

烏川における河道の応答を考慮した 河道掘削について

River channel improvement considered in the response to
artificial impacts on Karasu River

川畑理恵¹・鈴木克尚¹・山本晃一²

Rie KAWABATA, Katsuhisa SUZUKI, Kouichi YAMAMOTO

¹(財)河川環境管理財団 研究第三部 研究員(〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

²フェロー会員 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 所長(〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

After gravel quarrying in the 1960s and 70s, the low water channel width has been reduced in Karasu River. To increase the capacity of flood discharge, excavation work has been necessary. Countermeasures for natural width reduction have been needed to cut maintenance costs.

The reduction in the low water channel was presumed by clarifying the correlation between artificial impacts and river responses which Karasu River had in the past, and analyzing the relationship between sedimentation and vegetation after the flood impacts. The excavation design method with less reduction of the width was proposed as a part of the river management strategies.

Key Words : River course management, the Karasu River, the excavation method, The process of the reduction in the low water channel, the artificial impacts and river responses

1. はじめに

従来、河道掘削(人為インパクト)後に生じる土砂堆積(レスポンス)については、維持浚渫や再度の掘削により対応することが多かった。

近年、維持管理コストの縮減等により、当初の掘削による河積拡大効果を長期に持続させ、維持浚渫等を出来る限り要しない河道掘削手法が求められている。また、砂利河川では樹林化・草地化による河原環境(砂利河原)の喪失が問題となっており、再堆積を抑制し、良好な河原環境を維持できる河道掘削手法の確立が課題となっている。

このような課題に対して、川幅縮小のメカニズムの解明及び予測技術の開発¹⁾、植生の洪水攪乱に対する応答や遷移の研究²⁾等がなされている。

本報告では、河道掘削(インパクト)に対する河道の応答(レスポンス)、掘削後の河道変化を予測した。また、再堆積を抑制するための掘削形状の基本的な考え方を示した。

検討の対象とする区間の特徴は、以下のとおりである。

烏川には右岸12.4～15.4kpおよび左岸11.2～12.4kpに無堤部が残存しており、特に右岸12.4～15.4kpは堤内地盤高が低いため、治水安全度が著しく低く、無堤部の解消が急務となっている。

なお、無堤部の河道改修に際しては、上下流の治水安全度のバランスを考慮した河積とする必要がある。この河積を築堤のみで確保することも考えられるが、右岸無堤部では、新たな用地買収の必要性や上信越電鉄の既設橋梁によるHWLの制約等により、築堤に加えて河道掘削が必須となる区間(13.6～14.6kp)が存在する。しかし、この区間は最深河床高が基盤に達している可能性が高く、河床掘下げによる事業費の増大等が想定される。

