

紀伊半島大水害で発生した深層崩壊斜面下流 における蛇行度及び川幅と河床変動の関係

RELASHONSHIP BETWEEN MEANDERING, WIDES AND RIVER-BED
FLUCTUATION IN THE DEEP-SEATED LANDSLIDE LOWER BASIN CAUSED BY
THE 2011 KII PENINSULA FLOOD

海原 荘一¹・只熊 典子²・高田 隆行²・木下 篤彦³

柴田 俊³・小竹 利明³・山田 拓³・田中 健貴⁴

Soichi KAIHARA, Noriko TADAKUMA, Takayuki TAKATA, Atsuhiko KINOSHITA,
Suguru SHIBATA, Toshiaki KOTAKE, Taku YAMADA and Yasutaka TANAKA

¹株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町 3 丁目 1-21)

E-mail: kaihara-so@ej-hds.co.jp

²株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町 3 丁目 1-21)

³国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

(〒649-5332 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々 3027-6)

⁴北海道大学 (〒060-8589 北海道札幌市北区北 9 条西 9 丁目)

Key Words: river channel, meandering, river width, river-bed fluctuation, deep-seated landslide

1. はじめに

2011 年の台風 12 号による紀伊半島大水害では総雨量 1,000mm を超える降雨により、奈良県南部や和歌山県内で多数の深層崩壊が発生し、多量の崩壊土砂によって天然ダムが形成され¹⁾²⁾、周辺地域に多大な被害が生じ、災害復旧事業とそれに続く砂防事業が進められている。

紀伊山系砂防事務所では国総研資料「河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き」³⁾に準じ、短期の土砂流出を対象とした河床変動計算により対策工の施設配置の検討を進めている。しかし、実際の山地河川は大きく蛇行し、支川の合流点も多く存在するなど、複雑な河道特性となっており、土砂供給条件も降雨イベントにより大きく変化するなど、河床変動計算では河道における侵食・堆積の特性を十分反映できない可能性がある。

河川の下流域を対象とした平面線形や水理条件と砂州の形成については多くの研究事例⁴⁾がある。一方で、山地河川を対象とした河道の平面・横断特性と河道の土砂の侵食・堆積特性に関する研究としては、土石流区間を対象とした流路の変動に着目した観測事例⁵⁾やその土砂流出に関する研究⁶⁾があるものの、河川区域と土石流区域の中間的区域かつ深層崩壊斜面・天然ダム下流といった非常に活発な土砂生産源に近い場所を対象とした河道条件と河道の侵食・堆積に関する研究事例としては、流出土砂量に着目した研究⁷⁾や、支川合流点の土砂堆積の影響に着目した研究⁸⁾が数例あるが、特に蛇行の多い区間の河床変動実態に関する研究事例は極めて少ない。そこで本研究では、深層崩壊斜面及び天然ダム下流の土石流区間と河川区間の中間的範囲における河道の蛇行度及び川幅と河道の土砂の侵食・堆積の関係を把握することとした。

2. 検討対象および検討方法

(1) 検討対象及び検討方法

検討対象は新宮川水系熊野川流域のうち紀伊半島大水害により深層崩壊が発生し、発生後の河床の土砂の侵食・堆積量が多い流域として、川原樋川(下流域)、神納川(中下流域)、滝川(左支川及び下流域)、西川(今西川)の一部を対象とした(図-1)。各流域の紀伊半島大水害後から2017年または2018年頃までの河道侵食量・堆積量(流域内主要河道の総侵食・堆積量)を表-1に示す。下記(2)に示した方法で整理した河道諸元と土砂堆積の関係を整理し、蛇行度や川幅と土砂堆積の関係を把握した。なお、検討対象河川の殆どに勾配の急変点がない。

(2) 河道諸元の算定方法

本研究における河道諸元として、レーザープロファイラデータに基づいて、川幅については左右岸の遷緩線を河床両端部として設定し、河床幅を50m間隔で設定した。また、縦断勾配については200m区

