

### 3. 新たな河岸防護工を活用した急流河川対策

#### 3.1 巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工

新たな河岸防護工は、根継護岸工で課題となった護岸前面の洗掘、砂州の侵食・流失を抑制し保全するとともに滑らかな低水路河道線形の維持に効果がある。

また、現地の河床材料を使用し、かみ合わせ効果で自立する構造から自然性に優れ、護岸工等の既存の急流河川対策と併せて、又は単独で設置することにより、安価で治水と環境の調和した新たな河岸防護技術である。

#### 【解説】

本手引きで紹介する「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」は、「2. 2 急流河川対策の現状と課題」で明らかとなった砂州の侵食・流失による治水上・環境上の課題に対し、北陸地方整備局が中央大学研究開発機構と共同で実施した、常願寺川での現地実験及び現地試験施工により開発された治水と環境が調和したコストパフォーマンスの高い河岸防護技術である。

この新たな河岸防護工は単独での設置だけでなく、従来の急流河川対策が設置済みの箇所、あるいは新たに設置する箇所に併用することで、一連区間の治水、環境面での機能向上を図ることができる。

本手引きを参考とする河川は、前章「2.急流河川の現状と課題」にある護岸前面の河床洗掘抑制、堤防を守っている砂州の侵食・縮小の進行抑制及び滲筋の制御等を課題とする河川を想定している。

本節では、現地実験及び現地試験施工により得られた知見を踏まえ、この技術の考え方、機能について述べる。

### 3.1.1 新たな河岸防護工の考え方

急流河川の望ましい河道づくりは、河岸沿いに縦断的、連続的に形成された自然砂州によって洪水の主流が堤防から離れ、河岸の洗掘・侵食が軽減するように洪水流が流下する河道構造を維持できることである。

このため、新たな河岸防護工の検討にあたっては、対策箇所のみ視点ではなく、滯筋の線形を是正し、これを維持するという河道管理を行うために河川全体を俯瞰する視点をもつことが重要である。

また、急流河川における河岸防護の考え方は、流量規模によって異なる。新たな河岸防護工は、川底の形状に支配され蛇行を伴った流れとなり、河岸際に洗掘・侵食の力が最も強く作用する発生頻度の高い中小洪水（平均年最大流量相当の洪水）に対して、河岸際に走る流れを河道中央に寄せる事で河岸を防護するものである。

#### 【解説】

治水と環境の調和した急流河川対策とは、自然性の高い河岸際の砂州を活かし、洪水の主流を堤防から滑らかに離すものである。その基本的な考え方は、以下のとおりである。

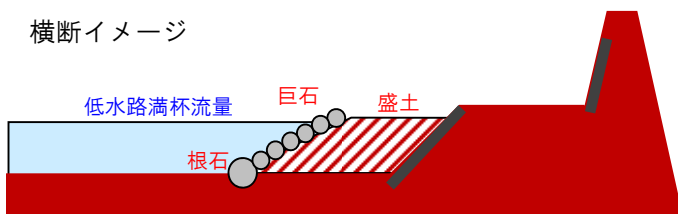
- ・ 河道変遷整理や水理解析による侵食危険箇所の予測を活用した効率的、効果的な対策の実施（予防的要素を含む河道管理）
- ・ 護岸工設置により失われた滑らかな滯筋の再生と、失われた河岸際の砂州の有していた河岸防護機能、環境機能の復元
- ・ 護岸整備により砂州の消失が懸念される場合には、護岸整備とともに河岸防護工を設置
- ・ 施工、維持管理（修復の容易さも含む）の観点から、安価かつ効果的な対策工法の採用

また、急流河川における河岸防護の考え方は、図 3.1.1 に示すとおり中小規模洪水と大洪水で異なる。

### ① 平常時～低水路満杯流量程度

■この時点では川底の形状に支配され、蛇行を伴った流れとなるため、河岸際に洗掘・侵食の力が強く作用するが、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工により、流路を河岸から離すことができる。

