535,
		Alkali aggregate reaction	C289, C295, C227
		Dry Density	C127,
		Absorption	C127,
	River deposits in borrow area	Particle Size Distribution	C136
		Clay Lumps and Friable Particle	C142, C123
		Soundness (Na ₂ SO ₄)	C88
	Abrasion	C131, C535	
	Dry Density	C127, C128	
	Absorption	C127, C128	

7.3 エルチャパラル計画地域

7.3.1 貯水池地域

(1) 地質

エルチャパラルダム の 湛 水 地 域 に は、 本 流 に 近 接 し た 高 い 山 が 無 く な だ ら かな 斜 面 が 多 い。こ の 地 域 は 主 に 第 三 紀 の Morazan 層 と こ れ を 覆 う 第 四 紀 の 堆 積 物 か ら 構 成 さ れ て い る。(Fig.7.1)

Morazan 層 は 玄 武 岩 お よ び 凝 灰 岩 を 主 体 と し て い る。玄 武 岩 は ダ ム 地 点 の 調 査 の 結 果 明 ら か に さ れ た よ う に、溶 岩 が 固 ま っ て 出 来 た 岩 石 で、堅 硬 な 部 分 と や や 脆 い 部 分 が 混 在 す る。割 れ 目 が 発 達 し 一 般 に 透 水 性 が 高 い。貯 水 池 地 域 で ト ロ ラ 川 沿 い に 峽 谷 部 や 急 斜 面 を 形 成 す る 部 分 に は こ の 玄 武 岩 か ら 構 成 さ れ て い る と 思 わ れ る。

凝 灰 岩 は 火 山 灰 お よ び 火 山 礫、火 山 岩 塊 か ら 出 来 て い る 岩 石 で、や や 軟 ら か い が 一 般 に 割 れ 目 が 少 な く 塊 状 で あ る。火 山 礫、火 山 岩 塊 を 含 ま な い も の は 風 化 に よ り 軟 質 化 し 易 い。

(2) 保水性

湛 水 地 域 は、ト ロ ラ 川 の 谷 底 部 湛 水 す る も の で、隣 接 流 域 と は 幅 広 い 尾 根 や 山 体 で 隔 て ら れ て い る。そ こ を 流 れ る 大 き な 沢 に は 計 画 満 水 位 以 上 の 標 高 ま で 年 間 通 して 流 水 が あ り、地 下 水 位 が 高 く 貯 水 池 の 保 水 性 を 証 明 し て い る。ダ ム に 近 接 す る 部 分 で は 尾 根 幅 が 狭 く な る が 左 岸 で ダ ム よ り 約 1300 m、左 岸 で ダ ム よ り 約 700 m の 位 置 に 湧 水 や 表 流 水 が 満 水 位 よ り 高 い 位 置 に 確 認 さ れ て い る。

(3) 周辺斜面

湛 水 地 域 を 取 り 囲 む 斜 面 は な だ ら かな と こ ろ が 多 い。地 す べ り 地 形 や、厚 い 崖 錐 を 示 す 地 形 は な く、湛 水 に 伴 っ て 不 安 定 化 す る 恐 れ の あ る 斜 面 は 認 め ら れ な い。(Fig.7.4)

(4) その他

湛 水 地 域 に は 温 泉 が 知 ら れ て い る。こ れ は カ ロ リ ナ 市 街 か ら 約 2 km NNW の ト ロ ラ 川 河 床 に 噴 出 す る も の で、温 度 は 80~100°C、主 成 分 は Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、お よ び SiO_2 で あ る (CEL、1996)。

活 断 層 は 一 般 に 第 四 紀 後 期 に 数 千 年 お き に 動 き、断 層 活 動 に よ っ て 形 成 さ れ た 地 形 を 伴 っ て い る。計 画 地 域 の 空 中 写 真 判 読 で は そ の よ う な 地 形 は 検 出 さ れ て い な い。

7.3.2 ダム地点

(1) 地形および地質

エルチャパラルダム 地 点 は、長 さ 約 1.5 km の 直 線 的 な 峽 谷 に 位 置 す る。河 床 の 幅 は 幅 約 30 m。標 高 180 m 付 近 に は 断 続 的 に 段 丘 が あ り 緩 傾 斜 を 示 し て い る。河 床 か ら 段

丘の高度までの斜面は急傾斜で急崖を成す部分もある。段丘の背後の斜面は傾斜がやや緩くなっている。左岸はトロラ川から 200 ないし 400 m に距離では標高 250 m を越える。これに反し右岸はトロラ川から 150 m 以内で標高 200 ないし 240 m の 3 つの低い尾根に達するが、それらの尾根は鞍部を伴い、トロラ川から 400 m ないし 600 m の位置までそれ以上に高くない。その位置から標高 300 m 以上の山体に向かって高度を順調にあげ始める。

El Chaparral ダム地点は、直線的な峡谷の下流側に位置している。右岸 3 つの低い尾根のうち最下流のもので、高度を上げ始める位置は川から約 400 m 離れた 2 つ目の鞍部(標高約 220 m)で、この位置は 3 つの尾根の中では最も川に近い。

ダム地点左岸は標高 185 m 付近に段丘があり、河床からここまでの斜面は平均 70°と急傾斜である。段丘は 5~20°と緩傾斜で、背後の斜面は 30°前後となっている。ダム地点右岸には段丘は無く、河床から標高 220 m 付近まで平均傾斜約 40°の斜面となっている。

標高 230 m 弱で尾根筋に達するが、この尾根は川から約 500 m 離れた位置まで高度を上げておらず、標高約 225 m と 220 m の 2 つの鞍部がある。

ダム地点の地質は Morazan 層の玄武岩及び凝灰角礫岩、凝灰岩から構成されている。(Fig.7.5、Fig.7.6 および Fig.7.7)

