

樋井川における河道安定と瀬淵構造の保全創出の取組み

永井智幸・樋口公孝・神崎孝二



図-1 箇所図

1. はじめに

二級河川樋井川は、幹川延長12.9km、流域面積29.1km²の中小河川で、福岡市の市街地を北流し博多湾にそそぐ都市河川である(図-1)。

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・九州北部豪雨では、樋井川上流域に位置する柏原雨量観測所で最大時間雨量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棟の浸水被害が生じた。この被害を受け、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。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において直面した技術的課題のうち、特に上流部における改修後の河道の安定、瀬淵の保全・創出を目的とした検討のプロセスと、その検討の結果導入した早瀬工、瀬淵工について報告する。

2. 上流区間の技術的課題

2.1 河床幅の縮小が河道の安定に与える影響

樋井川は、沿川の土地利用の高度化がかなり進んでおり、川幅拡幅が困難であったため、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、多孔質な大型張ブロックを採用し補強した(図-2)。

しかしながら、事業区間の上流区間は、中流区間までと比較して川幅が急に狭くなり、区間の大部分で河床幅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。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安定に与える影響は大きいと考えられた。

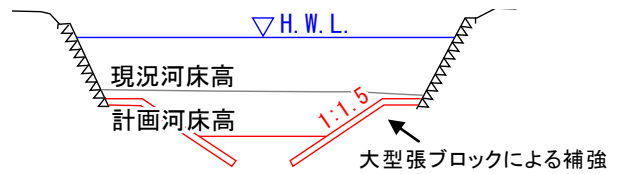


図-2 上流区間の標準断面の概要

上流区間には約1,400mの区間内に、3基の横帯工と、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いが、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、局所的な洗掘が見られない代わりに、瀬淵も全く見られない単調な環境となっている(写真-1)。

技術基準¹⁾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

3.1 改修前後の河床変動傾向の検討

a) 河床変動解析の結果

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、



写真-1 上流区間の現況

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。

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-3）。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 τ^* で表示すれば $\tau^*=2.0\sim 6.0$ 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。

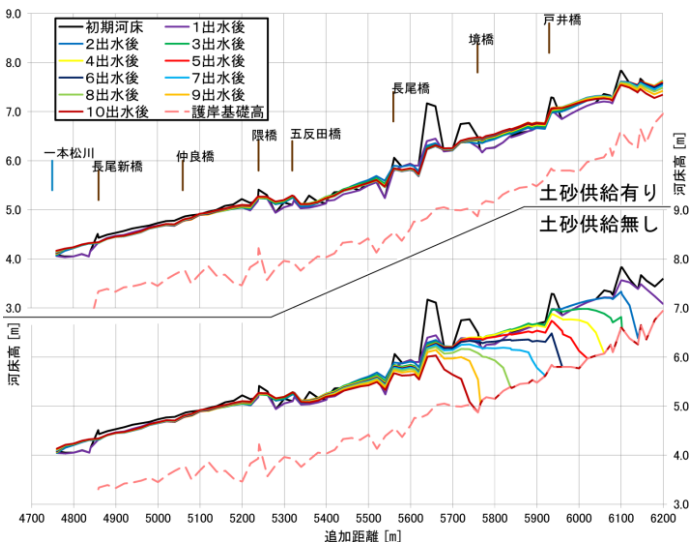


図-3 河床変動解析結果（改修後河道において、床対事業計画流量の出水を10回発生させ、河床高さの経過を図化した。上下の図は土砂供給有無を比較したもの。）

b) 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。実際に、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。

3.2 改修後の床止工の必要性検討

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²⁾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。

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²⁾に示せば、図-4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。

