

平成28年8月台風10号に伴う 沙流川上流の土砂動態特性について

THE SEDIMENT DISCHARGE CHARACTERISTICS IN SARU RIVER
BY HEAVY RAIN IN AUGUST 2016

早川 智也¹・村上 泰啓²・水垣 滋³・渡辺 浩司⁴

Tomoya HAYAKAWA, Yasuhiro MURAKAMI, Shigeru MIZUGAKI, Koji WATANABE

¹日本工営株式会社（〒060-0005 札幌市中央区北5条西6丁目2）

E-mail:a5514@n-koei.co.jp

²（国研）土木研究所寒地土木研究所水環境保全チーム（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-3-4）

E-mail: murakami-y22ah@ceri.go.jp

³（国研）土木研究所寒地土木研究所水環境保全チーム（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-3-4）

E-mail: s-mizugaki@ceri.go.jp

⁴北海道開発局室蘭開発建設部治水課（〒051-8524 室蘭市入江町1番地1-4）

E-mail:watanabe-k22ar@milt.go.jp

Key Words: slope failure, sediment discharge, satellite photo, heavy rain, topography

1. はじめに

沙流川流域では、2003年8月上旬の累加雨量400mmを超える豪雨により、主に中流域に広範囲な斜面崩壊地の発生に伴い大量の土砂、流木が発生^①した。また、沙流川中流域に分布する白亜紀の泥岩の特徴により、崩壊した泥岩・砂岩は比較的短期間にスレーリング風化を呈するものが多く、その後の土砂生産に大きく影響する可能性が指摘^②された。今般、2016年8月中旬に相次いで北海道に豪雨をもたらした台風7号、11号、9号、10号は、道内の広範囲に大規模な水害・土砂災害をもたらした。沙流川上流域でも台風10号において豪雨がもたらされ、最上流域の深成岩の地質領域で崩壊地が多発した。筆者らは、衛星画像判読により新規に発生した崩壊地を抽出し、地形・降雨指標との関連性の評価を試みたほか、2003年8月との比較を行い、土砂生産及び下流への流出という土砂動態の特性について考察した。

2. 2016年8月豪雨の概要

沙流川流域は流域面積1,350km²、流路長104kmの一級河川であり、源頭部は日高山脈にあたる（図-1）。雨量観測所が整備されている他、寒地土木研究所と室蘭開発建設部によるSS量の観測点が設けられている。流域内の主な雨量観測所（北海道開発局）で観測された時間雨量と累加雨量を図-2に示した。期間は2016年8月16

日～9月1日とし、4つの台風期間を表示した。この6カ所の雨量観測所で、台風7号では平取で92mm～ウエンザルで140mmの累加雨量を、台風11号では千呂露で56mm～平取で99mmの累加雨量を、台風9号ではウエンザルで98mm～平取で188mmの累加雨量を観測しており、流域全体に比較的均等に降雨が観測されている。

一方、台風10号では、ウエンザル414mm、千栄50mm、千呂露149mm、日高11mm、平取11mm、宿主別34mmとばらつきが大きく、特にウエンザルではこの期間で最大の累加雨量となっている。

台風10号について等雨量線図を図-3に示した。地上の雨量観測所ごとに、2016年8月28日13:00～31日12:00の72時間雨量を集計し、各点に基づき三角形分割補間(TIN)をGISで生成させることで流域全体について約300m×約300mの解像度で雨量分布を求め、その雨量分布から等雨量線図を発生させたものである。

これを見ると日勝岬を含む日高山脈一帯で400mmを超える累加雨量が分布していることがわかる。一方、累加雨量の高い範囲は比較的狭く、中流から下流にかけての一帯は10mm程度の累加雨量となっている。7号、11号、9号の3つの台風は流域全体に降雨をもたらしたが累加雨量は平取など高い地点でも200mmに達していない。一方10号は上流域にのみ2003年災害等に匹敵する400mmを超える高強度の累加雨量を降らせたということが特徴づけられ、本報告では台風10号を取り扱うこととした。

