

樹林化抑制を考慮した 河岸形状設定のガイドライン(案)



平成 23 年 3 月
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)

目 次

1. ガイドラインの概要	1
1.1 ガイドラインの構成	1
1.2 ガイドラインの目的	3
1.3 ガイドライン作成の背景	3
1.4 ガイドラインの前提条件と使い方	5
1.5 用語の解説	9
2. 河道内樹林化現象	10
2.1 河道内のヤナギ類の概況	11
2.1.1 積雪寒冷地の地域特性	11
2.1.2 北海道の河川におけるヤナギ類の分布状況	12
2.2 セグメント区分とヤナギ類の分布の特徴	14
2.2.1 セグメント区分	14
2.2.2 セグメント別に見た樹種分布の比較	16
2.2.3 セグメント別に見たヤナギ類の成長度合いの比較	20
2.2.4 セグメント別に見た低水路内の樹林化状況	21
2.3 ヤナギ類の生育特性と樹林化抑制の着目点	22
2.3.1 ヤナギ類の種子散布時期	22
2.3.2 ヤナギ類の種子着床適地となる裸地の発生	24
2.3.3 ヤナギ類の生育特性	25
2.3.4 ヤナギ類の樹林化抑制の着目点	28

3. 河道内樹林化抑制対策	31
3.1 樹林化抑制対策の分類と概要	32
3.2 冠水による抑制対策	34
3.2.1 冠水による抑制対策の解説	34
3.2.2 ヤナギ種子散布時期の冠水高の設定	35
3.2.3 冠水による抑制対策の適用条件	39
3.3 攪乱による抑制対策	41
3.3.1 攪乱による抑制対策の概要	41
3.3.2 攪乱境界の概念	43
3.3.3 攪乱境界の数値化	46
3.3.4 攪乱境界の摩擦速度と無次元掃流力	47
3.3.5 攪乱境界の目安値グラフ	50
3.4 草本による抑制対策	62
3.4.1 横断地形と樹林分布	63
3.4.2 冠水頻度、土性区分と植生との関係	64
3.4.3 草本による抑制対策の考え方	65
3.4.4 草本による抑制対策方法	70
3.4.5 設計・施工段階における留意事項	77
4. 樹林化抑制を考慮した河岸形状設定方法	81
4.1 河道計画検討の概況と河岸形状設定の概要	82
4.1.1 河道計画の全体的な流れと樹林化抑制対策の関係	82
4.1.2 樹林化抑制を考慮した河岸形状設定の概要	83
4.2 河岸形状設定の手順	88
4.2.1 攪乱境界を用いた河岸形状設定の考え方	88
4.2.2 攪乱境界を活用した河岸形状設定の手順	90
4.3 樹林化抑制の適応範囲と今後の対応策	99
4.3.1 攪乱境界目安を様々な河道に適用する場合の留意点	99
4.3.2 様々なインパクトに対しての攪乱境界目安の適応性評価	102
4.3.3 攪乱境界の目安を実河川に適応した適応方法	130
4.3.4 河川改修と樹林化抑制とあわせた今後の対応策	141

5. 河道内樹林の維持管理	145
5.1 ヤナギ林の管理方法	146
5.1.1 土地活用による樹林化抑制	146
5.1.2 ヤナギ林の伐採・管理方法	147
5.2 ヤナギ類以外の樹種（外来種）の管理方法	155
5.2.1 ハリエンジュの概要	155
5.2.2 ハリエンジュの生育特性	156
5.2.3 ハリエンジュの伐採・管理方法	157
5.3 林分構造の変化予測と活用方法	161
5.4 多様性ある河畔植生創出方法	165
5.4.1 河道内の樹林化抑制により生じる副次的効果	166
5.4.2 河岸部における樹林保全の必要性	169
5.4.3 多様な樹木群の形成	174
5.4.4 伐採木の有効活用	175
6. 河道内樹林のモニタリング	178
6.1 調査・計画段階でのモニタリング	179
6.1.1 調査段階でのモニタリング	179
6.1.2 河道計画検討でのモニタリング	180
6.2 攪乱以外の抑制対策に関するモニタリング	181
6.3 維持管理に関するモニタリング	184
6.4 河川環境に関するモニタリング	185
6.5 モニタリングのスケジュール	186
7. おわりに	188
巻末資料：モニタリングサイト一覧	189

1. ガイドラインの概要

1.1 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、河川管理の技術体系において、ヤナギ類による樹林化をいかに抑制し低コストで効果的な河川管理を実現してゆくのかに重点を置いて取り組む施策を展開する。本ガイドラインは、主に北海道の一級河川を中心とした検討事例や知見から、大きく5つの章で構成する。下図は、本ガイドラインにおいて解説する項目の全体的な流れを示したものである。

章タイトル	参照項目	重点キーワード	概要説明	補足的に解説する内容
2. 河道内樹林化現象	2.1～2.2	セグメント毎の特性	北海道の河畔に占める樹種の9割がヤナギ類であることを述べ、セグメント別に樹林化状況を整理し、その特徴を解説する。	北海道の植生分布特性、ヤナギ類以外の樹種分布 etc
	2.3.1～2.3.3	ヤナギの生育特性	樹林化抑制の対象となるヤナギ類が、河畔に適応し樹林を拡大できる特殊な生育特性について解説する。	河道内樹林化の類型分類 etc
	2.3.4	ヤナギの生活史に着目した対策方針の設定	ヤナギ類の種子が定着してから成木に至る生活史に着目し、成長過程を技術的に遮断する方法論・対策の基本方針を解説する。	
3. 河道内樹林化抑制対策	3.2	冠水による抑制対策	冠水頻度を考慮した「冠水による抑制対策」について事例を踏まえ解説する。	3種類の対策の分類と概要説明
	3.3	攪乱による抑制対策「攪乱境界」の導入	河岸形状設定による樹林化抑制を実現するため、平均年最大流量程度の出水で定期的に攪乱される範囲「攪乱境界」という概念の導入について解説する。	将来的な目標像、攪乱境界に関する説明 etc
	3.4	草本による抑制対策	攪乱境界を十分得ることができない区間において実施する「草本による抑制対策」について、事例を踏まえ解説する。	
4. 樹林化抑制を考慮した河岸形状設定方法	4.1	平水位程度の掘削について	従来の河岸形状設定方法である「平水位程度の低水路掘削」に着目し、冠水頻度に関する知見等から今後の改善・改良の方向性について解説する。	河道計画検討の全体的な流れ、留意事項 etc
	4.2～4.3	河岸形状設定の手順	樹林化抑制を考慮した河岸形状の設定方法について、3つの抑制対策を活用した解析、評価、設定手順を解説する。	自然河岸を参考にした河岸形状設定 etc
5. 河道内樹林の維持管理		「林分構造予測図」の導入	現状で樹林化している箇所に対し、計画的な管理を実現するため、「林分構造予測図」の活用方法について解説する。	一般的な樹木管理方法、外来種(ハリエンジュ)対策、多様性のある河畔植生の創出、伐採木の有効活用 etc
6. 河道内樹林のモニタリング		樹木管理のためのモニタリング	新たな概念を導入した河道内樹木管理方法に対する知見蓄積、精度向上、効果検証を進めるためのモニタリング方法について解説する。	

図 1-1 ガイドラインの骨子となる検討の流れ

下図は、河道改修に関する検討の流れと、樹林化抑制を考慮した河岸形状設定の検討項目との関係を示したものである。
ガイドラインの対象範囲は、下図の流れの「計画段階 2（河道計画）」から「維持管理段階」に至るまでが対象となるが、特に「河道計画」、「工法検討」、「維持管理」に相当する段階に重点を置く。

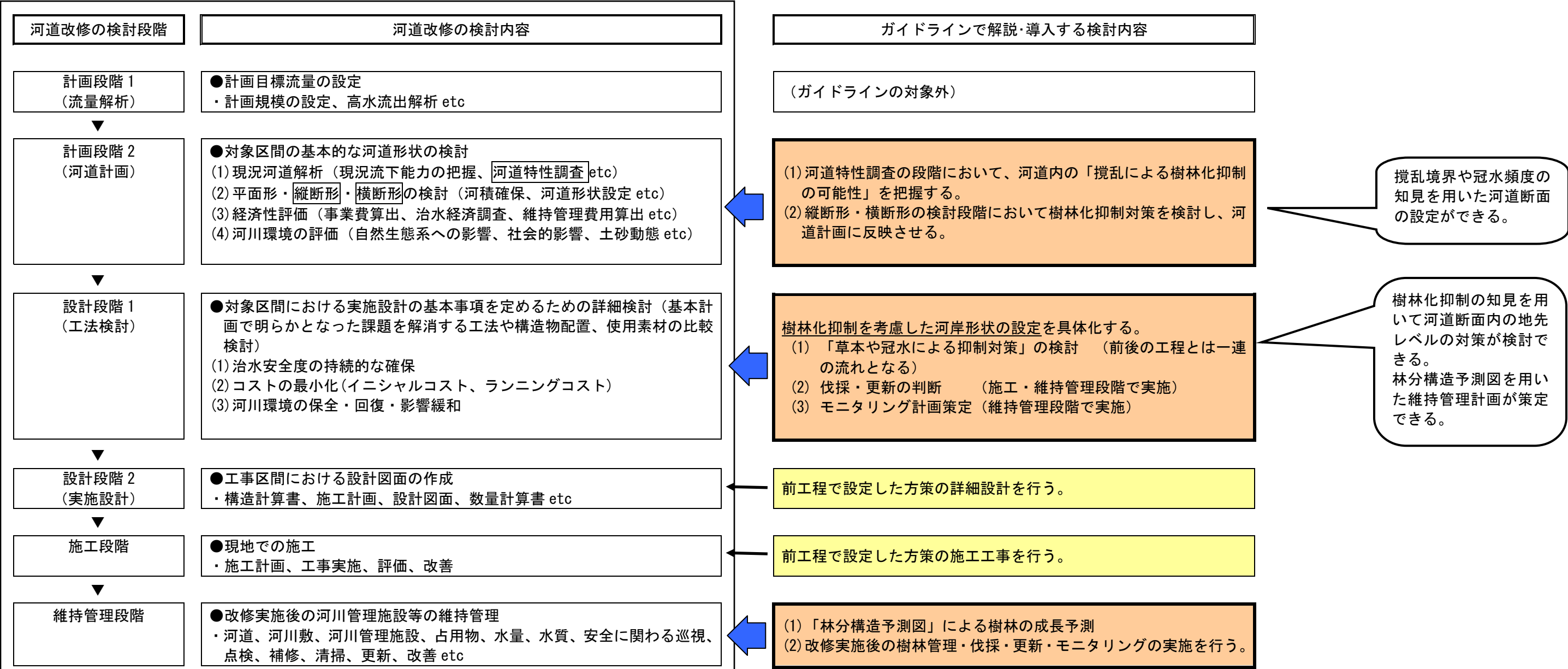


図 1-2 樹林化抑制を考慮した河川改修事業の流れ

凡例	
	ガイドラインの対象範囲
	ガイドラインの対象範囲の内、重点的に解説する範囲

1.2 ガイドラインの目的

北海道の河川の河岸には、主にヤナギ類で構成される河畔林が多く分布している。これらの河畔林は、河川景観や河川の生態系の構成に重要な役割を担っている一方で、洪水時には水位の上昇や流木の発生原因となることが懸念されている。適切な河川管理を行うためには、多様性のある水際の保全と形成に努めながら、流下能力の向上を図るための河道掘削や樹木管理を行っていく必要があるが、河畔林の維持管理を考慮した河岸形状の設定に対する知見が不足している状況にある。

以上を踏まえ、本書『樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のガイドライン（案）』（以下、「ガイドライン」という）は、河川改修に関わる調査、計画、設計、施工、維持管理に携わる実務担当者が、対象となる区間の河道特性（セグメント、水理諸量等）を的確に把握し、樹林化抑制に効果的でかつ維持管理コストの省力化を念頭に置いた河岸形状設定や樹木管理を、計画・設計・施工・維持管理の各段階で円滑に検討できるようにすることを目的にまとめたものである。

	
【樹林化が進行した河道の例】 滞筋の直線化により樹林化が進んだ様子(豊平川支川)	【樹林化が進行した河道の例】 低水路内の土砂堆積地(中州)上の樹林化が進んでいる様子(豊平川)
	
【樹林化が進んでいない河道の例】 蛇行と交互砂州がゆるやかに形成され樹林化が抑制されている河道の様子(厚別川)	【樹林化が進んでいない河道の例】 蛇行と交互砂州がゆるやかに形成され樹林化が抑制されている河道の様子(石狩川上流)

写真 1-1 河道内樹林化が進行している河道としていない河道の例

1.3 ガイドライン作成の背景

積雪寒冷地である北海道の河川では、融雪出水後の土砂堆積や河岸洗掘による裸地の形成時期とヤナギ類の種子散布時期とが合致することなどから、河畔には多くのヤナギ林が分布している。

こうした樹木群は、河川の景観を特徴づけるとともに、生態系の構成要素として重要な役割を担っているが、その一方で、洪水時には水位の上昇や流木の発生原因となることが懸念される。また河道掘削によって生じた裸地は、ヤナギ類の種子が定着し易く、一度ヤナギ類が定着すると、冠水や土砂堆積に強いことから勢力を増し、流下能力を阻害すると共に、単調で多様性の低い植生状況となる。たとえ伐採したとしても、ヤナギ類は伐採後の萌芽再生も旺盛であり、維持管理も困難である。このため河道計画の段階から、ヤナギ類の定着抑制を考慮しておく必要がある。

さらに、普段冠水しないが年間に数回は冠水するような河道掘削直後に生じる裸地面は、ヤナギ類にとって最適な定着地となる可能性が高いことから、設計・施工段階における対策の実施が重要である。

このように北海道の河川では、河道断面の検討において、樹林化抑制を考慮することが不可欠であるが、樹木群を上手くコントロールする方法が体系化されていないのが現状である。そこで、河岸形状を検討する際の樹林化抑制の考え方を最新の知見を踏まえてまとめたのが本書である。

しかしながら、樹林化のメカニズムとその抑制・伐採・更新に関わる知見は乏しく、いまだ不明なことも多いのが現状である。ガイドライン作成によって実務担当者が課題を共有し、現時点で最適と思われる樹林化抑制対策のスタートラインに立つと共に、対策技術のさらなる実用化に向けた道筋を示すことが本書のねらいである。

1.4 ガイドラインの前提条件と使い方

①ガイドラインの対象範囲

ガイドラインは、北海道内における河川改修事業（特に河岸形状設定及び河畔林管理）に関わる調査、計画、設計、施工、維持管理の各段階での適用を位置づけるものとする。

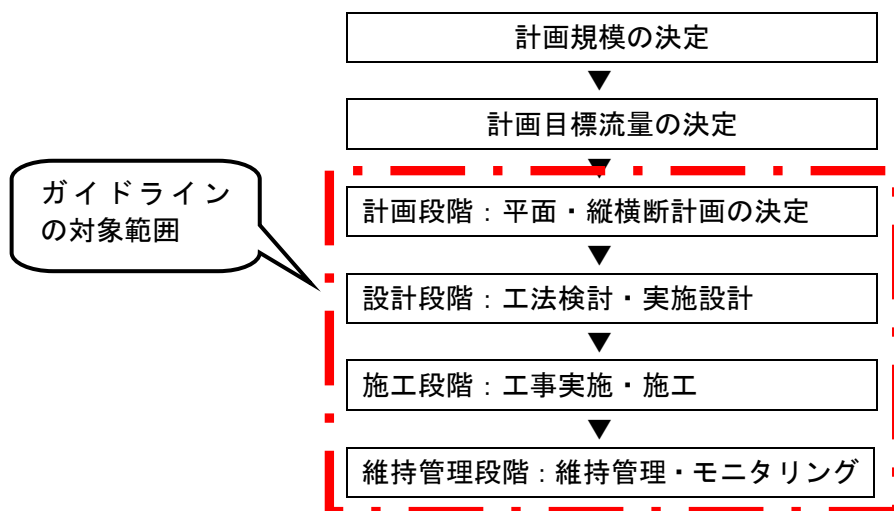


図 1-3 ガイドラインの位置づけ

②ガイドラインの前提条件

ガイドラインでは、主に北海道内の一級河川を中心とした検討事例や知見から新旧様々な検討方法や対策方法、事例・参考文献等を紹介する。解説を進めていく上での前提条件として下表に示す。

表 1-1 ガイドラインの前提条件・適用範囲

対象区分	解説
本書の対象者	河川管理者及び北海道内において河川改修事業（特に河岸形状設定及び河畔林管理）に関わる調査、計画、設計、施工、維持管理の実務担当技術者（以下、「河川管理者」と略す）を対象とする。
対象地域	対象とする地域は、融雪出水が生じる積雪寒冷地とする。 主に北海道内の一級水系直轄区間を中心的に扱う。
対象樹種	対象とする樹林の樹種は、北海道内の河道改変箇所における樹種のほとんどを占めるヤナギ類を中心的に扱う。 また、特定外来種であるハリエンジュ等については、補足的に扱うものとする。
対策案	ガイドラインで示す対策メニューは、河川改修事業の一環で実行できる提案とした。また、具体例・実例を極力挙げ、図表や写真で示すことに努めるものとする。
対象箇所	ガイドラインで特に着目する箇所は、河畔植生が維持管理しやすい「河岸形状」について示す。掘削後の川幅縮小などの対策については対象としていない。
写真の表示	掲載する写真が示す意味を簡潔に伝えるため、【 】内に表示する。 【樹林化が抑制された例】【樹林化が進行した河道の例】など、趣旨に応じたコメントをつけるものとした。 また、撮影箇所の河川名を極力表示した。 対策事例の進捗を扱う場合等の必要に応じ撮影年月についても表示した。2010 年度中に撮影した写真は、月のみ表示した。
改訂の考え方	ガイドライン（案）で示した知見は、平成 22 年度末時点のものである。したがって、平成 23 年度以降、有益な知見が新たに得られた場合には、これを反映しガイドラインを改訂するものとする。

ガイドラインにおいて特に重点的に扱う新たな概念・用語としては、次の 3 つが挙げられる。

表 1-2 ガイドラインで新たに導入する概念の名称

No	名称	検討に導入する主な段階	参照項目
1	攪乱境界 (かくらんきょうかい)	調査・計画段階	3.3
2	樹林化抑制対策 (じゅりんかよくせいたいさく)	計画段階～設計・施工段階	3.4
3	林分構造予測図 (りんぶんこうぞうよそくず)	維持管理段階	5.3

③ガイドラインの使い方

ガイドラインの用途・使い方として目標像を以下にまとめた。河川改修及び河川管理に携わる技術者が、下記項目の用途に関する基本的な知識を共有し、実行に向かうことができるようにすることが本ガイドラインの目標である。

表 1-3 ガイドラインの使い方

No	用途	目標	参照項目
1	樹林化しやすい場所が分かる	対象区間におけるヤナギ林の成立要因が一目で理解できるようになる。	2 章
2	樹林化抑制対策を提案できる	河道改修によって樹林化抑制に向けた対策を立案することができるようになる。	3～4 章
3	対策後のケアについて対応できる	対策実施後の維持管理・モニタリングについても、将来的な見通しを立てながら対応することができるようになる。	5～6 章

④ガイドラインのページの見方

ガイドラインでは、通常の章立ての他に、より見やすく分かりやすくするための小項目を設けるものとした。それぞれの枠やタイトルの意味について以下に解説する。

●まとめ:セグメント分割について

本文の各章における総まとめとした頁を設け、橙色枠のタイトルと囲み線で「まとめ」として示す。

本文の個別項目において特に重要な結論部分を箇条書きでまとめたものを黄色い枠内に示す。

【河道内における〇〇の発生要因】

- ① 3月から6月にかけて発生する融雪出水
- ② 6月から11月にかけて発生する台風や長雨による出水
- ③ 河川改修や整地等によりできた掘削面

●解説:〇〇分割について

本論の流れとは別に、補足的に必要な解説をまとめた小項目を設け、緑色枠のタイトルと囲み線で「解説」として示す。

●事例:〇〇川における〇〇対策

具体的な事例紹介のための小項目を設け、水色枠のタイトルと囲み線で示す。

●質問:なぜ〇〇は〇〇になるのか？

本論の流れとは別に、よくある質問・疑問に対する解説をまとめた小項目を設け、紫色枠のタイトルと囲み線で「質問」として示す。

1.5 用語の解説

ガイドラインで扱う主な用語の定義について以下に示す。

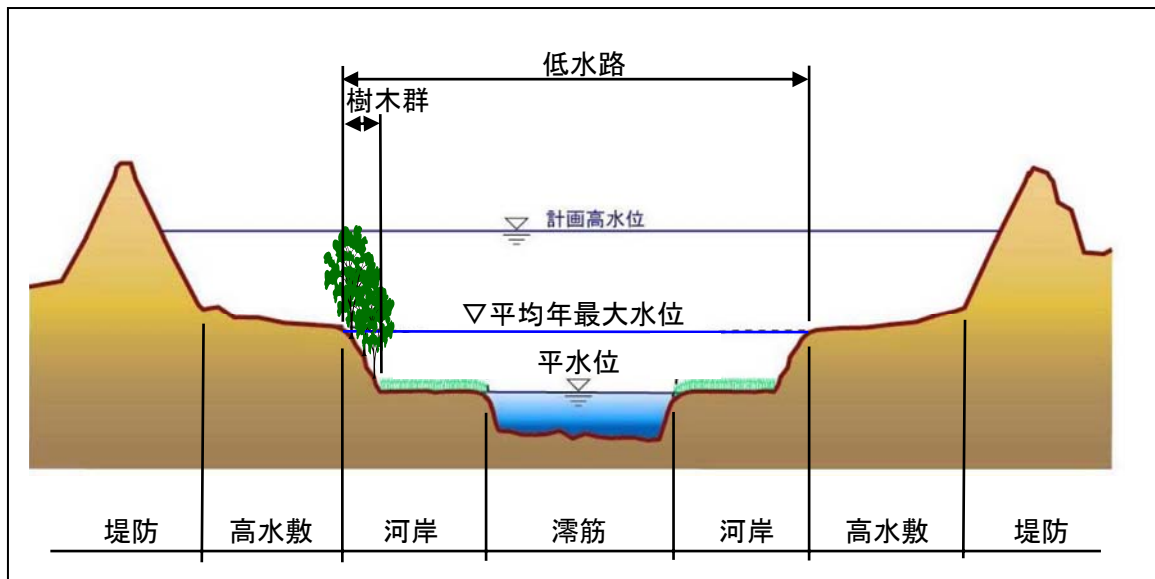


図 1-4 河道横断形模式図

表 1-4 用語一覧

主な用語	解説	備考
平均年最大水位	平均年最大流量流下時の水位のこと。2 年に 1 回程度の確率規模の水位。	
平水位	平水流量流下時の水位のこと。1 年を通じて 185 日はこれを下らない水位。	
高水敷	河川敷地内において、平均年最大水位より高い標高にある箇所を示す。	
低水路	河川敷地内において、平均年最大水位より低い標高にある箇所を示す。	
河岸	河川横断形状において、概ね平水位から年最大水位の範囲における低水路法面部を示す。	
濡筋	低水路内において、概ね平水位から河床までの間の平常時の水が流れている箇所を示す。	
樹木群	河川敷地内において、林齢 3 年以上のヤナギ等の成木が生育している箇所を示す。	
攪乱境界	低水路内において、定期的な中小出水の攪乱作用によって樹林化が抑制される範囲と、稚樹が攪乱されずに樹林化が進む範囲を分ける境界。	3.3 で詳述する。
ヤナギ類	北海道に生育する 4 属 12 種類余りのヤナギ類を総称して示す。	
稚樹	ここでは、発芽から概ね 2 年目までの樹木のこと。	
蛇行	低水路内における濡筋の蛇行を示す。 堤間全体の湾曲や蛇行については対象としない。	
セグメント	河床縦断勾配、河床材料等から河道特性を区分する基本的な単位。	2.2.1 で詳述する。

2. 河道内樹林化現象

河道内で繁茂していた樹木を伐採し改修を行った河道断面が、わずか数年を経ないうちになぜ再樹林化してしまうのであろうか。

本章では、河道内樹林化を理解するための基礎知識を得るため、樹林化対策の対象樹種としてヤナギ類に着目し、河岸・高水敷に適用した生育特性と、樹林化形成要因、それらの特性に対応した対策選定に至る理論を解説する。

2.1 河道内のヤナギ類の概況

2.2 セグメント区分とヤナギ類の分布の特徴

2.3 ヤナギ類の生育特性と樹林化抑制の着目点

2.1 河道内のヤナギ類の概況

2.1.1 積雪寒冷地の地域特性

北海道低地帯では、継続期間のながい融雪出水、夏季の出水頻度が少ないことによりヤナギ林が多く分布し、河岸延長全体の約7割が樹林化している。

ヤナギ類は、不定根の発生が旺盛であり¹⁾、冠水耐性²⁾、埋没耐性¹⁾などが高い。それゆえ、河畔にはヤナギ林が多く分布している³⁾⁴⁾。これは融雪出水後に形成される裸地や堆積地などがその時期に種子散布するヤナギ科植物の好適な更新サイトとなる³⁾⁵⁾など、こうした河畔植生の生活史特性と流況との相互関係によるところが大きい³⁾。そのため、北海道、東北では多くのヤナギ林が分布している³⁾⁴⁾。

日本の低地帯主要河川の緩勾配区間(勾配 1/5000－1/500)におけるヤナギ林の分布をみると、関東、四国、九州などの寡雪地帯では、河岸延長に占める河岸付近のヤナギ林が分布している延長の割合は1割未満なのに対し、北海道のそれは約7割となっている(図2-1、図2-2)。これらは、河畔林管理を検討するうえで重要な要素となる。

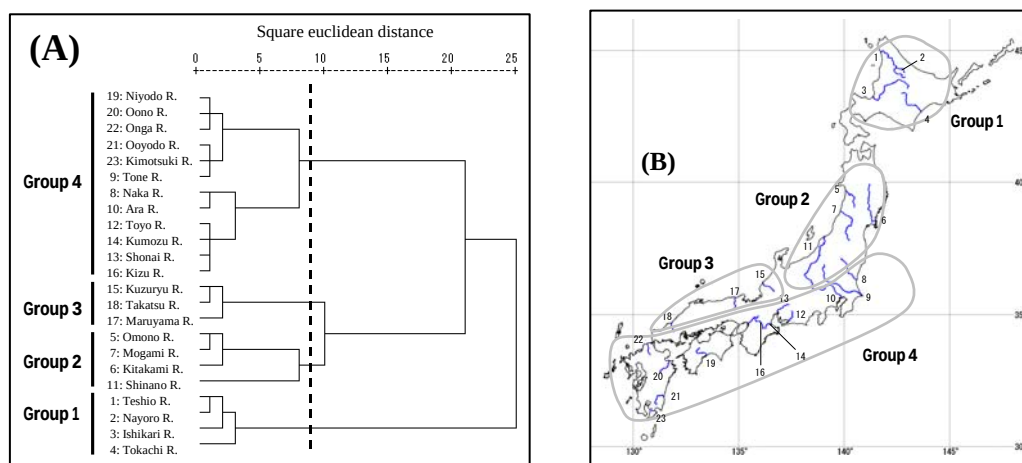


図 2-1 季節ごとの出水日数とヤナギ属植物の出現種構成を使用したクラスター分析結果の樹状図(A)と日本地図上の表示(B)⁴⁾

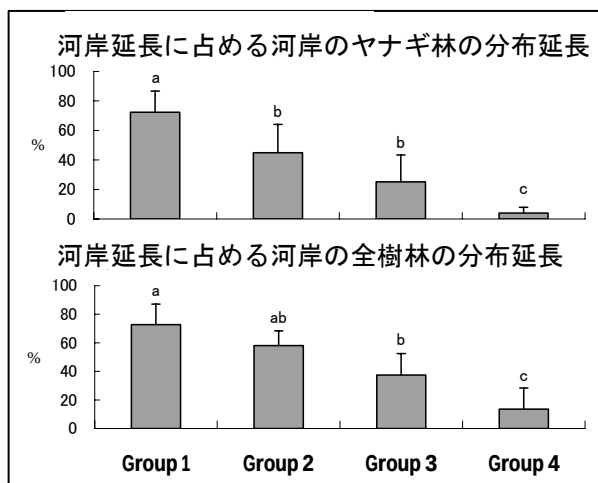


図 2-2 緩勾配区間(1/5000－1/500)におけるグループごとの樹林化延長(%) (平均値+標準偏差)⁴⁾



写真 2-1 融雪出水後、河道内に堆積した細粒土砂の様子(天塩川・5月)

2.1.2 北海道の河川におけるヤナギ類の分布状況

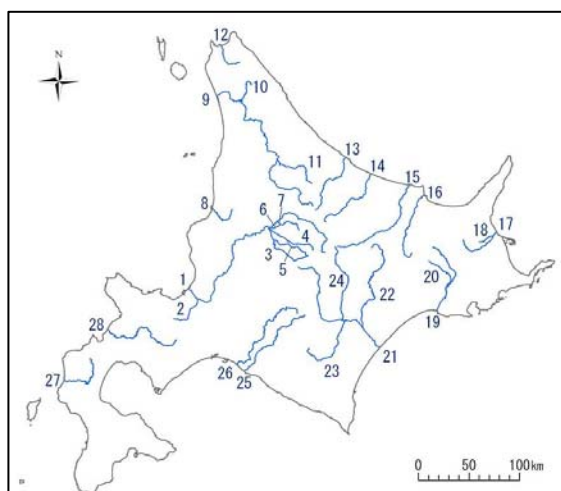
北海道内一級河川における調査によると、河道掘削工事や伐開を行った後に樹林化した箇所の約9割の樹種がヤナギ類であった。
したがって本ガイドラインでは、ヤナギ類を樹林化抑制の対象樹種とする。

積雪寒冷地である北海道の河川では、河原の裸地にいち早く侵入、定着し、群落を発達させるヤナギ林が非常に広い面積にわたって分布している⁶⁾。

北海道の河畔には、4属12種類余りのヤナギ類が生育する⁷⁾が、河道内樹林化現象を把握する上で、樹木の進入状況に関する基礎情報を得るため、道内の一級河川の内28河川において、過去に河道掘削や伐開を行った252箇所を抽出し、工事後の樹林化状況調査を行ったところ、北海道の河道内では、図2-4に示すように、調査箇所における樹木全体の91.5%がヤナギ類であった。

したがって本ガイドラインで扱う樹林化抑制の対象樹種は、ヤナギ類に主眼を置いて論を展開するものとする。

表 2-1 調査箇所一覧



No	河川名	箇所数	No	河川名	箇所数
1	石狩川	46	15	常呂川	24
2	豊平川	8	16	網走川	10
3	美瑛川	6	17	標津川	1
4	忠別川	7	18	武佐川	1
5	辺別川	2	19	釧路川	8
6	牛朱別川	4	20	オソベツ川	1
7	永山新川	3	21	十勝川	13
8	留萌川	7	22	利別川	6
9	天塩川	36	23	札内川	8
10	問寒別川	3	24	音更川	4
11	名寄川	8	25	沙流川	5
12	声問川	3	26	鷗川	11
13	渚滑川	8	27	後志利別川	10
14	湧別川	6	28	尻別川	3
調査箇所 計					252

図 2-3 調査対象河川

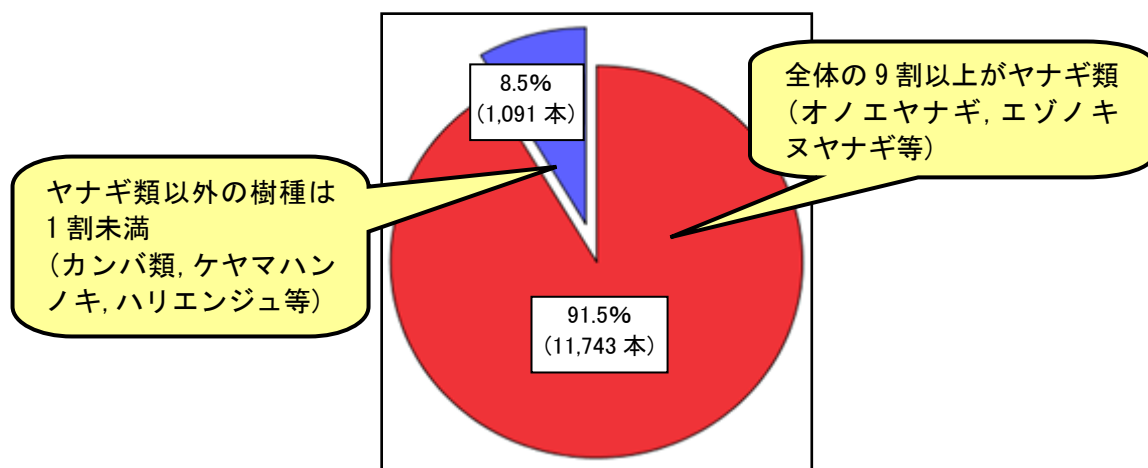


図 2-4 調査地の樹木本数と割合

表 2-2 北海道の河畔に成育するヤナギ類一覧⁷⁾

属	種	生活形	生育地
ヤマナラシ	ドロノキ	大高木	河畔、山地
ケショウヤナギ	ケショウヤナギ	大高木	河畔
オオバヤナギ	オオバヤナギ	大高木	河畔
ヤナギ	シロヤナギ	大高木	河畔
	エゾヤナギ	大高木	河畔
	ナガバヤナギ	高木	河畔、山地
	エゾノキヌヤナギ	高木	河畔
	エゾノバッコヤナギ	小高木	(河畔)、山地
	エゾノカワヤナギ	小高木	河畔
	タチヤナギ	小高木	河畔
	ネコヤナギ	低木	河畔
	イヌコリヤナギ	低木	河畔、山地



【過去に河川改修が行われた箇所が
樹林化している例】
河畔に繁茂している樹種のほとんどが
ヤナギ類。(豊平川)



【過去に河川改修が行われた箇所が
樹林化している例】
河畔に繁茂している樹種のほとんどが
ヤナギ類。(2007年・常呂川航空写真)

写真 2-2 河道内樹林化が進行している河道の例

2.2 セグメント区分とヤナギ類の分布の特徴

2.2.1 セグメント区分

セグメントとは、河床縦断勾配、河床材料等から河道特性を区分する基本的な単位である。

ヤナギ類の大まかなすみわけも特徴づけられると考えられることから、ガイドラインにおいてもセグメント区分による河道分類を適用し解説する。

セグメントとは、河床縦断勾配、河床材料等から河道特性を区分する基本的な単位である。(表 2-3)。これは、河岸構成物質にも影響することから、植生群落を特徴づけることも報告されている。利根川や鬼怒川の例によれば、セグメント1では高木類を主体とする群落、セグメント2では高木、低木、灌木類、セグメント3では草本群落が発達することが多い⁸⁾。北海道のヤナギ類のすみわけ(図 2-5)も大きくはセグメントによって特徴づけられていると考えられることから、ガイドラインにおいてもセグメント区分による河道分類を適用し解説する。

表 2-3 各セグメントとその特徴⁹⁾

	セグメントM	セグメント1	セグメント2		セグメント3
			2-1	2-2	
地 形 区 分	←山間地→←扇状地→ ←谷底平野→ ←自然堤防帯→←デルタ→				
河 床 材 料 の 代 表 粒 径 d_R	さまざま	2cm以上	3cm～ 1cm	1cm～ 0.3mm	0.3mm以下
河岸構成物質	河床河岸に岩が 出ていることが多い。	表層に砂，シル トが乗ることが あるが薄く，河 床材料と同一物 質が占める。	下層は河床材料 と同一，細砂， シルト，粘土の 混合物。		シルト，粘土
勾 配 の 目 安	さまざま	1/60～1/400	1/400～1/5000		1/5000～水平
蛇 行 程 度	さまざま	曲りが少ない	蛇行が激しい が，川幅水深比 が大きい所では8 字蛇行または島 の発生		蛇行が大きいも のがあるが小さ いものもある。
河岸浸食程度	非常に激しい	非常に激しい	中，河床材料が 大きいほうが水 路はよく働く。		弱，ほとんど水 路の位置は動か ない。
低水路の平均深さ	さまざま	0.5～3m	2～8m		3～8m



写真 2-3 石狩川の各セグメントの様子

セグメント 1 が KP170 付近より上流方向、2-1 が KP111 付近より上流方向、2-2 が KP64 付近より上流方向、3 が KP5 付近より上流方向を望む。撮影年は、セグメント 1 が 2002 年、セグメント 2-1 ～3 が 2000 年。

2.2.2 セグメント別に見た樹種分布の比較

【北海道の河畔におけるヤナギ類の分布】

- ① ヤナギ類は全体の 91.5%を占め、オノエヤナギやエゾノキヌヤナギの割合が全体的に高い。
- ② セグメント 1 ではドロノキ(ドロヤナギ)やオオバヤナギ、エゾヤナギが多く見られる。
- ③ セグメント 2-2 ではタチヤナギが多く見られる。

石狩川と札内川での既往研究³⁾によれば、ヤナギ類は地域的なスケールで一本の河川の河畔における土壌の違いをもとに大まかな住み分けがなされていることが指摘されている。

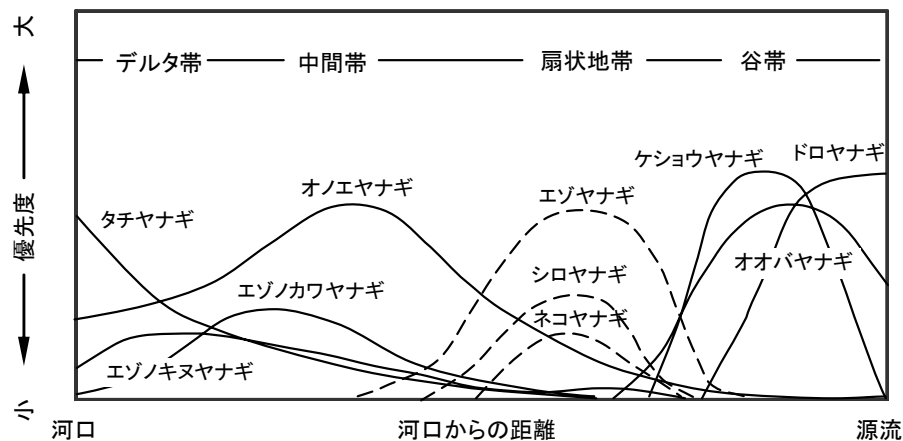


図 2-5 北海道におけるヤナギ類の河川に沿った分布模式図³⁾

ヤナギ類の内、オノエヤナギやエゾノキヌヤナギは北海道で最も普通に見られる樹種で、広域に分布する。その他の種は河川の上流分布型と下流分布型に大きく分類でき、生育地の土壌や砂礫サイズと概ね対応することが指摘されている。上流型の樹種のうち、オオバヤナギやエゾノカワヤナギは河畔のみに分布するといわれ、ドロノキやイヌコリヤナギは山地にも分布する⁷⁾。

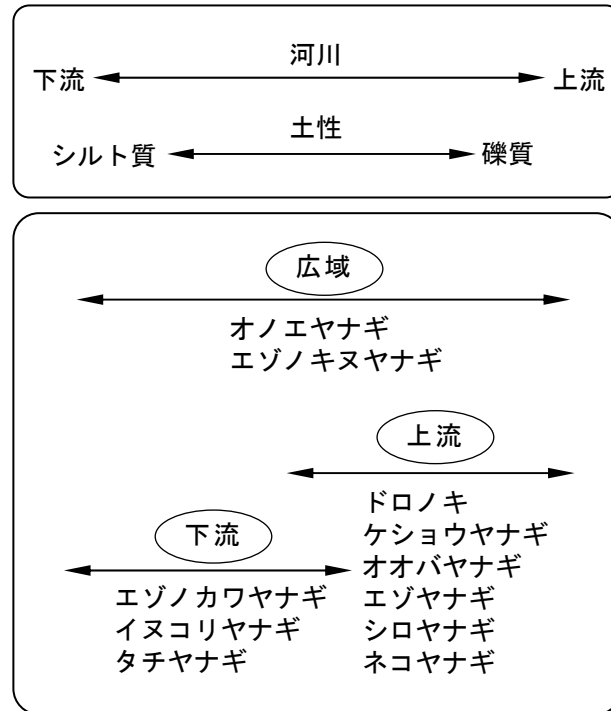


図 2-6 河畔生ヤナギ類の天然分布⁷⁾

道内一級水系の252箇所の調査結果をセグメント別に見ると、12,834本の樹木樹種の割合は、図 2-7及び表 2-4に示す通りであった。セグメント3については樹木本数が9本と極端に少なかったため表示していない。

北海道内に広く分布し、水際に生育するオノエヤナギやエゾノキヌヤナギが多くを占め、下流に移行するに伴いその割合を増やしていることが分かる。また、上流側のセグメント1では山地でも生育が見られるドロノキ(ドロヤナギ)やオオバヤナギ、エゾヤナギが多く見られ、下流側のセグメント2-2では湿潤でも生育が良いタチヤナギが見られることから、上記既往文献と同様の傾向がみられた。

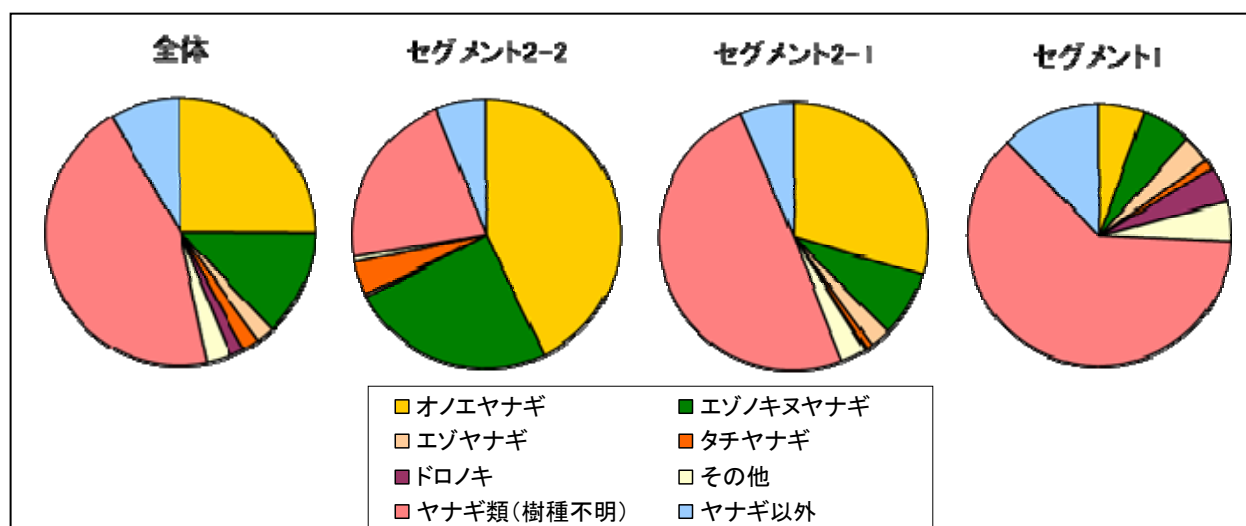


図 2-7 調査地におけるヤナギ類の樹種割合

表 2-4 全道調査樹種別集計表(単位:本)

No	樹種名	seg1	seg2.1	seg2.2	seg3	計	割合
	ヤナギ類	4,168	3,537	4,029	9	11,743	
1	オノエヤナギ	271	1,114	1,834	-	3,219	27.4%
2	エゾノキヌヤナギ	291	305	1,048	-	1,644	14.0%
3	エゾヤナギ	167	93	17	-	277	2.4%
4	タチヤナギ	55	29	175	-	259	2.2%
5	ドロノキ	207	9	-	-	216	1.8%
6	オオバヤナギ	104	24	-	-	128	1.1%
7	ケショウヤナギ	128	-	-	-	128	1.1%
8	エゾノバッコヤナギ	1	60	-	-	61	0.5%
9	エゾノカワヤナギ	-	32	18	-	50	0.4%
10	バッコヤナギ	-	-	12	-	12	0.1%
-	ヤナギ類(樹種不明)	2,944	1,871	925	9	5,749	49.0%
	ヤナギ以外	589	246	256	-	1,091	
1	シラカンバ	75	3	89	-	167	15.3%
2	ハリエンジュ	106	36	12	-	154	14.1%
3	ダケカンバ	126	-	-	-	126	11.5%
4	ケヤマハンノキ	23	11	85	-	119	10.9%
5	ハンノキ	34	-	-	-	34	3.1%
6	ハルニレ	17	3	13	-	33	3.0%
7	オニグルミ	9	-	2	-	11	1.0%
8	クワノキ	11	-	-	-	11	1.0%
9	ヤチダモ	-	2	-	-	2	0.2%
10	カラマツ	-	-	1	-	1	0.1%
11	キハダ	1	-	-	-	1	0.1%
12	ポプラ	1	-	-	-	1	0.1%
13	ミズナラ	1	-	-	-	1	0.1%
-	その他	185	191	54	-	430	39.4%

●解説:ヤナギ類以外の樹種分布

【北海道の河畔におけるヤナギ類以外の樹種の分布】

- ① ヤナギ類以外の樹種は全体の 8.5%。カンバ類やハリエンジュの割合が高い。
- ② ヤナギ類以外の樹種の 14%を占めるハリエンジュは、要注意外来生物として北海道ブルーリストに指定されている。

北海道の河畔に生育する樹種全体の8.5%を占めるヤナギ類以外の樹種については、先駆性のあるカンバ類、湿潤でも生育が良いケヤマハンノキ、要注意外来生物として北海道ブルーリストに指定されているハリエンジュ(ニセアカシア)等がみられた。

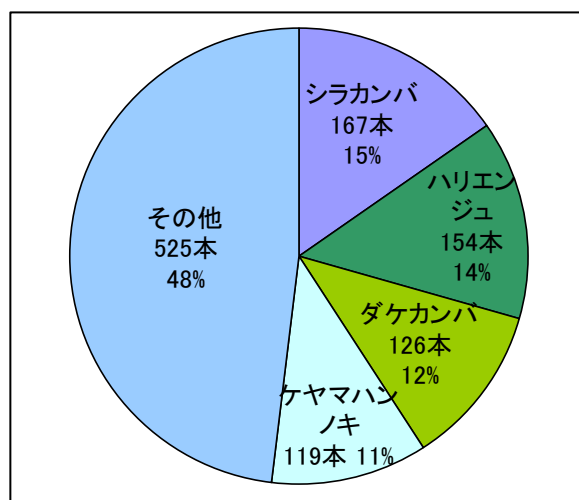


図 2-8 調査地におけるヤナギ類以外の樹種割合

2.2.3 セグメント別に見たヤナギ類の成長度合いの比較

【北海道の河畔におけるセグメント別の樹林化の特徴】

- ① 河岸掘削をした場合、樹林化する可能性が最も顕著なのはセグメント 2-1 である。
- ② そのため、セグメント 2-1 で河岸掘削をする場合は、樹林化抑制対策を重点的に実施する必要がある。

樹木本数や樹高成長速度に影響を及ぼすと考えられるセグメント、工事後の経過年数及び冠水日数との関係について着目すると、下図に示す通り、セグメント 2-1 では本数と成長速度の値が高く、特に冠水日数 30 日以上の箇所での成長速度が顕著である。

これを考察すると、セグメント 2 では栄養分の堆積、保湿環境に冠水が寄与すると考えられ、とくにセグメント 2-1 は、樹高の成長に適した立地であると考えられる。

樹林化が顕著な北海道の河畔においては、セグメントは植生範囲区分の一つの見方となり、とくにセグメント 2-1 の樹林管理がポイントとなることを示唆している。

なお、図 2-12 のエラーバーは 95%信頼区間を示す。セグメント 3 はサンプル数が少ないため表示しなかった。

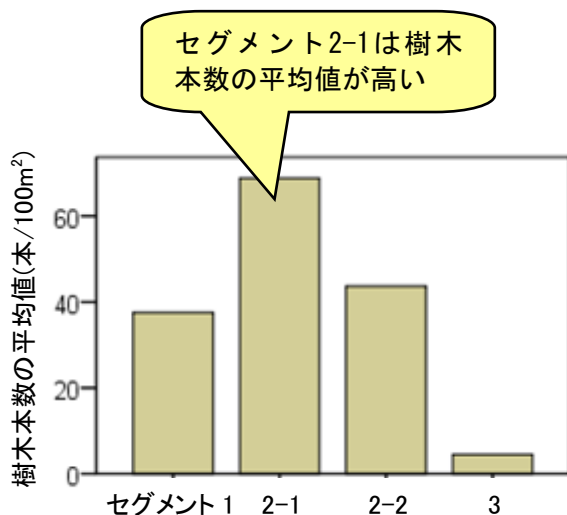


図 2-9 セグメント別の樹木本数

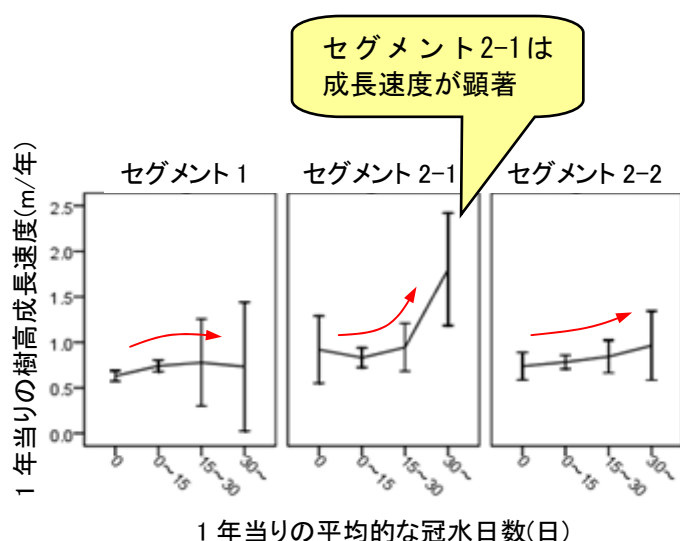


図 2-10 セグメント別の冠水日数と樹高成長速度との関係

以上より、北海道の河畔林においてセグメント別に樹林化の特徴を見た場合、セグメント 1 及びセグメント 2 の区間でのヤナギ類による樹林化が顕著であり、特にセグメント 2-1 区間の樹林化が著しく顕著であるといえる。

2.2.4 セグメント別に見た低水路内の樹林化状況

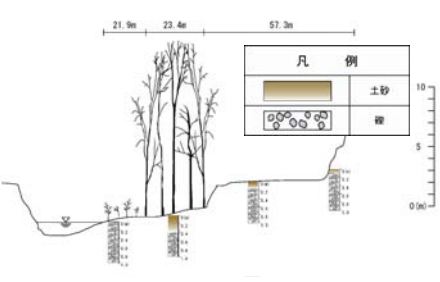
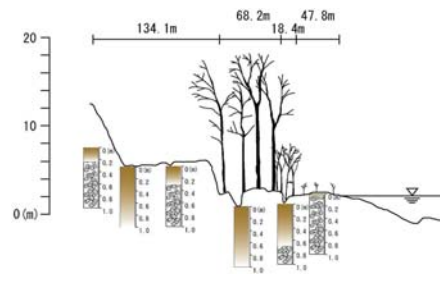
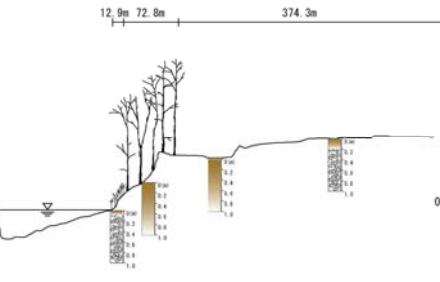
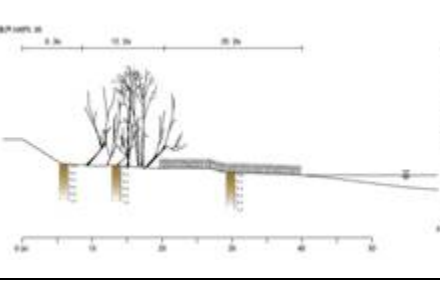
【石狩川水系におけるセグメント別の樹林化状況】

- ① セグメント 3 ではヨシ等の植生が優先し、ヤナギ類の稚樹・低木は確認されなかった。
- ② セグメント 2 や 1 では、砂州上に樹齢 2 年以下のヤナギ類の稚樹を確認した。稚樹の林齢と隣接する高木林の林令には差が見られ、経年的なヤナギ類の進入は制限されていることが示唆された。
- ③ セグメント 2-1 においては稚樹と高木林の間に低木林が確認されており、経年的なヤナギの侵入が伺える。

低水路内に形成される樹木状況を把握するため、特に砂洲形態と樹木繁茂の関係に着目し、緩やかな勾配で砂州が形成されているような、河岸形状が安定し、かつ樹林化が明確な各セグメントの代表地点を抽出し現地調査を行った。

北海道内河川の調査における各セグメントの河道内樹林化の特徴を以下に示す。

表 2-5 低水路内の樹林化状況

セグメント区分と 砂州上の裸地面の特徴	事例写真	現地調査に基づく横断イメージ図
セグメント 1 強い攪乱を受けている。ヤナギ類の稚樹が確認される。隣接する高木林とは林令に差があり、経年的なヤナギ類の進入は制限されていることが伺える。	 豊平川 KP18.6	
セグメント 2-1 比較的強い攪乱を受けている。ヤナギ類の稚樹が確認。低木林も確認されており、経年的なヤナギ類の侵入が伺える。	 石狩川 KP107.5	
セグメント 2-2 攪乱を受けている。ヤナギ類の稚樹が確認される。隣接する高木林とは林令に差があり、経年的なヤナギ類の進入は制限されていることが伺える。	 石狩川 KP65.5	
セグメント 3 ヨシ等の他植生が既に優先し、ヤナギ類の稚樹は見られず、種子が新たに定着し樹林が拡大する現象は見られない。	 茨戸川 KP5.0	

注：石狩川水系 3 河川(石狩川、豊平川、茨戸川)における代表 10 地点の調査結果による

2.3 ヤナギ類の生育特性と樹林化抑制の着目点

改修された河道内におけるヤナギ林の成立過程は、河川特有の出水や河川改修等の改変を受けることにより河原や砂洲が流況の変動を受け、ヤナギ類の種子が定着・発芽するために有利な環境である「裸地」が生じることで、旺盛な繁殖力により短期間で樹林を拡大してゆくことと考えられる。

どのような時期や場所にヤナギ類が定着し樹林を拡大してゆくのかを解説する。次にヤナギ類の生育特性について考察し、種子着床から樹林にまで成長してゆく生活史の過程を整理する。さらに、河川管理における技術的な手段を用いて成長過程を遮断できる2つの段階に着目し、樹林化抑制の具体的な対策を導き出すための基本方針について順に解説する。

2.3.1 ヤナギ類の種子散布

【河道内におけるヤナギ類の種子散布時期】

- ① ヤナギ類の種子散布時期は、5月～6月に集中する。
- ② 7月以降に種子散布する樹種(ドロノキやオオバヤナギ)は、比較的冠水に弱く、主に山側(セグメント1)に分布するなど生育範囲は限られる。

(1) 樹種別に見た種子散布期間

既往研究⁷⁾によれば、ヤナギ類の種子散布期間は、図2-11に示す通り多くの種が5月下旬から6月中旬にかけての2週間程度に集中するが、種によって多少のずれがあり、固体差や生育環境によっても変わる。山地や比較的乾燥した裸地面に定着するドロノキは7月、オオバヤナギは8月から10月上旬に種子散布する種もある。

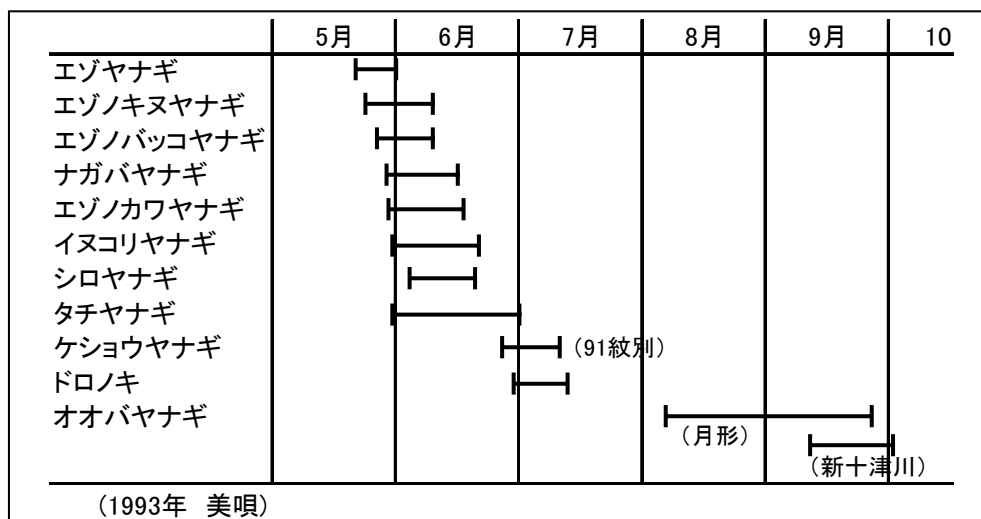


図 2-11 ヤナギ類の種子散布時期⁷⁾

(2) 種子の散布

ヤナギ類の種子は樹木種子の中でも最も小さい部類に属し、オオバヤナギとエゾヤナギで約 2mm、最小のタチヤナギでは約 0.5mm と小さい。これらの種子はさく果内に綿とともに数粒ずつ入っており、成熟すると裂開し、辺り一面に綿つきの種子を大量に飛ばす。裸地上に落下すると着地直後から発芽をはじめ、わずか 1～2 日で子葉を開く⁷⁾。

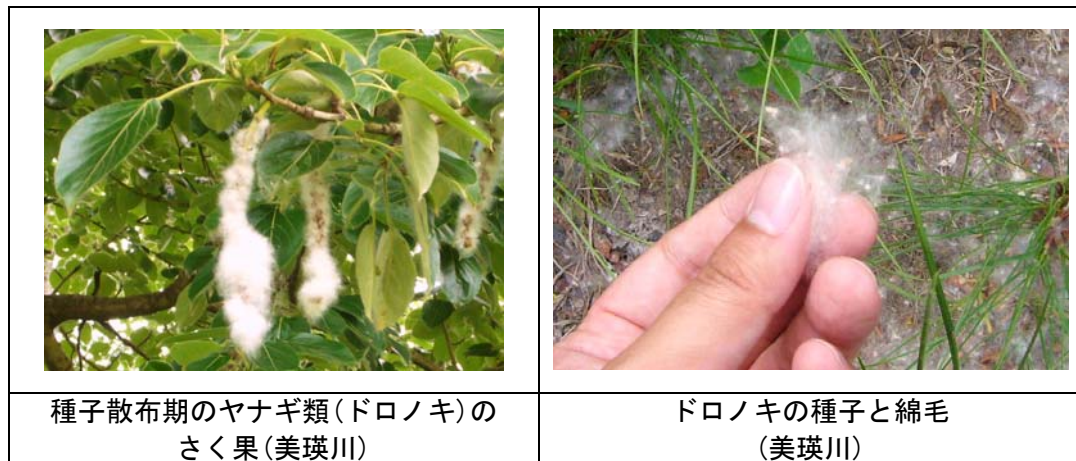


写真 2-4 ヤナギ類の種子散布の様子

(3) 種子の寿命

ヤナギ類の種子の寿命は短く、約 2 週間といわれている。ただし、ドロノキやオオバヤナギは 3 週間以上の寿命がある⁷⁾。

ヤナギ類の種子は水分が十分にある水面近くで発芽率が高く、地表水分のない場所では発芽できないといわれている。ただし、ドロノキは比較的乾燥に強く、濾紙の含水率で 40% 程度であっても 8 割以上が正常に発芽する²⁾。

ほとんどのヤナギ類は冠水耐性が強く、2 ヶ月間連続で冠水しても生存する。ただし、ドロノキ、オオバヤナギ、エゾノバッコヤナギは冠水に弱く、2 ヶ月間の冠水でほとんどが枯死する。この内、ドロノキは比較的乾燥した裸地でも発芽率が高いことが確認されている²⁾。

2.3.2 ヤナギ類の種子着床適地となる裸地の発生

【河道内においてヤナギ類が定着する裸地が発生する要因】

- ① 3月から6月にかけて発生する融雪出水
- ② 河川改修工事によりできた掘削面

ヤナギ類の種子が発芽し、定着する条件として、ヤナギ類が更新するために必要な「湿った裸地」の形成が重要である。このような裸地が形成される要因の一つは、春先から初夏にかけての融雪出水による攪乱作用である（自然的な攪乱の機会）。

裸地が形成されるもう一つの要因は、河道掘削等の河川改修工事である（人工的な改変の機会）。

このようにして河道内にヤナギ類が定着できる裸地が発生することになる。

	
出水の攪乱により形成された裸地 (無加川)	河川改修工事に伴い形成された裸地 (美瑛川)
	
出水の攪乱により形成された裸地 (石狩川下流)	河川改修工事に伴い形成された裸地 (美瑛川)

写真 2-5 自然的な攪乱により形成された裸地と河川改修工事により形成された裸地

2.3.3 ヤナギ類の生育特性

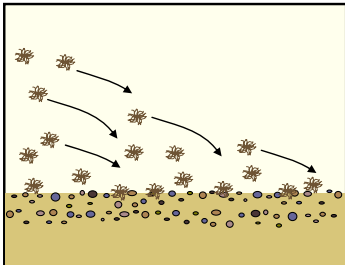
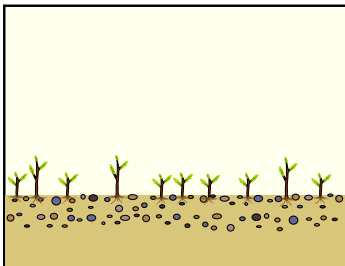
【河道内におけるヤナギ類の生育特性】

- ① 種子散布の先駆性がある
- ② 冠水・埋没に対する耐性がある
- ③ 伐採・倒木に対する耐性がある

河畔林とは河川の洪水(攪乱)によってできた裸地に成立する森林⁷⁾のことであるが、ヤナギ類は一生のうちに何度も冠水する河畔での定着に適した生育特性を有しており、他の樹種と比較して河道内で生育・繁殖する能力が高い。

ここでは、抑制対象となるヤナギ類の生活史を順に追いながら、その生育特性を解説する。

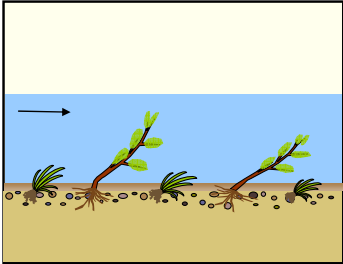
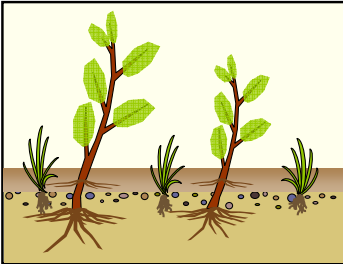
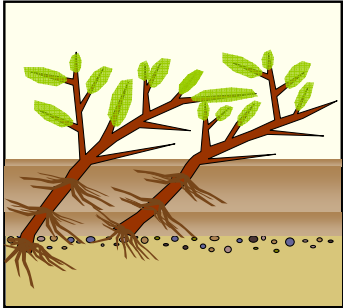
表 2-6 ヤナギ類の生育特性(1)

解説	イメージ図	事例写真
①種子散布の先駆性 5～6月に散布されるヤナギ類の種子は樹木種子の中でも最も小さい部類に属し、オオバヤナギとエゾヤナギで約2mm、最小のタチヤナギでは約0.5mmと小さい。これらの種子はさく果内に綿とともに数粒ずつ入っており、成熟すると裂開し、辺り一面に綿つきの種子を大量に飛ばす。裸地上に落下すると着地直後から発芽をはじめ、わずか1～2日で子葉を開く ⁷⁾ 。 これが河道内におけるヤナギ類の先駆性を示す特性であると言える。		 散布直後の種子 (天塩川 2008年5月)
		 裸地面に定着した直後 (石狩川 2009年10月)



掘削裸地面に定着して1年目(石狩川 2010年11月)

表 2-7 ヤナギ類の生育特性(2)

解説	イメージ図	事例写真
②冠水・埋没に対する耐性 ヤナギ類は河川の増水・攪乱に伴う冠水耐性・埋没耐性が強い⁷⁾。 多くの樹木は土砂堆積で埋没すると根が呼吸できずに枯死するが、ヤナギ類は不定根を発根し、地表付近の根茎を維持して成長を続けることができる¹⁾。		 冠水しても枯れない稚樹 (石狩川下流・11月)
		 堆積土砂内の不定根 (石狩川 2004 年 11 月)
③伐採・倒木に対する耐性 伐採しても枯死せずすぐに数多く萌芽し、数年後には元の大きさ以上に成長できる。倒れた幹や折れた枝からでも発根・萌芽し再び樹体を形成する⁷⁾。		 伐採 1 年後の状況 (豊平川 2007 年 11 月)
	 伐採後の萌芽状況 (豊平川 2007 年 11 月)	 倒木の萌芽再生 (美瑛川・10 月)

④ヤナギ類の定着と共に土砂堆積が同時進行し、成木にまで成長したヤナギ類は翌年の春から種子散布をはじめ河道内樹林化が拡大・進行する。(①に戻り、②～④を繰り返す)

●解説:土砂堆積とヤナギ類の進入

下に示した写真は、河岸部に細粒土砂が堆積し、その上にできた裸地にヤナギの稚樹が生育している様子である。堆積厚は 30cm であり、下層とは異なっている点が特徴的である。

河川の水位変動が生じる河畔の環境に、ヤナギ類は適応し生育している。



写真 2-6 河岸部の土砂堆積とヤナギの侵入

- ①②：河岸部には土砂が堆積し、ヤナギ稚樹が生育している。
③：土砂の堆積厚は 30cm であり、その下層はグライ土。

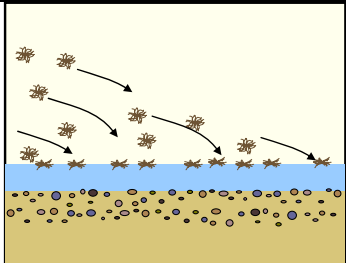
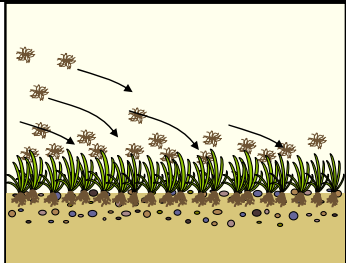
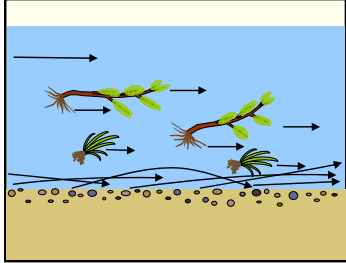
2.3.4 ヤナギ類の樹林化抑制の着目点

【樹林化抑制対策実現の方向性】

- ・ 裸地面の冠水頻度の調整により抑制を図る → 冠水による抑制対策
- ・ 裸地面の早期植生形成により抑制を図る → 草本による抑制対策
- ・ 裸地面の攪乱強度を捉えることで抑制を図る → 攪乱による抑制対策

既往研究によると、種子散布期に常に冠水している場所では発芽が困難¹⁰⁾であることや、発芽した稚樹を出水等による強い攪乱の力で砂州の砂礫等と共に根ごと流出させる生育抑制策¹¹⁾が提案されていることから、大きく3つの方向性で対策を立案することが可能と考えられる。

表 2-8 樹林化抑制対策の着目点

No	イメージ図と解説	イメージ写真	対策名称
1	 種子散布期に裸地面を冠水させることにより、ヤナギ類の種子着床の抑制を図る。	 水面に落下したヤナギ類の種子(天塩川 5月)	1. 冠水による抑制対策
2	 ヨシ等他の草本群落を早期に優占して繁茂させることで、ヤナギ類の種子着床の抑制を図る。	 河川敷に優占して繁茂したヨシ群落(石狩川 10月)	2. 草本による抑制対策
3	 裸地面で発芽しても、稚樹の内に出水等による攪乱の力で砂州の砂礫等と共に根ごと流出させれば、ヤナギ類の生育を抑制できる。	 出水時に攪乱を受ける植生(豊平川 10月)	3. 攪乱による抑制対策

●まとめ：ヤナギ類の樹林化抑制対策の基本方針

【ヤナギ類の樹林化要因から導かれる抑制対策の方向性】

- ・裸地が草本や水面等で被覆されていればヤナギは着床しない
→種子着床の抑制が図れる
- ・流水による攪乱強度が高ければヤナギの稚樹を流出できる
→成木林形成の抑制が図れる

ヤナギ類の樹林化要因の分析から、抑制対策の方向性は、以下の2点が挙げられる。

- 1) 裸地を草地や水面等で被覆することができれば、ヤナギ類の種子の着床を抑制できる。
- 2) 出水等による冠水時の攪乱強度を高くできれば、砂州の砂礫等と共に根ごと流出でき、ヤナギ類の生育を抑制できると考えられる。

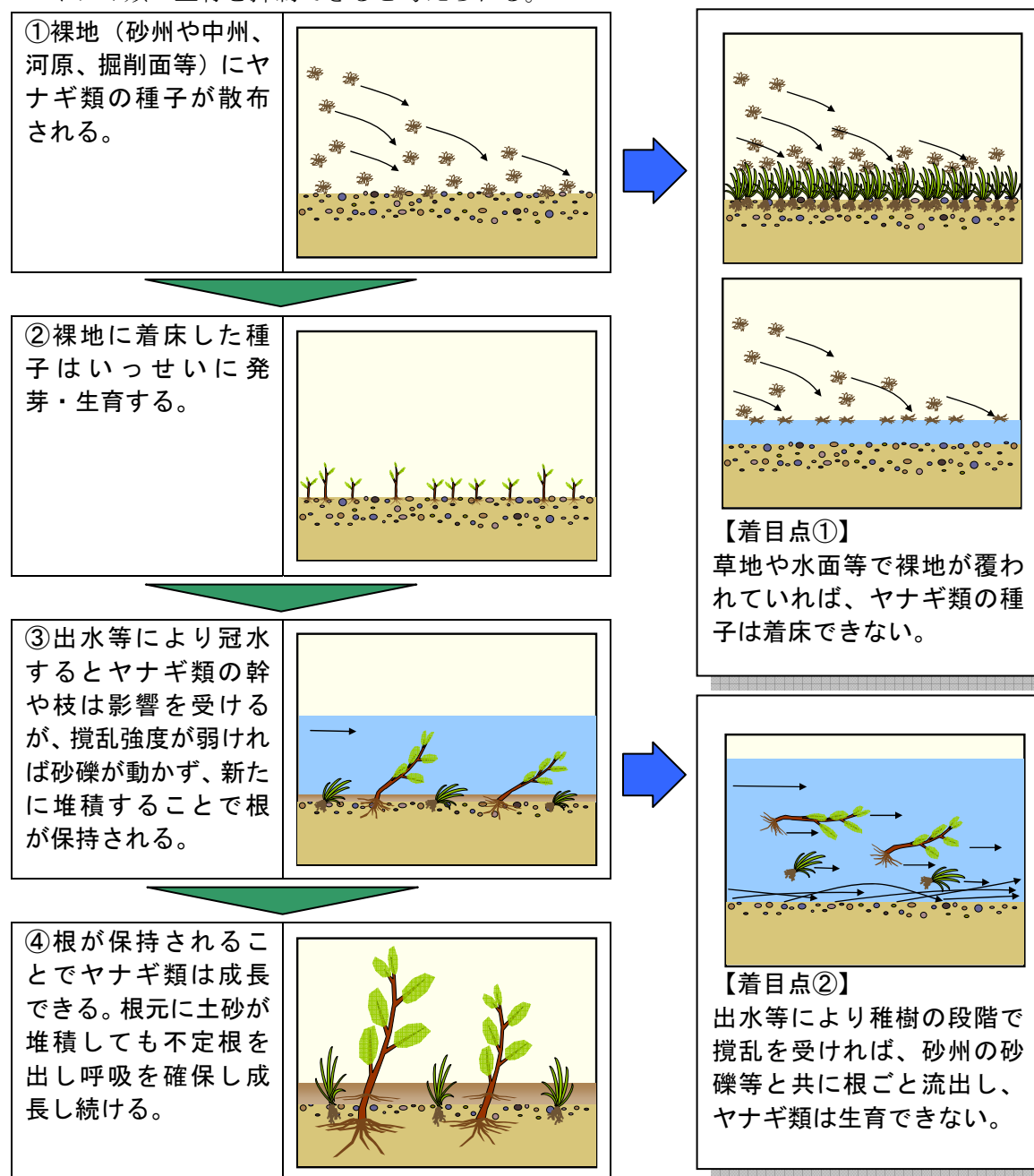


図 2-12 ヤナギ類による樹林化抑制に向けた着目点

【参考文献・出典】

- 1) 東 三郎 (1964) 砂防植生工におけるヤナギ類導入に関する研究. 北海道大学演習林研究報告 23: 151-228.
- 2) 長坂 有・福地 稔・柳井清治・佐藤弘和 (1994) 河畔生ヤナギ類の発芽と稚樹の生残について. 日本林学会北海道支部論文集 42: 76-78.
- 3) 新山 馨 (1995) ヤナギ科植物の生活史特性と河川環境. 日本生態学会誌 45: 301-306.
- 4) 傳甫潤也・堀岡和晃・米元光明・伊藤昌弘 (2008) 人為改変後の低地の河畔におけるヤナギ林の地域分布. 応用生態工学会誌 11: 13-27.
- 5) 長坂 有 (1996) 河畔に生えるヤナギ類. 光珠内季報 101: 12-17.
- 6) 石川慎吾 (1980) 北海道地方の河辺に発達するヤナギ林について. 高知大学学術研究報告 29: 73-78.
- 7) 長坂 有 (2001) 洪水からはじまる河畔林, ヤナギ類の生態から見た河畔の保全, 自然史研究ネットワーク2000「みなみ北海道」
- 8) 宇多高明・藤田光一・佐々木克也・服部 敦・平舘 治 (1994) 河道特性による植物群落の分類, 利根川と鬼怒川を実例として. 土木技術資料 36: 56-61.
- 9) 山本晃一 (1994) 沖積河川学-堆積環境の視点から, 山海堂
- 10) 伊木千絵美・矢部浩規・中津川誠 (2005) 河川の水利条件による河道内樹木の稚樹定着抑制. 河川技術論文集 11: 505-510.
- 11) 福岡泰斗・鎌田磨人 (2005) 洪水によるシナダレスズメガヤの除去効果及びそれに対するヤナギ群落の阻害効果. 応用生態工学会第9回研究発表会講演集: 187-190.

