

川辺の樹木に関するフィールドワーク

The Field Study of Trees around Rivers

建設省土木研究所 正員 北川明 Akira KITAGAWA
正員 島谷幸宏 Yukihiro SHIMATANI
正員 小栗幸雄 Sachio OGURI

The idea of river environment is discussed and the relation between the idea and the functions of trees around rivers is considered. Three functions of trees are defined, which are the role of advancing landscape of river, the utility of recreational use and the enhancement of natural environment.

The field surveys about states of trees after a big flood on the Naka river and the Kuji river were carried out in the autumn of 1986. The flowing down of trees on the rivers are classified into the five types. The quantity of rubbish which a tree caught was more than we could ignore it when calculating the hydraulic force. The relation between velocity of flood flow and collapse of trees is examined.

KEYWORD: flood, tree, rubbish, environment, river, landscape

はじめに

近年の河川事業において河川環境機能の向上が重視されているが、河川環境からみて河道内の樹木は重要な役割を果たしている。たとえば夏場の日差しを遮り、河道内での活動の拠点となっているし、何よりも川の美しさの重要な要素となっている。水害防備林などまことに美しいものが今でも全国各地に残っている。

河川環境上のこれらの利点がある一方、河道内の樹木は疎通能力の減少、あるいは流木化による下流の流積の減少を引き起こすことなどの欠点が懸念されている。そのため洪水の安全な疎通を主目的とする河道において、妨げとなる樹木は厳しく管理されている。

図-1に川辺の樹木に関する検討項目を模式化した。治水、樹木、環境に関する項目およびそれら3つに対する維持管理の項目が考えられる。治水に関する検討項目すなわち疎通能力等への影響としては①樹木の繁茂による粗度上昇②流況への影響③土砂堆積への影響④樹木の流出等が考えられる。また樹木自体の生育条件として(イ)土壌(ロ)温度(ハ)水分、地下水(ニ)外力等が考えられる。一方樹木があることによる環境効果として(a)景観向上(b)生物の生息の場等の提

供(c)親水活動の促進等が、また治水に関する維持管理としては維持管理の治水に対しては倒伏樹木、枯木、病木の除去等が、樹木自体の生息については樹木の手入れが、環境保全に対しては洪水後のゴミの除去などが考えられる。これらの全ての検討項目を解決し、統合してはじめて川辺樹木の在り方が明らかになる訳であるが、これらは広範囲にわたり現象が複雑であり、全てをここで明らかにすることはできない。本論文ではこれらの検討項目のうち河川環境機能に関する考察および樹木の洪水時の倒伏状況についてフィールドワークに基づき検討する。

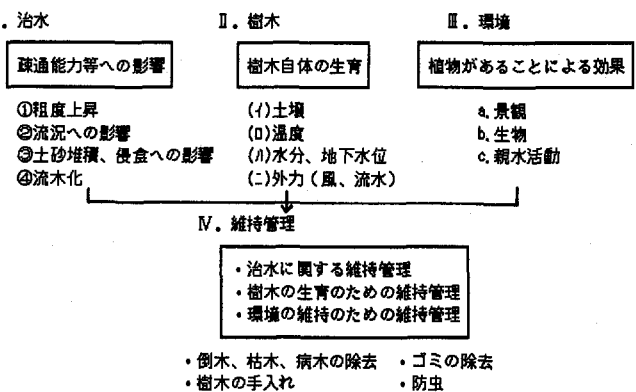


図-1 川辺樹木の検討項目

1. 河川環境の概念と樹木の果たす役割

河川は本来雨水や土砂を流すための流路である。そのために基本的に次のような特徴および魅力を有して

おり、それが河川環境のポテンシャルの基礎となっているのである。

①流れる水が存在すること

河川空間が他の空間と判然と区別できるのは流れる水の存在による。水は人々に潤いや安らぎ、深い感動あるいは畏怖感などを与える極めて魅力的な物質である。流れる水は日本人の心性と深く結び付き無常観の象徴となってきた。

②時間的あるいは空間的に変化が生じること

日本の河川は流況係数が大きく、晴天時と雨天時の川の有り様は大きく異なる。このように流量の変動が大きいことは日本の河川の一つの特徴となっており、これが河川環境整備を考える場合には一つの重要な制約条件となっている。しかしこのような特徴があればこそ日本の河川には比較的自然が残されているのであり、また変化にも富むのである。また河川は地形勾配、河床勾配や上流の地質構造の差異等により縦断的にも様相を変える。また砂礫堆の形成等により瀬や淵が生じ局所的にも形状は異なる。それらにより時間的および空間的な変化に富む。

