

# 全国一級河川における河道内樹林化と 樹木管理の現状に関する考察

## THE PRESENT STATE OF DEVELOPMENT OF THICK GROWTH OF TREES AND VEGETATION MANAGEMENT IN CLASS A RIVERS

佐貫 方城<sup>1</sup>・大石 哲也<sup>2</sup>・三輪 準二<sup>3</sup>  
Shigeki SANUKI, Tetsuya OHISHI and Jyunji MIWA

- <sup>1</sup>非会員 理修 (独) 土木研究所 河川生態チーム 交流研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)  
<sup>2</sup>正会員 工博 (独) 土木研究所 自然共生研究センター 研究員  
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)  
<sup>3</sup>正会員 工修 (独) 土木研究所 河川生態チーム 上席研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

We investigated the distribution of species becoming the problem as development of thick growth of trees in class A rivers and the effect of cutting and uprooting on the past vegetation management for those species in thirteen rivers. From the result that compared the data of the National Census on River Environments with the data of past vegetation management, *Willow*, *Robinia pseudoacacia L* and *Bamboo* were dominant species in Japanese rivers. Those species have been tending to increase in recent years, whereas periodical vegetation management has performed. From the result of field survey, the effect of cutting for those species was small in common. On the other hand, uprooting was effective by way of prevention for regeneration of trees as far as branches and roots were removed after uprooting. It is important that roots and branches were removed to raise preventive effect by uprooting.

**Key Words :** *development of thick growth of trees , National Census on River Environments, vegetation management, Willow, Robinia pseudoacacia L., Bamboo, first class rivers*

### 1. はじめに

近年、河道内における樹林域の繁茂と拡大（以下、樹林化という）は、河積阻害や粗度の増大など流下能力の低下をもたらし、治水上の問題となっている。

樹林化に至る機構についての研究は、個々の現場や植生を対象として、細粒土砂堆積と植生動態の関係より、礫床裸地から樹林化への形成過程が明らかにされ<sup>1)2)</sup>、河道管理へ反映するため洪水時の流れや河床変動解析を併せた植生動態の予測など<sup>3)4)</sup>、一部では相当に深まっている。このように、樹林化機構が明らかにされつつあるが、樹林化は1990年代以降依然として増加傾向にある<sup>5)</sup>。前述した研究とは別の樹種が、樹林化に至る機構に関与している可能性もあるが、実際にどのような樹種が増えているのか、また、地域によってその分布が異なっているのかなど、樹林化の具体的な現状についてはよくわかっていない。

上記では樹林化の現状に関する問題を指摘したが、川を管理する現場では、増えすぎた樹林域を治水上の影響要因として捉え、維持管理による定期的な樹木伐採等の

措置（以下、樹木管理という）が実施されてきた。樹木管理では、樹林が著しく繁茂しないよう除根等、樹木の再生防止を図ることが求められている<sup>6)</sup>。しかしながら、樹木管理後、数年も経てば再び樹林化に至る場合も少なくない。このように管理を行っているにも関わらず、なぜ再樹林化しているのかについて、特に樹木管理後のレスポンスに着目して、現場の実態から樹林化に至る要因を吟味した研究例は見当たらない。

このような背景から、本報では、全国河川における樹林化の現状とこれまでの樹木管理の実態とともに、樹木管理後のレスポンスから樹林化の抑制効果や再生に繋がる要因を明らかにすることを目的として研究を行った。

### 2. 研究の方法

#### (1) 全国河川における樹林化の現状把握

全国河川における河道内樹木群（以下、樹林という）の分布状況を把握するため、河川水辺の国勢調査の植物調査（以下、水国調査という）結果を使用した。対象河川

は1999年から2008年度に調査が実施された109水系117河川とした。

まず、水国調査結果のうち、果樹園等の耕作地を除く、木本類10基本分類を対象として、各河川で取得されたデータのうち最新のデータを用いて樹林面積を整理した。次に、地方別に樹林面積を集計し、河道内に優占的な樹林の面積割合を把握した。この際、水国調査結果は群落の分類が細分化されているため、類似した特徴を有する群落は一括りとした。例えば、タチヤナギ群集とアカメヤナギ群集はヤナギ高木林としてまとめた。また、水国調査で低木林として分類されているクズ群落は、もともと多年生草本なので、本検討から除外した。

