

セグメント1河道における礫河原環境再生に向けた三峰川青島地区での実証的研究

POSITIVE STUDY OF GRAVEL BARS RESTORATION IN SEGMENT 1 RIVER AT AOSHIMA AREA OF THE MIBU RIVER

熊谷 利彦¹・本多 信二²・堀江 幸生³
Toshihiko KUMAGAI, Shinji HONDA, and Yukio HORIE

¹正会員 工修 パシフィックコンサルタンツ(株) 東京本社河川部 (〒163-0730 新宿区西新宿2-7-1)

²正会員 工修 パシフィックコンサルタンツ(株) 中部支社水工環境部 (〒451-0046 名古屋市西区牛島町2-5)

³正会員 国土交通省中部地方整備局天竜川上流河川事務所 調査課 (〒399-4114 駒ヶ根市上穂南7-10)

In the Tenryu River, The river morphology has dramatically changed during 40 years, because of building Dams and erosion control work as Sabo, and gathering sands and gravels from rivers. Because of reduction of gravel bars and a development of riparian woods, plants that depend on gravel bars like “Kawara Nogiku” are close to extinction. Our aim is to propose appropriate measures as physical index in Segment 1 river for self-sustaining recovery of gravel bars by experimental construction at Aoshima area of the Mibu River. In this study, we found six physical index for cutting gravel for self-sustaining recovery by monitoring flood's impact-response. And we confirm accuracy of these index by the experimental construction by impact of three floods among two years. Furthermore we found that non-dimensional critical shear stress of D30 is the important physical index of renewal of gravel bars.

Key Words : gravel bars, self-sustaining restoration, impact-response, monitoring

1. はじめに

天竜川では、過去の多目的ダムの建設や砂防事業、砂利採取等の人為的インパクトを受け本来の礫河原環境が失われた結果、砂州の固定化や河道内の樹林化が進行し、カワラノギク(ツツザキヤマジノギク)等の礫河原環境に依存する植物(以後、河原固有植物という)の生育場が減少し、絶滅が危惧される状況にある。

本研究では、上記の課題を踏まえ天竜川で失われつつある礫河原環境復元に向けて、天竜川支川三峰川青島地区での礫河原再生試験施工を通じ、セグメント1の急流河川における礫河原再生・維持するための設計条件の確立を目的としたものである。

2. 対象地区の概要

三峰川は流路延長約60.4km、流域面積約481km²の天竜川最大の支川である。流域の地形は急峻で、中央構造線が流域を貫通していることから、元来土砂生産の多い河川であった。しかし、昭和34年の美和ダム竣工による洪水規模・頻度、土砂供給の減少に加えて、昭和40～50年代にかけての砂利採取が行われた結果、流路の固定化・砂州の樹林化が進行し、元来の砂礫河原環境が失われることとなった。

試験施工区間は三峰川3.0kp～3.8kpに位置する河床勾配1b≒1/100、堤間幅約200m、河床材料代表粒径 $d_r=150\sim 200\text{mm}$ のセグメント1河道である(図-1参照)。礫河原

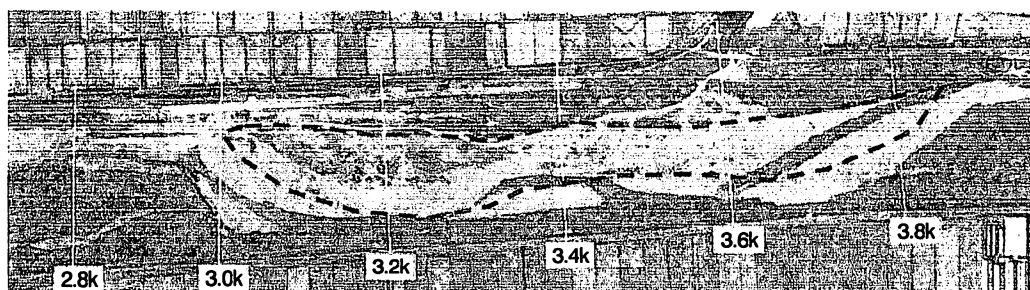


図-1 試験施工区間の現況 (H19.9出水後)

