

UAV撮影条件選定のための 石狩川下流部における堤防変状の特徴分析

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所水環境保全チーム ○鈴木 朋子
横山 洋
柿沼 孝治

治水上の機能確保のために行う堤防の点検や巡視の効率化を目的として、UAVの活用を検討が進められている。上空から堤防変状を適切に認識するためには、実際の変状の特徴を把握し、撮影画像からの認識が可能な撮影方法を選定する必要がある。そこで本研究では、石狩川下流部におけるRiMaDISデータから、令和3年度に確認された堤防変状の特徴を整理した。また、それらをUAVで把握するための撮影方法について考察した。

キーワード：維持・管理、堤防点検、RiMaDIS、UAV

1. はじめに

河道及び河川管理施設は、治水上の機能維持を目的に、定期的に、あるいは出水等の大きな外力の作用後に点検を実施することされている¹⁾。特に、直轄河川の堤防は「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領」²⁾に基づいて行われ³⁾、点検結果とその評価は河川維持管理データベースシステム（以下、RiMaDIS）へ登録され、データの蓄積が図られている²⁾。

点検は目視により実施され、変状は写真撮影とスケール等による計測で記録されることから、移動は主に徒歩となる。そして、実施時期は出水期前、台風期、出水後等の適切な時期に実施することとされている²⁾。北海道開発局の複数の河川事務所への聞き取りによると、点検は少人数のグループで、1日5~6時間実施され、1日に点検できる距離は3~8 kmであることがわかった。また、堤防点検は堤防の地表面の状態が観察できるよう、除草直後や融雪後の堤防植生の繁茂していない時期に実施している。このように、点検に時間を要する一方で、点検に適した時期は限られることから、短期間に実施できるよう、点検の効率化が求められる。また、河川維持管理では、点検結果の評価をもとに補修や予防保全対策の優先度を決定する。点検結果の評価の目安は、河川特性に応じて河川ごとに設定するもの⁴⁾であり、点検結果の蓄積が欠かせない。

効率的でかつデータ蓄積が可能な客観的な情報の取得には、新技術の活用が期待される⁴⁾。既に提案されている、新技術を活用した堤防点検の手法には、MMSや地上レーザ、UAV等がある⁵⁻¹²⁾。いずれの計測手法も、1日に計測できる範囲は目視による点検と比較すると数倍である⁹⁾。このうち、UAVはレーザを搭載した調査手法が

多く提案されており、航空レーザと比べて低い高度を飛行することができるため、高密度の3次元点群データを得られることが知られている⁹⁾。また、UAV写真測量は画像からSfM解析により3次元点群データを取得する調査手法で、レーザ測量よりも安価であることから幅広く活用されている⁹⁾¹³⁻¹⁵⁾。レーザは、堤防法面形状を捉える場合に、法面の植生がレーザの照射を遮断することで、地表面の形状を計測することに限界があることが指摘されている⁷⁾¹²⁾¹⁶⁾。これは、植生の表面を捉えるUAV写真測量においても同様である。UAV写真測量が取得できるのはDSM¹⁷⁾であり、植生下の地表面の高さであるDEM¹⁷⁾を捉えることはできない。この問題について齋藤らは、UAV写真測量で取得した植生群落のDSMが、植生の鉛直方向にどの位置を捉えているのかを明らかにすることで、DSMからDEMを推定する手法を提案している。

UAVを堤防点検に活用するには、UAVの空撮画像から堤防変状が見えることが最低限必要である。UAV画像から対象物の見える度合いは、存在を確認できるレベルから対象物を個々に見分けがつくレベルまでであり、それに対応する画素数も異なる¹⁸⁾。対象物の実サイズを地上解像度で除して、対象物が何画素を含むかが明らかになれば、見える度合いも定まる¹⁸⁾ことから、堤防変状の抽出においても変状対象のサイズを把握する必要がある。

