

側岸侵食を考慮した一次元河床変動計算における土砂供給条件の検討 ～2016年北海道十勝地方における土砂・洪水氾濫河川を事例として～

明治コンサルタント株式会社 ○西田凌吾、有賀誠、野村圭司、酒谷幸彦
北海道建設部土木局河川砂防課 福津向基 Office.bit 宮崎知与

1. はじめに

近年、気候変動による極端豪雨等に伴い土砂・洪水氾濫が頻発している。その対策として、一次元河床変動計算等を活用した氾濫被害の推定や施設の効果的な配置等を目的とした検討が進められている。一次元河床変動計算の実施にあたっては、国土技術政策総合研究所の資料第824号及び第1024号（以下、国総研資料）を基本としつつ、対象とする山地河川の地形・地質の条件や土砂移動の実態を把握し、それらを反映した計算条件やパラメーターを設定することが重要とされている。

北海道は山麓部に広大な扇状地を有する河川が多い地形的特徴を有し、扇状地区間における土砂移動現象に起因して、下流の市街地等に土砂・洪水氾濫被害が発生する事例が多くみられる。本検討の対象河川である十勝川水系小林川においても、平成28年8月に発生した北海道豪雨（以下、H28豪雨）の際に、扇状地区間における流路の変動や蛇行に伴い、段丘堆積物の侵食が生じ、大量の土砂が河道に供給されたことで、下流域で土砂・洪水氾濫が発生した（図-1）。

国総研資料では、扇状地区間等の残流域からの土砂供給は原則として設定しないこととされているが、側岸侵食による土砂供給の影響を考慮すべき場合は、適切に計算条件に反映することとしている。しかし、これら残流域へ供給する土砂量や時間帯の設定については、標準的あるいは実用的な手法が現在明らかとなっていない。

そこで本検討では、H28豪雨後に土砂動態調査を実施している小林川を事例とし、一次元河床変動計算結果の再現性を検証することにより、扇状地区間における土砂供給時間の設定方法を提案することを目的とする。

2. 再現性における計算条件の設定

西田ら¹⁾は、扇状地区間の計算条件として、河床幅及び側岸侵食からの土砂供給の有無の観点から検討し、適切な河床幅を設定した上で、土砂供給を考慮することで再現性が向上するとしている。これは、河床幅の設定を出水後の河道拡幅した全幅とし、側岸からの土砂供給も計算により算出しようとする基本ケースの場合、一次元計算の特性上、河床部の交換により侵食及び堆積は評価されるため、実際の側岸侵食の現象を再現できないためである。したがって、より再現性の精度を高めるためには、一出水規模の流下幅とし、実現象に基づいた側岸侵食の供給条件の設定が重要となる。

流路の変動や蛇行に伴い発生する側岸侵食は、一般的に、水位の上昇や流速の増大によって側岸への掃流力が土質の抵抗力を上回ることで生じる（図-2）。すなわち、流量が最大となる洪水ピーク時に側岸侵食が発生し、土砂が河道へ供給された可能性が高い。しかし、実際の出水過程において、側岸侵食が発生した時間帯を特定することは困難である。これまで側岸侵食の発生条件として、掃流力に対する側岸部の傾斜角（法勾配）の影響や、法尻の洗堀に伴う河岸部の崩壊を考慮するもの、あるいは、それらを併用するモデルなどが報告されている。