3. 河道内樹林化抑制対策

第2章では、樹林化抑制対策は、冠水による抑制対策、攪乱による抑制対策、草本による抑制対策の3つの方向性に大きく分類することができることを述べた。

本章では、第2章で示した樹林化抑制の着目点を踏まえ、具体的な対策方法について事例を示し解説する。

3.1 樹林化抑制対策の分類と概要
3.2 冠水による抑制対策
3.3 攪乱による抑制対策
3.4 草本による抑制対策

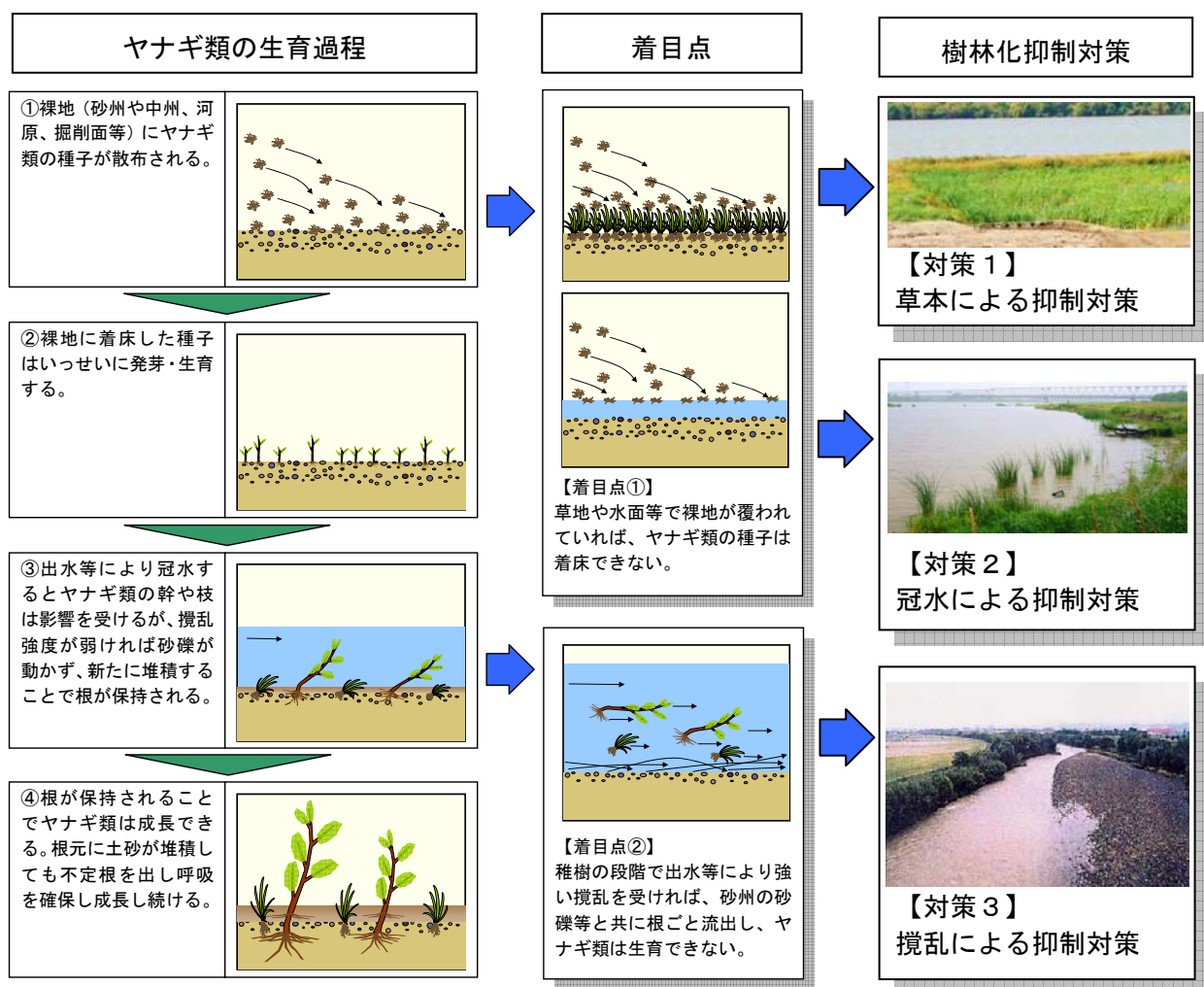


図 3-1 樹林化抑制に向けた対策分類の流れ

3.1 樹林化抑制対策の概要

(1) 樹林化抑制対策の分類と概要

樹林化抑制対策の分類と概要を表 3-1 に示す。

表 3-1 樹林化抑制対策の分類

名 称	対策の概要と適用範囲	実施イメージ	参照項目
1. 冠水による抑制対策	- 種子散布期に冠水させることによって、ヤナギ類の種子着床を抑制する対策 - 主に低水路内で、土砂堆積が少なく、融雪期において長期間の冠水が期待できる箇所に適用する - 下図に示す①と②の範囲に適用	 (石狩川下流)	3.2
2. 攪乱による抑制対策	1年に1回程度攪乱させることによって、ヤナギ類の稚樹の生育を抑制する対策 - 主に低水路内で、定期的な攪乱が期待できる箇所に適用する - 下図に示す①と②の範囲に適用	 (無加川)	3.3
3. 草本による抑制対策	- 種子散布期に草本を繁茂させることによって、ヤナギ類の種子着床を抑制する対策 - 主に高水敷等、融雪期の冠水や定期的な攪乱のいずれも期待できない箇所に適用する - 下図に示す②③④の範囲に適用 - 下図に示す②の範囲に適用する場合、「湿性植生による抑制対策」と細分する場合がある	 (石狩川下流)	3.4

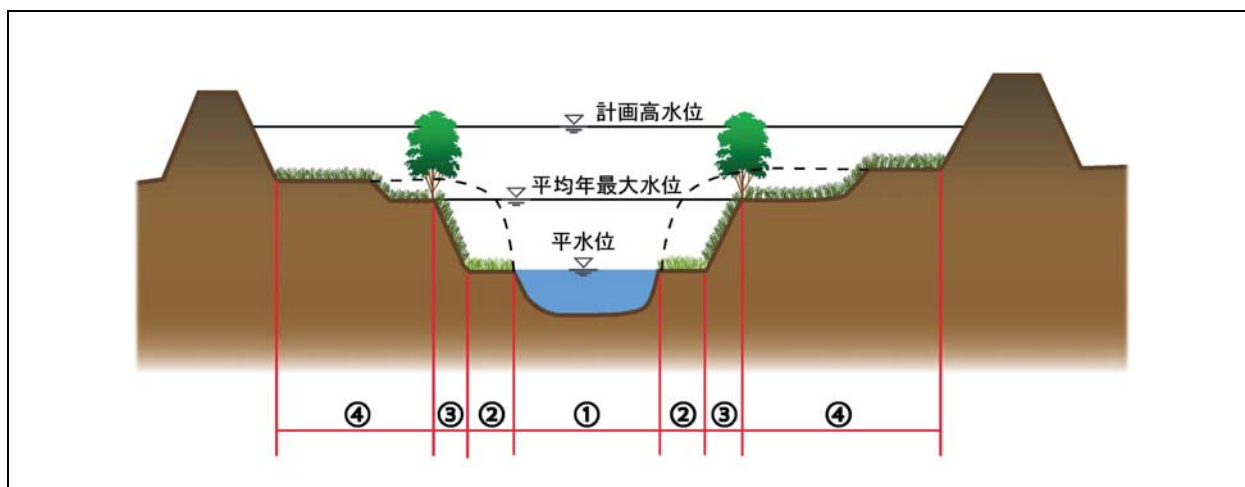


図 3-2 抑制対策の適用箇所模式図

（２）樹林化抑制対策適用の考え方

これらの対策を実施するのに適した場所は、それぞれ異なる。

既に条件に適した箇所となっていれば、その場所は無対策でも効果を発現することになる。

逆に、条件に該当しない箇所が、樹林化が進行する場所である。

樹林化が進行すると予想される箇所には、改修の形状や工法を工夫することによって、条件に適した状況を創出することが求められる。

3.2 冠水による抑制対策

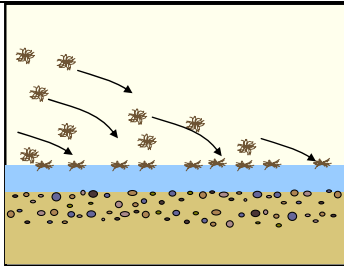
既往研究¹⁾によると、ヤナギ類は種子散布期に常に冠水している場所では発芽が困難であり、種子散布期(5月～6月)と成長期の冠水頻度を調節することで稚樹の定着を抑制できることが指摘されている¹⁾。

ここでは、ヤナギ類の種子散布期に裸地面を冠水させることで種子の着床を抑制する対策を解説する。

3.2.1 冠水による抑制対策の解説

冠水による抑制対策とは、種子散布時期(5月～6月)に水面となっている箇所にはヤナギの種子は着床できない特性に着目し、河道掘削後の掘削面(裸地)にヤナギの種子が着床し侵入することを防ぐために、水面幅をできるだけ広く確保したり、掘削面を水面になりやすくすることで樹林化の抑制を図る対策のことである。

表 3-2 冠水による抑制対策の基本方針

基本方針	イメージ図と解説	イメージ写真
冠水による抑制対策	 種子散布期に裸地面が冠水していればヤナギ類の種子は着床できない。	 水面に落下したヤナギ類の種子(天塩川 5月)

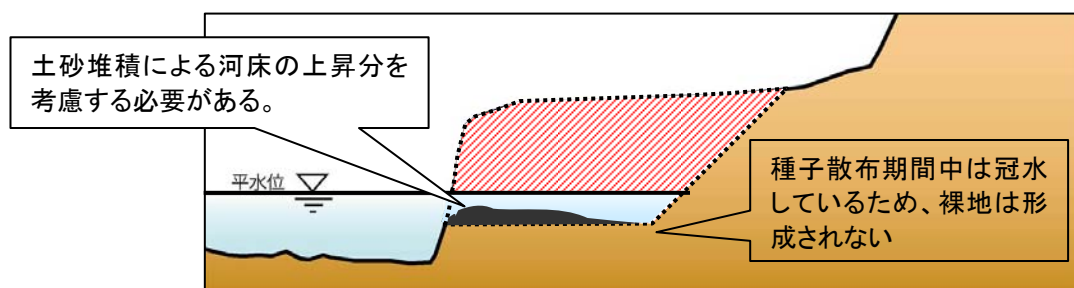


図 3-3 冠水を用いた対策の概念図

3.2.2 ヤナギ種子散布時期の冠水高の設定

一般に河道掘削面は裸地となるため、ヤナギが着床・生育しやすい状況となるが、平水位を基本とした掘削は、融雪出水時期とヤナギの種子散布時期が一致するため、掘削面の冠水により、ヤナギの種子の着床を抑制できると考えられる。

ここで重要となるのが、ヤナギ類の種子散布時期における掘削面の冠水状況である。

したがって冠水高の設定は、下記2つの条件から判定する。

1. 対象とする樹種を定め、その種子散布期間を設定する
2. 種子散布期間に確実に冠水する敷高を設定する。

図 3-4 に示すように、平水位程度の高さで掘削する場合、種子散布期に予想される冠水頻度を把握し、評価する必要がある。

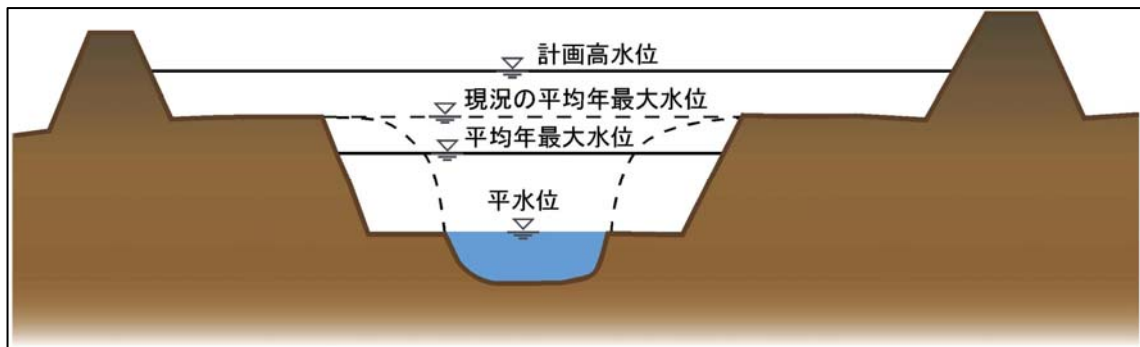


図 3-4 河道掘削敷高を平水位程度で設定したイメージ

(1) 対象とする種子散布期間の設定

【抑制の対象とするヤナギ類の種子散布期間の設定方法】

ヤナギ類の種子散布期間は、多くは5月下旬から6月中旬にかけての2週間程度に集中する。

ただし、6月下旬から10月上旬頃にかけて種子散布する種もあることから、対象区間の樹種の分布状況を把握し、最適な期間を設定する必要がある。

ヤナギ類の種子散布期間は、多くの種が5月下旬から6月中旬にかけての2週間程度に集中するが、分布する樹種により種子散布期間には差があり、8月から10月上旬に種子散布する種もあることは前に述べた。

このようなことから、冠水による抑制対策を実施する場合、対象とする河道区間とその周辺に分布するヤナギの樹種を河川環境情報図などから把握し、適切な期間を設定することが重要である。

たとえば、対象区間がセグメント2で、河道周辺にエゾノキヌヤナギが分布のほとんどを占めている場合、種子散布期間は5月下旬から6月中旬に設定して妥当であると考えられる。

もしも対象区間がセグメント1で山間部を流れており、河道周辺にドロノキやオオバヤナギが顕著に分布する区間である場合は、対策の期間を調整する必要があると考えられる。

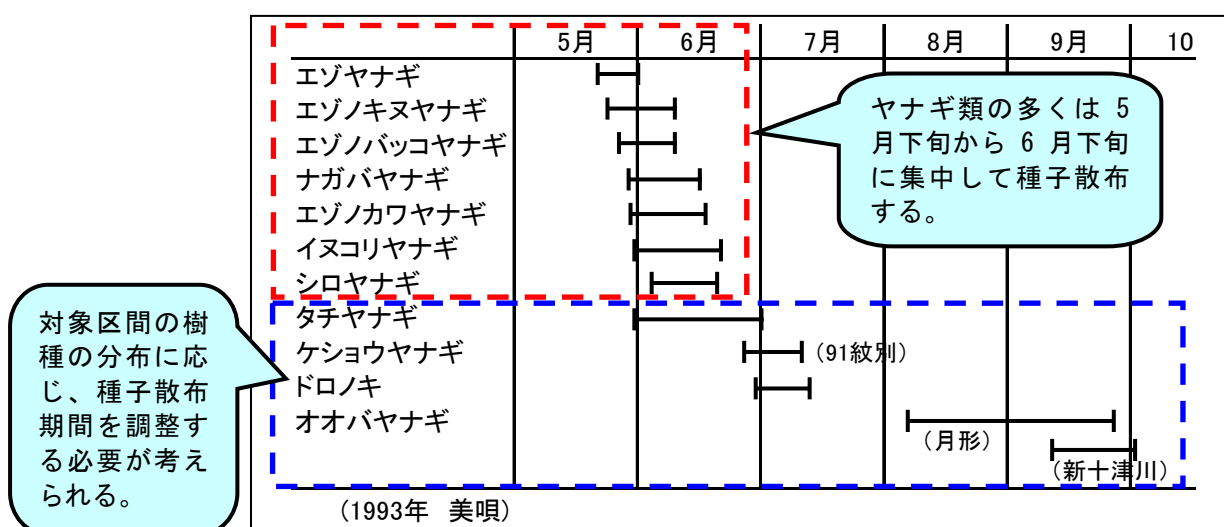


図 3-5 ヤナギ類の樹種別に見た種子散布期間²⁾

(2) 河道掘削敷高の設定

【ヤナギ類の種子散布時期に冠水する河道掘削敷高の設定方法】

掘削敷高は、近 10 ヶ年程度の流量観測データ、不等流計算等による計算水位、観測水位と計算水位の誤差等を把握・比較し、最も現実的かつ適合性の良い値で設定する。

掘削敷高は、以下のような水理量を比較し、最も現実的かつ適合性の良い高さで設定する。

- (1) 近 10 ヶ年程度の流量観測データより、ヤナギ類の種子散布期間の河水流量を求め、当該流量流下時の水位を不等流計算等で求め、掘削敷高に設定する。
- (2) 平水流量流下時の水位を不等流計算等で求め、掘削敷高に設定する。
- (3) 水位観測地点の観測水位と水位計算による水位の誤差を把握し、必要に応じ補正した値を求め、掘削敷高に設定する。(その際、低めの値で設定することが安全側となる。)

水面下まで掘削することで、堆積した細粒土砂が水没し続けることにより乾燥・固化を防ぎ、次の出水でフラッシュされやすくなるため、少量の細粒土砂であれば土砂堆積傾向を緩和する効果が期待できる。

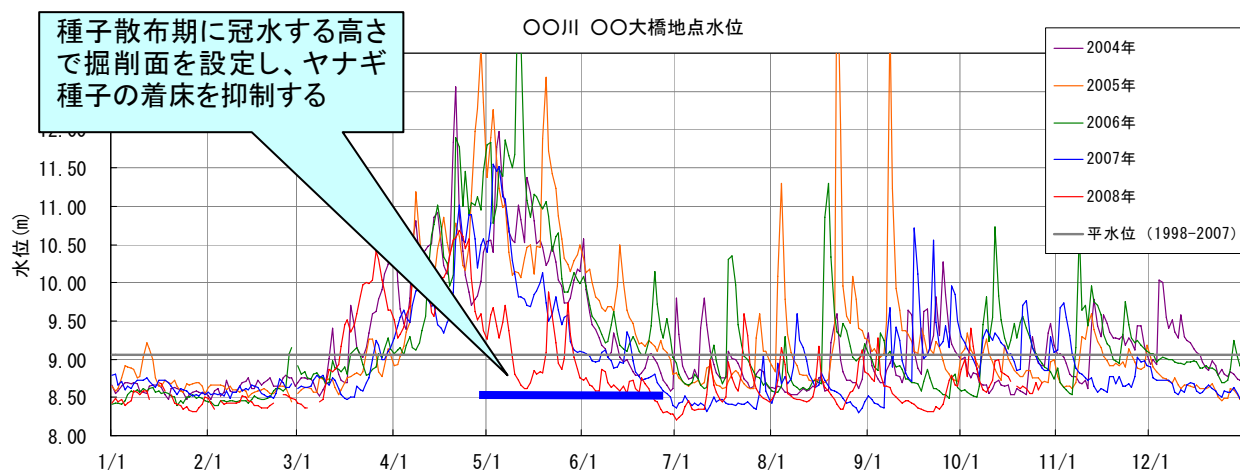


図 3-6 冠水頻度を目安とした河道掘削面検討のイメージ

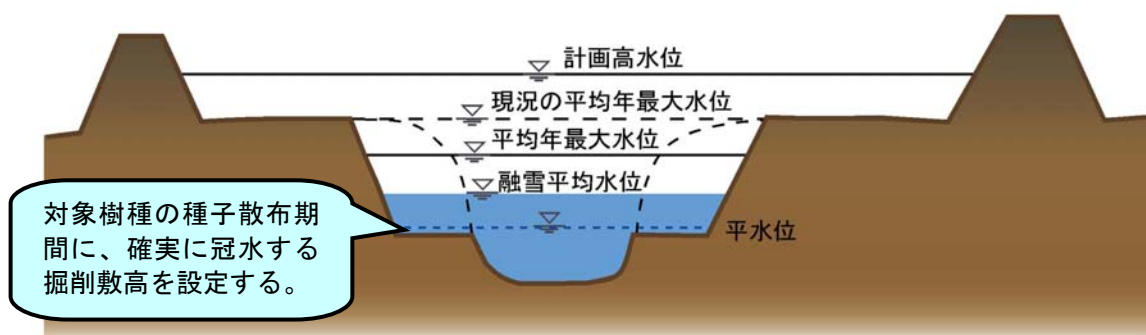


図 3-7 種子散布期に冠水する河道掘削敷高を設定したイメージ

● 具体例:冠水による種子着床抑制の事例

【奈井江試験地 1 年目の結果】

- ・掘削面は冠水日数が 40～90 日程度でヤナギ類の定着数が多い傾向にあるが、冠水 100 日以上では 1 本も定着しなかった。

当該試験地は石狩川 KP76.8 右岸に位置し、セグメント 2-2 に相当する。平水位から年最大水位より下の範囲において、敷高を変え冠水頻度の異なる掘削試験を実施している（写真 3-1 参照）³⁾。

冠水日数 40～90 日程度の箇所ではヤナギ類の個体数や樹高が多い傾向にあったが、冠水 100 日以上の箇所では個体数は 0 本であったことから定着抑制の一つの目安になると言える。

ヤナギ類の定着数の多かった低比高掘削地（平水位+0.4m～1.9m）におけるヤナギの定着本数は、平均 122 本/m²であった。この掘削面は死水域となっており攪乱の影響は少ないと考えられる。

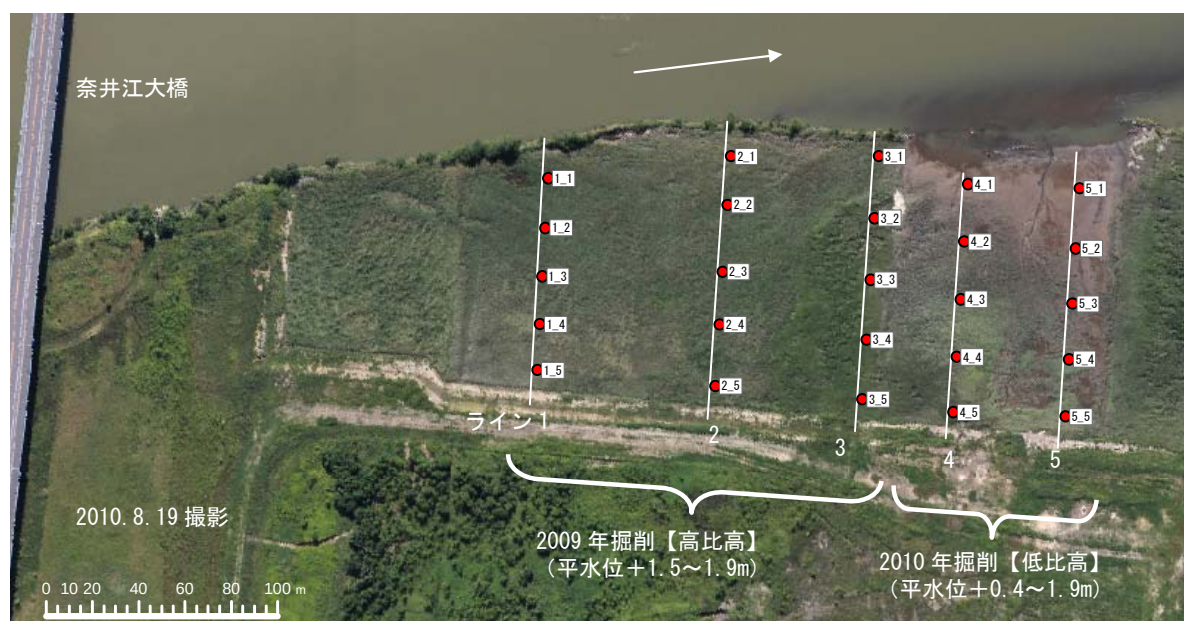


写真 3-1 奈井江試験地の現況写真

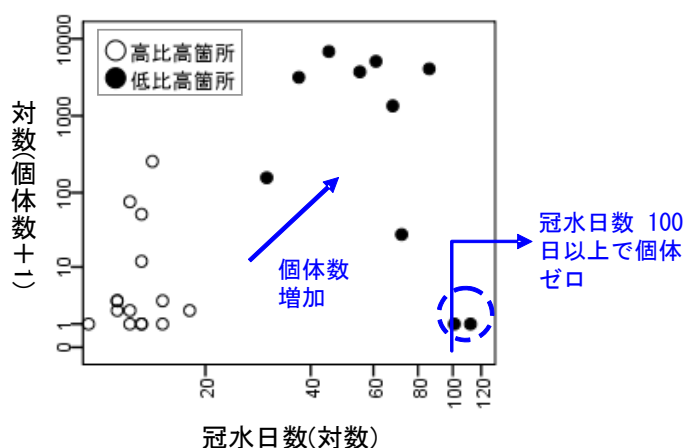


図 3-8 冠水日数とヤナギ個体数の関係

表 3-3 低比高掘削地のヤナギ本数

st	冠水日数/年	本数/25m ² 当り	本数/m ² 当り
L4-2	86	4,073	162.9
L5-2	72	27	1.1
L5-3	68	1,347	53.9
L5-4	61	5,093	203.7
L4-3	55	3,719	148.8
L5-5	45	6,821	272.8
L4-4	37	3,158	126.3
L4-5	30	156	6.2
平均	57	3,049	122.0

3.2.3 冠水による抑制対策の適用条件

種子散布期に冠水させることによって、ヤナギ類の種子着床を抑制する対策であることから、下記条件に該当する箇所での対策として適している。

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">・主に低水路内（セグメント2-2、セグメント3）・融雪期において長期間の冠水が期待できる箇所・攪乱境界 u_*^2 が目安値を下回ると予想される箇所(*1)・土砂堆積や河道閉塞の可能性の低い区間・流水に対して死水域になる水面 |
|---|

(*1) 攪乱境界については3.3において詳述する。

攪乱境界が目安値を下回る区間や、土砂堆積傾向にある区間でこのような対策を実施すると、低水路内の流速が減少し、浮遊砂の堆積が進行し川幅縮小とともに樹林化を誘発する可能性があることから、後述する攪乱境界が十分得られる区間や、そうでなければ干潮区間や背水影響区間、ワンドとして維持管理がなされる静水面など、土砂堆積や河道閉塞の可能性の低い区間において適用することが望ましい。

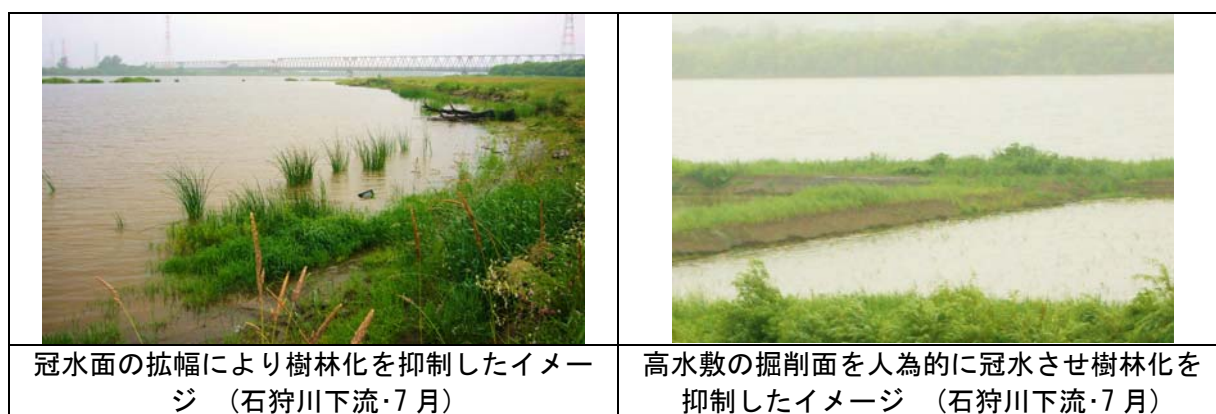


写真 3-2 冠水による抑制対策の実施イメージ

● 解説: 粒径が細かいセグメント3区間では冠水対策が効果的

礫は流速が大きくなければ動かないが、流速が小さくなるとすぐに止まる。砂は流速が小さくても動き出すが、流速がさらに小さくなるとすぐに止まる。泥は礫と同じように動き出しにくい、いったん動き出すと水に浮いて遠くまで運ばれる⁴⁾。

このようなことから、セグメント3のような粒径が0.3mm未満の区間では、低水路を拡幅し冠水面を広く確保することによる樹林化抑制策が効果的であると考えられる。

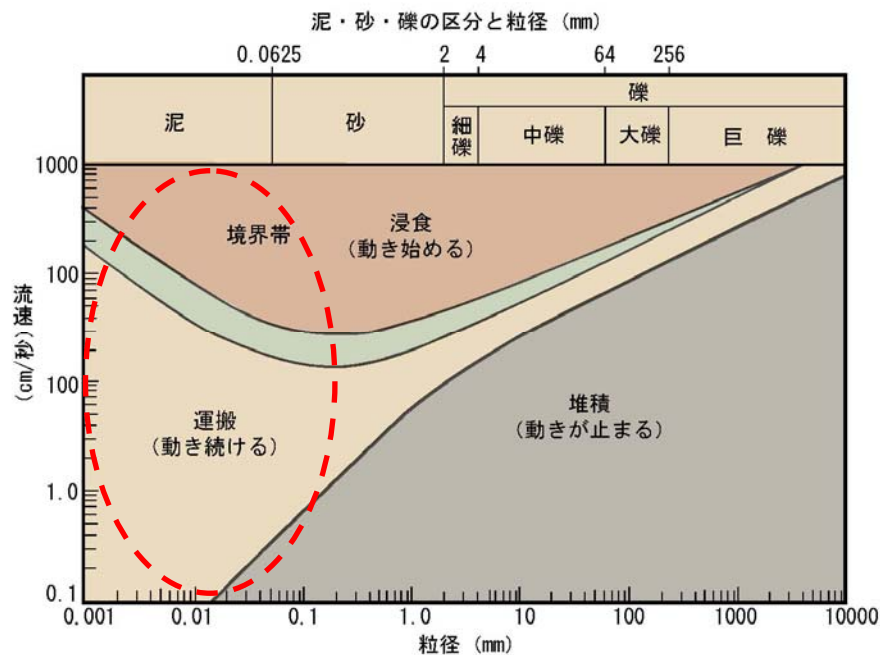


図 3-9 河床の泥・砂・礫の動きやすさと止まりやすさ⁴⁾

3.3 攪乱による抑制対策

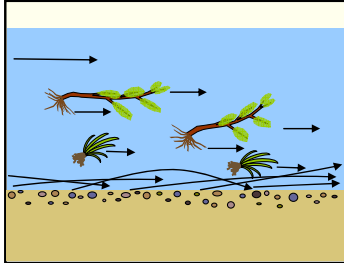
3.3.1 攪乱による抑制対策の概要

(1) 基本的な考え方

既往研究によると、裸地上に発芽したヤナギの稚樹を出水等による強い攪乱の力で砂州の砂礫等と共に根ごと流出させる生育抑制策⁵⁾が提案されていることから、攪乱による樹林化抑制を図ることが可能と考えられる。

ここでは、平均年最大流量程度の中小出水で定期的な攪乱が生じることでヤナギ類の稚樹の生育が抑制される範囲（攪乱境界）を設定し、この攪乱される範囲を河道改修後も確保することで河道内樹林化の進行を抑制する方法について解説する。

表 3-4 攪乱による抑制対策の基本方針

基本方針	イメージ図と解説	イメージ写真
攪乱による抑制対策	 裸地面で発芽しても、稚樹の内に出水等による攪乱の力で砂州の砂礫等と共に根ごと流出させれば、ヤナギ類の生育を抑制できる。	 出水の攪乱を受ける植生 (豊平川 10月)

(2) 目標像

河川に生じる攪乱の力を制御することによって、攪乱が定期的に繰り返され、低水路内の樹林化が抑制される状況を創出することが目標である。

攪乱による抑制対策により目標とする河道のイメージは、写真 3-3 に示すような状況が毎年繰り返される状況を創出することを理想としている。河道内の攪乱境界を把握し、これを制御することにより定期的に攪乱が繰り返され、たとえヤナギ類が砂州上に定着しようとも、成木林に成長する前に流失させることで低水路内の樹林化が抑制される状況を創出することを目標とする。

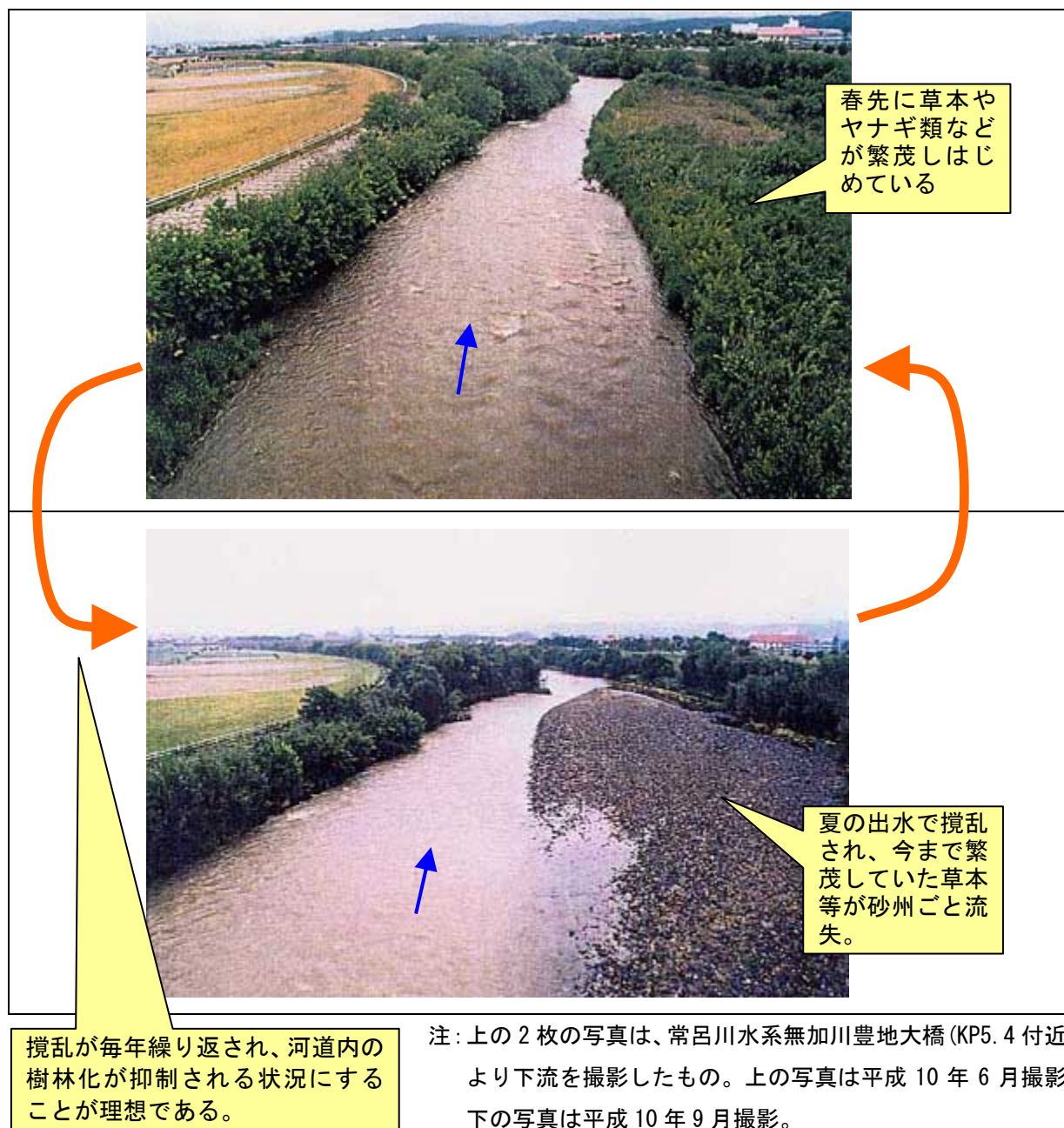


写真 3-3 攪乱境界を制御することにより目標とする河道のイメージ

3.3.2 攪乱境界の概念

【攪乱境界が見られる典型的な河道の特徴】

- ・ 低水路内が緩やかな横断勾配で砂州に移行し、裸地から樹林に変化している
- ・ 単列砂州形状で河床が安定している
- ・ 概ね2年に1～2回生じる出水によって、裸地面が攪乱されている

(1) 攪乱境界の定義

「攪乱境界」とは、下図に示すように低水路内の樹林化箇所と砂州（河原）の境界線を示す。砂州（河原）は出水時の攪乱作用によって形成されと考えられることから、流水の攪乱作用により樹林が形成されなくなる範囲の境界のことを、攪乱境界と定義した。

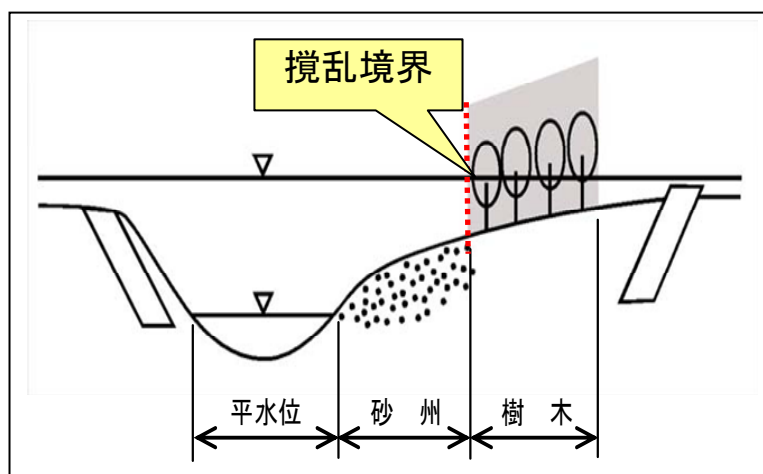


図 3-10 攪乱境界の模式図

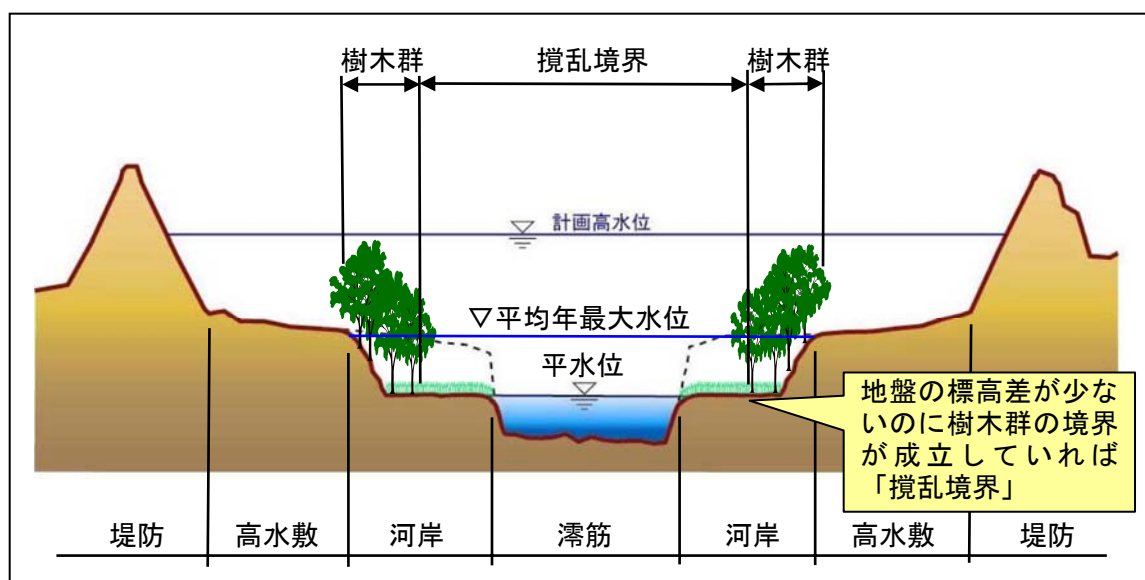


図 3-11 横断形における攪乱境界の位置

（２）低水路内に攪乱境界が形成されている場合

攪乱境界は、河川の低水路内に砂州が形成され、砂州上が裸地と樹林に分かれる境界として現場で見ることができる。

しかしその姿は、断片的・限定的に見られる事例が多い。

下に示した写真は、ある河川の低水路の様子を写したものである。写真に示した低水路内では、左岸側が水面となっており、右岸側に移行するにつれて緩やかな勾配で砂洲に移行していることが分かる。砂州上は草本がまばらに繁茂している裸地面と高木が繁茂する樹林に分かれている。

ここで着目すべきことは、砂州上の裸地と樹林の間に、高低差がないにもかかわらず、境界のようなものが見られることである。

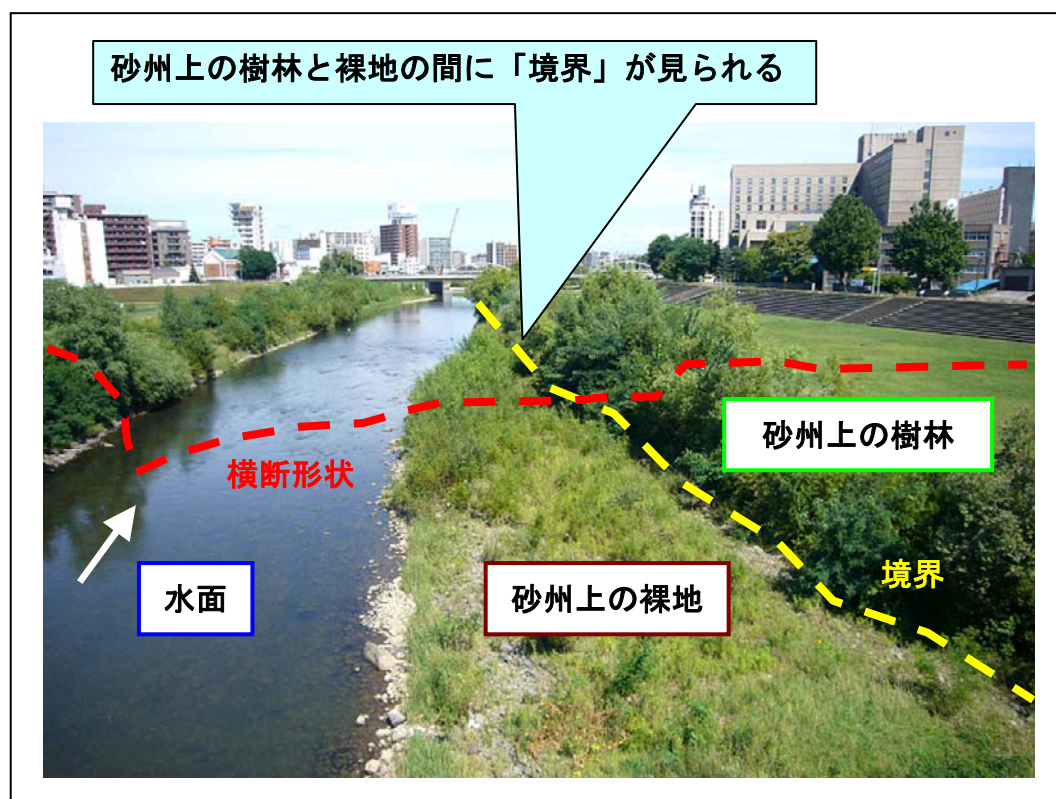


図 3-12 現場で見た攪乱境界の例（豊平川）

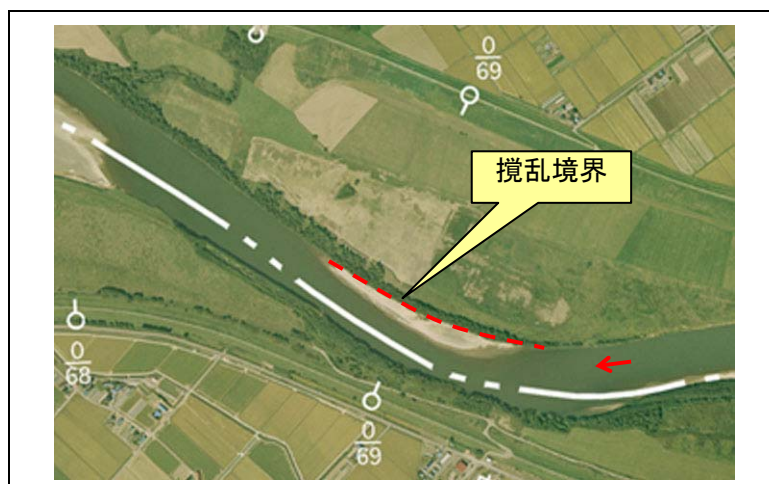


写真 3-4 航空写真で見た攪乱境界の様子（石狩川下流 2006 年）

(4) 攪乱境界の範囲

攪乱による抑制対策の特徴は、平均年最大流量程度の中小出水で定期的な攪乱を受けることで樹林化が抑制される範囲(攪乱境界)の概念を導入することにある。

2年に1回以上の頻度の出水によって、ヤナギ類の稚樹が吹き飛ばされるほどの攪乱を受ける範囲(主流部)と、そうでないために樹林化が進行する範囲を分ける境界のことである。模式図で示すと下図のように表現できる。

攪乱境界は、河道内の地形(横断形)の影響を受けるが、必ずしも明確な標高差によって規定されるものではない。したがって樹木が繁茂していない河道で攪乱境界の位置や範囲を捉えるためには、計算によって算出する必要がある。

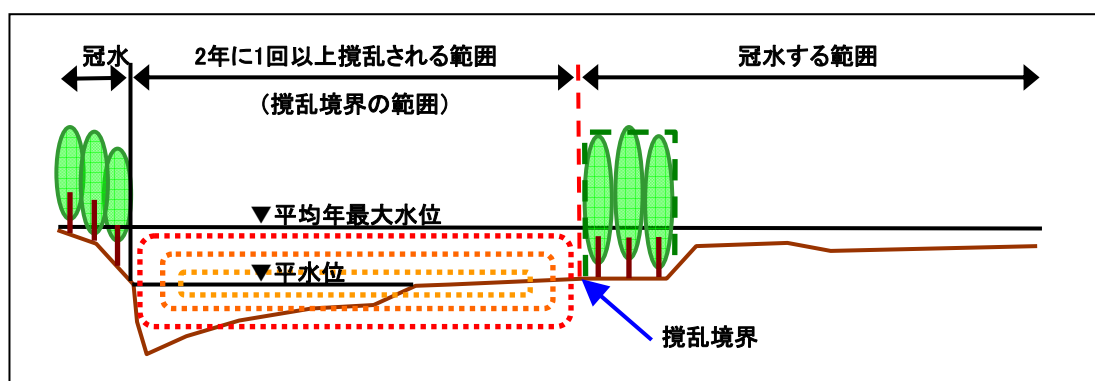


図 3-13 攪乱境界の範囲



写真 3-5 樹林化が抑制された河道の様子(十勝川支川)

3.3.3 攪乱境界の数値化

攪乱境界は、低水路内の横断形がゆるやかな勾配となっている箇所、平水時の水際から砂州に移行し、その背後に樹林が形成されている箇所、樹木群の境界として見られる地点に着目する。

この樹木群の境界は、出水時の攪乱作用によって形成され、と考えられることから、河道形成流量と呼ばれる平均年最大流量流下時における水理諸量を求め、河道内樹林化の数値指標として扱うものとする。

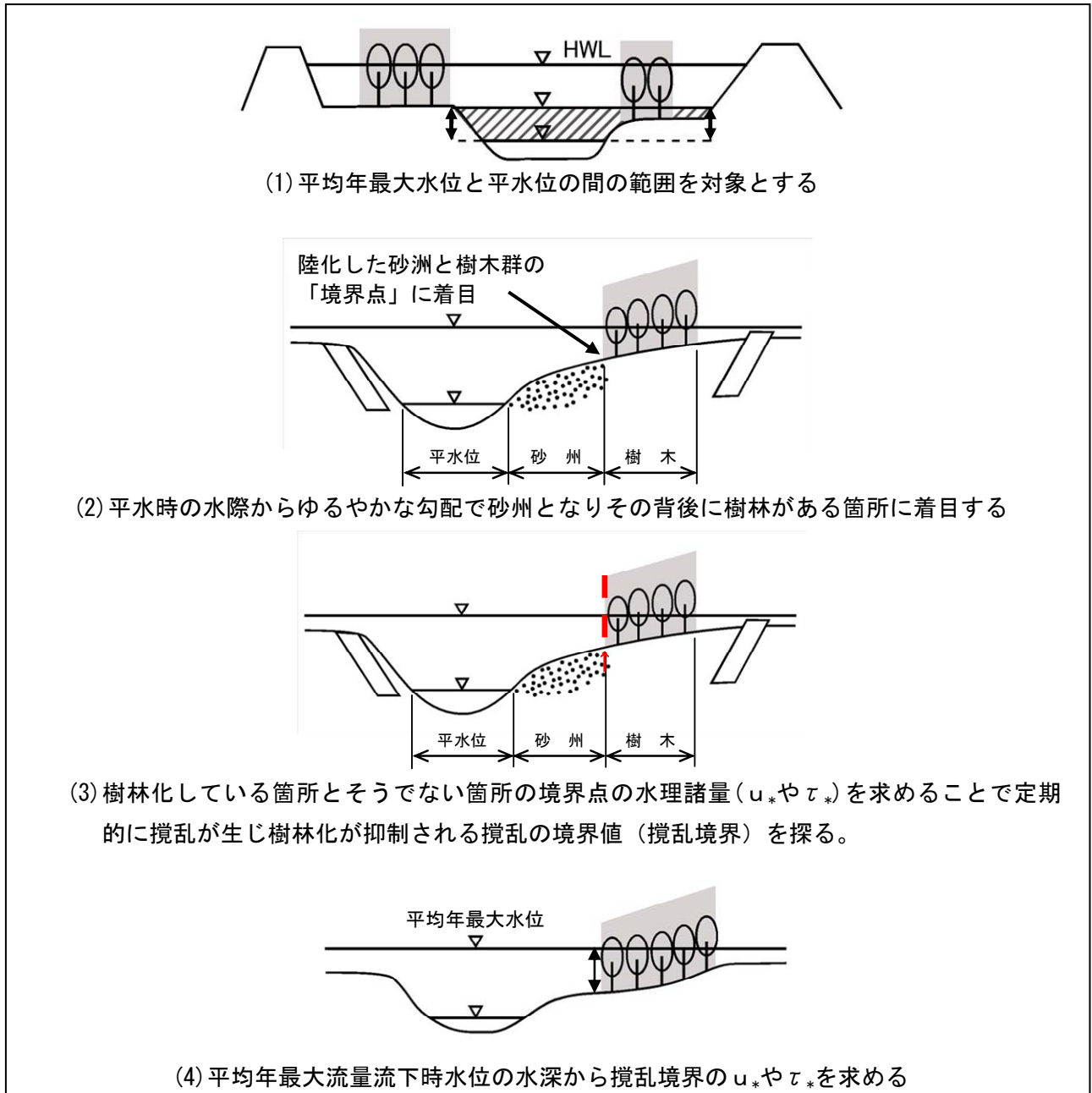


図 3-14 調査の概要説明

平均年最大流量程度の定期的な中小出水により河床が攪乱され、ヤナギ類の樹林化が抑制される河道断面を設定するためには、河道特性をあらかじめ水理諸量から判定できる目安が必要となる。

3.3.4 攪乱境界の摩擦速度と無次元掃流力

攪乱境界は、低水路内の横断形がゆるやかな勾配となっている箇所、平水時の水際から砂洲に移行し、その背後に樹林が形成されている箇所、樹木群の境界として見られることに着目する。

攪乱境界は、洪水時に砂洲の砂礫と共にヤナギ類の稚樹が根ごと移動することを示す水理量として扱う。土砂が動き出すかどうかは、流れの強さだけでなく、石や砂の重さや大きさ（粒径）にも左右されるので、流れと土砂との両方の要素を取り入れた無次元掃流力（ τ_* ）と共に、この無次元掃流力を速度の次元に置き換えた摩擦速度（ u_* ）を扱うものとする。

調査地点の攪乱境界の強度を示す指標として、無次元掃流力 τ_* と摩擦速度 u_* を用いる。

表 3-5 攪乱境界を示す水理諸量

区分	摩擦速度 u_*	無次元掃流力 τ_*
基本式	$u_* = (g \cdot H_L \cdot I_e)^{0.5}$ g : 重力加速度 H_L : 平均年最大流量流下時の水深 I_e : 平均年最大流量流下時の不等流計算結果より得られるエネルギー勾配	$\tau_{*R} = u_*^2 / s \cdot g \cdot d_R$ u_* : 摩擦速度 s : 河床構成材料の水中比重（≈ 1.65） g : 重力加速度 d_R : 河床構成材料の代表粒径
概要	流れが河床材料に及ぼす掃流力を示す指標として用いられる。壁面のせん断応力（流体から見たときは掃流力）を水の密度で除した値で示す。	河床材料の移動のしやすさを無次元化して示す指標として用いられる。流れが河床材料に及ぼす掃流力と抵抗力との比で示す。
攪乱境界としての適用	平均年最大流量流下時の樹木群と砂洲の境界地点の水深と、断面平均値のエネルギー勾配より求めた u_* を「攪乱境界の u_* 」と呼ぶ。	「攪乱境界の u_* 」より算出した τ_* を「攪乱境界の τ_* 」と呼ぶ。

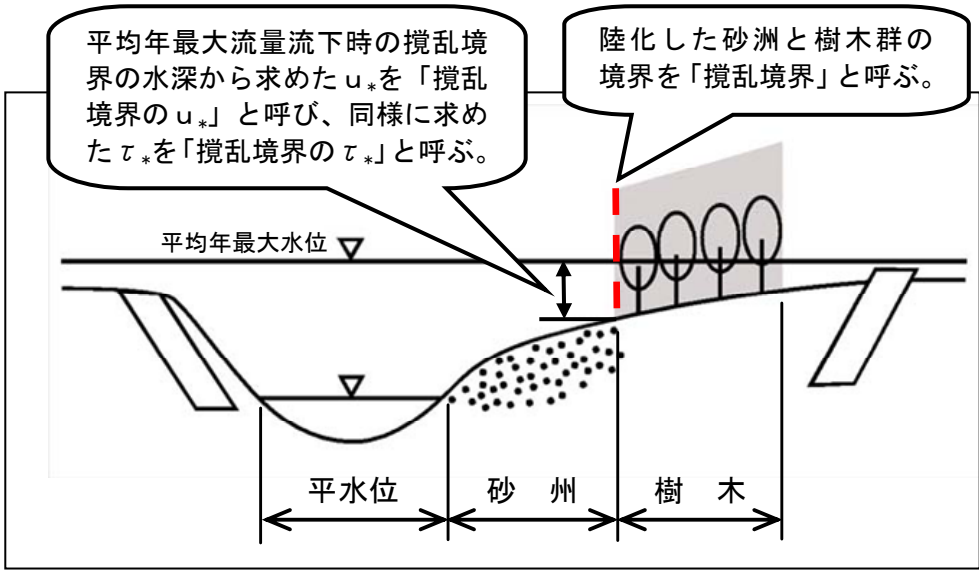


図 3-15 攪乱境界の水理諸量（ u_* ・ τ_* ）説明図

一般的に用いられる摩擦速度や無次元掃流力との違いは、水深を算定する位置が異なることである。

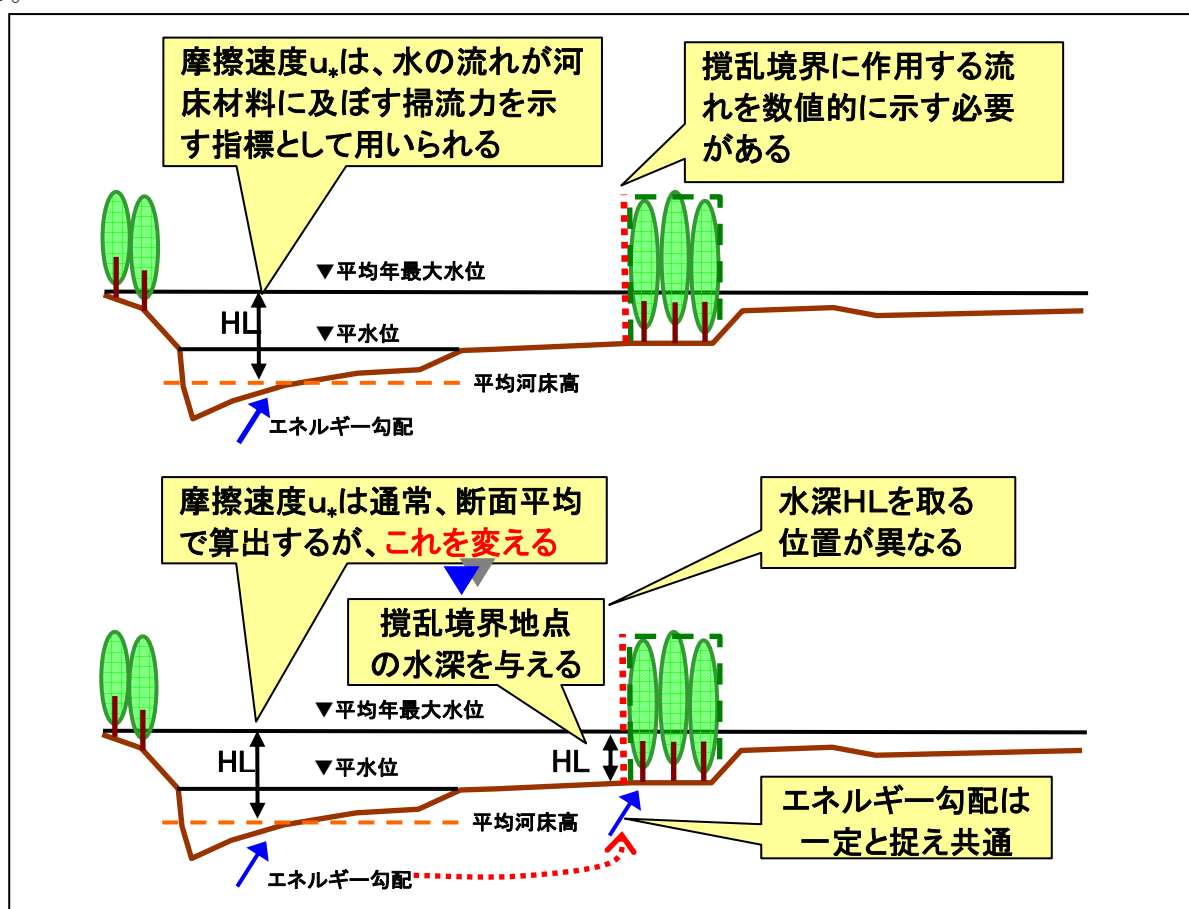


図 3-16 断面平均で算出する摩擦速度と攪乱境界地点の摩擦速度の違い

攪乱境界の摩擦速度や無次元掃流力を、準二次元不等流計算により計算することができれば、河道計画によって低水路を幅や水深を具体的に調節できることから、定期的に攪乱が生じヤナギ林の形成を抑制できる河道断面形状が設定できる。

