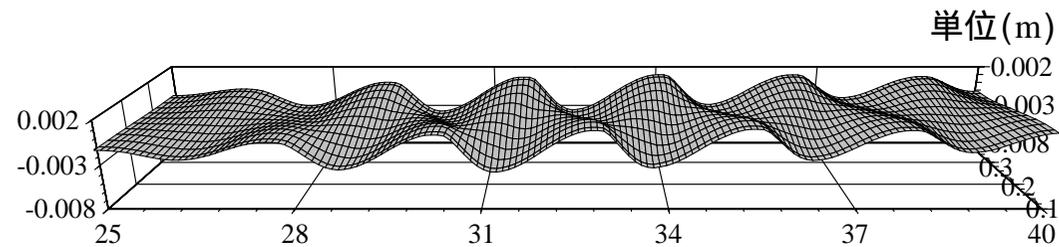


混合砂河床の取り扱いについて

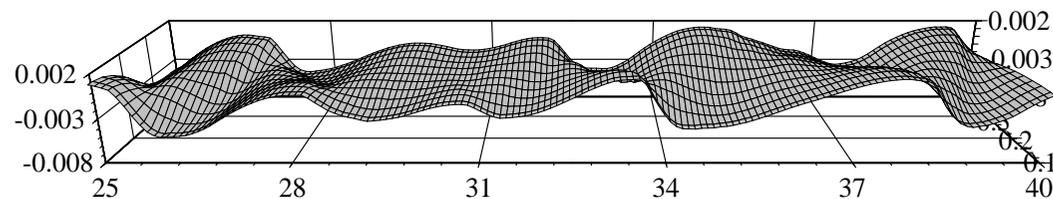
徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部
竹林洋史