復元試験施工として、平成17年度末に図-1中の破線範囲の砂州を切り下げている。

3. 礫河原再生の設計条件の設定

(1) 礫河原再生条件設定の考え方

三峰川扇状地河道は、下流部は原風景に近い「礫河原の環境」が現存し、上流部は島状化・樹林化が進行し礫河原の著しい減少が見受けられる。島状化等が進行した上流部を礫河原に再生するにあたっては、下流部の礫河原が有する物理環境を模倣することで整備内容の形状等を具体化するものとした。

そのため、試験施工実施前の平成14年当時河道での実績の植生繁茂範囲および冠水幅・冠水頻度・摩擦速度より“礫河原が現存し河原固有植物が生育している州（原風景州）”と“樹林化が進行した州（復元州）”の物理環境を算定し、それぞれの環境を特徴づける物理量を指標として定め、その指標を用いて整備内容の物理的形状つまり、復元州を礫河原に再生する際の再生高さ・再生幅を定めるものとした。

(2) 具体的な物理指標の抽出

物理指標の整理にあたっては、礫河原の再生の場を創出（設計）するために用いる観点から、「掘削高」及び「掘削幅」の設定に寄与する物理指標に分類整理した。

掘削高の指標としては、現地観測で得られる「①比高差」、「表層河床材料」の指標（一次指標）と出水時の水位・流量等の水理条件と一次指標を組み合わせることによって得られる「③冠水頻度」・「④砂州上の無次元掃流力」の物理指標（二次指標）の計4つの指標を選定した。

掘削幅は安定な低水路幅管理の観点から設定することとし、既往調査結果で平均的な関係が明らかになっている「⑤ $Q_m \cdot I_b$ （平均年最大流量×河床勾配）と低水路幅の関係」や「⑥ Q_m 時の川幅水深比」等の二次指標を用い、現在の流況下において持続可能な低水路幅を検討した。

表-1は、河原固有植物生育環境における上記の評価指標を整理したものである。表-1の設定根拠を以下に整理した。なお「②河床材料」については、人為的に河床材料の粒度分布を目標とする分布に調整することは精度面・経済面から困難と考え、礫河原再生の場を創出するための物理指標としては用いないものとした。

表-1 三峰川において礫河原が成立するための物理指標

		評価指標	設定根拠
一次指標	①	比高差	現地観測値より、掘削後の比高差が1.7m以下であることを確認する。
	③	冠水頻度	1.25～2年確率流量で冠水する掘削高とする。
二次指標	④	砂州上の無次元掃流力 τ_*	$Q=440\text{m}^3/\text{s}$ （3.33年確率）で、30%粒径（40mm）での $\tau_* \geq 0.06$ となる掘削高とする。
	⑤	$Q_m \cdot I_b$ と低水路幅の関係	現況河道の物理条件より安定な低水路幅は100m程度である。
	⑥	Q_m 時の川幅水深比	原風景州での $B/H_m \geq 80$ とする。

a) 砂州状態と比高差の関連性

三峰川の原風景州、復元州の主流路沿い河岸高と平水位との差を比高差と定義し、比高差を砂州ごとに縦断的に集計した（図-2参照）。その結果、比高差は全体的には下流から上流へ向かうに従い拡大傾向にあり、その平均高は原風景州（0.5kp～4.0kp）で1.69m、復元州（4.0kp～8.0kp）で1.97mであった。

比高差の拡大により、砂州表面への冠水頻度や砂州表面の土砂移動の減少が予想されることから、礫河原復元にあたっては、原風景州での比高差を確保することが必要と考えられる。

b) 植物群落と冠水頻度の関連性の把握

三峰川で代表的に見られる植物群落の冠水頻度を整理した（図-4参照）。その結果、原風景州（0.0kp～4.0kp付近）における河原固有植物生育場の冠水頻度は1.25年～2年確率程度（約130～280 m^3/s 相当）に多いことを確認した。また、その生育範囲を平面的に見ると（図-5参照）、河原固有植物は洪水時の外力が大きく河床の攪乱を受ける現況みお筋（主流路）沿いに生育している一方、同様の冠水頻度の場に生育するツルヨシ・ヨシ群落やヤナギ林は洪水時の攪乱が少なく、細粒分の堆積しやすい旧流路沿いや霞堤開口部周辺に生育しており、平面的な棲み分けが見られたことから、河原固有植物の生育場の物理指標としては、冠水頻度に加え、主流路沿いに位置することも条件として併せて考慮した。

c) 無次元掃流力と河原固有植物生育箇所との関係

礫河原の更新は、礫河原表層土砂の移動に伴い表層植生が流失することで生じるものと考え、植生群落毎に表層土砂移動が可能となる流量規模を推定した（表-2参照）。なお、表層土砂移動の判定は、準二次元不等流解析により算定した断面平均エネルギー勾配 i_e 、および対象とする植生群落の平均水深 h より摩擦速度 u_* を算定し、それより得られる無次元層流 $\tau_* > 0.060$ を満足すること¹⁾を基準に評価した。

