

揖保川三川分派地区における環境整備計画 (自然再生)の取り組みについて

ENVIRONMENTAL PLAN (NATURE RESTORATION)
IN THE THREE-WAY BRANCHING AREA OF THE IBO RIVER

竹内 義幸¹・西岡 昌秋²・羽尻 光宏³・坪井 基展⁴・佐々木 昌俊⁵
Yoshiyuki TAKEUCHI, Masaaki NISHIOKA, Mitsuhiro HAJIRI,
Motonobu TSUBOI and Masatoshi SASAKI

- ¹ 正会員 (株) 建設技術研究所 大阪本社 河川部 中国河川室長 (〒732-0052 広島市東区光町 1-13-20)
² 正会員 (株) 建設技術研究所 大阪本社 河川部 主幹 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1 丁目 2-15)
³ (株) 建設技術研究所 大阪本社 環境室 主幹 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1 丁目 2-15)
⁴ (株) 建設技術研究所 大阪本社 環境システム部 主幹 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1 丁目 2-15)
⁵ 正会員 (株) 建設技術研究所 大阪本社 河川部 技師 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1 丁目 2-15)

The so-called "Sansenbunpa Area" (Three-way Branching Area), located along the lower reaches (two to four kilometers from the river mouth) of the Ibo River, is a sandbar area along the river and its two branches, the Naka River and the Moto River. The gravel riverbeds in the area have become smaller in recent years because of the decreasing frequency of flood disturbances.

Currently, a nature restoration plan is under development for the Sansenbunpa Area. In the Naka River, experimental work designed for gravel riverbed restoration was carried out in 2003. After undergoing three floods in 2004, the gravel riverbeds have been maintained to this day.

This paper reports on the channel setting method used for the purpose of gravel riverbed restoration, and also reports the results of the verification, made from the viewpoint of the physical conditions of the river channel, of the mechanism by which the gravel riverbeds were restored by the 2004 floods.

Key Words : Nature restoration, gravelly riverbed, dimensionless attractive force, Ibo River, Sansenbunpa area

1. はじめに

三川分派地区は、揖保川下流部(河口から2km~4km付近)に位置し、揖保川と派川中川・元川に挟まれた中州地区である。河床勾配が1/500前後と急峻で、河床材料は代表粒径20~30mm前後と大きく、兵庫県下でも、まとまった礫干潟は、ここ揖保川と近隣の市川にしかない。

その一方で、昭和50年代後半から、洪水による冠水・攪乱環境が変化し、破壊と再生を繰り返す物理環境のバランスが崩れ、中州、中川の砂州が安定化し、土砂が堆積、さらに草地化を助長し、三川分派地区の特徴的な砂礫河原の環境が失われつつあった。

三川分派地区では、平成13年度より砂礫河原の復元を目指した自然再生計画を検討し、段階施工とモニタリングに着手している。このうち、中川では、草地化、樹林化が進行していた砂州の砂礫河原の復元を目指した河道形状を検討し、平成16年3月に試験施工を実施した。その後、平成16年8月、9月、10月に平均年最大流量を上

回る3度の洪水を受け、平成18年4月現在、砂礫河原の維持が確認できている。

本稿では、中川における砂礫河原復元のための河道形状の検討内容と、平成16年の洪水時の土砂移動特性を分析し、砂礫河原が維持できているメカニズムを河道の物理環境から検証した結果を報告する。

2. 礫河原減少の要因検討

(1) 分派環境の変化

昭和50年代前半までは、年数回の揖保川から中川への分派により、中州及び中川周辺での砂礫河原環境が維持されていた(写真-1参照)。

昭和50年代後半から、横堰およびその下流の中州・中川の土砂堆積、草地化・樹林化により、年1回程度の洪水では分派しない環境に変化し、それに伴い河原を生息地とする動植物の減少、セイタカアワダチソウ、アレ

