

河床勾配・川幅変化点における河床変動特性について

北海道大学 学生会員 ○田鍋 颯一

北海道大学 正会員 岩崎 理樹

北海道大学 フェロー会員 清水 康行

1. はじめに

2016 年 8 月，十勝川水系ペケレベツ川にて大規模な河床変動を伴う水害が発生した．ペケレベツ川には 1990 年代の河道整備時から河道中に河床勾配変化点が存在しており，出水中に大量の土砂が，勾配変化点の上流から下流へと流下した．その結果，勾配変化点の上流側では河床低下と流路の直線化が発生したのに対し，下流側では河床上昇と流路の蛇行化による川幅拡幅が生じるなど，勾配変化点を境に正反対の河床変動形態をとった．図-1 から災害前後での河床高を比較すると，災害前は下に凸な河川形状であったのに対し，災害後では上に凸な河川形状をとっており，出水中に大量の土砂が移動し，河川の縦断形状が大きく変化したことが確認できる．

上述のような土砂移動は，式(1)の流砂の連続式を満たす方向に起こる．

$$(1 - \lambda) \frac{\partial z}{\partial t} = - \frac{\partial Q_B}{\partial x} \quad (1)$$

ここで， t は時間刻み幅， x は空間刻み幅， z は河床高， Q_B は断面全体の掃流砂量， λ は間隙率を示す．平水時の河床変動が見られない河川では，(1)式の左辺がゼロとなり，(1)式は

$$\frac{\partial Q_B}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

となる．これは土砂流入量と土砂流出量が一致し，見かけの土砂移動が 0 の動的平衡状態であることを表す．

また，この時の河川形状を動的平衡形状と呼ぶ．(1)(2)式を支配する掃流砂量式は，以下のように表されることが知られている^{1)など}．

$$Q_B = Bq_B = B \times f(\tau_*^{1.5}) \cong B(hi)^{1.5} \quad (3)$$

ここで， q_B は単位幅掃流砂量， B は川幅， τ_* は無次元掃流力， h は水深， i は河床勾配である．ここで上述のような動的平衡状態を満たしている河川に，大流量が流れ

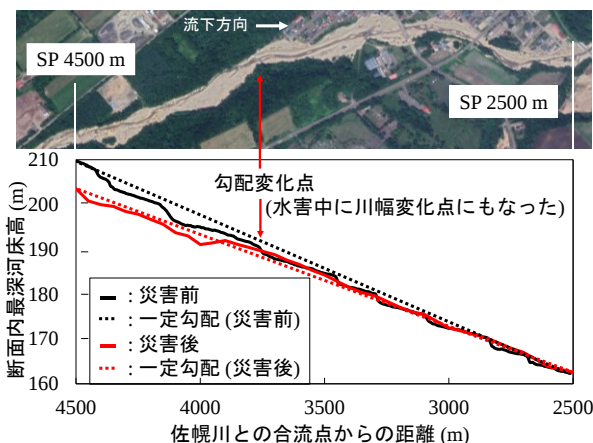


図-1 災害前後の断面内最深河床高（河床データは北海道提供，衛星写真は Google Earth より）

たケースを考える．流量の増加によって水深が増加し掃流砂量が増加する((3)式)ため，平水時に保っていた動的平衡形状が崩れて，洪水時の水深に応じた新たな動的平衡形状に向けて土砂移動が起こる．ペケレベツ川で見られた河床変動は，勾配や川幅変化点の上流と下流で流砂量に大きな差が生じた((3)式)ために，動的平衡形状に向けた土砂移動が活発になった事が原因と考えられる．このような河床変動を伴う水害に対して，今後効果的な対策をとっていくためには，洪水時に発生しうる流量や土砂流入量，また河川の初期地形に応じた動的平衡形状とそれに至るまでの土砂移動の過程を理解することが重要となる．

本研究では，河川内において土砂移動が動的平衡形状を満たすようにして起こることに着目し，地形変動を促進させる河床勾配・川幅変化点における河床変動特性を，数値計算を用いて明らかにすることを目的とする．具体的には，河床勾配・川幅変化を有する水路を対象に，水路が動的平衡形状に至るまで数値計算を行い，①動的平衡形状と②それに至るまでの過程に着目する．

キーワード 2016 年北海道ペケレベツ川水害，河床変動，勾配・川幅変化点，動的平衡形状，砂州
連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目
北海道大学 大学院工学院 TEL011-706-6199

2. 方法

本研究では、ペケレベツ川を参考に、(A)勾配変化点、(B)川幅変化点、(C)勾配と川幅の変化点をそれぞれ有する3つの水路を用いて、iRIC-Nays2DH (<https://i-ric.org/>) による数値計算を行った。流量条件は、2016年ペケレベツ川水害時のハイドログラフを基に、それぞれの水路で $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (Case O-1), $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Case O-2), $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (Case O-3) の一定流量を7500時間分与えた。また、砂州非発生ケースについても別途実施した。

