

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3622号

土木研究所資料

扇状地礫床河道における安定植生域の 形成機構に関する研究

平成11年3月

建設省土木研究所
河川部河川研究室

Copyright©(1999) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, 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。

扇状地礫床河道における安定植生域の 形成機構に関する研究

筑波大学連携大学院制度による

建設省土木研究所	受け入れ研究員	李 参 照
土木研究所	次 長	山 本 晃 一
土木研究所	河川研究室 室 長	望 月 達 也 ¹⁾
土木研究所	河川研究室 室 長	藤 田 光 一
土木研究所	河川研究室 研 究 員	塚 原 隆 夫 ²⁾
土木研究所	河川研究室 交流研究員	渡 辺 敏 ³⁾

要 旨

近年日本の扇状地礫床河道（河道セグメントⅠ）において樹林地などに代表される安定的に存在する密生した植生域（安定植生域）が顕著に増える事例が目立っている。この現象の機構解明と河川管理に役立つ予測手法の開発を目的として、多摩川の扇状地礫床河道部における安定植生域の拡大と河床変動の実態を調べた。その結果、安定植生域の拡大を担った植物群落（ニセアカシア、オギほか）が明らかになり、その多くは複断面化に伴い現れた高水敷的河床部分に定着したことが示された。さらに、マクロな河床変動特性と各植物群落の動態との間に密接な関係があることも示された。次に、各植物群落が存在する場所の立地条件を調べたところ、裸地を含む植物群落を3タイプ（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）に分けた場合、立地条件と各タイプとの間に明瞭な相関があることが示された。これらの結果に基づき、礫床の裸地的地被（河原）から安定植生域形成に至る道筋を示し、安定植生域拡大過程において「表層細粒土層の礫床上への堆積」が本質的な役割を果たしていることを示した。これを受けて、表層細粒土層堆積の実態と水理メカニズムを検討し、安定植生域拡大の全体的シナリオを構築した。以上の成果を踏まえ、安定植生域の消長を予測するモデルを構築し、多摩川永田橋地区の右岸高水敷に適用しモデルの有効性を確認した。最後に、予測値に影響する種々のパラメータについて感度分析を行い、河道内の植物動態を今後の河川管理へ反映させていく際の基本的な考え方を提示した。

キーワード：河道内植物、樹林化、遷移、立地条件、ニセアカシア、オギ、カワラノギク、ウォッシュロード、堆積、表層細粒土層、河床変動、複断面河道、侵食、河原、多摩川、河川管理、多自然型川づくり、ハビタット

- 1) 現 建設省九州地方建設局熊本工事事務所
- 2) 現 国土庁水資源部水資源計画課
- 3) 現 ㈱ウエスコ

Mechanism and prediction of the evolution and destruction of instream vegetation in an alluvial fan river

by
LEE Samhee
YAMAMOTO Koichi
MOCHIZUKI Tatsuya
FUJITA Koh-ichi
TSUKAHARA Takao
and
WATANABE Satoshi

Synopsis

Significant and monotonous increase in riverine wood-land areas has been observed in many gravel-bed rivers in Japan for a couple of decades. Since such rapid wood-land expansion is quite likely to influence both in-stream ecosystems by drastically changing river habitats and the risk of a flood disaster by greatly reducing flood discharge capacity, its mechanisms and methods of predicting and controlling the phenomenon have been becoming an important research target in Japan. A typical example of the expansion was investigated thoroughly for the Nagata reach of the Tama River near Tokyo, where bare gravel surfaces widely occupying the river-bed in 1974 had been replaced by areas totally covered with dense herbaceous vegetation or toll wood-lands (*Robinia pseudo-acacia* was most dominant) by the early 1990's except a narrow, ditch-shaped low-water channel. Changes between the two years in catchment conditions, vegetation, substrate and channel shape in micro-and macro-scale was traced carefully together with hydrologic and hydraulic conditions experienced by the reach in the same period. Precise comparison among the collected data resulted in the scenario for the wood-land expansion observed in the Nagata reach. According to the above scenario, while floods give negative impacts to the wood-land expansion by removing a gravel surface with vegetation, they have an important role in providing a base for the growth of luxuriant and stable vegetation. A simple but comprehensive simulation model based on the scenario was developed and applied to model rivers for examining general characteristics of long-term change in riverine wood-land area. Through the calculation, hydrologic, geomorphic and fine-sediment-supply conditions allowing and preventing the wood-land expansion was identified. Their implications for the possibility of river habitat management through controlling vegetation change without any direct anthropogenic actions were discussed.

Key words: instream vegetation, wood land expansion, succession, site factor, *Robinia pseudo-acacia*, *Miscanthus sacchariflorus*, *Aster kantoensis*, wash load, deposit, top fine sediment layer, river-bed variation, compound cross-section, erosion, gravel bar, the Tama river, river channel management, nature-friendly river improvement, habitat

扇状地礫床河道における 安定植生域の形成機構に関する研究

第1章 序論	1
1.1 植生域拡大の全国実態と河川管理上の課題	1
1.2 関連する既往の研究について	3
1.3 本研究の目的	5
第2章 多摩川扇状地河道部における安定植生域拡大の実態	6
2.1 多摩川の概要	6
2.1.1 概況	6
2.1.2 流況	7
2.1.3 多摩川における主要な人為的インパクトについて	8
2.2 河床形状変化の実態	9
2.2.1 多摩川0-64km区間の河道縦断形の変化特性	9
2.2.2 調査地区の設定	11
2.2.3 調査地区の河道状況変化	12
2.3 植生繁茂状況の変化の実態	34
2.3.1 植生変化の概要と河床形状変化	34
2.3.2 各植物群落の占有面積の変化	40
2.4 まとめ	50
第3章 安定植生域の形成過程における植物群落と立地条件との関係	51
3.1 現地調査の内容	51
3.1.1 調査のねらい	51
3.1.2 調査方法	51
3.2 発達する植物群落と立地条件との現時点における関係	54
3.2.1 表層細粒土層厚と植物群落との関係	55
3.2.2 表層材料粒径と植物群落との関係	59
3.2.3 地下水位からの比高と植物群落との関係	62
3.2.4 比高-堆積厚座標を用いた分析	66
3.3 発達する植物群落と立地条件との過去の時点における関係	74
3.4 安定植生域の拡大の原因となった立地条件の変化についての考察	75
第4章 安定植生域の形成を支配した立地条件の形成機構	79

4.1	安定植生域の形成を支配する立地条件としての表層細粒土層	79
4.2	表層細粒土層の堆積性状と堆積過程	79
4.2.1	表層細粒土層の堆積場所における洪水営力の履歴	79
4.2.2	表層細粒土層厚の横断分布と河床横断形状に基づく分析	81
4.2.3	堆積構造調査に基づく分析	87
4.2.4	表層細粒土層厚の平面分布特性	92
4.2.5	表層細粒土層の総体積—領域①について—	96
4.2.6	まとめ	96
4.3	表層細粒土層形成に伴う立地条件の変化と植生変化との時間的關係	97
4.3.1	検討のねらいと方法	97
4.3.2	過去の立地条件と繁茂植物	97
4.3.3	ニセアカシア群落の拡大と表層細粒土層堆積との時間的關係	101
4.3.4	まとめ	102
4.4	表層細粒土層形成の水利機構	102
4.4.1	本節の目的	102
4.4.2	洪水時の流況	102
4.4.3	表層細粒土層堆積の水利機構の仮説と検証	103
4.4.4	日野橋地区と永田橋地区との比較	108
4.4.5	まとめ	109
4.5	安定植生域拡大のシナリオ	109
4.5.1	シナリオ	109
4.5.2	シナリオ成立の可否を支配する要件	111

第5章 安定植生域の消長を予測する枠組みの提示 ——河川管理への応用を目指して——

5.1	本章のねらいと概要	112
5.2	安定植生域の消長を予測するモデルの構築	112
5.2.1	モデルの構成	112
5.2.2	モデルにおける各過程の具体的取り扱い	113
5.2.3	モデルの検証	118
5.2.4	植生動態全体の中での本予測モデルの位置づけ	121
5.3	予測モデルを用いた感度分析に基づく考察	124
5.3.1	感度分析の方法	124
5.3.2	感度分析の結果	125
5.3.3	河川管理への応用を意識した植物変化予測の枠組みについての考察	146

第6章 結論	150
謝 辞	152
参考文献	153
付 録	
1. 表層細粒土層堆積の水理量計算における洪水条件設定法	157
2. 研究対象とした3地区の多摩川河川敷現存植生図	159
3. 表層細粒土層となる細粒土砂の供給条件	168

図・表・写真目次

図1-1	横断形状についての河道変化パターン	1
表1-1	河道セグメント分類ごとの各河道変化パターンの発生数	1
図2-1	多摩川流域と調査区間	6
図2-2	石原地点の流況	7
図2-3	年最大流量(石原地点)	8
図2-4	年最大流量(調布橋地点：羽村堰放流量データ含む)	8
図2-5	多摩川の縦断形変化(最深河床高)	10
図2-6	多摩川の縦断形変化(平均河床高)	10
図2-7	平面図 a) 永田橋地区	13
図2-7	平面図 b) 秋川合流地区	14
図2-7	平面図 c) 日野橋地区	15
図2-8	調査対象区間の滞筋変化	16
図2-9	調査地区の縦断形変化(最深河床高)：a) 3地区	19
図2-9	調査地区の縦断形変化(最深河床高)：b) 永田橋地区	20
図2-9	調査地区の縦断形変化(最深河床高)：c) 秋川合流地区	20
図2-9	調査地区の縦断形変化(最深河床高)：d) 日野橋地区	20
図2-10	調査地区の縦断形変化(平均河床高)：a) 3地区	21
図2-10	調査地区の縦断形変化(平均河床高)：b) 永田橋地区	22
図2-10	調査地区の縦断形変化(平均河床高)：c) 秋川合流地区	22
図2-10	調査地区の縦断形変化(平均河床高)：d) 日野橋地区	22
図2-11(a)	横断形状(永田橋地区の51.6km測線)	23
図2-11(b)	横断形状(永田橋地区の51.8km測線)	23
図2-11(c)	横断形状(永田橋地区の52.0km測線)	24
図2-11(d)	横断形状(永田橋地区の52.2km測線)	24
図2-11(e)	横断形状(永田橋地区の52.4km測線)	24
図2-11(f)	横断形状(永田橋地区の52.6km測線)	25
図2-11(g)	横断形状(永田橋地区の52.8km測線)	25
図2-11(h)	横断形状(永田橋地区の53.0km測線)	25
図2-11(i)	横断形状(永田橋地区の53.2km測線)	26
図2-12(a)	横断形状(秋川合流地区の48.4km測線)	26
図2-12(b)	横断形状(秋川合流地区の48.6km測線)	27
図2-12(c)	横断形状(秋川合流地区の48.8km測線)	27
図2-12(d)	横断形状(秋川合流地区の49.0km測線)	27
図2-13(a)	横断形状(日野橋地区の39.4km測線)	28

図2-13 (b) 横断形状 (日野橋地区の39.6km測線)·····	28
図2-13 (c) 横断形状 (日野橋地区の39.8km測線)·····	28
図2-13 (d) 横断形状 (日野橋地区の40.0km測線)·····	29
図2-13 (e) 横断形状 (日野橋地区の40.2km測線)·····	29
図2-13 (f) 横断形状 (日野橋地区の40.4km測線)·····	29
図2-13 (g) 横断形状 (日野橋地区の40.6km測線)·····	30
図2-13 (h) 横断形状 (日野橋地区の40.8km測線)·····	30
図2-13 (i) 横断形状 (日野橋地区の41.0km測線)·····	30
図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化： a) 永田橋地区の52.2km測線·····	32
図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化： b) 永田橋地区の52.4km測線·····	32
図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化： c) 永田橋地区の52.6km測線·····	32
図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化： d) 日野橋地区の40.4km測線·····	33
図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化： e) 日野橋地区の40.6km測線·····	33
図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化： f) 日野橋地区の40.8km測線·····	33
図2-15 52.4km測線の横断形状と植生変化·····	37
図2-16 48.6km測線の横断形状と植生変化·····	40
図2-17 40.6km測線の横断形状と植生変化·····	43
図2-18 樹林地面積変化 a) 永田橋地区 (63.1ha)·····	44
図2-18 樹林地面積変化 b) 秋川合流地区 (23.9ha)·····	44
図2-18 樹林地面積変化 c) 日野橋地区 (71.9ha)·····	44
図2-19 各植物群落の占有面積変化： a) 永田橋地区·····	46
図2-19 各植物群落の占有面積変化： b) 秋川合流地区·····	46
図2-19 各植物群落の占有面積変化： c) 日野橋地区·····	46
表2-1 多摩川の概要·····	7
表2-2 多摩川の河道セグメント区分と河道特性·····	11
表2-3 調査対象地区とその河道特性·····	12
表2-4 各植物群落の占有面積変化の概要·····	47
表2-5 1977～83～94年の植生変化傾向·····	49
表2-6 本研究でとりあげた植物の和名と学名·····	50
写真2-1 永田橋地区の植生繁茂の経年変化状況·····	35
写真2-2 秋川合流地区の植生繁茂の経年変化状況·····	38
写真2-3 日野橋地区の植生繁茂の経年変化状況·····	41
図3-1 地下水位横断線の推定図·····	53
図3-2 河床表層の構成状態·····	54
図3-3 堆積厚と植物群落 (永田橋地区)·····	55

図3-4	堆積厚と植物群落(秋川合流地区).....	56
図3-5	堆積厚と植物群落(日野橋地区).....	57
図3-6	堆積厚と植物群落(3地区全体)	58
図3-7	粒径と植物群落(永田橋地区).....	59
図3-8	粒径と植物群落(秋川合流地区).....	60
図3-9	粒径と植物群落(日野橋地区).....	61
図3-10	粒径と植物群落(3地区全体)	61
図3-11	地下水位からの比高と植物群落(永田橋地区).....	63
図3-12	地下水位からの比高と植物群落(秋川合流地区).....	64
図3-13	地下水位からの比高と植物群落(日野橋地区).....	65
図3-14	地下水位からの比高と植物群落(3地区全体)	66
図3-15	比高-堆積厚座標における全データの分布状況.....	67
	a) 通常目盛り	67
	b) 堆積厚が対数目盛	67
図3-16(a)	比高-堆積厚と植物群落(裸地).....	68
図3-16(b)	比高-堆積厚と植物群落(コンセンダングサ).....	68
図3-16(c)	比高-堆積厚と植物群落(イヌコリヤナギ).....	68
図3-16(d)	比高-堆積厚と植物群落(オギ).....	69
図3-16(e)	比高-堆積厚と植物群落(ツルヨシ).....	69
図3-16(f)	比高-堆積厚と植物群落(オオブタクサ)	69
図3-16(g)	比高-堆積厚と植物群落(ニセアカシア).....	70
図3-16(h)	比高-堆積厚と植物群落(ススキ).....	70
図3-17(a)	比高-堆積厚と植物群落(タイプⅠ).....	71
図3-17(b)	比高-堆積厚と植物群落(タイプⅡ).....	71
図3-17(c)	比高-堆積厚と植物群落(タイプⅢ).....	71
図3-18	礫床裸地から安定植生域への変化の道筋についての考察.....	78
表3-1	設けたベルト・トランセクトと調査時期.....	52
表3-2	表層細粒土層厚の観点からの裸地を含む植物群落のタイプ分けの試み.....	58
表3-3	表層材料粒径の観点からの裸地を含む植物群落のタイプ分けの試み.....	62
表3-4	比高-堆積厚座標を用いた植物群落のタイプ分けの試み.....	70
表3-5	各植物群落で優占する植物種の生活型.....	73
図4-1(a)	代表調査地点での年最大高水敷水深(永田橋地区52.6km測線).....	80
図4-1(b)	代表調査地点での年最大高水敷水深(永田橋地区52.4km測線).....	80
図4-1(c)	代表調査地点での年最大高水敷水深(永田橋地区52.2km測線).....	80
図4-1(d)	代表調査地点での年最大高水敷水深(日野橋地区).....	81

図4-2 (a)	52.6km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況	82
図4-2 (b)	52.4km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況	82
図4-2 (c)	52.2km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況	82
図4-2 (d)	40.8km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況	83
図4-2 (e)	40.6km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況	83
図4-3	領域①, ②とニセアカシア群落分布 (永田橋地区52.0-52.8km)	84
図4-4 (a)	高水敷下の堆積構造: 領域①について (52.6-A地点)	89
図4-4 (b)	高水敷下の堆積構造: 領域①について (52.4-A地点)	89
図4-4 (c)	高水敷下の堆積構造: 領域①について (52.4-B地点)	89
図4-4 (d)	高水敷下の堆積構造: 領域①について (52.2-A地点)	90
図4-4 (e)	高水敷下の堆積構造: 領域①について (40.8-A地点)	90
図4-4 (f)	高水敷下の堆積構造: 領域①について (40.6-A地点)	90
図4-5 (a)	高水敷下の堆積構造: 領域①と②の境界部 (52.6-B地点)	91
図4-5 (b)	高水敷下の堆積構造: 領域①と②の境界部 (52.2-B地点)	91
図4-6	微地形調査地点の位置	92
図4-7	表層細粒土層厚の平面分布	94
図4-8	現河床高の平面分布	94
図4-9	表層細粒土層の基盤となっている礫層表面高の平面分布	94
図4-10	ニセアカシアの平面分布と樹齢	95
図4-11 (a)	比高-堆積厚と植物群落 (裸地)	99
図4-11 (b)	比高-堆積厚と植物群落 (ツルヨシ)	99
図4-11 (c)	比高-堆積厚と植物群落 (イヌコリヤナギ)	99
図4-11 (d)	比高-堆積厚と植物群落 (ニセアカシア)	100
図4-11 (e)	比高-堆積厚と植物群落 (オギ)	100
図4-11 (f)	比高-堆積厚と植物群落 (ススキ)	100
図4-12	ニセアカシア成立年	102
図4-13	代表地点の浮遊砂の浮遊能と堆積能 (52.4-A地点)	104
図4-14	a) 縦断方向の堆積厚分布 (ウォッシュロード供給が濃い条件)	106
図4-14	b) 縦断方向の堆積厚分布 (ウォッシュロード供給が薄い条件)	106
図4-15	各植物群落のK値の推定結果	107
図4-16 (a)	表層細粒土層厚と堆積時点の植生横断分布 (52.6km)	107
図4-16 (b)	表層細粒土層厚と堆積時点の植生横断分布 (52.4km)	107
図4-17	安定植生域拡大のイメージ	110
表4-1	堆積性状に着目した表層細粒土層の堆積域の分類 (領域①と②)	83
表4-2	堆積構造調査地点一覧	87
表4-3	領域①にある表層細粒土層の総体積	96
表4-4	過去の植物群落と立地条件	98

写真4-1	領域①と領域②(永田橋地区).....	85
写真4-2	1983年洪水の減水期の状態(永田橋地区).....	103
図5-1	予測モデルで想定した河床横断形状.....	114
図5-2	河道の概況と低水路内礫州上の河床材料移動状況.....	116
図5-3	低水路横断形状(53.1km).....	116
図5-4	侵食域における植生破壊状況.....	117
図5-5	堆積域における植生埋没・損傷.....	117
図5-6	検証計算に用いた河道条件.....	120
図5-7	永田橋地区52.2km~52.6km付近の右岸高水敷についての検証計算結果	121
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 a) $h_s=0.5m$	126
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 b) $h_s=1.0m$	126
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 c) $h_s=1.5m$	127
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 d) $h_s=2.0m$	127
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 e) $h_s=2.5m$	128
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 f) $h_s=3.0m$	128
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 g) $h_s=3.5m$	129
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 h) $h_s=4.0m$	129
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 i) $h_s=4.5m$	130
図5-8	基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 j) $h_s=5.0m$	130
図5-9	安定植生域の存在期間割合.....	132
図5-10	非安定植生域の存在期間割合.....	132
図5-11	安定植生域の持続期間の平均値と段差 h_s との関係.....	134
図5-12	非安定植生域の持続期間の平均値と段差 h_s との関係.....	134
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度.....	135
	a) $h_s=0.5m$	
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度.....	135
	b) $h_s=1.0m$	
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度.....	136
	c) $h_s=1.5m$	
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度.....	136
	d) $h_s=2.0m$	
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度.....	136
	e) $h_s=2.5m$	
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度.....	137
	f) $h_s=3.0m$	
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度.....	137
	g) $h_s=3.5m$	

図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	137
	h) $hs=4.0m$	
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	138
	i) $hs=4.5m$	
図5-13	安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	138
	j) $hs=5.0m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	139
	a) $hs=0.5m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	139
	b) $hs=1.0m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	139
	c) $hs=1.5m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	140
	d) $hs=2.0m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	140
	e) $hs=2.5m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	140
	f) $hs=3.0m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	141
	g) $hs=3.5m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	141
	h) $hs=4.0m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	141
	i) $hs=4.5m$	
図5-14	非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度……………	142
	j) $hs=5.0m$	
図5-15	安定植生域が存在する面積割合の時間変化 a) $hs=0.5m$ 、 $2.5m$ 、 $5m$ の河床面積が 1/3ずつ混合している場合 ……………	145
図5-15	安定植生域が存在する面積割合の時間変化 b) 全ての河床面積が $hs=0.5m$ の場合……………	145
図5-15	安定植生域が存在する面積割合の時間変化 c) 全ての河床面積が $hs=2.5m$ の場合……………	145
図5-15	安定植生域が存在する面積割合の時間変化 d) 全ての河床面積が $hs=5m$ の場合……………	145
図5-16	植物動態に関する河床場特性把握図の説明……………	149
表5-1	感度分析で設定した基本量とそのずらし方……………	125
表5-2	持続期間と存在期間割合に与える各パラメータの影響……………	142
表5-3	植物動態に関する河床場特性把握図の見方……………	148

第1章 序 論

1.1 植生域拡大の全国実態と河川管理上の課題

藤田らによると[藤田・Moody・宇多・藤井, 1996], 主に日本の河川において最近数十年間で生じた河道変化は, 横断形状に着目すると図1-1に示すように3つないし4つのタイプに分類できる。タイプⅠは, 礫床河川において河床の一部に堆積が生じることによる川幅縮小であり, 堆積する場所以外の河床では有意な変動がほとんど見られない。形成された高水敷には植生が繁茂している。タイプⅡは, 砂床河川において, 河床の一部が低下し, 低下しないで残った部分に堆積が生じ, そこが新しい高水敷となることにより川幅縮小が起こるというものである。このタイプの新高水敷も植生を持つ。タイプⅢは, 礫床河川において, 有意な河床変化を伴わず河床の一部が植生で覆われることにより, 外見上川幅が小さくなったように見えるタイプである。なお, 有意な堆積は伴わないが, 河床の一部が低下し, 低下せずに残った部分に植生が繁茂するというタイプもあり, ここではこれをタイプⅢの亜種としてⅢ'と分類している。

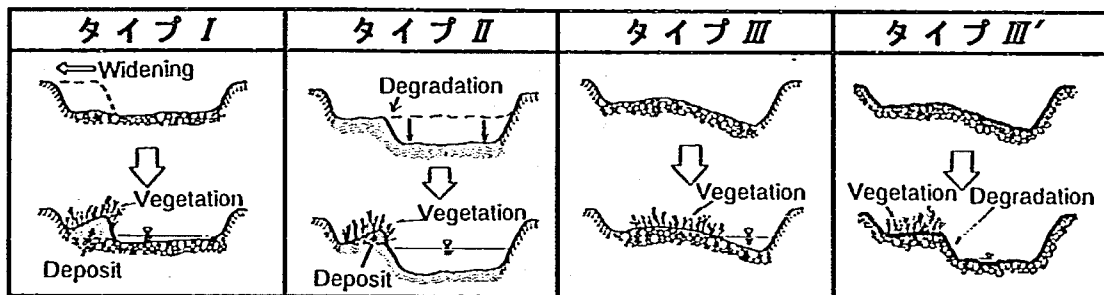


図1-1 横断形状についての河道変化パターン

表1-1 河道セグメント分類ごとの各河道変化パターンの発生数

河道変化パターン		河道セグメント分類			
		1	2-1	2-2	3
横断形変化	タイプⅠまたはタイプⅡ：低水路幅縮小、低水路における高水敷化、植生帯形成	0	2	3	0
	タイプⅢ：礫床河道における植生帯の形成	1	2		
	タイプⅢ'：礫床-網状流路における低水路の形成と植生帯の形成	2			
検討対象河川の各セグメント総数		7	10	13	4

表1-1は, これらのタイプがどのような河道で生じたかを全国代表20河川について調査したものである[建設省河川局治水課・土木研究所, 1991, 1992]。表中の河道セグメント分類は, 河道特性に着目した山本による河道分類法であり[山本, 1994], セグメント1が扇状地河道に, セグメント2-1が礫を河床材料に持つ自然堤防帯の河道に, セグメント2-2が砂を河床材料に持つ自然堤防帯の河道に, セグメント3がデルタ河道に相当する。さて, タイプⅠは, セグメント2-1で観察され(セグメント2-2でも起こる可能性がある), 低水路川幅の拡大に対する応答として現れる。タイプⅡは, セグメント2-2(したがって砂床河川)で観察

されている。この河道変化は、低水路河床における一部幅の低下に対する応答として起こる。タイプⅢについては、セグメント1と2-1で観察される。タイプⅢの変化が連続的に生じている区間を上空から見ると、低水路の両側に形成された植生の帯によって、その川幅が縮小したように見える。タイプⅠの場合と異なり、植生繁茂領域での河床地形変化は今のところ顕著でない。このタイプは、たとえば那賀川、重信川で確認されている。タイプⅢ'は、もっぱらセグメント1で観察されている。セグメント1の区間は一般に網状の河床形態を持つため、そこにははっきりした低水路がないことが通常である。黒部川、札内川、常願寺川のセグメント1区間において、新たに明確な低水路が形成され、相対的に高くなった元の河床部分に植生が繁茂するという変化が起こっている。タイプⅡの場合と異なり、植生繁茂領域での河床地形変化は今のところ顕著でない(ただし0ではない:このことが2章以降で重要になる)。最近、萱場は、建設省が実施している「河川水辺の国勢調査」の結果に基づき全国における樹林化の現状をさらに幅広く調査し、地域ごとの特性の違いはあるものの樹林化が多くの河川で進んでいることを示している[萱場, 1998]。

さて、上記の各タイプはいずれも植物の繁茂を伴う変化であるが、特にタイプⅢあるいはⅢ'の変化においては、裸地の礫床いわゆる白州河原が広範囲に植生に取って代わられる現象が起こるため、植物繁茂が起こす河道状況変化としては規模が大きい。これらのタイプが生じた河道の植物繁茂状況の変化について、萱場・島谷は雫石川について[萱場・島谷, 1995]、李らは多摩川について[李・山本・島谷・萱場, 1996]実態を分析しており、これらの調査対象地区では、近年“樹林化”が進行し、白州河原が大幅に減少してきていることを明らかにした上で、そうした現象が河川の自然環境に及ぼす影響の重要性を指摘している。こうした変化は、たとえば裸地の河原を生息空間にしていた生物にとっては、その存在をも脅かす要因にもなり、単なる変化だけにとどまらず、生物相に大きな影響をもたらす可能性を持つ。

以上のように、礫を河床主材料に持つセグメント1やセグメント2-2の河道区間においてタイプⅢ、Ⅲ'の変化あるいは“河道樹林化”が生じる傾向が全国的に見られ、そのことが河道の自然環境の変化という点で見逃ごせない現象であると言える。一方、こうした河道変化は、樹林やその他の密生した植物による粗度の増大に直結し、粗度の増大は洪水時の流況変化をもたらし、河積が変わらなければ水位上昇につながる。この意味で、治水安全度を確保する上でも、こうした現象は重要な意味を持つ。

治水安全度の確保が最優先された時代にあつては、また、河道の維持管理の負担がさほど大きくなかった時代においては、治水上有害な河道内樹木を伐採するという方針の下、河道内植生の処理について比較的単純な方式が採用できたかもしれない。しかし今、河川には治水安全度の確保とともに、河川特有の自然環境の保全が強く求められており、また、河道内植生の維持管理にしても、それにかかるコストの縮減を十分考慮した方式が求められるようになっている。このような中で適切な河道管理を実行するには、河道内の植物の動態について理解を深め、機構を解明し、その予測を何らかの形で可能にすることが求められる。別の表現をすれば、河道内の植物を川の現象と無関係に与えられるものととらえるのではなく、河道内に繁茂する植物は河道を構成する重要な要素の1つであるにとらえ、河床材料や河床地形に関して追求されてきたのと同様に、植物変化を予測する手法を開発する必要がある。特に、礫床河道内の植物は、物理過程(流れ、土砂輸送など)と生物過程の間の微妙なバランスの上に成り立っていて、少しの条件変化で動態が大きくかつ速く変化すると考えられることから、その変化予測は、水工学と生物学の学際領域にある重要な課題と言える。

1.2 関連する既往の研究について

図1-1に示したような河道変化、すなわち河道内の植生域が増大し裸地域が減少するという変化は、日本だけでなく米国の河川でも観察されており、それらについても図1-1の4つのタイプ分けが概ね適用できることが藤田らにより指摘されている[藤田・Moody・宇多・藤井, 1996]。米国におけるこのような河道変化の代表的な原因については、1) 非常に大きな洪水により強制的に拡幅された川幅のその後の縮小過程[たとえば, Schumm・Lichty, 1963; Osterkamp・Costa, 1987], 2) 治水, 利水, 発電などを目的とした上流のダム建設により洪水あるいは平水流量(と土砂供給)の変化が短期間に起こった河川での川幅縮小過程[たとえば, Williams・Wolman, 1984], のいずれかを軸に検討されることが多いようである。このうち後者については、上流ダム建設がもたらした地形変化や植生変化、土砂動態変化がその河川の元々の自然環境を看過できない程度まで改変させたにとらえ、それを軽減するための措置を科学的な現象理解を踏まえて施すことが自然環境再生の鍵であるという考え方の起点になっている場合が少なくない。このような流れにある研究の例としては、・米国におけるダムが下流の河道に与えた影響を河道地形、土砂動態、動植物など幅広い観点で概括的にわかりやすく紹介したCollier・Webb・Schmidt (1996) の成果、・Gunnison川のBlack Canyonでのダムによる洪水流量減少に伴う植生変化を予測する実用的手法を提案したAuble・Friedman・Scott (1994) の研究、・その植生変化と細砂堆積や河床材料移動特性とのかかわりを調べたElliott・Parker (1997) の研究、・ダム・灌漑による年間の流量パターンの変化がもたらしたPlatte川での樹林地拡大の実態と原因を調べたJohnson (1994) の研究、・Missouri川上流の河道をとりあげ、谷底沖積低地の自然環境にとって重要なcottonwoodがダムなどによる流量と土砂の制御によって衰退することへの懸念と科学的理解に基づく保全策を念頭に、cottonwoodの定着と流れ・土砂の作用との間の密接な関連を明らかにしたScott・Friedman・Auble (1995) の研究、・水際の多様なハビタットを支える河川植生が活発な河道変化の下で成り立っていることを踏まえ、ダムによる流量と土砂の制御により失われたその活発な河道変化を再生するために与えるべきフラッシュ洪水の合理的決定法を検討したKondolf・Wilcock (1996) の研究などがあげられる。

以上のような研究の流れにおいては、ダムによる流量と土砂の制御が下流河道へのインパクトとして決定的であることを前提にし(一般に、米国のダムは規模が大きく、下流河道の流量や土砂供給への影響はしばしば圧倒的である)、その上で、ダム建設と植生を含む下流河道の変化との間のマクロな関連性把握→主として流量(水位)変化に基づく原因分析と予測手法の検討→流れや土砂移動という河川を特徴づける作用と植物動態との関連性理解の上に立った原因分析と予測手法の検討、という方向で研究が進行してきていると見ることができる。流れや土砂移動という河川を特徴づける作用(以後、「河川の作用」と呼ぶ)が河川に生育する植物の特徴(そして川らしい植物、川本来の植物)を規定するという当然の考えに立てば、上記の3つ目に当たる研究がこれから益々必要とされることは容易に理解される。そこでは、生物的知見と河川の作用に関する知見を組み合わせた学際的研究アプローチが必須となる。

ダム建設が下流河道の自然環境に大なり小なり影響を与えていることは日本においても同じであり、ダムによる流量制御が下流河道の自然環境に与える影響やフラッシュ放流の役割についての研究が行われている[たとえば、萱場・島谷, 1995; 角・塚原・柏井, 1998]。しかし、ダム直下流はさておき、さらに下流の沖積平野河道区間まで来ると、日本の地形が米国よりはるかに複雑で建設されるダムもはるかに小規模でかつ上流域の様々な場所に位置することから、ダム(群)が河道に与える影響は決定的とは言えなくなる

ことが一般的である。加えて沖積河道区間においては、河川改修や砂利採取を目的として多くの改変が加えられてきており、そのようなインパクトも河道変化を分析する上で当然考慮されなければならない。さらに、礫の河道に有意な変化を起こすためには一定以上の規模を持つ洪水が必要となり、そのような洪水が毎年起こるとは限らない。したがって、河道変化を見る上では、洪水発生頻度の経年的偏りの影響も考慮する必要がある。このようなことから藤田は、図1-1のタイプⅢ、Ⅲ'の変化が沖積平野河道区間に起こった場合、その原因を最初からダムとの関連だけで追究するのは避けるべきであり、関係しそうな種々要因を考慮して個々の事例をきめ細かく分析することが必要としている[藤田, 1998]。

このような状況を踏まえたとき、日本の沖積平野河道区間で観察されるタイプⅢ、Ⅲ'の変化の原因究明やその予測手法を目指す場合、ある特定の(ダムなど)わかりやすいインパクトが主原因であることを最初から前提にした検討を行うのではなく、生じた現象のメカニズムを個々に着実に明らかにしていくことがまず重要であり、その知見の上に立って、主たる要因の特定や現象を制御する手段の検討を行うことが大事であろう。そこでは、やはり、河川的作用と植物の動態との関わりを学際的に調べるのが鍵になる。

日本においては、近年、河川に生育する植物の特性について研究成果が蓄積されてきている[たとえば、奥田・佐々木編, 1996: 河川の植生と河道特性に関する研究連絡会(座長 砂田憲吾), (財)河川環境管理財団・河川環境総合研究所編, 1995: 河川生態環境評価基準の体系化に関する研究グループ(研究代表者 玉井信行), (財)河川環境管理財団編, 1996]。本研究と関係の深い礫床河道について河川的作用とのかかわりを強く意識した研究としては、たとえば、砂礫堆上の植物群落について土性・地下水位とのかかわりや、洪水という攪乱を受けながら生育する植物特有の生活様式を調べた石川の研究[奥田・佐々木編, 6章2節, 6章3節, 1996: 石川, 1991: 石川, 1988], カワラノギクの実生の定着場所と河床表面の砂礫の状況との関係を詳細に調べた倉本らの研究[倉本・加賀屋・可知・井上, 1997]がある。

最近では、河川の植物についての知見を河川における適切な環境管理に生かすというより応用的・実践的な研究、問題提起、提案も目立つようになった。倉本は、多摩川のカワラノギクの保全手法を河原の動態および人為作用との関連も含めて保全生物学的に検討している[倉本1997]。鷺谷は、保全生態学の重要性を強調し[鷺谷・矢原, 1996], たとえば、河原の絶滅危惧植物の保全のあり方を示している[鷺谷, 1998]。また、河川の自然環境の保全・回復を図るための河川管理方策の立案には植物動態の実用的予測手法の開発を目指す必要があるという認識の下、植物とその環境要因との関連性、その植物相予測への応用性について検討した井出ら[井出・武内・加藤・篠沢, 1998], 中越ら[中越・井上, 1998]の研究、河川的作用と植物動態に関する従来の知見を総合して、河川における植物動態予測モデル開発の重要性とその方向性を議論した鳥谷らの研究[鳥谷・萱場・山本・李, 1997]がある。

以上に示したように、河川の植生動態に関する研究は近年急速に進みつつある。しかし、河道内の植生繁茂・樹林化についての研究を河川管理につながるような実用的予測のレベルにまで押し進めようとした場合、生物学的な知見と、流水や土砂移動による攪乱という物理的側面の知見を統合化し、両者の間の相互作用についてより踏み込んだ定量的な絵を描くことが必要である。また、要因・過程が多岐にわたる中で、重要な要因・過程とそうでないものを色分けし、それを反映させたモデル構造を思い切って採用することも必要であろう。これらはいずれも、1つの学問分野をベースに少しずつ手を伸ばしていく研究方式では困難である。従来の研究においては、航空写真や現地踏査などにより把握されるマクロな樹林化実態と支配的と思われる要因との大局的関係は検討されているものの、また、河道内の植生繁茂と河川的作用

との個別的あるいは定性的な関係は検討されているものの、植生動態の予測に踏み込むには、前者はやや大局的に過ぎ、後者はやや個別的・定性的段階にとどまると言える。

1.3 本研究の目的

本研究では、扇状地礫床河道における植生繁茂・樹林化の基本的なメカニズムの解明と予測モデルの構築を行い、予測モデルを河川管理に応用する基本的な考え方を確立することを目的とする。このために、研究対象を多摩川の扇状地礫床河道区間に設定し、そこで起こった植生繁茂・樹林化の過程を集中的に追跡した。あわせて、その要因になった可能性のある種々の現象を詳細に調べ、両者の相関を生物および河川水理の観点から分析した。本研究においては、河川的作用と植物の特性の両方を結合した植物動態予測手法を提案することを目的としており、このため、個々の現象のモデル化について精緻さを追究することとはせず、また、少しでも関係する要因を全て取り込むことにこだわらず、まがりなりにも植生動態と河川的作用が結合されたモデルの絵を描くことを最優先にするという姿勢を貫いている。ただし、提案するモデルが概念のみにとどまらず実現象にしっかり裏付けられたものであることも同時に重要視し、上記多摩川での詳細かつ広範な現地調査、既往データ分析を通して得られた知見を忠実に反映させながら予測モデルの検討を行っている。この2点が本研究の特徴といえる。

第2章 多摩川扇状地河道部における安定植生域拡大の実態

注) 本章以降、すべて、航空写真はその年の秋(出水期後)、横断測量はその年の早春(2月、3月)に行われている。

2.1 多摩川の概要

2.1.1 概況

多摩川の概況をまとめると以下のようである[市川新, 1997: (有)国土開発調査会(建設省関東地方建設局監修), 1983より]。多摩川は、図2-1および表2-1に示すように、山梨県塩山市笠取山(海拔1,941m)を源とし、藤尾山、岩岳の間を東南に流れ、丹波川、小菅川、日野川等の支川を合わせ、青梅市を過ぎて秋川、浅川、大栗川等の支川と合流した後、東京都と神奈川県の間を東南に流下し、平瀬川、野川等の支川を合わせ東京湾に注いでいる。流域は66.1%の山地と31.1%の平地、2.8%の河川区域で構成されており、流域面積1,248.6㎢、流路延長138kmの中規模河川である。上流部は標高1,500m~2,100mの山塊(関東山地)や多摩丘陵に囲まれ、中流部では洪積台地・段丘である武蔵野台地を貫流し、中下流部の河川沿いは沖積低地となっている。

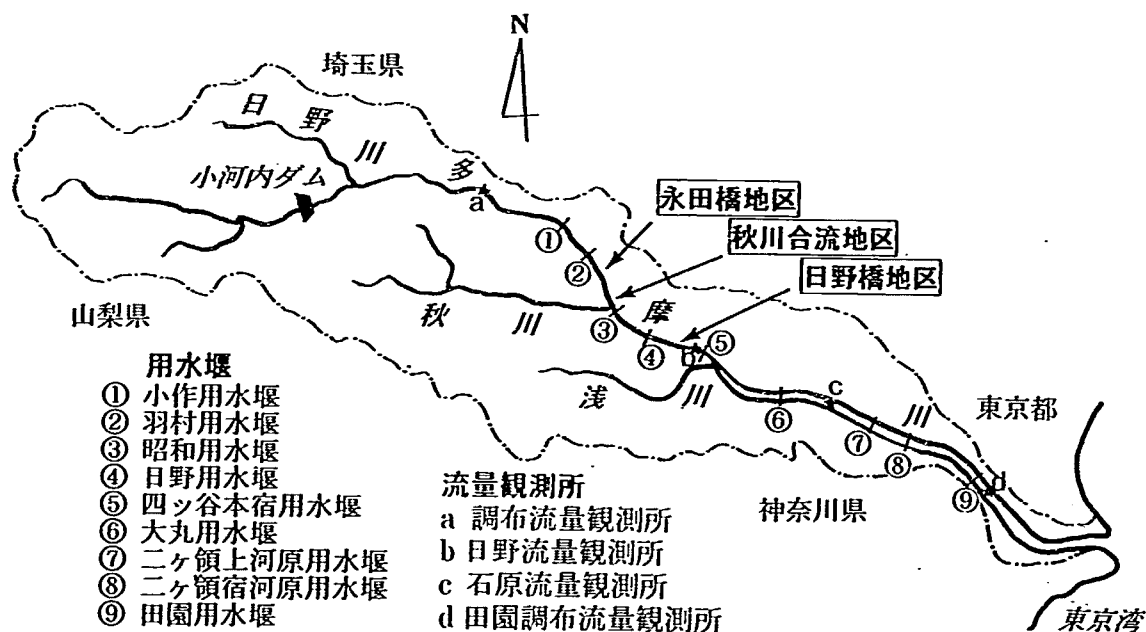


図2-1 多摩川流域と調査区間

首都圏の拡大などの流域の開発に伴って多摩川では、小河内ダム建設、用水堰建設、河川改修が行われてきた。首都圏の貴重な上水源として1957年竣工した総貯水量1.9億 m^3 の小河内ダム上流の流域面積は全流域面積の21%である262.9 ㎢を占める。多摩川本川に沿っては、小作用水堰、羽村用水堰、昭和用水堰、日野用水堰、四ッ谷本宿用水堰、大丸用水堰、二ヶ領上河原用水堰、二ヶ領宿河原用水堰、田園用水堰等の水理施設物が連続的に設置されている。江戸時代から採取されてきた多摩川の砂利は、1926年頃までは、日本の河川で最大の採取量を記録し、戦後も首都圏向けの建設用骨材として採取されたが1968年に砂利採取は全面禁止された。以上のような人為的要因は、河川の流況および流域生産土砂、河道状況の変化をも

たらしたと考えられる。

表2-1 多摩川の概要

水源地及び標高	笠取山（海拔1,941m）
流域面積	1,248.64km ² ：調布橋地点で433km ² ：石原地点で1,040km ²
流域の地形	山地：68%，平地：32%
流路延長	138km
主な支川	丹波川（流域面積117.8km ² ），小菅川（流域面積 47.7km ² ），日原川（流域面積 93.2km ² ），秋川（流域面積 169.6km ² ），浅川（流域面積 153.3km ² ），大栗川（流域面積 42.3km ² ），平瀬川（流域面積 12.7km ² ），野川（流域面積 67.5km ² ）
河道横断水利施設	小河内ダム：総貯水量は1.9億m ³ ，1957年竣工，上流流域面積262.9km ² 小作用水堰：計画最大取水量22.77m ³ /s，1978年竣工 羽村用水堰：計画最大取水量22.26m ³ /s，1923年竣工 昭和用水堰：計画最大取水量0.99m ³ /s，1933年竣工 日野用水堰：計画最大取水量1.73m ³ /s，1959年竣工 日野用水堰改修工事完成（1960.12） 四ッ谷本宿用水堰：計画最大取水量1.2m ³ /s，1967年竣工 大丸用水堰：計画最大取水量2.35m ³ /s，1960年竣工 二ヶ領上河原用水堰：計画最大取水量6.68m ³ /s，1941年竣工 二ヶ領宿河原用水堰：計画最大取水量2.87m ³ /s，1949年竣工 田園用水堰：計画最大取水量2.04m ³ /s，1936年竣工
	小河内ダム竣工（1957） 比堆砂量（1961年～1988年：250～300m ³ /km ² /年）
	砂利採集全面禁止（1968）

2. 1. 2 流況[河川協会：流量年表，1951～1995より]

石原地点（約28km地点）において1951～1995年に観測された流量より，豊水，平水，低水および渇水流量の経年変化を図2-2に示す。年最大流量の経年変化を図2-3に示す。石原地点の45年間（1951～1995年）の平均値は，平水流量12 m³/s，低水流量8 m³/s，渇水流量4 m³/s，年間平均流量23 m³/s，年最大流量1,200 m³/sである。この45年間では，1974年（最大で流量4100 m³/s），1982年の洪水が飛び抜けて大きい。

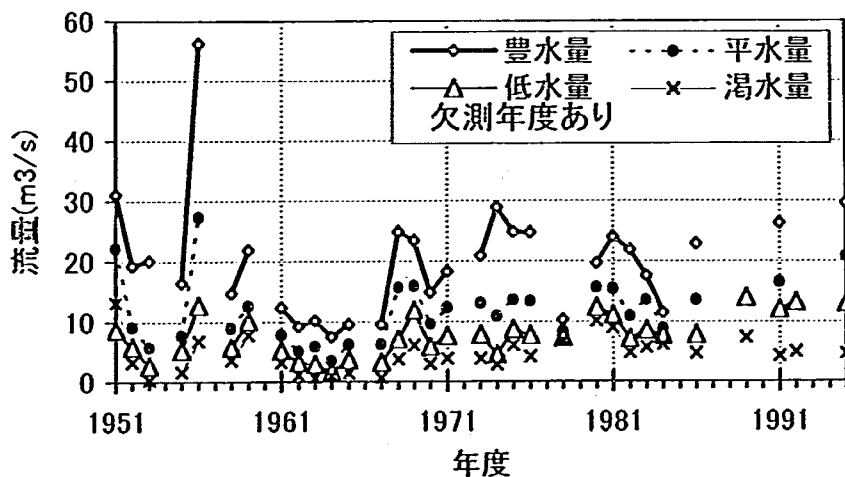


図2-2 石原地点の流況

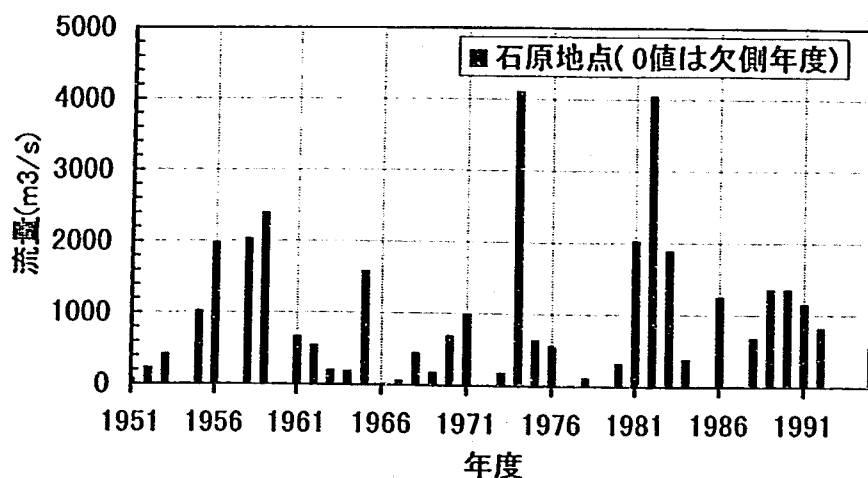


図2-3 年最大流量(石原地点)

図2-4には、調布橋における年最大流量の経年変化を示す。調布橋のデータが無い年については羽村堰での洪水時本川への放流量のデータを用いた。ただし、後者のデータは信頼性がやや低いと判断し、両方の地点にデータがある年については調布橋地点の洪水流量データを用いた。1958～1995年では、やはり1974年、1982年の洪水が飛び抜けて大きく、ついで1959年、1981年、1983年にやや規模の大きい洪水が出ている。これ以外の年には顕著な洪水は起こっていない。

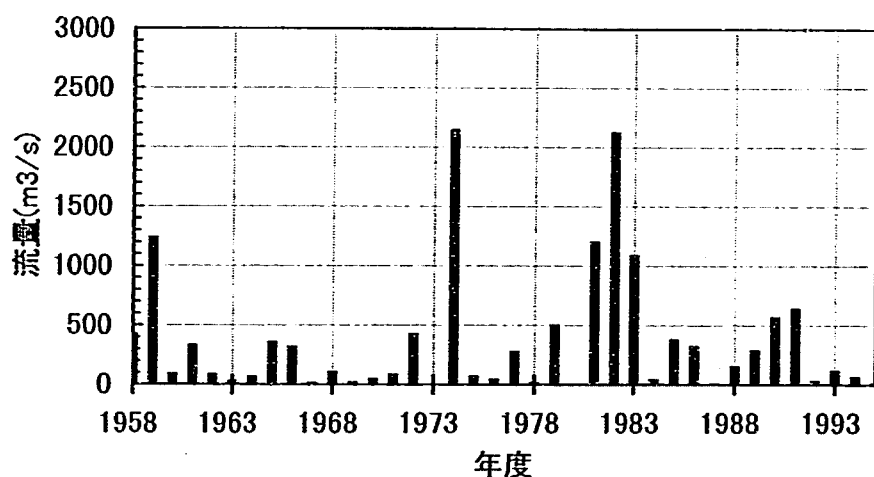


図2-4 年最大流量(調布橋地点：羽村堰放流量データ含む)

なお、多摩川の基本高水流量は石原地点で8,730 m³/s (1/200年確率)、計画高水流量が6,500 m³/sとなっている。

2.1.3 多摩川における主要な人為的インパクトについて

(1) 小河内ダムについて〔(有)国土開発調査会(建設省関東地方建設局監修)、1983より〕

小河内ダムは総貯水量1.9億m³と貯水量が大きく、そこでの洪水流出と流下土砂量に影響を与えていると考えられる。比堆砂量は1961年～1988年の平均で250～300m³/km²/年、1988年まで総堆砂量は3,300千m³である。調布橋地点の上流面積が433km²であるため小河内ダムは調布橋上流部の61%を占める。石原地点上流面積が1,040km²であるため小河内ダムは石原地点上流の25%を占める。

(2) 取水堰について〔(有)国土開発調査会(建設省関東地方建設局監修)、1983より〕

羽村用水堰(1923年竣工)の許可水利権は、上水用水の $22.26\text{ m}^3/\text{s}$ であり、小作堰(1978年竣工)は $22.77\text{ m}^3/\text{s}$ である。取水による平水流量の減少は平水時の水理環境に影響を与えていると考えられる。なお、1990年代より $2\text{ m}^3/\text{s}$ の流量が維持用水として羽村用水堰より放水されるようになった。

昭和用水堰(1933年竣工；1957年に改築)は農業用水 $0.99\text{ m}^3/\text{s}$ を扱い、その堰上流に約 0.4 km の背水区間を生じさせている。 38 km の位置に $1.2\text{ m}^3/\text{s}$ の農業用水を取水する四谷本宿用水堰(1967年竣工)がある。

(3) 砂利採取とその禁止について[建設省関東地方建設局京浜工事事務所、1986]

江戸時代から採取されていた多摩川の砂利は、関東大震災の復興にも大きな役割を果たす等、東京の近代化とともに行われてきたが、河床の低下を招き、水衝部の位置の変更を招いたり、河床が局所的に掘り下げられたりして護岸や井堰等河川の構造物などの危険性も増加した。それに対して下流部から上流部に向かって砂利採取の規制が強化され、1964年には万年橋(61.8 km 付近)まで砂利採取が全面禁止された。ついで1968年にはその上流部も砂利採取が全面禁止された。1964年に砂利採取が全面禁止されるまでの多摩川の砂利採取は、万年橋より下流で年間砂利採取許可量が概ね年 $20\sim 35\text{ 万 m}^3$ (1952年から1963年まで)であった。このほとんどは礫床区間からであった(礫床区間に当たる北多摩川の砂利採取許可量が概ね $20\sim 30\text{ 万 m}^3$ であったことから)。1964年には概ね 9 万 m^3 (北多摩川砂利採取許可量は概ね 5 万 m^3)となった。1882年に、府中駅付近を測量した地形図(日本図誌大系)には多摩川の砂州に部分的に樹木が表示されているが、砂利採取が盛んな1961年の空中写真の判読結果には扇状地河道部に樹木がほとんど見えない。これには持続的におこなわれた砂利採取の影響があったと推定される。

2.2 河床形状変化の実態

2.2.1 多摩川0～64km区間の河道縦断形の変化特性

1968年、1995年の0～64km区間の最深河床高と低水路平均河床高の縦断形状を図2-5と図2-6に示す。なお低水路平均河床高は、平均年最大流量を不等流計算で流した際得られる水面幅の範囲の平均河床高である。前述のように砂利採取は1968年に禁止されたので、この間の河道変化は砂利採取から大きな影響を受けていないと判断できる。図を見ると、一様に河床低下が生じたというパターンは見られず、最深河床高、低水路平均河床高とも、 $2\sim 3\text{ m}$ に及ぶ河床低下が起こった区間とほとんど変化のない(場所によっては河床が少し上がった)区間が細かいピッチで入れ替わり現れていることがわかる。このピッチは、前述した多数ある用水堰の存在状況やところどころ現れている固結化した河床材料(洪積層や三紀層などと考えられる)の露出区間とよく対応しているようである。このことについては、2.2.3で再度詳しく述べる。以上のことから、1968～1995年の28年間に起こった縦断形変化は、全体としては河床低下傾向が勝っているものの、日本の多くの河川で見られるような河床掘削(砂利採取を含む)による一様な河床低下といったようなことは生じていない。

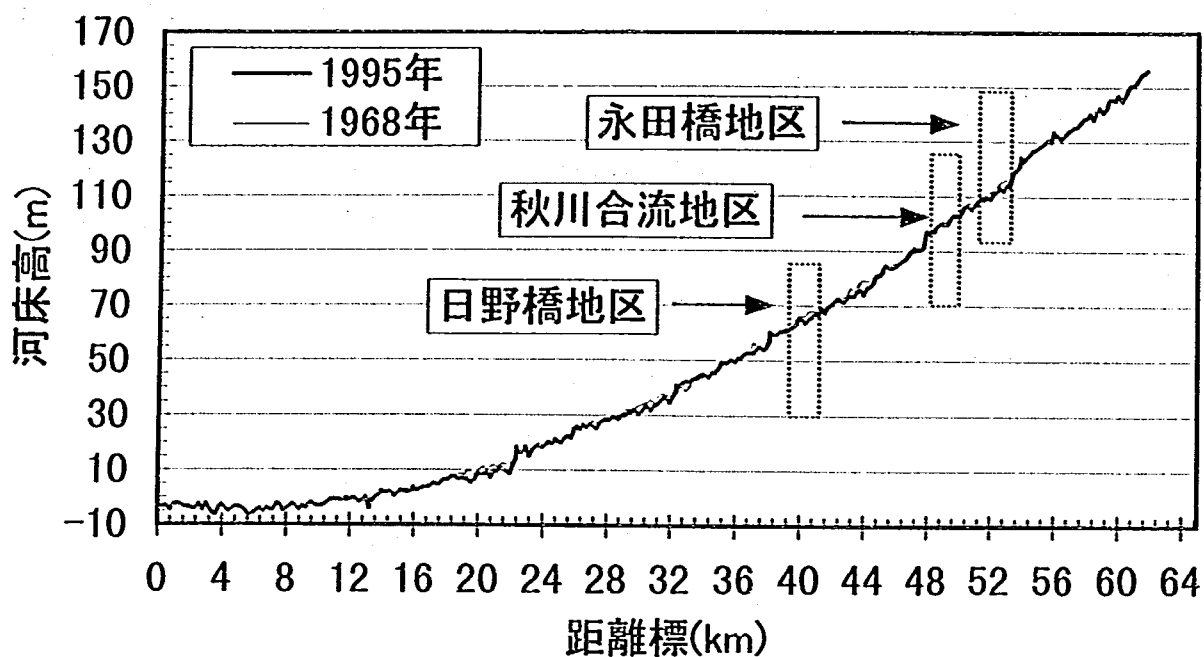


図2-5 多摩川の縦断形変化(最深河床高)

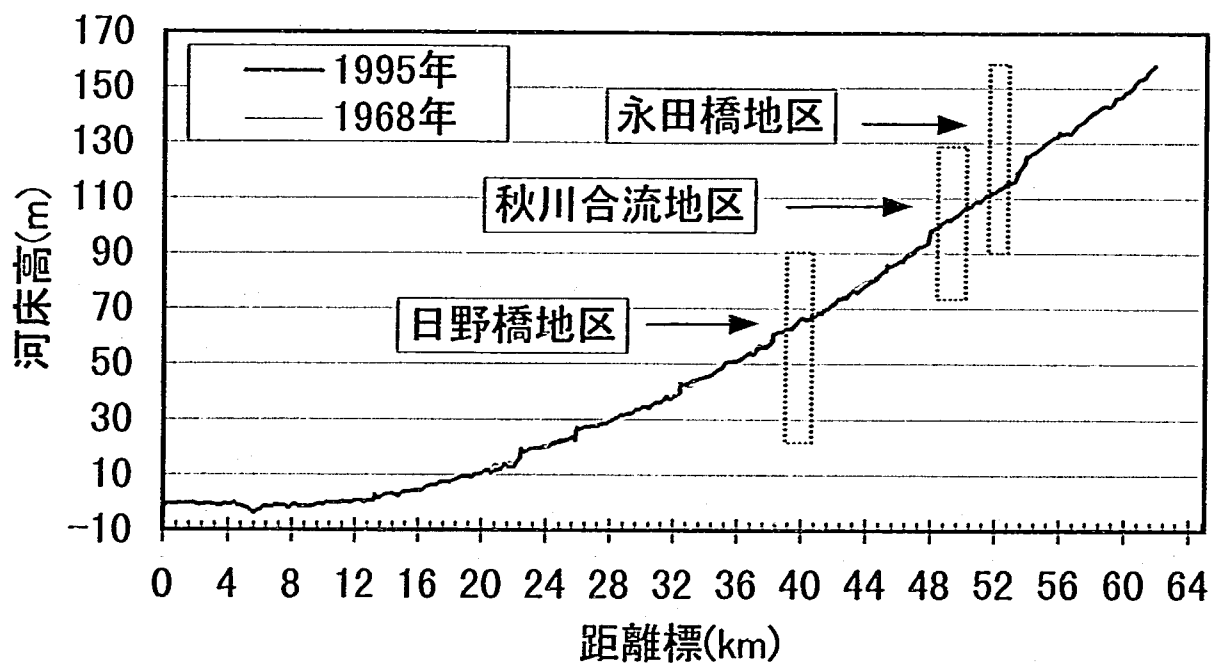


図2-6 多摩川の縦断形変化(平均河床高)

なお、多摩川の直轄地区における河道の縦断形から概観すると、直轄地区の上流端(61.8km)から23km付近まではセグメント1、田園調布橋(13.3km)付近までをセグメント2-1、新六郷橋の直下である5km付近までセグメント2-2、5 km付近より下流をセグメント3に分類することができる。セグメント1の区間は、37km付近の浅川合流点と、48km付近の秋川合流地点でさらに細分できる。表2-2に、河床勾配、代表粒径、河道区間などからなる河道特性表を示す。河床材料粒径は京浜工事事務所が行った河床材料調査によるものである。

表2-2 多摩川の河道セグメント区分と河道特性

セグメント 区分	区間	サブセグ メント	区間	河床勾配 I_b			代表粒径(d_R mm) 1970～現在までの調査結果
				1975年	1983年	1993年	
セグメント3	0.0- 5.0k		0.0-5.0k	1/69,200	1/8,500	1/9,300	0.05程度
セグメント2-2	5.0- 13.3k		5.0-13.3k	1/2,000	1/2,030	1/2,170	0.2程度
セグメント2-1	13.3- 22.4k		13.3-17.8k	1/800	1/800	1/820	30程度
			17.8-22.4k	1/580	1/680	1/690	
セグメント1	22.4- 61.8k	1-③	22.4-25.8k	1/670	1/570	1/560	30程度
			25.8-32.4k	1/480	1/480	1/500	
			32.4-35.0k	1/380	1/410	1/430	30-40程度
			35.0-37.0k	1/310	1/320	1/350	
		1-②	37.0-38.2k	1/320	1/310	1/370	30-40程度
			38.2-40.0k	1/290	1/300	1/310	
			40.0-45.2k	1/280	1/280	1/290	30-50程度
			45.2-47.8k	1/280	1/310	1/300	
		1-①	47.8-53.8k	1/230	1/240	1/250	30-40程度
			53.8-56.0k	1/280	1/300	1/300	
			56.0-61.8k	1/220	1/230	1/230	

2.2.2 調査地区の設定

本研究は扇状地河道部(表2-2で言えばセグメント1)を調査対象にしているが、30kmにも及ぶ区間をつぶさに調べることは不可能である。そこで、数kmの長さを持つ調査地区を設け、調査地区について集中的な調査・分析を行うという研究方法をとった。選定した調査地区は表2-3に示す3つである。表には各調査地区の河道特性も示されている。この地区を調査対象地区としたのは、①1974年以後代表樹木群落であるニセアカシア群落と草本類であるオギ群落の成長による河道内での安定的植生域の拡大傾向が目立っていたこと(永田橋、日野橋地区)、②河道内の詳細な地形変化が把握できる河道の横断測量成果資料や③河道内の植生変化の時間と空間分布の変化を把握し得る空中写真および植生図が存在すること、④砂利採取が全面禁止された1968年以降は護岸や橋梁のような小規模な工事を除けば、河床に人為的なインパクトがなかったこと、⑤河道内樹木の伐採等の人為的インパクトが、1992年と1993年における51.8～52.4km測線間の右岸高水敷の一部(2.3.1(4)参照)を除けば、調査対象地区ではなかったと判断されることからである。加えて、調査地区の位置を図2-5、図2-6と比較すればわかるように、永田橋地区は全体的に河床低下が起こった地区、日野橋地区も河床低下が支配的であるが一部河床変化が少ない場所を持つ地区、秋川合流地区は河床がむしろ上昇した地区となっている。これらは、2.2.1で述べた河床縦断形変化のパターンを包含するものであり、この3地区で生じた現象を追跡することにより、多摩川扇状地河道部の特徴が把握できると期待される。

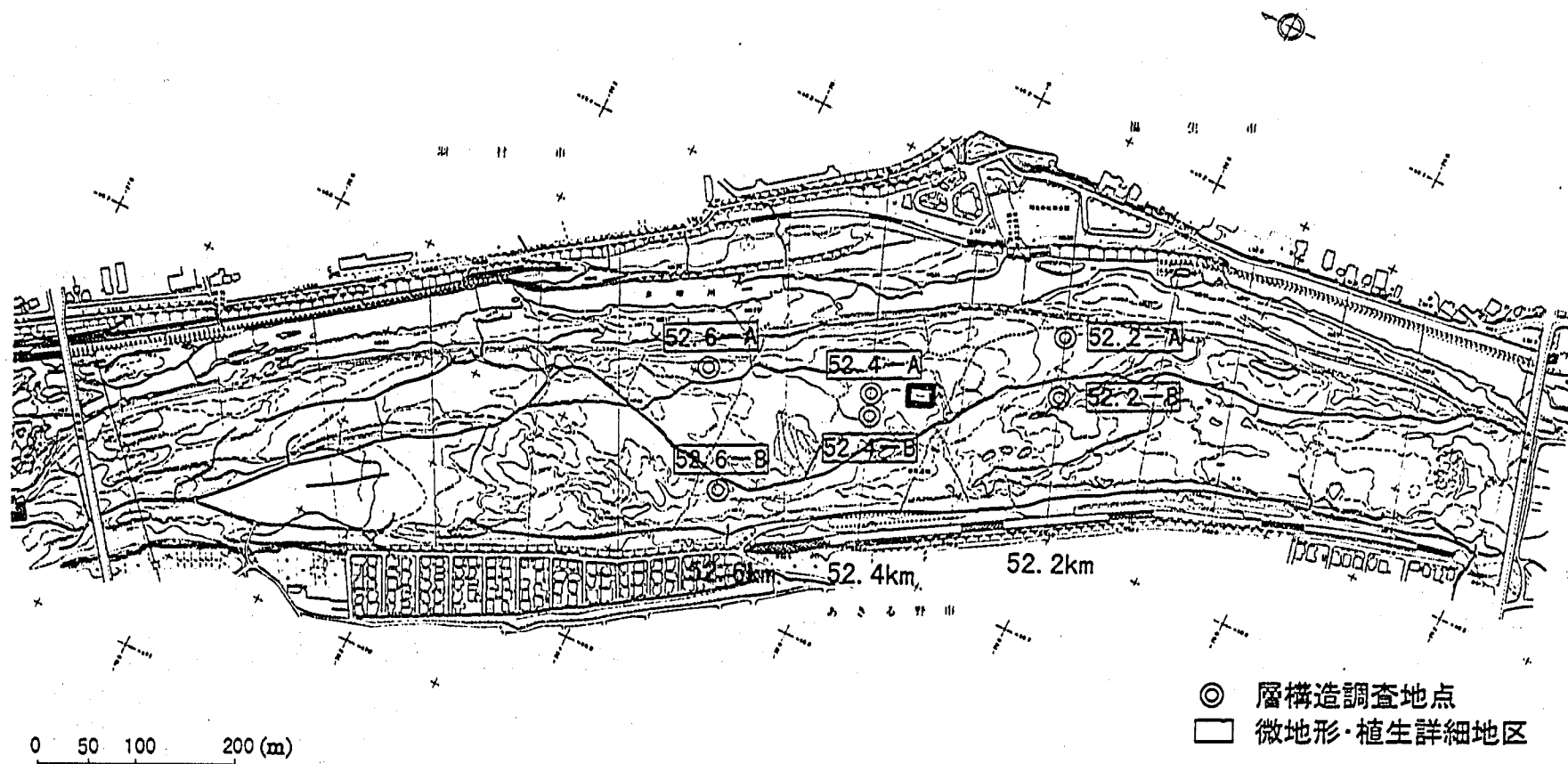
表 2-3 調査対象地区とその河道特性

調査地区名	永田橋地区	秋川合流地区	日野橋地区
距離標	51.0～53.0km	48.4～49km	39.0～41.0km
セグメント区分	セグメント1-①	セグメント1-①	セグメント1-②
河床勾配	1/220	1/220	1/280
平均川幅	275m	467m	371m
平均低水路幅	148m	305m	236m
河床材料平均粒径	約35mm	約35mm	約30～35mm

2.2.3 調査地区の河道状況変化

(1) 河道平面形の経年変化

3つの調査地区の河道の平面図を図2-7に、滞筋の変遷を図2-8に示す。1961-1992年の間の滞筋の変化を見ると、永田橋地区は区間全体で滞筋が安定し、秋川合流地区では昭和用水堰と秋川合流点の間で滞筋がよく移動し(合流点より上流では概ね安定)、日野橋地区では下流部を除いて安定した滞筋が見られ、その下流部も1984年以降は安定しているようである。



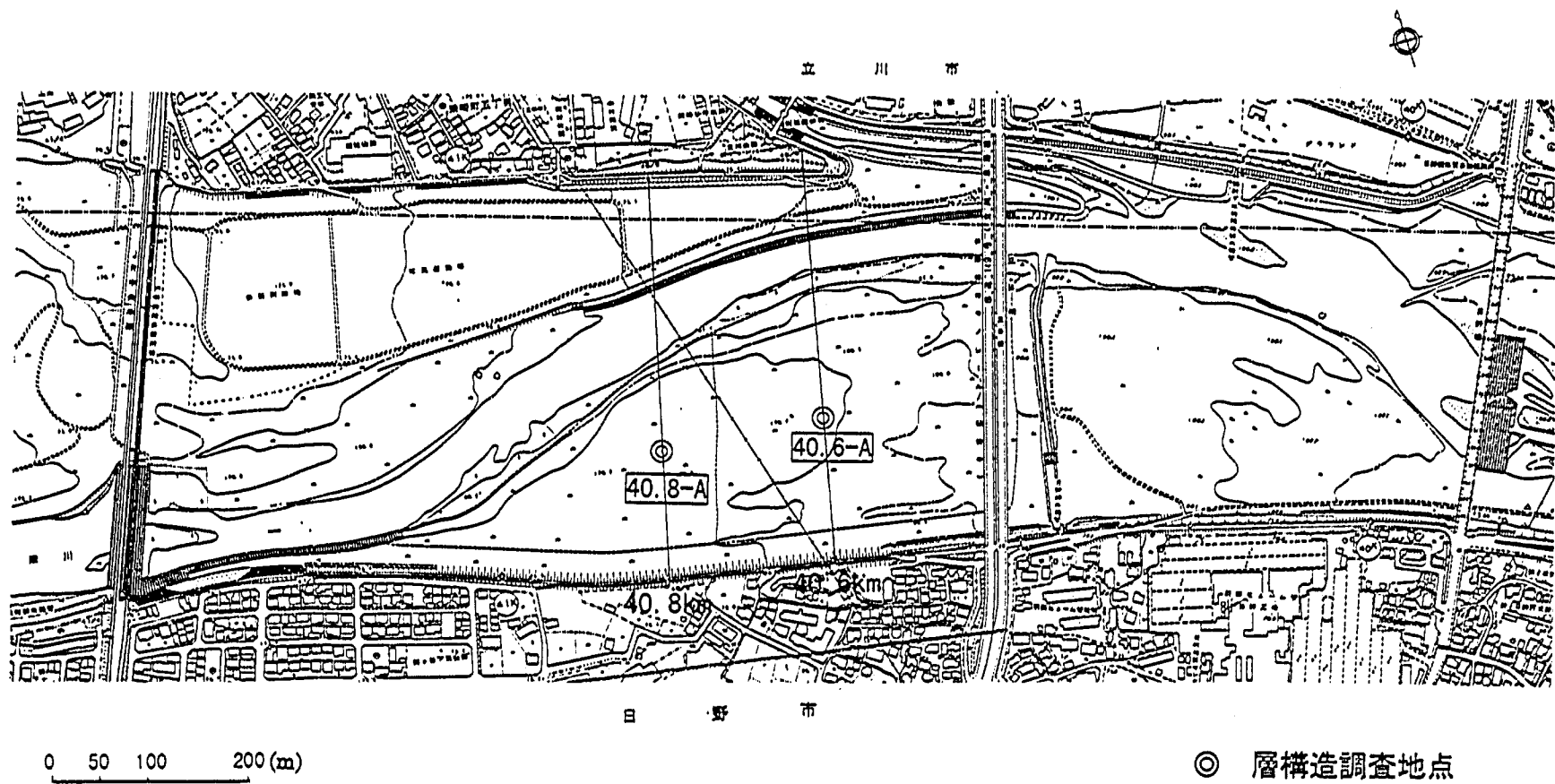
(永田橋地区ベースマップ、河川生態学術研究会多摩川グループ、1996.1)

図2-7 平面図 a) 永田橋地区



(多摩川改修平面図、建設省京浜工事事務所、1994.3)

図2-7 平面図 b) 秋川合流地区



(多摩川改修平面図、建設省京浜工事事務所、1996.2)

図2-7 平面図 c) 日野橋地区

図2-7 平面図 c) 日野橋地区

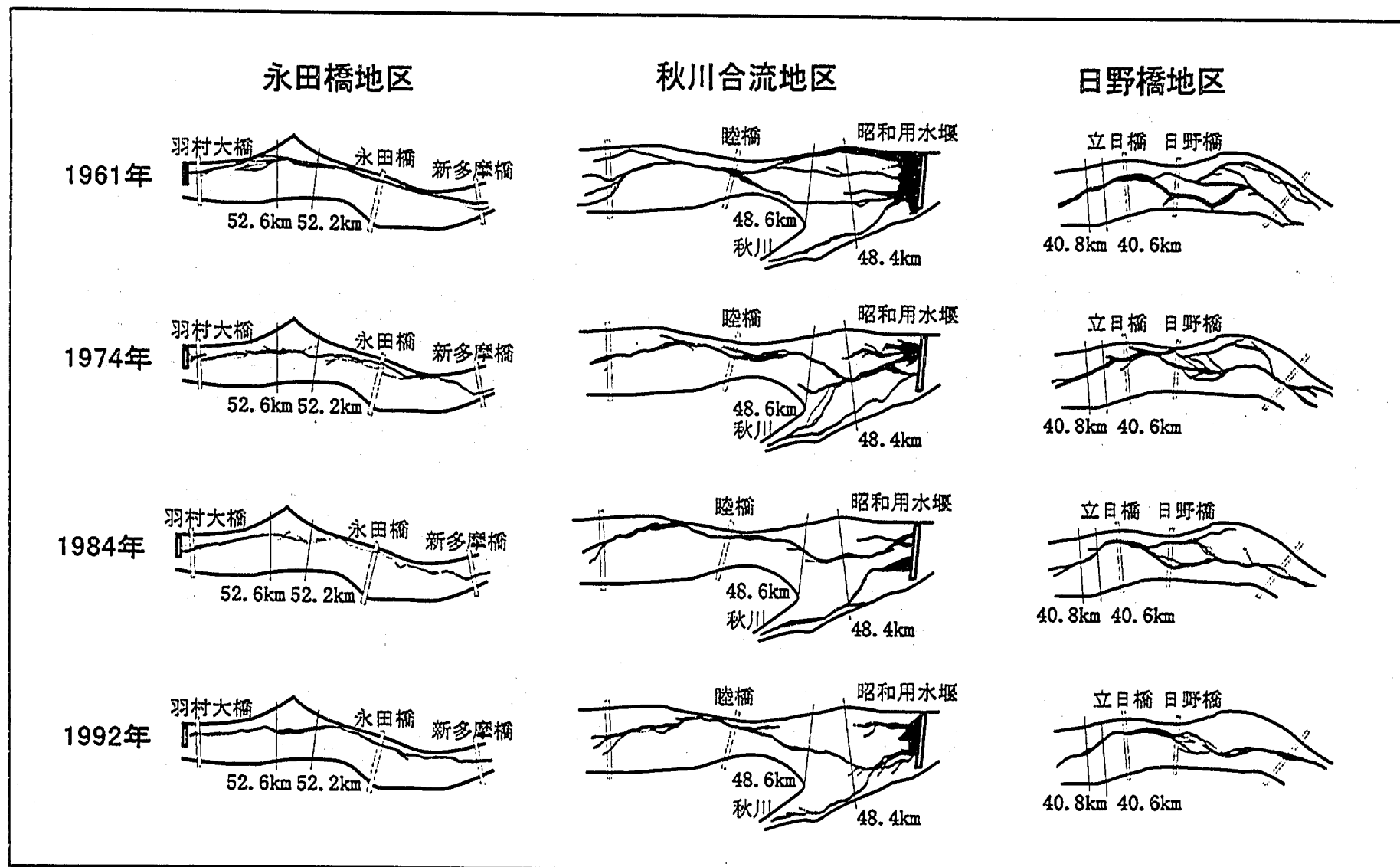


図2-8 調査対象区間の滞筋変化

(2) 河床縦断形の経年変化

3つの調査地区をすべて含む範囲および各調査地区だけの範囲について、最深河床高と低水路平均河床高の縦断形を示す(図2-9, 図2-10参照)。図には、1968~1995年までの変化が示されている。また、3調査地区すべて含む範囲の図には、河床変動に重要な影響を与えていたと考えられる横断構造物(堰、床止め、橋脚保護のための帯工的構造物など)と低水路幅全体にわたる岩の露出箇所(平水時の航空写真より判断できるもの)を合わせて示してある。これらの図から次のことがわかる。

永田橋地区では、全体的に河床が低下している。河床低下量は上流ほど大きく、この傾向は、羽村用水堰の直下流にある床止め群に至るまで続いている。日野橋地区でもほぼ全体的に河床低下が見られるが、残堀川合流点の直下流では河床高変化が少ない。これは、ここに日野橋があり、橋脚保護のために帯工的な措置がとられているからと考えられる。永田橋地区と日野橋地区の河床低下の時間変化傾向を比較すると、前者は最近になって(1980年代中盤から)低下が顕著になってきているのに対して、後者は、逆に最近になり河床低下が鈍くなり、1968年から10年間ぐらいの方が低下速度が大きいことがわかる。一方、秋川合流地区では、特に区間の下流側で明瞭な河床上昇が起こっている。この地区は、昭和用水堰の直上流で秋川が合流しているところに位置する。ここでの河床上昇は、堰の直上流にあることおよび秋川合流が影響していると考えられる。