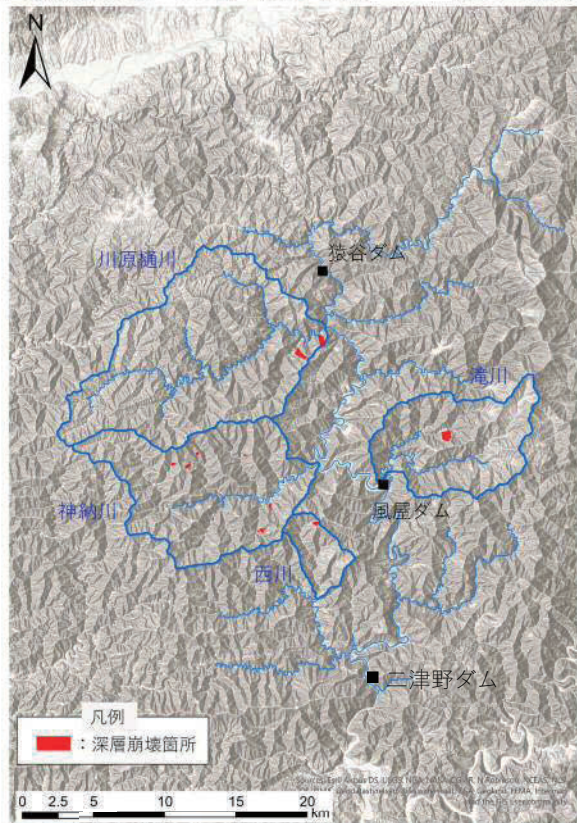
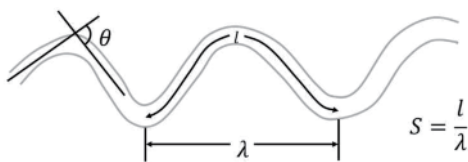


図-1 検討対象流域位置図



S: 蛇行度, l: 河道延長, λ: 波長

図-2 蛇行度の定義⁴⁾

間の平均勾配を求めた。蛇行度については図-2に示す山本の蛇行度の定義⁴⁾により設定したものと第3章(4)に示す河道法線の接線角に基づく方法の2つを検討した。河道の堆積・侵食土砂量については、50m測線間隔で区切られる範囲の2時期のレーザープロファイラデータによる差分土砂量を求めた。

3. 河道の蛇行度及び川幅と河床変動の特性

川原樋川, 神納川, 滝川, 西川流域では, どの流域も深層崩壊が生じているものの, 河道諸元と侵食堆積量を整理した結果と各流域で支配的となっている要因はそれぞれ異なることが明らかとなった。ここでは, 蛇行度と川幅が支配的となっている流域を例に, その特徴を以下に示す。

(1) 神納川の中下流域における蛇行度と河床の侵食・堆積の関係

図-3に示すように神納川の中下流域(No.0~No.500付近)は河道の蛇行度1.5~2に近い大きな値となっており, 図-4の地形差分図では, その区間

表-1 各流域の河道侵食・堆積量(2012年頃~2018年頃)

流域名	侵食量(m ³)	堆積量(m ³)
川原樋川(下流域)	227,000	228,000
神納川(中下流域)	925,000	516,000
滝川(左支川・下流域)	2,520,000	1,953,000
西川(今西川)	16,000	193,000

