

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

TRIAL FOR COMPREHENSIVE ESTIMATION FROM THE VIEWPOINT OF
FLOOD CONTROL AND ENVIRONMENT BASED ON FORECAST ON CHANGE
OF RIVER AFTER RIVER IMPROVEMENT IN SEGMENT 2

大沼 克弘¹・藤田 光一²・佐藤 泰夫³・西本直史⁴・松木洋忠⁵・井上優⁶

Katsuhiko ONUMA, Koh-ichi FUJITA, Yasuo SATOU, Naoshi NISHIMOTO, Hirotada MATSUKI and
Yutaka INOUE

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
(〒300-0804 茨城県つくば市旭1番地)

²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 (同上)

³正会員 農修 いであ株式会社国土環境研究所 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2)
(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)

⁴正会員 工博 いであ株式会社東京支社 (〒105-0004 東京都港区新橋6-17-19)

⁵正会員 国土交通省 九州地方整備局 遠賀川河川事務所 所長 (〒822-0013 福岡県直方市溝掘1-1-1)

⁶正会員 工修 応用地質株式会社 東京本社 (〒331-8688 埼玉県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)

In segment-2 river, when low-water channel is widened, sometimes, sediment piles up, plants grow there and deposit fine sediment, and low-water channel narrows as a result. We developed 2-dimension river bed variation analysis model that can simulate these phenomenon and applied this model in Ongagawa River. With this model, we calculated the change of physical environment and vegetation after river improvement, tried to compare river improvement plans comprehensively from the view point of flood control and environment, and proposed the framework of monitoring and river management after river improvement.

Key Words : river improvement, segment-2 river, comprehensive estimation from the viewpoint of
flood control and environment

1. はじめに

河道掘削は、河川の治水安全度向上を図るための有力な手段の1つである。河道整備を適切に進めていくためには、掘削後に起こりうる河道の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一体的に評価する技術体系が必要となる^{1) 2)}。掘削による治水上の効果の評価はもちろん、最近、掘削が自然環境に与える直接影響の最小化を図る試みが北川等で行われるようになった³⁾。しかし、掘削後の河道変化については、予測の難しさもあって、さらに考慮すべき事項が残されている。

そこで本研究では、掘削後に有意な河道変化が起こり

うる河道の代表例として河道セグメント2 (自然堤防帯) を取り上げ、遠賀川の河道区間を対象にしたケーススタディを通じて、掘削後の河道変化を考慮した治水・環境、計画・管理を一体的に捉える河道整備技術について検討を行った。

河道セグメント2では、たとえば、低水路を拡幅すると、河床の一部に河岸・高水敷が比較的速く形成され、川幅縮小が起きることがわかっている⁴⁾。この基本的なメカニズムは、植物が、それ無しではウォッシュロードとして通過するだけの細粒土砂を一部トラップし、植生域で有意な堆積、河床上昇が起こるといえるのである。このような河道変化は、程度の大小はあるが疎通能力の減少をもたらす一方、環境機能を向上あるいは変化させる働きを持ちうる。高水敷切り下げ後の細粒

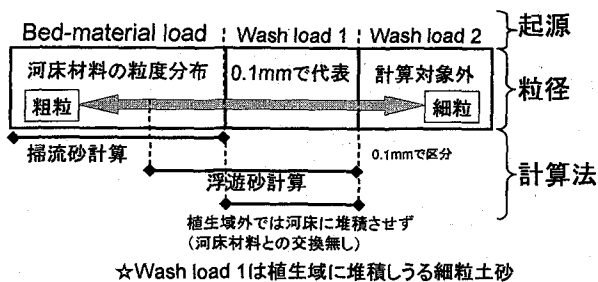


図-1 河床材料の起源と粒径毎の流砂の計算法

土砂の再堆積についても同様のことが言える。

このような河道セグメント2の変化特性を踏まえ、本研究では、従来の河床変動予測モデルに、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を新たに構築し、細粒土砂堆積による河岸・高水敷形成をある程度再現できるようにした。それを遠賀川の河道区間に適用して、河道掘削を何ケースか想定してその後の河道変化を計算し、上記の河道整備のあり方について考察した。