なぜ，混合砂河床の砂州の動態について研究？

同一の平均粒径を有した河床材料であっても粒度が異なると，形成される河床形状が大きく異なる条件が存在する



(a) 一様粒径による交互砂州



(b) 混合粒径による交互砂州

なぜ，混合砂河床の砂州の動態について研究？

植生の着脱や魚類の産卵などには，河床材料の粒度に一定の条件が必要であることが明らかにされている



鮎産卵場の河床材料（神奈川県水産技術センター内水面試験場HPより）



徳島県吉野川砂州上のシナダレスズメガヤ

交互砂州の消滅（数値解析）

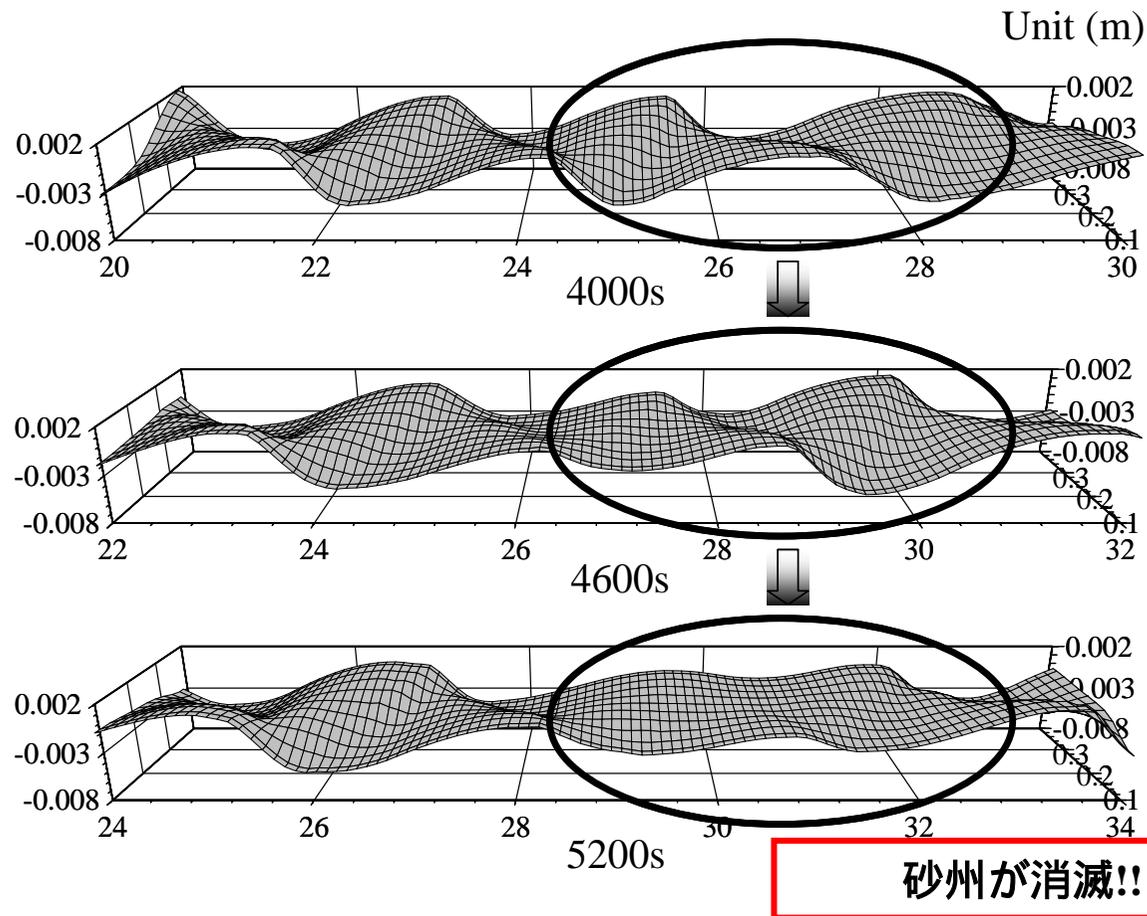


図-1 発達した交互砂州の消滅過程（混合砂）

交互砂州の消滅（水路実験）

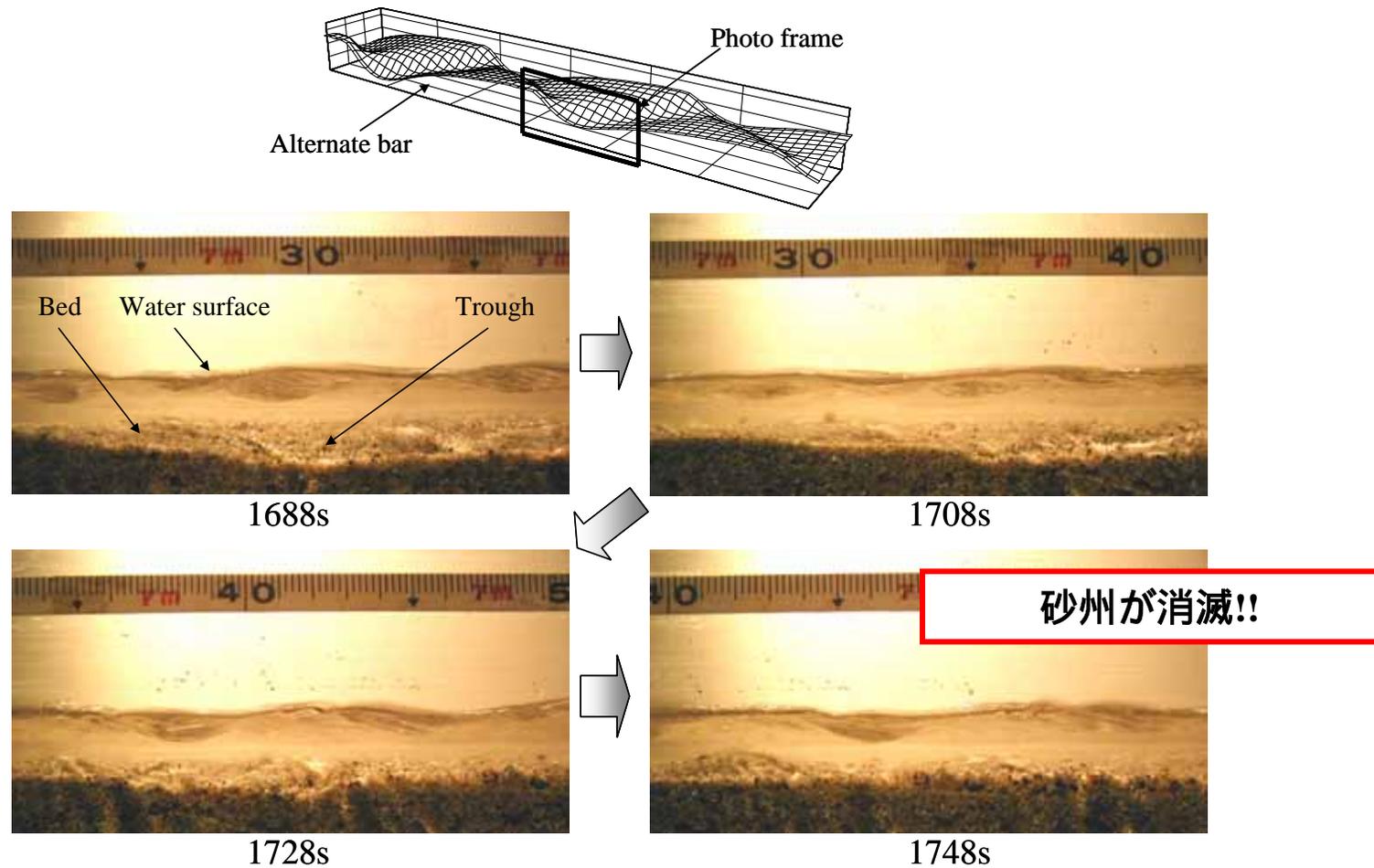
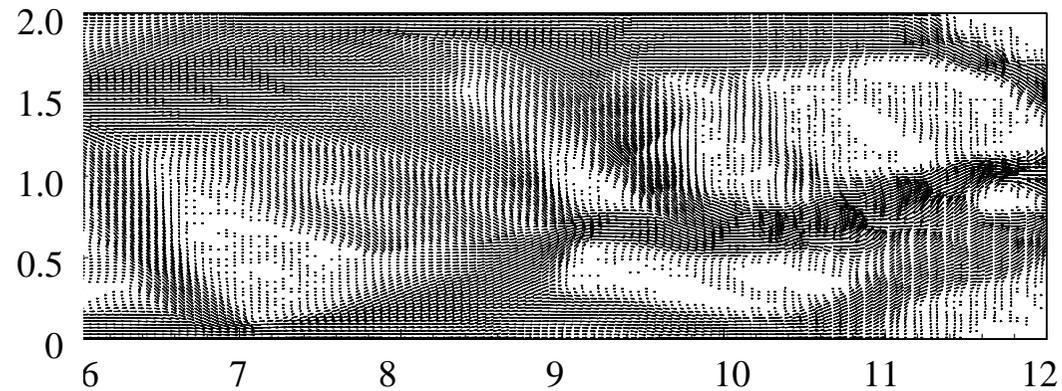
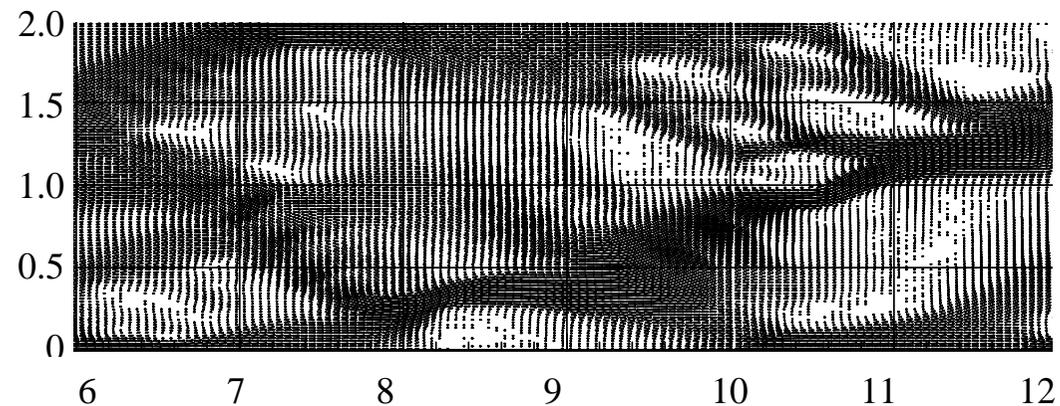


