

河道掘削後のモニタリング結果に基づく 水理諸量の分析と樹林化抑制に関する考察

かわかみ ほくと でんぼ じゅんや¹ すみとも けいぞう¹
川上 北斗¹・傳甫 潤也¹・住友 慶三

¹ (株) ドーコン河川環境部 (〒060-0042 北海道札幌市中央区大通西10丁目4-132 南大通ビル東館)

北海道内の河川ではヤナギ類による河道内の樹林化に伴う河積阻害等が問題視されており、伐採等に係る管理費用の低減を考慮すると、平均年最大流量時程度の周期的な攪乱等による稚樹段階での樹林化抑制が重要である。本稿では、攪乱強度、攪乱発生頻度、冠水日数等の水理諸量を樹林化抑制に寄与する指標と見なし、河道掘削箇所のモニタリング結果を用いて指標を分析するとともに抑制効果に関する考察を行った。その結果、各指標には樹林化抑制傾向に統計的な有意差が認められる境界が存在した。この境界を、治水機能の持続的維持・河道維持管理費の低減に繋がる河道断面設定のための目安値としてとりまとめた事例について報告する。

Key Words : ヤナギ林, モニタリング, 攪乱強度, 攪乱頻度, 冠水日数

1. はじめに

河道内に繁茂した樹木は、洪水時に河積を阻害して流下能力を低下させるほか、河道内の樹林化に伴い砂州が固定化され、流水が滞筋に集中し、河床低下や河岸侵食等のリスクが増大する。

北海道内の河川では、ヤナギ類を主とする河畔林が広く分布し河岸延長の約7割が樹林化している¹⁾。ヤナギ類は再生力が旺盛であり、生長するほどに定着部が強固になる²⁾ため、稚樹段階での樹林化抑制の対策を実施することが重要である。また、北海道内の河川は、本州と比較して大規模な洪水の発生が少なく、砂州上の樹木(成木)が攪乱されにくい。そのため、周期的(平均年最大流量時程度)な攪乱の発生等により、ヤナギ稚樹が流出、または生長が抑制されるような状態が、河川の維持管理上望ましい。一方、樹林化抑制に関する既往研究では、洪水時の攪乱力(摩擦速度・無次元掃流力)による樹木流出の事例^{3),4)}は多いが、平均年最大流量規模の流況による周期的な攪乱に着目した研究は少ない。

こうしたなかで、国土交通省北海道開発局と寒地土木研究所は、稚樹段階での樹林化抑制を考慮し、平均年最大流量時の河道内の裸地域と樹林域の境界付近における攪乱強度の分析等に基づく樹林化抑制の基本的な考え方を、「樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のガイドライン(案)⁵⁾」(以下、ガイドライン)としてとりまとめている。ガイドラインでは、攪乱を砂州の砂礫とともに根ごと稚樹を流出させる事象と捉えており、稚樹段階のヤナギ類の攪乱が可能な代表粒径に応じた摩擦速度 u_*^2 (cm^2/s^2)の目安(以下、GL値)を使用した攪乱対策や、ヤナギ種子散布時期に裸地を常時冠水させて種子定着を

抑制する冠水対策を効果的な対策として紹介しており、これを踏まえた河道掘削が多く行われている。

国土交通省北海道開発局ではガイドラインの効果検証のため、複数年にわたって河道整備後(主に河道掘削)の樹林化状況をモニタリングしている。しかしながら、モニタリング中にGL値を超える洪水が発生した場合であっても樹林化が進行している事例が散見されることから、GL値の樹林化抑制効果の検証が求められている。

また、樹林化抑制効果の検証にあたっては、ガイドラインで着目している平均年最大流量時の攪乱強度のみならず、既往研究でも指摘されている冠水頻度等^{6),7)}の水理諸量についても着目する必要がある。

これらを踏まえ本研究では、道内の河道掘削後のモニタリングにより、樹林化抑制に資する複数の水理諸量を分析し、樹林化抑制効果が表れ始める水理諸量の境界の定量化を行った事例について報告する。

2. 検証方法

分析対象は、ガイドラインを踏まえた河道掘削が実施され、5年から15年程度経過した道内一級水系9河川23箇所とし、施工後に再樹林化した箇所および再樹林化が抑制された箇所を対象とした。