以上に示した3地区の河床変動傾向の違いは、以下に示すような多摩川扇状地河道部(セグメント1)における河床変動の全体的な特徴から説明できると考えられる。図2-9あるいは図2-10を注意深く見るとわかるように、3地区を含む一連区間(35~55km)の河床変動は次のような一貫した傾向を示している。

- 1) 横断構造物(堰、床止め、橋脚保護のための帯工的構造物など)に挟まれた区間では、上流側の横断構造物に近づくほど河床低下が大きくなり、逆に下流側の横断構造物の近傍では、河床低下が小さいか、安定さらには上昇傾向にある場合もある。
- 2) ただし、岩が河床に広く露出している場所においては、1)と無関係に河床変化が少なくなる場合がある。
- 3) 有力な支川の合流は河床上昇に寄与する場合がある。

以上のことは、当該地区の河床変動傾向が、①当該地点と上下流の横断構造物との位置関係、②岩の露出の有無、③有力な支川の合流の有無、により概ね決まることを示している。この観点で見ると、永田橋地区は横断構造物(羽村用水堰関連床止め群)のすぐ下流(したがって、河床低下が顕著)、秋川合流地区は横断構造物(昭和用水堰)のすぐ上流で有力な支川(秋川)が合流する場所(したがって、河床上昇ないし安定)、日野橋地区は下流の横断構造物(四谷本宿用水堰)からやや離れた位置にある(基本的には河床低下)ことになり、それぞれの河床変動傾向が生じた原因が理解しやすい。なお、日野橋地区のほぼ中央にある日野橋橋脚保護(帯工的構造物)は、その上流の河床低下を抑えているようには見えず、上記の整理と矛盾する。現段階で決定的な理由はわからないが、上流区間の河床の多くに岩露出があり、河床低下過程における土砂移動形態が通常の礫の場合と異なっていた(侵食された岩が礫と違って泥のようにそのまま下流に流されていた?)ことが関係していた可能性を指摘できる。

ところで、上記1) 2) 3) に示した特性は、最近30年程度の間において一連区間全体にわたって、礫の流砂量よりも供給量がやや小さい状態が続き、横断構造物をヒンジとして河床勾配がやや減少するように河床縦断形変化が起こり、ただし、ところどころにある岩露出と有力支川合流による礫供給が、この傾向に局所的に修正を加えていた、という解釈により説明できそうである。ただし、なぜ全体的に流砂量が供給量

より大きい状態に至ったかについてはさらに検討を要する。以上に示した河床変動傾向を見る限り、個々の区間(堰～堰)では上流から河床低下が進む傾向はあるものの、全体としては、同じような河床低下現象が礫床区間で全体的に起こっている。そして、この変化が上流ほど速く起こっているとは言えない(たとえば、下流の日野橋地区の方が永田橋地区より速く河床低下が生じている)。このことは、河床低下の直接の原因が小河内ダムによる土砂抑止ではなく(間接的な効果はあるかもしれないが)、むしろ局所的な流砂のバランスおよび河床材料特性に関係している可能性を示唆している。いずれにしても、「ダム→河床低下」と短絡的に結びつけるのは、少なくとも本研究対象の場合、適切ではない。

以上から、3調査地区における河床変動傾向は、一連区間で現れうる河床変動傾向を概ね包含するものと言える。

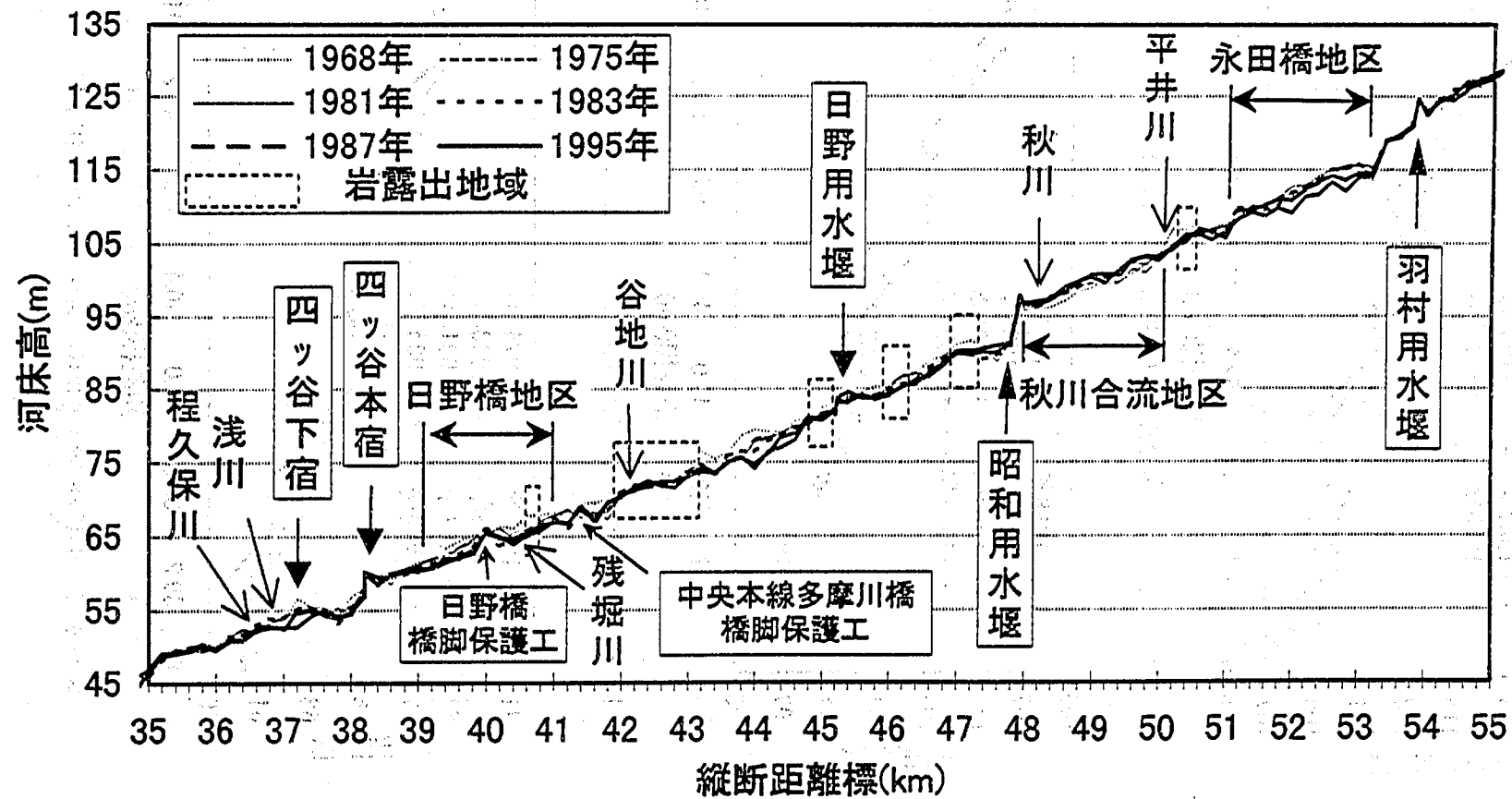


図2-9 調査地区の縦断形変化(最深河床高)：a)3地区

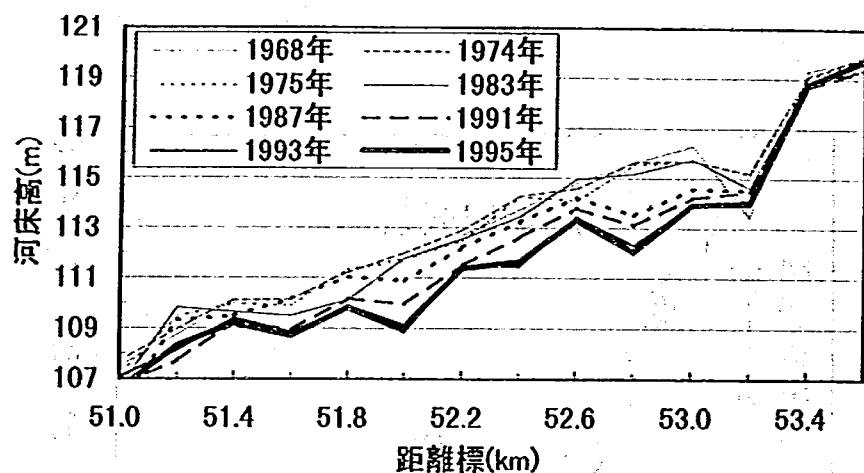


図2-9 調査地区の縦断形変化(最深河床高)：b)永田橋地区

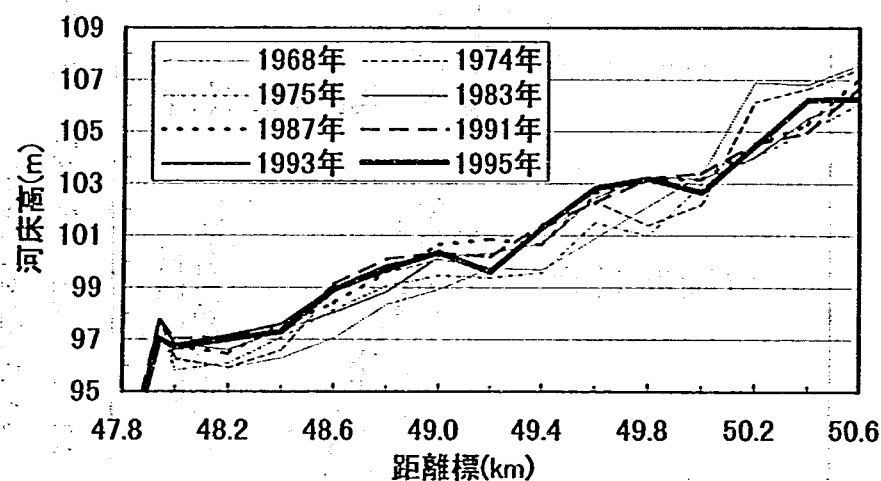


図2-9 調査地区の縦断形変化(最深河床高)：c)秋川合流地区

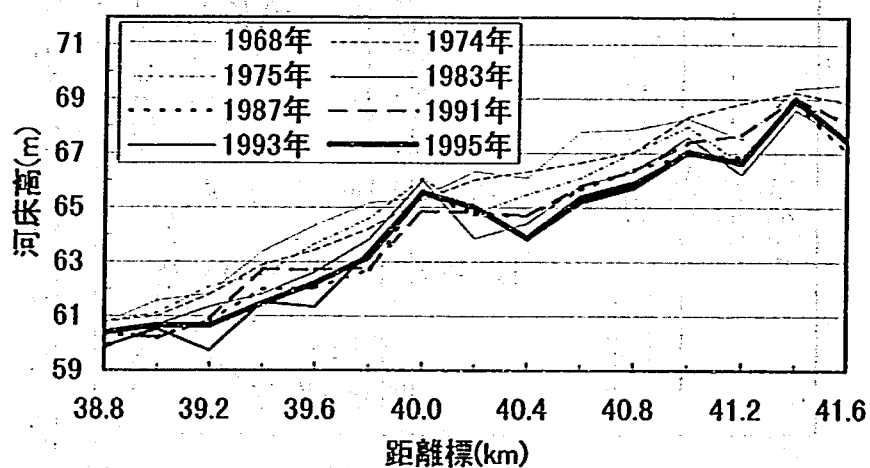


図2-9 調査地区の縦断形変化(最深河床高)：d)日野橋地区

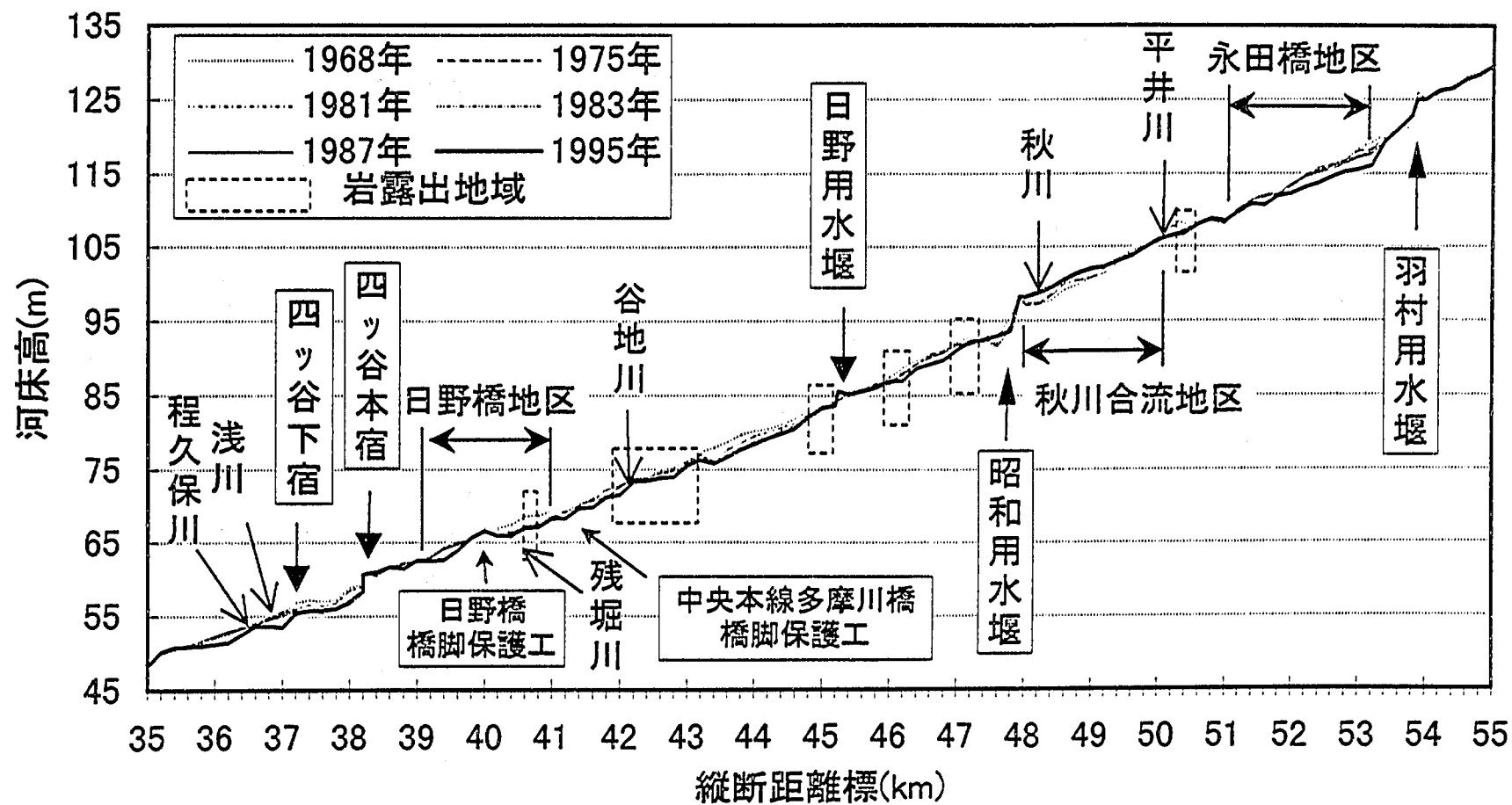


図2-10 調査地区の縦断形変化(平均河床高): a) 3地区

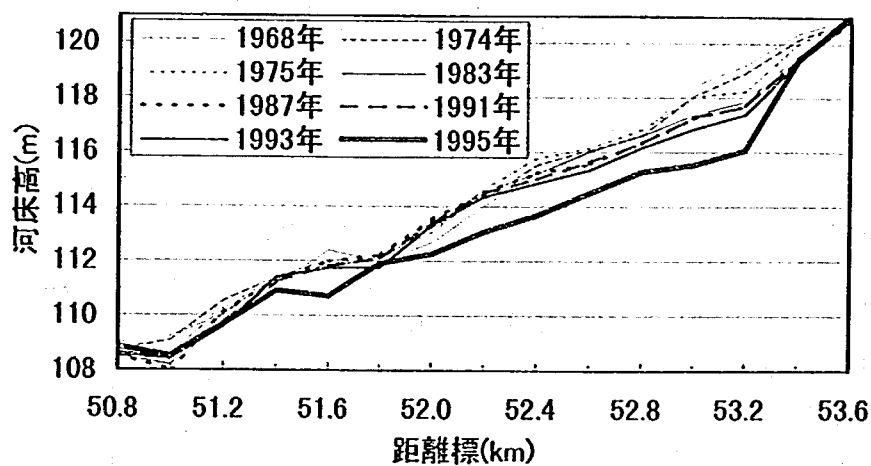


図2-10 調査地区の縦断形変化(平均河床高)：b)永田橋地区

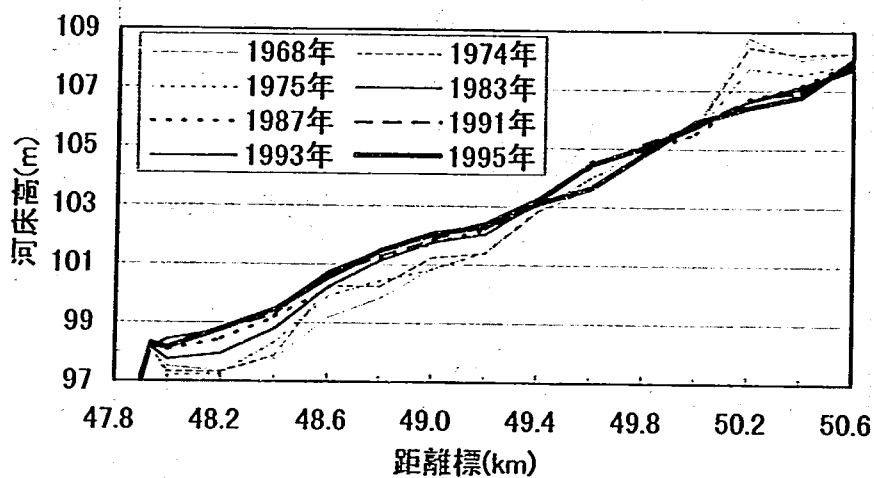


図2-10 調査地区の縦断形変化(平均河床高)：c)秋川合流地区

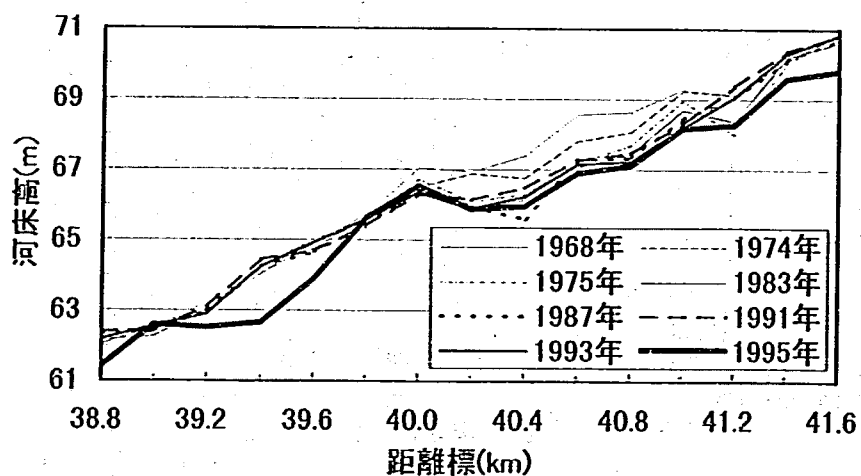


図2-10 調査地区の縦断形変化(平均河床高)：d)日野橋地区

(3) 河床横断形の経年変化

(a) 永田橋地区

図2-11に横断形状の経年変化を示す。この図から、1968年当時河床は概ね平坦であったが、1975年までの間に河床の右岸寄り部分が上昇したため、そしてその後は左岸寄り部分が低下したため、結果として現在は複断面的形状が現れていることがわかる。この傾向は52kmより上流で顕著である。この区間では現在きれいな複断面形状となっており、1993年の時点で、低水路状部分の幅は40~50m程度、深さは4m程度、右岸の高水敷状部分の幅は200m程度である。

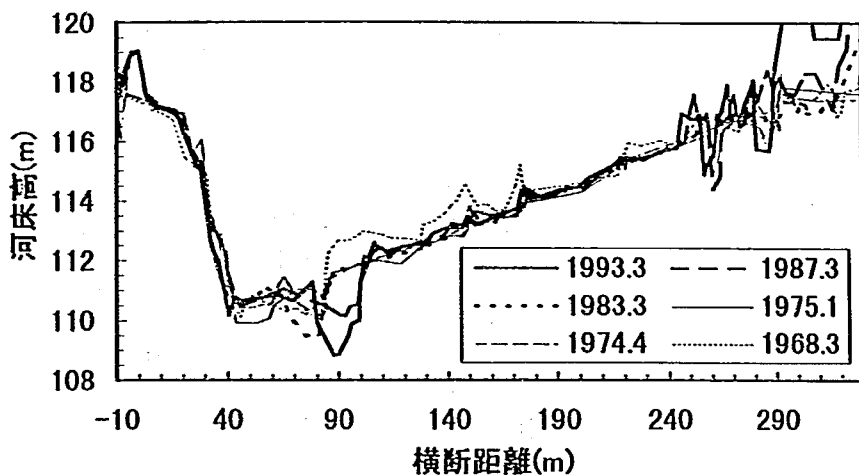


図2-11a 横断形状(永田橋地区の51.6km測線)

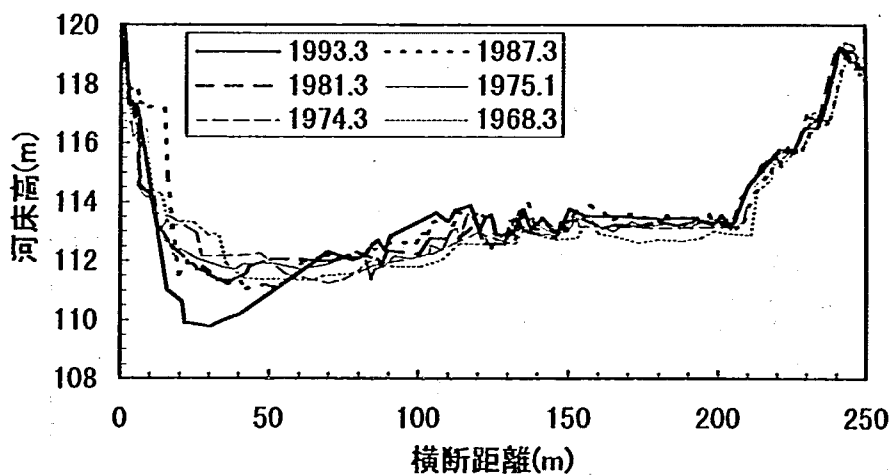


図2-11b 横断形状(永田橋地区の51.8km測線)

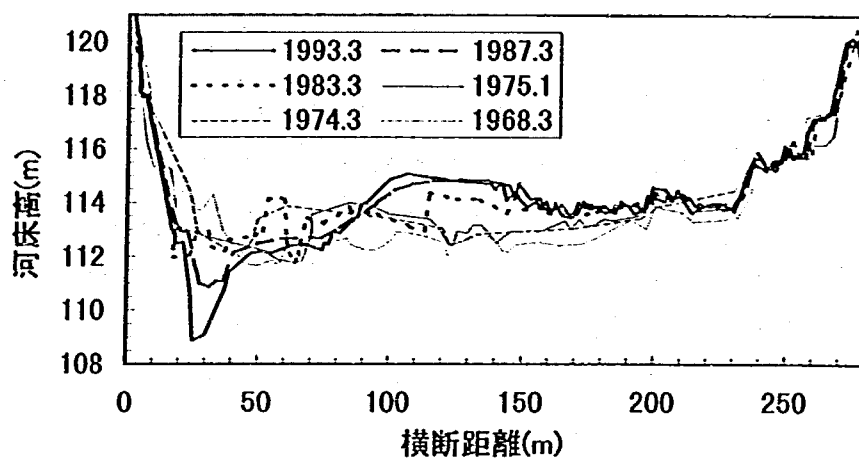


図2-11c 横断形状(永田橋地区の52.0km測線)

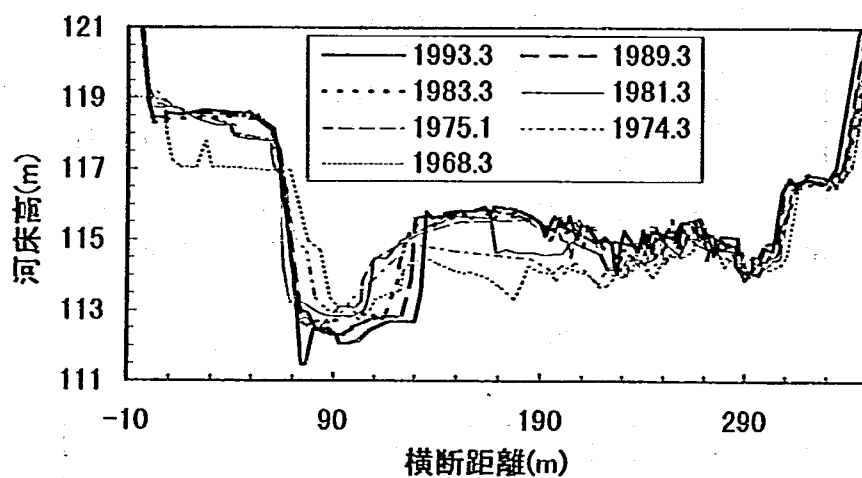


図2-11d 横断形状(永田橋地区の52.2km測線)

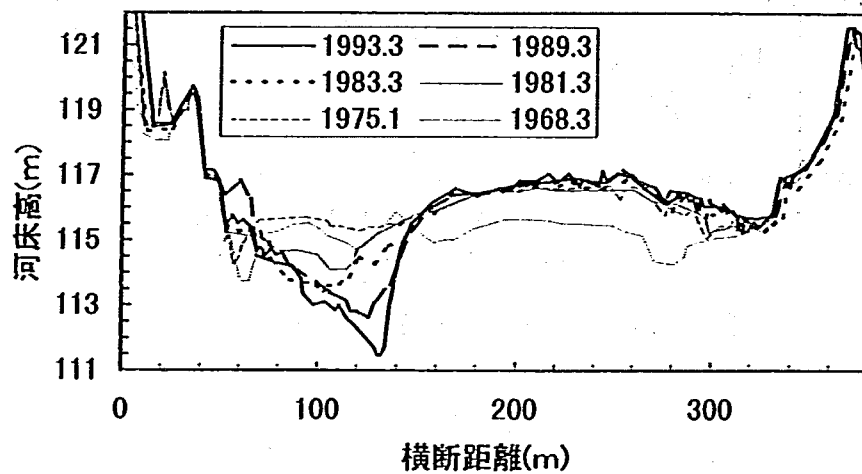


図2-11e 横断形状(永田橋地区の52.4km測線)

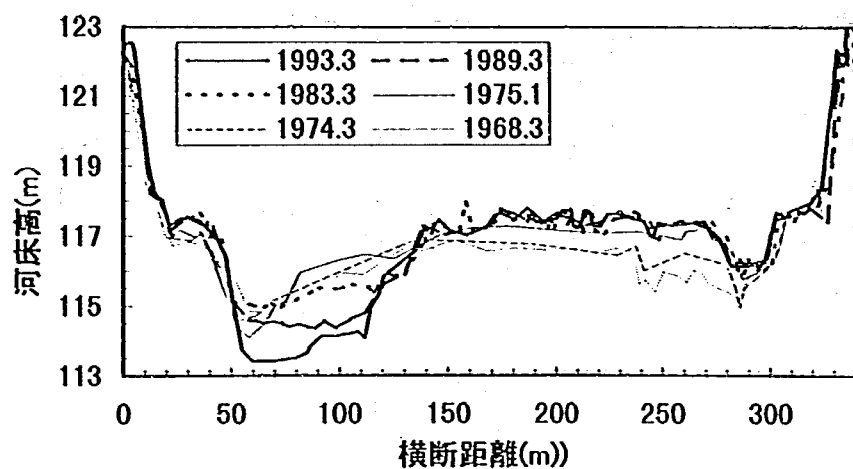


図2-11f 横断形状(永田橋地区の52.6km測線)

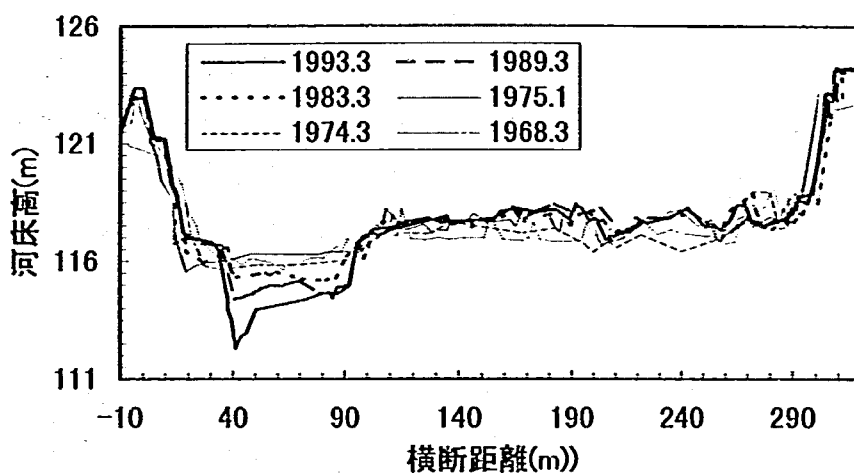


図2-11g 横断形状(永田橋地区の52.8km測線)

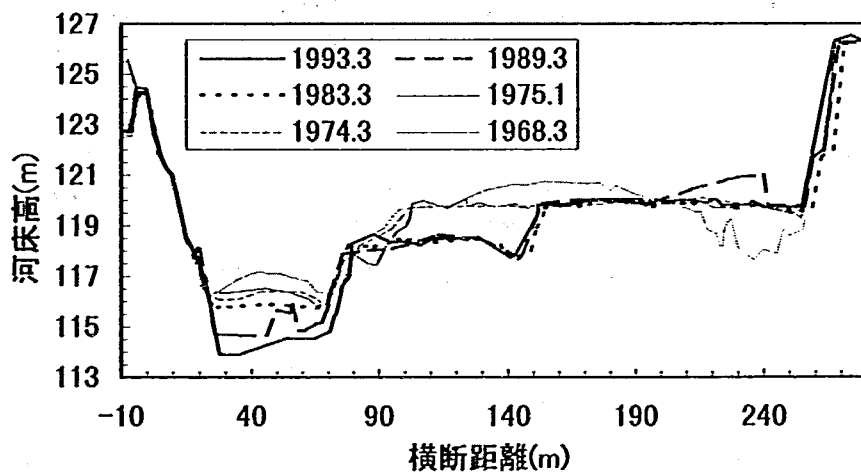


図2-11h 横断形状(永田橋地区の53.0km測線)

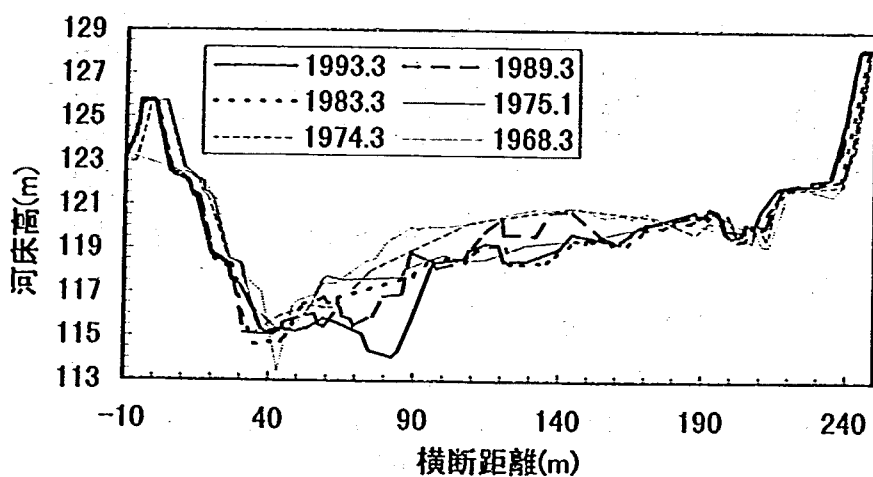


図2-11i 横断形状(永田橋地区の53.2km測線)

(b) 秋川合流地区

図2-12に横断形状の経年変化を示す。この図からわかるように、秋川合流地区では、全川幅に比べ幅の狭い高水敷が1968年当時から安定的に存在し、高水敷の間に広い低水路状の河床が広がっている。低水路部分の河床は大局的に見ると平坦であり、その中で太く安定的な滞筋が形成されることはないが、横断的にかなり細かく変動している。低水路河床高は平均的には上昇傾向にある。低水路河床には細かな変動が頻繁に生じると言える。

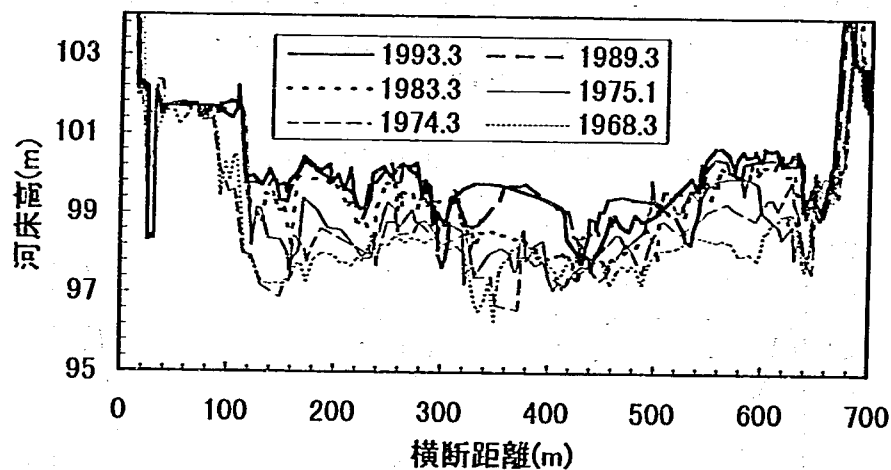


図2-12a 横断形状(秋川合流地区の48.4km測線)

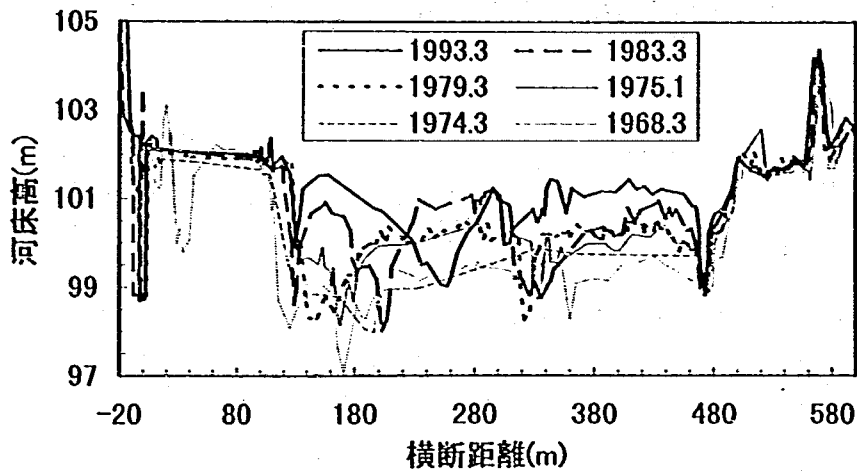


図2-12b 横断形状(秋川合流地区の48.6km測線)

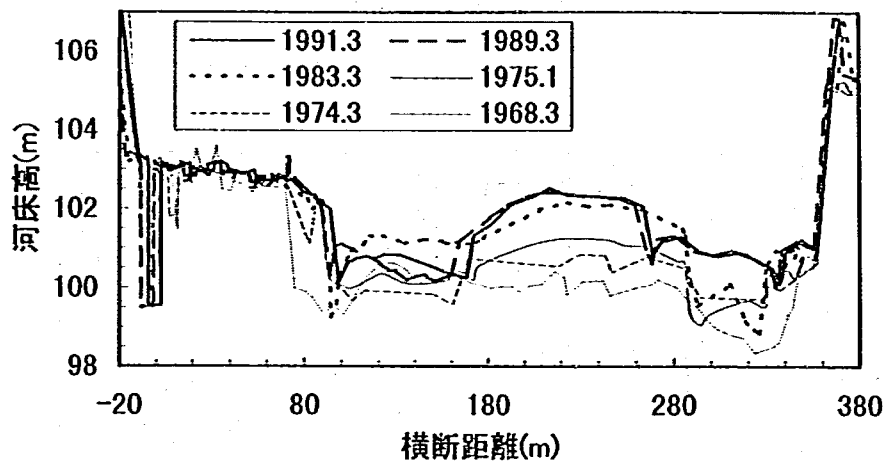


図2-12c 横断形状(秋川合流地区の48.8km測線)

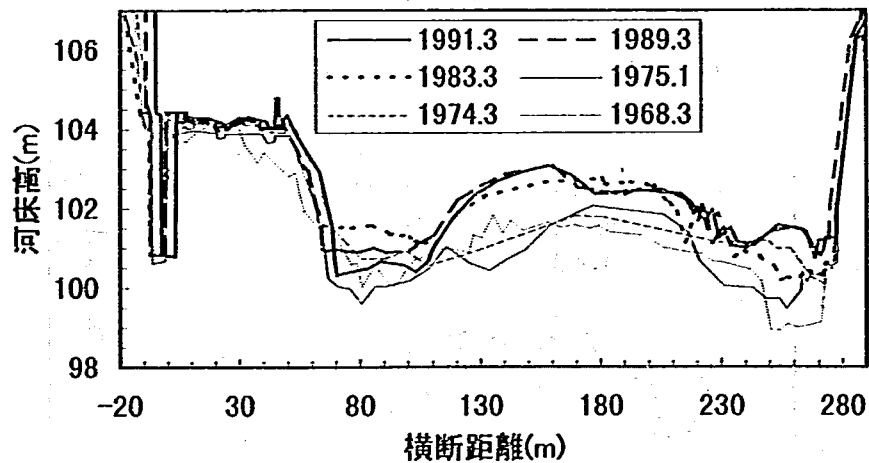


図2-12d 横断形状(秋川合流地区の49.0km測線)

(c) 日野橋地区

図2-13に横断形状の経年変化を示す。日野橋地区は、四谷本宿用水堰に近づく39-39.2kmを除くと、基本的には永田橋地区と同じような特徴を示している。すなわち、1968年当時概ね平坦であった河床が(1968年当時からあった幅の狭い高水敷を除く)、一部の河床低下と残りの部分の河床上昇により次第に複

断面的な形状に変化するというものである。特に40.2kmから上流では、1995年現在できれいな複断面形状になっている。

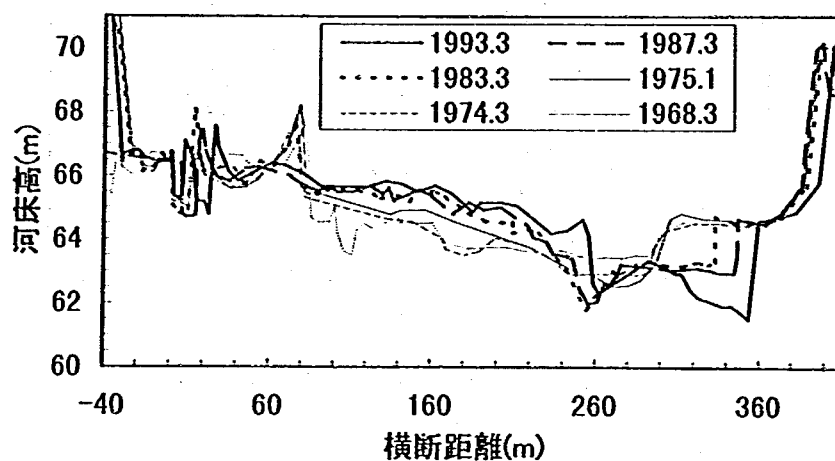


図2-13a 横断形状(日野橋地区の39.4km測線)

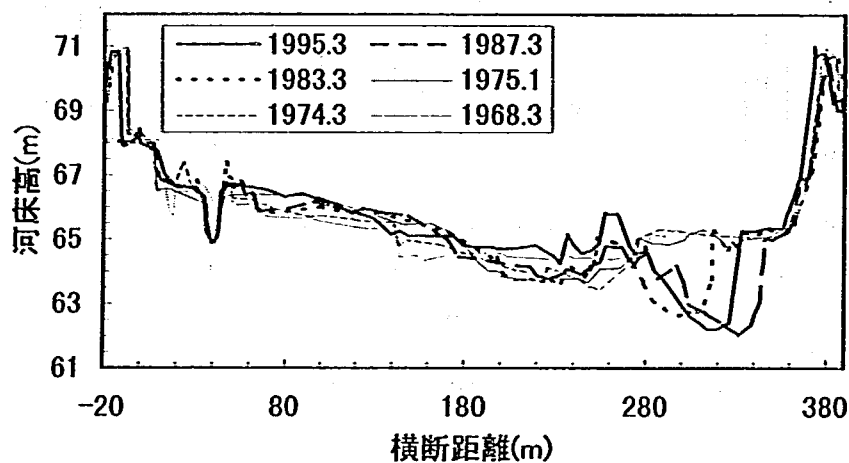


図2-13b 横断形状(日野橋地区の39.6km測線)

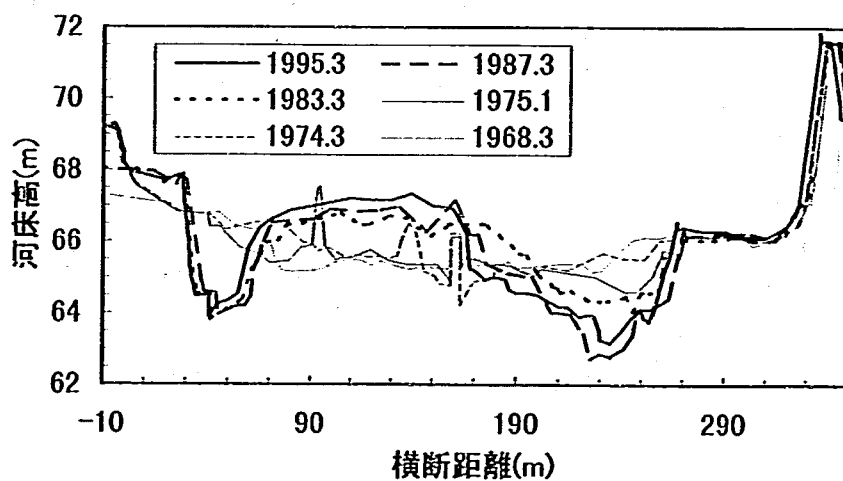


図2-13c 横断形状(日野橋地区の39.8km測線)

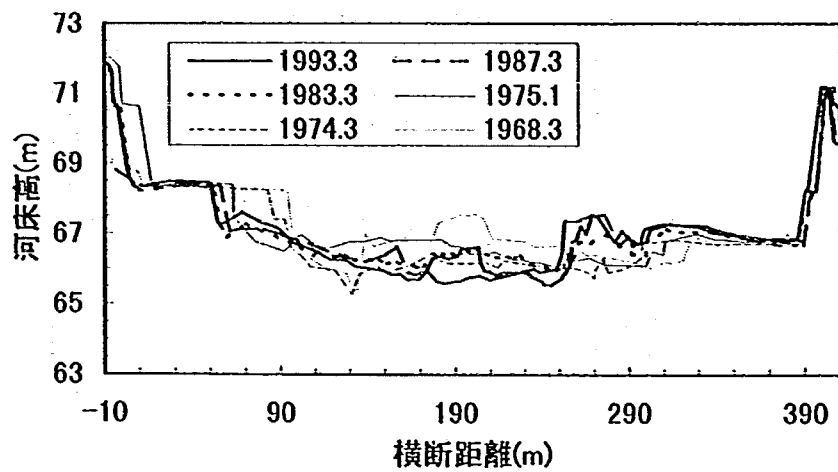


図2-13d 横断形状(日野橋地区の40.0km測線)

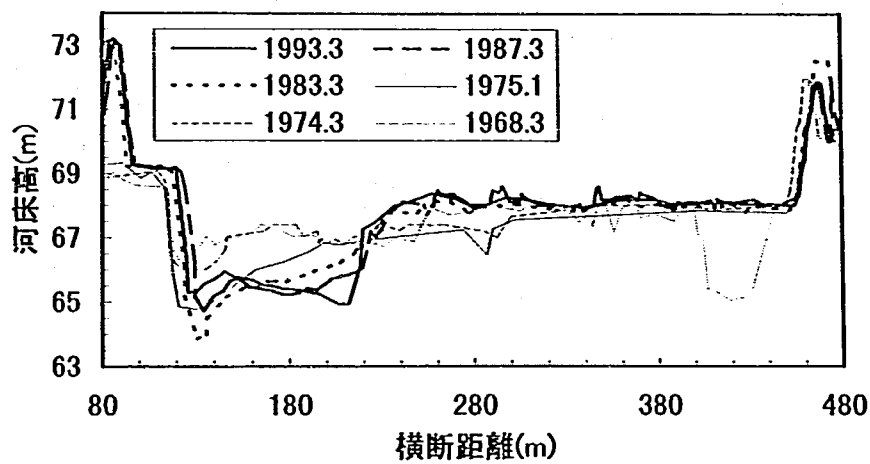


図2-13e 横断形状(日野橋地区の40.2km測線)

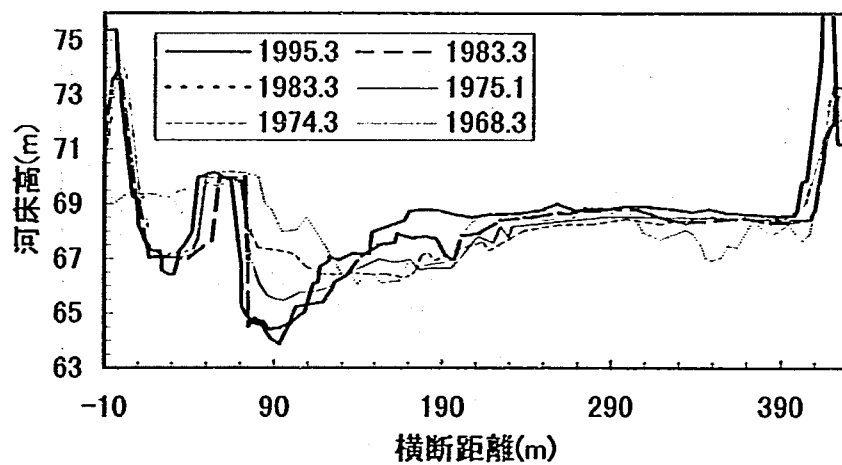


図2-13f 横断形状(日野橋地区の40.4km測線)

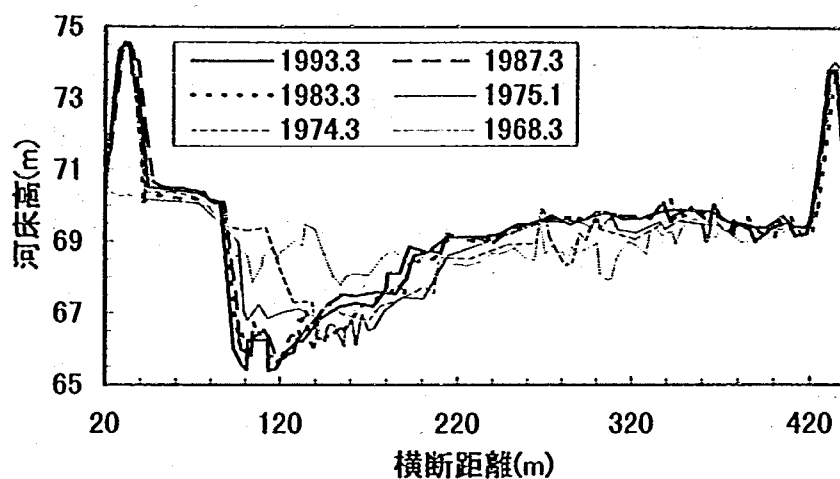


図2-13g 横断形状(日野橋地区の40.6km測線)

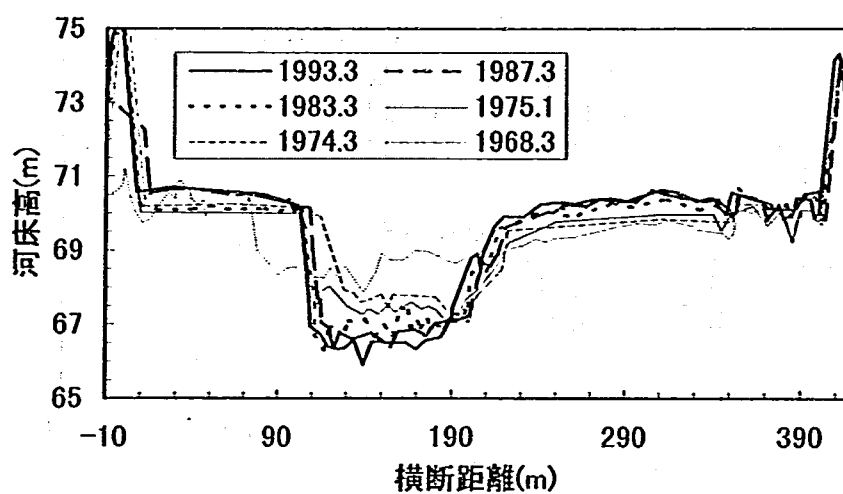


図2-13h 横断形状(日野橋地区の40.8km測線)

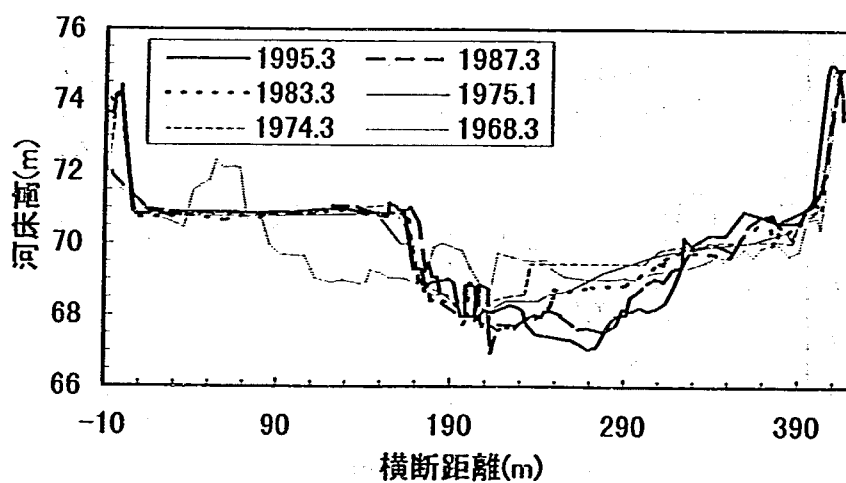


図2-13i 横断形状(日野橋地区の41.0km測線)

(d) 3 地区の特徴のまとめ

以上から、各地区で起こった主要な横断形状変化パターンをまとめると、次のようになる。1) 永田橋地区：部分的河床低下と残り部分の河床上昇による「概ね平坦形状→複断面形状」という変化。2) 秋川合流地区：幅広い低水路の全体的な河床上昇と空間的にも経年的にも細かい河床変化。3) 日野橋地区：下流の一部区間を除いて永田橋地区と同様。以後、複断面形状になっている場所の低水路状の部分で低水路、高水敷状の部分を高水敷と呼ぶ。

ところで、永田橋地区と日野橋地区の横断形状変化パターンは上記のように似ているが、複断面形状へ変化する過程が時間的に異なっている。図2-14には、永田橋地区と日野橋地区の代表横断測線における低水路と高水敷の平均高さの経年変化が示されている（永田橋地区、日野橋地区とも右岸高水敷を対象）。この図と図2-11～13から、まず、永田橋地区については、全体的に見て、両者の高さの差が2m以上となるような複断面的特徴が1975年には現れ、1987～1989年以降に低水路河床高の低下が顕著になり、それとともに複断面的特徴がよりはっきりしてきたと言える。一方、日野橋地区では、きれいな複断面形状が現れている40.2kmより上流について、すでに1974年時点でそうした複断面的特徴が明確になっており、複断面形状への変化が永田橋地区よりも早い時期に起こっていることがわかる。特に、40.4km断面では、1968年段階ですでに比高が2mに達しており、さらに早い段階で複断面的になっていたことがわかる（40.6kmと40.8km断面では、1968年当時ではまだ複断面形状になっていない）。

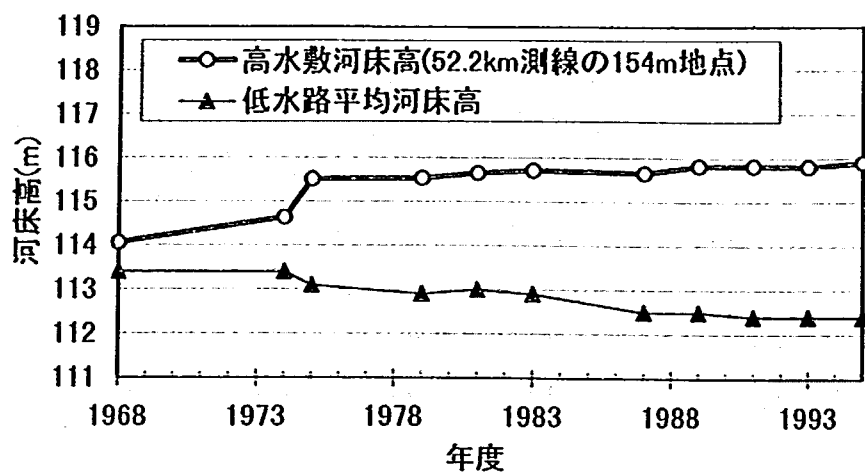


図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化：a) 永田橋地区の52.2km測線

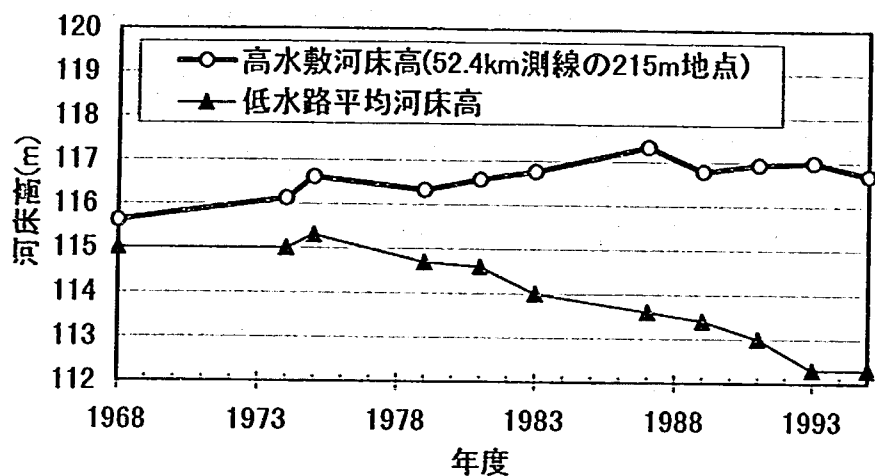


図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化：b) 永田橋地区の52.4km測線

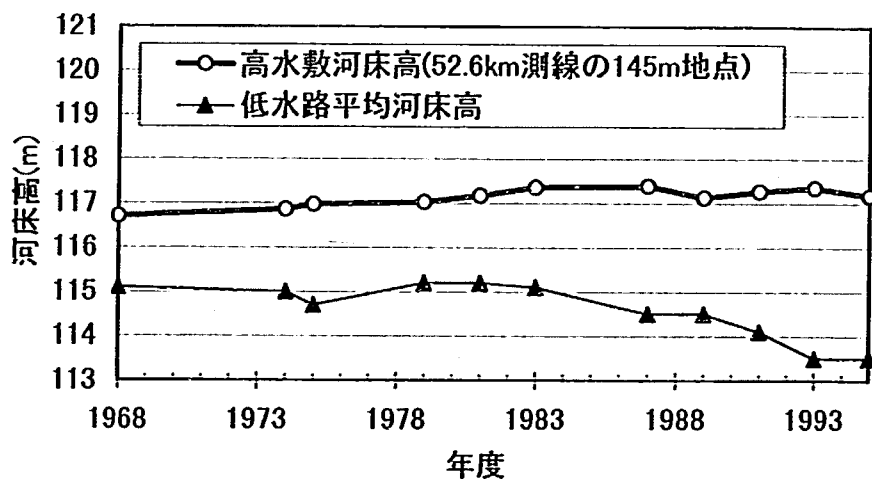


図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化：c) 永田橋地区の52.6km測線

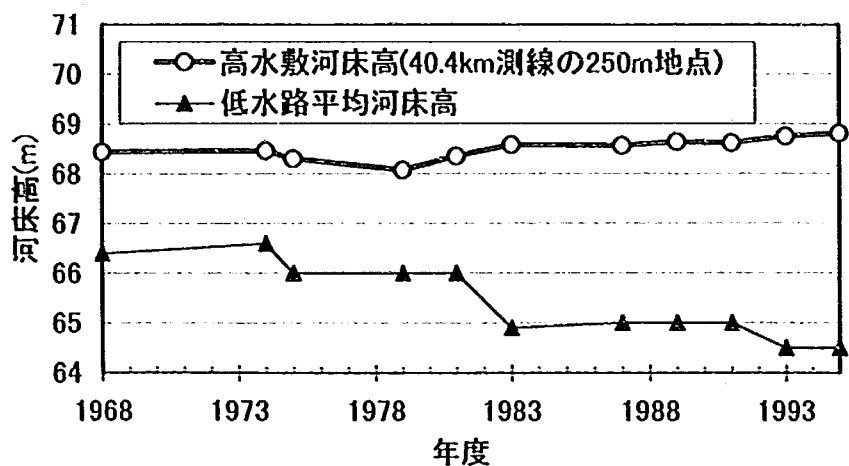


図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化：d) 日野橋地区の40.4km測線

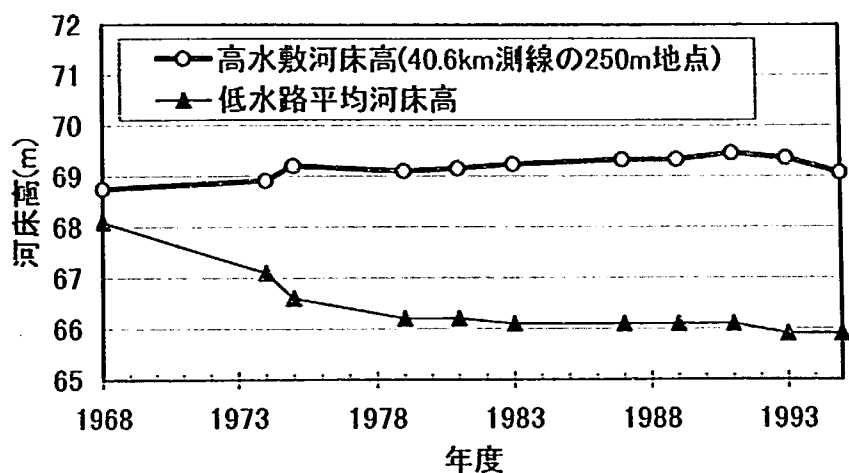


図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化：e) 日野橋地区の40.6km測線

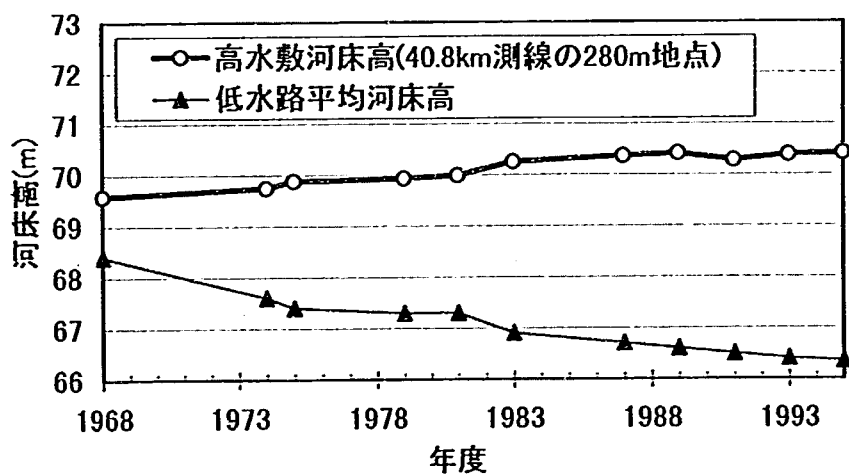


図2-14 低水路・高水敷の河床高の経年変化：f) 日野橋地区の40.8km測線

2.3 植生繁茂状況の変化の実態

2.3.1 植生変化の概要と河床形状変化

(1) 永田橋地区 51～53km

写真2-1に、永田橋地区の1947年から1996年にかけての航空写真を示す。対象区間の植生域拡大は顕著である。1947年には植生はほとんど見られず広大な白州(裸地礫床)が広がっている。1961年には植生域があるが、裸地礫床が多い。ただし、河床掘削の影響が全面的に認められる。1968、1974年になると砂利掘削の痕跡は無くなり、裸地礫州域と植生域がそれぞれまとまって存在している。このうち、まとまった植生域は右岸堤防に接するように三角形状(下流に向かって幅が拡大する形)に広がっている。1979年、1981年、1989年の写真は植生域の拡大過程を示し、1989年には現在(1996年)に至るまで安定的に存在する「安定植生域」がほぼ完成している。なお、1992年の空中写真には51.4～51.6km区間の右岸より河床の樹木の破壊が認められる。この原因は、この付近の河床の一部を人為的に掘削したためと推定される(空中写真より判断)。

1947 年



1961 年



1968 年



1974 年



1979 年



写真2-1a 永田橋地区の植生繁茂の経年変化状況

1984 年



1989 年



1992 年



1996 年



写真2-1b 永田橋地区の植生繁茂の経年変化状況

図2-15には52.4km地点における河床横断形状と植生横断分布(奥田ら, 曾根による植生図より[奥田・曾根・藤間・富士, 1979; 曾根, 1984; 奥田・小舩・畠瀬, 1995])の経年変化が示されている。横断形状変化と植生分布変化の比較から, 1994年にはニセアカシア(ハリエンジュとも呼ぶが, 本論文ではニセアカシアを用いている)やオギなどの安定植生域が右岸の高水敷に発達し, ここで1977年当時優勢であったカワラノギク群落大幅に縮小していることがわかる。このことは, 裸地礫床に近い地被状態にあった河床のうち(カワラノギク群落は密度が低く地被的には裸地礫州に近い), 高水敷になった部分に安定植生域が広がったことを示している。写真2-1から, 1968年以降, 植生域が明確に減少する過程を挟むことなく, ほぼ一方向に近い形で植生域が拡大してきたことがわかる。1974年と1982年の規模の大きい洪水によっても, 裸地礫床領域が拡大したようには見えない。

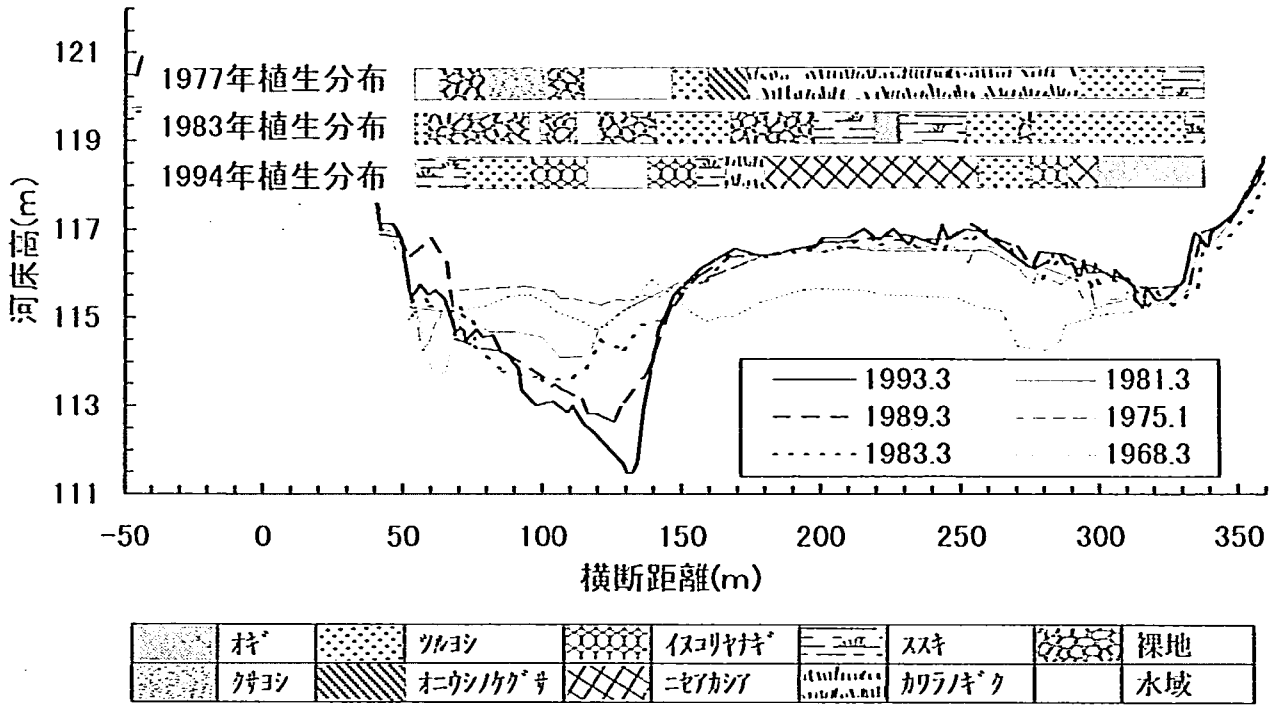
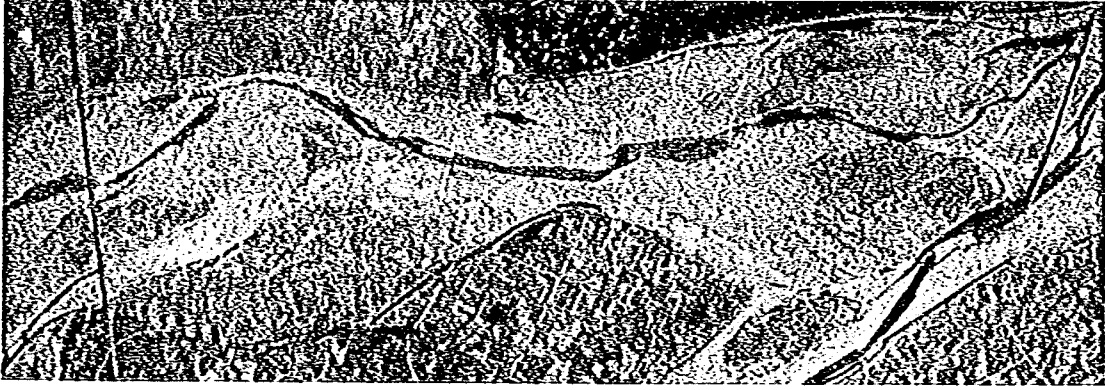


図2-15 52.4km測線の横断形状と植生変化

(2) 秋川合流地区 48.4~49km

写真2-2に, 秋川合流地区の1947年から1992年にかけての航空写真を示す。永田橋地区の場合と違い, 1947年当時においても, 礫州上のところどころに植生域が存在する。しかし, 裸地礫床の占める割合が多いことには変わりがない。1961年の写真には永田橋地区と同様河床掘削の影響が全面的に認められる。1968年の写真以降, 河床掘削の痕跡はなくなる。1968年以降の植生変化を見ると, 1979→1984年に植生域が減少し, 1989→1992年にかけても裸地礫床域がやや拡大している。植生域の拡大は, 1974年→1979年と1984→1989年に見られる。このように, 秋川合流地区の植生域には, 永田橋地区と異なり, 拡大, 減少という変動が見られ, 一方向的な安定植生域の拡大は見られない。また, 植生域の拡大には洪水が関係していそうである(たとえば, 1982年の大規模洪水と, 1979→1984年の植生域減少)。

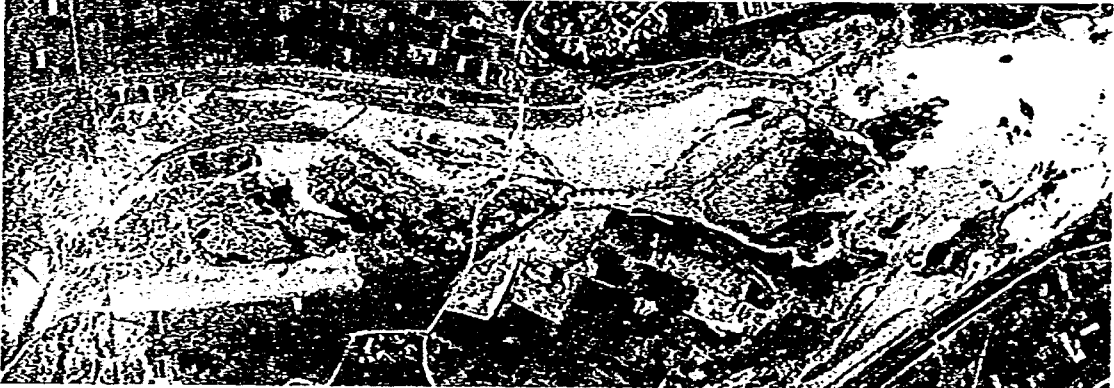
1947 年



1961 年



1968 年



1974 年



写真2-2a 秋川合流地区の植生繁茂の経年変化状況

1979 年



1984 年



1989 年



1992 年



写真2-2b 秋川合流地区の植生繁茂の経年変化状況

図2-16には、48.6km地点における河床横断形状と植生横断分布(奥田ら、曾根による植生図より[奥田・曾根・藤間・富士, 1979; 曾根, 1984; 奥田・小舩・畠瀬, 1995])の経年変化が示されている。この図から、秋川合流地区には、永田橋地区で見られたような、横断形状変化と安定植生域拡大とのわかりやすいマクロな対応関係は見られず、河床地形と植生分布状況が時間的・空間的に細かく変動していることがわかる。

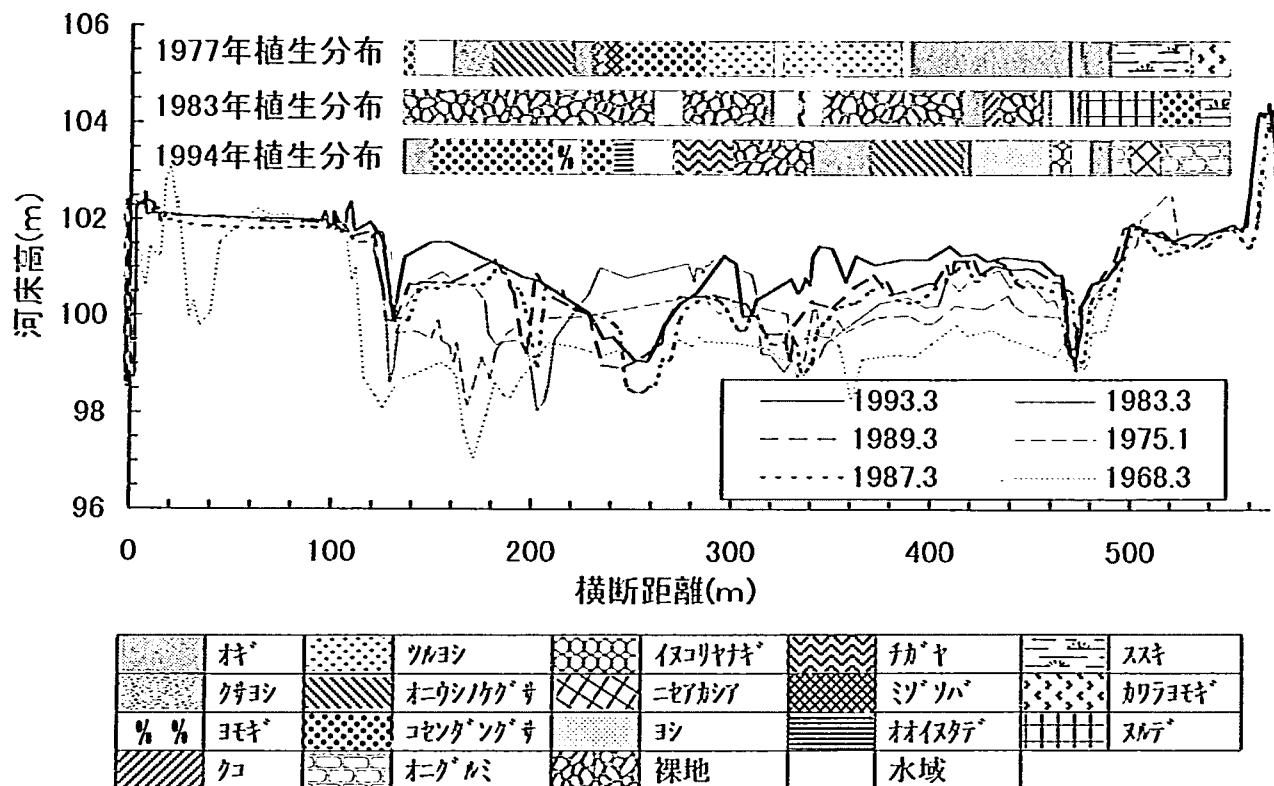


図2-16 48.6km測線の横断形状と植生変化

(3) 日野橋地区：39.0～41.0km区間

写真2-3に、日野橋地区の1947年から1992年にかけての航空写真を示す。1947年当時、裸地礫床と植生域が混在している。1961年には河床掘削の影響が全面的に認められる。1968年には、右岸側にまとまった植生域が存在し、右岸側の陸域面積のかなりの部分を占めている。1974年(出水期後)になると、この植生域のうち上流部が裸地化しており、結果として右岸陸域のうち40.5km測線付近より上流では裸地あるいはそれに近い地被の砂礫面が広がった。これは、1974年洪水による植生域の一部範囲での流失が原因と考えられる。なお40.5km測線付近より下流は1968年と同様密生した植生が存在している。この後、植生域の拡大のテンポは1979年の写真まではそれほど速くないが、1984年になると、右岸側陸域全体に広がり、現在(1992年)に至っている。すなわち、右岸高水敷はすべて安定的植生域に覆われた。この過程(1974年以降)で、上述のように1974年洪水後に形成されたと考えられる40.5km測線付近上流の裸地域における植生繁茂が、安定植生域拡大の主要な部分を担ったと言える。

1947 年



1961 年



1968 年



1974 年



1979 年



写真2-3a 日野橋地区の植生繁茂の経年変化状況

1984 年



1989 年



1992 年



写真2-3b 日野橋地区の植生繁茂の経年変化状況

図2-17には40.6km地点における(したがって40.5km測線より上流の範囲に当たる)河床横断形状と植生横断分布(奥田ら, 曾根による植生図より[奥田・曾根・藤間・富士, 1979; 曾根, 1981; 奥田・小松・品瀬, 1995])の経年変化が示されている。1976年には複断面化に伴い形成された右岸高水敷において, 右岸堤防沿いにオギが繁茂し, その左は裸地と植物繁茂(ツルヨシが主体)が混在している。1983年には裸地の多くがツルヨシにとって代われ, 1994年にはほぼ全面的にオギで被われる状況となった。

以上から, 日野橋地区においても, 永田橋地区と同様, 高水敷になった部分(右岸高水敷)に安定植生域が広がったと言える。ただし, その拡大のタイミングは, 40.5km測線付近を境に上下流で異なっており, 上流側では, 永田橋地区と同様に, 1974年(出水期後)に裸地が主体であったが1983年以降安定的な植生が全面的に存在するようになった(図2-17)。一方, 40.5km測線付近の下流側では, 永田橋地区と異なり, 奥田らの1976年植生図に[奥田・曾根・藤間・富士, 1979]既に安定的な植生域が全面的に存在し, 写真2-3には1968年からそれが認められる。すなわち, 下流側では, 上流側よりもずっと早く安定植生域の拡大が起こっている。

