

6. 粗度係数の設定が富山河川の 洪水・侵食危険度評価に与える影響

石川 彰真¹・呉 修一^{2*}・高橋 岳³・京角 和希³

¹学生会員 富山県立大学大学院 工学研究科環境工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

²正会員 富山県立大学准教授 工学部環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

³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

近年全国で豪雨による洪水災害が増加しており、洪水災害に対し危険箇所を事前に予測することは重要である。富山県の河川は世界有数の急流河川であり、流速が早いため侵食による被害が多いことが懸念され、富山県の洪水災害予測において侵食危険箇所予測は不可欠である。

本研究では、富山県の一級河川に代表粒径区分を基にした複数ケースの粗度係数、侵食危険性箇所検出法の適用を行い、粗度係数の影響評価及び侵食危険度評価比較を行った。評価結果より粗度係数の違いや侵食危険度手法によって危険度評価に違いがあることがわかった。特に直線部の評価に差があり、評価手法の検討が必要である。

Key Words : roughness coefficient, steep river, erosion, representative particle size

1. はじめに

近年全国で豪雨による洪水被害が頻発しており、洪水災害に対し危険箇所を事前に予測し、対策をとることは喫緊の課題である。富山県の河川は世界有数の急流河川であり、流速が早く掃流力が大きいいため、侵食作用による被害が他の河川に比べ大きいことが懸念される。

侵食危険箇所の検出する方法は今まで研究がなされている。村上・末次¹⁾の研究では急流河川における侵食危険度の評価を行っており、流速や数値化Ⅱ類による主流の方向によって危険箇所を評価する手法を提案している。また八木ら²⁾によっても危険箇所の検出法が提案されている。準三次元解析によって詳細な侵食箇所の評価や広範囲に対応した比較的容易な二次元解析や一次元解析を使用したある程度の危険箇所の評価を行う方法が提案されている。安田³⁾が令和元年の千曲川決壊の際、どの河道のどの場所が危険か推定する方法として川幅水深比や河床形状の移動速度に基づいた被災ポテンシャルの推定を行っており、簡易な推理計算に基づいた侵食危険箇所の評価を行っている。

このように侵食危険箇所の推定を行う研究は行われているがデータの不足や計算の不確実性により評価事例は十分ではない。またほとんどが局所的な適用であることが多く、県全域の侵食危険度評価を行った事例は多くない。

不確実性の要因として河床の粗度係数が挙げられる。観測水位と計算水位の比較から逆算的に粗度係数を設定する方法があるが広域を対象とした場合、水位観測地点が少ないことや粗度係数の設定箇所の見極めが困難なことから実用的ではない。粗度係数が流速や水位に影響を与えるため粗度係数の空間分布の把握は重要である。

本研究では富山県一級河川を対象に代表粒径区分より算出した粗度係数分布を適用し、複数の粗度係数を設定した一次元不定流計算を行い、2つの侵食危険度評価手法適用の結果から粗度係数の影響評価及び侵食危険度評価の比較を行った。

