

II-25

出水時における河岸植生の変化について

北海道大学工学部 学生員 小林 知恵
 北海道大学工学部 学生員 三宅 洋
 北海道大学工学部 フェロ-会員 黒木 幹男
 北海道大学工学部 フェロ-会員 板倉 忠興

1、はじめに

近年、水辺に潤いやゆとりを求める声が高まり、河川環境に配慮した河川改修が望まれるようになった。特に河畔林は景観、生態、水辺利用といった観点から河川環境を支える重要な要素になっており、河道計画においても河道内に樹木を残す方向に動きつつある。

しかし、これら河道内の樹木が洪水時に倒伏し流木になると、ある箇所に詰まって氾濫を引き起こしたり、橋脚等に引っ掛かり大きな流水抵抗がかかることによって構造物の破壊を引き起こすなど、被害を増大させる。このことから、流れと樹木の関係を正確に把握することは河道計画における重要な課題の1つである。そこで、流れと樹木の間を考察する場合、樹木の抵抗係数をどのように見積もるかが問題となる。実際の樹木の形状は様々で複雑であり、樹木の存在する場において起こる現象を議論するには、ある程度まで樹木の形状を簡略化する必要がある。そのため、多くの場合、実験あるいは計算を容易にするため、樹木の幹の部分のみを考えて、樹木は円柱と仮定して議論されてきた。しかし、実際の樹木の流水抵抗には樹幹部分の葉が大きく影響していると考えられ、樹幹部分の流水抵抗も考慮しながら樹木と流水との関係を議論していかなければならない。そこで、本論では樹木を楕円に仮定することで、樹木の抵抗係数を推定した。

2、目的

出水時に樹木は、その流水のエネルギーによって、傾いたり、倒伏を起こす。平成4年8月に鶴川で起こった洪水において、河畔林が倒伏するなどの被害が起きた。樹木は、傾斜を起こし、完全に倒伏を起こし、根返りを起こしたのもあった。特に被害が大量に発生した区間では、流速を弱める障害物の無かったと考えられる。しかし、洪水が起きるといつでも、河道内の樹木が倒伏などの被害を起こすわけではない。昭和56年8月に石狩川において起こった洪水では、これは、石狩川では、観測史上最大の出水であったが、この出水中にも多くの樹木が、河道内に残っていることが空中写真から確認できた(図-1)。樹木の多くは群生して残っているが、流速が直接当たると考えられる孤立した地点に残っているものも見られる。これは、この地点だけで見られるわけではなく流域全体での河道内で確認できた。このことから、出水すると必ずしも河道内の樹木が倒伏などの被害を起こすわけではないことがわかる。また、平成8年10月の厚別川の川下橋観測地点において出水時にでも、河畔林が直立で河道内に残っていることが確認できた(図-2)。これらの出水時の水理量を用いて、流速と樹木の抵抗の関係を推定する。

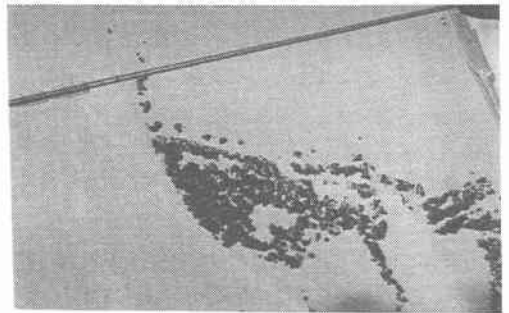


図-1



図-2

Study on change of vegetation after flood

by Chie KOBAYASHI, Hiroshi MIYAKE, Mikio KUROKI and Tadaoki ITAKURA

3、樹木の形状

一昨年から、昨年にかけて、著者らは、石狩川において、護岸に侵入しているヤナギを中心に調査を行った。この調査で、ヤナギの胸高直径と、樹高、最高葉張り、樹冠の大きさを測定した。これから樹高を1としたときのそれぞれの比率を求め(表-1)、標準的となるモデル(図-3)を考えた。ここでは、ヤナギは相似的に大きくなっていくものとする。また、河道内に生えてくる樹木の代表としてヤナギを用いることにする。このモデルにおいて、出水時にヤナギの働くモーメントを考える。

