

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	流木発生ポテンシャルの概念に基づく花月川の橋梁における流木災害リスク評価
Title(English)	ASSESSMENT OF WOODY DEBRIS DISASTER RISK AT ALL BRIDGES ALONG THE KAGETSU RIVER ACCORDING TO ITS GENERATION POTENTIAL CONCEPT
著者(和文)	矢野 真一郎, 土橋 将太, 堂蘭 俊多, 笠間 清伸, 北 隆範
Authors(English)	Shinichiro Yano, Shota Tsuchihashi, Shunta Dozono, Kiyonobu Kasama, Takanori Kita
出典(和文)	土木学会論文集 B 1 (水工学), Vol. 72, No. 4, pp. I_289-I_294
Citation(English)	Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 72, No. 4, pp. I_289-I_294
発行日 / Pub. date	2016, 2
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は土木学会に帰属します。 Copyright (c) 2016 Japan Society of Civil Engineers.

流木発生ポテンシャルの概念に基づく花月川の 橋梁における流木災害リスク評価

ASSESSMENT OF WOODY DEBRIS DISASTER RISK AT ALL BRIDGES ALONG THE
KAGETSU RIVER ACCORDING TO ITS GENERATION POTENTIAL CONCEPT

矢野真一郎¹・土橋将太²・堂菌俊多³・笠間清伸⁴・北隆範⁵

Shinichiro YANO, Shota TSUCHIHASHI, Shunta DOZONO, Kiyonobu KAZAMA and Takanori KITA

¹フェロー会員 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境社会部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

²学生会員 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻 (同上)

³正会員 工修 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻 (同上)

⁴正会員 工博 九州大学大学院准教授 工学研究院社会基盤部門 (同上)

⁵防衛省経理装備局 (〒162-8801 東京都新宿区谷本村町5-1)

Recently, many big floods and soil disasters have occurred in Japan due to heavy rainfall events. Also, we can see a hazard due to woody debris in the events. In the present paper, we propose a concept of “drift woods generation potential.” The potential is defined by empirical formula with data set of geography and woods. It can express the maximum possible generation of woody debris at a given point in a river. We attempt to adapt this assessment to all bridges along the Kagetsu River, Oita. From the results, it was confirmed that this concept was able to express the actual woody debris accumulation on a few bridges which were affected by them in the Northern Kyushu Rainfall Event 2012. In addition, a change of the risk due to reformation of a bridge can be evaluated by this method.

Key Words: woody debris, drift woods generation potential, Kagetsu River, Northern Kyushu Heavy Rain 2012

1. はじめに

近年の我が国において、2010年の奄美大島、2011年の福島・新潟や和歌山など、2012年の九州北部地方、2013年の中国、近畿、伊豆大島など、2014年の広島、さらに直近の2015年の台風17号による関東・東北の水害など、記録的豪雨に起因する大規模洪水・土砂災害が多発している。これらの豪雨と地球温暖化との関係は不明であるが、その兆候である可能性は高い。そうであるならば、今後このような大規模災害が継続して発生し、我々の社会や経済活動、ならびに自然環境にも多大な影響を及ぼしていくものと推測される。

このような大規模豪雨災害においては、氾濫や斜面崩壊などに起因する被害が主要なものである。一方で、大規模豪雨災害においては、斜面崩壊の発生などに伴い、多くの流木が河道に流出して、洪水被害を助長していることが多数報告されている^{1,2,3}など。また、河道内樹林または河畔林が出水により崩壊して流木化することも多い¹。これらの流木は、河道を流下する際に比較的流下能力が低い構造を持つ橋梁に集積し、ダム化してせき上げを

起こすことで氾濫を助長したり、大量に集積して洪水時の非常に大きな流体力を受けることで橋梁を破壊したりするなどの災害を引き起こす。また、流木発生源より下流にダムがある場合には、ダム湖に集積しダム施設の機能障害を引き起こす。さらに、河川内で集積、捕捉されない流木は海岸まで流出し、海岸や干潟へ堆積したり、河口近くの港湾に集積して漁船などの小型船舶の航行障害を起こしたり、漁業施設の破壊を引き起こすなどの多大な被害を起こしている。

