

河川 CIM を活用した丸石河原の検討

いであ株式会社 ○ 山本 健人
兵藤 誠
山田 直季
高田 彩乃
山口 一馬

論文要旨

揖保川ではかつての特徴的な環境である丸石河原が減少している。そこで、環境整備事業の一環として揖保川では丸石河原の自然再生が実施されており、本業務では揖保川における丸石河原の自然再生に関する検討を行った。

検討にあたっては、現地調査や経年的な航空写真、モニタリングにより現地の状況を把握し、平面二次元流況解析を用いて効果を定量的に分析・把握した。また、現況河道と対策河道の河川 CIM を構築し、地形や再生効果を 3 次元で把握し、治水や機能性、経済性も考慮して総合的に判断し、最適な河道を提案した。

キーワード：自然再生事業、丸石河原、自然裸地、カワラハハコ、河道掘削、河川 CIM、平面二次元流況解析、生息適地、モニタリング

まえがき

かつて揖保川中流部に多く見られた丸石河原は、河川改修、昭和 40 年代からの砂利採取、また横断工作物の改築等の人為的な変化により丸石河原の環境が減少した。

そこで、昭和 30 年代には丸石河原であった中流部を中心に、河原環境の再生を目指し、24 箇所の整備箇所を選定した¹⁾。

本論文では、選定箇所の一か所を検討対象箇所とし、自然再生計画書に基づき、切下げを中心とした対策を行い、揖保川で重要な河川環境である丸石河原再生の検討を行った。検討にあたっては、平面二次元流況解析を用いて効果を定量的に分析・把握を行った。さらに、現況河道と対策河道の河川 CIM を構築し、水理特性やカワラハハコ生息適地を河川 CIM に統合することで、地形や再生効果を 3 次元で把握し、最適な河道形状の検討を行った。

1. 方法

(1) 現地状況の把握

現地調査での UAV 写真撮影により、検討箇所の現況の把握を行った。また、経年的な航空写真を整理し、現況地形に至るまでの河道変化の要因を分析した。さらに、植生のモニタリング調査を実施し、重要種の生息状況について把握した。

(2) 現況特性の把握

現況の水理特性の把握を行うため、平面二次元流況解析を実施した。計算条件を表-1 に示す。検討にあたっては、平均年最大流量、年 1 回発生規模流量、平水流量の 3 つの流量を

対象とした。また、縦横断形状の把握を行うために、河床高や水位についても整理を行った。

表-1 計算条件表

項目	内容	備考
河道断面	令和元年度 ALB 横断測量成果に、現在の工事後及び工事予定の内容を反映	
計算区間	揖保川 14.0k~16.2k	—
メッシュ分割	横断方向：141 分割 (約 14m~20m/メッシュ) 縦断方向：距離標間 25 分割 (約 8m~13m/メッシュ)	—
上流端流量	平均年最大流量：930m ³ /s 年 1 回発生規模流量：150m ³ /s 平水流量：14m ³ /s	山崎第二観測所の流量を使用
下流端水位	平均年最大流量：28.37 (T.P.m) 年 1 回発生規模流量：26.34 (T.P.m) 平水流量：25.87 (T.P.m)	痕跡水位 (H21.8) 河道 H-Q 式 (H29.3)

(3) 河川 CIM の構築

自然再生の検討は、従来は定期横断測量（概ね 200m 間隔）や工事測量（概ね 20m~50m 間隔）の結果を用いて、平面図・横断図・縦断図を作成し、2 次元図面の組み合わせによって 3 次元的な完成形状を把握し、施工を行ってきた。これらの方法は、河川管理者や現場の実務者が見れば、問題なく現地状況を正確に捉えて施工することができる。しかし、実務者以外の利害関係者が合意性や対策による効果を可視的に把握できることが重要である²⁾。

