インドネシア・ポロン川における泥火山噴出物の流出・堆積状況

呉 修一^{1*}・Bambang WINARTA²・武田 百合子¹・有働 恵子¹
・梅田 信³・真野 明¹・田中 仁³

¹東北大学災害科学国際研究所 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6)

²Faculty of Civil Engineering & Planning, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (Sukolilo Surabaya 60111, Jawa Timur, Indonesia)

³東北大学大学院工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6)

* E-mail: kure@irides.tohoku.ac.jp

2006年5月、インドネシア・シドアルジョ市で泥火山が噴出した。噴出に伴い、2011年6月の時点で6.5 km²の範囲が泥水で覆われ、高速道路や鉄道が影響を受け、3万人以上の近隣住民の生活に影響が及んだ。堆積・貯蔵限界を超えた泥水は、隣接するポロン川へ導水路を通じ排出されている。噴出した泥には硫黄などの有毒成分が含まれるため、河川・海洋の環境汚染および汚泥の堆積による河川の洪水疎通能力の低下が懸念されている。本論文は、ポロン川における汚泥の堆積・流出状況を評価するため、河川横断面データを収集し河床形状の時間的な変化を解析した。解析結果より、ポロン川への汚泥の流入に伴い、乾期に汚泥の堆積が顕著に進むが雨期には流出し、その堆積量は年々減少していることが明らかとなった。

Key Words : Porong river, Indonesia, Java Island, mudflow, LUSI, mud volcano, sediment deposition

1. はじめに

2006年5月、インドネシア・シドアルジョ市で発生した泥火山、LUSI(Lumpur Sidoarjo [Lumpurとはインドネシア語で汚泥を意味する])は現在も噴出を続けている。当初、噴出汚泥の堆積域を堤防で囲む対策が取られたが、その後も泥の噴出は収まらず、2011年6月の時点で6.5 km²の範囲が泥水で覆われ、多くの家屋や村が泥に埋もれ、高速道路や鉄道が影響を受け、3万人以上の近隣住民の生活に影響が及んでいる。LUSI泥火山からの汚泥の噴出量は最大で約180,000 m³/dayに達するとされている(USGS¹⁾, Daviesら²⁾。

堆積・貯蔵限界を超えた汚泥は、隣接するポロン川へ導水路を通じ排出されている。噴出した泥には硫黄などの有毒成分が含まれるため³⁾、ポロン川河口部で行われている海老の養殖に被害が生じ⁴⁾、海洋汚染などの懸念が高まっている。しかしながら現段階においても将来の解決のための目処はまったく立っていない。

従来より、流域からの土砂の流出や大規模出水が河川の河床形状や河口周辺地形に与える影響を、実測データ

や数値計算から評価する試みがなされてきた⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾。桑原ら⁹⁾は、出水に伴う河口地形変化の数値計算において、細かい格子サイズの使用、適切な掃流砂公式の選択、更には浮遊砂や二次流による砂移動を考慮することで計算結果の再現性が向上される事を明らかにした。ウォンサ⁹⁾は、流域全体系における土砂動態のモデル化を試み、河道形状や流域の土地利用の変化が土砂生産量および洪水ピーク流量に与える影響を評価している。このように、流域からの土砂の発生・流出および河道での土砂の巻き上げ・輸送・堆積、更には大規模出水に伴う河床堆積物のフラッシュ現象を扱った研究は多く存在する。更には、河床に堆積した底泥が河川水質に及ぼす影響に関する研究¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾や、多量の降雨による土石流や泥流に伴う火山性堆積物の流入が海域水質に与えた影響を調べた研究(例えば、高山ら¹³⁾)などが存在する。しかしながら、本論文で紹介するような泥火山からの噴出汚泥が大量に河道内に流入し、その汚泥が河川・沿岸域の水質環境に与える影響を評価した事例は多くない。これは、泥火山の噴出自体が珍しい現象であるとともに、本論文で紹介するほどの規模の泥火山は過去に存在しなかったためで

