

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3249号

土 木 研 究 所 資 料

河道特性による植物群落の分類

—利根川と鬼怒川を実例として—

平成6年2月

建設省土木研究所
河川部河川研究室

Copyright ©1994 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

河道特性による植物群落の分類

—利根川と鬼怒川を事例として—

河川研究室 室長 宇多高明
主任研究員 藤田光一
研究員 佐々木克也
研究員 服部敦治
平 館

要 旨

河道内に形成される植物群落を、河道計画（治水，環境）に反映することを目的とした基礎的研究として，鬼怒川と利根川下流を実例とし，河道特性と河道内の植物群落の分布形態およびそれを構成する植種の関係を調べた。その方法は，植物群落を縦断方向にはセグメント，横断方向には砂州，テラス（中水敷），高水敷そして河岸などの河道地形によって分布領域を分け，これらの領域の冠水頻度，表層材料，流砂形態などの河道特性（環境的秩序規制）と比較するものである。これより，植物群落の分布形態とそこに繁茂する植種の性質は，セグメントごとに河道特性によって大局的に説明できることを示した。さらに固定化傾向にある砂州上の植物群落の形成過程を空中写真から調べた。これにより，砂州上の植物群落は，粗砂の堆積する砂州下流端から砂州周縁部に最初に形成され，その後，砂州下流端の植物群落は，洪水ごとの土砂移動のため徐々に砂州上流部に移り，分布範囲が拡大することがわかった。

キーワード：河道特性，セグメント，植物群落，分布形態，固定砂州

目 次

第1章 はじめに	1
第2章 鬼怒川と利根川の河道特性	3
2.1 鬼怒川の河道特性	3
2.1.1 鬼怒川の概況	3
2.1.2 河床縦断形	5
2.1.3 低水路幅と堤間幅	7
2.1.4 調査地点の横断面形	7
2.1.5 低水路幅と砂州の経年変化	9
2.1.6 河床材料	17
2.1.7 高水敷と砂州の表層材料の粒度分布	17
2.1.8 洪水時の営力と河道	20
2.1.9 河道特性量から見たセグメント区分	24
2.1.10 流況の経年変化	25
2.1.11 位況の経年変化	26
2.1.12 植生調査地点における水位の変化	30
2.2 利根川の河道特性	37
2.2.1 利根川の概況	37
2.2.2 河床縦断形	41
2.2.3 低水路幅と堤間幅	42
2.2.4 調査地点の横断面形	43
2.2.5 河床材料	43
2.2.6 高水敷の表層材料の粒度分布	44
2.2.7 洪水時の営力と河道	45
2.2.8 河道特性量から見たセグメント区分	47
2.2.9 流況の経年変化	47
2.2.10 位況の経年変化	49
2.2.11 植生調査地点における水位の変化	49
第3章 植物群落の分布形態と植種	52
3.1 各セグメントの植物群落の分布形態と植種	52
3.1.1 調査方法	52
3.1.2 セグメント1の植物群落の分布形態と植種	52

3.1.3	セグメント2の植物群落の分布形態と植種	57
3.1.4	セグメント3の植物群落の分布形態と植種	61
第4章	植生の繁茂状況と河道特性の関係	64
4.1	植物群落の性質－植物社会の秩序－	64
4.1.1	生物共同体と植生, 植物群落	65
4.1.2	植物の世界の秩序	65
4.1.3	時間的秩序－遷移－	67
4.2	河道内の植物群落の分布に關与する河道特性	68
4.3	各セグメントにおける植物群落の分布と冠水頻度の関係	70
4.3.1	セグメント1－砂州上の植生－	76
4.3.2	セグメント2－テラス～高水敷上の植生－	78
4.3.3	セグメント3－地下水位が高い高水敷上の植生－	80
4.3.4	まとめ	80
4.4	固定砂州上の植物群落	81
第5章	結 論	84
	謝 辞	86
	参考文献	87

第1章 はじめに

現在の河道計画は、自然に優しい川づくりをスローガンとし、河道が本来有する変化に富んだ姿を生かしつつ治水を進めることを目標にしている。河道が本来有する変化に富んだ姿を生かすということは、河道制御の分野では河道の縦断形と横断形の長期的変動を許容することである。このような河道の変動を考慮すれば、河道の変動に反した改修を排除でき、長期的に安定した河道を形成する河道計画の立案を可能にする。このような河道計画を具体化する上での問題として、河道内の植生が挙げられる。植生は河道内の自然を構成する重要な部分であり、自然環境を豊かにするために欠かせないものである。しかし、ただ単に放置すれば砂州や河岸、高水敷上に大型の植生が繁茂し、粗度係数の増大に伴い疎通能力の低下をもたらす。また、砂州の固定化を助長し、河岸近傍の局所洗掘深の増加により堤体の安定性に問題が生じる。これらの問題の解決のためには河道の長期的な変動に及ぼすと考えられる河道内植生の性質を十分理解しておく必要がある。この性質とは、①植生の水理的性質（土砂移動、抵抗）、②植物群落の分布形状と植種に関する性質、の2種類に大きく分けられる。①は河川工学の分野で研究されており、その基礎的な特性は解析的にも把握されている（例えば、椎貝，1993：Tsujimoto・Kitamura，1993：池田ら，1992）。よって、河道に繁茂する植物群落の分布パターンがわかっているならば水理的解析はある程度可能である。一方、植物群落の分布パターンに関する研究は②に含まれており、植物生態学の一分野として主に定性的な研究がなされている。その内容は、河川水による植物群落の生育環境の規制を指標化して、これと植種によって分類した植物群落との関係を調べるものである（例えば、倉本，1984）。これらの2つの研究の有機的結合により、植生に関する河川工学は実河川への適用が可能となると考えられる。しかし、河川工学と大きく異なる分野の研究であるため、両者の結合が困難であるのが現状である。本研究の目的は、河道特性と植物群落の分布、およびそれを構成する植種の性質を調べ、これによって上記の2つの研究のアプローチの有機的結合の一助とすることである。したがって、本研究は植物生態学の分野で得られた知見を河川工学において有用な形に構成し直すことを意味する。

本研究では、次の方法によって河道内の植物群落について調べ、植物生態学の分野で得られた知見を河川工学において有用な形に再構成することとした。すなわち、河川工学においては、植生の水理的性質が重要であり植種はあくまでもその分類に過ぎないことから、植物群落を植種によって分類する植物生態学的方法ではなく、河道特性の変化単位である河道地形、具体的に示すと縦断方向にはセグメント、横断方向には砂州、テラス（中水敷）、高水敷そして河岸などの河道地形によって分類する。そして各セグメントにおける河川水による植物群落の生育環境の規制の指標化を河道特性量によって行い、各群落の生育環境と植物群落の分布形態、植物の性質の関係をまとめる。具体的事例として、鬼怒川および利根川下流を選び、これら2河川における植物群落について上記の方法により考察するものである。

まず、第2章では鬼怒川と利根川下流の河道特性をセグメントごとに整理する。ここで示す河道特性は、河川水による植物の生育環境の規制（環境的秩序規制）に関する水理量、すなわち日位況と年最高水位の生起確率年、表層材料の粒度分布、平均水位の月変化、平均年最大流量時の平均流速、土砂移動

形態を主としている。

第3章では、各セグメントに2地点設けた観測地点における植物群落の分布形態と植種を示す。調査は四季にあわせて年4回行い、鬼怒川では初回調査より約2年後に再調査を行った。これらを写真に示し、植物群落の時間的変化をまとめる。

第4章においては、植物生態学における既往の研究成果をまとめる。これらの研究成果から河川水による植物の生育環境の規制（環境的秩序規制）の要因と考えられる河道特性量を選択する。そして、各セグメントにおける横断地形による植物群落の分類を行い、これらの群落と河道特性量の関係を示す。最後に固定砂州上の植物群落の形成過程を空中写真を利用して調べ、そのパターンをまとめる。

第5章は結論として第4章に示した知見を基に、植生の水理的性質に関する研究と、植物群落の分布形状と植種の性質に関する研究の有機的結合とはどのようなものかについて提案する。

第2章 鬼怒川と利根川の河道特性

植物群落の現地調査を実施した鬼怒川および利根川下流の河道特性についてまず以下に要約する。河道特性としては、河道内の地形および粒度分布、土砂の移動形態、冠水頻度そして植生に作用する流体力を評価するための間接的指標としての平均流速である。これらの河道特性の選択理由については第4章2節にまとめて示す。

2.1 鬼怒川の河道特性

2.1.1 鬼怒川の概況

江戸時代以前、鬼怒川は利根川および渡良瀬川と合流することなく、小貝川と合流して香取海(浦)と呼ばれていた利根川下流部を経て太平洋に注いでいた。しかし、江戸初期の1600年代に大木の大地が開削されて現在の流路に移され、小貝川とも分離された。

鬼怒川の流域概要を図-2.1に示す。鬼怒川の水源は、日光国立公園内に位置する鬼怒沼山(標高2,141m)の南麓の鬼怒沼湿原である。水源からの流路は、八丁の湯、加仁湯そして川俣温泉を経て川俣ダムおよび川治ダムに至り、栃木県塩谷郡藤原町川治地先において男鹿岳(標高1,777m)から南流してくる男鹿川と合流する。ここから峡谷部を南下し、鬼怒川温泉を経て今市市大桑地先で右支川板穴川と、さらに佐貫地先において日光中禅寺湖から発する右支川大谷川とそれぞれ合流して関東平野に入るここから一路南下して、周辺沃野を潤し、茨城県結城市に至って田川と合流し、さらに南下して水海道を経て茨城県相馬郡中谷町大木地先において利根川に合流する。

鬼怒川の流域面積は1,761km²、河道延長は176kmであり、流域面積のうち山地が約65%、平地が35%を占める。現況河道は、男体山と女峰山(赤難山)からの土砂流出の影響を強く受けている。右支川大谷川との合流地点(110km地点付近)から上流では、兩岸は高く峡谷をなし堤防や護岸などの工作物はほとんどないが、表-2.1に示す3つの多目的ダムが建設されており、その他に発電用ダムと砂防ダムも多く数える。大谷川との合流点より下流の河道は、河道特性から見て以下の3区間に大きく分類できる(図-2.1参照)。

表-2.1 鬼怒川の多目的ダム一覧表

ダム名	竣工年	流域面積 (万km ²)	容 量 (万m ³)			目 的
			総貯水量	有効貯水量	洪水調節量	
五十里ダム	1957	271	5,500	4,400	3,500	洪水調節, 灌漑, 発電
川俣ダム	1966	179.4	8,760	7,310	2,450	同 上
川治ダム	1983	323	8,300	7,600	3,600	同上, 都市用水

① 上流部：83km地点～107km地点

川幅は500～1,100m、河床勾配は1/100～1/300、河床材料は玉石混じりの砂利であり、乱流が著しい。この区間は、峡谷部からの本流の第一次減勢区間である。

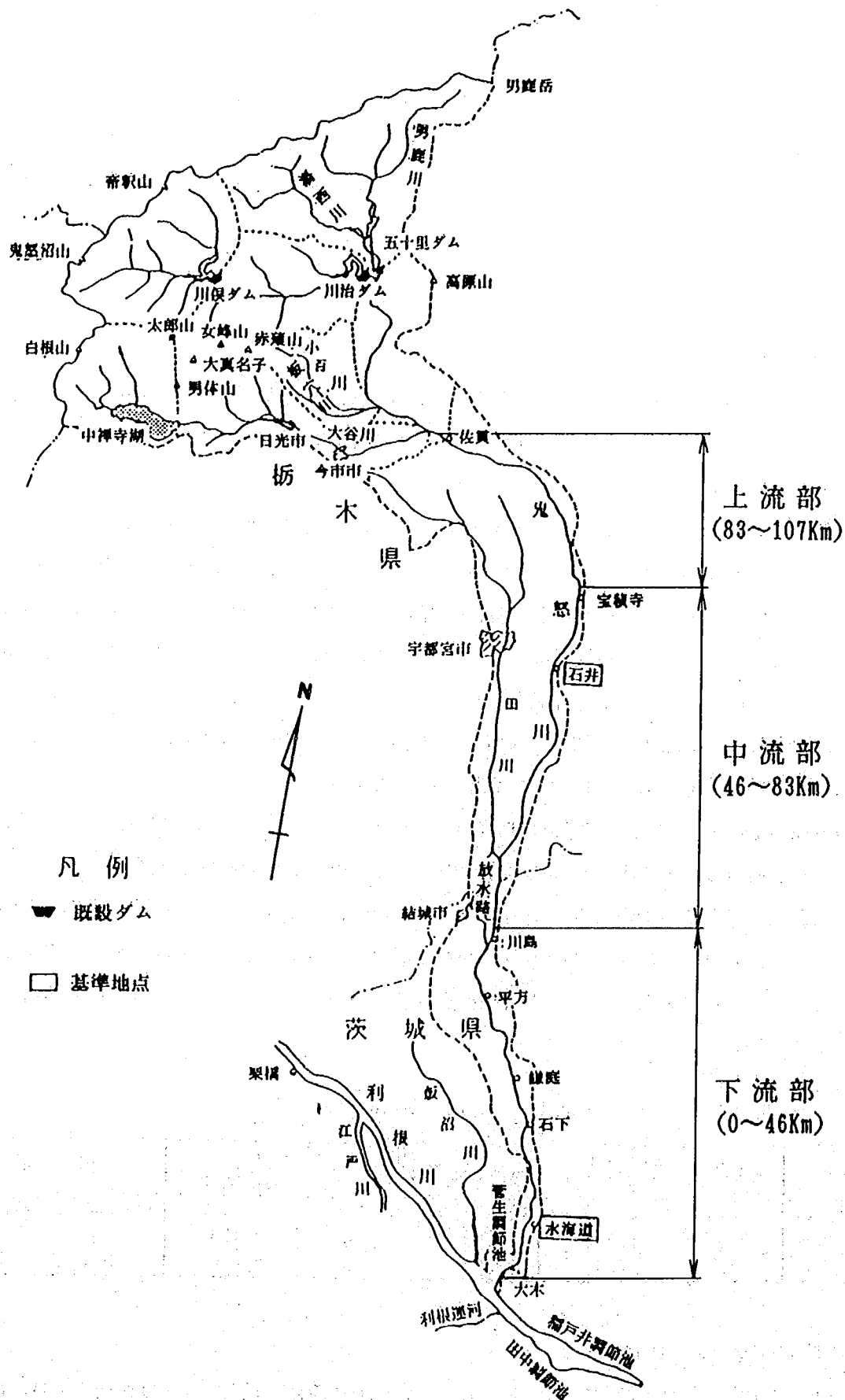


図-2.1 鬼怒川の流域概要図

② 中流部：46 km地点～83 km地点

川幅は700～1,100 m，河床勾配は $1/300 \sim 1/1,100$ ，河床材料は砂利であり，砂州の発達が著しく荒れ川の様相を呈している。兩岸に霞堤が多い。

③ 下流部：0 km地点～46 km地点

川幅は180～400 m，河床勾配は $1/1,000 \sim 1/2,000$ ，河床材料は砂である。20 km地点より下流では，河床の沖積砂層が失われ，層状の洪積層（海成層）が露出し，洪積層に独特の局所洗掘領域の拡大，伝播が生じている。この要因として，上・中流部の砂利採取（採取許可量：1985年度までで年間約80万 m^3 ）およびダム建設や砂防工事による供給土砂量の減少がもたらした河床低下があげられる。また，河道は単断面に，そして兩岸は連続堤に変わる。

以上のように，鬼怒川は急勾配区間の上中流部の川幅が下流の緩勾配区間よりも平均で2倍以上も広いという特異な河道となっている。大谷川流域にみられるように上流山地に荒廃地が多く，このため鬼怒川では供給土砂量が非常に多い。このため平地部に流出してからも荒れ川の様相を強く呈し，遊砂地としての機能が河道に求められる結果として，上流での広い川幅と下流での狭い川幅が鬼怒川治水の歴史の中で自然的に形成されてきたと考えられる。表－2.2には鬼怒川の概況を要約して示す。

表－2.2 鬼怒川の概要

水源地および標高	鬼怒沼(2,070 km)
流域面積	1,760.6 km^2
流域の地形	山地約65%，平地約35%
幹川流路延長	176.7 km(本川管理区間長98.5 km)0
河床勾配	上流(19 km区間) $1/100 \sim 1/300$ 中流(37 km区間) $1/300 \sim 1/1000$ 下流(46 km区間) $1/1000 \sim 1/2000$
支 川	大谷川，男鹿川，田川等
流 量	年総流量：1,742.24 $\times 10^6 \text{ m}^3$ 最大流量：3927.3 m^3/s 豊水流量：59.74 m^3/s 平水流量：38.03 m^3/s 低水流量：27.14 m^3/s 渇水流量：10.62 m^3/s 最小流量：0.00 m^3/s (1985年度流量年表から 観測所：水海道)

2.1.2 河床縦断形

1959年と1983年の鬼怒川の平均河床高の縦断形状を1983年の平均河床勾配とともに図－2.2に示す。平均河床勾配より鬼怒川は次の2区間に大きく分けることができる。すなわち，勾配が $1/2,130 \sim 1/1,320$ である区間(0 km～46 km)と $1/600 \sim 1/190$ である区間(46 km～101.5 km)である。46 km地点を境にした上下流における河床低下を1959年と1983年の平均河床高から計算すると，この地点から下流の平均河床の低下量は約2.5 mであり，上流区間では約1.7 mである。この河床低下をより詳細にみるため，図－2.3に平均河床高の経年変化を示す。これより，46 kmから下流の区間では1959年から1969年の間に大きく河床低下したが，1970年代以降は利根川との合流点に近い0 km～10 km区間を除いて河床低下の進行がはばおさまりつつある。また，46 kmから上流の区間でも同じく1959年から1969年の期間に

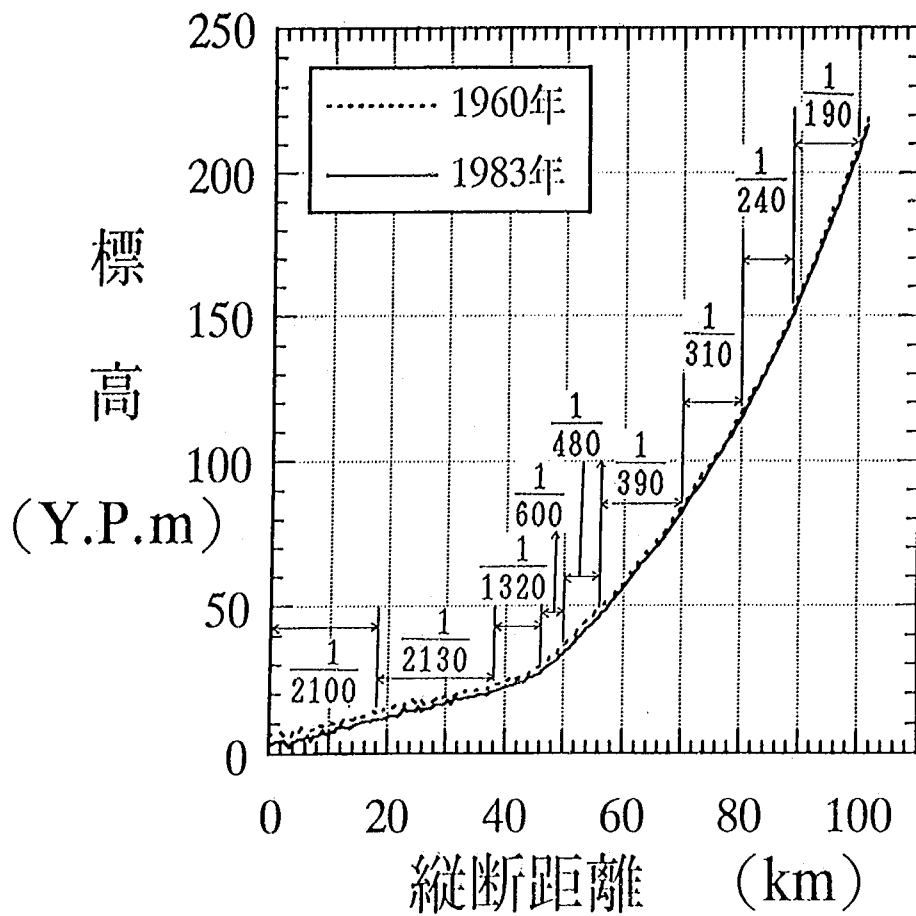


図- 2.2 鬼怒川の平均河床縦断形と河床勾配
(図中の数字は1983年の河床勾配を示したものである。)

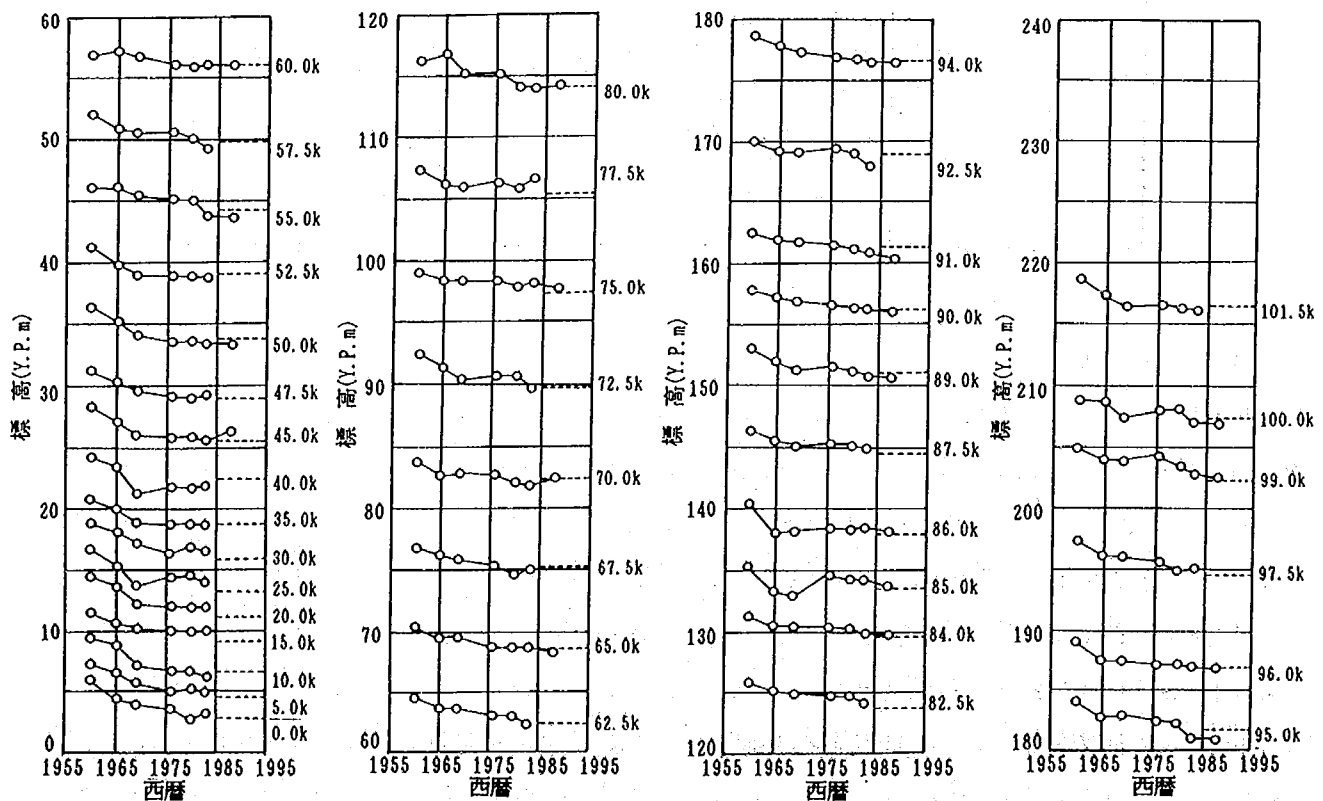


図- 2.3 平均河床高の経年変化

河床低下が進行しているが、その後も河床低下が進行している地点も多くみられる。

2.1.3 低水路幅と堤間幅

低水路幅と堤間幅の縦断変化を図-2.4に示す。低水路幅は、38 km-60 km 区間で下流に向けて約600 m から150 m に減少する。その下流の0 km-38 km 区間では、平均して約180 m であり、上流の60 km-101.5 km 区間では下流に向けて約300 m から600 m に広がっている。堤間幅も低水路幅と似た傾向を示す。すなわち、38 km-46 km 区間は、46 km 地点で約700 m から350 m になる狭窄部になっており、その下流の40 km 地点で約1,200 m

に達する最大値を有し、38 km 地点で約200 m になる。さらに下流の0 km-38 km 区間は、平均して約350 m であり、上流の47 km-101.5 km 区間においては、下流に向けて約600 m から800 m に広がっている。上記のように、下流部低水路幅および堤間幅がそれぞれ上流部の1/4と1/2に狭くなるのが大きな特徴である。

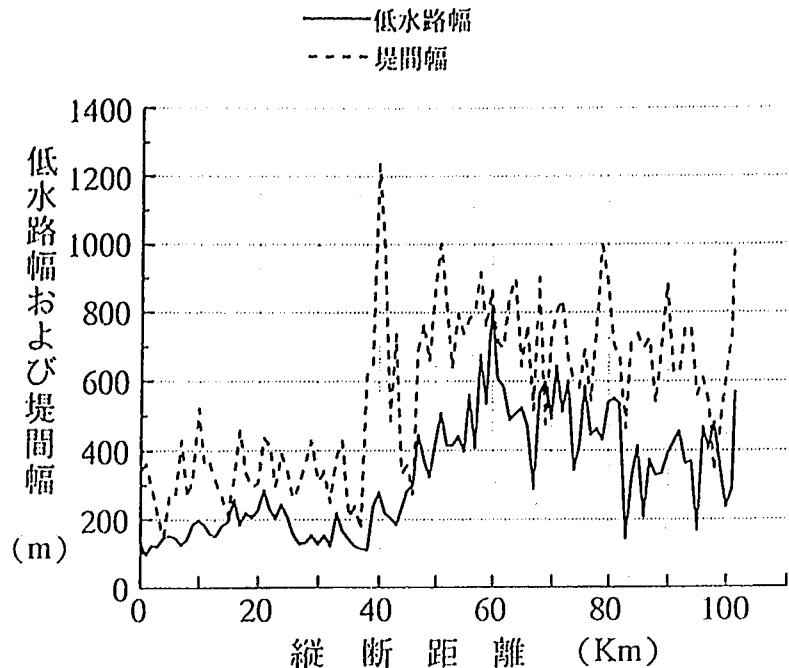


図-2.4 低水路幅と堤間幅の縦断変化

2.1.4 植生調査地点

の横断面積

図-2.5～2.8に植生調査を行った16.5 km, 32.0 km, 55.0 kmそして96.0 km 地点の横断面形を示す。16.5 km 地点と32.0 km 地点には図中矢印で示すように高水敷より低い位置に小段ができている。この

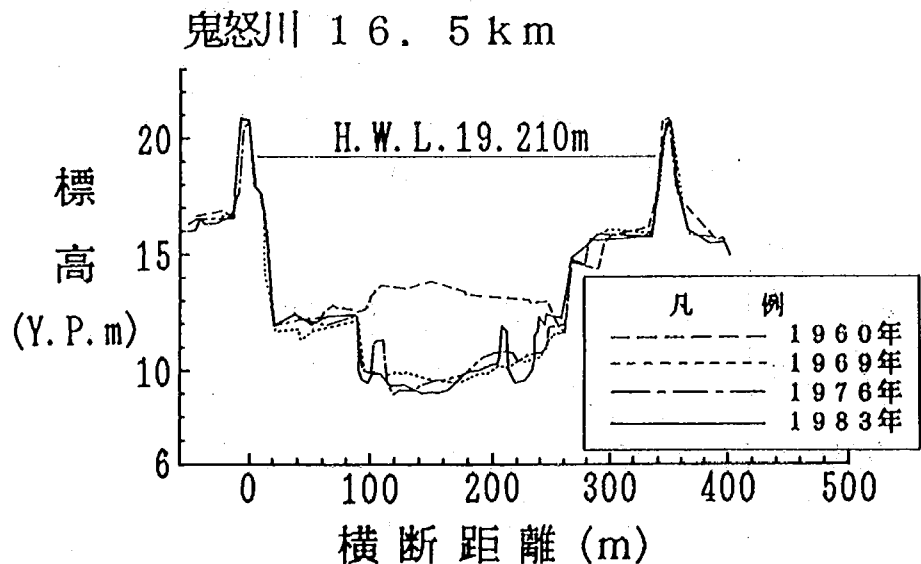


図-2.5 植生調査地点の横断形(16.5 km 地点)

小段をテラスと呼ぶことにする。これらの地点のテラスは、1969年までに低水路の低下に伴い形成された。その後、これら両断面のテラスの標高は、1976年までの7年間にそれぞれ50 cmと100 cmほど高くなっ

ている。この標高の変化は、2.1.7
で述べるように、テラスの表層材料
の粒径より判断して冠水時に浮遊砂
が堆積したためと考えられる。また、
これらの地点の河床低下が1969年
以降に鈍化したのは、河床面に粘土
層が現れたために耐侵食性が向上し
たためである。55.0km地点と96.0km
地点では、1969年以前には左岸側に
高水敷はなく、多列砂州が発達して
いた。しかし、1976年までに砂利採

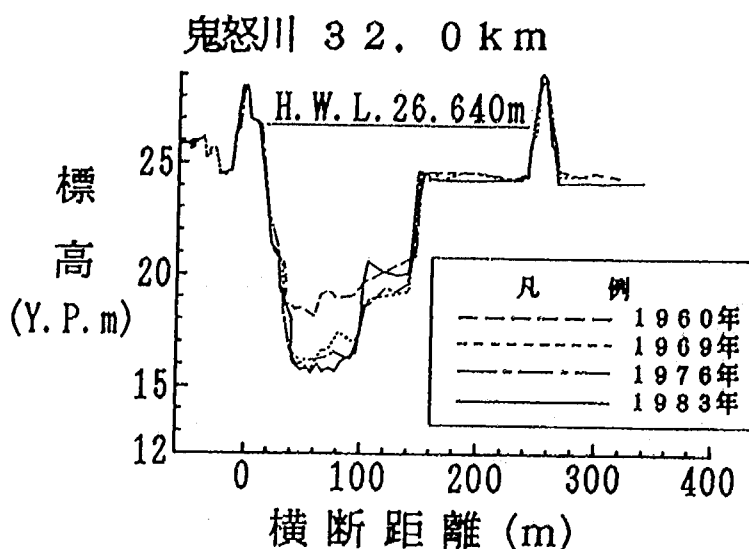


図-2.6 植生調査地点の横断形 (32.0km地点)

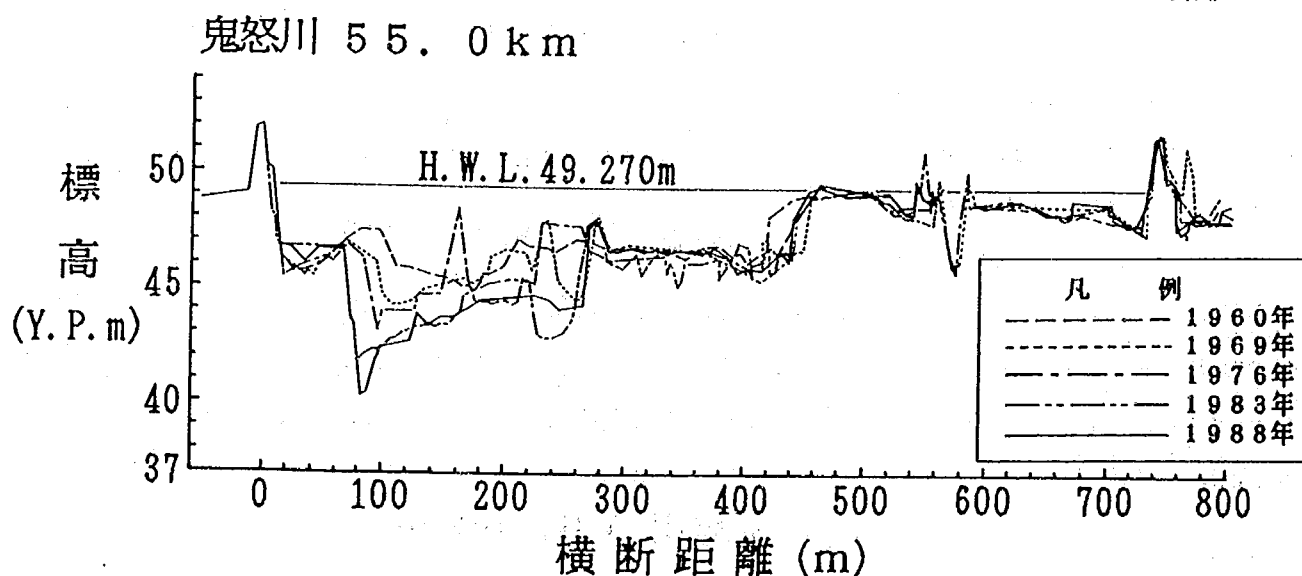


図-2.7 植生調査地点の横断形 (55.0km地点)

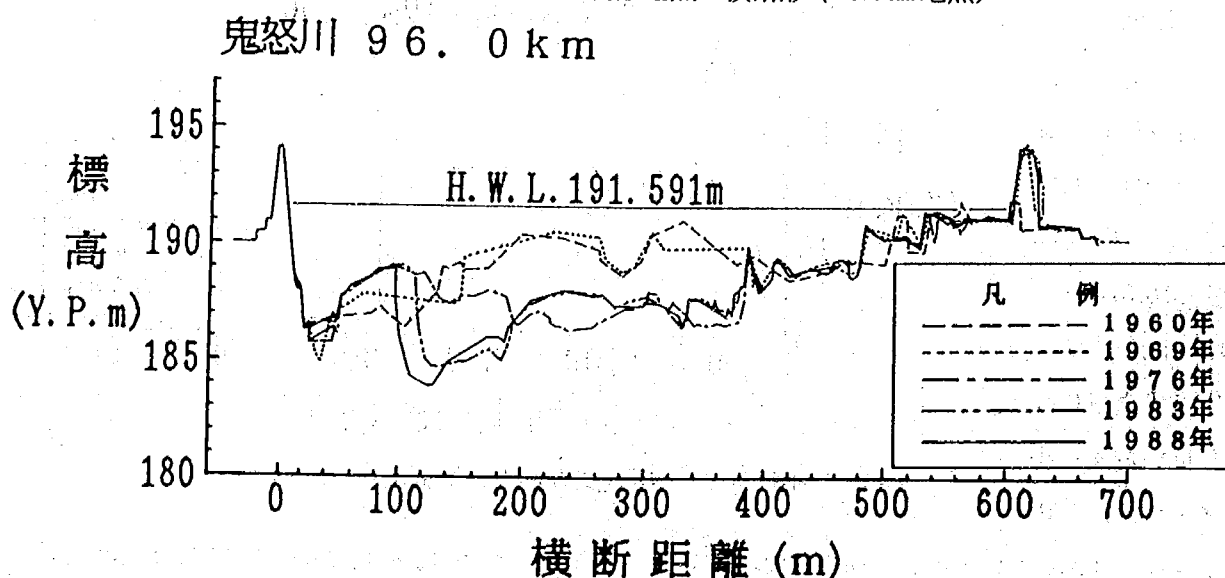


図-2.8 植生調査地点の横断形 (96.0km地点)

取や河道整正によって砂州が消失しており、左岸側に高水敷がつくられた。1983年には低水路内の右岸より単列砂州が形成されている。1983年と1988年における砂州の形状はほぼ一致することから、砂州の移動が不活発になり陸地化していると考えられる。

2.1.5 低水路幅と砂州の経年変化

図-2.9～2.15には1960年3月、1973年1月および1979年12月に撮影した空中写真から判読した低水路幅の変化と砂州の前縁線の状況を示す。これらの図より、低水路幅と砂州の列数や陸地化の状況は以下に要約される。

- 0km～46km区間（図-2.9～2.11参照）

この区間では、12.5km～14km（図-2.9）、20km～24.5km（図-2.10）、28km～29km（図-2.10）、37km～40km（図-2.11）そして41km～44.5km（図-2.11）のそれぞれの区間において、高水敷の幅が狭くなる傾向がみられる。これは砂利採取や河道整正による低水路の造成に起因する。砂州は、単列砂州を形成しており、1973年と1979年の砂州の形状はほぼ同一である。

- 46km～109区間（図-2.12～2.15参照）

1960年において、この区間には高水敷がほとんどなく、多列砂州が発達している。しかし、1973年および1979年と低水路の掘削による河道整正が進み、高水敷がつくられた。低水路幅の縮小に伴い砂州も多列から複列に変化している。1973年に砂州が確認できた範囲はわずかであるが、89km～92km区間（図-2.14）は、明瞭に砂州の前縁線が判別されている。この区間の前縁線的位置を1979年と比較するとほぼ同一である。したがって、砂州の固定化が進行したと考えられる。また、河道整正や低水路の掘削により、高水敷が広がる地点（例えば、47km～57km（図-2.12）、78km～83km（図-2.13、2.14）、95km～97km（図-2.15））と、1960年から1973年にかけて高水敷がつくられるが1979年に掘削によって高水敷幅が狭くなる地点がある（例えば、57km～58km（図-2.12）、63km～67km（図-2.13）、68km～71km（図-2.13）、89km～91km（図-2.14）、104.5km～106km（図-2.15））。陸地化した砂州は、河道整正が進み高水敷になるもの（例えば、59km（図-2.12）、63km～65km（図-2.13）、71km～72km（図-2.13）、86km～88km（図-2.14）、101km～103km（図-2.15））と、砂利採取により消滅するもの（例えば、69km～70km（図-2.13）、90km～91km（図-2.14）、94.5km～96km（図-2.14）、104km（図-2.15））の2種類に大局的に分けられる。

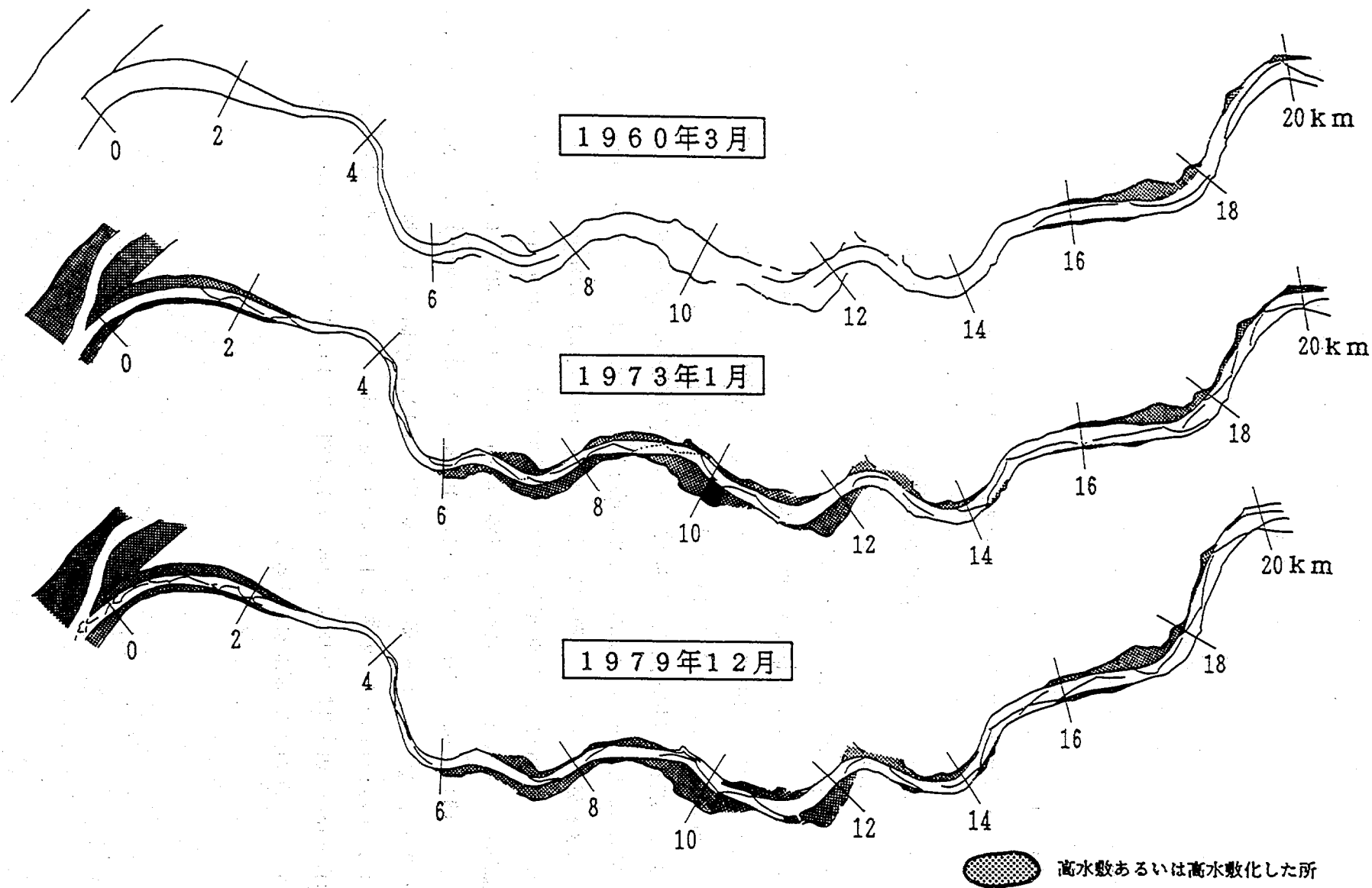


図-2.9 低水路幅と砂州の経年変化(0km-20km区間)

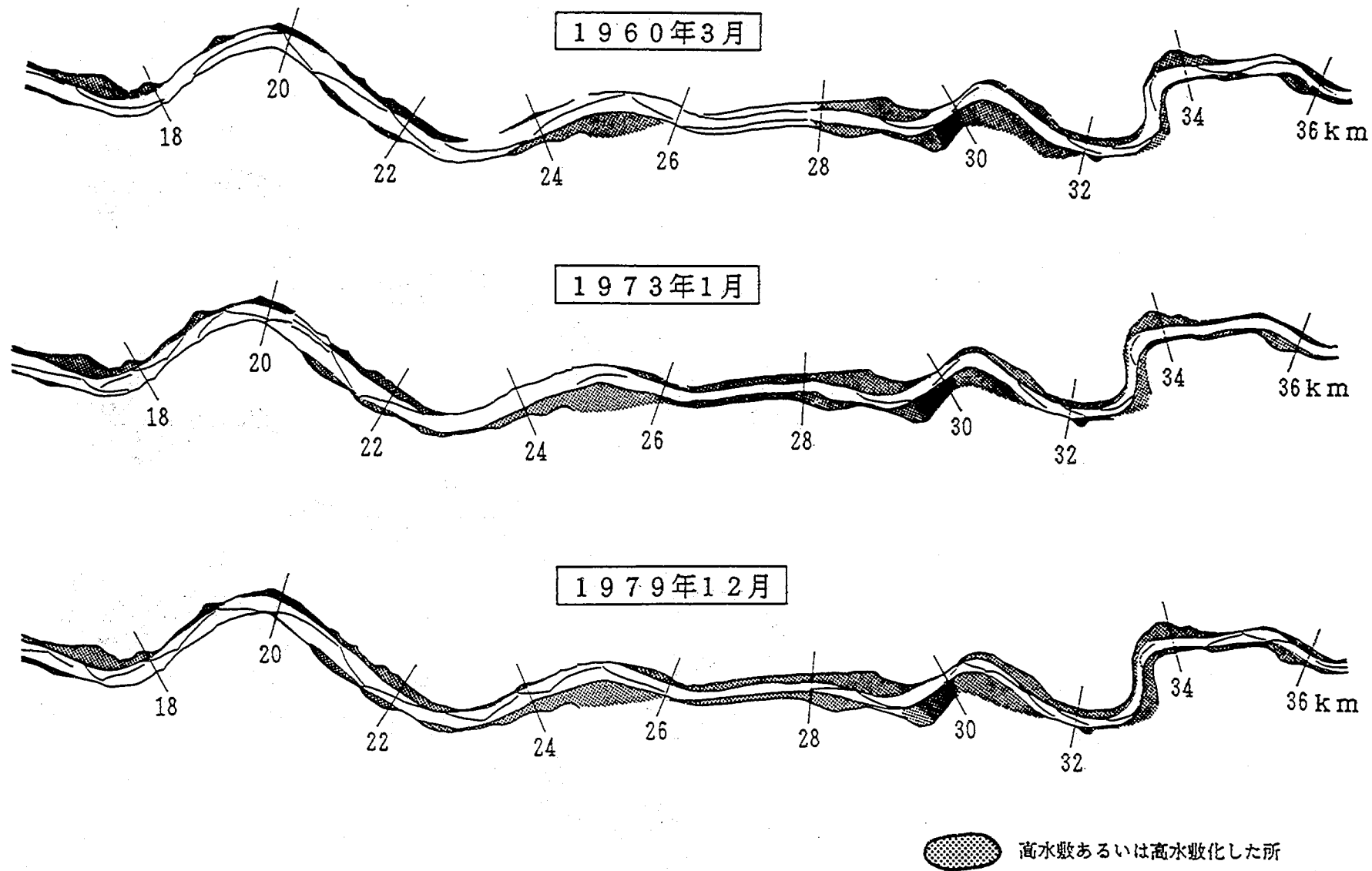


図-2.10 低水路幅と砂州の経年変化(18km-36km区間)

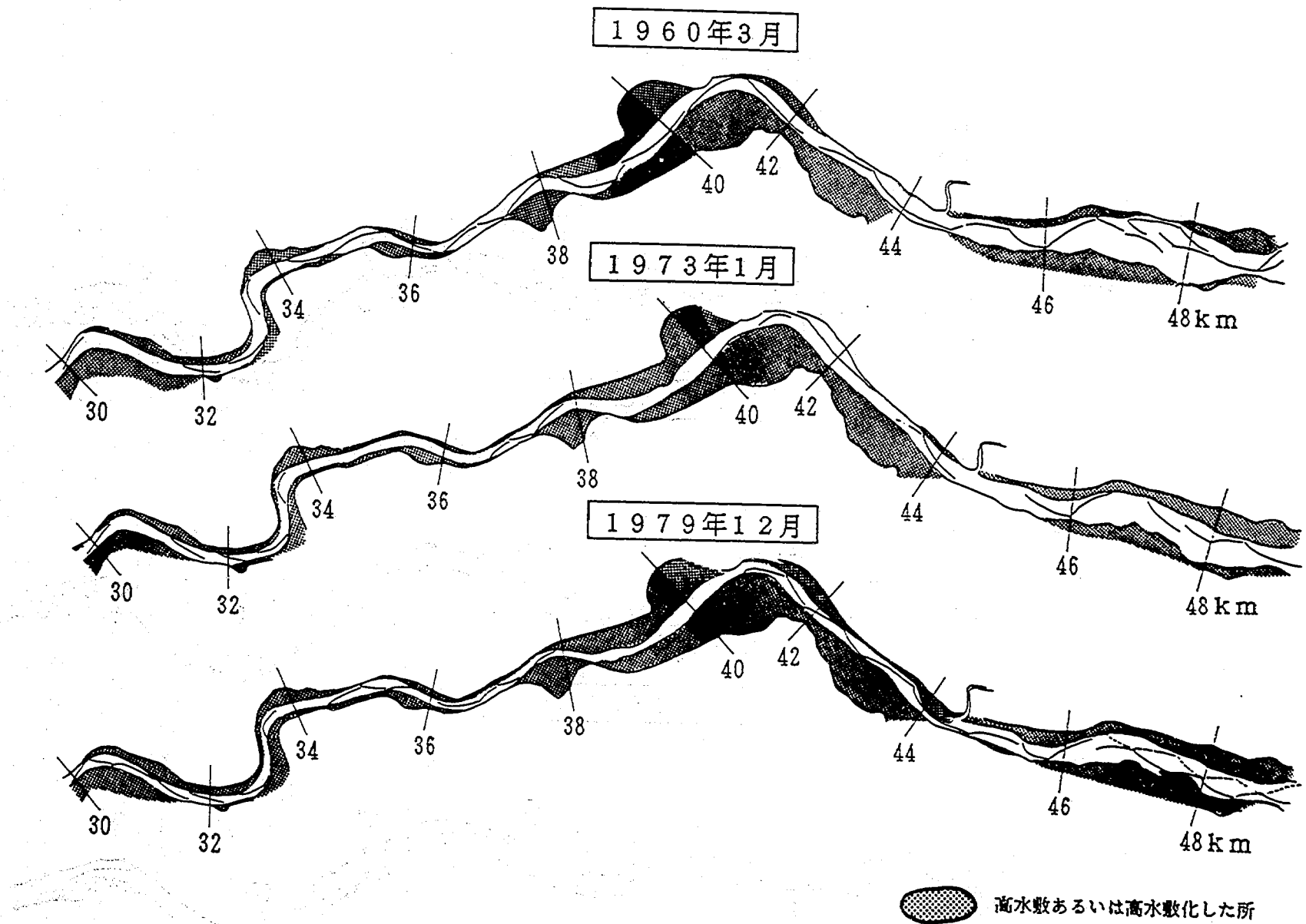
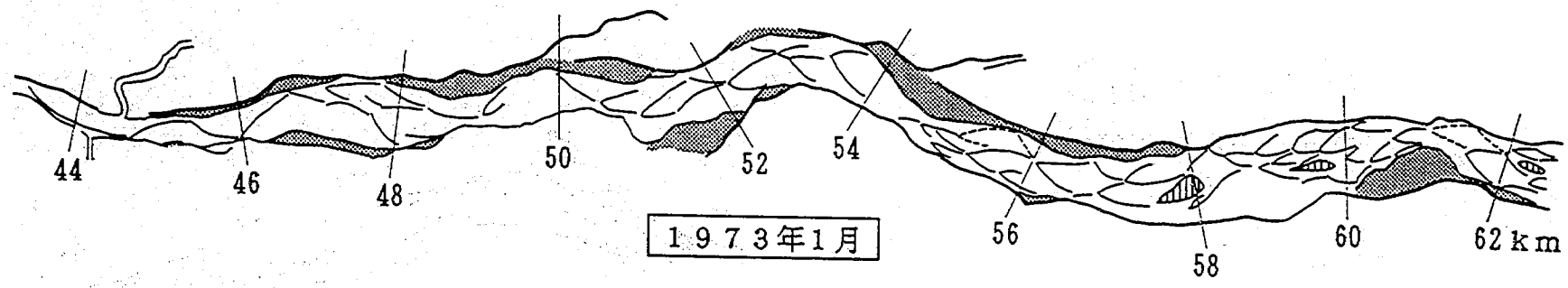
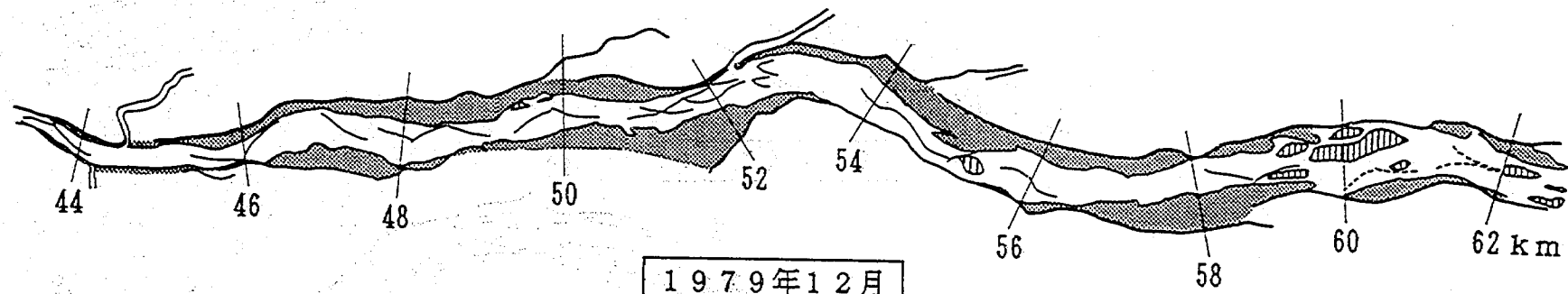


