平成 23 年新潟福島豪雨時の登川流域における土砂動態に関する流砂の非平衡性を考慮した河床変動計算

国土交通省 国土技術政策総合研究所　岡本敦[*1]　内田太郎　林真一郎　丹羽諭
国土交通省 北陸地方整備局 湯沢砂防事務所　渡邉正一[*2] 石田哲也[*3]
（株）建設技術研究所　○村上正人 西口幸希　田端幸輔　根本徹

1. はじめに

これまで砂防領域における土砂移動予測は、流れを定常状態とし流砂量式を用いた平衡流砂量の計算によって検討されている。近年、土砂移動現象の推定の高度化を目指し、山地流域で生じる土砂移動現象を土石流から掃流砂まで一貫して取り扱うことが可能な、河床の侵食堆積過程を非平衡として取り扱うモデルが検討されている[1),2)]。

土砂の流れを平衡状態とした場合は、水理量が同じ場合、流砂量は同じとなるため、計算上流端の位置や供給土砂量の影響は小さいと考えられる。しかし、非平衡性を考慮した本モデルでは、必ずしも、流砂量は水理量で決まらないため、計算上流端の位置や供給土砂量が計算結果に影響する可能性が考えられる。

今回は、大規模な土砂移動現象が発生した平成 23 年 7 月新潟福島豪雨による魚野川支川登川での土砂動態を対象とし、

①計算開始地点の設定方法
②供給土砂量の設定方法

について整理し、非平衡性を考慮した河床変動計算の留意事項について報告する。

2. 対象流域

登川は流域面積 83.2km²、流路長 19.0km、平均渓床勾配 1/18 である。流域区分図を図 1 に示す。

3. 再現計算実施時の留意事項

今回計算に用いたモデルは河床幅分の洗堀・堆積現象の再現はできるものの、側岸侵食による変動は一次元計算で再現できない。言い換えれば、本モデルで側岸侵食量を含む土砂収支を再現したとしても、洗堀・堆積現象の再現したことにはならない。そこで、洗堀堆積現象を再現するため、側岸侵食量を除いた土砂収支を作成して再現計算を実施した(図 2,3 参照)。

4. ハイドログラフの設定方法

既往の河床変動計算手法では、流れを定常として扱うため代表的な観測所流量の流域面積比によって各流域の流量を設定しても問題ないと考えられる。しかし、本検討モデルでは流れを非定常として取り扱うため、各小流域別に 1km レーダ雨量を用いて、合成合理式により遅れ時間を考慮したハイドログラフを設定した（図 4 参照)。

5. 再現計算結果

本研究で実施した計算の条件を表 1 に示す。その結果、太字の条件が最も良く H23 年 7 月洪水時の土砂動態を再現した。

本検討モデルは、堆積速度係数が河床変動、通過土砂量に大きく影響する。堆積速度係数を 1.0×10^{-4} とした場合に、実績の河床変動傾向と通過土砂量を全川的に再現できたが、局所的な堆積洗堀現象が表現できなかった。そのため、里深・水山による砂防施設の施設効果の評価手法を導入し、堆積速度係数を縦断的に変化させた場合、実績の河床変動量、通過土砂量と計算結果が概ね一致した。計算結果を図 5 に示す。