玄武岩は 2 つに区別される。一つは暗灰色を呈し堅硬で、もう一つは赤味がかってやや脆い。顕微鏡鑑定では前者は斜長石と輝石を主体とし、後者は斜長石と黒雲母を主体としている (Table 7.6)。成層した暗灰色の溶岩に赤灰色の部分が挟まっているのがダム右岸の急崖で観察される。河床の露頭やコアの観察では両者が互いに漸移していることから、両者はいずれも陸上で固まった玄武岩溶岩でありその一部が空気に触れて赤く変色し脆くなったものと思われる。また、集塊岩の様相を示すものもある。これは凝灰角礫岩と溶岩の中間的なものと考えられる (地質断面図中の柱状図に集塊岩様溶岩として区別)。この集塊岩様溶岩は通常の溶岩の下に分布しているようである。

Table 7.6 Petrography of Basalt at El Chaparral dam site

Lithology	Drillhole	Depth (m)		Petrography
		from	to	
Basalt: reddish grey:	CDB1	50.34	50.45	Andesite: plagioclase, biotite, (chlorite)
Basalt: Dark grey	CDB2	47.10	47.20	Basalt: plagioclase, pyroxine, (chlorite)
	CDB4	39.00	39.09	Basalt: plagioclase, pyroxine, olivine

凝灰岩は細粒凝灰岩から火山礫凝灰岩で、色は赤灰色、黄灰色、緑灰色等を示す。厚さは 5 m 以下が多いが 18 m 以上のものもある。厚いものは葉理あるいは層理が認めら

れる。火山礫凝灰岩を伴う凝灰岩は CDB-5A 及び CDB-6A に認められ、これらが連続するものと見なした。これはダム下流右岸の斜面基部に露出している火山礫凝灰岩を伴う凝灰岩に連続していると思われる。前述の集塊岩様溶岩はこの凝灰岩の下に分布している。

ダム地点付近の玄武岩及び凝灰岩は凝灰岩の連続を考えると左岸側に 10°前後傾斜していることになる。ただしダム下流右岸斜面基部の凝灰岩が対岸の左岸に分布していないことは、この凝灰岩が平板状ではなく、ところどころで変形したり変位している事を示している。この凝灰岩以外にも数枚の凝灰岩が確認されているが、ボーリング間でその連続性を確認するのは難しい。CDB-5A や CDB-6A はごく近傍にボーリング孔があるが、それらの間でも凝灰岩の厚さが変化したりその深度が異なっている。その原因を断層に求めることは妥当かも知れないが、元来連続性に乏しいことを示すとも考えられる。

表層堆積物には河床堆積物、段丘堆積物及び崖錐堆積物がある。ボーリングで確認されている表層堆積物の厚さを Table 7.7 に示す。

河床砂礫は円礫及び砂から構成されているが、ダム地点付近の河床には露岩が多く、分布が限られている。段丘堆積物は右岸上流の道路法面に露出している。円礫を含む砂礫である。ダム地点では CDB-2 孔で 7.75 m まで確認されている。崖錐堆積物は河床脇の斜面基部に分布し、そこを掘削した CDB-3 孔では 4.8 m の堆積物が確認されている。やや厚い崖錐堆積物は上述の段丘からその背後の斜面にも分布している。また、斜面の沢を埋めて分布している。そのほかの斜面では崖錐堆積物は薄い(CDB-4, 7 でそれぞれ 1.25 m, 1 m)。右岸の尾根付近はなだらかな起伏を示すが、道路法面の観察からは風化岩が多く堆積物は薄い。右岸の鞍部で掘削されたボーリング孔(CDB-5A および 6A)では厚い土砂状のコアが採取されているが、これは堆積物ではなく、風化残留土あるいは強風化岩盤であり、表層堆積物は薄いと判断される。

Table 7.7 Thickness of Surface Deposits

Name of Drillhole	Location	Elevation (m)	Length (m)	Surface Deposits	
				Kind of deposits	Thickness in m
CDB-1	Left bank	208.84	70.0	Talus deposit	2.05
CDB-2	Left bank	183.95	60.0	Talus and Terrace d.	7.75
CDB-3	River bed	136	50.0	Talus deposit	4.8
CDB-4	Right bank	222.45	80.0	Talus deposit	1.25
CDB-5	Right bank	225.45	70.0	Residual soil	7.5
CDB-6	Right bank	220.48	70.0	Residual soil	13.5
CDB-7	Left bank	184.06	50.0	Talus deposit	7.95
CDB-8	Right bank	204.33	50.0	Talus deposit	1

ダム地点付近でトロラ川は、約 1.3 km にわたり直線的に N30°W 方向に流れている。これをプレ FS ではリニアメントと認定し断層の可能性を示唆している。ダム下流右岸の凝灰岩が左岸に連続しない事はこの断層の存在を示す可能性がある。河床に小さな断層があり条痕が認められることも河床の断層による可能性がある。ただし河床には玄武岩の露出が多く、さして破碎されていないので、断層があったとしても、大きな破碎帯を伴う断層では無いと思われる。

ダム地点の玄武岩のうち暗灰色の部分には割れ目が発達している。板状節理が細かく発達している部分がある。割れ目に卓越した方向性は特に認められない。

ダム地点付近の河床には堅硬な岩盤が露出しているが斜面や尾根では強風化岩盤が認められる。ボーリングにより確認している強風化岩盤の厚さは次の Table 7.8 の通り。

Table 7.8 Thickness of Highly Wethered Layer in Drillhole

Name of Drillhole	Location	Elevation (m)	Length (m)	Highly Weathered Layer	
				thickness (m)	depth of bottom (m)
CDB-1	Left bank	208.84	70.0	0	2.05
CDB-2	Left bank	183.95	60.0	0	7.75
CDB-3	River bed	136	50.0	0	4.8
CDB-4	Right bank	222.45	80.0	8.05	9.3
CDB-5	Right bank	225.45	70.0	4.5	12
CDB-6	Right bank	220.48	70.0	17.5	32
CDB-7	Left bank	184.06	50.0	0	7.95
CDB-8	Right bank	204.33	50.0	2.7	3.7

