

#### 4.2.2 1991年の火山活動

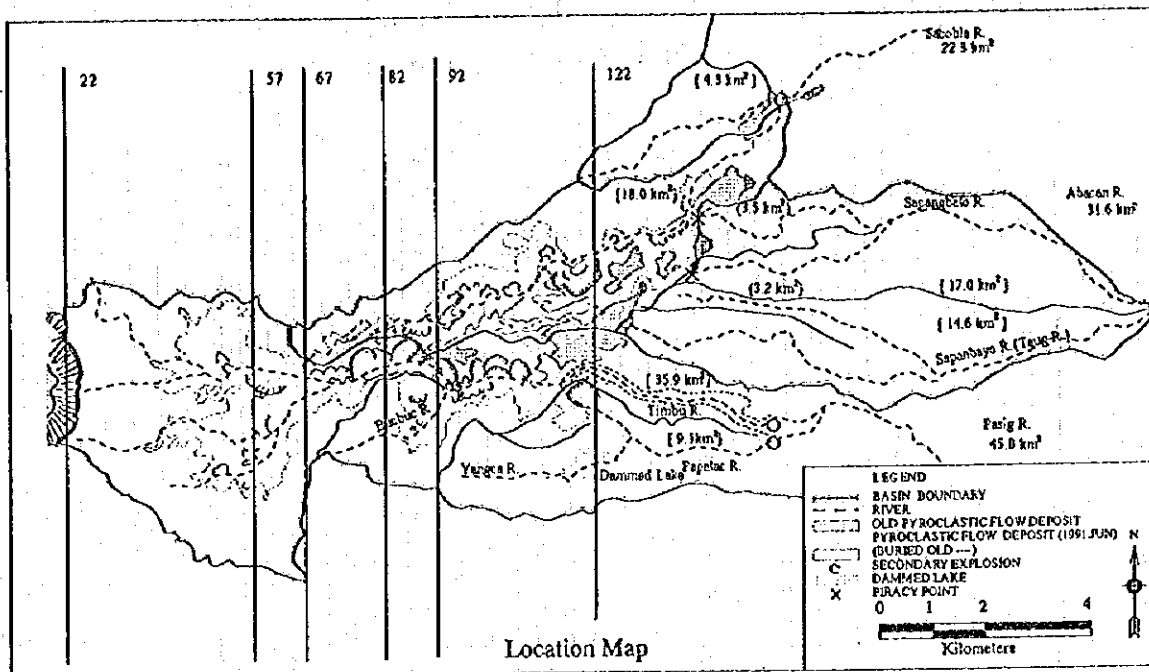
1991年、ピナツポ火山は4月2日に噴火を開始し、6月7日頃から近隣諸国にまで大量の火山灰を降下堆積させるとともに、6月15日に今世紀世界最大規模の噴火を起こした。PHIVOLCSとUSGSの観測結果によれば、1991年の火山活動の経過は次の通りである。

ピナツポ火山の1991年の火山活動の経過	
4月2日	山頂付近で小規模な噴煙が上がった。
4月2日	PHIVOLCSは7箇所の地震計を設置、観測開始。
4月19日	PHIVOLCSは半径10km以内の立入り規制を勧告。
4月23日	USGSがPHIVOLCSと共同で地震観測網を整備。
5月13日	PHIVOLCSとUSGSとはハザードマップを公表(警戒レベルを5段階に設定)。
5月末	噴火活動が活発化、震源が噴気地点直下に集中。
6月5日	警戒レベルを3(2週間以内に大きな噴火の可能性が高い)に上げた。
6月7日	警戒レベルを4(24時間以内に大きな噴火の可能性が高い)に上げた。噴煙が高さ8kmに上がる。
6月9日	警戒レベルを5(噴火中)に上げた。初めて火砕流が西方向へ4~5km流下。6月10日 米軍クラーク基地内の14,000人全員に避難命令。クラーク基地の閉鎖を決定。
6月12日	8時51分大噴火、火砕流が15km流下。警戒範囲を30kmに拡大。避難民は原住民アエタを含めて58,000人に達した。12日から14日にかけて高さ20km以上の噴煙を上げる大規模な噴火が10回以上発生した。
6月15日	13時42分最大噴火、噴煙柱が40km間で上昇し、大火砕流が発生18km流下。山頂部に直径2kmのカルデラが形成された。

6月15日は、午前中から大規模な噴火が相次ぎ、南西方向約30kmの地点では正午前後からほとんど真夜中のように暗くなり灰混じりの雨が降った。一方、東側のクラーク基地周辺では、14時頃から突然空が暗くなり、闇の中灰混じりの雨が降った。15時10分頃から全方向にわたって、軽石を含む火山礫が降った。6月後半以降、カルデラ内からの噴火は次第に減少した。このため、9月4日に警戒レベルを5から3に引下げ、12月4日に警戒レベルを3から2に引下げた。その後、噴火が収まるにつれて、直径2kmのカルデラには湖水が溜まり雨期には湖面水位が上昇している。また、カルデラ内の数箇所から小規模な噴煙が1996年現在でも上がっている。

降灰の厚さは、山頂部付近で50cm以上アンヘレス市付近でも10cm程度に達した。6月12~15日の最大噴火時には、非常に高温の火砕流(Pyroclastic Flow)が発生し、ピナツポ山周囲の山麓部に厚く堆積した。上流部に厚く堆積した降下火山灰や高温の火砕流堆積物は、6月~10月の雨期に泥流(MudflowまたはLahar)となって下流域に流下・堆積した。山頂部には直径2kmのカルデラ(底の標高850m)が形成され、最高標高も南縁で1,527mと低くなった。高温の一次火砕流堆積物は白色の軽石分が多くほとんど溶結していない。この堆積物は、ピナツポ火山周辺を刻む谷地形を最大で200mも埋積させ、非常に平坦な火砕流堆積台地を形成した。一方、河谷部に100~200mと厚く堆積した高温の一次火砕流堆積物は、雨期の豪雨時に流水や地下水と接触すると激しい水蒸気爆発(二次爆発:Secondary Explosion)を起こし、火山灰を吹き上げるとともに二次火砕流を発生させた。また、二次爆発に続いて、二次火砕流や高温の泥流(Hot LaharあるいはSteaming Lahar)が発生した。

PHIVOLCSとUSGSの推定によれば、1991年の大規模噴火でピナツポ火山の周辺には、48~71億m<sup>3</sup>の火砕流堆積物と20億m<sup>3</sup>の降下火砕物が厚く堆積した。EPPFF地域には、10~16億m<sup>3</sup>の火砕流堆積物が堆積したと推定されている。また、調査団では噴火前後の地形図の比較による横断面図の変化をもとに見積り、EPPFF地域の火砕流堆積物の総量を13.98億m<sup>3</sup>と推定した。(図4.1および図4.2)。



Typical Cross Section Data (distance in meters)

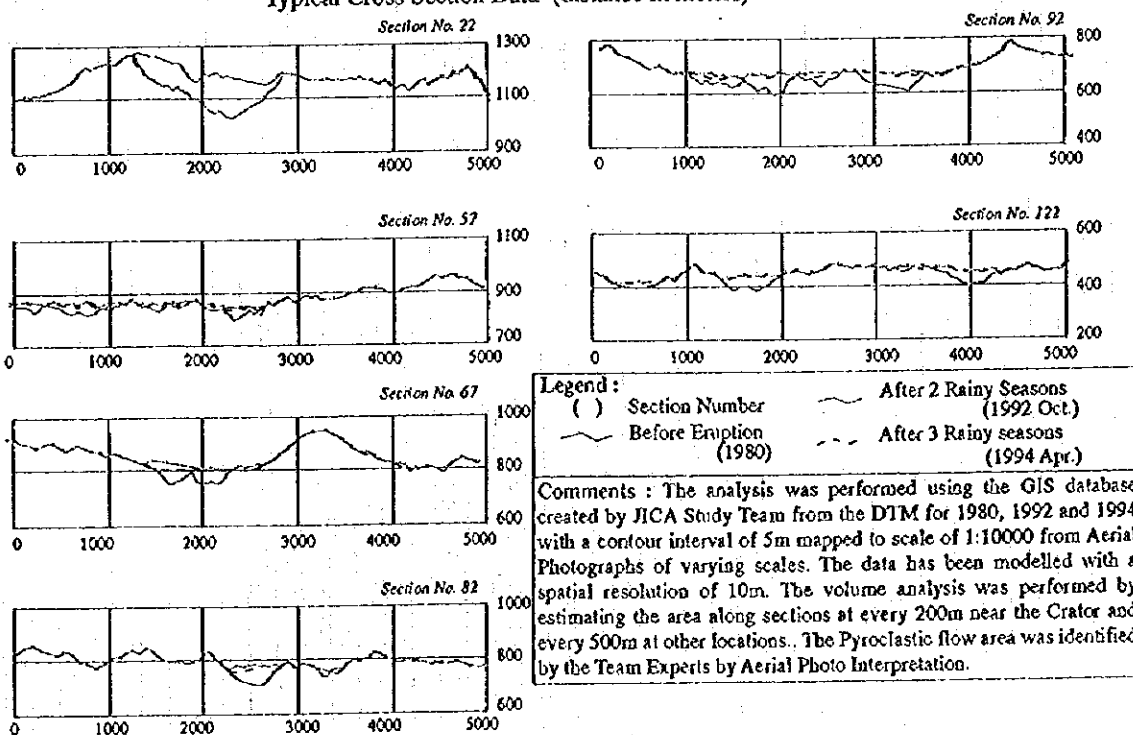


図 4.1 東部斜面における火砕流堆積物の推定

'Geomorphological Sectional Analysis for Pyroclastic flow Deposits

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

ピナツボ東部斜面における火砕流堆積物の経年変化

流域	面積 (km <sup>2</sup> )	火砕流堆積物総量(百万m <sup>3</sup> )と残留火砕流堆積物比(%)				
		1991年6月	1991年10月	1992年10月	1994年3月	1994年10月
サコビア/アバカン		968	768 79%	688 71%	303 31%	295 30%
サコビア/アバカン 上流域	18	550	400 73%	347 63%	303 55%	295 54%
サコビア/アバカン 最上流域	22	418	368 88%	341 82%	320 77%	252 60%
パシグ上流域	23	430	380 88%	340 79%	285 66%	223 52%
パシグ		430	380 88%	340 79%	605 141%	475 110%
合計	63	1,398	1,148 82%	1,028 74%	908 65%	770 55%

ピナツボ東部河川流域における泥流出量

河川流域	泥流出量(百万m <sup>3</sup> )				合計
	1991	1992	1993	1994	
サコビア-アバカン	150	80	65	8	303
アバカン	50	0	0	0	50
パシグ	50	40	55	130	275
合計	250	120	120	138	628

火砕流堆積物総量の経年変化

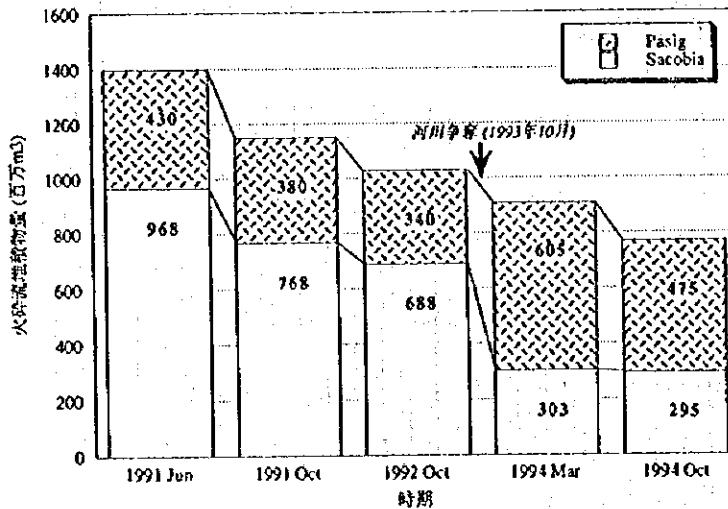


図 4.2 東部斜面における火砕流堆積物の推移

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
DRAINING FROM MT. PINATUBO  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

## 4.3 噴火後の地形変化

### 4.3.1 噴火から1雨期後まで(1991年10月, 図4.3)

#### (1) 火砕流堆積物と水蒸気爆発

ピナツボ火山の火山活動は、1991年6月15日に最大噴火を起こしたが、1991年7月以降次第に沈静化した。しかし、山腹の河谷には高温(300度C以上)の火砕流堆積物がサコビア川流域で最大180m、バシグ川流域で最大220mも厚く堆積したため、従来の水系網は完全に消されて、非常に平坦な火砕流堆積面が形成された。火砕流堆積物が堆積しなかった斜面にも、10~50cmの降下火砕物が堆積した。その後、雨期に入ったため、水よりも軽い物質を多く含んでいた不安定な降下火砕物は、豪雨の度に低温の泥流となって50km以上下流に流下した。

噴火直後の雨期前半には、降雨は高温の火砕流堆積物と接触して蒸発し、表面流を形成することはなかったが、本格的な雨期となり降雨量が増加すると、降雨後の地下水の増加に伴って、火砕流堆積物の底部に地下水が湧出するようになった。この地下水は高温の火砕流堆積物と接触すると水蒸気に気化した。厚い火砕流堆積物に覆われた箇所では、水蒸気は空中に逃げるができずに次第に圧力を増し厚く堆積した火砕流堆積物を突き破って水蒸気爆発(二次爆発)を起こした。

1雨期後(1991年10月)の航空写真によれば、規模の異なる無数の水蒸気爆発の跡(爆裂火口)が認められる。これらの爆発によって火砕流堆積物は飛散し二次火砕流や高温の泥流の発生源となり、噴火前とは異なる水系網が徐々に形成されていった。

#### (2) サコビア川とアバカン川

噴火直後から10月末までの雨期にはサコビア川を高温の泥流が流下して、下流域に大きな被害を与えた。アバカン川にも多量の高温の泥流が流下したため、サバンバトの集落やアンヘレスの市街地では、人家や橋が流され大きな被害を受けた。

サコビア川のマクタン(山頂から15km地点)では、1991年7月17日から9月4日までの50日間に183回(3.6回/日)の高温の泥流が流下し、旧クラーキ基地の北に位置する幅1km、長さ9kmの紡錘型凹地に泥流堆積物が堆積した。噴火前のサコビア川は、紡錘型凹地末端のマスカップ通過後に北に大きく曲流していたが、噴火直後から泥流はマスカップ地点を氾濫開始点(Intersection point)として広く氾濫・堆積した。泥流の一部は、バンバン川の右岸堤を越流し、バンバン市街地に氾濫した。

一方、サバンカウアヤン川やマリムラ川の河道は、サコビア川との合流点付近で次第に埋積され河床が上昇するとともに、出口が閉塞されたため天然ダムが形成され背後に水が貯留された。その後、マリムラ川を堰止めた天然ダムは、1991年8月21日の豪雨時に決壊しバンバン橋は流出した。しかし、サバンカウアヤン川の天然ダムは、堰止めた土砂が大量のため決壊せず1996年現在も600万m<sup>3</sup>の水が貯留されている。

#### (3) バシグ川

バシグ川流域でも、ヤンカ川とブクブク川との合流地点付近まで、厚い高温の火砕流堆積物で覆われたため、水系網が大きく変わった。バシグ川最上流部のブクブク川流域は、火砕流堆積物が最大220mも堆積したため、最大層厚地点で何回も水蒸気爆発(二次爆発)を起こし、円形の爆裂火口が幾つも連なっ

て凹地を形成した。このため、この付近の水系網はこの凹地に流入するようになり、流域は閉塞されてしまった。

左支川のティンプ川は、サコビア川との流域界の尾根を越えて、サコビア川の流域を一部取り込み流下するようになったため、流域面積が4.4 km<sup>2</sup>から10.5 km<sup>2</sup>と大きくなった。バシグ川の本川であったバパタク川は、流域面積が16.9 km<sup>2</sup>から10.0 km<sup>2</sup>と減少した。そして、右支川のヤンカ川との合流地点付近で、ヤンカ川方向に火砕流が逆流して、ヤンカ川の河道を閉塞してしまった。このため、ヤンカ川の上流部には小規模な天然ダムが形成された。この天然ダムは、その後の豪雨時(1991年9月7日)に決壊して、かなりの規模の泥流が下流に流下した。

なお、ティンプ川の最下流部の峡谷部には、フィリピン政府が高さ15mの砂防ダムを1985年頃建設していたが、1991年の最初の頃の泥流は、この砂防ダムでほぼ完全に抑止され、砂防ダムの背後に堆積した。しかし、1991年の10月頃には下流からの洗掘によって、砂防ダムの基礎が露出し始めていた。

バシグ川の1991年雨期における泥流の流出は、サコビア川と比較して少なかった。そして、アンヘレス～ポーラック道路のマンカティアン地点より下流(噴火前の1990年に高さ4mの堤防は完成していたが数箇所破堤)で氾濫・堆積していた。見張り小屋(Watch Point No.5)付近では、噴火前に10～15m掘り込んだ河道となっていたが、多少河道が深くなった程度で、泥流の通過区間となっていた。

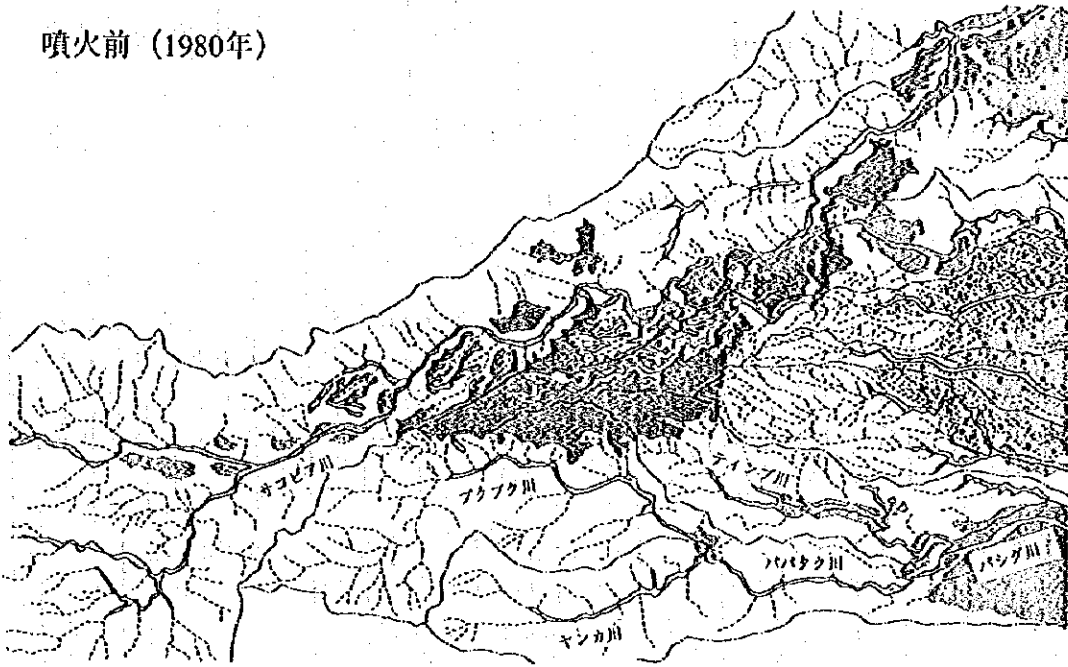
### (3) DPWHによる復旧活動

1991年10月以降の乾期になると、サコビア川、アバカン川、バシグ川など、ピナツボ火山周辺の河川では、二次爆発や泥流の発生はほとんどなくなった。このため、比国公共道路事業省(DPWH)は、各国からの援助を受けてかなり大規模な災害復旧工事に着手した。特に、11月15日から翌年の3月30日頃までに、サコビア川で2基、アバカン川の本支川で10基の砂防ダムを完成させた。

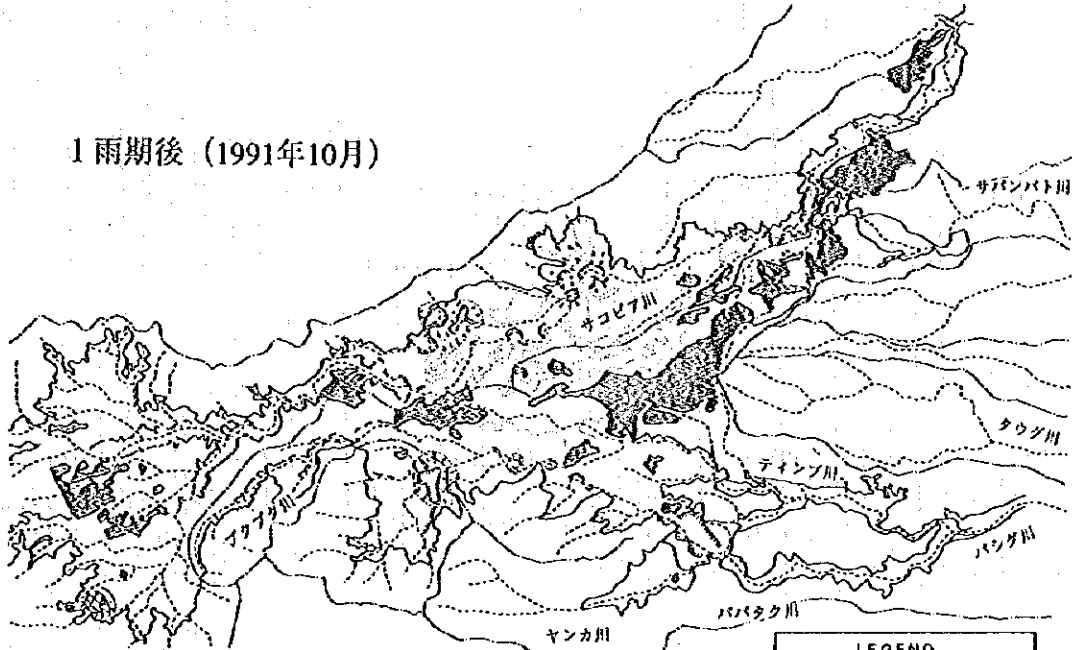
また、バンバン川では1992年の雨期前にバンバンから下流端リオチコ川との合流点までの全区間にわたって、泥流堆積物を利用して堤防を建設した。

バシグ川では、1991年における堤防の破損箇所を中心に補修工事を行うとともに、堤防内の泥流堆積物を浚渫して、通水能力を高めた。また、マンカティアン地点付近の左岸側堤防(高さ4m)を追加建設した。

噴火前 (1980年)



1 雨期後 (1991年10月)



**LEGEND**

- BASIN BOUNDARY
- RIVER & RIVER BED
- PYROCLASTIC FLOW DEPOSIT
- OLD PYROCLASTIC DEPOSIT (BURIED)
- SECONDARY EXPLOSION
- TERRACE SURFACE
- UPPER TERRACE SURFACE
- DAMMED LAKE
- LAVA DEPOSIT



図 4.3 東部斜面における地形分類図 (1980 および 1991)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

#### 4.3.2 噴火から2雨期後まで(1992年10月,図4.4)

##### (1) サコビア川とアバカン川

上記の砂防ダムが完成してまもなくの1992年4月4日(1週間ほど豪雨が続けていた)に、アバカンギャップの約1km上流のサコビア川での大規模な二次爆発を起因として大規模な高温の泥流が発生し、サコビア川とアバカン川の河谷を流下した。このため、完成したばかりの砂防ダム(サコビア川で2基、アバカン川で4基)をほぼ完全に埋積し、5mほど河床を上昇させた。しかし、これらの砂防ダムの効果により、それより下流には高温の泥流は流下せず、大きな被害は発生しなかった。この現象以降、アバカン川最上流端のアバカンギャップで河川争奪が起こりサコビア川の河床は低下し始めた。このため、サコビア川方向にすべての流水や泥流が流れるようになり、アバカンギャップからサバンバト川を通過する泥流はその後発生していない。