●解説:攪乱境界の解析対象とする流量とヤナギの樹齢

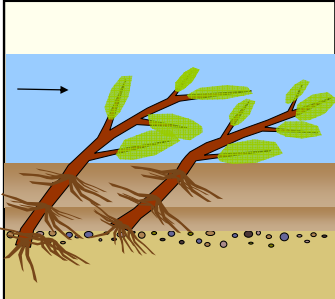
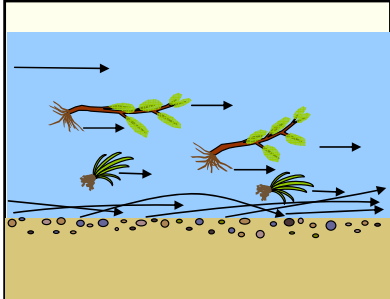
【攪乱による抑制対策の対象流量】

樹齢 2 年以内のヤナギ類の稚樹を平均年最大流量相当規模の出水で攪乱させることを「攪乱境界」による対策の前提とする。

「攪乱境界」の解析で扱う対象は、不定根を含む根系が未成熟で、比較的容易に攪乱可能と考えられる樹齢 1～2 年程度の稚樹とする。

樹齢 1～2 年程度の稚樹を対象とする場合、1～2 年に 1 度は攪乱することを前提にする必要があることから、攪乱対策に対応する出水規模は、平均年最大流量とする。

表 3-6 攪乱境界の対象・対象外の状況一覧

区分	× 攪乱境界の対象外	○ 攪乱境界の対象
現地調査での確認写真	 発芽から 3 年以上経過したヤナギ類は地中深く根を張り、成人男性でも引き抜くことは困難である。 (写真は 11 月撮影)	 発芽から 1～2 年程度のヤナギ稚樹の根系は浅く弱いため、人の力でも容易に引き抜くことができる。 (写真は 11 月撮影)
イメージ図	 樹齢 3 年以上の成木の場合、規模の大きい出水の力でも攪乱の力が及ばず流出できない可能性が高い。	 根系の弱い稚樹ならば、比較的規模の小さい出水でも攪乱によって流失する可能性がある。
対応する出水規模	樹齢に対応するには 3 年に 1 回の頻度で攪乱させる必要があることから、確率 3 年より規模が大きい出水を対象とする。	樹齢に対応するには 1～2 年に 1 回の頻度で攪乱させる必要があることから、平均年最大流量を対象とする。
結論	樹齢 3 年以上まで生育したヤナギ類の樹木は、ガイドラインにおける「攪乱対策」の対象外とし、維持管理段階で伐採・更新等の対象とする。	樹齢 2 年以内の稚樹は、平均年最大流量規模の出水で攪乱させることを前提として、ガイドラインにおける「攪乱対策」の対象とする。

3.3.5 攪乱境界の目安値グラフ

北海道の一級水系より選定した 114 地点について平均年最大流量流下時における水理諸量(無次元掃流力 τ_* と摩擦速度 u_*)を準二次元不等流計算により求め、既往研究^{6) 4)}を参考に河床材料の粒径と水理諸量の関係をプロットし、樹林化と攪乱強度と河床材料の関係を把握することによって、目安となる攪乱境界の水理諸量を算出した。

結果は、下図に示す通りとなり、「攪乱境界」の目安となる値を表 3-7 に整理した。

目安のラインを境に上側を樹林化が抑制される範囲とし、下側を樹林化しやすい範囲と解釈することができる。

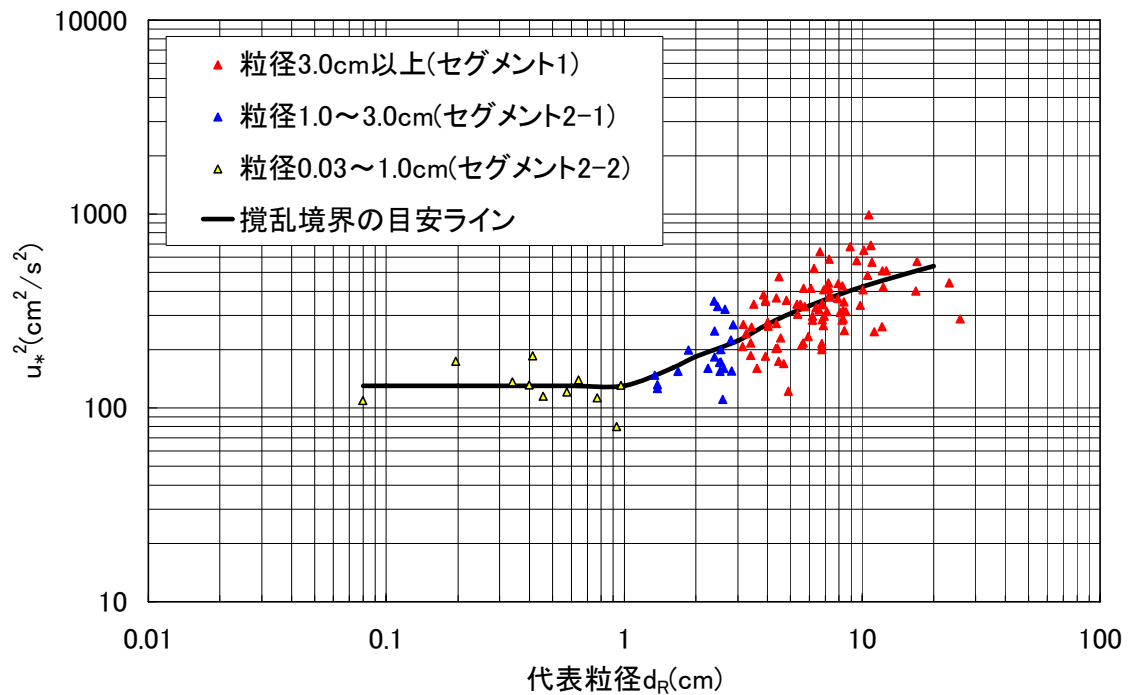


図 3-17 攪乱境界の摩擦速度の 2 乗 (u_*^2) 調査結果

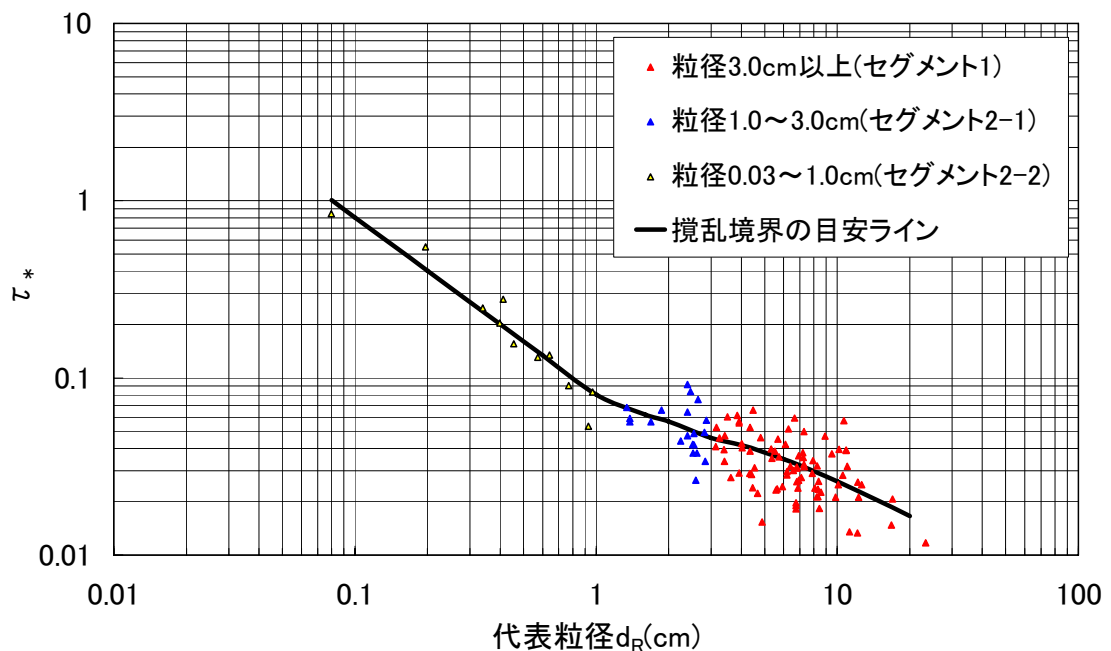


図 3-18 攪乱境界の無次元掃流力 (τ_*) 調査結果

代表粒径 1.0cm 未満のサンプルは全体の 1 割程度と少なかった。これはセグメント 2-2 やセグメント 3 では攪乱境界が明確な地点が少ないことを示しており、特にセグメント 3 に該当するサンプルは得られず、攪乱による影響が少ないことが示唆された。

表 3-7 攪乱境界の目安値

代表粒径 d_R (cm)	攪乱境界摩擦速度の 2 乗 u_*^2 の目安	攪乱境界無次元掃流力 τ_* の目安
1.00 未満	130 (一定)	～0.080
1.00～ 3.00	130～222	0.080～0.046
3.00 以上	222～	0.046～

●解説:攪乱境界の目安値の見方・解釈の仕方(1)

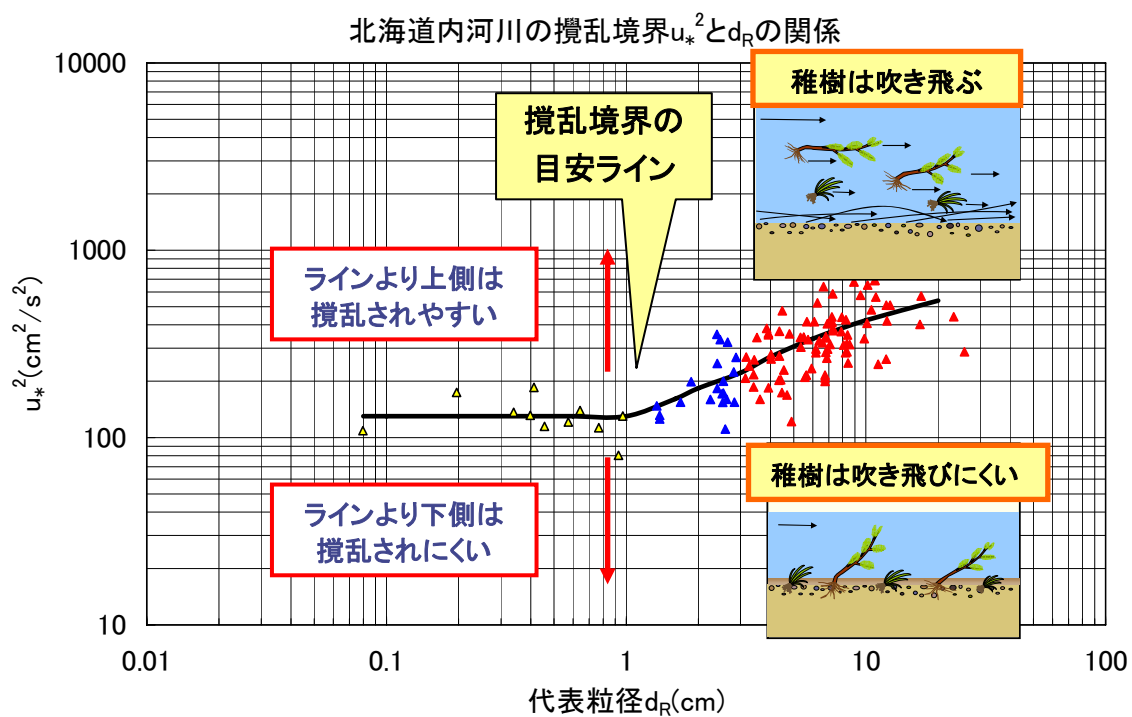


図 3-19 攪乱境界の目安値の見方 (摩擦速度 2 乗のグラフ)

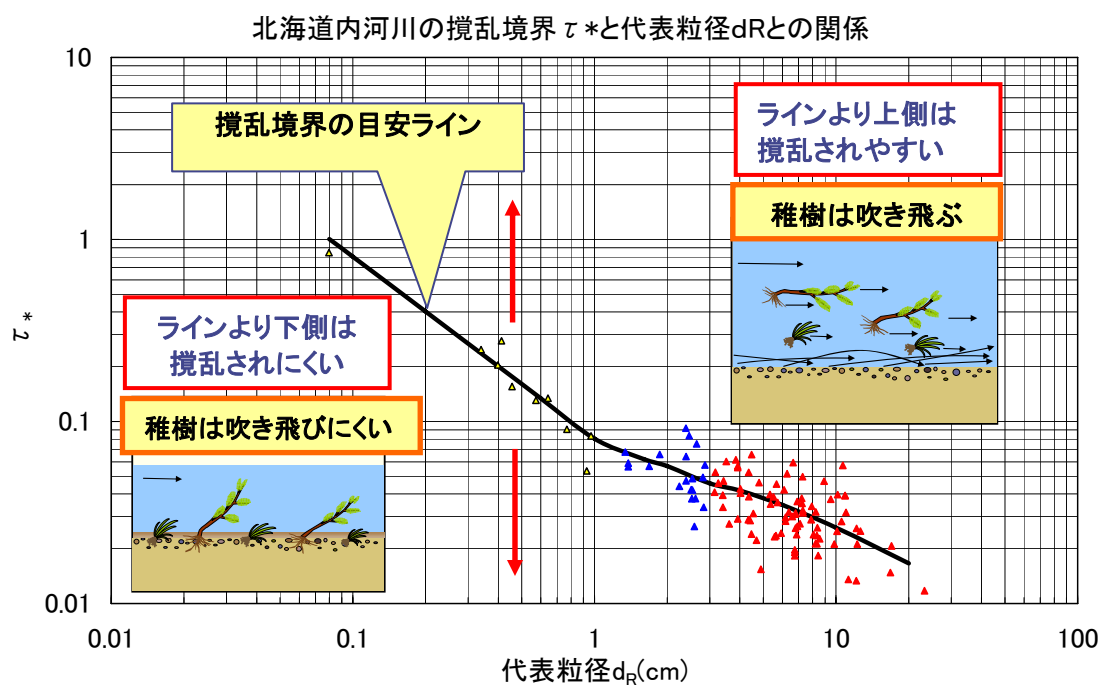


図 3-20 攪乱境界の目安値の見方 (無次元掃流力のグラフ)

●解説:攪乱境界の目安値の見方・解釈の仕方(2)

攪乱境界の目安ラインは、プロットの大まかな傾向から近似線を引いたラインとした。

しかし攪乱の有無を分ける境目の値としては、上限下限の誤差の範囲を持っているもので、今だ確定できない不安定なラインである。

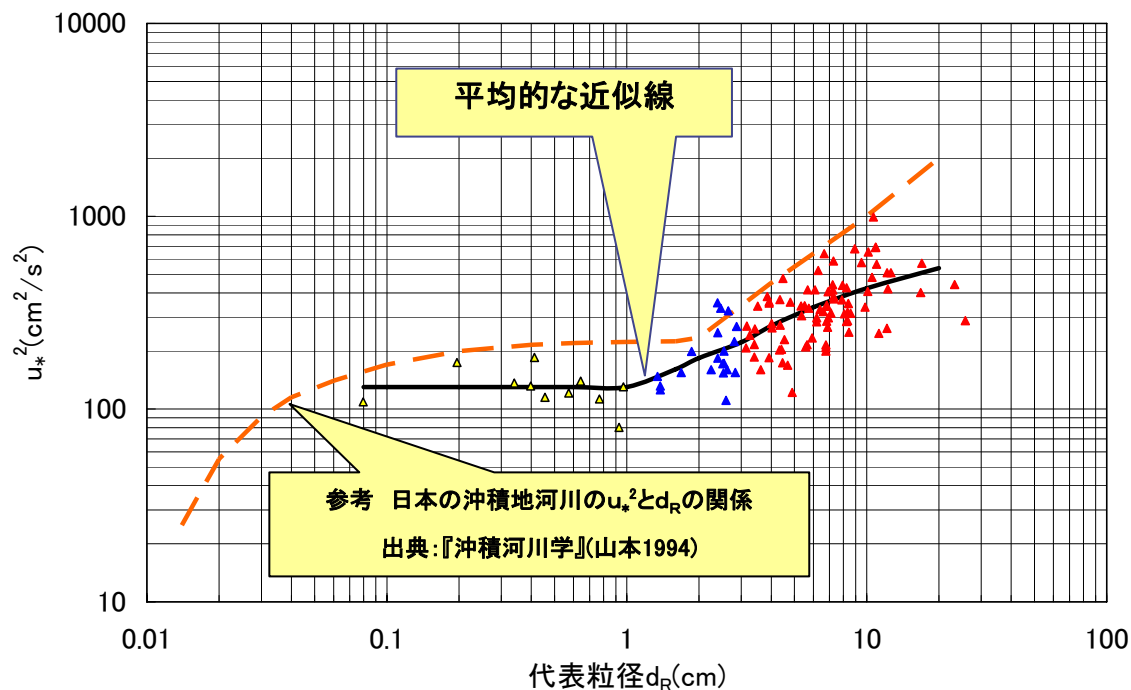


図 3-21 攪乱境界の目安値の見方 (日本の沖積地河川との比較)

上限の分布を見ると、日本の沖積地河川のラインと近似していることが分かる。

日本の沖積地河川のラインは、河床材料と u_*^2 を用いることにより、川幅縮小が起きているかどうかの判断基準として使われ、目安のラインより下にあれば、流水による攪乱力が弱く川幅縮小傾向にあり、目安ラインより上にあれば、流水による攪乱力が強く川幅が拡大する傾向にあることを示す。

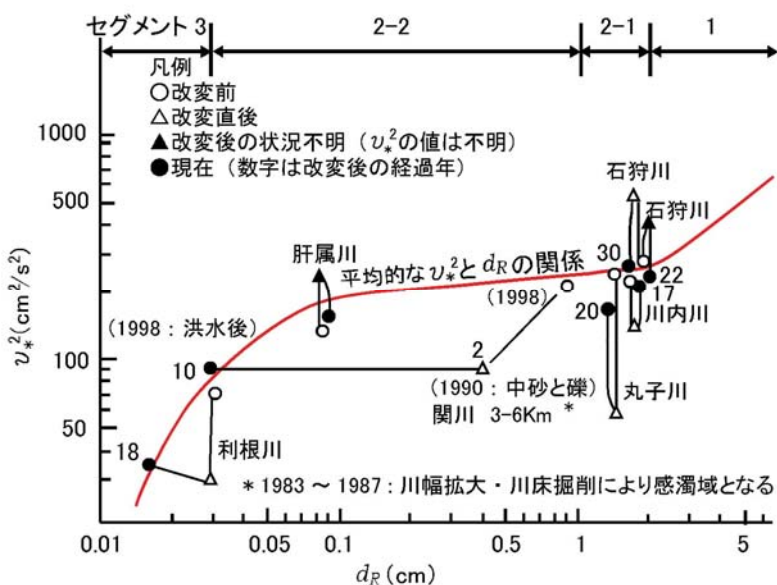


図 3-22 人工的河道改変後の河道の応答⁶⁾に加筆

日本の沖積地河川のラインは、河床材料の代表粒径と断面平均の摩擦速度 2 乗を用いることによって構成されている。

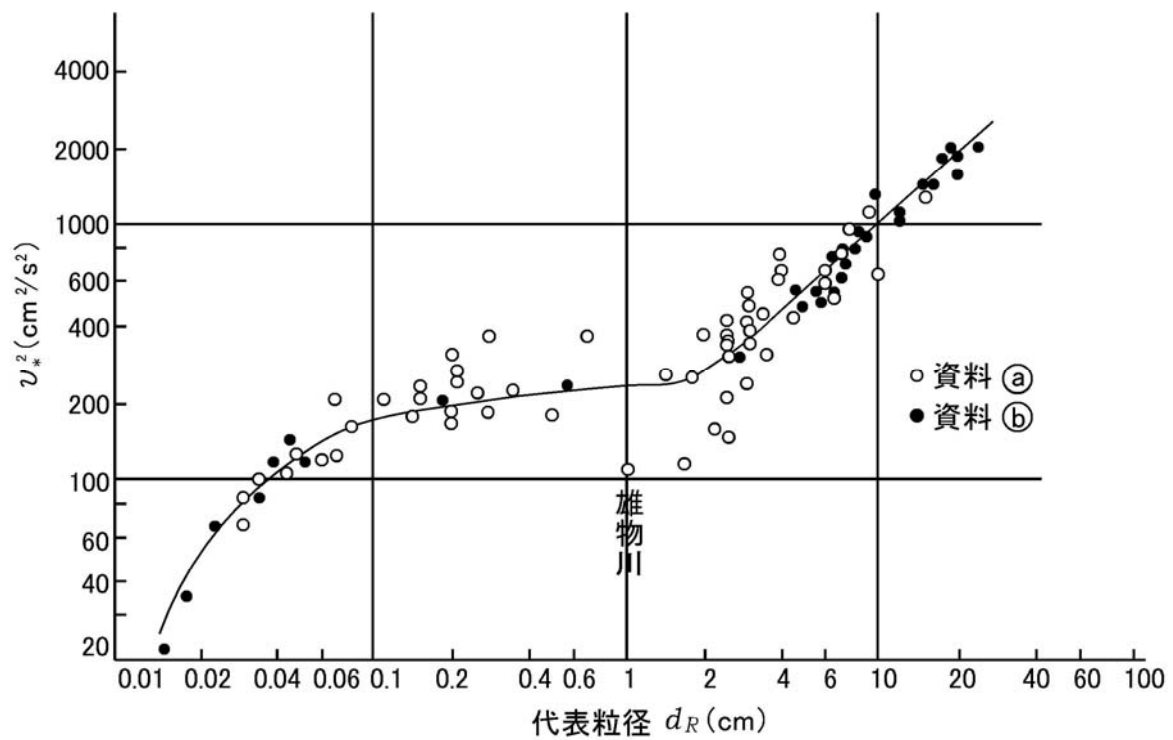


図 3-23 日本の沖積地河川の u_*^2 と d_R の関係⁶⁾

●解説:攪乱境界の目安値の検証

攪乱境界の目安値の検証として、より精度の高い値を得るため、平均年最大流量ではなく、選定地点の調査年当時の砂州を形成させた出水を調べ、その攪乱境界の水理諸量を再現しグラフにプロットしたものを以下に示す。

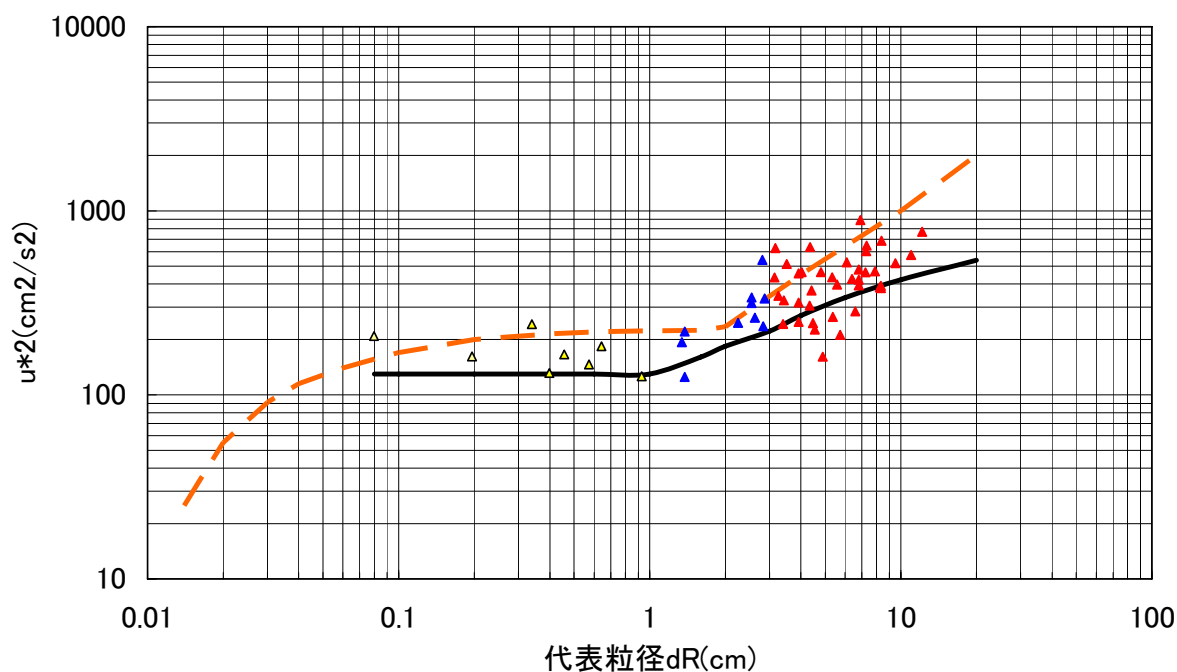


図 3-24 精度検証例：砂州形成出水+観測水位補正+エネルギー勾配平均化

もしもこの状態で近似線を引いた場合、現在の目安値よりも高い値になる可能性がある。

このように、攪乱境界の目安ラインを数値指標として明確に定めるためには、より詳細な知見の蓄積と検討が必要である。

●質問：攪乱境界の目安値グラフは、どんな考えで何をプロットしているのか？

攪乱境界の目安値グラフは、下表に示す北海道内の一級河川 13 水系の直轄区間における本・支川のデータを元に、攪乱境界の水理諸量を求め、粒径と水理諸量の関係をプロットすることによって構成されている。

使用したデータは河川整備計画策定当時の既往資料及び航空写真と河川環境情報図等を用いた。

表 3-8 攪乱境界の調査対象河川一覧

開建	調査対象河川
札幌	石狩川、豊平川、幾春別川、空知川、雨竜川
小樽	尻別川
函館	後志利別川
室蘭	鷗川、沙流川
帯広	十勝川、利別川、札内川
釧路	釧路川
網走	網走川、美幌川、常呂川、無加川、湧別川、渚滑川
旭川	石狩川、忠別川、美瑛川、天塩川、名寄川
留萌	留萌川

調査地点の選定は、下図に示す選定条件等を参考に攪乱境界を明確に見出せる地点を絞り込み、結果 114 地点を抽出した。

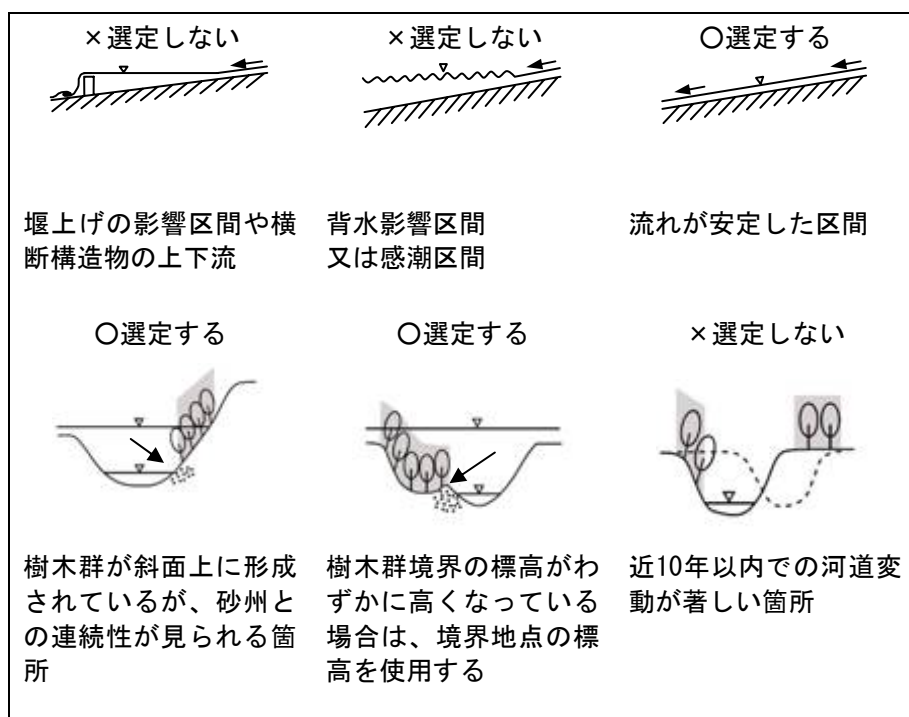


図 3-25 縦断・横断の適地判断の考え方の一例

●質問:攪乱境界の目安の計る上で u_*^2 と τ_* どちらを用いるべきか

本来は、河床材料の移動を扱っているので、無次元掃流力 (τ_*) のほうが適切である。
ただし、ここでは以下の理由から、摩擦速度の2乗 (u_*^2) を優先的に用いることとしている。

(1) 実用性からの理由

縦断的な掘削高の設定に密接に関わってくるものに、平水位高の攪乱強度がある。

この平水位高の攪乱強度と攪乱境界の目安の攪乱行度を比較することで、平水位より上で掘削高を設定できるか、抑制対策を採用せざるを得ないかの判断となる。

掘削高の攪乱強度を変え、平水位高の攪乱強度と比較しながら評価する作業が発生することから、掘削深さ（平均年最大水位からの水深）をパラメーターにして検討でき、摩擦速度の2乗 (u_*^2) が扱いやすい。

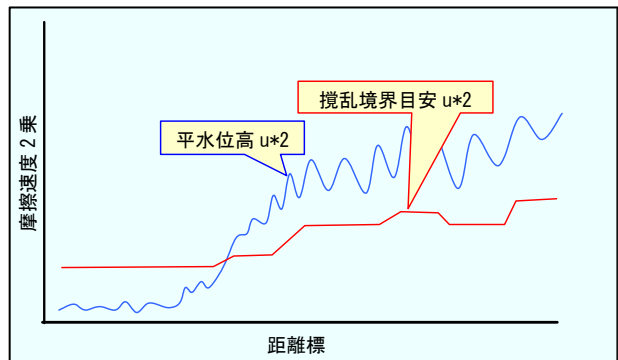


図 3-26 攪乱能力図のイメージ

(2) 代表粒径の分布の判断の理由

攪乱境界の目安として扱う無次元掃流力 (τ_*) と摩擦速度の2乗 (u_*^2) のいずれの場合も、河床材料の代表粒径が関連している。実河川の適用に当たっては、河川の縦断的な代表粒径の分布が、堰や床止工などの横断構造物や狭窄部の影響を受ける場合があり、これらの変化も合わせて把握しながら、判断する必要がある。

しかし、無次元掃流力 (τ_*) を指標にすると、比較する掘削高さや平水位高さの指標にも代表粒径の値が関係してくるため判断しにくい。一方、摩擦速度の2乗 (u_*^2) を指標とすると、攪乱境界の目安にだけ関連するため、これらの変化を判断しやすい。

●質問: τ_* が 0.05 以下で砂州が攪乱されるわけではない理由

無次元掃流力 τ_* は 0.05 以上から河床材料が動き出すとされている⁷⁾ が、本調査の無次元掃流力 τ_* のグラフにおいては、0.05 以下でも攪乱することになる。この理由は、扱っている地点(攪乱境界地点)が河床ではなく砂州や河原の上であるため、河床材料の粒径が細かく浮遊砂が混じっていることが想定される。これは、全道主要河川の河道横断データと河床材料調査結果をもとにプロットしている。

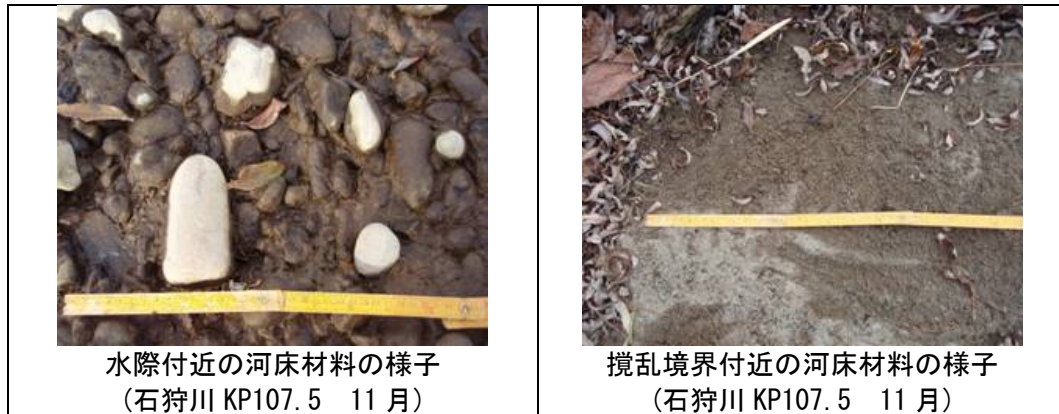


写真 3-6 水際と攪乱境界の河床材料の違い

攪乱境界の目安値ラインは、全国平均のラインとは異なる計算条件で算出した結果をプロットしているため、両者はイコールではない。

しかし、河岸形状設定の目安として活用するためには、両者を関連付けてとらえる必要がある。全く別ものにしては河道計画で使いにくいものになるからである。

そこで、

- ① 全国平均のラインは断面平均値で、横断形の中心の水理量を示している。
- ② 攪乱境界のラインは断面の両岸側の水理量を示している。(ただし、必ずしも冠水面の両端にならない点がポイントである。もしも水面の両端に樹木の境界ができるのならば、①で代用可能だからである。本来は見ることでできない攪乱境界の位置を数値的に見えるようにする技術的な意味がある。)
- ③ 両者に共通しているのはX軸の座標値で、これは共に河道内の代表粒径を用いている。代表粒径を用いている理由は、河川の縦断的な位置、勾配やセグメント区間を代表する値として用いている(図3-29参照)。稚樹の根元の粒径を捉えるために代用しているのではない。既往研究と関連付けるためにも、今後も河道の代表粒径で適用してゆくことが重要である。(ただし、河道内の粒径と攪乱境界の粒径が実際どの程度差があるのかは、確認すべき課題である。)

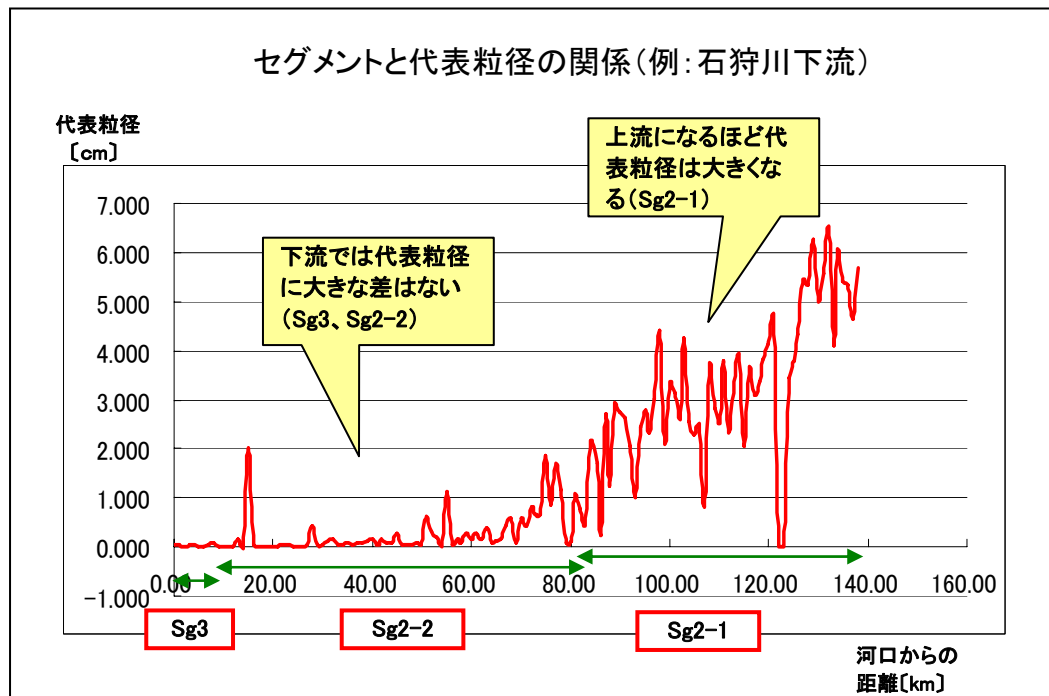


図 3-27 セグメントと代表粒径の関係 (例: 石狩川下流)

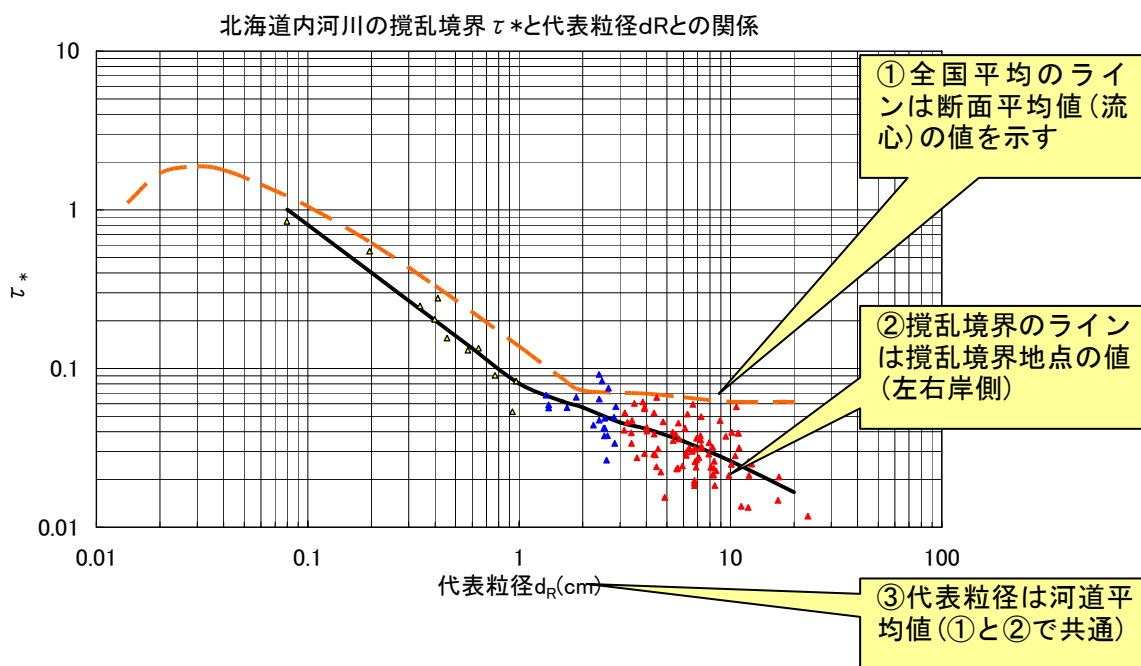


図 3-28 攪乱境界目安グラフの構成

ここで、①と②は異なることを前提にしながら、同時に③は同じであることも重要である。このような理由から、攪乱境界のラインは全国平均のラインより下側に沿って引かれるのであり、攪乱境界の τ_* が0.05以下になりうる事も説明できる。

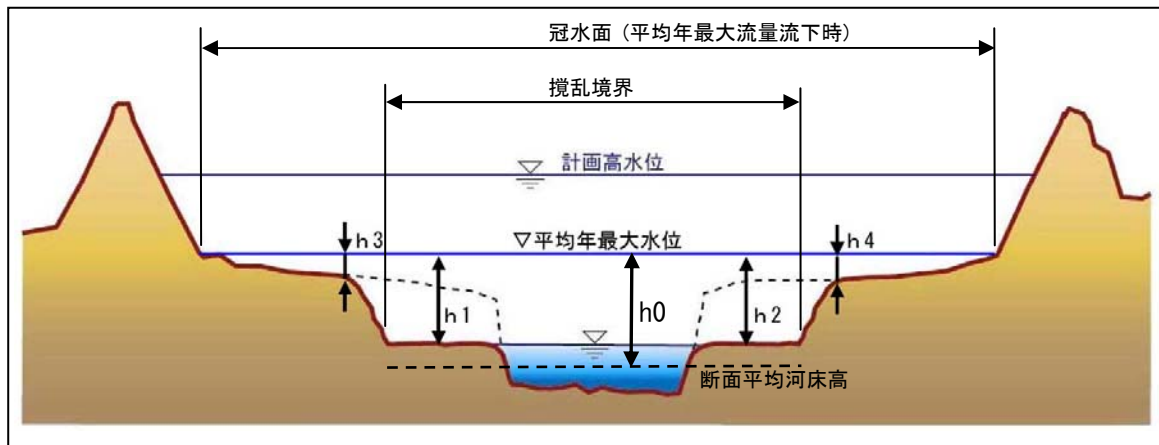


図 3-29 平均年最大水位からの水深の設定

h_0	= 断面平均水深
$h_1 \sim h_2$	= 攪乱境界の水深 (攪乱境界の目安値と一致する水深を算定する)
$h_3 \sim h_4$	= 冠水面の水深 (攪乱境界の目安値未満で冠水する箇所)
エネルギー勾配＝横断面上は $h_0 \sim h_4$ どこでも一定と考え、上下流 3 断面の平均値を適用する。	
矩形断面の場合は、 h_0 と $h_1 \sim h_2$ は一致する。	

攪乱境界の目安値グラフで読み取りたいことは、平均年最大流量流下時における河川本流の流れに対し、横断形のどの範囲まで攪乱の力が及ぶのかを把握することにある。

従来は、水面幅と河積(冠水する範囲)、水深、流心(滞筋)の水理量を把握することが中心であった。平均年最大流量が流下した際に冠水した河積の中で、河床が攪乱される範囲が一体どこまでなのかを把握することはできなかった。

これまで見えなかった「攪乱される範囲」を、数値的に見えるようにすることが重要である。

●質問: 全国河川の平均ラインより下側にプロットされるのはなぜか？

全国河川の平均ラインより下側にプロットされる意味は下記の通りである。

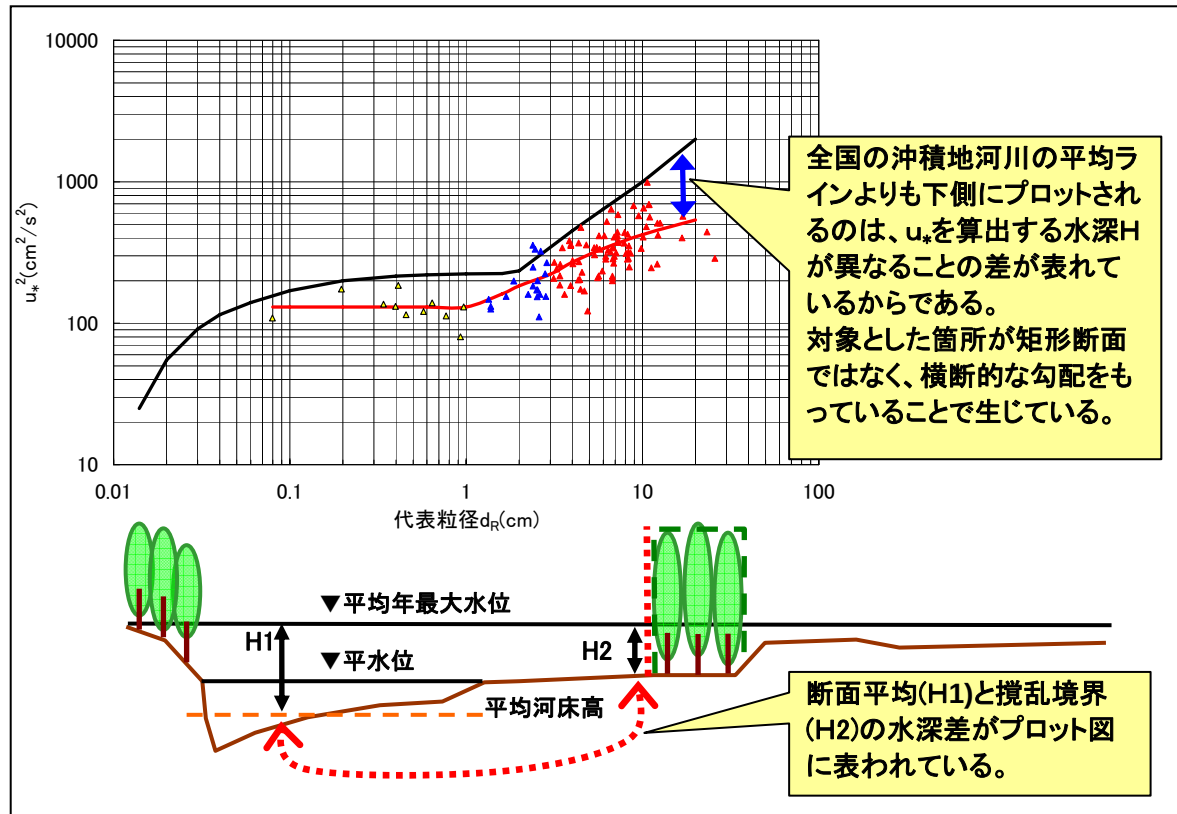


図 3-30 全国河川の平均ラインとの比較説明図

もしも矩形断面であれば、 $H1$ と $H2$ に差はないため、同じ値となる。

エネルギー勾配は共通なので、水深以外に差が出る要因がない。

代表粒径も共通なので差は出ない。攪乱境界地点ジャストの粒径を把握するのが目的ではなく、河道特性を代表する値として代表粒径を用いているからである。

このように「水深」だけを尺度として扱えるようにすることで、横断面ごとの水深が意味を持つようになると考える。

3.4 草本による抑制対策

既往研究¹⁾によると、ヤナギ類は種子散布期に既に植生が優占している場所では発芽が困難であり、種子散布期(5月～6月)に植生等で裸地面を被覆することでヤナギ類の定着を抑制できることが指摘されている¹⁾。

ここでは、ヤナギ類の種子散布時期に草本が優占して繁茂している箇所にはヤナギ類の種子は着床しにくいという特性に着目し、予め掘削面に草本植生を繁茂させ被覆することでヤナギ類の種子定着の低減を図る対策について解説する。

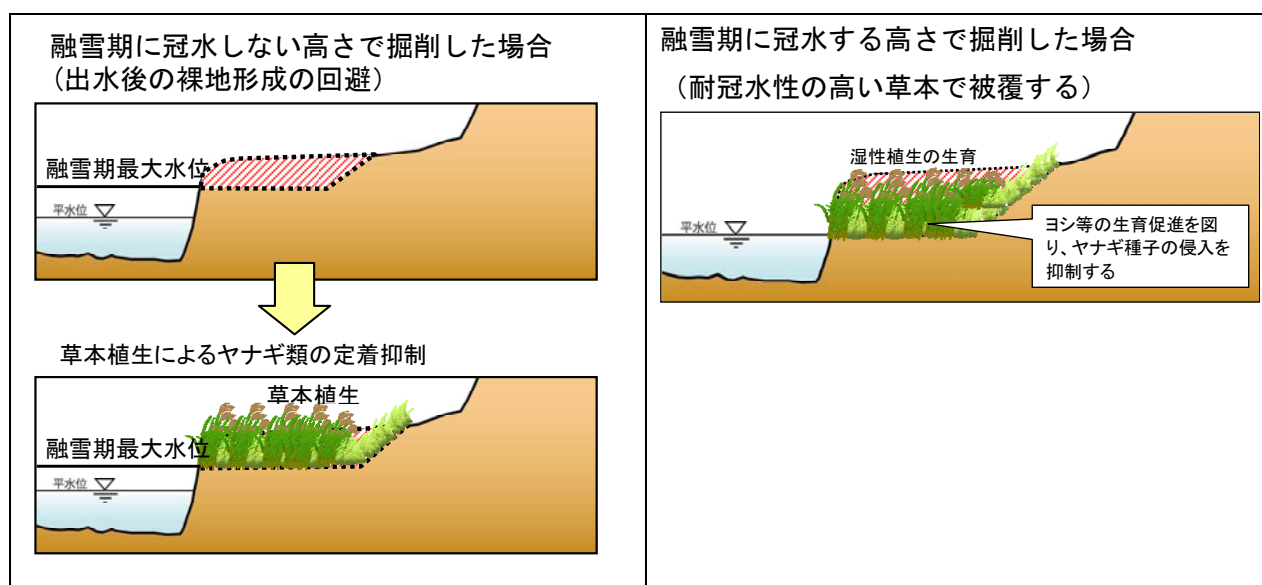


図 3-31 草本による抑制対策の模式

3.4.1 横断地形と樹林分布

有堤区間の河川地形は、低水路内の土砂堆積地と高水敷とに大別される。前者は流水の影響が大きく、その攪乱作用は下流になるにつれ小さくなる。後者は、流水の影響が小さく、河畔堆積物により湿地状態であるか否かなどに影響される。

①低水路内

冠水頻度の高い立地であるため流水の攪乱作用の影響が大きく、その度合いは下流になるにつれ小さくなる⁸⁾（表 3-9）。したがって、樹林化抑制に関しては、セグメント1では流水の攪乱作用の活用が期待できるが、セグメント2、3では流水の攪乱作用が減少するため、ヤナギ類の種子定着抑制など、流水の攪乱作用に頼らない方策を検討する必要がある。

②高水敷

冠水頻度の低い立地であり流水の影響は及び難い。河畔堆積物は、下流になるにつれ、シルト分、栄養分が増加する。したがって、セグメント3ではヨシなどが優占する湿性草本群落が増加することが多い。また、セグメント1、2では樹林化することが多い。

表 3-9 環境的秩序規制の要因と植物の性質の縦断的变化⁹⁾

項 目	上 流	→	下 流
河道特性	冠水時間	短	→ 長
	出水時の平均流速	速い	→ 遅い
	土中水分量	乾燥	→ 過湿
	土中栄養分量	少	→ 豊
群落	分布形態	団塊状・紡錘状	→ 帯状
	分布面積	小	→ 大
植物の性質	酸素通導性	低	→ 高
	流水に対する抵抗力	大	→ 小
	耐乾燥性	高	→ 低
	地下茎や根の分布	発達する	→ 浅く横に広がる
	代表的な植物	ツルヨシ・ヤナギ類	→ ヨシ・マコモ・オギ

3.4.2 冠水頻度、土性区分と植生との関係

【ヤナギ類に対応する草本植生】

- ・河畔において、ヤナギ類とヨシ類は互いに競合する関係にある。
- ・ヤナギ類の代わりにヨシ類を優占させることができれば、ヤナギ類の繁茂を抑制することが可能となる。

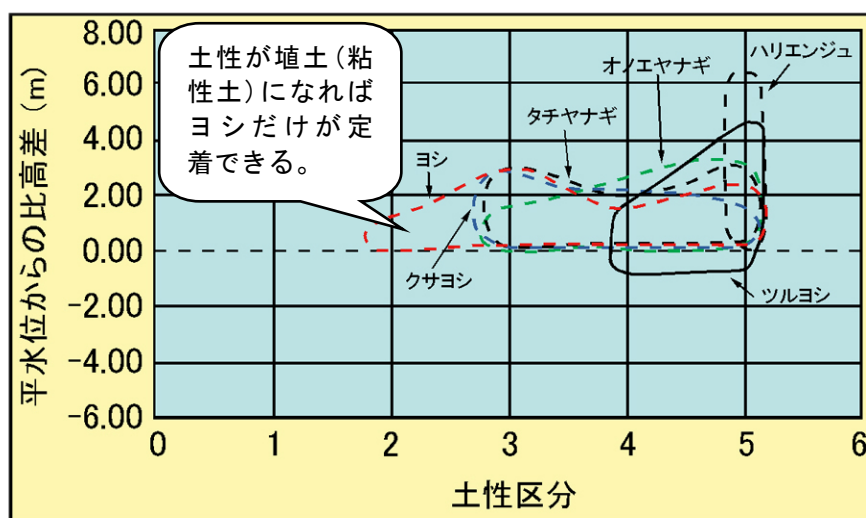
ヤナギ類と競合関係にある植生とその生育条件について整理し、ヤナギ類と競合する草本植生を活用することを提案する。

河畔での植物群落は、洪水による攪乱を頻繁に受けることで多様な微地形がモザイク状に分布する場となっており、その多様な微地形によって土壤養分や土壤水分等の環境的な要素が場所ごとに大きく異なり、さらに洪水ごとに微地形の分布が大きく変動するため、そこに成立する植生分布は山地等の陸域の植生と比較して複雑な構造となっている¹⁰⁾。

このように河畔は水位変動の影響を受ける不安定な立地であるため、植生遷移は制限される特徴があり、ヨシ-ヤナギ群落等の水辺特有の植生が成立する¹¹⁾。

河道掘削後の河畔に多く定着しているのはヤナギ類であることは前述した通りであるが、ここではヤナギに代わって繁茂させるべき植生として、ヨシ-ヤナギ群落を形成する「ヨシ」に着目した。

河道掘削後に成立する植生を予測するため、全国 11 河川 20 地点を対象とした既往研究¹⁰⁾によれば、平水位からの比高差、土性区分と成立する河川植生との関係が示されている。



凡例・Y 軸の数値

数字	土性区分	数字	土性区分
0	水中	3	壤土(粘土分を 25~37.5%含む土)
1	埴土・粘性土(粘土分 50%以上含む土)	4	砂壤土(粘土分を 12.5~25%含む土)
2	埴壤土(粘土分を 37.5~50%含む土)	5	砂土(粘土分が 12.5%未満の土)
		6	構造物・コンクリート

図 3-32 平水位からの比高差と土性区分との関係¹⁰⁾

これを考察すると、ヨシ類(ヨシ、クサヨシ、ツルヨシ)とヤナギ類(オノエヤナギ、タチヤナギ)は成立分布が重複し、競合関係にあることが分かる(図 3-32 参照)。

また、水位が高い状態で、土性を埴土(粘性土)にすると、ヤナギ類を含む一般的な植物の根は呼吸できなくなり、ヨシだけが成立できることとなる。

3.4.3 草本による抑制対策の概要

ヤナギ林の代わりにヨシ等の草本群落を繁茂させることで、ヤナギ類の進入・定着を低減できると同時に流下阻害や流木発生量も低減することができる。

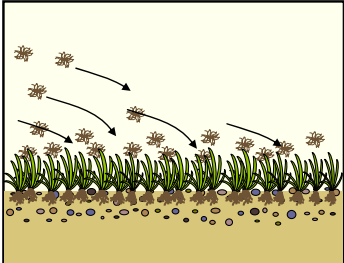
(1) 基本的な考え方

ヤナギ類は樹木群となり河川の流下阻害や流木発生源となるのに対し、ヨシ群落は草本群落となり出水時には流れに沿って倒伏することから、流下阻害や流木発生源となる可能性は低い。

準二次元不等流計算においても、横断面上においてヤナギ林は死水域として評価されるのに対し、ヨシ群落は河岸粗度として評価される。

すなわち、ヤナギ類の代わりにヨシ類を優占させることができれば、ヤナギ類の繁茂を抑制することが可能となり、流下阻害や流木発生を抑制することが可能となると考えることができる。

表 3-10 草本による抑制対策の基本方針

基本方針	イメージ図と解説	イメージ写真
他植生の被覆による種子着床抑制策	 ヨシ等、他の植生群落が既に優占して繁茂している箇所では、ヤナギの種子は着床しにくく、着床しても十分な日照が得られないため、淘汰され生育困難となる。	 河川敷に優占して繁茂したヨシ群落(石狩川 10月)



【ヤナギ類の着床抑制の方向性】

- ①ヤナギ種子散布期に水面ができる状況を作る。
- ②ヤナギ種子散布期に他の植生で覆われている状況を作る。
- ③ヤナギと対抗可能でかつ治水上の流下阻害のない植生群落を優占させる。
- ④上記①②③が同時並行的に生じる状況を作り、抑制効果を高める。



【ヨシ原形成に着目した樹林化抑制対策】

- ①水深 0.30m 程度の水中でも生育する。
 - ②ヤナギ類と生育条件が競合し繁殖力が高く、広く地域に分布する在来種である。
 - ③地下茎を形成し、出水に耐えるだけでなく、倒伏して流下阻害の影響を緩和する。
 - ④掘削面にヨシ原が優占される状況を作れば、樹林化の抑制が図れる。
- *注:ただし、顕著な土砂堆積や攪乱が生じた場合は維持管理を行う必要がある。

(2) 対象の設定

草本植生を早期に形成する方法としては、根茎移植、播種、表土復元が考えられる。この内、ヨシを対象とした場合の実績があるのは、根茎移植と表土復元の事例がある。

表 3-11 草本植生を早期に形成するために考えられる措置

名称	一般的な概要	ヨシ原の形成実績
1. 根茎苗移植	- 対象となる草本植生を株毎に掘取り、掘削後に移植する方法 - 個体数が比較的少ない場合に有効な手法 - 掘取りは、根を乾燥させないことに留意し、生育個所の土毎に保全する - 移植までに日数がかかる場合には、掘取った株をポットやビニール袋など移し、養生を行う - 地上部が枯れた植生が休眠する時期に移植を行うと活着率が高い	道内での実績有り
2. 播種	- 対象となる草本植生から種子を採取し、掘削後に播く方法 - 個体数が比較的少ない場合に有効であり、一年草の場合に適用する方法（ヨシは適さない） - 種子を播く個所は、もともと育成していた個所と同様の地盤条件となっている箇所（土質・冠水・日照）で実施する	実績は乏しい
3. 表土復元	- 植生の育成する地盤を薄く掘削し、掘削後に復元する方法 - 現状で群落を形成している場合に有効 - 昆虫などの他の小型の生物の保全にも効果を発揮する - 移植までに日数がかかる場合には、乾燥しないよう養生を行う - 地上部が枯れた植生が休眠する時期に移植を行うと活着率が高い	道内での実績有り

(3) 対策の分類と適用条件

草本による抑制対策の分類と適用条件は下表の通りである。

表 3-12 草本による抑制対策の分類と適用条件

適用	名 称	適用条件	概要とイメージ
主に 高水敷	根茎移植 による 方法	・融雪期に冠水しない箇所 ・主に高水敷（セグメントは問わない、下図の④） ・低水路内（セグメント 3、セグメント 2-2、下図の②③） ・河道掘削後の裸地面（下図の②③④） ・湾曲部の場合、内岸側の掘削面	既存草本群落の根茎を掘削面に移植することで早期の草本植生形成を図り、ヤナギ類の種子着床を抑制する方法  (網走川)
	表土復元 による 方法	・河道掘削後の裸地面（下図の②③④） ・湾曲部の場合、内岸側の掘削面	既存草本群落の表土を掘削面に敷き均すことで早期の草本植生形成を図り、ヤナギ類の種子着床を抑制する方法 
主に 低水路	冠水との 組み合わせによる 方法	・出水等で一時的に冠水するならば、「冠水による抑制対策」との組み合わせによる方法が考えられる ・主に低水路内の掘削面(セグメント 2、セグメント 3、下図の②) が該当する ・旧川部など流水の影響が少ない死水域であれば、下図における①の範囲も含まれる	 (石狩川下流)

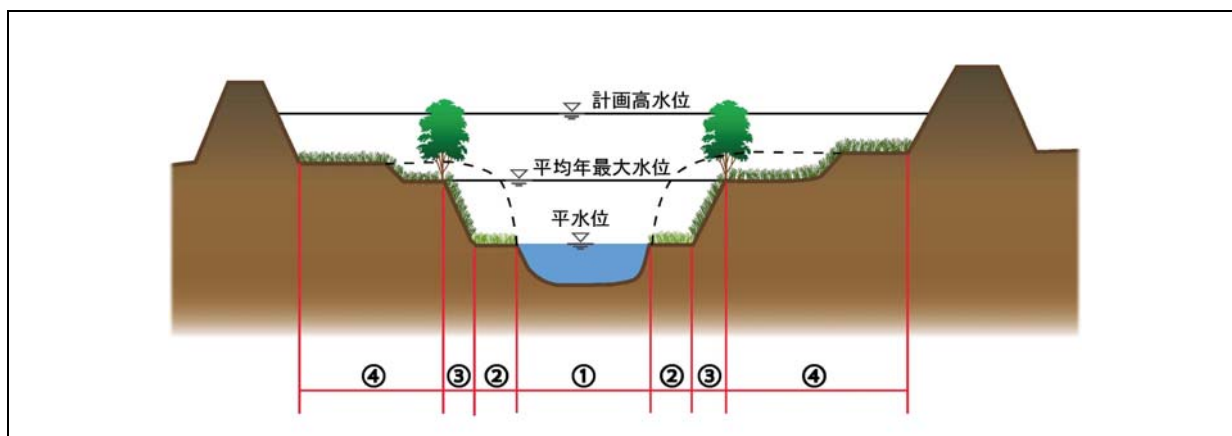


図 3-33 草本による抑制対策の適用範囲

●解説：高水敷における樹林化状況

高水敷の樹林化状況は、ヤナギ類が優占して繁茂すると大規模な樹林になる場合があるが、草地化することで樹林化の抑制管理が可能である。

河川の水位変動による冠水や攪乱の影響が少ない高水敷においては、土地利用がされていないと、表 3-13 に示すように、様々な植生が優占して繁茂している状況となっている場合が多い。また、既にヤナギ類が優占して繁茂している箇所では、大規模な樹林が形成されている場合がある。

しかし、高水敷が既に河川公園や運動場、畑地や牧草地、雪堆積場などの土地利用がされている箇所では、表 3-14 に示すように、樹林化が大幅に抑制されていることが分かる。

このような現状から、高水敷においては、土地利用などにより草地化することで樹林化の抑制が十分可能であるといえる。

表 3-13 高水敷が未利用地である場合のヤナギ林の拡大状況

土地利用状況	概要	イメージ写真
未利用地 (ヤナギ類以外が優占)	様々な植生群落が既に優占して繁茂していれば、ヤナギの種子は着床しにくく、たとえ着床しても淘汰されることから、生育しにくい状況にある。 ただし、裸地が形成されればヤナギ林の拡大が進む可能性がある。	 (石狩川下流)
未利用地 (ヤナギ類が優占)	既にヤナギが優占して繁茂している箇所では、大規模な樹林が形成される場合がある。	 (石狩川下流)



高水敷は、河川の水位変動による冠水や攪乱の影響が少ないため、ヤナギ類だけでなく様々な植生が生育できる可能性がある

表 3-14 高水敷の主な土地利用状況とヤナギ林の拡大状況

土地利用状況	概要	イメージ写真
公園や運動場としての利用	既に他の芝草や植栽・道路や広場等で占有されている場合、ヤナギの種子は着床しにくく、たとえ着床しても稚樹の段階で除草されたり淘汰されることから、ヤナギ類は生育しにくい状況にある。	 (豊平川)
畑地や牧草地としての利用	既に他の作物や牧草等が優占している場合、ヤナギの種子は着床しにくく、たとえ着床しても稚樹の段階で除草されたり淘汰されることから、ヤナギ類は生育しにくい状況にある。	 (常呂川)
雪堆積場としての利用	整地と積雪等により圧密されている場合、ヤナギの種子は着床しにくく、たとえ着床しても雪の堆積により淘汰されることから、ヤナギ類は生育しにくい状況にある。	 (石狩川上流)



高水敷は、土地利用等によって樹林化を抑制することが可能である

3.4.4 草本による抑制対策方法

(1) 根茎移植による方法

河道掘削後の掘削面(裸地)に予め草本植生の根茎を移植しておき、これを繁茂させることでヤナギ類の種子定着の抑制を図る方法である。後述する表土復元による方法と組み合わせることにより効果的になるものと考えられる。