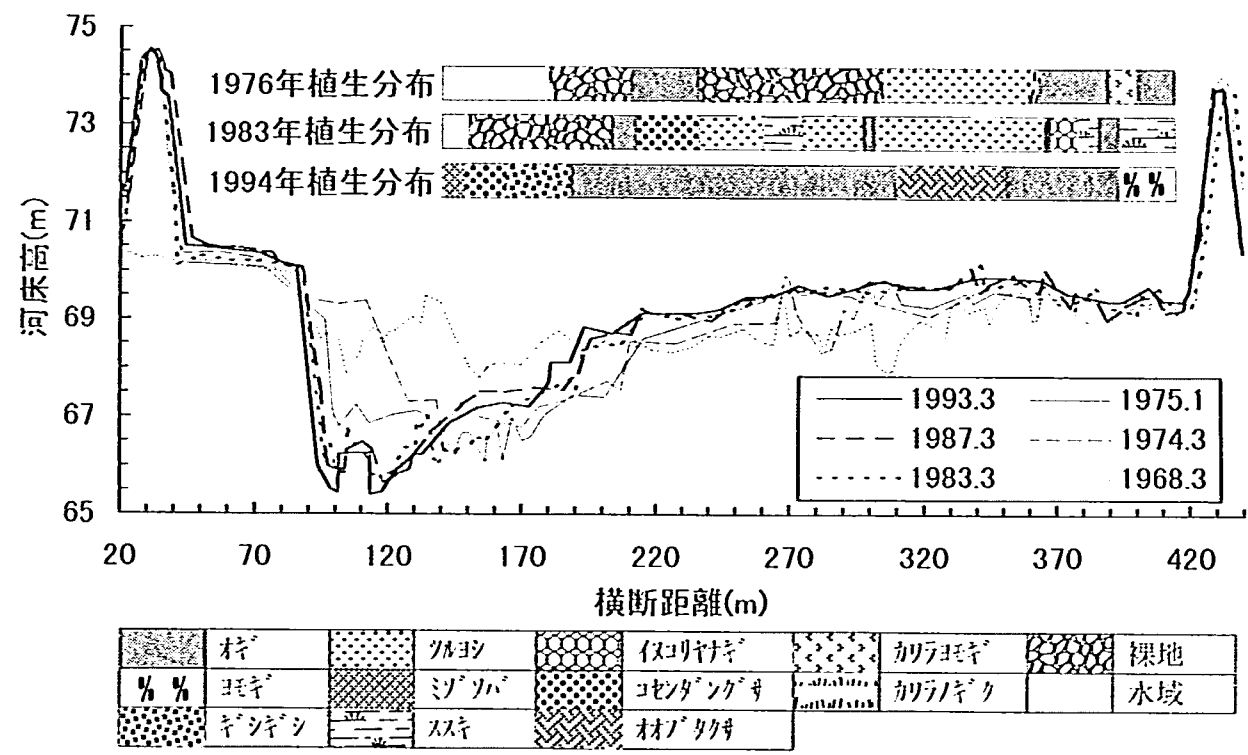


図2-17 40.6km測線の横断形状と植生変化

(4) 航空写真の判読による樹木繁茂面積の分析

植生変化について補足情報を得る目的で, 高さ1m以上で樹木と判別できる植生の繁茂面積を航空写真から算出した。結果を図2-18に示す。この結果はあくまで航空写真から読みとることのできる範囲でのものであり, 後述する植生図の分析ほどの精確さはない。ただ, 植生図よりも航空写真の方が高い頻度で撮影されているので, 補足情報としては有用と判断した。

図2-18から, まず, 永田橋地区(51~53km)については, 樹木面積(上述のように判読精度上の問題はあつたものの, ここでは一応こう呼ぶ)の増加率が1985~1989年の間で顕著であり, この期間に主要な樹木繁茂が完了したと推定できる。なお, 1989~1992年の間で樹木面積が減少しているのは, 永田橋の少し上流(52.0~52.4km測線間の右岸側高水敷の一部)で1992年1~3月に行われたニセアカシアを含む樹木伐採によ

るものと考えられる(河道内植生管理を目的に建設省が樹木伐採を行ったという記録が残っている；建設省京浜工事事務所多摩川上流出張所からの情報に基づく；なお、1993年2～3月にも、これより51.8km付近までの間の右岸高水敷の一部で同様の伐採が行われたという記録がある)。日野橋地区(39～41km)については、前述の安定的植生域がほとんどオギで占められており、樹木面積は少ない。それでも、1984年以降やや増加傾向にある。秋川合流地区の48.4～48.6kmについては、全体としてやや増加傾向があるように見えるが、永田橋地区のような樹木面積の急増は見られない。

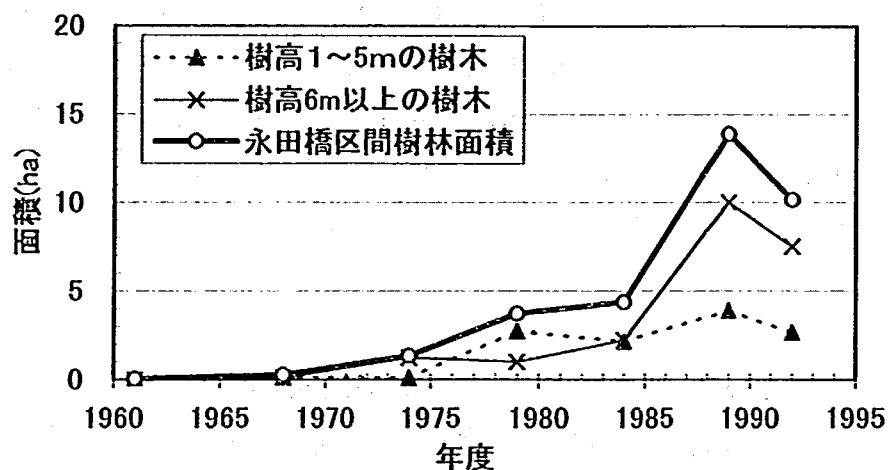


図2-18 樹林地面積変化 a) 永田橋地区(63.1ha)

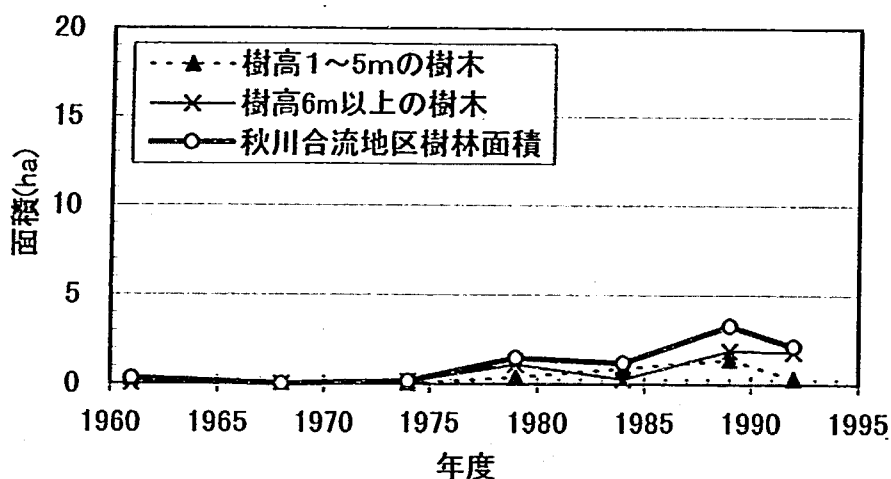


図2-18 樹林地面積変化 b) 秋川合流地区(23.9ha)

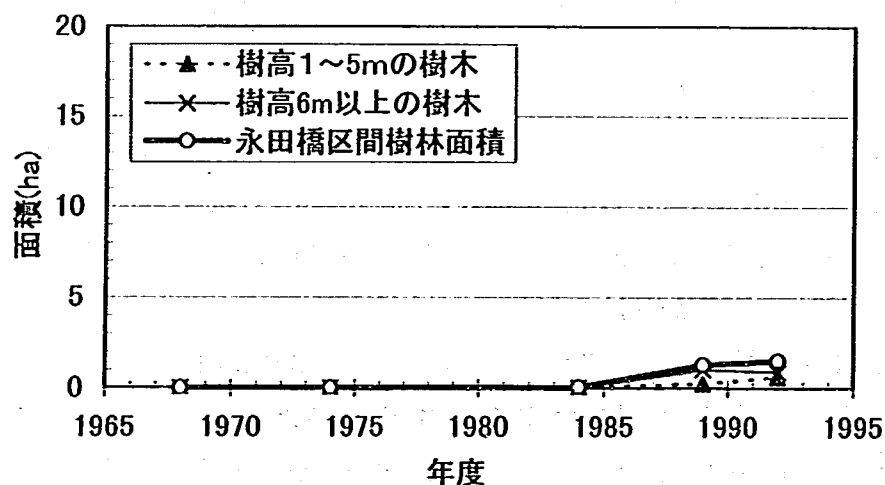


図2-18 樹林地面積変化 c) 日野橋地区(71.9ha)

以上に示した航空写真による樹木判読という手法の適用結果からは、特に、永田橋地区における1984年以降の樹木面積増大が目立つ。後述のように、これはニセアカシアの繁茂によるものである。礫床河川の樹林化の要因として、複断面化に伴う高水敷部分の冠水頻度の減少と地下水位の低下が考えられる。しかし、複断面的形状となり、有意な高水敷冠水を起こすような洪水が無かった1974年洪水直後から1979年にかけては樹木面積の拡大が緩慢であり、この期間と状況が大きく変わらない1984～1989年の間に樹木面積拡大が進んでおり、複断面化に伴う上記の2要因だけでは本現象を説明できず、興味深い。

(5) まとめ ——“安定植生域”の拡大について——

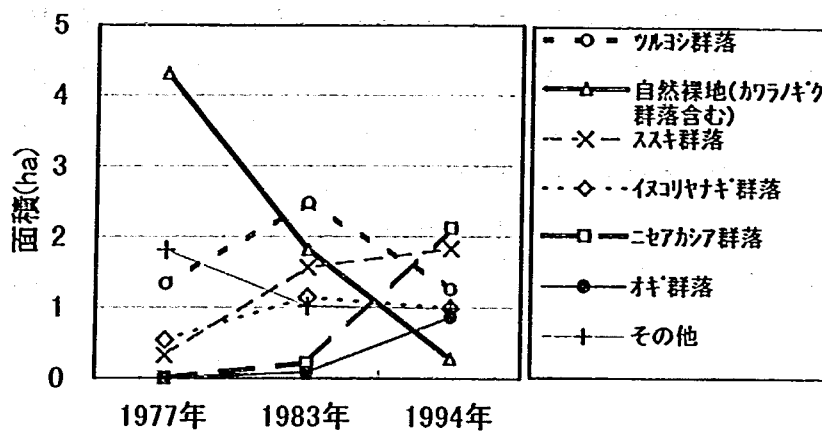
3地区の植生変化をマクロに見ると、①1947年写真に代表される時期、すなわち白州(裸地礫床)が多くを占めるが、植生域も場所によっては相当存在する、②1961年写真に代表される時期、すなわち河床掘削が行われ、これが植生面積の減少に作用した、③1968年写真以降の時期、の3つに分けることができる。③の時期(1968年以降)においては、河床掘削の影響も無くなり、少なくとも直接的な人為作用が無い状態での変化が起こっている。永田橋地区と日野橋地区では、③の時期において、複断面化に伴い現れた高水敷を植生が全面的に覆うようになり、そこに安定的な植生が存在するようになった。永田橋地区ではニセアカシア繁茂域の拡大が、日野橋地区ではオギの繁茂が、こうした安定的植生域の形成を担う主要な植物になっている。安定的に存在する植生域が礫河床上に大規模に拡大するという現象は、第1章に述べたように、治水安全度を確保するという立場からも、礫床河川の本来の自然環境を確保するという立場からも、非常に重要である。本研究では、1968年以降拡大したこうした安定的植生域を対象にする。以後、こうした植生域を“安定植生域”と呼ぶことにする。

なお、上述のように、安定植生域は草本だけでも、木本だけでも限らない。本研究では、“安定的”に存在することがまず重要と考え、ここでは、第一段階として両者を区別せずに、「安定植生域」と括った。また、秋川合流地区は、一方向的な安定植生域の拡大を示さないが、特徴の異なる他の二地区との比較対象として重要と考え、以後も引き続き検討対象として行く。

2.3.2 各植物群落の占有面積の変化

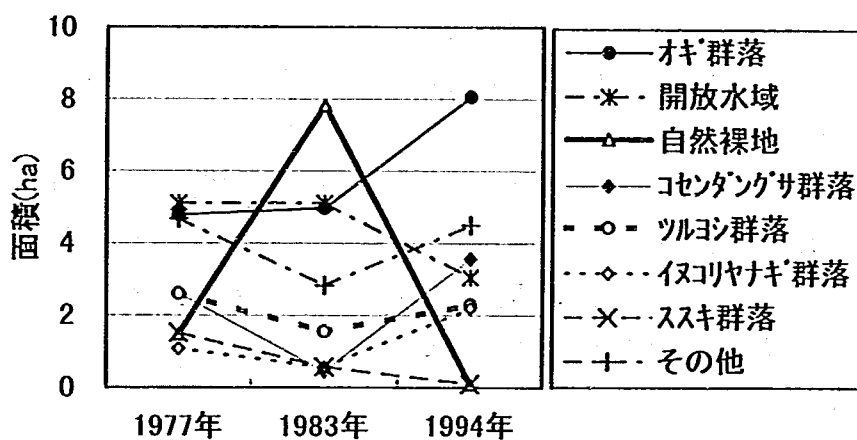
(1) 分析方法と結果

前項(2.3.1)において、植生変化の概要は明らかになったが、植生変化の意味の理解や機構解明のためには、植物群落の種類ごとに動態を詳細に把握することが必須である。幸いなことに、対象区間については、奥田、曾根らを中心に精密に作成された1977、1983、1994年現存植生図[奥田・曾根・藤間・富士、1979：曾根、1984：奥田・小舩・島瀬、1995]が出版されている。これを用いて、永田橋地区の52.2～52.6km測線間の低水路中央より右岸側(面積8.3ha)、秋川合流地区の48.4～48.6km測線間の低水路内(面積23.9ha)、日野橋地区の40.4～41.2km測線間の低水路中央より右岸側(面積13.2ha)における各植生群落の総面積を算出し、その時間変化を分析した。結果を図2-19に示す。なお、図2-19を作成する際には、3時点平均の占有面積が全面積の2～3%程度に満たない種を分析から除外した。表2-4には図2-19から読みとることのできる各植物群落の占有面積変化の傾向を要約して示す。以下には、以上の情報に植生図から直接読みとることのできる情報と航空写真の判読を加味して、各調査地区における植生変化状況を示す。



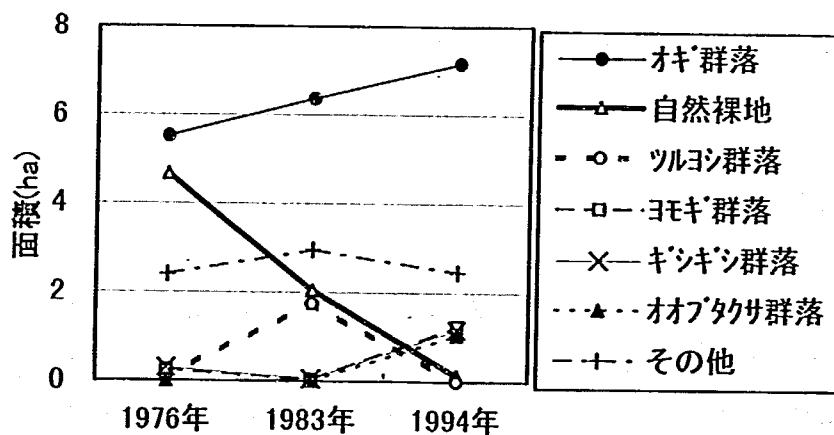
a) 永田橋地区<3期合わせた構成面積が0.5ha以下棄却>

図2-19 各植物群落の占有面積変化



b) 秋川合流地区<3期合わせた構成面積が2ha以下棄却>

図2-19 各植物群落の占有面積変化



c) 日野橋地区<3期合わせた構成面積が1ha以下棄却>

図2-19 各植物群落の占有面積変化

表2-4 各植物群落の占有面積変化の概要

(矢印は、左から順に、1977 (1976) →1983年の変化、1983→1994年の変化を表す：上向きは増加傾向を、下向きは減少傾向を、平行は変化小を意味する)

	植物群落種	永田橋地区	秋川合流地区	日野橋地区	備考
①	裸地	↓↓一方向的に減少	↑↓1983年に極大	↓↓一方向的に減少	3地区共に1994年には面積最小
②	ニセアカシア	→↑1977年には殆ど無し、1983年以降に急増	—	—	—
③	ツルヨシ	↑↓1983年に極大	→→殆ど変化無し	↑↓1983年に極大	永田と日野は変化が同じ。現在日野にツルヨシは無し、永田は残存するがこれも時間の問題？ 秋川ではツルヨシの立地がある。
④	ススキ	↑→1983年に増加したがその後殆ど変化無し	↓↓徐々に減少した	—	—
⑤	オギ	→↑1977年には殆ど無し、1983年以降に増加	→↑1983年以降増加	↑↑常に増加	—
⑥	イヌコリヤナギ	↑→1983年に増加、その後変化無い	→↑1983年以降の増加個体（現在15年生）の帯状分布を現地で確認	—	秋川は1983年に侵入定着（現在深さ数10cmの砂に埋没） 永田は1983年以降に面積の変化は無いが消長はある
⑦	コセンダングサ	—	↑↓1983年に低水路内で裸地になった中でも低い場所は1994年にコセンダングサの群落になっている	—	礫地の裸地に生育する
⑧	オオブタクサ	—	—	→↑1976年には殆ど無し、1983年以降に急増	—
⑨	ギンギン	—	—	→↑1976年には殆ど無し、1983年以降に急増	—
⑩	ヨモギ	—	—	→↑1976年には殆ど無し、1983年以降に急増	—
⑪	開放水域	—	→↓落筋の固定に伴う河床低下で水域面積の減少？	—	—
	群落選定基準	3期の合計0.5ha≤ 6種	3期の合計2ha≤ 7種	3期の合計1ha≤ 7種	—

注)日野橋地区の調査年度は1976年、秋川合流地区と永田地区は1977年である。

a) 永田橋地区

<1977年 → 1983年の変化>

- ・裸地域が減少した分は、ススキ、ツルヨシ、イヌコリヤナギの群落域に変化した。
- ・裸地からツルヨシ群落への変化は、隣接するツルヨシ群落の拡大によるものが多い。
- ・1983年にイヌコリヤナギ群落に変化した場所の一部は、1979年時点(空中写真)では裸地のまま。1981,1982の大洪水による土砂堆積後に侵入定着し発達したと思われる。
- ・一部のイヌコリヤナギの増加は、1977年に存在した場所を中心として群落面積が拡大したもの。
- ・1977年に裸地域で比高の高い立地では緩慢なススキ群落の発達が見られる。

<1983年 → 1994年の変化>

- ・1983年の裸地域について、1994年には流路沿いがイヌコリヤナギ群落、高水敷上ではススキ群落に変化した。
- ・ツルヨシ群落の一部はススキ群落に変化した。
- ・ニセアカシア群落の増大については、ススキ群落、イヌコリヤナギ群落から変化した場所とツルヨシ群落から変化した場所がある。
- ・オギ群落の増加について、多くはツルヨシ群落から変化したもの。堤体沿いについてはススキ群落からの変化。イヌコリヤナギ群落域から変化したものもある。

b) 秋川合流地区

<1977年 → 1983年 の変化>

- ・コセンダングサ、ツルヨシ、クサヨシ、オギの群落の一部が、裸地に変化した。
- ・秋川合流近くではオギ群落が拡大した。
- ・ススキの群落域はクズ・カナムグラやオオバコ群落に変化して減少した。これは、生物的な遷移によるものではないと思われる。

<1983年 → 1994年 の変化>

- ・裸地域は主にコセンダングサ、オギの群落域に変化した。1994年時点でのコセンダングサの群落域は地表的には裸地に近い。
- ・1983~1994年のオギ群落の増加は、1983年のパッチ状分布が拡大したもの。
- ・ススキの群落域はオニグルミ、オオブタクサの群落に変化した。これは生物的遷移ではないかと思われる。

c) 日野橋地区

<1976年 → 1983年 の変化>

- ・1976年の裸地域では1983年にはツルヨシ、オギの群落が発達した。ツルヨシは新たな侵入、オギ群落は既存の群落の拡大と推定される。

<1983年 → 1994年 の変化>

- ・ギシギシ群落は、1983年に流路沿いで裸地域であった場所からの変化。
- ・ヨモギ群落は、主にツルヨシ、ススキ、コセンダングサの群落域が変化したもの。

- ・オオブタクサ群落は、主に1983年にオギの群落域であった場所からの変化。これは生物的な遷移によるものではないと思われる。
- ・オオブタクサ群落への変化にも関わらず、オギの群落域が増加した理由は、ツルヨシの多くの群落域がオギ群落に変化したことによる。

d) 安定植生域の拡大を担った植物群落の種類

以上を総合すると、安定的な植生域拡大を主に担っているのはオギ、ニセアカシア、オオブタクサ、ススキ、ギシギシ、ヨモギの繁茂であると判断できる。

表2-5 1977～83～94年の植生変化傾向

代表的地被状態 (植物群落)	永田橋地区、日野橋 地区	秋川合流地区
自然裸地 (被度の低い群落を 含む)		
ツルヨシ、イヌコリ ヤナギ、コセンダン グサ		
オギ、ニセアカシ ア、オオブタクサ		

注) 矢印の上向きは占有面積の増加を、下向きは減少を表す。

注) ----➡ 1977(1976)年から1983年の変化

——➡ 1983年から1994年の変化

(2) 植物群落の変化特性と河床変動特性との対応関係

各地区の植物群落の変化には永田橋・日野橋地区と秋川合流地区で明瞭な違いがある。それをまとめると表2-5のようになる。図2-3、図2-4に示した年最大流量の経年変化と表2-5から、永田橋、日野橋地区と秋川合流地区の植生変化の違いは、1982年洪水に対する応答の違いを表しているといえることができる。すなわち、秋川合流地区では、1982年洪水により特に表の二段目の植物が破壊されて自然裸地が作られ、そこに同じ植物が回復することにより表2-5の変化が起こっているのに対し、他の2地区では1982年洪水が自然裸地の増加にあまり寄与せず、むしろ表2-5における三段目の植物の増加のきっかけになった可能性が高い。これらのことは、河床上昇傾向にある区間ほど洪水による植物群落の破壊と洪水後の再生という変動が活発であり、逆に、河床低下傾向にある場所では洪水が大きな植物破壊作用を持ちにくく、むしろ洪水が新たな植生繁茂を助長することを強く示唆するものである。このことは、マクロな河床変動傾向と植生動態とのつながりを考える上で重要である。また、永田橋、日野橋地区とも1977年には河道形状が複断面的になっているにもかかわらず、安定植生域の拡大が顕著に起こったのは1983年以降となっている(表2-5)。このことは、複断面化してから必ずしもすぐに安定植生域の拡大が生じるわけではないことを示しており、洪水が植物増加のきっかけになった可能性(上述)と合わせ、興味深い。

2.4 まとめ

本章の検討により、研究対象地区における植生変化と河床変動の実態が明らかになり、河床掘削の影響が見られなくなった1968年以降現在に至るまでに、安定植生域の拡大が明瞭に見られることが明らかになった(永田橋地区と日野橋地区)。また、安定植生域の拡大を担った植物群落(オギ、ニセアカシア、オオブタクサ、ススキ、ギシギシ、ヨモギ)が明らかになり、その多くは、複断面化に伴い現れた高水敷に定着したことが示された。さらに、植生変化を植物群落の種類ごとに調べていくと、河床変動特性と各植物群落の動態との間に密接な関係があることも示された。安定植生域の拡大は、主に1983年以降であり、複断面化が起こってからすぐに引き続いて生じているとは限らず、むしろ洪水をきっかけとして急速に拡大した可能性を示唆する事例が目立つことも明らかになった。これらのことは、研究対象地区における植生の動態の背後にある仕組みを理解する上で、洪水と河床変動の影響を考慮することの重要性を示すものである。

次章では、本章で明らかになった知見を踏まえて、安定植生域拡大の機構を探る上で重要と考えられる各植物群落と立地条件との関係を検討して行く。

なお、本章および次章以降で用いる植物の和名と学名を表2-6にまとめて示しておく。

表2-6 本研究でとりあげた植物の和名と学名

カワラノギク	<i>Aster kantoensis</i>
コセンダングサ	<i>Bidens pilosa</i>
ツルヨシ	<i>Phragmites japonica</i>
イヌコリヤナギ	<i>Salix integra</i>
ヨモギ	<i>Artemisia princeps</i>
ススキ	<i>Miscanthus sinensis</i>
オギ	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>
オオブタクサ	<i>Ambrosia trifida</i>
ハリエンジュ/ニセアカシア	<i>Robinia pseudo-acacia</i>

第3章 安定植生域の形成過程における植物群落と立地条件との関係

3.1 現地調査の内容

3.1.1 調査のねらい

河川においては、国土の通常の場合と比べて、植生が抱えて立つ立地条件の変化が圧倒的に速く頻繁であり、このことが河川固有の植生生育状況をもたらしていると考えられる。河川に生育する植物の空間分布が、その立地条件(たとえば、(微)地形特性、地下水位からの高さ、冠水頻度、水面からの比高、土壌、河床材料など)と密接な関係を持っていることは知られており、たとえば多摩川を対象にした倉本の研究[倉本, 1984]、揖斐川を対象にした石川の研究[石川, 1988, 1991]、手取川を対象にした辻本の研究[辻本, 1993]、鬼怒川を対象にした宇多らの研究[宇多・藤田・佐々木・服部・平舘, 1994]がある。日本以外でも古くから多くの検討がなされている[たとえばHupp・Osterkamp, 1985]。このことを踏まえれば、立地条件と植生成育状況との関係性の確認を踏み越えて、それらの間の関係をどこまで定量的に表現できるか、さらにこの関係に基づいて立地条件変化に伴う植生変化をどこまで予測できるかを調べるのが、1章に述べた“予測”を目標にする立場からは第一に検討すべき項目になる。そこで本章では、第2章で述べた3つの地区について、安定植生域の拡大が起こった最近25年間を対象に、植物群落と立地条件との関係を詳細な現地調査により調べた結果を述べ、両者の関係を植生動態の予測につながる形で定量的にどこまで表現できるかを明らかにし、それに基づく植生変化の機構理解と予測の見通しを得る。

3.1.2 調査方法

(1) 現象をとらえる空間スケールについて

ある植生群落の発達には、一見すると面的な広がりをもった集合体として捉えることができそうである。立地条件も、たとえば地形で言えば、高水敷-低水敷程度のおおざっぱな区分ができそうである。しかし、植生図を詳細に見れば、また現地踏査をすれば容易に気づくように、植生群落の種類の変化が数m単位で起こることも珍しくなく、地形についても数m単位の空間スケールを持つ微地形が存在することが少なくない。また、洪水作用に伴い新たに出現した立地への植生の発達は、最初は小さな種子の供給と発芽からスタートする。すなわち、植生発達の最初の段階においては、種子が定着したマイクロハビタットの環境条件が重要となる。したがって、植生群落と立地条件との関係をきちんと分析するためには、数百mあるいは数十mという粗い空間スケールで調査をしたのでは不十分であり、10m程度以下の細かな空間的变化を捉えることができるような調査を行う必要があると考えられる。こうしたマイクロなハビタット単位での立地-植生関係を、多数の点で種々の立地条件の場所で調べることにによりはじめて、水理計算や植生動態の予測につながる定量分析が可能になろう。

(2) ベルト・トランセクトに沿った植生・立地条件情報の収集・重ね合わせ

本調査の目的のためには、植生繁茂状況と立地条件の面的分布を調べ、2つの情報を重ね合わせる事が理想的であるが、面的情報の収集には(現在までの調査技術の下では)非常に大きな労力と時間を必要とする。結果として、2つの間の関係を定量的に分析できない程度にまで、収集される情報の精度や解像度

が低下することも充分考えられ、こうなっては本末転倒である。すなわち、(1)で述べたように10m以下という細かい空間スケールで把握すべき情報が、数十m以上という本研究で目指す分析に耐えない空間的に粗い情報しか得られないということが容易に起こりうる。そこで、各地区それぞれに数本ずつベルト・トランセクト（河道の横断方向に引かれたある幅を持つ線）を設け、その線に沿って詳細な調査を集中的に行い、得られた各種情報を重ね合わせて分析するという手法を採用した。ベルト・トランセクトを横断測線（建設省が河道地形の横断測量を行ってきたライン）と一致させることにより、過去から現在に至る地形変化とも照合することが可能になる。ベルト・トランセクトの設定と調査結果の分析に際しては、平面地形図や植生図さらに現地踏査結果を踏まえ、ベルト・トランセクト周囲の河道・植生状況も把握し、ベルト・トランセクト沿いの分析が局所的な偏った情報に基づくものではなく、各地区を代表するものになるよう留意した。それでも不十分な場合には、ベルト・トランセクト外についても補完的調査を行っている（4.2.4参照）。

表3-1に、設けたベルト・トランセクトの位置を、建設省の距離標表示による測線名で示す。ベルト・トランセクトの幅はおおよそ2mである。

表3-1 設けたベルト・トランセクトと調査時期

地区名	ベルト・トランセクト位置	植生・立地条件の調査範囲	植生調査時期	表層河床状況の調査時期
永田橋地区	52.2km測線	低水敷中心線から右岸堤防	1997年 8 月25日	1997年 8 月25日
	52.4km測線	低水敷中心線から右岸堤防	1997年 8 月25日	1997年 8 月25日
	52.6km測線	低水敷中心線から右岸堤防	1997年4月30日、同5月14日	1997年4月30日、同5月14日
秋川合流地区	48.4km測線	低水敷内	1997年10月18日	1997年10月18日
	48.6km測線	低水敷内	1997年10月20日	1997年10月20日
日野橋地区	40.6km測線	低水敷中心線から右岸堤防	1997年10月 9 日	1997年10月 9 日
	40.8km測線	低水敷中心線から右岸堤防	1997年10月 8 日	1997年10月 8 日

(3) 植生に関する調査

ベルト・トランセクト沿いの植生に関しては、①植物群落の種類の同定、②植被率、を調査項目とした。調査地点間隔は、日野橋地区、秋川合流地区では1m、永田橋地区の52.6kmでは2m、52.2kmと52.4kmでは10mである。それぞれの調査手法について以下に説明する。

植物群落の種類の同定では 測定点を中心として発達する植物群落の同定を行った。この際、植物社会学の手法に基づくものではなく、相観に基づき優占種により群落名を決めた（たとえば、ヨモギが優占する場合はヨモギ群落）。植被率の測定では、測定点を中心とし、測線を中線とし、成立する植物群落の優占種の高さをおおよそその一辺とする方形区を設定し、この方形区内における植生全体の植被率、優占種のみの植被率を測定した（例えば、ススキ群落のススキの高さが2mであれば2m×2mを調査方形区とし、ニセアカシア群落のニセアカシアの樹高が12mであれば12m×12mを調査方形区として、その領域内の植被率を測定する）。

主な植物は6月頃から急速に成長し8月の盛夏において成熟サイズに至る。そこで、ほとんどの調査は植物が成熟サイズにまで成長した8月以降において実施した。調査時期は表3-1に示されている。

(4) 立地条件にかかわる調査

a) 地形、標高、地下水位からの比高

ベルト・トランセクトは横断測線上に設けられているので、河床横断形状とベルト上各点の標高は建設省が行った横断測量成果から知ることができる。横断測量は、2.2.3に示したように、少なくとも1968年以降かなり頻繁に行われているので、本研究が対象にした最近25年の任意の年の河床横断形状もしくは実際上それと見なせるデータを得ることができる。地下水位からの比高は、当該地点の標高と平水時の水位との差とすることを原則とした（「地下水位＝平水時の水位」と仮定）。ただし、永田橋地区については、右岸高水敷の下に不透水と見なせる層（風化した砂礫層で、礫の形が維持されている一方で、マトリクス部分が泥状になっているため、ほぼ不透水層と判断できる：以後「腐れ礫層」と呼ぶ）が平水位よりはるかに高い位置に分布していることから、平水時の水位を地下水位とすることができない。そこで、右岸堤防近くの低地にある池の水位と測線上に設置された1～2本の地下水観測用井戸の水位を結んで地下水位横断線の推定図を作り（図3-1参照）、これに基づき地下水位からの比高を算出した。地下水位データは文献[河川生態学術研究会多摩川グループ，1997]による。

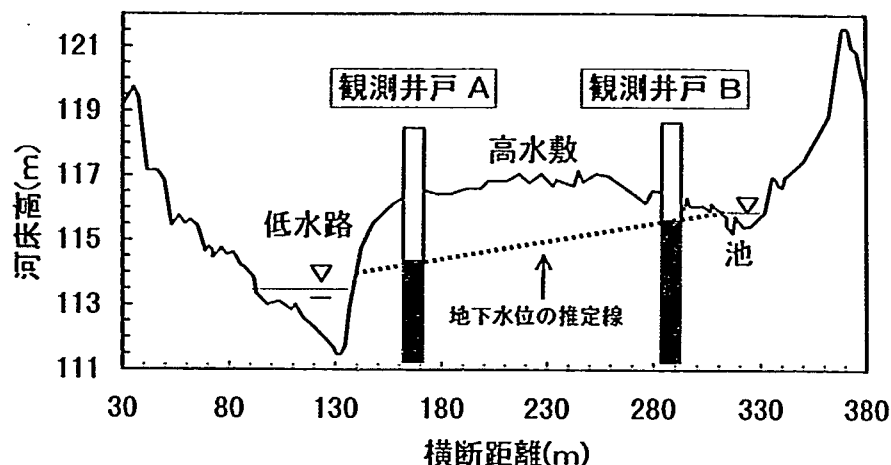


図3-1 地下水位横断線の推定図

b) 河床状況

河床状況については、河床表層の細粒土砂堆積状態を見た上で、①表層細粒土層厚、②表層細粒土層の粒度、③表層礫の粒径、を調べた。ベルト・トランセクト沿いの調査地点間隔は、日野橋地区、秋川合流地区では5m、永田橋地区では10mである。それぞれの調査方法について以下に説明する。

▲河床表層の細粒土砂堆積状態の判定

対象区間の高水敷では、砂礫河床面の上に種々の厚さで中砂粒径以下の細粒土砂が堆積するパターンが多く見られ、この層の有無が河床状況の特徴づける重要な項目と考えられた。そこで、まず、対象地点の河床が図3-2に示すパターンa, b, cのいずれに当たるかを観察により判定した。ここで、細粒土砂とは2mm以下粒径の河床材料（砂粒径以下）と定義した（実際の粒径は、後で詳述するように、2mmよりだいぶ小さい。ここでの2mmという数字は検土杖がささるという観点で定めたものである）。図中のパターンc「まんべんなく堆積」と判定される堆積層を、以後「表層細粒土層」と呼ぶ。

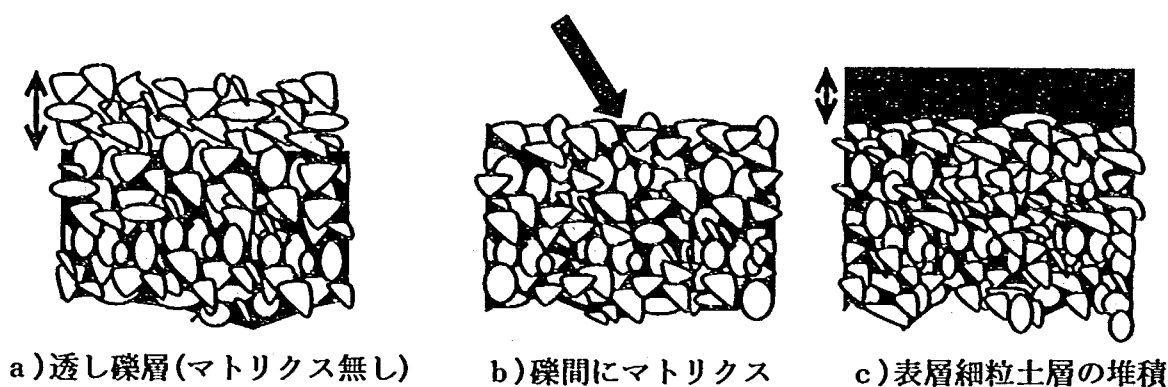


図3-2 河床表層の構成状態

▲表層細粒土層厚の測定

パターンc「まんべんなく堆積」と判定された場合にのみ、検土杖で表層細粒土層の厚さを測定した。パターンb「マトリクスで存在」およびパターンa「細粒土砂無し(透礫層)」と判定された場合には、表層細粒土層厚を0とした。検土杖を2mm以上の粒径の層に通常の力で差し込むのは著しく困難なので、検土杖の差込深さは、ほぼ表層細粒土層厚に対応する。測定は、測定点付近の原則3～6点で行い、その最大値を表層細粒土層厚として、以後の分析に用いた。

▲表層細粒土砂の粒度の測定

表層細粒土層がある場合には、その粒度を調べた。

▲表層礫の粒径の測定

測定点の河床表層の細粒土砂堆積状態をb「マトリクスで存在」とa「細粒土砂なし」に判定した場合は、測定点付近の表面に存在する礫の粒径を測定した。おおざっぱな粒径情報があれば良い場合には、数個の礫の径を測定し、精度の高い粒度分布が必要な地点については、測定点を中心として「格子(面格子法)」または「調査ラインに直角方向のライン(線格子法)」[山本, 1994]を設定し、サンプル数100点以上で粒径を測定した。

3.2 発達する植物群落と立地条件との現時点における関係

前節3.1に述べた現地調査により得られたデータに基づき、植物群落と立地条件との関係を以下に分析する。表3-1に示す調査時期からわかるように、得られた結果は現時点(1997年)についてのものである。なお、分析におけるベルト・トランセクト沿いのデータのピッチについては、最も粗いデータ項目に合わせた。すなわち日野橋地区、秋川合流地区では5m、永田橋地区では10mである。

ベルト・トランセクト沿いには数多くの植物群落が存在するが、ここでは、2.3.2に述べたと同じ基準により、分析対象とする植物群落の種類数を絞った。すなわち、表2-4、図2-19に示した群落の種類だけを取り上げた。このことは、3地区において、大局的に見て、最近20年程度において有力であった群落の種類に焦点を当てたことを意味する。これは、現時点かつベルト・トランセクト沿いにおいて、たまたま優勢であった群落の種類よりも、研究対象としている領域でこの25年程度の間に優勢であった群落の種類に着目するという考えに基づくものである。

3.2.1 表層細粒土層厚と植物群落との関係

(1) 永田橋地区

結果を図3-3(a)と図3-3(b)に示す。図3-3(a)では植物群落の種類ごとの表層細粒土層厚の分布が最小・最大・平均で表示されている。図3-3(b)では植物群落の種類ごとの表層細粒土層厚(図では堆積厚と表示)の分布が累加百分率で表示されている。この図から以下のことがわかる。

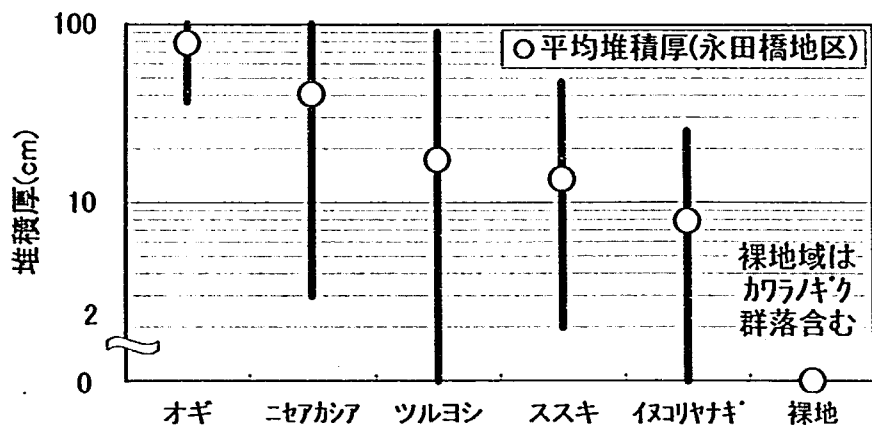


図3-3(a) 堆積厚と植物群落(永田橋地区)

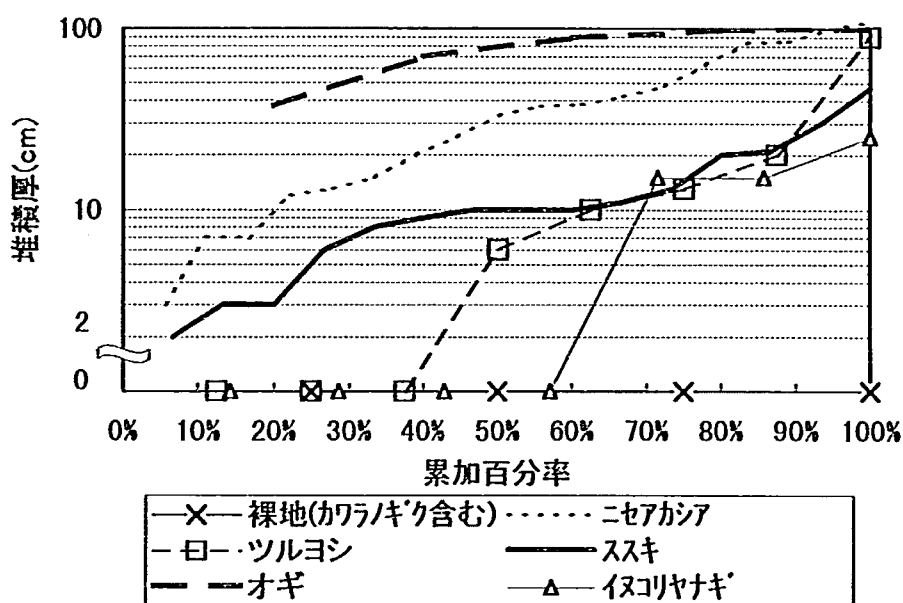


図3-3(b) 堆積厚と植物群落(永田橋地区)

- ・裸地(植被率という観点で有意な植物群落がない)になっている場所は、すべて表層細粒土層厚0である。なお、ここでは、植被率が小さく、表面材料の主体が礫である河床のマトリクスに存在しているカラノギクも裸地に含め分類した。本論文では、以後も同様に取り扱っている。
- ・イヌコリヤナギとツルヨシは、表層細粒土層厚0から堆積厚20cm程度まで(一部はそれ以上)の領域に存在する。
- ・ススキ、オギ、ニセアカシアは表層細粒土層厚0の場所には無い。このうち、ススキは表層細粒土層厚が比較的小さい範囲に(2~40cm程度)、オギは比較的大きい範囲に(40~100cm程度)、ニセアカシアは両者を包含するような広い範囲に(3cm~100cm程度)存在する。

(2) 秋川合流地区

結果を図3-4(a)と図3-4(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図から以下のことがわかる。

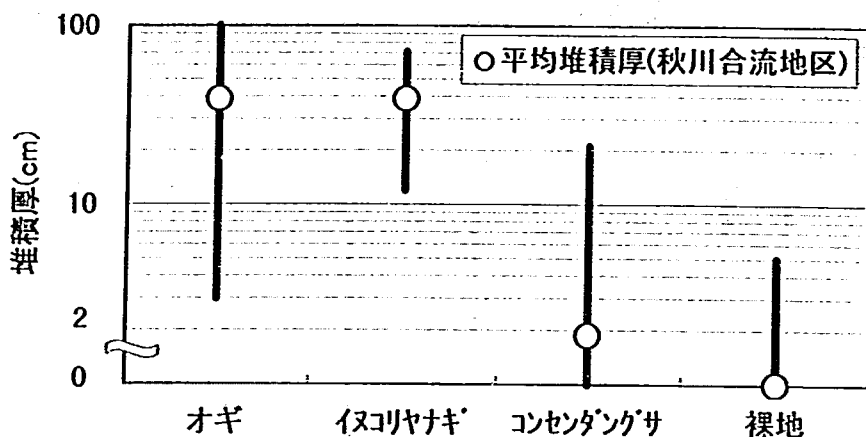


図3-4(a) 堆積厚と植物群落(秋川合流地区)

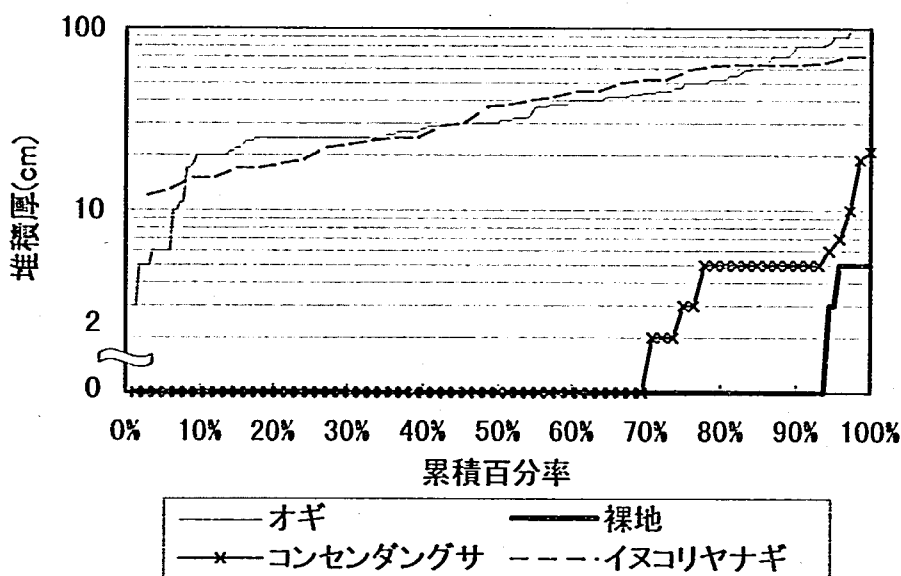


図3-4(b) 堆積厚と植物群落(秋川合流地区)

- ・裸地になっている場所の表層細粒土層厚は0~5cmであるが、図3-4(b)を見ればわかるように、ほとんどの場所は表層細粒土層厚0である。
- ・イヌコリヤナギは10cmから70cm程度までの範囲に存在する。
- ・オギの主たる存在領域は、20cm~100cm程度である。
- ・コンセンダングサの多くは、表層細粒土層厚0の場所に存在し、表層細粒土層厚5cm以下の場所に90%以上が存在する。

(3) 日野橋地区

- ・結果を図3-5(a)と図3-5(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図から以下のことがわかる。

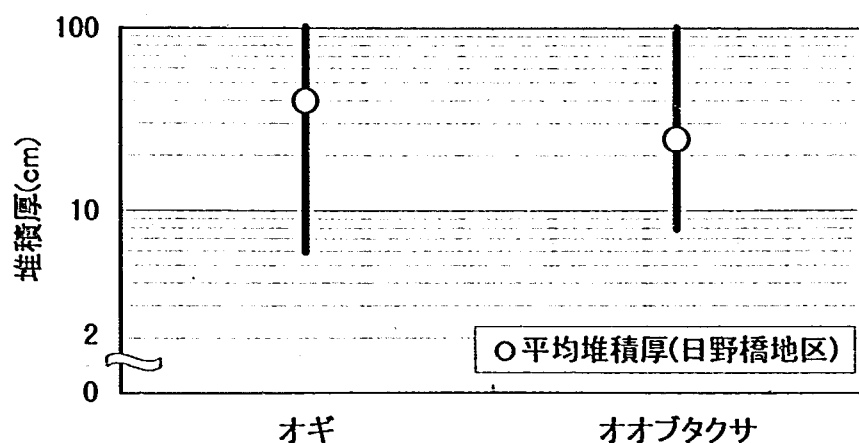


図3-5(a) 堆積厚と植物群落(日野橋地区)

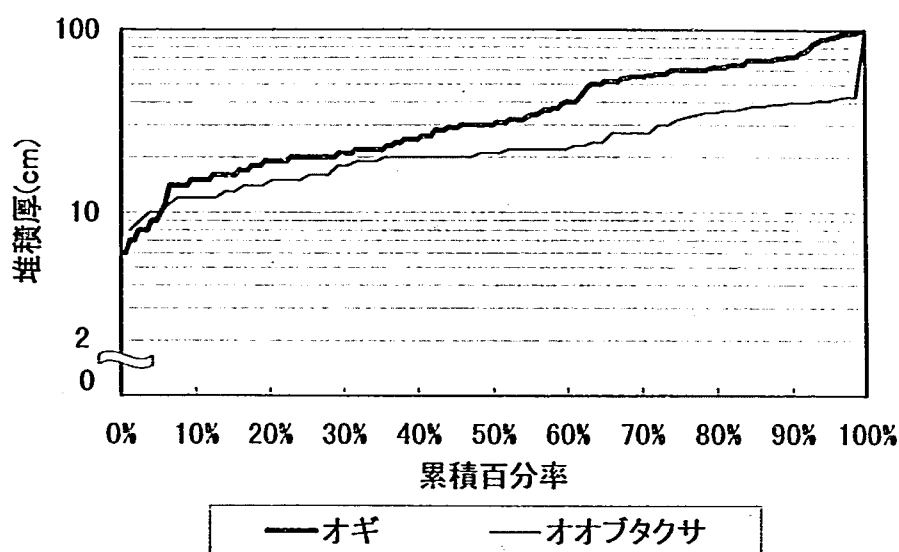


図3-5(b) 堆積厚と植物群落(日野橋地区)

- ・ オオブタクサは主に10cmから40cm程度までの範囲に主として存在する。
- ・ オギは主に15cmから100cm程度までの範囲に存在する。

(4) 3地区を総合した結果

3地区の結果を総合した図を図3-6(a)と図3-6(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図と3地区それぞれの結果から以下のことが言える。

- ① 裸地のほとんどは表層細粒土層厚0である。
- ② 表層細粒土層厚0の場所にも存在する植物群落は、イヌコリヤナギ、ツルヨシ、コセンダングサである。これらのうち、表層細粒土層厚がより大きい範囲まで存在するのは、イヌコリヤナギ(～70cm程度)、次にツルヨシ(主に～20cm程度、一部それ以上)であり、コセンダングサは表層細粒土層が堆積している場合でも、大部分が5cm程度以下である。
- ③ オギ、ニセアカシア、オオブタクサ、ススキは、表層細粒土層厚0の場所には存在していない。表層細粒土層厚の主な分布域は、ススキ(2cm～40cm程度)、オオブタクサ(10cm～40cm程度)、オギ(15cm～100cm程度)の順に厚い方へシフトしていく。ただし、ニセアカシアは、これら3つの領域を包含したような分布域(3cm～100cm)を持つ。

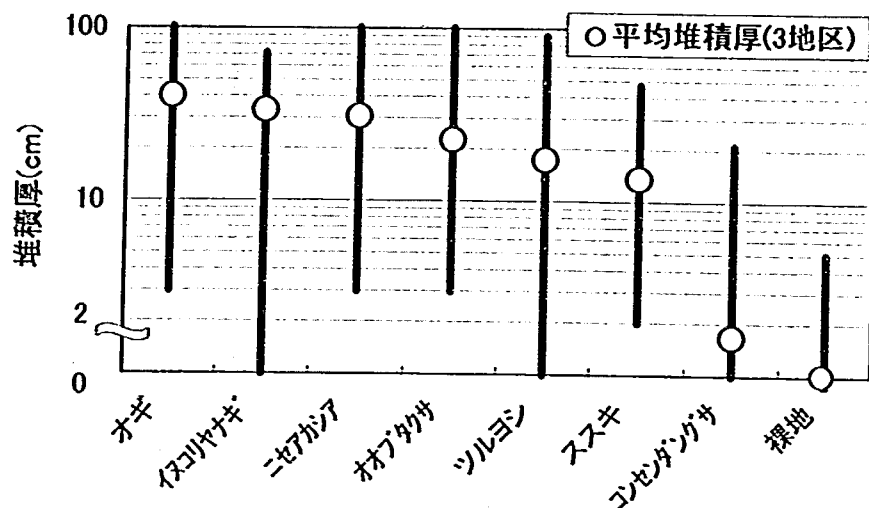


図3-6(a) 堆積厚と植物群落(3地区全体)

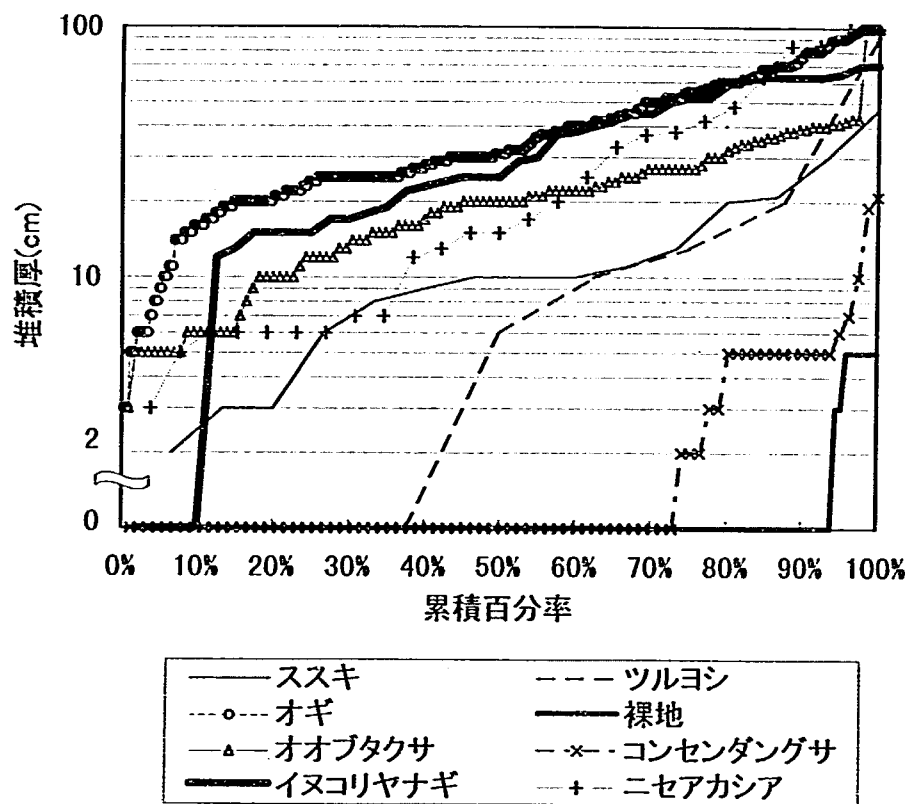


図3-6(b) 堆積厚と植物群落(3地区全体)

以上から、表層細粒土層厚という観点だけから見ると、植物群落の種類(裸地を含む)を表3-2のようにタイプ分けできそうである。

表3-2 表層細粒土層厚の観点からの裸地を含む植物群落のタイプ分けの試み

I 型	裸地およびカワラノギク、コセンダングサを優占種とする群落が該当	表層細粒土層厚 0 の立地に成立。
II 型	ツルヨシ、イヌコリヤナギ群落が該当	表層細粒土層厚 0 の立地にも、表層細粒土層厚が数十 cm もしくはそれ以上ある立地にも成立。
III 型	ススキ・オギ・オオバタクサ・ニセアカシア群落が該当	表層細粒土層厚 0 の立地には不成立。生育には表層細粒土層を必要とするが、その厚さの分布は種により異なる。

3.2.2 表層材料粒径と植物群落との関係

以下に示す表層材料粒径は、表層細粒土層が無い場合には表面に露出している礫の粒径を、表層細粒土層がある場合にはその粒径を指す。また、以下では、特に断らない限り平均粒径で表示している。

(1) 永田橋地区

結果を図3-7(a)と図3-7(b)に示す。図中の表層材料粒径は平均粒径である。図3-7(a)では平均粒径が最小・最大・平均で表示されている。図3-7(b)では平均粒径の分布が累加百分率で表示されている。この図から以下のことがわかる。

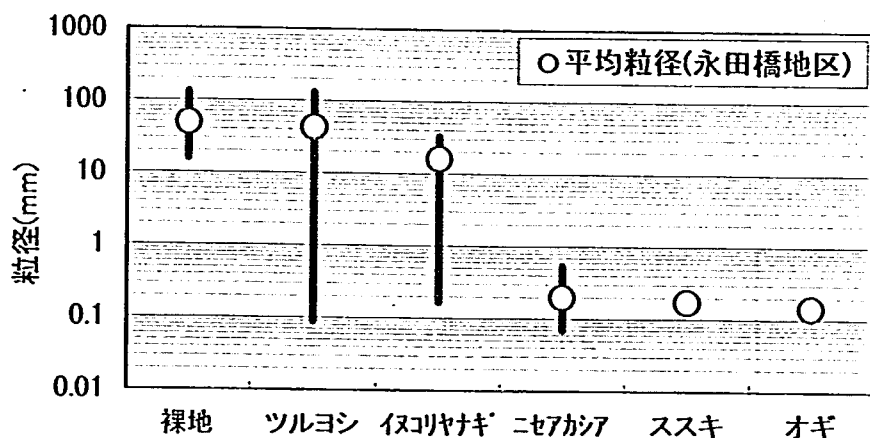


図3-7(a) 粒径と植物群落(永田橋地区)

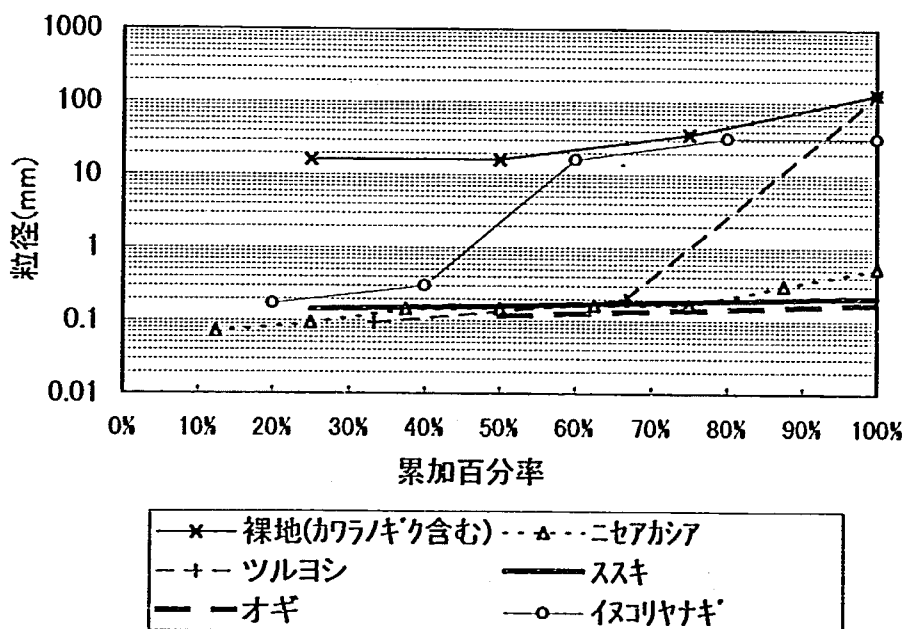


図3-7(b) 粒径と植物群落(永田橋地区)

- ・ススキは細砂，オギも細砂，ニセアカシアは微細砂～細砂～中砂を表層材料とする場所に存在する。
- ・イヌコリヤナギ，ツルヨシとも，それらが存在する表層材料は細砂～礫である。
- ・裸地になっている場所はすべて礫を表層材料として持つ。

(2) 秋川合流地区

結果を図3-8(a)と図3-8(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図から以下のことがわかる。

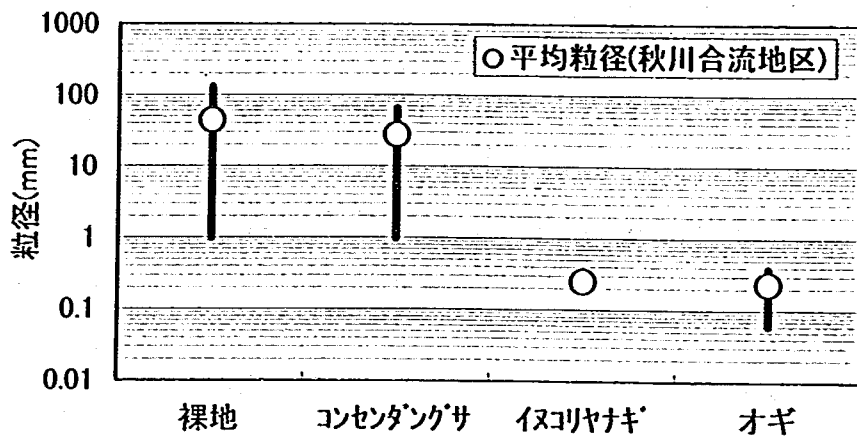


図3-8(a) 粒径と植物群落(秋川合流地区)

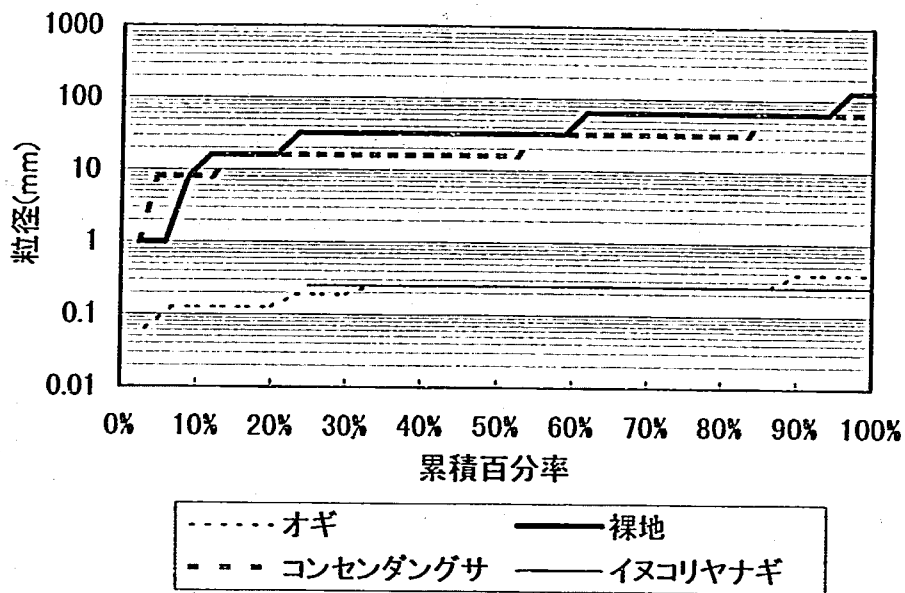


図3-8(b) 粒径と植物群落(秋川合流地区)

- ・オギは微細砂～細砂～中砂の場所に分布する。
- ・イヌコリヤナギは細砂と中砂の間ぐらいの粒径の場所に存在する。
- ・コンセンダングサと裸地になっている場所はほとんどが礫を表層材料として持つ。

(3) 日野橋地区

結果を図3-9(a)と図3-9(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図から以下のことがわかる。

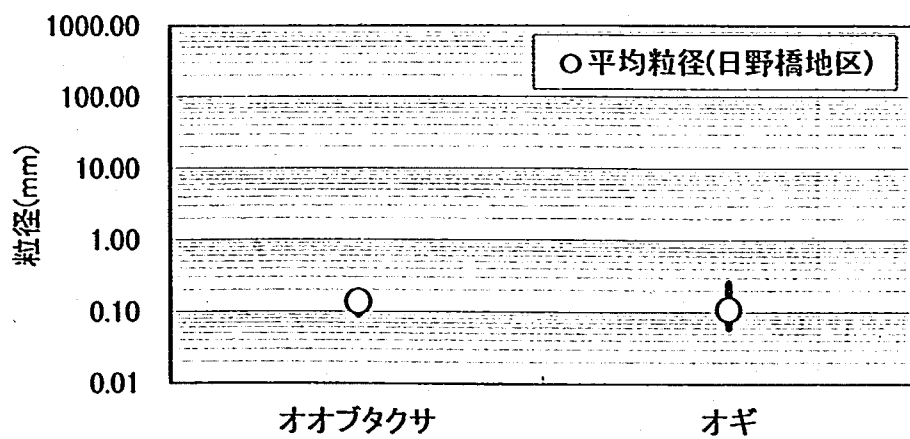


図3-9(a) 粒径と植物群落(日野橋地区)

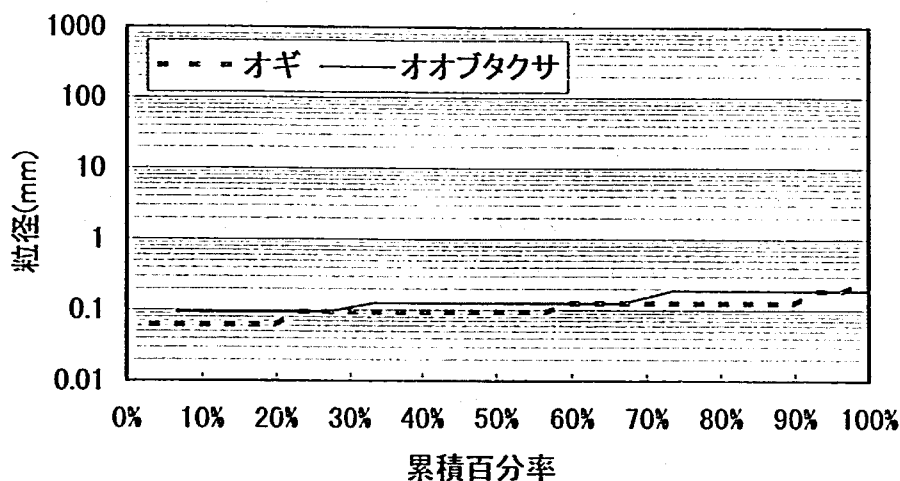


図3-9(b) 粒径と植物群落(日野橋地区)

・オオブタクサ，オギとも微細砂～細砂の範囲に存在する。

(4) 3地区を総合した結果

3地区の結果を総合した図を図3-10(a)と図3-10(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図と3地区それぞれの結果から，表3-3に示すタイプ分けができそうである。

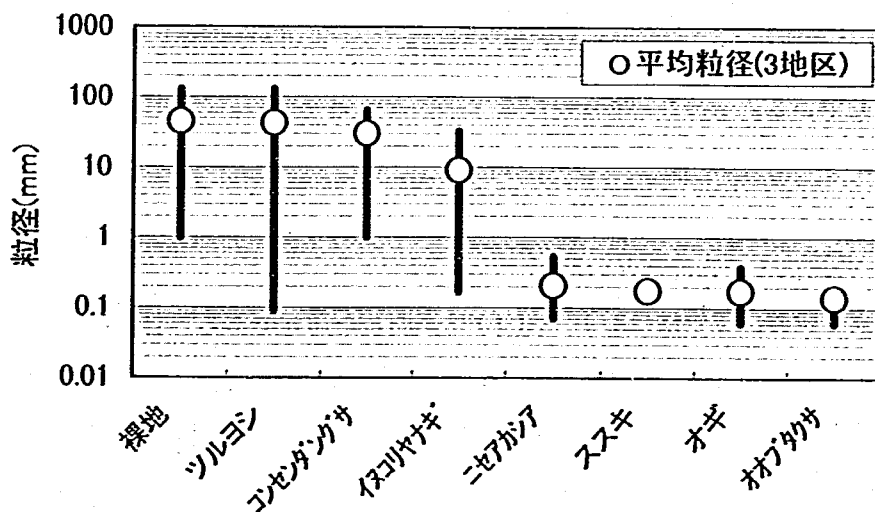


図3-10(a) 粒径と植物群落(3地区全体)

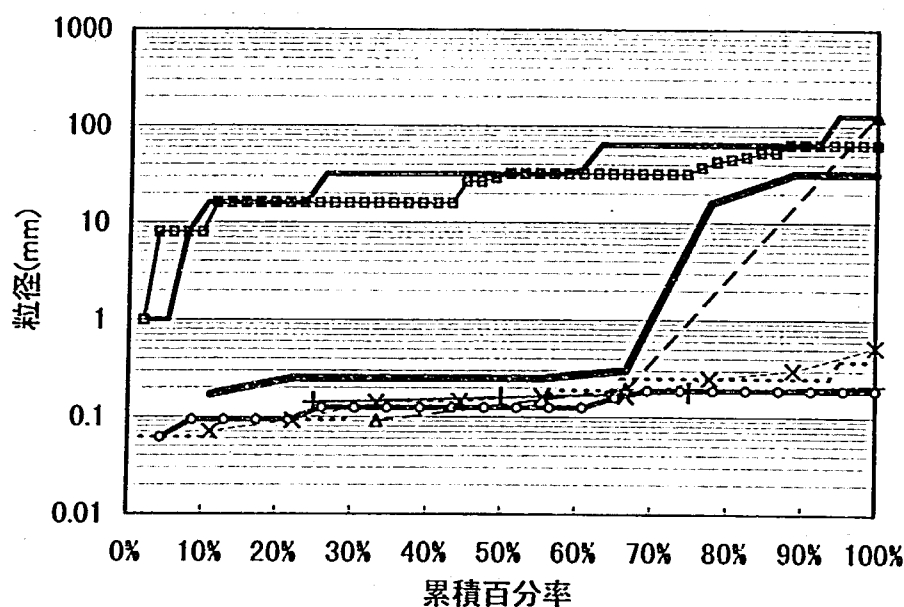


図3-10(b) 粒径と植物群落(3地区全体)

表3-3 表層材料粒径の観点からの裸地を含む植物群落のタイプ分けの試み

I 型	裸地およびカワラノギク、コセンダングサを優占種とする群落が該当	表層材料が礫である。
II 型	ツルヨシ、イヌコリヤナギ群落が該当	表層材料が礫の場合と、細砂～中砂の場合に分かれる。前者が表層細粒土層なし、後者が表層細粒土層ありに対応する。
III 型	ススキ・オギ・オオブタクサ・ニセアカシア群落が該当	表層細粒土層の粒径である微細砂～中砂が表層材料となる。

表3-3のタイプ分けは、表3-2と一致している。このことは、表層材料が表層細粒土層の有無により規定されていること、また、表層細粒土層の平均粒径が細砂である場合が多く、微細砂～中砂という分布幅を持ちうることを示している。

3.2.3 地下水位からの比高と植物群落との関係

地下水位からの比高の定義、算定法は3.1.2(4)に説明した通りである。日野橋地区、秋川合流地区の場合は「地下水位からの比高＝平水時水位からの高さ」であり、永田橋地区の場合、「地下水位からの比高＋およそ1～2m＝平水時水位からの高さ」となる。以下で「比高」と呼ぶ場合は、特に断らない限り「地下水位からの比高」を意味する。

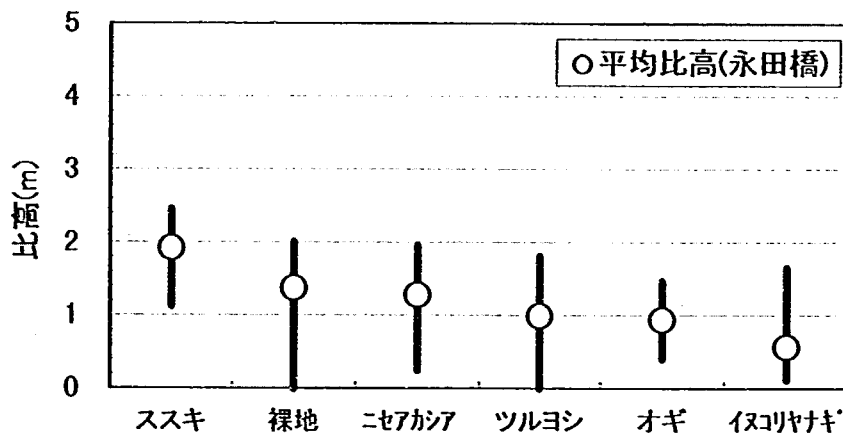


図3-11(a) 地下水位からの比高と植物群落(永田橋地区)

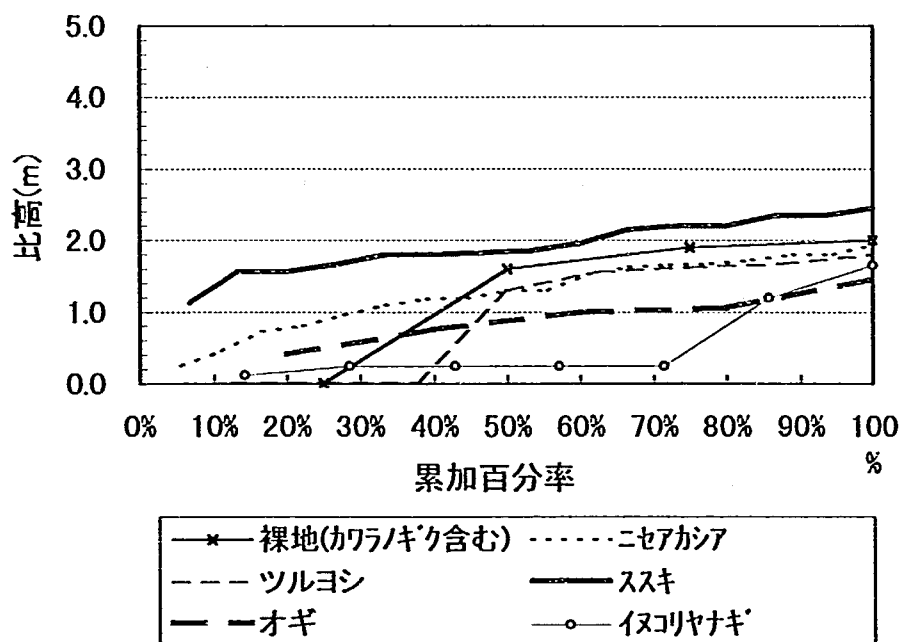


図3-11(b) 地下水位からの比高と植物群落(永田橋地区)

(1) 永田橋地区

結果を図3-11(a)と図3-11(b)に示す。図3-11(a)では植物群落の種類ごとの比高が最小・最大・平均で表示されている。図3-11(b)では植物群落の種類ごとの比高の分布が累加百分率で表示されている。この図から以下のことがわかる。

- ・ 裸地とツルヨシは比高0の場所にも存在する。
- ・ イヌコリヤナギは地下水位近くの10cmぐらいから150cm程度までの幅広い比高に存在するが、比高30cm以下に多く分布する。
- ・ ニセアカシアは25~200cm程度までの幅広い比高に存在するが、なかでも比高100cm以上に多く分布する。
- ・ ススキが分布するのは比高が100cm程度以上の場所であり、オギが分布するのは比高50~150cm程度の範囲である。

(2) 秋川合流地区

結果を図3-12(a)と図3-12(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図から以下のことがわかる。

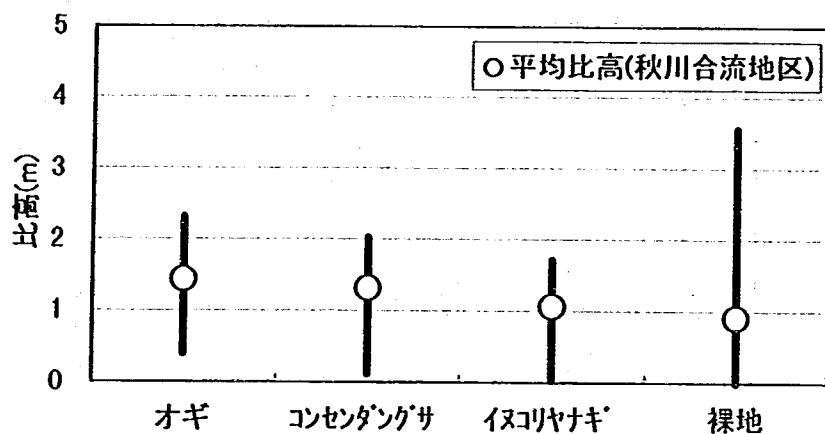


図3-12(a) 地下水位からの比高と植物群落(秋川合流地区)

