

# 瀬田川鹿跳区間における試験施工の分析結果について

三原 辰太

近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 流域治水課 (〒520-2279滋賀県大津市黒津4-5-1)

淀川水系の上流部に位置する瀬田川景勝地である鹿跳溪谷において、淀川水系河川整備計画に基づく瀬田川の流下能力1,500m<sup>3</sup>/sを確保するため、景観、自然環境の保全及び親水性の確保などの観点に配慮した河川整備を検討している。前述の3つの観点に配慮するため、岩掘削の各掘削工法における施工性や正確性及び作業時の騒音・振動についての検証と、各掘削工法による仕上がり状態及び修景工の実用性についての検証、を行うため、鹿跳溪谷と同等の岩質が確認されている鹿跳溪谷の上流付近にて試験施工を行った。本稿では試験施工にて行った、掘削工法と景観の観点における検証の分析結果について示す。

キーワード 淀川水系河川整備計画、流下能力1,500m<sup>3</sup>/s、甌穴、景観

## 1. 試験施工に至った経緯

平成21年に策定された淀川水系河川整備計画（以下「河川整備計画」という）において『瀬田川では、琵琶湖の後期放流に対応するため、大戸川合流点より下流において1,500m<sup>3</sup>/sの流下能力を確保する。』、『優れた景観を形成している鹿跳溪谷については、学識経験者の助言を得て、景観、自然環境の保全や親水性の確保などの観点（以下「3つの観点」という）や早期効果発現を重視した河川整備について検討して実施する。』としている。

流)の河川改修が完了している。

また、令和4年に天ヶ瀬ダム再開発事業が完了（R4出水期より運用開始）したことにより、瀬田川鹿跳区間の改修に着手することが可能となった。

鹿跳溪谷の河川整備を検討するにあたっては3つの観点に配慮するため、学識者の意見を得ることを目的とした『瀬田川整備検討委員会』を令和4年3月に設立し、河床掘削による河川整備を行うため、3つの観点に配慮するため、岩掘削の各掘削工法における施工性や正確性及び作業時の騒音・振動についての検証と、各掘削工法による仕上がり状態及び修景工の実用性についての検証、を行う必要性が生じたため、鹿跳溪谷と同等の岩質が確認されている鹿跳溪谷の上流にて試験施工を行った。

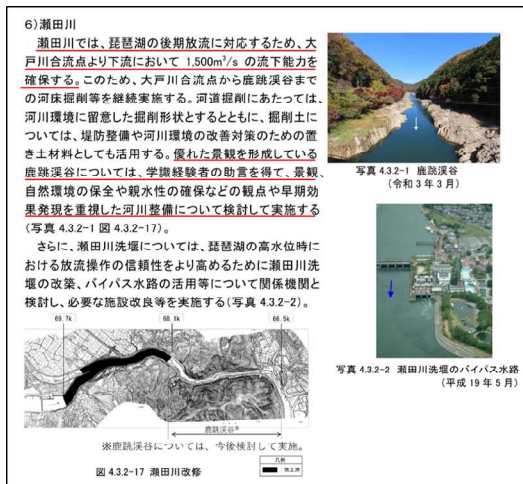


図-1 淀川水系河川整備計画(変更) (令和3年8月6日、近畿地方整備局) 抜粋

瀬田川洗堰より下流区間(宇治川、天ヶ瀬ダム)の改修について、平成30年に宇治川の塔ノ島地区、令和3年には瀬田川上流(鹿跳溪谷上流～瀬田川洗堰下

## 2. 淀川水系の特徴

### (1) 淀川流域の概要

淀川は、その源を滋賀県山間部に発し、琵琶湖から流れ出る瀬田川が宇治川となり、途中、木津川、桂川と合流し大阪湾に注ぐ、流域面積 8,240km<sup>2</sup>、幹線流路延長 75km、流域内人口約 1,248 万人の一級河川である。

流域は、大阪府、兵庫県、京都府、滋賀県、奈良県、三重県の2府4県に跨がり、近畿地方の社会、経済、文化の基盤を成し、沿川には大阪市、京都市等の大都市を擁している。

琵琶湖から流出する一級河川は唯一、瀬田川のみであり、瀬田川洗堰によって琵琶湖から洗堰下

流に流れる流量をコントロールしている。琵琶湖は面積が 670km<sup>2</sup>と日本最大の湖であり、その流域面積は 3,848km<sup>2</sup>と淀川流域の約 47%を占めている。瀬田川の河道整備は、宇治川の、計画流量 1500m<sup>3</sup>/s（宇治地点）に合わせて整備を進めている（図-2）。