しかし、サコビア川やバンバン川では、1992年の雨期になると再び泥流が多発し、国道3号線を越えて、バンバン川の左岸側だけでなく、サコビア川の右岸側にも氾濫した。このため、バンバンやドロレスなどの多くの人家が泥流堆積物で埋積した。しかし、この時期以降の堆積物は、比較的粒子の大きな軽石が多く、前年ほど下流には流下しなかった。

##### (2) バシグ川

バシグ川でも、前年と同様泥流が多発し、アンヘレス～ポーラック道路のマンカティアン地点より下流で氾濫・堆積した。また、1992年7月13日にヤンカ川合流点より上流1kmの地点で大規模な二次爆発が発生し、二次火砕流と高温の泥流がババタク川を流下した。このため、ヤンカ川合流点付近で堰上げられ、ヤンカ川に再び天然ダムが形成された。この天然ダムは1992年8月29日から30日の豪雨時に決壊して、マンカティアン地点より下流で氾濫・堆積した。

##### (3) DPWHによる復旧活動

1992年の雨期が終わると、DPWHではサコビア川の右岸側にコンクリートで保護した高さ5mの堤防の建設を開始した。そして、1993年の雨期前までに、旧クラーク基地北岸の小丘陵地から国道3号線沿いのドロレスの町まで、長さ6kmの区間に堤防が完成した。また、バンバン川の左岸側では、バンバンの市街地付近の堤防にコンクリート護岸を建設した。

アバカン川では右支川のタウグ川からの土砂流出は続いていたため、DPWHでは、アバカン川の通水能力を確保することを目的として、河川改修を行った。アンヘレス市郊外から下流メキシコまでの区間は、泥流堆積物を利用して、兩岸とも堤防を建設した。高速道路のカバヤ橋付近では、侵食防止のため蛇籠による水制工を設置した。アバカン川の下流部では、旧河道と平行して堤防建設により新しい放水路を建設しサンフェルナンド川に合流させた。

バシグ川では、1992年における堤防の破損箇所を中心に補修工事を行うとともに、堤防内の泥流堆積物を浚渫して通水能力を高めた。

#### 4.3.3 噴火から3雨期後まで(1994年4月,図4.4)

##### (1) サコビア川

3年目の雨期になると、EPPFF地域での二次爆発が再び活発化し、サコビア川とバシグ川には泥流が何回も発生した。流下してきた泥流堆積物は、乾期に浚渫、補修された堤防内に堆積して、河床は高くなり数箇所破堤した。そして破堤地点より下流でかなり広範囲に氾濫・堆積した。

特に、1993年10月4～5日の台風カディアン(Kadiang)の襲来によって、サコビア川とバシグ川の上流部で大規模な二次爆発が何箇所も発生し、二次火砕流と高温の泥流が繰り返し発生した。サコビア・バンバン川を流下した泥流は、サコビア川右岸側の国道3号線から3.8km下流のサバンバレンの集落も2～3mの層厚で埋積してしまった。更にバンバン川右岸側の氾濫区域を越えて国道329号線に達し、一部は国道329号線を越えて1km程流下した。

##### (2) バシグ川

この時期の泥流堆積物はサコビア川よりもバシグ川の方が大きく、アンヘレス～ポーラック道路のマンカティアン付近では、多くの人家が5～10mの堆積物で埋積され、マンカティアン橋も流出した。災害直後の観察によれば、サコビア川最上流部で直径1kmにも達する非常に大きな二次爆発が発生し、それより下流のサコビア川の河谷を完全に埋積してしまった。このため、ピナツポ火山の東斜面を構成するサコビア川最上流部がバシグ川に河川争奪された。この結果、サコビア川の流域面積は、マクタン地点で38.8km<sup>2</sup>から18.5km<sup>2</sup>に減少し、バシグ川上流のパバタク川は、流域面積が18.6km<sup>2</sup>から38.9km<sup>2</sup>に増加した。この二次爆発と河川争奪以降、サコビア川流域の泥流は激減したのに対しバシグ川の泥流は激増した。

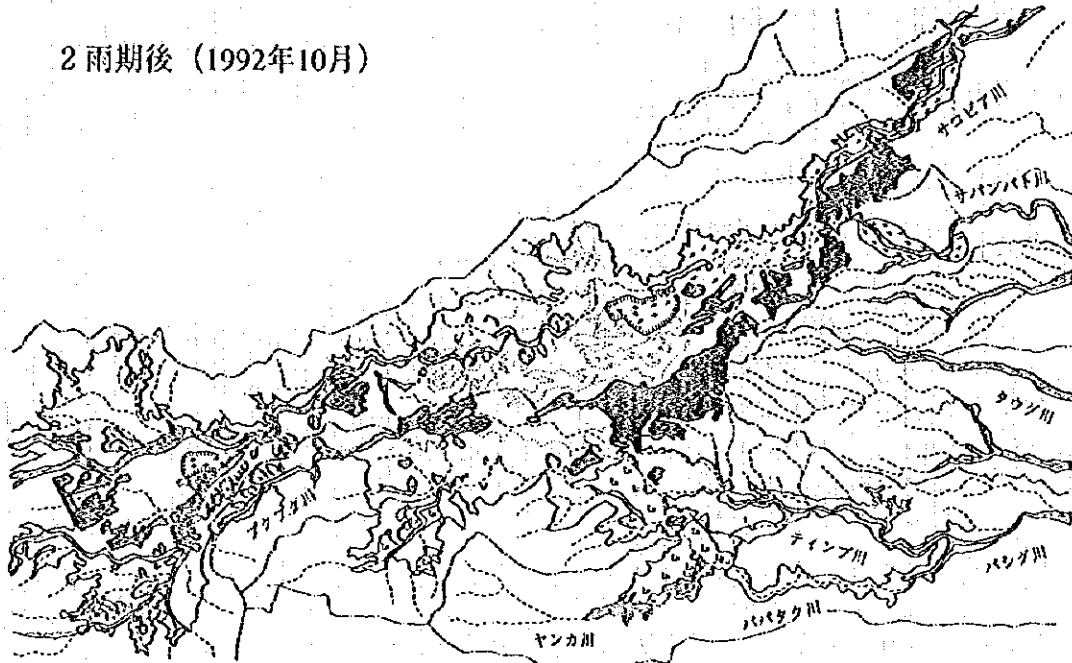
##### (3) DPWHによる復旧活動

1993年11月以降の乾期になると、DPWHは、被災した砂防ダムや堤防の補修工事を順次行った。バシグ川では被害面積が拡大したため、1993年末までに高さ6mの二線堤防(Secondary dike)をバシグ川に沿って建設した。

一方、サコビア・バンバン川流域では、調査団の提案を受けて、DPWHが沈砂地(サンドポケット：Sand Pocket)の緊急工事を1994年3月に開始した。また、サコビア川がサンドポケット施設内へ直進する傾向にあったため、バンバン川への土砂流出を軽減するため、サコビア川とバンバン川流域を分離する堤防(バンバン川右岸堤防)を建設し、サコビア川からの土砂流出をすべてサンドポケット内へ堆積させることでサンドポケットの緊急工事がほぼ完成した。



2 雨期後 (1992年10月)



3 雨期後 (1994年4月)

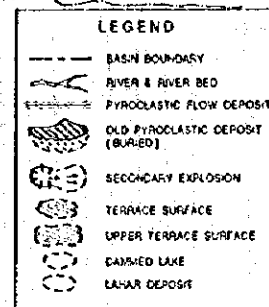
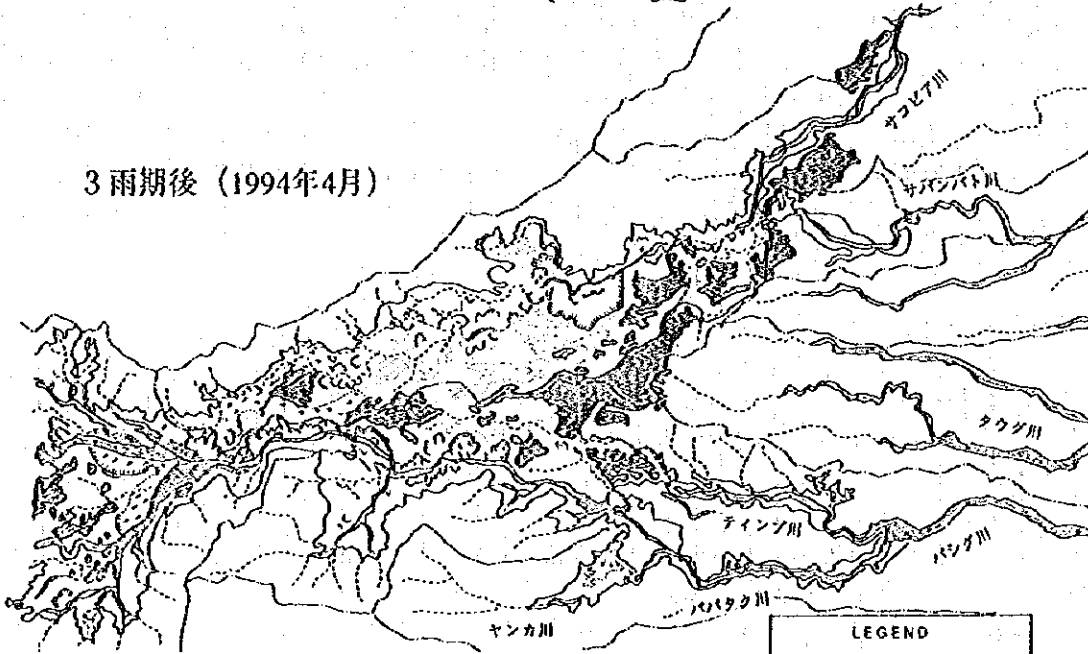


図 4.4 東部斜面における地形分類図 (1992 および 1994)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

#### 4.3.4 噴火から4雨期後まで(1995年2月)

##### (1) サコビア川

4年目の雨期には、河川争奪による流域面積の減少もあって、サコビア川流域での泥流の発生はほとんどなくなり、マクタン地点を下流する泥流は激減した。このため、豪雨時にはマクタン地点から下流の紡錘型地域の泥流堆積物が侵食され、豪雨時に二次移動を次第に起こし始めた。しかし、サコビア川とバンバン川を分離する堤防が雨期前に完成したため、サコビア川から流出した土砂はバンバン川には流入せず、サンドポケット内に堆積させることができた。このため、バンバン川の河床はあまり上昇せず、国道3号線の埋没後、南北ルソン島を結ぶ物流の大動脈となっていた国道329号線のサンフランシスコ橋の交通が維持された。しかし、シルト以下の細粒の成分は、サンドポケット末端の霞堤をすり抜けて、国道329号線より下流のサバンバレン川で氾濫するようになった。

##### (2) バシグ川

バシグ川では、雨期が始まった1994年6月頃から、サコビア川との河川争奪地点付近で、大規模な二次爆発が何回も発生し、二次火砕流や高温の泥流がババタク川の河谷を下流し始めた。しかし、ヤンカ川との合流点よりも下流のババタク川の河谷は、非常に切り立った峡谷となっていたため、大部分の流出土砂はヤンカ川との合流点付近に堆積し、河床は次第に50~100mも上昇した。このため、ヤンカ川の流水は堰止められて、次第に大きな堰止め湖が形成されるようになった。その後も豪雨の度ごとに二次爆発が繰り返され、大量の土砂がババタク川の河谷を埋積させ、ついにはババタク川の上流部が北側のティンプ川方向に流路を変更して流れるようになった。豪雨の度ごとに発生する二次爆発に伴う二次火砕流や高温の泥流の堆積物によって、ティンプ川の河床は40~50mも上昇し、見張り小屋(Watch Point No.5)観測点付近でもバシグ川で河床が上昇し始めた。そして、1994年8月6日の豪雨時にバシグ川の高温の泥流の一部がアンヘレス市方向に流出した。

ヤンカ川との合流点付近のババタク川の河床は8月末には最も高くなり、ヤンカ川に形成された天然ダムは湖面標高が400mとなり貯水容量は300万m<sup>3</sup>にも達した。このため、豪雨時に決壊することが心配された。この天然ダムは9月22日深夜の台風襲来による豪雨時に決壊し、バシグ川を非常に大規模な高温の泥流が流下し中流域のマニバウグ(Manibaug)にて多数の被災者が出た。

その後も、10月21日の台風襲来に伴う豪雨により、バシグ川でかなり大規模な水蒸気爆発と高温の泥流が発生した。これらの地区は、1994年の雨期に上流部の水蒸気爆発(二次爆発)によって、流出してきた二次火砕流や高温の泥流が50~100mの厚さで堆積した区域である。

##### (3) DPWHによる復旧活動

サコビアーバンバン川流域では、サンドポケット内に堆積したシルト以下の細粒の成分は、サンドポケット末端の霞堤をすり抜けて、国道329号線より下流のサバンバレン川で氾濫したため、DPWHはサバンバレン川の河川改修(河道掘削)を実施し、堆積土砂の排除および流下能力の維持を図った。また、バシグ川でさらに大量の高温の泥流が流出すれば、タウグ川を通過してアバカン川を下流し、アンヘレス市を直撃する危険性が危惧された。このため、DPWHではアンヘレス市を守るため、見張り小屋(Watch Point No.5)付近の尾根部から下流の左岸側に高さ6mの堤防を建設し始めた。また、バシグ川の右岸側で氾濫した場合、バシグ川の扇状地よりかなり低いポーラック市も壊滅的な被害を受ける危険性が危惧された。このため、バシグ川の右岸側にも高さ6mの堤防(二線堤)を建設した。

#### 4.3.5 噴火から5雨期後まで(1995年10月)

##### (1) サコビア川

5年目の雨期には、前年以上にサコビア川流域での泥流の発生はほとんどなくなり、マクタン地点を流下する泥流の回数はさらに減少した。このため、マクタン地点から下流の紡錘型地域の泥流堆積物の侵食傾向と平坦化傾向が進んだ。しかも、サコビア川とバンバン川の分離堤防の効果もあって、サコビア川から流出した土砂はバンバン川には流入できず、計画通り下流のサンドポケット内に堆積した。このため、バンバン付近では、バンバン川の河床は逆に低下傾向となった。国道329号線のサンフランシスコ橋付近では、多少土砂が堆積傾向であったが、DPWHの浚渫作業により雨期の期間も国道329号線の交通が維持された。しかし、シルト以下の細粒の成分がサンドポケット下流部へ流出する傾向は続いており、国道329号線より下流のサバンバレン川での氾濫がわずかに続いた。

##### (2) バシグ川

バシグ川の1995年の雨期の初期は、1994年の雨期の状況とほぼ同じで、見張り小屋(Watch Point No.5)付近では高温の泥流の流下・堆積と、河床の上昇傾向が続いた。また、1994年の雨期と同様、見張り小屋(Watch Point No.5)とアンヘレス～ポーラック道路との中間付近で氾濫し、二・三線堤で囲まれた区域を流下するパターンが続いていた。この傾向は、7月28-30日の台風カトリンの襲来まで続いた。

1995年8月の頃から、バシグ川の河床は見張り小屋(Watch Point No.5)付近では下刻し始め、アンヘレス市街地を泥流が襲う心配はなくなった。その後も下刻が次第に進んで、7月28-30日の台風カトリンの襲来後バシグ川の河道状況は変わり、アンヘレス～ポーラック道路より上流では下刻するようになった。これに対し、道路より下流では三線堤を越えて大きく氾濫した。

下流の主要幹線道路であるガパン～サンフェルナンド～オロンガポ (Gapan-San Fernando-Olongapo : GSO)道路のバシグ川本川に架かるサンタバーバラ橋上流で、7月29日(左岸50-60m地点)と8月17日(右岸1,500m地点)に破堤した。8月17日の右岸の破堤箇所は150mまで拡大し、下流のグアグアまで土砂の堆積が広がっていった。この区間を補修している最中の8月21日に左岸側のググ三線堤 (Gugu Tertiary Dike) の下流端付近で破堤した。このため、この堤防内に堆積していた厚さ4~5mの堆積土砂を洗い流し、バシグ川の左岸堤に沿って流下し、バコロールの市街地に大きな被害が発生した。

##### (3) DPWHによる復旧活動

上述したバシグ川の状況は、破堤地点を上流に動かしながら9月後半まで続き、土砂濃度の高い泥流となって流下し、バコロールの市街地は次第に土砂で埋積していった。9月後半になると、DPWHはアンヘレス～ポーラック道路より下流3.5km地点で河道を中央河道に戻す瀬替え工を何度も試みたが、泥流を中央河道ないし三線堤の右側へ流下させることは困難であった。

しかし、10月1日の台風マメン (Mameng) の襲来により、バシグ川下流では1991年の噴火以来最大規模の被害が発生した。台風の襲来によって、5時間雨量約250mmの豪雨をバシグ川上流部で受けたため、バシグ川の河道は瀬替え工地点の約5km下流地点で氾濫して、再び左岸よりに振れ、ググ三線堤の下流方向に新たな流路を形成した。この泥流は、ググ三線堤を越えて、サンフェルナンド方向へと流下した。泥流の襲来が、住民の寝静まった未明であったため、避難することのできなかつた住民も多かった。フィリピン政府の公式な発表がなく、死者は確認されていないが最終的に数百人から千人に達すると言われている。

#### 4.4 火砕流堆積物の土砂収支と河床変動

EPPFF地域の各雨期毎の地形変化を整理して、図4.5 EPPFF地域地形変化図を作成した。この図には、噴火前から雨期後までの地形変化の概要を示すとともに、サコビア川とバシグ川の流域面積の変化と各雨期の泥流の流出土砂量を示した。図4.6と4.7は、サコビア川とバシグ川の河床縦断面の変化を示したものである。図4.8は両河川の河床変化の模式図である。

##### ① 噴火直後の地形変化

噴火前のサコビア川(流域面積44.3km<sup>2</sup>)やバシグ川(同21.3km<sup>2</sup>)は、非常に深い河谷を形成しながら流れており、比較的土砂流出の活発な河川であった。しかし、1991年6月の大規模噴火による火砕流の流下・堆積によって、ピナツボ火山の東部地域に14億m<sup>3</sup>にも達する火砕流が堆積したと推定される。元の流域界で考えると、サコビア川流域(アバカン川上流域を含む)に9.68億m<sup>3</sup>とバシグ川流域に4.30億m<sup>3</sup>堆積したと推定される。その結果、両河川の河谷や低い稜線などは、最大で200mも埋積され、非常に平坦なEPPFF地域が形成され、サコビア川とバシグ川の流域界が消滅した。

##### ② 1雨期目(1991年)の地形変化

1雨期後の1991年10月には、サコビア川の流域面積が39.6km<sup>2</sup>とやや減少したが、サコビア川方向に1.50億m<sup>3</sup>、アバカン川方向に0.50億m<sup>3</sup>の堆積物が流出した。その結果、火砕流堆積物は7.68億m<sup>3</sup>に減少した。一方、バシグ川流域では、上流部が以前のサコビア川との流域界の尾根部を乗り越えていたため、流域面積が24.5km<sup>2</sup>とやや増加した。しかし、上流のブクブク川流域では4.0km<sup>2</sup>の流域が二次爆発の爆裂火口の中で閉塞している。1雨期後には、バシグ川流域では0.5億m<sup>3</sup>の堆積物が流出したため、当流域の火砕流堆積物は3.80億m<sup>3</sup>に減少した。

##### ③ 2雨期目(1992年)の地形変化

翌年の1992年4月4日に、アバカンギャップの約1km上流のサコビア川で大規模な二次爆発が発生し、多量の高温の泥流がサコビア川とアバカン川方向に流下した。しかし、その後サコビア川の河床がアバカンギャップ地点で低下したため、アバカン川方向への流出はなくなった。

2雨期が終了した1992年10月には、サコビア川流域では面積が43.1km<sup>2</sup>と少し増加し、サコビア川方向に0.80億m<sup>3</sup>の堆積物が流出した。その結果、当流域の火砕流堆積物は6.88億m<sup>3</sup>に減少した。一方、バシグ川流域では、上流のブクブク川流域が流下できるようになったため、流域面積が24.2km<sup>2</sup>となった。2雨期後には、バシグ川流域では0.40億m<sup>3</sup>の堆積物が流出したため、当流域の火砕流堆積物は3.40億m<sup>3</sup>に減少した。

##### ④ 3雨期目(1993年)の地形変化

3雨期がほぼ終わりかけた1992年11月5日に、サコビア川上流で大規模な二次爆発が発生した。多量の二次火砕流堆積物がサコビア川の河谷を埋積したため、この地点より上流部は河川争奪され、バシグ川方向に流れるようになった。このため、サコビア川の流域面積は22.8km<sup>2</sup>と半減したのに対し、逆にバシグ川の流域面積は44.5km<sup>2</sup>と倍増した。3雨期の期間に、EPPFF地域からサコビア川方向に0.65億m<sup>3</sup>の堆積物が流出し、流域面積の減少もあって、サコビア川流域の火砕流堆積物は3.03億m<sup>3</sup>と1年前の半分以下に減少した。一方、バシグ川流域では、0.55億m<sup>3</sup>の堆積物が流出し、流域面積の増加もあって、火砕流堆積物は6.05億m<sup>3</sup>と倍増した。

#### ⑤ 4雨期目(1994年)の地形変化

サコピア川流域では、流域面積の減少したこともあって、大・中規模の高温の泥流は半減した。それに対し、バシグ川流域では、高温の泥流の発生は日数・規模とも激増した。

バシグ川流域では、河川争奪したサコピア川上流域からブクブク川との合流点付近までの区間で盛んに二次爆発(水蒸気爆発)を起こし、多量の二次火砕流の堆積物を下流に堆積させた。水蒸気爆発で移動した火砕流堆積物は、ヤンカ川とババタク川の合流点付近で堰止め、ヤンカ川との合流点より上流に天然ダムを形成し始めた。サコピア川上流のババタク川の河床は次第に50~100mも上昇し、1994年8月には右支川であるティンプ川方向に流下し出し、サコピア川の本川となった。

そして、1994年8月6日には、高温の泥流の一部がアンヘレス方向に流出し出した。また、ヤンカ川に形成された天然ダムは、湖面標高400m、貯水容量300万m<sup>3</sup>にも達し、9月22日深夜の台風襲来によって、決壊してしまった。このため、バシグ川の中・下流域(アンヘレス-ポーラック道路のマンカティアン付近より下流)では、非常に大規模な高温のlaharが流下して、多数の死者を出した。

以上の大きな地形変化があったにもかかわらず、4雨期後の1994年11月時点で、サコピア川の流域面積は22.3km<sup>2</sup>と半減したのに対し、バシグ川の流域面積は44.0km<sup>2</sup>とほとんど変わらなかった。4雨期の期間に、EPPFF地域からサコピア川方向に0.08億m<sup>3</sup>の堆積物が流出し、サコピア川流域の火砕流堆積物は2.95億m<sup>3</sup>となった。一方、バシグ川流域では、1.29億m<sup>3</sup>と前年の2.5倍近くの堆積物が流出し、火砕流堆積物は4.76億m<sup>3</sup>と減少した。なお、現本川であるティンプ川の河谷部分に堆積した二次火砕流の堆積物は0.37億m<sup>3</sup>にも達した。

#### ⑥ 5雨期目(1995年)の地形変化

5年目の雨期(1995年10月まで)には、2,336mmと前年の雨期より多い降雨があった。しかし、サコピア川流域では、二次爆発はほとんどなくなり、高温の泥流の発生日数は1/3程度に減少した。このため、マクタン地点から下流の紡錘型地域の泥流堆積物の侵食傾向と平坦化傾向が進んだ。しかも、サコピア川とバンバン川の間隔堤防(1995年5月に完成)の効果もあって、サコピア川から流出した土砂は、下流のサンドポケット内に堆積した。このため、バンバン付近では、バンバン川の河床は逆に低下傾向となった。しかし、シルト以下の細粒の成分がサンドポケット末端の霞堤をすり抜ける傾向は続いており、国道329号線より下流のサバンバレン川での氾濫がわずかに続いた。