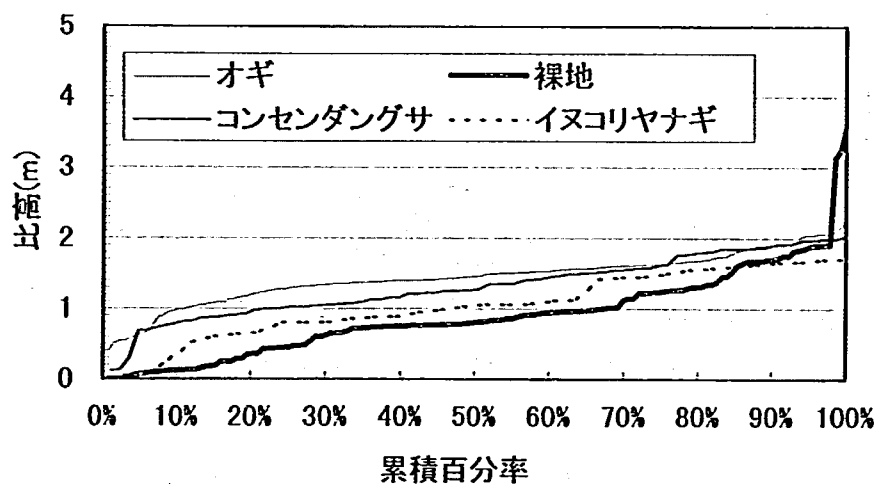


図3-12(b) 地下水位からの比高と植物群落(秋川合流地区)

- ・地下水位からの比高が0の場所に存在するのは、裸地とイヌコリヤナギである。
- ・イヌコリヤナギはほぼ0cmから170cm程度までの幅広い比高に存在する。
- ・コンセンダングサは10~200cm程度までの幅広い比高に存在するが、大部分は比高70cm以上にある。
- ・オギは40~230cm程度までの範囲に存在する。

(3) 日野地区

結果を図3-13(a)と図3-13(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図から以下のことがわかる。

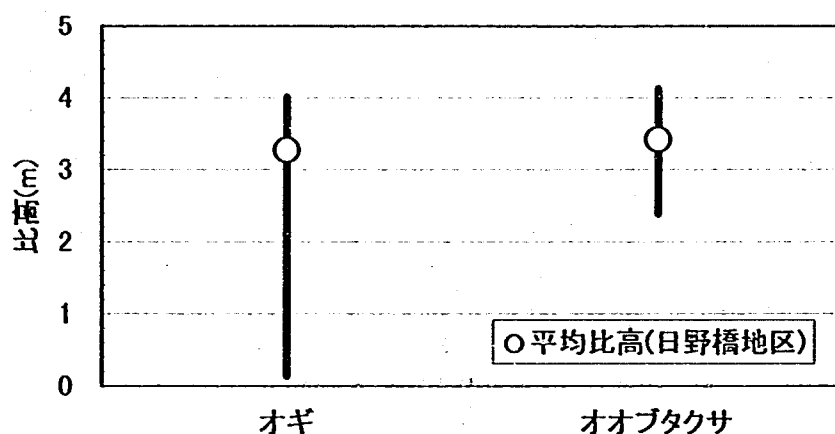


図3-13(a) 地下水位からの比高と植物群落(日野橋地区)

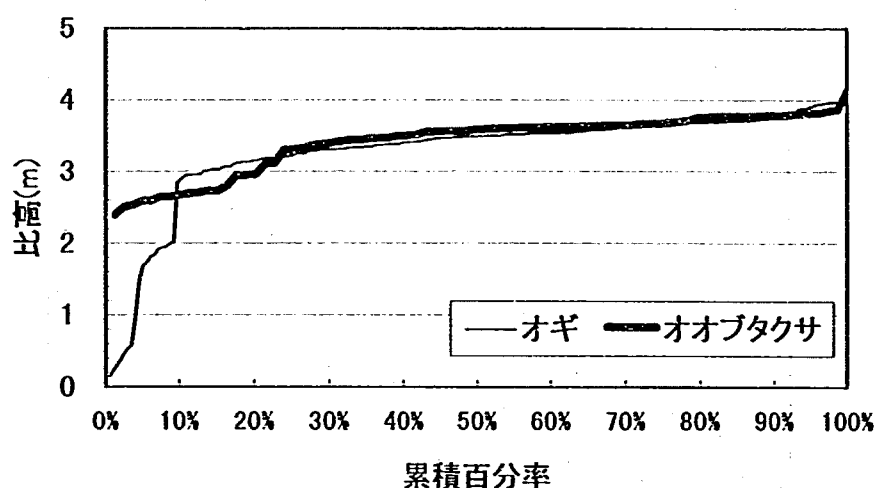


図3-13(b) 地下水位からの比高と植物群落(日野橋地区)

- ・オオブタクサは240～400cm程度までの範囲に主に存在する。
- ・オギは15～400cm程度までの範囲に存在するが、大体は300cm以上のところにある。

(4) 3地区を総合した結果

3地区の結果を総合した図を図3-14(a)と図3-14(b)に示す(表記法は(1)の永田橋地区と同じである)。この図、特にb)の図から判断すると、裸地を含む植物群落は大きく分けると次の2タイプになりそうである。1つ目は、裸地、イヌコリヤナギ、ツルヨシのグループであり、これらは、比高0ないしはそれに近い領域に、ある程度まとまった生育領域を持ち、比高50cm以下の割合は20～40%に達する。もう1つは、それ以外(オオブタクサ、ススキ、オギ、ニセアカシア、コセンダングサ)のグループであり、比高が0に近いものもあるが、主な生育領域(概ね80%以上)は比高1m以上にあるというものである。後者のグループの中でも、図3-14を見れば微妙な違いがあるようであるが、立地条件と群落の種類との関係という観点から意味があるかどうか判断しかねるので(横断形状などの関係からたまたま傾向に差が出た可能性を取り除くのが現段階では困難)、ここではさらにタイプ分けする試みは行わなかった。

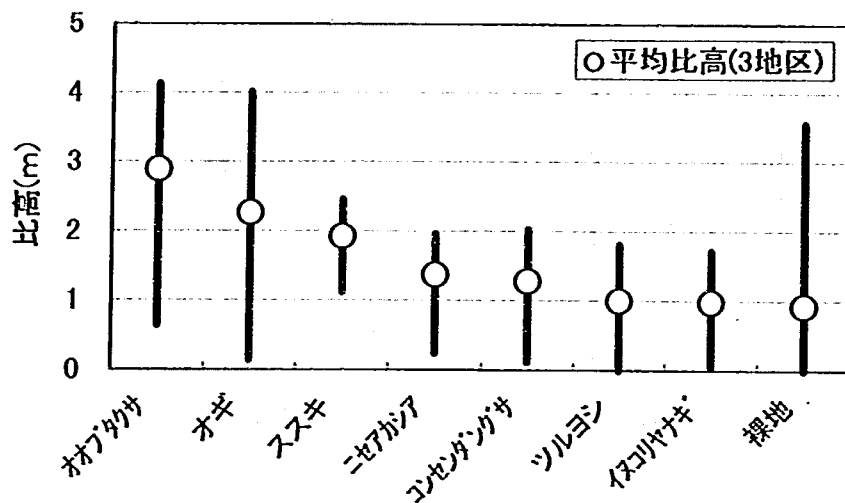


図3-14(a) 地下水位からの比高と植物群落(3地区全体)

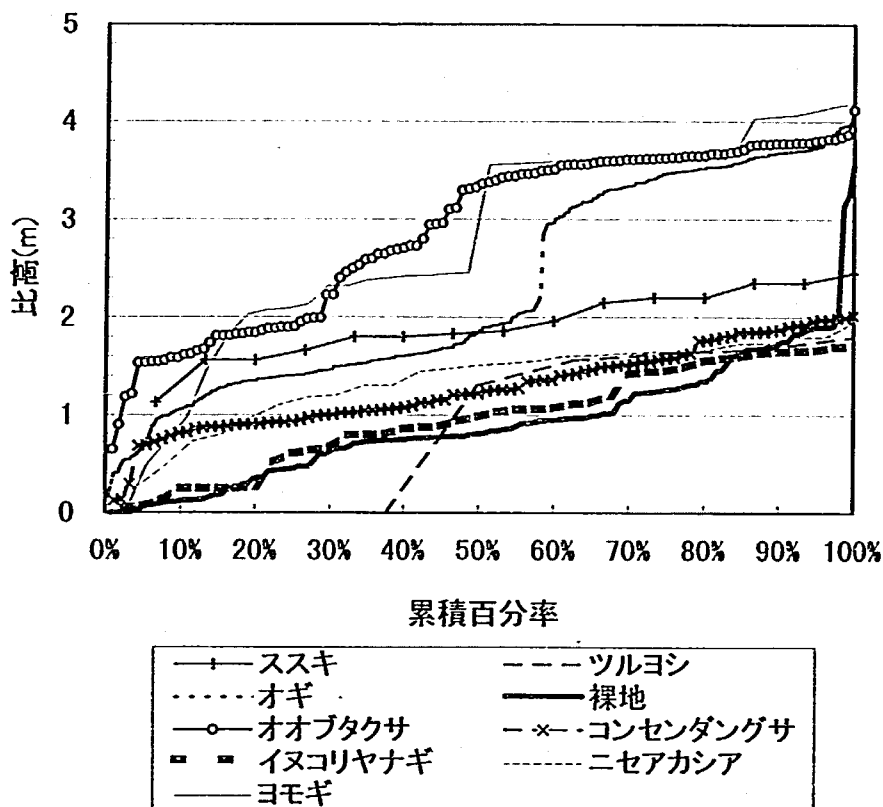


図3-14(b) 地下水位からの比高と植物群落(3地区全体)

表3-2, 表3-3と比較すると, コセンダンゲサを除けば, これら2つのタイプは, 前者がタイプIとIIを合わせたものに, 後者がタイプIIIに対応することがわかる。

3.2.4 比高-堆積厚座標を用いた分析

(1) 比高-堆積厚座標図についての説明

以上により, 立地条件にかかわる3つの因子, すなわち表層細粒土層厚, 表層材料粒径, 地下水位からの比高それぞれが, 植物群落の種類と有意な関係を持つことが示された。しかし, 今までの分析は, 各因子ごとの分析であり, 複数因子が複合した影響は調べられていない。そこで, ここでは, 3つの因子のう

ち有力な2つ、すなわち表層細粒土層厚を横軸、地下水位からの比高を縦軸に取った座標上での各群落種の分布状況を調べることにより、立地条件と植物群落種との関係をさらに分析する。以後、この座標を「比高-堆積厚座標(図)」と呼ぶ。なお、表層材料粒径を取り上げなかったのは、表3-2と表3-3を比較すればわかるように、表層材料粒径がほぼ表層細粒土層厚の有無により決まると言えるからである(ただし、粒度分布まで詳しく調べれば、表層材料粒径も第3の座標軸として有力になる可能性は否定できないが)。

なお、図3-15には、分析対象にした全てのデータを比高-堆積厚座標にプロットしたものを示す。この図から、分析対象データが、比高-堆積厚座標において概ね一様に分布し、大きな偏りのない母集団であることがわかる。

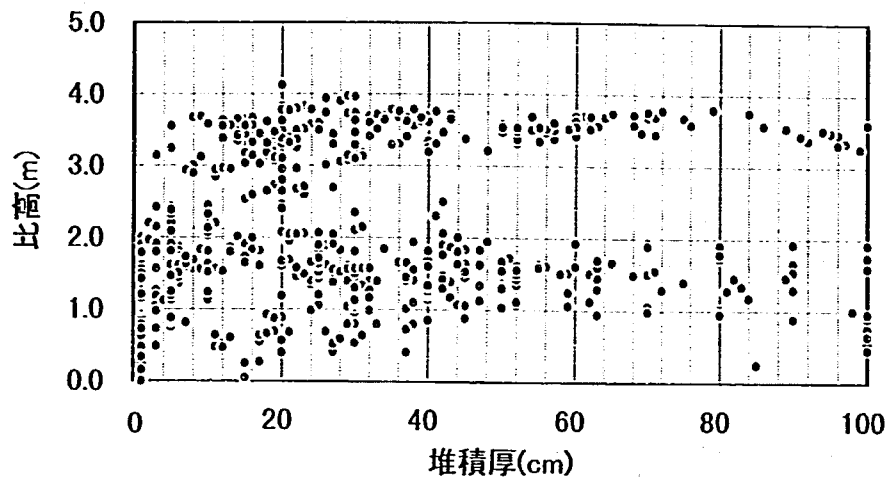


図3-15 比高-堆積厚座標における全データの分布状況

(a)通常目盛

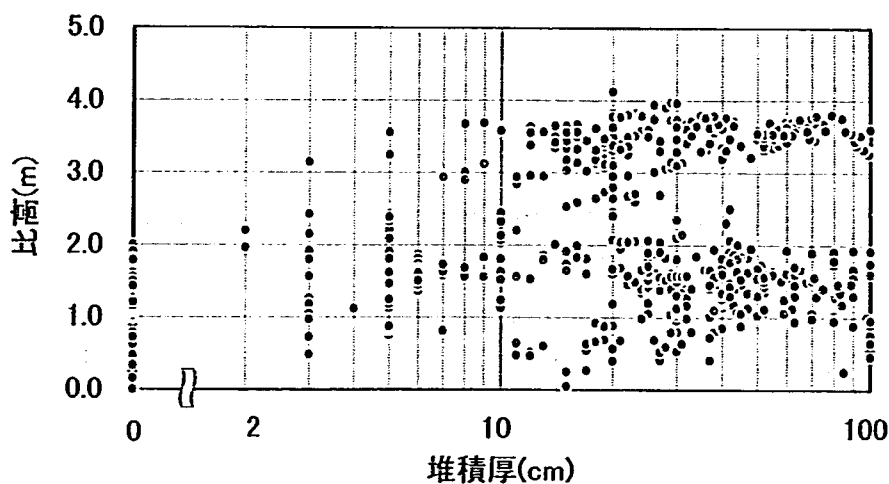


図3-15 比高-堆積厚座標における全データの分布状況

(b)堆積厚が対数目盛

(2) 比高-堆積厚座標図から見た植物群落の各種類の特徴

植物群落の各種類について比高-堆積厚座標にプロットした結果を図3-16(a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h)に示す。この図から、まず、比高-堆積厚座標上の植物群落各種類の分布状況が、表3-2, 3-3と同じ方式で、次のタイプⅠ, Ⅱ, Ⅲに分けられそうであることがわかる(表3-4, 図3-17参照)。

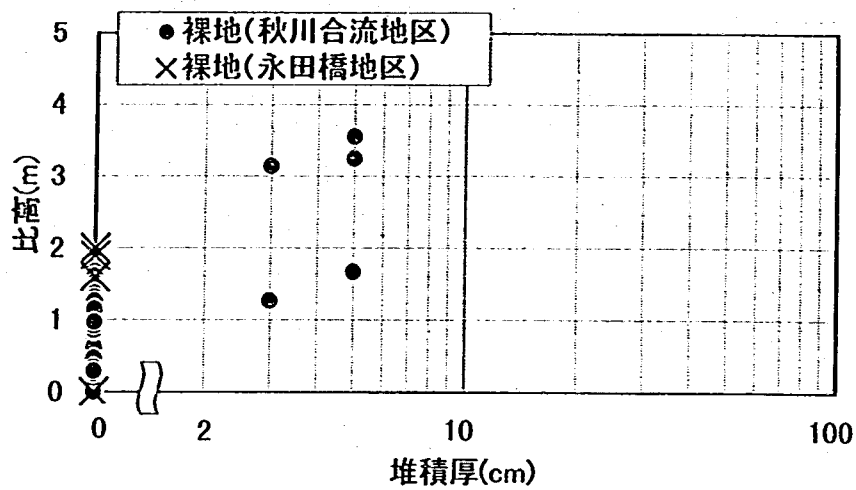


図3-16 (a) 比高-堆積厚と植物群落 (裸地)

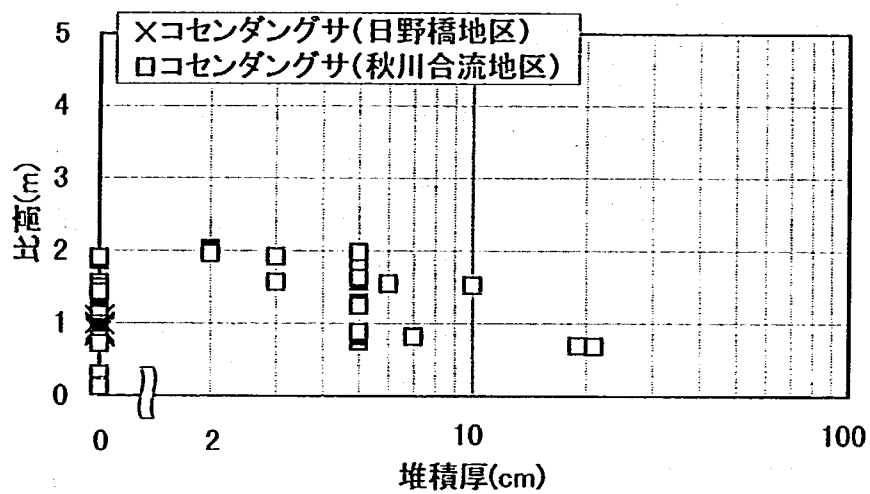


図3-16 (b) 比高-堆積厚と植物群落 (コンセンダングサ群落)

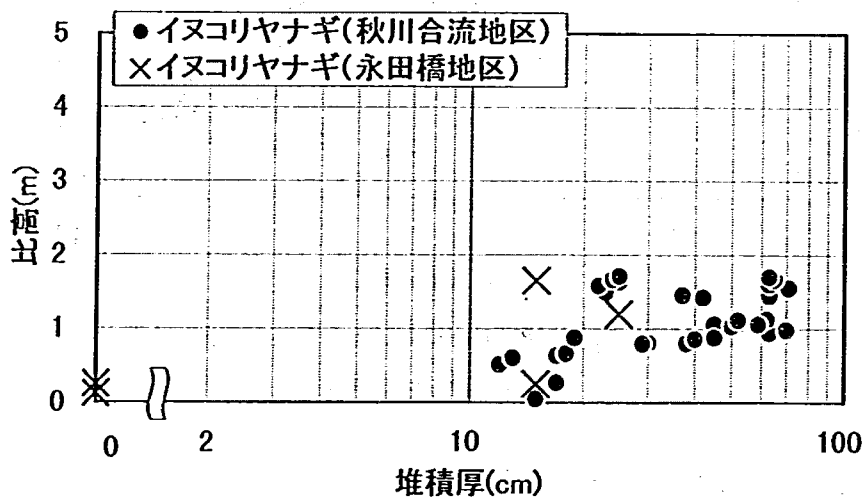


図3-16 (c) 比高-堆積厚と植物群落 (イヌコリヤナギ群落)

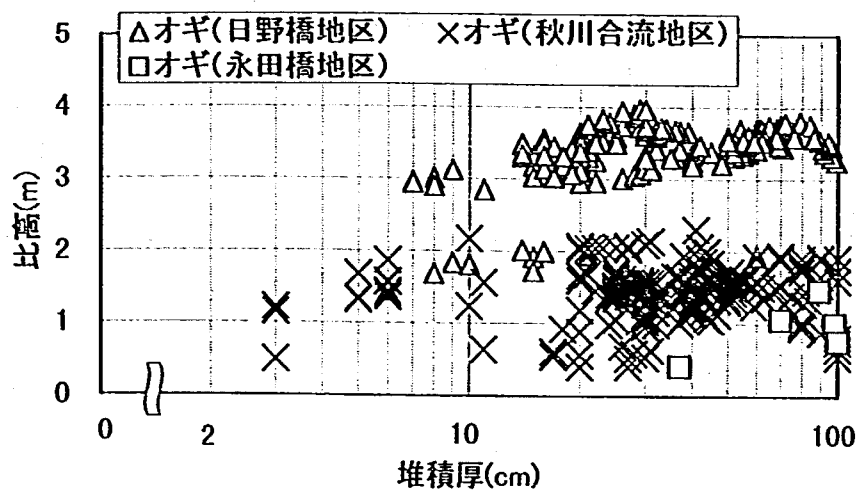


図3-16 (d) 比高一堆積厚と植物群落 (オギ群落)

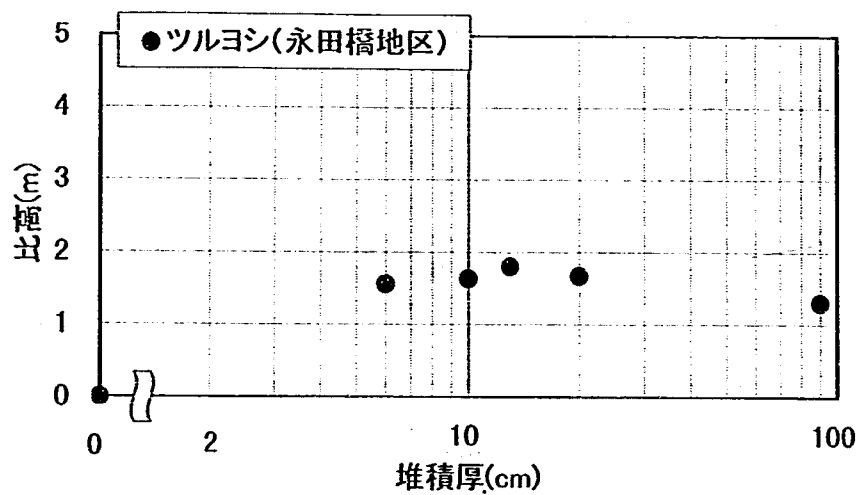


図3-16 (e) 比高一堆積厚と植物群落 (ツルヨシ群落)

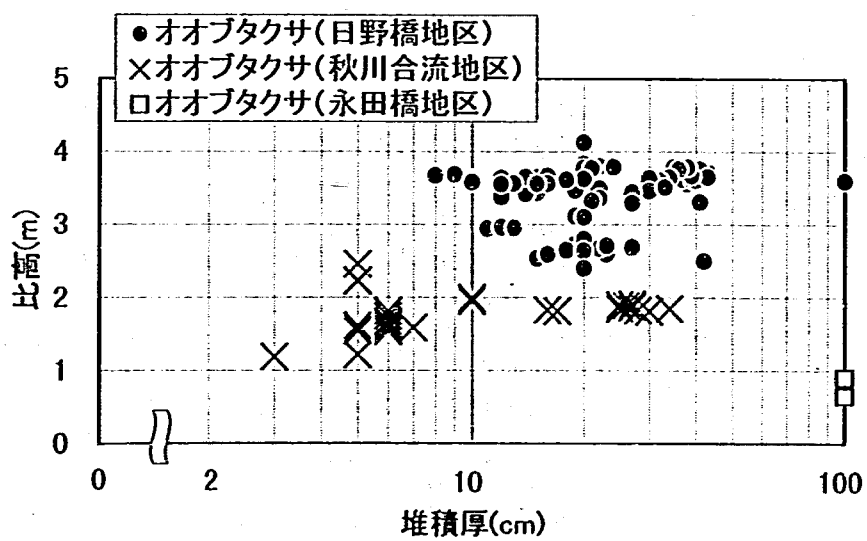


図3-16 (f) 比高一堆積厚と植物群落 (オオブタクサ群落)

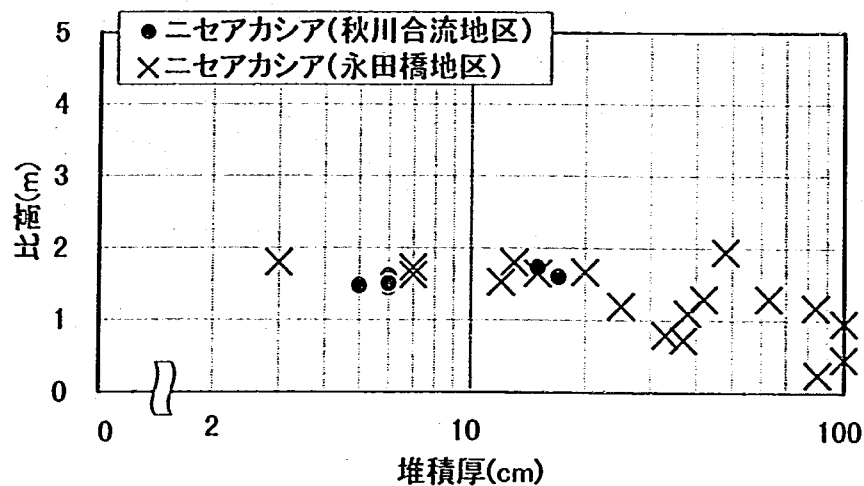


図3-16 (g) 比高一堆積厚と植物群落 (ニセアカシア群落)

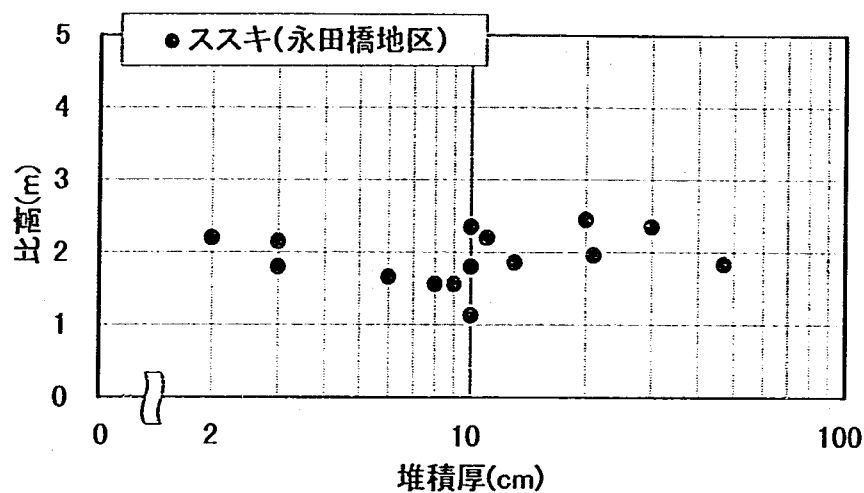


図3-16 (h) 比高一堆積厚と植物群落 (ススキ群落)

表3-4 比高一堆積厚座標を用いた植物群落のタイプ分けの試み

I 型	裸地およびカワラノギク、コセンダングサを優占種とする群落が該当	比高によらず、ほとんどの場所では、堆積厚 0 である。図3-17 (a) 参照。一部薄い (10cm程度以下) 表層細粒土層厚を持つ場合がある。
II 型	ツルヨシ、イヌコリヤナギ群落が該当	2つの離れた存在領域を持つ。すなわち、堆積厚 0 で比高が30cm以下の場所と、堆積厚10cm程度以上で比高が概ね50~100cm以上の場所に分布する。図3-17 (b) 参照。
III 型	ススキ・オギ・オオブタクサ・ニセアカシア群落が該当	堆積厚 0 の場所に存在しない (ただしススキは堆積厚ほぼ 0 の場所にも存在し得る可能性がある)。比高 0 および 0 近くの場所には存在しない。堆積厚数cm以上、比高 50cm程度以上の場所に幅広く分布する。図3-17 (c) 参照。 ススキをⅢ-1型、それ以外をⅢ-2型と細分することもできそう。この場合は、Ⅲ-1型は、低比高に存在せず (150cm程度以上)、堆積厚が薄い (10cm前後が多い；0でも繁茂不可能でない可能性も) ことが特徴となる。

タイプⅢの中でも、群落の種類によって少し違いがある。特に、ススキは比高150cm以下にほとんどなく、堆積厚も他の3つに比べ小さい領域(10cm前後)が分布の中心になっていることから、Ⅲ型をサブカテゴリーに分ければ、ススキ(Ⅲ-1)とそれ以外(Ⅲ-2)というように設定できそうである。ただし、ここでは、タイプⅠ、Ⅱが持つ分布域の特徴との対比を重視し、両方を同じタイプに入れた。なお、4.4と4.5で詳述するように、ススキが他のⅢ型植物の繁茂を可能にする条件造りに寄与した“先駆的植物”の1つであった可能性が高く、この意味で、Ⅲ-1とⅢ-2の区分は軽視できない。

以上3タイプそれぞれの分布域は、一部重複する部分もあるが、全体的にはお互いに異なったものと見ることができる。このことは、これら3タイプのうちどれが発達するかが、立地条件によって強く規定されることを示している。これは、立地条件の変化から植物群落の種類の変化を推定できるあるいは説明できる可能性を示し、重要である。また、各タイプに属する群落の種類を見ると、表2-5の1段目がタイプⅠに、表2-5の3段目にある群落の種類がタイプⅢに、表2-5の2段目の群落の種類がタイプⅡにほぼ対応している。このことは、これらのタイプ分けが3調査地区で起こった植生変化の特性の違いを説明する上でも重要であることを示している。すなわち、異なる河床変動傾向の下では同じ洪水であっても異なる立地条件変化をもたらし、そのことから表2-5に現れた植生変化の違いを相当程度説明できる可能性がある。

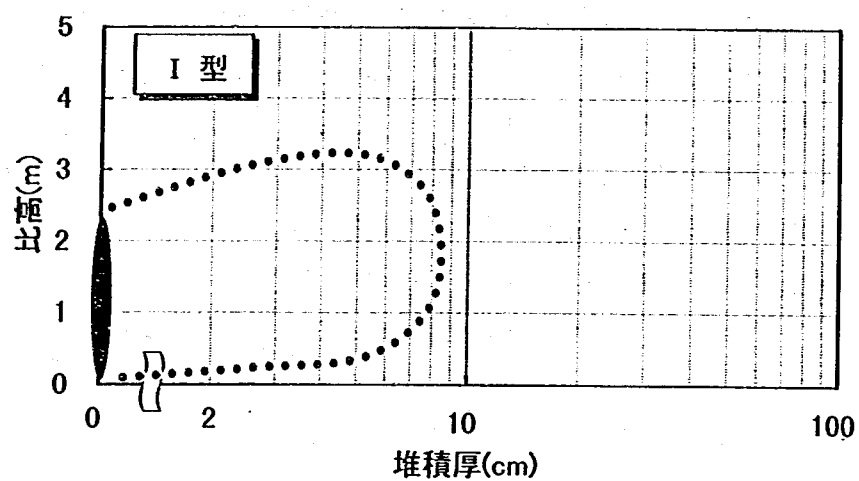


図3-17 (a) 比高—堆積厚と植物群落 (タイプI)

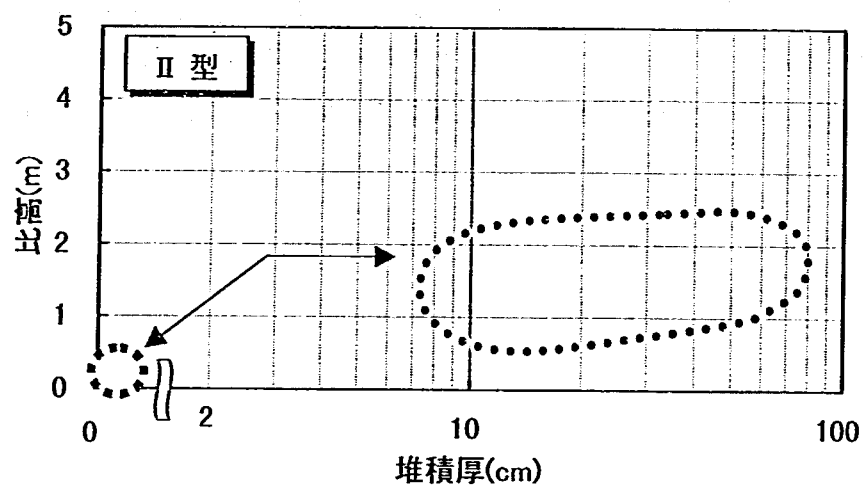


図3-17 (b) 比高—堆積厚と植物群落 (タイプII)

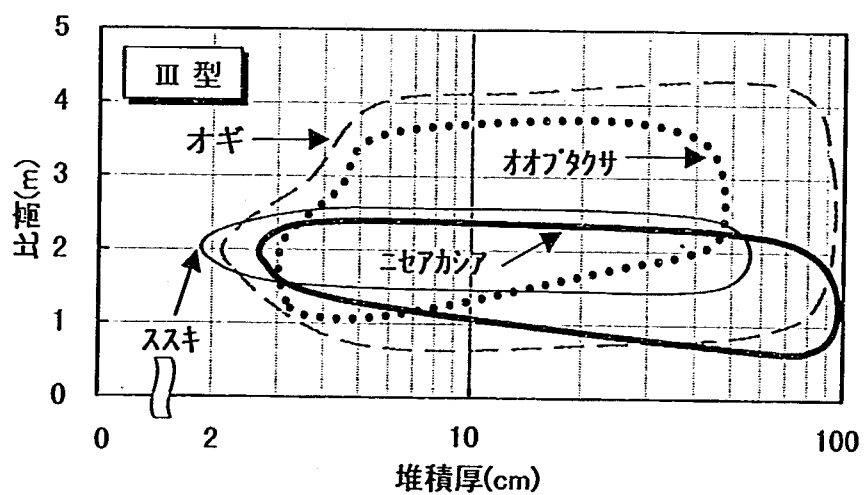


図3-17 (c) 比高—堆積厚と植物群落 (タイプIII)

(3) 比高-堆積厚座標上の分布特性と群落各種類の生活様式との関連

ここで、図3-16、図3-17に示された群落各種類の分布特性とその生活様式との関連性について述べる。表3-5に、各植物群落で優占する植物種の生活型をまとめて示す。この表を基本情報としながら、以下の考察を行った。

表3-5 各植物群落で優占する植物種の生活型

植物種	休眠型	地下器官型	散布器官型	生育型
カワラノギク	Ch 多年草 (可変性2年草)	R2-3 根茎横走型 (狭い範囲)	D1, D4 風散布と水散布	e 直立型
コセンダングサ	Th 夏型1年草	R5 地下や地上に連絡 体をつくらない	D1, D2 風散布と水散布	e 直立型
ツルヨシ	H, Ch 多年草	R2-3, 4 根茎横走型 (狭 い範囲), 匍匐 茎横走型	D1, D4 風散布と水散布	e, p 直立型で匍匐型
イヌコリヤナギ	N (多年生) 木本	R5 地下や地上に連絡 体をつくらない	D1 風散布と水散布	e 直立型
ススキ	H 多年草	R3 根茎横走型 (最 も狭い範囲に連 絡体をつくる)	D1 風散布と河道内 なら水散布	t そう生型
オギ	H 多年草	R2-3 根茎横走型 (や や狭い範囲)	D1 風散布と水散布	e 直立型
オオブタクサ	Th 夏型1年草	R5 地下や地上に連絡 体をつくらない	D4 重力散布と水散 布	e 直立型
ニセアカシア	N (多年生) 木本	R1 根茎横走型	D2, D3, D4 主に果皮の裂開 力による散布, その後動物散布・ 水散布	e 直立型

注1) 記号は沼田ほか (1988) に従う。

注2) カワラノギク (ヨモギ), コセンダングサ (アメリカセンダングサ), ススキ (ススキ), オギ (ヨシ), オオブタクサ (クワモドキ: 別名) は, 沼田ほか (1988) を一部または全部参考にした。

注3) カワラノギクについては, 倉本・竹中・鷺谷・井上 (1992), 倉本・鷺谷・井上 (1995) を参考にした。

注4) ニセアカシアについては, 一部, 玉泉・飯島・矢幡 (1991) を参考にした。

a) コセンダングサについて

コセンダングサは極めてパイオニア的な (先駆的な) 1年草であり, 河床表層に細粒土砂がまんべんなく堆積していなくてもマトリクスで存在すれば, 多くの植物の定着が困難な礫床の裸地でも生育する種である。一般に, 1年草は, 裸地から出発する遷移の初期段階において, 急速に群落を形成するのに適しているとされる[戸塚・木村, 1973]。ただし, 1年草であるため, 毎年の種子供給が必要である。以上のことは,

コセンダングサがタイプⅠに属し、礫床裸地と同じ分布領域をもつこととよく対応する。

b) タイプⅡの説明について

タイプⅡ(イヌコリヤナギ, ツルヨシ)の主な存在領域は、水際の礫床か、細砂堆積域である。細砂堆積域については、洪水作用に伴う細砂堆積裸地の形成直後に定着・群落形成した場合と、水際の礫床に定着・群落形成し、その後細砂が堆積し、それに対応して群落を維持・拡大した場合が考えられる。一般にヤナギは護岸補強の柳枝工に用いられるように萌芽再生力の強い植物であり、多少の土砂埋没に対しても、地上部の幹や茎から新たに根や茎を発芽再生させることが出来る。ツルヨシについても同様であり(たとえば奥田・佐々木編, 1996, pp.103, pp.131~135), 上述の後者の可能性も場所によっては大いにあり得る。実際、秋川合流地区では、厚さ70cmに及ぶ表層細粒土層に埋没されながら群落を維持していた15年生(1997年時点で)のイヌコリヤナギを確認しており、これは明らかに後者の事例である。一方、永田橋地区の低水敷の右岸の中段付近には、1990年洪水によって堆積したと思われる砂堆積の場所に6年生(1997年時点で)のイヌコリヤナギが繁茂しており、これは前者の事例と言える。以上のことは、比高-堆積厚座標上の2つの分布域(水際の礫床, 細砂堆積域)が独立に発生する場合と、前者に発生し、座標上で後者に移動する場合があることを意味する。

c) タイプⅢの説明について

一般にオギは細砂が厚く堆積した立地に生育するとされる[たとえば奥田・佐々木編, 1996, pp.103]。玉泉・飯島・矢幡(1991), 前河・中越(1997)は、ニセアカシアが水平根(地下茎)の伸長に伴う萌芽再生によって、砂地においては急速に群落を拡大する事例を報告している。地下茎で群落を拡大していくタイプの植物は、分級性の良い細粒土砂の堆積地を好み、この堆積厚が厚くなるほど地下茎の密度も高くなって群落形成速度が速くなるとされる[石川, 1991; 石川, 1988]。また、たとえば宮脇[宮脇編, 1977, pp.52~59]や石川[奥田・佐々木編, 1996, pp.124-125]は、ススキやオギが、カワラヨモギやイヌコリヤナギ, ツルヨシと比較して比高の高い位置に群落を形成する事例を一般的知見として整理している。これらは、今回の現地調査結果とよく一致する。

以上から、比高-堆積厚座標図上での各タイプの分布特性は、従来定性的に言われていた各群落種の特徴とも矛盾しないものであることがわかる。

3.3 発達する植物群落と立地条件との過去の時点における関係

前節で整理したのは、あくまで現時点での関係である。本研究では、1976(あるいは1977)年, 1983年, 1994年の3時点で調べられた植生図[奥田・曾根・藤間・富士, 1979; 曾根, 1984; 奥田・小松・畠瀬, 1995]と、過去の横断測量結果並びにベルト・トランセクト沿いの数地点における堆積構造の掘削調査から得られるこれら3時点の河床表面の立地条件を比較することにより、過去の代表的な時点における植物群落各種類と立地条件との関係を比高-堆積厚座標図上にプロットし、現時点のものと比較した。この方法と結果は4.3.2で詳細に述べられているので参照されたい。ここで、その結論だけを引用すると次の通りである。

過去の3時点における植物群落各種類と立地条件との関係(比高-堆積厚座標図上)は、概ね現時点につ

いての関係と整合している(大きな相違は無い)。過去の時点についての情報は前節に示した現時点のものと比べ精度、調査地点数の面で十分とは言えないので、前節と同じ確度で結論づけることはできないが、少なくとも、図3-16、図3-17の関係がこの20年程度の間においても概ね成立していた可能性が高いと言える。

3.4 安定した植生域の拡大の原因となった立地条件の変化についての考察

前節までの検討により、裸地を含む植生群落を表3-4に示す3タイプに分けた場合、立地条件とタイプとの間に明瞭な相関があること(図3-16、図3-17参照)、この相関関係は、現時点だけでなく安定植生域の拡大が起こったこの25年程度の間にも適用できそうなこと、この相関関係は従来定性的に得られていた立地条件と植物群落種との関連についての知見と矛盾しないことが示された。そこで、最後に、図3-16、図3-17に示された関係を用いて、安定植生域拡大過程を考察し、それが立地条件の変化によりどれだけ説明できそうかを調べる。

2.3.2(1)で述べたように、対象区間の安定植生域拡大を主にもたらしたのはオギ、ニセアカシア、オオブタクサ、ススキ、ギシギシ、ヨモギの繁茂である。ベルト・トランセクト調査にたまたま引っかけなかったギシギシとヨモギは分析できないので考察から除外し(これらは面積的にも前4種に比べ小さい)、オギ、ニセアカシア、オオブタクサ、ススキの定着・拡大に着目する。図3-17からわかるように、これらはいずれもタイプⅢに属し、このタイプは、表層細粒土層厚が0の場所には存在していない。したがって、礫床の裸地の状態から安定植生域が拡大する過程においては、必ず表層細粒土層の形成(堆積)が起こらなければならない。すなわち、タイプⅠ分布域からタイプⅢ分布域への立地条件の変化である。

この立地条件変化は、細粒土砂堆積により一足飛びに起こったことも考えられるが、タイプⅡ分布域への変化を経て起こったことも考えられる。すなわち、礫床裸地にツルヨシが定着・発達し、そこに細粒土砂が堆積することにより、比高-堆積厚座標上でタイプⅡとⅢの分布域が重なる位置に移動し、次第に、タイプⅢの群落に遷移したという過程である。または、細粒土砂が堆積した場所にタイプⅡの群落が形成され、そこが次第にタイプⅢの群落に遷移したという過程である。

タイプⅢに属する4つの群落の種類の中での変化は、基本的には生物学的な遷移が主と考えられる。すなわち、

a) ススキから他の3種への変化について

ススキはオギやニセアカシアと異なり、埋没した桿や幹から新しいシュートを出す特性を持たないので、極めて回復が遅いとされる[奥田・佐々木編, 1996, pp.133]。したがって、土砂の堆積作用が起こった場合、ススキ群落は、回復に時間を要している間に別の群落に変化する可能性が高いと考えられる。仮に、堆積物が細粒土砂で、その周辺にオギやニセアカシアの群落が存在すれば、3.2.4(3)で述べたように、これら地下茎で群落を拡大する植物は短期間でその場所を覆うことが想定できる。オオブタクサについても、ススキの埋没域に種子が供給され他種との競争が無ければ、ススキの群落再生を待たずにオオブタクサの群落を形成するであろう。

b) ニセアカシアから他の3種への変化について

表3-5に示したように、ニセアカシアは他の3種とは異なる木本植物であり、これら3種と比較して背が高い。このため、ニセアカシアが成長すると、その樹冠下では日照条件が悪くなり、成長において光要

求量が高い他の3種は生育が困難となる。したがって、一旦ニセアカシアが群落を形成した場合、他の3種への変化は起こり得ないと考えられる。また、ニセアカシア群落では、ニセアカシアの根茎の持つアレロパシーにより林床が種組成の極めて単純なものになる事例も報告されており[高橋理喜男, 亀山章編, 1987], 他の3種がニセアカシアのアレロパシーの影響を受ける植物であった場合についても、群落の変化は起こりにくいと考えられる。しかし、一方では、ニセアカシアが虫害により高い死亡率を示した事例があること、ニセアカシアが構造的に単純な林を形成しやすいため台風(場合によっては洪水)による集団枯損が一般的に起きやすいという条件があることから[前河・中越, 1997], このことで一斉に別の群落に変化する可能性も否定できない。

c) オギからニセアカシアおよびオオブタクサへの変化について

ニセアカシアは地下茎の伸長による群落の拡大が可能な植物である。また、この時にニセアカシアの母樹(母樹から地下茎を伸長させ根萌芽で新たな個体をつくる)は33年生の根萌芽まで繋がっていた事例もあるので[玉泉・飯島・矢幡, 1991], 光条件とは関係なくニセアカシアがオギ群落内部に侵入し成長する可能性は否定できない。

今回の調査対象範囲においても、一部でオギ群落からオオブタクサ群落に変化した事例が認められた。しかし、1年草で小さな貯蔵期間の種子から成長を開始するオオブタクサに対して、オギは多年草であるので、オギ群落であった場所は同種の十分な貯蔵器官である地下茎から急速に成長して密なオギ群落を再生し、たとえオオブタクサの種子が存在してもその成長は妨げられることが予測できる。したがって、オギ群落からオオブタクサ群落への変化は基本的には考え難い。しかし、オギ群落が再生能力を低下させていた場合(例えば草刈りや、ツル植物によって覆われた、あるいは、洪水で漂着したゴミ及び泥土の堆積等の影響で)、オオブタクサが侵入して成長する可能性はあり得る。そして、このような状況が数年間継続すれば、オギ群落の再生力は徐々に失われ、オオブタクサ群落へと変化する可能性が出てくる。

d) オオブタクサからオギおよびニセアカシアへの変化について

オオブタクサは毎年種子から成長を開始する1年草である。したがって、多年生植物であるオギやニセアカシアの群落拡大によって徐々に群落が縮小する可能性は否定できない。

以上を踏まえ、礫床の裸地的地被(タイプⅠ)から安定植生域形成(タイプⅢ)に至る道筋についてのシナリオおよびタイプⅢに属する4つ種類の群落間の変化の方向を総合して図示すると、図3-18のようになる。この図で、黒矢印は立地条件の物理的変化が主役となった変化を、白矢印は生物のプロセスも主役となった変化を表す。この図は、タイプⅢへの移行に関しては、立地条件の物理的変化の重要度が高く、どこかのパスでそれを経る必要があることを示している。一方、立地条件の物理的変化を受けて群落の種類が変化する場合にどの種になるか、あるいはタイプⅢ、Ⅱの中の群落の種類間の変化については、生物のプロセスも重要になる。たとえば最近(1994年以降)は、立地条件の物理的変化が無いにもかかわらず、オギの場所へのオオブタクサの侵入が急激に進んでいる(永田橋地区右岸高水敷)。ニセアカシアに寿命が来れば、立地条件の変化が無くともさらに大規模な群落の種類変化が起こる可能性も否定できない。

なお、図3-18では、洪水による破壊に伴う変化は入れていない。ただしこの変化は、洪水の規模に応じた各場所での河床材料の移動形態を調べることで、原理的には容易に推定できると考えられる[李・渡辺・望月・藤田・塚原, 1997]。

次章では、こうして得られた安定植生域拡大過程の説明の妥当性を検証するため、図3-18において特に重要な立地条件変化となっている表層細粒土層の堆積の実態、それと安定植生域拡大過程との対応を調べるとともに、表層細粒土層堆積のメカニズムを検討し、安定植生域拡大の全体的シナリオを構築する。

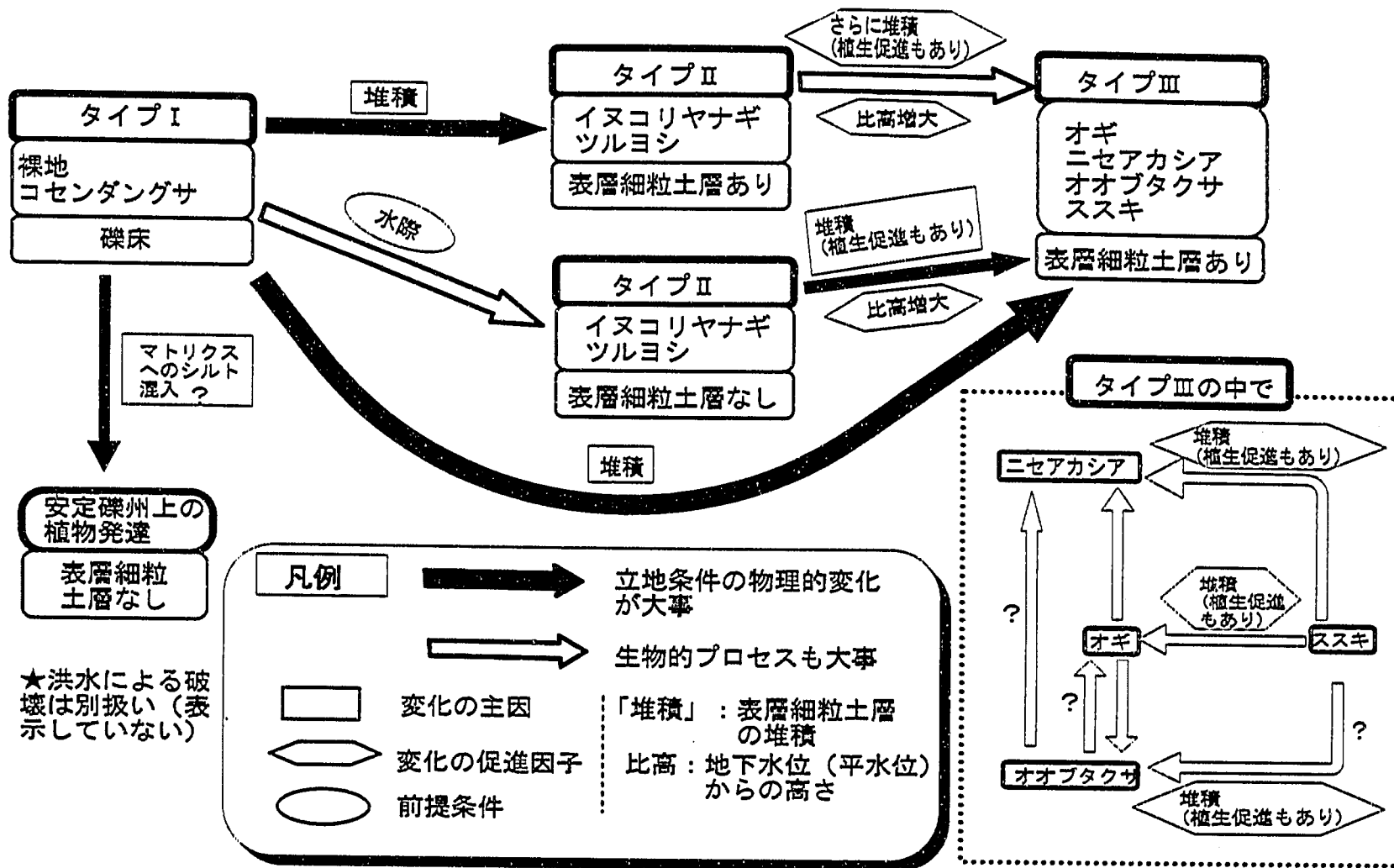


図3-18 礫床裸地から安定植生域への変化の道筋についての考察

第4章 安定植生域の形成を支配した立地条件の形成機構

4.1 安定植生域の形成を支配する立地条件としての表層細粒土層

3章4節(図3-18)の考察から、タイプⅠ(裸地あるいはそれに近い地殻に対応)からタイプⅢ(安定植生域に対応)への変化が起こるためには、必ず「表層細粒土層」の堆積が起こらなければならないことが示された。また、この考察結果が正しければ、表層細粒土層の堆積と安定植生域拡大とのタイミングには密接な関係があることになる。そこで本章では、永田橋地区と日野橋地区について、まず、表層細粒土層の堆積性状とその堆積過程を詳細に調べ、表層細粒土層がいつ・どのように堆積したかを明らかにする(4.2)。次に、これらの結果から、表層細粒土層の堆積と安定植生域形成との時間的関係を調べ、この関係が上記の考察結果を強く支持していることを明らかにする(4.3)。さらに、表層細粒土層が堆積する機構を水理的観点から明らかにする(4.4)。最後に、以上を総合して、永田橋地区と日野橋地区で観察された安定植生域拡大のシナリオを提示し、第5章の検討の土台とする(4.5)。

なお、本章の検討対象は、安定植生域の一方向的拡大が見られた永田橋地区と日野橋地区である。このうち永田橋地区については、52.2km～52.6kmを主な対象域とする。日野橋地区については、2.3.1(3)に述べた40.5km測線付近を境とする上下流2つの領域のうち上流側、すなわち永田橋地区と同じような安定植生域拡大の時間経過をたどった領域を主な対象にする(測線としては40.6kmと40.8km)。

4.2 表層細粒土層の堆積性状と堆積過程

4.2.1 表層細粒土層の堆積場所における洪水営力の履歴

図2-15と図2-17に示したように、永田橋地区と日野橋地区における安定植生域の形成は右岸高水敷で生じており、本章で取り上げている表層細粒土層もこの高水敷上に堆積している(詳細は4.2.2以下に詳述)。そこで、洪水時に両地区の右岸高水敷において発生した水深を見積もり、表層細粒土層を持ち込んだ可能性のある洪水を特定する。

年最大洪水流量データを用いて、複断面形状や樹木を考慮した準2次元の不等流計算[建設省河川局治水課監修、(財)リバーフロント整備センター編集、1994]により、各年の最大高水敷水深を代表地点について求めた。代表地点は、図2-7a)c)中に示されている5横断測線上の8地点のうち高水敷の平坦頂部にある52.6A(52.6km測線の横断距離145m地点)、52.4A(52.4km測線の横断距離215m地点)、52.4B(52.4km測線の横断距離235m地点)、52.2A(52.2km測線の横断距離154m地点)(以上、永田橋地区)、40.8A(40.8km測線の横断距離280m地点)、40.6A(40.6km測線の横断距離280m地点)(以上、日野橋地区)の6地点である。永田橋地区の不等流計算は1974～1995年を対象にし、1974～1975年までは1975年1月、1976～1983年までは1983年3月、1984～1995年までは1993年3月に行われた横断測量結果を用いた。また、日野橋地区の不等流計算は1968～1995年を対象にし、1968～1975年までは1975年1月、1976～1983年までは1983年3月、1984～1995年までは1993年3月に行われた横断測量結果を用いた。

結果を図4-1に示す。この図から、まず永田橋地区については、1974年以降に有意な高水敷流の作用を受けたのは1974、1981、1982、1983年の4洪水だけであることがわかる。日野橋地区について1968年以降に有意な高水敷流の作用を受けたのは、1970、1971、1974、1981、1982、1983年の6洪水だけであること

がわかる。以上から、調査対象期間は20年以上に及ぶものの、高水敷の河床材料移動やそこへの細粒土砂持ち込みなど何らかの水理的作用を働いた可能性のある洪水は限られた数であると言える。

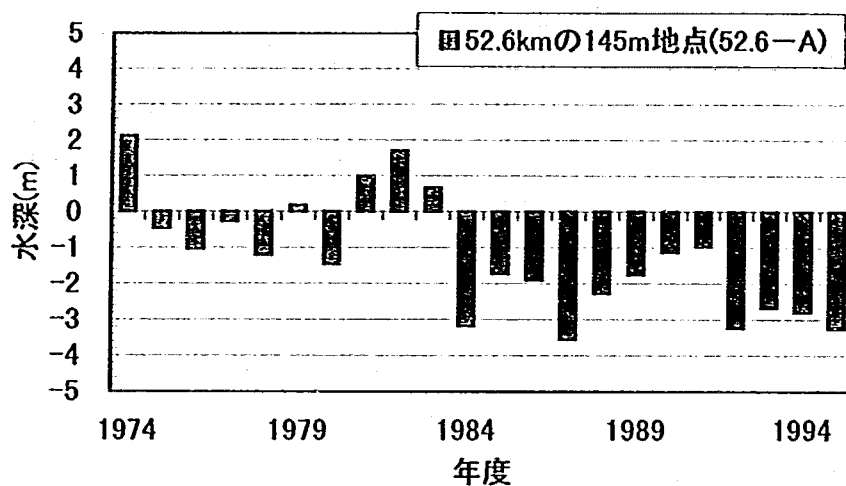


図4-1(a) 代表調査地点での年最大高水敷水深(永田橋地区52.6km測線)

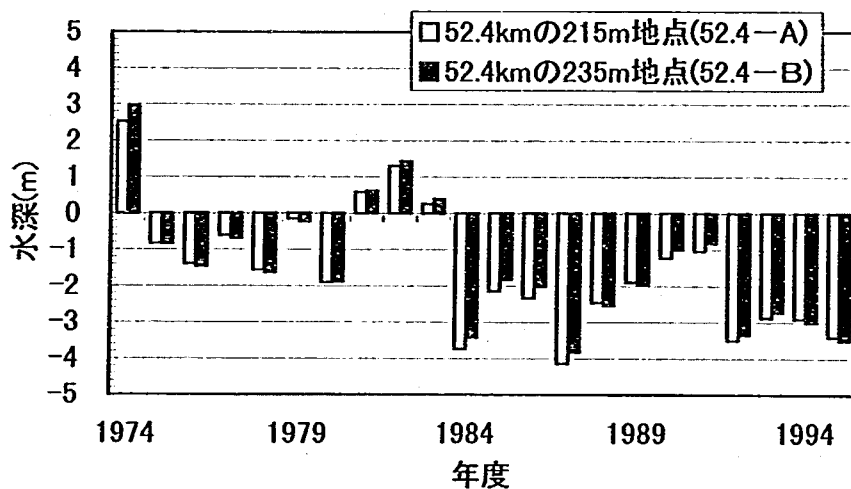


図4-1(b) 代表調査地点での年最大高水敷水深(永田橋地区52.4km測線)

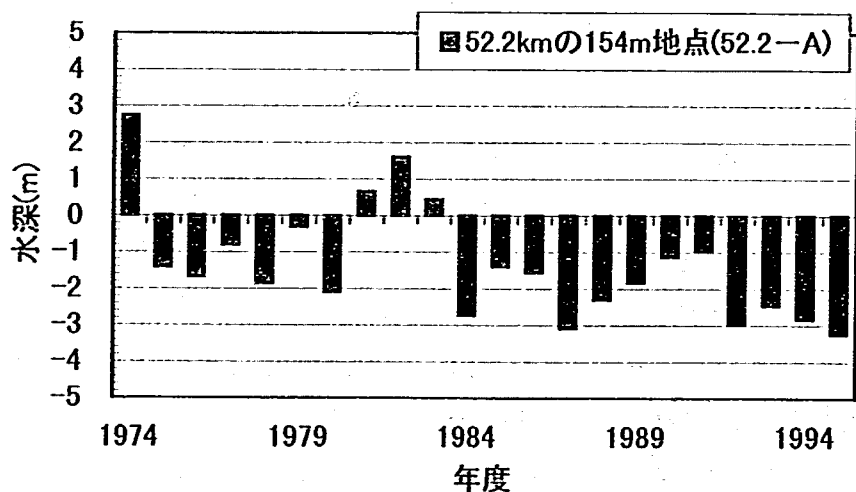


図4-1(c) 代表調査地点での年最大高水敷水深(永田橋地区52.2km測線)

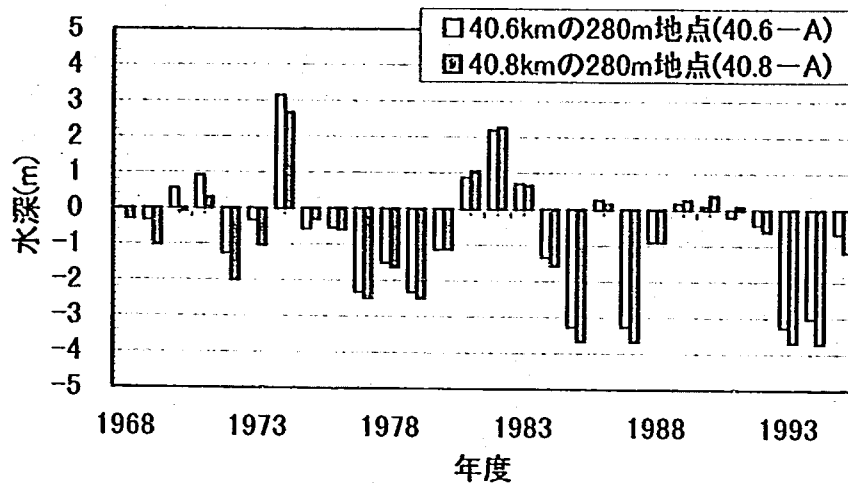


図4-1(d) 代表調査地点での年最大高水敷水深(日野橋地区)

4.2.2 表層細粒土層厚の横断分布と河床横断形状に基づく分析

(1) 表層細粒土層の堆積域の分類と検討対象とする堆積域

図4-2に、永田橋地区(52.6km, 52.4km, 52.2km測線)と日野橋地区(40.8km, 40.6km測線)における右岸高水敷の横断形状の経年変化と、検土杖により測定した(方法は3.1.2(4)b参照)表層細粒土層厚の横断分布を合わせて示す。さらにこの図には、最近(1993年に)測定された河床高から表層細粒土層厚分を鉛直下方に下げた位置のラインも併記されている。1993年の横断測量結果は、最近の測量結果の中で最も精度が高いと判断され、また、4.2に示したように、少なくとも1993年以降対象としている高水敷に河床変動を起こすような洪水が発生していない。これらのことから、このラインは、 $[\text{表層細粒土層下端の高さ}] = [\text{礫層表面の高さ}]$ を表していることになる。以後、このラインを「礫層表面高」と呼ぶことにする。

図4-2から、大きく見ると表層細粒土層の堆積域を表4-1に示すように2つに分けることができる。1つは、表層細粒土層厚が数cmから60cm程度までの範囲であり、図中では①の範囲として示してある。もう一つは、表層細粒土層が厚さ1m程度に及ぶ範囲であり、図中では②の範囲として示してある。後者②はいずれの横断測線においても右岸寄り(右岸堤防沿い)に位置している。また②の範囲では、上記の礫層表面高が1981年当時の河床高よりも低く、1968年当時の河床高より低くなっている場所も見られる。このことは、②の範囲では表層細粒土層がかなり古くから(少なくとも1981年以前、古いものは1968年以前)形成されていたこと、すなわち細粒土砂の堆積が古くから起こっていたことを示している。一方、上記①の範囲では、礫層表面高が概ね1981年(出水期前)当時の河床高あるいは1983年(出水期前)当時の河床高と一致している。このことは、①の範囲の表層細粒土層の堆積は②の範囲のそれに比べ新しく、古くとも1981年(出水期前)以降であることを示している。

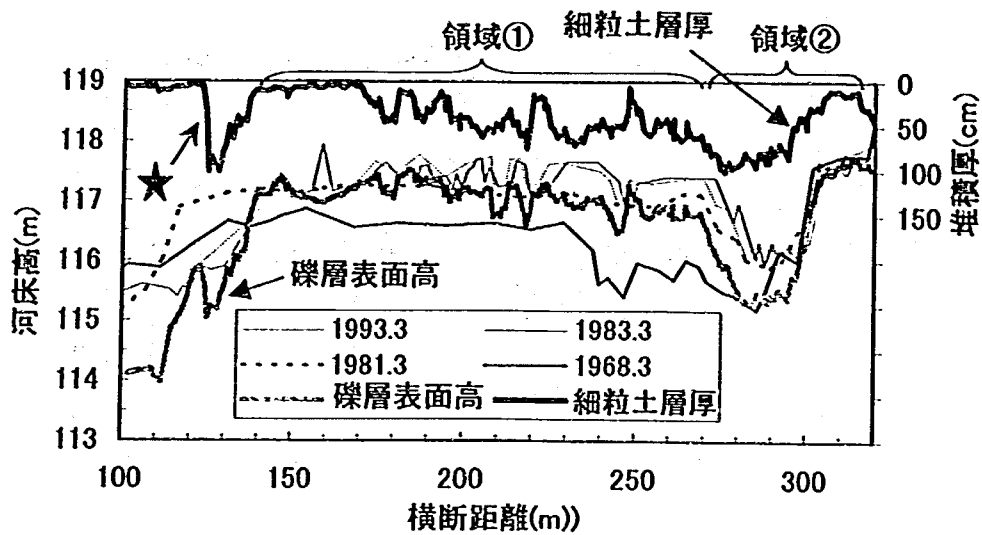


図4-2(a) 52.6km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況

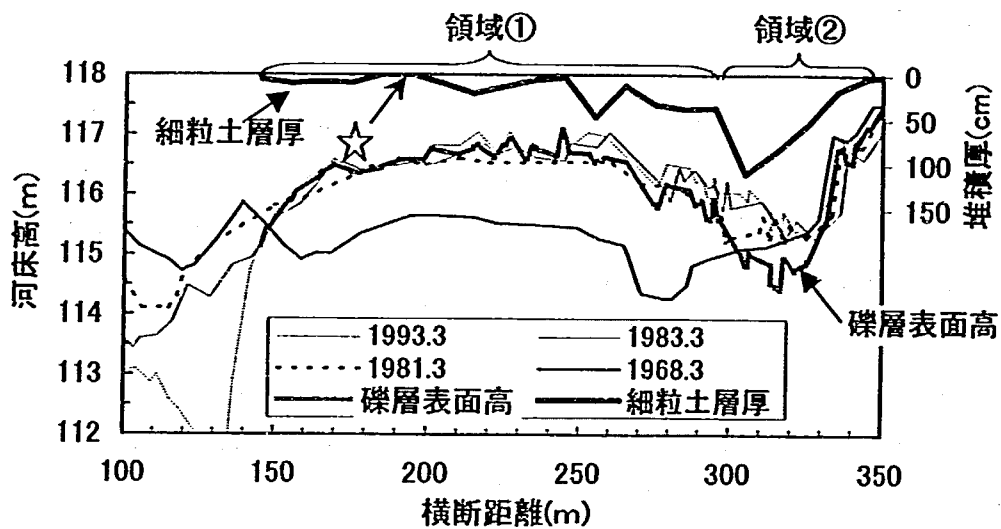


図4-2(b) 52.4km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況

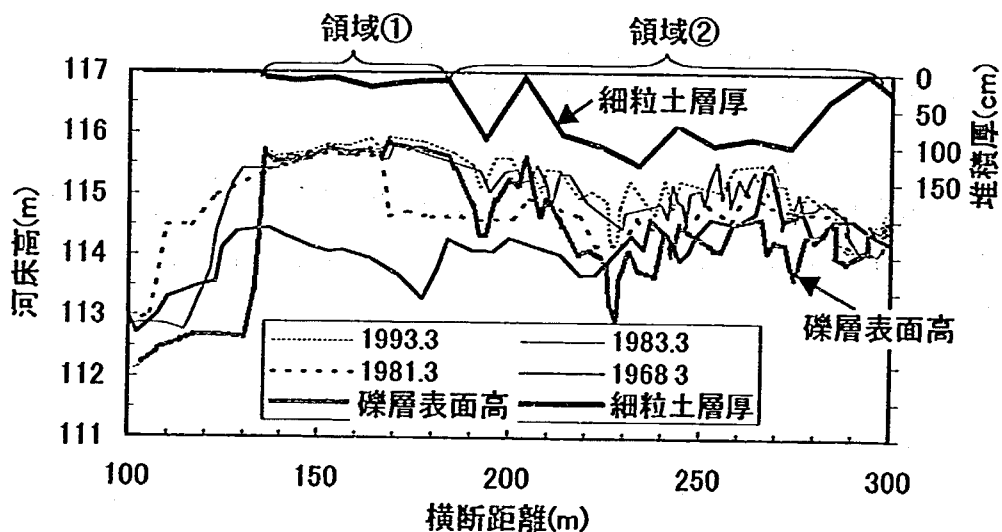


図4-2(c) 52.2km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況

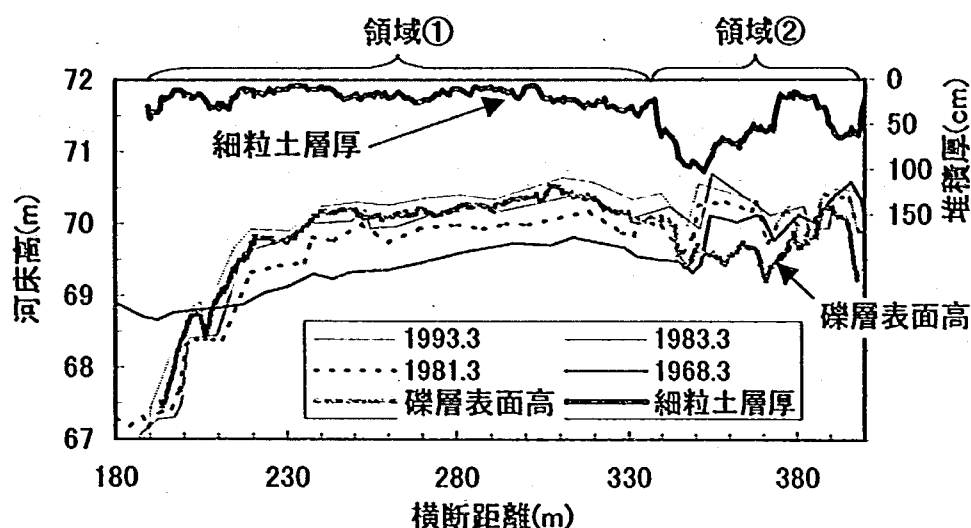


図4-2(d) 40.8km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況

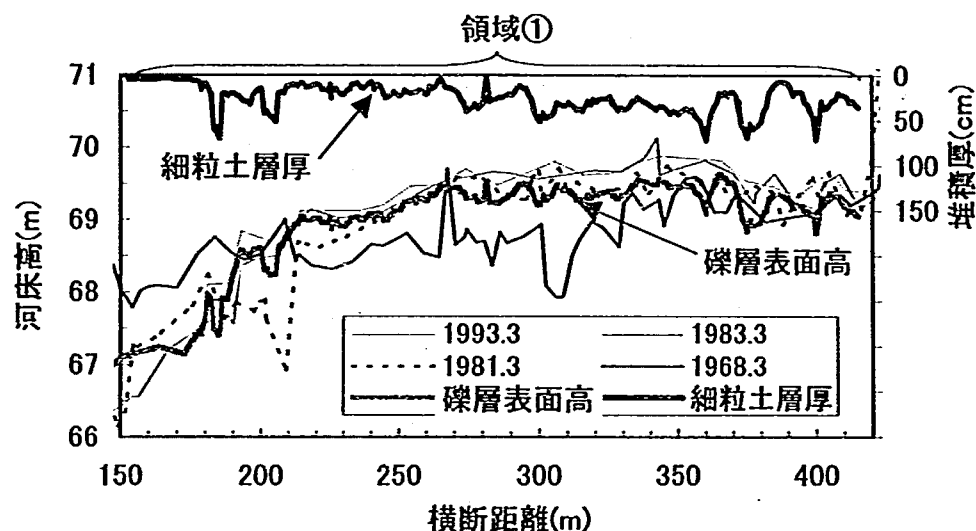


図4-2(e) 40.6km測線の河床横断形状と表層細粒土層の分布状況

表4-1 堆積性状に着目した表層細粒土層の堆積域の分類(領域①と②)

項目	分類	
	領域①	領域②
厚さ	薄い～やや厚い (数cm～60cm程度)	厚い (1 m程度)
横断測線上の位置	低水路の右岸側、右岸堤防から少し離れている	右岸堤防に隣接
堆積の横断幅	幅広く堆積 (ほとんどが100～150m)	比較的狭い範囲に堆積 (ほとんどが30～50m程度)
基盤となる礫層表面の形状	平坦頂部 (平坦な高まり)	溝状 (低い)
堆積年次	新しい (1981年出水期前より後)	古い (一部は1968年より前)
予想される洪水時流況	高水敷上の流れ	水裏部、死水域状
安定植生域拡大の時期	1975年より後 (実際は1981～1983年以降)	1974年には安定植生域すでに有り

以上のことは、範囲①と②で表層細粒土層の堆積形態が異なることに対応していると考えられる。すなわち、まず範囲②における礫層表面高は、その左側に形成されていた礫層の平坦な高まりの外縁（低水路側から見て）に当たり、低い溝状をなし、流速の小さい水裏部を形成するような場所であった。そこでの細粒土砂の堆積は低水路から運ばれた細粒土砂がその死水域状の水裏部に堆積する形を取ったと推定できる。このため、範囲②では、このような水裏部が現れるような礫層表面高の形状（礫層の平坦な高まりとその右に隣接する溝部；そして溝部が上流で低水路とつながっていない）が形成されて以来、細粒土砂の堆積が継続し、堆積厚も大きくなったと考えられる。一方、範囲①は上記の「礫層の平坦な高まり」の範囲に対応している。範囲①での細粒土層堆積は、幅広な高水敷平坦頂部に、範囲②においてよりも薄く、しかし広く起こったことになる。なお、上記の範囲②の水裏部が細粒土砂で埋まりきっていないので、上記の範囲①が図2-7a)の永田橋地区の平面図においても楔状の平坦頂部（52.6kmから52.1kmにかけて楔状に幅が狭くなる相対的に河床が高い領域）としてはっきり確認できる。写真2-1においても同様である。このことをさらにわかりやすくするため、写真4-1と図4-3に、永田橋地区について52.2～52.6kmを中心として、それぞれ写真と平面図に領域①と②の区別を重ねて示した。楔状の平坦頂部の右岸側が水裏部になることは、これら平面図や写真からも明瞭である。なお、図4-3には、急に拡大した安定植生域の代表群落であるニセアカシアの繁茂域を合わせて示している。この図から、ニセアカシアの繁茂は大部分が領域①で起っていることがわかる。

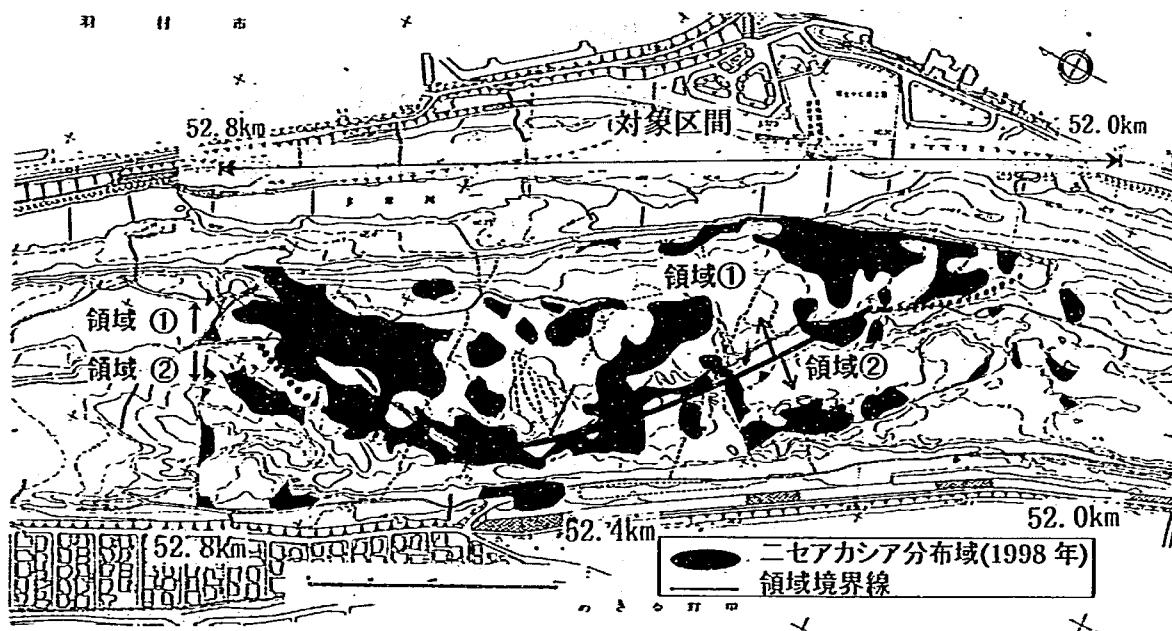


図4-3 領域①、②とニセアカシア群落分布（永田橋地区52.0～52.8km）

1974 年



1979 年



1984 年



1996 年



写真4-1 領域①と領域②(永田橋地区)

さて、写真2-1と写真2-3、写真4-1、図4-3から、上記範囲②には1968年当時あるいは1974年当時すでに密生した植生が繁茂し、本研究の対象期間において急速な安定植生域の拡大が見られたのは範囲①においてであることがわかる。範囲②では、それ以前から安定的に植生が存在する条件が備えられていたと見ることができる。そこで以後の検討では、もっぱら領域①に焦点を当てることにする。

(2) 領域①における表層細粒土層の特徴

図4-2から、領域①の範囲にある表層細粒土層は、数cmから60cm程度まで場所により種々の厚さを持っていることがわかる。52.4km測線の☆印の位置(横断距離190m地点付近)のように厚さ0の場所もある。また、52.6km測線の河畔堆積物とみなされる範囲(図中の★印)を除けば、低水路右岸肩からの距離に応じて厚さが徐々に低減するような特徴的傾向は見られない。全体として、100~150m程度の幅広い横断範囲にかなり一様に薄く堆積していると見ることができる。

なお、表層細粒土層の粒度分布は、図3-10a)の中で表層細粒土層に立地するタイプⅢの植物種に関するデータ(ニセアカシア、ススキ、オギ、オオブタクサ)から読み取ることができるように、平均粒径が0.15mm程度であり、細砂を中心に粗いシルトと中砂が混じることもある材料である。この傾向は、図3-7~3-9の(a)の図を比較すればわかるように、3つの調査地区によって大きくは変わらない。