このような状況から、これまで議論されてきた水や土砂の流出管理に加えて、今後は大規模洪水時の流木流出の管理技術の開発が必要であると考えられる。過去の流木研究は、流木が橋梁に集積するメカニズムの研究⁴や、実際の洪水時の河道内での挙動⁵などに着目しており、河川流域におけるリスク評価に資する発生可能量を評価した研究はない。本研究では、河川流域内に存在する豪雨時に斜面崩壊の可能性が見込まれる箇所と対象斜面の森林の状況、ならびに対象河川と各斜面との地形的な関係から推定される流木の可能最大発生量を「流木発生ポテンシャル」と定義し、その評価法を提案する。この概念に基づいて、2012年の平成24年7月九州北部豪雨にて10

日間で2度の既往最大洪水を経験した筑後川支川の花月川において、全橋梁の調査結果に基づく各橋梁における流木集積リスクを評価することを試みる。また、同水害により発生した流木の集積に伴うせき上げ氾濫の発生を受けて改修が決定した橋梁について、改修後の下流への流木集積リスクの変化についても検討を行う。

2. 平成24年7月九州北部豪雨における花月川流域の流木発生状況等について

花月川は大分県日田市を流れる、筑後川の支川である。流域面積は136.1km²、延長16.6kmであり、筑後川との合流地点から上流8.7km地点までが国直轄区間、それより上流が大分県管理区間となっている。主要な支川としては、筑後川との合流地点から5.2km地点で合流する有田川、8.8km地点で合流する小野川がある。

今回の豪雨では、2012年7月3日に花月雨量観測所で1時間雨量81mm、3時間雨量172mmの既往最大降雨を記録した。続く7月14日には同地点で1時間63mm、3時間124mmをそれぞれ記録している。3日の降雨が短時間豪雨であり、14日が日単位の豪雨であったという特徴がみられている²⁾。花月水位観測所では、7月3日9時30分に既往最大水位4.16mを観測し、同月14日7時30分には4.37mと記録を更新した。これは、短期間で既往最大水位を2度も更新したことを示しており、今回の豪雨の凄まじさを表している。7月3日の出水では堤防決壊が2箇所、越水が13箇所が発生し、氾濫が発生した。日田市内は121.3haの広い地域で浸水し、835戸の家屋や道路、田畑等に多大な損害を与えた。その後の決壊箇所の応急復旧により14日の出水では決壊は起こらず、越水による79haの浸水被害にとどまった。

流木の橋梁集積による被害も発生している。花月川4.8km地点の夕田橋では、橋脚に流木が集積することによる堰上げが生じ、市の中心部が浸水する一因となった。この夕田橋は、花月川と支川の有田川の合流地点下流の最初の橋であり、花月川と有田川の両方の流域で発生した流木が集中する場所となっている。加えて、現在の夕田橋には橋脚が3本あり、構造上も流木の集積を起こしやすいものであった。被災後、激甚災害対策特別緊急事業により橋脚を1本にする改修計画が進められており、2016年度末の供用を目指している。また、有田川に架かる日掛橋においても、同様に流木の集積が氾濫を拡大させる要因となった。この橋梁も欄干が破損するなどしたこともあり、架け替えが決まっている。事業計画によると、橋から下流800mの区間を優先的に改修し、川幅が狭いことから周辺で床上浸水が発生したため、左岸側を4.4m～7.5m拡幅し最大幅を約30mにする予定である。

3. 解析手法

(1) 流木発生ポテンシャルについて

まず、本研究で提案する流木発生ポテンシャルの概念について説明する。ここでは、流域内から発生しうる最大の流木量を流木発生ポテンシャルとして定義する。実際に流木が発生する洪水イベントは確率論的な側面が非常に大きく、流木発生量や発生箇所が主に降雨の時空間的パターンに依存するため、発生量を確率量として表現することは非常に困難である。よって、それらの全てを包含すると考えてよい流木発生ポテンシャルを定量的に表現することで、流木災害のリスク算定や、その結果に伴う橋梁の新規計画または更新にあたっての構造設計等に寄与することを目指している。

