

維持管理の容易な河道形状の形成手法の検討

株式会社 建設技術研究所 浦部 真治
株式会社 建設技術研究所 藤本 和幸
株式会社 建設技術研究所 ○佐々木 昌俊
株式会社 建設技術研究所 森川 浩

論文要旨

河川維持管理はこれまで以上の効率化が求められており、計画段階から維持管理を考慮した戦略的な維持管理を目指す必要がある。四国地方の急勾配・緩勾配の2河川をモデル河川として、河道特性の把握、河道整形が必要となる区間の抽出、維持管理容易な河道の立案、多面的な評価項目の設定、評価を実施し、維持管理容易な河道として船底河道を選定した。これらの過程を維持管理が容易な河道形状の形成手法としてとりまとめた。

キーワード：河川維持管理，船底河道，河道安定性

まえがき

全国的に河川整備計画の策定が進む中、河道掘削により河積確保が実施される事例が多くなっている。河道は洪水外力による河床低下や植生繁茂の影響を受けるなど、維持管理上の問題がある。また、社会情勢が変化中、河川維持管理についてはこれまで以上に効率的な費用の低減が求められている。このような状況にあって、計画段階から維持管理の容易性を考慮することで、トータルコストの低減を図る戦略的な維持管理方策の提案が必要とされている。そこで、再堆積や河岸侵食が少なく、維持管理が容易な河道形状の形成手法の開発が求められている。

本研究はモデル河川として四国の急勾配河川である物部川水系物部川と緩勾配河川である那賀川水系桑野川を対象として、戦略的な維持管理手法の検討及び形成手法のとりまとめを行ったものである。本稿では、物部川水系物部川における検討について詳述する。

1. モデル河川物部川の課題

表-1にモデル河川である物部川における河道特性及び現況河道の課題を記す。物部川(直轄区間)は河幅が300~500m程度であり、河道の二極化に伴う樹林化と局所洗掘が進行している急流河川である(図-2)。このような「河床の比高差の拡大に伴い、植生域の樹林化と滞筋の固定化の二極化による局所洗掘の発生」といった現象は全国的にみられ、堤防沿いの局所洗掘による破堤の可能性の増大へつながり、河道管理上の大きな課題となっている。



図-1 モデル河川位置図

表-1 モデル河川の特徴及び課題

河川	特徴と課題
物部川	①平均河床勾配は概ね一定で1/280と急勾配であり、急流扇状地河川である。 ②河川整備計画目標流量に対し、砂州上の土砂堆積や樹木繁茂により流下能力が一部不足している。 ③昭和40~50年に堰の統廃合が実施されており、それに伴い平均河床高が低下、局所洗掘が発生し、洗掘対策が検討されている。

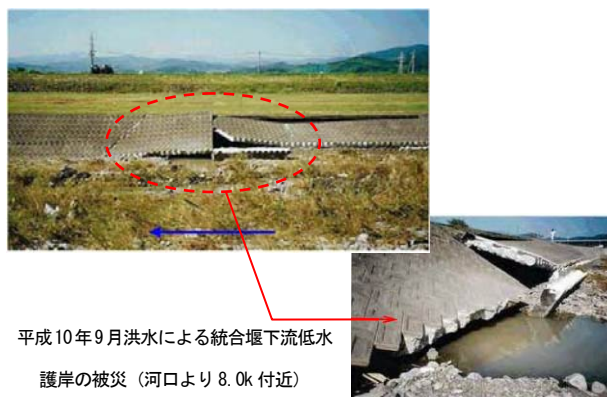


図-2 物部川の河道管理上の課題例

2. 検討フロー

維持管理の容易な河道形状の検討をおこなうため、図-3に示す検討フローを提案した。初めに、①現況河道における維持管理面での問題を把握するために、全川的な河道変遷と経年的な断面形状の分析を行う。次に、②治水及び維持管理の観点から流下能力・河道の安定性といった指標を用いて河道形状を変更する必要性の判定(河道部の形状判定)を行い、③改修必要区間の抽出及び改修優先度の設定を行う。最終的に、改修必要区間における河道形状を決定するために、①の河道変遷と経年的な横断面形状の分析結果から、④河道形状を決定し、⑤治水・維持管理面での指標に加え事業費や河川環境も考慮した総合的な評価により河道整形案の最適案をトライアルにより見出す。以下には、②河道部の形状判定、③改修必要区間の抽出及び改修優先度設定、④河道整形案の設定および⑤評価方法の考え方や物部川への適用例について詳述する。