そこで、局所的な河道の状態の分析・評価を行うために、航空レーザ測深 (ALB) の点群データを活用し、河川 CIM を構



図-2 対象箇所のUAV写真

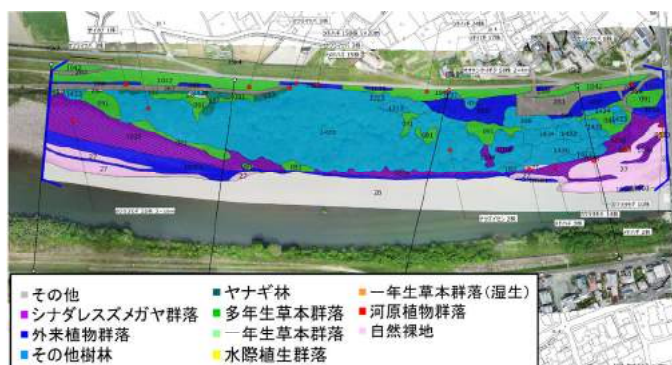


図-4 モニタリング調査結果

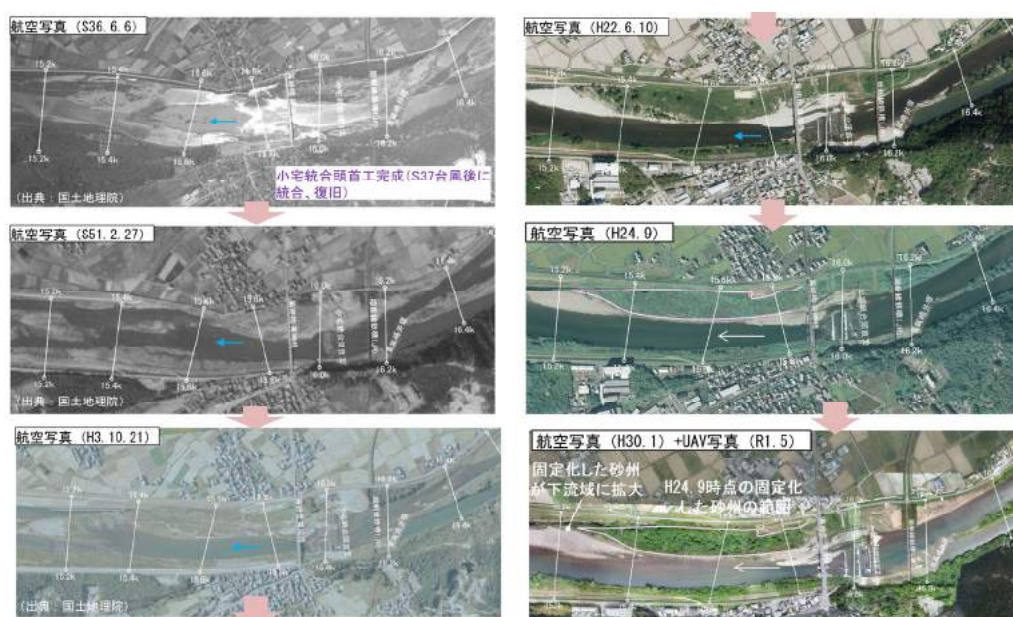


図-3 対象箇所の航空写真による経年変化

築した。また、2次元の情報で対策河道の諸元を整理した上で、これらの2次元情報から3次元河道を自動生成させて掘削断面形状を作成した。今回は、平面二次元流況解析結果と自然裸地とカワラハハコ群生地との生息適地を統合した。統合方法としては、平面二次元流況解析結果は各流量規模の水位をサーフェスモデル化し、そのサーフェスモデルの上に統合した。自然裸地とカワラハハコ群生地の生息適地は、地形に統合した。

(4) 対策案の検討方針

a) 設計諸元

揖保川丸石河原の過年度の検討成果³⁾、学識経験者の意見を基に、縦横断平面形状や水理特性について整理した。

縦断形状については、砂州高が平水位から平水位+2.0m程度であり、縦断的に緩やかな勾配に設定し、掃流力を確保しつつ、冠水面積を増加させる。横断勾配については、極力、

