

瀬切れ河川における河川整備計画段階の水環境確保手法の提案

花房 大輔¹・福永 智之²

¹滋賀県 土木交通部 流域政策局

²滋賀県 土木交通部 監理課

本報告は、滋賀県の天井川における伏没・瀬切れ特性を踏まえ、河川整備計画段階における水環境確保手法を提案するものである。提案に際し、モデル河川の瀬切れ実態、河道内地下水位の現地観測を実施し、瀬切れ事象を再現できる簡易予測モデルを構築した上で、従来の「正常流量検討の手引き（案）」に基づく河川流量の確保と河道形状の工夫を組み合わせ、実現可能な対策について検討した。また、試験施工した水制によるシェルター（避難場）確保の可能性を確認し、モデルの妥当性を検証した。さらに、他の瀬切れ河川においても適用できるようにするため、瀬切れ河川における河川整備計画段階での現実的な水環境確保方策を検討する際の道筋を示した「河川維持河相の手引き（案）」を作成した。

キーワード 天井川、瀬切れ、河川整備計画、正常流量、水環境確保手法

1. はじめに

河川整備計画では「流水の正常な機能の維持」を目的として、各河川の正常流量を記述することとなっている（河川法第16条の2）。検討にあたっては、「正常流量検討の手引き（案）」（国土交通省河川局河川環境課平成19年9月）を参照し、10年に1回程度の渇水時においても確保すべき必要流量を設定されることが慣習的となっている。しかし、滋賀県の扇状地の天井川の多くは、毎年のように「瀬切れ（流水が途切れる現象）」が発生し、手引きを適用した正常流量を確保することが難しい。

本報告は、滋賀県の天井川における伏没・瀬切れ特性を踏まえ、従来の「正常流量検討の手引き（案）」に基づく河川流量の確保と河道形状の工夫を組み合わせることに着目し（図-1）、高時川を事例として、河川整備計画段階における水環境確保手法について提案する。

●これまで
河川流量の確保に着目して設定

●滋賀県
河川流量の確保と河道形状の工夫を組み合わせ設定

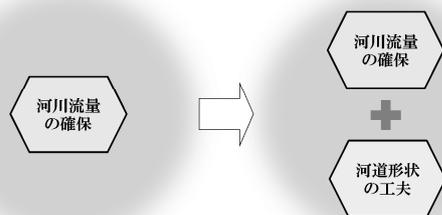


図-1 滋賀県の着眼点

2. 瀬切れ簡易予測モデルの構築

瀬切れの有無を予測する統計モデルの構築および説明変量を得るために、河道微地形等のデータの収集整理、現地調査による瀬切れ実態、河道内地下水位、伏没量（地表水が地下へ流出する流量）の現地調査を行った。

(1) 河川微地形データ整理

面的な河床微地形データを作成するため、LP（レーザープロファイラ）測量結果および航空写真から、予測モデルでの河道微地形を表現できるメッシュサイズ（5m×5m）の地盤高データ（高さの精度は±15cm程度）を整理した。

(2) 瀬切れ実態調査

瀬切れ予測モデルの検討対象範囲（約10km）において瀬切れ実態調査を行った（写真-1）。調査時期は、過去データに基づき、高時川で瀬切れが頻発する時期（6月～10月）を対象に、2012年7月から2013年10月の計14回、目視観測および定点写真撮影を実施し、河川流量と河道内の瀬切れの平面分布や瀬切れ箇所を把握した。この結果にあわせて、(1)で作成したメッシュ毎に水面の有無を整理し、河川流量と水面分布の予測モデルの検証データを作成した。

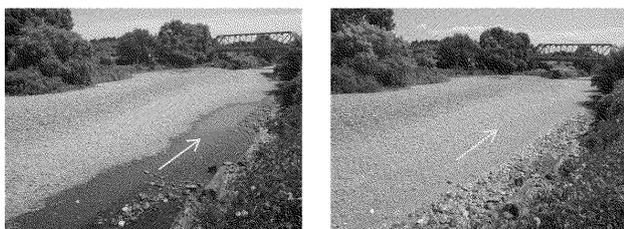


写真-1 瀬切れ実態調査 (左: H24/7/31, 右: H24/8/8)