大規模洪水に起因する流木の河道への供給は、斜面崩壊による森林の倒壊と河畔林・河道内植生が洪水で崩壊する場合が主要であると考えられる。ここでは上述の考え方から、樹木量として大部分を占める前者の斜面崩壊起源のみを対象とする。各洪水イベントの再現などを考える際には、当然、後者の発生量を考慮すべきであるが、ここでは実際のイベントを再現するものでないため発生ポテンシャルとして十分な評価になると考えた。

(2) 使用したデータ類について

以下に示すデータ類についての情報整理を地理情報システムGIS (ESRI社製、ArcGIS10.2を使用) 上で行った。

まず、橋梁管理者である日田市等から提供された橋梁台帳より花月川流域内(対象河川：花月川本川、有田川、小野川 (図-1) の全橋梁の構造(桁長、桁高、橋脚数、スパン長など)に関する基本情報を収集した。しかし、台帳上で把握できない橋梁が多数存在していたため、レーザー距離計を用いて全橋梁(計111箇所)について現地踏査を行い、橋梁位置・桁下高・橋長・構造形式・幅員・橋種・橋脚数の項目を整理した。

次に、森林基本書、森林計画書、ならびに森林簿を大分県農林水産部林務管理課から収集し、林班・第1樹種林



図-1 対象とする河川と橋梁の位置 [緑点：橋梁、青線：河道、黒線：流域境界、番号は橋梁番号。]

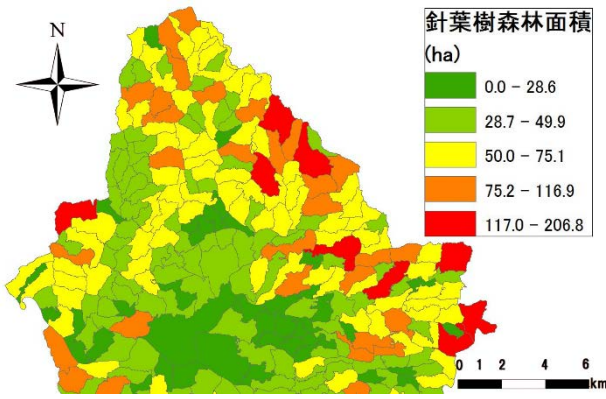


図-2 林相区分図(針葉樹)

表-1 使用データ一覧

データ	収集元
橋梁台帳	日田市土木建築部, 大分県土木建築部
森林基本書	大分県農林水産部林務課
森林計画書	大分県農林水産部林務課
森林簿	大分県農林水産部林務課
標高データ	国土地理院基盤地図情報DLサービス

相・第1樹種面積のデータに基づき、林相区分図を作成した。ここでは、針葉樹(図-2)・広葉樹・竹林・無立木地・更新困難地の5つに分類した。

流木は河道を流下する過程で、折損等により立木の約1/2~1/3の長さになると経験的に言われている⁶⁾。そこで、流域内の急傾斜地から流域を大まかに包含できるように7つの斜面上の森林を選択し、所有者の許可を得て立ち入り、立木の寸法についての現地調査を実施した。本検討で用いる流木長を得られた立木高さの平均値の半分となる9.16mと設定した。

これらに加えて、後述する流木発生斜面の選定と河道との地形的関係の評価するため国土地理院発行の標高データ(10mメッシュ)を用いた。表-1に今回使用したデータを一覧として示す。

(3) 流木発生ポテンシャルの算定について

斜面崩壊によって発生した倒木が河道まで到達することによって初めて河川に流出した流木となる。そのため河道まで到達する可能性のある斜面のみを流木発生源として考慮する必要がある。

「急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律」によって角度が30°以上の箇所が急傾斜地とされている。そこで、流木となりうる倒木が斜面崩壊により発生する斜面を選択するために、標高データをもとにGISによって斜面角度が30°以上の斜面を選定した。