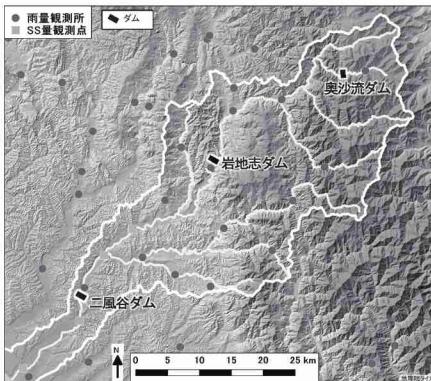


図-1 沙流川流域（研究対象範囲）

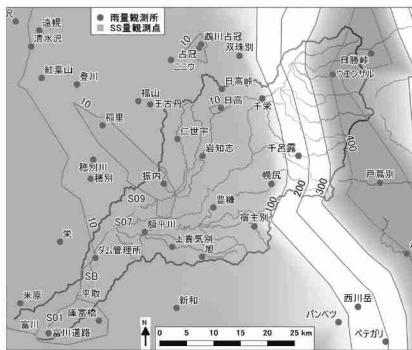


図-3 2016 年台風 10 号 72 時間雨量分布

3. 沙流川上流域の現地状況

累加雨量 400 mm を超える沙流川上流域のうち、比較的アクセス可能なウエンザル川を対象に現地調査を 2017 年 11 月 16 日に行った（図-4）。ウエンザル川は奥沙流ダムを有しており、その上流域がおおよそ 400 mm を超える累加雨量を記録している。

写真-1 は奥沙流ダムから上流約 1.5 km 地点のものである。1 m～1.5 m 程度の巨礫を多く含む粗粒土砂が堆積しており、その分布範囲からさらに上流の支渓流から流下していることと推定された。

写真-2 は奥沙流ダム貯水池内の流入口付近のものである。堆積土砂を観察したところ、 ϕ が 10 cm 以下程度の粗粒土砂による成層構造が確認され、流水による運搬・堆積したものと推察された。

写真-3 は奥沙流ダム貯水池のものである。水面が拡がり土砂で満砂しておらず、粗粒分は奥沙流ダムを越流・流下していないものと推定される。

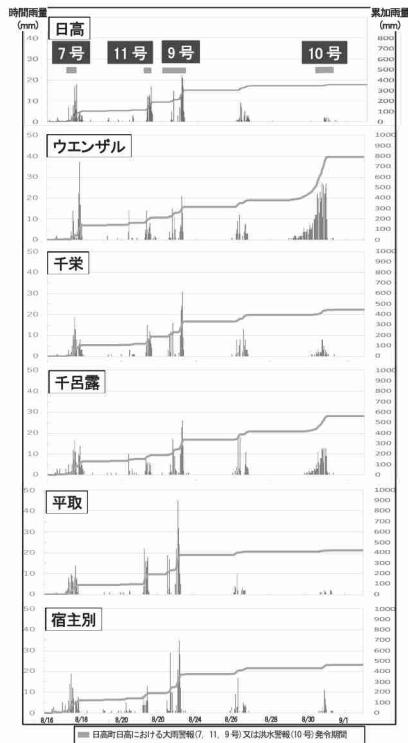


図-2 沙流川流域における 2016 年 8 月台風に伴う降雨

4. 崩壊発生状況の把握方法及び結果

（1）崩壊地の判読

台風に伴う土砂災害については、台風 10 号に伴い日勝峠付近で国道 274 号の被災が顕著であった^{⑤)}。台風 10 号については、日高山脈を挟んで隣接する十勝川水系で土砂災害や洪水が頻発している（例えば^{③)}）。沙流川流域全土の土砂移動実態を把握するために衛星画像の判読を主に中流～上流部にかけて実施した。用いた衛星画像は、フランス国 SPOT 衛星が 2016 年 10 月 19 日撮影した光学オルソ画像である。解像度は 1.5 m 程度で崩壊や堆積等の「新しい土砂」を植生の有無や周囲との色の極端な違いから判別することができ、これらを GIS 上でポリゴンにトレースした（図-5）。その結果を図-6 に示す。日高山脈に近い沙流川上流～千呂露川上流にかけての一帯に高い密度で崩壊が分布している。

