

侵食破堤の危険箇所の複眼的推定法の構築

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員
 新潟大学大学院自然科学研究科 学生員
 新潟大学大学院自然科学研究科 学生員
 株式会社キタック 正会員
 新潟大学災害・復興科学研究所 正会員

○石塚 芳
 梅木 康太郎
 石原 道秀
 五十嵐 拓実
 安田 浩保

1. はじめに

近年、千曲川を卑近の例とする河岸欠損やそれに伴った破堤により、人的および経済的に甚大な被害が頻発している。このような河岸欠損は、交互砂州などの周期的な底面起伏を起因とした河岸沿いへの流れの集中による水衝部の形成が発端と推測され、水衝部が河岸欠損の誘発要因であることはある程度は理解されている。関連する研究として、実河川の河岸欠損の発生箇所を推定する研究がいくつか行われ、護岸の被災箇所は時間積分された摩擦速度の大小関係との一致が報告されている^{1),2)}。また、自治体が管理する中小規模の河川の被災箇所を推定する研究が行われ、洪水前の河道形状を用いた水理解析により摩擦速度や無次元掃流力を算定した上で、そのうち上位 1σ 以上になる箇所と出水後の被災箇所は良好に一致することが明らかにされている。

前述のように、危険箇所を個別に推定する方法は確立されつつある。しかし、前述した推定法は数理モデルを用いたものであるために不確実性を完全に排除できない。また、河岸欠損の発生の危険性がある砂礫河川では交互砂州もしくは複列砂州が数 km から数十 km の区間で一連に形成されることが多い。砂州が縦断方向に一連に形成されることに着目すると、危険箇所の局所的な推定法に加え、どのような状態の砂州区間が河岸欠損の誘因の危険性が高いかの大局的な推定も望まれる。

本研究では、被災事例のある能生川を対象とし、局所的な視点と大局的な視点の双方から河岸欠損の危険箇所を推定する方法について、模型実験と実河川を対象とした水理解析から調べた。局所的な視点での危険箇所の推定法としては、安田ら⁴⁾の無次元掃流力の標準偏差に基づく手法(以後、エネルギー集積法)を用いる。また、大局的な視点での危険箇所の推定法としては、砂州の形成に伴い生じる一横断面内の最大高低差(以下、比高差 H_b/h_0)を平坦時の等流水深で除する砂州波高法を用いる。この推定法を選定した理由として、著者らの模型実験を通し、砂州の波高が初期の矩形断面の等流水深の5割を超えると破堤の可能性が高いことを確認しているためである。