ある。また、汚泥の堆積・輸送を計算するためには、従来までの掃流砂や浮遊砂の取り扱いに泥の含有率を加味したモデルが必要となるであろう。

このように、汚泥の流入がポロン川の洪水疎通能力や河川・河口域の水質環境に与えた影響を定量的に評価し、同様な泥火山噴出への対応策や今後の水質環境の改善策を提案する事は非常に重要である。よって本論文は、LUSI泥火山およびポロン川の概要を紹介するとともに、ポロン川への汚泥流入後の河道横断面形状の時間的変化を実測データより解析することで、河道部におけるLUSI泥火山噴出物の堆積・流出状況を評価するとともにその経年的な変化を明らかにすることを目的とする。

2. ポロン川の概要

ポロン川は、インドネシア・ジャワ島東部に位置するインドネシア第2の都市スラバヤから南に約30 kmに位置する(図-1)。ポロン川はブランタス川の下流部に位置する全長約60 kmの河川である。ブランタス川は、クルド火山(1,731 m)群を源流とする全長約320 km、流域面積約12,000 km²のジャワ島第2の河川である。ブランタス川は、下流域でポロン川とスラバヤ川に分流する。この分流地点ではゲートで河川の流れが操作されており、出水時の流量は都市スラバヤを守るため、全てポロン川に流れるようにゲート操作される。

流域の年平均雨量は1500~2000 mm程度であり、明瞭な雨期(10月~4月)と乾期(5月~9月)に区別される。図-2に、ブランタス川流域における月平均雨量を示す。データは地上雨量データの入手が困難であったため、APRHODITE(例えば、Yatagiら¹⁴⁾)およびGSMaP(例えば、Aonashiら¹⁵⁾)のデータを使用した。APRHODITEデータは、利用可能な地上雨量データを空間的に内挿することで、0.25°の空間分解能でアジア・太平洋地域をカバーするグリッド日雨量データを、1951年~2007年の期間にわたり提供している。また、GSMaPデータは、衛星雨量に基づき、0.1°の空間分解能で全球範囲をカバーするグリッド時間雨量データを、2000年3月より現時まで準リアルタイムで提供している。図-2より、明瞭な雨期と乾期の雨量の差を見ることが出来る。また、衛星雨量であるGSMaPは多くの不確実性やバイアスを有すると考えられるが、季節変動や月雨量の変動はしっかりと捉えていることがわかる。

ブランタス川流域はスラバヤ市、マラン市等を抱える人口緻密地帯であり、また、ジャワ島有数の穀倉地帯でもある。このため、「ブランタス川流域総合開発計画」に基づき、主として我が国の協力により古くから開発が

図-1 ポロン川および汚泥噴出口の位置

図-2 ブランタス川流域における月平均雨量
(APRHODITEおよびGSMaPデータより)

進められており、円借款により多くの事業が実施されてきた(JICA¹⁶⁾,¹⁷⁾)。ブランタス川ではダム貯水池を含む多くの水工構造物などが治水・灌漑・発電などを目的として建設されてきた。このような水工制御施設の建設や継続的な河川改修に伴い、ブランタス川・ポロン川における洪水被害は著しく減少してきた。しかしながら、今回のLUSI泥火山に伴い発生した大量の汚泥をポロン川に流入させることで、河床への汚泥堆積に伴う洪水疎通能力の低下が懸念されている。このような洪水疎通能力の低下は、今までの地道な河川改修事業の意義を低下させるものであり、早期の影響評価と対応策の実施が求められている。本研究の実施は、ブランタス川流域で行われたこれまでの事業の効果発現を担保するものとも位置づけられる。

3. LUSI泥火山の概要

2006年5月29日、シドアルジョ市近郊の天然ガス田の試削現場より高温の汚泥(約100℃)および有害ガスが噴出を始めた^{1),3)}。泥火山は、地中深部の帯水層に高圧が作用することで、ガスを伴った異常な高間隙水圧下の泥水が地下から上昇・噴出して形成される(Martinelli and Panahi¹⁸⁾, 田中¹⁹⁾)。世界各地の地殻変動帯に分布し、日本の北海道にも新冠泥火山が存在する(田近ら²⁰⁾)。インドネシアのジャワ島は世界有数の地殻変動帯で火山活動も活発であり、泥火山の噴出は多くの箇所で行われて