バシグ川では、1995年の河道状況の変化が1991年6月の噴火以後でも一番大きく、高温の泥流による被害も大きかった。バシグ川の二次爆発は、PHIVOLCSの観測で34回と前年の雨期と比較し1/4程度に減少した。1994年に比較し1995年には二次爆発の規模や発生回数が減少しているが、これは二次爆発を起こしうる高温で厚層の火砕流堆積物の残存区域が急激に減少していることを示している。

結果として、5雨期後の1995年11月時点では、サコピア川とバシグ川の流域面積はほとんど変化しなかった。5雨期の期間に、サコピア川では0.04億m<sup>3</sup>の堆積物が流出し、火砕流堆積物は2.91億m<sup>3</sup>となった。一方、バシグ川流域での5雨期の総移動土砂量は0.86億m<sup>3</sup>と推定される。その内訳は、上流部からの流出土砂量が前年の1/3の0.45億m<sup>3</sup>で、上流部の火砕流堆積物は4.31億m<sup>3</sup>と減少した。なお、上記の土砂量には、ティンプ川の河谷に4雨期に堆積した0.37億m<sup>3</sup>のうち0.20億m<sup>3</sup>が流出した分が含まれている。現地測量の結果から、これより下流に堆積していた泥流堆積物の河道侵食量は0.41億m<sup>3</sup>と推定した。

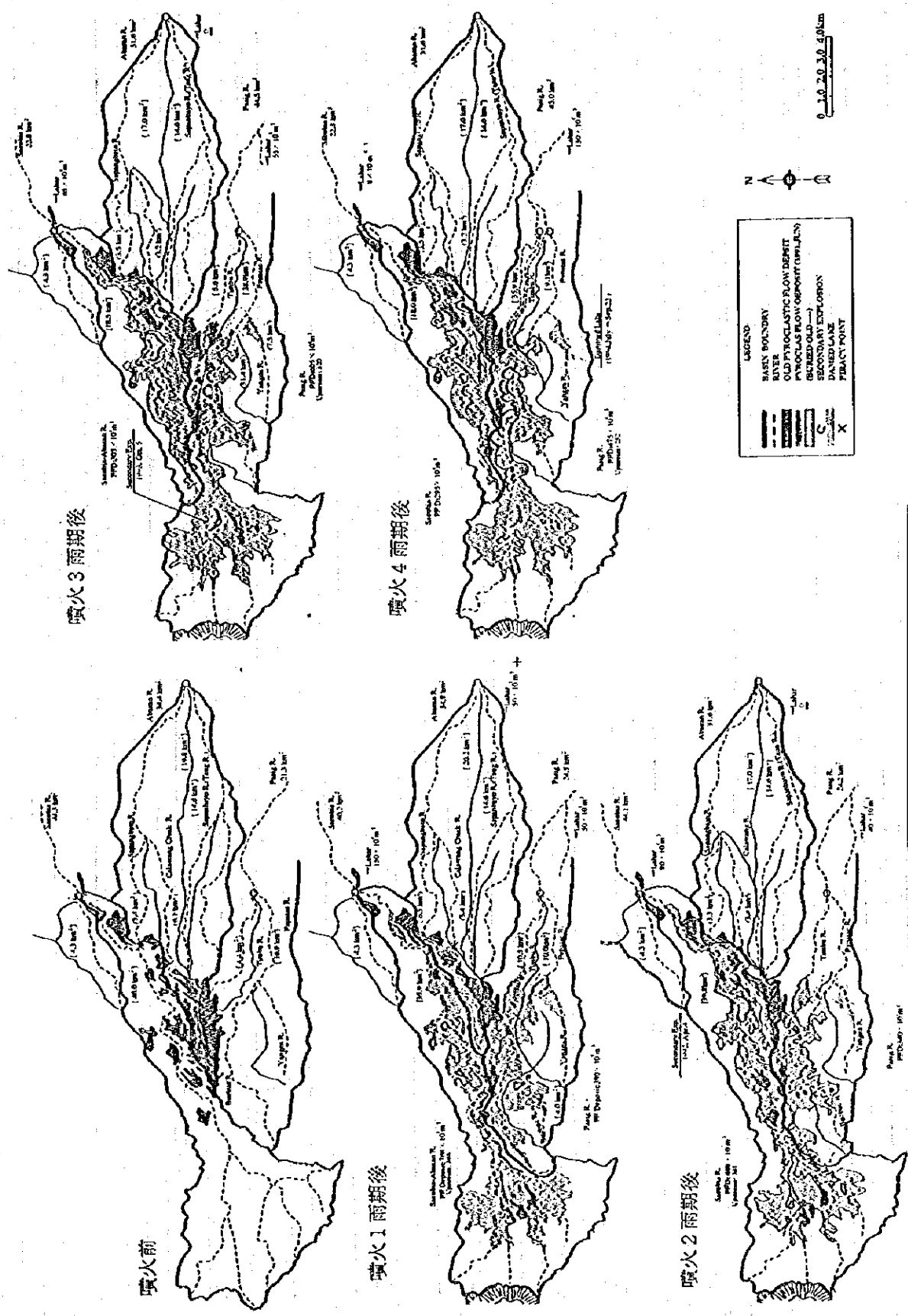
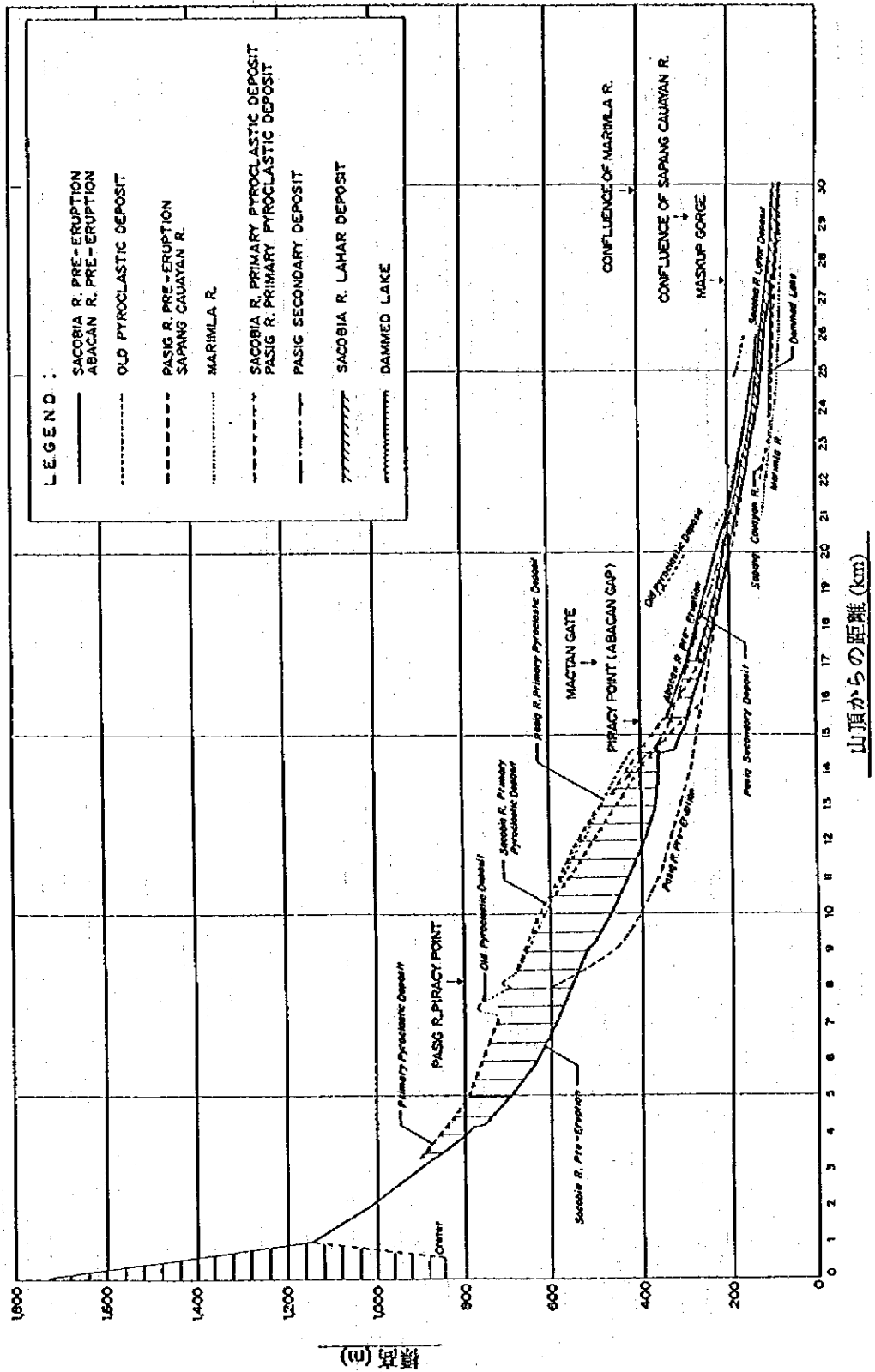


図 4.5 東部斜面における河川流域変化図  
Chronological Changes of Catchment Areas

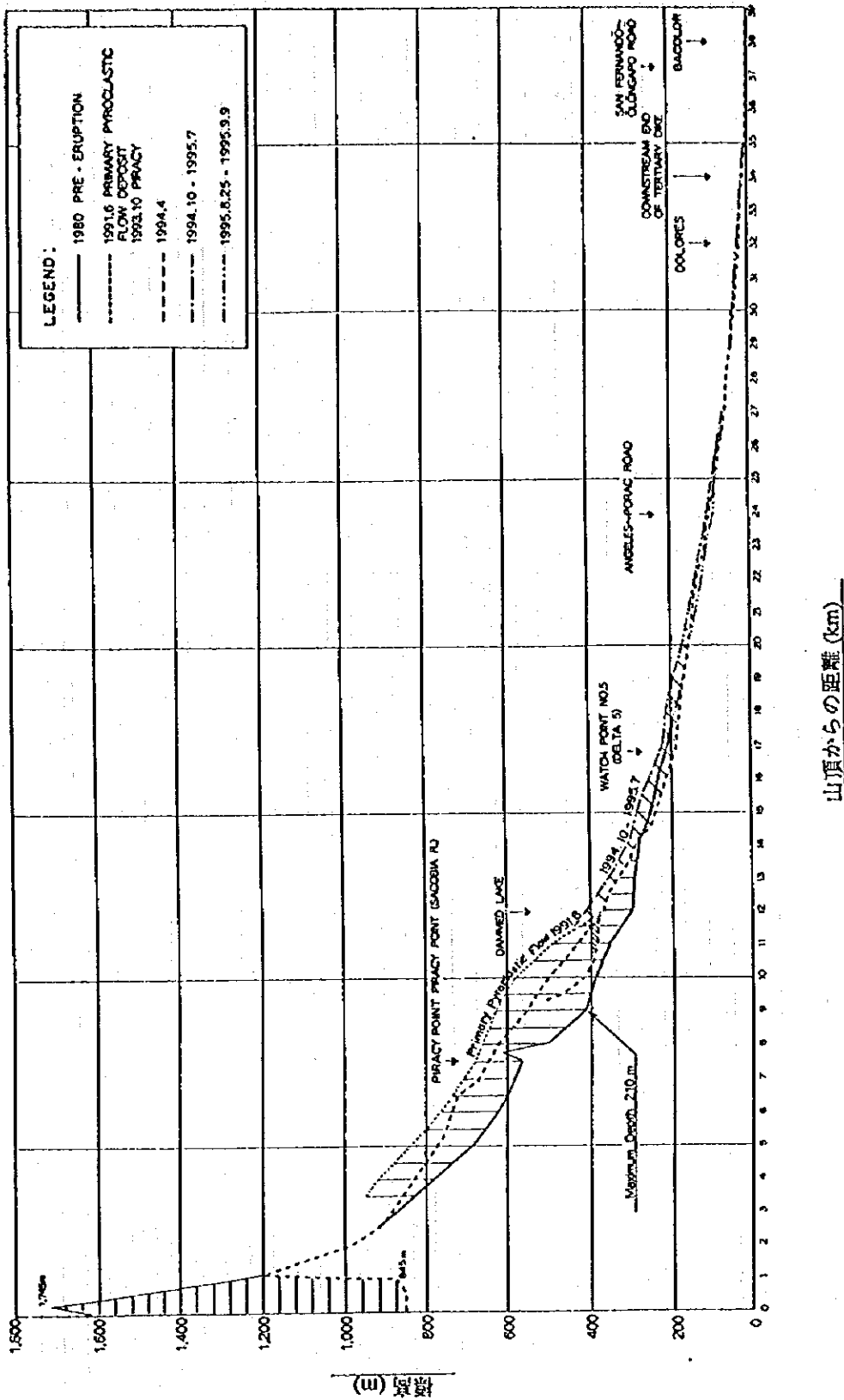
THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
DRAINING FROM MT. PINATUBO  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



(注) 山頂からの距離は東西を x 座標とした投影距離を示す。

図 4.6 サコピアーバンバン川およびアバカン川の河床縦断面図

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
DRAINING FROM MT. PINATUBO  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



山頂からの距離 (km)

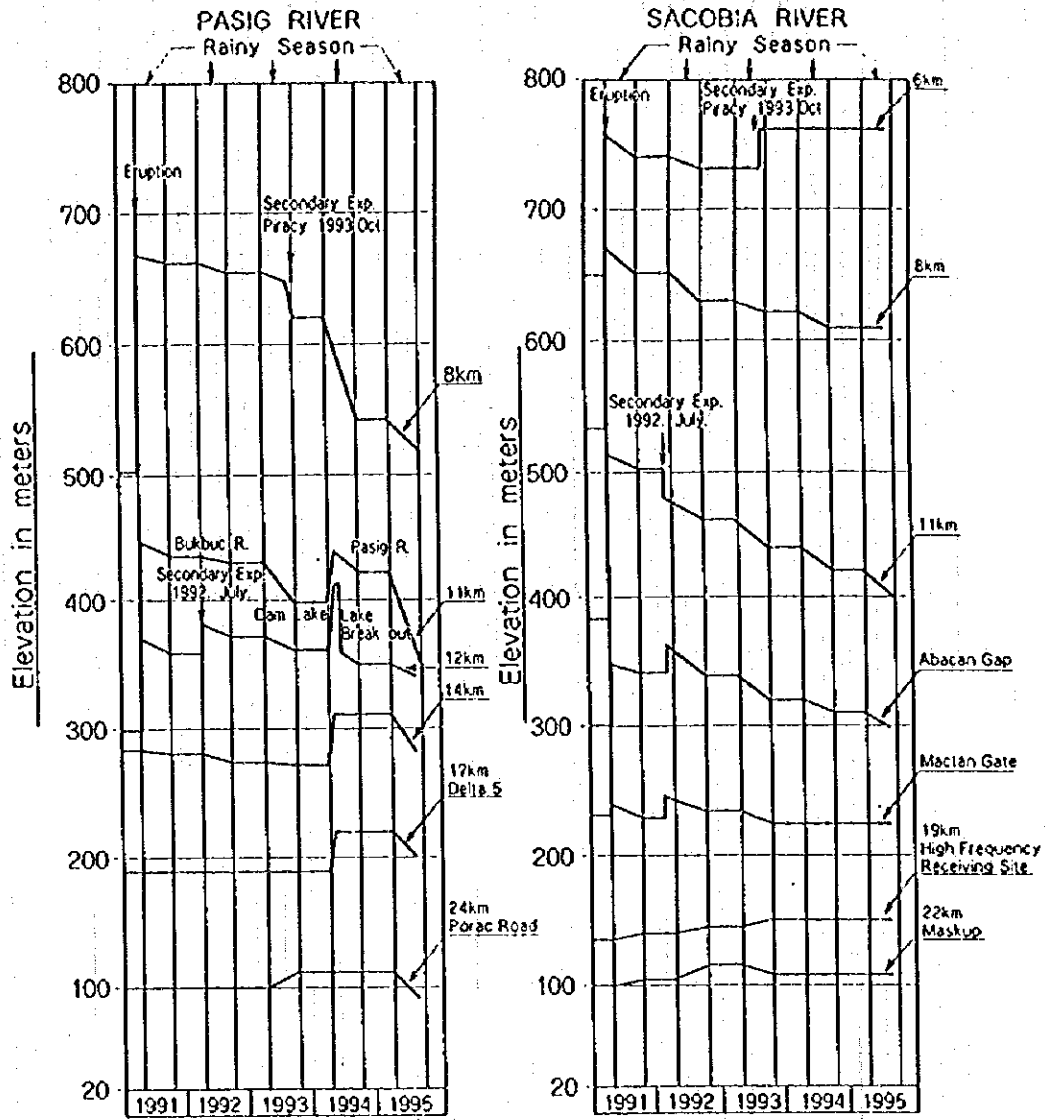
(注) 山頂からの距離はWatch Point No.5までは東西をx座標とした投影距離を示し、それより下流はWatch Point No.5からの直線距離を示す。

図 4.7 パシグ川の河床縦断面図

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



# RIVERBED FLUCTUATION



Pyroclastic Flow Deposit Volume (million m <sup>3</sup> )	450	400	360	725	595	550
Sediment Volume at Delta 5 (million m <sup>3</sup> )	50	40	55	130	45	
Drainage Area at Delta 5 (km <sup>2</sup> )	21.3	24.5	24.2	44.5	45.0	

Pyroclastic Flow Deposit Volume (million m <sup>3</sup> )	1,150	950	870	385	377	373
Sediment Volume in Sacobia River (million m <sup>3</sup> )	150	80	65	8	4	
Sediment Volume in Abacan River (million m <sup>3</sup> )	50	0	0			
Drainage Area at Mactán Gate (km <sup>2</sup> )	40.0	35.3	38.8	22.8	22.3	22.3

(注) 山頂からの距離は東西を x 座標とした投影距離を示す。

図 4.8 パシグ川およびサコビア川の河床変動図

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

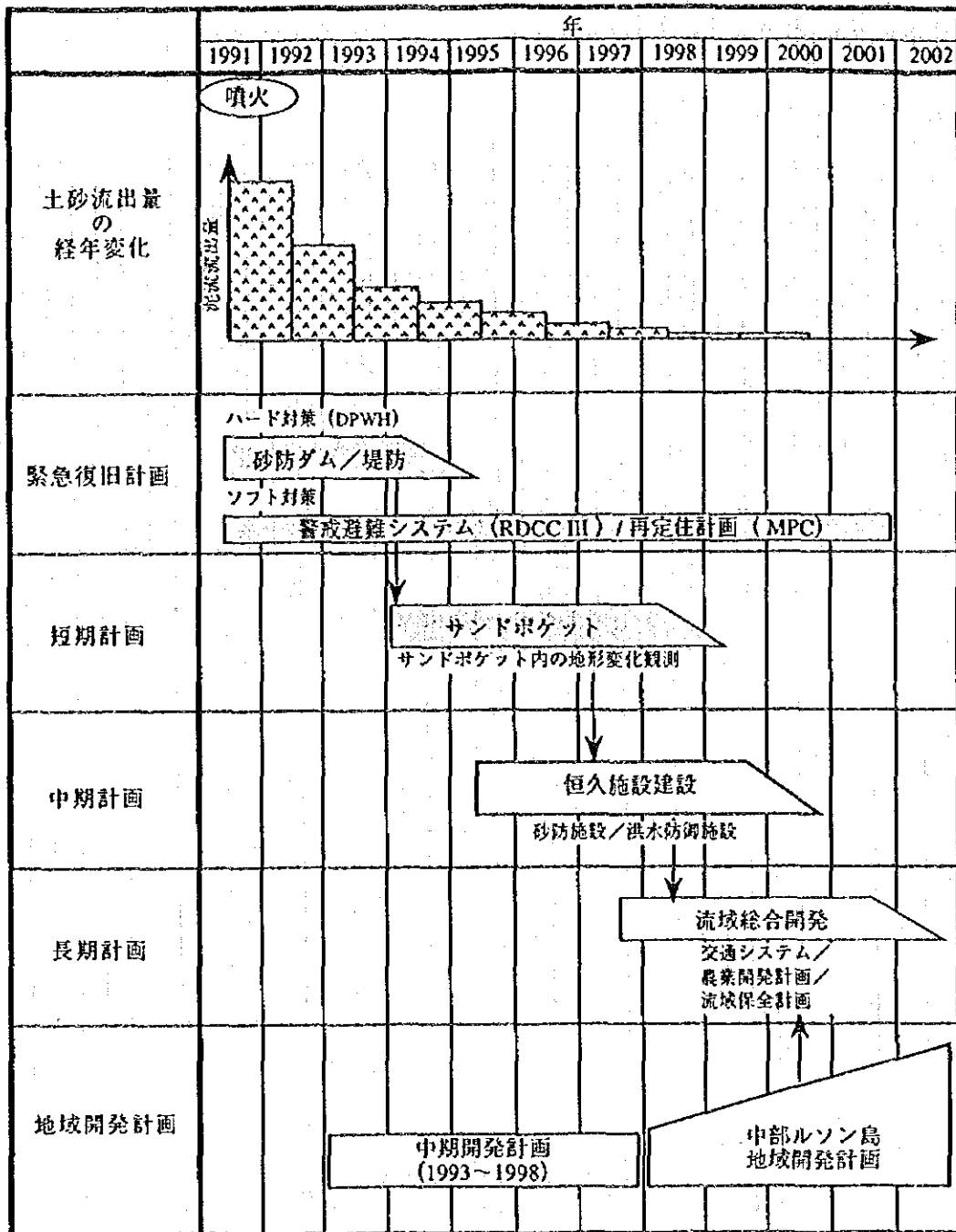
## 第5章 サコピアーバンバン川流域施設計画

### 5.1 計画の基本方針

#### 5.1.1 地域開発計画との整合性

これまでのDPWHの復旧計画、将来の地域開発計画との整合性について、図5.1にそれぞれの計画案の位置付けを示した。

- ① 緊急復旧計画  
DPWHが1991年から1993年にかけて実施した施設計画を緊急復旧計画の構造物対策と位置付け、また、第三開発地区災害対策委員会(RDCCIII)の管理する泥流警戒システムおよびピナツボ災害対策委員会(MPC)が推進している住民移転計画を非構造物対策と位置付ける。非構造物対策はマスタープランで示された施設配置計画の完成後も引き続き実施することが重要である。
- ② 短期計画  
本調査で1994年3月に提案されたバンバン川中流部におけるサンドポケット施設が短期施設計画と位置づけられている。この施設は1994年雨期中の泥流に対処するための構造物であるが、1994年以降の土砂堆積状況をモニタリングすることにより施設位置、構造が見直されている。また、施設構造の見直し後、中・長期施設計画へ取り込まれた。
- ③ 中期計画  
中期施設配置計画は土砂の生産抑制・調節・貯留あるいは洪水防衛を目的とした砂防・洪水防御施設から構成される。これらの構造物は土砂の堆積・移動状況に応じて組み合わせを変えるべき施設である。また、将来は地域開発計画を推進する上で重要となる構造物の建設あるいは農業用地の回復を容易にすることを目的とする。
- ④ 長期計画  
長期計画に示される施設計画は、地域開発計画のシナリオを加速するために実施されるべきものである。道路網整備、農地開発のための灌漑開発等が挙げられる。
- ⑤ 地域開発計画  
現在、フィリピンでは「Philippine 2000」とよばれる中期開発計画(1993～1998)が示され、このシナリオに沿った形で各Region/Provinceより開発計画が策定されている。フィリピン政府あるいは第三開発地区(Region III)の方針から判断して、マニラ首都圏への過度の人口集中を避けるため衛星都市としての機能をピナツボ山東部地域に期待している。北から、タルラック、コンセプション、アンヘレス、サンフェルナンドの各都市のクラーク基地再開発を中心とした発展が地域開発計画のメインフレームとなっている。