緩勾配(1:25~1:30程度)を設定し、滞筋と砂州高の比高差が小さくなり、洪水流が横断的に広がりやすくなるような形状を検討した。

また、水理特性として、平均年最大流量時での無次元掃流力では、自然裸地では、 $\tau = 0.04 \sim 0.08$ 程度、カワラハハコ群生地では、 $\tau = 0.02 \sim 0.06$ 程度を創出できるような掘削形状を検討した。年1回発生規模流量時では、掘削箇所の一部が冠水しないことが望ましいとされており、流速や掃流力が変化し河床の堆積や洗堀を極力最小にするためにも、低水路幅が大きく変化しないように検討した。

b) 評価指標

再生箇所を目指すべき環境としては、河原や海岸の砂地に生息し、丸石河原への依存が強いカワラハハコの生育環境を創出することを目標とした。

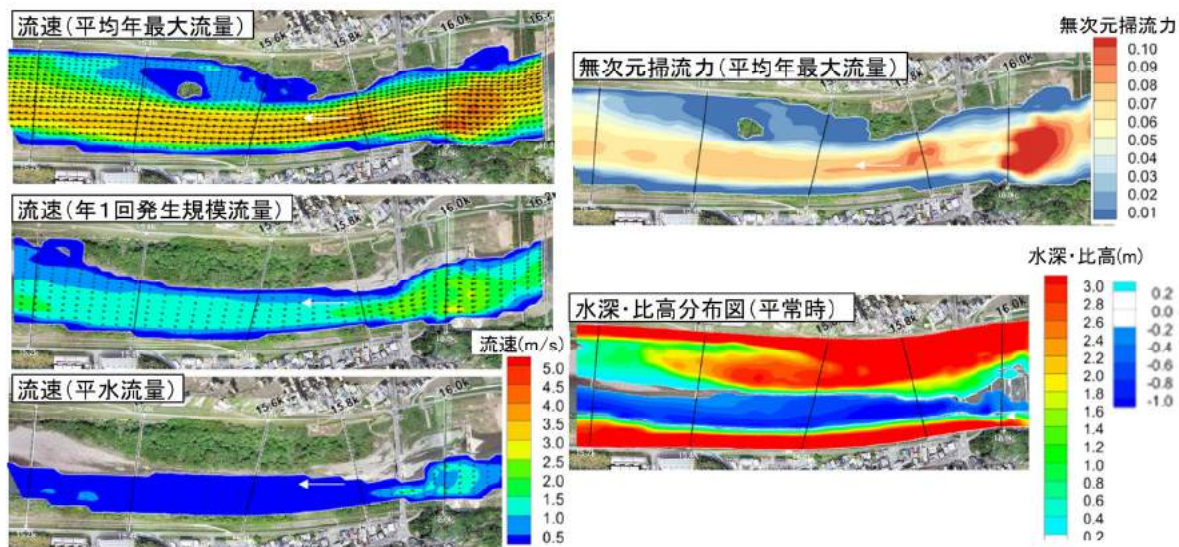


図-4 平面二次元流況解析結果

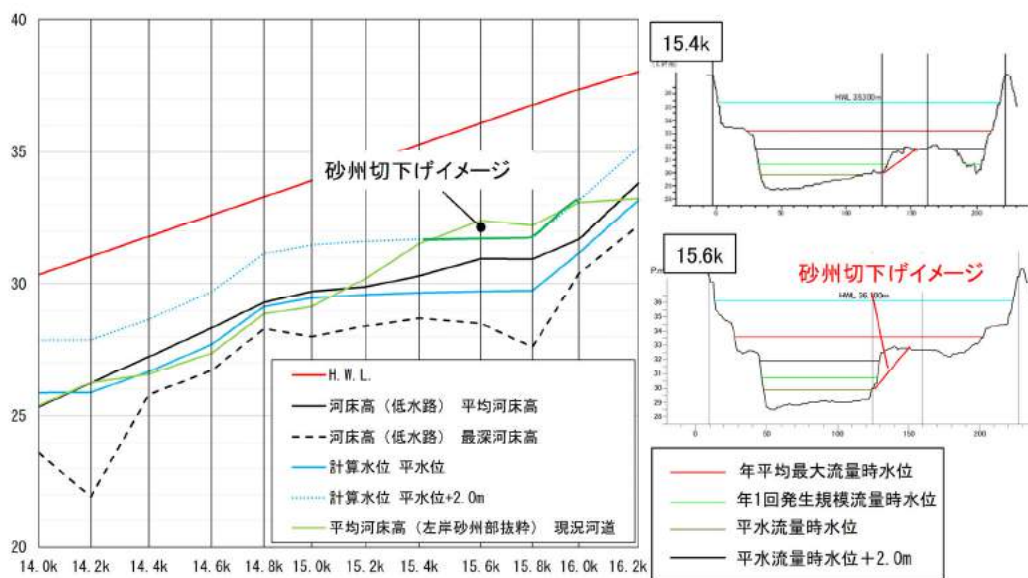


図-5 河道縦横断特性

2. 結果・考察

(1) 現地状況の分析

