

## 北海道の河川における近年の河道災害について (2016年十勝川水系ペケレベツ川河道災害の例)

### Recent River Channel Disasters and Their Countermeasures in Hokkaido, Japan

清水廉行<sup>1</sup>

1. 北海道大学工学院工学研究院

Yasuyuki Shimizu<sup>1</sup>

1. Faculty of Engineering, Hokkaido University

#### Abstract

In August 2016, Hokkaido region of Japan was exposed to record breaking precipitation by four typhoons. The Pekerebetsu river which is a tributary of Tokachi river in Eastern part of Hokkaido, a comparatively small river, was worst affected after facing the last typhoon. The width of the river expanded from two to five times overnight. In this study, the authors conducted several field surveys, and followed by performing numerical calculations to analyze the erosion and deposition phenomena. The results showed that although overall the river width widened significantly, the situation of the channel deformation was different between the upstream and downstream. This article describes the recent trend of the river channel disasters in the rivers in Hokkaido.

*Key Words:* Meandering, flood disaster, record breaking precipitation, bed rock exposure

キーワード：蛇行, 洪水災害, 既往最大降雨, 岩盤露出

#### 1. 概要

2016年8月、北海道に連続して到来した4つの台風<sup>1)</sup>により、十勝管内では年間降水量の約2分の1に相当する総雨量500mmを越える雨量を観測した。この降雨により、十勝管内の多くの河川では計画高水を超える既往最大流量を観測し、流路の蛇行化に伴う河岸欠壊、落橋、道路崩落、氾濫、浸水被害等が生じた。なかでも、清水町を流れるペケレベツ川（図-1）における被害規模は大きく、1晩で川幅が3~5倍程度まで拡幅（約35mから約150mなど）し、河川事業区間（全長4.7km）の上流側では大規模に河床低下し、下流側では比較的直線的に整備された流路が大きく蛇行することで左右岸の連続的な河岸欠壊が生じ、橋台裏の洗掘に伴う落橋、家屋流失、市街地の浸水等の被害が生じた（図-2）。

このような急激な流路変動は、計画規模以上の流量に伴う大量の土砂の移動により、河道が外力に耐えられずに大規模に拡幅し、流路変動が生じたものと考えられる。

#### 2. ペケレベツ川における災害・被災状況の把握

ペケレベツ川では上流の被災区間と下流の被災区間ににおいて異なる流路変動特性が認められ

た。ここでは各々の被災区間について、災害・被災状況を整理する。



図-1 ペケレベツ川市街地付近の状況(2016/9/2撮影、北海道河川財団撮影)

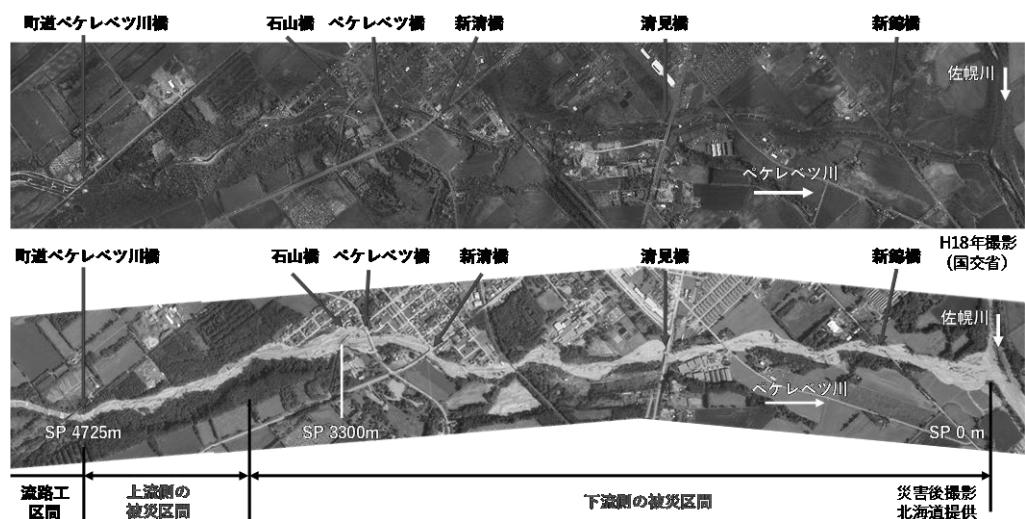


図-2 ペケレベツ川の出水前後の状況、上図) 出水前(2014/7撮影)、下図) 出水後



図-3 上流側の被災区間の状況[a) 出水前後の流路位置(赤線: 災害前の流路を示す),  
b) 整備時の状況, c) 出水後の状況(2016/11/17撮影)]

