

樋井川における河道安定と瀬淵構造の 保全創出の取り組み

CONSERVATION MEASURES OF CHANNEL STABILIZATION AND POOL- RIFFLE STRUCTURE RESTORATION IN THE HII RIVER

永井智幸¹・原田守啓²・林 博徳³・高橋邦治⁴

Tomoyuki NAGAI, Morihiro HARADA, Hironori HAYASHI and Kuniharu TAKAHASHI

¹非会員 福岡県 福岡県土整備事務所 災害事業室 (〒812-0053 福岡市東区箱崎1丁目18番1号 粕屋総合庁舎)

²正会員 博 (工) (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

³正会員 博 (工) 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡744 ウエスト2号館1008号室)

⁴正会員 (株) ウエスコ 関西支社 神戸支店 (〒812-0016 福岡市博多区博多駅南2-4-11)

This paper reports a series of actions to conserve channel stabilization and pool-riffle structure in the Hii River disaster restoration works. The Hii River is an urban river which flow through Fukuoka city. First, the outline of heavy rainfall disaster in July 2009 is presented. Secondly, some concerning matters in the improvement plan are discussed. The largest issue was lack of channel stability after changing cross-sectional channel form by riverbed excavation. One dimensional bed deformation analyses were conducted to discuss channel stability and necessity of countermeasure. In result, the river administrator employed two new types of river structure to conserve channel stability and pool-riffle structure in the Hii River. This case study presents a way to resolve the conflict between disaster prevention and ecosystem conservation in urban rivers.

Key Words : pool-riffle structure, channel stabilization, movable bed simulation, rock riffle structure

1. はじめに

二級河川樋井川は、幹川流路延長12.9km、流域面積は29.1km²のいわゆる中小河川で、福岡市の市街地を北流し博多湾に注ぐ都市河川である。中国地方から九州北部に甚大な被害をもたらした平成21年7月中国・九州北部豪雨において、樋井川上流域に位置する柏原雨量観測所では最大時間雨量91mmを観測し、樋井川は下流市街地の複数地点で氾濫して、床上・床下合わせて410棟の浸水被害を生じた。この被害を受けて、福岡県は、平成22年度から平成26年度までの5年間の計画で、床上浸水対策特別緊急事業（以下、床対事業）に取り組んでいる。

また、平成21年の豪雨災害を契機とし、樋井川流域治水市民会議が結成され、延べ30回以上の議論を重ねて、貯水・遊水・浸透を中心とした雨水流出抑制を、全住民と全関係主体が共同で取り組んでいく「流域治水¹⁾」の提言が為された。市民会議からの提言は、福岡県が平成25年に策定した樋井川水系河川整備基本方針²⁾に結実し、将来目標とする計画高水流量に、洪水調節施設による調節分とは別途、流域治水による流出抑制分を見込んだ計

画としている。このような、地域住民の治水と環境に対する意識の高まりにこたえるべく、福岡県は、樋井川床対事業において、平成22年に改訂通知された「中小河川に関する河道計画の技術基準（以下、技術基準）」³⁾に示された「多自然川づくり」に積極的に取り組んでいる。

本報では、樋井川の床対事業における多自然川づくりの取り組みと直面した技術的課題のうち、特に、改修後の河道の安定と、瀬淵の保全・創出を目標とした検討のプロセスについて報告する。また、多自然川づくりに適合した新しい河道安定工法である早瀬工、瀬淵工の導入について報告する。

2. 事業概要と技術的課題

(1) 樋井川床上浸水対策特別緊急事業の概要

事業の主な内容は、流下能力向上のための河道掘削及び河道掘削に伴う護岸補強である。事業区間を図-1に示す。事業区間は5,900mであり、ほぼ全ての区間が市街地内を流下している。