3. 結果・考察

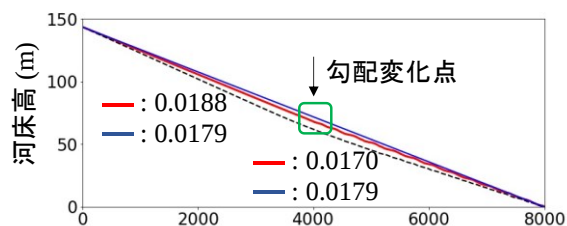
図-2 に計算終了時の平均河床高の縦断面図を示す。勾配変化点ケース (Case. A) では、縦断方向で流砂量が一致するように一定勾配となった。川幅変化点ケース (Case. B) では、川幅の広い下流で水深が下がり流砂量が減少したことから、流砂の動的平衡を満たすべく下流勾配が上流よりも大きくなり、上に凸な河川形状となった。勾配・川幅変化点ケース (Case. C) では、川幅変化点ケースと同様に上に凸な河川形状をとり、動的平衡状態時に初期の勾配変化の影響は見られなかった。さらに、砂州が発生することで砂州非発生時とは異なる動的平衡形状をとることが確認された。勾配変化点ケースでは、水路内の砂州発生起点が新たな勾配変化点 (図中緑四角) となって動的平衡となった。川幅変化点ケースでは、砂州が発生すると上流と下流の勾配比 (下流勾配 $\div$ 上流勾配) が小さいまま動的平衡となった。これらは、砂州形状によって局所的に流速が増加する部分が生じるため、平坦床形状よりも流せる流砂量を増やす効果があるためである²⁾。

次に、各変化点での河床変動の時間変化を図-3 に示す。全ケースで計算開始直後の河床変動速度が一番大きい。これは、(1)式からもわかるように、河床変動速度が上流と下流の流砂量差に依存しているためである。また、勾配変化点での河床変動速度は川幅変化点での河床変動速度よりも大きく、動的平衡に至るまでの時間が短いことが確認された。

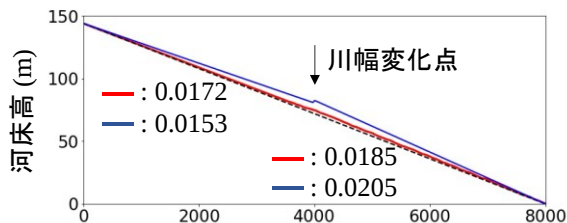
4. 結論

本研究で得られた結果は次のとおりである。動的平衡形状はそれぞれ、勾配変化点のある水路では一定勾配に、川幅変化点のある水路では上に凸な河川形状を

Case. A-2 勾配変化点 ($200 \text{ m}^3/\text{s}$)



Case. B-2 川幅変化点 ($200 \text{ m}^3/\text{s}$)



Case. C-2 勾配・川幅変化点 ($200 \text{ m}^3/\text{s}$)

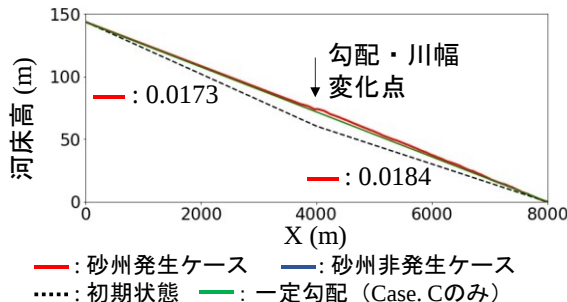


図-2 計算終了時の平均河床高の縦断面図、図中の数字は勾配を表す

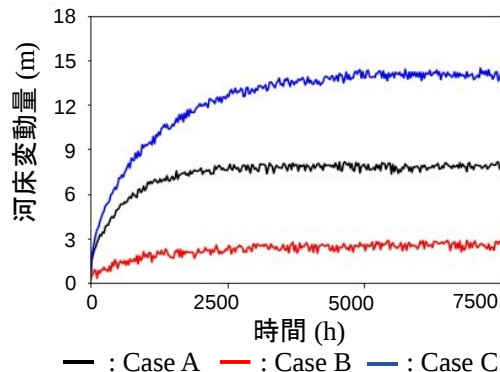


図-3 変化点での時間変化 (Case. O-2, $200 \text{ m}^3/\text{s}$)

とった。また、勾配変化点の方が川幅変化点よりも河床変動速度が大きくなることが確認された。

参考文献

- 1) Meyer-Peter, E., and R. Müller: Formulas for bed-load transport, Proc. 2nd Meeting IAHR, pp. 39–64, Inter. Assoc. for Hydraul. Res., Delft, Netherlands, Stockholm, Sweden., 1948.
- 2) Francalanci, S., Solari, L., Toffolon, M. and Parker G.: Do alternate bars affect sediment transport and flow resistance in gravel-bed rivers?, Earth Surf. Proc. Land., Vol. 37, No. 8, pp. 866-875, 2012.