

樹木群スケール, 河道スケールと 樹木群透過係数の関係

THE RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATION PERMEABILITY COEFFICIENT,
SCALES OF VEGETATION AND CHANNELS

中井 隆亮¹・須藤 純一²・福岡 捷二³
Takaaki NAKAI, Junichi SUTOU and Shoji FUKUOKA

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒122-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

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

³フェロー 工博 Ph.D 中央大学研究開発機構 教授 (〒122-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

Vegetation management in the river is an important role not only flood control but also river environment. The authors' have estimated hydraulic effects of vegetation on flood flows by using vegetation permeability coefficient. The vegetation permeability coefficient is closely related to vegetation conditions, for example scale and location. But further research of vegetation permeability coefficient is required for vegetations in different scales of rivers. The objective of this paper is to clarify dimensionless relationship between vegetation permeability coefficient and scales of channel and vegetation.

We showed that dimensionless vegetation permeability coefficient was small in relatively narrow channels. And that dimensionless vegetation permeability coefficient took small values when vegetation covers large width of the river cross-section.

Key Words: flood flow, dimensionless vegetation permeability coefficient, river management, scales of river, unsteady two-dimensional analysis

1. 序論

河道内に繁茂する樹木群は、治水面では、洪水流下の抵抗となり水位を高める一方で、河岸の流速を低減させる。また、環境面では、生物に生息場や採餌場を提供するなどの機能をもつが、他方では、ヨシ原帯や礫川原を縮小させるなど、河道本来の環境や景観を失わせるといった問題をもたらしている。このような課題に対し、治水面・環境面の両者の機能を活かした河道内樹木群の管理が求められている¹⁾。これまで著者らは、樹木群のある河川では、流れによる摩擦抵抗力と樹木群抵抗力を考慮し、観測された水面形の時間変化を再現するように二次元不定流方程式を解くことで、洪水中の水理現象を再現し、水理量を求めてきた。このとき、式(1)に示す樹木群抵抗力中の、樹木群透過係数を、現地踏査や航空写真などから樹木繁茂状況を調べ、観測水面形を再現するように優先して決定することで、高水敷の粗度係数は、河道断面や河床材料の摩擦から決まる、河道に固有の一定値を用いてよいことが示されてきた²⁾。

$$(\tau_{\xi}, \tau_{\eta}) = \left(\frac{gn^2}{h^{1/3}} + \frac{gh_a}{K^2} \right) \sqrt{u^2 + v^2} (U, V) \quad (1)$$

ここで、 n : 粗度係数, K : 樹木群透過係数, h : 水深, h_a : $\min(\text{樹高}, h)$, g : 重力加速度, (u, v) : (x, y) 方向流速成分, (U, V) : (ξ, η) 方向流速成分である。こうして決定された樹木群透過係数の値は、樹木群の繁茂量や繁茂位置など様々な要因が、相互に関係して決まっていると考えられるが、これらの要素と樹木群透過係数の関係についての検討は十分行われていない。

また、既往の研究²⁾で樹木群透過係数について検討がなされてきた利根川や江戸川は、堤間幅などに代表される河道スケールが比較的大きな河川である。このような河川に比べ小さなスケールの河川において、樹木群透過係数がどのような値をとるのかは、明らかにされていない。

本研究は、河道スケールと樹木群スケールの相対関係が、樹木群透過係数の値にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的とする。樹木群透過係数について、既に検討されている利根川や江戸川に比べ²⁾、河

