

## 泥火山噴出物流入後のポロン川下流部地形変化\*

東北大大学院工学研究科 田中 仁  
 東北大大学院工学研究科 森 文章  
 東北大大学院工学研究科 梅田 信  
 東北大大学災害科学国際研究所 吳 修一  
 東北大大学院工学研究科 三戸部佑太  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember Suntoyo**

### 1. はじめに

2006年5月29日にインドネシア・シドアルジヨ市で泥火山が発生し、大量の汚泥が噴出した。泥火山とは水を多量に含む粘土が地下からのガスによって押し上げられガス噴出孔のまわりにできる1~2mの円錐形の丘のことである。インドネシアのジャワ島は世界有数の地殻変動帯であり、泥火山の発生は多くの場所で起こっている。泥火山は数年~数十年に一回程度の間隔で爆発的に活動し、一回の活動で泥火山からの汚泥噴出量は最大数十万m<sup>3</sup>になる可能性がある。泥の噴出量が約18万m<sup>3</sup>/dayに達したシドアルジヨ市の泥火山は現在も活動を続けている。

著者らは2012年からポロン川における泥火山噴出物の堆積・侵食状況<sup>1),2)</sup>、ならびに河道内の水質環境<sup>3)</sup>に関する調査・研究を行っている。本論文においては、これまでのポロン川での泥火山災害に関して詳述するとともに、河口部における地形変化について報告を行う。

### 2. ポロン川の概要

全長320km、流域面積12,000m<sup>2</sup>/kmのジャワ島第二の河川であるプランタス川は下流域でスラバヤ川とポロン川に分流している(図-1)。ポロン川は全長約60kmの河川であり、インドネシア・ジャワ島東部のスラバヤから約30km南に位置している。河川幅は150m~300m、河川勾配は1/3500~1/8000であり、天井川区間が多く存在している。流域の年間雨量は1500~2000mm程度であり、明瞭な雨期(概ね10月~4月)と乾期(概ね5月~9月)が存在する(図-2<sup>1)</sup>)。

もともとはスラバヤ川が本川であったのを19世紀末にポロン川を洪水排水路として開削した。雨期にはスラバヤ川下流に位置するスラバヤを洪水から守るため、洪水流のすべてをポロン川へ流している。一方で乾期は新レンコンダム地点の水量はすべてスラバヤ川とプランタス・デルタ灌漑水路に取水され、ポロン川へはほとんど供給されない。プランタス川流域の中央に位置するクルド山は活火山であり、過去100年間、約15~30年周期で噴火を繰り返しており噴火により生産された土砂はプランタス川へ流入し、0.105mm以下の土砂は河床に堆積することなしに河口に堆積している<sup>4)</sup>。第二次マスター・プランによると噴火直後5年間は大量的土砂が河道へ流出し河床上昇や河口部の堆積に影響を及ぼしている。クルド山は20世紀に1901年、1919年、1951年、1966年、1990年の5回噴火し、1回の噴火で平均約2億m<sup>3</sup>の土砂が噴出されている<sup>5)</sup>。この

\* Downstream morphology change along the Porong River after discharging mud from volcano eruption, Hitoshi Tanaka, Fumiaki Mori, Makoto Umeda, Shuichi Kure, Yuta Mitobe and Suntoyo

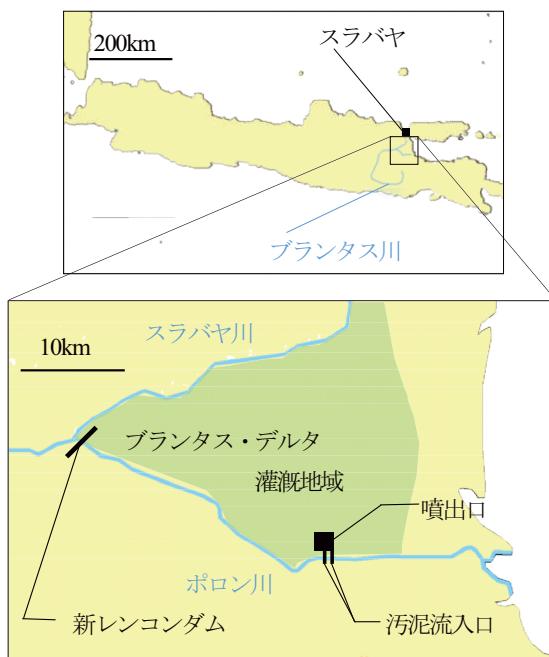
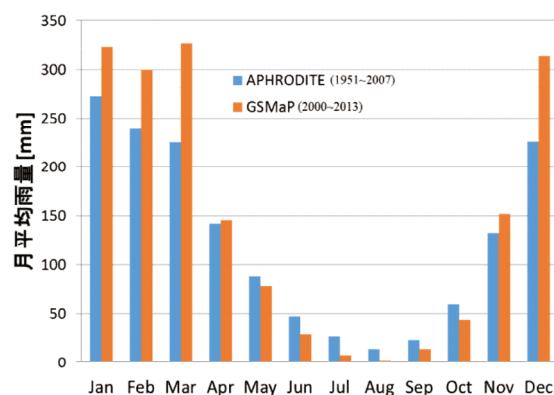


