

# 37. 急流河川における広域での 河川侵食ポテンシャルの評価手法の検討

藤下 龍澄<sup>1</sup>・呉 修一<sup>2\*</sup>・菊地 大智<sup>3</sup>・石川 彰真<sup>3</sup>

<sup>1</sup>富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

<sup>2</sup>富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

\* E-mail: kure@pu-toyama.ac.jp

<sup>3</sup>富山県立大学大学院 環境・社会基盤工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

昨今頻発する豪雨に備えるため、浸水想定区域の作成や流域治水オプションの検討などは精力的に行われているが、各河川で侵食・堤防決壊リスクの評価は殆ど行われていない。急流河川では越水よりも侵食による破堤が危惧されており、侵食リスクの評価は極めて重要である。本研究では富山県河川を対象に降雨流出・洪水解析を行い、侵食ポテンシャルを評価することで、県内河川の堤防危険箇所の評価を実施したものである。算定結果を過去の被災事例、河床勾配、川幅などの基本地形情報と比較するとともに、重要水防地点との比較も行った。このように侵食ポテンシャルの評価結果と様々な要因を比較することで、今後の高精度での侵食リスクの評価に向けた課題を整理することが、本論文の目的となる。

**Key Words :** Toyama, erosion potential, large scale, flood simulation

## 1. はじめに

昨今の豪雨災害に立ち向かうために、様々な対策が進められている。流域治水オプションの提案・評価であったり、小河川を対象とした浸水想定区域の作成などが現在精力的に進められている。従来から行われていた河道内の整備や侵食対策なども、流域治水の一環として更に進められている。このような河道内での侵食対策を進める際に重要となるのは、どの地点が侵食リスクが高いかを事前に明らかにする点である。

富山県河川は世界有数の急流河川のため河岸侵食の被害が多く、堤防越水よりも侵食の被害が懸念されている。よって、危険箇所を事前に予測し地点周辺の洪水対策を検討することは特に重要である。しかしながら、既往研究の多くは急流河川での局地的な侵食危険度評価がメインであり、県レベルの空間スケールを対象にしたものは多くない。このような状況をふまえ筆者らのグループは従来から富山県を対象とした広域で侵食ポテンシャルの評価を行っている<sup>1)</sup>。しかしながら、筆者らの手法と他の手法の比較や、算定結果の検証などは不十分であった。よって、本研究の目的は、富山県における広域スケールでの河川侵食ポテンシャルの予測を、二つの手法に基づ

き実施し比較検討することである。更に過去の被災箇所、川幅や河床勾配などの地形要因、重要水防箇所と算定結果を比較することで、今後の侵食ポテンシャル・堤防決壊リスクの評価精度向上に向けて、どのような対応が必要かを整理することを目的とする。

## 2. 対象流域の概要

本研究では富山県・岐阜県に流れる一級河川（小矢部川、庄川、神通川、常願寺川、黒部川）を対象とする。対象流域の概要を図-1に示す。それぞれの流域面積は小矢部川が667 km<sup>2</sup>、庄川が1,189 km<sup>2</sup>、神通川が2,720 km<sup>2</sup>、常願寺川が368 km<sup>2</sup>、黒部川が682 km<sup>2</sup>である。富山県河川の特徴は急勾配である。例えば、黒部川の勾配は山地部で1/5 ~1/80、下流の扇状地部で1/100、常願寺川は山地部で約1/30、扇状地部で約1/100と世界屈指の急勾配である。急流河川であるため、洪水波形がシャープであり、洪水時に流量の立ち上がりからピークに達するまでの時間が短いといった特徴がある。また急流であるため河川堤防の侵食被害が発生しやすいといった特徴がある。