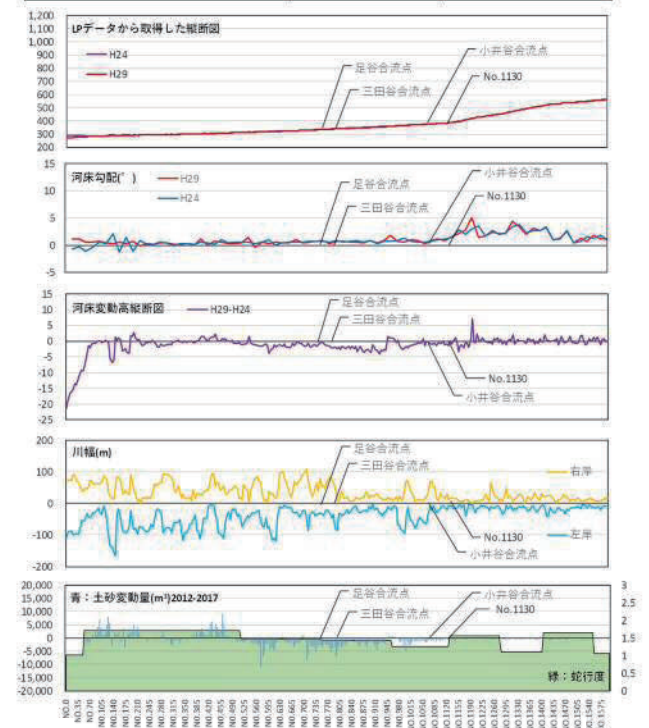


図-3 神納川流域の河道諸元と堆積土砂の関係

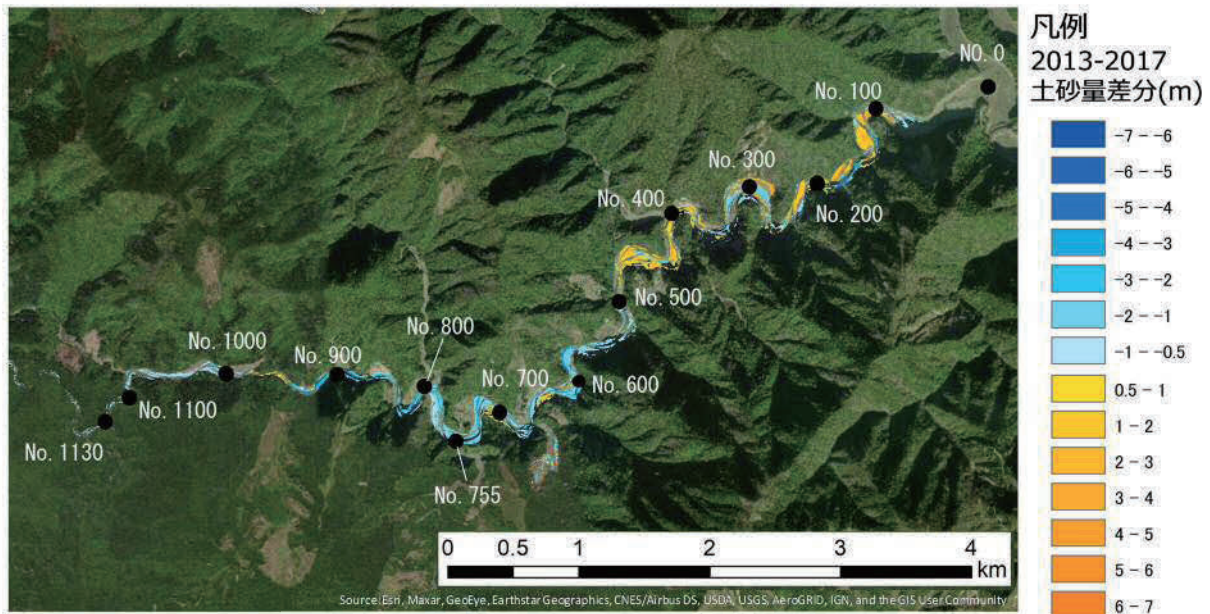


図-4 神納川流域の地形差分図(2013年～2017年)

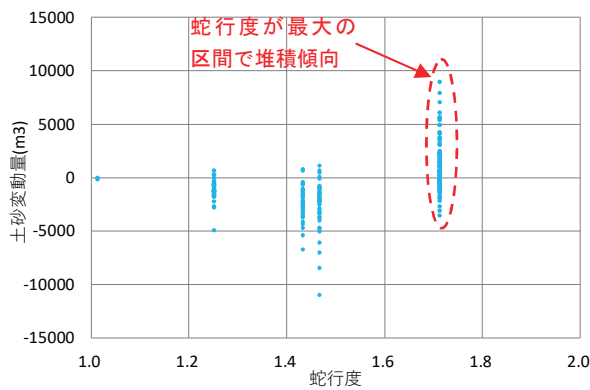


図-5 神納川流域の蛇行度と堆積土砂の関係は0.5～3.0m程度の堆積傾向となっている。

図-5に示す神納川の中下流域の蛇行度と河床の侵食・堆積量の関係では、一部侵食傾向の部分はあるものの、蛇行度が最大の区間では堆積量傾向となっている。図-4の地形差分図では蛇行部分は直線区間に比べて川幅も広がっているものの、川幅と土砂堆積量の関係は明瞭ではなかった。