図-1 ポロン川の概要

図-2 プランタス川流域における月平均雨量<sup>1)</sup>

様な多量の土砂生産の影響により、ポロン川河口では年々陸地が進んでいる。一方で、近年の泥火山による土砂供給の増加が河口部における陸地化を加速させている。

### 3. ポロン川泥火山災害の経緯

泥火山発生後から 2006 年 6 月 21 日までの噴出量は  $110 \text{ 万 m}^3$  と推定された。2006 年 7 月には泥をせき止めるための堤防を設置したが、堆積・貯蔵限界に達したため、汚泥の一部を 2006 年 11 月 22 日以降ポロン川へ排出している。泥火山の噴出を止めるために対策委員会は 2007 年 7 月に応急処置として以下の 3 つの対策を行った。

- i) 泥噴出事故現場に最も近いバニンジャル・パンジ天然ガス田に噴出泥より重い泥を注入する。
- ii) ガス田付近からガス田に横穴を掘り、より重い泥を注入する。
- iii) ガス田近くに新たに緊急田を掘り、そこから重い泥を注入する。

しかし、これらの対策はすべて失敗に終わった。泥火山発生による被害は拡大し、2007 年までに 12 の村を含む 641 ha が泥の被害を受けた<sup>6)</sup>。

泥火山発生前に、泥噴出が起きた鉱区で民間企業 PT Lapindo Brantas(ラピンド・ブランタス社)がガス採掘を行っていた。泥火山発生の原因として主に 2 つ考えられる。ひとつはラピンド・ブランタス社がガス採掘を行ったことによる人為的な原因、ひとつはシドアルジョから約 250km 離れたジョグジャカルタで 2006 年 5 月 27 日に発生した地震による自然的な原因である。

泥火山から噴出している泥には重金属や硫黄成分等の有害物質が含まれており、かつ大量の汚泥の河川流入により溶存酸素が減少し河床の嫌気化が進行することで、河川環境に影響を及ぼす可能性がある。また泥火山から噴出する泥の粒径は一般に  $10 \mu\text{m}$  程度以下の粒子と非常に小さく粘着性土砂と呼ばれ、水流に取り込まれるとウォッシュロードを形成し、流速が遅くなる河口付近で沈降・堆積する。土砂が河口付近に堆積することで河口閉塞や内水氾濫リスクが増加する。

ブランタス川の流域は、日本政府の協力により策定された「ブランタス総合開発計画」に基づき、1959 年から数多くの事業が行なわれてきた。ポロン川は流域における治水・灌漑を行なうことを目的に 1978 年に総合開発計画の一部として、日本政府の協力により改修事業が行われた<sup>7)</sup>。しかしながら、その後、ポロン川流域では建設用資材に用いることを目的とした土砂の過剰採掘により、土砂流出、護岸・築堤等の侵食、洗掘、漏水等の洪水被害が起こった。1994 年に東ジャワ州では「ブランタス川、スラバヤ川、ポロン川、マルモヨ川における川砂利採取の禁止及び川砂利採取活動のクルド山、スメル山への移行」、1995 年に「水資源総合開発局の許可なくブランタス川において川砂利採取活動を行なうことの禁止」、1997 年に「許可なくブランタス川流域において川砂利採取活動を行なうことの禁止」などの規制を出しているが、砂利採取は現地に数千万人規模の雇用を創出する一大産業とも言え、十分に効果を発揮していないようである<sup>8)</sup>。このような被害の更なる発生を未然に防ぐため、ポロン川の改修事業が引き続き必要とされ、1988 年～1994 年にポロン川改修事業が行われた。事業実施以前は事業地域で度々洪水が記録されていたものの、事業完成後の 1994 年から 2000 年の間ににおいて洪水の公式記録はされていない。事業後の調査では河床低下は洪水制御マスターplan で設定された予測値よりもポロン川の下流で 2m、上流で 5m 低くなっていることが確認されている。このような河床低下の要因として主に 2 つ考えられる。

