

礫床河川の河道内樹林化に関する一考察

STUDY ON THE EXCESSIVE GROWTH OF REVERINE TREES IN GRAVEL-BED RIVER

清水義彦¹・小葉竹重機²・新船隆行³・岡田理志³

Yoshihiko SHIMIZU, Shigeki KOBATAKE, Takayuki ARAFUNE and Satoshi OKADA

¹正会員 工博 群馬大学助教授 工学部建設工学科 (〒365-8515 桐生市天神町1-5-1)

²正会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科 (〒365-8515 桐生市天神町1-5-1)

³学生会員 群馬大学 工学部建設工学科 (〒365-8515 桐生市天神町1-5-1)

Recently reverine trees in the course of gravel bed-river have extremely increased and enlarged their covered-area over bars and flood plain. Such a situation brings about problems of river management for the environmental aspects as well as the safety of rivers against flood. In order to clarify such problems, we should get the knowledge about how the instream vegetation grow up and expand their covered zones in gravel-bed river.

In this study, the field surveys were carried out in the upstream reach of the river Watarase which has the averaged bed slope of about 1/150 and has the characteristics of the segment-1 reach. The surveys suggest that the groves of *Robinia pseudo-acacia* expanded over bars and flood plains with the surface layer of the fine sand. This layer is formed by the deposition of fine sand(0.5mm-1.0mm) and its resources might originate from bed materials in the main channel. It is significant factor for the growth of *Robinia pseudo-acacia* and the formation of trees expanded area. The results also propose a scenario of the formation of the reverine trees expansion in gravel-bed river.

Key Words : instream vegetation, the reverine trees expansion, *Robinia pseudo-acacia*, relative height, deposit, bed material, gravel-bed river

1. はじめに

近年, 河道内植生の著しい繁茂によって森林化, 樹林化が進み, 河川管理上の懸案事項となっている箇所が少なくない。とくに, 礫床河川特有の玉石川原が草本類, 木本類によって占有されてくる状況は河相固有の景観構造とともにそこでのハビタートをも変質させている。さらに, 河道内の森林化・樹林化と流れ, 土砂輸送との相互作用系が生み出す地形変化, 樹林化した状況での大規模出水時の疎通阻害の懸念など様々な水理学的問題があり, これらに対して十分な解答が得られていないのが現状である。

そこで, 本研究では, セグメント1の河相特性をもつ礫床河川の樹林化の実態とその形成過程を考察するため, 利根川支川・渡良瀬川(流域面積2,600km²)において樹林化の進む河道区間での調査を行った。ここでは森林化・樹林化を引き起こす代表種としてニセアカシアに注目して検討を進めている。

2. 調査対象河道の概要

対象とした渡良瀬川の調査区間は利根川合流点からの52.4kmから43kmの約10kmで, そこにはニセアカシアやヤナギ類に占有された交互砂州や中州, 高水敷が豊富に存在している。ここでの河道特性はセグメント1に分類される礫床河川で, 平均河床勾配1/140, 平均粒径71.8mmである。近年の河道特性として平面形の変化はあまり顕

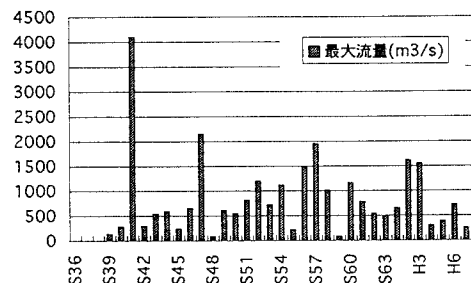


図1 年最大流量の経年変化(足利観測地点)

