

土木学会平成26年度全国大会
研究討論会 研-09 資料

豪雨災害に挑む！ —近年の国内での水害の特徴と対策—

座長	堀 智晴	京都大学防災研究所
話題提供者	秋山壽一郎	九州工業大学大学院工学研究院
	藤田 一郎	神戸大学大学院工学研究科
	中北 英一	京都大学防災研究所
	清水 康行	北海道大学大学院工学研究科
	立川 康人	京都大学大学院工学研究科

日 時	平成26年9月10日（水）16：15～18：15
場 所	大阪大学豊中キャンパス
教 室	豊中総合学館 302

水工学委員会

豪雨から見た近年の水害の特徴と将来変化

京都大学 防災研究所 正会員 ○中北 英一

1. はじめに

ここ何年にもわたりゲリラ豪雨、そして梅雨前線・台風等による集中豪雨・大規模豪雨による鉄砲水・斜面崩壊、内水や越水氾濫による災害が生じ、以前にも増して社会の注意が払われるようになってきている。その注目の大きな理由は、最近あまり経験してこなかったと社会が考える規模や形態の豪雨や出水が生じていることと、10 数年前からようやく防災関係者に認識されつつある地球温暖化、それによる影響ではないか？と社会一般でも思うようになって来ていること、一側面だが、これらにあると考えることができる。

2. 近年目立つ豪雨の特徴と気候変動影響予測

図-1 に、災害をもたらす豪雨をその継続時間や空間規模で分類した。台風は大河川ですら外水氾濫をもたらす危険性がある。集中豪雨とは主に梅雨時の集中豪雨であり、中・小河川では外水氾濫があり得る。もちろん、これらは大規模な土砂災害をもたらす。ゲリラ豪は単独に近い積乱雲が突然発生・発達して浸水や、10km²程度の流域をもつ河川に鉄砲水をもたらし、川辺の憩いの場を悲惨な場にする可能性がある。

1) 台風による豪雨

さて、気象予測に比べて動きが遅かった 2011 年の台風 12 号は、長く続く豪雨をもたらし、それによって生じた十津川流域の一連の深層崩壊や熊野川下流部での出水は希なものであった。2014 年の台風 11 号、12 号もその速度の遅さから九州から東海地域にかけて多量の総降雨量をもたらした。図-1 の右上写真で示している台湾の大規模な深層崩壊災害もやはり、2009 年台風 Morakot (台風 8 号) が台湾付近で停滞することによってもたらされた多量の総降雨量により生じた。このように、「台風の停滞」あるいは「台風の遅い移動」ゆっくりと移動による「長く続く豪雨」、特に山岳地形によってもたらされる「地形性豪雨」が数日間で年降水量相当～半分の総降雨量をもたらし、それが大規模な土砂災害や出水を生起する、こういう状況が目につく。

一方、2013 年の台風 18 号が桂川・宇治川・木津川上流域にもたらした地形性豪雨は 3 川同時出水という意味では希で、ダム諸元ぎりぎりの連携操作が実施されたと聞く。図-2 に示すように、ダム操作の想定外に近い状態、すなわち太平洋側～日本海側の紀伊山地～丹波高地で同時に「地形性降雨」がもたらされたのが特徴である。

気候変動予測では、世紀末にかけて日本に到来する台風数は減少するが、勢力の強いものが到来する危険性が高いと推測されている。しかし、上述のように台風の移動速度の将来変化も重要で、将来予測研究はまだこれからである。下記の集中豪雨の将来変化同様に太平洋高気圧の将来変化が重要である。



図-1 豪雨の分類

2) 集中豪雨

一方、梅雨期の集中豪雨では日本海側での集中豪雨が目立つようになってきている。1972年、1983年の山陰豪雨が有名だが、約20年を経て2004年の新潟・福島豪雨や福井豪雨、2005年の関川・姫川豪雨、2008年の石川豪雨、2012年の新潟・福島豪雨や2013年の山口・島根豪雨など日本海側の梅雨集中豪雨が目立つようになってきている。気候変動影響評価でも、7月上旬と8月上旬の降雨量が増大するとともに日本海側の集中豪雨頻度が増大するなどの推測がなされている。

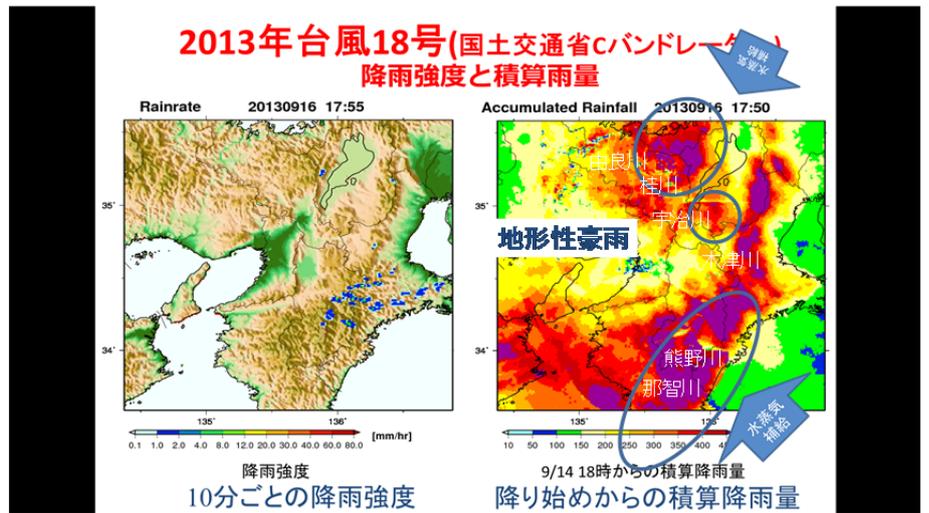


図-2 桂川・宇治川・木津川上流域にもたらした地形性豪雨(台風 1318)