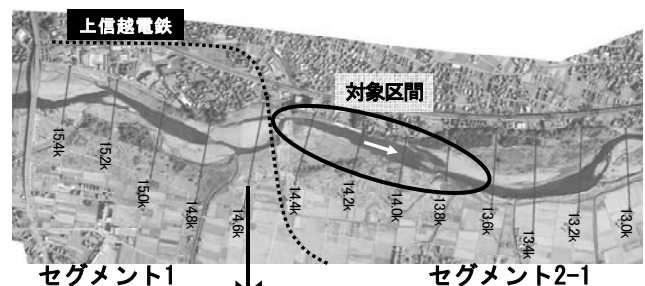


図-1 対象区間平面図

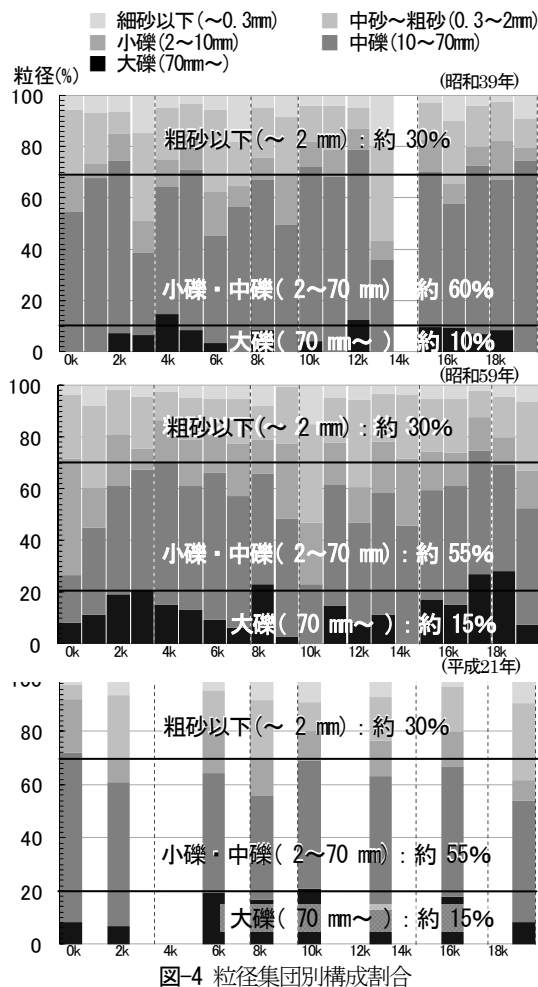


図-4 粒径集団別構成割合

的・縦断的な変化(図-4)において、大規模な砂防施設が多く設置された後の昭和39年と昭和59年を比較すると、大礫以上の割合が増加し、小礫・中礫の割合が減少している。このことから、砂防施設設置により小礫・中礫の供給量が減少した可能性がある。なお、マトリックス材である粗砂以下の割合は変化していない。

また、対象区間では過去に砂利採取が実施されている。これは、河道の形状や河道特性を変化させる大きな人為インパクトであった。これらの砂利採取がどのように河道に影響を及ぼし、その後どのような河道の応答が生じたか、以下に整理した。

a) 低水路幅の変化

砂利採取を開始した時期の河道は、カスリーン台風(昭和22年)をはじめとした規模の大きな出水の影響で一時的に低水路が広がった状態にあったものと考えられる。その後縮小した低水路から砂利採取(図-6上)が行われたことより、カスリーン台風直後の川幅が維持された。

しかし、砂利採取後の経年変化として昭和49年と平成17年の横断図(図-6下)を見ると、砂利採取により約245mに拡幅された低水路幅は約30年間の間に土砂堆積、オギの繁茂や樹林化、島状地形化が進み、半分以下の約94mへと縮小した。