③自然性に富むこと

水が存在し、空間的な多様性に富み、人間が河床との生態や植生まで完全には制御できないことにより、必然的に自然性は高く、植物、動物、魚類、昆虫などが生息する。

④形態的にはスケールが大きく、平たく、連続していること

大河川ではそのスケールは他の公共施設と比べ比較にならないほど大きい。たとえば東京都心を流下する荒川・隅田川の堤防間距離は400～500m・150～200m程度であり、延長は都市の大きさを十分に越えてしまい何十kmにもおよぶ。また河川は一般的に極めて横と縦の比が大きいのが特徴である。扇状地河川では川幅と堤防高の比は数百倍に及ぶところもある。そのため水面まで十分な俯角が得られず茫洋たる風景となることが多い。その他縦断的に連続しており、奥行き感があることも特徴といえる。

⑤人々が河川を利用しあるいは制御しようとしてきた長い歴史を有していること

治水や利水に関する長い人々の係わりが現在の河川を形作っているのであって、その歴史性自体が大きな環境ポテンシャルとなっている。

河川環境は上記に述べた河川の特徴、魅力などより構成されていると考えることができる。上記の特徴を踏まえ、今までに行われてきた事例等から河川環境整備の主テーマを抽出すれば次の6つ程度になる。

上記5項目と関連する河川環境整備のテーマ

- | |
|-------------------------------|
| 1)水 …水の演出や水質水量の確保……①に対応 |
| 2)自然…植物や動物、地形等の保全……③に対応 |
| 3)景観…視覚を中心とした河川の眺め…①～⑤全てに関係 |
| 4)歴史…歴史的環境の保全、利用……⑤に対応 |
| 5)活動…親水活動の誘導……①～⑤全てに関係 |
| 6)その他（気候、オゾン・スプレー音など）…①、④等に対応 |

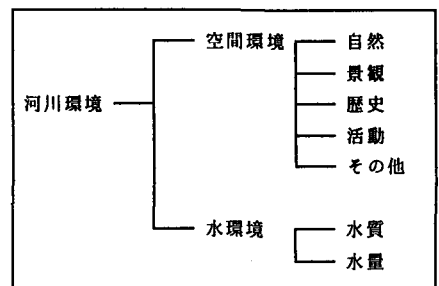


図-2 河川環境の構成

昭和56年12月になされた河川審議会答申「河川環境管理の在り方について」の中では河川環境の管理を水環境の管理と河川空間の管理に大別している。上記のテーマに基づき関連付けて見るとテーマ「水」は水環境に対応する。答申の中でそれは水質と水量の分けられている。この水量とは平常時の水量をさすものである。その他のものは空間環境に属す。すなわち整備を念頭においた河川環境の構成を整理すると図-2のようになる。

河川環境は景観、親水活動、自然環境、歴史的環境からなり、水環境は水質および流量からなる。これらの仕分けは厳密なものではなく互いの多少の重複はあるが、実用上有効な概念である。

この概念から川辺における樹木の機能を分類してみると以下ようになる。

- ①景観機能…川辺に緑を配置することによる景観向上への効用
 - ②親水活動促進機能…緑陰の提供や樹木自体が親水活動の補助あるいは対象となり親水活動を促進させる
 - ③自然環境保全機能…水辺の生物の生息の場あるいは餌の提供
- 以上のように主として川辺の樹木の環境機能は、上記3つに集約される。

2. 川辺樹木の出水後調査

風に対する樹木の倒伏については林業の分野で研究されているが、流水による倒伏については殆ど研究されていないのが実情である。外力が流水の場合も風の場合も根鉢部あるいは幹に対する曲げモーメントによる倒伏であることは同様であるが、風の場合その変動が大きく木がゆすられること、流水の場合樹木にゴミがひっかかりそれが抵抗を大きくすることなどの差異が考えられる。ここでは昭和61年に関東地方を襲った台風10号直後の現地調査に基づき大出水後の河道内樹木の状況について述べる。

昭和61年8月上旬の台風10号により那珂川・久慈川では計画高水位を上回る戦後最大の洪水が生じた。両河川について倒伏の有無、樹種、樹高、樹径、湛水深、樹木への付着物とその量、流速解析、ゴミによる樹木間の閉塞状況等の調査および空中写真による流速の解析を行った。