次に、選択された各急傾斜地において河道に流入する最短経路を求め、倒木が河道まで到達できる可能性の有無を評価する必要がある。そこで、図-3に示すような斜

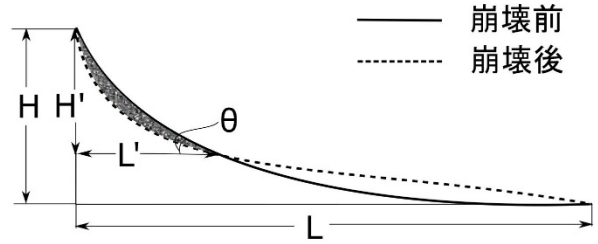


図-3 斜面崩壊に伴う崩壊土砂の到達距離の算定法⁷⁾

面縦断形状から斜面崩壊により発生する土砂が到達できる距離を推定する経験式(1)⁷⁾を用いて評価を試みた。

$$H/(L-L') = 0.73 \tan \theta - 0.21 \quad (1)$$

ここで、 θ : 崩壊斜面角度、 H : 流下高、 $L-L'$: 最短到達経路距離である。

以下の要領でGISの機能を組み合わせて出発地から目的地までの最短到達経路距離を算出した。まず、標高データから単位均一降雨時に各セルを通過する累積流量をArcGISの累積流量計算ツールにより計算することで、峰や谷などの地形を判断した。得られた各セルの累積流量の逆数について、峰に相当する箇所が非常に大きい値を持つように異常値(非常に大きい値)に設定し、谷筋と考えられる箇所には0を与える操作をArcGISの再分類ツールにより行った。そして、各急傾斜地下端から河道までの最短到達経路距離、すなわち図-3における $L-L'$ をArcGISのコストパスツールにより算定した。このツールは斜面から河道までの到達可能な経路の中で通過するセル値の合計が最小になる経路を選択できるため、峰を越えずに河道まで流れる最短到達経路を決定できる。

得られた各急傾斜地から河道までの最短到達経路距離 $L-L'$ 、標高データから得られる各急斜面の平均角度 θ 、得られた最短到達経路と河道との合流地点までの標高差 H が推定できるため、(1)式から倒木の最短到達可能距離が推定でき、各急傾斜地から倒木(全倒木が最下点に到達すると仮定)が河道に到達するか判定できることになる。

河道上の任意地点における流木発生ポテンシャルは、その地点の集水域のうち上述の方法で判定された斜面崩壊による倒木が河道に到達できる急傾斜地から生産されると考えられる。本研究では、流木発生ポテンシャル V_i (m^3)について、林野庁の「土石流・流木対策の手引き」⁶⁾で用いられた石川の経験式を適用して次式で評価した。

$$V_i = \sum_k \beta_k A_{ki} \quad (2)$$

ここで、 β_k : k 種の森林における流木流出率(m^3/km^2)、 A_i : i 地点の集水面積内における流木発生源上の k 種の森林面積(km^2)である。 β_k は森林の植生により、針葉樹: 1000、広葉樹: 100、竹林: 500、無立木地と更新困難地: 0とされている。石川の式は、過去に生じた土砂災害から得られた流木量データをもとにして、樹種ごとに最大の発生量を表現したと解釈できる経験式である。よって、本研

究で検討している流木発生ポテンシャルの評価に適した経験式といえる。

(4) 河川橋梁位置における相対的流木災害リスクの評価について

流木が発生し河道を下流する際に、通常は河川の横断構造物のうち橋梁とダムで流木は集積して捕捉される。災害リスクを評価する際には、一般的には災害により発生する経済的、もしくは人間的被害の大小で議論されるが、ここでは橋梁地点における流木発生ポテンシャルの算定結果を用いて、各橋梁の構造に起因する流木の捕捉量、すなわち想定される最大の捕捉量に相当する量で表現することを試みる。この評価により各橋梁の構造とその地点における可能な流木発生最大量を考慮した相対的な流木災害の可能性を比較できることになる。

ここでは、各橋梁における相対的な流木災害リスクを、その上流域からの流木発生ポテンシャルから上流の全ての橋梁により捕捉される量を差し引いた分のうち、対象とする橋梁へ下流し捕捉される流木量として表現した漸化式(3)を用いて評価する。

$$\tilde{V}_i = (V_i - \tilde{V}_{i-1} - \tilde{V}_{i-2} \cdots \tilde{V}_1) \alpha_i = \alpha_i (V_i - \sum_{k=1}^{i-1} \tilde{V}_k) \quad (3)$$

