

セグメント2河道を対象とした河道掘削後の 戦略的河道管理に関する研究

RESEARCH ON STRATEGIC RIVER MANAGEMENT OF SEGMENT-2 RIVER AFTER RIVER IMPROVEMENT

大沼克弘¹・武内慶了²・今村能之³・藤田光一⁴・

西本直史⁵・平井新太郎⁶・宮内信⁷

Katsuhiro ONUMA, Yoshinori TAKEUCHI, Yoshiyuki Imamura, Kou-ichi FUJITA,
Naoshi NISHIMOTO, Shintaro HIRAI, Shin MIYAUCHI

¹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)

²正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 研究官(同上)

³正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 企画部付(同上)

⁴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 環境研究官(同上)

⁵正会員 工博 いであ株式会社 建設コンサルタント統括本部 技術企画部 部長
(〒105-0004 東京都港区新橋6-17-19)

^{6,7}非会員 国土交通省 九州地方整備局 遠賀川河川事務所
(〒822-0013 福岡県直方市溝堀1-1-1)

In segment-2 river, after low-water channel is widened, sometimes, sediment piles up, plants grow there and deposit fine sediment, and low-water channel narrows as a result. These changes effect on flood control and environment. So we used 2-dimension river bed variation analysis model that can simulate these phenomenon, calculated the change of river bed and vegetation after river improvement on various supposition of parameter, etc, and considered effective monitoring and maintenance way, in other words, strategic river management. We suggested a way of considering strategic river management taking account of both of flood control and environment based on calculation.

Key Words: *strategic river management, segment-2 river, 2-dimension river bed variation analysis model*

1. はじめに

セグメント2河道では、繁茂した植生により、それ無しではウォッシュロードとして通過してしまう細粒土砂が一部捕捉されて堆積し、河積の縮小が起こることがある。さらに、このような州が発達することにより、偏流が進んでこの付近に深掘れが進行したり、州の平水に対する比高が高くなって繁茂する植物の種類が変化することもある。このような、治水・環境機能の変化が起こるセグメント2河道において、治水と環境の両面を勘案した適切な河道整備・管理を行っていくためには、このような変化をあらかじめ想定し、その変化を治水・環境機能の両面から評価する技術体系が必要である^{1) 2)}。

大沼らは、このようなセグメント2河道の変化特性を踏まえ、従来の2次元の河道変動予測モデルに、植生による細粒土砂トラップというプロセスを組み込んだ河道変化予測モデル(以下「当モデル」という)を遠賀川を対象に構築し、そのモデルを用いて複数の河道掘削案についてその後の河道の物理環境や植生の変化を計算し、その結果を踏まえて治水・環境機能の経年的な変化を見越して掘削法を評価する枠組みを提案している³⁾。

しかしながら、当モデルでの予測計算上前提としている流量時系列は河道掘削後実際に生起する流量時系列とは当然異なってくること、計算の前提としている浮遊土砂濃度や植生繁茂速度等がその後のモニタリング結果と照合させた時乖離がある可能性があること等、不確実性が内包されていることが前提となっていることに注意が

必要である。そのため、河道整備後に適切に維持管理していくためには、予測あるいは想定と実態とのずれをモニタリングし、その結果を反映させていくことが肝要である。

いわゆるPDCAサイクルが河道管理において重要であることはこれまで提唱されている。安全・安心が持続可能な河川管理のあり方検討委員会から出された提言

「安全・安心が持続可能な河川管理のあり方」では、河川の維持管理上の具体的な施策として、「長期的継続的に河川の変化を把握・分析し、必要な措置を講じるための合理的な仕組みとして、維持管理実施計画に基づく巡視・点検、維持・補修、評価、公表の一連の手続きからなるサイクル型維持管理体系を構築する」ことを挙げている⁴⁾。また、例えば山本らは、河道管理の基本は、監視、記録、状態の評価、対策（評価結果の活用）、フォローアップ、記録更新の作業を繰り返し実施し、ルーチン化していくことであるとしている⁵⁾。