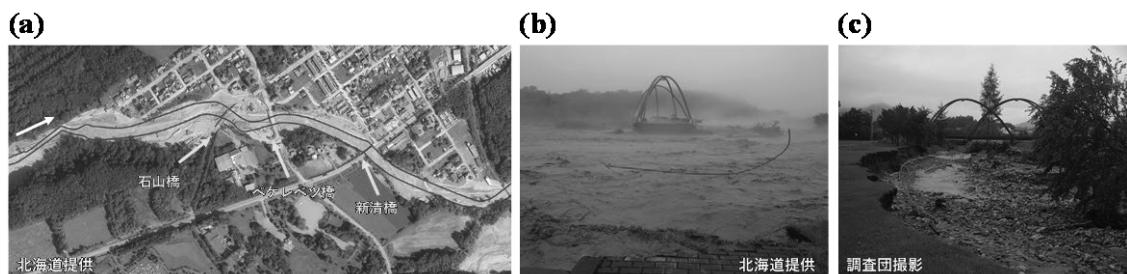


図-4 下流側の被災区間の状況, a) 出水前後の流路位置(赤線: 災害前の流路を示す),  
b) 石山橋の橋台裏洗掘(2016/8/31撮影), c) 石山橋下流域(2016/9/1撮影)

## 2-1 上流側の災害・被災状況

図-3に、上流側の被災区間（計画勾配：1/48）の状況を示す。現地調査の結果、砂防ダム下流の流路工区間では殆ど流路変動は認められなかつたが、流路工区間の終了地点に位置する町道ペケレベツ川橋下流からは大規模な河床低下と河岸浸食が確認された。また、UAV撮影（図-3-c）より、蛇行部にて流路が直進すると共に、河道全面に渡って数メートルに及ぶ河床低下が生じたことが確認された。この河床低下に伴い、上流側の被災区間では、埋没していた未固結の基岩である渋山層が大規模に露出した（図-3-c）。渋山層が露出した場では河床からの土砂供給量が減少するため、出水中、横方向からの土砂流入が増えやすく川幅全面に渡って河床低下が進行しやすい状況が生じると共に、出水後半には流れが集中するため、渋山層の縦浸食が進んだと推察される。

なお、現地調査より、さらに上流に位置する砂防ダムは満砂になるまで土砂を捕捉したことを確認している。1基目の砂防ダムには大礫、2基目の砂防ダムには多量の細粒土砂が堆積していたことから、出水時、上流の砂防区間からの土砂供給は限られていたと推察される。

## 2-2 下流側の災害・被災状況

図-1および図-4に、下流側の被災区間（計画勾配：1/66）の状況を示す。下流側の被災区間では、上流側と異なり、流路が大きく蛇行することで左右岸の連続的な河岸欠壊が生じた。この流路の蛇行化により、石山橋、ペケレベツ橋、新清橋、および新錦橋、いずれも橋台裏の土砂が洗掘され、それに伴い橋台裏の道路の崩落等が生じた。

## 2-3 土砂の堆積と浸食

図-5に、上流側および下流側の被災区間における最深河床の縦断図を示す。図中の青ラインは、1990年代の河川整備時の計画河床高である。図-5より、上流側の被災区間では最大5m程度の河床低下が生じたことが分かる。

図-6に、河道内の土砂の浸食量と堆積量（図-6-a）、および河岸の浸食量と堆積量（後退と前進）の概算値（図-6-b）を示す。これは、本出水前（1990年代の河川整備時）の測量横断と出水後の測量横断（2016年9月測量）の差分を取ることで求めた概算値であり、堆積・浸食量を過大評価している可能性には注意する必要があるものの、概ねの傾向を読み取ることができる。図-6-aより河道内の浸食量と堆積量を比較すると、上流側では河道内の浸食量が卓越したこと、下流側では河道内の堆積量が卓越したことが分かる。また、図-6-bより河岸の後退と前進傾向を比較すると、上流側では右岸側に河岸浸食が卓越したこと、下流側では左右岸交互に河岸浸食が生じたことが分かる。さらに、その浸食量は下流へ進むほど増加しており、流路の横方向への移動量が次第に大きくなつた様子が見て取れる。ただし、全体的な土砂の浸食量と堆積量の収支を比較すると、浸食量に対して堆積量が明らかに少ない。これは、生産された土砂の多くが未固結岩層に由来する細粒分であったため、出水後半になるほど上流域で生産された土砂の大半が河道内に堆積せず、下流の佐幌川まで流れ込んだためではないかと推察される。