横断イメージ



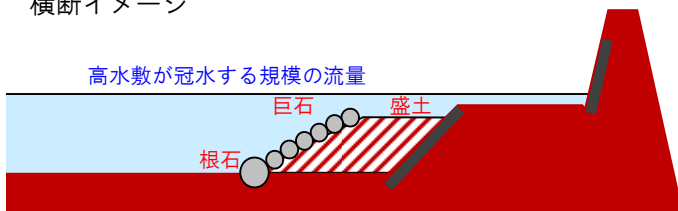
流れのイメージ



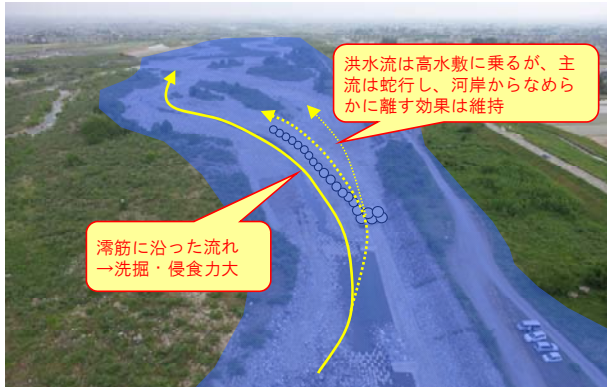
### ② 低水路満杯流量程度～高水敷が冠水する規模の流量

■この時点でも川底の形状に支配された、蛇行を伴った流れとなり、河岸際に働く洗掘・侵食の力が最も大きく作用するが、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工により、流路を河岸から離すことができる。

横断イメージ



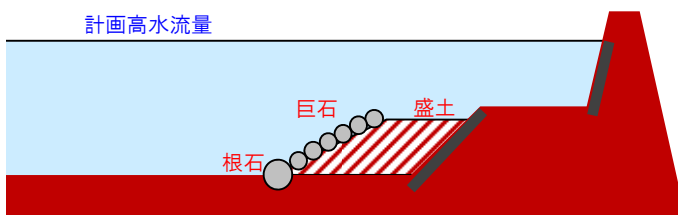
流れのイメージ



### ③ 高水敷が冠水する規模の流量～計画高水流量

■この時点では洪水流は川底の形状にほとんど支配されず、堤防の法線で決定される。この流量規模では、堤防と護岸で防護する。

横断イメージ



流れのイメージ



図 3.1.1 急流河川の河岸防護の考え方

### 3.1.2 新たな河岸防護工の持つ機能

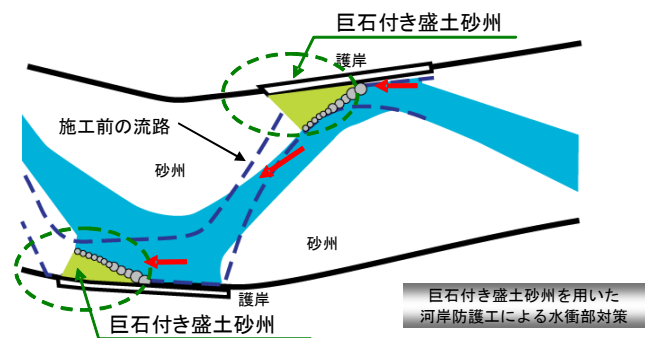
巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は、河岸沿いに縦断的、連続的に形成された自然砂州を活かし、洪水の主流を河岸際から離し、河岸の洗掘・侵食を軽減させる機能を持つ。

#### 【解説】

巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工とは、河岸沿いに存在する砂州を保全または回復させ、砂州上流端の水衝箇所には河道内にある巨石を配置し、砂州の侵食や河岸前面の洗掘を防ぎつつ、砂州沿いに流れる中小洪水時の流向を改善するものである。さらに、繰り返し発生する中小洪水での洗掘・侵食の力の作用に対し、洪水流を河岸から離すことで構造物（護岸）の機能の確保、構造物の弱体化軽減を図ることができる。詳しくは、「3.3 設計・施工編」を参照されたい。

#### ○平面形状

滑らかな滯筋線形を有していた年代を参考に、流路の蛇行を緩和し、主流を滑らかに河道中央に導く。



#### ○横断形状・構造

現地の土砂や石を使用して、自然砂州の持つ治水面・環境面の機能を復元する。また、砂州は群体として連続する低い水制のような機能を有しており、堅い水制群に比して、やわらかに、滑らかに流れを制御し、洪水時にある程度の変形を許容する。