(注) : 実施中 : 計画

図5.1 洪水・泥流制御施設の建設実施概念図

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

## 5.1.2 施設計画の基本条件

### (1) 設計洪水・土砂収支に係る流域面積

サコピア川による再度の河川争奪の可能性は非常に低い、その可能性を否定できる確固たるデータは無い。したがって、施設計画の基本となる設計洪水・土砂収支はバシグ川に争奪されたサコピア川上流域を含めて計画した。

### (2) 計画高水流量

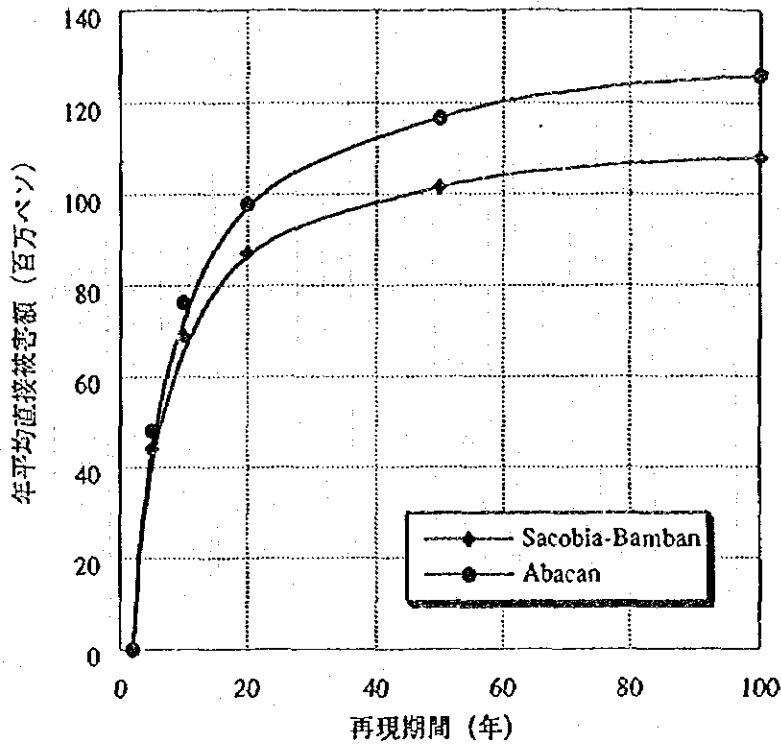
バンバン川上中流は確率高水(1/100)に十分耐える通水能力を維持しているものの、堤防は全て泥流堆積物を盛土したものであり、強度的には不十分であり河川蛇行部(水衝部)で毎年数箇所が破堤している。ただし、バンバン川下流部ではリオチコ川からの背水の影響で土砂堆積(河床上昇)が徐々に進行しており、通水能力は800 m<sup>3</sup>/s程度(1/20)に減少している。

確率洪水被害曲線の増加率より計画高水(1/20)がバンバン川およびアバカン川において最も妥当性のある開発規模であると推定した(図5.2参照)。一方、バンバンガ本川下流域で、現在、海外経済協力基金(OECF)融資により河川改修事業を実施中であるが、この事業における計画高水も1/20であり整合性がつくことになる。また、バンバン川流域面積(207km<sup>2</sup>)のバンバンガ本川に占める割合はリオチコ川との合流点(流域面積約6,500km<sup>2</sup>)で3%であり、本計画実施により下流計画における設計洪水水位が変更になることはない。

### (3) サンフランシスコ橋の新設

国道3号はマニラとルソン島北部を結ぶ幹線道路であるが、すでにバンバン橋が破壊されているので、雨期中の交通は不可能であり、バンバン川を渡るのは国道329号のサンフランシスコ橋のみである。1995年10月には河床高は桁下70cmまでに迫っている。このためDPWHはアジア開発銀行(ADB)融資により、現在の道路標高より5m嵩上げた新橋建設を計画し、1995年10月より建設開始した。したがって、サコピアーバンバン川流域における施設計画はサンフランシスコ橋の完成を1997年として策定した。

### 年平均直接被害額



再現期間 (年)	年平均直接被害額(百万ペソ)	
	サコビアー バンバン	アバカン
2	0.00	0.00
5	44.04	48.06
10	69.09	76.32
20	87.14	97.86
50	101.57	116.78
100	107.88	125.79

図 5.2 サコビアーバンバン川およびアバカン川の確率直接被害

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

## 5.2 土砂収支

### 5.2.1 土砂堆積域の分類

サコピアーバンバン川流域の土砂堆積状況をみると、大別して以下の3区域に分類される(図5.3)。

- ① 土砂生産域 ピナツボ山頂からマクタンより2km上流までの区間。この区間では火砕流堆積物に覆われており、二次爆発あるいは豪雨による土砂生産が著しい。
- ② 土砂堆積域 マクタンより2km上流からサンフランシスコ橋までの区間。この区間では土砂生産域から流出した土砂が広く堆積し、また国道3号線の付近まで二次侵食が発生している。
- ③ 土砂流送域 サンフランシスコ橋からリオチコ川との合流点までの区間。この区間では河川流量に見合った土砂量が下流へ流送されている。ただし、現在は上流からの土砂量が下流への土砂流送力を上回っているため河床上昇の傾向にある。

### 5.2.2 土砂移動モニタリング

サコピアーバンバン川の土砂移動モニタリングはマスカップ～国道329号線間のサンドポケット内で観測を実施した。図5.4に1994年雨期また1995年雨期における河川流路変遷図を示す。一方、1994年にはサンドポケット内に10百万m<sup>3</sup>が堆積した(図5.5)。1995年には河川流路変更・土砂堆積などの大規模な変動は発生していなかったが、1995年10月1日の台風"マメン"通過時に大量の土砂移動が発生した。

### 5.2.3 土砂収支

#### (1) 土砂生産域

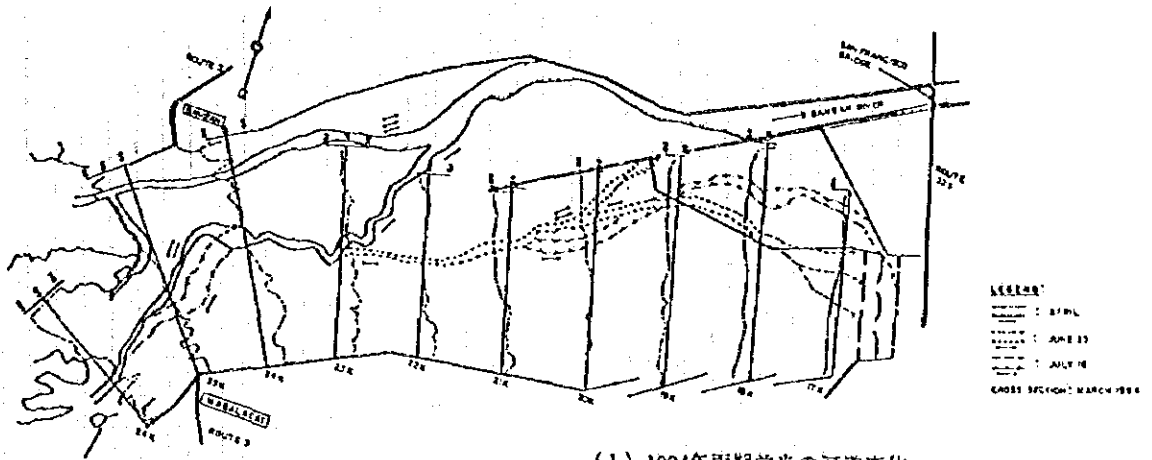
ピナツボ東部斜面における流域面積の変化を以下に示す。

	サコピア		バシグ		合計	
	流域面積 (km <sup>2</sup> )	堆積物 (million m <sup>3</sup> )	流域面積 (km <sup>2</sup> )	堆積物 (million m <sup>3</sup> )	流域面積 (km <sup>2</sup> )	堆積物 (million m <sup>3</sup> )
噴火前 (ピナツボ噴火1991年6月)	40.0		21.3		61.3	
噴火直後 (アバカンギャップの形成、1992年4月)	35.3	968 1)	24.5	430	59.8	1,398
1992年10月	38.8	688	24.2	340	63.0	1,028
1994年4月	18.5	303	44.5	605	63.0	908
1994年10月	18.0	295	45.0	475	63.0	770

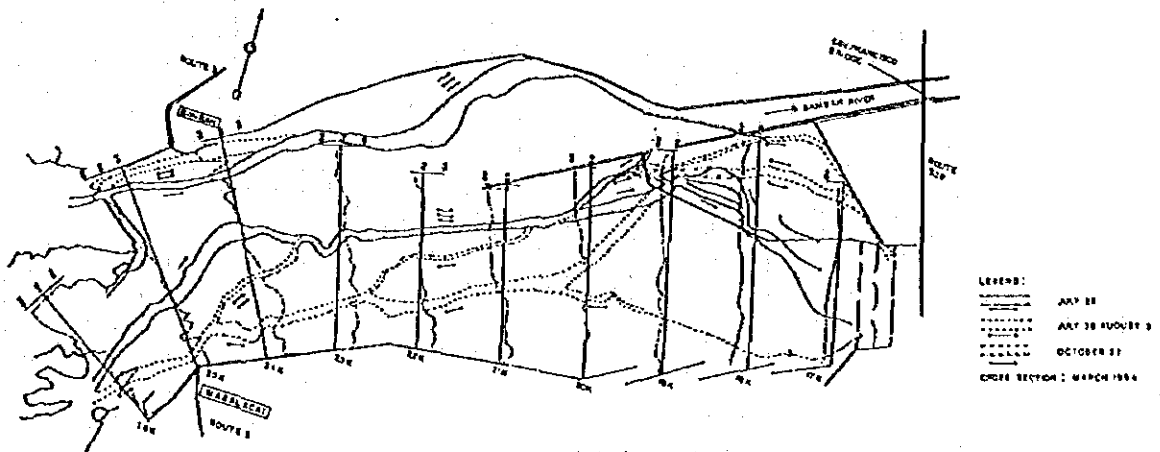
(注) 堆積物は火砕流堆積物の総量。 1)はアバカン川上流を含んでいる。

火砕流堆積物は1994年10月時点で当初の55%まで減少している。また、7.7百万m<sup>3</sup>の火砕流堆積物が上流域に堆積しているが、1994～1995年には数回の小規模泥流しか観測されていない。この理由として以下の事項が考えられる。

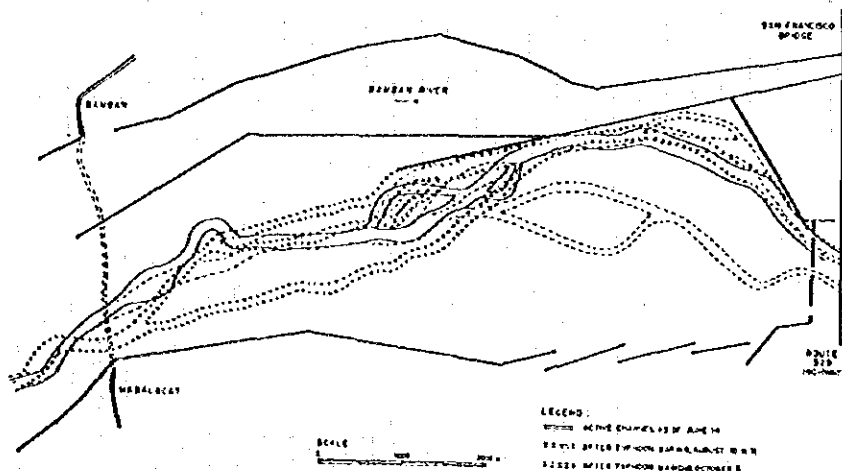




(1) 1994年雨期前半の河道変化



(2) 1994年雨期後半の河道変化



(3) 1995年の河道変化

図 5.4 サコビア川の河道変化(1994-1995)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY





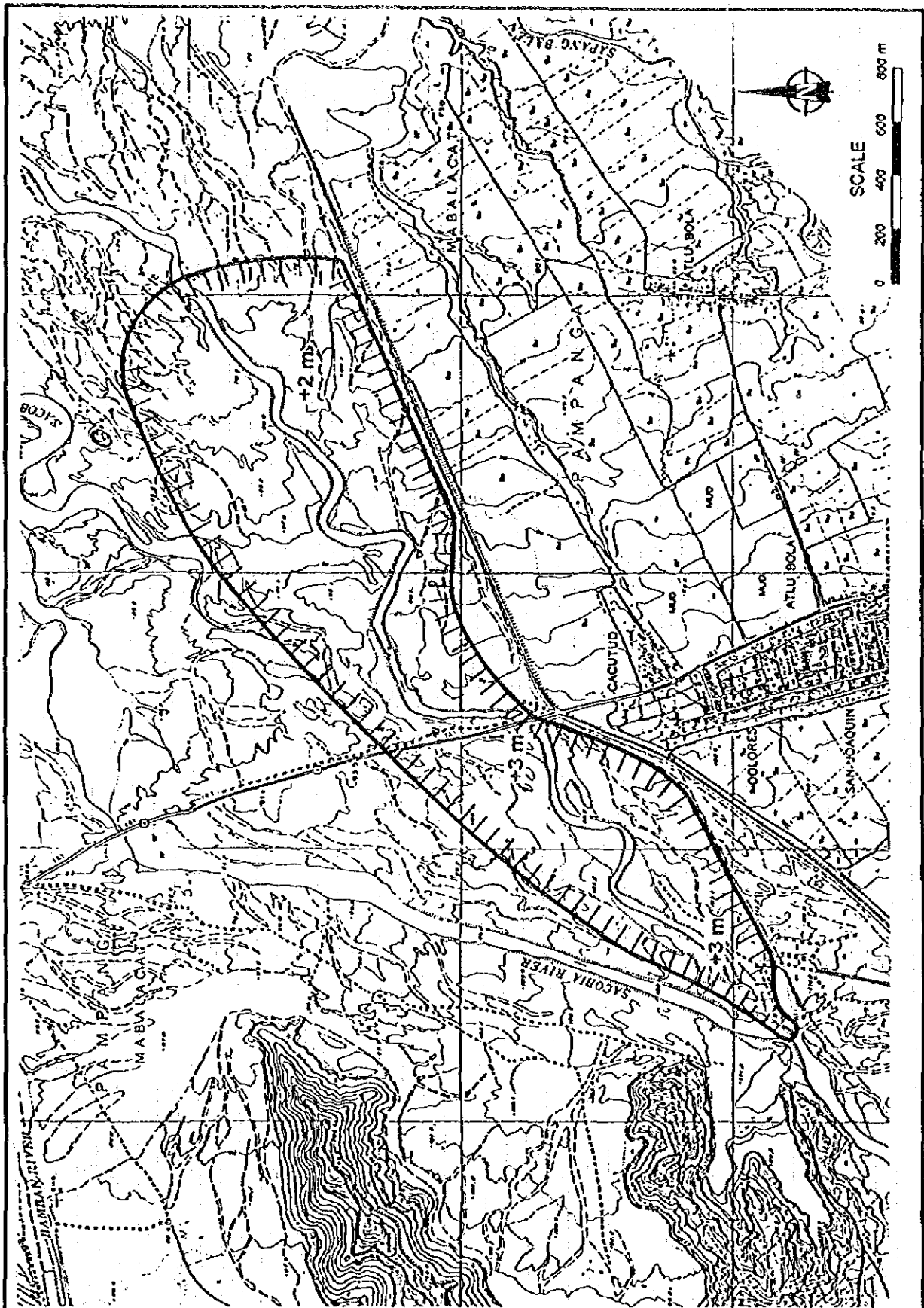


図 5.6 サンドポケット内の土砂堆積図 (1995)  
 Sediment Deposit during Typhoon  
 Manteng on October 1, 1995

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBANG/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

- ① 1993年10月の河川争奪により、サコピア上流域の流域面積は45 km<sup>2</sup>から22km<sup>2</sup>に減少した。このため、土砂生産量と土砂輸送量も激減した。
- ② 1994年～1995年において、サコピア上流域は数回の二次爆発しか観測されなかった。したがって、火砕流堆積物がルーズにはならなかった。
- ③ サコピア上流域の火砕流堆積物はすでに侵食を受けており、土砂・洪水流出抑制に寄与する一連の峡谷部がマクタンより上流に形成されていた。

## (2) 土砂堆積・二次侵食域

土砂堆積・二次侵食域は大別して以下の3区域に分割される。

- ① マクタン～マスカップ間の紡錘形谷地
- ② サバンカウアヤン・マリムラ川の2支川合流地点からバンバン川流域
- ③ サンドポケット地域

このうち、①のマクタン～マスカップ間の紡錘形谷地が将来の土砂供給源になると考えられる。噴火後1995年までの土砂堆積状況を以下に示す。

区間	1991 - 1992	1993	1994	1995	合計
マクタン～マスカップ	55	28	-3	.	80
マスカップ～国道3号線	125	40	10	4	174
国道3号線～国道329号線	45	2	1	.	48
合計	220	70	8	4	302

## (3) 土砂流送域

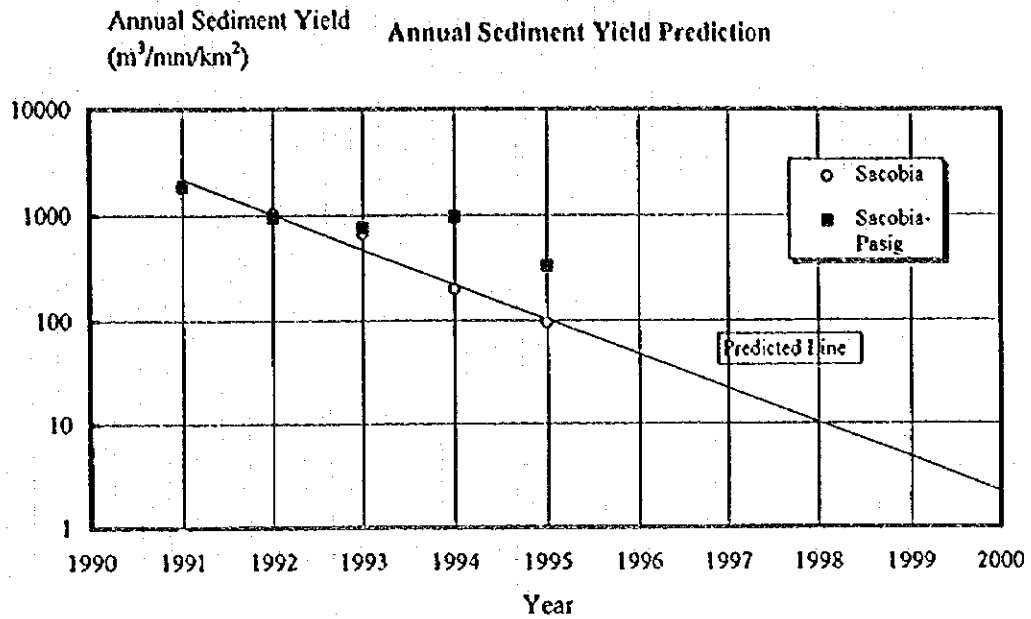
図5.7に土砂流出量の毎年の変化を示した。サコピア～バンバンおよびバシグ川の総流出量では明瞭な減衰傾向は把握できないが、サコピアのみでは減衰率を推定することができる。ここでは図中に示した減衰率から1996年以降の土砂流出量を推定した。

年	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
流出量	150.0	80.0	65.0	8.0	4.0	2.0	0.9	0.4	0.4	0.4

この結果、噴火後続いていた大規模な土砂流出は1997年雨期にはほぼ収束し、1998年以降はほぼ噴火前の状態に戻ると推定された。また、図5.8でサンフランシスコ橋の桁下余裕高の変化を示した。

### 5.2.4 土砂濃度

PHIVOLCSによる年間降雨量と各河川別の土砂流出量の関係から、年間平均土砂濃度を算定した。これは、降雨流出率を平均0.65と仮定し、火砕流堆積域からどの程度の土砂濃度で下流へ運搬されているかを推定したものである。この表によれば、1993年10月の河川争奪後、サコピア川では平均土砂濃度が急激に減少しているのに対し、バシグ川では未だに高い濃度が維持されている。



**Volume of Source Material, Lahar Deposition, Rainfall and Catchment Area**

Year	Volume of Pyroclastic Flow Deposits (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			Volume of Lahar Deposits (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )				Annual Rainfall (mm)	Catchment Area of Headwaters (km <sup>2</sup> )			Normalized Sediment Yields (m <sup>3</sup> /mm/km <sup>2</sup> )		
	Sacobia-Abacan	Pasig	Total	Sacobia	Abacan	Pasig	Total		Sacobia	Pasig	Total	Sacobia	Pasig	Total
1991	968	430	1,398	150	50	50	250	2,250	35.3	24.5	59.8	1,889	907	1,858
1992	-	-	-	80	0	40	120	2,000	38.8	24.2	63.0	1,031	826	952
1993	688	340	1,028	65	0	55	120	2,500	38.8	24.2	63.0	670	909	762
1994	303	605	908	8	0	129	137	2,270	18.0	45.0	63.0	196	1,263	958
1995	295	476	771	4	0	45	49	2,360	18.0	45.0	63.0	94	424	330

**Note.** 1) Volume of pyroclastic flow deposits and lahar deposits is obtained by combination of PIHVOLCS-USGS & DPWH data and the results of the Study.  
2) Annual rainfall from 1991 to 1993 is referred to PIHVOLCS-USGS data, the value from 1994 to 1995 is referred to PIHVOLCS observation data at Upper-Sacobia gauge.