下記条件に該当する箇所での対策として適している。

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">・融雪期でも冠水しない位置にある箇所・主に高水敷～中水敷（セグメントは問わない） |
|---|

根茎苗移植は、既存のヨシ群落から地下茎と根を厚さ0.4～0.5mの方形状に株ごと切り取り、夏の平均水位の場所に6月以前と11月以降に植栽可能であると言われている。また水際や湿地だけでなく水中にも移植可能だが、水深0.30mが限度と言われ、切り取りサイズとして0.2～0.3m角のブロックを1m前後の間隔で冬の冬眠期の終わってから新芽が地上に少し出る春先に行うことが推奨されている。

根茎苗移植の欠点は、輸送と植え付けに費用がかかり、根茎を得る既存ヨシ群落を傷つける点が挙げられる。広大な河道掘削面全体に移植は困難であるため、地下茎を拡大させる時間や場所（仮移植場）が必要である。

● 具体例：網走川での施工例

平成21年度における網走川の事例によると、専門家の助言を受けて、網走湖のヨシ群落より約430m³の根茎を工事箇所へ運搬し、10m×10m×0.2mの方形区10基、5m×10m×0.2mの方形区20基等を、延長500m区間の河岸沿いに5m間隔で移植した。

平成22年8月現在、移植したヨシは順調に生育しており、移植箇所においてはヤナギ類の着床は見られない。



写真 3-7 網走川でのヨシ移植事例写真

（２）表土復元による方法

河道掘削後の裸地面はヤナギ類の好適な定着地となる。この裸地面に草本が定着するよりも早くヤナギ類が定着すると、ヤナギが優占しやすくなる。

これを防ぐためには、表土復元を行い裸地面の表面を処理することによって草本植生の早期回復を促し、ヤナギ類の侵入を抑制する方法が有効と考えられる。

現況でヨシ原などの草本群落形成されている箇所を表土を採取し、低水路掘削面に定着させる。

例えばヨシなどの湿性植生の定着を促すためには、現況でヨシ原となっている箇所の表土を採取し、低水路掘削面に定着させることが考えられる。

もしも適当な表土が少なく現地で十分に確保できない場合は、在来種の種子吹付けで代用することもある。

ただし、どのような群落の表土を使用すれば効果的なのか、対策法は確立されていないため、今後の知見の蓄積が重要である。

表土復元は、下記条件に該当する箇所での対策として適している。

- ・ 融雪期でも冠水しない位置にある箇所
- ・ 主に高水敷～低水路法面部（セグメントは問わない）

● 具体例：後志利別川での試験施工例

後志利別川（KP5.4 付近右岸）では、掘削面でのヤナギ類の定着抑制を目的に、早期草本植生を再生するため、掘削後の表土復元を実施した。その結果３年後には、クサヨシ、オオヨモギ等が優占する植生が再生しており、ヤナギ類の定着が少なかった事例がある¹²⁾。

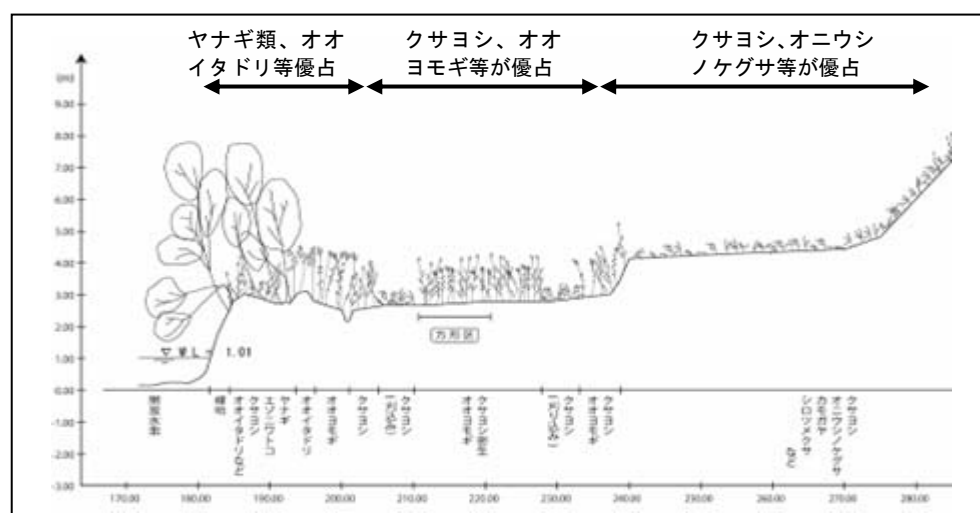


図 3-34 掘削 3 年後の植生断面（後志利別川 KP4.6 右岸）¹³⁾に加筆

3段階の冠水頻度、表土復元の有無を組み合わせた試験も実施しており、1年目の調査結果によると、表土復元箇所は冠水頻度に関係なく草本植被率が平均70%以上に達し、進入したヤナギ類は0本であった。特に冠水頻度の高い裸地(草本植被率約30%、ヤナギ類進入数192本)との差があり、表土復元による草本植生の導入は有効であることが示された(図3-35及び表3-15参照)。

当該試験施工地はセグメント2-1に位置し樹木群の成長の適地であることから、長期的な樹林化抑制効果について今後の知見蓄積が必要である。今後は、どのような群落の表土を使用するか、あるいはどのような時期に実施するとより効果的かなどを検証することが重要となる。

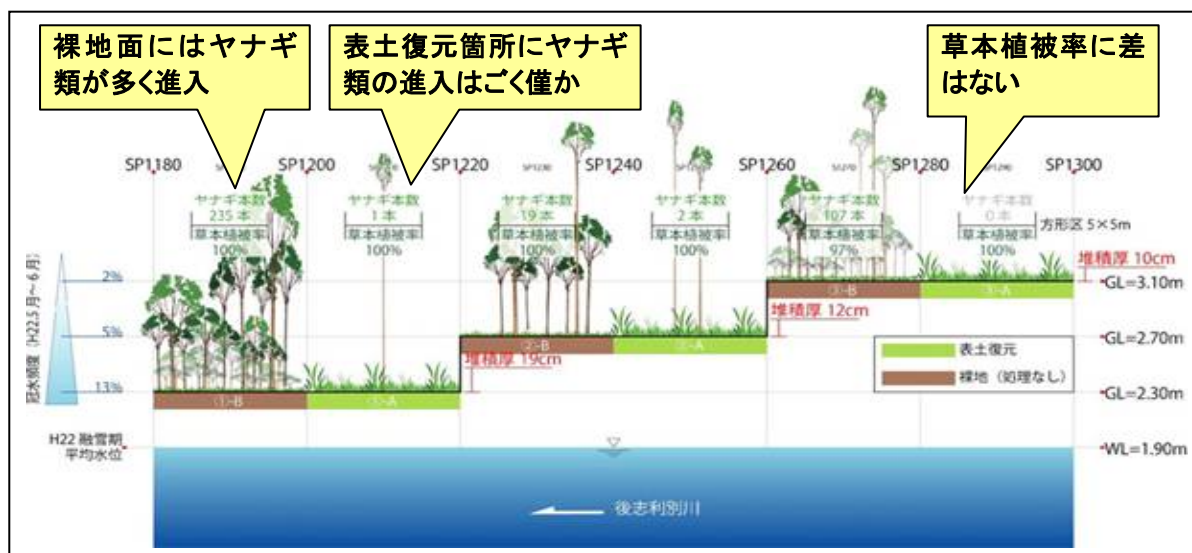


図 3-35 表土処理の違いによる植生の変化(2年目)¹²⁾

表 3-15 平成22年度調査結果(2年目)¹²⁾

試験区	表土処理	草本層植被率				ヤナギ類 の進入状 況(本)
		a区画	b区画	c区画	平均	
①-A	裸地	100%	100%	100%	100%	235
①-B	表土復元	100%	100%	100%	100%	1
②-A	裸地	100%	100%	100%	100%	19
②-B	表土復元	100%	100%	100%	100%	2
③-A	裸地	95%	95%	100%	97%	107
③-B	表土復元	100%	100%	100%	100%	0

(3) 湿性植生形成方法

掘削面の冠水頻度が高く、通常の草本を定着させることが困難な箇所については、冠水を上手く活用しながらヨシ等の湿性植生を徐々に優占させることでヤナギ類の種子定着の低減を図る対策が有効と考えられる¹⁴⁾。

図 3-36 に示すように低水路内に河岸の一部を残し、河道の掘削を行うことで、中小出水時に、掘削拡幅した箇所が越水しないため、浮遊砂の堆積が生じず、柳の侵入も抑制される。最終的には、掘削面のヨシが十分繁茂した時点で河岸部を撤去し、治水安全度を確保する。

湿性植生を形成する方法は、下記条件に該当する箇所での対策として適している。

- ・主に低水路内（セグメント 2-1、セグメント 2-2、セグメント 3）
- ・冠水による土砂堆積が予想される箇所
- ・ u_*^2 が所定の値を下回ると予想される箇所

現況河岸に沿って平均年最大水位高程度の河岸を残し、その奥に新たに掘削拡幅面を設ける。中小出水では、新たに掘削拡幅した中水敷に流水がのらないため、浮遊砂の移動堆積が進行し難くなる。

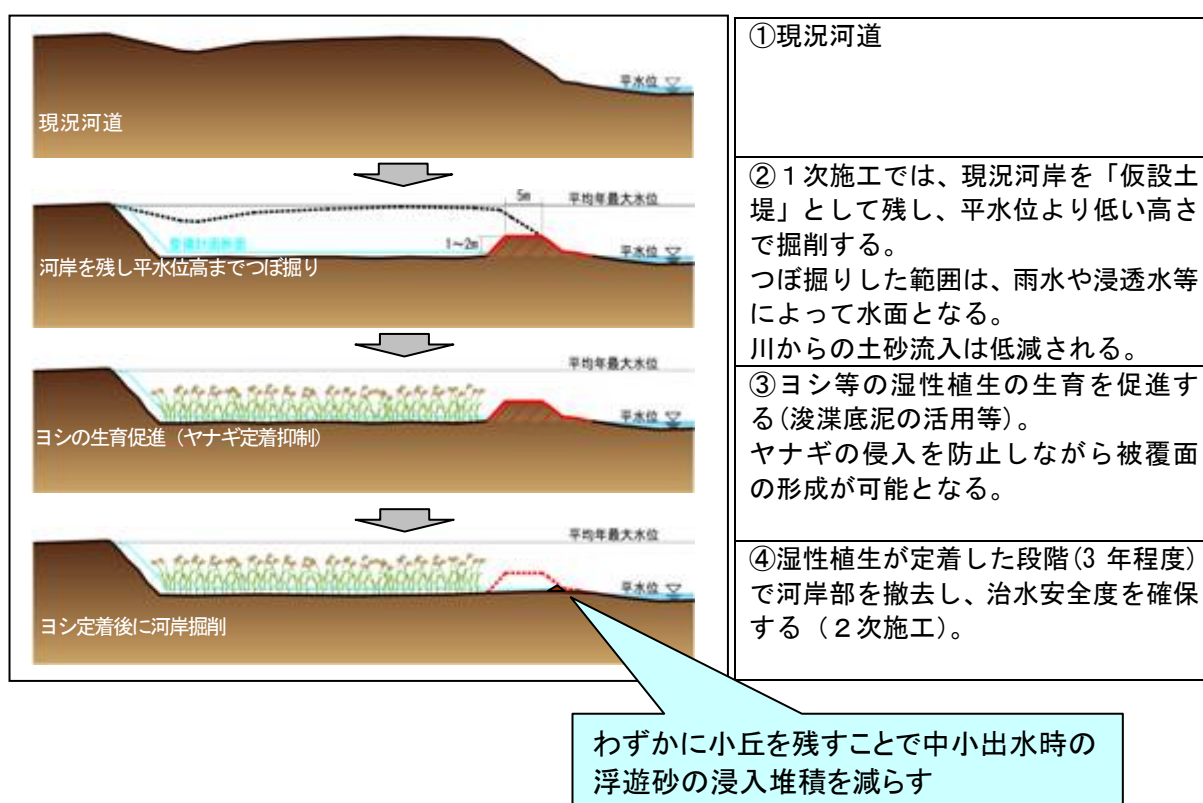
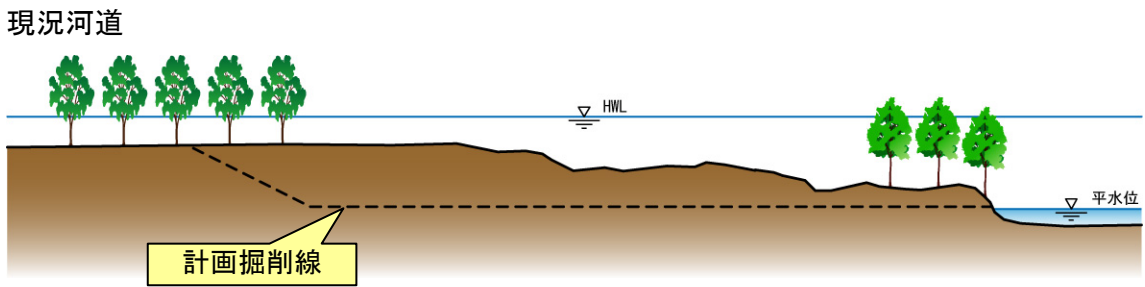
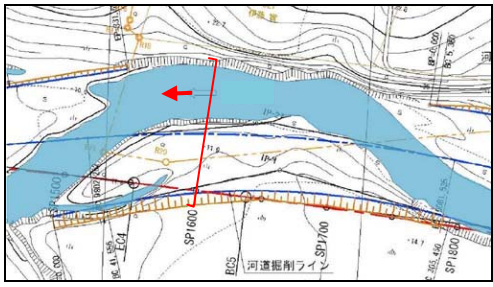
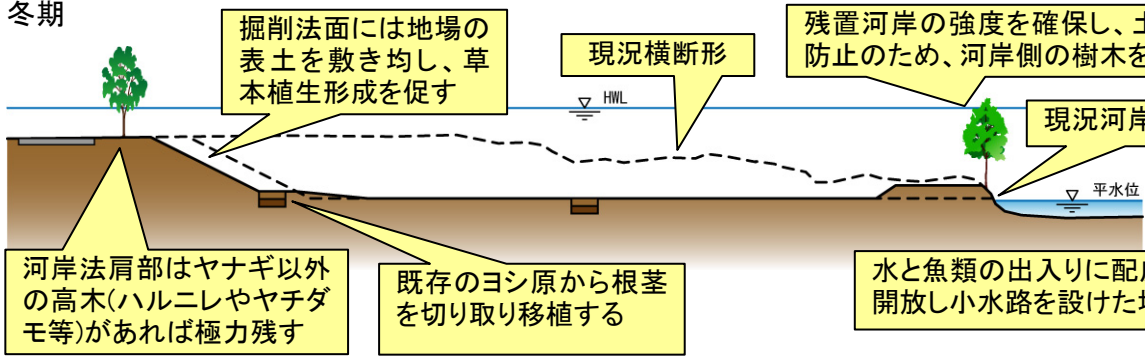
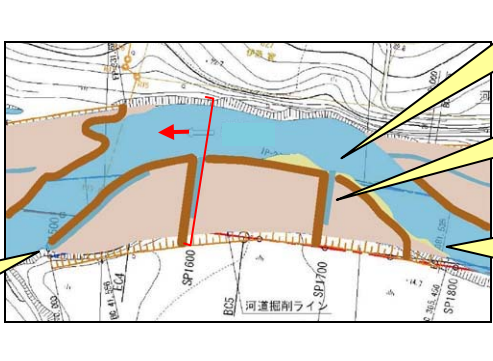
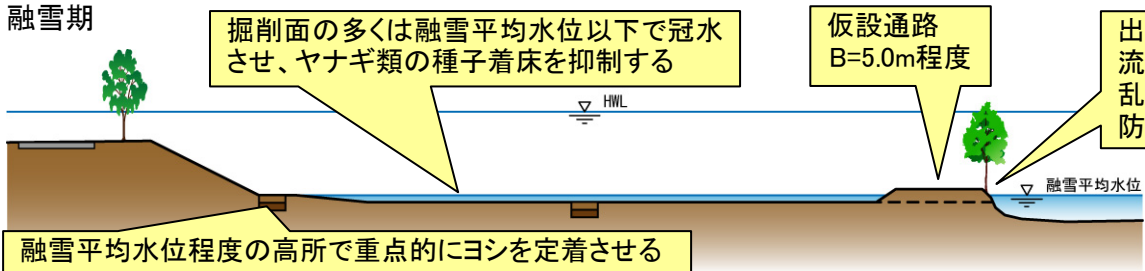
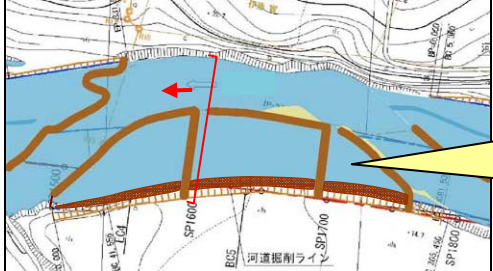
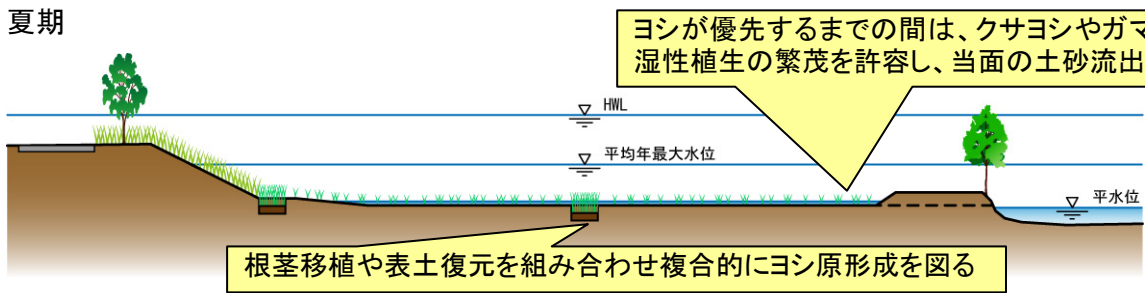
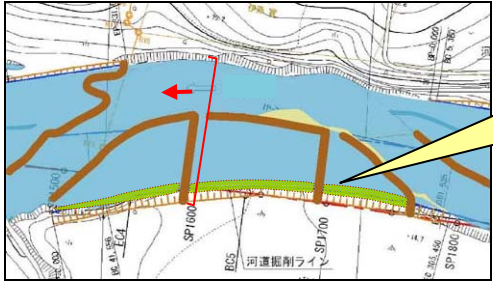
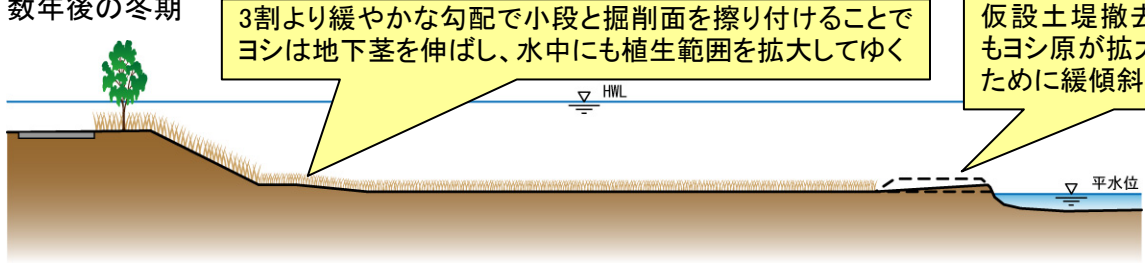
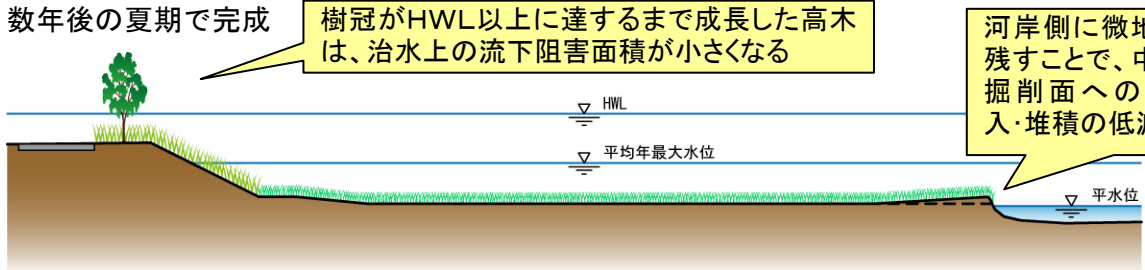
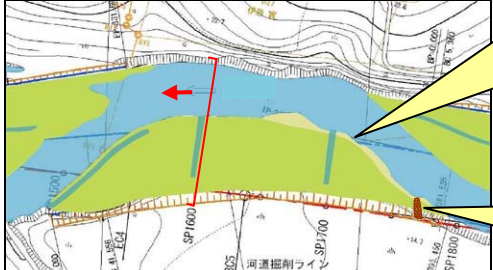


図 3-36 ヨシ類定着までの段階的施工方法

表 3-16 湿性植生形成によって樹林化抑制を図る河道掘削の手順と考え方

段階区分	概要	横断面イメージ図	平面イメージ図
1. 現況 流下能力不足 箇所	●現況河道 治水安全度が不足している状態。		 現況河岸(仮設土堤)を残し、掘削面の土砂流入及び攪乱を防ぐ
2. 冬期 工事実施	●掘削工事を行う段階 冬期間、水位が低下している時に掘削工事を実施する。 河岸部を残し設定掘削高までつぼ掘りし、ヨシの根茎を埋設したり、粘性土や表土を敷き均す。 また、掘削法面には表土を薄く敷き均し、草本植生の早期定着を促す。 掘削面下流側に小水路を設け、河道水面と接続する。	 掘削法面には地場の表土を敷き均し、草本植生形成を促す 現況横断面形 残置河岸の強度を確保し、土砂流出防止のため、河岸側の樹木を残す 現況河岸を残す 河岸法肩部はヤナギ以外の高木(ハルニレやヤチダモ等)があれば極力残す 既存のヨシ原から根茎を切り取り移植する 水と魚類の出入りに配慮し、下流側を開放し小水路を設けた場合	 掘削面上流端の河岸を多く残し、現況滞筋の流向を安定させる
3. 融雪期	●融雪期により冠水する段階 掘削面が冠水することによってヤナギ種子の着床を防ぐ。	 掘削面の多くは融雪平均水位以下で冠水させ、ヤナギ類の種子着床を抑制する 仮設通路 B=5.0m程度 出水時の土砂流入・流出や攪乱を仮設土堤で防ぐ 融雪平均水位程度の高所で重点的にヨシを定着させる	 融雪期の冠水でヤナギ種子の着床を防止すると共に湿性植生の繁茂を同時に図ることが可能となる
4. 夏期以降	●ヨシ原の生育促進を図る段階 概ね3年間、ヤナギの着床を防ぎながら、1年目の夏で根茎移植箇所のヨシの育成・定着を図る。2年目の夏で根茎の伸長拡大と掘削面全体の草地化を図る。3年目以降で掘削面全体をヨシで密集繁茂させる。	 ヨシが優先するまでの間は、クサヨシやガマ等、代わりの湿性植生の繁茂を許容し、当面の土砂流出を防止する 根茎移植や表土復元を組み合わせ複合的にヨシ原形成を図る	 冠水頻度の低い箇所では定期的にヤナギの稚樹等の駆除を行う等の管理が必要である
5. 仮設土堤撤去 数年後の冬期	●仮設土堤を撤去する段階 ヨシ原が一面に十分形成された段階で仮設土堤を撤去する。	 3割より緩やかな勾配で小段と掘削面を擦り付けることでヨシは地下茎を伸ばし、水中にも植生範囲を拡大してゆく 仮設土堤撤去後の掘削面もヨシ原が拡大しやすくなるために緩傾斜ですりつける	 ヨシ原植生が十分形成された時点で仮設土堤を撤去する
6. 完成 数年後の夏期	●河道掘削完成段階 掘削面全体がヨシ原や水面に覆われた時点で完成。 整備計画目標流量の流下能力が確保される。	 樹冠がHWL以上に達するまで成長した高木は、治水上の流下阻害面積が小さくなる 河岸側に微地形の小丘を残すことで、中小出水時の掘削面への浮遊砂の侵入・堆積の低減を図る	 掘削面がヨシ原で被覆された場合の副次的効果として、土砂流出量の低減や水質汚濁防止効果、サケ稚魚等の生育環境形成効果等が期待できる 掘削面上流の河岸を一部残し、現況滞筋の流向を固定する

● 具体例:河岸を残すことによって水面及び湿性植生を形成する事例

石狩川下流における河岸残置(仮設土堤)による樹林化抑制策(ヨシ原形成)事例によると、平水位より約0.5m程度高い掘削面に排泥地の粘性土を敷き均し、仮設土堤残置により100m×100mの方形状の枡形を形成し、天端幅10mを確保し現在、施工している最中である。掘削1年目ではヤナギ類の種子定着は見られなかったが、経年的な知見の蓄積が必要である。

	
掘削工事実施の様子 (2010年7月)	100mピッチで設けられた幅10mの作業用通路 と残された河岸部の様子(2010年7月)
	
壺掘箇所に形成された静水面に湿性植生が繁茂した様子(2010年9月)	壺掘箇所内の静水面に湿性植生が繁茂した様子・ヤナギの定着は見られない(2010年9月)

写真 3-8 掘削面に湿性植生の形成を図った事例

	
現況河岸を残し壺掘りした掘削面が冠水している様子(2011年3月)	現況河岸を残し壺掘りした掘削面が冠水している様子(2011年3月)

写真 3-9 掘削面に水面の形成を図った事例

3.4.5 設計・施工段階における留意事項

設計・施工段階における留意事項を以下に示す。

(1) 河川環境への配慮(工事前の重要種等確認)

調査段階で重要種等の分布がみられるなど注意を要する区間と考えられる場合は、工事前にも再確認する。また、掘削範囲外であっても周辺で希少猛禽類の営巣が確認された場合等には、柔軟に対応する。

縦断形の施工において、瀬頭をカットすることによる河積確保は攪乱境界を狭くする結果(危険側)となるため、施工上の配慮が必要である。

(2) 高水敷掘削の配慮(樹木の保全)

貴重種等の保全位置を工事前に再度確認し、改変が生じる際には適宜移植する。移植は、作業効率、移植後の活着の面から、樹高 1m 程度までであれば山取苗、小、中径木は切株による移植がある。

(3) 施工時期・施工計画の調整

ヤナギ類の種子散布時期(5～6月)前にヨシ等の湿性植物を定着させるために、湿性植物の成長期である春期(4月)前には掘削を完了しておく必要があることから、掘削は冬期間にすることが望ましい。なお、表土復元による抑制対策を実施する場合においても、地下茎等を傷めないよう草本の根茎が休眠している冬期間が適している。

(4) 表土採取の留意点

草本植生の早期導入のために、表土を採取する上での留意事項を表 3-17 に示す。ただし、どのような群落の表土を使用すれば効果的なのか、今後の知見の蓄積を要するものである。

表 3-17 表土採取時における留意点

区分	解説
表土採取可能な箇所	在来種であるヨシやツルヨシ等が既に密生して繁茂している箇所の表土を優先的に採取し、使用することが望ましい。また、ガマ等の湿性植生群落形成されている箇所の表土は使用可能とする。
表土の採取を避ける箇所	既にヤナギ類等の木本群落や、ハリエンジュやオオイタドリなど侵略的外来種による群落が形成されている箇所の表土は使用を避ける。

● まとめ：樹林化抑制の考え方

ヤナギ類の樹林化を抑制するには、①草本や水面等で被覆されていれば着床しない、②攪乱頻度が高ければ成長しないという原則から、具体的な対策選定に至る考え方を以下に示す。

●セグメント別での対策の方向性と重点化の考え方

セグメント 1

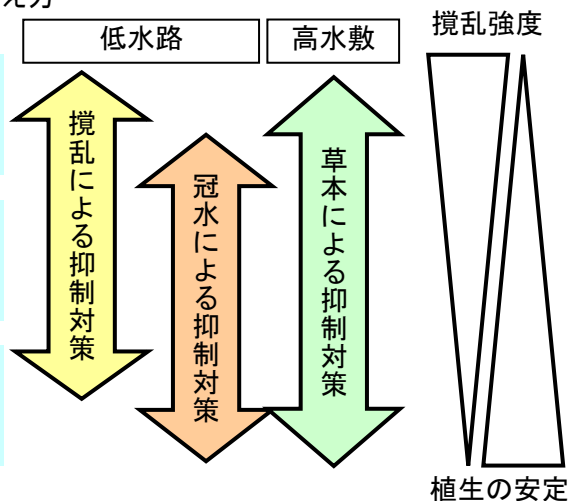
- ・ 攪乱による樹木の抑制効果が高い
- ・ 比高の高い箇所では樹林化が進行

セグメント 2-1

- ・ 冠水後の土砂堆積地で樹林化しやすい
- ・ 草本植生との競争が生じやすい

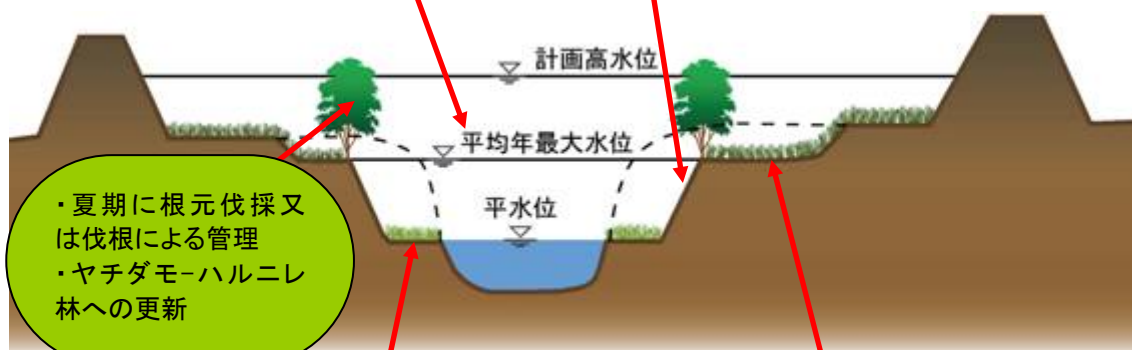
セグメント 2-2 (セグメント 3)

- ・ 草本植生との競争が生じやすい
- ・ 冠水域が多い



①水理諸量による河道特性分析により、対策の必要性を判定する。

②低水路と河岸形状の調整により、河道内の攪乱強度の維持・均一化を図り、ヤナギ類が成長しにくい動的平衡の保たれた河道形成を図る。



- ・ 夏期に根元伐採又は伐根による管理
- ・ ヤチダモ・ハルニレ林への更新

④冠水しやすい掘削面は、常に水面を維持するかあるいは湿性植生の形成を図り、ヤナギ類の種子着床の緩和を図る。

③冠水しにくい高水敷等では、草本植生の形成を図り、ヤナギ類の種子着床を抑制する。

図 3-37 河畔植生の維持管理を考慮した河岸形状設定の考え方

● まとめ:抑制対策の種類と適用条件

抑制対策の種類と適用条件を以下にまとめる。

表 3-18 樹林化抑制対策とその適用条件

名 称		対策の適用条件			対策の概要			備考
		主な場所	セグメント	その他	目的	方法	イメージ写真	
冠水による抑制対策		河川水面 低水路掘削面 (下図①②)	2-2、3	・攪乱境界の目安値を下回る箇所 ・種子散布期に常に冠水する場合に適用 ・土砂堆積が少なく、融雪期において長期間の冠水が期待できる箇所 ・川幅縮小や堆積傾向にない箇所	・種子散布期に水面となる範囲を拡大・創出することによって、ヤナギ類の種子着床を抑制する対策	・掘削により河川水面を拡大する。		
攪乱による抑制対策		河川水面 低水路掘削面 (下図①②)	1、2-1	・定期的な攪乱作用の発生が期待でき、攪乱境界の目安値が上回る箇所に適用する	・1年に1回程度、低水路内が攪乱することによって、ヤナギ類の稚樹の生育を抑制する対策	・攪乱境界の目安値が上回る低水路河岸形状を設定する。		
草本による抑制対策	湿性植生による方法	低水路掘削面 (下図②)	2、3	・水位変動の影響を受けやすい箇所 ・勾配が3割より緩やかであれば、河岸部(下図③)でも適用可能 ・死水域になる水辺が形成されるならば高水敷(下図④)でも適用可能	・種子散布期に草本を繁茂させることによって、ヤナギ類の種子着床を抑制する対策	・掘削面に粘性土を敷き均し冠水させる方法 ・冠水による抑制対策を組み合わせた方法		
	根茎移植による方法	低水路掘削面 河岸法面 (下図②③)	2-2、3	・融雪期の冠水や定期的な攪乱のいずれも期待できない箇所 ・河道掘削後の裸地面(下図①②③) ・湾曲部の場合内岸側の掘削面	・種子散布期に草本を繁茂させることによって、ヤナギ類の種子着床を抑制する対策	・既存草本群落の根茎を掘削面に移植する方法		
		高水敷 (下図④)	問わない					
	表土復元による方法	低水路掘削面 河岸法面 (下図②③)	2-2、3	・融雪期の冠水や定期的な攪乱のいずれも期待できない箇所に適用する ・河道掘削後の裸地面(下図①②③) ・湾曲部の場合内岸側の掘削面	・種子散布期に草本を繁茂させることによって、ヤナギ類の種子着床を抑制する対策	・既存草本群落の表土を掘削面に敷き均す方法		
		高水敷 低水路法面 (下図③④)	問わない					

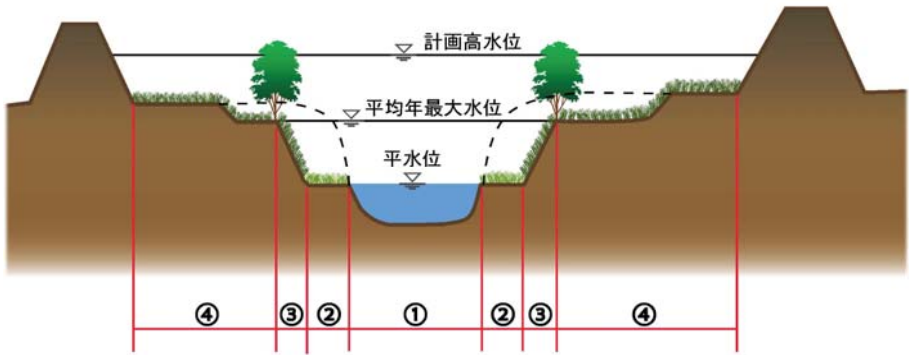


図 3-38 抑制対策の適用箇所模式図

【参考文献・出典】

- 1) 伊木千絵美・矢部浩規・中津川誠（2005）河川の水利条件による河道内樹木の稚樹定着抑制．河川技術論文集 11： 505-510.
- 2) 長坂 有（2001）洪水からはじまる河畔林, ヤナギ類の生態から見た河畔の保全, 自然史研究ネットワーク2000「みなみ北海道」
- 3) 石狩川開発建設部（2009）平成21年度 水辺域・水辺林管理計画検討業務報告書
- 4) 阪口 豊・高橋 裕・大森博雄（1986）日本の川．岩波書店
- 5) 福岡泰斗・鎌田磨人（2005）洪水によるシナダレスズメガヤの除去効果及びそれに対するヤナギ群落の阻害効果．応用生態工学会第9回研究発表会講演集： 187-190.
- 6) 山本晃一（1994）沖積河川学-堆積環境の視点から, 山海堂
- 7) 石狩川開発建設部（2007）平成19年度 水辺域・水辺林管理計画検討業務報告書
- 8) 傳甫潤也・岡村俊邦・堀岡和晃・米元光明（2006）北海道低地帯で区分された攪乱作用と河畔林の構造との関係．応用生態工学会誌 9： 3-20.
- 9) 宇多高明・藤田光一・佐々木克也・服部 敦・平舘 治（1994）河道特性による植物群落の分類, 利根川と鬼怒川を実例として．土木技術資料 36： 56-61.
- 10) 原田圭助・池内幸司（2000）冠水頻度、土性区分と成立する河川植生との関係に関する一考察、リバフロ2000 vol.38
- 11) 杉山恵一ほか 監修（2008）『改訂版 環境再生医』（自然環境復元協会編）, p. 82, 環境新聞社, 東京.
- 12) 函館開発建設部（2010）平成22年度後志利別川河川整備計画検討業務（試験施工地調査）報告書
- 13) 北海道開発局（2010）河畔植生の維持管理を考慮した河道断面設定に関する研究．第53回北海道開発技術研究発表会概要集： 指-02.
- 14) 石狩川開発建設部（2008）平成20年度 水辺域・水辺林管理計画検討業務報告書

4. 樹林化抑制を考慮した河岸形状設定方法

本章では、第3章で示した樹林化抑制対策を実際の河川に適用するための手順を解説する。

従来の河道計画の考え方、河道計画検討全体の流れを示し、その中での樹林化抑制の位置づけを明確にする。

ガイドラインで示す知見以外は、『河道計画検討の手引き』の内容に準じる。

河道計画の主な検討項目（現況流下能力の把握、縦横断平面検討、経済評価、河川環境の評価等）の内、主に横断面の検討に知見が反映されることを解説する。

4.1 河岸計画検討の概況と河岸形状設定の概要

4.2 河岸形状設定方法の手順

4.3 樹林化抑制の適応範囲と今後の対応策

4.1 河道計画検討の概況と河岸形状設定の概要

4.1.1 河道計画の全体的な流れと樹林化抑制対策の関係

下図は、河道計画検討の流れと、河畔植生の維持管理を考慮した河岸形状設定の検討項目との関係を示したものである。
ガイドラインの対象範囲は、下図の流れの「計画段階2（河道計画）」から「維持管理段階」に至るまでが対象となるが、特に「河道計画」、「工法検討」、「維持管理」に相当する段階に重点を置く。

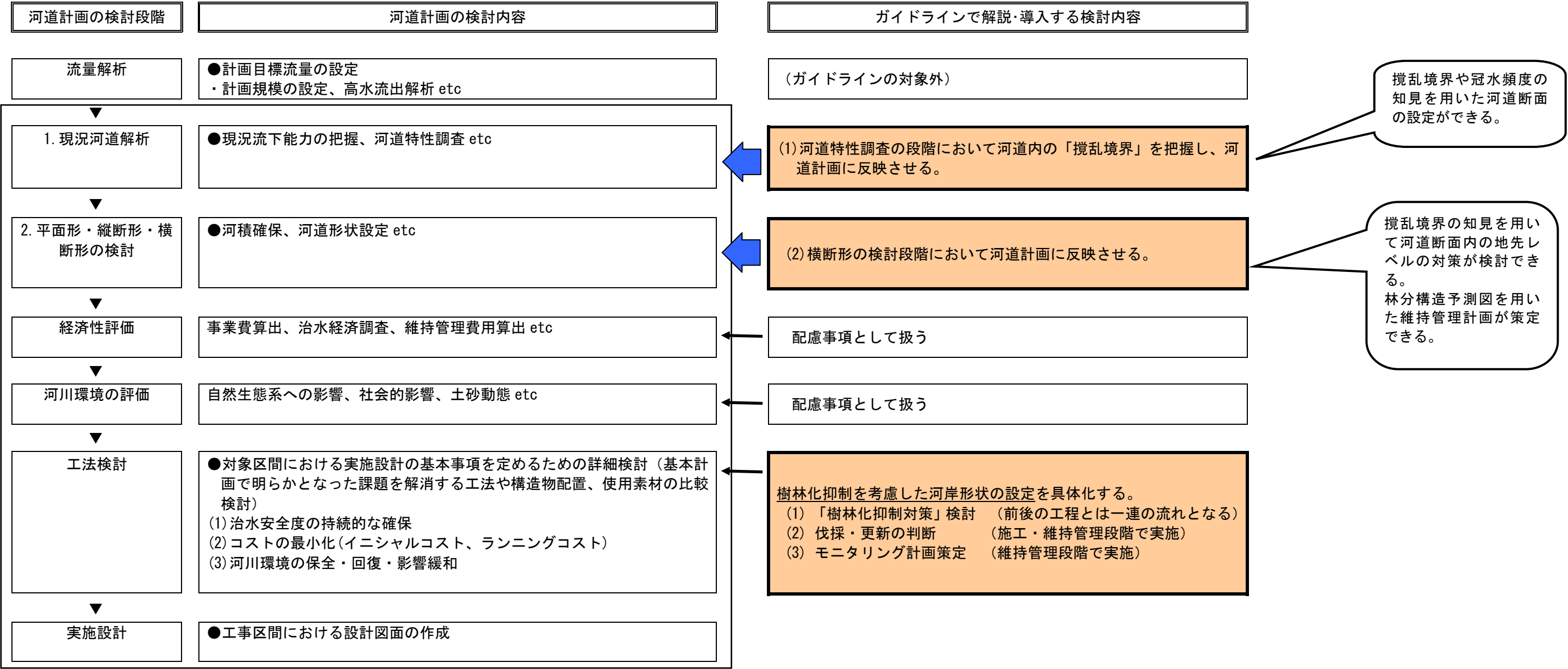


図 4-1 樹林化抑制を考慮した河川改修計画の流れ

凡例	
	ガイドラインの対象範囲
	ガイドラインの対象範囲の内、重点的に解説する範囲

4.1.2 樹林化抑制を考慮した河岸形状設定の概要

(1) 河岸形状設定のねらい

本ガイドラインでは、河川整備計画に基づき、計画目標流量の安全な流下の確保を行うための河川改修における河岸形状設定を扱うものとする。

ガイドラインで扱う河川改修事業は、主として治水目的のために実施され、計画高水流量を安全に流下するための河道断面設定時に適用することを前提とする。

河川整備計画では、洪水等による災害の発生防止又は軽減（治水）、河川の適正な利用及び流水の正常な機能の維持（利水）、河川環境の整備と保全（環境）の大きく3つの目標が定められ、この目標を達成するための河道断面の増大と整備を図ることが定められている。

またこれらの目標を達成するため、総合的な視点に立った維持管理を実施すると共に、定期的にモニタリングを行い、その状態の変化に応じた順応的管理（アダプティブ・マネジメント）を実施すること等が求められている。

北海道の河川では、下図に示すように「平水位程度の敷高で掘削」する河岸形状が設定されている事例が多い。

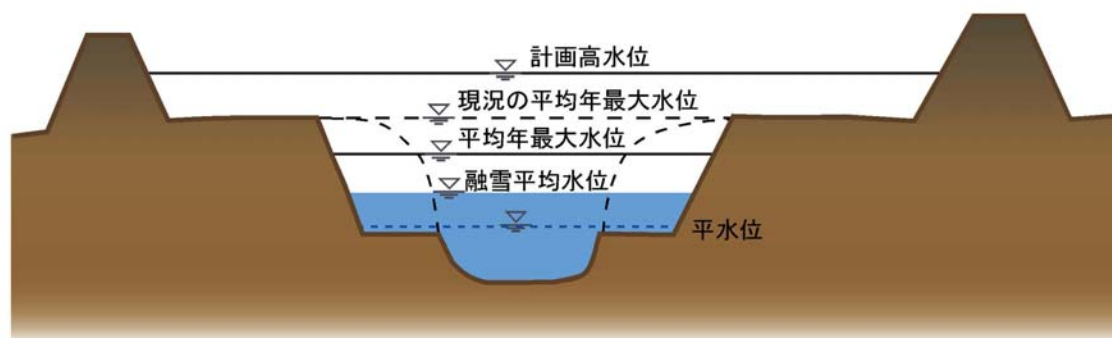


図 4-2 平水位程度の敷高で掘削した河道断面の模式

平水位程度の敷高で掘削することで、計画高水流量を流下する河積を確保すると共に、現況河床を保全し瀬や淵を維持することで魚類等の生息環境への影響を低減させる。また、掘削敷高が平水位程度であれば、春先の融雪出水で掘削面が冠水するため、ヤナギ類の着床を抑制する効果が期待できる。

現状では改修後の河道内（特に掘削面上）において樹林化が進行しやすい状況が生じる場合があり、樹林化の進行を抑制する河岸形状の設定を行うことが課題となっている。

(2) 攪乱境界の目安を用いるねらい

掘削面の摩擦速度が攪乱境界目安の摩擦速度より大きければ、樹林化を抑制可能である。

今回、攪乱境界の目安を用いた掘削高の検討を行うことで、樹林化抑制の評価を行うことが可能となる。

- 具体的には、平水位と攪乱境界の目安高を比較することで、平水位程度の掘削で、土砂堆積が生じるか否かの判定が可能となる。
- 当初から土砂堆積が想定される場合は、草本や冠水による抑制対策を行うことで、早期樹林化を防ぐことができる。

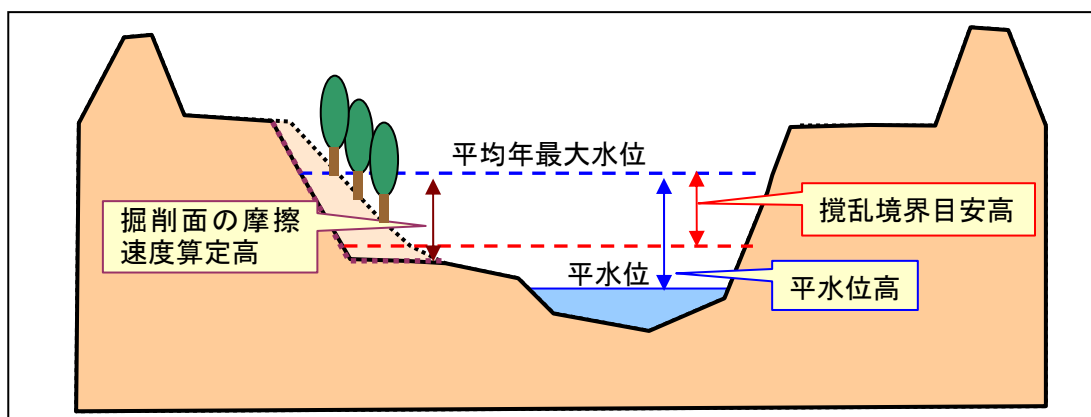


図 4-3 掘削断面の設定イメージ図

図のように、攪乱境界の目安の摩擦速度と、平水位高の摩擦速度、掘削面の摩擦速度の3つの大小関係を比べることで、攪乱による樹木抑制が可能かどうかの判定が可能となる。

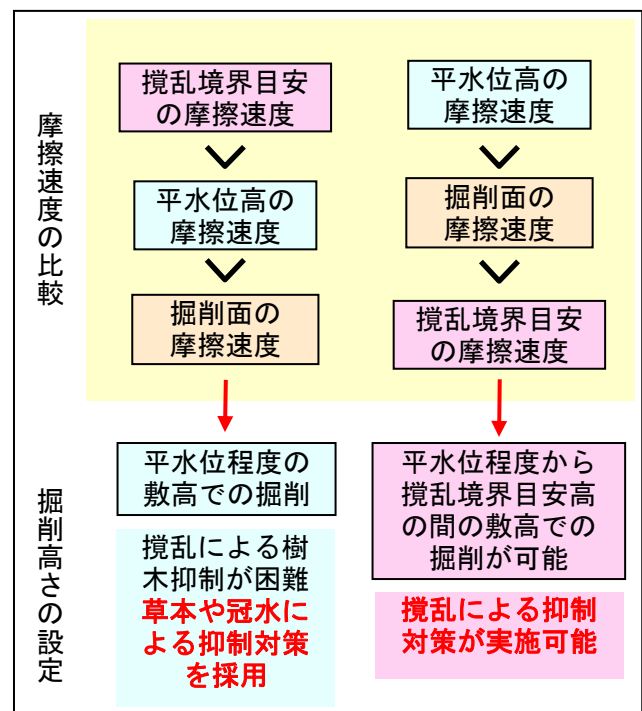


図 4-4 摩擦速度の比較による掘削高さの設定

●解説:掘削高設定の留意事項

- ・平水位高付近での掘削を行う場合の留意点として、平水位の精度確保や、瀬・淵の保全に配慮した施工断面を設定するため、より細かな測量調査を行い、掘削高の検討することが望ましい。
- ・河床低下を防ぐため、現状の砂州高を考慮し、掘削高を検討することが望ましい。

樹林化抑制に向けた攪乱強度の評価とは別に、掘削高を設定する上で、以下の配慮が必要である。

(i) 平水位の精度確保

河床の形状が複雑な場合、平水流量の流下断面は低水路内の滞筋に限られるため、蛇行など流路の細かな変化があると 200m 間隔での横断測量を用いて算定する平水位の再現性が乏しくなる。その結果、水面付近を設定することが出来ず、工事直後から陸化または水没が懸念される。

(ii) 瀬・淵に対する配慮

保全すべき瀬がある場合、200m 間隔での横断測量を用いて平水位を算定すると、瀬を捉えきれない場合があり、平水位が瀬より低めの設定となり、瀬の頭を切り取ることが懸念される。

具体的には、次のような河道の変化を生じる懸念がある。

- ①岸側の瀬頭を切り下げること、滞筋を誘導。
- ②流れが集中して深掘れが進行し、水位が更に低下。
- ③水位が下がり陸地化すると樹林化が進み、広げたはずの流路幅が減少。

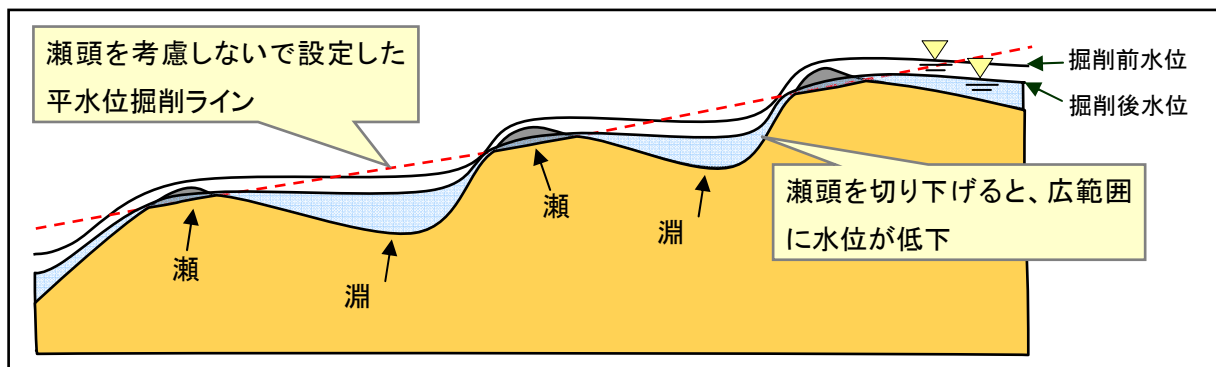


図 4-5 瀬淵の縦断イメージ

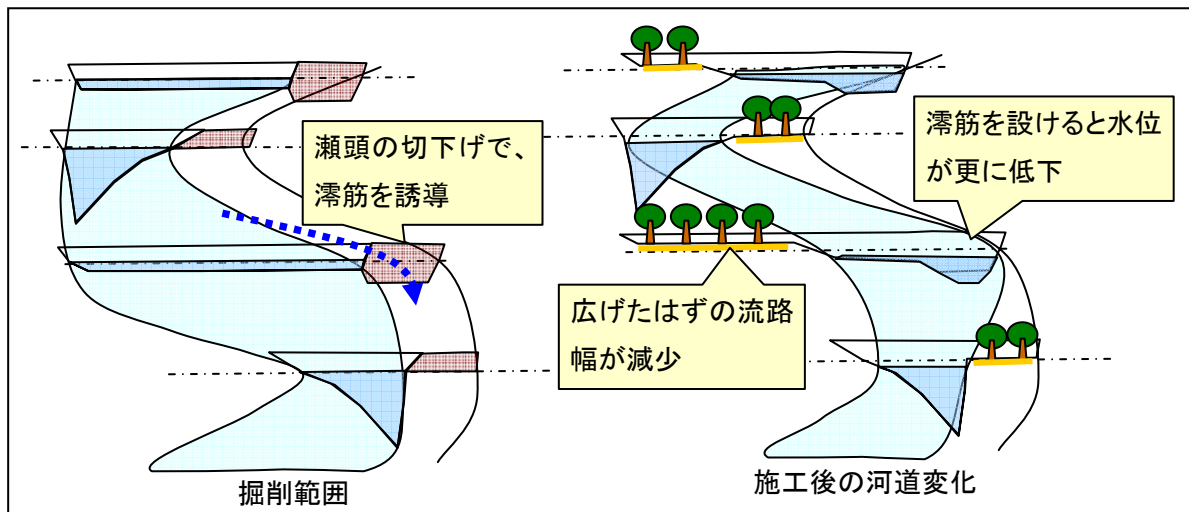


図 4-6 瀬頭の切り下げイメージ

これらの対応が必要な場合は、掘削対象区間内での瀬・淵の位置の確認や、瀬・淵の位置を含めた、より細かな間隔の横断測量調査を実施し、水位設定の精度を高めることが望ましい。

また、河道安定の観点から、河床低下の配慮も必要である。

(iii) 現況河道の砂州高を保全することで、河床低下を防ぐ

湾曲部の掘削は一般的に内岸側を採用することが多いが、内岸に砂州や河原がある場合、これらをあわせて平水位程度の高さで切り取りことを考えがちである。

しかし砂州や河原は、出水後復元するため、維持可能な断面設定とならない。さらに、連続してこれらの掘削を行うと、砂州や河原が復元する分、河床が下がることとなる。

つまり、「平水位以下の河床に手を加えない＝その河床が変化しない」は必ずしも成り立たないことに留意する必要がある。

このため、現状の砂州高は極力保全すべきである。攪乱境界の目安高がこれらの高さを満足するのであれば、砂州や河原の高さにあわせて掘削することで、砂州・河原の保全・維持可能な断面設定となる。さらに、連続してこれらの掘削を行っても、河床が下がらないこととなる。

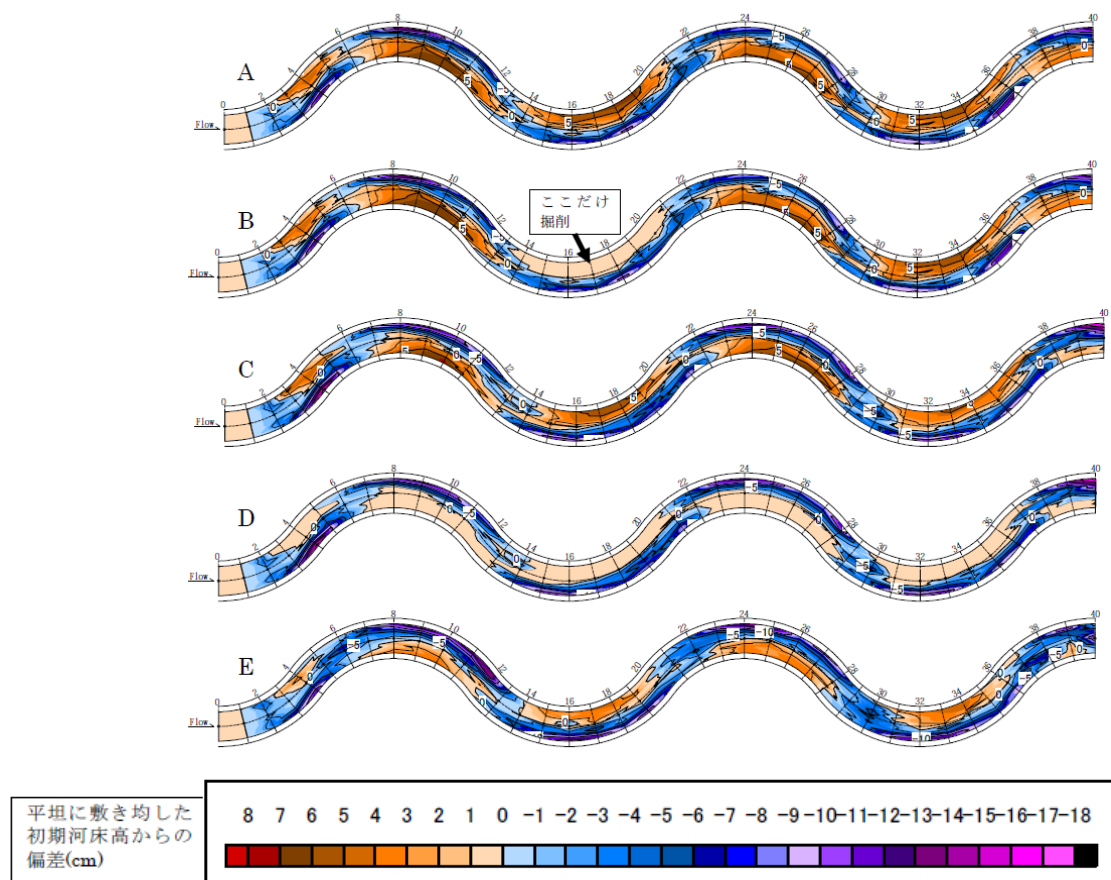


図 4-7 蛇行河道における砂州の形成と掘削後のレスポンスに関する実験例

- A: 河床を平坦に敷き均した蛇行河道に水を長時間流すと内岸砂州、外岸深掘れが形成される。
B: その状況で1つの内岸砂州を上刳ねする。平坦な初期河床(≒平均河床)より上の砂州を掘削する。
C: 再び水を長時間流すと、上刳ねしたところにAとほぼ同じように内岸砂州が形成される。深掘れの状況もAとあまり変わらない。
D: 次に、全ての内岸砂州を上刳ねする。
E: 同じように水を長時間流すと、やはり内岸砂州は形成されるが、A、Cに比べ高さが低く、河床が全体的にやや低くなる(深掘れも全体的に低くなる)。

4.2 河岸形状設定の手順

4.2.1 攪乱境界を用いた河岸形状設定の考え方

攪乱境界の目安を用いて河岸形状を設定する際の考え方を述べる。評価は、 τ_* 、 u_* のどちらを用いても構わないが、 τ_* で評価する場合、粒径の妥当性に留意する必要がある。

対象区間の計画掘削敷高の水理諸量を水理計算(準二次元不等流計算等)により求め、攪乱境界の評価を行う。攪乱境界の目安より値が下回る場合は、樹林化する河岸になると予想されることから、低水路幅や掘削敷高を調整し、攪乱境界の目安値を上回る河岸形状への改善を図る。

図 4-8 は改善前の河岸形状を示し、図 4-9 は改善後の河岸形状を示している。図 4-10 は改善前後の掘削面の攪乱境界を評価したイメージ図である。

改善策は、低水路の拡幅幅を狭くする代わりに、平水位より下まで掘り込み、高水敷高を平均年最大水位まで下げることで、計画高水での河積を確保しつつ、平均年最大流量流下時の攪乱強度を高めることを可能とした。

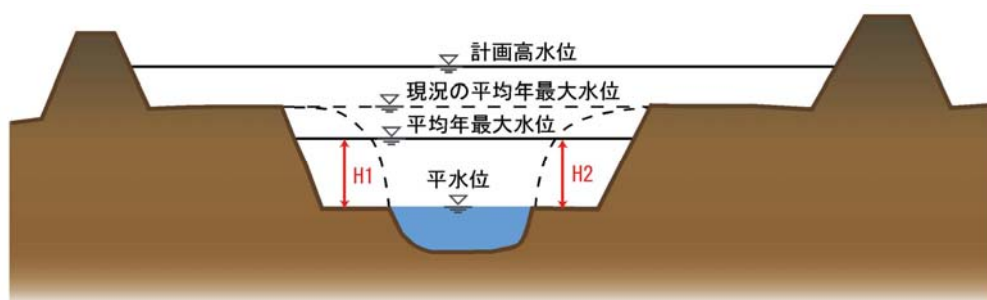


図 4-8 改善前の計画断面イメージ

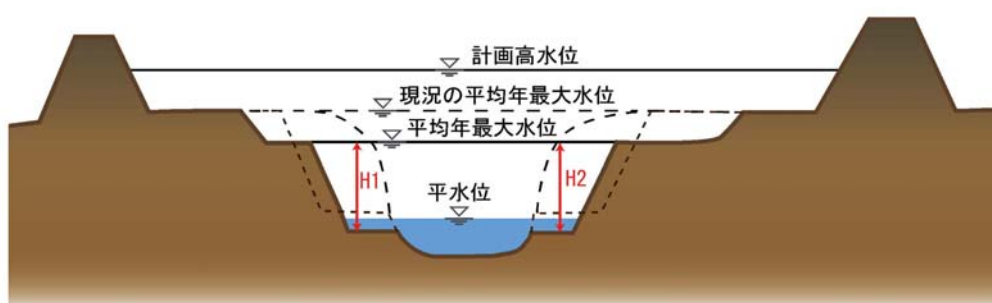


図 4-9 改善後の計画断面イメージ

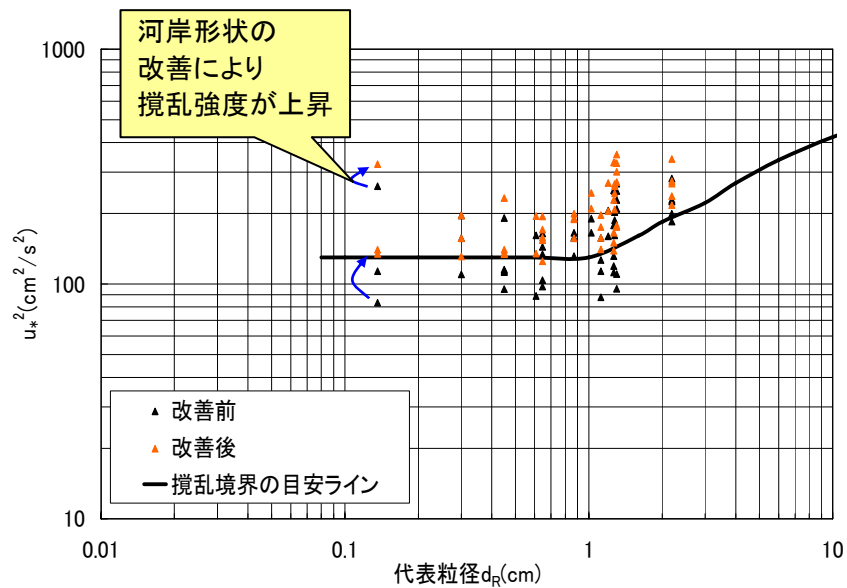


図 4-10 改善前後の攪乱境界値の比較イメージ

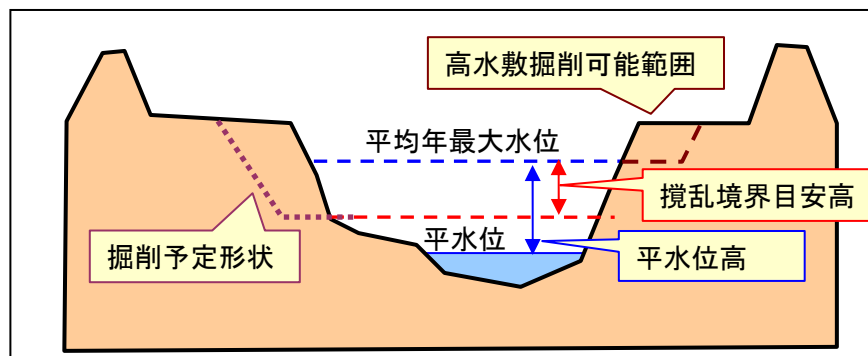
この他、湾曲や蛇行が顕著な箇所や深掘れによる水位や流心の偏りがある箇所については、留意する必要がある。

河岸形状の改善だけでは攪乱境界の目安値を上回ることが困難な箇所については、設計・施工段階において草本や冠水による抑制対策を図る必要がある。

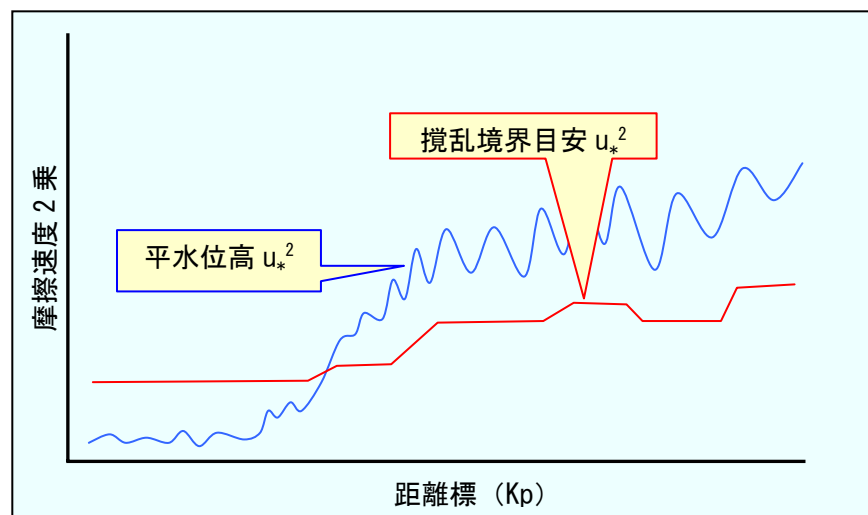
4.2.2 攪乱境界を活用した河岸形状設定の手順

<掘削断面の検討準備 : 攪乱境界目安の設定>

- ① 流下能力が不足する掘削対象区間について、河床材料の粒径整理を行うとともに、平均年最大流量での現況断面の樹木を考慮した準二次元不等流計算を行い、各断面の摩擦速度算定に必要な水理諸量（水深、水面勾配、代表粒径）を算出する。水面勾配は、上・下流測線を含めた 3 測線の平均を用いる。ただし、護岸などにより流れに偏りがある区間は、検討対象から除くものとする。
- ② 平水位高での摩擦速度（ u_*^2 ：平水位）を算定し、攪乱境界の目安となる摩擦速度（ u_*^2 ：攪乱境界）とあわせて、摩擦速度の 2 乗（ u_*^2 ）の縦断図を作成する。
- ③ 高水敷高と平均年最大流量時水位との比較を行い、高水敷高がこれより高い場合は、堤防防御に問題ない範囲でこれまで掘削することが可能か検討しておく。