写真-1 汚泥の氾濫・堆積状況および仮設堤防
(2010年10月に仮設堤防上より撮影)

り珍しい現象ではない。しかしながら、今回のLUSI泥火山の噴出は今までのものと規模が異なった。汚泥の噴出量は最大で $180,000\text{m}^3/\text{day}$ と膨大であり、現在も噴出が続いている(Daviesら²⁾)。2007年の秋の時点で噴出量は累計で $3,000\text{万m}^3$ 以上にのぼり(USGS¹⁾)、周辺地域への堤防の建設にも関わらず 6.5km^2 以上の範囲が既に汚泥で完全に埋め尽くされている(写真-1)。

図-3に、LUSI泥火山噴出後の周辺地域の衛星画像((a)2006年7月および(b)2010年7月、Google Earthより)を示す。図に示されるよう、汚泥の氾濫・堆積が広範囲に拡大してきたことがわかる。この汚泥の周辺居住地、工場地域、農場地域、高速道路への堆積に伴い30,000人以上の住民に影響を与えるとともに甚大な経済被害がこの地域に生じている。写真-1より、多くの家屋が汚泥に埋没している様子がわかる。このような規模の泥火山の被害は世界でも類を見ないものである。Daviesら²⁾によると、汚泥の噴出量は、2010年の時点で $10,000\sim 20,000\text{ m}^3/\text{day}$ まで減少しているが、今後20年以上も噴出が継続する可能性があることが指摘されている。USGS¹⁾の調査によると噴出汚泥の粒径は、 $0.1\text{ }\mu\text{m} \sim 0.1\text{ mm}$ 程度で構成されており、非常に小さい。2006年11月22日に、敷設した導水路を通じて、貯留されていた汚泥のポロン川への放流が始まった。写真-2に、ポロン川の汚泥流入部の写真を示す。なお、上記の汚泥噴出は、大雨による堆積物・汚泥の流出や土石流、火山性泥流とは異なり、泥火山に起因する平地での汚泥の噴出であるため汚泥流下・氾濫速度は非常にゆっくりである。その噴出汚泥堆積物が陸上の貯留容量不足に伴い、人為的にポロン川へと放流されたものである。

4. ポロン川における汚泥の堆積状況

LUSI泥火山から噴出した汚泥はポロン川へと排出されている。汚泥の流入に伴い、ポロン川の河川環境の悪

図-3 LUSI泥火山噴出後の周辺地域の汚泥堆積状況(上図(a): 2007年7月, 下図(b): 2010年7月, Google Earthより)

写真-2 ポロン川への汚泥の流入部(河口から26km地点)
(2012年11月14日に右岸より左岸を撮影)

図-4 ポロン川および解析対象横断面の位置

化および汚泥の河床への堆積に伴う洪水疎通能力の低下が懸念されている。よって、インドネシア政府のLUSI

泥火山災害の担当部局であるBPLS (Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo - Sidoarjo Disaster Recovery Agency) は、汚泥流入の影響を評価するためポロン川の横断面標高の定期的な調査を行っている。本論文では、その標高データを使用し汚泥のポロン川への堆積状況に関して解析を行った。

図-4に、本論文で対象とした河川横断面の位置を示す。河口から18～27.6 kmの地点が重点的に調査されており、1ヶ月に一度程度の頻度で横断標高の調査が2006年11月～2010年4月まで行われている。図-5に、ポロン川の横断形状の時間的変化の一例を示す。ここで示している標高は、平均海水面(MSL)を基準としている。図-5に示されるよう、汚泥流入地点(26 K.P.)およびその下流側では、乾期中期(2007/7/26)、乾期終期(2007/10/18)に向かい、河床標高の顕著な増加が見られる。特に汚泥流入地点(26 K.P.)ではその増加量が5m程度であり、堤防高に届きそうな勢いである。しかしながら、雨期中期(2008/2/12)には河床標高が大幅に低下し、もとの河床形状に近づいていることがわかる。これは雨期の河川流量の増加によるものと推測される。これらの傾向は、汚泥流入地点の1.6 km上流である27.6 K.P.でも見られるが、その変動量は下流側と比較すると小さい。

