

2023年6月

河川技術に関するシンポジウム
(事前ディスカッション)

急勾配河道区間に大量の細粒土砂が 供給された場合の堆積・延伸過程

○武内慶了¹・山本陽子²・海老原友基¹・井上清敬¹・板垣修³

¹国土交通省国土技術政策総合研究所

²(一財)先端建設技術センター

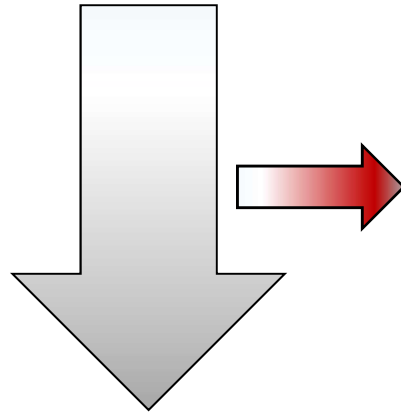
³国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所



National Institute
for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

1. 研究の目的:

- ✓ 平成29年7月九州北部豪雨の赤谷川など,
- ✓ 勾配の大きい中小河川において,
- ✓ 豪雨に伴う大規模洪水時に,
- ✓ 山地部から供給された大量の土砂が,
- ✓ 長い河道区間に大量堆積する事象
⇒“本事象”と定義



本研究の目的:

- ✓ 従来の河川工学的知見を活用し,
- ✓ 本事象の進行過程や発生条件といった基本的事項について,
- ✓ 実験及び数値計算により調べる

本研究の先に想定する(当面の)ゴール:

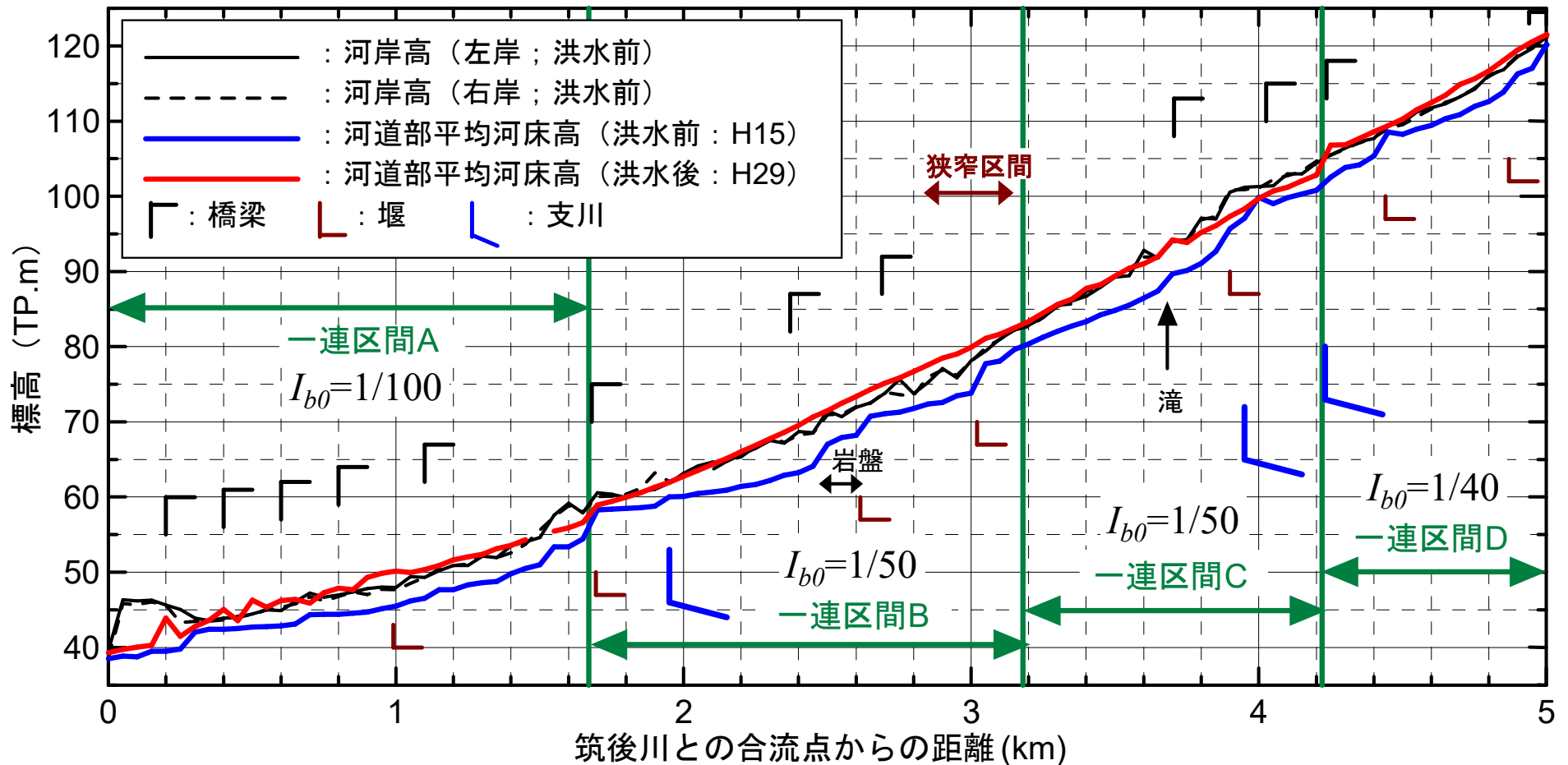
本事象による水位上昇の影響を, 中小河川の洪水リスク評価に組み込む

⇒小規模河川の氾濫推定図作成の手引き

- ・一次元不等流解析, 平面二次元流況解析の利用が想定
- ・これらの水位計算法に見合った“大量の土砂堆積後の河床高・地盤高分布の推定方法”を得る.