最後に、樹林化の経年変化を把握するため、水国調査結果のうち優占的な上位3樹種の樹林面積を比較した。この際、1999～2003年度をI期、2004～2008年度までをII期とし、I期からII期までの優占樹林面積の変化を把握した。なお、河川によっては、I期とII期で調査面積が異なる場合があるため、調査面積が同程度である64水系64河川の結果を対象として整理した。

## (2) 経年的な樹木管理の状況

樹木管理の実情を把握するため、各地方整備局の河川管理者に、樹木管理の実態に関するアンケート調査を実施した。アンケートは、平成10年～平成21年度までに行われた樹木管理のうち、樹木管理の実施区間を1単位として、管理対象樹種と、その樹木管理方法について74水系157河川を対象として行った。なお、河道内の大規模工事(例えば、河道の切り下げや拡幅)に伴う伐採等は対象としていない。

## (3) 樹木管理後の現地調査

現地調査は、アンケート調査の回答結果から主な管理対象樹種を抽出し、樹木管理方法別に、これらの樹種のうち平成12年～21年度の間に比較的大規模な樹木管理が行われた河川区間で実施した。調査箇所では、樹木管理後の繁茂状況等を考慮し、管理後のレスポンスが典型的な場所を選定した後に、ベルトトランセクト法を実施した。同調査法では、ベルトトランセクト(2m幅の調査測線)を設定し、ベルトトランセクト上の1～5m間隔ごとに河床高の計測を行った。ベルトトランセクト内に樹木が分布する場合は、位置、生育場所の表層粒径、樹種、樹高、樹齢を記録した。なお樹齢は計測が可能な樹種について行い、調査箇所の樹木を任意で選択して計測した。河床高と樹木の位置座標は、VRS-GPS(Nikon-Trimble社製、5800GPS)で計測した。

データとりまとめに際しては、樹木生育場と平水時の水面との標高差(以下、水面比高という)と現況河床勾配との関係を優占樹種ごとに整理し、各樹種がどのような立地環境に位置しているのかについて整理した。また、ベルトトランセクトごとに除根後の優占樹種の密度を算

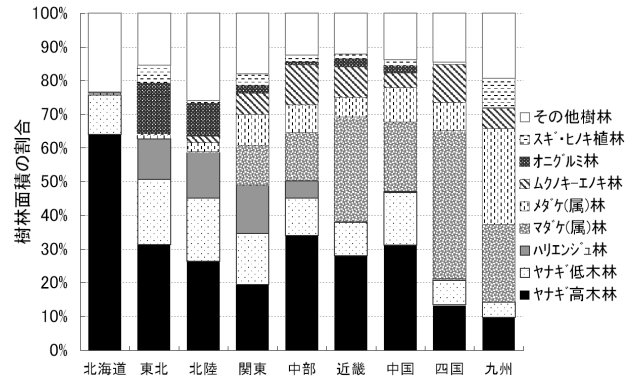


図-1 河道内樹林面積の構成割合

※各地方には、各地方整備局及び北海道開発局管轄の河川を含む。

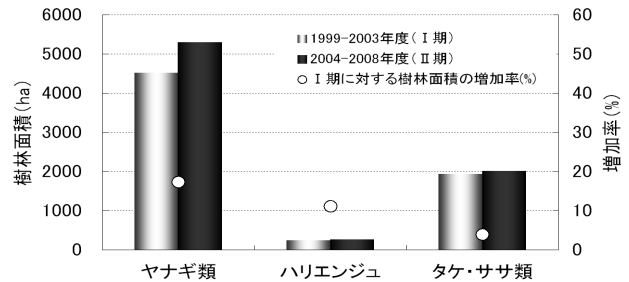


図-2 優占樹種面積の経年変化

出した。さらに、樹木管理方法別に、管理後の成長予測を行い、樹木の成長抑制効果について検証を行った。成長予測には、Richards成長曲線モデルを用いた。Richards成長曲線モデルは、次式で表される。