現地調査を実施したウエンザル川上流域の判読結果を鳥瞰表示させたものを図-7 に示す。斜面は全般的に平滑で谷密度が低い、周水河地形の特徴を呈し、その斜

面の緩く谷地形が形成されている箇所を中心に崩壊が発生し、崩壊土砂がウエンザル川を流下したことがうかがえる。現地状況から河道沿いは河道のかく乱と粗粒土砂の堆積がみられたことから、河道の「新しい土砂」は堆積地である可能性が高い。そのためそれらを除外したものを崩壊地として扱うこととした。

これら崩壊地分布の特徴を把握するため、地域メッシュ（第3次）毎に崩壊面積率を算出した。なお、地域メッシュ（第3次）については約1km四方となる。その結果、沙流川上流から千呂露川上流にかけて崩壊面積率の高いメッシュが分布していることがわかる（図-8）。

流域全体で1.0%を超えるメッシュは19あり、そのうち18が沙流川上流から千呂露川上流にかけての範囲に分布し、最も高いメッシュは千呂露川上流域に位置する5.5%である。

崩壊面積率を左右する要因としては、降雨、地質、崩壊斜面の勾配などが考えられ、これらの要素を地域メッシュ（第3次）に属性として与えることで、崩壊面積率との関係の把握を試みた。



図-4 ウエンザル川現地調査写真位置図



写真-1 巨礫を含む土砂堆積（奥沙流ダム上流 1.5km）

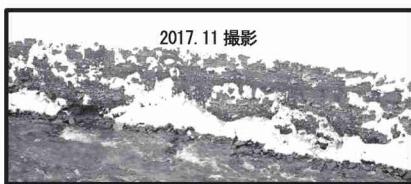


写真-2 粗粒土砂の堆積（奥沙流ダム貯水池内）

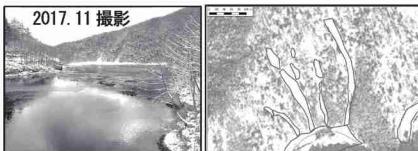


写真-3 奥沙流ダム



図-5 衛星画像のトレース例

2016年8月豪雨による崩壊地分布

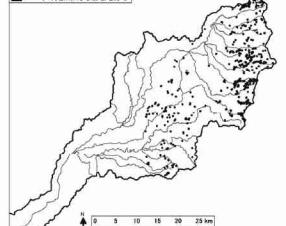


図-6 2016年8月豪雨による崩壊地分布



図-7 2016年8月豪雨による崩壊地等分布

2016年8月豪雨による崩壊面積率 (%)

0.0 - 0.5
0.5 - 1.0
1.0 - 1.5
1.5 - 2.0
2.0 - 2.5
2.5 - 3.0
3.0 - 8.8

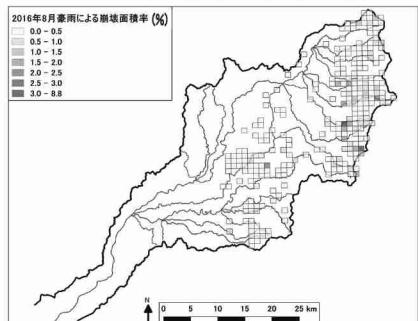


図-8 2016年8月豪雨による崩壊地面積率分布

(2) 降雨と崩壊面積率の関係

降雨は台風10号に伴う2016年8月28日13:00～31日12:00までを期間とし、雨量観測所ごとに72時間雨量及び最大1時間雨量を集計し、GIS上で補完した流域全体の降雨分布について、地域メッシュ（第3次）の重心位置の値を属性として与えた。メッシュごとの72時間雨量と崩壊面積率の関係を図-9に、最大1時間雨量と崩壊面積率の関係を図-10に示した（なお、台風10号で100mm未満/72Hの範囲は台風10号以外の降雨で100

