

第14回 環境研究シンポジウム
レジリエントな社会・国土を創る環境研究

土砂供給による河床の変化の予測
(置土を事例とした予測方法の紹介)



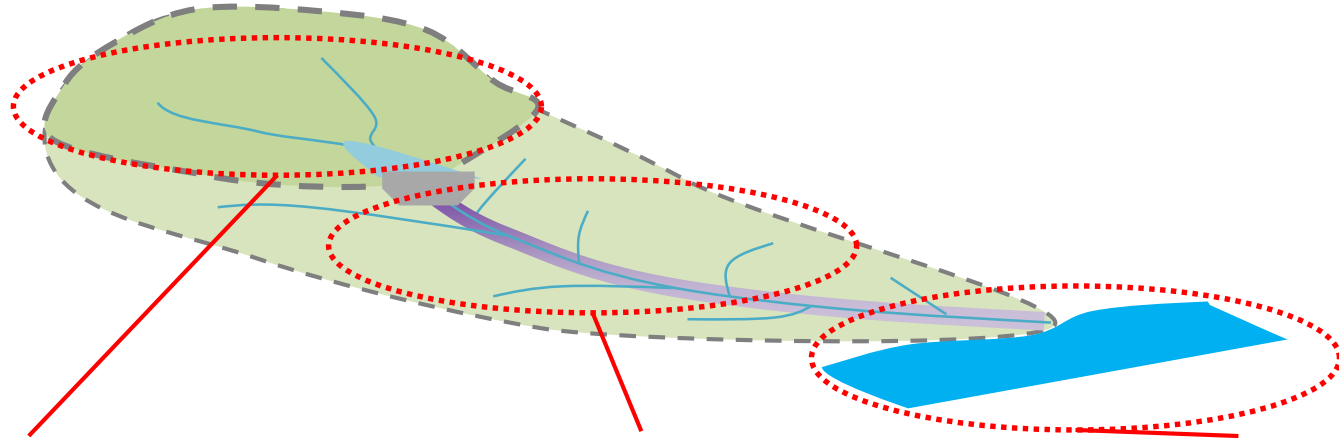
2016年11月22日

国立研究開発法人 土木研究所

水環境研究グループ 自然共生研究センター

主任研究員 宮川 幸雄

流域における土砂に関わる課題



山地上流～ダム

- ・山地崩壊
- ・溪流河岸浸食
- ・ダムへの土砂堆積

ダム～下流河川

- ・河床の低下・露岩化
- ・橋脚周辺の局所洗掘
- ・濁水の長期化

河口部・海岸

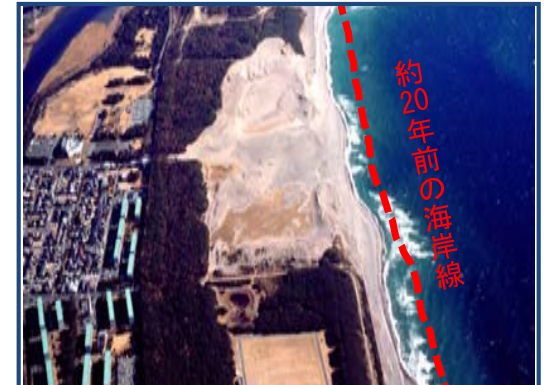
- ・汀線の後退
- ・海岸砂浜の消失
- ・海岸堤防の被災



ダムへの土砂堆積



河床の低下・露岩化



海岸砂浜の消失

⇒ 過去:各領域で発生する課題について個別に対応

総合土砂管理

流域における土砂に関わる課題の多くは土砂移動の不連続性に起因

(例)

(山地上流)ダムへの土砂堆積 → 下流への土砂供給不足 → (下流河川)河床低下



個別の領域を超えた調整、整合化が求められる

「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」

(平成10年7月 河川審議会・総合土砂管理小委員会)

(骨子 一部抜粋)

問題解決の新たな視点として流域の源頭部から海岸までの一貫した土砂の運動領域を「流砂系」という概念で捉え、総合的な土砂管理の考え方、具体的施策を実施する。

「国土形成計画(全国計画)」(平成20年7月 閣議決定)

