

那賀川下流における樹木群落成立と その水理学的影響

GROWTH OF WOODY PLANTS IN THE DOWNSTREAM OF NAKAGAWA RIVER AND ITS HYDRAULIC INFLUENCE

湯城豊勝¹・岡部健士²・鎌田磨人³・郡 麻里⁴・西野賢太郎⁵

Toyokatsu YUUKI, Takeshi OKABE, Mahito KAMADA, Mari KOHRI, Kentaro NISHINO

¹正会員 工修 阿南高専助教授 建設システム工学科 (〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木265)

²正会員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

³正会員 学博 徳島大学助教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

⁴広島大学大学院国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)

⁵正会員 西野建設(株) 代表取締役専務 (〒774-0011 徳島県阿南市領家町室ノ内397-8)

The purpose of this research is to investigate the colonization process of woody plants, mainly *Elaeagnus umbellata*, on an alternating bar in a downstream reach of the Nakagawa River, Tokushima, Japan, and also to clarify their influences on hydrogeomorphic features and flood flows in the reach. Based on field vegetation survey and inspection of aerial photographs, it is shown that the colonization started in the late 1970s, and thereafter, the total cover-rate of the woody communities has been increased up to 50% after rather abrupt expansion occurred three times at intervals of about 6 years. The record of flood discharge indicates that seed dispersal of *Elaeagnus umbellata* due to autumnal floods is closely related to the above-mentioned abrupt expansion. It is found that the woody communities have caused characteristic changes in river-bed configuration of the reach and, through numerical calculations, that they have come to significantly raise the flood stage.

Key Words: *woody plants, flood, bed variation, water level*

1. まえがき

従来より、河道内の樹木は疎通能障害や河床変動の一因として排除されていた。しかし、近年河川環境や景観などの方面で樹木を含めた植生が注目されるようになり、治水工事においても樹木を活用する工法が考えられるようになってきた¹⁾。このような状況下において、生態系の一部としての樹木の望ましい状態への誘導やその保全に向けた指針を確立する必要がある。そのためには、樹木の定着および成長のプロセスを把握するとともに、河川の水 flow や流砂、あるいは人為作用等、樹木の成長に影響を与える物理的攪乱の質と量を同時に解明していかななくてはならない。そしてさらに、河道内に発達した樹木が河道そのものに及ぼす影響の定量的な

評価方法を確立する必要がある。

筆者らは既に徳島県・吉野川の河道内における樹木の繁茂メカニズムや、樹木の繁茂が河道に及ぼす影響について研究してきた²⁾。本研究では、同県南部を流れる那賀川下流の1つの砂洲に注目し、アキグミを中心とする樹木群落の成立過程を把握するとともに、分布域拡大の要因を調べた。つぎに、樹木群落が河道の水理環境に及ぼす影響として、河床横断形状の変化と洪水流況について考察した。洪水については、現況を再現するために、樹木群落を考慮した不等流計算により、洪水時の水位を求めた。