現地調査や UAV による現地状況の把握の結果、水際部の比高が高く植生が繁茂していることが分かった (図-1)。また、経年的な航空写真を整理した結果、小宅頭首工完成後、洪水を重ねるごとに砂州が形成され、下流側に延伸した砂州が樹林化・固定化している。現在では固定化した箇所が下流域に広がっていることを把握した (図-2)。

植生のモニタリング調査結果では、河原植物のメドハギ、カワラマツバや丸石河原への依存性強いカワラヨモギの種が確認された。樹林や草地生の種として、ナツズイセン、サイカチが確認された。また、外来種としてはシナダレスズメ

ガヤが河岸部に確認された (図-3)。

(2) 現況特性の分析

平面二次元流況解析による現況特性の分析を行った結果を図-4に示す。平均年最大流量流下時では、固定化した砂州の一部は冠水するが、流速は小さく (0.5m/s 以下) 洪水流が流下するような流れになっていない。年1回発生規模流量時では、砂州部が高いため冠水しておらず、平水流量時では滞筋のみを流下する状態となっている。また、平均年最大流量時での砂州部の無次元掃流力は0.02以下であり、丸石河原が創出され維持できる0.04~0.06程度となっていない。比高分布図より、砂州部が約3m以上であり切り立っていることが確認できる。対象流量規模の水位を縦横断的に見ると、15.6k、