ここで、 \tilde{V}_i : 橋梁*i*における流木捕捉量、 α_i : 橋梁*i*の流木捕捉率である。ただし、式中の*i*は上流から下流に向かって数字が増えるように付ける橋梁の番号であり、後述の図-4等で使用されている橋梁番号とは異なる。また、河川が合流する地点では、両方の影響を合算する。

流木捕捉率 α_i は、最小の橋脚間スパン長に対する想定される流木長の比率（以下、相対スパン長）が捕捉現象について支配的な要因となると仮定し、次式で評価した。

$$\alpha_i = \frac{L_w}{S_i} \times \frac{1}{k} \quad (4)$$

ここで、 L_w : 流域内の森林における現地調査から決定した想定流木長(=9.16m)、 S_i : 橋梁*i*における最小の橋脚間スパン長、 k : 橋梁における流木の集積しにくさを表す係数とする。

漸化式(3)を導入したことで、橋梁を改修した場合などに、下流にリスクが遷移する状況も評価できることになる。捕捉率 α_i には相対スパン長以外のパラメータ、例えば出水時の橋桁のクリアランス、橋梁や橋脚の詳細な構造、流木の形状（枝や根の有無やそれらの形状など）なども関係すると考えられるが、現段階でこれらを包括的に定量化して取り扱うことを可能とする知見がないので、それらの不確定要素を係数*k*に含ませると考えて評価をした。なお、全橋梁で*k*は一定と仮定した。また、捕捉率 α_i は、原理的に0から1の間の値となる係数であることから、必然的に流域内の L_w/S_i の最大値から決定される*k*の下限値を設定することになる。今回対象とした花月川の全橋梁の相対スパン長を図-4に示す。相対スパン長の最大

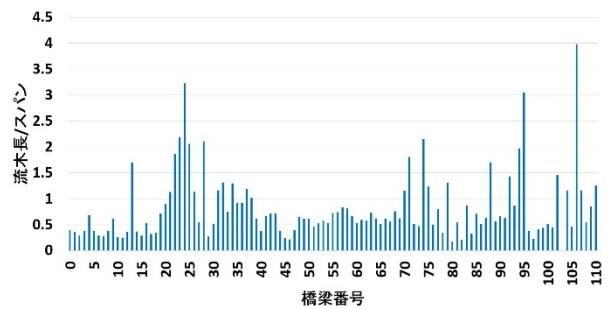


図-4 花月川流域の全橋梁における相対スパン長の分布

値が4程度であることから、花月川流域では*k*は4以上とする必要があることが分かる。なお、図中の橋梁番号は、花月川本川の下流側から上流へ0から26番、27から39までが小野川の下流から上流へ、同様に40から110が有田川のものを示している（図-1）。

4. 花月川流域を対象とした評価結果と考察

(1) 流木発生源の特定結果について

第3章で説明した方法に基づき、花月川流域内の急傾斜地箇所を評価した結果を図-5に示す。急傾斜地は上流域に集中していることが読み取れる。また、これらの急傾斜地から河道までの最短到達経路を図-6に示す。両者より、最終的に河道まで倒木が到達できる急傾斜地である流木発生源を選定した結果を図-7に示す。

図-5より30°以上の勾配を持つ急傾斜地の総面積が31km²、図-7より流木発生源である流木発生源の総面積が24km²と算定され、急傾斜地の8割弱が流木の発生源となりうると判定された。

(2) 橋梁位置における流木発生ポテンシャルの推定結果について

4(1)より得られた流木発生源の全てから流木が供給さ

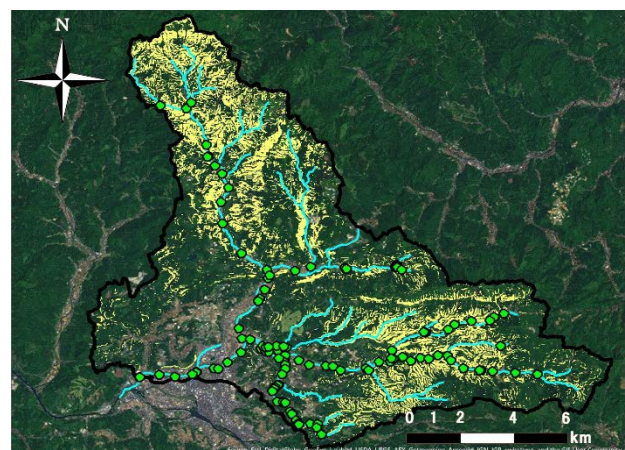


図-5 花月川流域の急傾斜地の分布[黄色箇所が急傾斜地、緑点が橋梁、青線が河道、黒線が流域境界。]

