

# 中規模洪水時における砂州移動が 交互砂州上に存在する樹木群流失に与える影響

The effect of bar migration during the flood on the outflow of riparian forest on alternate bars

(株) 北開水工コンサルタント ○ 正員 油川曜佑 (Yousuke Aburakawa)  
北見工業大学社会環境系 正員 渡邊康玄 (Yasuharu Watanabe)

## 1. はじめに

多様な生態系の形成上、河道内樹木の存在は重要な位置を占めている。一方で、洪水時には流木化し、橋脚等の河川構造物に引っ掛かり構造物の破損が生じたり、漁業活動への被害を及ぼす等の課題がある。このため、河道内樹木流失とこれに対する水理現象との関係を把握することは、河川環境を踏まえた河川整備や河川管理を行う上で必要不可欠な事項となっている。

これまで、樹木群流失に関する研究は幅広く行われてきた。しかし、それらの多くは低水路平面形の大きな変動を伴う大規模出水を対象としており、発生頻度が高い低水路満水程度の中規模洪水における樹木群流失現象については多くは報告されていない。このことから、著者らはこれまで局所洗堀に伴う植生流失を考慮した平面 2 次元数値解析モデルを用いて中規模洪水時における樹木群流失について数値解析を行い、樹木群が存在する区間の砂州の移動により流失が促進するものと推察してきた<sup>2)</sup>。しかし、砂州移動と樹木群流失との関係については十分に明らかにされていない。

以上の背景を踏まえ本研究では、低水路満水規模の2006年8月音更川洪水（以下2006年洪水と記述する）に着目し、交互砂州上に存在する樹木群の上流側に位置する砂州の有無を想定した数値解析を行い砂州移動が樹木群流失に与える影響について検証する。また、樹木群流失時における水理現象について把握する。

## 2. 調査区間の概要

十勝川水系音更川の直轄管理区間（約30km）は、河床勾配1/130～1/200、セグメント1に分類される急流河川である。検討対象とした箇所は、図1に示すよう2006年当時、低水路内に形成された交互砂州上に樹木群が存在していた音更川下流のKP1.8からKP2.2とした。この樹木群について樹木生育状況を調査した結果、KP1.955測線から5m上流までの調査範囲130m<sup>2</sup>に平均樹径6.9cm、樹高4.9mのヤナギ類が約70本生育していることを確認した。また、この樹木群内には写真1にみられるように、2m程度となるヨシ類等の下草も確認された。この調査によると樹木密度は0.52本/m<sup>2</sup>であり、2006年洪水前の樹木面積は5,068m<sup>2</sup>程度であることから、着目している砂州上には当時2,640本程度の樹木が繁茂していたと推定される。