2. 対象領域の概要

本研究では富山県・岐阜県に流れる一級河川（小

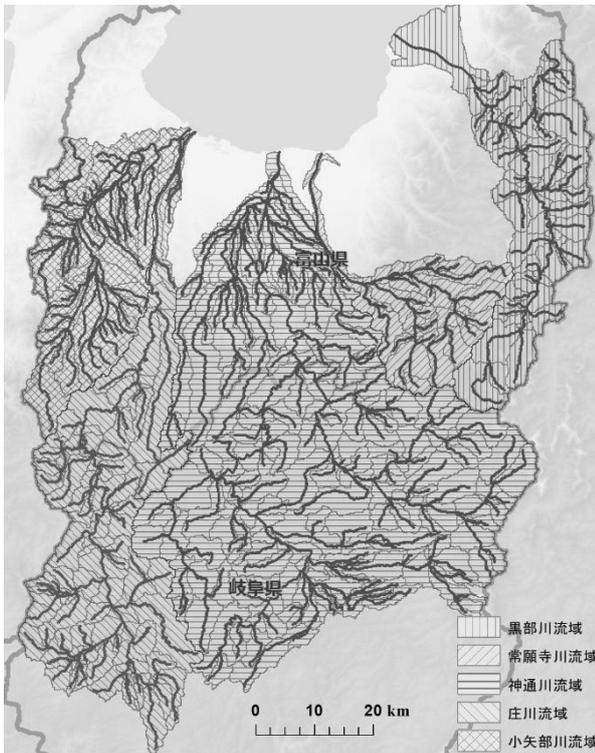


図-1 対象領域

矢部川・庄川・神通川・常願寺川・黒部川)を対象河川とし、およびそれらの流域を対象流域とする(図-1)。国土交通省北陸地方整備局より提供いただいた横断面データが使用できる大臣管理区間を対象領域とする。

富山県の河川は世界屈指の急流河川であり、黒部川の勾配が山地部で1/50~1/80、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と世界屈指の勾配である。他の3河川についても急勾配であり、日本三大急流である富士川を上回る急勾配である。その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。

3. 研究手法

粗度係数の評価及び富山県一級河川の侵食危険箇所評価を行うため一次元不定流計算を行った。石川・呉⁴⁾では富山県河川を対象とした降雨流出計算および洪水解析を行っている。データの詳細、洪水解析の結果や再現性についてはこちらを参考にされたい。本研究で使用した粗度係数の設定方法、侵食危険箇所評価手法について以下に示す。

(1) データの概要

河川データは国土数値情報のものを使用した。横断面データは国土交通省北陸地方整備局より提供い

ただいた大臣管理区間のデータを使用した。入力外力は各河川の計画規模流量を上流端境界条件とした。小矢部川の場合、長江地点から1,950 m³/s、庄川は雄神地点から5,800 m³/s、常願寺川は瓶岩地点から4,600 m³/s、黒部川は愛本地点から6,500 m³/s、神通川は神通大橋地点で7,700 m³/sになるように上流端境界条件を設定した。

(2) 粗度係数の設定

河床部の粗度係数について、黒部川については公表された過去計算事例に基づく粗度係数があるが⁵⁾、他の4河川については公表された粗度係数が存在しないため、各河川の維持管理計画より公表されている代表粒径を使用し、マニング・ストリクラーの式⁶⁾から粗度係数を算出した。以下に式の概要を示す。

$$n = \frac{ks^{1/6}}{7.66\sqrt{g}} \quad (1)$$

ここに ks : 相対粗度(河床材料の代表粒径を m 単位で使用), g : 重力加速度=9.8 m/s²である。

しかしながら代表粒径そのままの値で計算を行うと0.012~0.026となり黒部川の値と比較すると低い値になった。そのため以下の3 caseの粗度係数設定方法を使用し侵食危険性評価結果の比較を行うことで、粗度係数の影響評価を行った。

Case 1 : 常願寺川の代表粒径を2倍すると黒部川の粗度係数と似た値になったため、4河川の代表粒径を一律2倍して粗度係数を算出した。黒部川は過去計算事例の粗度係数を使用した。

Case 2 : それぞれの粗度係数が黒部川の粗度係数に合うよう倍率(小矢部川:10倍、庄川:5倍、神通川:4倍、常願寺川:2倍)を乗じて粗度係数を算出した。黒部川はCase 1同様、過去計算事例の粗度係数を使用した。

Case 3 : 河道内すべての粗度係数を0.04に設定した。3Caseすべてにおいて上流部の代表粒径が不明な部分には0.04、高水敷には0.05の値を一律に設定した。

(3) 一次元不定流計算

河道部の洪水追跡計算には河道部の洪水追跡計算には、以下の(2)-(3)式の一次元不定流計算を用いた。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (uQ)}{\partial t} = gA \frac{\partial (h+z)}{\partial x} - \frac{gn^2|Q|Q}{R^{3/4}A} \quad (3)$$

ここに、 A : 流積[m²], R : 径深, Q : 流量[m³/s], q_l : 側方流入量[m³/s], u : 流速[m²/s], h : 水深[m], z : 標高[m], n : マニングの粗度係数である。