図-6 現況河道の河川 CIM 構築結果

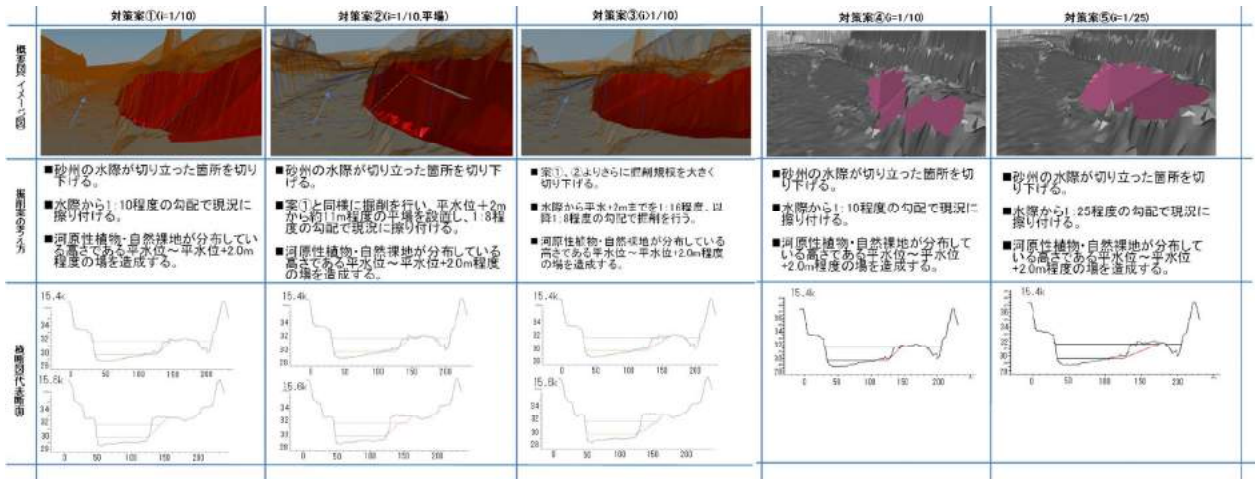


図-7 対策河道の設計諸元及び河川 CIM の構築

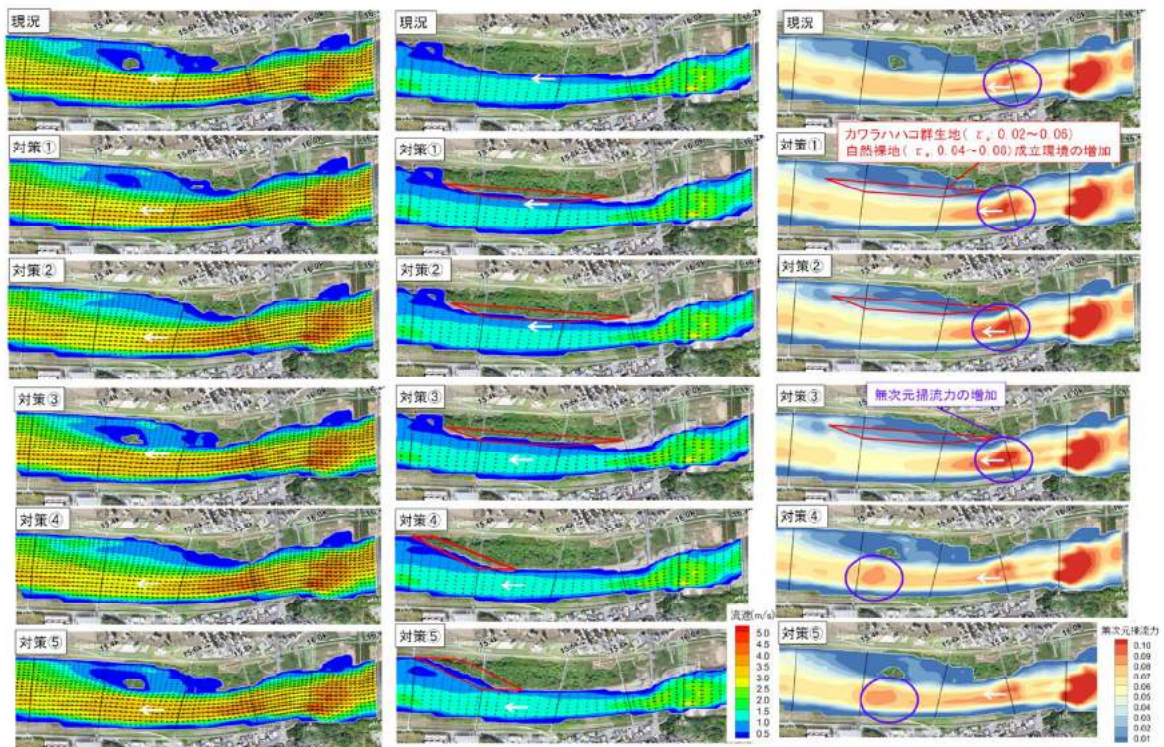


図-8 対策河道での平面二次元流況解析結果

15.4k の砂州部が切り立っているため、自然裸地やカワラハコ群生地が成立する高さよりも高い傾向にある。年1回発

生規模流量時では砂州部の冠水範囲が小さくなっている(図-5)。

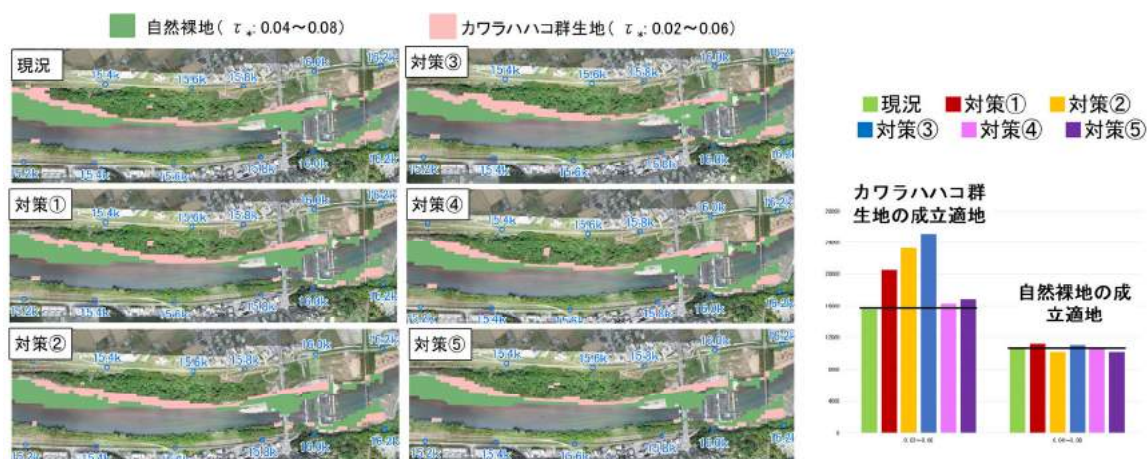


図-9 自然裸地及びカワラハハコ群生地の生息適地分布図

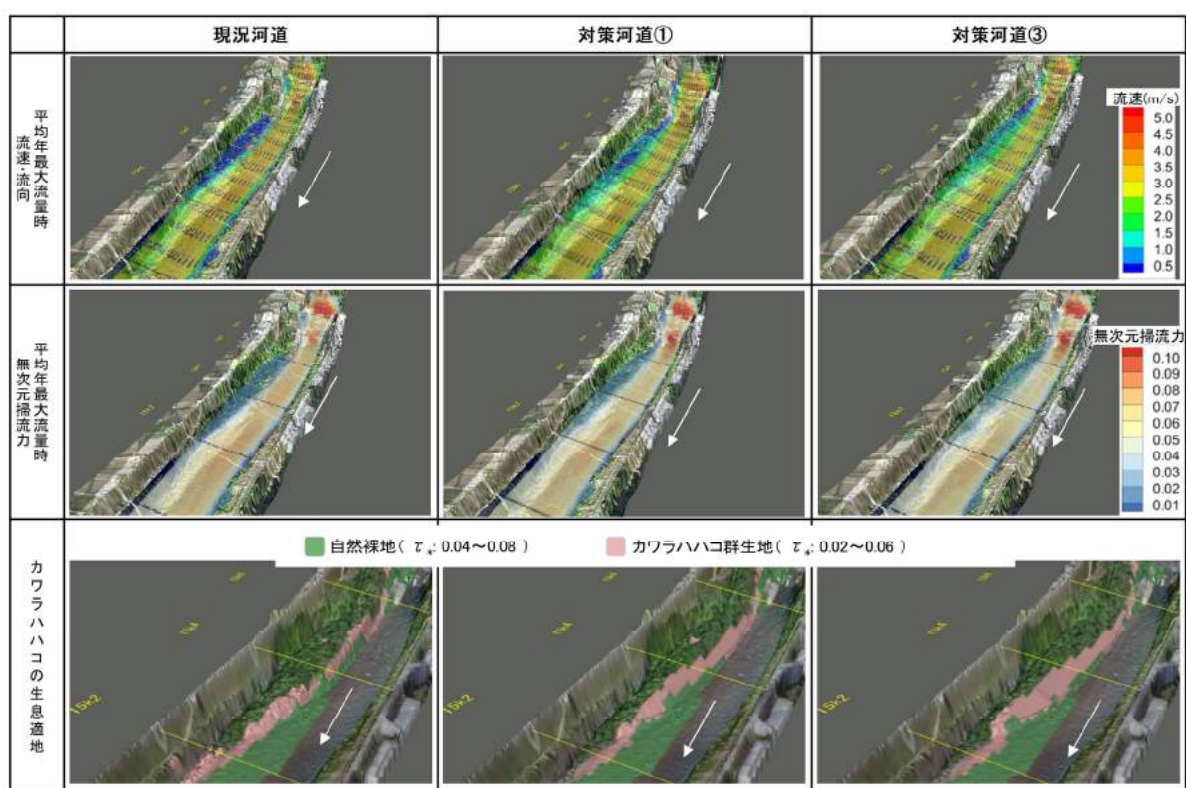


図-10 二次元的での解析結果を河川 CIM に統合

(3) 河川 CIM の構築による分析

ALB 測量での点群データを用いて作成した、現況河道の河川 CIM の構築結果を図-6 に示す。砂州高が切り立っていることが把握できる。

既往検討での設計諸元や現況特性の結果を踏まえ、対策河道についての設計諸元及び河川 CIM について図-7 に示す。