図-6に、ポロン川の平均河床高、月降雨量(GSMaP)および月平均流量の時系列を示す。流量データは、河口から27.4 kmの地点でBPLSによって測定されており、2004年1月1日から現在までの時間流量データが利用可能である。GSMaPは衛星データに基づく雨量であるが、先に述べたように月降雨の時間的なタイミングは捉えているので、月単位の出水の影響を見るためにはバイアスの補正などを行わずに使用できるものと考えられる。図中の点線は、各断面における計画河床高を示しているが、16 K.P.より下流はこの情報が得られなかったため図示していない。

図-6に示されるよう、多くの横断面で、降雨の無い乾期に汚泥の堆積に伴い平均河床高が増加し、雨期の降雨による流量増加に伴い堆積土砂が流出し平均河床高が低下していることがわかる。16 K.P.から6 K.P.は、調査回数が上流側と比較して少ないが、2009年の乾期に平均河床高の増加がわずかながら見ることができる。これにより、流量の少ない乾期においても、河口付近にまで汚泥流入の影響が及んでいることがわかる。

図-7に、ポロン川における2007年度および2009年度の時間流量(27.6 K.P.)と平均河床高の関係を示す。2007年度の時間系列を見ると、時間流量が600m³/s程度に到達すると平均河床高の減少が開始し、河川流量の上昇に伴い汚泥の浸食・流出が進行し、26 K.P.では3ヶ月程度でもとの平均河床高に戻っていることがわかる。また、2009年度

図-5 ポロン川横断形状の時間的変化の一例
(上図から、27.6、26、23、18 K.P.地点)

の時系列を見ると、500m³/s程度の時間流量で平均河床高の減少が開始し、河川流量の上昇に伴い3ヶ月以上にわたり汚泥および堆積土砂が徐々に流出していることがわかる。河床標高データの測定が約1か月に一度程度しか行われておらず、流量データの欠損も多いため詳細な議論を行うことは難しいが、ポロン川では、時間流量が500～600m³/s程度に達すると堆積汚泥の浸食・流出が開

図-6 平均河床高および月雨量(GSMaP)の時系列
(上流から、27.6、26、25、24、23、22、20、18、16、14、10、6 K.P. 地点)

始し、汚泥の浸食・流出は河川流況に応じて3ヶ月程度からそれ以上の期間も継続することが明らかとなった。

図-6より、2008年度はデータが存在しなかったが、2007年と2009年を比較すると、2007年の平均河床高の増加量が多いことがわかる。図-8に、汚泥流入地点からの距離と堆積土砂量の関係を示す。本論文では、各断面での堆積土砂量を、平均河床高増加量×横断距離と定義し、算定した。また、2009年度は汚泥流入地点から1.2～2.8 kmまで0.2 km間隔で追加の8地点の調査が行われていたため、このデータも図-8には含まれている。

図-8に示されるよう、汚泥流入地点からの距離に応じて、堆積土砂量が低下しているように見られる。また、2007年に比して2009年のほうが堆積土砂量が減少していることがわかる。これは、年々のLUSI泥火山からの噴出量の低下に伴い、ポロン川への汚泥の流入量も低下したためである。また、図-8より2009年イベントの汚泥流入地点(0kmの地点)では、土砂の堆積が非常に少ないことがわかる。これは、汚泥の流入を妨げないように定期的に汚泥の浚渫が行われたためなどの理由が考えられるが、今後この点を現地での聞き込み調査などを通じて明らかにする必要がある。

