短報 SHORT COMMUNICATION

河畔ヤナギ林の林分構造と流水抵抗：堆積土砂の粒度を使用した林分構造の解析

傳甫 潤也^{1)*}・堀岡 和晃¹⁾・田代 隆志²⁾

1) 株式会社ドーコン 〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号

2) 北海道開発局 〒060-8511 札幌市中央区北8条西2丁目

Junya DEMPO^{1)*}, Kazuaki HORIOKA¹⁾, Takashi TASHIRO²⁾: Stand structure and river flow resistance in riparian willow forests: Analyzing stand structure using sediment grain size. *Ecol. Civil Eng.* 13(2), 155-163, 2011.

1) Docon Co., Ltd., 1-5-4-1 Atsubetsuchuuou, Atsubetsu-ku, Sapporo 004-8585, Japan

2) Hokkaido Development Bureau, 8-2 Chuou-ku, Sapporo 060-8511, Japan

Abstract: For flood prevention projects, it is important to determine which stand structure variables of riparian forests have the greatest affect on flow resistance. Numerous studies have used hydraulic model experiments to investigate flow resistance, but stand structure dynamics are difficult to incorporate into such experiments. This study examines how river bed grain size reflects the degree of flow resistance by stand structure. We used three sizes of grain: D50 (grain size at 50% of grain size distribution), fine grain (<0.075 mm) and very fine grain (<0.005 mm). Two kinds of multiple regression analysis were used. The first analysis used forest floor elevation, stand structure (density, clear length, basal area) and floor vegetation (height, coverage ratio) as the independent variables and D50 and fine grain content as the dependent variables. The second analysis excluded floor vegetation from the independent variables used in the first analysis. In the first analysis, stand density and clear length were identified as the stand structure factors that most greatly affect flow resistance. In the second analysis, it was difficult to identify the degree to which stand structure factors affect flow resistance. These results indicate that consideration must be given to the effects of micro-topography and floor vegetation when the effect of stand structure on flow resistance is examined for river beds with the three grain sizes. The stand structure variables identified as influential, i.e., density and clear length, are important in studies on flow resistance. In studying riparian forests at different stages of succession, identifying stand structure factors that greatly affect flow resistance may enable examination of how spatiotemporal changes in stand structure influence the flow resistance.

Key words: D50, fine-grain content, flow resistance, stand structure, willow forest

はじめに

狭い平野に人間活動が集中する日本において、治水 upstream 河畔林を許容できるか否かは、低地帯の河畔林管理を考

えるうえで重要である(福岡 1990; 福岡ほか 1992; 馬場 2000; 国土技術研究センター 2002)。河畔林は、水域への有機物供給(柳井・中村 2000)、生物の生息や移動空間(日野 2004; 大井 2004)、栄養塩除去(Peterjohn & Correll 1984)、景観形成(Ward et al. 2002)など、様々な生態学的役割を担っている。したがって、河畔林管

2009年10月13日受付, 2010年11月30日受理

* e-mail: jd1603@docon.jp

理においては、河川に沿ってある程度の河畔林の横断幅が許容される配置が求められている(柳井ほか 2000; 河畔林研究会 2001; 高橋ほか 2003)。現状の流下能力評価の多くは、河畔林を完全な阻害物とみなす死水域評価が多く(建設省河川局 1997; 国土技術研究センター 2002)、その結果、将来(たとえば、河川整備計画)にまとまった面積となる河畔林幅の配置が許容されないことが多い。その一方で、河畔林の構造が低密度、枝下高の高い場合などには、死水域として扱うのは過剰であり、樹木群を抵抗として考え、樹高、枝下高、胸高直径、樹木密度から算出される粗度係数により、林内を低流速域として評価を見直す必要性が指摘されている(国土技術研究センター 2002)。このようなことから、将来の河畔林の許容規模は、流下能力評価における河畔林の取り扱い方によって大きく異なる。

河畔林を抵抗として検討する研究の多くは、水理模型実験によるものであり(水山ほか 1989; 石川ほか 1998; Ishikawa et al. 2003)、それらの研究から流水抵抗には樹木密度の影響が大きいことが指摘されている。また、小規模河川では、河畔林が高密度なほど流速抵抗が大きくなり、河道幅の縮小を促すなど、林分構造が河道形状に及ぼす影響が報告されている(Huang & Nanson 1997)。河畔林の樹種構成(Nanson & Beach 1977; Décamps et al. 1988; Brinson 1990; Carbiener & Schnitzler 1990; Hughes 1997)、密度(Nanson & Beach 1977; Brinson 1990)、材積(Brinson 1990)などは、時間経過とともに変化する。今後、河畔林を低流速域とみなし、水理計算へと反映するためには、流水抵抗に大きな影響を及ぼす林分構造因子をあきらかにする必要がある。模型実験では、流況などを制御できるが、林分構造の動態を考慮することは難しいと考えられる。

そこで著者らは、林床の堆積土砂の粒度を使用し、流水抵抗に影響を及ぼす林分構造因子を検討できるかもしれないと考えた。河岸の土砂堆積には、地形、植生の影響が考えられる(Nanson 1980; Kleiss 1996; Steuger et al. 2001)。Kleiss (1996)は、米国アーカンソー州のCache川に沿った河畔林 30 サイトにおいて、土砂堆積速度に影響を及ぼす地形や植生について検討している。その結果、堆積速度は、川からの距離、冠水期間、胸高総断面積によって約 90% が説明されることを報告している。He & Walling (1997, 1998), Walling & He (1998)は、氾濫原における土砂堆積速度、粒径組成を調べた結果、河岸からの距離が増加するにつれ、堆積速度が減少し、細粒含有率が増加することを報告している。また、河畔林の

樹木密度は地形による影響も受ける。たとえば、Nakai & Kisanuki (2007)は、三重県宮川の砂礫堆に分布するネコヤナギ(*Salix gracilistyla*)の樹木密度は、地盤高(冠水日数)が中庸な箇所でもっとも高くなることを報告している。このように、堆積土砂の粒度を使用した検討には、地形の影響を考慮しておくことが重要となる。

また、堆積土砂の粒度を使用する際には、草本植生の影響も無視できないと思われる。草本植生による抵抗には、密生度(平野ほか 1987)、草丈や草本種(建設省河川局治水課・土木研究所 1989)の影響が報告されている。李ほか(1999)は、多摩川上流の礫床河道における樹林化過程の初期において、ススキ(*Miscanthus sinensis*)、ツルヨシ(*Phragmites japonica*)などの密生度の高い植生が繁茂することにより、細砂の堆積を助長することを報告している。また、草本植生の組成や密生度も微地形によって変化することが考えられる。

本研究では、天塩川中流域の土砂堆積地に分布するヤナギ林 31 地点において、堆積土砂の D50 (50% 粒径)、粘土・シルト含有率 (<0.075 mm)、粘土含有率 (<0.005 mm) の三つの粒度を使用し、流水抵抗に影響を及ぼす林分構造の検討を試みた。具体的には、地形の影響を考慮したうえで、1) 土砂の粒度を使用して流水抵抗に影響を及ぼす林分構造因子を抽出できるのか、また 2) それには林床植生の影響を考慮する必要があるかに着目した。

材料と方法

調査地

検討区間は、河畔林が土砂を捕捉する流況となる中流域(大矢 1993)、土砂堆積が比較的多く発生する規模の大きな河川、できるだけ直線的な平面形状、河岸の土砂堆積地に河畔林が分布するという条件を考慮し、天塩川中流域(河口からの距離 112–120 km)の河床勾配 1/1070 の区間とした(Fig. 1)。この区間では、高水敷の多くが採草地として利用されており、河道沿いの土砂堆積地にオノエヤナギ(*Salix sachalinensis*)、エゾノキヌヤナギ(*S. pet-susu*)などが優占する林齢の異なるヤナギ林が分布している。

調査地は、次の条件を満たすように 31 地点設定した(Fig. 1)。堆積地の高さが 5 ヶ年平均平水位(1997–2001 年)より 40 cm 以上(算出方法は後述)、堆積地の横断幅が約 10 m 以上、上下流方向に同様な林相が連続、林床には新生な土砂が堆積、流木堆積などの影響で堆積土砂

Fig. 1. The 31 study sites at the middle reaches of the Teshio River. △, Onnenai water level gauging station.

天塩川中流域における調査地31地点の位置。△、恩根内観測所。

が著しく不均一となっていないところとした。新生な土砂堆積地とは、出水時の冠水により土砂が堆積したところで、リターで覆われていない、鉬質土壌が露出しているところである。また、堆積地の高さについては、平水位付近の高さではわずかな水位変動で冠水することから、土砂捕捉に及ぼす草本植生の影響などが大きくなると予想され、平水位よりある程度高いことが望まれる。そのため、近隣の水位観測所（後述）における5ヵ年平均平水位 53.37 m, 同期間の年平均水位の平均値 53.63 m, その差 26 cm であることを参考に 40 cm 以上とした。堆積地の横断幅については、それが狭すぎると、傾斜した樹木群が多いなど林分としての取り扱いが困難となるため、堆積地の幅 10 m 以上を目安とした。なお、堆積地の横断幅が広い場合には、水際から 10-15 m の距離に調査地中央付近を設定した。これは、河岸からの距離と堆積物の分級作用の影響（He & Walling 1997, 1998；船木

1998；Walling & He 1998）を回避したためである。

Fig. 1 には調査地が集中しているところがある。これらは、上記の条件を満たす箇所が均一に分布していなかったためである。たとえば、サイト 26-31 は右岸に偏っている。これは、左岸では低水護岸が露出し土砂堆積地が形成されていなかったためである。また、サイト 20-25 では縦断的に短い区間に集中しているが、隣接する調査地間は約 100 m 以上離れるようにした。

Fig. 2 には、検討区間の下流端付近における恩根内観測所（河口からの距離約 112 km）の流量と水位の日変化を示した。2001 年 9 月 11 日には、日水位で標高 58.12 m, 時刻水位で標高 58.34 m を記録した。この観測所近隣の高水敷の標高は約 59 m である。つまり、1997 年から調査時までには、高水敷全域が冠水する規模の出水は発生していなかったと考えられる。したがって、新生な堆積土砂には、複断面特有の低水路の流れと高水敷の流れとの

Fig. 2. Hydrographs of (A) discharge and (B) water level at the Onnenai gauging station (1997–2002).

The arrows show the study season. The five-year averages (1997–2001) of discharge and 185-day water level are $156 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ and 53.37 m, respectively.

恩根内観測所における (A) 流量と (B) 水位のハイドログラフ (1997–2002). 矢印は調査時期を示す. 1997–2001年における 5 カ年年平均流量, 5 カ年平均平水位は, それぞれ $156 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$, 53.37 m である.

干渉(福岡・藤田 1989; 福岡ほか 1995), 高水敷の流れが低水路へ流入する時に生じる低水路の流れの減速の影響(福岡ほか 1997) はほとんどなかったものと思われる.

なお, Fig. 2 において, 積雪期 (1–3 月) の水位が高いにもかかわらず流量が小さいのは, 結氷によるためである.

調査方法

調査は, 林分構造, 水面と堆積地との比高 (以後, 水面比高), 林床植生, 堆積土砂の粒度に対して行なった. また, 堆積土砂の沈降分析のために, 5 つのサイトの試料を用いて土粒子密度を計測した.

林分構造では, 上下流にある程度同じような林相が広がるところの中央付近において, 林分高を参考に, 100 m^2 もしくは 25 m^2 の方形区を設定し, 樹高 1.5 m 以上の樹木を対象に, 胸高直径 (DBH), 枝下高を計測した. 枝下高は, 着葉かつ木質化した枝の基部までの地表からの高さとし, 代表的な 5 個体を計測しその平均値とした.

水面比高は, 方形区内で 3 地点計測しその平均値とした.

林床植生は, 方形区内の中央付近において, $1.5 \text{ m} \times$

1.5 m の区画を設定し, 被度 % (目視), 草丈を計測した.

堆積土砂は, 林床植生調査の区画中央付近において, 100 cm^2 から 225 cm^2 の区画の地表下約 5 cm までの試料を採取し, 試験室において D50, 粘土・シルト ($< 0.075 \text{ mm}$), 粘土 ($< 0.005 \text{ mm}$) 含有率を計測した. 試験室では, 採取した土砂を 30°C 48 時間で乾燥させた後, メッシュサイズ 2 mm のふるいを使用し, 通過粒子と残留粒子にわけた. 残留粒子に対しては, メッシュサイズ 19, 9.5, 4.75 mm のふるいにかけた. 通過粒子に対しては, 沈降分析 (比重計法) を行なった. 沈降分析の後, 懸濁液をメッシュサイズ 0.85, 0.425, 0.250, 0.106, 0.075 mm のふるいにかけた. 沈降分析に使用した土粒子の密度は, 5 つのサイトの試料から得た平均値 2.575 g/cm^3 である. 現地調査, 土砂試料の採取は 2002 年 7 月に実施した.

解析方法

解析は, D50, 粘土・シルト含有率, 粘土含有率を目的変数とした二つの重回帰分析を行なった. 第一モデルは, 説明変数を水面比高, 樹幹密度, 枝下高, 胸高総断面積, 草丈, 林床植生カバーとした. 第二モデルは, 前

記の説明変数から、草丈、林床植生カバーを除外した。これら重回帰分析では、解析の条件をみたとすように、粘土・シルト含有率、粘土含有率、水面比高、樹幹密度、胸高総断面積、林床植生カバーを対数変換した。なお、水面比高は、恩根内観測所における計測時の時刻水位と5ヵ年平均平水位（1997-2001年）との差を用いて補正した。

結 果

ほとんどの調査地の土砂は、メッシュサイズ2 mm 通過質量百分率が100%であった。しかし、サイト27, 29では、メッシュサイズ2 mmを超える土粒子がわずかに含まれており、最大粒径はそれぞれ9.5, 4.75 mm, メッシュサイズ2 mm 通過質量百分率はそれぞれ98.8, 99.8%となった。D50, 粘土・シルト含有率, 粘土含有率は、Table 1 に示すように、それぞれ0.082-0.410 mm, 0.055-0.472, 0.030-0.155 となった。樹幹密度は、1700

-77200 本/ha ときわめて高密度な林分も含まれた。草丈は0.3-1.8 m, 林床植生カバーは5-70%であった。林床植生では、クサヨシ (*Phalaris arundinacea*), オオヨモギ (*Artemisia montana*), エゾイラクサ (*Urtica platyphylla*), ミゾソバ (*Persicaria thunbergii*) が多くみられた。とくに、クサヨシがもっとも多く、クサヨシが一面に分布している、あるいはクサヨシにほかの種が混在しているところが多くみられた。

D50, 粘土・シルト含有率, 粘土含有率を目的変数, 水面比高, 林分構造, 林床植生を説明変数とした重回帰分析を行なった結果がTable 2である。また、Fig. 3には、目的変数と林分構造因子である樹幹密度, 枝下高, 胸高総断面積との関係を示した。なお、図中の軸スケールは、解析に使用したものとなっている。

第一モデルにおいて、D50 は、Table 2, Fig. 3 に示すように、水面比高, 枝下高が正の影響、樹幹密度, 林床植生カバーが負の影響を及ぼしていた。粘土・シルト含有率では、樹幹密度, 林床植生カバーが正の影響を及ぼし

Table 1. D50 and fine grain content (<0.075 mm and <0.005 mm) of floor sediment deposit, difference between the average 185-day water level* and the ground elevation, stand structure and floor vegetation ($n=31$).

林床堆積土砂のD50, 細粒分 (<0.075 mm, <0.005 mm) 含有率, 平均平水位*と堆積地との比高, 林分構造, 林床植生 ($n=31$).

Variables	Median $\pm$ SIQR (Min - Max)
D50 (mm)	0.210 $\pm$ 0.080 (0.082 - 0.410)
Silt & Cray (<0.075 mm) content	0.150 $\pm$ 0.099 (0.055 - 0.472)
Cray (<0.005 mm) content	0.066 $\pm$ 0.030 (0.030 - 0.155)
Difference between the average 185-day water level* and the ground elevation (m) [VN 1]	1.11 $\pm$ 0.42 (0.44 - 3.03)
Stem density (no. ha ⁻¹) [VN 2]	4100 $\pm$ 2550 (1700 - 77200)
Clear height (m) [VN 3]	3.78 $\pm$ 1.72 (0.57 - 6.97)
Basal area (m ² ha ⁻¹) [VN 4]	15.9 $\pm$ 4.9 (4.7 - 43.8)
Height of floor vegetation (m) [VN 5]	1.20 $\pm$ 0.25 (0.30 - 1.80)
Floor vegetation coverage ratio [VN 6]	0.23 $\pm$ 0.13 (0.05 - 0.70)

*Five-year average (1997-2002).

* 5ヵ年平均 (1997-2002).

Table 2. Results of multiple regression analysis using ground elevation, stand structure and floor vegetation as the independent variables and D50 and fine grain (<0.075 mm and <0.005 mm) content of floor sediment deposit as the dependent variable ($n=31$). VN 1 to VN5 refer to Table 1.

林床堆積土砂のD50, 細粒分 (<0.075 mm, <0.005 mm) 含有率を目的変数, 地盤高, 林分構造, 林床植生を説明変数とした重回帰分析の結果 ($n=31$). VN 1から 5 については, Table 1を参照のこと.

Standardized coefficient						Model significance			
VN 1	VN 2	VN 3	VN 4	VN 5	VN 6	r^2	Adj. r^2	F	P
Stand structure & floor vegetation									
D50									
0.371*	-0.391*	0.550**	-0.354	0.123	-0.601**	0.596	0.495	5.91	0.0007
Silt & Clay (<0.075 mm) content									
-0.295	0.410*	-0.418	0.212	-0.279	0.693**	0.557	0.446	5.02	0.0018
Clay (<0.005 mm) content									
-0.290	0.350	-0.485*	0.270	-0.388*	0.721**	0.590	0.488	5.77	0.0008
Stand structure (excluding floor vegetation)									
D50									
0.190	-0.197	0.516*	-0.248	—	—	0.399	0.306	4.31	0.0083
Silt & Clay (<0.075 mm) content									
-0.121	0.213	-0.400	0.104	—	—	0.317	0.212	3.02	0.0358
Clay (<0.005 mm) content									
-0.133	0.163	-0.481	0.166	—	—	0.330	0.227	3.20	0.0291

Bold type indicates significant influence (*, $P<0.05$; **, $P<0.01$).

太字は統計的に有意な影響があることを示す (*, $P<0.05$; **, $P<0.01$).

Fig. 3. Relationship between stand structure and D50 (upper row), silt and clay content (<0.075 mm) (middle row), and clay content (<0.005 mm) (lower row).

林分構造とD50 (上段), シルト・粘土 (<0.075 mm) 含有率 (中段), 粘土 (<0.005 mm) 含有率 (下段) との関係.

ていた。粘土含有率では、枝下高、草丈が負の影響、林床植生カバーが正の影響を及ぼしていた。

説明変数から草丈、林床植生カバーを除外した第二モデルの結果は、Table 2 に示すように、D50 では枝下高が正の影響となっていた。粘土・シルト含有率、粘土含有率では、有意な影響を及ぼす変数はみられなかった。

考 察

流水抵抗に影響を及ぼす林分構造を検討するため、堆積土砂の粒度を目的変数とした二つの重回帰分析を行なった。その結果、林床植生の影響を考慮したモデルでは、D50 に対しては水面比高、樹幹密度、枝下高、林床植生カバー、細粒分含有率に対しては樹幹密度、枝下高、草丈、林床植生カバーの影響がみられた (Table 2)。このように、林床植生は全ての目的変数に影響していた (Table 2)。一方、林床植生の影響を除外したモデルでは、林分構造の影響を抽出することは困難であった。したがって、堆積土砂の D50、細粒分含有率を使用し、流水抵抗に及ぼす林分構造因子の影響を検討するには、微地形のほかに、林床植生の影響を考慮しなければならないと考えられる。

流水抵抗に影響を及ぼす林分構造因子としては、水面比高、林床植生の影響を調整すると、樹幹密度、枝下高の影響が大きくなっていた (Table 2)。樹幹密度は、D50 に負の影響、細粒分含有率に正の影響を及ぼしており、模型実験 (水山ほか 1989；石川ほか 1998；Ishikawa et al. 2003) の報告と整合的であった。枝下高の範囲は 0.57–6.97 m であった (Table 1)。枝下高の高い林分の樹冠が冠水する出水は、少なくとも 1997 年から調査時までには発生していなかったと考えられる (Fig. 2)。したがって、枝下高の影響については、出水時に樹冠が部分的 (林分高の低い箇所では全体的) に冠水したか否かによる影響と予想される。このことは、流水抵抗に対して、樹冠の影響が大きいことを示唆していると考えられる。胸高総断面積は D50、細粒分含有率で有意な影響を及ぼしていなかった (Table 2)、また、D50、細粒分含有率との散布図からも (Fig. 3)、樹幹密度、枝下高に比べ、相関関係のある傾向にみえないことから、流水抵抗には樹木群の相互的な干渉である樹幹密度、枝葉の繁茂する樹冠位置の影響が相対的に大きいと考えられる。ただし、きわめて高密度な林分は、他の林分からやや離れた位置にプロットされている (Fig. 3)。検討の精度をあげるには、これらの空白域を網羅するよう、サンプル数を増やしてい

く必要がある。

林床植生の影響を考慮したモデルでは、調整済み決定係数が 0.5 弱とそれほど高い値ではなかった (Table 2)。これには、サンプル数の少なさも考えられるが、次の三つの影響も考えられる。一つは、植生の季節変化である。今回使用した土砂は、地表がリターで覆われていなかったことから、Fig. 2 に示す土砂採取直前の 4 月頃の融雪出水に堆積したものが多いと思われる。しかし、その土砂に前年 9 月の出水時の堆積土砂がどの程度含まれているかはわからない。したがって、冠水時における草本植生の発達状態 (平野ほか 1987；李ほか 1999)、樹木の展葉状態を考慮できていなかったことも影響していたかもしれない。二つは、林床植生の種組成を考慮していなかったことも影響しているかもしれない。そのため、Table 2 では、粘土含有率に対して草丈が負の影響を及ぼしていたのかもしれない。三つは、低水路が屈曲する内岸部、外岸部、あるいは直線部といった河道の位置による影響である。本研究では、低水路に分布する砂州などにより、滯筋と低水路法線が一致していないところも多くみられたため、そのような位置を考慮できなかったことも影響していたかもしれない。このような河道の位置関係、植生の種組成や季節変化の影響を考慮する必要があると考えられる。

今後の課題

土砂の粒度によるアプローチの可能性と限界

本研究では、堆積土砂が著しく不均一となっていない箇所を抽出し、方形区を設定した。そして、その中央付近で土砂のサンプリングを行なった。今後は、このようなサンプリング方法が方形区を代表した粒度であるかを検証する必要がある。また、今回、調査時期から約 5 年前までは、高水敷全域が冠水する規模の出水がなかった状況である (Fig. 2)。大規模出水時の流水抵抗を把握するには、その直後に同様な検討が必要と考えられる。最近では、林内に流速観測機器を設置し、出水時の流速を計測する試みが実施されている (山下・板垣 2007)。土砂の粒度による検討の可能性と限界については、上記のような直接的な方法から得られる、流水抵抗に影響を及ぼす林分構造因子との比較も重要である。

遷移段階の異なる河畔林での流水抵抗

低密度、枝下高の高い河畔林を低流速域とみなし粗度係数で評価するには、将来の河畔林の配置や林分構造を想定しなければならない。本研究で対象とした林分構造

は、遷移初期のヤナギ林であり、もっとも低密度な林分で1700本/haであった。今後、数百本/haといった遷移段階の異なる発達した河畔林でのデータが得られ、流水抵抗への寄与の大きな林分構造因子があきらかになると、林分構造の時間的、空間的变化に応じた流水抵抗を検討できるかもしれない。

謝 辞

本研究に際して、株式会社セ・プランの三浦勝巳氏には、粒度分析に関するご助言、ご協力をいただいた。また、2名の査読者から示唆に富む建設的なご助言をいただいた。以上の方々に、ここに記して感謝申し上げる。

摘 要

治水事業において、流水抵抗に大きな影響を及ぼす林分構造に関する変数をあきらかにすることは重要なことである。河畔林の流水抵抗に関する研究の多くは主に水理模型実験により行なわれてきた。しかし、模型実験では林分構造の動態を考慮することは難しい。本研究では、流水抵抗に及ぼす林分構造の影響を堆積土砂の粒度から検討した。これには、D50 (50%粒径)、粘土・シルト含有率細 (<0.075 mm)、粘土含有率 (<0.005 mm) の三つの粒度を使用し、次の二つの重回帰分析で検討した。第一モデルは、D50、細粒分含有率を目的変数とし、水面と堆積地との比高、林分構造 (密度、枝下高、胸高総断面積)、林床植生 (草丈、カバー) を説明変数としたモデルである。第二モデルは、前記の説明変数から、林床植生を除外した説明変数としたモデルである。これらの結果、林床植生を考慮したモデルでは、流水抵抗に影響を及ぼす林分構造因子として、樹幹密度、枝下高が抽出された。林床植生の影響を除外したモデルでは、流水抵抗に及ぼす林分構造因子を抽出することは困難であった。このことは、堆積土砂の三つの粒度を用いて、流水抵抗に及ぼす林分構造の影響を検討する場合には、微地形、林床植生の影響を考慮しなければならないことを示唆している。また、影響があきらかとなった樹幹密度、枝下高といった林分構造の変数は、流水抵抗を検討する際に重要と考えられる。今後、遷移段階の異なる河畔林において、流水抵抗への寄与が大きな林分構造因子があきらかになると、林分構造の時間的、空間的变化に応じた流水抵抗の検討が可能になるかもしれない。

引用文献

- 馬場仁志 (2000) 洪水管理と水辺林. 「水辺域管理, その理論・技術と実践」(砂防学会編), pp. 175-199. 古今書院, 東京.
- Brinson M. M. (1990) Riverine forests. In: *Forested Wetlands. Ecosystems of the World*, 15. (eds. A. E. Lugo, M. M. Brinson & S. Brown), pp. 87-141, Elsevier Science, Amsterdam.
- Carbrier R. & Schnitzler A. (1990) Evolution of major pattern models and processes of alluvial forest of the Rhine in the rift valley (France/Germany). *Plant Ecology* **88**: 115-129.
- Décamps H., Fortune M., Gazelle F. & Pautou G. (1988) Historical influence of man on the riparian dynamics of a fluvial landscape. *Landscape Ecology* **1**: 163-173.
- 福岡捷二 (1990) 河道内の樹木群が洪水流に与える影響をさぐる, 河道計画・管理における樹木群の取り扱いについて. *土木技術資料* **32**: 16-17.
- 福岡捷二・藤田光一 (1989) 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* **441/II-12**: 63-72.
- 福岡捷二・藤田光一・新井田浩 (1992) 樹木群を有する河道の洪水位予測. *土木学会論文集* **447/II-19**: 17-24.
- 福岡捷二・大串弘哉・加村大輔・平生昭二 (1997) 複断面蛇行流路における洪水流の水理. *土木学会論文集* **579/II-41**: 83-92.
- 福岡捷二・渡辺明英・上阪恒雄・津森貴行 (1995) 低水路河岸に樹木群のある河道の洪水流の構造, 利根川新川通昭和56年8月洪水. *土木学会論文集* **509/II-30**: 79-88.
- 船木淳悟 (1998) 洪水痕跡調査による河道内樹木の挙動の把握. 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集 **4**: 135-140.
- He Q. & Walling D. E. (1997) Spatial variability of the particle size composition of overbank floodplain deposits. *Water, Air and Soil Pollution* **99**: 71-80.
- He Q. & Walling D. E. (1998) An investigation of the spatial variability of the grain size composition of floodplain sediments. *Hydrological Processes* **12**: 1079-1094.
- 日野輝明 (2004) 鳥たちの森. 東海大学出版会, 神奈川.
- 平野洋一・水原邦夫・大手桂二 (1987) 植生水路の流水抵抗と掃流砂量に関する研究. *砂防学会誌* **40**: 4-10.
- Hughes F. M. R. (1997) Floodplain biogeomorphology. *Progress in Physical Geography* **21**: 501-529.
- Huang H. Q. & Nanson G. C. (1997) Vegetation and channel variation; a case study of four small streams in southeastern Australia. *Geomorphology* **18**: 237-249.
- 石川芳治・藤田英信・水原邦夫・成富靖 (1998) 溪畔林をもつ河道における掃流砂量に関する研究. *砂防学会誌* **51**: 35-43.
- Ishikawa Y., Sakamoto T. & Mizuhara K. (2003) Effect of density of riparian vegetation on effective tractive force. *Journal of Forest Research* **8**: 235-246.
- Kleiss B. A. (1996) Sediment retention in a bottomland hardwood wetland in eastern Arkansas. *Wetlands* **16**: 321-333.
- 溪畔林研究会編 (2001) 水辺林管理の手引き, 基礎と指針と提言. 日本林業調査会, 東京.
- 建設省河川局監 (1997) 改訂新版建設省河川砂防記述基準 (案) 同解説・調査編. 山海堂, 東京.
- *建設省河川局治水課・土木研究所 (1989) 河道特性に関する研究 (その1), 洪水流の挙動と河道特性. 第42回建設省技術研究会河川部門指定課題論文集: 761-791.

- 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.
- 李参熙・藤田光一・山本晃一 (1999) 礫床河道における安定植生域拡大のシナリオ, 多摩川上流部を対象にした事例分析より. 水工学論文集 **43**: 977-982.
- 水山高久・天田高白・栗原淳一・小林幹男 (1989) 樹林帯の抵抗特性と土砂堆積促進効果. 砂防学会誌 **42**: 18-22.
- Nakai A. & Kisanuki H. (2007) Effect of inundation duration on *Salix gracilistyla* density and size on a gravel bar. Journal of Forest Research **12**: 365-370.
- Nanson G.C. (1980) Point bar and floodplain formation of the meandering Beaton river, northeastern British Columbia, Canada. Sedimentology **27**: 3-29.
- Nanson G.C. & Beach H.F. (1977) Forest succession and sedimentation on a meandering-river floodplain, northeast British Columbia, Canada. Journal of Biogeography **4**: 229-251.
- 大井徹 (2004) 獣たちの森. 東海大学出版会, 神奈川.
- 大矢雅彦 (1993) 河川地理学. 古今書院, 東京.
- Peterjohn W.T. & Correll D.L. (1984) Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observations on the role of a riparian forest. Ecology **65**: 1466-1475.
- Steuger J., Gurnell A.M. & Petts G.E. (2001) Sediment deposition along the channel margins of a reach of the middle River Severn, UK. Regulated Rivers: Research & Management **17**: 443-460.
- 高橋和也・林靖子・中村太士・辻珠希・土屋進・今泉浩史 (2003) 生態学的機能維持のための水辺緩衝林帯の幅に関する考察. 応用生態工学会誌 **5**: 139-167.
- Walling D.E. & He Q. (1998) The spatial variability of over-bank sedimentation on river floodplain. Geomorphology **24**: 209-223.
- Ward J.V., Tockner K., Arscott D.B. & Claret C. (2002) Riverine landscape diversity. Freshwater Biology **47**: 517-539.
- 山下武宣・板垣修 (2007) 河道内樹木群の治水上的効果・影響に関する研究. 土木技術資料 **49**: 40-45.
- 柳井清治・中村太士 (2000) 水辺域の構造と機能. 「水辺域管理, その理論・技術と実践」(砂防学会編), pp.4-40, 古今書院, 東京.
- 柳井清治・坂本知己・馬場仁志 (2000) 水辺域の具体的な取り扱い方. 「水辺域管理, その理論・技術と実践」(砂防学会編), pp.103-174, 古今書院, 東京.
- *直接参照していない.