

河川の地形変動特性を考慮した自然再生

京都大学防災研究所
竹林洋史

河床・流路形態？
河床変動？

河床・流路形態？河床変動？

別表1 査読分野一覧

- (1) 水文気象プロセス
- (2) 生態水文
- (3) 気候変動とリスク評価
- (4) 降水
- (5) 流出解析
- (6) 水文統計／水文情報
- (7) 雪氷水文
- (8) 地下水・浸透
- (9) 流域管理・洪水リスク管理
- (10) 流域土砂動態
- (11) 流砂
- (12) 河床形態・流路形態
- (13) 河床変動
- (14) 水災害・防災・減災
- (15) 水害・氾濫の水理
- (16) 管路・局所流
- (17) 開水路の水理
- (18) 密度流・噴流・拡散
- (19) 水理現象の数値解析
- (20) 流体力・流体振動・波動
- (21) 観測技術
- (22) 河道・流域の環境・環境評価
- (23) 流域の流出負荷・河川の水質
- (24) 水生生物（藻類，底生動物，魚類など）・魚道
- (25) 河道の植生
- (26) 河道の物理環境
- (27) 湖沼・貯水池の水理と環境
- (28) 沿岸・河口域の水理と環境
- (29) 津波
- (30) その他

(12) 河床形態・流路形態
(13) 河床変動



(12) 河床形態・流路形態
(13) (河床形態・流路形態による河床変動以外の)
河床変動

河床・流路形態？河床変動？



交互砂州



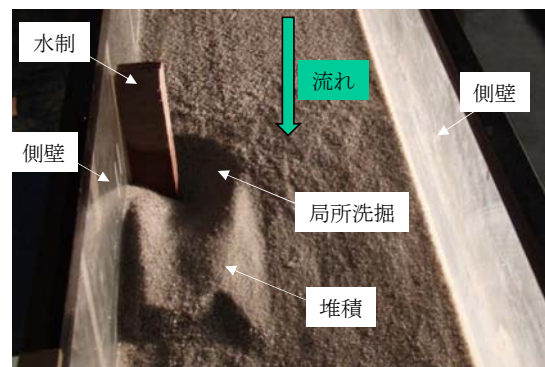
蛇行流路

河床・流路形態

河床面・河岸線形等の不安定解析

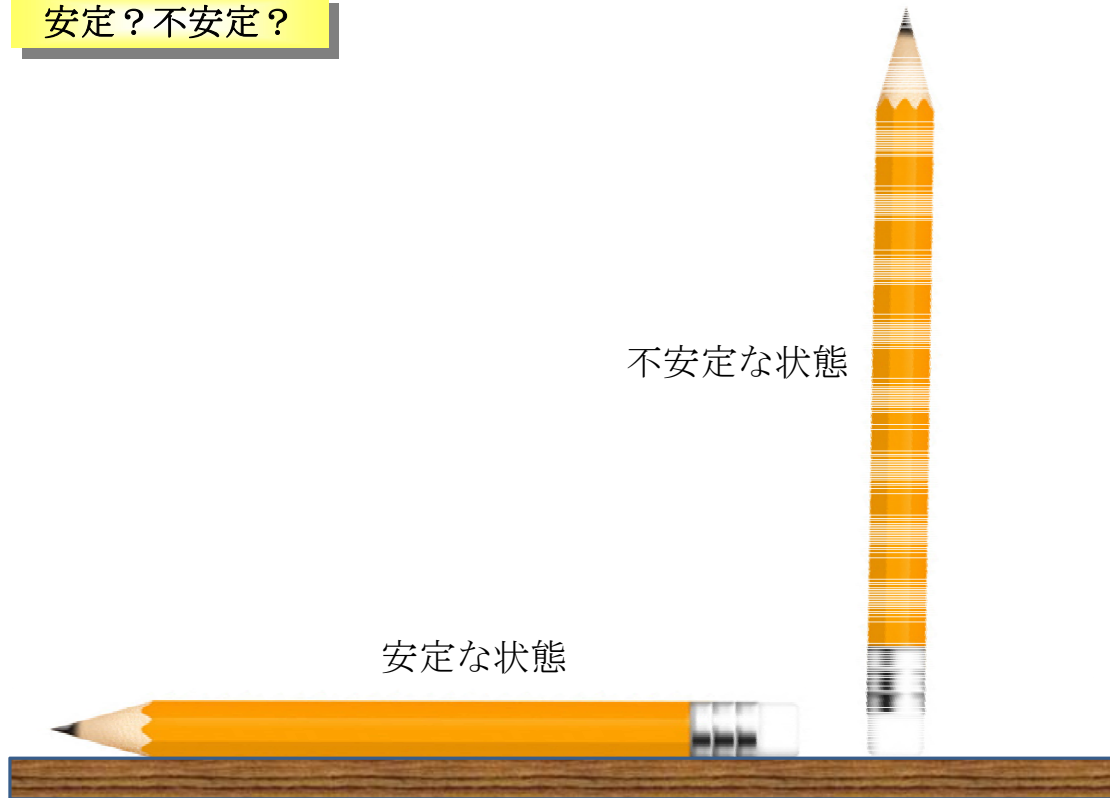


橋脚周辺の局所洗掘



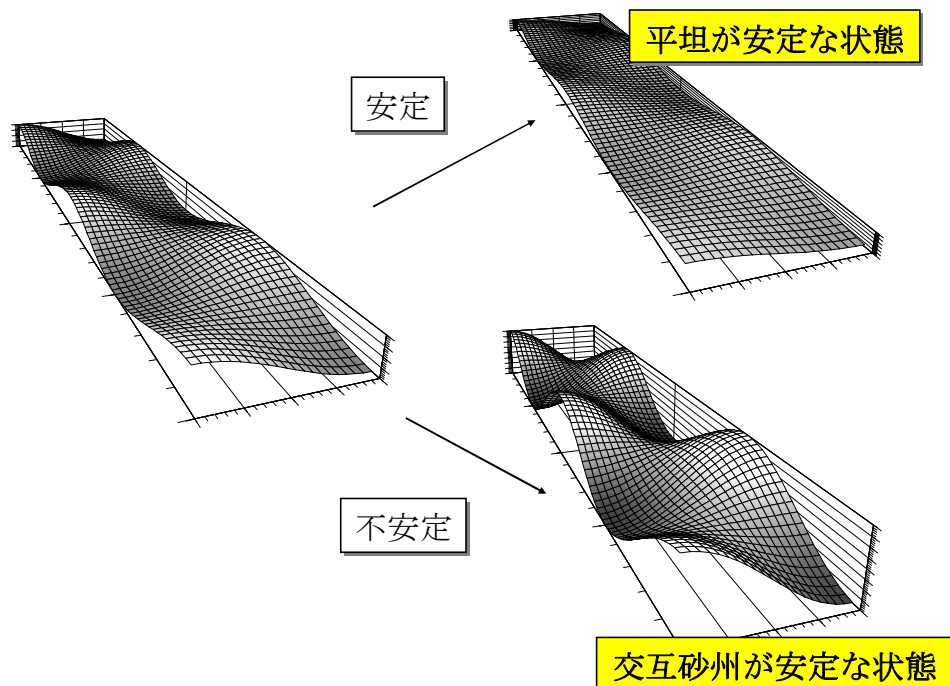
水制周辺の局所洗掘

安定？不安定？



理論解析

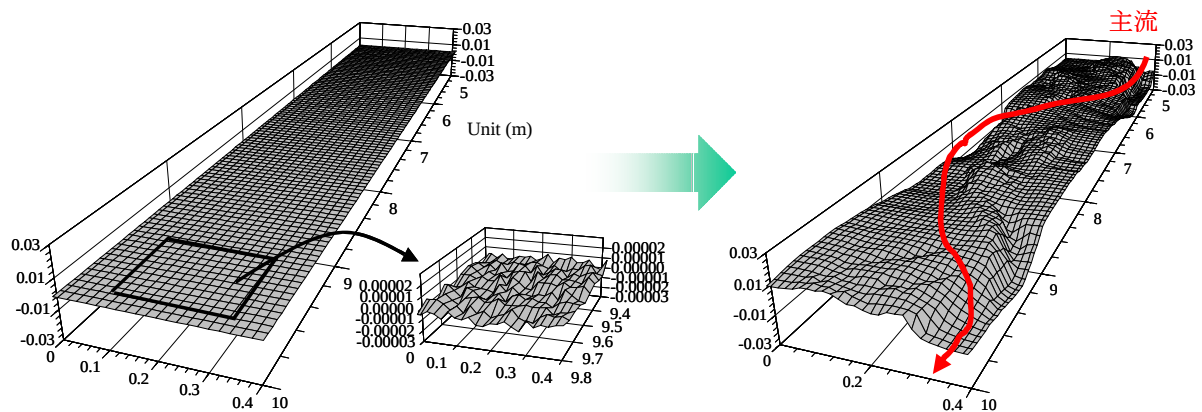
数値解析とほぼ同様な場を対象とした河床面の線形不安定解析。



流路のカオス特性

数値解析法

一定勾配を有した直線水路を想定した計算区間に、初期河床形状を平坦床として、上流から給水と給砂を定常的に行う条件で、流れと河床形状の時間変化を計算。流れの支配方程式は、平面二次元流れによるものを用い、浸透流も考慮する。流砂形態は掃流砂のみを考える。河床材料は非粘着性材料の混合粒径として取り扱う。



基礎式

水の質量保存則

$$\Lambda \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial y}(vh) + \frac{\partial}{\partial x}(u_g h_g) + \frac{\partial}{\partial y}(v_g h_g) = 0$$