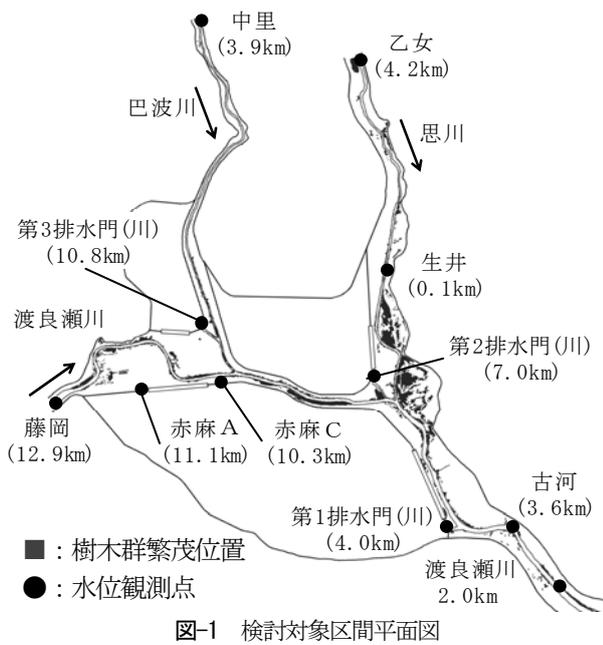


図-1 検討対象区間平面図

道スケールの小さい渡良瀬遊水地周辺の渡良瀬川・思川・巴波川の3河川を対象に、非定常平面二次元解析を適用し、樹木群の樹木群透過係数を決定する。次に、上記3河川と河道スケールの大きい利根川、江戸川、常呂川³⁾の、計6河川における樹木群と河道のスケールを表す各量を用い、無次元樹木群透過係数と樹木・河道スケール比の関係を検討する。

2. 検討対象区間・解析対象洪水の概要

(1) 解析対象区間

検討対象区間は渡良瀬川の0.5km～藤岡(12.9km)と、その支川である思川の渡良瀬川合流点～乙女(4.2km)、巴波川の渡良瀬川合流点～中里(3.9km)である。図-1に検討対象区間の平面図、樹木の繁茂位置、水位観測点の位置を示す。この区間は日本最大の渡良瀬遊水地を有し、そこを通過するいずれの河川も複断面河道である。渡良瀬川の検討対象区間は、遊水地内で堤間幅が縦断的に大きく変化し、11.0km～12.5kmでは低水路が大きく蛇行するなど、特徴的な河道特性を有している。また、樹木は低水路沿いに縦断的に繁茂し、特に第一調節池と第二調節池に挟まれた堤間幅が狭い区間では、低水路沿いだけでなく高水敷一帯に密に樹木が繁茂している。思川は、渡良瀬川合流点から1.0kmまでの区間は堤間幅が広く、左岸高水敷上に非常に密に樹木が繁茂している。また1.0kmより上流では、堤間幅が狭まり、多くの樹木は低水路沿いに繁茂している。巴波川では、堤間幅の縦断変化は小さく、渡良瀬川合流点から0.0km付近までの区間において、低水路沿いに縦断的に樹木が繁茂している。3河川とも高水敷上に繁茂する樹木群は、主にヤナギ低木林・ヤナギ高木林であり、そのほかに代表的な植生と

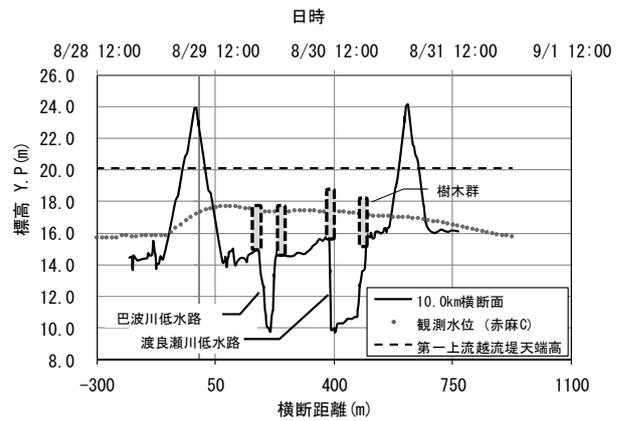


図-2 赤麻C観測所(10.3km)における水位ハイドログラフと横断面図

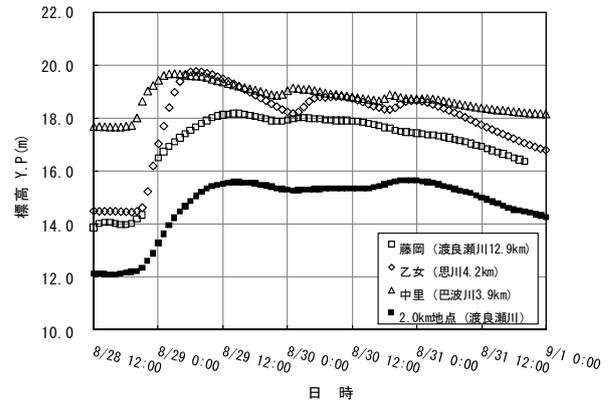


図-3 検討対象河川主要地点の水位ハイドログラフ

してオギ・ヨシの群落が多く存在する。

(2) 解析対象洪水

平成20年8月に発生した洪水を解析対象とした。縦断的に渡良瀬川で8地点、思川で2地点、巴波川で1地点において水位が観測されており、渡良瀬川の藤岡と古河、思川の乙女、巴波川の中里では、一部の時間で浮子による洪水流量観測も行われている。図-2には10.0kmの横断面形状と、赤麻C(10.3km)での水位ハイドログラフ、および直上流に位置する第一上流越流堤の天端高を示す。この図より、水深は高水敷上で2~4mに達するものの、越流堤天端高に水位が達することのない、比較的小さな出水であった。他の3か所の越流堤においても、調節池への越流が発生する水位には至らなかった。