堤防点検の変状のサイズや特徴を整理した例では、野間口ら¹⁹⁾が緊急時の河川の状態監視を想定し、UAVをはじめとする新技術適用の可否を判断する条件の一つとして、変状ごとのサイズをまとめている。しかし、平常時点検のみ対象の「不陸」や「侵食・ガリ」といった項目は除外されている。また、下川ら²⁰⁾は堤防に発生した「亀裂」や「法崩れ」の深さごとの件数を整理している。この報告では、深さ以外の延長や幅については言及され

ていない。これまで、平常時の堤防点検で記録された変状のサイズについての報告はほとんどみられない。そこで、本論では堤防点検結果が登録されているRiMaDISデータから、堤防変状のうち、変状サイズに着目して特徴を分析した。

2. 方法

北海道開発局札幌開発建設部管内における、2021年度に実施した堤防点検のRiMaDISデータを集計した。RiMaDISデータには石狩川本川および石狩川水系の支川

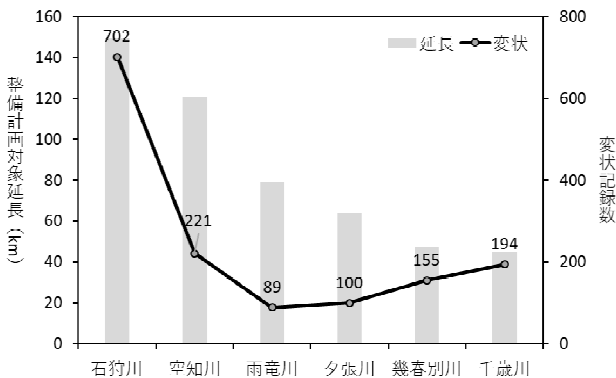


図-1 石狩川および支川の延長と変状記録数

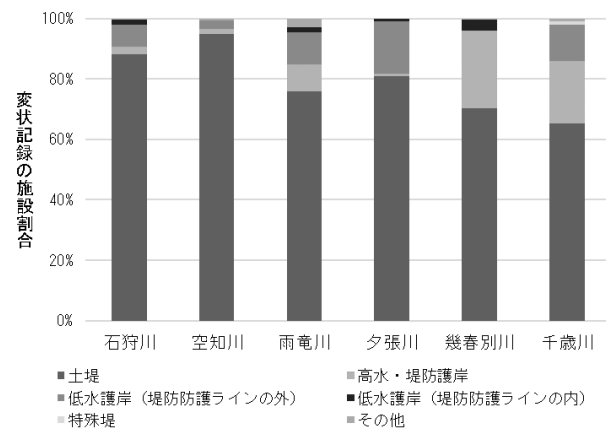


図-2 石狩川および支川の変状項目割合

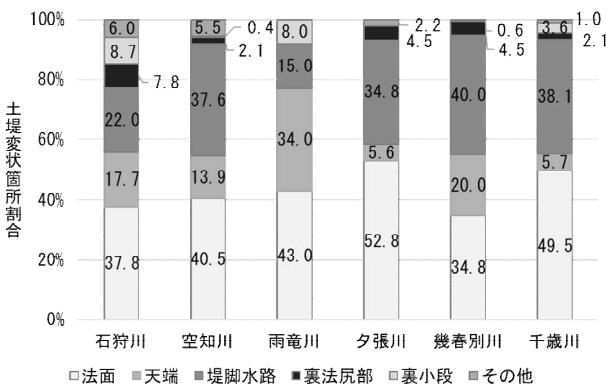


図-3 石狩川および支川の変状箇所割合

とあわせて61河川の記録があった。そのうち、石狩川本川と5つの支川の記録を抽出した。支川は、河川整備計画対象延長の長い順に5つの支川を選定した。

変状記録の期間は2021年4月12日から同年9月17日までであった。点検結果について個別に評価されており、評価区分は全部で4段階あり、aは異常なし、bは要監視段階、cは予防保全段階、dは措置段階とされている²⁾。今回の調査では、aを除いた評価を対象として集計した。堤防点検は、施設ごとに「変状箇所」「変状種別」の階層になって記録されている。これらの中から特に多いものに着目し、抽出した「変状種別」のサイズの特徴を分析した。