図-2 発達した交互砂州の消滅過程（混合砂）

粒度の違いが流路形状に与える影響



(a) 一様砂



(b) 混合砂

混合砂河床では流路が分岐しやすく，流路と浮州スケールが小さくなる

浮州の面積と形成頻度の関係

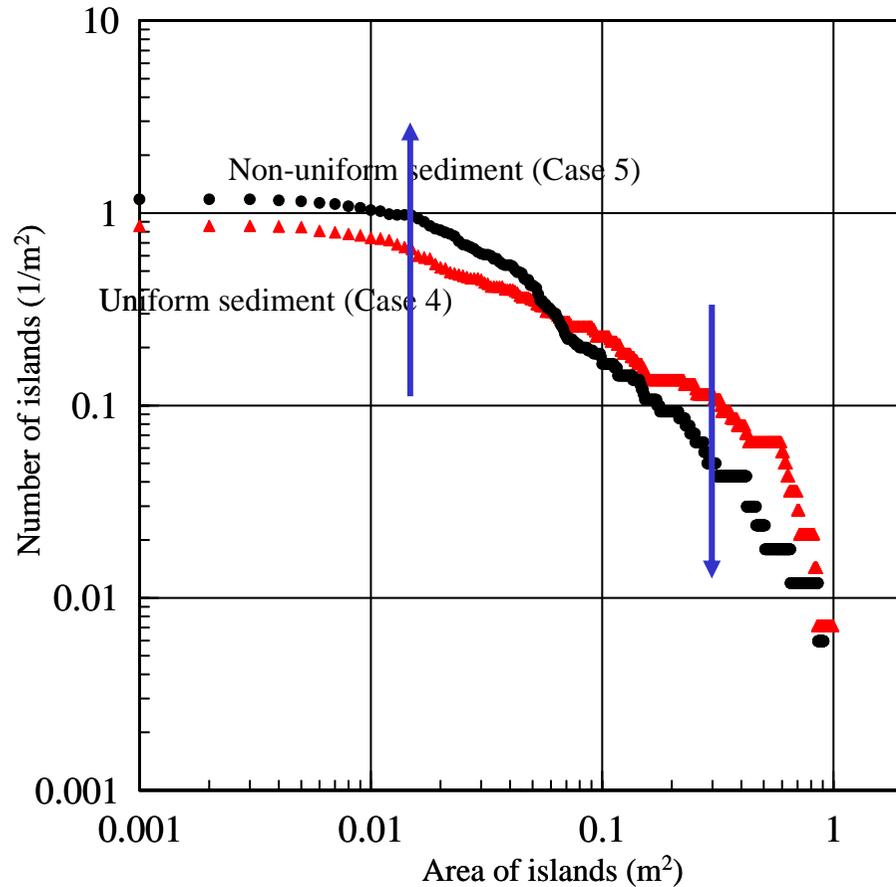


Figure 7 : Correlation between the island area and their number per square meter in Flume test

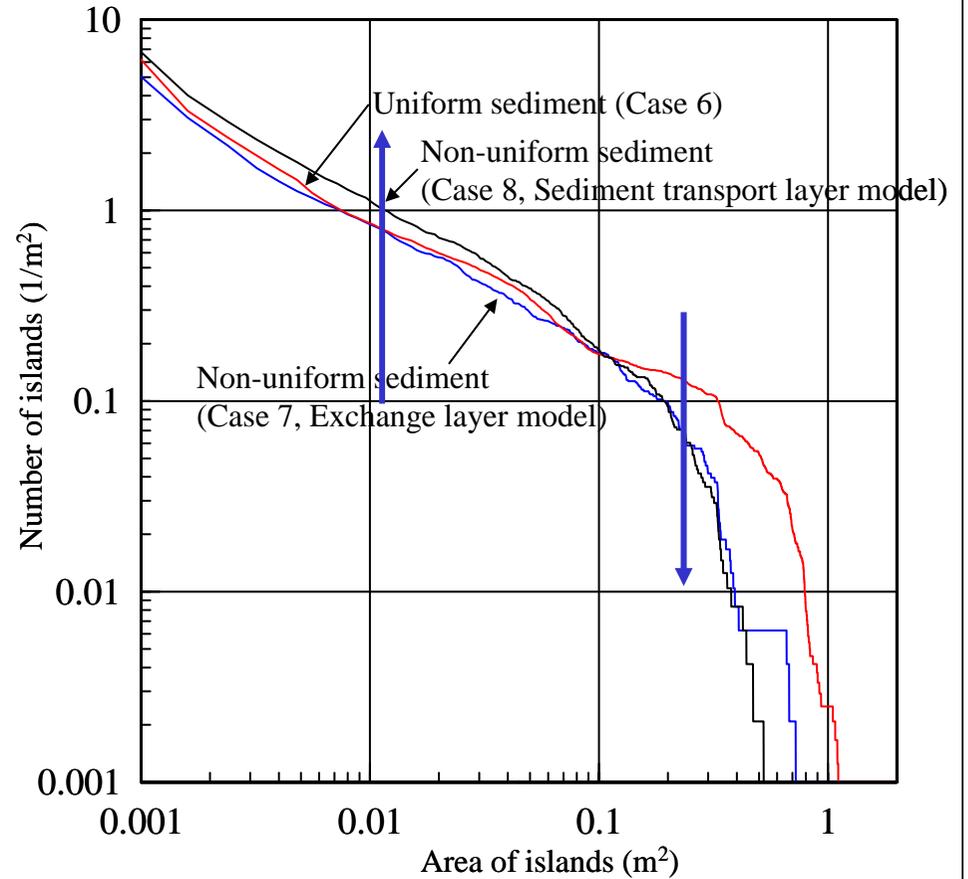


Figure 8: Correlation between the island area and their number per square meter in Simulation

混合砂河床では、スケールの大きい砂州が減り、小さいスケールの砂州が増える。

基礎方程式（交換層モデル）

掃流砂量式

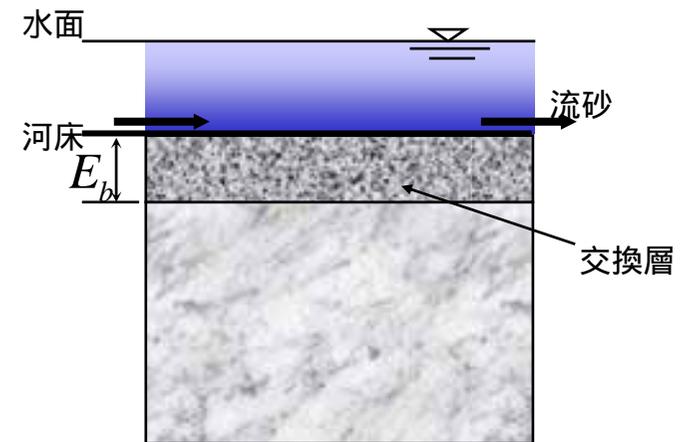
$$q_{bk} = 17 \frac{\rho u_{*e}^3}{(\rho_s - \rho) g} \left(1 - \sqrt{K_c} \frac{u_{*ck}}{u_*} \right) \left(1 - K_c \frac{u_{*ck}^2}{u_*^2} \right) f_{bk}$$