さらに、植生管理と将来予測に向けて、樹木の伐採や成長を想定し、樹木状態の変化に伴う水位変化の検討を行った。

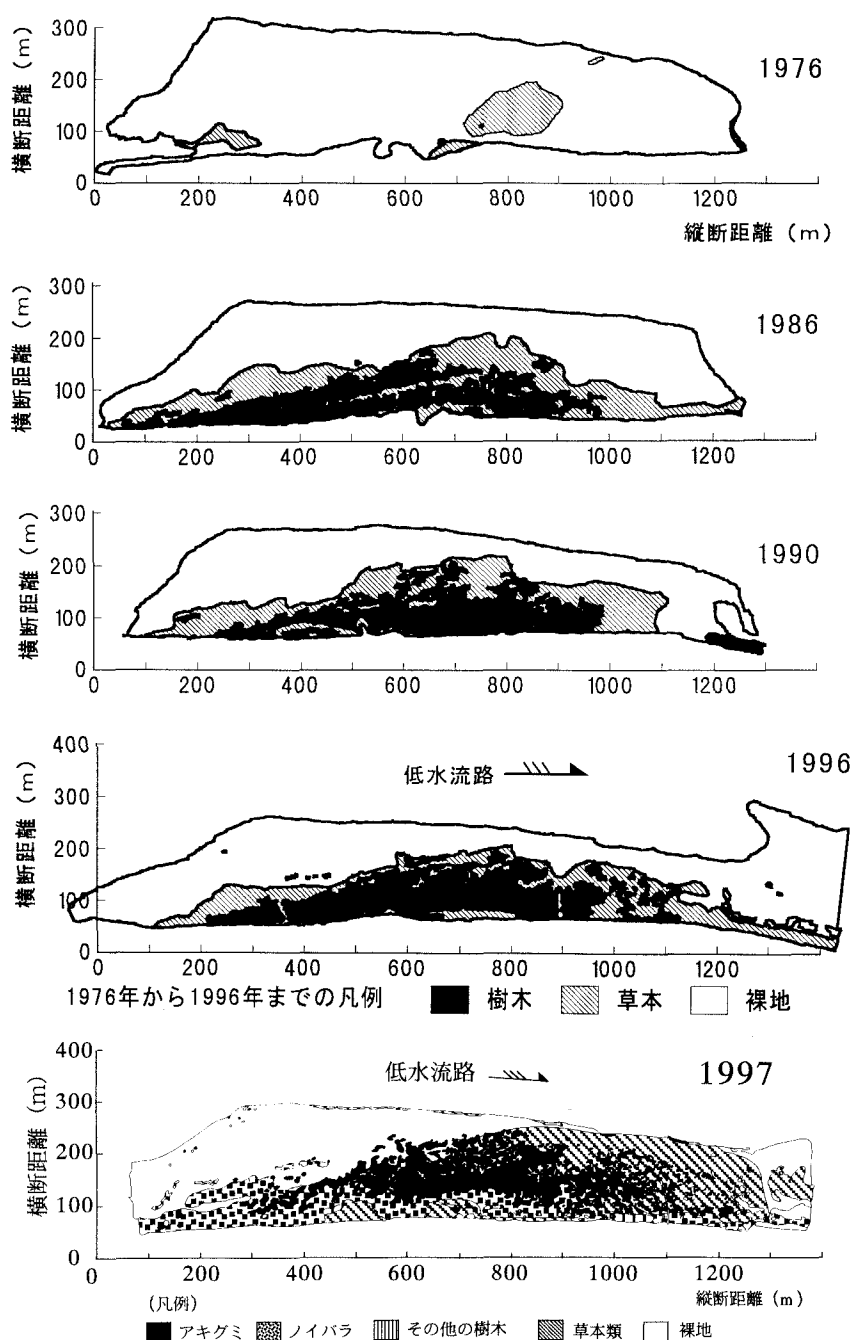


図-1 樹木群落の経年変化

2. 調査砂洲の概要

那賀川は流域面積 880km^2 、長さ 125km の一級河川である。河口より 10.5km の北岸堰から下流にかけて日本でも有数の交互砂洲（単列砂礫堆）が形成されている。これらの砂洲上には約 10 数年前より植生の繁茂が目立つようになった。

調査地としては、河口より $7.2 \sim 8.4\text{km}$ 区間の右岸に形成され、形状と位置が比較的安定している砂洲を選んだ。この区間の平均川幅は約 350m 、平均河床勾配は約 $1/600$ である。この砂

洲が水没する流量は約 $1500\text{m}^3/\text{sec}$ 、低水路満杯流量は約 $2000\text{m}^3/\text{sec}$ である。なお、低水流路の左岸沿いには 1979 年から 82 年にかけて、20 数基の水制が設置された。また、那賀川の砂利採取は 1960 年代後半に禁止されている。

3. 樹木群落の成立・拡大過程

(1) 植生分布の経年変化

調査した砂洲では、1970 年代の後半以降、樹木群落の定着と拡大が顕著である。図-1 に、

調査砂洲における 1970 年代後半以降の植生分布状況の変化を示している。ここに 1997 年のものは、係留式気球を用いた写真撮影と、現地調査の併用により²⁾作成した詳細図であるが、他は航空写真を実体視して判読した結果を整理したものである。