## 3. 数値解析

ペケレベツ川における出水時の流路変動特性および災害・被災状況の分析を目的に、平面2次元河床変動解析を実施した。解析にはiRIC Nays2DH<sup>4)</sup>に埋没基岩の高さを横断測線ごとに

設定できるように修正を加えたものを用いた。固定床と移動床の混在場の流砂量の推定および河床変動計算には掃流砂層モデルを用いている<sup>2), 3)</sup>。

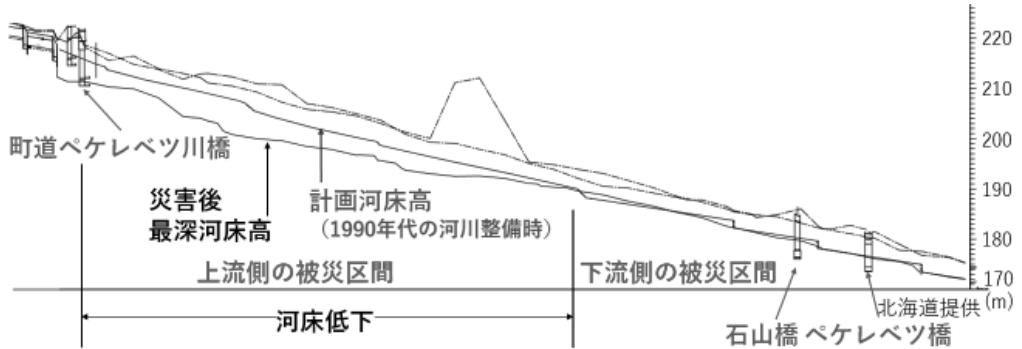


図-5 縦断図

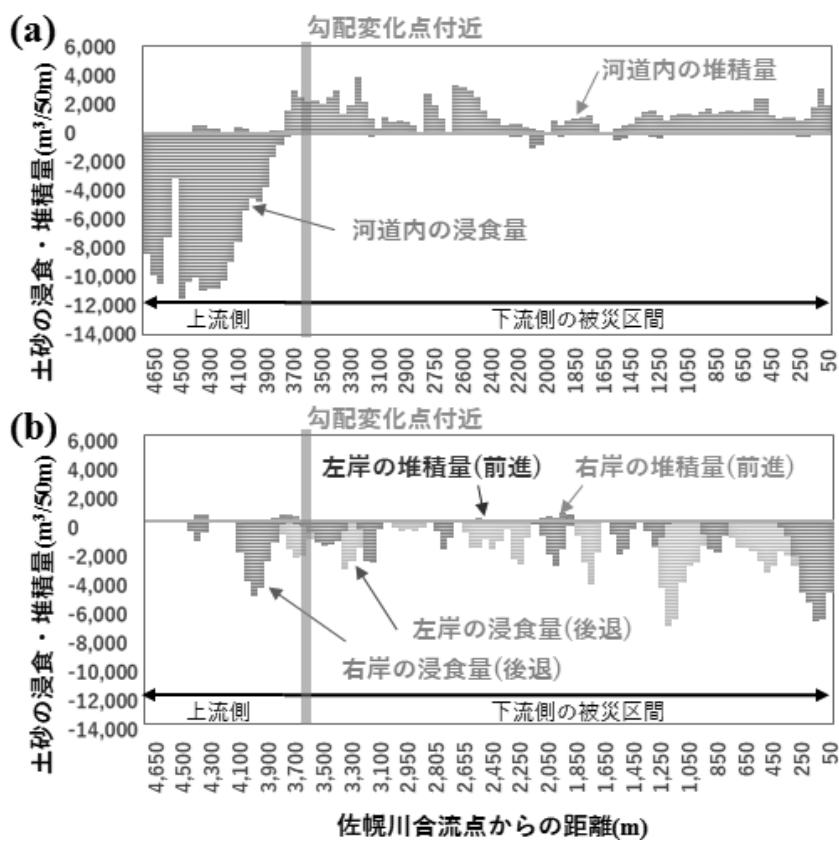


図-6 土砂の流出量と堆積量(概算値) a) 河道内の浸食・堆積量, b) 河岸の浸食・堆積量

計算領域は、町道ペケレベツ川橋から市街地付近の新清橋下流域までを設定した。上流端流量は、ペケレベツ川の水位・流量観測値が出水中に欠測したため、図-7に示す分布型流出モデルを用いて推定されたものを使用した<sup>4)</sup>。なお、本値は北海道推定の流量（約 400m<sup>3</sup>/sec）よりもピーク値（約 250m<sup>3</sup>/sec）が小さい値となっているが、中小河川の流量ピークの上昇速度が不明のため、ここでは降雨情報から得られた推算ハイドログラフをそのまま用いた。河床材料は現地調査結果（北海道提供）より 90mm の均一粒径とし、マニング粗度係数は 0.030 で一定値を与えた。