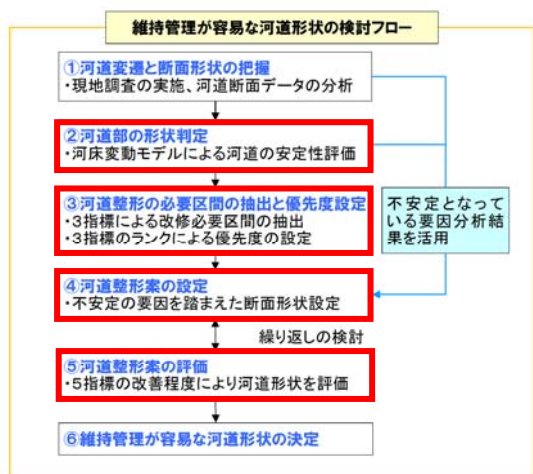


図-3 維持管理が容易な河道形状の検討フロー

3. 河道部の形状判定と改修必要区間の抽出及び優先度設定

3.1. 河道部の形状判定方法

河道形状を変更する必要があるかの判定(形状判定)を行うために治水及び維持管理の観点から表-2に示す「流下能力」、「河道安定性」、「平面的河床変化」の3指標を用いて評価することを提案した。ここでは、「河道安定性」及び「平面的河床変化」による評価方法について述べる。

河道の安定性評価には最近適用事例の多い「無次元流量-河幅・水深式(福岡の式)」¹⁾を活用することとした。ただし、この式は一次元的(縦断的)な河道・水理特性(平均河床高、エネルギー勾配等)に基づいて作成されている。そのため、河幅が広く横断方向に流速差が大きく交互砂州が形成される河川や樹木の繁茂が顕著な区間へ適用する際には留意すべき事項があると想定される。このような課題を踏まえ、以下の手順で評価することを提案した。

①複数の流量規模に対する河道の安定性を評価するため、大・中・小の洪水ハイドロを条件に河床変動解析を行い、無次元の流量-河幅・水深を算出し、洪水中の河幅・水深変化を分析する。

②無次元の流量-河幅・水深の変化が標準値と大きく乖離する場合には、流量規模に応じて河幅が拡大せず、洗掘が進行する等の要因により不安定になっていると判断する。

③無次元の流量-河幅・水深の変化が標準値と同様の傾向で、乖離が小さい場合には、安定していると判断する。

上記③の場合でも、現地状況や河床変動計算結果等から判断すると、河岸沿いの局所洗掘が大きく進行している区間がみられた。このため、新たに「平面的河床変化(局所洗掘等)」の項目も加え、河床の安定性を評価することとしている。

表-2 3指標による河道部の形状判定方法

項目	内容	判定の考え方
流下能力	HWL 評価(河積評価)の現況の流下能力を用いて、改修が必要となる区間を検討する。	HWL 評価(河積評価)において、目標流量(河川整備計画目標流量等)を満足しない箇所は改修が必要な区間として「不足」と判定する。
河道安定性	福岡の式で評価される河床の安定性について評価する。	大・中・小の流量規模に対して河床変動解析を行い、福岡の式で安定していないと評価される箇所は、場合によっては改修が必要な区間として「不安定」と判定する。
平面的河床変化	河岸際の河床変化や局所洗掘等、堤体への影響を評価する。	河川整備計画において局所洗掘対策が設定されている箇所、河床変動計算において局所的な洗掘が生じると予測される箇所を改修が必要な区間として「影響あり」と判定する。