**Prediction of Sediment Yield from EPPFF into Sacobia River**

Year	Volume of Sediment Yield (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Accumulated Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
1996	2.0	2.0
1997	0.9	2.9
1998	0.4	3.3
1999	0.4	3.7
2000	0.4	4.1

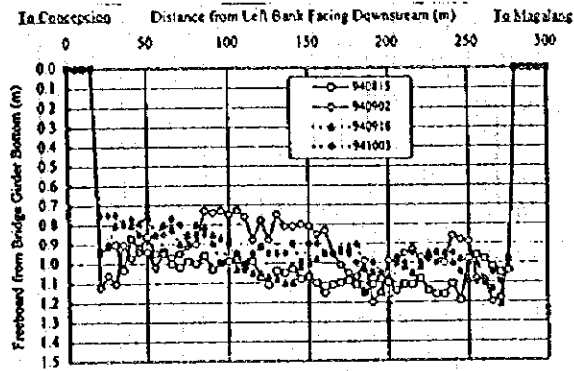
図 5.7 サコビア川の火砕流堆積物流出予測図

**Prediction of Annual Sediment Yield from EPPFF**

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
DRAINING FROM MT. PINATUBO  
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

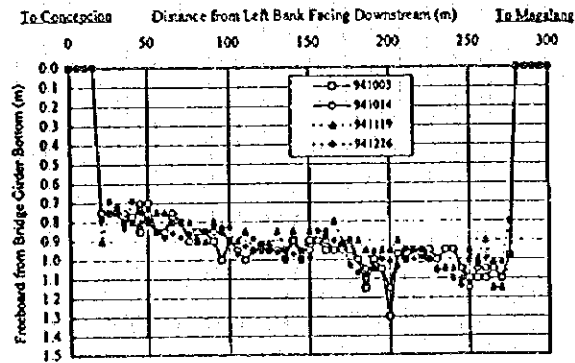
(1) 桁下余裕高の変化

1994年8月15日～1994年10月3日



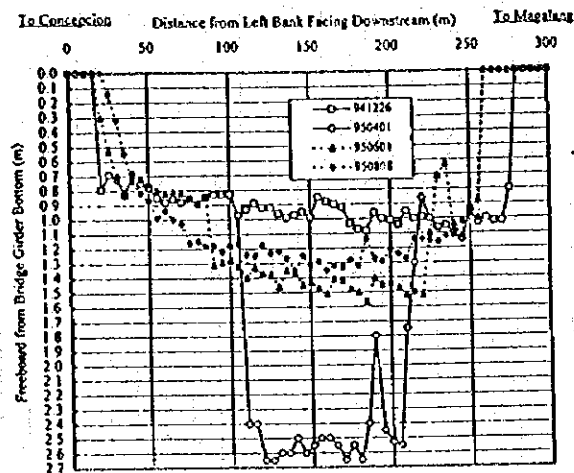
(2) 桁下余裕高の変化

1994年10月3日～1994年12月26日



(3) 桁下余裕高の変化

1994年12月26日～1995年8月8日



(4) 桁下余裕高の変化

1995年8月8日～1995年10月13日

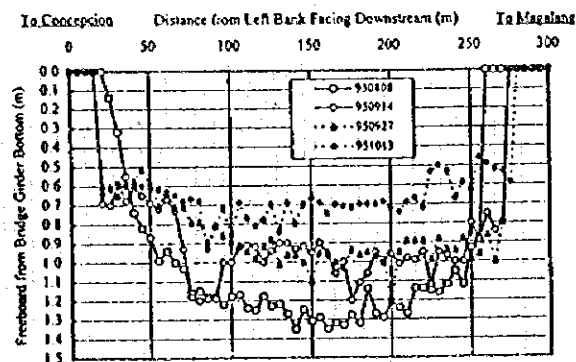


図 5.8 サンフランシスコ橋の桁下余裕高変化図

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

		平均土砂濃度の推定					(単位:百万m <sup>3</sup> )				
河川	流域面積 (km <sup>2</sup> )	土砂流出量(百万m <sup>3</sup> )					平均濃度(%)				
		1991	1992	1993	1994	1995	1991	1992	1993	1994	1995
サコピア	40(18)	150	80	65	8	4	72	61	50	23	12
アバカン	33	50					51				
パンバ	25(45)	50	40	55	130	45	58	55	58	66	38
年間降雨量(mm)							2,250	2,000	2,000	2,300	2,400

### 5.2.5 土砂輸送能力

サコピア川の代表地点においてブラウン(Brown)式を用いて土砂輸送能力を算定した。算定にあたっては10m<sup>3</sup>/s~1,000m<sup>3</sup>/sの流水を仮定し、土砂輸送量と土砂濃度をサコピア川のマスカップ地点で0.7~7%、パンバン川のサンフランシスコ橋で0.05~0.5%となった。結果を表5.1に示した。

### 5.2.6 年間土砂輸送量

調査対象地域では長期にわたる水文観測データはない。したがって、調査地域の北方100kmに位置し過去30年の雨量データが記録されている気象局(PAGASA)のダグバン観測所データおよびPHIVOLCSの観測による4年間のクラーク基地における降雨記録をもとに年間土砂輸送量を算定した。算定結果を表5.2に示した。

### 5.2.7 土砂収支

図5.9に示すように、先ず施設なしを仮定して2000年までの土砂収支を算定した。結果として以下の事項が判明した。

- ① 火砕流堆積域からの土砂流出はここ数年は続くものの、マクタン~マスカップ間の土砂二次侵食による土砂流出が顕著となる。
- ② サンドポケット下流端の国道329号線より下流では、粒径の大きな土砂移動は見られないものの、シルテーションが今後引き続き発生する。
- ③ パンバン川中流域のサンフランシスコ橋より下流では大量の土砂移動により河床上昇が顕著である

このため、二次侵食による土砂移動を制御する施設建設が必要となる。施設計画に資するため、以下の4ケースについて土砂収支を算定した。

- ① サンドポケットを将来も利用する案
- ② サンドポケットは一時的に利用し、マスカップおよび国道3号線に床固工を建設する案
- ③ サンドポケットは一時的に利用し、マスカップ~マクタン間に複数の床固工を建設する案
- ④ サンドポケットは一時的に利用し、マスカップおよび国道3号線に床固工を建設し、さらにパンバン川上流に複数の床固工を建設する案

上記解析結果をそれぞれ図5.10から図5.13に示した。結果から、①、②および③の施設計画において年間1.5百万m<sup>3</sup>の浚渫が必要となり、また④では年間1.0百万m<sup>3</sup>の浚渫をパンバン川下流域において実施することが河床上昇を抑えることとなる。しかしながら、上記土砂収支は不確定要素を多分に含んでおり、今後の土砂移動モニタリングにより現実の土砂移動を明らかにする必要がある。

表5.1 土砂流送能力

位置	流域面積 (km <sup>2</sup> )	水面勾配	河道幅 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	水深 (m)	土砂輸送量 (m <sup>3</sup> /s)	土砂濃度
(1) サコピア							
1) マスカップ	38	0.0100	100	10	0.11	0.07	0.69%
				50	0.29	0.77	1.54%
				100	0.44	2.18	2.18%
				500	1.14	24.41	4.88%
				1000	1.73	69.05	6.91%
2) サンドポケット	61	0.0048	100	10	0.14	0.02	0.19%
				50	0.36	0.21	0.42%
				100	0.54	0.60	0.60%
				500	1.43	6.66	1.33%
				1000	2.16	18.85	1.88%
(2) バンバン							
1) マロンソ	93	0.0038	200	10	0.10	0.01	0.09%
				50	0.25	0.10	0.21%
				100	0.38	0.29	0.29%
				500	1.00	3.24	0.65%
				1000	1.52	9.17	0.92%
2) サンフランシスコ橋	94	0.0027	200	10	0.11	0.00	0.05%
				50	0.28	0.06	0.11%
				100	0.43	0.16	0.16%
				500	1.12	1.75	0.35%
				1000	1.69	4.95	0.49%
3) リオチコ合流点	98	0.0015	200	10	0.13	0.00	0.02%
				50	0.33	0.02	0.04%
				100	0.50	0.06	0.06%
				500	1.32	0.65	0.13%
				1000	2.00	1.85	0.18%

表5.2 年間流送土砂量

位置	流域面積 (km <sup>2</sup> )	水面勾配	雨量観測所	年間流出量 (百万 m <sup>3</sup> )	年間流送能力 (百万 m <sup>3</sup> )	土砂濃度	年間堆積量 (百万 m <sup>3</sup> )
(1) サコピア							
1) マスカップ	38	0.0111 (1/90)	ダグバン	59.9	2.04	3.41%	3.40
			クラーク	59.6	2.10	3.50%	3.49
2) サンドポケット	61	0.0048 (1/210)	ダグバン	96.1	0.94	0.98%	1.57
			クラーク	95.7	0.96	1.00%	1.60
(2) バンバン							
1) マロンソ	93	0.0038 (1/260)	ダグバン	146.6	0.86	0.59%	1.43
			クラーク	146.0	0.94	0.64%	1.56
2) サンフランシスコ橋	94	0.0027 (1/370)	ダグバン	148.1	0.47	0.32%	0.78
			クラーク	147.5	0.55	0.37%	0.91
3) リオチコ合流点	98	0.0015 (1/650)	ダグバン	154.4	0.19	0.12%	0.32
			クラーク	153.7	0.25	0.16%	0.41

- 水深 : マニング式による等流水深
- 粗度係数 : n=0.025
- 流砂量公式 : ブラウン式
- 粒度 : d=0.7 mm (比重2.60)
- 雨量データ : 1989年

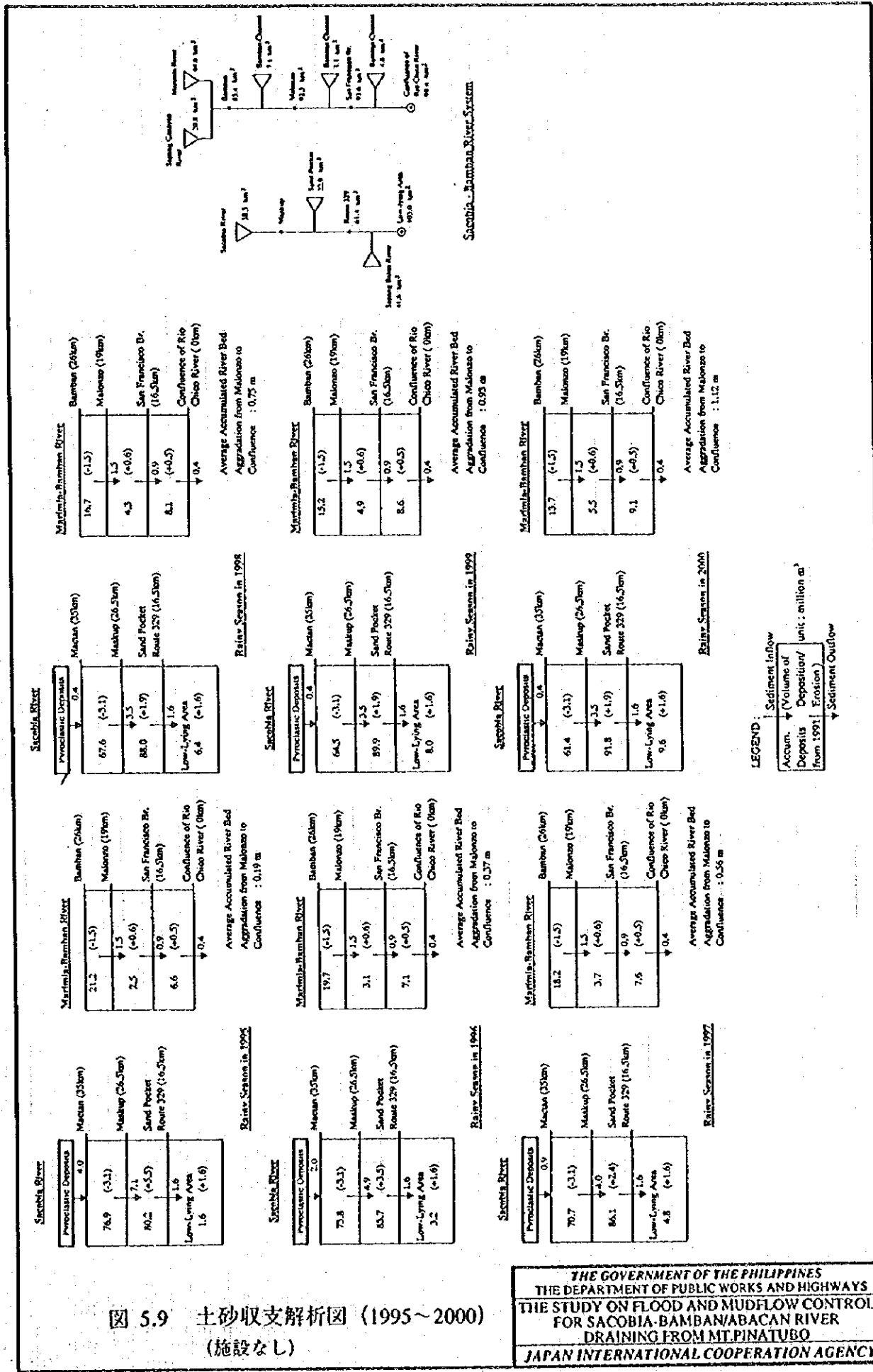


図 5.9 土砂収支解析図 (1995~2000) (施設なし)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



**Major Works**

Maximum Excesses of Bank & Seepage Rates (1.5 million m<sup>3</sup>)

Location	1995	2000
Barabas (26km)	13.2 (-1.5)	13.7 (-1.5)
Makina (19km)	1.9 (-0.8)	1.9 (-0.8)
Sao Francisco Br. (16.5km)	0.9 (-0.5)	0.9 (-0.5)
Confluence of Rio Chico River (0km)	0.8 (-0.5)	0.8 (-0.5)

**Major Works**

Construction of Eight Rate of Ground in Sand Pocket

Location	1995	2000
Barabas (26km)	13.2 (-1.5)	13.7 (-1.5)
Makina (19km)	1.9 (-0.8)	1.9 (-0.8)
Sao Francisco Br. (16.5km)	0.9 (-0.5)	0.9 (-0.5)
Confluence of Rio Chico River (0km)	0.8 (-0.5)	0.8 (-0.5)

LEGEND:  
 ↑ Settlement Inflow  
 ↓ Volume of Deposits (from 1991 Erosion)  
 ↓ Settlement Outflow

**Major Works**

Maximum Excesses of Bank & Seepage Rates (1.5 million m<sup>3</sup>)

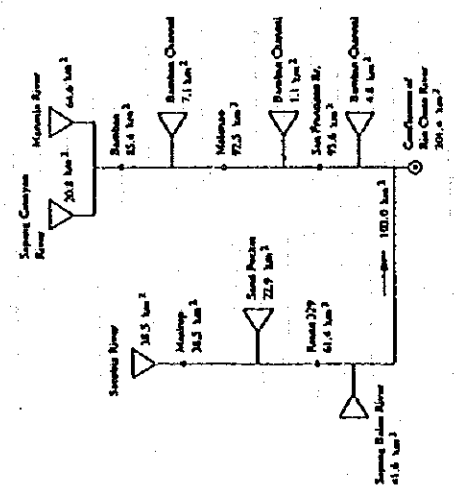
Location	1995	2000
Barabas (26km)	13.2 (-1.5)	13.7 (-1.5)
Makina (19km)	1.9 (-0.8)	1.9 (-0.8)
Sao Francisco Br. (16.5km)	0.9 (-0.5)	0.9 (-0.5)
Confluence of Rio Chico River (0km)	0.8 (-0.5)	0.8 (-0.5)

**Major Works**

Construction of Eight Rate of Ground in Sand Pocket

Location	1995	2000
Barabas (26km)	13.2 (-1.5)	13.7 (-1.5)
Makina (19km)	1.9 (-0.8)	1.9 (-0.8)
Sao Francisco Br. (16.5km)	0.9 (-0.5)	0.9 (-0.5)
Confluence of Rio Chico River (0km)	0.8 (-0.5)	0.8 (-0.5)

LEGEND:  
 ↑ Settlement Inflow  
 ↓ Volume of Deposits (from 1991 Erosion)  
 ↓ Settlement Outflow



Sacobia-Bamban River System

**Major Works**

Channel Improvement of Seepage Rate R.

Location	1995	2000
Barabas (26km)	21.2 (-1.5)	19.7 (-1.5)
Makina (19km)	1.9 (-0.8)	1.9 (-0.8)
Sao Francisco Br. (16.5km)	0.9 (-0.5)	0.9 (-0.5)
Confluence of Rio Chico River (0km)	0.8 (-0.5)	0.8 (-0.5)

**Major Works**

Construction of Three Rate of Ground in Sand Pocket

Location	1995	2000
Barabas (26km)	19.7 (-1.5)	19.7 (-1.5)
Makina (19km)	1.9 (-0.8)	1.9 (-0.8)
Sao Francisco Br. (16.5km)	0.9 (-0.5)	0.9 (-0.5)
Confluence of Rio Chico River (0km)	0.8 (-0.5)	0.8 (-0.5)

**Major Works**

Construction of Six Rate of Ground in Sand Pocket

Location	1995	2000
Barabas (26km)	18.2 (-1.5)	18.2 (-1.5)
Makina (19km)	1.9 (-0.8)	1.9 (-0.8)
Sao Francisco Br. (16.5km)	0.9 (-0.5)	0.9 (-0.5)
Confluence of Rio Chico River (0km)	0.8 (-0.5)	0.8 (-0.5)

**Major Works**

Construction of Seven Rate of Ground in Sand Pocket

Location	1995	2000
Barabas (26km)	16.7 (-1.5)	16.7 (-1.5)
Makina (19km)	1.9 (-0.8)	1.9 (-0.8)
Sao Francisco Br. (16.5km)	0.9 (-0.5)	0.9 (-0.5)
Confluence of Rio Chico River (0km)	0.8 (-0.5)	0.8 (-0.5)

図 5.10 土砂収支解析図 (1995~2000)  
(サンドポケットの恒久利用)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

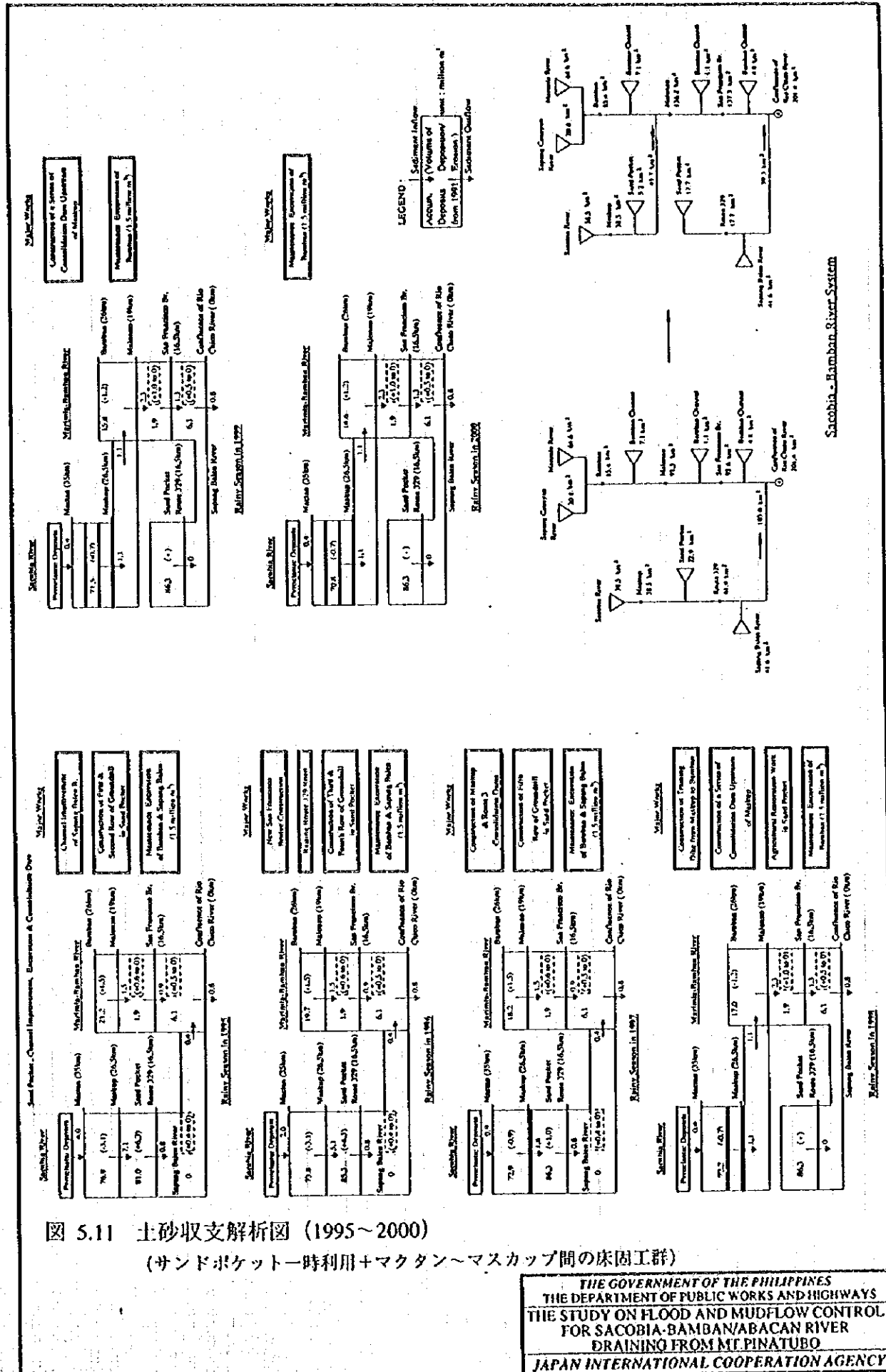
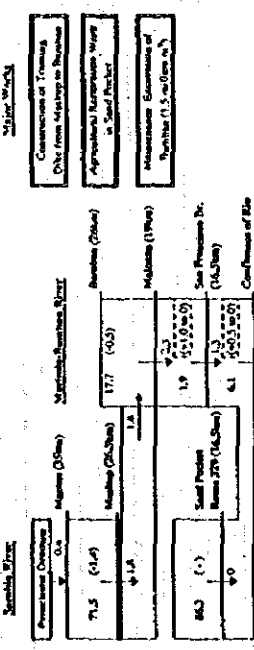
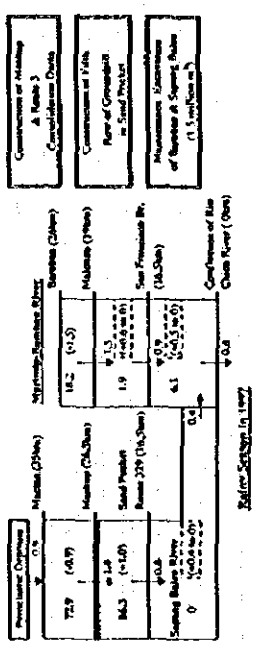
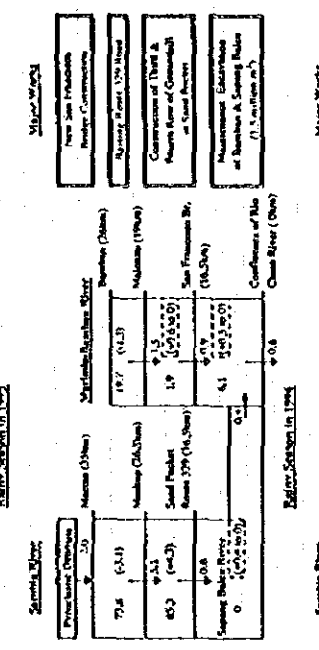
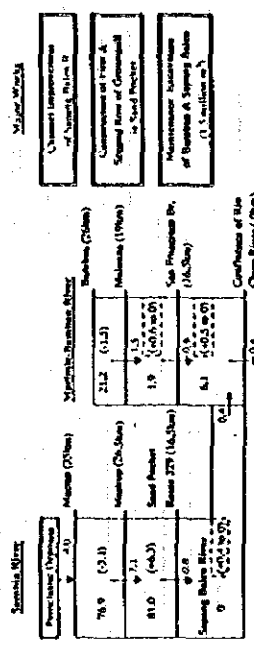
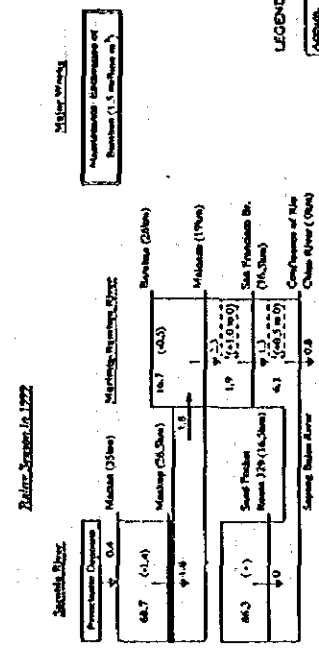
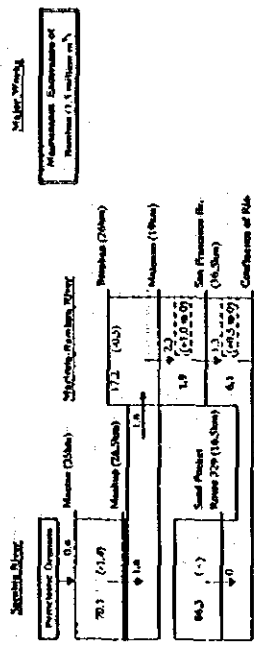


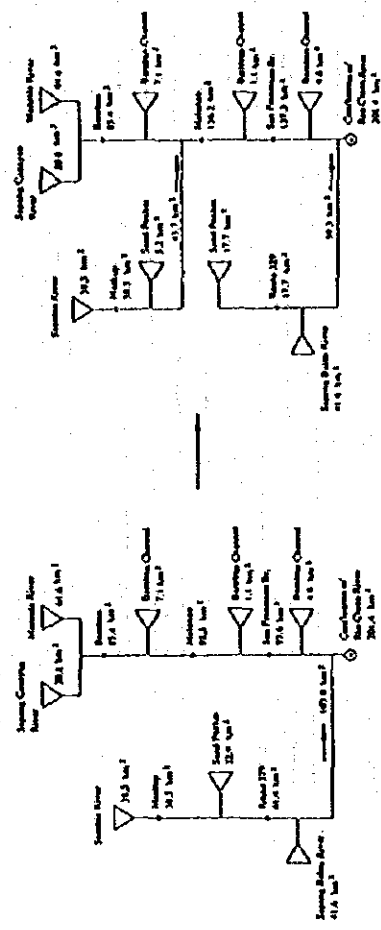
図 5.11 土砂収支解析図 (1995~2000)

