泥火山発生後のポロン川の河床変動解析

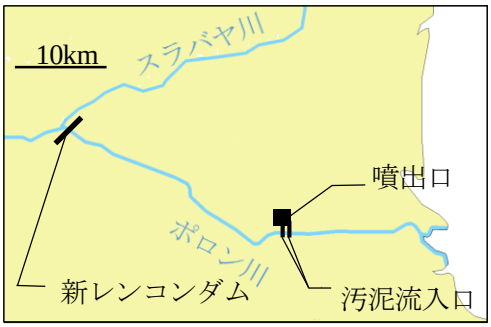
東北大学工学部　学生会員　○森　文章
東北大学大学院工学研究科　正会員　三戸部　佑太
東北大学災害科学国際研究所　正会員　呉　修一
Institut Teknologi Sepuluh Nopember　Suntoyo
東北大学大学院工学研究科　正会員　梅田　信
東北大学大学院工学研究科　フェロー　田中　仁
東北大学災害科学国際研究所　正会員　有働　恵子
東北大学災害科学国際研究所　正会員　真野　明

1.　はじめに

2006 年 5 月インドネシア・シドアルジョ市で泥火山が発生し，大量の汚泥が噴出した．泥火山は数年～数十年に一度程度の間隔で爆発的に活動し，一度の活動で泥火山からの汚泥噴出量は最大数十万 m^3 になる可能性がある [1]．泥の噴出量が約 $18m^3/day$ に達したシドアルジョ市の泥火山は現在も活動を続けている．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 10 月 30 日以降ポロン川へ排出している．しかしながら，泥火山噴出物流入に伴う河川への影響については十分な検討が行われていない．よって，本研究ではポロン川へ流入する汚泥の堆積状況の評価を目的とし，ポロン川の河床の測量結果を基にその変動と汚泥堆積の関係について検討を行った．

2.　研究対象と使用データ

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 [2]．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．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．泥火山からの汚泥流入口は河口から約 20km 地点に二箇所あり，現在でも大量の汚泥がポロン川に排出されている．この汚泥堆積物を除去するために 2007 年から 2008 年では流入口付近で雨期の前に浚渫・攪拌を行われた．



図－1　対象領域

インドネシア政府のLumpur Sidoarjo(LUSI)泥火山災害の担当部局であるBadan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo - Sidoarjo Disaster Recovery Agency(BPLS) は汚泥噴出後の2007年5月～2008年2月及び2009年5月～2010年4月までの期間において1km毎に河床断面の測量を行っており．本研究ではこのデータを用いて，河道部の地形変化過程を調べた．ただし，河床断面データの基準点が測量日毎に異なり，また横断面の測量間隔が一定ではない．そこで時間変動のない堤防位置を基準に補正を行い，補正後のデータについて線形補間を行うことで横断面方向1m間隔のデータを取得した．これを汚泥噴出量や流量と比較し，汚泥流入が河床変動に与えた影響を評価する．

3.　解析方法

ポロン川の河床変動の主因を探るため，経験的固有関数による解析を行った．この解析方法は次式のように，河床高 $h(x,y,z)$等の時空間分布を空間方向の固有関数 $e_n(x,y)$と時間方向の固有関数$c_n(t)$の積で表す，主成分分析の一種であり，これらの固有関数はデータを基に経験的に決定される [3]．

キーワード；泥火山，汚泥流入，河床変動，経験的固有関数
連絡先〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 環境水理学研究室　Tel 022-795-4916　Fax 022-795-4916

$$h^*(x,y,t)=h(x,y,t)-h_1(x,y,t)=\sum_{n=1}^{k} c_n(t)e_n(x,y) \quad (1)$$

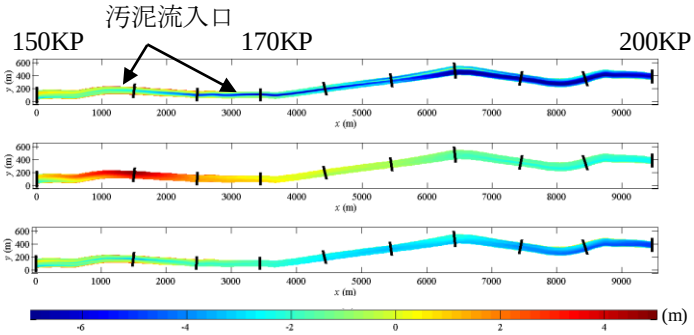
本研究では 152KP～200KP の区間，2007 年 5 月～2008 年 2 月の期間を対象とし，多くの断面で最低河床位となった 2007 年 6 月の河床位$h_1(x,y,t)$からの変動量$h^*(x,y,t)$について解析を行った．固有関数$c_n(t)$と$e_n(x,y)$は寄与率の大きい順に第一モード c_1,e_1，第二モード c_2,e_2,…と呼ぶこととする．寄与率は第一モードで 95.6%，第二モードで 2.4%である．