図-3の縦断面図ではこれらのデータから蛇行度の大きい区間とそうでない区間の河床勾配はあまり大きな変化はないことから、蛇行度が土砂の侵食・堆積の支配的要因となっているものと考えられる。

(2) 西川流域(今西川)における川幅と土砂の侵食・堆積の関係

西川流域の今西川は、河床勾配は下流に行くほど勾配が徐々に緩くなる一般的な河床勾配の分布となっている。図-6に示す2時期の地形差分を見ると、中流域の川幅の狭い区間は堆積量が少なく、その上下流で堆積傾向となっていることがわかる。

図-7は50m間隔に区切った河道の土砂の侵食・

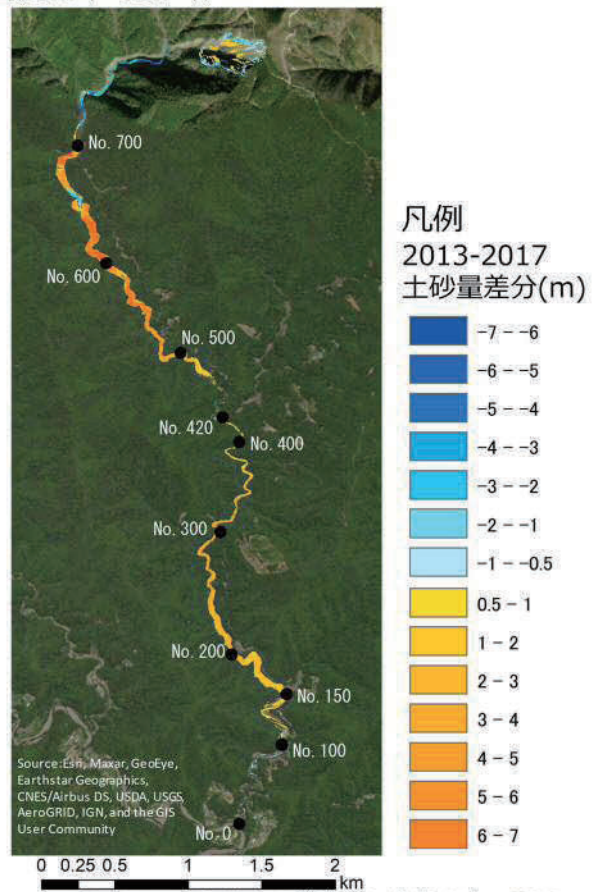


図-6 西川流域の河道諸元と堆積土砂の関係(2013年～2017年)

堆積量を示したものであるが、今西川流域における堆積量の関係では、川幅は広いほど堆積傾向である分布となっている。図-8の今西川流域の蛇行度と河床の侵食・堆積量の間には巨視的には蛇行度が大きいほど堆積傾向だが、蛇行度の大きい区間で深層崩壊地以外に侵食傾向の範囲があり、堆積量は川幅ほどリニアな関係になっていないことがわかる。

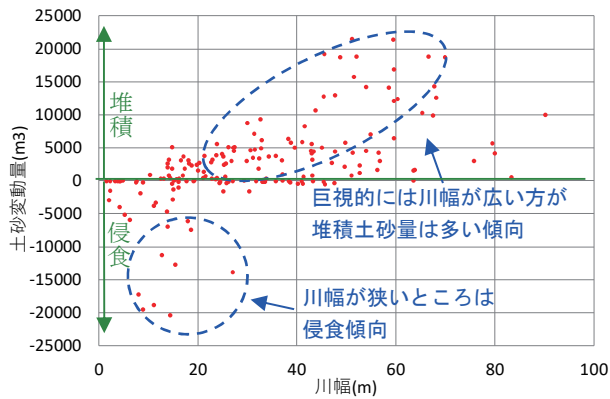


図-7 西川流域(今西川)川幅と堆積土砂の関係(侵食・堆積量は50m間隔の量を示している)