(3) 河道内地下水調査

瀬切れ・伏没後の河道内水位の低下範囲を把握するため、本検討では、検討対象範囲のうち3箇所において、最深河床高から約3m程度の深さにダイバー水位計を設置し、2012年7月から2013年11月の約17ヶ月間の地下水位の連続観測を行った。

(4) 簡易予測モデルの構築

瀬切れ現象の予測モデルには、表流水と地下水を一体化した水理モデル（詳細モデル）ではなく、より簡便で短時間にモデル構築が可能な統計モデルとして、一般線形混合モデルによるロジスティック回帰分析を用いて構築した（図-2）。

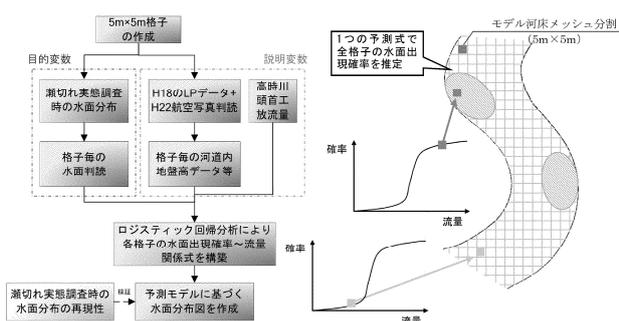


図-2 瀬切れ簡易予測モデルの検討フロー

本検討では、「河道形状の工夫」や「河川流量の確保」の組合せに応じて、瀬切れ対策を評価することが可能なモデルを構築するため、目的変数を瀬切れ実態調査のメッシュ毎の水面出現状況とし、調査時の河川流量(x1)、河川微地形データより算出したメッシュ毎の地盤高(x2)、水面との比高差(x3)、縦断距離区分(x4)および、低水路幅(x5)を説明変数として、メッシュ毎に求めた水面出現確率から水域分布を推定した。なお、説明変数間に強い相関関係が存在する場合は予測モデルの信頼性が低くなることから、分散拡大係数（VIF）を事前に算出し、VIFが10以上の説明変数については、目的変数との関係が強い方を採用した。

解析の結果、水面の出現状況と有意な相関関係（ $P < 0.05$ ）のみられる説明変数として、河川流量(x1)、水面と地盤の比高差(x3)、縦断距離区分(x4)、低水路幅(x5)が選択された。また、水面の出現には「流量」の影響が最も大きく、次いで「河床高」の影響が大きいこと

が読み取れる。また、「低水路幅」からは、水が通常流れる場所を深めに掘り、かつ幅を狭くすること（低水路掘削）が効果的と考えられる（表-1）。

表-1 ロジスティック回帰分析結果に基づく瀬切れ対策の考察

変数	影響度 (Z値)	相関関係	対策
高時川頭首工放流量 (X1)	1位 (167.48)	水面の出現に最も影響する要因であり、頭首工流量の増加に伴い水面出現確率が增加する	河川流量の確保
水面と地盤の比高差 (X3)	2位 (40.4)	流量に次いで水面出現への影響が高く、河床が低いほど水面出現確率が高くなる	河道形状の工夫 (水制等による局所的な水域確保)
縦断距離区分 (X4)	3位 (36.17)	下流側で水面出現確率が低く、表面流の蒸発や河床材料の堆積の影響が考えられる	瀬切れが顕著な下流の対策を優先的に実施
低水路幅 (X5)	4位 (-11.48)	影響度は最も低いが低水路幅が狭いほど水面出現確率が高くなる	河道形状の工夫 (低水路掘削による連続的のおお筋確保)

予測モデル式を式(1)に示す。

$$p = \frac{1}{1 + \exp(4.90 - 0.67x_1 - 0.93x_3 - 0.08x_4 + 0.02x_5 - 2.22)} \quad (1)$$

ここに、p：水面出現確率、 x_n ：説明変数(n=1,3,4,5)

