

中小河川の河口閉塞と その対策

日本大学工学部土木工学科 長林 久夫



話 題

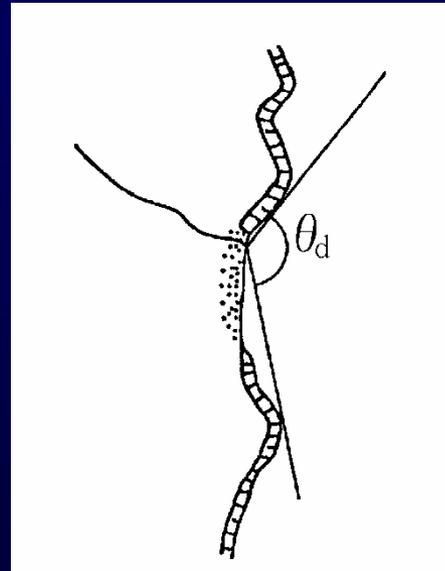
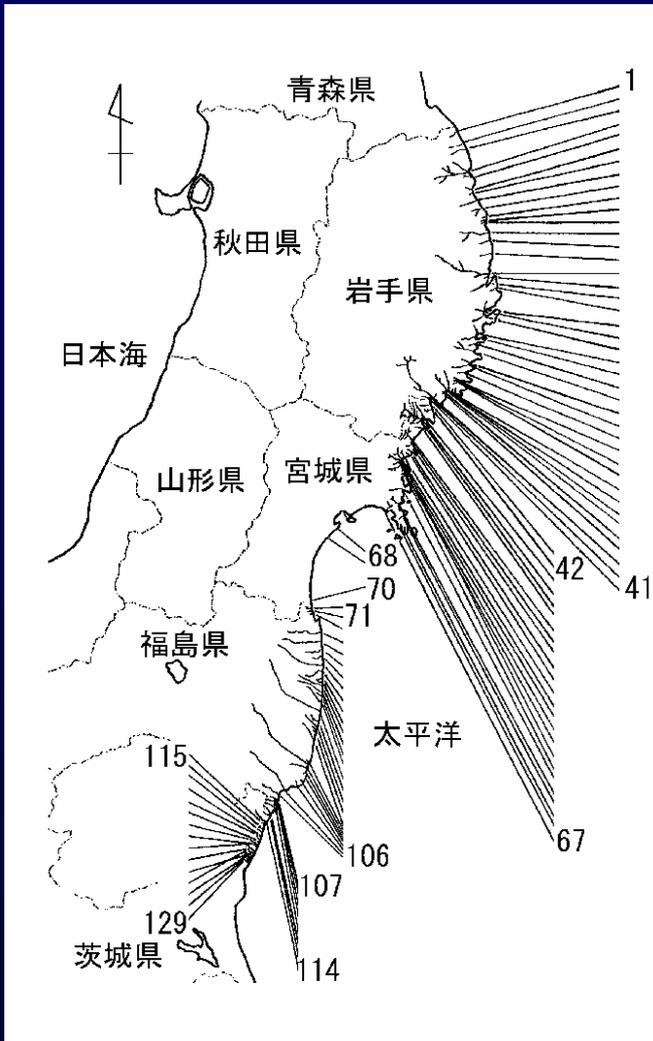
1. 中小河川の河口特性
2. 夏井・四倉海岸の海浜過程
3. 夏井川の河口閉塞
4. 効果的な河口処理対策工の検討