「新たな国土形成計画(全国計画)」(平成27年8月 閣議決定)

「総合的な土砂管理の取組の推進」として、総合土砂管理の必要性が明記

ダム～下流河川における土砂供給

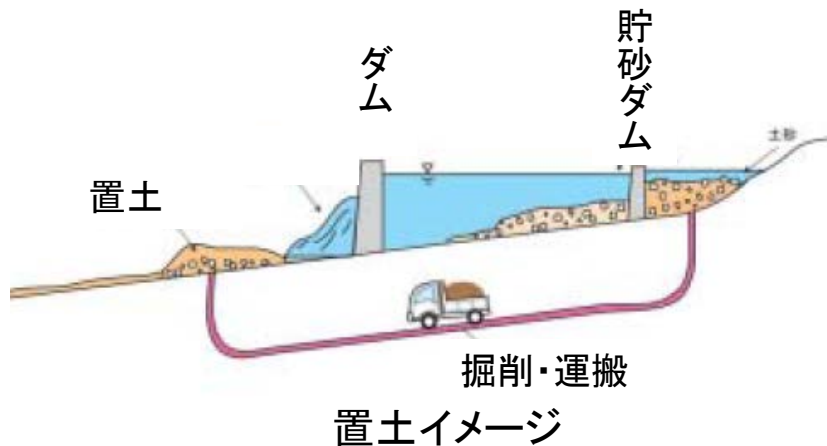
(課題)ダムへの土砂堆積 → 下流への土砂供給不足 → 河床低下

レジリエント(弾力的、回復力のある)な対策

- ・土砂移動の連続性の回復
ダムからの土砂排出 → 下流への土砂供給 → 河床回復
- ・継続的・恒久的な排砂技術
置土、排砂バイパス、etc

(例)置土

- ・非洪水期間中、ダムに堆積した土砂を掘削・運搬して下流に置土
- ・洪水期間中、置土した土砂は増水時に自然流下

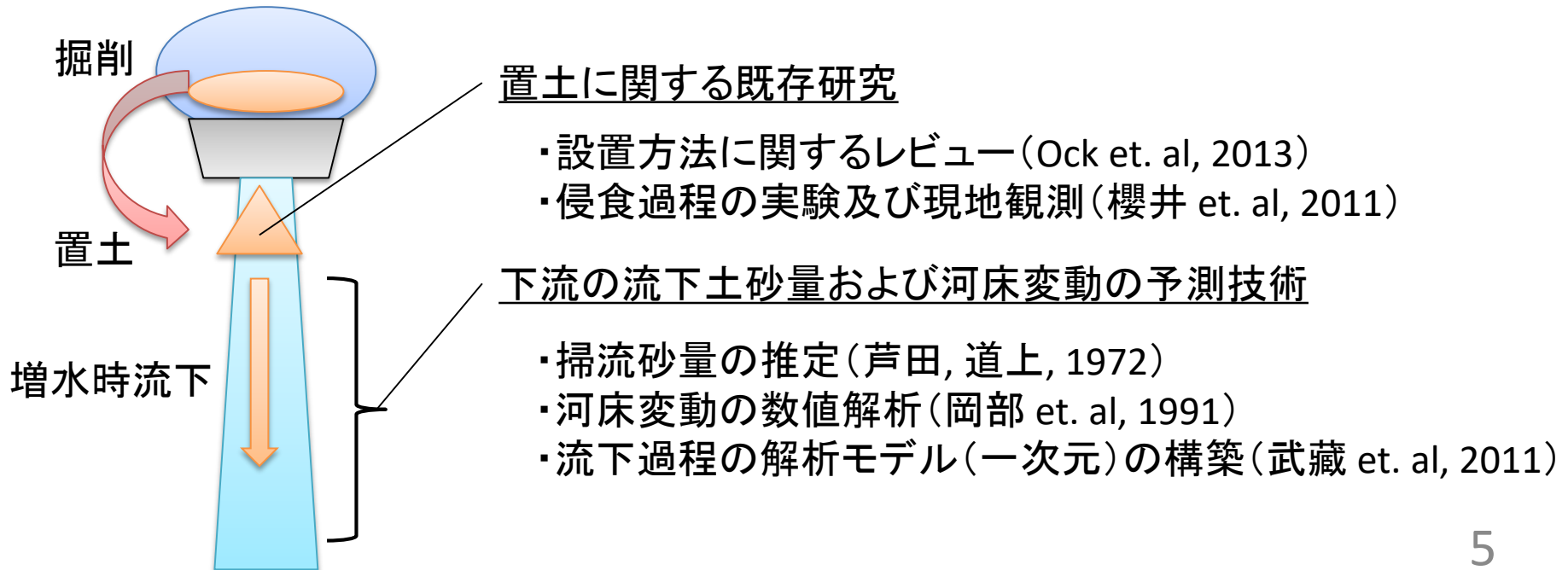


阿木川における置土流下の様子
(阿木川ダム管理所HPより)

土砂供給に関する技術的課題

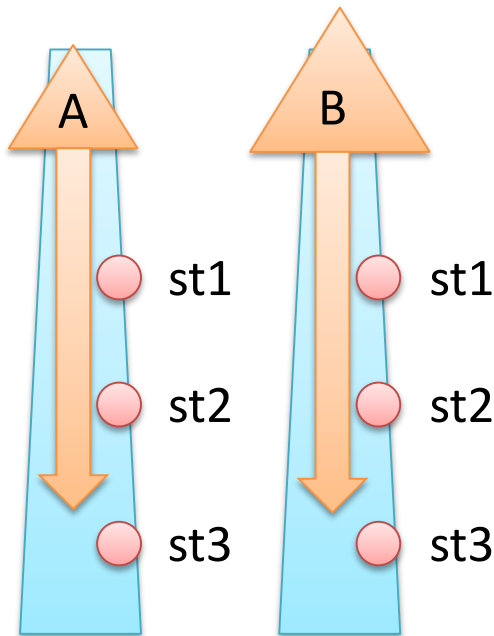
1. 自然状態と異なる土砂量、土砂粒径、流下パターンのため、下流の河床をはじめとした環境状況の変化のモニタリングが必要
2. モニタリングを踏まえ、土砂供給として土砂の量・質を管理する設計思想に基づいた排砂技術の確立が必要

