

洪水攪乱によるハリエンジュの破壊・再生と 河道内樹林化について

STUDY ON THE EXPANSION OF RIVERINE TREES IN GRAVEL-BED RIVER CAUSED BY FLOOD DISTURBANCE

清水義彦¹・小葉竹重機²・岡田理志³・新船隆行³・岩崎工³

Yoshihiko SHIMIZU, Shigeki KOBATAKE, Satoshi OKADA,
Takayuki ARAFUNE and Takumi IWASAKI

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 群馬大学大学院工学研究科 (〒365-8515 桐生市天神町1-5-1)

Recently riverine 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 the gravel-bed river.

In this paper, the cause of the excessive growth of *Robinia pseudo-acacia* was examined in the segment-1 reach of Watarase River. Especially, from the investigation of the annual rings of tree, it was clear that some forests of *Robinia pseudo-acacia* in bars were formed right after of the main flood. We can consider that the flood caused change of generation of the trees and the damage which the flood gave to the trees can be classified by the scale of the flood external force. Based on the field study and numerical analysis with 2D-flow model, the critical tractive force to be an index of the scale of flood disturbance was evaluated and results showed that rapidly expansion by the germination from fallen trees makes the excessive growth of riverine trees.

Key Words : Riverine trees expansion, *Robinia pseudo-acacia*, gravel-bed river,
germination by fallen trees, flood disturbance, 2D-numerical flow model

1. はじめに

近年、河道内植生の著しい繁茂によって樹林化が進み、河川管理上の懸案事項となっている箇所が少なくない。治水面では、主として洪水疎通能力阻害が懸念されるが、環境面においては、セグメント特有の玉石川原が草本類、木本類によって占有されて、河相固有の景観構造の変化とそこでのハビタートの（潜在自然なものからの）変質を産んでいる。

河道内樹林化については最近の研究成果では、そのシナリオとして、①地形変化（比高差）の出現→②洪水によって比高の高い箇所に細粒土砂が堆積→③パイオニア的植生（草本類）の侵入→④比高+植生の効果で細粒土砂堆積が促進（②よりも効率よく細粒分を捕捉）→⑤比高差の拡大、木本類の侵入→⑥冠水頻度の低下と安定した樹林形成が考えられている^{1)・2)・3)}。こうした見方は樹林化の素過程として有用であるものの、ここでは、むしろ冠水すること、洪水攪乱を受けることが河道内樹

林化を持続・拡大させることに着眼している。

本研究では、セグメント1の河相特性をもつ礫床河川で、ハリエンジュによる樹林化の進んだ中州や高水敷が豊富に存在する利根川水系渡良瀬川を対象とし、そこでの河道内樹林の持続・拡大について、現地調査および平面流数値解析から検討した。

2. 調査対象河道の概要

対象とした河道区間は、利根川水系渡良瀬川の利根川合流点からの40kmから55km付近で、平均河床勾配1/140のセグメント1に代表される粗い礫床河川である。近年の河道特性としては河道平面形の変化が顕著ではなく低水路固定と複断面化が進んでいる。図1に年最大流量の経年変化を示す。ここでの対象区間では計画流量3500m³/s、低水路満杯流量が現況で約1000m³/sである。ここでは、近年、中州・高水敷がハリエンジュの樹林化によって占有される傾向にある。図2は調査した州の一