そこで、本研究では、当モデルを用いた感度分析を踏まえた戦略的なモニタリング方法、今後の対策実施のシナリオ等、戦略的河道管理について考察を行った。なお、ここでいう戦略的河道管理とは、河道形状や植生等の変化をあらかじめ想定し、想定時の不確定要素を勘案して重点的・効率的にモニタリングを行い、そのモニタリング結果を治水・環境の両面を勘案した河道の維持管理に反映させていくことをいうものとする。

本研究で対象としたのは遠賀川の鯉田取水堰付近から穂波川合流点付近までであり（河口からの距離標で28.8-32.8k）、平均河床勾配一約1/1700、平均低水路幅一約80m、平均堤間幅一約230m、低水路河床材料一中礫が一部に混じる極粗砂～細礫という諸元、特性を持つ。

2. 予測計算に用いたモデルの概要

当モデルの詳細については参考文献3)を参照されたい。ここでは、本研究の論旨を理解する上で必要なモデルの全体構造や感度分析の対象とするパラメータに関するものを中心に概要を説明する。

構築した2次元河床変動解析モデルの全体構成は図-1のとおりである。まず、検討対象区間におけるすべての出水時の流量時系列を与えるとともに、上流から土砂供給を行っている。ここで、Wash load については、断面平均濃度 C_w が流量と比例関係を持つとして与えた。なお、この計算におけるWash loadの扱いの詳細については参考文献3)に記述しているのでここでは省略する。

これらの条件の下で平面二次元流計算を行い、あわせて、粒径毎に、掃流砂の平面分布の計算と浮遊砂の移流拡散計算を行った。

ここで、当モデルの特徴である植生域への細粒土砂のトラップを組み込むため、図-1の太枠の部分を上記の通

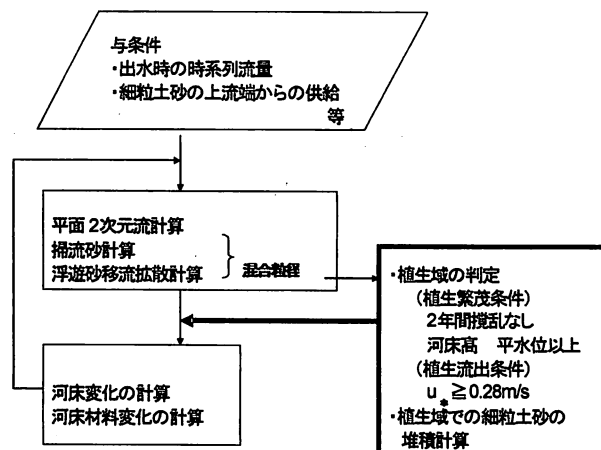
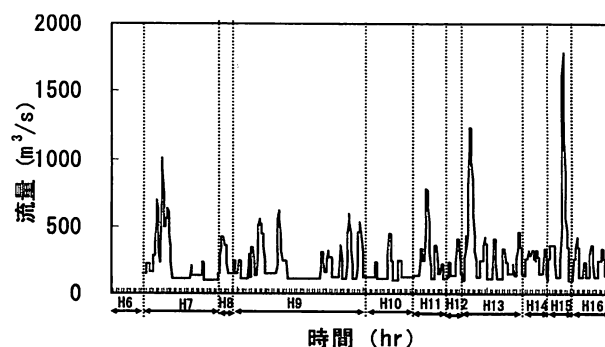


図-1 植生による細粒土砂の堆積効果を考慮した2次元河床変動解析モデルの骨格



※河床構成材料の移動限界流量以上の流量時系列を対象
※H6は渇水のため対象流量無し

図-2 流量条件

常の河床変動計算に新たに加えている。

植生の消長や植生による細粒土砂の堆積過程を、藤田らの研究成果⁶⁾を参考にモデル化した。まず、裸地の河床面に先駆的に繁茂し、冠水時に細粒土砂をトラップする機能を持つ植物が生育する過程を設定した。ここで、植生生育が可能になるために、1)河床面高が平水位以上で毎年河床低下してない（種子が定着する条件として設定）、2)河床上昇が0.2m/年以下（当該区間の現地調査により0.2m程度の土砂堆積で植生が埋没していた実態を踏まえて設定した条件）、3)植生の流出を起こすイベントが T_{pr} の期間生起しない、の3条件が全て満足されなければならないとした。ここでは、この T_{pr} を後述する基本ケースとしては2年とした。