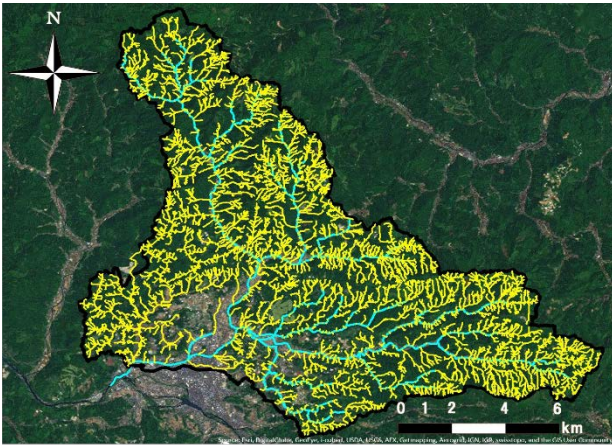


図-6 花月川流域の急傾斜地から河道までの最短経路の分布
[黄線が経路、青線が河道、黒線が流域境界。]

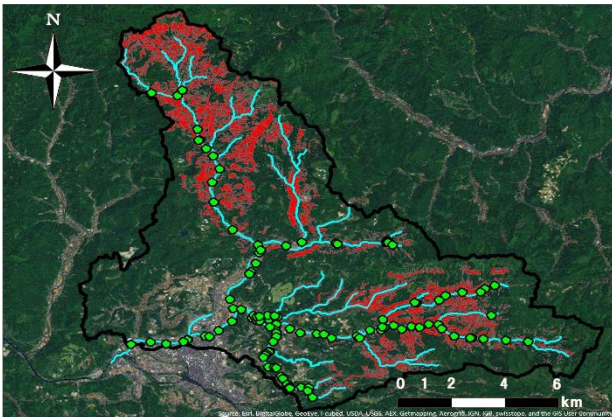


図-7 流木発生源箇所の分布[赤箇所が到達可能箇所、緑点が橋梁、青線が河道、黒線が流域境界。]

れた場合について考えることで、流木発生ポテンシャルが評価できる。その際に各発生源の斜面における樹種を考慮するために、林相区分(図-2など)を流木発生源(図-7)と重ね合わせることで発生源における樹種分布の影響を評価した。また、各橋梁位置における集水域内の各樹種の発生源面積から式(2)より流木発生ポテンシャルを算出した。

図-8に各橋梁位置での流木発生ポテンシャルの分布を、図-9にその地理空間分布を示す。これにより、集水域内の斜面崩壊の可能性のある急傾斜地の分布、樹林の種類と面積、斜面と河道との地形的な関係を考慮した最大流木発生量としての流木発生ポテンシャルが評価できたことになる。両図より当然ながら、集水面積が広がる下流の橋梁ほど V_f が大きくなっていることが分かる。また、最下流の市街地内では周辺から流入する流木がほとんどないため、 V_f の値が変化しない領域が見られる。なお、所々に上流より小さい値を示す橋梁が見られるが、3河川に合流している小さい支川上の橋梁のものである。