## 3. 樹木流出と水理量の関係

### (1)対象洪水規模

2006年洪水の水位ハイドログラフおよびハイエトグラフを図2に示す。なお、水位はKP9.1に位置する音

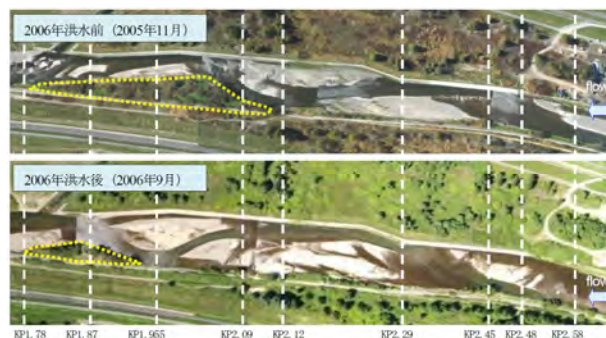


図1 洪水前後の航空写真比較

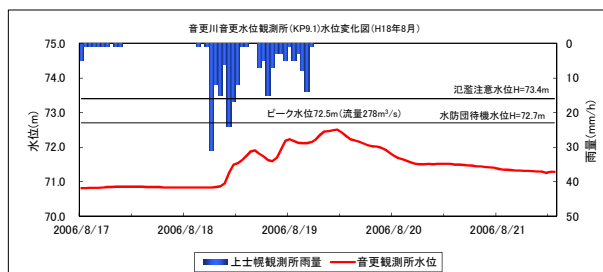


図2 洪水ハイドログラフ

更観測所の観測データを、雨量は観測地点から約30km離れた上士幌雨量観測所の観測データをそれぞれ使用している。洪水直前の水位である70.9m程度から徐々に上昇し始め、8月18日18時頃に1回目のピーク水位71.9m、8月19日0時頃に2回目のピーク水位72.22m、その後8月19日11時頃に3回目最大ピーク水位73.31mを記録した。

### (2)樹木群の流失状況

2006年洪水前（2005年11月）、2006年洪水後（2006年9月）の航空写真を図1に比較する形で示している。図中に示す白い破線は洪水前後に横断測量を実施した箇所である。その内のKP1.87・KP1.955・KP2.09・KP2.12・KP2.48では低水路の左右岸において水位観測を行った。さらに、写真1に当時の状況が示されているKP1.955ではADCPによる樹木群内流速観測を実施した。なお、観測時期は水位が上昇し観測可能な水深を確保できる状態となった8月19日7時20分から9時30分までであり10分間隔での計測である。また、洪水前の樹木群面積は5,068m<sup>2</sup>程度に対し洪水後は1,100m<sup>2</sup>であったことから、樹木群面積は出水中に約8割消失し2,100本程度の樹木が流失したものと推定される。また、洪水前に低水路に形成されていた交互砂州は洪水時に半波長下流側へ移動している。

### (3)樹木群内水理量変化

2006年洪水時にADCPにより観測された樹木群内の平均流速の時間変化を図3に示す。これより、観測期間

中における樹木内平均流速は概ね 0.2m/s~0.8m/s で推移した事がわかる。また、鉛直流速分布を図4に示す。時間が進行するにつれて、その分布は鉛直方向に概ね一様な形状(a)-(c)から、一様な形状と対数則に従った分布との中間的な分布形(d)-(h)を経て概ね対数則に従った分布(i)-(n)に変化する傾向を示している。一般に流れの中に剛体が存在する場合、その剛体が受ける力は式(1)で算定される。

$$F = \frac{1}{2} C_d A u^2 \quad (1)$$

ここで、 $C_d$ ；抵抗係数、 $A$ ；投影面積、 $u$ ；流速である。このように流れの中の樹木には流速の2乗に比例する力が働き、流れには流速の2乗に比例する抗力が抵抗として働くことになる。流れに働く抗力は流速の大きい表面付近で大きく、流速の小さい底面付近で小さく働くことから、樹木群の存在する場の流速は、水深方向に一様化し樹木群が存在しない場合の対数則に従った分布とは大きく異なると考えられている。

これらの分布図の変化を上述の流速分布に当てはめて考えると、時間経過とともに流水中の抵抗要因が減少していることを表しているものと考えられ、対数則に従った分布に変化する概ね 8:40 頃、2回目のピークと3回目のピークの間に樹木群が流失したものと推察される。