淀川水系河川整備基本方針（平成19年8月）

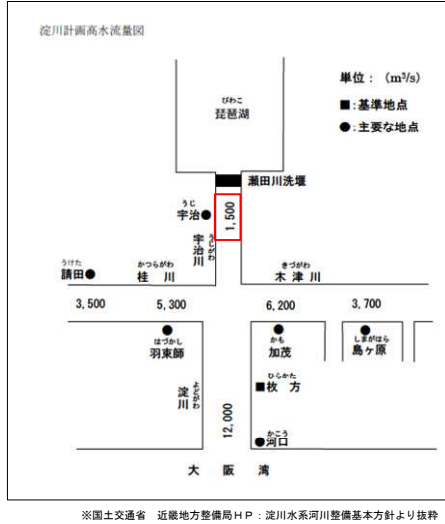


図-2 瀬田川流量配分図

(2) 淀川水系の治水システム

淀川の治水計画では、木津川、桂川等の流量が先に増大し、続いて淀川本川のピークを迎え、その後ある時間差をもって琵琶湖水位がピークを迎えるという特性を活かし、下流部が危険な時は、下流の洪水防御のために、瀬田川洗堰は放流制限もしくは全閉操作を行うこととしている。その後、下流部の洪水ピークを過ぎた後、上昇した琵琶湖水位を速やかに低下させるために瀬田川洗堰を全開して琵琶湖からの後期放流を行うこととしている。

木津川、宇治川、桂川の3川および淀川の水位を低減させる上で、三川合流点の水位低下が重要となる。そのため、各支川の流出については貯留施設で調節し、琵琶湖流域の流出については瀬田川洗堰と天ヶ瀬ダムで調節している。

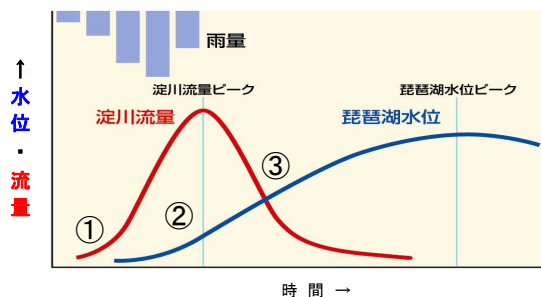


図-3 琵琶湖水位と淀川流量の関係

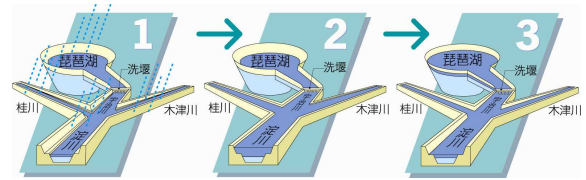


図-4 洪水時の琵琶湖からの放流イメージ

平成25年9月には、台風18号の影響により、41年ぶりに瀬田川洗堰の全閉操作（写真-2）を実施し、天ヶ瀬ダムの洪水調節を行っている。



写真-1 瀬田川洗堰の全閉操作（平成25年9月16日）

(3) 瀬田川改修の経緯

明治33年～42年まで行われた、淀川改良工事では、明治38年に旧瀬田川洗堰（南郷洗堰）が設置された。その後も瀬田川の疎通能力は向上してきたが上下流バランスを確保する観点から、瀬田川の狭窄部である鹿跳溪谷はこれまで実施されなかった。

計画名・期間	瀬田川の河川改修・疎通能力
改良工事実施前	疎通能力 50m <sup>3</sup> /s
淀川改良工事 明治33(1900)年～明治42(1909)年	・河床掘削 (疎通能力 50m <sup>3</sup> /sから200m <sup>3</sup> /sに増大) ※琵琶湖水位0m時の疎通能力 ・瀬田川洗堰の設置 (水通し32門、人力で角材を入れて流出量を調節)
淀川第一期河水統制事業 昭和18(1943)年～昭和27(1962)年	・河床掘削 (疎通能力 200m <sup>3</sup> /sから400m <sup>3</sup> /sに増大) ※琵琶湖水位0m時の疎通能力
淀川水系改修基本計画 昭和32(1943)年～42(1967)年	・河床掘削 (疎通能力 400m <sup>3</sup> /sから600m <sup>3</sup> /sに増大) ※琵琶湖水位0m時の疎通能力 ・瀬田川洗堰の改築 (ゲート10門、2段ゲートで流出量を調節)
淀川水系工事实施基本計画 昭和46(1971)年～	・河床掘削 (疎通能力 600m <sup>3</sup> /sから800m <sup>3</sup> /sに増大) ※琵琶湖水位0m時の疎通能力
淀川水系河川整備計画 平成21(2009)年～	・河床掘削(疎通能力 1500m <sup>3</sup> /s) ※琵琶湖水位1.4m時の疎通能力