流体内での物体に働く効力Dは次式で求められる。

$$D = C_d \frac{1}{2} \rho v^2 S \quad (\text{式-1})$$

C_d : 抵抗係数 ρ : 水の密度 S : 基準面積

これから、幹と樹冠の抵抗係数を同じと考えると、水面が樹冠にまで到達するとその面積が急激に大きくなるため働くモーメントは、急激に大きくなる。しかし、樹冠部は実際には、このモデルでの投影面積が、全て葉で埋まっているわけでないので、有効断面積はこのモデルの投影面積に比べて、小さいと考えられる。このことを考慮し有効断面積にかんする係数も抵抗係数の中に含めようとする、樹冠部の抵抗係数は、幹のそれと比べてかなり小さくする必要がある。このため、樹冠と幹の部の抵抗係数を分けて考えなくてはならない。出水時の抵抗を考えるときはその水深によって、抵抗係数を変えなくてはならなくなる。そこで、ここでは、よりモデルを単純化するために、樹木の形を最高葉張りの長さをそのままにし、枝を根本からでていると考えた楕円として考える(表-2)(図-4)。このモデルでは、流水によって、力がかかるのは楕円部のみとして、幹にかかる力は無視できるものとする。

4、樹木にかかるモーメント

樹木はその幹が破壊するか、根ごと掘り起こされて、倒伏を起こしたときに流木として流れ出る。樹木の限界モーメントを考える上で、破壊モーメントと倒伏モーメントのどちらをも考慮しなくてはならない。しかし、実際に鶴川では多くの樹木が根から倒伏を起こしていた。また、渡邊らは、鶴川において、樹木の倒伏実験を行い、樹木の倒伏限界モーメント渡橋高直径の関係式を導いた。(式-2)

$$M_c = 3.36 * d^2 \quad (\text{式-2})$$

M_c : 倒伏限界モーメント d : 胸高直径 (cm)

表-1

樹高	1.000
最大葉張り長	0.320
樹冠長	0.490
胸高直径	0.014

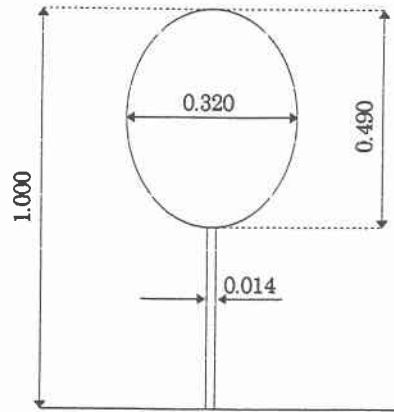


図-3

表-2

樹高	1.000
最大葉張り長	0.320
幹の直径	0.014

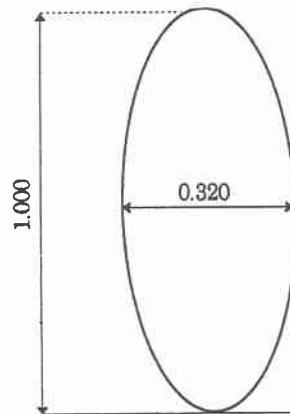


図-4

倒伏実験では、ほぼ全ての樹木が破壊を起こさずに根から倒伏を起こした。このことから、樹木の倒伏限界モーメントは、破壊限界モーメントよりも小さく、樹木の限界モーメントは倒伏限界モーメントを用いることにする。

前述のモデルを利用して実際に出水時に樹木にかかるモーメントを算出してみる。ここで、樹木にかかるモーメントをM、流速をv、水深をh、とする。

$$M = C_d \frac{1}{2} \rho v^2 \left[\int_0^h 2 * \frac{D}{H} \sqrt{\left(\frac{H}{2}\right)^2 - \left(y - \frac{H}{2}\right)^2} * y \cdot dy + \int_0^l d * y \cdot dy \right] \quad (式-3)$$

C_d : 抵抗係数 H : 樹高 D : 最大葉振り d : 幹の直径 ρ : 水の密度

ここで、幹にかかる長さは限りなく0に近づくと考え、右辺の第二項を無視すると、モーメントMは次のように書き換えられる。

$$M = C_d \frac{1}{2} \rho v^2 \int_0^h 2 * \frac{D}{H} \sqrt{\left(\frac{H}{2}\right)^2 - \left(y - \frac{H}{2}\right)^2} * y \cdot dy \quad (式-4)$$