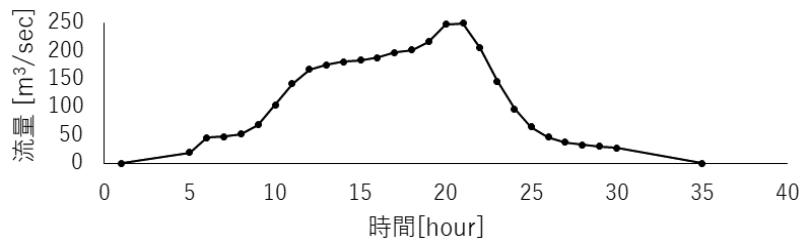


図-7 解析に用いたハイドログラフ

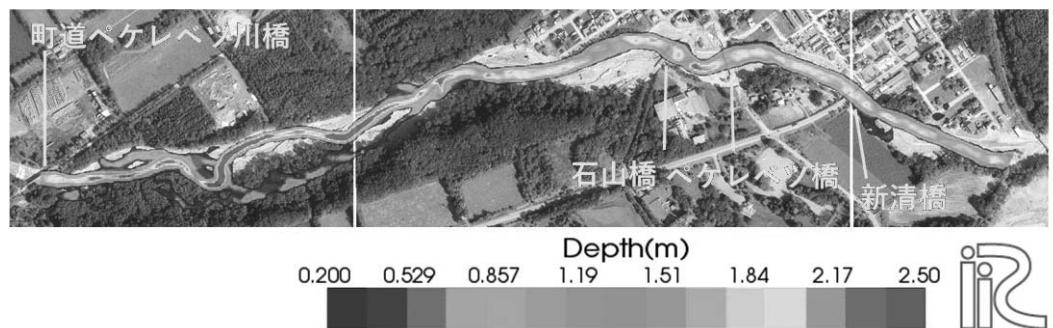


図-8 Case1 の水深コンター図（流れのみの計算）

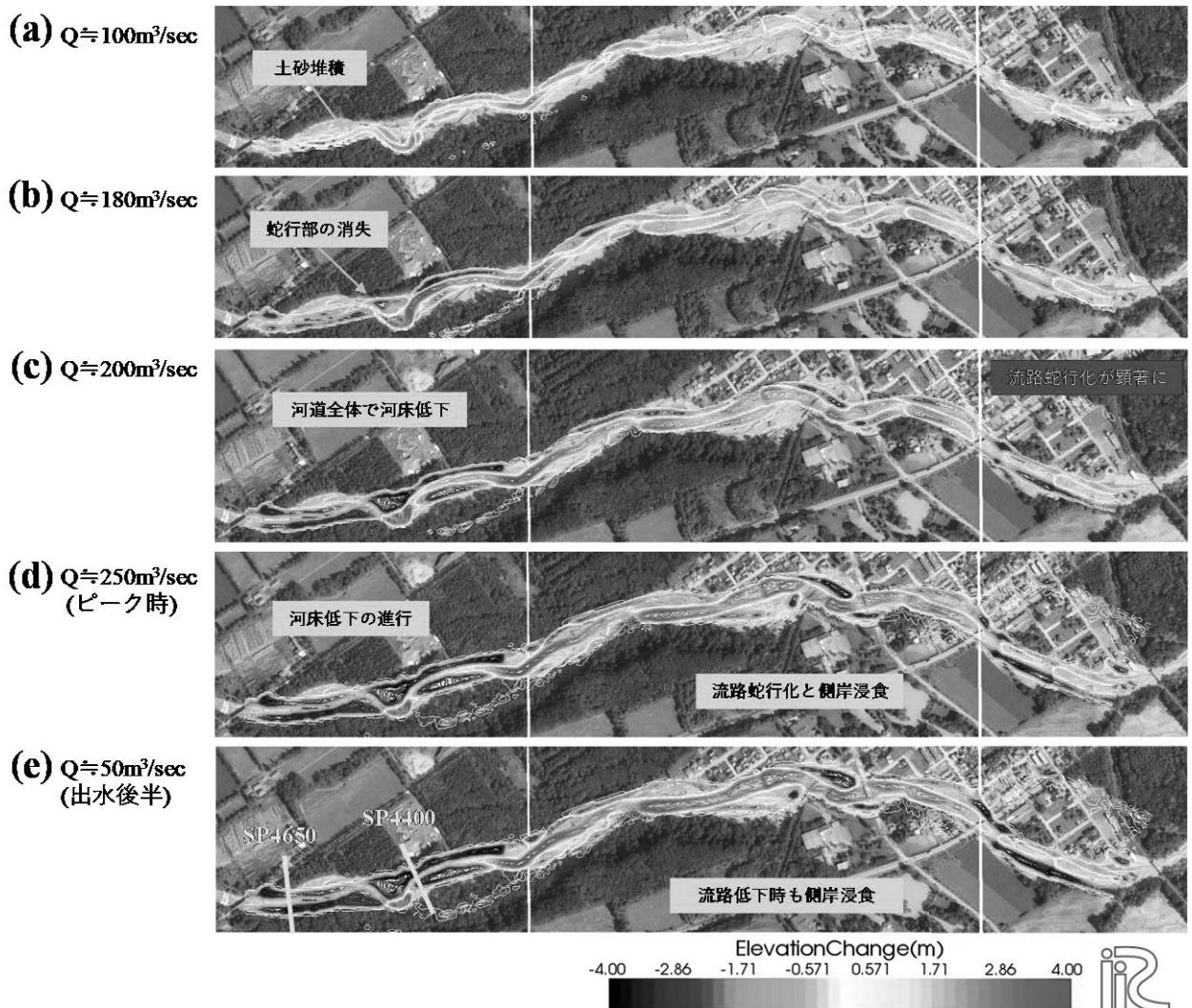


図-9 Case 2 の河床変動コンター図

解析は4ケースとし、流れの計算のみ対象としたCase 1と土砂の移動を考慮したCase 2～Case 4を実施した。Case 2は本出水の再現計算である。本計算では、現地調査より砂防ダムの土砂捕捉効果が大きかったと推察されたことから、上流端からの土砂供給量を平衡流砂量の50%と仮定し、埋没する基岩が露出する条件としている。基岩の埋没深は、過去のボーリング調査結果（北海道提供）を参考に、計算格子の横断測線ごとに最深河床より30cm深い場所に設定している。河床変動計算では、隣り合うメッシュ間の河床高の差が安息角以下になるようしている。露出した基岩の浸食は、ペケレベツ川の未固結岩の性質が不明であること、出水中の上流端からの土砂供給量が仮定値であること、出水が比較的短時間であったこと等から、非浸食性の基岩として扱っている。Case 3は、埋没基岩が存在しない場合であり、Case 2と流路変動特性を比較するものである。Case 4は、上流端からの土砂供給量が十分存在する（平衡流砂量）場合であり、Case 2と流路変動特性を比較するものである。