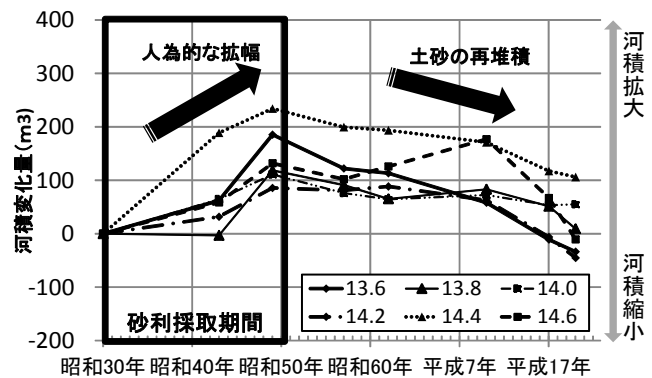


図-5 河積の変化

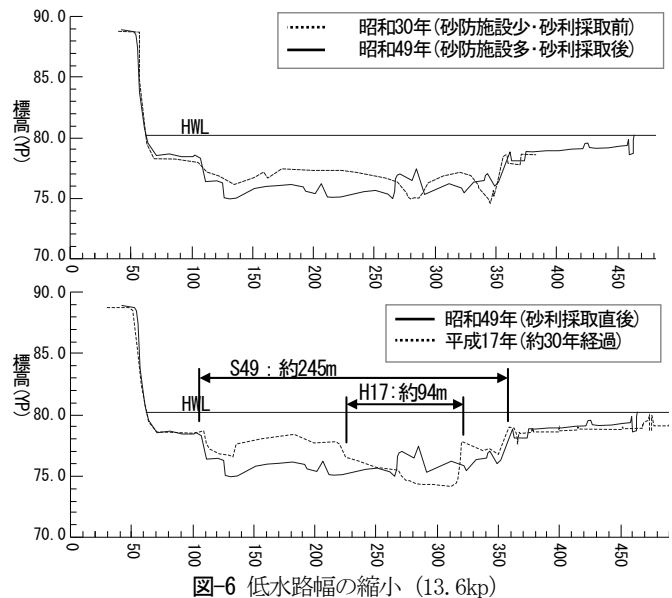


図-6 低水路幅の縮小 (13.6kp)

b) 河積の変化

低水路幅の縮小に伴うHWL以下の河積の経年的変化量を図-5に示す。

一部の例外はあるものの、砂利採取期間に河積が増加し、砂利採取が規制されてからは河道が元の河積に戻ろうとする傾向が見られ、約30年の間に砂利採取前の状態に戻っている箇所も見られる。

c) 河床材料の変化

縦断方向で見ると、各年代ともに粒径集団の構成割合の変化は小さい。砂利採取後(昭和48年以降)の経年変化を見ても、粒径集団の構成割合に大きな変化はみられないことから、砂利採取による影響は小さく、供給土砂量に大きな変化はなかったものと考えられる。

なお、平成21年度の調査では、表層を除去して試料を採取する「容積法」と表層の礫を測定する「線格子法」を実施している。調査法の性質から、線格子法は現在の河床状況を反映し、容積法は過去に堆積した河床材料を反映するが、本調査では両調査方法における各礫集団の割合は同等もしくは容積法の結果の方が高くなっていた。このことから、粒径集団の構成に有意な変化(アーミング等)は生じていないといえる。

d) 河積縮小を引き起こした土砂の質

河積縮小に伴い低水路が高水敷化するため、河積縮小時に再堆積した土砂の質は、低水路を対象とした河床材料調査では把握できない。そのため、過去の河積縮小を引き起こした土砂の質を、砂利採取後に低水路幅が縮小した箇所の河岸堆積物の調査により把握した。

礫層上の堆積土砂測定の結果、堆積物は主に中砂～細砂で構成されており、堆積厚は約2m前後、最も堆積した地点では2.6m以上であった。これは、昭和49年と平成21年の横断面比較（図-7）で分かるように河道の応答で進行した堆積の厚さと一致している。

(2) セグメント2における河積縮小プロセス

出水後の植生群落内に細粒土砂が堆積することは一般的に知られているところであり、烏川での河積縮小も植生による細粒土砂の捕捉が関係していると考えられる。

藤田（2007）¹⁾によれば、図-8に示すようにセグメント2-1における河積縮小のプロセスは、①低水路拡幅後、出水により低水路内に凹凸（平水時に水面に露出する部分）が生じ、②平水位より上の箇所に植生が入植、低水路拡幅による掃流力の低下もあり、有意な攪乱の発生しない期間が続いて繁茂が進む、③植生を破壊し得ない小出水が続く間、繁茂した植生が細粒土砂を捕捉、表層土層の厚みが増して生育条件が最適化、④最適化した環境では、既存植生の密生化や細粒土層を生育基盤とする植生への遷移を起こしながら、細粒土砂の捕捉能力と出水への耐性が高まり、高水敷化が始まる、⑤高水敷化による、攪乱頻度の低下と、河床との流速差に起因する高水敷への土砂流送があいまって、高水敷化が急速に進行するというものである。

急速に河積が縮小するプロセスにおいては、植生の繁茂と地形変化が相互に影響し合って進行し、拡幅された低水路内で植生が細粒土砂を捕捉することが不可欠な要因となっている。