$$H = A\{1 - \exp(-kt)\}^{\frac{1}{1-m}} \quad (1)$$

ここに、 $H$ :樹齢 $t$ における樹高(m)、 $A$ :平均樹高の最終到達量のパラメーター(m)、 $k$ :成長速度のパラメーター、 $t$ :樹齢(年)、 $m$ :成長曲線の型のパラメーター。

なお、タケ類など、樹齢の計測ができない場合は、管理後の経過年数を樹齢として稈長の関係を整理した。

## 3. 結果

### (1) 樹林化の現状

図-1に、地域別の河道内樹林面積の構成割合を示す。ヤナギ類(ヤナギ高木林とヤナギ低木林)、ハリエンジュ、タケ・ササ類(マダケ林とメダケ林)の3種類(以下、優占樹種という)が、河道内樹林面積の約60%を占めていた。優占樹種別の地域的な分布傾向は、ハリエンジュは中部以東に分布は多く、タケ・ササ類は九州と四国で多く、東北以北ではほとんど分布していなかった。ヤナギ類は全国的に分布するが、北海道の分布が際立っていた。

図-2に、水国調査結果から得られた優占樹種の経年的な面積の変化を示す。いずれの樹種もI期と比較してII期の樹林面積は増加していた。内訳をみると、II期の樹木面積はヤナギ類17%、ハリエンジュ11%、タケ・ササ類

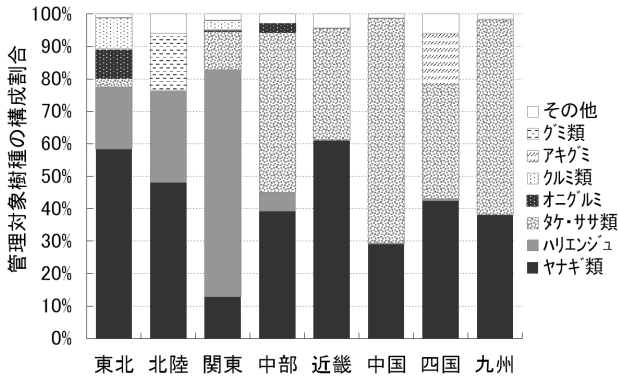


図-3 管理対象樹種の構成割合

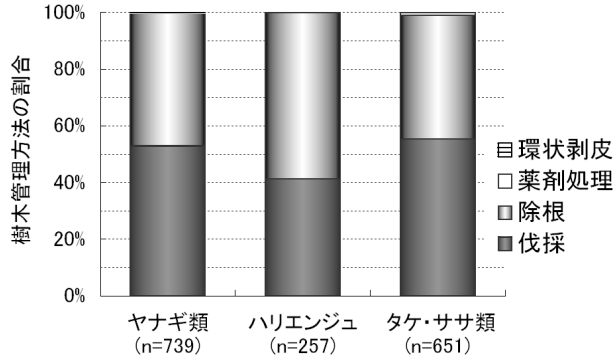


図-4 優占樹種の管理方法の割合

が4%増加していた。

### (2) 樹木管理の経年状況

アンケート調査の回答結果から、図-3に管理対象樹種の構成割合を示す。管理対象樹種は、ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類が80%を占めていた。地域別の管理対象樹種をみると、ヤナギ類は全国、ハリエンジュは中部以東、タケ・ササ類は関東以西で高い傾向にあり、図-1との比較において、同様の傾向を示していた。

図-4に優占樹種別に樹木管理方法の割合を示す。環状剥皮や薬剤処理等の工夫は限られており、伐採のみが約半数、除根まで実施する場が残りの半数を占めていた。

### (3) 優占樹種と立地条件との関係

樹木管理の主な対象は、ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類であり、樹木管理の方法は伐採と除根であった(図-3, 図-4)。このため、現地調査は各樹種における伐採・除根後の状況について行った。ただし、ヤナギ類は高木になる樹種、タケ類はマダケ、ササ類はメダケを調査対象とした。対象河川は東北、関東、中部、近畿、九州の計13水系17河川とした(表-1)。以下では現地調査結果を示す。