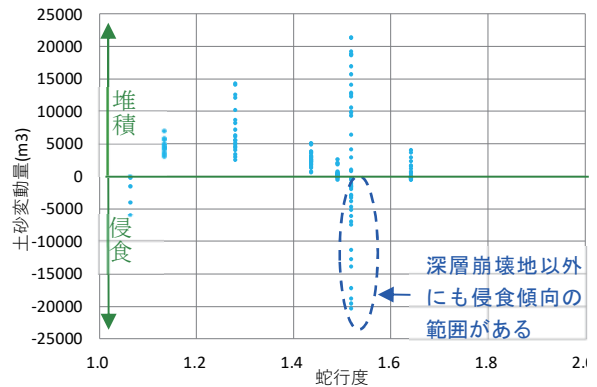


図-8 西川流域(今西川)蛇行度と堆積土砂の関係(侵食・堆積量は50m間隔の量を示している)

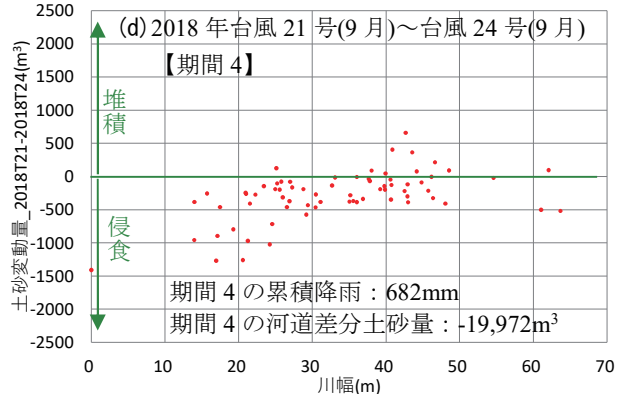
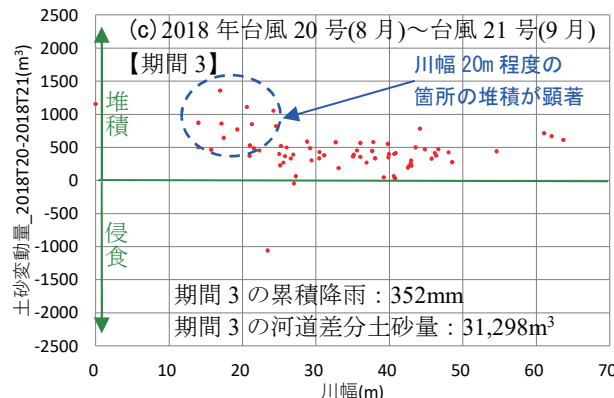
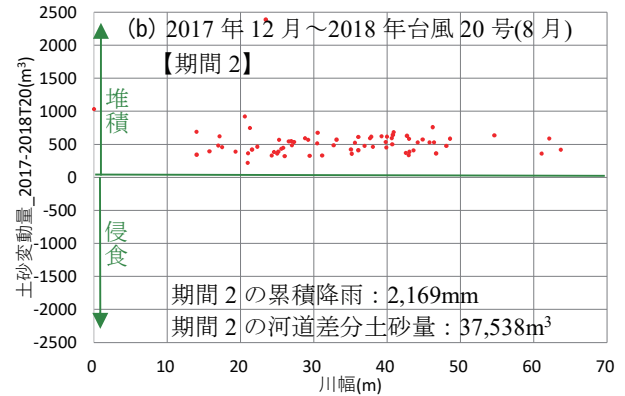
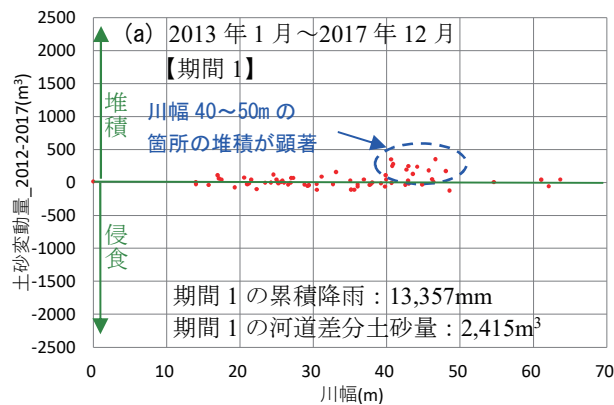