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（平成8年度調査によると、通過質量百分率は4.75mmで89.0%、2mmで58.8%、0.85mmで26.0%）、平均年最大流量一約680m³/sという諸元、特性を持つ。

2. 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構築

(1) 計算対象とした土砂と計算法

まず、計算対象とした河床材料の起源と粒径毎の流砂の計算法を図-1にまとめて示す。通常の河床変動計算では、図中のBed-material load（河床起源の材料）だけが対象となるが、前述のセグメント2における河岸・高水敷形成を再現する必要があるため、ここでは新たに、ウォッシュロード的に挙動し、植生域にトラップされ得る細粒土砂をWash load 1として、計算対象に加えた。ただし、この粒径集団については、浮遊砂計算において、植生の無い河床上で常に[沈降量=浮上量]となるように置き、後述の植生効果抜きでは河床材料と交換しないようにしている。さらに細粒で植生域にもほとんど堆積しない0.1mm以下のWash load 2は計算対象外とした。対象区間で形成された河岸・高水敷の材料調査結果を参考に、Wash load 1の粒径を0.1mmで代表させた。Bed-material loadの粒度分布には河床材料調査の結果を用いた。

(2) モデルの全体構成

構築した2次元河床変動解析モデルの全体構成は図-2

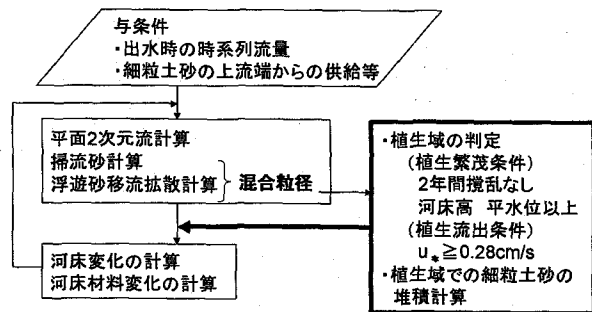


図-2 植生による細粒土砂の堆積効果を考慮した2次元河床変動解析モデルの骨格

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（平水時は計算対象としない）。上流からの土砂供給条件の設定は次のようである。Bed-material loadについては、計算区間上流端で有意な河床変動や河床材料変化が起きないように掃流砂と浮遊砂を与えた。Wash load 1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。

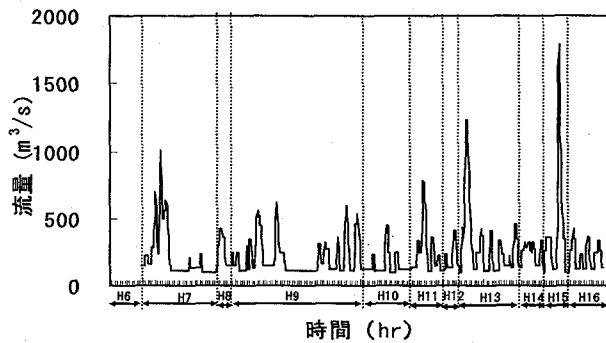
これらの条件の下で平面二次元流計算を行い、あわせて、粒径毎に、掃流砂の平面分布の計算と浮遊砂の移流拡散計算を行った。流れの計算と掃流砂の計算は小川ら⁵⁾が用いている二次元河床変動解析モデルに基づく。浮遊砂計算は、移流拡散方程式を鉛直方向に積分し、水深平均浮遊砂濃度を二次元平面的に求めるものであり、河床からの浮上量には芦田・藤田式⁶⁾を用いた。

ここで、本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-2の太枠の部分を上記の通常の河床変動計算に新たに加えた。その詳細は次項で説明する。

(3) 植生域に関する計算法

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⁷⁾を参考にモデル化した。これは、扇状地を対象にした細粒土砂の挙動のモデル化を、自然堤防帯に拡張するというものである。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、2)河床上昇が0.2m/年以下（当該区間の現地調査から植物が埋没しない条件）、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。本研究では T_{pr} を2年間と置いた。植生の流出を起こすイベントとしては、植生で被覆された地面の耐侵食性⁸⁾を考慮して、摩擦速度 u_* が0.28m/sを越える流水の作用が起こった時とした。