(サンドポケット一時利用+マクタン~マスカップ間の床固工群)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



LEGEND:  
 - Supplemental Inflow  
 - Approx. (Values of Deposits/ from 1995) (km³)  
 - (Values of Deposits/ from 1995) (km³)  
 - Sediment Outflow



Sacobia - Bamban River System

図 5.12 土砂収支解析図 (1995~2000)  
 (サンドポケット一時利用+マスカップ床固工  
 +国道3号線床固工)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

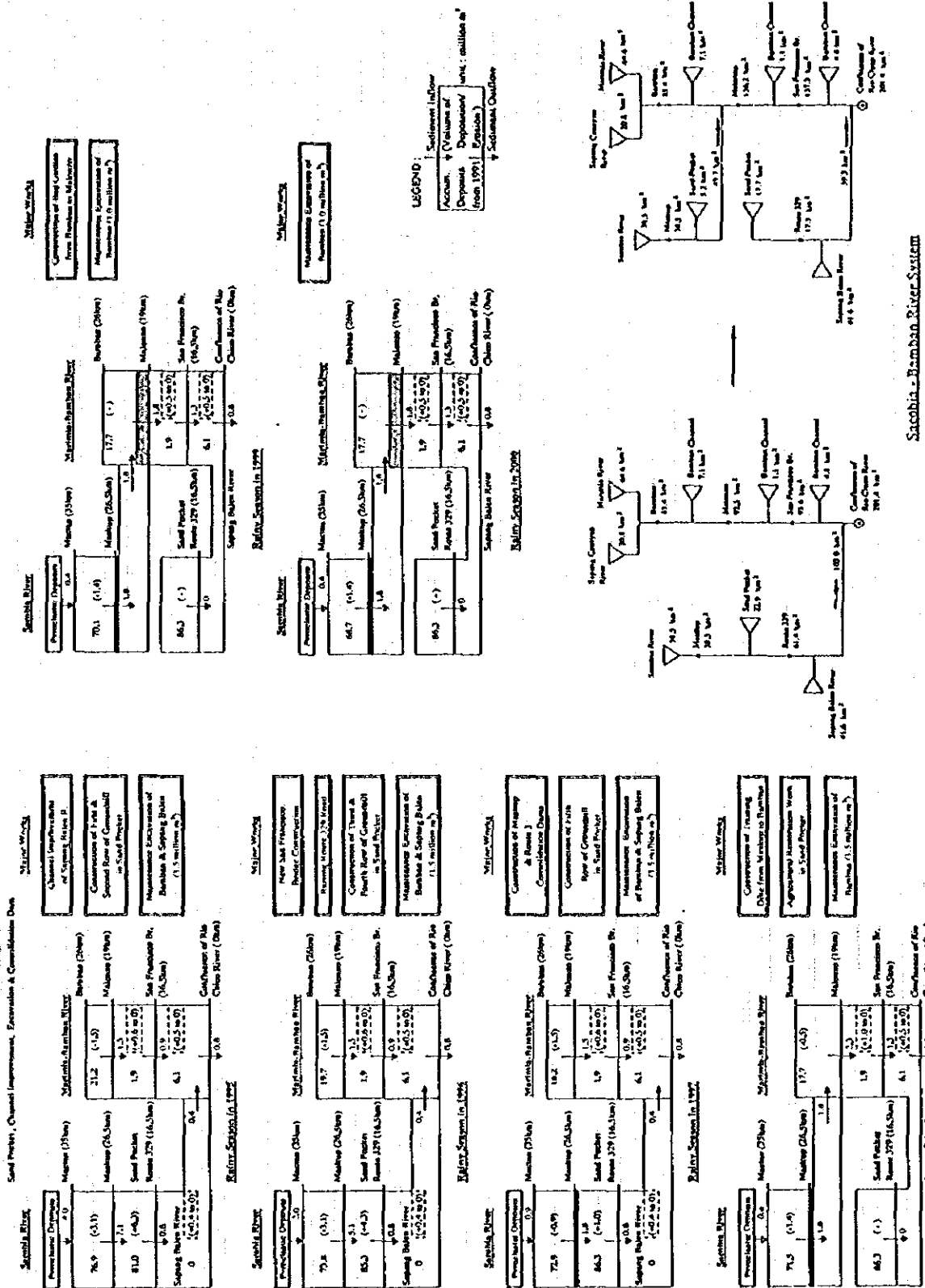


図 5.13 土砂収支解析図 (1995~2000)

(サンドポケット一時利用+マスクップ、国道3号線、バンバン川床固工群)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

## 5.2.8 バンバン川の河床変動解析

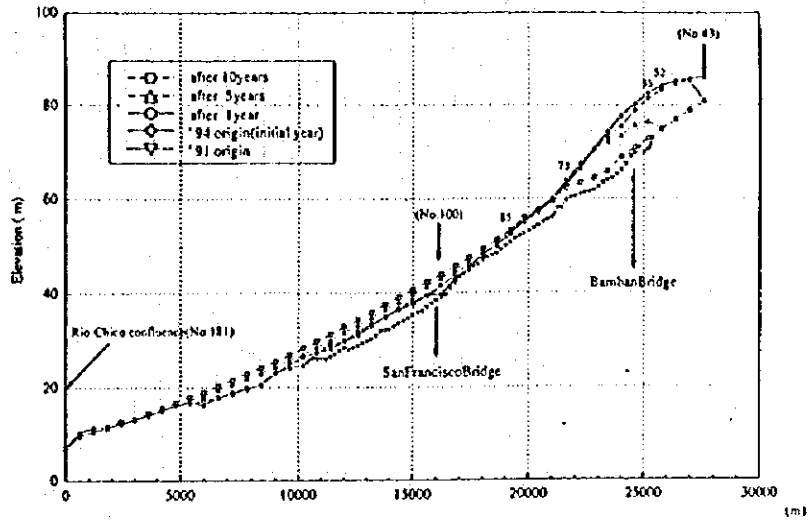
前節でも述べたように、サコピアーバンバン川における洪水・泥流制御施設計画では、いかにして河床上昇を抑えるかが最大の課題となる。したがって、バンバン川の将来における河床変動予測を数値解析した。解析したケースを以下に示す。

- ① 噴火前と同様に、サコピア川をバンバン橋上流3kmで合流させる案
- ② サコピア川をバンバン～サンフランシスコ橋間で合流させる案
  - a) サコピア上流からの供給土砂は将来も減衰せず、下流の浚渫なしの場合
  - b) サコピア上流からの供給土砂は将来も減衰せず、下流の浚渫を実施する場合
  - c) サコピア上流からの供給土砂は徐々に減衰するが、下流の浚渫なしの場合
  - d) サコピア上流からの供給土砂は徐々に減衰し、下流の浚渫も実施する場合

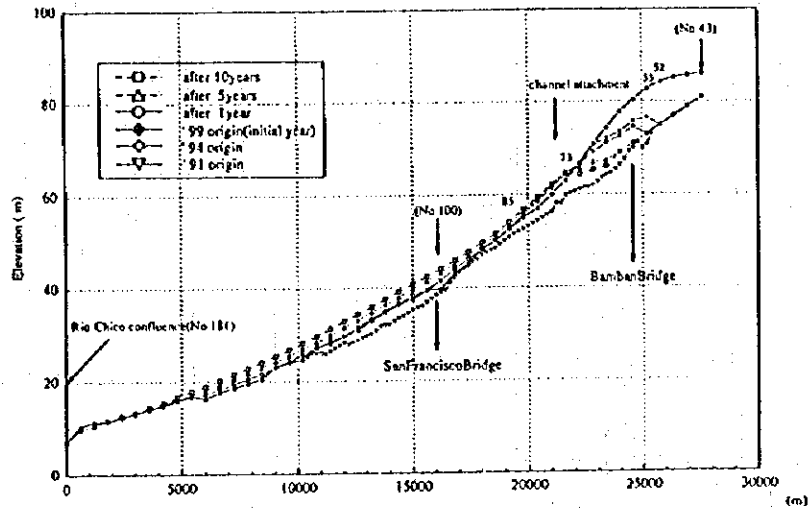
上記の土砂供給量の仮定として、1999年におけるサコピア川からの年間土砂供給量を1.8百万 $m^3$ （上流から0.4百万 $m^3$ およびマクタン～マスカップ間の土砂二次移動量を1.4百万 $m^3$ ）とし、減衰する場合には1999年から10年後の2009年に年間土砂供給量を0.4百万 $m^3$ と仮定した。

解析結果をそれぞれ図5.14に示した。いずれのケースにおいても、バンバン川上下流6km区間において年間1.0m、10年間で10mの河床低下が見込まれる。また、下流で浚渫を実施した場合にはサンフランシスコ橋で2mの河床上昇を抑えることができる結果となった。しかしながら、上記結果は土砂収支と同様に不確定要素を多分に含んでおり、今後の土砂移動モニタリングを実施する必要がある。

① サコビア川をバンバン橋上流3kmで合流させる案



② a) サコビア上流からの供給土砂は減衰せず、下流の浚渫なしの場合



② b) サコビア上流からの供給土砂は減衰せず、下流の浚渫を実施する場合

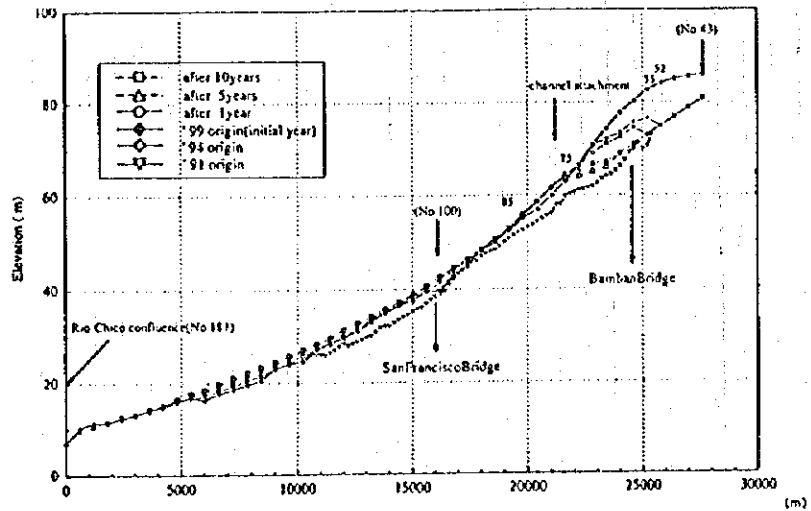
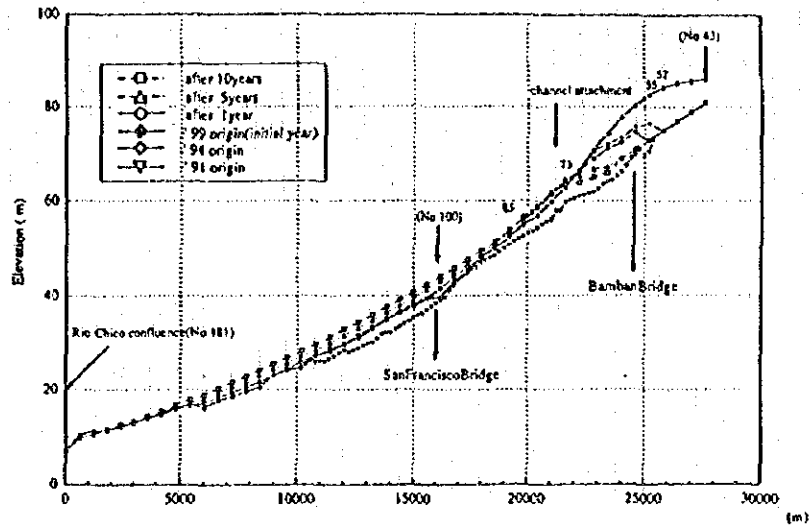


図 5.14 バンバン川河床変動解析図 (1/2)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

② c) サコビア上流からの供給土砂は減衰し、下流の浚渫なしの場合



② d) サコビア上流からの供給土砂は減衰し、下流の浚渫も実施する場合

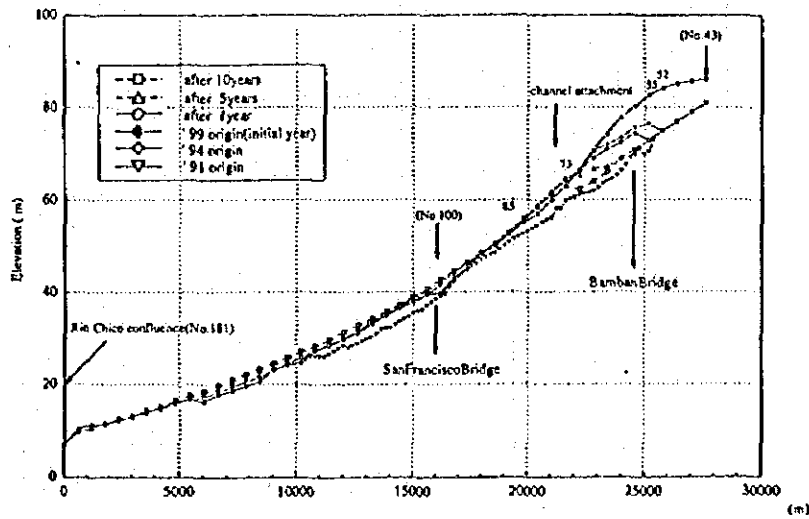


図 5.14 バンバン川河床変動解析図 (2/2)

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDEFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAR/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

### 5.3 DPWHによる砂防洪水対策事業の概要 (1991～1993)

#### 5.3.1 砂防ダム

噴火直後から1992年にかけて、サコピア川に2基の砂防ダムが建設された。1992年の雨期中に多量の泥流堆積物によって埋没したが、泥流の流出抑止に一定の効果があったと評価される。

河川名	砂防ダム名	材料	完成日	現況
サコピア	S-1	蛇籠	1992年3月	埋没/流出
	S-2	蛇籠	1992年3月	埋没/流出

特に、上記砂防ダム完成直後の1992年4月4日に、アバカンギャップより約1km上流のサコピア川での大規模二次爆発を起因とした泥流が発生した際には、サコピア川の2基の砂防ダムをほぼ完全に埋積し、5m程度河床を上昇させた。しかし、この際、それより下流には高温の泥流は流下せず大きな被害は発生していない。これは砂防ダムが非常に有効であったことを示す一例である。

なお、上記砂防ダムは維持管理不足から1993年9月の洪水時に崩落し、それまで上流域に貯留していた不安定土砂が下流へ流出した。このため、現在サンドポケットとして利用しているバンバン川中流域右岸部のサバンバレン村が2～3m程度埋没した一因となった。

#### 5.3.2 堤防

サコピアーバンバン川では、1991年6月の噴火直後から泥流がバンバン川の堤防を越流あるいは破堤し堤内地への泥流氾濫が頻繁におこった。サコピア川とマリムラ川の合流点付近で河道が泥流堆積物で埋没したためマリムラ川とサバンカウアヤン川の出口が閉塞しいくつかのせき止め湖が出現した。1991年8月21日にマリムラ川の合流点付近の天然ダムが決壊し、これによる洪水によってバンバン橋が流され、この付近の河床が20mも上昇した。

DPWHは1992年の雨期前にバンバン川のバンバン地点から下流端リオチコ川との合流点までの全区間にわたって泥流堆積物を利用して堤防を建設した。1992年の雨期には泥流は国道3号を越えてバンバン川右岸側に氾濫し約20km<sup>2</sup>に堆砂した。1993年の雨期前にはサコピア川の右岸にコンクリートで護岸された高さ5mの堤防をクラーク基地からドロレス（国道3号沿）までの長さ6kmの区間にわたって建設した。左岸側ではバンバン付近の堤防のコンクリート護岸を建設した。

1993年の10月4～5日の泥流はバンバン川右岸側の泥流氾濫地帯を流下し国道329号に達した。その一部は国道を越えてさらに下流に1kmほど流下した。この氾濫で国道3号から約4km下流のサバンバレンの村は2～3mの深さで砂に埋没した。バンバン川の流路の堆砂も著しく国道329号のサンフランシスコ橋の桁下余裕高もわずかとなった。このため雨期明け後この付近の浚渫が集中的に行われた。



## 5.4 緊急施設建設の提言(1994年3月)

### 5.4.1 1994年3月時点での現地の状況

アバカン川では上流部に堆積している土砂の侵食流下がみこまれるが土砂氾濫の危険性は少ないと判断した。一方、サコピアーバンバン川では1993年10月にサコピア川上流の23km<sup>2</sup>がバシグ川に流域争奪されたが、流域争奪地点での両河川の河床の比高差はほとんどなく、サコピア川へも引続き相当量の土砂移動の危険性が予想された。

1993年の泥流流出量4,500万m<sup>3</sup>と他の火山災害(セントヘレンズ火山、ガルンゲン火山)の泥流流出低減率の事例から判断して、1994年の雨期の流出土砂量は3,000万m<sup>3</sup>程度と推定された。

1994年3月にはサコピア川はドロレス付近で旧河道からはなれて直進し氾濫原(バンバン川右岸部)を流下していた。このため土砂堆積域は国道3号線より上流の約4km区間の紡錘形堆積谷と下流バンバン川右岸の既往堆積域であり、その大部分はバンバン川右岸の氾濫原に堆積するものと予想された。堆積面は平滑化された低平なロープを形成しており顕著な谷地形は存在しておらず、今後の氾濫流は既往堆積域を覆い、さらに下流に複数個ロープ状に拡散するものと推定された。

一方、支川マリムラ川とサバンカウアヤン川には火砕流堆積物が少ないことからバンバン川の旧河道はこれらの支川からの洪水流出により今後侵食現象に移行するものと考えられた。

### 5.4.2 緊急施設対策の基本的考え方

緊急対策は次の雨期(1994年6月~10月)の泥流氾濫に対処すべき方策であり、雨期前に実施可能なものでなければならなかった。

最も重要な防御目標は幹線道路の確保と氾濫原の拡大防止である。国道3号はマニラとルソン島北部を結ぶ幹線道路であるが、すでにバンバン橋が破壊されているので、雨期中の交通は不可能であり、バンバン川を渡るのは国道329号のサンフランシスコ橋のみである。このため氾濫原の下流端の国道329号とサンフランシスコ橋の確保がまず第一に挙げられた。さらに氾濫原をこれ以上拡大しないことは地域住民の重大な関心事であった。

緊急対策は上記目標を対象に、今後策定される全体防御計画との整合を考慮して以下の提案とした。

- 1) 国道329号の上流側に平行して横堤をつくり、土砂の流下を防ぐ(図5.15参照)。
- 2) バンバン川右岸の既存氾濫原をサンドポケットとして利用し、その下流端は上記横堤とする。このサンドポケットの広さは約23km<sup>2</sup>であり将来の堆積砂量の総量を7,000~8,000万m<sup>3</sup>と想定すると全体計画でも平均堆積厚を3m程度にとどめることができる。
- 3) 横堤部の排水処理のため横堤部は3列の千鳥状の不連続堤とする。次の雨期中の堆積砂量と流下する洪水流量に対する安全性を考えて、堤防の高さと開口部幅を決めた(図5.16参照)。
- 4) 不連続堤の下流には集排水路を設け、既存の排水路/小河川に接続する。これらを集水してサバンバレン川に流下させる。これらの既存水路は一部土砂で埋没しているので浚渫拡幅する。

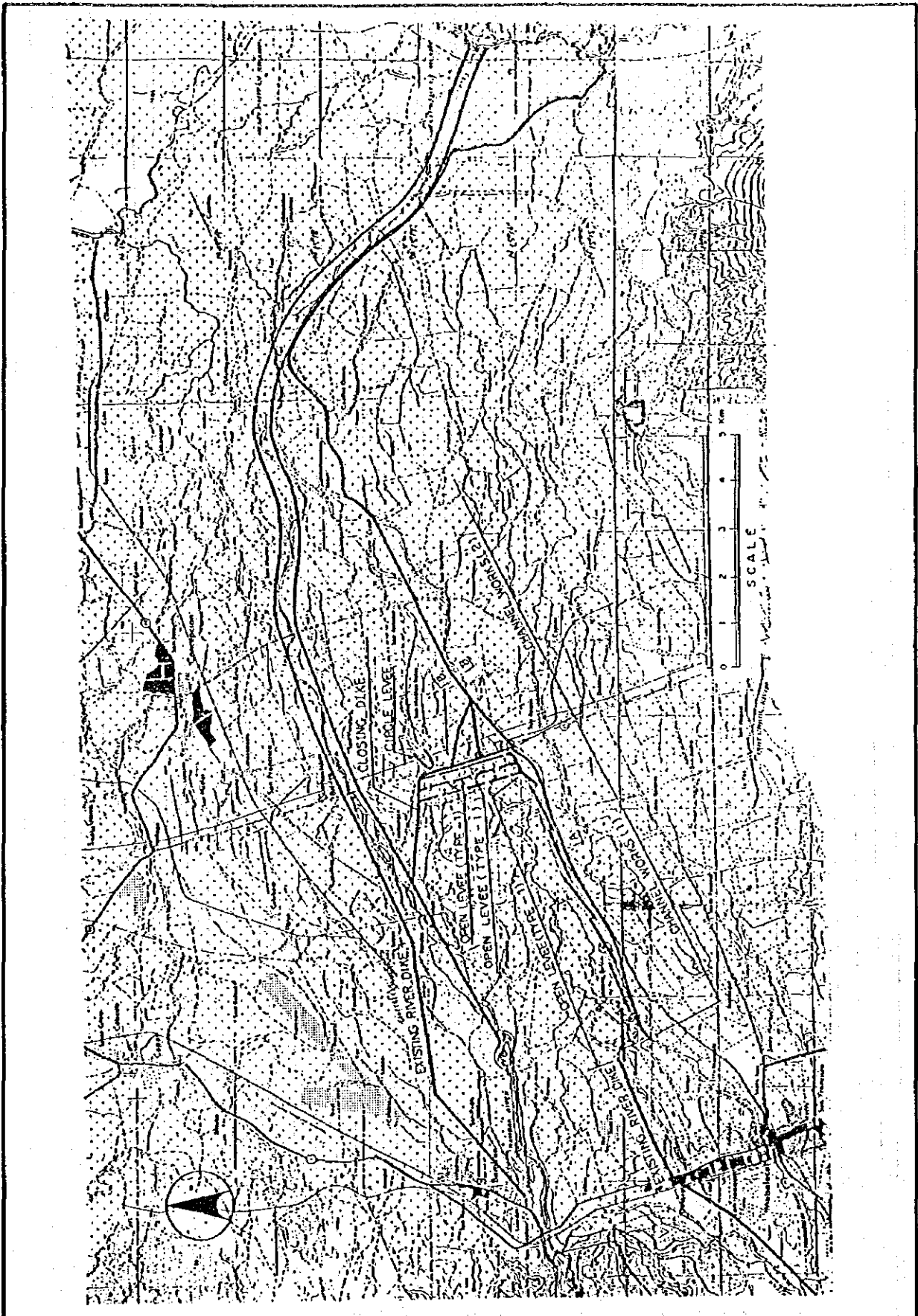


図 5.15 サンドポケット施設配置平面図

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATURO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