この結果は、各橋梁地点において集水域から発生しうる全流木量に相当する流木発生ポテンシャルを示したも

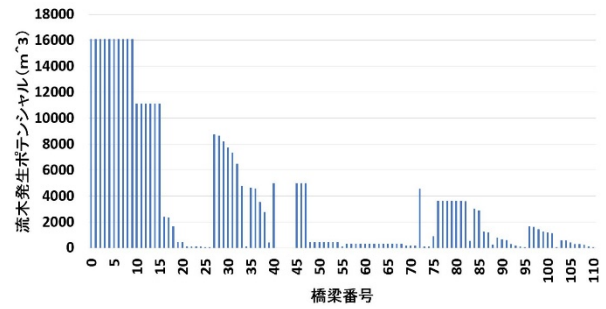


図-8 各橋梁地点の流木発生ポテンシャル

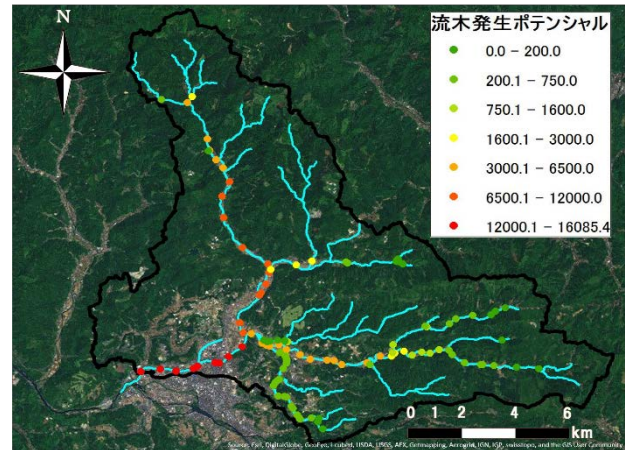


図-9 各橋梁地点の流木発生ポテンシャルの地理空間分布

のである。したがって、豪雨イベントに伴い実際に発生する流木量はこのうちの一部であると考えられることに注意が必要である。

(3) 各橋梁における相対的流木災害リスクの評価結果について

次に、得られた流木発生ポテンシャルを用いて各橋梁で捕捉される相対的な流木量、すなわち相対的流木災害リスクを式(3)より計算した。図-10, 11に各橋梁の相対的流木災害リスク分布の推定結果を、 $k=5, 50$ の2ケースのみ示す。流木の集積しにくさを表す定数 k については、過去の流木発生源、発生量、ならびに橋梁位置での集積データが完全に揃っていれば一義的に決定できるが、花月川においてはそれらデータが十分には存在していない。よって、現状では k の決定ができないため、いくつかの値($k=5, 50, 100, 1000, 10000$)で試算を行い、相対的なリスクの大小を評価している。

両図を比較すると、相対的にリスクが大きくなる橋梁は同じであることが分かる。ただし、リスクの比率は変化していることから、絶対的なリスクを評価するためには定数 k の決定方法の確立が必要であると考えられる。また、単に橋梁の形状のみで評価した場合に相当する図-4と比較すると、分布が異なっており、流木発生源との地形的な関係性を考慮することの重要性が理解される。

第2章で説明した平成24年の豪雨において実際に流木

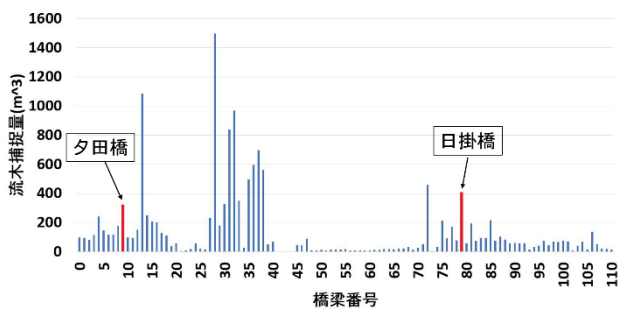


図-10 相対的流木災害リスクの分布 [k=5の場合]

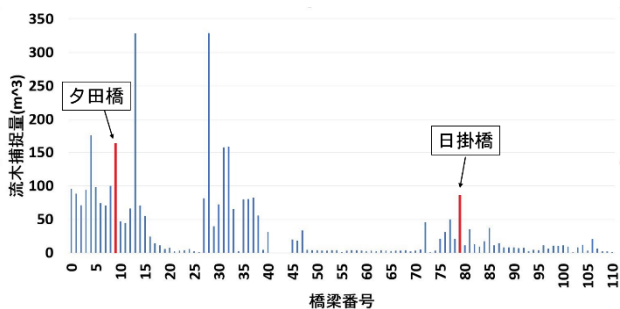


図-11 相対的流木災害リスクの分布 [k=50の場合]