まず、ほぼ現況といえる 1997 年の調査結果に注目する。この砂洲は当初 13 の群落に区分されたが、作図においては樹木を中心に簡略化している。群落の分布範囲は、砂洲の上流部では右岸に偏っているが、下流にゆくにつれて徐々に広がり、下流端付近では全幅に及んでいる。

樹木としては、アキグミ・ノイバラが砂洲の縦断中心線に沿って広く分布している。とくにアキグミの帯状分布域の周囲をノイバラと草本類が囲んでいるのが特徴である。また、アキグミとノイバラが階層的に共存し、高位でアキグミ、低位でノイバラという所も見られる。アキグミの樹体の大きさは、平均的に見て樹高=2.5m、根元直径=7 cm、樹冠幅=2.5m であり、個体密度は 0.4 本/m² 程度である。ノイバラはブッシュ状で、高さは約 1m である。その他の樹木として、水際にネコヤナギが、右岸高水敷沿いにクスノキ、アキニレ、メダケなどが少数散在している。

一方、草本類においてはチガヤ、メリケンカルカヤ、カワラヨモギが優占種であり、被度・群度とも 4～5 に相当する密生度で分布している。

つぎに、このような状況に至った 1976 年以降の変化過程について述べる。1976 年には草本の小さなパッチが数カ所に散在しているが、樹木は数本確認できる程度である。1976 年から 1986 年にかけて、樹木群落の範囲は急激に拡大している。そして、その範囲は右岸に偏っており、砂洲の上流部から中流部にかけて広がっている。その後も、群落範囲は下流方向および左岸に向かって拡大しており、樹木密度も増えている。この間、草本は樹木の周囲を囲むような形態で、樹木とともに拡大している。

図-2 は砂洲に対する植生域の面積割合（被覆率）の経年変化を示すものである。樹木と草本を含めた植生全体の場合と、樹木のみの場合が描かれている。植生全体の被覆率は 1970 年代からゆるやかに増え始め、1980 年代には急増したが、最近では一つの平衡状態に近づく様相を呈している。一方、樹木の被覆率は草本より数年遅れて増加をはじめ、最近においても増加速度がさほど低下していない。しかし、このように大きい増加速度が今後もこのままに維

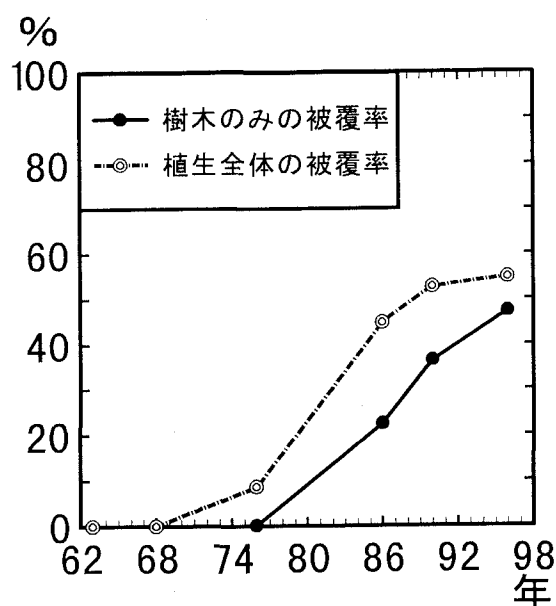


図-2 植生被覆率の変化

持される可能性は少ないと思われる。なぜなら、残留している裸地の掃流力は大きいため、樹木の生育は無理であろう。年最大流量の平均値で無次元掃流力を計算すると、その値は 0.075～0.1 になっている。したがって被覆率は、最終的に植生全体は約 60%、樹木は 50% 強になるとと思われる。