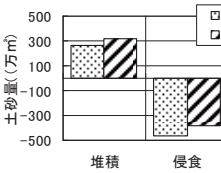

図 2 側岸侵食量を除いた土砂収支

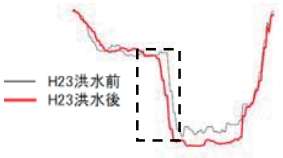

図 3 除外した側岸侵食

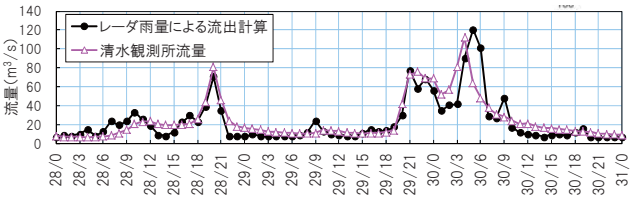

図 4 ﾚｰﾀﾞ雨量を用いた流出計算によるﾊｲﾄﾞﾛｸﾞﾗﾌ

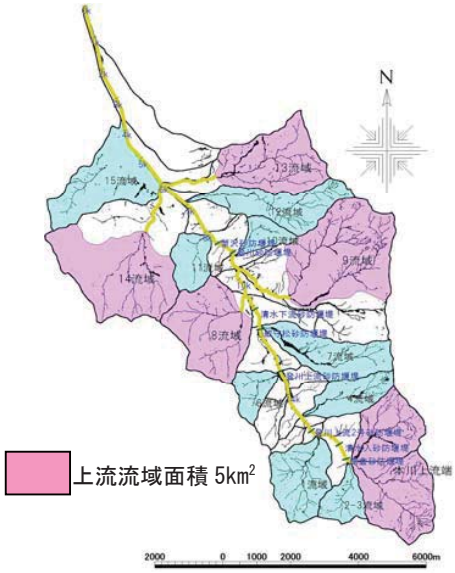

図 1 流域区分図

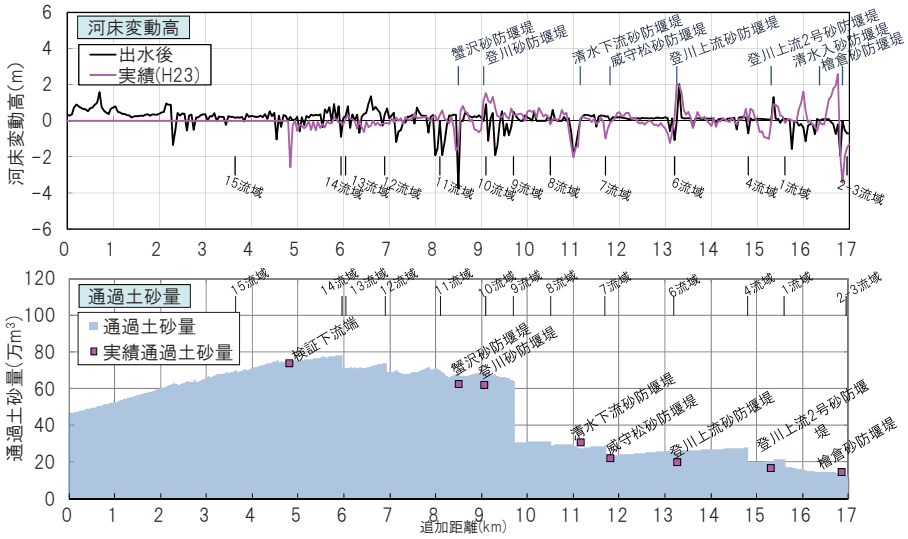

図 5　計算結果（最適案）

[*1] 現　国土交通省砂防計画課、[*2] 現　新潟国道事務所[*3]、現　北陸地方整備局河川部

表 1　計算条件

項　目	条　件
初期河床高	H22LP データをもとに作成
下流端水位	等流水深
流量条件	1km ｱﾒﾀﾞｽﾒｯｼｭ雨量による流出計算結果（清水観測所流量で同定）
流入ｾﾃﾞｨｸﾞﾗﾌ	①長時間低濃度：水理量で土砂移動が生じる期間で実績に引き縮め ②短時間高濃度：土砂濃度を 54%としてピーク付近に設定 **③中間濃度：土砂濃度を 30%としてピーク付近に設定**
侵食速度係数	①$1.0\times10^{-2}$②$1.0\times10^{-3}$**③$1.0\times10^{-4}$**
堆積速度係数	①$1.0\times10^{-2}$②$1.0\times10^{-3}$③$1.0\times10^{-4}$ ④威守松砂防堰堤上流を 8.0×10^{-4}、下流を 1.0×10^{-4} ⑤砂防堰堤上流断面の堆積速度係数を 1.0×10^{-3}、その他は 1.0×10^{-4} **⑥砂防堰堤上流断面とその直上流断面の堆積速度係数を 8.0×10^{-4}、その他は 1.0×10^{-4}**
内部摩擦角	**①35°**、②38°
平均粒径	①93.4mm, **②57.7mm**, ③10.0mm
間隙水密度	1.0g/cm³
粗度係数	①全川で一律 0.080, **②威守松砂防堰堤上流：0.080、威守松砂防堰堤下流：0.045**
その他	土砂移動判定を全断面に適用 砂防堰堤は里深・水山の手法による砂防堰堤の施設効果評価手法

6.　計算開始地点の設定方法

上流端流域面積を複数（2km²、5km²、10km²、45km²（概ね土砂流区間の上流端）、70km²（概ね掃流区間の上流端））設定し、計算上流端の位置が河床変動計算結果に及ぼす影響について感度分析を行った。

計算開始地点上流の流域面積と本川流入土砂量及び検証下流端（魚野川本川との合流点から 4.8km 上流）地点の通過土砂量の関係を図 6 に示す。ここで、本川は魚野川合流点から 17km 区間とした。