図-5は優占樹種別の現況河床勾配と水面比高との関係である。なお、マダケ(タケ類)とメダケ(ササ類)はここでは立地環境が異なっていたため区分した。まず、水面比高から各樹種の分布を比較すると、25%~75%分位点間でヤナギ類は0.7~1.4mと水際に近い場所に多く生

表-1 調査対象箇所の概要

地方名	水系名	河川名	調査箇所数	調査対象樹種		
				ヤナギ類	ハリエンジュ	タケ・ササ類
東北	赤川	赤川	4	○	○	
		米代川	4	○	○	
		雄物川	2	○	○	
関東	富士川	皆瀬川	1	○	○	
		釜無川	4	○	○	
		御勅使川	1	○	○	
		富士川	3	○	○	
中部	天竜川	三峰川	2	○	○	
		多度川	1	○	○	
		矢作川	5	○	○	○
近畿	九頭竜川	九頭竜川	4	○	○	
		栗栖川	1	○	○	○
		加古川	5	○	○	○
九州	筑後川	筑後川	4	○	○	○
		矢部川	2	○	○	○
		菊池川	5	○	○	○

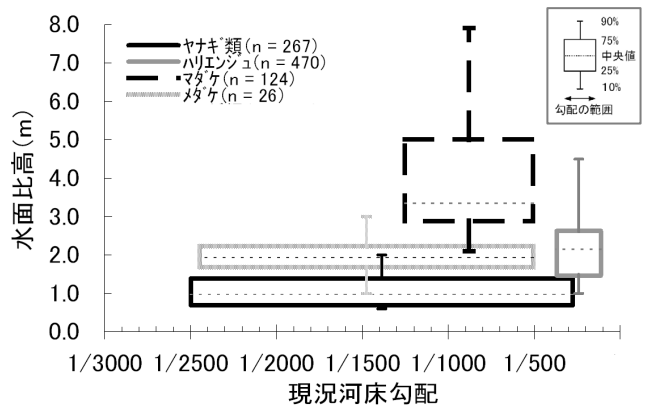


図-5 優占樹種の立地環境

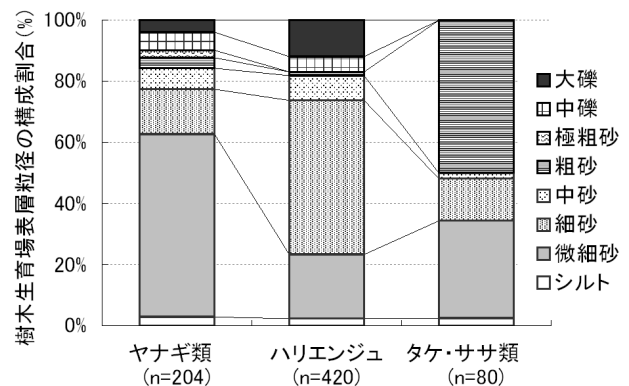


図-6 優占樹種の生育場所における表層粒径の構成割合

育し、ハリエンジュが1.5~2.5m、メダケが1.7~2.2mとヤナギ類より少し高く、マダケは2.9~5.0mと最も高い立地に生育していた。次に河床勾配をみると、ヤナギ類は約1/280~1/2,500、メダケは1/500~1/2400と、縦断的に幅広く生育していた。ハリエンジュは約1/120~1/370と比較的急勾配の区間、メダケは約1/500~1/1300の区間に生育していた。なお、河床勾配によって各樹種の繁茂している比高に、異なる傾向はみられなかった。

図-6に優占樹種別にみた生育場表層粒径の構成割合を示す。ヤナギ類とハリエンジュはシルト~大礫の河床で幅広く生育していた。一方、タケ・ササ類は、シルト~粗砂の砂河床でのみ生育しており、礫が表層にある場所では分布していなかった。