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 1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



※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-3 流量条件

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 1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1/3とした。底面濃度 C_b と水深平均濃度 c との関係には、次のとおり、Lane-Kalinske式を仮定した底面濃度と水深平均濃度との関係を用いた。

$$C_b = \frac{\gamma c}{1 - e^{-\gamma}} \quad \text{ただし} \quad \gamma = \frac{w_0 h}{\varepsilon_s} = \frac{6w_0}{\beta \kappa u_*} \quad (2)$$

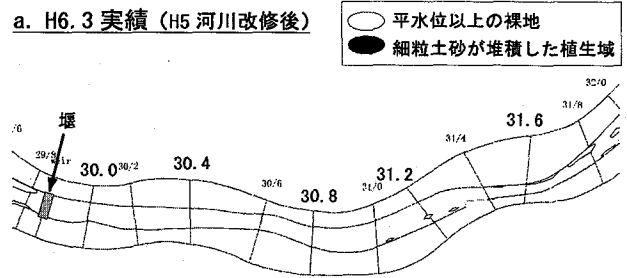
ここに κ はカルマン定数で0.4、 β は定数で1.2である。

(4) 計算条件

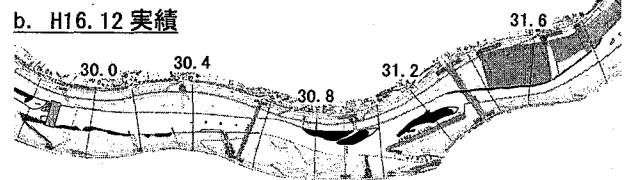
与えた流量時系列は図-3に示す通りである。Wash load 1の上流端からの供給量については、最初、出水時の遠賀川の浮遊土砂量調査から係数を設定したが、計算上の堆積量が実際よりも小さめに出ること、観測洪水の規模が小さかったこと等を勘案して、最終的に $C_w = 6.0 \times 10^{-7} \times Q$ で与えることとした。河床起源の浮遊砂の上流端からの供給は、粒径0.15mm、0.3mm、0.5mm、1.3mmそれぞれについて上記 C_w の1/100の濃度で行った。

初期河床形状は、H6.3測量成果に基づき与えた。計算格子については、流下方向には横断測線 (200mピッチ) を10分割する20mピッチとし、横断方向には、低水路16分割 (概ね10m間隔)、高水敷10分割 (概ね5m~20m間隔) とした。この結果、計算点数は $211 \times 37 = 7,807$ 点

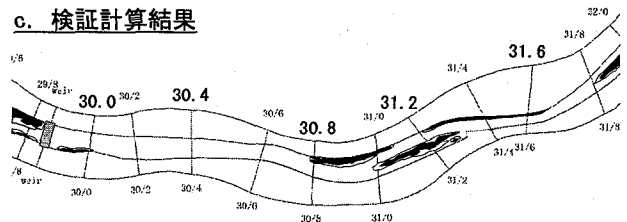
a. H6.3実績 (H5 河川改修後)



b. H16.12実績



c. 検証計算結果



d. 掘削ケース

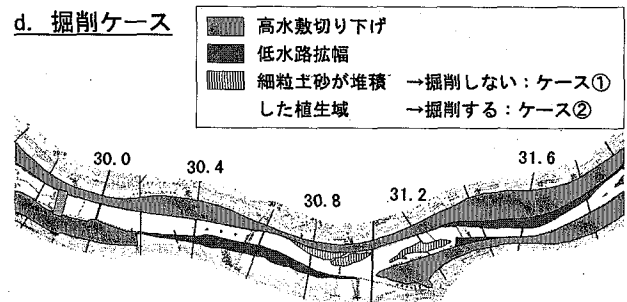


図-4 平水位以上の裸地及び細粒土砂が堆積した植生域の変化と検証計算結果

となる。

(5) モデルの再現性

再現計算による検証対象期間は、低水路の拡幅が行われた直後からの平成6年~平成16年の11年間とし、流量は対象区間内にある流量観測地点の観測結果を用いた (図-3)。