(2) アキグミの定着と洪水の関係

優占種として調査砂洲上に広く分布し、水理学的影響も大きいアキグミに注目して、その定着と分布域拡大の要因を探った。まず現地において、代表的な個体（5ヶ所、28本）を建設機械で掘り出しながら詳細に根系の状況を調べるとともに、掘り出した樹木の幹と根の境目付近の断面における年輪を調べて樹齢を求めた。

その結果、大半のアキグミの樹齢が 4、10、15 年のいずれかであることが判明した。さらに、樹齢別の分布状況をみると、上流の区域で樹齢が最も高く、上流から下流に、右岸から左岸に向かって樹齢が低くなる傾向が認められたが、このような樹齢別の分布域の特徴は、前述の分布域拡大と符合している。

ところで、本来アキグミの果実は 10、11 月に熟し、種子は小鳥によって散布されるが、上述の樹齢分布と分布域拡大の特徴は、生物（小鳥）以外の作用が働いたと考えられる。そこで筆者らは、アキグミの種子搬送の媒体を洪水と考え、結実期である秋の洪水発生状況を調べた。図-3 に 1970 年以降の各年の最大ピーク流量と最大日流量を示す。上述した樹齢の 4、10、15

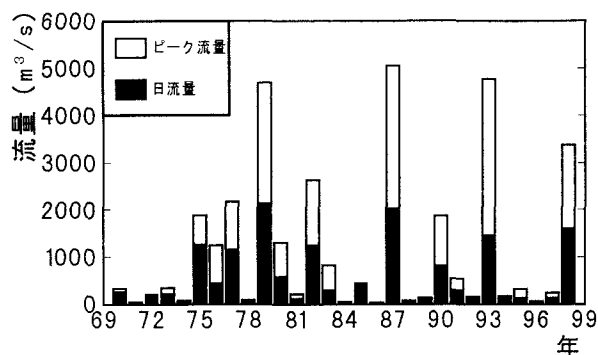


図-3 10月以降の流量

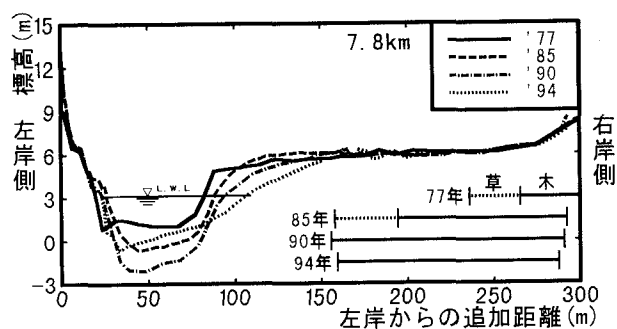


図-4 7.8km 地点の河床横断形状変化

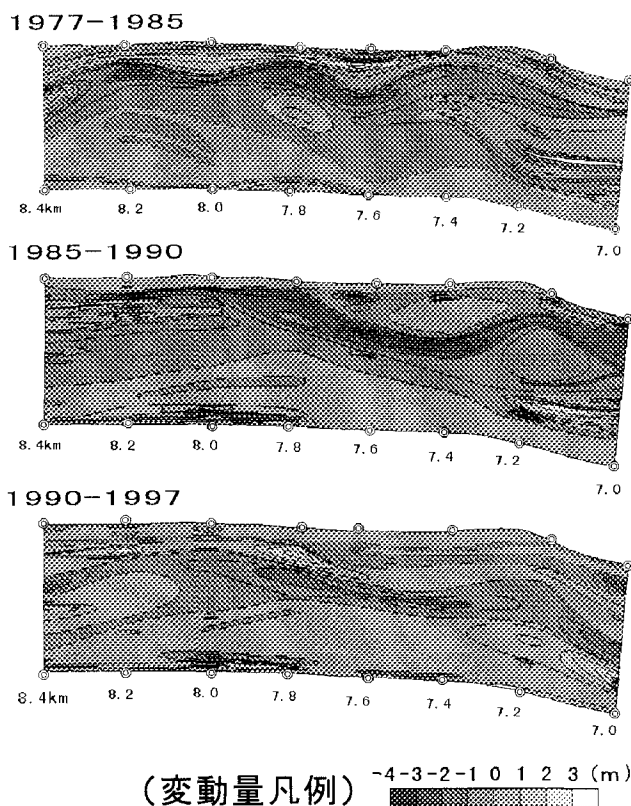


図-5 河床変動量のコンター図

年は、それぞれ定着開始年としての 1982 年、1987 年、1993 年に相当しているが、それぞれの年度では秋に砂洲全体が冠水する規模の洪水が発生している。洪水によって搬送された種子が、初期には砂洲の緩流域に、ついで、定着した樹木群落下流の広い範囲に着床・残留することにより、アキグミの分布域が間欠的に拡大するものと考えられる。このように、アキグミ群落の成立と拡大には、秋の洪水条件が大きな役割を果たすことが明らかにされた。

4. 河床変動と樹木の関わり

(1)河床形状の変化

図-4 は砂洲のほぼ中央部である 7.8km 地点における河床横断形状の変化を示すものである。この断面では、調査砂洲の中でも植生が最も密に繁茂している。表示年度は植生の判読に用いた航空写真の撮影年に最も近いものを選び、図中には航空写真より求めた樹木と草本の繁茂領域を示している。

砂洲領域で認められている最も顕著な特徴は、年の経過とともに低水流路水際線沿いの河床がかなり大きく低下していることである。これ以外の堆積部では、樹木が定着・拡大したに