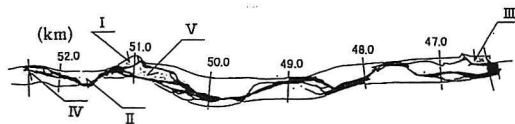


図2 調査した州の位置

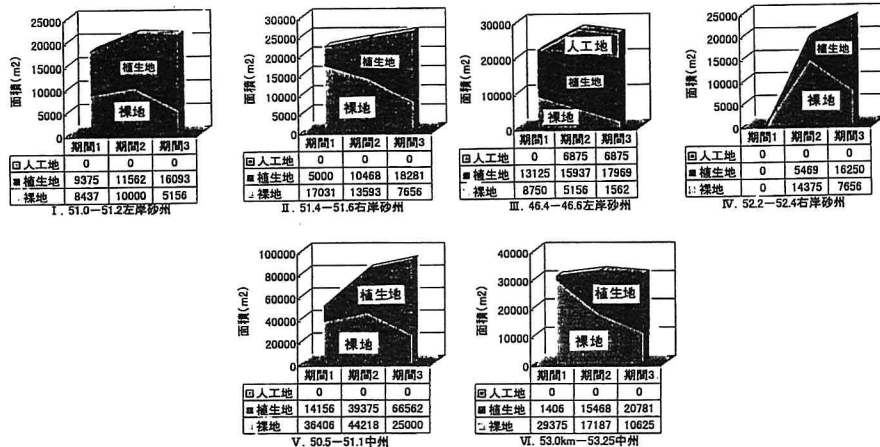


図3 州の面積と占有領域の変化

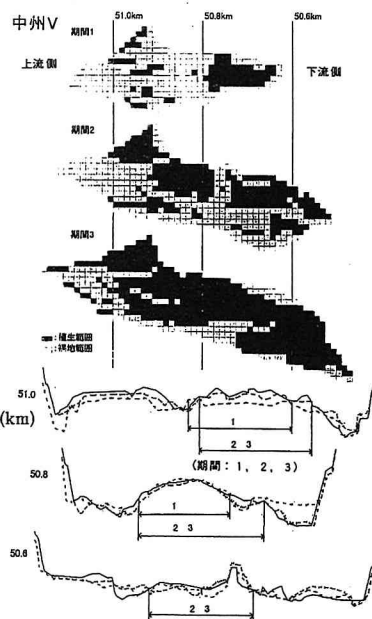


図4 中州Vの平面形と横断面の経年変化

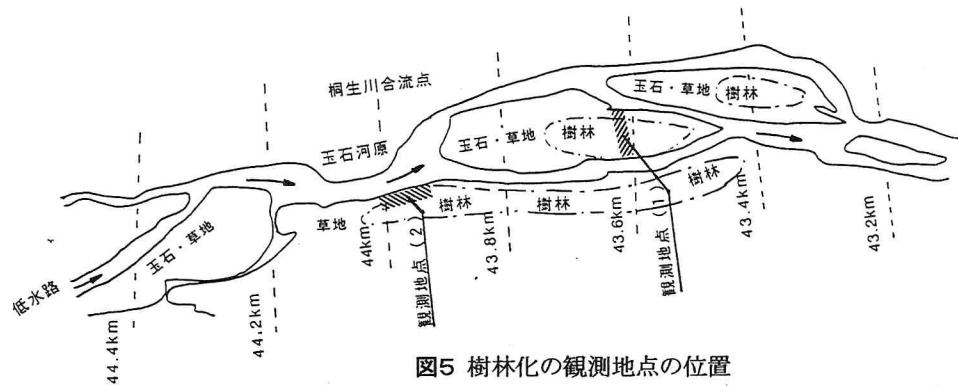


図5 樹林化の観測地点の位置

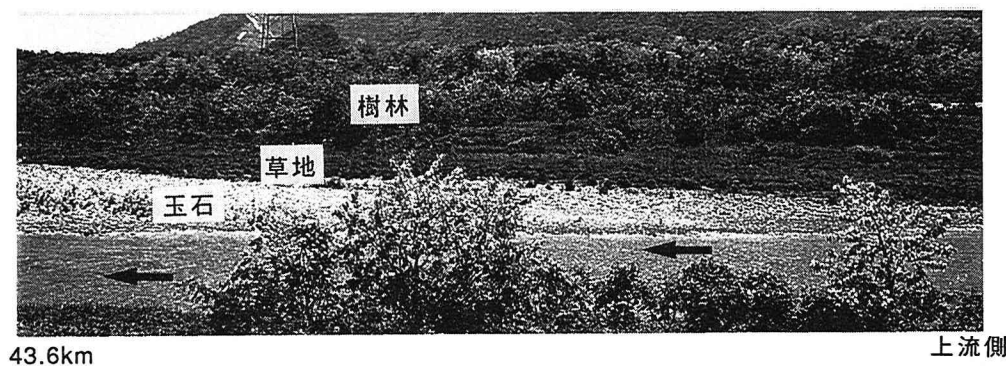


写真1 観測地点 (2) の状況

著ではなく低水路の固定化が進んでいる。図1は足利(35km付近)での年最大流量の時系列を示したもので、ここでの計画流量は $4000\text{m}^3/\text{s}$ である。

3. 樹林化の実態¹⁾

調査区間内の幾つかの州に注目して樹林化の進行状況を調べた。図2に注目した州の位置を示す。図3は州の

