

河道内の灌木林の形成に関する考察

A Consideration on the Development
of a Colony of Shrubs in Rivers

石川忠晴*・高橋和明**

By Tadaharu ISHKAWA and Kazuaki TAKAHASHI

A process and conditions of development of shrub colonies in rivers are discussed with field observation and experiments. An observation in YOSHIDA river suggests that the divergence of branches after a break near the root by flood flow is a major cause for the development of a colony of shrubs of *S. Gilgiana* which is a common species in rivers in Japan. Experiments on drag and on bending characteristics of *S. Gilgiana* lead to an estimation of critical flow velocity at which *S. Gilgiana* is broken by flood flow (and then develop a colony).

keywords: shrub, *S. Gilgiana*, break, colony, flood

1. はじめに

河道にはヤナギなどの灌木類が自然に生長、繁茂する。これらの灌木は、低水路河岸沿いなどに群落をつくることが多く、河道の疎通能力を低下させる。そのため、近年灌木類は伐採される傾向にあるが、しかし繁殖力が強く生長速度も大きいため⁽¹⁾、一度伐採してもいずれまたもとどおりに復活してしまう。一方、灌木は、河岸流速を軽減して土砂を沈積させることによって、河岸を安定させるという防災上好ましい面も併せ持っている。どのみち除去が難しいものであれば、灌木が生えることをあらかじめ考慮した上で、その利点を活かした河道設計が望まれるが、そのためには、その生育条件を調べ、好ましい形で灌木林の分布を形成させる技術が必要となろう。また、近年、自然環境に留意した河道設計法が模索され始めているが、この点においても灌木林の計画的生育技術が役立つものと思われる。

本研究では、現地での観察、調査の結果をもとに灌木林の形成条件について検討し、さらに灌木の持つ物理的な特性（流水抵抗、曲げ強度など）とのかかわり合いについて、実験によるデータをもとに考察する。現地調査は鳴瀬川水系吉田川で、対象樹種はカワヤナギとした。

* 正会員 工博 東北大学助教授 工学部土木工学科
(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

** 学生会員 東北大学大学院 工学研究科修士課程土木工学専攻
(同上)

2. 灌木林の形成条件

カワヤナギの種子は飛散性であり、そのほとんどはヨシなどの密生度の高い草本類との競合などによって発芽せず、たまたま条件に恵まれたもののみが生長する。したがって、種子による繁殖は離散的になると思われる。

それでは密生度の高い灌木林はどのように拡大してゆくのか。このことを現地で調査したところ、次のようであった。写真-1は洪水により倒伏したカワヤナギの様子を示している。カワヤナギは非常に柔らかいので折れるということがなく、このような状況になっても死ぬことはない。むしろ繁殖に都合のよい条件が形成されている。すなわち、下流側に倒れた部分は草本類を被覆して陽光を遮断し、死滅させる。一方、上流側には新たな裸地（いままでカワヤナギによって陽光を遮蔽されていた。）が形成される。この裸地が植物の争奪の対象になるのだが、カワヤナギは倒れた幹から枝を伸ばせる（根元からでも）のでこの地を確保できる。このように倒伏することによってカワヤナギは横へ領地を拡大してゆく。これは、我々が見慣れている「樹木」の性質とは著しく異なっている。しかし、例えば、カワヤナギを寸断して”逆さま”に水につけておくと、以前に上であった所から根が、下であった所から葉が出てくる。また、上下を切断して幹を横に寝かせておくと、鉛直上向きに多数の小枝が生える。（この上に土砂が堆積すると、何本もの幼木が生まれたように見える。） 従って、カワヤナギは、“痛めつけられる”ことによって繁殖してゆくと考えられるのである。特に、洪水による倒伏が林の形成に重要な役割を果たしていると考えられる。

3. 灌木の物理的特性

灌木の倒伏を論じる場合、灌木の持つ物理的な性質が問題になるが、灌木は洪水から受ける力によって倒伏するので、流水抵抗特性と曲げ強度特性が特に重要なポイントになる。そこで本章ではカワヤナギの物理的な特性を実験によって検討する。

3. 1 カワヤナギの流水抵抗特性

灌木の流水抵抗を求める水路実験を行った。鉄製の片持梁を水路上に設置し、先端に1m位のカワヤナギの枝を取付け、歪ゲージで抵抗力を算定した。図-1は、流速を一定として、葉の量を少しずつ減らしていった場合の、葉の枚数と抵抗力の関係を示している。これより次のことがいえる。流水抵抗の大部分は葉で受けていて、枝部の流水抵抗は葉の流水抵抗に比べてかなり小さい。また、流水抵抗は葉の量に比例する。

そこで、葉30枚程度の小さなサンプルで部分実験を行い、流速と流水抵抗の関係を詳しく調べた。各実験での葉1枚当たりの流水抵抗を算定し、流速との関係を示したのが図-2である。これで見ると葉にかかる抵抗力はほぼ流速の1.5乗に比例している。