2. 本事象の特徴 ～筑後川水系赤谷川を事例として～:

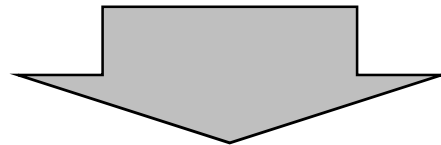
I_{b0} : 河床勾配(洪水前)



- 1) 堆積後河床の縦断勾配が概ね一様に分布する一連区間(A～D)が連なる。
- 2) 河岸肩程度orそれ以上の高さまで土砂が堆積し、河道を概ね埋塞。
- 3) 一連区間の下流端には堰、橋梁、狭窄部がある。
- 4) 堆積した土砂は粗砂、極粗砂、細礫が主。
⇒洪水前の河床材料より1～2オーダー小さいことが推察。
- 5) 河道部のみならず、堤内地にも広く堆積。横断方向に概ね一様に分布。

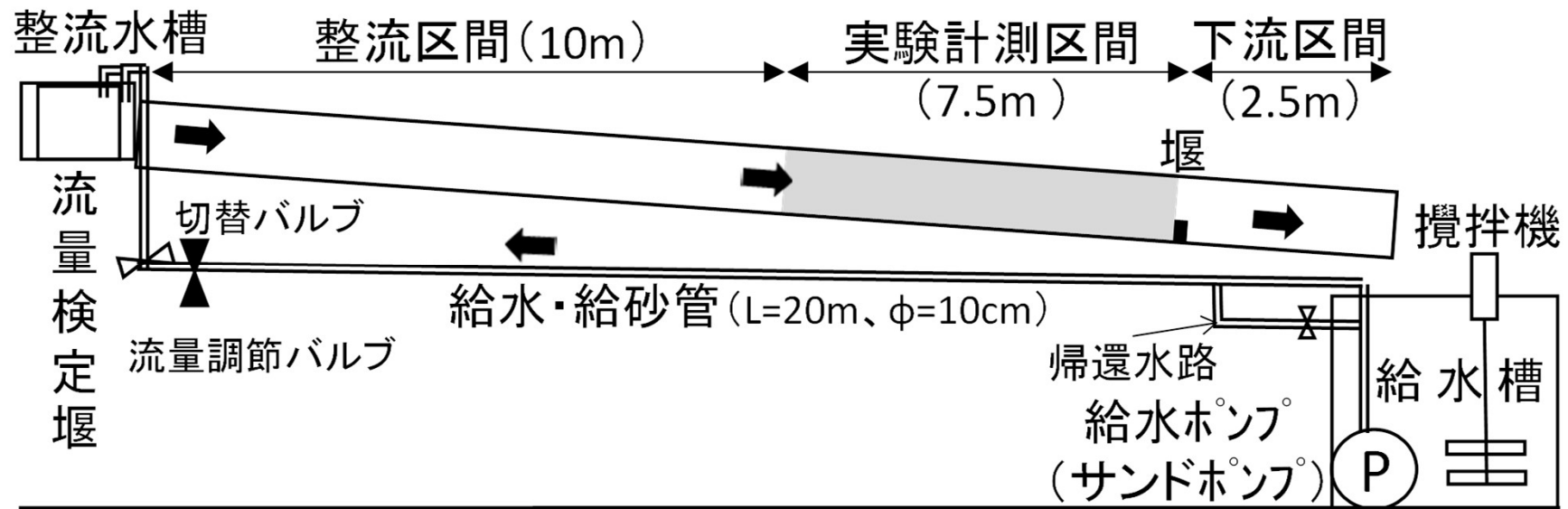
“本事象”のプロセスに関する仮説:

事例から得られた特徴	本事象プロセスの仮説
4) 堆積した土砂は、 <u>洪水前の河床材料より1~2オーダー小さい</u>	⇒ ① 洪水中に十分な浮遊状態で流送される高濃度の土砂が、
3) 堆積一連区間の <u>下流端には堰、橋梁、狭窄部がある</u>	⇒ ② 堰等を起点として、
1) 堆積後河床の縦断勾配が概ね一様に分布する <u>一連区間が連なる</u> 2) <u>河道を概ね埋塞する</u>	⇒ ③ 1出水の間に、長い河道区間に堆積していく。



直線矩形断面水路を用い、**本事象のプロセスを把握する土砂水理実験**を実施

3. 土砂水理実験による堆積過程の把握 ～①実験水路の概要～：



【水路の形状等】

- ・水路延長20m
- ・水路幅0.15m
- ・直線可変勾配水路
- ・水路床に $d_{60}=2\text{mm}$ の砂貼付

【土砂混じり流水の供給】

- ・水路下流端に給水槽を設置
- ・サンドポンプによる循環構造
- ・給水槽に攪拌機
(槽底部堆積による濃度減少を回避)