- i) 上流に建設されたダムや堰により河川への土砂の供給が減少したこと
- ii) ポロン川の本流であるブランタス川における過剰な川砂利採取

護岸の数ヶ所が河床低下のため損傷を受けており、崩壊や滑落が引き起こされている。また、水流が河道にぶつかる箇所では河床低下により堤防が侵食・洗堀され、河床が不安定な状態となっている。これら損傷を受

けた堤防や河川構造物は、50年確率洪水を超す規模の洪水に対する耐久性がないと推測されている。

シドアルジョ市の泥火山では泥の噴出量が最大で約18万m<sup>3</sup>/dayにも達し、その後徐々に噴出量が減少しているが、発生から7年以上経過した現在も噴出が続いている<sup>1)</sup>。この災害により避難住民が4万人に達した2006年7月に泥をせき止めるための堤防を設置したが、一部の堤防では決壊や泥の越流が生じ、これにより公共機関への影響も生じている。堆積・貯蔵限界に達した泥は2006年9月19日以降ポロン川へ排出されており、現在でも大量の汚泥がポロン川に排出されている。ポロン川の汚泥流入地点は二箇所あり、どちらも河口からおよそ22km地点に存在している。汚泥を排出させているパイプは汚泥をそのまま流すとパイプが詰まってしまうため、ポロン川の水を用いて流れやすくさせている。流量がない乾期にはポロン川へ汚泥を排出させることができない。この汚泥堆積物を除去するために2007年～2008年では汚泥流入地点で雨期の前に浚渫・攪拌が行われた。流入口付近では主に攪拌が行われ、河口では浚渫が行われており浚渫した泥で人口島を造成している<sup>1)</sup>。

#### 4. ポロン川河口地形変化

図-3は澤井・江頭<sup>9)</sup>により報告されているポロン川河口地形の変化を示している。澤井・江頭<sup>9)</sup>によれば、1914年から1954年までの40年間にわたるポロン川河口での堆積土砂量は280,000,000m<sup>3</sup>におよび、河口デルタが約4km前進している。さらに、1945年から1964年の間には3km、1964年から1970年の間には2kmのデルタの前進が見られた。

図-4、図-5にはGoogle Earthをもとに図化したポロン川河口地形を示す。それぞれ、2007年および2013年の地形を示している。この二つの地形の間で大きな差違は見られないが、図-3と比べるとショートカットされた河口部において顕著な陸域の拡大が見られる。また、図-5に示した矢印は上述した浚渫された泥を用いて造成された人工島である。人工島は河口内への波浪の進入を妨げており、河口部デルタの成長を助長する