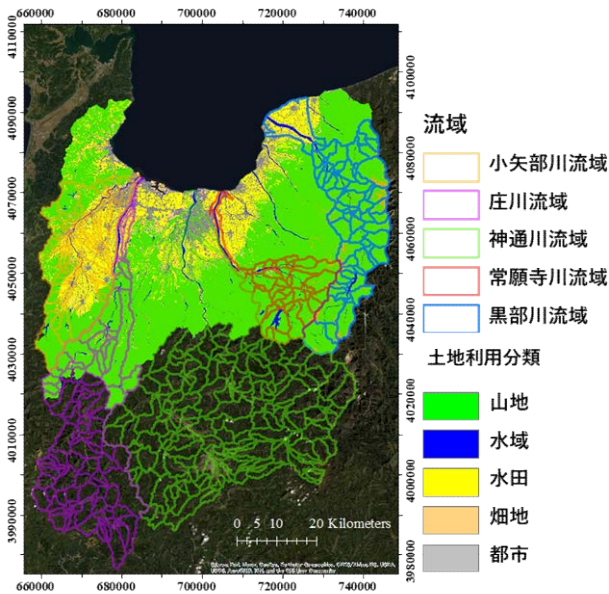


図-1 対象流域の土地利用分類

### 3. 侵食ポテンシャルの評価手法

本研究では一次元解析に基づく流量や流速、曲率半径を使用した侵食危険箇所の検出<sup>1)2)</sup>と河床形状の移動速度による危険箇所の検出方法<sup>3)</sup>を用いて、侵食危険箇所の評価を行い結果の比較検討を行う。以下にそれら二つの手法の概要を記す。

#### (1) 1次元解析を用いた侵食評価

水理量と地形情報に基づく侵食ポテンシャル評価手法である八木ら<sup>2)</sup>の一次元解析を用いた河川侵食危険箇所の検出法を式(1)に示す。

$$|\delta u_i - \delta u_{ei}| = |\delta u_n| = \frac{\alpha}{2C_0} \left(1 - \frac{C_0}{2K}\right) \frac{q}{r} \quad (1)$$

ここに、 $\delta u_n$ : 流線と垂直方向（主流にたいして左方向が正）の水面と底面の流速差（二次流強度を示す）、 $\alpha=K/6$ ,  $K$ : カルマン係数,  $C_0=u_*'/U$ ,  $u_*'$ : 摩擦速度[m/s],  $U$ : 断面平均流速 [m/s],  $q$ : 単位幅流量[m<sup>2</sup>/s],  $r$ : 曲率半径（の大きさ）である。本研究では流速や流量は一次元不定流計算の結果を使用し、曲率半径は横断面データが存在する河川中心部でプロットをとり、評価対象とする地点とその地点の前後三点から曲率半径を算出している。本手法は1次元解析であり、流速が早く蛇行が大きいほど侵食ポテンシャルが高いと評価されるものである。本手法の詳細や使用データなどに関しては既往文献<sup>2)</sup>を参照されたい。

#### (2) 河床形状の移動速度に基づく侵食評価



図-2 侵食ポテンシャルの空間分布



図-3 過去の侵食被災箇所の分布

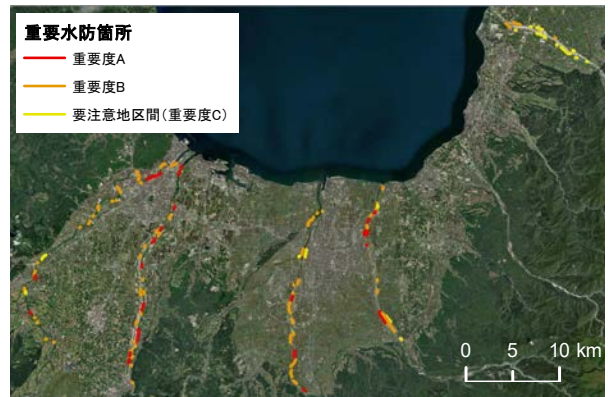


図-4 重要水防箇所の空間分布

次に、上記手法の他に、河床形状の移動速度に基づく侵食ポテンシャル評価として、安田の被災ポテンシャル推定式<sup>3)</sup>を使用した。以下に移流速度  $M$  の算出式を示す。

$$M = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^2 \sqrt{sgd^3}}{sd(1-\lambda)(1-\frac{4}{9}Fr^2)} i_e \quad (2)$$