本川への流入土砂量は、土石流区間から計算した場合は実績値よりも多くなるもの、土砂流区間や掃流区間から計算した場合には実績値と比較して半分以下の量となる。また、4.8km 地点の通過土砂量についても、土石流区間から計算した場合は実績値と概ね同等の量となるものの、土砂流区間や掃流区間から計算した場合には、実績値と比較して半分以下の量となる。なお、土石流区間からの計算で上流端流域面積を 2km² とより上流から計算した場合には、本川への供給土砂量が多くなるものの、河道の調節効果によって 4.8km 地点の通過土砂量に大きな変化は生じない。

このことから、大規模な土砂流出を再現する場合には、計算開始地点を土石流区間とすることで下流区間の通過土砂量ともに再現可能となるものの、土砂流区間や掃流区間で開始した場合は、通過土砂量を過小評価する可能性が高いことが分かった。

7.　移動限界を考慮した供給土砂量

流量波形全体で平衡給砂した場合は供給土砂量が実績値と比較して多くなることから、以下の 2 つの方法で土砂移動の発生判定を行い、移動する場合のみ平衡給砂とした。

＜限界掃流力による判定＞

$$\tau_{*c}=0.04\times10^{1.72\tan\theta_w}\ ,\quad \tau_*=\frac{\rho}{\sigma-\rho}\frac{h\tan\theta_w}{d}$$

$\tau_*\leqq\tau_{*c}$ のとき $C_\infty=0$

＜力のつり合い式による判定＞

$$\tan\theta=\frac{c_*(\sigma-\rho)}{c_*(\sigma-\rho)+\rho(1+h_0/d)}\tan\varphi$$

左辺≧右辺　のとき $C_\infty=0$

ここに、θ は河床勾配、φ は内部摩擦角、τ_*は無次元掃流力、τ_{*c} は無次元限界掃流力、C_*は堆積層の土砂の容積濃度(=0.6)、d は粒径、σは砂の密度(=2.60)、ρは水の密度、h_0は表面流の水深である。

移動限界の考え方と支川を含む総供給土砂量及び本川計算土砂量との関係を図 7 に示す。なお、ここでは、上流端の流域面積は 5km² とした。移動限界を考慮することで供給土砂量及び本川計算土砂量は減少する。計算開始地点が土石流区間のため、限界掃流力による判定よりも力のつり合いによる判定のほうが実績の値に近くなる。

上記の結果から、力のつり合いによる移動限界を考慮して供給土砂量を設定し、土石流区間から計算を実施することで、実績を概ね再現することが可能となる。今後、供給土砂量や流出土砂量の実績データが存在しない場合においても、同様の手法を用いることにより計算条件を設定することが可能と考えられる。

8.　まとめと今後の課題

非定常非平衡の河床変動計算モデルを用いて、土石流区間から計算を実施し、最適な計算条件とパラメータを設定することで、大規模な土砂流出に対して土砂移動現象を再現することが可能となった。また、土砂収支の実績データが存在しない場合でも、上流端流域面積を 5km² 程度として移動限界を考慮した平衡流砂量を与えることで概ね実績の土砂移動を再現することが可能となった。

今後は、他の流域の事例においても適用可能かどうか検討する必要がある。

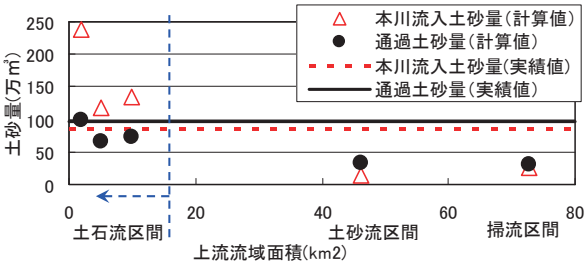

図 6 計算開始地点の比較

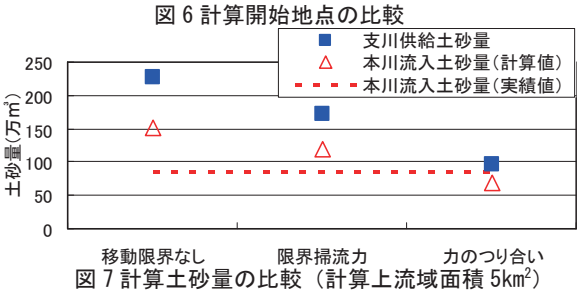

図 7 計算土砂量の比較（計算上流域面積 5km²）

〈参考文献〉
1) 高橋：土砂流出現象と土砂災害対策、近未来社
2) 道畑ら：堆積速度係数が河床変動に及ぼす影響：平成 7 年姫川災害の事例を用いた検討：H24 砂防学会研究発表会概要集 p98-99