

連続する固定堰の撤去が周辺河床の変動に及ぼす影響

EFFECTS OF REMOVAL OF MULTIPLE WEIRS ON RIVER-BED EVOLUTION

三輪 浩¹・難波媛香²・和田孝志¹・梶川勇樹¹

¹鳥取大学学術研究院工学系部門

²鳥取大学大学院持続性社会創生科学研究科

1. はじめに

◆我が国には、取水や灌漑、河道の安定などを目的とした固定堰が多数存在する水系が多く、比較的短い距離に連続して設置されている例も少なくない(右図)。

- ・取水施設としての需要減
- ・土砂移動の抑制
- ・魚類の遡上降下への弊害

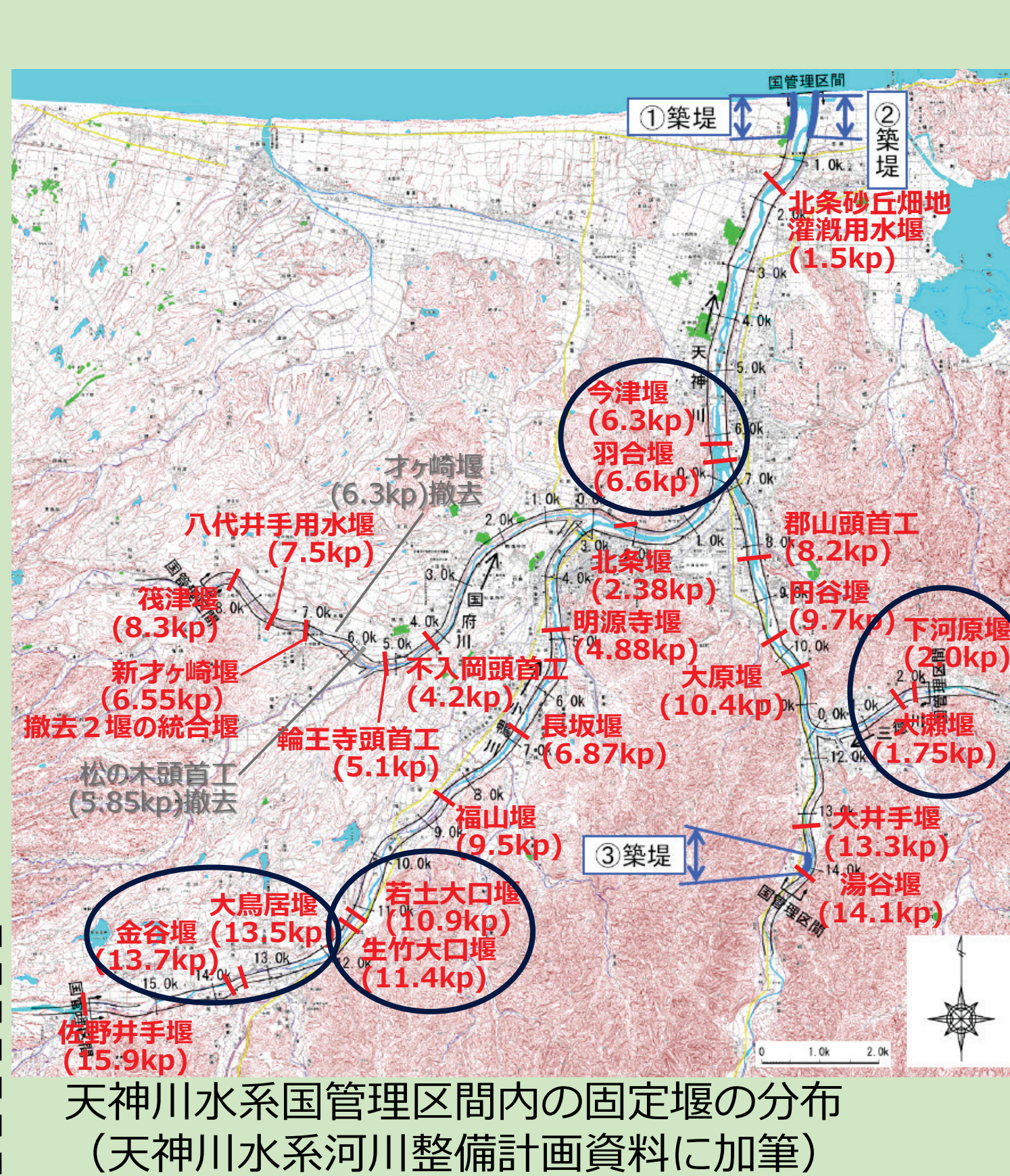
改築や統廃合

◆近接した堰では堰相互の影響が河床変動に現れる可能性がある。

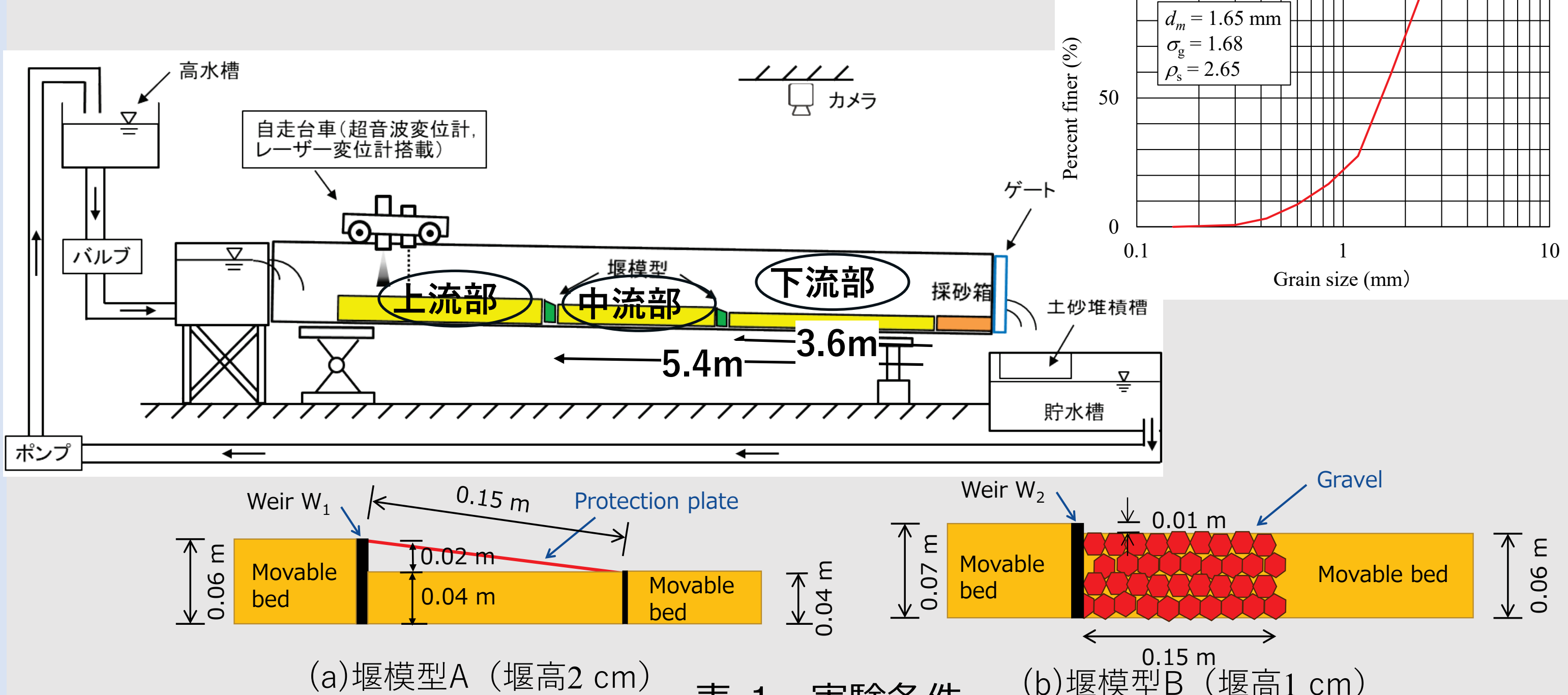
➡撤去方法(同時撤去, 個別撤去)が河床変動量やその影響範囲に及ぼす影響を水路実験と数値解析によって検討する。

同時撤去: 河床変動が促進される規模の出水がない期間内に下流側と上流側の堰を撤去

個別撤去: 下流側の堰撤去後、河床変動が促進される規模の出水を経て上流側の堰を撤去



2. 水路実験の概要



	Case	D_w (mm)		Q (L/s)	h_m (cm)	h_{c1} (cm)	h_{c2} (cm)	τ^0	τ^1	τ^2	撤去方法	撤去条件
		D_{w1}	D_{w2}									
Type A	M21C11	(20)	(10)	8.5	2.67	2.99	2.78	0.090	0.090	0.065	同時撤去	2基撤去
	M21C2A	(20)	10	8.5	2.36	2.74	2.62	0.050	0.063	0.043	個別撤去	下流撤去
	M21C2B	(20)	(10)	8.5	2.52	2.35	2.35	0.070	0.079	0.079	個別撤去	上流撤去
Type B	M12C11	(10)	(20)	8.5	2.75	2.68	2.69	0.079	0.082	0.071	同時撤去	2基撤去