掘削形状の河川 CIM の構築に関しては、2 次元（横断図等）の情報で対策の諸元や断面を整理した上で、3 次元河道を自動生成させて掘削の断面形状を作成した。断面形状は、Civi13D のグレーディング機能を用いた。掘削断面形状の法尻を基準

に任意の 3 次元座標を持つ 3D ポリラインを生成し、これを計画線（基準）として横断勾配を設定し、法肩に向かって自動発生させることで作成した。対策河道①～③に関しては、切り立っている砂州を切り下げる対策であり、対策河道①では、1:10 程度の掘削勾配で対策河道②では平水位+2.0m の位置に平場を設定した。対策河道③では、対策河道①よりも緩勾配になるように設定した。対策河道④～⑤は下流域に延伸している砂州部の掘削を行った。3 次元の断面形状を作成すると、上下流の端部の状況も、あらゆる角度から 3 次元的・可視的に確認できるようになるため、断面形状の妥当性の確認がで

表-2 複数案の総合評価結果表

凡例 ◎：顕著な増加 ○：増加 △：維持 ×：減少									
評価指標	河道形状	水理特性（平均年最大流量時）			水理特性（年1回発生規模流量時）	治水への影響	河床の安定性	経済性	総合評価
	砂州部平均河床が平水位～平水位+2mの範囲に位置している	カワラハハコ群生地の成立環境を創出できる	自然裸地の成立環境を創出できる	平均年最大流量時に砂州周辺の一部が冠水しない（＝レフューシアを確保できる）	年1回発生規模流量時に切下げ箇所約1/3程度の面積が冠水する	－	無次元掃流力が局所的に増加しないことが望ましい	－	－
対策1 砂州切下げ（≒1/10）	○砂州部平均河床の低下がみられた（15.4k～15.8k付近）	○カワラハハコ群生地の環境が増加	◎自然裸地が最も増加	○15.6k～15.8k付近の砂州が一部冠水しない	○自然裸地およびカワラハハコ群生地の1部が冠水	○流速に大きな変化はみられない	△一部局所的に増加	○掘削土量が比較的少ない	◎
対策2 砂州切下げ（≒1/10、平場）	○同上	○同上	×自然裸地が減少	○同上	○同上	○同上	△一部局所的に増加	○掘削土量が多い	○
対策3 砂州切下げ（≒1/10）	○同上	◎カワラハハコ群生地の環境が最も増加	○自然裸地が増加	○同上	○同上	○同上	×局所的に増加	△掘削土量が多い	△
対策4 砂州切下げ（≒1/10）	○同上	○カワラハハコ群生地の環境が増加	△自然裸地に変化は見られない	○同上	○同上	○同上	△一部局所的に増加	◎掘削土量が少ない	△
対策5 砂州切下げ（≒1/25）	○同上	○同上	×自然裸地が減少	○同上	○同上	○同上	△一部局所的に増加	◎掘削土量が少ない	△