3. 結果

(1) 河川延長と変状記録数

石狩川本川（以下、石狩川）と5つの支川における変状記録数を比較した（図-1）。石狩川の変状が702件となり、支川で最も長い空知川の変状数は、石狩川に次いで多い221件であった。次に、5番目に長い千歳川の変状数が多く、幾春別川が続いた。千歳川は河川延長が空知川の2分の1に満たないが、変状数は空知川に並ぶ194件であった。このことから、千歳川の距離当たりの変状数が多いことが考えられた。

次に、石狩川と5つの支川における変状記録の施設割合を比較した（図-2）。堤防点検の施設は全部で6項目に分かれている。「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領」²⁾にある点検項目の「鋼矢板」はRiMaDISでは「低水護岸」もしくは「高水・堤防護岸」として集計され、「根固工」は「低水護岸」として集計されている。いずれの河川においても6割以上を「土堤」が占めていた。そこで、土堤に着目してデータを抽出した。

(2) 土堤の変状箇所割合

堤防点検の記録は、施設ごとに「変状箇所」でさらに細かく分けられる。「変状箇所」は、「法面」、「天端」、「堤脚水路」、「裏法尻部」、「裏小段」、「その他」の6つに分けられる。「法面」は表法面と裏法面で独立して記録されているが、ここでは合算した。土堤の変状箇所割合を見ると（図-3）、石狩川では「法面」が最も多く、幾春別川を除く4つの支川でも同様であった。幾春別川で最も多いのは「堤脚水路」で、次に「法面」が多かった。全国のRiMaDISをまとめた事例²⁰⁾でも、「土堤」における変状数で「法面」が最も多く占めていた。このことから、全国的な傾向と同様であることがわかった。

(3) 変状種別

次に、「土堤」の「法面」に発生した「変状種別」ごとの記録数を比較した(図-4)。「変状種別」は、発生事象を12種類に区分したものである。このうち、「排水不良」は「泥濘化」と「湿性植物等の繁茂」を合わせた数としている⁴⁾。最も多いものは、「侵食(ガリ)・植生異常」、次に多いのは「陥没や不陸」であった。「侵食(ガリ)・植生異常」のうち、「侵食(ガリ)」は10件であり、「植生異常」が大部分を占めていた。今回は変状のサイズに着目する点から、「陥没や不陸」の延長、幅、深さに着目し、変状のサイズを調査した。また、「変状種別」として同一項目になっている「陥没」と「不陸」を分けて集計した。なお、サイズの集計にあたり、記録された変状のサイズに、幅、延長、深さのいずれかが欠けているものは除外した。

(4) 陥没のサイズ

石狩川および5つの支川の法面で発生した陥没について、延長、幅、深さと縦横形状に着目した。「陥没」の深さの記録数は85件あり、そのうち延長、幅、深さのいずれかの記載がないものが3件、土堤本体の記録ではないものが2件あり、これらを除いた80件(表-1)を対象とした。

「陥没」の延長は最大60.0 m、最小0.2 m、幅が最大12.0 m、最小0.2 m、深さでは最大1.1 m、最小で0.1 mであった(表-1)。深さを0.1 m 刻みのヒストグラムで示す(図-5)。最も多いのが0.3 m 以上0.4 m 未満の31件だった。その後0.4 m 以上0.5 m 未満が15件、0.2 m 以上0.3 m 未満が13件を合わせると59件となり、「陥没」の約7割の深さが0.2 m 以上0.5 m 未満であったことがわかる。また、「陥没」の深さ0.5 m より深いものをすべて合わせて15件であった。