3) ゲリラ豪雨

梅雨明け後に単独の積乱雲によってもたらされるゲリラ豪雨災害(鉄砲水災害)が2008年7月、8月に神戸市の都賀川や東京都豊島区の下水道で生じて以来、都市域におけるゲリラ豪雨災害(浸水や鉄砲水)への社会の関心が急速に高まり現在に至っている。残念ながら、気候変動予測の対象とはまだなり得ていない。

3. 新たな豪雨観測態勢(XRAIN)、ゲリラ豪雨の早期探知・危険性予測、アンサンブル降雨・洪水予測

台風や梅雨豪雨に関連して、ダム操作を対象とする流域規模での洪水予測に話を転じる。現在気象庁により週間予報を含めより長い気象予報では、複数の異なる初期情報などによって算出された複数の予測時系列(アンサンブル予測)情報が提供されている。そして、より短時間のリードタイムを目的とした数値アンサンブル予測はまだ現業化されていないが、現業化を目指して現在、実験が行われている。

台風の適切な動きが予測されなかった前述の2011年9月の台風12号を対象に実施された気象庁2km数値予報モデルによるアンサンブル実験結果の中には、実際そうだったような動きの遅い予測(メンバー)も含まれる。また、レーダー画像の雨域の動きを外挿するいわゆる運動学的短時間予測手法も、3時間程度先までならアンサンブル予測が精度的に可能である。そこで著者らは、30時間先までの数値アンサンブル降雨予測情報と、著者らが独自に実施した地形性豪雨を考慮した3時間先までのレーダーアンサンブル予測情報を組み合わせて、30時間先までの降雨予測を実施し、新宮川水系のあるダム貯水池へのアンサンブル流入量予測を実施した。アンサンブル予測平均空分布とレーダー観測平均空分布とのバイアスを時々刻々と補正することにより、観測流入量時系列を予測流入量時系列の最大・最小の幅内に収めることができる可能性が高い事を見いだしている。これは、結果としても手法としてもほんの一事例であり、さらなる検討は必要だが、アンサンブル予測を用いて幅のある流入量予測を実施し、時々刻々更新するなどの手法を開発して行ける時期に来ている。

一方、都賀川ゲリラ豪雨災害の直後、その豪雨をもたらした孤立積乱雲が急激に発生・発達するごく初期の段階に、上空でのみ最初に存在するレーダーエコー(ファーストエコー)を確認できることを明らかにされ、防災の視点からこのファーストエコーの早期探知を現業化が進められてきた。国土交通省は2010年度から、Xバンド最新型偏波ドップラーレーダーによる3次元観測網(XRAIN)を整備し、高時間空間分解で精度の高い降雨量推定ばかりでなく、ゲリラ豪雨災害への観測体制を強化し、その一つの利用手法として、著者らとともにゲリラ豪雨の「早期探知・予測システム」の開発を続け、現在は試験的な現業運用行っている。

4. おわりに

今後、まずはたとえ大規模水害まで行かなくとも長雨や出水形態の異なる事例、すなわち、住民や河川を管理する専門家にとって「しんどい」事例が「じわじわ」と多くなっていくのではないかと、そう考えている。

洪水規模によらない降雨流出モデルの検討

京都大学大学院工学研究科 立川 康人
京都大学大学院工学研究科 目野 貴嗣
京都大学大学院工学研究科 萬 和明
京都大学大学院工学研究科 キム スンミン

1 はじめに

河川計画で対象となるような大洪水を経験することはほとんどない。そのため大洪水を予測する流出モデルのパラメータ値は、想定する洪水規模よりも小さな洪水で決められることが通常である。2011年9月の台風12号によって記録的な豪雨が紀伊半島にもたらされ、熊野川の基準点である相賀地点(2,251km²)の洪水ピーク流量は24,000m³/sと推定された。この洪水規模は当該地点の基本高水である19,000m³/sを超えるとともに、観測開始以降、日本国内で発生した既往最大の河川流量と考えられる。本研究ではこの洪水を含めて熊野川上流の池原ダム上流域(354km²)を対象とし、様々な規模の洪水で推定したモデルパラメータを異なる規模の洪水に用いて再現性を分析した。

2 分析手法

雨水の流れをキネマティックウェーブモデルで表現した分布型流出モデルを用い¹⁾、相賀地点上流を対象に流出モデルを構築した²⁾。斜面部には飽和・不飽和流れを考慮した流量流積関係式³⁾を用い、河道部には地表面流型のそれを適用した。電源開発(株)の池原ダム流入量データを用い、1990年から2011年間でピーク流量が350m³/sを超える72個の洪水を対象とし、SCE-UA法⁴⁾を用いてそれぞれの洪水に最も適合するパラメータ値を算定した。

同定するモデルパラメータは斜面部の流量流積関係式を構成する5つのパラメータとした^{2, 3)}。5つのパラメータとも空間分布は考えず、流域で同じ値を取るものとした。降雨データは電源開発(株)の地点雨量データをもとに最近隣法を用いて5kmグリッドの空間分布データを作成した。また、斜面および河道の初期水深は、定常状態を仮定して流域下端の観測ダム流入量から設定した。

NASH指標が最大となるようにパラメータ値を同定した結果、同定時のNASH指標は概ね0.9以上となった。次に、得られた72個のパラメータ値を用いて同

定時以外の71個の洪水の再現計算を行い、それらの再現性を洪水規模の観点から分析した。

3 洪水の再現性の分析

ピーク流量をもとに、1000m³/s未満の洪水を小規模洪水、1000m³/s以上2500m³/s未満の洪水を中規模洪水、2500m³/s以上の洪水を大規模洪水とした。それぞれの洪水の個数は43個、21個、8個であり、ひと雨の流出率でみると小規模洪水は概ね0.6以下、大規模洪水は0.8以上に相当する。図1は43個の小規模洪水から得た最適パラメータセット43個をすべての72個の洪水に適用して得られた再現性を示したものである。横軸は対象洪水のピーク流量であり、縦軸は各洪水に対する再現性をNASH指標で示している。同様に図2、図3は中規模洪水、大規模洪水に対して同様の計算結果を示したものである。表1、表2は、これらの再現計算結果をもとに洪水規模ごとにNASH指標の平均値と分散を集計した結果である。これらの結果から以下のことがわかる。

