

流水と土砂の作用による立地条件変化に着目した植生消長の簡易計算手法の開発

DEVELOPMENT OF A SIMPLE SIMULATION TOOL FOR CALCULATING THE CHANGE IN RIPARIAN VEGETATION AREAS BY FOCUSING ON THE SITE CONDITION CHANGE DUE TO FLOOD FLOWS AND SEDIMENT TRANSPORT

井上 優¹・大沼 克弘²・藤田 光一³

Yutaka INOUE, Katsuhiko ONUMA and Koh-ichi FUJITA

¹正会員 工修 応用地質株式会社 東京本社 (〒331-8688 さいたま市北区土呂町2-61-5)
(元 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 交流研究員)

²正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 主任研究官
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

³正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 室長

We developed a simple working simulation tool on the expansion and extinction of vegetation areas in steep-slope gravel bed rivers, focusing on sediment transport by floods, the deposit of fine-sediment layer on a gravel bed due to retarding effects of vegetation, and the vegetation area change accompanying the resultant site condition changes. The developed tool enables river engineers to grasp overall characteristics of vegetation area change with respect to dynamic behavior of rivers, to roughly predict the response of those on channel improvement works, and to identify factors playing major roles in growing stable vegetation or maintaining gravel bars with no dense vegetation.

Key Words : riparian vegetation, simulation tool, gravel bed river, wood land expansion, river-bed variation, channel design, river maintenance, gravel bar plant conservation

1. はじめに

河道内植生の消長は、治水・環境の両面で重要であり、適切な河道管理や整備を行うために、その特性・支配要因を把握し、消長予測を行うことが求められている。実務における植生消長の予測の多くは、優占する地被状態がその場所の冠水頻度に応じて概ね決まることを想定した「静的」手法にとどまっているのが現状である。

一方、樹林化など植生域拡大の機構や出水による植生破壊などダイナミックな植生消長に関して、洪水の攪乱作用も考慮した研究が最近多く行われるようになった^{1), 2), 3), 4), 5), 6)}。しかし、それらを統合して河川管理に使える実用的な手法にまとめるまでに至っていない。

本研究は、こうした状況を踏まえ、流量などに応答して経時的に変化する植生状態を再現できる簡便で実用的な計算手法の開発を行い、その有効性を検討したものである。なお、ここでは、礫床であるセグメント1河道を対象にした。

2. 簡易計算手法の概要

(1) 計算で想定した植生消長過程

開発した簡易計算手法は、セグメント1河道区間のフィールドを対象に行った著者の研究³⁾を基本に組み立てられている。植生の生育には、気象条件や生物学的競争等多くの要因が関わっているが、ここでは物理的要因に

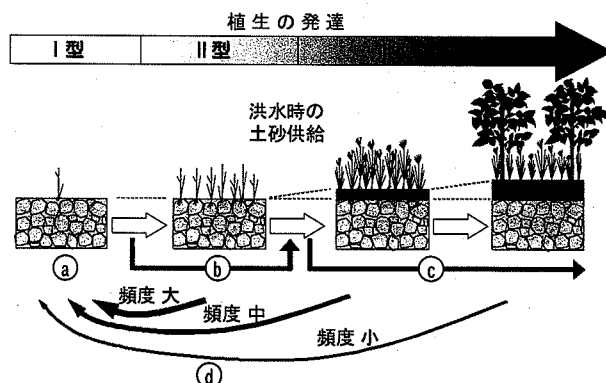


図-1 対象とした植生消長過程 (セグメント1)

着目し、①出水による植生の流失、②植生による細粒土砂の堆積促進、③それによる立地環境の変化に伴う植生生育に焦点を絞っている。本計算が扱う植生消長過程を図-1に示す。各過程は以下の通りである⁷⁾。

④ 礫床裸地が形成、維持される段階

礫床の裸地が維持されている段階であり、その表面状態をⅠ型とした。なおⅠ型には、河原のような厳しい環境に生育でき、①で述べるほど密生せず、細粒土砂の堆積に寄与しないような疎な植生を含める。

⑤ 立地条件の変化をほとんど伴わず生育できる植物が定着する段階

河床主構成材料が有意に動くような出水が無いまま一定期間経過すると、この段階に移行する。この段階での植物はある程度密生し、細粒土砂の捕捉・堆積に寄与する。この表面状態をⅡ型とした。