キーワード

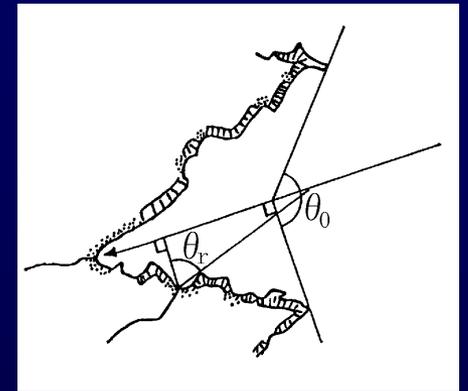
波エネルギー： H^2 ，河川エネルギー： I ，沿岸漂砂，岸沖漂砂

1. 中小河川の河口特性

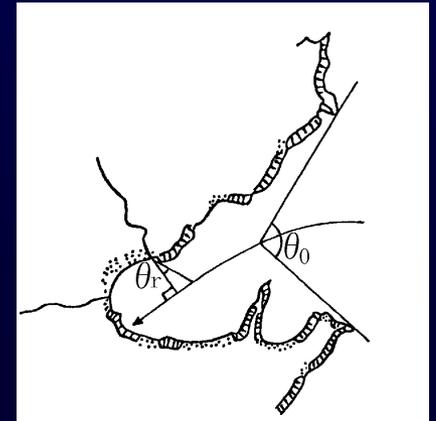
海岸形状と波の入射角



(a) 外海に面する河川



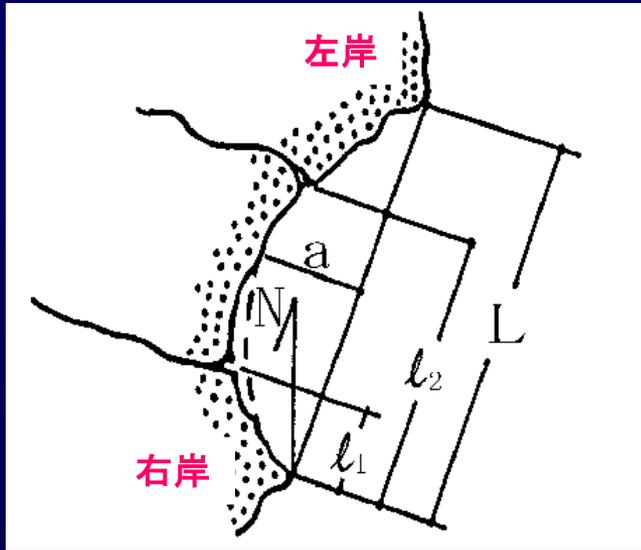
(b) 開放型湾に面する河川



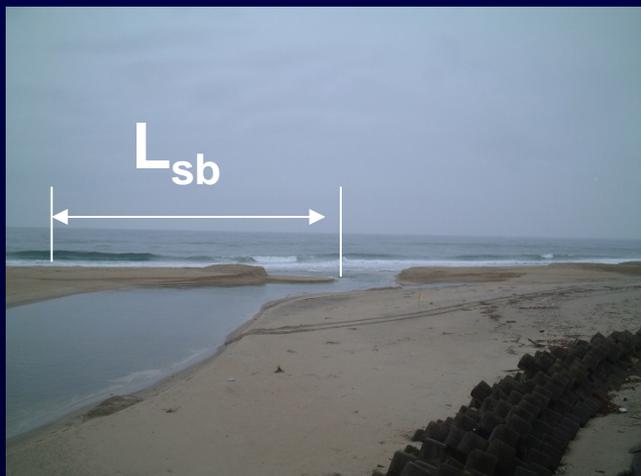
(c) 閉鎖型湾に面する河川

中小河川の河口調査
(1991-1998)