(4) 侵食危険箇所評価手法

横断面データが使用出来る200 mおきに侵食危険箇所評価手法の適用を行った。本研究ではaの評価手法をCase 1~3で行うことで粗度係数の影響評価を行っ

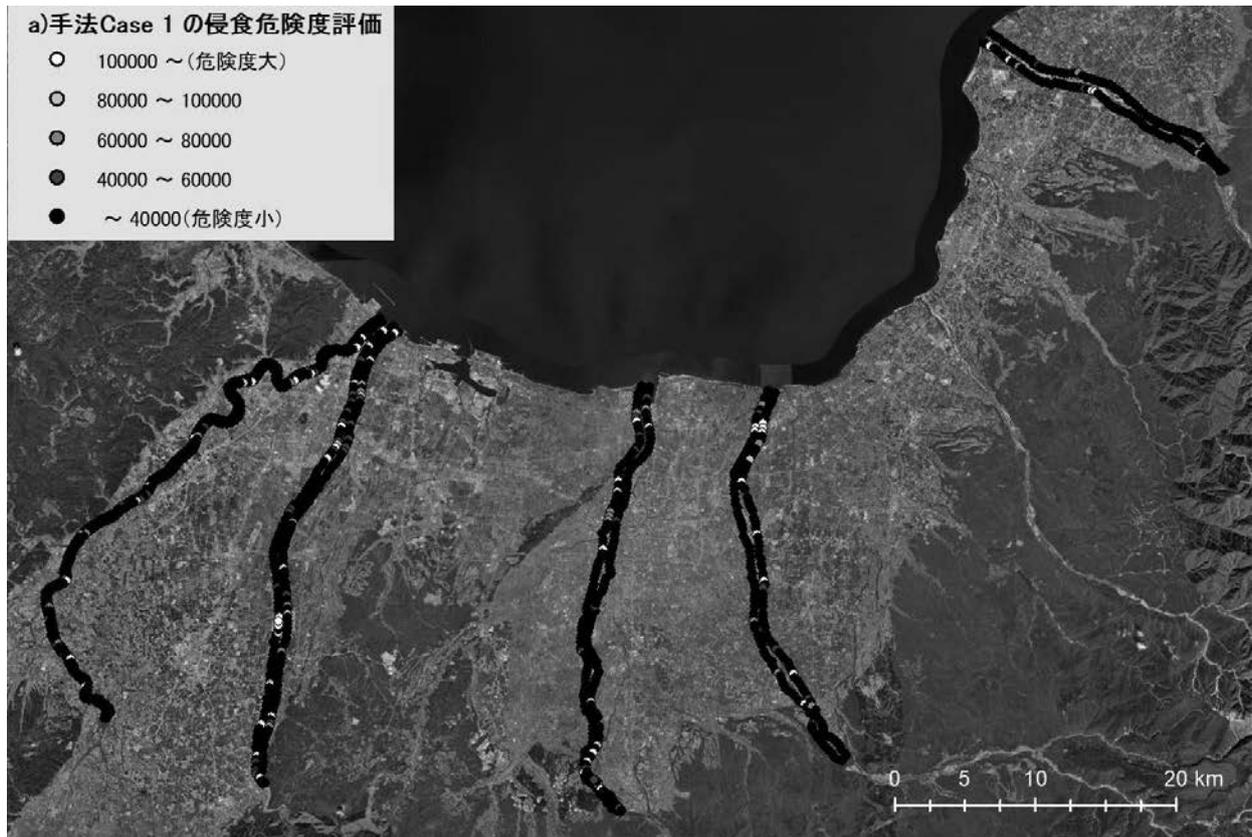


図-2 侵食危険度評価の空間分布 (手法 a, Case 1)

た. また a と b の評価手法を Case 2 で適用することで危険箇所評価手法の比較を行った. 以下に適用した評価手法の概要を示す.

a) 八木ら²⁾の侵食危険箇所検出法

八木ら²⁾は一次元解析を用いた河川浸食危険箇所の検出法を提案しておりこの式を参考に侵食危険度評価を行った. 以下に使用した検出法を示す.

$$|\delta u_i - \delta u_{ei}| = |\delta u_n| = \frac{\alpha}{2C_0} \left(1 - \frac{C_0}{2K}\right) \frac{q}{r} \quad (4)$$

ここに, δu_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 [m³/s], r : 曲率半径 (の大きさ) である.