- どの規模の洪水で得られたパラメータ値を用いても、大規模洪水の再現性は高く、小規模洪水の再現性は大きくばらつく。
- 中規模洪水を最もよく再現するのは中規模洪水で同定したパラメータセットであり、大規模洪水を最もよく再現するのは大規模洪水で同定したパラメータセットである。
- 大規模洪水で得られたパラメータセットの大規模洪水に対する再現性は高いが、小規模洪水に対する再現性は低い。

4 考察

大規模洪水の場合、ここで用いている流出モデルでは土層が飽和して、等価粗度のみが支配的なパラメータとなる。大規模洪水で得た等価粗度のばらつきは他のパラメータよりも小さく、大規模洪水の再現性は高い。一方で、それを中小規模洪水に用いた場合の再現

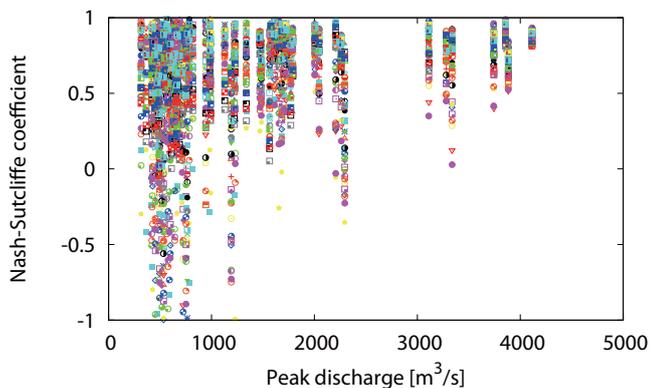


図1 小洪水で得たパラメータによる洪水の再現性

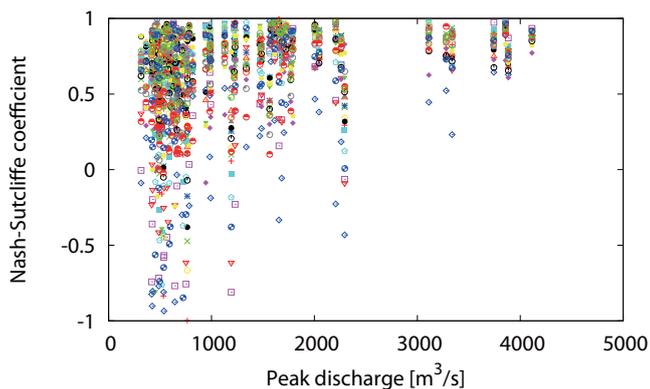


図2 中洪水で得たパラメータによる洪水の再現性

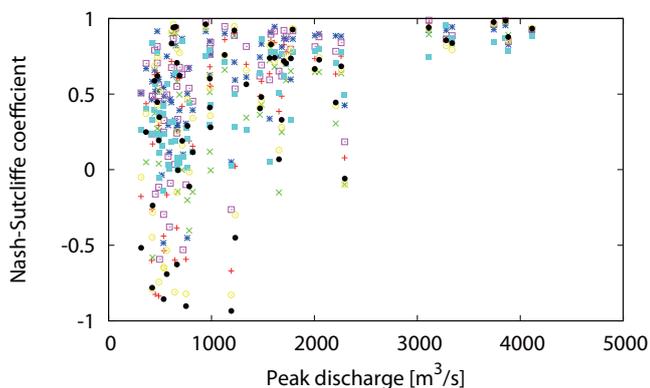


図3 大洪水で得たパラメータによる洪水の再現性

性は保証されない。流出率が0.8を超えるような大洪水の場合は流出発生の構造が単純化されるため雨水の流れ機構の表現が再現性を確保する鍵となると考えられるが、中小規模洪水の場合は流出発生機構が複雑で、ここで用いているような流量流積関係式で現象を再現できない可能性がある。ただし、図4に示すように様々な規模の洪水を再現するパラメータセットも存在する。うまくパラメータ値を選べば洪水規模によらず、ある程度の再現性を確保できるのか、あるいはモデルの構造を変える必要があるのか検討中である。

ここではピーク流量により適当に洪水規模を分類したが、その分類基準の項目や値を流出モデルの適用性

表1 NASH指標の平均値

パラメータの分類	小規模洪水の再現	中規模洪水の再現	大規模洪水の再現
小規模洪水	0.397	0.671	0.790
中規模洪水	0.415	0.697	0.838
大規模洪水	-0.218	0.564	0.896

表2 NASH指標の分散

パラメータの分類	小規模洪水の再現	中規模洪水の再現	大規模洪水の再現
小規模洪水	0.401	0.067	0.013
中規模洪水	0.382	0.065	0.007
大規模洪水	1.252	0.149	0.003

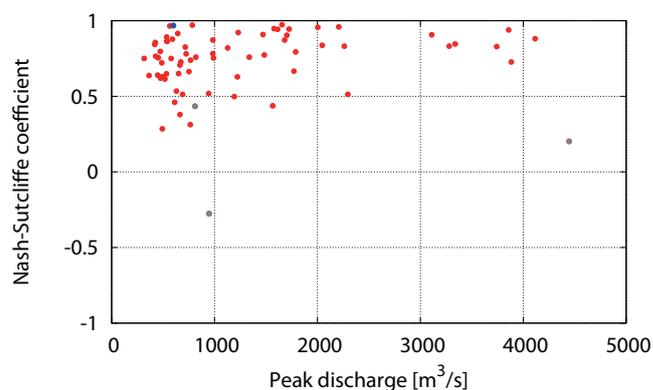


図4 様々な規模の洪水を再現するパラメータセット

の観点から定められるようにしたい。また、評価値をNASH指標でなく絶対誤差で評価することも実務的には重要である。なお、ひと雨の流出率を分類項目とし、大洪水を0.8以上、小洪水を0.55以下として同様の検討を実施したところ、同様の結果を得た。

謝辞：本研究で用いた水文データは電源開発(株)から提供していただいた。謝意を表する。

参考文献

- 1) 市川 温, 村上將道, 立川康人, 椎葉充晴: 流域地形の新たな数理表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発, 土木学会論文集, 691/II-57, 43-52, 2001.
- 2) 立川康人, 目野貴嗣, キム スンミン, 椎葉充晴: 2011年熊野川大洪水の再現計算からみた実時間河川水位予測の精度向上への課題, 河川技術論文集, 19, 229-234, 2013.
- 3) 立川康人, 永谷 言, 寶 馨: 飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 48, 7-12, 2004.
- 4) Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V.K.: Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, Journal of Hydrology, 158, 265-284, 1994.