⑥ 細粒土砂の堆積と安定的な植生域の形成

⑤の植生が流失しない程度の出水を何度か経験して細粒土砂が堆積すると、例えばオギ等、細粒土砂の土層を必要とする植物が生育できるようになり、さらに密生度の高い安定した植生域が形成される。この表面状態をⅢ型とした。

⑦ 洪水による植生の流失と礫床裸地の再形成

河床構成主材料が有意に動く規模の出水が生じると、植生が流失し裸地に戻る(Ⅱ、Ⅲ型→Ⅰ型)。あるいは裸地が維持される(Ⅰ型→Ⅰ型)。

(2) 計算法と入力条件

(1)の過程を表現する計算を容易に実行できる計算ソフトウェアを開発した。この計算ソフトでは、以下の諸条件を入力し、準2次元の等流計算を行って、与えられた横断面内の各場所について、表面状態Ⅰ～Ⅲ型の識別を経時的に行うというものである。表-1に、主要な入力パラメーターと、本研究で与えた値をまとめて示す。

a) 横断河床形状

計算対象とする横断測線の河床横断形状を、形状の特

徴を表現するのに必要な数の、一定の高さを持った河床に分割する。横断面内で分割された個々の河床部分をスプリットと呼ぶ。本計算ソフトでは河床変動計算を組み込んでいないので、あるスプリットに有意な河床高変化が生じる際には、外部入力条件として河床高の変更を行う。本研究では、横断測量結果の経年的比較に基づき変更を行っている。変更後の初期条件は、河床高変化に伴い植生が流失または埋没するとして裸地とおく。表面状態Ⅰ～Ⅲ型の識別は、このスプリット単位で行われる。

b) 流量データと粗度係数

計算対象横断面を通過する流量 Q を入力して計算を行う。出水時には時刻流量を与え、それ以外は日流量を用いて計算した。粗度係数は、表面状態Ⅰ～Ⅲ型に応じて異なる値を与える。(表-1参照)

c) Ⅰ型からⅡ型への移行(段階⑤)にかかわる条件

Ⅰ型の状態で有意な河床変動が一定期間(T_{pr})生じない場合にⅡ型に移行する。

d) Ⅱ型からⅢ型への移行(段階⑥)にかかわる条件

出水時に上流から細粒土砂が横断面内一様で濃度 C で輸送されてくるとする。ここで、 $C = \alpha Q$ とおく。 α は、流域からの細粒土砂供給の活性度を表す係数である。表面状態がⅡ型ないしⅢ型の場合には、植生による土砂トラップ作用により細粒土砂が沈降して堆積するとして、堆積厚の計算を行う。植生によるトラップの効率は、細粒土砂捕捉率 σ により表現する。細粒土砂が一定厚さ(D_c)以上堆積すると、Ⅱ型からⅢ型へ移行するとする。

e) Ⅰ型の維持、Ⅱ型やⅢ型からⅠ型への移行にかかわる条件

当該スプリットについて、有意な河床高変化が生じたと判断される場合と、有意な河床高変化が無くても表面の河床主構成材料が動いたと判断される場合には、Ⅰ型が維持される、あるいはⅡ型やⅢ型がⅠ型へ移行するとおく。後者の判断は、河床主材料に作用する無次元掃流量が閾値 τ_{tcs} を上回ったかどうかで行う。

計算ソフトの出力の一例を図-2に示す。なお、計算法の詳細については文献⁷⁾を参照されたい。

表-1 本研究で使したパラメーター

パラメーター		基本量
$n_{Ⅰ型}$	Ⅰ型粗度係数	0.04
$n_{Ⅱ型}$	Ⅱ型粗度係数	0.053
$n_{Ⅲ型}$	Ⅲ型粗度係数	0.053~0.13
T_{pr}	Ⅰ型からⅡ型への移行に必要な年数	3年
D_c	Ⅱ型からⅢ型への移行に必要な堆積土層厚	3cm
α	細粒土砂供給の活性度を表す係数	$2 \times 10^{-8} \text{ s/m}^3$
σ	細粒土砂捕捉率	1/3
τ_{tcs}	植生が流失して裸地に戻るための無次元掃流量	0.05