また、樹林化抑制の目安となる水理諸量の検証にあたり、以下の4つの指標(攪乱強度、攪乱発生頻度、冠水日数、樹林化率)を設定した。

攪乱強度については、モニタリング期間における年最大流量時の u_*^2 の平均値とし、ガイドラインとの比較検証の観点からGL値との倍率で表現した。

攪乱発生頻度については、モニタリング期間中にGL値を上回る年最大流量時の u_*^2 の発生回数を期間

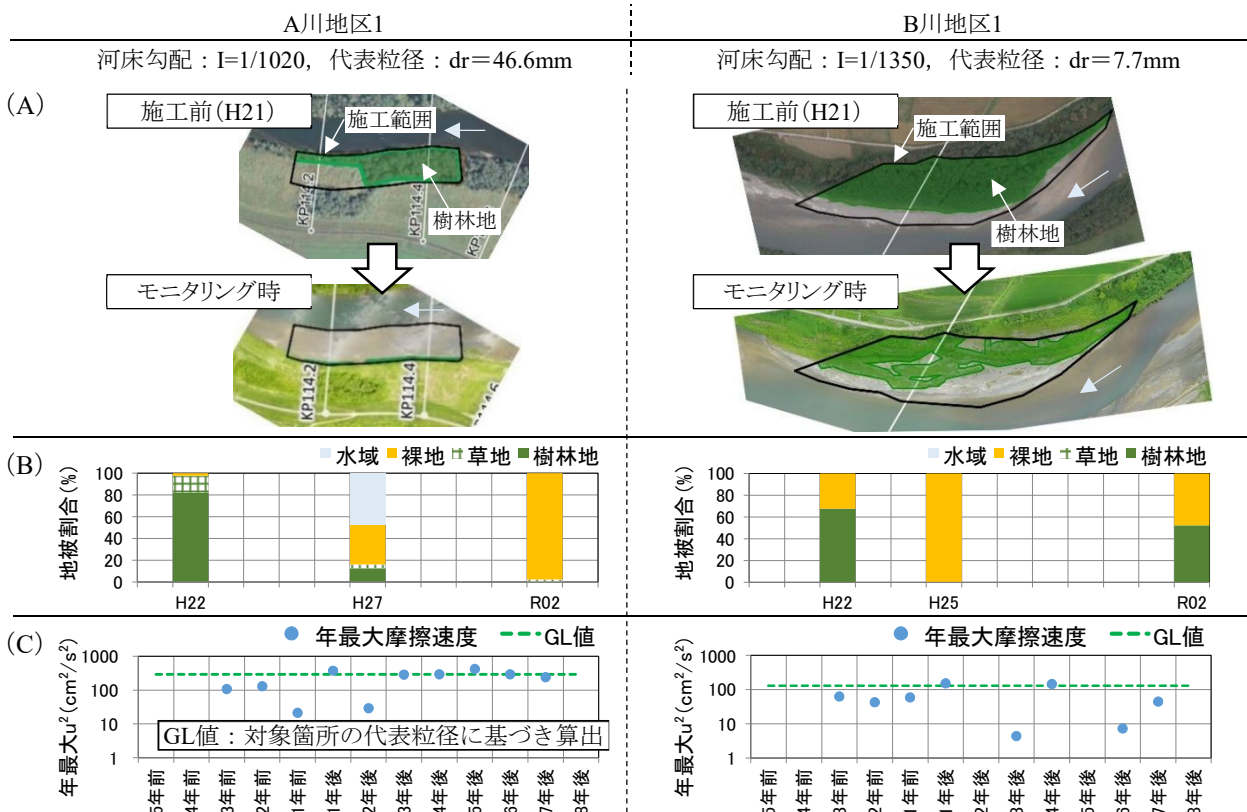


図-1 樹林化が抑制された事例（左：A川地区1，H25施工）および樹林化が進行した事例（B川地区1，H24施工）における（A）施工前・モニタリング時の空中写真（B）地被割合の変遷（C）年最大 u^2 の変遷

で除した値とした。例えば、モニタリング期間7年でGL値を2回上回る洪水が発生した場合、発生頻度は1/3.5となる。

冠水日数については、北海道のような積雪寒冷地の河川では春期の1-2か月程度続く融雪洪水が発生するため、融雪期（4月-6月）と、夏期（7月-10月）に分け、各々の冠水日数を年ごとに算定し、それぞれの平均値とした。

樹林化率については、モニタリング期間における最新年の垂直写真に基づき分析対象箇所を水域・裸地・草地・樹林地に地被区分を行ったうえで、施工範囲に占める樹林地の割合とした。

なお、各指標の算出に使用する水位（時刻水位）については、対象箇所の横断測量時水位と、近傍の水位観測所における測量時の時刻水位に基づく水位差を算出し、この水位差をモニタリング期間中の観測時刻水位に加減することによりデータを収集した。また、 u^2 算出に用いるエネルギー勾配は河床勾配を使用した。