図- 2.11 低水路幅と砂州の経年変化 (30km-48km 区間)

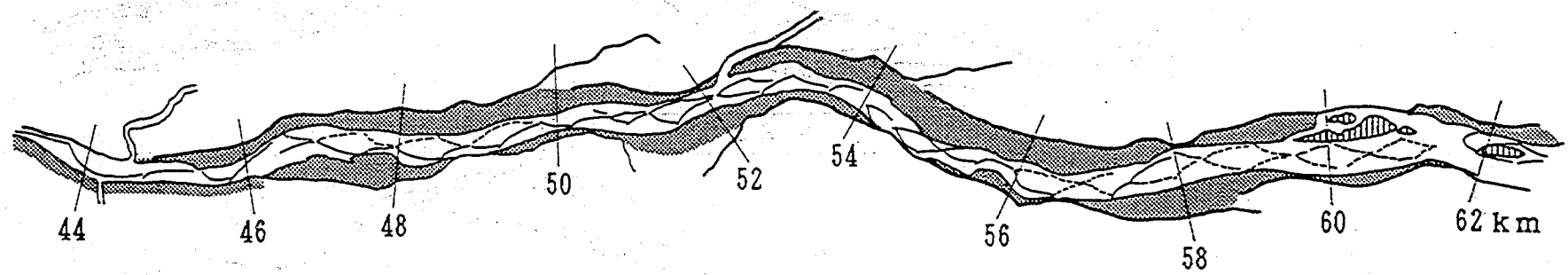
1960年3月



1973年1月



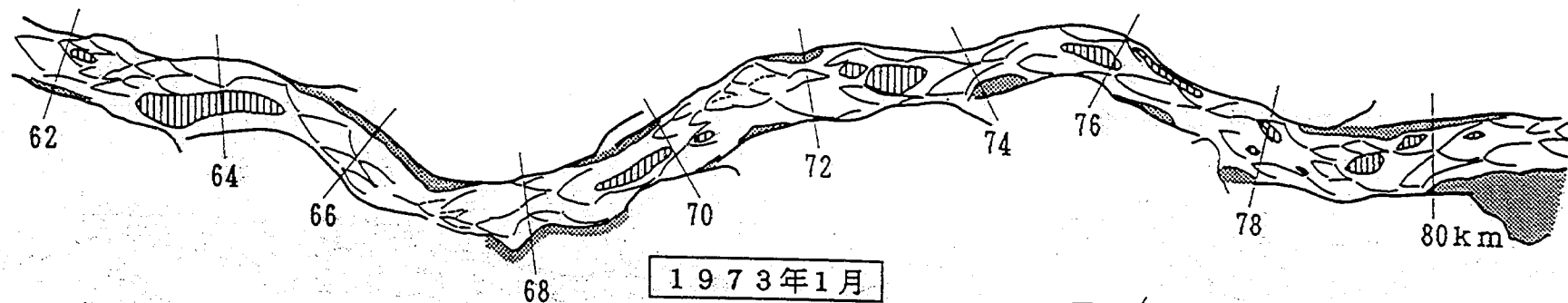
1979年12月



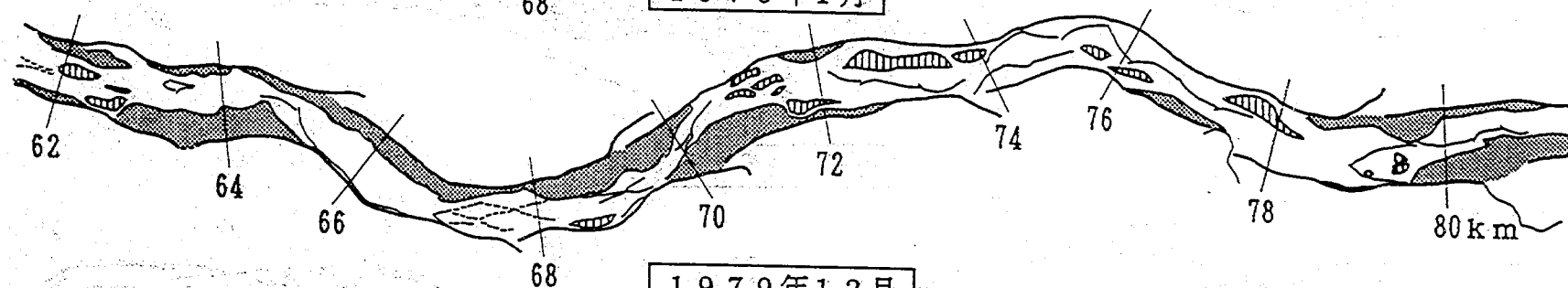
- 高水敷あるいは高水敷化した所
- 州が高く植生のある所

図- 2.12 低水路幅と砂州の経年変化 (44 km - 62 km 区間)

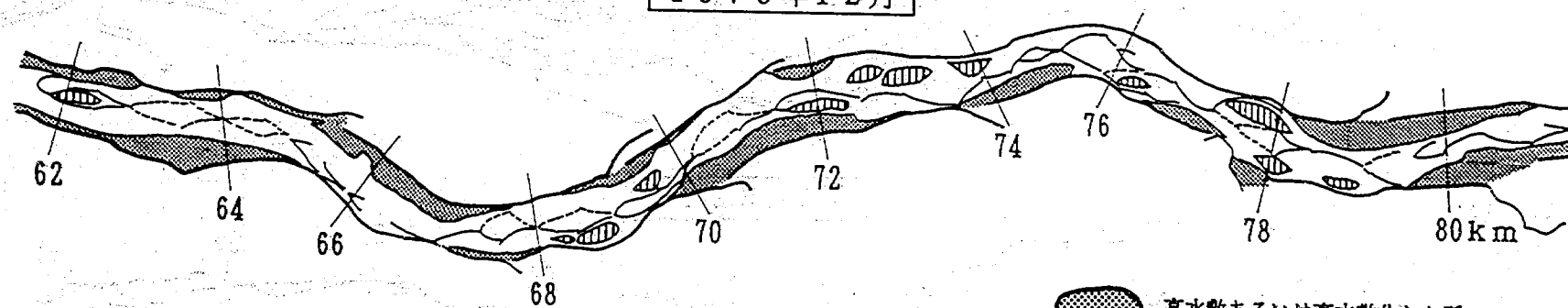
1960年3月



1973年1月



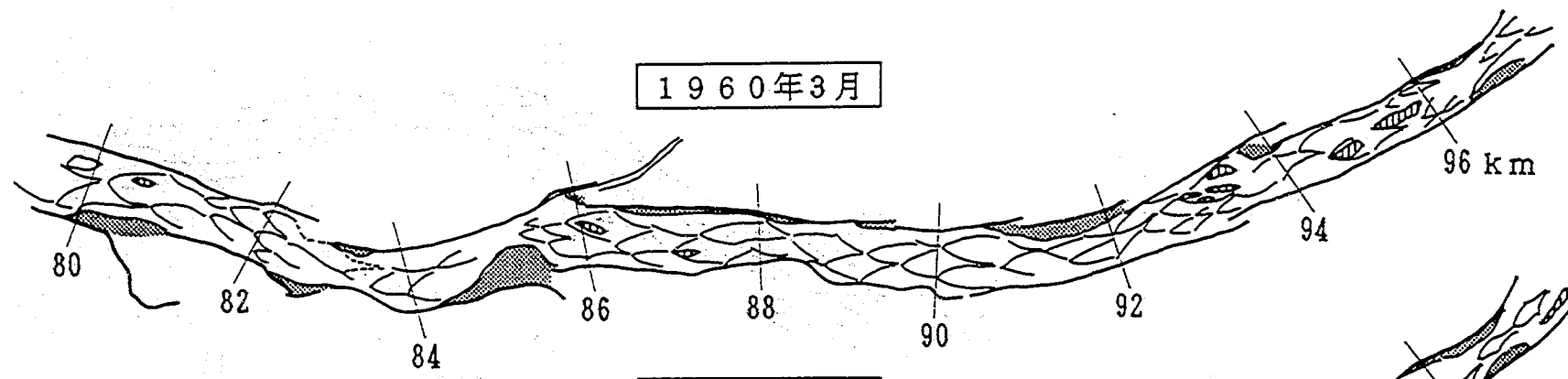
1979年12月



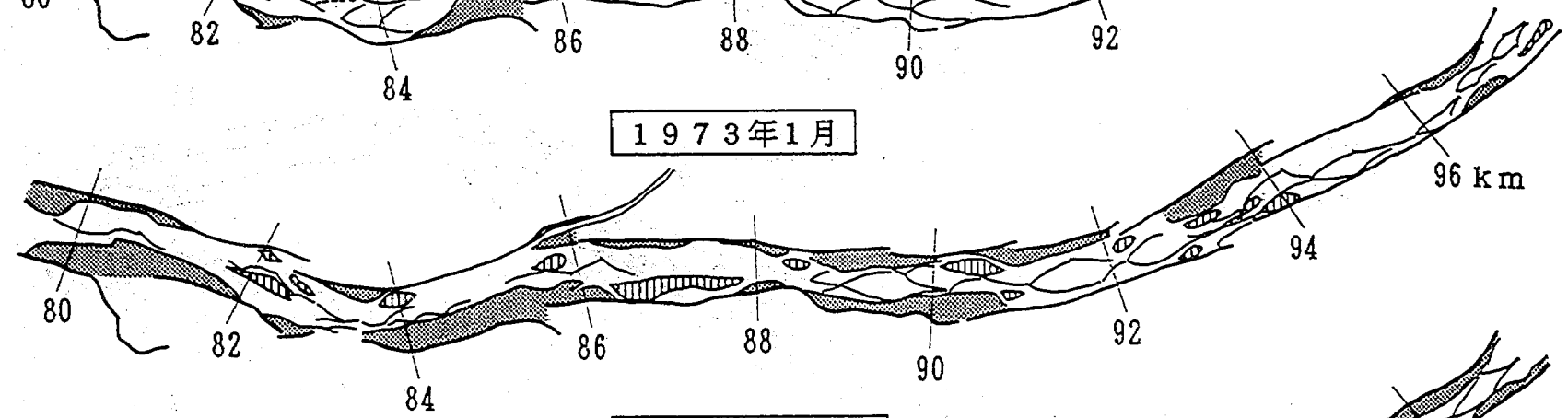
 高水敷あるいは高水敷化した所
 州が高く植生のある所

図-2.13 低水路幅と砂州の経年変化(62km-80km区間)

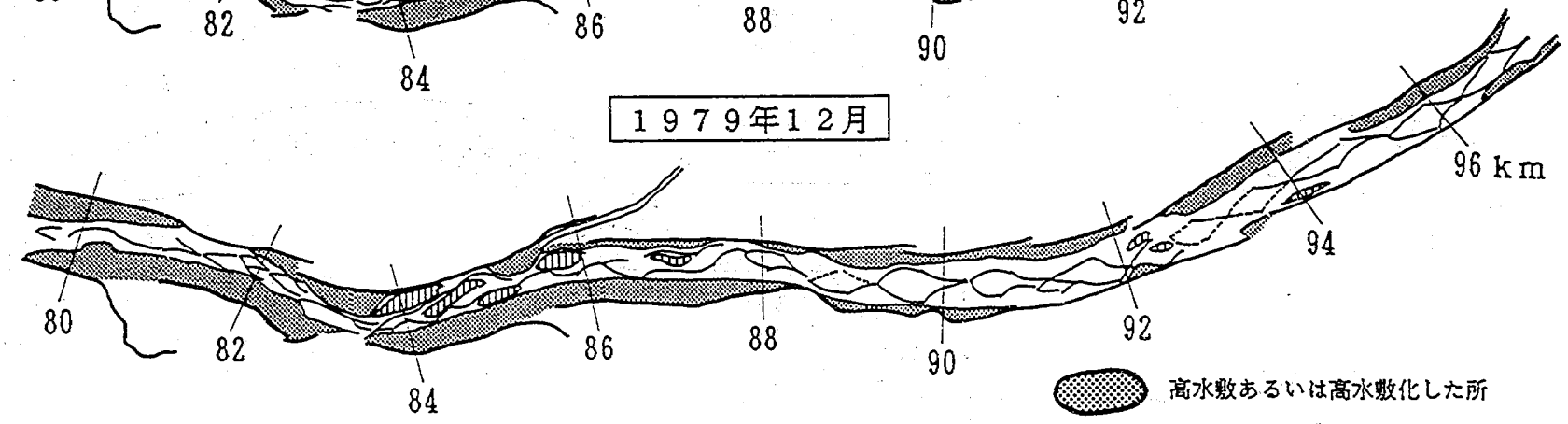
1960年3月



1973年1月



1979年12月



● 高水敷あるいは高水敷化した所
▨ 州が高く植生のある所

図-2.14 低水路幅と砂州の経年変化(80km-96km区間)

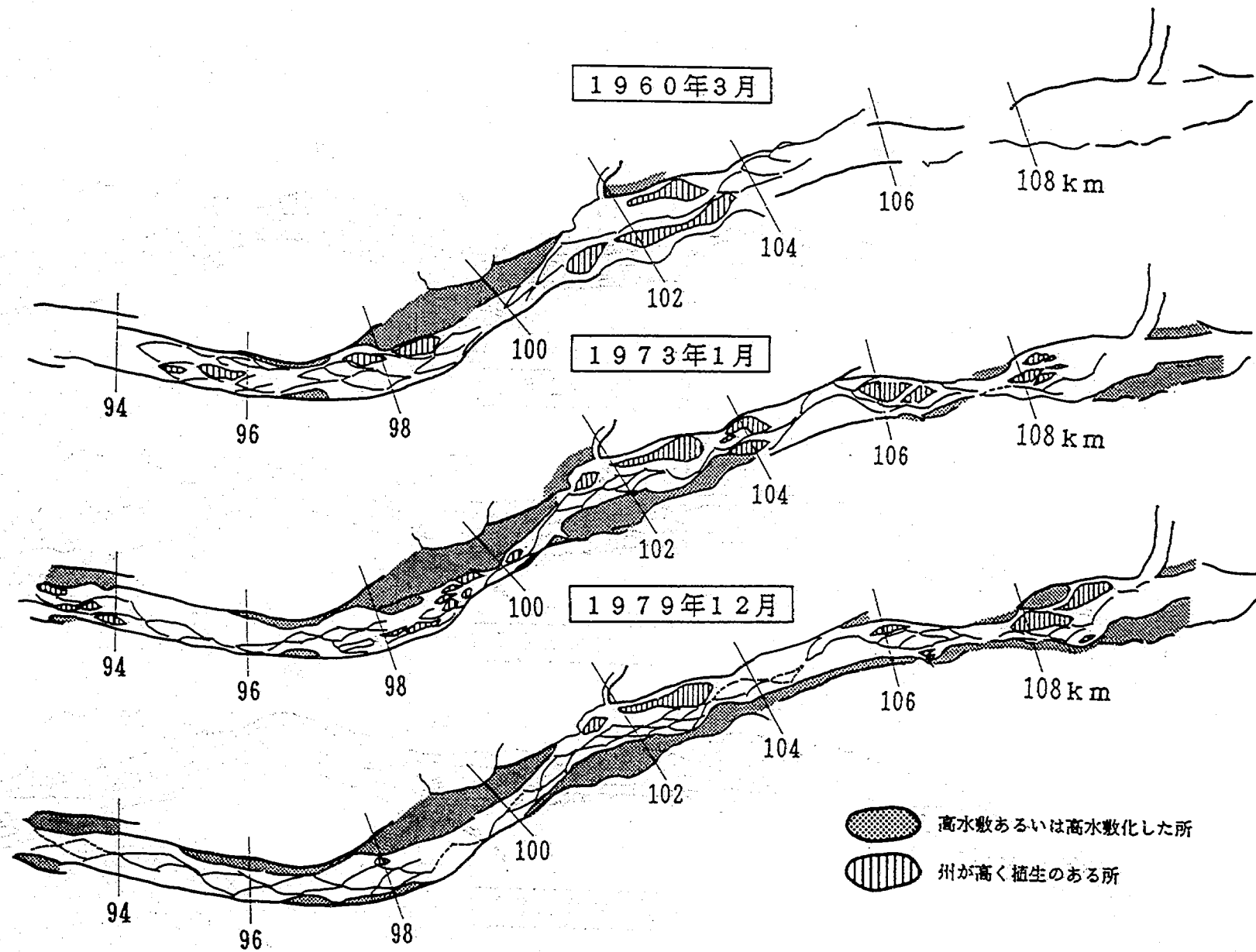


図- 2.15 低水路幅と砂州の経年変化 (94km-108km 区間)

2.1.6 河床材料

河床材料の平均粒径(50%通過粒径)の縦断分布を図-2.16に示す。平均粒径の経年変化は、河床勾配が上流に向かって急激に増大する30km-60km区間において大きいものの、その区間の上下流ではそれぞれ50mmと0.5mm程度を中心に上下している。さらに詳しく平均粒径の経年変化を調べると、0km-30km区間では、

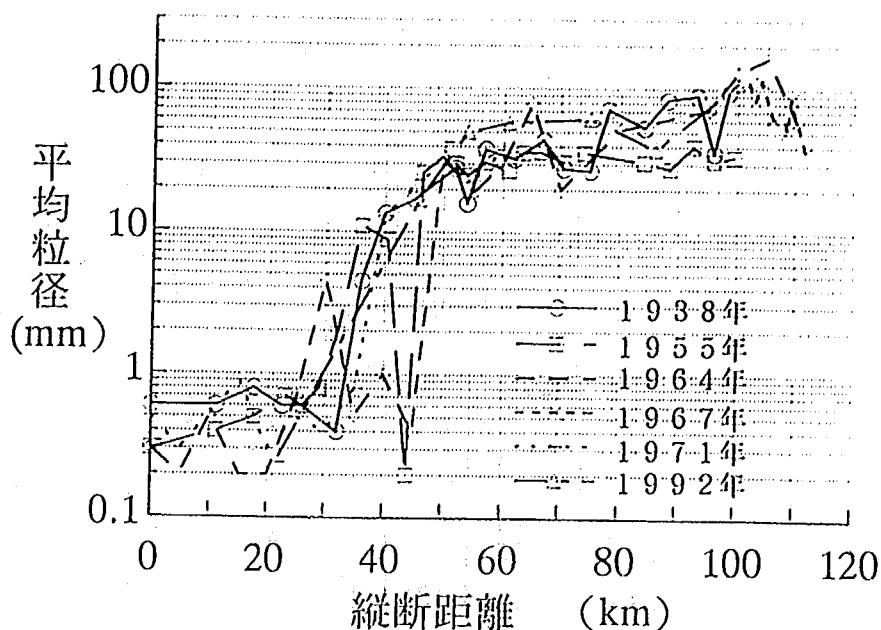


図-2.16 河床材料の平均粒径の縦断変化

1938年から1964年にかけて約0.6mmから0.3mmと細くなり、1971年に約0.5mmを平均値としてばらつきが大幅になる傾向がみられる。また、60km-110km区間は、1964年において上流から平均粒径が大きくなり、1992年では区間全体にわたって粗粒化傾向がみられる粗粒化の傾向は、この区間の上流部ほど早い年次に現れており、1955年まで約30mmであった平均粒径が100km地点では1964年以降に約100mmに、60km-80km区間では1992年に約50mmになっている。上流から徐々に粗粒化していく傾向は、五十里ダムの竣工年(1957年)以降であることから供給土砂量の減少によるアーマールコート(armor coat)の形成が原因と考えられる。

2.1.7 高水敷と砂州の表層材料の粒度分布

図-2.17~2.20に植物群落の調査を行った地点における低水路、高水敷および砂州の表層材料の粒度分布を示す。図-2.17, 2.18は、それぞれ16.5kmおよび32.0km地点の低水路と高水敷の表層材料の粒度分布である。これらの地点の河床材料の平均粒径は、図-2.16より約0.5mmであり、中砂に属する。しかし、高水敷の表層材料は、粘土およびシルトを30%以上含む細砂である。これは、高水敷を冠水するに至った洪水がウォッシュロードや浮遊砂を高水敷上に流送し、堆積したためと考えられる。このため高水敷の表層は、粘着性を有する細粒の材料によって覆われている。また、図-2.19, 2.20は、それぞれ55.0kmおよび96.0km地点の低水路と砂州の表層材料の粒度分布である。これらの地点の河床材料の平均粒径は、図-2.20より中礫に属する。表層材料の平均粒径も低水路および砂州上で中礫から大礫であるが、砂州周縁部では、ほぼ粗砂に属している。平水時の流路は砂州の前縁部に沿って形成されるので、砂州の水際は粗砂によって構成されと考えられる。

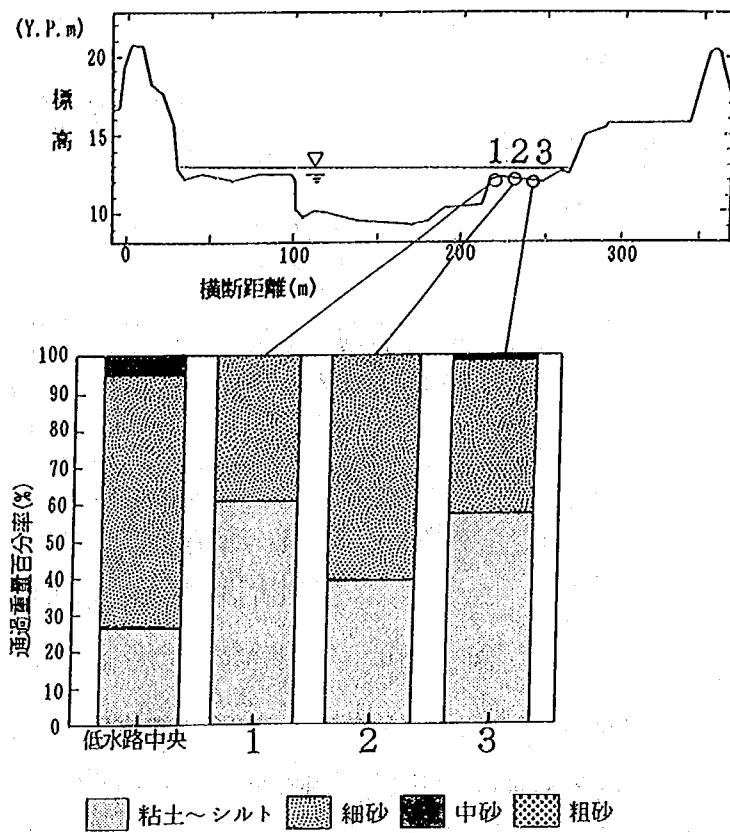


図- 2.17 高水敷の表層材料の粒度分布 (16.5 km 地点)

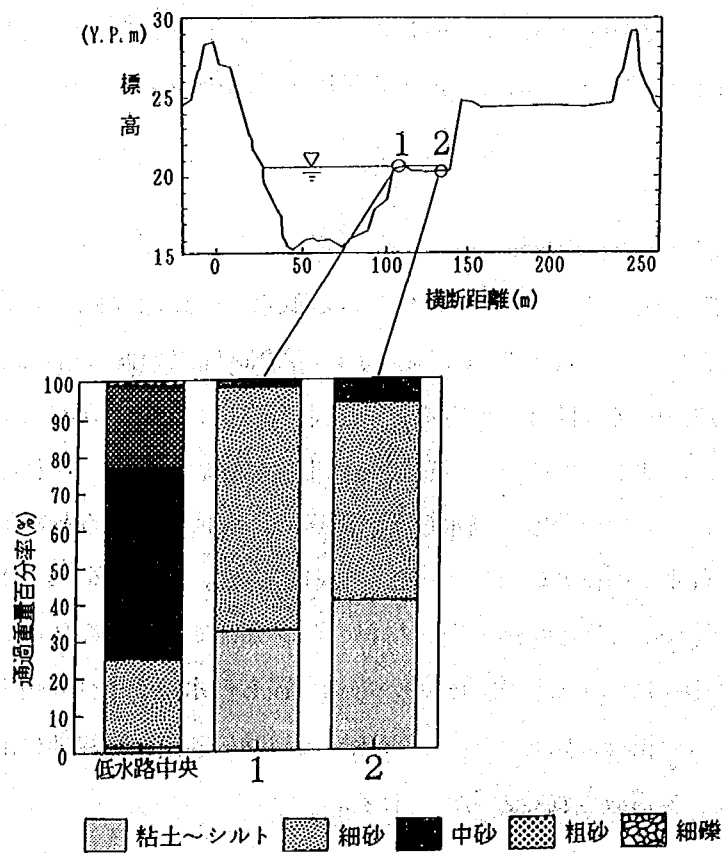


図- 2.18 高水敷の表層材料の粒度分布 (32.0 km 地点)

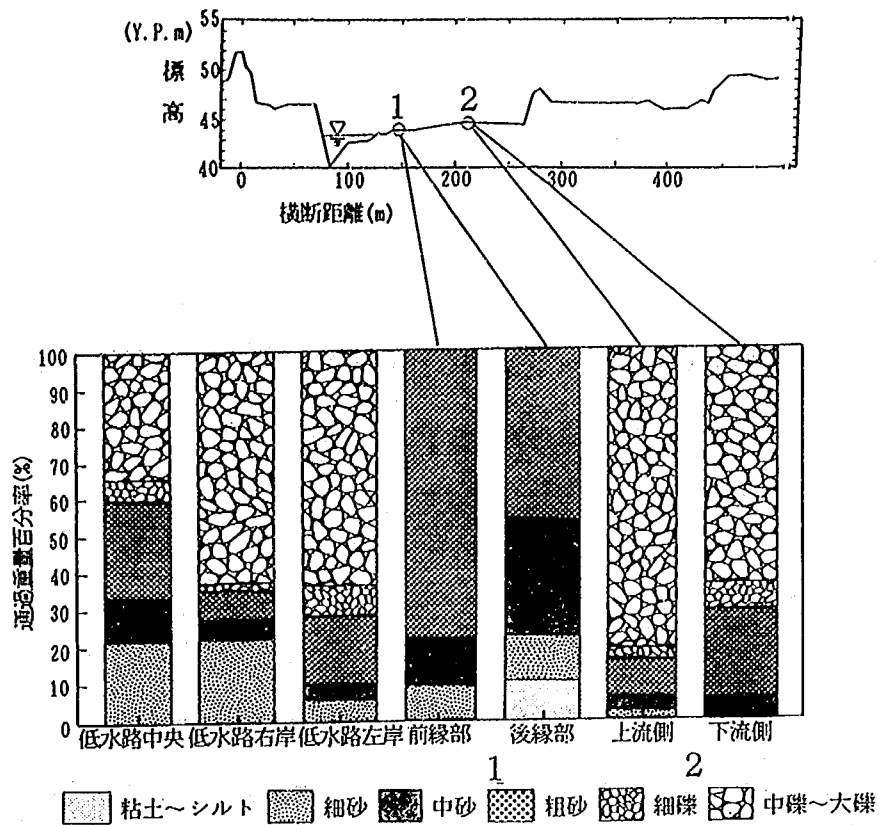


図- 2.19 砂州の表層材料の粒度分布 (55.0 km 地点)

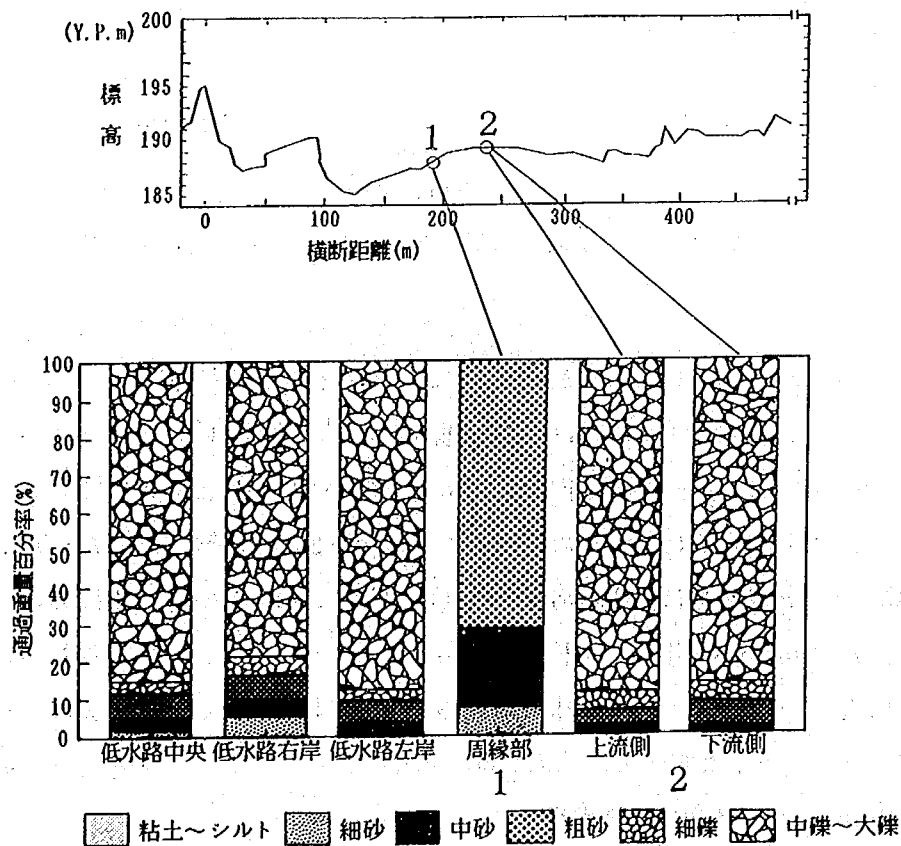


図- 2.20 砂州の表層材料の粒度分布 (96.0 km 地点)

2.1.8 洪水時の営力と河道

洪水時の河道特性を不等流計算の結果より考察する。不等流計算を行った流量は、平均年最大流量 ($1,700 \text{ m}^3/\text{s}$) である。不等流計算ではマンシングの粗度係数は 0.025 とした。

(1) 粗度係数の妥当性の検討

山本 (1988) は、一級河川の平均年最大流量時の低水路部分の流速係数と河床材料の平均粒径の関係を図-2.21 のようにまとめた。この関係は、我が国の一級河川における流速係数の観測結果の解析より得られたものである。したがって、鬼怒川の不等流計算においても図-2.21 に示す関係とほぼ一致する

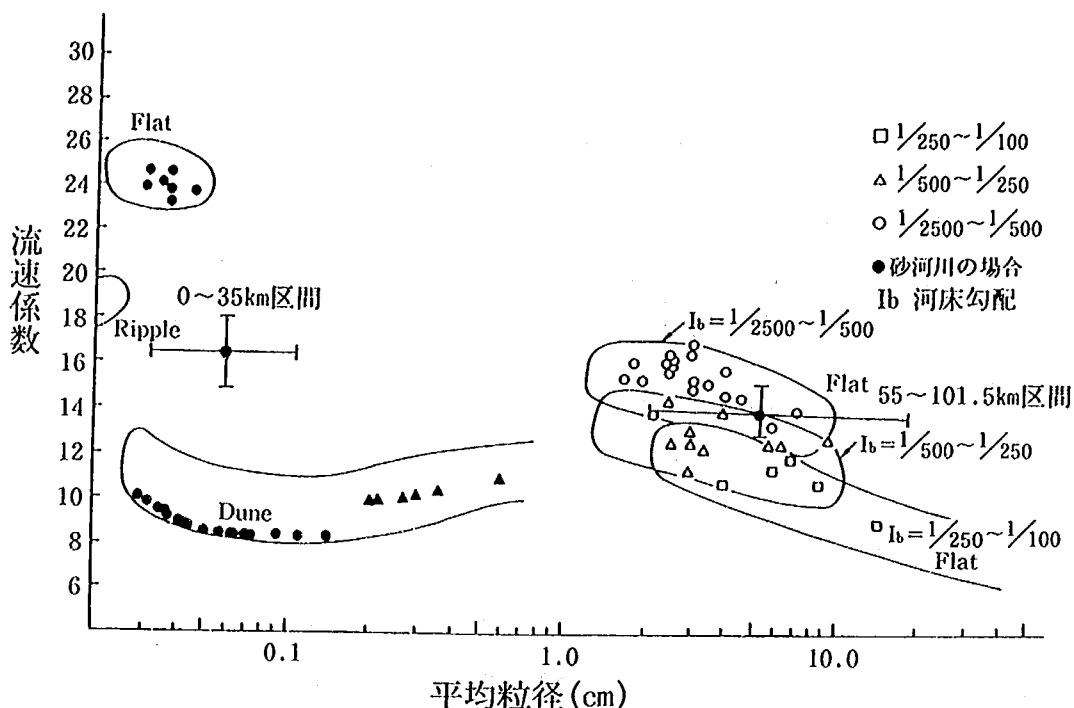


図-2.21 平均年最大流量時の流速係数と平均粒径の関係

粗度係数を使用しなければならない。図-2.22 に不等流計算による流速係数の縦断分布を示す。流速係数は、 $0\text{ km}-35\text{ km}$ 区間および $55\text{ km}-101.5\text{ km}$ 区間においてそれぞれ平均値 16.5 および 14 の周辺にばらついている。一方、河床材料の平均粒径は、 60 km 地点から下流は 1971 年、またその上流では 1964 年の観測値 (図-2.16 参照) より、それぞれ平均値 0.5 mm と 50 mm の周辺にばらついている。この2区間の流速係数と河床材料の平均粒径をばらつきの範囲とともに図-2.21 にプロットした。 $0\text{ km}-35\text{ km}$ 区間における不等流計算による流速係数は、平坦河床 (Flat) と砂堆 (Dune) のほぼ中間の値になっている。したがって、河床波が砂堆から平坦への遷移過程にあると考えられる。河床波形態については次に述べる (2) で詳細を示すが、この区間において河床波の遷移が十分に起こり得る (図-2.27 参照)。また、 $55\text{ km}-101.5\text{ km}$ 区間での不等流計算による流速係数は、河床勾配 $1/250 \sim 1/500$ の範囲の流速係数とほぼ同値である。以上より、粗度係数はほぼ妥当と考えられる。

(2) 洪水時の河道特性

図-2.23 には不等流計算により求めた平均流速の縦断変化を示す。平均流速は、 60 km 地点から下流

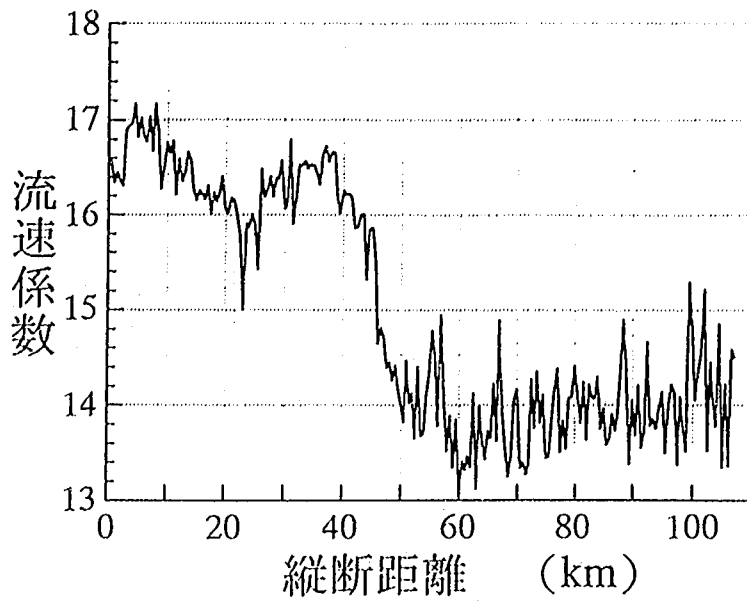


図- 2.22 不等流計算より算出した流速係数の縦断変化

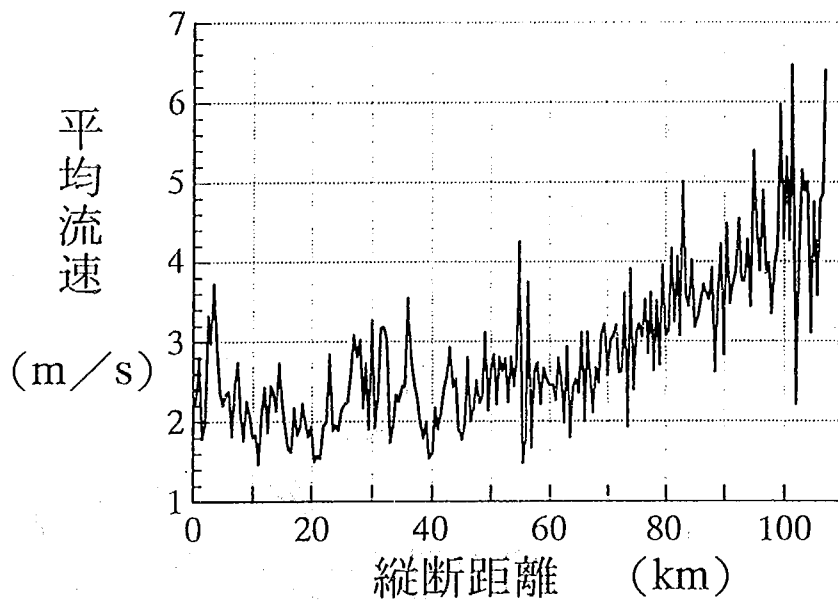


図- 2.23 不等流計算より算出した平均流速の縦断変化

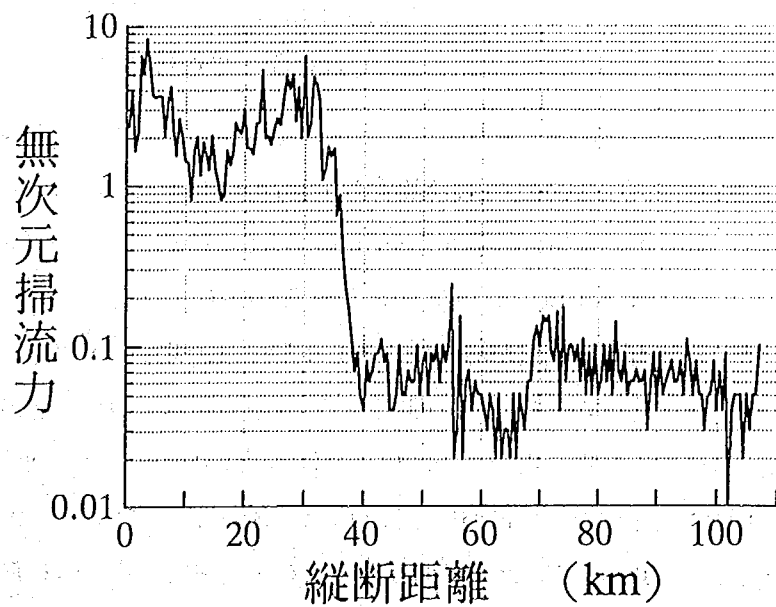


図- 2.24 不等流計算より算出した無次元掃流力の縦断変化

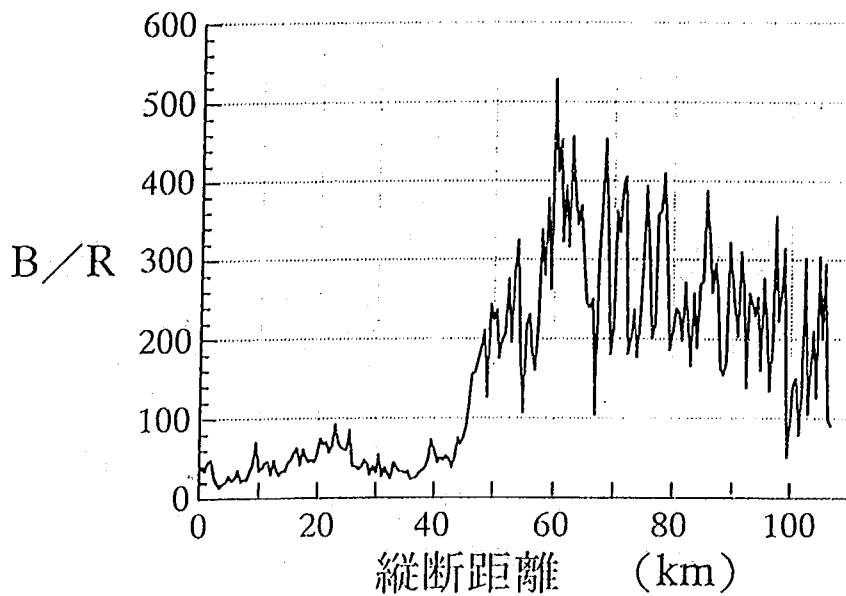


図-2.25 不等流計算より算出した水面幅・径深比 (B/R) の縦断変化

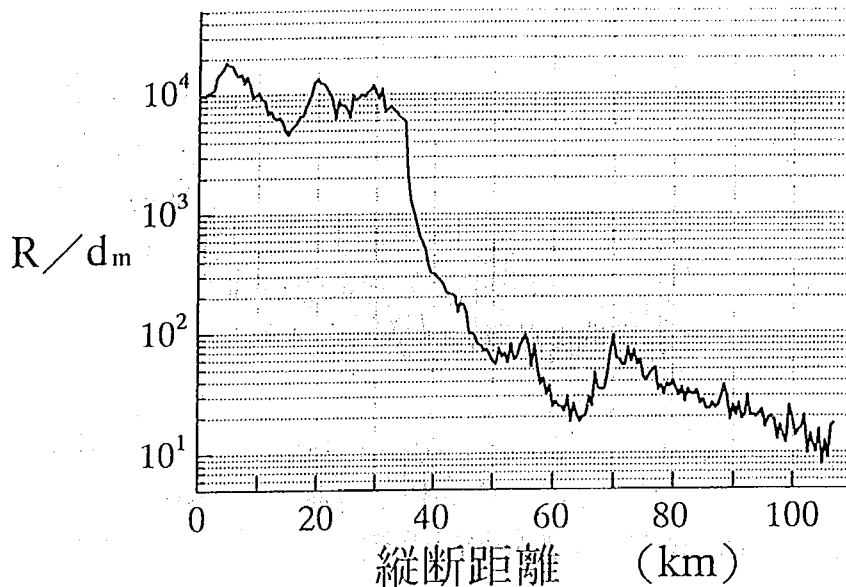


図-2.26 不等流計算より算出した径深・平均粒径比 (R/d_m) の縦断変化

においてそれぞれ約 2.2 m/s の一定値となっており、この上流において勾配の急峻化に伴い直線的に増加している。次に、無次元掃流力、水面幅・径深比そして径深・平均粒径比を図-2.24～2.26 にそれぞれ示す。これらの図から河床波の種類の変遷を山本の方法（1988）により予測してみる。最初に河床材料の平均粒径が 0.05 mm である $0 \text{ km} - 37 \text{ km}$ 区間における小規模河床波について推定する。この区間の無次元掃流力は、狭窄部であり粘土層が河床に露出している 4 km 地点の極大値を除くと $1 \sim 5$ の間にある。同様に径深・粒径比は $4,000 \sim 10,000$ の間である。これらの値より図-2.27 に示す小規模河床波の領域区分ごとの流速係数と無次元掃流力の関係より河床波を推測すると、平均年最大流量時では遷移河床である。次に中規模河床波の形態について推測する。図-2.28 に山本（1988）による多列砂州の発生条件を示す。同図より、 $0 \text{ km} - 37 \text{ km}$ 区間における水面幅・径深比が約 30 、径深・粒径比が約 $10,000$ であることから交互砂州が発生すると推測される。また、 $60 \text{ km} - 101.5 \text{ km}$ 区間では、水面幅・径深比は

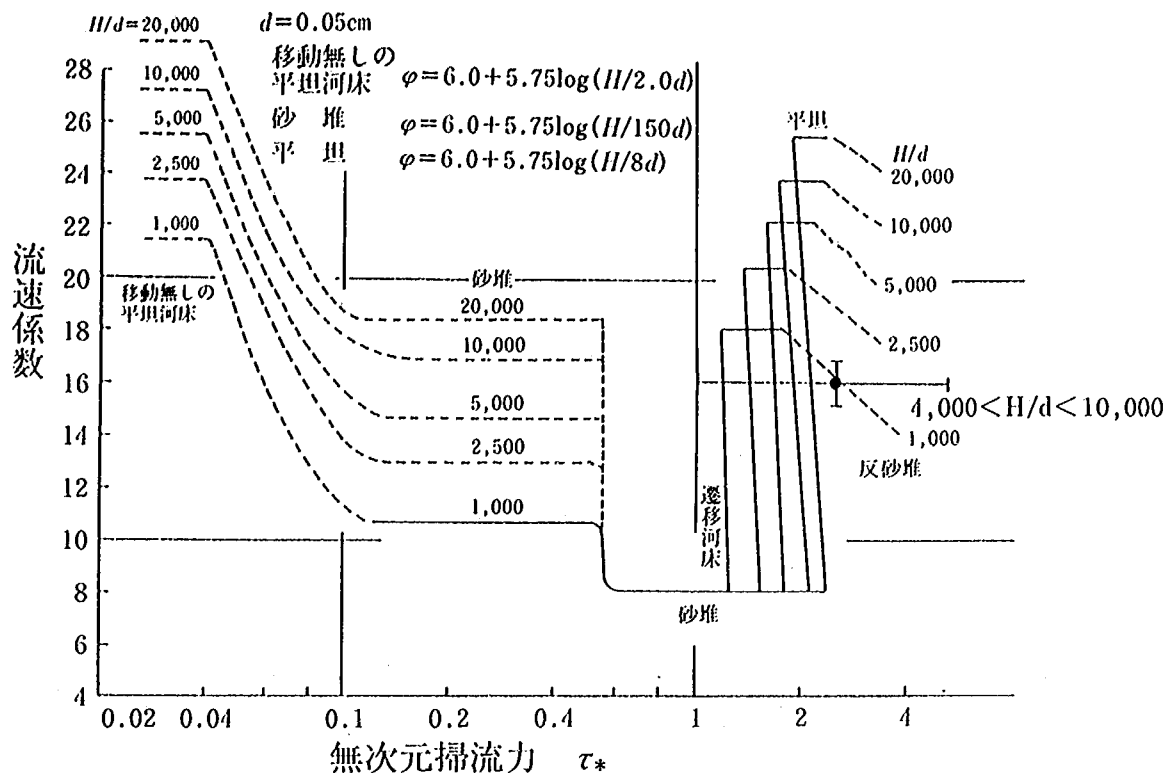


図-2.27 流速係数と無次元掃流力の関係 (平均粒径が0.05 cmの場合)