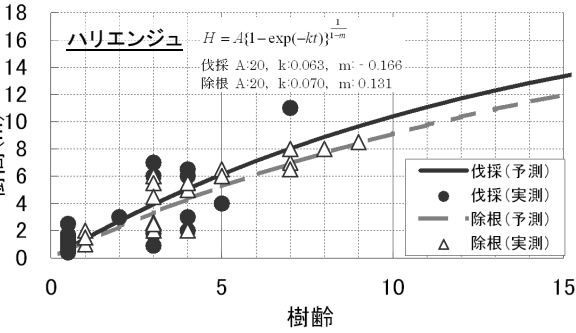
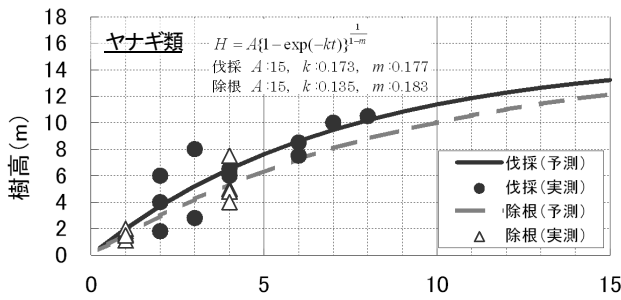


図-7 ヤナギ類、ハリエンジュの管理方法別の成長状況

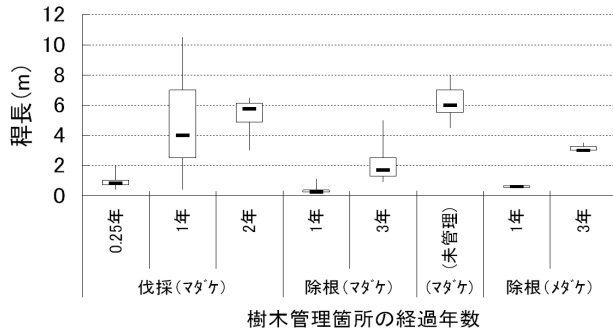


図-8 タケ・ササ類の管理方法別の成長状況

#### (4) 伐採・除根後の成長状況

図-7にヤナギ類とハリエンジュにおける伐採と除根後の成長状況を示す。なお、式(1)の成長曲線で、平均樹高の最終到達量のパラメーター( $A$ )は、現地での生育状況から、ヤナギ類で15m、ハリエンジュで20mとした。

ヤナギ類とハリエンジュの成長曲線について、例えば、水国調査で高木林の基準としている樹高4mまでの到達年数で比較すると、ヤナギ類は伐採で2.2年、除根で2.8年と約6ヶ月、ハリエンジュもまた、伐採で3.1年、除根で3.7年と約6ヶ月の差であった。除根では、伐採と比較して成長抑制効果がやや高いが、それほど大きな差は認められなかった。

図-8にタケ・ササ類の伐採と除根後の成長状況を示す。なお、マダケでは伐採後の結果が得られなかったため、除根の結果のみを示す。また、マダケでは参考として未管理箇所の稈長を示す。

マダケは伐採後、1年で未管理箇所と同程度の稈長まで再生していた。除根では、1年目の箇所では稈長約0.3m、3年目の箇所では約2mに止まっており、伐採と比較して、除根による抑制効果が示された。マダケは、稈長約6mまで成長するが<sup>7)</sup>、除根後3年目の箇所では約3mに止まってい