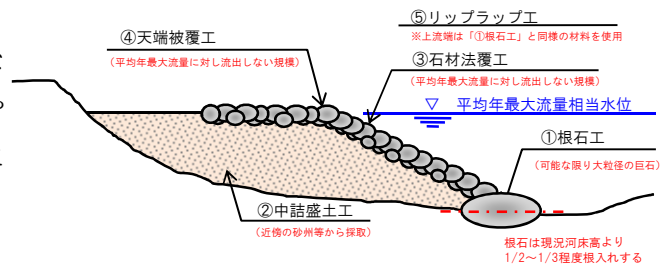


図 3.1.2 巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工

## 【現地実験・現地試験施工で得られた知見】

### I. 現地実験・現地試験施工で開発された河岸防護工の特徴と効果

2004年（平成16年）から2011年（平成23年）まで常願寺川で実施した実験水路による大規模現地実験の結果、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は、砂州前面の洗掘・侵食を抑制し、流路線形を改善する効果があること、また、その後の現地試験施工の経過から、滑らかな滯筋線形の回復と河岸の保護効果があることが確認された。

また、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は、現地の土砂や石を使用し、自然砂州を活かしており、盛土砂州部分には樹木が成育し、治水面、環境面から河岸際の有する重要性を確保でき、さらにコストパフォーマンスの面からも有効な工法である。

以下に、現地実験及び現地試験施工による河岸防護工の効果の概要を示す。

### II. 現地実験による石礫河川の河床変動機構

2004年（平成16年）～2006年（平成18年）の現地実験では、石礫河川の河床変動機構の解明を目的に、常願寺川の高水敷に一本の滯筋規模の実験水路を設け、流れの様子、河床断面形状、河床表層の状況等を計測した。

図 3.1.3 は、通水開始直後と通水開始から数時間後の実験水路の流れの様子を示している。通水開始直後は、その流れに見合った河床断面形状になっておらず、安定した流路が形成されるまで河床洗掘や河岸侵食が起これ、石や礫の活発な移動が見られた。一方、時間が経つと、石や砂礫の移動が停止し、水が澄み、一定流量の下でのほぼ静的な平衡状態が出現した。



(a) 通水開始直後の流れの様子

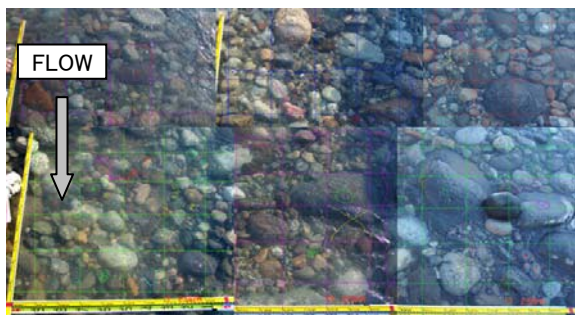


(b) 静的平衡状態での流れの様子

図 3.1.3 通水開始直後と静的平衡状態での流れの様子

次に、安定した河道での河床表層の状態について図 3.1.4 に示す。写真は緩勾配部で掃流力が低い地点と急勾配部で高い掃流力が働いた地点を比較したものである。これより、緩勾配地点の河床表層はほとんどが粗石（7.5cm～30cm）や礫で構成されており、巨石は少し露出している程度である。また、河床面の凹凸も少ない。一方、急勾配地点の河床表層は、巨石が大きく露出し、河床の凹凸も大きくなっている。また、砂礫は巨石や粗石の周囲の凹凸部やそれらの後流域に留まっている。このように、広い粒度で構成されている石礫河川では、大きな掃流力が働けば、河床洗掘の段階で巨石が現れ、それが核となって、周囲の河床を安定させることを明らかにした。





(a) 緩勾配地点の河床表層画像



(b) 急勾配地点の河床表層画像

図 3.1.4 安定した河道の河床表層状態

図 3.1.5 は、2005 年（平成 17 年）実験の流量  $9\text{m}^3/\text{s}$  及び  $16\text{m}^3/\text{s}$  での流量観測断面における断面形状を示している。流量が大きくなると、河床が洗掘されるよりも河岸を侵食することにより、河岸からの砂礫が河床に留まり、浅い状態で河道が安定化することが分かった。