都賀川におけるその後の取り組みと河川モニタリングの重要性

神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田 一郎

1. はじめに

兵庫県神戸市を流れる都賀川は、流域面積 8.57km²、本川長 1.79km、本川の平均勾配が約 1/40 の典型的な表六甲の急流河川である。ここでゲリラ豪雨に伴う急な増水で水難事故が発生したのは、6年前の2008年7月28日のことである。5名の死亡者を出すに至ったこの事故は、神戸市が設置した河川モニタリングカメラが出水の様子を克明に記録していたことから全国レベルで注目を集め、ゲリラ豪雨というキーワードが広まるきっかけとなった。高性能な X バンド MP レーダーが主要地点で整備され、ゲリラ豪雨に関する研究が活発に行われるようになったのも都賀川水難事故以降のことと言える。ここまで都賀川が注目を集めたのは、「急激な増水」がどれほど危険なものであるかを、誰にでもわかる形で河川カメラが「可視化」して見せた点にある。一方で、都市域における河川の親水施設の位置づけに関する議論も活発に行われた。都賀川においてはその後も危うい出水があり、そのことを受けて様々な対策が施されてきた。ここでは、その後の対策について簡単に紹介すると同時に、河川モニタリングの重要性についても言及する。

2. 都賀川における対策とその後の出水

2008年の水難事故の際には、10分間で水位が1.3m以上上昇するなど、急激な流れの変化が災害をもたらす要因となった。これを受けて、都賀川では大雨洪水注意報などが発令されたときに作動する回転灯(1.8km区間に14カ所)や横断幕が設置され、2012年6月には電光掲示板も2カ所に配置された。この間、河川利用者に対するアンケートも実施され、回転灯点灯に関する正確な認知度が3割程度ということも明らかにされた。神戸市の河川カメラの仕様も、2分間毎に1フレーム撮影する形式から動画へ切り替わった。水難事故発生後、数年間は目立った増水は見られなかったが、ほぼ4年後にあたる2012年の7月21日昼間には10分間で67cm、さらに2013年7月3日夜間にも10分間で82cmの増水があった。特に、2012年増水では、あわやという危険な状況が見られた。図-1には2012年の増水前後の画像を示す。増水前、回転灯は点灯し、電光掲示板も注意を喚起しているが、橋下に学生グループ(BBQ)が残っている。彼らに対しては警察官が14:00に注意をするために橋下まで出向き、14:02には退避したが、わずか2分後の14:04には左岸の雨水幹線から大量の水が流入し、上流からの流れと合わせて急激な増水が始まっている。警察官による指摘と誘導がなければ、犠牲者が出ていた可能性があった。2008年の事故を教訓に、警察と消防が注意報発令と同時にパトロールに出動していたことが功を奏した結果となったが、非常に危うい状況であったことは確かである。図-2には2012年増水の水位、降雨データ、表-1では2008年と2012年を比較した。2012年は10分間8mmの降雨で67cmの水位上昇があり降雨も継続したために高い水位が一時間あまりに渡って続いた。ちなみに同地点における2008年の10分間雨量は約2倍の17mmで、水位上昇量も2倍程度であった。表-1より注意報発令のタイミングはどちらも増水より一時間以上前であり、その時点



図-1 2012年7月21日の増水画像

キーワード 都賀川水難事故, ゲリラ豪雨, 河川モニタリング, 親水施設

連絡先 〒657-0013 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 TEL078-803-6439

から点灯ランプや電光掲示板は作動を始めていた。

3. 2012 以降の追加対策

2012 年 7 月の増水後、兵庫県ではさらなる対策を追加した。以下に列挙する。

- ・河川利用者への安全啓発チラシの配布 (2012 年, 3166 枚)
- ・近隣小学校等への出前講座の実施(兵庫県)
- ・増水状況の注意看板設置 (2012 年 9 月, 18 箇所)
- ・大雨洪水注意報／警報発表時に出入りロゲートを閉鎖(2013 年 4 月運用開始, 26 箇所)
- ・増水時に、近くの出入り口までつなぐ避難通路を設置 (2013 年 6 月設置, 高さ 50cm, 13 箇所)
- ・近くに入出口が無い箇所にはタラップを設置 (2013 年 7 月設置, 15 箇所)
- ・増水時の様子をインターネットで監視できるよう、カメラ設置(2013 年 9 月から, 6 箇所, 過去 3 日間の動画を完全録画)

避難用タラップと避難通路を図-3 に示した。避難通路は逃げ遅れた場合の避難ステップでもある。ゲートの閉鎖・開放は、地元の業者に依頼してあり、2013 年 6 月から 9 月までで 22 回の業務が発生している。

表-2 は、10 分間で水位が 50cm 程度上昇した回数を調べた結果である。その回数は過去 2 年間では増加している。以前は増水発生後に注意報が発表されることもあったが、最近ではすべて増水前に発表され、精度が上がっている。問題は、利用者の意識であり、新聞(神戸 2013.7.25)によれば、利用者(学生)が素直にパトロールの注意を受け付けない場面もあったようである。