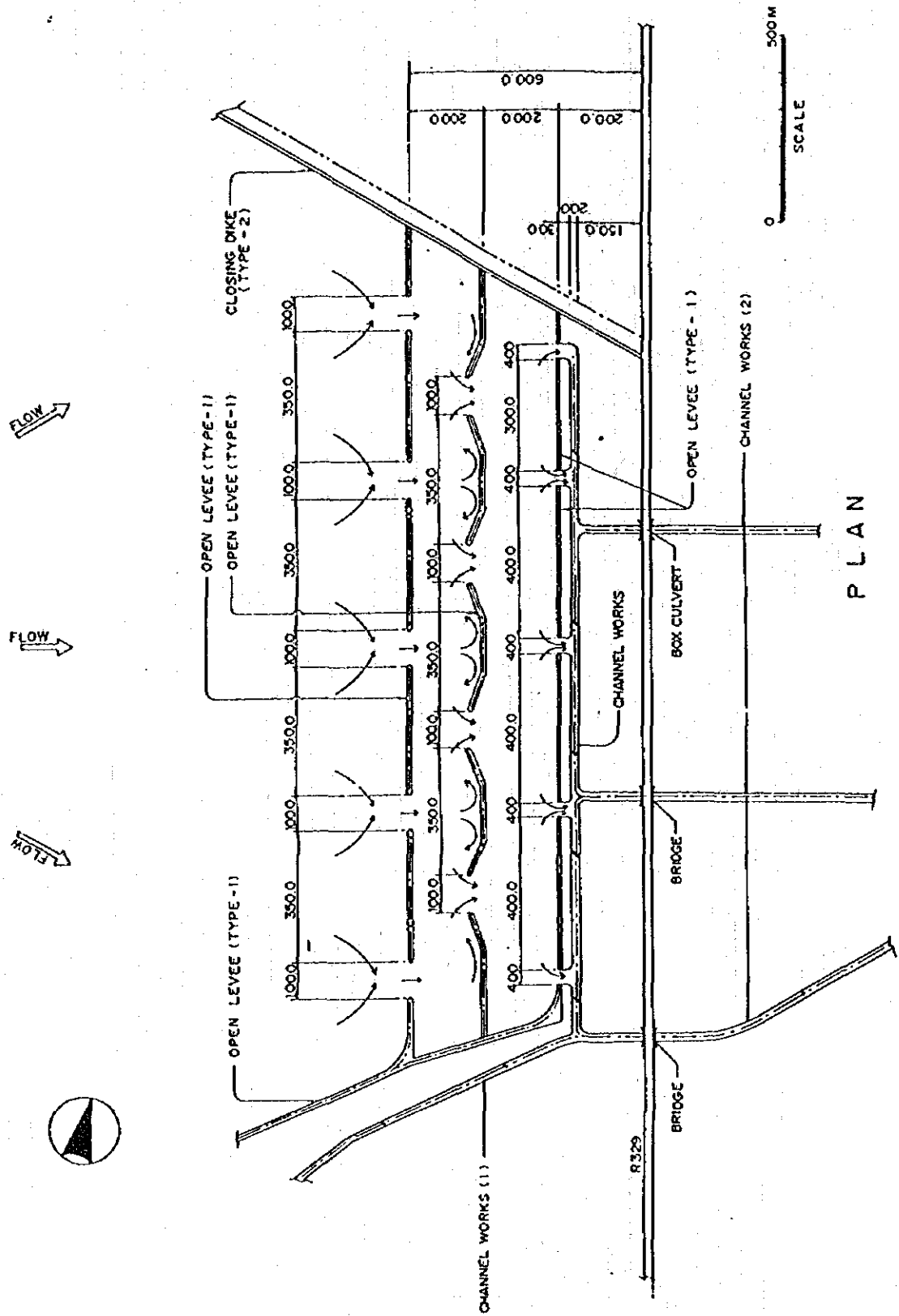


図 5.16 サンドポケット下流端処理施設配置平面図

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

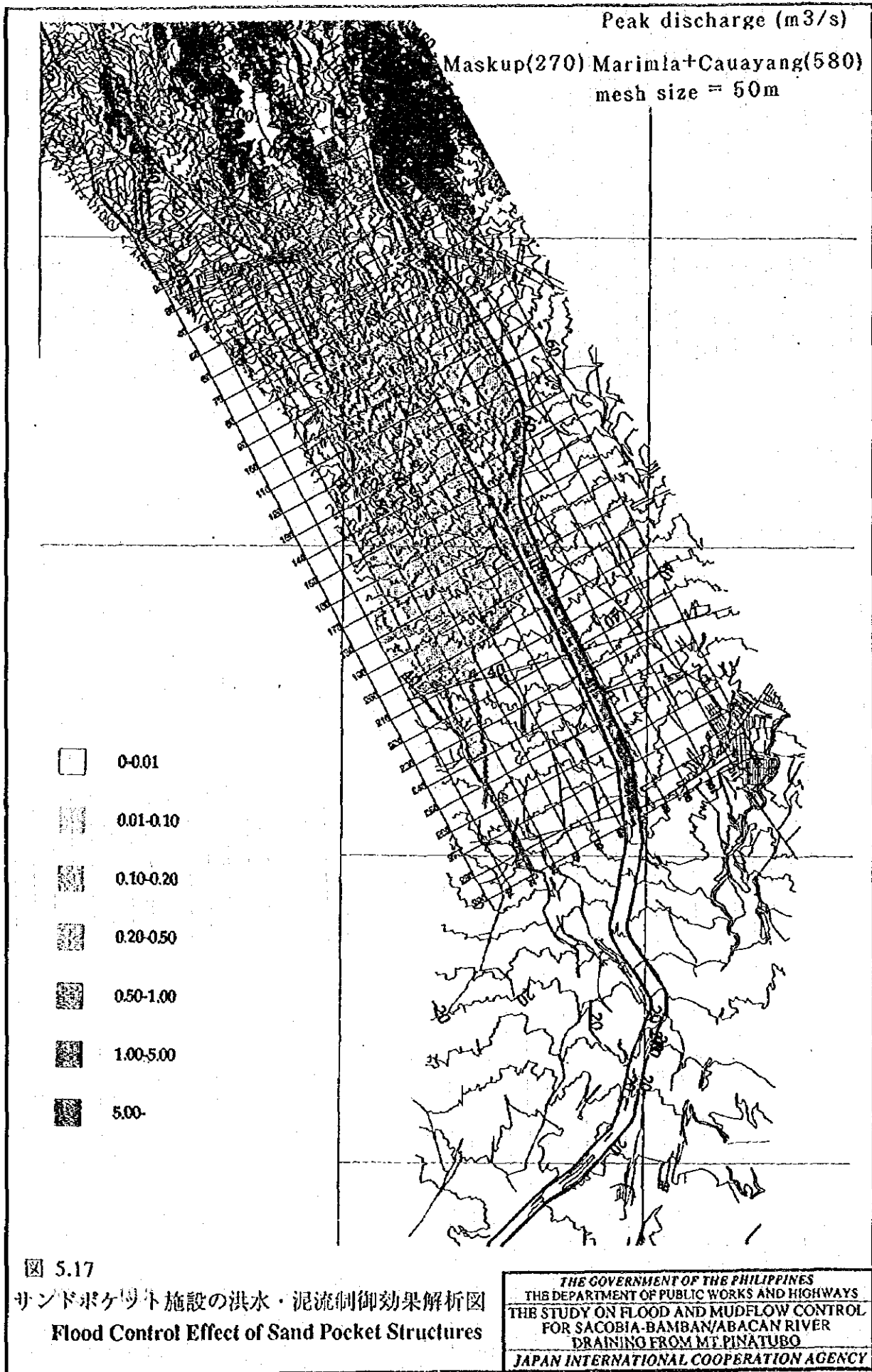
5) サンドポケットの右岸端の上流部は既設の堤防である。これを3km下流に延長し、その下流には霞堤を設け土砂の拡散を防ぐとともに流水をサンドポケットの外側に排出し堆積域の再侵食を防ぐ。霞堤の延長は3kmである。

6) 霞堤はサバンバレン川にはほぼ平行して配置されるのでサバンバレン川を排水路として利用する。埋没部分の浚深拡幅が必要である。

この対策は限られた予算と短期の建設期間で実施可能な対策として提案したもので1994年雨期をのりきるためのものである。したがって、堤防の高さ、構造については応急的なものであった。しかし、ここで提案したサンドポケットによる泥流防御の考え方とその位置については全体計画でも踏襲することとした。全体計画としてのサンドポケットの規模、構造については1994年～1995年の現地調査でおこなう調査解析と雨期中の泥流流出やサンドポケット内での泥流の挙動の観測とをもとに検討することとした。

#### 5.4.3 サンドポケットの洪水制御効果

提案したサンドポケット施設を配置した場合の洪水制御効果を解析した。確率1/20の洪水について、洪水・泥流氾濫はサンドポケット内に限定され、制御効果を発揮することを解析により検証した(図5.17)。なお、国道329号線上流部において洪水水深は3mと推定された。



## 5.5 構造物の選定

### 5.5.1 候補施設の選定

土砂生産・堆積、流送区分に応じて配置可能な施設計画には以下の施設が挙げられる。

土砂生産域	植生工	下流域での防災施設計画を最小限にとどめるため、主な土砂生産区域に植生を導入して土砂生産を抑制する。ただし、現状では火砕流堆積物の温度が高いため中期計画初期に実施することは困難である。
	谷止工	上流域の支川・溪谷のガリ下流端に、下刻を防止するために谷止工を階段状に配置することは長期的に有効であろう。
土砂堆積域/ 二次侵食域	床固工	土砂堆積区域の二次侵食域に、河道の縦侵食による土砂生産の抑制と上流からの流下土砂の調節を目的として床固工群を配置するのは有効である。床固工の水通し断面は将来の流路固定を考慮して、現在のガリ幅および将来の流路幅を考慮した複断面とする必要がある。
	砂防ダム	土砂堆積区間の床固工群を砂防ダムで代替することも考えられる。しかしながら、堆積土砂を基礎としたフローティング形式の砂防ダムとなること、またダム直下流で相当の侵食が発生することを考えるとサイトの選択構造には十分な検討が必要である。
	サンドポケット	短期計画で提案したサンドポケットは、国道329号線を泥流被害から守ること、1993年の泥流堆積域の拡大を防ぐことを主目的としている。サンドポケット内の土砂堆積・二次侵食の状況を1994～1995年に亘り観測を行い将来の河道計画と併せ検討する。最終的な流路固定は流下土砂の氾濫・堆積状況・二次侵食状況と跡地利用、住民復帰等と併せ検討される。
浚渫		土砂堆積域の下流区間では、上流からの土砂移動によりサンフランシスコ橋上流において河道上昇がおこる。サンフランシスコ橋において河道内堆積土砂の浚渫を実施する必要がある。また、サンドポケット内でも将来の河道固定を考慮した浚渫が必要となろう。
土砂流送域	堤防	既存の堤防はDPWHの緊急復旧計画に沿って泥流堆積物を盛土することにより建設された。恒久施設として維持するために堤防嵩上げ、補強が必要である。
	護岸工/水制工	河川蛇行部では堤防にならぬ補強工事が実施されておらず、破堤箇所が多数見受けられる。護岸工/水制工の設置が必要である。
	浚渫	サンフランシスコ橋より下流では、河床は徐々に上昇している。下流の河床上昇を抑え、洪水の流下能力を維持するため、河道の浚渫が必要である。

表5.3 実施可能施設リスト

区分	施設	目的	緒元/構成	適応性/評価
流域 土砂生産	植生工	ガリ・リル侵食の防止 流域保全		火砕流堆積物の温度低下を待つ て実施できる
	谷止工	支川からの土砂流入防止		土砂生産抑制の効果は、中流域 に計画された施設に比べ小さい
流域 土砂堆積/二次侵食	砂防ダム	土砂捕捉	マクタンサイト (高さ 10m, 幅78m, 貯砂量 100,000m <sup>3</sup> )	流入土砂量に比べ有効堆砂量が 小さく、経済的に不利。
	床固工	土砂捕捉/堆積土砂の 二次侵食防止。流路の 維持。	マスカップダム (高さ8m, 幅460m) ドロレスダム (高さ7m, 幅300m) 一連の床固工(9基) (高さ7m, 合計幅8,360m)	マスカップにおける床固工は、 土砂捕捉/堆積土砂の二次侵食 防止に効果がある。他の床固工 も有効ではあるが、建設費が高 い。
	サンドポケット	土砂捕捉	締切堤の斜面補強 一連の横堤 土砂捕捉の沈砂池 サバンバレン川の拡幅	左欄の構造物が完成した場合、 土砂捕捉に対して大きな効果が 期待できる。
	横堤	河床安定/土砂捕捉	バンバン川上流域に6 基の横堤 (幅400m)	バンバン川下流域の河床安定に も有効
	河道整備	河道内の流路安定/ 側方侵食および局所 洗掘防止	マスカップ~バンバン 間の5km区間	サコビア川をバンバン川へ流路 変更する場合に必要。
	河道浚渫	河床安定/流下能力 の増加		バンバン川中下流域で河床安定 のため必要
流域 土砂流送	堤防	洪水防御	流路長50km, 高さ4~8m	山土を混入した建設材料による 堤防の補強と斜面補強
	護岸工/ 水制工	堤防の局所洗掘防止	流路蛇行部	流路蛇行部で流速を減ずる。

## 5.5.2 洪水・泥流防御計画代替案の検討

マスタープランにおける施設計画を複数案作成し経済的評価を実施した。代替案を図5.18に示す。

- 第一案 : 緊急砂防施設として建設されたサンドポケットを恒久的に利用する案。土砂移動を観測しながらサンドポケット内に横堤を徐々に上流側へ建設し、土砂堆積を促進し二次侵食を防止する。ただし、洪水ピーク流量に対応するため国道329号線より下流のサバンバレン川では洪水の安全な流下を図るため河道改修工事を実施する。
- 第二案 : サンドポケットは暫定的に利用する案。サンドポケット内に横堤を徐々に上流側へ建設するとともに、サコピア川の紡錘形谷部狭窄部に砂防ダムを建設しサコピア川河道の安定を図る。この場合、国道329号線より下流のサバンバレン川では一次的に洪水の安全な流下を図るため高水流量(1/10)に応じた河道掘削/浚渫とする。サコピア川からの流出土砂量の低減とともにサコピア川河道をバンバン川に合流させる。また、将来的にはサンドポケット内の農地転用を意図している。
- 第三案 : 第二案と同様にサンドポケットを暫定的に利用する案。サンドポケット内に横堤を徐々に上流側へ建設するとともに、サコピア川の紡錘形谷部に一連の砂防ダムを建設しサコピア川河道の安定と紡錘形谷部に堆積している土砂の二次侵食防止を積極的に図る。他の施設配置計画は第二案と同様。
- 第四案 : 第二案と同様にサンドポケットを暫定的に利用する案。サンドポケット内に横堤を徐々に上流側へ建設するとともに、サコピア川の紡錘形谷部狭窄部に砂防ダムを建設しサコピア川河道の安定を図る。一方、バンバン川上流においては一連の床固工を建設しバンバン川上流からの土砂移動を軽減させる。

上記代替案はいずれも施設建設直後にサンドポケット下流端にある国道329号線の嵩上げの実施を前提としている。また、第二案～第四案では、サコピア川の紡錘形谷部狭窄部に床固工を建設したサコピア川の河道安定を図った後、国道3号線の復旧を目的とした施設配置を含んでいる。

一方、各代替案において、バンバン川の河床上昇を防ぐため河道浚渫が施設建設後、バンバン川下流における河床標高維持のため年間1.5百万m<sup>3</sup>の河道浚渫が9年間に亘って必要である。ただし、第四案については、バンバン川上流に配置した一連の床固工の効果により7年間の河道浚渫(年間1.0百万m<sup>3</sup>)が必要である

各代替案の技術的な比較を表5.4に示した。また、建設費を表5.5に示し、以下に経済比較検討結果とともにまとめた。

代替案の比較

代替案	建設費 (1,000ベソ)	河道浚渫費 (1,000ベソ)	EIRR (%)
第一案	1,111,800	810,000	13.14
第二案	1,929,234	810,000	14.55
第三案	3,973,934	810,000	8.69
第四案	2,112,516	630,000	14.39



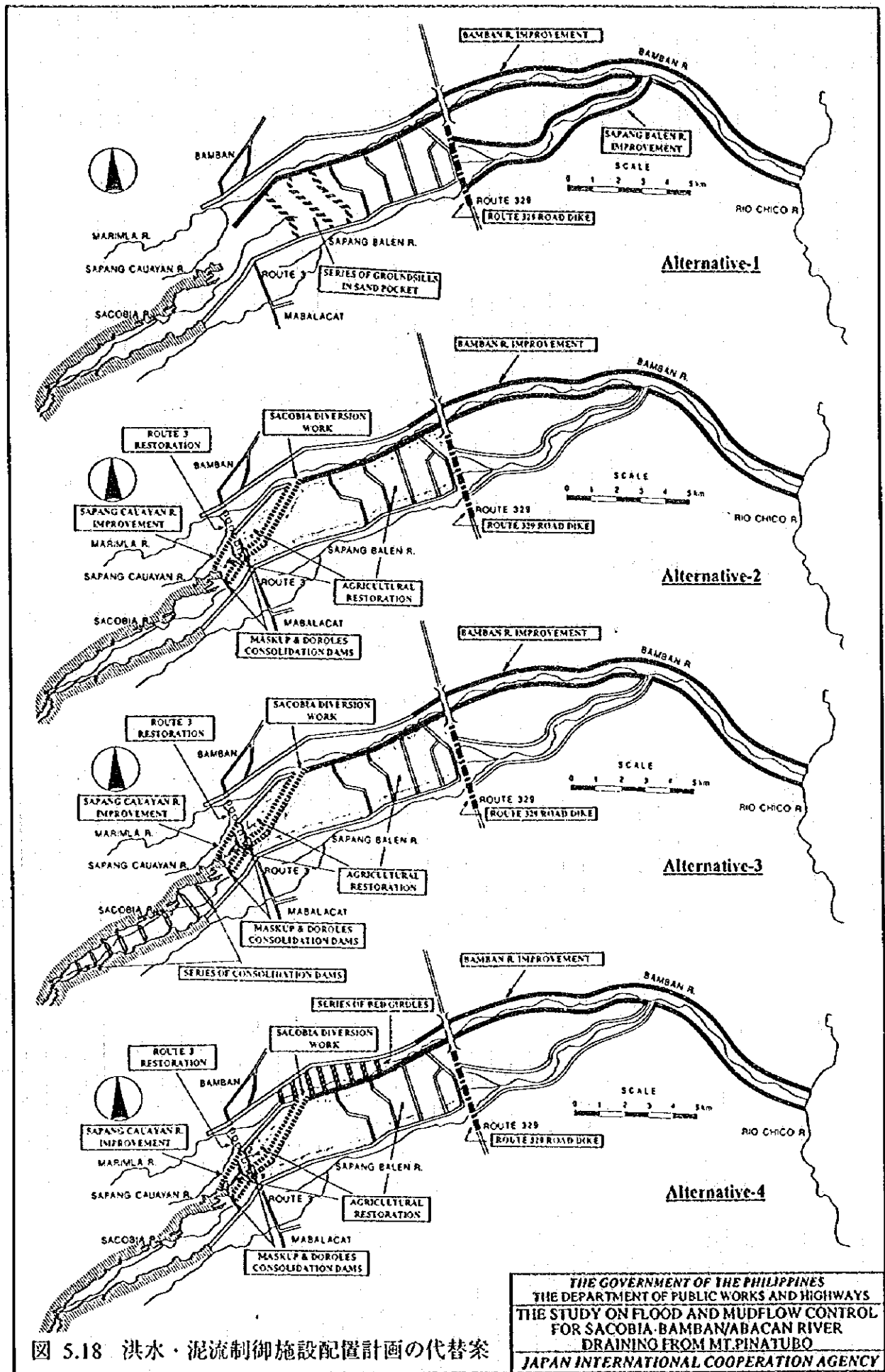


図 5.18 洪水・泥流制御施設配置計画の代替案

表5.4 代替案の比較

	第一案	第二案	第三案	第四案
基本概念	サンドポケット恒久利用	サンドポケット一時利用 サコピア川をバンバン川へ導流	サンドポケット一時利用 サコピア川をバンバン川へ導流	サンドポケット一時利用 サコピア川をバンバン川へ導流
主要施設	サンドポケット恒久施設化 サバンバレン川河道改修 バンバン川河道改修	サンドポケット一時補強 マスカップおよびドロレス床固工 サコピア川導流工 バンバン川河道改修	サンドポケット一時補強 マスカップ〜ドロレス間の床固工群 サコピア川導流工 バンバン川河道改修	サンドポケット一時補強 マスカップおよびドロレス床固工 バンバン川上流域の床固工群 サコピア川導流工 バンバン川河道改修
長所		国道3号線の復旧が可能 サンドポケット跡地利用可能 サンドポケット下流域の堆砂が解決	国道3号線の復旧が可能 サンドポケット跡地利用可能 サンドポケット下流域の堆砂が解決	国道3号線の復旧が可能 サンドポケット跡地利用可能 サンドポケット下流域の堆砂が解決 バンバン川上流での水利用が容易
短所	サンドポケット施設の補強・維持管理 国道3号線の復旧が不可能 サンドポケット跡地利用が不可能 サンドポケット下流域の堆砂問題	床固工上流側洗掘	床固工上流側洗掘 床固工群の下流側洗掘 長距離搬送の安全性 長期に亘る建設と建設中の地形変化 コスト高により経済的でない	床固工上流側洗掘 バンバン川床固工下流側洗掘
備考	河道維持浚渫（年間1.5百万m <sup>3</sup> ）が9年間必要	河道維持浚渫（年間1.5百万m <sup>3</sup> ）が9年間必要 施設維持管理のため地形変化モニタリングが長期間必要	河道維持浚渫（年間1.5百万m <sup>3</sup> ）が9年間必要 施設維持管理のため地形変化モニタリングが長期間必要	河道維持浚渫（年間1.0百万m <sup>3</sup> ）が7年間必要 施設維持管理のため地形変化モニタリングが長期間必要

表5.5 建設費の比較

(単位:1,000 円)

項目	第一案	第二案	第三案	第四案
1. 直接工事費	880,440	1,534,388	3,170,148	1,681,013
1.1 準備工事	38,280	66,713	137,833	73,088
1.2 本工事	765,600	1,334,250	2,756,650	1,461,750
(1) サンドポケット施設補強	283,780	140,900	140,900	140,900
(2) 国道329号線の嵩上げ	192,100	191,100	191,100	191,100
(3) サコビア川床固工		157,000	1,579,400	157,000
(4) サコビア川流路固定		468,300	468,300	468,300
(5) バンバン川河道改修	204,500	204,500	204,500	204,500
(6) サバンカウアヤン川河道改修		41,200	41,200	41,200
(7) サバンバレン川河道改修	85,220			
(8) 国道3号線復旧		131,250	131,250	131,250
(9) バンバン川上流部床固工				127,500
1.3 付帯工事	76,560	133,425	275,665	146,175
2. 補償費	9,000	9,000	9,000	9,000
2.1 用地買収	7,000	7,000	7,000	7,000
2.2 家屋移転	2,000	2,000	2,000	2,000
3. 予備費	222,360	385,847	794,787	422,503
合計	1,111,800	1,929,234	3,973,934	2,112,516
河道維持浚渫費	810,000	810,000	810,000	630,000

### 5.5.3 優先計画における施設配置計画

経済性の面から最も高い経済指標(EIRR)を示した第二案の段階的施設計画がフィージビリティ調査における優先計画として選定された。優先計画は以下の構造物からなっている(図5.19)。

#### 短期計画(第一次):1994年

DPWHは本調査団の提案した線形に基づいてサンドポケットを建設した。また、サコピア川とバンバン川を分離するためサンドポケット左岸部に堤防を建設した。この分離堤はサコピア川からの土砂流出をサンドポケット内に確実に堆積させ、かつバンバン川の河床上昇をできるだけ抑えることを目的としている。

しかしながら、サンドポケット最下流端における横堤が未完成であったため、1994年雨期中にシルト分を多く含んだ土砂が国道329号線より下流のサバンバレン川へ流出し、下流域約100haに土砂が氾濫した。

#### 短期計画(第二次):1995~1996年

この期間には、サンドポケットの土砂堆積機能を高め、二次侵食を防止するため施設補強が図られる。また、国道329号線より下流のサバンバレン川では、10年確率洪水を流下できるよう拡幅工事を実施する。サバンバレン川下流端はサンフランシスコ橋より7km下流にてバンバン川と合流させる(図19参照)。