【堰の設置】

- ・堆積の起点として、堰を想定
- ・水路下流端から2.5m地点に設置

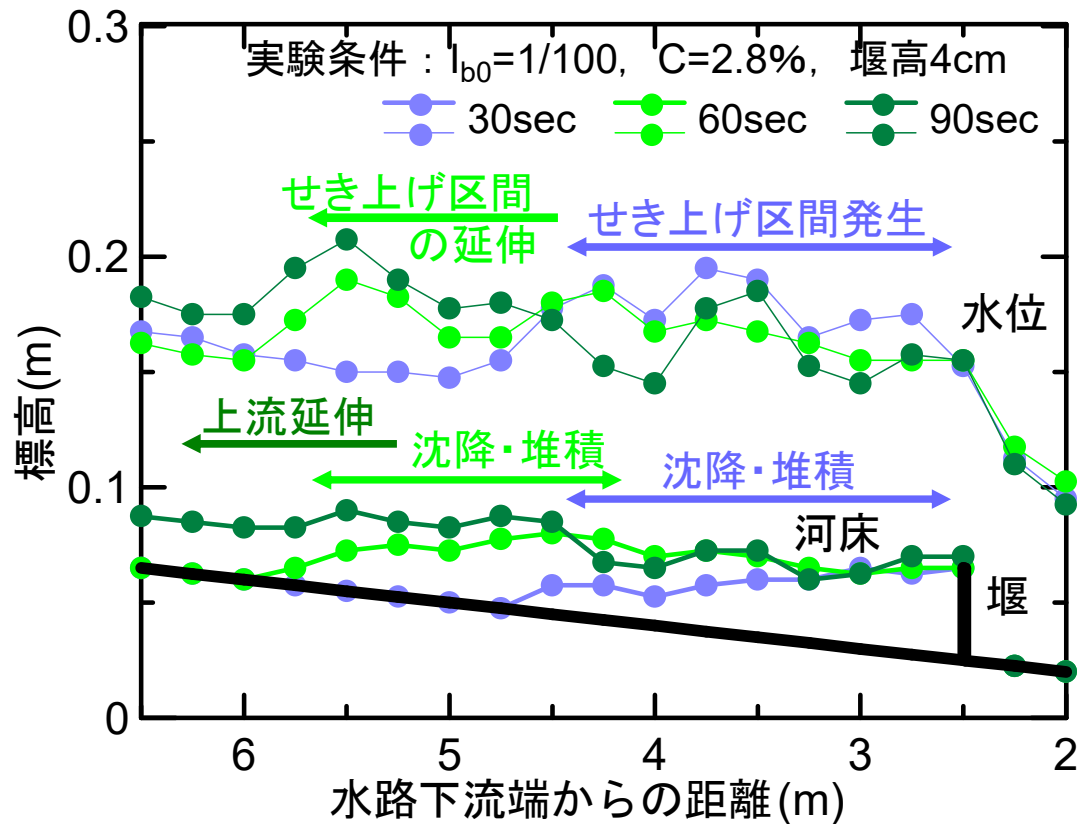
3. 土砂水理実験による堆積過程の把握 ～②実験条件～：

水路勾配 I_{b0}	堰高 (m)	土砂濃度 C (%)	流量 Q (l/s)	等流区間		ケース 数
				h_0 (m)	Fr_0 ()	
1/40	0.04	4.0, 6.1, 8.2	18.9	0.078~0.08	1.8	3
1/40	0.05	4.1, 6.1, 8.2, 10.3	18.9	0.078~0.08	1.8	4
1/40	0.06	<u>3.9</u> , <u>6.0</u> , <u>8.0</u> , 10.3	18.9	0.078~0.08	1.8	4
1/40	0.07	10.1	18.9	0.078	1.8	1
1/55	0.04	3.2, 5.0, 7.6, 10.1	22.1	0.099	1.5	4
1/55	0.05	<u>3.2</u> , <u>5.0</u> , 7.5, 10.0	22.1	0.099	1.5	4
1/55	0.06	<u>3.1</u> , <u>4.9</u> , <u>7.3</u> , <u>9.9</u>	22.1	0.099	1.5	4
1/80	0.02	0.5, 0.9, 3.1, 10.1	18.4	0.091~0.1	1.3	4
1/80	0.03	<u>0.4</u> , <u>0.8</u> , <u>3.1</u> , <u>9.4</u>	18.4	0.091~0.1	1.3	4
1/80	0.04	<u>0.4</u> , <u>0.8</u> , <u>3.1</u> , <u>9.3</u>	18.4	0.091~0.1	1.3	4
1/100	0.01	0.4, 0.8, 2.1, 3.3	16.5	0.092~0.1	1.2	4
1/100	0.03	<u>0.4</u> , <u>0.7</u> , <u>2.0</u> , <u>3.0</u> , <u>4.1</u>	16.5	0.092~0.1	1.2	5
1/100	0.04	<u>0.3</u> , <u>0.7</u> , <u>1.9</u> , <u>2.8</u>	16.5	0.092~0.1	1.2	4

※表中の斜体・下線は、堰直上流で跳水が生じたケース

- ✓ 供給する土砂： $d=0.11\text{mm}$ (一様粒径)
- ✓ 堰の影響を受けない区間(等流区間)の水深 h_0 が概ね0.1mとなるよう、流量設定
- ✓ 水路床勾配 I_{b0} 、土砂濃度 C 、堰高を変化させた計49ケース

3. 1 土砂水理実験結果 ～①堆積区間の延伸過程～：



※この過程において、反砂堆状の河床波と波状の水面形が形成されるケースもあり。

本研究で対象とする“長い区間に大量の土砂堆積”が生じるケースに共通する特徴

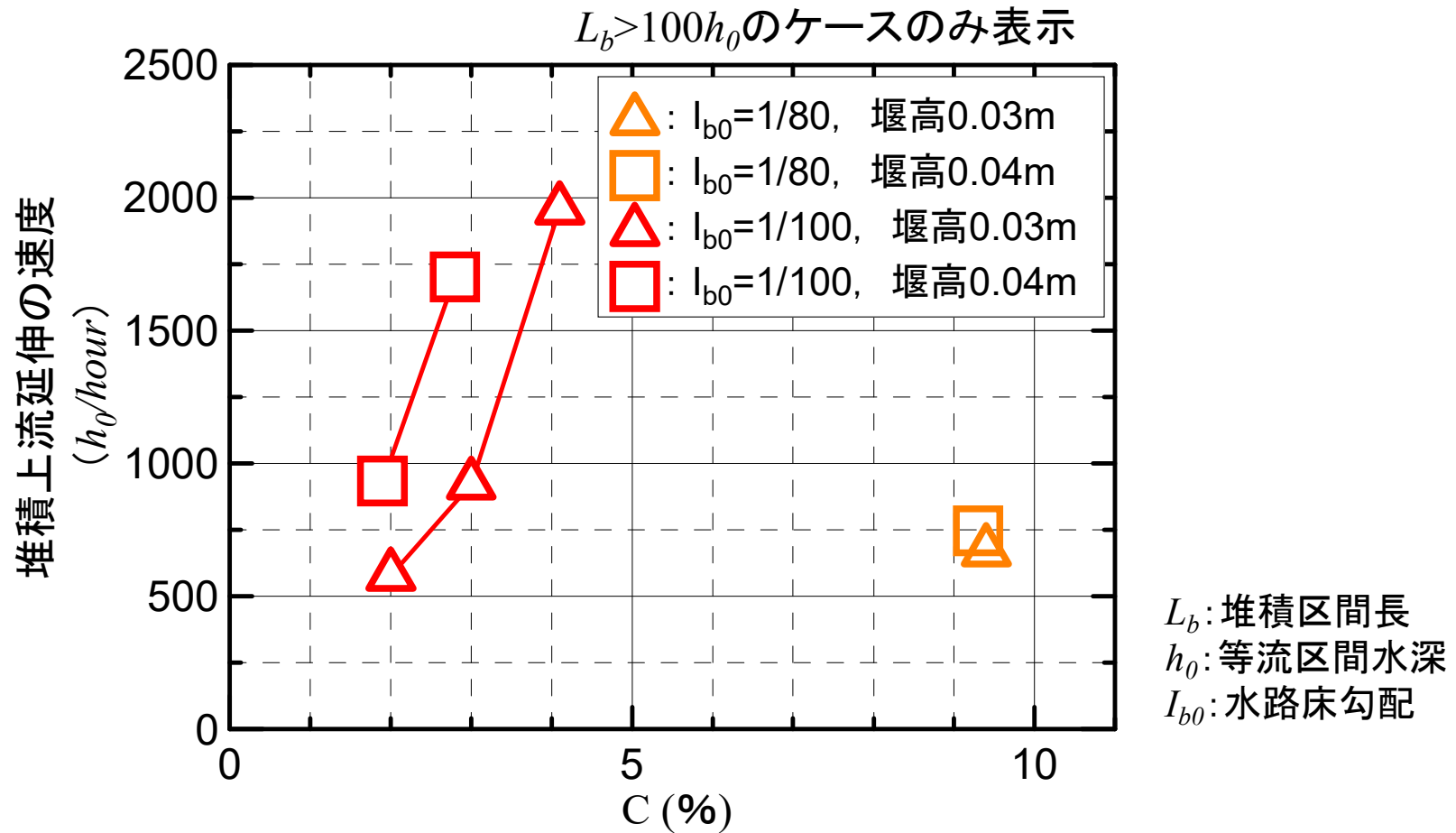
➤ 堆積上流延伸過程を辿る

- 堰直上流で生じた、跳水を伴う水位せき上げ区間に土砂が堆積。
- 堆積の影響により、せき上げ区間が上流に延伸。
- 新たに生じたせき上げ区間に土砂が堆積
- 上記a)～c)を繰り返し、堆積区間が上流方向に延伸した。