八木ら²⁾は準三次元解析と現地調査結果の比較から乱れエネルギーの高い箇所が侵食危険性が高いと評価し, 一次元解析では単位幅流量と曲率半径の比で表される二次流強度を侵食危険度の指標とし検出方法を提案した. 一次元解析を用いた侵食危険箇所の検出法では直線箇所や構造物付近の危険度の検出は行うことは困難だが, 簡易的に侵食危険箇所の傾向を検出できる式であるため本論文では (4) 式を使用した.

b) 村上・末次¹⁾の侵食危険箇所検出法

村上・末次¹⁾は急流河川である富士川釜無川流域を対象に河川侵食危険度を判定する研究で侵食危険度評価手法を以下の式で表している.

$$z = 0.048x_1 + 0.485x_2 - 0.222x_3 \quad (5)$$

ここに z : 侵食危険度, x_1 : 最深河床部から河岸までの距離 [m], x_2 : 河岸から 20 m までの平均流速 [m/s], x_3 : 流向である.

こちらの式を参考に以下の式を作成し, 評価を行った.

$$z = 0.01x_1 + 0.75x_2 + 0.01x_3 \quad (6)$$

一次元不定流計算による侵食危険度の評価のため河岸から 20 m までの平均流速は, 断面平均流速を使用し, 流向については河川の湾曲度を使用した. 係数に関しては流速が評価に影響するように変更した.

4. 適用結果

Case 1~3 の粗度係数を使用し, a の侵食評価手法を適用した. Case 1 の粗度係数を使用した評価結果を図-2, Case 2 の評価結果を図-3, Case 3 の評価結果を図-4 に示す. Case 1 や Case 2 のように代表粒径から算出した粗度係数は下流部になるにつれ低くなる傾向にあり, 流速とは反比例の関係にあるため, 下流部になるにつれ侵食危険箇所が増加する結果となった. Case 1 と Case 2 を比べると上流部ほど粗度係数の差が大きくなる傾向があるため上流部で危険度評価に違いが見え, 粗度係数の影響が表現されている.