もかわらず、河床の上昇量は 10 ～ 20cm 程度である。同じ徳島県を流れる吉野川の場合は、水際線にヤナギ群落が定着し、水際線を前進させ、極端な場所では河床が 3m 以上も上昇したことを報告した²⁾が、那賀川では同じような傾向を示さなかった。一方、低水流路部では、1976 年から 1990 年の間、継続的に低下の傾向にあったが、1994 年には上昇に転じている。

図-5 では、注目期間を 3 期に分け、それぞれの期間内における河床変動量の平面分布をコンター図の形式で示した。総体的に言えることは、低水流路部となっている左岸側では低下の傾向であり、一方、砂洲が形成されて植生が繁茂した右岸側では、わずかながら上昇傾向を示す場所が多い。左岸の低下量がとくに大きい領域は、初期には砂洲区間上流部に位置していたが、その後は下流に移動するとともに、横断的な位置が川の中央部に近づいている。また、低下傾向を示す領域の直下流には上昇傾向の場所が見られ、洗掘された土砂が堆積し、結果として、左岸沿いの深掘れを軽減している。

右岸側の堆積部に注目すると、低下傾向を示す場所が筋状に数本見える。堤防沿いの筋は、3 期間の図に共通して見られ、その位置は横断的には変わらないが、縦断的には移動している。堆積部中央付近でやや上流部に見える筋は、初

期には右岸に向かっていたが、その後砂洲を左斜めに流下する方向に変化している。これら筋状の場所は、樹木領域外縁近傍に現れている。

(2) 樹木の影響

(1)においては、樹木領域での堆積以外に、①左岸の深掘れ、②川の中央部が低下を続けること、③筋状の河床低下、などが述べられた。ここでは、これらの現象と樹木の関連を考察する。①については、低水流路で低下が進行する位置は、発達中の交互砂洲の特徴ともいえるが、那賀川の砂洲は 1970 年頃には安定していた事実より、これは樹木の「水はね」による流量集中、つまり掃流力の増加が考えられる³⁾。

②のように、樹木群落の拡大とともに川の中央部が低下する理由は、つぎのように考えられる。樹木領域周辺では、樹木領域から排出された流量で流れが加速され、横断方向の河床勾配の影響でさらに加速される。しかし、この砂洲上の樹木は低水流路近傍になると密度が疎な状態であったので、流れの加速域は川の中央部にとどまり、左岸まで到達しなかったと思われる。そのため、低水流路側の土砂輸送能力は変わらないが、輸送された土砂が貯まり、河床は上昇傾向を示している。比較的疎な状態の樹木群が交互砂洲の堆積部に存在するとき、このように低水流路の深掘れが小さくなることは、筆者らの実験によっても確かめられている⁴⁾。