この植物が生育した場所を以後植生域と呼ぶ。植生域では、浮遊砂（Wash loadと河床起源の浮遊砂；量は前者がはるかに多い）が堆積速度 R_D で堆積し、細粒土層が形成される。この厚さが大きくなると前述の河岸・高水敷の形成となっていく。植生域の河床面では、植生の抵抗効果により、Wash loadを再浮上させない程度に有効摩擦速度が低減しているとして、沈降した浮遊砂の再浮上が無いことを前提にした以下の式により R_D を算出した。 w_0 は沈降速度、 λ は河床材料空隙率（0.4とした）である。

$$R_D = \frac{C_b \sigma \cdot w_0}{1 - \lambda} \quad (1)$$

ここで、 C_b は底面濃度であり、平面2次元移流拡散計算で算出される各点の水深平均浮遊砂濃度 c と関係づけて求める。 σ は、植生の空間的粗密などによって、そのトラップ効果が低減される場合を想定した係数であり、本計算ではまず1/3とした。底面濃度と水深平均濃度 c との関係は、Lane-Kalinske式を仮定した。

与えた流量時系列は図-2に示す通りである。Wash loadの上流端からの供給量については、 $C_w = 6.0 \times 10^{-7} \times Q$ で与えている（詳細は参考文献3）に記載）。河床起源の浮遊砂の上流端からの供給は、粒径0.15mm, 0.3mm, 0.5mm, 1.3mmそれぞれについて上記 C_w の1/100の濃度で行った。

3. 河道掘削案に対する物理環境及び植生の変化

の感度分析結果を踏まえたモニタリング戦略

に関する考察

河道掘削後の変化をあらかじめ想定し、それを踏まえて効果的・重点的にモニタリングを行い、管理水準を維持すべく効果的に維持管理を行っていくことが肝要である。河道掘削後の変化をあらかじめ想定するためには、現象を定量的に表現するモデルを用いることが望ましい。その際には、これまで生起している事象の再現性が高くなるよう相応の根拠を前提に計算の諸条件を設定していくことは言うまでもない。しかしながら、不確実性として、①計算条件となっているパラメータや地形・河床材料分布等が実態と多少少なかれ多かれ乖離している可能性があること、②流量等の外部的要因は、計算の前提となっている条件のとおり今後事象が生起するわけではないこと、③モデルそのものの構造自体に課題がある可能性があることから、以後生起する実現象が予測計算結果と異なってくることが想定される。そのため、モニタリングを行って、計算の前提条件や計算結果と照らし合わせながらモデルを見直し、管理へ反映させていくことが必要である。その際には、先述のような3つの不確実性だけではなく、④管理すべく目標水準を勘案することにより、めりはりの効いたより効率的・重点的なモニタリングの戦略を検討することができよう。そこで、本研究では、当モデルを用いて複数の河道掘削案を対象にパラメータや流量条件の相違による物理環境及び植生の変化に関する感度分析を行い、それを踏まえたモニタリング戦略について考察を行った。ただし、先述の3つの不確実性のうち③のモデルの構造自体に起因するものについ

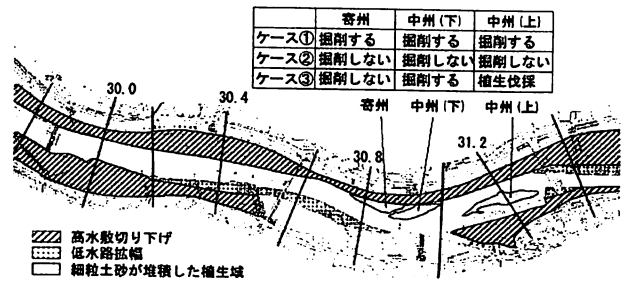


図-3 対象とする掘削ケース

表-1 計算ケース

掘削ケース	基本ケース	$T_{pr}=1$	C_w を基本ケースの2倍	中小洪水のみ
ケース①	①-(0)	①-(1)	①-(2)	①-(3)
ケース②	②-(0)	②-(1)	②-(2)	②-(3)
ケース③	③-(0)	③-(1)	③-(2)	③-(3)