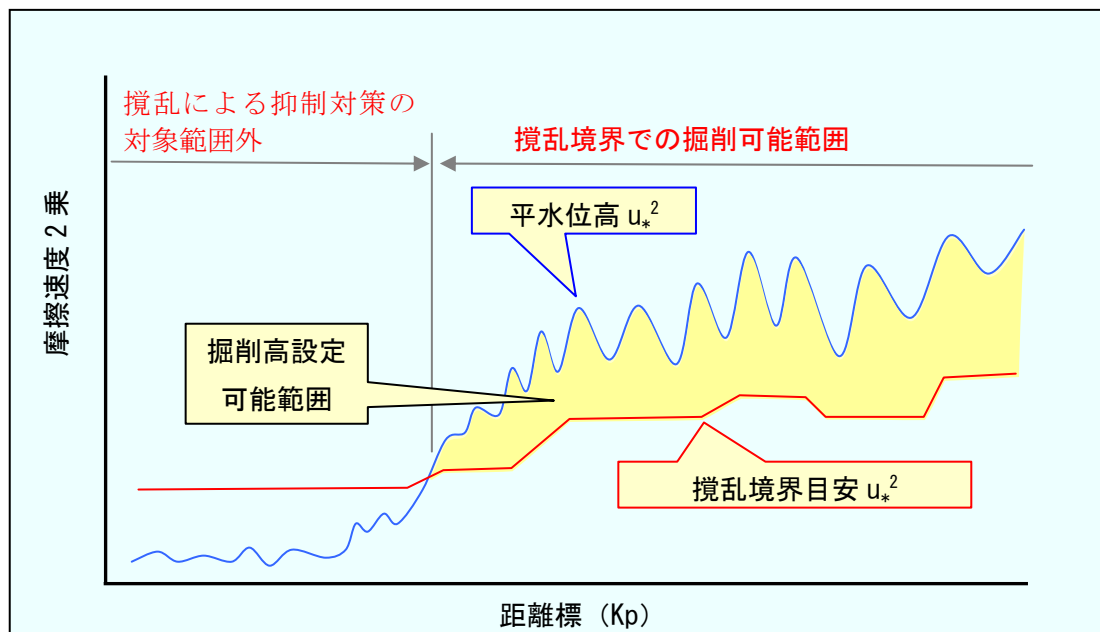
現況断面の掘削イメージ図



河岸形状設定の攪乱境界縦断のイメージ図 その 1

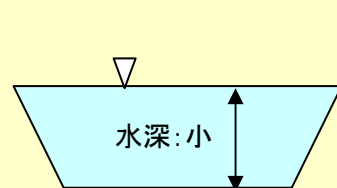
▼
 <現況断面における1次判定 : 攪乱による抑制対策実施の判断>

- ④ 掘削対象区間において、現況断面で、平水位高での摩擦速度 (u_*^2 : 平水位) と攪乱境界の目安となる摩擦速度 (u_*^2 : 攪乱境界) を比較する。
- ⑤ (u_*^2 : 平水位) < (u_*^2 : 攪乱境界) の場合は、攪乱による抑制対策の実施は困難なことから、草本又は冠水による抑制対策検討に移行する。
- ⑥ (u_*^2 : 平水位) > (u_*^2 : 攪乱境界) の場合は、攪乱による樹林化抑制が可能なることから、攪乱境界の目安となる高さから平水位までの間の高さでの掘削が可能となる。(図中の黄色の範囲を示す)

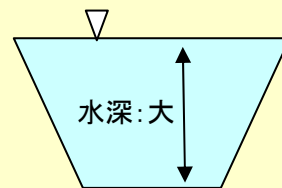


河岸形状設定の攪乱境界縦断のイメージ図 その2

効果的な断面設定の考え方: 幅を狭めると攪乱力が増す傾向にある



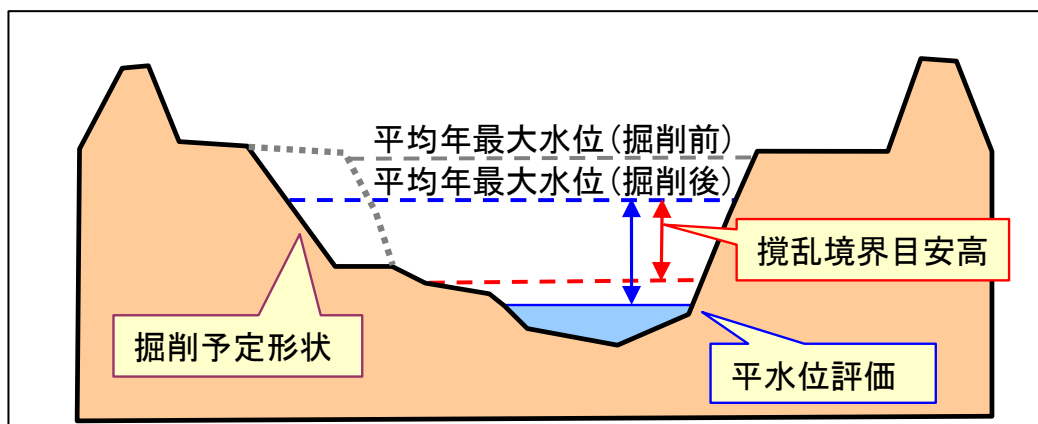
同じ断面積でも、川幅が広いと、水深が浅くなり、摩擦速度が小さくなる傾向にある
 ⇒攪乱力が小さい



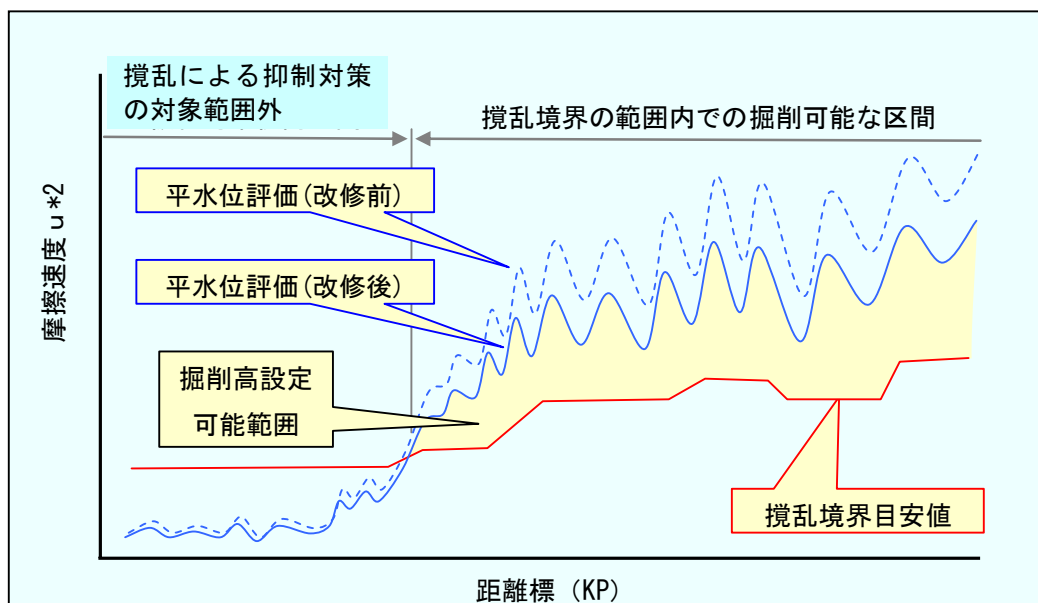
同じ断面積でも、川幅が狭いと、水深が深くなり、摩擦速度が大きくなる傾向にある
 ⇒攪乱力が大きい

▼
 <掘削断面における2次判定 : 攪乱境界を満足する掘削断面の設定>

- ⑦ 1次判定結果と整備計画の（河積確保と多自然川づくりに配慮した）掘削断面を用い、①の手順に戻り、掘削断面の樹木を考慮した準二次元不等流計算を行う。
- ⑧ 設定した掘削高の摩擦速度（ u_{*}^2 ：掘削高）も含め、②の手順で、摩擦速度の2乗の縦断面を作成する。但し、断面が変われば、掘削高の摩擦速度（ u_{*}^2 ：平水位高の摩擦速度2乗）も変わるので注意すること。
- ⑨ 対象区間で、掘削高での摩擦速度（ u_{*}^2 ：掘削高）が、攪乱境界の目安となる摩擦速度（ u_{*}^2 ：攪乱境界）を上回っているかチェックを行う。



掘削断面の初期設定イメージ図

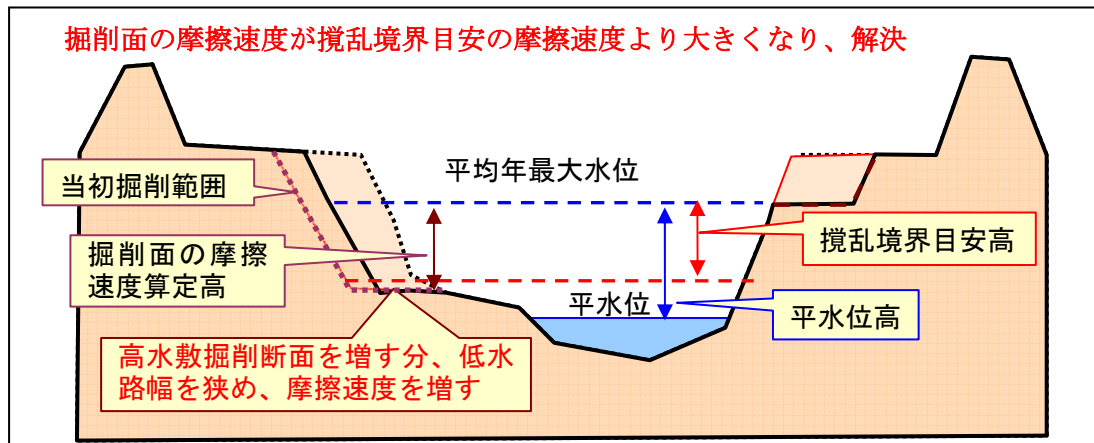


河岸形状設定の攪乱境界縦断のイメージ図 その3

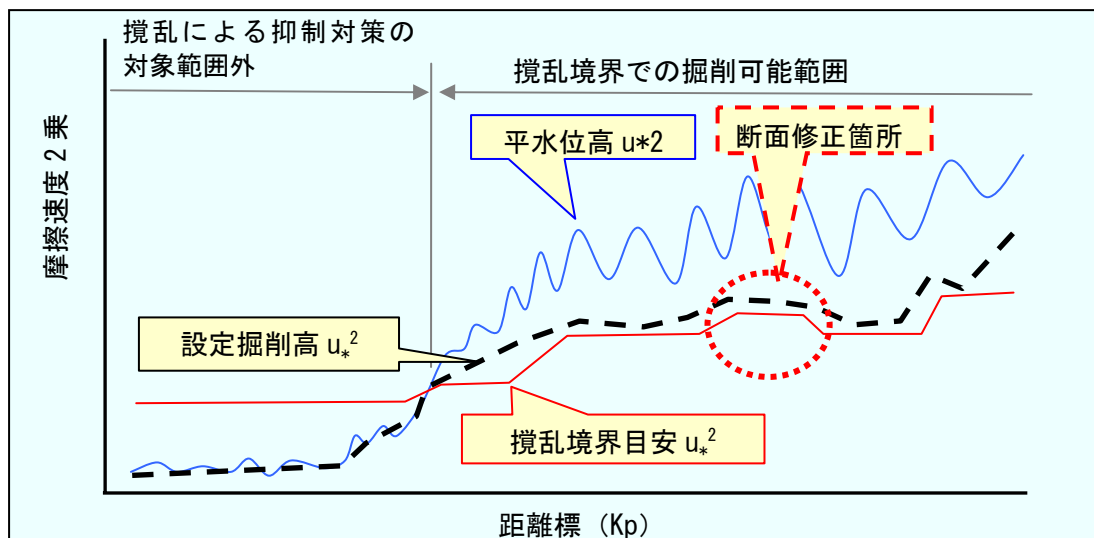
▼

＜掘削断面における 3 次判定 : 攪乱境界を満足する掘削断面の設定＞

- ⑩ 2 次判定結果と③高水敷掘削の可能性を踏まえ、高水敷を切り下げ、低水路幅を狭めるといった、掘削面の摩擦速度が大きくなる修正を用い、①の手順に戻り、掘削断面の樹木を考慮した準二次元不等流計算を行う。
- ⑪ 対象区間で、掘削高での摩擦速度 (u_*^2 : 掘削高) が、攪乱境界の目安となる摩擦速度 (u_*^2 : 攪乱境界) を上回っているかチェックを行う。
- ⑫ 不足する区間については、掘削断面の再設定を行い、満足するまで試行する。



掘削断面の 2 次設定イメージ図



河岸形状設定の攪乱境界縦断のイメージ図 その 4

▼

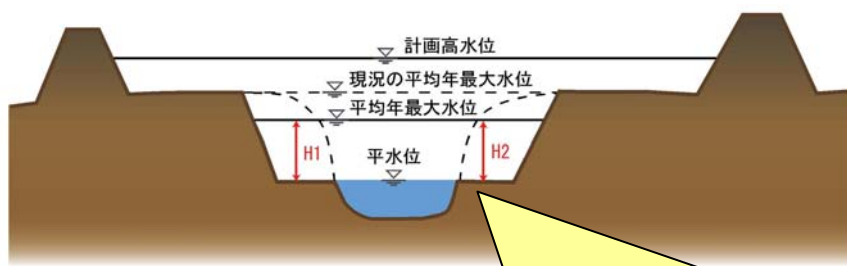
＜掘削断面の 3 次判定 : 流下能力の確認＞

最終的に設定した掘削断面に対し、対象となる洪水規模の流量での不等流計算を行い、治水安全度の確認を行う。

● 解説：樹林化抑制を考慮した形状設定手順の整理

ガイドラインにおける樹林化抑制を考慮した河岸形状設定の手順を整理した模式図を以下に示す。

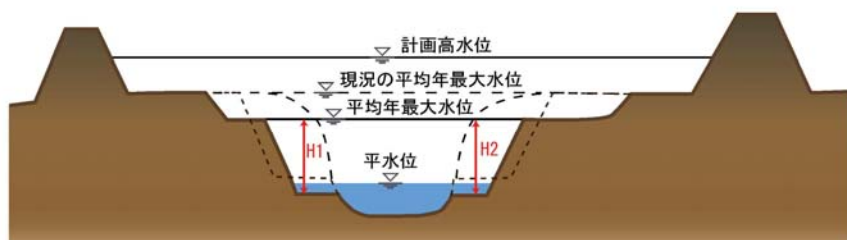
従来の河岸形状設定の一例



【これまでの河岸形状設定の一例】

計画高水流量を流下する河積を確保し、現況河床形態を保全する「平水位掘削」が主流であり、基本的にこれまでの機能は確保する。

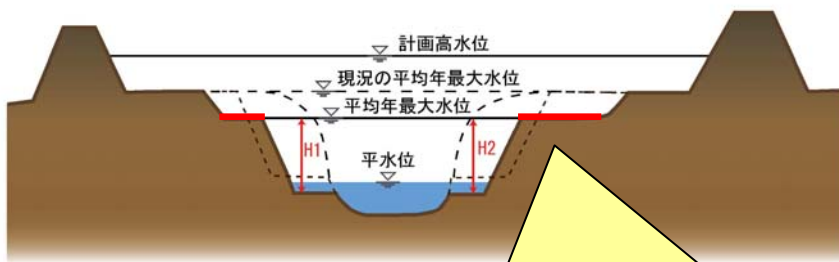
樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のイメージ



【従来の河岸形状設定との違い】

- ・ 平均年最大水位や平水位等が目安として追加される。
- ・ 掘削面の攪乱境界の水理的評価が追加される。
- ・ 低水路幅はより狭く、深くなる方向に修正される。

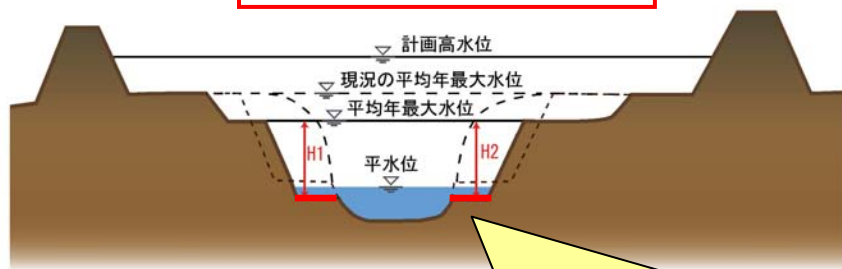
① 高水敷を掘削する場合



高水式敷を掘削する場合、平均年最大水位程度で掘削し、冠水頻度が低く他植生が優占しやすくし、「草本による抑制対策」によりヤナギ類の定着抑制を図る。

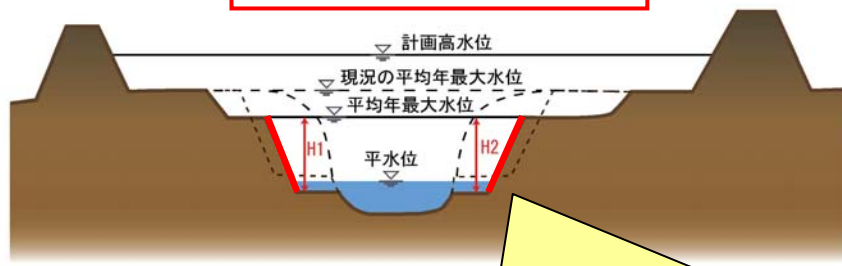
図 4-11 河岸形状設定の手順模式 (1)

② 平均年最大水位以下で掘削する場合の掘削面



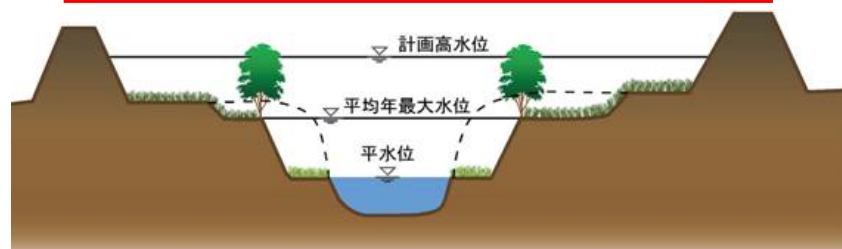
掘削面の水理量が攪乱境界の目安値以上となるよう設定し、「攪乱による抑制対策」によって樹林化の抑制を図ると共に、ヤナギの種子散布期に冠水する掘削敷高とすることで、「冠水による抑制対策」によって樹林化の抑制を図る。

③ 平均年最大水位以下で掘削する場合の河岸法面



攪乱境界の目安値未満となる箇所は、樹林化する可能性が高いため、低水路法面部として極力狭くなるよう設定することが望ましい。

④ 攪乱境界の目安値以下で掘削せざるを得ない場合



攪乱境界の目安値以下で掘削せざるを得ない場合は、設計・施工段階において、攪乱による抑制対策以外の対策実施を図る。

図 4-12 河岸形状設定の手順模式 (2)

● 解説：自然河岸を考慮した形状設定について

河岸法面の形状は、従来であれば2割勾配で計画横断形を検討し、土地利用等に制約があれば5歩勾配に立ち上げ、親水利用などの目的に応じて緩傾斜化を図ったり、階段護岸を整備すること等が考えられる。

今後の整備においては、蛇行部等の内岸側や外岸側に形成される自然の河岸形状を参考に、整備後の河岸形状を検討することが考えられる。改修前の状況から保全すべき要素や改善すべき要素を把握し、必要に応じ河岸形状を一律の法面から修正することも必要と考えられる。

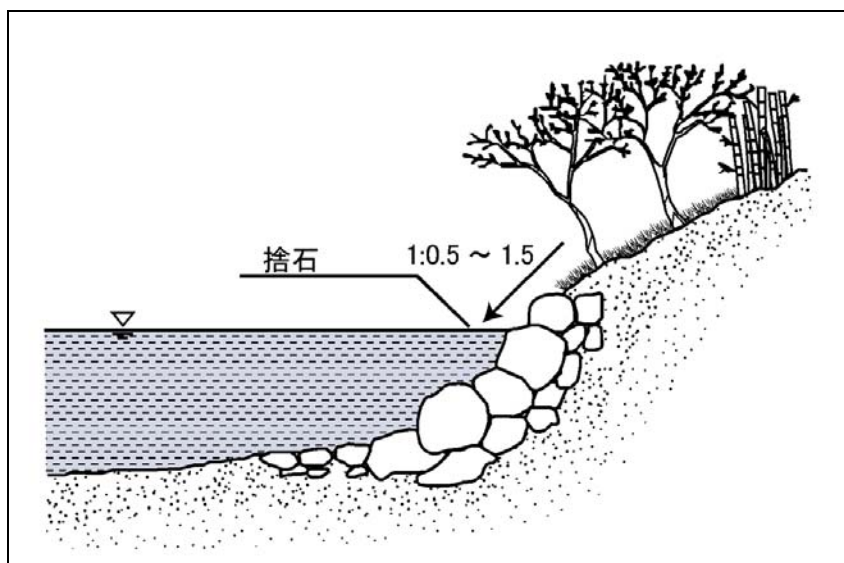


図 4-13 捨石による低水河岸形成の模式¹⁾

表 4-1 様々な河岸形状の事例

事例区分	緩やかな法面勾配の例	急な法面勾配の例
セグメント 1	 (美瑛川 6 月)	 (美瑛川 6 月)
セグメント 2-1	 (美瑛川 6 月)	 (常呂川 6 月)
セグメント 2-2	 (厚別川 10 月)	 (石狩川下流奈井江大橋付近 11 月)
セグメント 3	 (茨戸川 10 月)	 (石狩川下流 6 月)
特殊な事例	 (網走川 6 月)	 (夕張川 10 月)

● 解説:河岸の法勾配の目安について

河岸形状の法勾配は、2割勾配を標準とする考え方以外に、以下のような基準がある。

①地山の土質による目安

掘削切土の法勾配は、地山の土質、切土の高さによって下記のような基準を参考に設定する。

表 4-2 切土に対する標準法面勾配²⁾

地山の土質		切土高	勾配	標準値
硬	岩		1:0.3~1:0.8	
軟	岩		1:0.5~1:1.2	
砂	密実でない粒度分布の悪いもの		1:1.5~	
砂質土	密実なもの	5m以下	1:0.8~1:1.0	1:1.0
		5~10m	1:1.0~1:1.2	1:1.2
	密実でないもの	5m以下	1:1.0~1:1.2	1:1.0
		5~10m	1:1.2~1:1.5	1:1.2
砂利または岩塊 混じり砂質土	密実なもの、または粒度分布のよいもの	10m以下	1:0.8~1:1.0	
		10~15m	1:1.0~1:1.2	
	密実でないもの、または粒度分布の悪いもの	10m以下	1:1.0~1:1.2	
		10~15m	1:1.2~1:1.5	
粘性土	(シルトを含む)	5m以下	1:0.8~1:1.2	1:1.0
		5~10m		1:1.2
岩塊または玉石 混じりの粘性土		5m以下	1:1.0~1:1.2	
		5~10m	1:1.2~1:1.5	

②ヨシ原が定着しやすくする勾配

法勾配が3割より緩やかにすると、ヨシは地下茎を伸張しやすくなり定着しやすくなる。勾配は緩いほど良いとされる³⁾。

4.3 樹林化抑制の適応範囲と今後の対応策

4.3.1 攪乱境界目安を様々な河道に適用する場合の留意点

(1) 深掘れ箇所についての攪乱境界の目安との比較による適応性評価

- ・ 深掘れ部や谷部といった深い河床を持つ断面についても、上下流を含めた3測線の平均勾配を用いることで適応可能となる。

攪乱境界の目安を求める際に、安定した流れの箇所を抽出して、目安のラインを抽出してきた。

ここでは、深掘れ箇所や谷部といった深い河床を持つ断面についての適用について検討を行った。

全道河川の横断データから、深掘れ箇所や谷部といった深い河床を持つ断面を抽出し、その中でさらに、砂州と樹林が合わせて存在する断面を選定し、その摩擦速度をグラフにプロットし、これまでの攪乱境界の目安のラインとの比較を行った。

深掘れ箇所や谷部の攪乱境界の分布は、上下流を含めた3測線の平均勾配を用いることで、図に示すように、これまでの攪乱境界の目安のラインとほぼ一致することから、

適用可能であることが示唆された。

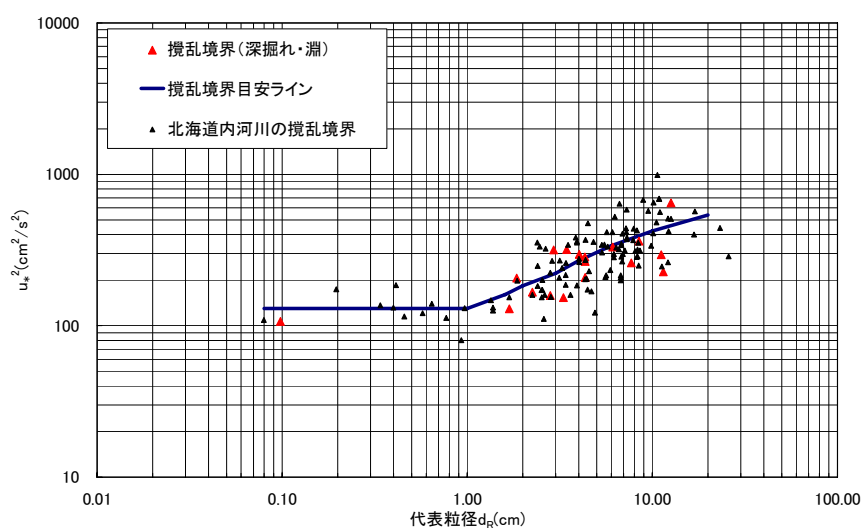


図 4-14 深掘れや淵となっている箇所と標準的な箇所との比較

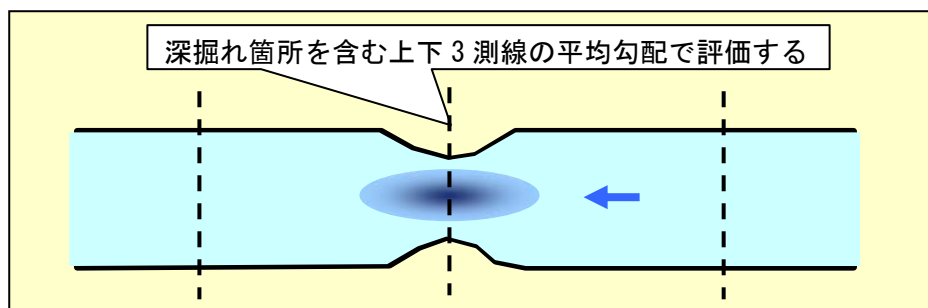


図 4-15 深掘れや淵となっている箇所の勾配の求め方

(2) 樹林化により河積が不足している場合のセグメント1の河道での適応性

- ・ 対象とする河積が不足しているセグメント1の河道は、複列河道が狭まり、交互砂州形態に移行した河川である。
- ・ 中小規模の出水で生じる砂州の移動の評価であり、河道が安定していれば、適応は可能と考える。

セグメント1の河道では、複列砂州となるなど、攪乱力が強く、河床材料の移動にとどまらず、側岸浸食の形態をとることが多い。そのため、河床材料の攪乱を目安とした今回の考え方をセグメント1に適用させる場合は、以下の理由から対応可能と考える。

- ・ セグメント1で側岸浸食が特徴的な河道は、経年的な横断形状の変化が激しい場合、河積は十分確保されており、樹林化が問題となることは無いので、検討の対象にはならない。
- ・ 今回対象としている河道は、樹林化が進行して河積が不足している区間である。
- ・ 検討が必要となるセグメント1の河道は、河床低下により河岸高が高く、流路変更が起きにくく、複列河道が狭まり、交互砂州形態に移行しつつある河川であり、浸食過程も変化している。
- ・ 今回の河床材料の攪乱を目安とした考え方は、平均年最大流量規模の中小出水で、継続的に河道を維持させることを狙ったものである。
- ・ さらに、河道掘削は、基本的に低水路の滞筋付近で行うとともに、掘削高の設定は、内岸の砂州高にすりつく高さであり、切り立った河岸を残すような断面設定は行われない。
- ・ 以上のように、セグメント1であっても、平均年最大流量の中小出水規模のみを扱うこと、設定する掘削高は砂州高にすりつく高さとすること、河道断面の時系列変化が激しい区間は対象から除くことで、河床材料を移動させる攪乱とみなして検討を進めることは可能と考える。



図 4-16 セグメント1で交互砂州形態に移行しつつある河川（札内川 KP17～20 付近）

但し、複列砂州河道の場合、後述する「護岸による流速の増大する区間」がその周辺にあると、護岸沿いに滞筋が固定し、河床が低下する影響を受けて、複数ある流路のうち護岸のある側に滞筋が引き込まれる傾向がある。これは、空中写真や横断図の変遷から、災害復旧の局部改修として護岸整備を行なう度に、護岸の影響を受けて流路が変化している状況が観察される。

このことから、複列砂州河道の場合、後述する「護岸による流速の増大する区間」の対応と合わせて検討を行う必要がある。



図 4-17 護岸が設置された場合の複列砂州河道の滞筋の固定状況（湧別川 KP6～7 付近）

4.3.2 様々なインパクトに対しての攪乱境界目安の適応性評価

- ・ 流量と土砂による河道の変化と植生の関係から、河原や砂州が樹林化するプロセスを示す。
- ・ 河川改修などの既存の施設により樹林化を引き起こす様々な要因を整理し、樹林化抑制の対策を示す。
- ・ 河川改修などの既存の施設が、河道にインパクトを与えると、土砂動態が変化し、河道断面に変化が生じ、ひいてはヤナギ類による樹林化を引き起こすこととなる場合があり、これらを要因毎に類型化する。

(1) 流量と土砂による河道の変化と植生の関係

河川は、流水と土砂の相互作用によって形成され、そこを生息場として多くの生物が生息している。そして、河川は、洪水という大きなエネルギーにより絶えず変化している。

近年、河川を取り巻く環境も大きく変化し、河川の姿も変化してきた。

ここでは、流量や土砂が関与する河道の変化と植生の関係を整理する。

(i) 流量

河川は、流域に降った雨を流出する流路として形成されてきた。したがって、河川にとって水の流れは基本である。山本は、日本の大河川の低水路の大きさや砂州のスケールは年平均最大流量に対応しているとしている。

また、流量の変動も重要であり、高水敷に乗り上げる様な出水規模や、低水路満杯の出水規模、長期にわたる融雪出水など、様々な変動の程度によって、河道の攪乱状況が変わり、土砂堆積・浸食状況や河川の植物分布が変わる。

(ii) 土砂

河川は、水の流れと土砂の相互作用によって形成されている。

上流から流れてくる土砂は、地質によって大きく異なる。土砂の流出量が多ければ、河道の変化が大きく、少なければ変化は少ない。

川の中の土砂分のうち、大きな材料は移動速度が遅く、砂のように小さな材料は移動速度が速い。したがって上流からの土砂供給量が止まると細かい材料は下流に流れてしまい、大きな材料だけになってしまう。

河岸に土砂が堆積すると、植生の生育基盤となるし、度重なる土砂堆積で生育している植生を埋没させることもある。

(iii) 河道の変化

流量と土砂の影響を受けて、河道が変化するが、低水路内の樹林化に関連する河道の変化として、近年、川幅縮小が着目されている。

(iv) 植生

河川改修や横断構造物により、植生は様々な影響を受けている。河川沿いの草本・樹木は、流水に対して粗度となり流速を遅くしたり、群となって流れの向きを変え、流れを集中させたりして、土砂の堆積や移動を促す。また草本類は表土の侵食を防ぎ、樹木の根は河岸侵食を抑制する。

河川沿いの植物は、洪水という攪乱を受け、これに耐えられる植物が生き残り独自の河川植生を形づくる。

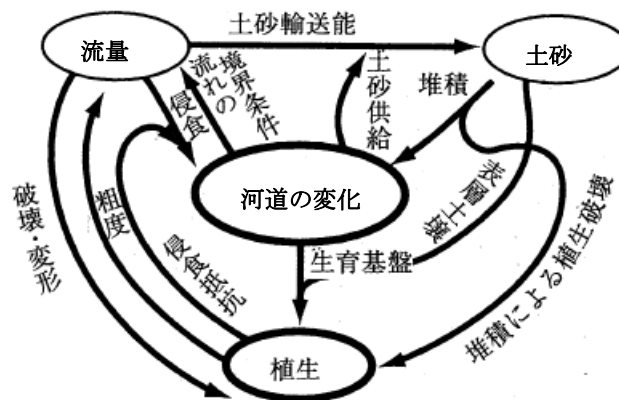


図 4-18 河道の変化と植生の相互関連⁴⁾

(一部加筆修正)

現在の河川において、植物の生育に影響を与えるインパクトとしては、高水敷整備、河道の直線化・川幅縮小、流量コントロール、水質変化、土砂コントロール、外来生物の移入などがあげられる。

このうち、樹林化に関連するインパクトを、赤枠で示す。

これらは、それぞれ直接的に植物の生育や植生の形成、維持、発達に影響を与えている。

一方で、河川改修等は、出水や土砂移動等の自然的攪乱によって河川にも影響を及ぼし、「出水→土砂移動→河道の変化→植生の変化」と間接的に植物に影響を及ぼす場合がある⁴⁾。

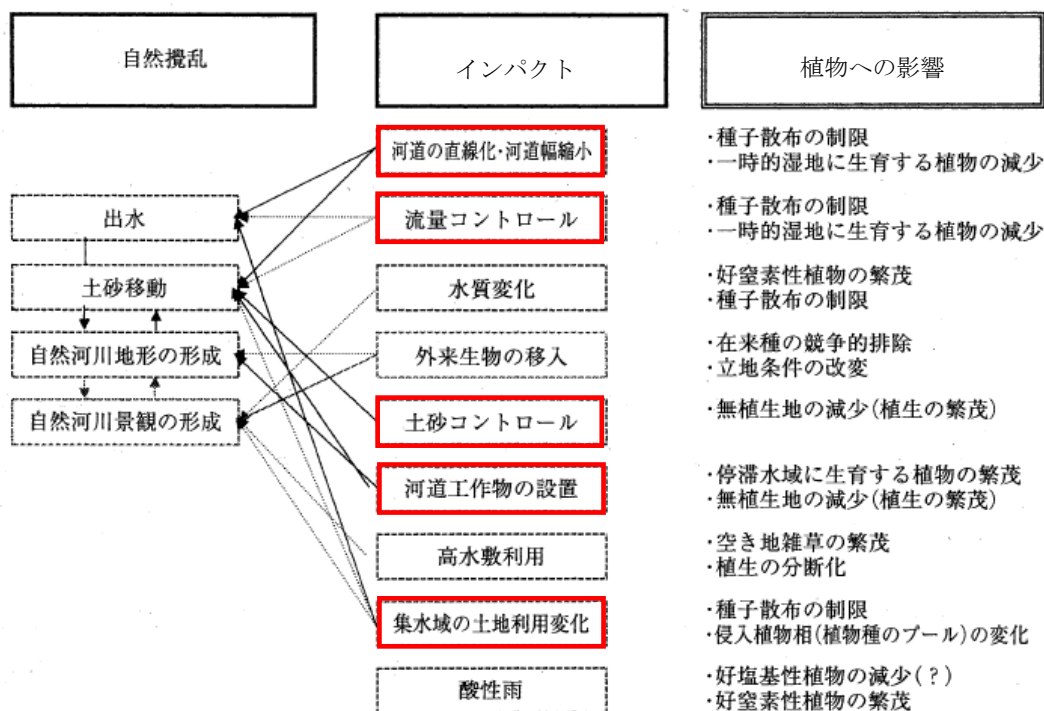


図 4-19 河川における自然的攪乱とインパクトの関連性と植物への影響⁴⁾

実線矢印は強い影響、破線矢印は弱い影響があることを示す

加筆した赤枠は特に樹林化と関連性の強いインパクトを示す。

（２）中間地河道の川幅縮小のプロセス

掘削後の河道変化と言っても、様々なものがある。ここでは、代表的な河道変化の１つである河道セグメント２（自然堤防帯の河川）における川幅縮小現象を取り上げる。

川幅縮小は、疎通能力の観点からは掘削効果の低減を意味し、一方、自然環境という観点からは自然河岸の自己形成機能と見ることもでき、川幅という基本諸元に関わるものであることとあわせ、重要な河道変化の１つである。

さらに河道セグメント２における川幅縮小は、低水路の河床主材料に関与しないはずの細粒土砂による河道の変化が引き起こすものである。

- ① 拡幅された河道の河床は、河岸の勾配に比べはるかに平坦であったが、その河床の一部が平水面上に露出する程度の凹凸を持っていた。
- ② 高水敷形成が始まるまでの数年間は、植生を剥ぎ取るような大きな洪水がなく、このため、平水位より高い部分に植生が繁茂した。その植生は、ウォッシュロード的挙動をとる粒径集団の一部を堆積させた。
- ③ この状態で小規模な洪水を数度経験し、植生がなければ堆積しない上記の粒径集団の一部が、植生の減勢効果により植生繁茂域にたまり、高水敷形成の初期段階となった。
- ④ 堆積した材料はシルト混じり細砂～微細砂で、それを好む植生へ遷移しながら、引続き密生度の高い植生が高水敷に繁茂する状態が続いた。
- ⑤ 植生の効果と、高水敷と河床の段差による流速差により、高水敷形成が引き続き進行した。
- ⑥ さらに高水敷が成長し、河床との段差が大きくなると、水位が高水敷をわずかでも上回った時に、より粗粒の材料を高水敷に運ぶ強い流況が生じ、中砂が河岸肩に堆積した。また、高水敷が側方侵食を受け、その耐侵食力に見合う営力となるよう川幅が調整される状況も起こった。

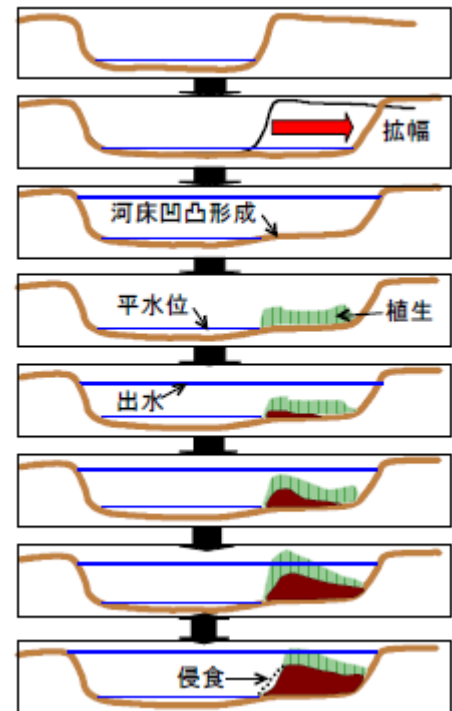


図 4-20 河道セグメント 2-1 での強制的
拡幅後の川幅縮小のシナリオ

以上の機構から考えて、一般的には、扇状地、デルタ河道に比べ、自然堤防帯にある河川が川幅縮小を起こしやすいと言える。

扇状地の河川は勾配が大きすぎて、植生がフラッシュされる頻度が高く、デルタの河川は平水位が高いため、拡幅後も、河床の一部に植生が繁茂する状況が起こりにくい。

一方、自然堤防帯の河川は、少しの拡幅で平水時に河床が露出し植生が繁茂できる条件が現れ、また、ウォッシュロードが植生内にたまり得る河床勾配を持ち、植生のフラッシュも、側方侵食を除き稀と考えられる。

こうした高水敷形成がウォッシュロード材料で起こされることは、次の三つの意味で重要である。

第一は、ウォッシュロード堆積物が粘着性を持ち、これが、泥を好む植物の繁茂と相まって、堆積物の耐侵食力を大きくし、このことが地形変化にも重要な影響を与えることである。

第二は、ウォッシュロードが上流土砂生産域から直接供給されるものであることから、ローカルな水理条件だけでなく、上流からの土砂供給条件が地形変化を支配することである。

第三は、ウォッシュロードの供給量が、それ以外の土砂（中砂や礫）の流送量に比較して多いことから、それが堆積する条件がひとたび整うと、急速な地形変化が起こりうることである。

(3) 樹林化に関連する河道変化の区分

樹林化に関連する河道の変化は、大別すると①土砂堆積と、②滞筋の固定・河床低下、③攪乱強度の低下の3タイプがある。

財団法人国土技術研究センターでは、特に、低水路の川幅縮小に着目して、この3タイプについて詳細に記述している。

全国の事例では、低水路内に比高差が生じると草本が侵入し始め、その後木本に移行していく傾向がある。一方、北海道の場合、草本の生育過程を跳び越して、早期にヤナギ林化を生じることから、特に注意が必要である。

表 4-3 低水路内の川幅縮小や樹林化で想定される要因とその事象の説明⁵⁾に加筆

	①土砂堆積	②滞筋の固定・河床低下	③攪乱強度の低下
概念図			
概要	砂州や河床の一部に堆積が生じることによる川幅縮小。形成された堆積地に植生が繁茂するタイプ。	河床の一部が低下し、低下せずに残った部分に植生が繁茂するタイプ。	河原などで相対的な攪乱力の低下から、河床の一部が植生で覆われるタイプ
原因説明	砂州上に中小出水時に細粒土砂が堆積し植物が生育。平均年最大洪水で、細粒土砂ごと流出できれば裸地が維持。砂州の細粒土砂が移動しなければ、植物は生育。	河床の一部低下残った部分に中小出水時に土砂が堆積し植物が生育。平均年最大洪水で、土砂ごと流出できれば裸地が維持。土砂が移動しなければ、植物は生育。	裸地河原の礫の隙間から植物生育。平均年最大洪水で、植物が河原の礫ごと流できれば裸地が維持。河原の礫が移動しなければ、植物は生育。
その後の変化	砂州で植生生育 植生の影に細粒土砂捕捉 樹林化に移行 土砂堆積が進行すると河床低下もある。	残った河床で植生生育 植生の影に細粒土砂捕捉 河積が狭まる 河床低下と土砂堆積地の樹林化が進行。	河原で植生生育 植生の影に土砂捕捉 河積が狭まる 河床低下と土砂堆積地の樹林化が進行。

(4) 豊平川の河道変化の事例

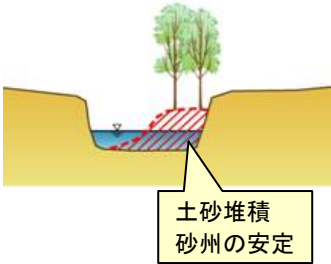
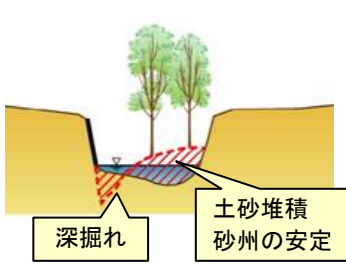
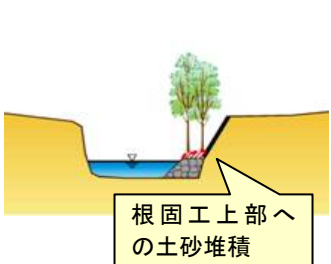
- ・ 豊平川の調査では、樹林化に関連する河道変化の分類は、①土砂堆積タイプ、②滞筋固定・河床低下タイプ、③攪乱強度低下タイプの3タイプあった。
- ・ このうち、③攪乱強度低下タイプは攪乱による効果が及ばない。
- ・ 攪乱による樹林化抑制の対象となりうるのは、①土砂堆積タイプ、②滞筋固定・河床低下タイプである。

豊平川における調査⁶⁾によると、樹林化に関連する河道変化の分類は図に示すように3タイプに整理される。

- ① 土砂堆積タイプは、砂州上などで部分的な攪乱強度の低下が生じることで、土砂堆積し樹林化している。
- ② 滞筋固定・河床低下タイプは、滞筋が固定し深掘れすることで、対岸側の河岸や砂州等で攪乱強度が低下し樹林化したものと考えられる。
- ③ 攪乱強度低下タイプは、河岸保護工が出水からヤナギ林の根を守っており、河岸保護工が流出しない限り、樹林化抑制は困難である。

このうち、流水の攪乱による樹林化抑制の対象となるのは、①土砂堆積タイプと②滞筋固定・河床低下タイプであり、③攪乱強度低下タイプは対象としない。

表 4-4 河道内樹林化の類型分類

タイプ 区分	①土砂堆積	②滞筋固定・河床低下	③攪乱強度低下
概 要	低水路の砂州・河原上に土砂が堆積し裸地が形成され、樹林化が進行したもの。低水路内の砂州上や中州上で見られる。	滞筋が固定し、深掘れすることで、対岸側の河岸や砂州等で攪乱強度が低下し樹林化したもの。低水路内の砂州上や中州上で見られる。	攪乱に耐えうる根固ブロックや護岸の空隙に土砂が堆積し樹林化したもの。護岸や根固め工の上部で見られる。
イメージ 図			
事例写真	 河道内土砂堆積地での樹林化状況	 護岸による深掘れと樹林化の状況	 陸化した根固めブロック間からの樹林化状況

(5) 様々なインパクトと河道の変化の関連性の整理

- ・ 河道掘削以外に、横断工作物、洪水調節施設、河岸保護工、流域開発などが、河道の変化のインパクトとなる。
- ・ 河道の変化の 3 タイプ区分を用いて、様々な河川改修などのインパクトから樹林化に至る関連性を整理する。

河川改修等の既存の河川施設がインパクトとなる、河道の変化と樹林化の要因を整理すると以下ようになる。

北海道内の河川で見られるインパクトは、河道掘削や、横断工作物、洪水調節施設、直線化、河岸保護工、流域開発など様々なものがある。

特に、横断工作物周辺では、工作物上流は土砂堆積し、下流は滞筋の固定・河床低下といった、著しい影響を受ける場合がある。

それ以外にも、流域が、傾斜地で、タマネギ畑やとうもろこし畑など、裸地同然の土地利用されることによって、中小出水があると著しい土砂流出を誘発する場合などは、平均年最大流量以下の流量で大量の浮遊土砂が発生・堆積するといった現象も生じている。

このように、様々なインパクトと河道の変化との関連性を把握し、整理することが必要である。

ここでは、以下の 3 タイプに分類して、それぞれのタイプにある様々な河川改修などのインパクトごとに整理する。

- ・ 土砂堆積が引き起こされる場合
- ・ 滞筋固定・河床低下が引き起こされる場合
- ・ 攪乱強度低下が引き起こされる場合

1) 土砂堆積が引き起こされる場合

表 4-5 土砂堆積が生じる要因

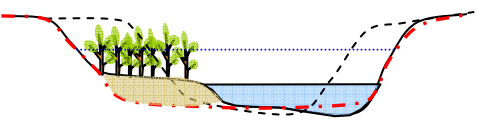
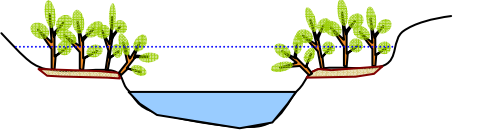
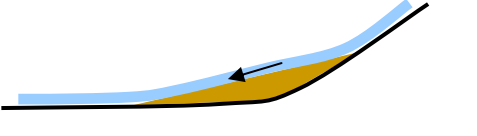
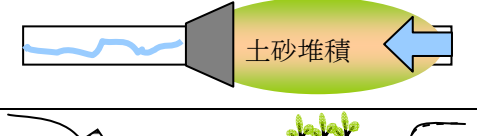
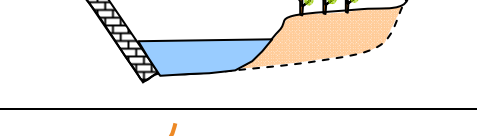
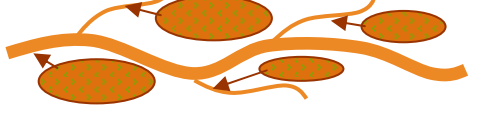
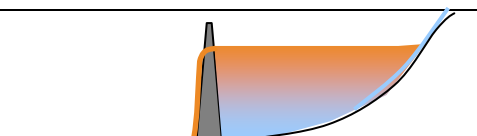
区分	要因	概要図
川幅の拡幅	低水路の川幅を拡幅したことで、攪乱強度が低下し、土砂が堆積する。	
中・高水敷掘削	高水敷の切り下げに伴い、冠水するものの攪乱強度が小さい条件となり、切り下げ面に堆積する。	
直線化	直線化などにより急勾配化した区間の下流の勾配変化点で攪乱強度が低下し、土砂堆積する。	
横断工作物	横断工作物などの上流で、勾配の緩和区間に土砂が堆積する。	
河岸保護工	連続護岸の影響で生じる流速の増大に伴う対岸の流速の相対的低下による土砂堆積	
流域開発に伴う浮遊土砂量の増大	出水時に、農地から土砂が流出することにより、中小出水であっても、河道に細粒土砂が流下することで、土砂が捕捉され堆積する。	
ダム直下河道	出水後の濁水がダム貯水池から放流されることにより、攪乱強度が低下した河道に、細粒土砂が流下することで、土砂が捕捉され堆積する。	



写真 4-1 空知川滝里ダム下流河道の川幅縮小の状況

2) 滞筋固定・河床低下が引き起こされる場合

表 4-6 滞筋固定・河床低下が生じる要因

区分	要因	概要図
高水敷整備による低水路幅の減少	比較的広く浅い低水路を、狭く深い断面に変えたため、攪乱強度が増加し、滞筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。	
上流河道拡幅	上流の河道を拡幅したことで、下流河道への土砂供給量が減り、滞筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。	
河床掘削・直線化等	低水路の水深が深くなり攪乱強度が増加、または、勾配が急になり、攪乱強度が増加し、滞筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。	
護岸沿いの流速の増大	連続した護岸に沿って流速が増大し、滞筋沿いに河床低下するとともに、対岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。	
横断工作物等による土砂供給量の減少	横断工作物の上流に土砂が堆積することで、下流河道への土砂供給量が減り、滞筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。	



図 4-21 空知川下流の中州の樹林化状況

●事例:河道変化と樹林化の事例

高水敷と護岸整備の後、対岸寄りの砂州が樹林化し、川幅が狭まり、砂州の範囲が減少している。

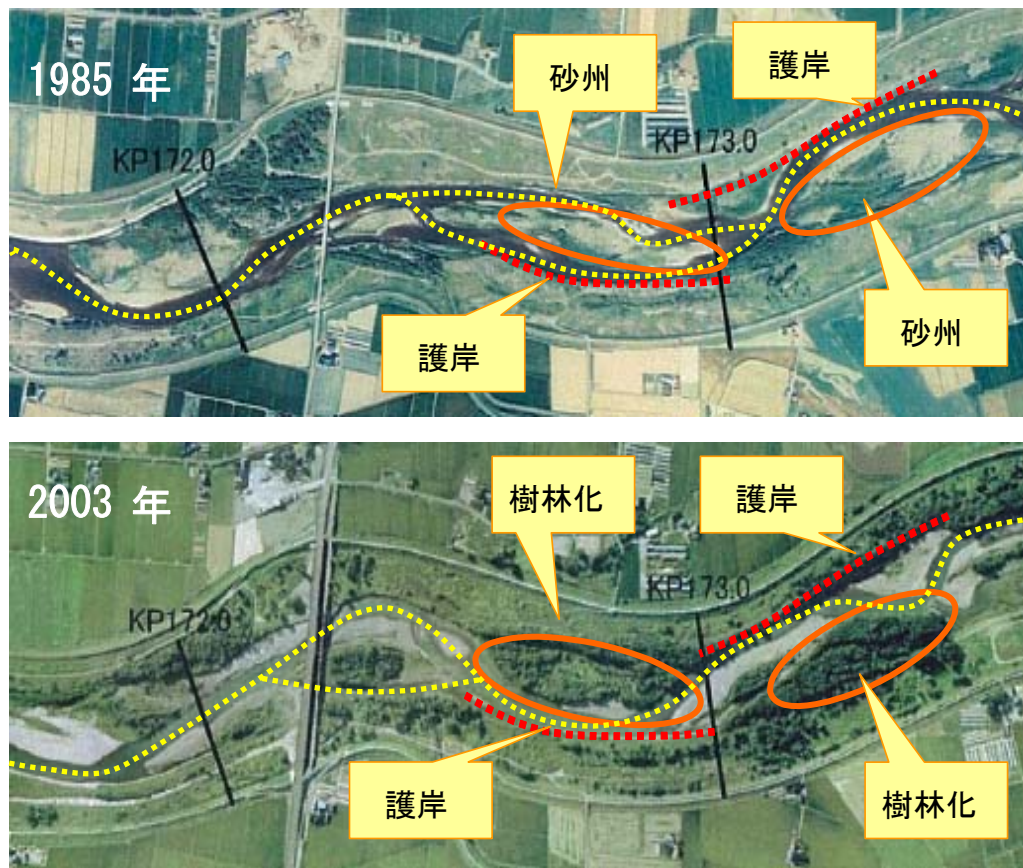
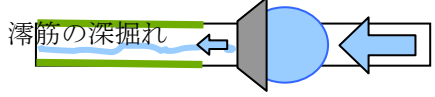
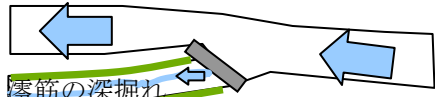
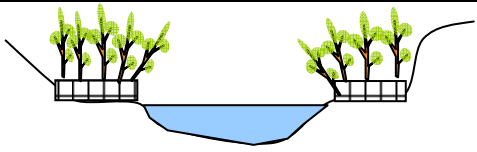
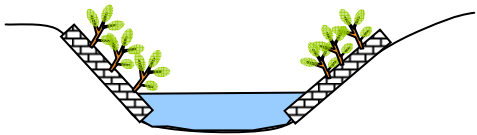


図 4-22 深掘れに伴う河道変化の事例(石狩川上流)

3) 攪乱強度低下が引き起こされる場合

表 4-7 攪乱強度低下の要因

区分	要因	概要図
ダム等の洪水制御による河道形成流量の減少	洪水調節を行うダム影響で、下流の放流量が小さくなり、河床の礫が動かなくなる。	
分水路等の流路切替えによる河道形成流量の減少	分水路等の流路切替えの影響で、下流の放流量が小さくなり、河床の礫が動かなくなる。	
河床低下に伴う根固工の陸化	何らかの理由で河床が低下して、根固工が陸化すると、根固工の隙間からヤナギ類が成長し流出しない。	
河岸の空積み石、連節ブロック、空積み護岸	河岸の空積み石、連節ブロック、空積み護岸の隙間から成長したヤナギ類が流出しない。	

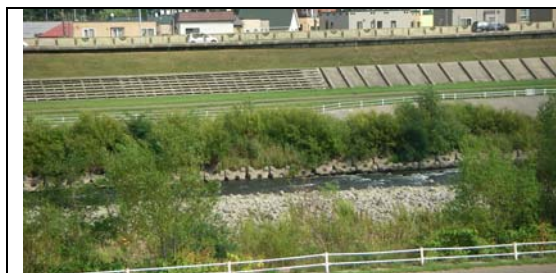
礫河原にヤナギ類が繁茂する場合

何らかの理由で河原の河道形成流量時の攪乱力が弱まると、河原の礫が、移動しなくなり、礫間に侵入したヤナギ類の根も流出から免れることができ、安定した成長が確保される。

陸部に連節ブロックや捨石が敷かれている場合は、それらが出水時に移動しないため、その空隙からヤナギ類が生育できることとなる。



写真 4-2 礫河原に生育するヤナギ類



豊平川の陸化した護床ブロック間からの樹林化状況



連節ブロック隙間からの樹林化状況

写真 4-3 樹林化の例

(7) 様々な河川改修に対しての攪乱境界目安の適応性評価

- ・ 基本的に、河道形状や、土砂動態、河床材料の粒径の時間的変動が少なく、河道が安定している場合は、攪乱境界目安は適応可能。
- ・ よって、通常の河川改修であれば、適応可能と考えられる。
- ・ 河道の土砂動態に影響を及ぼすような大規模な河川改修を行う場合や、横断工作物周辺の複雑な事象などは、別途河道の応答予測を踏まえた検討が必要である。

1) 適応可能な河川改修の事例と適応に課題がある河川改修の事例

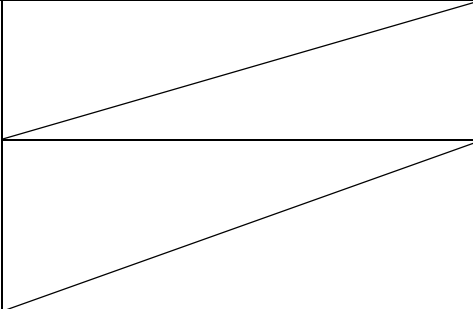
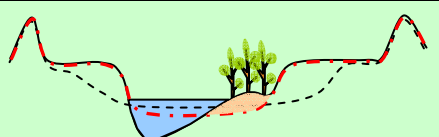
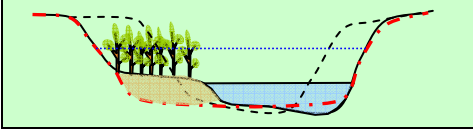
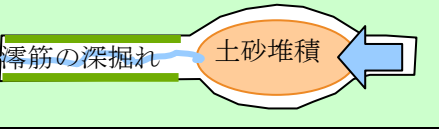
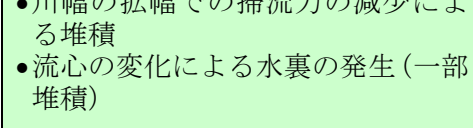
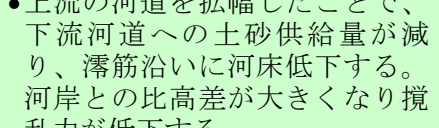
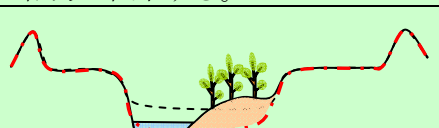
基本的に、河道変遷を見て、河道形状や、土砂動態、河床材料の粒径の時間的変動が少なく、安定している場合は適応しやすい。

基本的に、河道変遷を見て、河道形状や、土砂動態、河床材料の粒径が、時間的に変化した続けたり、不安定な場合は適応しにくい。

2) 河道改変の場合の攪乱境界の目安の適応性

- ・ 攪乱境界の目安は、深掘れの適応が可能であることから、通常の河川改修の範囲（例えば、摩擦速度の増減 15%以内）の高水敷整備の延長や、河道拡幅、河床掘削に対しての適応は可能と考える。
- ・ 新たな高水敷整備を行う場合や、大幅な河道拡幅、蛇行河道の直線化・急勾配化といった、これまでの土砂動態を大きく変えるような、大規模な河川改修の場合は、新たな土砂堆積や河床低下といった河床高の変化が発生することから、整備後しばらく経って、河道の土砂動態や河道の変化が安定してきた後であれば、整備後の流況を用いて検討は可能である。
（整備直後で河道の土砂動態や河道の変化が不安定の場合は、攪乱境界の目安だけで判断せず、河床変動計算などを用いた詳細な検討が望ましい。）

表 4-8 河道の改変による河道の変化と樹林化の関係

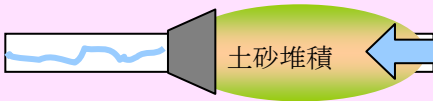
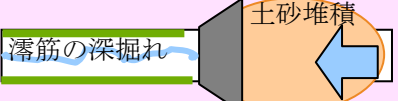
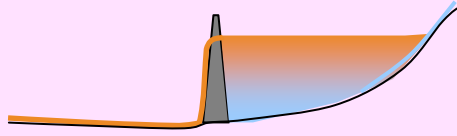
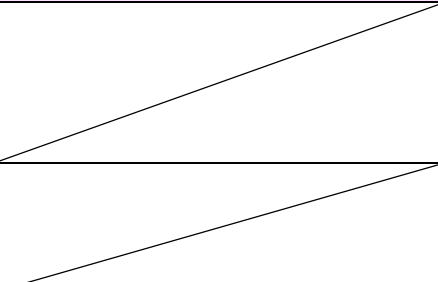
		(1) 土砂堆積	(2) 滞筋の固定・河床低下
河道改変	高水敷整備 (低水路幅の減少)		 ・ 比較的広く浅い低水路を、狭く深い断面に変えたため、攪乱強度が増加し、滞筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。
	川幅拡幅 (平水位掘削)	 ・ 川幅の拡幅での掃流力の減少による堆積 ・ 流心の変化による水裏の発生（一部堆積）	 ・ 上流の河道を拡幅したことで、下流河道への土砂供給量が減り、滞筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。
	河床掘削	 ・ 特定の断面だけを大きく掘削すると流下断面が拡大し掃流力の減少による土砂堆積	 ・ 低水路を、連続して深い断面に変えると、攪乱強度が増加し、滞筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。
	直線化・急勾配化	 ・ 直線化などにより急勾配化した区間の下流の勾配変化点で攪乱強度が低下し、土砂堆積する。	 ・ 低水路の水深が深くなり攪乱強度が増加、または、勾配が急になり、攪乱強度が増加し、滞筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。

適応可能を緑色、整備後の安定状況によって対応が違う場合は黄色で示す

3) 横断構造物・洪水調節施設の場合の攪乱境界の目安の適応性

- 取水堰や落差工、床止工、ダムなどの横断構造物の周辺は、かんがい期の取水のための湛水や、急激な勾配変化、それに伴う河床材料の粒径変化といった複雑な要素が多く、攪乱境界の目安だけで判断するのは難しい。
- ダム直下河道の濁水長期化による浮遊砂の堆積については、放流中の浮遊砂量の評価が難しい。

表 4-9 横断構造物・ダムなどによる河道の変化と樹林化の関係

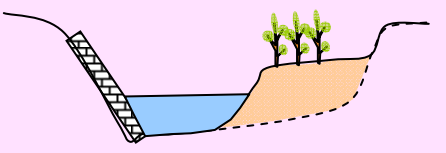
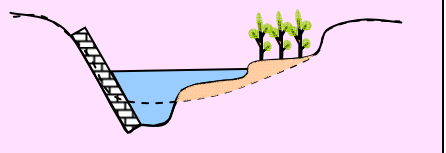
	(1) 土砂堆積	(2) 滯筋の固定・河床低下
横断構造物 周辺 (ダム・固定堰など)	 固定堰などの上流で、勾配の緩和区間に土砂が堆積する。	 固定堰の上流に土砂が堆積することで、下流河道への土砂供給量が減り、滯筋沿いに河床低下する。河岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。
ダム直下河道 (濁水長期化による堆積)	 出水後の濁水がダム貯水池から放流されることにより、攪乱強度が低下した河道に、細粒土砂が流下することで、土砂が捕捉され堆積する。	

適応可能を緑色、整備後の安定状況によって対応が違う場合は黄色、課題がある場合を赤色、そもそも適応外の場合を紫色で示す

4) 護岸の場合の攪乱境界の目安の適応性

- ・ 護岸の設置区間は、護岸の影響で生じる流速の増大による滞筋の固定、河床低下、低水路内の比高差の増大、または対岸の流速の相対的低下による土砂堆積を生じるが、その影響度合いが不明である。
- ・ なお、護岸が設置されていても滞筋が寄っていないければ問題ないことから、適応に問題のある区間の設定については後から説明する。

表 4-10 護岸による河道の変化と樹林化の関係

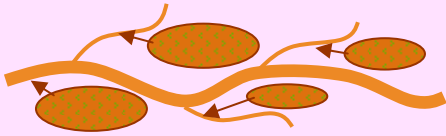
		(1) 土砂堆積	(2) 滞筋の固定・河床低下
河岸保護工	護岸 (但し区間の設定は要確認)	 ・連続護岸の影響で生じる流速の増大に伴う対岸の流速の相対的低下による土砂堆積	 ・連続した護岸に沿って流速が増大し、滞筋沿いに河床低下するとともに、対岸との比高差が大きくなり攪乱力が低下する。

適応可能を緑色、整備後の安定状況によって対応が違う場合は黄色、課題がある場合を赤色、そもそも適応外の場合を紫色で示す

5) 流域開発の場合の攪乱境界の目安の適応性

- ・ 流域開発による浮遊土砂量・栄養塩の増大については、今回扱っている平均年最大規模の出水より小さい規模の中小出水で浮遊土砂が発生し、その都度堆積し河岸高が変化することから、より小さい規模の出水での評価が必要となる。

表 4-11 流域開発による河道の変化と樹林化の関係

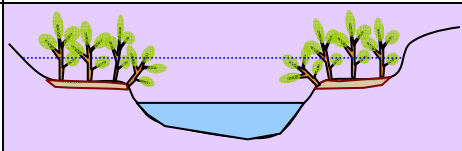
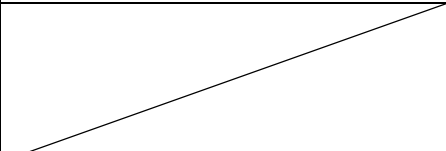
		(1) 土砂堆積	(2) 滞筋の固定・河床低下
流域開発に伴う 浮遊土砂量・栄養 塩の増大		 ・出水時に、農地から土砂が流出することにより、中小出水であっても、河道に細粒土砂が流下することで、土砂が捕捉され堆積する。	