	M12C2A	(10)	20	8.5	3.11	3.96	2.86	0.073	0.050	0.059	個別撤去	下流撤去
	M12C2B	(10)	(20)	8.5	2.89	2.83	2.87	0.085	0.084	0.081	個別撤去	上流撤去

※堰高の条件を変更

Type A: 下流側→堰模型A
上流側→堰模型B

Type B: 下流側→堰模型B
上流側→堰模型A

・ D_w =堰高(下流側 D_{w1} , 上流側 D_{w2} , 括弧内は撤去した堰), Q =通水流量, h_m =平均水深, τ^* =無次元掃流力, 添え字の0, 1, 2はそれぞれ下流部, 中流部, 上流部を示す。 h_m と τ^* は最終段階のもの。

・通水流量は先の小鴨川における平均年最大流量(超過確率1/3)時の掃流力(限界掃流力の約1.5倍)を想定して設定。

【実験手順】

- i) 堰を設置した状態で通水を行い、安定状態の河床を形成する。
- ii) 堰を撤去し、再度通水を行う。

➡ **同時撤去**...2基の堰を同時に撤去(M21C11, M12C11)。

➡ **個別撤去**...下流側の堰を撤去し安定状態まで通水をした後(M21C2A, M12C2A), 上流側の堰も撤去する(M21C2B, M12C2B)。

5. 結論

- 1) 堰撤去による河床変動の影響範囲について、下流部への影響は同時撤去の方が大きく、上流部への影響は個別撤去の方が大きくなることが示された。
- 2) 個別撤去では中流部において堰配置の影響が現れる。すなわち、下流側の堰が高い場合は河床低下が発生し、上流側の堰が高い場合は堰直下の河床上昇が卓越する。

3. 数値計算の概要

(1) 基礎方程式

・水路実験の再現計算には、梶川らによる平面二次元河床変動モデルを混合粒径に拡張し、流砂の連続的に竹林らによる掃流砂層モデルを導入したモデルを用いた。なお、実験に対応して流砂は掃流砂のみとし、浮遊砂は考慮しなかった。