河床及び左岸では強風化岩盤は殆ど認められないが、右岸で 10 m 前後かそれ以上と厚くなっている。CDB-6 孔では風化部分は 17.5 m あり風化残留土を含むと 32 m に達する。これは玄武岩に比べ風化しやすい凝灰岩が分布しているためと思われる。

(2) 地質工学的検討

ダム地点の岩盤を Table 7.4 に既に示した風化、硬さ、割れ目間隔の 3つの要素に関しそれぞれ 5段階に区分した。

ダム地点に分布する新鮮な状態の岩盤は、以下の通り。

BD 玄武岩暗灰色部分	堅硬であるが割れ目が多い
BR 玄武岩赤灰色部分	やや脆く割れ目が多い
Bag 玄武岩集塊岩様の部分	割れ目は少なめ
Tf 凝灰岩	脆く割れ目少な目

これらの岩石の一軸圧縮強度は次の Fig.7.8 の通りであり玄武岩暗灰色部が 800～1,200 kgf/cm²、玄武岩赤灰色部分及び集塊岩様部分が 200 kgf/cm²、凝灰岩は 100 kgf/cm² 弱を示している。

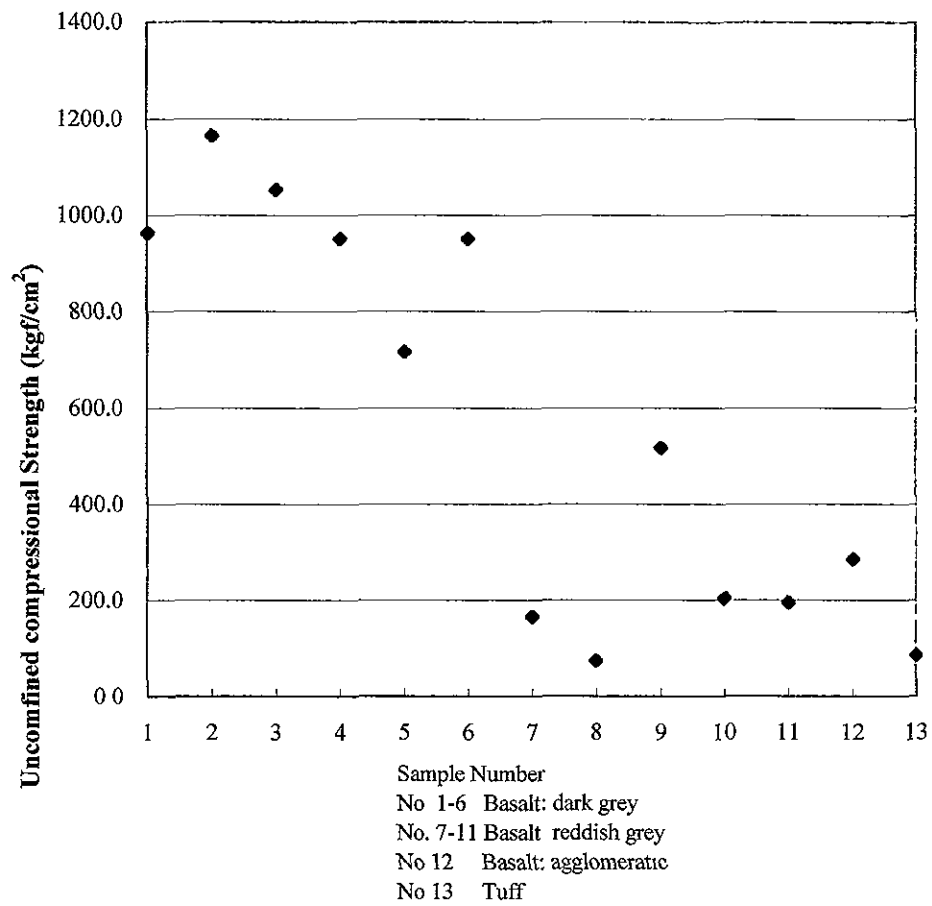
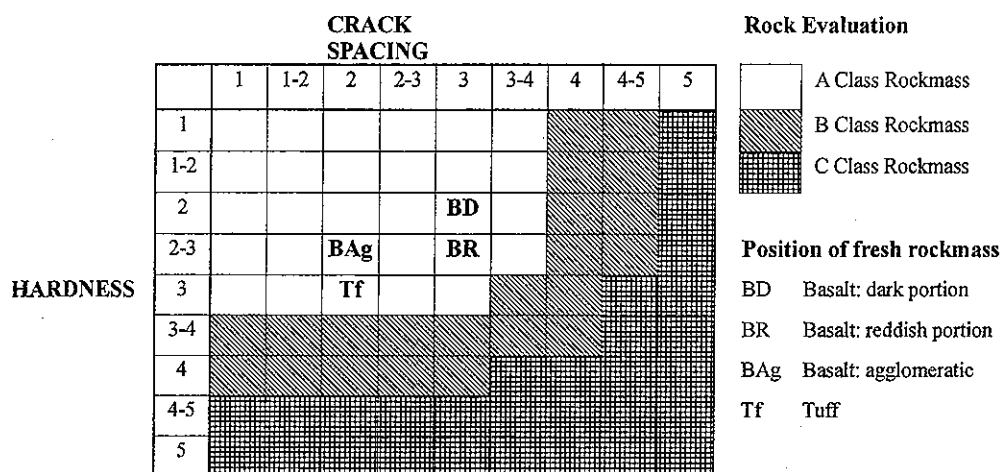