積分をすると、

$$M = C_d \frac{1}{2} \rho v^2 \left[\frac{a \sqrt{(H-h)h} \cdot \left(-3 \left(\frac{H}{2}\right)^2 - \left(\frac{H}{2}\right) + 2h^2 \right)^2}{6} + \frac{\left(\frac{H}{2}\right)^3 \arcsin \left(\frac{\left(\frac{H}{2}\right)^2 - \left(y - \frac{H}{2}\right)^2}{\left(\frac{H}{2}\right)^2} \right)}{4} - \frac{\left(\frac{H}{2}\right)^3 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(H-h)h} \left(\frac{H}{2} + h\right)}{-Hh + h^2} \right)}{2} \right] \quad (式-5)$$

a : H/D

前述から、ここでも用いる限界モーメントは、倒伏限界モーメント(式-2)を用いる。

すなわち、 $\left(\frac{d^2}{h^3}\right)$ 、 $\left(\frac{H}{h}\right)$ の関係式とおける。

ここでより倒伏に大きな影響を与えるのは、 $\left(\frac{d^2}{h^3}\right)$ と考

えられるので、vと $\left(\frac{d^2}{h^3}\right)$ の実際の様子をグラフにしてみ

た(図-5)。ここで用いた値は、出水中にも、残っている樹木としては、石狩川と厚別川、倒服してしまったものとしては、鶴川を用いた(表-3)。石狩川のヤナギは出水時の航空写真と流速を照らし合わせ、流速の速いものを選び出した。水深は、断面図から推定し、樹高は写真より水面から1~1.5mでしていると推定した。

厚別川のデータは、川下橋観測地点における、平成8年10月4日の出水時のデータを用いた。断面図と出水時の水位から水深を、 $H-\sqrt{Q}$ 法から流速を求めた。また、ヤ

表-3

	流速 (m/s)	水深 (m)	樹高 (m)
石狩川	1.5	3.7	5
	0.9	5.25	6
	1	3.64	4
	1.2	10.5	10
	0.8	5.5	7
	1.2	9.7	12
厚別川	0.8	3.9	5
	1.815	1.3	3
	1.818	1.3	3.5
	1.95	1.2	3
	1.95	1.2	3.5
	1.915	1.7	3
鶴川	1.915	1.7	3.5
	5	3	7
	5	4	7
	5	5	7
	5	6	7
	4	3	7
	4	4	7
	4	5	7
	4	6	7

ナギの樹高については、現在の樹高から、当時は3~3.5 m程度だったと推定した。

鷺川は、渡邊らの計算から流速を4 m/sと5 m/sとした。樹高7 mの樹木が、3~6 mの水深で倒木したと考えるとそれぞれプロットした。

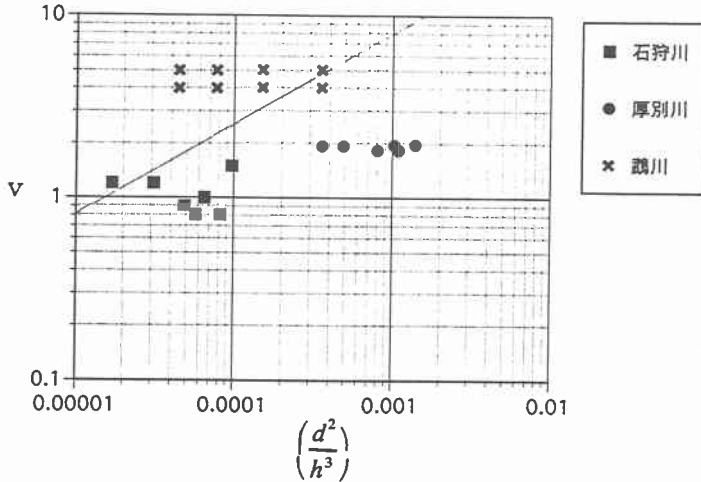


図-5

ここで、 v は、 $\left(\frac{d^2}{h^3}\right)$ の平方根をとる関数なので、傾き1/2のとして、限界直線を引いた。

5. おわりに

図-5から、樹木を楕円に仮定することによって、幹の直径と、水深から、出水時の倒木の限界の流速のと推定できると思われる。しかし、ここで、用いた値に、仮定が多く含まれているため、より実際の値を当てはめた計算が必要と思われる。

参考文献

- 1) 河川作りと環境保全：吉井厚志、水工学に関する夏期研修会講義集 A コース、1995
- 2) 樹木と水理：渡邊康玄、水工学に関する夏期研修会講義集 A コース、1995
- 3) 河道内の灌木林の形成に関する考察：石川忠晴、高橋和明、水工学論文集、1992
- 4) FIELD SURVEY OF CHANNEL VEGETATION AFTER THE 1992 FLOOD OF MUKAWA RIVER : Yasuharu WATANABE, Yasuyuki SHIMIZU and Kiyoshi HOSHI, International Conference on Environmentally Sound Water Resources Utilization, 1993