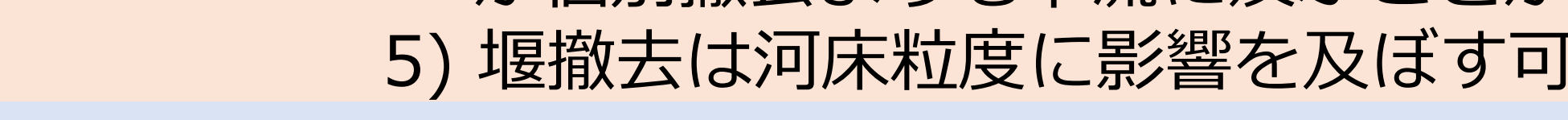
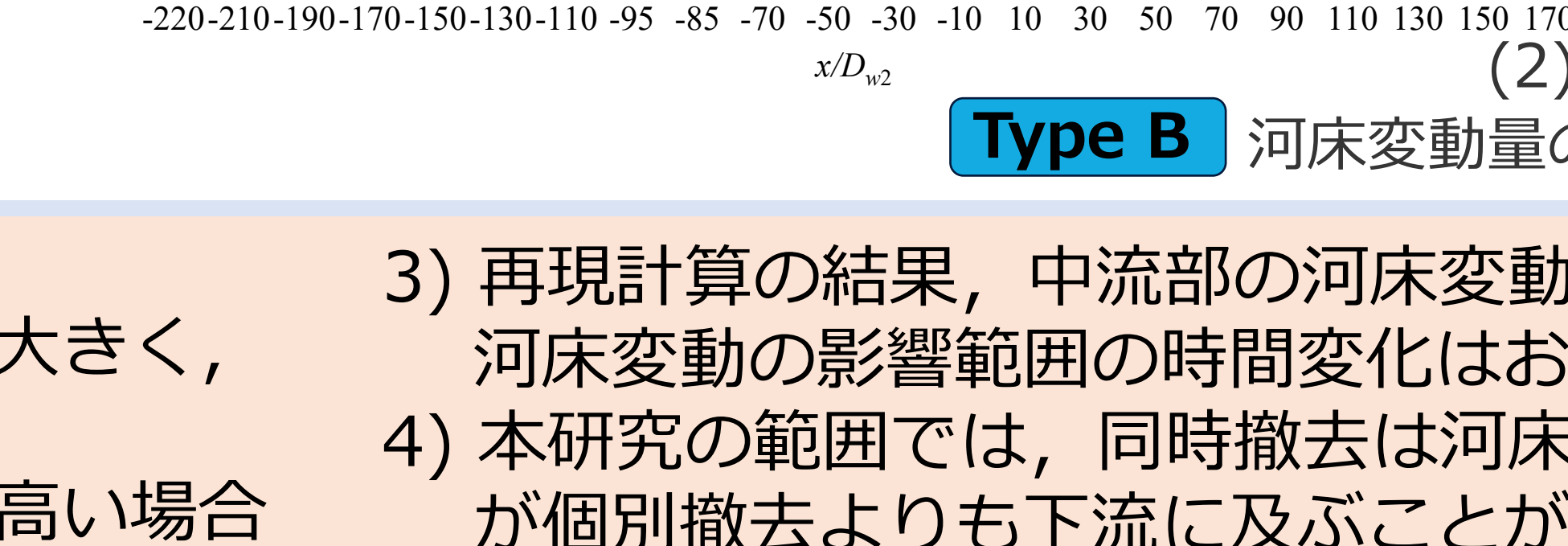
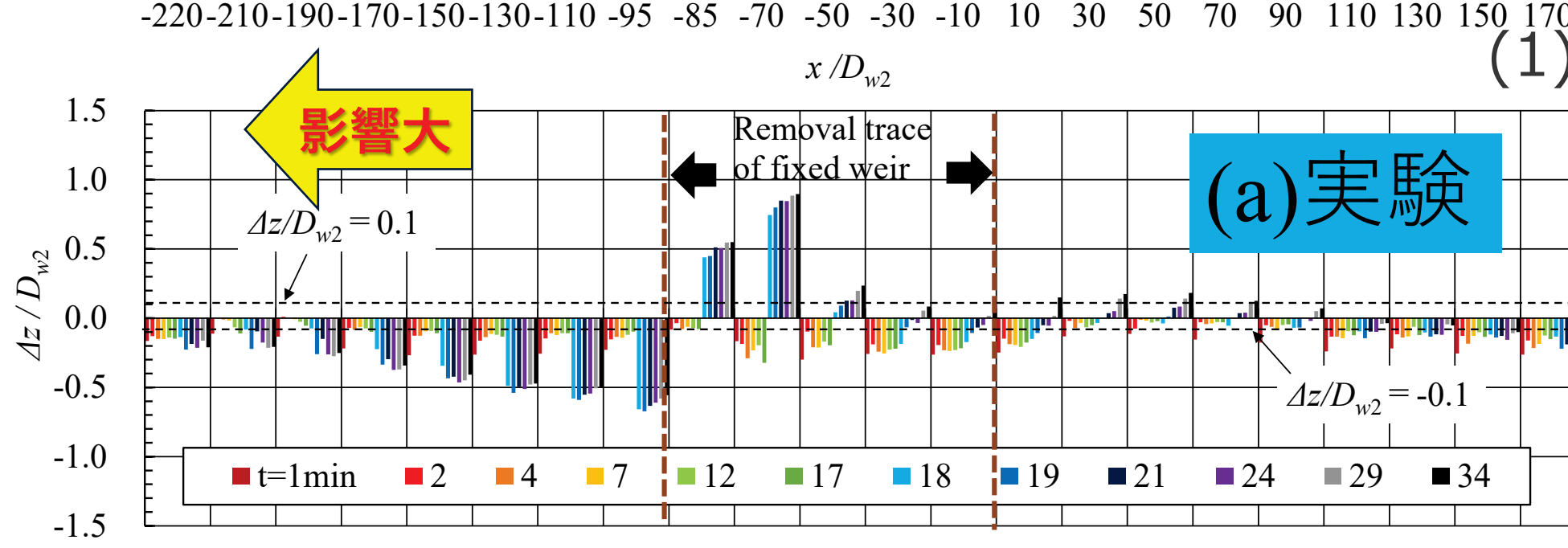
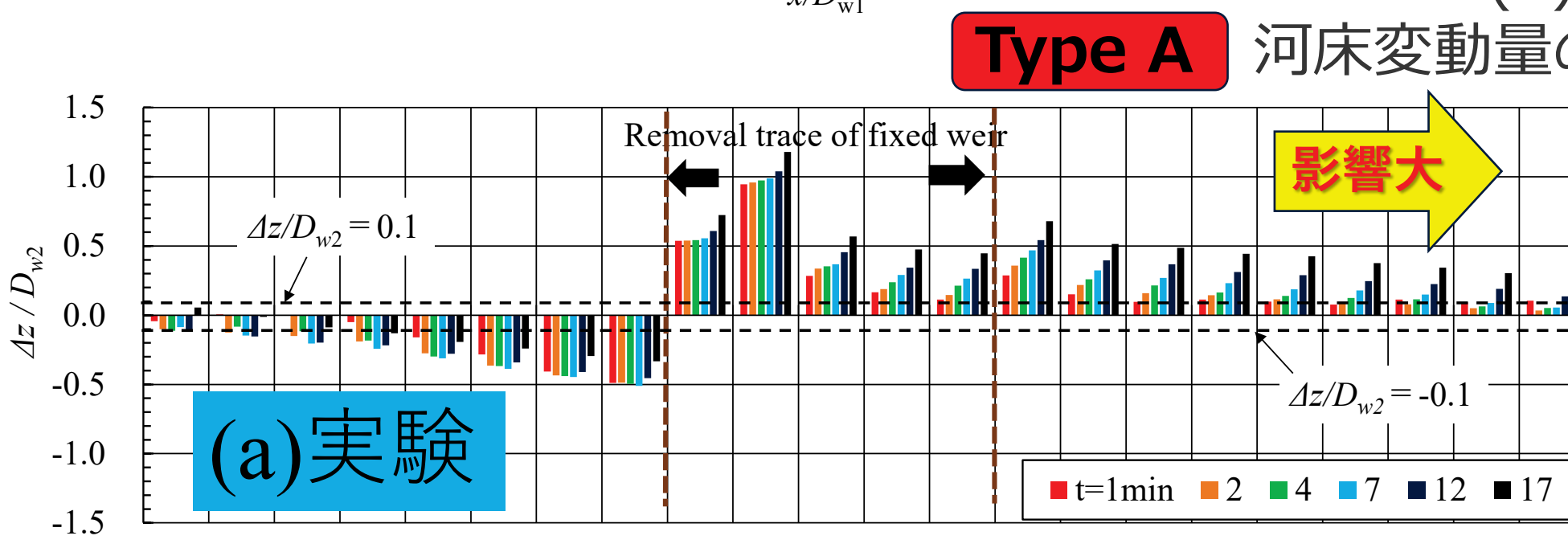
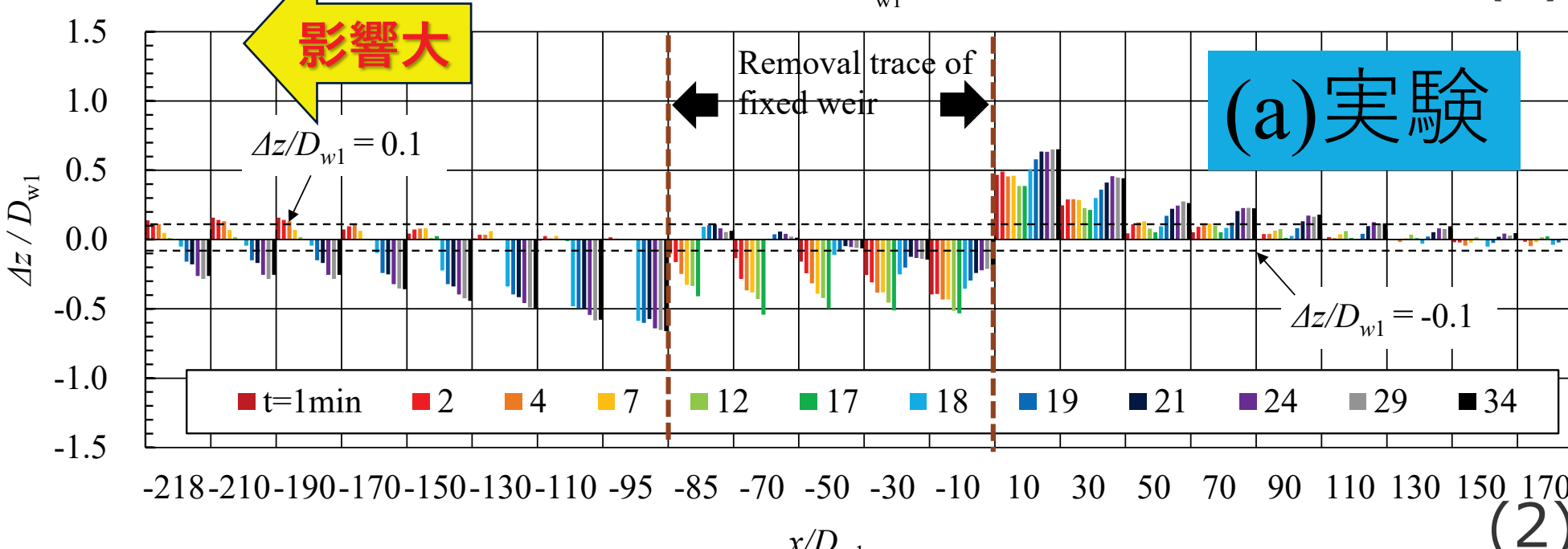
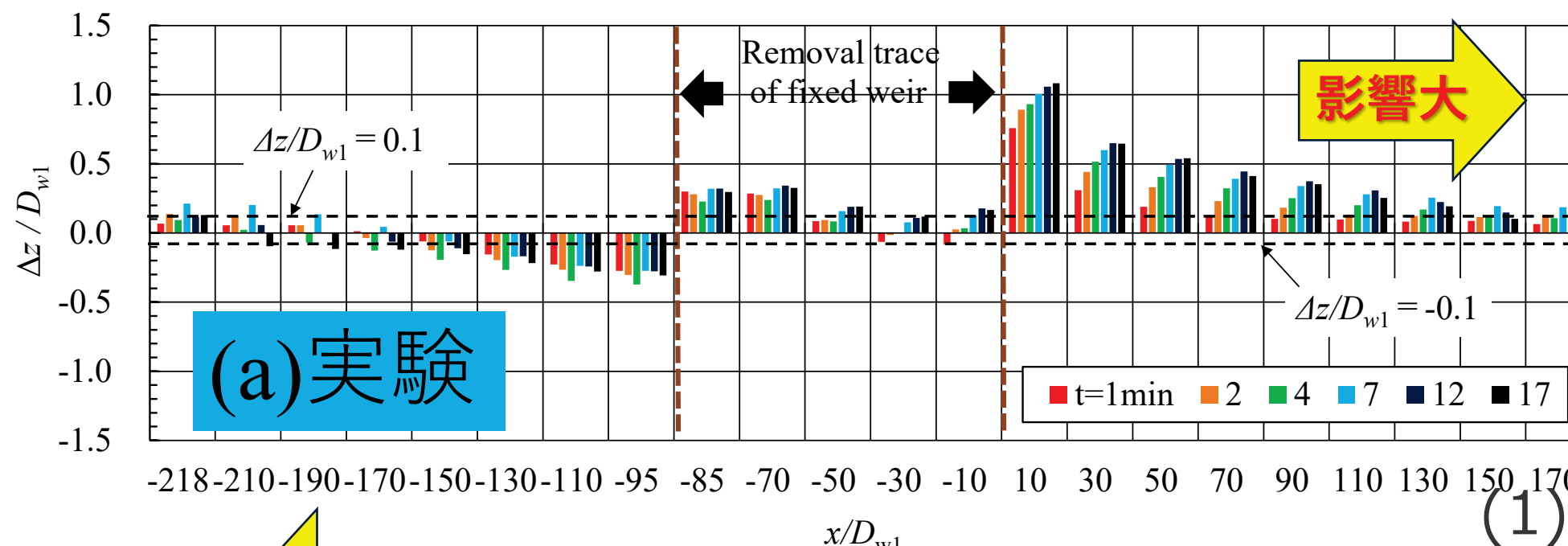
$$\text{流砂の連続式} \quad \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{c_s}{1-\lambda} \frac{\partial E_{se}}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial \sum_k q_{bkx}}{\partial x} + \frac{\partial \sum_k q_{bky}}{\partial y} \right) = 0$$
$$\text{掃流砂層厚さ} \quad \frac{E_{se}}{d_m} = \frac{\tau_*}{c_s \cos \theta_b (\tan \varphi - \tan \theta_b)}$$