技術基準³⁾では、中小河川の河川整備計画や災害復旧

における河道計画の立案時に、河床の掘り下げを極力行わず、川幅拡幅により流下能力を確保することを基本方針の一つとして示している。また、河道法線の設定にあつては、改修前の河道の湾曲部を極力活かし、河道の直線化を避けることとしている。これらの原則は、河床に形成される砂州や滞筋の蛇行による瀬淵構造が保全・形成されることを企図するとともに、改修によって洪水時の流速や河床面に作用する掃流力が増加することを回避して、安定した河道が維持されることを目的としている。また、従来整備されてきた、狭く深い河道断面が、改修後に治水面・環境面で生じる課題についても明らかになってきている⁴⁵⁾。

しかしながら、樋井川は市街地を流下する掘込河道の川であり、河積の拡大を河道拡幅によって実現しようとした場合、沿川の土地利用や交通に与える影響は甚大である。また、既設護岸の多くは高度経済成長期に設置されたもので、その後の沿川の土地利用が進んだために、既設護岸の改築も困難な状況となっている。そのため、既設護岸を活かし、根入れ不足を補う形で護岸を補強しながら、河道掘削を行うことを改修の基本方針とした。

(2) 施工済み工区での多自然川づくりへの取り組み

平成24年度工事までに、事業区間下流端から感潮域の上流端付近にあたる田島橋までの工事が完了した。施工済み工区では、主に以下のような取組を行ってきた。

a) 感潮域のスライドダウン掘削と水際部の形成

改修前の感潮域区間には砂州が点在しており、干満の高低差に挟まれる潮間帯では、干潮時に砂州が水面から現れる干潟的な環境が見られた。平らに河道掘削した場合、この潮間帯が常時水没することとなって失われる。これを回避するため、図-2に示すとおり、掘削前の河川横断形状をスライドダウンした掘削を行うとともに、これに加えて、護岸補強のために既設護岸の下に設置した張ブロックを掘削前と同程度の高さまで覆土することにより、潮間帯の保全に努めた。

b) 堰撤去の影響を受ける堆砂域の滞筋形状の設定

落差1m余りの既設の潮止堰を撤去し、その上流約400m区間の堆砂域を掘削するにあたって、滞筋幅と滞筋の深さについて検討した。堰の撤去により河床勾配が大きくなるため、撤去前の横断形状を基としたスライドダウン掘削は適切ではないと考えられたためである。

川幅と流量の関係は古くから知られており、様々な形式のレジーム則が提案されている⁶⁾。また、河川の縦断形は、流域の地質に由来する河床材料の粒度の構成と川幅の変化に影響されること⁷⁾も知られている。樋井川は上流から下流まで河床材料の粒度分布に大きな変化がない砂河川であることから、河床勾配と滞筋の幅の間には比較的明瞭な関係性があることが予想された。樋井川の上流域から河口まで、河床勾配約1/200～約1/2,000の範囲の7地点について、滞筋幅、滞筋の深さの2変数と河床



図-1 樋井川床上浸水対策特別緊急事業 事業区間

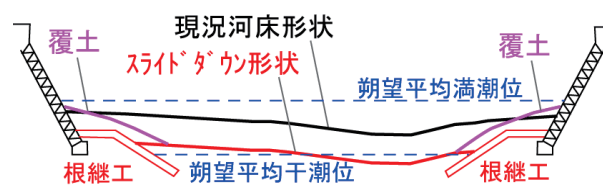


図-2 感潮域におけるスライドダウン掘削の概要

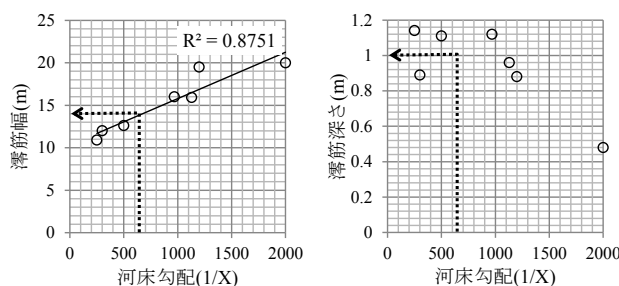


図-3 樋井川における滞筋幅、深さと河床勾配の関係

勾配との関係を整理した(図-3)。その結果、樋井川における滞筋幅と河床勾配には概ね線形の関係が見られた。この関係に着目して、堰撤去後の河床勾配(1/640)に対応する滞筋幅(14m)を設定した。滞筋の深さは、河床勾配に関係なく、0.9～1.1mであった。これらを基に掘削断面の基本形状を設定し、適度な変化を付けて施工した。