➤ 水中を浮遊しながら流送される土砂の沈降・堆積が支配的

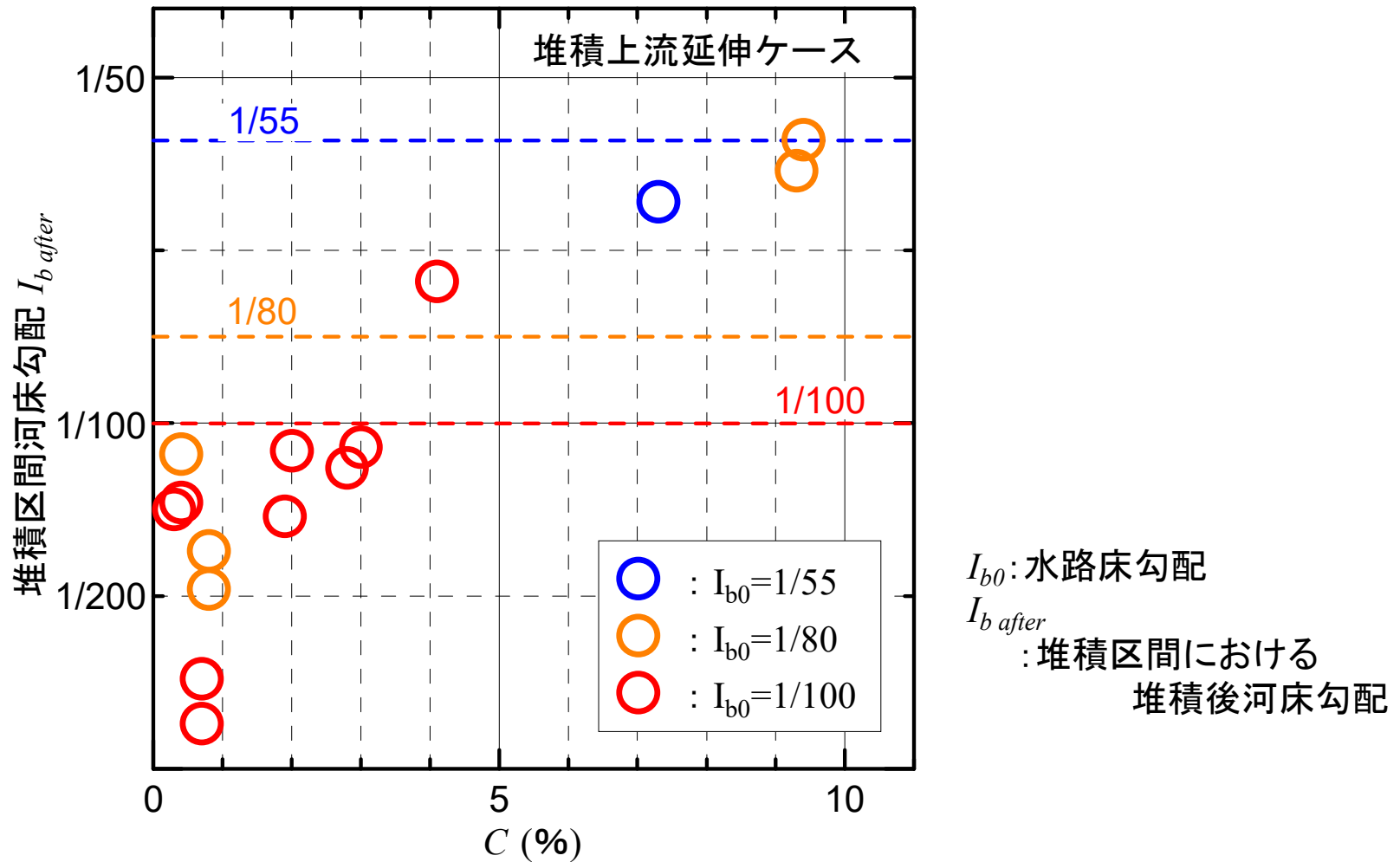
以降、堆積上流延伸ケースを対象に分析

3. 1 土砂水理実験結果 ～②堆積上流延伸の速度～：



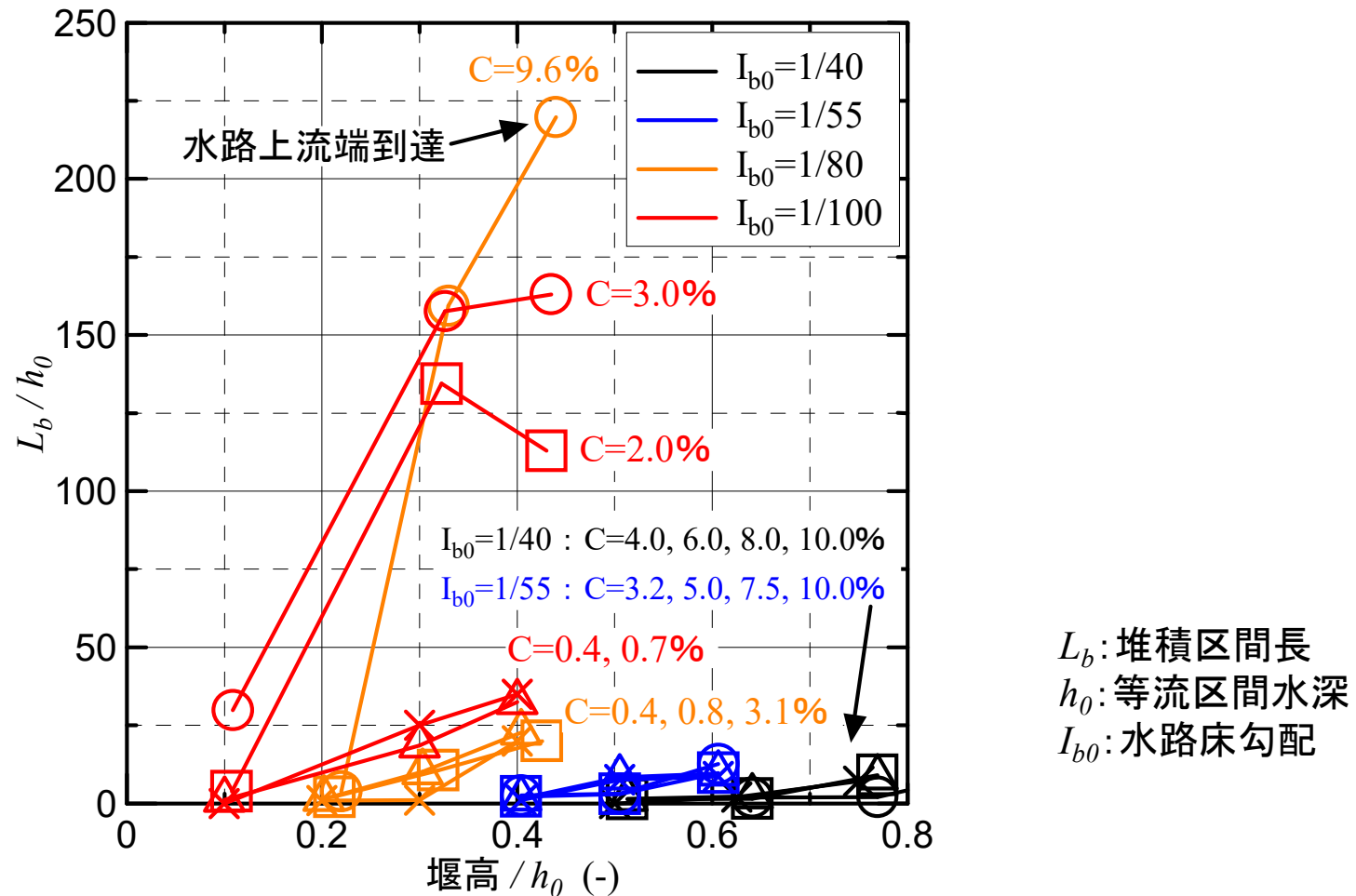
- ✓ いずれのケースも、**延伸速度は500(h_0/hour)以上と大きい。**
- ✓ **C の増加に伴い延伸速度が増大**