図-4の平成6年実績と平成16年実績を比較すると、この間細粒土砂が堆積した植生域は堰直上流の左岸、30.9k付近の右岸、31.2k付近、31.4k付近の右岸に広がっている。堰直上流で植生域が狭いのは、この付近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、したがって植生がなかなか繁茂しにくいためと考えられる。その他の植生域の形成は、31.2k付近の低水路拡幅による低水路幅の急拡が影響を及ぼしていると考えられ、急拡部及びその上下流の内岸で発達しており、植生によって細粒土砂の堆積が促進されていると考えられる。

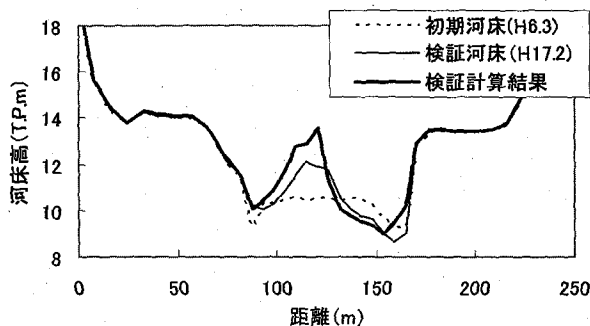


図-5 遠賀川31.2kにおける再現性比較

このような、土砂堆積や植生繁茂の範囲の変化について、図-4のb. とc. の比較からわかるように、適応したモデルの計算は概ね実態を再現できている。また、図-5のように、中州の高さについても、やや実績より高めになっているものの、水際付近で高くなっている特徴が再現できている。

以上から、掘削後の河積の変化や一定区間における流速や水深等物理環境や植生の分布の経年変化傾向等、掘削案の評価に必要な大局的な整理を行っていくには十分な精度があると考え、このモデルを用いて河道掘削後の物理環境及び植生の変化予測を行うこととした。

なお、このモデルは浮遊砂の移流拡散による河床変動を表現できる長所はあるものの、1ケースの演算時間はCPUがPentium(R)4.3.80GHzのパーソナルコンピュータを用いた場合100時間を超える演算時間になってしまう欠点がある。

3. 河道掘削案に対する物理環境及び植生の変化の計算結果と考察

(1) 検討掘削ケースの概要

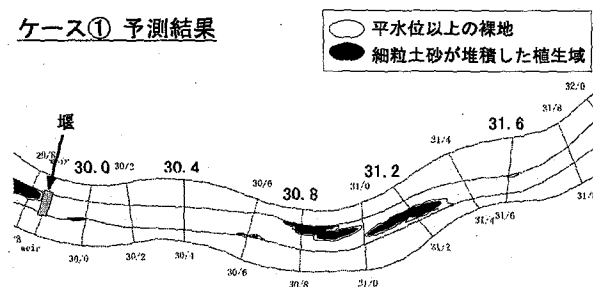
先述の遠賀川の検討対象区間について、河床変動解析モデルを用いて、ケーススタディとして想定した掘削ケースについて物理環境及び植生の変化予測を行った。なお、当区間において一部既に工事が実施されているが、本研究でのケーススタディと工事とは直接は関連しておらず、したがって実際に行われている事業についての予測・評価を行ったものではないが、本研究の成果は今後の河道管理の検討する上でも参考となろう。

ここでの対象検討掘削ケースは図-4d. 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)を残し、ケース②はこれを平水位-10cmまで掘削するとした。なお、計算の前提となる流況は図-3と同じものを用いた。