つで、樹林化の経年的な進行を示した（期間1：S46, 期間2：S58, 期間3：H7）．樹林化の詳細については文献4に述べているので参照されたい．

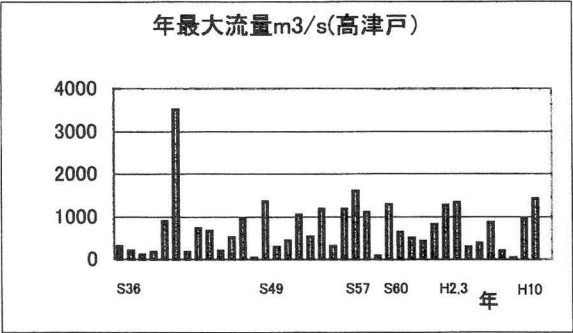


図1 年最大流量の時系列

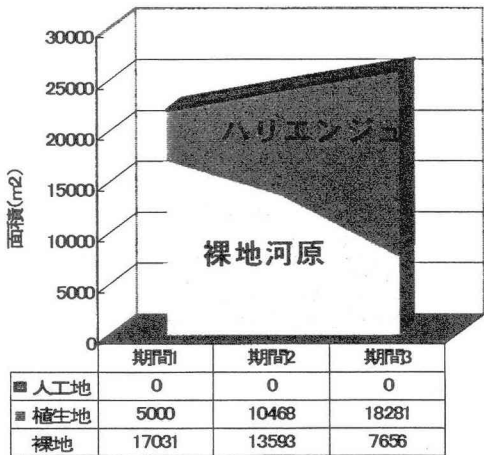


図2 調査区間内の州の樹林化

3. 既往洪水と中州樹木の世代交代

写真1は注目したハリエンジュの樹林化中州（52km付近）である．ここでの樹齢調査を行った結果、ほとんどが年輪16年であった〔図3〕．これは、昭和57年洪水（1596m³/sで、ここでの計画流量は3500m³/s）直後にほとんどのハリエンジュが生まれたことを意味する．ところで、昭和56年に撮られた航空写真によれば、この時点で同中州にはかなりの樹木がすでに繁茂していた事実が、



写真1 年輪調査したハリエンジュ樹林ともつ中州

認められた．したがって、ハリエンジュは昭和57年洪水での攪乱によって世代交代し、57年洪水後からの新たな再生過程を経て現況の樹林地を形成したものであることが分かる．そこで、57年洪水が中州上の樹木に与えた攪乱を、洪水規模を指標として見ることにした．

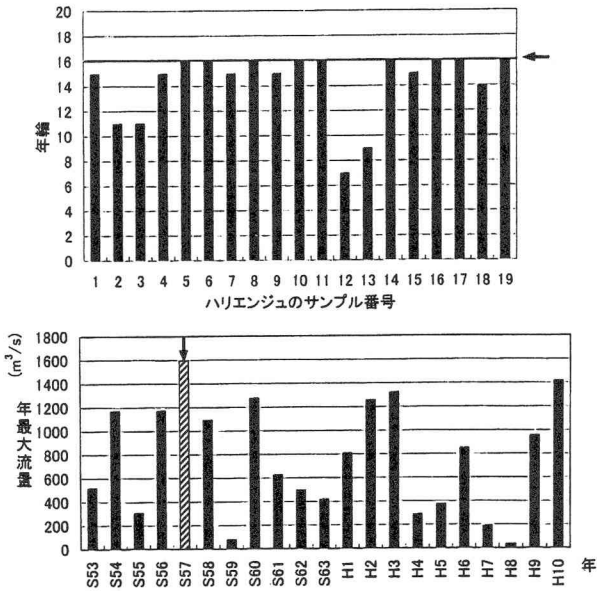


図3 中州の年輪調査と既往洪水との関係

図4aは一般化座標系平面流計算^{5)・6)}による主流速コンターで着目した中州では4.0m～5.0m/s程度である（ただし、以下の計算では樹木による流速低減効果は考慮していない）．州上の樹木への洪水ストレスは、木そのものにかかる流体力もさることながら河床材料の移動