以上の実験から得られた結果より、本研究では以下に示す式をカワヤナギの流水抵抗力の算定式として用いることとした。



写真-1 洪水で倒伏したカワヤナギ

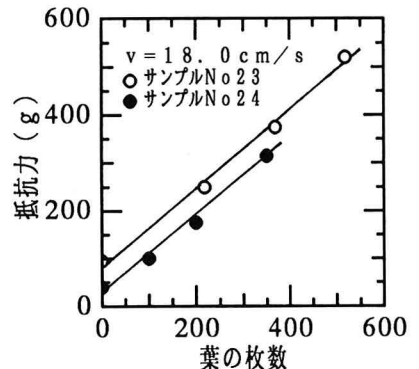


図-1 葉の枚数と抵抗力の関係

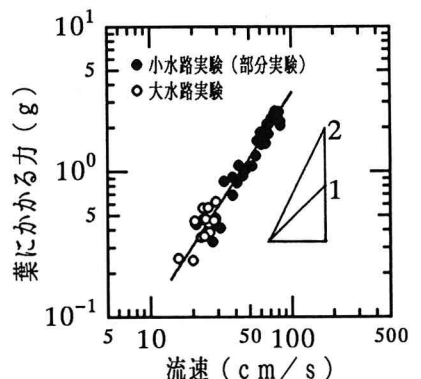


図-2 流速と葉にかかる抵抗力の関係

$$P = p_1(\text{葉の抵抗力}) + p_2(\text{幹、枝の抵抗力})$$

$$\approx \alpha N v^{1.5} \text{ (kg)} \dots\dots\dots (1)$$

但し、 N :葉の枚数、 v :流速(cm/s)、 $\alpha = 3.49 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^2$ である。なお、図-1からも明らかなように $p_1 \gg p_2$ であるから、 p_2 を無視して $P = p_1$ とした。

3. 2 カワヤナギの曲げ強度特性

カワヤナギの幹の曲げ強度を、TCM-10000型万能引張圧縮試験装置を用いて調べた。実験は歪制御とした。鋼材やコンクリートと異なり、降伏点や破断点は明確でない。そこで荷重が最大になる点での最大曲げ応力を終局強度と定義した。実験結果として、図-3に終局強度の太さ依存性を示すが、この図によると終局強度は直径にはよらず、ほぼ一定であった。(平均すると $\sigma = 441 \text{ kg/cm}^2$ 、またヤング率は直径が大きくなるほど低下した。) 前掲の図には石川・田中⁽²⁾による利根川灌木の結果も載せたが、直径と相関が無い点では一致しているが、値に多少の開きがある。

4. 灌木の倒伏条件

4. 1 灌木の構造調査による倒伏条件の推定

6~9才の6本のカワヤナギについて構造調査を行った。調査項目は、各枝の長さ、太さ、年輪、連結状況、葉の枚数などである。これらのデータを用いて、各々の灌木について流水にさらされた場合での根元にかかるモーメントを推定し、灌木の倒伏条件について検討した。なお、石川・田中⁽²⁾は、灌木各部の破壊がほぼ同時に生じると推定しているが、吉田川での調査によればいずれも根元で破壊していたことから、ここでは根元の破壊条件について調べることにする。

ここで、根元でのモーメント M と、幹の終局強度 σ との関係は次式のように表すことができる。

$$M = (2I/d)\sigma \dots\dots\dots (2)$$

M は、各々の枝にかかるモーメントを末端の枝から根元まで系統毎に順々に加算したものであるから、

$$M = \sum (n_i \alpha v^{1.5} l_i) = \alpha v^{1.5} \sum (n_i l_i) \dots\dots (3)$$

但し、 n_i : i 本目の枝の葉の枚数

l_i : (i 本目の枝の長さ)/2 + (i 本目の枝の付け根から根元までの距離)

$\alpha v^{1.5}$: 流速 v cm/s での葉1枚当たりの流水抵抗力で、2.1より $\alpha = 3.49 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^2$

また、 I は断面2次モーメントで、断面を円と仮定すれば $I = (\pi/64)d^4$ である。これらを代入すると、(2)は、

$$v = \left[\frac{\alpha \sum (n_i l_i)}{(\pi/32) \sigma d^3} \right]^{-2/3} = V_f \text{ (cm/s)} \dots\dots\dots (4)$$

となる。但し、 α, σ は、前述の実験より求められる定数であり、各々 $\alpha = 3.49 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^2$ 、 $\sigma = 441 \text{ kg/cm}^2$ である。流速が、上式より求められる V_f に達すると根元にかかるモーメントは終局強度に達し、この時