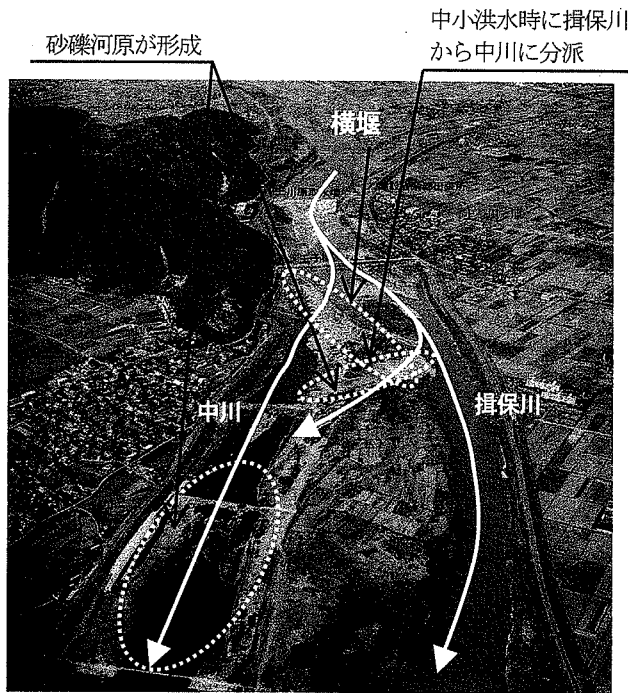


写真-1 三川分派地区・砂礫河原形成時期（昭和52年撮影）

チウリなど外来植物が侵入し、砂礫河原が減少した（写真-2 参照）。こうした傾向は、不可逆的に一方向的に進んでいることから、今後、さらに砂礫河原の環境の減少する可能性があった。

(2) 原因の特定と目指すべき姿

砂礫河原が減少した人為的要因としては、主に上流で実施された昭和40～50年代の砂利採取（図-2 参照）による土砂供給量の減少で、中川の平均河床高は、図-3 に示すように、最大約2mの河床低下が生じた。また、揖保川から中川への分派機能を有していた中州では、中小洪水で、分派・攪乱が発生しにくい環境に移行し、草本の繁茂、樹林化が進行、砂礫河原が減少し（図-1 参照）、さらに洪水時に土砂が堆積しやすい環境となった。その

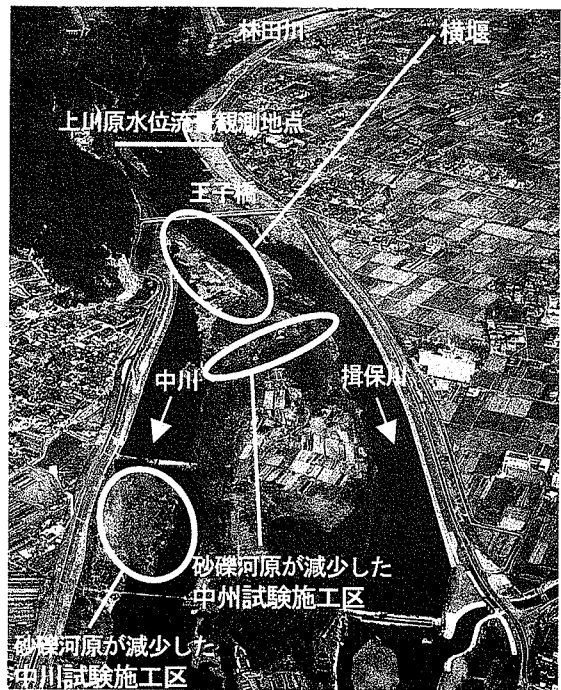


写真-2 三川分派地区・砂礫河原減少時期（平成14年撮影）

結果、砂利採取禁止以降でも、土砂堆積により中川の平均地盤高が上昇し、その結果、図-4 に示すように、河床との比高差が拡大した。

中川の砂礫河原は、本来、洪水時に攪乱・破壊される動的な環境であったが、揖保川からの分派頻度の減少・攪乱頻度の減少により、草地化・樹林化へ不可逆的に環境の劣化が進行しつつあった。中州の分派流路でも同様の変化が進行し、人間の手を加えない限り、河川環境の劣化が進行していくものと考えられた。

そこで、草地化、樹林化した河原、分派流路切り下げにより、洪水時の土砂の掃流力、平常時の潮位変動による冠水で、課題となっている外来種の侵入抑制、河原性植物の生育・生息適地の復元を整備目標とし、先行して中川側での礫河原復元を実施することとした。