一般に河道の低水路幅形成には平均年最大流量 Q_m が支配的²⁾とされていることから、礫河原更新のための条件として Q_m 程度となる粒径条件を逆算したところ、D30（40mm）で3.33年確率流量（ $Q=440\text{m}^3/\text{s}$ ）時に上記指標を満足することから、これを管理指標として設定した。

なお、礫河原更新の支配粒径としてD60（100mm）を対象とする場合には、20年確率規模（ $Q=1,002\text{m}^3/\text{s}$ ）と推定され、かなり大きな流量規模となった。先に得られた河原固有植物生育場の冠水頻度は1.25～2年確率流量（約130～280 m^3/s ）であり、20年確率規模はこれと大きく異なること、また20年という期間は草本類から木本類への遷移に十分な期間であることから、草本類である河原固有植物の管理指標としてD60時の τ_* を用いることは不適切と判断した。

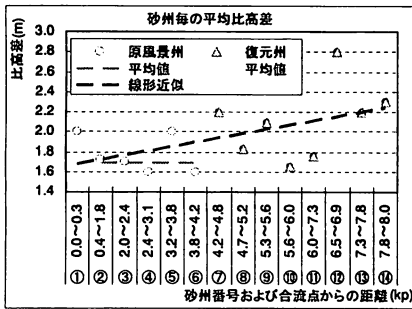


図-2 砂州の平均比高差の縦断分布

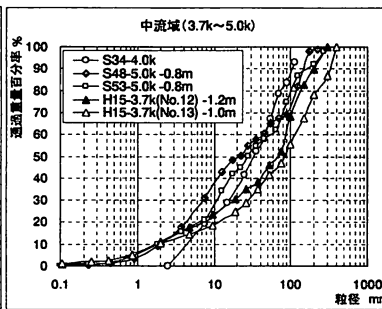


図-3 河床材料粒度分布

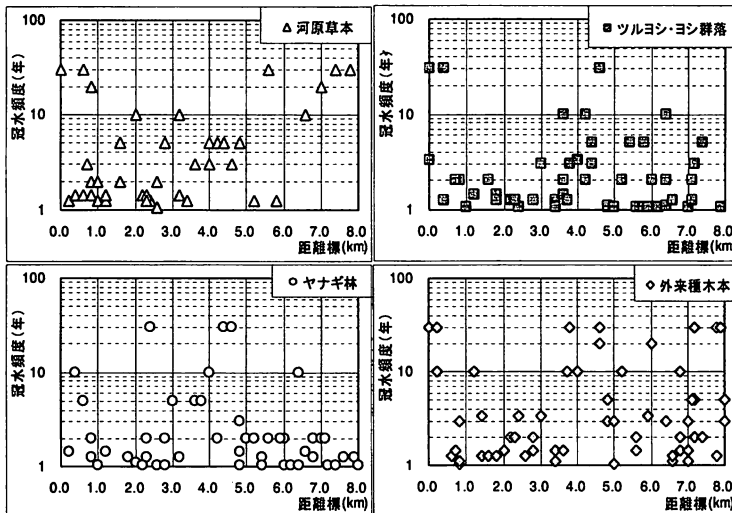


図-4 植物群落育成範囲と冠木頻度の関係 (H14年河道)

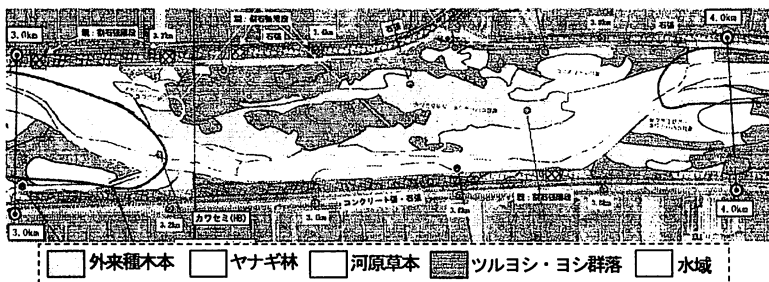


図-5 三峰川3.0kp~4.0kp植生分布図 (H14年河道)