水の運動量保存則

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(huu) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) &= -gh \frac{\partial}{\partial x}(h + z_b) - \frac{\tau_x}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(h\sigma_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(h\tau_{yx}) \\ \frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial x}(huv) + \frac{\partial}{\partial y}(hvv) &= -gh \frac{\partial}{\partial y}(h + z_b) - \frac{\tau_y}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(h\tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(h\sigma_{yy}) \end{aligned}$$

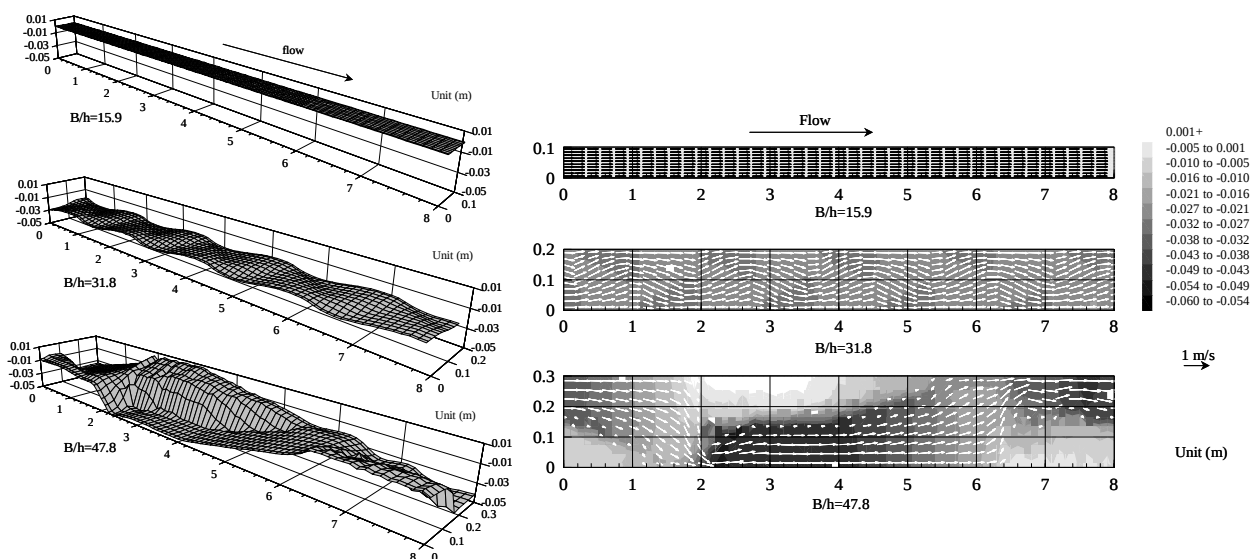
河床位

$$(1-\lambda) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\sum_{k=1}^n q_{bxk} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\sum_{k=1}^n q_{byk} \right) = 0$$

流砂量

$$q_{bk} = 17 \frac{\rho u_{*e}^3}{(\rho_s - \rho)g} \left(1 - \sqrt{K_c} \frac{u_{*ck}}{u_*} \right) \left(1 - K_c \frac{u_{*ck}^2}{u_*^2} \right) f_{bk}$$

空間的な多様性1 (浮州形成まで)

図1 川幅・水深比と河床形状との関係 (B : 川幅, h : 水深, 無次元掃流力=0.086, 河床勾配: 1/40)

多様性の増加

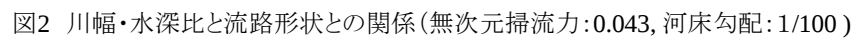


図3 浮州の面積とその面積以上の大きさを有する浮州の存在率との関係

網状流路の時間的な多様性（水衝部位置の変化）

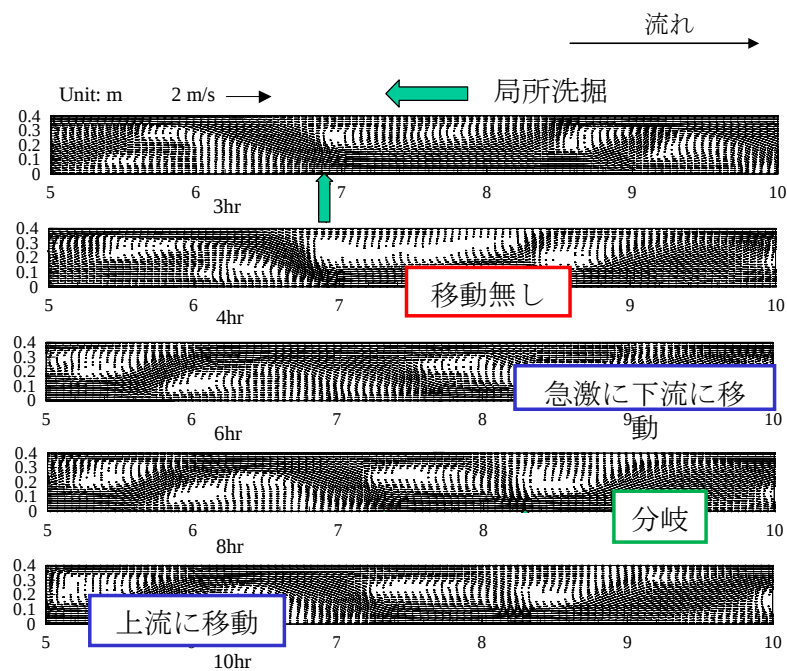
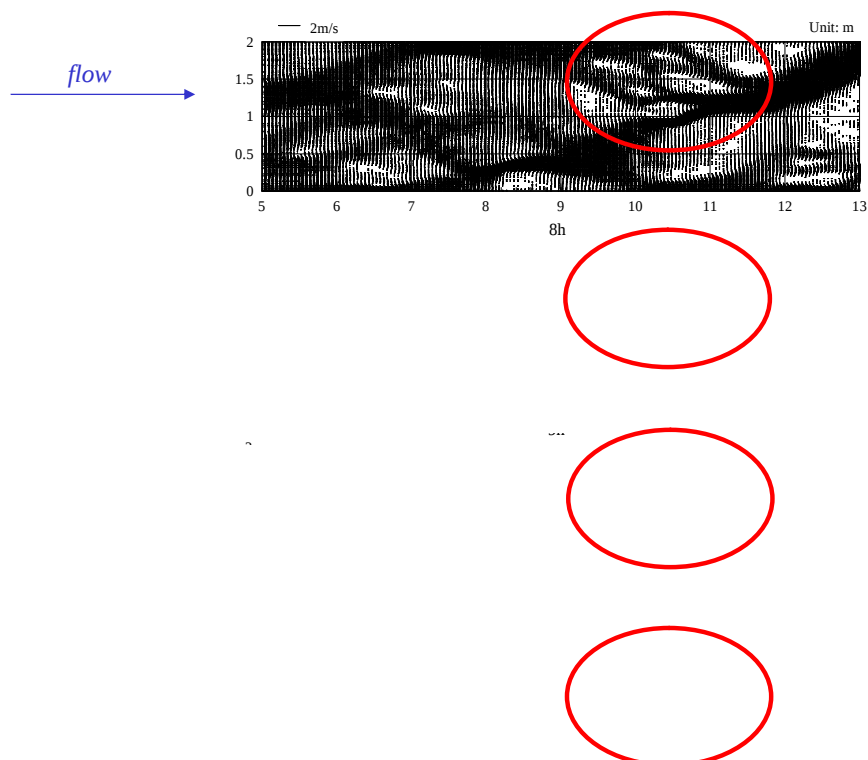
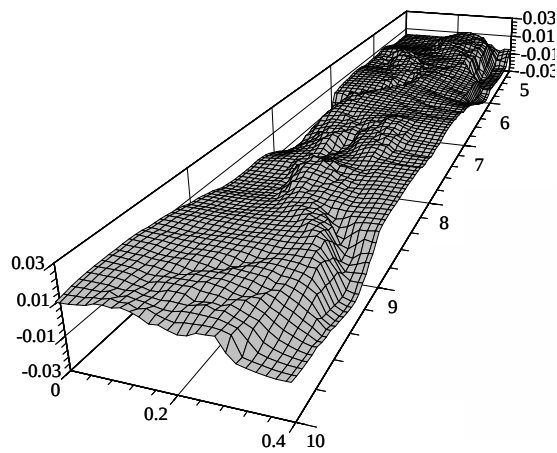


