

瀬切れの発生が顕著な高時川における シェルター形成のための水制工配置計画の検討

(株) 建設技術研究所 竹内 義幸
(株) 建設技術研究所 橋本 将明
(株) 建設技術研究所 ○ 仲谷 知之
(株) 建設技術研究所 瀧沢 凌昌

論文要旨

瀬切れ発生時の魚類の生息場として、流量確保に加え、一時的なシェルター形成が有効である。そのため、河道形状の工夫として上向き水制工を用いた河川の営力による深掘れ部の形成について検討した。河川特性を踏まえて適地選定した上で平面二次元河床変動計算を行い、シェルター形成の状況を予測した。この結果に基づき複数指標で評価を行い、治水上問題がなく、維持掘削を必要としない上向き水制工（バープ工）の配置および基本諸元等を決定した。

キーワード：瀬切れ、シェルター、上向き水制工（バープ工）、河床変動、iRIC

まえがき

琵琶湖に流入する天井川では、流水が伏没する「瀬切れ」が毎年のように確認されている。この状況を踏まえて滋賀県では、「河道形状の工夫」と「河川流量の確保」の組み合わせによる流水の正常な機能の維持に関する目標設定を行っている。

高時川では、「河道形状の工夫」と「河川流量の確保」について、瀬切れ発生時の魚類の生息場の確保を検討している。本検討では、「河道形状の工夫」による生息場の確保としてシェルター形成をするため、上向き水制工を用いた河川の営力による深掘れ部の形成について平面二次元河床変動によりシミュレーションを実施した。



図-1 本検討の対象範囲

1. 水域確保方策の検討

現実的な水域確保方策のために、「河道形状の工夫」による瀬切れ発生時の魚類の生息場となるシェルター形成の必要規模を検討した。

なお、平成28年度の瀬切れ時の魚類調査結果より、水域面積が約4,000m²以下となると、アユの生息上限値の水温28℃を上回る箇所が発生し、水域面積が約2,000m²以下になると、アユの生息下限値のDO7mg/Lを下回る箇所が発生している(図-2)。また、水深が浅いとサギ類等の捕食による影響が想定されるため、既往研究成果(コウノトリとサギ類の全長)より、水深50cm程度以上は必要と推測される。以上を踏まえ、最低限の目安として水面面積2,000m²、水深50cm以上を瀬切れ時のシェルター(避難場)の必要規模として設定した。

シェルターの形成には、水制工を川の流れに対して上向きとし、流れを流心に集中させて河床の洗掘を促すものとする。検討の流れを表-1に示す。

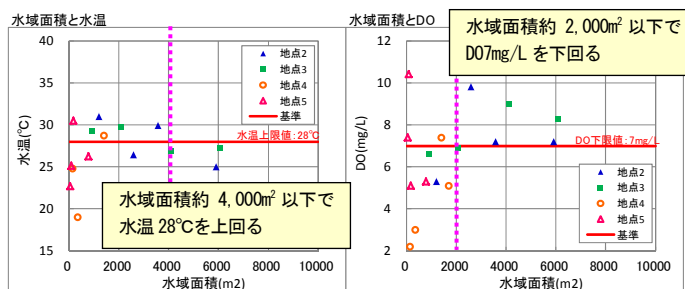
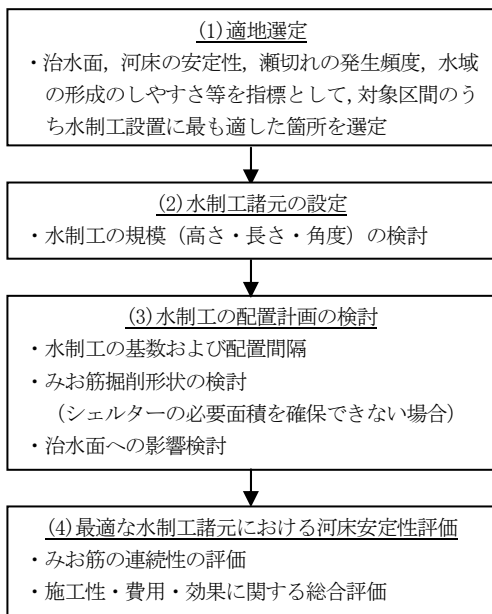