ここに、 $\tau_*$ : 無次元掃流力,  $\tau_{*c}$ : 無次元限界掃流力,  $s$ : 砂粒子の水中比重,  $g$ : 重力加速度,  $d$ : 粒径,  $\lambda$ : 河床空隙率,  $Fr$ : フルード数,  $i_e$ : エネルギー勾配である。安田は河床形状の移動速度式を令和元年の千曲川氾濫の際の侵食箇所と比較を行い計算結果が写真測量や報告と概ね一致し、良好に推定できるとしている。またポテン

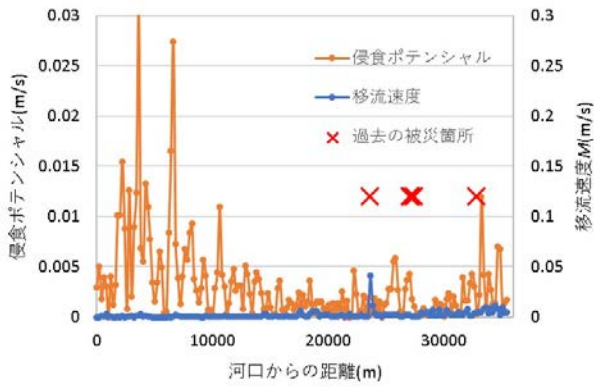


図-5 二つの手法の比較（小矢部川）

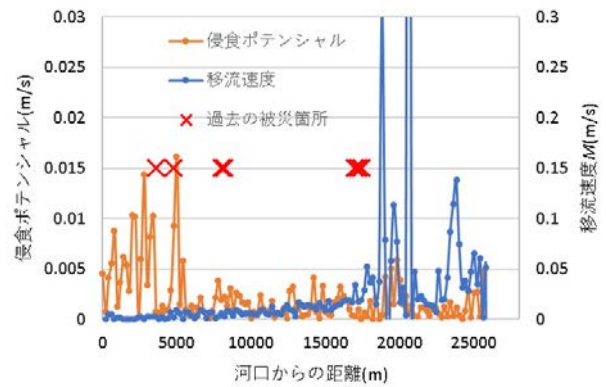


図-6 二つの手法の比較（庄川）

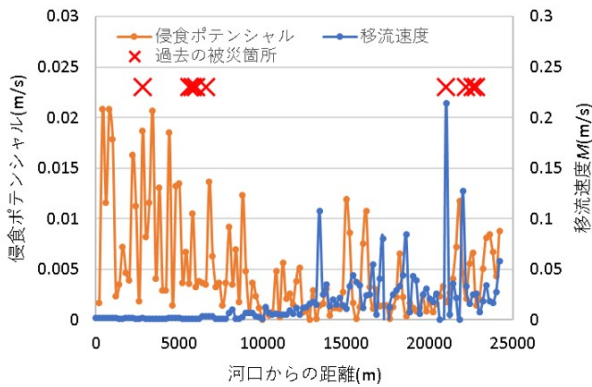


図-7 二つの手法の比較（神通川）

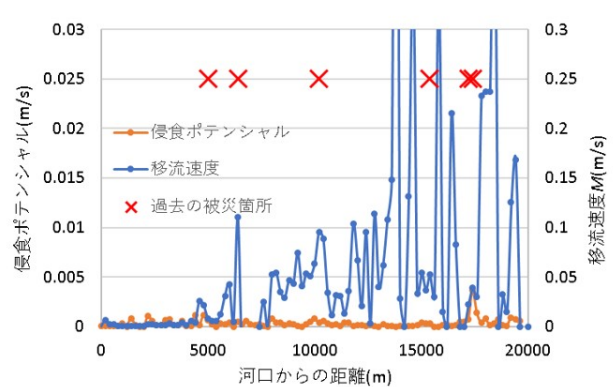


図-8 二つの手法の比較（常願寺川）

シャル推定の際、無次元掃流力、フルード数、エネルギー勾配が支配変数となることを示している。

本研究では無次元掃流力、フルード数、エネルギー勾配は河道部における1次元不定流計算の結果から算出、限界無次元掃流力は岩垣の式より算出し、砂粒子の水中比重および河床空隙率は代表的な値 $s: 1.65$ ,  $\lambda: 0.4$ を使用した。粒径は代表粒径を使用し、重力加速度は $9.8$ とした。