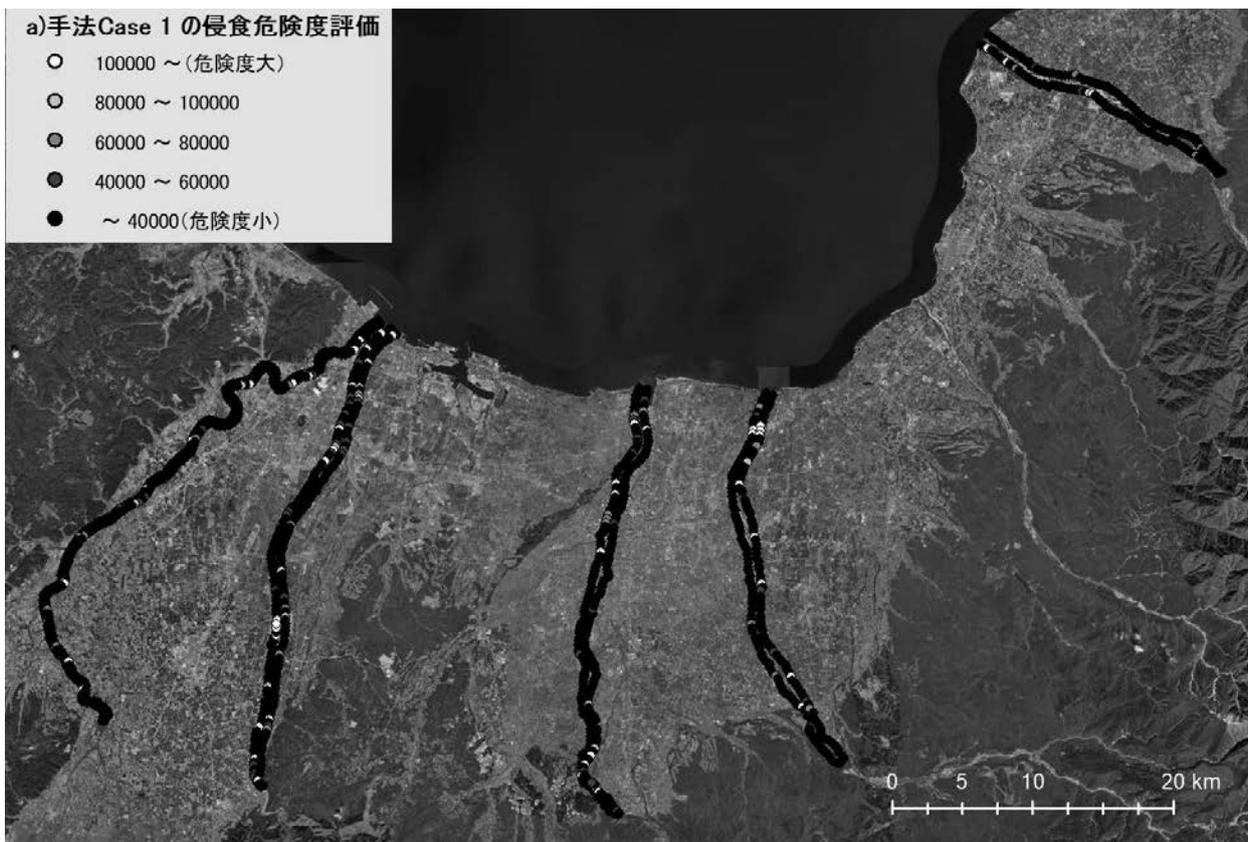


図-3 侵食危険度評価の空間分布 (手法 a, Case 2)