そこで本検討では、これらの見解を踏まえ、側岸侵食土砂の供給タイミングについて以下のケースを設定し、再現性を検証する（表-1）。

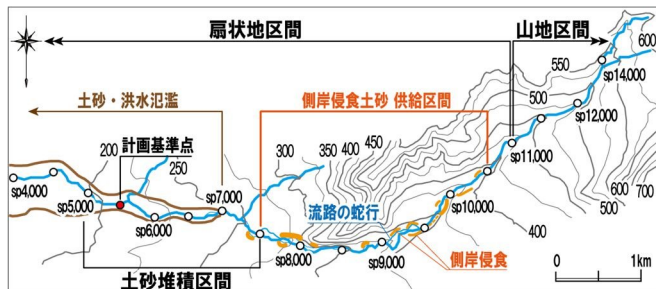


図-1 流域概要及び地形的特徴

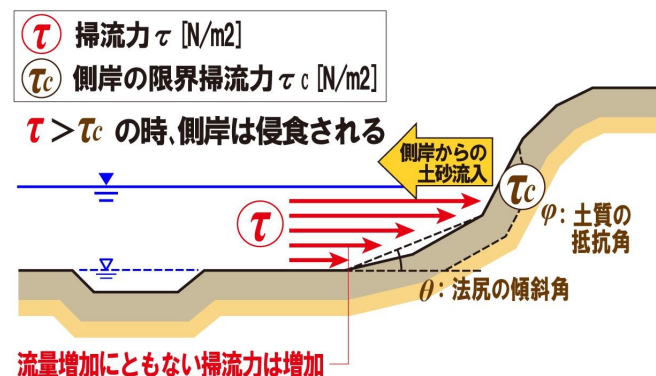


図-2 側岸侵食発生メカニズム

表-1 各検討ケースにおける計算条件

検討ケース	計算条件の設定				
	モデル	河床幅[m]	供給量[m ³]	土砂濃度	供給時間
基本ケース	土砂供給なし	河道全幅 100～140	0	0.000	0時間
ケース1	洪水ピーク	流下幅 40～60	67,760	0.177	2時間
ケース2	限界掃流力			0.045	59時間
ケース3	崩落			0.130	11時間



図-3 扇状地区間のハイドログラフと設定土砂濃度

なお、流入ハイドログラフに与える土砂濃度は、土砂供給地点の勾配等で決まる平衡濃度とすることが一般的であるが、側岸侵食による土砂供給は河床勾配に依存しないため、供給する土砂量見合いの濃度とする（図-3）。

ケース1では、側岸侵食は洪水ピーク時に顕著に発生したと仮定し、上流域及び支川流域の土砂供給時間帯とほぼ同じ洪水ピーク時の2時間に土砂を供給した。

ケース2では、より物理的なメカニズムに即した条件として、側岸への流体力である掃流力 τ (N/m²) が、土質の抵抗力を示す限界掃流力 τ_c (N/m²) を上回る時間帯 ($\tau > \tau_c$) に、徐々に侵食が進行するとした。なお、ケース2の検討を行うに当たり、掃流力を算出する地点は扇状地区間の代表断面とする。また、側岸の限界掃流力は Lane ら²⁾による斜面方向への補正 K を考慮した。同公式に用いる法尻の傾斜角は、H28豪雨後の横断地形から推定し $\theta=30^\circ$ とし、内部摩擦角は、対象地点付近のボー

リング調査で得られた N 値から換算し $\phi=40^\circ$ とした。

$$K = \cos \theta \sqrt{1 + \left(\frac{\tan \theta}{\tan \phi}\right)^2} \dots\dots\dots(1)$$

以上の条件に基づき、 $\tau > \tau_c$ となる 59 時間にわたり連続して土砂を供給する設定とした。

ケース 3 では、ケース 2 の条件に加え、実際の側岸崩落における時間的な遅れを考慮した。長田ら³⁾は、実際の側岸侵食現象では、掃流力が限界掃流力を超過した瞬間に側岸全体が崩壊するのではなく、法尻の侵食がある程度進行した後に自立性を失って崩落するとし、間欠的な崩落が発生する条件式を提唱している。

これを踏まえ、法尻の侵食に伴って側岸が間欠的に崩落する現象を簡易的に評価するため、掃流力が土質の抵抗力を上回った時間帯において、掃流力と摩擦速度の関係から単位時間当たりの計算侵食深を積分し、その値が堆積土層厚（ボーリング調査より閾値 $B=2.0\text{m}$ ）を超過する時間に土砂を供給する設定（計 11 時間）とした。

3. 計算結果及び考察

図-4 から図-6 に河床変動計算結果を示す。

基本ケースの場合、土砂堆積区間（SP5000~7000 付近）において実際に発生した大規模な土砂堆積傾向を表現できず、計算結果は実績値を大きく下回った。

一方、側岸侵食土砂を供給した各ケースでは、土砂堆積区間が堆積傾向となり、区間全体の土砂収支が改善された。これは、小林川の H28 豪雨における下流部での土砂・洪水氾濫が、扇状地区間での流路の変動や蛇行に伴う多量の側岸侵食土砂の流入によることを示している。

3.1 河床変動高への影響

次に、側岸侵食土砂の供給タイミングを変化させたケース 1~3 の最終河床変動高を図-4 に示す。計算結果を比較すると、土砂の供給タイミングを変化させても、土砂堆積区間における最終的な河床変動高には大きな違いはみられない結果となった。これは、一次元河床変動計算において供給された土砂が区間内に堆積する傾向は、主に設定した断面の流下能力や河床勾配に依存するため、最終的な変動は供給タイミングによらず、平滑化された堆積形状に落ち着きやすいということを示している。

3.2 ケース別の流出土砂量の比較

最終河床変動高には大きな差異がみられなかった一方で、土砂堆積区間の上流地点（SP7200）において、土砂動態調査で把握された流出土砂量（実績値）と各計算値を比較すると、供給タイミングによって明確な違いが生じた（図-6）。