mm程度以上の累加雨量を観測しており、その範囲のプロットは台風10号以外の降雨に伴って発生した崩壊をとらえている可能性が高く、凡例を分けた)。72時間雨量では250 mm以上で崩壊面積率1.0%を超える値がみられるようになり、最大1時間雨量では20mm以上で崩壊面積率1.0%を超える値がみられ、35 mm以上でやや崩壊面積率が下がる傾向がみられる。

(3) 地質と崩壊面積率の関係

地質については、土砂生産源の分類として20万分1シームレス地質図をコンパイルした地質区分^④と地域メッシュ(第3次)を重ね、各メッシュ内に占める割合が優勢な地質区分を属性として与えた。各メッシュの崩壊面積率を地質区分ごとに平均した(図-11)。その結果、深成岩で0.51%、蛇紋岩を中心とした変成岩で0.48%とそのほかの地質区分に比べて高い値を示した。

(4) 崩壊斜面の勾配

崩壊斜面の勾配については、崩壊地の範囲について、GISを用いてDEM(国土地理院基盤地図情報)のラスター解析を行い10 m間隔で勾配と方位を求めた。それぞれの地域メッシュ内に存在した単数または複数分布する崩壊地内の解析点全体の中央値を地域メッシュの属性として与えた(図-12)。なお、地域メッシュによっては平均値とすると異常値の影響を受けやすいことが予想され、機械的に統計処理するため中央値を用いている。

各メッシュに与えられた崩壊地の勾配を5°刻みで区分し、区分した勾配に該当する地域メッシュの崩壊面積率を平均したグラフを図-13に示す。勾配については25°～40°の範囲で崩壊面積率が高くなる傾向であるといえる。