てはここでは言及しないものとする。

(1) 検討掘削ケースの概要

先述の遠賀川の検討対象区間について、当モデルを用いて、ケーススタディとして想定した掘削ケースについて物理環境及び植生の変化予測を行った。なお、当区間において一部既に工事が実施されているが、本研究でのケーススタディと工事とは直接は関連しておらず、したがって実際に行われている事業についての予測・評価を行ったものではない。

ここでの対象検討掘削ケースは図-3のように、いずれも高水敷切り下げ及び低水路拡幅を想定した。なお、ケース①は平水位以上の裸地や細粒土砂が堆積した植生域（中州や寄州）を平水位-10cmまで掘削するとし、ケース②はこれらを掘削せずに残すとした。ケース③は30.8k付近の寄州は残し、30.9k付近の中州は平水位-10cmまで掘削し、31.2k付近の中州は植生伐採のみを行うものとした。

(2) 掘削後の物理環境及び植生の変化予測の感度分析結果とそれを踏まえたモニタリング戦略

各掘削ケースについて、2.で述べた計算条件によるものを基本ケース(0)とし、この基本ケースに、 T_{pr} のみを変化させて1年としたケースをケース(1)、Wash loadの濃度 C_w のみを基本ケースの2倍である $C_w = 12.0 \times 10^{-7} \times Q$ に変化させたケースをケース(2)、図-2の流量条件のうち、平均年最大流量である520m³/s以上の流量をこの流量で頭打ちにする、すなわち計算期間内では中小洪水しか発生しないとしたケースをケース(3)として、表-1に示すような組み合わせで計算を行った。