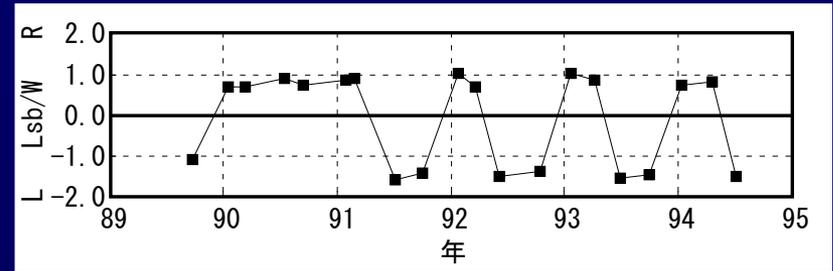
河口砂嘴の変動特性の検討



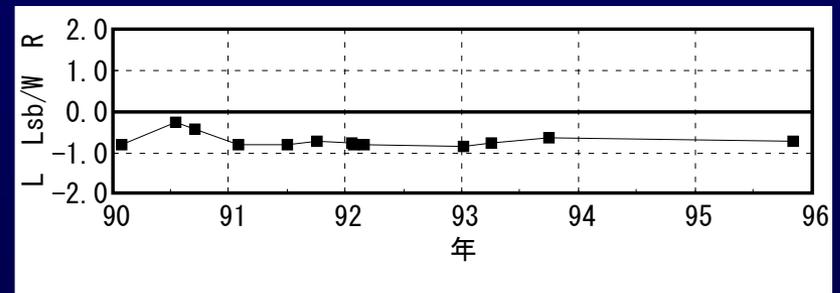
海岸における河川位置



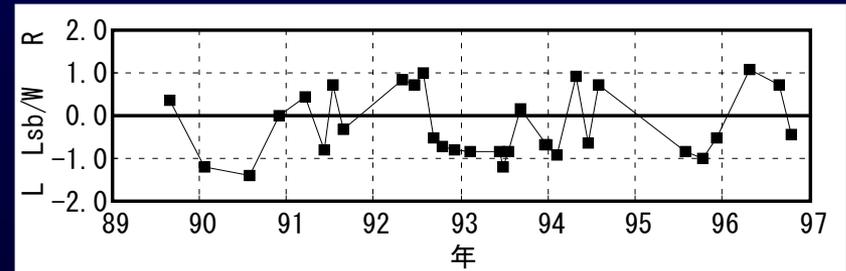
滑津川(福島県)