このように、河床に巨石のような大きな抵抗を及ぼす材料がある割合で存在し、その他の粒径の礫や砂が適切な割合で存在すれば、流量が変化しない限り、河床面が安定（静的平衡状態）することを明らかにした。更に巨石間の空隙や周囲に留まった中小礫とかみ合い、より強固に安定することも判明した。

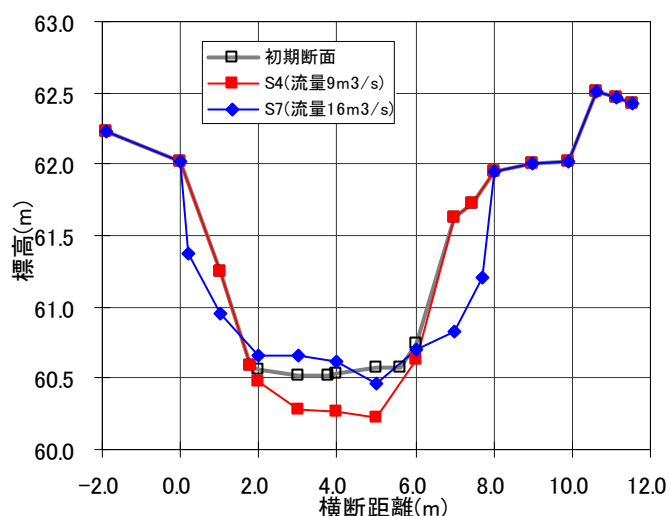
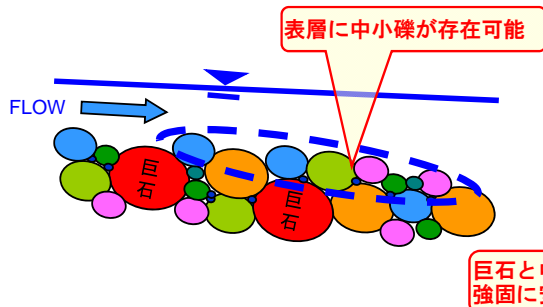


図 3.1.5 2005 年実験での各流量規模における断面変化

掃流力が小さい場合

表層材料は主に中小礫で構成され、巨石は表面が露出する程度。



掃流力が大きい場合

表層の中小礫が流出し、掃流力に耐える巨石が表層に露出して、河床面が安定（静的平衡状態）する。更に周囲に留まった中小礫とかみあい、より強固に安定する。

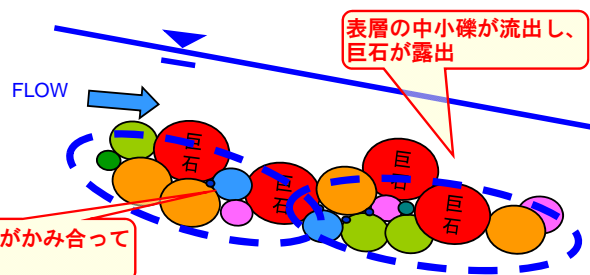


図 3.1.6 石礫河川の河床変動機構

### Ⅲ. 石礫河川の河道形成機構（巨石による侵食軽減効果）

2006年（平成18年）実験での自然河岸と護岸工を設置した河岸における流れの安定状態に達した河床を下図に示す。自然河岸では流水の作用により砂礫が流され、河岸を構成する巨石は安定を失い崩れ落ちる。これが繰り返り起こることで、水路幅は徐々に広がり、水中の河岸の傾斜は図 3.1.7 に示すように安定な勾配を形成する。一方、護岸工の設置された区間では、図 3.1.8 に示すように河岸からの土砂供給がないため、河床が洗掘され、巨石が河床から現れることで安定河道を形成する。結果として、自然河岸の河道に比べて、河岸際の深掘れが大きくなった。

このことから、石礫河川は巨石が存在することで静的平衡状態を形成しており、特に蛇行部や護岸工が設置されている場合は、河岸から土砂が供給されるか、供給されないかの土砂移動の違いが河床形状や河床材料粒度分布に影響を及ぼしていることがわかった。