○置土に関する河床状況の変化の予測技術



土砂供給に関する技術的課題(2)

下流の流下土砂量および河床変動の予測技術に関する課題



流下土砂量(A, B)と置土からの距離(st1, 2, 3)に応じて効果が異なる

- ⇒ これらを分離して評価するには土砂の伝播特性を考慮する必要あり
- ⇒ 土砂移動の連続式(下記)では伝播特性の把握が困難

$$\frac{dz}{dt} + \frac{1}{B(1-\gamma)} \frac{\partial Bq_s}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

z : 河床高(m),

γ : 空隙率,

B : 川幅(m),

q_s : 単位幅あたりの掃流砂量(m^2/s)

本研究の目的

置土による土砂の流下波形「Sediment wave」と下流の河床変動を予測し、置土による河床回復効果を評価する手法の提案

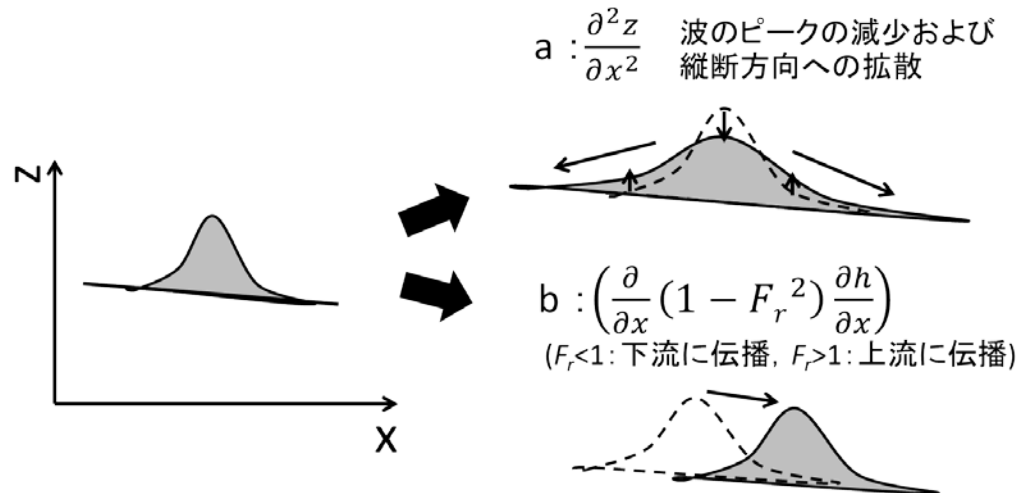
1. 土砂の流下波形 (Sediment wave) の概念
2. 置土地点からのSediment waveのモデル化
3. モデルによる予測結果
4. 置土による河床回復効果の検証