c) 水辺利用の拠点となる砂州の保全

塩屋橋上流左岸では、近隣の小中学校の生徒が、生徒らで作成した筏を浮かべる「いかだ祭り」、シジミの放流等のイベントを恒例行事として行い、川に親しんでいる。これに対し、改修後にもイベントを開催できるよう、治水安全度に支障のない形で、砂州の造成を行った。利用性を損なわないために、これまで利用されていた砂州の冠水頻度や冠水時間をあらかじめ検討して、これが同程度となることを目標に砂州を造成した。

d) シロウオの産卵場の保全

樋井川の感潮域には、博多湾に生息するシロウオ(*Leucopsarion petersii*)が2月頃に遡上し、産卵する。現地調査では、感潮域に含まれる約1km区間の12地点で、シロウオの産卵が確認された。早春の味覚としても知られるシロウオは、福岡県では準絶滅危惧種(NC)に指定されている。シロウオの産卵場は砂地盤に埋没した石であり、石の下を産室として利用する⁸⁾。そのため、河道

掘削時に掘り出した石は保管し、掘削後に河床に戻すこととした。また、河道掘削に伴い、橋脚補強が必要になった橋については、シロウオの産卵場として利用されることを期待して、護床工として、通常の根固めブロックの代わりにφ400mm程度の石を敷き並べた。

(3) 上流区間の技術的課題

a) 河床幅の縮小が河道の安定に与える影響

本事業では、川幅拡幅が困難であったために、河道掘削とそれに伴う護岸補強を主体とした改修を進めてきた。河道掘削後には、既設護岸の根入れが不足するため、護岸の改築あるいは補強（根継工）が必要であった。一般的に、積み護岸の根継工は、現場打ちコンクリートによる一法型又は腰掛型、鋼矢板等を用いた矢板型が用いられる。樋井川では、既設護岸の基礎が、風化花崗岩に由来する砂質地盤中にあるため、既設護岸の基礎の前面を床掘りすると、背後地盤のすべり破壊に対する安全率が不足することが確認された。そのため、一法型、腰掛型の採用は困難と判断された。

各種の根継工法を比較検討した結果、施工時の地盤の安全率が確保され、河積阻害が比較的少なく、かつ経済的な工法として、既設護岸の基礎の前面を掘削せず1m程度のテラスを設け、中流区間は1:2.0勾配、上流区間は1:1.5勾配の張ブロックを敷設する根継工法を採用した（図-4）。なお、河積が最大限確保できる鋼矢板式の根継工は、採用案に対してコストが5倍程度高くなると試算され、経済性の観点から不採用とした。

しかしながら、樋井川床対事業の上流区間は中流区間までと比べて急に川幅が狭くなり、区間の大部分の断面で河床幅Bが10～13mしかなく、計画水深Hに対する幅水深比B/Hが3を下回る。この区間において、張ブロックによる根継工を敷設することにより、河床に土砂が露出する実質的な河床幅は、改修前の1/3程度にまで縮小・制限される。また、河道掘削によって、計画水深が大きくなる分、河床面に作用する掃流力の最大値は上昇する。このような改修が、砂河川である樋井川の河道の安定に与える影響を評価する必要性が強く認識される。

b) 改修後の床止工の設置の必要性、適切な配置

上流区間には約1,400mの区間内に、3基の固定堰と、根固めブロックを敷き並べた簡易な護床工が7基あり、計10基の床止工が設置されていた。簡易な護床工の設置については明確な記録が残されていなかったが、護床工が設置されている付近では、既設護岸の所々に根継工が設置されており、過去の災害復旧時に河床高を維持するために設置されたものと判断された。護床工が連続する直線区間の河床は、非常に平坦な状態に保たれており、局所的な洗掘がみられない代わりに、瀬淵も全くみられない単調な環境となっている（写真-1左）。