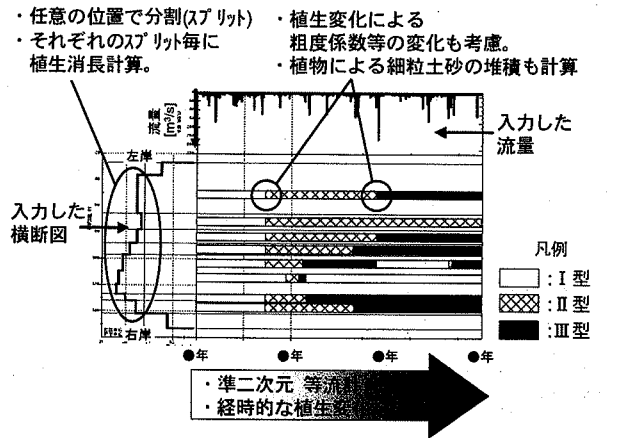


図-2 計算事例

3. 実河川を対象にした計算

(1) 計算対象河川の概要

烏川と合流した後に利根川に注ぐ利根川水系神流川を対象に計算を行った。流路延長は87.4km、流域面積は407km²である。烏川との合流点から10km程度までの範囲について検討を行った。この区間はセグメント1であり、平均河床勾配1/220、平均粒径40mmである。

対象範囲に対する主な人為的インパクトとしては、砂利採取とダム建設が挙げられる。砂利採取は、1963～1968年にかけて多く行われており、1969～1972年は沈静化するものの、1974年まで実施されていた。対象範囲上流には集水域面積323km²の下久保ダムがある。1968年に竣工した多目的ダムである。洪水調節開始流量は800m³/sで、その後500m³/sの一定量放流となる(不定率調

節方式)。

(2) 入力条件と検証データの整理

a) 流量データ

本研究では下久保ダム放流量から対象範囲の流量を推算した。対象範囲の流況に影響を与える工作物には、対象範囲上流端付近の神流川堰と、対象範囲上流端から10km程度上流の下久保ダムがある。そこで、下記の式に基づいて流量を推算した。

$$Q = Q_{out} - Q_{we} + Q_{in} \times \frac{A_k - A_s}{A_s}$$

ここで、 Q は対象範囲の流量、 Q_{in} は下久保ダム流入量、 Q_{out} は下久保ダム放流量、 Q_{we} は神流川堰取水量、 A_k は神流川流域面積、 A_s は下久保ダム流域面積である。得られた流量の年最大値を図-3に示す。