d) 現状の流量条件下での安定的な低水路幅の設定

礫河原掘削幅の目安として、日本全国その他河川における平均年最大流量 Q_m と河床勾配 I_b の積と低水路幅 B の関係図⁹⁾に対し三峰川の既往データをプロットした(図-6参照)。現在の三峰川の平均年最大流量 Q_m および河床勾配 I_b 、河床材料粒径 d_R (表層河床材料D60を代用)等の物理条件のもとで安定する低水路幅 B は100m前後の範囲であることから、礫河原掘削後の低水路幅として100m程度を目安とした。

e) 平均年最大流量 Q_m 時の川幅水深比 B/H_m の把握

現状の三峰川扇状地区間の平均年最大流量時の川幅水深比および水面幅(=低水路幅)について整理した(図-7参照)。原風景州のうち特に礫河原環境が維持されている0.0~2.4kp区間において川幅水深比 B/H_m および水面

表-2 植生群落地点の無次元掃流力 $\tau > 0.060$ となる出水生起確率

調査地点	植物区分	D60 (mm)	$\tau > 0.060$ となる 遊率年	D30 (mm)	$\tau > 0.060$ となる 遊率年	D10 (mm)	$\tau > 0.060$ となる 遊率年
0.7-1	ツルヨシ・ヨシ群落	82.0	20.00	31.0	平均年最大	13.0	2.00
0.7-2	外来種木本	98.0	20.00	29.0	平均年最大	13.0	2.00
0.7-3	河原草本	98.0	20年以上	29.0	5.00	13.0	3.33
0.7-4	河原草本	98.0	20年以上	29.0	5.00	13.0	3.33
0.7-5	その他の草本	98.0	20年以上	29.0	20年以上	13.0	20年以上
0.7-6	その他の草本	98.0	20年以上	29.0	20年以上	13.0	20年以上
2.3-1	河原草本	91.0	20年以上	38.0	平均年最大	11.0	1.43
2.3-2	ヤナギ林	91.0	20年以上	38.0	3.00	11.0	1.43
2.3-3	河原草本	91.0	20年以上	38.0	3.33	11.0	2.00
2.3-4	外来種木本	91.0	20年以上	38.0	10.00	11.0	平均年最大
2.3-5	ヤナギ林	91.0	20年以上	38.0	10.00	11.0	平均年最大
2.3-6	河原草本	91.0	20年以上	38.0	平均年最大	11.0	平均年最大
2.3-7	ツルヨシ・ヨシ群落	91.0	20.00	38.0	1.43	11.0	1.25
3.7-1	その他の草本	170.0	20年以上	68.0	20年以上	12.0	20年以上
3.7-2	ツルヨシ・ヨシ群落	170.0	10.00	68.0	平均年最大	12.0	1.43
3.7-3	その他の草本	170.0	20年以上	68.0	20.00	12.0	10.00
3.7-4	その他の草本	170.0	20年以上	68.0	20.00	12.0	10.00
3.7-5	外来種木本	170.0	20年以上	68.0	20.00	12.0	10.00
3.7-6	その他の草本	170.0	20年以上	68.0	20.00	12.0	20.00
5.9-1	ツルヨシ・ヨシ群落	160.0	5.00	25.0	1.11	4.5	1.05
5.9-2	ツルヨシ・ヨシ群落	160.0	5.00	25.0	1.05	4.5	1.05
5.9-3	ヤナギ林	0.1	2.00	0.1	2.00	0.1	2.00
5.9-4	その他の草本	0.1	3.00	0.1	3.00	0.1	3.00
5.9-5	外来種木本	0.1	3.33	0.1	3.33	0.1	3.33
5.9-6	オギ群落	0.1	3.33	0.1	3.33	0.1	3.33
7.1-1	ツルヨシ・ヨシ群落	76.0	2.00	26.0	2.00	5.3	1.25
7.1-2	外来種木本	76.0	20.00	26.0	20.00	5.3	5.00
7.1-3	外来種木本	76.0	20.00	26.0	20.00	5.3	5.00
7.1-4	ヤナギ林	76.0	3.33	26.0	3.33	5.3	2.00
7.1-5	ツルヨシ・ヨシ群落	76.0	平均年最大	26.0	平均年最大	5.3	2.00
7.1-6	その他の草本	76.0	20.00	26.0	20.00	5.3	20.00
7.9-1	ヤナギ林	59.0	20.00	6.2	1.25	1.9	1.25
7.9-2	ツルヨシ・ヨシ群落	59.0	1.43	6.2	1.05	1.9	1.05
7.9-3	外来種木本	76.0	20.00	26.0	20.00	5.3	20.00