床対事業の河道掘削に際して、これらの床止工群を撤去した際に、どのような影響が生じるか（既設の床止工

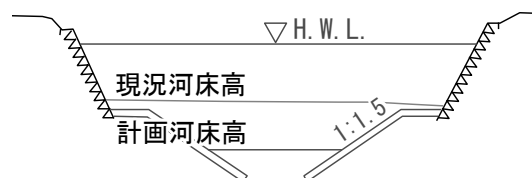


図-4 上流区間の標準断面の概要



写真-1 上流区間の現況（左：直線部、右：急湾曲部）

表-1 河床変動解析の主な条件

解析モデル	流れ：一次元不等流 流砂：掃流砂 佐藤・吉川・芦田式（土研式） 浮遊砂 芦田・道上式
検討区間	4k760～6k300（1540m） ※図-1の上流区間に相当
河道モデル	①改修前（床止工有） ②改修前（床止工無） ③改修後（床止工無）
粗度係数	n=0.032 ※現況・計画河道の計画粗度係数
上流端流量	①床対事業計画流量(70年確率相当) ②10年確率流量
下流端水位	河床勾配を用いた単断面等流計算により決定。
土砂供給	①有：上流端に500mの給砂区間を設定 ②無：給砂のための区間を追加しない。
粒度分布	河床材料調査を基に8段階粒径の構成比を設定
固定床の設定	・護岸の基礎高さ相当を掘れ止めに設定。 ・計画河道の根継工（張ブロック）は固定床扱い。

群の機能は何か）、これを踏まえ、改修後にも床止工が必要か、その場合の適切な設置箇所はどこか、といった点が検討課題となる。

c) 多自然川づくりに適合した河道安定工法と計画

技術基準³⁾では、改修後の河床変動についてあらかじめ検討した上で、床止め等の横断構造物は必要最小限とするよう述べている。しかしながら、背後地の土地利用の制約等により河道拡幅が困難な河川においては、河道安定のための構造物が依然として必要とされる場合がある。技術基準では、どうしても必要な場合、①上下流間の生物移動の連続性、②景観、③設置後の河床変動に十分留意すべきとしている。計画する河道安定工法は、これら3点の留意事項をクリアする必要がある。

3. 課題への対応

(1) 改修前後の河床変動傾向の検討

a) 河床変動解析の概要

改修が河道の安定に与える影響と対策を検討するため、一次元不等流河床変動解析を実施し、改修前後の河床変動特性の変化を把握するとともに、既設の床止工群の機能についても検証した。主な解析条件を、表-1に示す。樋井川は河床材料の粒径の幅が狭い砂河川であり、出水時には河床全面で土砂の移動が生じている。そのため、