(2) 掘削後の物理環境及び植生の変化予測結果

河道掘削を行った10年後の平水位以上の裸地や細粒土

ケース① 予測結果



ケース② 予測結果

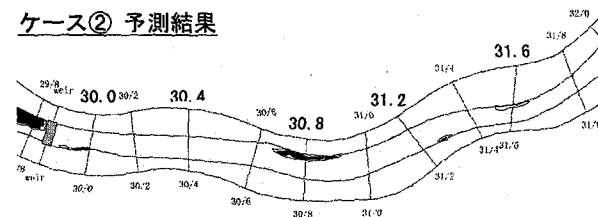


図-6 掘削10年後の平水位以上の裸地及び細粒土砂が堆積した植生域

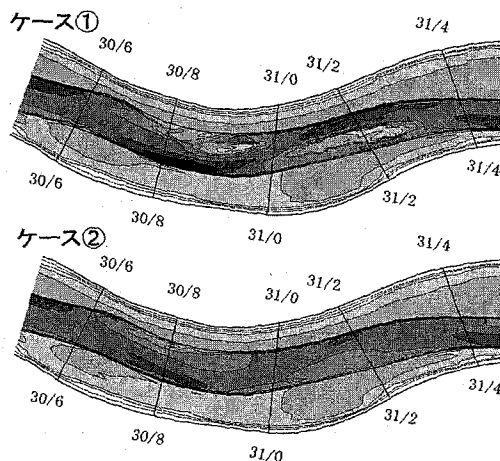
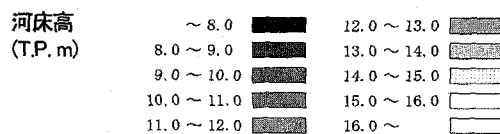


図-7 10年後の河床高分布

砂が堆積した植生域(中州や寄州)の分布予測結果を示したのが図-6である。ケース①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。それに対しケース②では、植生の面積が少ないため、植生による捕捉効果が少なく、なかなか中州や寄州が元の水準まで戻らない。次に、河床高の予測結果を示したのが図-7である。ケース①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②は深掘れが進行しにくい予測となっている。

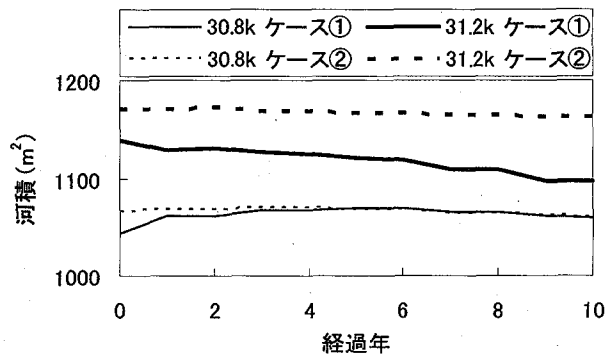


図-8 掘削後の河積の経年変化

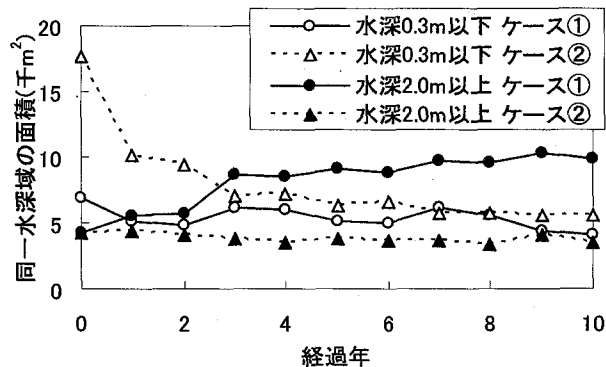


図-9 水深分布の経年変化

図-8は現在寄州がある30.8kと中州がある31.2kにおける掘削後の河積の変化を示したものである。両ケースとも30.8kでは河積の変化が小さいが、31.2kではケース②に比べてケース①の河積の戻りがある計算になっている。ケース①は、植生による細粒土砂の捕捉が、中州を掘削して植生がなくなった状態から始まるケース②よりも顕著となるためである。30.8kの寄州でもケース①のほうが同様の理由で堆積するが、左岸側で深掘れが進行することによる河積の増大分と相殺されて河積の変化が小さいものと思われる。