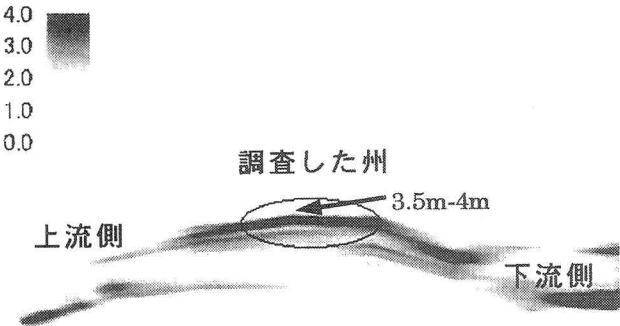


図4a 昭和57年洪水の再現計算〔水深 m〕

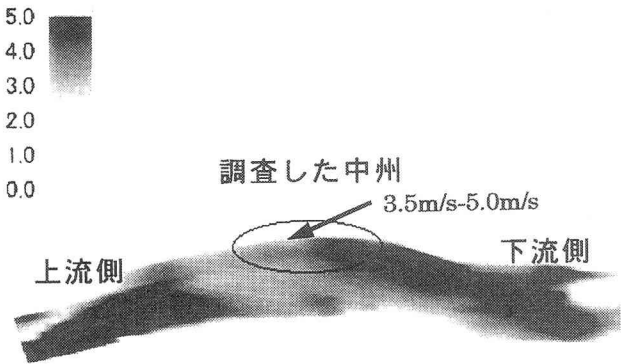


図4b 昭和57年洪水の再現計算〔主流速m/s〕

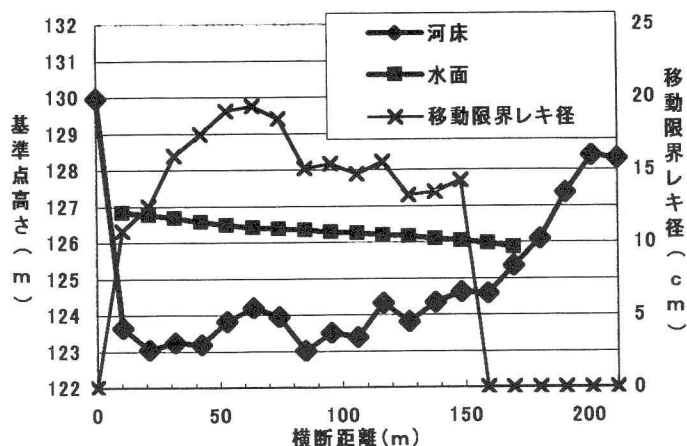


図5 調査した中州の移動限界礫径

による攪乱が大きく影響する。瀬崎ら⁷⁾は草本類の流失機構を河床材料の移動に着眼して現地調査から有用な知見を見出しているし、木本類においても、とくに、ハリエンジュはその主根茎は浅く、表層河床材料のどのクラスのものが動くかで樹林に与える破壊規模（洪水ストレスで、これを①流失、②完全倒木（根茎の完全な切断）、③根付倒木・傾木（根茎の礫床内での残存）に分類するが、移動限界礫径を指標として区別できると考える。図5は中州代表断面での移動限界礫径の推定値で20cmクラスの礫が移動できることが分かった。

4. H10.9洪水後の中州樹林地の再生

さて、平成10年9月にも昭和57年洪水とほぼ規模の等しい洪水（流量1420m³/s）を渡良瀬川は経験した。上記の中州とは異なる中州（43.6km地点で、同じセグメント1内の樹林化の顕著なもの）で洪水前後の現地観測を行い、H10.9洪水での樹木の流失や倒木が顕著であることが認められた〔写真2〕。ここでも同様な数値計算から移動限界礫径を推定すると15-20cm程度で（図6）、これは州表層の60%-90%粒径に相当する（図7）。よって、異なる地点の中州ではあるが、H10.9洪水もS57洪水が与えた中州の洪水攪乱や中州樹木への洪水ストレスはほぼ同程度のものと判断できる。