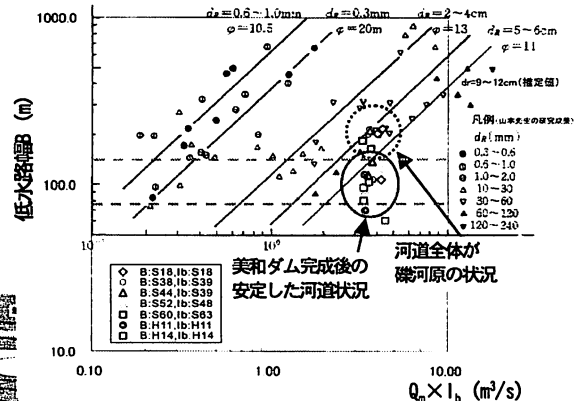


図-6 三峰川での低水路幅 B と $Q_m \cdot I_b$ との関係

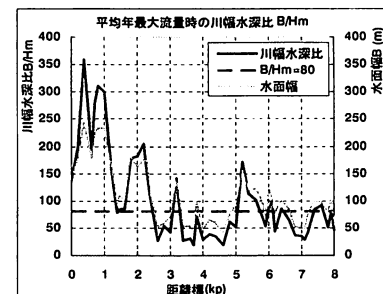


図-7 Q_m 時の川幅水深比・水面幅

幅 B に着目すると、d)で設定した低水路幅 B の目安(約100m程度)に相当する1.4kp~1.6kp付近の B/H_m が80程度であることから、掘削後河道では $B/H_m \geq 80$ となるよう掘削幅を設定した。

4. 現地試験施工を通じた設計条件の妥当性確認

3章で設定した物理指標に従い、平成17年度末に三峰川青島地区(3.0kp~3.6kp)右岸側の寄州を掘削した礫河原再生試験施工が行われた(図-9参照)。

以下では、表-3に示した試験施工竣工後の平成18年度、平成19年度の2カ年に発生した計3回の出水による試験施工区間へのインパクトとレスポンスを整理し、当初設定

した物理指標の妥当性について検証した。

表-3 試験施工竣工後の出水概要

洪水名	美和ダム ピーク流入量	高遠ダム ピーク放流量	三峰川 推定流量※	確率規模
H18.7.19	333.3	383.5	498.8	約1/5
H19.7.15	160.1	234.0	289.4	約1/2
H19.9.7	529.7	534.6	717.8	約1/10

(1) モニタリング調査からの物理指標妥当性の確認

3 出水前後の変化を現地モニタリング調査により把握した。モニタリング調査では、地形変化（河川横断測量、航空写真、瀬淵・流路調査）、表層植生分布（優占群落、河原固有植物、外来種）、横断植生分布、水生生物（魚類・底生生物）等を実施している。以下では、出水による礫河原環境の変化に着目するため、表層植生分布および瀬淵・流路調査結果を基に説明する。

a) 出水によるみお筋・瀬淵環境の変化

試験施工では砂州掘削に伴い低水路幅を拡大するため、拡大した低水路内での土砂移動が活性化することが期待された。このような観点を踏まえ、以下では出水によるみお筋・瀬淵環境の変化について経年的に追跡する。

図-10の瀬淵変化図より、試験施工直後には低水路への大粒径土砂の埋め戻しにより平瀬・早瀬の連続する環境であったが、H18.7出水後には瀬淵の連続する複数の流路が形成されたことが確認される。その後のH19.7出水では、出水後に細流路が失われたものの、主流路の形状・瀬淵位置に大きな変化は見られず、低水路部に河床変動を引き起こすほどの外力が作用しなかったものと推察される。更にH19.9出水では、出水前の流路形状が大きく変化し、砂州形状が単列砂州から複列砂州形状に変化したように見受けられる。

b) 出水による礫河原表層植生分布の変化

出水による表層植生分布の変化を図-10より追跡した。なお、試験施工区は3出水共に冠水が確認されている。

H18.7出水直前には竣工後に繁茂した植生群落が見られたが、H18.7出水を受けて流失し、植生群落面積の縮小が確認できる。

その約1年後のH19.7出水では、H18.7出水後に繁茂した植生群落が出水後も流失せず、試験施工区間表層に残っており、礫河原表層植生の更新が行われたかったことが示唆される。H19.9出水では、H19.7出水前から繁茂していた植生群落の大半が流失し、礫河原環境が回復し