4. 河川モニタリングの重要性

都賀川では神戸市河川カメラを動画にしたことで格段にモニタリングレベルが高まった。下流域に設置された兵庫県カメラと合わせれば Flash Flood の全容把握が可能となる。動画からは、時間を遡って速度分布や水位、あるいは流量の情報を引き出すことも可能であり、重要なモニタリング映像は忘れずに保存しておくべきである。

5. おわりに

都賀川では行政的にはこれ以上望めないほどの対策が施されていると言ってよい。今後は河川利用者の意識をいかに高められるかが肝要なポイントと思われる。そのためには、映像情報や体験型学習による啓発活動を今後もさらに進めていかなければならない。

謝辞

本稿の作成においては兵庫県神戸土木事務所からの情報提供を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Fujita et al. : Image analysis and reconstruction of the 2008 Toga River Flash Flood in an urbanised area, Australian Journal of Water Resources, Vol.16, No.2,151-162,2013.

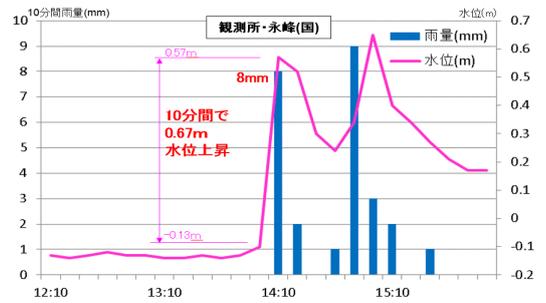


図-2 2012 年 7 月の出水状況

表-1 2008 年と 2012 年の増水の比較

発生日	2008.7.28	2012.7.21
発生時刻	14:40	14:00
大雨洪水(雷)注意報	13:20	12:48
大雨洪水警報	13:55	13:52
避難・救助	52(自力避難41)	親子連25名 学生20名
死亡	5	0
物的被害	不明	自転車10台程度流失



図-3 追加対策

表-2 大雨洪水注意報等と水位上昇量の関係

		H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	合計	
50cm程度/10分上昇した回数		2回	1回		3回	6回	12回	
大雨洪水注意報	事前に注意報が発表 ○	1回 7月31日			3回 7月21日 9月1日 10月17日	6回 4月6日 7月9日 8月6日 8月23日 8月24日 9月4日	10回	83.3%
	同時刻程度に注意報が発表△						0回	0.0%
	事後に注意報が発表 ×	1回 7月25日	1回 7月13日				2回	16.7%
	注意報発表無し						0回	0.0%

減災型治水におけるリスク把握の課題

九州工業大学工学研究院 フェロー会員 秋山壽一郎

1. はじめに

浸水被害の発生を想定して被害軽減を図る「減災型治水」を実効性のある治水方式とするためには、事前のリスク把握が必要となる。ここでは破堤が関与するリスク把握の難しさについて述べ、解決すべき技術的課題をいくつか示す。

2. 近年の水災の課題と水災リスクの把握手段

「2000年9月東海豪雨災害」から「2012年7月九州北部豪雨災害」までに発生した主要な水災において繰り返し指摘された課題を抽出・整理したものが、表1である。これから理解されるように、越水・破堤は外水被害だけではなく、内水/外水処理の問題を介して内水被害とも深く関係している。排水ポンプの運転調整の基準水位(ポンプ運転調整開始水位)を堤防の安全性を脅かす上限水位である計画高水位とするのが通常だからである。

現行の治水方式(防災型治水)は、実績総雨量(=強度×継続時間)から推定された洪水処理能力の規模及び実績降雨波形を想定波形とし、降雨外力が施設規模を上回った場合や計画の想定と異なった場合の浸水被害を計画の想定外とみなす。しかし実際は、内水と外水の治水バランスが悪い場合、短時間集中豪雨が発生した場合など、計画規模の範囲内でも水災リスクは発生する、なお、水災リ

スクは水災の発生確率とその被害規模の組合せで表現されるが¹⁾、ここでは単に浸水被害が発生する可能性を水災リスクと呼んでいる。

一方、「減災型治水」は浸水被害の発生を想定して被害軽減を図る治水方式であり、実効性のある治水方式とするためには、流域の治水システム(治水施設群)、治水機能を有する人工・自然的要素、市街地構造などの要素を考慮してリスクを事前に把握する必要がある。

筆者は、水災リスクの把握手段として、「減災型治水シミュレータ」の開発に取り組んでいる²⁾。同シミュレータは、任意の降雨及び本川下流端水位を所与の条件として、流域の地表・地下の治水システム(河川、下水道、構造調節施設、排水施設など)、人工・自然的要素(地形起伏、盛土構造物、都市構造など)を考慮して、洪水の増

水から減水に至るまでの雨水動態を再現・予測できる幅広い機能と高い能力を有している。しかし、同シミュレータの現在の機能・能力に基づけば、表2に示したような事前把握が不可能なリスク(排水ポンプや水門の機械的な故障、土砂ダムによる河道閉塞など、想定外と呼べるようなリスクも含んでいる)、把握できても不正確なリスクが存在する。

3. 破堤が関与するリスク把握の難しさ

把握が難しいリスクの多くは、同表からわかるように破堤と洪水水位に関係したものである。いずれも極めて重要であるが、ここでは紙面の都合から破堤について述べる。なお、越水については同シミュレータで的確に取り扱えるので³⁾、同表には加

表1 近年の水災の課題

ハード対策の課題
治水システムの課題 <ul style="list-style-type: none">・上下流/本支川の治水バランス・内水/外水処理の治水バランス
個々の治水対策の課題 <ul style="list-style-type: none">・中小河川の整備の遅れによる越水・破堤・下水道・排水機場の処理能力
ソフト対策の課題
<ul style="list-style-type: none">・想定をはるかに上回る豪雨への対応・短時間集中豪雨への対応・危機管理上の不備