(3) 解析条件

図-3に示す渡良瀬川の藤岡と2.0km地点、思川の乙女、巴波川の中里の水位ハイドログラフを、それぞれの河川の上下流の境界条件として与えた。本支川の合流点二ヶ所においては、それぞれの川の解析メッシュで解いた流速と水位を交換することで、一体的に解いている⁴⁾。河道内の樹木群については、航空レーザ測量によるレーザ植生図をもとに繁茂位置を調べ、樹木の繁茂位置に対応

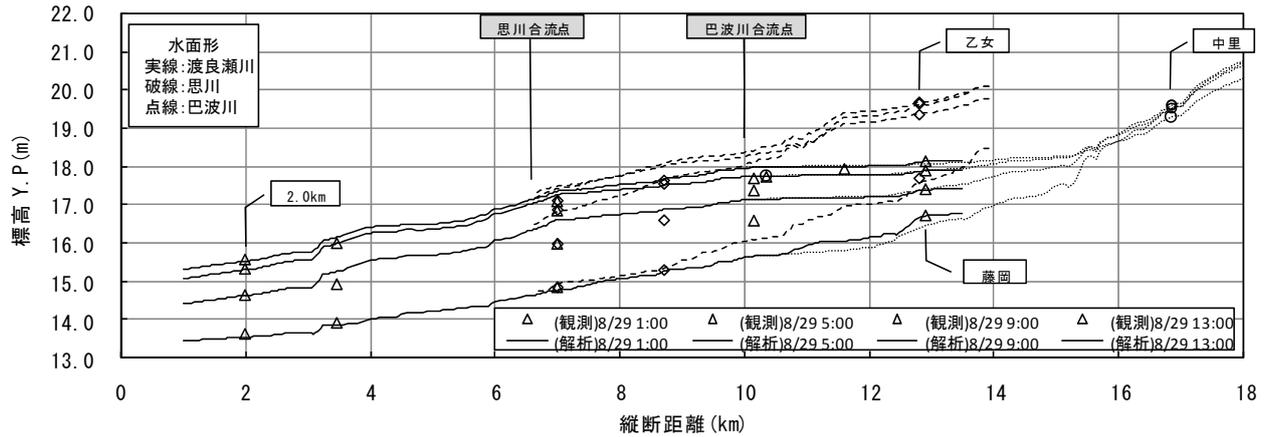


図-4 解析水面形と観測水面形の比較(水位上昇期)

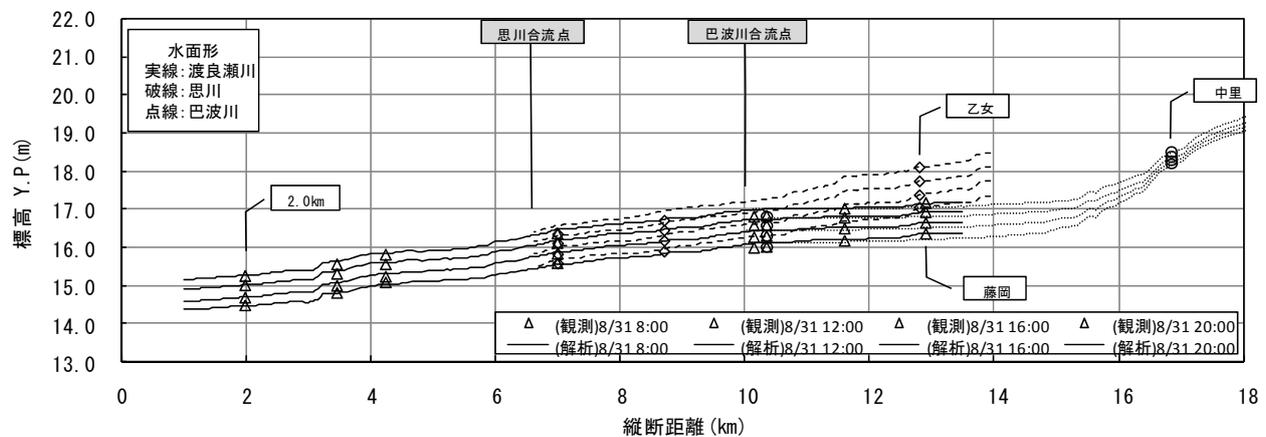


図-5 解析水面形と観測水面形の比較(水位下降期)