#### 4. 計算結果

(1)式を使用した侵食ポテンシャルの評価結果を図-2に示す。外力はd4PDFの現在気候における100年に1度規模の洪水である<sup>9)</sup>。八木らの式を適用した結果、神通川、庄川下流域、小矢部川下流域の蛇行部で、侵食ポテンシャルが高く評価された。神通川と庄川の2河川は、流域が岐阜県にまたがり面積が大きく流量が大きいため、危険箇所が多く評価されたと考えられる。また小矢部川下流は大きな蛇行部の影響である。図-3に文献より筆者らが調査した過去の侵食箇所の空間分布を示し、侵食ポテンシャルの比較を行う。黒部川、常願寺川の過去の被災箇所は、殆ど表現できていないことがわかる。神通川、庄川では全体の傾向は捉えていると考えられる。また、

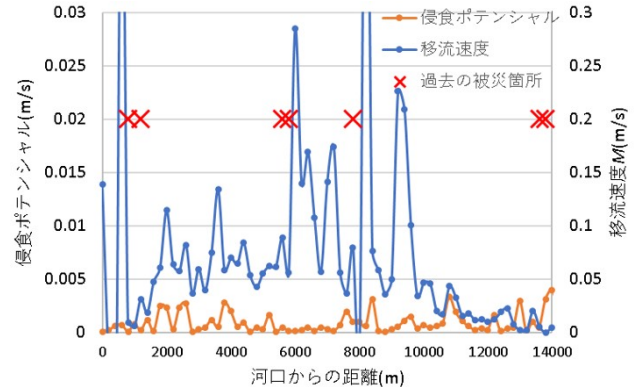


図-9 二つの手法の比較（黒部川）

図-4に重要水防箇所を示している。重要水防箇所は越水、洗堀、浸透漏水に分類され、さらに重要度A、B、要注意区間の3つに分類される。要注意区間は旧河跡や過去被害箇所などが該当する。侵食ポテンシャルとの比較では洗堀の監視が重要とされている箇所と比較を行った。重要水防箇所の空間分布から5河川全域に侵食危険箇所があることが分かる。それに対して侵食ポテンシャル評価は神通川の全域と庄川・小矢部川の下流で評価されている。重要水防箇所と比べると侵食ポテンシャル評価は、危険箇所を見逃している可能性があることが分かる。そのため重要水防箇所も侵食危険箇所に含めたり、他の予