- ✓ I_{b0} が大きい場合、 C が大きくても延伸速度が小さくなる傾向

3. 1 土砂水理実験結果 ～③堆積区間の河床勾配～：



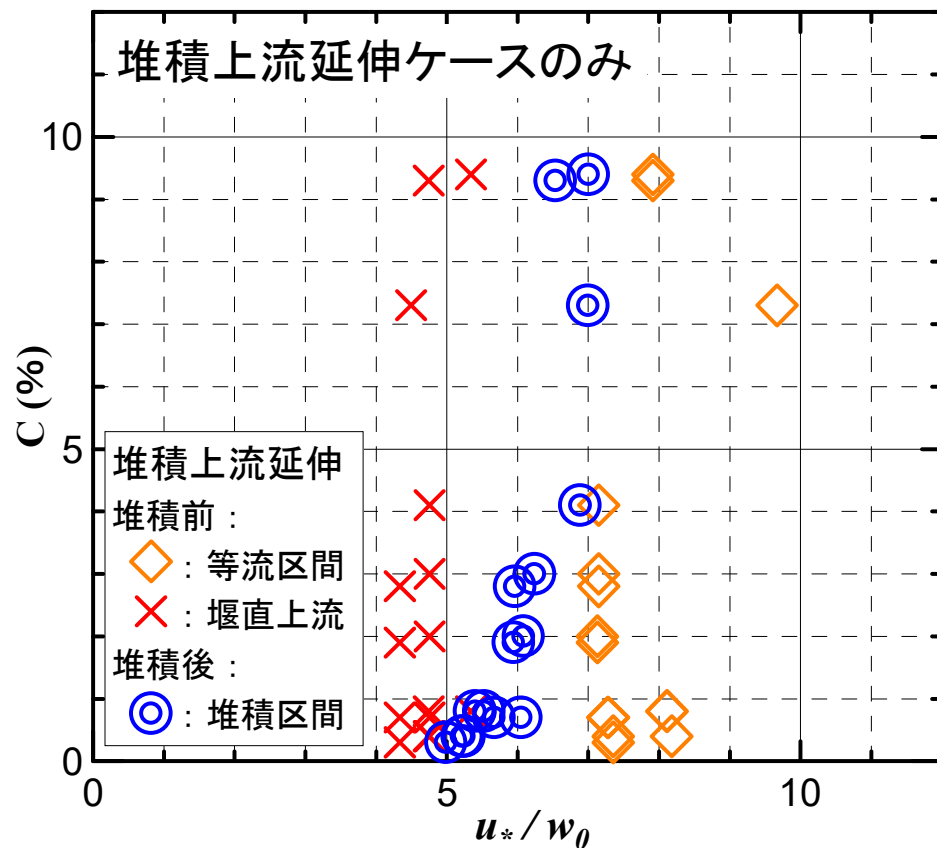
- ✓ 堆積上流延伸ケースの堆積後河床縦断分布は概ね直線的
 (反砂堆状の河床波発生ケース: 堆積後河床高最大値の包絡線が概ね直線的)
- ✓ C の増大に伴い, 堆積後河床勾配 $I_{b \text{ after}}$ が増加する傾向
- ✓ 元の水路床勾配 I_{b0} の影響は小さい