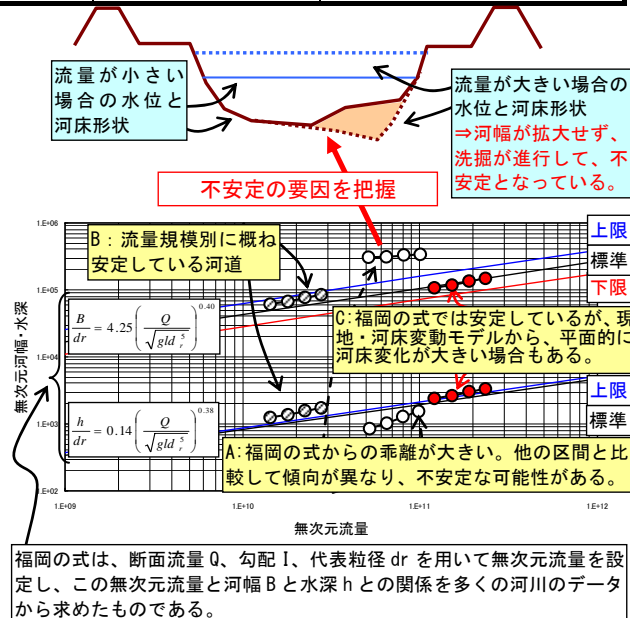


図-4 福岡の式による安定性の判定と分析

3.2. 河道整形の必要区間の抽出と優先度設定

河道部の形状判定に用いた3指標により改修必要区間の抽出を行う。

ここでは改修区間の抽出及び優先度設定を物部川等の局所洗掘が河川管理上の課題となっている河川へ適用することを想定し、表-2に示した3指標を表-3のようにランク区分し改修の優先度を簡便に判断できる材料を作成した。3指標の内「河道安定性」については土砂環境・河川環境を改善していく指標として有効に活用できるが、河川整備計画等では破堤に至るような治水上の事象に特に留意する必要があると考え、「流下能力(量的対策)」と「平面的河床変化(質的対策)」に重きを置き、全体的な分布バランスも考慮して6つのランク区分を設定している。ただし、このランク区分の設定は河川特性に応じて変化させる必要があると考えられる。

表-3 改修必要区間の抽出のランク区分

各項目による判定結果			改修の必要性
流下能力による判定結果	河道の安定性による判定結果	河床変化(局所洗掘)による判定結果	
-	安定	影響なし	E
不足	安定	影響なし	C
-	不安定	影響なし	D
-	安定	影響あり	C
不足	不安定	影響なし	B
-	不安定	影響あり	A
不足	安定	影響あり	B
不足	不安定	影響あり	S

3. 3. 物部川を対象とした河道部の形状判定と改修必要区間の抽出及び優先度設定

(1) 対象流量の設定

河道部の形状判定を行うために対象とする流量を平均年最大流量、河川整備計画の目標流量、計画高水流量とし、規模別の河床変動解析を行った。その上で、平面二次元河床変動解析結果による水理量を用いて、無次元流量-河幅・水深値を算出して、福岡の式との対比を行った。

(2) 河道の安定性評価

流量規模別の無次元流量-河幅・水深値と福岡の式における下限値・上限値との乖離程度から河道の断面形状の安定性を評価した(図-5)。

(3) 改修の必要区間の抽出と優先度設定

表-3の考え方にに基づき改修の必要区間の抽出及び優先度の設定を行った。結果として物部川では4区間を改修の優先度が高い区間として抽出した(表-4)。なお、平面的河床変化については深掘れ対策が実施されている区間の河床変化や既設護岸の根入れ高を踏まえて現況の最深河床から両河川とも-1.0m以上の局所洗掘が予測される箇所を「影響あり」と判定した。

最終的には、区間①はアユの産卵場付近であること、区間②は整備済みであることから検討対象区間から除外した。区間③と区間④の比較では、治水安全度の観点から区間④の方が改修優先度が高いと判断できるため、以下では区間④の河道整形案の設定および評価について触れる。