Fig.7.8 Unconfined Compression Strength

これらの区分のうち、硬さと割れ目間隔の組合せを用いて岩盤を A, B, C の 3つのクラスに評価し Table 7.9 に示す。

Table 7.9 Rockmass Evaluation



A クラスはコンクリートダムの基礎として問題無い岩盤で、日本でコンクリートダム基礎に出来ると評価される岩盤等級に相当する。B はダムの基礎岩盤になり得るか評価するためにはさらに調査が必要である。C は強風化岩に相当し掘削除去すべき岩盤と思われる。この岩盤評価は詳細設計段階で調査・試験を実施して修正し信頼性を高める必要がある。

なお、ダム地点に分布する 4 つの岩種の新鮮な状態での位置を参考までに上記表に示す。

この評価は地質断面 (Fig.7.6 および Fig.7.7) 中のボーリング柱状図にも示されている。A クラス岩盤の表面までの深さは左岸で浅く右岸で深くなっている。B の表面までの深さも右岸で深い。(Table 7.10)

Table 7.10 Thickness of B and C Class Rockmass

Name of Drillhole	Location	Elevation (m)	Length (m)	C class Rockmass		B class Rockmass		Total thickness (m)
				thickness	depth of bottom	thickness	depth of bottom	
				(m)	(m)	(m)	(m)	
CDB-1	Left bank	208.84	70.0	0	2.05	0	2.05	0
CDB-2	Left bank	183.95	60.0	0	7.75	0	7.75	0
CDB-3	River bed	136	50.0	0	4.8	0	4.8	0
CDB-4	Right bank	222.45	80.0	8.05	9.3	11.2	21	20.5
CDB-5	Right bank	225.45	70.0	4.5	12	2.8	14.8	7.3
CDB-6	Right bank	220.48	70.0	20.5	31	1	32	21.5
CDB-7	Left bank	184.06	50.0	0	7.95	2.05	10	2.05
CDB-8	Right bank	204.33	50.0	2.7	3.7	4	7.7	6.7

ダム地点の河川沿いには断層が存在する可能性がある。しかし、断層があったとしても河床の堅硬な岩盤の分布から、幅広い破碎帯を伴うとは考えられない。凝灰岩はダム地点の岩石では最も強度が小さい。風化して軟弱になっている部分が多く、緩く傾斜しているが、地表踏査や、近接したボーリングの結果から、凝灰岩層は起伏が著しく、不連続な場合が多いので、ダム基礎岩盤の安定には影響しないと思われる。

(3) 水理地質的検討

地下水位

ダム地点においてはボーリング孔で孔内水位測定が実施されている。左岸においては2001年12月以降約2年間、右岸においては、2002年12月以降約1年間測定が継続され水位変化が明らかにされている (Fig. 7.9)。

孔内水位は雨季に高く乾季に低い。雨季の孔内水位の上昇はCDB-4, 5, 8孔で5 m以下と小さいが、CDB-1孔やCDB-6孔では、30 m以上と大きい。

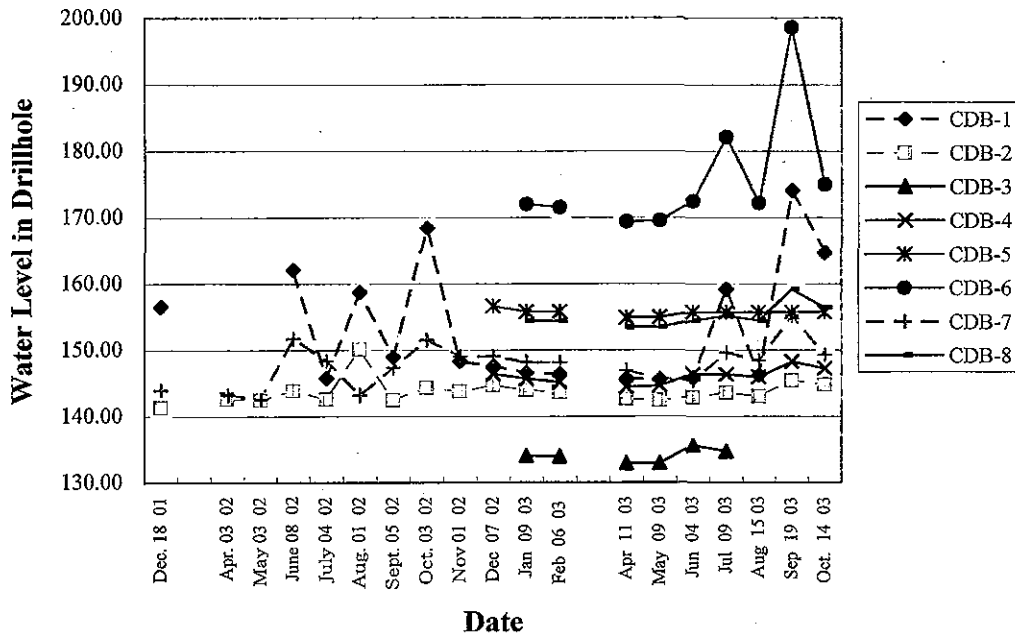


Fig.7.9 Water Level in Drillhole

ダム地点の乾季の地下水位として地質断面図 (Fig.7.6 および Fig.7.7) と地下水コンター図 (Fig.7.10) には2003年2月6日の孔内水位を示してある。本ダム地点の地下水位は川から離れたボーリング孔でもあまり高くなっていない。孔内水位と河川水位の差は、左岸では河から約60m離れたCDB-2孔とCDB-7孔でそれぞれ約10および15m、約150m離れたCDB-1孔で約13mである。更に離れた位置での情報は少ないが、南方約1300m (河より約700m) の標高300m強の位置に表流水 (San Antonio 沢) や湧水が認め

られその付近では地下水位が高くなっていることが解っている。右岸では約 100 m 離れた CDB-4 孔と CDB-8 孔でそれぞれ約 12 および 21 m、約 270 m 離れた CDB-5 孔でも約 22 m で、約 400 m 離れた CDB-6 孔では 32 と比較的高くなっている。右岸上流の沢では河から約 600 m 離れた標高はほぼ計画満水位の位置で流水が認められており CDB-6 孔のある鞍部の背後の山体はかなり地下水位が高いものと予想される。