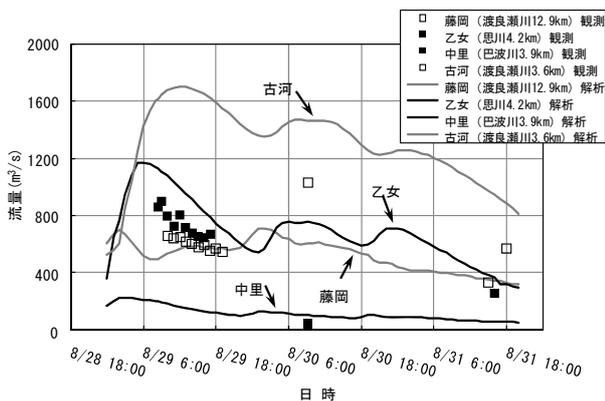


図-6 解析流量と観測流量の比較

する解析メッシュに樹木群透過係数を与えた。本解析では、後述の樹木群スケールの測定結果も参考に、観測水面形の時間変化を説明するように樹木群透過係数を決定している。また、低水路の粗度係数は、渡良瀬川で $n=0.026$ 、思川で $n=0.030$ 、巴波川で $n=0.033$ を与えた。高水敷の粗度係数については、樹木群による影響を樹木群透過係数で適切に考慮することにより、河道形状や河床材料から決まる、河道に固有の一定値を与えてよいとい

う考え⁵⁾から、高水敷がゴルフ場として利用されている渡良瀬川の一部の高水敷に $n=0.034$ を与えたほかは、渡良瀬川・思川・巴波川でともに $n=0.040$ を与えている。

3. 解析結果と決定した樹木群透過係数

図-4、図-5に渡良瀬川・思川・巴波川の水位上昇期、水位下降期の解析水面形と観測水面形の比較を、図-6に解析流量と観測流量の比較を示す。水位上昇期の解析水面形は観測水面形を十分には再現していないが、ピーク付近ではよく再現しており、水位下降期では観測水面形をよく説明している。設定した樹木群透過係数は、樹冠部分の抵抗も含んだ評価となっているため、洪水初期の解析水面形は、観測水面形よりも高く出ているものと考えられる。

解析流量は、渡良瀬川の藤岡、および巴波川の中里では、観測流量と概ね近い値を示している。思川の乙女観測所では、樹木が繁茂している影響から浮子観測が断面の全幅で行われていないため、実際の流量よりも観測流

表-1 設定した樹木群透過係数

樹木群透過係数K(m/s)			
渡良瀬川	10	左岸 (6.6k~7.1k, 12.4k~12.9k)	
	15	左岸 (6.0k~6.8k, 7.6k~9.7k)	
	20	左岸 (0.5k~2.6k, 5.0k~6.0k,	
		10.7k~12.1k)	
	25	左岸 (3.2k~3.5k, 9.8k~10.8k,	
		12.2k~12.4k)	
	30	左岸 (3.8k~4.8k)	
	10	右岸 (7.4k~9.6k)	
		右岸 (0.6k~1.2k, 5.3k~5.6k,	
	15	11.9k~12.4k)	
		右岸 (1.9k~4.4k, 5.8k~6.8k,	
	20	12.0k~13.0k)	
右岸 (4.3k~5.1k, 9.6k~10.1k)			
30	右岸 (10.8k~11.9k)		
思川	10	左岸 (-2.8k~-1.3k)	
	15	左岸 (-1.4k~-0.1k, 2.4k~2.9k)	
	20	左岸 (1.2k~1.6k)	
	25	左岸 (0.0k~1.0k)	
	15	右岸 (3.6k~3.7k)	
		20	右岸 (2.3k~3.1k)
	25	右岸 (-2.3k~-1.2k, 0.1k~0.9k,	
		1.6k~2.0k)	
	30	右岸 (-1.0k~-0.4k, 0.9k~1.3k)	
	巴波川	15	左岸 (-3.6k~-2.6k)
		20	左岸 (-2.1k~-0.4k, 2.2k~2.4k)
		25	左岸 (-2.4k~-2.2k)
15		右岸 (-2.9k~-1.4k)	
20		右岸 (-3.6k~-2.9k, 3.4k~3.5k)	

