

国際協力事業団派遣専門家(建設省) 長井義樹  
 国際協力事業団専門員 渡辺正幸  
 日本工営株式会社 広瀬典昭, 井上公夫  
 砂防エンジニアリング株式会社 大石道夫

はじめに

国際協力事業団の調査団(日本工営(株)と(株)建設技術研究所の共同企業体)はピナツボ火山東部地域の「洪水及び泥流制御計画調査」を1993年11月より開始し、96年4月に終了した。調査の途中経過については、94・95年度の砂防学会で報告するとともに、新砂防47巻2号で報告した。ここでは、米国地質調査所(USGS)やフィリピン火山地震研究所(PIHIVOLCS)の調査結果を含め、1991年6月の噴火以降に起こった大規模な地形変化と土砂災害の関係について報告する。

1 噴火直後の地形変化

噴火前のSacobia川(流域面積44.3km<sup>2</sup>)やPasig川(同21.3km<sup>2</sup>)は、深い河谷を形成していたが、91年の大規模噴火によって、Pinatubo火山の東部地域に13.98億m<sup>3</sup>(Sacobia川流域に9.68億m<sup>3</sup>, Pasig川流域に4.30億m<sup>3</sup>)にも達する火砕流が堆積した。その結果、河谷は最大で200mも埋積され、非常に平坦なEPPFF(East Pinatubo Pyroclastic Flow Field)地域が形成された。このため、EPPFF地域の流域界が消滅してしまい、平坦な火砕流堆積物の中に島状に古い尾根が残った。

このような平坦な地形は、今回初めて形成されたのではなく、Inararo期(35,000年より前)・Crow Valley期(5000-6000年前)・Maraunot期(2500-3000年前)・Buag期(500年前)の噴火時にも形成された。しかし、これらの火砕流堆積物は堆積時には高温であるが溶結していなかった。堆積後数年間は非常に高温であったため、地下水や地表水と接触すると、活発に二次爆発(水蒸気爆発)を起こし、Hot-laharとなって下流に流出した。そして、流下能力がなくなった地点で堆積し、広大な扇状地を形成した。旧Clark基地の載る扇状地は、<sup>14</sup>C年代測定結果などから、Maraunot期に形成されたと考えられている。

噴火前のEPPFF地域の地形は、Buag期以後500年間の河川侵食の結果形成された。そして、過去の噴火の名残が各地に残り、複雑な河川地形となっていた。旧Clark基地から見えるPinatubo火山前面の丘陵地は、Inararo期に堆積した火砕流台地である。このような火山噴火の影響を受けて、各河川は河川争奪を繰り返して流域界を変更し、4箇所以上のWind-gap(Abacan-gapなど)を形成した。今回の噴火では、Abacan-gap付近も火砕流で埋積したため、EPPFF地域からAbacan川とSacobia川のどちら方向にもHot-laharが流下できるようになった。

2 1雨期目(1991年)の地形変化

91年の大規模噴火後、EPPFF地域に雨が降ると盛んに二次爆発を起こし、各地に無数の爆裂火口(Crater)が形成された。そして、徐々に水系網が形成され、Sacobia川流域の火砕流堆積物は、1雨期間にSacobia川方向に1.50億m<sup>3</sup>、Abacan川方向に0.50億m<sup>3</sup>流出し、7.68億m<sup>3</sup>に減少した。一方、Pasig川流域では上流部の流域界が広がったため、流域面積が24.5km<sup>2</sup>と少し増加したが、右支川のBucbuc川流域では4.0km<sup>2</sup>の地域が爆裂火口の中で閉塞していた。Pasig川流域の火砕流堆積物は、1雨期間に0.5億m<sup>3</sup>流出したため、3.80億m<sup>3</sup>に減少した。

3 2雨期目(1992年)の地形変化

乾期になると、応急対策の堤防や砂防ダムが建設された。しかし、翌年の4月4日に、Abacan-gapの約1km上流で大規模な二次爆発が発生し、多量のHot-laharがSacobia川とAbacan川方向に流下した。その後、Sacobia川の河床がAbacan-gap地点で低下したため、Abacan川方向への流出はなくなった(この時期以降、Abacan川では被害はほとんど発生していない)。