適応可能を緑色、整備後の安定状況によって対応が違う場合は黄色、課題がある場合を赤色、そもそも適応外の場合を紫色で示す

6) 中・高水敷掘削の場合の攪乱境界の目安の適応性

- 中・高水敷掘削は、掘削高が高く、攪乱可能な水深が確保されない場合は、攪乱境界の目安は適応できない。

表 4-12 中・高水敷掘削と樹林化の関係

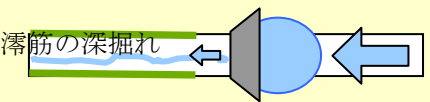
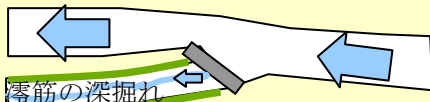
	(1) 土砂堆積	(2) 滞筋の固定・河床低下
中・高水敷掘削	 高水敷の切り下げに伴い、冠水するものの攪乱強度が小さい条件となり、切り下げ面に堆積する。	

適応可能を緑色、整備後の安定状況によって対応が違う場合は黄色、課題がある場合を赤色、そもそも適応外の場合を紫色で示す

7) 洪水調節施設や流域変更の影響を受ける河道の場合の攪乱境界の目安の適応性

- 洪水調節施設（ダム・調節池など）や流域変更（放水路・分水路など）の影響を受ける河道については、出水の頻度や規模が大きく減少するため、河道の攪乱力が減少する。
- 整備後しばらく経って河道の土砂動態や河道の変化が安定してきた後で、攪乱力がある程度残っていた場合、整備後の流況を用いて検討は可能である。（整備直後で河道の土砂動態や河道の変化が不安定の場合は除く）

表 4-13 洪水調節施設や流域変更の影響を受ける河道と樹林化の関係

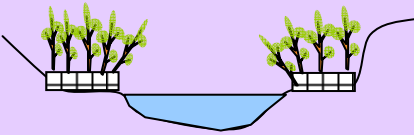
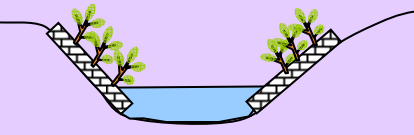
	(3) 攪乱強度の低下
横断構造物 (ダム・固定堰など)	 洪水調節を行うダム影響で、下流の放流量が小さくなり、河床の礫が動かなくなる。
洪水調節施設 (ダム・調節池など)	 分水路等の流路切替えの影響で、下流の放流量が小さくなり、河床の礫が動かなくなる。

適応可能を緑色、整備後の安定状況によって対応が違う場合は黄色、課題がある場合を赤色、そもそも適応外の場合を紫色で示す

8) 河岸保護工がある場合の攪乱境界の目安の適応性

- ・ 陸化した根固工や積み石・連節ブロックは、ヤナギ林の根を攪乱から保護するため、攪乱境界の目安は、当てはまらない。

表 4-14 河岸保護工と樹林化の関係

		(3) 攪乱強度の低下
河 岸 保 護 工	陸化した 根固工	 ●何らかの理由で河床が低下して、根固工が陸化すると、根固工の隙間からヤナギ類が成長し流出しない。
	積み石・ 連節ブロック	 ●河岸の空積み石、連節ブロック、空積み護岸の隙間から成長したヤナギ類が流出しない。

適応可能を緑色、整備後の安定状況によって対応が違う場合は黄色、課題がある場合を赤色、そもそも適応外の場合を紫色で示す

9) 攪乱境界の目安の適応性のまとめ

(i) 影響が短い延長で済む場合

実河川への攪乱境界の目安の適応に当たって問題となりにくいのは、河道延長の短い区間限られる場合であり、具体的には、以下の場合である。

- ・ 大規模な河道改変の場合は、その影響が上下流の長い区間に及ぶことがある。但し、主な捷水路工事などは、概ね終わっており、局部改修程度であれば、影響範囲は短い。
- ・ 横断構造物や洪水調節施設の土砂堆積や滞筋の固定・河床低下については、影響力はあるものの、影響区間は短い。
- ・ 陸化した根固工や積み石・連節ブロックは、設置箇所で樹林化するものの、その影響範囲はその範囲で止まる。

(ii) 影響が長い延長に及ぶ場合

実河川への攪乱境界の目安の適応に当たって問題となるのは、河道延長の長い区間にわたる場合である。具体的には、以下の場合である。

- ・ 洪水調節施設や流域変更の流量の減少については、支川などからある程度の流入量が期待できる地点までの区間で影響が生じる。
- ・ 流域開発による浮遊土砂の増大も、支川などの土砂流入箇所から下流の河道延長にわたって影響が及ぶ。
- ・ 護岸は、水衝部に設置されるため、断続的に全川に配置されている場合が多い。さらに、流下能力が不足する要因にもなっていることから、河道掘削対象区間に当てはまる範囲は、多数あるはずである。よって、攪乱境界の目安の適応に当たっては、護岸の対処方法が最も重要となる。

これらを一覧表で整理すると、攪乱境界の目安の適応の可能性は、適応可能を緑色、整備後の経過時間によって対応が違う場合は黄色、課題がある場合を赤色、そもそも適応外の場合にある場合を紫と、色区分して示すと表のようになる。

表 4-15 河川改修などと攪乱境界の目安の適応の可能性

河川改修など		河道の変化		
		(1) 土砂堆積	(2) 滞筋の固定・河床低下	(3) 攪乱強度の低下
河道 改 変	高水敷整備 (低水路幅の減少)		●低水路内掃流力の増加による滞筋の固定、河床低下	
	川幅拡幅 (平水位掘削)	●川幅の拡幅での掃流力の減少による堆積 ●流心の変化による水裏の発生（一部堆積）	●上流河道拡幅等による土砂供給量の減少（滞筋の固定、河床低下）	
	中・高水敷掘削	●冠水するものの掃流力が小さいことによる堆積		
	河床掘削	●特定の断面だけを大きく掘削すると流下断面が拡大し掃流力の減少による土砂堆積	●縦断的に連続して狭く掘削すると掃流力の増加による滞筋の固定、河床低下	
	直線化・急勾配化	●直線化河道下流の勾配変化点での急激な土砂堆積	●掃流力の増加による滞筋の固定、河床低下	
横断構造物 (ダム・固定堰など)		●固定堰上流河道の勾配緩和による土砂堆積	●固定堰下流河道への土砂供給量の減少による滞筋の固定、河床低下	
洪水調節施設 (ダム・調節池など)		●ダム直下河道（濁水長期化による浮遊砂の堆積）		●下流河道での洪水（河道形成流量）の減少（掃流力の減少）
流域変更 (放水路・分水路など)				●下流本川での洪水（河道形成流量）の減少（掃流力の減少）
河岸 保 護 工	護岸 (但し区間の設定は要確認)	●連続護岸の影響で生じる流速の増大に伴う対岸の流速の相対的低下による土砂堆積	●連続護岸の影響で生じる流速の増大による滞筋の固定、河床低下、低水路内の比高差の増大	
	陸化した根固工			●河床低下に伴う根固工の陸化、ブロックの空隙からの生育（相対的な掃流力の減少）
	積み石・連節ブロック			●積み石・連節ブロックの空隙からの生育（相対的な掃流力の減少）
流域開発		●浮遊土砂量・栄養塩の増大（中小出水での堆積助長）		

適応可能を緑色、整備後の安定状況によって対応が違う場合は黄色、課題がある場合を赤色、
そもそも適応外の場合を紫色で示す

(8) 護岸設置による攪乱境界の目安への影響の評価

- ・ 護岸が設置された区間の影響度合いは、不明な点が多いが、流下能力不足となって河道掘削を必要としている区間の中で、この影響範囲が多いことから、課題の認識と今後の対応が求められる。
- ・ 護岸が配置されると、流速が増大し、対岸で所定の攪乱強度が確保出来ないことが想定される。
- ・ 護岸による影響は、その設置区間にとどまらず、上下流に及ぶ。
- ・ 護岸の影響区間は、平面図と断面図の河道変遷を照らし合わせて範囲を設定する。

護岸が設置された区間の影響の度合いについては不明な点が多いが、流下能力不足となって河道掘削を必要としている区間の中に、この影響範囲が多いことから、知見の蓄積等、今後の対応が必要な箇所である。

また、設置されていても滞筋が寄っていなければ問題ないことから、影響区間の設定についてもそれなりの評価が必要となる。

1) 護岸により流速が増大する状況

護岸沿いに流速が増大し、対岸の流速が相対的に低下することから、攪乱境界の目安の摩擦速度を用いて掘削高さを設定しても、所定の攪乱強度が期待できない。

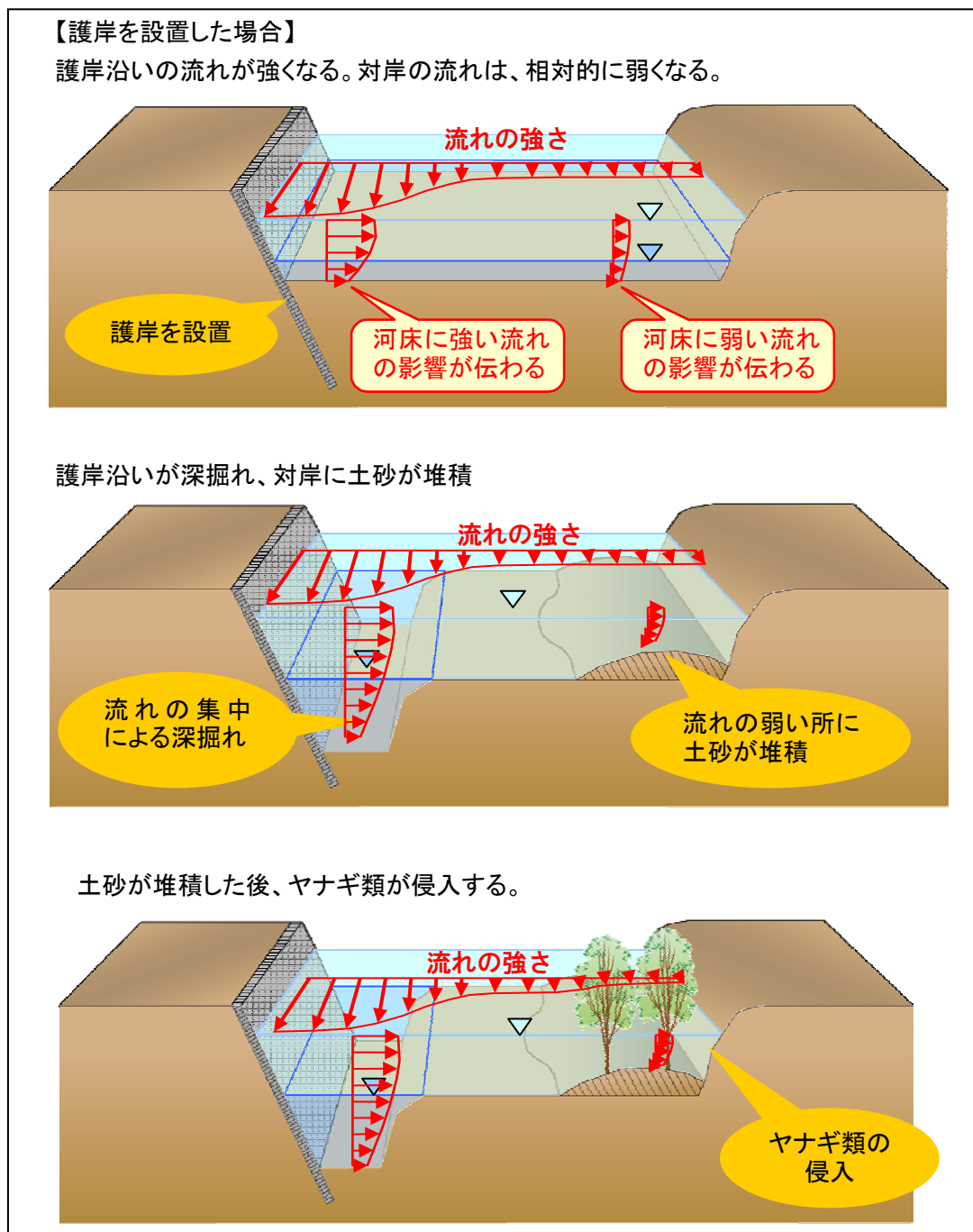


図 4-23 護岸による影響のイメージ図

2) 護岸による影響の上下流への拡大

護岸による流速増大の影響範囲は、その区間にとどまらず、その下流は、流速増大の影響を受け引き続き滞筋の固定と河床低下を引き起こすとともに、その上流は、河床低下の影響で、平常時水位が低下し、砂州の水面からの比高が大きくなり、攪乱力が低下し樹林化しやすくなるといった影響が及ぶ。特に、この箇所が短い延長の中で複数存在する場合は、この影響が連続して発生していることが考えられる。

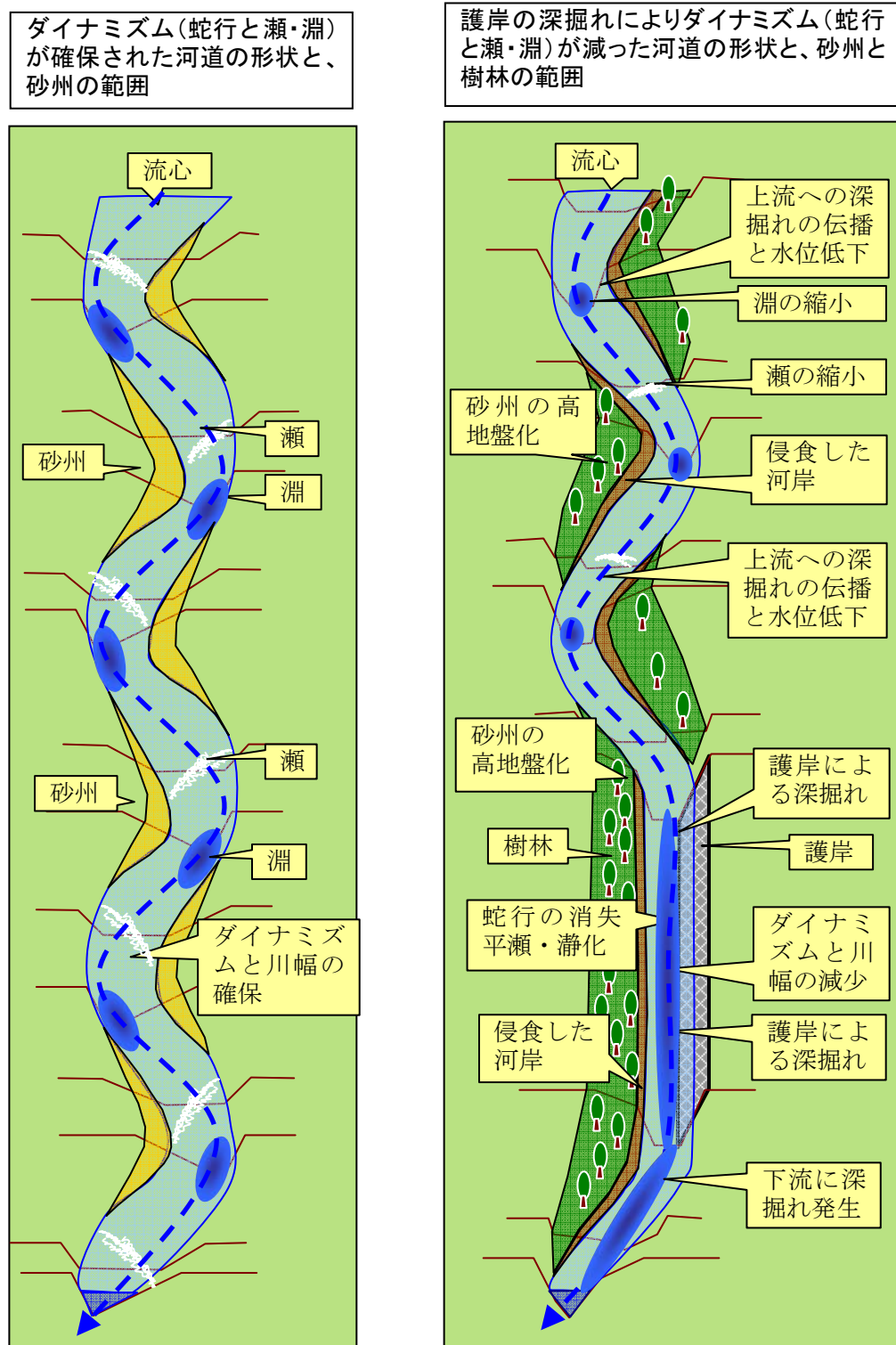


図 4-24 護岸の流速増大に伴う河道の変化のイメージ図(平面・横断)

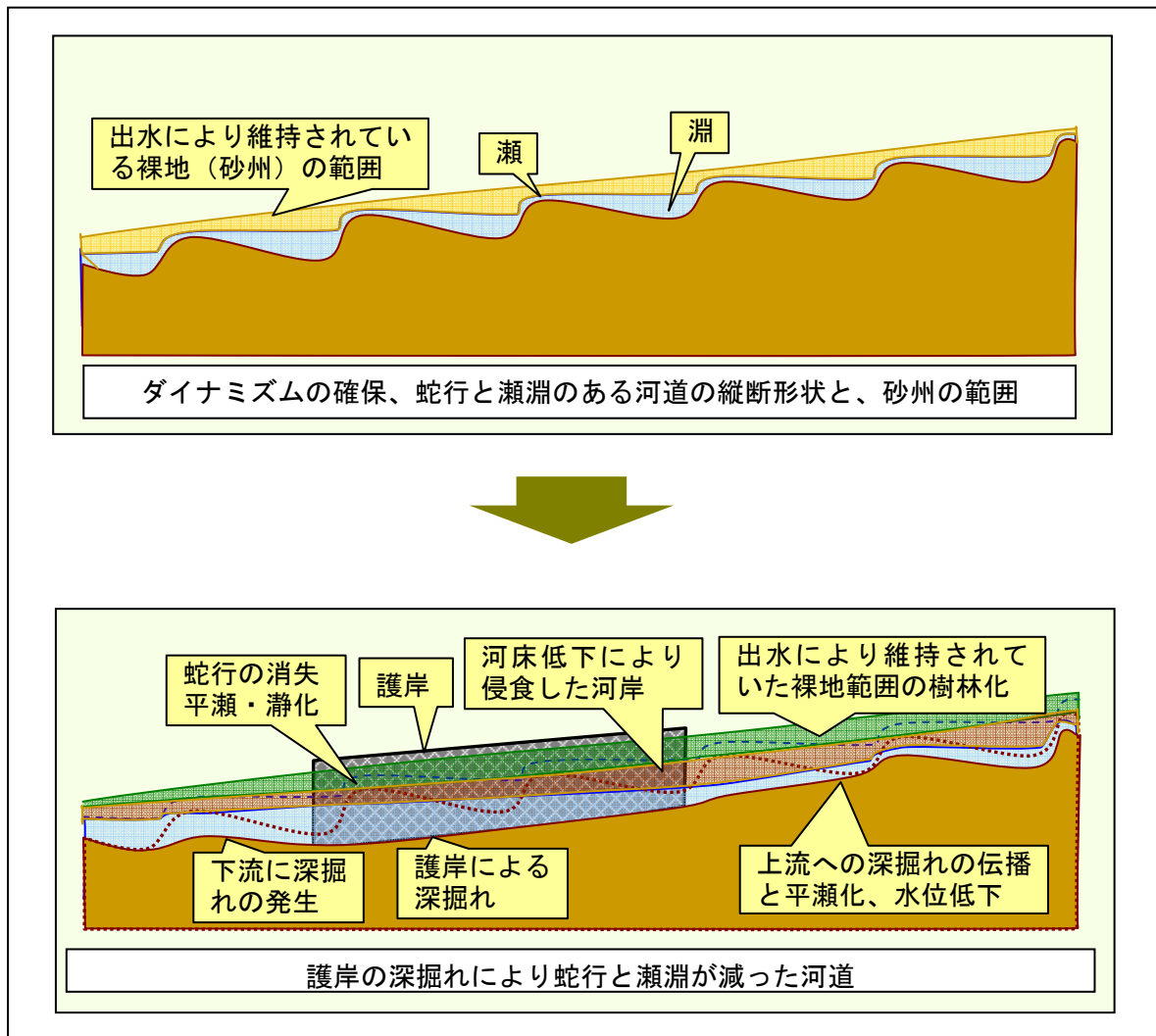


図 4-25 護岸の流速増大に伴う河道の変化のイメージ図(縦断)

水位低下範囲は、深掘れ区間より上・下流に及ぶ

3) 護岸により流速が増大する場合の扱い方

護岸により流速が増大する区間での深掘れ箇所や谷部といった深い河床を持つ断面についても、その摩擦速度をグラフにプロットし、これまでの攪乱境界の目安のラインとの比較を行ったところ、図に示すように、これまでの攪乱境界の目安のラインより大きな値を示すことが明らかとなった。

仮に、この大きな摩擦速度を目安に掘削高を設定することも考えられるが、その場合は、護岸により流速が増大する現象を許容して河道断面を設定することになり、設定できる河道断面全体がより小さい断面を目指すこととなるか、草本や冠水による抑制対策の採用が必要になるなど、不合理な状況が発生する。

よって、現段階では、護岸により流速が増大する区間の取り扱いについては、今後の課題とすることとする。

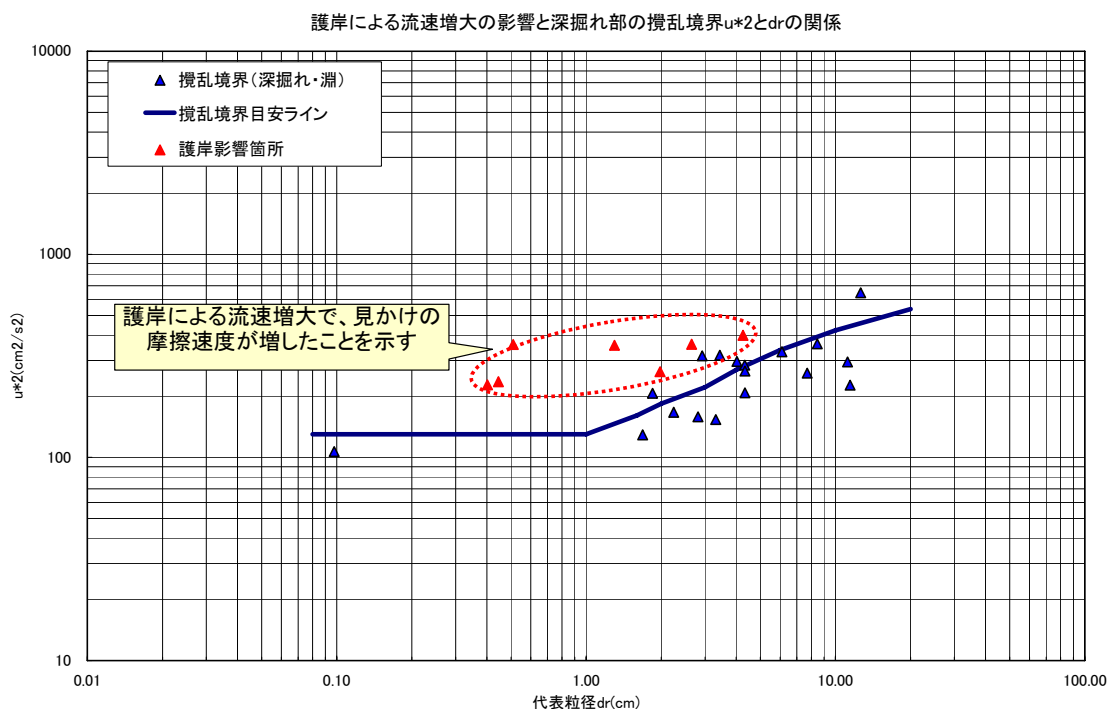


図 4-26 護岸による流速増大箇所と深掘れ箇所の摩擦速度 2 乗の比較

4) 護岸影響区間の設定方法

護岸により流速が増大する区間の抽出方法は、以下の2項目を満たすかどうかで判断することとする。

- ・ 平面図や空中写真を用い、掘削対象区間で、連続して護岸が配置され、その護岸に沿って滞筋が固定されている範囲を抽出する
- ・ 横断変遷図を用い、護岸に沿った滞筋が洗掘傾向か、または対岸が堆積傾向である箇所を抽出する

ちなみに、豊平川での横断変遷図での抽出結果を以下に示す。

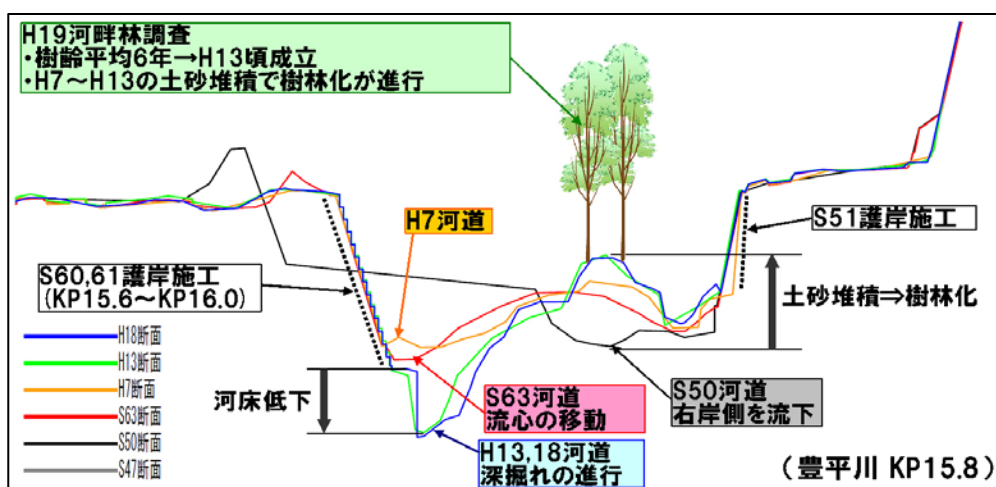


図 4-27 河岸の樹林化要因の例⁶⁾

河道に深掘れが生じ、砂州の冠水頻度の低下によって樹林化が進行した例

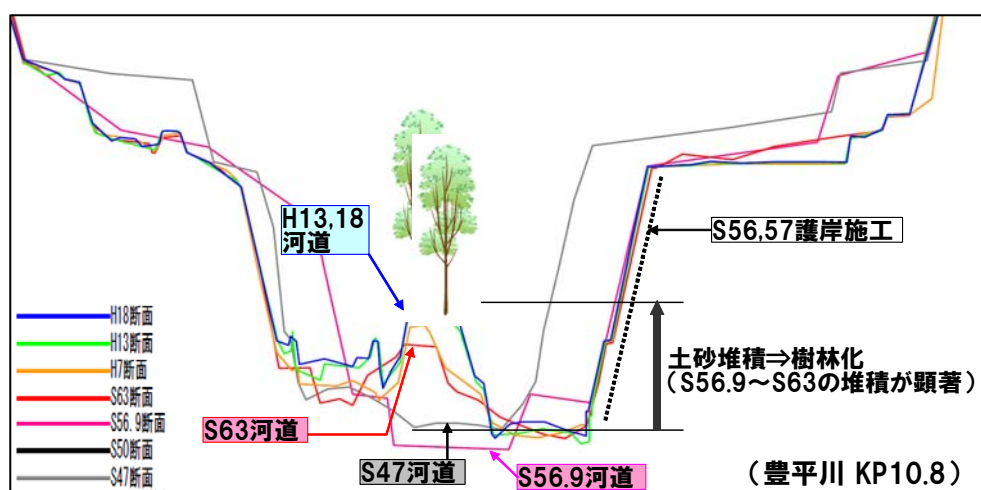


図 4-28 河岸の樹林化要因の例⁶⁾

土砂堆積により砂州の比高が高くなった例。豊平川の河床勾配変化点付近であり、土砂を堆積しやすい河道特性が影響していると考えられる。

● 事例：護岸の流速増大対策としての「木流し」

(i) めざしたもの

標津川の自然復元試験地での人工倒木投入試験の本来の目的は、魚類・底生動物の生息環境の試験であったが、折りしも、護岸の深掘れ箇所の流速軽減を目指していることから、護岸の流速増大対策の目的と合致していた。

副次的に、伝統的な護岸法「木流し」による、護岸沿いの河床洗掘や、水裏の土砂堆積を防止する効果の検証が行われた。

(ii) 具体的手法

直線河道の再蛇行化実験を進めていた標津川（標津町）で、復元した蛇行部分に、岸边から人工的に倒木を投入した。

重さ 800kg の巨大な根株と、高さ 13m の枝付きの針葉樹をワイヤーで結びつけて投入した。伝統的な護岸法「木流し」と呼ばれるやり方に倣ったものである。

(iii) 結果

横断面図が示すように、倒木投入後 1 年（H17.9）で、倒木投入箇所の河床洗掘が止まり、対岸の土砂堆積が減る傾向となった。

(iv) 評価

「木流し工法」は、伝統的な水防の手法であるが、恒久施設ではなく、仮設的であるため、既設護岸に対して早期に効果を期待する場合や、試行的に効果を検証する場合、既に深掘れた洗掘箇所を浅くする効果を期待する場合に有効と考える。



図 4-29 標津川自然復元試験地 倒木投入実験箇所 位置図

2WAY 河道の改変状況

- ・ H14 年 3 月、旧川であった河道を、河床高を現況河道にあわせて掘り下げて通水開始
- ・ H15 年 3 月、SP580～620 の左岸の河岸浸食が進んできたため、袋詰め玉石護岸を設置

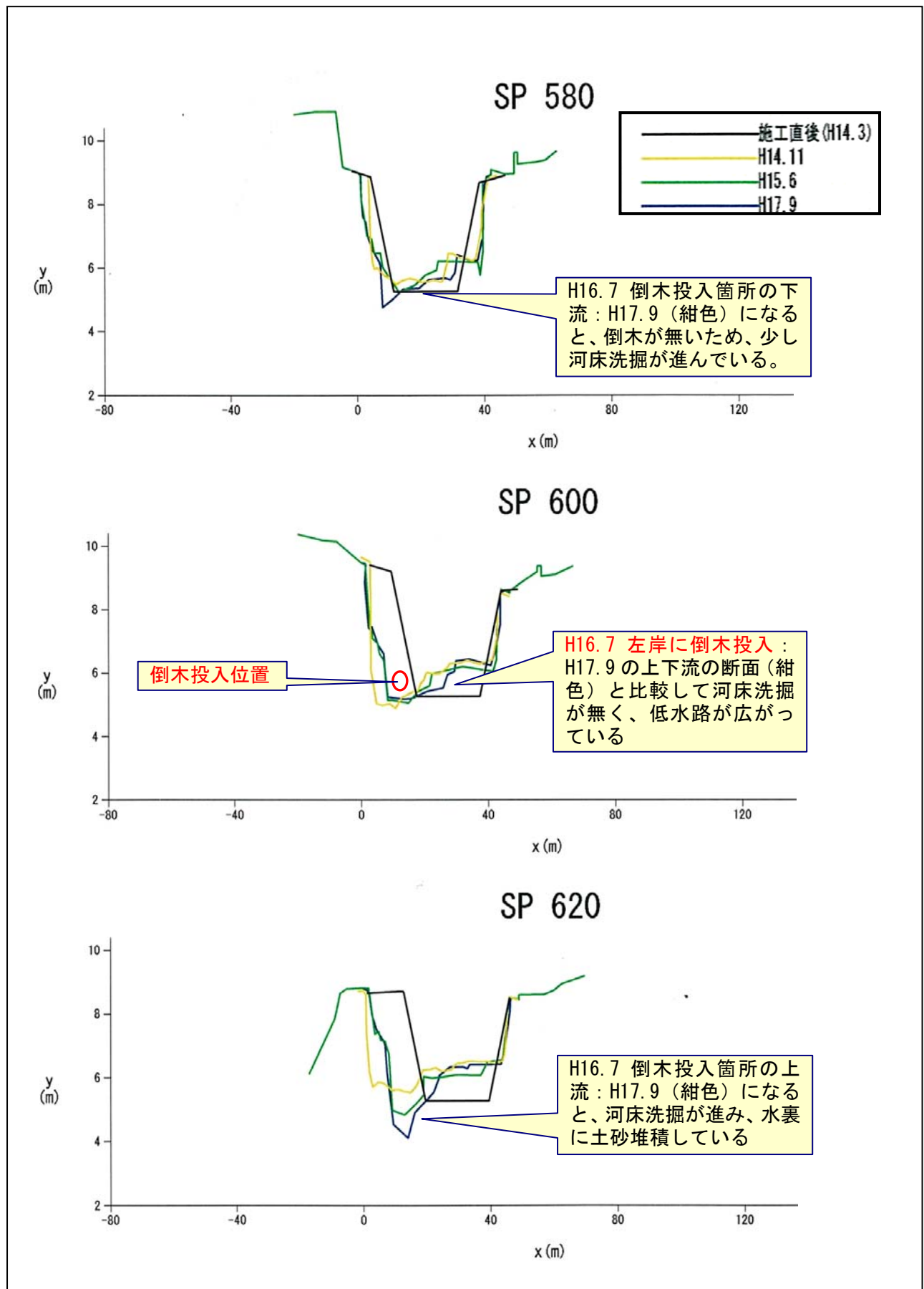


図 4-30 標津川自然復元試験地 倒木投入実験箇所 横断変遷図

4.3.3 攪乱境界の目安を実河川に適応した検討方法

(1) 攪乱境界の目安を用いた現況河道の評価方法

- ・ 攪乱境界の目安の実河川での適応として、攪乱境界目安と平水位高の摩擦速度を比較し、樹林化抑制が困難な範囲を A タイプ、樹林化抑制が可能な範囲を B タイプとして、現況河道での評価を試みた。
- ・ 石狩川下流、豊平川、札内川、鷗川を事例として、攪乱境界目安と平水位高を、摩擦速度の 2 乗で換算したそれぞれのラインを図示した摩擦速度 2 乗の縦断図を作成し、縦断的なタイプ区分を示す。
- ・ 実河川での適応に当たっては、掘削断面を検討する際、平水位高の摩擦速度の値がこれより小さくなること、河道内に整備されている施設や構造物の影響を考慮することが必要となる。

平水位高の摩擦速度と、攪乱境界の目安の摩擦速度の関係を、実河川へ当てはめた場合の適応について以下に示す。

ここでは、実河川の低水路内の平水位高を摩擦速度に換算して縦断図にプロットする。攪乱境界目安の摩擦速度が、平水位高の摩擦速度を包括した形で分布していれば、攪乱境界の適用が可能であり、平水位高の摩擦速度より小さければ、草本や冠水による抑制対策になると判断することが出来る。

(i) 平水位高の摩擦速度の設定

緩勾配の河川では、攪乱境界の目安である摩擦速度を確保できず、平水位から樹木が成立する場合がある。そこで、平均年最大水位と平水位との比高を用いて、平水位地点の摩擦速度を算定する。

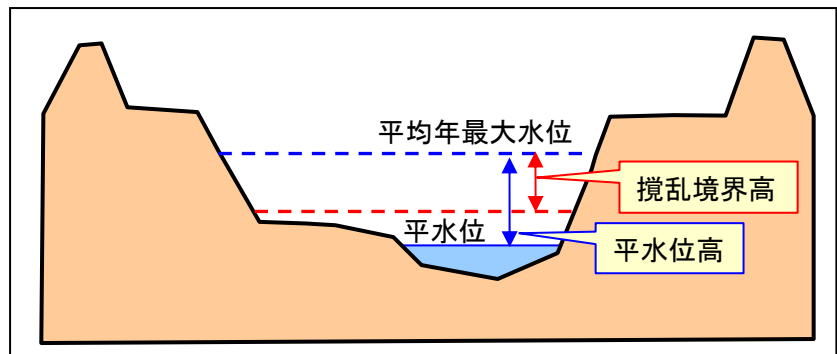


図 4-31 現況断面のイメージ図

(ii) 攪乱境界の目安である摩擦速度の設定

攪乱境界の目安である摩擦速度は、河床材料の代表粒径から決まるため、河床材料の縦断分布に合わせて設定が可能となる。

これら、2 種の摩擦速度のプロット図のイメージを示す。

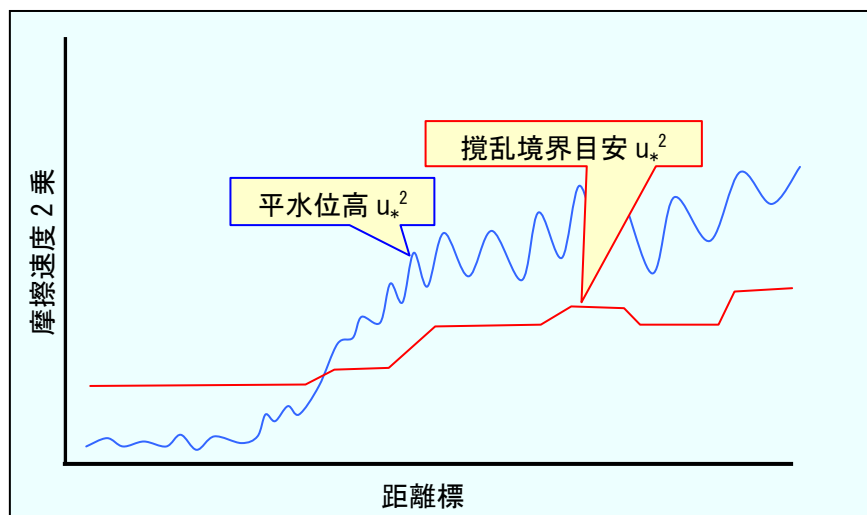


図 4-32 攪乱能力図のイメージ

(iii) 実河川の指標の設定

実河川の現状を把握するため、代表河川について攪乱能力図を作成した。

攪乱能力図では、現況河道における攪乱境界の傾向把握を行うものである。河道掘削を行う場合は、現況より河道断面が大きくなるため、平水位高の摩擦速度がこれより小さくなるので、それらを留意して検討を行うことが必要である。

また、河川改修などの種類によっては、対応が難しい場合もあるので、掘削対象区間の整備状況を踏まえた判断が必要である。

検討対象河川は、石狩川下流、豊平川、札内川、鶴川を示す。

ここでは、以下のタイプ区分で説明を行う。

Aタイプ: 攪乱境界の目安の摩擦速度が、平水位高の摩擦速度より小さいことから、攪乱による樹林化抑制が困難な範囲であり、草本や冠水による抑制対策の適応となる。

Bタイプ: 攪乱境界の目安の摩擦速度が、平水位高の摩擦速度より大きいことから、平水位付近での掘削で、攪乱による樹林化抑制が可能となる。

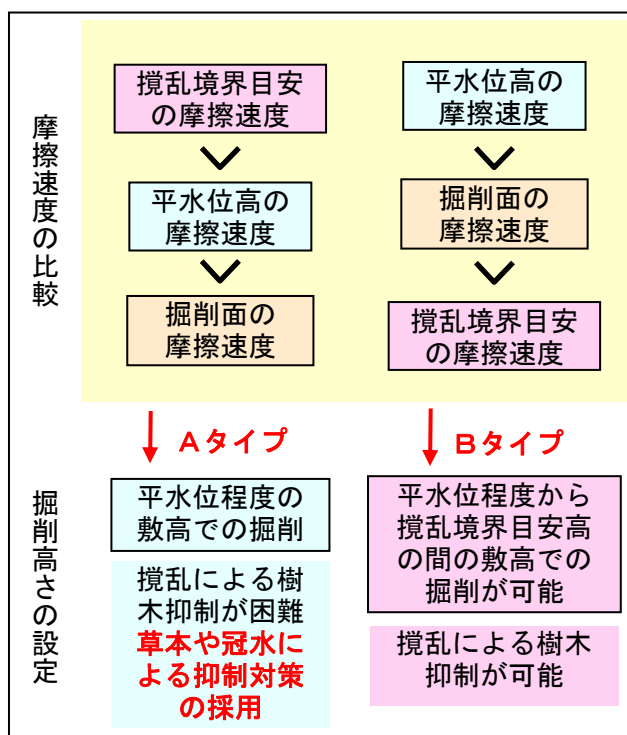


図 4-33 摩擦速度の比較による掘削高

さの設定

なお、平均最大流量流下時の平均断面（平均水深高）における摩擦速度の2乗についても算定し、平水位高の摩擦速度の2乗との比較を行うことで、縦断的な低水路の状況にある程度把握することが出来る。ここでは、以下のような特徴がある。

UP タイプ：セグメント1では、河原が広がる（平水位より上の地形が多い）ことから、平均断面（平均水深高）における摩擦速度が、平水位高の摩擦速度より大きくなる。

DOWN タイプ：逆にセグメント3では、水面が広がる（平水位より下の地形が多い）ことから、平均断面（平均水深高）における摩擦速度が、平水位高の摩擦速度より小さくなる。

よって、同じセグメントであれば、傾向は同じであり、同じ河川でも上流と下流では傾向は変わる。

また、相対的な比較から、以下のような傾向も見られる。

低下傾向：平均断面（平均水深高）における摩擦速度が、平水位高の摩擦速度より大きい場合

堆積傾向：平均断面（平均水深高）における摩擦速度が、平水位高の摩擦速度より小さい場合

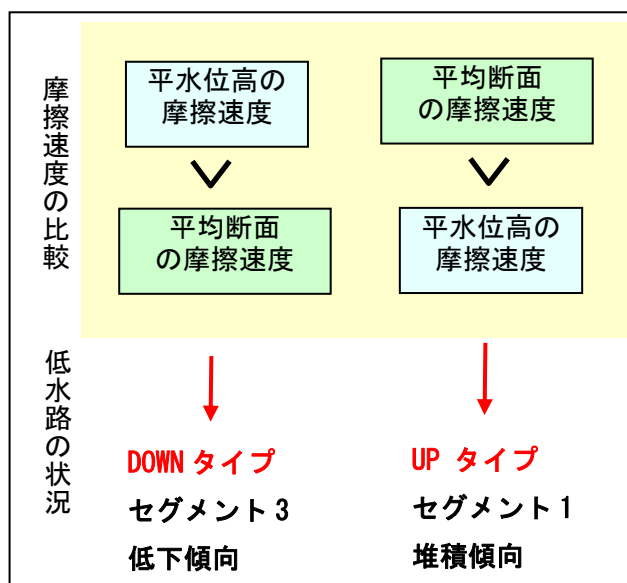


図 4-34 摩擦速度の比較による低水路の状況

(2) 現況河道の攪乱能力図

(i) 石狩川下流

石狩川下流は、KP45 より下流では、**Aタイプ**になることが示される。それより上流では、グラフが交差していることから、場所によって**Aタイプ**と**Bタイプ**が入り乱れている。

石狩下流は、勾配がゆるいので、全体的には基本的に**DOWNタイプ**である。

しかし、平水位のラインが上に尖っている箇所に合わせて平均断面のラインも大きく上がっていることから、この地点は滞筋固定・河床低下が生じている地点を示す。

石狩下流は、整備計画で河道掘削が必要となる区間があるが、下流や中流では、攪乱境界の目安を用いることは難しいため、草本や冠水による抑制対策を用いることとなるであろう。KP120 より上流の河道掘削区間は、滞筋固定・河床低下区間と一致するため、これらの対策が重要である。

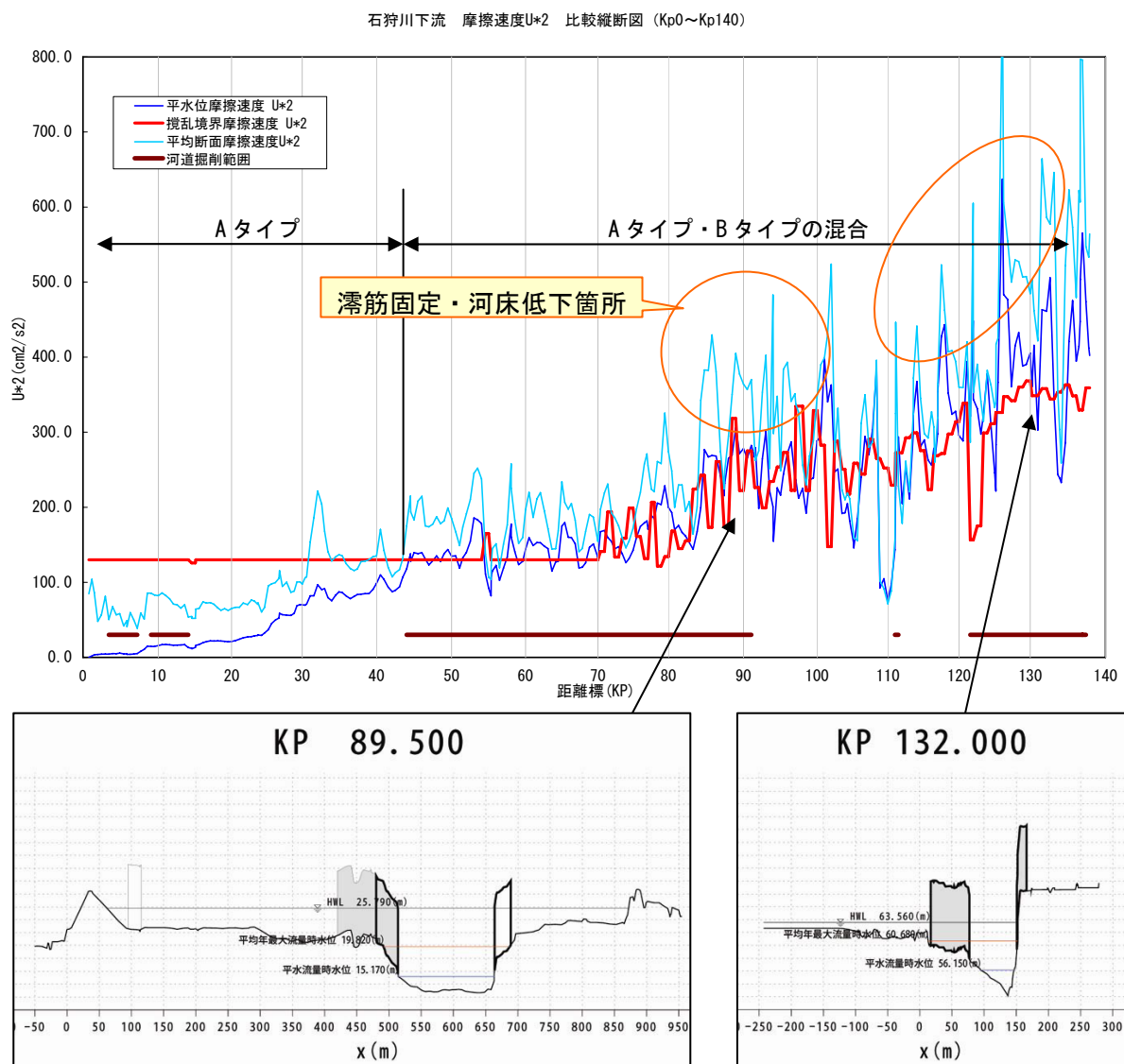


図 4-35 石狩川下流の攪乱能力図

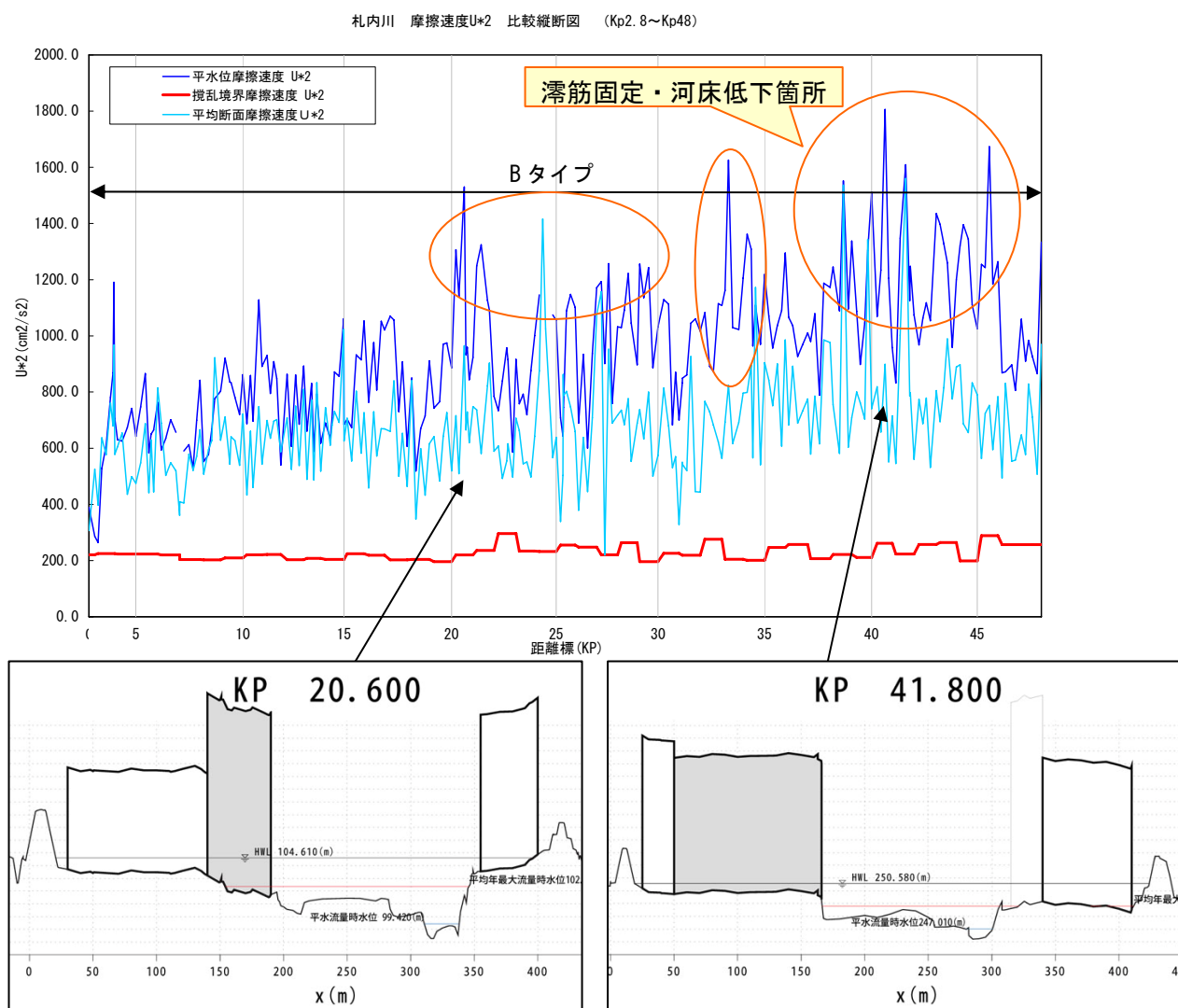
(ii) 札内川

札内川は、下流から全川に亘って **Bタイプ** になることが示された。

札内川は、勾配が急なので、全体的には基本的に **UPタイプ** である。

部分的には、平水位のラインが上に尖っている箇所は滞筋固定・河床低下が生じている地点を示す。特に KP40 付近は、平水位のラインが上に尖っている箇所に合わせて平均断面のラインも大きく上がっていることから、著しい局所洗掘区間となっていることを示している。

札内川は、他の河川と比べ、堤々間が広く確保されているので、整備計画で、河積不足の箇所は無い。



(iii) 鵜川

鵜川は、河口付近はAタイプであるが、それ以外はBタイプになることが示された。

鵜川は、中程度の勾配であるため、全体としては、平水位のラインと平均断面のラインがほぼ重なる傾向にある。

部分的には、平水位のラインが上に尖っている箇所は滞筋固定・河床低下が生じている地点を示す。特に、KP8～18 付近、KP25～40 付近は、平水位のラインが上に尖っている箇所に合わせて平均断面のラインも大きく上がっていることから、著しい局所洗掘区間となっていることを示している。

特に、鵜川では、整備計画の河道掘削区間と滞筋固定・河床低下区間がほぼ一致することから、これらの対策が重要となる。

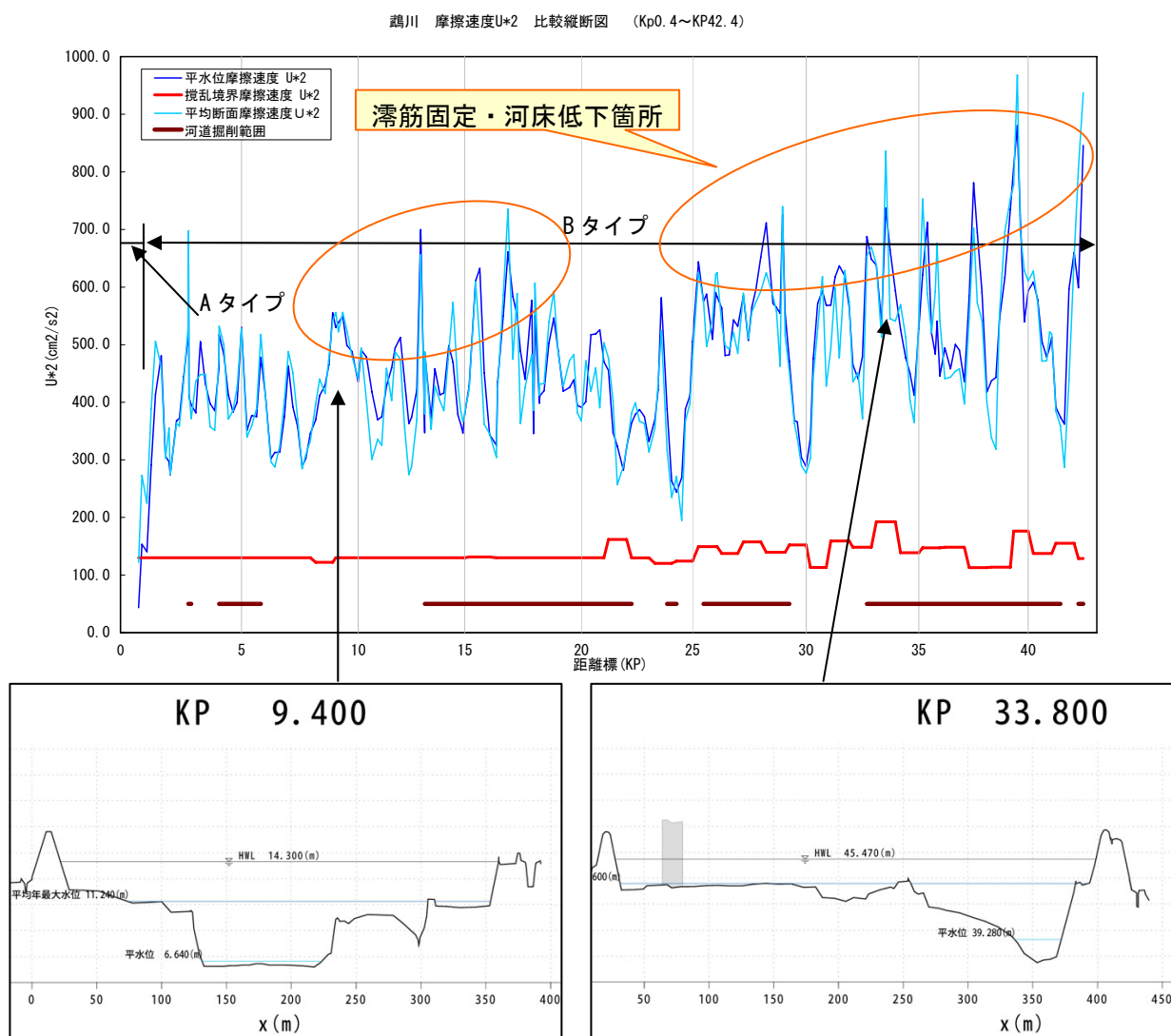


図 4-37 鵜川の攪乱能力図

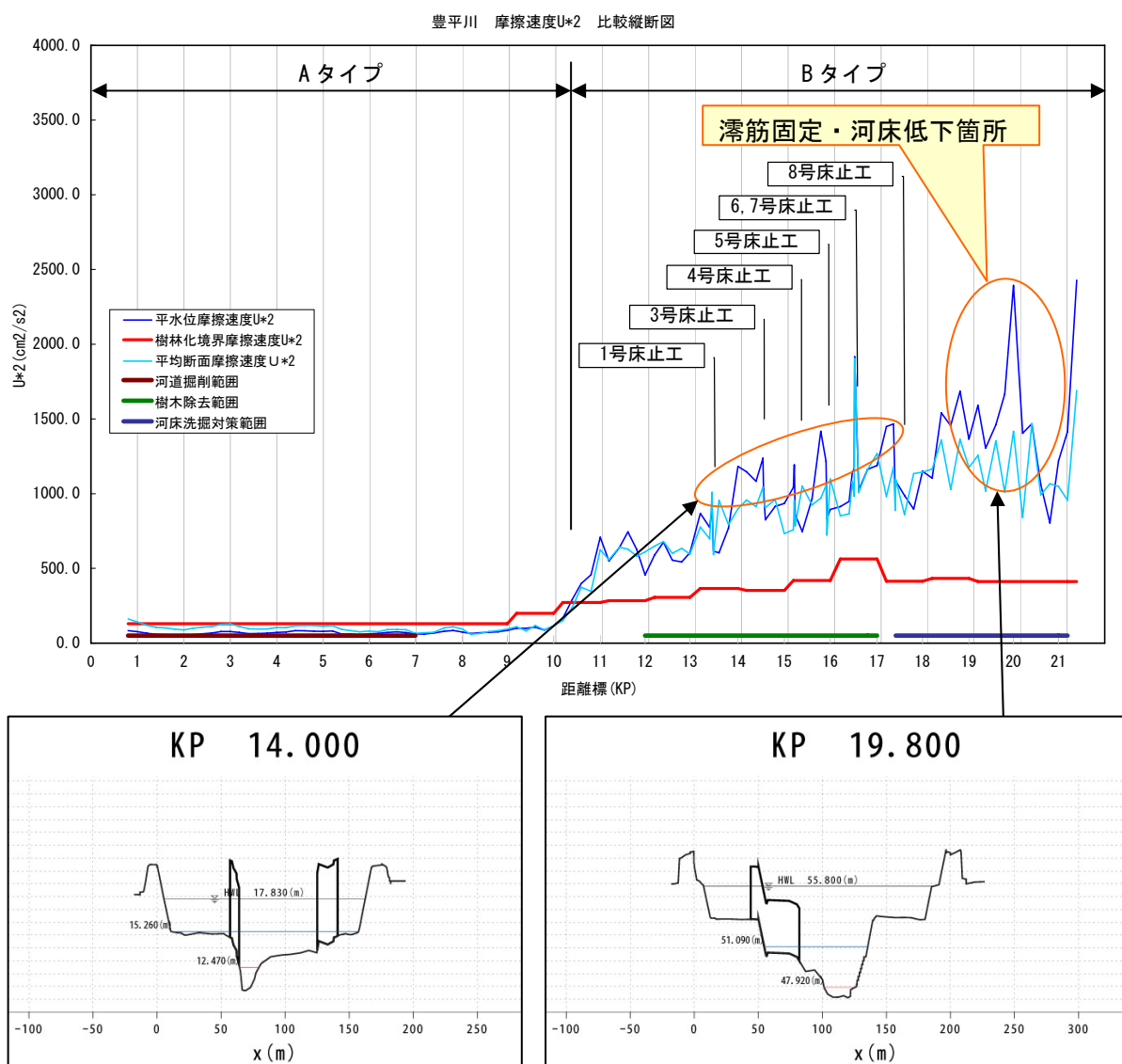
(iv) 豊平川

豊平川は、KP10 程度までは **A タイプ** であるが、それより上流は **B タイプ** になることが示された。

豊平川は、KP10 付近から上流は勾配が急なので、全体的には基本的に **UP タイプ** のはずである。しかし、KP13～17 付近の複数の床止工の間で、ラインが交差しており、著しい局所洗掘箇所であることを示している。

部分的には、平水位のラインが上に尖っている箇所は滞筋固定・河床低下が生じている地点を示す。KP18～20 付近で滞筋固定・河床低下が生じてことを示している。

豊平川の整備計画で示している樹木除去とは低水路内の樹木を指している。これと河床洗掘対策範囲をあわせると、滞筋固定・河床低下区間とほぼ一致ことから、これらの対策が望まれる。



(3) 河川改修箇所における攪乱境界の目安による評価の事例（豊平川）

- ・ 豊平川の事例では、河川改修などの影響は、直線化した河道の下流での勾配変化区間や、複数ある床止工周辺、陸化した根固工、護岸の流速の増大があげられる。
- ・ 攪乱境界目安と平水位高を、摩擦速度の 2 乗で換算したそれぞれのラインをプロットした摩擦速度 2 乗の縦断図を示し、河川改修など箇所毎に適応性を説明した。

豊平川を例に、河川改修箇所などを評価するために、樹林化境界目安の摩擦速度の縦断図を作成し、検討した事例を示す。

摩擦速度 (u_*^2) の縦断図には、摩擦速度の目安として、樹林化境界摩擦速度 (u_*^2) に加え、平水位高を摩擦速度 (u_*^2) で表したラインを併記した。豊平川では、露出した根固工に樹林が成立している箇所があり、これを根固工樹木として図中に示す。

河川改修などの影響で着目すべき点は、以下の 4 点があげられる。

- ・ 直線化河道下流の勾配変化区間
- ・ 複数ある床止工周辺
- ・ 河床低下による根固工の陸化と、根固工による樹林化
- ・ 護岸に沿った流速の増大による対岸の砂州の攪乱力の低下

① 直線化河道下流の勾配変化区間

KP10～KP11 付近は、平水位高の摩擦速度 (u_*^2) のラインが大きく増加しているように、勾配変化区間に当たり、土砂堆積が著しく、河道掘削を行うと再度堆積する傾向が強い。

② 複数ある床止工周辺

床止工が 7 基あり、その周辺で、勾配変化が大きく平水位高の摩擦速度 (u_*^2) のラインが大きく変動している。また、6, 7 号床止工周辺で、樹林化境界摩擦速度 (u_*^2) がその上流より大きな値となっていることから、河床材料もより粗粒化していることを示している。よって、この周辺での評価は難しい。

③ 河床低下による根固工の陸化と、根固工による樹林化

床止工の下流は、河床低下傾向にある。この傾向は、3号、5号、8号床止工の下流で顕著である。河床低下により平水位も下がり、相対的に根固工の位置が高くなり、河床低下区間では「根固め樹木」のプロットが平水位より下がる傾向となる。

平水位を摩擦速度 (u_*^2) で表したラインは、6箇所ある床止工の前後で大きく変化しているものの、極めて大きな摩擦速度となっており、本来であれば、平水位付近では、樹木は成立し得ないはずである。しかしながら、根固工から樹木が生育している「根固工樹木」のプロットは、この平水位のラインに近接して分布しているものが見られ、ヤナギ林の根が根固工に防護されていることで、河道の攪乱力に影響を受けずに成立していることがうかがい知れる。

また、そこでの樹林化が土砂を捕捉し流下阻害となり、更なる河床低下を助長するなど悪影響を及ぼしている。



写真 4-4 根固工が露出して樹林化が進行

④ 護岸に沿った流速の増大による対岸の砂州の攪乱力の低下

影響区間を検討した結果、図 4-39 に示した範囲が抽出された。

豊平川も護岸に沿った流速の増大による対岸の砂州の攪乱力の低下が生じているものと考えられる。



写真 4-5 流速の増大により攪乱力が低下し樹林化が進行したと考えられる河道

⑤ 根固工の対応方針

豊平川は、床止工群はあるものの、その間で河床低下が進行しており、根固工が平水位より上に露出する箇所が多く、そこでの樹林化が土砂を捕捉し流下阻害となり、更なる河床低下を助長するなど悪影響を及ぼしている。ヤナギ林の根が根固工に防護されていることで、河道の攪乱力に影響を受けずに成立していることから、攪乱力が上がっても効果が期待できない要因となっており、慢性的な樹林化が問題となる。

対策としては、護岸の改修と合わせた根固工の再配置が考えられる。

⑥ 護岸に沿った流速増大の対応方針

護岸に沿った流速の増大により、対岸の砂州の攪乱力の低下が生じる区間については、そのままの状態、評価することは課題がある。

このまま、平水位程度で掘削するのであれば、一見問題なさそうであるが、河道断面が拡大することによる摩擦速度の低下が生じる点と、図 4-38 中にプロットしたように、攪乱境界の目安より大きな摩擦速度が必要となることから、そのままの適応は問題が多い。