「陥没」の形状を把握するため、「陥没」の延長を幅で除した数値のヒストグラムを示す(図-6)。この数値が1.0に近いほど延長と幅が同程度であり、数値が大きいほど縦断方向に長く、数値が小さいほど横断方向に延びた形状である。この数値は最大で90、最小で0.4であり、最も多いものは0.9 以上1.1 未満で26件あった。このことから、「陥没」の延長と幅が同程度、つまり円や正方形に近い形状のものが全体の4割を示すことがわかった。

変状数の増減の境界とみられる深さ0.5 m を境に、それぞれの形状の傾向がみられるか確認した。延長と幅の散布図によると(図-7aおよび図-7b)、深さ0.5 m 未満の「陥没」は65件あり、0.5 m 以上は15件であった。どちらのグラフも延長20 m を超える変状は、幅が3 m 未満であった。また、深さ0.5 m 以上のものには、延長、幅の両方が2 m 未満となる「陥没」は確認されなかった。一方、深さ0.5 m 未満のものには、全体の約3割にあたる21件が延長、幅ともに2 m 未満であった。このことから、

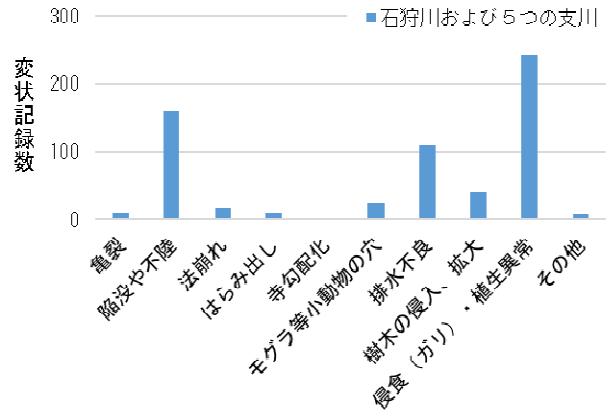


図-4 石狩川および支川の土堤法面の変状種別記録数

表-1 石狩川および5つの支川の法面に発生した陥没の諸元

陥没	範囲	平均±標準偏差	記録数
延長 (m)	0.2-60.0	7.7±13.2	80
幅 (m)	0.2-12.0	2.4±2.3	80
深さ (m)	0.1-1.1	0.4±0.2	80

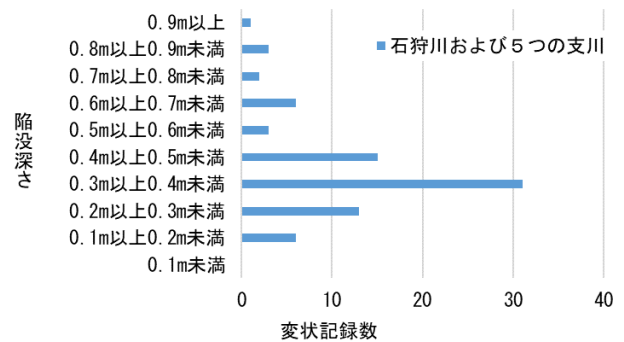


図-5 石狩川および支川の法面に発生した陥没の深さ

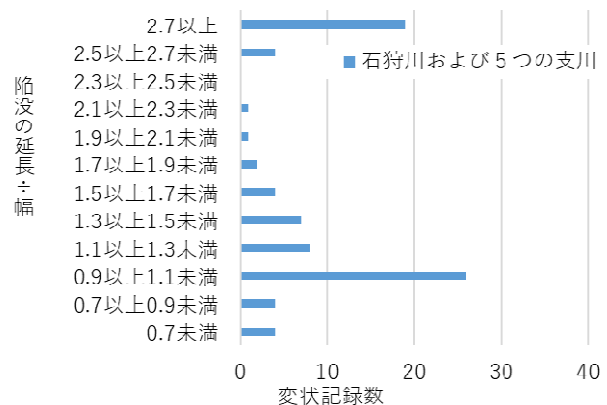


図-6 石狩川およびその支川の法面に発生した陥没の幅に対する延長

「陥没」の延長が20 m を超えるものは幅が3 m 未満であることが多く、深さが0.5 m 以上の場合には、その延長と幅が2 m を超えることが多いことが示唆された。

