

フィリピン共和国

サンロケ多目的ダム開発計画調査

最終報告書

(主報文)

1985年9月

国際協力事業団

鉦計資

CR 9

85-157

JICA LIBRARY



1031515[8]

12289

フィリピン共和国

サンロケ多目的ダム開発計画調査

最終報告書

(主報文)

1985年9月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '85.12.27	118
登録No. 12289	617
	MPN

マイクロ
フィルム作成

は し が き

日本国政府は、フィリピン共和国政府の要請に基づき、すでにフィージビリティ調査の終了している同国サンロケ多目的ダム開発計画に関し、水質予測、水文、かんがいの三分野について追加調査を行うこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、寺江孝夫氏を団長とする調査団を編成した。

調査団は、1983年11月から1984年11月まで現地調査を行い、帰国後、現地調査で得られた結果と資料に基づいて問題点の解析・検討等の国内解析を行った。

本報告書は、この成果を取りまとめたものである。本報告書がフィリピン共和国の社会的・経済的發展に寄与し、ひいては、同国とわが国との経済交流、友好親善をより一層深めることに貢献できれば幸いである。

終りに、本調査の任に当られた団員の御努力に敬意を表すると共に、調査に際し、多大の御協力を頂いたフィリピン共和国政府、フィリピン電力公社、国家かんがい庁、在フィリピン日本国大使館、外務省及び通商産業省の関係各位に対し、深く感謝の意を表わすものである。

1985年9月

国際協力事業団

総裁 有田 圭 輔

要 約

要 約

サンロケ多目的ダム計画は

- 発 電
- かんがい
- 水質保全
- 洪水調節

を目的として進められているもので、1979年にイタリーの Electroconsult (以下 ELC) によってフィージビリティレポートがまとめられた。

比国の技術協力の要請に応え、1983年7月に JICA 予備調査団が派遣され、我国による技術的調査の可能性が検討された結果、ELC のフィージビリティレポートのうち見直し及び追加的調査を必要とする内容は、次の3項目であることが指摘された。

- 貯水池貯留水の水質評価
- かんがい用水の水質評価
- 水文解析の見直し

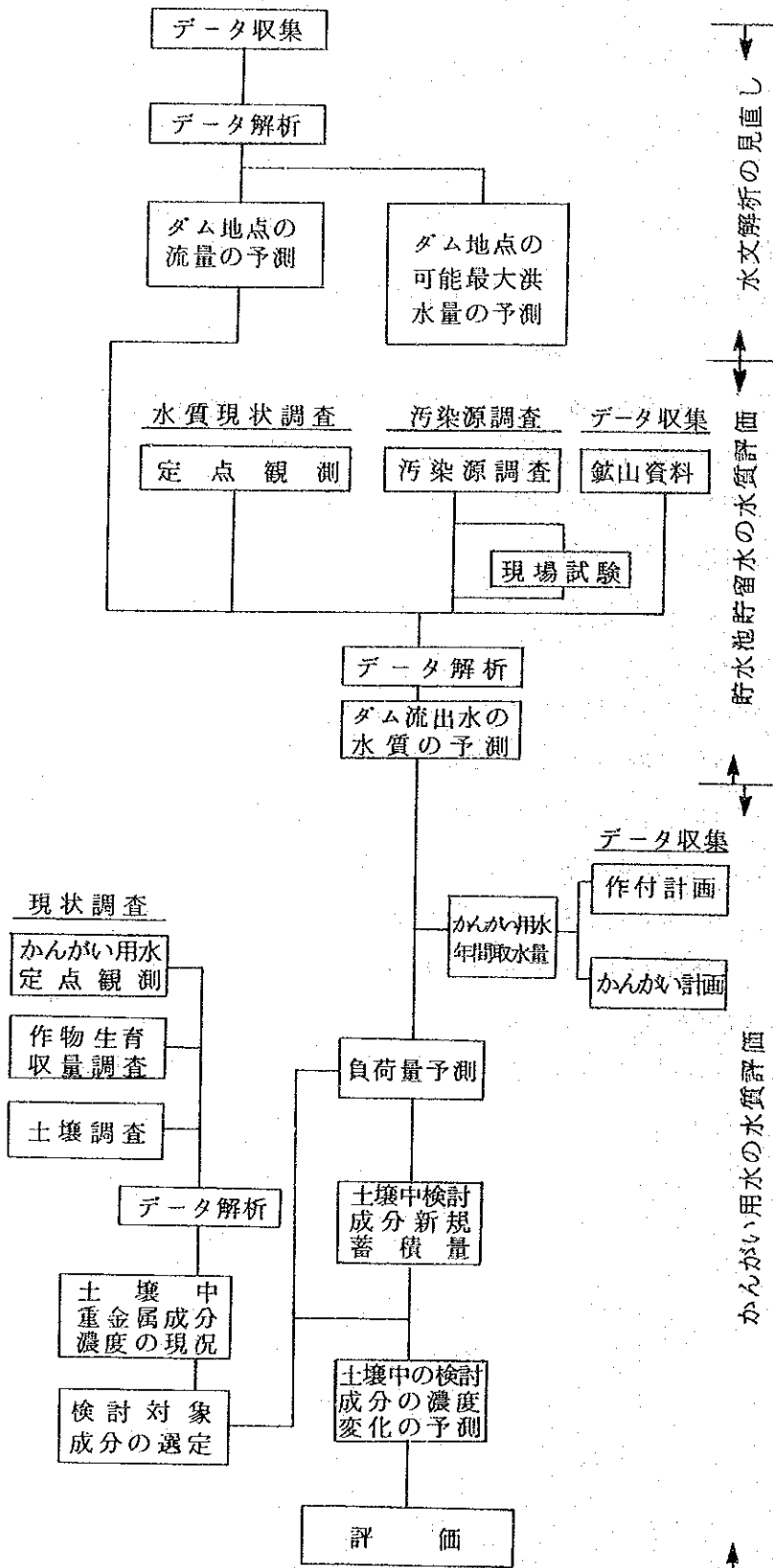
同年10月に両国関係機関の間に見直し調査に対するインプレメンティングアレンジメントが締結され、JICA Re-study (以下調査) が開始される運びとなった。

現地調査は1983年11月末から1984年11月末まで一か年間に亘って実施され、収集されたデータの解析結果が本報告書にまとめられた。

調査は次の様な流れで実施された。又、調査地域を第1図に示した。

なお、今回の調査は1974年から1979年にかけて行われた ELC のフィージビリティ調査の一部の見直し及び追加調査であり、あくまで、ELC のフィージビリティ調査で策定されたサンロケ多目的ダム計画の内容を前提とし、右に基づき行われたものである。

水文解析



調査作業流れ図

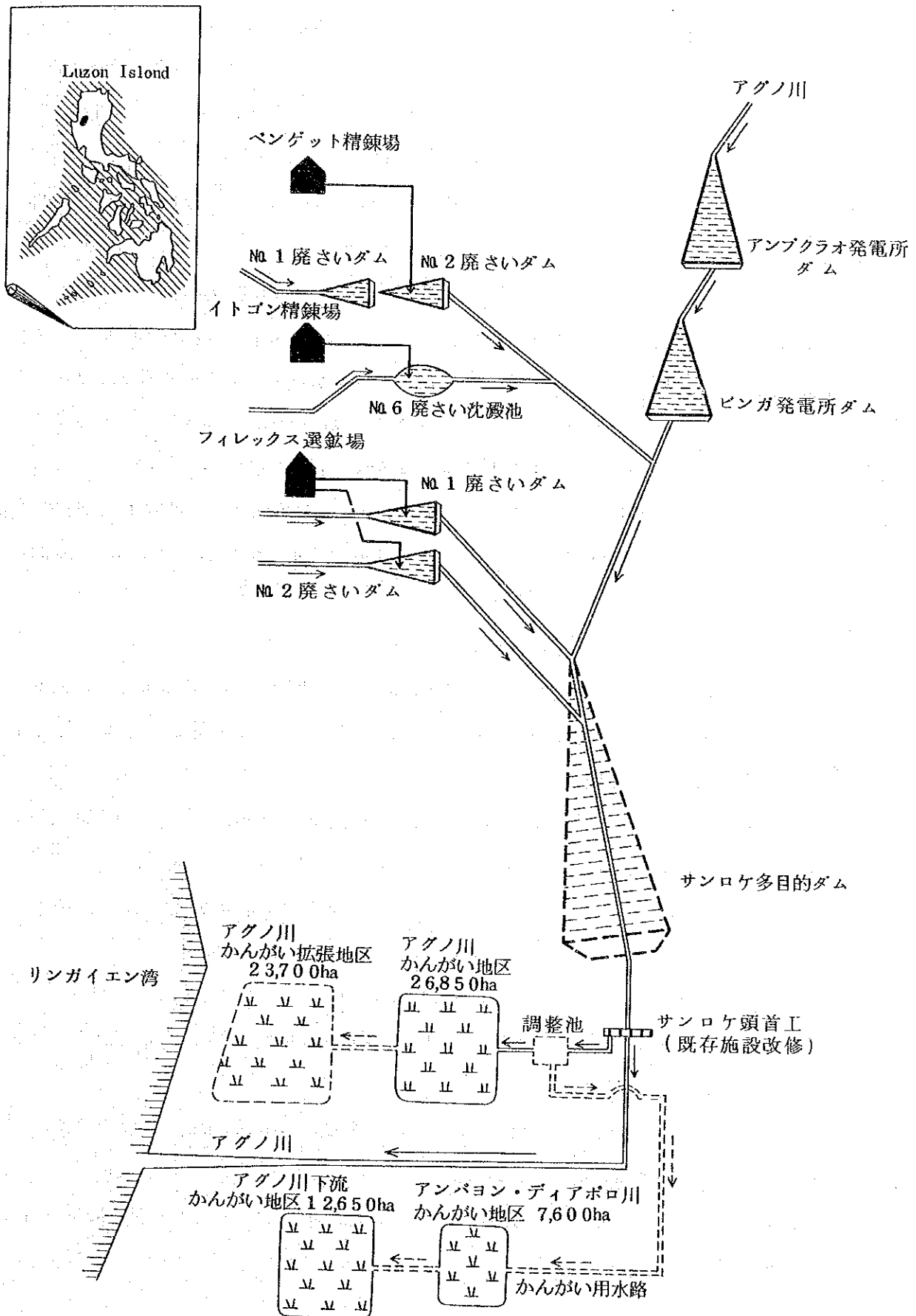


Fig. 1 アグノ川流域概念図

1. 水文解析の見直し

調査の目的及び内容

1974年より1979年にかけて実施されたELCのフィージビリティ調査並びに1983年に行われた追加調査で示されたSan Roqueダム計画地点におけるAgno川の流量及び可能最大洪水量を検討し、その妥当性を確認することを目的とする。

これに必要な水文資料として、San Roqueダム計画地点の上流にある既設Ambuklao及びBinga両ダムにおける貯水池運用及び発電記録、計画ダム集水域内外に位置する17ヶ所の雨量観測所の月雨量記録、14ヶ所の測水所における水位・流量記録を収集した。さらに、各記録の有効期間と信頼性について吟味の上、水文解析に用いた。

San Roqueダム計画地点における平均流量は以下の手順で推定した。

- Ambuklao貯水池の運用・発電記録を用い流出入量解析を実施し、得られた解析値と周辺域の降雨量の相関性を検証した。その結果に基づき補正を加え、Ambuklaoダム地点の流出入量とした。
- 同様の手法でBingaダム地点の流出入量を求めた。
- San Roque計画ダム集水域のうち、Bingaダム地点下流の残流域に関する水文資料が不足しているため、Bingaダム上流域及び隣接河川流域の流出量と平均降雨量を基に、残流域の比流量と流出係数を求め、流出量を推定した。
- Bingaダムの放流量と同ダム地点下流の残流量を合わせ、San Roqueダム計画地点の長期平均流量推定値とした。
- San Roque測水所の実測流量を検証し、平均実測流量を求め、上記推定値と比較するとともに、San Roqueダム計画地点における利用可能流量を検討した。

San Roqueダム計画地点における可能最大洪水量は以下の手法で推定した。

- Baguioにおける可能最大降雨量を求め、この地点降雨量をSan Roque計画ダム集水域内の平均雨量に転換した。
- Agno川流域の洪水時流出係数を求め、これからSan Roque計画ダム集水域における可能最大降雨時の有効雨量を推定した。
- San Roqueダム計画地点の可能最大洪水量は、上記有効雨量を基に流出解析を行い、得られるピーク流量とした。

調査の結果

San Roque ダム計画地点における長期平均流量を $84.5 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定した。さらに、San Roque 測水所の水文資料のうち、信頼性が高いと判断された 21 年分の流量実測記録を用いて求めた流量総平均値は $84.1 \text{ m}^3/\text{s}$ となった。

San Roque 計画ダム集水域の可能最大有効雨量 $1,057.4 \text{ mm}$ について流出解析を行った結果、San Roque ダム計画地点における可能最大洪水量を $15,130 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定した。

考 察

San Roque 地点における長期平均流量推定値が、実測流量記録のうち信頼性があると認められる 21 年分の平均値とほぼ一致している。このことは、ELC のフィージビリティ調査の水文解析を見直して得られた推定値には、水文年ごとの流況や季節変化が十分に反映されていることを示している。

ELC のフィージビリティ調査で提案されている San Roque 計画ダムの余水吐は最大 $15,600 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水が吐ける規模をもっており、得られた可能最大洪水量 $15,130 \text{ m}^3/\text{s}$ に対し、なお幾分の余裕がある。

結 論

San Roque ダム計画地点における長期平均流量推定値 $84.5 \text{ m}^3/\text{s}$ と、ELC のフィージビリティ調査で提案された推定値 $94.2 \text{ m}^3/\text{s}$ の差は約 10% である。洪水時に計画ダムから無効放流される部分を除外して求めた利用可能水量は、本調査では $72.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 、ELC のフィージビリティ調査の結果を用いた場合には $76.4 \text{ m}^3/\text{s}$ となり、両者の差は 5% に縮まる。この水資源の差異は貯水池規模にほとんど影響を与えない。また、ELC のフィージビリティ調査で提案された San Roque 計画ダム余水吐の設計洪水流量は、本調査で得られた San Roque 地点における可能最大洪水流量に対し、なお幾分の余裕がある。

2 貯水池貯留水の水質評価

調査の目的および内容

貯水池貯留水の部門は、E L Cのフィージビリティ調査に基づき、San Roqueダムの集水域内で稼動する鉱山から排出される鉱さいが、全てSan Roque貯水池内に収容される場合を前提として^{注1)}いる。

今次調査は貯水池貯留水の水質が季節的にどの様に変動し、又、長期的にどの様に变化するかを予測し、これによってダムからの流出水の水質を評価することを目的とする。

この目的を達するため

- 定点観測 — 水質の現状を把握する。
- 汚染源調査 — 汚染源の実態を把握する

を実施し、採取した試料について各種試験と化学分析を実施した。

これらによって得られたデータに、収集したデータを加え、月毎の値として30年分の予測値を算出した。

予測の条件

予測値算出の基礎となる、水量および汚染物質量は、次の様に設定した。

- 流入水量は水文解析によって予測された値を使用する。(妥当であるとされた平均流量を30年間繰り返した場合と、信頼性ありとされた21年間の実測値をあてはめた場合の2通りについて計算を行った)
- 流出水量はE L Cのフィージビリティ調査によって解析された、最適ダム運用計画に準じて計算する。
- 鉱山の操業規模^{注2)}の様式は予測期間中変更されないものとし、鉱山から排出される汚染物質量を一定とする。

又、計算方法は、次の考えを基本とした。

- 溶存成分濃度は、貯水池内で均一であると考え、ダムからの流出水の溶存成分濃度はこれに等しいとして計算する。
- 懸濁物質濃度は、発電用水取水口から取水される水について考え、流入水が取水口に達するまでの滞留時間内に沈積しない微粒子が、懸濁状態で流出するとして計算する。

注1) 河川に鉱さいを排出することは、比国の現行法規(1974年大統領令第463号

「鉱物資源開発令」及び「鉱物資源開発令施行規則」)によって規制されており、右に伴う法律的問題を如何に解決するかは、比国において、未だ決定されていない。

注2) Philex社の5,000t/Day増産計画を折り込んだ操業規模によった。

予測結果

算出した予測値は、次の表の通りであり参考までにダム予定地（定点E）を現在流下している水の実測値、および農業用水水質基準を併記した。

なお予測はCu, Zn, Asの3成分について実施した。他の有害金属Pb, Cd, Hgについては固形物試料中でも、水試料中でも含有率が低く、検討の必要なしと判断した。又、シアンについては、ダム予定地を現在流下している水に検出されるが、濃度が低く(平均値0.02mg/l)蓄積性の汚染物質でないため、検討対象としなかった。