図-9 滝川(下流域)における川幅と侵食・堆積土砂量の関係(侵食・堆積量は縦断方向50m間隔の量である)

(3) 滝川(栗平川)における複数時期の川幅や蛇行度と土砂の侵食・堆積の関係

滝川流域の右支川上流には大規模な河道閉塞部があり、紀伊半島大水害後の台風により越流侵食を繰り返しており、下流河道に多くの土砂を供給している。2015年、2017年、2018年の台風20号、21号、24号、2019年台風10号でレーザープロファイラーによる地形計測を実施しており、合計4期間の2時期の地形差分図に基づきその関係を把握した。

ここでは、天然ダムの越流侵食の直接的影響を受ける直下流ではなく、河道周辺に保全人家があり、間接的に影響を受ける天然ダムから約7km下流から熊野川合流点までの区間(天然ダムの越流侵食に

よる河道侵食は含まない)における河道の侵食・堆積土砂量と川幅の関係や期間の総雨量を図-9に示した。いずれの期間も同様の傾向を示すものではなく、期間1~4で傾向が異なっていた。

期間1の2013年~2017年には堤体が16m程度侵食された2014年の台風11号や9m程度侵食された2015年台風11号による大規模な越流侵食⁹⁾があり、その越流侵食量は4時期で最大となっており、この期間の全体として河床は堆積傾向にあるものの、一部侵食傾向の部分がある。4つの期間のうち最も河道の堆積量が大きいのは期間2と3であり、期間2は殆どの区間で堆積傾向であった。

期間2には天然ダムの越流標高が下がるような極

めて大きな侵食はなく，期間 1 の天然ダム周辺で活発に生産された土砂が下流に流出したものと考えられる。

期間 3 については期間 1 ほどではないものの，天然ダムの堤高が 5m 程度低くなるような越流侵食が生じる降雨イベントがあり，ほぼ全区間が堆積傾向となっている。

期間 4 は天然ダムの堤高が 2.5m 程度低くなる降雨イベントがあったものの，全体に侵食傾向に転じている。また，期間 1 では川幅が 50m 程度のところが堆積が顕著になっているのに対し，期間 3 では川幅 20m 程度のところが堆積が多くなっており，顕著な堆積傾向にある場所も異なっている。この原因としては，土砂の供給量及びタイミング，水理条件の違いによる流砂量の非平衡性が，土砂堆積しやすい場所にも大きく影響しているものと考えられる。

(4) 河道の周波数解析

本研究では蛇行度の定量評価方法として，図-10 の概念図に示すように各流域の測線について 10m 間隔で接線角を求め，縦断測線方向の接線角の大きさの差分で曲率を数値化した(曲率が小さいほど接線

角が大きく変化する)。また，各測点の接線角から前後約 1km 区間の接線角のデータを用いて測線間隔である 10m をサンプリング間隔とし，空間スペクトログラムを求めた。さらに，周波数解析における 50 段階の周波数毎のパワー(振幅の 2 乗値)のデータを説明変数とし，その区間の河道の侵食・堆積量を目的変数とする多変量解析により相関性を確認することで，蛇行と土砂の侵食・堆積の関係性を把握した。なお，パワーが大きい範囲は河道の蛇行が大きいことを示している。