交換層内の各粒径階ごとの土砂に質量保存則

$$(1-\lambda) E_b \frac{\partial f_{bk}}{\partial t} + (1-\lambda) F_{bk} \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{bk}}{\partial x} = 0 \quad \begin{cases} F_{bk} = f_{d1k}, & \partial z_b / \partial t \leq 0 \\ F_{bk} = f_{bk}, & \partial z_b / \partial t \geq 0 \end{cases}$$

河床位方程式

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

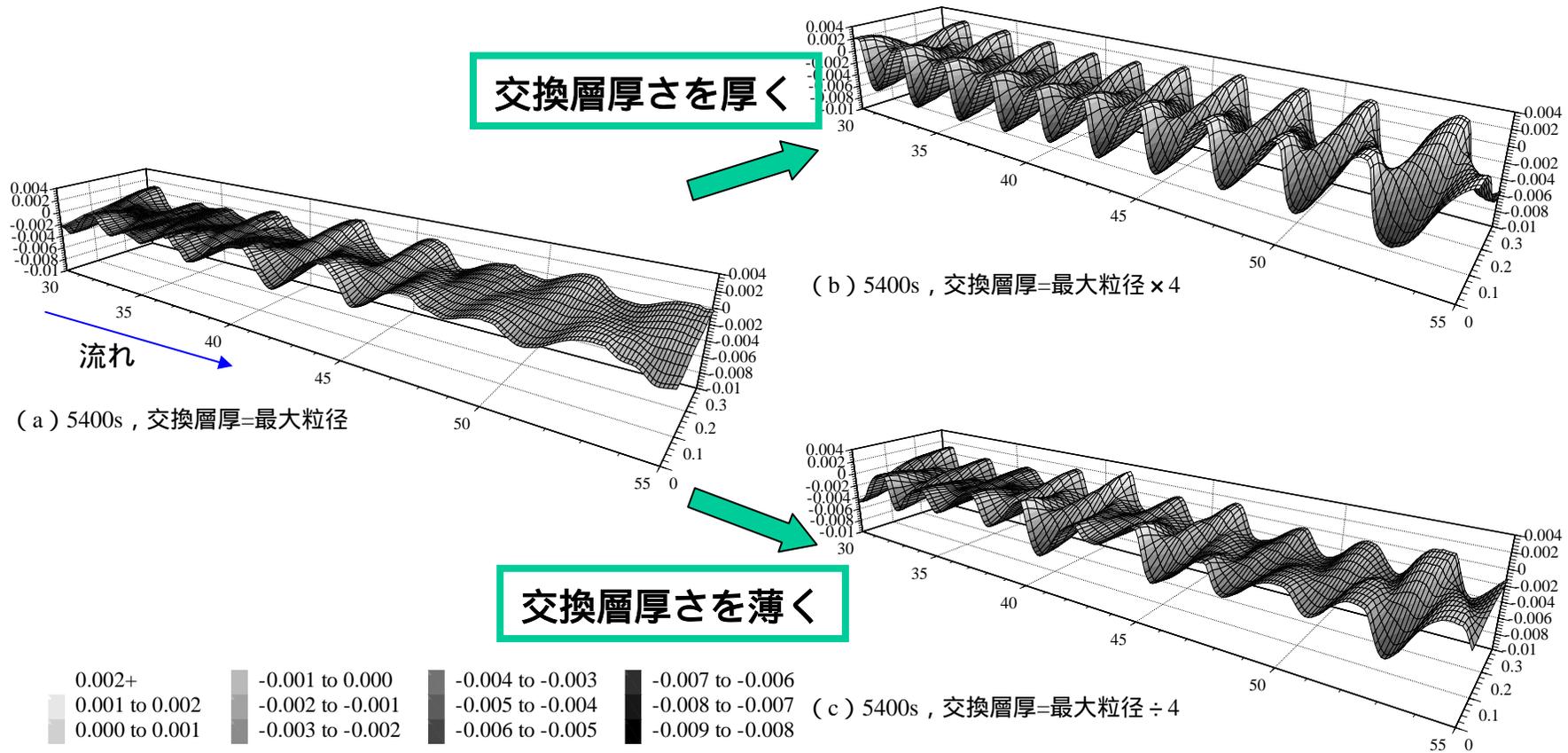


交換層モデル

既存の混合砂取り扱い方法の特徴

- ・ 混合砂と言っても粒径だけに着目した混合砂であり，土砂の形状，鉱物特性等を考慮した混合砂ではない．
- ・ 粒度分布が広い条件への適用が困難（ex. 巨礫が存在する場，粘性特性を示す様な細粒土）．
- ・ 空隙率の時空間的な変化が考慮されていない．
- ・ 交換層厚さの決定が難しい．
- ・ 鉛直方向の土砂移動機構が考慮されていない．
- ・ 総流砂量は，粒度分布を粒径階に分け，各粒径階の平均粒径による流砂量を線形的に足し合わせるにより得られる．
- ・ 限界掃流力予測における遮蔽効果の適用性について．