そこで、H10.9洪水が与えた州の樹木の破壊、再生を現地調査から求めた。図8は調査した州の平面スケッチで、A,B,Dはハリエンジュ樹林、Cは礫河原に草本類が存在し、一部にハリエンジュの林が見られる。中州でサンプル空間として10m×20m格子を設定し密生度を評価した（表1）。ここでは洪水後に残った樹木本数から密生度を評価している。洪水痕跡から見ると中州水際での攪乱が大きく樹木の流失も推定された。その他では上記③の洪水ストレスが顕著で、写真3のように樹木が傾斜し

ながら、その上を礫の堆積している状況が洪水攪乱の大きい箇所の特徴として見出された。

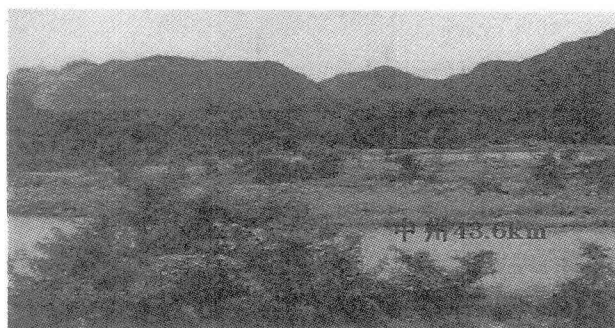


写真2 観測地の中州とH10洪水時（916）の状況

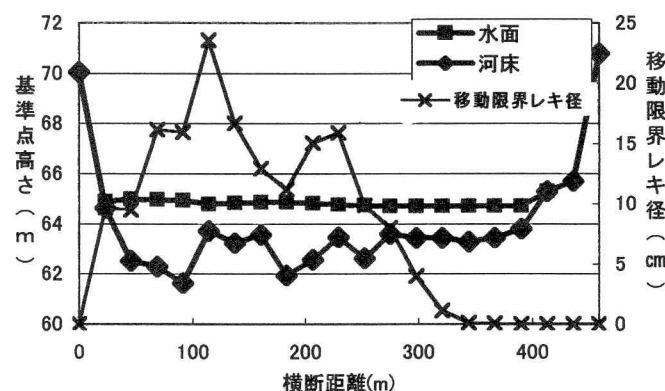


図6 推定した移動限界礫径

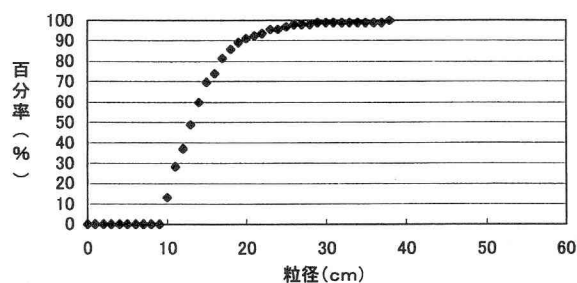


図7 州表層の礫の粒度分布〔径10cm以上〕

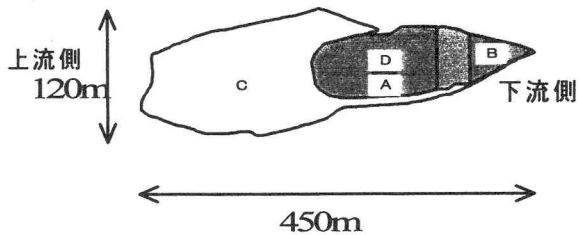


図8 調査した中州の平面形 (43.6km)