た様子が確認できる。

H18.7出水やH19.9出水のような大規模出水では、礫河原表層からの植生流失に加え、出水時の流路の変化に伴いツルヨシ等の多年生草本群落やハリエンジュ等の木本群落も基盤となる砂州地形と共に流出するため、植生群落面積が大きく減少するものと考えられる。

試験施工区間全体の植生分布割合より（図-8参照）、裸地環境と河原固有植物（カワラハハコ・カワラヨモギ群落）を足し合わせると概ね7～8割程度の面積を占めている。カワラノギク等の河原固有植物は他の植物が進出しにくい裸地環境に生育することから、河原固有植物の生育環境が維持されているものと判断される。

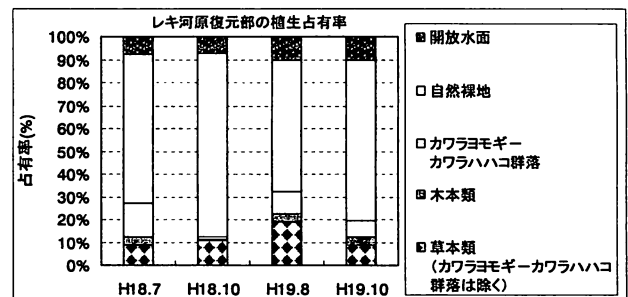


図-8 試験施工竣工後の出水概要

c) モニタリング調査からの物理指標妥当性の評価

以上のモニタリング調査結果より、礫河原表層植生の更新及びみお筋部・瀬淵環境の変化は、5年確率出水規模 ($Q_p=499\text{m}^3/\text{s}$) で生じることが確認された。

表-1に示した当初指標と比較すると、礫河原更新においては表層土砂移動・植生流失が重要と考えられることから、冠水頻度は礫河原更新の主な指標となり得ず、礫河原表層に作用する無次元掃流力 τ_* が主たる指標となる可能性が示唆された。

(2) 水理解析からの物理指標妥当性の確認

試験施工後の3出水ピーク流量時外力を平面二次元流況解析により算定し、礫河原更新実績との比較を通じて礫河原更新に寄与する物理指標である無次元掃流力 τ_* の評価の妥当性を確認する。

無次元掃流力 τ_* の評価においては、礫河原表層に作用する外力規模（摩擦速度 u_* ）および評価対象粒径 d の2つのパラメータが必要となる。ここでは、外力として実績3出水ピーク流量、評価対象粒径として表層河床材料粒径のD10(2mm)、D30(40mm)、D60(100mm)を抽出し、それぞれの無次元掃流力 τ_* を算定した。なお、図-11中の破線内が試験施工での掘削区間に該当する。