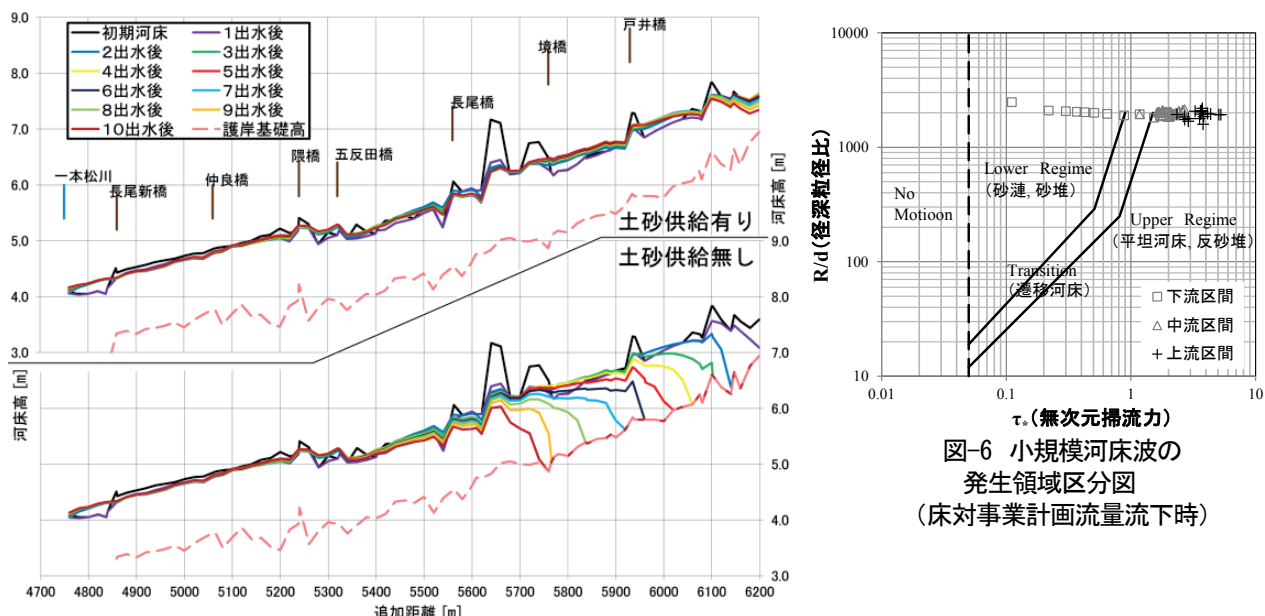


図-5 河床変動解析結果（改修後河道・床対事業計画流量、土砂供給有無の比較）

一次元河床変動解析の適合性は比較的高いと考えられた。

解析条件は、上記の目的に鑑みて、①改修前（床止工有）、②改修前（床止工無）、③改修後（床止工無）の3つの河道モデルの比較を基本とし、上流端からの土砂流入の有無、流量2段階の組み合わせにより計12ケースの検討を行った。改修前後の河道モデルで最も異なる点は、図-4に示すとおり、河床幅のうち土砂が移動しうる幅が、改修後には1/3程度まで狭くなっている点である。解析にあたっては、護岸を固定床として扱うことによって断面形を反映するとともに、護岸の基礎高を河床変動の下限として設定した。また、計算精度は、改修前河道における計算水位と被災水位の比較により確認した。

b) 解析結果の概要

改修前河道に対する解析の結果、上流からの「土砂供給有り」の条件では、床止工の有無に関わらず、出水中に顕著な河床変動は見られなかった。また、改修後河道についても同様に、顕著な河床変動を生じなかった。一方、「土砂供給無し」とした場合、改修前・後ともに、上流側から河床低下が進行し、護岸基礎が露出（護岸が被災）していく。計算上、護岸基礎の高さで掘り止めているため、掘り止め高さまで河床低下すると下流に順次河床低下が伝搬していく（図-5）。現況河道と計画河道では、河床低下が伝搬する速度が異なり、計画河道の方が早く河床低下が進行した。計算中、河床面に作用している掃流力は、代表粒径2mmに対する無次元掃流力で表示すれば $\tau \approx 2.0 \sim 6.0$ 程度と大きく、いずれのケースにおいても流砂量は非常に多い状況であった。

c) 考察

上流から土砂供給有りとしたケースでは、顕著な河床変動がみられなかった。これは、出水中に多量の土砂が移動しながら、動的平衡が保たれた結果であり、樋井川の河床縦断形が、概ね安定していることを示している。河床材料が縦断的に比較的均質な砂河川であるために、

出水で容易に土砂が移動し、過去の河道改修によって設定された川幅に対する河床縦断形が、既に安定した状態になっていると考えられる。そのため、かなりの規模の出水であっても、土砂供給が十分にあれば、縦断的な河床変動を生じないと考えられる。事実として、平成21年7月豪雨災害においても、樋井川の護岸はほとんど被災していなかったことが、解析結果を裏付けている。計画河道の場合も同様に、当該区間の改修計画は、現況の川幅及び縦断形を変更しない計画であるために、引き続き平衡状態が維持されることが考えられる。

しかしながら、土砂供給無しの条件では、上流端から順次河床低下が進行する傾向が見られ、とくに改修後河道において、改修前河道よりも急速な河床低下を生じることが確認されている。この原因は、改修によって、土砂が移動しうる河床の幅が減少したことにより、縦断的な流砂量の不均衡に対する河床高の変動量が大きくなった結果と考えられる。