3. 2 堆積上流延伸ケースの発生条件 ～①堰高と堆積区間長の関係～：

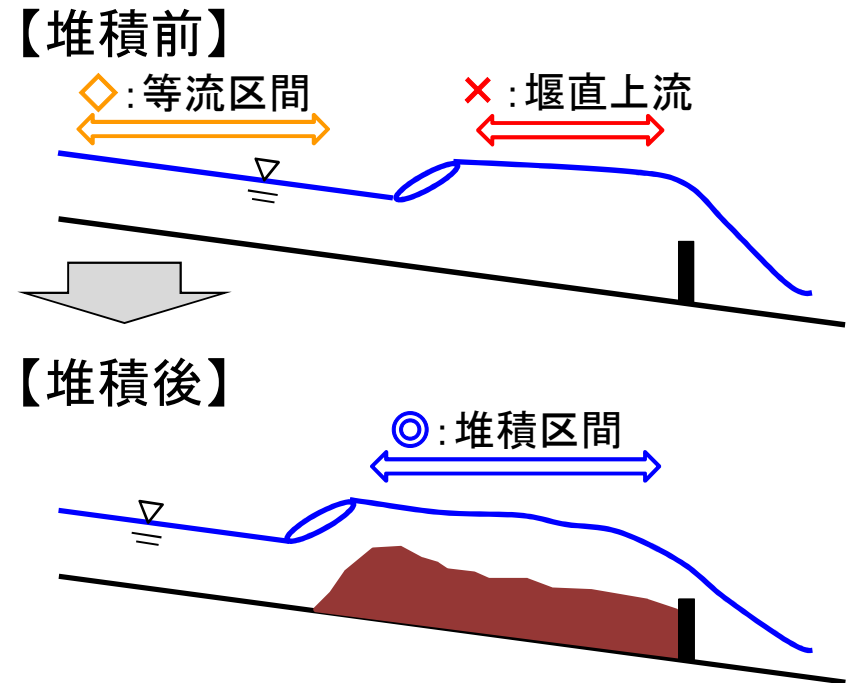


- ✓ I_{b0} が小さく、 C が大きいケース
 ⇒堰高によって、無次元化された堆積区間延長 L_b/h_0 が大きく変化。
- ✓ (I_{b0}, Q, C) が等しい条件であるにも関わらず、堰高の違いのみによって堆積上流延伸発生の有無が分かれ、 L_b/h_0 が急激に変化。
 ⇒堆積の起点となる堰直上流区間の土砂水理条件の把握が重要！

3. 2 堆積上流延伸ケースの発生条件 ～② $u_*/w_0 \sim C$ 関係による把握～：



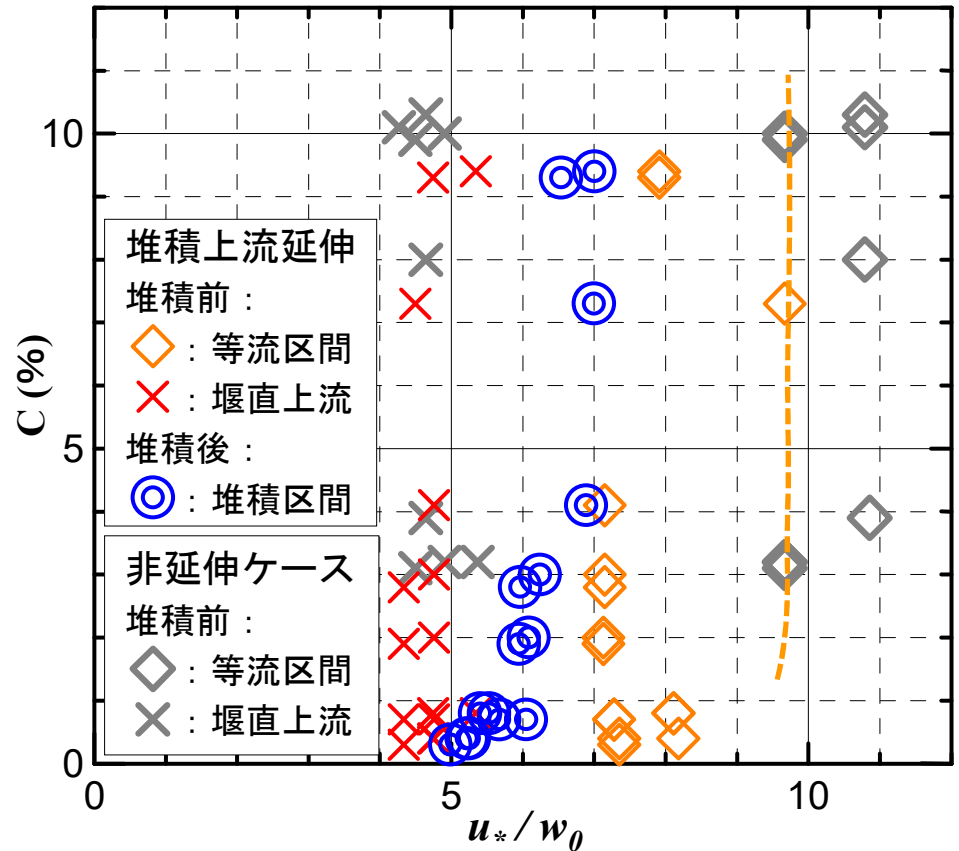
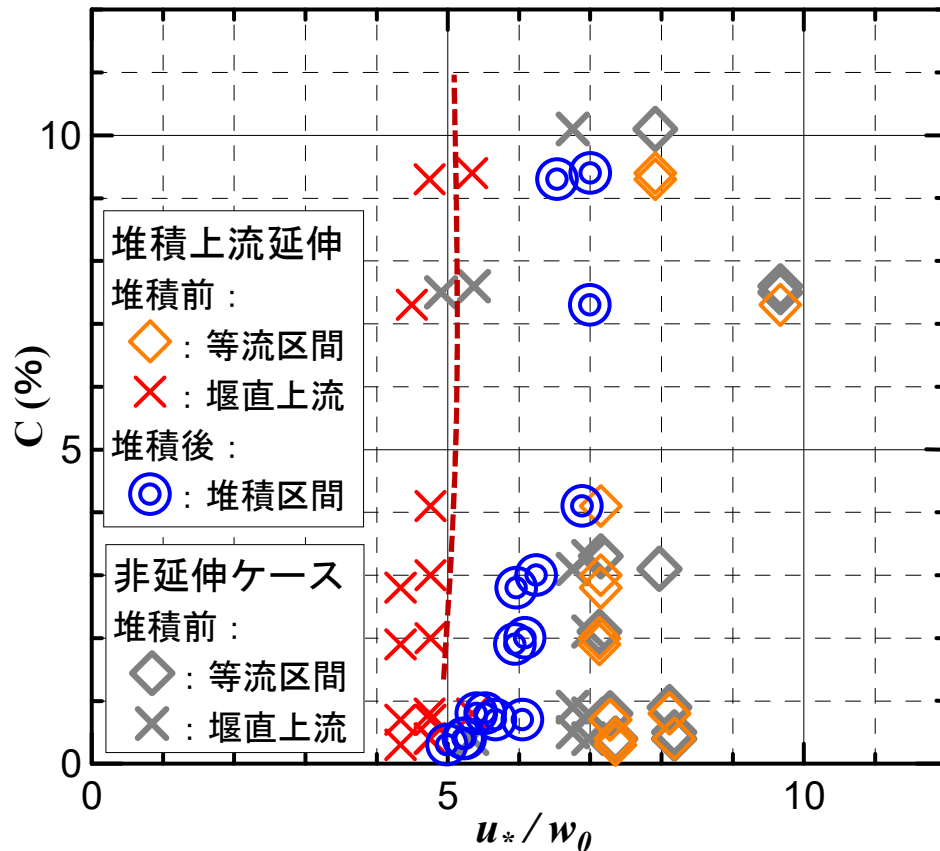
浮遊土砂の“沈降”が支配的
⇒土砂の運動形態に着目 ⇒ $u_*/w_0 \sim C$