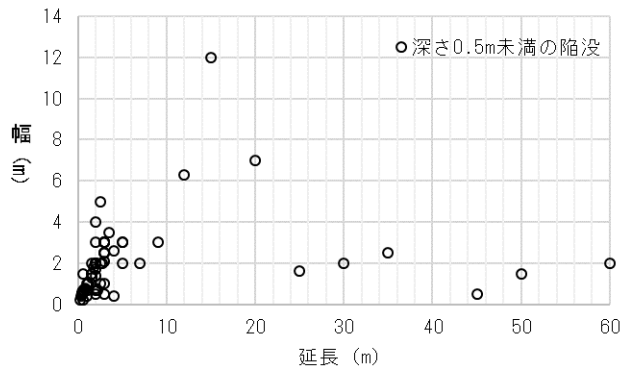


図-7a 石狩川および5つの支川の法面に発生した深さ0.5 m未満の陥没のサイズ (N=65)

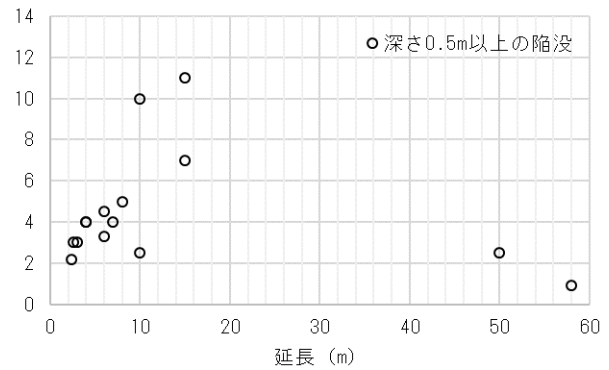


図-7b 石狩川および5つの支川の法面に発生した深さ0.5 m以上の陥没のサイズ (N=15)

(5) 不陸のサイズ

次に、「不陸」について集計した。石狩川および5つの支川の法面で発生した「不陸」について、「陥没」と同様に深さと縦横形状に着目した。深さの記録数は全部で78件あり、そのうち延長、幅、深さのいずれかの記載がないものが7件、複数の点在するものをまとめて1つの延長で記録したものが3件、法面にある階段ブロックの「不陸」が1件あり、これらを除いた67件(表-2)のデータを使用した。

「不陸」の延長が最大250.0 m、最小0.6 m、幅が最大30.0 m、最小0.2 m、深さでは最大1.2 m、最小で0.1 mであった(表-2)。深さを0.1 m刻みのヒストグラムで示す(図-8)。最も多いのが0.2 m以上0.3 m未満、0.3 m以上0.4 m未満でそれぞれ23件だった。0.1 m以上0.2 m未満の14件と合わせて60件あり、「不陸」の約9割が深さ0.1 m以上0.4 m未満であったことがわかる。

「不陸」の形状を把握するため、「不陸」の延長を幅で除した数値のヒストグラムを示す(図-9)。この数値は最大で200、最小で0.07であった。最多は2.7以上の32件あった。このことから、「不陸」は縦断方向もしくは横断方向のいずれかに伸びた範囲で確認されていることが多いことがわかった。また、「不陸」の深さが多く見られる0.4 mを境界として、延長と幅の散布図を作成した(図-10aおよび図-10b)。深さ0.4 m未満の「不陸」は60件あり、0.4 m以上のものは7件であった。一方、深さ0.4 m未満の「不陸」には、延長が100 mを超えるものは7件あり、いずれも幅が5 m以下となった。このことから、「不陸」の延長が100 mを超えるものは、幅が5 m以下であった。