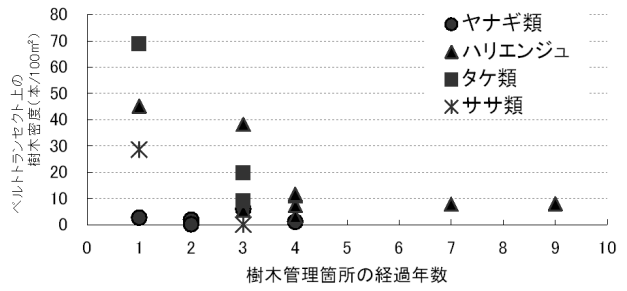


図-9 除根後における優占樹種の樹木密度



写真-1 ハリエンジュ除根後1年目の状況



写真-2 マダケ除根後1年目の状況

ることから、除根による稈長の抑制効果が伺えた。

#### (5) 除根後の樹木密度

図-9に、除根後の各優占樹種の経年的な密度を示す。ヤナギ類では、除根後2年目の箇所では再生がなく除根による抑制効果が示されたが、その他の箇所では再生がみられた。一方、ハリエンジュとタケ・ササ類では、20本/100m<sup>2</sup>以上の高密度の場合があり、いずれも除根後3年以内の箇所であった。ハリエンジュの除根後1年目の箇所では、除根作業を実施した区間一面に繁茂していた(写真-1)。マダケの除根後1年目の箇所では、稈長の低いマダケが高密度で繁茂していた(写真-2)。

### 4. 今後の河道内樹木管理に向けた考察

#### (1) 河道内樹林化の現状

河道内樹林の分布(図-1)と、管理対象樹種の地域的な傾向(図-3)から、現状の樹林化において課題とされる樹種は、ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類の3種類であるといえる。これらの樹種は、継続的に伐採や除根が実施されているものの(図-4)、2000年以降も樹林地の拡大が続いている(図-2)。優占樹種の分布傾向や立地環境から(図-1、図-5)、ヤナギ類は全国的に多く、縦断的にも幅広く生育していることがわかる。一方、ハリエンジュは、全国の河川に分布していることが知られているが<sup>3)</sup>、本研究結果から分布をみる限り、特に中部以東



写真-3 ヤナギの伐採株から萌芽再生



写真-4 ヤナギの残枝から萌芽再生



写真-5 ハリエンジュの伐採株から萌芽再生



写真-6 ハリエンジュの残根から萌芽



写真-7 マダケの残根から再生



写真-8 除根後のマダケの抑制状況

の比較的寒い地域の河川で、急勾配の河道において繁茂が著しい可能性がある。また、タケ・ササ類は関東以西の比較的温暖な地域に多く、縦断的には幅広く生育している。さらに、横断的な立地環境も各優占樹種で異なっている。このように、優占樹種だけでも地域性や立地環境に違いがみられる。したがって、樹木管理は、対象樹種の生理・生態的特徴を踏まえて実施することが重要である。以下では現場状況も踏まえ、まず、優占樹種別に伐採と除根による樹木管理の効果と課題について考察を行った。次に、樹木管理におけるコスト縮減に向けて、樹林化の地域性と樹木管理の関係について、社会的な観点から考察を試みた。

## (2) 伐採と除根の効果と課題

### (a) ヤナギ類

ヤナギ類は、伐採では伐採株から萌芽再生し(写真-3)、約2年で高木(4m)に成長しており(図-7)、樹高再生の抑制効果は小さい。

除根では、ヤナギ類の密度の抑制効果が高いが、箇所によって再生している場合もある(図-9)。除根後の現場では、作業後に残存した枝(以下、残枝という)による再生がみられた。除根後4年目の箇所の現場状況を見ると、除根後、整地により裸地化していた当該箇所は水面比高約1mと比較的湿潤な立地であるものの、除根後の種子散布期に冠水していないため、種子が漂着して定着に至ったものとは考えづらい。当該箇所のヤナギ類は、伐採株からの再生と同程度に成長が速かったことから(図-7)、除根作業時に土壌中に分散した枝から萌芽再生(写真-4)した可能性が高いと考えられる。上記から作業後にどう枝を除去するのかが課題である。

また、現場発生した残枝以外にも、流水によって散布される枝<sup>9)</sup>や種子<sup>10)</sup>による定着が報告されており、除根による抑制効果を長期的に維持するためには、除根後の再定着の防止を併せて検討する必要がある。種子や枝からの再生あるいは定着を抑制する方法として、河床の過湿