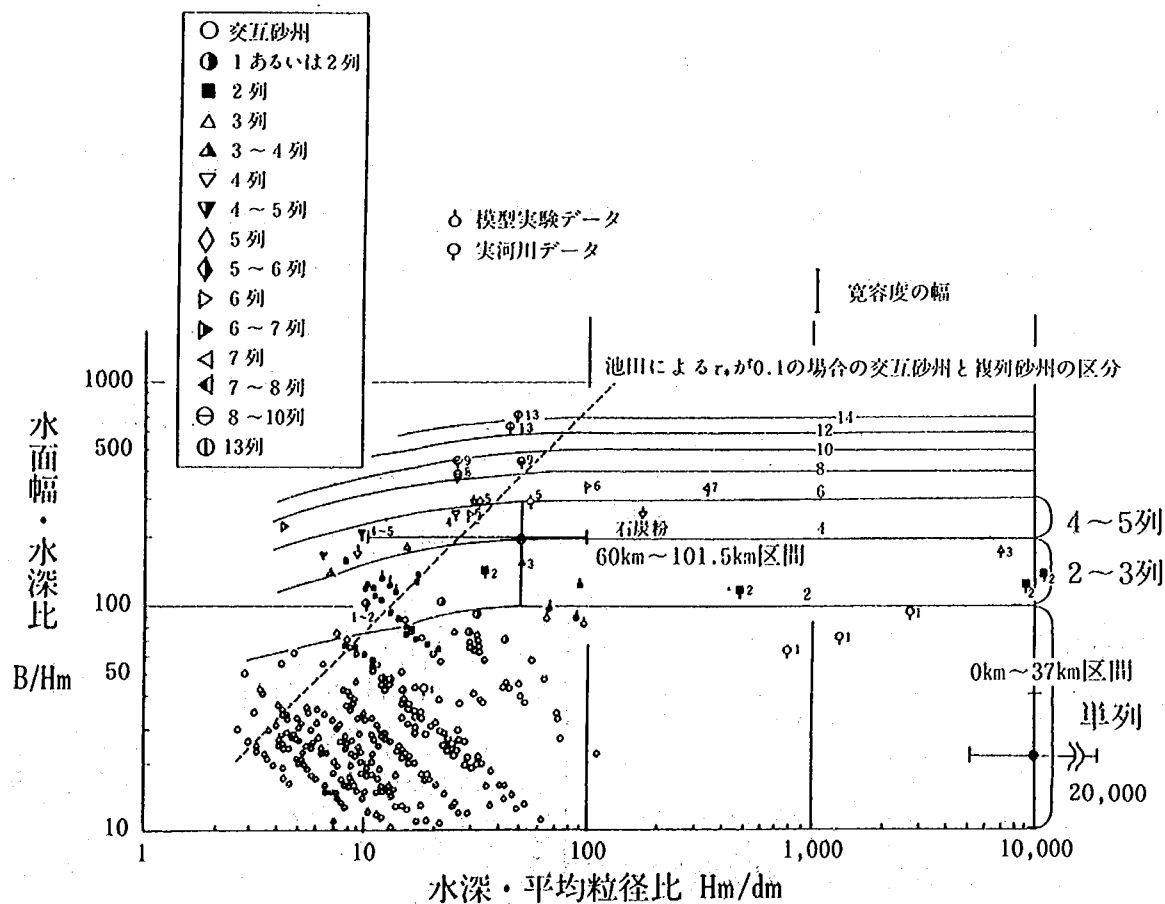


図-2.28 多列砂州の発生条件

散らばりが大きいものの大局的にみて100-300であり、径深・粒径比は10-100である。これより、この区間においては複列砂州が主であるが、多列砂州も発生し得ることが推察される。以上の中規模砂州の推定は、2.1.5にまとめた砂州の列数とほぼ一致している。しかし、無次元掃流力が無次元限界掃流力(約0.06)程度であるため、河床材料の移動は不活発であると考えられる。これは、この区間の砂州の固定化の原因と考えられる。

2.1.9 河道特性量からみた河道のセグメント区分

表-2.3に示す山本によるセグメントの特徴に基づき鬼怒川のセグメント区分を行う。

① 河床材料の平均粒径によるセグメント区分

セグメント1, 2の区分を平均粒径30mmとすると、図-2.16に示す平均粒径の縦断変化より、50km地点の上下流でセグメント1, 2に区分できる。

② 河床勾配によるセグメント区分

セグメント1, 2の区分を河床勾配1/500とすると、図-2.2に示す河床勾配の縦断変化より、50km地点の上下流でセグメント1, 2に区分できる。

③ 蛇行速度によるセグメント区分

図-2.9~2.15に示した河道の平面形より、45km地点の下流では流れが低水路にまとまっており水路が蛇行していることがわかる。また、その上流では蛇行の波高が波長に比べて小さい。これより、45km地点より上下流でセグメント1, 2に区分できる。

④ 無次元掃流力によるセグメント区分

図-2.24に示す無次元掃流力の縦断変化より、40km地点から下流では無次元掃流力が限界無次元掃流力(約0.06)より大きくなる。また、その上流では限界無次元掃流とほぼ同一である。このような無次元掃流力の縦断分布になったのは、上流では河岸の構成材料が河床材料とほぼ同じ平均粒径(50mm)であるため、川幅は河岸上の土砂が移動しない掃流力になるように定まったためと考えられる。同様に

表-2.3 各セグメントとその特徴(1級河川の場合)

地形区分	セグメント1	セグメント2	セグメント3
	扇状地 谷底平野 移過帯	自然堤防帯 中間地	デルタ
河床材料の平均粒径 d_m	2cm以上	3cm~0.4mm	0.3mm以下
河岸物質	表層に砂、シルトがのることがあるが薄く、河床材料と同一物質が占める	下層は河床材料と同一、細砂、シルト、粘土の混合物	シルト・粘土
勾配	1/60~1/400	1/400~1/4,000	1/5,000~水平
蛇行程度	曲がりが少ない	蛇行が激しいが、川幅水深比が大きいところでは8字蛇行または島が発生	蛇行が大きいものもあるが、ないものもある
河岸侵食程度	非常に激しい	中程度・河床材料が大きいほど水路がよく移動する	弱程度・ほとんど水路は動かない
水路の平均深さ	0.5~3m	1~5m	4~6m

下流では、河岸は粘着性を有し耐侵食性に優れているので無次元掃流力が大きくなったと考えられる。これより、40km地点の上下流でセグメント1, 2に区分できる。

以上より40kmから50kmの上下流でそれぞれのセグメント1とセグメント2に区分できる。この区分地点を河床勾配の急変地点によって便宜上定めると、46km地点となる。

2.1.10 流況の経年変化

水海道(10.954 km地点), 平方(37.270 km地点)そして宝積寺(82.952 km地点)の流量観測地点において1950年～1986年に観測された流況より、豊水、平水、低水そして渇水流量の4種類の経年変化をそれぞれ図-2.29～2.31に示す。これらの図より、平水、低水および渇水の3流量は、それぞれほぼ一定の年平均流量を中心に変動していることがわかる。また、上記の3地点において1928年～1986年に観測された年最大流量の経年変化を図-2.32～2.34に示す。年最大流量は、1959年以降、変動の振幅が減少しているが、これは降雨状況などの自然的要因のほかに表-2.1に示す洪水調節ダムの設置による効

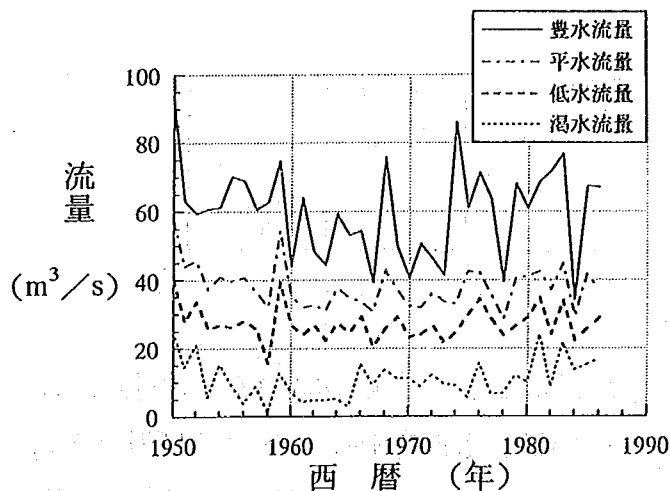


図-2.29 流況の経年変化(水海道)

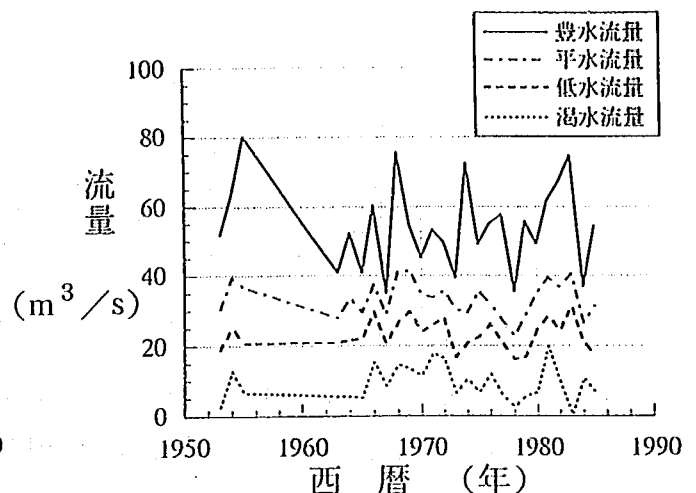


図-2.30 流況の経年変化(平方)

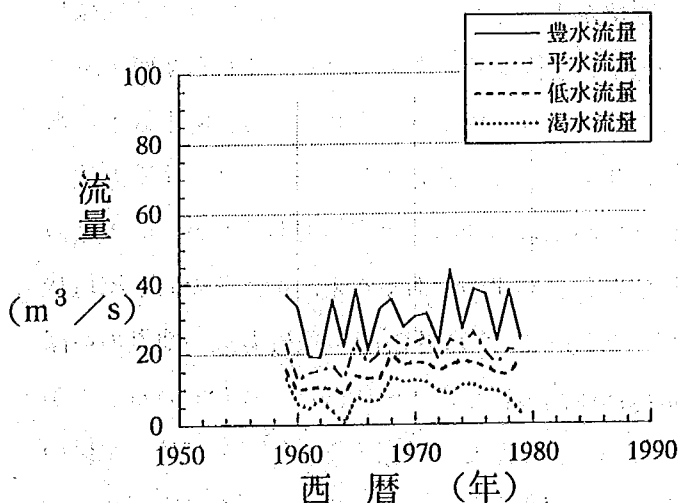


図-2.31 流況の経年変化(宝積寺)

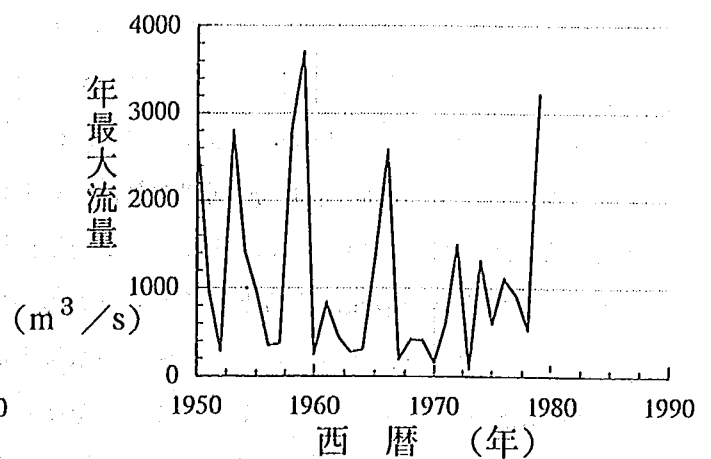


図-2.32 年最大流量の経年変化(水海道)

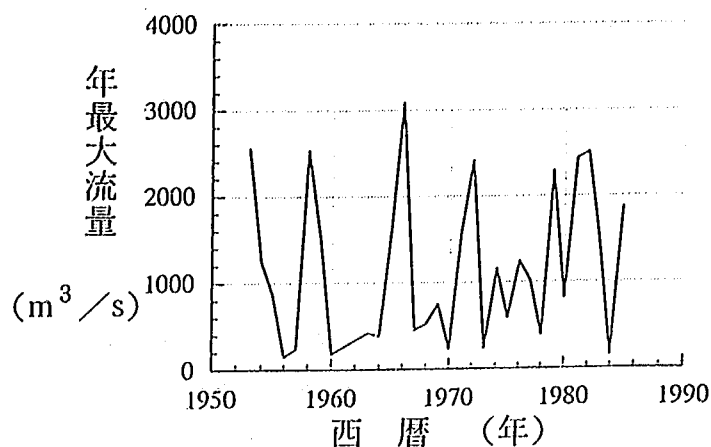


図- 2.33 年最大流量の経年変化（平方）

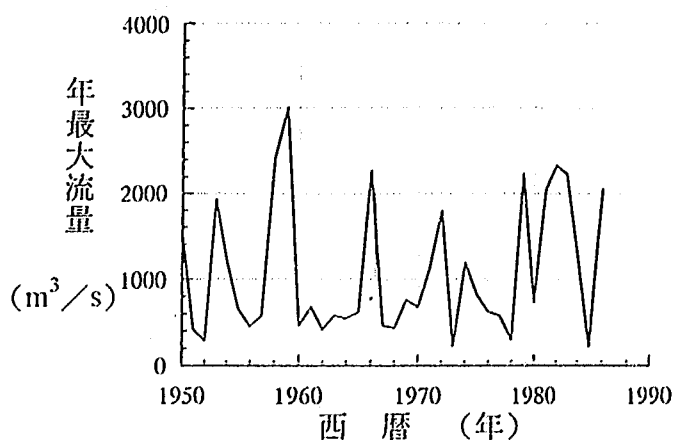


図- 2.34 年最大流量の経年変化（宝積寺）

果もあると考えられる。3地点の観測所における豊水、平水、低水、渇水および年最大の5種類の流量の近年10年間の平均値を表- 2.4 にまとめて示す。

表- 2.4 近年10年間における位況の平均値（鬼怒川）

観測所名	平均年 (年)	豊水流量 (m^3/s)	平水流量 (m^3/s)	低水流量 (m^3/s)	渇水流量 (m^3/s)	最大流量 (m^3/s)
水海道	1977~1986	61.7	37.8	27.7	13.5	1403.9
平方	1976~1985	54.9	32.1	22.6	8.0	1422.4
宝積寺	1971~1980	31.6	21.6	16.3	9.2	1007.0

2.1.11 位況の経年変化

水海道（10.900 km地点）、鎌庭（27.300 km地点）、平方（37.200 km地点）、大沼橋（61.951 km地点）、石井（右）（75.133 km地点）そして宝積寺（82.925 km地点）の6地点の水位観測所において観測された豊水、平水、低水、渇水位の4種類の水位の経年変化を図- 2.35～2.40に示す。図- 2.35、2.37より1960年以降水海道および平方の各水位は急激に低下している。低下傾向は、1965年頃に最も顕著であって、水海道において最高で41 cm/yrに達した。この原因は、水位が大きく低下した時期において流量は低減していないことから（図- 2.29、2.30参照）、河床高の低下に起因すると考えられる。これら2観測所に比べ低下量は小さいが、他の観測所においても同様な理由により河床低下が生じている。河床低下が水位低下の原因である理由を最深河床高と渇水位の経年変化の比較より検討する。このような比較方法を用いる理由は、平均河床高は、砂利採取が行われていない高水敷も含めた平均値であるため、低水路の平均河床高と異なるためである。また、渇水流量の経年変化はわずかであること、またこの渇水流量時の河川流は低水路の最深部を流下するためである。図- 2.35～2.40に各観測所に最も近い地点の最深河床高の経年変化を各水位と併せて示す。渇水位と最深河床高の経年変化の傾向は一致していることから、各水位の低下は河床高の低下によることが明らかである。しかし、鎌庭（図- 2.36）では、水位の低下量に比べ最深河床高の低下量が大きくなっている。この理由として、この地点の下流に床固めが設置されているため、低流量時では床固めによる水位の堰上げが顕著になるためと考えられる。

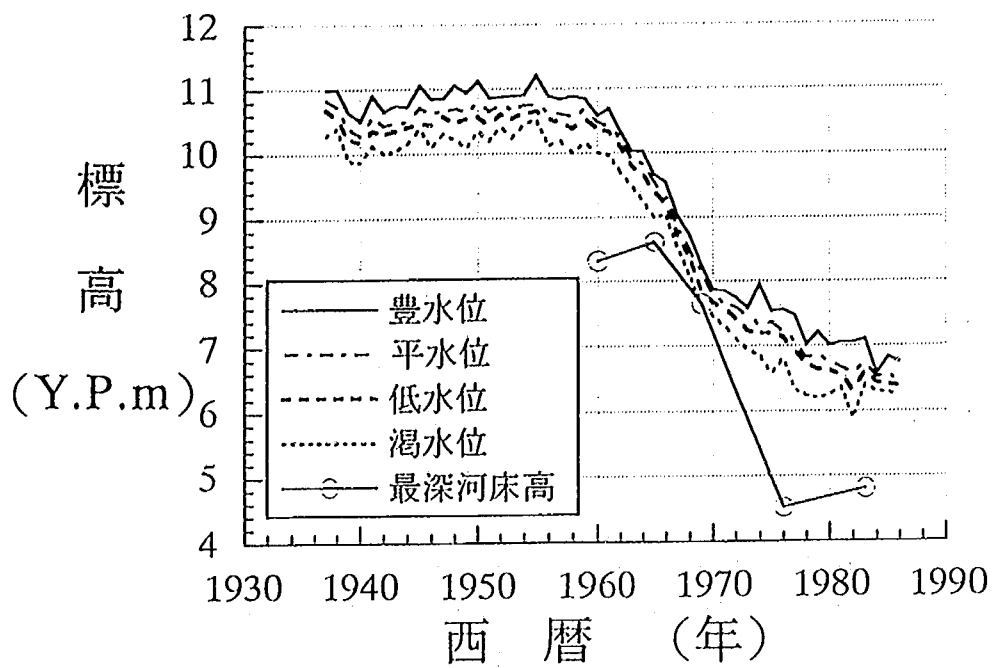


図- 2.35 位況の経年変化 (水海道)

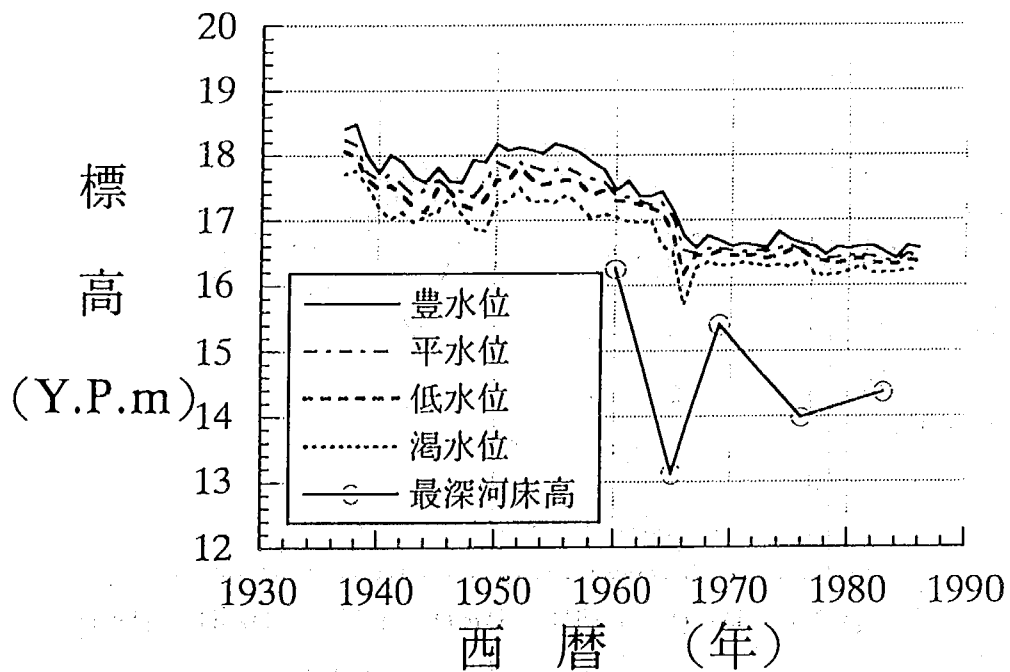


図- 2.36 位況の経年変化 (鎌庭)

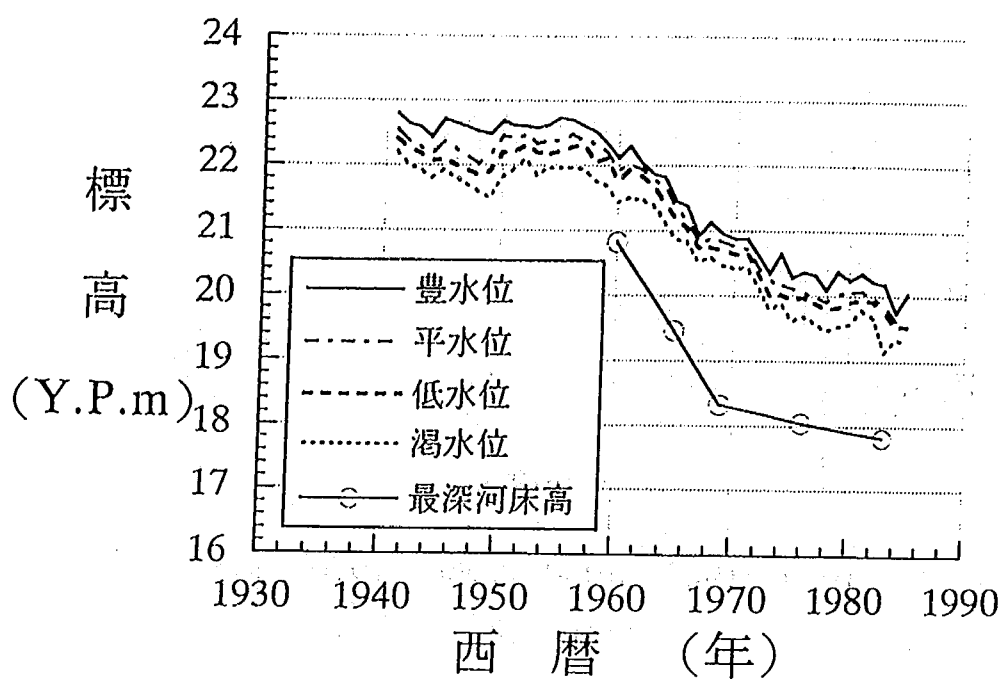


図- 2.37 位況の経年変化 (平方)

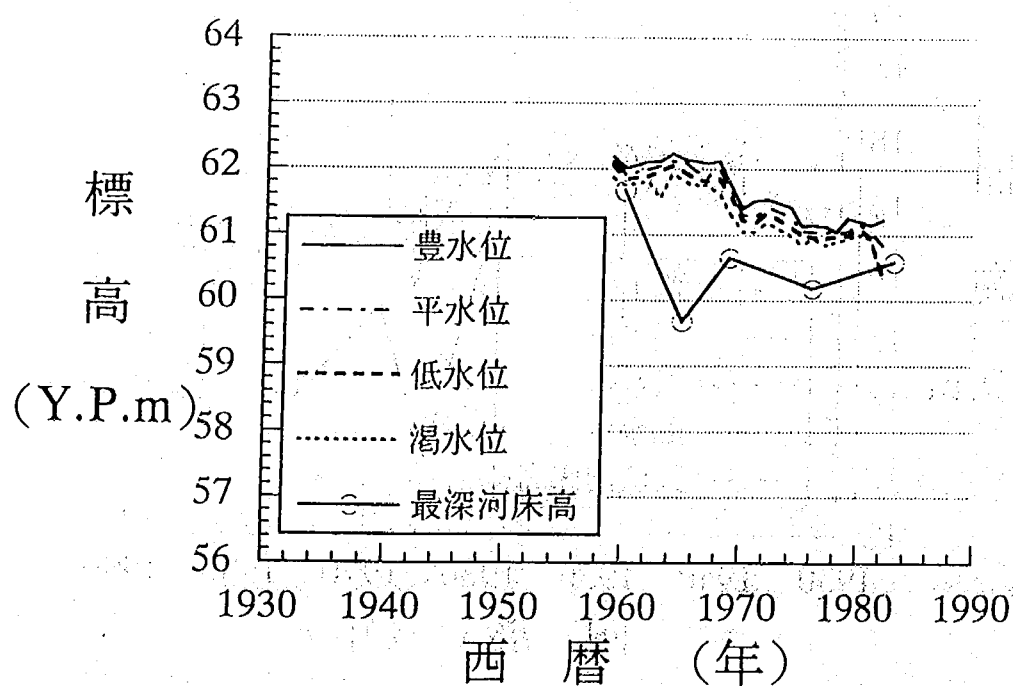


図- 2.38 位況の経年変化 (大沼橋)

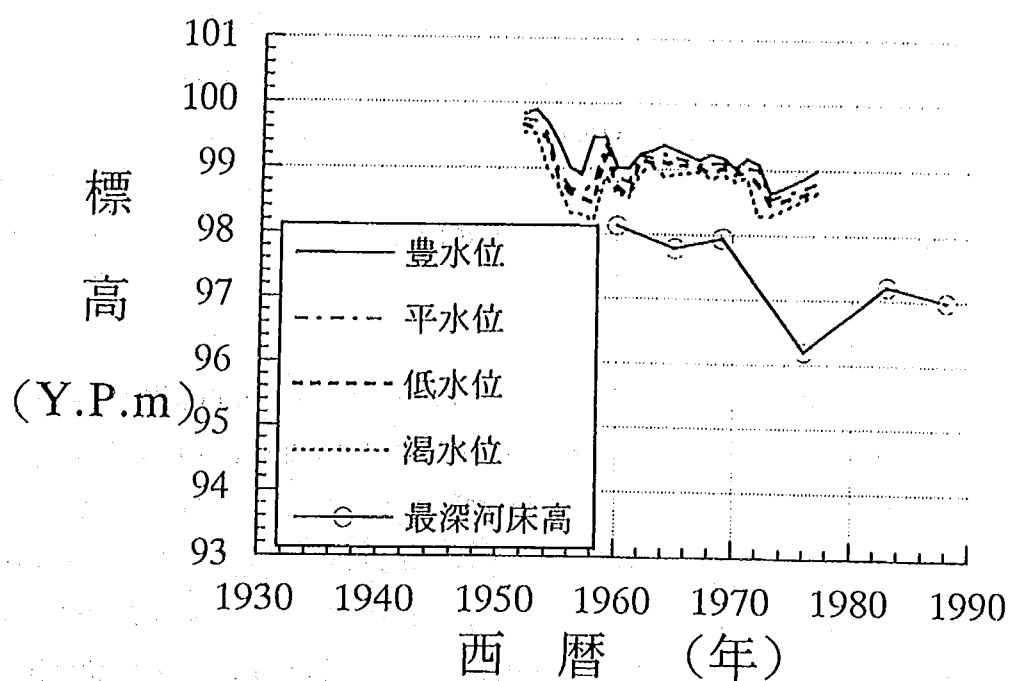


図- 2.39 位況の経年変化 (石井 (右))

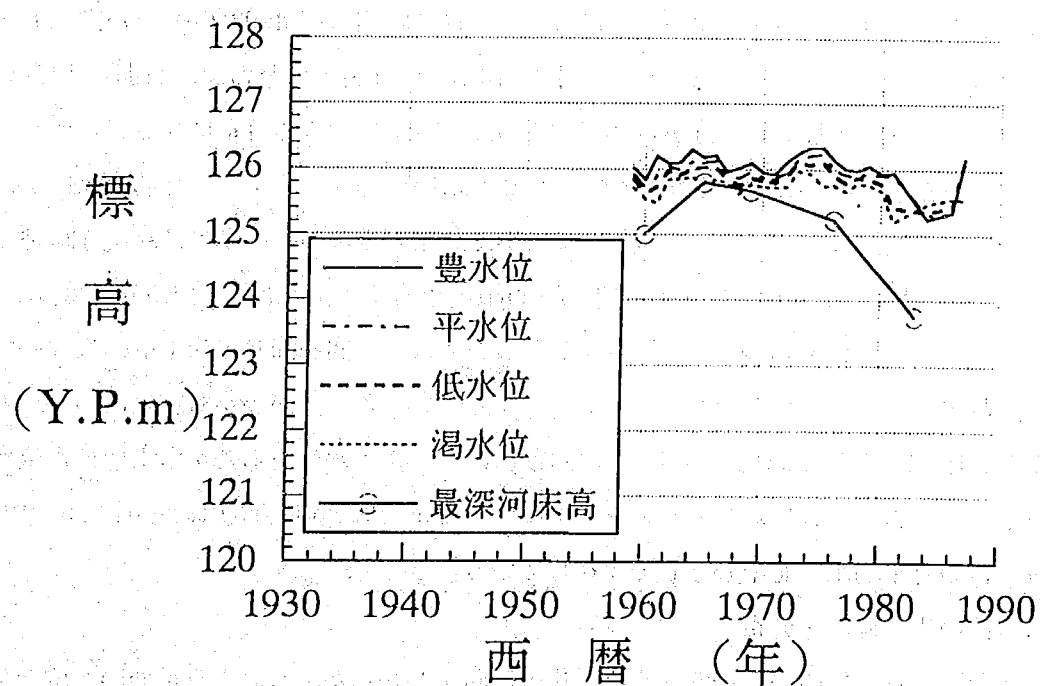


図- 2.40 位況の経年変化 (宝積寺)

2.1.12 植生調査点における水位の変化

植生調査点（16.5km, 32.0km, 55.0km, 96.0km地点）に最も近い水位観測所、すなわち三妻（16.917km地点）、上妻（31.833km地点）、大道泉橋（54.750km地点）そして上平橋（99.397km地点）において観測された水位のデータを統計処理し、それぞれの植生調査点における位況の傾向を把握する。なお、観測所における水位を植生調査点の水位に換算するため、この2点間の距離に河床勾配を乗じた値を水位に加えた。この値は、16.5km地点で-0.20m、32km地点で+0.08m、55.0km地点で+0.52mそして96.0km地点で-17.60mである。

(1) 日平均水位の位況

図-2.41～2.44に、16.5km, 32.0km, 55.0km, 96.0km地点における日平均水位の位況図をそれぞれ示す。これらの図は、1979年、1984年および1988年から1992年の7カ年の日平均水位の位況を平均したものである。16.5km地点（図-2.41）と32.0km地点（図-2.42）では、約75日を境にして位況の傾向が異なっている。すなわち、75日以上では水位は傾き2.5mm/dayの直線的な変化を持つが、75日以下では75日間で約2mという急激な増加が生じる。55.0km地点（図-2.43）と96.0km地点（図-2.44）においては、位況の傾向の変化点が約100日であり、100日以上では傾き約1mm/dayの直線の変化、これ以下では100日間で約1mという急激な増加が生じる。しかし、16.5km地点と32.0km地点に比べて水位の変化は範囲が狭くなだらかなのである。

(2) 月平均水位の変化

図-2.45～2.48に、それぞれ16.5km, 32.0km, 55.0km, 96.0km地点における月平均水位の変化を標準偏差とともに示す。これらの図は、1979年、1984年および1988年から1992年の7カ年の月ごとの水位から計算したものである。全ての地点において月平均水位は、1月～5月および11月～12月の非出水期ではほぼ同一の値となる。そして、8月から10月にかけてピークを有する分布になる。このピークと非出水期の平均水位の差は、16.5km地点（図-2.45）と32.0km地点（図-2.46）では約75cm、55.0km地点（図-2.47）と96.0km地点（図-2.48）では約50cmである。また水位の標準変差は、16.5km地点（図-2.45）と32.0km地点（図-2.46）では非出水期に約50cmと小さく、出水期に約1.5mと大きくなるが、55.0km地点（図-2.47）と96.0km地点（図-2.48）においては、年間を通じて約1mのほぼ一定値である。以上より、月平均水位の変動傾向がセグメントによって異なることがわかる。すなわち、セグメント2に属する16.5km地点と32.0km地点では、非出水期はほぼ一定の水位であるが出水期は水位変動が大きく平均水位も高くなる。それに対しセグメント1に属する55.0km地点と96.0km地点においては、年間を通じてほぼ一定の月平均水位を中心として変動している。

(3) 年最高水位の生起確率年分布

日平均位況変化図より、年内の平均的な水位変化の傾向がわかるが、これより長期の水位変化の状況を年最高水位の生起確率年分布より評価してみる。以下では年最高水位として1時間間隔の定時観測水位と日平均水位の2種類の年最大値を用いる。これら2種類の年最高水位の生起確率は、植生群落の冠水頻度の観点から考えると、定時観測水位では2時間未満の冠水継続時間を有する水位の出現頻度、そ

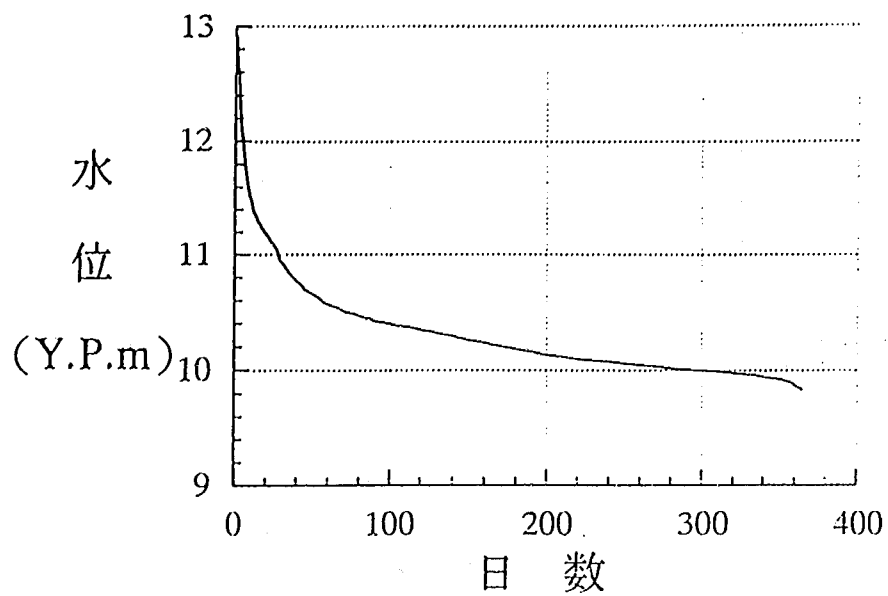


図- 2.41 日平均水位の位況 (鬼怒川 16.5 km 地点)

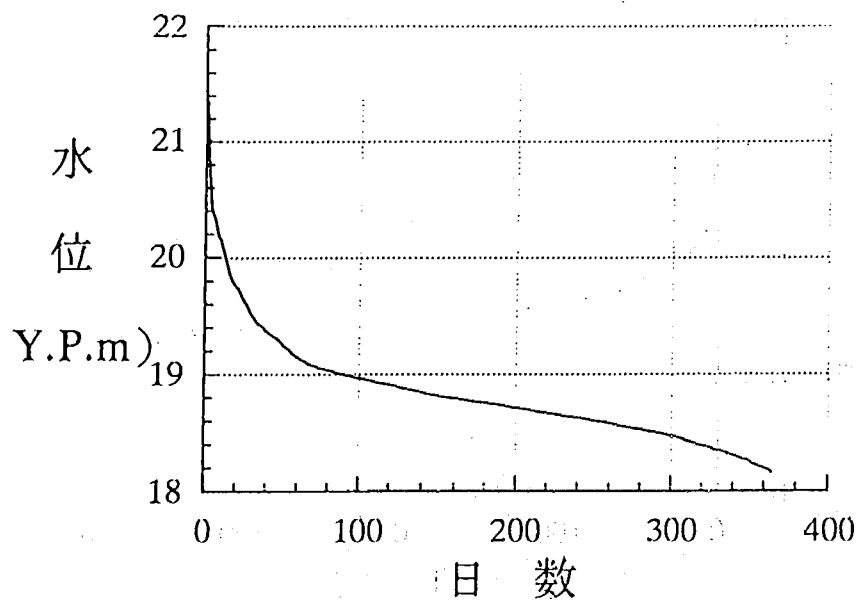
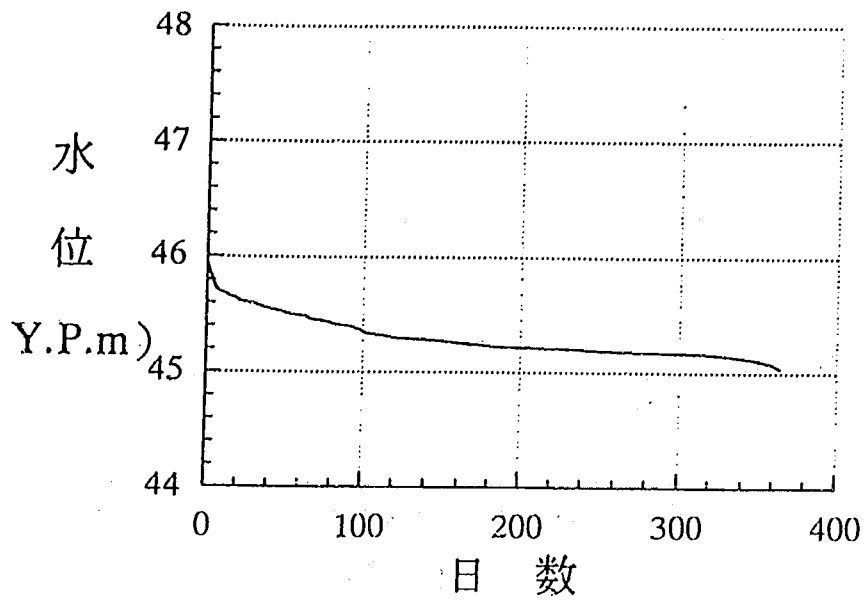
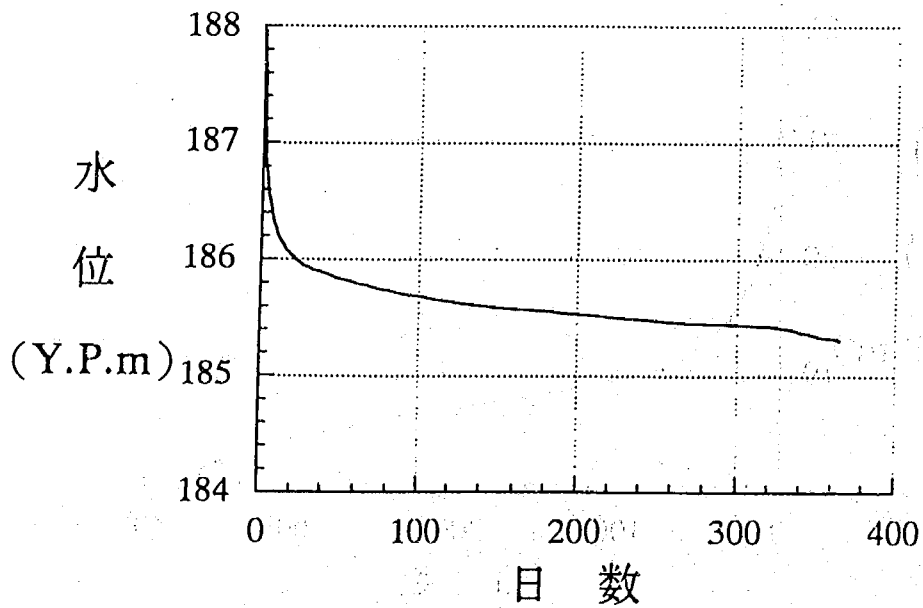


図- 2.42 日平均水位の位況 (鬼怒川 32.0 km 地点)



図－ 2.43 日平均水位の位況（鬼怒川 55.0 km 地点）



図－ 2.44 日平均水位の位況（鬼怒川 96.0 km 地点）

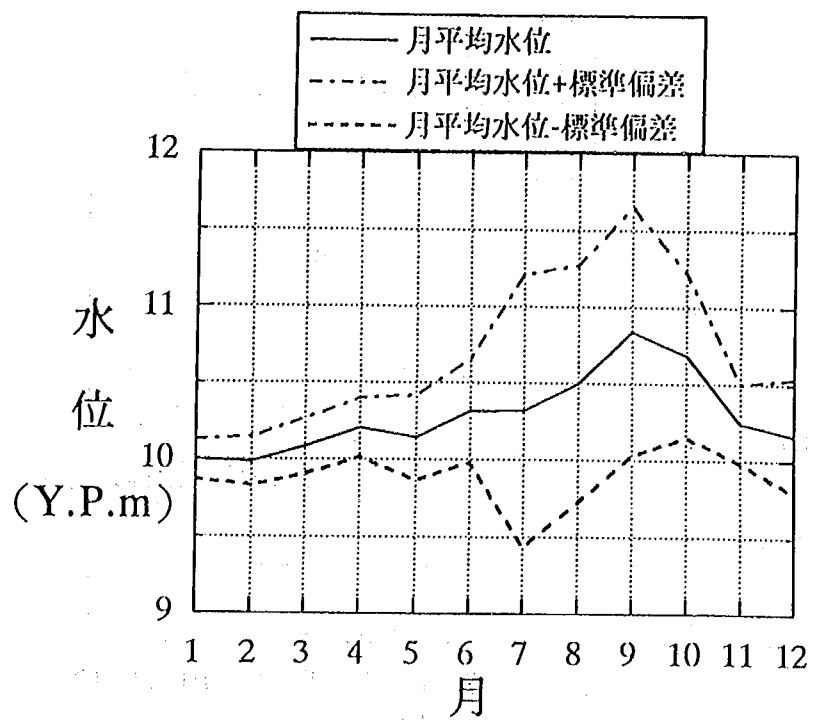


図-2.45 月平均水位とその標準偏差の変化 (鬼怒川 16.5 km 地点)

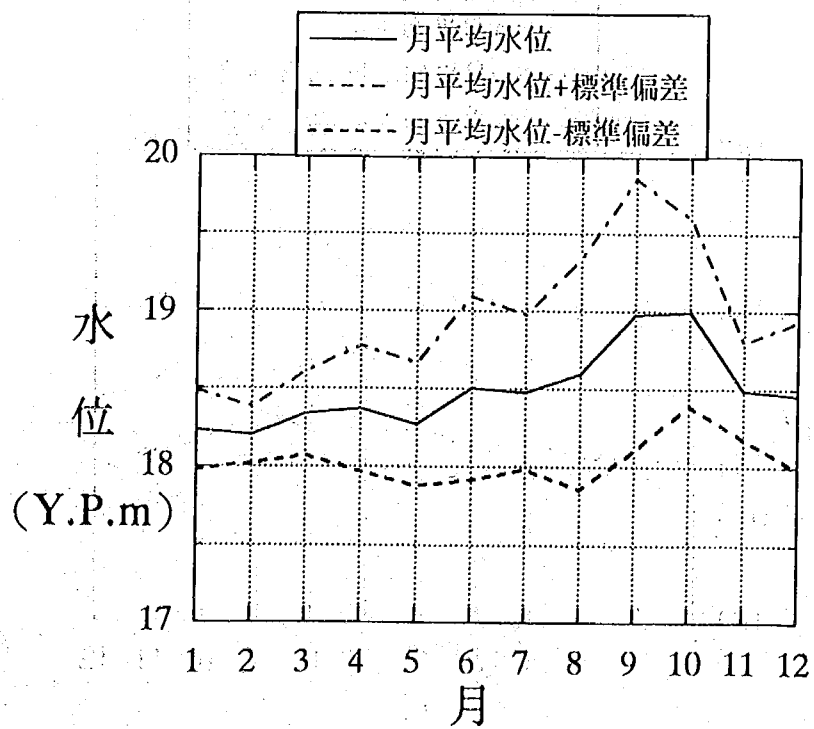


図-2.46 月平均水位とその標準偏差の変化 (鬼怒川 32.0 km 地点)

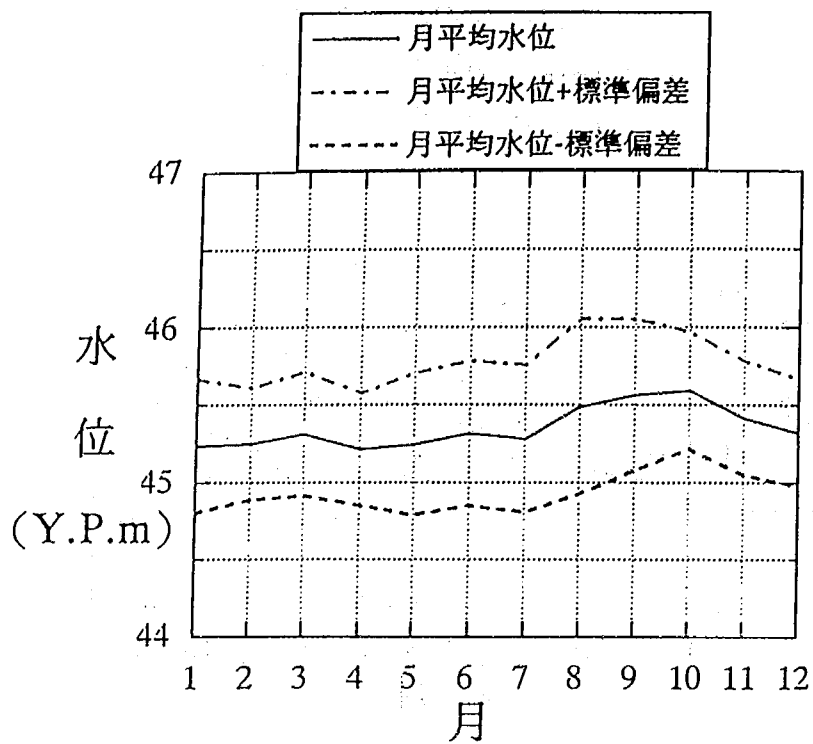


図- 2.47 月平均水位とその標準偏差の変化 (鬼怒川55.0km地点)

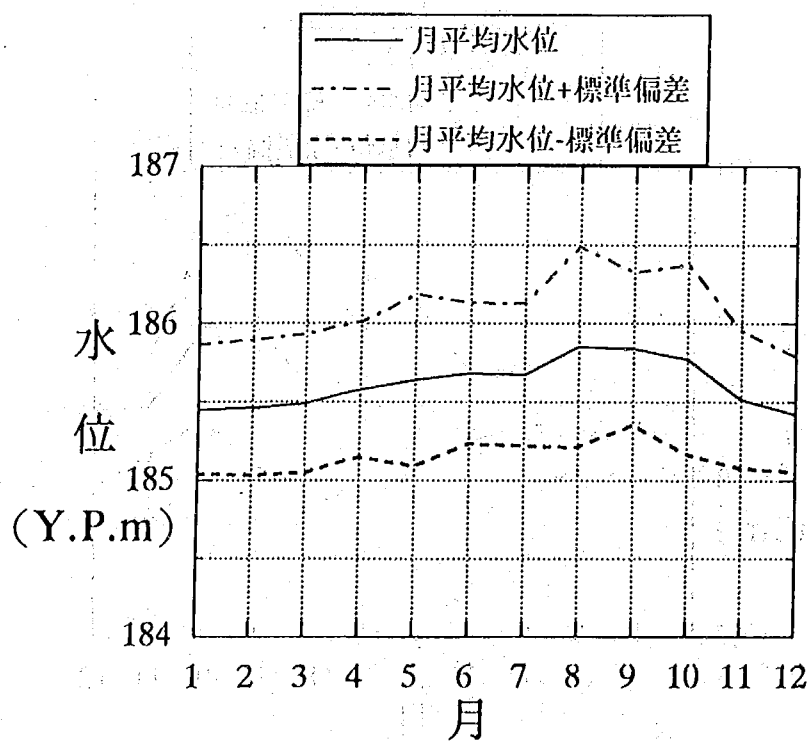


図- 2.48 月平均水位とその標準偏差の変化 (鬼怒川96.0km地点)

して1日の平均水位では1日未満の冠水継続時間を有する水位の出現頻度を意味する。これらは、第4章3節において植物群落の分布と冠水頻度の関係を考察するにあたり重要である。図-2.49～2.52に、それぞれ16.5 km, 32.0 km, 55.0 kmおよび96.0 km地点における定時観測水位および日平均水位の年最大値の生起確率年分布を示す。これら2種類の生起確率年分布は、ハーゼンプロットの方法により求めた。