図4 水深平均流速ベクトルの時間変化（数値解析，川幅・水深比：62，無次元掃流力：0.043，河床勾配：1/100）

時間的な多様性



時間的な多様性2（初期値依存性）



(a) 河床形状（Case 2, 6時間後）

図6 Case 5の初期（6時間後）河床形状作成方法

時間的な多様性2（初期値依存性）

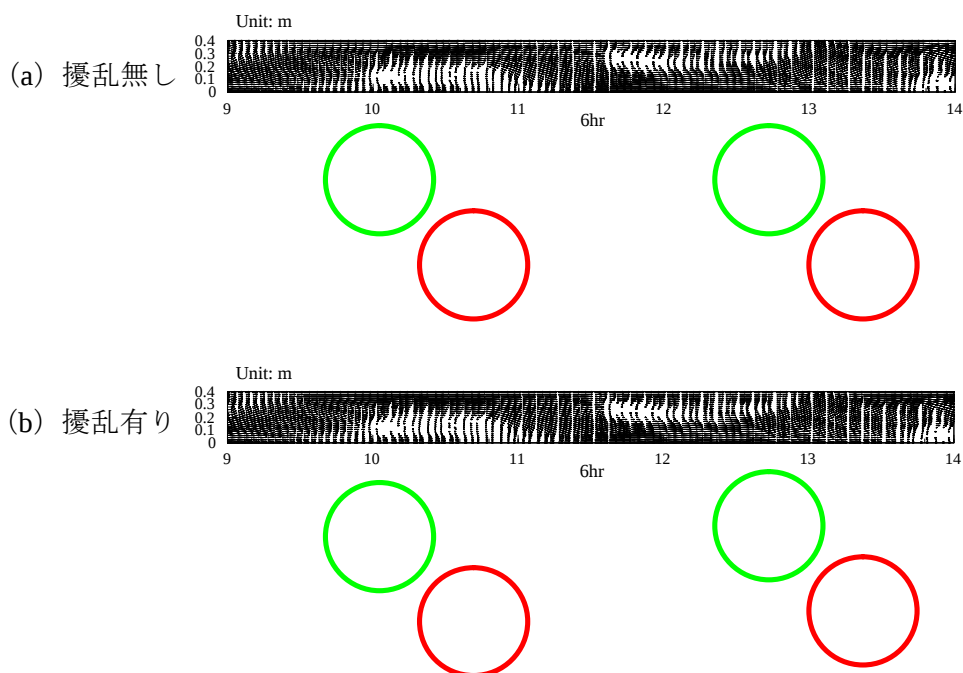


図5 流路形状の初期値依存性（数値解析，川幅・水深比：62，無次元掃流力：0.043，河床勾配：1/100）

時間的な多様性3（陸域の寿命）

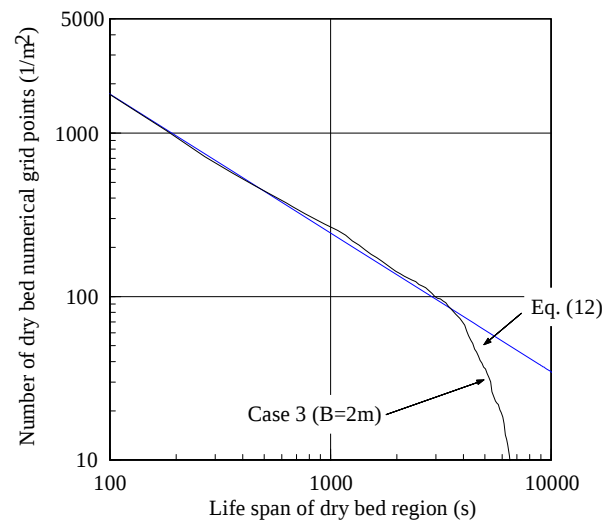


図5 陸域の計算メッシュ点数と陸域である時間（陸域の寿命）との関係（2時間分, 数値解析, 川幅・水深比: 310, 無次元掃流力: 0.043, 河床勾配: 1/100）