z_b = 河床位, c_s = 掃流砂層の土砂濃度, λ = 河床の空隙率, q_{Bx} = 掃流砂量の x 方向成分, q_{By} = 掃流砂量の y 方向成分, q_b = 河床の空隙率, E_{se} = 掃流砂層厚さ, θ_b = 局所勾配, φ = 砂礫の内部摩擦角

(2) 解析条件

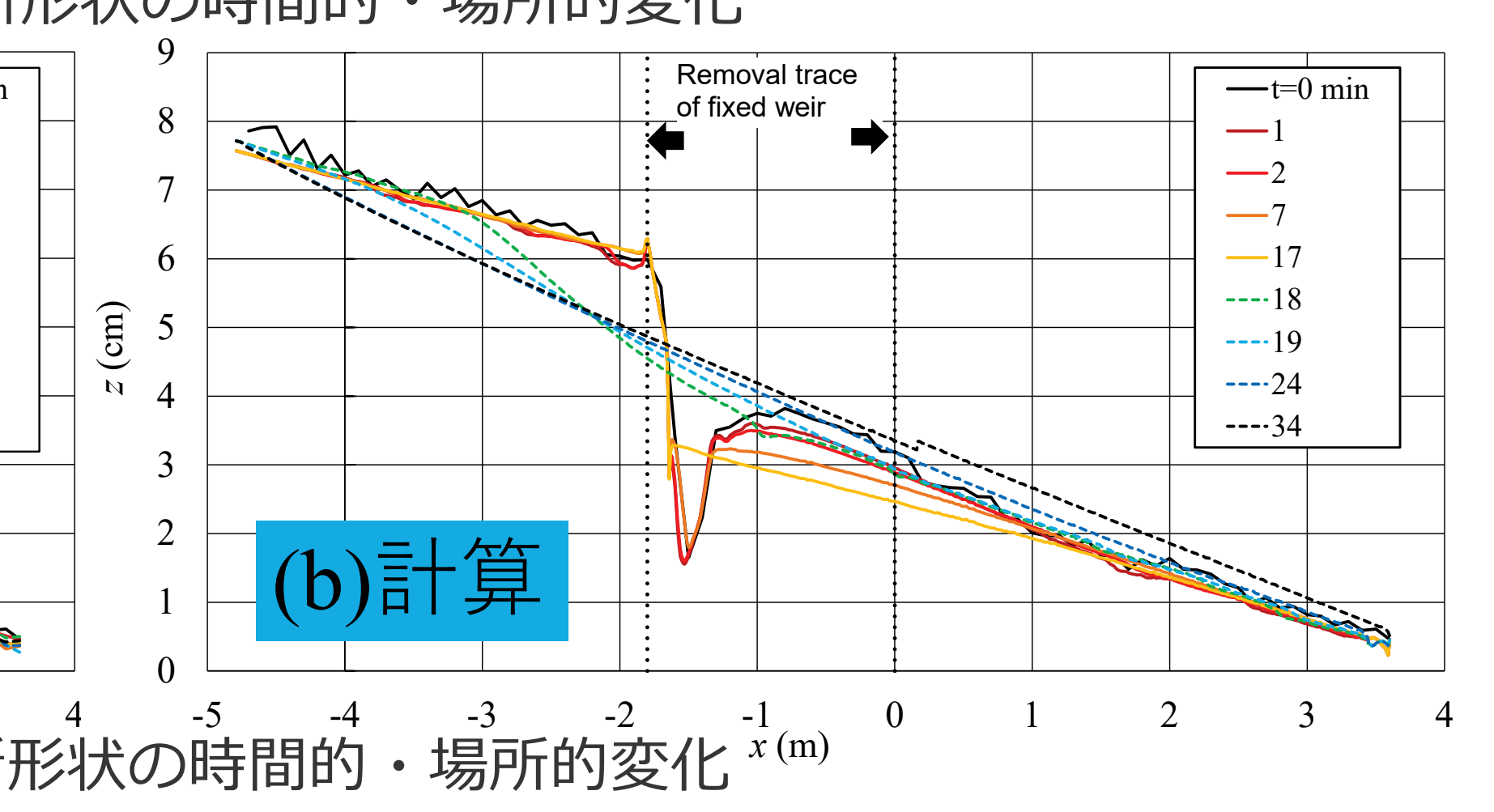
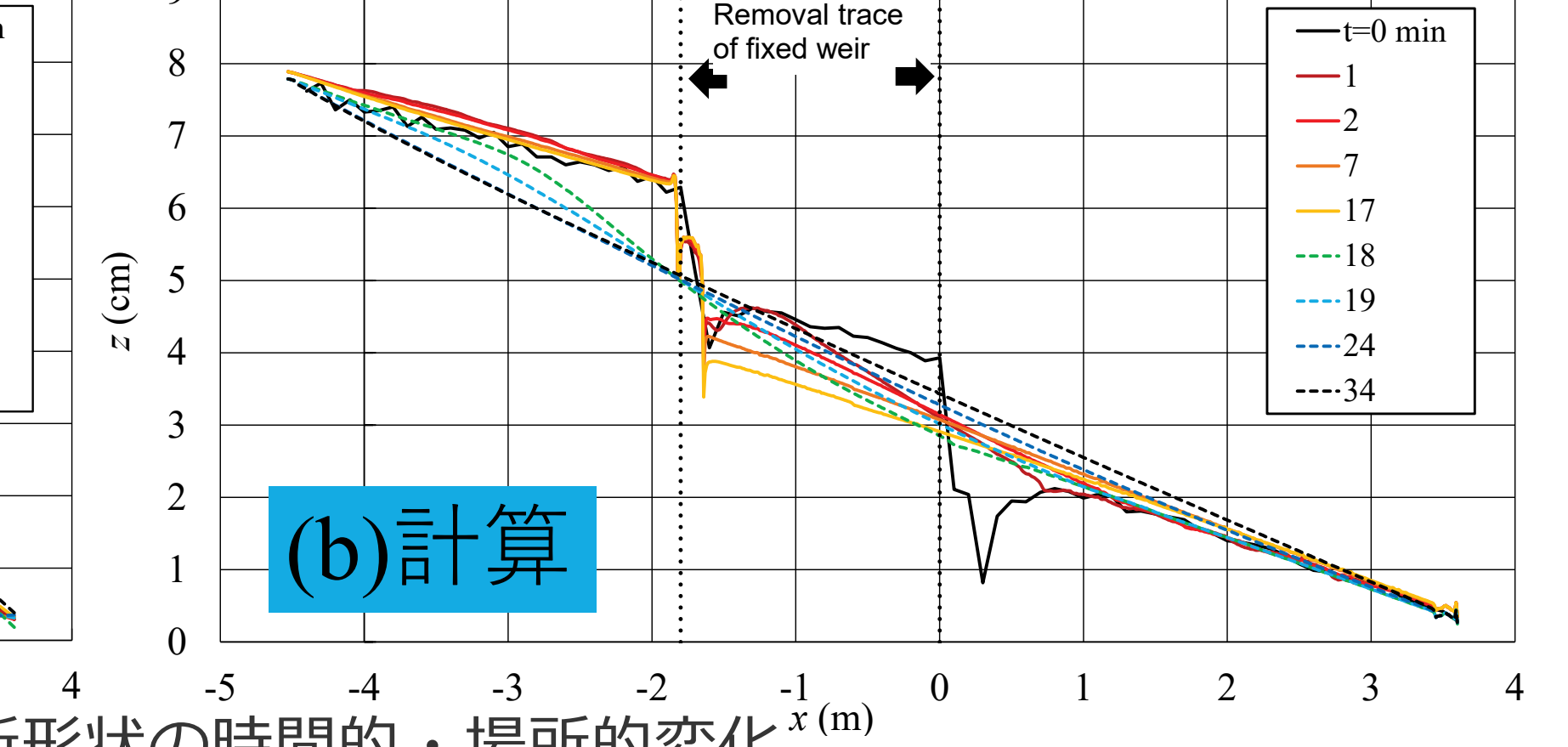
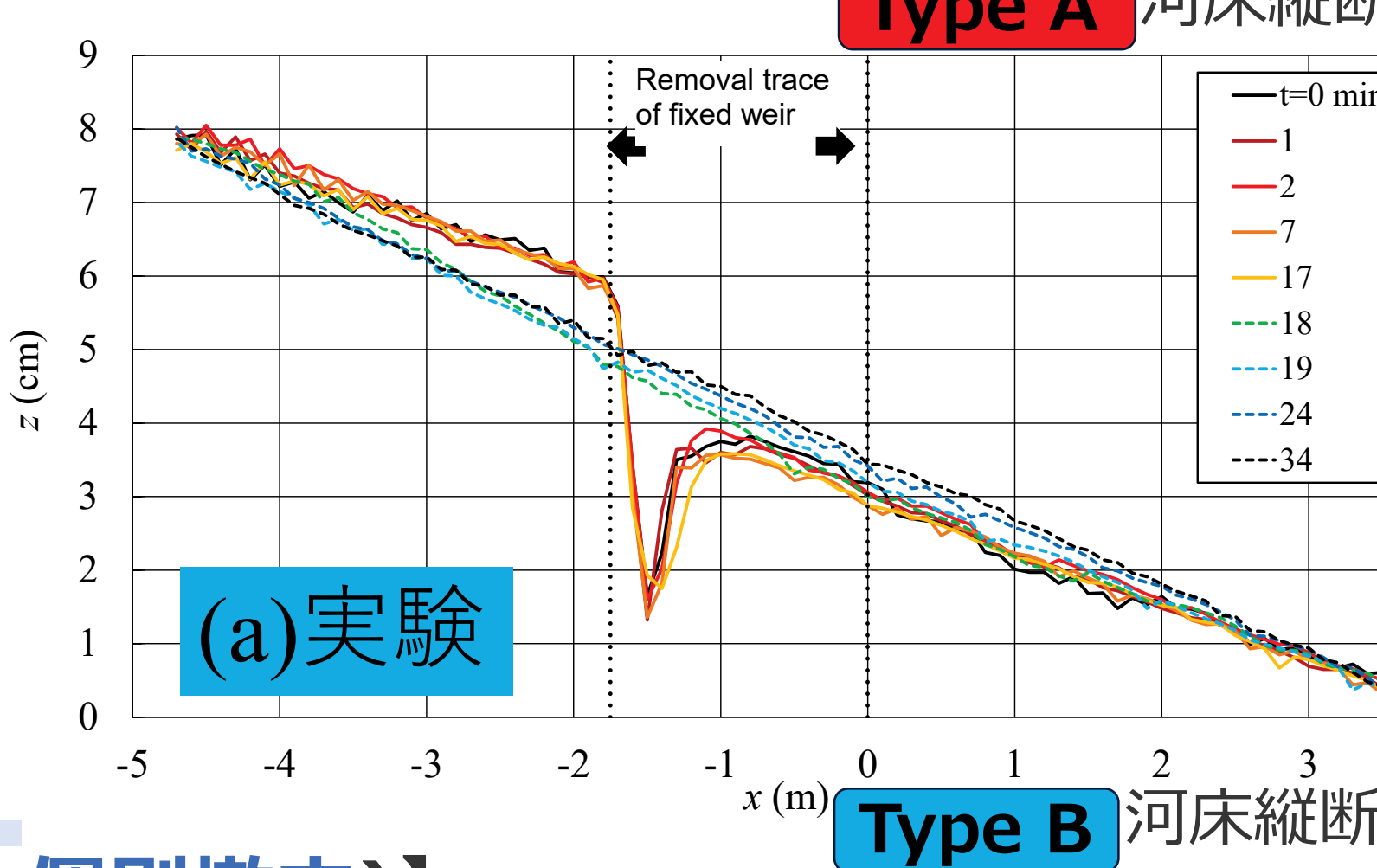
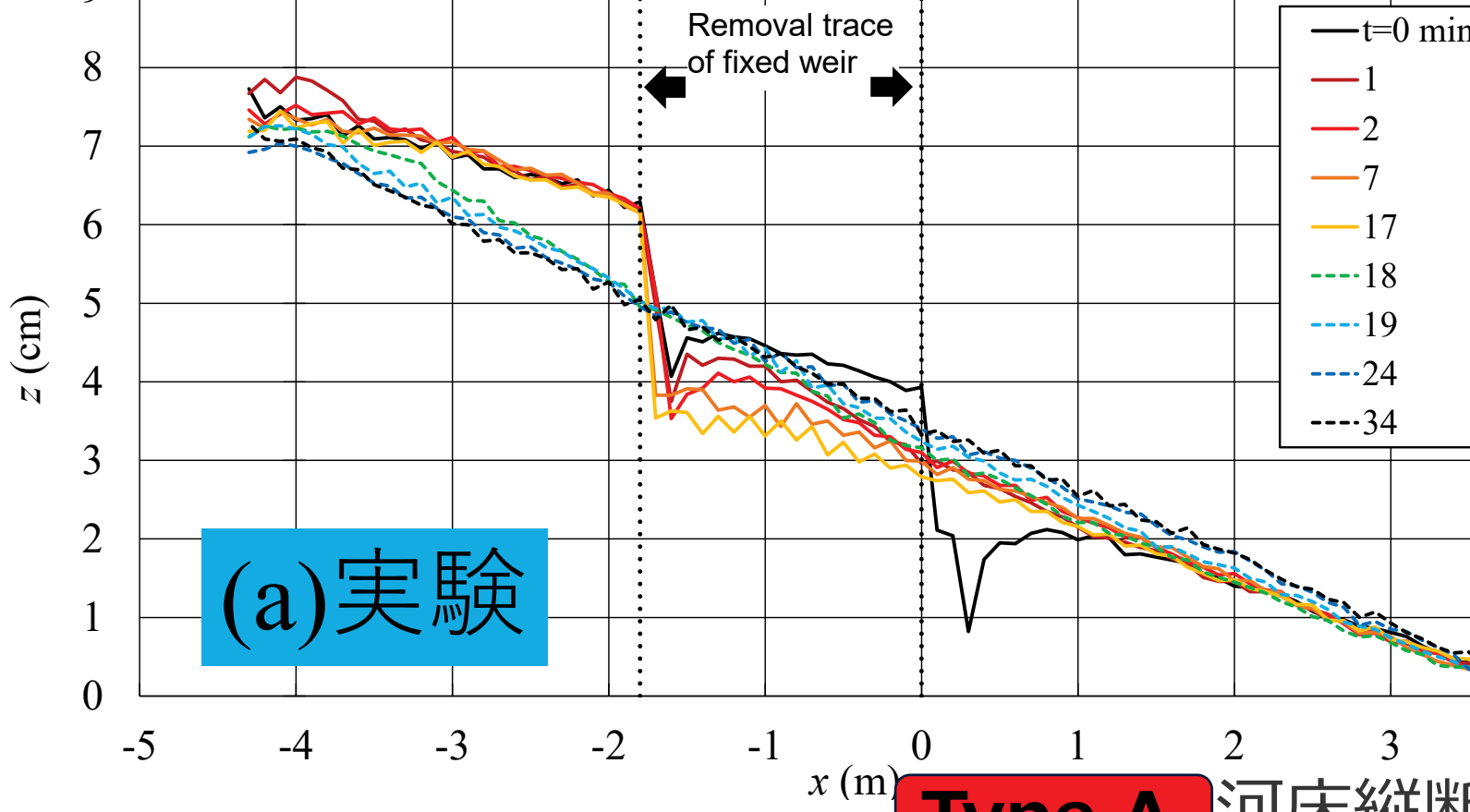
・水路実験の再現計算では、実験水路の移動床部下流端から固定堰を含む水路上流側8.40 mおよび水路幅0.5 mの区間を対象として、 $\Delta x = \Delta y = 1$ cmの計算格子を設定した。また、境界条件は上流端で通水流量、下流端で測定水位を与えた。計算時間間隔は $\Delta t = 0.005$ 秒とし、流れの計算開始から20秒後に河床変動計算を開始した。