表-1 瀬田川改修 年表

### 3. 鹿跳改修事業の概要

瀬田川洗堰上流では、平成4年までに琵琶湖総合開発事業により河川改修が完了している。

瀬田川洗堰下流では、宇治川の塔ノ島地区の河川改修や天ヶ瀬ダム再開発事業が完了したことから流下能力1500m<sup>3</sup>/sを確保することが可能となっている。河川整備計画に基づき大戸川合流後、1500m<sup>3</sup>/sの流下能力を確保するためには鹿跳溪谷の河川改修が必要となる。

#### (1) 鹿跳溪谷の現状

鹿跳溪谷における、平常時と洪水時（瀬田川洗堰全開）の現況は（写真-2）のとおりである。

瀬田川では、鹿跳溪谷あたりから急激に河道断面が狭くなっており洪水時には水位が上がり、上流までその影響が生じている。



写真-2 平常時と洪水時の鹿跳区間の現況

また、河道断面の小さい箇所が2箇所（66.8k~67.0k, 67.4k~67.7k）存在しており、鹿跳溪谷の入口となっている緩勾配（1/4,440）から急勾配（1/350）に変化する68.0k付近の河床が高くなっている。

地質区分について、67.2k付近から下流は、硬岩から中硬岩が分布しており、67.2k付近から上流は比較的軟岩が多く分布して上流側を掘削する方が施工性に優れる。

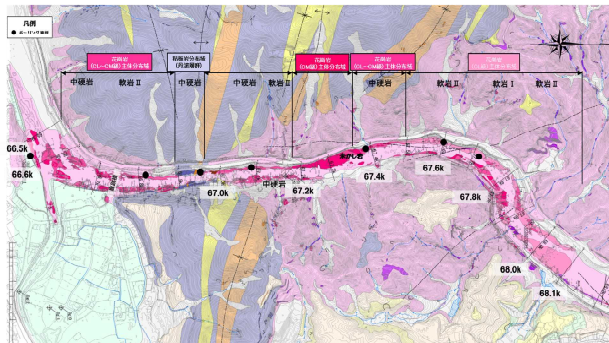


図-5 鹿跳区間の地質区分図

瀬田川67.3k付近の河床には古くから「米かし岩」として親しまれている甌穴が存在する。

この岩は、流水の中程にある独立した岩石であ

り、周囲の甌穴群の中でも特に顕著に甌穴が発達し、岩全体の形状も特異なものとなっていることから滋賀県の自然記念物に指定されている。（写真-3参照）

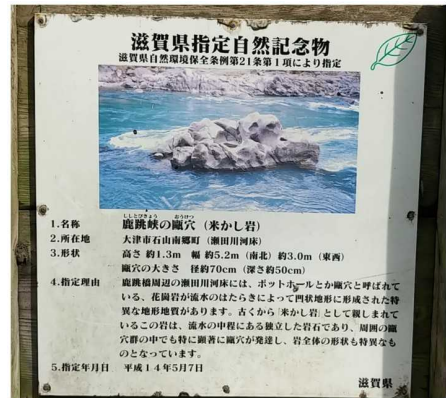


写真-3 米かし岩

#### (2) 河床掘削の範囲

景観の保全、自然環境・親水性・環境の変化を小さくするには以下の理由より67.2k付近から上流側を掘削することが望ましいとしている。

- ① 軟岩主体である67.2k付近から上流側を掘削する方が施工性に優れる。
- ② 1,500m<sup>3</sup>/sの流下能力を確保するには、河道断面の小さい（67.4k~67.7k）範囲を含む平均河床高が高い上流側を掘削する必要がある。