1. 土砂の流下波形 (Sediment wave) の概念

土砂の「a:拡散」と「b:伝播」を組み合わせた式 (Lisle, 2001)

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Kqc_f^{1/2}}{R_s(1-\gamma)} \left[\underbrace{\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}}_{\text{拡散}} + \underbrace{\left(\frac{\partial}{\partial x} (1 - F_r^2) \frac{\partial h}{\partial x} \right)}_{\text{伝播}} \right] = 0 \quad (2)$$

z : 河床高さ(m), K : Meyer-Peter and Müllerの経験式に基づく係数,
 q : 単位幅あたりの流量 (m^2/s), c_f : 摩擦係数,
 R_s : 砂粒子の水中比重, γ : 河床の空隙率 (=0.3に設定)
 F_r : フルード数, h : 水深(m)

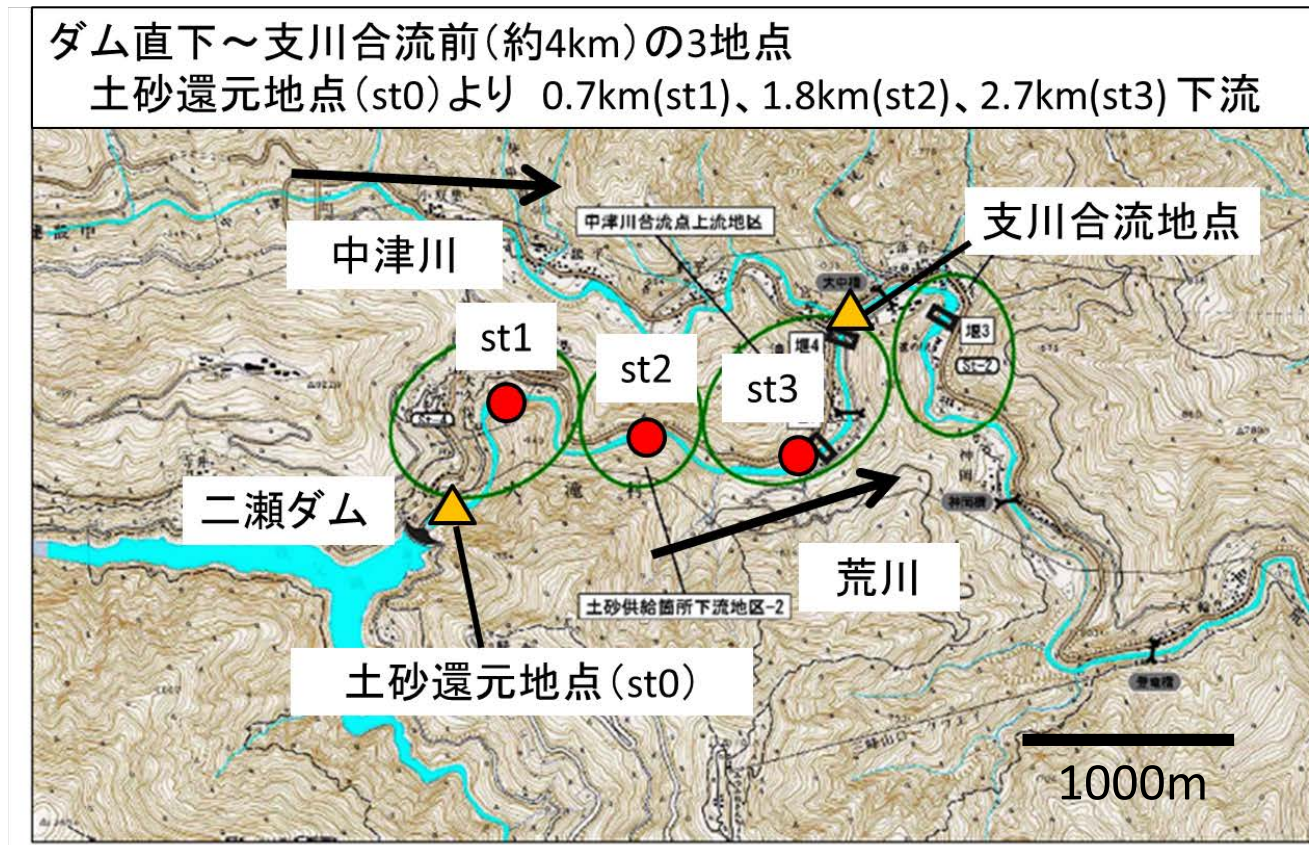


- a 拡散: 波のピークが減少すると同時に裾野が上下流に広がる
b 伝播: 波が形状維持しながら下流に移動

2. 置土地点からの Sediment wave のモデル化

(1) データの収集

対象: 二瀬ダム(埼玉県、荒川)



出典: 国土交通省 関東地方整備局 二瀬ダム土砂還元環境調査業務 報告書

謝辞: 本研究を進めるにあたり, 国土交通省関東地方整備局二瀬ダム管理所には, 二瀬ダムに関する長年にわたる資料を提供いただく等, 数々のご協力を頂いた. ここに記して謝意を示す.

2. 置土地点からの Sediment wave のモデル化

(2) 置土地点 (st0) の河床高 z の変化量 (z 変化量) の算出

河床に働く掃流力 τ が一定以上の場合、置土から掃流砂 q_s が流出すると仮定

$$q_s = \left(\frac{K C_f^{3/2} u^3}{R_s g} \right) \quad (\text{Lisle, 1997})$$

q_s と土砂移動の連続式 (式(1)) から置土地点の z の変化量 (z 変化量) を算出