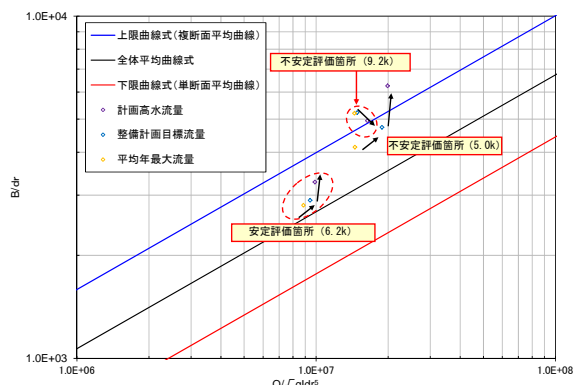


図-5 福岡の式による安定性の判定と分析

表-4 改修必要区間と優先順位の設定

距離標	各項目による判定結果			改修の必要性
	流下能力による判定結果	河道の安定性による判定結果	河床変化(局所洗掘)による判定結果	
10.2k	-	不安定	影響なし	D
10.0k	-	不安定	影響なし	D
9.8k	-	不安定	影響なし	E
9.6k	-	不安定	影響なし	D
9.4k	-	不安定	影響なし	D
9.2k	不足	不安定	影響あり	S
9.0k	不足	不安定	影響あり	B
8.8k	不足	不安定	影響あり	S
8.6k	不足	不安定	影響あり	A
8.4k	-	不安定	影響なし	D
8.2k	-	不安定	影響なし	D
8.0k	-	不安定	影響なし	D
7.8k	-	不安定	影響なし	D
7.6k	-	不安定	影響なし	E
7.4k	-	不安定	影響あり	B
7.2k	-	不安定	影響あり	B
7.0k	-	不安定	影響あり	B
6.8k	-	不安定	影響なし	D
6.6k	-	不安定	影響なし	E
6.4k	-	不安定	影響あり	C
6.2k	-	不安定	影響あり	C
6.0k	-	不安定	影響あり	C
5.8k	-	不安定	影響なし	E
5.6k	-	不安定	影響なし	D
5.4k	-	不安定	影響なし	D
5.2k	-	不安定	影響なし	D
5.0k	-	不安定	影響なし	D
4.8k	不足	不安定	影響なし	B
4.6k	不足	不安定	影響なし	B
4.4k	-	不安定	影響なし	D
4.2k	不足	不安定	影響なし	B
4.0k	-	不安定	影響なし	D
3.8k	-	不安定	影響なし	D
3.6k	-	不安定	影響なし	D
3.4k	-	不安定	影響あり	B
3.2k	-	不安定	影響なし	D
3.0k	-	不安定	影響なし	D
2.8k	-	不安定	影響なし	D
2.6k	-	不安定	影響なし	D
2.4k	-	不安定	影響あり	C
2.2k	-	不安定	影響あり	C
2.0k	-	不安定	影響あり	B
1.8k	-	不安定	影響あり	B
1.6k	-	不安定	影響あり	B
1.4k	-	不安定	影響あり	B
1.2k	-	不安定	影響あり	B
1.0k	-	不安定	影響あり	B
0.8k	-	不安定	影響あり	B
0.6k	-	不安定	影響あり	B
0.4k	-	不安定	影響あり	B
0.2k	-	不安定	影響なし	D
0.0k	-	不安定	影響なし	D

4. 河道整形案の設定および評価

4. 1. 河道整形案の設定方針

河道整形案の設定をおこなうために過去の空中写真及び横断の経年変化を分析し河道断面設定の方針を決める。局所洗掘及び堆積等が比較的生じていない過去の横断及び空中写真を参考とし、河道整形の目標を設定する。

4. 2. 河道断面の設定

局所洗掘対策工法として、小規模な改修としては低水護岸の緩勾配化や急流河川で適用されている巨石を用いた根固め工の設置などが挙げられる。また、大規模な整形案としては比較的河床が安定し(洪水によって河床が変動しても元の河床に戻る河道)、土砂が再堆積しづらい船底河道が挙げられる。船底河道の横断形状は福岡・山坂²⁾らによって関数系による形状が提案されている。

4. 3. 河道整形案の評価

設定した断面について総合的に維持管理が容易な河道かを評価するため「水位・流速」といった治水安全度の指標、「河道安定性」及び「平面的河床変化」に加え、「河川環境」及び「概算事業費」を加えた5項目を用いることを提案した。表一5に各項目の解析による評価方法について記す。

表一5 2指標による河道整形案の評価

項目	内容	解析による評価
水位・流速	<ul style="list-style-type: none"> ・HWL 評価(河積評価)の現況の流下能力を用いて、改修が必要となる区間を検討する。 ・改修断面での流速について評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・目標流量に対する計算水位とHWLを比較。 ・河岸沿いの流速低下について、現況河道、河川整備計画河道と比較(一般的な連節ブロックの耐流速5.0m/sとも比較)。
河床安定性	<ul style="list-style-type: none"> ・福岡の式で評価される河床の安定性について評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・福岡式での安定範囲であるかを確認。 ・無次元水位・河幅の変化を現況河道、河川整備計画河道と比較して改善度合いを評価。
平面的河床変化	<ul style="list-style-type: none"> ・河岸際の河床変化や局所洗掘等、堤体への影響を評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・河岸沿いの局所洗掘・深掘れについて、現況河道、整備計画河道と比較。 ・長期的な河床変動予測による評価。
河川環境	<ul style="list-style-type: none"> ・環境変化(瀬・淵環境)について評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アユの好適生息域の分布及び上下流連続性。 ・樹木の繁茂予測による評価。
概算事業費	<ul style="list-style-type: none"> ・河床整形の実現性について評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・概算事業費を算出し、改修にかかる費用で評価。 ・河道内での土砂移動も費用を算定。