化もしくは乾燥化による抑制の有効性が報告されている<sup>9)10)</sup>。現地調査時においても、高水敷の掘削に伴って過湿状態になった箇所では、ヤナギ類の生育が抑制されている事例があった。

### (b) ハリエンジュ

ハリエンジュは、ヤナギ類と同様、伐採では元株から萌芽再生し(写真-5)、約3年で高木に成長しており(図-7)、樹高再生の抑制効果は小さい。ハリエンジュでは、伐採により水平根から根萌芽を発生させることが報告されており<sup>11)</sup>、伐採に伴い樹林域を拡大している可能性もある。

除根では、除根後に高密度になる場合があるなど(図-9)、密度の抑制効果が小さい。除根後1年目の箇所の現場状況を見ると、ヤナギ類と異なり、作業後に残存した根(以下、残根という)からの萌芽再生が現場で多数みられ、わずか20cmの根でも萌芽再生していた(写真-6)。除根後は、元株と同程度に成長が速かったことから(図-7)、土壌中の種子からの再生よりも、残根からの萌芽再生が主体であったと考えられる。さらに、除去できなかった小さな残根が、土壌中に散在して再生し、高密度になっている可能性が高い。

上記より、ハリエンジュは伐採や除根による抑制効果が小さく、逆に樹林域を広げる可能性もある。ハリエンジュの抑制には、残根の除去方法や薬剤による根の処理等、対策を検討する必要がある。現場での事例として、高水敷の掘削後に洪水時の掃流力によって残根が流出している箇所があった。これは意図的な対策ではなかったが、河道形状と洪水作用を考慮した抑制方法であり、こうした工夫も考えていく必要がある。

### (c) タケ・ササ類

タケ類は伐採後、1年で元通りまで再生しており(図-8)、伐採による稈長の抑制効果がみられない。除根では、根からの再生が2種類みられ、再生後の稈長に違いがあった。ひとつは、地中に取り残された大きな根系から再生しており、3年後の稈長は約2~3mであった(図-8)。

もうひとつは、除根作業中に発生した残根から再生し(写真-7)、1年後の稈長は約0.3mであった(図-8)。タケ・ササ類は数ヶ月で稈の伸長成長が停止することから<sup>7)</sup>、除根後に再生する稈長は、根のサイズと正の相関があると考えられる。除根によって成長抑制に効果があると考えられるが、大きな根系や残根が残った後に根系が発達した場合、細粒土砂層へ樹林域を拡大していく可能性もあるため<sup>12)</sup>、丁寧な根の除去が必要とされる。また、タケ・ササ類は、長期1回開花型の植物であり<sup>7)</sup>、種子による再生は比較的少ないと考えられるため、根系の対策が重要となる。現場での残根の処理事例として、除根後、残根を含む高水敷の土砂を堤防法尻に存置し、定期的な堤防管理時の除草によってマダケの再生が抑制されている箇所がみられた(写真-8)。

### (3) コスト縮減に向けた樹木管理について

上記までで、樹林化の抑制に効果的な樹木管理方法として、残根や残枝の除去等の必要性を指摘した。しかし、管理の現場では、樹木管理に充当された費用によって効果的な樹木管理の実施が制限される場合も少なくない。具体には、伐採や除根に係る費用より、除去した樹木・根系等の運搬・処分費の方が高い場合が多い。今後、持続的に効果的な樹木管理を実施するためには、コスト縮減を併せて考える必要がある。その対策のひとつとして、樹林化の地域性を活かして、樹木を利活用する観点を持たれる。例えば、ハリエンジュは寒い地域に多く、薪としての需要が高い。そのため、中部地方のある河川では、薪としての地域の需要と樹木管理の目的が合致した場合、地域住民が主体となって樹木を伐採した後、薪利用により処分し、樹木管理のコスト縮減が図られている。

樹林化が拡大している現在、効果的な樹木管理の実施に際して、技術的な課題の解決のみならず、地域性を踏まえた社会的な枠組みの中で、計画的に樹木管理を実施していく必要があるのではないかと考えられる。