植生繁茂が物理環境の
多様性に与える影響

流域面積：枚方地点・約1650km²
笠置地点約1300km²
流域の平均年降水量：約1600mm

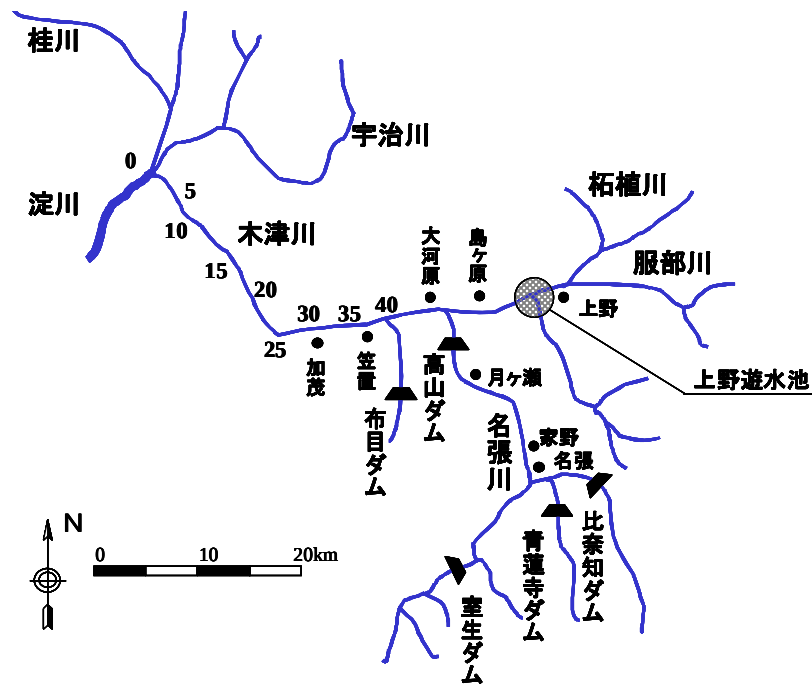


図1 木津川水系

高山ダム建設

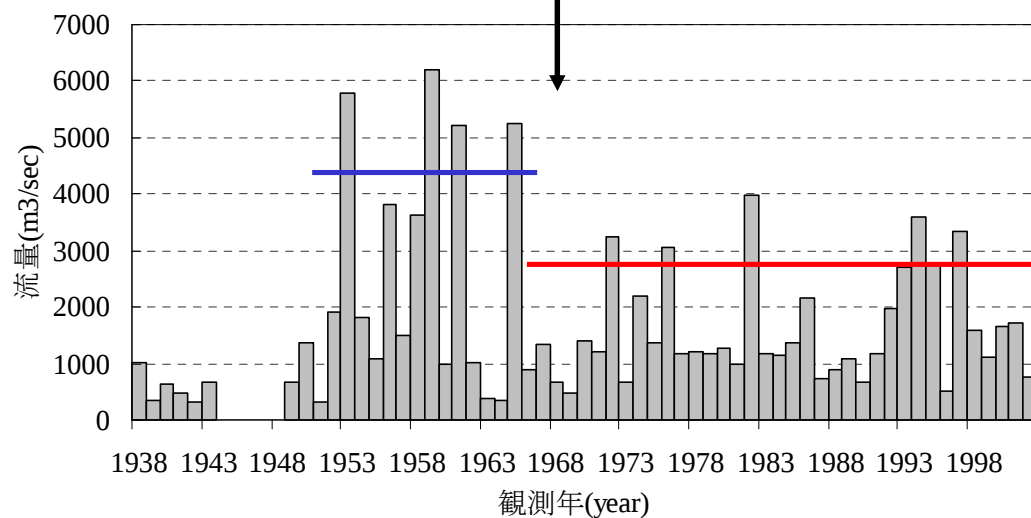


図2 加茂地点における時間平均流量の年最大値

河道内生態システム疲弊の原因

水質悪化

外来種の侵入

河道内物理環境の変化

植生

河床位横断分布の経年変化

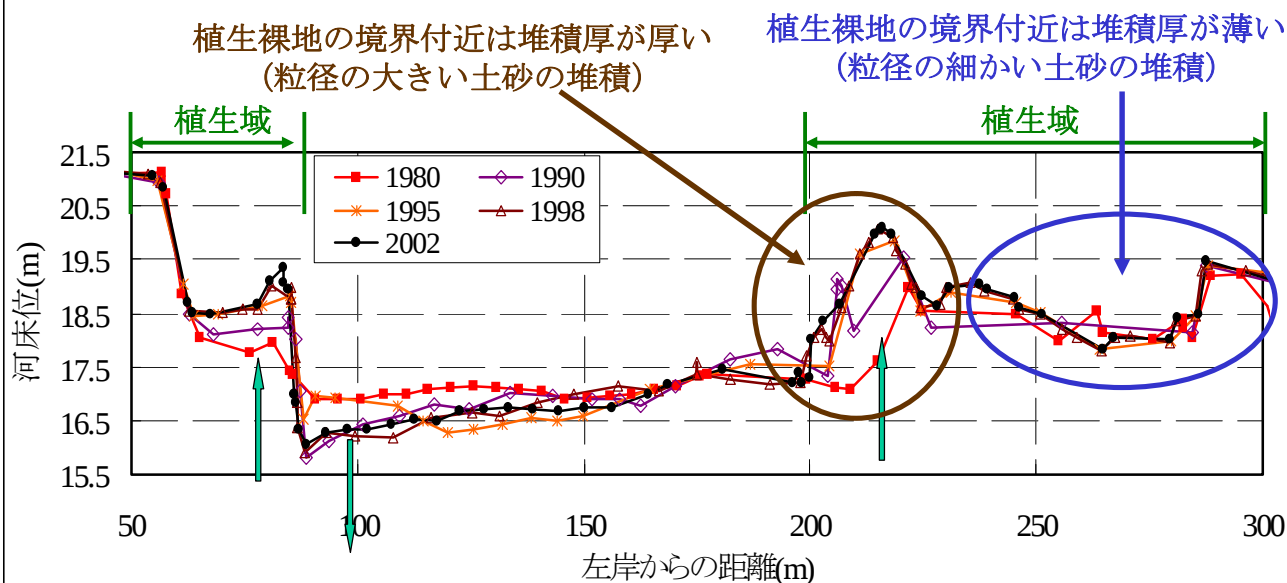


図5 12.8km断面の地形の1980年以降の経年変化

横断データは、国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所より提供

植生域内の堆積土砂の粒度の鉛直分布

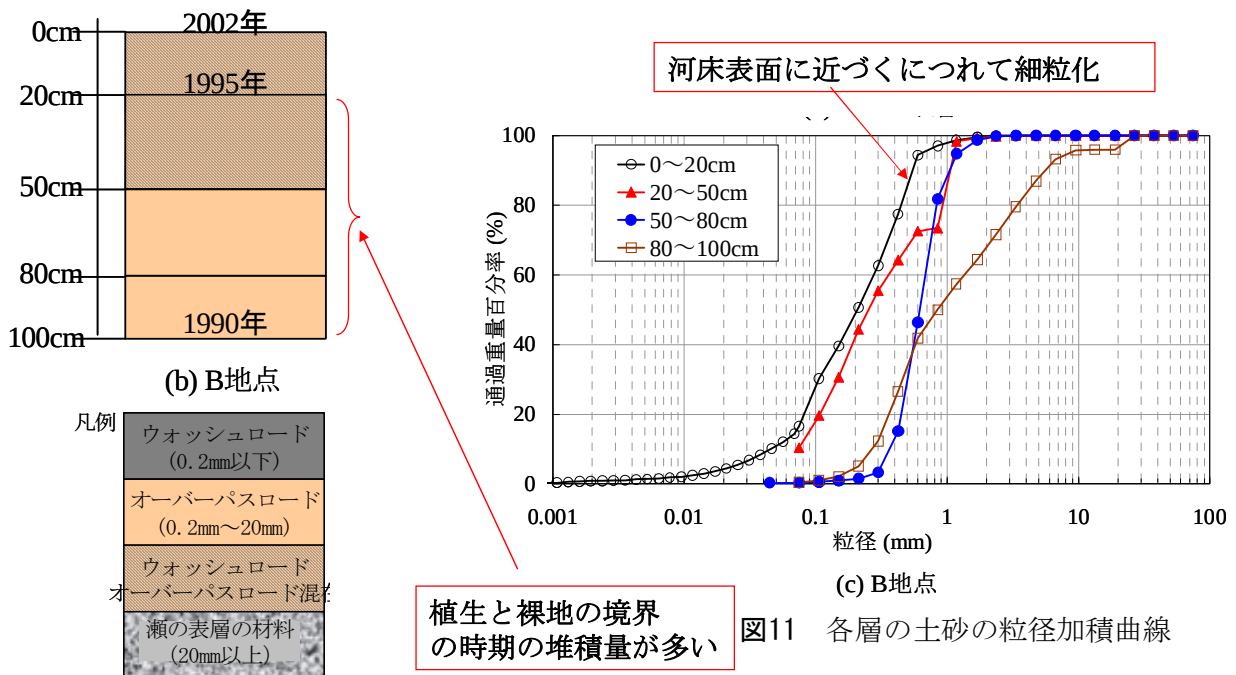


図10 河床掘削調査によって得られた2002年河床面以下の土砂の柱状図

図11 各層の土砂の粒径加積曲線

植生域内に堆積した細粒土砂の粒度の横断分布

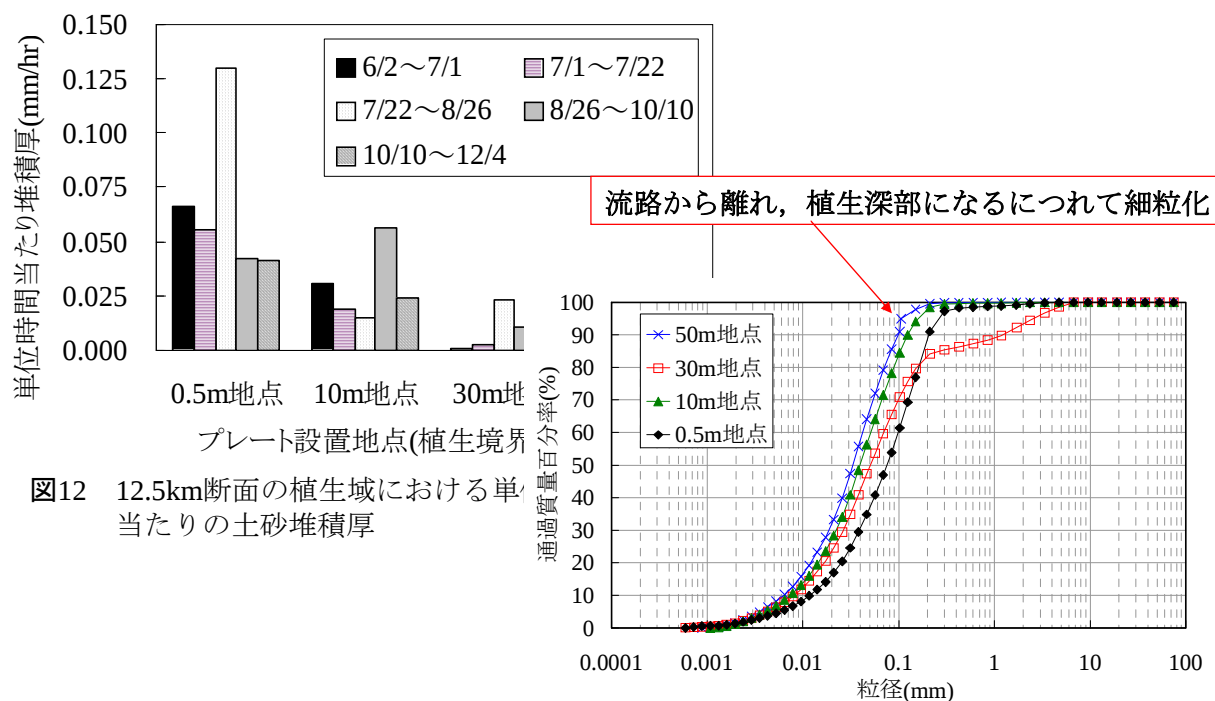
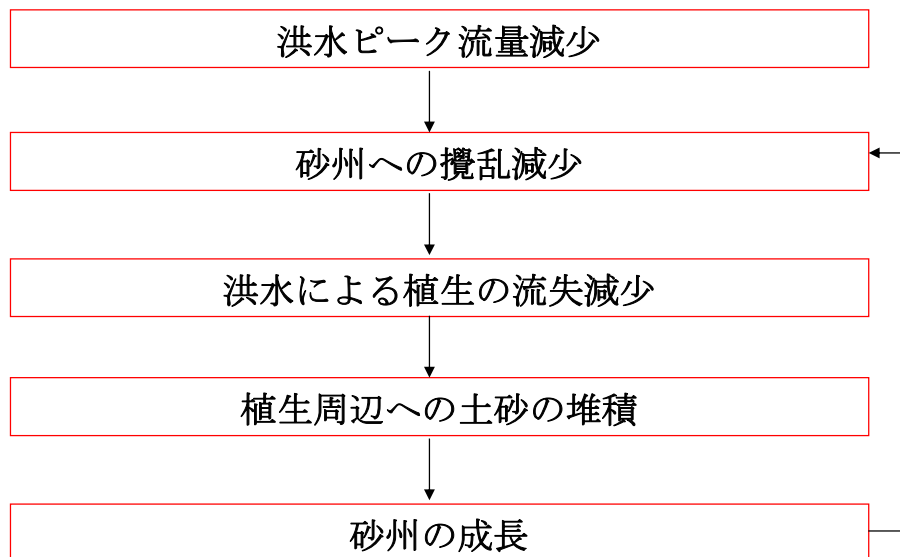