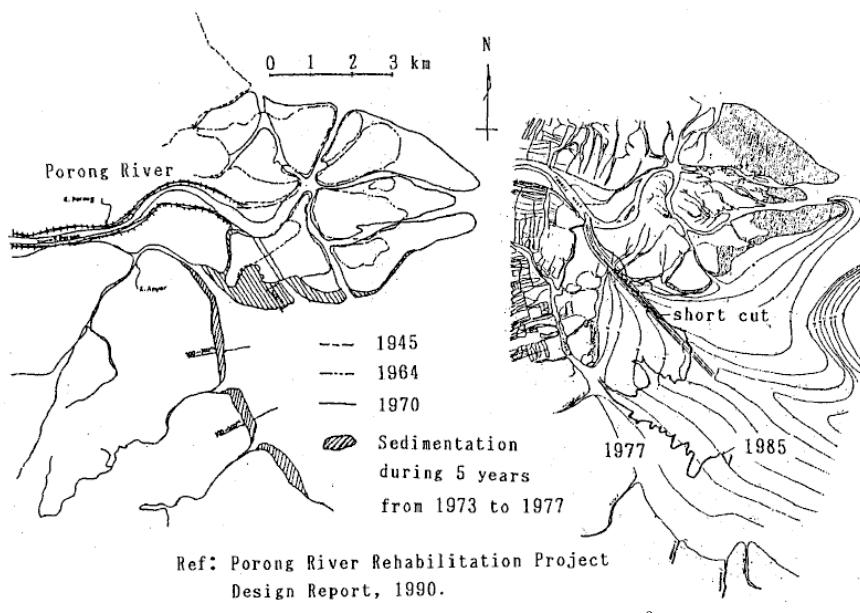


図-3 ポロン川河口地形の変化（澤井・江頭<sup>9)</sup>）

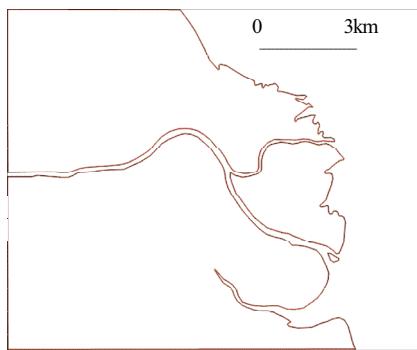


図-4 ポロン川河口地形 (2007年)

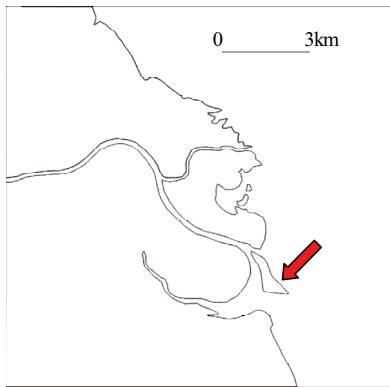


図-5 ポロン川河口地形 (2013年)

効果を有するものと考えられる。さらに、人工島にはマングローブ林が成長しつつあり<sup>10)</sup>、消波効果・堆砂効果を増している。

## 5. おわりに

本論文においては、インドネシア・ポロン川流域における泥火山噴出物が河川に及ぼした影響を述べるとともに、堆積土砂による河口部の地形変化について検討を行った。同河口においては泥火山の噴出以前から多量の土砂生産・土砂輸送により顕著な河口デルタの前進が見られたが、さらに泥火山噴出物の流出が河口土砂堆積を加速化していることが明らかになった。

**謝辞：**本研究を行うに際して、科学研究費補助金基盤研究（B）（海外調査）「泥火山噴出物流入に伴うインドネシア・ポロン川の変化と河川環境の改善に関する研究」（代表：田中 仁）の助成を受けた。また、BPLS (Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo - Sidoarjo Disaster Recovery Agency) より貴重な現地データの提供を受けた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 吳 修一・Bambang Winarta・武田百合子・有働恵子・梅田 信・真野 明・田中 仁: インドネシア・ボロン川における泥火山噴出物の流出・堆積状況, 土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.5 p.I\_183-I\_190, 2013.
- 2) 森 文章・三戸部佑太・吳 修一・Suntoyo・梅田 信・田中 仁・有働恵子・真野 明: 泥火山噴出物流入に伴うインドネシア・ボロン川の河床変動, 東北地域災害科学研究, 第50巻, pp.235-240, 2014.
- 3) 梅田 信・森 文章・田中 仁・吳 修一・Suntoyo: 泥火山噴出物の流入部下流におけるボロン川の水質環境, 東北地域災害科学研究, 第50巻, pp.241-244, 2014.
- 4) 日本工営コーポレート総合研究所: ブランタス河の開発, 山海堂, 385p, 1997.
- 5) ARESTアジア流域水政策シナリオ研究チーム: アジアの流域問題, pp.86-103, 2008.
- 6) Putro, P.B.S: Social and economic impacts of the Sidoarjo mudflow: Community resettlement after disaster. <http://www.jahss.org/2012/papers/2-A-4.pdf>
- 7) 独立行政法人国際協力機構 (JICA) : ボロン川改修事業, 2002. [http://www.jica.go.jp/activities/evaluation/oda\\_loan/after/2002/pdf/project\\_41\\_allj.pdf](http://www.jica.go.jp/activities/evaluation/oda_loan/after/2002/pdf/project_41_allj.pdf)
- 8) Pahlevi, A.M. and Wiweka: Analisa sedimentasi di muara kali porong akibat pembuangan lumpur lapindo menggunakan data citra satelit aster, Jurnal Ilmiah Geomatika Vol. 16, No. 2, 2010.
- 9) 澤井健二・江頭進治: ブランタス川の土砂流出と河床変動に関する研究, 第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集, pp.315-320, 1998.
- 10) 吳 修一・武田百合子・有働恵子・梅田 信・真野 明・田中 仁: 泥火山噴出物の流入がインドネシア・ボロン川に与えた影響評価, 東北地域災害科学研究, 第49巻, pp.115-120, 2013.