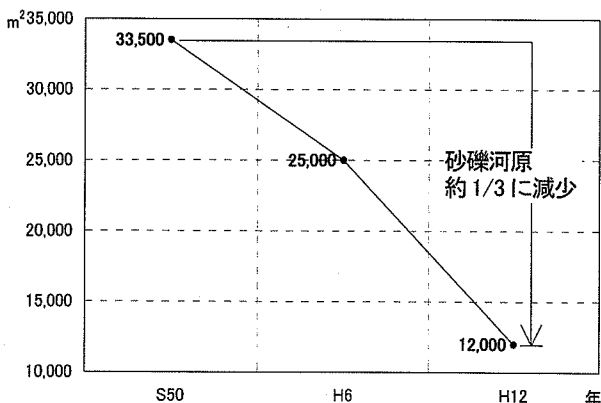


図-1 河原面積の変遷

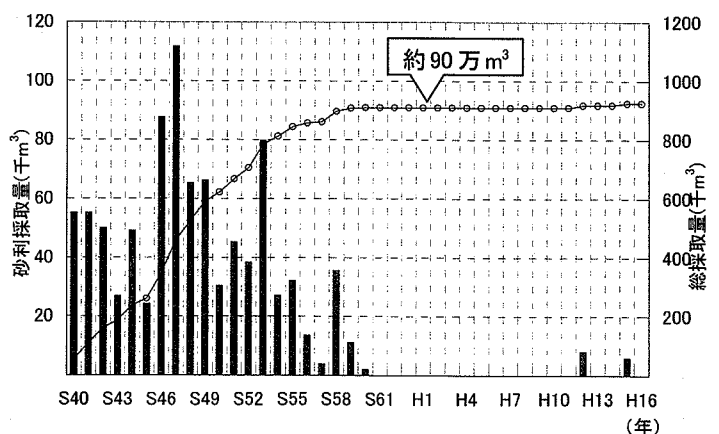


図-2 砂利採取（許可量）の実績

中州地盤高と揖保川・中川の平均河床高の変化

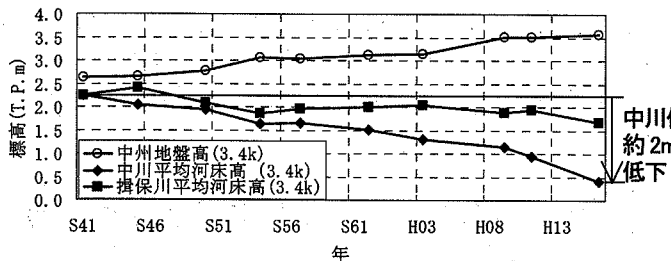


図-3 中州地盤高と揖保川・中川の平均河床高の変化

平均河床高と中州の比高の変化

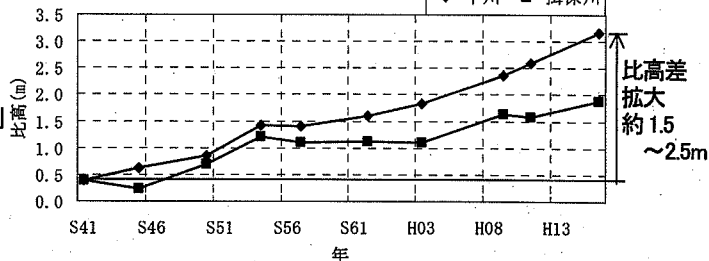


図-4 揖保川・中川の平均河床高と中州の比高の変化

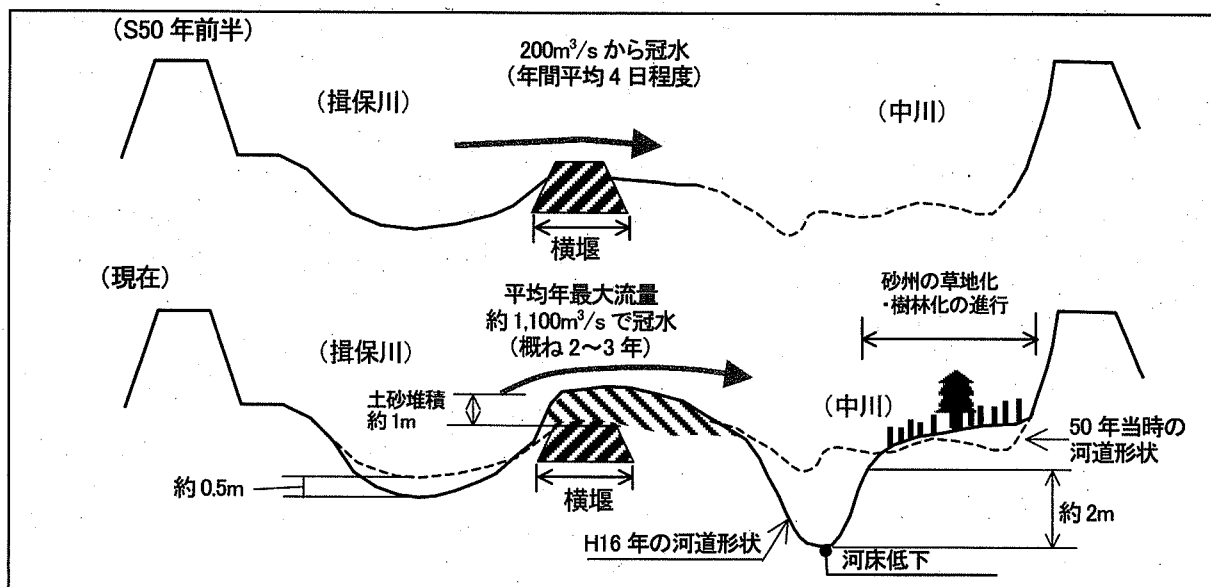


図-5 揖保川・中川の冠水・分派頻度の変化

3. 目標とした河道物理環境

(1) 切り下げ高の設定

試験施工地区上流に位置する礫河原が維持されている中州を参考にすると、礫河原と平均水位との比高は10cmであることがわかった。このことから、試験施工区における礫河原復元のための切り下げ高を10cmとした。試験施工区の下流には床固めが存在し、平常時の水位はこの天端高で既定される。そこで、天端高が T.P.+0.9mであることを考慮して、切り下げ高を T.P.+1.0m と設定した。また、堤防法尻部を覆土による緩勾配化として、

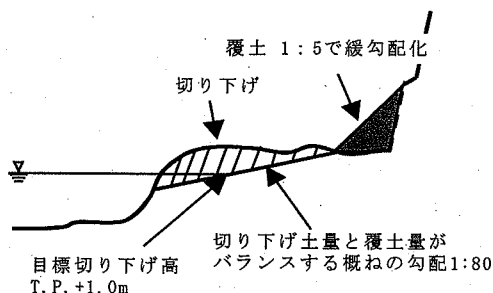


図-6 中川試験施工区の切り下げ断面

覆土と切り下げ土が概ねバランスする勾配を切り下げ区間の勾配とした。

(2) 洪水時の水理解析と移動限界掃流力