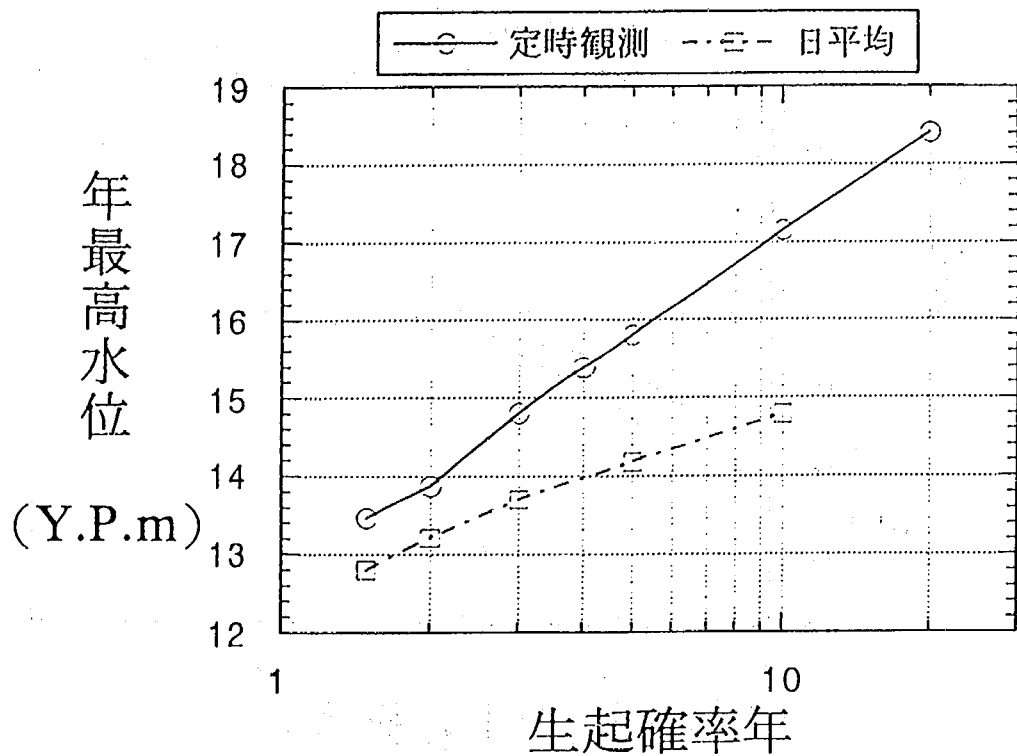


図-2.49 年最高水位と生起確率年の関係（鬼怒川16.5 km地点）

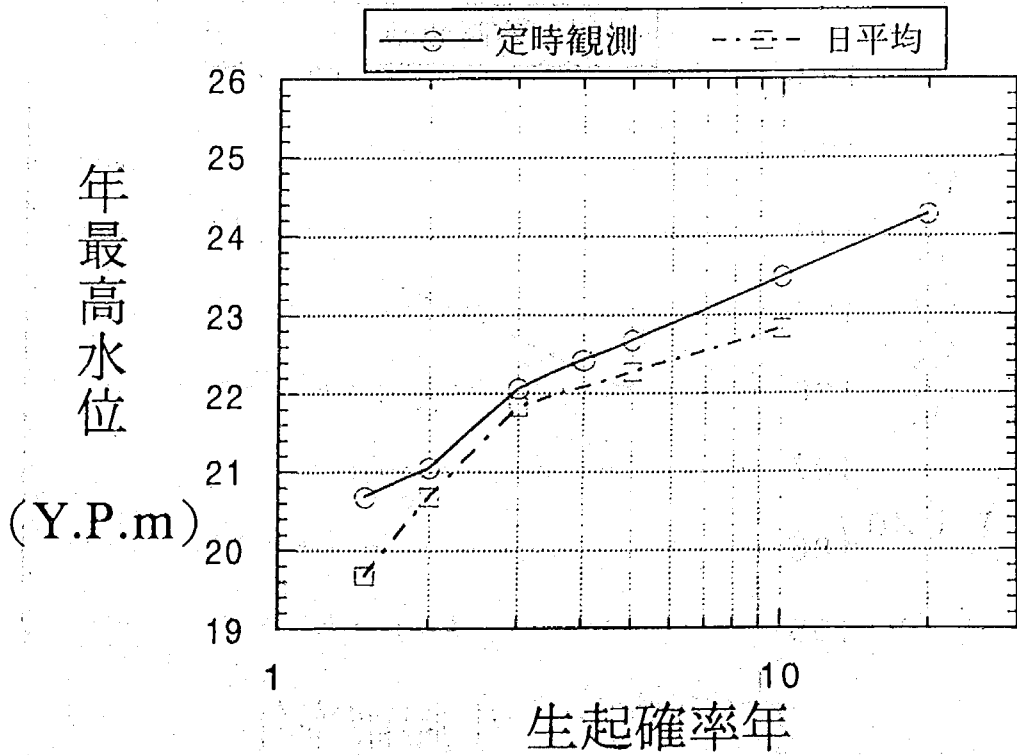


図-2.50 年最高水位と生起確率年の関係（鬼怒川32.0 km地点）

定時観測水位の年最大値の標本数は、1975年～1990年の15カ年のうち欠測のあった年を除いた数であり、16.5km地点と96.0km地点では14個、32.0km地点と55.0km地点では11個である。日平均水位の年最大値の標本数は7個であり、年位況の経年変化図と同じ年次の位況から標本値のデータを作成した。これら2種類の年最高水位の標本数が異なるため、ハーゼンプロットにより内挿できる確率年が時間平均

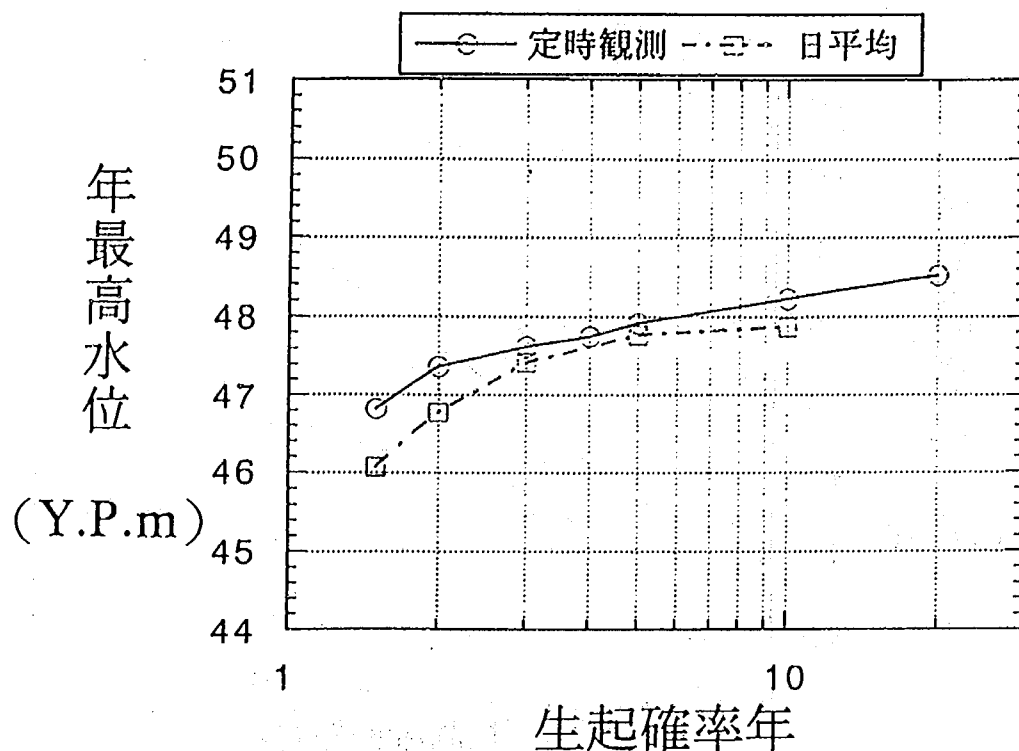


図- 2.51 年最高水位と生起確率年の関係 (鬼怒川 55.0km 地点)

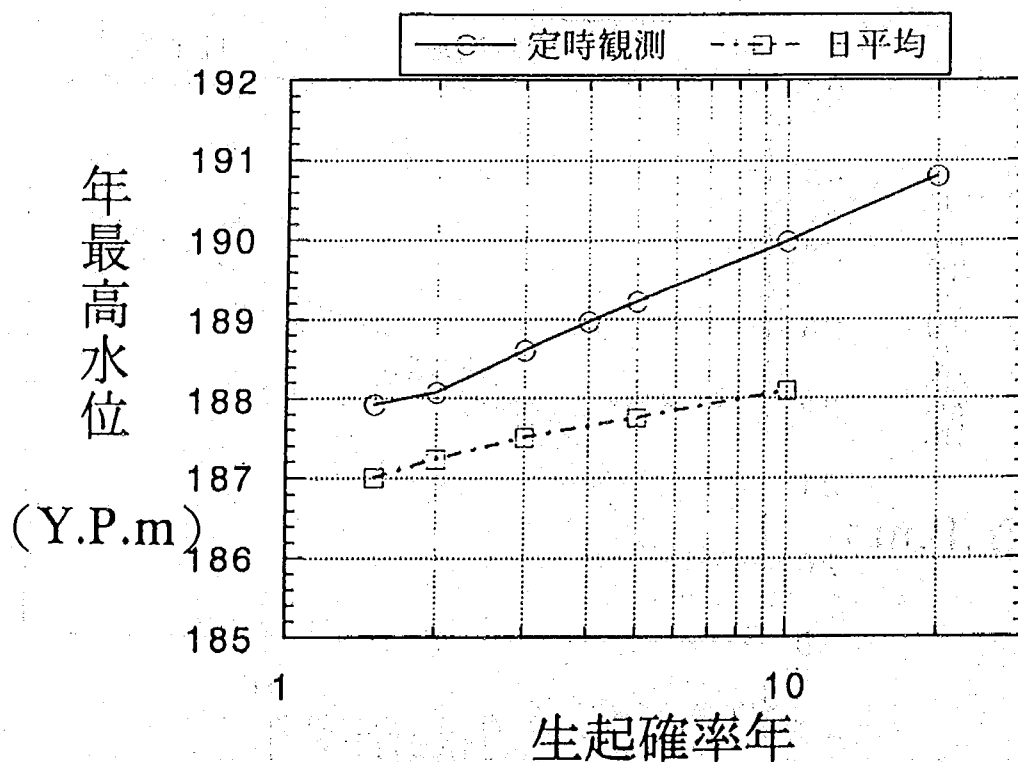


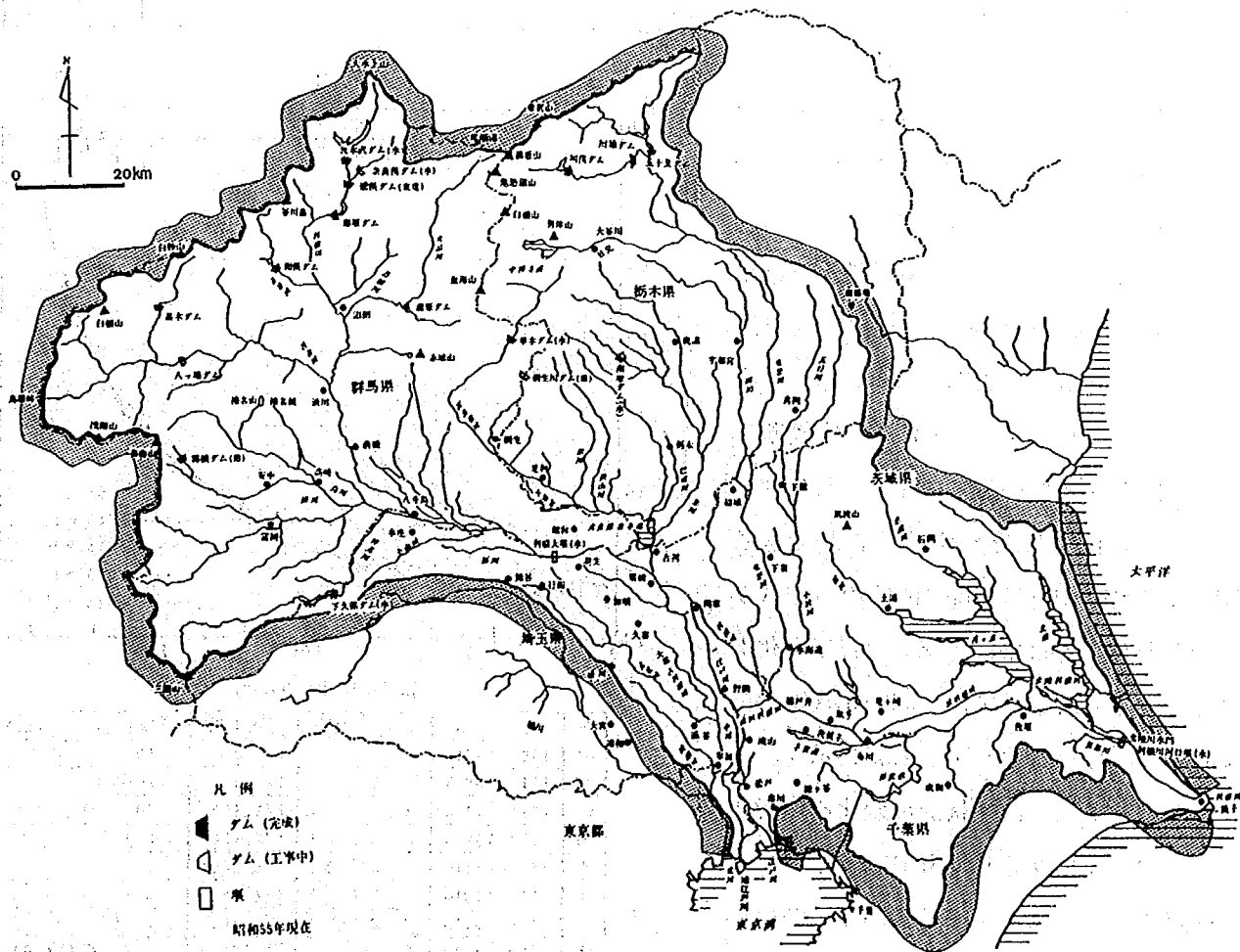
図- 2.52 年最高水位と生起確率年の関係 (鬼怒川 96.0km 地点)

では10年以下，日平均では20年以下となった。図－2.4に示したように，低水路幅が狭い32.0km地点と55.0km地点では，定時観測水位と日平均水位の年最大値の差が他の2地点に比べて小さい。すなわち，洪水時の氾濫時間が長いことを意味すると考えられる。また，16.5km地点（図－2.49）と96.0km地点（図－2.52）では，確率年が大きくなるほど2つの年最高水位の差が大きくなる。これは，洪水波の低減が確率年が高いほど，すなわち大出水になるほど早いことを意味していると考えられる。

2.2 利根川の河道特性

2.2.1 利根川の概況

利根川の流域概要を図－2.53に示す。利根川は，関東地方の西北部に位置する群馬県利根郡水上町の大水上山（標高1,840m）に源を発し，これより渓流は南に流れ，赤谷川，薄根川などを合わせ，沼田市付近では片品川を，また渋川市付近では吾妻川を合わせ，さらに八斗島上流で烏川を合流し，この付近



図－2.53 利根川流域の概要図

より平地河川の様相を呈して流路を南東に変え，埼玉県栗橋町の直上流で渡良瀬川を合流し関宿に至り，この地点で江戸川を分流する。ここから本流はさらに東流し，鬼怒川，小貝川，印旛沼，手賀沼等の水を合わせながら霞ヶ浦，北浦などを合流し，銚子において太平洋に注いでいる。

利根川は流域面積16,829 km²を有し、わが国最大規模の河川であり、流域は東京、埼玉、群馬、栃木、茨城、千葉の1都5県にまたがり、そのうち山地が46.8%、平地が48.4%、河川区域内が4.8%を占める。また、幹川流路延長は330.7 kmで、信濃川に次いで全国で第2位を誇る。

河川の流況および土砂供給量に影響を及ぼす大ダムの完成年と流域面積等は表-2.5に示すとおりであり、八斗島地点(本川182.0km:上流域面積5,150km²)での流域面積の約27%がダムの集水域となっている。

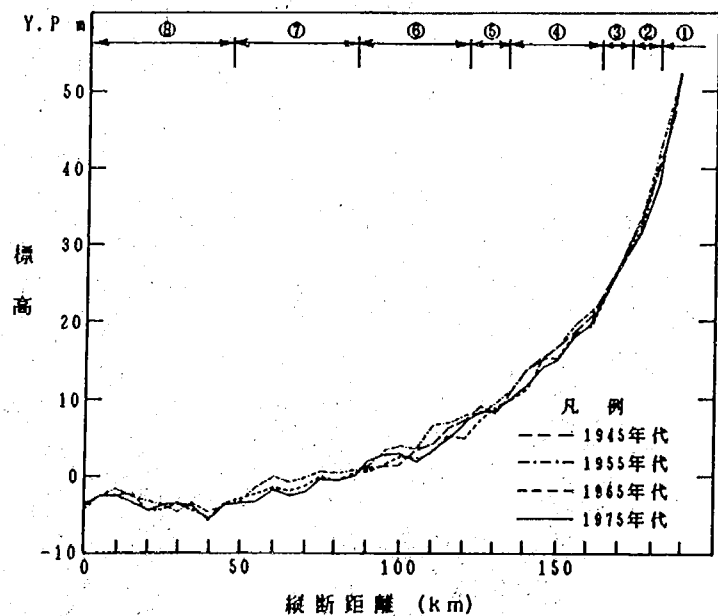
流域内の利根川流域を概観すると、

(1)各支川を合流し、山間部を流下す

る上流域「源流部から八斗島地点(本川直轄上流端186km)」, (2)平野部を貫流する中流域「八斗島地点から関宿地点(本川186~122km)」, (3)湖沼および低湿地を含む平地を流れる下流域「関宿から河口(本川122km~0km)」の3つに大別できる。さらに直轄区間である186km地点下流の河床縦断形を詳細に見ると図-2.54に示すとおり8つのセグメント^{注)}に分類することができる(山本, 1991; 1992)。図中には1945年代から1975年代までの平均河床高の経年変化も併せて示してある。また、同一年代別の最深河床高の経年変化を図-2.55に示す。これらから利根川の河床状況の変化を概説すると、1945年代から1955年代までは110.0 km地点で堆積による平均河床高および最深河床高の上昇が見られたが、1955年代から1965年代にかけて大きく低下していること

表-2.5 利根川上流部のダム集水面積

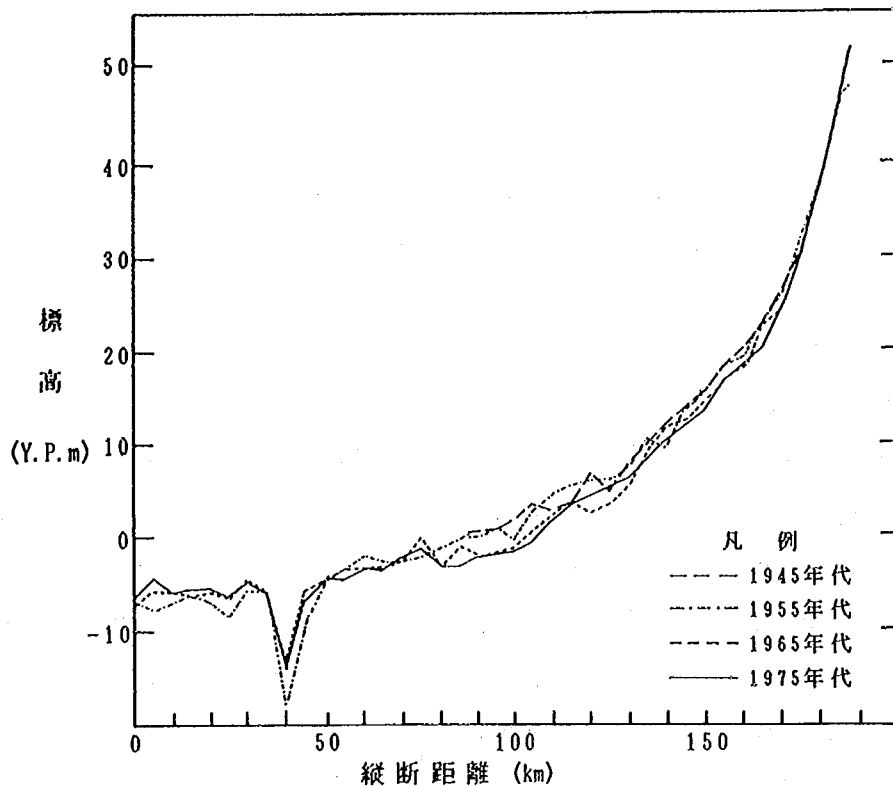
ダム名	場所	完成年	総貯水量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	集水面積 (km^2)
矢木沢ダム	利根郡水上町	1968	204.3	167.4
相俣ダム	利根郡新治村	1959	25	110.8
蘭原ダム	利根郡白沢村	1967	20.3	493.9
藤原ダム	利根郡水上町	1958	52.49	233.6 (直接分)
下久保ダム	児玉郡神泉村	1949	130	322.88
樽原ダム (電力)				
品木ダム	吾妻郡六合村	1965	1.69	30.9
霧積ダム	碓氷郡松井田町	1982	2.5	20.4
				1,379.88



No.	区間	セグメント	河床勾配	河床材料d ₅₀ (mm)
①	180~186km	1	1/500	50
②	171~180km	2-1	1/800	20~30
③	162~171km	2-2(-1)	1/1,400	20~0.4
④	132~162km	2-2(-2)	1/2,400	0.4
⑤	120~132km	2-2(-3)	1/6,200	0.4
⑥	85~120km	2-2(-4)	1/4,500	0.4
⑦	45~85km	2-2(-5)	1/9,700	0.35
⑧	0~45km	3	逆勾配	0.2(河口4.0)

図-2.54 利根川の平均河床高の縦断変化

注) 一本の河道の縦断形は、多くの場合同一勾配を持つ区間がいくつか集まってできている。同一勾配を持つそれぞれの区間はほぼ同じ大きさの河床材料を持っている。さらに掃流力や低水路幅・深さもこれらの各区間で同じような値を持つことが多い。このように互いによく似た河道特性を持つ区間ごとに区分して検討を行うことが「セグメント単位の見方(山本, 1988)」である。



図－ 2.55 利根川の最深河床高の縦断変化

がわかる。特に 90 km 付近より上流では河床の低下が顕著であり、1945 年代から 1975 年代にかけて平均河床高および最深河床高ともに 2 m 程度の低下を示している。これは 1955 年代から 1965 年代に行われた大量の砂利採取の影響と考えられる（建設省関東地建，1987）。1965 年代以降は砂利採取規制が行われたことから河床が安定してきているが、上流部のダム建設や砂防工事の進展等によって供給土砂量が減少しているため、河床低下は徐々ではあるが進行している状況にある。また、図－ 2.55 によると、40 km 地点の局所洗掘深は 1955 年代に比べ 1975 年代で軽減していることがわかる。これは湾曲部の内岸側を浚渫したための埋戻り効果と考えることができる。

以下に、図－ 2.54 に示した各セグメントの河道特性を示す。

① セグメント 1：180～186 km

河床勾配が扇状地としては緩勾配である 1/500 程度の河道区間であり、利根川本川、烏川、神流川が複雑に乱流合流した所で、氾濫原の微地形は非常に複雑である。本区間は、上流からの供給土砂量の減少と洪水流量の減少が原因と考えられる川幅の縮小傾向（砂州の植生繁茂による高水敷化）にある。砂州の列数は、1987 年の空中写真によると砂利採取の影響のため砂州の形状が不明瞭であるが、182 km 地点で 4～5 列、180 km 地点では 6 列となっている。河床材料の d_{60} は 50 mm である。

② セグメント 2－1：171～180 km

本区間の河床勾配は約 1/800 で、河床材料の d_{60} は 20～30 mm である。勾配から判断すると砂利を河床材料に持つ自然堤防帯の特性を持ち蛇行し易い河川であるが、川幅が広く平均年最大流量時の川幅水深

比が300程度であるため、多列砂州を形成している。本区間も砂州上に草や柳が生え、一部が高水敷化しつつある。

③ セグメント 2-2 (1) : 162 ~ 171 km

本区間の河床勾配は約 $1/1,400$ で、河床材料が砂利から中砂に変わる遷移区間である。平均年最大流量時の川幅水深比は200程度であり、基本的には複列の砂州形態であるが、一部には曲がりの影響による単列的な砂州を形成する区間もある。

④ セグメント 2-2 (2) : 132 ~ 162 km

この区間の河床材料は0.4 mmの中砂であり、河床勾配は砂河川としては急で $1/2,400$ 程度である。旧河道に相当する自然堤防帯が多くあり、河道位置の変遷が激しかったことを物語っている。ただし、自然堤防帯の蛇行程度はあまり大きくない。これは現況河道から推定すると、平均年最大流量時の川幅水深比が100 ~ 200程度と大きいため、多列砂州や河道内に島が発生したためと考えられる。現況の河道は、直線状の区間は基本的に複列砂州であり、川幅の狭い所や曲がりの部分で単列的な砂州となっている。なお、1968年に154 km地点に完成した利根大堰の影響により下流部では河床の低下が発生し、上流部では床止工的機能により河床勾配が緩くなっている。

⑤ セグメント 2-2 (3) : 120 ~ 132 km

この区間は渡良瀬川の合流点から江戸川への分流点までの区間であり、17世紀に洪積台地を切り開かれて造成された河道である。この区間の河床勾配は $1/6,200$ と緩く、130 km地点には洪積層の不動点がある。河床材料の d_{60} は0.4 mmである。砂州のパターンは単列であるが、中出水による多列砂州も見られる。

⑥ セグメント 2-2 (4) : 85 ~ 120 km

この区間の河床勾配は約 $1/4,500$ で、河床材料の d_{60} は0.4 mmである。砂州のパターンは単列的である。

⑦ セグメント 2-2 (5) : 45 ~ 85 km

この区間の河床勾配は約 $1/9,700$ であり、河床材料の d_{60} は0.35 mmである。河道の平面形は緩やかな蛇行を形成しており、その蛇行に応じて湾曲部の外岸側で深掘れが生じている。低水路満杯流量時の概略の川幅と水深の比は60程度である。

⑧ セグメント 3 : 0 ~ 45 km

この区間の河床材料の d_{60} は0.2 mmであり、河口0 km付近になると d_{60} が4.0 mmと大きくなる。河床勾配は下流に向かって高くなり、河口部で数m低くなっている。

以上の概況をとりまとめ表-2.6に示す。

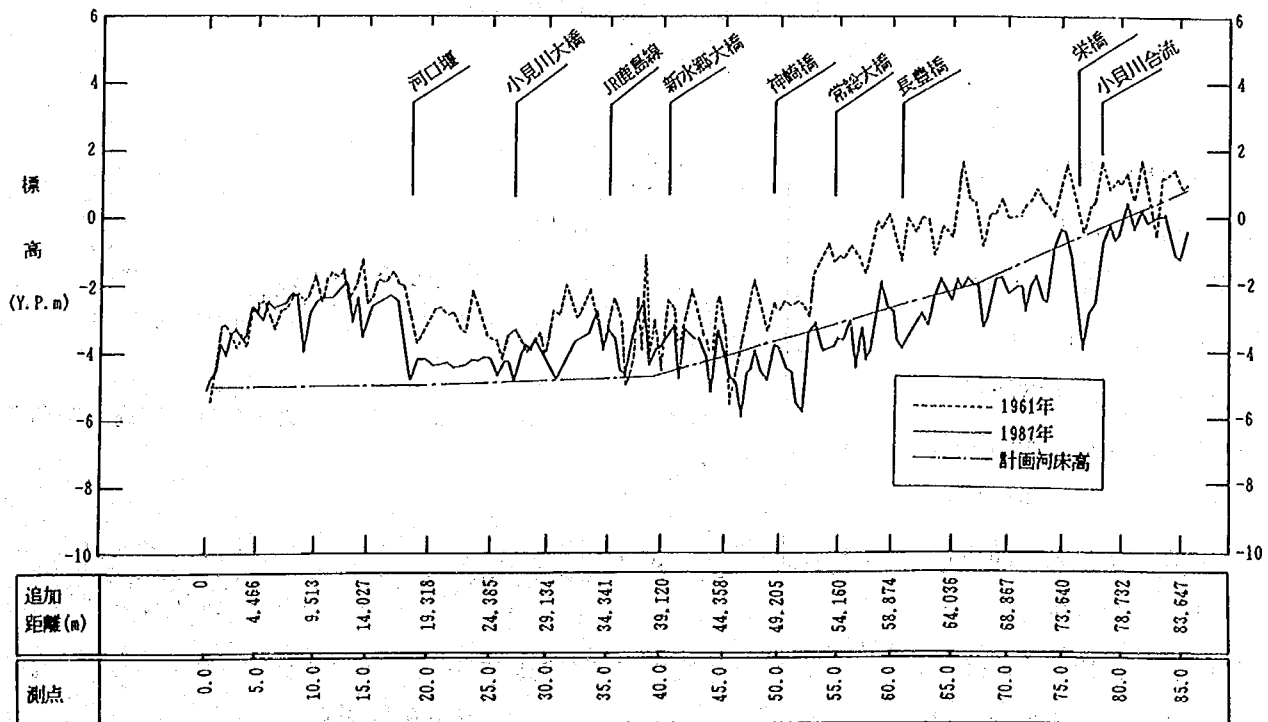
利根川の植生調査地点は、20.0 kmおよび27.0 kmの2地点である。以下では、利根川下流部(0 ~ 85 km)に区間を限定し、植生調査付近の河道特性の把握を行う。

表－2.6 利根川の概況

水源地および標高	大水上山(1,840m)
流域面積	16,829km ²
流域の地形	山地46.8%, 平地48.4%, 河川区域4.8%
幹川流路延長	330.7km(本川186km)
河床勾配	上流(6km区間) 1/500 中流(135km区間) 1/800～1/9,700 下流(45km区間) Level
主要な支川	吾妻川, 烏川, 渡良瀬川, 鬼怒川, 小貝川, 常陸利根川
流量	豊水流量: 250.0m ³ /s 平水流量: 150.0m ³ /s 低水流量: 95.0m ³ /s 渇水流量: 50.0m ³ /s 年平均流量: 220.0m ³ /s 平均年最大流量: 2,515m ³ /s (1938～1987年平均) (1938～1970年の平均値 観測所: 布川(本川76.5km))

2.2.2 河床縦断形

利根川下流部の平均河床高縦断図(0～85km区間)を図－2.56に示す。この図には1961年と1987年の河床横断測量の結果を重ねてある。この図を見ると利根川下流部の河床勾配は徐々に緩くなる形状とはなっておらず、前述したとおり、45kmから85kmの河床勾配が約1/9,700の区間と、0kmから45kmの区間のように下流に向かって河床が高くなる逆勾配の区間に分けることができる。河口から45km付近までは奈良時代には香取の海と言われた汽水湖で、江戸時代までは鬼怒川の河口位置でもあった。この区間は、明治以降の近代改修によってもこの汽水湖的性格は残っているものと考えられ、今でもデルタ的な特性を持っている。この区間の河床縦断形状が下流に向かって逆勾配である主な要因は、後述するよう



図－2.56 利根川の平均河床高の縦断図(0～85km区間)

に下流に向かって低水路川幅が広くなるため、河床高の動的平衡状態を保とうとして水深が浅くなるためと考えられる。

図-2.57に利根川の1961年から1987年までの河床変動量を示す。この図から変動要因を判断すると、45km地点から下流では浚渫による河床低下が主因となっており、また図-2.56によれば平均河床高は1987年時点で計画河床高以上にある。45km地点より上流では砂利採取が河床低下の主因であり、しかも平均河床高は計画河床高より低くなっている。

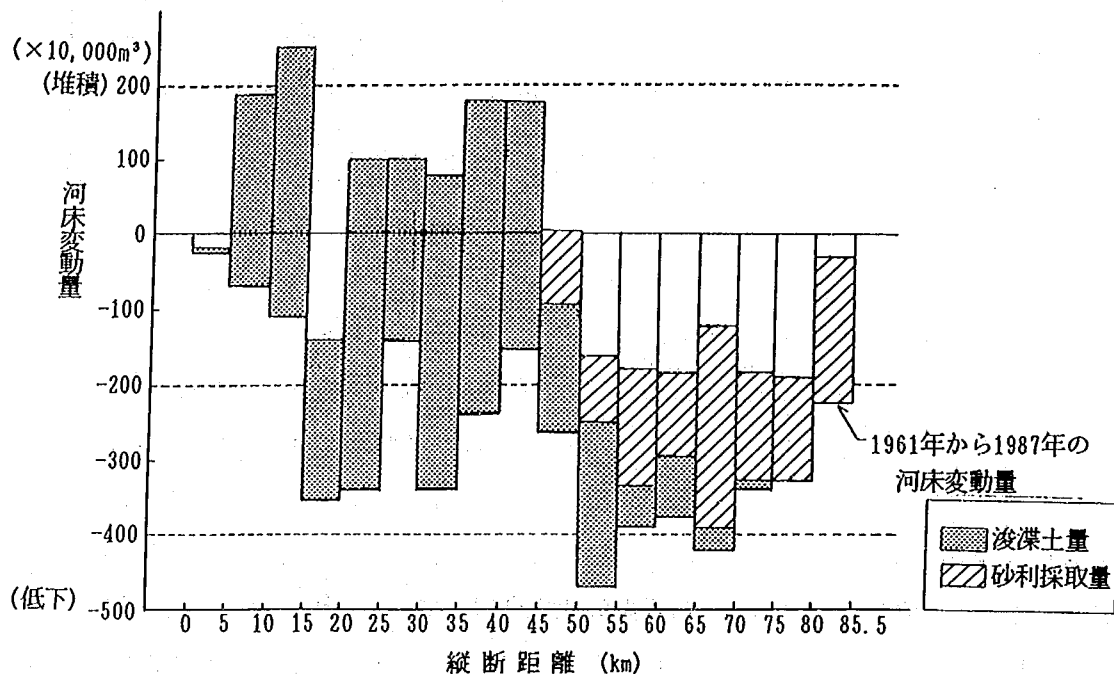


図-2.57 利根川河床変動量図

2.2.3 低水路幅と堤間幅

低水路幅と堤間幅の縦断変化を図-2.58に示す。利根川の低水路幅は、85km～50km区間では約300m、50km～20km区間では300～500m、さらに0km～20km区間では600～800mと下流に向けて広がっている。前述したとおり、45km地点より下流の河道は、1961年以降に浚渫により川幅を拡幅した区間である。このため人為

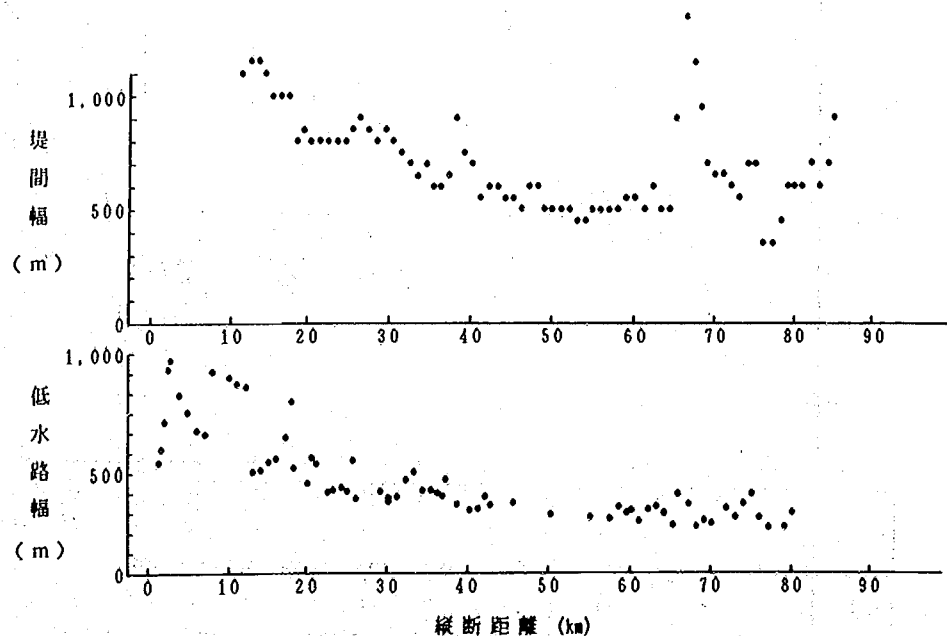


図-2.58 利根川の低水路幅と堤間幅の縦断変化図

的改変により水面幅が広くなり、植生の生育環境に変化を与えていると考えられる。堤間距離も同様に下流に向かって広くなる傾向にあり、60km～10km区間は500mから1,100mと緩やかに広がっている。また、66km付近の左岸側は高水敷上にゴルフ場があるため、堤間距離が部分的に広がっている。

2.2.4 調査地点の横断面形

植生調査を行った利根川20.0kmの横断面図を図-2.59に、27.0kmの横断面図を図-2.60に示す。これらの図には1958年から1991年までの横断面形の経年変化を併せて示している。これらの図から1965年から1975年に浚渫が行われ、現在の低水路川幅になったことがわかる。18.5km地点にある利根川河口堰（1972年完成）の影響で水位が一定に保たれているため、河床での土砂堆積による河積の減少があったとしても河岸を形成するまでには至らないため、川幅が一定に保たれているといえる。これらの地点の人為的に造成した場所以外の高水敷は、普段からも湿地化している特徴にある。この高水敷上の植生の生育条件を支配する水位の関係は2.2.11で述べる。

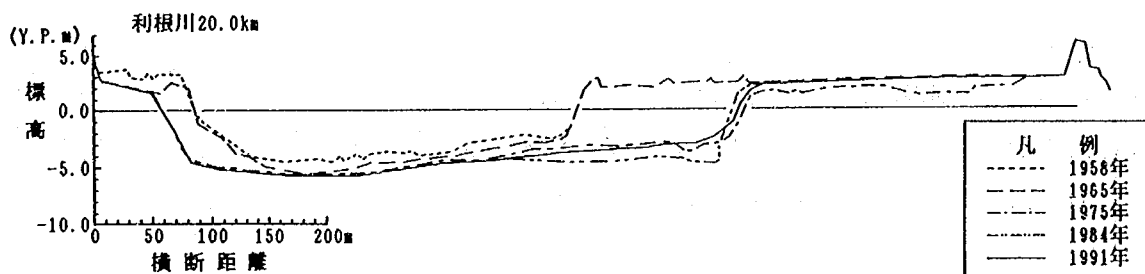


図-2.59 植生調査地点の横断面図（利根川20.0km）

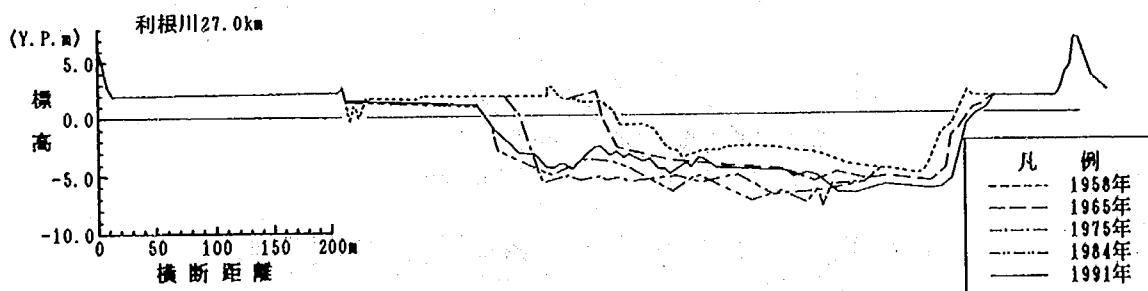


図-2.60 植生調査地点の横断面図（利根川27.0km）

2.2.5 河床材料

利根川0km～85km間における低水路左右岸および中央部分の横断方向3点の河床材料の平均粒径の縦断分布を図-2.61に示す。この図から45kmを境として上流部の約0.4mmより、下流部の0.2mmへと変化していることが分かる。横断方向の河床材料の粒径を見ると、低水路中央部は比較的粒径の変動が少ないが、河岸寄りでは水深の変化や流速の変化に応じて細かいものが堆積し得る環境にあるため変動が大きくなっている。

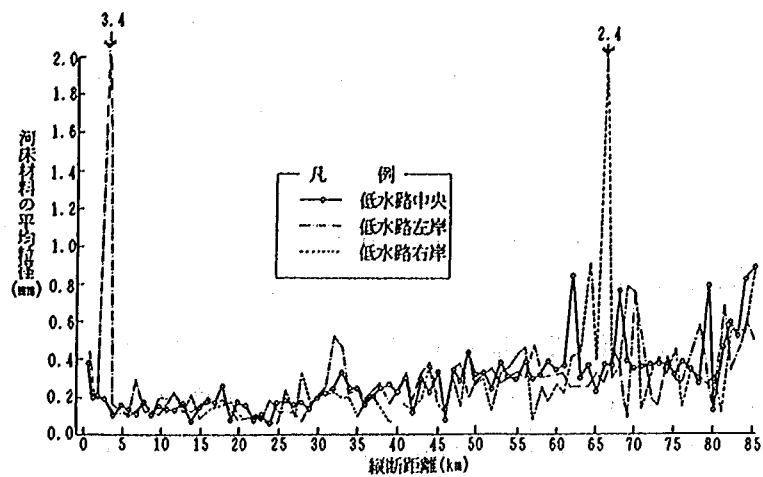


図- 2.61 河床材料の平均粒径の縦断分布

2.2.6 高水敷の表層材料の粒度分布

植生調査を行った利根川20.0km地点の高水敷の表層材料の粒度分布を図- 2.62 に示す。河床材料の平均粒径は約0.2mmで細砂に属する。しかし、高水敷上の表層材料の粒度分布は水際付近でシルトおよび粘土含有率が90%であり、堤防寄りでシルト粘土が75%，細砂および中砂が25%へと変化する。同

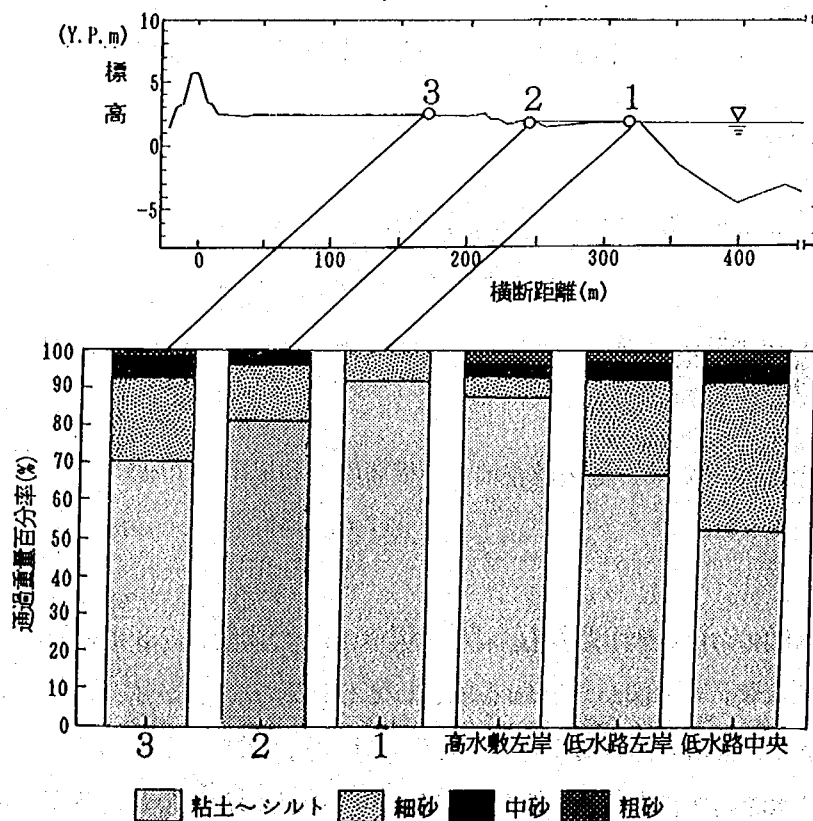


図- 2.62 利根川20km地点の高水敷表層材料の粒度分布図

様に、27.0 km地点の高水敷表層材料の粒度分布を図- 2.63 に示す。この地点の河床材料は、20.0 km地点と同様に約0.2 mmであり細砂に属する。高水敷上の表層材料の粒度分布は水際付近でシルト粘土が主であるが、堤防寄りになるほど細砂の含有率が増える特徴にある。以上のようにこれら2地点の高水敷上の表層材料の横断方向の分級は似た傾向となっている。この理由として、洪水時の浮遊砂濃度は河岸付近が最も高く、流速も遅いことから水際部分で細粒土が堆積するものと考えられる。

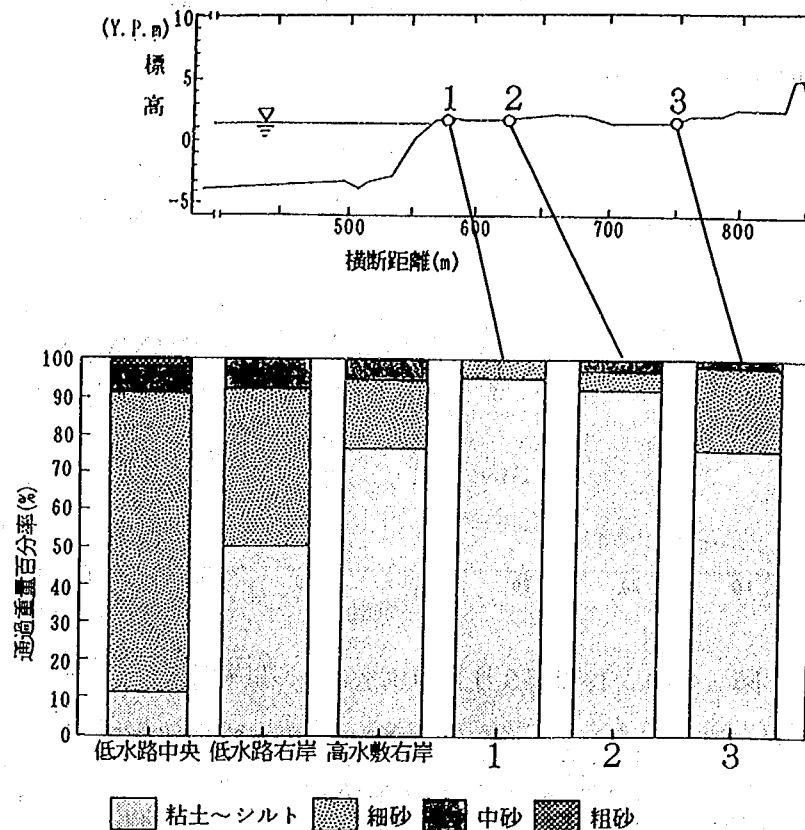


図- 2.63 利根川27 km地点の高水敷表層材料の粒度分布図

2.2.7 洪水時の営力と河道

洪水時の河道特性を評価する場合、不等流計算結果を用いて考察するのが一般的である。しかし、利根川下流部は河床勾配が非常に緩く、不定流効果があるため洪水が異なれば同一流量であってもエネルギー勾配が2倍以上異なる場合がある。さらに、河道の平面スケールや平面形態を規定していると考えられている平均年最大流量を用いて種々の河道特性量の検討を行うとしても、その時の小規模河床波が、砂堆から平坦河床に変化するような水理量となるため、正確に評価し難い問題点がある。したがって1972年9月18日洪水の水理量を空中写真解析結果を使って調べることにした(山本, 1991)。この時の布川流量観測所(利根川76.5 km地点)の流量は約4,500 m³/sである。

図- 2.64に1972年9月18日洪水のピーク流量時の各断面の最大流速(V_{max})、平均流速(V_m)、水面と低水路の平均河床との差(H_{mean})、水面と最深河床高の差(H_{max})、および水面高(H)を示した。この図から植生調査地点(20.0 km~27.0 km)の平均流速は1.6 m/s程度、水面勾配(I_s)は約1/12,000、

水面と低水路の平均河床高の差が約7.0mであることが判断される。これらの値を用いて摩擦速度の自乗値 u_*^2 を算出すると $57 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ となり、無次元掃流力を算出すると1.8程度となる。これらの値を用い図-2.65により小規模河床形態を評価すると平坦河床となる。ここで、これらの水理量を使って高水敷上の堆積条件の評価を試みる。

洪水時に流下する土砂は、縦断方向のみならず横断方向へも分級し、河岸堆積物の特性を支配することによって植生の生育環境へ重大な影響を及ぼす。氾濫原に堆積する土砂の位置、質および量は、洪水