基本ケースについての計算結果については、掘削ケース①及び②に関しては参考文献3)にも示しているもので、ここでは簡単にその変化の傾向を述べる。

ケース①では、植生の面積が少ないため、植生による細粒土砂の捕捉効果が少なく、なかなか中州や寄州が元

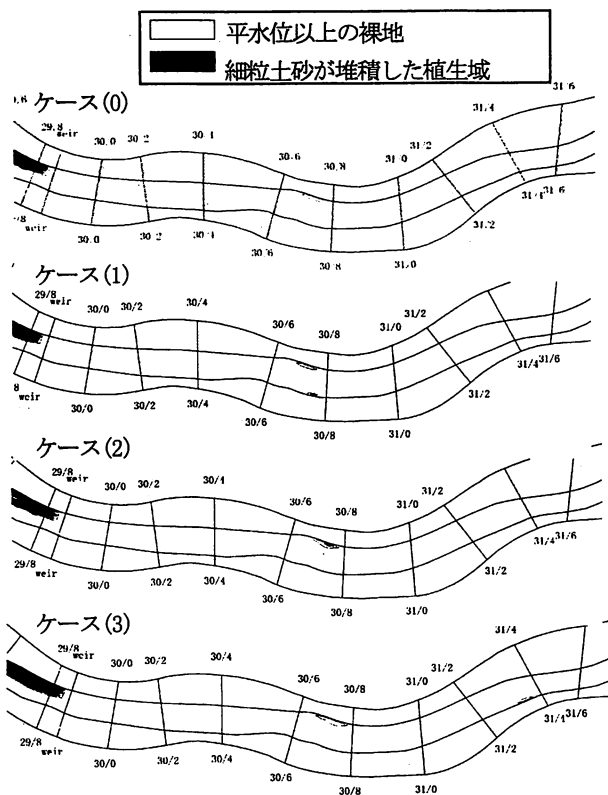


図-4 ケース①での10年後の平水位以上の裸地及び細粒土砂が堆積した植生域

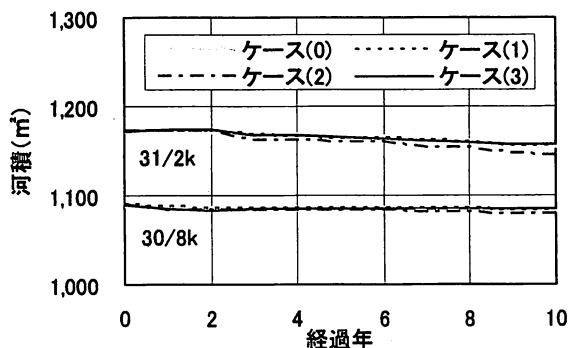


図-5 ケース①での河積の経年変化

の水準まで戻らない。それに対しケース②では、植生による細粒土砂の捕捉の影響もあり現在より中州や寄州が発達し、植生分布域も広がる。また、ケース②では深掘れがより進行する傾向がみられる。これは、中州や寄州が残っているため流れの偏りがより大きく、植生による細粒土砂の捕捉によって中州や寄州での堆積がより進行し、それがその付近の深掘れを促進させるためと考えられる。それに比べ、ケース①は深掘れが進行しにくい予測となっている。ケース③については、州の堆積状況、深掘れ、植生の繁茂状況等、ケース①とケース②の中間的な特徴となっている。

いずれのケースも堰がある29.8k付近から30.6k付近までの区間は州の再形成があまり見られないが、これはこの間が堰による湛水の影響で水深が比較的深くなっており、平水位まで土砂が堆積しにくく、したがって植生

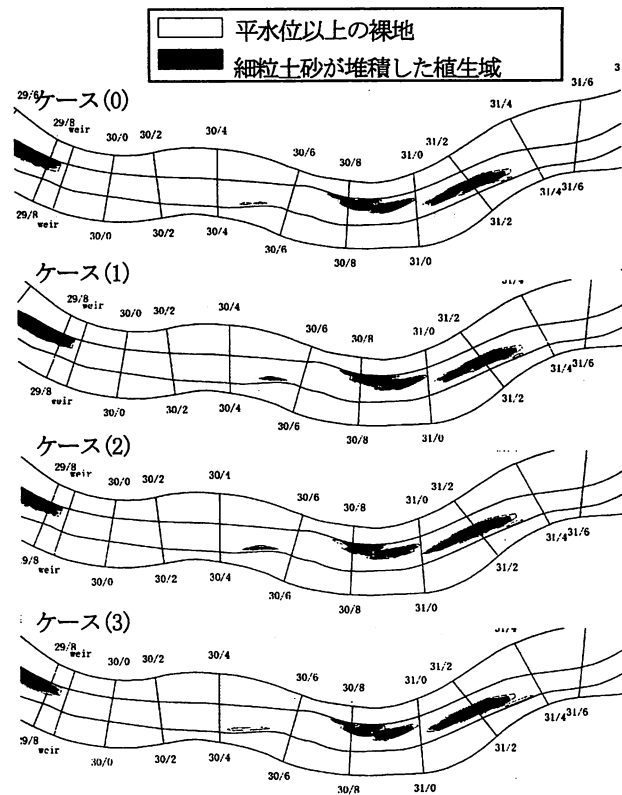


図-6 ケース②での10年後の平水位以上の裸地及び細粒土砂が堆積した植生域

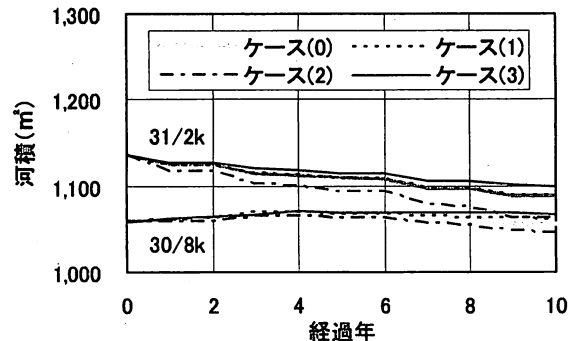


図-7 ケース②での河積の経年変化

が繁茂しにくいことが影響していると考えられる。

次に、感度分析結果について、それぞれの掘削ケースごとに示す。

掘削ケース①について、各計算ケースにおける10年後の州や植生分布状況を示したのが図-4である。いずれのケースにしても州の再形成は見られず、感度分析結果に大きな違いは見られない。河積についても、図-5のようにほとんど変化が見られない。そのため、後述する他のケースに比べ、モニタリングの必要性は小さいと考えられる。