【河床変動量の場所的・時間変化について(同時撤去・個別撤去)】



4. 実験結果および計算結果と考察

【河床縦断形状の時間変化について(個別撤去)】



◆河床縦断形状の時間変化について

ここでは個別撤去の結果について示す。Type Aの結果より、まず下流側の堰を撤去すると、中流部の河床で侵食された土砂が下流側の堰直下へと流入し、中・下流部の河床が一様化した。その後、上流側の堰も撤去すると、上流部で侵食した土砂が中・下流部に流入し、最終的に河床全体が一様化した。Type Bでは、下流側の堰を撤去しても上流側堰直下に形成された洗掘の形状はほぼ維持されたまま、中・下流部の河床が一様化し、堰撤去の影響は上流堰周辺に及ばなかった。これは、下流側の堰高が小さく、洗掘深も小さかったことが関係している。その後の上流側の堰撤去により、上流部で侵食した土砂が洗掘箇所に流入し、最終的には河床全体が一様化した。

計算結果について、Type A, Type Bのいずれに対しても、堰撤去後に上流部の河床が侵食する現象や、下流部の洗掘箇所に土砂が堆積し、時間経過とともに河床が一様化する傾向が再現可能であることが確認された。ただし、下流側の堰撤去における中流部の洗掘周辺の河床変動については再現性に課題が残った。これは、平面二次元河床変動計算では堰直下における深さ方向の流れを再現することが難しいためであると考えられ、三次元解析が必要である。

◆河床変動量の時空間変化について

Type A, Type Bのいずれにおいても、河床変動の影響範囲は、同時撤去では影響が下流部へ大きく広がる一方で、個別撤去では上流部への影響がより顕著である傾向が見られた。また、中流部の河床変動量については、Type Aで撤去方法による違いが見られ、同時撤去では初期河床よりも同程度または上昇傾向を示したのに対し、個別撤去は初期河床よりも低下する傾向が見られた。Type Bでは、上流側の堰直下の洗掘箇所への土砂の流入により河床が大幅に上昇する様子が見られた。

計算結果では、河床変動による影響範囲の規模の再現に課題が残ったものの、Type A, Type Bの河床変動量の時間変化の過程や、上・下流部それぞれの影響範囲の傾向、さらに、中流部における河床変動量について、Type Aの同時撤去により上昇傾向、個別撤去により低下傾向を示すこと、また、Type Bでは大幅な河床上昇の傾向を再現することができた。

3) 再現計算の結果、中流部の河床変動に再現が困難な箇所があったものの、河床縦断形状、河床変動の影響範囲の時間変化はおおむね再現することが示された。

4) 本研究の範囲では、同時撤去は河床の一様化の観点から効率的であるが、堰撤去の影響が個別撤去よりも下流に及ぶことが懸念される。

5) 堰撤去は河床粒度に影響を及ぼす可能性があり、今後検討を進める予定である。