(3) 各洪水と河床高変化、表層細粒土層堆積との対応関係—領域①について—

永田橋地区、日野橋地区においては、砂利採取が1968年以降行われていないので、図4-1の高水敷への冠水記録(一部図2-3と図2-4も参照)と図4-2との比較を通して、河床高変化と表層細粒土層堆積がどの洪水によって起こったかを推定することができる。

1) 永田橋地区について

まず1968年から1981年(いずれも出水期前;以後も同様)にかけての大きな河床上昇は、この間に有意な高水敷流を起こした1972年と1974年洪水によるもの(後者の影響が圧倒的に大きい)と考えられる。1981~1983年の間の河床上昇は、1981、1982年洪水による堆積である。1983~1993年の間の河床上昇は、1983年以外有意な洪水が無かったことから、1983年洪水による堆積と考えられる。(2)で述べたように礫層表面高が1981年あるいは1983年当時の河床高に対応していることから、表層細粒土層は1981年、1982年、1983年の3洪水中あるいは1983年の洪水中に形成されたと判断できる。同様にして、表層細粒土層の基盤となる礫層表面は、1974年洪水、あるいは1982年洪水により形成されたことになる(ここで、1981年洪水は他の2つに比較して流量が小さく、高水敷上の礫を動かす力が弱かったことから、除外した)。

2) 日野橋地区について

まず1968年から1981年にかけての河床上昇は、この間に有意な高水敷流を起こした1971年、1972年と1974年洪水によるものと考えられる。なお、1968年から1974年にかけての河床上昇の一部には右岸のグラウンドの造成によるものがある。1981~1983年の間の河床上昇は、1981、1982年洪水による堆積である。1983~1993年の間の河床上昇は、1983年以外有意な洪水が無かったことから、1983年洪水による堆積と考えられる。(2)で述べた通り、日野橋地区も永田橋地区と同様、礫層表面高が1981年あるいは1983年当時の河床高に対応していることから、表層細粒土層は1981年、1982年、1983年の3洪水中あるいは1983年の洪水中に形成されたと判断できる。このうち、40.6km測線は前者に、40.8kmは後者に対応している。同様

にして、表層細粒土層の基盤となる礫層表面は、1974年洪水(40.6km測線)あるいは1982年洪水(40.8km測線)により形成されたことになる。このような違いが40.6km測線と40.8km測線の間で起こった理由として、40.6kmに比べ40.8kmの河床高がやや低いことや、40.8kmが主流が乗り上げる場所に当たることなどが原因となって、1982年洪水による40.8km測線での高水敷の礫移動が40.6kmにおけるそれよりもずっと活発であった可能性を指摘できる。

全体として、上記1)に示した永田橋地区と同様のことが日野橋地区についても結論づけられる。

4. 2. 3 堆積構造調査に基づく分析

(1) 調査のねらいと調査方法

前項4.2.2の結果から、対象としている高水敷領域において、河床高変化と表層細粒土層の堆積がどの洪水により引き起こされたかが概ね明らかになった。しかし4.2.2の方法では、表層細粒土層が乗る礫層表面より下の河床材料については、検土杖が通らないので表面が礫ということ以外わからない。この情報は、過去の各時点における河床表面の材料を知る上で、また、堆積時の水理環境を知る上で重要である。そこで、4.2.2で得られた推定結果の信頼性を高め、さらに有用な情報を得ることをねらいとして、高水敷に穴を掘り高水敷の表面下の堆積構造を調べた。

堆積構造調査のための高水敷掘削地点として、図2-7a)c)中に示されている5横断測線上の8地点を選んだ。その内容を表4-2に示す。

表4-2 堆積構造調査地点一覧

地点名	位 置	調査地区	堆積域分類(領域①か②か)
52.6A	52.6km測線の横断距離145m地点	永田橋	領域①
52.4A	52.4km測線の横断距離215m地点	永田橋	領域①
52.4B	52.4km測線の横断距離235m地点	永田橋	領域①
52.2A	52.2km測線の横断距離154m地点	永田橋	領域①
40.8A	40.8km測線の横断距離280m地点	日野橋	領域①
40.6A	40.6km測線の横断距離280m地点	日野橋	領域①
52.6B	52.6km測線の横断距離270m地点	永田橋	領域②
52.2B	52.2km測線の横断距離219m地点	永田橋	領域②

地点設定に際しては領域①を中心にしたが、加えて比較対象として領域①と領域②(表4-1, 写真4-1, 図4-3参照)の境界に位置する点を2つ選定した。各地点とも、直径1.5m、深さ1.5m程度の穴を掘削し、高水敷堆積物の鉛直構造を調べた。

(2) 堆積構造の特徴

1) 領域①の調査地点について

図4-4に得られた堆積構造を示す。図には掘削地点近傍の検土杖調査結果(貫入深)も合わせて示されている。図4-4から、検土杖が貫入した範囲がいずれも最上位に位置する砂層(I層)と一致しており、その主材料はほとんどが細砂となっている。検土杖貫通範囲と最上位のI層が一致し、これが表層細粒土層で

あることが確認できた。表層細粒土層であるⅠ層の下すなわちⅡ層はすべて礫を主体とする層であり、このⅡ層が検土杖の貫通を阻止した層であることが確認できる。その下については、2つのパターンがある。1つは、もう一度細粒の層が現れ、その下は礫を主体とする層がずっと続くものであり、これには52.6A、52.4A、40.8Aが該当する。もう1つは、表層細粒土層の下から礫を主体とする層がずっと続くものであり、これには52.4B、52.2A、40.6Aが該当する。前者のパターンの場合、「表層細粒土層」→「礫層」→「再度の細粒土層」の全体の厚さは40～50cm程度である。再度の細粒土層の材料は表層細粒土層と同様細砂を主体とする場合が多く、また、2つの細粒土層に挟まれた礫層の厚さは15～30cm程度で、10cm以下の礫を主体とし、砂を多く含んでいる地点もある。一方、再度の細粒土層の下のずっと続く礫層については、ほとんどの場所で最大粒径が30cm程度となり、前出の細粒土層に挟まれた礫層よりも明らかに粒径が大きくなる。

ところで、「表層細粒土層」→「礫層」→「再度の細粒土層」という前者のパターンが現れた調査地点について、「再度の細粒土層」の下端の標高を、図4-2より各年の河床高と比べてみると、概ね1981年3月の河床高に対応している。このことから、この堆積パターンは、1981年、1982年、1983年の3洪水に対応して起こり、流量規模の小さい1981年と1983年の洪水によっては細粒土砂だけが堆積し、流量規模の大きかった1982年洪水は高水敷上の礫をも一部で動かす力を持ったため、場所によっては比較的粒径の小さい薄い礫堆積層を「再度の細粒土層」の上に形成したという説明が成り立つと言える。再度の細粒土層が存在しない後者のパターンが起こった地点では、「1982年洪水における礫の動きが不活発で、礫の堆積層が形成されなかった」という説明と、「1981年洪水による細粒土層形成が不活発であった」という説明と、これら2つが同時に成立していたという3つの説明が成り立つ。表層細粒土層下の礫の粒径から見て、52.4Bと52.2Aについては2番目の説明が、40.6Aについては1番目あるいは3番目の説明が有力である。

最下位の細粒土層の下にずっと続く礫層は、1974年洪水あるいはさらに以前の洪水による河床変動で堆積したものと考えられる。1974年洪水の規模が大きく、この時の河床変動が大規模であったことは、この層の礫粒径が大きいことと整合している。またこの層は細粒土層を挟んでいない。

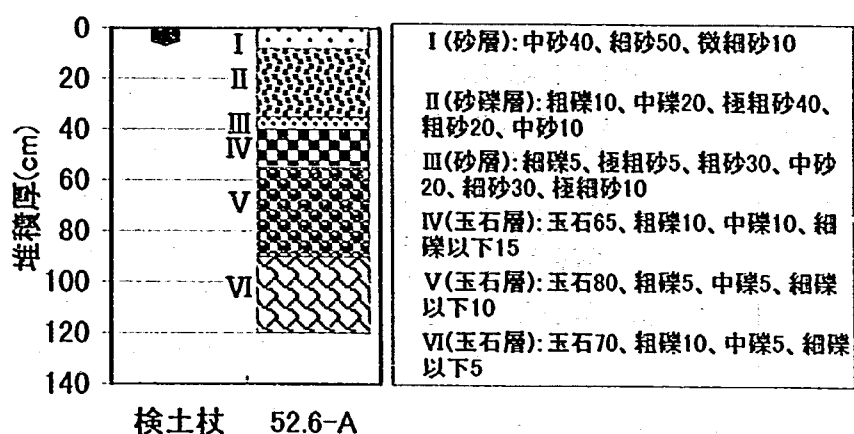


図4-4 (a) 高水敷下の堆積構造：領域①について(52.6-A地点)

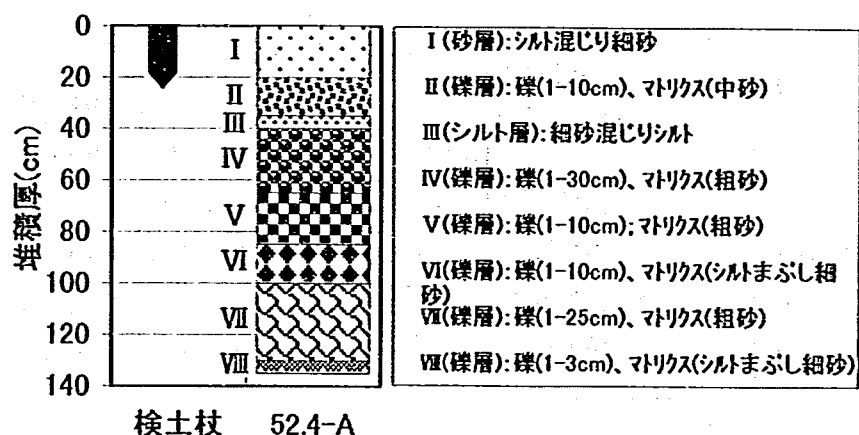


図4-4 (b) 高水敷下の堆積構造：領域①について(52.4-A地点)

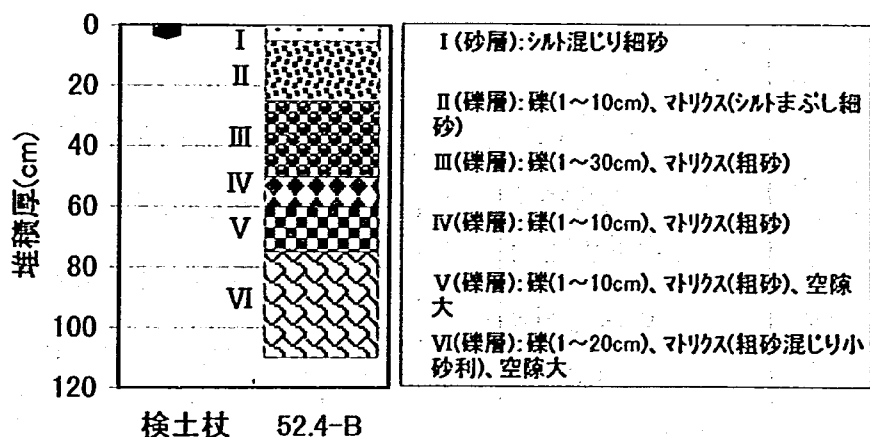


図4-4 (c) 高水敷下の堆積構造：領域①について(52.4-B地点)

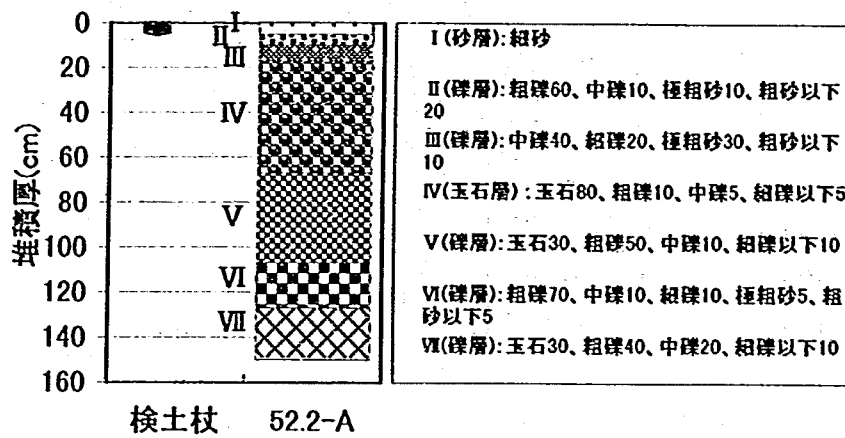


図4-4 (d) 高水敷下の堆積構造：領域①について(52.2-A地点)

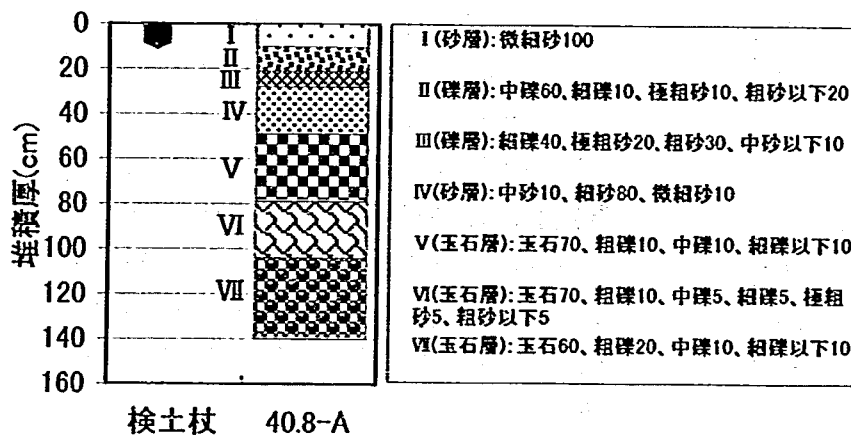


図4-4 (e) 高水敷下の堆積構造：領域①について(40.8-A地点)

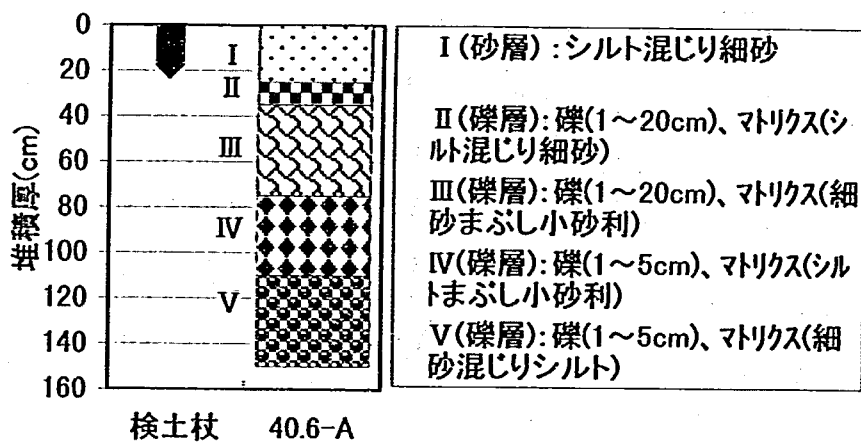


図4-4 (f) 高水敷下の堆積構造：領域①について(40.6-A地点)

2) 領域①と②の境界部に位置する調査地点について

図4-5に堆積構造を示す。これら2地点の堆積構造は、図4-4と異なり、全体的に砂層が多く、かなり深いところまで存在する。礫層もところどころ存在する。砂層の粒径は、図4-4の場合と異なり、細砂主体とは限らず、シルト主体のものから粗砂や極粗砂主体のものまで様々である。これらのことは、4.2.2(1)で述べた領域②の特徴についての推定を裏付けるものである。すなわち、これら2地点での堆積は、領域①の表層細粒土層の堆積とは水理環境が違っており、その左側に隣接する礫層の平坦な高まりの外縁にあたり(主流と反対側の)、洪水時には水裏部となる状況が長い間継続していた。このため、1981年より前の洪水時を含む様々な水理条件の下でこの場所まで運ばれた土砂が順次堆積して図4-5に示した堆積構造が作られたと言える。

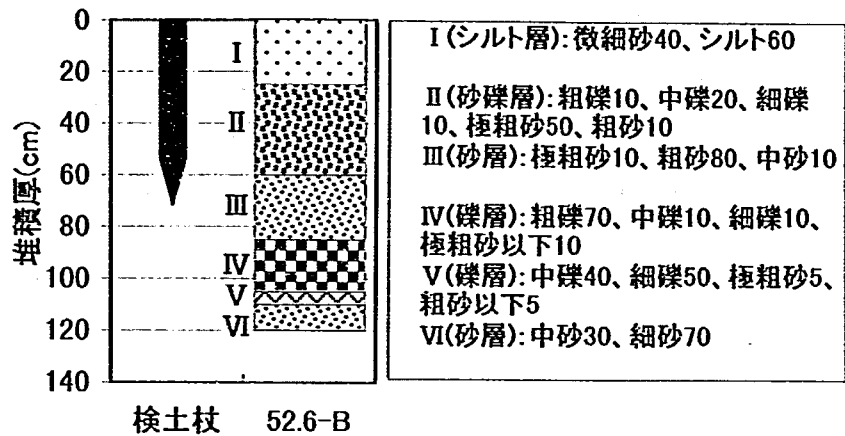


図4-5 (a) 高水敷下の堆積構造：領域①と②の境界部(52.6-B地点)

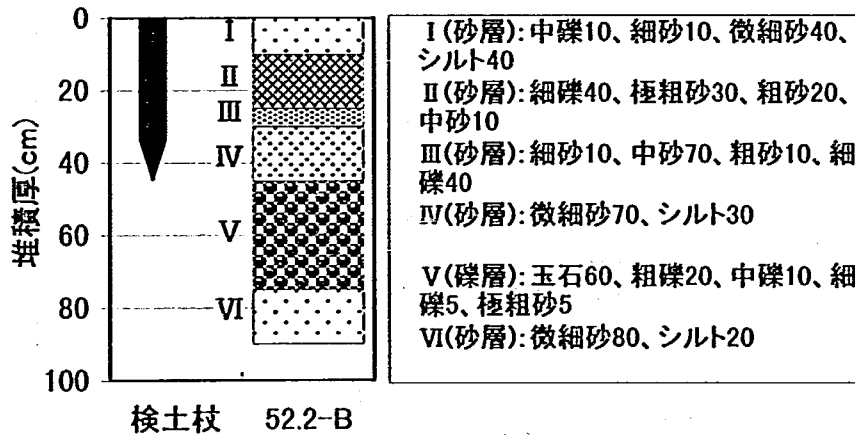


図4-5 (b) 高水敷下の堆積構造：領域①と②の境界部(52.2-B地点)

4.2.4 表層細粒土層厚の平面分布特性

(1) 微地形・樹齢詳細調査地区の設定と調査内容

前項4.2.3までで、表層細粒土層の堆積過程が明らかになった。ただし、前項までの検討は、横断測線沿いあるいは点における情報に基づいていた。本項では、今までの検討を補完する情報を得る目的で、表層細粒土層の平面分布特性を調べた結果を述べる。

調査は図2-7a)中に示されている永田橋地区の微地形・樹齢詳細調査地区(以後、詳細調査地区と呼ぶ)で行った。この詳細調査地区は、図4-6に示すように25m(上下流方向)×23m(横断方向)の矩形であり、その中を52.35km横断測線が貫く。同測線の横断距離150m地点が調査地区内に位置する。調査では、1mピッチの直交メッシュを設け、すべてのメッシュ交点で検土杖により表層細粒土層厚と標高を測定した。合わせて、詳細調査地区内にあるすべてのニセアカシアの樹齢を測定した。この測定は成長垂によった。Y座標は上下流方向で、下流ほど座標値が大きくなるように、X座標は横断方向で、右岸寄りほど座標値が大きくなるように直交メッシュ座標を設定した。この詳細調査地区は表4-1、写真4-1、図4-3に示した領域で言えば、大部分が領域①に属するが、図2-7a)からわかるように、下流寄り・右岸寄りの一角は領域②との境界に近くなる(正確には領域②につながる谷の末端部が詳細調査地区の一角にひっかかる)。調査日は1998年5月8日である。

この場所を選んだのは、上記のように領域①に位置しながら一部領域②との境界に接すること、安定植生域を主に担うニセアカシア群落のまっただ中であること、による。

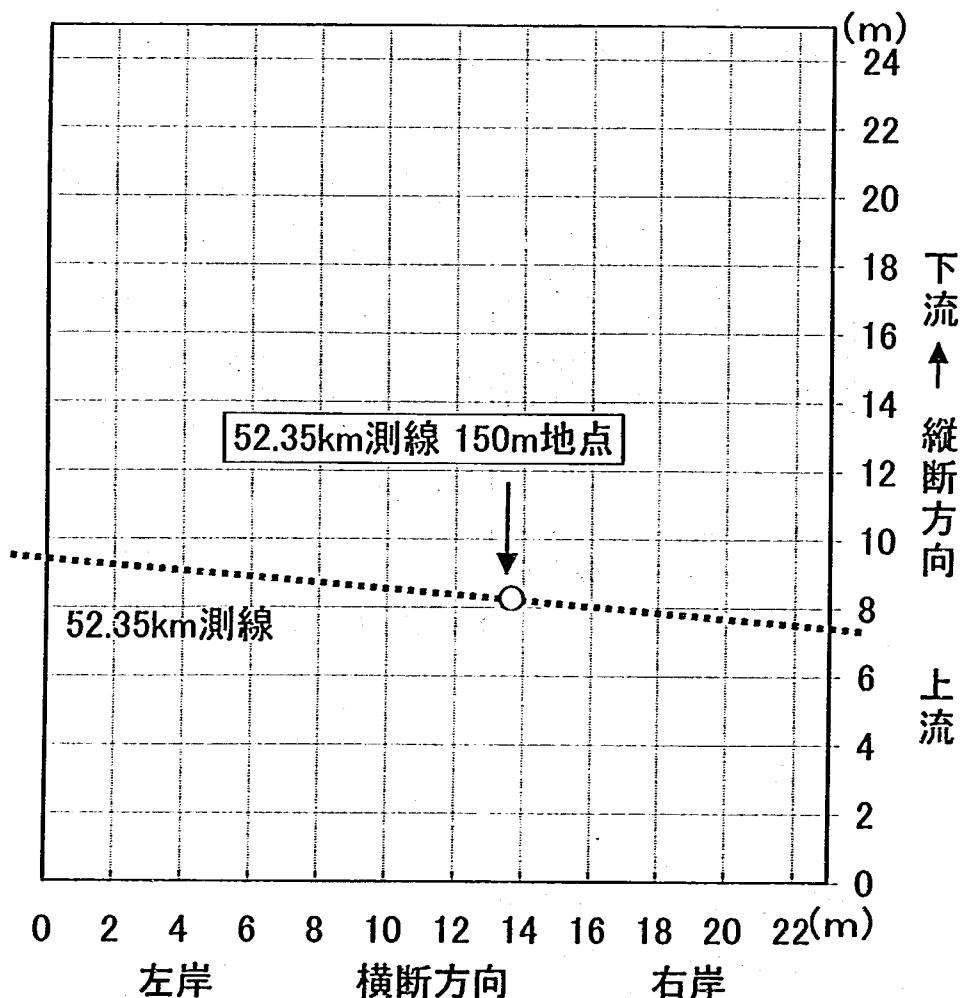


図4-6 微地形調査地点の位置

(2) 調査結果

図4-7, 図4-8, 図4-9, 図4-10に, それぞれ表層細粒土層厚の平面分布, 現河床高の平面分布, 表層細粒土層の基盤となっている礫層表面高の平面分布, ニセアカシアの平面分布と樹齢を示す。現河床高の平面分布を見ると図上で右上(1時から2時)の方向への走向が明確に認識できる。この走向は, 表層細粒土層厚の平面分布にも認めることができる。一方, 礫層表面高の平面分布では, こうした走向は不明瞭になる。1時から2時の方向は, 図2-7a)からわかるように, 楔状の領域①から, その右岸側の外縁を斜めに横切って領域②へ向かう方向に当たり, 高水敷が冠水したときに生じる可能性が高い流れの向きと合っている。以上から, 現河床高に明瞭に見られる1時ないし2時の走向は, 礫層表面高がそうした走向を元々持っていたためでなく, 表層細粒土層の堆積がそうした走向を持っていたためと考えられる。このことは表層細粒土層の堆積と高水敷流との直接的な関係を裏付けるものであり, 逆に, 表層細粒土層の堆積厚さが堆積前の河床高の平面分布(礫層表面高)とは明瞭な関係を持たないことを意味している。以上のことは, 表層細粒土層の堆積機構を考える上で興味深い。

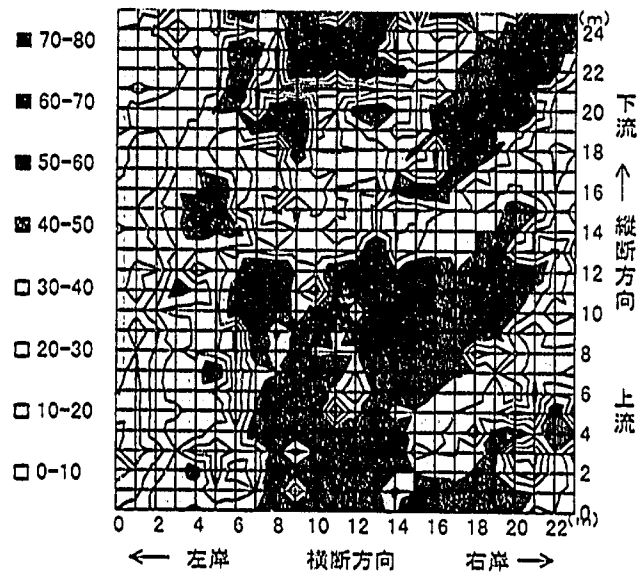


図4-7 表層細粒土層厚の平面分布

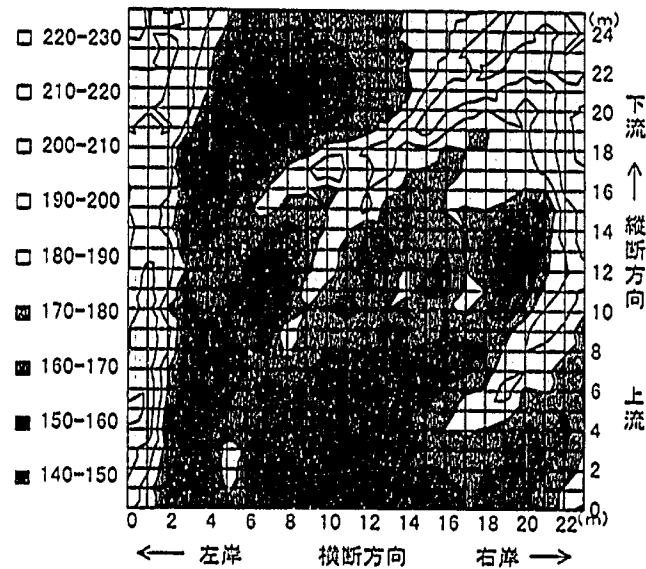


図4-8 現河床高の平面分布

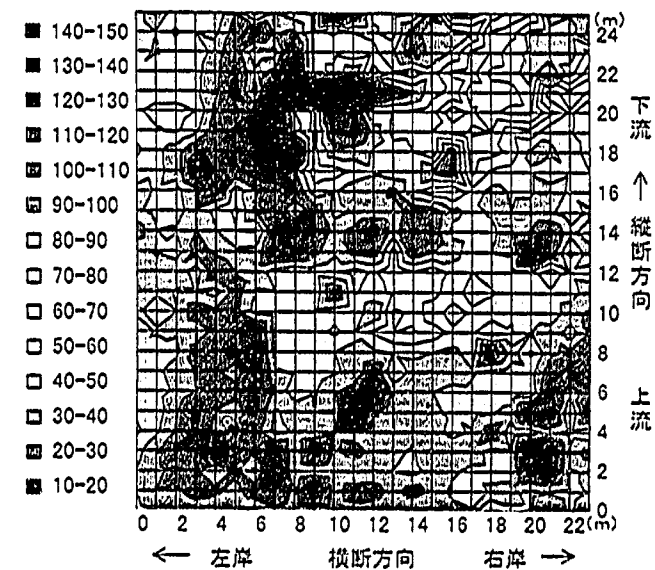


図4-9 表層細粒土層の基盤となっている礫層表面高の平面分布

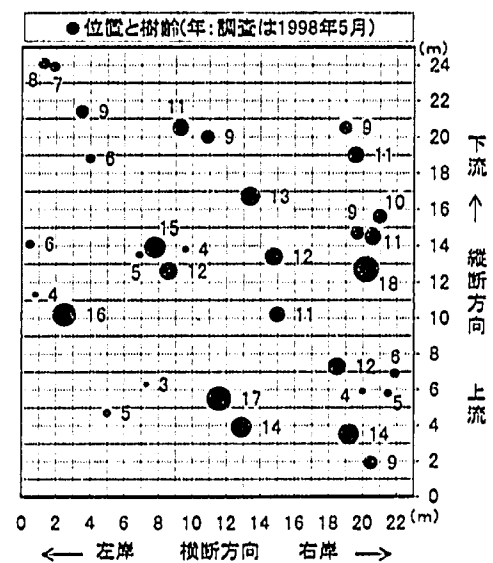


図4-10 ニセアカシアの平面分布と樹齢

なお、図上の右上隅すなわち $Y>16\text{m}$ 、 $X>14\text{m}$ の範囲では、上記のことが当てはまらず、礫層表面高の平面分布に見られる1時ないし2時の方向に伸びる深い谷の位置と、表層細粒土層の厚さが非常に大きい帯状の範囲(やはり同方向に伸びている)がよく一致している。このことは、この右上隅の範囲だけは、表層細粒土層の堆積環境が他の部分と異なっていることを示すものである。この範囲は、上述のように領域②から伸びる谷の末端に当たる。このため、細粒土砂の堆積時には背水により低流速域となり、そのことが谷を半ば埋めるような厚い細粒土層堆積を可能にしたと考えられる(4.2.3(2)2参照)。一方、この右上隅以外の領域では、はっきりした流れが生じていて、この流れに応じた水理機構により細粒土砂の堆積が起こったと推定される。なお、この水理機構については4章4節でさらに詳細に分析する。

図4-10を図4-7~図4-9と比較しても、ニセアカシアの位置および樹齢と、そこでの表層細粒土層厚、現河床高、礫層表面高の平面分布とは明瞭な関係を見いだせない。これは、この詳細調査地区では、表層細粒土層厚が全般的に10cm以上、多くの場所で20cm以上あり、表層細粒土層厚がニセアカシア生育の強い抑制要因にはなっていないためと考えられる(図3-16(g)参照)。実際、この詳細調査地区の左岸側には、表層細粒土層厚が非常に薄いか無い領域が隣接して広がっており、そこには有意なニセアカシア群落は進出していない。このことは、10cm程度以上の表層細粒土層があれば、ニセアカシアの根萌芽がほとんど制約を受けない可能性を示唆している。

4.2.5 表層細粒土層の総体積—領域①について—

永田橋地区と日野橋地区の右岸高水敷に堆積した表層細粒土層の総体積を、表4-1に示した領域①について算出した。算出は、横断測線沿いの堆積厚分布を横断方向に積分し、それを縦断方向に内挿した上、さらに縦断方向に積分する方法によった。したがって算出精度は高いものではないが、体積のオーダーを議論する上では充分価値があると考えた。表4-3に算出結果を示す。

表4-3 領域①にある表層細粒土層の総体積

場所 (いずれも領域①のみ)	総体積 (m ³)	河道縦断方向1m 当たりの体積 (m ³)	平均堆積深 (m)
永田橋地区52.2~52.6km	6.6×10^3	18	0.17
日野橋地区40.6~40.8km	2.6×10^3	15	0.16

この表から、両地区の計算対象区域に限っても1万m³のオーダーの細粒土砂が高水敷状の河床に持ち込まれたことになる。今までの検討結果から、これらは1981~1983年の間の3洪水によって運ばれたと言える。こうした大量の細粒土砂の堆積は、物質循環という視点からも重要である。

4.2.6 まとめ

以上を総合して明らかになった永田橋地区、日野橋地区の右岸高水敷での表層細粒土層の堆積過程を以下にまとめて述べる。

- ① 表層細粒土層の堆積域は、表4-1、写真4-1、図4-3に示したとおり、領域①と領域②に区分でき、本研究で対象にしている1975年以降の安定植生域拡大が起こったのは領域①においてである。
- ② 領域①では、1974年洪水により堆積した礫層(最大粒径20~30cm程度が多い)の上に、1981年洪水、1982年洪水、1983年洪水のうち1つ以上の洪水によって細砂を主体とする表層細粒土層が数cmから

60cm程度の厚さで薄く広く堆積した。その後は有意な堆積・侵食は起こっていない。

- ③ 上記②に述べた表層細粒土層の体積は、永田橋地区の縦断距離400mの範囲と日野橋地区の縦断距離200mの範囲を合わせ1万m³のオーダーとなる。
- ④ 領域①の代表的な場所を選んで行った詳細調査によれば、表層細粒土層厚および堆積後の高水敷表面高の平面分布は、洪水時に発生しうる流れと同じ走向を持ち、表層細粒土層の堆積が上記3洪水時の高水敷流と密接な関係を持っていたと推定される。
- ⑤ 領域②は、表層細粒土層堆積時に、礫層からなる平坦な高まりの外縁(主流と反対側)に位置し、縦断方向に溝状をなす低い河床を持っていた。しかもこの溝は上流部で低水路とはつながらない形状であった。このような地形特性のため、領域②は背水等により洪水時には水裏で死水域に近い状態となり、そこに運ばれた細粒土砂が順次堆積して、厚い細粒土層を形成した。
- ⑥ 領域②に関するこのような水理条件は、1974年には整っており(場所によっては1968年に既に)、したがって、その堆積も領域①の表層細粒土層に比べ古くから起こった。こうしたことから、領域②においては、1974年には安定的に植生が存在していた。

4.3 表層細粒土層形成に伴う立地条件の変化と植生変化との時間的關係

4.3.1 検討のねらいと方法

前節の検討により、表層細粒土層堆積の時間的過程が詳細に明らかになった。そこで、この知見を用いて、3章から推定したように本当に表層細粒土層の堆積が安定植生域拡大の引き金になったかどうかを過去に遡って調べ、3章の推定結果を直接検証する。このために本節では以下の2つのことを行う。1つは、過去の各時期の河床表面状態とその時の繁茂植物との対応関係を調べ、両者の関係が3.2で明らかにした現時点での関係と整合しているかを調べる。もう一つは、4.2.4に示したニセアカシアの樹齢調査結果を用いて、安定植生域を担う代表的な群落種であるニセアカシアの拡大のタイミングと表層細粒土層の堆積のタイミングが対応しているかどうかを調べる。

4.3.2 過去の立地条件と植物群落

表4-2に示す8地点では、1~1.5m程度の深さまで堆積構造がわかっている。また、これと横断測量結果とを対比させることで、各時期の河床表面の材料を推定することができる。一方、植物については、奥田らの植生図により、1977年(永田橋地区)、1976年(日野橋地区)、1983年、1994年に成立していた植物群落を任意の位置について知ることができる。以上の情報を組み合わせることにより、表4-2の8地点について過去の3時点の立地条件(河床表面材料)と植物群落各種類との関係を整理できる。この結果をまとめて表4-4に示す。

(1) 各地点の状況(表4-4参照)

1) 領域①に属する52.6A, 52.4A, 52.4B, 52.2A, 40.8A, 40.6A地点について

これら6地点での河床表面は、1974年洪水後から1981年洪水前まで砂礫であった。これを立地条件として生育している植物は、最初の4地点(永田橋地区)ではカワラノギク群落であり、後の2地点(日野橋地区)では裸地であった。

表4-4 過去の植物群落と立地条件

調査地区	測線 (km)	左岸からの距離と地点名 (m)	地積構造の調査日	掘削深 (cm)	地積群落 (上段) / 河床表面材料 (下段)					その他
					1977年 (永田橋地区) 1976年 (日野橋地区)	1983年		1991年	1997年 (現在)	
永田橋	52.2	151 52.2A	1998.1.14	150	カワラノギク 礫層 (玉石)	ツルヨシ 礫層 (粗礫) 砂層 (細砂)		ニセアカシア 砂層 (細砂)	ニセアカシア 砂層 (細砂)	
		219 52.2B	1998.1.14	110	ツルヨシ 礫層 (玉石)	イヌコリヤナギ 砂層 (粗砂系) 砂層 (微細砂)		オギ 砂層 (微細砂)	ニセアカシア 砂層 (微細砂)	深さ110cm以下は滞水
	52.4	215 52.4A	1997.11.7	135	カワラノギク 礫層 (礫)	ススキ 礫層 (礫) 砂層 (細砂)		ススキ 砂層 (細砂)	ススキ 砂層 (細砂)	1991年の記録上はニセアカシアとの境目
		235 52.4B	1997.11.7	110	カワラノギク 礫層 (礫)	ススキ 礫層 (礫) 砂層 (細砂)		ススキ 砂層 (細砂)	ススキ 砂層 (細砂)	1991年の記録上はニセアカシアとの境目
	52.6	145 52.6A	1998.1.7	120	カワラノギク 玉石層 (玉石)	ススキ 砂礫層 (極粗砂) 砂層 (細砂)		ススキ 砂層 (細砂)	オギ 砂層 (細砂)	
		270 52.6B	1998.1.14	120	ツルヨシ 砂礫層 (極粗砂)	ヨシ シルト層 (微細砂) シルト層 (微細砂)		ニセアカシア シルト層 (微細砂)	ニセアカシア シルト層 (微細砂)	1991年の記録上はツルヨシとの境目
日野橋	40.6	280 40.6A	1997.12.11	100	裸地 礫層 (礫)	ツルヨシ 砂層 (細砂) 砂層 (細砂)		オギ 砂層 (細砂)	クズ 砂層 (細砂)	
	40.8	280 40.8A	1998.1	150	裸地 玉石層 (玉石)	オギ 礫層 (中礫) 砂層 (微細砂)		オギ 砂層 (微細砂)	オギとクズ 砂層 (微細砂)	

1983年洪水の前後で河床表面の材料が変わり、洪水後は表層細粒土層を持つようになった地点が多い。1983年の植生調査は1983年洪水直後の11月から翌年の2月にかけて行われ、調査にあたった曾根は、調査が植生の流出状況を示すものになったと記している[曾根, 1984]。したがって、1983年の植生図に示された植物群落は、単年草の一部 (たとえばコセンダングサなど) を除き、多年草や木本の群落については、1983年洪水による立地条件変化が起こる前の立地に対応していたとすべきである。1983年に生育している植生はツルヨシとススキ、オギ群落であり、いずれも多年草である。したがって、ここでは、1983年洪水前の立地条件と群落とを対応させて整理することにする。このような整理をした場合、40.8kmの280m地点では、3章で表層細粒土層が存在しないと生育しないとされたオギが礫床に存在していたことになる。この解釈として、1982年洪水前に既に細砂上にオギが生育していて1982年洪水時に礫が細砂の上に被ったというものがある。

2) 領域②に属する52.6B, 52.2B地点について

永田橋地区の52.6kmの270mと52.2kmの219m地点は領域②に属し、領域①に属する先の6地点とは、立地条件の経年変化パターンが大分異なる。まず、1974年洪水後から1981年洪水前までにおいて、52.2kmの219m地点の河床は礫床であるが、52.6kmの270m地点では河床に大分砂が混じっている。1977年には2地点ともツルヨシ群落が生育していた。1983年洪水による立地条件の変化は2地点とも小さい。この時の植物群落は、それぞれイヌコリヤナギとヨシである。前述と同様の理由により、1983年洪水前の立地条件で整理を行うこととする。

(2) 比高-堆積厚座標上の各植物群落種の分布に関する過去と現在との比較

表4-4に基づく以上の検討結果を踏まえ、図3-16に示した比高-堆積厚座標上に、過去の時点のデータを重ねてみた。結果を図4-11に示す。

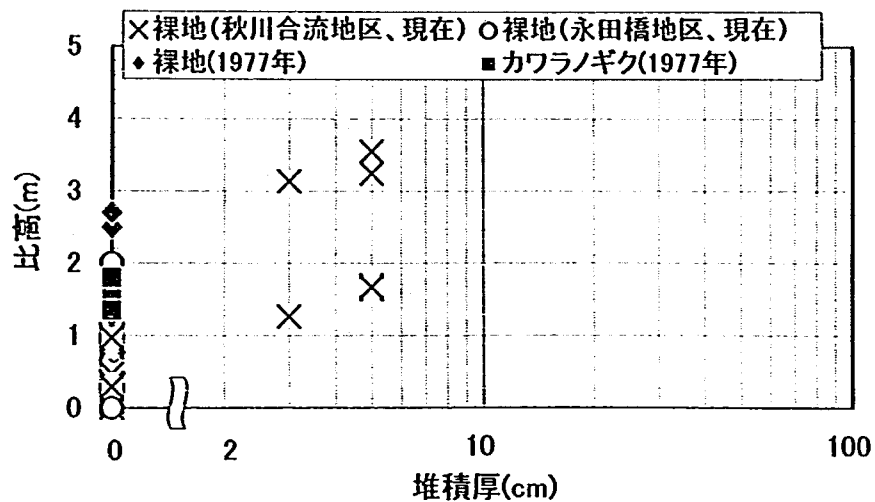


図4-11(a) 比高-堆積厚と植物群落(裸地)

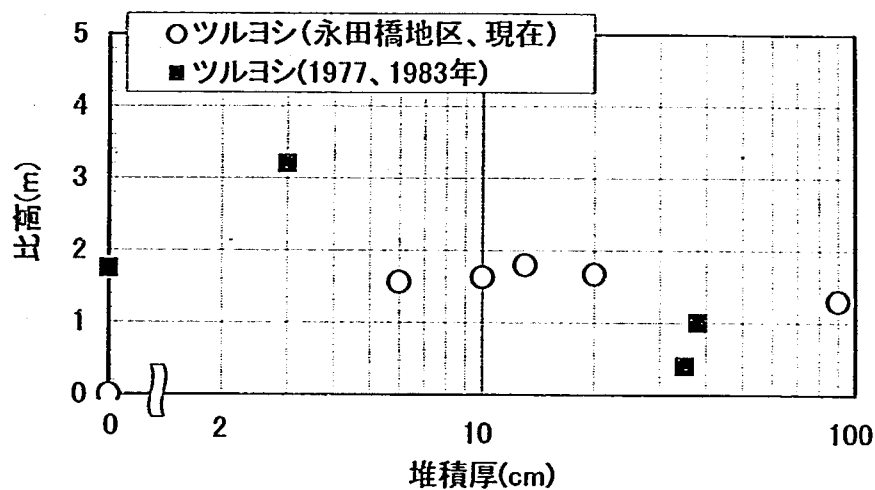


図4-11(b) 比高-堆積厚と植物群落(ツルヨシ)

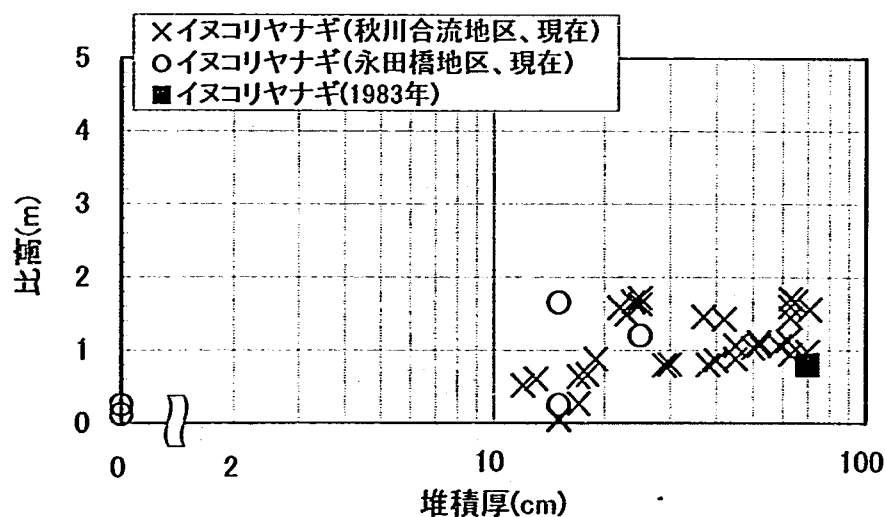


図4-11(c) 比高-堆積厚と植物群落(イヌコリヤナギ)

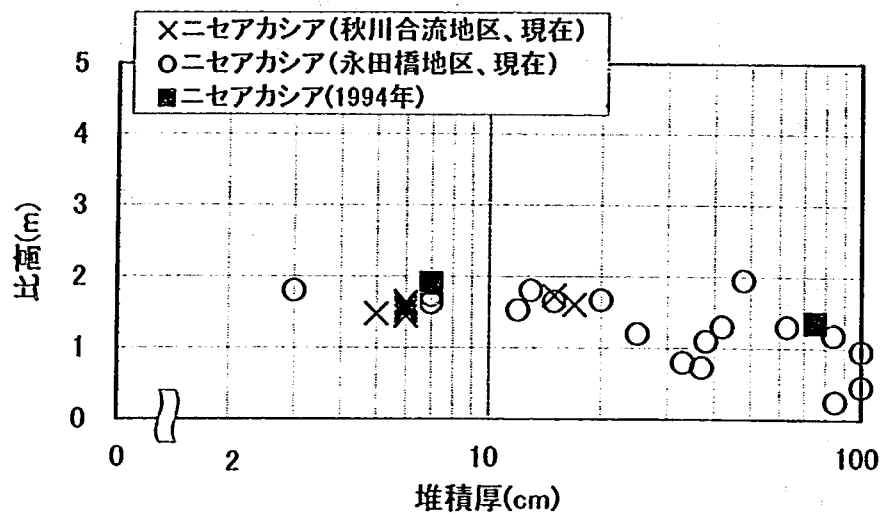


図4-11(d) 比高-堆積厚と植物群落(ニセアカシア)

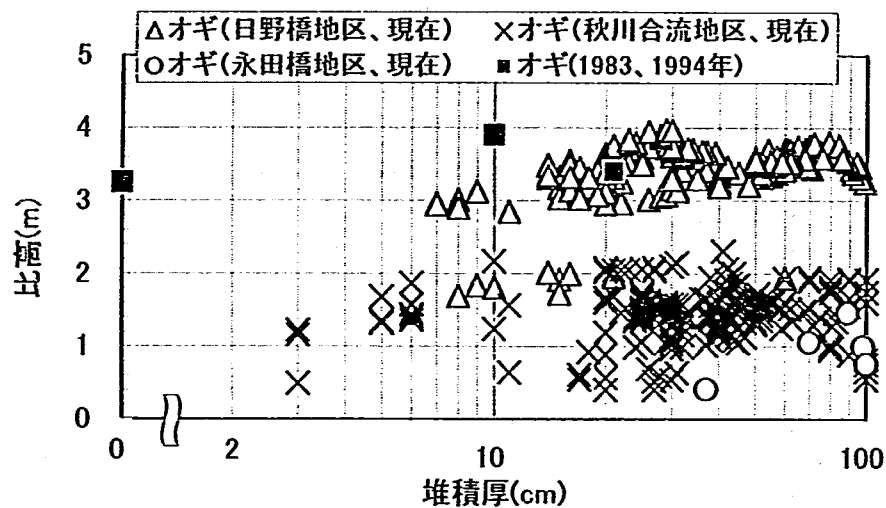


図4-11(e) 比高-堆積厚と植物群落(オギ)

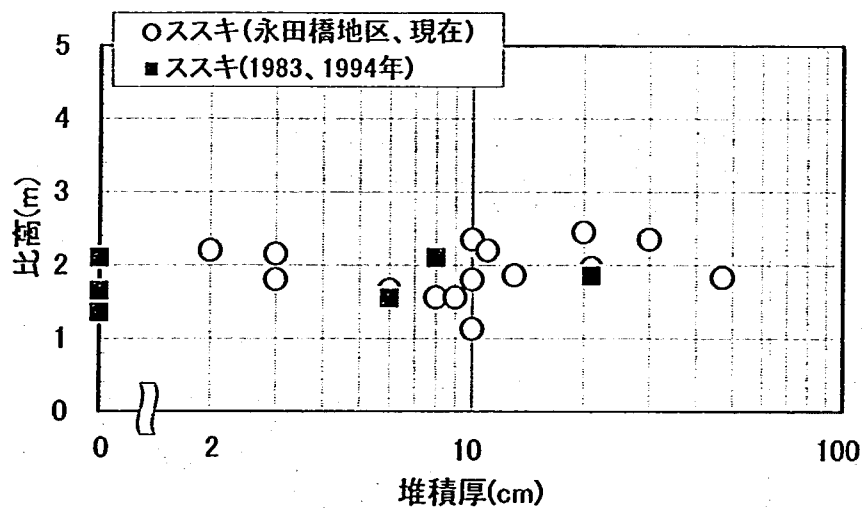


図4-11(f) 比高-堆積厚と植物群落(ススキ)

まず、過去の裸地地点(カワラノギクを含む)は全て表層細粒土層厚が0のところプロットされ、現在の分布域と重なっている。次に過去のツルヨシ地点は、現在に比べややプロットがばらけているが、概ねタイプⅡの分布域の特徴を保持している。過去のイヌコリヤナギ地点のプロットは現在の分布範囲の中に入っている。ニセアカシア、オギについても同様で、過去のプロット点は、現在の分布域に包含される。ススキについては、過去のプロットのうち3点が表層細粒土層厚0の場所に存在することになり、この点が現在の分布範囲と異なっている。しかし、現在のススキの分布範囲も表層細粒土層厚2cmの領域まで伸びており、ススキの生育特性も考慮すれば、過去と現在の分布域が不整合と解釈するよりは、過去と現在のプロット点を合わせてススキの分布域と解釈した方が妥当であろう。

以上から、過去の3時点における各植物群落と立地条件との関係(比高-堆積厚座標図上)は、概ね現時点についての関係と整合している(大きな相違は無い)と言える。過去の時点についての情報は図3-16に示した現時点のものと比べ精度、調査地点数の面で十分とは言えないので、同じ確度で結論づけることはできないが、少なくとも、図3-16、図3-17の関係がこの20年程度の間においても概ね成立していた可能性が高いと判断できる。

なおヤナギについては、種子の発芽時期の立地環境が、その後の成長や群落形成に大いに関係するといわれているので、上述の長い時間スケールでの立地条件の変化と植物群落との関係性を調べるという方法が妥当でない可能性もあるので注意を要する。これは、ヤナギが他の植物と比較して種子寿命が10日間程度と極めて短く、この短い期間において適切な水分条件・温度条件・酸素条件・日照条件が満たされないと発芽できないという特徴を持つためである[たとえば、竹原, 1984]。

4.3.3 ニセアカシア群落の拡大と表層細粒土層堆積との時間的關係

図4-12に、4.2.4に述べた詳細調査地区のニセアカシアの樹齢調査結果から推定されるニセアカシアの成立年の頻度分布を示す。浅野は、永田橋地区のより広域で(51.7~53.2kmの右岸高水敷全域)ニセアカシアの樹齢調査を行っており[浅野, 1996]、その結果も図4-12に合わせて示されている。この図から、ニセアカシアの成立が本格的に始まるのが1981~1983年頃であることがわかる。また、詳細調査地区は表4-1の領域①に当たり、1994年の植生図と図2-7a)との対比から、51.7~53.2kmにおけるニセアカシア繁茂域の多くは領域①に属することが確認されている(図4-3参照)。したがって、図4-12で取り上げたデータのニセアカシア繁茂域では、4.2.6で結論づけたように、1981年から1983年の間に表層細粒土層の堆積が起こり、河床表層材料が礫主体から細砂層に変化していると言える。この結果は、永田橋地区右岸高水敷(領域①)へ表層細粒土層が堆積するのと相前後して、ニセアカシア群落が拡大し始めたことを示すものである。このことは、表層細粒土層の形成がニセアカシア群落拡大の引き金になったことを強く支持するものである。

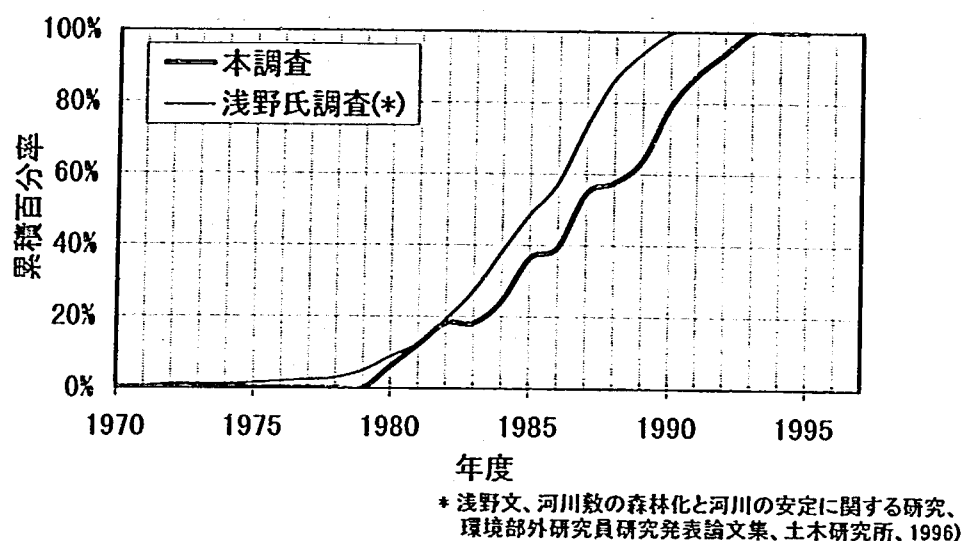


図4-12 ニセアカシア成立年

4.3.4 まとめ

以上4.3.2と4.3.3の検討結果は、「表層細粒土層の堆積が安定植生域拡大の引き金になる」「裸地的地被(タイプI)から安定植生域(タイプⅢ)への移行が起こるために表層細粒土層の形成が不可欠である」という3章の推定結果を強く支持するものである。

4.4 表層細粒土層形成の水理機構

4.4.1 本節の目的

前節までの検討により、安定植生域拡大における表層細粒土層が持つ本質的な役割が明確となった。1981, 1982, 1983年洪水によって永田橋地区と日野橋地区の右岸高水敷(領域①)に表層細粒土層が堆積したことについて水理的説明が得られれば、「表層細粒土層」を軸にした安定植生域拡大の機構が現象の全側面にわたって説明できることになる。そこで、領域①において表層細粒土層が堆積する機構を水理的観点から調べる。

なお検討は永田橋地区についてまず行い(4.4.2, 4.4.3)、次にそれと対比させる形で日野橋地区について考察を行う(4.4.4)。

4.4.2 洪水時の流況

写真4-2に1983年洪水の減水期に撮影された永田橋地区の航空写真を示す。この写真から、低水路から右岸高水敷に拡がる流況を確認することができる。これは、永田橋地区の上流の右岸高水敷が高く、そこでは多くの流量が低水路を流下するのに対し、そこから下流に向かうにしたがって、高水敷が低くなるとともに低水路河積も若干減少するため、低水路を流れていた水が右岸高水敷に溢れ出す形になるためである。このような流況の下では、対象としている高水敷に低水路からの土砂を含む流れが広く流入することになる。そこで、以下では、このような流況、すなわち、洪水時に低水路から高水敷へ一方向的に水と土砂が運ばれる状況を前提に、細粒土砂堆積の水理条件を調べていく。

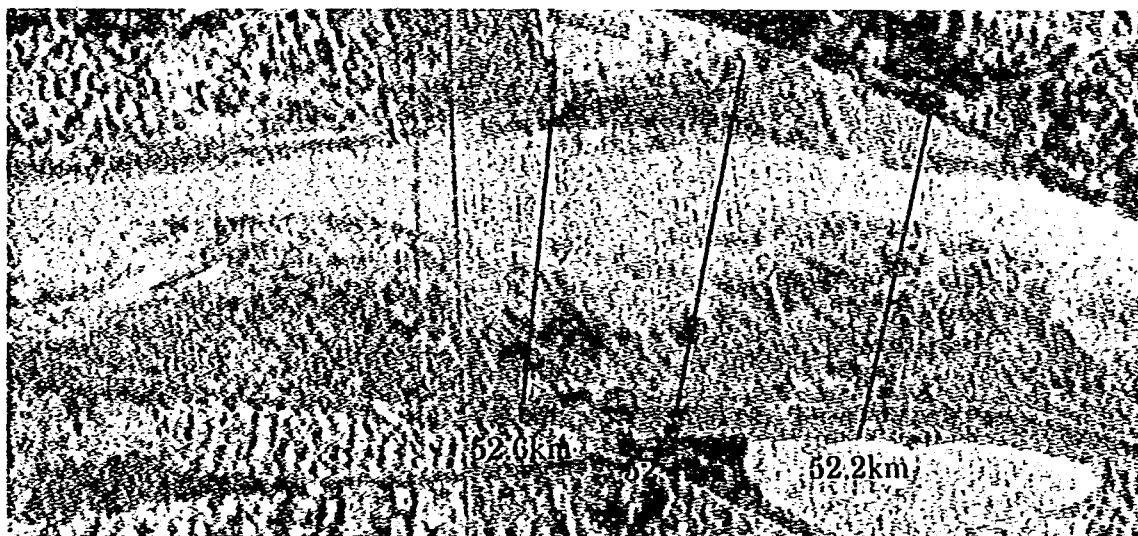


写真4-2 1983年洪水の減水期の状態(永田橋地区)

4.4.3 表層細粒土層堆積の水理機構の仮説と検証

(1) 裸地礫面への堆積が可能であったかの検証

右岸高水敷の代表地点として52.4A (52.4Km測線の横断距離215m) 地点を取り上げ、以下の水理検討を行った。複断面形状や樹木を考慮した準2次元の不等流計算から、代表地点の摩擦速度 u_* を種々の流量について算出した。この計算は次式によった。

$$u_* = \{g (H_{nu} - z_{nu}) I_{enu}\}^{1/2} \quad \dots (4.1)$$

ここで、 g ：重力加速度、 H_{nu} ：不等流計算水位、 z_{nu} ：当該地点の河床高、 I_{enu} ：不等流計算によるエネルギー勾配、である。この u_* を用いて、粒径0.15mmの土砂が礫面を完全に覆っているとした場合の基準面平衡土砂濃度 C_a を算出した。次に、代表地点における土砂濃度 C をやはり流量との関係で設定した。この際、以下の3つ仮定を設けた。①ここで対象としている平均粒径0.15mmの細砂は、ウォッシュロードあるいはウォッシュロード的に挙動する土砂の一部とみなせる。②4.4.2で述べた流況から、低水路を流下してきたウォッシュロードはほぼそのまま当該地点に流入すると考えられることから、代表地点でのウォッシュロード濃度は主流部(低水路)の土砂濃度に等しいと近似できる。③ウォッシュロードのうち、対象土砂(平均粒径0.15mmの細砂)の濃度 C (断面平均)は流量 Q と、 $C = \alpha Q$ の関係を持つ。 α 値については情報がほとんどないので(とりわけ特定の粒径範囲に関しては)、河川の多くの地点における全SS濃度と流量との関係に関する既存の実測資料[建設省河川局監修、日本河川協会編、1997、14章、pp.282]を参考に、 $\alpha = 2.0 \times 10^{-7}$ (以後、濃い条件と呼ぶ)、 $\alpha = 2.0 \times 10^{-8}$ (以後、薄い条件と呼ぶ)の2ケースを設定した。この設定の詳細については付録3を参照されたい。

以上から、式(4.2)により堆積速度 R_D が計算される。

$$\left. \begin{aligned} R_D &= (C_b - C_a) w_0 / (1 - \lambda) & (C_a < C_b \text{の時}) \\ R_D &= 0 & (C_a \geq C_b \text{の時}) \end{aligned} \right\} \quad \dots (4.2)$$

ここで C_b は底面濃度であり、式(4.3)～(4.5)で η を介して鉛直平均濃度 C と結びつけられる。なお、本検討は堆積が可能であったかを調べることを目的としているので、負の R_D 値は想定していない。また、 w_0 ：対象土砂の沈降速度(対象とする細粒土砂の粒径 $d_{15} = 0.15\text{mm}$ より、 0.0167m/s とおいた)、 λ ：堆積土砂の空隙率(0.4とおいた)である。

$$C_b = \eta C \quad \cdots (4.3)$$

$$\eta = 6Z / \{1 - \exp(-6Z)\} \quad \cdots (4.4)$$

$$Z = w_0 / (\beta \kappa u_*') \quad \cdots (4.5)$$

ここで、鉛直混合に関する拡散係数と渦動粘性係数の比 β を1、カルマン定数 κ を0.4とおく。なお η については、1を大きく越える場合、ウォッシュロード的流送形態としての特徴を失い、着目している代表地点のごく近傍だけの堆積を議論していることになり、本検討の目的(広範囲での表層細粒土砂堆積の水理メカニズム)からは無意味となるので、 $\eta > 3$ の場合 $\eta = 3$ に固定した。なおこのような状況が起こるのは、ここでの計算対象の場合、水深が10cmのオーダーのごく薄い場合に限られる。洪水ハイドロに起因する R_D の時間変化から、堆積厚 D_{ts} は、次式により計算される。

$$D_{ts} = \int R_D dt \quad \cdots (4.6)$$

図4-13に、1983年(出水期前)河床形状を用いて計算した $(C_a \cdot w_0)$ 、 $(C_b \cdot w_0)$ と流量 Q との関係を示す。なお、1981, 1982, 1983年洪水のピーク流量は、それぞれ1200 m^3/s , 2100 m^3/s , 1100 m^3/s 程度である。この図から、対象土砂の堆積が可能となる条件 $(C_a \cdot w_0 < C_b \cdot w_0)$ は、流入土砂の濃度条件が濃い薄いによらず、3洪水のピーク流量よりはるかに小さい非常に狭い流量範囲(高水敷水深が数十cm程度以下に相当)にしか存在しないことがわかる。流量がこの範囲にある間に堆積する厚さは、たとえば1982年洪水の減水期において流入土砂が濃い条件でも1mmに満たないという計算結果となった(流量設定等の計算の詳細は付録1参照)。以上から、植生が無い裸地礫床面を想定した場合、実際に起こった広範囲での表層細粒土層形成は水理的に説明できないと言える。

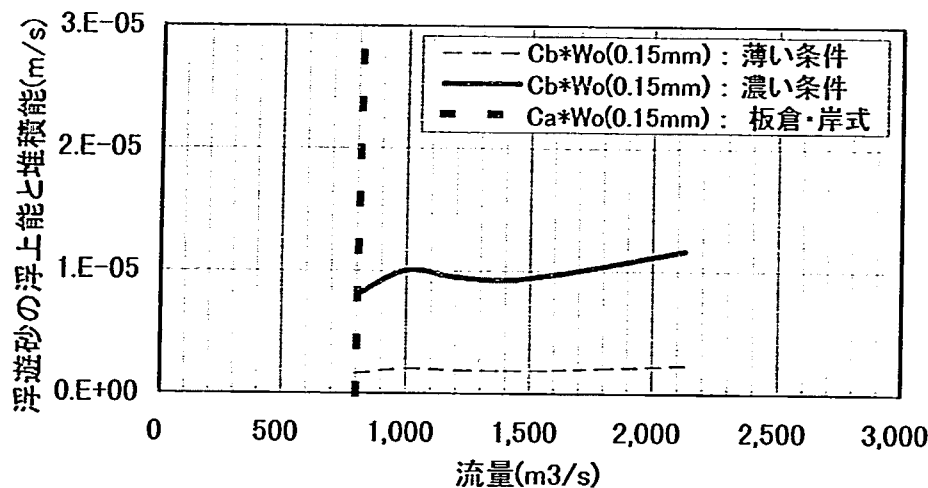


図4-13 代表地点の浮遊砂の浮遊能と堆積能(52.4-A地点)

(2) 植生を持つ礫面への堆積が可能であったかの検証

a) $C_a=0$ の仮定を設けての検討

礫面に何らかの植物が繁茂していたと想定した場合に対象土砂が有意に堆積する可能性を調べる。まず、礫面上の植生層による底面流速の低減により $C_a=0$ になったと仮定し、基本的には(1)に述べたと同じ方法で、代表地点での1982年洪水の一ハイドログラフによる対象土砂の総堆積厚を計算した(なお、 $C_a=0$ の仮定の妥当性についてはb)で後述する)。ただし、(1)に述べた方法により得られる堆積厚さの計算値は、細粒土砂が流入する最上流端でのものであり、堆積厚は下流に向かって減少することになる。(1)の検討では最も堆積しやすい条件でも実際に起こるような堆積が生じ得ないことを示せば良かったが、本検討で

は、広範囲に起こった表層細粒土層の堆積が植生の存在によりはじめて可能になることを示そうとしている。このため、ここでは、以下のように、細粒土砂の高水敷への流入の最上流端だけでなく、そこから下流に向けての堆積厚の減少も合わせて計算し、堆積が広範囲に起こりうるかも併せて調べられるようにする。

対象にしている高水敷状河床の流れについて等流を仮定し、細粒土砂濃度の鉛直分布が局所平衡を保つと仮定すると、土砂に関する連続の関係から次式が得られる[塚原・藤田・望月, 1997]。

$$v(dC/dx) = -\sigma w_0 C_b / h \quad \cdots (4.7)$$

ここで、 x ：流下方向の座標、 v は鉛直平均流速、 h ：水深、である。また、 σ は、浮遊砂巻き上がり（浮上能）の植物による抑止効率（細粒土砂の捕捉効率）を表すために導入した係数であり、 $1 \sim 0$ で変化させる。植物により完全に $C_a=0$ となる場合は $\sigma=1$ となる。一方、そうでない場合、たとえば $\sigma=1/2$ の場合は、 $C_a=0$ の場合に期待できた堆積速度 $w_0 C_b$ のうち半分が再浮上し、結果として堆積速度が $1/2 w_0 C_b$ に落ちる状況に対応する。 σ を導入したのは、実際の河床面には植物が空間的に一様に繁茂していない場合があり得ること、あるいは植物の底面流速低減効果が $C_a=0$ の条件を作り出すには至らない場合があり得ることを想定し、実際に起こり得る幅の広い条件で堆積厚の計算を行いたかったからである。

上式と式(4.3)を連立させ、 $x=0$ で $C=C_0$ という境界条件を用いると、次式が得られる。

$$C = C_0 \exp\{- (\eta \sigma w_0 \cdot x) / (hv)\} \quad \cdots (4.8)$$

$$C_b = \eta C_0 \exp\{- (\eta \sigma w_0 \cdot x) / (hv)\} \quad \cdots (4.9)$$

$x=0$ での C や C_b が前記(1)で扱ったものに相当する。このことから C_0 は当然次式により与えられる。

$$C_0 = \alpha Q \quad \cdots (4.10)$$

堆積速度 R_D は式(4.11)から、堆積厚 D_s は式(4.6)から計算される。

$$R_D = C_b \cdot \sigma w_0 / (1 - \lambda) \quad \cdots (4.11)$$

以上により、細粒土砂の堆積厚とその流下方向変化が算出される。

前記(1)の条件設定を踏襲して堆積厚の流下方向分布を求めた。鉛直平均流速 v は次式により求めた。ここで n はマンニングの粗度係数であり、 $n=0.045$ とした。

$$v = (1/n) \cdot (H_{nu} - z_{nu})^{2/3} \cdot I_{enu}^{1/2} \quad \cdots (4.12)$$

また、 $h = H_{nu} - z_{nu}$ である。 σ については、 1 、 $1/2$ 、 $1/4$ の三種類を設定した。その他は、前述(1)と同じ方法で計算を行っている。1982年洪水についての堆積厚の計算結果を図4-14に示す（流量設定等の計算の詳細は付録1参照）。この図から、植物の細粒土砂捕捉効率 σ が相当大的な影響を与えることがわかる。 α について濃い条件を設定した図4-14a)を見ると、 σ が 1 に近い、すなわち密な植生が空間に一様に繁茂している場合、最大の堆積厚は60cm以上に達しているが、有意な堆積厚（たとえば3cm以上）が見られる範囲は100mをやや下回る。一方、 σ が $1/4$ になる、たとえばある小区画を見たとき植物の被覆率が $1/4$ でしかない場合、（空間的に均した）最大堆積厚は10cm程度となるものの、3cm以上の堆積厚の範囲は250mに及ぶ。また同図b)から、 α について薄い条件を設定すると、 α 値が小さくなる分だけ、堆積厚が小さくなることがわかる。以上から、細粒土砂の堆積に及ぼす σ と α の影響が大きいことが明確になった。

さて、以上の結果を前記(1)の結果と比較すると、 σ と α に不確かな部分があるとはいえ、河床面が植物を持つことにより細粒土砂を捕捉する能力が備われれば、植物が無いときに比較して、観察されたような表層細粒土砂堆積が起こる可能性が非常に高まると言える。特に、図4-14a)の計算結果が示す分布範囲は、

1982年洪水だけの計算であるにもかかわらず、実際に領域①で生じた表層細粒土砂の堆積と、拡がりにおいても厚さに関しても同じオーダーを持つ。以上を総合すれば、植物の繁茂により $C_a=0$ またはそれに近い条件が出現することは、実際に起こった表層細粒土層堆積の水理的説明に十分なり得ると判断できる。

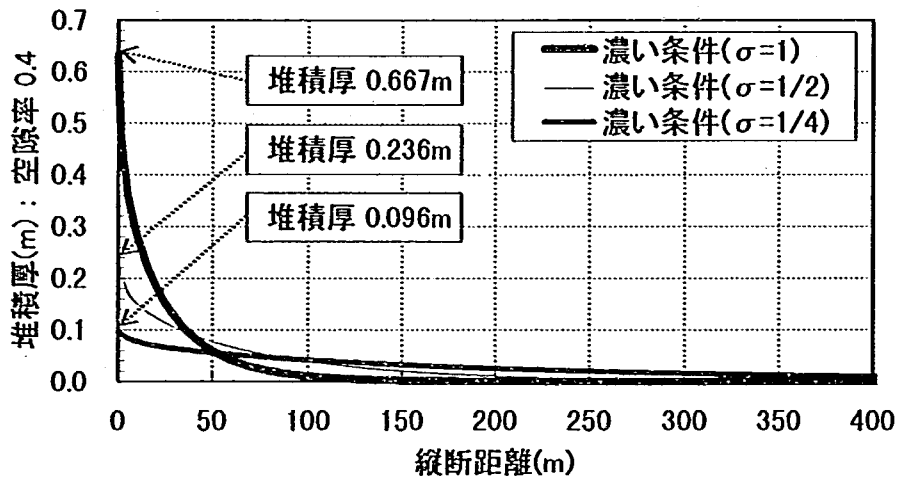


図4-14(a) 縦断方向の堆積厚分布(ウォッシュロード供給が濃い条件)

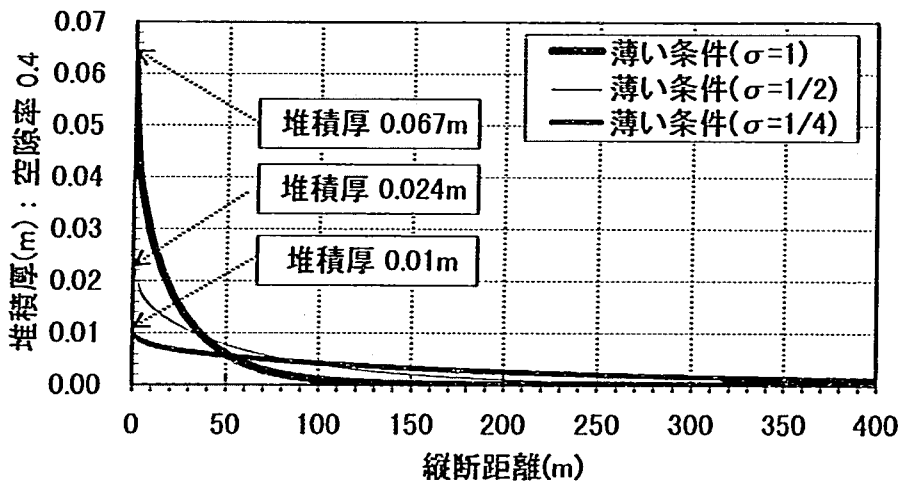


図4-14(b) 縦断方向の堆積厚分布(ウォッシュロード供給が薄い条件)

b) $C_a=0$ という仮定の妥当性の検討

次に、上記の $C_a=0$ という仮定の妥当性を検討する。図4-15には、多摩川と千曲川、利根川、鬼怒川、小貝川の代表地点で行った植物群落の形状調査に基づき推定した透過係数 K 値の大体の幅を示している[藤田・渡辺・李・塚原, 1998]。透過係数 K は、流速を v 、エネルギー勾配を I_e と置いたとき、 $v=K(I_e)^{1/2}$ で定義される。なお図中の K 値は、流れによる倒伏により植物高さが $1/4$ になった状態までを想定している。一方、基準面濃度式[Itakura・Kishi, 1980]から判断すると、概ね $u_* / w_0 < 1$ が満たされると $C_a=0$ の条件が成立すると言える。そこで、対象土砂について、 $u_* = K(I_e)^{1/2} / \phi$ を用いて、 $u_* / w_0 = 1$ となる K 値(以後 K_c 値と呼ぶ)を求め、図4-15中に示した。ここで、 ϕ は流速係数であり、 $\phi=13$ とした。流量によって I_e が少し変化するので、 K_c 値は幅を持って表示されている。 $K < K_c$ が $C_a=0$ の条件に対応することを理解して図4-15を見ると、調査した代表地点の植物群落については、カワラノギク群落など K 値が大きい(密生度が低い)一部の群落を除くと、植物の存在により $C_a=0$ の条件が作られる可能性が充分あると判断できる。

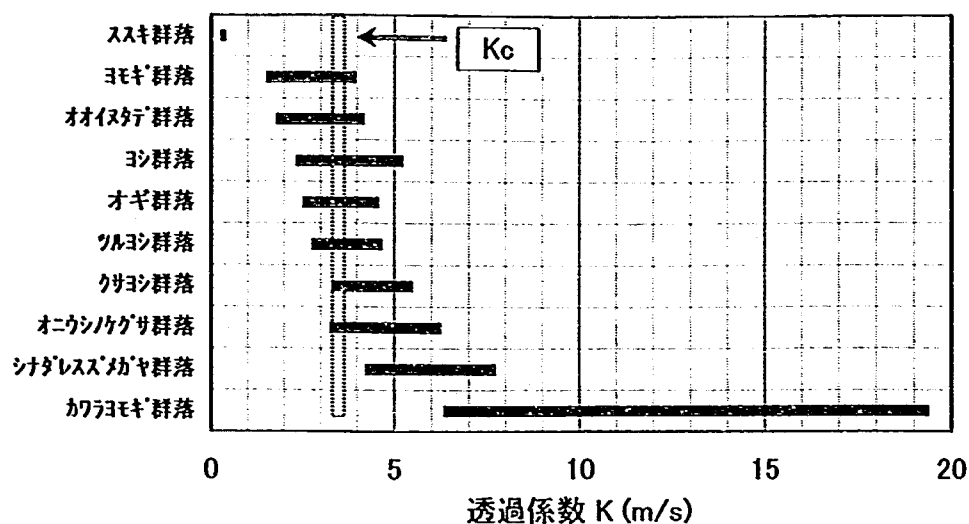


図4-15 各植物群落のK値の推定結果

図4-16は、表層細粒土層厚の横断分布の拡大図に、1983年(11月から翌年の2月にかけての調査に基づく)の植物群落の分布を重ね合わせたものである。この図から、52.4km測線の表層細粒土層が無い範囲(横断距離190m地点付近)は裸地(植生無し)に当たり、また、52.6km測線の表層細粒土層厚が薄い範囲(横断距離140~170m地点辺り)はカワラノギク群落に当たることがわかる。そして、数十cmの厚さを持つ表層細粒土層が存在する場所では、主にススキ群落とツルヨシ群落が繁茂している。このことは、植物の有無やK値の大きさと表層細粒土層厚がよく対応していることを示している。