③のような筋状の低下領域はつぎのように考えられる。低水護岸沿いの法尻付近は、法尻から川の中央部に向かう 2 次流の影響によって、河床付近の流れが増大し、掃流力も増大するため洗掘が生じやすく、樹木は定着しにくい場所である。このような条件下で、低水路に樹木領域が発達すると、法尻付近の流れはさらに高速になり、河床が低下したと思われる。この低下領域は、樹木群の成長域が下流に移るとともに、同じように下流に移動している。したがって、低下と移動の原因は、樹木領域からの排出流量によって掃流力が増加したものと思われる。

一方、堆積部内の河床低下領域の筋は、樹木密度が比較的疎な状態で、流れ方向に直線的に並んだ場所に見られ、樹木領域の拡大とともに川の中央部近傍に移動している。このように、密度が疎な状態の樹木群も河床低下に影響を及ぼしていると思われる。

5. 樹木群落が洪水流況に及ぼす影響

本章では、まず、那賀川の 1 つの洪水について

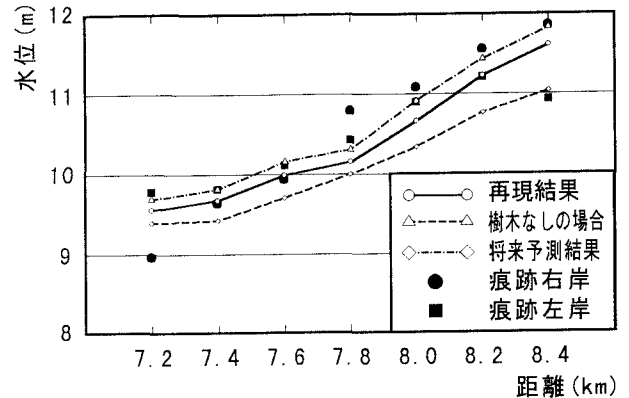


図-6 不等流計算結果

て、準 2 次元モデルによって縦断水位の再現を試みる。ついで、その際に同定されたパラメータを用いて、樹木を伐採した場合と放置した場合の計算を行い、植生管理の参考資料を得ることにする。

(1) 再現計算

計算は樹木群を考慮して、境界混合係数を用いた不等流計算^{5), 6), 7)}を行った。流量と洪水痕跡は 1997 年 9 月 17 日の洪水(6011m³/sec)をモデルとした。河道断面は図-7 の点線で示されているように矩形断面の結合により近似した。

密な樹木領域では死水域を設定したが、高さおよび樹木密度については、現地調査と気球からの写真を参考にして決定した。地上から高さ 2m までの空間のほとんどは、アキグミとノイバラの葉で占有されていたので、死水域の高さを 2m と設定した。

低水路の粗度係数については、過去の不等流計算結果を参考にして 0.035 と設定し⁸⁾、高水敷については、約 30cm 高の草で覆われていたので 0.030 とした⁹⁾。樹木群落域の粗度係数については、樹木条件の違いはあるが、福岡ら⁷⁾の計算を参考に 0.05 と設定した。

境界混合係数については、低水路と高水敷流れの混合、および樹木群を死水域として低水路と高水敷にみなせる境界に対して $f=0.17$ とした。樹木群との境界の係数は、水理条件や樹木条件を計算式⁹⁾に代入して求めたところ、0.018 ~ 0.03 になっていた。

図-6 に計算結果を示す(図中には、再現線以外の線も描かれているが、これについては後述する)。計算値は、若干値の小さいところもあるが、洪水痕跡の左右岸を平均するとほぼ妥当な値を示している。