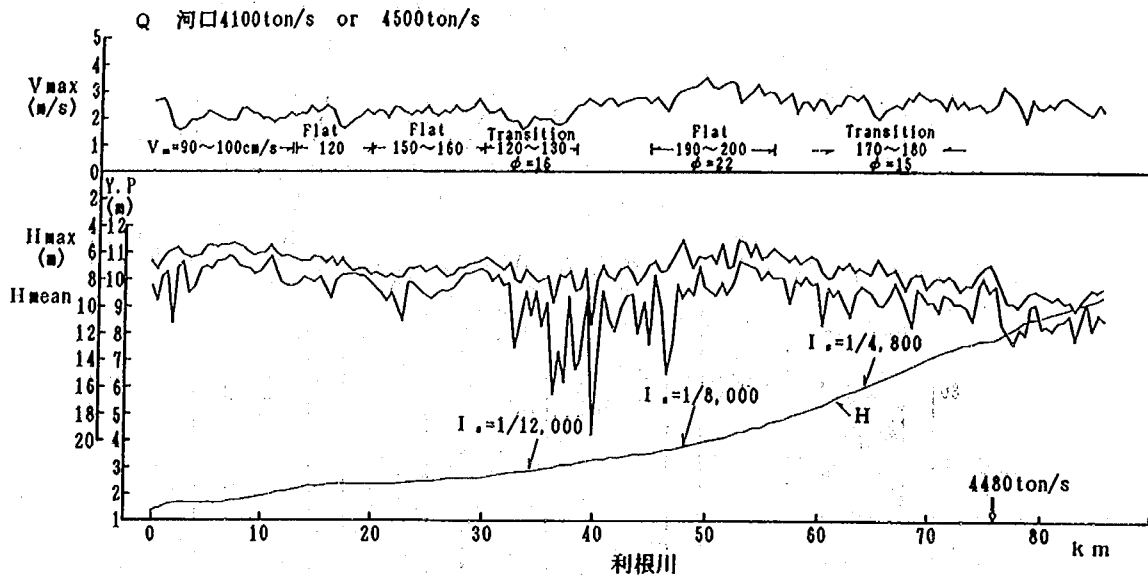


図-2.64 1972年9月18日洪水の水理量縦断変化図

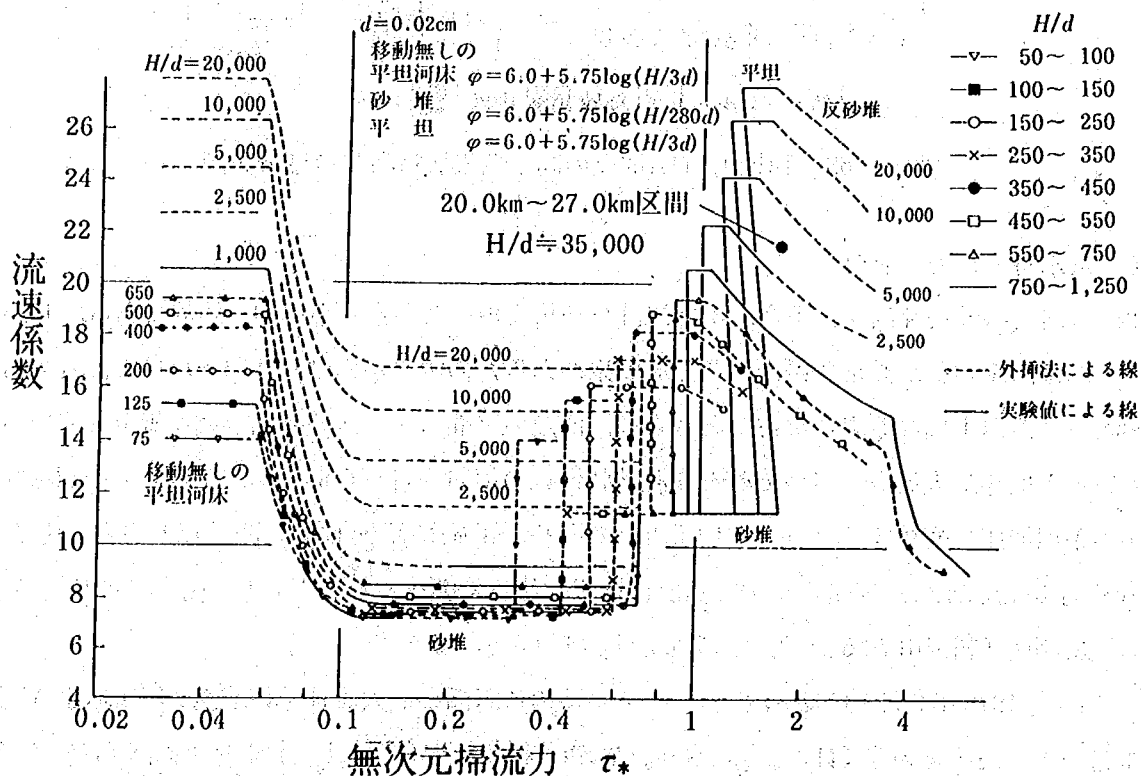


図-2.65 流速係数と無次元掃流力の関係 (平均粒径が0.02 cmの場合)

中の浮遊物質の粒度構成とその濃度，氾濫原上の氾濫水の流速，浸水時間，低水路からの距離および比高に関係する。低水路で浮遊砂的運動形態を持っている粒径集団は，掃流的運動に変わるような水理量の場合で急速に堆積を始めるものと考えられる。すなわち摩擦速度と土砂の沈降速度の比(u_*/W_0)が2.5程度であった粒径のものが，高水敷に乗り上げ， u_*/W_0 が1以下で堆積すると考えられる（図-2.66参照）。この図に $Q=4,500 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の摩擦速度の自乗値 $u_*^2 = 57 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ をプロットすると，河床材料の平均粒径 $d = 0.2 \text{ mm}$ で表層付近まで巻き上がる限界となっていることがわかる。したがって，平均年最大流量（ $Q = 2,515 \text{ m}^3/\text{s}$ ）程度の洪水では河床材料は表層付近まで巻き上がりず，それより細粒分のシルト・粘土が河岸付近に堆積する環境にあることがわかる。これは2.2.6で述べた結果を裏付けるものである。

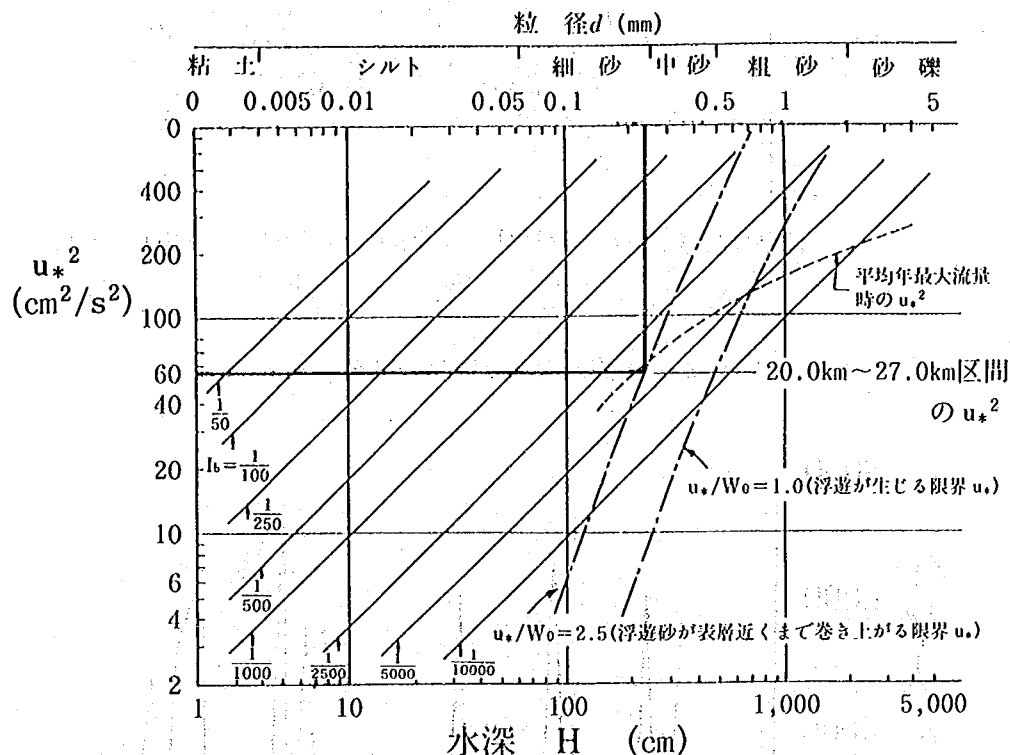


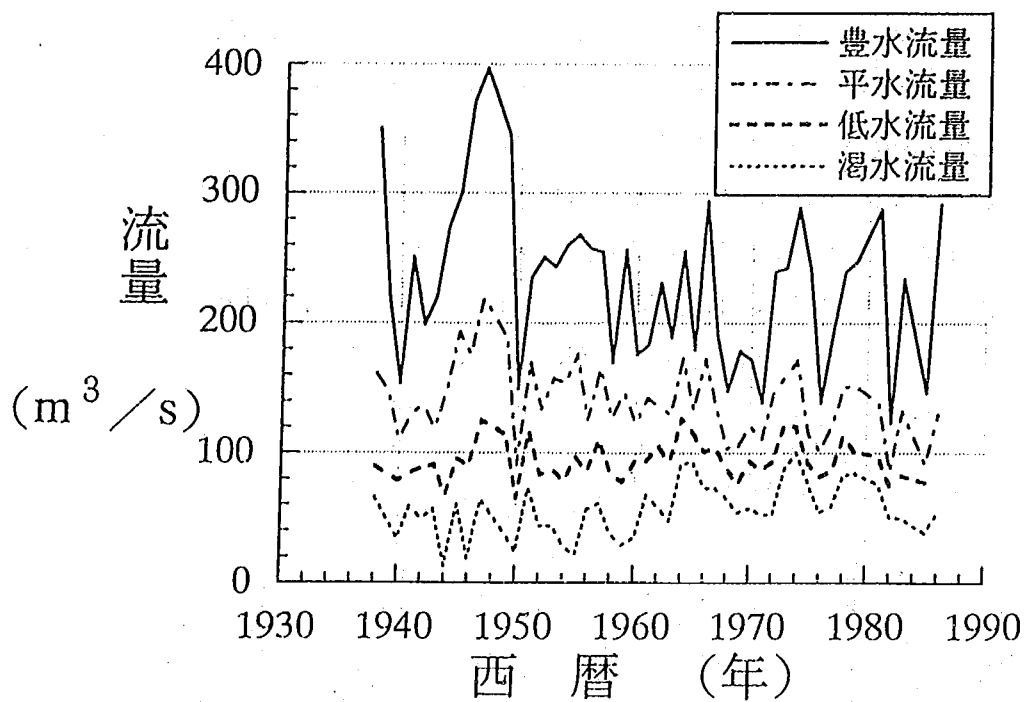
図-2.66 高水敷上の u_*^2 の評価，粒径と平均年最大流量時の u_*^2 および河床材料の粒径と浮遊条件

2.2.8 河道特性量から見たセグメント区分

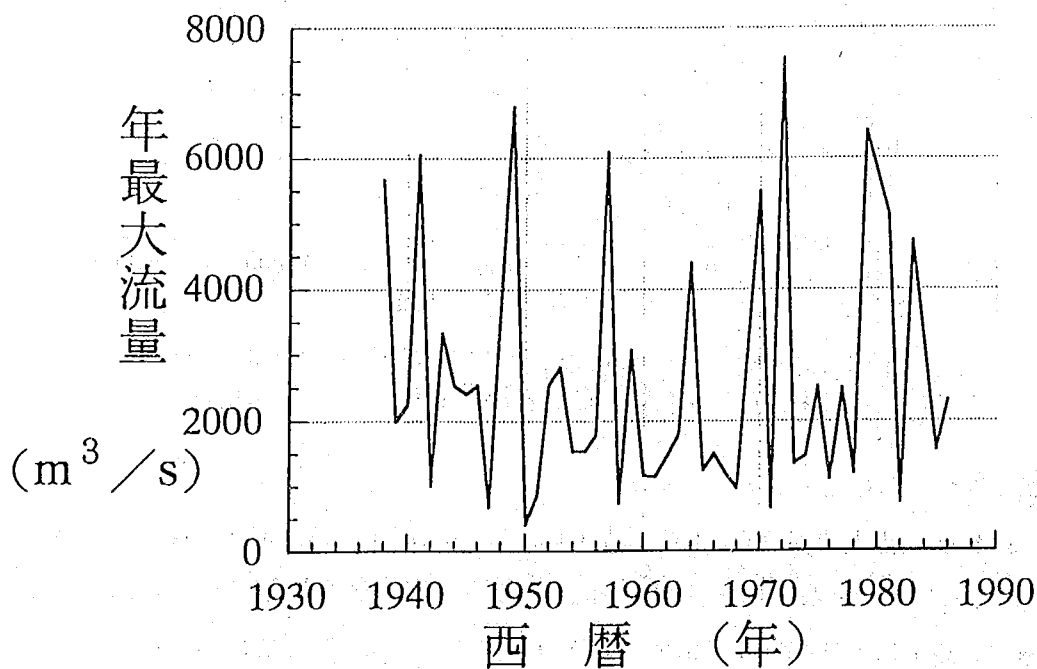
河床材料は，45km地点上流部が約0.4mmであり，下流部が0.2mmである。河床勾配は，45kmから85km区間で約1/9,700であり，0kmから45km区間は下流に向かって高くなる逆勾配からなる2つの区間に分けることができる。以上により45km上下流でそれぞれセグメント2，3に区分できる。

2.2.9 流況の経年変化

布川水位流量観測所（76.35km地点）において1938年～1988年に観測された流況より，豊水，平水，低水および渇水流量の4種類の経年変化を図-2.67に示す。また，上記地点において観測された年最大流量の経年変化を図-2.68に示す。上記観測所における豊水，平水，低水，渇水および年最大の5種類の流量の平均値を表-2.7に示す。



図－ 2.67 流況の経年変化図 (布川)



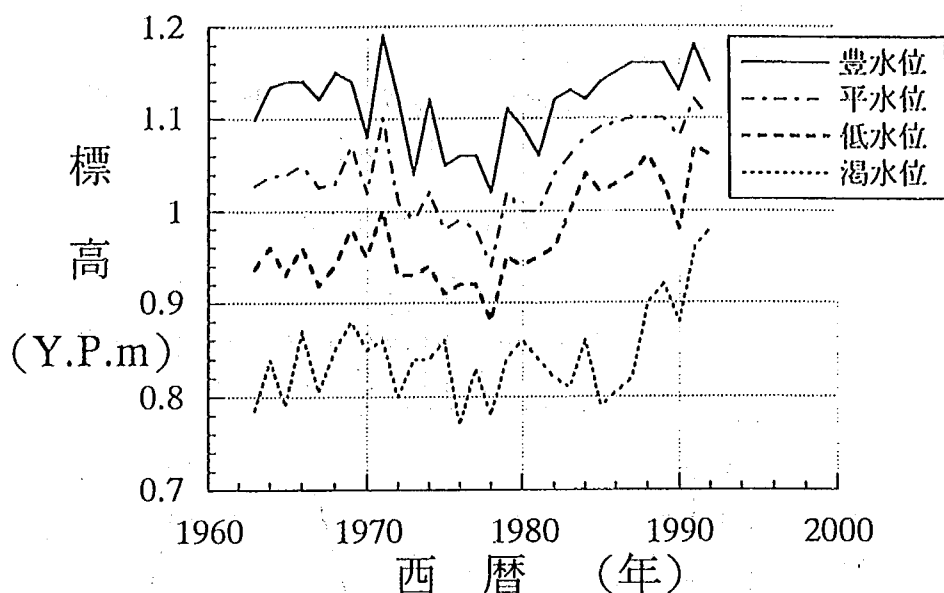
図－ 2.68 年最大流量の経年変化 (布川)

表－ 2.7 近年10年間における位況の平均値 (利根川)

観測所名	平均年 (年)	豊水流量 (m^3/s)	平水流量 (m^3/s)	低水流量 (m^3/s)	渇水流量 (m^3/s)	最大流量 (m^3/s)
布 川	1977～1986	220.8	125.4	89.4	61.7	3073.8

2.2.10 位況の経年変化

植生調査地点（20.0km地点，27.0km地点）に最も近い水位流量観測所である一の分目観測所（31.2km地点）において1963年～1992年に観測された豊水，平水，低水および渇水位の4種類の水位の経年変化を図－2.69に示す。経年変化量が最も大きい豊水位でもその変化の範囲が20cm以下であることから，水位は安定していると考えられる。また，最深河床の経年変化（図－2.55）に対応した水位の低下も見られない。これらの理由として，セグメント3では汽水湖的性質が強いため水位が安定することが考えられる。



図－2.69 位況の経年変化

2.2.11 調査地点における水位の変化

一の分目水位観測所の水位のデータを統計処理し，植生調査地点における位況の変化傾向を把握する。観測所の水位を20.0kmと27.0kmの植生調査地点の水位とする。これは，0km－40km区間の河床勾配はほぼ平坦であり，平水時は川幅が広いため水面勾配がほとんどないと考えられるためである。

(1) 日平均水位の位況

図－2.70に日平均水位の位況を示す。これは，1983年，1988～1992年の6箇年の日平均水位の位況を平均した図である。約75日を境にして位況の傾向が異なっている。すなわち，75日以上では水位は傾き0.6mm/dayの直線的な変化をするが，これ以下では75日間で約0.75mの急激な増加が生じる。水位の年間を通じた変化状況は，他のセグメントに比べて変化範囲が狭くなだらかなのである。

(2) 月平均水位の変化

月平均水位の変化を標準偏差の変動範囲とともにそれぞれ図－2.71に示す。これらは，1983年，1988～1992年の6カ年の月毎の水位から平均値を計算したものである。月平均水位は，1月から7月および11月から12月の非出水期ではほぼ同一の値となり，8月から10月にかけてピークを有する。このピーク

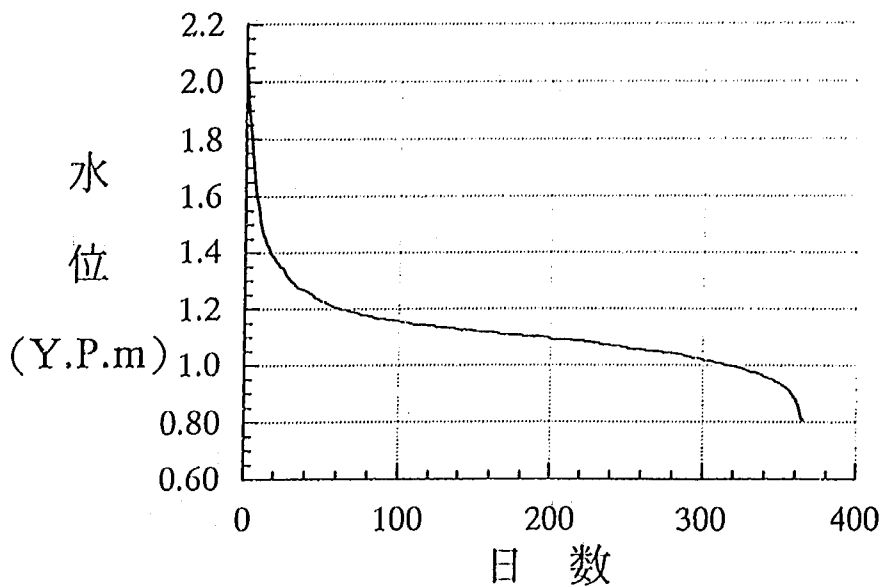


図- 2.70 日平均水位の位況（利根川31.20km地点）

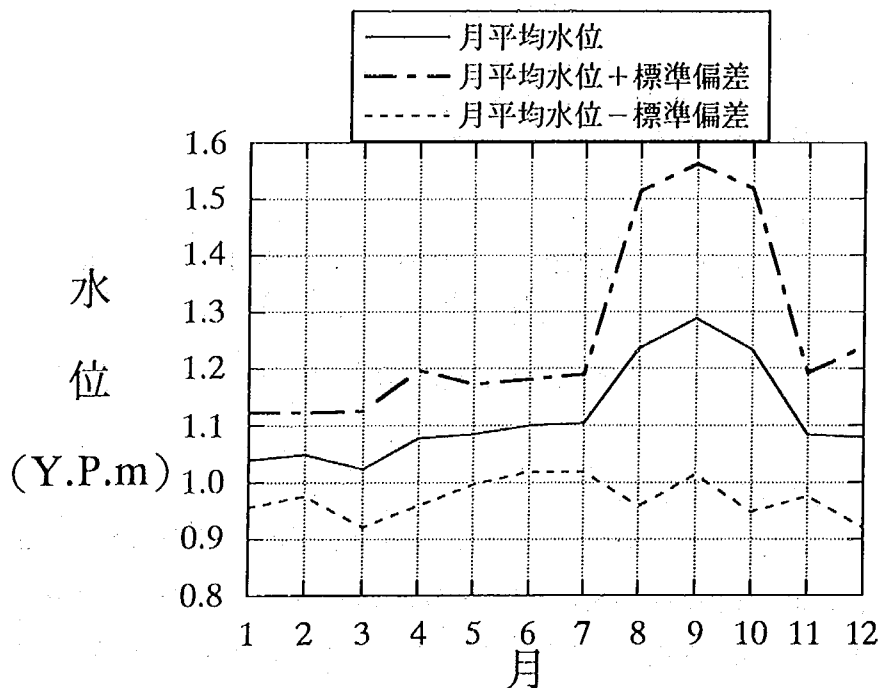


図- 2.71 月平均水位とその標準偏差の変化（利根川31.20km地点）

と非出水期との水位差は約0.20 mである。また水位の標準偏差は、非出水期に約0.10 mと小さく、出水期に約0.28 mと大きくなる。しかし、この変動範囲は狭く、年間を通じてほぼ一定水位となっていることがわかる。

(3) 年最高水位の生起確率年分布

日平均位況変化図より、年内の平均的な水位変化の傾向がわかるが、これより長期の水位変化の状況を年最高水位の生起確率年分布より評価してみる。図- 2.72に定時観測水位および日平均水位の年最大値の生起確率年分布を示す。これら2種類の生起確率年分布は、ハーゼンプロットの方法により求めた。

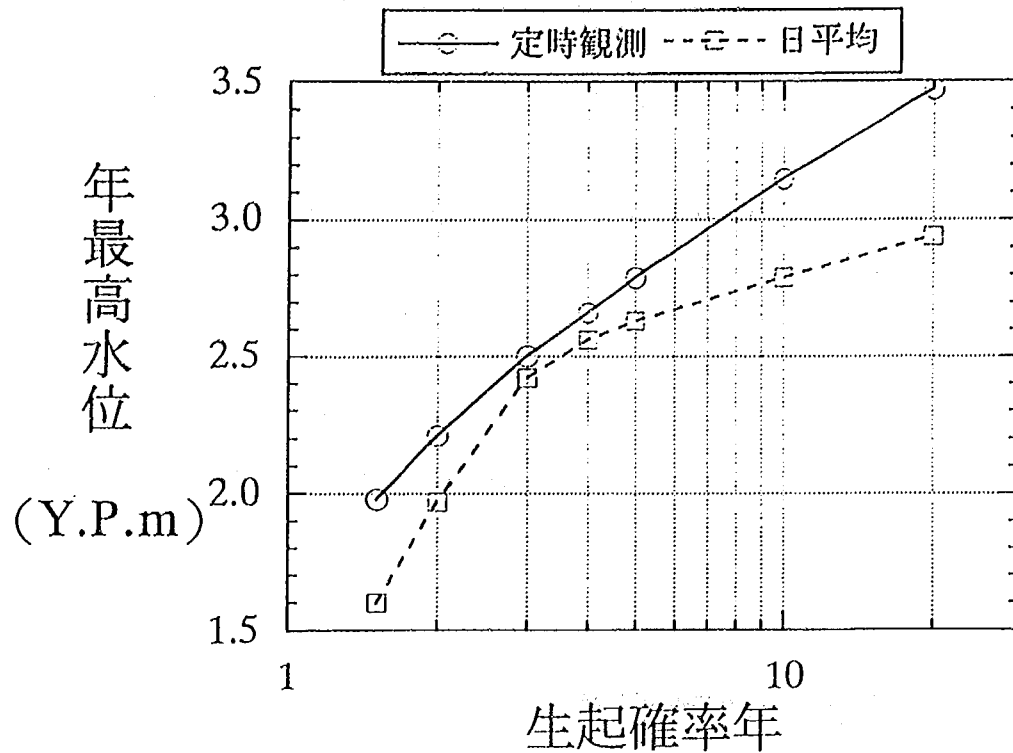


図- 2.72 年最高水位と生起確率年の関係（利根川31.20km地点）

標本数は、それぞれ15個であり、年位況の経年変化図と同じ年次の位況から標本値のデータを作成した。これら2種類の年最高水位のハーゼンプロットにより内挿できる確率年は20年以下となった。日平均水位の年最大値が利根川20km地点と27km地点の高水敷の標高の平均値（約2.3m）と同一になる生起確率年は約3年である。しかし、高水敷の標高以上の水位では、水位が50cm増加するのに対し確率年が約17年増加することより、セグメント3では洪水時に高水敷全体が冠水することは希であると考えられる。

第3章 植物群落の分布形態と植種

河道内における植物群落には、河床材料、中規模河床波、低水路幅、流出特性など、河道特性の場所的变化に応じた変化や、植物群落の発達に伴う時間的变化（遷移）が起こる。時間的变化は時間スケールの取り方によって細分化される。例えば、1年以内の時間スケールは草の発芽から開花そして枯れることに伴う群落の変化に対応し、10年単位の時間スケールでは荒地から樹林に至るまでの変化に対応する。植生が空間的および時間的に変化するため、河道内における植物群落の調査は目的に応じて場所と時間スケールを定めなければならない。本研究ではまず、植物群落の分布を縦断方向にはセグメントにより、横断方向には各セグメントの河道特性を用いて大局的に分類する。このため、セグメント1～3より観測地点をそれぞれ2地点選定し、計6地点の植物群落の分布形態と植種を四季変化にあわせて4回観測を実施した。また、調査地点の植生の経年変化を調べるため、初回の調査より2年後に再調査を行った。

3.1 各セグメントの植物群落の分布形態と植種

3.1.1 調査方法

調査地点は、河道特性による植物群落の分類を行う上で水位のデータが必要なこと、また河道内が一望で植物群落の調査が容易であることの2点に配慮して選定した。そのため水位観測所に近く、道路橋のかかっている地点を選定した。調査地点と調査年月日を表-3.1にまとめて示す。調査地点では周辺の植物群落の分布形態と植種を踏査および写真撮影により調べた。また、調査地点の横断測線上における植物群落の堤防のり先からの距離を巻き尺で測定した。そして、それぞれの地点の1989年に測量された横断面形に植物群落の分布を記入し、植物群落の標高を求めた。

表-3.1 調査地点および調査年月日

セグメント	調査地点	冬	春	夏	秋	2年後
1	鬼怒川96.0km地点, 55.0km地点	'91.2.1	'91.5.8	'91.8.15	'91.10.4	'93.9.28
2	鬼怒川32.0km地点, 16.5km地点	'91.2.1	'91.5.8	'91.8.15	'91.10.4	'93.9.28
3	利根川27.0km地点, 20.0km地点	'91.2.7	'91.5.2	'91.8.11	'91.10.2	——

3.1.2 セグメント1の植物群落の分布形態と植種

セグメント1では砂州が発達しており、この上での植物群落が特徴的である。これより、以下ではこの砂州上の植生について地点ごとにとりまとめる。

(1) 鬼怒川96.0km地点

河道内の地形と植物群落の概略の分布を図-3.1に示す。高水敷では、低水路近傍より堤防へと近づくにつれツルヨシ、灌木類および高木類が繁茂している。高木類はアキグミ、ニセアカシアなど、草地で強い日射の条件下で急速に生長しうる植物が主であり、河道内に特有な植物群落ではない。

写真－1～3には1979年12月、1985年9月および1990年3月に撮影された95.25km～97.0km区間の空中写真を示す。1979年と1985年では砂州の形状は全く異なる。しかし、1985年と1990年の空中写真(写真－2, 3)の砂州形状は大局的に見るとほぼ同一である。したがってこの区間の砂州は近年固定化傾向にあると考えられる。この地点では96.75km区間周辺の左岸側の砂州(以下、96.75km砂州と呼ぶ)、96.25km～96.75km区間の左岸側の砂州(以下、96.5km砂州と呼ぶ)および95.75km～96.25km区間の右岸側の砂州(以下、96.0km砂州と呼ぶ)に繁茂する植物群落について主に調査した。

・96.75km砂州上の植物群落

冬、春、夏、秋そして2年後の調査時に図－3.1の①の位置から右岸方向を望んで撮影した砂州状況を写真－4～8に示す。冬と春の調査(写真－4, 5)では、砂州上に植物が見られない。夏の調査(写真－6)ではヨモギやスギナが粗砂で形成されている砂州の周縁部の水際にのみ繁茂している。しかし、礫で構成されている砂州頂部では、砂州の上流端に近い領域を除けば植生の繁茂は見られない。一般に、砂州の上流端は砂州中流部より平水位との比高が小さいことから、砂州上の水分供給がよく植生が繁茂し易いと考えられる。これらの植物は秋の調査(写真－7)では全て消失している。砂州の上中流部に繁茂した植生は、砂州の移動により生育領域全体が消失した。2年後の調査(写真－8)では砂州の幅が広くなり秋の調査(写真－7)で瀬であったところが砂州の一部になっている。水際にはヤナギ類の幼木が繁茂している。砂州が新たに形成された領域には植生は見られないが、秋の調査時に既に砂州が形成されていた領域には植生が繁茂している。この砂州上の植物群落の分布は、砂州の周縁部に沿った水際から砂州の頂部へと広がっている。また、植種はヨモギやスギナなどの草類から灌木類であるヤナギに変化している。

・96.5km砂州上の植物群落

春、夏、秋そして2年後の調査時に図－3.1の②の位置から上流方向へ向かって撮影した砂州状況を写真－9～12に示す。春と夏の調査(写真－9, 10)では砂州の下流端から中央部までの広い楕円形領域で植物群落が生育している。そして、この楕円形領域の下流端と上流端の周辺に被度の高い部分が見られる。また、この楕円形領域を取り囲むように植物群落が帯状に分布している。砂州の形状から推定して、写真上右側の砂州が最初にあり、その後に左側の砂州が次第に形成されたと考えられる。したがってこの帯状の植物群落は、新旧の砂州のつなぎ目に沿って形成されたと考えられる。秋の調査(写真－11)では、楕円形領域内の植生を残してその周りに新たに砂礫が堆積し砂州の形状の変化が生じている。2年後の調査(写真－12)においても同様な砂州の変形が生じている。以上より、砂州周縁部は出水ごとに形を変えるが、楕円形領域を中心として大局的に砂州の流下(移動)は生じていないと言える。2年後の調査時にも前述した砂州のつなぎ目に植物群落が形成されており、また砂州の上流端の水際近くにヤナギが点在している。したがってこの砂州では、楕円形領域を中心としてそれを取り囲むように植物群落が形成されているといえる。また、植物群落は洪水後に消失することなく、砂州の変形によって砂州の上流端側に移動することが分かる。

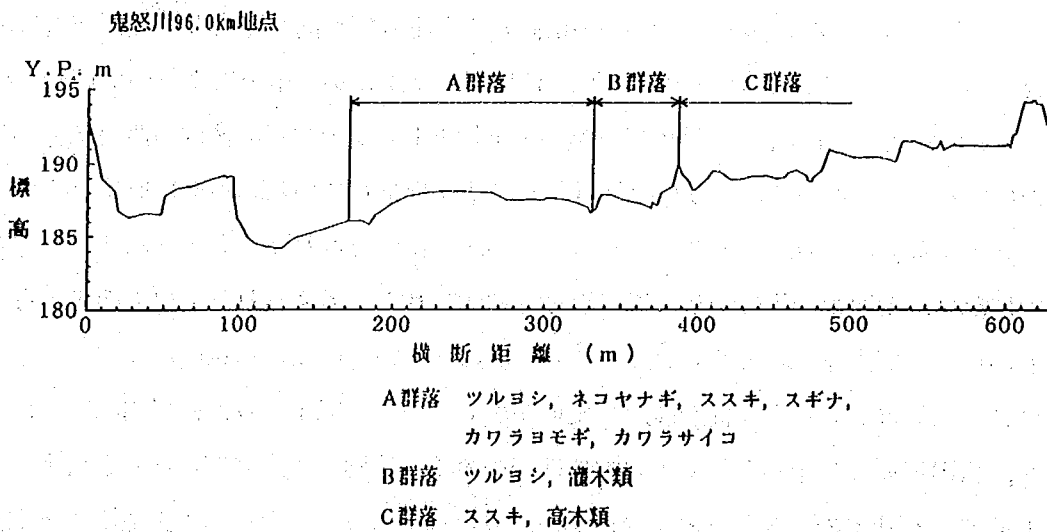
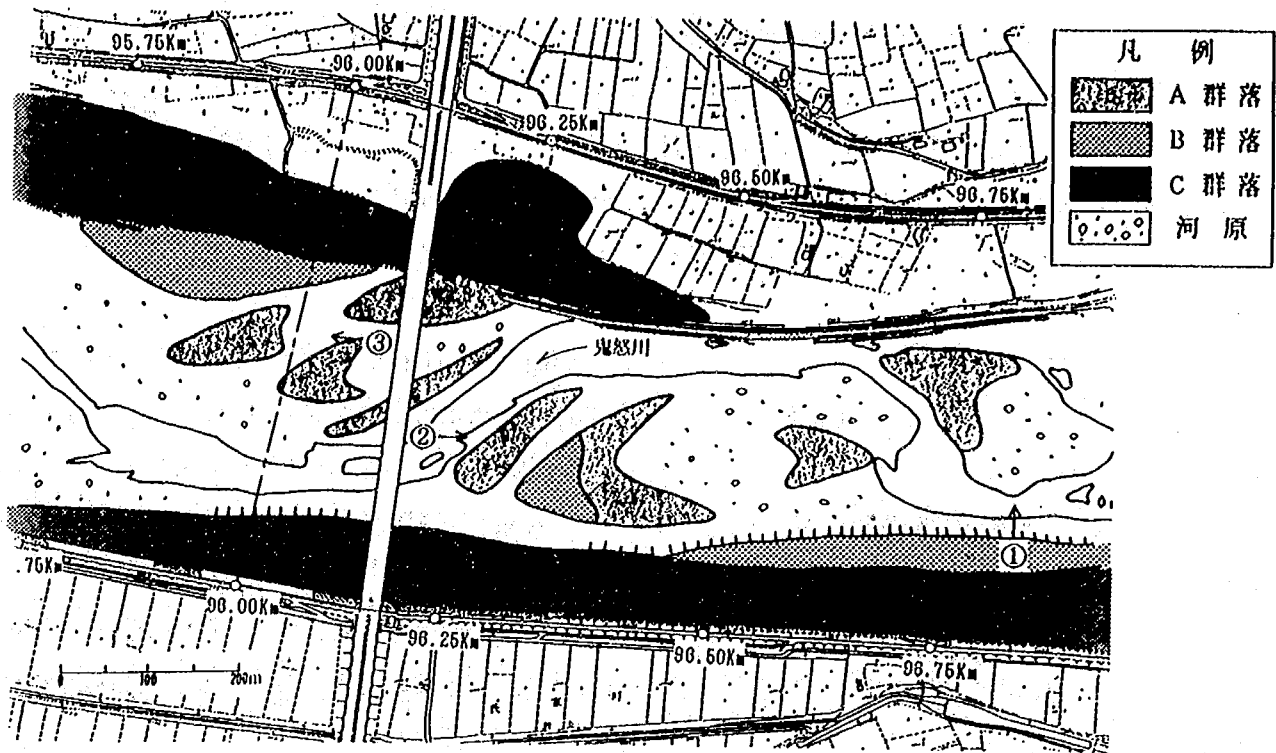


図- 3.1 植物群落の分布の平面および横断図 (鬼怒川 96.0 km 地点)

・ 96.0km砂州上の植物群落

夏, 秋そして2年後の調査時に図-3.1の③の位置から下流方向に向かって撮影した砂州状況を写真-13~15に示す。夏の調査(写真-13)では砂州の中央部にツルヨシを主体としてヨモギ, スギナ, カワラヨモギ, カワラサイコやヤナギが点在する植物群落が形成されている。砂州の下流端では周縁部に, 上流部は砂州のつなぎ目に植生が繁茂している。秋の調査(写真-14)では96.0km砂州の上流部は大きく侵食され, 写真の下側に96.5km砂州の下流端が見えている。この時点では, 夏の調査では砂州の中央部にあった植物群落が砂州の上流端に位置している。2年後の調査(写真-15)においてもこの植生群落の位置は砂州の上流部に位置している。また, 96.5km砂州の下流端でもさらに堆積が生じ, これと96.0km砂州の間に瀬が形成されている。この瀬の流れは左岸方向へ向かい, 対岸に水衝部が形成されている。

(2) 鬼怒川55.0km地点

図-3.2に河道内の地形と植物群落の概略の分布を示す。河岸は, ツルヨシや灌木類に覆われている。高水敷は, 1991年頃は毎年冬に火入れが行われていたため, ススキにより一面覆われている。次に, セグメント1に特有の繁茂領域である砂州について調べてみる。写真-16~19に1966年4月, 1979年12月, 1985年9月および1990年3月に撮影された54.5km~56.5km区間の空中写真を示す。1966年から1985年では砂州形状は大きく変化した, 1985年と1990年の比較では砂州形状は, 大局的に見てほぼ同一である。したがって, この区間の砂州も96.0km地点と同じく近年固定化の傾向にあると考えられる。この地点では, 54.50km~55.25km区間の右岸側の砂州について調査した。

春, 夏, 秋そして2年後の調査時に図-3.2の①の位置から上流方向に向かって砂州の上流端を撮影したのが写真-20~23である。春の調査(写真-20)では砂州に植物群落は形成されていないが, 夏の調査(写真-21)では砂州の上流端の周縁部に植物群落が形成されている。そして, 秋の調査(写真-22)では植生が繁茂していた領域の砂礫が移動して植生は破壊されている。2年後の調査(写真-23)は夏期の後半に行ったので夏の調査と同じく周縁部に沿って植生が繁茂している。砂州の上流端は出水時に侵食されるため, 経年的な植生繁茂が困難な領域と考えられる。

次に, 冬, 春, 夏, 秋そして2年後の調査時に図-3.2の②の位置から下流方向へ向かって撮影した砂州の中流から下流端の状況を写真-24~28に示す。冬, 春, 夏の調査(写真-24~26)では96.0km地点の砂州と同じく砂州のつなぎ目に植物群落が形成されている。この群落の構成種は, ツルヨシ, ネコヤナギ, ヨモギ, スギナ, ススキ, ツユクサである。秋の調査(写真-27)では, 写真の向かって左に見えるヤナギにゴミが引っかかっていることから, 植物群落が洪水によって破壊されたと考えられる。2年後の調査(写真-28)では写真に向かって右側にも水流があり, 度重なる洪水によって砂州の変形が生じている。しかし, 砂州上のヤナギは, 繁茂領域を拡大している。砂州の中流から下流の植物群落は, 水際から離れた位置に分布しているため, 洪水による破壊作用に耐えて分布領域を拡大している。

以上の4つの砂州の調査より, この調査地点の砂州上の植物群落の特徴として次の5つがあげられる。

- ① 砂州上の植物群落の分布形態は砂州上に楕円形に繁茂する分布形と, 砂州の周縁部に帯状に繁茂

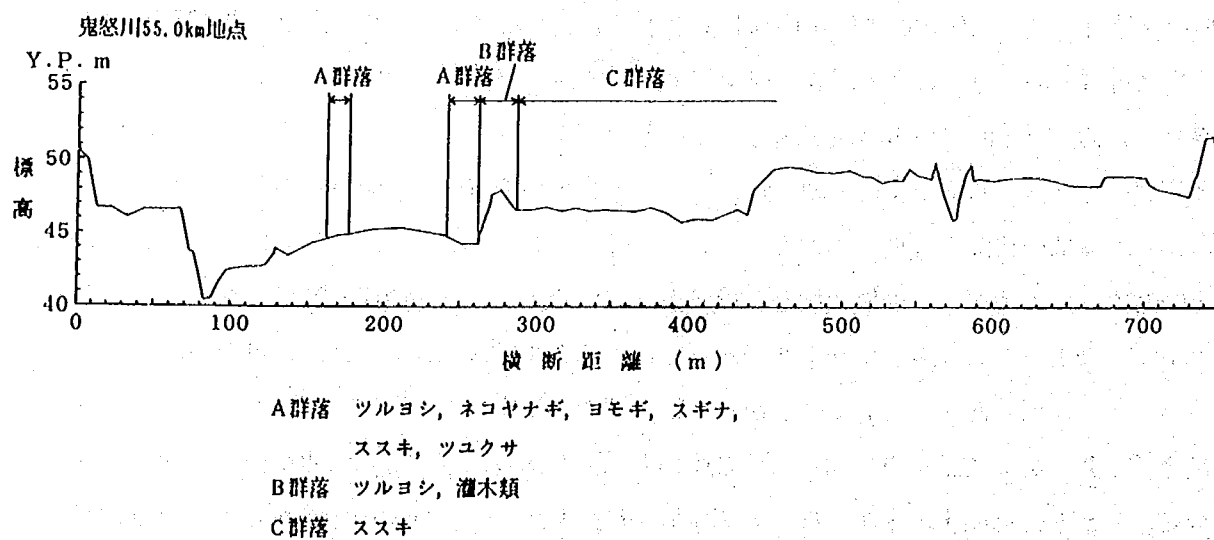
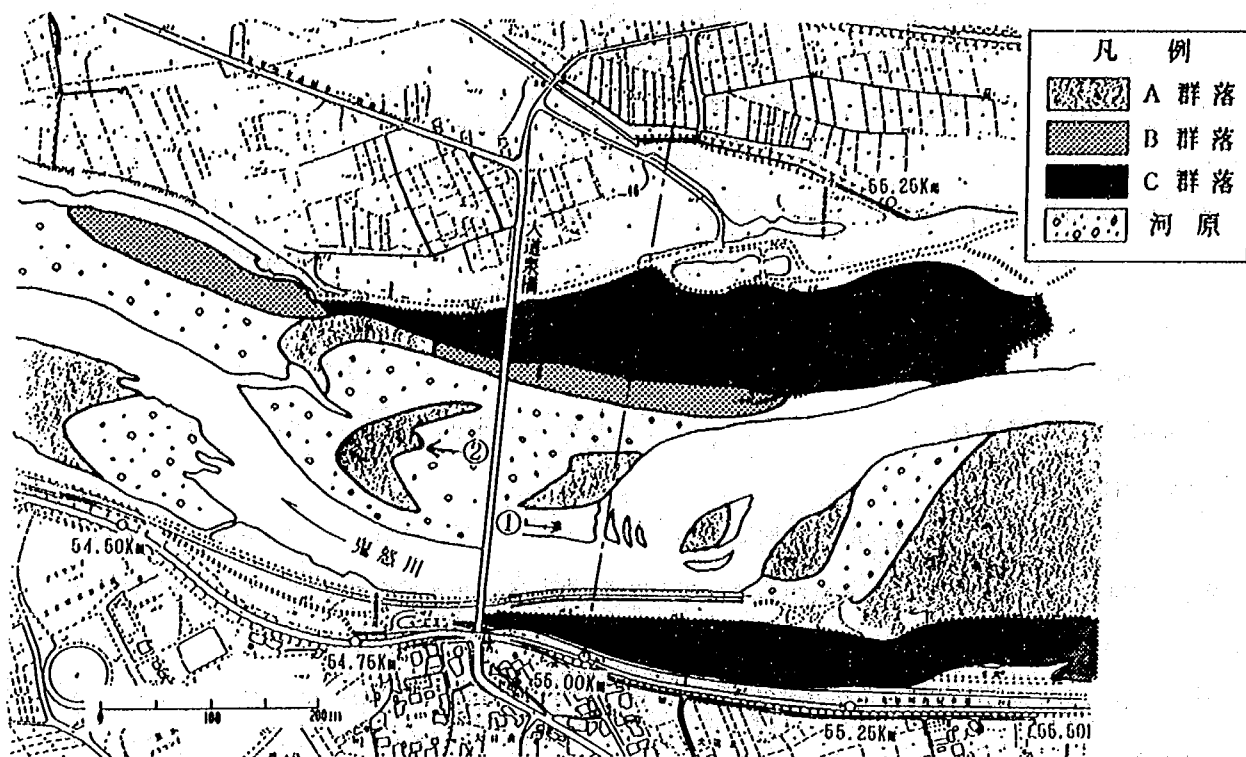


図- 3.2 植物群落の分布の平面および横断面図 (鬼怒川55.0km地点)

する2タイプがある。

② 砂州上に繁茂する植物は、主にツルヨシである。このほかの草類では、スギナ、ススキ、カワラヨモギ、カワラサイコなどが繁茂している。灌木類では、ヤナギが点在している。

③ 砂州周縁部（特に砂州下流端）は粗砂で構成され、平水時に水分供給があるため、植物が最初に定着し易い領域である。しかし上流端では、砂州の変形に伴い植物群落は消失する。

④ 砂州の変形によって新たに形成された砂州の部分と変形前にもあった砂州の部分のつなぎ目は、植物の定着し易い領域である。

⑤ 砂州下流端に形成されていた植物群落は、洪水後に消失することではなく、砂州の変形により見かけ上、砂州の上流端に移動する。

3.1.3 セグメント2の植物群落の分布形態と植種

セグメント2に特徴的な地形は、低水路の部分的な河床低下に伴って形成されたテラスである。テラス上の植物群落を中心にセグメント2の植物群落の分布と植種の調査結果を以下に示す。

(1) 鬼怒川32.0km地点

図-3.3に河道内の地形と植物群落の概略の分布を示す。左岸は根固めブロックやブロック張り護岸工が設置されている。また、後に写真で示すように、(写真-34~38)、新鬼怒川橋の下流の左岸の高水敷上では車やバックホウによる作業が行われていた。左岸側は、これらの人為的作用のため、テラス上を除いて植物群落が右岸の自然状態の群落と異なっていた。よって以下では右岸側の植物群落と左岸のテラス上の植物群落について検討する。

・右岸側の植物群落

冬、春、夏、秋そして2年後の調査時に図-3.3の①の位置から上流方向へ向かって撮影した河岸状況を写真-29~33に示す。冬の調査(写真-29)では植物が枯れているため植種と植物群落の分布形態の判別ができない。しかし、春の調査(写真-30)では植物群落の分布形態は帯状であった。この帯状分布は次の3つに分けられる。

① 水際からテラスまでの河岸の植物群落は、オオクサキビ、ヤナギタデ、オギ、セリそしてクサヨシによって構成されている。

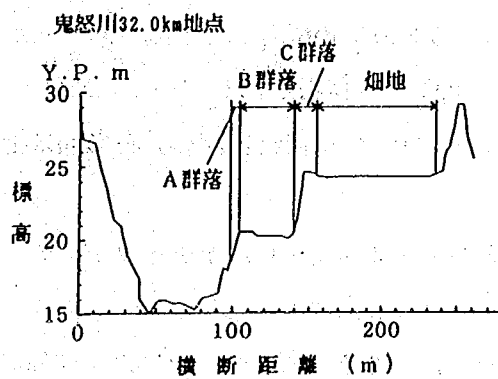
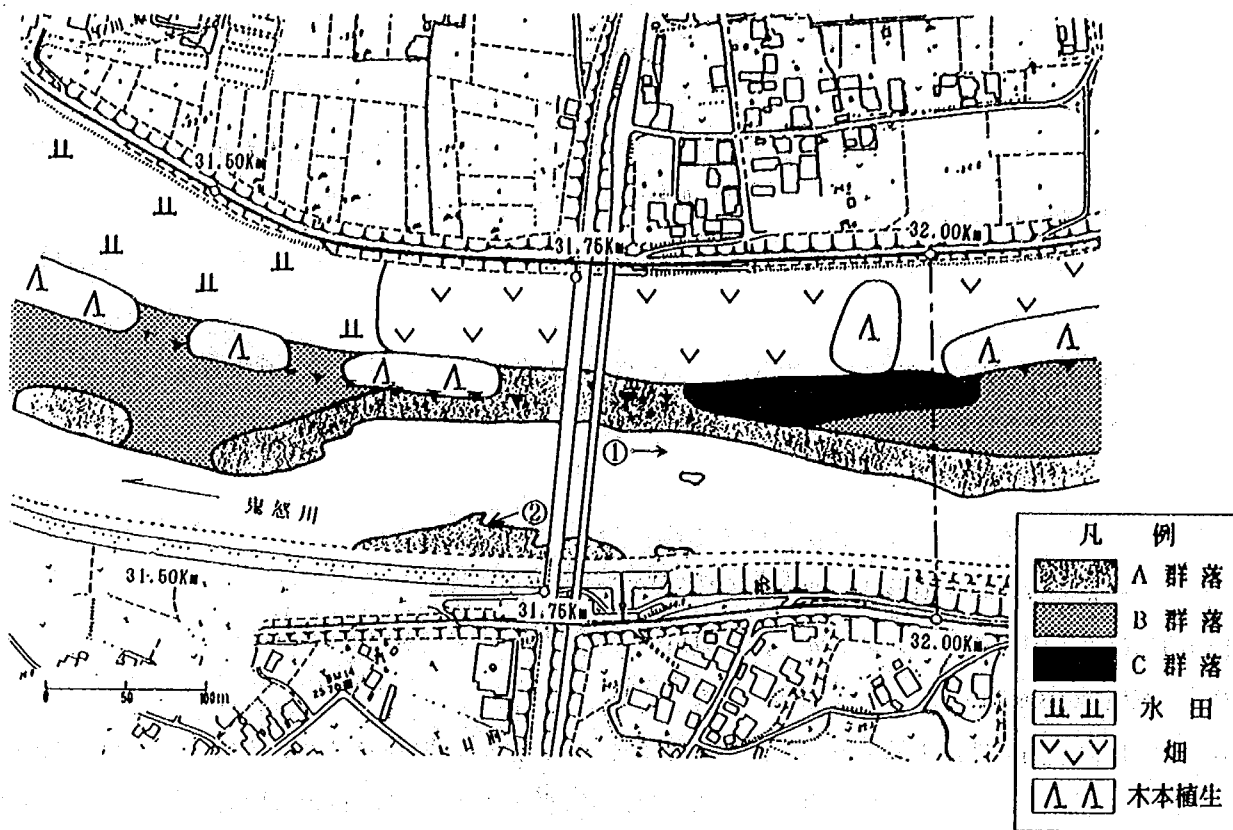
② テラス上の植物群落は、ギシギシ、オギ、セリそしてクサヨシによって構成されている。

③ テラスから高水敷までの河岸の植物群落は、タケによって構成されている。

夏の調査(写真-31)では①と②の植物群落はツタによって覆われている。秋の調査(写真-32)ではツタは洪水によって流送されたため消失しており、テラス上にゴミが堆積している。2年後の調査(写真-33)では③の植物群落の構成種であるタケによって水際からテラスまで覆われている。

・左岸側のテラス上の植物群落

冬、春、夏、秋そして2年後の調査時に図-3.3の②の位置から下流方向へ向かって撮影した河岸状況を写真-34~38に示す。冬の調査(写真-34)ではヤナギ以外の植物は枯れており、テラスの地形



A群落 オオクサキビ, ヤナギタデ, オギ,
セリ, クサヨシ
B群落 ギシギシ, オギ, セリ, クサヨシ
C群落 タケ

図-3.3 植物群落の分布の平面および横断図 (鬼怒川32.0km地点)