なお、セグメント2-1においては、セグメント1よりも植生が進出しやすく、流速が遅いので、急速に細粒土砂が堆積し、河岸化が生じやすい。

4. 河道応答を考慮した低水路幅掘削形状の設定

(1) 細粒土砂の堆積抑制手法

河積の縮小を抑制するためには、細粒土砂等が堆積する条件が整わないようにすることが必要である。河積縮小プロセスにおいて、出水があれば①の変化は不可避であること、④に至った段階では、高水敷化した箇所が河原環境へと戻る可能性が急激に低下する（非常に規模の大きな洪水でなければ、有意な攪乱が生じない）ため、植生の生育・遷移の初期段階（②または③の初期の段階）で植生に有意な攪乱が生じる必要がある。

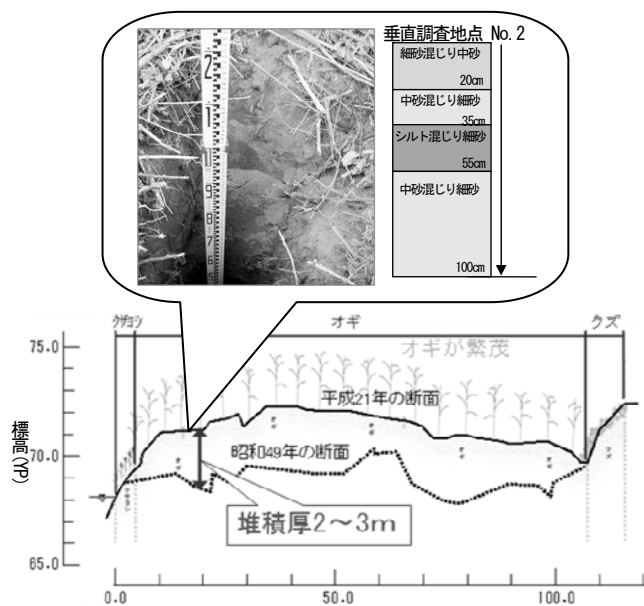


図-7 調査箇所の横断形状の変化と植生

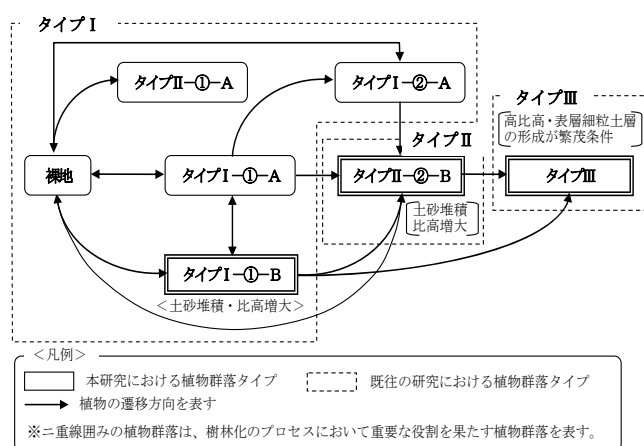


図-8 河原から樹林地へ変化する仕組みと植物タイプの役割²⁾

裸地状態から高水敷化して、オギやハリエンジュ等が繁茂する状態に至るまでの植生については、表層土層と洪水インパクトに大きく左右されることが知られている。

末次ら（2004）²⁾は、植生遷移過程における植物の役割に着目してタイプ分類を行っている（図-8）。

まず、安定的に生育せず遷移により消滅する植生をタイプI、安定的に生育する植生をタイプII・IIIとして分類。タイプIIIは、比高が大きい（1m程度以上）場所にだけ繁茂し、洪水による破壊を受けにくく細粒土砂を貯めやすい植生タイプである。タイプI・IIについては、洪水直後に先駆的に侵入し拡大する植生を①、洪水後1年経過してから、裸地や他の植生群落に侵入して拡大していく植生を②に細分類している。なお、タイプII-①は、比高が小さく表層細粒土層厚が薄い場所に繁茂し、タイプII-②は繁茂場所が比高の大きさや表層細粒土層の厚さによらないという特性をあわせもつ。さらに、I-①とII-②においては、洪水に対して抵抗力が弱くて細粒土砂を貯めにくい植生をタイプA、逆に抵抗力が強くて土砂を貯める植生をタイプBと分類し、裸地からタイプIIIに至る