図-2 瀬切れ時の水域面積と水温・DOの関係

表-1 検討フロー



2. 適地選定

水制設置の適地選定にあたり、表-2に示す複数の項目で評価を行った。距離標毎の結果を表-3に示す。候補地として7.2k付近、8.6k付近、10.0k付近を挙げたが、以下の点を踏まえ、7.2k付近(福橋下流)を適地とした。

- ・10.0k付近は、近年出水が発生したため、設置が難しい。
- ・8.6k付近に水制工を設置した場合は、HWL超過箇所が増加。

表-2 水制設置の適地選定の考え方

大項目	小項目	評価の視点
治水面での評価	現況流下能力	不等流計算より現況河道におけるHWL評価の流下能力を算出。流下能力が高い箇所を抽出する。
	既存の河川構造物	水制工の設置に伴う洗掘が生じた際に影響を及ぼす恐れのある施設が近傍にない箇所を抽出する。
河床の安定性での評価	みお筋変動	みお筋が安定しているか、空中写真や横断面図より確認する。安定している箇所では、水制の効果を得られやすい。
	河床変動	現在までの河床変動を断面データより整理。また、一次元河床変動計算により将来の河床変動を予測。河床高が比較的安定している箇所を抽出する。
瀬切れ発生頻度	水域の連続性	過年度の瀬切れ実態調査で瀬切れ頻度が高い箇所(区間)を抽出する。
水域の形成しやすさ	河床低下後の水域面積	水制工設置による河床低下後に水域が出やすい区間を抽出する。
その他	産卵床	主要な産卵場と確認されている箇所への設置が望ましい。
	湾曲	湾曲外岸部かどうか。外岸部は水衝部となり、水制の効果を得られやすい。
	低水路幅	低水路幅が大きい箇所は、水制工長も必要になるため、可能な限り避ける。

表-3 複数指標による適地選定の結果

	3.5k	3.6k	3.8k	4.0k	4.2k	4.4k	4.6k	4.8k	5.0k	5.2k	5.4k	5.6k	5.8k	6.0k	6.2k	6.4k	6.6k	6.8k	7.0k	7.2k	7.4k	7.6k	7.8k	8.0k	8.2k	8.4k
水域の連続性 ^{※1}	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤	赤
現況流下能力(HWL評価) ^{※2}	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青	青
河床の安定性(みお筋) ^{※3}	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄	黄
河床の安定性(河床高) ^{※4}	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上	上
将来の河床の安定性 ^{※5}	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下	下
河床低下後の水面面積 ^{※6}	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
評価(左岸)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
評価(右岸)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

3. 水制工諸元の設定

(1) 河床変動モデルの構築

水制工の諸元設定にあたって、平面二次元河床変動計算による予測を踏まえて設定した。本検討では、平面二次元河床変動の実行において、フリーソフトであるiRICを使用した。

iRICでは、水制工の設置箇所を固定床とし、メッシュ高を水制高にすることにより、水制工を表現した。水制工による効果を再現するため、低水路内においては、2m程度の微細なメッシュサイズとした。計算条件を表-4に示す。

表-4 平面二次元河床変動計算における計算条件

項目	条件		
計算手法	平面二次元河床変動計算		
モデル区間	6.0k~8.0k		
流量配分	平成25年ピークハイドロ(近10年で最大規模)		
出発水位	流況計算における6.0k水位		
使用断面	平成27年河道		
河道区分	距離標	セグメント	粗度係数
	6.0k~8.0k	2-1	0.038
河床材料	みお筋部分: D ₅₀ =75mm みお筋以外: D ₅₀ =40mm		
樹木群	平成27年		
メッシュ分割	横断方向は70分割		
	<ul style="list-style-type: none"> ・左右岸高水敷: 15メッシュ ・低水路: 40メッシュ(1メッシュあたり約2m) 縦断方向は2m程度に分割		

(2) 水制工諸元の設定

適地として選定した7.2k付近は、比較的直線に近い区間であるため、両側に水制工をつける「ハの字型」を採用する方針とした。この条件のもと、「角度」・「長さ」・「高さ」をパラメータとして、水制工の諸元を設定した。