がはっきりと現れていた。テラス上は縦断方向に凹凸がのびる微地形が形成されている。春と夏の調査（写真－35, 36）ではこの微地形に対応して異なる植種が繁茂していた。すなわち、凸部はギンギンが繁茂しており、凹部はオギ、セリ、クサヨシなどが繁茂していた。秋の調査（写真－37）では、凹部は冠水しており植物は見られない。また凸部の植生は、洪水時に冠水し流水により下流に倒れていた。テラス上の植物は、洪水時に下流に倒され、秋には冠水するといった厳しい環境に繁茂していることがわかる。2年後の調査（写真－38）では、テラスの下流端においてヤナギが生育し分布範囲を広げていた。

② 鬼怒川16.5 km地点

16.5 km地点の右岸のテラスを写真－39（図－3.4の①の位置から下流方向に向かって撮影）に示す。写真に向かって中央から左の部分がテラスであり、右の部分の、畑として利用されている場所が高水敷である。この地点の植物群落についてはこのテラス上の植生を中心に考える。夏と秋の調査時に図－3.4の②の位置から上流方向へ向かって撮影した河岸状況を写真－40, 41に示す。夏の調査（写真－40）では植物群落の分布形態は帯状であった。この帯状分布は55.0 km地点と同様に次の3つに分けられる。

① 水際からテラスまでの河岸の植物群落は、オオクサキビ、ヤナギタデ、オギ、クサヨシによって構成されている。

② テラス上の植物群落は、ギンギン、オギ、セリ、クサヨシ、カワラメドハギ、そしてカワラケツメイによって構成されている。

③ テラスから高水敷までの河岸の植物群落は、タチヤナギとタケによって構成されている。

以上の調査より、この調査地点の植物群落の特徴として次の4つがあげられる。

① 植物群落の分布形態は帯状であり、水際とテラス間の河岸上、テラス上そしてテラスから高水敷の河岸上と大きく分けられる。

② 植種は、水際とテラス間の河岸上ではオオクサキビ、ヤナギタデ、オギ、クサヨシ、テラス上ではギンギン、オギ、セリ、クサヨシ、カワラメドハギ、カワラケツメイ、テラスと高水敷間の河岸上ではタチヤナギ、タケである。

③ テラス上の植物は洪水時に冠水し下流方向に倒される。非常に厳しい環境の繁茂領域と考えられる。

④ 32.0 km地点では①に示した分布領域が2年後にすべてタケによって覆われた。

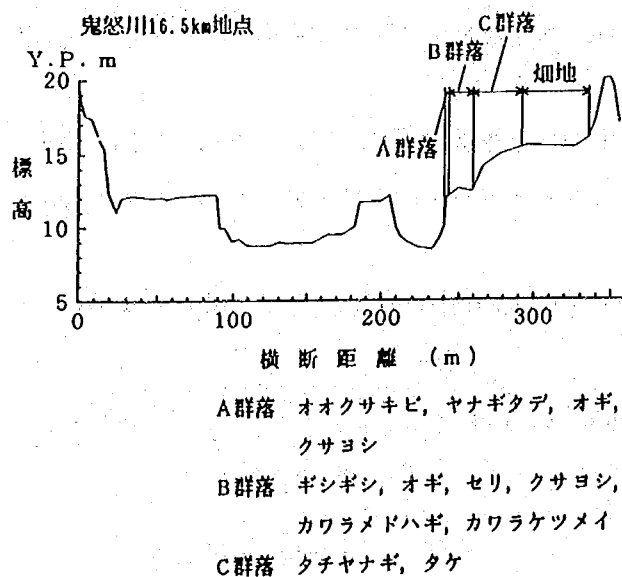
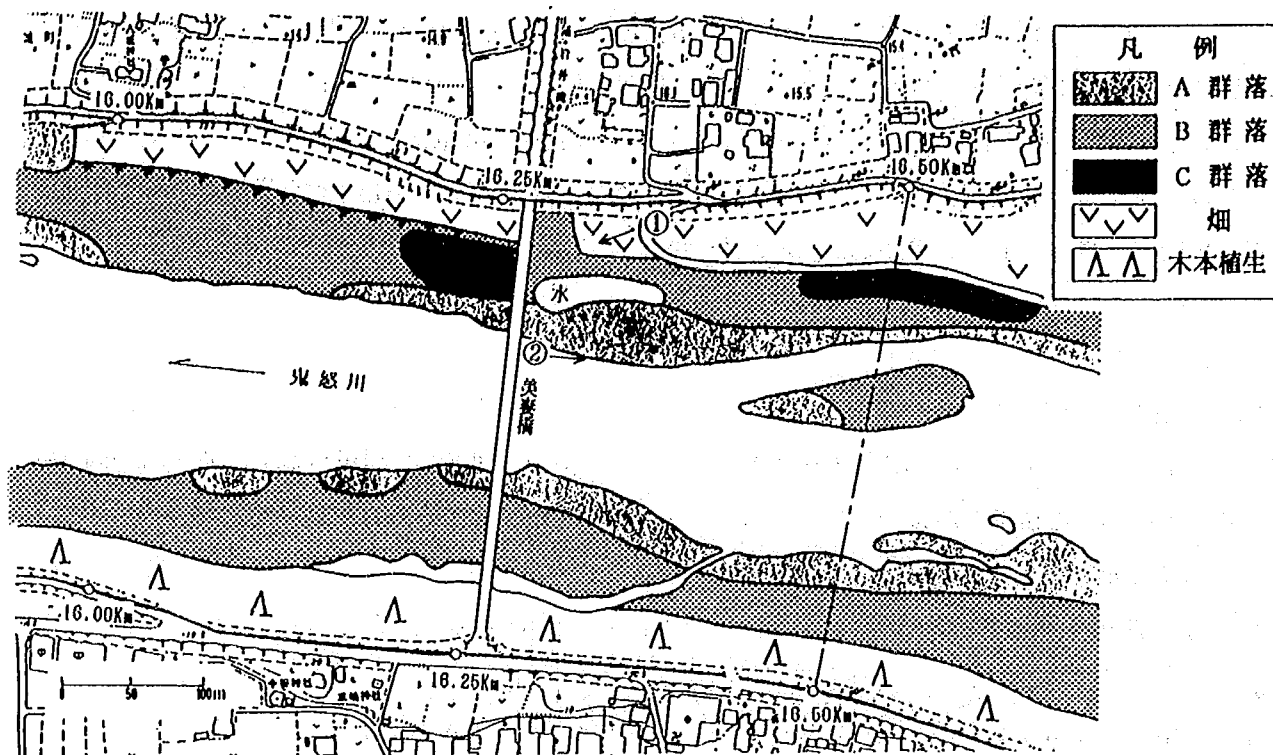


図- 3.4 植物群落の分布の平面および横断図 (鬼怒川16.5km地点)

3.1.4 セグメント3の植物群落の分布形態と植種

セグメント3に特徴的な地形は、幅300m～400mの広い高水敷である。この高水敷上の植物群落の分布と植種を調査した結果を調査地点ごとに以下に示す。

(1) 利根川27.0km地点

図-3.5に河道内の地形と植物群落の概略の分布を示す。高水敷のうち小見川橋の上流、堤防より約250mの区間は、人為的に整地されており一段高くなっている。同じく小見川橋下流の堤防から約200mの区間は、野球場などとして利用されている。このため、この範囲には人為的作用を反映した植物群落（セイトカアワダチソウ、ギンギン）が带状に繁茂している。この範囲を除いた河岸側の高水敷上には、主にヨシが繁茂している。

春、夏、秋の調査時に図-3.5の①の位置から上流方向に向かって撮影した河岸状況を写真-42～44に示す。春の調査（写真-42）ではマコモとヨシの新芽が成長している。夏の調査（写真-43）ではヨシの繁茂領域全体に新芽が成長している。秋の調査（写真-44）ではヨシは枯れているが、セイトカアワダチソウとギンギンによって構成される群落は、夏の調査時とほぼ同じ状態である。

冬、春、夏、秋の調査時に図-3.5の②の位置から下流方向へ向かって撮影した河岸状況を写真-45～48に示す。春と夏の調査（写真-46, 47）時のヨシ群落は上記の繁茂状況とほぼ同じである。秋の調査（写真-48）では、ヨシ群落は上記のヨシ群落のように枯れていない。この2地点のヨシの相違は、平均水面と高水敷の比高差に起因する水分量の変化によって生じたと考えられる。前者のヨシの繁茂領域は乾燥した高水敷面が見られる。しかし、後者のヨシの繁茂領域は比高差が小さく高水敷に水たまりが見られる。

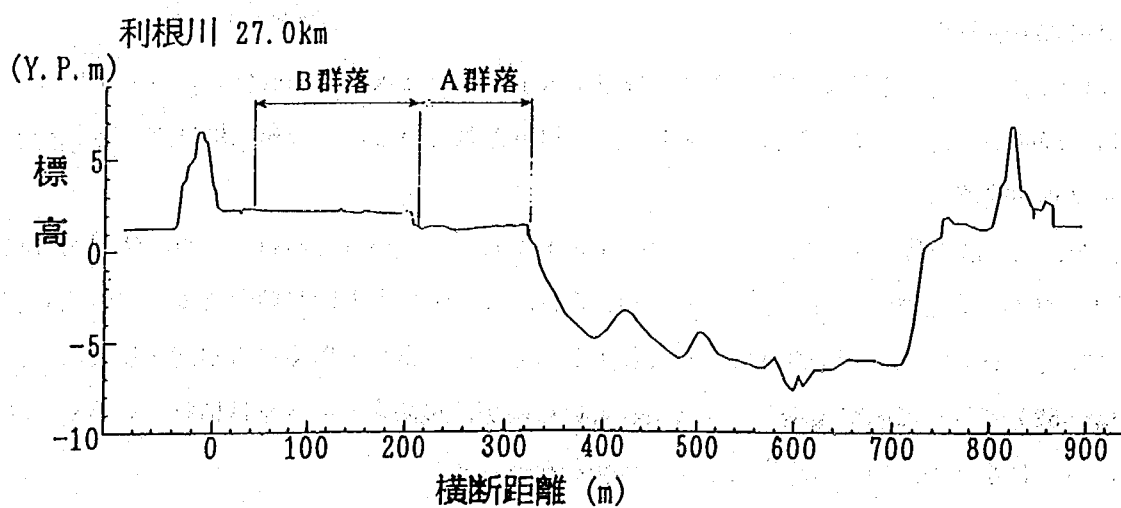
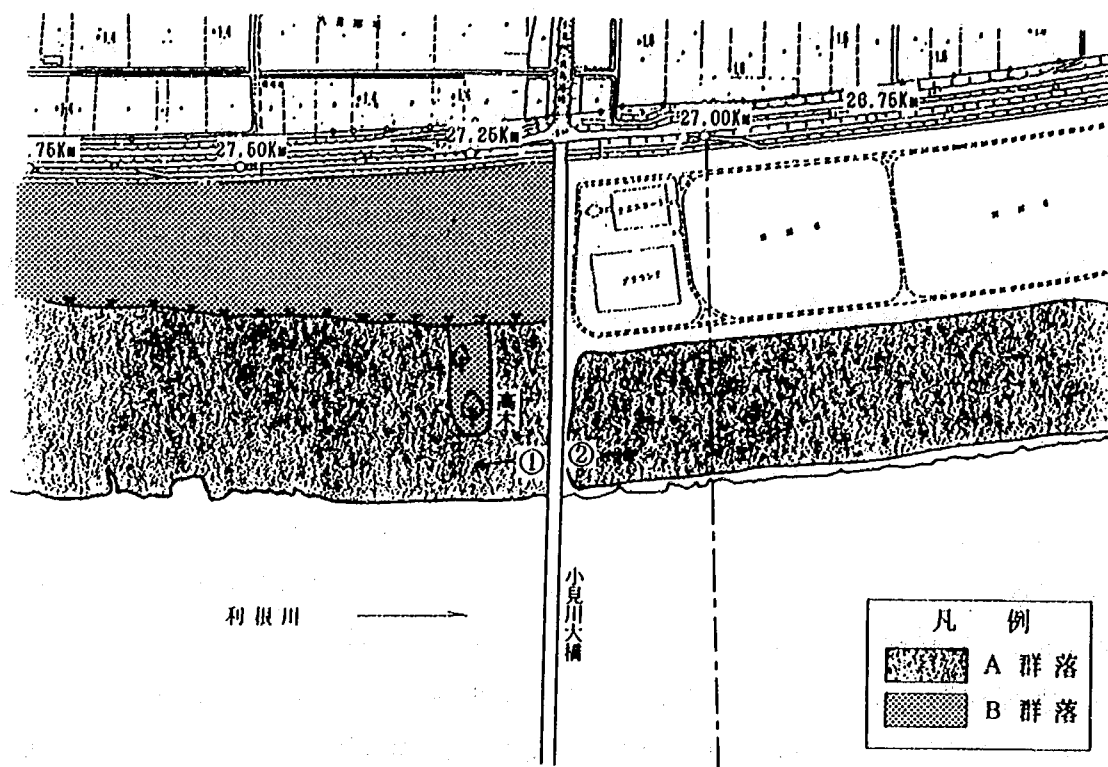
(2) 利根川20.0km地点

図-3.6に河道内の地形と植物群落の概略の分布を示す。ほぼ高水敷の全域にわたって主にヨシが繁茂している。堤防から約80mの範囲はグラウンドなどに利用されている。この範囲にはギンギンやセイトカアワダチソウが繁茂している。

冬、春、夏、秋の調査時に図-3.6の①の位置から上流方向へ向かって撮影した河岸状況を写真-49～52に示す。冬から春までの調査（写真-49, 50）では、27.0km地点と同じ傾向でヨシが繁茂している。夏の調査（写真-51）では、河岸寄りのヨシの草丈が高く、堤防寄りで低くなる傾向が見られる。秋の調査（写真-52）では水際に繁茂するヨシは枯れていないが、堤防寄りのヨシは枯れているものが多い。これより、ヨシは水際の立地でよく生育することがわかる。

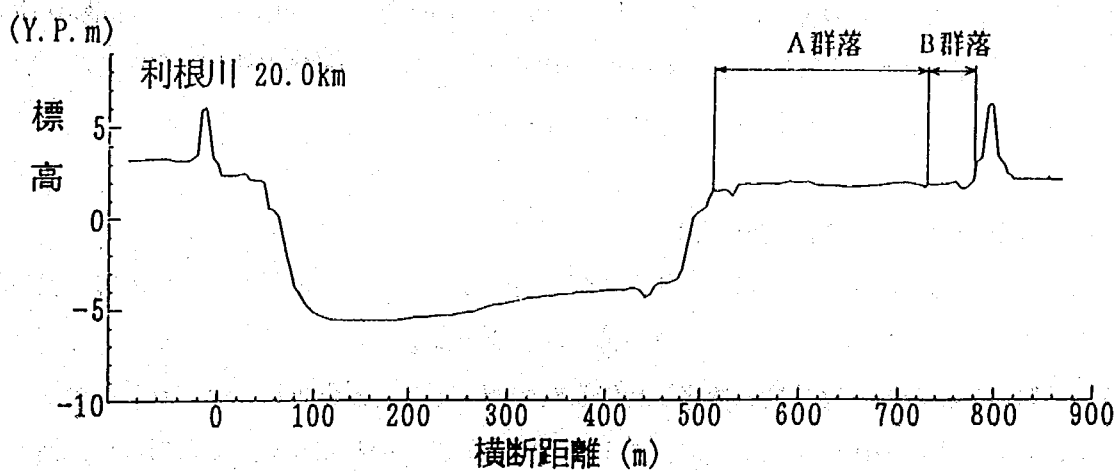
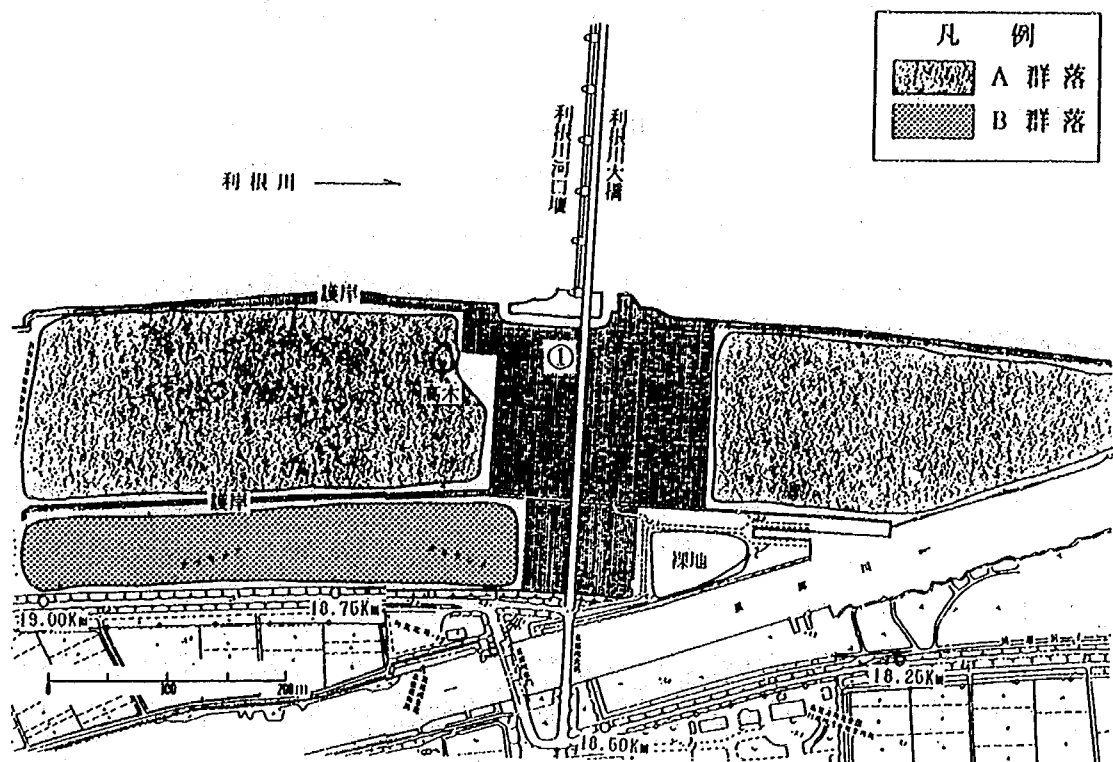
以上の調査より、この調査地点の植物群落の特徴として次の3つがあげられる。

- ① 高水敷上の人為的影響の及んでいない領域はヨシが広く繁茂し、その中にオギ、ヤナギも繁茂していた。このほかに水際にはマコモが繁茂していた。
- ② ヨシは、秋に冠水する程度の立地でよく生育する。
- ③ 高水敷上の人為的作用の及んでいる領域には、ギンギン、セイトカアワダチソウが繁茂していた。



A群落 ヨシ, マコモ, オギ, カワヤナギ
 B群落 セイタカアワダチソウ, ギシギシ

図- 3.5 植物群落の分布の平面および横断図 (利根川27.0km地点)



A 群落 ヨシ, マコモ, オギ

B 群落 セイタカアワダチソウ, ギシギシ

図- 3.6 植物群落の分布の平面および横断図 (利根川 20.0km 地点)

第4章 植生の繁茂状況と河道特性の関係

河道内に繁茂する植生は、水流により造り出される川辺に特有の環境に直面している。出水時には植生は水没し流体力により破壊される。さらに、砂州の移動や高水敷上への浮遊砂の堆積などは繁茂領域に土砂移動をもたらす、植物群落を破壊し、新たな植生の繁茂領域を形成する。平水時には、繁茂領域の標高と平水位の比高差と砂礫の保水能力により土中の水分量が決まる。したがって、砂州、高水敷や河岸などでは、湿地から乾燥地までの変化に富んだ環境が造られている。このように河道内の植生は、水位、流速（または植生に作用する流体力）、土砂移動という3つの河川工学で扱う水理量の観点から見ても、川辺に特有の環境と日々直面していることがわかる。

このような植生を利用した河川工法は多自然型工法の一角を成しており、これと関係して植生の存在がもたらす洪水流や土砂移動への影響、そして河岸や高水敷の耐侵食性について研究が進められている。これらの研究は、植生を河川工学的アプローチで扱っているが、植生の繁茂分布や成長速度などを測定し、植生の立場からの河川工学に向かう研究も行われている。後者の研究は、自然の一部分である植生と河川工学が、多自然型工法や自然に優しい川づくりとして関係を深めていく上で重要である。

本章では、河川が河道内の植物群落にもたらす環境規制のパラメータとして冠水頻度、地形と表層粒度分布を選び、これらにより植物群落の横断方向分布を分類する。縦断方向の分類は、3つのパラメータと関係のある水深、流速そして流砂形態などの河道特性が同じ性質を有する区分であるセグメントを利用して行う。また、1960年代に顕著であった低水路河床高の低下は、図-2.35~2.40に示したように水位の低下をもたらした。また、供給土砂量の減少もあり近年では砂州が固定化している。この砂州上に植生が繁茂し、粗度係数の増大による流下能力の低下、堤防近くの局所洗掘などの問題が生じている。このことから砂州の固定化と植物群落の形成を空中写真から調べ、固定砂州上の植物群落の繁茂形態について考察することは十分な意義があると考えられる。

4.1 植物群落の性質 — 植物社会の秩序 —

植生は、様々な外力に対応して繁茂する。これは農業において質・量とも最大限の農作物を収穫するため、土壌を造り適切な間隔に植えて雑草や害虫などを駆除することからも明らかである。農業は、植生繁茂の性質、すなわち植物社会の秩序を利用した好例である。農業と比べアプローチの違いはあるが、河川工学においても河道内の植生との関係をより濃密にし、その利用をめざすためには、河道内の植物社会の秩序についての知識が必要と考えられる。この基礎となる植物社会の秩序については植物生態学者によって研究がなされており、専門書も発刊されている。しかし、この知識が河川に携わる者全員に充分浸透しているとは言いがたい状況である。そこで、本章の考察において用いられる植物社会の秩序の知識について、宮脇（1973）の著書を引用して以下にまとめる。

4.1.1 生物共同体と植生、植物群落

生物集団は、生産者、消費者、分解者としての機能を互いに分業しながら、その生活地－環境－と相互に関連しあい、物質の収支の系－生態系－を形成している。このような生物集団を生物共同体と呼ぶ。社会的に見るならば、生物共同体の内部において互いに競争し、いがみ合い、我慢を強いられ、限られた生活空間を互いに住み分けながらも共存関係にある。生物共同体の均衡は、次のように保たれる。すなわち、生物共同体は、外的原因、または共同体自身によって環境の破壊または質的な変化が与えられない限り、個体は変わるがその種の組み合わせ－共同体の質的構成－は変わらない。また、個々の環境条件が多少変化しても、本質的な環境条件が同じである限り共同体構成系はそのままの形で保たれる。

植生は、生物共同体の中で特にある地域を覆っている植物としての生命体の集まりと定義される。植生に単位性をもたせたときに植物群落という。植物群落は、生物共同体の植物によって形成されている部分であり、同じ環境条件が続く限りいつでも同じように出現する種の組み合わせと定義される。

4.1.2 植物の世界の秩序

植物は、移動能力がないだけにさまざまな規制の下で生命をかけて競争し、我慢し、生活系を生きていけるぎりぎりまで変えて生活の場を住み分けながら共存している。大部分の植物は、種本来の最適生育地からはずされてもなんとか芽生え、成長している。このようにさまざまな規制の下でなんとか生き残ったものが、それぞれの場所で固有の群落を形成している。

植物群落の構成員になるための規制は次の2種類に分けられる。

- ・第1の規制 植物群落の環境的秩序規制、すなわち外因的秩序規制
- ・第2の規制 植物群落内の社会的秩序規制、すなわち内因的秩序規制

これらの内容を以下に簡単にまとめる。

・植物群落の環境的秩序規制－外因的秩序規制－

(1) 気候的要因

気温、降水量と、その年間の配分、風の強さや風向など。

(2) 土壌要因

土の粒径、粗密の程度、その混合の割合などの物理的性質。

窒素、リン酸、カリなどの土壌の無機塩分の質や量、pH濃度などの化学的性質。

(3) 動物的、人為的要因

動物や人間が土地や植物、または植物群落に与える影響の種類と強さおよびその期間の長さ。

これら3種の要因は互いに関係しながら総合的に影響する。また、ある要因の不足を、ある程度他の要因が補うこともできる。これらの要因は、裸地に発芽する種が満たす1つめの規制であるため、第1の規制と呼ばれる。

・植物群落の社会的秩序規制－内因的秩序規制－

全ての生物は、外因的秩序規制としての環境だけでなく、生物種間ならびに同じ種でも個体間で互い

に干渉しあって生きて行かざるを得ない。すなわち、群落の第2の規制、または社会的秩序規制との対応下のみ生存が許される。植物群落の社会的秩序規制は、以下の3種類に分けられる。

(1) 生物相互間の空間、養分、エネルギーに対する競争

隣の植物より一日も早く成長して、先に生活空間や無機養分、光、水分などを専有し、他の植物の成長をおさえる。

(2) 生物相互間の共存

生物社会の枠の中では、競争現象も共存の一面にすぎない。能力が同じもの、生活形の同じものの間で最も厳しい競争関係がみられる。一方生活形の違うものの間では、一見競争関係と見られる現象でも総合的にはむしろ共存関係にある場合が多い。

(3) 生物相互間の忍耐

植物の世界では、芽を出した場所がすでに他の植物に占められていても逃げ出すことができない。垂直的には、上層を覆っている植物が枯れるまで、その場所でじっと我慢して待つか、それができないで自分が先に枯れるかのいずれかである。

以上にまとめたように、植物群落は多種多様な規制の下で形成されている。しかし、これら全てにより対等に規制されるのではなく、最低要因によって支配される。すなわち、生物と環境との関係をみると重要な問題の1つとして、生物や生物集団は、外的にまた内的に、数多くの複雑な要因があるから、それらに支配されるのではなく、数はわずかでもその集団に最も不足している制限条件に生存も発達も全て支配される。他の条件や要因がどれほど豊富に満たされても、最も不足している、あるいは発達にマイナスに働いている要因の質や量によってその生物集団の全ての発達が規制される。最低要因による外的秩序規制に対応し発芽できた植種によって、初期の植物群落は形成される。環境条件が多様かつ均整のとれている領域では、多種の植物が植物群落を形成する。その一方、一面的で極端な環境になるにしたがい、植物群落は画一化し、貧化する。このように植種が選択された植物群落の内部で競争が行われている。この競争の結果、大部分の植物は、それぞれの属している植物群落の内部で種が成長に対し最も条件のそろった最適域（生理的最適生活域）からより乾いた、あるいはより多湿な立地というように、少しずれたところ（生態的最適生活域）で我慢しながら生育している。これらの植物個体間および植種間の社会的干渉の動態が、植物群落内の植物の種類、配分量そして成育域を決定する。このことは群落同士でも事情は同じである。したがって、植物群落は、生活の場を空間的あるいは時間的に住み分けて我慢し合いながら共存している。

これまでに述べてきたことから、植物と植物群落はその社会的観点から次のように定義できる。

・個々の植物：与えられた環境と、組み入れられている群落の中で我慢し、なんとか適応して生きている植物社会の構成員

・植物群落：その中で個々の植物同士は競争し、我慢し、生活の場を住み分けて共存しながら、時間的にも空間的にも動的均衡状態を保っている生物社会の原形。

4.1.3 時間的秩序 — 遷移 —

一般に植物群落は、繁茂領域の環境に規定されているが、同時に植生群落自体も環境の改善を行う。この改善作用によってその植物群落はより最適条件に近づき、よく繁茂する。しかし、植物群落が環境を少しでも好都合に生活できるように改善することが、植物群落の消長をひきおこす。それは、より恵まれた条件を備えた環境下でより早く成長するよりも、大形の植物が侵入してくるためである。環境改善を行った植種は、侵入してきた新しい植種との競争に負け、やがて消滅する。そして新しい植種によって構成される新しい植物群落が生まれる。これが植生の遷移の過程である。この遷移は、繁茂領域の規制条件と釣りあった植物群落になるまで続けられる。遷移の過程で現れる植物群落は、以下の3種類に区分される。

① 先駆植物

植物が生育していない新しい土地に、最初に侵入してなんとか生育する植物をさす。最初に新しい裸地に侵入する植物の多くは、ふつう他の土地から種子や胞子が飛んできて発芽する。先駆植物は厳しい立地条件に耐えたものだけで形成されるが、その選択は、その地域の全植生（フロラ）から選ばれる。したがって、フロラの違う地域では、土地によって種群が限定される。先駆植物には、いろいろな生活形をもった植物がみられる。この原因は、まだ社会的秩序規制がほとんどないので、その環境条件に耐え得れば、生育可能なためである。

② 遷移途上の群落

群落の発達状況に応じて、次の3つに区分することができる。

- 1) 群落出現時の先駆相
- 2) 最も繁茂している最適相
- 3) 群落が老化（退行）して他の群落に置き変わる直前の退化相（終末相）
- 4) クライマックス（遷移の終局相）

植生群落では、そして動物も加えて生物社会でも、最終的にはそれぞれの地域の環境条件の総和と調和のとれた平衡状態に達する。このような群落ないし社会は、環境が変わらない限り、また人間が生物社会の秩序を破壊するような干渉を加えない限り、安定して存続する。このような最も強い安定した生物社会の姿をクライマックス（極相）という。極相植物は、それぞれの地域の立地の全ての環境条件の総和を、植物的に表現したものとも言える。

以上をまとめると、それぞれの群落が環境と相互に関係しながら発生、繁茂、その間に環境改革、老衰を繰り返しながら、先駆植物から遷移途上の各群落を経て、ついにはその場所の気候条件、土壌条件などの立地条件とつりあいのとれた終局群落に到達すると言える。

4.2 河道内の植物群落の分布に關与する河道特性

第3章に示したように、河道内の植物群落の分布は、セグメントごとに特徴が異なり、河川のもたらす環境的秩序規制と深い因果關係がある。この關係を明確に説明できる河道特性量、すなわち4.1.2で述べた秩序規制の最低要因について主に植物生態学の分野で研究が進められている。延原(1982)は、植物群落の洪水後の破壊状況の觀察報告をまとめ、植物群落に働く環境的秩序規制を2タイプに分けている。第1は、上・中流域における洪水流による植生の破壊が河道内の植生分布を支配するタイプである。第2は、下流域における平水時の地下水位の分布と出水時の冠水時間に植生分布が支配されるタイプである。

① 洪水流による植生の破壊が植生分布を支配するタイプ

延原(1982)は、会津大川と木曾川における植物の觀察報告から、河岸近くに繁茂するヤナギは洪水後に枝が折れているものの他の植物に比べて生存数が高いことを指摘している。これより、洪水流による破壊作用がある領域では一般には草本類によって構成される植物群落が現れるが、ヤナギも多くみられると述べている。石川・高橋(1992)は、カワヤナギの流水抵抗特性と曲げ強度特性の測定結果より、曲げ破壊強度が流水抵抗に比べて弱い幼木の段階で群落の拡大が行われると推論している。これらの例から、少なくともヤナギについては洪水流の破壊作用によって群落の分布が決定されと考えられる。

② 平水時の地下水位の分布と出水時の冠水時間に植生分布が支配されるタイプ

延原(1982)は千葉県松戸市内の江戸川の堤内地のヨシ原は、マコモ、ヨシ、オギが河岸から堤防に向かって順番に繁茂していることを觀察している。これらの植物は山崎(1982)の研究によると茎葉を通しての酸素通導がよい植物であり、その通導性はマコモ、ヨシ、オギの順に小さくなる。これより山崎は、地下水位が高いため土中の酸素量が少ない河岸に近い領域から、マコモ、ヨシ、オギの順番に繁茂することを説明している。また、出水時の冠水時間については、マコモ、ヨシ、オギは茎が長く水位より上にその一部分が出せるため、冠水時間の長い領域であっても水没による枯れ死を免れることができるとしている。近藤ら(1986)は、水性植物の冠水抵抗について実験しており、これによると、ヨシを水中に没した状態での連続生存期間は75日以下、マコモで40日以下である。これより、これらの植物の水没に対する抵抗の強さも群落の分布に大きく關与していると考えられる。

奥田(1982)は、河道を源流域(山地河道に対応すると考えられる)、上流域、中流域、下流域そして感潮域の5地域に分け、それぞれの地域に繁茂する中部地方の代表的な植物の性質と河道特性を關連付けている。また、これらの知見を基に川辺植生の配分について次のようにまとめている。植生群落の形態は、上中流域では団塊状または流路方向に平行に紡鐘形である。下流域では、一つの群落の占める面積も広くなり、連続した群落形態(带状分布)になる。河床勾配が小さいほど群落域は広くなる。また、植物の性質も上流から下流に次のように変化すると述べている。群落を構成する優占種の持つ生態的な特質は、上流域で先駆的な性質を持つ種が多く、下流域では土砂の堆積作用に適応した生育形を持つ種が特徴的である。上流の礫質で土砂移動が激しい土壤環境を反映し、乾燥と機械的作用に耐えるために発達した地下茎や再生能力を備えている(ツルヨシ、ネコヤナギなど)。下流域では地下水が高く、

冠水時間も長く、酸素の少ない排水不良な土性に耐えるため、一般に浅く横に広がる根茎を持つ種が多くなる(ヨシ、オギなど)。さらに、上流域では貧養性、下流域では富養性植物が多いことを指摘している。上流域では貧養立地に生存するため根粒菌の助けで窒素固定をする植物が見られ、下流域では栄養塩素に恵まれているため根茎を発達させる余分なエネルギーを必要としないとまとめている。

次に、実河川の河道内における植生群落の分布と河道特性量の関係を定量的にとらえることを目標とした既往の研究についてまとめる。倉本(1984)は、多摩川の0 km - 61.8 km区間の200 mごとの横断面における植物群落の带状分布と冠水指数の関係について報告している。ここで、冠水指数は、各横断面において濁水位を基準標高にして、濁水位と1974年9月1日の痕跡水位の差を6等分した値 d_h によって標高を区分し、濁水位を下限とする区分を冠水指数0とし、水位の増加とともに冠水指数が増加すると定義している。この冠水指数を用いた植生群落の分布の統計処理の結果から、低水敷、高水敷、堤防上部という3つの植生帯を抽出している。しかし、冠水指数に河川工学的意味が含まれておらず、冠水頻度などの水位変動がもたらす環境規制との関係が明確にされていない。辻本ら(1993)は、手取川の7 km - 13 km区間の固定化した交互砂州上の植物群落の分布の詳細な測量を行い、河原の特性量と植物群落の分布の関係を研究している。これよりツルヨシ、ヤナギ、アキグミの繁茂分布は、位況と相関があることが確かめられた。しかし、これらの詳細な分布やススキとネムノキの分布を見ると河床材料、繁茂領域の地形などにも依存していると報告している。河道内の微地形と土質条件の植物群落の分布との関係を見るため、加藤ら(1993)は、小貝川下流部の3地点における自然堤防上の植生調査を行っている。この調査の結果として、植物群落の種構成は地下水位と土壤硬度に対応して変化しており、また、地下水位と土壤硬度は微地形と対応して変化していることから、結果として植種と微地形の間に対応関係が見られると報告している。しかし、自然堤防と堤防間の植物群落は種間の競争が激しいため、この対応関係はないと述べている。

以上の研究成果より河道内の植物群落は次の性質を有すると考えられる。河道内の植物群落の大局的な分布形態とその構成種の生態的性質は、冠水頻度、繁茂領域と平水位の比高差、植生に作用する流体力、土砂移動など環境的秩序規制の要因によって支配される。より詳細な分布は土壌条件、繁茂領域の微地形など、局所的な環境的秩序規制の要因の変化や、植種間の競争などの社会的秩序規制を考慮しなければならない。また、これらの環境的秩序規制の要因は、縦断方向に強度が変化するため最低要因が異なる。そのため、植物群落の分布形態、その構成種の生態的特徴が変化する。この概要を表-4.1にまとめて示す。

これらの植物群落の性質を勘案し、本章では次の方法によって植物群落と河道特性の関係を調べる。

セグメントは、繁茂領域の環境的秩序規制の要因となる地形(砂州、自然堤防など)、流砂形態、流出特性(位況、流況)などの縦断変化の単位と対応している。この縦断変化と植種の性質および繁茂形態は表-4.1に示すように相関がある。これより、セグメントが環境的秩序規制の要因の変化単位であり、これに伴って植物群落の性質も変化すると考えられる。よって、植物群落の縦断方向の分類はセグメントによって行う。この縦断的な植生区分を行った上で、植物群落の横断方向分布と冠水頻度、繁茂

領域と平水位の比高差，出水時の平均流速，繁茂領域の平均粒径の大局的な関係を調べる。冠水頻度は，繁茂領域に対して河川水的作用が及ぶ頻度に対応している。繁茂領域と平水位の比高差，出水時の平均流速，繁茂領域の平均粒径は，それぞれ繁茂領域の地下水位，植物に作用する流体力，繁茂領域の保水性に関係があり，河川水が植物に与える環境的秩序規制の強度に対応する。

表- 4.1 環境的秩序規制の要因と植物に関する性質の縦断変化

	項 目	上流 —————→ 下流
河道特性	冠 水 時 間	短 —————→ 長
	出水時の平均流速	速い —————→ 遅い
	土 中 水 分 量	乾燥 —————→ 過湿
	土 中 栄 養 分 量	少 —————→ 豊
群落	分 布 形 態	団塊状 —————→ 带状 紡錘状 —————→
	分 布 面 積	小 —————→ 大
植物の性質	酸 素 通 導 性	低 —————→ 高
	流水に対する抵抗力	大 —————→ 小
	耐 乾 燥 性	高 —————→ 低
	地下茎や根の分布	発達する —————→ 浅く横に広がる
	代 表 的 な 植 種	ツルヨシ —————→ ヨシ マコモ ヤナギ類 —————→ オギ

この方法は，河道内の環境的秩序規制の要因によって，植物群落の分布との大局的な関係を調べるものである。したがって，植物群落の分布に関する分類は，植種による厳密かつ細分化したものでなく，河道内の地形（砂州，テラス，高水敷，人為的作用のある領域）によって大きく分類する。すなわち植物群落を植種によって定める植物生態学的方法ではなく，先に示した環境的秩序規制の要因が変化する単位として横断方向の地形を採用し，この違いによって植物群落を分類する。そして，そこに繁茂する植種の共通の性質と環境的秩序規制の関係を調べる。このような方法を採用する理由として，河川工学では植種ではなく砂州，テラスや河岸上に繁茂する植物全体の力学的および水理学的性質が重要なこと，植物間の社会的秩序規制によって定まる局所的な分布形態を考察の範囲からはずすためである。

4.3 各セグメントにおける植物群落の分布と冠水頻度の関係

植物群落を河道内の地形（砂州，テラス，高水敷，人為的作用のある領域）によって大きく分け，標高の低い群落からA群落，B群落，C群落と呼ぶことにする。

これらの植物群落と河道特性（環境的秩序規制の要因）の関係を以下の順に考察する。各セグメントにおける植物群落の冠水頻度と，繁茂領域と平水位の比高差を評価する。冠水頻度は，日平均水位の位況（図- 2.41～2.44，2.70）および年最高水位の生起確率年分布（図- 2.49～2.52，2.72）を生起確率に換算した図と植物群落の標高を比較し（図- 4.1～4.6），1年間で植物群落の繁茂領域が水面以下になる頻度（日平均水位の位況では日／年，年最高水位の生起確率では回／年）として評価する。特に年最高水位の生起確率による冠水頻度の評価では，2時間未満の冠水継続時間を有する定時観測水位の年最大値と1日未満の冠水継続時間を有する日平均水位の年最大値の2種類を用いることによって，冠水継続時間の違いを考慮する。また，繁茂領域と平水位の比高差は，月平均水位とその標準偏差の分布（図- 4.7～4.11）と繁茂領域の標高を比較することにより評価する。次に，繁茂領域の土砂の移動，土壌の粒度の分類（図- 2.17～2.20）（礫，粗砂，細砂，シルト）による保水性，平均流速（図- 2.23）に

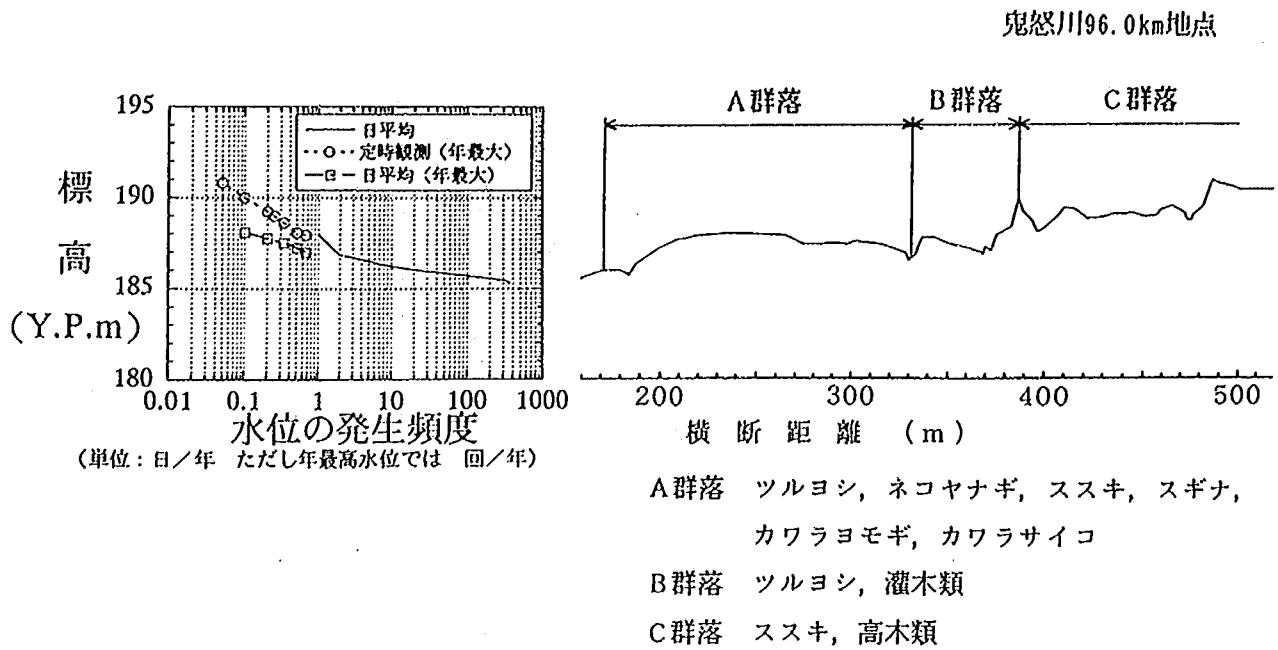


図-4.1 植物群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係 (鬼怒川96.0 km地点)

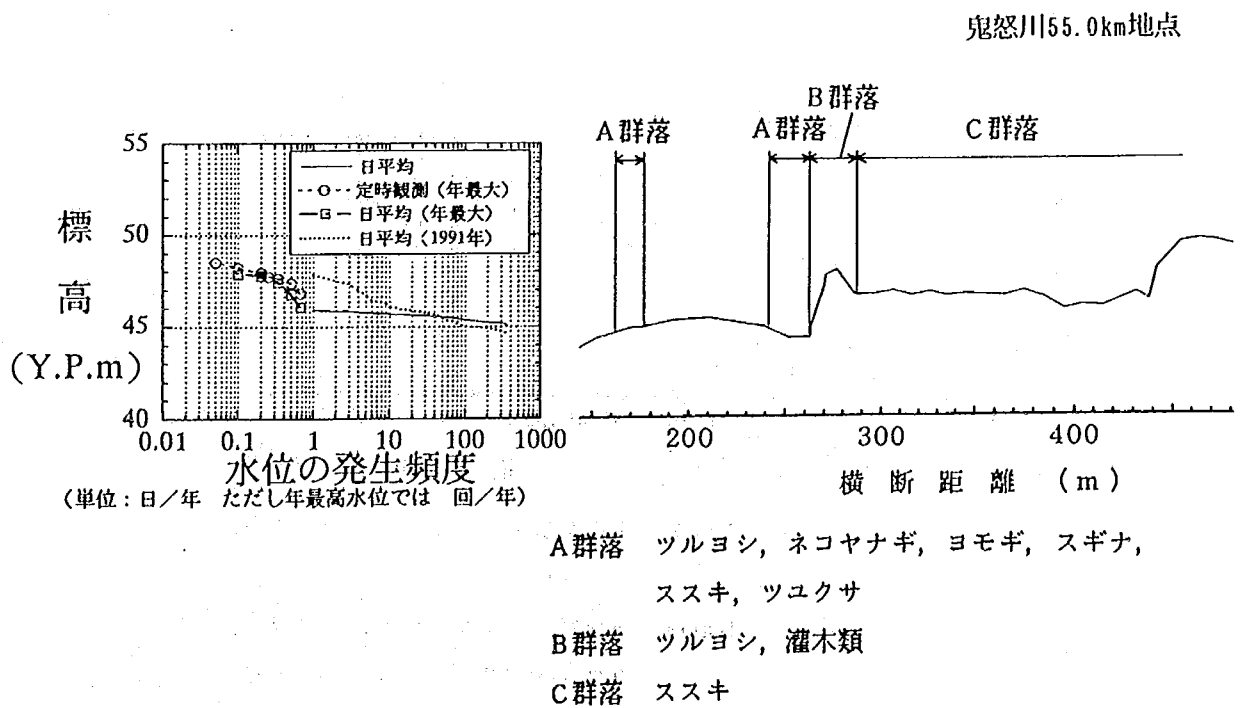


図-4.2 植物群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係 (鬼怒川55.0 km地点)

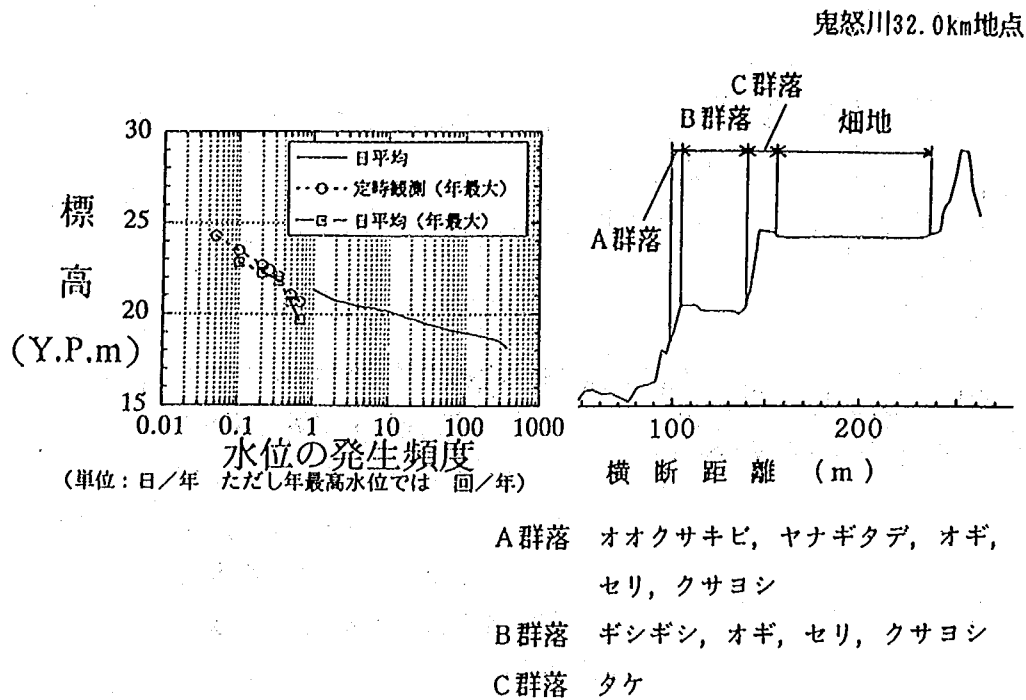


図-4.3 植物群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係 (鬼怒川32.0km地点)

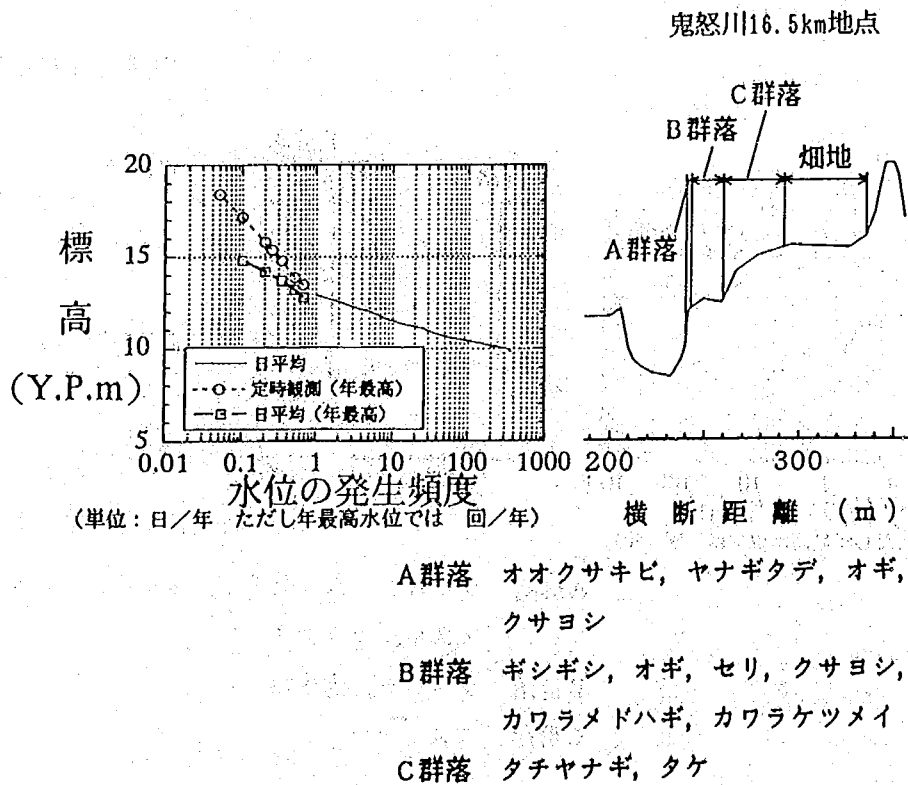


図-4.4 植物群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係 (鬼怒川16.5km地点)