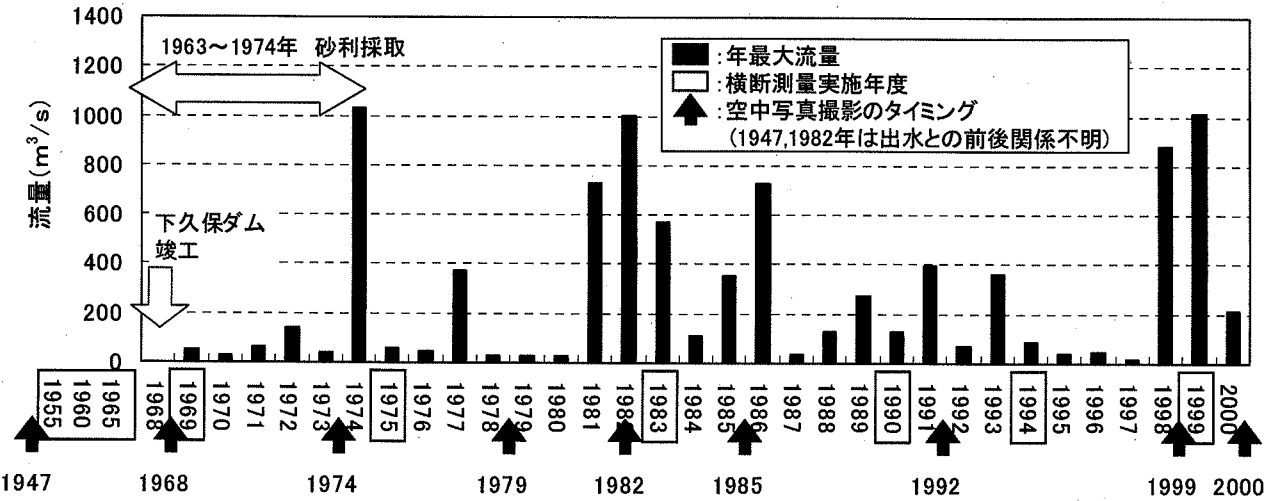


図-3 神流川の検討対象範囲の年最大流量と横断測量・空中写真撮影のタイミング

表-2 植生消長と横断河床形状変化の類型

類型	特徴	範囲	代表断面
①	概ね砂利採取が行われていた期間に河床が低下した。低下した範囲では河床が頻繁に変動し、裸地が形成されている。低下しなかった範囲では植生が繁茂する。ただし、低下しなかった範囲は畑として利用されていることが多い。	1.0～2.0k 6.8～7.0k 8.0k	7.0k
②	概ね砂利採取が行われていた期間に河床低下。低下した範囲の大部分は植生が繁茂しており、一部が滞筋と裸地である。滞筋と裸地の部分は、植生が繁茂している範囲より、さらに一段低くなっている。	0.6～1.0k 2.6～6.0k 8.2～8.4k	3.4k
③	砂利採取期間終了後しばらくは裸地が形成されている時期がある。裸地が形成されている範囲では河床が頻繁に変動している。ある時期に河床の一部がさらに低下し、その後低下しなかった範囲で植生が繁茂している。	9.0～10.0k	9.8k
④	砂利採取期間終了後しばらくは裸地が形成されている時期がある。裸地が形成されている範囲では河床が頻繁に変動している。ある時期に河床が変動しなくなり、その後植生が繁茂している。	2.2～2.4k 7.0～8.0k 8.6～8.8k	7.4k
⑤	砂利採取期間終了後、植生繁茂と裸地の形成を繰り返している。多くの場所では裸地形成の際に横断形状の変動も伴うが、⑤と分類した範囲では横断測量から判断できるほどの河床変動は生じていない。	4.4k, 6.0k 8.6k, 8.8k	8.6k

b) 横断河床形状と河床表面・植生状態

横断測量データと空中写真に基づき把握した。収集したデータを図-3に併記し、出水日との関連が分かるようにした。なお、空中写真撮影日を表す矢印は出水の前後関係も示しており、例えば1968年のように矢印がグラフの年代の後ろにある場合は、年最大流入量を記録した出水の後に撮影したことを表している。ただし、1947年と1982年に撮影された写真の撮影日は不明である。

(3) 河床変動と植生消長の類型化

以上のデータを整理し、定性的分析から河床変動と植生消長の類型化を行った結果を表-2に示す。また、それぞれのタイプの代表的断面の状況を図-4に示す。この図には、植生生育範囲など表-2に対応したコメントも併記した。

植生消長の計算をこれらの代表断面で行うこととしたことから、その選定に際しては以下の点に留意した。すなわち、前述の通り本計算ソフトは等流計算によっているため、二次元平面的な流れを考慮できないことから、直線的で、同類型が長く続いている範囲を選定した。また、土地利用等、人為的影響が少ないと考えられる地点を選定した。

(4) 代表断面についての植生消長計算

計算期間は、流量データを得られている1969年以降とした。表面状態Ⅰ～Ⅲ型の識別は、横断面内の全てのスプリットで計算されているが、実際の植生消長との比較を行いやすくするため、図-4の矢印で示す特徴のはっきりした範囲に着目して、計算結果の整理を行った。この比較対象範囲は次のようである。①7.0kでは河床が低下しなかった範囲(以下、この範囲のことを7.0Aと略す)と、河床が低下した範囲(同7.0B)で整理した。②3.4kでは河床が低下した範囲(同3.4A)と、3.4A以上に低下した範囲(同3.4B)で整理した。③9.8k、④7.4k、⑤8.6kでは砂利採取期間中に低下した範囲で整理した。いずれの比較対象範囲も、計算期間中に人為的と思われる横断形状の改変を含んでいない。

なお、9.8kの1974年から1975年、7.4kの1986年から1987年、8.6kの1974年から1975年、1982年から1983年、1986年から1987年においては、比較対象範囲の一部のスプリットについて2(2)a)で述べた河床高変更を行い、裸地として計算を再開している。したがって、これらの計算再開後しばらくは、外部から与えた既知データの情報の影響を強く受けた計算結果になっていることに留意する必要がある。