堆積上流延伸ケースの特徴

- ✓【**全体的な流況**：◇】濃度が多少の／一様な鉛直分布を持つ $u_*/w_0 > 7$ の区間
- ✓【**局所的な流況**：×】堰直上流等、 $u_*/w_0 < 5$ となる局所的区間を有すると、そこを起点として堆積上流延伸する。
- ✓【**堆積後の流況**：◎】濃度が大きい場合、概ね $u_*/w_0 = 7$ となる堆積区間が形成

3. 2 堆積上流延伸ケースの発生条件 ～③非延伸ケースとの違い～：



等流区間 u_*/w_0 : ◇ (延伸) ≧ ◇ (非延伸)
堰直上流 u_*/w_0 : × (延伸) < × (非延伸)

等流区間 u_*/w_0 : ◇ (延伸) < ◇ (非延伸)
堰直上流 u_*/w_0 : × (延伸) ≧ × (非延伸)

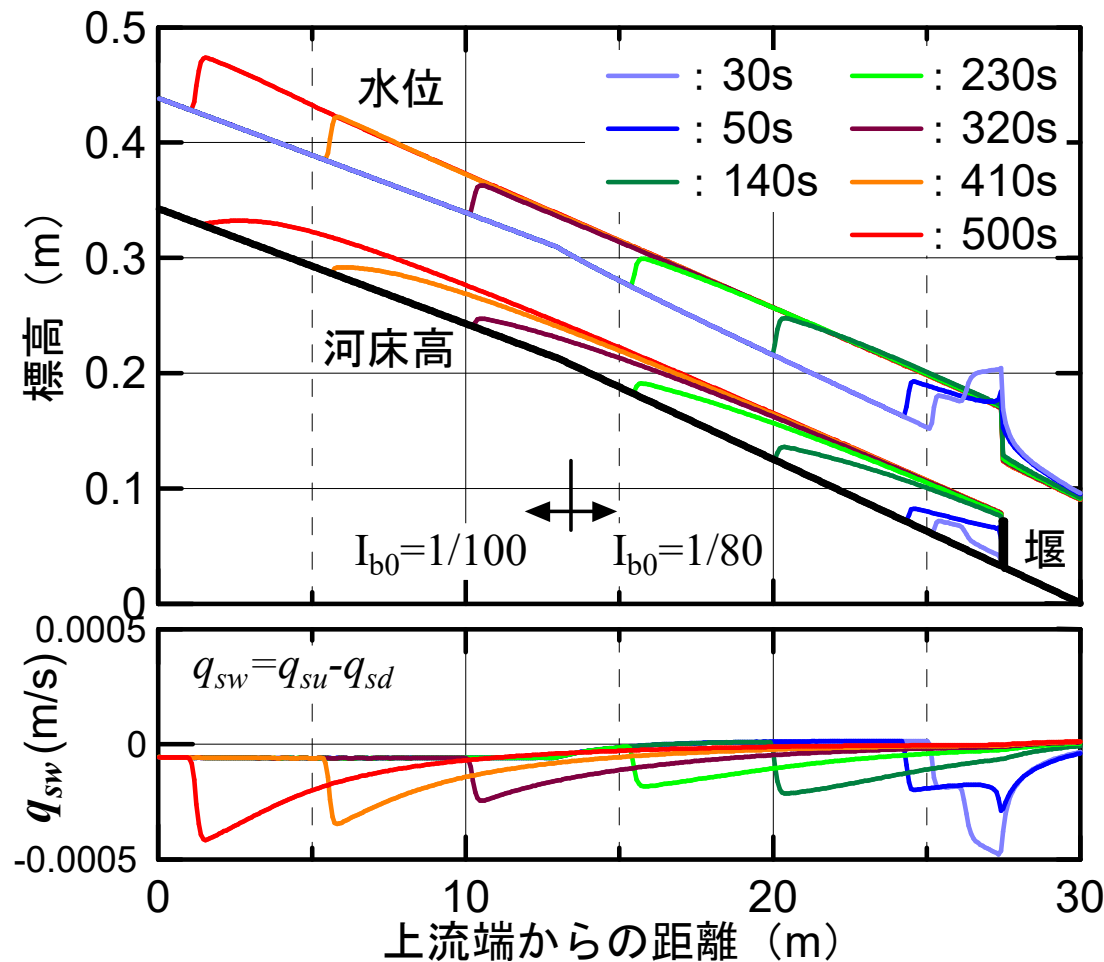


堆積前の等流区間、堆積の起点となる局所区間の $u_*/w_0 \sim C$ 関係に閾値があり、両値が閾値より小さくならなければ堆積上流延伸が生じないと考えられる。

4. 数値計算による現象の分析 ～計算の手法・条件～:

計算手法	流れ計算	平面2次元不定流の基本式
	掃流砂量	芦田・道上の式
	浮遊砂量	板倉・岸の式
	浮遊土砂の濃度分布	Lane-Kalinske式
	土粒子の沈降速度	高橋・里深の式 (土粒子の干渉沈降を考慮) $w'_0 = (1 - C)^\beta \cdot w_0$
計算条件	dx,dy	dx,dy=0.075m
	上流端境界条件	流量 Q 、土砂濃度 C を定常で与えた
	下流端境界条件	等流水深に見合う水位を与えた

4. 1 再現計算結果、堆積上流延伸過程の解釈:



再現対象とした実験ケース条件

- 水路床勾配: $I_{b0}=1/80$
- 堰高 = 0.04(m)
- 流量: $Q = 18.4(l/s)$
- 土砂濃度: $C = 9.3(\%)$