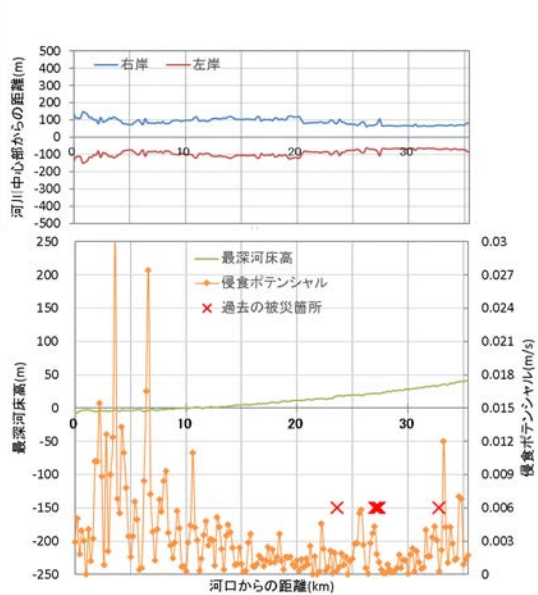


図-10 地形要因との比較（小矢部川）

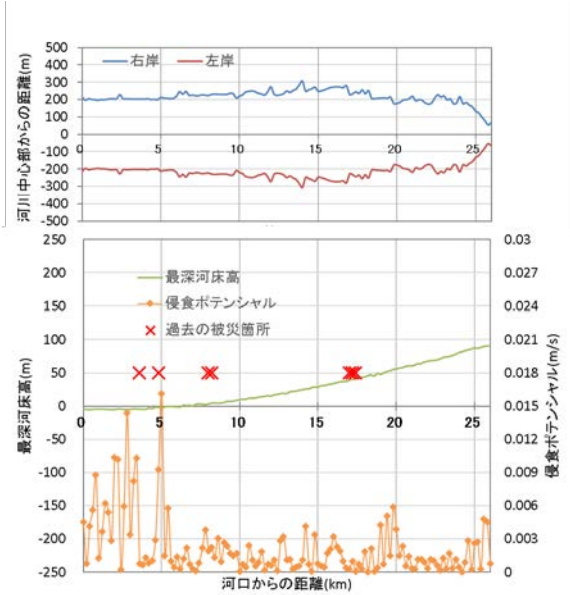


図-11 地形要因との比較（庄川）

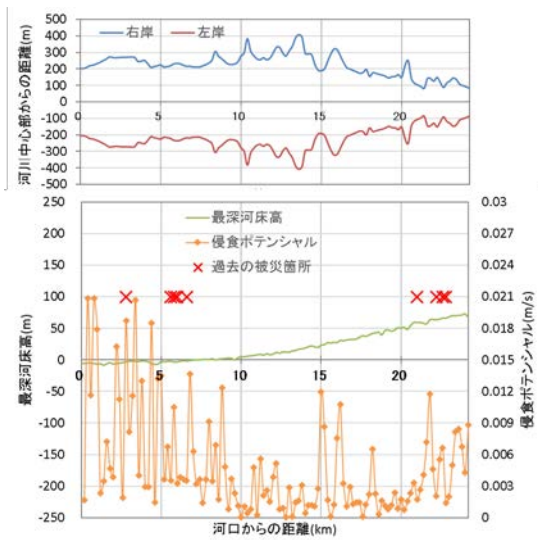


図-12 地形要因との比較（神通川）

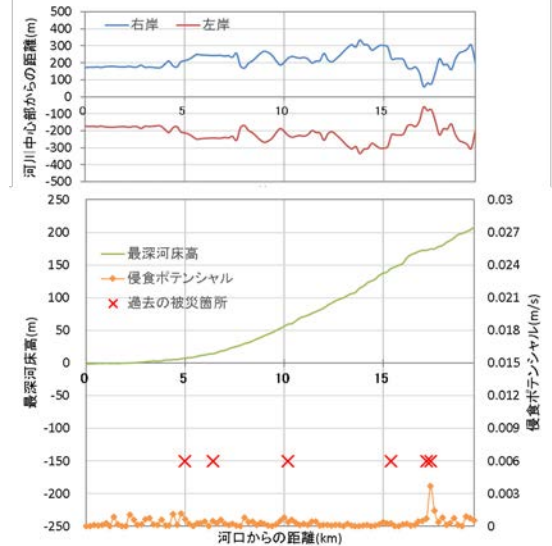


図-13 地形要因との比較（常願寺川）

測手法を使用することも重要となってくる。

次に、各河川の八木らの侵食ポテンシャルと安田の侵食ポテンシャルを比較した図を図-5~9に示す。安田らが千曲川で適用した際の移流速度 $M$ は0.05 (m/s)程度であったが富山県河川に適用を行うと比較的緩勾配である小矢部川を除き、大幅に大きな値を取った。今後は富山急流河川でのフルード数の違いなどを加味した影響評価が必要になる可能性がある。全体的に河川下流側では八木らの手法が、上流側では安田の手法が過去の被災箇所を表現しているように見受けられる。このように侵食予測では、複数手法の組み合わせで予測することが重要になると考えている。

最後に、各河川の地形情報と侵食ポテンシャルの比較を図-10~14に示す。狭窄部の上流側で侵食ポテンシャルの増加が確認できるが、上流側の河川勾配よりも下流での流量増加が侵食ポテンシャルに大きく影響を与え

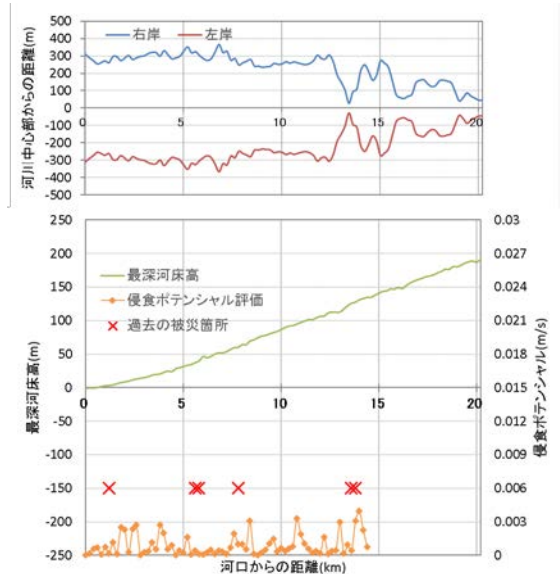


図-14 地形要因との比較（黒部川）

ているように見うけられる。