溶存成分濃度および懸濁物質濃度

		Cu	Zn	As	SS	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
予測値	変動範囲 ^{注1)}	0.002~ 0.009	0.008~ 0.055	0.0026~ 0.0061	290~ ^{注3)} 3960	
	平均値 ^{注2)}	0.004	0.019	0.0034	720	
	季節変動	高	7~8月	4~5月	4~5月	4~5月
		低	1~2月	9~10月	9~10月	9~10月
	長期的変化	顕著でない	顕著でない	顕著でない	顕著でない	
実測値	変動範囲	0.010~ 0.036	0.003~ 0.014	0.0018~ 0.0049	410~ 2900	
	平均値	0.015	0.004	0.0026	1600	
農業用水質基準		比国	0.2	2	0.1	なし
		日本	0.02	0.5	0.05	100

懸濁物質中の金属含有率

		T-Cu	S-Cu	T-Zn	S-Zn	T-As	S-As
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
予測値	変動範囲 ^{注1)}	400	97	162	43	9	nil
		~	~	~	~	~	
	平均値 ^{注2)}	621	196	196	74	11	
	平均値 ^{注2)}	520	140	180	58	10	nil

注1) 流入水量に21年間の実測値を当てはめた場合の変動範囲を示した。

注2) 流入水量を平均流量で計算した場合の貯水開始後15年目の年平均値を示した。

注3) 異常渇水、大洪水によって現れる特異値を除いた。

考 察

1) Cu, Zn, As の挙動

汚染源から排出され流下する Cu, Zn, As は、次の状態にあるものと考えられる。

- ① イオンの形で溶存する。
- ② 水酸化物として懸濁する。
- ③ 懸濁物質に含まれる。

これらの流下途中及び San Roque ダムを径由することによる変化は次の様に考えられる。

		汚染源から排出			ダム流出水として流下			
		(g/s) Cu	(g/s) Zn	(g/s) As	(g/s) Cu	(g/s) Zn	(g/s) As	
① 溶存金属	鉱山源	2.0	1.4	0.1	0.4	1.6	0.3	
	自然	0.2	0.5	0.2				
② 水酸化物	注1)	-	-	-	1.9	0.4	-	
① + ②		2.2	1.9	0.3	2.3	2.0	0.3	
③ 懸濁物質中	酸可溶性	鉱山源	25.9	17.2	-	6.8	3.2	-
		自然	-	-	-	-	-	-
	※ 酸不溶性	鉱山源	203.4	21.4	3.2	22.1	6.3	0.6
		自然	8.2	13.3	0.6	0.6	1.0	-
小 計		237.5	51.9	3.8	29.5	10.5	0.6	
合 計		239.7	53.8	4.1	31.8	12.5	0.9	

注1) 鉱山から排出される時点で水酸化物の状態にあるものは、懸濁物質中の酸可溶性として計算されている。流下途中で沈殿した水酸化物のみ、この欄に示した。最終的には懸濁物質中の酸可溶性に加算すべきものである。

※ 全金属量 - 酸可溶性 = 酸不溶性 と表現した。

表示の様に、溶存 Cu は大部分、溶存 Zn は一部分が流下途中で水酸化物に形を変えるため減少するが、水酸化物を併せ考えれば減少することなくダムから流出する。

懸濁物質中に含まれる負荷量は、ダムに沈積した堆砂に含まれる分だけ減少し、その捕捉率は、Cu : 88%、Zn : 80%、As : 84% である。

一般に貯留水の pH が弱酸性のときには、ダムに沈積した堆砂に含まれる金属成分が溶出する。従って流出溶存金属量が増加する。しかし、本地域の自然水が pH 8 前後で弱アルカリ性を示すため、堆砂から溶出する金属量は非常に少ない。即ち、堆砂に含まれる金属成分は、酸可溶性であつても大部分ダムに捕捉され流出しないと考えられる。

注) 溶存 Cu が水酸化銅に形を変えることは、青化精錬を行っている鉱山から排出される溶存 Cu の大部分がシアノ銅錯イオンとして溶けており、このイオンが不安定であり、徐々に分解して行くために起るもので、非常に特異な現象である。

以上のことを概念図として示すと、第2図の様になる。(懸濁物質中の金属量を表現することは省略した。)

2) 溶存金属濃度及び懸濁物質濃度の変動

季節変動 : 第3図に示す様に、Cu濃度の季節変動は、雨季の前半7～8月に高い値が、乾季の前半1～2月に低い値が現れるパターンを示し流入する溶存Cu量と貯水池内での希釈度の両方に影響される。

Zn濃度、As濃度および懸濁物質濃度の季節変動は、湯水期の4～5月に高い値が現れ、満水状態が続く9～10月に低い値が現れるパターンを示し、貯水池内での希釈度に左右される。

長期的変化 : Cu, Zn, Asのいずれも貯水池内に蓄積される鉱さいからの溶出量が小さいので、鉱さいの蓄積量が多くなる後年になっても濃度上昇はわずかしか起らない。即ち長期的変化は顕著に現れない。

3) 懸濁物質中の金属含有率

自然砂中のCu量が少いので、自然砂起源の懸濁物質が加はる雨季に含有率が下る。即ちCu含有率は

乾季 : Total Cu 600 ppm±, Soluble Cu 170 ppm±

雨季 : Total Cu 460 ppm±, Soluble Cu 120 ppm±

の2群に分れる。

Zn, Asについても同様で

乾季 : Total Zn 190 ppm±, Soluble Zn 70 ppm±, Total As 11 ppm±

雨季 : Total Zn 170 ppm±, Soluble Zn 50 ppm±, Total As 10 ppm±

を示す。

4) 予測濃度と実測濃度との比較

溶存成分濃度の予測値とダム予定地を現在流下している水の実測値とを比較すると予測値は

Cu — 実測値より低くなる

Zn — 実測値より高くなる

As — 実測値とほぼ同じ

と予測されているが、これは

Cu — 溶存Cuが貯水池に滞留している間に水酸化銅に形を変えることによって減少する。

Zn — 懸濁流下した水酸化亜鉛^{注1)}が貯水池に滞留している間に再び溶解し溶存Znとなる。

As — 形を変えることなく、そのまま溶存する。

と考え計算したためである。

注) 現在は山許の廃さいダムに大部分捕捉されていると考えられる。

懸濁物質については、実測懸濁物質が大部分 5 μ 以上の粒径のものであるのに比べ、予測によって流出するとした懸濁物質は大部分 5 μ 以下の粒径のものであり、比較の対象とならない。この粒径の違いによる流下時の挙動の異なることに留意すべきである（現在の懸濁物質の様に、かんがい用水路や水田の水口付近にのみ沈積せず水尻まで運ばれる）。

5) 濃度予測値の変動要因

先にも述べた様に、濃度予測値は流入水量－流出水量の変動に伴って起るが、これ以外に負荷量を変動させる要因があれば変動する。

流出溶存負荷量を大幅に増大させる要因としては

- 水酸化物に形を変えて減少する率が小さくなる。
- ダムの堆砂から溶出する率が大きくなる

の2点が考えられる。

第1点については、予測の中で、水酸化物に形を変えて減少する率を考えられる幅の中で一番少なくした計算も行っている。

これによれば

Cu : 平均値 0.019mg/l 最高値 0.031mg/l

Zn : 平均値 0.020mg/l 最高値 0.055mg/l

の値が得られている。

Znの場合、数値がわずかしかわらないが、Cuの場合、これを変動させると溶存Cu量が大幅に変る。この結果得られた最高値 0.031 mg/l が現有資料で考えられる最悪の値である。

2点目のダムの堆砂から溶出する金属量は現在採用している溶出率を仮に10倍にしても予想値がほとんど動かない程小さいので、この要因による予測値の大幅な変動は貯留水のpHが弱アルカリ性を保っている限りないものと考えられる。

流出懸濁物質量を大幅に増大させる要因としては

- 懸濁物質のダム内に滞留する時間が短くなる
- 懸濁物質の粒度分布で微粒部分が多くなる

の2点が考えられる。

第1点については、流入濁水が特定の流動層を経て、取水口により速く到達するときなどに起ることであるが、現時点ではこの様な現象が起るか否かを定める資料を得ていない。

第2点は鉦山において磨鉦工程が変更されたときなどに起ることであるが、鉦山が操業様式を変更するとすれば、他にも変動要因は多くあり、この点は考察しないことにした。

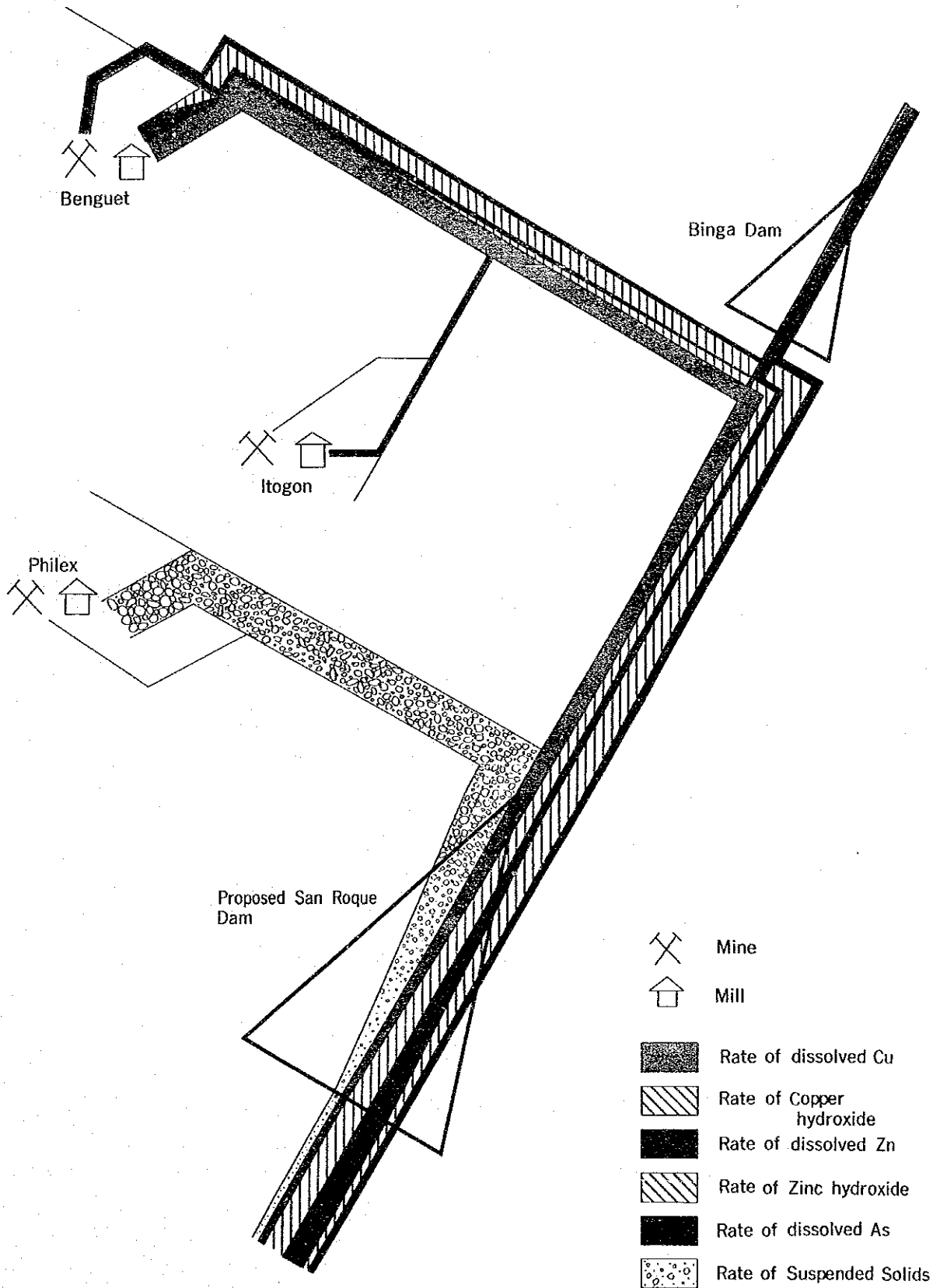


Fig. 2 Behavior of Cu, Zn, As, SS

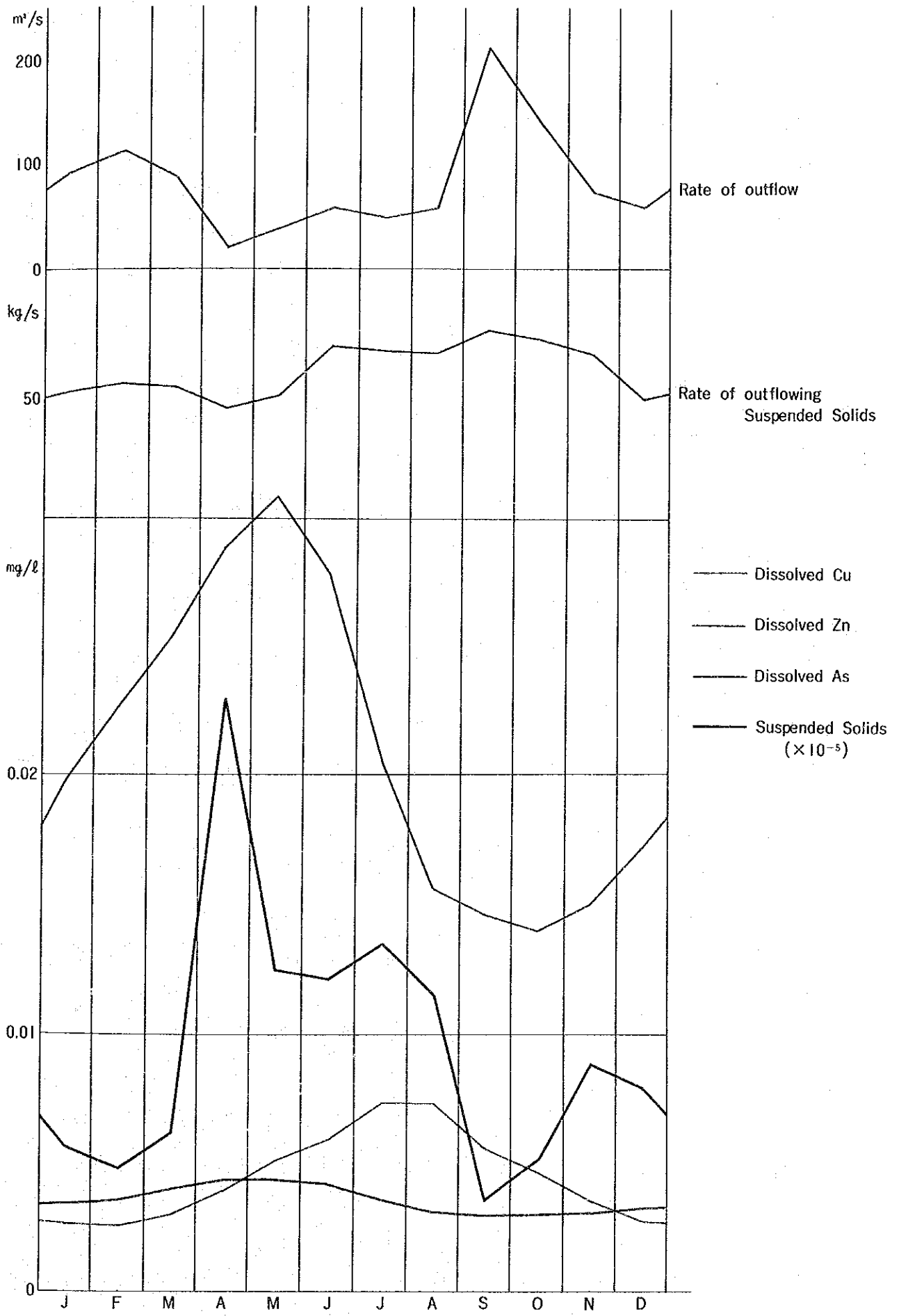


Fig3. Seasonal Fluctuation of Concentration of Cu, Zn, As and Suspended Solids

結 論

貯水池貯留水の水質を予測し、San Roque ダムから流出する水質を評価した結果、流出水中に溶存するCu, Zn, Asの濃度はいずれも低く、比国の「1978年国家公害規制委員会規則」にあるDクラスー農業用水ー水質規準を大幅に下回っていることが示された。

一方流出水中の懸濁物質は

- 年間を通じて濃度が高い
- 粒径が小さい
- 溶存Cuの20倍を超える酸可溶性Cuを含む、

などの性質をもつことが示された。

以上の結果は流出水をかんがい用水として用いた時に、懸濁物質中の可溶性Cuと溶存Cuが水田土壌に蓄積した時の農作業に与える影響を検討すべきことを示しており、次のかんがい用水部門で、その検討を行った。