水面出現確率に対して水面の出現・非出現を判断するROC解析を行い、最も識別力が高くなる閾値を求めた結果、水面出現確率pは41%以上となった（図-3）。

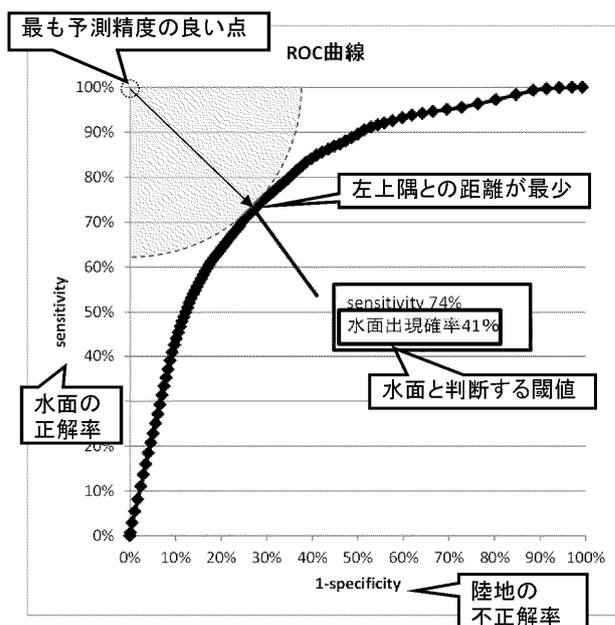


図-3 ROC曲線(水面正解率と陸地不正解率をプロットしたもの)

(5) モデルの検証

構築した簡易予測モデルを用いて作成した水面分布図と現地調査結果を比較した結果、瀬切れが顕著な 3.4k ~ 11.0kにおける予測結果の正解率（現地調査と予測結果が一致したメッシュ数/全メッシュ数）は80.9%であり、現状を再現することができた。