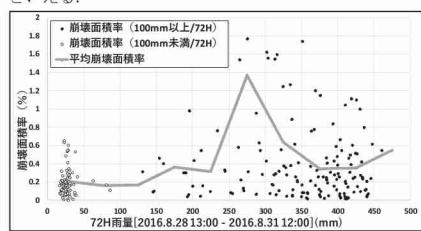


図-9 2016年台風10号72H雨量と崩壊面積率の関係

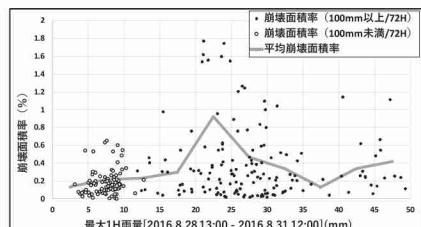


図-10 2016年台風10号最大1時間雨量と崩壊面積率

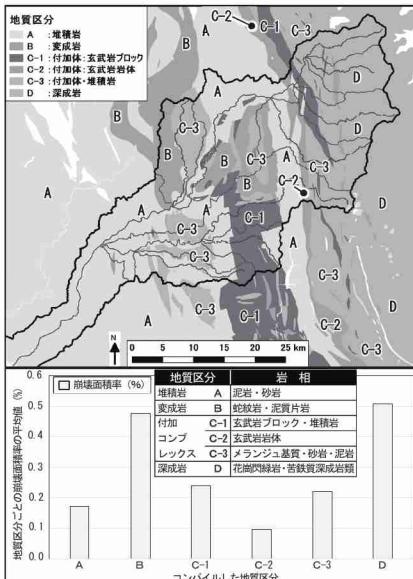


図-11 地質区分と2016年8月崩壊面積率との関係

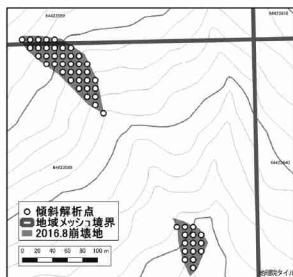


図-12 10m間隔による傾斜の解析結果例

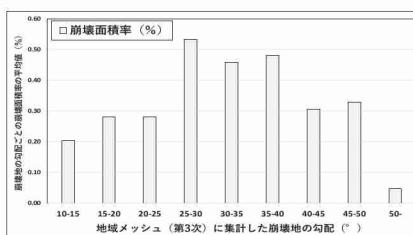


図-13 崩壊地の勾配と崩壊面積率との関係

5. 2003年8月豪雨との崩壊面積率の比較

2003年8月豪雨については、沙流川流域内で降雨量が最も大きく、崩壊が最も多く発生した額平川で崩壊面積率の解析・要因分析が行われ、最大1時間雨量と地質が崩壊面積率を左右する要素として優位であるとされている¹⁾。そこで、2003年8月豪雨と2016年8月豪雨の崩壊発生要因を比較するために、これら2要素について、地域メッシュ（第3次）を用いた解析を行った。図-14に2003年8月豪雨時の崩壊面積率の分布を示した。72時間雨量は2003年8月8日1:00～10日24:00までを期間とし、図中に等雨量線図で示した。2016年8月と同様、2003年8月も雨量が400mmを超える観測所があったが、沙流川流域全体が200mmを超えており、降雨分布の広がり方が2016年8月と異なる。崩壊面積率の分布をみると2.0%を超えるメッシュが額平川流域から岩知志付近の沙流川中流域にかけてみられ、2016年8月に比べ広範囲に広がっており、流域全体の崩壊量が大きいことがうかがえる。

（1）最大1時間雨量による比較

崩壊面積率と降雨強度との関係を調べるために、2003年8月8日1:00～10日24:00の最大1時間雨量を5mm刻みに区分し、区分ごとに崩壊面積率の平均値を集計した。同様に2016年8月28日13:00～31日12:00を対象としたものを示した（図-15）。20mm以上で崩壊面積率の平均値が高くなる点は類似した傾向がみられるが、2003年は40mm以上で崩壊面積率の平均値が1.0%を超えており、2016年には観測されていない降雨であり、より高い崩壊面積率となっていることがわかる。

（2）地質による比較

図-16に地質区分ごとの崩壊面積率の平均値について2016年8月と2003年8月の値を示した。2003年については、蛇紋岩を主とした変成岩（B）と玄武岩ブロック及び堆積岩を主とした付加コンプレックス（C-1）とが突出して高い値を示している。2016年では深成岩（D）で高い値を示しているが、2003年も同等の値を示している。