4. 考察

石狩川本川および石狩川水系の5つの支川における堤防点検で多く記録された土堤法面の「陥没」と「不陸」について、そのサイズの特徴を明らかにした。

表-2 石狩川および5つの支川の法面に発生した不陸の諸元

不陸	範囲	平均±標準偏差	記録数
延長 (m)	0.6-250.0	28.3±45.6	67
幅 (m)	0.2-30.0	4.8±6.3	67
深さ (m)	0.1-1.2	0.3±0.1	67

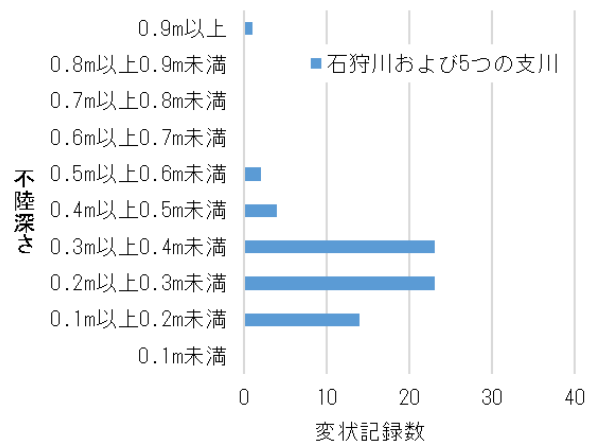


図-8 石狩川およびその支川の法面に発生した不陸の深さ

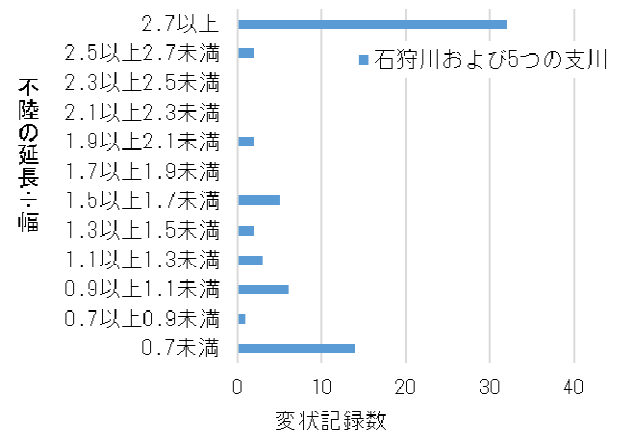


図-9 石狩川およびその支川の法面に発生した陥没の幅に対する延長

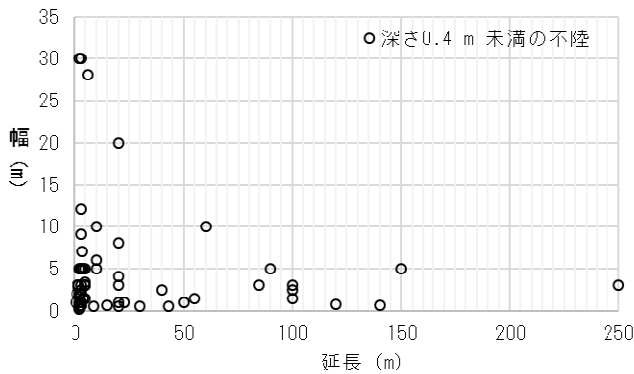


図-10a 石狩川および5つの支川の法面に発生した深さ0.4 m未満の不陸のサイズ (N=60)