2. 能生川を模した模型実験による検証

まず、上記の2手法の検証を模型実験より行った。模型実験での結果と実河川での検証結果の比較を行うため、能生川を模した水理条件で模型実験を行い、実河川の限

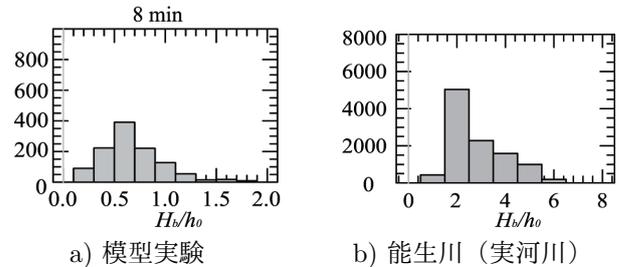


図-1 河道内の比高差のヒストグラム

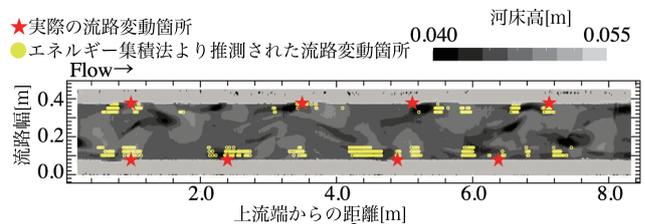


図-2 河床高さのコンターとエネルギー集積法より推測された流路変動箇所

られたデータのみでは行えない流路変動までの時間発展の様子を把握し、推定法の妥当性の検証を行った。

(1) 模型実験の条件

実験には全長 9m、水路幅 45cm の直線矩形断面の模型水路を用いた。この水路中央に水路幅 30cm、深さが 3.0cm の侵食性側壁を有する直線複断面流路を作成した。水理条件は平成 29 年 7 月出水時における能生川を対象にし、川幅水深比は 31.5、無次元掃流力は 0.057 とした。砂州のような河床波は既往の研究⁵⁾から川幅水深比と無次元掃流力が支配変数であると考えられているため、それらを一致させるように条件の設定を行ったが、模型水路の制約により無次元掃流力の完全な一致はできなかった。また、この水理条件は黒木・岸の領域区分図⁵⁾では複列砂州の発達領域に位置する。この条件における水路床勾配は 1/60、流量は 0.3L/sec、河床材料粒径は 0.76mm となる。通水は侵食性側壁が固定壁に到達した 40 分まで行った。水理解析に必要な水底面の計測には星野ら⁶⁾が開発した水面と水底面の同時計測技術である Stream Tomography を用いて計測を行なった。計測は 1 分間隔で行い、底面の計測間隔は縦横断方向とも 1cm に設定した。

(2) 推定結果

実験より得られた水底面の結果を用いて、水理解析により砂州波高法とエネルギー集積法の検討を行った。水

Key Words: 中規模河床形態, *iRIC*, 側岸の侵食性
 〒 950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 TEL 025-262-7053
 (本稿は中止となった第 23 回応用力学シンポジウムの概要原稿に若干の加削を加えたものである)

理解析には平面二次元解析のソルバーである iRIC⁷⁾ に同胞される Nays2D を用いた。

エネルギー集積法と砂州波高法の計算結果を示す。結果は流路変動直前の通水開始より 8 分の結果を示している。まず、砂州波高法で提唱される、波高比が 5 割を超えると流路変動の可能性が高くなるという傾向がこの条件で見られるのか検証を行なった。Fig.1 の (a) に流路内の砂州の波高を等流水深で除した比高差のヒストグラムを示す。流路変動直前の比高差は最頻値が 0.5 であることが見られる。ヒストグラムより、河道内の半数以上の地点で比高差が 5 割を超える結果が見られた。

Fig.2 に底面のコンター図にエネルギー集積法による推定箇所である側岸付近の無次元掃流力が平均値より 1σ 以上の箇所（黄点）をプロットした図を示す。また、通水を続け流路変動した箇所を星印で示している。エネルギー集積法により推定された流路変動箇所と実際の流路変動箇所を比較すると、流路変動前の 8 分の時点で 8 点中 7 点で推定された箇所と実際の箇所の一致が確認された。

以上の結果より、波高法に関して、提唱されていた流路変動の開始時に流路全体の比高差は 5 割を超える傾向が実験でも確認された。また、エネルギー集積法に関しても無次元掃流力が平均値より標準偏差以上の箇所が流路変動をする傾向が確認された。このことより、砂州波高法では河道全体の流路変動の危険性を、エネルギー集積法では具体的な流路変動箇所を推測できることが示唆された。

3. 実河川における危険箇所の推定

(1) 水理解析の条件

模型実験における推定が実河川を対象とした計算でも可能なのか、実際に河岸欠損した能生川を対象とし検証を行う。本研究では平成 29 年 7 月の豪雨による出水時における水理解析を行う。解析に必要な地形データは国土地理院の電子国土 web⁸⁾ で一般公開されている地理空間情報を取得し、平成 29 年 7 月豪雨による出水前に計測された 5m 間隔の DEM データを用いた。水理解析には模型実験と同様に iRIC⁷⁾ に同胞される Nays2D を用いた。計算点の配置間隔は縦横断方向に 5m とし、区間全体の平均粒径は実測値を参考に 8cm, Manning の粗度係数として Manning-Strickler の式から求めた 0.027 を与えて固定床計算を実施した。また、流量の計測値がなかったため、流量を数パターン変化させた水理解析を行い、対象とする出水の河岸欠損発生時に撮影された写真から判読された水位に最も近づいたときの流量 $250\text{m}^3/\text{s}$ を上流端境界条件に与えた。