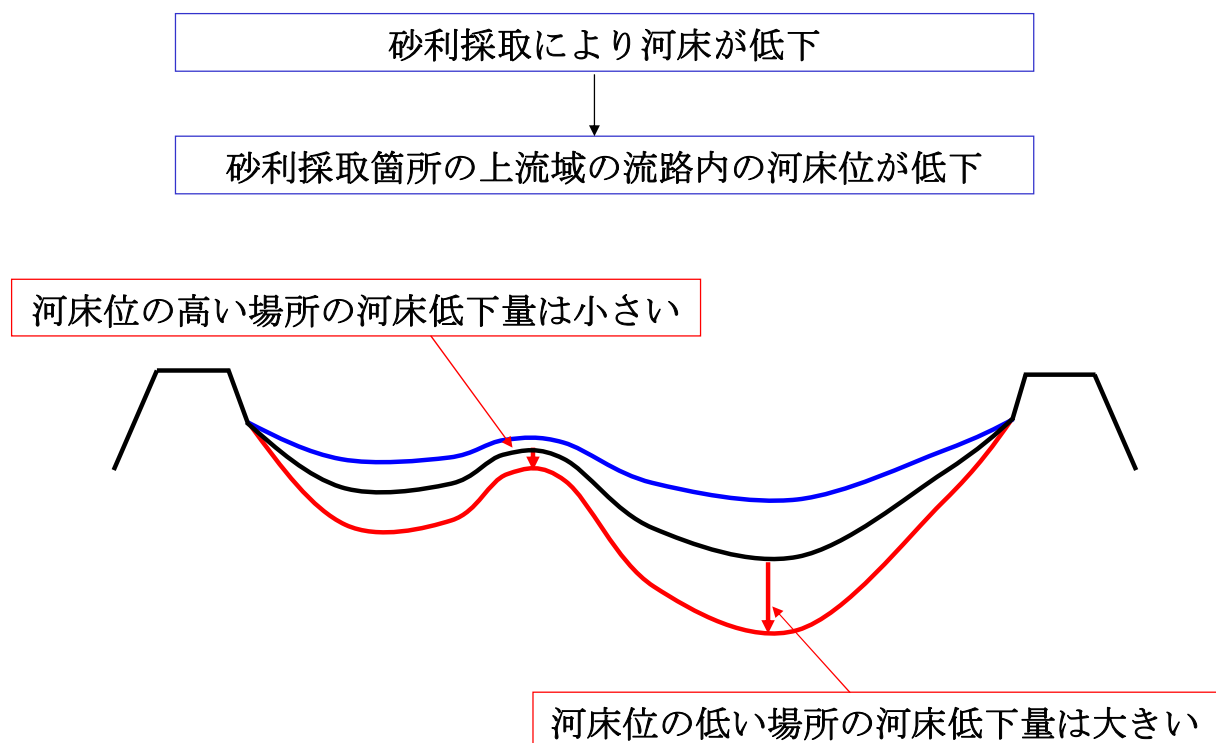
図12 12.5km断面の植生域における単当たりの土砂堆積厚

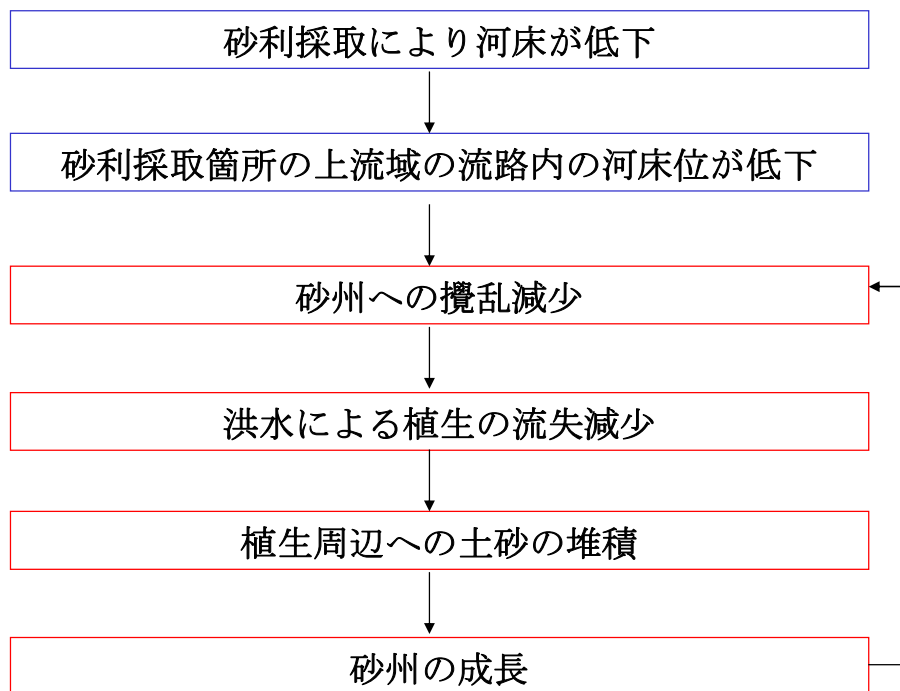
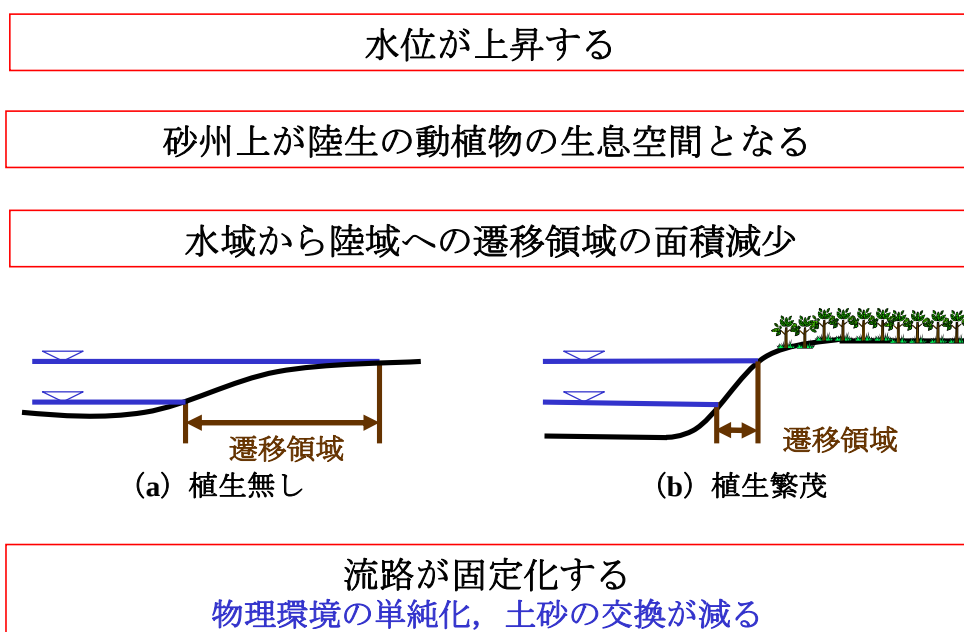
図13 堆積土砂の粒度分布

植生繁茂のシナリオの例



植生繁茂のシナリオの例



植生繁茂のシナリオの例**植生の増加により発生する現象**

基礎式

水の質量保存則

$$\Lambda \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial y}(vh) + \frac{\partial}{\partial x}(u_g h_g) + \frac{\partial}{\partial y}(v_g h_g) = 0$$

水の運動量保存則

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(huu) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) &= -gh \frac{\partial}{\partial x}(h+z_b) - \frac{\tau_x}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(h\sigma_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(h\tau_{yx}) - \frac{F_{vx}}{\rho} \\ \frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial x}(huv) + \frac{\partial}{\partial y}(hvv) &= -gh \frac{\partial}{\partial y}(h+z_b) - \frac{\tau_y}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(h\tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(h\sigma_{yy}) - \frac{F_{vy}}{\rho} \end{aligned}$$

河床位

$$(1-\lambda) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\sum_{k=1}^n q_{bxk} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\sum_{k=1}^n q_{byk} \right) = 0$$

流砂量

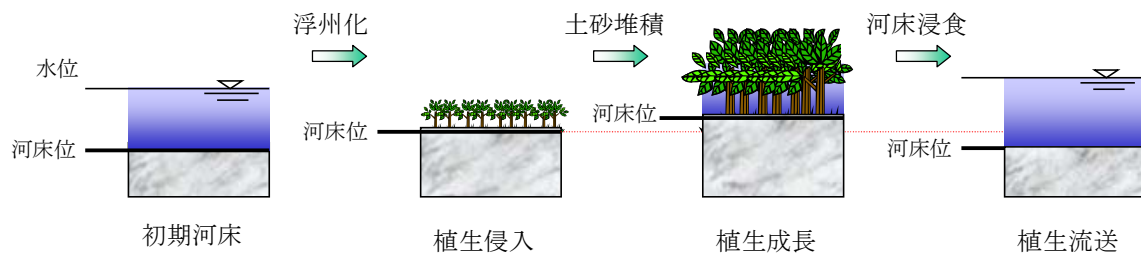
$$q_{bk} = 17 \frac{\rho u_{*e}^3}{(\rho_s - \rho)g} \left(1 - \sqrt{K_c} \frac{u_{*ck}}{u_*} \right) \left(1 - K_c \frac{u_{*ck}^2}{u_*^2} \right) f_{bk}$$

植生

植生

植生の密生度は、計算点が陸域となると、最大値が0.05となるように0から線形的に増加を始める。植生の消滅については、河床低下による消滅を想定し、植生侵入時よりも河床位が下がると植生が送流すると見なして密生度を0とした。植生域内の流砂量は有効掃流力を用いて算出する。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \lambda C_D (u^2 + v^2) h \quad \lambda = 0.05 (t_d / T_f)$$



洪水ピーク流量減少の影響

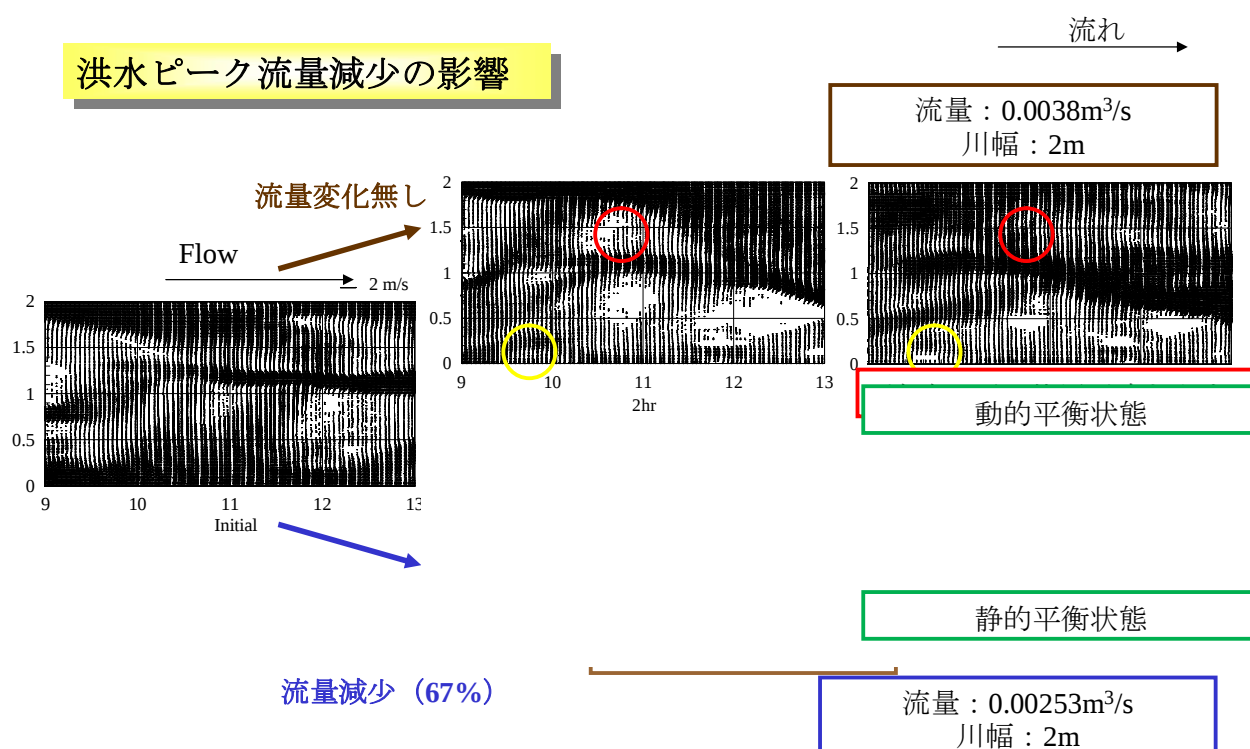


図12(a, b) 洪水ピーク流量の減少が流路本数の減少（空間的な多様性の喪失）と流路の固定化（時間的な多様性の喪失）に与える影響
(2時間分, 数値解析, 川幅・水深比 : 310, 無次元掃流力:0.043, 河床勾配:1/100)