3. かんがい用水の水質評価

調査の目的と内容

上記2と同様に、ELCのフィージビリティ調査において前提とされていた通り、San Roque 計画ダム完成後、上流域で操業中の鉱山群の鉱さいを山許で処理せず、全量そのままAgno川支流に放出し、San Roque 計画貯水池に収容することを前提に、計画ダムからの放流水の水質が予測された。この放流水をSan Roque 計画灌漑地域の灌漑用水として利用することを与件として、放流水の水質の評価を行うことを目的とする。

これに必要な資料を得るために、計画灌漑地域に将来統合される既存灌漑地区の中から、Agno川を水源とするAgno川灌漑地区と、上流域に鉱山の存在しないAmbayoan川を水源とするAmbayoan-Diapolo川灌漑地区を選定し、灌漑用水、土壌、作物を対象に現地観測作業と分析用試料採取を1983年12月から1年間実施した。観測記録及び分析成績を基に、計画灌漑地域において鉱さいに起因する水質汚濁及び土壌汚染の現況を把握し、得られた結果から、放流水の水質評価の検討、対象とすべき重金属成分を特定した。次に、ELCのフィージビリティ調査で提案された灌漑計画と本調査で予測されたSan Roque 計画ダム放流水の水質に基づき、計画灌漑地域における検討対象重金属成分の年間負荷量を算定した。計画灌漑地域の現況と推定負荷量から、検討対象重金属成分が計画受益地の水田に将来どの程度蓄積するかを推定し、その結果を基にSan Roque 計画ダム放流水の水質を評価した。

調査の結果

Agno川の河川水が常時搬送している土砂の母材は、上流域の鉱山の選鉱廃さいダムの堤

体材料が相当部分を占め、これが灌漑用水とともに Agno 川灌漑地区に流入している。このため、水路の浚渫に伴う灌漑施設維持管理費用の増加、水路埋没あるいは通水容量減少に伴う実質灌漑面積の低下、水田水口部分に沈砂用区画を設けることによる作付面積削減など、甚大な物理的被害を蒙っている。一方、水質分析の結果、灌漑用水中の溶存重金属成分濃度は、銅、鉛、亜鉛、カドミウム、ヒ素のいずれについても、作物生育に直接害を生ぜぬ許容限界と比較し、乾期及び雨期の両灌漑期間とも極めて低い水準で推移していることが判明した。他方、土壌分析の結果、流入土砂中には、高濃度の銅が含まれ、Agno 川灌漑地区内の水田水口部分に設けられた沈砂区画の土壌には過去 25 年の灌漑期間を通じ、土砂とともに銅が多量に集積していることが明らかになった。また、銅の集積量は過去の灌漑実績、すなわち灌漑用水供給累積量に正比例しており、日本の基準（農用地の土壌の汚染防止等に関する法律）による銅濃度は 1 ~ 350 ppm の範囲を示す。通常、この沈砂区画で大部分の流入土砂が沈積しており、それに連なる本田の表土中の銅濃度は平均して 30 ppm 前後となる。作物生育及び収量調査の結果、収量は耕作農民の肥培管理状況、つまり施肥量の多少に正比例しており、重金属成分の過剰吸収現象は明瞭に認められなかった。ただし、沈砂区画から本田に土砂が溢れ、根圏土壌の物理的環境が悪化した場合には、同一圃場内でも水稻の生育に差異を生じ、作物体根部に銅が吸着されている。玄米中のカドミウム濃度は平均して 0.02 ppm 以下、例外的最大値でも 0.04 ppm である。

考 察

現地調査の結果、Agno 川の河川水を灌漑用水として利用する場合、現況の水質ならば、流入土砂及びそれに含まれる銅が問題になることを指摘した。しかし、この土砂は粒径が粗く、河川水を沈砂池に導入すれば大部分が沈積し、水田への流入量は大幅に軽減される。したがって、銅の集積量も低下する。

San Roque 計画ダムからの放流水の水質予測値によれば、将来の灌漑用水には粒径の粗い土砂は一切含まれなくなるが、逆に大量の極微粒子懸濁物を含む白濁水が計画灌漑地域の灌漑用水となることが指摘されている。この極微粒子懸濁物は静水状態でも沈澱せず、流水状態では水とほぼ同一の挙動を呈するものと考えられる。また、この極微粒子懸濁物中には、銅が常時相当量含まれることが示唆されている。

現地調査の結果及び San Roque 計画ダム放流水の水質予測値を踏まえ、銅を検定対象成分として選定した。さらに、ELC のフィージビリティ調査で提示された作付計画及び灌漑計画に基づき、計画灌漑地域への取水量を求め、本調査の水質予測作業で提示された溶存銅濃度、

懸濁物濃度，懸濁物中銅濃度を用い，銅の年間負荷量を算定した。次に，灌漑効率を考慮し，水田1ha当たりの銅の年間負荷量を推定した。

計画灌漑地域70,800haは4地区に分かれ，各地区の作付計画が若干異なるので，年間灌漑用水量も多少変動する。したがって，計画灌漑地域内の水量1ha当たりの銅の年間負荷量推定値は1,150～1,350gとなる。また，San Roque 計画ダム放流水の水質を最悪の条件設定で予測した場合，水田1ha当たりの銅の年間負荷量推定値は1,650～1,950gに増加する。

末端用水路から水田に流入した極微粒子懸濁物は，水口部分の沈砂区画の有無にかかわらず，田面全体に用水とともに拡散するものと考えられる。この極微粒子懸濁物中の銅が年間負荷量に占める比率は，用水中の溶存銅と比較し，圧倒的に大きい。この形態の銅は水田に流入後，田面から排水路に用水とともに流出する部分を除き，土壌中に残留する。作物体への吸収量及び地下浸透量を無視し，残留量全量が毎年表土に蓄積するものと仮定すると，この蓄積銅は耕起の都度，土壌と混和される。耕起深度を15cmとした場合に，土壌中銅濃度は年間平均約0.8ppm増加することになる。

ELCのフィージビリティ調査の作付計画においては，水稻二期作を基幹とし，乾期作の一部に煙草，綿，とうもろこし，野菜を導入することが提案されている。土壌中銅濃度が作物の生育阻害要因となり，かつ減収現象を誘発する水準を，日本の基準と同様に，125ppmとする。計画灌漑地域の現在の土壌中銅濃度に年間増加濃度を累計していくと，Agno川灌漑地区の場合，最短約120年間で上述限界値に達し，最悪の条件では約75年後となる。他の3地区では約160年後に限界値に達する。

実際には，地下浸透や収穫後の稲わらの一部が圃場外に持ち出され，銅の年間残留量は想定値を下回ることになるので，上述した基準限界値への到達年数はさらに長くなる。

結 論

ELCのフィージビリティ調査に基づき，欽山からの廃さいを全てAgno川支流に排出し，本流に建設されるSan Roque 計画ダムの貯水池に流入土砂として収容した場合，計画ダムからの放流水には大量の極微粒子懸濁物が混入し，かつこの懸濁物には相当量の銅が含まれることが予測された。このような水質をもつ灌漑用水を計画灌漑地域に供給すれば，域内水田の全体に極微粒子懸濁物が用水とともに拡散，その大部分が田面に残留する。これに伴い，土壌中銅濃度が毎年継続的に増加していくものと想定される。そして，土壌中銅濃度が作物減収を誘発する許容限界に到達するのは約120年ないし160年後と推定した。この

想定期間は ELC のフイージビリティー調査で見込んだ事業評価期間 50 年を上回る。

目 次

まえがき

要 結

1 序 論	1
1 報告書の構成	1
2 プロジェクトの経緯	1
3 調査の目的	2
4 調査の範囲	2
5 調査の日程	3
6 JICA 調査団及び作業監理委員会	4
7 比国合同技術委員会及びカウンターパート	5
Ⅱ 調査地域の概要	6
1 位置及び交通	6
2 地形及び地質	6
3 気象及び水文	9
4 既設ダム及び鉸山	9
4.1 既設水力発電ダム	9
4.2 鉸 山	11
Ⅲ 水文解析の見直し	14
1 調査の内容	14
1.1 調査の目的	14
1.2 調査の手法	14
2 水分解析に用いた資料	14
2.1 既往調査	15
2.2 水文解析に用いた資料	15
3 San Roque ダム計画地点の流量	16
3.1 既存ダム地点の流量	16
3.2 Ambuklao・Binga 両ダム地点間流域の流出量	17
3.3 San Roque ダム計画地点の流量推定	18
3.4 San Roque ダム計画地点平均流量	19

3.5	San Roque ダム計画地点の利用可能流量	19
4	San Roque ダム計画地点における可能最大洪水量	20
4.1	Baguio における可能最大降雨量	20
4.2	San Roque ダム計画地点における可能最大洪水量	21
5	考 察	22
5.1	長期平均流量	22
5.2	計画ダム洪水吐規模の評価	22
IV	貯水池貯留水の水質評価	35
1	調査の内容	35
1.1	調査の目的	35
1.2	調査の方法	35
2	現地調査結果	38
2.1	定点観測結果	38
2.2	汚染源調査結果	44
2.3	現場試験結果	46
3	水質予測値の算出	53
3.1	計算方法	53
3.2	入力データ一覧	61
3.3	計算結果	65
4	水質予測値の評価	79
4.1	検討対象成分	79
4.2	溶存成分濃度	79
4.3	懸濁物質濃度, 金属含有率	88
5	要約及び結論	93
V	かんがい用水の水質評価	103
1	調査の内容	103
1.1	調査の目的	103
1.2	調査の手法	103
1.3	水質評価に用いた資料	104
2	現地調査の結果	104
2.1	既存灌漑地区の現況	104

2.2	灌漑用水水質調査	105
2.3	土壌調査	106
2.4	作物調査	108
3.	検討対象成分の選定	110
4.	将来の灌漑用水の水質とその影響予測	110
4.1	予測水質値	110
4.2	影響予測の手法	110
4.3	灌漑用水計画	111
4.4	土壌中への銅蓄積量	111
5.	結 論	112

LIST OF FIGURES

- Fig. 1 Investigation area of the Agno River
- Fig. 2 Behavior of Cu, Zn, As and Suspended Solids
- Fig. 3 Seasonal Fluctuation of Concentration of Cu, Zn, As and Suspended Solids
- Fig. I-1 Time Schedule
- Fig. II-1 Location Map of Project Area
- Fig. II-2 Geologic Map of the Agno River Area
- Fig. II-3 Isohyetal Map of Upper Agno River Basin
- Fig. III-1 Reservoir Operation Record Available for the Study
- Fig. III-2 Rating Curves on Water Level-Storage-Water Consumption
- Fig. III-3 Location Map on Meteorological Stations
- Fig. III-4 Rainfall Record Available for the Study
- Fig. III-5 Discharge Record Available for the Study
- Fig. III-6 Annual Correlation of San Roque Discharge with Rainfall/Discharge
- Fig. III-7 Hydrograph for P.M.F.
- Fig. IV-1 Location Map of Observation Points and Mines
- Fig. IV-2 Location Map of the Regional Survey Points
- Fig. IV-3 Seasonal Fluctuation of Cu Concentration
- Fig. IV-4 Behavior of Dissolved Cu
- Fig. IV-5 Seasonal Fluctuation of Zn Concentration
- Fig. IV-6 Behavior of Dissolved Zn
- Fig. IV-7 Seasonal Fluctuation of As Concentration
- Fig. IV-8 Behavior of Dissolved As
- Fig. IV-9 Seasonal Fluctuation of SS Concentration
- Fig. IV-10 Behavior of Suspended Solids
- Fig. IV-11 Fluctuation of Calculated Values in Run-3
- Fig. V-1 Location Map of Monitoring Points for Irrigation Water Quality
- Fig. V-2 Soluble Copper Contents of Surface Soils in ARIS
- Fig. V-3 Horizontal Distribution of Copper Concentration of Rice Plant Leaf and Soluble Copper Contents of Paddy Soils

LIST OF TABLES

Table I-1	MEMBER LIST OF STUDY TEAM
Table I-2	MEMBER LIST OF ADVISORY COMMITTEE
Table I-3	MEMBER LIST OF COUNTERPART
Table I-4	MEMBER LIST OF JOINT TECHNICAL COMMITTEE
Table III-1	SUMMARY OF MEAN MONTHLY RAINFALL RECORD IN AND AROUND SAN ROQUE CATCHMENT BASIN
Table III-2	SUMMARY OF MEAN MONTHLY OBSERVED DISCHARGE RECORD IN AND AROUND SAN ROQUE CATCHMENT BASIN
Table III-3	ADJUSTED MONTHLY INFLOW INTO RESERVOIRS AND OUTFLOW FROM DAMS OF AMBUKLAO AND BINGA
Table III-4	ADJUSTED MONTHLY RUN-OFF FROM THE REMNANT BASIN BETWEEN AMBUKLAO AND BINGA DAMS AND AVERAGE MONTHLY DISCHARGE AT AMBAYOAN AND KALIPKIP STATIONS
Table III-5	SPECIFIC RUN-OFF AND RUN-OFF COEFFICIENTS OF CATCHMENT AREA
Table III-6	LONG TERM DISCHARGE CALCULATED
Table III-7	MONTHLY MEAN OBSERVED DISCHARGE FOR 21 YEARS AND LONG TERM MONTHLY MEAN DISCHARGE AT SAN ROQUE SITE
Table III-8	HOURLY RELATION BETWEEN RAINFALL DEPTH AND DURATION AT BAGUIO
Table III-9	HOURLY RAINFALL DEPTH AND DURATION WITHIN 24 HOURS EQUIVALENT TO EFFECTIVE PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION IN SAN ROQUE CATCHMENT BASIN
Table III-10	MONTHLY OUTFLOW FROM BINGA DAM
Table III-11	RELIABLE MONTHLY DISCHARGE OBSERVED AT SAN ROQUE GAUGING STATION
Table IV-1	REGIONAL SURVEY FOR pH AND EC IN THE BENGUET PROVINCE
Table IV-2	RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF RUN-1 & RUN-2 (1/2)
Table IV-3	RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF RUN-1 & RUN-2 (2/2)
Table IV-4	RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF RUN-3 & RUN-4 (1/2)
Table IV-5	RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF RUN-3 & RUN-4 (2/2)
Table IV-6	RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF CASE-1

Table IV-7	RESULTS OF CALCULATION ON DISSOLVED MATTERS OF CASE-2 & CASE-3
Table IV-8	RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF RUN-1 (1/2)
Table IV-9	RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF RUN-1 (2/2)
Table IV-10	RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF RUN-3 (1/2)
Table IV-11	RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF RUN-3 (2/2)
Table IV-12	RESULTS OF CALCULATION ON SUSPENDED SOLIDS OF CASE-2 & CASE-3
Table IV-13	LOAD OF POLLUTANTS DISCHARGED FROM MINES
Table V-1	SUMMARISED RESULTS OF LABORATORY TESTS ON DRY AND WET SEASON WATER SAMPLES
Table V-2	COMPARISON OF EXTRACTABLE COPPER CONTENTS IN SOILS
Table V-3	VARIATION OF SOLUBLE HEAVY METAL CONTENTS OF PADDY SOILS TAKEN AT INLET PORTION OF OR SETTLING BASIN IN PADDY FIELDS OF ARIS
Table V-4	RESULTS OF YIELD SURVEY FOR DRY SEASON CROP IN ARIS AND ADRIS
Table V-5	RESULTS OF YIELD SURVEY FOR WET SEASON CROP IN ARIS AND ADRIS
Table V-6	COPPER CONCENTRATION OF LEAF OF RICE PLANT IN ARIS AND ADRIS
Table V-7	PROPOSED CROPPING PATTERN BY SYSTEM UNDER SAN ROQUE MULTIPURPOSE PROJECT
Table V-8	AVERAGE MONTHLY IRRIGATION DIVERSION REQUIREMENT
Table V-9	AVERAGE MONTHLY ACCUMULATION OF SOLUBLE COPPER ON PADDY FIELD

I 序 論

I 序 論

1. 報告書の構成

本報告書は、日本国国際協力事業団と比国関係機関の間に1983年10月21日に協定されたImplementing Arrangement(I/A)に基づいて実施した「サンロケ多目的ダム開発計画調査」の最終報告書である。

本調査によって得られた情報は多岐にわたっており、資料の量も多く、これら全てを一冊に収めると、重点が不明瞭になるおそれがあるので、結論に直結する主要部分のみを主報文としてとりまとめ個々の資料及びその解説は副報文(資料編)として別冊に収めた。

副報文の内容は次のとおりである。

Appendix A	水文解折のデータ
Appendix B	定点観測のデータ
Appendix C	汚染源調査のデータ
Appendix D	現場試験のデータ
Appendix E	水質予測値の出力データ
Appendix F	灌漑用水の水質評価のデータ
Appendix G	Agno川流域における鉱山活動
Appendix H	Electroconsultによるダム計画の概要
Appendix I	フィリピンの鉱害防止に関する行政体系および法規
Appendix J	インプレメンティング アレンジメント