## 4. 数値解析の結果と考察

### 4-1 流れのみの計算（Case 1）

図-8に、Case 1の流量ピーク時における水深センター図を示す。図-8より、土砂の移動を考慮しない場合、ペケレベツ川の市街地付近の浸水範囲は比較的小さいことが分かる。つまり、今回のペケレベツ川における災害・被災は、計画規模以上の流量に伴う大量の土砂の移動により、河道が外力に耐えられず、大規模に川幅が拡幅し、流路変動が生じたことが要因だと推察される。

### 4-2 再現計算（Case 2）

図-9にCase 2の河床・流路変動の時間変化の様子を、図-10に図-9-eに示すSP4650 mとSP4400 m地点付近における横断測量データを示す。図-9より、本計算では未固結岩の洗掘現象までは考慮しなかったものの、上流側の被災区間において図-10に示すように河道全面にわたって大規模に河床低下することや、図-10のSP4400 m地点付近の蛇行部にて流路が右岸から左岸側に切り替わること等が再現できており、ここでの流路変動特性の考察にある程度十分な精度があると考えられる。

次いで、図-9-a～図-9-eより河床・流路変動の時間変化を確認する。図-9-aおよび図-9-bより、上流側の被災区間では、流量が $180\text{m}^3/\text{s}$ 程度に達する頃を境に現象が変化する状況が示された。蛇行部消失以前には明瞭な河床低下は認められなかった（図-9-a）が、流量 $180\text{m}^3/\text{s}$ 程度に達すると蛇行部では流路を維持できず、流路は切り替わり（Chute cutoff）、直進した（図-9-b）。また、この頃から基岩の露出域も増加した。さらに流量が増加すると、図-9-cおよび図-9-dから分かるように河道全面にわたって著しい河床低下が生じた。