3. 検証結果および考察

(1) 樹林化の状況

ここでは、モニタリング結果の中から特徴的な樹林化の状況を示すため、樹林化の進行が抑えられているA川地区1、樹林化が進行しているB川地区1（図-1）を事例として取り上げる。A川地区1では、樹林地の割合を見ると、施工前は80%で、施工2年後で15%、施工7年後では1%とほとんどが裸地と

なっていた。モニタリング期間における年最大流量時の u^2 の推移を見るとGL値を上回る洪水がほぼ毎年発生していた。一方、B川地区1の樹林地の割合は施工1年後で0%、施工8年後には52%となっており、モニタリング期間におけるGL値を上回る年最大流量時の u^2 の発生は2回に留まっていた。

この例から、GL値を上回る攪乱強度や発生頻度が多いことが、樹林化抑制の一因になるものと考えられる。

(2) 攪乱強度・攪乱発生頻度と樹林化率との関係

攪乱強度では、図-2左に示す通り、指標値の増加とともに樹林化率が減少する傾向が見られた。また、指標値が1.5未満（GL値の倍率で表示）の場合の樹林化率は最大約70%であるのに対し、指標値が1.5以上の場合の樹林化率は最大約10%まで低減していた。また、樹林化抑制に資する目安値があれば河道の計画・管理に活用できると考えられる。そこで、攪乱強度に任意の境界値を設定したうえで、境界値未満の群と境界値以上の群にサンプルを分割してマン・ホイットニーのU検定（以下、U検定）を実施し、その結果得られる2群間の統計的有意差から目安値を検証することとした。

表-1に示す通り、攪乱強度が1.5未満とそれ以上の群にサンプルを分割してU検定を実施した結果、2群間に統計的有意差が認められた。さらに統計的有意差が認められる指標値の境界を検証したところ、指標値が1.0、1.5、2.0で境界を設定したいずれの場合でも2群間に統計的有意差が認められた。これよ

表-1 各指標における任意値を境界と見なした場合の樹林化率の比較

指標	境界	樹林化率 (平均±標準偏差)	指標	境界	樹林化率 (平均±標準偏差)
攪乱強度	1.0	** 境界未満: 29±17% 境界以上: 10±18%	融雪期冠水日数	20	** 境界未満: 37±13% 境界以上: 10±17%
	1.5	** 境界未満: 30±19% 境界以上: 3±4%		30	* 境界未満: 31±22% 境界以上: 6±8%
	2.0	* 境界未満: 20±20% 境界以上: 2±4%		40	* 境界未満: 28±23% 境界以上: 6±8%
攪乱発生頻度	1/2	** 境界未満: 24±5% 境界以上: 2±20%	夏期冠水日数	20	n.s. 境界未満: 26±19% 境界以上: 10±17%
	1/3	** 境界未満: 32±20% 境界以上: 3±14%		30	n.s. 境界未満: 22±23% 境界以上: 7±8%
	1/5	* 境界未満: 24±20% 境界以上: 11±14%		40	n.s. 境界未満: 22±23% 境界以上: 7±8%

境界は図-2・図-3の傾向より、横軸を任意値で区分したものである **: $p<0.01$, *: $p<0.05$, n.s.:統計的有意差がないことを示す (U-Test)

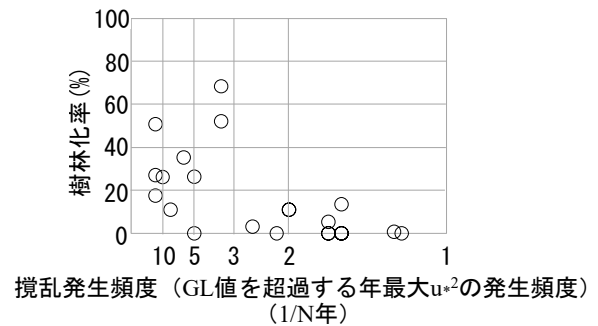
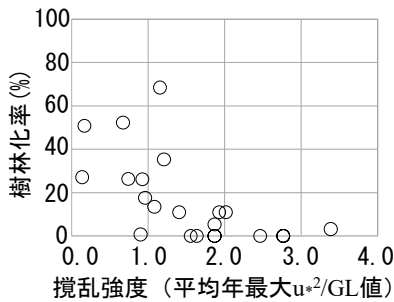