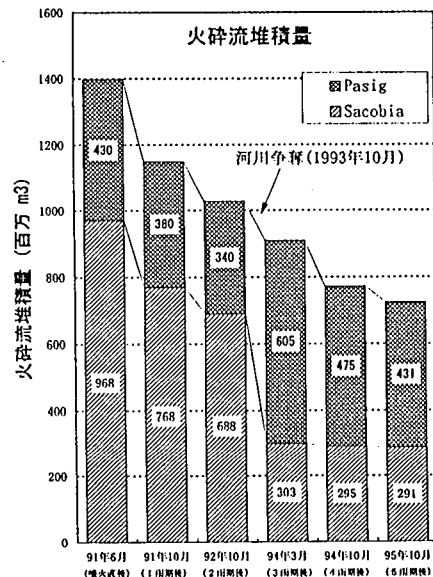
2雨期目(総雨量2079mm)が始まると再び二次爆発が活発となり、PHIVOLCSの観測で93回(噴煙柱の高さ5km以上が15回、3~5kmが2回、1~3kmが38回、1km以下が38回)も観測された。このため、何回もHot-laharが発生し、被害が拡大した。2雨期終了時には、Sacobia川では流域面積が43.1km<sup>2</sup>と少し減少し、火砕流堆積物は0.80億m<sup>3</sup>流出して6.88億m<sup>3</sup>に減少した。一方、Pasig川流域では、Bucbuc川流域も流下できるようになり、0.40億m<sup>3</sup>流出して3.40億m<sup>3</sup>に減少した。

4 3雨期目(1993年)の地形変化

再び乾期になるとLaharの流出はなくなり、被災した堤防の補修や新規の堤防が盛んに建設された。しかし、3雨期目(同2269mm)が始まると再び二次爆発が活発になり、96回(順に6回、11回、49回、30回)も観測された。このため、Hot-laharがSacobia川流域では43日(大1日、中12日、小30日)、Pasig川流域では28日(中9日、小19日)も発生し、被害が拡大した。その後、3雨期末期の93年10月4日にSacobia川上流で大規模な二次爆発が発生し、二次火砕流がSacobia川の河谷を埋積したため、上流部は河川争奪され、Pasig川方向に流れるようになった。このため、Sacobia川の流域面積は22.8km<sup>2</sup>と半減したのに対し、逆にPasig川は44.5km<sup>2</sup>と倍増した。3雨期目には、Sacobia川では0.65億m<sup>3</sup>流出したが、流域面積の減少もあって3.03億m<sup>3</sup>と半減した。一方、Pasig川では0.55億m<sup>3</sup>流出し、流域面積の増加もあって6.05億m<sup>3</sup>と倍増した。

5 4雨期目(1994年)の地形変化

上記の河川争奪の影響が本格的に現れ出したのは、4雨期目(同2117mm)からであった。二次爆発は前年よりも多く、123回(順に13回、13回、60回、40回)も観測された。Sacobia川流域では、Hot-laharの発生日数は48日(中6日、小42日)で前年とほぼ同じであるが、流域面積が減少したこともあって、大・中規模のHot-laharは半減した。それに対し、Pasig川流域ではHot-laharの発生日数は72日(大10日、中16日、小46日)と、日数・規模と



も激増した。実際、Pasig川流域では、盛んに二次爆発を起こし、二次火砕流を流下させた。二次火砕流の堆積地区でも水蒸気爆発を起こしているため、三次爆発も起っていると考えられる。それだけ、二次火砕流堆積物も高温であることを示している。水蒸気爆発で移動した火砕流堆積物は、Yangca川とPapatac川の合流点付近(それより下流は急峻な渓谷)で堰止められ、Yangca川との合流点より上流に天然ダムを形成した。Pasig川の上流部の河床は次第に上昇し、94年8月には左支川であるTimbu川方向に流下し始め、Timbu川がPasig川の本川となってしまった。その後、二次爆発とHot-laharが頻発したため、本川となったTimbu川の河床は50mも上昇し、Pasig川のDelta-5観測地点でも上昇し始めた。

94年8月6日には、Hot-laharの一部がDelta-5直下流からAngeles市方向に溢流し出した。また、前記の天然ダムは湖面標高400m、貯水容量300万 $m^3$ 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、Pasig川の中・下流域(Mancatian付近)では、非常に大規模なHot-laharが流下して多数の死者を出した。以上の結果、4雨期目にSacobia川では火砕流堆積物が0.08億 $m^3$ 流出し、2.95億 $m^3$ となった。Pasig川流域では1.29億 $m^3$ と前年の2.5倍近くの火砕流堆積物が流出し、4.76億 $m^3$ と減少した。なお、現本川であるTimbu川の河谷部分の火砕流堆積物は、0.37億 $m^3$ にも達した。