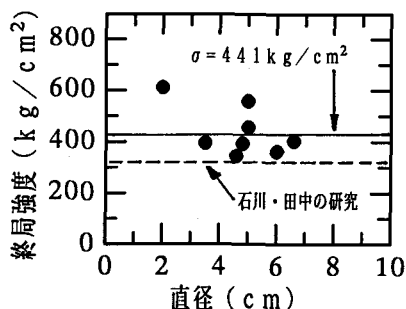


図-3 直径と終局強度の関係

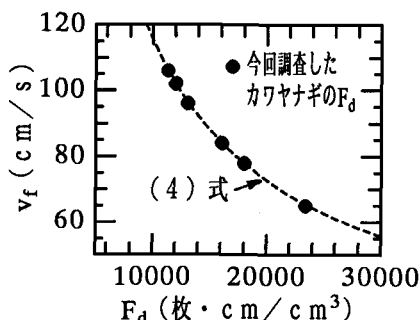


図-4 F_d と倒伏する流速 v_f の関係

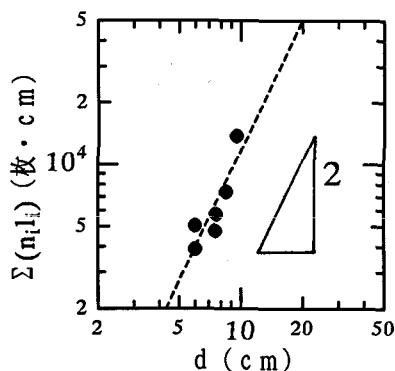


図-5 直径 d と $\Sigma(n_i l_i)$ の関係

に灌木は倒伏すると考えられる。ここで、

$$F_d = \Sigma(n_i l_i) / d^3 \dots\dots\dots(5)$$

と定義すると、 F_d が大きくなるほど小さい流速で終局強度に達してしまうから、 F_d を灌木の倒伏しやすさの目安として扱うことができる。(図-4)

それでは F_d は、生長に応じてどう変化するのであるか。図-5は、 $\Sigma(n_i l_i)$ と直径の関係を示したものである。 $\Sigma(n_i l_i)$ は直径のほぼ2乗に比例している。そこで、 $\Sigma(n_i l_i) = \gamma d^2$ (γ は定数)として(5)式に代入すると、

$$F_d = \gamma d^{-1} \dots\dots\dots(6)$$

となる。このことは、幼木の時よりも生長した後の方が倒伏しにくいということを意味している。

4. 2 倒伏条件の評価の簡略化

前節では、灌木の倒伏のしやすさとして F_d という数を提案したが、ここで F_d を得るためには、枝一本一本の長さや葉の枚数などを計測し、 $\Sigma(n_i l_i)$ を算定しなければならず、実用的ではない。そこで本節では、樹冠の形状のみから簡略的にこの値を推定することを考える。

まず、樹冠の形状は円筒形で表わすこととし、その高さや直径は写真から測定する。葉の全体数は樹冠の表面積に比例するものと仮定し(その近似性は図-6)、また、円筒の中心を作用点とする。以上のような仮定を用いて簡略的に F_d を計算してみた。その結果、図-7のようになったが、これで見限りは、簡略化して $\Sigma(n_i l_i)$ を算定しても、大きな誤差は生じていない。

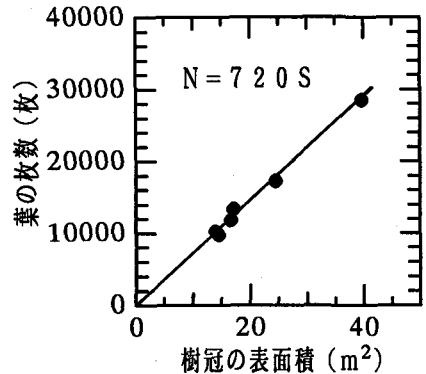


図-6 樹冠の表面積と葉の枚数の関係

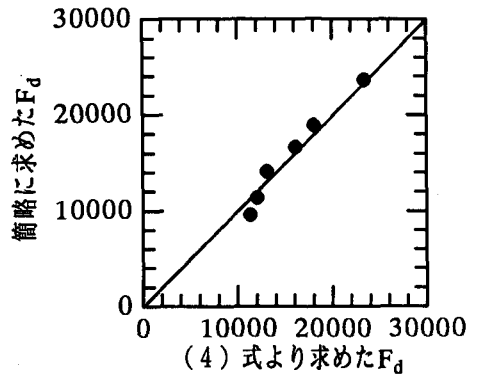


図-7 簡略化による F_d の変化

5. 結論

灌木林の形成に関して、以下のような事柄が推論された。

1. 河道内に繁茂するヤナギ類は、洪水時に倒伏することによって群落を拡大してゆくようである。
2. 樹形や根元の幹の直径からカワヤナギの倒伏しやすさを比較することができる。
3. 年齢の若い方が倒伏しやすい。従って、群落の拡大はこの時期に生じると考えられる。

本研究は河川環境管理財団の助成及び、科学研究費補助金(一般C、代表:石川忠晴)を受けている。また、灌木の基本特性の調査に当たっては、東北大学理学部生物学科広瀬教授の助力を頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 高橋・石川:河道内に繁茂するカワヤナギの生長速度に関する研究, 第46回年次学術講演会講演概要集 第2部, pp482~483, '91
- 2) 石川・田中:開水路中の灌木の抵抗特性に関する研究, 第31回水理講演会論文集, pp329~333, '87