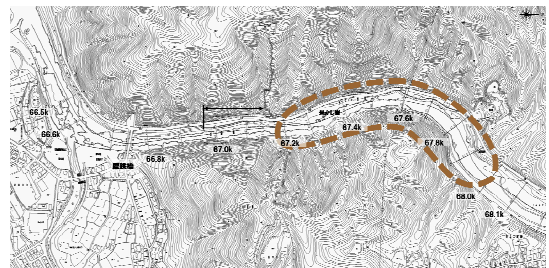


図-6 鹿跳溪谷 掘削範囲

#### (3) 景観保全の考え方

景観保全に考慮した掘削方法の検討として、景観に配慮した岩掘削の施工によりグッドデザイン賞を受賞している「曾木の滝分水路」の管理者へのヒアリング結果を踏まえ、「景観に配慮した岩表面仕上げ」として、岩の節理が顕著に現れたギザギザ感がある部分や、侵食によって丸みを帯びた部分があるなど、岩肌の表情は異なる。そのため、掘削においては、岩の表情に応じた仕上げにより、変化を持たせることを企図した河床掘削を実施する（表-2参照）。

表-2 河川掘削の留意事項

<p><b>配慮事項1：岩の節理に従った掘削</b></p>	
<p>曾木の滝分水路では、掘削面を整形せず、岩の節理に従った法面掘削の方法（景観専門家が掘削状況を確認し、施工方法を現地指導）で施工している。</p>	<p>曾木の滝分水路</p>
<p>鹿跳溪谷においても岩の節理が顕著に現れているため、曾木の滝分水路工事を参考に、整形したような様な掘削面は避け、節理に従った自然な仕上げとすることを企図する。</p>	<p>鹿跳溪谷</p>
<p><b>配慮事項2：自然な丸みを創出した岩の仕上げ</b></p>	
<p>曾木の滝分水路では、バケットにワイヤーを溶接し、タワシのように掘削面を加工した仕上げ（施工業者による工夫）を実施している。</p>	<p>曾木の滝分水路</p>
<p>鹿跳溪谷においても罅穴が多くみられ、侵食による丸みをおびた岩肌が特徴的であるため、曾木の滝分水路工事を参考に、角が落ちた丸みのある仕上げ（時間が作り出した自然な風景）とすることを企図する。</p>	<p>鹿跳溪谷</p>

ブレイカー工法（標準工法）、静的破碎剤工法及び油圧くさび削岩工法を用いた試験掘削施工を行い、施工性や正確性の検証及び作業時の騒音・振動について確認を行う。

・景観の検証

各掘削工法による仕上がりの状態及び修理工の実用性について確認、検証を行う。

**(3) 実施項目と調査項目**

なお、試験施工の実施項目及び調査項目については下記（表-3）のとおりである。

表-3 試験施工の実施項目及び調査項目

実施項目	調査項目
<p>●掘削工（中硬岩、本川水位以上）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大型ブレイカー工法</li> <li>・油圧くさび削岩工法</li> <li>・静的破碎剤工法</li> </ul>	<p>●簡易地質調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・シュミットハンマー調査</li> <li>・簡易弾性波調査</li> </ul>
<p>●掘削工（中硬岩、本川水位以下）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・静的破碎剤工法</li> </ul> <p>※周辺状況（民家・道路等）、環境への負荷（振動や騒音等）軽減の観点から発破は使用しない。</p>	<p>●測量</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3次元点群測量</li> </ul>
<p>●修景工（中硬岩、本川水位以上）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人力ブレイカー工法</li> <li>・バックホウ削岩機アタッチメント</li> <li>・バケット改造工法（ワイヤブラシ）</li> </ul>	<p>●騒音振動調査</p>