面積とそれに占める植生地、裸地の経年変化を示したもので、河道地形の変化が緩慢で平面形の似ている年度をまとめて3つの期間で表現した(期間1:昭和41から51まで, 期間2:昭和52から平成2まで, 期間3:平成3から平成7までとした)。これらはいずれも冬季に撮影された航空写真より求めたものであり、植生地とは木本類によって占有された領域をさしている。図3より、陸地部(州)の面積拡大とともにその中で植生地の占める割合が経年的に増加していることが分かる。図4は、狭窄部

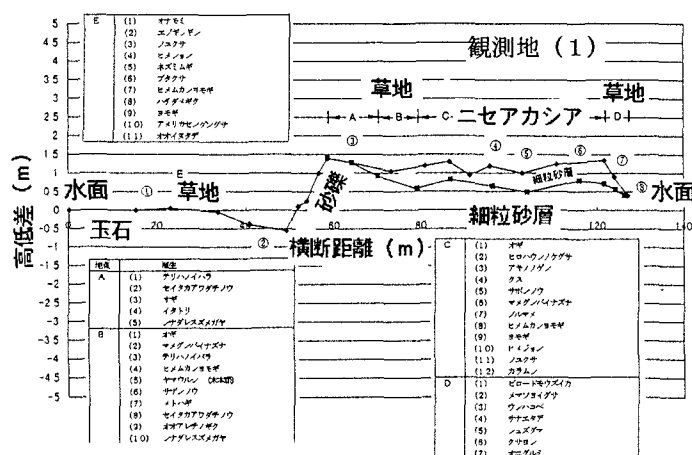


図6-1 観測地点の比高分布と植生の状況

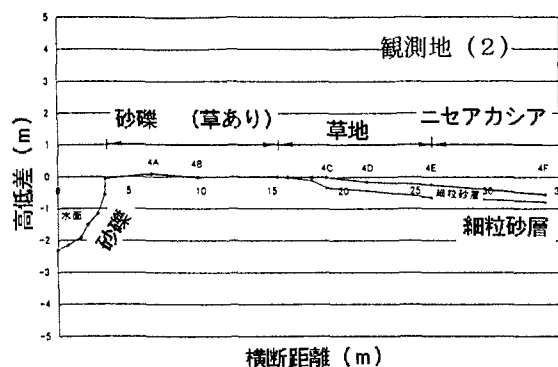


図6-2 観測地点の比高分布と植生の状況

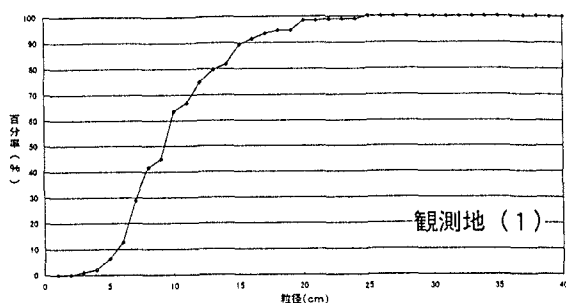


図7-1 低水路水際の表層粒度分布 (粗粒分)