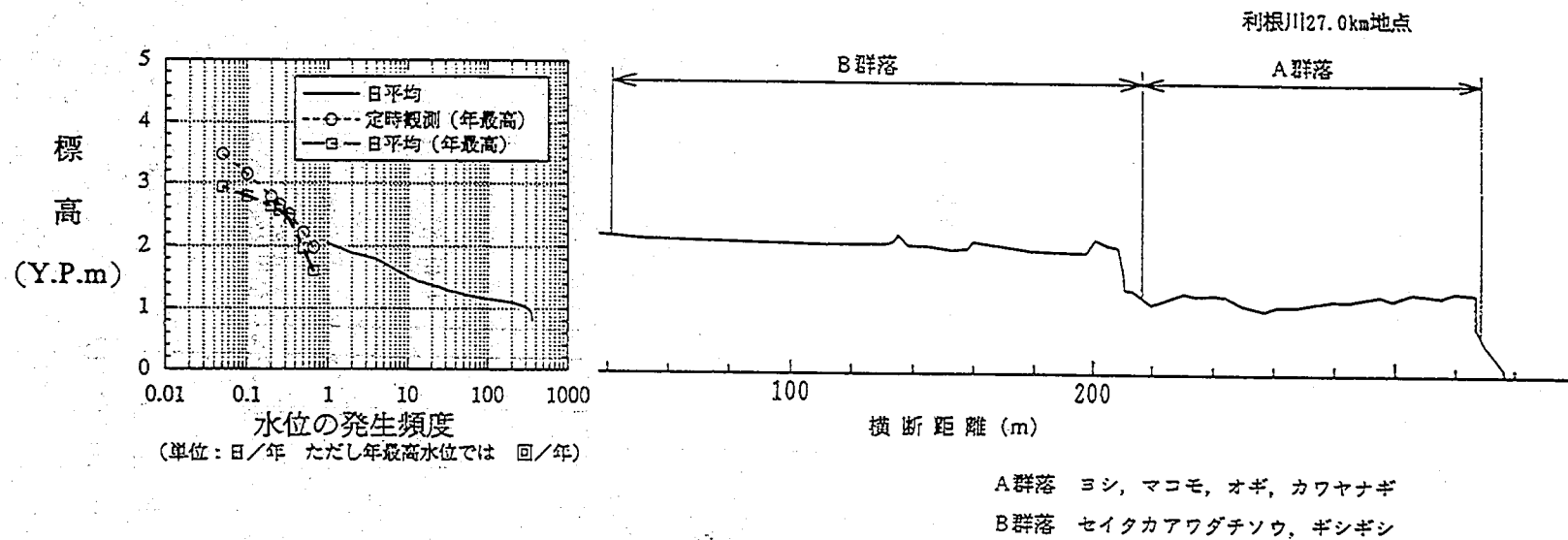


図-4.5 植物群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係 (利根川27.0km地点)

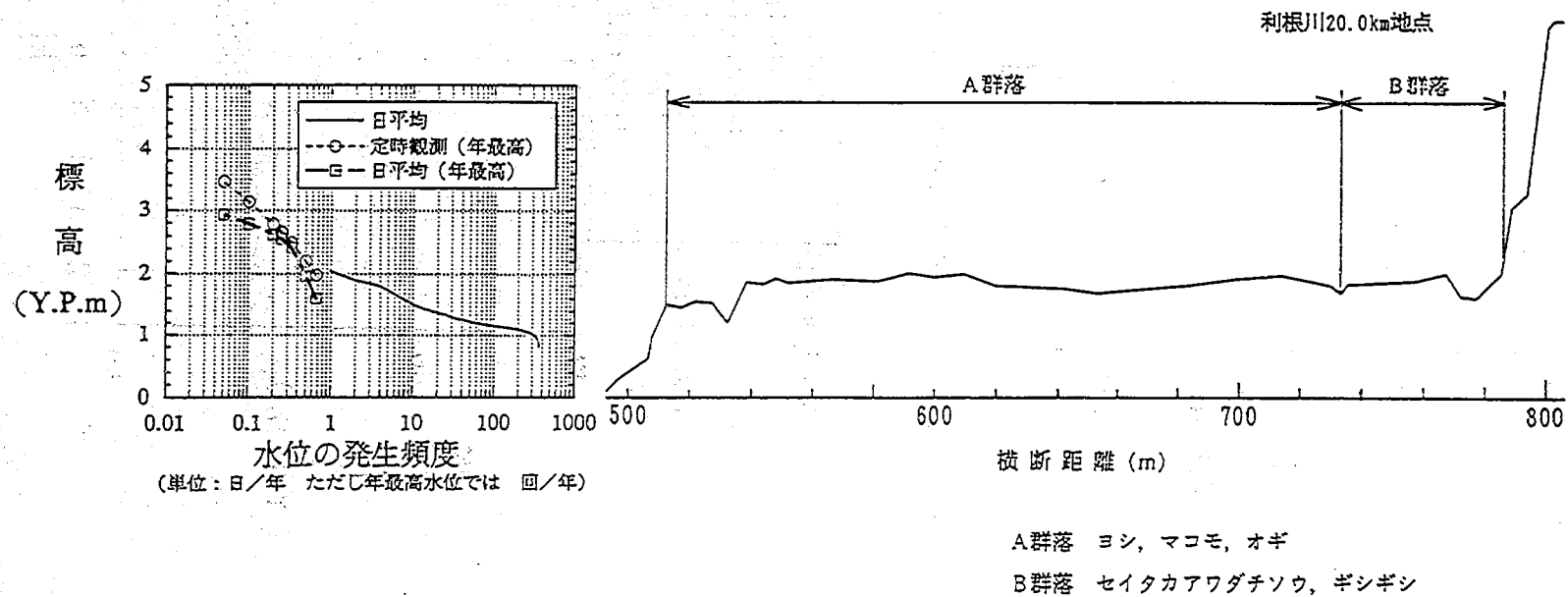


図-4.6 植物群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係 (利根川20.0km地点)

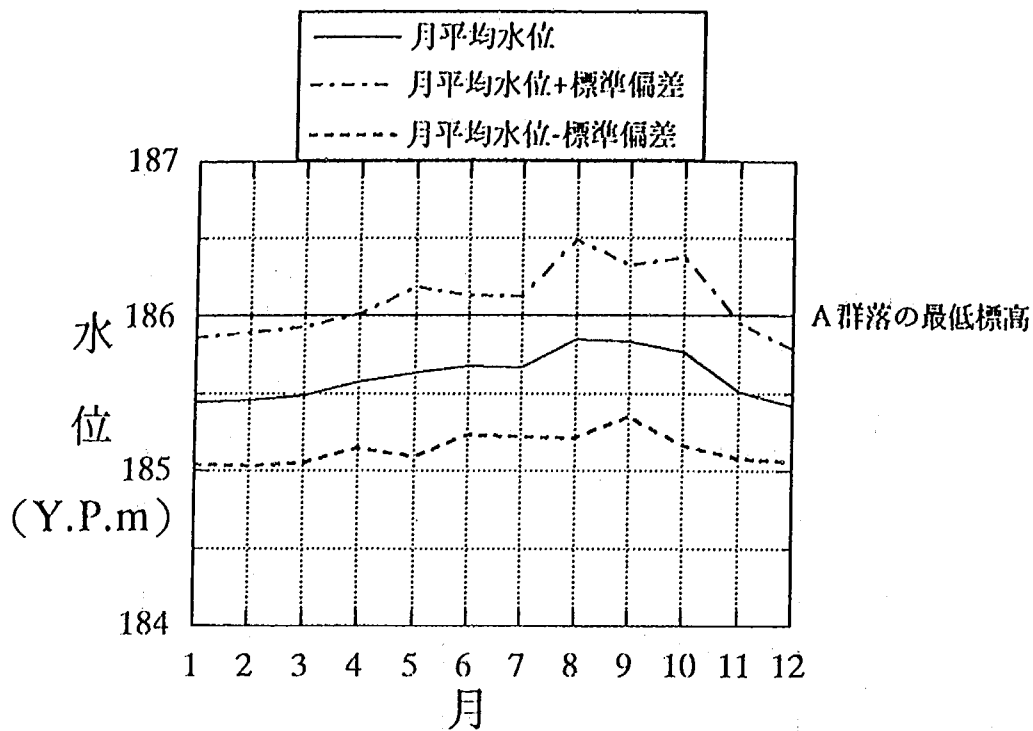


図- 4.7 植物群落の繁茂領域の標高と月平均水位の関係 (鬼怒川 96.0 km地点)

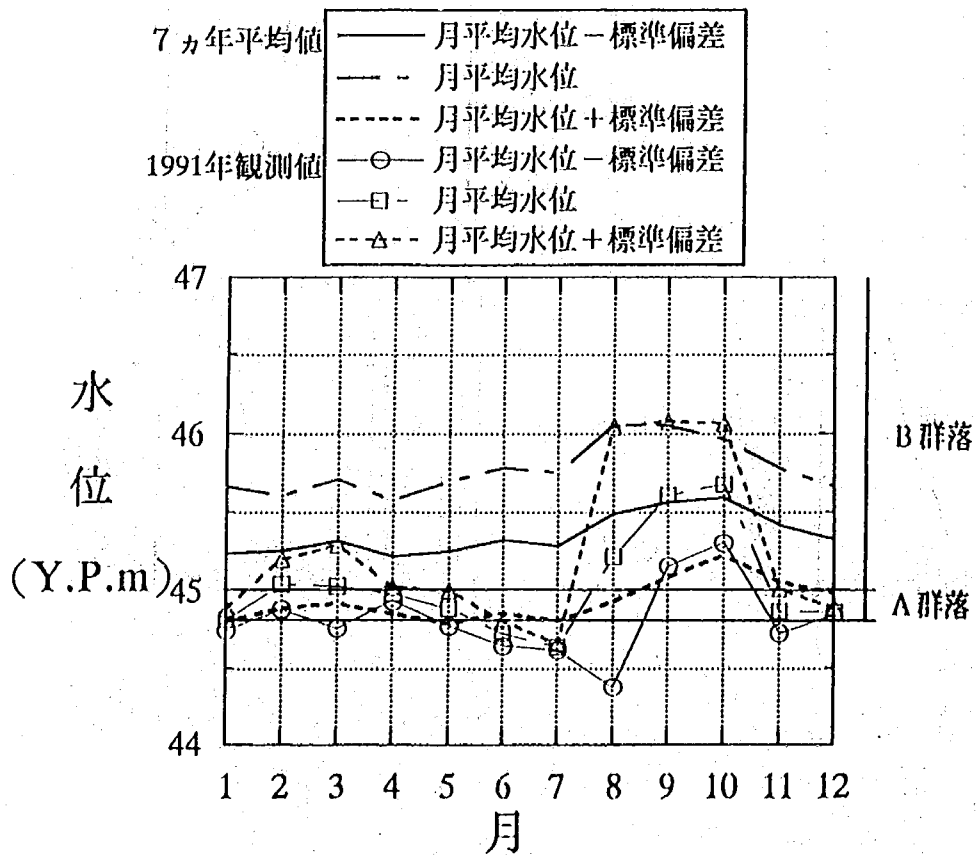


図- 4.8 植物群落の繁茂領域の標高と月平均水位の関係 (鬼怒川 55.0 km地点)

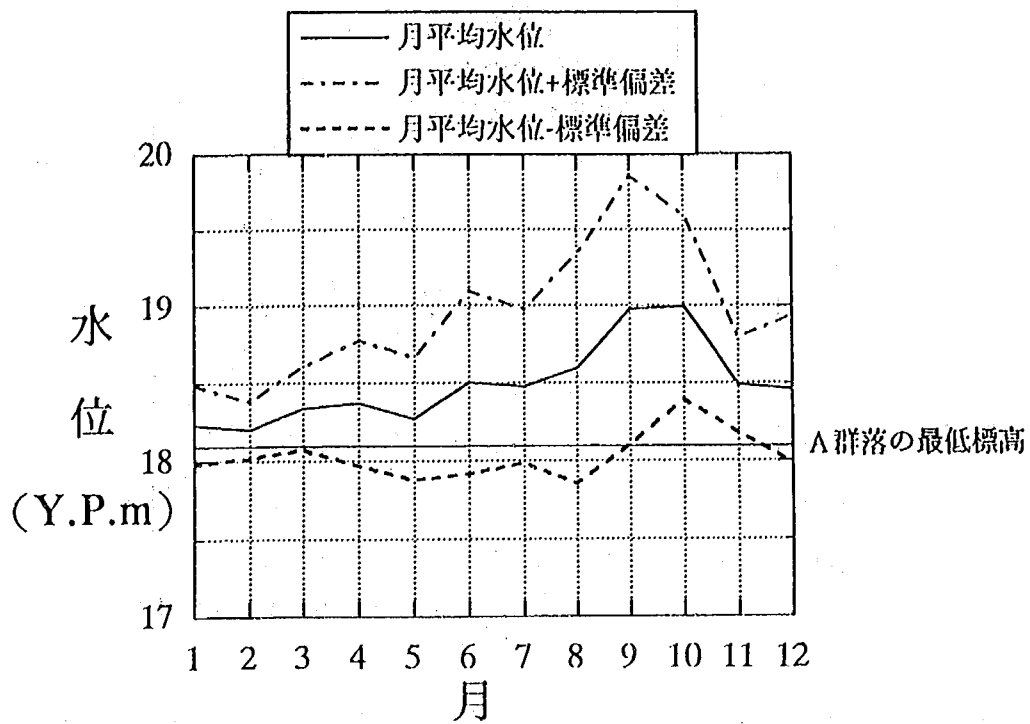


図- 4.9 植物群落の繁茂領域の標高と月平均水位の関係（鬼怒川32.0 km地点）

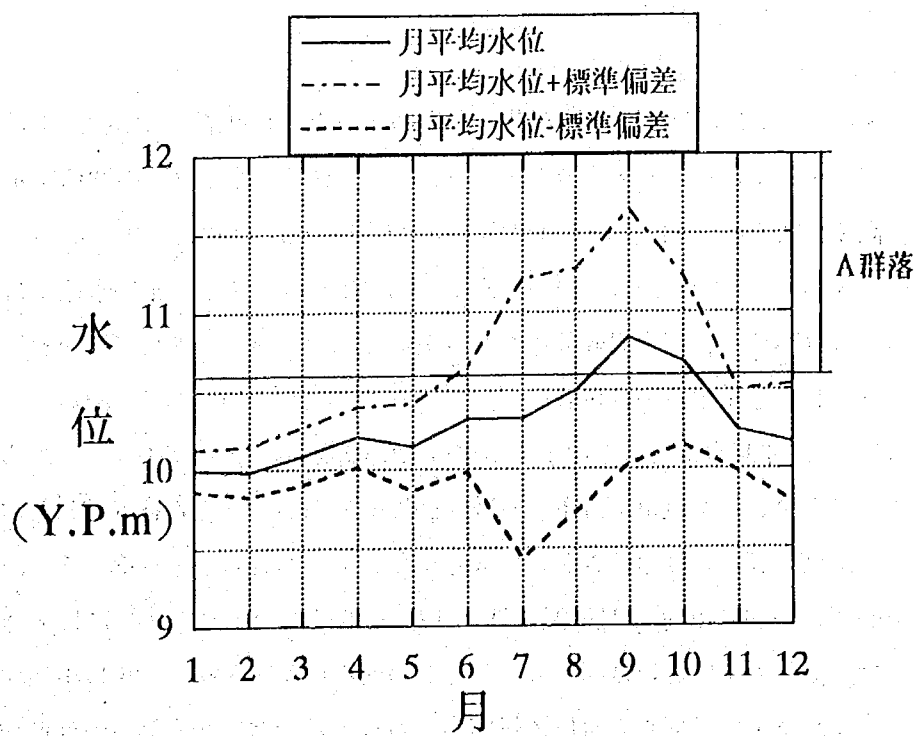


図- 4.10 植物群落の繁茂領域の標高と月平均水位の関係（鬼怒川16.5 km地点）

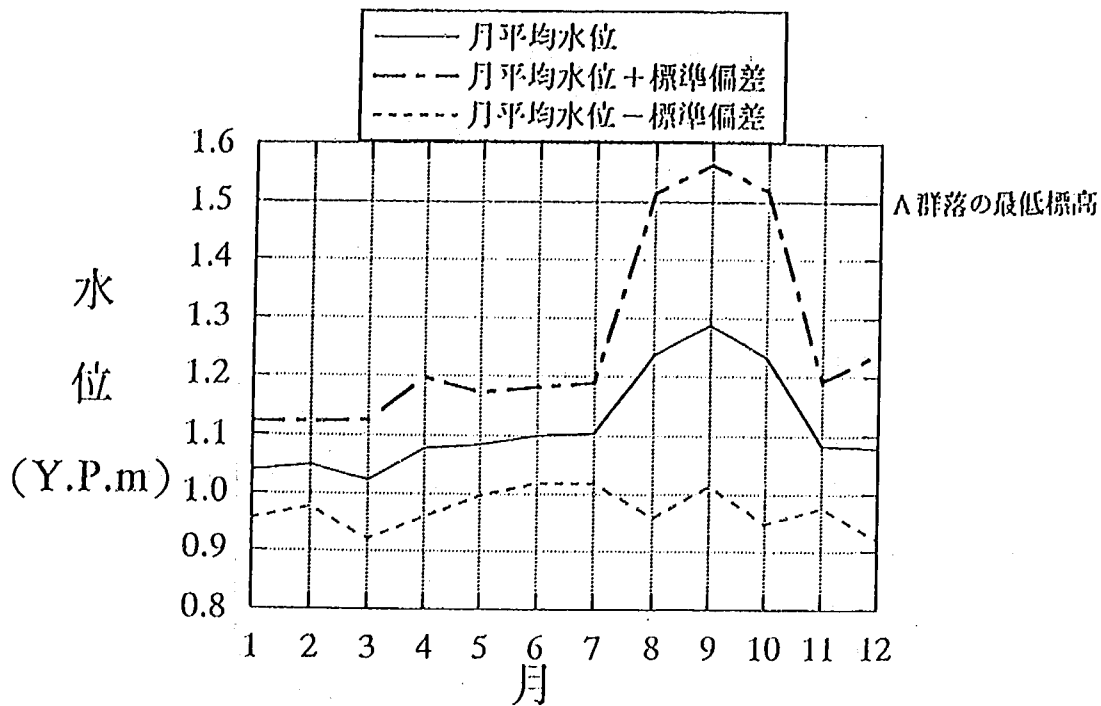


図-4.11 植物群落の繁茂領域の標高と月平均水位の関係（利根川20.0kmおよび27.0km地点）

よって代表させた植物に作用する外力の強度を調べ、植物群落の分布に大きく関与している河道特性について考察する。そしてその群落に繁茂する植種の共通の性質と比較する。

4.3.1 セグメント1 — 砂州上の植生 —

(1) 鬼怒川96.0km地点

この地点における植物群落は、砂州上をA群落、右岸側河岸上をB群落、右岸側高水敷上をC群落と呼ぶことにする。図-4.1にこれらの群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係を示す。

A群落の最低標高（Y.P. 186.0m）と同じ日平均水位になるのは、約20日/年である。また、A群落の最高標高（Y.P. 188.0m）においては、定時観測水位では約0.5回/年、日平均水位では約0.11回/年である。すなわち、A群落は、砂州の周縁部にあたる最低標高の位置でも20日/年の冠水頻度であり、全体が2時間未満継続して冠水するのは0.5回/年、1日未満では0.11回/年である。また、冠水頻度が0.5回/年における定時観測水位と日平均水位の年最大値の差が約0.9mであることから、砂州頂部周辺の冠水継続時間は洪水のピーク流量が流下する数時間程度であると考えられる。したがって、A群落の繁茂領域である砂州は、冠水頻度の低さからほぼ陸地化していると考えられる。また、A群落の最低標高（Y.P. 186.0m）は図-4.7に示す月位況より、8月～10月の台風シーズンには大きくそれるものの、月平均水位+標準偏差の水位とはほぼ同一である。この地点における20日/年に相当する日平均水位は、図-4.7の月平均水位+標準偏差の水位に対応しており、この水位がA群落の最低標高を定める水位と考えられる。A群落の繁茂領域である砂州は、粗砂～礫で構成されており、保水性は低い。また、冠水時の平均流速は、平均年最大流量時で約4mと速く、植生に作用する流体力は大きい。これらから

環境的秩序規制の最低要因として平水時は乾燥した土壌となること、そして冠水したときに大きな流体力が植生に作用することが挙げられる。しかし、砂州頂部では冠水頻度が低いことと冠水継続時間が短いことから、砂州頂部周辺の土砂移動と流水による植生の破壊が近年なかったため、砂州頂部の周辺において植生の繁茂が可能になったと考えられる。ここに繁茂する主な植物はツルヨシであり、他にもネコヤナギといった先駆的性質を持ち流水に対する抵抗力の高い性質を持つ植物が繁茂する。

B群落およびC群落は、定時観測水位の最大値によると0.5回/年以下になる標高に相当する高水敷に位置しており、このことから流水の作用による環境的規制が少ないと考えられる。そのため、これらの群落では灌木類や高木類（スギ、ヒノキ類）が繁茂しており、遷移が進行していることがうかがえる。

(2) 55.0 km地点

この地点における植物群落は、砂州の周縁部上をA群落、右岸側河岸上をB群落、右岸側高水敷上をC群落と呼ぶことにする。図-4.2にこれらの群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係を示す。

A群落（Y.P. 44.8 m～45.0 m）は、図-2.43に示した日平均水位の位況によると365日/年冠水する。ここに繁茂するのはツルヨシであり、水生植物でないことからこの冠水頻度はA群落との関係を観察する上で明らかに不正確である。これはA群落の繁茂領域が砂州の周縁部であり洪水ごとに大きく形を変えることが原因と考えられる。すなわち、A群落は、毎年変化する周縁部上にその年の水位変化に規制されて繁茂すると考えられる。そこで、図-4.2に併記した調査を行った1991年の水位の1年あたりの出現日数の関係と比較する。この年は、7カ年平均に比べて50日/年以上では水位が約30 cmほど低い。A群落の繁茂領域は、100～250日/年の水位に対応する。また、砂州の最高標高（Y.P. 45.5 m）は、50日/年の水位に対応する。したがって、この砂州の冠水頻度は50日/年と、96.0 km地点の砂州に比べて頻度が高い。すなわち完全に陸地化した砂州ではないと言える。平均年最大流量時の平均流速（図-2.23）は約2.5 mと96.0 kmに比べて遅い。しかし、冠水頻度が高いことから、土砂の移動や流体力がA群落に度重なり作用し環境的秩序規制の最低要因になると考えられる。このような繁茂領域では、植生の生育範囲は広がらず、平水時に水分が補給しやすい粗砂の堆積した砂州周縁部に群落が形成されたと考えられる。このことは、A群落が図-4.8に示す1991年の月平均水位の変化より、植生が発芽し成長する4月～7月の標準偏差の上限の水位より高い位置にあることからより明確になる。A群落を構成する植種は、ツルヨシやネコヤナギといった流水の作用に強い抵抗力を持つ先駆的植物である。

B群落およびC群落は、定時観測水位の年最大値において冠水頻度が約0.3回/年に相当する標高以上に主に繁茂している。しかし、この地点では定時観測水位と日平均水位の年最大値の差がわずかであることから、これらの群落の冠水継続時間は96.0 km地点に比較して長い。したがって、比較的標高が高いB群落は、ほぼ96.0 km地点と同じ植物が繁茂しているが、C群落は高木類がみられず、ススキが主に繁茂している。

(3) まとめ

セグメント1における特徴的な地形は、平水時に陸地となる砂州であり、砂州頂部の標高と平水時の

水位の比高差が大きくなるほど冠水頻度が低くなる。これに伴い砂州上の植物群落の分布が砂州の周縁部のみに繁茂する分布から砂州の頂部から周縁部に至るまで繁茂する分布に変化する。砂州頂部に植生が繁茂し定着するためには、冠水頻度が低く、かつ冠水継続時間が短くなければならないと考えられる。この理由として、平水時においては乾いた貧養な土壌なため、植物の成長が遅いことが考えられる。砂州周縁部は、平水時には水分に富んだ砂質の土壌であり先駆的植物の成長も早い、出水時に土砂の流送または堆積が起こるため非常に不安定な繁茂領域である。また、高水敷は、調査を行った鬼怒川の96.0 km地点では冠水頻度が低く河川水による環境的規制が及んでいないため、高木類への遷移が生じている。この領域の土壌は、浮遊砂の堆積や植物による土壌改善のためシルトから砂質になっている。

4.3.2 セグメント2 — テラス～高水敷上の植生 —

(1) 32.0 km地点

この地点の右岸における植物群落は、テラスより低い河岸上をA群落、テラス上をB群落、テラスと高水敷の間の河岸上をC群落と呼ぶことにする。高水敷は、畑地として利用されている。図-4.3にこれらの群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係を示す。

A群落(Y.P. 18.1m～20.3m)は、4日/年～365日/年の日平均水位の範囲に位置する。また、A群落の最低標高は、図-4.9より月平均水位-標準偏差の水位とほぼ同一である。よって、A群落は、平水時においても地下水位が高く、シルトを含む細砂の、非常に水はけの悪い土壌の上に形成される。そのため、A群落を構成する植種は、湿った立地に繁茂するオオクサキビやヤナギタデ、さらに地下茎を持ち酸素通導性に優れたセリ、オギ、クサヨシである。

B群落(Y.P. 20.3m～20.8m)は、1日/年～4日/年の日平均水位の範囲に位置する。すなわち、平均年最高水位とほぼ同一の標高にあるテラス上に形成される。この標高は、日平均水位の年最大値では0.5回/年に相当する。また、テラスの標高と9月から10月における月平均水位の最大値(Y.P. 19m)の比高差は、図-4.9より約1mある。これらから、B群落は、A群落のような湿地でなく表層材料がシルト混じりの細砂で保水性に優れた土壌に形成されている。この地点における年最大流量時の平均流速(図-2.23)は、約2m/sでありB群落には大きな流体力が作用すると考えられる。また、定時観測水位と日平均水位の年最大値の差がわずかであることから、これらの群落の冠水継続時間は長いといえる。そのため、流水の作用に対する抵抗力の大きいオギ、セリ、クサヨシ(いずれも地下茎を持つ)や、空き地などへの侵入力に優れているギンギンが繁茂している。

C群落(Y.P. 20.8m～24.2m)は、定時観測水位の年最大値では約0.67回/年から0.05回/年の水位の範囲に相当する。このため、C群落はY.P. 22.2m(定時観測水位の年最大値に対して0.29回/年の冠水頻度)より下でB群落と同一の植物、これより上ではタケが繁茂している。この原因として、先述した冠水継続時間が長いことや冠水時に作用する流体力による植物の破壊作用などの破壊的秩序規制の要因にしたがった住み分けが生じたと考えられる。しかし、河岸の勾配が急であり、このような立地により適応能力の高い植種がタケであることも考えられる。

高水敷（Y.P. 24.2 m以上）は、定時観測水位の年最大値に対して0.05回／年以下の冠水頻度である。そのため、畑作地としての利用に適している。

(2) 16.5 km地点

この地点の右岸における植物群落は、テラスより低い河岸上をA群落、テラス上をB群落、テラスと高水敷の間の河岸上をC群落と呼ぶことにする。高水敷は、畑地として利用されている。図－4.4にこれらの群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係を示す。

A群落（Y.P. 10.6 m～12.0 m）は、4日／年～55日／年の日平均水位の範囲に位置する。また、A群落の最低標高は、図－4.10より4月～6月の月平均水位＋標準偏差の水位とほぼ同一であり、8月～10月では月平均水位以下になる。これらの条件は、32.0 km地点と比べてA群落の領域と水面との比高差があることを示す。しかし、8月～10月に月平均水位下になることから、ほぼ32.0 kmと同じく湿地と考えられ、A群落を構成する植種もほぼ同じになっている（オオクサキビ、ヤナギタデ、オギ、クサヨシ）。

B群落（Y.P. 12.0 m～12.5 m）は、1日／年～4日／年の日平均水位の範囲に位置する。すなわち、32.0 kmと同じく平均年最高水位とほぼ同一の標高にあるテラス上に形成されている。また、テラスの標高と9月から10月における月平均水位の最大値（Y.P. 10.75 m）の比高差は約1.25 mである（図－4.10参照）。また、この地点における年最大流量時の平均流速（図－2.23）は、約2 m/sでありB群落には大きな流体力が作用すると考えられる。これらの条件は32.5 km地点と同一であり、繁茂する植種も同じものがある（オギ、セリ、クサヨシ、ギシギシ）。しかし、定時観測水位と日平均水位の年最大値の差が32.0 km地点に比べて大きいことから、冠水継続時間は32.0 km地点に比べて短いといえる。このため、上記の植種以外にさらにカワラメドハギ、カワラケツメイが繁茂し、植物の種類が豊富になったと考えられる。

C群落（Y.P. 12.5 m～15.6 m）は、定時観測水位の年最大値に対して約0.2回／年以下の水位の範囲に位置する。この範囲の冠水頻度は32.0 kmより低いものの、Y.P. 13.8 m（定時観測水位の年最大値に対して約0.5回／年の冠水頻度）を境にして、32.0 km地点と同様な植種の変化がみられる。これら2つの例から16.5 km地点と32.0 km地点の河岸上で植種が変化する標高は、1年あたりの出現日数ではそれぞれ0.5日／年と0.29日／年と大きく異なるものの、テラスからの高さはどちらも約1 mである。したがって、この植種の変化は、32.0 kmで考察したものうちの后者、すなわち河岸における植種間の競争によって生じたと考えられる。

高水敷（Y.P. 15.6 m以上）は、定時観測水位の年最大値に対して0.2日／年以下である。また、日平均水位の年最大値に対して0.1日／年以下である。

(3) まとめ

セグメント2における群落は、次の3つに大きく分けられる。

① 平水時において地下水位が高く、シルトを含む細砂の非常に水はけの悪い土壌の上に形成される群落

② 平均年最高水位とほぼ同一の標高にあるテラス上とこれから約1 mの高さまでに形成される群落

③ テラスから約1m高い位置と高水敷の間の河岸に形成される群落

これら3つの群落に繁茂する植種は、湿地に対応できる植種、流水の作用に対する抵抗力のある植種、河岸上において競争に有利な植種に分かれる。すなわち、河川水による環境規制が効果を発揮するのは、②の群落までであり、③の群落は冠水頻度が低いため洪水時の流体力に耐えられることのみが必要になると考えられる。さらに③の群落は河岸の勾配という環境的秩序規制を受けている。

また、テラスの標高がほぼ平均年最高水位となった理由は、テラスの冠水頻度が低くなったため、浮遊砂の堆積する機会が減少したためと考えられる（藤井ら、1994）。

4.3.3 セグメント3 — 地下水位が高い高水敷上の植生 —

20.0kmおよび27.0km地点の高水敷は、堤防側では人為的造成や整地がなされているが、河岸側は自然状態である。そのため、堤防側の高水敷では、セイトカアワダチソウやギンギンといった先駆的植物が繁茂しており、河岸側では主にヨシが繁茂している。このように植生群落が人為的な作用の有無によって区別できる。そこで以下では、人為的な作用の及んでいない領域に繁茂するヨシ群落と水位の関係を考察する。

これらの地点のヨシ群落をA群落、セイトカアワダチソウやギンギンの群落をB群落と呼ぶことにする。図-4.5、4.6にこれらの群落の横断方向分布と水位の発生頻度との関係を示す。これらによれば平均年最高水位において河岸は冠水するものの、高水敷全体が冠水するまでには至っていない。また、A群落の繁茂する20.0km地点および27.0km地点の平均的な標高（Y.P. 1.5m～2.4m）は、図-4.11からヨシが生育する4月から9月までの月平均水位の平均値（約1.1m）との比高差は0.4m～1.3mになり、9月に平均年最高水位がほぼ繁茂領域の最低標高と同じになる。以上より、月平均水位が繁茂領域の地下水位とほぼ等しいと仮定すると、河岸に近いほど湿地状態になり、また、潮位変動に伴う水位変化のため夏期に冠水する。この領域は粘土～シルトで構成されており水はけが悪いことを勘案すると、土壌の含水量が高いと予想される。また、A群落の領域は、完全に冠水するのは定時観測水位の年最大値に対して0.33回/年で、ヨシの平均的な高さ（1m）より水位が高くなるのは0.05日/年と頻度が低い。このような出水時の平均流速は、図-2.64に示す既往洪水の観測値（20.0km～27.0km区間の平均水位は約Y.P. 2.5m）によると約1.6m/sである。高水敷上ではさらに減速すると考えられるので、河岸際の植物を除き植物に作用する流体力は他のセグメントに比較して弱いと考えられる。したがって、洪水時の環境的規制は主に冠水によるものである。これらの条件より、A群落の領域は、平時時には地下水位が高く湿地的であり、出水時には水没する環境である。このため、冠水に対する抵抗力があり湿地に主に繁茂するヨシ群落が形成されたと考えられる。

4.3.4 まとめ

各セグメントごとに横断方向の地形（砂州、テラス、高水敷、人為的作用のある立地）によって植物の群落を区分し、これらの群落と環境的秩序規制の要因となる河道特性量（冠水頻度、平均流速、平水

位) の関係を調べて、その範囲に繁茂する植種の共通的性質と比較した。その結果を表－4.2 にまとめて示す。各セグメントの地形的特徴としては、セグメント1は砂州と冠水頻度の低い高水敷により、セグメント2はテラスと冠水頻度の変化の範囲が広い河岸により、そしてセグメント3は横断勾配が非常に穏やかで平水位より約1mほど標高が高い高水敷により特徴付けられる。これらの地形的特徴と、各セグメントの河道特性によって環境的規制条件は定まる。セグメント1では、砂州の頂部の群落は、砂州頂部の定時観測水位の年最大値に対する冠水頻度が約0.5回/年以下であれば形成される。砂州の周縁部の群落は、出水時に砂礫が移動する非常に不安定な繁茂領域であるため、各年次ごとに変わる水位と周縁部の地形により定まる。セグメント2では、テラス上の群落は、平均年最高水位以上になると冠水し、そのとき作用する流体力が大きいと、地下茎を有し流れへの抵抗力のある植種が主に繁茂する。河岸上の群落は、平水位からの比高がわずかである領域では湿地に対応できる植種が繁茂し、比高の増加とともにテラス上の植種と同じになる。この群落はテラスから約1m高い位置までに現れ、これ以上の標高では定時観測水位の年最大値に対する冠水頻度が0.5回/年以下になり河川水による環境的規制が弱くなると考えられる。そのため、河岸の斜面上に繁茂する能力の高い植種に変化している。セグメント1および2では、出水時の河道特性が環境的規制として重要であるが、セグメント3では平水時の水位と高水敷の比高差がないため湿地状態になることが環境的規制として植種を限定する。しかし、群落の分布範囲には出水時の冠水範囲も重要な環境的規制になると考えられる。

表－4.2 各セグメントにおける河道特性（環境的秩序規制）と植物群落の関係

	セグメント1		セグメント2		セグメント3	
	鬼怒川 46.0km～101.5km区間	鬼怒川 0.0km～46.0km区間	利根川 0.0km～45.0km区間	利根川 27.0km地点	利根川 20.0km地点	利根川 20.0km地点
河床勾配	96.0km地点	55.0km地点	32.0km地点	16.5km地点	27.0km地点	20.0km地点
平均粒径	1/600～1/190		1/2,130～1/1,320		逆勾配	
低水路幅	河床材料 約50mm 砂州上 中～大礫 砂州周縁部 粗砂		河床材料 約0.5mm テラス上 細砂		河床材料 約0.2mm 高水敷上 粘土～シルト	
出水時の平均流速	250m～800m		100m～250m		350m～1,000m	
各植物群落の冠水頻度	平均年最大流量(1,700m ³ /s) 時で約2.5m/s～4.5m/s		平均年最大流量(1,700m ³ /s) 時で約1.5m/s～2.5m/s		既往洪水(4,500m ³ /s 1972.9.18)時で約0.9m/s～1.6m/s	
各植物群落の冠水頻度	群 落 名	A	20～0.5	100～250	4～365	4～55
		B	0.5～0.1	0.3～100	1～4	1～4
		C	0.1以下	0.3以下	0.05～0.67	0.2以下

注) 冠水頻度は、1回/年以上では日平均水位、それ以下では定時観測水位の年最大値によるものである。

4.4 固定砂州上の植物群落

鬼怒川は、主に砂利採取に起因する河床低下が著しい河川である(図－2.3参照)。このため、セグメント2(46km地点から下流)では沖積層が失われ、洪積粘土層が河床に露出している。これに伴いテラスが形成され、浮遊砂の堆積により平均年最高水位まで高くなった(図－2.5, 2.6参照)。またセグメント1では、多目的ダムへの堆砂に起因する山地からの供給土砂量の減少のため砂州の固定化が進み、近年では96.0km地点の砂州のように冠水頻度が低くなり半陸地のようになっている砂州(以下、固定砂州と呼ぶ)もみられる。固定砂州の頂部周辺では、冠水頻度が約0.5回/年以下であれば植生が生育できる

環境であることを4.2で示した。一方、固定砂州は流心を堤防に近づけるとともに局所洗掘深を増加させる。図-2.8に示す96.0km地点でも砂州の固定化に伴い左岸の最深河床高が低くなっている。固定砂州上に繁茂する植生がヤナギのように大型かつ流体力に対する抵抗力に優れた植種になると、砂州上の流速低下によって砂礫の移動を抑制すると考えられるため、砂州の固定化をより助長する。このような砂州の固定化がどのような過程で生じ、それに対応して植生が繁茂しているのかを調べるために、以下では54.5km-56.5km区間を例としてこの過程を空中写真を利用して調べてみる。

写真-16~19に示した1966年4月、1979年12月、1985年9月および1990年3月に撮影された54.5km-56.5km区間の空中写真によると、1966年(写真-16)は砂利採取が盛んに行われていた時代の末期であり、砂州の形状が判別できないほどに掘削跡が残されている。砂州の中に見える黒く細長い部分は砂州を掘削したため地下水が湧いてできた池である。この時点では砂州上に植生は見られない。水路は1966年(写真-16)に56.0km地点で閉塞されているが、これから13年後の1979年(写真-17)ではこの部分がつながり、水路が形成されている。さらに、この年と1985年(写真-18)と1990年(写真-19)を見比べて高水敷化していると考えられる領域には、1979年の時点で茶色の植生が繁茂している。この高水敷化は平均河床高の経年変化と横断面形の経年変化からも確かめられる。図-2.7に示した55.0km地点の横断面形の経年変化より、1969年から1976年にかけて横断距離80m-270mの低水路区間が低下しており、高水敷高はほぼ同一の形状である。図-4.12に55.0km、55.5kmおよび56.0km地点における平均河床高と最深河床高の経年変化を示す。同図より、この13年間に55.0km-56.0km区間では平均河床高が約2m低下しているのに対し、最深河床高は55.5km地点で約1m低下したが、他の2地点ではほぼ同一の高さである。最深河床高の経年変化は砂州の移動によって高低が生じるため平均河床高の低下と必ずしも一致した傾向とはならないから平均河床高の低下は主に低水路河床高の低下によるものと考えられる。すなわち、低水路高の低下により高水敷の冠水頻度が減少し、高水敷に植生が繁茂したと考えられる。また、12月に撮影した植生が茶色くなっていることから主に草本類が繁茂していると予想される。1985年(写真-18)には、単列砂州が形成され、この砂州上に植生が繁茂している。その分布は、砂州の下流端の水際に集中している。この繁茂領域の表層は、図-2.19に示す砂州の表層材料の粒度分布によれば、砂によって構成されている。したがって植生の繁茂する土壌として適した環境が砂州の下流端に形成されたため、この地点に植生が最初に繁茂したと考えられる。1985年と1990年の砂州を比較するとほぼ同一の形状であり、砂州が固定化したと言える。これらの砂州上の植生を比較すると、1985年の砂州上の植生は9月に撮影されたため緑色で密生しているように見えるが、1990年の砂州上の植生は、3月に撮影されたため茶色で密生して見えないが、砂州下流端から中流まで繁茂領域が拡大していることがわかる。したがって、固定砂州上の植生は下流端から繁茂し、徐々に上流に向かって繁茂領域を拡大していくと考えられる。また、砂州の固定化に伴い55.0km地点に水衝部が形成されたため、この地点の最深河床高が図-4.12より低下している。

以上の54.5km-56.5km区間における砂州の形状と砂州上の植物群落の経年変化から、砂州の固定化と植生繁茂に至る過程は次のように考えられる。

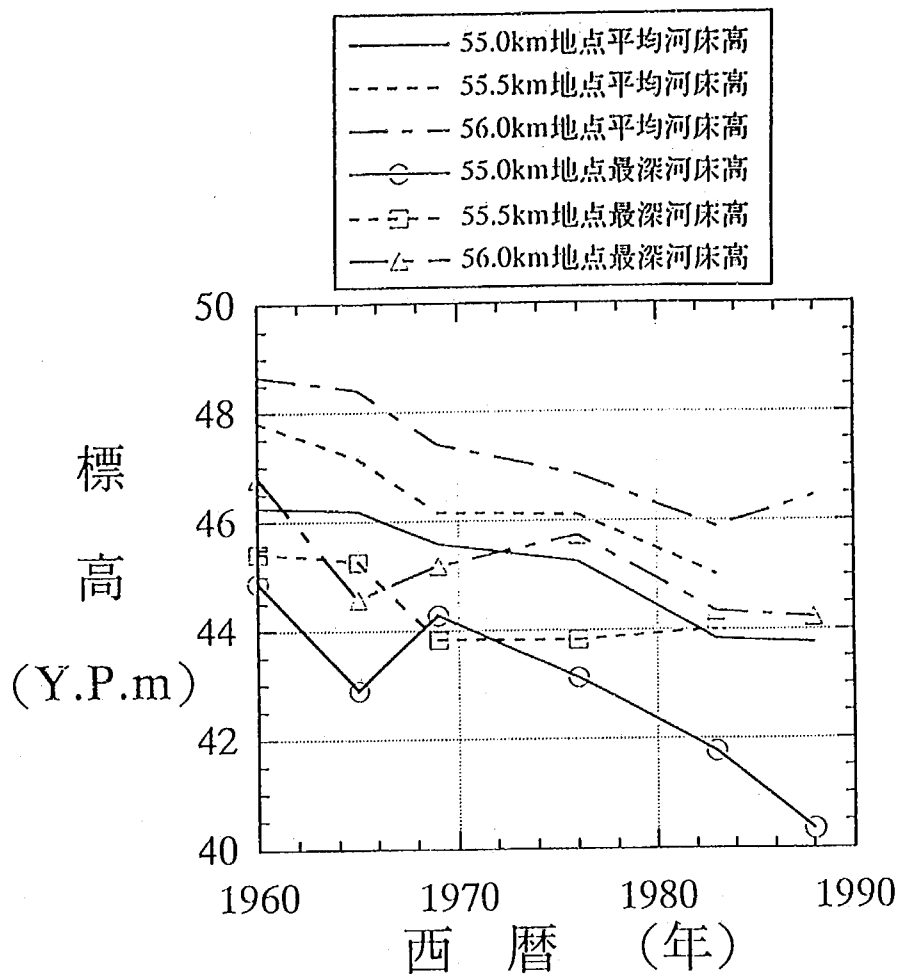


図- 4.12 鬼怒川55.0km - 56.0km区間の河床高の経年変化図

- ① 低水路河床高の低下が生じ、高水敷が形成される。
- ② 川幅が減少したため、砂州が単列化する。
- ③ 砂州の下流端の砂質土で覆われた水際に植生が最初に繁茂する。
- ④ 砂州の固定化傾向がみられ、砂州の周辺部のみ土砂が移動する。砂州の下流端に砂が堆積しさらに繁茂領域が拡大するとともに、植生自身も砂州の中流域まで拡大する。
- ⑤ この過程で砂州が徐々に植生で覆われていき、砂州上の土砂移動が抑制される。
- ⑥ このことがまた砂州の固定化を助長する。

砂州上に植生が最初に繁茂する領域は、必ず砂州の下流端と言う訳ではなく、96.0km地点のように砂州の移動過程で砂州表層に砂質土が現れている部分である。

以上の固定砂州上の植生繁茂の過程が、1つのパターンとなると考えられる。このほかに、延原(1992)は、砂州にヤナギが繁茂するパターンとして、出水時に破壊されたヤナギの枝が砂州に流送され、そこに根を定着し成長することを報告している。この場合は、砂州の上流端周辺から植物群落が形成され、上記のパターンとは異なる。したがって、固定砂州上の植生繁茂の過程は、植種によって異なると考えられる。

第5章 結 論

本章では、これまでに得られた植物群落の知見を基に、植生の水理的性質に関する研究と植物群落の分布形状と植種に関する研究の有機的結合についてセグメントごとに考察してみる。

(1) セグメント1

川幅は、平均年最大流量時に河岸の構成材料が静的安定となるように定められている。したがって、高水敷は、定時観測水位の年最大値に対する冠水頻度が約0.5回/年に相当する水位以上の標高となり、河川水による環境の秩序規制はほとんど及ばないと考えられる。このため高木類をクライマックスとする遷移が進行すると考えられる。高木類は、粗度係数が大きいため流れに大きな影響を及ぼすことが予想される。したがって、高水敷上の植物群落については、クライマックスの植物についての水理学的性質を十分理解する必要がある。

砂州に固定化の傾向がある場合、砂州上にツルヨシやヤナギなど流水による破壊に対し抵抗力の高い植種が繁茂する。これらの植生は、砂礫の移動による破壊作用と固定化による生育環境の保全作用という相反する作用を受けながら生育し、植物群落は、これらの作用の中で平衡状態に達すると考えられる。平衡状態に達するまでの砂州と植物群落の動態を明らかにすることは、砂礫の移動や植物の繁茂領域を予測しなければならないため非常に困難である。したがって、平衡状態に達した植物群落がもたらす粗度係数の増加量、河岸近傍の局所洗掘深について調べることで河道計画に重要と考えられる。これによって砂州の固定化に伴う長期的な治水上の危険度の変化が把握できる。

(2) セグメント2

川幅は、動的平衡状態にあること、粘着性を有する材料で構成されていることなどの要因によって定まっている。このため、平水時と洪水時の水位差が大きく、冠水頻度の変化に富んだ横断形状となる。したがって河岸上の植物群落は、変化に非常に富んでいる。この植物群落の分布を明確に定めるのは非常に困難であるが、マクロな植物群落の分布は、冠水頻度によって定まる環境的秩序規制によってほぼ定められる。すなわち定時観測水位の年最大値に対する冠水頻度が0.5回/年より低い河岸では社会的秩序規制が卓越する分布になるが、冠水頻度がこれより高いと河川水による環境的秩序規制が卓越する。この秩序規制の違いによって、繁茂する植種も異なる。すなわち、定時観測水位の年最大値に対する冠水頻度が0.5回/年より高い河岸では、河川流に対する抵抗力や湿地への適応性などの性質が優れた灌木類と草類が繁茂し、冠水頻度が0.5回/年より低い河岸では勾配のある立地に繁茂可能な灌木類、低木類そして高木類が繁茂すると考えられる。そこで、植物群落を定時観測水位の年最大値に対する冠水頻度が0.5回/年の水位で2分割し、それぞれの領域を代表する水理学的パラメータを利用することが考えられる。この方法は、植物群落の形成に関する性質に沿った合理的かつ簡便なものであり、河道計画への適用上有効であろう。

(3) セグメント3

平水時の水位と高水敷の比高差がないため湿地状態になることが環境的規制として植種を限定する。

また、出水時の冠水範囲も重要な環境的規制になると考えられる。このため、冠水に対する抵抗力があ
り湿地に主に繁茂するヨシ群落が形成される。このようにヨシ群落が広い带状分布をなすため、ヨシの
水理学的性質を把握することが重要である。