平面二次元流況解析¹⁾を用いて、(1)で設定した切り下げ高で砂礫河原を維持できるかどうかを検討した。平面二次元流況解析モデルについては、三川分派地区を含み、その上流に位置する上川原観測所を上流端とし、河口を下流端とする約4km区間で、揖保川と中川の横堰による分派および中川と元川の分合流を考慮した。

まず、洪水時の無次元掃流力を、平面二次元流況解析から求められる水深およびエネルギー勾配と代表粒径から算定した。

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{sgd_R}, u_*^2 = gRI \quad (1)$$

ここに、 u_* ：摩擦速度、 s ：河床材料の水中比重(≒1.65)、 d_R ：河床材料の代表粒径、 R ：径深、 I ：エネルギー勾配である。

次に、移動限界掃流力を、(2)式に示す芦田・道上²⁾が提案した Egiazaroff による粒径別移動限界掃流力の修正

式を用いて算出した。

$$\frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*cm}} = \left[\log_{10} 19 / \left\{ \log_{10} \left(19 \frac{d_i}{d_m} \right) \right\} \right]^2 \left(\frac{d_i}{d_m} \right), \frac{d_i}{d_m} \geq 0.4 \quad (2)$$
$$\frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*cm}} = 0.85 \quad \frac{d_i}{d_m} < 0.4$$