2.1 樹木の倒伏状況

洪水直後那珂川河口から53.5kmの区間について現地踏査を行ない、河道内にある程度まとまった数の樹木が存在し、この区間の那珂川を代表しうる地点6地点を選出した。これら6地点での調査樹木は393本、うち倒伏した樹木は134本であった。表-1に調査本数と倒伏本数を示した。これらの樹木の倒伏形態は次の5つに分類できる。

(イ)：根はそのまま木がしなう

(ロ)：幹が折れる

(ハ)：地面に根はついたまま大きく傾く

(ニ)：根の上流側がはがれ根がむき出しになり倒伏する

(ホ)：根からえぐりとられ流出し、流木となる

これらの倒伏パターンは外力と樹木の抵抗力との関係により決まる。樹冠にかかる外力が大きく、幹の応力が根鉢部の抵抗力より小さい時には(イ)または(ロ)のように曲がったり、折れる。現地において(イ)(ハ)の状況となっていたものはニセアカシア、オニグルミなどの幼木で比較的樹高が低くゴミがかなり樹冠に付着していたものである。

根鉢部の抵抗力が幹の抵抗力より小さい場合は、(ハ)または(ニ)のような倒伏形態となる。それがさらに進むと(ホ)のように根が全て切断され流出するものと思われるが、今回の調査地点の中ではそのような樹木や痕跡は認められなかった。

表-1 調査本数と倒伏本数

調査地点名	距離	調査本数	倒伏本数	樹 種 名
那珂川	1 10.5km	7	0	ニセアカシア
	2 24.5km	22	1	エノキ、ヒノキ
	3 32.5km	41	25	オニグルミ、ニセアカシア、マツ、エノキ、ヤナギ
	4 33.0km	69	26	オニグルミ、ニセアカシア、ケヤキ、クワ、ヌルデ、エノキ
	5 40.5km	64	47	クリ、クワ、ヤナギ、マダケ、ニセアカシア、オニグルミ、マツ
	6 53.5km	14	1	サクラ
久慈川	1 7.0km	56	12	オニグルミ、エノキ、ヤナギ、クワ、ニワトコ、サクラ、マサキ
	2 8.5km	3	0	サクラ、クワ
	3 15.0km	9	2	スギ、ハンノキ
	4 16.5km	13	1	クワ、エノキ、ハンノキ
	5 17.5km	5	1	ヤナギ、ニセアカシア
	6 19.0km	28	10	クワ、オニグルミ、ヤナギ、エノキ、マサキ
	7 19.2km	1	1	サクラ
	8 19.5km	12	0	クワ、エノキ
	9 20.0km	14	5	マサキ、サクラ、クワ、オニグルミ、ニセアカシア、ヤナギ
	10 20.5km	15	2	クワ
	11 21.0km	8	0	ササ、クワ
	12 21.5km	12	0	ヤナギ、オニグルミ

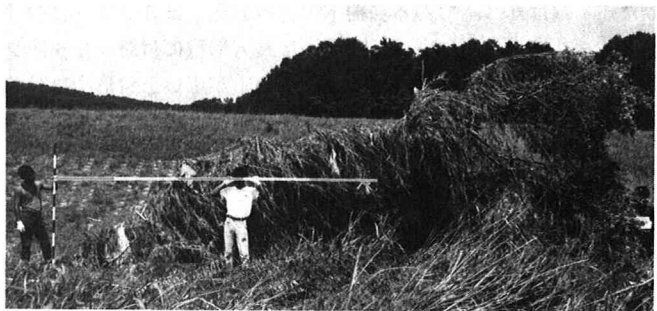


写真-1 樹木の倒伏状況とゴミの付着状況の一例

2.2 樹木へのゴミの付着状況

河道内に生育する草やすでに枯死していた草あるいは発泡スチロール等のいわゆるゴミが洪水時には多量に流下する。それらは樹木に付着し樹木の被害を増大させる。一般的にゴミは洪水ピーク前までに大半が流下し、ピークを過ぎるとその量は減少する。この現象は空中写真から流速を測定する際にゴミを利用するため経験的に知られている。これは出水前に蓄積していた移動しやすいゴミが洪水初期に流出するもので、いわゆる雨天時の汚濁流出のファーストフラッシュ現象に類似の現象である。また容易には移動しない河道内の草などもピーク時以降は外力が減ずるため河道から離脱することが少なく、この流下量も減ずるため出水前期のゴミの流下量は多くなると考えることができる。