4. 4. 物部川を対象とした河道整形案の設定および評価

(1) 河道整形案の目標設定

図一6にて7.0~10.0kにおける昭和40年代からの空中写真及び図一7にて9.0kにおける昭和45年以降の横断面図を示す。物部川7.0~10.0kでは昭和40、50年代には当該箇所上流に位置する山田堰により堰直下流から流路は左右岸に分かれていたことがわかる。これは山田堰が斜め堰であったことが要因として考えられる。近年の局所洗掘は昭和57年に、山田堰が撤去され、左岸側で土砂堆積が進行し、右岸側に流路が固定され流れが直線的となったためと推察される。以上から、河道中心部へ流水を導くような河道整形が有効と判断できる。

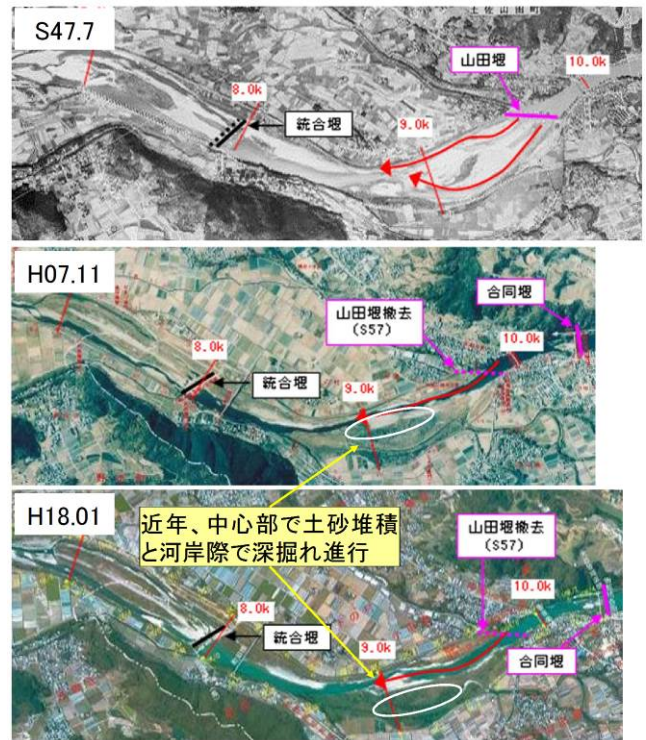
(2) 河道整形案の設定

物部川においては当初、遠賀川の事例³⁾を参考とし緩勾配掘削による比較的小規模な河床整形による改修による効果を確認したが、大きく改善しなかったため、河道中心部に流心を移動させる船底型河道による大規模な河床整形を行うものとした。

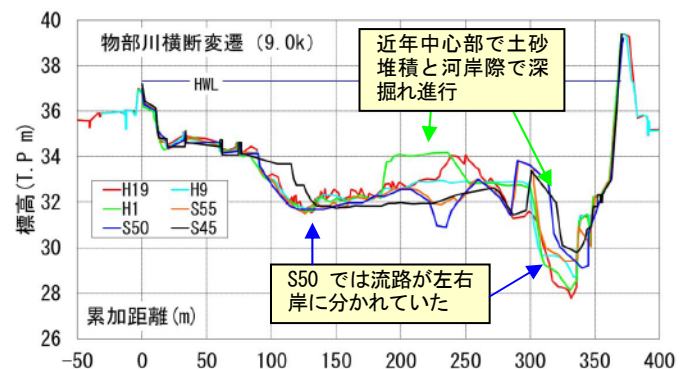
船底河道の作成に当たっては船底の①最深河床高と②最深河床の位置(法線)③横断面を設定する。