図-2 攪乱強度 (左) および攪乱発生頻度 (右) と樹林化率との関係

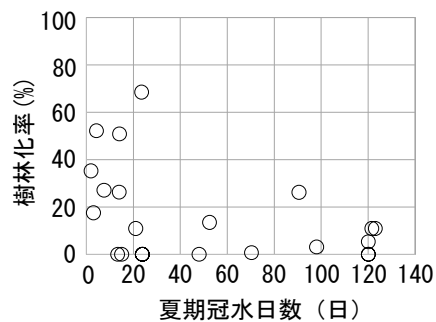
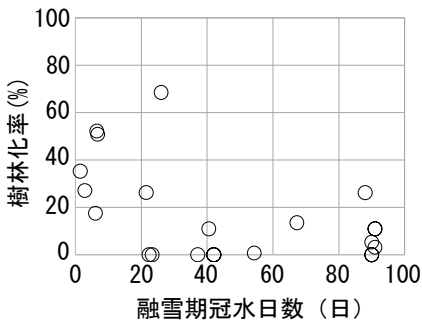


図-3 融雪期冠水日数 (左) および夏期冠水日数 (右) と樹林率との関係

り、攪乱強度は1.0-2.0の範囲で樹林化抑制に資する目安値が存在する可能性が示唆された。

これまで洪水時の植生破壊 (主に草本植物の流出) については、例えば多摩川や千曲川の検討⁴⁾で、0.06-0.13程度の無次元掃流力 τ^* が必要とされている。攪乱強度1.5に着目すると、境界値とした場合には2群間に統計的有意差が認められ、 τ^* に換算すると0.06 (既報⁴⁾の多摩川の代表粒径 d_{50} の50mmを使用)であった。今回着目しているヤナギ類についても、稚樹段階では幹や枝葉が柔らかく、根系の定着も強固ではない (人力で容易に引き抜ける程度)⁵⁾ため、草本植物と同様の性質と想定される。そのため、攪乱強度1.5程度の洪水の発生は、既報⁴⁾の破壊条件の概ね下限値にも相当し、樹林化抑制に寄与する可能性が高いと思われる。

攪乱発生頻度 (GL値の $u^2 \leq$ 年最大流量時の u^2 となる頻度) では、図-2右に示す通り、指標値の増加とともに樹林化率が減少する傾向が見られた。また、指標値が1/3未満の場合の樹林化率は最大約70%であ

るのに対し、指標値が1/3以上の場合の樹林化率は最大約14%まで低減していた。攪乱強度と同様に統計的有意差を検証した結果、攪乱発生頻度が1/2-1/5までは2群間に統計的有意差が認められた (表-1) ことから、目安値が存在する可能性が示唆された。既往研究⁸⁾でも伐採後のヤナギ類については、幹等からの再萌芽により1-3年程度で急速に拡大することが示されている。また、樹齢が3年を経たヤナギ類は、GL値を超過する攪乱力が発生しても洪水後に生存する割合が高かったという事例⁹⁾もある。まだ事例は少ないが、3年に1度の洪水が周期的に発生することで、樹林化抑制に寄与する可能性が高いと思われる。

以上の検討結果より、攪乱による樹林化抑制の観点からは、攪乱強度と攪乱発生頻度の両方が重要な要素と考えられる。

(3) 冠水日数と樹林化率との関係

冠水日数と樹林化率との関係 (図-3) を見ると、

融雪期・夏期ともに冠水日数の増加に伴い樹林化率が低下する傾向が見られた。また、融雪期・夏期ともに指標値が30日未満の場合の樹林化率は最大約70%であるのに対し、指標値が30日以上の場合の樹林化率は最大約26%まで低減していた。

また、表-1に示す通り、攪乱強度・攪乱発生頻度と同様に統計的有意差を検証した結果、融雪期冠水日数が20日-40日の間に統計的有意差を認める指標値の境界があり、この範囲で樹林化抑制に資する目安値の存在が示唆されたのに対し、夏期冠水日数については統計的有意差を認める指標値の境界が確認できず、目安値の存在は不明であった。冠水日数と樹林化の程度に関しては、融雪洪水を伴わない河川の検討で、年間約185日以上冠水日数があればほとんど樹林化が進行しないことが示されている⁹⁾。一方で、北海道のように融雪洪水を伴う河川では、融雪期と夏期の冠水では効果が異なり、融雪期に冠水日数が30日以上あれば樹林化の抑制が一定程度可能であった。これは、北海道内に分布するヤナギ類の多くが5月-6月に種子散布を集中させる⁹⁾ため、融雪洪水で定着を阻止すること、前年に定着したヤナギ類の稚樹が細粒分とともに流亡すること等が想定される。特に後者の細粒分について、稚樹の定着は細粒分の堆積する砂礫箇所より多く発生すること¹⁰⁾、砂混じり礫河床において平均年最大流量程度の洪水が発生すると、砂州表層部から細粒分が流出すること¹¹⁾等、細粒分の動態と合わせてヤナギ稚樹の消長も生じている可能性も考えられる。すなわち、融雪期のまとまった冠水日数の発生（20日-40日）は、種子散布時期に掘削地表面に種子が定着することを防ぎ、定着初期の稚樹の生育阻害および流出を促すことで、樹林化抑制に寄与するものと思われる。なお、分析対象箇所について、細粒分やヤナギ稚樹の動態等については、現時点で詳細は不明であり、今後確認が必要である。