謝

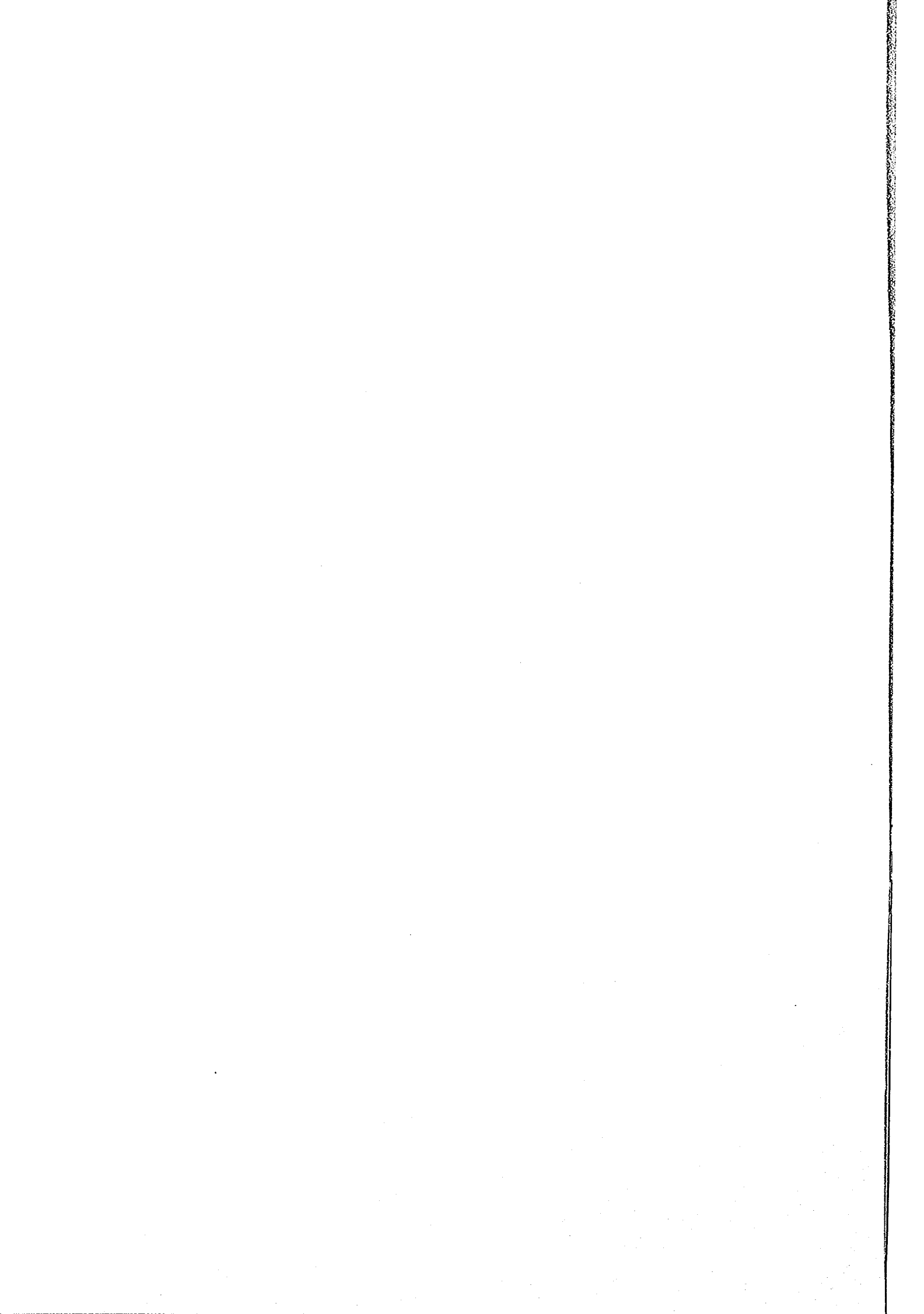
辞

建設省中部地方建設局小里川ダム工事事務所調査設計課技官の有澤俊治氏（1990－1992年度，建設省土木研究所河川部河川研究室に所属）には本研究の基礎データである現地調査データおよび写真を収集して頂いた。また，建設省関東地方建設局下館工事事務所には，水位と流量の観測データ，空中写真そして水辺の国勢調査の植生調査報告書を提供して頂いた。また，建設省関東地方建設局利根川下流工事事務所には，水位と流量の観測データを提供して頂いた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

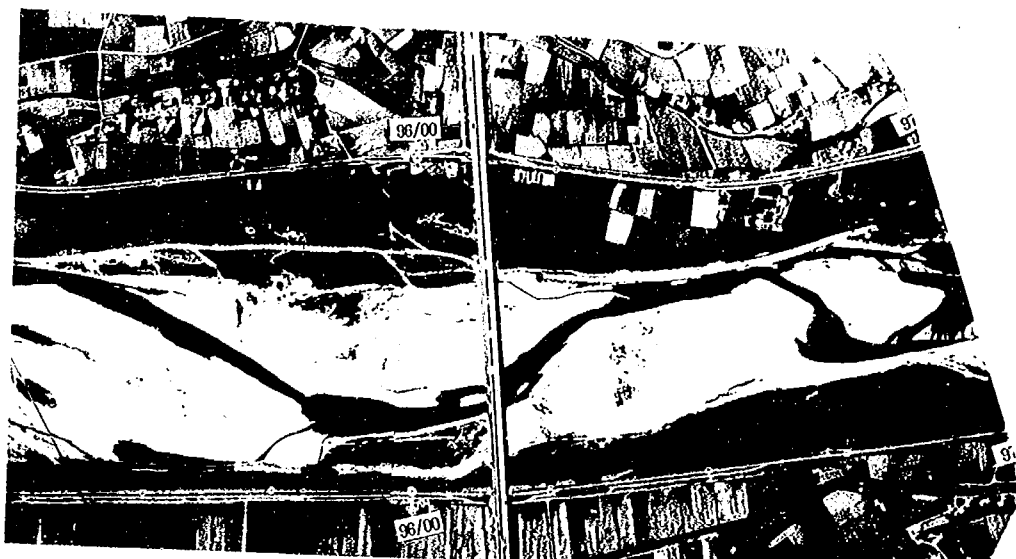
- 椎貝博美 (1993): 樹木の流体抵抗について, ながれ, Vol. 12, pp. 11 - 19.
- Tsujimoto, T. and Kitamura, T. (1993): Lateral transport of bed-load near vegetation zone and river-morphological change during flood, Proc. of XXV IAHR Cong., Vol. 2, A - 14 - 3, pp. 485 - 492.
- 池田駿介・太田賢一・長谷川洋 (1992): 側岸部植生帯が流れ及び粒子態物質の輸送に及ぼす影響, 土木学会論文集, No. 447, II - 19, pp. 25 - 34.
- 山本晃一 (1991): 沖積低地河川の河道特性に関する研究ノート, 土木研究所資料, 第2912号, pp. 47 - 80.
- 山本晃一 (1992): 現代水制論, 土木研究所資料, 第3049号, pp. 145 - 154.
- 建設省関東地方建設局 (1987): 利根川百年史, 利根川百年史編集委員会・(財) 国土開発技術研究センター, pp. 83 - 85.
- 山本晃一 (1988): 河道特性論, 土木研究所資料, 第2662号, pp. 169 - 185.
- 宮脇 昭 (1973): 植物と人間生物社会のバランス, NHK ブックス 109, 日本放送出版協会, 第24刷, pp. 35 - 176.
- 奥田重俊 (1982): 河原の植物, 植物と自然, ニューサイエンス社, Vol. 16, No. 6, pp. 2 - 7.
- 延原 肇 (1982): 河原の植物の形態, 植物と自然, ニューサイエンス社, Vol. 16, No. 6, pp. 8 - 13.
- 山崎史織 (1982): 河原水辺植物の帯状分布, 植物と自然, ニューサイエンス社, Vol. 16, No. 6, pp. 14 - 19.
- 倉本 宣 (1984): 多摩川河辺植物群落の帯状分布とその人間活動による変化, 造園雑誌, Vol. 47, No. 5, pp. 257 - 262.
- 加藤和宏・石川幹子・篠沢健太 (1993): 小貝川河辺植物群落の帯状分布と河川横断面微地形との関係, 造園雑誌, Vol. 56, No. 5, pp. 355 - 360.
- 近藤三雄・福沢千栄子・高橋新平 (1986): 濁水・流水条件下における緑化用植物の冠水抵抗性について, 造園雑誌, Vol. 49, No. 5, pp. 114 - 119.
- 辻本哲郎・岡田俊治・村瀬 尚 (1993): 扇状地河川の川原の植物群落と河道特性—手取川における調査, 水工学論文集, 第37巻, pp. 207 - 214.
- 石川忠晴・高橋和明 (1992): 河道内の灌木林の形成に関する考察, 水工学論文集, 第36巻, pp. 709 - 712.
- 藤井政人・宇多高明・深谷 渉 (1994): トレンチ掘削による利根川河岸の発達過程の研究, 水工学論文集, 第38巻, pp. 671 - 676.

鬼怒川と利根川の植物群落の写真集





写真－1 鬼怒川の 95.25 km－97.0 km 区間の空中写真（1979 年 12 月撮影）



写真－2 鬼怒川の 95.25 km－97.0 km 区間の空中写真（1985 年 9 月撮影）



写真－3 鬼怒川の 95.25 km－97.0 km 区間の空中写真（1990 年 3 月撮影）



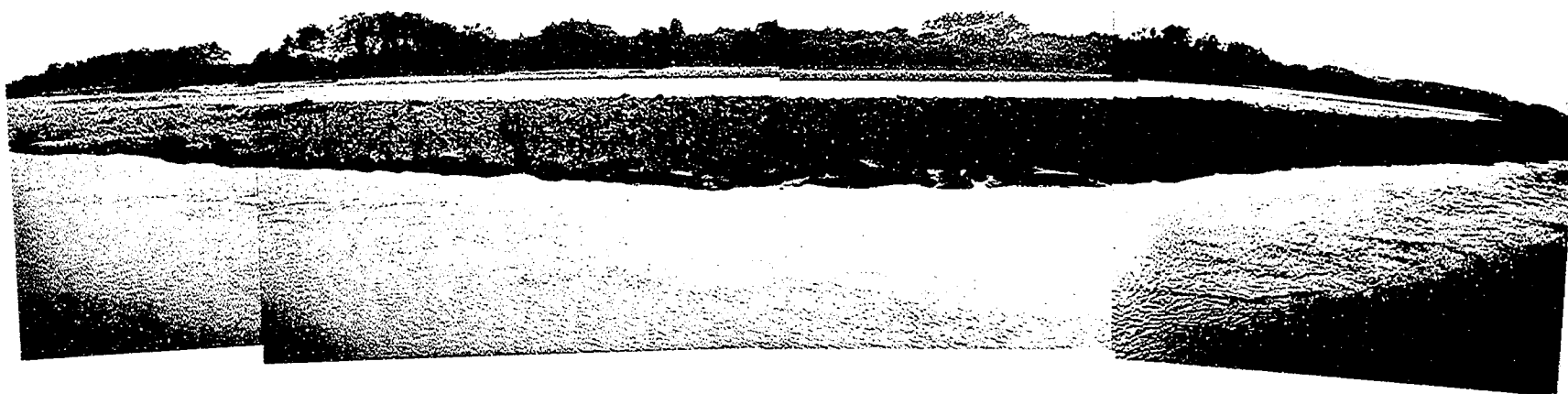
写真-4 96.75 km砂州上の植物群落〔鬼怒川〕(1991年2月1日撮影)



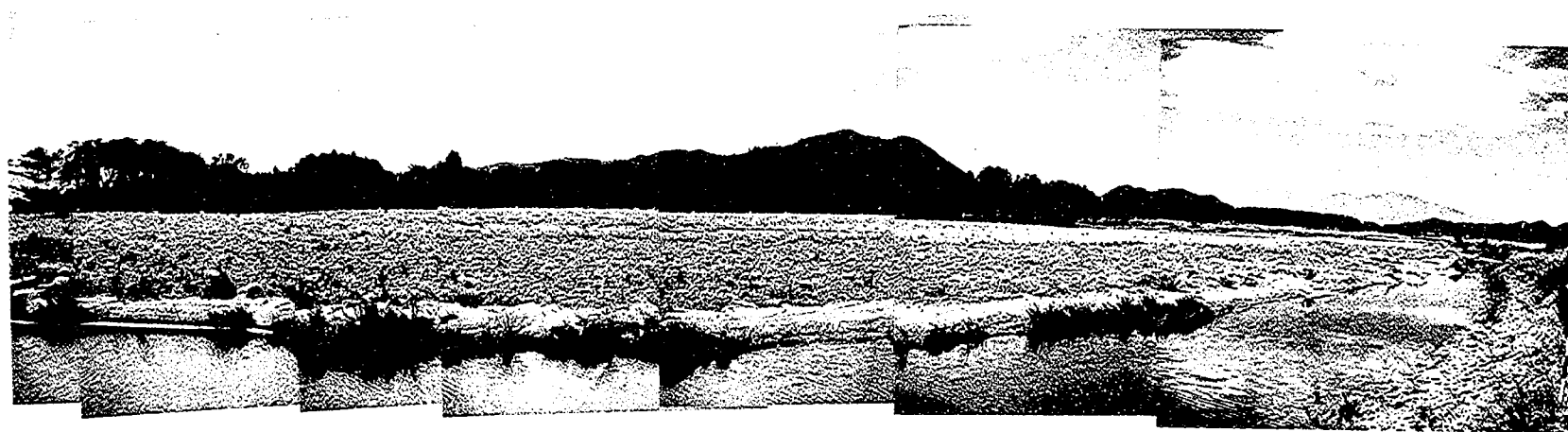
写真-5 96.75 km砂州上の植物群落〔鬼怒川〕(1991年5月8日撮影)



写真-6 96.75 km砂州上の植物群落〔鬼怒川〕(1991年8月15日撮影)



写真－7 96.75 km砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1991年10月4日撮影）



写真－8 96.75 km砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1993年9月28日撮影）



写真-9 96.5 km 砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1991年5月8日撮影）



写真-10 96.5 km 砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1991年8月15日撮影）

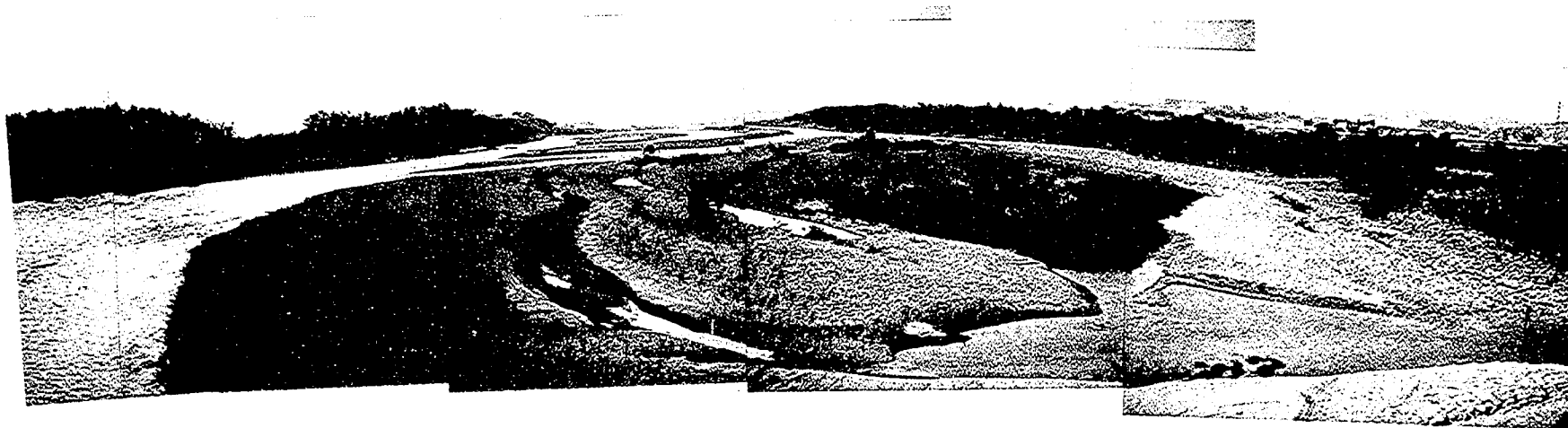


写真-11 96.5 km 砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1991年10月4日撮影）

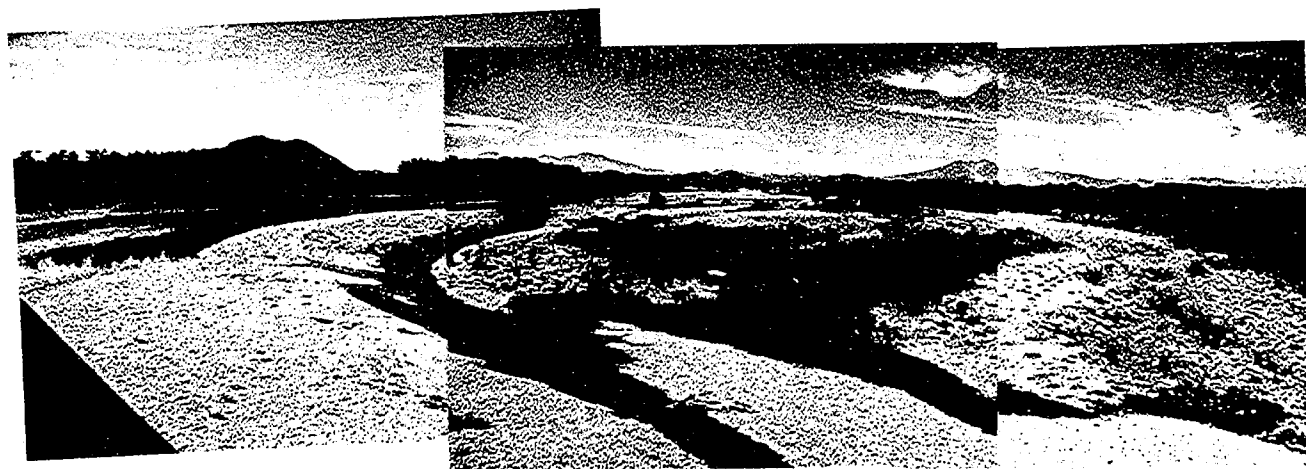


写真-12 96.5 km 砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1993年9月28日撮影）



写真-13 96.0km 砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1991年8月15日撮影）

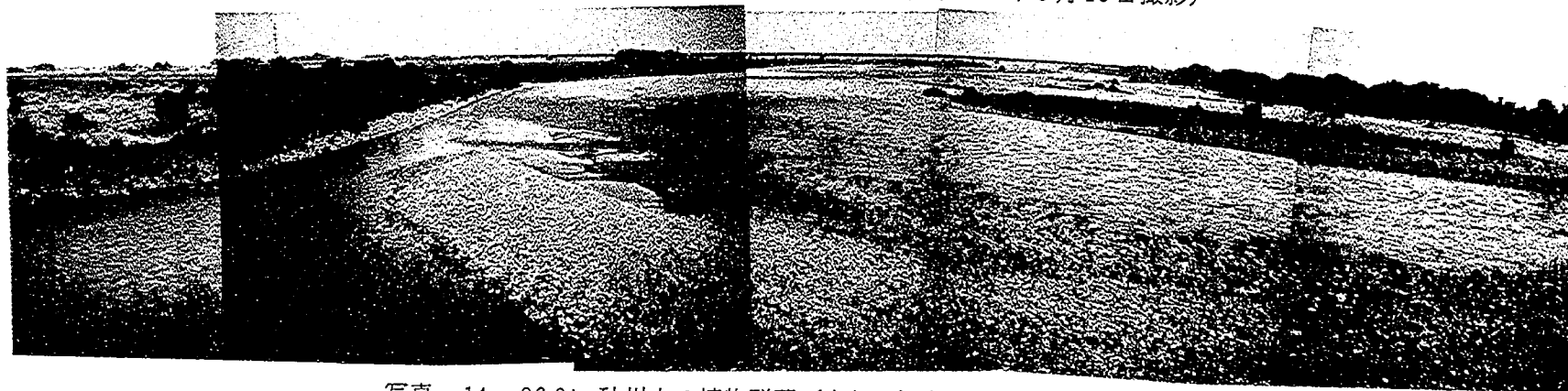
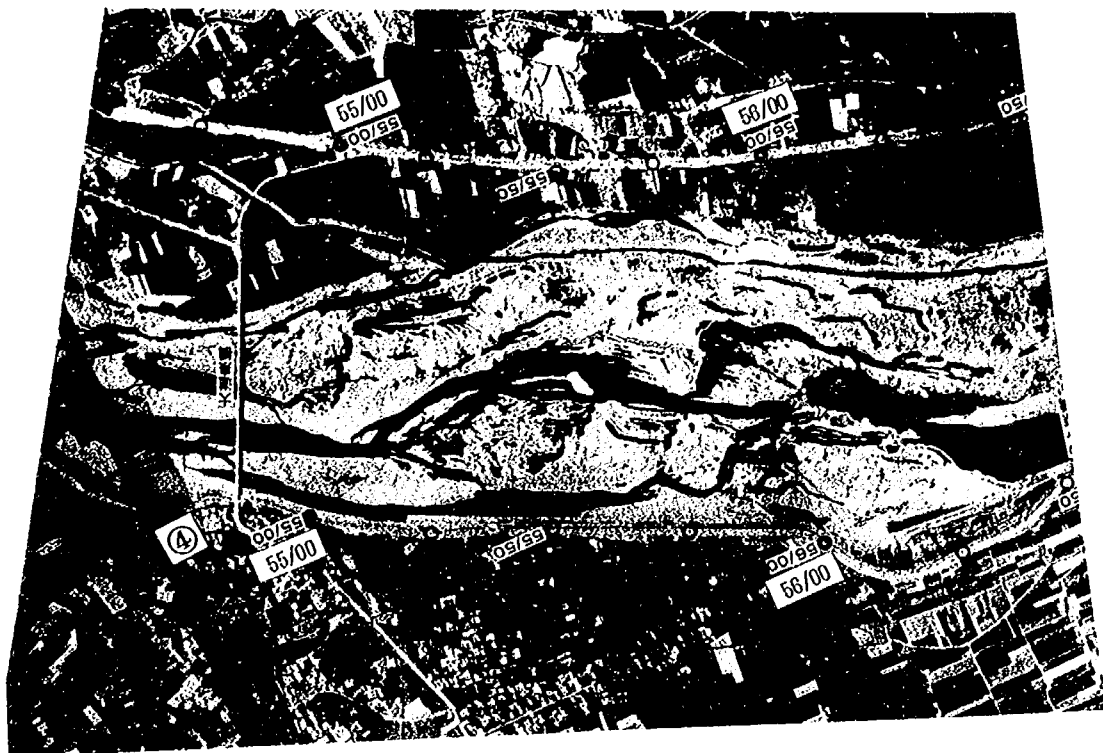


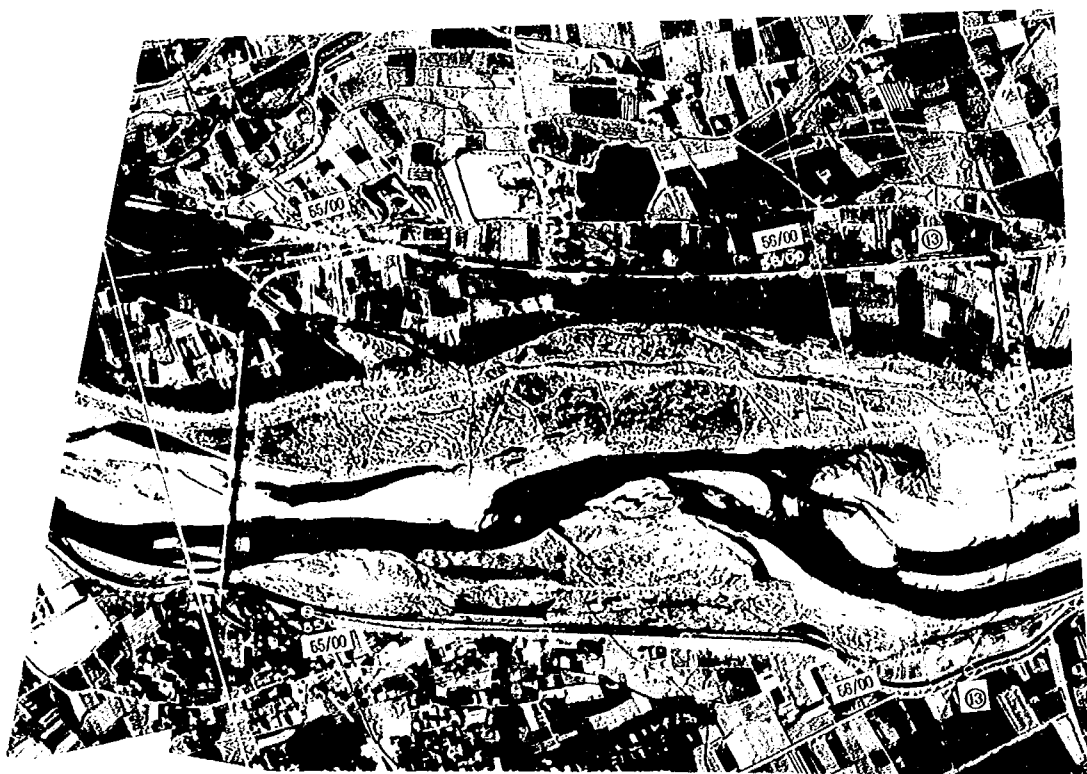
写真-14 96.0km 砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1991年10月4日撮影）



写真-15 96.0km 砂州上の植物群落〔鬼怒川〕（1993年9月28日撮影）



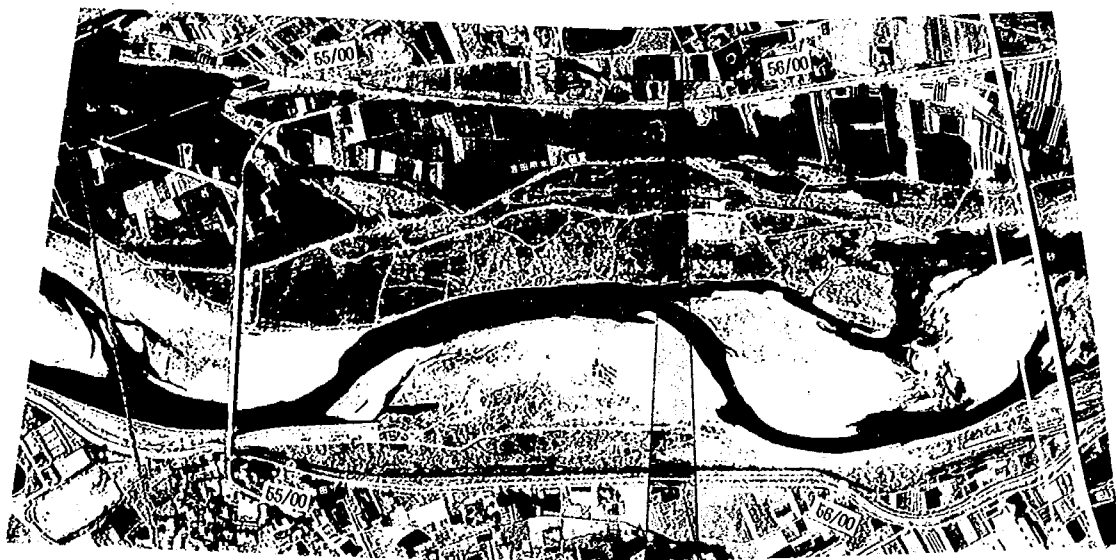
写真－16 鬼怒川の54.5 km－56.5 km区間の空中写真（1966年4月撮影）



写真－17 鬼怒川の54.5 km－56.5 km区間の空中写真（1979年12月撮影）



写真－18 鬼怒川の54.5 km－56.5 km区間の空中写真（1985年9月撮影）



写真－19 鬼怒川の54.5 km－56.5 km区間の空中写真（1990年3月撮影）

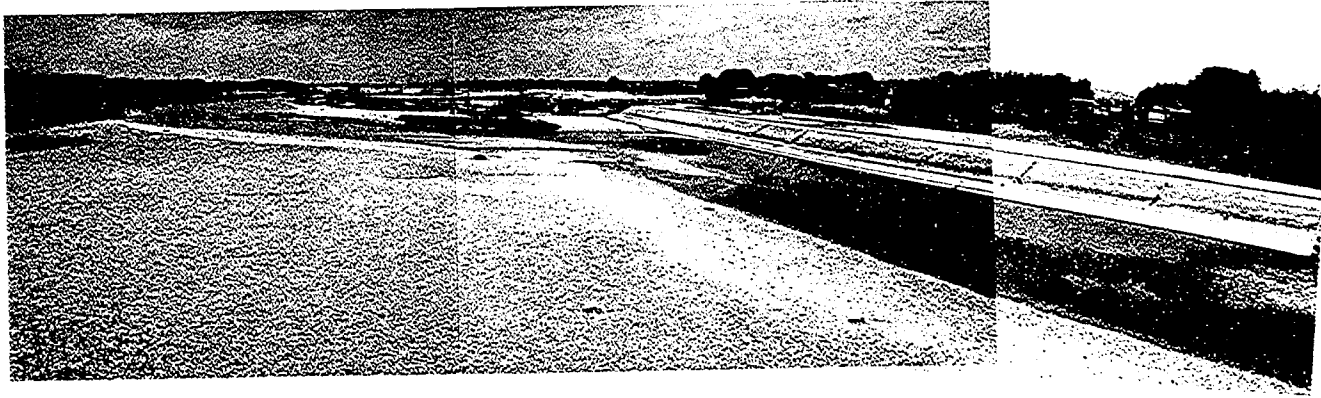


写真-20 55.0 km地点の砂州上流端の植物群落〔鬼怒川〕（1991年5月8日撮影）



写真-21 55.0 km地点の砂州上流端の植物群落〔鬼怒川〕（1991年8月15日撮影）



写真-22 55.0 km地点の砂州上流端の植物群落〔鬼怒川〕（1991年10月4日撮影）



写真-23 55.0 km地点の砂州上流端の植物群落〔鬼怒川〕（1993年9月28日撮影）



写真-24 55.0 km地点の砂州下流端の植物群落〔鬼怒川〕（1991年2月1日撮影）



写真-25 55.0 km地点の砂州下流端の植物群落〔鬼怒川〕（1991年5月8日撮影）



写真-26 55.0 km地点の砂州下流端の植物群落〔鬼怒川〕（1991年8月15日撮影）

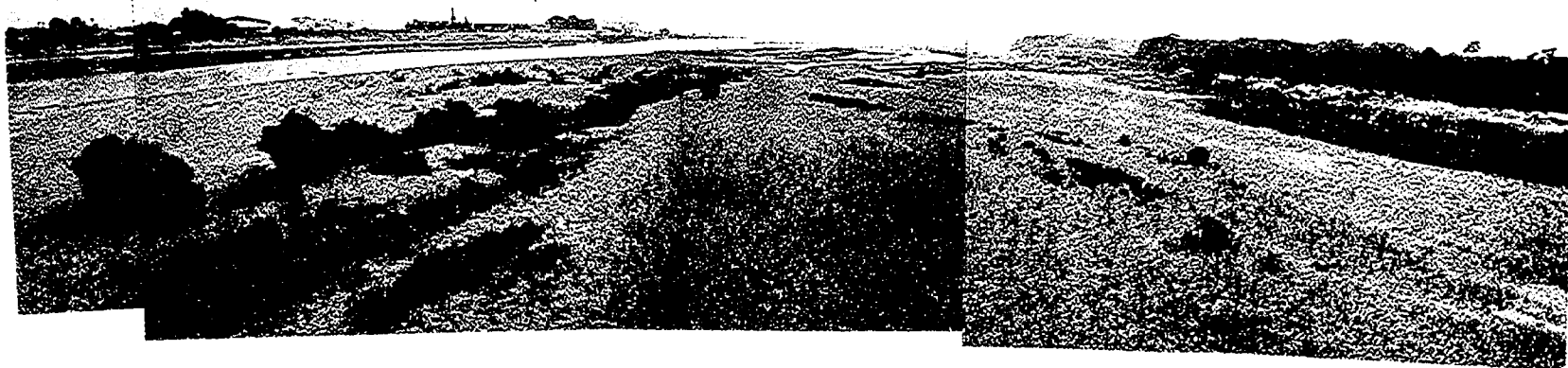


写真-27 55.0km地点の砂州下流端の植物群落〔鬼怒川〕（1991年10月4日撮影）



写真-28 55.0km地点の砂州下流端の植物群落〔鬼怒川〕（1993年9月28日撮影）



写真-29 32.0 km 地点の右岸側の植物群落〔鬼怒川〕（1991年2月1日撮影）



写真-30 32.0 km 地点の右岸側の植物群落〔鬼怒川〕（1991年5月8日撮影）



写真-31 32.0 km 地点の右岸側の植物群落〔鬼怒川〕（1991年8月15日撮影）



写真-32 32.0km地点の右岸側の植物群落〔鬼怒川〕（1991年10月4日撮影）

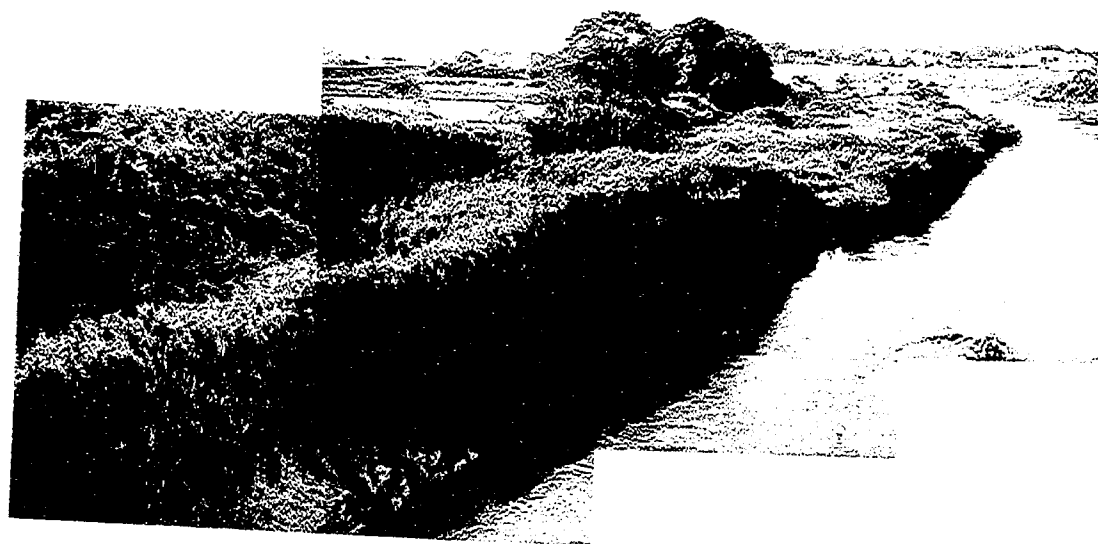


写真-33 32.0km地点の右岸側の植物群落〔鬼怒川〕（1993年9月28日撮影）

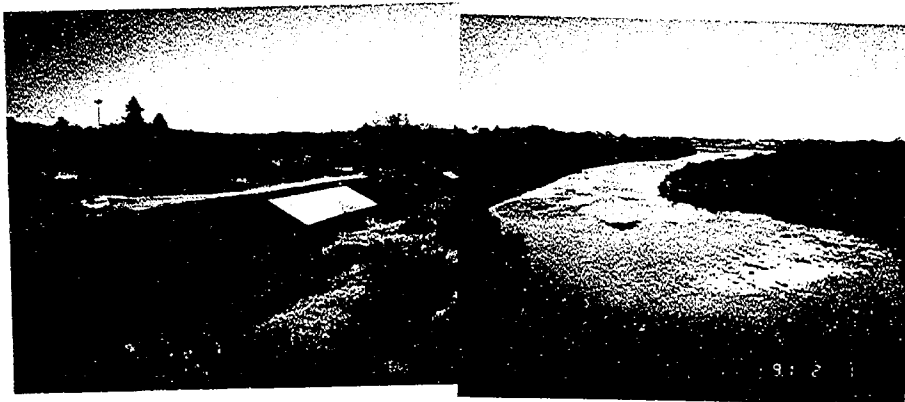


写真-34 32.0 km地点のテラス上の植物群落〔鬼怒川〕
(1991年2月1日撮影)



写真-35 32.0 km地点のテラス上の植物群落〔鬼怒川〕
(1991年5月8日撮影)



写真-36 32.0 km地点のテラス上の植物群落〔鬼怒川〕(1991年8月15日撮影)



写真-37 32.0 km地点のテラス上の植物群落〔鬼怒川〕
(1991年10月4日撮影)



写真-38 32.0 km地点のテラス上の植物群落〔鬼怒川〕（1993年9月28日撮影）



写真-39 16.5 km地点のテラスから高水敷上の植物群落〔鬼怒川〕（1991年10月4日撮影）

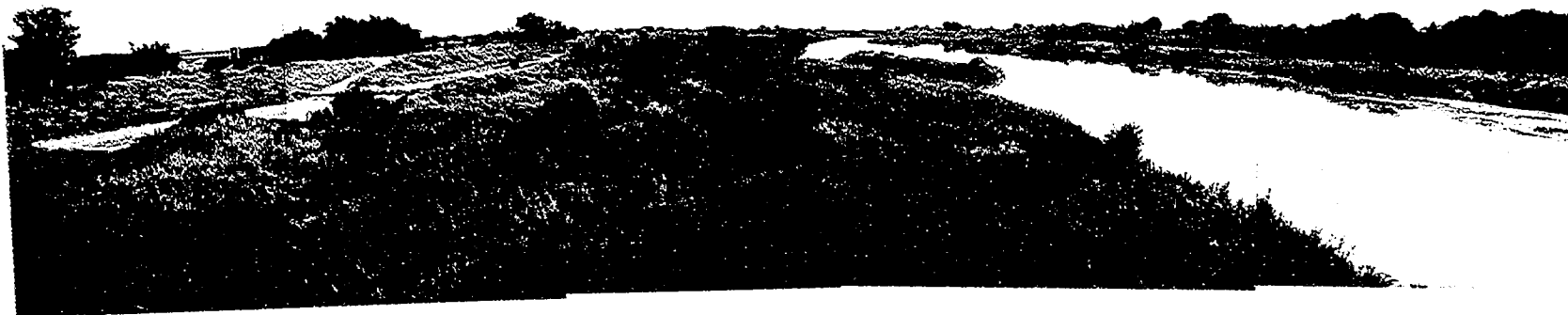


写真-40 16.5 km 地点の右岸側の植物群落〔鬼怒川〕（1991年8月15日撮影）



写真-41 16.5 km 地点の右岸側の植物群落〔鬼怒川〕（1991年10月4日撮影）



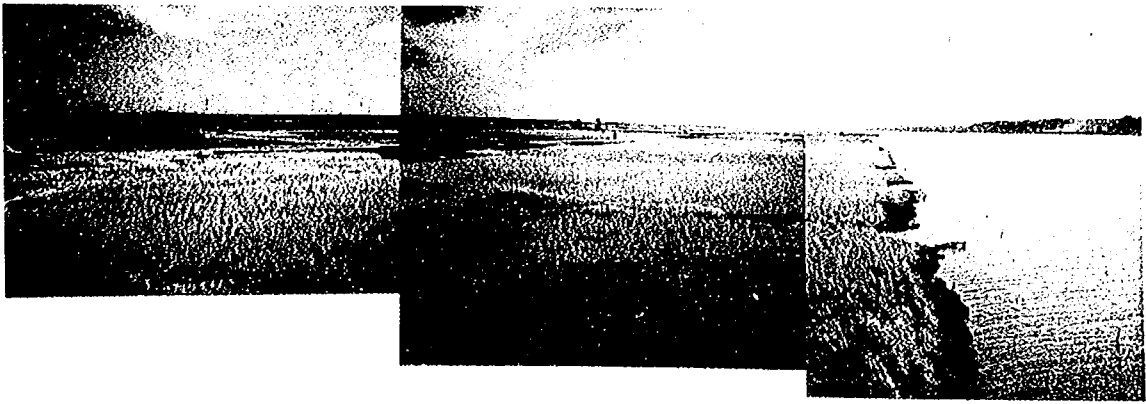
写真－42 27.0 km地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年5月6日上流方向に撮影）



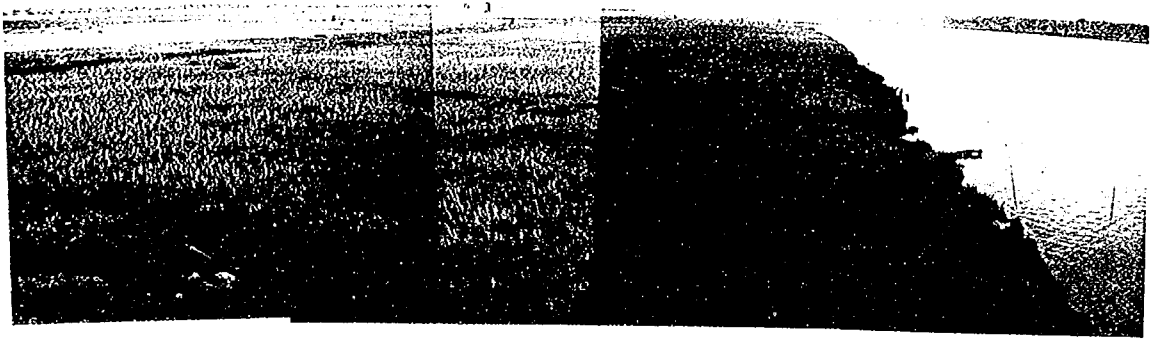
写真－43 27.0 km地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年8月11日上流方向に撮影）



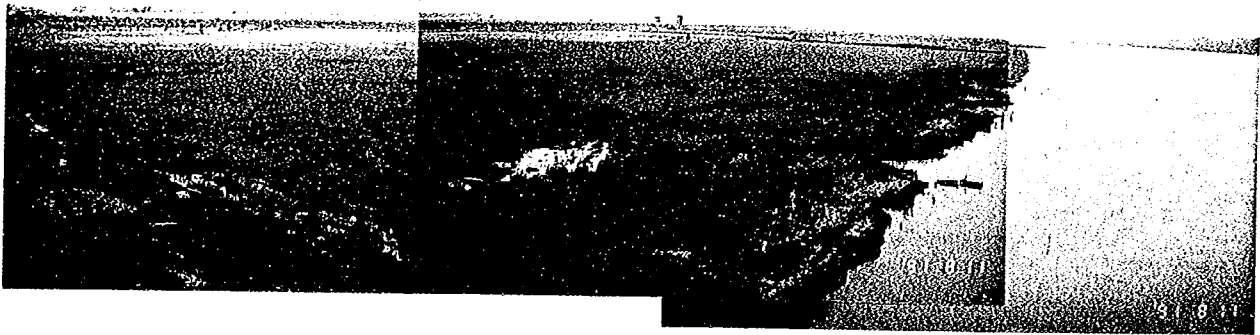
写真－44 27.0 km地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年10月2日上流方向に撮影）



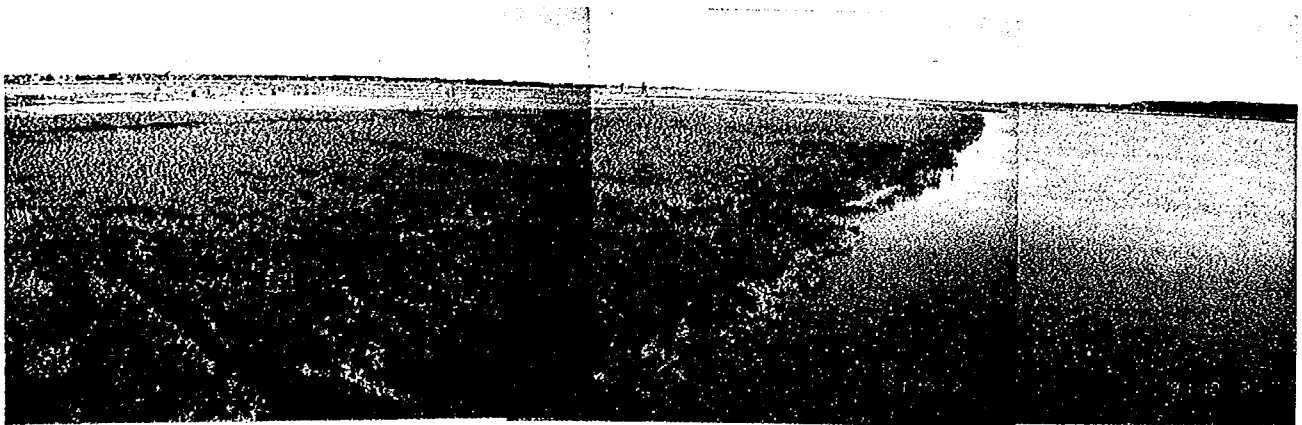
写真－45 27.0 km地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年2月7日下流方向に撮影）



写真－46 27.0 km地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年5月6日下流方向に撮影）



写真－47 27.0 km地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年8月11日下流方向に撮影）



写真－48 27.0 km地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年10月2日下流方向に撮影）

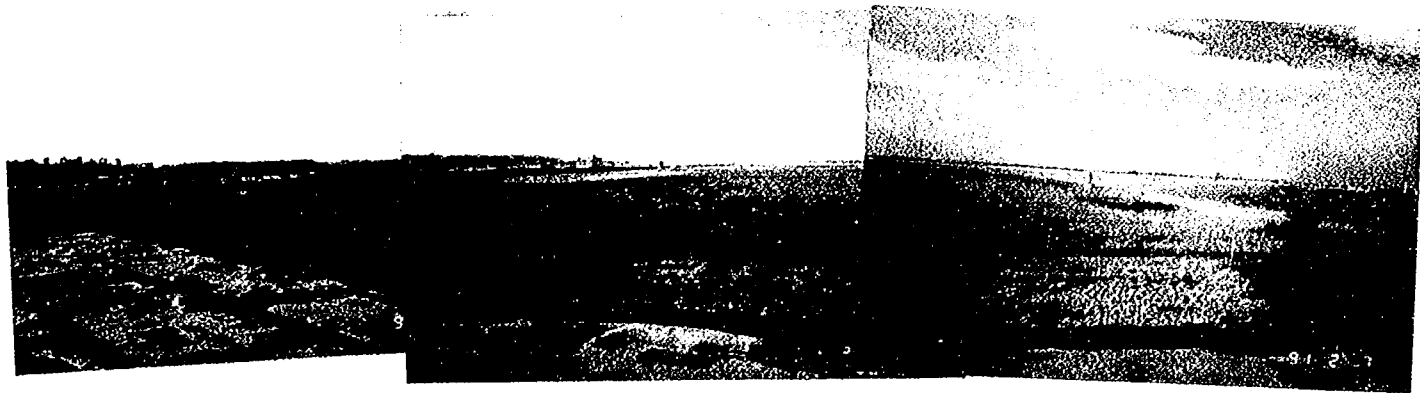


写真-49 20.0 km 地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年2月7日撮影）



写真-50 20.0 km 地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年5月6日撮影）

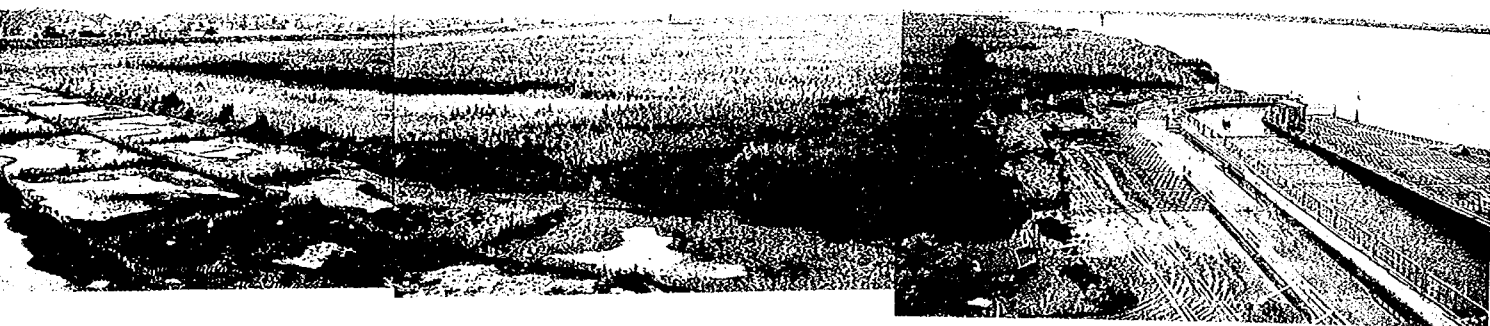


写真-51 20.0 km 地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年8月11日撮影）



写真-52 20.0 km 地点の高水敷上の植物群落〔利根川〕（1991年10月2日撮影）

河道特性による植物群落の分類

—— 利根川と鬼怒川を実例として ——

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3249号

平成6年2月(1994)

宇多高明, 藤田光一, 佐々木克也
服部 敦, 平館 治

要 旨

河道内に形成される植物群落を, 河道計画(治水, 環境)に反映することを目的とした基礎的研究として, 鬼怒川と利根川下流を実例とし, 河道特性と河道内の植物群落の分布形態およびそれを構成する植種の関係を調べた。その方法は, 植物群落を縦断方向にはセグメント, 横断方向には砂州, テラス(中水敷), 高水敷そして河岸などの河道地形によって分布領域を分け, これらの領域の冠水頻度, 表層材料, 流砂形態などの河道特性(環境的秩序規制)と比較するものである。これより, 植物群落の分布形態とそこに繁茂する植種の性質は, セグメントごとに河道特性によって大局的に説明できることを示した。さらに固定化傾向にある砂州上の植物群落の形成過程を空中写真から調べた。これにより, 砂州上の植物群落は, 粗砂の堆積する砂州下流端から砂州周縁部に最初に形成され, その後, 砂州下流端の植物群落は, 洪水ごとの上砂移動のため徐々に砂州上流部に移り, 分布範囲が拡大することがわかった。

キーワード: 河道特性, セグメント, 植物群落, 分布形態, 固定砂州

郵便はがき

五十円切手
をはって下
さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部河川研究室
行

No. _____

No. _____

配布先氏名

○

配布先住所

土木研究所資料第 3249 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印