また、空中写真の判読からは、裸地か植生域かの判断しかできない。そのため、計算と実際との比較にあたってはⅠ型を裸地、Ⅱ型およびⅢ型を植生域として空中写真の判読結果と対応させた。

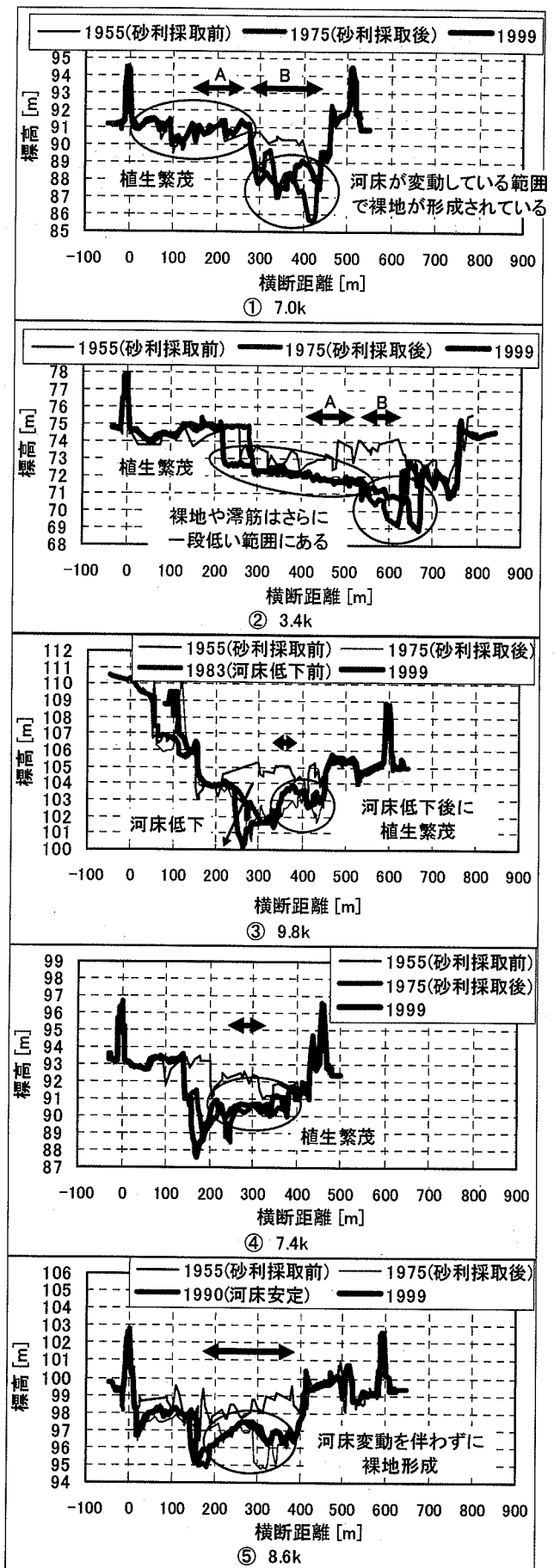


図-4 各類型の代表横断形状と計算—実態の比較対象範囲(← → の範囲)

4. 計算結果と手法の有効性についての考察

計算結果と空中写真判読から推定された実際の植生消

長との比較を図-5に示す。7.0Aや3.4Aのように常に植生が繁茂しているような範囲では、計算でも概ね植生のある状態が持続する結果となった。7.0Bや3.4Bのように概ね裸地が維持される範囲は、計算でも概ね裸地が持続す