交換層の厚さが砂州の形状特性に与える影響



交換層モデルにおける（私の）最大の疑問点

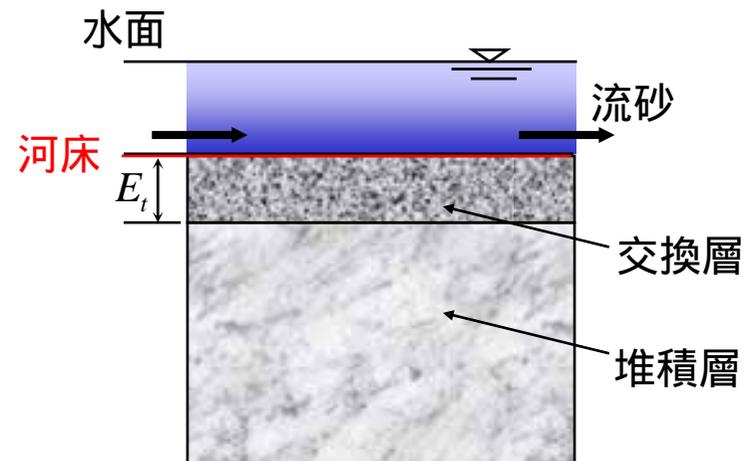
なぜ，砂の動いていない河床面以下の粒度が変化するのか？



掃流砂は，河床と交換しながら輸送されると近似しているため



そのため，河床材料と流砂材料の交換現象は議論されていない



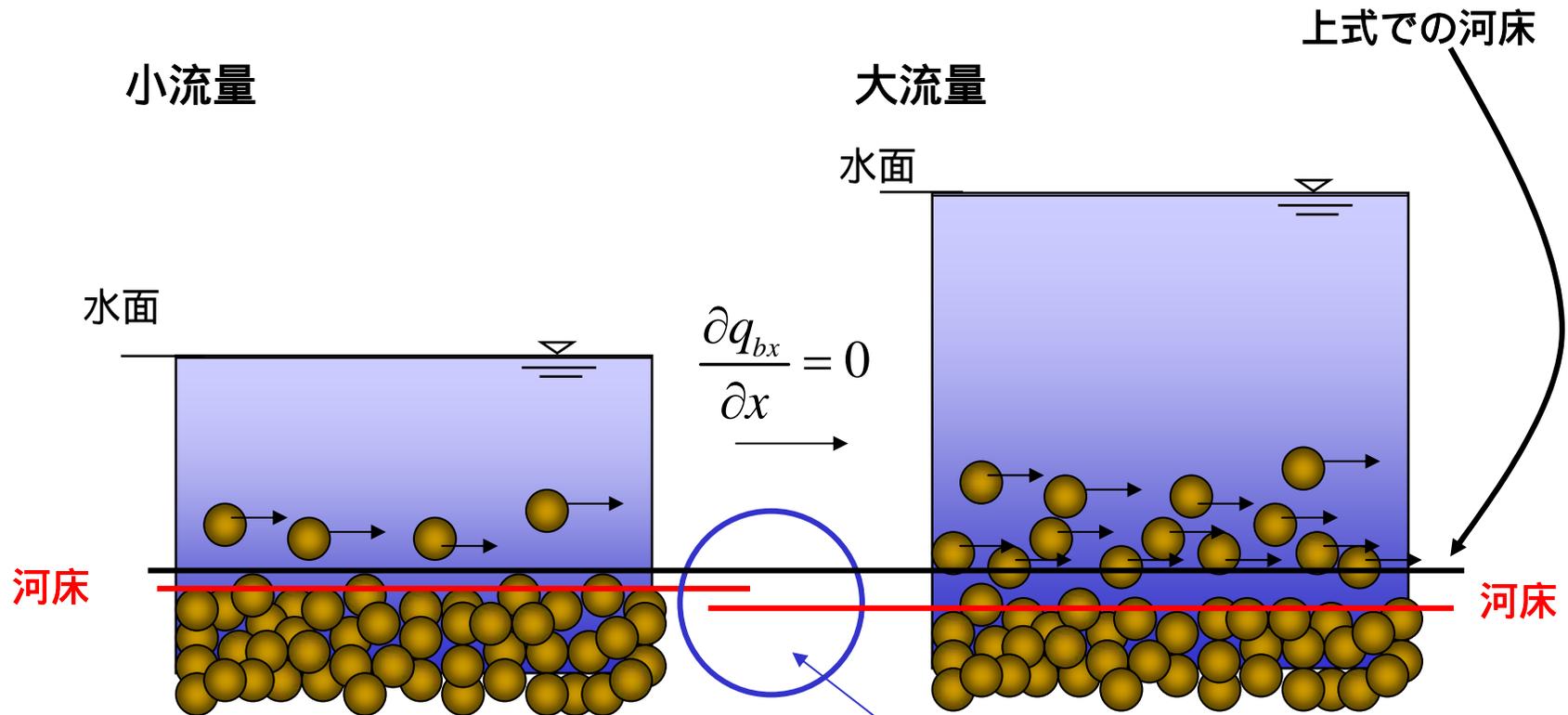
交換層モデル（単層）

河床位方程式（一様砂・掃流砂）

$$(1-\lambda) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{bx}}{\partial x} = 0$$