(置土がなくなつたと判断される場合、 $q_s = 0$)

$$\frac{dz}{dt} + \frac{1}{B(1-\gamma)} \frac{\partial B q_s}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

(3) st1 ~ st3 の z 変化量の算出

$$\frac{dz}{dt} = \frac{K q c_f^{1/2}}{R_s (1-\gamma)} \left[\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial}{\partial x} (1 - F_r^2) \frac{\partial h}{\partial x} \right) \right] = 0 \quad (2)$$

st0 で生じた z 変化量による下流の st1 ~ st3 の z 変化量を算出

2. 置土地点からの Sediment wave のモデル化

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Kq c_f^{1/2}}{R_s(1-\gamma)} \left[\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial}{\partial x} (1 - F_r^2) \frac{\partial h}{\partial x} \right) \right] = 0$$

算出に必要な時間毎の q 、 c_f 、 F_r 、 h を計算 (Lisle, 1997, 2001, Wilcock, 1996)

$$q = \frac{Q}{B_w}$$

Q : 流量 (m^3/s), B_w : 水面幅 (m)

$$\tau = \rho \left[\frac{k u}{\ln(10h/D_{84})} \right]$$

τ : 河床にはたらく掃流力 ($\text{kg}/\text{m}/\text{s}^2$)

ρ : 水の密度 ($=1000\text{kg}/\text{m}^3$),

k : カルマン定数 ($=0.4$)

D_{84} : 84% 粒径 (m)

$$\tau = \rho C_f u^2$$

u : 平均流速 (m/s)