表2 事前の把握が難しいリスク

把握が不可能なリスク
(1)破堤水位以下での破堤 <ul style="list-style-type: none">・堤防・基礎地盤に通常の照査法や維持管理では把握不能な質的問題がある場合・樋管などの埋設構造物の劣化、護岸の損壊や横断工作物による流下阻害・水防活動の不備や資材不足などの理由から漏水・越水防止が機能しない場合・長時間継続/繰り返し発生する短時間集中降雨などによる堤体強度の劣化など
(2)治水施設が予定どおりに機能しない場合の外水(越水/破堤)・内水リスク <ul style="list-style-type: none">・深層崩壊などによって生じた土砂ダムによる河道閉塞・大量の流木による著しい流下阻害や遊水池への越流水の阻害・排水ポンプの運転調整ルールが適正でない場合・排水ポンプや水門の機械的な故障などの可動施設の機能不全・排水ポンプの運転ミス、ダム放流や樋門・陸閘の開閉に関する操作ミスなど
(3)事前の想定シナリオとかけ離れた特異な降雨が発生した場合
把握が不正確なリスク
<ul style="list-style-type: none">・技術、データ不足などの理由から予測された洪水水位が不正確な場合・洪水によって河道が大きく変化した場合(線形、砂州、河岸浸食など)・河道内樹木群、植生の変形・揺動などにより抵抗特性が大きく増加した場合・下水道からの排水量が実態と大きく異なっている場合・流出解析モデルのモデル定数の範囲と大きく異なる降雨が発生した場合・河道特性などが不明な中小河川の氾濫が支配的な場合・流域分担流量(オン/オフサイト貯留、森林保全など)の把握が不正確な場合など
※その他、様々な状況、事態が考えられる。

キーワード 減災型治水、水災リスク、浸水シミュレーション、破堤、洪水水位

連絡先 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 TEL093-884-3117

えていない。ただし、洪水水位予測の問題は残っている。

破堤を原因とする水災のリスク把握が難しい理由は、「破堤箇所」と決壊口の「拡幅プロセス」がわからないからである。すなわち、破堤には、堤体材料、築堤履歴に起因した堤体の土質構成、樋管等の埋設構造物の有無とその劣化の状態、沖積層に起因した基礎地盤特性などの堤体・地盤に関する内的要因、降雨洪水の水位と継続時間などの外力に関する外的要因が影響するだけではなく、先行降雨や出水による堤体・基礎地盤の脆弱化、被災履歴など、様々な不確実・不確定な要因が関与し、さらに全国 109 の一級水系の直轄河川堤防ですら堤体材料の土質構成や基礎地盤の構造などが必要十分にわかっているわけではない。筆者の経験⁴⁾からすれば、「九州北部豪雨災害」時の矢部川堤防の「破堤箇所」と「拡幅プロセス」を事前を知ることは不可能である。

したがって、事前のシミュレーションにおいて「破堤箇所」を想定する一つの方法は、現行のように破堤水位(流量)を設定する方法¹⁾である。この場合も中小河川を含む決壊事例の約 8 割が越水を原因とすることから理解されるように、経験的な定規断面方式に基づく河川堤防は、破堤水位に達したからといって必ず決壊するわけではなく、逆にそれ以下でも稀に決壊し得る。そのような堤防の不確実性に加え、シミュレーションで予測される水位も一定の誤差をともなうので、想定される「破堤箇所」は不正確な可能性が高い。破堤水位以下で決壊した場合でも想定は可能であるが、想定シナリオに限りがなく、リスク把握は不可能である(表 2)。なお、破堤水位以上でも決壊しない場合は安全サイドの想定外となる。

そこで、いま仮に破堤水位ちょうどで決壊する堤防があり、洪水水位も正確に予測できたとすれば、氾濫ブロック単位で「破堤箇所」を設定できる。しかし、もう一つの難題である「拡幅プロセス」がある。これについても、決壊口形状が矩形や台形のような形状で、しかも相似形を保ちながら拡幅する、といった具合に単純化しても、氾濫流量を算定するためには最終決壊幅 L_f (m)に至るまでの決壊幅 $L(t)$ (m)の経時変化が必要になる。

図 1、図 2 は、それぞれ筆者が収集した実破堤及び実スケールに近い野外実験結果の $L(t)/L_f \sim t$ の関係、 $L_f \sim$ 川幅 B (m) の関係である。図 2 には実務などで用いられている $L_f \sim B$ の関係(回帰曲線)¹⁾も示してある。 L_f と B との関係は概ね回帰曲線に沿って散らばっていると見ることもできるし、相関はあまり強くないと見ることもできる。両図がわかることは、「拡幅プロセス」が少なくとも河川勾配、堤体材料、堤体幅、そして堤内地水位の影響を受けているということである。それらの要因以外にも前述した各種の内的・外的要因が「拡幅プロセス」に関与していると考えられるが、少なくとも両図から見て取れる河川勾配などの以上の要因を考慮した $L(t)/L_f \sim t$ 及び L_f の関係、決壊口形状の経時変化の把握が必要である。

4. まとめ

シミュレーションでは事前把握が難しいリスクが存在し(表 2)、しかもその多くは河川堤防の不確実性に起因する。また豪雨時の降雨-流出プロセス、洪水時の河道のレスポンスなどに関する理解と知識の不足から、予測された洪水水位は一定の誤差を持つ。この両因から、現状では破堤が関与する内外水被害のリスクを適正に把握することは難しい。破堤メカニズムとプロセスと洪水水位予測、この古くて奥深い技術的課題について抜本的な取り組みを期待したい。また、そのような技術発展を推し進めていくためには、実河川、実堤防を対象とした洪水時の各種のモニタリングとその蓄積が必要である。例えば、福岡⁵⁾は洪水水位から氾濫流量を逆推定しているが、そのような方法で得られた実破堤の氾濫流量と堤防の質や拡幅プロセスとの関係を把握・蓄積し、より信頼性のある実用式としていくことが今後求められる。

参考文献: 1) 国交省水管理・国土保全局:河川砂防技術基準 調査編, 2014. 2) 例えば, 秋山壽一郎, 重枝未玲ら:治水システムを考慮した飯塚市街地の都市域氾濫解析と被害軽減効果の検討, 水工学論文集, 第 55 巻, pp.943-948, 2011. 3) 例えば, 秋山壽一郎, 重枝未玲ら:蛇行河川での溢水・越水氾濫流量とその予測に関する研究, 水工学論文集, 第 52 巻, pp.823-828, 2008. 4) 秋山壽一郎:矢部川の堤防決壊 ~教訓と課題~, 河川, 69 巻, 第1号, pp. 10-16, 2013. 5) 例えば, 福岡捷二, 山崎憲人ら:急流河川の河床変動機構と破堤による氾濫流量算定法の調査研究, 河川技術論文集, 第 12 巻, pp.55-60, 2006.