量は小さく測量されている。このため、解析流量の方が大きくなっている。古河観測地点でも、同様に周辺の樹木群が解析値と観測値の差の原因として考えられる。

決定した樹木群透過係数を表-1に示す。解析対象とした3河川における樹木群透過係数は、K=10~30(m/s)の値をもち分布している。

4. 無次元樹木群スケールと河道スケールが無次元樹木群透過係数の値に与える影響

前章の解析により決定した渡良瀬川、思川の樹木群透過係数、および既往の研究^{2,3)}で検討された利根川の芽吹橋(104.2km)~栗橋(130.3km)、江戸川の野田(39.0km)~分派点(59.75km)、常呂川の0.0km~20.0kmの樹木群透過係数を用いて、河道スケール・樹木群スケールと樹木群透過係数の関係について検討を行う。巴波川は、渡良瀬川の背水の影響をうけ、流況が他の河川と大きく異なるため、検討対象から除外している。河道スケール、樹木群スケールが異なる河道を対象とするので、無次元形で検討する必要がある。検討対象に加えた利根川の樹木群透過係数は、K=40~70(m/s)、江戸川はK=40~65(m/s)、常呂川はK=10~60(m/s)の範囲をとる。常呂川では、砂州上の密に繁茂する樹木群に対し、K=10(m/s)という小さな値が算定されている。

樹木群スケールを表す量として、本検討では樹木群の幅と縦断長の二つに着目した。幅の代表量として、樹木群の平均幅を樹木群繁茂区間の平均低水路幅で無次元化したものを用いる。これらの樹木群スケールを表す各量を調べる際には、平成17年利根川河川環境基図⁶⁾や平成13年江戸川河川環境情報図⁷⁾、航空写真を用いている。調べた各量の値の範囲や、解析結果から求めた各河川の検討諸元を表-2に示す。

樹木群透過係数Kについても、統一的に検討するため、無次元形で表す必要がある。福岡、藤田は、樹木群のある河道の洪水流の準二次元解析で用いる境界混合係数fとKの関係を、式(2)で示し⁸⁾、渡辺、福岡は式(2)と類似の理論式を導いている⁹⁾。ここで、hは水深、b'は樹木群

表-2 各河川の検討諸元

	利根川 104.0km~131.0km	江戸川 38.0km~分派点(59.75km)	常呂川 0.0km~20.0km
解析対象洪水	H10年9月洪水		
堤間幅(m)	558-916	397-589	270-675
低水路幅(m)	179-419	70-134	49-172
河床勾配	1/4600	1/5000	1/2200
平均樹木群幅(m)	13-60	4-41	11-107
樹木群縦断長(m)	500-5600	300-3000	300-5700
樹木群透過係数(m/s)	40-70	40-65	10-60
高水敷水深(m)	2.7-5.2	2.1-4.1	1.0-4.6
低水路平均流速(m/s)	1.3-1.8	0.9-1.6	0.5-2.0

	渡良瀬川 0.5km~13.5km	思川 合流点(-2.5km)~4.2km
解析対象洪水	H20年9月洪水	
堤間幅(m)	251-1055	267-1162
低水路幅(m)	72-180	36-75
河床勾配	1/4200	1/2700
平均樹木群幅(m)	10-90	15-220
樹木群縦断長(m)	170-2700	90-1380
樹木群透過係数(m/s)	10-30	10-30
高水敷水深(m)	0.6-2.9	0.6-2.2
低水路平均流速(m/s)	0.3-1.6	0.4-1.7

$$\left. \begin{aligned}
 f &= 0.072 \frac{K\sqrt{h}}{\bar{u}\sqrt{b'}} \quad \left(\frac{K\sqrt{h}}{\bar{u}\sqrt{b'}} > 0.4 \right) \\
 f &= 0.029 \frac{K\sqrt{h}}{\bar{u}\sqrt{b'}} + 0.017 \quad \left(\frac{K\sqrt{h}}{\bar{u}\sqrt{b'}} \leq 0.4 \right)
 \end{aligned} \right\} (2)$$