## 5. まとめ

近年の樹林化傾向と経年的な樹木管理の実態から、樹林化として課題となっている優占樹種を抽出し、これまでの樹木管理の実態とともに、樹木管理後のレスポンスから樹林化の抑制効果や課題を明らかにした。

河川水辺の国勢調査結果と樹木管理実態を把握したアンケート調査結果の対比から、現在、樹林化として課題である樹種は、ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類の3樹種であり、これらは近年も増加傾向にあった。3樹種の分布傾向として、ヤナギ類は全国的、ハリエンジュは中部以東、タケ・ササ類は関東以西に多かった。3樹種に対する樹木管理では、主に伐採と除根が実施されてきた。各樹種における伐採と除根後の現場のレスポンス

から、その効果と課題を明らかにした。伐採では、3樹種共通して速やかに樹高は再生し、抑制効果は小さかった。ヤナギ類では除根によって、抑制効果がみられたが、残枝からの再生があるため対策を図る必要がある。ハリエンジュとタケ・ササ類では、除根作業時に発生する残根から多くが再生しており、除根による抑制効果を高めるためにも、残根の除去対策の検討が重要である。

今後の樹木管理では、上記の技術的な課題を踏まえた効果的な樹木管理を持続的に実施するために、樹林の地域性を利用したコスト縮減を併せて考え、地域を含めた社会的な枠組みの中で計画的な実施が必要と考えられる。

**謝辞：**本研究を進めるにあたり、国土交通省河川局治水課、河川環境課、各地方整備局並びに関係事務所の管理課、河川管理課、河川管理第一課の各担当者の方々には、現地調査や資料提供等において多大なご協力を頂いた。ここに謹んで感謝の意を表し、厚く御礼を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 李參熙, 藤田光一, 塚原隆夫, 渡辺 敏, 山本晃一, 望月達也: 礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割, 水工学論文集, 第42巻, pp.433-438, 1998.
- 2) 藤田光一, 渡辺 敏, 李參熙, 塚原隆夫: 礫床河川の植生繁茂に及ぼす土砂堆積作用の重要度, 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, 第4巻, pp.117-122, 1998.
- 3) 藤田光一, 李參熙, 渡辺 敏, 塚原隆夫, 山本晃一, 望月達也: 扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション, 土木学会論文集, No.747, pp.41-60, 2003.
- 4) 末次忠司, 藤田光一, 服部 敦, 瀬崎智之, 伊藤政彦, 榎本真二: 礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答, 遷移及び群落拡大の特性-多摩川と千曲川の礫河原を対象として-, 国土技術政策総合研究所資料, 第161号, 2004.
- 5) 楯慎一郎, 小林稔: 物理環境からみた全国河川の状況, リバーフロント研究所報告, 第19号, pp.87-95, 2008.
- 6) リバーフロント整備センター編集: 河川における樹木管理の手引き, pp.18-37, 1999.
- 7) 内村悦三: タケ・ササ図鑑, 創森社, pp.178-185, 2005.
- 8) 外来種影響・対策研究会編集: 河川における外来種対策の考え方とその事例, リバーフロント整備センター, pp.21-26, 2003.
- 9) 渡辺 敏, 前野詩朗, 渡辺秀之, 志々田武幸: 旭川におけるヤナギ林の拡大機構とその抑制管理手法に関する検討, 河川技術論文集, 第11巻, pp.77-82, 2005.
- 10) 伊木千絵美, 矢部浩規, 中津川誠: 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, 第11巻, pp.505-510, 2005.
- 11) 崎尾 均 編: ニセアカシア(*Robinia pseudoacacia* L.)は溪畔林から除去可能か, 日林誌, 第83巻4号, pp.355-358, 2003.
- 12) 藤原正季, 大石哲也, 天野邦彦: 砂礫州上に定着したマダケ林の消長特性, 水工学論文集, 第53巻, pp.1177-1182, 2009.

(2010. 4. 8受付)