までには土砂堆積が必要で、その役割を果たす植物群落タイプⅡ-②-BとⅠ-①-Bであるとしている。

なお、烏川の現植生の中では、タイプⅡ-②-Bに該当する植物としてツルヨシが挙げられ、洪水時における土砂捕捉能力、強い群落拡大能力を有するパイオニア的植生である。

本報告では、ツルヨシ群落拡大の初期段階において有意な攪乱が生じることが、烏川における細粒土砂等の堆積抑制につながると考え、ツルヨシの群落拡大速度を考慮した期間内に高確率で生起する規模の洪水時に、ツルヨシを攪乱可能な掃流力が発生しうる河道形状とすることが、具体的な細粒土砂の堆積抑制手法となる。

(2) 低水路の設計流量

a) 攪乱頻度の設定

既往の知見^{3) 4)}では、ツルヨシの特性として以下が確認されている。

- ・入植後3～5年目に拡大域・密度が飛躍的に増加する。
- ・無攪乱状態が5年経過すると、土砂移動が生じない領域を拡大させる可能性がある。

以上により、ツルヨシ群落を抑制するためには3年以内を目安に有意な攪乱を生じさせることが必要である。

b) 設計流量

対象区間の平均年最大流量は、2年確率洪水と3年確率洪水の間に相当する。そのため、平均年最大流量もしくは3年確率洪水で、有意な攪乱を生じ得る河道形状を設定した。

(3) 必要水深

平成19年の出水(4～5年確率流量相当)前後で植生がフラッシュされた箇所の水深を航空写真と横断面図から確認した結果、2m～2.5mの水深が閾値(図-9)となっていた。そのため、2m以上の水深があれば、ある程度植生が生育する状態の河床材料を移動し得ると考えられる。

1/510の勾配(計画河床勾配)で水深2mと水深2.5mの場合について、代表粒径 d_R を移動させる無次元掃流力となるかどうか確認した(表-1)。

均一粒径であれば無次元掃流力が0.06以上、混合粒径であれば0.05以上であれば河床材料を十分に移動し得るため、有意な攪乱を生じるためには、水深2.0m以上を確保する必要があり、2.5m程度あることが望ましい。

(4) 低水路幅

a) 現況川幅からの設定

掘削後の川幅縮小を抑制するには、低水路を拡幅する際に、動的平衡が保たれる川幅とする必要がある。現況で砂州が維持されている川幅(低水路幅)は90～110mの地点が多い(中州や支川合流の影響のある地点を除く)が、最大で125mの地点(11.6kp)が存在する。

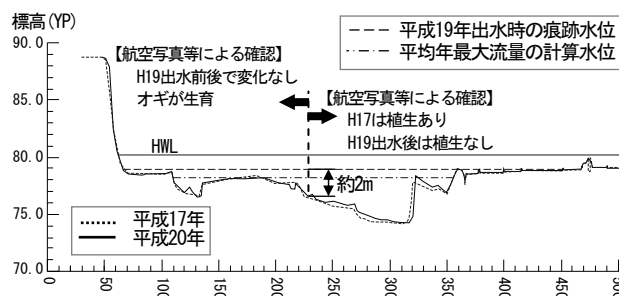


図-9 平成19年出水による植生フラッシュ箇所 (13.6kp)