掘削ケース②について、各計算ケースにおける10年後の州や植生分布状況を示したのが図-6である。現況の州の植生域に出水時に細粒土砂が捕捉されて堆積することが特徴であることから、州の平面分布は各ケースによる差異は小さい。しかし、図-6ではわかりにくいですが、細粒

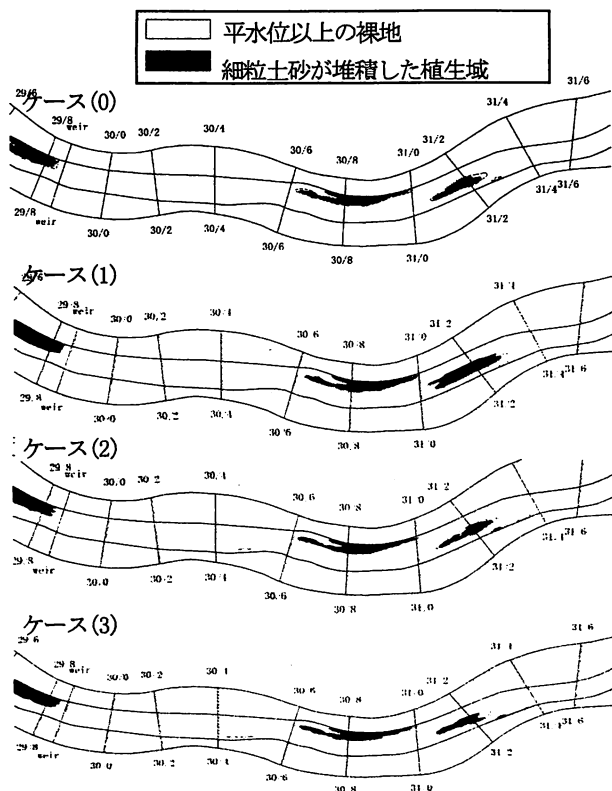


図-8 ケース③での10年後の平水位以上の裸地及び細粒土砂が堆積した植生域

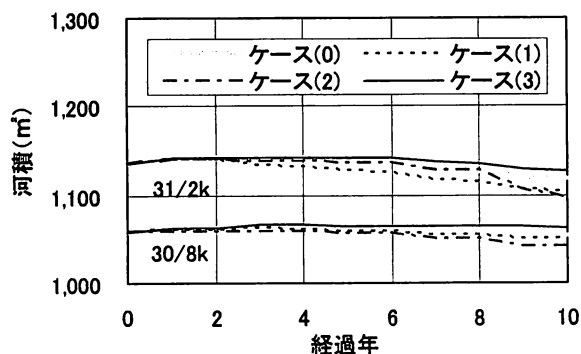


図-9 ケース③での河積の経年変化

土砂の濃度を濃くしているケース②-(2)で州の高さが高くなる結果となっている。これにより、図-7のように、特に31.2kでこのケースの河積の減少の速度が最も大きくなっている。

そのため、モニタリング項目としては細粒土砂濃度や31.2kでの地形変化の把握にまず着目する必要があると考えることができる。

掘削ケース③について、各計算ケースにおける10年後の州や植生分布状況を示したのが図-8である。植生の伐採のみを行っている31.2k付近の州では、植生の繁茂スピードを基本ケースより早くしているケース③-(1)で植生の繁茂が顕著に見られ、州の高さや州の面積が増大する結果となり、そのため図-9のように、31.2kでは河積の縮小の速度が8年までは最も速くなっている。しかし、図-2のように8年後に最も大きい出水がある計算となっ