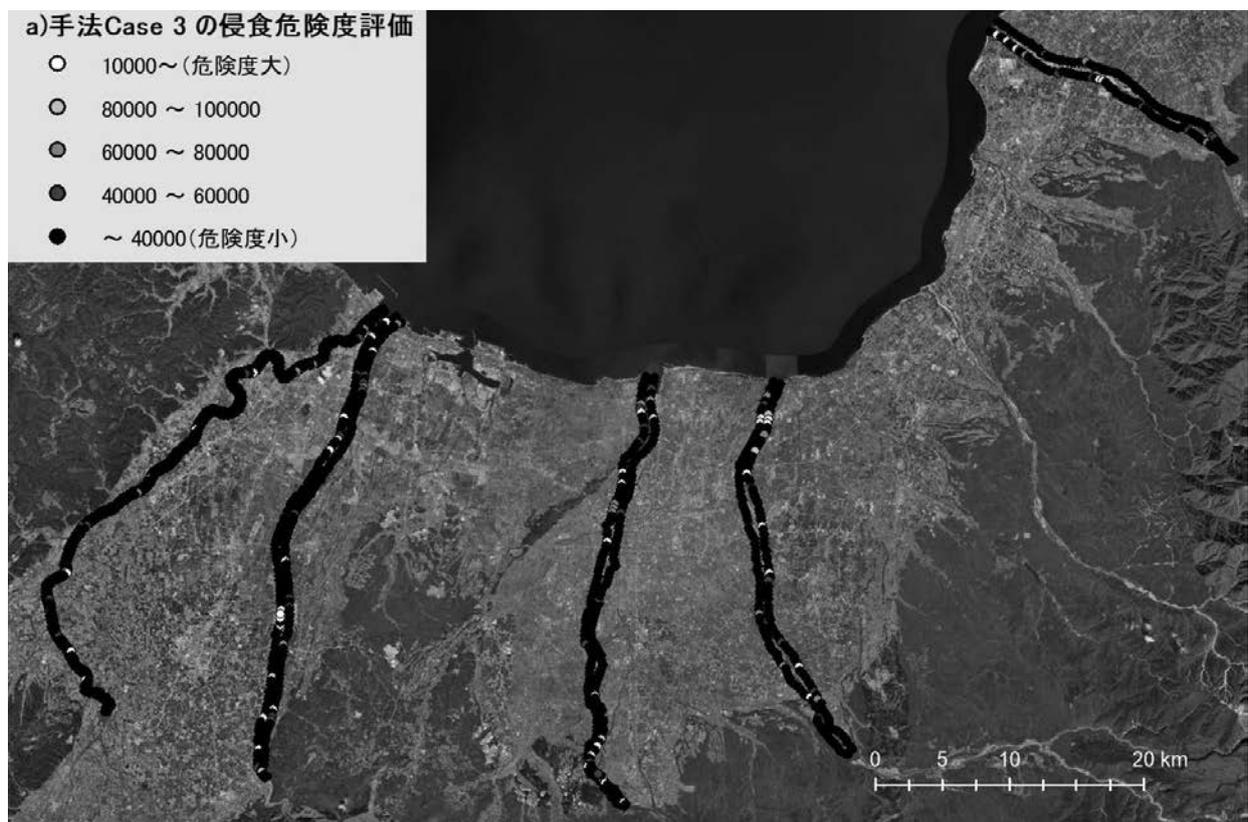


図-4 侵食危険度評価の空間分布 (手法 a, Case 3)



図-5 侵食危険度評価の空間分布 (手法 b, Case 2)

2つの侵食評価手法の違いによる評価の比較結果を図-5に示す。蛇行部や分流部分の評価はどちらの評価方法でも評価されているが直線部分については評価結果が異なっている。評価方法によって危険箇所が異なるため、今後過去の侵食被害と検証を行いながら滞筋の変化や侵食対策の整備完了部分、富山県河川の特徴である急流を反映した新しい侵食危険度評価手法の考案が必要であると考えられる。

5. まとめ

代表粒径区分を使用した複数の粗度係数算出を行い、富山県全域を対象として侵食危険度評価手法を適用することで粗度係数の影響評価および手法による評価の比較を行った。代表粒径の空間分布より粗度係数の算出を試みたが、粗度係数0.012~0.026と低い値をとり、各河川に応じた倍率を乗じる必要があった。本論文では高水敷の粗度係数を一律に設定しているため、今後は高水敷の植生状況を反映した粗度係数設定を行う必要がある。

粗度係数の違いによる侵食危険度比較により粗度係数によって流速が変化し、危険度評価が変化することがわかった。危険評価手法の比較により蛇行部や分流部などは評価されるが細かい地点では評価手

法により異なる評価結果となることが判明し、精度の高い侵食危険度評価のため、滞筋の変化や整備箇所の把握、富山県河川の特徴である急流を考慮し、過去被災事例により検証した新しい侵食危険度評価手法を考案が必要である。

謝辞：本研究は、JSPS科研費 JP18K04372および（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20S11813）の助成を受け実施した。本研究で使用した河川横断面データは、国土交通省富山河川国道事務所に提供頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 村上智一, 末次忠司: 急流河川における河岸侵食危険度の評価に関する研究, 土木学会第 67 会年次学術講演会 (平成 24 年 9 月), II_002, 3-4
- 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に検出法, 河川技術論文集, 第 25 巻, 729-734, 2019 年 6 月.
- 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 (中部・北陸地区) 報告書, 土木学会水工学委員会, 令和 2 年 5 月.

- 4) 石川彰真, 呉修一: 富山県河川を対象とした洪水解析に基づく堤防の越水・浸透・侵食危険度評価, 水工学論文集, Vol.65, 投稿中, 2020. 研究会資料, 平成 26 年 12 月.
- 5) 北陸地方整備局 黒部川河川事務所: 第 3 回黒部川河道 6) 国土交通省河川局: 美しい山河を守る災害復旧基本方針, 参考資料 I, pp6, 2006.