小流量

大流量



上式での河床

$$\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} = 0$$

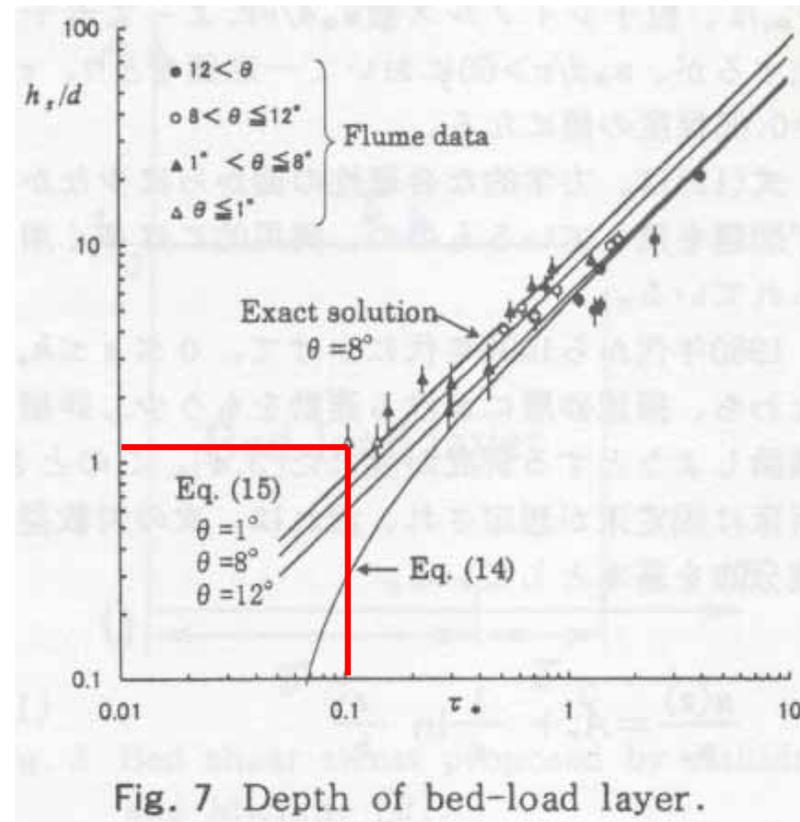
河床

河床

$\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} = 0$ にも関わらず，河床が低下する！

流砂層は，非常に薄いと近似している．

たしかに，無次元掃流力が小さい領域では薄い・・・



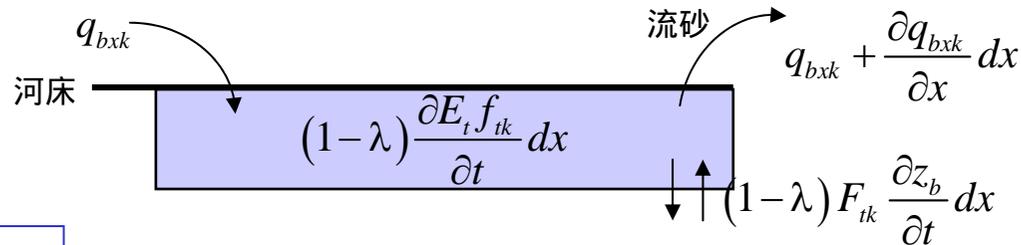
しかし・・・

粒度分布の計算においては，重要では・・・？

交換層・流砂層の粒度分布式

交換層モデル

$$(1-\lambda) \frac{\partial}{\partial t} (E_t f_{tk}) + (1-\lambda) F_{tk} \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{bxx}}{\partial x} = 0 \quad \begin{cases} F_{tk} = f_{dk}, & \partial z_b / \partial t \leq 0 \\ F_{tk} = f_{tk}, & \partial z_b / \partial t \geq 0 \end{cases}$$



流砂層モデル

流砂層

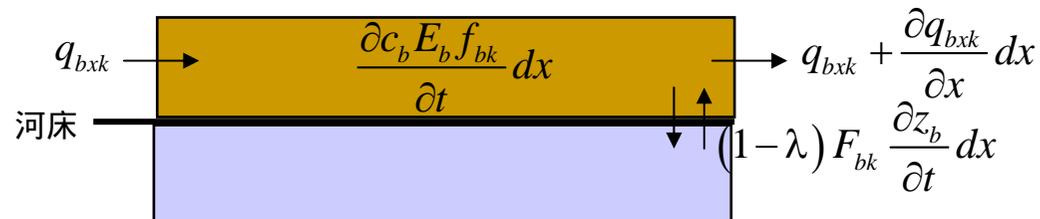
$$\frac{\partial}{\partial t} (c_b E_b f_{bk}) + (1-\lambda) F_{bk} \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{bxx}}{\partial x} = 0 \quad \begin{cases} F_{bk} = f_{tk}, & \partial z_b / \partial t \leq 0 \\ F_{bk} = f_{bk}, & \partial z_b / \partial t \geq 0 \end{cases}$$

交換層

$$\frac{\partial}{\partial t} (E_t f_{tk}) - F_{tk} \frac{\partial E_t}{\partial t} = 0 \quad \begin{cases} F_{tk} = f_{tk}, & \partial z_b / \partial t \leq 0 \\ F_{tk} = f_{bk}, & \partial z_b / \partial t \geq 0 \end{cases}$$

(注)

$$F_{bk} \frac{\partial z_b}{\partial t} = F_{tk} \frac{\partial E_t}{\partial t}$$



交換層厚さ・流砂層厚さ

交換層厚さ

最大粒径，平均粒径の2倍，最大粒径の90%，砂堆の波高など．

河床面以下の層なので，力学的に決定できない（もともと，物理的意味が無い）

流砂層厚さ

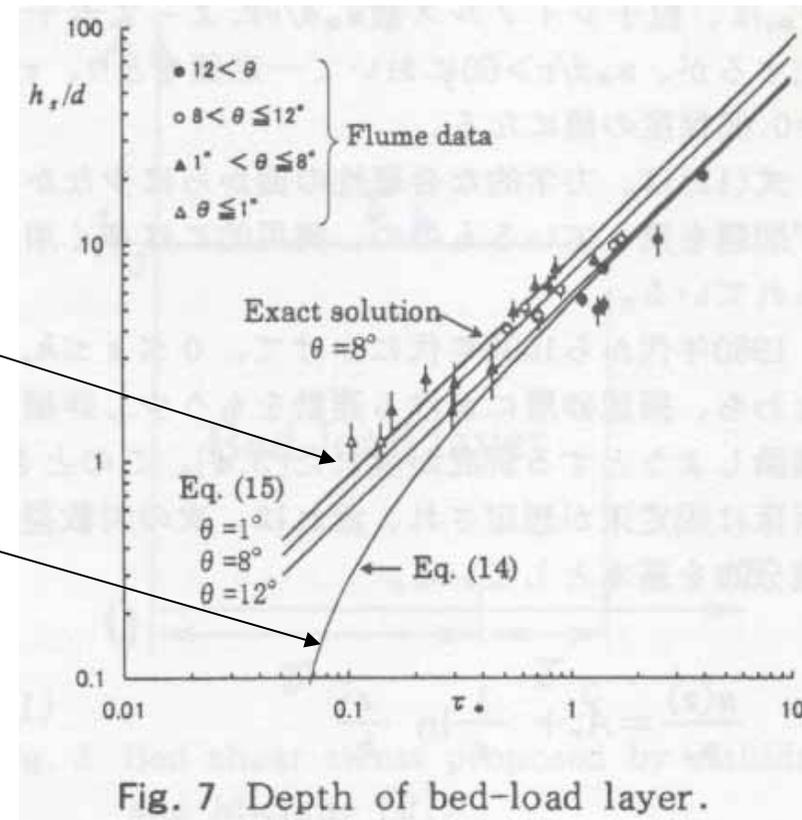
江頭らの式

$$\frac{E_b}{d_m} = \frac{1}{c_b \cos \theta (\tan \phi - \tan \theta)} \tau_{*m}$$

芦田・道上による式

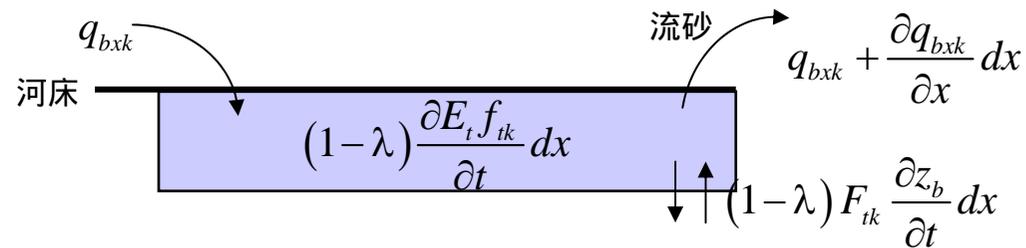
$$\frac{E_b}{d_m} = \frac{1}{c_b \tan \phi} (\tau_{*m} - \tau_{*cm})$$