表1 中州の各地点での樹木密生度

地点	密生度 [本/m]
A	0.00880
B	0.0152
C	0.00347
D	0.0104

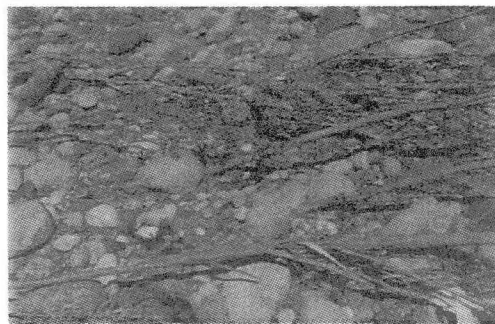


写真3 中州で倒木したハリエンジュ林



写真4 倒木1本から萌芽したハリエンジュ

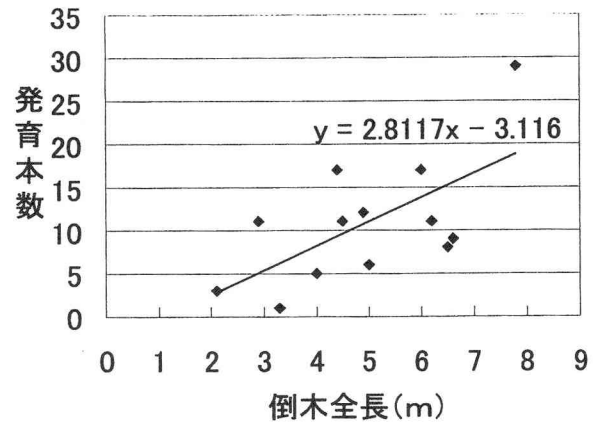


図9 倒木からの萌芽本数(倒木1本あたり)

また、H10洪水1年後の同中州での調査(H11.11月実施)から、ハリエンジュの倒木、傾木のほとんどから萌芽して急激な密生度増加が認められた。写真4は倒木1本からの萌芽の様子である。ハリエンジュはとくに正の屈光性が強く幹からの萌芽が著しい。倒木からの萌芽本数を調べた結果を図9に示すと、例えば、全長6mの一本の倒木から15本程度萌芽している。さらに、図10は埋没したハリエンジュ根元からの幹長さを50cmごとに区分し、萌芽本数と平均樹高の分布を見たものである。洪水攪乱後1年目にして平均高さ2m~3m程度の林がすでに形成されることが分かる。以上より、洪水攪乱はその規模によっては、その後の急激な樹林化を促すことが予想される。先述した昭和57年洪水によって52km地点の中州も同じプロセスで樹林化したことが推測できる

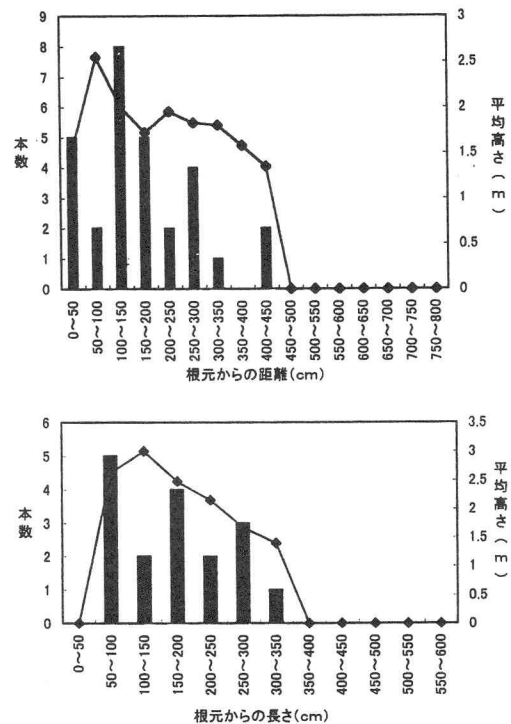


図10 幹根元からの萌芽本数のちがい

さて、中州中央（図8のD領域）では被害の少ない（直立した）ハリエンジュがむしろ多く残っていた。ただし、ここでも表層の剥がれや露出した礫材料から見てH10洪水によって河床材料の移動が生じていたことが分かる。さらに、洪水前に木に付けたマーキングテープと現河床との高低さから、中州中央Dでは洪水後堆積環境となっていることが分った、写真5に示す直立したハリエンジュでは、その主幹は洪水以前に比べ40cm程度埋没して