洪水ピーク時に集中的に土砂を供給したケース 1 では、ピーク時の高い掃流力によって土砂が一気に下流へ押し流される、一方、計算による流出土砂量は実績値より約 2.5万 m^3 少なくなる結果となった。これは、瞬間的な供給土砂量がピーク時の平衡流砂量を大きく超過し、強制的に堆積が生じ、その後は掃流力が急激に低下するため、堆積土砂の再移動に必要な限界掃流力 τ_c (N/m^2) を上回る力が持続しなかったことが考えられる。

限界掃流力を考慮したケース 2、崩落の遅れ時間を考慮したケース 3 では、ケース 1 より流出土砂量の増加が確認され、とりわけケース 2 の方が実績値との誤差が縮小する傾向が確認された。これは、河道に作用する掃流力 τ (N/m^2) と土砂運搬能力のバランスによるものである。これに対し、ケース 2 やケース 3 では、掃流力が限界掃流力を超過している時間帯 ($\tau > \tau_c$) にわたり、土砂が継続的あるいは間欠的に供給される。すなわち、溪流が土砂を運ぶエネルギーを保持している時間帯が長くな

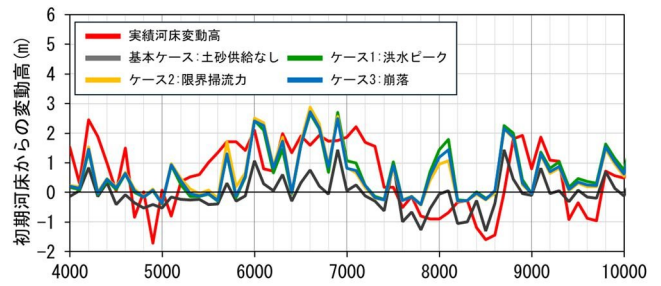
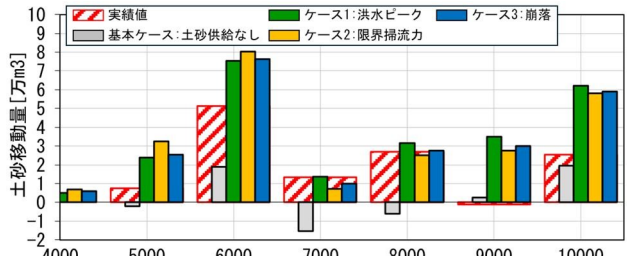


図-4 河床変動高の比較



※土砂移動量とは、一定の範囲における堆積土砂量から侵食土砂量を差し引いた土砂変動量のことを指す

図-5 土砂移動量の比較

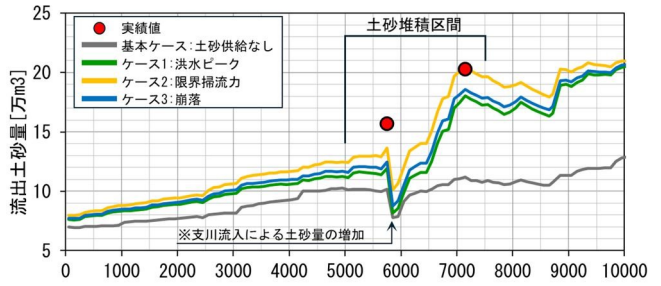


図-6 流出土砂量の比較

り、掃流力が大きくなるため、供給過多により平衡流砂量を超過する現象が回避され、実際の出水現象に近い効率的な下流への移送が再現されたものと考えられる。

4. おわりに

扇状地区間において、側岸侵食土砂の供給条件を追加することは、土砂動態を表現するために有効であることが確認された。本検討のように下流域への流出土砂量は、供給タイミングに左右され、下流への氾濫リスクの適切な評価や土砂収支の計算においては、限界掃流力や遅れ時間を考慮した物理的な供給モデルを設定することが重要である。ただし、ケース 3 は崩落が発生する条件である堆積土層厚の閾値設定や計算が複雑である。また、今回の検討では下流への土砂の供給時間が最も長いケース 2 の再現性が高いと考えている。そのため、簡易的に設定することが可能な限界掃流力を考慮したケース 2 が最も汎用性が高い。なお、災害実績等がない溪流における土砂量の設定手法や、他の地形・地質条件を有する溪流への適用性については、今後さらなる検討を要する。

謝辞

本成果の解析にあたり国土防災技術株式会社より解析プログラムを借用した。ここに謝意を表します。

引用文献

- 1) 西田(2025):側岸侵食による河道拡幅を考慮した一次元河床変動計算の適用性に関する検討~2016 年北海道十勝地方における土砂・洪水氾濫河川(小林川)を事例として~.砂防学会研究発表会概要集 p.813-814
- 2) Lane(1955):Design of stable channels,Trans.ASC E,vol.120,PP.1234-1260
- 3) 長田ら(2001):河岸侵食を伴う河道変動の特性とその数値解析法に関する研究. 土木学会論文集 No.684/II-56,35-46