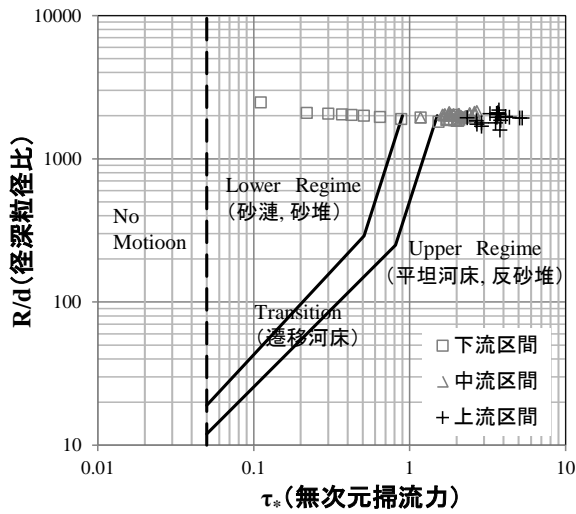


図-4 小規模河床波の発生領域区分図 (床対事業計画流量流下時)

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(図-5)。

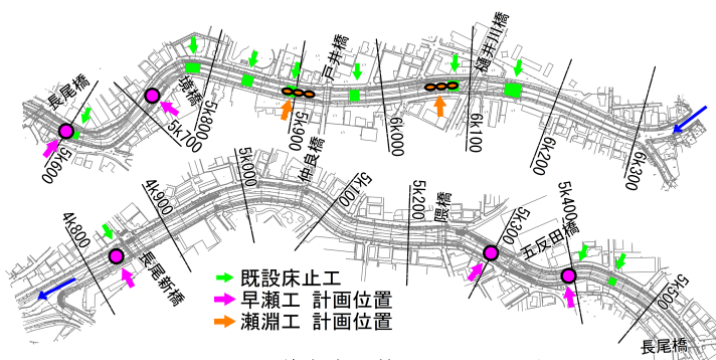


図-5 河道安定対策工法の配置計画

3.3 河床安定工法と配置の検討

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、従来の床止

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、数件の事例が報告³⁾⁴⁾されている。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、設計するうえでの参考にして、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⁵⁾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。

3.4 河床安定工法の構造検討

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⁴⁾を参考とし、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⁶⁾を踏まえて決定した。構造は、早瀬工と同様、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を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。樋井川の断面は狭くて深いため、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⁸⁾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。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。

3.5 早瀬工の施工

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、有識者、設計コンサルタント、工事施工業者及び発注者らが合同で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と構造を写真-2、図-6に示す。



写真-2 完成した早瀬工

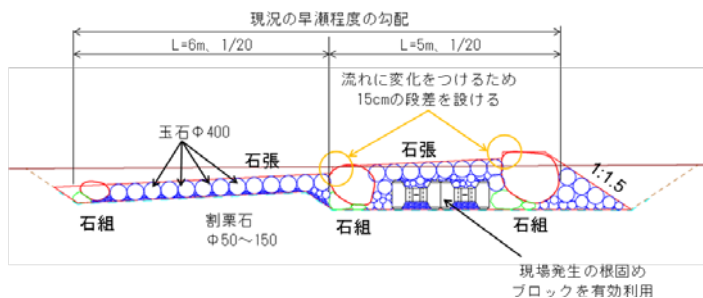


図-6 早瀬工(H25 施工)縦断面図

また、平成26年度には、複数基の早瀬工・瀬淵工を設置する予定であり、現在、河道掘削、護岸補強を含めた一連の施工を進めているところである。

4. まとめ

本報では、都市部を流れる中小河川、樋井川での、改修後の河道安定対策、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。本事例は、都市部の中小河川における多自然川づくりの事例として、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。また、上流部の計画・設計・施工では、(独)土木研究所自然共生研究センターの原田守啓専門研究員(現岐阜大学准教授)、林博徳九州大学助教をはじめ、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) 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
- 2) 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
- 3) (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、pp.4~5、2001
- 4) 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、日本緑化工学会・日本景観生態学会・応用生態工学会3学会合同大会講演要旨集、pp.52、2012
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 永井智幸、原田守啓、林博徳、高橋邦治：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、河川技術論文集、Vol.20、pp.283~288、2014

永井智幸



福岡県県土整備事務所
災害事業室 副長
Tomoyuki NAGAI

樋口公孝



福岡県県土整備事務所
災害事業室長
Hiroataka HIGUCHI

神崎孝二



福岡県県土整備事務所
災害事業室 技術主査
Kouji KANZAKI