一方、下流側の被災区間では、流量が $200\text{m}^3/\text{s}$ 程度に達する頃から流路が蛇行化し（図-9-c）、左右岸交互の河岸欠壊をもたらした。これは、勾配の若干ゆるい下流区間では河道内に大量に土砂が堆積し、それによって流路の蛇行化が促されたためと考えられる。また、数値解析によると、流路の蛇行は流量増加に伴い下流側へと伝播（図-9-d）するのみでなく、流量低下時においても流路横方向へと発達する様子が確認された（図-9-e）。

### 4-3 埋没基岩が存在しなかった場合（Case 3）

図-11に、Case 2とCase 3の計算終了時における河床変動量と、流量ピーク時の流速のコン

ター図を示す。図-11より、Case 2 と Case 3 の河床変動量を比較すると、埋没基岩の存在の有無によって上流側の被災区間における河床低下量が大きく異なることが示された。一方、下流側の被災区間では上流側にて基岩が露出し、流砂量が次第に減衰したことによる影響をほとんど受けなかつたことが分かる。

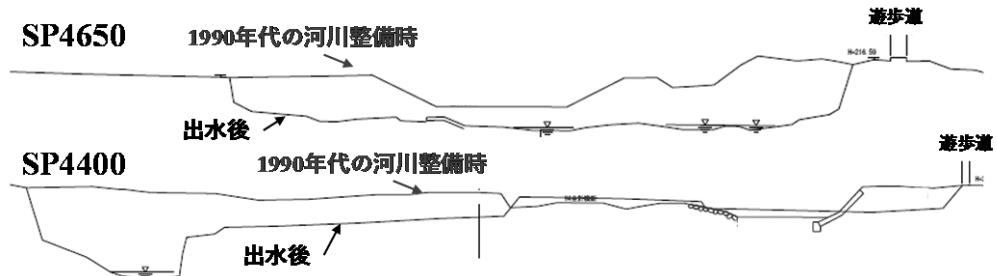


図-10 現地横断測量データ

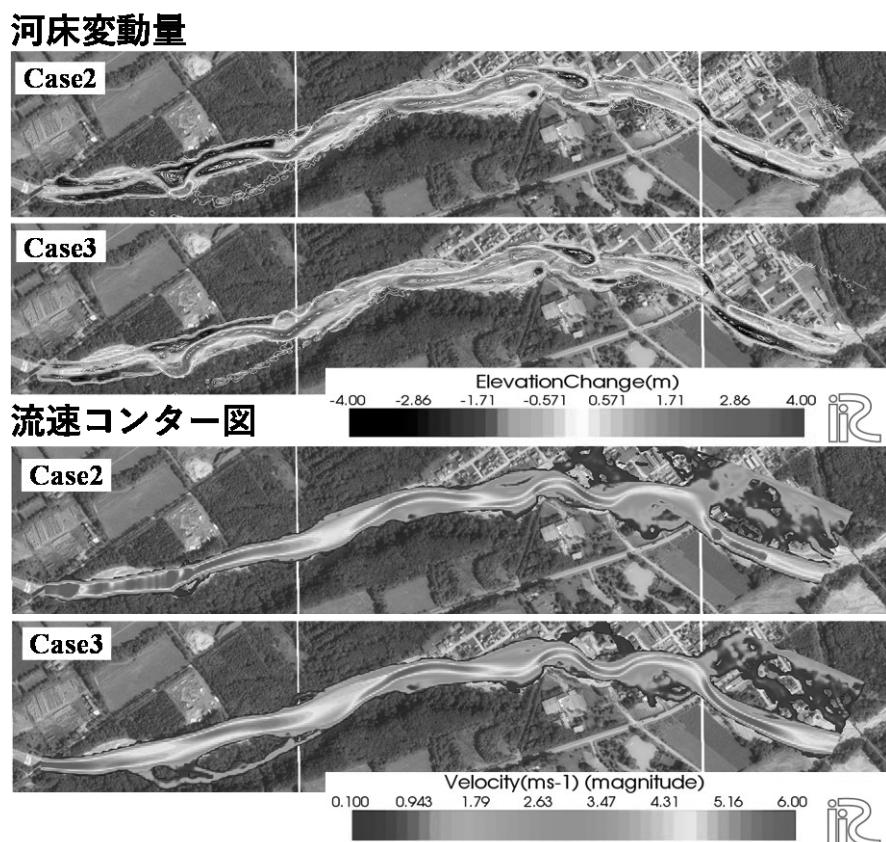


図-11 Case 2 の河床変動コンター図

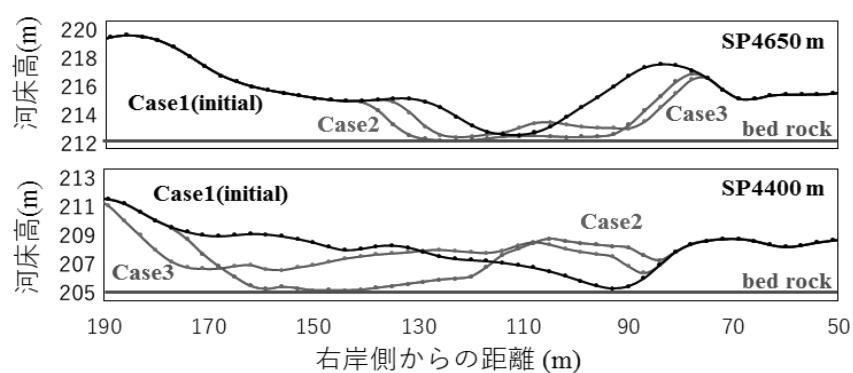


図-12 計算結果：横断図

図-12 に、図-9-e に示す SP4650 m と SP4400 m 地点の測線付近の計算終了時の横断図、図-13 に出水ピーク時の掃流砂量の縦断分布を示す。図-12 より、基岩の埋没を考慮しない Case 3 では、Case 2 や現地調査で確認された河道全体におよぶ基岩の埋没する深さまでの大規模な河床低下が認められないことが分かる。これは、図-13 から分かるように、基岩が露出することで上流側から掃流砂量が次第に減衰したため、その下流域においても新たに基岩が露出しやすい状況が生じ、その基岩露出に伴い河床からの土砂供給がなくなることで流路横方向からの土砂供給が増加しやすい状況が生じたためと推察される。基岩が一度露出すると不可逆的に基岩露出域の拡大が進行しやすいため、今後、どのように整備を進めるかは大きな課題になるものと考えられる。なお、図-11 の流速センター図によると、基岩が露出しない場合、上流側の被災区間には元の蛇行部よりも波長の長い蛇行流路が新たに形成されるようである。