また、現地調査において、瀬切れ区間で確認した点在する淵（深み）の再現性を検証した結果、現地調査で水

面が確認された箇所とほぼ同じ箇所水面出現を予測できた(図-4)。

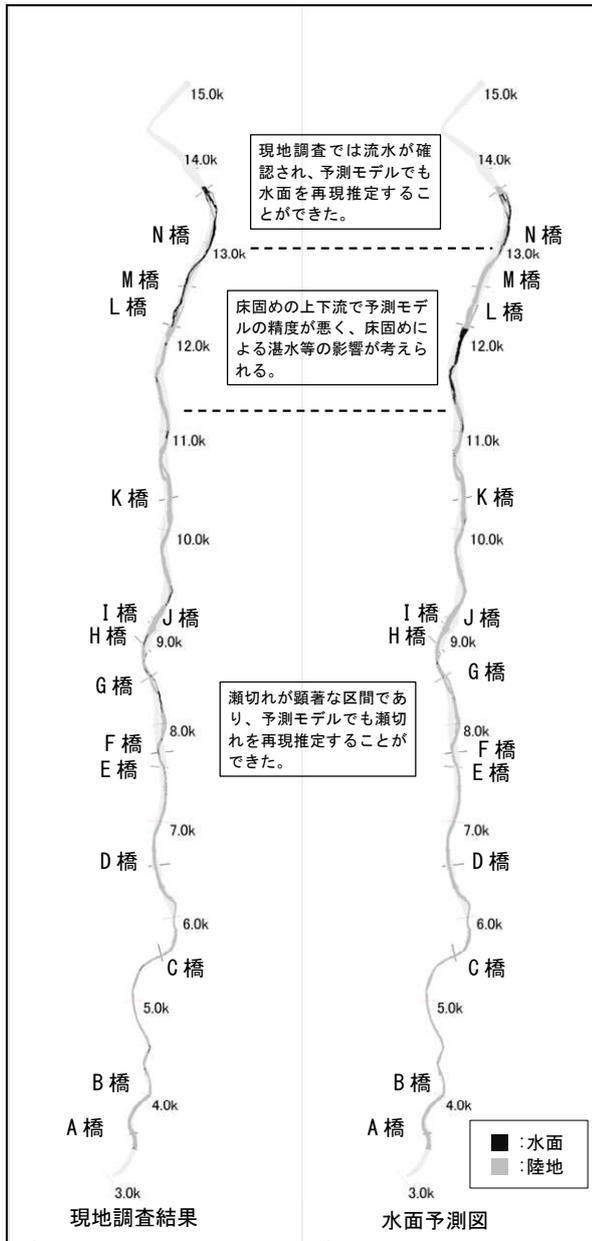


図-4 現地調査と予測結果の比較

3. 河川整備計画段階での河川環境目標(案)の設定

(1) 対象生物種の選定

流量が減少し、河川が瀬切れした場合、最も影響を受けるのは、流水環境下で、遡上、生息、産卵する魚種と考えられる。代表種としては、高水温、溶存酸素不足、流水の止水化等の生息環境の変化が他の魚類に比べ敏感で、かつ、滋賀県内での産業的価値がある「アユ」を指標とすることが、河川が瀬切れした場合の最低限の機能維持を評価するのに適切であると考えられる。

(2) 河川整備計画段階における対応方針の検討

アユの生活史(遡上期・成長期・産卵期)に着目し、「河道形状の工夫」と「河川流量の確保」の組合せにより、生態系維持に必要な水環境の確保方針を整理した(図-5)。これを踏まえ、河川整備計画段階においては、まずは「河道形状の工夫」を実施し、「河川流量の確保」については今後の社会情勢等の変化も踏まえながら、利水者を含む関係者間の問題意識の共有化を図った上で対応方針を検討していくものとした(図-6)。

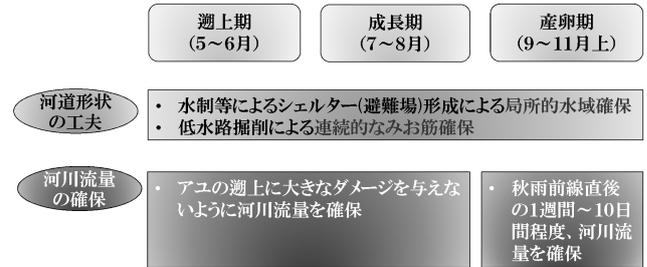


図-5 アユの生活史に着目した水環境の確保方針

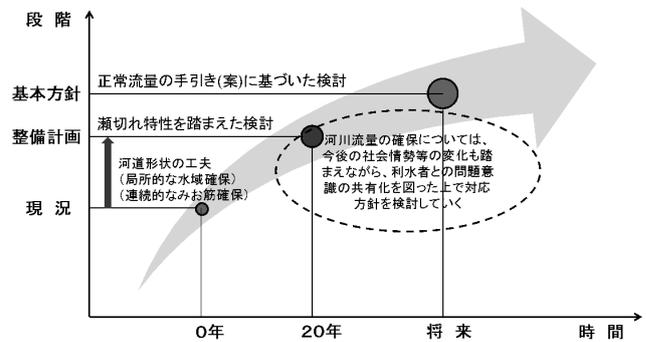


図-6 河川整備計画段階における対応方針のイメージ

(3) 河道形状の工夫

a) 対応方針

当面の対応としては、上述のロジスティック解析結果に基づき、以下に示す河道形状の工夫により、生態系維持に必要な水域(水面)を確保するものとした。

- ・ 河川の維持管理の一つとして実施する低水路掘削の副次的効果により、連続的なみお筋を確保すること
- ・ 水制工(シェルター)を設置することで淵を形成し、流量低減時にも魚類等の一時避難場所となる局所的な水域を確保すること

b) 瀬切れ対策区間の抽出

河道内地下水位と同時期の堤内地下水位の相関から、過去8カ年の確率規模別河道内水位の最低水位を推定したところ、瀬切れが頻発する7月~8月では河床から約1mの河道内地下水位が約1/2確率規模に相当し、約1m以上の淵を形成すれば、瀬切れ時も水面が出現し易いものと想定される(図-7)。

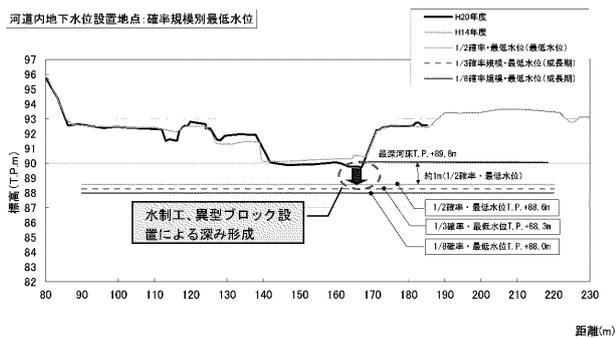


図-7 確率規模別河道内地下水位と最深河床高との関係

これを踏まえ、河川流量 $0.0\text{m}^3/\text{s}$ かつ河床低下 1.0m という条件下で、構築した簡易予測モデルにより河床低下でまとまった水面の出現が予測される区間に加えて、瀬切れ実態により瀬切れが発生しやすく、みお筋が安定している区間を「淵形成ポテンシャルの高い区間」と定義した(図-8)。