写真5 主幹が埋没したハリエンジュ

いる。そこで、この堆積層内でのハリエンジュの成長について調べてみた。写真6、図11は砂礫によって埋没した代表的な樹木（林を形成する平均的なもの）の周囲を掘り起こした状況である。現河床から40cm程度下層までは砂礫とともに細砂分も多く流下物（主に枯草類）を含んでいる。そこにはハリエンジュの主幹から生まれた細毛根の集団と発達した根茎が見られた（細毛根全体は1年経過後で乾燥重量372g）。さらに、深く掘ると、より太い根茎が露出し、根茎の発達具合から判断して明らかに数年経過したものが含まれていた。



写真6 掘り起こされたハリエンジュの根茎

とくに太い根茎を輪切りにして見ると、年輪のような痕跡が見られた（写真7a, 7b、年輪4年）。これはかつて枝として地上にあったものが、H10洪水前の出水でやはり埋没したものと推定される。そこで、図11に示したように、樹木周辺の現河床から40cm程度下層までをH10洪水堆積層、H10以前で中州に影響した洪水がH2, 3にあっ

たので、H2・3洪水堆積層（ただし、堆積層の下限値は分からない）と呼ぶことにする。H10洪水堆積層では、ハリエンジュ幹の埋没1年後にもかかわらず、図11の平面図に見るように、細毛根とともに根茎も平面的に発達している〔図12参照〕。

写真8はH2・3洪水堆積層にあった幹（枝）の腐敗したもので、幹中央には根茎のような糸状のものが連なりあり、その周囲の樹皮からは細毛根が発達している状況が見出された。写真7, 8はかつて地上にあったものが埋没したことを示している。以上から、ハリエンジュの主幹が埋没することによって主幹自身からも根茎が生まれ周囲に拡大して行く様子が分かり、洪水攪乱後、樹林地が堆積環境となる場合、さらなる繁茂・拡大につながる事が理解された。