流砂の層なので，流砂の運動特性より力学的に決定できる



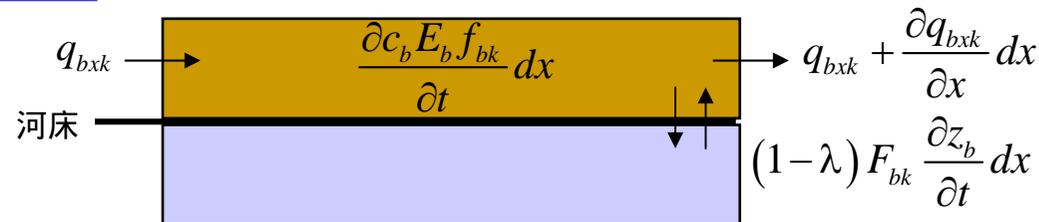
交換層モデルでは，（力学的に決定できない）交換層厚さが流砂の粒度の決定に強く影響するため，流砂の粒度が解析の目的（スケール）に依存する．
 （ex．層厚は，砂堆以下のスケールでは最大粒径程度，砂州スケールの解析では砂堆の波高．もし，交換層厚さが だと，流砂の粒度は変化しない）

交換層モデル

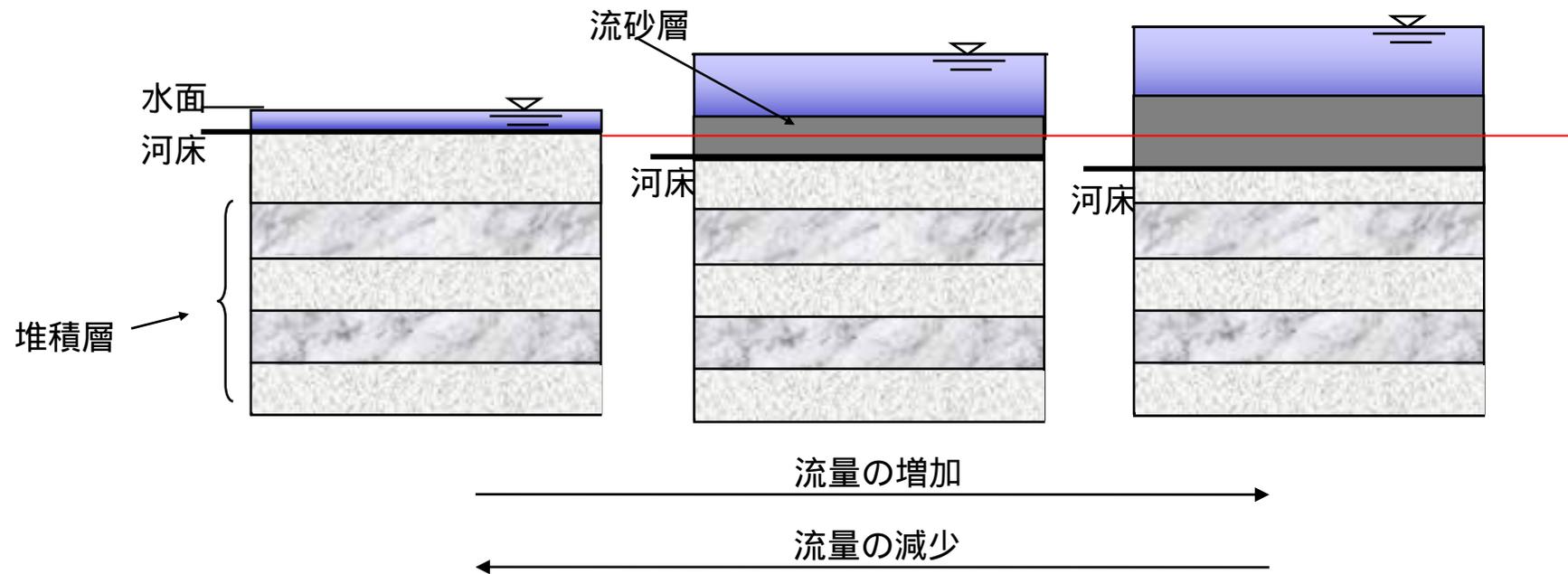


流砂層モデルでは，（力学的に決定できない）交換層厚さが流砂の粒度の決定に与える影響は，河床位の変動のみによるため小さく，（力学的に決定できる）流砂層厚さが，流砂の粒度の決定に強く影響を与える．
 （ex．もし，交換層厚さが でも，流砂の粒度は変化する）

流砂層モデル



出水中の河床位の低下 流砂層モデル (多層)



水路実験

水路長：12m

水路幅：0.4m

初期河床形状：平坦

初期河床勾配：0.0025

河床材料の平均粒径：3.5mm

単位幅流量：0.075m²/s（定常，90%粒径の土砂の限界掃
流力と同程度の掃流力）

給砂：なし



数値解析

流れの質量保存則

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

流れの運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) = -gA \frac{1}{\rho} \frac{\partial z}{\partial x} - gAI_e + \frac{\partial}{\partial x} (A\sigma_{xx})$$