さて、樹木にゴミが付着すると樹木自体の投影面積が増え流水による外力は増大することになる。また樹木と樹木の間にゴミが閉塞してしまうと流況等へも影響を与える可能性がある。ここでは主としてこの2点について検討してみる。

(1) ゴミの内容

久慈川および那珂川は上流に大きな都市はなく自然的な河道である。場所によりゴミの内容は多少異なるが主として次のようなものが付着していた。

- ① 葦等の草本類…幹および樹冠にまわりつくように付着し、付着物中でその量は最も多い。
 - ② 丸太、棒類…葦類とともに樹木に付着している。直径20cm、長さ4m程度の丸太も中にはみられた。
 - ③ 流木類…上流の流れの激しいところで流出したと思われる樹木、竹類などが付着していた。中には根を上流に向けて樹木にひっかかっているものもみられた。数的にはそれほど多くない。
 - ④ 板類…大小様々な板切れが葦類とともに付着していた。
 - ⑤ ビニール類…農業用で用いられるマルチ用ビニール、農業で使われる肥料の入っていたビニール袋、スーパーでの買い物袋など。いたる所でみられる。
 - ⑥ 日用品…醤油容器、洗剤容器などのプラスチック容器類、ジュース、エンジンオイル等の入っていた空き缶・空きビン類、発泡スチロールなど。
 - ⑦ その他…釣り船、古タイヤ、電球、布団などがみられた。数は多くない。
- ・付着したゴミの割合を目視から判断すると葦等の草本類が全体の7～8割程度を占めている。解体して量の測定を試みたが強力で付着し解体不可能であった。
 - ・ゴミの付着状況は葦等の草本類の中に他のゴミが混入する形で付着している。
 - ・丸太、発泡スチロール、空きビン等の浮遊するゴミは葦類等の上に堆積している。
 - ・久慈川では高水敷が堤外民地となっている水田、畑などがあるため、農業関係で持ちいられるビニール類が目についた。

(2) ゴミの付着量

那珂川・久慈川のゴミが多くみられた地点で1本立の樹木に対するゴミの付着量調査を実施した。対象とした樹木数は43本である。樹木の付着の形状は4タイプに分類できる。

タイプA…幹のみに巾がほぼ同一に長方形型に付着するタイプ。付着量は流向の平均的投影巾Bで示す。

タイプB…幹のみに付着するが、下の巾が広い三角形型に付着するタイプ。付着量は同上。

タイプC…樹冠のみに付着するタイプ。樹冠のゴミの流下方向の平均的投影巾B'で付着量を示す。

タイプD…タイプCおよびタイプA、Bとの複合型。付着量の算定はA～Cに準ずる。

図-3に樹径とゴミの投影巾B、B'との関係を示した。幹に付着するゴミの量BはDの大きさに関係するようにも見えるが、その理由は判然としない。ただしBは2m以内には納まる傾向にある。またゴミの付着量が大きくなったケースは長い樹木がひっかかった特殊な例である。

一方樹冠に付着する量は5mを越える例もあるが概ね3m以内に納まっている。この結果は樹木の閉塞状況からみても妥当な結果と判断できる。樹冠の場合原形の樹冠の大きさが測定不可能であるから、原形との

比較は不可能である。

以上のようにゴミの付着量は予想していた以上に大きく外力の計算時に無視しえない量になっていることがわかる。

(3) 樹木間の閉塞

那珂川および久慈川でゴミが比較的多量に見られ樹木間にゴミの閉塞あるいは非閉塞が併存する地点をそれぞれ4地点、6地点抽出し調査を行なった。ただし樹木が群をなし生育し、直接流れに面していない樹木対は対象から除いた。流れの方向は樹木に付着したゴミの形状より判断した。

図-4に樹木間隔とゴミの閉塞の関係を示した。この図は縦軸に樹木間隔を、横軸に流れに対して直角方向の樹木間隔を示した。45度の線は両方の樹木間隔が一致したもので全ての点はこの線より上になる。