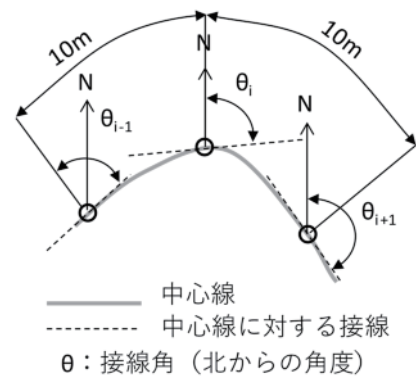


図-10 接線角の概念図

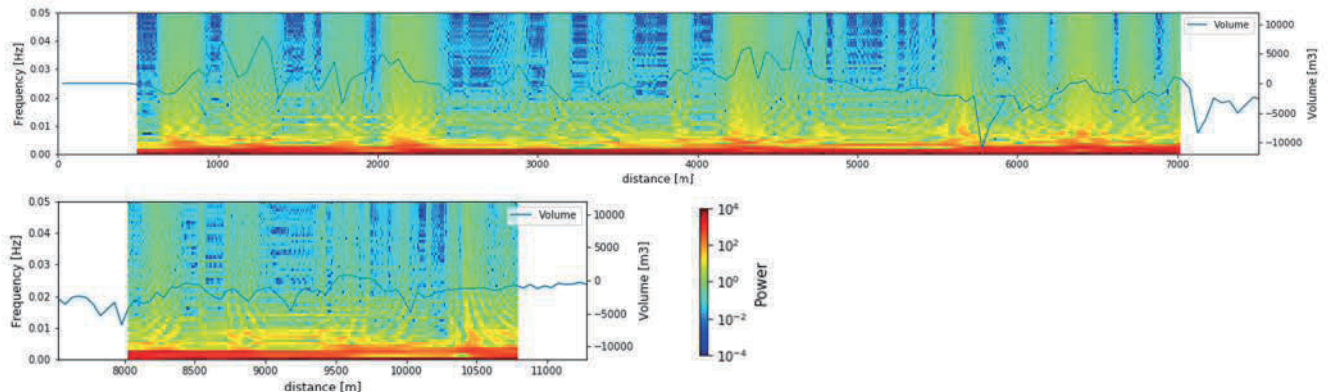


図-11 神納川における接線角度による周波数スペクトログラム (上側：下流域，下側：中流域)

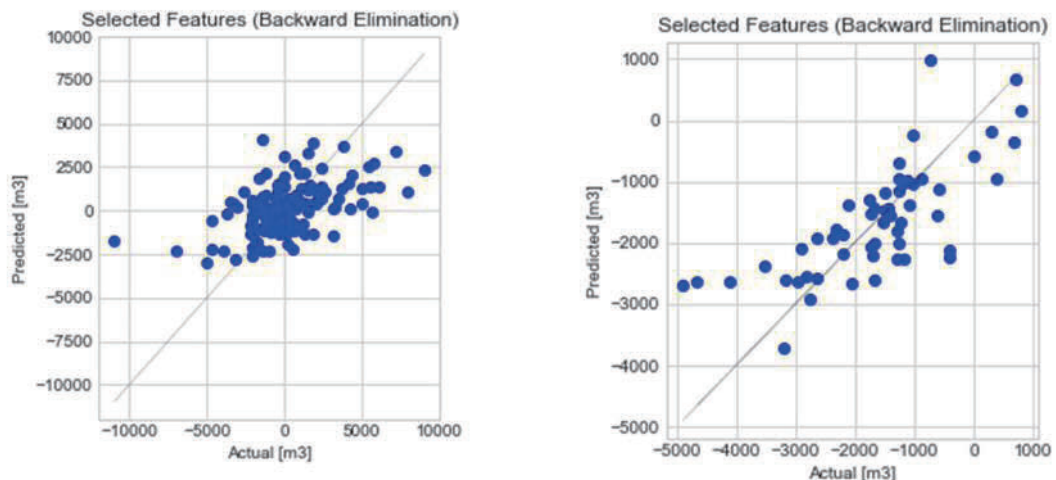


図-12 神納川における周波数スペクトルデータに基づく重回帰分析の結果 (縦軸は予測値，横軸は実測値，左側：下流域，右側：中流域)