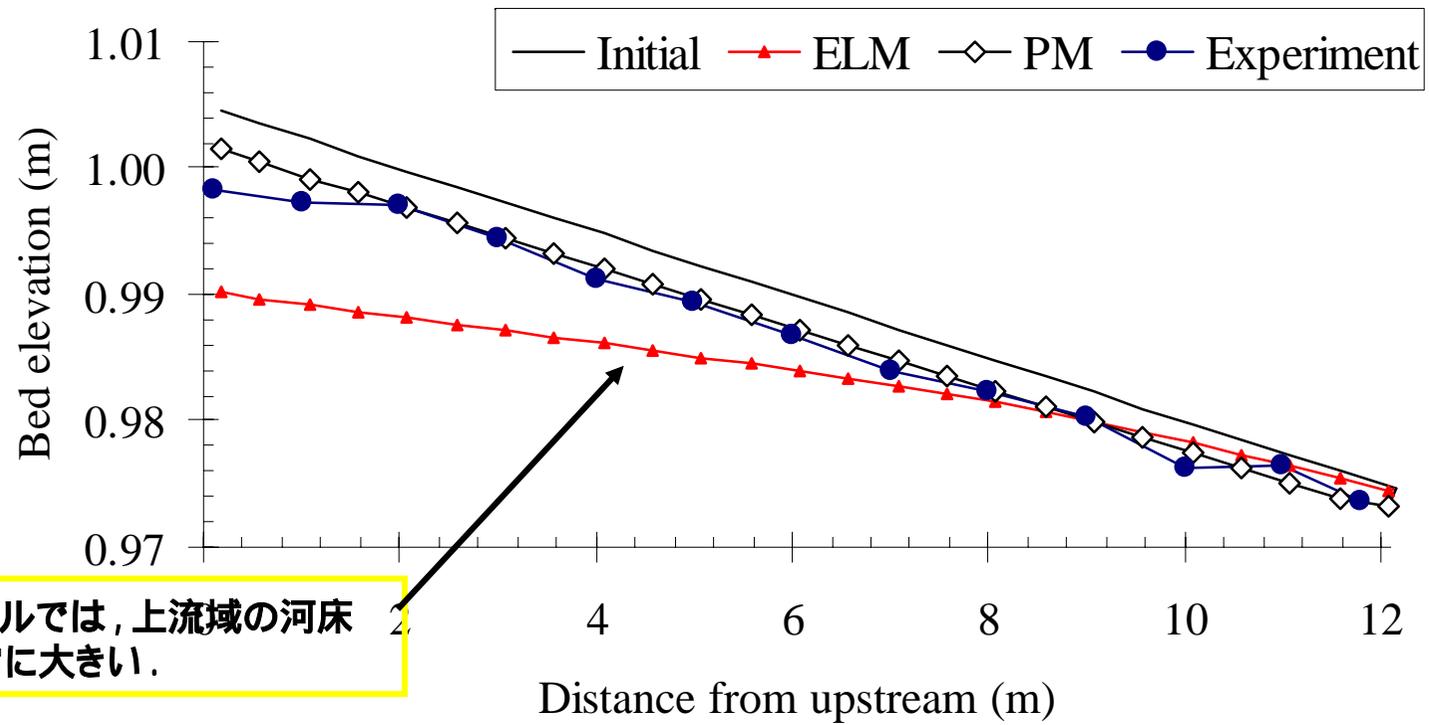
流砂層における土砂の質量保存則

$$\frac{\partial}{\partial t} (c_b E_b f_{bk}) + (1-\lambda) F_{bk} \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{bkk}}{\partial x} = 0 \quad \begin{cases} F_{bk} = f_{tk}, & \partial z_b / \partial t \leq 0 \\ F_{bk} = f_{bk}, & \partial z_b / \partial t \geq 0 \end{cases}$$

流砂量式

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

結果及び考察



交換層モデルでは, 上流域の河床低下が非常に大きい.

図-2 75分後の河床形状 (ELM: 交換層モデル (交換層厚さ=最大粒径), PM: 掃流砂層モデル)

結果及び考察

両モデルとも十分に実験得られた粒度を予測できているとは言い難いが、粗粒化後の上流と下流の粒度に大きな違いが無い点については、掃流砂モデルによって再現できている。

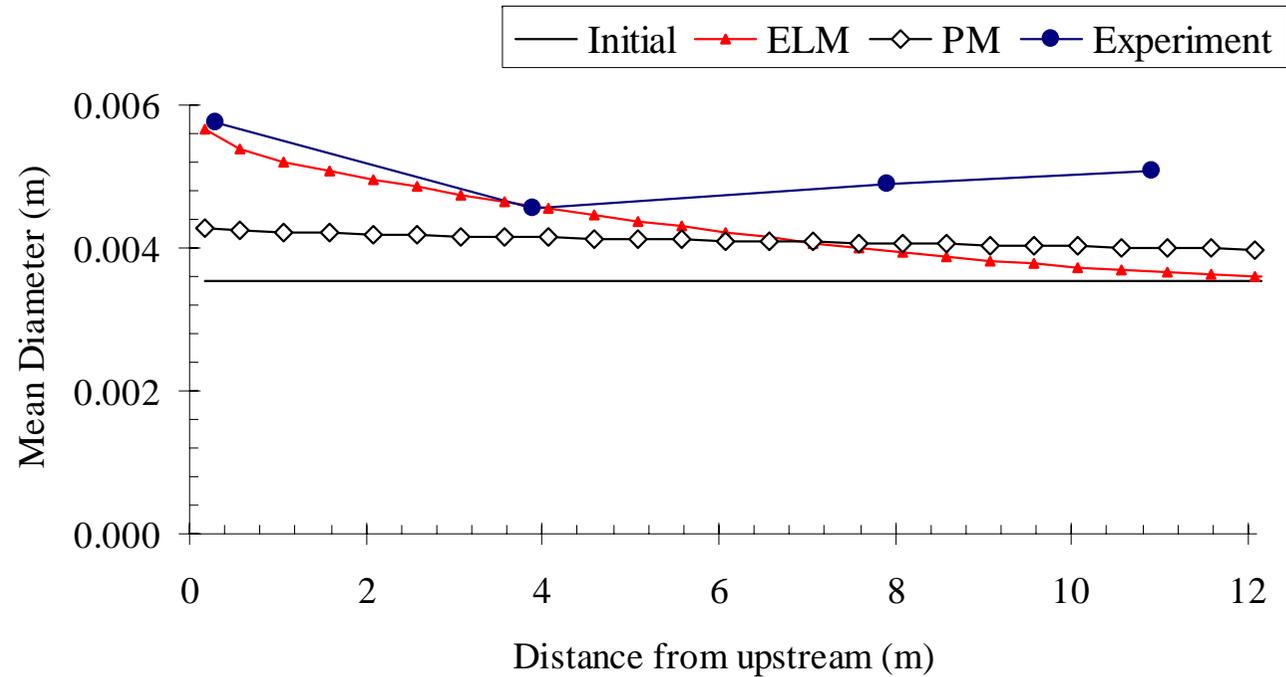


図-3 75分後の河床表層の平均粒径（ELM：交換層モデル，PM：掃流砂層モデル）

まとめ

1. 河床材料の粒度が異なると流砂量の空間分布が変化する．その結果，形成される河床形状の異なってくる．
2. 粒度が変化する層の厚さ（交換層厚さ，掃流砂層厚さ）は，形成される河床形状に強く影響を与える．
3. 掃流砂層モデルは，対象とした場の土砂量が変わらない条件において，流砂量の増減による河床低下及び上昇を再現可能である．
4. 掃流砂層モデルでは，粒度が変化する層の厚さを力学的に決定できるため，解析結果が一義的に求まる．