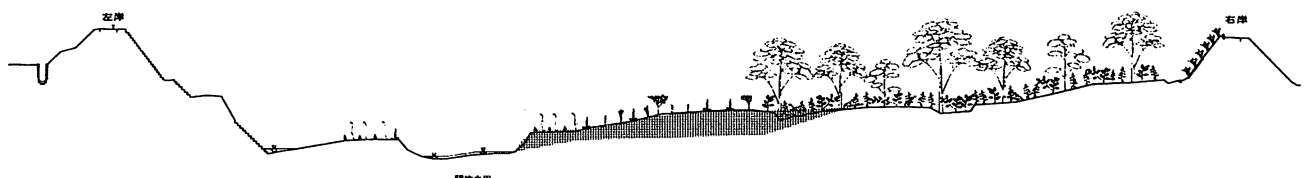


図-9 青島地区試験施工イメージ図

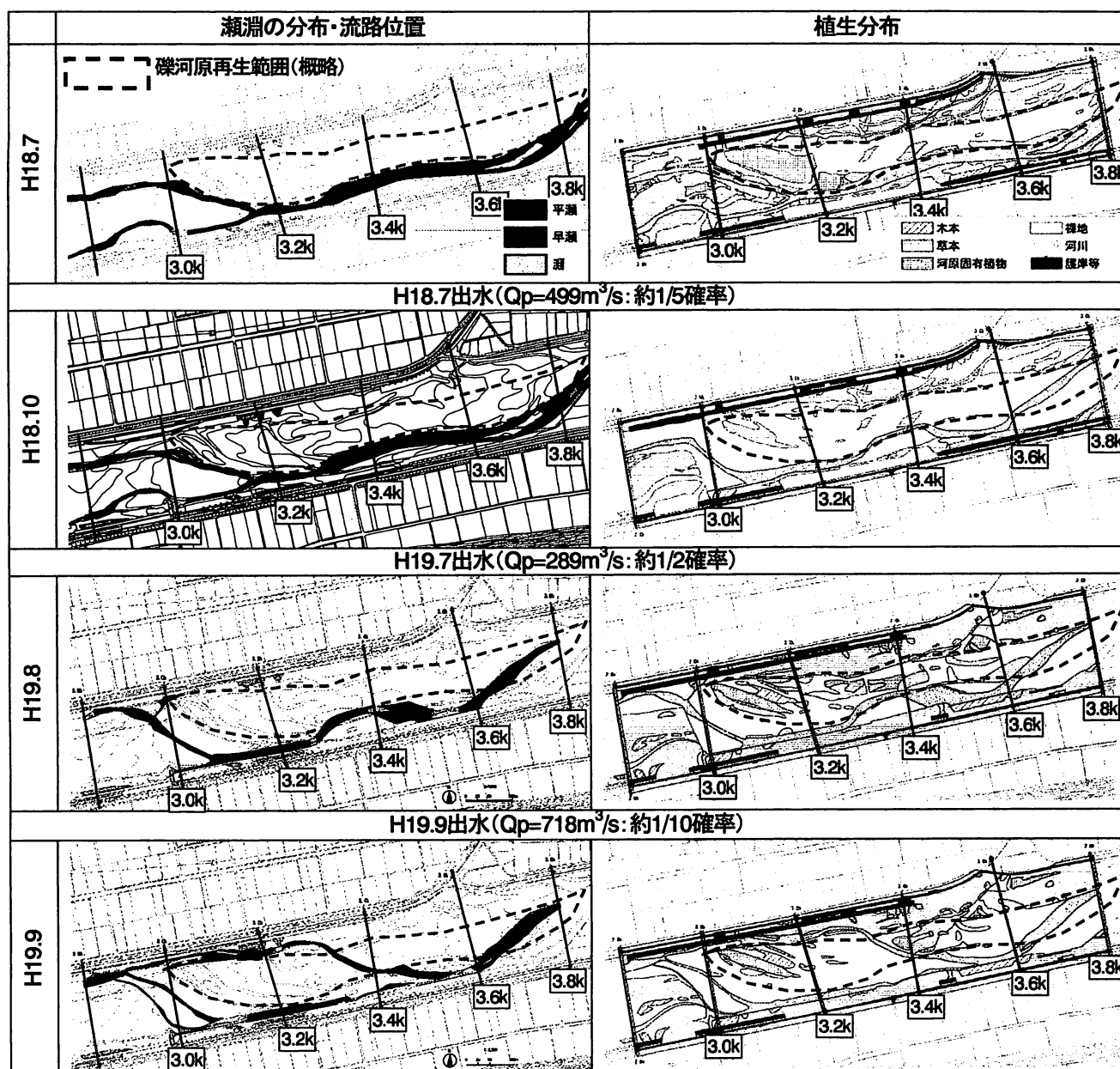


図-10 出水前後での流路(瀬淵)・表層植生分布の変化

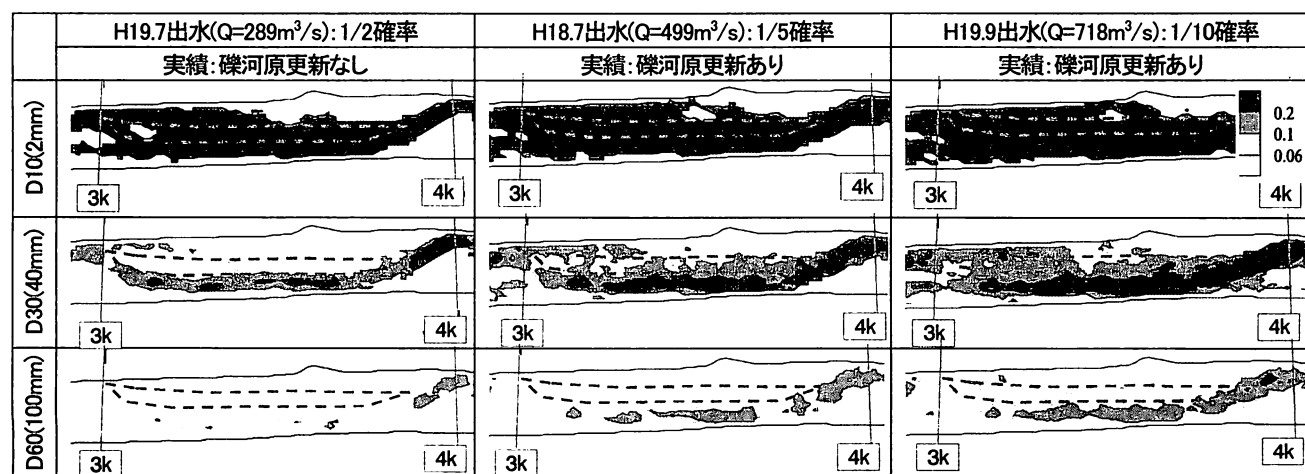


図-11 平面二次元解析による出水ピーク流量時の無次元掃流力 τ^* の平面分布

図-11より、掘削区間全体で $\tau_s > 0.060$ となる条件に着目すると、H19.7出水ではD10(2mm)、H18.7出水ではD30(40mm)が該当することが確認できる。

H18.7出水時には現地にて礫河原更新されており、土砂移動実態と土砂移動判定を合わせて考慮すると、礫河原更新の物理指標として「 $Q=500\text{m}^3/\text{s}$ 規模出水(5年確率)時にD30粒径(40mm)が移動する」という指標は妥当と考えられ、当初設定指標は、流量規模(3.33年確率： $Q=440\text{m}^3/\text{s}$)が実績と比べて若干小さいものの、当初概ね妥当と判断される。

三峰川のようなセグメント1河川の河床材料粒度分布は、図-3に示した様に、100mm以上の大粒径材料が河床材料の骨格間に砂礫等の細粒土砂が存在する構造となっている。礫河原環境に依存する河原固有植物は、このような環境が生育基盤となること⁴⁾から、三峰川での礫河原更新においては、礫成分に相当するD30粒径(40mm)の移動条件を礫河原更新指標とすることは妥当と考えられる。

5. おわりに

三峰川における現況の礫河原環境を維持するための物理指標を抽出し、それを踏まえた礫河原再生試験施工を行った結果、試験施工後2カ年において礫河原環境が維持されていることが確認されており、当初設定指標が妥当であることが確認された。