次に、下流側の被災区間について考察する。図-11 より Case 2 と Case 3 を比較すると、いずれも上流側と下流側の被災区間の間にある勾配変化点より幾分上流側から土砂が堆積していることが分かる。また、図-13 より、これより下流域では基岩露出に伴う掃流砂量の減衰が生じていないことが分かる。このことから、上流側と下流側の被災区間の間に比較的多量に土砂が堆積しやすい場が存在したこと、この場所において上流から進行してきた基岩露出が止まったと考えられる。ならびに、土砂の堆積により下流への土砂供給量がほぼ水理量に応じた平衡掃流砂量となったため、Case 2 と Case 3 で類似した流路変動が得られたと考えられる。なお、Case 2 の下流域にて掃流砂量が若干減少するのは、河岸付近の局所洗掘によって基岩が露出したためである。現地調査では市街地付近の洗掘箇所の状況は把握できなかったため、ここで基岩が再び露出したかどうかについては不明である。

#### 4-4 上流から十分な土砂供給が存在した場合 (Case 4)

図-14 に、Case 2 と上流からの土砂供給量が十分存在した Case 4 の計算終了時の河床変動量のセンター図を示す。図-14 より、上流端から十分な土砂供給がある Case 4 では、Case 2 と異なり、上流側の被災区間において流路が河床低下せず、埋没基岩の大規模な露出も生じないことが分かる。このことから、上流側の被災区間では、今回想定以上の流量が流れたうえ、さらに上流からの土砂供給が少なかったため、基岩が露出するまで河床低下が生じたと考えられる。

一方、下流側の被災区間を比較すると、Case 2 と Case 4 では上流側の被災区間における流路変動がかなり異なるにも関わらず、下流側では類似する流路変動が生じることが分かる。つまり、今回の出水では上流端からの土砂流入量や上流側の被災区間における流路変動の状況が下流側の流路変動に殆ど影響を与えなかった可能性が示された。以上の検討より、今回のペケレベツ川の出水では、上流側での土砂抑制対策のみで下流側の流路変動を抑制することは難しかったものと推察される。