## 5. まとめ

本論文では、水理量と地形情報に基づく侵食ポテンシャル評価と、河床形状の移動速度に基づく侵食ポテンシャル評価の二つを、富山県河川に適用した。適用結果として、神通川や庄川・小矢部川下流で侵食ポテンシャルが高く推定された。また、水理量と地形情報に基づく侵食ポテンシャル評価は勾配や水路幅、過去被災箇所との整合性がある程度得られたが、上流側では河床形状の移動速度に基づく評価が精度が高いことが明らかとなった。今後は、二つの手法を併用することが重要となる。侵食ポテンシャルと重要水防箇所の比較でも一致部分が少ないことが明らかとなり、総合的な侵食ポテンシャル評価に向けて、重要水防箇所や堤防の脆弱性評価結果などを組み込むことが重要となってくる。このように、侵食リスクの評価に向けては、様々な予測手法のアンサンブル適用と、堤防側の脆弱性指標を用いた総合評価手法の確立が今後必要となってくる。著者らは、引き続きこれら

を考慮した総合評価手法の開発に精力的に取り組んでいく予定である。

**謝辞：**本研究は、（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20S11813）により実施した。富山の一級河川で用いたデータは国土交通省富山河川国道事務所提供頂いた。記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 石川彰真・呉修一・菊地大智・武田尚樹・青木明日香：富山県河川における地球温暖化の影響評価と各種適応策の定量評価, 土木学会論文集 G (環境), Vol.78, No.5, 印刷中, 2022.
- 2) 八木郁哉・内田龍彦・河原能彦:大規模洪水時における河岸侵食危険箇所の検出法, 河川技術論文集, Vol.25, pp.729-734, 2019.
- 3) 安田浩保：河道の被災ポテンシャルの簡易推定, 令和元年台風 19 号豪雨災害調査団報告書（中部・北陸地区）, 2019.