山国川流域を対象とした橋梁への流木集積リスクの評価

九州大学大学院　学生員　○土橋将太・富田浩平　フェロー　矢野真一郎　正員　堂薗俊多・笠間清伸

1. 研究目的：

大分県中津市を流れる一級河川の山国川(延長 56km, 流域面積 540km^2)において，平成 24 年 7 月九州北部豪雨により歴史的な価値を有する石橋である馬渓橋で流下能力不足によりせき上げが生じたことによる，浸水被害が発生した．一方，近年多発している大規模豪雨災害で顕著に見られる流木による被害の助長が，山国川においても見られた．津民橋では流木の集積に起因する橋梁の損壊が発生している．本豪雨での被害を受けて，山国川では被害を助長した橋梁の掛け替えや撤去等に関する議論が行われた．河川流域を対象とした橋梁への流木集積リスクの評価については，矢野ら(2016)が流木発生ポテンシャルの概念を提案し，河川上の各橋梁における相対的な流木集積リスクを評価する方法を確立している．しかし，この方法では一般的な桁橋以外の橋梁におけるリスク評価，さらに山地に建設されている砂防ダムの流木捕捉効果に関する評価などは含まれておらず，山国川への適用がそのままでは行えない．本研究では，石橋群や沈下橋における評価，ならびに対象流域内に無数に存在する砂防ダムの捕捉効果などを取り入れた改良を試みる．また，改良した評価方法を用いて，撤去が予定されている橋梁の有無による下流へのリスクの変化についても評価を試みた．

2. 研究内容：

研究対象は，**図-1** に示した歴史的石橋群のうち最下流にある耶馬溪橋より上流域(延長 34.5km, 流域面積 435.7km^2)である．山国川には，文化財としての価値が高く評価されている石橋群として，耶馬溪橋・馬渓橋・羅漢寺橋の 3 橋がある．この流域には大ダムである耶馬溪ダムも存在するが，一般的に貯留式のダムでは網場により上流から流入する流木を捕捉するため，下流には流れ込まないと考えて，対象からダム上流域は除いている．本研究では，橋梁管理者から提供を受けた橋梁台帳データと全橋梁を対象とした現地踏査より，対象流域内の橋梁(456 箇所)の桁下高・橋長・構造形式・橋脚数の項目について情報を整理した．次に，森林基本書，森林計画書，ならびに森林簿を森林管理者から収集し，林班・第 1 樹種林相・第 1 樹種面積に基づき流域内での林相区分図を GIS 上に作成した．林相は針葉樹・広葉樹・竹林・無立木地・更新困難地に 5 分類した．

図-1　対象流域

次に，流木の発生可能箇所を，急傾斜地(判定条件：最大斜面角度 30° 以上)かつ発生する倒木が河道に到達可能な箇所として判定した．到達可能箇所は，**図-2** に示す斜面縦断形状から斜面崩壊により発生した土砂が到達できる最大距離 L_{max} を推定する森脇(1987)による評価式(1) を用いて判定した．

$$H / L_{max} = 0.73 \tan\theta - 0.21 \qquad (1)$$

ここで，θ: 斜面角度，H: 斜面高さである．選定した各急傾斜地の地形情報に基づき斜面毎に L_{max} を算出し，GIS のコストパスツール(ArcGIS の付属ツール)を用いて斜面と河道までの距離 L_r を求め，$L_r < L_{max}$ を満たす斜面を流木発生可能箇所と判定する．

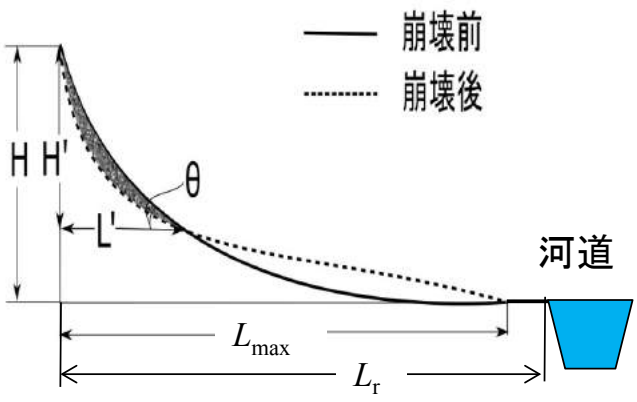

図-2 斜面崩壊土砂の最大到達距離と河道までの距離

キーワード：流木発生ポテンシャル　豪雨災害　橋梁
連絡先：〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 九州大学 W2 号館 1013 号室 TEL：092-802-3412

次に，得られた流木の発生可能箇所において林相区分から得られる樹種分布の影響を考慮し，上流から i 番目の各橋梁地点の集水域から生産されうる流木発生ポテンシャル V_i を次式で推定する．

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

ここで，β_k：k 種の樹種の流出係数(m^3/km^2)，A_{ki}：i 番目の橋梁地点の集水面積における k 樹種の総面積(km^2)である．β_k は，針葉樹：1000，広葉樹：100，竹林：500，無立木地と更新困難地：0 である．