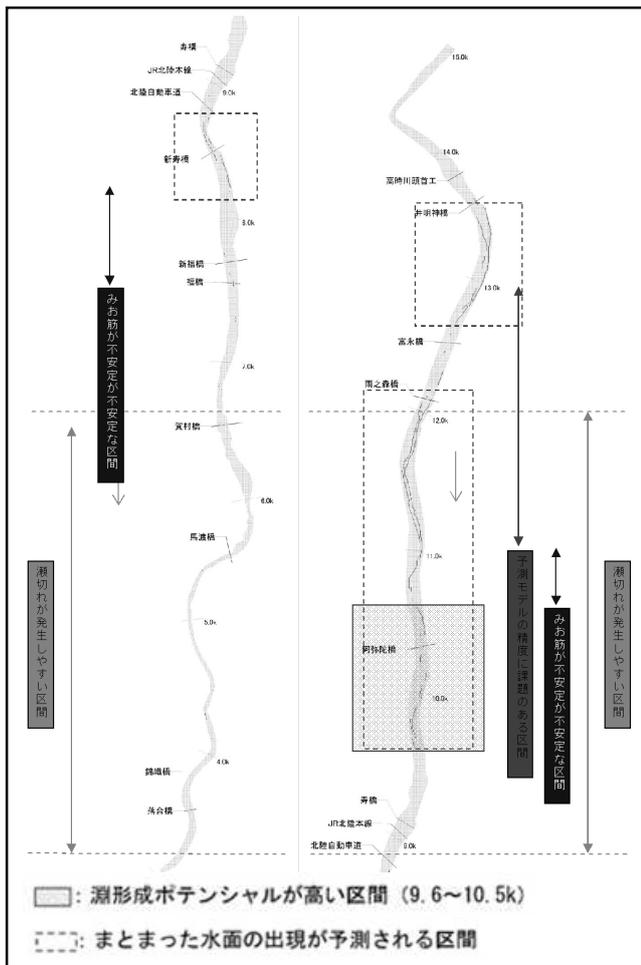


図-8 淵形成ポテンシャルの高い区間の抽出

c) 試験施工による検証

高時川では、河道形状の工夫による瀬切れ対策として、みお筋位置の安定した河岸に異形ブロックによる横向き

水制工1基を試験施工した(写真-2)。簡易予測モデルでは、河床低下 1m 時に水面が出現しやすいとの予測に対し、同年の瀬切れ発生日の観測では河床が 1m 程度低下し、水面の確保およびアユの生息が確認された(写真-3)。

引き続き、淵形成ポテンシャルの高い区間で、水制工の試験施工を追加実施し、水制の規模(高さ、長さ等)と洗掘深の関係、淵形成効果を確認していく予定である。



写真-2 試験施工の実施(水制工)

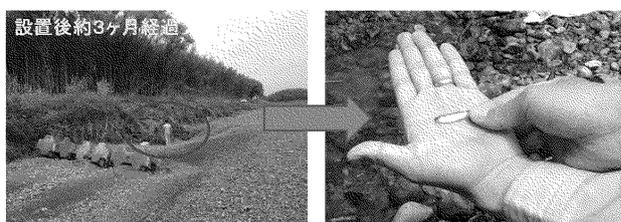


写真-3 試験施工箇所のモニタリング

(4) 河川流量の確保

アユの遡上期や産卵期は、河川流量の確保が必須条件であり、河道形状の工夫の取り組みと並行して検討する必要がある。河川流量の確保は、今後の社会情勢等の変化も踏まえながら、利水者を含む関係者間の問題意識の共有化を図った上で具体的な対応を検討していくことが必要である。