表-1にLUSI泥火山からの汚泥の噴出量を整理したものを示す。この表は、Daviesら²⁾が推定したデータを利用

し作成している。2007年から2009年にかけてLUSI泥火山の噴出量は約80,000m³/dayから約40,000m³/dayの半分程度にまで減少し、これに伴い、図-8に示すように汚泥の堆積量も単位断面あたり約380m²から約130m²の3分の1程度に減少していることがわかる。これにより、LUSI泥火山からの噴出量の減少に伴い、ポロン川における汚泥の堆積量は年々減少していることがわかる。

以上示したように、ポロン川への汚泥の流入に伴い、河床に汚泥の堆積が流量の少ない乾期に起こり、その堆積汚泥が雨期の流量増加に伴い流出されていることを明らかにした。これは、LUSI泥火山から噴出した汚泥の粒径がとても小さい(0.1mm以下)ためと他の場所から人為的に流入し堆積したため、堆積汚泥の限界掃流力が小さく流量上昇時に巻き上げ・輸送が生じやすいためであると推測される。以上により、ポロン川では汚泥の堆積に伴う洪水の疎通能力の低下は生じていないことがわかる。しかしながら、一つの疑問はこれら流出された汚泥はどこに輸送され堆積しているのかということである。流出した汚泥は、河口域周辺で潮位の影響を受け流速が遅くなるとともに淡水から塩水への移行に伴う電気反応により粒子が凝集し沈降しやすい状況が生じる。よって、河口域周辺で汚泥が沈降しその周辺で顕著な堆積が生じている可能性がある。著者らが2012年11月15日にポロン

図-7 ポロン川における時間流量と平均河床高(26, 23, 20 K.P.)の関係 (上図：2007年度, 下図：2009年度)

川河口で漁師3名を対象に聞き込みを行ったところ、汚泥流入以降、漁獲量と漁獲サイズが経年的に減少しているとのことであった。同様に、ポロン川への汚泥の流入に伴い、エビの養殖が被害を受け漁獲量が減少したことがFitrianto⁴⁾によって報告されている。このように汚泥のポロン川への流入に伴い、何らかの水質悪化がポロン川および沿岸部で生じたことが推測される。今後詳細な現地調査を実施し沿岸域や河口域での汚泥の堆積状況を調査し、水質環境との関係を明らかにしていく予定である。

5. まとめ

本論文は、インドネシア・シドアルジョ市で発生した泥火山、LUSIの概要・被害を紹介するとともに、ポロン川に排出された汚泥の河床への堆積状況を現地調査データより明らかにしたものである。以下に得られた知見を列挙する。

- 1) GSMaP衛星雨量データはインドネシア・ジャワ島東部の月雨量の季節変動をとらえており、月単位程度の出水などの表現には利用可能であることを明らかにした。

図-8 汚泥流入地点からの距離と堆積土砂量の関係

表-1 LUSI泥火山からの汚泥の噴出量
(Daviesら²⁾より作成)

年	噴出量 [m³/day]
2006	90,000 - 180,000
2007	60,000 - 95,000
2008	20,000 - 80,000
2009	5,000 - 78,000
2010	1,000 - 76,000

- 2) 汚泥の流入に伴い、ポロン川の河床標高が乾期に顕著に上昇するが、雨期の流量増加により堆積汚泥が流出していることを明らかにした。これにより、ポロン川では汚泥の堆積に伴う洪水の疎通能力の低下は生じていないことを明らかにした。また、汚泥の浸食・流出が生じるのは河川流量が500～600m³/s程度以上であることがわかった。
- 3) ポロン川における乾期における汚泥の堆積は、流入地点(26 K.P.)に近いほど大きい。河口付近においても汚泥の堆積が生じている。また、汚泥流入地点の上流側(27.6 K.P.)でも多少の堆積が生じていることを明らかにした。
- 4) 2007年から2009年にかけて、LUSI泥火山の噴出量は約80,000m³/dayから約40,000m³/dayの半分程度にまで減少し、これに伴い、汚泥の堆積量も単位断面あたり約380m²から約130m²の3分の1程度に減少していることが明らかになった。このようにポロン川における汚泥の堆積は年々減少傾向にあることがわかった。今後は、河口部や沿岸域での現地調査を通じて、流出汚泥がどの地域に堆積しているのかを明らかにするとともに、堆積汚泥に伴う水質環境の変化などを調査、解析する。また、汚泥の流入がポロン川の河川環境に与えた影響を定量的に評価するためには、更なる水理・水質・