最後に，V_i のうち橋梁で捕捉されうる相対的な流木量を流木集積リスク $\tilde{V}_i$ とみなし，次式で評価した．

$$\tilde{V}_i = (V_i - \tilde{V}_{i-1} - \tilde{V}_{i-2} \cdots - \tilde{V}_1)\alpha_i = \alpha_i (V_i - \sum_{k=1}^{i-1} \tilde{V}_k) \qquad (3), \qquad \alpha_i = \frac{L}{S_i} \times \frac{1}{k} \qquad (4)$$

ここで，α_i：橋梁 i での流木捕捉率，L：現地調査から決定した想定流木長，S_i：橋梁 i の最小の橋脚間スパン長，k：任意定数とする．また，流木の橋梁への集積量と上流での発生量が両方既知であるならば一意的に決定できる定数 k については，そのような詳細情報が無いため，ここでは系統的に異なる値を与えて傾向性を評価した．山国川に多数存在する沈下橋については，流木が規模の大きい出水，すなわち水位が高い状態でしか流下しないと考えて良いことと，針葉樹が大半を占めることから幹材の比重は 1 を下回ることが推定される，すなわち水面付近に浮いて流下する可能性が高いと考えて，α_i =0 と設定した．また，石橋については，桁下部がアーチ構造であることから，水面が高くなるほど桁橋と比べて補足率が高くなると仮定して，α_i を半分とすると仮定した．また，流域内に 635 基が点在する砂防ダムの α_i については，満砂状態では 0 に近く，空の状態では 1 に近いと推定できるが，各砂防ダムの状態に関する個別データがないこともあり，ここでは全て 0.5 と仮定して評価を行った．

図-3 に各橋梁の流木集積リスク(k=200 の場合)の山国川本川における分布を示す．平成 24 年豪雨で被災した耶馬溪橋や馬溪橋において相対的に大きいことが分かる．よって，流木のリスクの傾向については定性的には評価できていると判断できる．次に，今後計画されている津民橋の撤去が行われた場合の流木捕捉量分布を推定し，下流へのリスク伝播について調べた．**表-1** に津民橋撤去後について，下流の橋梁に集積した流木量の増分の合計に対する各橋梁の増分比の分布を示す．馬溪橋や耶馬溪橋などの石橋への影響が相対的に大きく，これら石橋群の治水安全度には配慮が必要であることが分かる．

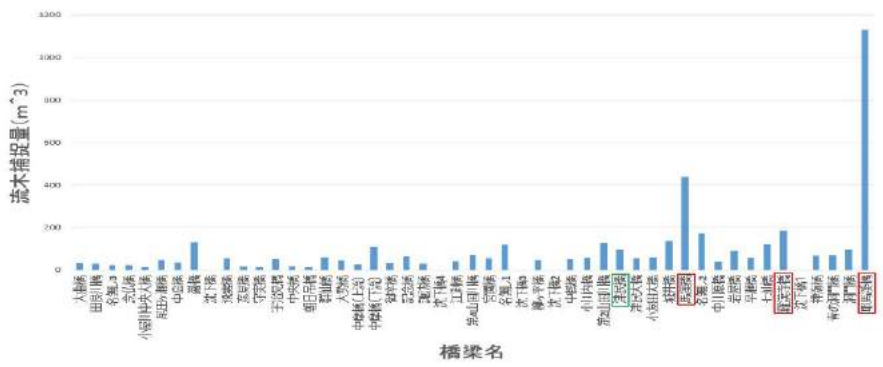

図-3　山国川本川の相対的な流木捕捉量分布（k=200）

表-1　津民橋撤去後の流木捕捉量増分率

橋梁名	流木捕捉量増分率(%)
津民大橋	2.47
小友田大橋	2.63
城井橋	5.68
馬溪橋	17.41
名無し2	6.89
中川原橋	1.54
岩屋橋	3.58
早瀬橋	2.34
七仙橋	4.74
羅漢寺橋	7.20
沈下橋 1	0.00
禅海橋	2.31
青の洞門橋	2.35
洞門橋	3.23
耶馬溪橋	37.64
合計	100.00

3. 結論

流木発生ポテンシャルの評価に砂防ダムや石橋の影響を新たに考慮した改良を行った．改良した手法により，山国川の中・上流域の橋梁への流木集積リスクの評価を試みた．その結果，実際の被災状況と同様な評価結果が得られた．また，流木で損壊した橋梁の撤去による下流へのリスク伝播の傾向性も評価できた．

謝辞：本研究は平成 27 年度科研費挑戦的萌芽研究(15K14042)，文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)，ならびに平成 27 年度河川財団河川整備基金の援助により実施された．

参考文献：1)矢野ら(2016)：土論 B1(水工学), 72(4), I_289-I_294., 2)森脇(1987)：地すべり, 24(2), 10-16.