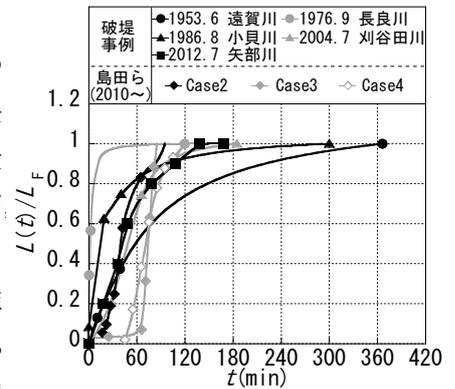


図 1 決壊口の拡幅プロセス

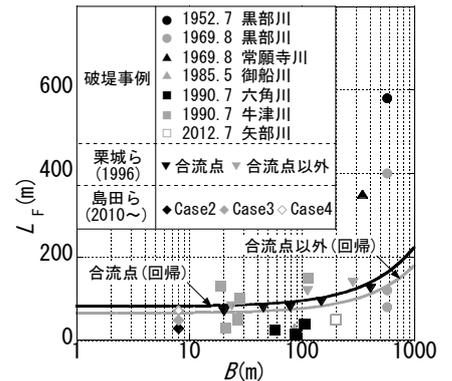


図 2 最終決壊幅

フリーソフト iRIC を用いた河川災害の解析事例

北海道大学 フェロー会員 ○清水 康行

1. はじめに

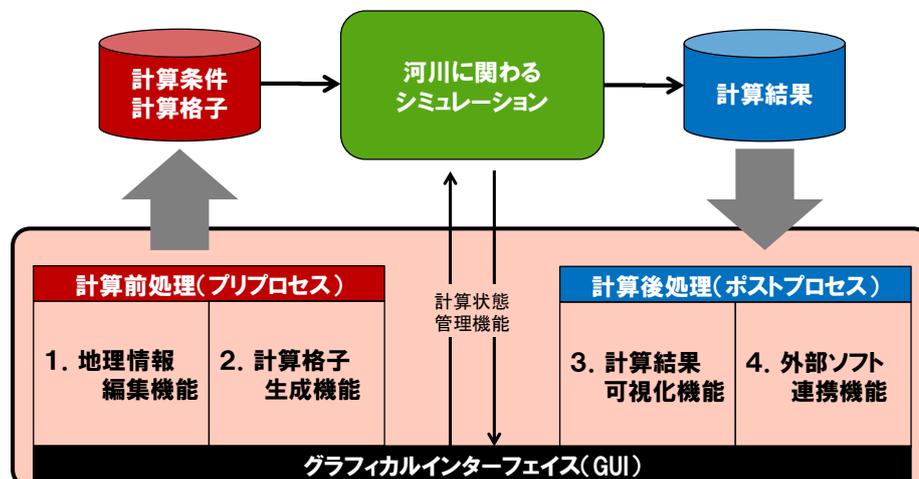
洪水災害や土砂災害の発生後にその時の水理条件を用いて再現計算を行ことは、その災害の特徴の検討や原因の把握、復旧工法の検討、治水計画の見直し、改訂作業などの前段として重要なプロセスである。特に、緊急復旧を要する場合や2次災害が懸念される場合などにおいては迅速な作業が必要となる。

近年、数値シミュレーション手法や GUI や CG 技術の発達とともに、河川災害時の流れや河床変動の数値解析が相当なレベルまで可能になって来ている。特に最近は誰もが自由に使えるフリーソフトでも実用的に十分なレベルでの数値シミュレーションおよびその解析結果の可視化が可能になりつつあり、災害対応上極めて有効なツールとなっている。

ここでは、フリーソフトである iRIC¹⁾を用いた最近の水害の直後に行われた数値シミュレーション例を示しながら、その有効性や可能性についての議論の材料を提供したい。

2. フリーソフト iRIC の概要

iRIC ソフトウェアは、計算前処理部分（プリプロセス）、解析プログラム（ソルバー）、計算後処理部分（ポストプロセス）の三つの要素が、GUI により結合された構成となっており、専門知識が無くても簡単なマウス操作ですべての処理が可能となっている(図-1)。プリプロセスでは、地理情報編集機能と計算格子生成機能が搭載されており、地理情報として読み込めるデータの種類には、河川測量データと座標点標高データがあり各現場での入手可能なデータの種類・精度に応じた計算格子の作成が可能となっている。ソルバー群は1次元から3次元のものが各種用意されており、構造格子・非構造格子、定常・非定常、掃流砂・浮遊砂、植生・樹木、構造物、河床・河岸侵食など、それぞれの状況に応じて選択が可能となっている。また、ソルバーについてはユーザー独自のものを iRIC に組み込むためのライブラリが用意されているので、この機能を利用することにより、各ユーザー独自に開発されたソルバーを使用することが可能である。ポストプロセスでは二次元と三次元の可視化ウインドウおよびグラフ機能が用意されており、計算結果（水深や河床高などのスカラー値）のカラーコンター表示、流速ベクトルの表示、流線表示、アニメーション機能によるコンター図の動画やパーティクルトレースの表示が可能である。さらに、iRIC ソフトウェアでは、計算結果を外部のソフトウェアに対応したフォーマットでエクスポートし、他の商用ソフトやフリーソフトを用いて計算結果を可視化することも可能である（外部ソフト連携機能）。