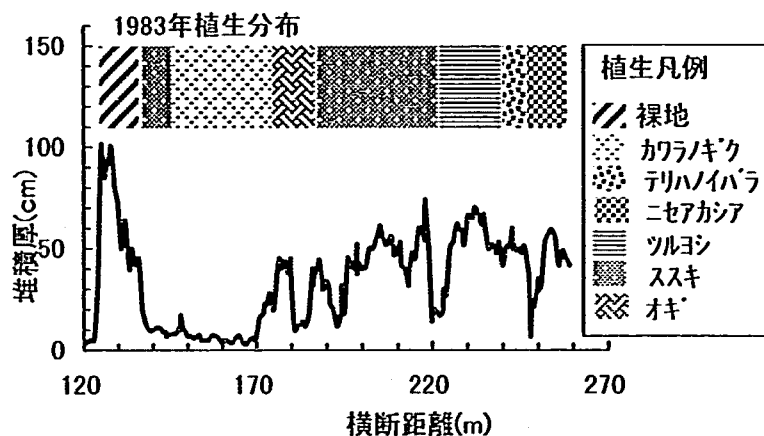


図4-16(a) 表層細粒土層厚と堆積時点の植生横断分布(52.6km)

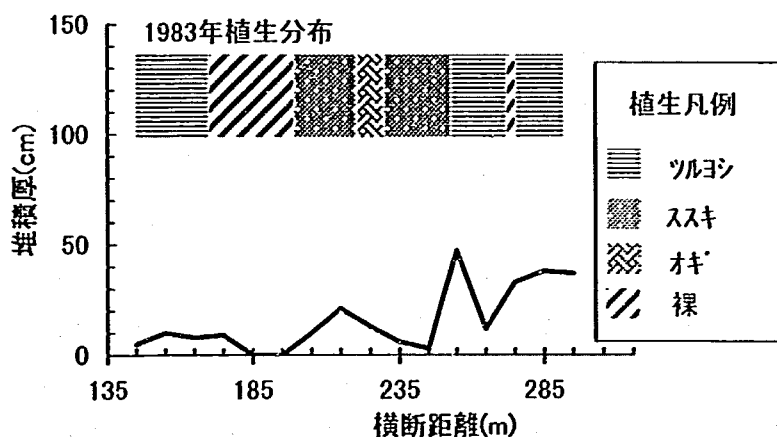


図4-16(b) 表層細粒土層厚と堆積時点の植生横断分布(52.4km)

以上により、礫面における植生繁茂を想定すれば、対象土砂の堆積を水理的に説明できること、そうした植生繁茂が実際にあった可能性が高いことが示された。

(3) 礫面上に繁茂した植生が流失しなかったかの検証

対象土砂の堆積を水理的に可能にする植物が洪水前の礫面にあったとしても、洪水により流失してしまえば、その効果は期待できない。洪水による植物流失の主な原因は植物の基盤である河床表層材料の移動(特に侵食傾向の)であると考えられ、永田橋地区でもそのような観察がなされている[李・渡辺・望月・藤田・塚原, 1997]。このことから、対象3洪水のピーク時に河床表層材料が大規模に移動し得たかどうか、植物流失の可能性を判断する上で最も重要な情報と考えられる。

そこで、まず、代表地点52.4A(52.4km測線の横断距離215mの地点)における堆積構造を見ると(図4-4参照)、対象3洪水の発生直前(1981年出水期前)の礫表面は、4.2.3(2)1で述べたように、第Ⅳ層であったと判断できる。Ⅳ層の粒径は1~30cmとかなり大きな礫を持つ。最も大きな1982年洪水のピーク時に発生した代表地点付近の摩擦速度は0.23m/s程度である。Ⅳ層の平均粒径を15cmとおくと、無次元掃流力は0.022となり、限界掃流力をはるかに下回る。実際には、(2)で扱った植物の流速低減効果により、表層礫はさらに動きにくかったと推定される。

以上から、代表地点の表層礫が対象3洪水により大規模に移動させられる水理条件は成立しておらず、洪水前、礫面上に植物があった場合、それが全面的に流失することは無かったと判断できる。

4.4.4 日野橋地区と永田橋地区との比較

日野橋地区については、本章で対象としている40.5km測線付近より上流側については、河道形状が縦断方向に大きく変化しているので、永田橋地区について行ったような一次元的な水理分析には適していない。そこで、永田橋地区についての4.4.3の分析結果を踏まえて、日野橋地区における水理機構について定性的に論じる。特に、ここでは、40.5km測線付近を境にした上下流の河床地被状況の違いについて考察する。

2.3.1(3)で述べたように、40.5km測線付近の上流側では、永田橋地区と同様に、1974年(出水期後)に裸地が主体であったが1983年以降安定的な植生が全面的に存在するようになった。一方、40.5km測線付近の下流側では、永田橋地区と異なり、奥田らの1976年植生図に[奥田・曾根・藤間・富士, 1979]既に安定的な植生域が全面的に存在し(図2-17)、写真2-3には1968年からそれが認められる。すなわち、下流側では、上流側よりもずっと早く安定植生域の拡大が起こっている。この主たる原因として、下流側での複断面化の進行が上流側そして永田橋地区よりも早かったことがあげられる。たとえば、図2-13の40.4km(1968年に認められる上記の植生域はこの測線をまたぐ)の横断図を見ると、1968年には複断面形状が現れているのに対し、40.6kmと40.8kmの測線における1968年の河床横断形は全体的に見て平坦である。複断面形状が進めば、少々の洪水が起こっても4.4.3(3)の仮説が成立し、植物が破壊され裸地に戻る可能性、頻度が減る。具体的には、1974年の大きな洪水に対して、上流側河床は平坦状であったため、大きな掃流力が働き、礫の移動とともに植生の破壊、礫床裸地の形成が起こったのに対し、既に複断面化が進行していた下流側では、同じ洪水時に高水敷的河床部分(右岸側)に発生していた掃流力が小さく、既に繁茂していた植物を破壊するに至らなかったと推定される。すなわち、1974年洪水に際し、上流側河床では4.4.3(3)の仮説が成立せず、下流側では成立していたという推定である。4.4.3の結果を基に以上のように考えると、日

野橋地区の40.5km測線付近を境にした上下流の植物動態の違いが説明できる。

4.4.5 まとめ

研究対象地区は扇状地河道でかなりの急勾配であるので、礫床裸地に細粒土砂が有意な厚さで堆積することは複断面効果を前提にしてもあり得ないが、河床に一定以上の密生度(透過係数Kが一定以下)を持つ植物が繁茂していれば、実際に起こったような表層細粒土層の堆積が起こる。また、規模の大きな洪水に際しても、複断面化がある程度進行していれば、対象としている高水敷的河床上に作用する掃流力が小さくなり、そこでの礫移動に伴う植物破壊からはのがれられる。永田橋地区の表層細粒土層については、以上の水理機構による堆積の説明が定量的に可能であり、日野橋地区についても同様の水理機構により少なくとも定性的な説明が可能である。

4.5 安定植生域拡大のシナリオ

4.5.1 シナリオ

以上の調査・分析結果を総合することにより、多摩川の永田橋地区(52.2～52.6km)、日野橋地区(40.5km測線付近より上流)の領域①(表4-1, 写真4-1, 図4-3)における安定植生域拡大のシナリオが図4-17に示す通り提示できる。

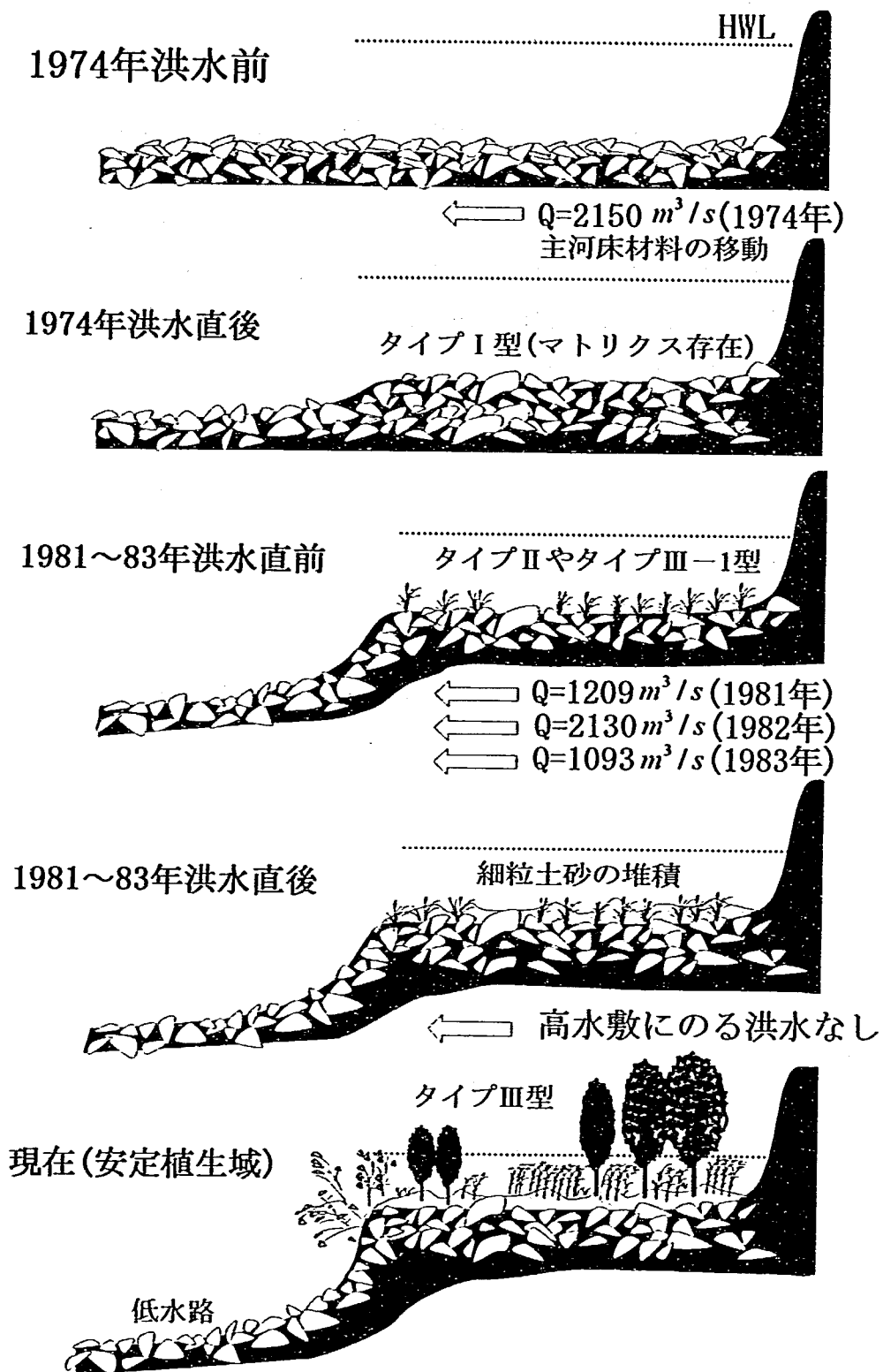


図4-17 安定植生域拡大のイメージ

- ① 1974年洪水により永田橋地区の右岸側に粒径1~30cmの礫を主体とする材料が堆積し、それ以前比較的平坦であった河床横断形状がやや複断面的になった。この段階で、上記の右岸側堆積域に植生はほとんど無かった。
- ② 1975年~1980年にかけて、左岸の落筋部がやや低下し、複断面化が明確になりつつあった。この間に、高水敷状となった右岸河床部が冠水する洪水は生じなかった。

- ③ 上記②の時期に、高水敷状となった右岸河床部にタイプⅠ（裸地を除く：カワラノギクなど）、タイプⅡ（ツルヨシなど）のように表層細粒土層を必要としないか、タイプⅢ-Ⅰ（ススキ）のように、薄い表層細粒土層があれば繁茂できる植物が群落を広範囲に構成した（本拡大過程においては、“バイオニア的”植物と言える）。ただし、裸地のままの場所も部分的に残った。
- ④ 1981, 1982, 1983年洪水により、右岸河床部が冠水し、ウォッシュロードが流入し、上記③の植物が繁茂している場所に有意な細砂堆積（表層細粒土層の形成）が起こった。なお植物が無い場所には細砂堆積は起こらず、カワラノギクなど密生度が低い植物繁茂範囲の堆積厚は薄かった。
- ⑤ 3洪水が発生する前に繁茂していた植物の基盤である1~30cmの礫は、この3洪水によって広範囲に移動することはなく、これらの植物は洪水中大規模な流失を起こさなかった。
- ⑥ 1984年以降（速ければ1982年以降）、こうして形成された表層細粒土層にタイプⅢの植物群落が定着し始め、急速に拡大した。
- ⑦ なお、これと並行して、左岸低水路部の河床低下が速まり、複断面化が一層明確になった。
- ⑧ 1984年以降、右岸高水敷が冠水する洪水は起きていなので、そこでの立地条件に大きな変化はなく、上記⑥の過程が基本的には現在に至るまで継続している。ただし、最近は、図3-18の右下に示す生物的遷移が起こり始めている。

4.5.2 シナリオ成立の可否を支配する要件

このシナリオにしたがって安定植生域の拡大が起こるには、以下に示すような条件を満たす必要がある。

- ・ 条件1) 表層細粒土層が無く、礫が露出した河床面に、比較的早くタイプⅠ、Ⅱ、Ⅲ-Ⅰのようなパイロット的植物が定着すること。
- ・ 条件2) 上記1)の植物群落が、当該地点で細砂粒径以下を堆積させる水理条件を作り出すこと。
- ・ 条件3) 上記2)の水理条件のもとで有意な表層細粒土層が形成されるに見合った細砂を中心とする材料が上流からウォッシュロードあるいはウォッシュロード的挙動をする土砂として供給されること。
- ・ 条件4) 対象期間中に、上記1)の植生が流失するような礫床の大規模な移動が起こらないこと。

以上のうち、条件1)すなわち、裸地礫面における植物の再生速度を予測する確立された手法はないが、礫床表面の状態（透かし礫層の有無、マトリクスが存在状態、マトリクス中のシルト含有率）が現象の物理的な側面では重要と考えられる[渡辺・藤田・塚原, 1998]。条件2)については、代表地点における植物群落のKと当該地点のエネルギー（河床）勾配との関係に着目することにより（4.4.3(2)参照）、その成立の可否が判断できると考えられる。条件3)は、安定植生域拡大の活性度と流域特性（細粒土砂供給多寡につながる）との強いつながりを示唆するものである。条件4)成立の可否は、洪水流量の頻度分布、当該地点に作用する掃流力と無次元掃流力の頻度分布により判定できると考えられる。

第5章 安定植生域の消長を予測する枠組みの提示 －河川管理への応用を目指して－

5.1 本章のねらいと概要

第1章で述べたように、礫床河道における安定植生域の消長（逆に表現すれば礫床裸地あるいはそれに近い地帯を持つ領域の消長）は、粗度変化に直結することから、治水上重要な現象である。また、安定植生域の消長は、それ自体が自然環境の変化であると同時に他の生物にとっての生息環境にも大きな変化をもたらすことから、河川における自然環境の保全を考える上でも鍵となる現象である。安定植生域の消長が持つこのような重要性を適切に考慮して河川管理を行うためには、少なくとも何らかの形で、安定植生域の消長を予測する技術が実務に適用されやすい形で提供されなければならない。

本章では、こうした課題意識の下、まず、第4章までに明らかになった安定植生域拡大の過程とその機構を忠実に反映させ、これに洪水による植生流失メカニズムを加えることにより、安定植生域の消長を予測するモデルを構築する(5.2.1, 5.2.2)。この予測モデルを、本研究で取り上げた多摩川永田橋地区の右岸高水敷に適用し、そこでの安定植生域の消長を計算し実態と比較することにより、モデルの有効性を確認する(5.2.3)。本予測モデルは、以下で詳述するように、河道における植物の動態を一つの切り口からとらえたものであって、関係する現象すべてを精緻に記述するレベルまでにはだいぶ距離がある。そこで、河道内の植物動態に関わる数多くの現象の中で本予測モデルが扱っている範囲や位置づけを論じることで、本モデルの力点、限界、それを踏まえての本モデル利用の方向性について述べる(5.2.4)。以上により予測モデルの有効性や性格を明確にした上で、最後に、予測値に影響する種々のパラメータについて感度分析を行う(5.3)。この感度分析の目的は、1) 今後、河道における植物動態の予測の質を高めていく上で重要となりそうな（したがって現象解明や定量記述のレベルを上げる必要がある）現象（過程）を特定し、予測モデル発展の方向性をさぐることで、2) 予測モデルから得ることができる情報が河川管理上必要な情報とどうつながるかを考察し、こうした予測モデルを河川管理に役立てる方向性をさぐることで、3) 以上を合わせて、河川管理への応用を意識した予測の枠組みを提示すること、である。

なお、本研究のタイトルが示すように本章の対象も礫床扇状地河道である。以下に述べる予測モデルも、礫床扇状地河道を扱っているために成り立つ事項に依存している部分が多い。こうした観点からの本モデルの位置づけも5.2.4で議論する。

5.2 安定植生域の消長を予測するモデルの構築

5.2.1 モデルの構成

安定植生域の消長にかかわる現象を次の4つの過程に分け、それぞれについて定量記述の手法を当てはめ、それらを統合して予測を行う。

- ① 河床変動と礫床裸地の形成：洪水により有意な河床変動が起こり、前と異なる形状を持つ河床が形成される。河床表面は礫床で裸地である。
- ② バイオニア的植物の繁茂：裸地の礫床面に、大きな立地条件の変化を伴わず発芽・定着できる植物が先

駆的に繁茂する。これを、ここではパイオニア的植物の繁茂と呼ぶ。多摩川の研究対象地区では、表3-4のタイプⅡ、Ⅲ-1の植物群落がこれに当たる(タイプⅢは3章において安定植生域を構成する群落としているが、その中でもⅢ-1はパイオニア的役割を果たす可能性があるので、Ⅲ-1(具体的にはススキ)だけはここに入れている)。植物繁茂という点では、表3-4のタイプⅠに属する群落も先駆的に繁茂するものと言える。しかしその中には、4.4.3で述べたように、次の③の過程である表層細粒土層の堆積に寄与しないほど密生度が低いものが多く含まれると考えられるので、ここで言う「パイオニア的植物」には入れていない。ここでの「パイオニア的植物」は、来るべき表層細粒土層の堆積に寄与できる植物だけを対象にしていることになる。

- ③ 表層細粒土層の堆積と安定植生域の形成：これは、前記②の状態のところに洪水が作用し、表層細粒土層が堆積する過程である。実際には、表層細粒土層の形成と安定植生域の形成(多摩川の研究対象地区で言えば、表3-4のタイプⅢ-1やⅢ-2の植物群落種の繁茂)との間に時間遅れがある。しかし、表層細粒土層を持つ河床面は、礫床裸地に比べ植物繁茂に極めて有利な条件であり、前記②の過程に要する時間に比べ遅れも小さい(1年程度)と考えられる。そこで本予測モデルでは、表層細粒土層の堆積をもって安定植生域の形成とみなすことにした。
- ④ 洪水による植物の流失(植生の立地条件の攪乱)：洪水は、その作用が一定の強さを越えると、③のように細粒土砂を堆積させるのではなく、繁茂している植物を流失させ、前記②および③の状態を再び裸地の状態に戻す。④はこの過程を指す。植物の流失は多くの場合立地の攪乱(河床材料移動や侵食)を伴う(すなわち植物だけが抜けることは多くない：これについては5.2.2(4)に詳述する)ことを考慮し、表層細粒土層がある場合にはそれも一緒に流失するとする。したがって本モデルでは、過程④の後には再び礫床裸地が現れることになる。なお、本過程では、表面付近の河床材料は動くが、有意な河床変動は起こらず、河床形状は概ね変わらないとする。有意な河床変動を伴う植物流失は前記の過程①に入る。

以上の過程のうち②～③は、4.5で述べた安定植生域拡大のシナリオに忠実に従ったものである。①と④は河道内植生の動態を扱う上で欠くことのできない過程である。

5.2.2 モデルにおける各過程の具体的取り扱い

(1) 河床変動と礫床裸地の形成(過程①)

本予測モデルでは、この過程の結果形成される礫床裸地の河床を所与の条件とし、以後、残りの②③④の過程により起こる安定植生域変化の計算を行う。この間、河床形状の有意な変化は起こらないとする。河床形状の変化の影響は、計算途中で所与の条件である河床形状を変え、計算を続行することで考慮される。また、種々の河床形状を与えて計算した結果の比較から、河床形状の違いが安定植生域の動態に与える影響を考慮できる。以上の取り扱いは、河床変動計算を本モデル内に含めるのではなく、外に出したことに相当する。

また、本予測モデルでは、所与の条件として与える礫床裸地の河床形状を図5-1に示すような縦断方向一様の複断面形状とし、高い方の河床部分における安定植生域の変化を計算対象にする。これは、4章までで扱った多摩川の研究対象地区の条件を最も単純な形で表したものである。もちろん、より複雑な河床形状を所与の条件とすることも原理的に可能であるが、このような最も基本的な条件設定によっても、安

定植生域の消長にかかわる主要な要因をもれなく考慮でき、条件が単純な分だけ現象や各要因の影響度の本質的理解にとってはむしろ有利となる。こうしたことを重視して、図5-1に示す単純だが基本的な条件設定を採用した。

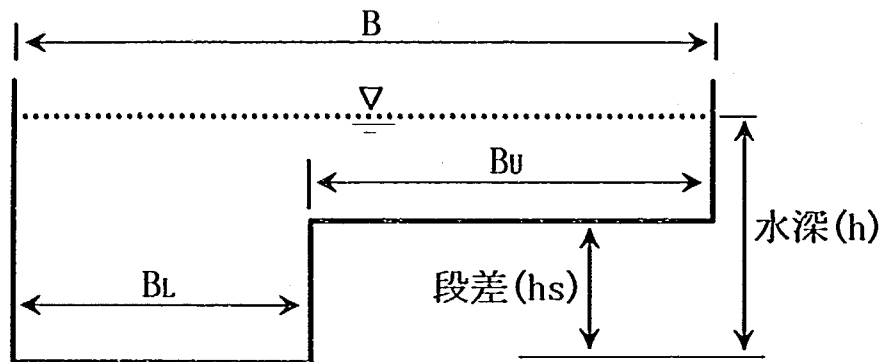


図5-1 予測モデルで想定した河床横断形状

(2) バイオニア的植物の繁茂 (過程②)

礫床の裸地が形成されてから (過程①あるいは過程④)、過程④が起こらない条件で時間 T_{pr} が経過した後、バイオニア的植物が繁茂し始めるとする。本予測モデルでは、バイオニア的植物が繁茂し始めた時点以降、次項で述べる表層細粒土砂を堆積させる水理条件が整い、それより前の礫床裸地の状態ではそのような水理条件が成立していないと仮定する。なお、礫床の裸地が形成されてから (過程①あるいは過程④) が起こってから T_{pr} が経過する前に過程④が (再び) 生じた場合、その時点を起点に置き換えて時間 T_{pr} が経過したかどうかを判定する。したがって、過程④の立地条件の攪乱が高い頻度で起こる場合には、バイオニア的植物の繁茂が長期にわたって起こらないと判定される。

なお、 T_{pr} を予測する確立された手法は現時点では無いので、本予測モデルでは、やはり所与の条件として T_{pr} を与える。

(3) 表層細粒土層の堆積と安定植生域の形成 (過程③)

過程②が起こっておらず、したがって礫床裸地の状態のままでは、どのような洪水が生じてても細粒土砂堆積は生じないと判定する。これは、バイオニア的植物が無い状態での複断面効果だけでは、高水敷的河床部分への表層細粒土層形成を水理的に説明できないという4.4.3(1)の考察結果に基づくものである。なお、以上の判定は、礫床扇状地よりも緩勾配の河道では成立しないと考えられる。

一方、過程②によりバイオニア的植物が繁茂している条件で洪水の作用を受けた場合、次のように表層細粒土層の堆積厚を計算する。

$$\text{高水敷河床部分へ流入する細粒土砂の鉛直平均濃度 } C = \alpha Q \quad \cdots (5.1)$$

$$\text{細粒土砂の底面濃度 } C_b = \eta C \quad (\text{ただし } \eta > 3 \text{ の場合 } \eta = 3 \text{ とおく}) \quad \cdots (5.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{堆積速度 } R_D &= C_b \cdot \sigma w_0 / (1 - \lambda) && (\text{高い方の河床が冠水している時}) \\ \text{堆積速度 } R_D &= 0 && (\text{高い方の河床が冠水していない場合}) \end{aligned} \right\} \quad \cdots (5.3)$$

$$\eta = 6Z / \{1 - \exp(-6Z)\} \quad \cdots (5.4), \quad Z = w_0 / (\beta \kappa u_{*u}) \quad \cdots (5.5)$$

$$\text{表層細粒土層の堆積厚 } D_{ts} = \int R_D dt \quad \cdots (5.6)$$

ここで、 C ：表層細粒土層となりうる粒径範囲の土砂濃度（ワシントン的に上流から輸送されるもの）、 Q ：洪水流量（時間の関数）、 α ：流域からの細粒土砂供給の活性度を表す係数 $[s/m^2]$ 、 η ：浮遊砂濃度の鉛直分布特性を表す係数、 R_b ：表層細粒土層の堆積速度、 w_0 ：表層細粒土層となりうる粒径の沈降速度、 λ ：表層細粒土層の空隙率、 σ ：パイオニア的植物が細粒土砂を捕捉する効率を表す係数（4.4.3 (2) 参照）、 β ：鉛直混合に関する拡散係数と渦動粘性係数の比、 κ ：カルマン定数、 u_{*u} ：高い方の河床に作用する摩擦速度、 D_{ts} ：表層細粒土層の堆積厚さ、である。これらの計算式は、4.4.3における取り扱いと同じ考えに基づいている。式 (5.3) を用いる前提は、パイオニア的植物が持つ底面付近の流速低減効果により $u_{*u}/w_0 < 1$ の条件が満たされ、対象としている細粒土砂の河床からの巻き上がり量が0とみなせることであり、この妥当性は4.4.3の考察に示したとおりである。逆に言えば、そのような条件を満足する植物繁茂状況だけを、ここでは“パイオニア的植物”とみなしていることになる。なお、4.4.3で述べたように、パイオニア的植物が空間一様に繁茂していない状況や、その流速低減効果が十分でない状況（これらは実際に十分起こりうることである）をも表現できるように、捕捉効率を表す σ を導入している。式 (5.2) において η の最大値を3としたのは、4.4.3で述べたと同じ理由からである。式 (5.3) の適用で必要となる冠水の有無の判断は、水深 $h >$ 段差 h_s となる場合冠水、 $h \leq h_s$ となる場合非冠水として行った（図5-1参照）。水深 h は、流量 Q と高い河床部分、低い河床部分それぞれの粗度係数から断面分割法[建設省河川局監修、日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説（調査編）、1997、6章、pp.107-112]に基づく等流計算より求めた。また、高い方の河床についての摩擦速度 u_{*u} は、 $u_{*u} = [g(h - h_s) I_b]^{1/2}$ より求めた。

以上から表層細粒土層の堆積厚 D_{ts} の時間変化が計算される。安定植生域の形成は、次式が成立した時に起こるとする。

$$D_{ts} > D_c \quad \cdots (5.7)$$

ここで、 D_c は安定植生域の形成に必要な表層細粒土層厚の最低値である。多摩川の研究対象地区での調査結果にしたがえば、安定植生域の形成を担うタイプⅢの植物の立地条件を示す表3-4や図3-17c) より $D_c = 2 \sim 3 \text{ cm}$ 程度となる。

(4) 洪水による植物の流失（植生の立地条件の攪乱）（過程④）

a) 流失の有無を判別する方法

本予測モデルでは、次式の条件を満足する洪水が生じたとき、過程④が起こり、植物が全面的に（表層細粒土層がある場合にはそれも一緒に）流失し、再び礫床裸地に戻るとする。

$$\tau_* = \frac{u_{*u}^2}{s \cdot g \cdot d_R} = \frac{(h - h_s) \cdot I_b}{s \cdot d_R} \geq \tau_{*cc} \quad \cdots (5.8)$$

ここで τ_* は河床主材料（礫）に関する無次元掃流力、 u_{*u} は段差の上の河床部分に関する摩擦速度、 s は砂粒の水中比重、 d_R は河床主材料（礫）の代表粒径、 I_b は河床勾配、 g は重力加速度である。 τ_{*cc} は、過程④が起こるための無次元掃流力の最低値である。水深 h は断面分割法に基づく等流計算より求める。上式において無次元掃流力が過程④発生の有無の判断基準に使われていることからわかるように、ここでは、立地条件の攪乱による植物の流失が、河床主材料である礫の移動に支配されているという考えが基本になっている。この根拠について多摩川の永田橋地区で起こった事例に基づき検討した内容を以下に述べる。

b) 礫州上の植物群落の破壊と河床材料の移動に関する実態調査[李・渡辺・望月・藤田・塚原、1997]

植生の侵食限界については、草本水路の許容流速に関する基準[Ven Te Chow, 1962]や、芝や低茎草本で覆われた地面の侵食限界を流速と流水作用時間から求める方法がある[福岡ら1994：服部・藤田・宇多, 1996]。しかし、礫州上の植生に対する洪水作用や侵食限界を支配するパラメータを実証的に調べた例は少ない。そこで、1996年9月の小洪水の影響を受けた多摩川永田橋地区の51～53km付近における低水路内の礫州上植生を対象に、洪水直後の現地調査と洪水前後の空中写真比較を行い、植生破壊の有無・形態を調べた。なお、同洪水は2～3年に1回程度の規模であった。

51.3～53.1km区間の低水路内の礫州上をくまなく調べたところ、3地域で顕著な植生破壊が認められた。これらはほぼ同じ特徴を持っており、その代表地域の概況について図5-2に示し、図5-3には53.1km地点の低水路横断形を示す。同区間の横断形は50～70m幅の低水路と、図中には示していないが右岸側に広がる約200m幅の高水敷により構成される。なお、この区間の平均河床勾配は1/250、礫州表層の代表的な粒径は5～15cm程度である。洪水前において低水路内で水面以外の礫州は植生によってほぼ全面が覆われており、ツルヨシ群落、イヌコリヤナギ群落が優占していた。なお、当該区間には52.25km付近で都市下水路(雨水)が合流しており、これより下流側では雨水排水による洪水流量増分の影響も大きかったと思われる。

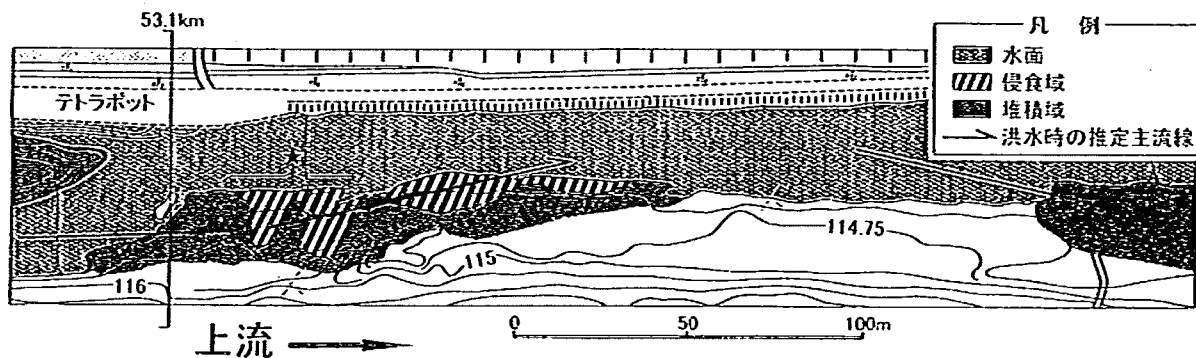


図5-2 河道の概況と低水路内礫州上の河床材料移動状況

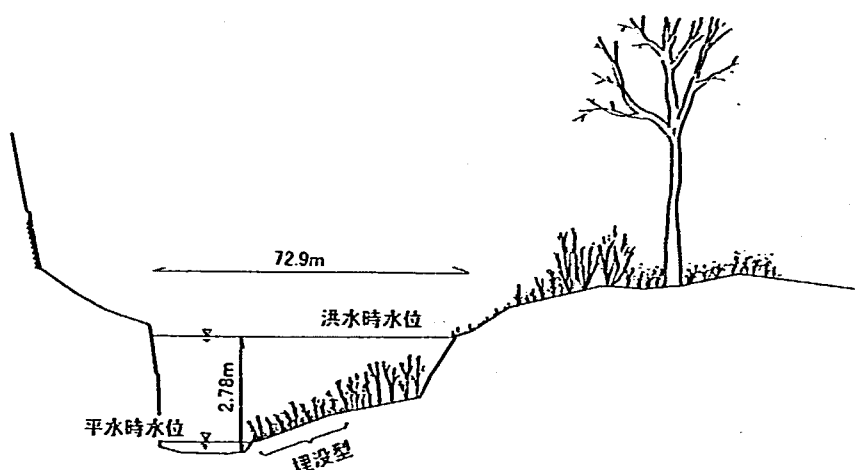


図5-3 低水路横断形状(53.1km)

洪水後の礫州上では河床材料が侵食される範囲(侵食域)と堆積する範囲(堆積域)がみられた。その平面分布を図5-2に示す。侵食と堆積は、洪水による影響を受けなかった既設標識(低水路内約50m間隔で設置)周りの侵食深や標識上の堆積深、河床材料の層位区分、それに植物の根の発達深さとの比較により、影

簪の有無と規模を判定した。侵食域では主にツルヨシ群落が成立しており、都市下水路との合流 (52.25km 付近) 前では侵食深が 1～5cm、合流後の侵食の激しい場所では30cmに達する場所もあった。図5-4に示すように、侵食後に植物が残存した場合、植物の根は洗い出され露出した状態となり、侵食深がさらに深いと植物は完全に流失し植生は面的に破壊され消失していた。一方堆積域では植生は埋没し損傷を受けていた (図5-5)。しかし今回堆積域で優占していたツルヨシは倒れた桿からの強い発根性と根茎繁殖能力による優れた再生力を持つ代表的植物であり、この程度の埋没なら翌年には問題なく再生すると考えられた。図5-2からわかるように、侵食・堆積域の平面分布には2つの特徴的な配列が認められる。1つは推定された洪水時の主流線の位置に侵食域が配置し、その脇に埋没域が配置するものであり、もう1つは最も上流側に埋没域が配置し、その下流側で洪水前に植生が疎であった場所に侵食域が、さらにその下流に埋没域が配置するものである。これは植生塊が粗度となり表面流速を低減させるとともに植物の根が礫の抜け出しを抑制する効果が働いていたことを示唆するものである。

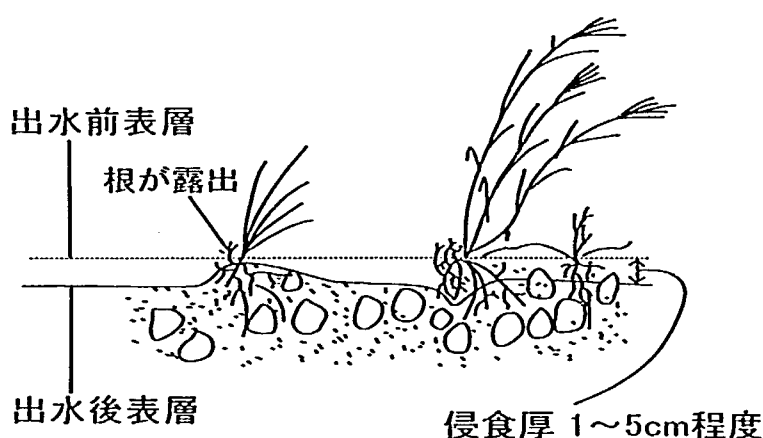


図5-4 侵食域における植生破壊状況

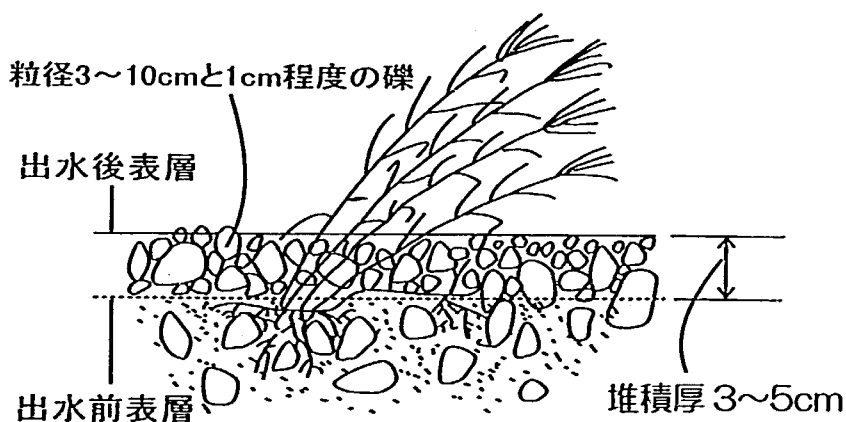


図5-5 堆積域における植生埋没・損傷

52.7km付近で測定した痕跡水位より、粗度係数 $n=0.033$ を仮定して等流計算からピーク流量を推定し、この結果を用いて図5-2の★付近の断面平均流速をやはり等流計算より推定したところ、3m/s～4m/s程度という結果が得られた。また、この流速からこの地点の表層材料 (5～15cm程度) について無次元掃流力を算出するとおおよそ0.04～0.13であった。したがって、当該地点の表層材料は全面的ではないにせよ移動するのに十分な掃流力を受けていたといえる。

図5-2に示したように、低水路幅に比べ狭い平面領域内に(例えば図中の★)、植生破壊が起こった侵食域と礫埋没による損傷は受けているものの破壊には至らず植生自身は残っている堆積域が隣接して存在する。両領域が存在する低水路河床は単純な形状を持つことから、このような小さな平面スケール内では大きな流速変化は起こり得ない。したがって植生破壊領域と植生埋没領域とで大きな流速差はなく、どちらも上記3~4m/sの比較的高流速が作用していたと考えられる。このことは、植生破壊の有無を支配する要因としてこの程度の高流速は重要でなかったことを表す。さらに、植生破壊が生じていた場所は、著者が観察した範囲ではすべて河床侵食が生じ、それによる侵食量は生育する植物群落の根圏厚さのオーダー以上に達していた。逆に言えば、植生破壊が生じかつ河床高に変化が無いか上昇した場所は無かった。このことは、植生破壊が植物の支持力を消失させる表層礫移動・侵食を必ず伴うことを示す。

以上から、礫州上植生の破壊を起こす流量規模を推定するための判別条件としては、少なくとも今回対象にした流速規模と表層河床材料の組み合わせでは、流速ではなく、表層礫の移動・侵食の有無を採用することが適切であると考えられる。本研究の調査範囲では限界掃流力を若干上回る掃流力が作用し、かつ侵食傾向になることが判断の目安になると言えるが、この条件は、対象植生とその密生度、礫移動の平面分布パターンによって変わると考えられる。

c) 植物流失条件(τ_{*ce})の設定

以上の実態調査結果も参考にして、本予測モデルにおいては、植物流失を引き起こす、あるいはそれに至らないまでも植物に大きな損傷を与える主因が植物の立地を構成する河床材料の移動であると仮定し、式(5.8)に示す判別条件を採用した。 τ_{*ce} については、前述のように対象植生とその密生度、礫移動の平面分布パターンによって変わり得るが、ここでは最も簡単な条件設定として「一定値」を採用した。

ところで、本予測モデルにおいては、1つの洪水について、ピーク流量時に式(5.8)が成立するかどうかを調べ、成立しない場合にはその洪水による植物流失が一切起こらないと判定し、成立する場合にはその洪水により植物が流失し(安定植生域がある場合には表層細粒土層も一緒に)、洪水後礫床裸地が現れると判定する。後者の場合、洪水減水期における表層細粒土砂の再堆積を考えないのは、一洪水のどこかで式(5.8)が成立し、植物が流失したことになれば、その時点で礫床裸地が出現することになり、洪水流量の低減期で、式(5.8)が成立しなくても、バイオニア的植物がない礫床裸地面にはもはや表層細粒土砂の堆積が起こらないとできるからである。前者については、当該洪水が植物流失を起こす力が無いことを確認すればよいのであるから、やはりピーク流量時についてだけ式(5.8)を調べればよい。以上から、本予測モデルにおいては、1つの洪水についての過程④発生の有無の判定は、ピーク流量時だけの状況を調べることにより行っている。

5.2.3 モデルの検証

(1) 検証の方法

a) 検証河道区間

多摩川永田橋地区の中でも52.2-52.6km付近における右岸高水敷上の河床部分の植物変化について、5.2.2までに提示した予測モデルの検証を行った。

b) 検証期間

1974年洪水直後から1996年までの計算を行った。

c) 洪水流量

調布橋の流量データを用いた。このデータが無い場合だけ羽村堰での本川への放流量データを用いた。表層細粒土層の堆積は洪水時に起こり、その堆積総量を計算するには流量変化を考慮する必要がある、そこで、流量ハイドロを200m³/sピッチの階段状波形に置き換えて、同一流量条件での計算結果を次々足し合わせるにより、表層細粒土層厚の変化を求めた。詳細は付録1を参照されたい。

d) 河道条件

図5-6に示すように、河道形状がほぼ一定の期間毎に、単純化した複断面の河道形状を設定した。図には、用いた粗度係数(高い河床部分が n_U 、低い河床部分が n_L)もあわせて示されている。

e) 水理計算

各流量に応じた水深 h を計算する必要がある。断面分割法に基づく等流計算により、水深を求めた。

f) バイオニア的植物の繁茂に関する条件

5.2.2 (2) に述べた T_{pr} については、 $T_{pr}=3[\text{year}]$ とした。

g) 表層細粒土層と安定植生域形成に関する条件

対象地区の表層細粒土層の平均粒径が0.15mmであることから、表層細粒土層となりうるウォッシュロード的土砂の粒径 d_{ls} を $d_{ls}=0.15[\text{mm}]$ とした。これは式(5.3)の沈降速度 w_0 の算定に用いられる。空隙率 λ は $\lambda=0.4$ とした。式(5.1)の α については、 $\alpha=2.0 \times 10^{-7}$ とした。これは、4.4.3 (1) で述べた2つの α のうち「濃い条件」に当たる。安定植生域が形成されるのに必要な最低の表層細粒土層厚 D_c は $D_c=3[\text{cm}]$ とした。さらに、 $\beta=1$ 、 $\kappa=0.4$ を与えた。また、植物の細粒土砂捕捉効率に関する係数 σ については、 $\sigma=1/3$ を与えた。

h) 洪水による植物流失条件

5.2.2 (4) の τ_{*ce} については、5.2.2 (4) b) に示した調査結果を踏まえ、礫の代表粒径が移動する状況を想定して、 $\tau_{*ce}=0.05$ を設定した。河床主材料(礫)の代表粒径 d_R には $d_R=15\text{cm}$ を与えた。これは、4.4.3 (3) で用いた値と同じである。

(2) 検証結果

図5-7に、表層細粒土層厚、その各年の堆積高、地被状態(礫床裸地か、バイオニア的植物が繁茂した状態か、安定植生域の状態かの別)、年最大洪水流量の経年変化を示す。計算によれば、1981年、1982年、1983年洪水により礫床裸地面に表層細粒土層が堆積し、これを契機に安定植生域が現れ、以後、計算対象の最終年である1996年までこの状況が継続する。この図の内容は、多摩川永田橋地区の52.2~52.6km付近における右岸高水敷に関して、第2章、第4章で明らかにしてきた植物変化過程、表層細粒土層の堆積過程と一致するものである。このことは、本予測モデルが礫床扇状地河道の安定植生域の動態を予測する道具として有用である可能性を強く示すものと言える。

ただし、本予測モデルが第2章から第4章までに行った安定植生域の動態の実態解明と機構解明の成果に忠実にしたがったものであることを考えれば、図5-7と実態との良い対応関係は、ある意味では当然の結果と言える。したがって、図5-7の結果をもって構築した予測モデルの妥当性をことさら強調するよりも、予測モデルの位置づけ・意義・限界の吟味や、そこから引き出すことのできる知見の吟味の方により意味

がらう。以下では、こうした認識に立って、さらに考察を進める。

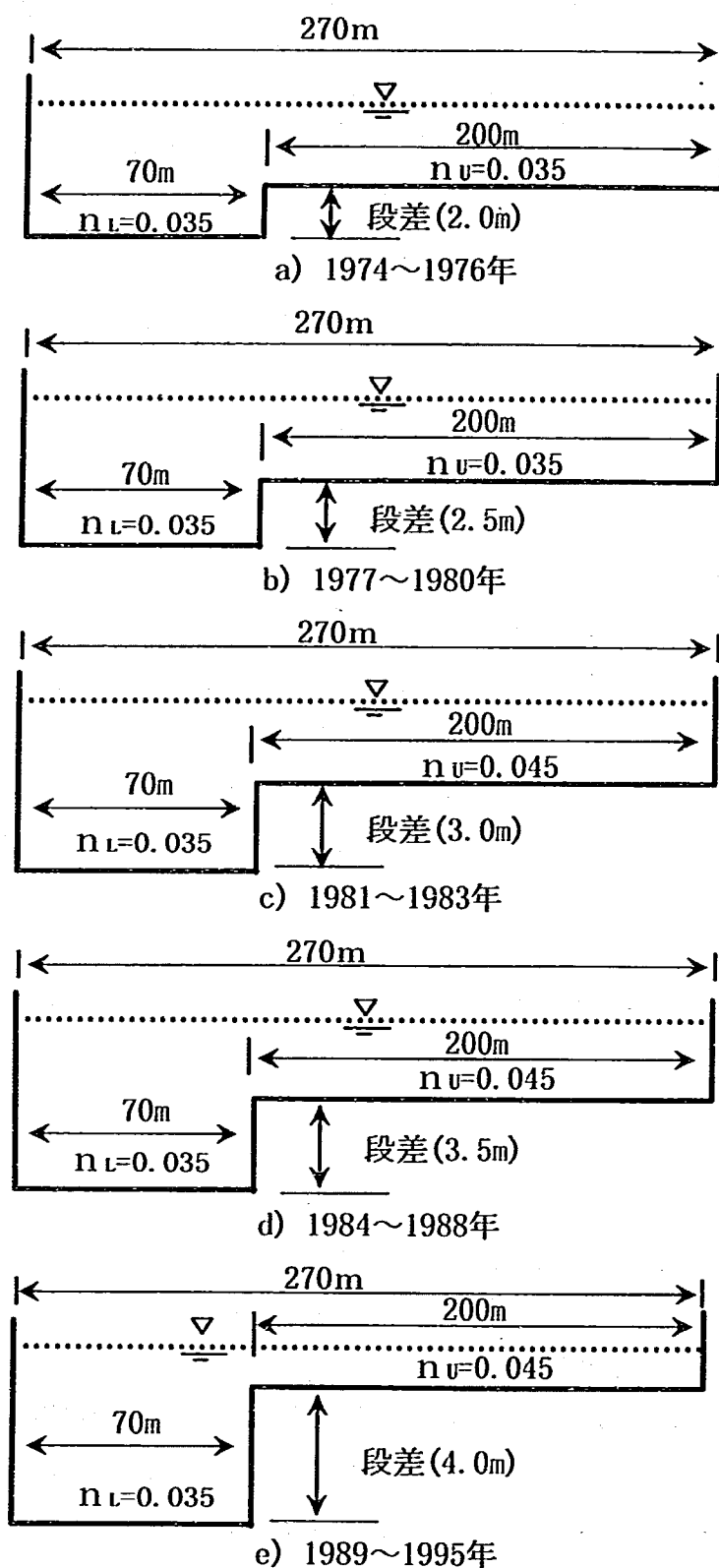


図5-6 検証計算に用いた河道条件

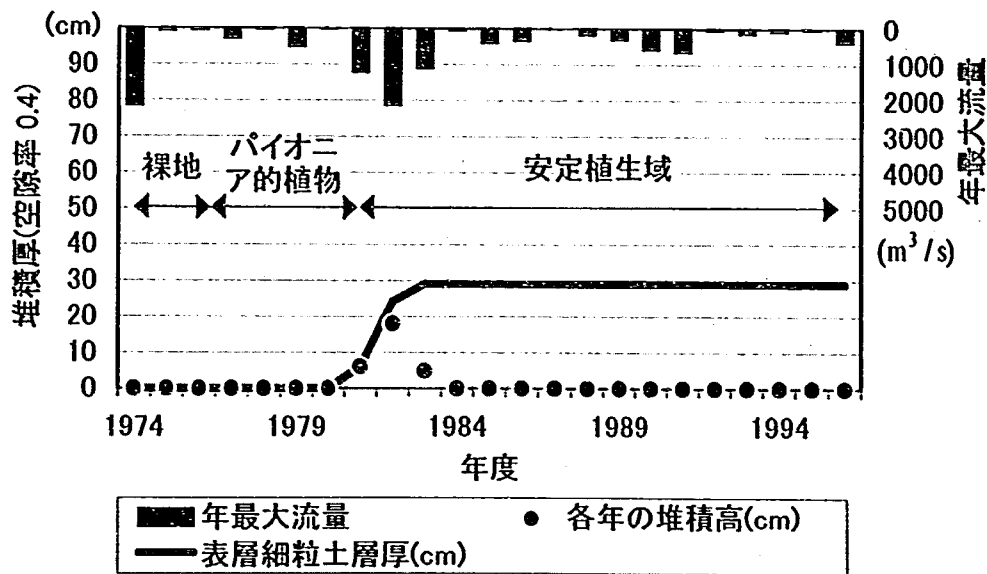


図5-7 永田橋地区52.2km~52.6km付近の右岸高水数についての検証計算結果

5.2.4 植生動態全体の中での本予測モデルの位置づけ

(1) モデル化の2つのアプローチ

河道内の植物の動態には非常に多くの現象が関わっており、現段階では、それらすべてを精度良く取り込んだ予測モデルを構築することは不可能である。こうした非常に複雑な予測対象についてモデルの構築を考える場合、とりあえず2つの行き方が考えられる。1つは、関係すると思われる現象を網羅的に組み込んだモデルを構築し、そこに多くのパラメータを導入し、数多くの状況(現象の結果)に対する検証を通じて、素過程モデルの良否の判断、各パラメータの重要度の把握やパラメータ値の同定を行っていくとするものである。もう1つは、実現現象の詳細な追跡を土台に、重要と考えられる現象に絞って妥当性を確かめながらモデル化を行い、それを骨格にして扱う現象を徐々に拡げて行こうとするものである。前者には、原理的にはほとんどの現象を扱うことができるという長所がある反面、その妥当性を検証する際"Over-parameterization"の危険が常につきまとうという短所を持つ。後者には、モデルと実現現象との対応関係がわかりやすいという長所がある反面、実現現象の一部しかとらえておらず、そのことが予測の本質的な誤りにつながる可能性に常に留意しなければならないという短所がある。実際には、両者のアプローチの成果をキャッチボールさせながら、両者の長所を取り入れたモデル化を図ることがとるべき方向性であろう。

本章でとりあげたモデルは、明らかに上述のうち後者に軸足を置いている。これは、対象とする現象の実態が前者のアプローチに馴染むほど解明されておらず、また、米国の一部の事例のようにダムなど圧倒的な支配因子が存在するわけではなく、さらに、完全性(関係するすべての現象を扱っているという意味での)に欠けていても、“ブラックボックス”的でなく実現現象との対応関係を常に意識できるモデルの構築を行いたいという著者の考えによる。このために、第2章から第4章にかけて、詳細な実態解明を行ったのである。しかしながら、このゆえに、構築したモデルは前述の課題、すなわち現象の一部を強調した形でしかとらえていないという短所を持つ。したがって、本モデルを適用するに当たっては、その位置づけと限界を踏まえた意義について明確にしておくことが非常に重要になる。この点につき、いくつかの重要な項目

について以下で吟味を行う。

(2) 本予測モデルの位置づけの吟味

a) 植物の成長と本予測モデル

植物は、種子散布、発芽、定着、競争、成長という生物学的プロセスを展開する。まず、河道で発芽が生じるためには、河道に種子等が存在することが必要で、河道内への種子散布が大事なプロセスになる。種子量が多く風による散布の場合には河床に種子が行き渡るし、流れによる散布の場合には種子散布時の流況などが重要になると考えられる。また、河床材料中に種子が貯留され、時間を経てから発芽する場合もある。次にそれらの種子が発芽することが必要であり、そのためには適切な気象条件と土壌水分条件が特に重要と考えられる。次にその発芽した植物が定着するには、初期の出水によって流出しないことが必要であり、また、この時期にも他の植物との競争に負けないかどうかも大事である。このようにして、定着した植物は成長プロセスへと移行する。植物の成長に及ぼす要因にはその種自身の成長力など内因的なものがまずあり、それに加え土壌条件と気象条件が挙げられ、さらに他の植物との競争も場合によっては支配的になる。このような中で、生物学的遷も起こりうる。

このように、植物の成長には多くの現象が関わっており、本予測モデルはその中でも、立地条件(土壌条件)について重点的に取り上げたことになる。このことは逆に、他の条件、たとえば気象条件や生物学的競争、種子散布と定着を真正面から扱っていないことになる。さらに、このことは、第一に、これらの条件が本予測モデルの扱う現象にとってクリティカルでないと仮定したことを意味し、第二に、この仮定が大きな問題を起こさないように、モデルにおける予測の解像度を粗く設定したことを意味する。具体的に説明すれば次のようなことである。1) 各植物群落のそれぞれの動態を予測するとすれば上記のような仮定は不適切となるが、タイプⅠⅡⅢの3つ程度の植物繁茂状況の判別を予測するのであれば、この仮定が概ね成り立つのではないか。2) こうした粗いとらえ方(3タイプのみ)をするなら、種子散布の不足や植物間の競争を制約条件として考慮する必要が薄れるのではないか。3) つまり、各植物群落に着目すれば、その種子の散布や他との生物学的競争が重要な現象になるが、タイプ分けを少数にしまえば、1つのタイプについて、これらが制約条件になることはあまりないであろう(たとえばタイプⅢに属するいずれかの種子はどこから来るはず)。4) 気象条件については、日本の特に研究対象地区の場合、それが制約条件になるほど年による変動が小さくないと仮定できるのではないか。

以上からわかるように、本予測モデルは、河川的作用による立地条件の変化という要因が支配的となるような切り口で、植物動態にかかわる現象を表現したことに相当する。当然、このような本モデルの成り立ちに依存して、本モデルの限界も存在する。ただし、河川的作用による立地条件の変化は、当該植物が川にあるがゆえの特性を把握する上で不可欠の重要因子であるはずで、またその特性の理解こそが河道内にある植物の動態理解の出発点であるから、そこだけに力点を置いたモデルにも充分意義があると著者は考えている。

b) 河道セグメントと本予測モデル

最初に述べたように、本予測モデルは、扇状地礫床河道を扱っている。これは、河道セグメント分類で言えば、セグメント1である。これが自然堤防帯(セグメント2)やデルタ(セグメント3)になれば、本予測モデルを土台から再構成する必要が出てくる。たとえば、表層細粒土層を構成する材料が下流のセグメ

ントに行けばずっと細かくなることが考えられる。さらに重要なことは、表層細粒土層という概念自体を変える必要が出てこよう。というのは、セグメント2になれば、細粒土砂の堆積厚がセグメント1のように数十cmではとどまらず、高水敷全体を構成するような数mの厚さにもなりうるからである。こうなると、表層細粒土層の有無は植物動態の制約条件にはならない。以上のように、本予測モデルの成り立ちは、扇状地礫床河道を扱っていることに深く依存している。ただし、本モデルの計算を用いることにより、上述のような河道セグメントの違いがもたらす河川と植物の動態機構の本質的な違いを議論する情報を得ることはできよう。

c) 洪水の複雑な流況と本予測モデル

実際の洪水と土砂の流れは2次元さらに3次元であり、本予測モデルではこれを1次元的にとらえている。本予測モデルにより、大局的な植物と河床表面状態の動態をとらえることはできるが、その平面分布特性を詳細に議論する際には、本予測モデルをベースに、2次元さらには3次元の水理計算を組み込む必要が出てくる。

d) 植物が破壊される現象と本予測モデル

洪水や増水が植物に及ぼす作用については、北川らが洪水による樹木の倒伏状況について実態調査を行って5つの分類を提示し、幹周りの洗掘が樹木流失の重要な要因であると推定している[北川・鳥谷・小栗, 1988]。また、石川は次のように整理している[奥田・佐々木編, 1996, pp.125]。

- ① 流水やそれによって運搬される掃流物質による植物体の破壊
- ② 流水による立地の破壊
- ③ 掃流物質あるいは浮流物質による植物体の埋没
- ④ 沈水状態による光合成や呼吸といった植物体の生理的活性に及ぼす悪影響

本予測モデルでは、上記のうち①～③のいずれかによる破壊を粗く判別する式を採用したことになる。また、上記④の影響は小さいとして無視したことになる。本予測モデルで定性的表現にとどまらず定量的に①～③を表現したことには意義があるが、さらにその物理過程を詳細に追跡して、精度を高めていくことが必要であろう。以上から、本予測モデルの植生破壊の取り扱い、かなりマクロなものにとらえておく必要がある。

e) 河床変動と本予測モデル

モデル構築のところで述べたように、本予測モデルでは、河床主材料の移動に伴う河床変動は別途与えることにしている。この河床変動が重要な因子になる場合には、いわゆる通常の河床変動計算を本モデルと組み合わせて実施する必要がある。

(3) 本予測モデルの意義

前記(2)から、本予測モデルの特徴をつぎのように表現することができる。

「河道内の植物動態にかかわる複雑な諸現象の中で、河川的作用がもたらす立地条件により表現できる切り口から、予測手法を構築したもの。条件設定や各過程の表現を極力簡単な形にし、種々の条件変化が植物動態に与える影響をマクロに見通しよく分析・理解できることに力点を置いたもの。以上のために、実現象の完全な記述を目指さず、上記の主旨に叶い現象の本質を失わない範囲で、重点的なモデル化を行ったもの。」

次節では、本モデルのこうした特徴を生かす形で、感度分析を行う。

5.3 予測モデルを用いた感度分析に基づく考察

5.3.1 感度分析の方法

ここでは、まず、多摩川永田橋地区の52.2km～52.6km付近の河道状況を踏襲して基本条件を設定し、安定植生域の動態の計算を行った。次に、この基本条件からパラメータ値をずらした時の計算を行い、パラメータ値をずらすことの影響を考察した。なお、基本条件で設定した各パラメータ値を以後「基本量」と呼ぶ。以上から、本感度分析は、実質的には、多摩川永田橋地区の52.2km～52.6km付近の河道状況を反映させたモデル河道についての計算結果を比較の中心に置いていることになる。以下に、基本条件と基本量、その他の説明を行う。

a) 洪水流況の設定

多摩川の永田橋地区で39年間(1958年～1996年)の年最大流量のデータ系列が2変数対数正規分布に従うと仮定してパラメータ同定を行い、同定されたパラメータ値をそのまま用いて、標準正規乱数表による1000年間の合成流量データ系列をMonte Carlo法を用いて発生させた。したがって計算期間は1000年間である。1000年間という超長期の計算を行うことの意味は5.3.2(1)で詳述する。具体的な洪水流況の設定方法は以下の通りである[尹, 1988]。

均等分布乱数を発生させる。均等乱数系列から標準正規分布を持つ乱数を発生させるのには中心極限定理(central limit theorem)を採択した。0と1の間の値をもつ均等乱数系列 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ を次式で変換すると z_i は標準正規乱数になる。乱数の数は $n=12$ 以上になるのが望ましい。

$$z_i = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) - \frac{1}{2} \quad n \dots (5.9)$$

観測流量系列 Q_t の対数値系列が正規分布をもつと仮定したので、標準正規乱数を発生させてから次の関係式によって合成流量系列が換算される。

$$z_i = \frac{\ln Q_t - \overline{\ln Q_t}}{S_{\ln Q_t}} \quad \dots (5.10)$$

$$Q_t = \exp(\overline{\ln Q_t} + z_i S_{\ln Q_t}) \quad \dots (5.11)$$

ここで、 $\overline{\ln Q_t}$ と $S_{\ln Q_t}$ は $\ln Q_t$ の平均値と標準偏差であり、多摩川の永田橋地区での39年間(1958年～1996年)の年最大流量データ系列から計算される。

以上のようにして、各年の最大流量が求まる。本感度分析では、各年にこのピーク流量を持つ1つの洪水しか発生しないとする。そして、洪水ハイドロの波形については、流量～時間関係を三角形に単純化して次のように与えた。安定植生域動態の計算対象となる高い方の河床でのピーク水深を $(h - h_s)_p$ でm単位により表現したとき、その河床の冠水時間が $3(h - h_s)_p$ [hr] となるように三角形波形を定めた。たとえば、ピーク水深が2mであれば、冠水時間は6時間となるよう設定される。

b) その他の基本量の設定

表5-1を参照されたい。なお、高い河床部分と低い河床部分の段差 hs は非常に重要なパラメータなので、基本量の段階で細かく変化させた計算を行っている。

表5-1 感度分析で設定した基本量とそのずらし方

項目	基本量	感度分析のための基本量のずらし方
Q	5.3.1a)参照	基本量の単純2倍、単純3倍
B_L	70m	固定
B_U	200m	100m, 50m
h_s	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0m	
n_L	0.035	固定
n_U	0.035	固定
T_{pr}	3year	5 year, 2 year
d_{ts}	0.15mm	固定
w_0	0.0167m/s	固定
λ	0.4	固定
α [s/m ³]	2.0×10^{-7}	1.5×10^{-7} , 1.0×10^{-7} , 0.5×10^{-7} 2.0×10^{-8} , 2.0×10^{-9}
D_c	3cm	0cm
β	1	固定
κ	0.4	固定
σ	1/3	固定
τ_{*ce}	0.05	0.1
d_R	6cm	4cm, 2cm

c) 感度分析のための基本量のずらし方

表5-1を参照されたい。この表からわかるように、ここでは、流量、川幅 (B_U の変化で代表)、パイオニア的植物が繁茂するまでの時間 (T_{pr})、表層細粒土砂となるべき細粒土砂の流域からの供給量 (α で代表)、安定植生域の形成に必要な最低の表層細粒土層厚 (D_c)、洪水による植物流出の条件 (τ_{*ce} で代表)、河床主構成材料 (d_R) の影響に着目している。

d) 初期条件の設定

初期条件として、礫床裸地 (したがって、植物なし、表層細粒土層厚0) を設定する。

5.3.2 感度分析の結果

(1) 表層細粒土層厚の時間変化について (予測計算の“生”の結果)

図5-8に、基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化が種々の段差 h_s について示されている。図の上段には発生させた各年の洪水ピーク流量が示されている。基本条件においては $D_c > 3\text{cm}$ の場合安定植生域が形成されると判断するので、図5-8から、1000年間のどの期間に安定植生域が存在する計算になっているかが、表層細粒土層厚の時間変化から容易に読みとることができる。いずれの h_s の計算結果についても、表層細粒土層0の状態が続いた後、表層細粒土層の堆積が起こって安定植生域繁茂の条件が整い、その後、表層細粒土層厚が漸増するが、洪水により突然0に戻るという変化パターンをとる。また、表層細粒土層が達する最大の堆積厚は、 h_s が4.5m以下では20~50cm程度であるが、 h_s が5mになると、70cmを越える場合も現れるようになる。しかし、いずれも、多摩川の研究対象地区で観察された表層細粒

土層厚のオーダーの範囲におさまっている。これは、洪水による攪乱が表層細粒土層を植生ごと持ち去るイベントと、洪水が表層細粒土層を形成させるイベントとが適度にバランスした結果である。このバランスの結果、表層細粒土層が一方的に厚くならないという計算結果が出てくるのは、本計算が礫床扇状地河道の本質的な特性すなわち自然堤防が発達しないという性質を何らかの形で反映しているためであろう。