その他、31.2kの上流でも掘削後の河積の戻りがみられるが、31.2kほど大きくなく、戻る度合いは両ケースでさほど差はない。

いずれのケースのいずれの断面についても、掘削後河積の縮小は急激には起こらず、掘削後の治水機能の低下は軽微であると言える。

以上から、治水機能の観点からは、全体的にはケース①とケース②では大差がないものの、中州や寄州の発達や深掘れの進行が小さいケース②のほうがやや優れていると考えられる。また両ケースとも掘削による治水機能（流下能力）の増分の大部分は当面持続できると評価できよう。

平水時の水深分布の切り口から整理したのが図-9である。水深30cm以下の面積はケース②がケース①より大きい、その差は時間が経過するに従い減少傾向にある。水深2m以上の面積はケース①では増加傾向にある。

次に、植生の面積の推移について述べる。掘削前後10

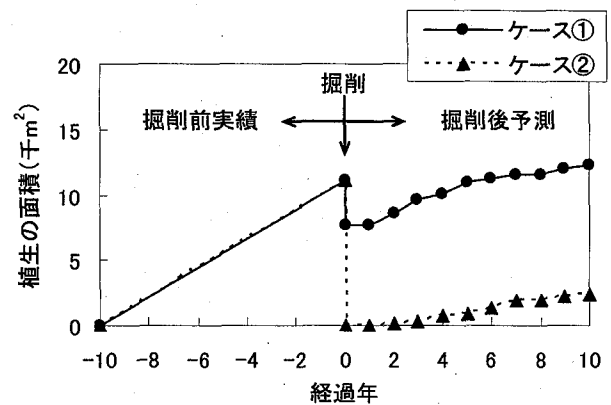


図-10 植生面積の経年変化

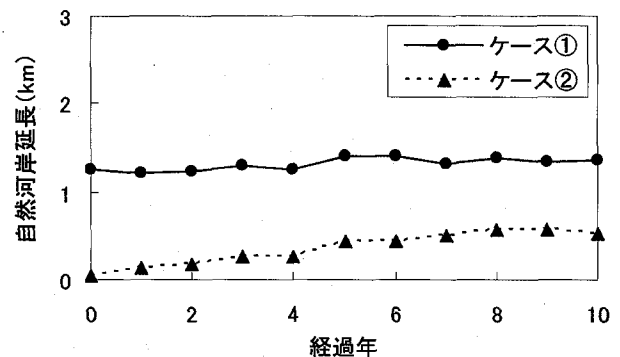


図-11 自然河岸延長の経年変化

年間の植生面積の推移を示したのが図-10である。ケース②は掘削により植生は消滅し、徐々に増加するものの、10年経っても掘削前の水準までは回復しない予測結果となっている。それに対してケース①では低水路拡幅により植生の面積は一時減少するものの、現況よりも徐々に中州や寄州の面積が大きくなり、それに伴い植生が繁茂する範囲も現況より大きくなり、掘削前の水準まで回復する。

平水時に裸地又は植生が水域に接している長さを累計した自然河岸の延長の推移は図-11のとおりである。ケース②では10年経っても元の水準まで戻らない。

(3) 考察

a) 治水機能の評価

治水機能の観点からはどちらかと言えばケース②がやや優れているが、両ケースとも河積の戻りは小さく、掘削による治水機能の増分は大方持続できると評価できる。もし河積の戻りが大きいところが治水上のネックとなっていれば、流下能力の精査が必要と考えられるが、河積の戻りが最も大きい31.2kは他の断面と比べて比較的大きいため、今回は精査を行っていない。さらに、今回のケースではあてはまらないが、深掘れが起こればと予想されるところに構造物がある場合は、その安全性について精査する必要がある。このように、単なる河積面での評価だけでなく、多面的に治水機能の評価を行っていく必要がある。

b) 環境機能の評価

環境機能の観点からは、浅い水深を好む生物にとってはケース②が良いが時間が経過するにつれ両案の差異は無くなっていき、深い水域を好む生物にとってはケース①が良く、植生や自然河岸を好む生物にとってはケース①が良い。