(2) 推定結果

Fig.1 の (b) に河道内の比高差のヒストグラムを示す。ヒストグラムより、河道内の大半の比高差が 2~4 であり、河道内のほとんどの箇所では砂州の波高が等流水深の 5 割を大きく超えていることが確認できる。Fig.2 と同様に Fig.3 には底面の標高コンター図にエネルギー集積法より推定された破堤危険箇所（黄丸）をプロットした

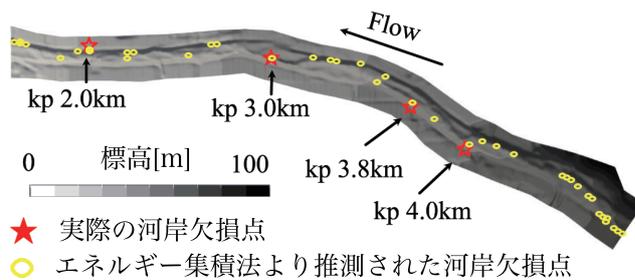


図-3 標高のコンター図とエネルギー集積法より推定された河岸欠損箇所

図を示す。また、実際の河岸欠損箇所を星印で示している。エネルギー集積法より推定された危険箇所の分布を見ると、河道内の広い範囲に危険箇所が点在していることがわかる。実際の河岸欠損箇所とエネルギー集積法より推定した危険箇所を比較すると、実際の欠損点とエネルギー集積法から推定した危険箇所が概ね一致することが確認された。

以上の結果より、実河川を対象とした検証でもエネルギー集積法と砂州波高法は模型実験と同様の傾向が見られ、両者の推定法が有効であることが確認された。また、エネルギー集積法による推定箇所が実際に破堤した箇所以外にも点在していることより、その他の地点でも流水によって河岸欠損を起こしていた可能性があったことが示唆された。

4. おわりに

本研究では、侵食破堤の危険箇所についての複眼的な推定法の有効性を調べるため、模型実験と実河川を対象とした水理解析により検証を行なった。模型実験では、砂州波高法による流路変動の危険性の高い河道の推定、エネルギー集積法より流路変動の危険性の高い箇所の推定がそれぞれ可能であることが示唆された。また実河川を対象とした検証でも両者ともに同様の傾向が見られた。模型実験と実河川を対象とした検証により、砂州波高法による大局的な推定とエネルギー集積法による局所的な推定がそれぞれ有効であることが示された。

参考文献

- 1) 安田浩保, 高橋玄, 酒井公夫, 竹村仁志, 五十嵐川における河川構造物への流速の作用時間に着目した被災要因の分析, 河川技術論文集, 第 18 巻, pp.245-250, 2012
- 2) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 平松裕樹, 松本拓磨, 平成 24 年豪雨災害時の彦山川の護岸・河岸の被災プロセスの検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, pp.1399-1404, 2015.
- 3) 安田浩保, 五十嵐拓実, 安田晃明, 中土紘作, 中小河川における河道内脆弱点の水理学的推定の試行, 河川技術論文集, 第 22 巻, pp.327-332, 2016.
- 4) 安田浩保, 石原道秀, 能生川における河道内の脆弱点の推定, 第 36 回土木学会関東支部新潟会研究発表講演会論文集, pp.108-109, 2018
- 5) 黒木幹男, 岸力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第 342 号, pp.87-96, 1984
- 6) 星野剛, 安田浩保, 倉橋将幸: 交互砂州の形成機構の解明に向けた水面と底面の同時計測手法の開発, 土木学会論文集 A2, 74 巻, 1 号, pp.63-74, 2018.
- 7) 北海道河川財団 iRIC Software, <https://i-ric.org>
- 8) 国土地理院 電子国土 web, <http://maps.gsi.go.jp>