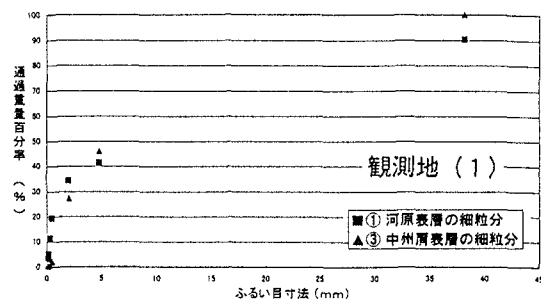


図7-2 低水路水際 (細粒分) と中州肩の表層粒度分布

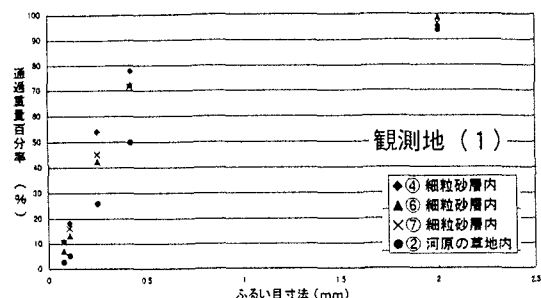


図7-3 細粒砂層と低水路水際の草地における表層粒度分布

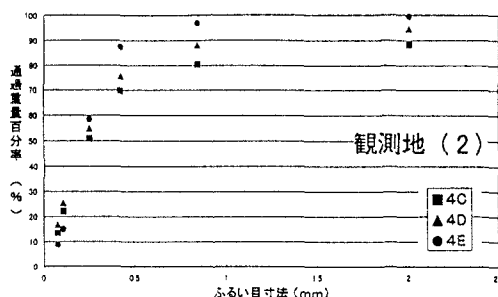


図7-4 細粒砂層の粒度分布

下流にできた中州 (V) について、中州の平面形状と横断断面の経年変化を見たものである。州の上流側は狭窄部に近いため出水によってフラッシュされ、地形の拡大や植生地の面積変化は緩慢である。しかし、中州の下流に向かっては、陸地部の面積拡大とそこでの樹林化 (主にニセアカシアの樹林) が顕著で、横断面の比較から期間3 (実線) に至るまでに堆積過程 (州の河床上昇) が生じていることが分かる。

こうした傾向は比高差のある河道地形を産み、複断面化とともに低水路固定、低水路河床低下を促進させている。

4. 州の現地調査

ニセアカシアの樹林地をもつ州に注目してそこでの現地調査を行った。図5に観測地点 (斜め斜線部) の位置を示す。観測地 (1) は中州であり、観測地 (2) は自然河

岸をもつ高水敷である。写真1は観測地 (1) の状況を示したもので、州上は低水路水際から、玉石 (ただし、まばらに草本類が存在)、草地、林地に区分される。図6には観測地の横断高さ (水面との比高差) と、植生の分布状況をAからEに分けて示した。このうち、州上のBは最も草本類の密生度が高く、背丈の高い草で1.5m程度である。その背後Cがニセアカシアの樹林地となっており、樹林地内でも草本類が存在するが、Bに比べて草の平均的な背丈は低い (密生度はほぼ同じ)。注目すべき点は、州上において表層が数十cmの厚さをもつ細粒砂層で覆われていることである。この細粒砂層の上では草本類やニセアカシアの繁茂が著しい。こうした様相は観測地点 (2) でも同様である。 (図6)。それぞれの観測地点での河床材料を調べた結果を図7に示す。観測地 (1) で、低水路の表層は図7-1、①に示すようにセグメント1に象徴される粗い礫床で、礫間隙を図7-2の①に示す細粒分がマトリックスとなって埋めている。中州肩の表層③は植生の疎らな礫床で、同様にこうした細粒分

がマトリックスの構成材料となって間隙を埋めている。図7-3、7-4に示すように、細粒砂層の構成材料は1mm以下の細砂が80%占めている。こうした均質な細砂は河原でも繁茂した草地があれば存在している（図7-3、②）。