河道横断方向に半分程度を占める樹木群の大半が洪

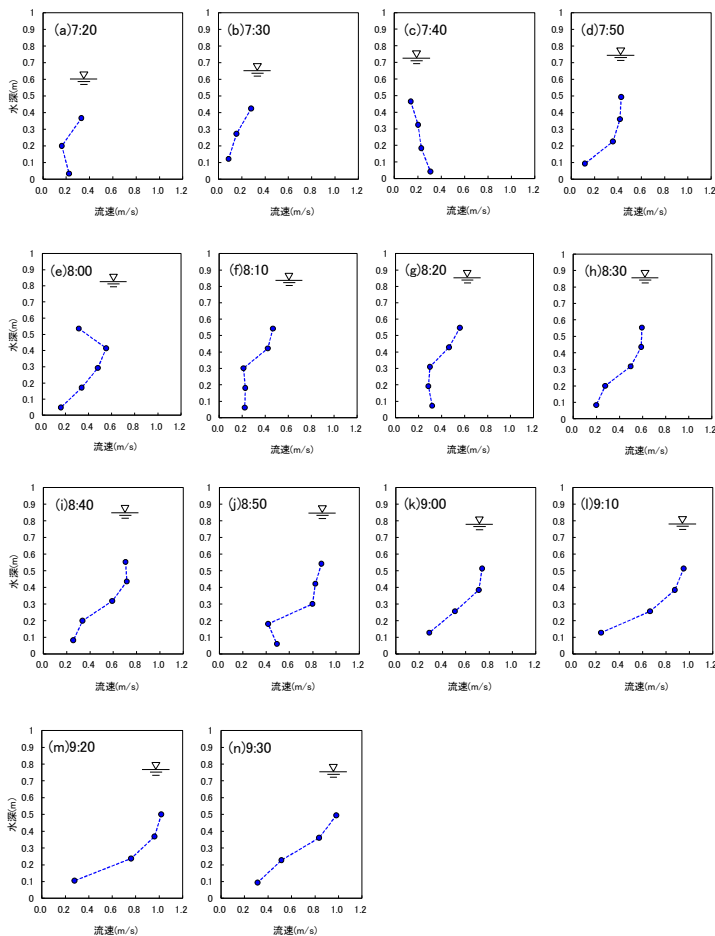


図4 樹木群内鉛直流速分布図の変化



写真1 現地状況 (左：下草繁茂状況 右：流速観測)

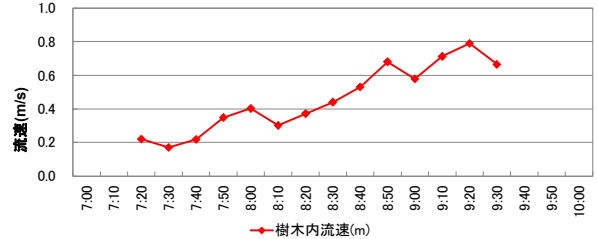


図3 樹木群内平均流速の変化

水途中で流失したことが推察されたことから、樹木群の流失が水位の変化に与える影響を見ることとした。図5は、樹木群の上下流区間である、KP1.87、1.955、2.09、2.12 および 2.48 の低水路左岸に設置した水位計の記録を記載したものである。記載されている時間帯は、樹木群が流失したと推定される 8:40 頃を含む 7:20 から 9:30 までである。なお、比較のため、樹木群内の ADCP により計測された水位も併せて示している。