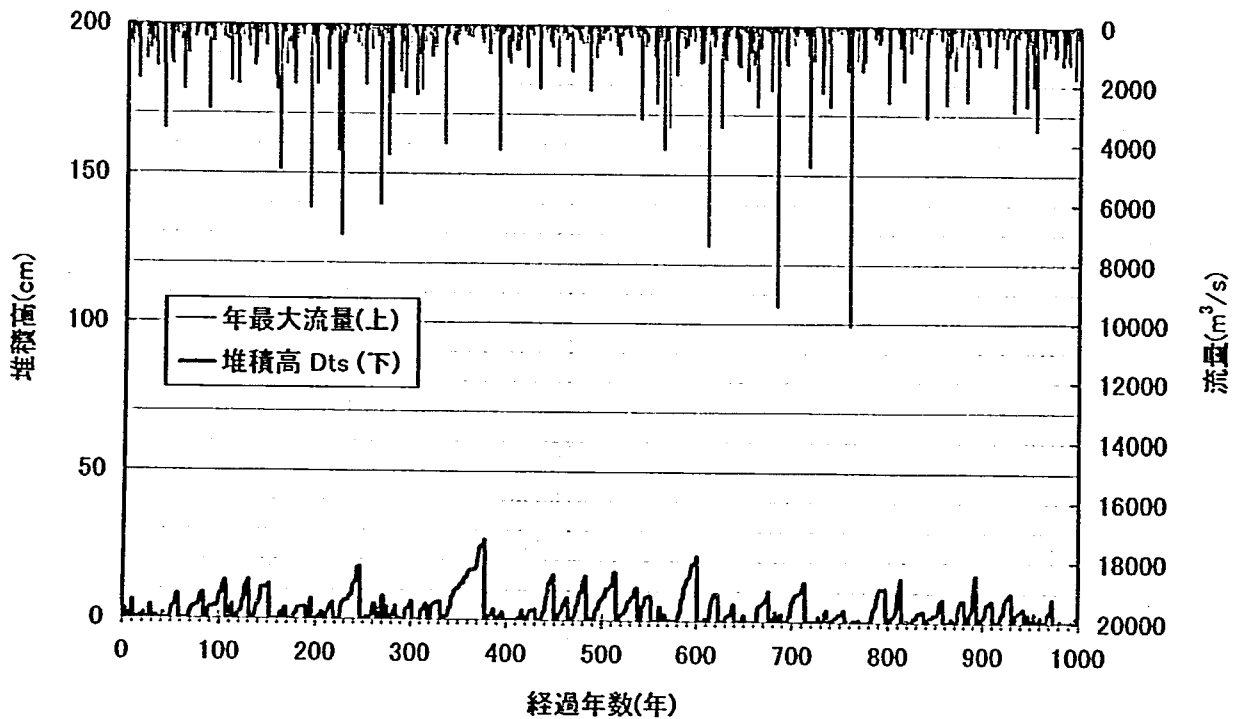


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 a) $h_s=0.5\text{m}$

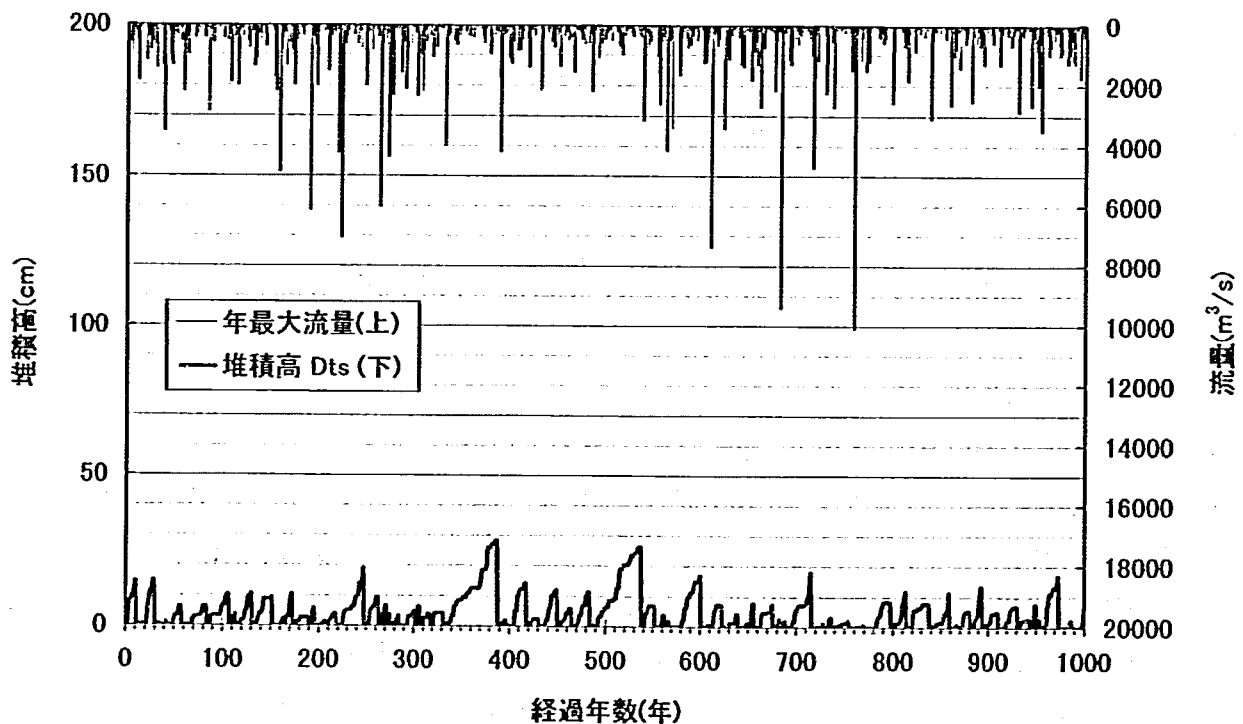


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 b) $h_s=1.0\text{m}$

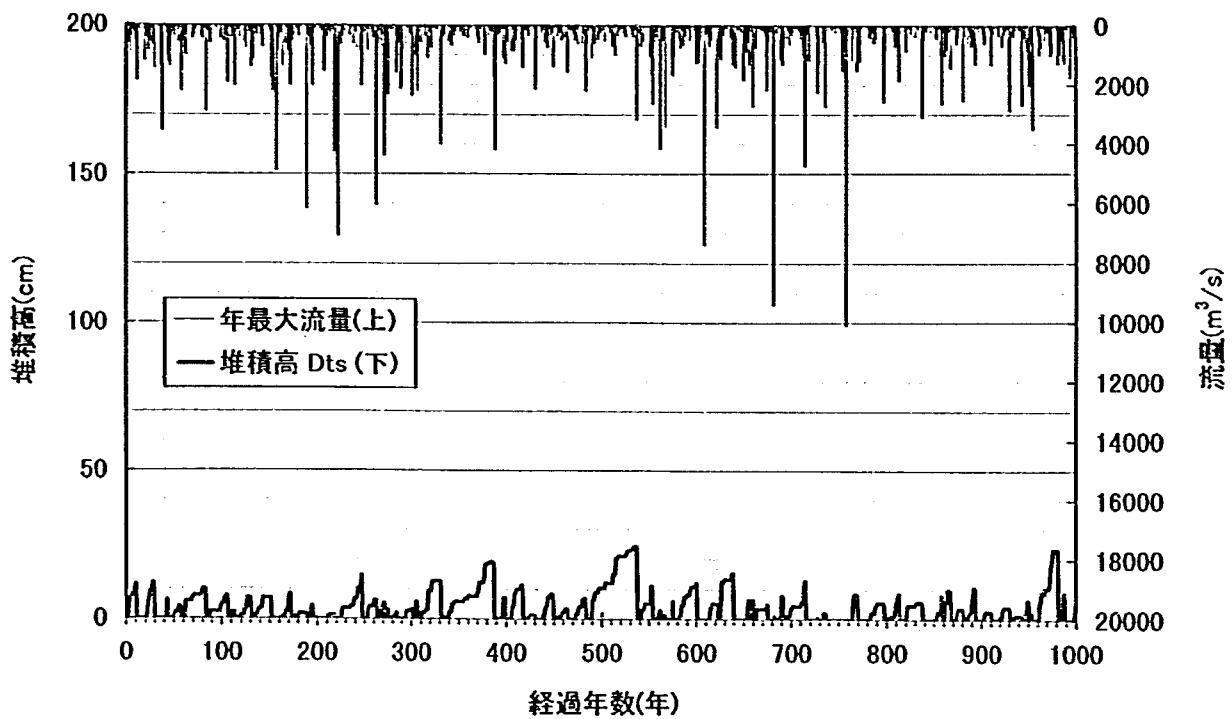


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 c) $h_s = 1.5\text{m}$

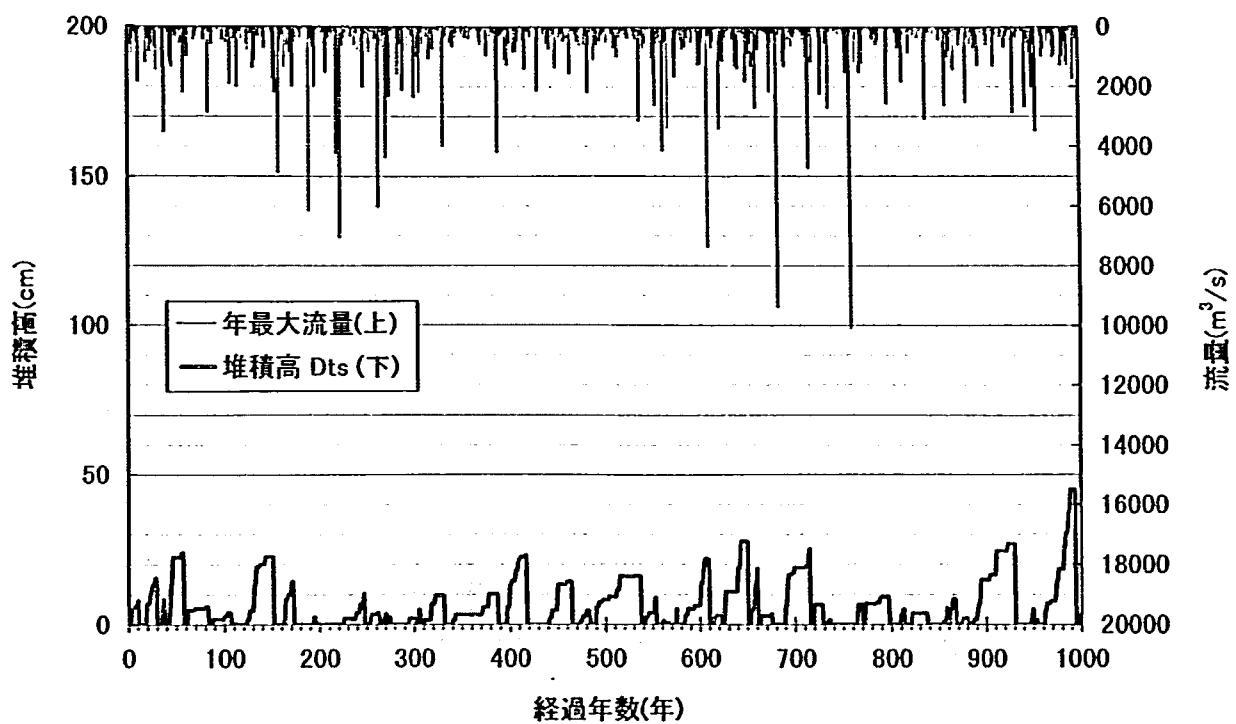


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 d) $h_s = 2.0\text{m}$

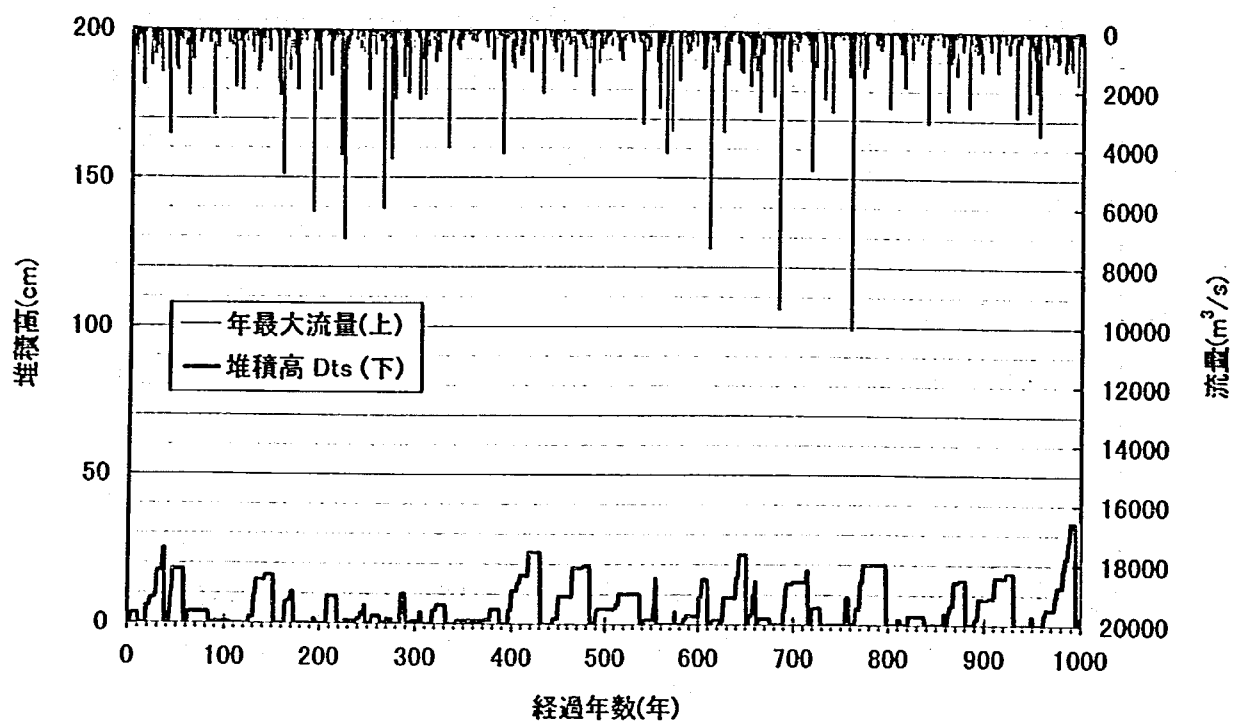


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 e) $h_s=2.5\text{m}$

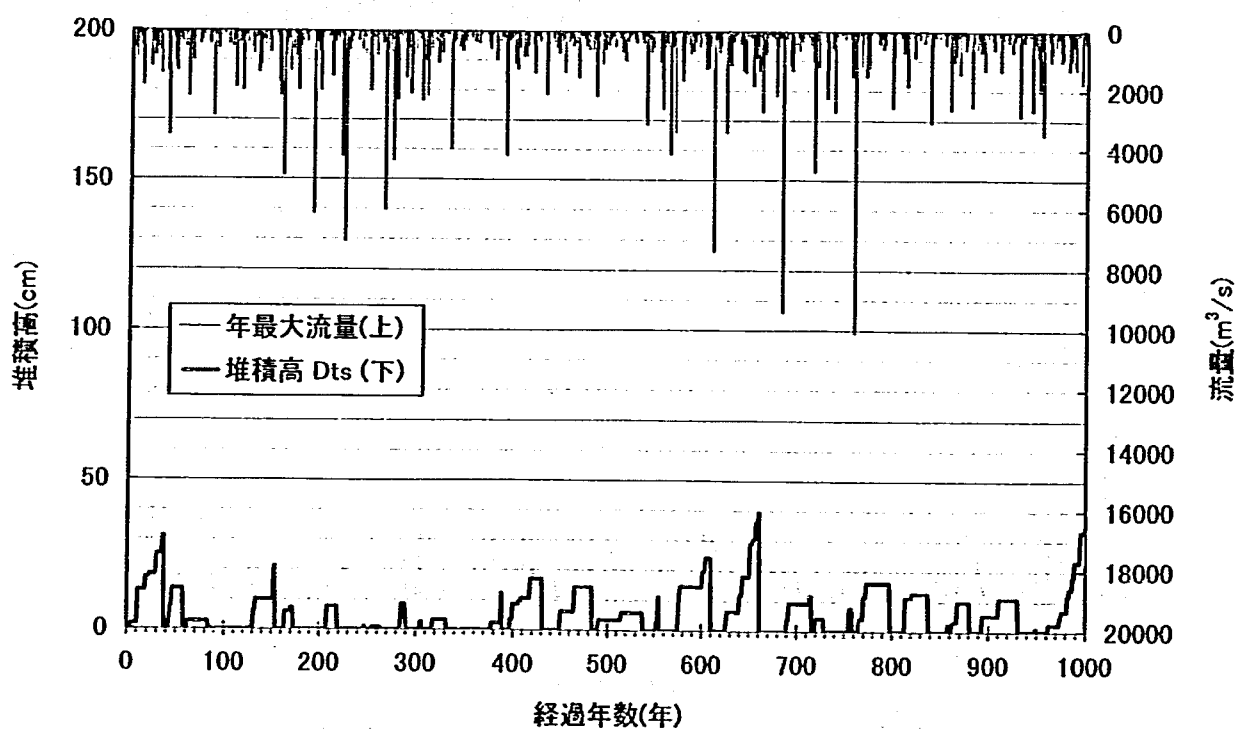


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 f) $h_s=3.0\text{m}$

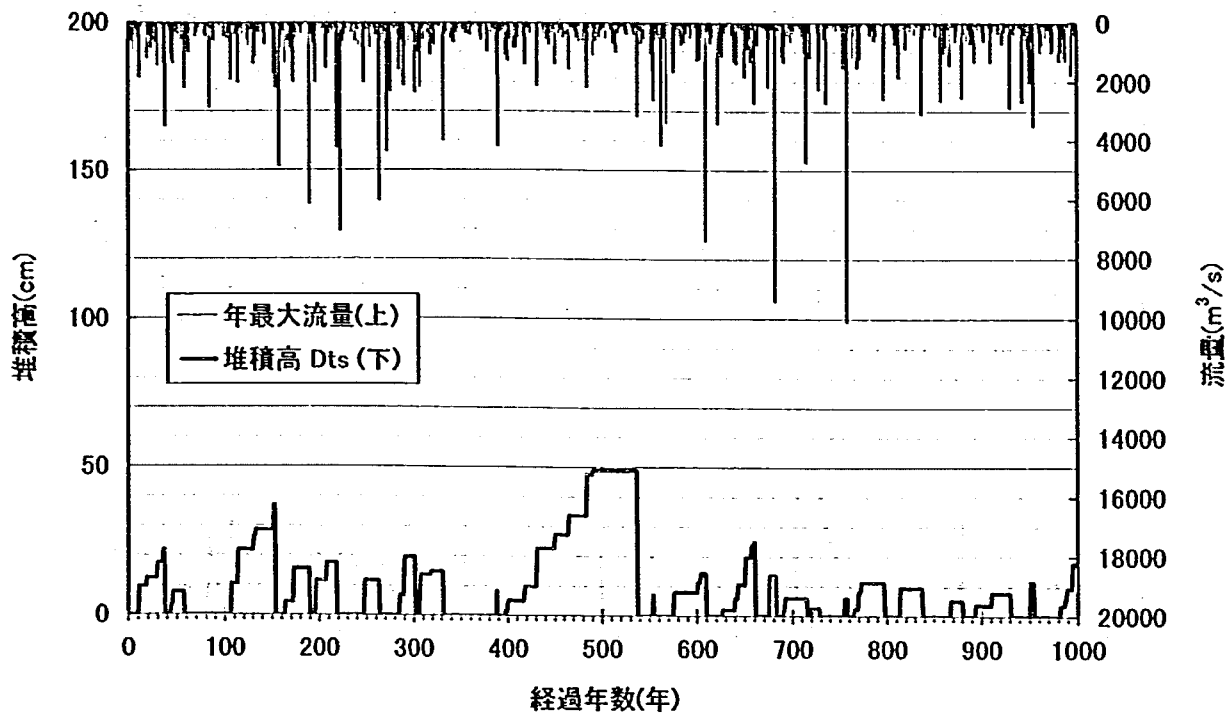


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 g) $h_s=3.5\text{m}$

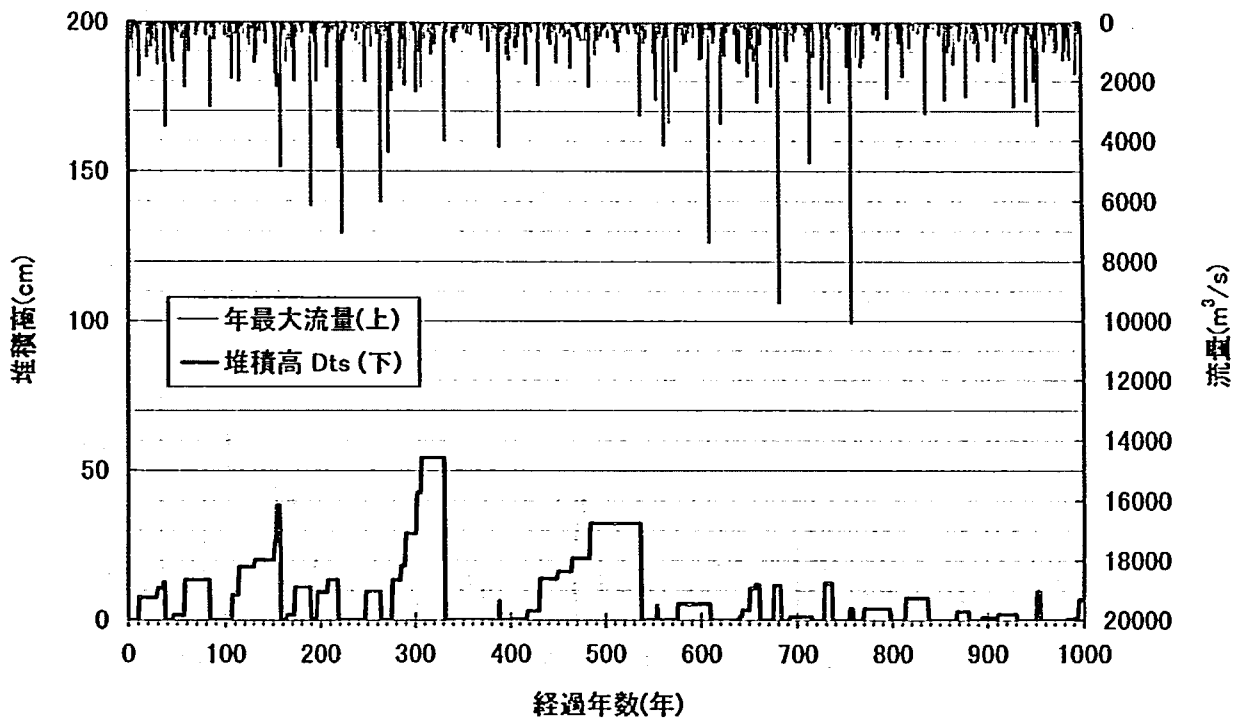


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 h) $h_s=4.0\text{m}$

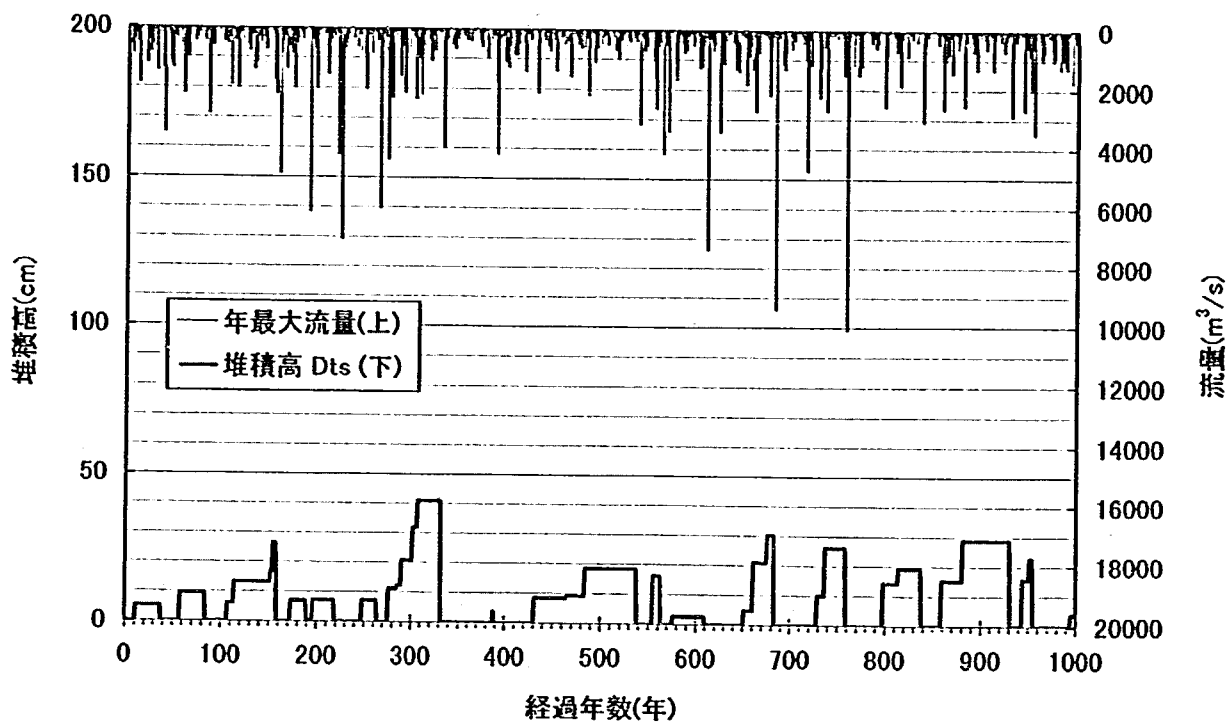


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 i) $h_s=4.5\text{m}$

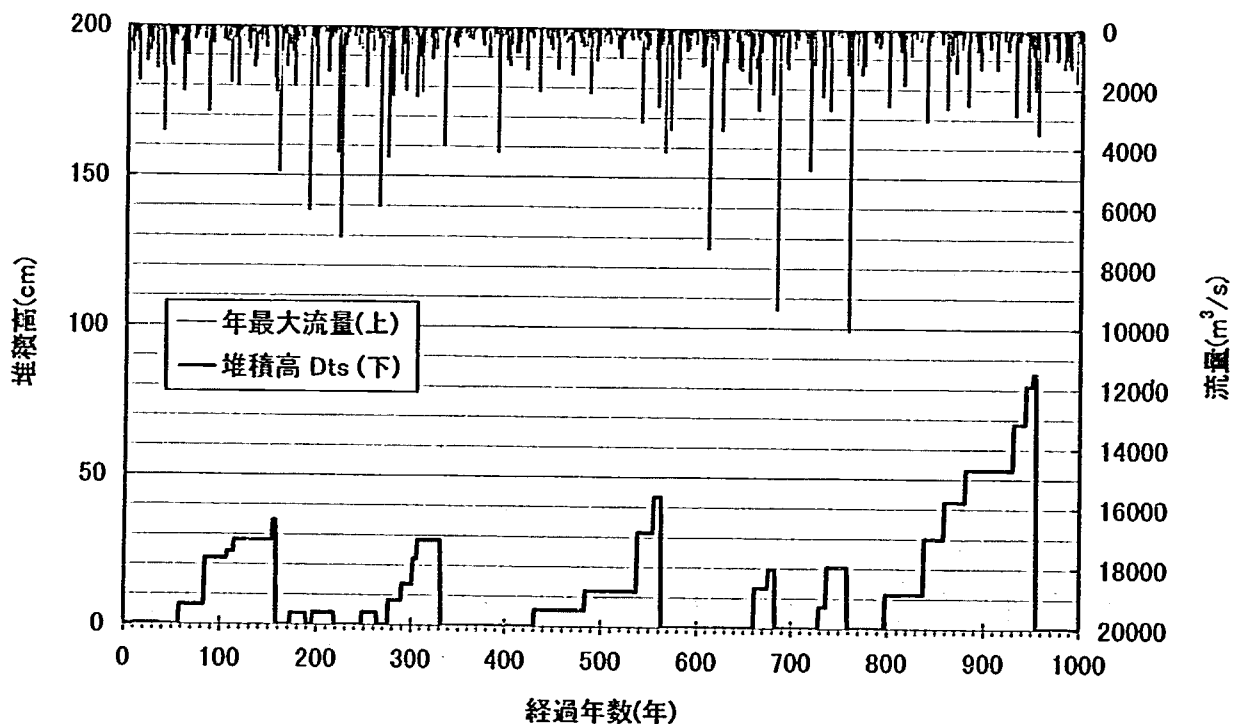


図5-8 基本条件下で計算された1000年間の表層細粒土層厚の時間変化 j) $h_s=5.0\text{m}$

h_s の増大に伴う表層細粒土層厚 D_{ts} の特性変化は明瞭であり、 h_s が小さいうちは D_{ts} 変化の時間ピッチが小さいが、 h_s が大きくなるにしたがい D_{ts} 変化の時間ピッチが大きくなり、たとえば $h_s=5\text{m}$ では、安定植生域が継続して存在する回数が1000年間でわずか9回しかない。これは、段差 h_s が大きくなると、高い方の河床が洪水の影響を受ける頻度が大幅に減少するためである。

図5-8の結果を見る限り、植物繁茂特性を見る時間尺度は相当長期間に設定すべきことが伺い知れる。

D_{ts} 変化の時間ピッチが短い $h_s=0.5m$ の場合でも、安定植生域や非安定植生域(礫床裸地かパイオニア的植物繁茂の場所)が継続して存在する期間のオーダーは少なくとも10年程度はある。これらは $h_s=3m$ になると、20~30年のオーダーを持つようになり、 $h_s=5m$ では100年に迫る計算結果となっている。このことは、ある河床の植物繁茂特性を議論するとき、その時間尺度を十数年程度に設定するのではあまりに短すぎる可能性が高いことを強く示唆するものである。これは、礫床河道上の安定植生域の動態が洪水という現象に強く支配され、少なくとも本感度分析で設定した基本条件の下では、安定植生域の動態に影響を与えるような洪水の頻度が、段差 h_s が低い場合でも10年に1回程度のオーダーであり、段差 h_s が大きくなるとこれがさらに大きくなるからである。

以上のことは、1000年間というような超長期の計算結果に基づき植物繁茂特性を議論することの意義につながってくる。すなわち、1000年間という超長期の間には河床変動や土砂輸送、植物繁茂を支配する境界条件や環境条件が不変ではあり得ず、これらを想定していない本計算に純粋な予測としての意味はさして無い。しかし、この程度の超長期の計算を行わないと、前述のように現象を支配している洪水の頻度が低いため、各河床場の持つ植物繁茂に関する特性を統計的に有意な形で客観的、定量的に比較することは難しい。こうした分析を可能にする道具として、ここで行ったような超長期の計算には意義がある。本感度分析で1000年間という超長期の計算を行ったのはこうした考えに基づいており、1000年間の計算結果を予測結果としてそのままとらえているわけではない。

図5-8は予測モデルから計算される“生”の結果である。上記の考察から、この“生”の結果に考察対象としての価値があると判断し、以下では、ここから計算される河床場の植物繁茂特性を表す代表量について考察を進める。なお、以下で取り上げる代表量はすべて計算期間である1000年間を通してのものである。

(2) 安定植生域、非安定植生域が存在する期間の割合について

ここでは、計算期間に対して安定植生域が存在する期間の総計の割合、あるいは非安定植生域が存在する期間の総計の割合を取り上げる。以後、簡単のため、前者を「安定植生域の存在期間割合」、後者を「非安定植生域の存在期間割合」と呼ぶ。ここで、非安定植生域とは、安定的植生が存在しない河床域のことを指し、具体的には、礫床裸地かパイオニア的植物繁茂のどちらかの状態となる。2つの存在期間割合を足せば当然100%になる。

図5-9、図5-10にそれぞれ、安定植生域の存在期間割合と非安定植生域の存在期間割合を示す。図では、基本量を与えた場合の計算結果を左端に示し、その右に、パラメータ値を基本量からずらしたときの結果も示している。なお、1つのパラメータ値をずらした場合、他のパラメータ値は基本量のまま固定している。まず、基本量を与えたときの結果に着目すると、安定植生域の存在期間割合は40~50%となっており、安定植生域が全期間の半分弱程度で存在する計算結果となっている。興味深いのは、 h_s を0.5mから5mまで変化させても、存在期間割合が大きくは変わらないことである。図5-8からわかるように、 h_s が変化すると安定植生域が存在する期間の出現パターンは大幅に変化する。しかし、本計算条件では、 h_s を変えても全存在期間は意外に変化しないようである。このことは、存在期間割合だけでは、対象とする河床場の植物繁茂特性を表しきれないことを意味している。

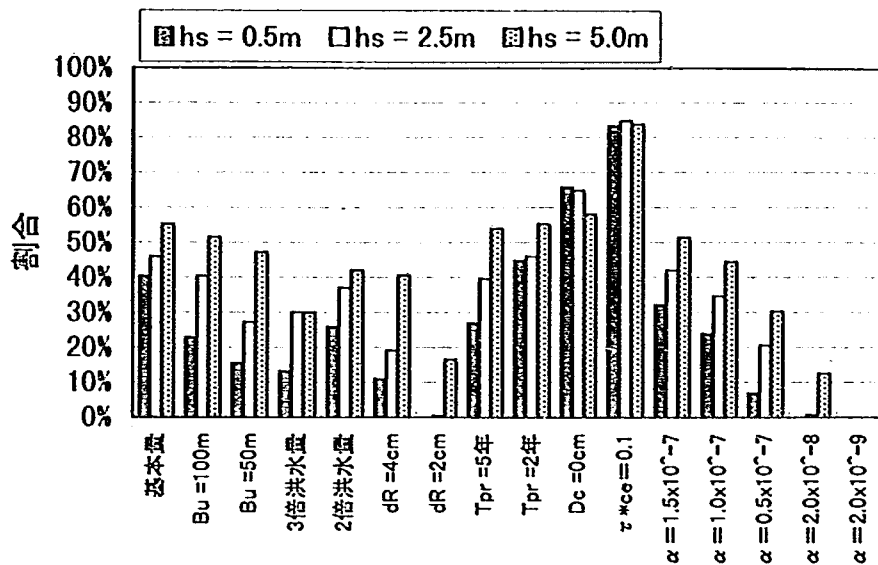


図5-9 安定植生域の存在期間の割合

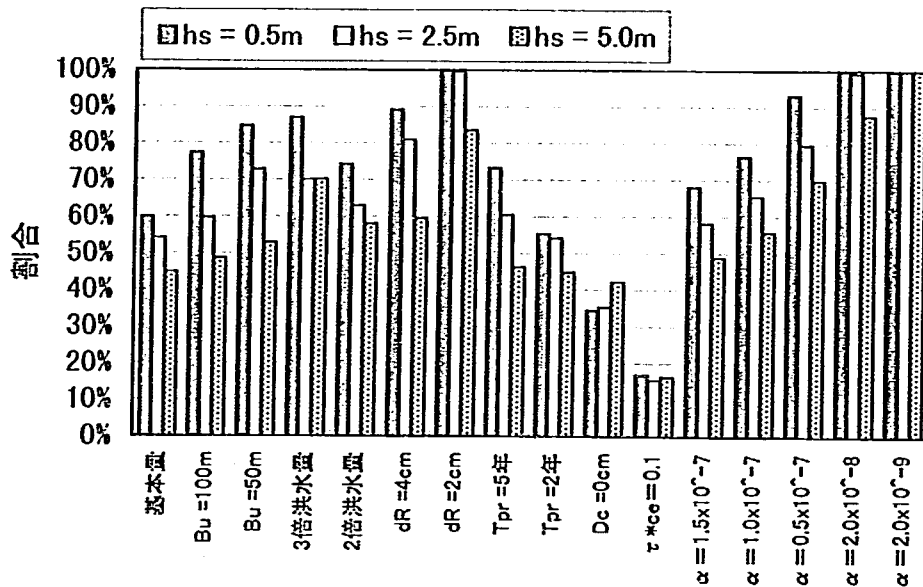


図5-10 非安定植生域の存在期間割合

各パラメータが安定植生域の存在期間割合に与える影響については、川幅の縮小(B_U の減少)、洪水流量の増大、礫の粒径 d_R の減少が存在期間割合の減少をもたらす、 D_c の減少、 τ_{*ce} の増大が存在期間割合増大をもたらす。一方、パイオニア的植物が繁茂するまでの時間 T_{pr} の影響は、上記のパラメータに比べ小さいと言える。これらのことは、パイオニア的植物や安定的植物の洪水による破壊の頻度にかかわるパラメータの影響が大きいことを示している。さらに、これらのことは、植物の繁茂特性を考える上で洪水による攪乱が重要であることを定量的に示すものといえる。各パラメータについて実際に起こりうる変化の幅を考えると、河床表面に関する特性量である d_R と τ_{*ce} に対する感度が特に鋭敏と言える。というのは、流量が2倍に増大し、あるいは川幅が1/3に縮小するような状況変化は考えにくい、礫の代表粒径や τ_{*ce} が3~4割変化することは充分考えられるからである。

なお、 α の影響については、(3) c) でまとめて述べる。

(3) 安定植生域、非安定植生域が継続して存在する期間について

a) 段差 h_s の影響

前述のように、(2) で取り上げた安定植生域あるいは非安定植生域の全存在期間だけでは、河床場の植物繁茂特性を充分には表しきれない。そこで、ここでは、安定植生域の一回の存在期間すなわち安定植生域が継続して存在する期間について、その平均値と分布範囲を算出し整理した。この平均値は期待値に当たる。以下では、「安定植生域の持続期間」、あるいは「非安定植生域の持続期間」と略称する。(2) で扱った存在期間割合とここで取り上げる持続期間の2つの代表量により、対象とする河床場の植物繁茂の基本特性を概ね記述できると考えられる。

図5-11と図5-12に、それぞれ安定植生域と非安定植生域の持続期間の平均値を段差 h_s との関係で示す。これらの図からわかるように、(2) で取り上げた存在期間割合の場合と異なり、持続期間は段差 h_s によって大きく変化する。基本量の下での計算結果を見ると、安定植生域の持続期間は8年から60年程度まで変化し、非安定植生域の持続期間は10年から50年程度まで変化している。このことから、植物繁茂特性を存在割合と持続期間の両方からとらえる必要があることが理解される。また、(1) で述べたように、植物繁茂をとらえる時間スケールを相当長くとるべきことも理解される。

基本量の下での計算結果で見ると、安定植生域の持続期間、非安定植生域の持続期間とも、段差0.5～1.5mぐらいまでは大きな変化がないが、段差が1.5m～2mを越えると持続期間が伸び始め、この傾向が段差4mぐらいまで続く。段差が4.5mを越えると、状況がもう一段変化し、持続期間の急激な増加が起こる。このように、基本量により表現したモデル河道については、段差2mぐらいと段差4mぐらいに植物繁茂の基本特性を変化させる遷移点があるようである。前者の遷移点は、段差の影響が出始める点に当たり、後者の遷移点は、対象とする河床場が洪水の影響を受けない普通の陸域に極めて近い状況へ変化する点に対応すると考えることができよう。このことは、河道形状のコントロールと植物繁茂特性との関連性を論じる上で重要な知見である。なお、計算値であるにもかかわらずプロットの曲線が滑らかにならないのは、ある計算条件では、持続期間が長くなる、あるいは存在割合が減少して存在期間の回数が著しく減少するなどにより、1000年間の計算といえども統計的に有意な平均値を求めるのに十分なサンプル数を確保できないからである。しかし、基本的な性質の把握には差し支えないとして考察を進めている。

さて、基本量からパラメータ値を変化させた場合の影響については、安定植生域、非安定植生域の両方について、洪水流量の増大という条件変化を除き、次のような性質を示している。すなわち、パラメータ値を変化させても、持続期間が全体的に上下に動くものの、段差が増大するにつれ持続期間が長くなるという基本的傾向は変わらない。一方、洪水流量が3倍になるという条件変化に対しては、持続期間が減少する上に、段差の増大による持続期間の増大という傾向が見られなくなり、持続期間が一定に近い傾向を示すようになる。これは、洪水流量を3倍にするという条件変化により、ひとたび洪水が発生した時のピーク水位が高くなり、当該河床への冠水頻度が段差によりどう変わるかが問題でなくなり、洪水の発生頻度そのものが現象を支配するようになるからと考えられる。ただし、こうした条件変化は極端であり、図5-11と図5-12からは、パラメータ値を相当変化させても、段差の増大に伴い持続期間が増大するという傾向は概ね保たれると結論づけるのが妥当であろう。

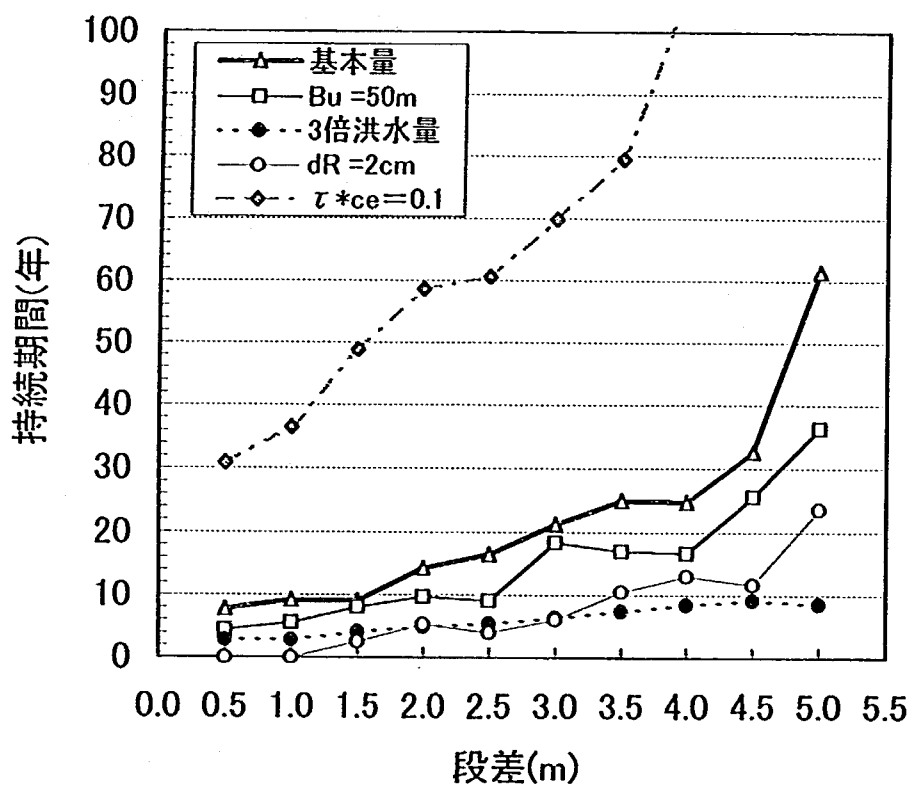


図5-11 安定植生域の持続期間の平均値と段差 h_s との関係

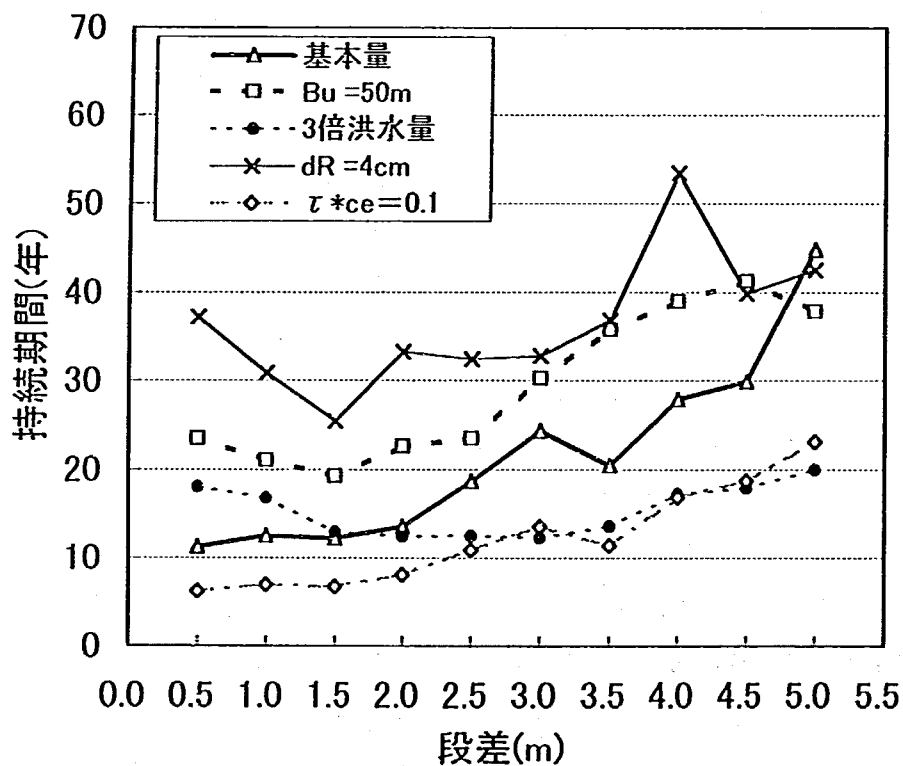


図5-12 非安定植生域の持続期間の平均値と段差 h_s との関係

b) その他のパラメータの影響 (α を除く)

図5-13と図5-14に、それぞれ安定植生域と非安定植生域の持続期間の平均値と分布範囲を段差 h_s ごとに示す。平均値は期待値に対応する。なお、いずれの図においても、基本量の下での計算結果以外に、パラメータ値を基本量からずらしたときの結果も示している。なお、1つのパラメータ値をずらした場合、

他のパラメータ値は基本量のまま固定している。これらの図から、段差以外のパラメータが持続期間に与える影響を調べて行く。基本量下の計算における持続期間と段差との関係において、2つの遷移点があることをa)で述べた。ここでは、それらの遷移点で区切られる3つ段差範囲のうち小さい方の2つの代表値として、段差 $hs=0.5m$ 、 $2.5m$ を取り上げる。 $0.5m$ は、段差による持続期間の変化があまりない領域に、 $2.5m$ は、段差の増大にともない持続期間の漸増が見られる領域に当たる。なお、2つ目の遷移点より大きい段差範囲については、計算期間1000年ではサンプル数が少なく平均値の持つ統計的有意性が十分でないことも考えられるので、ここでの考察からははずした。

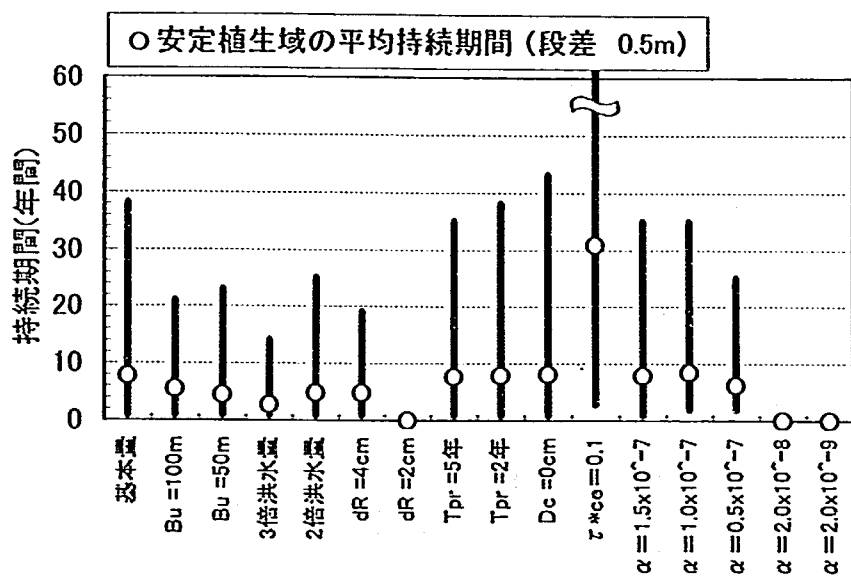


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 a) $hs=0.5m$

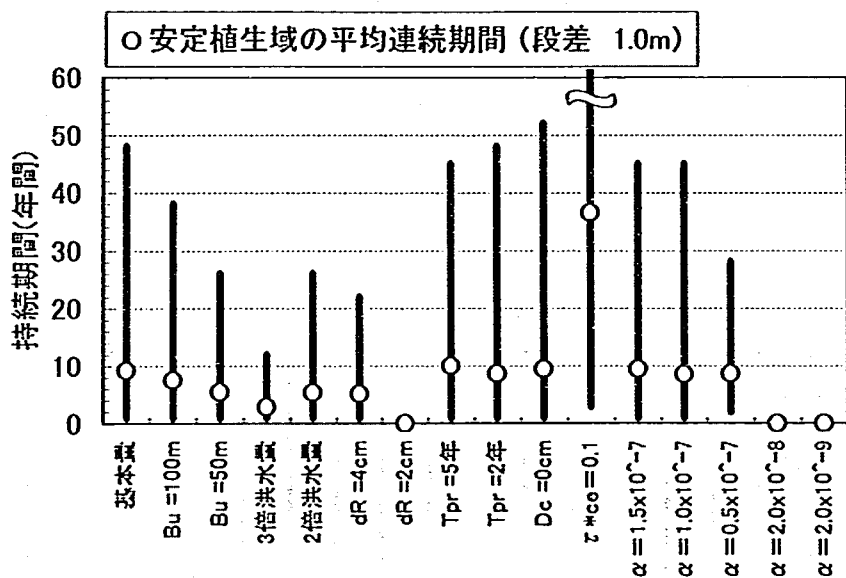


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 b) $hs=1.0m$

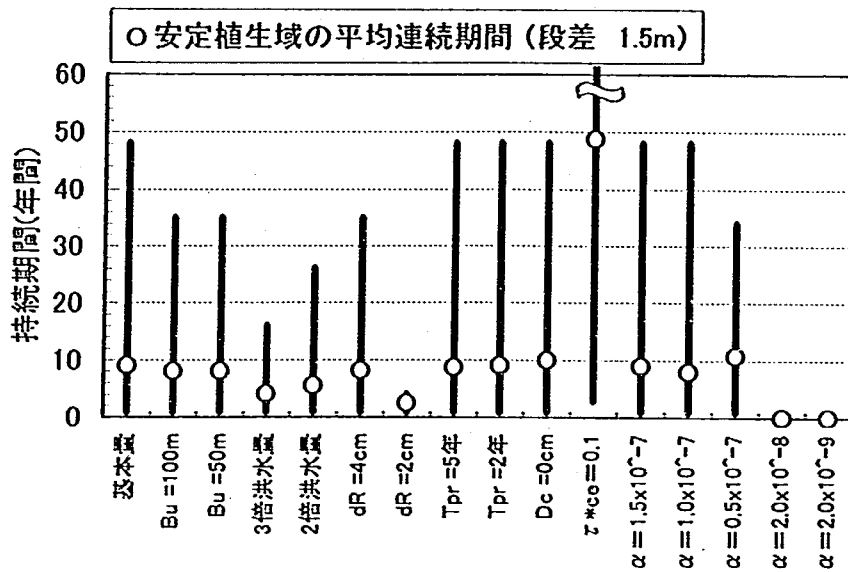


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 c) $h_s=1.5m$

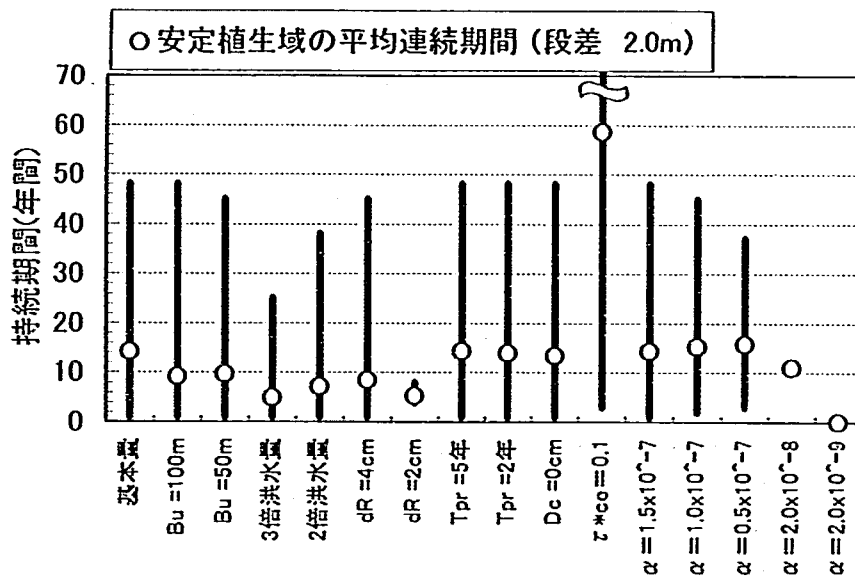


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 d) $h_s=2.0m$

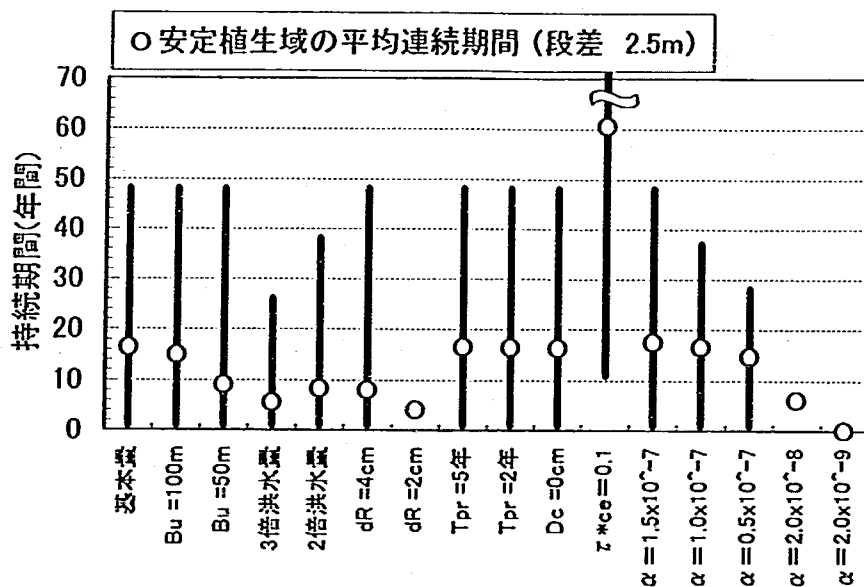


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 e) $h_s=2.5m$

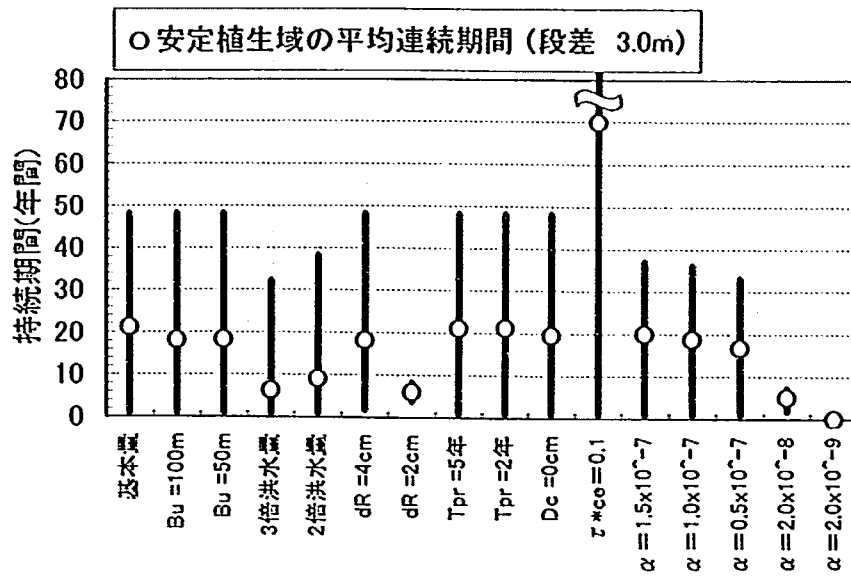


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 f) $hs=3.0m$

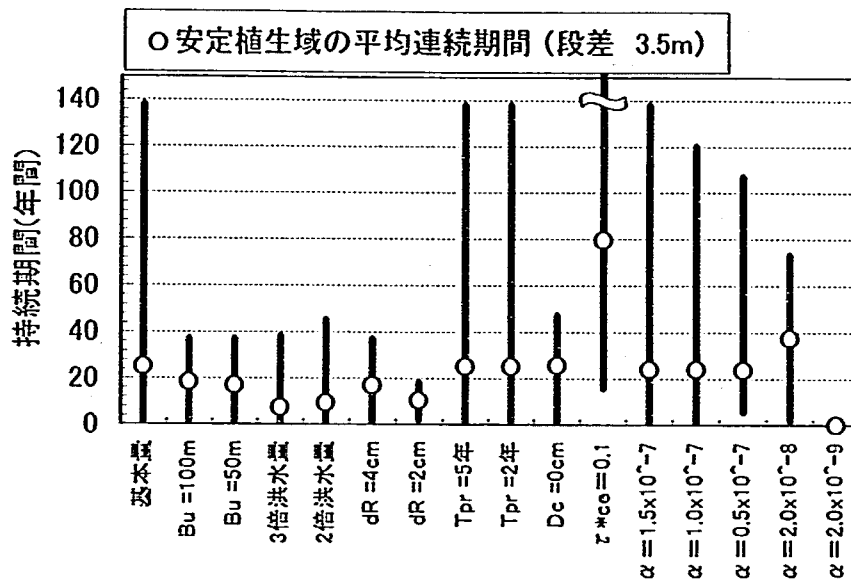


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 g) $hs=3.5m$

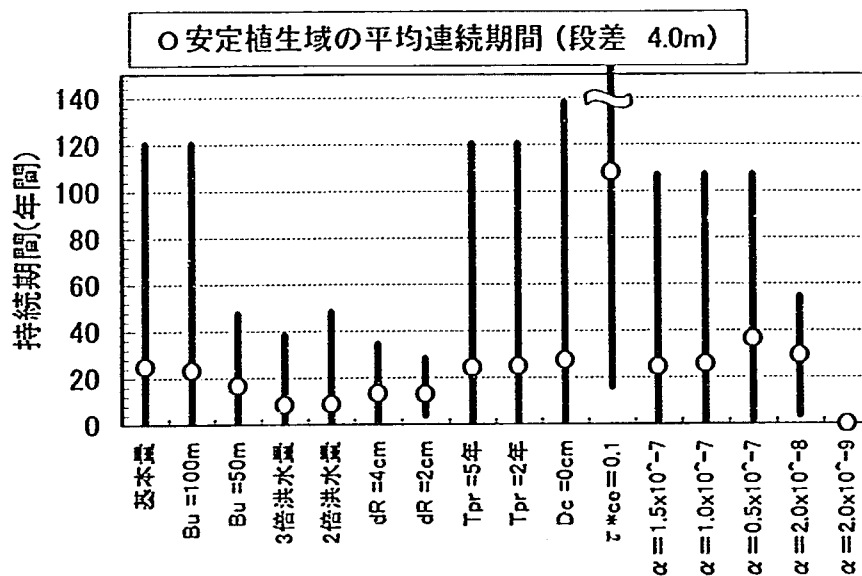


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 h) $hs=4.0m$

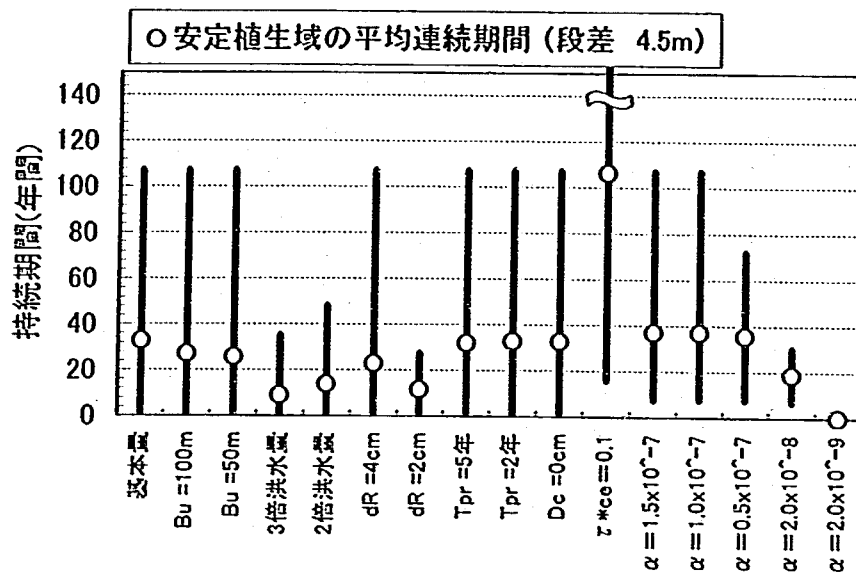


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 i) $hs=4.5m$

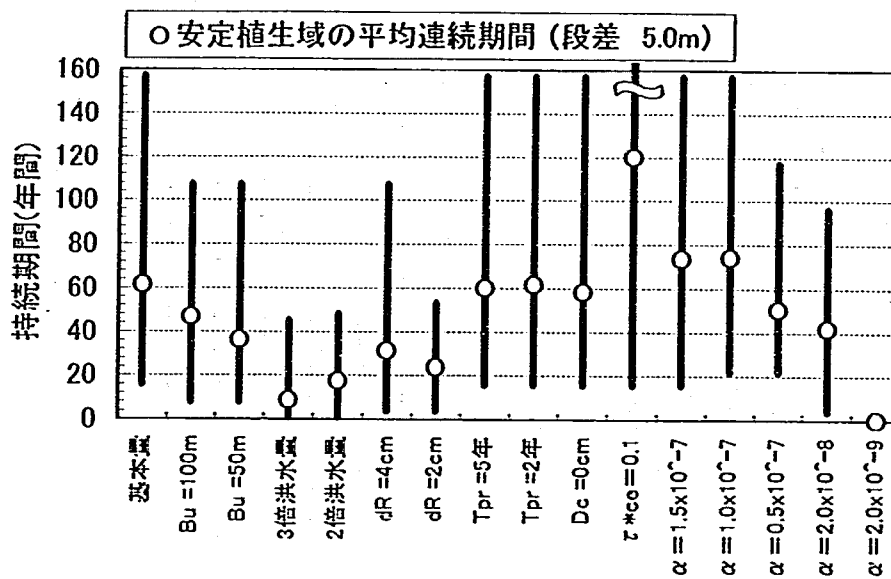


図5-13 安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 j) $hs=5.0m$

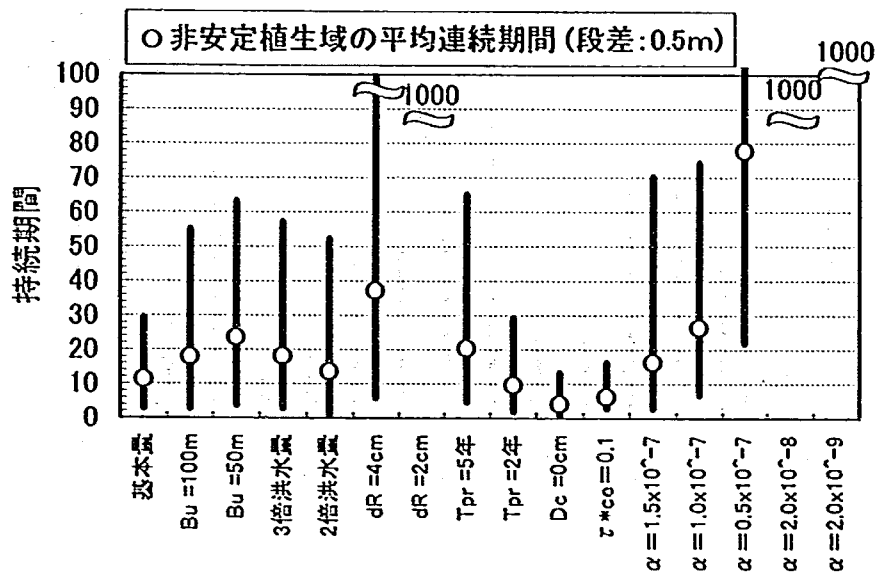


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 a) $h_s = 0.5m$

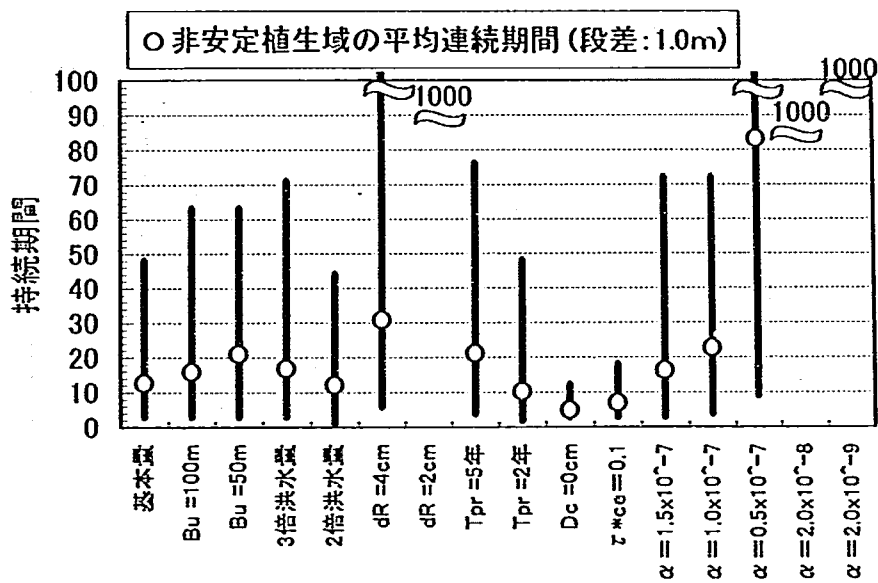


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 b) $h_s = 1.0m$

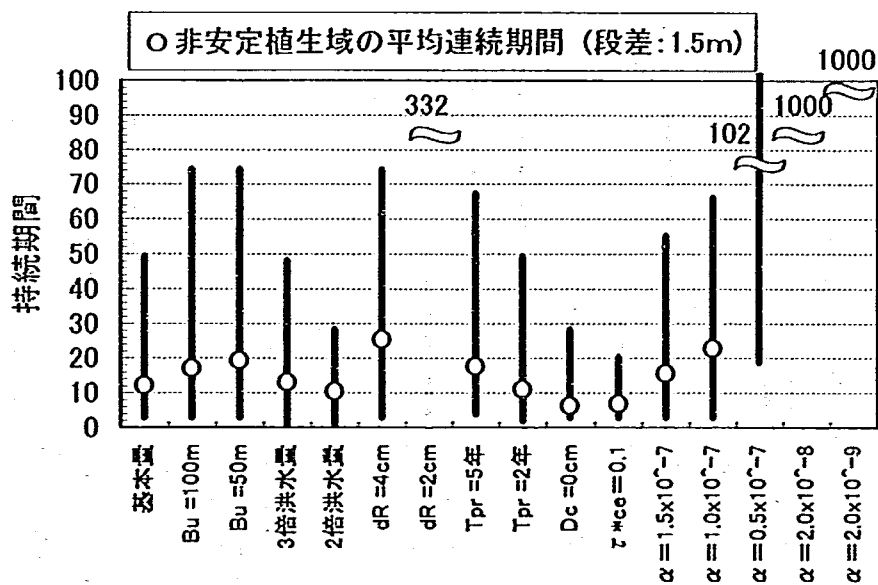


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 c) $h_s = 1.5m$

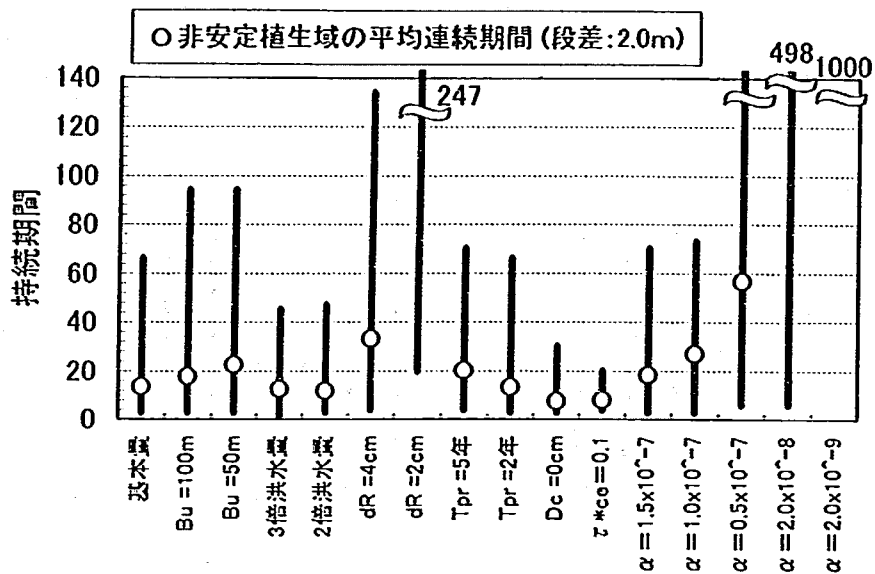


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 d) $hs=2.0m$

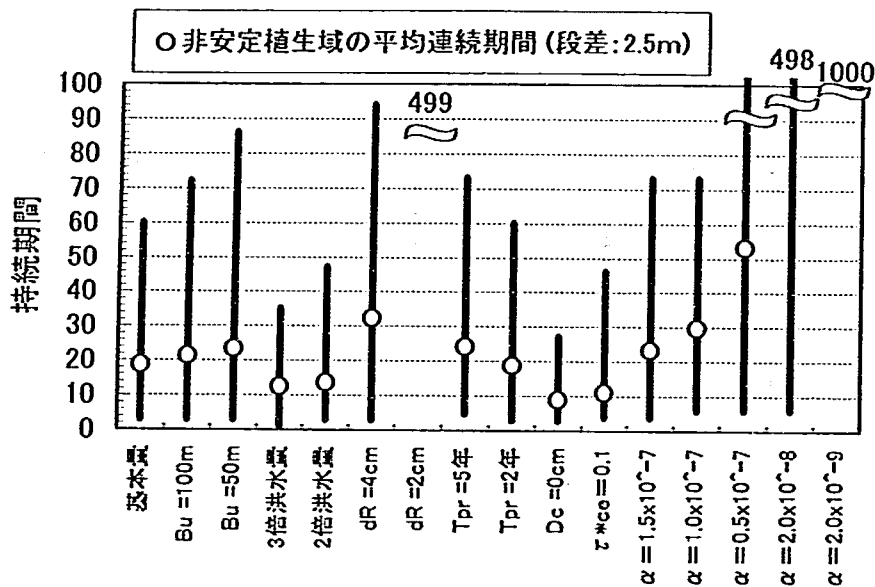


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 e) $hs=2.5m$

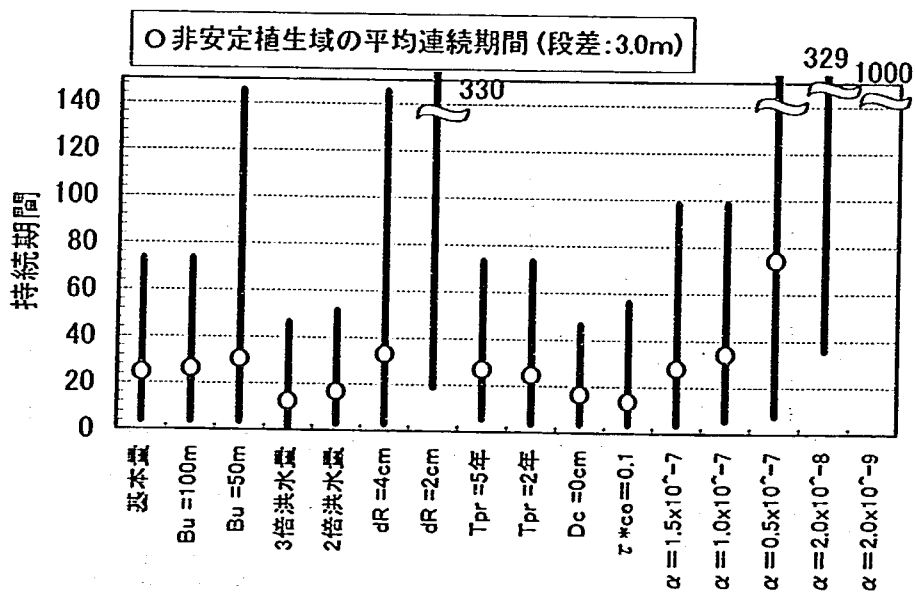


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 f) $hs=3.0m$

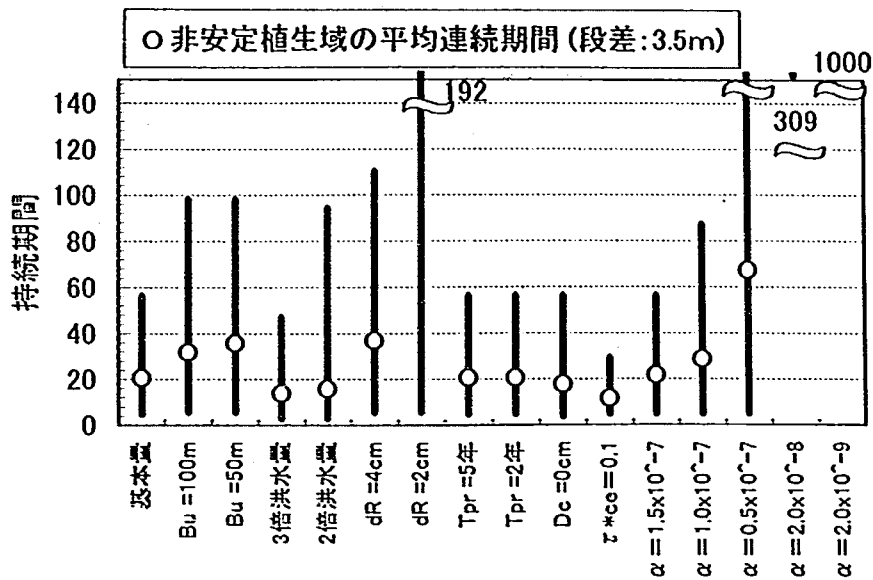


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 g) $h_s=3.5m$

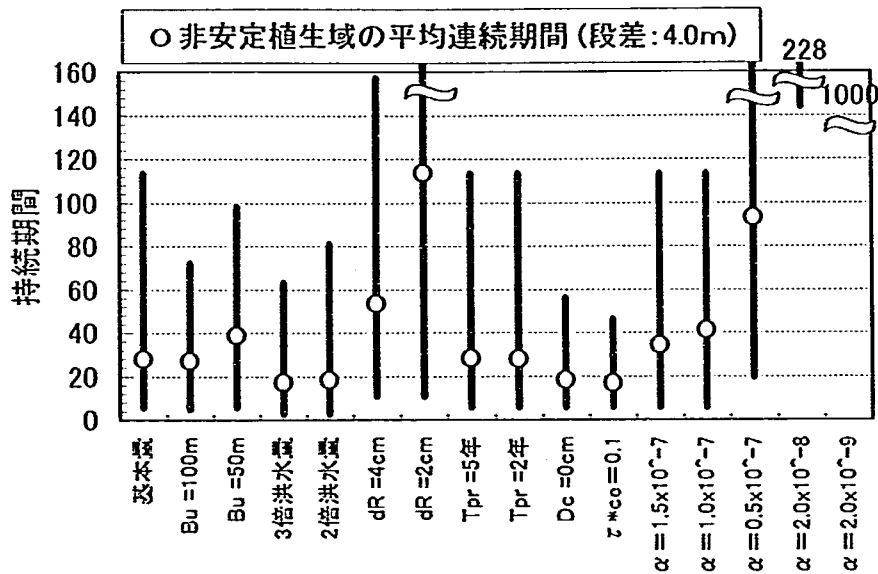


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 h) $h_s=4.0m$

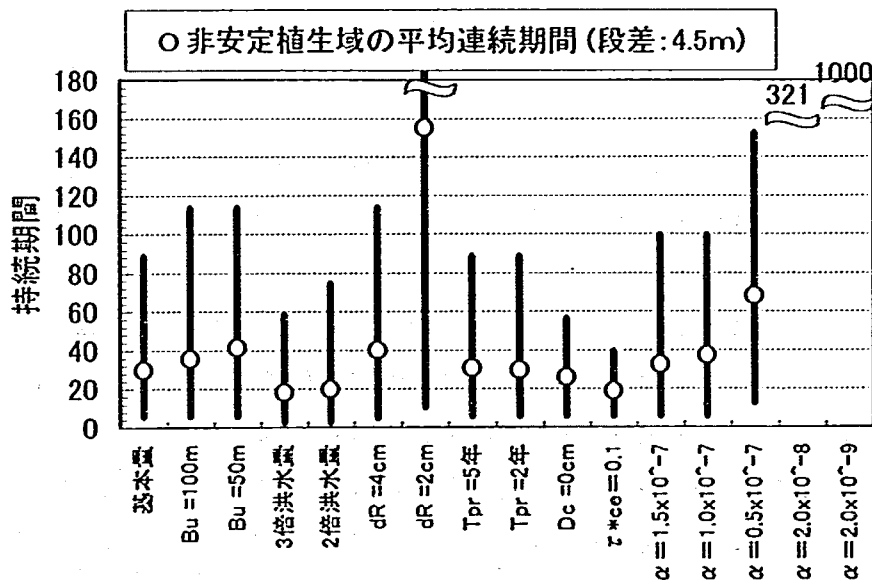


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 i) $h_s=4.5m$

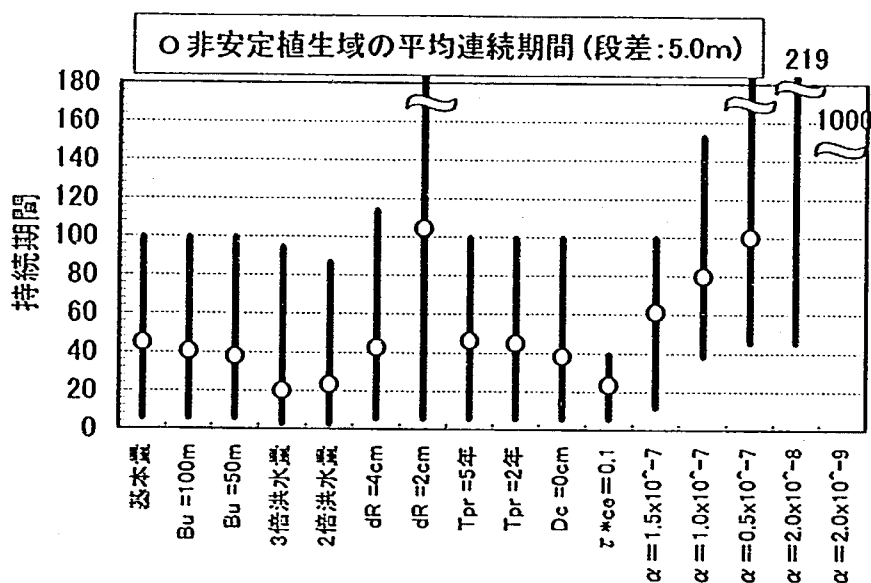


図5-14 非安定植生域の持続期間の平均値および分布範囲に及ぼす各パラメータの影響度 j) $h_s=5.0m$

表5-2 持続期間と存在期間割合に与える各パラメータの影響

	段差 h_s	川幅縮小 (B_U 減少)	洪水流量 増大	d_R 減少	T_{pr} 減少	D_c 減少	τ_{*ce} 増大
安定植生域の 持続期間(平均 値)の変化 傾向	0.5m	↓	↓	↓	→	→	↑
	2.5m	↓	↓	↓	→	→	↑
非安定植生域の 持続期間(平均 値)の変化 傾向	0.5m	↑	↑	↑	↓	↓	↓
	2.5m	↑	↓	↑	→ (↓)	↓	↓
安定植生域の 存在期間割合 の変化傾向	0.5m	↓	↓	↓	→	↑	↑
	2.5m				(↑)		

注) ↓は減少傾向を, ↑は増大傾向を, →は変化が明瞭でないことを表す。

表5-2に, 図5-13と図5-14から読み取った持続期間(平均値)に対するパラメータの影響度を総括した結果を示す。ここでは, 持続期間(平均値)に加えて存在期間割合についての結果も示してある。この図から, まず, 川幅縮小, 洪水流量増大, d_R 減少, τ_{*ce} の減少が安定植生域の持続期間を減少させることがわかる。また, T_{pr} の変化は大きな影響を持たない。この傾向は, 安定植生域の存在期間割合の応答傾向と似ている。ただし, 安定植生域の存在期間割合に関しては効いていた D_c の影響が持続期間に関しては出ていない。以上の傾向は段差の違い(0.5m, 2.5m)によって変わらない。

次に, 非安定植生域の持続期間についてみると, その応答傾向は概ね安定植生域の持続期間のそれと逆方向になっている。ただし, 非安定植生域の持続期間に関しては, 安定植生域について無かった D_c と T_{pr} に対する応答が明確になり, これらの減少に対して持続期間が減少する傾向を示している。 D_c と T_{pr} は安定植生域形成の前段階の現象に関するパラメータであり, これらは安定植生域の持続期間にはあまり効かないが, 非安定植生域の持続期間には効くようである。段差の違いがもたらす影響に関して興味深いのは, 洪水流量に対する応答傾向である。洪水流量が増大した時, 段差0.5mでは非安定植生域の持続期間が増大す

るが、段差2.5mでは逆に持続期間が減少している。図5-12にもこの逆転が明瞭に現れている。すなわち図中で基本量の線と洪水流量を3倍にした線が段差1.5mで交差している。このような逆転が起こるのは、段差が低い場合は洪水流量増大に伴い河床や植生が攪乱を受ける頻度が高まる効果が卓越するのに対し、段差が一定以上になると、この効果と洪水による表層細粒土層形成の頻度が増大する効果が拮抗し、安定植生域の持続期間は減少するものの、その出現の頻度が高まるためと考えられる。このことは、洪水流量の増大が安定植生域の存在期間割合を減少させるというある意味では容易に予想できる“量的変化”をもたらすだけでなく、安定植生域と非安定植生域の出現の時間パターンの変化（このため安定植生域だけでなく非安定植生域の持続時間も減少する）という“質的な変化”を場合によってはもたらすことを示しており、河床場を持つ植物繁茂特性を評価する上で重要である。

図5-13、図5-14に戻って、実際に起こりうる各パラメータ値の変化の幅を考慮して各パラメータの影響度を比較すると、安定植生域と非安定植生域の両方の持続期間（平均値）について、存在期間割合の場合と同様に、河床表面に関する特性量である d_R と τ_{*ce} に対する感度が特に鋭敏と言える。

また、図5-13、図5-14から、持続期間の分布範囲が非常に広く20～50年の幅を持つものも多い。この主な原因は、持続期間が洪水の出現に強く依存し、洪水の出方にかなりのばらつきがあるためである。したがって、ばらつき幅が大きいことは、本研究で扱っている河道内植生の本質的な性質と言える。議論を整理しやすくするため、今まで平均値（期待値）を中心に考察を進めてきたが、平均値のまわりのばらつき範囲が相当広いことを常に念頭に置く必要がある。すなわち、平均値を用いた比較により各パラメータの影響度や現象の基本的性質の吟味はできるが、実際の持続期間そのものの予測においては、ばらつきの影響が非常に大きく、決定論的な見方だけを用いるのは適切でない。

c) 流域からの細粒土砂供給にかかわるパラメータ α の影響

図5-9、図5-10、図5-13、図5-14には、 α を減少させる、すなわち流域からウォッシュロード的に供給される細粒土砂の濃度が減じた場合の影響も示されている。これらを見ると、 α 値が減少するにつれ、安定植生域の存在期間割合が減少し、非安定植生域が卓越するようになることがわかる。特に α 値が1/10以下になると、安定植生域の存在期間割合は激減し、非安定植生域が圧倒的に卓越する。これは、細粒土砂の濃度が大幅に減るため、表層細粒土層の形成に非常に時間がかかるためである。それでも段差が大きいと、植生流失を起こす洪水の頻度が減少する一方で、高い方の河床部分に冠水したときの洪水流量規模が大きくなり、細粒土砂濃度が減っても、それなりに表層細粒土砂堆積が起こるため、安定植生域の減少が多少緩和される。 α 値の減少に伴う安定植生域の存在期間割合や持続期間（平均値）の変化を見ると、減少が一定限度を超えると、急に減少する傾向を示す（この一定限度については、上述のように、段差によって違いがある）。このことは、細粒土砂濃度の減少がある程度進んでも植物動態に大きな変化をもたらさないが、ある限度を超えると植物動態が急変することを意味する。

以上から、細粒土砂濃度の変化は河床場の植物繁茂特性に有意な影響を与えと言える。細粒土砂の濃度が高い河川ほど、植物繁茂の活性度が高いことになる。また、細粒土砂濃度の変化が一定幅以上になると急にその影響が河道状況に現れる可能性も示された。このような特性は、河道内の自然環境と流域との直接的なつながりを示すものであり、流域という視点から河川状況をとらえる1つの足がかりとして重要である。

(4) 安定植生域の面積割合の時間変化について

今までは、1つの河床条件を対象に計算・分析を行ってきた。このため、安定植生域～非安定植生域間の変化がいつに起こる計算になっていた。ここでは、いくつかの異なる条件を持つ河床が同時に存在する状況について考察する。最も簡単な状況として、段差 $h_s=0.5\text{m}$, 2.5m , 5m の3つの河床が全面積の $1/3$ ずつ均等に存在する状況を想定する。図5-15a)に、この状況について予測モデルを用いて計算した安定植生域の面積割合の時間変化を示す。一方、図5-15b)～d)は、それぞれの河床が単独で存在した場合の計算結果を示したものである。この図から明らかなように、異なる条件を持つ河床場が混在すると、単一の河床場しか存在しない場合に比べ、安定植生域の面積変化が緩和され、安定植生域が部分的にでも存在する状況が相当長期間継続することになる。このことは、条件の異なるわずか3つの河床場が混在するようになるだけで、河道全体としての植物繁茂特性が大きく変わる(河道環境の激変が大きく緩和される)こと、したがって種々の特性を持つ河床場の分布を考えることが重要であることを示している。