①最深河床高の設定では、初期設定として、下流側の船底中心部の河床高は経年的に河床が安定している8.6kを基準とし、上流側では近年河床低下傾向にある9.6k地点を基準として、一定勾配とした(図一8)。その後、3指標:「水位・流速」、「河床の安定性」、「平面的河床変化」の評価により最適な河床高をトライアルにより設定した。

②法線形状は流心を河道中心部に導くため、湾曲中心部に法線を引き、上下流で滑らかに連続するカーブを設定した(図一9)。また、③横断面は福岡・山坂²⁾らによる関数系を参考として設定した。



図一6 空中写真(7.0~10.0k)



図一7 経年横断面図(9.0k S45~H19)

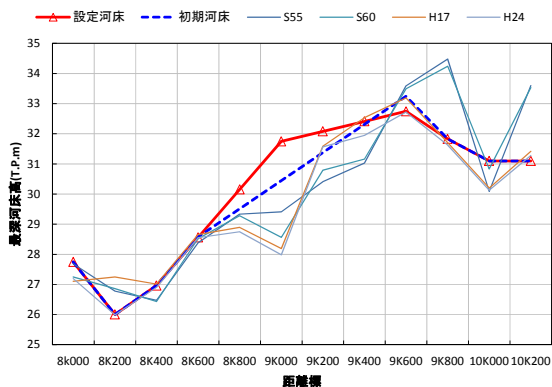


図-8 最深河床高縦断面図

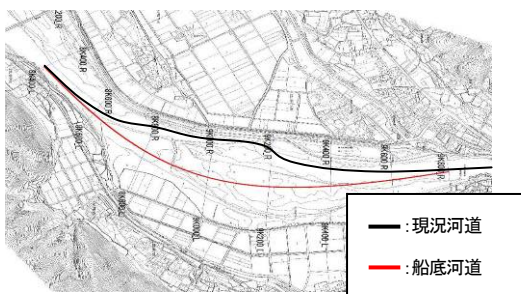


図-9 船底最深部の法線形決定

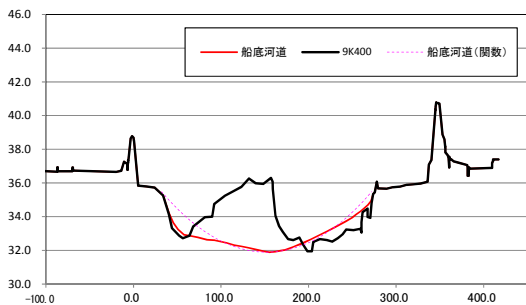


図-10 船底河道の設定(物部川)

(3) 河道整形案の評価

以下、提案した5指標による河道整形案の評価を現況河道・河川整備計画河道との比較により行なった。

①水位・流速

現況河道では計画洪水ハイドロに対し8.6k及び8.8kで水位がHWLを超過する結果となった(図-11)。一方、河川整備計画河道及び船底河道においては改善が見られ、HWL超過は解消された。また、河岸際の流速に関して、河川整備計画河道では現況河道に比べ流速が3m/sほど増加する箇所が発生した(図-12)。一方、船底河道では河岸際の流速が比較的低下する傾向にあった。船底河道は、河岸沿いが緩やかな傾斜となるため、河岸沿いの流速が低下し、また局所洗掘等の発生防止に有効と考えられる。

②河床の安定性

河床の安定性については現況河道及び河川整備計画河道では横断形状に段が生じており、流量の変化に伴い各段の冠水により河幅が急変する(図-13)。一方、船底河道においては福岡の式と同様な流量に応じた河幅変化を

示し安定的な河床と評価される。

③平面的河床変化

長期予測(10年予測)を行った結果を図-14に示す。河川整備計画河道では9.2k~9.8kにおいて洗掘の傾向がみられ、8.8k~9.2kにおいては、堆積傾向がみられた。一方、船底河道では、8.6k~8.8k及び9.6k~9.8k区間に洗掘の傾向がみられた。洗掘傾向がみられるのは、河川整備計画河道ではやや河岸際(9.0k~9.4k右岸)であり、船底河道においては河道中心部であった。したがって、局所洗掘による護岸等の被災の可能性においては、河川整備計画河道に比べ、船底河道が優位であると考えられる。