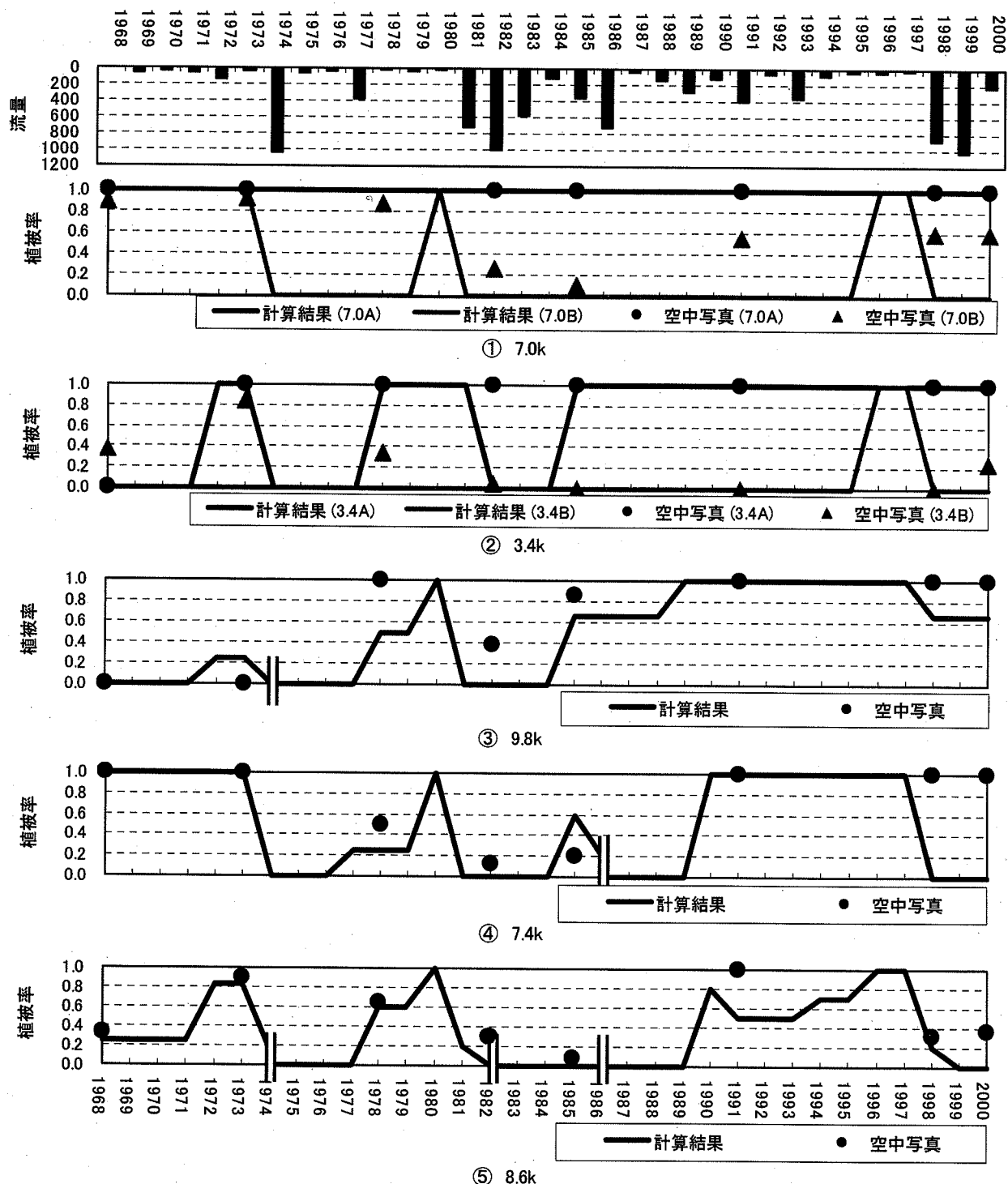


図-5 計算結果と空中写真分析から推定された実際の植生消長との比較

※ || を記した期間では、比較対象範囲の一部のスプリットについて河床高変更を行い、裸地として計算を再開している。したがって、これらの計算再開後しばらくは、外部から与えた既知データの情報の影響を強く受けた計算結果になっていることに留意する必要がある。

また、7.0Aの1979年の空中写真では比較対象範囲において広い範囲で刈り取りと思われる形跡が確認されたため、人為的な影響があり計算結果との比較評価を行うには不適切と考え、空中写真判読結果を掲載していない。

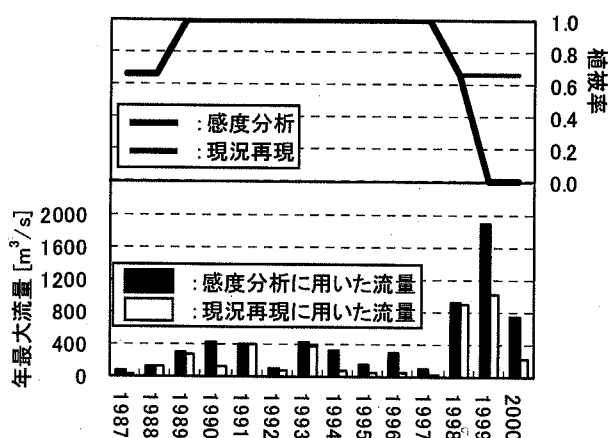


図-6 感度分析に用いた流量と感度分析結果

る結果となった。9.8k、7.4k、8.6kのように植生の繁茂と流失を繰り返している断面では、計算でも同様の傾向を示した。以上から、本計算手法は、実際の植生消長過程を大局的に捉えていると判断できる。