幅、 \bar{u} は樹木群外の平均流速である。樹木群透過係数について式(2)で用いられている無次元形 $(K\sqrt{h}/\bar{u}\sqrt{b'})$ を用いて、無次元樹木群透過係数と無次元樹木群スケールの関係を検討する。図-7から図-9は、横軸に樹木群幅・低水路幅比、縦軸に無次元樹木群透過係数をとっている。図-7は渡良瀬川、思川における関係を、図-8は利根川、江戸川における関係を、図-9は常呂川における関係を示している。また、各河川で設定された樹木群透過係数の最大値および最小値を、マークの色の違いによって表している。各河川とも樹木群透過係数の値が小さい(抵抗の大きい)樹木群を表す黒色のマークが、図中の同じグループの中で右寄り(樹木群幅・低水路幅比が大きな場所)に位置していることがわかる。

また、図-10から図-12は、横軸に樹木群縦断長・低水路幅比、縦軸に無次元樹木群透過係数と取り、図-7から図-9と同様に河川ごとに分けて示している。図-10と図-12に示す3河川では、樹木群透過係数が小さいことを表す黒色のマークが、樹木群縦断長・低水路幅比の大きい範囲に多くある。一方で、図-11に示す利根川・江戸川では、樹木群縦断長・低水路幅比が同じ範囲に、樹木群透過係数の最大値・最小値を表す黒色マークと灰色マークが位置しており、樹木群縦断長が樹木群透過係数の値に与える影響が小さいことがわかる。これは、低水路幅が広く、樹木が縦断方向に直線的に繁茂している特徴から、樹木群内外の流速差による混合抵抗が、流れに及ぼす影響が相対的に小さいためであると考えられる。

以上の検討結果より、樹木群の幅と縦断長の両方が樹木群透過係数の値に影響を与えているが、大きな河道スケールをもつ利根川、江戸川では、樹木群の縦断長が樹木群透過係数の値に与える影響は小さいといえる。