「陥没」の延長の最小値は0.2 mであり、「不陸」の延長の最小値は0.6 m、どちらも幅の最小値は0.2 mであった。また、「深さ」については、「陥没」の約7割の深さが0.2 m以上0.5 m未満、「不陸」の約9割が深さ0.1 m以上0.4 m未満という結果であった。どちらも周囲の法面より凹んでいるという共通点で考えると、今回の結果から、凹みの変状の閾値となるサイズは延長、幅ともに0.2 m程度、深さは0.1 m程度であると考えられる。「陥没や不陸」を対象とした堤防変状を抽出するためには、このサイズから、どの程度見える必要があるか検討することで、適切な地上解像度の設定ができると考えられる。

また、縦断方向と横断方向どちらに長い傾向があるか比較するため、延長を幅で除した数値を算出した。その結果、「陥没」は延長と幅ともに同程度のものが全体の4割を示し、「不陸」は縦断方向もしくは横断方向のいずれかに延びた範囲で確認されていることが多かった。また、「陥没」と「不陸」それぞれ延長が長い場合の特徴として、幅の上限が見られた。また、「陥没」の深さが0.5 m以上の場合には、その延長と幅が2 mを超えることが多いことが示唆された。ただし、どちらの特徴も重複する部分があることから、この2種類を明確に区別する特徴は見つけられなかった。

今回集計したデータから除外したもののうち、複数の変状をまとめて1つの変状と捉えて、その起終点を結んだ延長を記録したものが含まれていた。これは、延長の記録方法が点検者により異なり、点検者の主観に影響されていることが伺える。目視で確認し、スケールで計測したものを定量的に評価することには限界がある。また、堤防点検の「変状種別」は個別に定義されておらず、変状を判断する材料は、資料²⁾に示された写真や、現場での経験である。そのため、同じ変状に対して点検者により判断が異なることも考えられる。

堤防点検の評価の目安を河川ごとに設定するには、傾向や特徴を捉えるのに有効な定量的データ蓄積が必要であり、それには新技術の活用が望まれる¹⁾。また、対象箇所の時局的な変化に着目して情報を抽出することも、変状を定量的に示す方法として効果的であると考えられる。

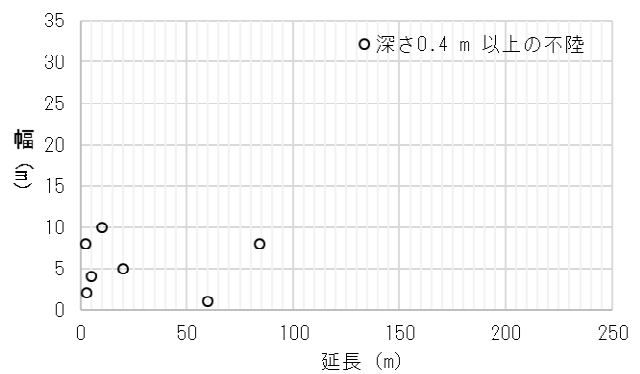


図-10b 石狩川および5つの支川の法面に発生した深さ0.4 m以上の不陸のサイズ (N=7)

それにはUAVの活用が期待される。UAVによる調査のメリットは気象条件には左右されるものの、①飛行のタイミングを容易に選ぶことができ、②低コストで、③低高度・低速飛行により地上解像度を高くできる²⁾ということが知られている。これらのメリットを生かし、変状が疑われる部分を集中的に、必要とする頻度で点検するという目的にはUAVによる点検は最適であると考えられる。

5. 結論

河川堤防点検の効率化を目的としたUAVの活用を想定し、堤防に発生する変状のサイズについて調査した。石狩川本川および石狩川水系の5つの支川について、堤防点検で比較的多く記録されている変状の土堤法面の「陥没」と「不陸」について、そのサイズの特徴を明らかにした。