透水性

ダム地点においては、ボーリング孔で透水試験が実施された。ダム地点の透水性の分布傾向を Fig.7.11 に示す。10 Lu 以上の区間がかなりあり (61%)、右岸で 20 Lu 以上の区間が 35%を占めている。

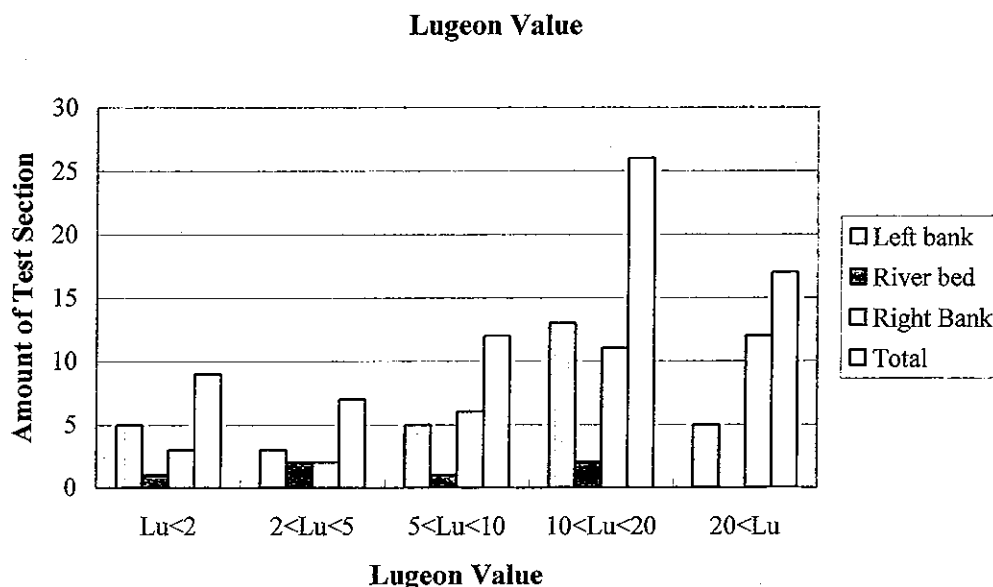


Fig.7.11 Distribution of Lugeon Value at Dam Site

右岸の CDB-5A 孔はダム地点でのボーリング孔では最も透水性が高く 20 Lu 以上の区間がほとんどを占める。CDB-6A 孔では限界圧力の認められる試験区間が多い。6 から 7kgf/cm² 以下の注入圧力では 10 Lu 以下を示すが、それ以上の圧力では注入量が著しく増加し、20 Lu 以上を示す。計画満水位における水圧差が限界圧力より小さいこと、CDB-6 孔の孔内水位はかなり高いことを説明し易いことから、限界圧力前のルジオン値が適切と判断してこれを採用している。

河床のボーリング孔 CDB-3 孔では 5 Lu 以下の区間が多い (6 区間のうち 3 区間)。兩岸深部に達するボーリング孔が無いので、そこでの透水性に関する確認が必要であるが、河床ボーリングの結果から、透水性は低いと予想される。

透水試験の結果を岩種別に検討したが、岩種による透水性の違いは明瞭ではない。玄

玄武岩は暗灰色部分と赤灰色部分および集塊岩様の部分に区分される。割れ目の発達した暗灰色部分で最も透水性が高いものと予想されるが、その傾向は確認できていない。渇水期に河床右岸に湧水が観察される。湧水は約 200 m の区間に散在し、水面から 1 m 以内の岩盤あるいは崖錐体積物から湧出し、ここの水量は毎分 10 リットル程度である。これらの湧水は、玄武岩に発達する亀裂が互いに連結し、玄武岩が一様に透水性が高くなっていることを示す。

集塊岩様部分は割れ目が少ないので透水性が低いと予想される。CDB-6A 孔および河床の CDB-3 孔で 10 Lu 以下の区間が多いことがそれを裏付けている可能性があるがこの傾向は明瞭ではない。凝灰岩はダム下流 1 km 右岸（ホンジュラス領）でこの上面から湧水しているのが観察されており、透水性が低いことが期待された。しかし、ボーリング掘削時の孔内水位の変化から、不透水層の機能を持っていないことが判明した。すなわちボーリングの掘削の際、凝灰岩を貫く前後で孔内水位に明瞭な変化がない。これは凝灰岩層が連続性に乏しいか、割れ目が発達している事を示している。

したがって、ダム地点は、地質に規制された明瞭な透水層や不透水層は無く、全般的に透水性が高く深部で透水性が低くなっている。

7.3.3 発電所

発電所はダム軸の約 120 m 下流左岸の斜面を掘削して建設するように計画されている。

予定地点の斜面は河床から標高約 180 m まで 50°前後の急傾斜を示し、それより上では 15°前後と緩傾斜になっている。

発電所地点にはボーリング 1 孔（CDB-7、長さ 50m）、弾性波探査 1 測線（CBS-2）が実施されている。

上部の緩斜面には崖錐堆積物に覆われており、その厚さは CDB-7 孔で 7.95 m が確認されている。CDB-7 孔では深度 11 m から孔底の 50 m（ほぼ河床の標高）まで堅硬な玄武岩を確認している。（Fig.7.12）

発電所の基礎岩盤は玄武岩を深く掘削するので安定上全く問題は無い。

発電所地点では掘削法面の安定性の評価が重要である。CDB-7 孔で確認された玄武岩は暗灰色部分と赤灰色部分があり前者が主体で、凝灰岩層の挟在は認められない。玄武岩の溶岩流は緩く山側に傾斜しているので、地層面が法面を不安定にする事は無い。ダム地点から発電所地点にかけて左岸に急斜面（傾斜 50~70°）が連続していることから法面は表層部の補強をすれば安定であると思われる。