樹木群外に位置する KP2.09、2.12 および 2.48 における 8:40 頃以降の水位には大きな変化がないもの、樹

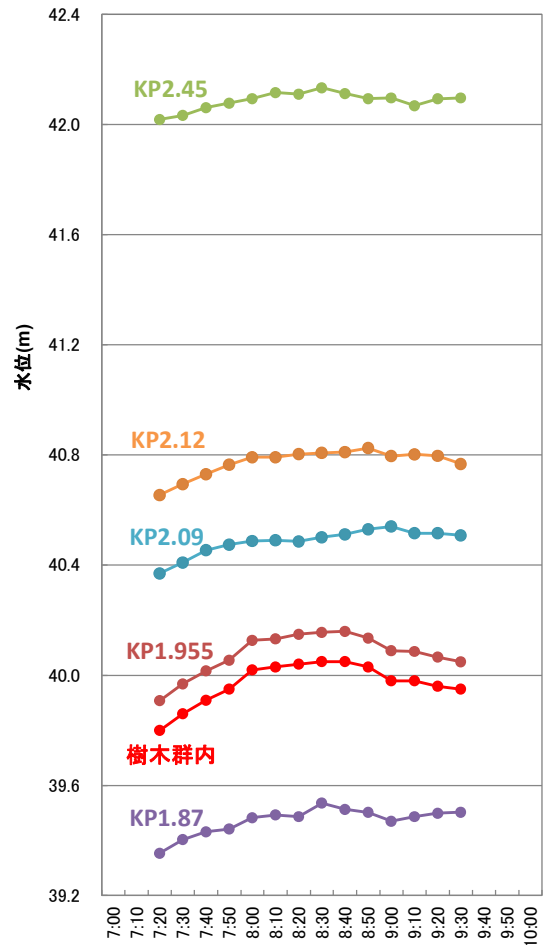


図5 水位変化

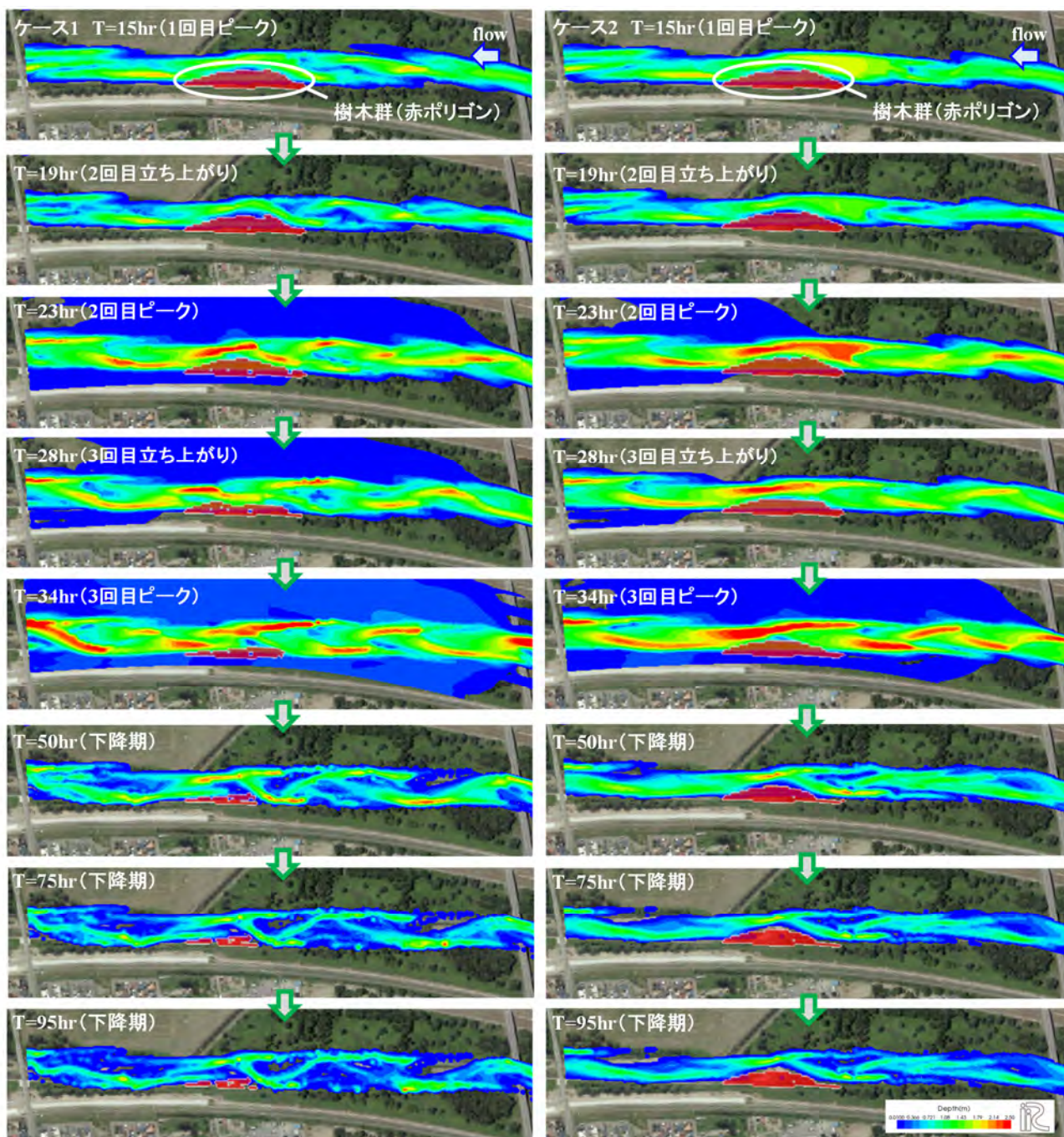


図6 平面2次元河床変動による樹木群流出数値計算 (左図: ケース1\_上流側砂州あり 右図: ケース2\_上流側砂州なし)