**(4) 掘削工法の検証**

**①油圧クサビ削岩工法**

クローラードリル（φ102mm）を使い、0.95m間隔で深さ1.0mの削孔を行う。削孔した箇所にクサビを入れて、テコの原理で岩盤に引っ張りを与えて削岩する。

※試験施工の前後に岩盤面の強度がシュミットハンマー反発度35以上、簡易弾性波1400m/sec以上を有し、中硬岩であることを確認した。



写真-4 油圧クサビ削岩 掘削前後

**②静的破碎剤工法**

クローラードリル（φ102mm）を使い、0.95m間隔で深さ1.0mの削孔を行う。削孔した孔に、地下水が影響しないようにビニール袋を設置し、膨

**4. 試験掘削施工の概要**

**(1) 河床掘削試験施工の試験箇所**

試験施工の実施箇所は、鹿跳区間における河床掘削箇所と同等の岩質が確認されている鹿跳区間より上流の68.2k付近で行った。



図-7 試験掘削施工実施 箇所

**(2) 試験掘削施工の目的**

- ・掘削工法の検証

張 剤を人力で補填後に大型ブレーカー（平水位以下では油圧ブレーカー）を使用して削岩する。

※試験施工の前後に岩盤面の強度がシュミットハンマー反発度35以上、簡易弾性波1400m/sec以上を有し、中硬岩であることを確認した。

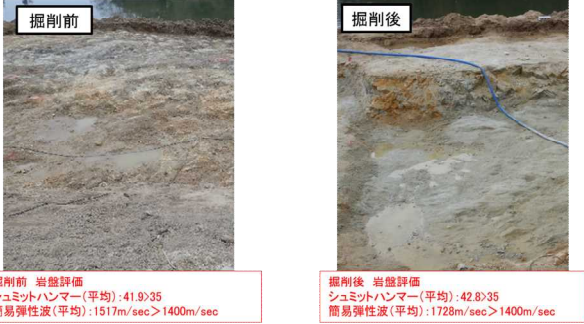


写真-5 静的破碎剤工法 掘削前後

③大型ブレーカー工法

油圧ブレーカーによる岩盤の破碎を行う。

※試験施工の前後に岩盤面の強度がシュミットハンマー反発度35以上、簡易弾性波1400m/sec以上を有し、中硬岩であることを確認した。



写真-6 大型ブレーカー工法 掘削前後

5. 試験掘削施工の結果

(1) 掘削工法毎の掘削面評価の岩盤状況

各掘削工法とも岩盤の切れやすい箇所では削岩されガタガタ面が形成され、岩の節理にしたがった掘削となった。詳細は表-4のとおり。

表-4 各工法の掘削評価

掘削工法		①油圧クサビ割岩工法	
日当たり施工量	削岩までの日当たり施工量	9.2 m <sup>3</sup> /日	
	クリティカル工程の日施工量	クローラードリル削孔作業 13.1 m <sup>3</sup> /日	
景観面（表面仕上げ）		<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削後の法面部では、岩盤面の節理等に沿って活岩されている。</li> <li>削孔跡が掘削面・河床面に残ることはない。</li> <li>最も凹凸のある仕上がりになっている</li> </ul>	
騒音振動	計測点は重機から30m	平均値	最大値

騒音 (dB)	削孔時	77.4	81.8
	割岩時	74.8	83.5
振動 (dB)	削孔時	54.6	58.4
	割岩時	67.0	71.8
掘削工法		②静的破碎剤工法	
日当たり施工量	削岩までの日当たり施工量	3.0 m <sup>3</sup> /日	
	クリティカル工程の日施工量	クローラードリル削孔作業 8.0 m <sup>3</sup> /日	
景観面（表面仕上げ）		<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削後の法面部では、岩盤面の節理等に沿って活岩されている。</li> <li>膨張剤充填時のビニール袋がそのまま掘削面に残ることがある。</li> <li>河床面に削孔跡は残らずに仕上がっている。</li> <li>最も平坦な仕上がりになっている。</li> </ul>	
騒音振動	計測点は重機から30m	平均値	最大値
	騒音 (dB)	削孔時 84.8 割岩時 72.2	削孔時 90.6 割岩時 86.4
振動 (dB)	削孔時	45.5	67.0
	割岩時	66.2	77.4
掘削工法		③大型ブレーカ工法	
日当たり施工量	削岩までの日当たり施工量	2.8 m <sup>3</sup> /日	
	クリティカル工程の日施工量	クローラードリル削孔作業 同上 (2.8 m <sup>3</sup> /日)	
景観面（表面仕上げ）		<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削後の法面部では、岩盤面の節理等に沿って活岩されている。</li> <li>平坦な仕上がりになっているが、人為的な凹凸面の形成は可能である。</li> </ul>	
騒音振動	計測点は重機から30m	平均値	最大値
	騒音 (dB)	削孔時 70.0 割岩時	削孔時 81.4
振動 (dB)	削孔時	67.0	71.8
	割岩時		

(2) 修景工法の修景面評価

1次掘削後の河床面はブレーカーによる割岩・小割作業である程度掘削面の角がとれた状態となっている。修景作業ではスポット的に点在する凸部分を修景作業で修景した。

表-5 各修景工法の掘削評価

掘削工法		① バックホウアタッチメント	
施工状況		削岩できるため比較的施工性も良く、スポット的な硬い凸面の除去を容易に行うことが可能である	
景観面		<ul style="list-style-type: none"> <li>削岩機の爪痕が掘削面に残る。</li> <li>丸みを帯びた仕上げにするためには、さらなる表面仕上げが必要となる</li> </ul>	
騒音振動	計測点は重機から30m地点	平均値	最大値
	騒音 (dB)	72.7	82.0
振動 (dB)	削孔時	50.8	59.0
	割岩時		
掘削工法		② 人力ブレーカー工法	