(2) 改修後の床止工の必要性の検討

一次元河床変動解析結果では、現況河道の縦断形は安定しており、既設の床止工は特に機能しておらず、計画河道においても床止工の必要性は低いと判断される。そこで、河道の安定に関わる要因で、一次元河床変動解析では考慮しえない事項について、さらに検証した。

第一に、河道の湾曲の影響である。一次元河床変動解析では湾曲部外岸の洗掘及び内岸への堆積を考慮していない。当該区間にはいくつかの急湾曲部が存在しており、湾曲部外岸に想定される最大洗掘深を標準的な手法⁹⁾で評価すると、最大1.6mと評価された。平均河床高が維持されたとしても、湾曲部外岸の洗掘に対しては何らかの対応が必要と考えられる。また、出水中に、湾曲部内岸に土砂が堆積・貯留が進むことで、直下流の区間と土砂収支の不均衡が生じる可能性がある。

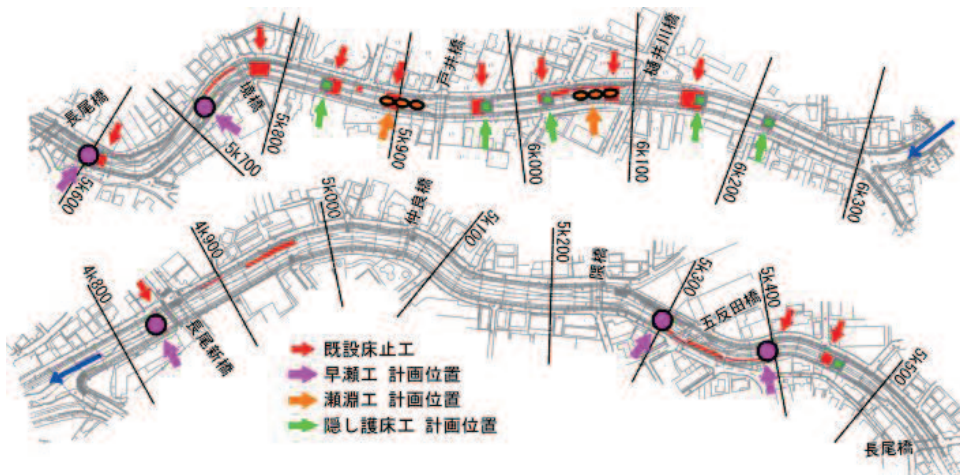


図-7 河道安定対策工法の配置計画



写真-2 早瀬工施工事例¹²⁾



写真-3 瀬淵工大型模型実験¹³⁾

第二に、出水中に発生する河床波の影響である。計画流量流下時の流況より、代表粒径2mmに対する無次元掃流力 τ^* 、径深粒径比 R/d を用いて、各計算断面の値を、芦田・道上による小規模河床の発生領域区分図⁹⁾に示せば、図-6のとおりである。検討区間の出水時における河床波の発生領域は、平坦河床から反砂堆領域にまたがっている。平成21年7月豪雨災害では、河床の洗掘による護岸の被災は確認されていないことから、概ね平坦河床に近い状態で流下したと考えられる。当該区間には、護床工が比較的密に設置されており、平常時でも平坦河床の状態が保たれている。これらの護床工が、出水時の河床波の発達を抑制している可能性がある。

第三に、上流からの土砂供給の見通しである。樋井川上流域は住宅地として開発が進んでいるだけでなく、砂防堰堤、防災調整池、ため池等が存在し、中長期的には山地から河道への土砂供給が期待できない状況がある。