国道329号線の直上流には、サンドポケット施設の下流端施設として高さ5mの堤防が建設される。この堤防天端は新国道329号線として利用され、現在、新規建設が予定され1996年完成予定のサンフランシスコ橋と連絡する。

#### 中期計画(第一次):1997年

サコピア川に堆積した土砂の二次侵食を防止するため、マクタン~マスカップ間に砂防ダム(国道3号線より1km上流)および国道3号線ぞい床固工を建設する。砂防ダム~床固工間ではサコピア川の河道を固定するための流路整備が必要である。

この流路整備が終了した時点で、国道3号線の再建設が可能となる。一方、サンドポケット内では、下流から上流へ段階的に一連の横堤(高さ2m)を建設していくことにより、サンドポケット内下流域より徐々に土地利用が可能となる。

#### 中期計画(第二次):1998~2000年

国道3号線ぞい床固工が完成した時点で、サコピア川の流水中に含まれる土砂はほぼ噴火前の状況へ回復していると考えられる。この時点で、サコピア川をバンバン川と合流させることが可能となる。合流点は、マロンソ~サンベドロヒル間に位置すると予想される。

同時期に国道3号線の建設(橋梁含み)が開始される。一方、バンバン川の中下流における河道の維持が図られる。

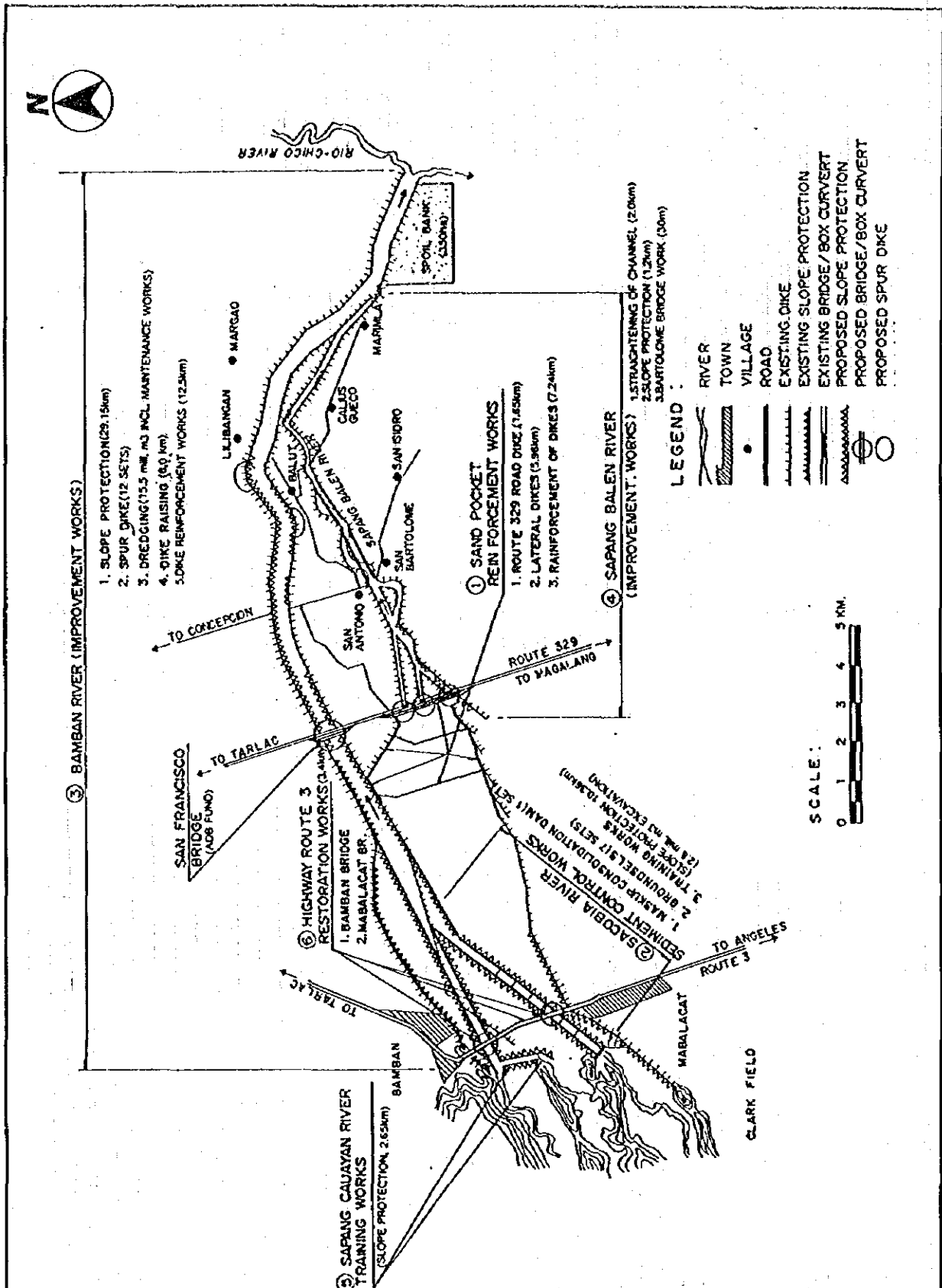


図 5.19 サコピアーバンバン川洪水・泥流制御施設配置計画

Priority Schemes for Sacobia-Bamban River Basin

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

## 長期計画 : 2001年以降

### サンドポケット内の畑地かんがい事業

現在までに8,400名の人々が未だに避難地での生活を強いられているのでこの被災者を噴火前の土地へ戻すことが必要である。短期、中期施設計画に伴って、土砂移動および洪水に対する安全度は飛躍的に増大する。この時点でバンバン川左岸部の農地回復、およびパイロットファーム事業を開始することにより、適切な作物を選定することができる。また、サンドポケット内での農地回復・灌漑事業が実施可能となる（図5.20、および5.21参照）。

### 北方マニラ高速道路拡張計画事業

国道3号線に沿って、国家経済企画庁が将来開発計画の一部として提案し、中部ルソン地域開発計画調査(JICA,1995)でも優先度の高いプロジェクトと指摘されている北方マニラ高速道路拡張計画が実施可能となる。将来のクラーク国際空港拡張計画のためのアクセスを加味したルート案を検討した（図5.22参照）。

### 観光開発事業

サバカウアヤン川下流端には、サコビア川からの泥流堆積によるせき止め湖が現状のまま残ると考えられる。周辺の景観も良好であるため観光開発が望ましい。クラーク基地跡開発公社が進めているクラーク基地内および周辺でのリゾート開発とリンクして将来の発展の一翼を担うものとなり、現地住民の雇用創出ともなろう（図5.23参照）。

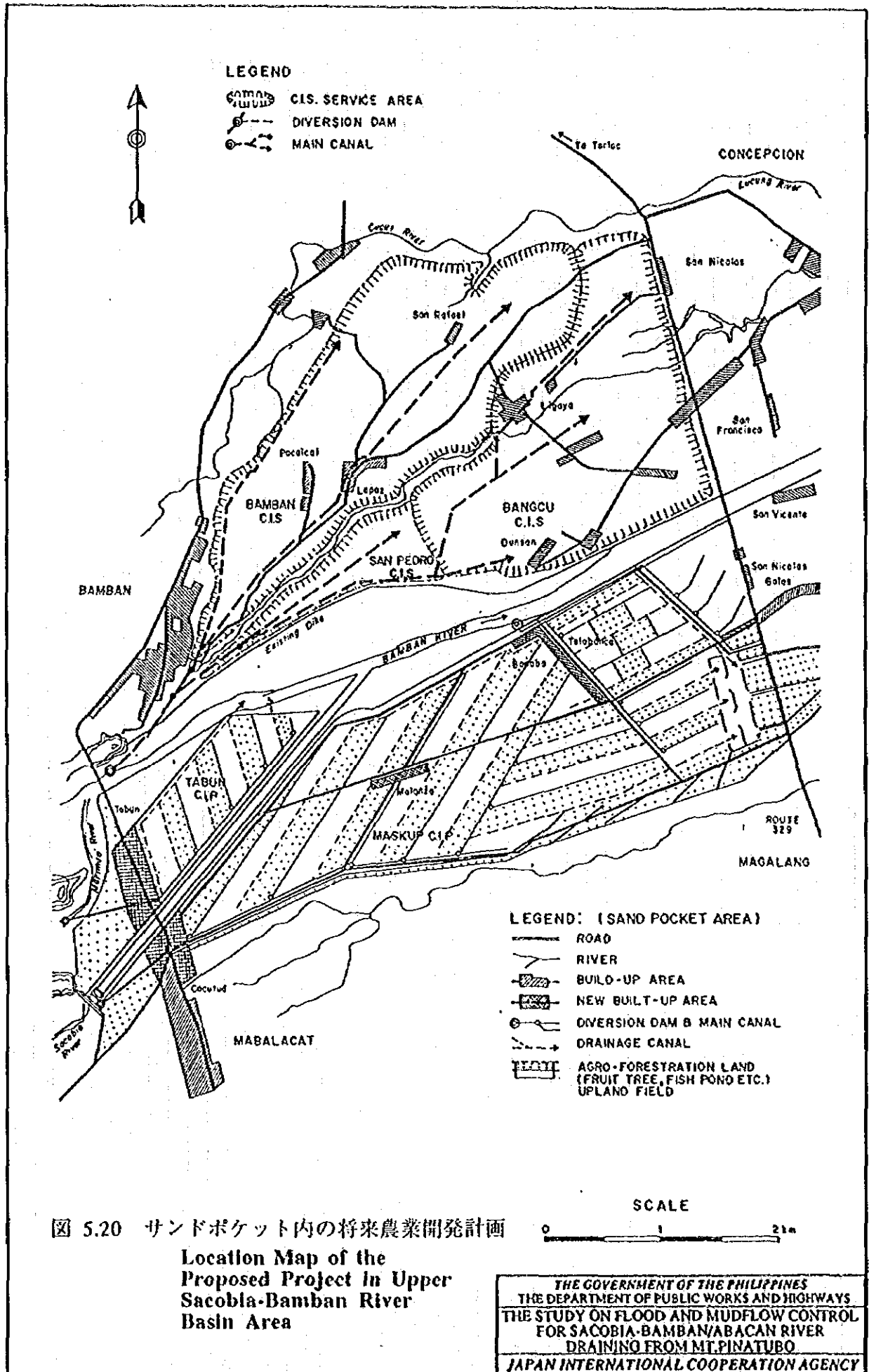


図 5.20 サンドポケット内の将来農業開発計画

Location Map of the  
Proposed Project in Upper  
Sacobia-Bamban River  
Basin Area

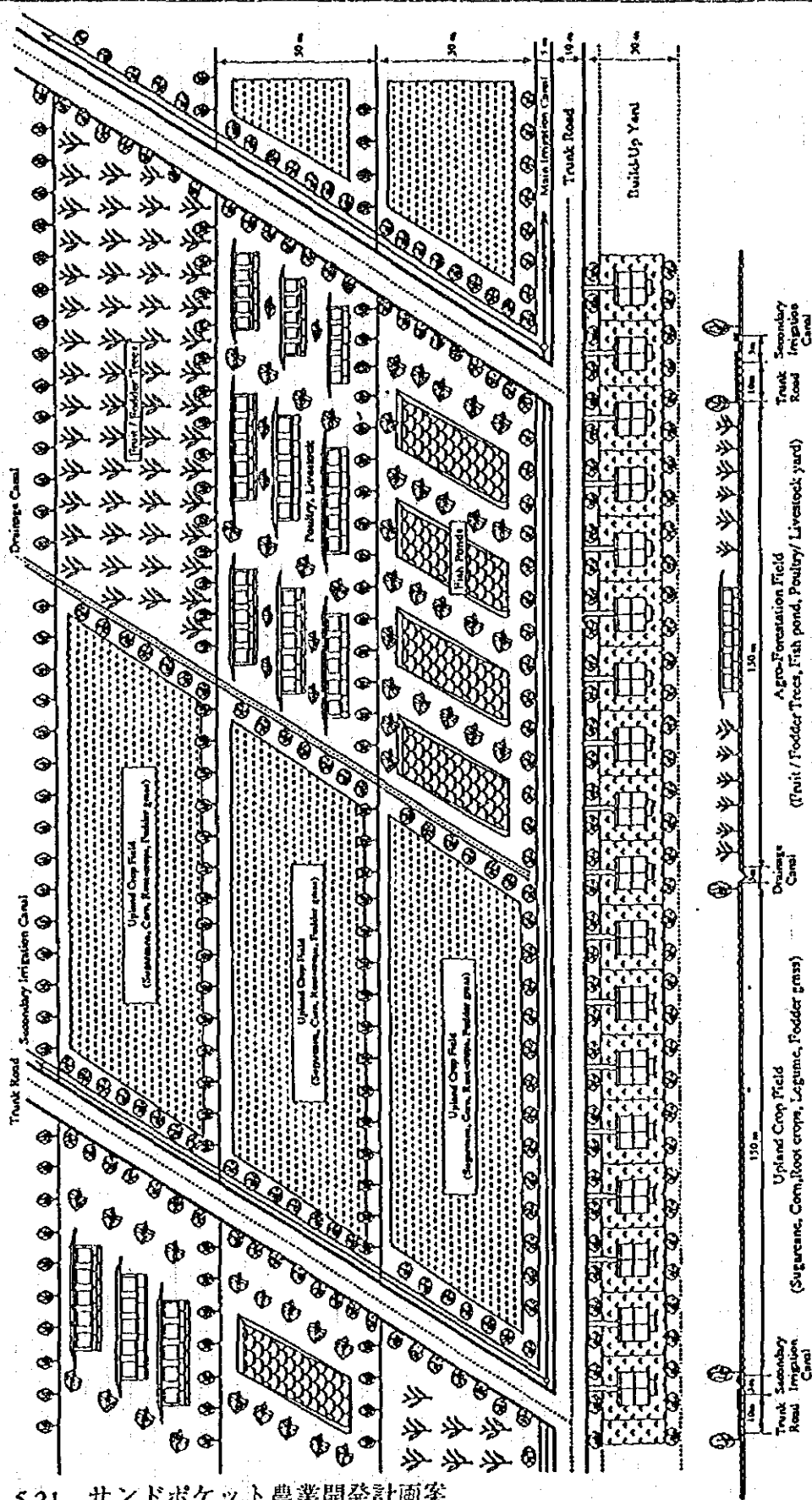


図 5.21 サンドポケット農業開発計画案

Typical Layout of the Land and Agriculture Development Project in Lahar Affected Area

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



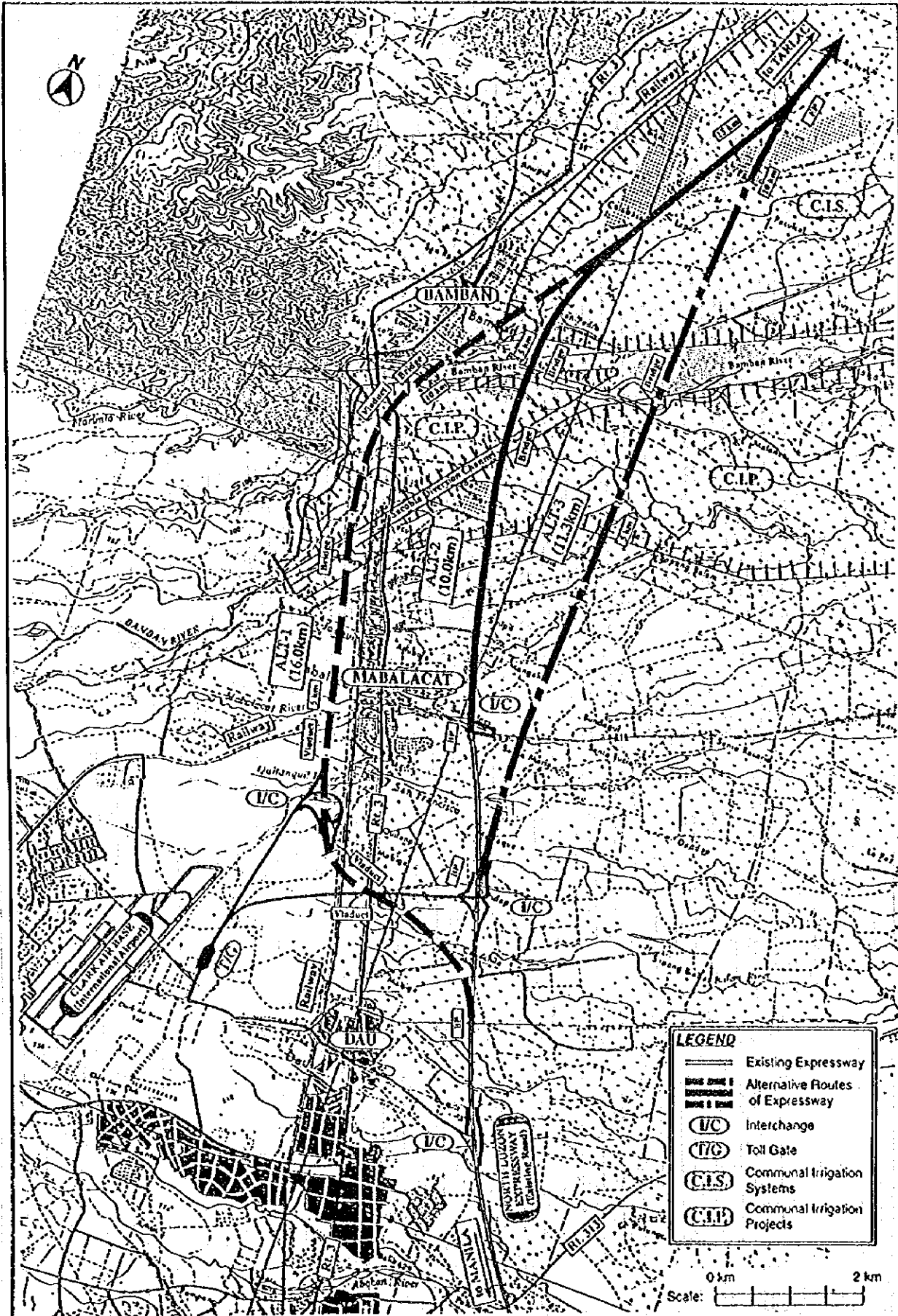
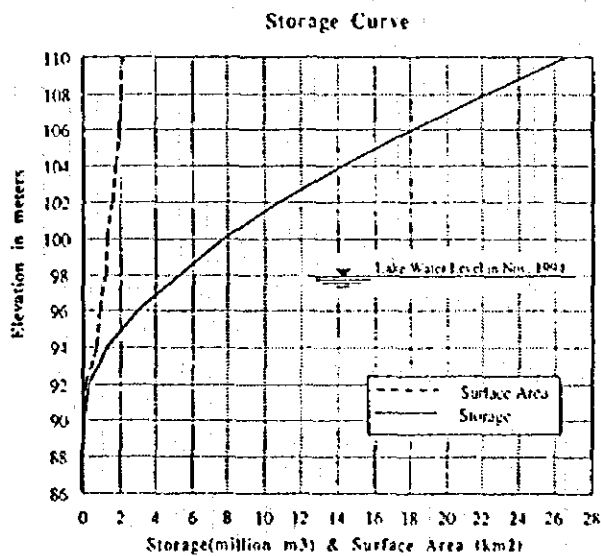
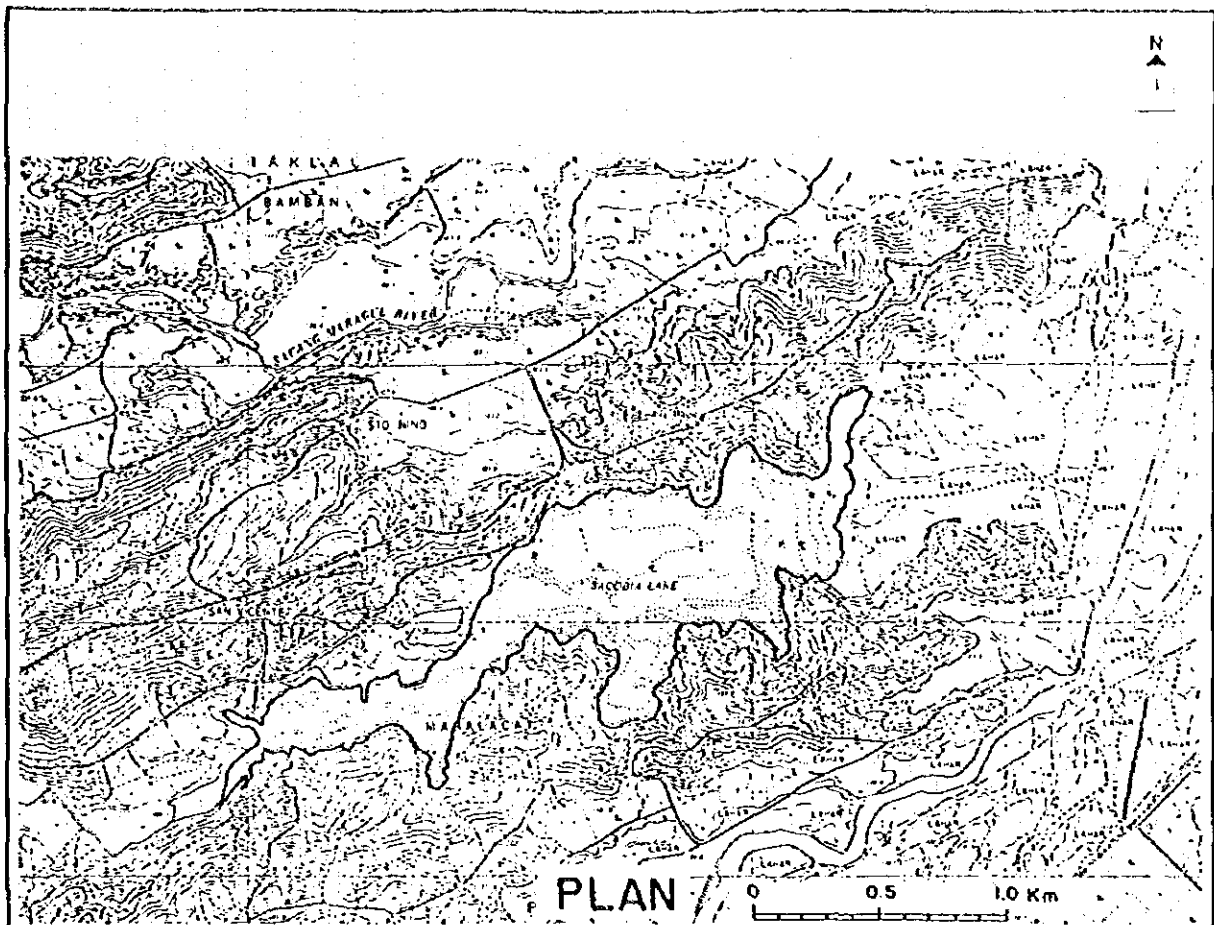


図 5.22 北方ルソン高速道路延長計画  
 Alternative Routes of  
 North Luzon Expressway Extension

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



Water Level (El.m)	Surface Area (km <sup>2</sup> )	Storage (million m <sup>3</sup> )
110	2.229	26.819
108	2.132	22.338
106	2.002	18.254
104	1.847	14.405
102	1.679	10.879
100	1.336	7.864
98	1.225	5.303
96	1.001	3.077
94	0.737	1.339
92	0.210	0.392
90	0.077	0.105
88	0.014	0.014
86	0.000	0.000

図 5.23 サパンカウアヤン川堰止湖

Dammed Lake in Sapang Cauayan River

THE GOVERNMENT OF THE PHILIPPINES  
 THE DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND HIGHWAYS  
 THE STUDY ON FLOOD AND MUDFLOW CONTROL  
 FOR SACOBIA-BAMBAN/ABACAN RIVER  
 DRAINING FROM MT. PINATUBO  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY