

洪水流と河道の樹木繁茂形態に基づく 樹木群透過係数と粗度係数の算定法

ASSESSMENT OF PERMEABILITY COEFFICIENT OF VEGETATION AND
ROUGHNESS COEFFICIENT UNDER VARIOUS FLOOD AND CHANNEL
CONDITIONS

福岡捷二¹・佐藤宏明²・藤澤寛³・大沼史佳⁴

Shoji FUKUOKA, Hiroaki SATO, Hiroshi FUJISAWA, and Fumiyoshi OHNUMA

¹フェロー 工博 Ph.D 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

²正会員 (財)河川情報センター 研究第一部長 (〒102-8474 東京都千代田区麹町 1-3 ニッセイ半蔵門ビル)

³正会員 工修 国土交通省関東地方整備局 利根川上流河川事務所 所長 (〒349-1198 埼玉県北葛飾郡栗橋町2-19-1)

⁴学生会員 中央大学理工学部 土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

It is important to evaluate the effect of vegetations on the management of floods and river environment. In general, hydraulic effects of vegetation on flood flows are taken account by the permeability coefficient of vegetation and roughness coefficient, but these coefficients can not always be determined reasonably for various scales of flood and form of channel and vegetation. Objectives of this paper are to find a method assessing those coefficients from mutual relationship between flood, channel and vegetation.

For that purpose, we use the permeability coefficient of vegetation and roughness coefficient distributions determined by Fukuoka et al.'s analysis conducted on the Tone River and the Edo River floods, and find the relationship between these coefficients and vegetations and channel conditions.

Key Words: flood permeability coefficient of vegetation, roughness coefficient, river management

1. 序論

河道内樹木は治水機能と環境機能を持ち合わせている。治水機能は洪水時に河岸や堤防を保護し、環境機能は河川景観を形成したり生態系に対しハビタットやコリドーを形成したり重要な役割を果たしている。しかし一方で、樹木群は洪水流に対して流速の減速域をつくり、流下能力を減じさせる障害物となる。したがって、これらの治水機能と環境機能を維持しつつも、洪水への抵抗を適切に減らすための樹木管理が必要とされている。そのため、実際に繁茂している樹木の状況から洪水流に対する樹木の影響評価を行うことは河道管理上重要である¹⁾。

樹木群による洪水水位上昇などの水理的影響は、平面二次元解析においては、樹木群の透過係数と粗度係数の値によって評価されている^{1),2)}。即ち、この樹木群透過係数と粗度係数は、基本方程式に基づいて洪水流の水面形の時間変化を適切に説明する値として、試行錯誤的に決定している。これによって洪水時の樹木群透過係数と粗度係数が工学的に満足できる精度で求められている^{3),4)}。この求められた樹木群透過係数と粗度係数が、河

道の形状、樹木群の配置と密度、洪水の規模等とどのように関係付けられるかを明らかにすることが次の課題であり、個々の河川において樹木群の透過係数と粗度係数を合理的に決定できれば、樹木管理を行う際の重要な判断材料を与える。

そこで、本研究では福岡らによって求められた利根川・江戸川の樹木群透過係数と粗度係数⁴⁾が洪水流や樹木群の繁茂形態とどのような関係にあるか、また、粗度係数は、樹木群透過係数が決まれば、河道の特性から、ほぼ一定の範囲内の値で決まることを明らかにする。

2. 福岡らの研究^{3),4)}と樹木群透過係数

樹木群の繁茂形態と洪水流に対する樹木群の透過係数・粗度係数の検討を、図-1 に示す利根川と江戸川の区間で行う。この区間の樹木群透過係数と粗度係数の分布は福岡らにより既に求められており⁴⁾、本研究ではそれらの値を用いるので、最初に樹木群透過係数と粗度係数の決定方法とそれらの値について手短かに述べる。

解析の対象区間は利根川の芽吹橋(104.2km)～分派点

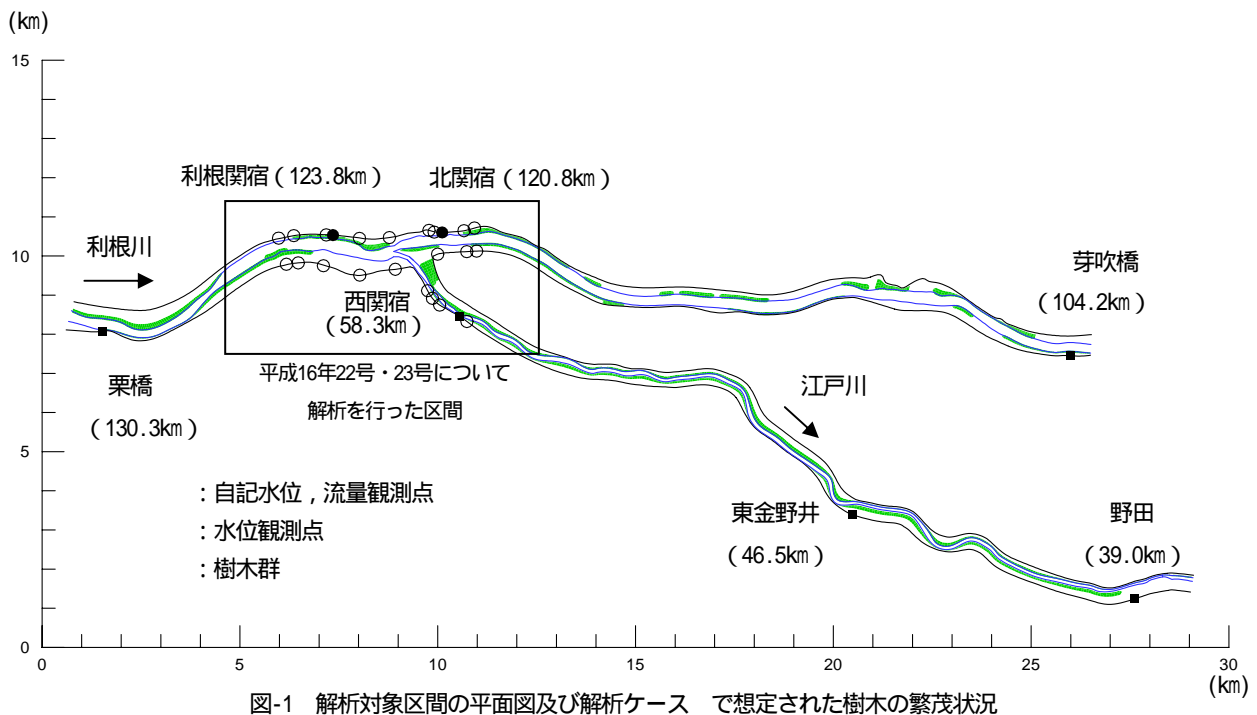


図-1 解析対象区間の平面図及び解析ケースで想定された樹木の繁茂状況

表-1 解析対象洪水と観測ピーク流量

発生年月	台風	観測ピーク流量(m ³ /s)		解析ケース
		栗橋	野田	
S57年 9月	18号	11,606	2,872	
H10年 9月	5号	10,431	2,449	
H13年 9月	15号	7,980	2,020	
H14年 7月	6号	8,555	1,622	
H16年 10月	22号	4,563	1,333	
H16年 10月	23号	4,025	1,210	

(121.5km)～栗橋(130.3km)，江戸川の野田(39.0km)～分派点(59.75km)である。解析を行った洪水は表-1 に示す昭和57年9月，平成10年9月，平成13年9月，平成14年7月，平成16年台風22号・23号の計6洪水である。洪水のピーク流量，樹木群の繁茂状況，河道断面形状の違いにより3つのケースに分けて樹木群透過係数と粗度係数が決定されている。3つのケースとは，河道断面が現在より小さく，樹木群の繁茂状況が現在と異なる昭和57年9月洪水，現在の河道でピーク流量が大きい平成10年9月・平成13年9月・平成14年7月の洪水，ピーク流量が小さく解析区間が狭い(利根川：126.0km～分派点～119.0km，江戸川：分派点～57.0km)平成16年台風22号・23号による洪水である。

福岡らの解析は水面形の時間変化の観測値を用いて精度の高い流量ハイドログラフを求めることを目的としており，このために樹木群透過係数と粗度係数の分布を高精度で求める必要がある。解析には二次元不定流解析を用い，境界条件には上下流端での水位時系列変化を与え，各時間の観測水面形と合致し，観測流量ハイドログラフと全体的に合うように樹木群透過係数，粗度係数を求めている。

即ち，計算では航空写真・地被状況図を参考に樹木群

の透過係数と粗度係数の初期分布を与え，水面形の時間変化を概ね説明できる最適な樹木群透過係数と粗度係数を最終的に求めている。樹木群透過係数と粗度係数の値は，一般に，河道の縦横断面形状，植生の繁茂形態，高水敷の水深によって異なるが，検討の結果，利根川と江戸川では，高水敷の水深が2.5m以上のときと2.5m以下のときの2パターンに分けて議論すればよいことが明らかにされている⁴⁾。

表-2，表-3には現在の河道形状，樹木群の繁茂形態についてピーク流量が大きい平成10年9月，平成13年9月，平成14年7月の洪水を対象としたケースについて，福岡らが決めた樹木群の透過係数と粗度係数の値を示す。3つの大洪水時の樹木群の繁茂状況はほぼ同一であったことから，3つの洪水の各同一区間では，採用した樹木群透過係数，粗度係数は同じ値である。これらの1セットの値を用いて計算された各洪水流の水面形の時間変化は，十分な精度で実測水面形を再現するものであった⁴⁾。

3. 利根川と江戸川の樹木群繁茂形態の把握

(1) 樹木群繁茂形態の分類項目



図-2 高水敷一帯に樹木が繁茂している例 利根川左岸123.5km付近 (樹木群透過係数 = 40m/s)



図-3 高水敷の水際に樹木が繁茂している例 江戸川右岸52.0km付近 (樹木群透過係数 = 50m/s)



図-4 高木層の樹木が発達している例
利根川左岸124.5km付近 (樹木群透過係数=40m/s)



図-5 低木層・草本層の植生が発達している例
利根川左岸123.0km付近 (樹木群透過係数=40m/s)

樹木群の繁茂形態については、河川環境基図により平面的な繁茂形態、現地調査により立体的な繁茂形態を知ることができる。利根川については平成13年植生図、江戸川については平成13年江戸川河川情報図を用いており、これらは航空写真と河川水辺の国勢調査を基に作成されたものである。

樹木群については洪水流に影響する事項について検討するだけでなく、植物社会学的・生態学的に関係する事項を含めて議論することが望ましい^{5),6)}。これを踏まえた上で、樹木群の透過係数と粗度係数が決められた区間の植生状況を以下の項目により整理し、樹木群透過係数等との関係を調べる。樹木群の繁茂位置、樹木群透過係数、主要植生、粗度係数、上流部樹木群との連続性、高水敷・樹木面積比について高水敷の状況をまとめ、各区間の樹木群の繁茂形態を把握した。

樹木群の繁茂位置については、洪水流に対し各区間で最も影響を及ぼすと考えられる高水敷の樹木群について繁茂している位置より水際・半分・一帯の3つに分類し、併せてその樹木群の縦断方向延長も示している。水際は樹木が水際にのみ繁茂している場合、半分は高水敷幅に対し樹木の横断投影遮蔽幅が半分以下の場合、一帯は高水敷幅に対し樹木の横断投影遮蔽幅が半分以上である場合を示す。表-2、表-3には、樹木群透過係数が40～50(m/s)である植生の影響が大きい区間について、洪水流に影響していると考えられる主要な植生を、主要植生として示している。上流部樹木群との連続性は有無で表し、対象区間に対して直上流区間の樹木群の影響が対象区間上流部に及ぶか、または、対象区間の上流部での樹木群の影響が対象区間の下流部に及ぶかを、樹木群の下流に低流速域を形成する²⁾ことを考慮し、概略判定して

表-2 利根川の高水敷の状況と樹木群の繁茂特性（ケース）

番号	区間(km)		樹木の繁茂位置		樹木群透過係数 ⁴⁾ K(m/s)	抵抗植生	粗度係数 ⁴⁾ n(m ^{-1/3} ・s)	上流部樹木群との連続性	高水敷・樹木面積比
			横断面	縦断長さ(m)					
1	左岸	131.0-126.5	半分	1,800	55		0.036	有	0.10
2	右岸	131.0-124.5	水際	1,400	70		0.034		0.08
3	左岸	124.5-123.0	一帯	1,200	40	ヤナギ高木林	0.041		0.52
4	左岸	123.0-122.0	半分	900	40	ヤナギ高木林	0.036	有	0.16
5	右岸	122.0-121.0	水際	500	55		0.038		0.03
6	右岸	120.0-116.0	水際	800	60		0.032		0.04
7	左岸	120.0-118.0	一帯	1,700	40	ヤナギ高木林	0.041		0.40
8	左岸	117.0-116.5	半分	250	55		0.038		0.08
9	右岸	115.5-114.0	水際	600	55		0.041		0.10
10	左岸	115.0-112.0	水際	2,800	55		0.038		0.10
11	右岸	113.0-110.0	水際	1,950	50	ヤナギ低木林	0.043		0.19
12	左岸	110.0-109.0	半分	200	55		0.038		0.08
13	左岸	108.0-107.5	水際	150	55		0.032	有	0.09
14	左岸	107.5-105.0	半分	400	55		0.038		0.09
15	右岸	107.5-107.0	水際	300	50	ヤナギ低木林	0.043		0.03
16	右岸	106.0-104.0	水際	650	50	ヤナギ低木林	0.043		0.07

表-3 江戸川の高水敷の状況と樹木群の繁茂特性（ケース）

番号	区間(km)		樹木の繁茂位置		樹木群透過係数 ⁴⁾ K(m/s)	抵抗植生	粗度係数 ⁴⁾ n(m ^{-1/3} ・s)	上流部樹木群との連続性	高水敷・樹木面積比
			横断面	縦断長さ(m)					
1	左岸	59.75-59.5	半分	200	45	ヤナギ低木林	0.040		0.21
2	右岸	59.5-57.5	一帯	200	60		0.040		0.05
3	左岸	59.5-57.5	半分	100	55		0.034		0.06
4	左岸	57.5-55.5	半分	300	60		0.035		0.11
5	右岸	57.5-55.0	水際	700	55		0.036		0.05
6	右岸	55.0-52.0	水際	250	50	その他低木林(クコ群落)	0.036		0.03
7	左岸	55.5-52.0	水際	350	60		0.034		0.04
8	右岸	52.0-49.5	水際	350	50	ヤナギ低木林	0.034		0.05
9	左岸	52.0-49.5	水際	800	60		0.037		0.03
10	右岸	49.5-48.0	水際	50	60		0.042		0.03
11	左岸	49.5-48.0	水際	400	60		0.038		0.05
12	右岸	48.0-46.0	水際	250	60		0.039		0.04
13	左岸	47.0-46.0	一帯	650	40	ヤナギ高木林	0.036		0.29
14	右岸	46.0-43.5	水際	650	60		0.045		0.03
15	左岸	46.0-43.5	水際	200	60		0.041		0.01
16	右岸	43.5-43.0	一帯	100	40	ヤナギ高木林	0.050	有	0.12
17	左岸	43.5-42.5	半分	800	45	ヤナギ低木林	0.048		0.11
18	右岸	43.0-41.0	半分	100	50	ヤナギ低木林	0.052	有	0.02
19	左岸	42.5-41.0	一帯	500	60		0.052		0.10
20	右岸	41.0-38.0	水際	2600	65		0.040		0.05
21	左岸	41.0-38.0	水際	1000	60		0.040		0.10

いる。より具体的に判定するには、行った二次元数値解析の結果を検討し、樹木群上下流の流速分布から判断しなければならない。高水敷・樹木面積比とは高水敷に対する樹木の繁茂状況を面積比で示しており、対象区間内の樹木群の総面積を高水敷面積で除したものである。なお、ここでの高水敷面積は水際から堤防の天端までの面積としている。

(2) 利根川・江戸川の樹木群繁茂形態

まず、利根川と江戸川の主な植生と河道の状況を示す。

利根川と江戸川における多くの樹木群はヤナギの高木林と低木林で形成されており、樹木群は図-2 に示すように高水敷一帯に繁茂していたり、高水敷幅の半分程度に繁茂していたりする場合の他は、図-3 のように水際に沿って樹木が繁茂している場合がほとんどである。河道形状はどちらも複断面で蛇行を有する河道である。樹木群が生育していない高水敷はオギ群落や人工草地になっている場所が多く、オギやヨシなどの草本類が繁茂している。樹木の生え方も地点で異なり、高木層・低木層・草本層といった各階層の優占度が場所によって違ってくる。

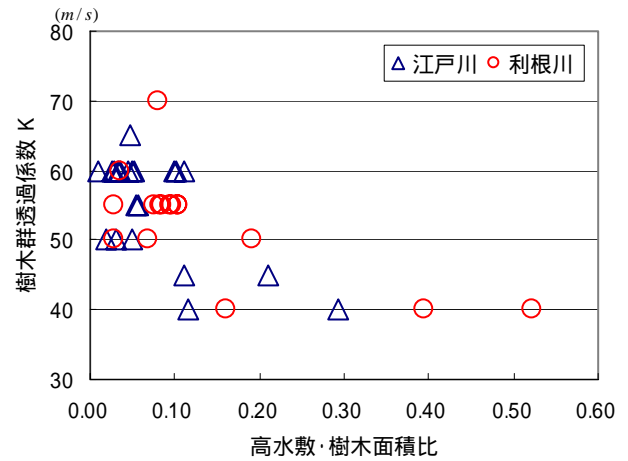
る．例えば図-4 のように高木層が発達している場所では低木層・草本層があまり成長しておらず，逆に図-5 に示す低木層・草本層の発達が顕著である場所では，高木層樹木は先の場所に比べ少なくなっている．また，低木層・草本層の占める割合が多くなるほど，植生が多様になっている．次に，表-2 に利根川，表-3 に江戸川の高水敷の状況と樹木群の繁茂形態を項目別にまとめたものを示し，この結果を基に樹木群透過係数との関係を検討する．図-6 は樹木群透過係数を縦軸，高水敷・樹木面積比を横軸にとったものであり，樹木群の繁茂形態別に色と記号を変えている．

最初に図-6 の(a)図から考察を加える．この図は利根川と江戸川に分けて樹木群透過係数に対する高水敷・樹木面積比を示したものである．高水敷・樹木面積比が小さいところでは，樹木群透過係数が大きく，逆に高水敷・樹木面積比が大きくなるところでは樹木群透過係数が小さくなっている．これは樹木が多いところでは洪水流に対する樹木の影響が大きく，樹木の少ないところでは洪水流に対する樹木の影響は小さいという当然の結果を示している．次に(b)図は，樹木群が繁茂する高水敷位置の違いによる樹木群透過係数と高水敷・樹木面積比の関係を示し，樹木群が高水敷一帯に繁茂している場所では高水敷・樹木面積比が大きくなり，樹木群透過係数も小さくなることを示している．最後に(c)図であるが，これは樹木群の連続性が樹木群透過係数に与える影響を検討した図である．樹木群の連続性があると考えられる場所では，高水敷・樹木面積比が小さい場所においても，樹木群透過係数が小さくなる，即ち，樹木群の存在が抵抗を増大させることを示している．例えば，樹木群透過係数が40(m/s)で連続性あり3点のうち高水敷・樹木面積比が最小である区間（江戸川右岸43.5～43.0km）では，対象区間内の最上流部に横断幅60m，縦断延長60m程の樹木群が高水敷一帯に繁茂しているため，樹木群の下流に300m程度の影響域が生じると考えられる²⁾．そのため，区間延長が500mで樹木群が少ない同区間下流部の流況に上流部の樹木群が影響していると判断できる．

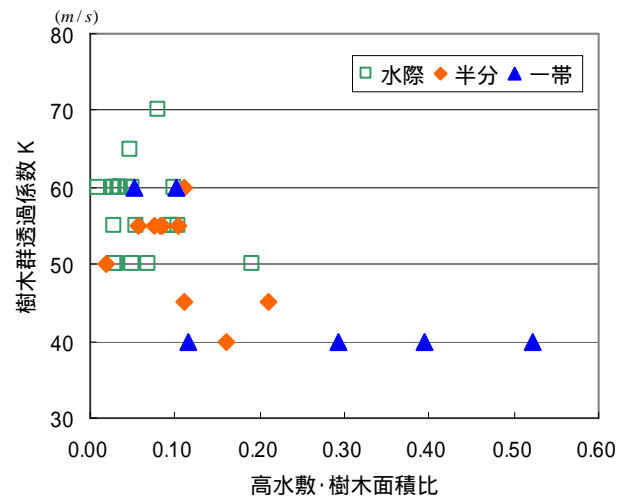
4．樹木群透過係数と粗度係数

ここで，洪水流に対する樹木群透過係数と粗度係数の関係について検討を行う．図-7 は利根川と江戸川のそれぞれについて樹木群透過係数と粗度係数の分布の関係を示したものである．樹木群透過係数が高水敷の水深2.5mを境に2パターンに分類されることを既に述べた．

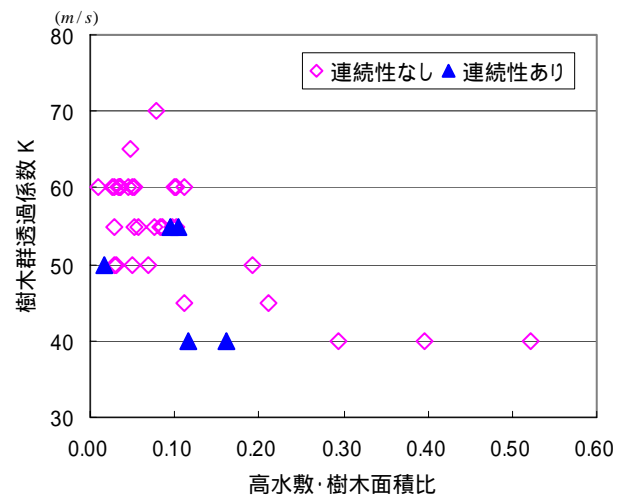
樹木群透過係数でみると小さいものは10～25(m/s)，大きいものでは35～80(m/s)となっており，それに対応する粗度係数はそれぞれ0.035～0.045($m^{-1/3} \cdot s$)，0.035～0.050($m^{-1/3} \cdot s$)で分布している．利根川において樹木群透過係数が小さい平成16年の2つの洪水では，ピーク



(a) 透過係数と高水敷・樹木面積比



(b) 樹木群の高水敷位置



(c) 上流部樹木群との連続性

図-6 高水敷・樹木面積比に対する樹木群の繁茂形態と樹木群透過係数

流量が小さく高水敷の水深も2.5mより小さかったことから，高水敷に一面繁茂する草本層や枝葉の高さの低い低木層の影響を大きく受け，樹木群透過係数が小さくなっている．洪水水位が大きい場合の樹木群の影響評価が重

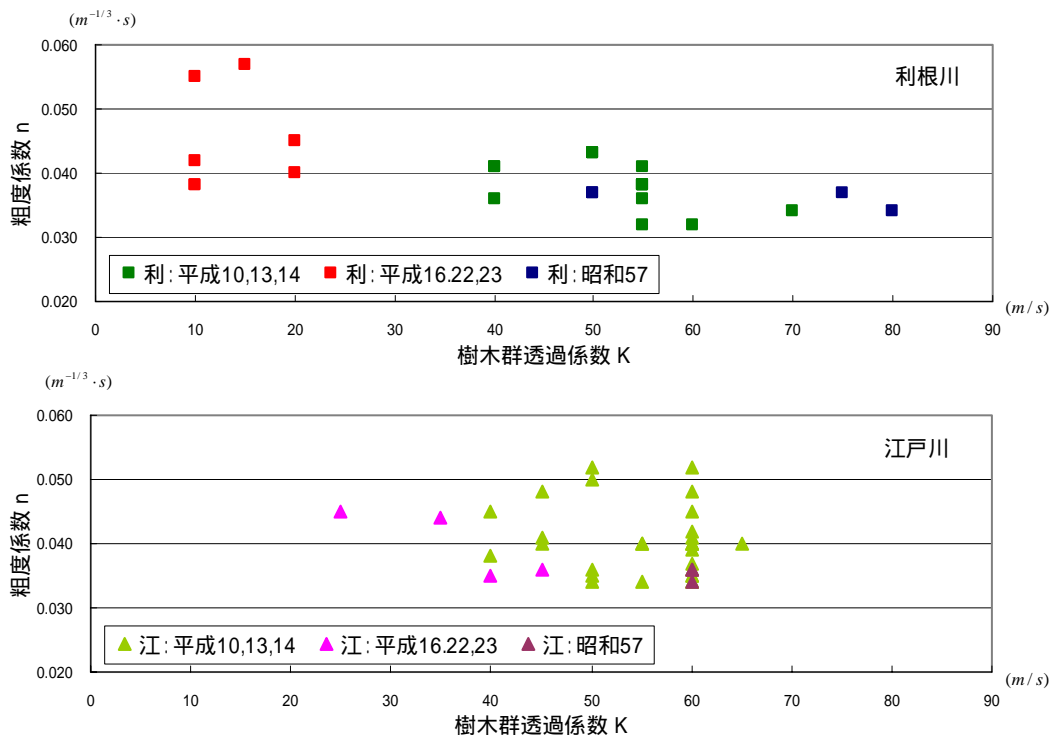


図-7 樹木群透過係数と粗度係数

要であること考えれば、これは特別な場合と考えてよい。これに対してピーク流量が大きく、高水敷水深が2.5m以上ある他の洪水では、草本層の影響が少なく、洪水流に対して部分的に繁茂する樹木の冠部が抵抗要素となるため、樹木群透過係数は大きくなり、粗度係数は小さくなっている。樹木群透過係数は70~80(m/s)と大きな値をとり、粗度係数も $0.035(m^{-1/3} \cdot s)$ 程度となっているのは、いずれもピーク流量が最大であった昭和57年洪水である。これは河道内樹木が現在に比べ少なかったため、樹木の影響が小さかったと考えられる。以上より、利根川のような大河川における大きな洪水にあつては樹木群透過係数が適切に決まれば、河道の粗度係数は河道本来の値である一定値に近い値をとると考えてよい。

5. 結論

本研究では、利根川と江戸川が分派する区間について洪水流の水面形の時間変化の解析から決定された樹木群透過係数と粗度係数を、実際の樹木繁茂形態との関係で確認をし、さらに、樹木群透過係数の分布と粗度係数の分布の関係について検討を行った。

その結果、大洪水時には、水面形の時間変化を説明する樹木群透過係数は、実際に繁茂する樹木群の状況と有意な関係がある事を確認でき、樹木群の繁茂形態から樹木群透過係数が推定できる可能性を示した。

また、樹木群のある河道の粗度係数についても、樹木群透過係数が決定されたときに、樹木群透過係数に応じて粗度係数の分布に幅があるものの、特に高水敷水深が

大きくなる大洪水については粗度係数が狭い幅をもって分布しており、ほぼ一定値をとる事が明らかになった。このことから、樹木群の透過係数を樹木群の繁茂形態に応じて合理的に決めれば、粗度係数の決定にはそれほど労力を要せず、河道に応じて決まる可能性を本研究では示し得たと考えている。

今後は、スケールの違う河川について、洪水流の規模、樹木群の繁茂形態に対する樹木群の透過係数と粗度係数、及び両者の関係を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 福岡捷二：洪水の水利と河道の設計法，森北出版，2005。
- 2) 財団法人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，山海堂，1999。
- 3) 福岡捷二，永井慎也，佐藤宏明：河川合流部を含む本・支川の流量ハイドログラフ，貯留量の評価 - 利根川・渡良瀬川の平成13年9月洪水を例として -，水工学論文集，第49巻(1)，pp. 625-630，2005。
- 4) 福岡捷二，渡邊明英，田端幸輔，風間聡，牛腸宏：利根川・江戸川分派点を含む区間における流量ハイドログラフと粗度係数・樹木群透過係数の評価，水工学論文集，第50巻，pp. 1165-1170，2006。
- 5) 玉井信行，奥田重俊，中村俊六：河川生態環境評価法 潜在自然概念を軸として，東京大学出版，2000。
- 6) 建設省河川局監修 社団法人日本河川協会編：改定新版建設河川砂防技術基準(案)同解説 調査編，山海堂，1997。

(2006.9.30受付)