河床整形（樹木伐採と砂州マウンドの掘削）と合わせて、護岸に沿った流速の増大を改善することが望ましい。これに対しては、今後、対応策の検討が必要である。

豊平川 摩擦速度 U_*^2 比較縦断面図

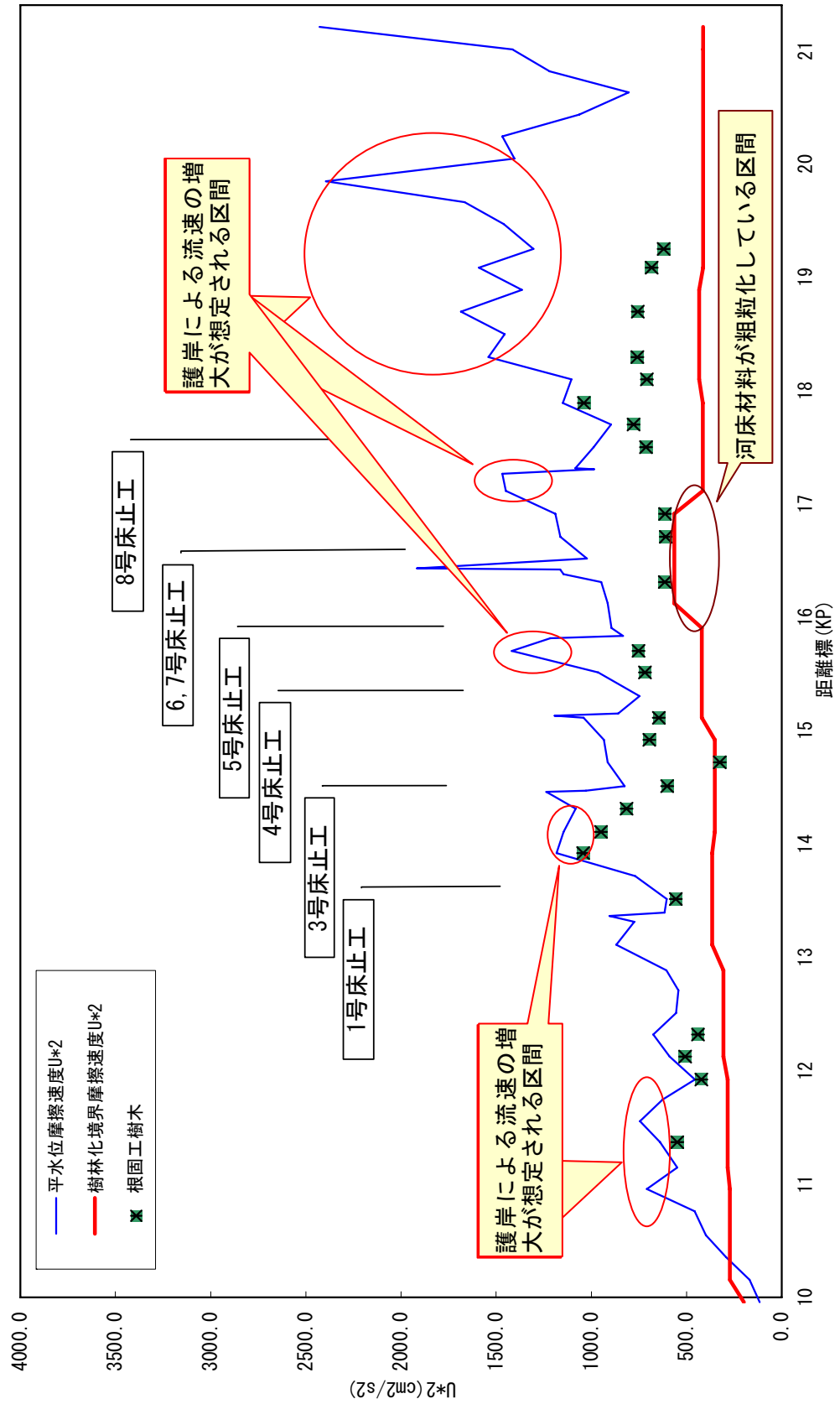


図 4-39 豊平川 摩擦速度 u_*^2 比較縦断面図

4.3.4 河川改修と樹林化抑制とあわせた今後の対応策

(1) 今後のガイドラインの目標

河川改修に際して、樹林化抑制とあわせて、可能な限り、以下の目標を目指すこととする。

表 4-16 今後のガイドラインの目標

	目標		概要・内容
方針	樹木抑制と土砂管理と多自然川づくりとの融合		河道内の土砂管理（河道の滞筋化・河床低下・土砂堆積・ダム等の出水頻度の減少）の対策、多自然川づくり（瀬淵のある魚類生息環境、砂州・河原・草河原の復元、水辺の多様性）の対策について考慮する。
具体的な目標	河道内の土砂管理として、河道の滞筋化・河床低下・土砂堆積・ダム等の出水頻度の減少の対策		基本的に上・下流の土砂移動の動的平衡を改善し、河床低下や土砂堆積を軽減 ・ 固定堰の可動堰化や敷設砂礫 ・ 護岸に沿った連続した滞筋の深掘れ対策 ・ 適正な低水路幅の設定による高水敷幅の見直し ・ ダムによる年最大規模の出水放流
	多自然川づくり	瀬淵のある魚類生息環境	・ 滞筋に沿った深掘れが進行し、瀬・淵が減少しているのに対し、瀬・淵の復元を図る。 ・ 連続した護岸に沿った滞筋によって蛇行長が長すぎる場合は、適正な蛇行長になるよう流れを是正する。
		砂州・河原・草河原といった水辺の多様性	・ 滞筋の固定化や低水路内の樹林化を排除し、本来の交互砂州が発生する川幅に戻し、砂州・河原・草河原を復元する。 ・ 陸域と水域の連続性や水辺の多様性が復元する。

(2) ガイドラインの対応レベルの設定及び現状と今後の方向性

河道断面設定を行うに当たり、今回のガイドラインによって、攪乱境界のチェック方法が明らかとなったこと、攪乱強度が確保されない場合の対処方法として草本や冠水による抑制対策を示したことで、樹林化抑制に対し、レベル1の段階からレベル3の段階までステップアップが図られた。

今後の方向性としては、本来の河道の持つ攪乱強度を有効に活用し、より、治水面・環境面に優れた断面設定が出来るよう、レベル4を目指し、対策を行っていくことが望まれる。

表 4-17 ガイドラインの対応レベルの設定

	対応方針	対応策	特徴
レベル 1 従来 (無対策)	樹林化は問題だが、河道掘削後にどのように樹林化してくるかは、不明。	- 無対策 - 整備計画河道にのつとった河道掘削を行う。	- 整備計画にのつとり肅々と河道掘削ができる。 - 低水路内の樹林化予測や抑制策は含まれておらず、樹林化や土砂堆積が予想できない。 - 流下能力を確保するため、想定外の樹林化土砂堆積に対し維持管理する必要がある。
レベル 2 攪乱境界の チェックと 注意喚起	河道掘削後に樹林化するかどうかを予測し、今後維持管理が必要な範囲を把握したい。	河道掘削後の断面における攪乱境界値を示す。	- 整備計画にのつとり肅々と河道掘削ができる。 - 基準以下の場合は、樹林化予測はできるものの、改善策が示されないので樹林抑制は困難。 - 流下能力を確保するため、樹林化範囲を想定して維持管理することとなる。
レベル 3 攪乱境界の チェックと 対処的対策	- 河道掘削後に樹林化するかどうかを予測し、今後維持管理が必要な範囲を把握したい。 - 簡易的にできる草本や冠水による抑制対策を把握したい	- 河道掘削時に樹林化を評価できる基準値を示す。 - 基準値以下の場合の草本や冠水による抑制対策（ワンド案、仮設土堤案など）を示す。	- 草本や冠水による抑制対策といえども、整備計画との整合や、地域との調整にコストや時間がかかる。 - 流下能力を確保するための草本や冠水による抑制対策により初期の樹林化スピードが抑えられるが、土砂が堆積した時点で初期状態へ戻す維持管理が必要となる。 - 所定の維持管理を怠ると樹林化が進行する。
レベル 4 攪乱境界の チェックと 抜本的対策	- 現況河道で、なぜ樹林化しているかを把握し、現況河道の抱える課題を把握したい。 - 河道掘削後に樹林化するかどうかを予測し、今後維持管理が必要な範囲を把握したい。 - 現況河道および河道掘削後の課題解決方法を把握したい。 - 簡易的にできる草本や冠水による抑制対策を把握したい。	- 現況河道の樹林化を評価できる基準値を示す。 - 河道掘削時に樹林化を評価できる基準値を示す。 - 基準以下の場合、河道の攪乱力を改善させる抜本的対策（①河岸の深掘れ対策、②川幅の適正化、③土砂諫止を伴う横断構造物の改善、④ダム等の出水改善など）を示す。 - 基準値以下の場合の草本や冠水による抑制対策（ワンド案、仮設土堤案など）を示す。	- 新たな対策となるため、整備計画との整合や、地域との調整にコストや時間がかかる。 - 樹木抑制により長期的に流下能力が確保される。継続的な維持管理が軽減される。 - 健全な土砂管理、蛇行や瀬淵といった多様性のある河道が形成される。 - 当面の草本や冠水による抑制対策も対応できる。

(3) 今後の対処方針

樹林化要因を区分し、管理目標値、対処方針の設定を行うことが出来ることが望ましい。

- ① 流量の改変度合い：ダム等による出水流量の低減度合い
- ② 土砂バランス度合い：土砂移送量のアンバランス度合い
- ③ 流れの平準化度合い：河道断面内での深掘れの発生度合い
- ④ 攪乱による樹林化抑制度合い：低水路内の樹林化度合い

樹林化抑制の予防策

予防策としては、低水路内全体の河床砂礫の移動を確保するため、攪乱力のある出水と安定した土砂移送、出水時の流下断面内の流れの平準化がポイントである。

深掘れ等による堆積の発生・発達の防止が目標となり、そのための攪乱機能低下防止・回復を目的に、

- ① 攪乱力のある流量：攪乱を促す目的での、ダムからの出水放流の確保
- ② 安定した土砂移動：河床低下を抑える目的での、土砂供給（給砂、敷設砂礫）など、動的不均衡の是正
- ③ 断面内の平準化した流れ：深掘れの誘導による土砂堆積を抑える目的での、構造物や河道形状の改善による断面内の流れの平準化が基本となる

表 4-18 要因別の今後の対応方針

要因区分		要因	対応方針
河道	川幅拡幅 (平水位掘削)	- 川幅の拡幅による土砂移送量の減少 - 流心の変化による水裏の発生(一部堆積) - 上流河道拡幅等による土砂供給量の減少(一部河床低下)	- 適正な川幅の設定 - 水裏の発生抑制 - 拡幅河道内での土砂バランス調整
	中・高水敷掘削	- 施策による土砂移送量の変化(一部堆積又は河床低下) - 施策上下流での土砂移送量の変化	- 適正な施策規模の設定 - 施策河道内での土砂バランス調整
	高水敷整備		
	河床掘削		
	直線化・急勾配化		
横断構造物 (ダム・固定堰など)		- 上流固定堰等による土砂供給量の減少(一部堆積) - 下流固定堰等による土砂移送量の減少(一部河床低下)	堰等の上下流での土砂バランス調整
洪水調節施設 ・ 流域変更 (ダム・分水路など)		ダム等の洪水制御や、分水路等の流路切替えによる河道形成流量の減少(掃流力の減少)	洪水放流施設・流量の見直し
護岸		連続護岸による低水路比高差の増大	護岸に沿う流れの制御
根固工		河床低下に伴う根固工の露出・陸化(掃流力の減少)	陸化した根固工の撤去と再配置
積み石		河岸の積み石・ブロック、空積み護岸(相対的な掃流力の減少)	空隙のある大きな河床材の撤去
流域開発		流域開発に伴う浮遊土砂量・栄養塩の増大(中小出水での堆積助長)	流域対策による流出抑制
洪水調節池 (ダムなど)		ダム直下河道(濁水長期化による堆積)	- 流域対策による流出抑制 - 濁水層を避ける

【参考文献・出典】

- 1) 近畿地方建設局 護岸近自然工法研究会（1993）多自然型護岸工法 ガイドライン(案) 【低水護岸編】
- 2) 北海道開発局河川工事課（2010）河川工事設計施工要領 第1編第6章 土工.
- 3) 亀山章・三沢彰・近藤三雄・興水肇 編集（1989）最先端の緑化技術. ソフトサイエンス社, 東京.
- 4) 小倉紀雄・山本晃一（2005）自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系, 技報堂出版, 東京.
- 5) 国土技術研究センター 編（2002）河道計画検討の手引き. 山海堂, 東京.
- 6) 石狩川開発建設部（2007）平成19年度 水辺域・水辺林管理計画検討業務報告書

5. 河道内樹林の維持管理

ガイドラインの3章及び4章で解説した樹林化抑制対策を十分に実施したとしても、河道内樹林化を完全に抑制することは困難であるばかりでなく、過度な抑制は河川環境の形成上必要とされる水辺の河畔林としての機能が失われ、新たな問題が生じるものと思われる。

そこで本章では、既に河道内に形成された樹林の維持管理について解説する。

はじめに、5.1において、一般的な樹木伐採方法や管理方法について整理し、各種方法のヤナギ類に対する樹林化抑制効果について解説する。

また、5.2において、ヤナギ類以外の樹種の内、特定外来生物のハリエンジュに着目して管理方法について解説する。

次に、5.3において、現状で樹林化している箇所に対し計画的な管理を実施するため、「林分構造予測図」を提示し、その活用方法について解説する。

さらに、5.4においては、ヤナギ類の河畔林としての有益な機能についてふれ、河道内樹木を必ずしも伐採や駆除の対象と捉えるだけではなく、多様性ある河畔植生創出のために活用する方法について解説する。

5.1 ヤナギ林の管理方法
5.2 ヤナギ類以外の樹種（外来種）の管理方法
5.3 林分構造の変化予測と活用方法
5.4 多様性ある河畔植生創出方法

5.1 ヤナギ林の管理方法

河道内において既に形成された樹木に対する管理を行うため、一般的な樹木伐採方法や管理方法について整理し、各種方法のヤナギ類に対する樹林化抑制効果について解説する。

5.1.1 土地活用による樹林化抑制

樹木の伐採後には、周辺の土地利用等を勘案し、採草地、雪堆積場として活用することは確実な樹林化抑制となる。これは高水敷掘削後でも有効である。

樹木の伐採跡地を、周辺の土地利用状況を勘案して採草地、雪堆積場として活用することにより、効果的な樹林化抑制につながる。

- ① 採草地：高水敷が採草地として占有されているところも多い。採草地としての活用は、周辺の酪農家と連携して年2回程度の定期的な刈り込みが期待できる。
- ② 雪堆積場：雪堆積場も牧草地と同様、無立木地となる。道路管理者、地方自治体と連携して雪堆積場として位置づけることは、有効な樹林化抑制策となる。ただし、融雪時における重機の雪山掘削等により、植生が再生し難く裸地状態になる場合もある。

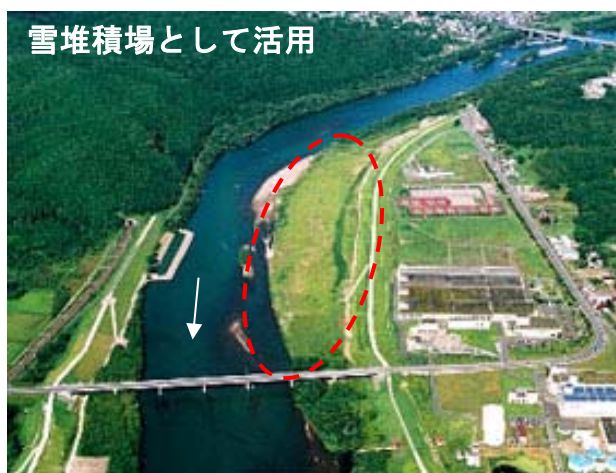


写真 5-1 採草地として利用した例(上)、雪堆積場として利用した例(下)
上：天塩川 KP113 付近より上流 下：石狩川 KP151 付近より上流

5.1.2 ヤナギ林の伐採・管理方法

ヤナギ類は、伐採後の萌芽再生が旺盛であり、伐採前の状態に戻りやすい。このような特性を考慮し、既に樹林化した箇所におけるヤナギ類の伐採方法について解説する。

(1) ヤナギ類の萌芽再生

ヤナギ類は萌芽による再生が旺盛であるため、切り株を残した状態で伐採しても枯れることなく数ヵ月後には再生する。この特性を考慮に入れた伐採・管理を行う必要がある。

ヤナギ類の萌芽再生が旺盛なことは広く知られている。下の写真に示すように、切り株を残した状態で伐採しても枯れることなく切り株から萌芽が発生し、約5ヶ月後には元のよう

に再生する。そのため、切り株を残した状態で伐採するだけでは不十分で、さらに他の手法と組み合わせた伐採・管理を行うことが必要と考えられる。

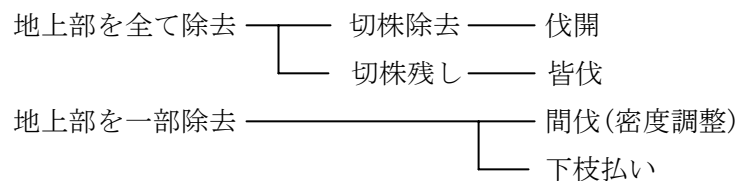


写真 5-2 切り株を残した状態での伐採後1成長期での萌芽再生の様子
(天塩川 2008年5月から2008年10月までの5ヶ月間での比較)

(2) 樹木伐採の種類

樹木伐採は、地上部を全て除去する方法（伐開、皆伐）、地上部を一部除去する方法（間伐、下枝払い）があり、適用の際には現地の大径木の分布、樹林構造の状況等も考慮する。

樹木伐採は、ヤナギ林の管理方法として従前より実施されており、地上部を全て除去する伐開、皆伐、地上部を一部除去する間伐(密度調整)、下枝払いがあげられる。これらの適用は、流下能力のほかにも、調査段階で把握される大径木分布、樹林構造等も考慮して検討する。



②伐開(抜根)

セグメント2の土壌が発達するところでは樹木の成長が助長される傾向であったことから、伐開時には枝、根等から萌芽成長しないよう、しっかりと樹木を除去する(とくにセグメント2)。

③皆伐

切り株を残したままの状態では萌芽再生することは既に述べたとおりである。萌芽再生の抑制には、後述するような工夫が有効と思われる。

④間伐(密度調整)

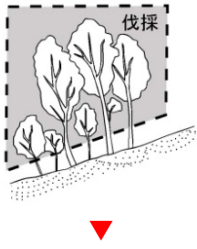
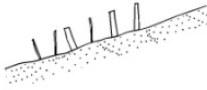
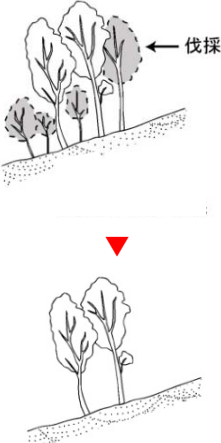
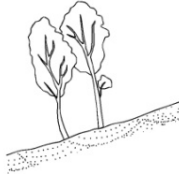
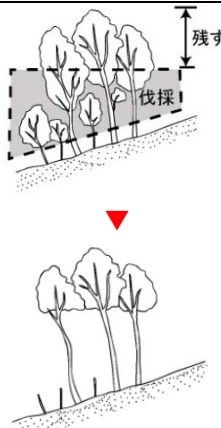
間伐は、伐開、皆伐よりも環境変化が少ないことから、極力採用したい伐採方法である。しかし、密度調整は流下能力と整合を図ることが難しいのが現状である。例えば、現状の流下能力評価は、樹木群を死水域(密な状態、疎らな状態)として扱っていることから、間伐率、下枝払いの目標値を定めることが困難となる。ただし、極めて強度な間伐は、洪水疎通能力の改善度は大きい、風雪に対して不安定な樹木ともなるので留意する。

⑤下枝払い

H.W.L までの枝を除去する。下枝の高さは、光環境とも関連し、林内のような暗い光環境では枝が枯れ上がるため高くなるが、孤立し光環境が改善されると低くなる。強度な間伐は枝下高に影響する。また、下枝払いについては、針葉樹では枝払い後の再生は少ないが、広葉樹、とくにヤナギ類では光環境によっても異なり、さらに成長段階に応じて異なる予想される。このように、下枝については不明なことが多い。

ヤナギ林の伐採・管理方法について表 5-1 に整理した。

表 5-1 ヤナギ林の伐採・管理方法

区分	細区分	解 説	模式図	事例写真(尻別川)
皆伐	伐開 (伐採+抜根)	抜根後の裸地では早期に草本植生を再生しヤナギ類の定着を抑制する。樹種(ハリエンジュ、ドロノキ)によっては根萌芽での再生もあるため極力根系を残さない。		
	伐採のみ	萌芽抑制は、樹皮剥皮、根元伐採、活動期伐採、多回伐採、薬剤塗布等が有効で、これらの組み合わせが効果的である。		
間伐	林冠の連続する状況の間伐	環境、景観の改変が小さい。群落高、密度の関係を活用し、対象樹林の発達状況を確認し間伐の程度を設定する。切株上方は枝葉で覆われ萌芽が抑制されるが伐採木に対しては上記皆伐を参考に実施する。		
	林冠が疎開する状況の間伐	伐採樹木については、上記の皆伐と同様である。		
枝払い	—	HWL までの枝払いとなるが若齢林は可塑性が大きく下枝再生が旺盛である。樹高の高い発達した樹林であれば実施効果は高い。		

(3) ヤナギ林の萌芽抑制対策

全道で実施した樹林化状況調査によると、図 5-1 に示すように、伐採だけでなく抜根を組み合わせた方がより抑制効果は高い結果となった。

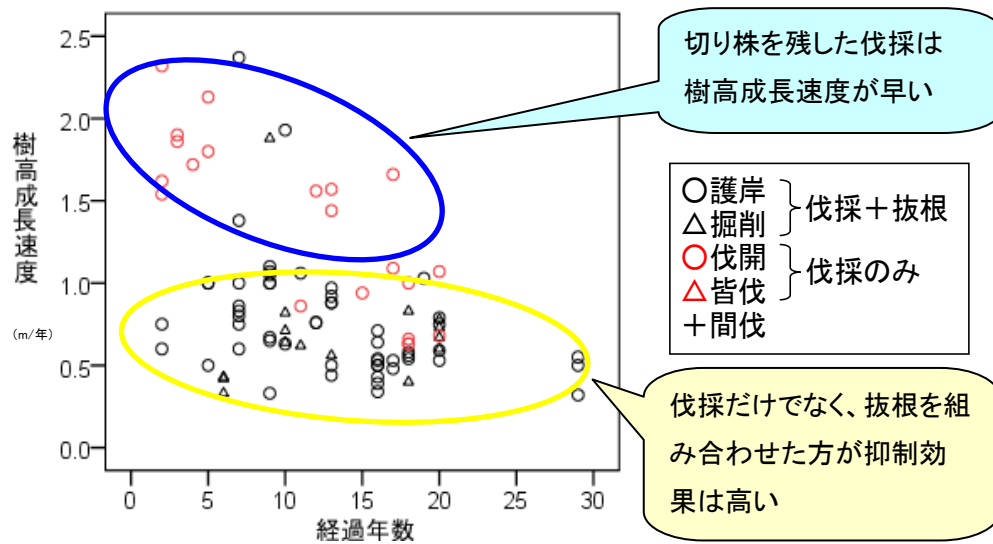


図 5-1 工種別に見たヤナギ伐採後の樹高成長速度(セグメント 2-1)

上のグラフは、ヤナギ類伐採後の樹高成長速度を表したもので黒○と△が工事に伴う抜根までの実施を示し、赤○が切株を残して伐採を実施した場合の成長速度をそれぞれプロットしたものである。

黒○と△のプロットは、一度工事により抜根した後、新たに活着したヤナギの成長速度を表している。それに対し切り株を残して伐採した赤○のプロットは、2 倍程度早い成長速度となっている。

上記の他、伐開後の切り株からヒコバエ（切り株から生える萌芽のことで、成長すると流化阻害の元となる）が生えてくるが、ヒコバエの成長が一旦止まる 6 月下旬～7 月上旬に切り株ごと取り除くことによりヒコバエの成長を抑制する維持管理手法¹⁾も提案されている。

最近の伐採試験例によると、樹木の皮を剥ぐ「樹皮剥皮²⁾」、樹木の断面に薬剤を塗りつける「薬剤塗布」、「根元伐採³⁾」などが萌芽抑制につながるとの報告がある。このように、萌芽抑制には伐採のみではなく何らかの別なストレスを加えると効果的であり、他にも「活動期伐採」、「多回伐採」等も考えられる。

しかし一方で、伐採後の萌芽再生は個体サイズの影響も大きく、条件によっては同じ方法でも効果が出る場合と出ない場合があり、必ずしも確実であるとは限らない。



図 5-2 ヤナギ林の萌芽抑制策の一例

- ・活動期伐採：樹木の成長が旺盛な夏季に伐採することによるストレスと、周辺のお草本の成長が旺盛なために、萌芽直後から競争関係にさらすストレスの 2 つを与える伐採方法。
- ・多回伐採：萌芽枝を年に数回、様子を見ながら数年間継続的に伐採することにより、強制的に衰退枯死させる方法。

河畔林の抑制管理手法を表 5-2～表 5-4 にまとめて示す。

表 5-2 河畔林の抑制管理（単木処理）

ヤナギ類の単木処理

方法	【樹皮剥皮】	【薬剤塗布】	【袋かぶせ】	【活動期伐採】	【高頻度伐採】
解説	■概要 - 伐採後に潜伏芽（萌芽再生のもと）を取り除く - 地際からの萌芽再生がみられるため、地表下の樹皮を剥ぐことがポイントである 1本毎の樹皮剥ぎに加え、地中の樹皮もある程度剥ぐため、労力はかかる ■適用立地 - 高水敷、低水路内	■概要 - ラウンドアップ等の除草剤の利用が多い - 散布時の濃度は高いほど、枯死効果は高い - グリホサート系液剤を主成分とする除草剤として「ラウンドアップハイロード」「タッチダウン」「草枯らし」等がある - これらは樹種を選ばずに枯殺するため、周囲の植物まで枯らさないよう、①風のない時に散布量の少ないノズルを使用、②散布後に雨が降ると流れるため、散布後6時間は雨が降らない日に散布（流出防止には、薬剤塗布後はビニルで一時的に被覆など） - 上記のように制約条件が多い ■適用立地 - 高水敷（低水路内は河川水への浸透が懸念）	■概要 - 伐採後に遮光性の高い生地で被覆 - 切株周囲に隙間があると、そこから萌芽成長するため、周囲は地山としっかり接地させることがポイントである - 施工翌年は、袋内でモヤシ状の萌芽枝が発生することもあるが、翌々年には枯死するものが多い - 袋の撤去が必要となるなど、労力はかかる ■適用立地 - 高水敷（撤去を考慮すると、低水路内の土砂堆積地では困難）	■概要 - 活動が旺盛な夏季伐採により、活動期に伐採されるストレス、萌芽再生時に周辺草本からの被圧が加わる - 草本植生が密生しているところでは効果が大きい ■適用立地 - 高水敷、低水路内	■概要 1度の伐採で完全に枯死する可能性が低い - 伐採後、周辺草本が密生する3年程度は周辺草本と一緒に草刈りを行い、ヤナギ類を衰退させる - 草刈りのコストはかかるが、何回も伐採されることにより、萌芽再生を抑制できる効果は高い ■適用立地 - 高水敷、低水路内
参照	伊木ほか（2004） ²⁾	小山（2005） ⁴⁾ 、小樽開発建設部（2010a） ⁵⁾	十弗川での事例	旭川開発建設部（土別試験地の事例）	—

表 5-3 河畔林の抑制管理（面的な処理）（★は効果的と考えられる方法）

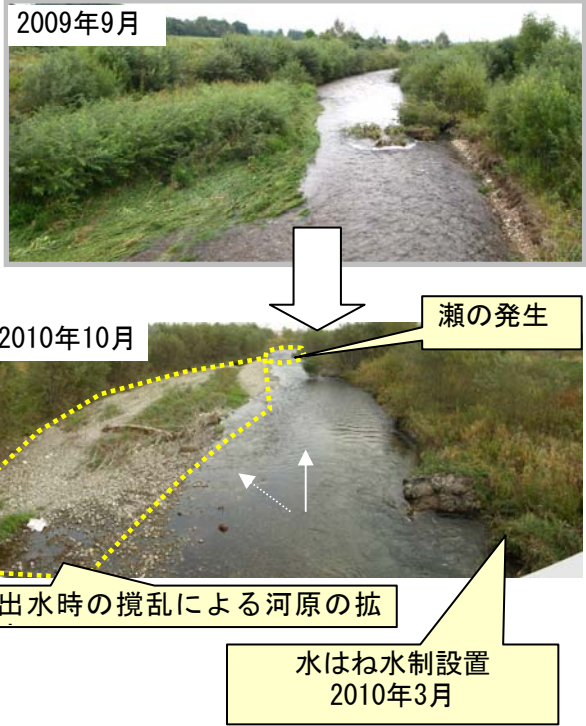
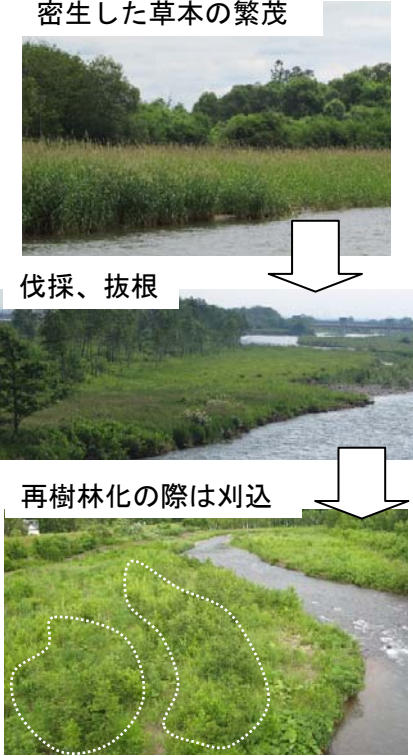
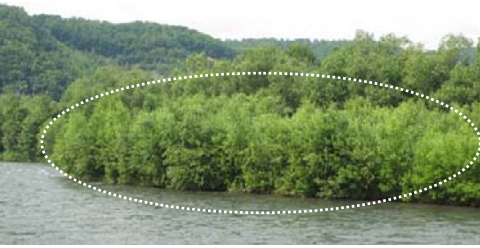
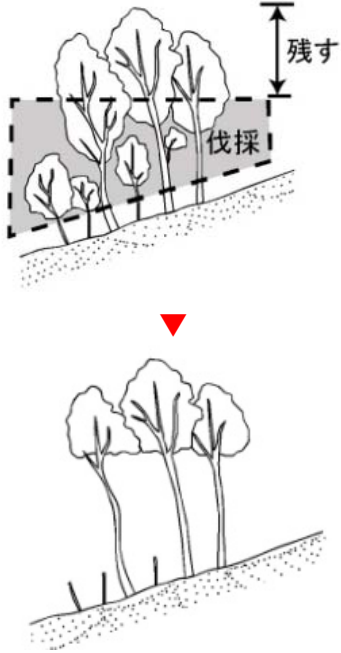
ヤナギ類の面的な処理（掘削や全面的な抜根後を想定）					
方法	高水敷		低水路内		
	【草地管理】★	【土地活用】	【砂州管理★】	【段階的な草地管理★】	【幼木林管理】
	 初期段階ではヤナギ類と草本類が同時定着するが、3年程度一緒に刈り込み、草本類を優占させる	 採草地として活用 雪堆積場として活用	 2009年9月 2010年10月 瀬の発生 出水時の攪乱による河原の拡 水はね水制設置 2010年3月	 密生した草本の繁茂 伐採、抜根 再樹林化の際は刈込	 周期的な伐採により幼木林状態を持続し、洪水時の倒伏促進、あるいは大径木の流木化を緩和
解説	■概要 - 掘削敷高は年最大水位より上方に設定する - 施工後 3 年程度は必要に応じ草刈りを実施し、ヤナギ類を衰退させる（前記「高頻度伐採」参照） - 抜根の場合は、早期草本類の再生を図り、周辺表土を敷き均す - 掘削の場合は、裸地から草本類が密生するまでは3年程度を要するため、表土の有効活用がポイントである - コストはかかるが、確実性が高い ■課題 - 河川区間によって堆積物（表土）は異なるため、代表箇所での試験的な実施とその効果の把握が必要である - 高頻度伐採についての知見も少なく、何回の伐採が有効かの知見の蓄積を要する	■概要 - 周辺の土地利用状況を勘案し、改変地を採草地、雪堆積場、公園等として活用する - 採草地であれば年2回程度の刈り込み、雪堆積場であれば融雪時の掘削、敷き均しなどにより半永久的な樹林化抑制につながる ■課題 - 雪堆積場の場合は、裸地になることもあり、春～夏の砂塵等に関する周辺住民の指摘も想定される	■概要 - 低水路内では、砂州環境、瀬・淵環境という観点からも、極力川の営力を活用した管理が重要である - 現状では樹林化した砂州等により滞筋が固定された状況である - 樹木伐採のみでは再樹林化が危惧されるほか、滞筋固定の解消にもつながらないことから、地形改変とともに、滞筋の固定等を解消することがポイントである ■課題 - 低水路内の樹林化については、どの程度の水理諸量を目指すという、管理水準設定まで至っていない - 川の営力を活用した管理は全川で可能ではなく、ある程度の区間区分が必要であり、河道特性を踏まえた管理方法の確立が必要である	■概要 - 川の営力を活用できない箇所であっても、流下能力の確保という観点から、草地管理が必要である - 流水の攪乱作用が小さいため、経年的に樹林化が進行するが、ある程度樹林が成長し、林床植生が発達した状態で、活動期伐採を実施し、草地として管理する - 伐採1～2年後に萌芽再生が多くみられる場合は、高頻度伐採による初期段階でヤナギ類を衰退させる - コストはかかるが、確実性が高い - 左記の砂州管理で上手くいかない場合には、段階的な草地管理となる	■概要 - 左記二つでヤナギ類の再樹林化を抑制できない箇所に適用する - 河道計画シナリオは洪水時に低水路内樹木が倒伏する - 洪水頻度は低いことから高木林化が想定される - 洪水時に非倒伏の際は河積阻害、倒伏の際は大径木の流木化が懸念される - 周期的な伐採により幼木林状態とし、倒伏し易く、流木化の際の被害も小さい樹林として管理する ■課題 - 伐採ごとに、萌芽枝が多くなり、密生度の高い状態へ推移する可能性がある
参照	—	—	帯広川での事例	—	—

表 5-4 河畔林の抑制管理（その他）

ヤナギ類の処理（その他）			
方法	【間伐 1】 （林冠が閉鎖した状態） 樹林の発達段階を把握して間伐水準を設定 2000 本/ha 760 本/ha 500 本/ha	【間伐 2】 （疎らな状態） 	【下枝払い】 
解説	■概要 - 間伐は洪水疎通能力を向上させると考えられるが、定量的な評価は難しい状況である - 地元要望等で、全伐採箇所が間伐となることも多い - 間伐水準の設定は、密度低下曲線等を参考に、対象樹林の発達段階を把握することがポイントである - 伐採後の切株は、林内のやや暗い光環境となるため、萌芽成長は低下するが、前記の「ヤナギ類の単木処理」と組み合わせると効果的である ■適用立地 - 高水敷、低水路内 ■課題 - 間伐は、低密度化、成長促進による高木林化（高枝下高）、見通し確保等が想定されるがその効果の検証事例は少ない - 光環境が改善されると、林内の環境要素の変化も想定されるがその知見は少ない	■概要 - 数十 m 区画に 1 本程度を残すなど、治水上樹木とみなさない状況まで樹木を除去する - 伐採は、前記の「面的な処理の草地管理」の考え方を適用すると効果的である ■適用立地 - 高水敷（低水路内の単木は流出しやすい） ■課題 - 極めて疎ら状態となるため、細長い樹木が孤立し、風雪による幹折れ等が懸念される	■概要 - 間伐 1 と同様に治水上の定量評価は難しいが、洪水疎通能力を向上させるため、HWL までの下枝を払う - 若い樹林では実施後も下枝が再生し易いなど可塑性が大きいが、壮齢、老齢な樹林では下枝の高い状態を持続し易く、持続的な効果が期待できる ■適用立地 - 高水敷、低水路内 ■課題 - 下枝状態の巡視等を考慮すると、堤防から見通しのきく小河川で現実的な管理である
参照	—	—	北海道開発局（1998） ⁶⁾ 、 小樽開発建設部（2010b） ⁷⁾

5.2 ヤナギ類以外の樹種(外来種)の管理方法

ここでは、要注意外来生物として北海道ブルーリストに指定されているハリエンジュ(ニセアカシア)に着目し、ヤナギ類以外の樹種の管理方法について解説する。

5.2.1 ハリエンジュの概要

- ・ ハリエンジュ(別名ニセアカシア)は、北海道の河畔に生育するヤナギ類以外の樹種の14%を占める外来種である。
- ・ 環境省要注意外来生物リスト、北海道ブルーリスト2004に指定され、駆除が必要といわれている樹種である。
- ・ ただし、完全に駆除すべき対象とは言い切れないため、注意が必要である。

道内一級水系での調査によれば、河畔に生育するヤナギ類以外の樹種の割合は全体の8.5%であり、その内訳はシラカンバ、ダケカンバ、ハリエンジュ、ケヤマハンノキ等が占めていることは前に述べたとおりである(図5-3参照)。

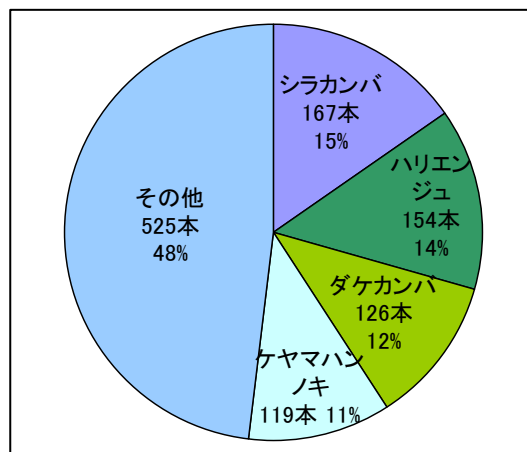


図 5-3 北海道内の調査地におけるヤナギ類以外の樹種割合

これら北海道の河畔に分布するヤナギ類以外の樹種の中で、特に留意すべき樹種は、ハリエンジュ(マメ科)である。別名ニセアカシアとも呼ばれ、北米東部原産の帰化植物(外来種)であり、日本には1873(明治6)年に持ち込まれ、砂防樹種、街路樹などの緑化樹種として利用されてきた⁸⁾。樹高は15メートルほどになる。

ハリエンジュは近年、環境省要注意外来生物リスト、北海道ブルーリスト2004に指定され、旺盛な繁殖力によって各地で分布を拡大し、在来の河畔林よりも優占範囲を拡大して入れ替わってゆくことで、本来の生態系や景観に影響を及ぼす可能性があるため、駆除が必要な樹種であるといわれている⁸⁾。

一方でハリエンジュは、花から採取される蜜が良質で、養蜂家にとって重要な蜜源であるという一面があり、完全に駆除すべき対象とは言い切れない点も指摘されている⁹⁾。

5.2.2 ハリエンジュの生育特性

【ハリエンジュの生育特性】

- ・ 2 種類の種子散布 → 流水散布される非休眠種子と土中に潜む休眠種子
- ・ 水平根と萌芽再生 → 極めて旺盛な再生力

ハリエンジュに関する生態学的知見は他の樹種に比べ非常に少ないのが現状であるが、切株からの萌芽能力、根からの萌芽能力、難発芽性種子、窒素固定能力、大量開花、他感作用(アレロパシー)が指摘されている¹⁰⁾。河畔での駆除・管理方法を考えるうえで特筆すべき生育特性として、以下2点が挙げられる。

①種子生態：ハリエンジュの種子には、すぐに発芽する「非休眠型種子」と、すぐには発芽しない「休眠型種子」の2種類がある。非休眠型種子は水に浮き、遠くに運ばれ(流水散布)、新規の分布域拡大に寄与する。一方、休眠型種子はハリエンジュ林の表土中に大量に含まれており、伐開や土壌攪乱を受けた後に発芽して元の樹林範囲を維持する⁹⁾。

②伐採後の萌芽：ヤナギ類と同様に、枝や幹を切断しても萌芽再生するだけでなく、「水平根」と呼ばれる横に伸びる根を持つため、たとえ地表を締め固め被覆したとしても、60メートル離れた場所から地上に伸びて出てきた例もある⁹⁾。

このような際立った生育特性から、かつて山間部の砂防工事などで植えられた株の種子が川で運ばれ河川敷に拡大したとみられている。



写真 5-3 河畔に繁茂するハリエンジュ群落（美瑛川支川）

5.2.3 ハリエンジュの伐採・管理方法

流下能力上、樹木群が許容できる場合は在来樹林への林種転換を目指し、樹木群が許容できない場合は根絶を目指す。根絶のためには、抜根と表土除去の組み合わせ、伐採と薬剤塗布の組み合わせ等が有効と思われる。ただし、薬剤については、河川環境上好ましくない場合があり、十分配慮して使用する必要がある。

ハリエンジュ対策としては、伐採¹¹⁾¹²⁾¹³⁾、抜根¹⁴⁾などが行なわれているが、根萌芽での再生も著しく¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾、抑制は困難な状況である。年数回の伐採を数年継続することにより、本種の成長を抑制し、他の種を上方へ成長させるなどの報告もあるが、これでも根絶には至らないようである¹³⁾。最近では、盛夏の伐採が、他の季節に比べ、萌芽枝体積を減少させること¹⁷⁾、また冠水に弱いこと¹⁾などが報告されている。現状では、抜根まで実施すること、あるいは伐採と薬剤塗布を組み合わせることが有効と思われる。これらについては、今後の知見蓄積が必要となる。

以上は、伐採後の萌芽に関するものであるが、さらに問題となるのは、分布拡大の主因となる種子生態についてである。これに関する知見は少ないが、ハリエンジュの種子には休眠型と非休眠型があり、後者は流水散布等による新規の分布拡大に、前者は土壌攪乱後の既存パッチの維持に寄与し、ハリエンジュのこのような2つの生育特性が急速な分布拡大に影響しているとも考えられている⁹⁾。

ハリエンジュの伐採・管理方法を表 5-5～表 5-6 にまとめて示す。

表 5-5 ハリエンジュの伐採・管理（単木処理）（★は効果的と考えられる方法）

ハリエンジュの単木処理

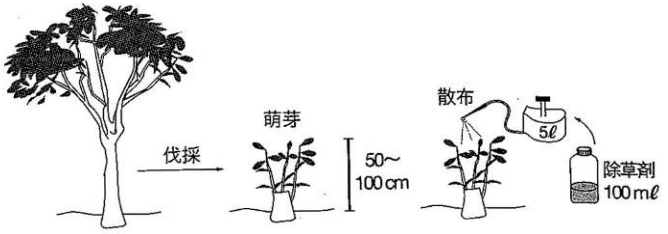
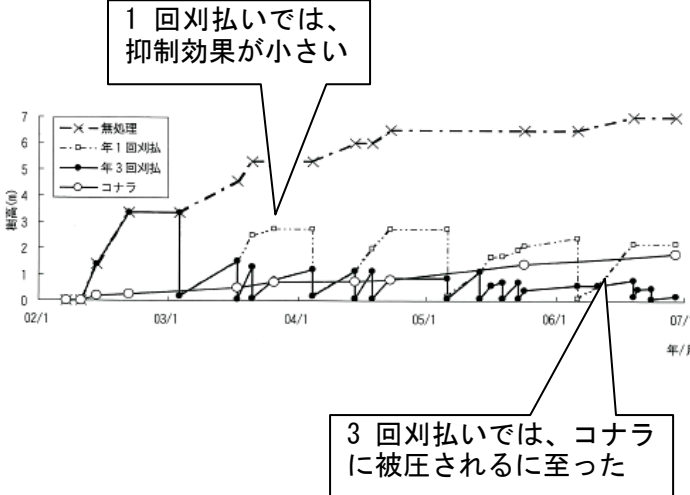
方法	【巻き枯らし】  (上) 巻き枯らしされたハリエンジュ、(下) 巻き枯らしによる林種転換から 10 年を経た林分（白く枯れているのがハリエンジュ） 	【薬剤塗布】  - ハリエンジュの場合は、春先に伐採し、6 月頃の萌芽枝に散布すると良い 6 月は、地下茎に蓄えられた養分を萌芽に使用した直後であり、地下茎の養分は最も少ない。また、太陽高度も高く、光合成も盛んであることから、葉で生産された養分が根に還流し、地下部への浸透移行性が高いと考えられている - 薬剤塗布から 1 週間後くらいで葉の変色、2 ヶ月くらいで幹が枯死、翌春には根まで枯れる（場合によっては付近の根萌芽も枯れる）	【活動期伐採】  	【高頻度伐採】 
解説	■概要 - 地上 1m 程度の箇所にはタテで切り目を入れ、樹皮を巻くように 1 周する - 次に、樹皮を幅 10cm 程度の帯状にして、根元まで引きはがす - これを繰り返すと、根元から 1m の高さまでは樹皮がない状態となる - 作業は 5 月から 9 月に行うと、皮をはぎやすくて作業効率がよい ■適用立地 - 高水敷（低水路内では枯れ木の流木化が懸念） ■課題 - 根萌芽までは防げない - 巻き枯らしの根萌芽は、通常の伐採より少ないが、下草管理的な作業は数年を要する - 巻き枯らした個体は、10 年程度は枯れたまま立っており、その後の伐採が必要である	■概要 - ランドアップ等の除草剤の利用が多い - 散布時の濃度は高いほど、枯死効果は高い - グリホサート系液剤を主成分とする除草剤として「ランドアップハイロード」「タッチダウン」「草枯らし」等がある - これらは樹種を選ばずに枯殺するため、周囲の植物まで枯らさないよう、①風のない時に散布量の少ないノズルを使用、②散布後に雨が降ると流れるため、散布後 6 時間は雨が降らない日に散布（流出防止には、薬剤塗布後はビニルで一時的に被覆など） - 上記のように制約条件が多い ■適用立地 - 高水敷（低水路内は河川水への浸透が懸念）	■概要 5 月、6 月、8 月伐採では、8 月伐採で生存個体、萌芽枝の材積が少ない報告である - 前記ヤナギ類と同様に、草本植生が密生しているところでは効果が大きいと考えられる ■適用立地 - 高水敷、低水路内	■概要 - 年 1 回、年 3 回の刈払い比較によると、年 3 回刈払いが効果的である - 年 1 回刈払いは、5 年経過後でもハリエンジュが 2.2m まで伸長し、コナラを超えており、年 1 回の刈払いでは 5 年経過後でもハリエンジュの萌芽力を抑えられなかった - 年 3 回刈払い区は、刈払い後にハリエンジュの萌芽発生本数は増えたが、繰り返し刈払うことにより、3 年目には樹高 1m を下回り、4 年目にはコナラがハリエンジュの樹高を追い越し、現在ではハリエンジュを被圧し始めている ■適用立地 - 高水敷、低水路内
参照	田村・金子（2003）¹⁸⁾ 写真は秋田県 HP より（2010 年 6 月検索； http://www.pref.akita.lg.jp/icity/browser?ActionCode=content&ContentID=1133771416592&SiteID=0）	小山（2005, 2009）^{4) 19)}	山田・真坂（2009a, 2009b）^{20) 17)}	小山（2007）¹³⁾

表 5-6 ハリエンジュの管理（面的な処理）

ハリエンジュの面的処理

方法	【天地返し】 【覆土】 【根系の除去（スケルトンバケット）】★ <table><thead><tr><th>施工No.</th><th>工程と手順</th><th>施工の目的及び詳細</th></tr></thead><tbody><tr><td>試験施工1 (覆土工法)</td><td>① 伐採・抜根(H17) ② 砂礫の掘削・積込・運搬 ③ 砂礫による盛土・整正 (覆土厚は2パターン)</td><td>伐採・抜根後、覆土によって、根茎等を深い位置に封じ込めて萌芽を抑制する。さらに、材料を礫とすることで、萌芽が伸長しにくい環境をつくる。なお、覆土厚については、萌芽形態の調査結果を踏まえて、萌芽が地上に発生できなくなる深さを25 cmと想定し、設定した。盛土厚 50 cmについても比較のために実施した。実施箇所はH17に伐採・抜根を行ったA地区であり各 100 m² (10m×10m) ずつの合計 200 m²とした。</td></tr><tr><td>試験施工2 (スケルトンバケ ット工法)</td><td>① 伐採・抜根(H18) ② スケルトンバケットによる根茎と礫の洗い出し(掘削深さは2パターン) ③ 根茎・木片の丁寧な除去 ④ 礫の敷き均し</td><td>伐採・抜根後、地中に残存した根茎をさらに洗い出し、萌芽の要因となる根茎を極力除去する事を目的としている。完全にとりきれなかった根茎についても、礫を被せることによって、萌芽が伸長しにくい環境をつくる。萌芽形態の調査結果を踏まえて、根茎の存在する最深の位置は、(萌芽発生限界深さ 24 cm) + (根茎最大直径 12 cm) = 36 cm≒40 cmであると想定し、掘削深さの厚さは 40 cmに設定した。掘削深 100 cmについても比較のために実施した。実施箇所はC地区であり、各 1,300 m²とした。</td></tr><tr><td>試験施工3 (天地返し工 法)</td><td>① 伐採・抜根(H18) ② 上層土と下層土の天地返し ③ 地上部における丁寧な木片の除去</td><td>伐採・抜根後、「根茎が多く含まれる表層土」と「根茎がほとんど含まれない下層土」をブルドーザを使用して入れ替えた。これによって根茎等を深い位置に封じ込める。萌芽形態の調査結果を踏まえて、根茎の存在する最深の位置は、(萌芽発生限界深さ 24 cm) + (根茎最大直径 12 cm) = 36 cm≒40 cmであると想定し、上層土の厚さは 40 cmに設定した。実施箇所はC地区であり、2,900 m²とした。</td></tr><tr><td>試験施工4</td><td>① 伐採・抜根(H18) ② 地上部における丁寧な木片の除去</td><td>伐採・抜根後、施工箇所に散在する木片を丁寧に清掃し、それらから萌芽が発生するのを防ぐ。経済性を重視した工法である。実施箇所はC地区であり、3,100 m²とした。</td></tr></tbody></table> 天地返しの例 伐採・抜根 上層土の掘削 下層土の掘削 上層土と下層土の埋戻し 根茎・木片の除去作業(人力) 作業完了後	施工No.	工程と手順	施工の目的及び詳細	試験施工1 (覆土工法)	① 伐採・抜根(H17) ② 砂礫の掘削・積込・運搬 ③ 砂礫による盛土・整正 (覆土厚は2パターン)	伐採・抜根後、覆土によって、根茎等を深い位置に封じ込めて萌芽を抑制する。さらに、材料を礫とすることで、萌芽が伸長しにくい環境をつくる。なお、覆土厚については、萌芽形態の調査結果を踏まえて、萌芽が地上に発生できなくなる深さを25 cmと想定し、設定した。盛土厚 50 cmについても比較のために実施した。実施箇所はH17に伐採・抜根を行ったA地区であり各 100 m ² (10m×10m) ずつの合計 200 m ² とした。	試験施工2 (スケルトンバケ ット工法)	① 伐採・抜根(H18) ② スケルトンバケットによる根茎と礫の洗い出し(掘削深さは2パターン) ③ 根茎・木片の丁寧な除去 ④ 礫の敷き均し	伐採・抜根後、地中に残存した根茎をさらに洗い出し、萌芽の要因となる根茎を極力除去する事を目的としている。完全にとりきれなかった根茎についても、礫を被せることによって、萌芽が伸長しにくい環境をつくる。萌芽形態の調査結果を踏まえて、根茎の存在する最深の位置は、(萌芽発生限界深さ 24 cm) + (根茎最大直径 12 cm) = 36 cm≒40 cmであると想定し、掘削深さの厚さは 40 cmに設定した。掘削深 100 cmについても比較のために実施した。実施箇所はC地区であり、各 1,300 m ² とした。	試験施工3 (天地返し工 法)	① 伐採・抜根(H18) ② 上層土と下層土の天地返し ③ 地上部における丁寧な木片の除去	伐採・抜根後、「根茎が多く含まれる表層土」と「根茎がほとんど含まれない下層土」をブルドーザを使用して入れ替えた。これによって根茎等を深い位置に封じ込める。萌芽形態の調査結果を踏まえて、根茎の存在する最深の位置は、(萌芽発生限界深さ 24 cm) + (根茎最大直径 12 cm) = 36 cm≒40 cmであると想定し、上層土の厚さは 40 cmに設定した。実施箇所はC地区であり、2,900 m ² とした。	試験施工4	① 伐採・抜根(H18) ② 地上部における丁寧な木片の除去	伐採・抜根後、施工箇所に散在する木片を丁寧に清掃し、それらから萌芽が発生するのを防ぐ。経済性を重視した工法である。実施箇所はC地区であり、3,100 m ² とした。	【伐採・抜根後+チップ被覆】 (箇所、本) 萌芽箇所数・全萌芽本数 (2009. 7. 27 調査) 図-4 (1) コドラート別 萌芽箇所数・全萌芽本数 (箇所、本) 最大樹高 (2009. 7. 27 調査) 図-4 (2) コドラート別 最大樹高 No. 5 は対照区。No. 1～3 はハリエンジュチップ	【冠水頻度の増加】★ 定着個体が少ない 実生の引抜が必要 根萌芽が多く、旺盛に成長 ハリエンジュの生育本数 (本/コドラート) 図-5 コドラート別 萌芽・実生本数 萌芽の高さ (cm) 図-6 コドラート別 冠水頻度の増加 試験期間の年平均冠水日数→ Qd.10 75日 Qd.12 31日 Qd.15 3日
	施工No.	工程と手順	施工の目的及び詳細															
試験施工1 (覆土工法)	① 伐採・抜根(H17) ② 砂礫の掘削・積込・運搬 ③ 砂礫による盛土・整正 (覆土厚は2パターン)	伐採・抜根後、覆土によって、根茎等を深い位置に封じ込めて萌芽を抑制する。さらに、材料を礫とすることで、萌芽が伸長しにくい環境をつくる。なお、覆土厚については、萌芽形態の調査結果を踏まえて、萌芽が地上に発生できなくなる深さを25 cmと想定し、設定した。盛土厚 50 cmについても比較のために実施した。実施箇所はH17に伐採・抜根を行ったA地区であり各 100 m ² (10m×10m) ずつの合計 200 m ² とした。																
試験施工2 (スケルトンバケ ット工法)	① 伐採・抜根(H18) ② スケルトンバケットによる根茎と礫の洗い出し(掘削深さは2パターン) ③ 根茎・木片の丁寧な除去 ④ 礫の敷き均し	伐採・抜根後、地中に残存した根茎をさらに洗い出し、萌芽の要因となる根茎を極力除去する事を目的としている。完全にとりきれなかった根茎についても、礫を被せることによって、萌芽が伸長しにくい環境をつくる。萌芽形態の調査結果を踏まえて、根茎の存在する最深の位置は、(萌芽発生限界深さ 24 cm) + (根茎最大直径 12 cm) = 36 cm≒40 cmであると想定し、掘削深さの厚さは 40 cmに設定した。掘削深 100 cmについても比較のために実施した。実施箇所はC地区であり、各 1,300 m ² とした。																
試験施工3 (天地返し工 法)	① 伐採・抜根(H18) ② 上層土と下層土の天地返し ③ 地上部における丁寧な木片の除去	伐採・抜根後、「根茎が多く含まれる表層土」と「根茎がほとんど含まれない下層土」をブルドーザを使用して入れ替えた。これによって根茎等を深い位置に封じ込める。萌芽形態の調査結果を踏まえて、根茎の存在する最深の位置は、(萌芽発生限界深さ 24 cm) + (根茎最大直径 12 cm) = 36 cm≒40 cmであると想定し、上層土の厚さは 40 cmに設定した。実施箇所はC地区であり、2,900 m ² とした。																
試験施工4	① 伐採・抜根(H18) ② 地上部における丁寧な木片の除去	伐採・抜根後、施工箇所に散在する木片を丁寧に清掃し、それらから萌芽が発生するのを防ぐ。経済性を重視した工法である。実施箇所はC地区であり、3,100 m ² とした。																
解説	■概要 - 伐採、抜根後に、面的な処理を実施する（2006. 12～2007. 3に施工、2007. 6モニタリング） - 根萌芽の抑制には、覆土、スケルトンバケット工法、天地返しによる抑制効果が高い - ただし、埋土種子からの実生は、全ての工法で確認された ■適用立地 - 高水敷（低水路内では土砂流出による濁水等が懸念） ■課題 - モニタリング期間が短く、効果が明らかになっていない ★改良点としては、埋土種子由来の実生が発生していることから、初期に草本類と競合させることがあげられる - 例えば、天地返し→ハリエンジュ群落ではない周辺表土の撒き出し→実生発生を抑制できるまで直ぐに草本植生が再生しない場合は刈り込みによる草地管理が必要である（前記ヤナギ参照）	■概要 - 伐採、抜根、除根、地下茎の埋め戻し後にチップ材の被覆厚を設定した - 施工半年後の状況は、チップ材により萌芽本数、樹高成長が抑えられているとの報告がある ■適用立地 - 高水敷（低水路内ではチップ材の流出が懸念） ■課題 - モニタリング期間が短く、効果が明らかになっていない	■概要 - 伐採、抜根、木片除去後に、試験掘削を実施する - 掘削高は、低水位付近（Qd. 10）、低水位+1m（Qd. 12）、低水位+2m（Qd. 15）の3種類がある 3年後、Qd. 10の個体はゼロ、Qd. 12では実生由来の定着が多く、Qd. 15では根萌芽由来が多いなど、冠水頻度の高い箇所では定着抑制が可能である（Qd. 12では実生段階での引き抜きが必要） - 試験期間の年平均冠水日数は、Qd. 10で75日、Qd. 12で31日、Qd. 15で3日であった - このように、冠水頻度による対策の場合は、低水位付近までしっかりと切り下げることがポイントとなる ■適用立地 - 低水路内															
参照	丹野・前田（2007） ¹⁴⁾ 、俵谷ほか（2008） ²¹⁾	増子ほか（2010） ²²⁾	小川ほか（2010） ²³⁾															

●解説:注意を要するオオハンゴンソウの駆除

河畔には 7～9 月頃に大きな黄色い花をさかせるオオハンゴンソウ(キク科)の群落が分布している場合がある。オオハンゴンソウは、外来生物法により特定外来種に指定されており、防除の対象種とされている。種子は、埋土種子として数年間土中で休眠していることもあり²⁴⁾、表土復元の際には留意する必要がある。また、オオハンゴンソウ群落箇所を掘削する場合には、その表土の処分方法、さらには運搬中の飛散防止等にも留意する必要がある。



写真 5-4 オオハンゴンソウ(尻別川支川・2009 年 9 月)

5.3 林分構造の変化予測と活用方法

現状で樹林化している箇所に対し計画的な管理を実施するため、「林分構造予測図」を提示し、その活用方法について解説する。

(1) 林分構造の変化予測

萌芽抑制対策を含めた河道内樹木の維持管理を計画的かつ効率的に実施していく上で、ヤナギ林の密度、樹高、枝下高などがどのような発達状況にあるのか、また、どのような箇所から抑制対策を実施していくと効果的なのか把握しておくことは重要である。

一般的に、樹林の密度、枝下高等は、自然淘汰や成長過程によって変化する。特にヤナギ類は一斉林を形成することから、群落高と林分構造変化が連動しやすい特徴がある。

このようなことに着目し、全道 28 河川における 79 地点のヤナギ林の毎木調査データを使用し林分構造の関係を図示した（図 5-4）。

群落高の発達とともに、自然淘汰による密度低下、下枝の枯れ上りによる枝下高が増加傾向にある。またヤナギ林の生育は早く、現状で低木であっても 10 年後には高木に成長する。

林分構造の関係図を活用することで、管理対象のヤナギ林の発達状況の把握や間伐時等の管理水準の設定に活用できる。この他にも、林分構造の将来予測、レーザープロファイラデータ等と群落高を組み合わせた広域的な林分構造の推定にも活用できると考えられる。

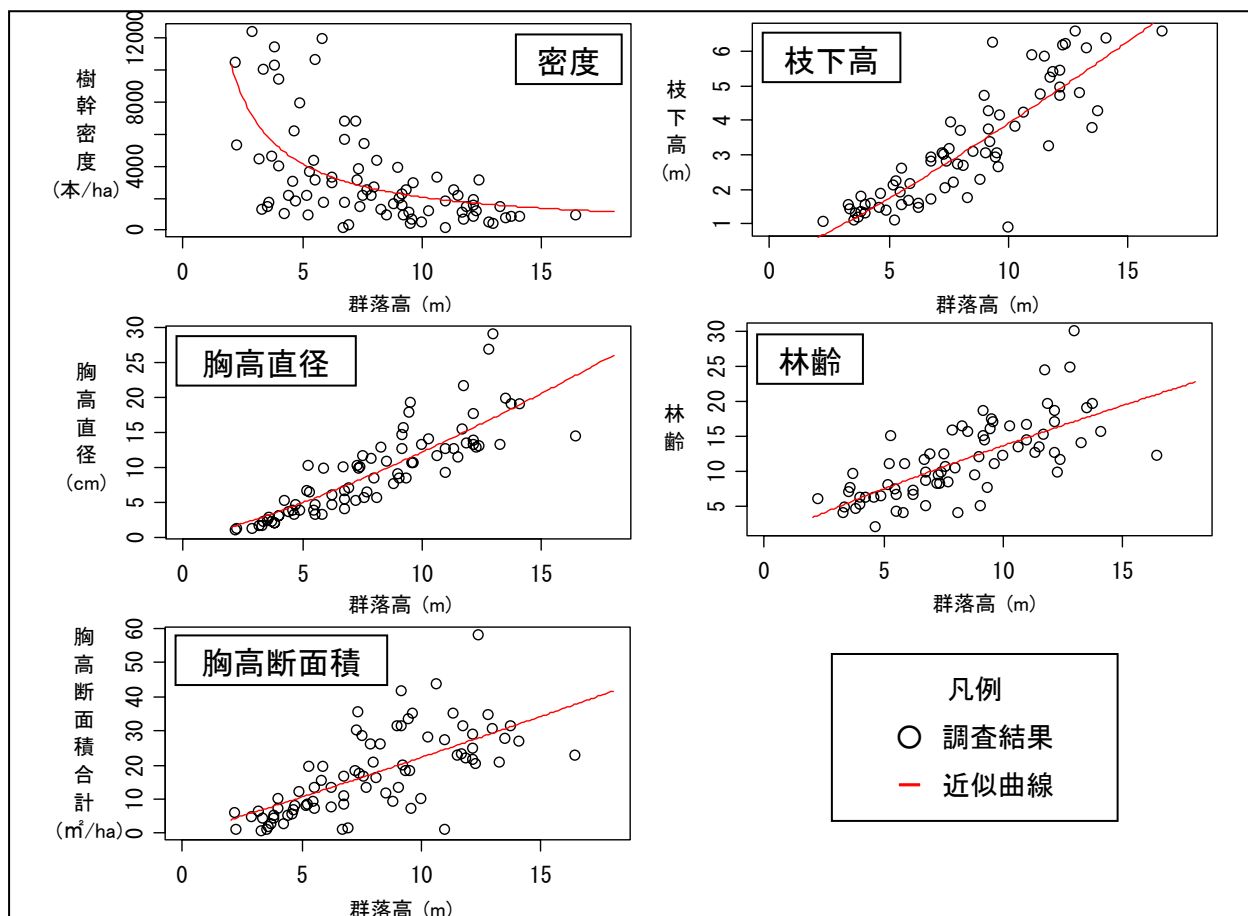


図 5-4 ヤナギ林における群落高と(A)樹幹密度、(B)枝下高、(C)胸高直径、(D)胸高断面積の合計、(E)林齢との関係

(2) 林分構造予測図の活用方法

林分構造予測図の活用方法について、事例を示しながら解説する。

●①広域的な樹林の状況把握

ヤナギ林(樹高 14m 程度まで)の群落高は、レーザープロファイラデータから表層データと地盤データの差分より算出することが可能であるため、「林分構造予測図」によって群落高から樹林内部構造を予測・算定することが可能と考えられる。

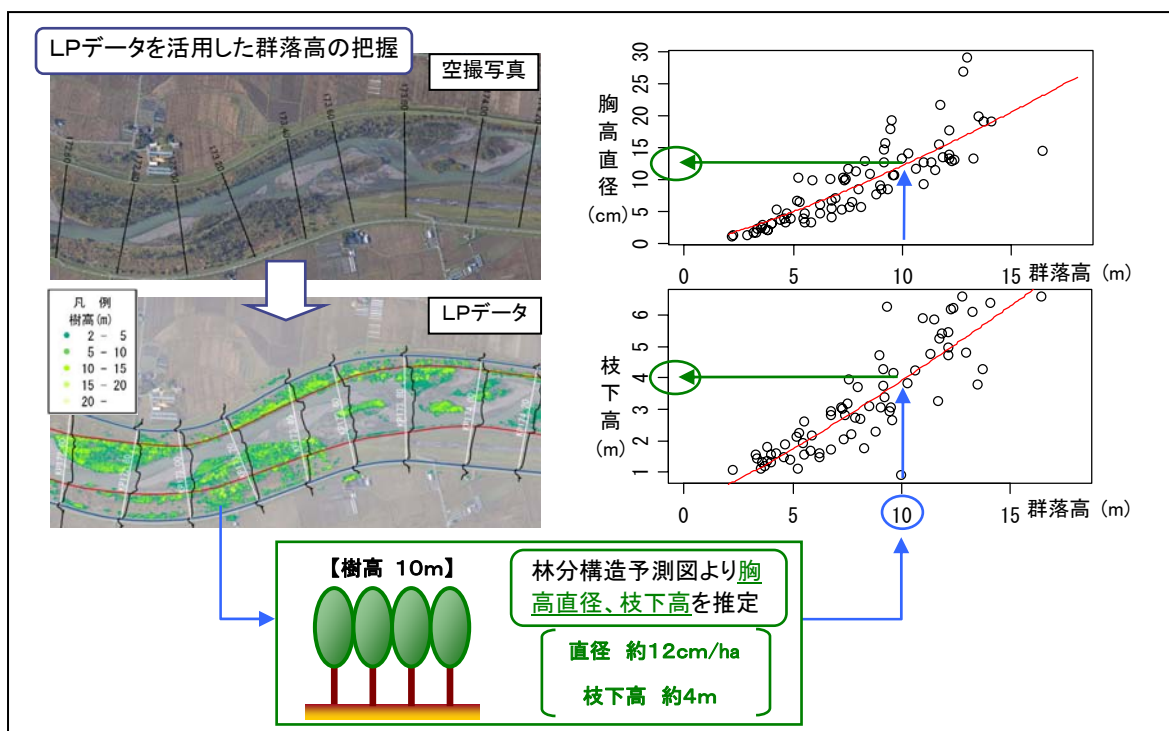


図 5-5 活用例 ～LP データと群落高を組み合わせた広域的な樹林状況の推定

これまでは、現地調査によって樹木の胸高直径や枝下高などを計測していたが、レーザープロファイラから算出した群落高データを活用することによって、現地調査を行わずに広域的に樹林化状況を把握することが可能となる。