以上を総合的に勘案し、特に上流域からの土砂供給が減少傾向であることを鑑み、湾曲部、直線部にそれぞれ河道安定工法を導入することとした。

(3) 河道安定工法と配置検討

a) 河道安定工法の導入における基本方針

改修後の河道安定のための対策を計画するにあたって、多自然川づくりの考え方に則り、①上下流間の生物移動の連続性、②景観、③設置後の河床変動の3点をクリアすることを原則とした。一連の検討は、(独)土木研究所自然共生研究センター、九州大学の協力を得て実施し、従来の帯工、護床工に代わって、“早瀬工”、“瀬淵工”を導入することによって、河道の安定に留まらず、これまでの改修で失われてきた瀬淵の保全・復元が図られる計画とした。

b) 早瀬工の概要

早瀬工(rock riffle structure, gravel riffle)は、上流側の河床高を維持し、不連続な落差を生じさせず、早瀬状の流れを創出する構造物であり、北米で用いられている。我

が国でも数件の事例が報告¹¹⁾¹²⁾されている。早瀬工は湾曲部に設置するものとは限らないが、樋井川の湾曲部下流には、河床材料にわずかに含まれる大礫が集積し、安定した早瀬が形成されているのが複数個所で確認されている。これを、樋井川の湾曲部における自然な瀬淵の構造と捉え、参考にして、主に湾曲部下流に早瀬工を配置する計画とした。

c) 瀬淵工の概要

瀬淵工は、従来の帯工に替わって、「河床高を維持しながら縦断的な瀬淵構造を形成する工法」というコンセプトで、自然共生研究センターが研究開発中¹³⁾の工法である。過去の改修で河道を直線化した区間の河床高を維持しつつ、瀬淵を創出することを目的として配置した。

d) 隠し護床工の概要

既設の護床工の撤去により生じる根固めブロックの一部を、護岸の基礎高さ程度の深い位置に敷設することにより“隠し護床工”として活用することとした。主に瀬淵工の上下流に補助的に配置する計画とした。

以上の検討を踏まえた配置計画を、図-7に示す。

(4) 河道安定工法（早瀬工・瀬淵工）の構造検討

早瀬工の構造は、樋井川にみられる自然な早瀬の形態的特徴を把握した上で、福津市が九州大学の協力の下施工した先行事例¹²⁾を参考とし、花崗岩による石組と石張を組み合わせた構造とした。材料は、過去の親水護岸工事の巨石積を撤去した石を再利用する計画とした。

瀬淵工の形状は、土木研究所による水理実験、大型模型実験¹³⁾を踏まえて決定した。構造は、早瀬工と同様、花崗岩を用いた石組と石張とした。

本体の構造は、護岸基礎の高さを設置面として、砂地盤上に吸出し防止材を敷設し、割栗石(φ150-200)に単粒度碎石を混ぜたものの中詰材として外形を形づくり、巨石を用いた石組を河川横断方向に緩いアーチ状に配し、その間を石張で被覆して表面を保護する構造とした。北米の早瀬工及び瀬淵工に類似の構造物は、捨石構造物で

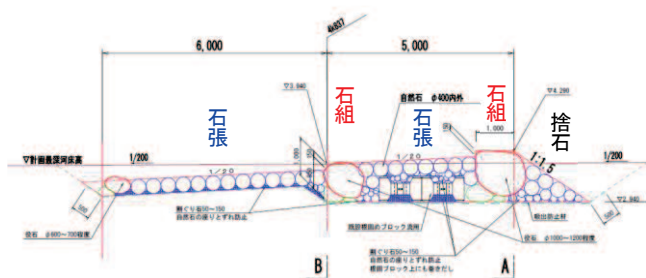


図-8 早瀬工(H25 施工)縦断面図



写真-4 早瀬工(H25 施工)

あることが多いが、我が国の中小河川の断面は狭くて深いために、構造物に作用する外力の幅が大きく、捨石のみで構造物を構成するには、川の規模に不釣り合いな巨石を用いる必要がある。そのため、河川に適応した石組の技術¹⁴⁾等を要所に取り入れながら、石が脱落しにくい構造とした。大型模型実験¹³⁾の結果、越流部の粗度が小さい素材を用いると、底面近傍の流速が大きくなり、下流側の流況が乱れることが確認されていたため、表面を覆う石張は、早瀬工、瀬淵工ともに、粗度が小さくなり過ぎないように多少の凹凸を持たせた。また、上流側の洗掘の原因となる縦渦が生じさせないよう上流側にも勾配を持たせ、1:1.5勾配に設定し、安価な捨石構造とした。