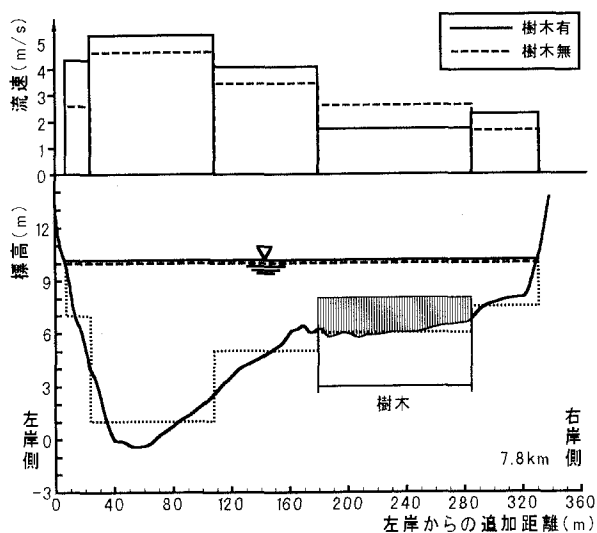


図-7 横断流速分布の計算結果

(2)樹木状態の変化に伴う水位変化の検討

まず、樹木を伐採した効果を調べるため、樹木条件を除き、他の条件を同じにして計算を行った。つぎに、樹木がそのまま成長するとして、近い将来の約 10 年後を予測した。この場合の樹木の被覆率は、図-2 より 50 % と推定されたので、それぞれの断面の樹木繁茂幅を 3 ~ 4 % ずつ増加させた。死水域の高さは、茂木ら⁹⁾と同様な方法で求めた相関式より、再現計算に用いた 2m から 2.5m と変化させた。

図-6 に結果が示されている。水位は、樹木を伐採すると下がり、反対に樹木繁茂が多くなると上昇する傾向が表されている。せき上げの大きい 8.4km 地点で比較すると、樹木をすべて伐採すれば水位は約 50cm 低下する。また、樹木の成長をそのままに放置しておくと、10 年後の水位は現在より約 20cm 上昇する。このように、樹木管理の参考になる数値が示された。なお、8.4km 地点は、砂洲の影響で主流線が対岸に変化する場所でもある。

図-7 に横断面内方向の流速分布の一例を示す。樹木がある場合とない場合の結果を併記している。樹木領域と設定した領域の流速は、樹木がない場合のものよりかなり減少し、樹木外領域では増加しており、これらの計算結果は、樹木群の影響による横断流速分布形状を表している。

6. あとがき

那賀川における樹木群落の定着と拡大の過程が解明され、秋の洪水がアキグミの種子散布に寄与していた。また、砂洲堆積部は樹木の定着によって若干の河床上昇が起こり、樹木外領域の水際線近傍では河床が低下することも分かった。樹木群を考慮した不等流計算によって、樹木状態の変化に対する水位の検討が行われた。今後、河床の変形に関する計算や、中下流における植生の相互関係に関する調査・研究を進めたいと思っている。

謝辞：本研究を行うにあたり貴重なデータを提供いただいた建設省徳島工事事務所、同那賀川工事事務所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 福岡・樺澤・斎藤・布施・渡辺・大橋：柳水制の試験施工とその機能の現地調査，水工学論文集，第 42 巻，pp.445-450,1998.
- 2) 岡部・鎌田・湯城・林：交互砂州上の植生と河状履歴の相互関係，水工学論文集，第 40 巻，pp.205-212, 1996.
- 3) 河川の植生と河道特性：(財)河川環境管理財団，河川環境総合研究所，pp.78-80,1995.
- 4) T.Yuuki・T.Okabe：Influence of Vegetation on Hydrogeomorphic Process of Alternating Bars, The 27th Congress of IAHR, pp.1402-1407,1997.
- 5) 河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン（案）：建設省河川局治水課リバーフロント整備センター,1994.
- 6) 福岡捷二・藤田光一：複断面河道の抵抗予測と河道計画への応用，土木学会論文集，第 411 号//II-12, pp. 63 - 72, 1989.
- 7) 福岡捷二・藤田光一・新井田浩：樹木群を有する洪水水位予測，土木学会論文集，No. 447 /II-19, pp. 17 - 24, 1992.
- 8) 平成 4 年度那賀川河道計画業務委託報告書.
- 9) 茂木信祥・須賀堯三・池田裕一：鬼怒川河道における高木の育成特性について,第 54 回年講,pp.252-253,1999.

(1999.9.30受付)