ニセアカシアは表層に細砂やシルト分の堆積がない、礫河原であっても、表層下部の礫間を埋める粗砂があれば生育できる（写真2-1）。この場合、礫間隙を縫って地下茎を張り、連結した形で木が生育している。しかし、表層下部に埋没している礫によって根の進行が疎外されるため、地下茎は容易に拡大できず、林の形成はなかなか進まない（写真2-2）。

一方、樹林地の表層を構成する細粒砂層によって、ニセアカシアはその層内で根を平面的に拡大することができ、その結果、林が形成される（写真3）。細粒砂層は礫がほとんどなく、容易に掘り起こすことができる程度に柔らかい。そこでは林での日傘効果もあって適当な水分を保持でき、また、その表層は枯れ草や落葉などによって腐葉土化するようである。観測地（1）、（2）以外での樹林地でもこうした細粒砂層の存在が確認でき、細粒砂層が作られることが樹林化を促す要因になるものと推測される。

ニセアカシア

ニセアカシア



写真2-1 礫砂州に生育するニセアカシア（細粒砂層なし）



写真2-2 礫床内に根を伸ばすニセアカシア



写真3 細粒砂層とニセアカシアの根

5. 樹林化の形成過程

細粒砂層の存在が樹林化の形成要因の一つであることが示唆された。細粒砂層は塚原ら²⁾、李ら³⁾、藤田ら⁴⁾が指摘する“表層細粒土層”と同様なものと考えられ、彼らは表層細粒土層厚と植生群落との相関を調べ、オギ、ニセアカシアの繁茂にとってそれが大きな役割を持っていることをすでに指摘している。しかし、表層細粒土層は細砂からウオッシュロードのようなシルト分までの粒度を含む幅があるのに対して、ここで見る細粒砂層は図7-3、7-4が示すように0.5mmから1mm程度の細砂からなる均質な材料特性をもっている。このような細砂分はセグメント1の河道では河床構成材料の一部であり、低水路水際の礫間隙や河原の草地表層などにも、そのわずかな堆積分を見ることができる（図7-3、②）。従って、セグメント1の河道では、樹林地内に堆積した細砂も洪水時には河道内で移動し、低水路・州（高水敷）間で交換される河床材料であり、ウオッシュロード的な要素は少ないものと推測される。

さて、細砂が州上に堆積するプロセスがキーポイントとなるが、それは次のように推測される。

セグメント1の河道では、小規模出水時（低水路満杯流量をやや超える程度）における摩擦速度・沈降速度比が2～3以上となり、この程度の細砂は低水路において容易に巻き上がり、浮遊砂として輸送される（図8）。

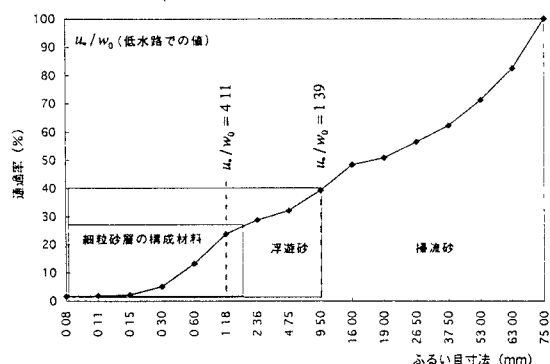


図8 低水路河床材料（100mm以下）の粒度分布

ここで重要な点は低水路と堆積地点となる州上との比高差が大きいことで、州上、高水敷にやや冠水する程度の小規模出水時では低水路では摩擦速度・沈降速度比が浮遊限界を大きく上回るのに対し、州上・高水敷ではそれが小さく細砂は沈降か、あるいは掃流砂運動となることである。

細砂の堆積は比高差よりも植生の減速による効果が本質なのだろうか？ 木本類では相当に繁茂しない限り（あるいは木に相当な流出物が引っかからない限り）、浮遊した細砂の沈降を産むほどの透過係数は期待しにくい。実際、かなり繁茂した場合でも1m格子内に木1～