この図からどちらの樹木間隔をとっても1m以内のものは全て閉塞していることがわかる。また2m前後においても殆ど閉塞している。しかし、流下方向の間隔が2m以内であっても、樹木間隔が5m以上になると閉塞していない。樹木間隔6m以上で閉塞しているものは、釣り船、流木等の長大なものにより閉塞しているものに限られ、閉塞の確率は少ないと判断される。このような長大なゴミの流下がない場合、樹木間隔が6m以上あれば殆ど閉塞しないと考えてよい。この結果は河道内樹木の管理ばかりではなくトンネル河川のスクリン間隔の設計時にも参考となるものである。

2.3 樹木の倒伏と流速等との関係

2.1で述べたように樹木の倒伏は外力による曲げモーメントにより起こると考えられる。ここで図-5のように鉛直方向をz、地表面から回転の中心(Q)までの距離をe、流速をv(z)、樹木の投影巾をb(z)、抗力係数をC_DとするとQを中心とした曲げモーメントは

$$M = \int_0^h \frac{\rho}{2} C_D (Z) B(Z) V(Z)^2 \cdot (Z+e) dz$$

となる。平均流速をvとし、v(z)をvで代表しえ、c_Dはz方向に概ね一定とすると

$$M = \frac{\rho C_D v^2}{2} \int_0^h B(Z) (Z+e) dz$$

となる。ここでe << zとしB(z)はz方向の変化が殆どなくbとすれば

$$M = \frac{1}{4} \rho C_D b v^2 h^2 \quad \text{----- (1)}$$

となる。すなわち流水による外力は、b、v、hで概ね決まる。

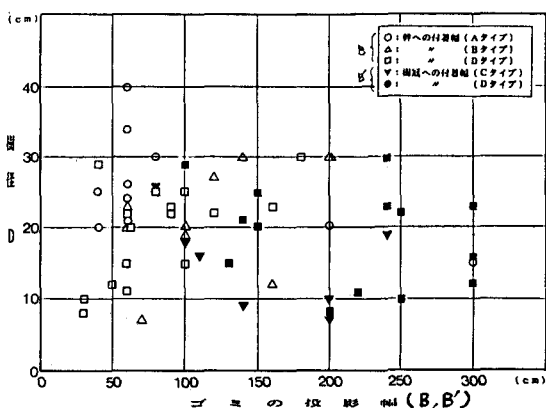


図-3 樹径とゴミの投影幅B, B'

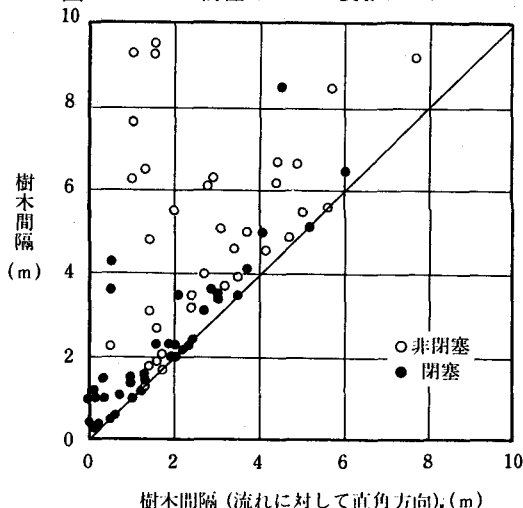


図-4 樹木間隔とゴミの閉塞の関係

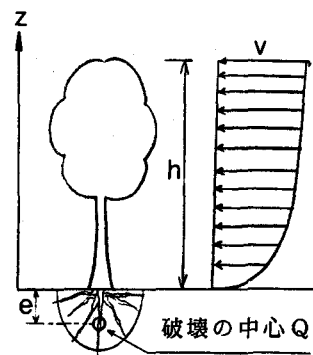


図-5

一方樹木の曲げモーメントに対する抵抗力は土壌等の条件が同一であれば一般的に同一の樹種については樹木の直径と対数比例の関係（概ね直径の2乗に比例）があることが林業の分野で実験的に知られている。ここでは実際の洪水後の倒伏状況よりこれらのパラメーターについて検討してみる。

表-2、表-3に樹高および樹径と倒伏率の関係をみた。樹高でみると6m未満の倒伏率は43%、6m以上では23%と倒伏率に相当の開きがある。これは樹高が高くなれば樹木の抵抗力自体が増すことと、樹高が高いために場所によっては樹冠が水没せず外力自体も小さくなる可能性を示している。一方樹径が10cm未満の倒伏率は41%、10cm以上では30%と樹径が太くなると倒伏しにくくなる傾向にはあるが、樹高ほど顕著な結果にはなっていない。このデータは調査した樹木全てについて集計したもので外力および場所の特性は無視しているのであくまでも定性的な評価に留まる。