が集積した花月川の夕田橋($i=9$)と有田川の日掛橋($i=79$) (図中の赤いバー) について着目すると、 k の値に関わらずリスクが相対的に高く評価されている。よって、本評価法により花月川流域における橋梁の流木集積の傾向性については評価できていると判断される。なお、この水害ではリスクの高い橋梁の全てで流木が集積していないが、これは実際の流木発生箇所と橋梁位置との関係があるためである。

5. 橋梁改修計画に対する応用

第2章で述べたとおり、夕田橋は改修工事が進んでおり、2016年度中に最少スパン長が15mから40mとなる。最小スパン長が2.7倍になることから、本評価法における流木捕捉率が1/2.7倍(37%)になる。実際にはクリアランスが増加するなどの影響もあるため、これ以上に捕捉率が減少すると考えられる。いずれにしても、この改修により下流の橋梁へ夕田橋のリスクが分配されると考えられる。

そこで、流木災害リスク評価法の応用例として、夕田橋改修に伴うリスクの変化を評価した。図-12に夕田橋改修後の下流の9本の橋梁における流木災害リスクの増分($k=50$ の場合)の分布を示す。下流の全ての橋梁でリスクが増加することに加えて、花月川の河川整備計画において改修が望まれているJR橋が他の橋梁より2倍ほど大きく、リスクが最も増加することが示された。このように、将来的な橋梁の改修、もしくは新規の橋梁建設などが下流に与えるリスクの評価が本手法により可能となることが示された。なお、増分の絶対量は非常に小さい値である

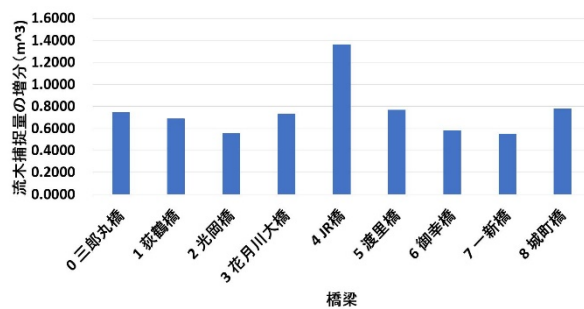


図-12 夕田橋架替による下流橋梁の流木捕捉の増加量

が、 k に依存する相対量であることに注意が必要である。

6. 終わりに

大規模豪雨災害に伴い発生することの多い流木災害について、可能最大流木発生量に相当する流木発生ポテンシャルの評価法を提案した。本方法に基づき、花月川流域を対象とした流木発生ポテンシャルと、流域内の全橋梁における相対的流木災害リスクを評価した。その結果、橋梁の形状と流木発生源の両方の情報を加味した評価が可能になり、橋梁の改修や新規建設に伴う集積傾向の変化を評価できることが示された。今後、橋梁への捕捉率 α_i の評価方法などの改善を行うことで、より信頼性の高い評価法への改良を行い、さらに流木集積による氾濫発生などに起因する経済損失などを計量したリスク評価法へと発展させたい。

謝辞：本研究は平成27年度科研費挑戦的萌芽研究(15K14042)、九州大学社会連携事業、ならびに平成26年度河川財団河川整備基金の援助により実施された。また、日田市、ならびに大分県に各種データを提供いただいた。ここに記し深甚なる感謝の意を表する。

参考文献：

- 1) 小松利光(監修)：流木と災害 発生から処理まで、技報堂出版、2009。
- 2) 土木学会九州北部豪雨災害調査団：平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書、2013。
- 3) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団：平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査報告書、2014。
- 4) 末次忠司、坂野章、二村貴幸：谷底平野を流下する河川の橋梁取り付け部における超過洪水時の被災現象、河川技術論文集、第7巻、pp.133-136、2001。
- 5) 船本優月、二瓶泰雄：GPSフロートをを用いた河川の流木挙動に関する基礎的観測、土木学会第69回年次学術講演会講演概要集、pp.101-102、2014。
- 6) 林野庁：土石流・流木対策の手引き、2012。
- 7) 森脇寛：崩土の到達距離予測、地すべり、Vol.24, No.2, pp.10-16、1987。(2015. 9. 30受付)