植生密生度

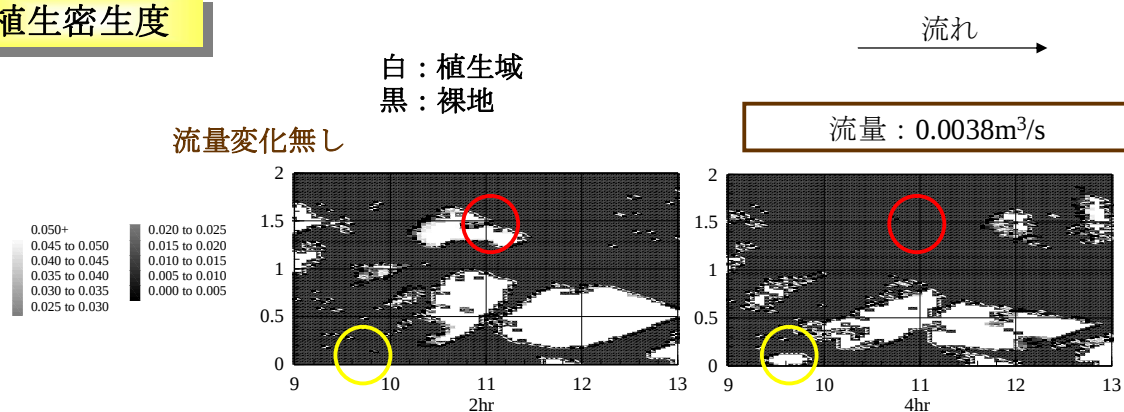
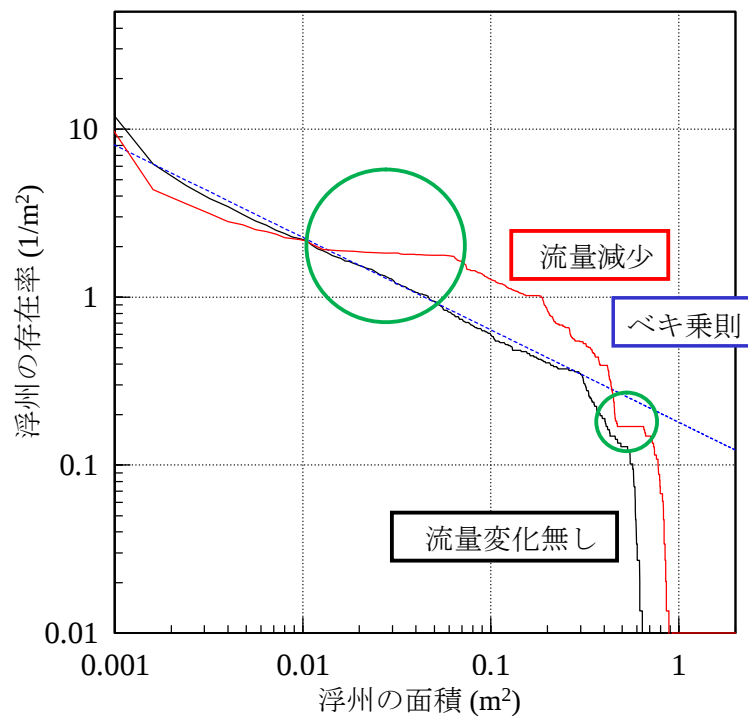


図12(c, d) 洪水ピーク流量の減少が流路本数の減少（空間的な多様性の喪失）と流路の固定化（時間的な多様性の喪失）に与える影響
(2時間分, 数値解析, 川幅・水深比 : 310, 無次元掃流力:0.043, 河床勾配:1/100)