$\Rightarrow \tau$ から C_f を計算

$$F_r = \frac{u}{\sqrt{gh}}$$

(4) 算出した z 変化量の比較方法

以下の条件で、2004～2013年度における z 変化量をモデル計算

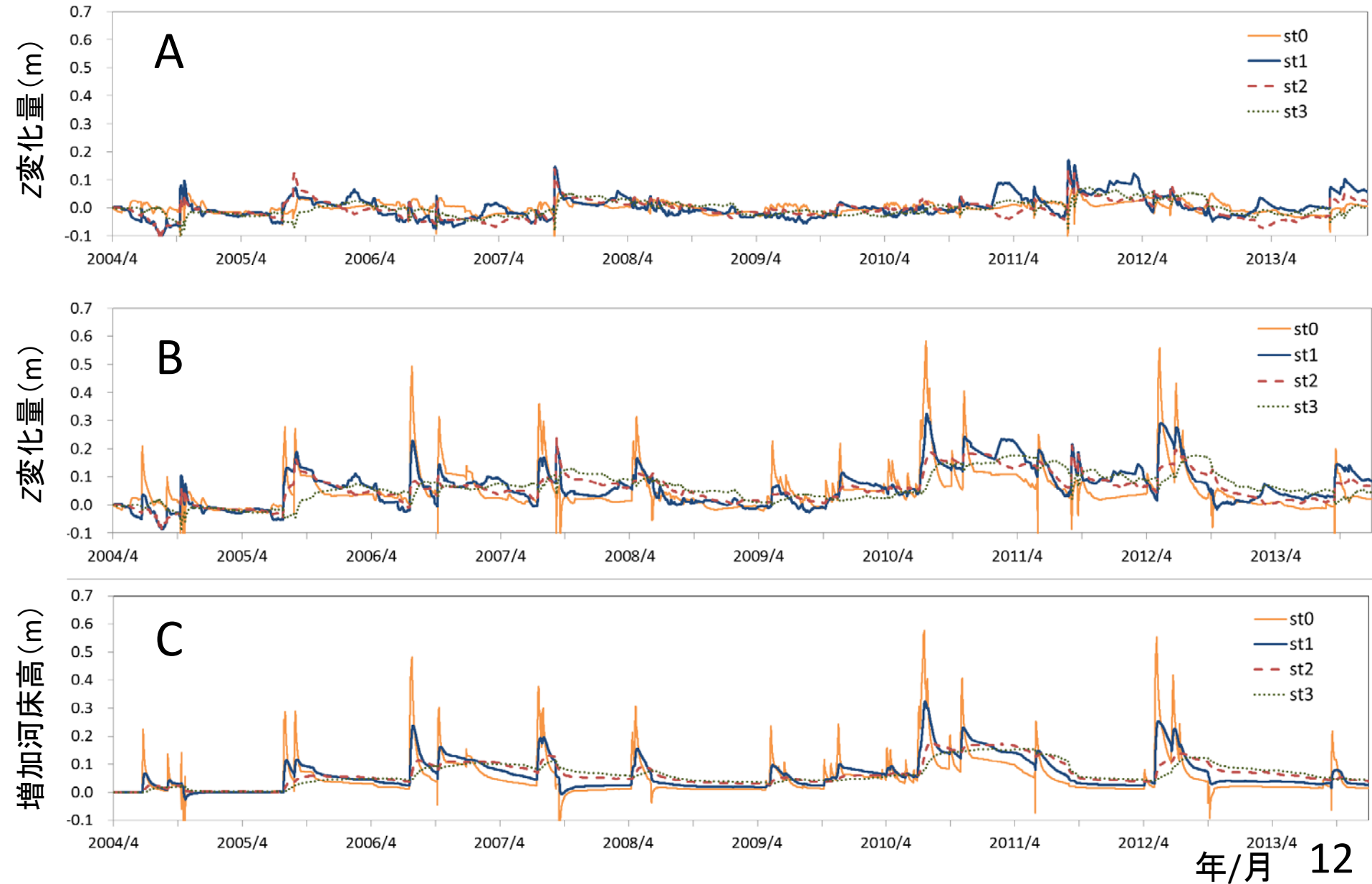
A: 置土量が0の場合の z 変化量

B: 現場と同じ置土量の場合の z 変化量

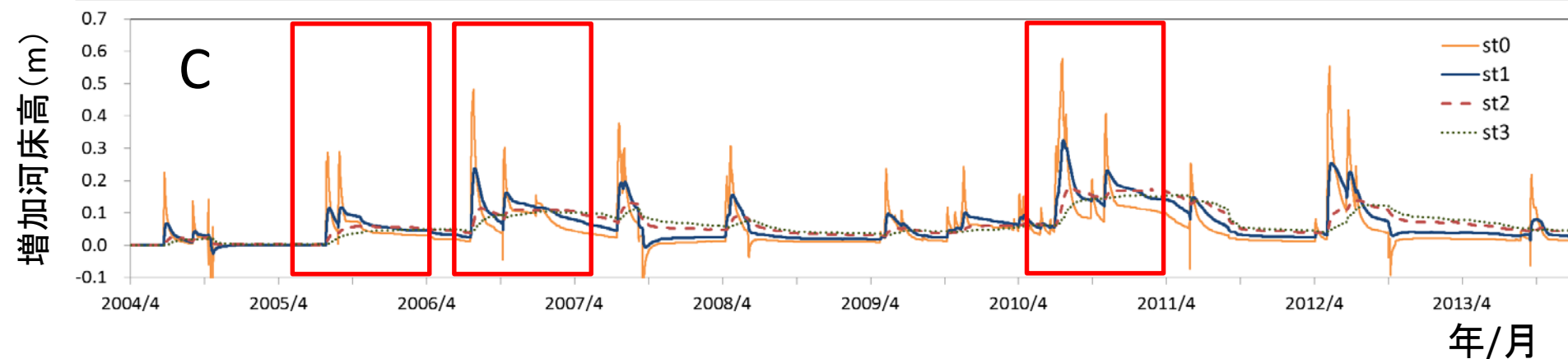
C: 増加河床高: B-A

3. モデルによる予測結果

各地点における z 変化量および増加河床高のモデル予測結果



3. モデルによる予測結果

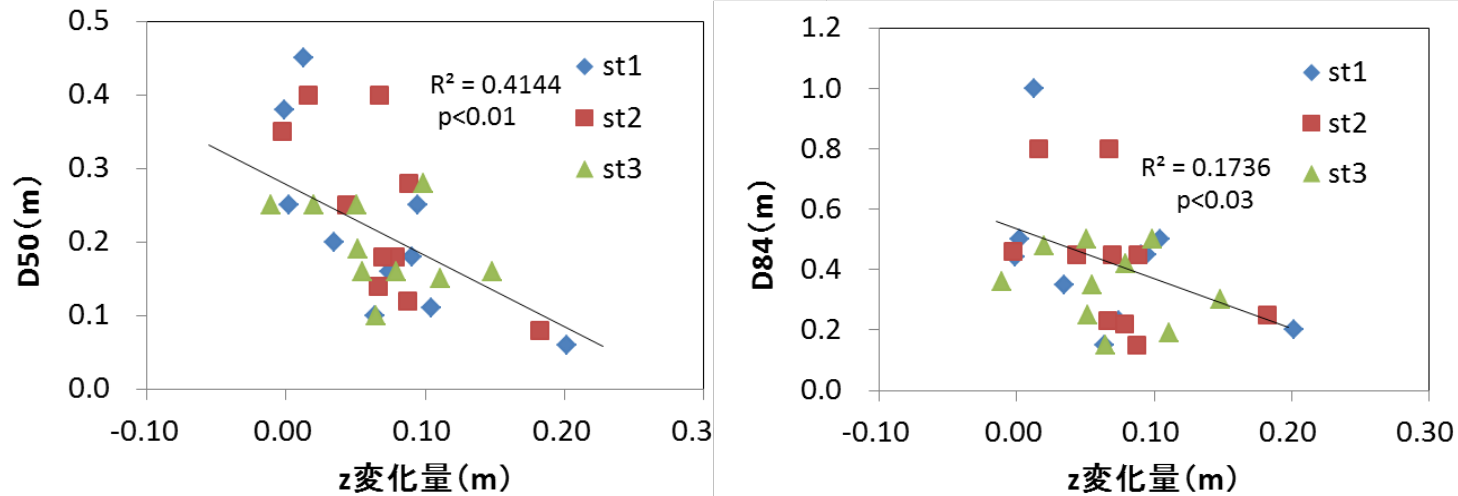


増加河床高の傾向

- ① 置土を行った場合(B)の方が、行わない場合(A)よりも、概ね z 変化量が高くなる傾向
- ② 置土地点から遠くなるにつれ ($st1 \Rightarrow st2 \Rightarrow st3$)、増加河床高のピークは低下し、ピークの時期も遅くなるが、増加している期間はより長くなる傾向