1) 角度の設定

原田ら¹⁾による水理実験結果より、上向き水制工(バープ工)の設置角度は、上流向きで角度56.3°(1:1.5)で流心部への水剝ね効果、水制工先端付近や直下流での洗掘効果が高い傾向にあることが確認されている。本検討においても、この結果を参考に、モデル上で表現可能な、上流向き角度0°、30°、45°、60°の4パターンを設定した。

2) 長さの設定

水制工が河道を障害しない長さを閾値とするため、河岸から10m、20m、30mの3パターンを設定した。

3) 高さの設定

山本²⁾によると、本検討の対象区間であるセグメント2-1においては、平均年最大流量時の低水路平均水深の1/2程度を引いた高さ程度が水制高の基本的な考え方(この高さを「標準値」とする)としている。水制工の設置を反映した準二次元不等流計算より、整備計画流量流下時にHWLを超過しない高さを水制長毎に確認した。その結果、以下の条件においてHWL超過が確認できたため、これを閾値としてケースを設定した。

- ・河岸からの長さが20m以上の場合、標準値+100cm以上でHWLを超過。
- ・河岸からの長さが30m以上の場合、標準値+50cm以上でHWLを超過。

「角度」・「高さ」・「長さ」の3条件を変更した24ケースについて河床変動計算を行い、初期河床に比べて50cm以上河床低下が発生する範囲を確認した。

結果を表-5に示す。河床変動量が最大となるものはケース19(角度:45°、水制高:標準値+50cm、長さ:河岸から20m)であり、これを最適な水制工諸元とした。平面的な河床変動を確認したところ、水制工設置により低水路中央部に流速が集中し(図-3)、この付近において河床が低下し、シェルターが形成されることを確認した(図-4)。

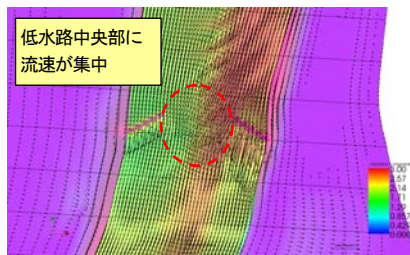


図-3 ケース19の流速分布図

表-5 水制工諸元と河床低下するメッシュ数の関係

ケース	水制工諸元			河床低下メッシュ数(※)
	角度	高さ	長さ	低下量50cmを下回るメッシュ数
ケース0	—	—	—	121
ケース1	0度	標準値	10m	120
ケース2	30度	標準値	10m	92
ケース3	45度	標準値	10m	123
ケース4	60度	標準値	10m	122
ケース5	0度	標準値	20m	116
ケース6	30度	標準値	20m	79
ケース7	45度	標準値	20m	92
ケース8	60度	標準値	20m	155
ケース9	0度	標準値	30m	114
ケース10	30度	標準値	30m	95
ケース11	45度	標準値	30m	92
ケース12	60度	標準値	30m	109
ケース13	0度	標準値+50cm	10m	95
ケース14	30度	標準値+50cm	10m	96
ケース15	45度	標準値+50cm	10m	104
ケース16	60度	標準値+50cm	10m	135
ケース17	0度	標準値+50cm	20m	213
ケース18	30度	標準値+50cm	20m	290
ケース19	45度	標準値+50cm	20m	364
ケース20	60度	標準値+50cm	20m	272
ケース21	0度	標準値+100cm	10m	187
ケース22	30度	標準値+100cm	10m	132
ケース23	45度	標準値+100cm	10m	208
ケース24	60度	標準値+100cm	10m	292