網状流路が有する自己相似性



$$P(A) = C/A^\alpha \quad (1)$$

$P(A)$: A より広い面積の浮州の存在率
 A : 浮州の面積
 C, α : 定数

図14 浮州の面積と浮州の存在率との関係

流路固定化の解消方法（低水路幅の拡幅）

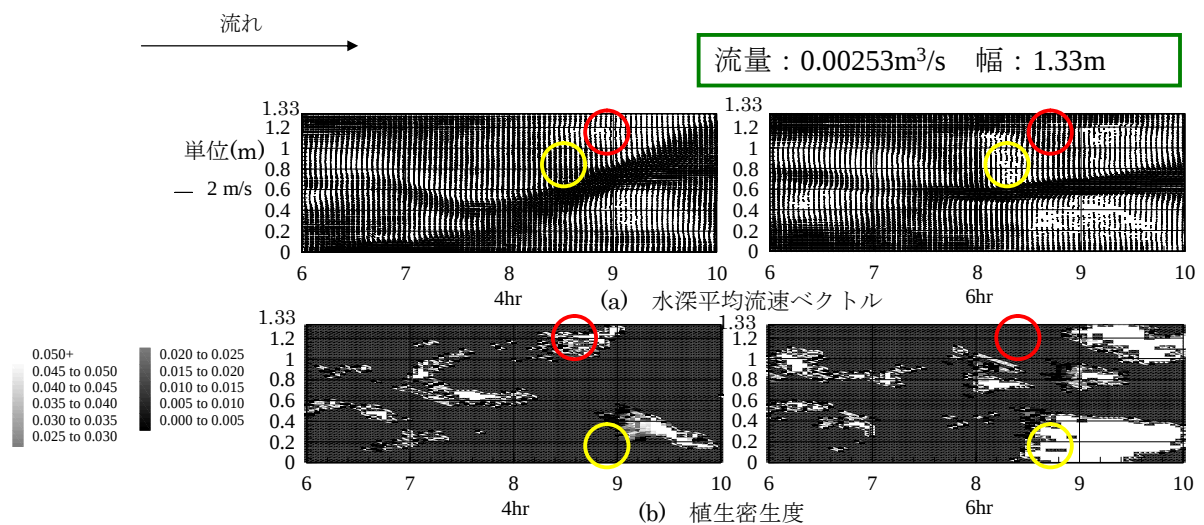


図7 網流幅（川幅・水深比）の調節による場の時空間的な多様性の再生（数値解析，川幅・水深比：179，無次元掃流力:0.043, 河床勾配: 1/100）

網状流路が有する自己相似性

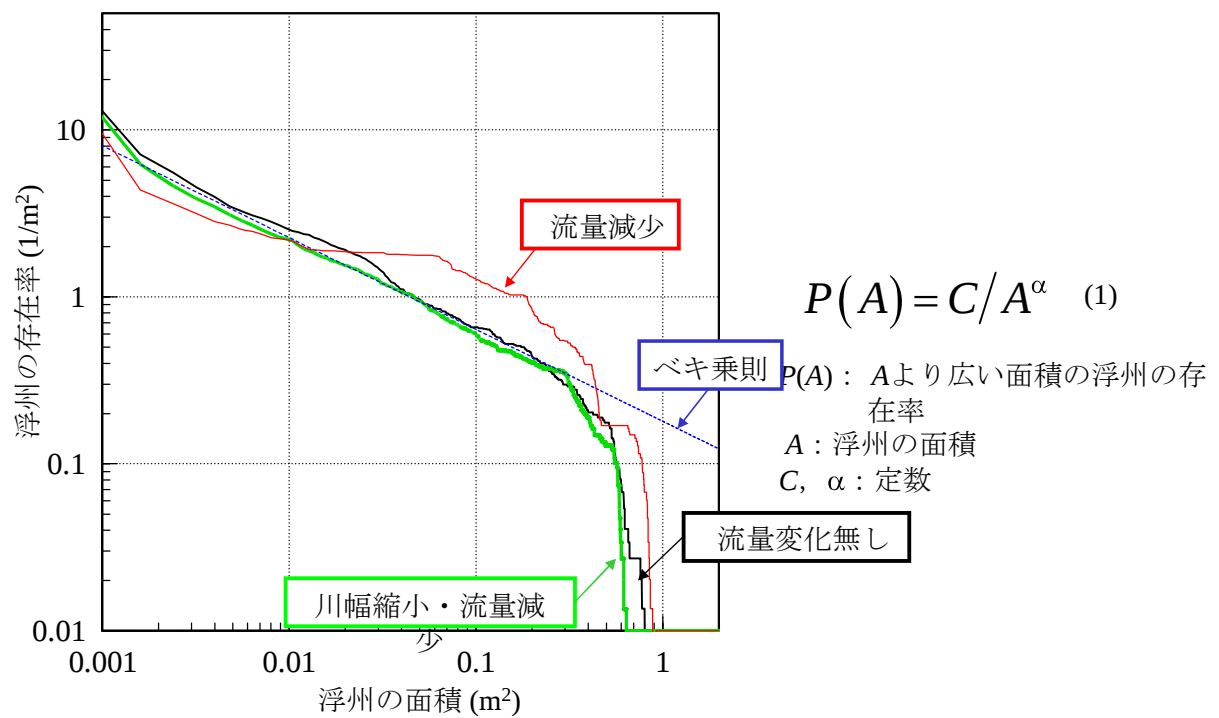
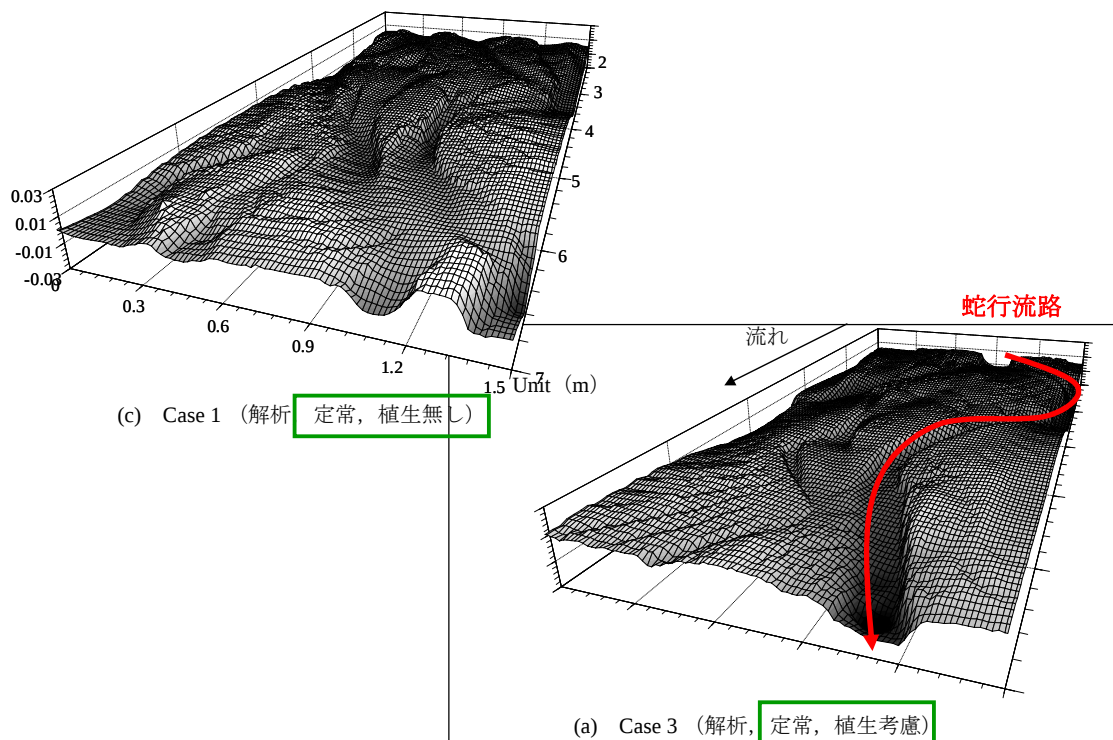


図14 浮州の面積と浮州の存在率との関係

網状流路から蛇行流路へ



形成領域区分

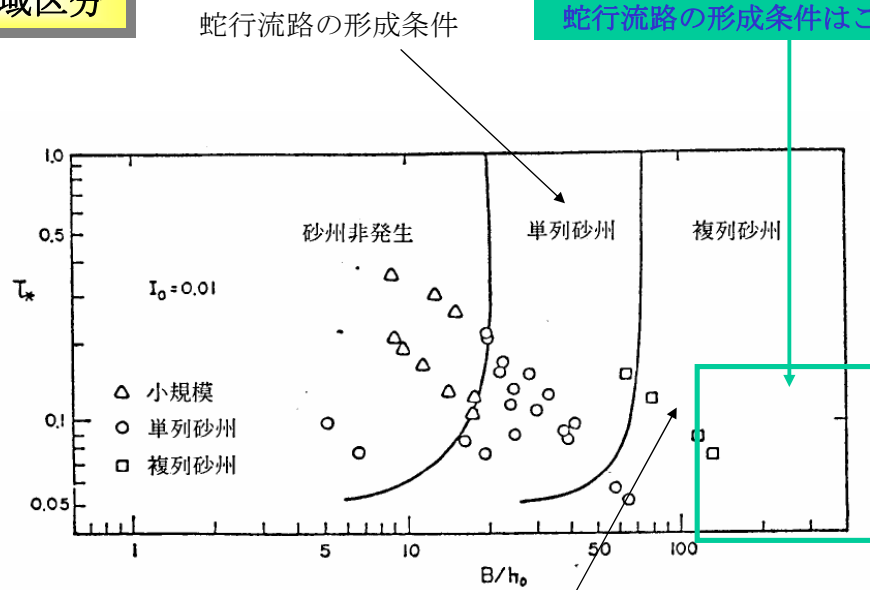


図3.2.4 形成領域区分

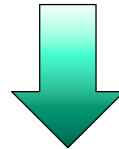
網状流路の形成条件

水制が物理環境の
多様性に与える影響

目的

水制設置による物理環境の時空間的な変化

水制形状の時間的な変化が物理環境の時空間的な変化に与える影響の検討



水制の動的管理のための基礎的な知見を得る

水制設置検討の背景

対象箇所での課題

砂州発達により航路確保困難

取水口前の土砂堆積

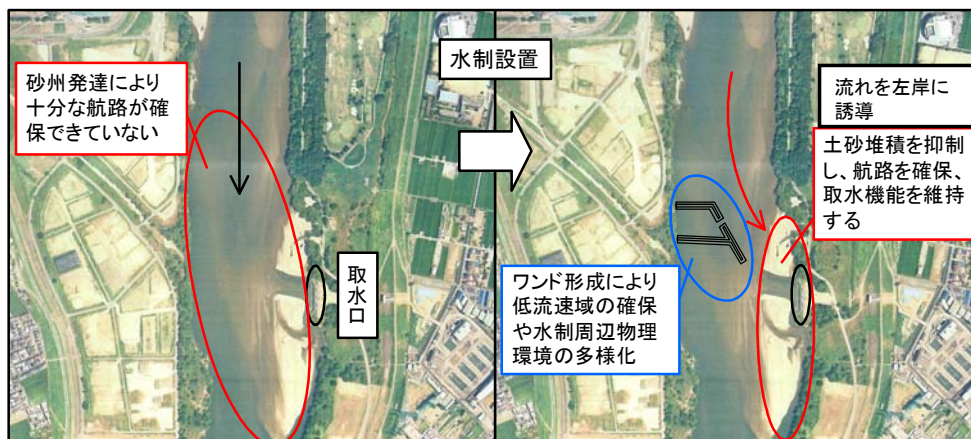
対応策

右岸側への水制設置

航路の確保

取水機能の維持

低流速域の確保・物理環境の多様化



水制設置前の現況

水制設置により期待される効果

水制の構造

効果発現状況等に応じた順応的管理を視野に

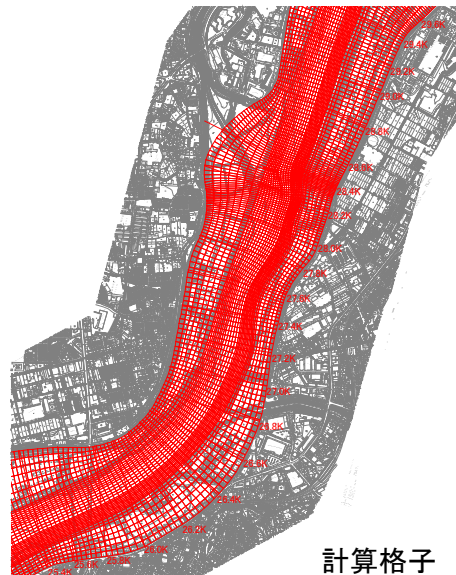
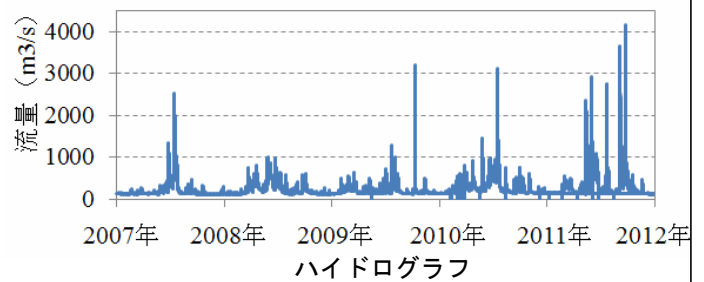