表-1 無次元掃流力

代表粒径 d_{60}		無次元掃流力 τ_*	
		水深2.0m	水深2.5m
Seg2-1-①	4.6cm	0.0517	0.0646

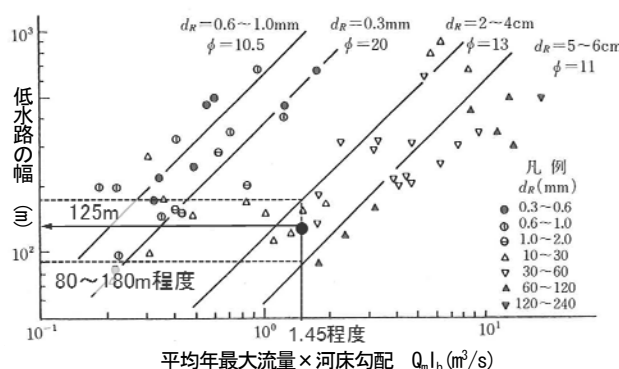


図-10 日本での低水路幅 B と $Q_m \times I_b$ の関係の比較⁵⁾

しかし、現況で最大の低水路幅を示す11.6kp地点は、上越新幹線橋梁の直下流であり、橋梁により川幅縮小が抑制されている可能性が考えられるため、次項に示すとおり既往の知見との整合性を確認する。

b) 既往知見からの確認

沖積地河川において、代表粒径 d_R が同じような値を持つ河川間では、低水路の幅 B は平均年最大流量 $Q_m \times$ 河床勾配 I_b に比例することが知られている。(図-10)

対象区間($d_R=46\text{mm}$)における $Q_m \times I_b=1.45$ であり、代表粒径40mm～50mmに対する低水路の幅 B はグラフより80～180mであり、 $d_R=46\text{mm}$ に対する低水路の幅は120m程度と評価できる。

以上から、現況の最大の低水路幅である125mは、既往の知見と大きな乖離はないものと判断し、動的平衡を保つための低水路幅は、現況の低水路の最大値である125m以内とする。なお、流下能力を確保できるのであれば120m程度がより望ましい。

(5) 掘削効果が持続可能な河道掘削

前項までの検討より、掘削した砂州が高水敷化せずに維持される低水路幅と出水時の低水路内の水深を条件として、当面の河川整備目標流量(1/10確率流量)に応じた河積を確保するための河道拡幅手法を以下に示す。

低水路については、前項で定めた低水路幅(概ね125m)

まで拡幅を行う（A掘削範囲）。拡幅する範囲については、現況の最深河床高以上であることを確認した上で、計画河床高まで掘削を行うこととした。

次に、低水路の拡幅だけでは不足する河積を、高水敷の切り下げにより確保する。高水敷の切り下げ高および切り下げ範囲は、低水路におけるツルヨシの攪乱に必要な1/3確率流量流下時の水深、および1/10確率流量に応じた河積を確保することを考慮して設定する。ここで、高水敷の切り下げ高＝低水路河岸高であり、高水敷の切り下げ高は河床高に対して、ツルヨシ攪乱の必要水深（2.0m）を加えた高さ以上とする。

なお、洪水時の水位が低水路河岸高（設定水深）を越え、水が広く高水敷を流れるようになり、低水路の中だけで流れている場合に比べて水位が上昇しにくくなる。そのため、高水敷を一律で切り下げると、低水路水深が設定水深以上となり難しくなる。

本報告では、ツルヨシの攪乱に必要な掃流力を得るために必要な水深を2.0m以上として低水路河岸高を設定しているが、出来る限り洪水規模に応じて掃流力が増大するように、切り下げ範囲を区分（低水路側よりB掘削範囲とC掘削範囲と呼ぶ）して掘削高の設定を行う。B掘削範囲は、1/3確率流量流下時に低水路の水深が2.0～2.5mを確保できるように、低水路際から必要範囲を計画河床高+2.0mの高さまで切り下げる。C掘削範囲は、堤防防護ラインまでを切り下げ範囲の限界とし、計画河床高+2.5mの高さまで切り下げる。B掘削範囲とC掘削範囲の境界位置は1/10確率流量時に計画高水位以下となる河積を確保するために必要な範囲で、1/3～1/5流量程度がC掘削範囲内で流下するように調整する（図-11, 12）。なお、水位及び流速の計画は、平面二次元不定流計算により確認した。