図—1 iRIC ソフトウェアの基本構成 (<http://i-ric.or.jp/>)

3. iRICによる河川災害の解析例

図-2 は 2010 年 8 月の石狩川水系忠別川²⁾の河岸侵食と氾濫、図-3 は 2011 年 8 月の十勝川水系音更川³⁾の堤防決壊、図-4 は 2013 年阿武川⁴⁾の氾濫、図-5 は 2013 年 10 月の伊豆大島の泥流災害⁵⁾のシミュレーション結果である。これらはいずれも被災直後の限られたデータを用いて行われた解析にも関わらず、河川流や泥流の氾濫や侵食による災害発生のプロセスが再現されており、被災原因の究明や復旧計画や今後の河川計画策定に際しての貴重な資料となっている。

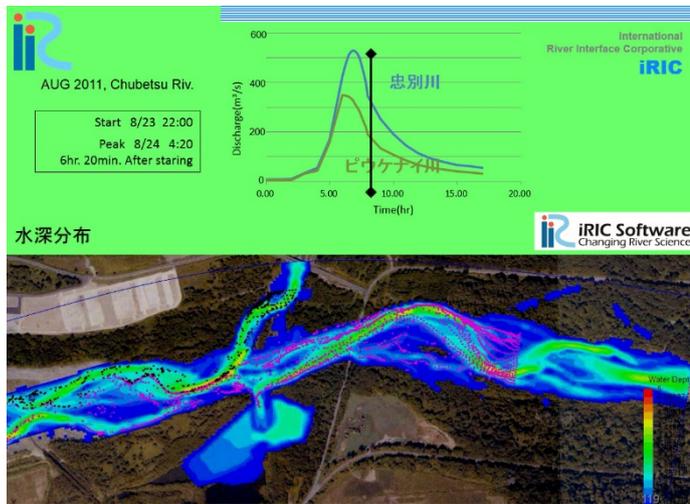


図-2 2010 年 8 月忠別川河道災害の再現計算

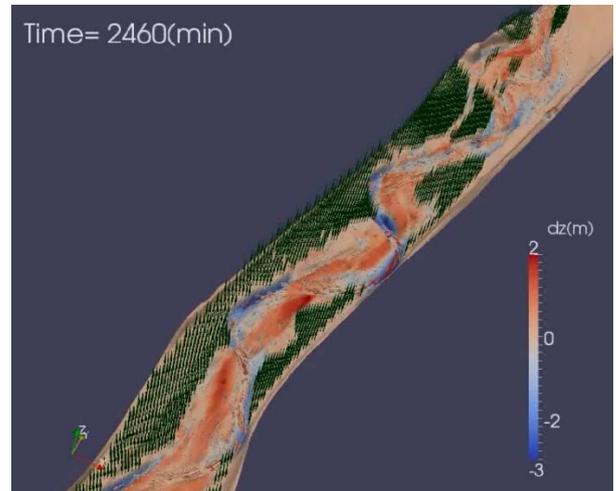


図-3 2011 年 8 月音更川河岸侵食災害の再現計算

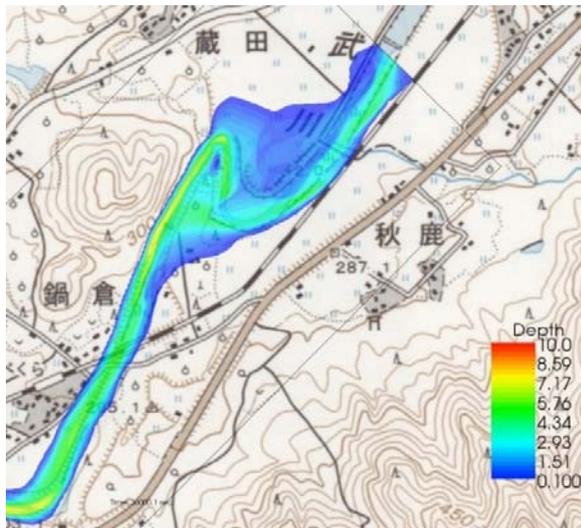


図-4 2013 年 7 月阿武川氾濫の再現計算

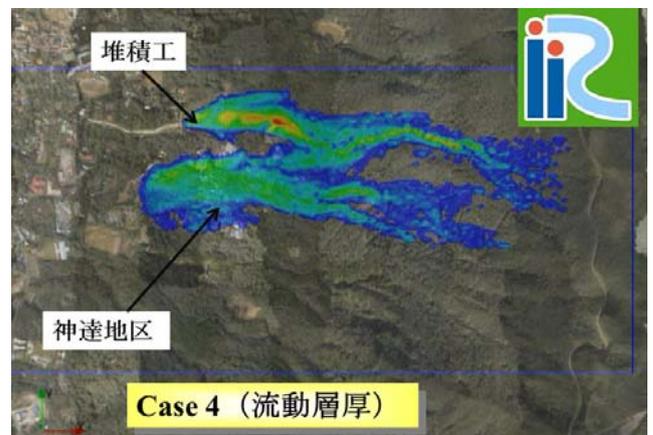


図-5 2013 年 10 月の伊豆大島の泥流災害の再現計算

参考文献

- 1) <http://i-ric.org>
- 2) 清水ら：2010 年 8 月北海道豪雨災害調査報告、河川災害に関するシンポジウム、2011 年 3 月
- 3) Iwasaki ら：Numerical Simulation of bed evolution and channel migration in rivers、Proc. of ISRS2013, Kyoto, Sep. 2013
- 4) 羽田野ら：平成 25 年 7 月、8 月の山口・島根豪雨による災害調査、平成 25 年度河川整備基金助成事業報告書、河川財団
- 5) 竹林ら：2013 年 10 月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析、河川技術論文集、第 20 巻、2014 年 6 月