流下能力評価においては、林分構造変数(樹高、枝下高、胸高直径、密度)を用いて透過として評価することが必要であるが、群落高から林分構造を予測できるようになれば、樹木群を透過として評価する際に必要な林分構造変数を全川の的に把握することが可能となる。

●②将来的な樹林の成長度合の把握

維持管理においては、将来の林分構造(樹高、枝下高、胸高直径、密度)を予測することが重要である。現況のヤナギ樹林や幼木林の数十年後の樹林内部構造を予測することによって、詳細な現地調査を行うことなく樹木管理の優先箇所や年次計画の立案が考えられる。

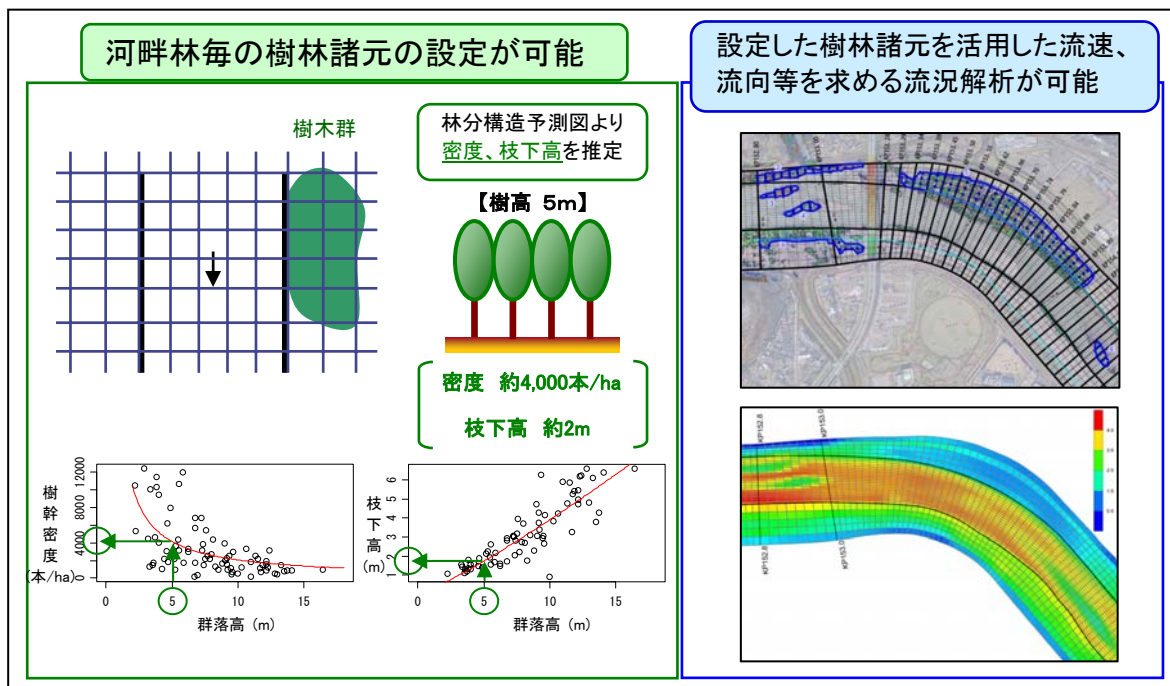


図 5-6 活用例 ～流況解析に必要な樹林諸元（密度、枝下高等）の推定

さらに、河道内の流速、流向等を求める流況解析において必要となる密度、枝下高等を河畔林毎で設定することが可能となる。

その他にも、将来の樹林化状況の予測による樹木管理計画の立案など、活用方法は様々である。

（３）林分構造予測図の適用条件

本ガイドラインで示した林分構造予測図は、将来の樹木の成長をあらかじめ予測した上で河道内樹木の管理を計画的かつ効率的に実施し、河川の維持管理コストの低減・適正化に役立つものとするため、樹木に対する専門的な知識が少なくても容易に使用可能で予測精度が得られる目安として提案している。しかし、あくまでも一つの目安として活用すべきものであり、その適用には限界がある。

たとえば攪乱境界の内外で予測精度が異なると考えられるほか、間伐等を受けることによっても傾向が変わると考えられる。また他植生との競合の度合いや冠水頻度によっても傾向が変わると思われる。したがって林分構造予測図の適用条件を明確にし、条件に応じたより精度の高い予測図を作成する必要がある。

表 5-7 林分構造予測図の適用条件

区分	条件別の展開例
林分構造予測図のバリエーション	攪乱境界内の予測図 伐採を受けた箇所の予測図（間伐、皆伐、枝下払等） 冠水頻度や比高差に応じた予測図
今後蓄積すべき知見・課題	樹林幅の拡大予測に関する知見 出水規模による倒伏判定に関する知見 多植生との競合状況に伴う補正に関する知見 林種転換・更新を図る場合の知見 水理計算の樹木データとしての導入や測量のキャリブレーションに関する知見

5.4 多様性ある河畔植生創出方法

ここでは、河道内に形成された樹林の維持管理に必要な観点として、ヤナギ類の河畔林としての有益な機能について整理し、河道内樹木を必ずしも伐採や駆除の対象と捉えるだけではなく、多様性ある河畔植生創出のために利活用する方法について解説する。

河川環境は、自然の状況においても遷移するものであることを認識したうえで、本来の河川が有する河川環境の多様性や連続性を保全し、動植物の生息・生育環境の保全・形成を図るとともに、多様性ある河畔植生の創出に努めることも重要である。

ヤナギ類を含む河畔林は、記録的な大出水においては河積阻害や流木の発生源となったり、流木や土砂を捕捉することもあるが、その一方で発生回数の多い中小出水においては、低水路内の流心を安定させる機能があり、無秩序な裸地の発生を抑制しヤナギの樹林拡大を抑制する機能を果たしていると考えられる。したがって、その機能に応じた河岸部の樹木は残置することも検討する必要がある。

多様性ある河畔植生の創出方法としては、安定した河畔ではヤチダモやハルニレ等の極相的樹種への更新を促すことや²⁵⁾、ヤナギ類と競合する不安定な河畔ではヨシ等の湿性植生の形成を促すことが考えられる。また、流域の変化に富んだ河川景観については、周辺の景観と一体となった水辺景観の保全・形成に努める。

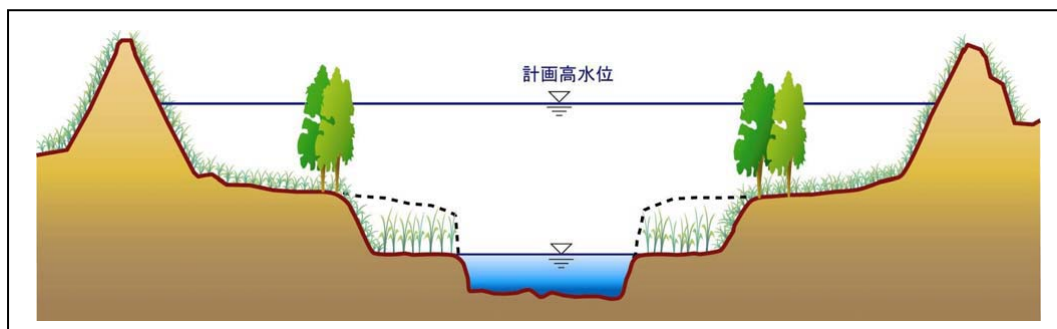


図 5-7 河畔林の保全、多様な水辺環境の形成イメージ図

5. 4. 1 河道内の樹林化抑制より生じる副次的効果

河道内の樹林化抑制を図ることで、瀬や淵が形成されやすくなり、砂利の河原や砂洲等の水際が形成される場合がある。また、親水レクリエーションの場が形成されやすくなるなどの副次的な効果が期待できる。

河道内の樹林化が進行しすぎると、砂利の河原や砂洲といった水際が形成されにくくなり、人の出入りや日照が遮断され、環境面においてもデメリットが生じる場合がある。

河道内の樹林化が適度に抑制することによって、瀬や淵が形成されやすくなったり、砂利の河原や砂洲等の水際が形成される場合がある。また、親水レクリエーションの場として多くの人々に利用される空間形成効果が期待できるようになる。



自然の瀬や淵が形成された例(十勝川支川)



市民の利用に配慮した高水敷の例
(石狩川上流)



ウォーターガーデンの整備例(豊平川)



市民の利用に配慮した河岸部の例(豊平川)

写真 5-5 樹林化が適度に抑制され望ましい河川環境が形成された例

● 解説:魚類の生息環境の形成について

河道内樹林化抑制や河岸形状の設定を図る場合、魚類の生息環境の形成に留意して、瀬・淵や河畔植生の形成・保全を図ることが重要である。

魚類の生息環境の形成の視点から河岸形状の設定を捉えた場合、瀬や淵の保全・創出に配慮することが挙げられる。



淵： 局地的に水深の深い凹地

瀬： 淵と淵の間の浅い部分。 特に浅い部分：早瀬

写真 5-6 瀬や淵が形成され樹林化が抑制された河道の事例(石狩川上流)

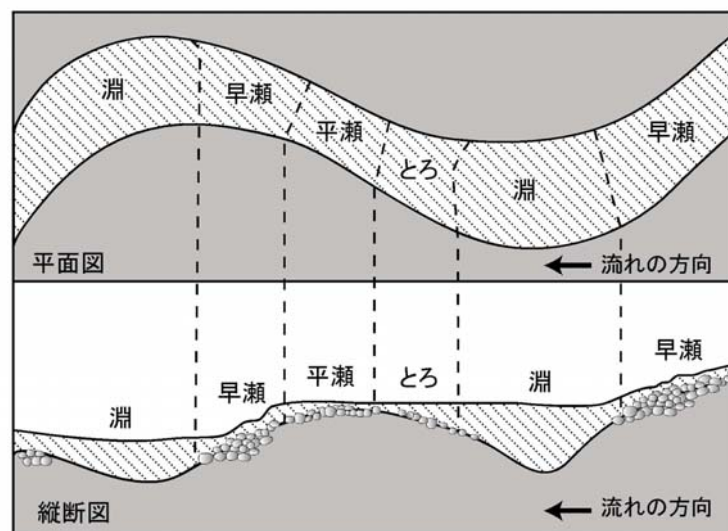
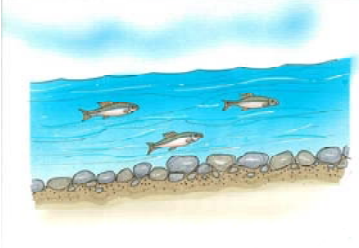
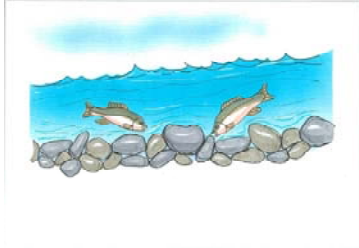
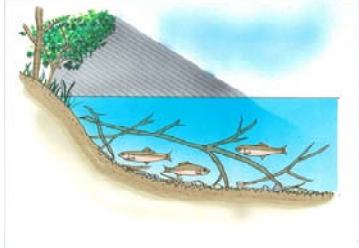
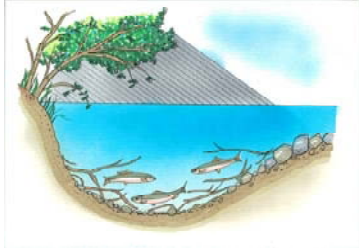
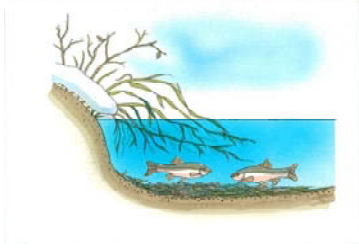
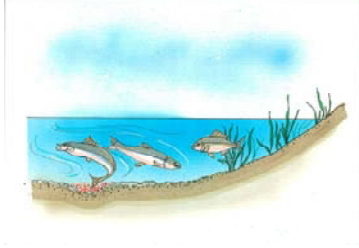


図 5-8 瀬淵の模式

魚類生息環境の必要条件とその確保方法について表 5-8 に示す。魚類の生息環境と瀬・淵の存在は密接に関係している。同時に、魚類の生息環境と河畔の植生は密接に関係しており、特に休息・避難・退避・越冬・産卵・稚魚の生息環境を形成する上で必要であることが分かる。よって、魚類の生息環境の保全に配慮しつつ樹林化抑制を図る必要があると言える。

表 5-8 魚類生息環境の必要条件とその確保方法

No.	魚類の生息環境			流速環境	解説	必要条件	計画における対応
1	移動空間	流れが速く定位や摂食は困難であるが移動は可能な空間		3.0m/s程度以下	・移動空間は、摂食空間、休息空間、避難・待避空間など、魚類の生息環境に必要な各空間に移動可能な状況でなければならない ・海域と河川を行き来する主や一生を河川で生活する種など、様々な種が移動可能でなければならない ・縦断・横断的に連続性が確保されている必要があり、移動の障壁となる落差のある構造物などは避ける	・必要水深と流速の確保 ・河川内および支川・水路などの縦断・横断的な連続性の確保	・適切な低水路幅の設定 ・連続性のある縦横断計画の設定
2	摂食空間	餌があり摂食することの可能な空間		0.1～1.0m/s程度	・魚類の主な摂食空間は「瀬」である ・「瀬」は、流速が速いためレキの部分が多く、特に早瀬では細粒分が流され河床が浮石状態になり水生昆虫や付着藻類など多くの生物がすみ、魚類等へ餌を提供する空間である ・「淵」についても、「早瀬」で生産された藻類や水生昆虫が堆積する摂食空間になる ・複雑で多様化した自然のままの河川環境では良好な「瀬」と「淵」が存在する	・良好な「瀬」と「淵」の存在	・水制帯工による「瀬」と「淵」の創出
3	休息空間	疲労時や夜間などの休息に必要な流れのほとんど無い空間		ほとんど無い	・疲労時や夜間などの非活動時にも流されることのない、外敵に対しても安全な空間が必要である ・淵裏部、レキ下、倒木の下などの流れの少ない空間が必要 ・自然の状態では、河道の物理的な変化が多様な状態で形成される	・良好な「淵」の存在 ・多孔質なレキ空間(瀬)の存在 ・倒木の存在 ・障害物や突起物の存在	・水制帯工による「瀬」と「淵」の創出 ・埋枝による河畔林の再生 ・片法枠による複雑で多様な河岸環境の復元と魚類の休息・待避空間の創出
4	避難・待避空間	洪水時や渇水時などに避難・待避できる流れの穏やかで濁りの少ない空間。		ほとんど無い	・渇水時は水量が減り魚類の生息に必要な水深が不足し、洪水時には流速の増加や濁水などによる水質の悪化が生じるため、このような状況下における魚類の避難・待避場所が確保されていないといけない。 ・必要な環境は休息空間と同様であるが、渇水時や洪水時は河川の流速や水位環境が異なるため平常時の休息空間の確保だけで必要条件を満足するとは限らない	・良好な「淵」の存在 ・多孔質なレキ空間の存在 ・倒木の存在 ・障害物や突起物の存在 ・水位上昇時の冠水空間における低流速帯の存在	・水制帯工による「瀬」と「淵」の創出 ・水制帯工による土砂流出抑制 ・埋枝による河畔林の再生 ・片法枠による複雑で多様な河岸環境の復元と魚類の休息・待避空間の創出 ・緩勾配河岸による洪水時における低流速帯の確保および土砂流出抑制
5	越冬空間	冬期間の活動停止時期において低流速・低照度の越冬可能な空間		0.2m/s程度以下	・越冬期は魚類にとっても過酷な環境であり、サクラマス为例では全ての活動が停止し、低水温のもとでエネルギー消費を抑制するように穏やかな流れで低照度の場所を選択する ・岩陰や淵裏など滞留して落ち葉の堆積する空間や、積雪による植物のカバーが形成される空間が好まれる	・良好な「淵」の存在 ・岩陰や大石の存在 ・河畔植生帯の存在 ・河畔林からの落ち葉の供給	・水制帯工による「瀬」と「淵」の創出 ・埋枝による河畔林の再生 ・環境護岸による河畔植生帯の再生 ・片法枠による低流速帯の確保 ・緩勾配河岸によるよどみ域および植生帯の創出
6	産卵場	産卵可能な空間で魚類により方法や形態は異なる		瀬 0.5m/s前後 河岸の植生帯 0.3m/s以下	・産卵環境は、[1]早瀬の河床に穴を掘る、[2]瀬の洗われたレキに棚後を付着させる、[3]河岸のヨシなどに卵を付着させる、[4]水中のヨシなどの茎に巣を作り産卵する、[5]レキの下面に卵を付着させる[6]二枚貝など他の生物を利用する、など6形態に大別される。 ・魚類によりさまざまであり、上記の条件を満足する多様で複雑な河川において形成される河川環境が必要となる	・良好な「瀬」の存在 ・河畔植生帯の存在	・水制帯工による「瀬」の創出 ・環境護岸による河畔植生帯の再生 ・緩勾配河岸によるよどみ域および植生帯の創出
7	仔魚・稚魚の生息空間	仔魚や稚魚の生息・育成可能な空間		仔魚(しぎよ) 0.05m/s以下 稚魚 0.1～0.25m/s	・仔魚や稚魚は、流れのほとんどないよどみ部やレキ裏などにその多くが生息する ・孵化してまもないヒレの不完全な仔魚は、流速0.05m/s以下の流れのほとんどないよどみ空間で生息、ヒレの生えそろう稚魚は0.1～0.25m/sの多少流れが生じる淵裏部でも生息可能となる ・河岸のよどみや淵裏など流水の滞留するところで、そこに集まるプランクトンや植物の種子を摂食しながら成長する	・良好な「瀬」と「淵」の存在 ・良好なよどみ空間の存在	・水制帯工による「瀬」と「淵」の創出 ・片法枠による複雑で多様な河岸環境の復元と魚類の休息・待避空間の創出 ・緩勾配河岸によるよどみ域および植生帯の創出

5.4.2 河岸部における樹林保全の必要性

河岸部のヤナギ林は、河畔林として治水面・環境面で有益な機能を有している。そのため、単に樹林化を抑制し伐採するだけではなく、河畔林として必要とされる機能を効果的に発現させる管理を行ってゆく必要がある。

(1) ヤナギ類の治水上の機能

ヤナギはいったん定着すれば、常に流水にさらされている箇所でも生育可能であり、枝が洪水に逆らわずになびいて流速を低減させ、根系による土の縛力が大きく、河岸を安定的に保つことができる²⁶⁾。

河岸に生育する低木のヤナギ群落は、密生して発達したヤナギの根がしっかりと土を押さえ洪水時の侵食から河岸を保護し、ヤナギの枝は設置面の流速を低下させ侵食を防ぐ機能がある²⁶⁾²⁷⁾。

このようなヤナギ類の機能を活用した例として、柳枝工や栗石粗朶工(図 5-9)等が挙げられる。また、木流し工等水防資材としての活用や、堤防樹林帯の整備にも利用される等、目的に応じた管理・活用によってヤナギ類は治水上有益な機能を発揮させることができる。

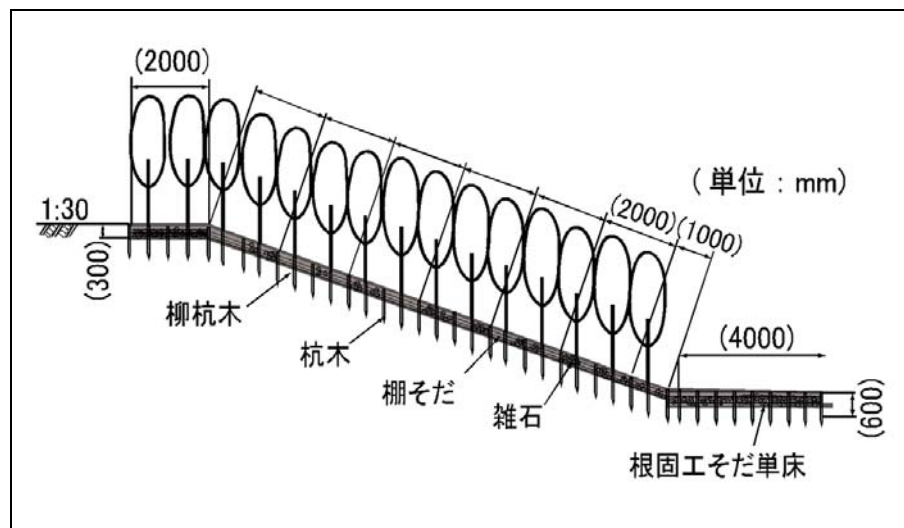


図 5-9 栗石粗朶工の模式²⁸⁾

（２）河畔林としてのヤナギ類の機能

河畔林とは水辺に成立する森林のことであるが、河岸に繁茂した樹木群は、河川水面への日射遮断（水温上昇防止）、リター供給（落ち葉の供給や食物ベースの形成）、落下昆虫の供給（魚類等の餌の供給）、カバーの形成（倒木や流木等による生息環境形成）、水質形成（土砂や濁水の流入防止及び養分吸収）等、様々な生態的機能を有している²⁹⁾。

北海道においては、これまで述べてきたようにヤナギ類が河畔林の主体を成していることから、河畔林の機能を効果的に発現させるよう、河岸部での配置を許容していくことが考えられる。

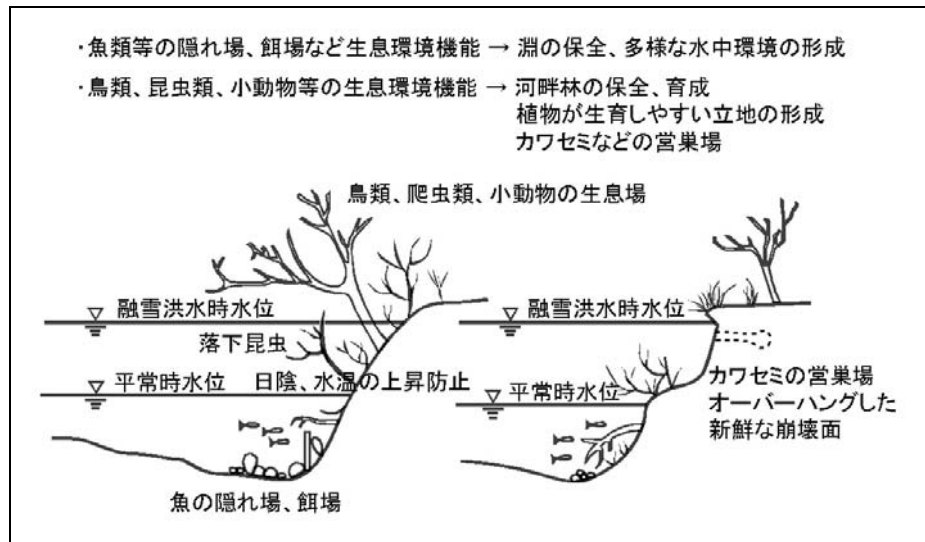


図 5-10 河畔林の生態的機能の模式²⁹⁾

（３）水辺の植生移行帯

自然の河川や湖沼では、陸域から水域へと次第に環境が変化する移行帯（エコトーン）が形成される。水辺の移行帯では、水深、土壤水分、地下水等が変動するため、多くの生物の生息場所となり、生物多様性に富んだ空間が形成される²⁶⁾。

緩やかな傾斜の自然湖岸の例では、下図に示すとおり、陸域から沖に向かって、ヤナギ等の水辺林からヨシ等の湿生植物に移行し、さらに抽水植物、浮葉植物、沈水植物まで、狭小な空間に様々な生活形態をもった植物群落が見られる。

ヤナギ類は、水位変動により水中に沈んだり陸地になる河岸部に適応した植生であることから、河岸部の移行帯を形成する植生でもある。必要に応じ保全や形成を図る場合もあると考えられる。

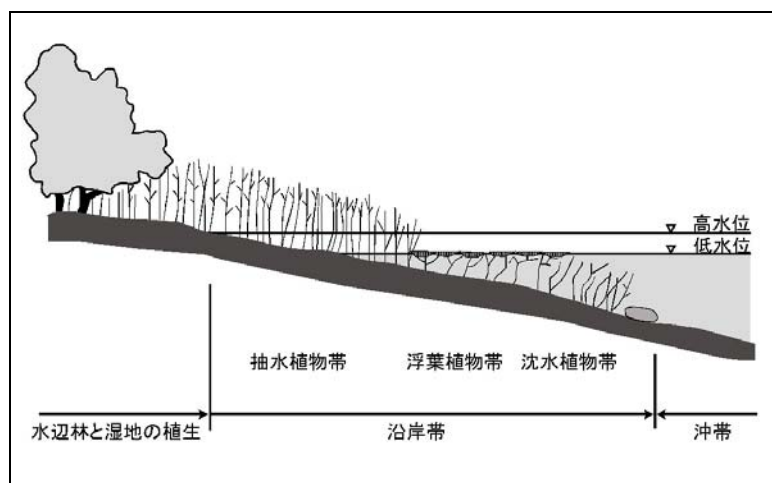


図 5-11 水辺の移行帯の模式²⁶⁾



写真 5-7 移行帯が形成された旧川部の水辺の例(天塩川)

● 解説：河岸部にヨシ群落を形成することによる副次的効果について

河岸を含む低水路掘削を実施した場合、水際の植生や地形が変化し、魚類の生息環境が減少する等の影響が指摘されている。また、河岸部における湿生植物の減少による水質浄化機能の低下も指摘されている。

掘削面の冠水頻度を高め緩流域部分にヨシ原を形成した場合、環境面の観点から以下のような副次的な効果が期待できる。

○緩流性の魚類(サケの稚魚等)の生息場の創出

サケの稚魚は11月から12月にかけて孵化した後に産卵床の中で越冬し、4月頃から「岸辺の浅く流れの緩い箇所」で群れ、成長に伴い水生昆虫や落下昆虫等の餌を求めて中下流に分散してゆく。幼魚期は採餌場となる「瀬」や休息場となる「淵」だけでなく、避難場所と越冬場所となる「カバー」をセットとして必要とする³⁰⁾。

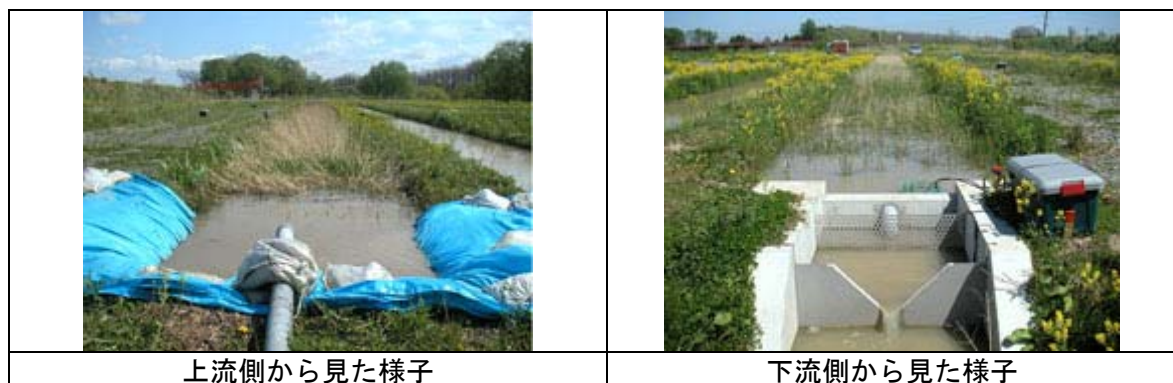
魚類の生活環境として河岸や水際の重要性は高く、カバーとして適した条件を形成できる本対策工法の環境保全効果は期待できるものと考えられる。

表 5-9 魚類の生息場創出効果

本対策工法により形成される環境的な要素	サケの稚魚等小型魚類の生息環境としての機能・意義	備考・補足
①河川水面と接続された流速の遅い水域 ②ヨシの湿性植生群落 ③上記①と②が混在した状態	・鳥等の外敵から身を守る隠れ場所(4月～10月) ・餌となる水生昆虫の繁殖場所(4月～10月) ・出水時の避難場所(出水時) ・越冬場所(12月～翌2月)	・隠れ場は、水面から0.50m程度の高さの湿性植生が繁茂している水域が適している。 ・越冬場所は、ヨシ等の高茎草本等の繁茂や倒伏によって遮光された流速0.05m/s以下で、落下昆虫等の餌が供給される箇所が最適とされている。

○ヨシ原の濁水浄化機能

平成21年度に旧夕張川において実施された水質浄化実験によると、ヨシ原植生による濁水浄化の効果は、延長60mの実験水路において流下時間2時間程度をかけて流下した場合、概ね50%の濁度を除去できる。ただし、浄化可能な粒度には限界があり、1μm以下は除去できないという知見が得られている。



上流側から見た様子

下流側から見た様子

写真 5-8 60m 水路によるヨシ原植生濁水浄化実験の事例写真

○ヨシ原の河岸侵食防止機能

河岸に生育するヨシ原は、洪水時に流水方向にヨシが倒れ地表面を被覆し、流水になびいたヨシの茎や葉が洪水の流速を低減し、地中ではマット状に絡み合ったヨシの地下茎が土を緊縛して、洪水時には河岸浸食を低減する機能を有することが知られている³¹⁾。

荒川でのヨシ原の消波機能に関する実験によれば、十分に密生した幅のあるヨシ原（流水の横断方向に 8m 以上ある場合）は、ボートの航走波を低減させ、波のエネルギー損失率は 60～80%に達し、河岸浸食を防止する効果があることが明らかにされている³¹⁾。

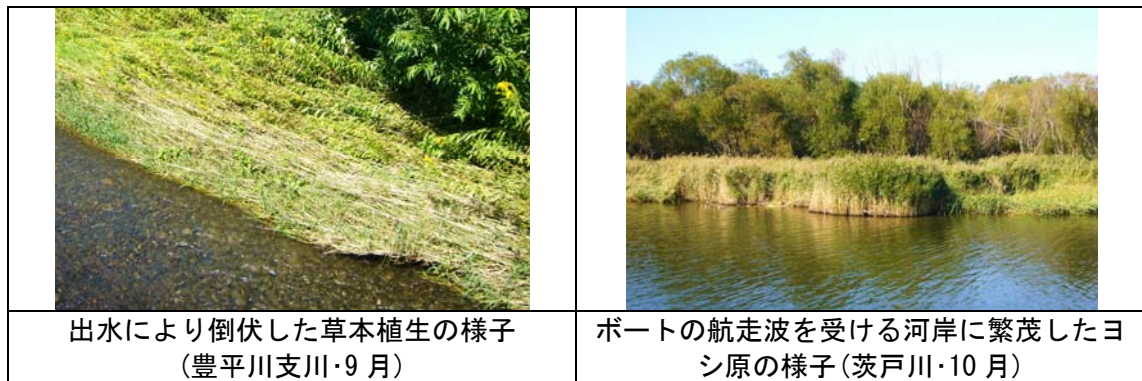


写真 5-9 河岸に繁茂する草本植生の事例

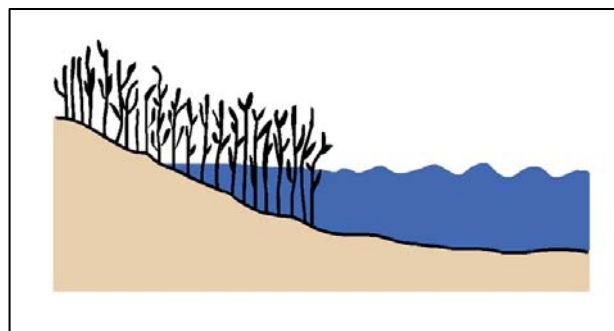


図 5-12 ヨシの消波機能概念図³¹⁾

5.4.3 多様な樹木群の形成

河畔の樹木群は、立地の安定性に応じて、一般に先駆林から成熟林へと遷移する。しかし、現状は先駆林がほとんどとなっていることから、流下能力に支障のないところでは、成熟林の再生も意識する必要がある。

河畔の樹木群は、立地の安定性に応じ、一般に、ヤナギ類などの先駆林からハルニレ、ヤチダモなどの成熟林へと遷移する。しかし、現状の河畔の樹木群は、ほとんどがヤナギ林となっており、林内には成熟林構成種の分布が少なく、遷移の兆候がみられないことが多い³²⁾。したがって、断面設定では、成熟林の保全を目指すとともに、流下能力に支障のないところでは、先駆林の遷移を実施することを意識する必要がある。

●事例：旭川開発建設部で実施している林種転換の取り組み

旭川開発建設部では、本来、安定した立地において優占するはずのハルニレ、ヤチダモ等の河畔林に対し、現在のヤナギ類単一の河畔林や外来種であるハリエンジュ林について、治水上許容可能又は伐採優先度の低い河畔林において、疎通能力が高く、多様性のある河畔林へと遷移させることが可能かどうかを検討している。

試験開始から2～3年経過した現在の状況では、ハルニレ、ドロノキの成長が早いという傾向が現れており、大きいもので樹高1.5m程度になっている。

また、他にも導入したヤチダモ、オニグルミなどの稚樹群も順調に成長している。

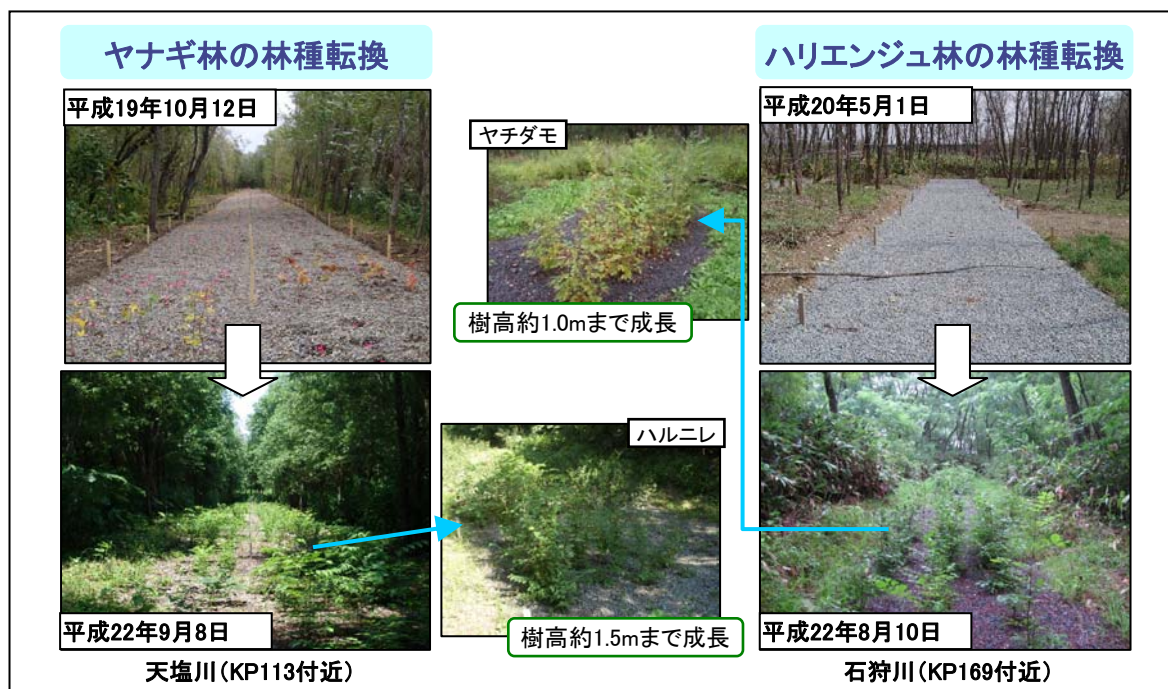


図 5-13 ヤナギ林及びハリエンジュ林を在来種に転換させる調査

5.4.4 伐採木の有効活用

伐採木は、マルチング材、緑化資材、堆肥、燃料等としての活用が考えられる。

①伐採木の活用

十勝川では、図 5-14 に示す通り、河積阻害の解消、流木化の予防として、再生の早いヤナギ林を定期的に伐採し燃料、堆肥等として活用することが検討されている。また、河口部に集積している海岸流木についても、懸念される塩分は木材の表面に止まるものが多く、マルチング材、緑化資材、堆肥、燃料等としての活用が可能と考えられる³³⁾。伐採木の活用は、計画段階から検討することが望ましい。

②公募伐採

千曲川、犀川では、治水上支障となる樹木を地元住民が伐採し、持ち帰って使うという取り組みを定期的に実施している。公募伐採は好評で、年々応募者数が増えている。このような例は地元との連携が上手くいっている成果と思われる。県及び市町村で構成される「信濃川を守る協議会」が結成されており、河川一斉パトロール等を毎年2回実施する他、意見交換会を実施する等様々な取り組みが実施されている。



図 5-14 河川・泥炭・河畔林・地域(農業・家庭)を結ぶ栄養塩サイクルモデル³⁴⁾

【参考文献・出典】

- 1) 斎藤新一郎 (2001) ヤナギ類, その見分け方と使い方. 北海道治山協会.
- 2) 伊木千絵美・斎藤敦子・矢部浩規・中津川誠 (2004) ヤナギ類の樹皮剥皮による萌芽抑制実験. 応用生態工学会第8回研究発表会講演集: 37-40.
- 3) 畠 秀樹・渡辺康玄・野上 毅・坂井一浩・吉井厚志 (2007) 河畔林の管理伐採後の形状変化に関する報告, 河川技術論文集7, pp. 387-392.
- 4) 小山泰弘 (2005) ニセアカシアの枯らし方. 長野県林業総合センター ミニ情報9(1999) (2005に一部修正)
- 5) 小樽開発建設部 (2010a) 平成21年度 河川区域内樹木現況調査業務.
- 6) 北海道開発局 (1998) 河道内植生の計画と適正管理に関する研究. 第41回北海道開発技術研究発表会概要集: 指-02.
- 7) 小樽開発建設部 (2010b) 平成21年度 尻別川河道内樹木管理計画検討業務報告書.
- 8) 前河正昭 (2002) ハリエンジュ. 「外来種ハンドブック」(日本生態学会編), p. 204, 地人書館, 東京.
- 9) 小山浩正・高橋 文 (2009) 河川敷におけるニセアカシアの分布拡大に果たす種子の役割. 「ニセアカシアの生態学」(崎尾 均 編), pp. 99-130, 文一総合出版, 東京.
- 10) 真坂一彦・山田健四・小野寺賢介 (2006) ニセアカシアはどんな樹木か, 外来種問題の視点から. 光珠内季報 142: 9-13.
- 11) 崎尾 均 (2003) ニセアカシア(*Robinia pseudoacacia* L.)は溪畔域から除去可能か? 日本林学会誌 85: 355-358.
- 12) 山田健四・真坂一彦 (2005) ニセアカシアの萌芽能力の季節的変動. 日本森林学会北海道支部論文集 53: 24-26.
- 13) 小山泰弘 (2007) ニセアカシアの駆除, 刈払いの効果を中心として. 森林技術 781: 16-19.
- 14) 丹野幸太・前田 諭 (2007) 伐採・抜根によるハリエンジュ駆除効果と今後の課題. リバーフロント研究報告 18: 119-127.
- 15) 玉泉幸一郎・飯島康夫・矢幡 久 (1991) 海岸クロマツ林内に生育するニセアカシアの根萌芽の分布とその形態的特徴. 九州大学農学部演習林報告 64: 13-28.
- 16) 松並志郎・小林 真・里村多香美・渡邊陽子・菅田定雄・市川 一・北篠 元・山ノ内 誠・門松昌彦・秋林幸男・笹 賀一郎・小池孝良 (2008) ニセアカシアの侵入初期過程における根系動態, 切断根の萌芽再生能力の検討. 日本森林学会北海道支部論文集 56: 13-15.
- 17) 山田健四・真坂一彦 (2009b) ニセアカシアを駆除するには夏に伐採するのがよい. 光珠内季報 154: 5-9.
- 18) 田村浩喜・金子智紀 (2003) 巻枯らしによるハリエンジュ水源林の林種転換10年経過後の林分評価. 第114回日本林学会大会学術講演集.
- 19) 小山康弘 (2009) ニセアカシアの除去. 「ニセアカシアの生態学, 外来種の歴史・利用・生態とその管理」(崎尾均 編), pp. 297-309, 文一総合出版.
- 20) 山田健四・真坂一彦 (2009a) 伐採時期の異なるニセアカシアの萌芽枝の動態. 日本森林学会誌 91: 42-45.

- 21) 俵谷祐吉・佐藤 孝・小野 一 (2008) 赤川自然再生事業における外来種ハリエンジュ駆除の試み. RIVER FRONT 61: 18-21.
- 22) 増子輝明・前村良雄・森川陽一・阿部 充 (2010) 神流川における河道内樹林の適正管理について. リバーフロント研究所報告 21: 67-76.
- 23) 小川豪司・前田 諭・毛利雄一 (2010) 自然の営力に着目したハリエンジュ対策に関する考察. リバーフロント研究所報告 21: 77-86.
- 24) 大澤剛士・赤坂宗光 (2009) オオハンゴンソウ駆除マニュアル.
- 25) 長坂 有 (2001) 洪水からはじまる河畔林, ヤナギ類の生態から見た河畔の保全, 自然史研究ネットワーク2000「みなみ北海道」
- 26) 桜井善雄 (1991) 水辺の環境学, pp. 36-37, 新日本出版社, 東京.
- 27) 近畿地方建設局 護岸近自然工法研究会 (1993) 多自然型護岸工法 ガイドライン(案)【低水護岸編】
- 28) リバーフロント整備センター (1992) まちと水辺に豊かな自然をⅡ, 山海堂
- 29) 木内勝司・佐々木幹夫・長谷川金二 (2001) 河川合流点における河川整備とビオトープの回復, 水工学論文集, 第45巻, pp. 7-12.
- 30) 北海道河川環境研究会編 (2010) 魚のすみやすい川づくりガイド, 北海道建設技術センター
- 31) 福岡捷二・渡辺明英・新井田浩・佐藤健二 (1994) オギ・ヨシ等の植生の河岸保護機能の評価, 土木学会論文集 503: 59-68.
- 32) 傳甫潤也 (2007) 河畔林管理における植生からのアプローチ. 寒地土木研究所.
- 33) 斎藤直人・佐藤 創 (2010) 海岸流木の性状と利用の可能性について. 第53回北海道開発技術研究発表会概要集: 環-28.
- 34) 林田寿文・平野正則・金川正次 (2009) 河川整備に伴う発生物の有効利用について, 関係自治体との連携による資源としての活用に向けて. 第52回北海道開発技術研究発表会概要集: 連-03.

6. 河道内樹林のモニタリング

本章では、新たな概念を導入した河道内樹木管理方法に対する知見の蓄積、精度の向上、効果の検証を進めるためのモニタリング方法について解説する。

河道内の樹林化状況、裸地発生状況、抑制状況等、現地で検証されていないことが多いことから、継続的なモニタリングを実施し、初期状態の把握、定期的監視、樹林化状況について河川カルテ等を利用した整理が必要である。

現地で発生すると考えられる様々な不確実性を考慮に入れ、モニタリングを行ってゆく必要がある。予想される事項について項目ごとに整理した。

はじめに、6.1においては、攪乱による抑制対策に関するモニタリングとして、「攪乱境界の目安値」の活用に留意し、調査・計画段階でのモニタリング方法について解説する。

また、6.2においては、冠水や草本による抑制対策に関するモニタリングとして、「ヨシ原の形成」に留意したモニタリング方法について解説する。

次に、6.3において、現状で樹林化している箇所に対し計画的な管理を実施するため、「林分構造予測図」に留意したモニタリング方法について解説する。

さらに、6.4においては、多様性ある河畔植生創出のために留意すべきモニタリング方法について解説する。

最後に、6.5において、モニタリングのスケジュールについて整理した。

6.1	調査・計画段階でのモニタリング
6.2	攪乱以外の抑制対策に関するモニタリング
6.3	維持管理に関するモニタリング
6.4	河川環境に関するモニタリング
6.5	モニタリングのスケジュール

6.1 調査・計画段階でのモニタリング

6.1.1 調査段階でのモニタリング

(1) 樹木の根元の位置・標高の確実な把握

樹木の根元の位置は空中写真から判読しているが、樹冠が被ることで、地表の境界を不明確にしている。特に斜面が急な場合や大きな段差がある場合などは、僅かな水平ずれで評価高さが大きく異なることから、境界をより確実に把握する必要がある。

→ 横断測量の際に、樹木境界位置を確実に記載させるような仕様・作業指示を設ける。また、その際の樹林化境界を示す写真（概ねの樹高がわかるよう標尺とあわせて撮影）も撮影する。

(2) 攪乱境界位置の河床材料の把握

攪乱境界位置の河床材料が不明のため、河床材料で代表させているが、粒径が大きくなるほど、粒径が異なることから、摩擦速度の算定が不明確となる。

→ 攪乱境界位置が水際から大きく離れて存在する場合は、河床材料の粒径を調査し、写真も撮影する。

(3) 陸化した根固工や捨石工、乱積みブロックなどの位置の把握

これら施設が河岸にあることで、攪乱境界以上の場所で樹林化が生じていることとなるが、空中写真や横断図でこれらの正確な配置を把握することは困難である。

→ 横断測量の際に、これら施設の位置を確実に記載させるような仕様・作業指示を設ける。また、その際の施設と樹林化の有無を示す写真（概ねの樹高がわかるよう標尺とあわせて撮影）も撮影する。

(4) 岩河床の範囲の把握

これらが河岸にあることで、河床材料が出水時に容易に移動し、逆に岩盤に薄く土砂が被った場合は樹林化しにくい。これにより、攪乱境界以下の場所であっても樹林化が生じない場合があるが、空中写真や横断図でこれらの正確な配置を把握することは困難である。

→ 横断測量の際に、これらの位置を確実に記載させるような仕様・作業指示を設ける。また、その際の岩河床の状況を示す写真も撮影する。

(5) 床止工、堰、流路工など縦断勾配の規制となる横断構造物の上下流の河床材料の把握

これら構造物があることで、その上下流で河床材料が大きく変化する。これにより、粒径が異なることから、摩擦速度の算定が不明確となる。

→ これら構造物の上下流は、1km ピッチの河床材料調査に加え、より細かいピッチでの粒径を調査し、写真も撮影する。

6.1.2 河道計画検討でのモニタリング

(1) 攪乱境界の目安の検証および目安値の精度の向上

目安は、これまでの横断測量調査や河床材料調査、空中写真、河川環境情報図などのデータから検討したものであるが、実際の河道での応答は不明確な点が多い。

→ 現地での実証など、実際の河道での応答を踏まえて、目安値の検証や精度の向上を図る。

(2) 攪乱境界の目安の適応範囲の拡大

複列砂州区間や、護岸などにより流れが偏る区間といった、攪乱境界の目安が適応できない区間がある。

→ これらの区間について、現地での詳細な調査を行うとともに、対策工の現地実験などを行い、適応方法や対策を図る。

(3) 攪乱境界の考え方を反映した解析手法の開発

攪乱境界は出水時の土砂堆積や局所洗掘、側岸浸食といった河道の変化に伴って様々に変化するため、攪乱境界が扱える適切な解析手法がない。

→ 掃流砂の河床変動や浮遊砂の移動・堆積といった挙動の正確な解析手法の確立を図る。

(4) 二次元以上の解析モデルの整備

本ガイドラインでは準二次元不等流計算による解析手法を解説したが、出水時にいて流況の急激な変化が生じるような箇所では、一次元モデルによる計算では流速分布の把握に難がある。

→ 二次元モデルや三次元モデルによって河道内の流速・水深分布を計算することが望ましいことから、二次元以上の解析モデルの整備、構築を図る。

6.2 攪乱以外の抑制対策に関するモニタリング

(1) 冠水によるヤナギ類の抑制効果の確認

工事実施直後の裸地状態での融雪出水による応答の把握が特に重要と考えられる。

- 掘削面の冠水状況とヤナギの定着状況を把握することが重要であるため、水位計や量水標の設置し監視・記録する。

(2) ヨシ植生によるヤナギ類の抑制の可能性の検証

移植したヨシがどれだけヤナギの定着抑制に寄与しうるのかを確認する必要がある。

ヨシ植生が成立している箇所にはヤナギ類が侵入していないが、逆にヨシを配置することによりどの程度までヤナギ類を抑制可能なかは不明である。たとえヨシが繁茂したとしても、ヤナギとの混在が進むとヨシの優占が脅かされる可能性が考えられる。

- 植生の把握以外に、水位条件や土質、土砂堆積状況などについて調査し、確実にヤナギ類の侵入を抑制する条件を把握するとともに、課題が見つかった場合は、速やかにその対応策を検討し実施する。

(3) 草本や冠水による抑制対策の適用範囲、留意点の把握

仮設土堤として残置した河岸部の耐久性・機能の効果・トータルコストの把握

冠水や草本植生による早期被覆の効果の継続性や適用可能な河道特性などが不明である。

どのような条件で効果的なのか、適用条件の明確化に向けた知見の蓄積が必要である。

- 河道特性、水位条件や土質、土砂堆積状況などについて調査し、早期被覆の効果の継続性や適用可能な河道特性、留意点を把握するとともに、課題が見つかった場合は、速やかにその対応策を検討し実施する。

(4) 確実なヨシ植生の創出工法の確立

掘削面に確実にヨシ植生を創出する工法が確立していない。移植したヨシの地下茎の成長・拡大と共に地盤高が上昇する可能性が考えられるが、知見が不足している。

- 水位条件や土質条件、移植方法など様々な条件を調査し、確実にヨシ植生を創出する手法を確立する。

(5) ヨシ以外の草本植生によるヤナギ類の抑制の可能性の検討

早期草本の侵入実績としてはクサヨシが多く見られるが、クサヨシなどのヤナギ類の抑制効果が不明であるため、ヨシ以外の植生の進入や遷移について把握する。

- ヨシ以外の草本植生によるヤナギ類の抑制効果の検証を行うとともに、課題が見つかった場合は、速やかにその対応策を検討し実施する。

(6) 対策実施による相乗効果及び潜在リスクの把握

ヤナギ類に代わって河岸部の冠水箇所に湿性植生（ヨシ原）が形成されることで、魚類等のカバー機能やリター機能が付与され、多自然的な水辺環境の形成に相乗効果を発揮するのか、在来工法と比較して環境負荷低減効果はあったのか検証を行う必要がある。

→ 魚類（特に稚魚）の生息状況を把握するため、水生生物調査を実施し監視・記録する。

表 6-1 モニタリングの手順と考え方

段階区分	概要	横断面イメージ図	平面イメージ図
融雪期 4月～6月	●融雪期の冠水状況の把握 掘削面の冠水頻度及び冠水時の水深を、水位計や水位標を用いて記録する。	融雪期 ヤナギ類の種子着床を抑制できる冠水状況にあるか、それは何日間続いているのかを水位計等で把握する。 仮設土堤の高さ以上に水位が上昇した頻度を把握する。 ヨシは攪乱等を受けていないかチェックする。	
融雪出水直後 6月下旬～7月上旬頃	●ヤナギ類の定着状況の把握 ヨシ原の繁茂拡大状況を記録する。 ヤナギの進入生育状況を記録する。 ヨシやヤナギ以外の植生の進入状況を記録する。 仮設土堤の浸食状況を記録する。 掘削面の土砂堆積・流出状況を記録する。	夏期 融雪出水直後の土砂堆積・流出状況を把握する。 掘削面のヤナギ類の種子定着状況を把握する。	計画通りに冠水しているのかそうでないのか、そのことによりヤナギ類の定着はどう異なっているのかを把握する。
夏期	●環境面の相乗効果把握 サケ稚魚等の生息環境形成状況を記録する（カバー・リター・水質等）。	3年目の夏期で完成 サケの稚魚等緩流性の魚類に着目し、水辺の環境形成状況を把握する。 出水の影響等による仮設土堤の形状変化を記録する	
積雪前 11月上旬頃	●1年間の総括 ヨシ原の繁茂拡大状況を記録する。 ヤナギの進入生育状況を記録する。 ヨシやヤナギ以外の植生の進入状況を記録する。 仮設土堤の浸食状況を記録する。 掘削面の土砂堆積・流出状況を記録する。	積雪前 ヨシ・ヤナギ・それ以外の植生の進入・繁茂・優占状況を経年的に把握する。 年間の動向を総括し、さらに詳細な調査や新たな改善策を実施するのか検討する。	

6.3 維持管理に関するモニタリング

(1) 樹林化初期分布範囲の把握

ヤナギ類などの樹林化の初期は、樹高が低く草本と区別がつかないため、空中写真などでは初期の樹林化分布の把握が困難である。

→ ヤナギ類は、樹林化し始めた箇所は、一斉に高密度で生育する性質がある。積雪のない落葉期（晩秋または雪解け直後）には草本が枯死し、密生した低木林の立木が残ることから、低木林の立木分布を調査し分布図を作成する。また、その際の樹林化を示す写真（概ねの樹高がわかるよう標尺とあわせて撮影）も撮影する。

(2) 抑制対策実施箇所の維持管理頻度の把握

冠水や草本植生による早期被覆の効果の継続性や維持管理の頻度、維持管理方法が不明である。

→ 水位や冠水状況、土砂堆積状況などについて定期的に調査を行い、早期被覆の効果の継続性や維持管理の頻度、適切な維持管理手法を把握する。

(3) ヤナギの侵入を確認した場合は、稚樹段階で早期に駆除

ガイドラインで示した対策法はヤナギの樹林化抑制を目的に考案しているが、それでもヤナギ類の種子着床を完全に防止することは困難と予想される。

稚樹段階で駆除する管理は必要となる。種子散布期間の水面または被覆の維持が重要である。

細粒土砂であっても堆積が進行すれば陸化しヤナギが着床できる裸地となるため、定期的に堆積土砂の除去が必要と考えられる。また、流れ着いた流木が枯れずに掘削面に定着した場合、萌芽し成長を続ける恐れがあることから、流木の除去も定期的に必要と考えられる。

(4) 仮設土堤内の土砂堆積や浸食等

攪乱境界が確保できない河道では土砂堆積は早期に進むものと予想される。

一融雪期間で埋没することもあると考えられる。また、仮設土堤の浸食等が考えられる。

6.4 河川環境に関するモニタリング

(1) 在来環境への配慮

攪乱境界の目安を用いた河道掘削を行った場合の在来環境への影響が不明である。

→ 河道掘削後の河道変化、水位条件や土質、土砂堆積状況、在来環境としての生物の生育・生息環境などについて調査し、在来環境への影響を把握するとともに、課題が見つかった場合は、速やかにその対応策を検討し実施する。

(2) 多自然川づくりの効果検証

攪乱境界の目安を用いた河道掘削を行った場合の多自然川づくりの効果が不明である。

→ 河道掘削後の河道変化、水位条件や土質、土砂堆積状況、生物の生育・生息環境などについて調査し、多自然川づくりの効果を検証するとともに、課題が見つかった場合は、速やかにその対応策を検討し実施する。

(3) 瀬・淵の保全・創出の効果検証

攪乱境界の目安を用いた河道掘削を行った場合の瀬・淵の保全・創出の効果が不明である。

→ 河道掘削後の河道変化、水位条件や土質、土砂堆積状況、瀬淵の分布状況、瀬淵を利用する生物の生育・生息環境などについて調査し、瀬・淵の保全・創出の効果を検証するとともに、課題が見つかった場合は、速やかにその対応策を検討し実施する。

(4) その他の留意事項

その他の留意事項として、中小出水による掘削面内の変化、ヨシの生育状況、水質状況、サケの稚魚等魚類の生息状況、魚類の餌となる昆虫類などの生息状況等について、対策実施後の影響がどのように顕れているのかを把握する必要がある。

		
1. 掘削面の植生生育状況の把握 写真は旧掘削区間の仮設土堤内における湿性植生群落(ヨシ類が倒伏)の様子 (常呂川 KP5.8 付近 11月)	2. サケ稚魚等魚類の生育状況の把握 写真は樋門吐口部において遡上しようとするサケの様子 (常呂川 KP24.4 付近 11月)	3. その他の自然生態系への影響把握 写真は陸上動物(エゾシカ等)によるヤナギ稚樹の食み跡 (石狩川下流 11月)

写真 6-1 改修後に観察される様々な事象

6.5 モニタリングのスケジュール

掘削工事完了後以降のモニタリング調査と、その結果を受けた、再度管理の判断が必要となる。

(1) 施工直後のチェック

事後評価には初期状態が重要となる。施工直後には出来形を整理し、1、2年後は植生状況等を把握する。

①出来形の整理

事後評価には、施工範囲の樹林化状況が不可欠となる。したがって、施工後の出来形はきちんと整理する。

②植生状況

人為的に形成された裸地、冠水による土砂堆積や侵食により形成された裸地は、ヤナギ類の好適な定着地となる。また、事後評価には、初期状態が重要となる。したがって、施工後の1成長期、あるいは必要に応じ2成長期程度は、初期状態を把握する。また、状況に応じた対策も検討する。

(2) 定期的な監視

5年に一度を目安に、空中写真から樹林化状況の確認、また、樹林化が進行している箇所等ではその状況を調査する。

通常整理されている横断測量、空中写真等を活用する。空中写真等から樹林化状況を確認した後、樹林化が進行している箇所等ではその状況を調査する。したがって、定期的な監視の頻度は、空中写真が得られる5年に一度を目安とする。また、状況に応じた対策も検討する。

①地形

定期的な横断測量が該当する。また、魚類の生息環境、河道の維持の観点から、瀬頭の保全に努めた場合等には、細かな測量等を適宜実施する。

②樹林分布

定期的な空中写真が該当する。また、レーザープロファイラデータの活用も期待される。

③樹林構造

上記②では、樹林分布を把握できるが種構成、樹林構造が把握できない。したがって、②を把握した上で、代表的な箇所での現地調査を実施する。

(3) 再度管理の判断

1) 樹木管理シートの作成

5～10年に一度を目安に、樹木管理シートとして樹林化状況を集約する。

前章の初期状態、定期的な監視で得られる空中写真、横断地形、樹林構造等を活用し、樹木管理シートとして、施工前、直後、N年後の樹林化状況、河道計画で設定した樹林状況等の情報を集約する。主な着眼点は下記のとおりである。作成頻度は、空撮、地形、樹林構造等が揃う5～10年に一度とする。

①低水路掘削の場合

- ・樹林の分布や構造
- ・局所洗掘
- ・土砂堆積
- ・水位
- ・瀬、淵の分布
- ・上記の関連性からの河道維持状況 など

②高水敷掘削の場合

- ・樹林の分布・構造 など

③樹木伐採の場合

- ・樹林の分布・構造 など

2) 再度管理の判断

樹木管理シートを用いて、計画時に比べどの程度ずれてきたかを把握し、再度管理の必要性を検討する。

樹木管理シート用いて、再度管理の必要性を検討する。

- ・樹林化の進行による河積阻害が計画時比〇〇%以上を目安 など
- ・密度、枝下高が計画時比〇〇%以上を目安 など

7. おわりに

ガイドラインでは、北海道内の一級水系の調査結果を基に河畔林の維持管理が容易な河岸形状について検討を行い、特にヤナギの樹林化を抑制できる水理条件について整理を行うことができた。しかしながら、対策で初期の樹林化は抑えられるものの、土砂が堆積した時点で初期状態へ戻す維持管理が必要になると予想される。ガイドラインで示した手法を実際の河川に適用するためには、今後のモニタリング結果などを踏まえつつ、適用条件などについて知見を積み重ねていく必要がある。

●巻末資料:モニタリングサイト一覧

ガイドラインで示した河道内樹林化抑制対策に関する知見蓄積、精度向上、効果検証を進めるため、今後も継続的にモニタリングを実施すべき候補地点の一覧を以下に示す。
なお、これらの地点は、今後の知見の蓄積によって、見直しを行うことも考えられる。また、セグメントの代表地点が不足している場合は、追加も必要である。

表 7-1 北海道内におけるモニタリング候補地一覧

区分	開建	河川	位置 (KP・左右岸) 名称	セグメント区分	選定理由・モニタリング実施の意義
冠水による抑制対策	札幌	石狩川	KP76.8 付近・右岸 奈井江試験地	2-2	- 冠水頻度の違いによるヤナギ類の定着数を観察できる地点である。 - 平成 21 年度～平成 22 年度検討において、水位観測地点の近傍で冠水頻度を把握でき、かつ死水域で攪乱を受けにくい地点で、現地調査が行われ毎木データ等の知見が蓄積されている箇所である。 - 今後、毎年のヤナギの定着状況や樹林化の進行状況を継続的に記録し、近傍で観測されている水位変動との関係を把握することで、冠水頻度と樹林化の進行に関する経年的な知見を蓄積することができる。 - このようなモニタリングを実施することによって、冠水による抑制対策の効果や精度の向上を図ることができる。
攪乱による抑制対策	札幌	石狩川	KP65.5・右岸 攪乱境界代表地点	2-2	- 攪乱境界の実態が観察できる地点である。 - 平成 22 年度検討において、攪乱境界の各セグメントの代表地点として選定された地点であり、現地調査が行われ樹木データ等の知見が蓄積された地点である。また、攪乱境界目安値を設定するための選定地点の 1 つでもある。 - 今後、毎年のヤナギの定着状況や樹林化の進行状況を定期的・継続的に記録することで、攪乱境界の実態をより具体的に明らかにするとともに、経年的な知見を蓄積することができる。 - また、発生した出水の規模と攪乱を受けたヤナギ類の生存状況との関係を把握することにより、攪乱境界の目安値の精度向上に有効な知見を得ることができる。 - このようなモニタリングを実施することにより、攪乱による抑制対策の効果や精度の向上を図ることができる。
	札幌	石狩川	KP69.0・右岸 攪乱境界代表地点	2-2	
	札幌	石狩川	KP85.0・左岸 攪乱境界代表地点	2-1	
	札幌	石狩川	KP107.5・左岸 攪乱境界代表地点	2-1	
	札幌	豊平川	KP11.8・右岸 攪乱境界代表地点	1	
	札幌	豊平川	KP18.6・右岸 攪乱境界代表地点	1	
	札幌	豊平川	KP 7.2・左岸 攪乱境界比較地点	3	- 攪乱境界の代表地点と比較するために選定された地点である。 - 平成 22 年度検討において、攪乱強度が少なく、攪乱境界が目視で観察できない代表として選定された地点である。現地調査が行われ樹木データ等の知見蓄積や検証を進めることができる。 - 今後も攪乱境界の代表地点と同様のモニタリングを実施し比較することにより、攪乱の生じる地点と生じない地点の違いを明確にすることができる。 - このようなモニタリングを実施することにより、攪乱による抑制対策の効果や精度の向上を図ることができる。
	札幌	茨戸川	KP 5.0・左岸 攪乱境界比較地点	3	
草本による抑制対策	札幌	石狩川	KP9～14 付近・右岸 高水敷掘削箇所	3	- 草本(ヨシ原形成)による抑制対策が実施された箇所である。 - 平成 22 年度より、セグメント 3 区間の高水敷掘削面において、ヨシ原形成による樹林化抑制対策が実施されている。 - 今後、掘削面に進入した植生の種類や本数・生育状況や繁茂状況と、冠水頻度や水深を継続的に記録することによって、冠水とヨシ原形成による樹林化抑制効果の経年的な知見蓄積や検証を進めることができる。 - このようなモニタリングを実施することにより、草本による抑制対策の効果や精度の向上を図ることができる。
	網走	常呂川	KP8-9 付近 及び KP24-25 付近 低水路拡幅箇所	2-2 2-1	- 草本(ヨシ原形成)による抑制対策が実施された箇所である。 - 平成 22 年度より、セグメント 2 区間の低水路拡幅箇所において、ヨシ原形成による樹林化抑制対策が実施されており、検討資料や実施設計図面等の記録が残されている。 - 今後、掘削面に進入した植生の種類や本数・生育状況や繁茂状況と、冠水頻度や水深を継続的に記録することによって、冠水とヨシ原形成による樹林化抑制効果の経年的な知見蓄積や検証を進めることができる。 - このようなモニタリングを実施することにより、草本による抑制対策の効果や精度の向上を図ることができる。
	函館	後志利別川	KP5.4 付近・右岸 試験施工地	2-1	- 草本(表土復元)による抑制対策が実施された箇所である。 - 平成 21 年度～平成 22 年度に、セグメント 2 区間の高水敷掘削面において、表土復元による試験施工が実施されており、毎木データ等の知見が蓄積されている。 - 今後、掘削面に進入した植生の種類や本数・生育状況や繁茂状況と、冠水頻度や水深を継続的に記録することによって、表土復元による樹林化抑制効果の経年的な知見蓄積や検証を進めることができる。 - このようなモニタリングを実施することにより、草本による抑制対策の効果や精度の向上を図ることができる。