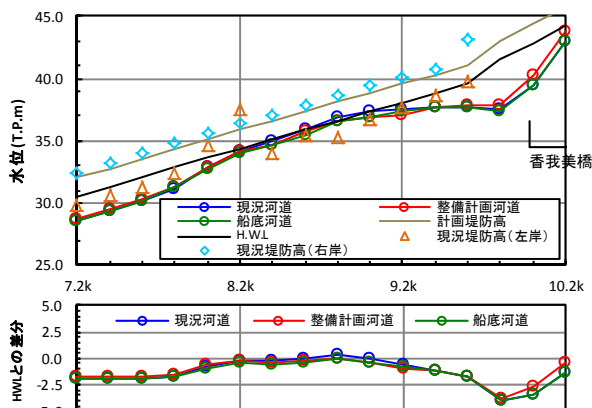


図-11 水位縦断の比較

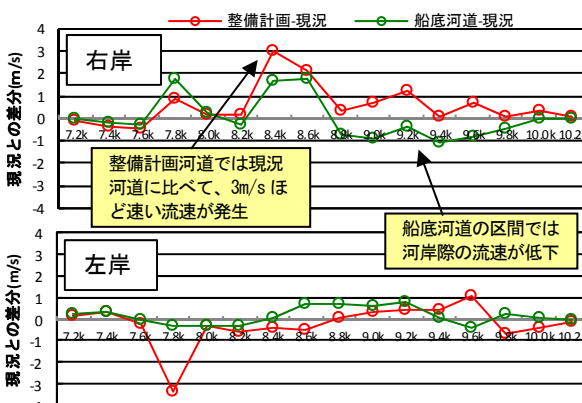


図-12 河岸際流速の比較

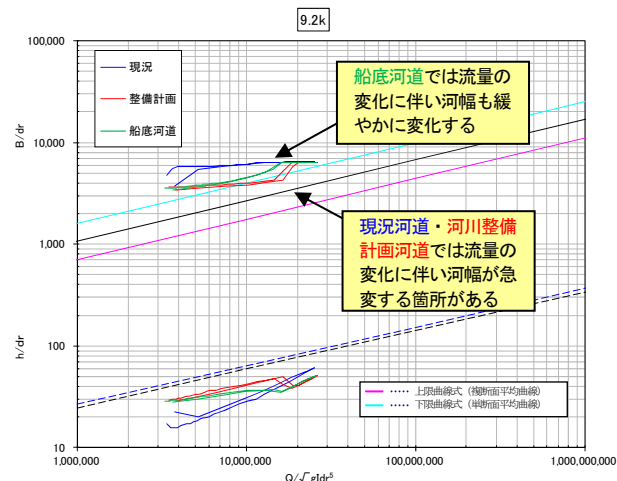


図-13 無次元流量-無次元河幅・水深関係の時間変化

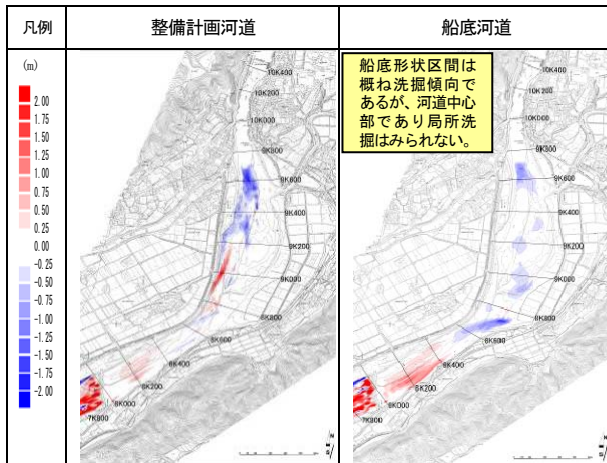


図-14 局所洗掘の平面分布(10年予測)

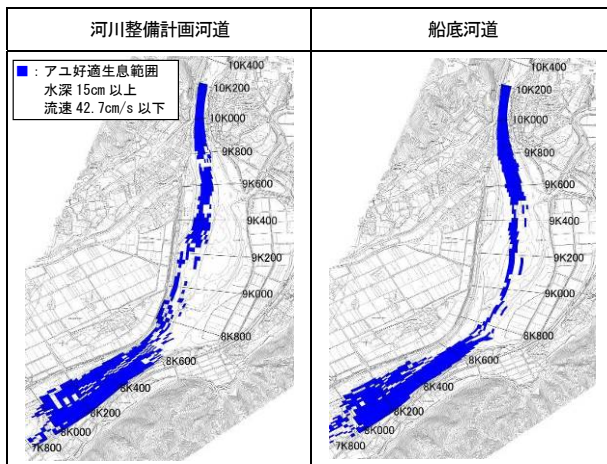


図-15 アユの好適生息範囲(平水流量時)