(5) 河川整備計画段階での河川環境目標(案)の設定

以上の検討結果をもとに、高時川にて、アユの期別に対策場所、対策方法を具体的に示した河川整備計画段階での河川環境目標(案)を設定した(図-9)。

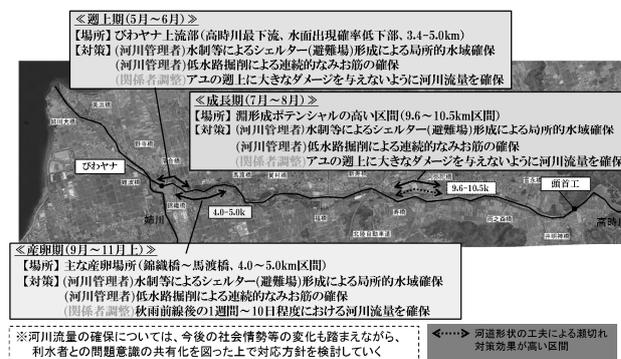


図-9 河川整備計画段階での河川環境目標(案)

4. 河川維持河相の手引き(案)の作成

本検討の成果を踏まえ、滋賀県内のみならず、全国の河川での適用も想定した天井川での現実的な瀬切れ対策について「河川維持河相の手引き(案)」の作成を試みた(図-10)。

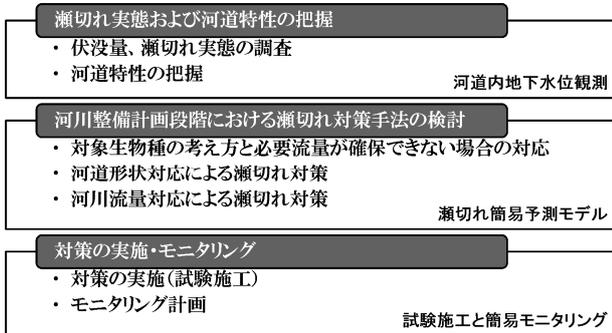


図-10 河川維持河相の手引き(案)の骨子

5. 今後の課題

今後の課題として、主に以下の3点が考えられるので、引き続き対応していく。

(1)河道形状の工夫の実施およびモニタリングに向けた具体的検討

- ・水制配置計画の検討（水制の基本諸元、配置計画、みお筋掘削位置 等）
- ・治水面への影響評価（水位上昇、対岸の侵食 等）
- ・河床安定性の予測と検証、現地モニタリング計画検討

(2)関係者との情報共有に向けた根拠データの蓄積

- ・水利用の状況について、関係者との情報共有を進めていくうえで、必要となる根拠データの蓄積を進める。
（維持流量（地域用水）の実態把握、遡上期と成長期における限界の瀬切れ継続日数の評価 等）

(3)瀬切れ簡易予測モデルの適用可能性の検討

- ・高時川で構築した瀬切れ簡易予測モデルについて、他河川への適用可能性について検討する。（適用条件、適用時の留意事項、適用範囲および必要な現地調査の検討 等）

6. おわりに

本検討では、滋賀県内のモデル河川を対象に、瀬切れ河川における河川整備計画段階での現実的な水環境確保方策を検討する際に、「正常流量検討の手引き(案)」に基づく「河川流量の確保」と「河道形状の工夫」を組み合わせた「維持河相」という概念を取り入れることにより、生態系の保全や渇水影響の緩和に貢献できる可能性を示唆することができた。

今後、県内の河川整備計画の策定において、「流水の正常な機能の維持」を目的とした正常流量を検討する際に、今回提案した手法を参考にしていくとともに、滋賀県のみならず、「維持流量」の確保が難しい日本全国の河川において、参考になれば幸いである。

謝辞：本報告をまとめるにあたり、長浜土木事務所および長浜土木事務所木之本支所のご担当のみなさまには多大なるご協力を頂きました。ここに、感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 兼頭淳, 三橋弘宗, 辻光浩, 瀧健太郎, 福永智之, 北村裕二, 竹内義幸: 瀬切れ河川における河川整備計画段階の生息場所確保手法の提案, 応用生態工学会 第18回研究発表会講演集, ポスター発表 PM-58, 2014