ここに、 d_i ：第*i*クラスの砂の粒径、 τ_{*ci} ：粒径 d_i に対する無次元掃流力、 τ_{*cm} ：平均粒径 d_m に対する移動限界掃流力である。

砂州上に植生等がなく、裸地である場合、平均粒径の無次元掃流力は0.06となる³⁾。ある洪水規模における無次元掃流力を算定し、それが0.06以上あれば、礫が移動すると考える。なお、本検討では、粒径加積曲線からの通過粒径の算出の容易さから、平均粒径を60%通過粒径で代用する。

一方、砂州上に植生が繁茂している場合、洪水時の無次元掃流力が平均粒径程度の移動限界掃流力である0.06を上回ったとしても、植生は完全には破壊しない。植生が完全に破壊するには、最大粒径程度の礫が移動する必要があるとされている^{3), 4)}。中川での最大粒径と代表粒径との比は、 $d_{max}/d_R=6.3$ であるから、(2)式より $\tau_{*cmax}/\tau_{*cm}=2.3$ となり、 $\tau_{*cmax}=0.14$ となる。

表-2 粒径別無次元掃流力の設定

河川	60%通過粒径		最大粒径	
	粒径 (cm)	τ_{*cm}	粒径 (cm)	τ_{*cmax}
中川	3.0	0.06	19.0	0.14

(3) 礫河原形成の予測

次に、流量規模別に平面二次元流況解析を行って、無次元掃流力を算定し、代表粒径と最大粒径が移動する流量を逆算した。この結果、図-7に示すように、代表粒径の移動限界掃流力を発生させる流量は650m³/s、最大粒径の移動限界掃流力を発生させる流量は1,300m³/sとなった。これらの流量の再現期間を上川原地点のS49～H16の31年間の流量から推定した。その結果、650m³/sでは1.8年、1,300m³/sでは3年であった。

礫河原が復元した状態であれば、650m³/sの洪水が生起することで、その状態を維持できる。しかし、この流量

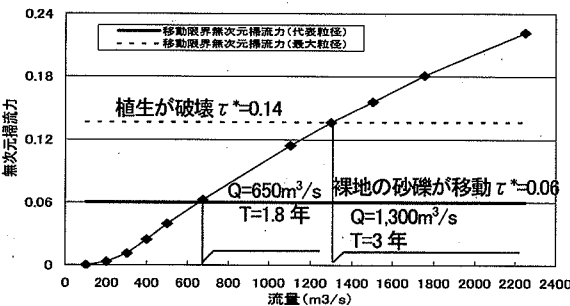


図-6 中川側の流量規模別無次元掃流力

規模以上の洪水が数年間にわたり発生しない場合には、草本繁茂が進み、礫河原が維持されなくなる可能性がある。そのような状態になると、植生を破壊して、再度、礫河原が復元するためには、1,300m³/s 程度以上の規模の洪水が必要である。

4. 試験施工後のモニタリング調査による礫河原維持の検証

平成16年3月に施工した礫河原再生を目指した中川試験施工区において、平成16年洪水時の土砂移動特性を分析し、礫河原維持の検証および中川の砂礫河原維持の可能性を平面二次元流況解析の結果を用いて検証した。

(1) 試験施工後の状況

平成16年から平成17年にかけての上川原地点の日平均水位を図-8に、平成16年および平成17の洪水時のピーク流量を表-3に示す。また、整備前から現在に至るまでの状況を写真-3に示す。平成16年には8月、9月、10月と3度の洪水が発生し、それらはいずれも2,000m³/s規模であった。また、平成17年は669m³/sであった。

中川の試験施工区においては、平成16年3月の切り下げ試験施工1ヶ月後において、表層には網粒工砂、シルト分が礫間に詰まった状態であったが、約4ヶ月後には草本が回復してきた。その後、8月に2,000m³/s規模の出水により礫河原が復元され、以後、9月、10月の2度の出水で河原が維持されていた。平成17年5月には河原性植物が再生したが、礫河原は維持され、現在に至っている。その間、平成17年9月には669m³/sの出水を受けている。

平成16年の3洪水における揖保川・中川に分派量、中川河原再生地区での移動限界粒径および無次元掃流力の時間変化を、平面二次元流況解析で推定した結果を図-8および図-9に示す。