#### 【自然河岸】

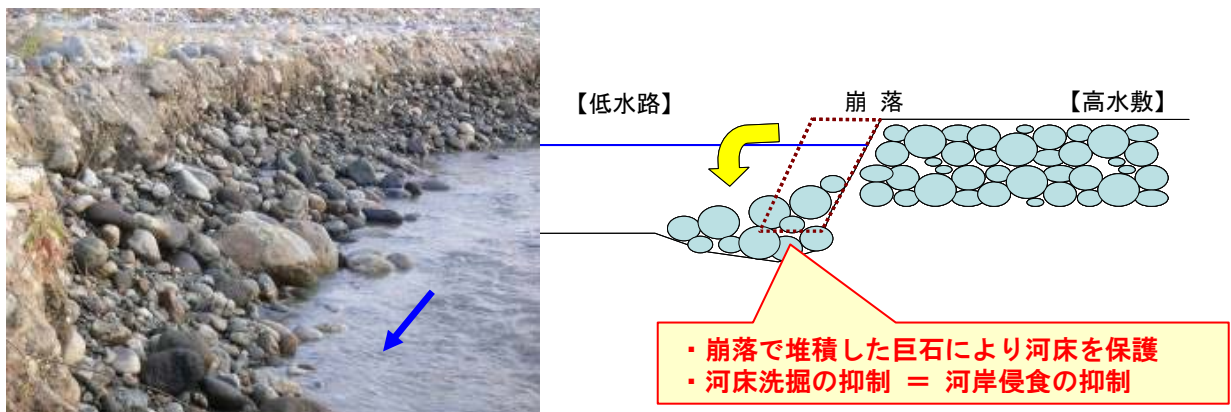


図 3.1.7 自然河岸の河床・河岸安定過程

#### 【従来の護岸】

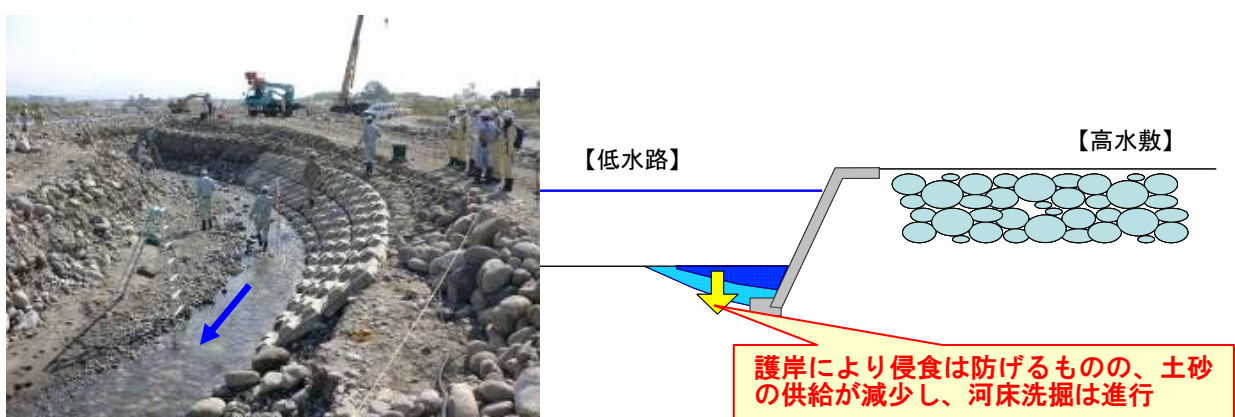


図 3.1.8 護岸箇所の河床・河岸安定過程

#### IV. 現地試験施工における巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果

2007年（平成19年）に行った右岸7.1kの現地試験施工の経過を図3.1.9に示す。かつて現地河道内にあった砂州を盛土により再生し、砂州上流端に巨石を配置することで強い水あたりによる砂州の侵食を防ぎ、滑らかな流路線形を再現し、かつ河岸を保護できることを現地試験施工から明らかにした。また、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の上に植生が繁茂し、望ましい河川環境が創出された。