- ③ 2005, 2006および2010年度の後半は、増加河床高がピーク後ゆっくり減少し、置土流下前より高い状態が他の年度より長く続いた

4. 置土による河床回復効果の検証

1. モデル結果と観測データとの比較



z 変化量(B)と D_{50} および D_{84} の観測データとの比較

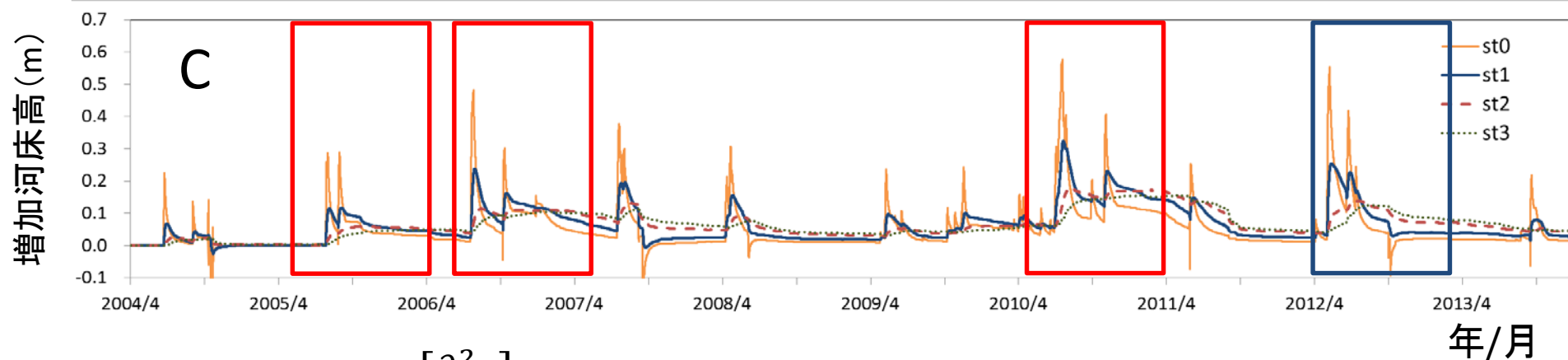
z 変化量(B)が高いほど、 D_{50} および D_{84} の観測データが低い(粒径が細かい)傾向
(D_{50} : $p < 0.01$, D_{84} : $p < 0.03$, Pearson の相関係数)



z 変化量および増加河床高を用いて、置土による河床回復効果を定量的に把握できる可能性

4. 置土による河床回復効果の検証

2. モデルを用いた河床回復効果の検証



①式(2)の拡散の項 $\left[\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right]$ の絶対値: $st1 > st2 > st3$

置土からの離れるほどSediment waveの影響が小さくなる傾向が拡散の項により定量化

②河床が前年度より細粒化した年度(2005, 2006, 2010)の特徴

⇒置土地点で一定以上(約0.2m)のピークが2回発生

ただし、2012年度はピークが2回発生したが、ピークが持続しなかった

⇒Sediment waveが下流に早く伝播したためと推定される

置土の拡散と伝播のバランスにより、効果の持続期間が左右される可能性

まとめ

1. Sediment waveを考慮したモデルにより、従来の一次元河床変動解析よりも少ない計算負荷で、置土による河床の細粒化の効果の予測が可能
2. 本モデルにより、 z 変化量および増加河床高を指標として、置土による河床回復効果を定量的に把握できる可能性
3. その際に、置土からの距離を本モデルの拡散の項にて、個別に評価できる可能性
4. 置土の流下を拡散と伝播のバランスにより評価することで、河床回復効果を最大化するための置土の位置と量をより精緻に予測できると考えられる