木群が位置していた KP1.87 および 1.955 における水位は 8:40 頃に急激に低下していることが認められる。なお、樹木群内の水位低下が見られる時間帯は流速分布が対数則に変化する時間帯に概ね一致している。

#### 4.砂州移動による樹木流出特性の把握

洪水前後の航空写真(図1)を比較すると、洪水前に形成されていた交互砂州が下流に前進していることが認められる。このことから、2006年洪水における交互砂州上の樹木群の流失は上流側の砂州が下流側へ移動する際に削られ流失したものと考えられる。樹木群の流失は砂州移動による影響が大きいと推察されるが、現象をより詳細に把握するため、平面2次元河床変動解析により、上流側の砂州有無による樹木群流失の過

程の違いについて検証した。

##### (1)計算条件

平面2次元河床変動解析には、出水中の局所洗堀に伴い植生が流出する条件を追加した iRIC Nays2D<sup>1)</sup>を用いた。計算区間は KP1.4~KP3.3 とした。

計算格子は1格子約 5m×5m とし、砂州が存在する場合(以下、ケース1)の計算格子は洪水発生前の横断測量データから作成した。一方、上流側の砂州が存在しない場合(以下、ケース2)の計算格子は、図7に示すように KP2.09・KP2.12・KP2.29 の洪水発生前の横断測線データから砂州の部分が平坦河床になるよう、図中灰色箇所をカットした横断図を用いて作成した。図8にケース1とケース2における平水流量流下時の水深分布を示した。これより、両者の滞筋は異なり、砂州の部分を平坦

河床としたケース 2 では流路幅が広がっていることが確認できる。

計算流量は文・水質 DB から音更観測所における各年の流量を抽出し、8/18 1:00～8/21 0:00 までとした(図 9)。また、河床材料は現地調査結果より均一粒径 40mm とした。

### (2) 樹木の抵抗および根の長さ

樹木の抵抗は、樹木の抗力係数と植生の密生度を用いて設定し、樹木調査結果等からそれぞれ 1.2 および 0.038 を与えた。また、樹木の根の長さは 2006 年洪水の再現計算において樹木の流失現象を再現することができた 0.05m とし、洗堀深が 0.05m の時に流出するように設定した。

### (3) 計算結果

図 6 に各ケースの平面 2 次元河床変動計算結果を示す。図中赤範囲は樹木群の設定箇所である。

2006 年洪水では 3 回のピークが発生しており、ケース 1 の計算では 1 回目のピークから 2 回目の立ち上がりまでは樹木の流失は見られないが、2 回目のピークから水位低下後、再度水位上昇し 3 回目のピークを迎える時間帯に顕著な樹木群流失が見られた。洪水時に実施された樹木群内の流速観測および水位変化から推定された樹木群の流失時刻は、2 回目のピークと 3 回目のピークの間であったが、計算においてもこの間に樹木群が大規模に流失していた。また、3 回目のピークから水位下降期には樹木群流失が更に促進し、樹木群の一部を残して大部分が流失し、下降期に流水の蛇行の振幅が大きくなる結果を得た。

次に、ケース 2 の計算では、1 回目のピークから 2 回目の立ち上がりまでは樹木の流失は見られないのはケース 1 と同様の傾向であったが、ケース 1 とは異なり 2 回目のピークから水位低下後、再度水位上昇し 3 回目のピークを迎える時間帯においても、大規模な樹木群流失は見られず、樹木群の先端部の流失に留まった。3 回目のピークから水位下降期には上流側で平坦河床とした部分において砂州が発達することで樹木群流失は促進したものの、ケース 1 よりも流失規模は小さくなる傾向が見られた。