移設可能な大型土のうを採用

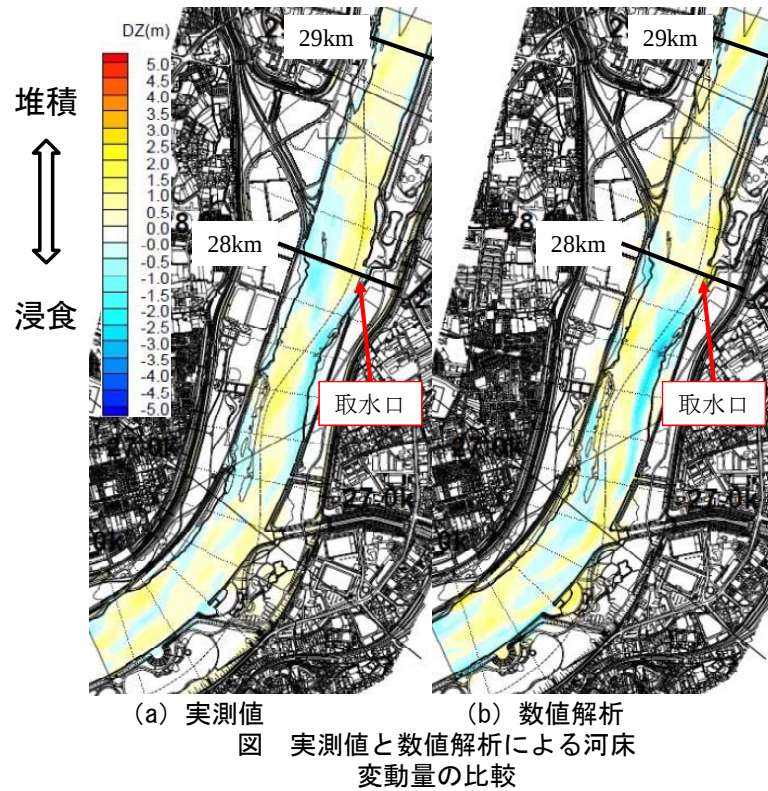


解析の概要

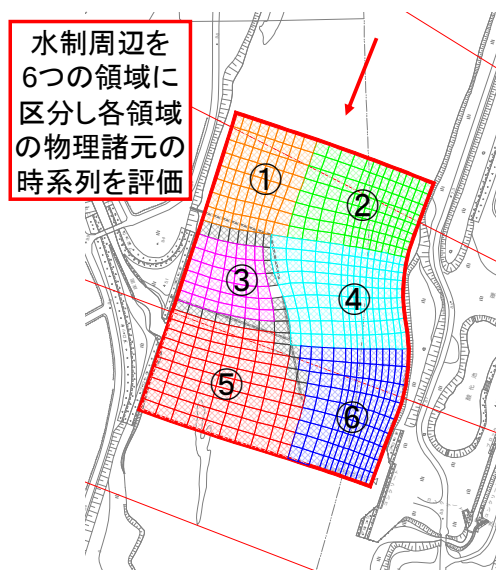
平面二次元河床変動解析。
5年間の河床変動解析。土砂が移動
する $500\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量を対象。



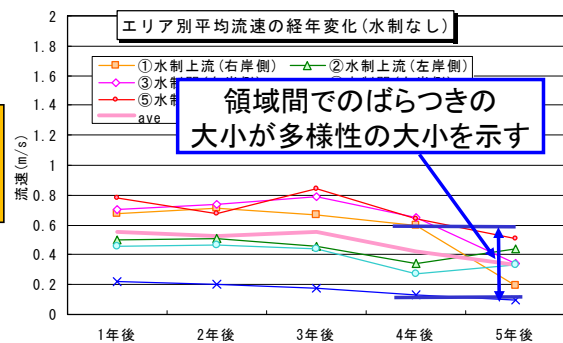
解析の再現性の確認



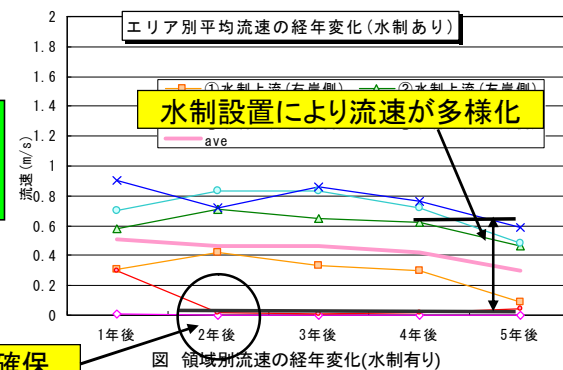
水制設置による水深平均流速の時空間的な変化



水制無し

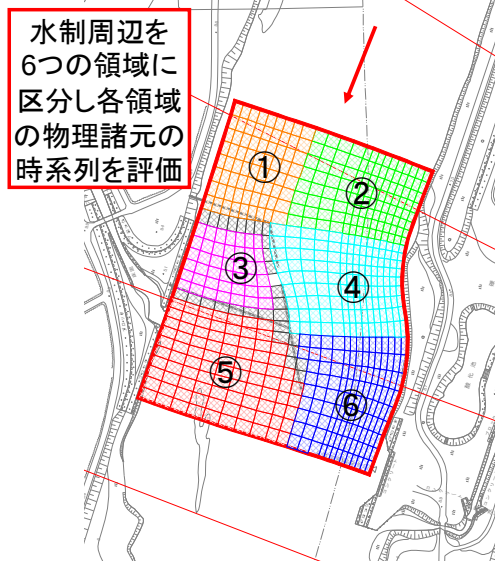


水制有り



水制設置により1年後から低流速域確保

水制設置による粒径の時空間的な変化



水制無し

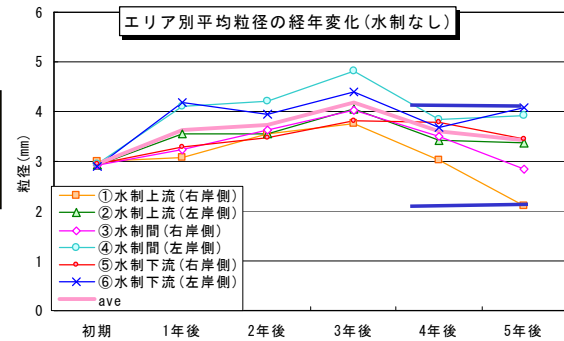


図 領域別底質平均粒径の経年変化(水制無し)

水制有り

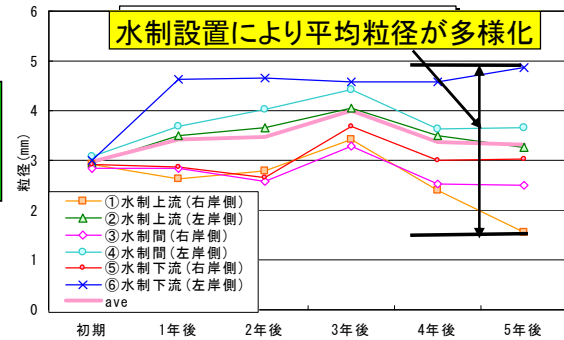


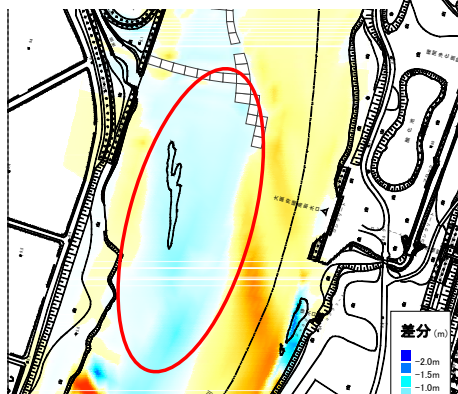
図 領域別底質平均粒径の経年変化(水制有り)

45

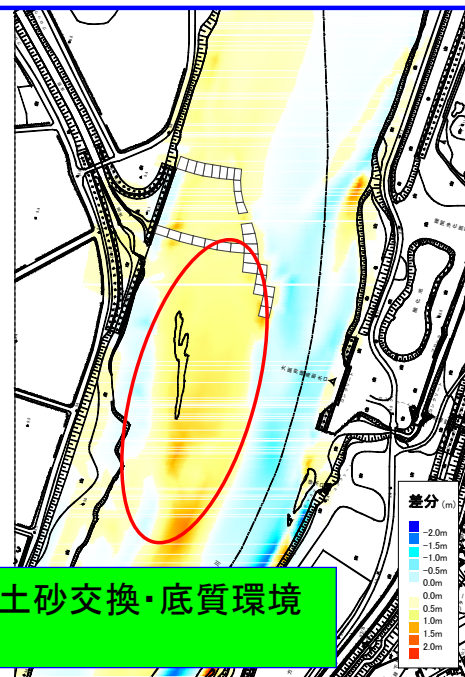
水制高さの時間的な変化が河床形状に与える影響

水制の高さを30cm下げると堆積土砂の流出が期待できる

- ・ワンド域内で10cm～50cmの河床低下
- ・堆積土砂の流出が期待できる。
- ・水制周辺の広い範囲でも、土砂の流出が期待できる。



水制高さを30cm上げる場合も想定
→ 水制周辺で1m以上の河床変動が発生



水制高さを変化させることで水制周辺の土砂交換・底質環境向上の可能性がある

水制高さを30cm下げた場合の変動量

水制高さを30cm上げた場合の変動量

まとめ

まとめ

河川の地形変動が河道内の物理環境の多様性の保存・創生に影響を与えていることを紹介した。本日の話題提供の内容をまとめると以下のようなものである。

川幅/水深が大きくなるにつれ、流路本数は増加する。

網状流路は自己相似性を有しており、多様な水辺空間を形成する。これは、河道内の動植物の多様性を保存・創生する上で有益な情報となると考えられる。

網状流路の時間的な変動過程はカオティックであり、浮州を有しない交互砂州とは変動過程が大きく異なる。

ダムによる洪水ピーク流量の低減により、ダム下流河道の砂州上の攪乱が減少して植生が増える。

砂州上の植生の増加は、流路の分岐を抑制するため、流路を固定化させるとともに、流路の本数を減少させる。

まとめ

河道の幅・水深比を適切な値に調整することにより、網状流路が形成する物理環境の多様性を再生することができるとともに、メンテナンスフリーの植生管理ができる可能性がある。

水制の設置により、水深平均流速や河床材料の平均粒径の空間的な多様性が増加した。

水制の高さを30cm変化させるだけで、水制周辺の広い領域において50cm～1mの河床変動が発生した。これは、水制の形状の時間的な変化によって水制周辺やワンド内の河床材料の質の改善が可能であることを示すものである。

ご清聴ありがとうございました