謝辞：北海道開発局建設部河川管理課の皆様には資料の提供と調査のご協力をいただくとともに多数のご助言をいただいた。また、北開水工コンサルタントの大石武史氏には有意義なご指摘をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：国土交通省河川砂防技術基準維持管理編（河川編）技術資料、2021。
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課、2019。
- 3) 森永泰司、鈴木克尚、沼田太郎、山口修平、長坂健、星尾日明：RiMaDIS（リマディス）の構築と運用および今後の展開、河川技術論文集、vol.26、pp.551-556、2020。
- 4) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領 参考資料、2019。
- 5) 戸村健太郎、笹岡信吾、中村明彦、篠原光礎、堀田一弘、早川雅人、名尾耕司、河野文俊：三次元点群データと AI を活

- 用した河川堤防の効率的な変状抽出に関する検討、戸村ほか、河川技術論文集、vol.27、pp.199-204、2021.
- 6) 塩谷優太、田中敬也、尾松智：三次元データを活用した河川管理の効率化・高度化の現状と展望、河川総合研究所報告、no.25、pp.35-50、2020.
 - 7) 田中敬也、河野隆治、小澤淳真、山崎崇徳：MMSレーザを堤防点検に活用するための植生の影響に関する研究、河川技術論文集、vol.25、pp.605-619、2019.
 - 8) 崎田晃基、西山哲：河川堤防地形測量における3次元データの取得法とその活用に関する研究、情報地質、vol.30、no.3、pp.101-109、2019.
 - 9) 清水隆博、秋田麗子、野間口芳希、米倉瑠里子、佐藤隆洋、炭田英俊：河川管理におけるUAVの活用方策に関する現地実証試験、こうえいフォーラム、no.26、pp.59-65、2018.
 - 10) 河野隆治、小澤淳真、八木裕人：レーザ計測技術による新しい堤防点検の可能性、河川総合研究所報告、no.23、2017.
 - 11) 佐古俊介、田村善昭：河川堤防管理における計測技術の活用 JICEREPORT、pp.31-36、2017.
 - 12) 中村賢人、福島雅紀、諏訪義雄：堤防法面の変状把握におけるUAVレーザ測量の適用限界、河川技術論文集、vol.24、pp.35-40、2018.
 - 13) 窪田諭、河合悠希、榊屋貴司、牧野友軌、角谷涼、曾我部由子、安室喜弘：3次元データを用いた河川維持管理システムの開発とそのモバイル展開、インフラメンテナンス実践研究論文集、vol.1、no.1、pp.452-460、2022.
 - 14) 市川健、齋藤正徳、那須野新、天谷香織、佐藤慶治、檜舘晋、山田和宏、佐々木史恵、池内幸司：植生が繁茂した中小河川におけるUAV写真測量を用いた河道形状把握手法の開発、河川技術論文集、vol.26、pp.119-124、2020.
 - 15) 齋藤正徳、湧田雄基、唐木正志、市川健、天谷香織、那須野新：UAV写真測量による簡易な河川地形把握手法を活用した河道管理の検討、河川技術論文集、vol.23、pp.179-184、2017.
 - 16) 渡辺豊、河原能久、北真人：UAVを用いたレーザ測量の河川地形の精度評価、土木学会論文集B1(水工学)、vol.73、no.4、pp.I_553-I_558、2017.
 - 17) 国土交通省 水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室：河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)、2020.
 - 18) 内田庄一郎：必携ドローン活用ガイド-安全かつ効率的な活用を目指して-、pp.74-86、東京法令出版、2018.
 - 19) 野間口芳希、秋田麗子、炭田英俊、山崎崇徳：河川管理における新技術の活用に関する一考察、河川技術論文集、vol.24、pp.251-256、2018.
 - 20) 下川大介、福原直樹、森啓年、服部敦：変状と被災の統計的解析による堤防の点検及び巡視の合理化に関する一考察、河川技術論文集、vol.21、pp.337-342、2015.
 - 21) 森本洋一、笹岡信吾、福島雅紀：被災経験と新技術を活用した堤防点検の高度化に向けた検討、河川技術論文集、vol.27、pp.205-210、2021.
 - 22) K. Anderson and K. J. Gaston : Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology、Frontiers in Ecology and the Environment、2013.