以上の結果から、音更川のような急流河川において低水路満水規模の洪水が発生した場合、交互砂州上に存在する樹木群流失は上流側の砂州が大きく影響し、砂州が下流側へ移動することにより生じる可能性が示唆された。このことから、洪水時における河道内樹木群の流失抑制には砂州掘削が効果的と推察される。しかし、図 10 に示すように掘削箇所は洪水時に再度堆積し発達しながら下流側に移動するため、洪水継続時間によっては砂州が発達する時間が確保され樹木群が流失する可能性も考えられる。

## 5. まとめ

本報告では低水路満水程度の中規模洪水時における砂州上の樹木群流出時の水理現象および砂州移動による樹木群流失特性について検討した。その結果、樹木群

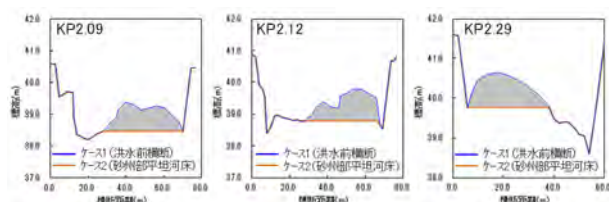


図 7 KP2.09・2.12・2.29 におけるケースごとの横断面図

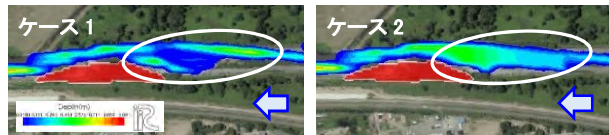


図 8 ケース 1 とケース 2 の平水流量時における流路

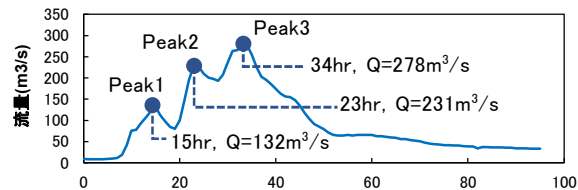


図 9 計算流量

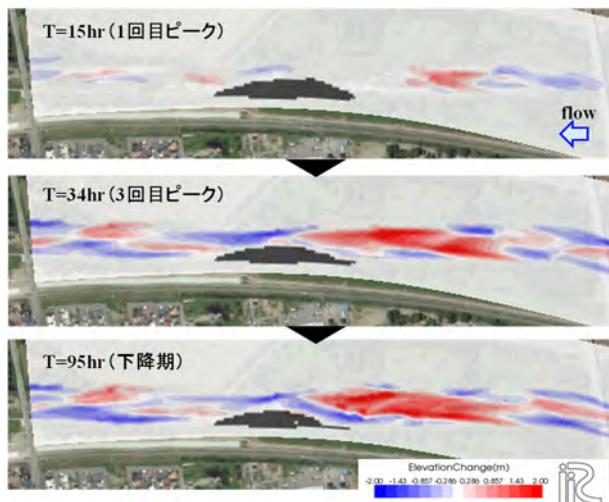


図 10 ケース 2 の河床変動量変化

の流失に伴い、樹木内鉛直流速分布は一樣な形状から対数則に従った分布にシフトするとともに、樹木群内の水位低下が示された。

また、上流側の砂州有無による樹木群流失について数値解析を行った結果、樹木群流失は上流側の砂州が大きく影響し、砂州が下流側へ移動することにより生じることが示唆された。

**謝辞：**本論文の執筆にあたり帯広開発建設部治水課にデータを提供頂いた。関係者の方々に感謝致します。

### 参考文献

- 岡部和憲, 久加朋子, 清水康行, 長谷川和義, 新庄興ら: 流量低下時における河道変動の応答特性～十勝川水系音更川を事例として～, 水工学論文集, 第 62 卷, pp1501-1506, 2018.
- 油川曜佑, 渡邊康玄: 交互砂州上に存在する樹木群の中規模洪水時における流出と砂州に与える影響, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 77 号, B-03, 2022.