(5) 早瀬工の施工(平成25年度工事)

平成25年度工事では、河道掘削及び護岸補強の工事と併せて1基目の早瀬工を施工した。早瀬工の施工に向けて、県、設計担当コンサル、工事落札業者及び有識者らが合同で2度の現地検討会を行い、目標共有を図るとともに、構造、材料、施工計画等についての修正・最適化を行った。完成した早瀬工の外観を写真-4に示す。

4. おわりに

本報では、都市部を流れる中小河川である樋井川における多自然川づくりの取り組みを紹介するとともに、改修後の河道安定の確保、瀬淵の保全と創出への取り組みについて、技術的な検討のプロセスを中心に報告した。

なお、樋井川床対事業の最終年度である平成26年度には、複数基の早瀬工・瀬淵工の施工が計画されている。他河川の参考事例とするべく、施工計画まで含めた改善

を図りながら事業を進めていく所存である。

改修後の河道の安定、河床高の維持に留まらず、瀬淵の保全と創出まで踏み込んだ本事例は、都市部の中小河川における多自然川づくりの一事例として、同様の課題を抱えた川づくりの参考となるものと考えている。

謝辞：本事業を進めるにあたり、島谷幸宏九州大学教授には、多方面に亘る指導を賜った。本事業の計画・設計・施工には、災害事業室（室長：田中博美）の一同をはじめ、民間企業に所属する多くの技術者達が関わってきた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 島谷幸宏，山下三平，渡辺亮一，山下輝和，角銅久美子：治水・環境のための流域治水をいかに進めるか？，河川技術論文集，第16巻，pp.17-23，2010。
- 2) 福岡県県土整備部河川課：樋井川水系河川整備基本方針，2013.(<http://www.pref.fukuoka.lg.jp/gyosei-shiryo/houshin-dl.html>)
- 3) 国土交通省河川局：中小河川に関する河道計画の技術基準について，2010。
- 4) 原田守啓，藤田裕一郎：中小河川の断面形状と河道粗度設定手法の変遷に関する考察，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.68, No.4, I_1291-I_1296, 2012。
- 5) 大石哲也，高岡広樹，原田守啓，萱場祐一：中小河川改修時の川幅設定が河道の景観に与える影響，土木学会論文集B1(水工学) Vol.70, No.4, I_997-I_1002, 2014。
- 6) 池田宏：三重県，朝明川・三滝川・内部川の河床縦断形について，地理学評論，43-3, pp.148-159, 1970。
- 7) 井上和則：沖積地の安定な流路幅に関する既往研究の総説の試み，河川技術論文集，第17巻，pp.113-118, 2011。
- 8) 秋山信彦，北野忠，引地邦夫，小笠原義光：シロウオの営巣と砂粒径・流速との関係，水産増殖，43(3), pp.289-296, 1995。
- 9) 財団法人土木技術センター：改訂護岸の力学設計法，山海堂，pp.49-60, 2007。
- 10) 水理委員会研究小委員会：洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究，土木学会論文集，第345号/II-1, pp.41-52, 1984。
- 11) (独) 土木研究所自然共生研究センター：自然共生研究センター活動レポート-平成12年度の成果から，p.4-5, 2001。
- 12) 林博徳，島谷幸宏，岩瀬広継：上西郷川における河道内構造物を用いた瀬淵環境再生の取り組み，日本緑化学会・日本景観生態学会・応用生態工学会3学会合同大会(ELR2012)講演要旨集，p.52, 2012。
- 13) 原田守啓，高岡広樹，大石哲也，萱場祐一：新しい河道安定工法の実用化に向けた調査研究の取り組み，河川技術論文集，Vol.19, pp.87-92, 2013。
- 14) 福留脩文，有川崇，西山穂，福岡捷二：石礫河川に組む自然に近い石積み落差工の設計，土木学会論文集F Vol.66, No. 4, pp. 490-503, 2010。

(2014.4.3受付)