次に河道スケールと無次元樹木群透過係数の関係を検

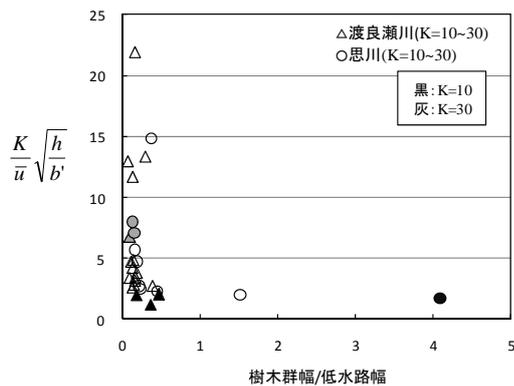


図-7 無次元樹木群幅と無次元樹木群透過係数の関係（渡良瀬川，思川）

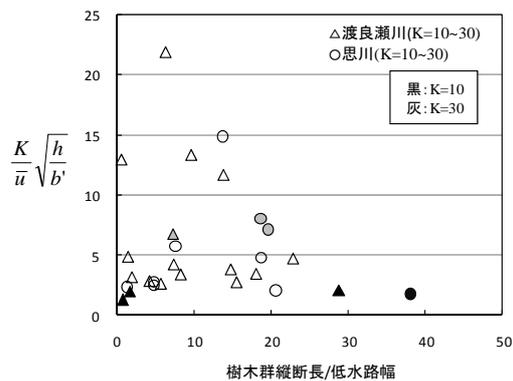


図-10 無次元樹木群縦断長と無次元樹木群透過係数の関係（渡良瀬川，思川）

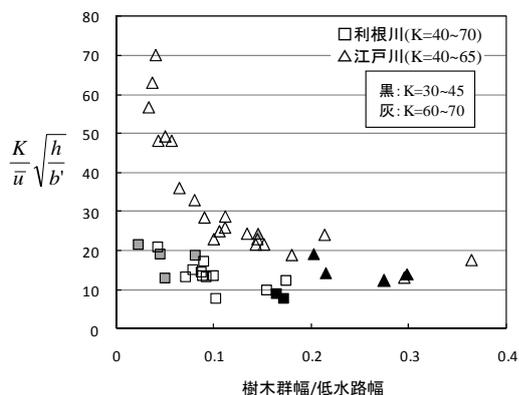


図-8 無次元樹木群幅と無次元樹木群透過係数の関係（利根川，江戸川）

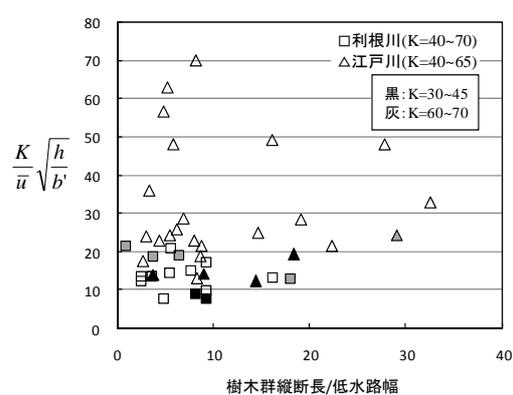


図-11 無次元樹木群縦断長と無次元樹木群透過係数の関係（利根川，江戸川）

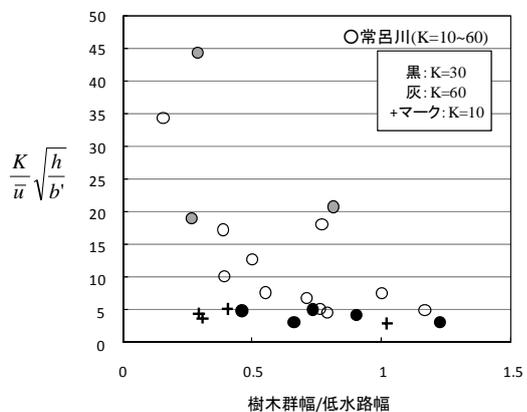


図-9 無次元樹木群幅と無次元樹木群透過係数の関係（常呂川）

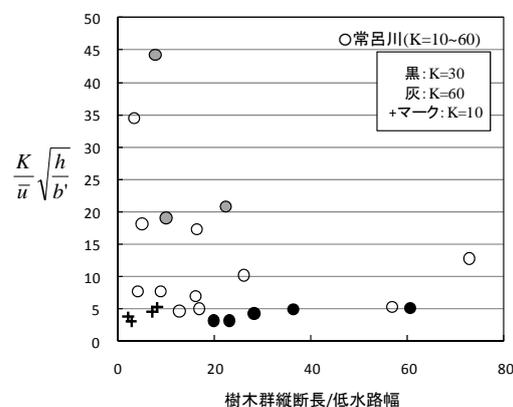


図-12 無次元樹木群縦断長と無次元樹木群透過係数の関係（常呂川）

討する。図-13は、図-7から図-9に示した各河川の樹木群幅・低水路幅比と無次元樹木群透過係数の関係を、樹木群幅・低水路幅比が1.6以下の範囲について示している。樹木群幅・低水路幅比が小さくなるにつれ、無次元樹木群透過係数の値が大きくなる傾向があることがわかる。

無次元樹木群透過係数は、樹木群内外の流速差による混合の強さに関係していることから、同じ樹木群幅・低水路幅比のときに、無次元樹木群透過係数の大きさは、

河道の平面線形や、洪水流の流れ方に支配されると考えられる。

図-13の樹木群幅・低水路幅比が0.4以下の部分に着目すると、堤間幅の狭い渡良瀬川と思川は、堤間幅の広い利根川と江戸川に比べて、無次元樹木群透過係数の値が小さい。また、渡良瀬川と思川は、無次元樹木群透過係数の値のとり範囲が狭いのに対し、利根川と江戸川は、樹木群幅・低水路幅比が小さくなるにつれ、無次元樹木群透過係数の値のバラつきが大きくなっている。この結

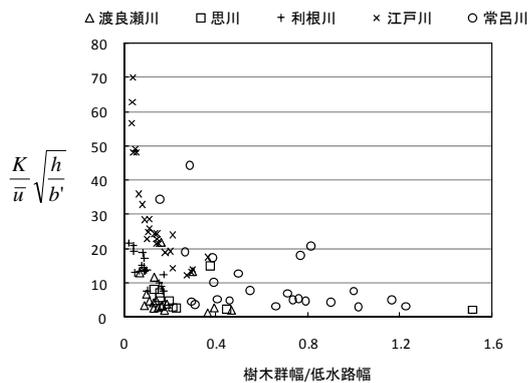


図-13 無次元樹木群幅と無次元樹木群透過係数の関係
(樹木群幅/低水路幅 ≤ 1.6)