2. プロジェクトの経緯

Agno川中流にダムを建設する計画は、古くから種々検討されていた。現在のプロジェクトは1974年にNational Power Corporation(NPC)がElectroconsult(ELC)に、当該地域の水力発電のポテンシャルについての調査を依頼したことに始まり、翌年、National Irrigation Administration(NIA)がかんがい開発も含めて検討する様に修正の依頼を行ったことによって多目的プロジェクトの性格をもつに至った。

調査の最終結果は、1979年に次の目的を有する「San Roque Multi-purpose Project」のフィージビリティスタディーとしてまとめられた。

- 発電 — 増大する将来の電力需要に対処する。
- かんがい — かんがい可能地域の拡大を計る。
- 水質改善 — 鉱さいを貯水池に収容することにより、水質の改善を計る。
- 洪水防御 — 洪水ピークの調整を計る。

1983年4月の、比国政府からの本プロジェクトに対する技術協力の要請に応え、同年7月にJICA予備調査団が派遣され、フィージビリティスタディーの見直し案が協議された。

そして、同年10月に、協議された見直し案に基づき、I/Aが両国関係機関の間に締結され、JICA Re-study（以下調査）が実施される運びとなった。

3. 調査の目的

ELCのフィージビリティスタディーのうち、見直しを必要とする内容は、次の3項目であることがI/Aによって確認された。

- 1) 貯水池貯留水の水質の評価
- 2) かんがい用水の水質の評価
- 3) 水文解析の見直し

4. 調査の範囲

本調査は上記の目的にそい、3部分に分かれて実施されたが、各部門の調査の範囲は次のとおりである。

- 1) 貯水池貯留水の水質
 - San Roqueダム集水域内で稼動する鉱山から排出される鉱さいが、全て貯水池内に收容される場合を想定し、貯水池貯留水の水質が、季節的にどの様に変動し、又、長期的にどの様に変化するかを予測する。^{注)}
- 2) かんがい用水
 - プロジェクト地域のかんがい用水、土壌、植物に及ぼす、鉱さいの物理的、化学的、鉱物学的特性の影響を評価する。
 - Agno川の水をかんがい用水に使用することによる農業収穫への影響を評価する。
 - San Roque貯水池に鉱さいを收容した場合の、かんがい用水の将来の水質を予測する。
- 3) 水文解析
 - 水資源の有効性、信頼性を確かめるため、San Roqueダム予定地点における流量の再推定を行う。

なお、今回の調査は1974年から1979年にかけて行われたELCのフィージビリティ調査の一部の見直し及び追加調査であり、あくまで、ELCのフィージビリティ調査で策定されたサンロケ多目的ダム計画の内容を前提とし、右に基づき行われたものである。

注) 河川に鉱さいを排出することは、比国の現行法規（1974年大統領令第463号「鉱物資源開発令」及び「鉱物資源開発令施行規則」）によって規制されており、右に伴う法律的問題を如何に解決するかは、比国において、未だ決定されていない。

5. 調査の日程

調査は Fig. I-1 に示す日程で実施された。水文解析は、1984年5月に完了し、解析の結果とその評価は5月末に提出した第1次中間報告書に記述した。貯水池貯留水の水質、かんがい用水の水質にかかわる現地調査は1984年11月末に終了し、得られた資料に基づく解析結果を本報告書にとりまとめた。

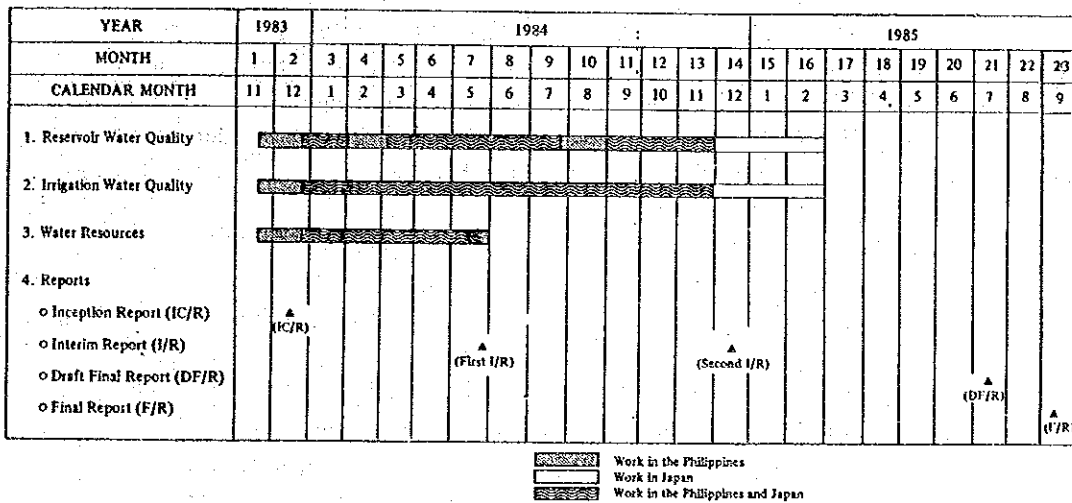


Fig. I-1 Time Schedule

6. JICA調査団及び作業監理委員会

本調査はTable I-1に示す17名の専門家によって編成された調査団によって実施された。

又、本調査の計画、成果などの内容はTable I-2に示す6名の委員で構成される作業監理委員会によって審議された。

Table I-1 MEMBER LIST OF STUDY TEAM

Sector and Name	Specialty
Reservoir water quality	
Takao TERAЕ	Team leader
Kuniaki KATO	Chief Engineer (Sampling)
Isao MARUFUJI	Engineer (Sampling)
Osamu MIYAISHI	Senior engineer (Field test)
Masami IWAYA	Engineer (Field test)
Hideya KIKUCHI	Senior engineer (Water quality survey)
Takashi MATSUOKA	Analytical engineer
Ken-ichiro WATANABE	- ditto -
Akira ISHIDOYA	- ditto -
Katsuhiko BABA	Drilling expert
Takeshi OSADA	Engineer (computation, home work only)
Irrigation water quality	
Tetsuo YAGUCHI	Irrigation engineer
Yutaka MATSUMOTO	Agronomist cum Soil expert
Naoto MORIOKA	Soil expert
Takashi KIMIJIMA	Agronomist
Water resources	
Takao ICHIMIYA	Deputy team leader cum Hydrologist
Toshiki ITO	Hydrologist (home work only)

Table I-2 MEMBER LIST OF ADVISORY COMMITTEE

Name	Charge
Tsunemasa IMAIZUMI	Chairman
Akira SATO	Mine tailings
Kazuo KURODA	Water quality
Shooshi YOKOTSUKA	Hydrology
Jiro NAKAJIMA	Irrigation
Hiroshi MASUJIMA	Cultivation and soil

7. 比国合同技術委員会及びカウンターパート

比国側の合同技術委員会並びに調査を進めるにあたってのカウンターパートは、Table 1-3及び1-4に示す様に選任された。

Table I-3 MEMBER LIST OF COUNTERPART

Name	Speciality	Place
E. Abesamis	Chief Counterpart	National Power Corporation
G. Bantugan	Water Quality Engineer	National Power Corporation
L. Umali	Site Manager	National Power Corporation
G. Wi	Hydrologist	National Power Corporation
E. Punzal	Irrigation Engineer	National Irrigation Adm.
L. Baraquio	Irrigation Engineer	National Irrigation Adm.
A. Lazaro	Agricultural Engineer	National Irrigation Adm.
C. Tuzon	Soil Technologist	National Irrigation Adm.
M. Cabalda	Mining Engineer	Bureau of Mines & Geo-science
P. David	Geologist	Bureau of Mines & Geo-science

Table I-4 MEMBER LIST OF JOINT TECHNICAL COMMITTEE

Name	Speciality	Place
Jose U. Jovellanos	Chairman	National Power Corporation
Eduardo P. Abesamis	Member	National Power Corporation
Gonzalo A. Bantugan	Member	National Power Corporation
Santiago L. Zapanta	Member	National Power Corporation
Jose B. del Rosario	Member	National Irrigation Adm.
Pedro P. Tercino	Member	Ministry of Public Works & Highways
Jesus M. Sunga	Member	National Economic & Dev. Authority
Felipe N. Robeniol	Member	National Pollution Control Commission
Leonides T. Samaniego	Member	Ministry of Natural Resources
Michael V. Cabalda	Member	Bureau of Mines & Geo-sciences
Luis M. Sosa	Member	National Water Resources Council

II 調査地域の概要

II 調査地域の概要

1. 位置及び交通

Agno 川は、Luzon 島の脊梁をなす Cordillera Central 山地に深い谷を刻んで南に流下し、Pangasinan 平野に入ると流れを西に転じ、ゆるやかに蛇行しながら Lingayen 湾で南シナ海に注ぐ全長 270 km に及ぶ大河である。San Roque ダムはそのほぼ中間の平野部に入る直前の山峡に予定されており、その集水面積は約 1,250 km² である。

ダム予定地点はほぼ Manila と Baguio 市を結ぶ線上に位置し、Manila からの直距は約 150 km、Baguio からは約 30 km である。Manila と Baguio 市を結ぶ国道及びその支線は Pangasinan 平野を縦横に走っており、かんがい対象地域は交通至便である。一方ダム上流域に関しては Baguio 市から流域に位置する 3 鉱山と 2 水力発電所への車道が通じているが、Agno 川沿いは概して人口希薄で、地形の急峻と相俟って交通の便が悪い。

なおダム予定地点に対しては NPC によって取付道路が建設されつつある。

2. 地形及び地質

San Roque ダム予定地点上流域は、急峻な山地とせまい峡谷によって特徴づけられる幼年期の地形を示し、著しい浸蝕は近年の森林の荒廃によって更に加速されている。既設の Ambuklao, Binga 両発電ダム地点及び San Roque ダム予定地点の河床高はそれぞれ約 630 m, 480 m, 100 m であり、San Roque 地点までは急峻な山地河川であることを示している。

San Roque ダム予定地点下流域の Pangasinan 平野は、広い平坦な低地で、Agno 川はゆっくりと蛇行しながら流下しており、河の砂礫の運搬能力は著しく低下し、現世の河成堆積物を沈積しつつある。

Cordillera Central 山地は、新第三紀末に始まった造山運動によって隆起した山脈で、下位から上位に次の岩石から構成される。

未区分火山岩類

白亜系～古第三系に属する変質した火山岩類より構成され、一般に Meta - andesite と呼ばれている。

下部～中部中新統

礫岩、石灰質砂岩、ワッケ及びシルト岩より成る厚い堆積岩層で、石灰岩がレンズ状に挟在されている。

新第三紀貫入岩類

花崗閃緑岩、石英閃緑岩、閃緑岩等よりなる底盤状岩体で、未区分火山岩類、下部～中部中新統を貫いている。

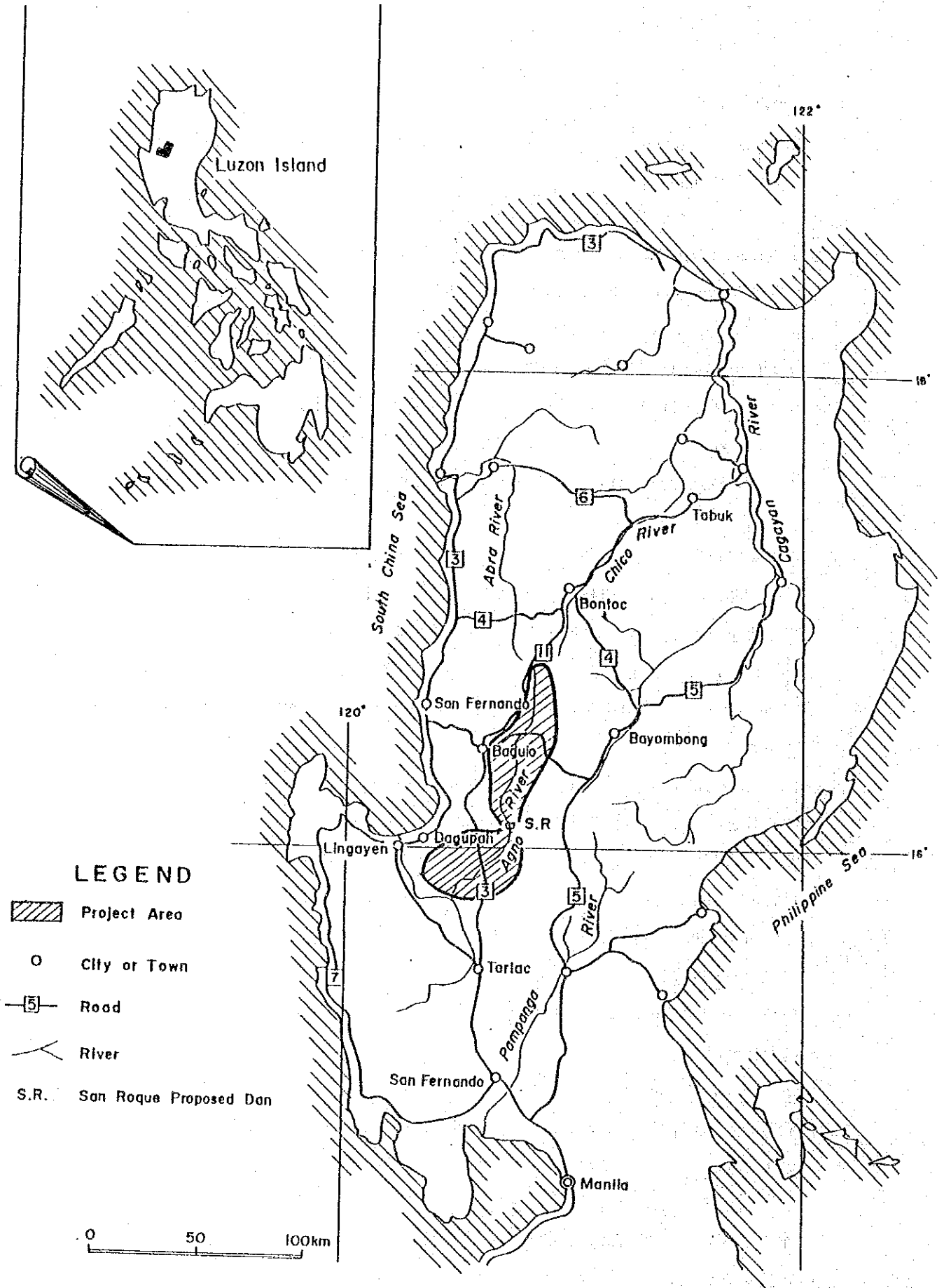









Fig. II-1 Location Map of Project Area

-  Recent - Alluvium (R)
-  Quaternary Volcanics (QV)
-  Upper miocene sediments (N2)
-  Lower-middle miocene Sediments (N1)
-  Undifferentiated Volcanics (UV)
-  Neogene Intrusives (NI)
-  Fault