※水制工の上下流100m(6.96k~7.16k)における河床変動量より評価

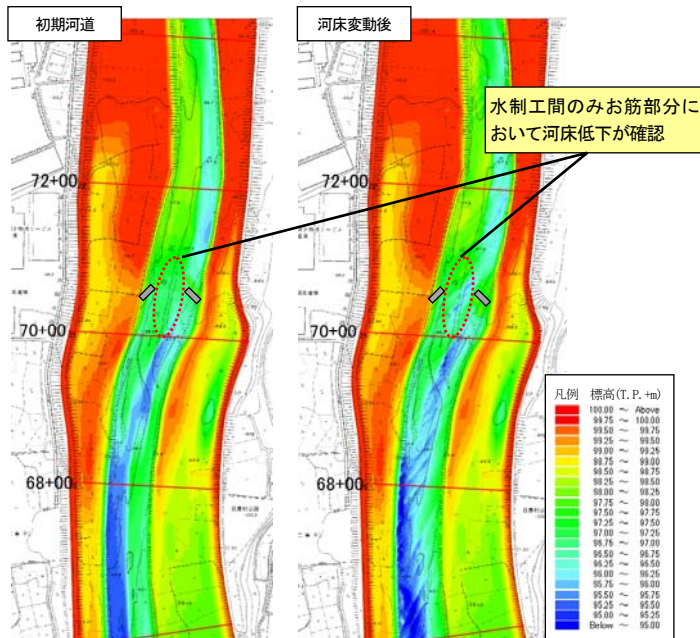


図-4 ケース19の河床変動計算結果

4. 水制工の配置計画の検討

次に、水制工の基数と配置間隔を設定した。水制工の基数を2基および3基の2ケース、配置間隔を80m、120m、160m、200mの4ケース、計8ケースの配置計画を検討した。

この結果、水制工間隔120mのケースにおいては、河床が50cm以上低下する範囲が2,000m²未満となり、シェルター形成のためには、みお筋掘削が必要であることを確認した。一方、その他のケースについては2,000m²を上回り、みお筋掘削は必要ないことを確認した。

また、検討した8ケースについて、水制工設置による護岸への影響および水位上昇への影響についても評価した。

いずれのケースも、水制工設置なしの場合に比べて護岸付近の流速は低下しており、整備計画流量流下時においてもHWLを下回り、治水への影響は無いことを確認した。

検討ケースについて、以下の4点より総合評価を行った。

- ①瀬切れ対策への効果：河床が連続して50cm以上低下する面積
- ②瀬切れ対策の確実性：河床が50cm以上低下する箇所における平均深さ
- ③みお筋掘削の必要性の有無：①の面積が2,000m²以上となるか否かにより、みお筋掘削が必要かどうか
- ④概算工事費：水制工設置およびみお筋掘削による概算工事費

①・②・④については、上位4位以上を評価「○」(=1点)とし、③については、みお筋掘削が必要となるケースについて「×」(=-1点)とした。結果を表-6に示す。最も評価が高くなる配置案はケース3(基数:2基,水制工間隔:160m)となり、これを選定案とした。

表-6 水制工配置計画の検討結果

水制工2基ケース			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
ケース名	水制工間数	評価No.	80m	120m	160m	200m
水制工設置箇所	1箇所目		7.06k	7.06k	7.06k	7.06k
	2箇所目		7.14k	7.18k	7.22k	7.28k
	3箇所目					
河床50cm以上低下する面積(m ²)	①		2,077	1,876	2,333	2,882
河床50cm以上低下する面積箇所における平均深さ(m)	②		1,303	1,256	1,203	1,022
みお筋掘削の必要性	③		-	必要	-	-
概算工事費(千円)	④		17,596	17,810	17,950	18,186
河床低下面積(メッシュ数)	初期河床高基準		1,021	1,188	1,468	1,834
	50cm超低下		369	394	582	610
河床安定性	初期河床高基準	(参考)	-4.107	-3.203	-3.211	-2.438
	河床上昇量最大(m)		1.923	1.796	1.573	1.676
流速	左岸(m/s)		2.817	2.731	2.889	2.896
	水制工周り(m/s)		4.216	4.207	4.095	4.225
メリット			・平均深さが大きい	・平均深さが大きい	・平均深さが大きい	
デメリット			・河床50cm以上低下する面積が2,000m ² を少し超える程度である	・みお筋掘削が必要		
総合評価			2	1	3	2