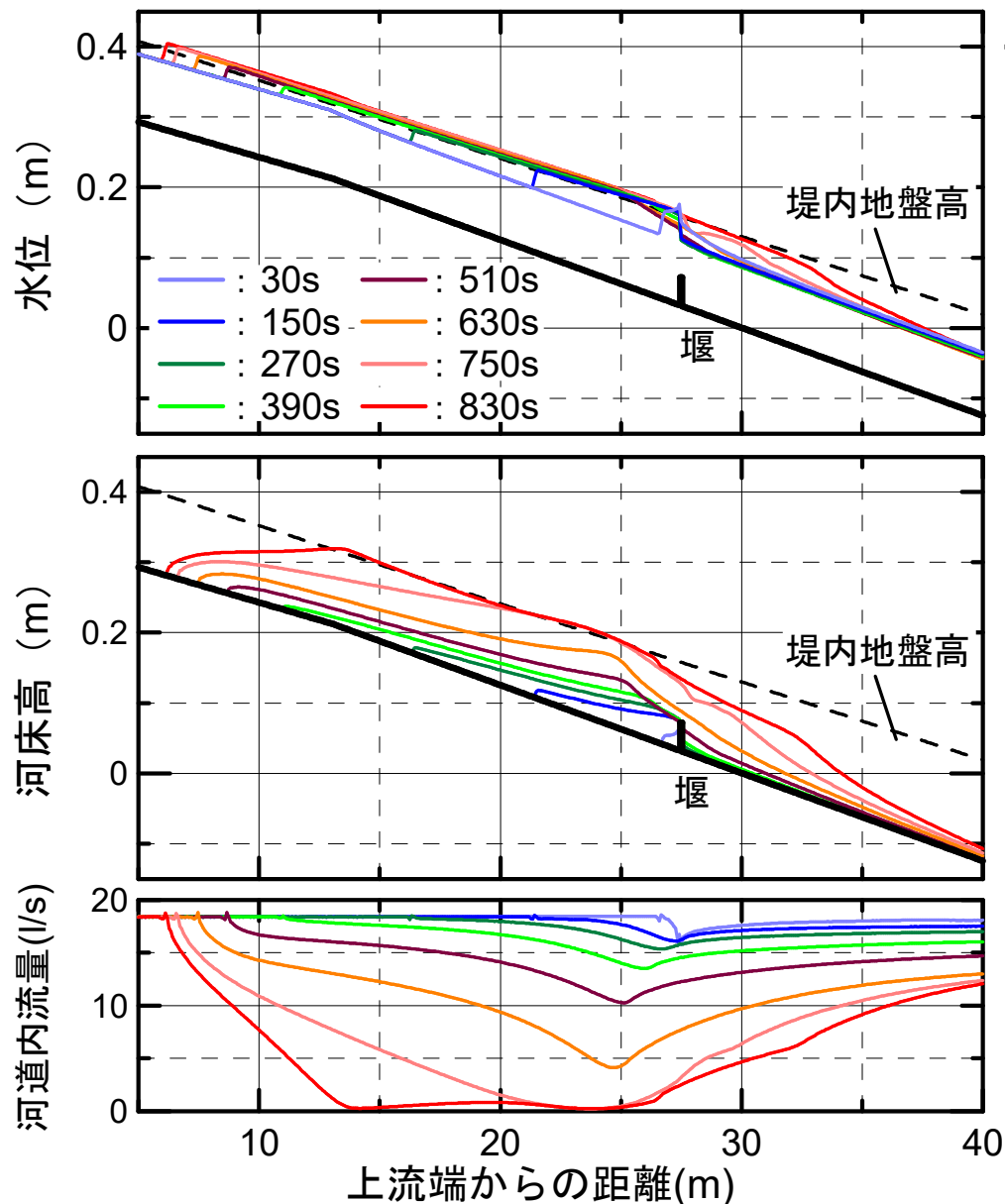
再現計算結果

- ◎: 堆積上流延伸過程
- ◎: 堰下流区間での堆積なし
- : 堆積後河床勾配 I_{b_after}
⇒ 1/57(実験)、1/86(計算)
- ×: 反砂堆状の河床波形成

- ✓ 堆積後の河床縦断形状は、ほぼ直線的 ($I_{b0}=1/100$ となる上流区間でも同一勾配)
- ✓ 堆積区間における河床からの巻き上げ量と堆積速度の差分 $q_{sw}(q_{su}-q_{sd})$ は0に近づく

堆積上流延伸過程は、動的平衡となるよう、堆積後の河床縦断分布が形成されていく現象と考えられる。

4.2 氾濫が堆積過程に及ぼす影響の計算:



再現計算(前頁)との条件の違い

- ・複断面形状となるよう幅2.1mの堤内地を両岸にそれぞれ設置
- ・堤内地の縦断勾配は1/90, 横断勾配は0
- ・河道部初期河床高と堤内地盤高の比高は、堰設置部付近で0.13m
- ・氾濫原において堆積しない条件



- 氾濫に伴う河道内流量の減少
 - ⇒ 堰直上流の堆積後河床勾配の増加
 - ⇒ 掃流力の低下による過剰堆積
 - ⇒ 堆積に伴う氾濫流量の増加

○ 堆積厚

- ・再現計算(前頁): 約0.04m
- ・氾濫ありの計算: **約0.13m**
- ⇒ **堤内地盤高付近まで堆積**



ひとたび氾濫を伴えば、長い区間において土砂による河道埋塞を引き起こす可能性

5. まとめ:

実験的検討

- 1) 長い縦断区間に大量の土砂が堆積する場合, a)~d)の堆積上流延伸過程を経る:
 - a) 初期に堰直上流で生じた, 跳水を伴うせき上げ区間に土砂が堆積する.
 - b) 堆積の影響によりせき上げ区間が上流に延伸する.
 - c) 新たに生じたせき上げ区間に土砂が堆積する.
 - d) これらを繰り返し堆積区間が上流延伸していく.
- 2) 堆積後河床は概ね一様の勾配と見なすことができ, その勾配は土砂濃度の影響を受ける.
- 3) 堰等の堆積の起点となる局所区間と区間全体の u^*/w_0 が, それぞれ閾値を下回る場合に堆積上流延伸が生じた.

解析的検討

- 4) 実験ケースの再現計算を行い, 堆積上流延伸過程が説明できることを示した.
- 5) 堆積区間において, 堆積後河床勾配に見合う等流状態($q_{su}=q_{sd}$)が形成されていることから, 堆積区間の河床が動的平衡勾配となるように堆積上流延伸していくことが考えられた.
- 6) 氾濫に伴う河道内流量の減少により, 動的平衡勾配が増加し, また, 掃流力が低下することで過剰堆積が進行し, 堆積土砂がやがて河道を埋塞していく可能性が見出された.