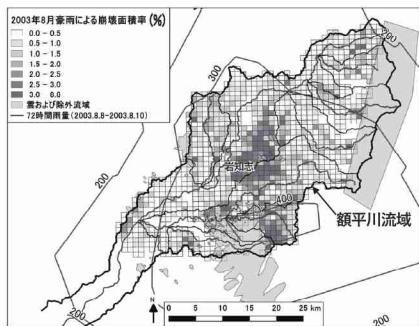


図-14 2003年8月豪雨による崩壊面積率分布

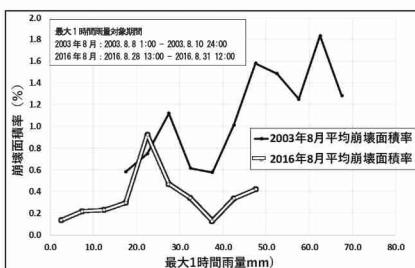


図-15 最大1時間雨量と崩壊面積率の平均値の関係

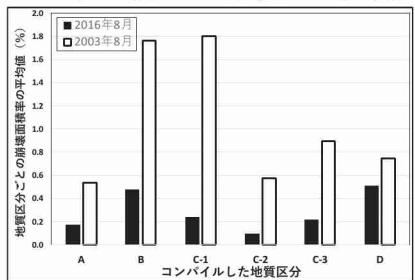


図-16 地質区分と崩壊面積率の関係

上記の崩壊面積率の比較から、2003年は強い降雨が蛇紋岩を主とした変成岩（B）と玄武岩ブロック及び堆積岩を主とした付加コンプレックス（C-1）の範囲にもたらされたことで高い崩壊面積率を示している。一方、2016年は強い降雨は深成岩（D）の範囲に限定されていることに加え、降雨強度は2003年で最大70mm/hに対して2016年は最大49mm/hと低い。これは、流域全体にわたり2016年の崩壊面積率が低い要因の一つと考えられる。

6. 考察

これまでの結果から、2016年8月豪雨による崩壊密度が高い（0.4%以上）地域は主に上流域の深成岩地域に密集しており、総降水量250mm～350mm、最大1時間雨量は20mm～30mmの豪雨と、斜面傾斜25°～40°の急峻な地形で特徴づけられた。現地調査を実施したウエンザル川奥沙流ダム上流域では、新しい土砂のうち河道に位置するものを「堆積」、斜面に位置するものを「崩壊」と区分したところ（図-17）、崩壊面積210,000m²（渓床侵食を含む）に対し、堆積面積は110,000m²と小さい。日高森林管理署による現地調査写真（私信）から崩壊地の深さは0.5m程度、渓床侵食の深さは2～2.5m程度、河床の堆積高さは0.5～1m程度と推定され、その結果、侵食土砂量は358～423千m³で、堆積土砂量は55～111千m³と見積もられ、相当程度の土砂が奥沙流ダムよ

り下流に流下したと推察される。その流下した土砂は奥沙流ダムが溝砂していない（写真-3）ことから水と同じ拳動を示すSS成分に代表される微細土砂と考えられる。

深成岩地域における高い崩壊密度（図-11）と微細土砂の流出については、2010年8月豪雨時の額平川流域からのSS流出についても報告されている⁷⁾。Mizugaki et al. (2012)⁷⁾は濁度計観測とトレーサーを用いたSS生産源推定法により、出水イベント中の流域内の地質別SS生産量を推定した。深成岩と變成岩地域でSS生産量が大きく、深成岩地域では高い崩壊面積率と急峻な地形、細粒分に富む生産源土砂が貢献した可能性を指摘している。また沙流川上流域の深成岩地域は、海岸土砂の主要な生産源の一つであり、大規模な出水時に供給されていることが指摘されている⁸⁾。

また、2016年8月豪雨によるSS流出量について、沙流川水系の複数の地点で採水（2016年8月台風9号まで）に基づくC-Q式による推定と濁度計による計測が行われている⁹⁾。2016年8月台風10号の推定値を、2003年8月のL-Q式によるSS流出量¹⁰⁾とともに図-18に示した。沙流川本川（S09:幌毛志地点）では、C-Q式によるSS流出量が108万tとされている。一方、富川（S01）ではC-Q式が84万t、濁度計による実測値で111万tとなっており、その中に深成岩地域から流下してきたSS成分が含まれているといえる。一方、2003年8月ではS09で196万tと2016年8月台風10号より明らかに大きく、中流付近に強い降雨が発生した場合のほうが流域全体に与える土砂動態の影響程度がより大きくなる可能性が高いと現時点では考えている。