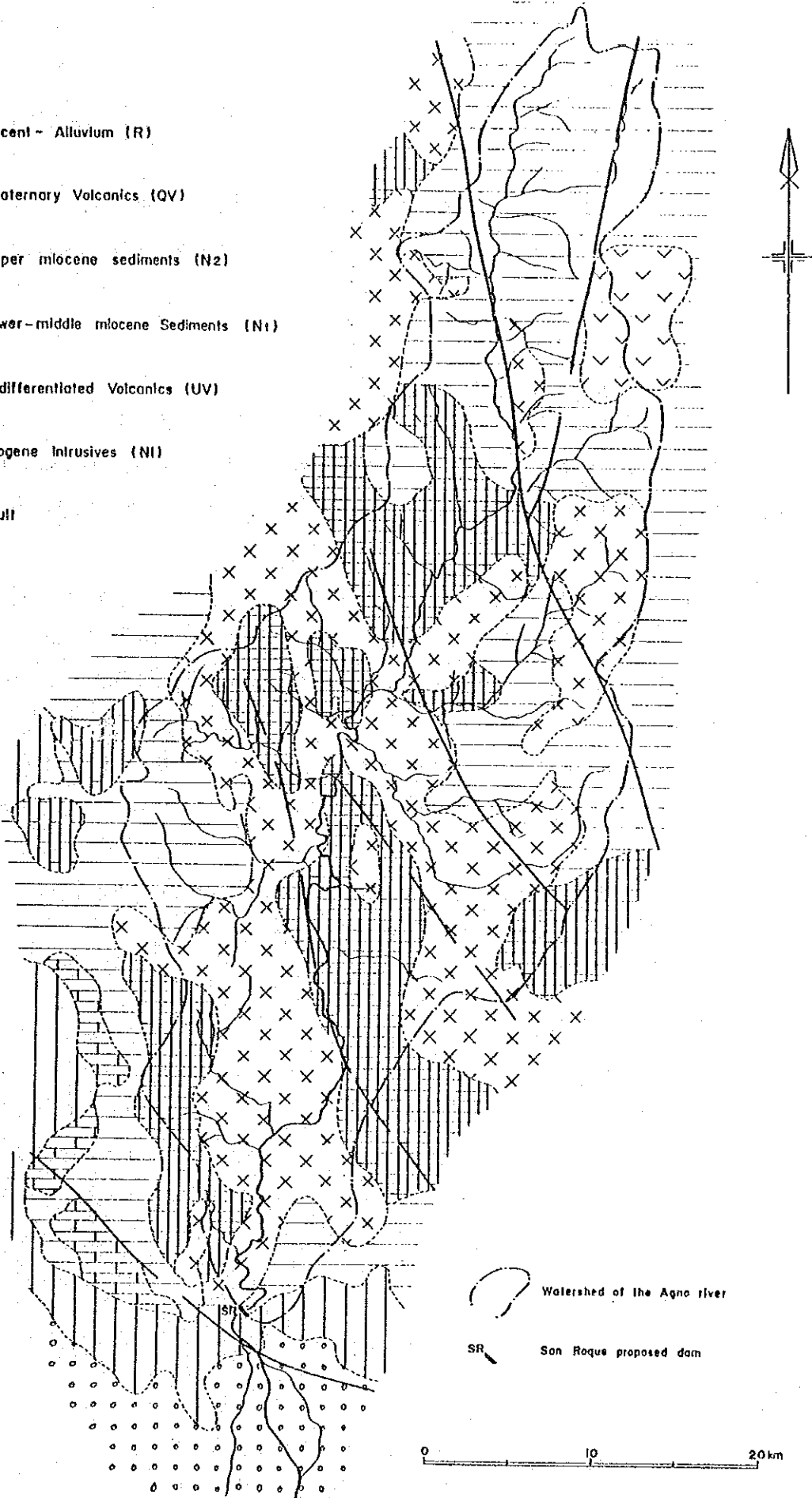


Fig. II-2 Geologic Map of the Agno River Area

上部中新統

凝灰質ワッケ、シルト岩、泥岩の薄層を挟在する淘汰の悪い厚い礫岩層である。

第四紀火山岩類

独立した円錐形の火山体をなす。岩質は安山岩～石英安山岩質である。

一方 Pangasinan 平野は、主として未固結の河成堆積物よりなる沖積層に広く覆われている。

3. 気象及び水文

Agno 川流域は南西モンスーンと周囲の急峻な地形の影響を受け、さらに、Luzon 島が台風の通過地点にあたることから、降雨量が多く流域平均年間雨量は 3,000 mm 以上である。年間のうち 5 月から 10 月までの 6 ヶ月が雨季、残りが乾季の 2 つに分けられる。水文年はほぼ暦年と一致する。

Fig. II-3 の等雨量線図にも見られるように、最上流部や川沿いの山間部よりも流域東西界付近に降雨量が多く年間 5,000 mm 以上にもなる。流域西端部やや外側に位置する Baguio 市は、多降雨地点として有名であり、1911 年に記録された年間降雨量 9,038 mm は、精度の良い雨量記録としては、Luzon 島内既往最大降雨記録である。最近では、1972 年 7 月にモンスーンの影響により、月間降雨量 4,775 mm (年間降雨量 7,256 mm) を記録している。Baguio 市での雨量は、位置的には流域外であるにもかかわらず、Agno 川上流域内の水文特性を代表していると考えられる。

以上のように、Agno 川上流域は多雨地域であり、後で詳述するように、流域内の平均比流量は約 $6.5 \text{ m}^3/\text{S}/100 \text{ km}^2$ 、流出率は約 0.7 ときわめて高い。

4. 既設ダム及び鉱山

4.1 既設水力発電ダム

San Roque ダム予定地点集水域内には上流より Ambuklao, Binga の両既設ダムが存在する。Ambuklao ダムは 1956 年 12 月、Binga ダムは 1960 年 1 月より、発電運転を開始している。両ダムのダム、貯水池、発電規模を以下に示す。

LEGEND

- Basin boundary
- - - - - Sub-basin boundary
- River course
- ▾ Dam

(Unit : mm / year)

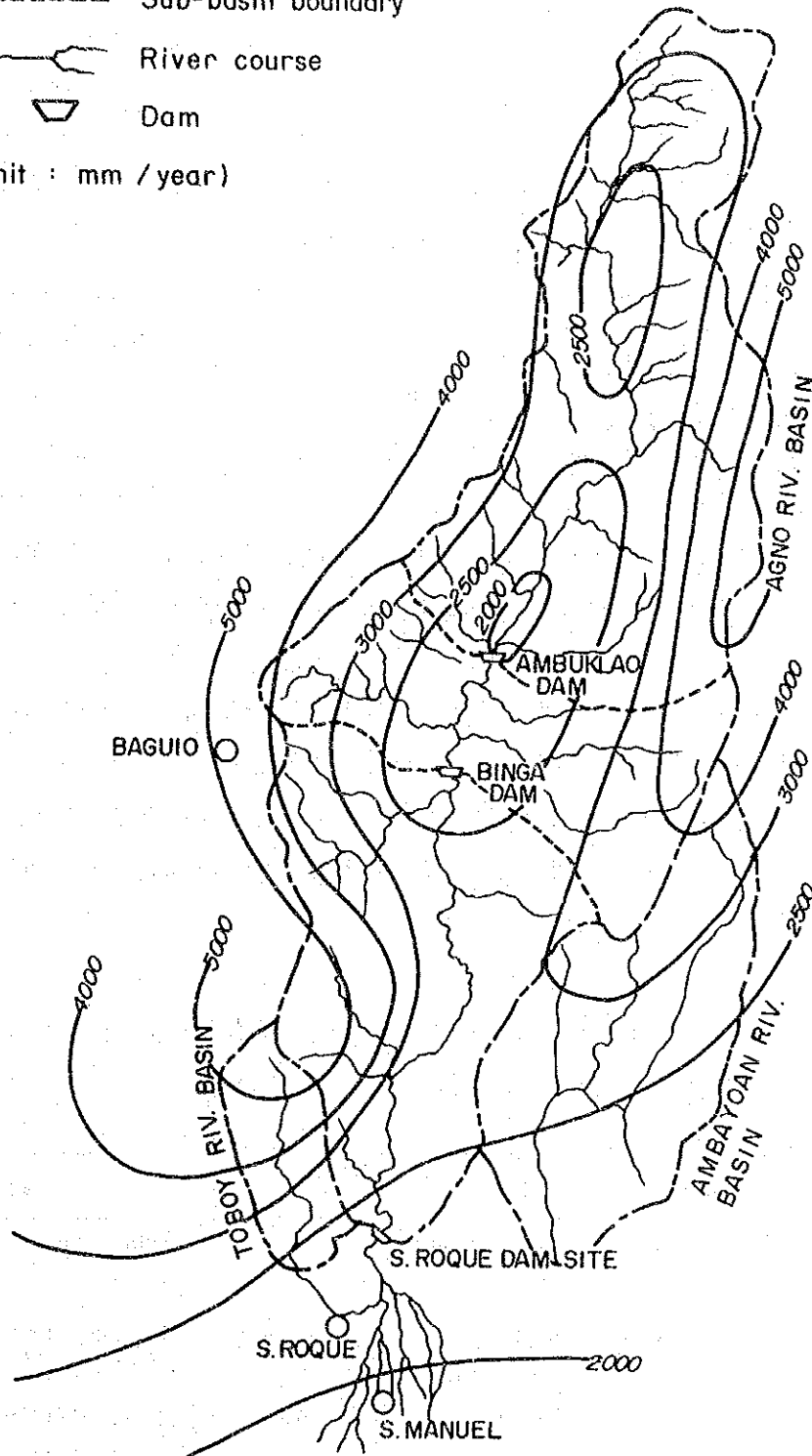


Fig. II-3 Isohyetal Map for Upper Agno River Basin

	Ambuklao	Binga
集水面積 (km ²)	617	860
平均流入量 (m ³ /s) ※	41.3	57.3
ダム・タイプ	ロックフィル	アース/ロックフィル
ダム高 (m)	129	107
ダム頂標高 (m)	758	586
ダム堤体々積 (million m ³)	6.02	1.89
余水吐規模 (m , nos)	12.5×12.5×6	12.5×12.0×6
常時満水位 (m)	752	575
低水位 (m)	694	555
有効貯水量 (million m ³)	258	48.2
有効貯水量/年間流入量 ※	0.20	0.03
最大発電出力 (kW)	75,000	100,000

注): 主としてThe Public Relations Office, NPC製作の各ダム紹介パンフレットに依る。但し※印は本スタディーで求めた平均流入量を用いた。

上表に見られるとおり、両貯水池の流量調節容量は流入量に比べて小さい。特にBinga貯水池は、平均流量の半月分より小さい貯水容量しか持っていない。水文解析にて主要部分をなす、両貯水池の流出入量解析から見ても、流出入量の時間差は、雨季の場合、せいぜい1か月、年間量で比較すると、ほとんど差がない。Bingaダムの場合は月別にみても、流出入量の時間の遅れは認められない。

4.2 鉱 山

Cordillera Central 山地の南域は、比国の最も重要な鉱山地帯であり、多数の銅および金鉱山が分布している。これらのうちAgno川の流域に位置する鉱山を次に示す。

Mining company	Mine	Principal Commodity	Location
Philex Mining Corp.	Sto. Tomas II	Cu	Tuba Itogon, Benguet
Benguet Corp.	Acupan	Au	Itogon, Benguet
	Antamok	Au	- ditto -
	Baco	Au	- ditto -
	Kelly	Au	- ditto -
Itogon-Suyoc Mines Inc.	Itogon	Au	Itogon, Benguet
Baguio Gold Mining Co.	Sto. Niño	Cu	Tublay, Benguet (closed in 1982)

これら鉱山の現状については資料“G”「Agno川流域における鉱山活動」としてとりまとめたので以下に概要のみ述べる。

1) Philex社のSto. Tomas II 鉱山

本鉱山はBaguio市の南方約20 kmにあり、Baguio市から良く整備された鉱山道路により達することが出来る。

鉱山は1958年に操業開始以来徐々に生産規模を拡大し、現在は27,000 t/dayの操業を行っている。

Sto. Tomas II 鉱床は、ポーフイリーカッパー型の鉱床で主に黄銅鉱よりなる銅鉱石は、ブロックレーピング法によって坑内採掘されている。

Philex社の選鉱場はBanget選鉱場と称され、27,000 t/dayの規模をもち、浮遊選鉱法により銅精鉱を生産しており、選鉱廃さいはAlbian川に第1ダム、Manaa川に第2ダムを設けて収容している。

なお745 m地並の選鉱場新設計画は中止され、代って1985年9月までに現選鉱場を5,000 t/day拡大し、32,000 t/dayとして操業する増産計画が進められている。

2) Benguet社の金山

1906年からAcupan鉱床、1933年からAntamok鉱床の採掘を行っている。又、1980年には隣接するAtok Big Wedge社の鉱山を継承し、Baco鉱床として操業を始めており、更に1981年に新たにKelly鉱床の生産を開始した。これらの鉱床はいずれもBaguio市の東方Ambalanga川の流域にあり、Baguio市から舗装道路が伸びている。

4 鉱床はいずれも含金粘土石英脈を坑内採掘しており、鉱石は運搬坑道で運ばれBalatoc精錬場で集中的に処理されている。

Balatoc精錬場は3,250 t/dayの規模をもち、青化法により金を生産している。

廃さいは粗粒部分約30%が坑内充填用に回収され、残りが廃さいダムに収容される。廃さいダムは第1次ダムが1977年に堆積を終了しており、現在はその直下に設けられた第2次ダムを使用している。

3) Itogon - Suyoc社のItogon 鉱山

Itogon 鉱山はBenguet社のAcupan鉱床の東に接しており、Baguio市からItogonを経由する道路によって達することが出来る。

本鉱山は1926年に操業を開始し、近年は250~300 t/dayの操業を行って来たが、1984年第4,4半期から350 t/dayに増産された。

含金石英脈を坑内採掘している、精錬は青化法により金を生産しており、廃さいは下流に設けた第6沈澱池に収容している。

4) Baguio Gold 社の Sto, Niño 鉱山

本鉱山は Baguio 市の北東方 Tublay にあり, Baguio 市から Mountain Trail を経由して KM 21 に達し, そこから 鉱山道路により 鉱山に至る。

鉱山は 1972 年に Philex 社の技術陣によって操業が開始され, 3,300t/day の操業を行っていたが, 1982 年に閉山した。

本鉱山では ボーフィリー-銅型 の銅鉱床を露天掘りし, 浮遊選鉱法によって銅精鉱を生産していた。

III 水文解析の見直し

Ⅲ. 水文解析の見直し

1. 調査の内容

1.1 調査の目的

水文部門の調査は、ELCのフィージビリティ調査及びその追加調査で示された San Roque ダム計画地点における Agno 川の流量と可能最大洪水量を検証し、その妥当性を確認することを目的として実施された。

1.2 調査の手法

水文解析作業に使用するため、San Roque 計画ダム集水域内外の雨量・流量記録、既設の Ambuklao・Binga 両ダムの発電・貯水池運用記録、その他の関連資料を収集した。これらの資料は、San Roque 計画ダムの集水面積 $1,250\text{km}^2$ の 60% を占める Binga ダム地点上流域からの流出量算定に欠かせぬものである。

水文解析では、まず既存両貯水池への流入量を算定し、その結果の妥当性を雨量記録を用いて検討した。妥当と判断された結果を基に、両既存ダム貯水池の流出入特性を検討し、さらに San Roque 計画ダム集水域の降雨類型、Agno 川を挟む Ambayoan 及び Toyboy 川両流域の流量資料と流出特性を考慮し、Binga ダムからの放流量を求めた。次いで、San Roque ダム計画地点における平均流量を推定した。

一方、この解析と平行し、San Roque 測水所における Agno 川の実測流量記録の信頼性を検証した。信頼するに足ると判断された記録のみを用いて平均流量を求め、上記解析結果との整合性を検討した。

San Roque ダム計画地点の可能最大洪水量の解析は次の手順で行った。(1) San Roque 計画ダム集水域内外の代表地点における可能最大降雨量を求め、(2) これを流域雨量に換算の上、(3) 流出解析を実施し、(4) 可能最大洪水量を推定した。また、代表地点における可能最大降雨量については、個別に確率降雨量を求め、その妥当性を検討した。この解析に当たり、既設貯水池はいずれも洪水調節容量が小さいことを踏まえ、San Roque 計画ダムの設計を安全側に見込むため、既存ダムの洪水調節効果は無視している。

2. 水文解析に用いた資料

2.1 既往調査

(1) San Roque ダム計画地点における平均流量

San Roque ダム計画地点直下流にある San Roque 測水所では水位及び流量が長期間にわたり観測されているが、その立地・観測条件から信頼性は余り高くはないといわれている。一方、流域のすぐ西側に位置する Baguio 地点では信頼度の高い雨量記録が約70年間分得られ、Agno 川上流域の水文特性との相関度も高い。

ELCは、そのフィージビリティ調査で次の手順を踏み、San Roque ダム計画地点の平均流量を推定している。すなわち、Baguio 地点の雨量記録との相関が良い年については、San Roque 測水所の実測流量をそのまま使用し、相関の低い年や上流既存ダム地点での流量記録がない年については、Baguio 地点の雨量を基に流量を算定している。

ELCのフィージビリティ調査で得られた平均流量は $9.42\text{m}^3/\text{s}$ 、追加調査ではこれが $9.37\text{m}^3/\text{s}$ に下方修正されている。

(2) 設計洪水量

ELCのフィージビリティ調査においては、可能最大洪水量 $11,100\text{m}^3/\text{s}$ をSan Roque 計画ダム余水吐の基本設計値に採用している。これに、上流の既存Binga ダムにおける洪水時水門誤操作を想定し、人為的洪水量 $1,700\text{m}^3/\text{s}$ を上乗せした $12,800\text{m}^3/\text{s}$ を余水吐設計洪水量としている。

2.2 水文解析に使用した資料

(1) 貯水池運用記録

貯水池運用並びに発電記録は、Ambuklao・Binga 両ダム共、ダム完成時の1957年及び1960年から1982年までのものを収集した。いずれも1973年及び1974年の放流記録が欠落しているが、水文解析作業には極めて有用である。

貯水池水位、発電量あるいは発電使用水量資料は日記録で、解析にそのまま使用した。余水吐放流量については、毎時記録のものは日記録に換算し、欠落部分は日記録を用いて補足した。各資料の有効期間は図Ⅱ-1に示すとおりである。