ていることから、この時に細粒土砂濃度が2倍のケースで河積の縮小が大きくなる。そのため、モニタリング項目としては、植生の繁茂速度や細粒土砂濃度、31.2kの州の地形変化の把握にまず着目する必要があると考えることができる。

また、どの掘削ケースにも共通していることは、中小規模の洪水しかないケース(3)では、植生が繁茂している州の土砂の堆積の速度が遅いことである。

以上のように、掘削や植生の伐採の仕方により感度分析の結果が異なることがわかった。このことは、河道整備・管理の方法により重点的に行うべきモニタリング項目、モニタリング地点が異なることを示唆している。また、中小規模の出水しかない時には、河積縮小の速度も遅いことから、少なくとも C_{pr} 等の計算の前提が実態と大きく乖離してなければ比較的大きい出水がない限りは地形の測量を頻繁に行う必要はないと考えることもできる。

以上のような不確実性①、②を考慮した感度分析的観点に加え、管理すべき目標水準との比較の観点も必要である。なぜなら、例えば、土砂の堆積速度が速い地点があっても、そこが治水・環境上のネックになる可能性が将来にわたっても小さいならば、モニタリングの必要性も小さいからである。

まず環境面で、植生(面積)の観点から整理する。仮にここでは、植生の面積は多いほうが望ましいとする。ケース①については、図-4のように感度分析のいずれのケースでも植生の回復はほとんどない結果となっているため、不確実性①や②の如何に関わらず望ましい植生面積の確保は望めないこととなる。ケース②については、図-6のように他のどの河道整備ケースより植生面積は大きく、感度分析結果ではどれも植生面積は増加傾向であり、なおかつばらつきは小さいことから、綿密なモニタリングの必要は小さいと考えられる。ケース③については、図-8のように植生繁茂速度 T_{pr} の値により植生面積の回復速度が大きく異なることから、植生繁茂状況のモニタリングを行う必要性が高いと言える。

治水面では、ケース②-(2)で31.2kの河積の縮小速度が早く、10年後には30.8kの河積に接近するが、31.0kに小さな支川が入ることから、30.8kよりも6%程度小さい河積でも治水バランス上の問題はないこと、現在行われている事業の対象流量を上回る流下能力の確保が確認されていることから、先述のようなケース②での細粒土砂濃度や31.2kの州の地形変化の把握の緊急性は乏しいと考えられる。

4. 感度分析結果を踏まえた河道の維持管理シナ

リオに関する考察

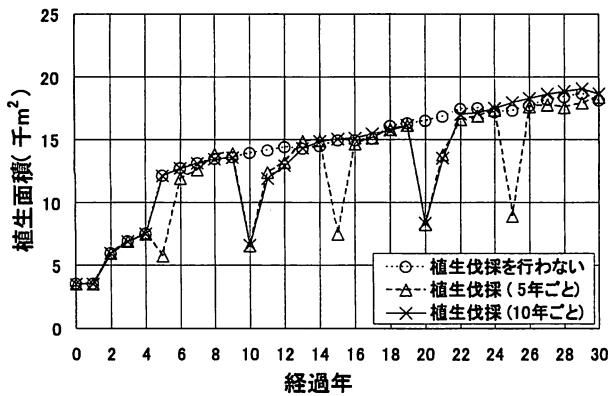


図-10 植生面積の経年変化

ここでは、河道の維持管理シナリオとして植生伐採をまず想定してみた。最初に30.8k及び30.9k付近の州について植生の伐採を行い、31.2k付近の州については手を加えないものとし、このような植生伐採を(1)以後全く行わないケース、(2)5年ごとに行うケース、(3)10年ごとに行うケースについて、計算を行った。

植生伐採のケースでは先述のように植生繁茂速度 T_{pr} の感度が大きいことから、計算条件は、3.の計算を行った後の現地でのモニタリング結果を踏まえて、植生繁茂速度 T_{pr} を1年としたこと、さらに、細粒土砂の捕捉率 σ を植生がない高水敷部分について1/10としたこと（低水路部分は従来どおり1/3）、計算期間を30年としたことから与えた流量時系列はS52年～H18年としたこと以外は、3.で示した基本ケースと同様の条件とした。