写真5 出水後の中州先端のフラッシュ

2本程度の密生度である。しかし、比高差の小さい河原においても草本類がかなり密生すれば洪水の減水時に細砂をトラップすることが可能と思われる(図7-3, ②)。この場合、草は洪水中にその背丈をほとんど寝かせることから、補足される細砂は掃流砂として流れているものが限界掃流力以下となって堆積するものと推測される。実際、河原の草本類が倒伏し河床表層を被覆することで細砂を堆積させることが洪水痕跡においてしばしば見られる(写真4)。



写真4 草本類の倒伏による細砂の堆積

ただし、比高差がなければ、冠水頻度も高くなり持続的に堆積層を形成するまでには至らない。

細砂の州への堆積は、例えば、図4の横断図に見るように比高差をますます助長させている。一方、本来、低水路河床にも存在する細砂が一方的に州、高水敷に運ばれることは低水路河床低下の一要因にも成りうることを示唆される。

調査地点とした渡良瀬川において州がやや冠水する程度の出水は不等流計算より $1000\text{m}^3/\text{s}$ 規模となり、こうした小規模出水が経年的によく起っていること(図1)が、ここでの樹林化を促進させている。

6. 樹林地の洪水痕跡調査

観測地点は平成10年8月30日台風4号によって出水を受け冠水した。洪水のピーク流量は足利で $1300\text{m}^3/\text{s}$ であり

平成3年以来の出水であった。観測地点(1)がある中州の、先端に近い草地と樹林地の境では写真5に見るように、比高が小さいことから表層の草地が剥がれ細粒砂層が流失して礫の河原が新たに形成された。この地点での冠水深は 1.3m 程度である。ニセアカシアの灌木は低いもので $3\text{m}\sim 4\text{m}$ 程度であるが、礫間にも根がしっかりと張ってあるため、この程度の出水ではほとんど流出しなしていない。多くの灌木には冠水深程度の高さに幹幅の数倍から数十倍の広がり度で流出物(草本類の残骸)が引っかかり、遮蔽面積を大きくして木一本にかかる流体力を増加させているにもかかわらず、灌木の流出や幹の折損もほとんど生じていなかった。また、流出物の受け止めによって木の背後にできる死水域に細砂を堆積させていることが数多く見られた。

一方、観測地点(1)においては、低水路河岸と同じレベルの①、②では草本類はほとんど流失したものの、州上での冠水深は 30cm 程度で、草地はほとんど残存した。とくに表層を覆う草地の上には写真5に見るような新たな細砂の堆積が見られた。

7. まとめ

以上、渡良瀬川での河道調査を踏まえ、セグメント1の河道において河道内樹林化を引き起こすシナリオをまとめたものが図9である。

まず、何らかの要因によって比高差のある河道地形が産まれる。これは交互砂州波高の発達であったり、河道幅の局所的な狭まりによって中州が産まれたりすることがきっかけとなることがある。あるいは、流量コントロールや土砂供給の低下に伴って低水路の固定化や河床低下が進み、流路内の比高差が産まれてくることもありえる。ともに冠水頻度が場所的に極端に異なる状況が生じてくる。こうした時点において小規模出水を受けると、比高差にもとづく掃流力の違い、とくに、低水路での摩擦速度・沈降速度比が大きいために、低水路から比高の高いところに細砂が輸送される。そこでは掃流力も弱まって堆積傾向となる。堆積した地点には、礫床にも存