4. 本研究のまとめと今後の課題

本稿では、河道掘削後のモニタリング結果を通して、樹林化抑制と各指標（攪乱強度、攪乱発生頻度、冠水日数）との関係について分析した。本稿で得られた知見を以下に示す。

- ・攪乱強度、攪乱発生頻度、融雪期冠水日数、夏期冠水日数の増加とともに樹林化率が減少した。
- ・攪乱強度、攪乱発生頻度、融雪期冠水日数について、2群間に統計的有意差が見られる指標値の境界が確認されたことから、河道管理の実務上、樹林化を抑制するための目安値に利用できるものと考えられる。

今後は、サンプル数を増やしたうえでモニタリング箇所の動態を詳細に分析し、各指標の目安値の統計的信頼性の確保と各指標の樹林化抑制に及ぼす機構の解明を行う必要がある。

5. 市場性および将来性

本稿で指標とした水理諸量は既往調査結果から簡便に算定可能で、特殊な施工が不要な河道掘削の敷高設定により目安値を発生させることができる。また、目安値は平均年最大流量時程度の大きさであることから、必要最小限の工事で周期的かつ中長期的な樹林化抑制が可能となる。すなわち、治水機能の持続的維持と河道維持管理費の低減を両立する低コストの対策の提案が可能になる。

以上のように、本研究成果は河川管理のライフサイクルコストの最小化に寄与するものであり、得られた知見を反映したガイドライン改定（案）は発注者より高い評価を得た。今後は4. に記載した残されている検討課題を検証してガイドラインを更新し、樹林化抑制を考慮した河川管理の標準手法として全道展開していく予定である。

謝辞：本論に使用したデータは、北海道開発局各開発建設部の関係各位にご協力頂いたモニタリングに基づくものである。ここに記して関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 傳甫潤也，堀岡和晃，米本光明，伊藤昌弘：人為改変後の低地の河畔におけるヤナギ林の地域分布，応用生体工学11(1)，13-27，2008。
- 2) 浅見和弘，丸谷成，田野弘明，酒井進：江川ダムの貯水池上流端堆砂部に見られたヤナギ群落の生育環境と発達過程，ダム工学，17(2)，116-124，2007。
- 3) 小澤宏二，清水義彦：洪水営力による樹木管理後の幼木林動態を踏まえた樹林化抑制手法の考察，土木学会論文集B1(水工学)Vol.72，No.4，I_1057-I_1062，2016。
- 4) 末次忠司，藤田光一，服部敦，瀬崎智之，伊藤政彦，榎本真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答，遷移および群落拡大の特性，国土技術政策総合研究所資料，第161号，ISSN1346-7328，2004。
- 5) 国土交通省北海道開発局，（独）土木研究所寒地土木研究所：樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のガイドライン（案），2011。
- 6) 萱場祐一：雫石川におけるハビタットの变化と冠水頻度の関連について，環境システム研究論文集 Vol.28 347-352，2000。
- 7) 大石哲也，萱場祐一：河川敷切り下げに伴う初期条件の違いが植生変化に及ぼす影響に関する一考察，第41回環境システム研究論文集，Vol.41，pp.351-356，2013。
- 8) 村上泰啓，谷瀬敦，岩田圭佑：ヤナギ類河川林における伐採後の再萌芽について，寒地土木研究所月報，No.790，2019。
- 9) 佐藤好茂，渡邊和好，横山洋，矢部浩規：千代田新水路河道内におけるヤナギ林管理に関する基礎的研究，寒地土木研究所月報 No.734，2014。
- 10) 増子輝明，前村良雄，森川陽一，後藤勝洋：鬼怒川中流部における礫河床再生について，リバーフロント研究所報告，第21号，2010。
- 11) 溝口敦子：砂混じり礫河床の上の交互砂州における流砂動態に関する実験的研究，土木学会論文集B1(水工学)Vol.67，No.4，I_775-I_780，2011。