7.3.4 建設材料

(1) 骨材の必要量

コンクリート用骨材は、建設地点の河床砂礫、段丘堆積物、ダム・発電所掘削ずりを流用する。コンクリート量はダム本体分（上流締切ダム含む）約 39 万 m³ と、その他構造物分約 4 万 m³ を合わせ、計約 43 万 m³ である。これに必要な原石は約 52 万 m³ で、この内、粗骨材が約 38 万 m³、細骨材が約 14 万 m³ である。

(2) 骨材の品質

骨材の品質に関し考慮すべき項目は ASTM C33 - 2001 に定められた規定に加え、JIS の規程を参考にして、Table 7.11 に示すものがある。

Table 7.11 Requirement for Quality of Concrete Aggregate

Standard of ASTM C33-2001

Item	Fine Aggregate	Coarse Aggregate	ASTM
Particle Size Distribution	in the requirement	in the requirement	C136
Clay Lumps and Friable Particle	≤3%	≤5%	C142, C123
Organic Impurity	Color of the liquid is thinner than the reference color solution	Not specified	C40
Material finer than 75μm Sieve	≤3%(or5%)	≤1.0	C117
Coal and Lignite	≤0.5%(or1%)	≤0.5%	C123
Soundness(Na ₂ SO ₄)	≤10%	Not specified	C88
Abrasion	Not specified	≤50%	C131, C535
Alkali aggregate reaction			C295, C289, C227
Standard of JIS A5308 (for reference)			
Dry Density	≥2.5g/cm ³	≥2.5g/cm ³	C127, C128
Absorption	≤3.5%	≤3.0%	C127, C128

骨材品質として考慮すべき項目には骨材の製造仮定で調整できる項目と材料自体の組織や鉱物に起因しそれが出来ない項目とがある。FS では主に後者を検討すれば良い。

(3) 調査

骨材調査の対象としては当初トロラ川の河床砂礫と玄武岩山体を検討した。

河床砂礫はダム上流約 2 km 上流のトロラ川河床を調査対象とした。ここはダム地点のある峡谷部の上流に位置し、谷幅が広がって砂礫より構成された州が約 900 m にわたり幅 100 m 弱で分布している。

砂礫の体積を把握するために、弾性波探査及びボーリングが実施され、立坑を掘削して試料を採取し、室内試験を実施した。(Table 7.12 および Fig.7.3)

Table 7.12 Investigation Work in Borrow Area

Investigation	Name	Quantity	Length(m)	Remarks
Seismic Prospecting	CGS-1		390	
	CGS-2		130	
	CGS-3		130	
	CGS-4		130	
	CGS-5		390	
	CGS-6		130	
	CGS-7		130	
		7 lines	1430	
Core Boring	CGB-1		10	
	CGB-2		10	
	CGB-3		1.7	
	CGB-4		10	
	CGB-5		10	
		5 holes	41.7	
Pit		6 pits	18m	Each 3m in depth
Laboratory Test		6 sets		C127, C128, C131, C535, C88, C136, C142 etc.

採取予定地域の河床は幅約 150 m でそのうち乾季に州として露出している部分は 100 m 程度である。州は上流部分では右岸に、下流部分では左岸に分布している。州は乾季のトロラ川の水面から最大 3 m 程度高くその表面には径 20 cm から 50 cm の玄武岩の円礫が多い。左岸、右岸とも州の上流端付近の河床には玄武岩が露頭しており砂礫層が薄いことを示している。この地域の左岸には河床より 5 m 以上高い別の段丘が 100 m 以上の幅で分布しており砂礫層で覆われている。

(4) 調査の結果

骨材の原料とする河床砂礫の量をまず弾性波探査の結果で推定した。次にボーリング及び立坑で確認された厚さに基き補正した。

調査対象の州の面積は左岸で約 4 万 m² (長さ 400 m × 幅 100 m)、右岸で約 5 万 m² (長さ 500 m × 幅 100 m)、合計約 9 万 m² である。

弾性波探査の結果は速度層断面に示され調査対象地域全域の推定の厚さを提供する。全測線での平均厚は 4 m (Appendix 7.12.2)。したがって河床砂礫の量は 36 万 m³ となる。

ボーリング及び立坑で確認された厚さとボーリング及び立坑位置付近での弾性波探査により推定された河床体積物の厚さを Table 7.13 に示す。

Table 7.13 Thickness of River Deposit in drillhole, pit and Seismic Prospecting Line

Boring & Pit	Thickness of River Deposits (m)	Representative Thickness (m)	Seismic Prospecting Line	Thickness of Upper Verocity Layer (m)	Representative Thickness (m)
CGB-1	6	6	CGS-1	4.5	5
CGP-1	>3		CGS-2	5.5	
CGB-2	2.7	3	CGS-1	3.5	3.75
CGP-2	>3		CGS-3	4	
CGP-6	>3.5				
CGB-3	1.7	1.7	CGS-1	4.5	3.35
CGP-3	1.5-1.9		CGS-4	2.2	
CGB-4	6.5	6.5	CGS-5	5	3.5
CGP-4	>3.25		CGS-6	2	
CGB-5	1	2	CGS-5	5	5.75
CGP-5	>2.2 or 2.7		CGS-7	6.5	
Average		3.84			4.27

弾性波探査による推定値とは異なる箇所があり (CGB-5 の位置等)、弾性波探査による推定値の方が少し大きい。

ボーリング、立坑で確認された砂礫層の平均厚さは 3.8 m。これらのボーリング、立坑位置近傍における弾性波探査による推定の厚さの平均は 4.3 m である。これらを用いて補正すると砂礫層の体積は 31.8 万 m³ になる。