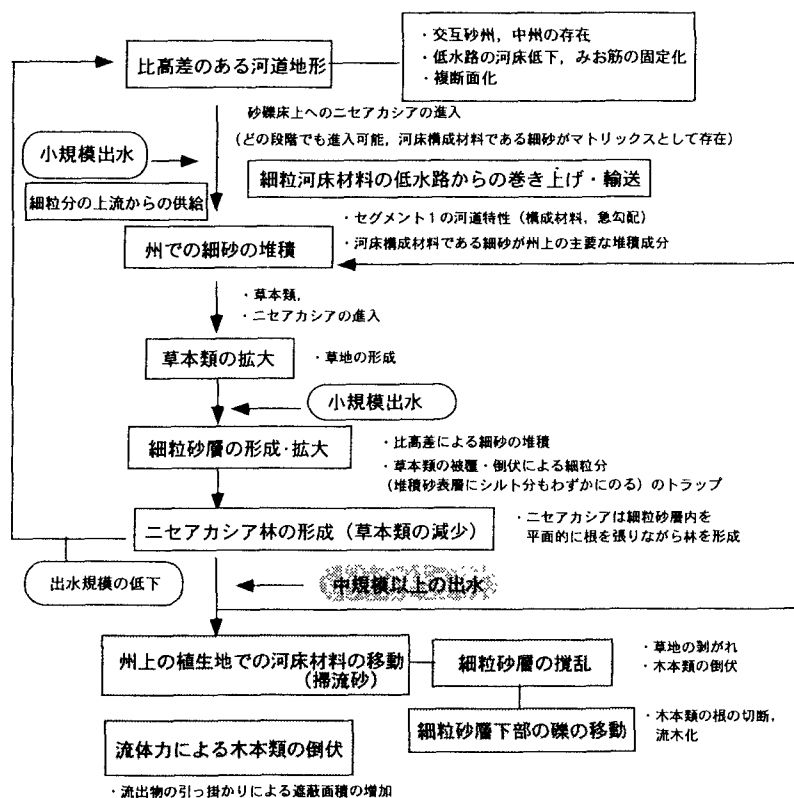


図9 樹林化のシナリオ

在できる草本類が進入し草地を形成する。同時にニセアカシアも進入できるが、細粒砂層がない、あるいはそれが薄い状況では礫床でのニセアカシアと同様に、容易に林を形成できない(写真2)。また、林ができないので日陰が少なく共存する草本類の生育環境はきわめて良好である。このため次の出水を受けるまでに、かなり密生度の高い草地が出現する。

こうした状況で次の小規模出水を受けると、比高差にもとづく細砂の堆積と併せ、草本類によるトラップも加わって堆積が促進され、細粒砂層が形成されてくる。ここでは、平水時にニセアカシアの地下茎が層内を平面的に広げ、新たな幹を出して成長し樹林地を形成する。林ができると草本類は日傘効果からその成長が弱まるが、それでも表層の草地が密生して細粒砂層を被覆し出水時の流失を防いでいる。小規模出水が続くかぎり、細砂の堆積は比高差、草地によるトラップによって生じ、その結果さらなる比高差が生まれ、複断面化が生じる。こうした状況では細粒砂層のある州上は、ますます冠水頻度が少なくなり、樹林地が安定的に持続する。

謝辞：本研究は平成10年度河川美化緑化調査研究助成(代表：清水義彦)、文部省科学研究費・基盤研究(C)(代表：清水義彦)の補助を受けた。また、津久井芳雄氏(渡良瀬川環境保全モニター、桐生自然観察の森運営委員長)より植生に関するご指導を頂いた。本学4年生・岩崎工君、井野真人君には観測、データ整理での協力を

得た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 清水義彦, 小葉竹重機, 赤羽忠志, 藤田浩, 小松みわ子: 渡良瀬川中流域における河道特性と河道内樹林化について, 第4回河道の水利と河川環境に関するシンポジウム論文集(新しい河川整備・管理の理念とそれを支援する河川技術に関するシンポジウム), pp.129-134, 1998.
- 2) 塚原隆夫, 藤田光一, 望月達也: 植生が繁茂した河川水際の細粒土砂堆積の特性, 第3回河道の水利と河川環境に関するシンポジウム論文集(新しい河川整備・管理の理念とそれを支援する河川技術に関するシンポジウム), pp.259-264, 1997.
- 3) 李参熙, 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.
- 4) 藤田光一, 渡辺敏, 李参熙, 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, 第4回河道の水利と河川環境に関するシンポジウム論文集(新しい河川整備・管理の理念とそれを支援する河川技術に関するシンポジウム), pp.117-122, 1998.

(1998. 9.30受付)