特に、礫河原掘削高の設定指標として、D30粒径の移動開始条件とすることの妥当性が確認された。これは礫河原更新が河床の主構成材料ではなく、主構成材料間に存在する細粒土砂移動に依存することを示唆しているものである。

今後、三峰川および三峰川合流点下流の天竜川本川において礫河原再生を行う際には、今回得られた

知見を基本として、次の課題に着目しつつ進めてゆく予定である。

a) 洪水発生間隔による影響評価

今回の試験施工では2カ年に3出水が発生しており、過去の実態と比べて出水頻度・規模が大きいものであった。今後は出水規模・頻度が小さい状況での礫河原環境の維持可能性について現地モニタリングを通じて観察してゆく必要がある。

b) 河床勾配・河床材料粒径の違いによる影響

天竜川本川は三峰川に比べて河床勾配 $I_b=1/200\sim 1/300$ と緩勾配であり、また河床材料粒径も小さい特徴がある。礫河原更新の物理指標として着目したD30粒径についても天竜川本川では異なることから、天竜川において施工を行う際には、河道特性の違いに着目してD30粒径評価の妥当性を追跡してゆくことが必要である。

参考文献

- 1) 潮崎、服部、近藤、徳田、吉田：礫州上草本植生の流出機構に関する現地観測と考察、水工学論文集、第44巻、pp825-830
- 2) 山本晃一：構造沖積河川学—その構造特性と動態—、pp149-151、2004
- 3) 山本晃一：河道特性論、土木研究資料、第2662号、pp37-50、1988
- 4) 島谷幸広、高野匡裕：多摩川永田地区における学術研究と河道修復（順応的管理の実践と課題）、河川技術論文集、第7巻、pp381-386、2001

(2008.4.3受付)