施工にかかった費用は、根継護岸工の約1/10であり、コストパフォーマンスの面からも有効であることが分かった。

H19.8 撮影



H23.5 撮影



H23.10 撮影



図 3.1.9 右岸7.1kの巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の経年変化



## V. 現地実験における河岸防護工の機能の確認

これからの急流河川の河道管理を適切に行っていくためには、河岸沿いに連続的に砂州を回復することが望ましい。このような砂州を活かした自然性の高い河道を実現するために、2011年（平成23年）の常願寺川左岸6.1kでの現地実験水路において、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の機能確認を行った。

実験水路は、図3.1.10に示す2つの水衝部をもつ蛇行水路であり、低水路断面は幅4.0m、底幅1.0m、深さ1.0mである。常願寺川6.1k地点の平均年最大流量（720m<sup>3</sup>/s）時の単位幅流量は2.52m<sup>2</sup>/s、流速は約2.2m/sであり、これに対し現地実験での単位幅流量は約2～3.5m<sup>2</sup>/s、最大流速は2.3m/s～2.6m/sであったことから、ほぼ現地の実河川の水利諸量に相当する。しかも現地の河床材料を用いていることから、この実験水路は常願寺川の一つの滯筋そのものであると言え、流量、流速は平均年最大流量規模の洪水に相当する実験であった。



図 3.1.10 実験水路（2011年（平成23年））

現地複断面蛇行水路に巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を配置し、複断面蛇行流路で最も洗掘作用が強い低水路満杯水位からそれを超える程度の水位条件<sup>1)</sup>（図3.1.11参照）について、河岸防護工の効果及び低水路河道線形の変化を観察した。その結果、流量を増大しても巨石付き盛土砂州の侵食・洗掘はほとんど生じなかった。また、巨石配置により滑らかな水はね（滯筋を対岸に寄せる）効果も確認された。

このことから、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の水はね効果により、砂州形状の保持、低水路線形の改善、結果としての河岸侵食の軽減が確認された。

図3.1.12に、現地実験による河岸防護工の効果を示す。

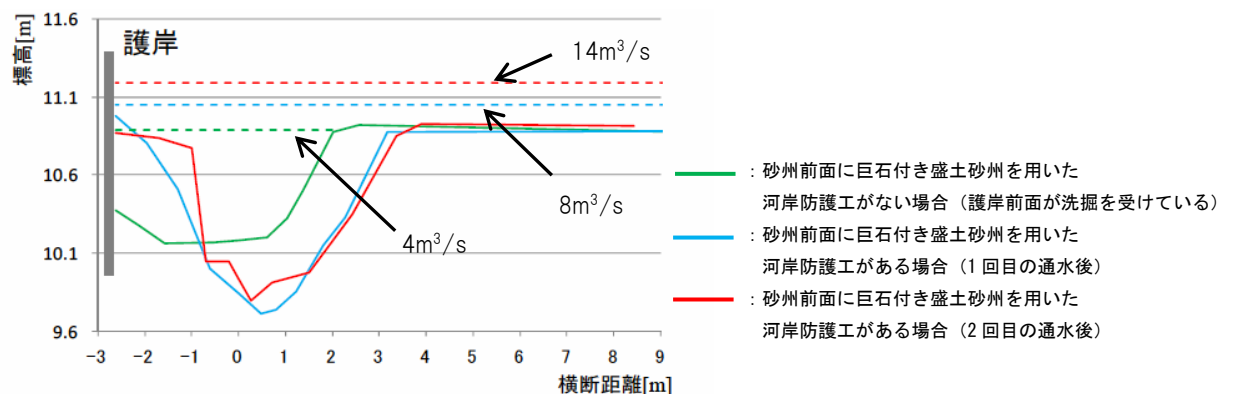


図 3.1.11 実験水路の横断形状と水位の状況

参考文献

1)福岡捷二、2005：洪水の水利と河道の設計法、森北出版

■砂州前面に巨石付き盛土砂州を用いた河岸護岸工がない場合



通水前 → 通水中 (4m<sup>3</sup>/s) → 通水後

■砂州前面に巨石付き盛土砂州を用いた河岸護岸工がある場合



通水前 → 通水中 (14m<sup>3</sup>/s) → 通水後

図 3.1.12 巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果



図 3.1.13 常願寺川の実際の滞筋に見立てた実験水路 (2011年 (平成23年) 実験)