その結果、植生面積については、図-10に示すように、各ケースで植生伐採直後の植生面積は減少するものの、長期的にはどのケースも大きな相違はないこと、図-11に示すように定期的な州における植生伐採の有無に関わらず、植生伐採を行っている州（30.8k）の河積の減少傾向は変わらないことから、植生伐採によるマイナス効果としての植生面積の減少については懸念が小さいものの、プラス効果としての河積の減少速度の抑制はあまり期待できないという結果となった。当該区間については、河道整備後の流下能力は植生伐採を行わなくても事業の目標とする流量を30年後も満たしている計算となっていることから、当面このような維持管理的な植生伐採も必要ないと考えることができる。しかしながら、目標流量を引き上げ、30年以内にこの流下能力を下回る区間が発生する場合は、先述のように維持管理的な植生伐採の効果の見込みが小さいことから、3.の掘削ケース①のような河道掘削を実施する必要があると考えられる。

5. まとめ

従来の2次元の河道変動予測モデルに、植生による細粒土砂トラップというプロセスを組み込んだ河道変化予

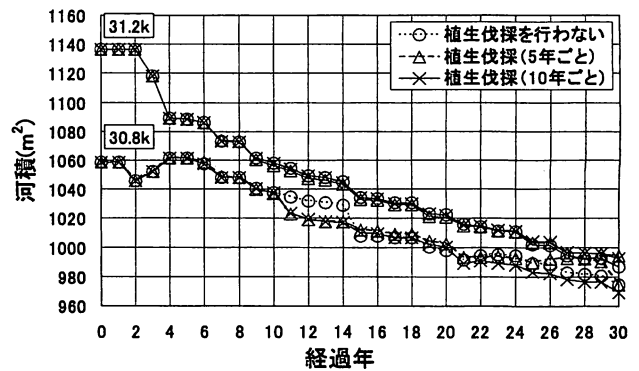


図-11 河積の経年変化

測モデルを用いて、複数の掘削ケースについて、流量パターン、浮遊土砂濃度等の境界条件や植生繁茂速度等のパラメータを変化させた感度分析を行い、現象を表現するモデル（パラメータ等）や外的要因（想定とは異なる流量等）等に起因する不確実性や管理目標水準を踏まえた、戦略的なモニタリング方法について考察した。すなわち、掘削ケースにより重点を置くべきモニタリング項目・地点・頻度が異なることを具体的な予測計算結果を踏まえて示した。さらに、今後の考えられる維持管理対策実施のシナリオについて予測計算に基づき考察した。

先述の3つの不確実性のうち②の外部的要因についてはあらかじめ予測が不可能なものであり、異なる種類の不確実性を踏まえて、限られた感度分析ケースをどう設定し、管理に反映させるかは、対象とする河川の特性等により異なると考えられ、今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 藤田光一：河道の応答を環境保全と治水の両面にきちんと織り込む技術の体系化に向けて、河川，No.724，pp.23-27，2006年11月号。
- 2) 藤田光一：河道変化を治水・環境保全の接点においた川づくりの考え方，2006年度（第42回）水工学に関する夏期研修会講義集Aコース，pp.A-8-1～A-8-16，2006。
- 3) 大沼克弘，藤田光一，佐藤泰夫，西本直史，松木洋忠，井上優：セグメント2河道を対象とした河道掘削後の河道変化予測に基づく治水・環境機能の一体的評価に向けた試み，河川技術論文集，第13巻，pp.375-380，2007。
- 4) 安全・安心が持続可能な河川管理のあり方検討委員会：安全・安心が持続可能な河川管理のあり方について，2006。
- 5) 山本晃一，戸谷英雄，阿左美敏和：河道維持管理システムに関する検討，河川環境総合研究所資料第18号，pp.101-149，2007。
- 6) 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。

(2009.4.9受付)