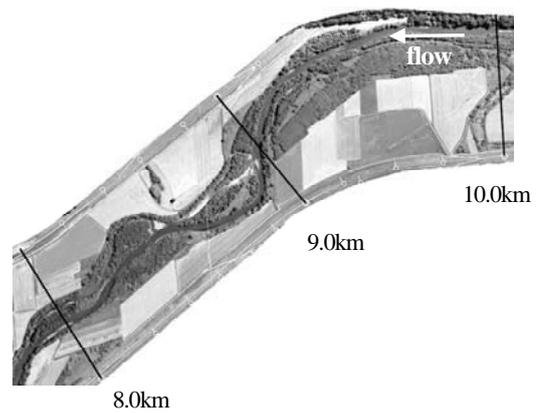


写真-1 常呂川(8.0km~10.0km)航空写真

果は、樹木群内外の流速差に起因する混合抵抗の大きさの変化量が、河道スケールの違いによって、異なることを意味していると考えられる。

以上の検討より、河道スケールと樹木群スケールの相互関係が、無次元樹木群透過係数の値の大きさに影響を与えるといえる。

常呂川は、図-13の樹木群幅・低水路幅比が0.4以上の箇所が多くあり、樹木群幅・低水路幅比が大きくなるにつれ、無次元樹木群透過係数の値が小さくなる。常呂川は低水路の蛇行が著しい。写真-1に示すように、低水路沿いに繁茂する樹木群は、主流を遮蔽するように、繁茂する場所が多い。こうした繁茂形態が、樹木群透過係数の値に大きな影響を与えていることが考えられ、各変数のとり方や意味について、さらに検討する必要がある。

5. 結論と今後の課題

本研究の結論を以下に示す。

(1) 渡良瀬川流域の渡良瀬川、思川、巴波川の3河川で、平成20年8月に発生した洪水に対し、非定常平面二次元解析を適用した結果、観測水面形を十分な精度で再現し、この区間の樹木群透過係数の値は、 $K=10\sim 30(m/s)$ の範囲をもち分布していることを示した。

(2) 渡良瀬川、思川、利根川、江戸川、常呂川の計5河川で、無次元樹木群幅、縦断長と無次元樹木群透過係数の関係を検討し、樹木群の幅、縦断長が大きくなると、樹木群透過係数が小さくなることを示した。また、低水路幅の広い利根川、江戸川では、樹木群縦断長が、樹木群透過係数の値に与える影響は小さいことを示した。

(3) 堤間幅が相対的に狭い河道では、無次元樹木群透過係数の値が小さく、その値のとり範囲も狭い。また、広い堤間幅をもつ河道では、無次元樹木群透過係数の値が大きく、樹木群幅・低水路幅比の変化に伴う無次元樹

木群透過係数の値の変化が大きい。

(4) 常呂川のような樹木の繁茂形状が大きく異なる河道では、樹木幅のとり方など、さらなる検討の余地がある。また、河道の線形や、洪水流の流況に対する樹木群の繁茂位置などの違いにより、無次元樹木群透過係数の値が異なる。このため、河道や樹木群の特性と樹木群透過係数の関係について、さらに検討し定量化する必要がある。

参考文献

- 1) 福岡捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005.
- 2) 福岡捷二, 佐藤宏明, 藤澤寛, 大沼史佳: 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, 水工学論文集, 第51巻, pp.607-612, 2007.
- 3) 飯島直己, 福岡捷二, 岡部博一: 堤外地に耕作地と樹木群を有する蛇行河川における洪水流と河床変動, 水工学論文集, 第54巻, pp.745-750, 2010.
- 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.625-630, 2005.
- 5) 福岡捷二, 藤澤寛, 大沼史佳: 利根川河道の樹木群透過係数と高水敷粗度係数, 河川技術論文集, 第13巻, pp.333-338, 2007.
- 6) 利根川上流河川環境基図: 国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所, 2007.
- 7) 江戸川河川環境情報図: 国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所, 2001.
- 8) 福岡捷二, 藤田光一: 洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響, 土木研究所報告第180号, 建設省土木研究所, 1990.
- 9) 渡辺明英, 福岡捷二: 樹木群を有する河道流れの境界せん断力の特性と境界混合係数 f の評価, 土木学会論文集, No.503/II-29, pp.79-88, 1994.

(2010. 4. 8受付)