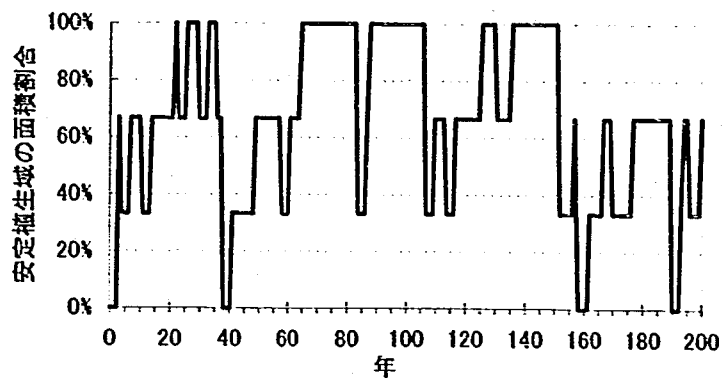


図5-15 安定植生域が存在する面積割合の時間変化 a) $h_s=0.5m$, $2.5m$, $5m$ の河床面積が1/3ずつ混合している場合

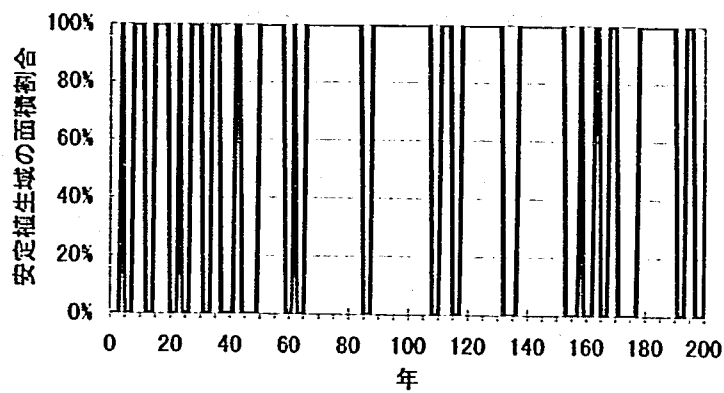


図5-15 安定植生域が存在する面積割合の時間変化 b) 全ての河床面積が $h_s=0.5m$ の場合

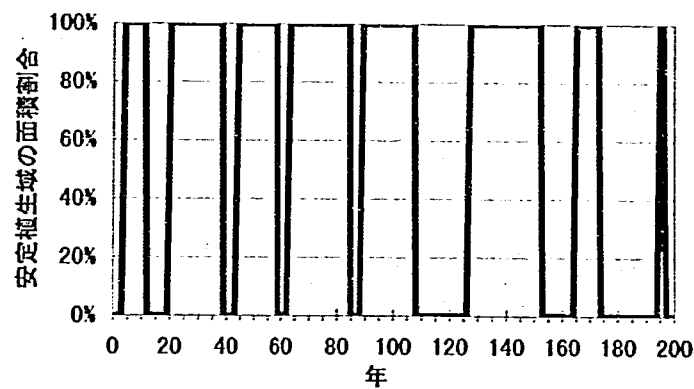


図5-15 安定植生域が存在する面積割合の時間変化 c) 全ての河床面積が $h_s=2.5m$ の場合

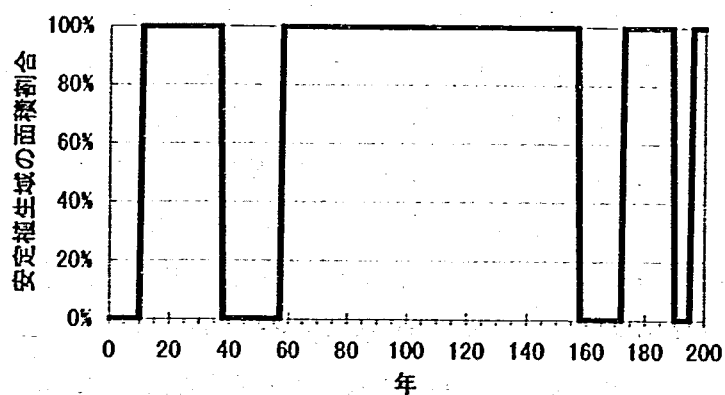


図5-15 安定植生域が存在する面積割合の時間変化 d) 全ての河床面積が $h_s=5.0m$ の場合

5.3.3 河川管理への応用を意識した植物変化予測の枠組みについての考察

(1) 本予測モデルの質向上のためにさらに検討すべき現象・過程

5.2.4に述べた本予測モデルの元々の成り立ちにかかわる課題は別にして、5.3.2に示した感度分析の結果明らかになった各パラメータの影響度からも、本予測モデルの質を向上させる上で重要な現象をある程度特定することができる。まず、川幅や流量、段差は予測結果に大きな影響を与えるが、所与の条件として明解に与えることができるので、モデル改良という点からはさほど重要ではない。残るパラメータの中で影響度が大きい d_R と τ_{*ce} については、その質をさらによく吟味する必要があると考えられる。河床材料が礫の場合、混合粒径であることが普通であり、粒径範囲も大きい。このような材料の代表粒径は、時間的にも空間的にも相当変化してもおかしくない。 d_R の少しの変化が予測結果に大きく影響するので、河床表面の礫の構成、それを作る混合粒径の挙動、さらにこの境界条件となる礫供給の変遷などを、こうした植物変化予測に見合うレベルで改めて詳細に検討する必要がある。もう1つの τ_{*ce} についても、予測結果への影響が大きいので、植物流失の実態調査例を増やし、流失機構のさらなる一般化・定量化を図りながら実態に応じた条件の細分化などを検討していくことで精度を向上させる必要がある。このように、河床ごく表面の土砂および植生の水理現象が、予測精度向上の1つの大事な鍵となりそうである。

一方、同じ河床面でも生物過程の方により深く関係する T_{pr} と D_c は、 d_R と τ_{*ce} に比べ予測結果への影響度が小さい。すなわち、パイオニア的植物が再生するまでの時間が5割程度変わっても、あるいは、安定的植生が繁茂するための最低表層土層厚が3cmから半分以下に減少しても、予測結果にはあまり効かないという感度分析結果になっている。これは、河床表面の生物過程にかかわる現象よりも、洪水と土砂移動が起こす河床表面の物理変化の支配力がより大きいためと考えられる。この結果は、提示した予測モデルにより「安定植生域」の動態を計算するという枠組みの下、さらにこれを礫床扇状地河道に適用した場合に得られたものであり、こうした枠組みや適用河道が変われば、またそうでなくても基本量が変われば、各パラメータの重要度も変わり得る。したがって、物理現象と生物現象のうちどちらが優位かをここで一般的に結論づけることは無意味である。むしろ、このような検討を通じて、河道内の自然環境を特徴付ける物理過程と生物過程とのせめぎ合いの状況や、どちらが制約条件になっているかを把握し、種々の河川環境が持つ質を理解し類型化するための見方を得ることが重要であろう。

(2) 本予測モデルの河川管理への応用についての考察

5.2.4で述べたように、本予測モデルから出てくるアウトプットは、モデルの元々の成り立ちにかかわる制約条件から、実現象の完全な予測にはなっていない。しかし、少なくとも、「礫床裸地、パイオニア的植物の繁茂、安定植生域の形成という3つの河床状態のいずれかか」という情報を得ることができ、これは治水、自然環境の両面からの河道管理にとって有益と考えられる。治水面から言えば、上記の3つの河床状態と洪水時の粗度には相当高い関連性があると言える。礫床裸地、パイオニア的植物の繁茂であれば、植物が粗度増大に与える影響は皆無か低レベルであるが、安定植生域となれば、植物が粗度増大に相当な影響があると見なければならない。特に、安定植生域と判別された河床には樹木が繁茂する可能性があり、これは洪水流に大きな影響を与える。したがって、上記3つの河床状態の予測は、粗度という観点からの河道管理のベース情報となりうる。一方、河川の自然環境という面でも、上記3つの河床状態の判別は重要である。礫床裸地はもちろんパイオニア的植物繁茂と予測された河床は、いわゆる“河原”的あるいは“準河原的”環境を残していることを意味し、こうした河床域の消長に関する予測結果は、この環境に依存

する生物や生態系の保全を考える上で重要である。また、安定植生域になれば、植物相が河原的環境の河床場と大きく異なることになり、場合によっては樹木が繁茂する可能性もある。安定植生域の消長も環境管理を考える上で必須の情報である。上記3つの河床状態の違いは、植物だけにあるのではなく、河床表面の立地条件の違いを伴っている。表層細粒土層の有無は、土壌の有無にもつながり、河床のハビタット構造の大きな違いにつながると言え、この意味でも、本予測モデルのアウトプットは重要である。

本予測モデルは、予測対象が3種類の河床状態しかないという5.2.4に述べた本質的不足点を抱えているが、この3つの河床状態に基づいて治水・環境両面からの評価を行う方法の工夫(現段階でも上記のようにある程度可能と考えられる)、生物過程に関する突っ込んだ検討に基づき3種の河床状態それぞれの"生物的中味をより詳細に予測するモデル等との組み合わせを図っていくことで、河道管理に役立つより直接的な情報が獲得できると考えられる。このような意味で、本モデルは、生物・生態系まで含めた河道状況を予測し河道管理に役立てていく総合モデルを、洪水と土砂の作用という視点から下支えするものと位置づけられる。

次に、感度分析から明らかになった植物動態予測を考える上での重要事項を述べる。第一は、植物繁茂状態の変動の激しさと、変動の時間スケールの持つ意味である。予測計算結果から明らかなように、植物状態は裸地から安定植生域まで大きく変動し、しかもその時間スケールが10年以内から場合によっては数百年に及ぶレベルまで分布する。このことは、河道内の植物を通して河道の自然環境を理解する場合、ある一時点の、そして1つの状態をもって判断をするのでは足りず、その変動幅と時間スケールを充分意識し、変動の中での各時点の植物繁茂状態の位置づけを総体的に理解した上で、個別の状態を評価していくことが大事である。このような視点は、本予測モデルを生かすことで自ずと得られると期待できる。

第二は、植物の状態が洪水に強く影響され、洪水の出方が確率的であるため、植物状態を決定論的に予測することができないという特質である。このことは、植物状態そのものの予測においては、非決定論的な見方をする必要があることを意味し、予測結果の解釈や利用もこの視点を常に念頭に置かなければならない。たとえば、想定したのと異なる大きな洪水が1つ出ただけで、予測結果が大きく変わるということである。

このような特質を受けて、植物繁茂状態の予測を行うには、2つのアプローチがある。1つは、洪水の出方についてシナリオをいくつか用意し、それぞれについて計算を行い、全ての計算結果を総合的に吟味しながら、河道管理の方針を検討するというものである。立てられる方針は、その後の洪水の出方に応じて柔軟に対応する形になるであろう。このアプローチは直接的でわかりやすいが、洪水シナリオの違いによる結果の差が大きくなる可能性が高く、種々の大きく異なる計算結果を前に河道管理のための判断を行うのはそう簡単ではなかろう。もう1つは、長期的な予測計算を行い、計算結果の平均的な諸量を基に、各"河床場"の"特性"を評価するというアプローチである。これには、感度分析のところで述べた存在期間割合や持続期間の平均値、分散などが評価指標となろう。この方法は、直接的な予測結果をベースとしないうわかりにくさはあるが、種々の条件変化に対し、対象とする河床場の植物繁茂に関わる特性が大局的にどう変わるかを理解するのが容易であるので、河床場の特性に関する評価軸が整備されれば、河道管理につながりやすいアプローチといえる。

図5-16は、上記の2つ目のアプローチにしたがった1つの事例である。この図は、対象とする河床場の植物繁茂特性を2つの指標すなわち1) 安定植生域(礫床裸地)出現の平均周期(横軸)、2) 安定植生域の存

在期間割合（縦軸）により表現したもので、「植物動態に関する河床場特性把握図」と名付けている。1)の平均周期は、安定植生域と非安定植生域の持続期間の平均値を合計したものである。表5-3に示すように、当該河床場がこの図のどの位置に来るかで、その河床場上で展開される植物動態の特性を大まかに知ることができる。図5-16には、種々のパラメータを変えたときに、把握図上のプロット点がどう移動するかが示されている。このような図から、段差や川幅、流量、礫粒径など直接、間接に河道管理に対象となりうる条件の変化が当該河床場の植物動態にどのような影響を与えるかが明瞭になる。このことは、望ましい植物動態の確保に向けて河床場の条件をどう変えていき、それを河道管理に具体的にどう反映させるべきかを検討する上で役に立つ。このような図に、図5-15で取り扱った種々の河床場の組み合わせという視点を組み込むことで、植物動態を“柔らかく”コントロールする河道管理の道筋が議論しやすくなると考えられる。

表5-3 植物動態に関する河床場特性把握図の見方

大 ↑ 安定植生域の存在期 間割合 ↓ 小	・ 陸地的状況が卓越 ・ 不安定（変化が早い）	・ 陸地的状況が卓越 ・ 安定（変化が遅い）
	・ 河原的状況が卓越 ・ 不安定（変化が早い）	・ 河原的状況が卓越 ・ 安定（変化が遅い）
小←安定植生（礫床裸地）出現の平均周期→大		

前述のように、植物の変化が決定論的にとらえられず、変動の幅とその時間スケールが大きいことから、まずは植物動態の平均的な特性に着目して河床場をコントロールするという第二のアプローチで河道管理の方針を概略検討し、これに第一のアプローチであるシナリオに基づく方法を組み合わせ、きめ細かさを加えることが、適切な河道管理を行うための現実的な方法になると考えられる。

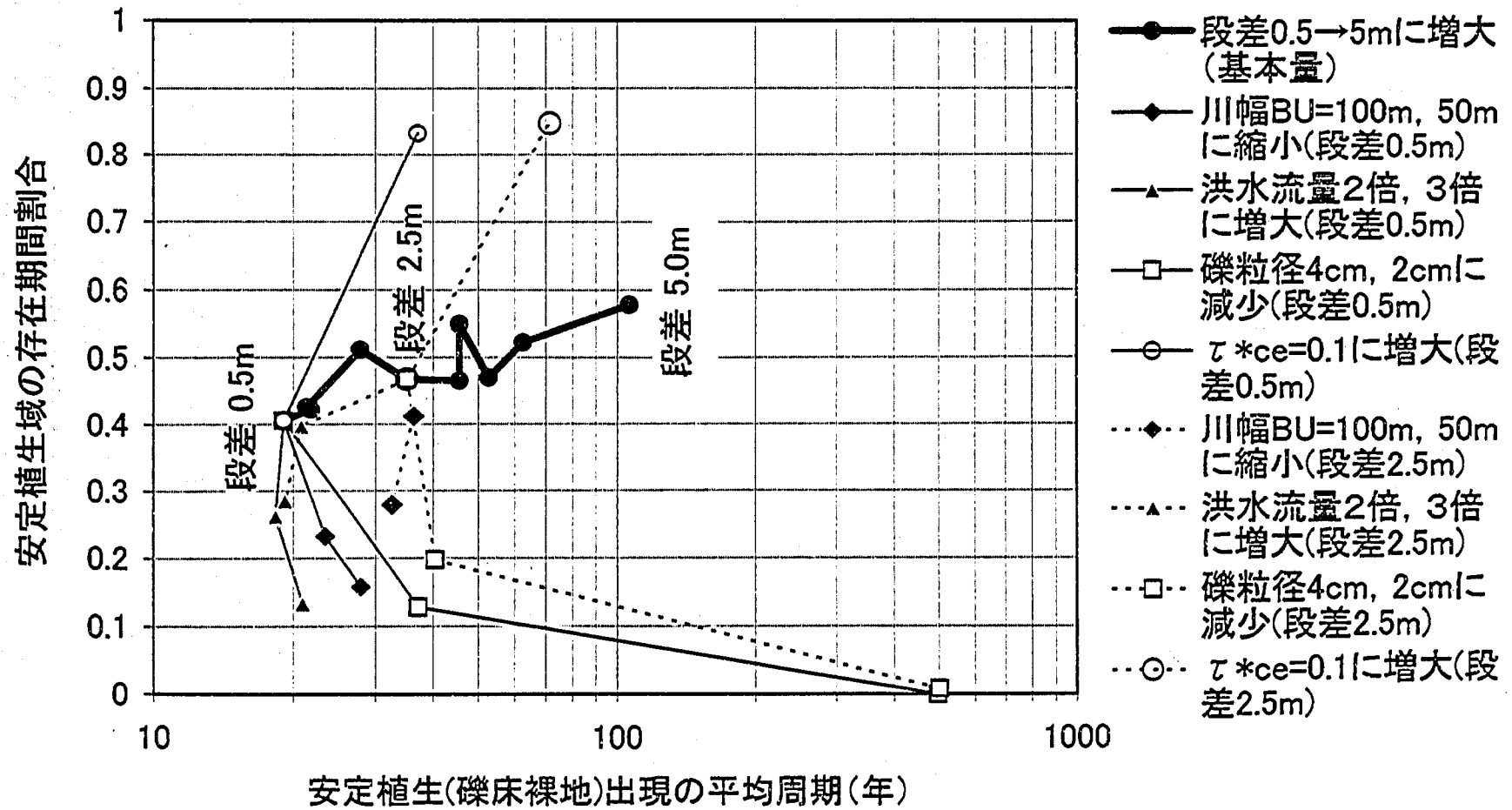


図5-16 植物動態に関する河床場特性把握図の説明

第6章 結 論

第1章において、近年日本の扇状地礫床河道(河道セグメント分類で言うところのセグメントI)において樹林地などに代表される安定的に存在する密生した植生域(安定植生域)が顕著に増える事例が目立つことを示しながら、この現象の機構解明と予測手法開発が、河川の治水安全度確保と自然環境保全のための河川管理を適切に行っていく上で非常に重要であることを示した。

第2章では、多摩川の扇状地礫床河道部における3つの研究対象地区(永田橋地区、秋川合流地区、日野橋地区)について、安定植生域の拡大と河床変動の実態を調べた。その結果、河床掘削の影響が見られなくなった1968年以降現在に至るまでに、安定植生域の拡大が明瞭に見られることが明らかになった(永田橋地区、日野橋地区)。また、安定植生域の拡大を担った植物群落(オギ、ニセアカシア、オオブタクサ、ススキ、ギシギシ、ヨモギ)が明らかになり、その多くは、複断面化に伴い現れた高水敷に定着したことが示された。さらに、植生変化を植物群落ごとに調べていくと、河床変動特性と各植物群落の動態との間に密接な関係があることも示された。安定植生域の拡大は、複断面化が起こってからすぐに引き続いて生じるとは限らず、むしろ洪水をきっかけとして急速に拡大した可能性を示唆する事例が目立つことも明らかになった。これらのことは、研究対象地区における植物群落の動態の背後にある仕組みを理解する上で、洪水と河床変動の影響を考慮することの重要性を示すものである。

第3章では、上記3研究対象地区について、各植物群落が存在する場所の立地条件を調べた。その結果、裸地を含む植物群落を3タイプ(I, II, III)に分けた場合、立地条件と各タイプとの間に明瞭な相関があること、この相関関係は、現時点だけでなく安定植生域の拡大が起こったこの25年程度の間にも適用できそうなことが示された。これらの結果に基づき、安定植生域拡大過程を考察したところ、礫床の裸地的地被(タイプI)から安定植生域(タイプIII)形成に至る道筋についてのシナリオを得ることができた。このシナリオに基づけば、礫床の裸地的地被(タイプI)が安定植生域(タイプIII)へ移行するには、どこかのパスで立地条件の物理的变化、具体的には「表層細粒土層が礫床の上に堆積すること」を必ず経る必要があり、安定植生域拡大過程において立地条件が本質的な役割を果たしていることが明らかになった。

第4章では、安定植生域拡大の鍵を握る表層細粒土層堆積の実態、それと安定植生域拡大過程との対応を調べるとともに、表層細粒土層堆積のメカニズムを検討し、安定植生域拡大の全体的シナリオを以下の通り構築した。①1974年洪水により永田橋地区の右岸側に粒径1~30cmの礫を主体とする材料が堆積し、それ以前比較的平坦であった河床横断形状がやや複断面的になった。この段階で、上記の右岸側堆積域に植生はほとんど無かった。②1975年~1980年にかけて、左岸の滞筋部がやや低下し、複断面化が明確になりつつあった。この間に、高水敷状となった右岸河床部が冠水する洪水は生じなかった。③上記②の時期に、高水敷状となった右岸河床部にタイプI(裸地を除く：カワラノギクなど)、タイプII(ツルヨシなど)のように表層細粒土層を必要としないか、タイプIII-1(ススキ)のように、薄い表層細粒土層があれば繁茂できる植物が群落を広範囲に構成した(本拡大過程においては、“バイオニア的”植物と言える)。ただし、裸地のままの場所も部分的に残った。④1981, 1982, 1983年洪水により、右岸河床部が冠水し、ウォッシュロードが流入し、上記③の植物が繁茂している場所に有意な細砂堆積(表層細粒土砂の形成)が起こった。なお植物が無い場所には細砂堆積が起こらず、カワラノギクなど密生度が低い植物繁茂範囲の堆積厚は薄

かった。⑤3洪水が発生する前に繁茂していた植物の基盤である1~30cmの礫は、この3洪水によって広範囲に移動することはなく、これらの植物は洪水中大規模な流失を起こさなかった。⑥1984年以降(速ければ1982年以降)、こうして形成された表層細粒土層にタイプⅢの植物群落が定着し始め、急速に拡大した。⑦なお、これと並行して、左岸低水路部の河床低下が速まり、複断面化が一層明確になった。⑧1984年以降、右岸高水敷が冠水する洪水は起きていないので、そこでの立地条件に大きな変化はなく、上記⑥の過程が基本的には現在に至るまで継続している。

第5章では、まず、第4章までに明らかになった安定植生域拡大の過程とその機構を忠実に反映させ、これに洪水による植生流失メカニズムを加えることにより、安定植生域の消長を予測するモデルを構築した。この予測モデルを、本研究で取り上げた多摩川永田橋地区の右岸高水敷に適用し、そこでの安定植生域の消長を計算し実態と比較することにより、モデルの有効性を確認した。次に、河道内の植物動態に関わる数多くの現象の中で本予測モデルが扱っている範囲や位置づけを明らかにした。最後に、予測値に影響する種々のパラメータについて感度分析を行い、以下の成果を得た。1) 今後、河道における植物動態の予測の質を高めていく上で重要となりそう(したがって現象解明や定量記述のレベルを上げる必要がある)現象(過程)が特定でき、予測モデル発展の方向性を明示できた。2) 予測モデルから得ることができる情報が河川管理上必要な情報とどうつながるかを考察し、本予測モデルが河川管理における種々の判断に役立つことを明らかにした。3) 以上を合わせて、河道内の植物動態を今後の河川管理へ反映させていく際の基本的な考え方を提示した。

謝 辞

本論文の中核部分は、著者らの一人である李參熙が筑波大学博士課程の研究活動を通じて学位論文としてとりまとめた内容になっています。この過程で、筑波大学の西村仁嗣先生、京藤敏達先生、武若聡先生、鷺谷いづみ先生、そして山梨大学学長 椎貝博美先生から貴重な助言をいただきました。また、この李參熙の研究活動期間の前半部分に在籍した土木研究所河川環境研究室の島谷幸宏室長、萱場祐一主任研究員との議論も大変有意義でした。本研究は、横浜国立大学の奥田重俊先生らによる多摩川の過去3時点での精密な植生図と、建設省関東地方建設局京浜工事事務所による過去の洪水および河床データがあっただけで可能になりました。本研究は、河川生態学術研究会の枠組み・活動の下ではじめて成り立ったものです。ニセアカシア林内の詳細調査に際しては、河川研究室の服部敦、瀬崎智之両研究員と近藤和仁・徳田真両交流研究員より多大な援助を受けました。本研究を遂行する上で不可欠であった以上の各位に対し、心からの謝意を表します。

参考文献

- 1) 浅野文：河川敷の森林化と河川の安定に関する研究，環境部部外研究員研究発表会論文集，建設省土木研究所，1996。
- 2) 石川慎吾：揖斐川の河辺植生Ⅱ，扇状地域の砂れき堆状の植生動態，日本生態学会誌，Vol. 41，No3，pp. 145～148，1991。
- 3) 石川慎吾：揖斐川の河辺植生，Ⅰ．扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境，日本生態学会誌，38，pp. 73～84，1988。
- 4) 市川新：多摩川：そのエコバランス-都市と河川環境の均衡をめざして-，ソフトサイエンス社，第1章，pp. 21～37，1997。
- 5) 井出久登，武内和彦，加藤和弘，篠沢健太：生態的特性に配慮した河川空間の設計・計画のための支援システムの開発，河川美化・緑化調査研究論文集，第6集，(財)河川環境管理財団・河川環境総合研究所，pp. 53～96，1998。
- 6) 尹龍男：工業水文学，13章，pp. 495～531，1988。(韓国語)
- 7) 宇多高明，藤田光一，佐々木克也，服部敦，平舘治：河道特性による植物群落の分類，土木研究所資料，第3249号，1994。
- 8) 奥田重俊，佐々木寧編，河川環境と水辺植物—植物の保全と管理—，ソフトサイエンス社，1996。
- 9) 奥田重俊，曾根伸典，藤間照子，富士堯：多摩川河川敷現存植生図，とうきゅう浄化環境財団，1979. 3。
- 10) 奥田重俊，小松聡子，島瀬頼子：多摩川河川敷現存植生図，建設省京浜工事事務所/河川環境管理財団，1995。
- 11) 奥田重俊，笠原恵美：多摩川永田橋地区現存植生図，河川生態学術研究会多摩川グループ，1998。
- 12) 河川生態環境評価基準の体系化に関する研究グループ(研究代表者 玉井信行)：河川生態環境評価基準の体系化に関する研究，(財)河川環境管理財団編，1996。
- 13) 河川生態学術研究会多摩川グループ(総括リーダー；小倉紀雄)：地下水位観測データ(未公開資料)，1997。
- 14) 河川の植生と河道特性に関する研究連絡会(座長 砂田憲吾)：河川の植生と河道特性，(財)河川環境管理財団・河川環境総合研究所編，1995。
- 15) 萱場祐一，島谷幸宏：扇状地河川における地被状態の長期変化とその要因に関する基礎的研究，河道の水理と河川環境シンポジウム論文集，土木学会水理委員会基礎水理部会，建設省土木研究所，pp. 191～196，1995。
- 16) 萱場祐一：河川における樹林化の実態とその経緯，第32回日本水環境学会年会講演集，1998。
- 17) 北川明，島谷幸宏，小栗幸雄：洪水による樹木の倒伏，土木技術資料，第30巻7号，pp. 9～14，1988。
- 18) 玉泉幸一郎，飯島康夫，矢幡久：海岸クロマツ林内に生育するニセアカシアの根萌芽の分布とその形態的特徴，九大演報，64，pp. 13～28，1991。
- 19) 建設省河川局治水課監修，(財)リバーフロント整備センター編集：河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案)山海堂，第2章2節，1994。
- 20) 建設省河川局治水課，土木研究所：河道特性に関する研究—その3—，～河床変動と河道計画に関す

- る研究～，第45回建設省技術研究会報告，pp. 696～737，1991。
- 21) 建設省河川局治水課，土木研究所：河道特性に関する研究－その3－，～河床変動と河道計画に関する研究～，第46回建設省技術研究会報告，pp. 600～651，1992。
 - 22) 建設省河川局監修，日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説（調査編），山海堂，1997。
 - 23) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所：昭和49年9月台風第16号による多摩川の災害記録，1973。
 - 24) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所：昭和57年台風第10号及び18号の出水記録，1984。
 - 25) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所：多摩川誌，（財）河川環境管理財団，山海堂，1986。
 - 26) 倉本宣：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. 257～262，1984。
 - 27) 倉本宣，竹中明夫，鷺谷いづみ，井上健：多摩川におけるカワラノギクの保全生物学的研究，造園雑誌55（5），pp. 199～204，1992。
 - 28) 倉本宣，鷺谷いづみ，井上健：多摩川におけるカワラノギクの個体群の分断化とその保全における種子散布の役割，ランドスケープ研究，58巻5号，pp. 113～116，1995。
 - 29) 倉本宣，加賀屋美津子，可知直毅，井上健：カワラノギクの個体群構造と実生定着のセーフサイトに関する研究，ランドスケープ研究，60巻5号，pp. 557～560，1997。
 - 30) 倉本宣：多摩川におけるカワラノギクの保全生物学的研究，ランドスケープ研究，61巻，1号，pp. 48～55，1997。
 - 31) （有）国土開発調査会（建設省関東地方建設局監修）：荒川・多摩川・鶴見川・相模川その治水と利水，4章，pp. 105～117，1983。
 - 32) 島谷幸宏，萱場祐一，山本晃一，李参熙：河道内樹林化動態モデルに関する基礎的研究，環境システム研究，Vol. 25，pp. 409～413，1997。
 - 33) 角哲也，塚原千明，柏井条介：ダムによる河川流況の変化とフラッシュ放流に関する考察，ダム技術，No. 143，pp. 40～51，1998。
 - 34) 曾根伸典：多摩川河川敷現存植生図，とうきゅう浄化環境財団，1984. 3。
 - 35) 曾根伸典：増水による河辺植生および立地変化と復元に関する研究，自然環境科学研究所，1984。
 - 36) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所：多摩川誌，（財）河川環境管理財団，山海堂，1986。
 - 37) 高橋理喜男，亀山章編：緑の景観と植生管理，ソフトサイエンス社，pp. 32-36，1987。
 - 38) 竹原明秀：ヤナギ類の生態，植物と自然，18（1），pp. 11～15，1984。
 - 39) 塚原隆夫，藤田光一，望月達也：植生が繁茂した河川水際への細粒土砂堆積の特性，第3回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集，pp. 259～264，1997。
 - 40) 辻本哲郎：手取川扇状地区間の河原の植物群落と河道特性，金沢大学日本海域研究所報告，第25号，pp. 83～99，1993。
 - 41) 東京都水道局浄水部：小河内ダム及び羽村堰のデータについて（回答），建設省関東地方建設局京浜工事事務所の内部資料，1996. 12。
 - 42) 戸塚績，木村：植物の生産過程，共立出版，pp. 109～119，1973。
 - 43) 中越信和，井上雅仁：改修河川における植生とその環境保全機能の回復に関する研究，河川美化・緑

- 化調査研究論文集，第6集，(財)河川環境管理財団・河川環境総合研究所，pp.131-174，1998。
- 44) 沼田真，吉沢長人，浅野貞夫，桑原義晴，奥田重俊，岩瀬徹：新版・日本原色雑草図鑑，全国農村教育協会，1988。
 - 45) 服部敦，藤田光一，宇多高明：根毛層が発揮する耐侵食性の評価方法，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集Ⅱ，pp. 546～547，1996。
 - 46) 福岡捷二，渡辺和足，柿沼孝治：堤防芝の流水に対する侵食抵抗，土木学会論文集，No.491，Ⅱ-27，pp. 31～40，1994。
 - 47) 藤田光一：河道計画が目指すべき方向と技術的課題，水工学シリーズ98-A-2，土木学会水理委員会・海岸工学委員会，1998。
 - 48) 藤田光一，John A. MOODY，宇多高明，藤井政人：ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小，土木学会論文集，No.551/Ⅱ-37，pp.47-62，1996。
 - 49) 藤田光一，渡辺敏，李參熙，塚原隆夫：礫床河川の植生繁茂に及ぼす土砂堆積作用の重要度，第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集，pp. 117～122，土木学会水理委員会河川部会，1998。
 - 50) 前河正昭，中越信和：海岸砂地においてニセアカシア林の分布拡大がもたらす成帯構造と種多様性への影響，日本生態学会誌，47，pp. 131～143，1997。
 - 51) 宮脇昭編：日本の植生，学研，1977。
 - 52) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，第1章，1994。
 - 53) 李參熙，山本晃一，鳥谷幸宏，萱場祐一：多摩川扇状地河道部の河道内植生分布の変化とその変化要因との関連性，土木学会環境システム研究論文集，Vol. 24，pp. 26～33，1996。
 - 54) 李參熙，渡辺敏，望月達也，藤田光一，塚原隆夫：礫床上の植物群落の破壊と河床材料の移動，土木学会第52回年次学術講演会Ⅶ，pp. 286～287，1997。
 - 55) 李參熙，藤田光一，塚原隆夫，渡辺敏，山本晃一，望月達也：礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割，土木学会水工学論文集，第42巻，pp. 433～438，1998。
 - 56) 鷺谷いづみ：環境技術2「河川・湖沼の自然環境保全技術」河原の絶滅危惧植物の保全，土木学会誌，Vol. 83，No. 4，pp. 46～48，1998。
 - 57) 鷺谷いづみ，矢原徹一：保全生態学入門，文一総合出版，1996。
 - 58) 渡辺敏，塚原隆夫，藤田光一：安定した砂礫州における草本植生発達の有無を分ける要因，土木学会水工学論文集，第42巻，pp. 439～444，1998。
 - 59) Auble, G.T., Friedman, J.M. and Scott, M.L.: Relating riparian vegetation to present and future streamflows, Ecological Applications, Vol. 4, No. 3, pp. 544～554, 1994.
 - 60) Chow, V. T.: 開水路の水理学Ⅰ，石原藤次郎訳，丸善，1962。
 - 61) Collier, M., Webb, R. H. and Schmidt, J. C.: Dams and rivers -Primer on the downstream effects of dams, U.S. Geological Survey, Circular 1126, 1996.
 - 62) Elliott, J. G. and Parker R. S.: Altered streamflow and sediment entrainment in the Gunnison Gorge, Journal of the American Water Resources Association, Vol.33, No.5, pp.1041-1054, 1997.
 - 63) Itakura, T. and Kishi, T. : Open channel flow with suspended sediments, Proc. ASCE, Journal of the Hydraulics Division, 106, HY8, 1325～1343, 1980.

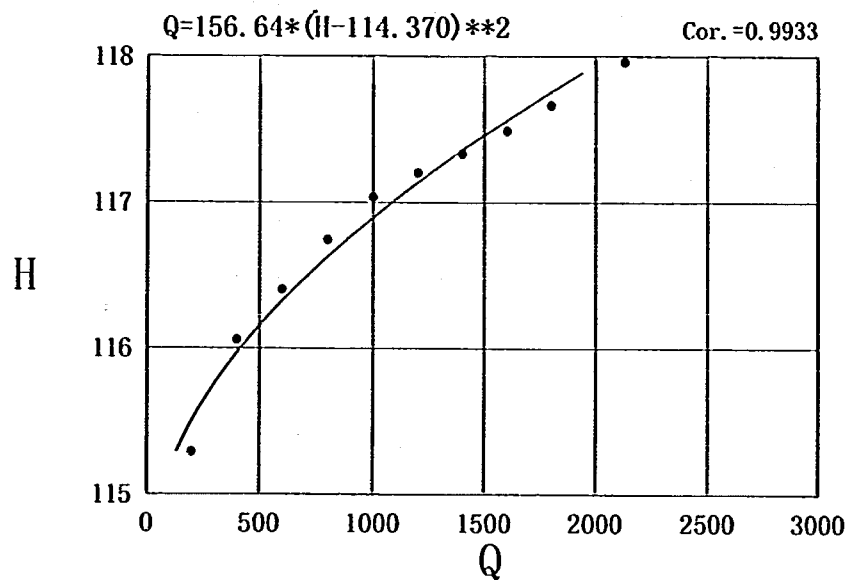
- 64) Johnson, W.C.: Woodland expansion in the Platte River, Nebraska: patterns and causes, *Ecological Monographs*, Vol.64, No.1, pp. 45~84, 1994.
- 65) Kondolf, G. M. and Wilcock, P. R.: The flushing flow problem: Defining and evaluating objectives, *Water Resources Research*, Vol.32, No.8, pp. 2589~2599, 1996.
- 66) Hupp, C. R. and Osterkamp, W. R.: Bottomland vegetation distribution along Passage Creek, Virginia, in relation to fluvial landforms, *Ecology*, Vol. 66, No. 3, pp. 670~681, 1985.
- 67) Osterkamp, W. R. and Costa, J. E.: Changes accompanying an extraordinary flood on a sand bed stream, in Mayer and Nash eds. *Catastrophic flooding*, London, Allen and Unwin, pp.201~224, 1987.
- 68) Schumm, S.A. and Lichty, R.W.: Channel widening and flood-plain construction along Cimarron River in southwestern Kansas, *USGS Professional Paper*, 352-D, pp. 71~88, 1963.
- 69) Scott, M. L., Friedman, J. M. and Auble, G. T.: Fluvial process and the establishment of bottomland trees, *Geomorphology*, Vol. 14 (4) , pp. 327~339, 1995.
- 70) Williams, G.P. and Wolman, M.G.: Downstream effects of dams on alluvial rivers, *USGS Professional Paper* 1286, pp. 31~56, 1984.

付録1. 表層細粒土層堆積の水理量計算における洪水条件設定法

4. 4. 3において、52.4km測線の横断距離215m地点(代表地点)の高水敷上への表層細粒土砂の堆積量を求める際に、高水敷冠水深毎の冠水時間を必要とした。これは、1982年洪水を対象に設定した。その際用いたデータは、建設省関東地方建設局京浜工事事務所によるものである[建設省関東地方建設局京浜工事事務所、1973：建設省関東地方建設局京浜工事事務所、1984]。方法は以下のようなものである。

- ①調布橋地点の水位ハイドログラフ(図A1-2)から、当該地点での流量ハイドログラフを、次のH-Q式を用いて求める。 $Q=124.59(H+2.68)^2$ 。
- ②調布橋地点と永田橋地区の間に多摩川本川のハイドログラフに影響を及ぼすくらいの支川がないことから、①の流量ハイドログラフがそのまま永田橋地区でも生じたと仮定する。
- ③永田橋地区に適用した準2次元不等流計算に基づき、図A1-1のようにH-Q関係図とH-Q関係式 $Q=156.64(H-114.370)^2$ を定める。この関係式から、①の流量ハイドログラフを用いて、200m³/s流量別に永田橋地区での水位を算出する。
- ④③で求めた水位から、高水敷上に冠水した流量範囲(1,000m³/s以上)について、高水敷上の冠水深と冠水時間を求める。結果が、表A1-1である。

5. 2. 3の予測モデルの検証においては、1982年洪水だけでなく、1981年洪水と1983年洪水の高水敷冠水深と冠水時間も必要となった。しかし、これら2洪水については、ピーク水位のデータしか無く、ハイドログラフのデータが無かった。そこで、便宜的に、1982年洪水の水位ハイドロを三角形近似し、1981、1983年洪水のピーク水位と三角形近似した水位ハイドロのピーク水位が一致するように上げ下げすることにより、冠水深ごとの冠水時間を求めた。具体的には、総冠水時間(T_u [hr])とピーク冠水水深(H_u [m])との関係を単純化して関係式 $T_u=H_u/(3/12)$ を設定して三角形のハイドログラフを設定し、各冠水深での冠水時間を求めた。

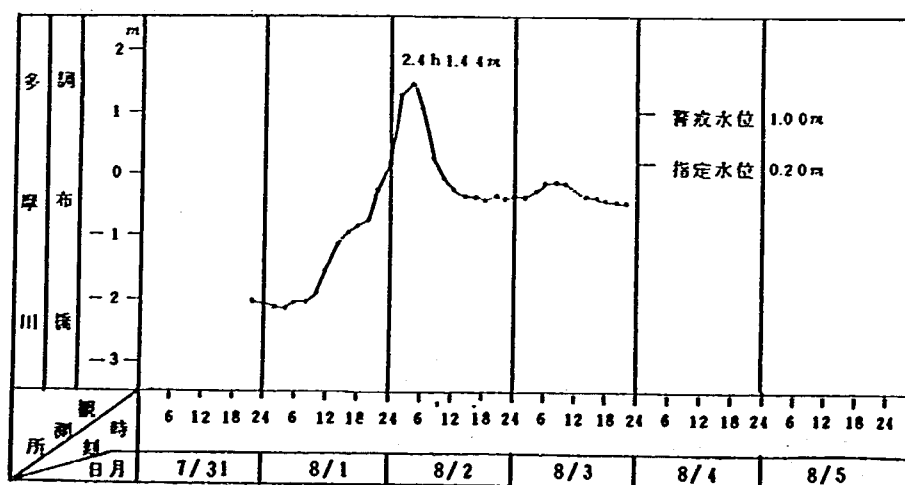


図A1-1 永田橋地区(52.4km)でのH~Q関係図(1982年洪水)

表A1-1 永田橋地区52.4kmでの1982年洪水時の冠水深と冠水時間

流量 (m^3/s)	冠水累積時間 (hr)	高水敷の冠水時間 (hr)	冠水水深(m)* 52.4km215m地点基準
200	81.6	0	低水路水深
400	66.0	0	低水路水深
600	52.8	0	低水路水深
800	23.52	0	低水路水深
1000	10.56	2.40	0.14
1200	8.16	1.44	0.38
1400	6.72	0.96	0.60
1600	5.76	0.96	0.81
1800	4.80	4.80	1.00
2130	0.00	0.00*	1.30

* 尖頭流量(最大流量)に対応する冠水時間はわずかなので0時間とした。



図A1-2 調布橋地点のハイドログラフ(1982年洪水)

付録2. 研究対象とした3地区の多摩川河川敷現存植生図

- 1) 奥田重俊，曾根伸典，藤間照子，富士亮：多摩川河川敷現存植生図，とうきゅう浄化環境財団，1979. 3。
- 2) 奥田重俊，小松聡子，畠瀬頼子：多摩川河川敷現存植生図，建設省京浜工事事務所／河川環境管理財団，1995。
- 3) 曾根伸典：多摩川河川敷現存植生図，とうきゅう浄化環境財団，1984. 3。
- 4) 奥田重俊，笠原恵美：多摩川永田橋地区現存植生図，河川生態学術研究会多摩川グループ，1998。より。

多摩川河川敷現存植生の凡例 (図A2-1~A2-9用)

I. 自然及び半自然性河辺冠水植生

Natural and seminatural floodplain vegetation

A. 草本植物群落

Herbaceous communities

-  ミゾソバ群落, オオクサキビ-ヤナギタテ群落
Polygonetum thunbergii, *Panicum-Polygonetum hydropiperis*
-  オオイヌタデ-オオケタテ群落
Polygonum lapathifolium-Polygonum orientale comm.
-  タマガヤツリ-ヌマガヤツリ群落
Cyperus difformis-Cyperus glomeratus comm.
-  コアカザ-オオオナモミ群落
Chenopodium-Xanthium strumarium
-  オオブタクサ群落, アレチウリ群落
Ambrosia trifida comm., *Sicys angulatus* comm.
-  オランダガラシ群落
Nasturtium officinale comm.
-  ナガバギシギシ-ギシギシ群落
Rumicetum cristo-japonici
-  オニウシノケサ群落
Festuca arundinacea comm.
-  ヨモギ-メドハギ群落, イタドリ群落など
Artemisia princeps-Lespedeza cuneata comm., *Polygonum cuspidatum* comm. etc.
-  セイタカアワダチソウ群落
Solidago altissima comm.
-  イヌキクイモ-キクイモ群落
Helianthus stenosus-Helianthus tuberosus comm.
-  アキノエノコログサ-コセンダングサ群落
Setario-Bidentetum pilosae
-  マルバヤハズソウ-カワラノギク群落
Kummerovio-Asteretum kantoensis
-  カワラヨモギ-カワラサイコ群落
Artemisio-Potentilletum chinensis
-  サンカクイ-コガマ群落
Scirpo-Typhaetum orientalis
-  セリ-クサヨシ群落
Oenantho-Phalaridetum arundinaceae
-  ヨシ群落
Phragmites communis comm.
-  ツルヨシ群落
Phragmitetum japonicae
-  オギ群落
Miscanthetum sacchariflori
-  チガヤ群落
Imperata cylindrica var. *koenigii* comm.
-  トゲシバ群落, ススキ群落
Arundinella hirta comm., *Miscanthus sinensis* comm.

B. 低木および高木群落

Shrub and tree communities

-  イヌコリヤナギ群落など
Salicetum integrae etc.
-  テリハノイバラ群落
Rosa wichuraiana comm.
-  ヌルデ群落
Rhus javanica comm.
-  コゴメヤナギ群落
Salicetum serissaefoliae
-  オニグルミ群落
Juglans ailanthifolia comm.

C. 塩性湿地草本植物群落

Salt-marsh herbaceous communities

-  ハマヒルガオ-コウボウシバ群落, ギョウギシバ群落
Calystegia soldanella-Carex pumila comm., *Cynodon dactylon* comm.
-  ウラギク群落, ウシオツメクサ群落
Aster tripolium comm., *Spergularia marina* comm.
-  シオクグ群落, アイアシ群落
Caricetum scabrifoliae, *Phaceluretum latifoliae*

II. 代償植生

Unnatural vegetation

-  カラスビシャク-ニシキソウ群落 (耕作地雑草群落)
Pinellio ternatae-Euphorbietum pseudochamaesydis (Field weed community)
-  ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギク群落 (耕作放棄地雑草群落)
Erigeron canadensis-Erigeron sumatrensis comm. (Weed communities in fallow field)
-  オオバコ-オーダー (踏踏群落)
Plantaginetalia asiaticae (Tread community)
-  イヌムギ-ヨモギ群落 (堤防上の植生)
Bromus catharticus-Artemisia princeps comm. (Vegetation of embankment)
-  ゴルフ場, グランドなどの人工草地 (シバ群落など)
Artificial grassland of golf course, playground etc. (*Zoysia japonica* comm. etc.)
-  スズメノヤリ-チガヤ群落 (堤防上の植生)
Luzula capitata-Imperata cylindrica var. *koenigii* comm. (Vegetation of embankment)
-  アズマネザサ-ススキ群落
Arundinario chino-Miscanthetum sinensis
-  ニセアカシア群落
Robinia pseudo-acacia comm.
-  クヌギ-コナラ群落
Quercetum acutissimo-serratae
-  アカマツ-クロマツ群落
Pinus densiflora, Pinus thunbergii comm.

III. その他

Other surface states

-  植栽群落
Planted trees
-  造成裸地 (コスズメガヤ群落を含む)
Artificial bare land (includ. *Eragrostis poaeoides* comm.)
-  コンクリート裸地, 住宅地
Concrete pavement bare land, Residential district
-  自然裸地
Natural bare land
-  開放水域
Open water

1984年調査から追加された凡例

I. 自然及び半自然性河辺冠水植生

Natural and seminatural floodplain vegetation

I-B. 低木および高木群落

Shrub and tree communities

-  クコ群落
Lycium chinense comm.
-  シラカシ群落, ケヤキ群落
Quercetum myrsinaefoliae subass. of *Zelkova serrata*
-  エノキ群落
Celtis sinensis var. *japonica* comm.

I-C. 塩性湿地草本植物群落

Salt-marsh herbaceous communities

-  コウキヤガラ群落, ヒメガマ群落
Scirpetum planiculmis, Typha angustata comm.

II. 代償植生

Unnatural vegetation

-  クズ-カナムグラ群落
Puerario lobatae-Humuletum japonici
-  モウソウチク・マダケ林
Phyllostachys heterocycla var. *pubescens*, *Phyllostachys bambusoides* stand

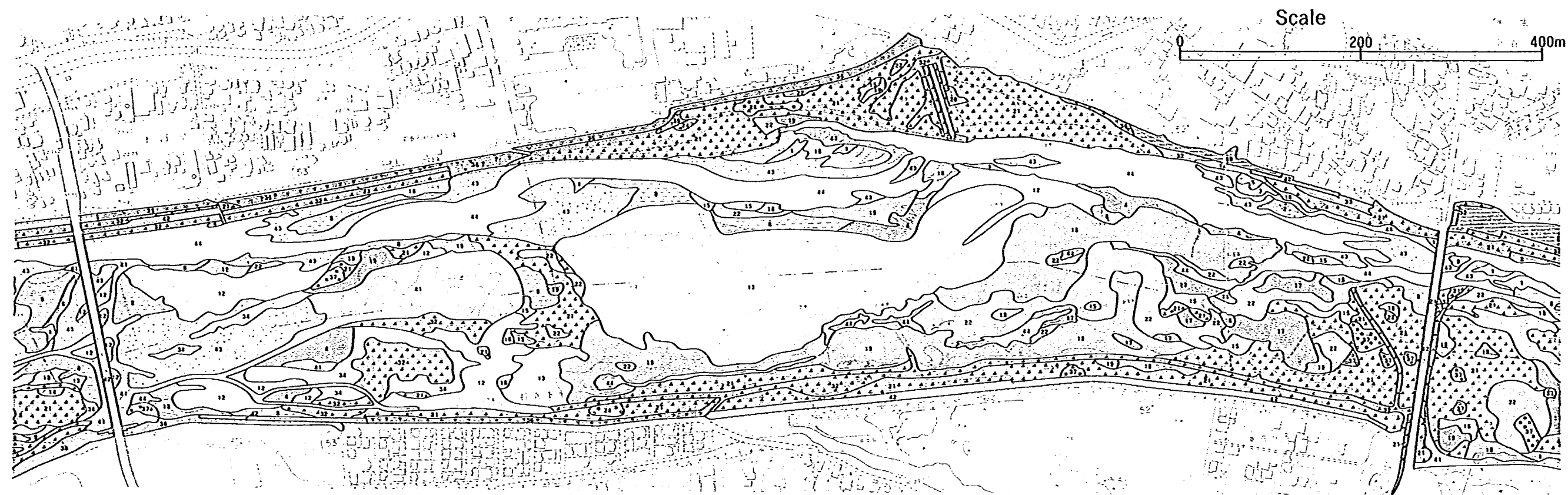


図 A2-1 多摩川河川敷現存植生図（永田橋地区：1977 年）

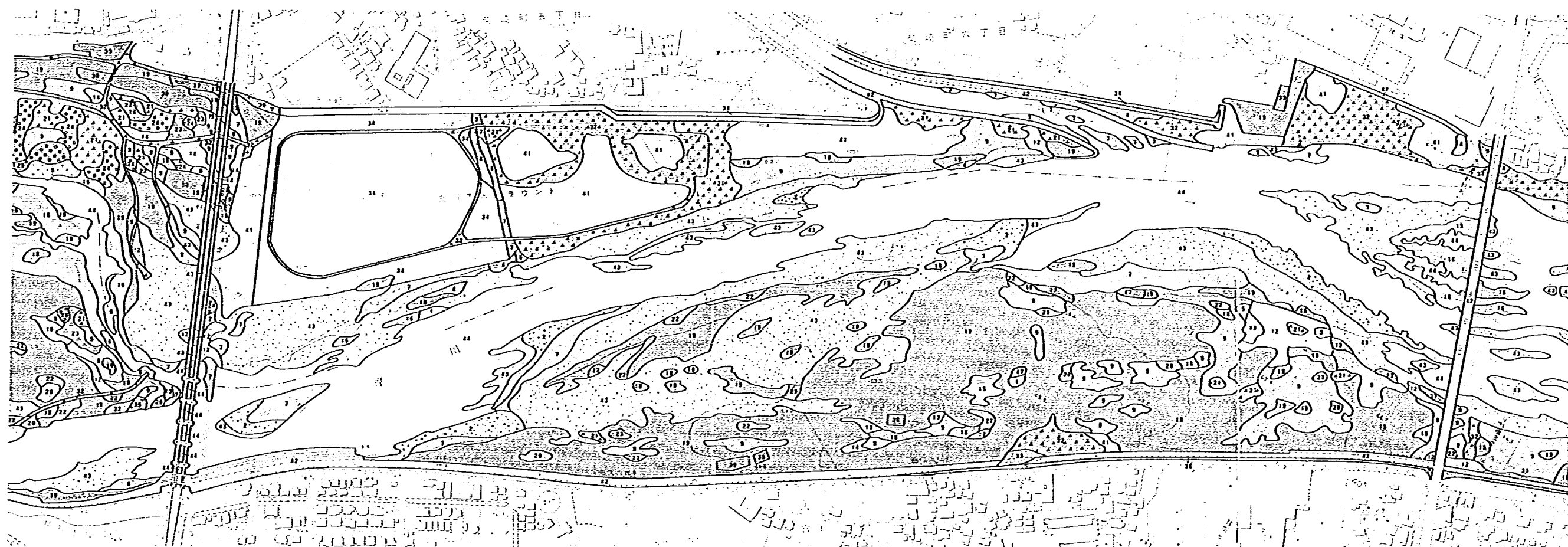
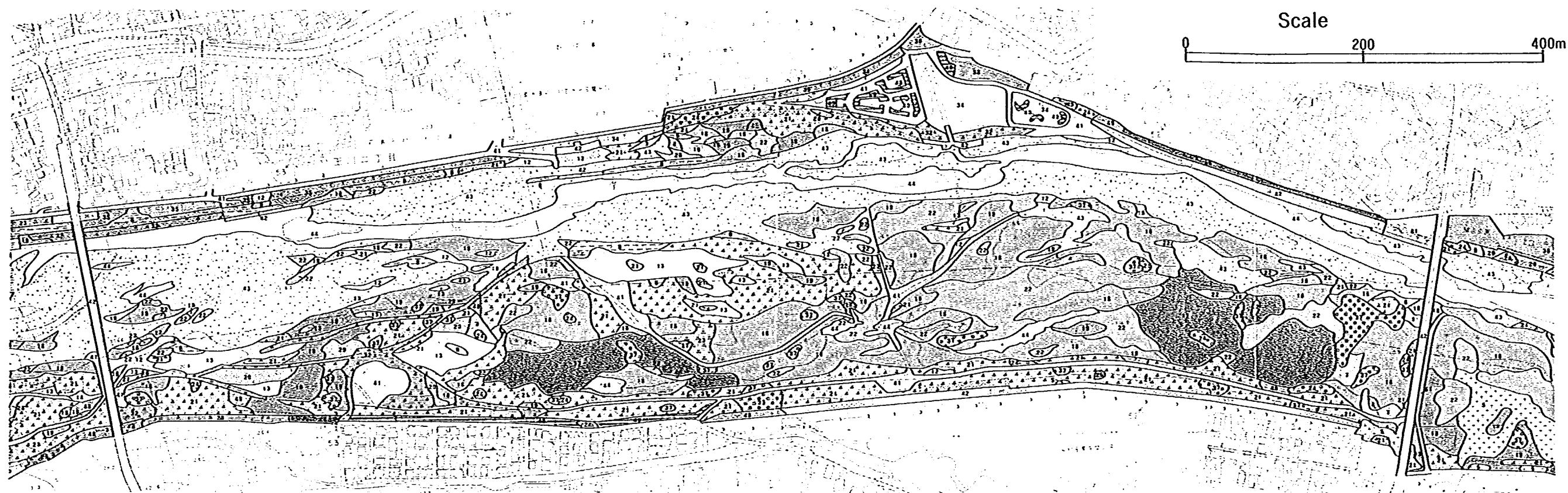


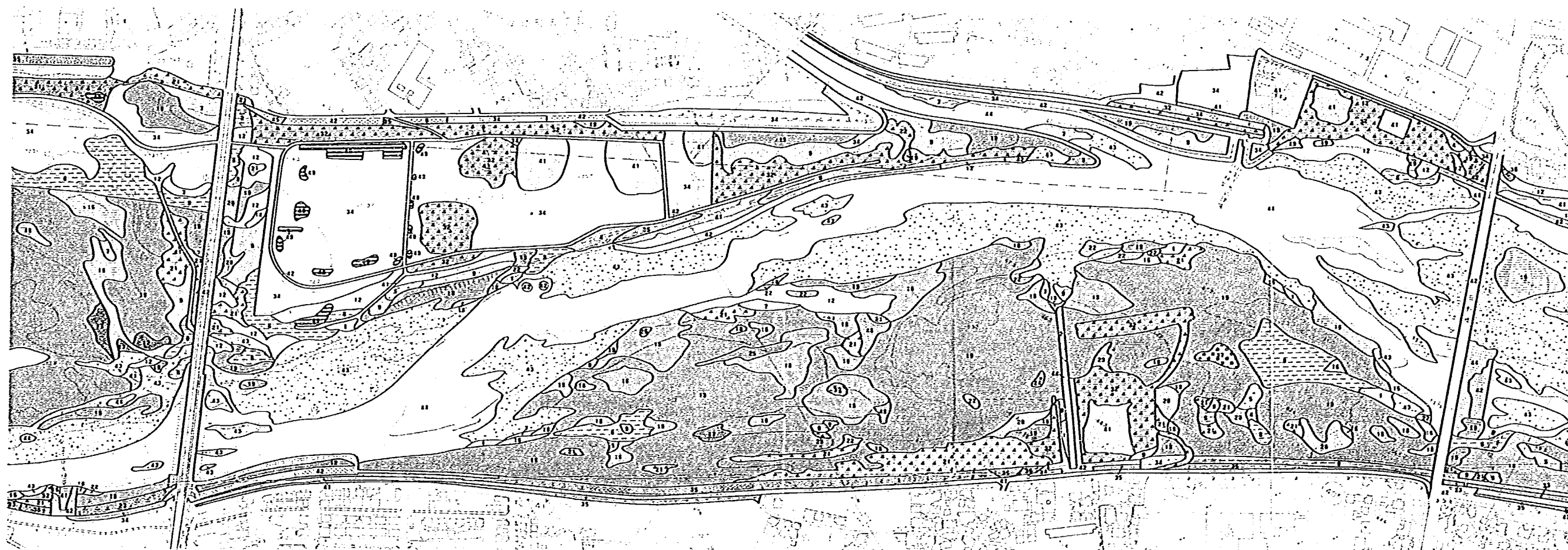
図 A2-2 多摩川河川敷現存植生図（日野橋地区：1976 年）



図 A2-3 多摩川河川敷現存植生図（秋川合流地区：1977 年）



図A2-4 多摩川河川敷現存植生図（永田橋地区：1983年）



図A2-5 多摩川河川敷現存植生図（日野橋地区：1983年）

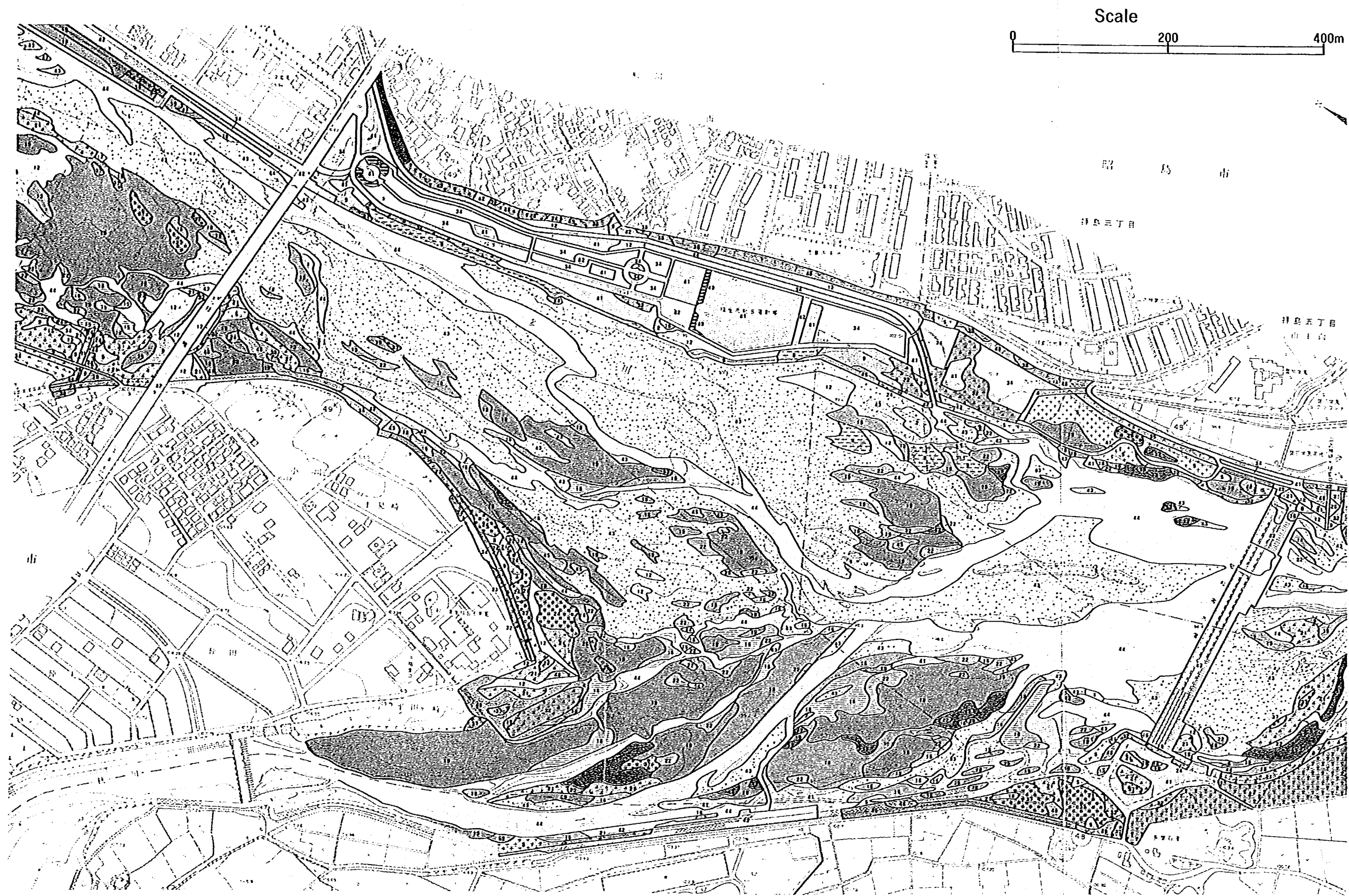
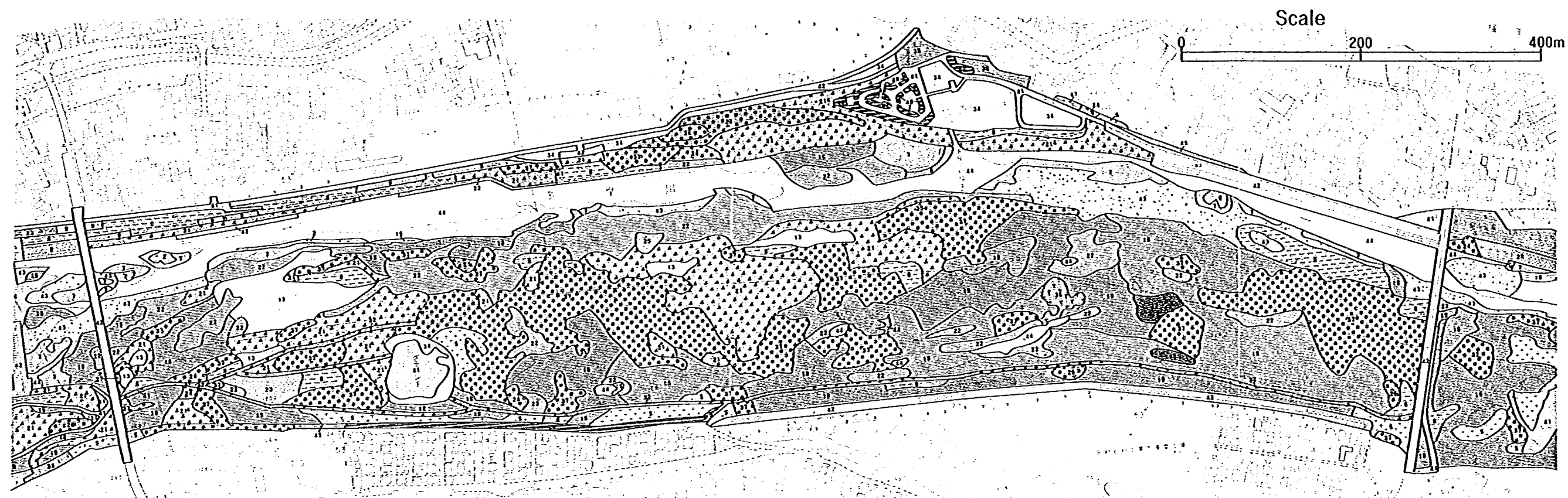
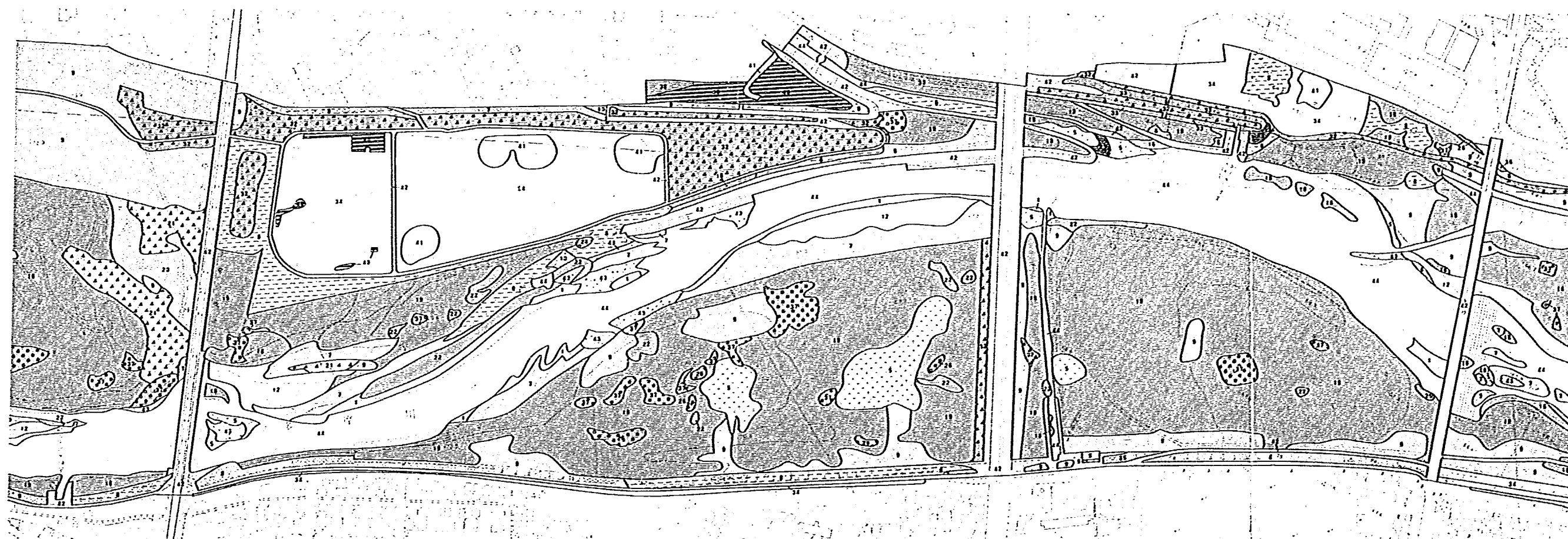


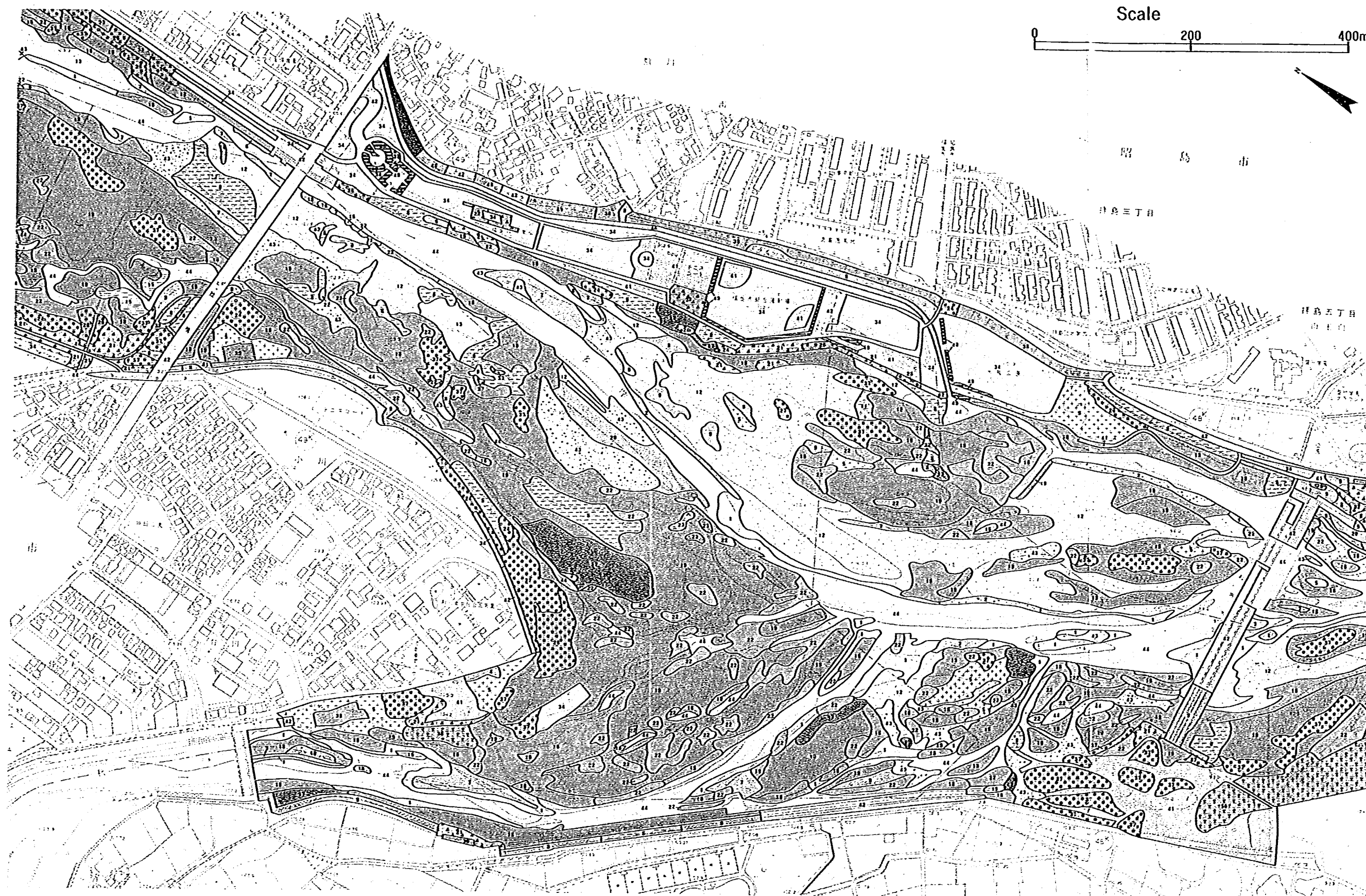
図 A2-6 多摩川河川敷現存植生図（秋川合流地区：1983 年）



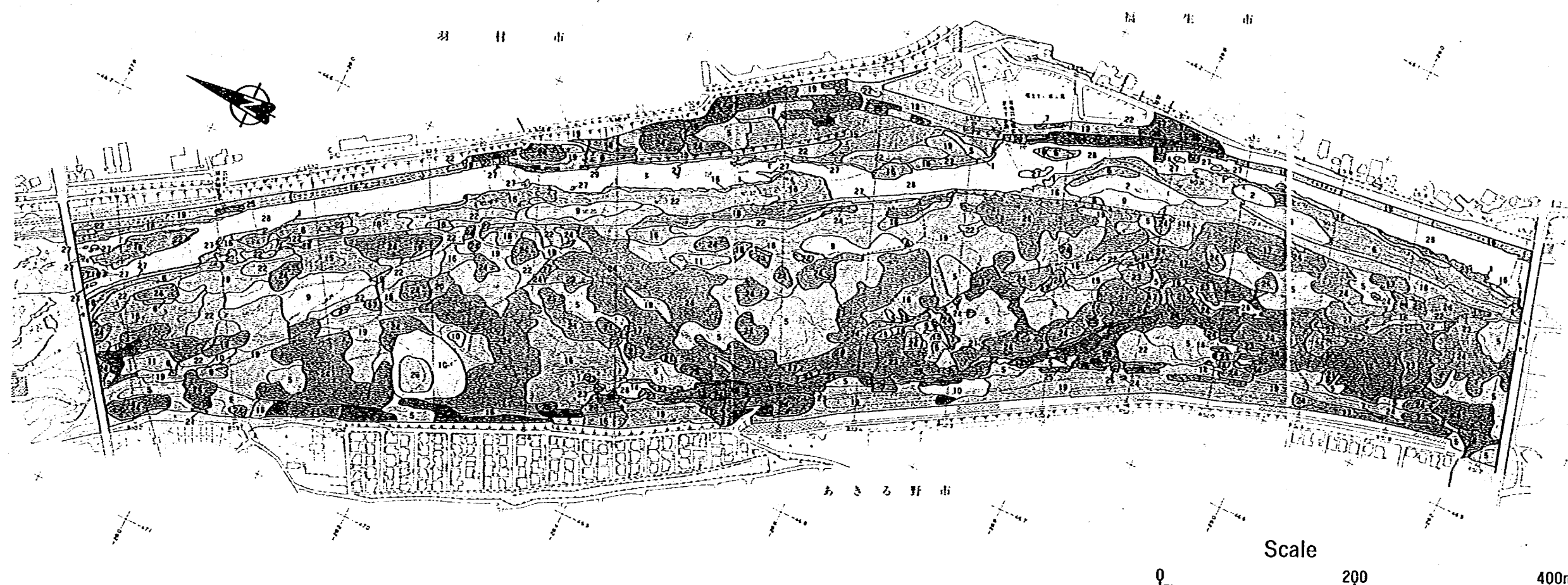
図A2-7 多摩川河川敷現存植生図（永田橋地区：1994年）



図A2-8 多摩川河川敷現存植生図（日野橋地区：1994年）



図A2-9 多摩川河川敷現存植生図（秋川合流地区：1994年）



凡 例 Legend (図A 2-10用)

I. 植生群落
Plant communities

- 1 ミゾソバ群落
Polygonetum thunbergii
- 2 アキノエノコログサ・コセンダングサ群落
Setario-Bidentetum pilosae
- 3 オランダガラシ群落
Nasturtium officinale comm.
- 4 ナガバギシギシ・ギシギシ群落
Rumicetum crispo-japonici
- 5 オオブタクサ群落
Ambrosia trifida comm.
- 6 アレチマツヨイグサ・ヨモギ群落
Oenotera biennis-Artemisia princeps comm.
- 7 メドハギ・ヨモギ群落
Lespedeza cuneata-Artemisia princeps comm.
- 8 イタドリ群落
Polygonum cuspidatum comm.
- 9 マルバヤハズソウ・カワラノギク群落
Kummerovio-Asteretum kantoensis
- 10 ヒロハノカワラサイ・コシバ群落
Potentilla nipponica-Zoysia japonica comm.

- 11 イヌドクサ・シバ群落
Equisetum ramosissimum-Zoysia japonica comm.
- 12 オオフサモ群落、コカナダモ群落
Myriophyllum brasiliense comm., *Elodea nuttallii* comm.
- 13 ヨシ群落
Phragmites communis comm.
- 14 サンカクイ・コガマ群落
Scirpo-Typhetum orientalis
- 15 セリクサヨシ群落
Oenanthe-Phalaridetum arundinaceae
- 16 ツルヨシ群落
Phragmitetum japonicae
- 17 オギ群落
Miscanthetum sacchariflori
- 18 チガヤ群落
Imperata cylindrica var. *koenigii* comm.
- 19 ススキ群落
Miscanthus sinensis comm.
- 20 クズ群落
Pueraria lobata comm.

- 21 アズマネザサ群落
Pleiblastus chino comm.
- 22 イヌコリヤナギ群落
Salicetum integræ
- 23 タチヤナギ群落
Salicetum subfragilis
- 24 ニセアカシア群落
Robinia pseudo-acacia comm.
- 25 オニグルミ群落、ミズキ群落
Juglans ailanthifolia comm., *Corunus controversa* comm.

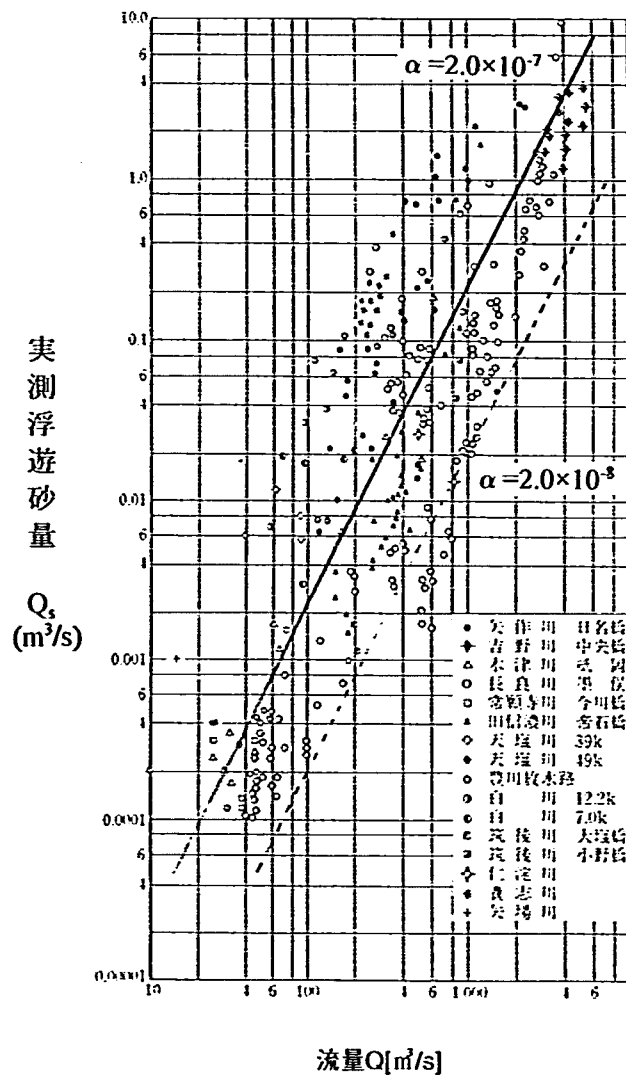
II. その他
Other surface states

- 26 造成裸地
Artificial bare land
- 27 自然裸地
Natural bare land
- 28 開放水域
Open water
- 29 コンクリート裸地
Concrete bare land

図 A2-10 多摩川永田橋地区現存植生図 (1998 年)

付録3. 表層細粒土層となる細粒土砂の供給条件

第4章4.4.3節において、多摩川の調査対象地区における、表層細粒土層となる粒径範囲のウォッシュロード供給量を設定する必要があった。しかし、これについての情報がほとんどない。そこでこのウォッシュロード濃度 C が流量 Q と $C=\alpha Q$ の関係を持つとし、この α 値の設定において、河川の多くの地点における浮遊砂濃度(ss)と流量との関係に関する既存の全国実測資料(図A3-1)[建設省河川局監修, 日本河川協会編, 1997, 14章, pp. 282]を参考にした。ここで、全国平均値である $\alpha=2.0 \times 10^{-7}$ (実線)を計算上で濃い条件とした。そして、平均値の1/10である $\alpha=2.0 \times 10^{-8}$ (点線)を薄い条件として設定した。



図A3-1 実測浮遊砂量と流量との関係