次に単位巾流量 $v \cdot h$ と樹径 d の関係を図-6に示した。式(1)より外力は $(v \cdot h)^2$ の関数となり、 $v \cdot h$ で外力を代表しうると考えてよい。

$v \cdot h = 0.2$ 程度で倒伏している樹木が2本あるがこれは航空写真の流向ベクトルの向きとは異なる方向に倒伏していたもので、ここで求めた外力による倒伏とは異なると考えられる。この図から単位巾流量 $q = 1$ ㍎/㍉未満であれば樹径10cm未満の小木といえども殆ど倒伏することなく、樹径10cmを越えるとそれ以上の外力に対しても倒伏しない結果となっている。

おわりに

本報では河川環境における樹木の果たす役割についてまず考察し、次にフィールドワークに基づく洪水時の主として樹木の倒伏現象について検討してきた。樹木は生物でありそれぞれの個体の偏差も大きくまた土壌や樹種による差も大きく、加えて洪水時の流れの把握自体が困難な場合も多くこの研究のみで定量的な解が得られたわけではない。しかしゴミの付着量、樹種間隔とゴミによる閉塞および倒伏現象については一応の成果が得られた。この種のフィールドワークは、洪水直後の比較的短時間の間に行わなくてはならず、研究計画に多少不備な面は伴うがとにかく行動力がものをいう研究である。ここで得られたデータは今後貴重な資料になることを期待している。今後さらに実験あるいはフィールドにおけるデータの蓄積を待つ必要があると思われる。本調査の遂行に多大なる便宜を図っていただいた建設省関東地方建設局常陸工事事務所の方々に心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 島谷：河川環境の捉え方とその整備方針、'88とやま国際水シンポジウム資料集、1988・9
- 2) 北川、島谷、小栗：洪水による樹木の倒伏、土木技術資料、1988・8
- 3) 苅住昇：樹木根系図説、誠文堂新光社、1979・6・10
- 4) (社)道路緑化保全協会関東支部：台風と樹木 — 台風20号による樹木被害調査（その2）、1981・3・31
- 5) 日本造園学会編：造園ハンドブック、技報堂出版

表-2 樹高と倒伏率の関係

樹高(m)	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-
那珂川 倒伏率	4/5 80%	14/25 56%	22/36 51%	16/32 50%	15/45 33%	10/28 36%	7/12 58%	3/13 23%	4/15 27%
久慈川 倒伏率	5/13 38%	9/30 30%	5/33 15%	5/14 36%	4/23 17%	1/34 3%	1/11 9%	0/4 0%	0/9 0%
合計 倒伏率	9/18 50%	23/55 42%	27/69 38%	21/46 46%	19/68 28%	11/62 18%	8/23 35%	3/17 18%	4/24 17%

倒伏本数/調査本数

表-3 樹径と倒伏率の関係

樹径(cm)	~5	~10	~15	~20	~25	~30	30~
那珂川 倒伏率	1/4 25%	34/65 52%	24/41 59%	12/34 35%	16/32 50%	8/21 38%	1/12 8%
久慈川 倒伏率	6/20 30%	16/50 32%	6/41 15%	3/28 11%	1/11 9%	1/10 10%	2/14 14%
合計 倒伏率	7/24 29%	50/115 43%	30/82 37%	15/62 24%	17/43 40%	9/31 29%	3/26 12%

倒伏本数/調査本数

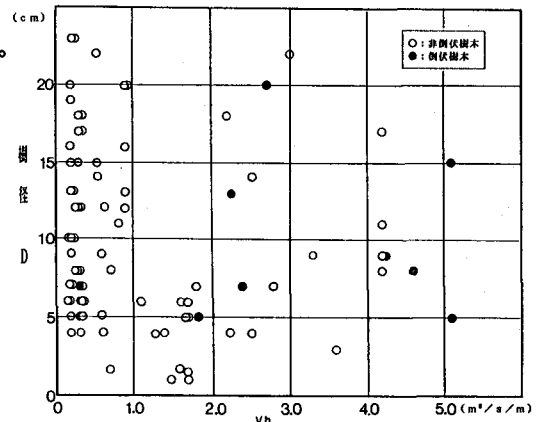


図-6 単位巾流量 $v \cdot h$ と樹径 d の関係