5. 今後の課題

(1) 効果持続性を考慮した段階的な低水路掘削手法

掘削後に維持しやすい河道形状について検討を行ったが、検討したとおりの効果が発現されるためには、施工段階においても掘削による急拡・急縮が生じることのないように、すりつけを行うことが必要である。

予算等の各種制約が存在する中で河川改修を実施していくにあたり、長期的な視野でライフサイクルコスト（掘削効果の喪失、河積維持のための再掘削）を考慮すれば、すりつけ等に配慮し、常に必要水深を確保し、死水域が生じないように河道形状を設定するような工程計画を検討する必要があると考える。

(2) 高水敷の植生管理

本報告では、低水路内における細粒土砂の堆積抑制を主眼に掘削形状の検討を行っており、切り下げた高水敷

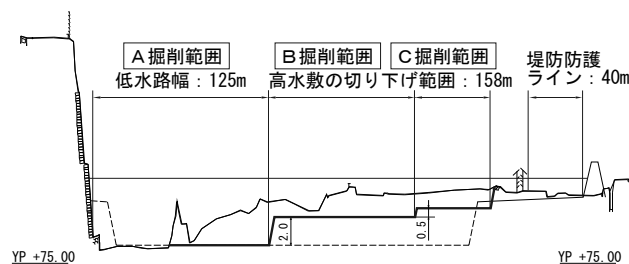


図-11 断面設定イメージ（14.2kp）

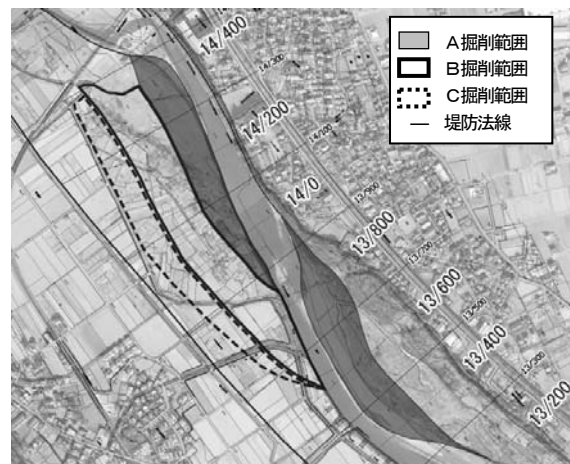


図-12 河道掘削イメージ

には植生が繁茂する。植生が遷移し、高茎草本が繁茂すると粗度が増加し、流下能力の減少が想定される。同じ河積で大きい流量を流下するためには、切下げた高水敷の植生を管理し、適度な粗度係数を保つ必要がある。

今後、どのように高水敷の空間を望ましい状態に誘導し、どのように管理をしていくのか、具体的な検討（空間利用計画 等）が必要と考える。

謝辞：本報告は、国土交通省関東地方整備局高崎河川事務所委託業務の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 藤田光一：河道セグメント2における川幅縮小のメカニズムと予測技術 ～掘削後の河道応答を「もっと読もうとする」河川技術のために～，第43回 水工学に関する夏期研修会講演原稿，pp1-20, 2007.
- 2) 末次忠司・藤田光一・服部敦・瀬崎智之・伊藤政彦・榎田真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答、遷移および群落拡大の特性―多摩川と千曲川の礫河床を対象として―，国土技術政策総合研究所資料，第161号，2004
- 3) 青木信哉，田中規夫，八木澤順治：洪水攪乱影響の違いがツルヨシの形態的特徴と繁茂量・拡大域に与える影響，水工学論文集，51巻，pp1255-1260, 2007.
- 4) 八木澤順治・田中規夫・青木信哉：ツルヨシのランナーによる群落拡大が土砂の移動限界に与える影響，水工学論文集，50巻，pp1177-1182, 2006.
- 5) 山本晃一：沖積河川―構造と動態，pp120-123, 2010.

(2012. 4. 5受付)