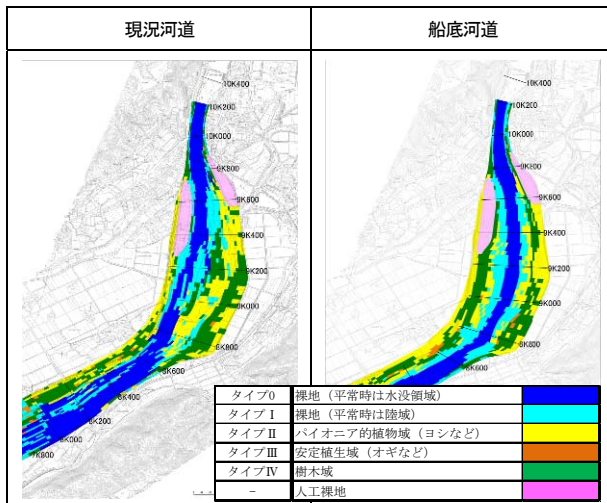


図-16 樹木繁茂予測結果(10年予測)

④河川環境

河川環境については、平水流量時(12.08m³/s)のアユの好適生息範囲(水深:15cm以上、流速42.7cm/s以下)及び植生消長モデルを用いた樹木繁茂域の10年予測による評価を行った。

図-15に平水流量時の河川整備計画河道及び船底河道のアユ好適生息範囲の平面分布を示す。結果として、河川整備計画河道に比べ船底河道ではアユの好適生息範囲

が8.8k~9.4kにかけてやや狭くなっている。しかし、河川整備計画河道では、アユの好適生息範囲が上下流で連続していない区間が存在し(9.0k~9.2k)、遡上等の行動に影響を及ぼすものと推察される。一方、船底河道では、アユ好適生息範囲は上下流で連続しており、遡上等の行動には影響を及ぼさないものと考えられる。

樹木繁茂域予測結果を図-16に示す。樹木繁茂域は現況河道に比べ船底河道では減少する結果となった。船底河道は現況河道に比べ水面幅が広く、船底形状の端部に樹木が繁茂するものと考えられ、維持管理が比較的容易であると考えられる。

⑤概算事業費

概算事業費は整備計画河道:9.4億円、船底河道:4.0億円であった。船底河道では、河岸際の流速が低下するため低水護岸が不要であり、河道内での掘削部を「押土」により盛土部へ転用でき、運搬費等の残土処理費を抑えることが可能である。

⑥総合評価

結果として、船底河道は河岸際の流速低下や局所洗掘の改善、水面幅拡大による樹木繁茂域の減少など、維持管理が容易な河道と評価できる。また、事業費についても船底河道がより安価であり総合的に船底河道が改修案として優位な河道と判断できる。

あ と が き

本検討では、改修必要区間の抽出から、維持管理が容易な河道形状設定及び評価までの過程を実河川に適用し戦略的な維持管理手法の一つとして提示した。本検討でモデル河川とした、物部川においては本手法を適用した河道計画検討を実施しており、今後、全国への展開が望まれる。

また、河道安定性が高いとされていた船底河道について実河川での具体的な設定手順を示すとともに複数項目により多面的に維持管理面での有用性が確認できた。

参考文献

- 1) 福岡捷二: 札内川の河道変遷を考慮した治水と環境の調和した安定な河道縦横断面形状に関する研究, 北海道河川財団研究所紀要(X XIV), pp. 123-164, 2013.
- 2) 福岡捷二・山坂昌成: なめらかな横断面をもつ直線流路のせん断分布と拡幅過程の解析, 土木学会論文集, 第351号/II-2, 1984.
- 3) 福岡捷二・笹木拓真・宮原幸嗣: 複断面から船底形断面河道への改修による洪水流況及び低水路河床高の変化, 河川技術論文集, 第20巻, 2014.