このような水深、流速、河床材料等の物理環境データや植生等のデータをもとに、例えばGISをプラットフォームとする生息適地評価を行うシステムを構築すれば、様々な評価対象種についてハビタットの環境要素を指標とした定量的な評価を行うことができよう。

c) 維持管理と掘削法との関連

図-10で示したように、平成6～16年に関する植生域の拡大の速度よりも、今回検討した掘削案にしたがった条件での計算の方が、流量などその他の条件は同じでも、植生域の拡大速度が小さくなっている。このことは、流過能力の拡大を図るための河積拡大を基調とする掘削であっても、掘削形状の工夫で河岸・高水敷形成のスピードをある程度制御できる可能性を示すものといえる。このように、掘削後の変化を追跡する検討を加えることで、大局的には同種の掘削法であっても、より維持管理労力の少ない方法を具体的に検討できる可能性が出てくる。

d) 治水・環境機能の一体的評価に向けて

今回提案したような枠組により、河道変化がもたらす治水・環境機能の経年的な変化を見越して、また掘削法と掘削後の維持管理法を別々ではなく一体的に検討することができる。ただし、治水機能と環境機能がトレードオフの関係になる場合、最適案を選定するにあたってのどのように評価するかについては、さらに検討や議論を必要とする。しかし、このような手法を取ることで少なくとも課題の構図は相当に見えやすくなると考えられる。

e) 掘削後のモニタリング法に対する含意

掘削後は、予測あるいは想定と実態とのずれをモニタリングし、適切な維持管理に反映させることが肝要である。このような将来シナリオがあることで、堆積が起りやすいところを重点的に調べていくなど、モニタリングの重点化や判断を要する閾値の設定に、合理性をより持たせることができると期待される。

先述の植生の消長を考慮した2次元河床変動解析モデルでは、感度分析の結果、ウォッシュロードの濃度 C_w が計算結果に及ぼす影響が大きいたことが確認されている。本研究で参考にした C_w は一回の出水時のウォッシュロードの計測結果であり、サンプルとしては十分とは言えない。今後も出水を見計らってウォッシュロード観測を行う必要がある。このように、手法の高度化のためのモニタリングという観点からも、より戦略性を持たせることができると考えられる。

4. おわりに

物理環境と植生について、河道掘削後の変化を定量的に評価できるモデルを構築するとともに、その結果を生物の生息・生育環境の評価に反映させる枠組と、その予測評価結果を掘削後の河道の維持管理に反映させる考え方を提案した。

しかしながら、実際に予測計算結果あるいは起こりうる変化の想定(シナリオ設定)を河道整備・管理手法の評価に関連づけるにあたっては様々な課題がある。例えば、物理環境予測と生物への影響予測との解像度等のマッチングに関すること、予測計算の不確実性を踏まえた戦略的なモニタリングやモデル改良に関すること、物理環境や生物への影響に関する予測計算あるいはシナリオ設定を整備・管理手法の選択につなげるための評価手法に関すること、治水や環境に関する複数の評価軸から実際の意思決定を行っていくにあたっての考え方に関すること等が挙げられるが、本研究で示したような具体的な事例を積み重ねながらこれらについて今後検討、整理していく必要がある。

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) 財団法人リバーフロント整備センター編：治水と環境の両立を目指した川づくり—北川河川激甚災害対策特別緊急事業の報告—，国土交通省九州地方整備局・宮崎県土木部河川課，2005。
- 4) 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。
- 5) 小川義忠・伊藤覚・西本直史・三浦真貴雄・劉富山：二次元河床変動解析の現地への適用に関する研究，水工学論文集，第43巻，pp. 701-705，1999。
- 6) 藤田正治：河床砂礫の浮遊機構と浮遊砂量の算定法に関する基礎的研究，京都大学学位論文，pp. 93，1986年10月。
- 7) 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。
- 8) 建設省土木研究所河川部河川研究室：洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動—流水に対する安定性・耐侵食性を判断するために—，土木研究所資料第3489号，pp. 156-164，1997年1月。

(2007.4.5 受付)