土砂・環境などの多角的な分析が必要であり、今後の調査・解析に加えて、数値計算を用いた定量的な評価が必要不可欠となる。よって、著者らも本論文で利用したデータなどを用いて水理、土砂輸送、水質に関する数値計算を今後行っていく予定である。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)「泥火山噴出物流入に伴うインドネシア・ボロン川の変化と河川環境の改善に関する研究」(24404014, 代表：田中仁)の支援を受けて実施されたものである。ここに記して関係各位に謝意を表す。本研究で利用したデータの収集にあたってはスラバヤ工科大学のProf. Suntoyo氏の多大な協力を得た。また、BPLSには非常に多くの情報を提供して頂いた。ここに記してスラバヤ工科大学およびBPLSへの協力に謝意を表す。また、本論文で利用した河床標高データの整理には東北大学災害科学国際研究所の金沢明子氏のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) US Geological Survey: Preliminary Analytical Results for a Mud Sample Collected from the LUSI Mud Volcano, Sidoarjo, East Java, Indonesia, 2008, available from: http://pubs.usgs.gov/of/2008/1019/pdf/OF08-1019_508.pdf(accessed Apr. 4, 2013)
- 2) Davies R.J., Mathias S.A., Swarbrick R.E. and Tingay M.J.: Probabilistic longevity estimate for the LUSI mud volcano, East Java, *Journal of the Geological Society*, Vol.168, pp.517-523, 2011, doi: 10.1144/0016-76492010-129.
- 3) Mazzini A, Svensen H., Akhmanov G.G., Aloisi G., Planke S., Malthes-Sorensen A., and Istadi B.: Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 261, pp.375-388, 2007, doi: 10.1016/j.epsl.2007.07.001.
- 4) Fitrianto A. R.: Shrimp Farmers' Innovation in Coping with the Disaster (A Case Study in Sidoarjo Mud Volcano Disaster Toward Shrimp Farmer's Responses), *Procedia Economics and Finance*, Vol. 4, pp.168-176, 2012, doi: 10.1016/S2212-5671(12)00332-2.
- 5) 桑原直樹, 田中 仁, 佐藤勝弘, 首藤伸夫: 洪水時における河口地形変化の数値計算—格子間隔, 掃流砂, 浮遊砂, 二次流の効果について—, *海岸工学論文集*, Vol. 42, pp. 596-600, 1995.
- 6) 田中 仁, 佐藤達也, 鈴木 猛, 妹尾泰史, 長沼宏一, 高木克哉, 佐藤功二: 七北田川における河口出発水位推定のための河口砂州フラッシュ機構の数値解析, *水工学論文集*, Vol. 55, pp. 883-888, 2011.
- 7) 立山政樹, 内田龍彦, 福岡捷二, 田部成幸: 大規模洪水時の河口砂州と周辺河床の変動解析—平成 23 年阿賀野川洪水を対象として—, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol. 69, No. 4, I_1009-I_1014, 2013.
- 8) 中澤辰哉, 中津川誠: 土砂生産の活発な流域における長期的な土砂流出量と河床変動の推定, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol. 69, No. 4, I_967-I_972, 2013.
- 9) サニットウオンサ, 清水康行, 岩井 聖: 流域全体系における土砂動態のモデル化の試み: 河道形状・土地利用変遷に関する基礎的検討, *水文・水資源学会誌*, Vol. 17, No. 6, 593-605, 2004.
- 10) 茂庭竹生: 底泥が河川水質に及ぼす影響に関する研究, *水質汚濁研究*, Vol. 1, No. 1, 63-69, 1978.
- 11) 城戸由能, 井口貴正, 深尾大介: 河床底泥が河川水質に及ぼす研究—賀茂川における河川水質と河床底質の観測—, *京都大学防災研究所年報*, No. 47B, 809-818, 2004.
- 12) 呉 修一, 渡邊暁人, 多田直人, 山田 正: 都市河川感潮域における水質の空間分布特性に関する現地観測, *水工学論文集*, Vol. 52, pp. 1105-1110, 2008.
- 13) 高山久明, 西ノ首英之, 吉田範秋: 雲仙・普賢岳火山災害にいどむ: 長崎大学からの提言, *長崎大学公開講座*, 6, pp. 99-120, 1994.
- 14) Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N. and Kitoh, A.: APHRODITE: Constructing a Long-term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia based on a Dense Network of Rain Gauges, *Bulletin of American Meteorological Society*, pp. 1401-1415, 2012, doi:10.1175/BAMS-D-11-00122.1.
- 15) Aonashi, K., Awaka, J., Hirose, M., Kozu, T., Kubota, T., Liu, G., Shige, S., Kida, S., Seto, S., Takahashi, N. and Takayabu, Y.N.: GSMaP passive, microwave precipitation retrieval algorithm: Algorithm description and validation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 87A, 119-136, 2009.
- 16) JICA: ブランタス川中流域改修事業 (II), 2001, 以下の URL よりアクセス可 (2013 年 4 月 4 日現在)
http://www.jica.go.jp/activities/evaluation/oda_loan/after/2001/pdf/project_27_all.pdf
- 17) JICA: ボロン川改修事業, 2002, 以下の URL よりアクセス可 (2013 年 4 月 4 日現在)
http://www.jica.go.jp/activities/evaluation/oda_loan/after/2002/pdf/project_41_allj.pdf
- 18) Martinelli G. and Pahahi B.: Mud Volcanoes, geodynamics and seismicity, *NATO Science Series, Series 4*, 51, Springer, pp.288, 2005.
- 19) 田中和広: 泥火山および泥火山の生成に関わる地質・地下水現象の応用地球科学的意義, *地学雑誌*, Vol. 118, No. 3, pp.578-586, 2009.
- 20) 田近 淳, 中迎 誠, 石丸 聡, 原口 強, 中田 賢, 志村一夫: 2003 年十勝沖地震に伴う新冠泥火山の変動の記録, *北海道立地質研究所報告*, Vol. 80, pp.147-156, 2009.