水制工3基ケース			ケース5	ケース6	ケース7	ケース8
ケース名	水制工間数	評価No.	80m	120m	160m	200m
水制工設置箇所	1箇所目		7.06k	7.06k	7.06k	7.06k
	2箇所目		7.14k	7.18k	7.22k	7.28k
	3箇所目		7.22k	7.30k	7.38k	7.46k
河床50cm以上低下する面積(m ²)	①		3,874	1,683	2,245	2,907
河床50cm以上低下する面積箇所における平均深さ(m)	②		1,155	1,176	1,084	0,984
みお筋掘削の必要性	③		-	必要	-	-
概算工事費(千円)	④		26,155	26,850	27,752	28,230
河床低下面積(メッシュ数)	初期河床高基準		1,499	1,480	1,349	1,702
	50cm超低下		536	622	491	602
河床安定性	初期河床高基準	(参考)	-3.221	-2.435	-3.369	-2.506
	河床上昇量最大(m)		1.682	1.873	1.597	1.910
流速	左岸(m/s)		2.783	2.839	2.831	2.917
	水制工周り(m/s)		4.251	3.998	3.873	4.225
メリット						
デメリット			・工事費が高い	・みお筋掘削が必要 ・工事費が高い	・工事費が高い	・工事費が高い
総合評価			1	0	0	1

評価 ○ 点数 1
× -1

※河床低下面積および安定性は、水制工設置箇所付近の6.96k~7.56kにおける河床変動量より評価。
※赤字:みお筋掘削が必要なケース

5. 最適な水制工諸元における河床安定性評価

設定した最適案について、長期の河床変動予測計算を行い、河床の安定性について評価した。その結果、他洪水においても十分な深さまで掘れ、長期的には、3年程度の出水により上下流の淵がつながることを確認した。瀬切れ対策において十分な効果・確実性があることを確認した。

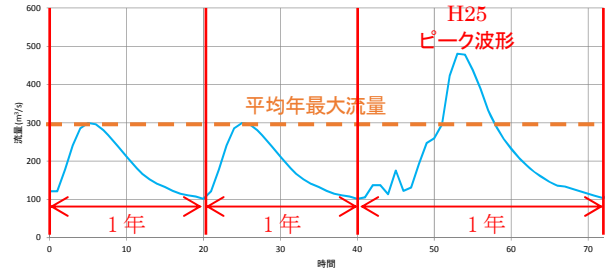


図-5 長期計算における使用ハイドロ

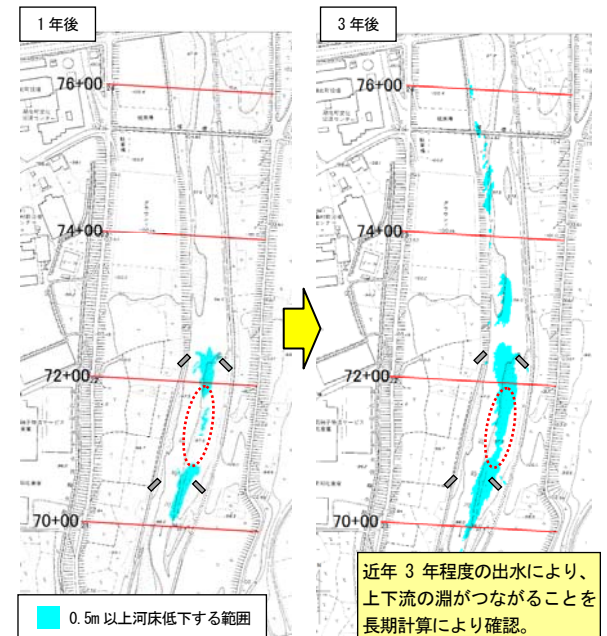


図-6 3年間の河床変動計算結果

あとがき

本検討は、水制工設置の予備検討を行ったものであるが、これをもとに詳細設計が行われる予定である。

本検討に際し、滋賀県長浜土木事務所のご厚意により、論文執筆の許可をいただいたことに感謝する。

参考文献

- 1) 原田, 高岡, 大石, 萱場, 藤田: 設置角度の異なる越流型上向き水制の河床変動特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, 土木学会, H.26.3.31, pp. I_1189~I_1194.
- 2) 山本晃一: 護岸・水制の計画・設計 一歩先そして一歩手前, H.15.6.30. 256 p.