以上の資料の他に、NPCが両貯水池について作成した貯水池水位-貯留量曲線(表)及び貯水池水位-発電量1kWh当たりの使用水量曲線(表)を収集した。本調査においては、両貯水池ともダム完成時の水位-貯留量曲線(表)を使用した。これらの曲線を図Ⅱ-2に示す。

(2) 雨量記録

合計17ヶ所の雨量観測所における雨量記録を収集した。図Ⅲ-3に示すように、San Roque 計画ダム集水域内に12ヶ所、流域内流出に影響を及ぼすと考えられる周辺域に4ヶ所、Agnó川下流平野部に1ヶ所ずつ分布している。各観測所における雨量記録の有効期間は図Ⅲ-4に示すとおりである。San Roque 計画ダム集水域内外にある16ヶ所の観測所の平均支配面積は80 km²であるが、分布がAmbuklao ダム上流域に偏っており、特に同ダム下流左岸には、Binga 雨量観測所しか存在しない。このためBingaダム地点とSan Roqueダム計画地点の間の流域からの流出検討には、特別の考慮が必要になる。

Baguio 地点の雨量記録は1902年から1982年までのものを収集したが、第二次大戦前の資料は断続しているので、水文解析作業には1949年以降の連続性をもつ部分のみを使用した。各観測所の月雨量記録を資料Aに収録、有効期間中の平均月雨量記録は表Ⅲ-1に示すとおりである。

(3) 流量記録

合計14ヶ所の測水所における水位・流量記録を収集した。図Ⅲ-3に示すように、San Roque ダム計画地点上流のAgnó川本支流に12ヶ所、隣接流域に2ヶ所ずつ分布している。各測水所における水位・流量記録の有効期間は図Ⅲ-5に示すとおりである。このうちから、集水面積の規模、資料の有効期間を考慮し、Adaoay, Ambuklao, Binga 及びSan Roque の4ヶ所の流量記録を水文解析に使用した。

San Roque 測水所では50年分の観測記録が蓄積されている。しかし、量水標を用いた1日2回の定時観測法で測水されているため、Binga ダム完成後の発電用放流による流量変動が十分に把握されていない。

各測水所の月実測流量記録を資料Aに収録、有効期間中の平均月実測流量記録を表Ⅲ-2に取りまとめている。

3 San Roque ダム計画地点の流量

3.1 既存ダム地点の流量

Ambuklao ダム完成後の貯水池運用・発電記録を資料Aに掲げた流出入量計算式に挿入し、貯水池流入量とダム放流量を日単位で求めた。なお、貯水池水位日記録が欠けている1957年、1973年及び1974年については、日流入量計算から除外した。次いで、この流入・放流量を月量に換算し、その結果の妥当性を以下のように検証した。

まず、得られた Ambuklao 貯水池流入量と Baguio 及び Ambuklao 両地点の雨量記録を比較し、明らかに流入量が小さすぎる期間を求めた。これは、この期間の貯水池水位記録からみて、当然余水吐からの放流があったものと考えられるにもかかわらず、余水吐放流量の日記録が過小であることに起因している。そこで、放流量の日記録を参考にして余水吐放流量記録を修正し、流出入量の再解析を行った。得られた結果は、流入量、放流量共に $40.8\text{m}^3/\text{s}$ となる。

次に、この解析結果と周辺域の降雨量との相関関係を検証した。その結果、1960年と1968年は相関性が悪く、この両年を除いて解析結果を補正した。流入量については25年間、放流量については28年間の各月平均及び全平均値を Ambuklao 地点における流出入量とした。表Ⅲ-3に示すように、得られた補正值は、流入量が $41.3\text{m}^3/\text{s}$ 、放流量が $41.2\text{m}^3/\text{s}$ となる。

(1) Binga ダム地点の流量

以上述べた方法に従い、流出入量解析とその結果の検証を行った。余水吐放流量の日記録が欠けている期間については Ambuklao ダムの場合と同様の補正を行った。表Ⅲ-3に示すように、得られた結果は、流入量が26年間平均で $57.3\text{m}^3/\text{s}$ 、放流量が29年間平均で $57.2\text{m}^3/\text{s}$ となる。

周辺域の降雨量との相関関係を検証したところ、特に相関性が悪い年は見当たらなかった。そこで、得られた流出入量解析値には補正を加えず、そのまま Binga 地点における流出入量とした。

3.2 Ambuklao・Binga 両ダム地点間流域の流出量

Ambuklao ダムと Binga ダムの間 residual 流域面積は 243km^2 ある。そこからの流出量は、ダム完成以前の場合、両ダム地点にあった測水所における実測流量の差から、またダム完成以後については、Binga 貯水池の流入量と Ambuklao ダムの放流量の差から求めた。ただし、Binga 貯水池への流入量が Ambuklao ダムよりの放流量を下回る場合、流出量は無いものとした。

さらに、この流出量と周辺域の降雨量との相関関係を検討した。その結果、信頼性が低い年、Ambuklao 貯水池の流出入量解析の対象から除外した年、Binga 貯水池流入量が Ambuklao ダム放流量を下回る頻度が高い年の合計5年分を除外し、22年分の流出入

量解析値の平均を残流域からの流出量とした。表Ⅱ-4に示すとおり、得られた結果は $15m^3/s$ となる。

3.3 San Roque ダム計画地点の流量推定

(1) 推定方法

Binga ダムと San Roque ダム計画地点の間の流域からの残流量を推定する場合、流量記録は San Roque 測水所の分のみしか得られず、雨量記録も全く不十分であることを考慮しなければならない。したがって、Binga ダム上流の各流域における流出量と平均降雨量から、Binga ダム下流域の比流量と流出係数を求め、その結果を用いて San Roque ダム計画地点での長期平均流量を推定することとした。この際、Agno 川流域隣接河川の Ambayoan 川及び Toboy 川両流域の流出特性も考慮し、推定値の確実性を補強した。

(2) 隣接流域の流出量

San Roque ダム計画地点の東には Ambayoan 測水所が Ambayoan 川に、西には Kalipkip 測水所が Toboy 川にそれぞれ設置され、ほぼ同緯度上に位置している。各測水所における集水面積は、Ambayoan が $281km^2$ 、Kalipkip が $74km^2$ である。

Baguio の雨量記録との相関性が低い 1958 年、1966 年、1976 年及び 1977 年を除いた Ambayoan 測水所の年平均流量は $18.3m^3/s$ 、同様にして 1964 年と 1972 年を除いた Kalipkip 測水所の年平均流量は $5.4m^3/s$ となる。両測水所の月平均流量は表Ⅱ-4に示すとおりである。

(3) San Roque ダム計画地点推定平均流量

これまでに算定した Ambuklao・Binga 両貯水池の流出入量、Ambayoan・Kalipkip 両測水所における Ambayoan・Toboy 両河川の前平均流量、及び図Ⅱ-3に示す等雨量線図より得られる各集水域の平均年降雨量を基に、各集水域の比流量と流出率を求めると、表Ⅱ-5に示すような結果が得られる。これらの比流量と流出率はいずれも比較的大きめの値であるが、流域の急峻な地形や、年降雨量のうち 90%以上が 6ヶ月の雨期に集中する降雨特性を考えれば、いずれも妥当なものといえる。

Binga ダムと San Roque 計画ダム両地点間の残流域 390 km^2 からの流出量は以下の手順で推算した。すなわち、図 II - 3 の等雨量線図から平均年降雨量 $3,200 \text{ mm}$ を求めた。さらに、Ambkulao・Binga 両ダム地点間の残流域からの流出量、Ambayoan 川流域からの流出量及び関連流域の平均年降雨量を考慮して算定した結果、求める残流域の比流量は 0.070 、流出量は $27.3 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。したがって、表 III - 6 に示すように、San Roque ダム計画地点での長期平均流量は Binga ダムからの放流量 $57.2 \text{ m}^3/\text{s}$ を合せ、 $84.5 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定される。

3.4 San Roque ダム計画地点平均流量

(1) San Roque 測水所実測流量

San Roque 測水所の実測流量記録のうち、1949 年以降のものと Baguio 地点の降雨量及び Binga ダムからの放流量との相関関係を検証した。図 III - 6 に示す結果から、Baguio 地点降雨量と Binga ダム放流量のうち、いずれか一方でも相関性が悪い記録については、平均流量算定の対象から除外した。表 III - 7 には、比較的信頼性が高いと判断された 21 年分の San Roque 測水所における実測流量記録の月平均値を示してある。また、この 21 年分の平均年実測流量は $84.1 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。

(2) San Roque ダム計画地点における平均流量

既設 Binga ダムの集水域からの流出を解析し、平均流出量 $57.2 \text{ m}^3/\text{s}$ を得た。さらに、Binga ダムと San Roque 計画ダム両地点間の残流域からの流出量を $27.3 \text{ m}^3/\text{s}$ と算定した。したがって、San Roque ダム計画地点の流量は平均 $84.5 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。これを San Roque ダム計画地点の長期平均流量とみなす。

3.5 San Roque ダム計画地点の利用可能流量

San Roque ダム計画地点における推定長期平均流量 $84.5 \text{ m}^3/\text{s}$ と San Roque 測水所の平均実測流量 $84.1 \text{ m}^3/\text{s}$ の間には、ほとんど差がない。これは、流量記録の信頼性が高い期間を抽出すれば、San Roque 測水所の平均年実測流量は十分に利用できることを示している。

ELC のフィーシビリティー調査及び追加調査では、San Roque ダム計画地点の年平均

流量を、主に Baguio 地点の降雨量との相関から推定し、長期平均流量をフィージビリティ調査では $94.2\text{m}^3/\text{s}$ 、追加調査では $93.7\text{m}^3/\text{s}$ と算出している。したがって、本調査の推定値は前者より 10.3% 、後者より 9.8% 少ない。

ELCのフィージビリティ調査で推定した34年分の年平均流量は $83.4\text{m}^3/\text{s}$ である。さらに、この34年分の流量のうち、本調査で San Roque 測水所の実測流量平均の算定の対象とした21年分の流量を抽出し、その年平均流量を求めると $80.9\text{m}^3/\text{s}$ となる。いずれも本調査の年平均流量推定値及び実測値を下回っている。

洪水期には、貯水池への流入量の一部が直接無効放流されるので、全流入量のうち大流入量部分を除いたものを利用可能水量として考えねばならない。洪水が流入する時点での貯水池水位によって無効放流量は変動するから、本来貯水池運用に関して厳密な検討を行う必要があるが、ここでは、月平均流入量が $200\text{m}^3/\text{s}$ をこえる部分を無効と考え、利用可能水量を $200\text{m}^3/\text{s}$ とみなした。San Roque 測水所地点の実測流量平均値算定の対象とした21年分の記録を用い、無効流量部分を除外して求めた通年平均値は $72.2\text{m}^3/\text{s}$ 、一方、ELCのフィージビリティ調査の推定流量を用いて求めた通年平均値は $76.4\text{m}^3/\text{s}$ となる。すなわち、本調査で得られた利用可能水量は、ELCのフィージビリティ調査を基に推定した利用可能水量を約 5% 下回る。

4 San Roque ダム計画地点における可能最大洪水量

4.1 Baguio における可能最大降雨量

収集した Baguio における日降雨量記録から33年分を選び、可能最大降雨量の算定に用いた。これに加え、(1)1950年から1977年までの各月最大の降雨継続記録、(2)33年分の各年最大日降雨量、(3)Baguio及びAgno川流域内の5ヶ所の雨量観測所における上位5位までの豪雨期間中の日降雨量記録、(4)Baguioにおける24時間降雨継続記録を併せて使用した。

本調査では、日降雨量と継続時間の記録しか得られていないので、Hershfieldによって開発された、実測記録に基づく統計的手法を用いて可能最大降雨量を推定した。得られた Baguio における可能最大日降雨量は $2,203\text{mm}/\text{day}$ である。詳細は資料Aに述べてある。

Baguio における各年最大日降雨記録を用い、岩井法、Gumbel 法及び Pearson

Ⅲ型分布法による確率降雨量をそれぞれ算出した。統計的手法で算出した Baguio の可能最大日降雨量 $2,203\text{mm/day}$ は、これら三つの方法による 10,000 年確率降雨量を若干上回るか、それにほぼ等しい。

ELC のフィージビリティ調査で算定された Baguio の最大地点降雨量 $1,350\text{mm/day}$ と比較すると、本調査で求めた可能最大日降雨量は 63%ほど大きい値となる。また、Baguio における 33 年間の最大日降雨量 979.4mm の 2.25 倍となる。

Baguio における可能最大日降雨量に対応する時間降雨強度を解析した結果は、表Ⅲ-8 に示すとおりである。

4.2 San Roque ダム計画地点における可能最大洪水量

(1) Agno 川流域内の平均雨量

San Roque 計画ダム集水域内にある 5ヶ所の雨量観測所の日降雨記録を解析し、地点雨量から集水域内平均雨量へ換算した。その際、この 5ヶ所の雨量観測所の位置が集水域内の上流部に偏っているため、個別に重みを付けず、単純平均値を用いた。

Baguio の地点雨量から San Roque 計画ダム集水域内平均雨量への転換係数は、可能最大洪水量を求めるという本調査の目的を考慮し、0.6 と推定した。したがって、Baguio における可能最大日降雨量 $2,203\text{mm/day}$ に対応する集水域内平均雨量は $1,322\text{mm/day}$ となる。

(2) Agno 川流域内の有効降雨量

Baguio における上位 5 位までの豪雨記録から 1967 年のものを除いた最大値を基に、Agno 川流域の洪水時流出係数を 0.8 と推定した。

San Roque 計画ダム集水域における可能最大降雨時の有効降雨量は、Baguio の地点可能最大降雨量 $2,203\text{mm/day}$ に、転換係数 0.6 及び洪水時流出係数 0.8 を乗じて求められ、その結果は $1,057\text{mm/day}$ となる。この有効雨量に対する 24 時間内時間降雨量は表Ⅲ-9 に示すとおりである。

(3) San Roque ダム計画地点における可能最大洪水量

San Roque ダム計画地点の可能最大洪水量は、集水域内の可能最大降雨時における

有効雨量から求めることとし、洪水流出に関する記録に乏しいことを配慮のうえ、中安の総合単位図法を用いて求めた。詳細は資料Aに述べてある。

解析の結果、San Roque ダム計画地点の可能最大洪水量は $15,130\text{m}^3/\text{s}$ となる。これに対するハイドログラフは図 Ⅲ - 7 に示すとおりである。

5. 考 察

5.1 長期平均流量

水文解析の結果、水資源量に関しては、以下の諸点が明らかになった。

- (1) San Roque ダム計画地点における長期平均流量推定値 $84.5\text{m}^3/\text{s}$ は、San Roque 測水所の実測流量のうち、信頼度の高い21年分の平均値 $84.1\text{m}^3/\text{s}$ にほぼ等しい。これは、本調査の解析が上流の既設ダムからの放流量に基づいているので、推定値に水文年ごとの流況や季節変化が十分に反映されていることを示している。
- (2) ELCのフィージビリティ調査の平均流量推定値 $94.2\text{m}^3/\text{s}$ と、本調査の推定値 $84.5\text{m}^3/\text{s}$ の差は約10%である。
- (3) 有効流量部分を概算して比較してみると、本調査から得られる利用可能水量は、ELCのフィージビリティ調査から得られる水量を5%下回る。
- (4) 以上のような水資源量の差異は、計画ダムサイト・貯水池敷付近のAgno川の地形条件を勘案すると、貯水池規模にほとんど影響を与えない。
- (5) 計画貯水池の貯留水水質評価作業に使用する水文資料としてBingaダムからの月放流量を表 Ⅲ - 10 に、San Roque 測水所の信頼性の高い月実測流量を表 Ⅲ - 11 に取りまとめている。

5.2 計画ダム洪水吐規模の評価

ELCのフィージビリティ調査で提示されたSan Roque計画ダム洪水吐の設計洪水量は $12,800\text{m}^3/\text{s}$ である。本調査で得られた可能最大洪水量は $15,130\text{m}^3/\text{s}$ となり、設計洪水量より18%ほど大きい。

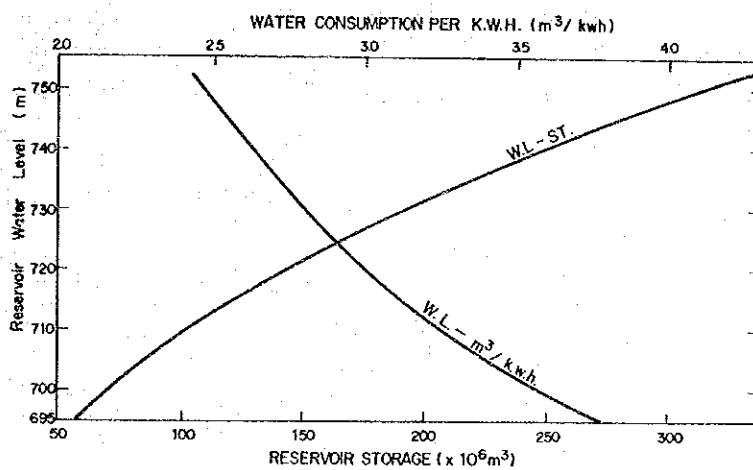
一方、ELCのフィージビリティ調査で見込んでいる余水吐規模は最大 $15,600\text{m}^3/\text{s}$ の洪水を吐けるので、本調査で推定した可能最大洪水量に対しても、なお幾分の余裕がある。