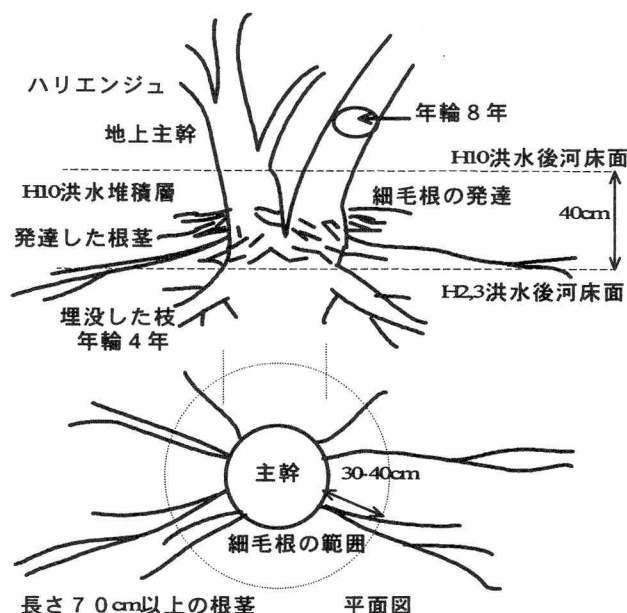


図11 掘り起こしたハリエンジュ根付近のスケッチ

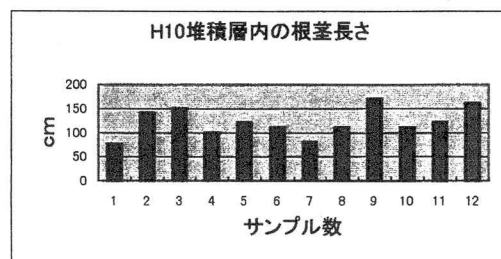


図12 発達した根茎の長さ（H10堆積層内）



写真7a H2・3洪水堆積層のハリエンジュの幹



写真7b 切断したH2・3洪水堆積層にあるハリエンジュの幹と根茎

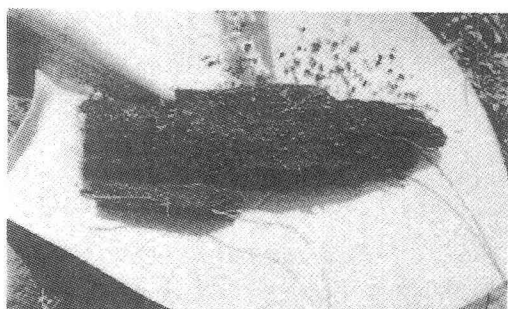


写真8 H2・3洪水堆積層にある腐敗したハリエンジュの幹片と根毛

5. 動的樹林化と静的樹林化

以上の検討から礫床河川の河道内樹林化についての幾つかの疑問に答えることができそうである。すなわち、

- ・ なぜ、礫床河川で樹林化が顕著なのか？
 - ・ なぜ、河道内で林がすみやかに形成されるのか？
- である。

まず、最近の礫床河川の河道特性（低水路固定と複断面化）や洪水規模から見ても樹林地を完全にフラッシュさせるようなことはなかなか起こらない。しかも、セグメント1河川のように礫床では、河床材料の大規模な移動を起こすような攪乱は容易ではない。これからすると、栄養繁殖できるハリエンジュ、ヤナギ類などは礫床に根茎が存在する限り再生できる。この意味から礫床と栄養繁殖できる木本類が樹林化を産むキーポイントとなっている。とくに、ハリエンジュは礫材料に絡まる形で根茎の平面的広がりをもつことから、近年の洪水攪乱から受けるストレスは写真3に示すように、大きくとも根付倒木や傾木が生じる程度である。

洪水攪乱後のハリエンジュが倒木や傾木となる環境ではきわめて近い将来、より著しい繁茂となる樹林地を形成することが予想される。もちろん、比高差の拡大・冠水頻度の低下から生まれる樹林化（静的樹林化と言うべきもの）も多くの礫床河川で健在化しているが、ここで議論した洪水攪乱による、言わば動的樹林化では洪水攪乱後の速やかな再生がその特徴である。

渡良瀬川の観測区間では、ハリエンジュの倒木群による河畔林が形成されている箇所がある（写真9）。年輪調査から16年が読み取れ、これも昭和57年洪水直後にハリエンジュが一斉に発芽したことを意味している。すなわち、自然河畔林が形成される一つの理由も動的樹林化にあると考えられる。より多くの事例とともに樹林地回復過程の現地調査を行い検討して行きたい。



写真9 ハリエンジュの倒木による河畔林の形成

謝辞：本研究を進めるにあたり、建設省渡良瀬川工事事務所の協力を得た。また、河川研究会（財、河川環境管理財団河川環境総合研究所）において貴重なご意見を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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，42巻，pp.433-438,1998.
- 2) 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回河道の水理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.
- 3) 清水義彦，小葉竹重機，新船隆行，岡田理志：礫床河川の河道内樹林化に関する一考察，第43巻，pp.971-976,1999.
- 4) 河道変遷研究会：河道変遷特性に関する研究，（財）河川環境管理財団，pp.124-137,1999.
- 5) 長田信寿，細田尚，村本芳雄：河岸侵食を伴う河道変動の特性とその数値解析法に関する研究，土木学会論文集，No.621/II-47 pp.23-39,1999.
- 6) 長田信寿：一般化座標系を用いた平面2次元非定常流れの数値解析，水工学における計算機利用の講習会講義集，土木学会水理委員会基礎水理部会，61-76,1999.
- 7) 瀬崎智之・服部敦・近藤和仁・藤田光一・吉田昌樹：礫州上草本植生の流失機構に関する現地観測と考察，水工学論文集，44巻，pp.825-830,2000.

（2000.4.17受付）