## 6 5雨期目(1995年)の地形変化

5年目の雨期には、2336mmと前年の雨期より多い降雨があったが、Sacobia川流域では二次爆発はほとんどなくなり、Hot-laharの発生日数は17日(中6日、小11日)と1/3に減少した。そして、Mactan Gate-Maskup間の紡錘型地域の侵食と平坦化傾向が進んだ。Bamban川との分離堤防(95年5月に完成)の効果もあって、Sacobia川からの土砂はBamban川には流入できなくなり、計画通り下流のSand Pocket内に堆積した。このため、国道329号線のSan Francisco橋付近では、DPWHの浚渫作業の効果もあって、雨期にも交通が維持された。しかし、シルト以下の細粒成分がSand Pocket末端の霞堤をすり抜ける傾向は続いており、下流のSapang Balen川での氾濫がわずかに続いた。

Pasig川では、95年の河道状況の変化は噴火以後でも一番大きく、被害も大きかった。このため、フィリピン政府の要請により、JICA調査団が河道状況の観察調査を継続することになった。Pasig川の二次爆発は34回(順に3回、5回、15回、11回)と前年の雨期と比較し1/4程度に減少した。しかし、Hot-laharの発生日数は、47日(大5日、中21日、小21日)とあまり減少しなかった。前年に比較し二次爆発の規模や発生回数が増加している(高温の残存区域が減少しているためか)が、雨量が多かったせい、Hot-Laharの発生回数は減少しておらず、中・下流域は大きな被害を何回も受けた。なお、95年の初期は、前年と同様Delta-5付近では河床の上昇傾向が続いた(7月末の台風Katringの襲来まで)。しかし、8月の頃からPasig川の河床はDelta-5付近では下刻し始めた。そして、Angeles-Porac道路より下流付近では、三線堤を越えて大きく氾濫した。また、下流のGSO道路のSta. Barbara橋上流で、7月29日と8月17日に破堤した。こうした状況は9月後半まで続き、Bacolorの市街地は次第に土砂で埋積していった。そして、10月1日の台風Mamengの襲来(日降水量250mm)により、Pasig川下流では噴火以来最大規模の被害が発生し、左岸側のGugu Tertiary Dikeの下流方向に新たな流路を形成した。この時のLaharは、Gugu Creekを越えて、州都San Fernando市方向へと流下した。Laharの襲来が、住民の寝静まった未明であったため、避難することができず、死亡・行方不明となった住民も多かった。

5雨期目に、Sacobia川では火砕流堆積物が0.04億 $m^3$ 流出し、2.91億 $m^3$ となった。一方、Pasig川では0.86億 $m^3$ (上流部からは前年の1/3の0.45億 $m^3$ )流出し、4.31億 $m^3$ と減少した。なお、上記の土砂量には、Timbu川の河谷に4雨期目に堆積した0.37億 $m^3$ のうち、0.20億 $m^3$ が流出した分も含まれている。現地測量の結果から、これより下流に堆積していたLahar堆積物の河道侵食量は0.41億 $m^3$ と推定した。

## 7 地形変化の将来予測

EPPFF地域の火砕流堆積物(13.98億 $m^3$ )は、1雨期末には11.48億 $m^3$ (当初の82.1%)、2雨期末には10.28億 $m^3$ (同73.5%)、3雨期末には9.08億 $m^3$ (同64.9%)に減少した。93年10月に大規模な二次爆発による河川争奪が発生したため、Pasig川では流出土砂量が増加したが、Sacobia川では激減した。その結果、4雨期末には7.71億 $m^3$ (同55.2%)、5雨期末には7.22億 $m^3$ (同51.6%)に減少した。Pasig川では、93年の河川争奪以後土砂運搬力が増加したため、現在の本川であるTimbu川からDelta-5観測地点付近の堆積物を侵食し、河床は次第に低下し始めた。95年11月には、Angeles-Porac道路付近でも噴火前の河床より20mも低下した。この付近の堆積物は侵食され、下流域に氾濫・堆積した。現在、96年2月に撮影した航空写真を判読中であるが、この一年間の地形変化の大きさとPasig川の下流の被害の大きさに驚かざるを得ない。

従って、噴火後の最初の5年間でほぼ半分の土砂量に相当する48.4%の6.76億 $m^3$ が流出したことになる。逆に言えば、51.6%に相当する7.22億 $m^3$ がEPPFF地域に残っていることになる。しかしながら、水蒸気爆発を起こせるような高温の堆積物はかなり少なくなっているものと判断される。このため、6雨期(1996年)以降のEPPFF地域からの流出土砂量は、5雨期よりも少なくなるが、河川の土砂運搬力はもっと大きいので、河道侵食が5雨期と同様活発となるであろう。

現時点で6雨期(1996年)以降の土砂量の低減化傾向を推定することは困難であるので、来年度以降も観測を続けながら長期的な将来予測を実施する必要がある。また、上流部に残存している高温の火砕流堆積物がどの程度残っているかは今後の土砂流出を考える上で非常に重要であるので、来年度以降の調査できちんと計測する必要がある。