San Roque計画ダムの貯水容量には1.5億 m^3 の洪水調節容量が見込んである。これは、

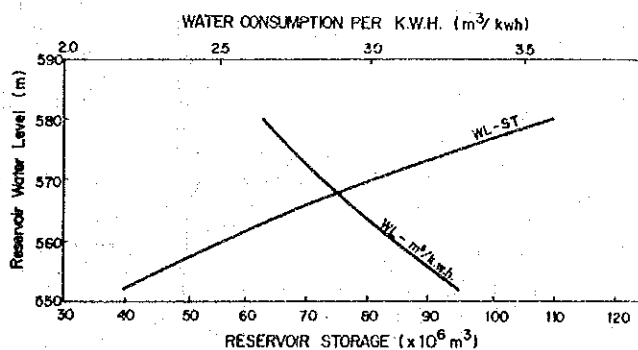
本調査で求めた可能最大洪水量の96時間流入総量13.1億 m^3 の1.5%に相当する。

Station	Record	Year																											
		65	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82		
AMBUKLAO	Reservoir Water Level	[Grid with shaded cells for daily and monthly records]																											
	Generated Energy	[Grid with shaded cells for daily and monthly records]																											
	Water Consumption by Generation	[Grid with shaded cells for daily and monthly records]																											
	Spillout Volume	[Grid with shaded cells for daily and monthly records]																											
BINGA	Reservoir Water Level	[Grid with shaded cells for daily and monthly records]																											
	Generated Energy	[Grid with shaded cells for daily and monthly records]																											
	Water Consumption by Generation	[Grid with shaded cells for daily and monthly records]																											
	Spillout Volume	[Grid with shaded cells for daily and monthly records]																											

Fig. III-1 Reservoir Operation Record Available for the Study

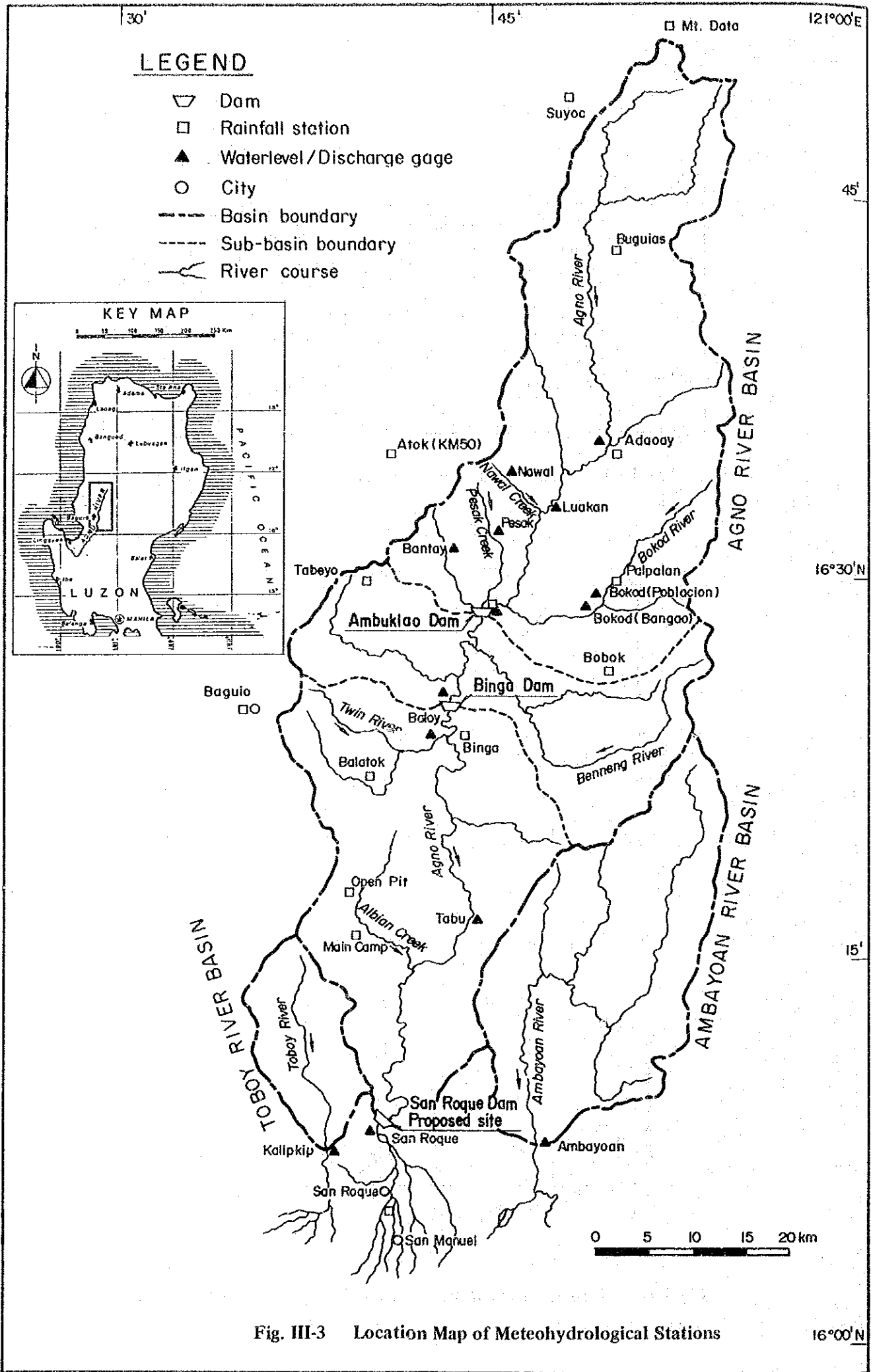


(1) Ambukoo Reservoir



(2) Binga Reservoir

Fig. III-2 Rating Curves on Waterlevel – Storage – Water Consumption



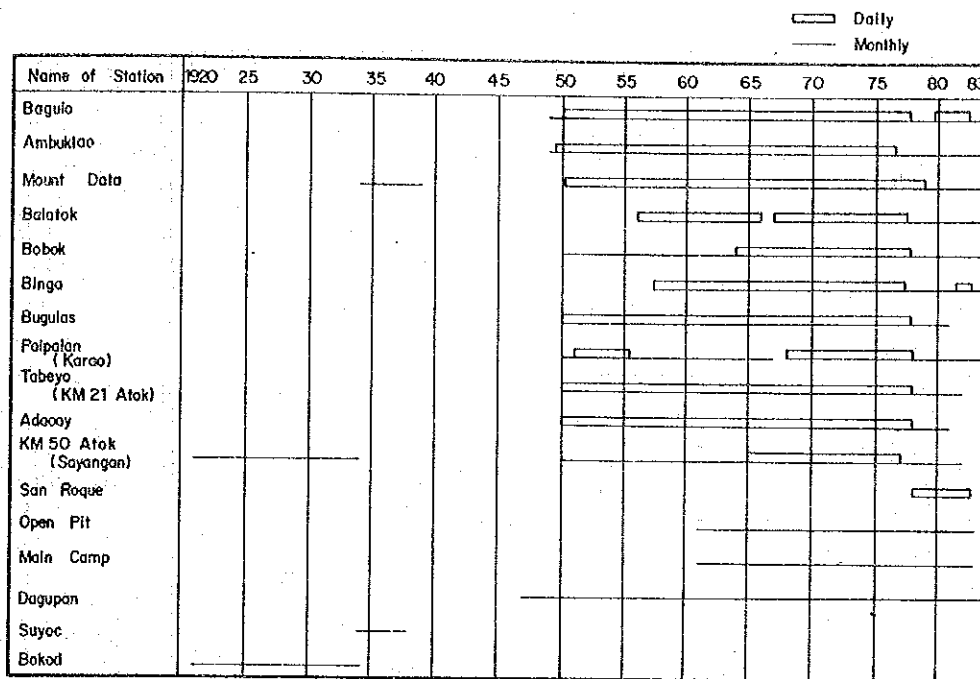


Fig. III-4 Rainfall Record Available for the Study

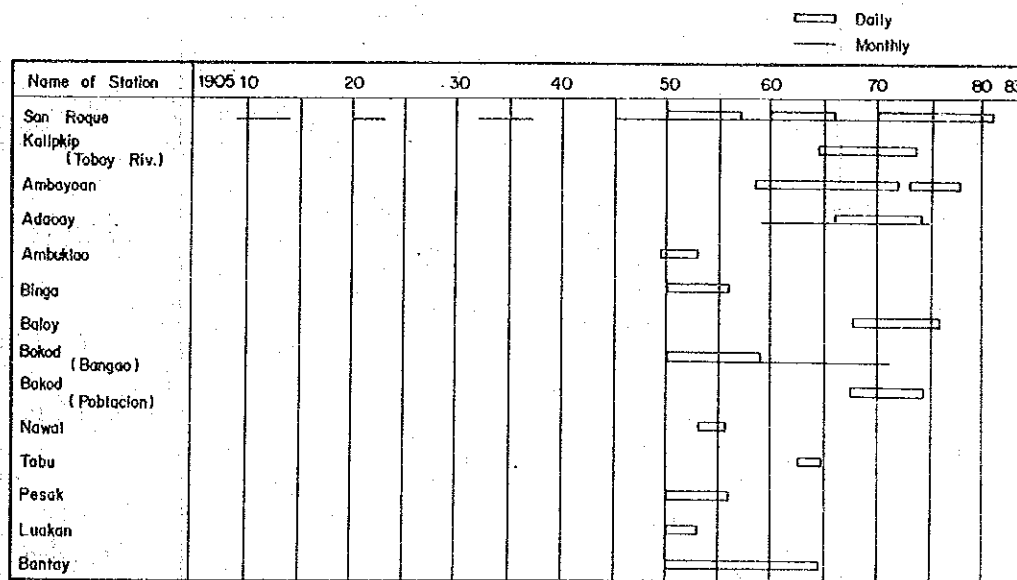
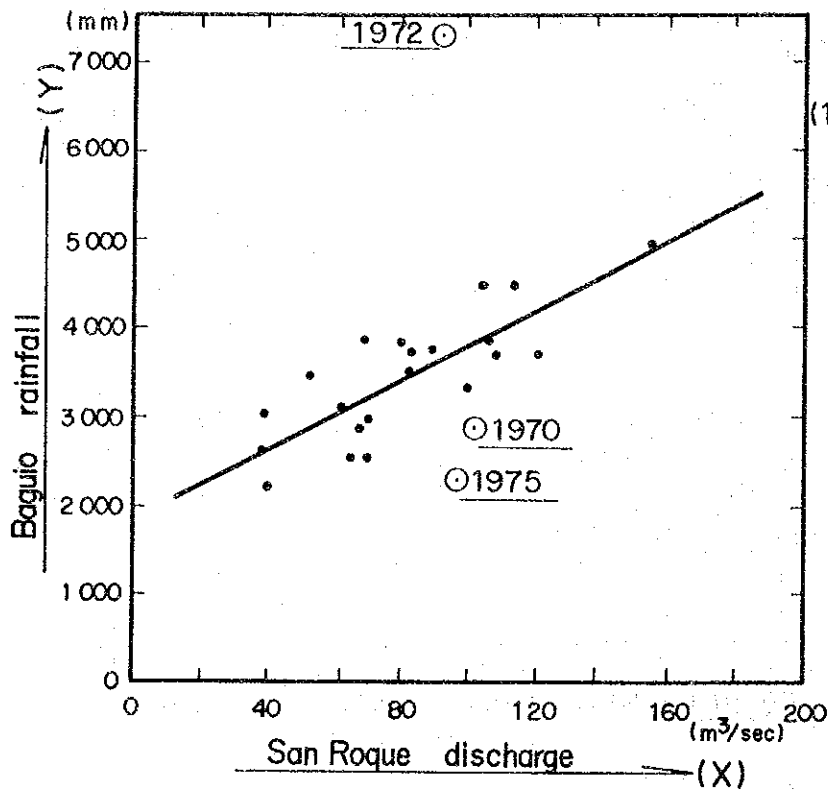


Fig. III-5 Discharge Record Available for the Study



(1) San Roque discharge (X)
and
Baguio rainfall (Y)

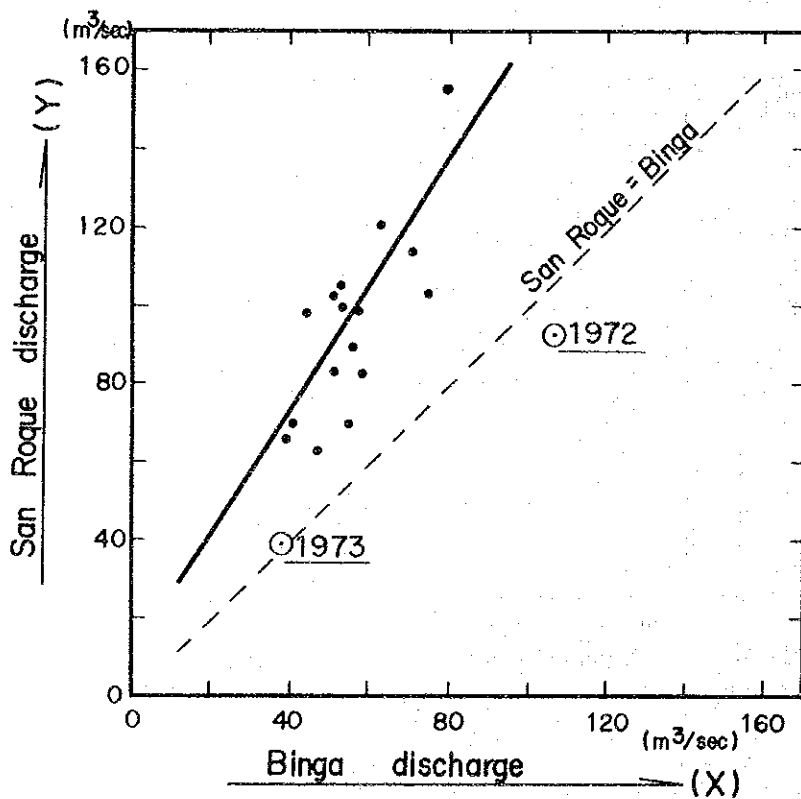
$$Y = 19.7X + 1842.1$$

Correlation coefficient:

$$r = 0.81$$

Excluded year :

1970, 1972, 1975



(1) Binga discharge (X)
and
San Roque discharge (Y)

$$Y = 1.55X + 9.0$$

Correlation coefficient:

$$r = 0.76$$

Excluded year :

1972, 1973

Fig. III-6 Annual Correlation of San Roque Discharge with Rainfall/Discharge

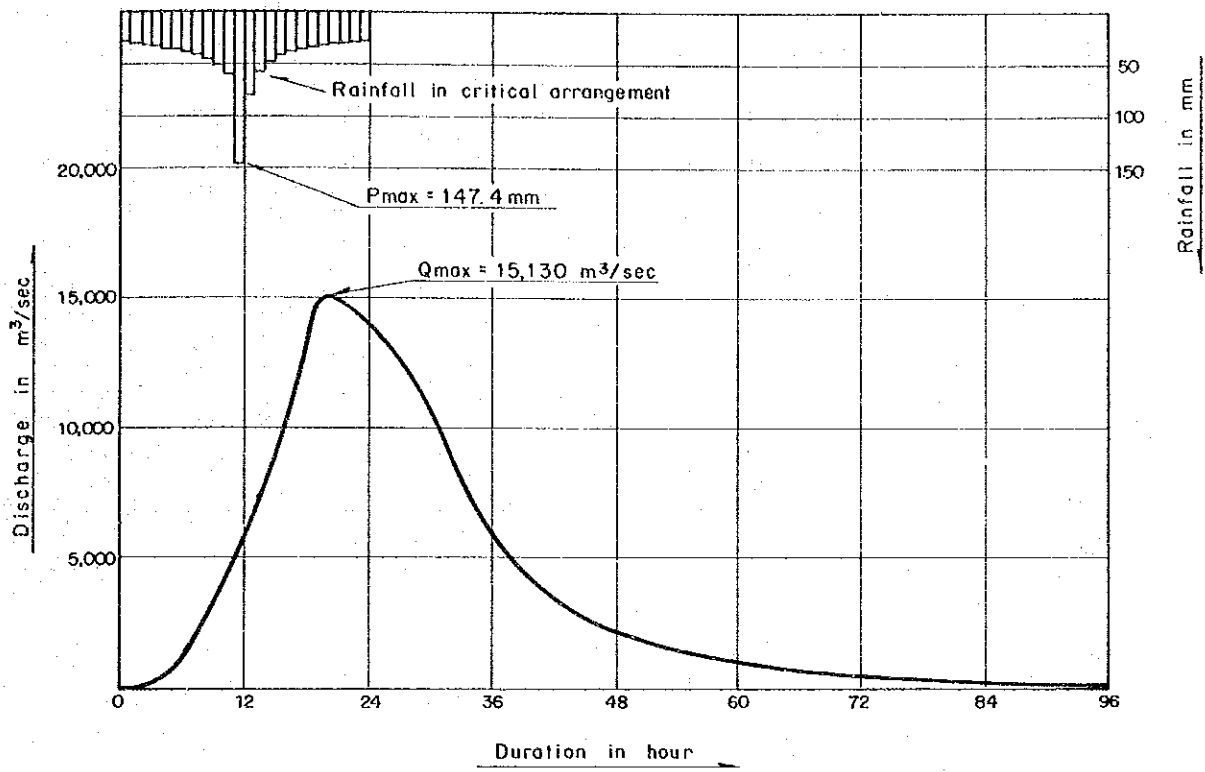


Fig. III-7 Hydrograph for P.M.F.