(2013. 4. 9 受付)
(2013. 7. 29 受理)

A Deposition of Mud in the Porong River, Indonesia, due to Mud Flows from the LUSI Mud Volcano

Shuichi KURE¹, Bambang WINARTA², Yuriko TAKEDA¹, Keiko UDO¹,
Makoto UMEDA³, Akira MANO¹ and Hitoshi TANAKA³

¹International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

²Faculty of Civil Engineering & Planning, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

³Dept. of Civil and Environmental Engineering, Tohoku University

On May 29, 2006, mud and gases began erupting unexpectedly from a hydrocarbon exploration well near Sidoarjo, Indonesia. The eruption has continued since then at rates as high as 180,000 m³ per day and the mud inundated an area in excess of 6.5 km² and caused over 30,000 persons to be displaced. The mud is being pumped into the Porong River, which then carries the mud to the ocean approximately 26 km to the east. However, the accumulation of mud in the river might result in sedimentation through the riverbank and spreading across the fisheries' aquaculture area along the coast. The main objective of this study is to assess the effect of mudflows from the LUSI volcano on the river environment such as mud deposition in the Prong River using the observed river cross sections before and after the eruption of the volcano. From the analysis, it was found that a significant sediment deposition was occurred at the river bed of Porong River due to increased sediment discharge from the volcano during the dry periods, and then the sediment depositions in the river bed were gradually eroded and flushed away by floods and high water flows during the wet periods.