きることが分かった。更に、従来の2次元の横断面図で作成した掘削断面形状を基に、3次元地形の掘削断面形状（点群データ）を自動発生により作成することができるため、任意の横断面の断面形状の抽出や、平面二次元流況解析等の二次元的なデータ等を掘削形状に反映することができ、2次元と3次元の空間を行き来させることで効率的な検討ができるようになった。

(4) 対策案の検討結果

対策河道での水理特性の把握のため、平面二次元流況解析結果を図-8に示す。砂州高を切り下げたことにより、平均年最大流量時では、冠水頻度が増加し、無次元掃流力もカワラハハコ群生地や自然裸地の成立環境が増加した。しかし、対策河道①～③では、15.8k 付近での水位勾配の変化により大きく無次元掃流力が増加し、河床の安定性に影響を与える結果となった。流速分布では、大きな変化は見られないため治水への影響はないことを確認した。また、各案ともに15.8k～15.6k に自然裸地及びカワラハハコ群生地の一部が冠水しないことを把握した。年一回発生規模流量時では、各案ともに砂州高の一部が冠水することを確認した。

現況河道と対策河道の平均年最大流量時の無次元掃流力と成立条件の分析結果を基に、自然裸地及びカワラハハコ群生地の成立適地分布と、面積集計したグラフを図-9に示す。現況河道と対策河道を比較すると、カワラハハコ群生地や自然裸地の成立環境が増加していることが分かる。カワラハハコ群生は対策河道③、自然裸地は対策河道①が最も増加した。

対策河道①と対策河道③に関して、河道の状態を定量的に把握するため、平面二次元流況解析での流速と無次元掃流力の結果と自然裸地及びカワラハハコ群生地の生息適地結果を河川CIMに統合した（図-10）。無次元掃流力平面二次元流況

解析結果を統合すると、掘削を実施した箇所が実際にどのような流況に変化したかを河道形状と合わせて確認することができる。河川CIMに統合することで、二次元的な情報を掘削形状と合わせて確認することができた。

以上の検討結果を踏まえて、経済性も考慮し総合的な評価を行った（表-2）。掘削土量が比較的少ない中で、カワラハハコ群生地及び自然裸地が創出される環境が増加し、河床の安定性に影響が少ない対策河道①を最適案となった。

あ と が き

本業務の検討にあたり、国土交通省姫路河川国道事務所に多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

また、将来の展望としては、河川管理のニーズに応じて更なる高度化・効率化を図り、今後のICT施工への活用に向けた適応性や課題を整理していく必要がある。

参 考 文 献（または引用文献）

- 1) 国土交通省近畿地方整備局姫路河川国道事務所：揖保川水系河川整備計画，H25.7.
- 2) 兵藤誠，高田彩乃，高地敏幸：河道の状態の分析・評価及び対策検討における3次元データの活用による効率化・高度化の提案，河川技術論文集，第28巻，2022.6，p223-228.
- 3) 平下慎也：加古川・揖保川における自然再生事業の設計に関する検討，建設コンサルタンツ協会近畿支部第52回研究発表会，2019.10.