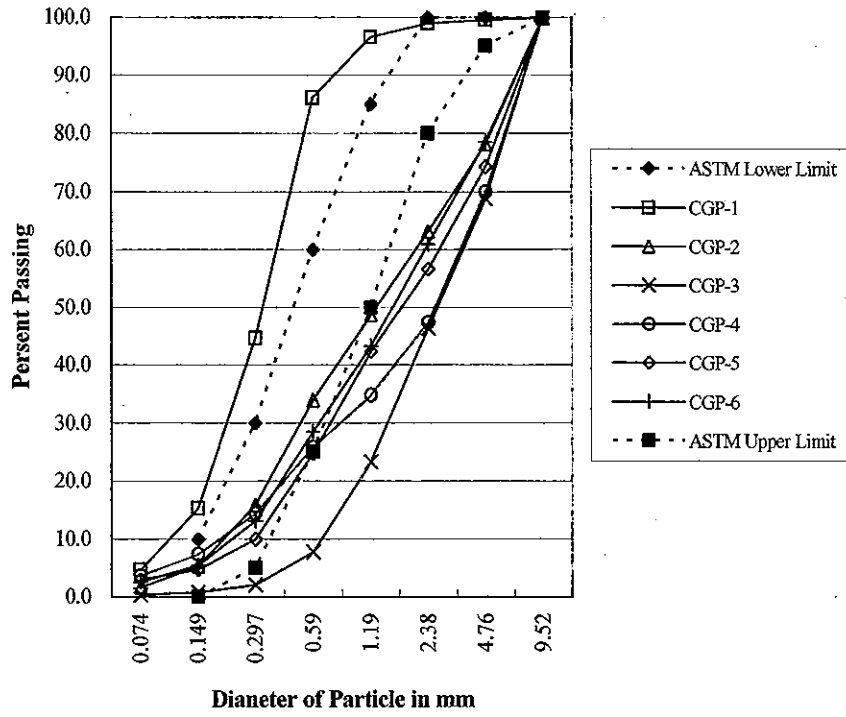
$$36 \text{ 万 m}^3 \times (3.8 \text{ m} / 4.3 \text{ m}) = 31.8 \text{ 万 m}^3$$

次に、河床堆積物の骨材としての品質に検討する。

室内試験の結果を Table 7.14 に示す。これらの結果は次のように評価される。

粒度組成は Fig.13 に示すとおりである。細骨材は ASTM の基準より粗粒分が多いが骨材を製造する過程で破碎や混合により調整が可能である。粗骨材は細粒分が基準より多い。現地には 100 mm 以上の礫が多く (Appendix 7.12.2)、これを破碎することで調整が出来、ダムコンクリートの最大寸法 (3 インチあるいは 2.5 インチ) の骨材を量的に確保する事が出来る。

Fine Particle Size Distribution



Coarse Particle Size Distribution

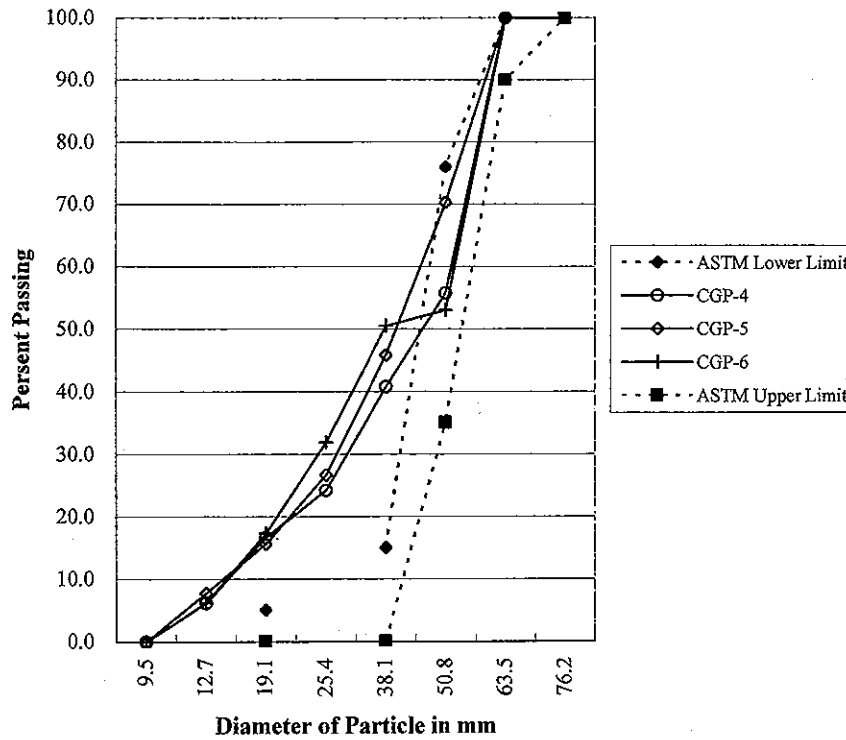


Fig.7.13 Particle Size Distribution

有機不純物に関しては試験を実施していないが、腐植や植物片の混入は肉眼では認められなかった。

石炭・亜炭片について試験は実施していない。流域が主に火山岩で構成された地域であり現地で全く認められなかったので試験の必要がないと判断したためである。

スリヘリ減量に関しては基準を満たしている。

安定性(Na_2SO_4)については基準を満たしていない試料があるが、比重および吸水率で説明しているように多少の弱点は許容されると思われる。

アルカリ骨材反応については試験を実施していない。砂礫が火山岩から出来ているため、反応性がある可能性が高い。フライアッシュを混和して反応性を抑制するのが無難な対応と思われる。フライアッシュの効果も含めた詳細な試験を DD の段階で実施すべきである。

比重及び吸水率について、細骨材は JIS の基準を満たしていない。安定性試験結果が 10% を越えるものがあるので、緻密な材料とは言い難く、この点で問題がある。粗骨材についても基準を満たしていないものがあり、スリヘリ減量では基準を満たしているが、緻密な材料とは言えない。しかしながらトロラ地点の気象が緩やかで凍害の恐れがないことから、骨材組織の多少の弱点は許容されると思われる。