Table III-1 SUMMARY OF MEAN MONTHLY RAINFALL RECORD IN AND AROUND SAN ROQUE CATCHMENT BASIN

Unit: mm

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Baguio	21	8	33	95	311	447	764	855	597	334	156	32	3,654
Ambuklao	5	7	41	100	207	276	436	478	330	189	88	19	2,177
Bobok	7	8	36	77	242	361	508	544	415	228	134	22	2,582
Mount Data	24	27	79	197	378	395	622	582	470	362	236	103	3,476
Suyoc	20	46	103	214	486	263	629	696	301	343	232	108	3,440
Buguias	14	6	41	83	204	311	387	516	319	188	125	40	2,234
Adaoay	14	15	49	97	280	282	493	602	484	258	149	39	2,762
Atock	64	51	132	201	485	611	899	1,068	688	365	176	73	4,813
Palpalan	26	38	48	123	380	530	668	937	746	461	261	81	4,298
Bokod	9	13	33	113	215	415	599	530	411	225	110	21	2,694
Tabeyo	14	24	59	149	361	446	658	774	595	288	116	30	3,512
Binga	6	5	31	62	268	330	559	488	358	199	91	14	2,411
Balatok	6	10	32	97	258	432	648	710	474	304	108	23	3,102
Open Pit	28	13	55	148	569	764	1,286	1,310	824	598	176	53	5,823
Main Camp	28	12	51	130	505	733	1,174	1,238	860	538	183	42	5,496
San Roque	0	3	11	31	101	165	339	513	315	111	68	0	1,659
Dagupan	6	6	18	77	210	332	496	601	338	163	71	20	2,339

Table III-2 SUMMARY OF MEAN MONTHLY OBSERVED DISCHARGE RECORD IN AND AROUND SAN ROQUE CATCHMENT BASIN

Unit: m³/s

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
San Roque	32.3	23.9	21.7	23.6	40.1	60.7	142.4	216.1	210.4	145.4	89.3	52.8	88.2
Ambuklao	14.1	9.9	9.1	9.2	18.0	24.8	63.2	129.7	78.7	76.2	29.8	24.4	40.6
Binga	17.8	12.0	10.5	12.6	21.3	39.2	70.4	153.0	92.4	87.2	66.3	26.4	50.8
Ambayoan	5.4	4.1	3.4	3.2	5.9	24.8	32.8	50.3	45.6	35.8	16.4	8.2	19.7
Kalipkip	0.6	0.4	0.3	0.7	1.1	5.3	14.1	13.4	12.7	10.3	3.0	1.4	5.3
Adaoay	8.8	6.2	5.1	4.7	9.0	18.3	47.1	47.8	46.7	33.0	23.5	12.1	21.9
Luakan	8.9	6.5	5.7	5.6	14.9	17.0	37.4	74.3	46.3	44.5	17.9	12.6	24.3
Tabu	39.0	34.5	32.7	28.1	35.8	71.6	90.6	340.9	436.0	95.8	48.9	43.7	108.1
Bangao	2.2	1.6	1.4	1.5	2.2	4.1	7.9	12.4	12.7	8.6	6.5	3.8	5.4
Poblacion	1.9	1.8	1.6	1.9	1.6	2.9	10.2	9.6	7.5	8.3	5.0	2.7	4.6
Nawal	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1.8	1.3	2.6	4.0	1.0	3.9	0.4	1.3
Pesak	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	2.0	2.8	4.4	3.9	2.2	2.3	0.5	1.6
Bantay	0.6	0.4	0.4	0.6	1.0	2.6	4.1	42.2	4.7	2.1	2.1	0.7	5.1
Baloy	2.1	1.6	1.5	1.6	1.9	2.9	5.9	5.4	4.2	3.6	2.7	2.5	3.0

Table III-3

**ADJUSTED MONTHLY INFLOW INTO RESERVOIRS AND
OUTFLOW FROM DAMS OF AMBUKLAO AND BINGA**

Unit: m³/s

Month	Ambuklao		Binga	
	Inflow	Outflow	Inflow	Outflow
January	11.7	17.2	21.1	22.6
February	7.3	17.0	20.2	21.3
March	5.9	18.3	20.6	20.6
April	5.7	19.0	21.6	22.1
May	19.0	21.4	27.9	29.8
June	36.5	33.5	50.2	50.8
July	92.6	64.2	98.3	89.3
August	102.1	82.1	136.4	129.0
September	87.8	74.8	114.8	109.5
October	65.6	73.5	86.9	96.1
November	40.5	47.0	59.4	64.0
December	20.6	26.8	30.5	31.3
Mean	41.3	41.2	57.3	57.2

**Table III-4 ADJUSTED MONTHLY RUN-OFF FROM THE REMNANT BASIN
BETWEEN AMBUKLAO AND BINGA DAMS AND AVERAGE
MONTHLY DISCHARGE AT AMBAYOAN AND KALIPKIP
STATIONS**

Unit: m³/s

Month	Run-off from Ambuklao- Binga Remnant Basin	Ambayoan Station	Kalipkip Station
January	4.5	4.8	0.6
February	3.6	3.9	0.4
March	2.9	3.5	0.3
April	2.8	3.4	0.8
May	8.6	3.9	1.2
June	12.3	16.3	6.1
July	30.2	33.5	10.1
August	43.9	50.9	14.5
September	33.1	41.9	14.3
October	19.6	36.0	12.0
November	12.0	14.0	3.0
December	6.5	6.9	1.2
Mean	15.0	18.3	5.4

Table III-5 SPECIFIC RUN-OFF AND RUN-OFF COEFFICIENTS OF CATCHMENT AREA

Catchment Area	Upstream from Ambuklao	Between Ambuklao and Binga	Ambayoan	Kalipkip
Drainage area (km ²)	617	243	281	74
Mean discharge (m ³ /sec)	41.3	15.0	18.3	5.4
Mean run-off depth (mm/year)	2,111	1,947	2,054	2,301
Mean rainfall (mm/year)	3,000	3,000	2,800	3,750
Specific run-off (m ³ /s/km ²)	0.067	0.062	0.065	0.073
Runoff coefficient	0.704	0.649	0.733	0.614

Table III-6 LONG TERM MEAN DISCHARGE CALCULATED

Basin	Catchment area (km ²)	Discharge (m ³ /sec)	Note
Outflow from Binga dam	860	57.2	
Remnant basin between Binga and San Roque	390	27.3	Specific run-off =0.070
San Roque dam proposed site	1,250	84.5	

Table III-7 MONTHLY MEAN OBSERVED DISCHARGE FOR 21 YEARS AND LONG TERM MONTHLY MEAN DISCHARGE AT SAN ROQUE SITE

	Mean of Observed Discharge (m ³ /s)	Ratio to Annual Total (%)	Long Term Average Discharge (m ³ /s)
January	30.2	2.99	30.3
February	23.0	2.28	23.1
March	19.8	1.96	19.8
April	20.0	1.98	20.1
May	40.2	3.98	40.4
June	62.4	6.18	62.7
July	119.8	11.87	120.4
August	225.8	22.37	226.9
September	215.2	21.32	216.2
October	138.7	13.74	139.3
November	75.5	7.48	75.8
December	39.1	3.87	39.2
Mean	84.1	—	84.5

Table III-8 HOURLY RELATION BETWEEN RAINFALL DEPTH AND DURATION AT BAGUIO

Duration (hr)	Depth (mm)	Duration (hr)	Depth (mm)
1	307.1	13	1,506.4
2	472.0	14	1,577.2
3	606.9	15	1,646.1
4	725.4	16	1,713.1
5	833.0	17	1,778.9
6	932.7	18	1,843.1
7	1,026.2	19	1,905.9
8	1,114.8	20	1,967.5
9	1,199.3	21	2,028.0
10	1,280.2	22	2,087.3
11	1,358.1	23	2,145.6
12	1,433.4	24	2,203.0

Table III-9 HOURLY RAINFALL DEPTH AND DURATION WITHIN 24 HOURS EQUIVALENT TO EFFECTIVE PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION IN SAN ROQUE CATCHMENT BASIN

Duration (hr)	Depth (mm)	Duration (hr)	Depth (mm)
1	147.4	13	723.1
2	226.6	14	757.1
3	291.3	15	790.1
4	348.2	16	822.4
5	399.8	17	853.9
6	447.7	18	884.7
7	492.6	19	914.8
8	535.1	20	944.4
9	575.7	21	973.4
10	614.5	22	1,001.9
11	651.9	23	1,029.9
12	688.0	24	1,057.4

Table III-10 MONTHLY OUTFLOW FROM BINGA DAM

Unit: m³/s

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
1950	21.7	15.1	12.0	11.3	30.2	34.7	116.4	309.5	83.4	200.8	35.3	23.4	74.5
1951	15.1	10.0	8.7	8.9	30.3	39.7	106.3	243.1	129.0	43.9	36.0	23.4	57.9
1952	14.8	13.1	11.6	16.8	24.0	34.2	29.1	97.3	87.1	67.0	34.0	28.6	38.1
1953	15.9	11.4	9.6	11.8	14.1	97.5	122.8	160.0	(86.3)	(38.2)	127.1	42.8	—
1954	22.3	14.2	15.0	14.6	13.7	15.1	26.8	75.7	69.9	64.1	124.6	23.9	40.0
1955	17.1	8.3	6.4	12.4	15.4	14.1	21.3	32.4	(36.5)	60.3	41.0	16.0	—
1960	—	20.4	20.2	—	—	—	—	—	54.2	50.4	39.8	23.2	—
1961	20.9	23.6	18.3	18.5	20.2	102.4	110.9	128.6	81.1	56.0	45.9	22.3	54.1
1962	19.7	20.6	23.1	19.1	18.3	28.3	118.2	170.2	69.6	62.5	33.0	28.9	50.9
1963	28.8	28.4	26.9	22.9	28.2	62.4	84.3	81.7	178.8	67.0	29.5	23.4	55.2
1964	26.3	18.3	17.8	23.7	26.0	40.4	50.7	208.4	150.6	136.3	80.5	66.5	70.5
1965	29.6	27.8	29.9	32.6	33.6	60.1	76.9	88.8	73.7	65.2	26.4	18.3	46.9
1966	20.7	29.2	26.5	25.2	58.2	74.3	68.1	75.2	103.7	41.7	49.0	49.2	51.7
1967	25.2	26.2	30.4	31.3	34.6	71.3	82.9	127.4	131.8	208.6	98.4	35.0	75.3
1968	30.1	26.8	27.3	26.4	35.3	21.3	47.3	237.2	335.0	119.5	25.0	18.0	79.1
1969	20.7	17.2	20.4	22.1	33.9	48.9	59.3	149.7	106.2	78.7	34.6	30.8	51.9
1970	21.3	17.3	20.9	34.9	32.8	54.0	54.2	66.7	82.0	101.0	57.0	55.0	49.8
1971	31.0	35.9	30.9	33.4	27.3	37.4	78.9	122.9	79.2	175.9	64.5	32.1	62.4
1972	37.4	37.0	32.7	31.1	35.5	54.6	508.9	287.7	105.6	72.3	46.4	30.7	106.7
1973	39.4	19.2	11.7	1.6	19.6	29.9	40.6	45.5	63.5	74.1	63.8	39.3	37.3
1974	21.8	23.5	17.7	19.6	23.7	62.1	63.9	141.0	102.5	326.6	199.4	68.7	89.2
1975	33.4	28.0	27.3	30.6	31.2	29.7	47.6	65.4	84.1	73.1	44.6	23.0	43.2
1976	17.8	18.8	15.2	24.6	100.8	203.5	269.8	102.1	94.7	72.3	58.3	36.9	84.6
1977	16.9	13.9	5.5	1.5	5.3	15.8	39.1	54.6	139.9	63.1	45.3	18.7	35.0
1978	8.9	20.5	29.8	38.4	23.2	37.1	38.6	166.3	175.2	147.4	79.9	23.6	65.7
1979	24.9	26.1	33.7	26.8	19.4	45.2	55.9	74.8	48.7	51.9	20.2	16.1	37.0
1980	12.5	16.8	25.4	26.7	44.1	24.6	52.6	68.9	105.2	68.0	206.9	29.4	56.7
1981	14.8	23.2	19.4	15.4	30.0	57.4	88.9	134.5	138.4	70.1	71.6	37.2	58.4
1982	22.7	28.5	23.9	35.6	26.2	27.0	39.8	96.4	83.2	71.6	37.0	24.0	43.0
Mean	22.6	21.3	20.6	22.1	29.8	50.8	89.3	129.0	109.5	96.1	64.0	31.3	57.2

Table III-11 RELIABLE MONTHLY DISCHARGE OBSERVED AT SAN ROQUE GAUGING STATION

Unit: m³/s

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
1949	31.9	21.1	16.2	13.8	11.9	25.0	97.6	126.5	181.3	165.5	64.0	51.1	67.2
1950	45.7	23.4	18.5	18.5	43.7	49.6	180.8	357.9	121.9	289.6	56.7	31.3	103.1
1951	22.9	16.1	10.6	12.5	54.6	68.0	105.3	327.3	212.0	70.9	53.9	35.1	82.4
1952	21.1	18.0	13.0	18.7	37.1	56.3	49.5	180.6	154.2	139.1	58.2	31.8	64.8
1953	24.5	16.6	13.7	13.4	15.2	148.0	219.2	358.2	184.7	121.8	116.2	56.2	107.3
1954	31.3	19.6	17.0	18.8	19.9	24.1	37.1	148.8	182.9	121.0	143.0	65.4	69.1
1955	26.1	18.6	13.1	11.3	15.8	21.5	46.7	84.3	107.4	81.4	42.0	17.2	40.5
1956	21.9	14.3	12.4	18.1	26.9	24.0	40.9	82.6	170.0	84.2	74.7	54.7	52.1
1957	37.8	27.5	27.0	32.9	29.7	49.3	73.5	106.9	207.2	119.6	74.4	60.9	70.6
1958	42.9	28.0	25.5	23.2	25.2	42.8	69.9	61.1	66.4	44.6	23.5	21.5	39.5
1960	30.4	20.9	15.5	19.9	29.3	74.8	84.8	444.8	112.9	80.9	27.4	14.8	79.7
1961	25.0	25.2	23.2	22.2	29.3	47.2	164.7	135.4	157.1	106.3	46.2	40.1	68.5
1962	27.2	20.4	29.1	31.5	43.5	36.4	180.2	175.0	243.8	104.8	45.1	44.9	81.8
1963	48.9	39.5	35.2	28.1	22.3	153.6	112.3	131.9	347.6	92.0	36.7	18.6	88.9
1964	17.2	18.8	10.0	24.1	17.1	21.4	55.7	502.1	255.3	282.2	99.5	57.0	113.4
1965	14.0	9.2	13.6	10.4	6.3	33.4	193.6	167.2	129.7	116.4	29.9	16.0	61.6
1966	7.9	8.0	8.1	8.6	229.4	175.9	156.8	178.6	244.6	60.0	54.3	58.5	99.2
1968	27.1	14.5	10.3	14.9	28.5	15.7	108.0	561.1	726.0	275.0	60.1	24.9	154.7
1969	21.7	20.4	24.0	10.0	43.0	64.3	213.7	244.8	350.2	188.3	58.2	18.2	104.7
1971	72.2	70.4	54.9	41.3	47.8	84.3	200.5	270.9	240.6	259.6	71.2	23.1	119.7
1980	36.5	32.0	24.9	28.7	77.5	95.4	124.1	95.0	123.6	109.7	350.3	79.3	98.1