施工状況		人力での施工であり、施工性は劣るがスポット的な硬い凸面は容易に除去できる。	
景観面		<ul style="list-style-type: none"> <li>・仕上がり面はガタガタ面となる（岩の節理に沿って除去される）</li> <li>・丸みを帯びた仕上げにするためには、さらなる表面仕上げが必要となる</li> </ul>	
騒音振動	計測点は重機から30m地点	平均値	最大値
	騒音 (dB)	77.0	82.2
	振動 (dB)	46.1	50.1
掘削工法		③ バックホウバケット改造	
施工状況		<ul style="list-style-type: none"> <li>・今回のワイヤーブラシでは浮石等の除去はできるが、スポット的な硬い凸面の除去はできない。</li> <li>・使用ワイヤーブラシの耐久性にも課題が見られた。</li> </ul>	
景観面		<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤表面の浮石や尖った各面の除去は可能である。</li> <li>・曾木の滝の施工実績もあるため、ワイヤーブラシの形状を工夫することで丸みのある表面仕上げができる可能性がある。</li> </ul>	
騒音振動	計測点は重機から30m地点	平均値	最大値
	騒音 (dB)	65.4	79.9
	振動 (dB)	34.3	47.7

(3) 試験掘削施工の施工性と景観に関する考察

【施工性について】

- ・施工速度（掘削量/掘削作業時間）が最も速く施工性の良い工法は、油圧クサビ割岩工法であった。
- ・施工上の留意点として、3工法ともドリル坑口部が水没すると削孔した粉塵をバキュームできないため、坑口はドライにしておく必要がある。

【景観について】

- ・各工法とも側面部の仕上がりを観察すると岩盤の節理面や亀裂等、弱部で割岩されており、角のある凹凸が形成されている。
- ・河床部の仕上がりは、ブレイカー破碎時やバックホウによる掘削ズリ搬出の作業により岩盤の角がとれた状態で仕上がっている。
- ・油圧クサビ割岩工法は岩の状態により凹凸形状が決まり、静的破碎剤工法は削孔部の膨張作用により割岩されるため人為的に凹凸をつけることはできない
- ・大型ブレイカー工法は重機オペレーターの操作により、人為的な作業を行うことで河床面に凹凸形状を形成することが可能である
- ・計画掘削ライン面からの高低差は①油圧くさび割岩工法が最も大きくなっており、凹凸を大

きくです場合有利となる。

6. 試験掘削施工結果のまとめ

【掘削工法について】

- ・3工法で比較を行った結果、施工速度や騒音・振動レベルの違いはあるが掘削断面の出来形については大きな違いは見られなかったため、今後掘削工法を選定するうえではコストや施工中の環境や周囲への影響を考慮して検討する必要がある。

【修景工法について】

- ・各工法で良い点や課題となる部分があり、凹凸のある断面ではなく平らな断面で修景したためこれといった工法を選定することは出来なかった。
- ・1つの工法にこだわらず、部分的に工法を変えるなど工夫すると不連続性のある凹凸になるかも知れない。
- ・今後、工法を選定するに当たっては重機を使用した工法のみならず他の道具等を使用した工法での検討をしても良いと思われる（具体的には、ヤスリや熱を活用した工法など）。

7. 試験掘削施工を踏まえた今後の展開

●景観・親水性について

河床掘削による河川整備の計画検討の中で「米かし岩」保存の要望がある。米かし岩は滋賀県指定自然記念物に登録されており、周囲の甌穴群と比べて、特異な形状となっていることから景観・親水性確保にあたりキーポイントになると考えられるため出来る限り自然の姿を残すよう進める必要がある。

●修景工法について

試験施工では良い結果が得られなかった修景工法があるため、施工の工夫を模索する必要がある。

今回修景工法で試したバックホウバケット改造は参考にして「曾木の滝分水路」での実績があるが、具体的にどのような地形において使われたのか、バックホウバケット改造以外の工法を活用している地形はどのようになっているのか等を確認するためにも「曾木の滝分水路」に足を運び、実施工の現場を把握する必要がある。

参考文献

- ・淀川水系河川整備計画（変更）（令和3年8月6日）
- ・淀川水系河川整備基本方針（平成19年8月）