室内試験の結果、河床砂礫は骨材の原料として品質的に一部基準を満たさない項目があるが、特に問題は無いと評価される。現に、本計画より下流にあり本計画地点と類似していると思われる河床砂礫を骨材に利用したキンセデセプティエンブレ発電所のコンクリートにはコンクリートに問題は生じていない。

Table 7.14 Result of Test of River Deposit

Standard of ASTM					
Item	Fine Aggregate	Result	Coarse Aggregate	Result	ASTM
Particle Size Distribution	in the requirement		in the requirement		C136
Clay Lumps and Friable Particle	$\leq 3\%$	0.5-3.4	$\leq 5\%$	No Test	C142, 123
Organic Impurity	Color of the liquid is thinner than the reference color solution	No Test	Not specified	No Test	C40
Material finer than 75 μm Sieve	$\leq 3\%$ (or 5%)	No Test	≤ 1.0	No Test	C117
Coal and Lignite	$\leq 0.5\%$ (or 1%)	No Test	$\leq 0.5\%$	No Test	C123
Soundness (Na_2SO_4)	$\leq 10\%$	4.6-22.5	Not specified	4.5-9.8	C88
Abrasion	Not specified	No Test	$\leq 50\%$	14.2-21.9	C131, 535
Alkali Aggregate Reaction		No Test		No Test	C295, C289, C227
Standard of JIS (for reference)					
Dry Density	$\geq 2.5\text{g}/\text{cm}^3$	2.3-2.43	$\geq 2.5\text{g}/\text{cm}^3$	2.26-2.75	C127, C128
Absorption	$\leq 3.5\%$	3.9-6.1	$\leq 3.0\%$	0.9-4.7	C127, C128

玄武岩山体についてはダム上流左岸の露頭から1試料を採取し試験を行った。試料はやや風化した玄武岩で試験結果 Table 7.15 の通りである。骨材の原石は河床砂礫から所要量の多くをまかなうことができ、また、ダムや発電所の掘削で得られる新鮮な玄武岩のズリが使える可能性があるため、原石山についてはこれ以上の検討をしていない。

Table 7.15 Result of Test of Basalt

Item	Fine Aggregate		Coarse Aggregate		ASTM
Soundness(Na ₂ SO ₄)	≦10%	No Test	Not specified	64.23%	C88
Abrasion	Not specified	No Test	≦50%	18.2%	C131, 535
Alkali aggregate reaction		No Test		(1 sample only)	C289, C227
Dry Density	≧2.5g/cm ³	No Test	≧2.5g/cm ³	2.56 g/cm ³	C127
Absorption	≦3.5%	No Test	≦3.0%	3.6%	C127

7.4 ラオンダ計画地点

ラオンダダム地点は El Chaparral ダム地点の約 15 km 上流に位置している。計画満水位は 275m 付近である。付近はトロラ川の谷が狭くなっており河床は幅 50 m 前後である。トロラ川の蛇行に伴い、急な攻撃斜面と緩やかな滑走斜面が交互しており、谷の断面は片側で急傾斜であるが反対川でやや緩い傾斜を示し、河床から 100 m の高さまでの V 字谷を示している地点はない。滑走斜面側には河床より 20~40 m 高い位置に段丘が認められる。岩盤 Morazan 層の玄武岩、集塊岩および凝灰岩から構成されている。集塊岩は割れ目が少ないがやや脆い、玄武岩は硬いが割れ目が発達している。両者は漸移的で分布は不規則である。凝灰岩は左岸の高所に分布し塊状で割れ目が少ない。地層は緩く左岸側に傾斜している。河床には砂礫よりなる州が断続している。段丘には段丘砂礫がありその背後の斜面の基部でやや厚い崖錐堆積物がある。

計画ダム地点としてはプレ FS での地点と上流地点がある。プレ FS 地点では弾性波探査 405 m が実施されている。これら 2 地点について FS では概略的な踏査を実施した。

プレ FS のダム計画地点の右岸は攻撃斜面にあたり急傾斜で、左岸がなだらかである。ダム左岸は河床から約 30 m~60 m の高さまで緩い斜面となっている。岩盤は集塊岩および玄武岩から構成されている。川の中に岩が出ていることから河床砂礫は薄いと思われる。プレ FS 段階で実施された弾性波探査は斜面下部を対象としており左岸で厚い 650~800 m 層を見出している。河床から約 30 m~60 m の高さの緩い斜面には段丘堆積物とこれを覆う崖錐堆積物がやや厚く (10 m に達する可能性あり) 分布する。周辺の露頭の状態から、岩盤の風化部分は全般に薄いと思われる。玄武岩が分布するので地下水位は全般に低いと予想される。

プレFSのダム地点の上流約1.5kmに地形的に有利な地点があり、上流案地点として検討された。本地点の左岸は急峻で岩盤が露出している。右岸も河床より約60mの高さに狭い緩傾斜部分があるが、急傾斜を示している。岩盤は玄武岩から構成されており右岸では堅硬な岩盤が広い範囲に露出している。風化は薄く崖錐堆積物は認められない。左岸も露岩が多く崖錐堆積物は全般に薄い。玄武岩に挟在する赤色の凝灰岩薄層は南西（下流側に）約20°傾斜している。本ダム計画は左岸に満水位より低い部分（標高約280m）がありここに副ダムを設ける必要がある。この付近は玄武岩とそれを覆う凝灰岩が分布する。凝灰岩が風化している。表層堆積物は殆ど無い。ダム地点、副ダム地点ともに玄武岩が分布するので地下水位は全般に低いと予想される。

建設材料のうちコンクリート骨材としては、いずれのダム地点でも、付近の上下流に州を形成している河床砂礫が利用できる。玄武岩は赤灰色のやや脆い部分が混在しているので使用に際しては注意が必要である。土質材料としては上下流の段丘を覆って分布する崖錐堆積物が候補となると思われる。