7. おわりに

沙流川流域の全体について地域メッシュ（第3次）を用いて崩壊の分布状況を確認し、その土砂の下流への流出状況を含めた土砂動態を2時期の豪雨の比較で把握を試みた。本結果の1つとして2016年8月台風10号により沙流川最上流域の深成岩地域の生産土砂が河口まで到達した可能性を指摘したが、土砂量算出の精度向上が必要なうえ、中流域での堆積状況や二風谷ダム等での土砂の入れ替え、河口に到達した土砂に占める割合などのプロセスの解明が課題であり、特に流砂系の総合的な土砂管理の検討においては、微細土砂の土砂動態のさらなる把握が望まれる。

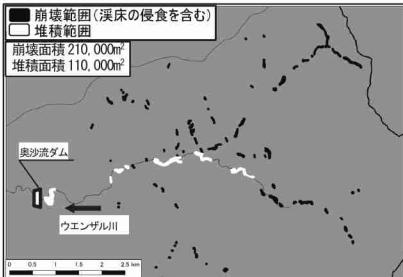


図-17 ウエンザル川上流域の崩壊範囲と堆積範囲

参考文献

- 1) 村上泰啓, 中津川誠, 高田賢一: 2003年8月出水における額平川流域の崩壊地とその要因分析について, 第2回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp. 75-80, 2004.
- 2) 村上泰啓, 布田哲郎, 池島剛: 航空レーザー計測を用いた山地溪流の微地形判読と基盤岩の風化傾向, 第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp. 49-54, 2008.
- 3) 小山内信智, 笠井美青, 林真一郎, 桂真也, 古市剛久, 伊倉万理, 高坂宗昭, 藤浪武史, 水垣滋, 阿部孝章, 布川雅典, 吉井厚志, 紅葉克也, 渡邊康弘, 塩野康浩, 宮崎知与, 澤田雅代, 早川智也, 松岡暁, 佐伯哲朗, 稲葉千秋, 永田直己, 松岡直基, 井上涼子: 平成28年台風10号豪雨により北海道十勝地方で発生した土砂流出, 砂防学会誌, 69巻6号 pp. 80-91, 2016.
- 4) 伊東佳彦, 倉橋稔幸, 角田富士夫, 山崎秀策: 2016年台風10号に伴う豪雨による日勝岬周辺の土砂災害-災害の概要と特徴-, 日本応用地質学会平成29年度研究発表会概要集, 2017
- 5) 倉橋稔幸, 伊東佳彦, 角田富士夫, 山崎秀策, 日外勝仁, 吉野恒平: 2016年台風10号に伴う豪雨による日勝岬周辺の土砂災害-斜面灾害と地形-, 日本応用地質学会平成29年度研究発表会概要集, 2017
- 6) 水垣滋, 渡邊好夫, 久保まゆみ, 平井康幸, 浜木聰: 流域スケールにおける地質別土砂生産量の推定法, 砂防学会平成27年度研究発表会概要集, 2015
- 7) Mizugaki S, Abe T, Murakami Y, Maruyama M, Kubo M: Fingerprinting suspended sediment sources in the Nakabira River, Northern Japan. International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 5, pp. 60-69, 2012.
- 8) 水垣滋, 大塚淳一, 丸山政浩, 矢部浩規, 浜木聰: 鶴川海岸の土砂生産源と粒径の季節変化, 土木学会論文集B2(海岸工学), 69巻2号, pp. L-671-L-675, 2013.
- 9) 水垣滋, 捜稚雅, 小田島大祐: 鶴川・沙流川水系における2016年8月豪雨による浮遊土砂流出量, 北海道開発局技術研究発表会概要集, 2018
- 10) 土木学会水工学委員会: 台風10号北海道豪雨災害調査団報告書, 2004

(2018.5.18 受付)

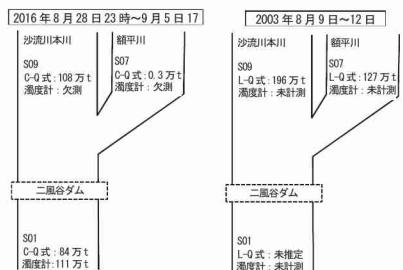


図-18 SS流出量の推定値