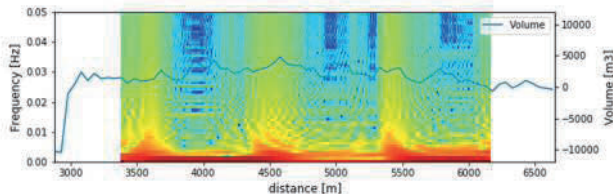


図-13 川原樋川（赤谷合流点上流）における接線角度による周波数スペクトログラム

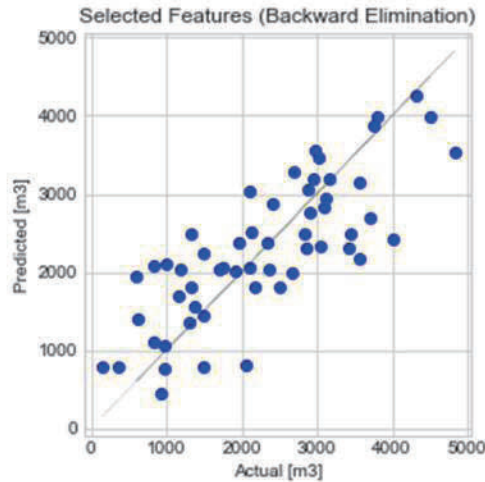


図-14 川原樋川（赤谷合流点上流）における周波数スペクルデータに基づく重回帰分析の結果

前述の蛇行度と堆積土砂量の関連性があるとした神納川流域についてスペクトログラムを図-11に、重回帰分析の結果を図-12に示す。重回帰分析の結果では、下流については決定係数が0.28程度であるが、中流域の決定係数は0.55と相対的に高い相関性となっていた。また、その他の流域の事例として川原樋川流域(赤谷合流点上流)の周波数スペクトルを図-13に、重回帰分析の結果を図-14に示す。この流域の決定係数は0.64と比較的高い値を示していた。河道の線形と河床変動との関係を求めておけば、蛇行度による河床変動を評価できることが分かった。

4. まとめ

本研究では、深層崩壊による土砂生産の活発な流域における河道の蛇行度・川幅に対する河道の土砂の侵食堆積の関係について検討した。河道の土砂の侵食・堆積に支配的となっている要因については、蛇行度である場合や川幅である場合等、流域によって異なり、また、同じ流域においても時期(降雨イベント)によって傾向や堆積しやすい場所が異なることが明らかとなった。今後は蛇行や川幅を関連付ながら降雨イベントごとの土砂の供給の量とタイミング、水理条件の経時変化が、深層崩壊・天然ダムの下流河道の河床変動に及ぼす影響を詳細に検討し、

対策施設の配置等に生かしていきたい。

参考文献

- 1)松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英次, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.43-53, 2012.
- 2)近畿地方整備局河川部: 平成23年度台風12号による河道閉塞への対応～紀伊半島大水害～, 2012.
- 3)内田太郎, 小松美緒, 坂井佑介: 国土技術政策総合研究所資料 河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き(案), 国土技術政策総合研究所資料, 第1048号, 2018.
- 4)山本晃一: 沖積河川学 堆積環境の観点から, 山海堂, 1994.
- 5)沢田豊明, 芦田和男, 高橋保: 山地河道の変動と砂礫の流出に関する研究, 第26回水理講演会論文集, pp.105-110, 1982.
- 6)沢田豊明, 芦田和男: 山地溪流における流路形態と土砂流出, 第33回水理講演会論文集, pp.373-378, 1989.
- 7)小竹利明, 菅原寛明, 木下篤彦, 田中健貴, 船越和也, 岡野和行, 井之本信, 横田潤一郎, 望月沙紀: 熊野川流域における土砂動態特性, 2019年度砂防学会研究発表会概要集, pp.419-420, 2019.
- 8)菅原寛明, 小竹利明, 木下篤彦, 田中健貴, 船越和也, 岡野和行, 井元成治: 支川からの土砂供給と本川河道の非一様性が本川の土砂移動に与える影響, 2019年度砂防学会研究発表会概要集, pp.621-622, 2019.
- 9)桜井亘, 酒井良, 奥山悠木, 水山高久, 池田暁彦, 海原荘一, 只熊典子, 柏原佳明, 吉野弘祐, 小川内良人, 龍見栄臣, 島田徹: 2014年8月台風11号時に河道閉塞で生じた侵食・土砂流出と対策への影響, 砂防学会誌, Vol.68, No.6, pp.4-13, 2016.

(2020.7.1 受付)