これらの結果をもとに、平成16年洪水時の揖保川・中川に分派特性と土砂移動特性について考察した結果を以下に示す。

- ・増水期は、横堰の越流開始で、中川への分派流量が急増し、ピーク流量時での分派比率は揖保川:中川=1:1.6～1.8程度である。一方、洪水低減期は、中川側への分派量が揖保川より多い状態が継続し、その後、横堰からの越流が止まる。
- ・洪水による移動限界粒径は、揖保川と中川で傾向が異なる。中川側では、横堰の越流開始で、揖保川の移動限界粒径を大きく上回り、洪水ピーク時で揖保川側の2～3倍程度の値を示す。さらに、ピーク後も中川側の移動限界粒径が大きい状態が維持される。
- ・無次元掃流力で評価すると、中川側では、3洪水とも最大粒径が移動する規模である。

表-3 平成 16 年洪水の上川原地点ピーク流量

洪水	ピーク流量 (m^3/s)	備考欄
平成 16 年 8 月 31 日	2,004	台風 16 号
平成 16 年 9 月 29 日	2,249	台風 21 号
平成 16 年 10 月 20 日	1,926	台風 23 号
平成 17 年 9 月 7 日	669	台風 18 号
平均年最大流量	1,104	S49～H16 平均値

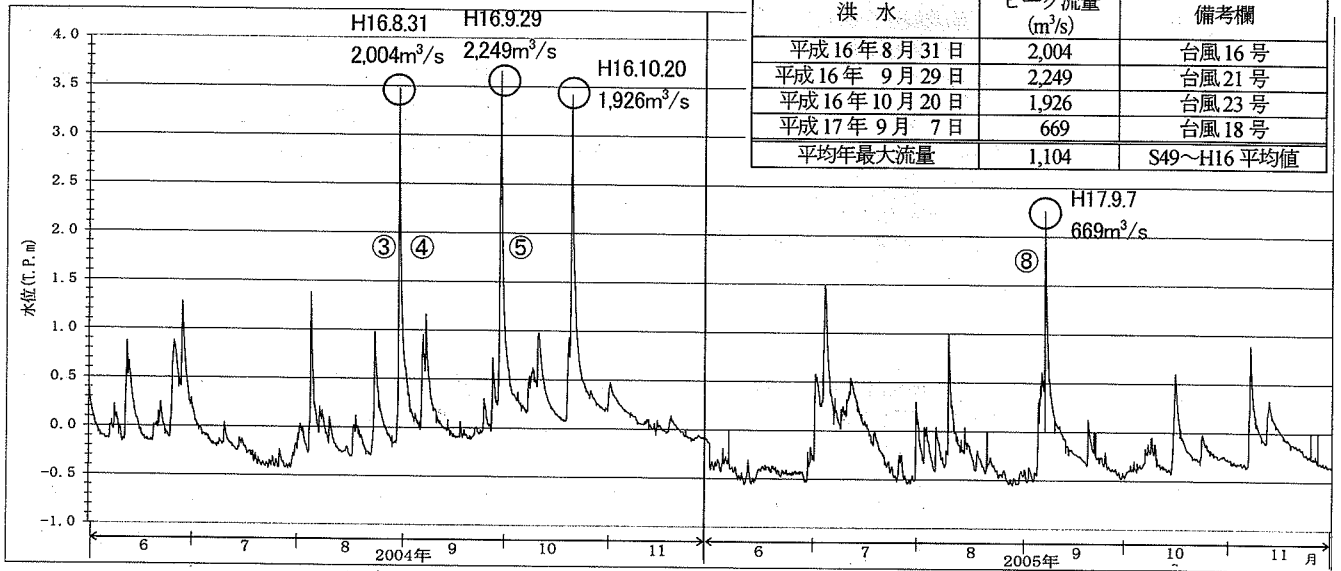


図-8 揖保川・上川原地点水位 (H16～H17 年)