一連の計算結果からも示されるように、本出水では計画規模以上の流量に伴い大量の土砂が移動したことによって、外力に耐えられず河道が拡幅した。また、河道が拡幅する際に蛇行が大きく増幅しており、この流路変動の性質が被害を大きくしたと推察される。今後、このような土砂の移動と流路変動の性質を踏まえた上で、土砂移動を抑制する対策に加えて、河岸の護岸を強化するなど、河道の安定性を高めて流路の河床低下および横方向への移動を抑止するような対策が望まれる。

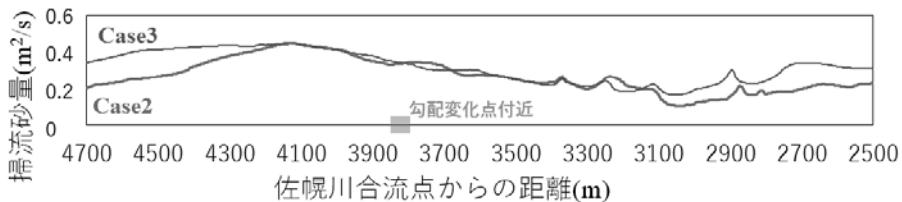


図-13 計算結果：掃流砂量の縦断変化

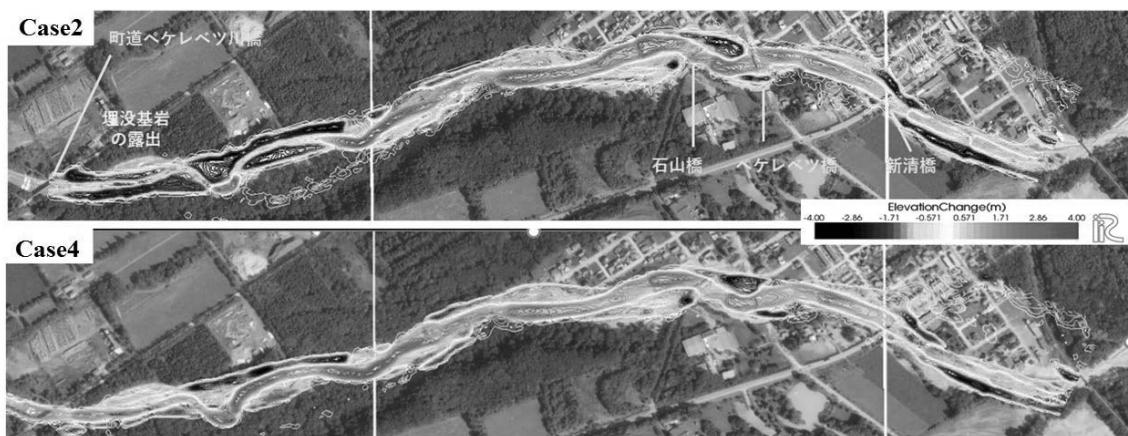


図-14 Case 2 と Case 4 の計算終了時の河床変動量センター図

## 5. 結論

2016年8月、北海道に連続して到来した4つの台風により、帯広地区を流れる十勝管内の多くの河川では計画高水を超える既往最大流量を観測した。本研究では最も被害規模の大きかった清水町を流れるペケレベツ川を対象に、被災状況と流路変動特性を把握した。現地調査の結果、上流側の被災区間では大規模に河床が低下し流路が直線化した一方で、下流側の被災区間では河道内に土砂が堆積し、流路が蛇行化し、左右岸の連続的な河岸浸食が生じたことが確認された。数値解析によると、上流側の被災区間では土砂供給量の不足により基岩が露出し、その基岩露出によって大規模な河床低下が生じたことが示された。一方、下流側の被災区間では土砂の堆積に伴い上流から進行してきた河床低下が止まったものの、想定以上の流量に伴い大量の土砂が移動したことによって河道が拡幅し、流路が蛇行化した。今後、土砂移動を抑制する対策に加えて、河岸の護岸を強化するなど、流路の横方向への移動を抑止するような対策が望まれる。

## 参考文献

- (1) 北海道開発局：平成 28 年 8 月 20 日からの大雨及び台風第 10 号による出水の概要、北海道開発局建設部 河川管理課水災害予報センター、平成 28 年 9 月 29 日。
- (2) iRIC ソフトウェア <http://i-ric.org>
- (3) L. X. Luu, S. Egashira, and H. Takebayashi: Investigation of Tan Chau Reach in lower Mekong using field data and numerical simulation, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 48, pp.1057-1061, 2004.
- (4) 小池達也, 中津川誠 : 2016 年 8 月の連続した大雨に伴う洪水流出量の再現検証、土木学会北海道支部, 73, 2017.