なお、7.4kについては、1999、2000年において、計算では全体的に裸地化するという結果になっているのに対して、空中写真の判読結果では、植生域が維持されており、両者のずれが大きい。これは、長期間大きな出水が無く、安定植生域の十分発達した後の植生流失条件について、検討の余地があることを示唆していると考えられる。

次に、流量に対する植生消長の感度分析を行った。下久保ダムによる洪水調節量を参考にして、洪水調節分を想定して上乗せする程度の流量で計算を行った。検討に用いた流量データの年最大値を図-6に示す。ここでは9.8kの検討結果を示す。計算結果を図-6に併記した。1999年の出水以前は現況再現とほぼ同様の結果が得られ、ダムによる洪水調節の有無にかかわらず、植生が繁茂したと推察される。しかし、1999年においては結果が異なり、植生が流失する結果となった。大きな出水を調整することは、植生消長に影響を与える可能性があることが示唆された。

5. まとめ

本研究では、流水と土砂の作用による立地条件変化に着目した植生消長の簡易計算手法の開発を行い、神流川を対象に、その有効性を調べた。対象河道区間の植生繁茂状況変化と河床変動の特性が5類型に分類されたので、それぞれの類型に属する代表断面を抽出して、計算結果

と実際の植生域変化との比較を行ったところ、計算が大局的な植生変化を再現することがわかった。以上から、開発された計算手法は、植生変化特性の把握や、河道改修などに伴う植生変化パターンの変化予測、安定植生域の形成や礫河原保持にとって重要な要因の把握など、河川管理に必要な情報を得る実用ツールになりうると思われる。ただし、簡易に計算できることを優先させたため、実現象をかなり単純化しており、また、生物学的プロセスは十分には考慮されていない。本手法の適用やパラメーター設定に際しては、こうしたことを十分考慮する必要がある。

河道内植生の動態の過程やメカニズムについては最近急速に研究が進んでいる。それらの成果を統合して、河道管理に役立てる形にするため、さらにそこから再びどのような素過程について理解を深めるべきかを考える上で、ここで示したような粗くではあるが一通りのプロセスを表現するようなアプローチも有用と考えられる。

謝辞：国土交通省高崎河川国道事務所および独立行政法人水資源機構下久保ダム管理所からデータを提供いただき、現地調査において便宜をはかっていただきました。ここに記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 服部敦, 瀬崎智之, 吉田昌樹: 礫床河道におけるハリエンジュ群落の出水による破壊機構と倒伏発生予測の試み, 河川技術論文集, 第7巻, pp. 321-326, 2001.
- 2) 辻本哲郎, 寺井達也, 寺本敦子: 木津川下流部砂州の植生繁茂と裸地維持の仕組み, 河川技術論文集, 第8巻, pp. 307-312, 2002.
- 3) 藤田光一, 李参熙, 渡辺敏, 塚原隆夫, 山本晃一, 望月達也: 扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション, 土木学会論文集, No. 747, II-65, pp. 41-60, 2003.
- 4) 清水義彦, 長田健悟, 金文姫: 礫床河川における近年の洪水攪乱と植生破壊規模に関する考察, 河川技術論文集, 第9巻, pp. 377-382, 2003.
- 5) 杉尾哲, 渡邊訓甫: 北川本村砂州における植生状況の変動解析, 水工学論文集, 第49巻, pp. 1435-1440, 2005.
- 6) 福岡泰斗, 鎌田鷹人: 洪水によるシナダレスズメガヤの除去効果及びそれに対するヤナギ群落の阻害効果, 応用生態工学会第9回研究発表会講演集, pp. 187-190, 2005.
- 7) 大沼克弘: 植生消長シミュレーションソフトの開発について, 河川, No. 713, pp. 34-37, 2005.

(2006. 4. 6 受付)