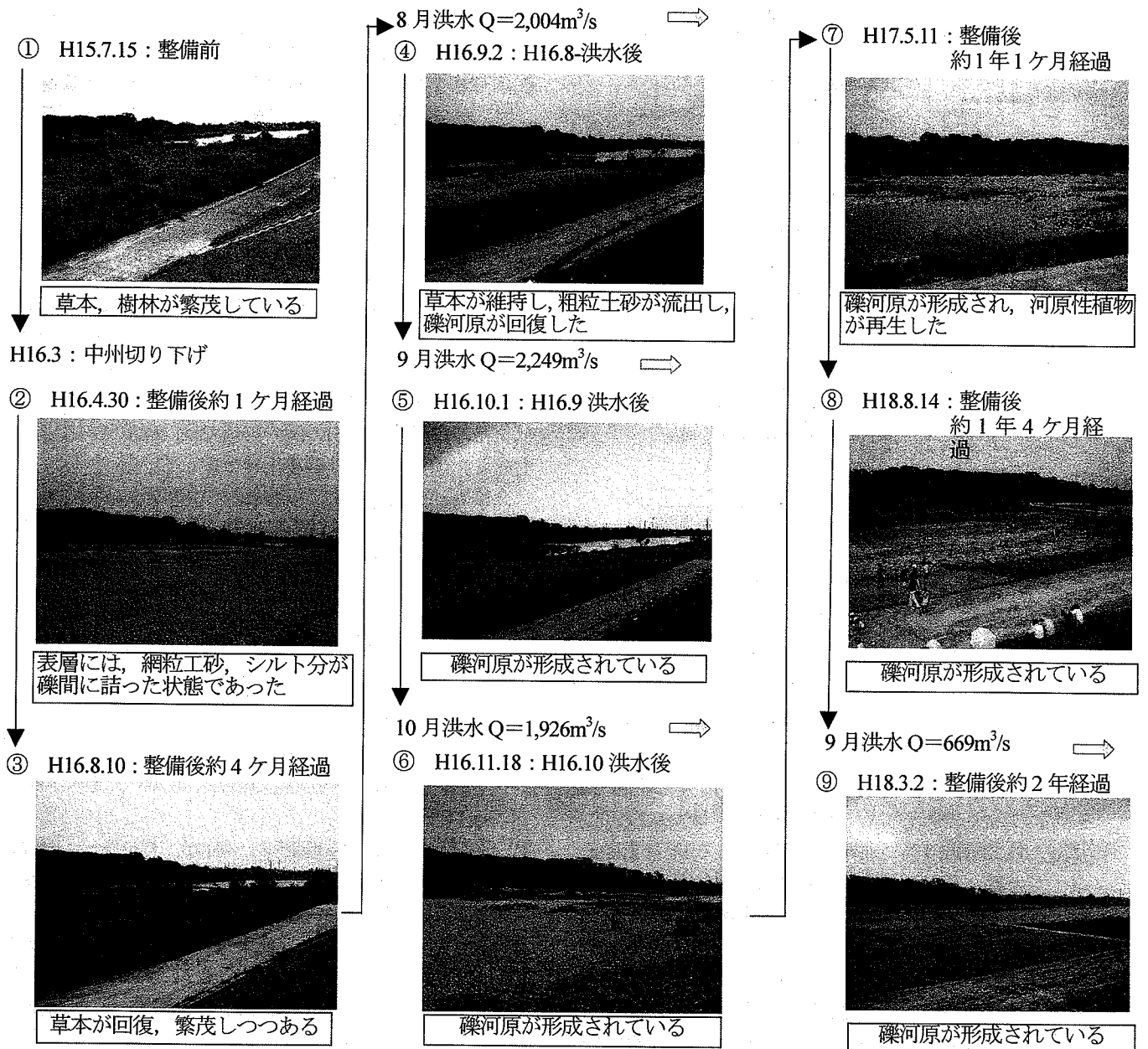


写真-3 中川試験施工区の整備前後の状況

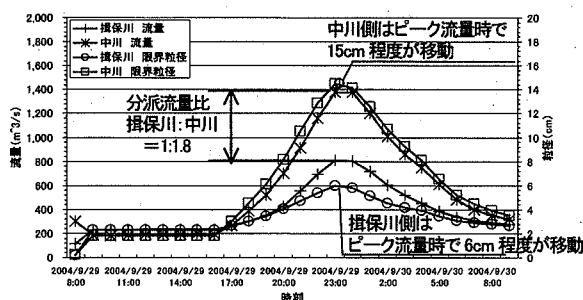


図-9 平成16年9月洪水時の流量・土砂移動特性

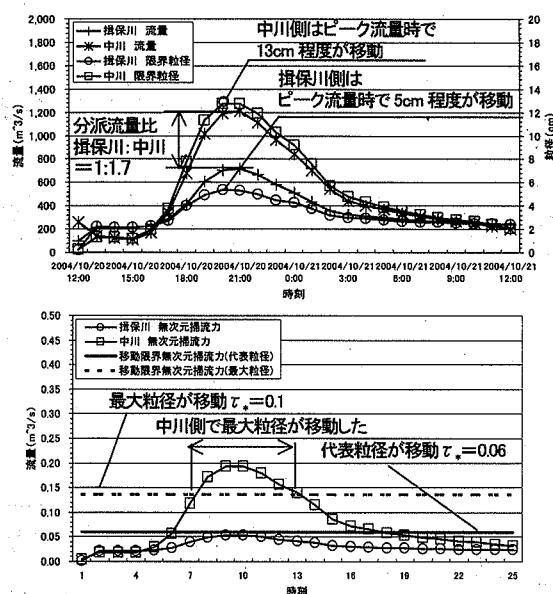


図-10 平成16年10月洪水時の流量・土砂移動特性

(2) 礫河原形成の検証

写真-3に見られるように、平成16年3月の切り下げ試験施工後、砂州上に草本の回復がみられたが、平成16年8月洪水で草本が破壊されて砂礫河原が形成されている。

図-9および図-10に示すように、平成16年に生じた3洪水の無次元掃流力は、全ての洪水で、最大0.2程度を示し、最大粒径の移動限界掃流力である0.14を上回る。このことは、草本の破壊のためには、最大粒径程度の移動限界掃流力が必要であるとの仮説を裏付ける結果となっている。

さらに、洪水末期に横堰による中川への越流が止まると、上流からの細粒土砂の供給が遮断されることにより、中川の河原再生地区においては、土砂の堆積が緩和され

る。このことも、砂礫河原が維持できる一つの要因と考えられる。

なお、平成17年の年最大ピーク流量は $669\text{m}^3/\text{s}$ であり、礫河原の維持に必要な流量である $650\text{m}^3/\text{s}$ を上回った。実際、平成18年4月現在、礫河原が維持されていることを確認している。

5. 結論

- (1) 礫河原の維持される物理環境を、洪水時の無次元掃流力と洪水発生頻度、平水時の水位と礫河原との比高から設定した。
- (2) 平成16年の3度の洪水を外力とした流況解析を行い、中川試験施工地区における無次元掃流力を推定した。その結果、いずれの洪水においても最大粒径に相当する移動限界掃流力0.14を上回る。このことは、草本の破壊のためには、最大粒径程度の移動限界掃流力が必要であるとの仮説を裏付ける結果となっている。