4. 結果

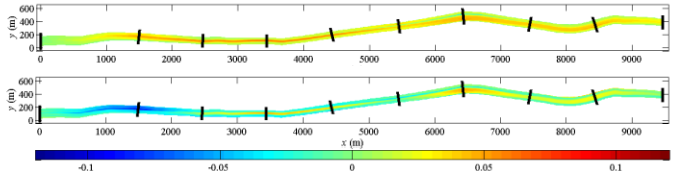
図－2,3 はそれぞれ河床位 $h(x,y,z)$及び空間関数 $e_n(x,y)$について河道縦断方向に空間補間を行った平面分布である．図－2 をみると流量の小さい 2007 年 5 月(乾期初期)～2007 年 11 月(乾期終期)の期間では汚泥流入口付近に大量の汚泥が堆積し，流量が大きい雨期を過ぎた 2008 年 2 月(雨期終期)では乾期に堆積した汚泥が流されていることがわかる．また 2007 年 5 月(乾期初期)では河道中心部が深くなっているが，2007 年 11 月(乾期終期)には中心部に汚泥が堆積したため横断方向の河床位の変化はほとんどなくなっている．

第一モードの空間関数 $e_1(x,y)$(図－3 *(a)*)は 160KP～200KP の区間ほぼすべてで正の値を示しており，河床内での全体的な堆積・浸食過程に対応している．第一モードは時間関数 $c_1(t)$ (図－4)が増加する 2007 年 5 月～2007 年 11 月(期間Ⅰ)では河床上昇に寄与し，時間関数 $c_1(t)$が減少する 2007 年 11 月～2008 年 2 月(期間Ⅱ)では河床低下に寄与している．この時間関数 $c_1(t)$の変動を流量と比較すると流量の少ない期間に増加し，流量の多い期間に減少していることがわかる．したがって，第一モードは流量の少ない期間における汚泥の堆積及び流量の増加した期間における堆積汚泥の浸食を表している．

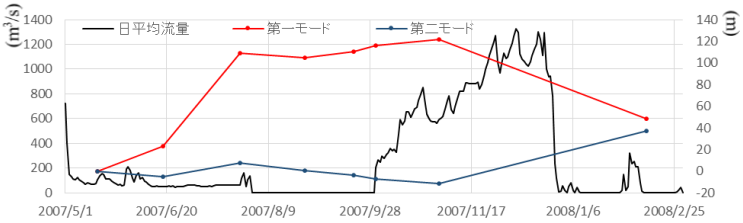
第二モードの空間関数 $e_2(x,y)$ (図－3*(b)*)は 160KP で負の値のピークがあり，160KP より下流部では河床位が深くなっている河道中心部に正の値が分布している．空間関数 $e_2(x,y)$の負のピークとなっている 160KP については時間関数 $c_2(t)$が上昇する期間Ⅱでは $e_2(x,y)$と $c_2(t)$の積が負となり，河床低下に寄与している．この期間には汚泥流入口付近において浚渫及び攪拌が行われており，これによる影響が表れているものと考えられる．また空間関数 $e_2(x,y)$が正となっている 170KP～200KP の河床位をみると雨期の後も乾期に堆積した汚泥の一部が残存し，河道中心部の溝まで達していないことがわかる．第二モードの空間関数 $e_2(x,y)$はこれらのような局所的な浸食傾向の違いに起因するものである．



図－2　河床位．*(a)*2007 年 5 月，*(b)*2007 年 11 月，*(c)*2008 年 2 月



図－3　空間関数 $e(x,y)$．*(a)*第一モード，*(b)*第二モード



図－4　時間関数 $c(t)$と日平均流量

5. おわりに

河床測量データを用いて経験的固有関数による解析を行い，考察を行った．第一モードでは汚泥の全体的な堆積・侵食過程を，第二モードでは浚渫及び攪拌と河床断面の違いによる局所的な堆積・侵食過程を示している．

謝辞：本研究は JSPS 科研費（課題番号 24404014 および 24404015）の支援を受けて実施された．

参考文献

1)高橋正明，森川徳敏，戸丸仁，高橋浩大，和田道子，竹野直人，風早康平：遠別旭温泉・歌越別泥火山について，地質ニュース627号，pp.48-53，2006.

2)日本工営コーエイ総合研究所：ブランタス河の開発，385ページ，1997年.

3)加藤一正，吉松晃：三次元の経験的固有関数による深浅図解析法，港湾技術研究所報告，第23巻，第2号，pp.27-47，1984.