- (3) 河原再生地区における礫河原維持に必要な流量を推定した結果、 $650\text{m}^3/\text{s}$ 程度であることがわかった。実際、平成17年の年最大ピーク流量はこれを上回り、平成18年4月現在、礫河原が維持されている。

6. おわりに

平成18年4月現在、中川の礫河原は維持されている。しかし、裸地を攪乱させる流量規模である $650\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水が発生しなければ、草地に戻る可能性もあることから、モニタリングを継続する必要がある。

また、揖保川と中川の中州では、礫河原の復元を目指した切り下げの試験施工を予定している。

今後も、中川試験施工区および中州試験施工区の整備による三川分派地区全体としての自然再生効果や影響等を検証していく予定である。

参考文献

- 1) 長田信寿：一般座標系を用いた平面二次元非定常流れの数値解析，水工学における計算機利用の講習会講義集，pp61-76，1999。
- 2) 芦田和男，道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告書，第206号，土木学会，pp. 59-60，1972。
- 3) 瀬崎智之，服部敦，近藤和仁，徳田真，藤田光一，吉田昌樹：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，pp. 825-830，2002。
- 4) 服部敦，瀬崎智之，伊藤政彦，末次忠司：河床変動の観点で捉えた河原を支える仕組みの復元—多摩川永田地区を事例として—，河川技術論文集，第9巻，pp. 85-90，2003。

(2006. 4. 6 受付)