接待川(岩手県): 季節的变化



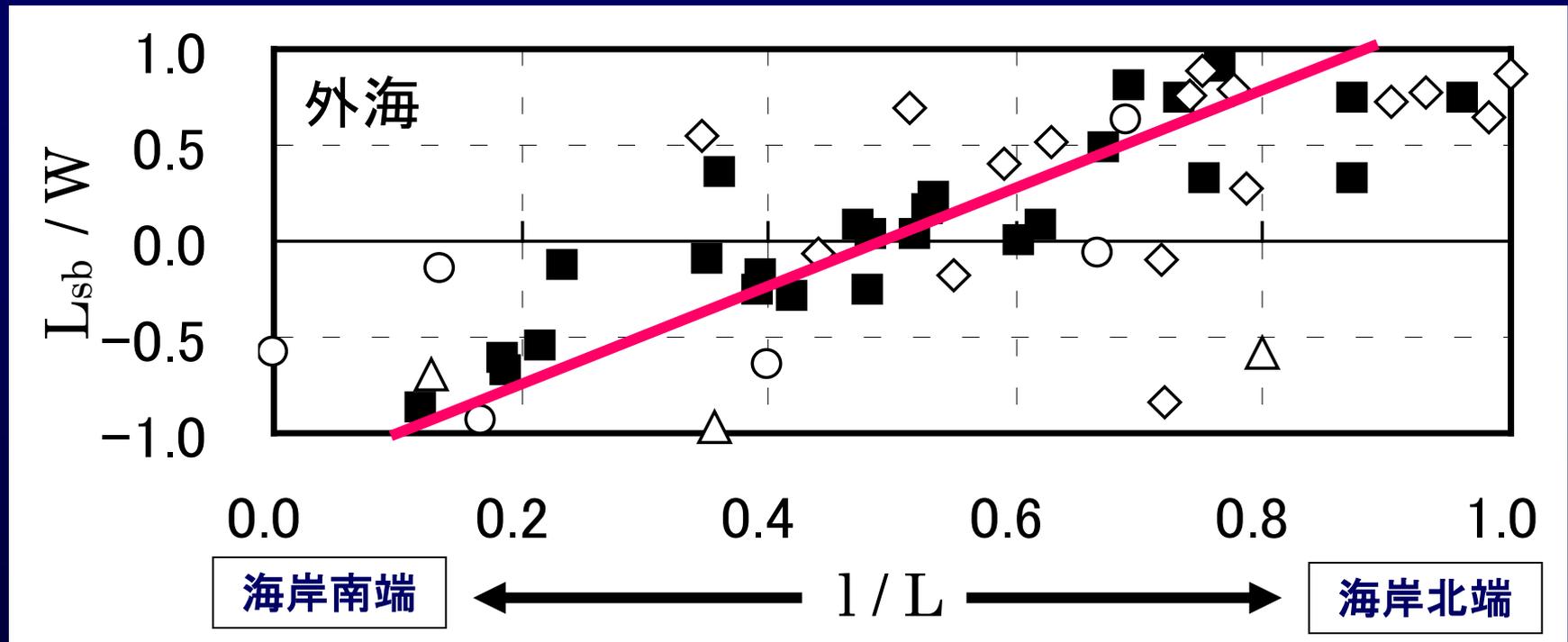
津谷川(宮城県): 安定



木戸川(福島県): 変化が激しい

外海に面する河川の相対砂嘴長変化

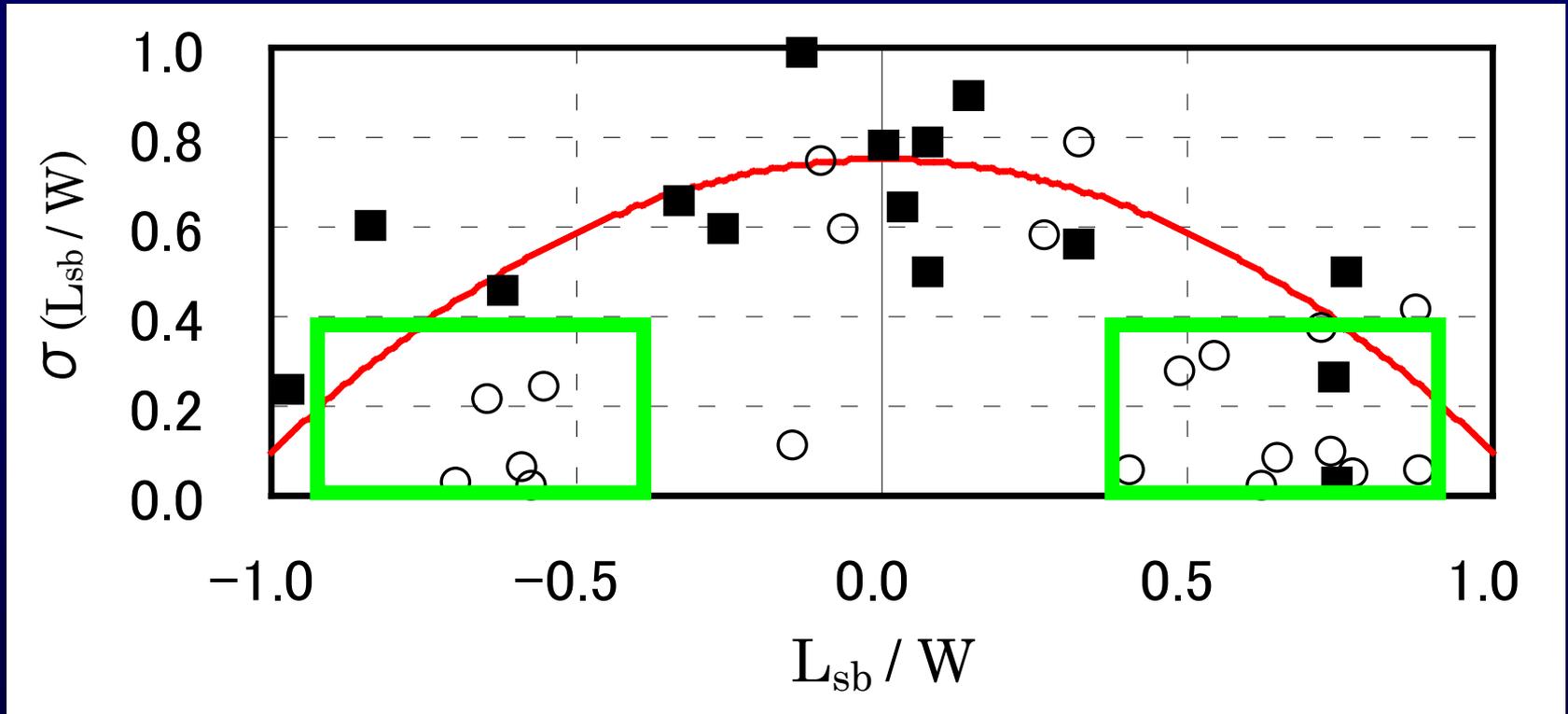
相対河川位置 l/L と砂嘴長 L_{sb}/W との関係



○岩手県，△宮城県，■福島県，◇茨城県

海岸の始点(南端)に位置する河川は左岸から砂嘴が発達し(左岸堆積)，終点(北端)に位置する河川は右岸堆積が多い。

砂嘴変動幅から見た河口処理効果



■ 河口処理なし, ○ 河口処理あり

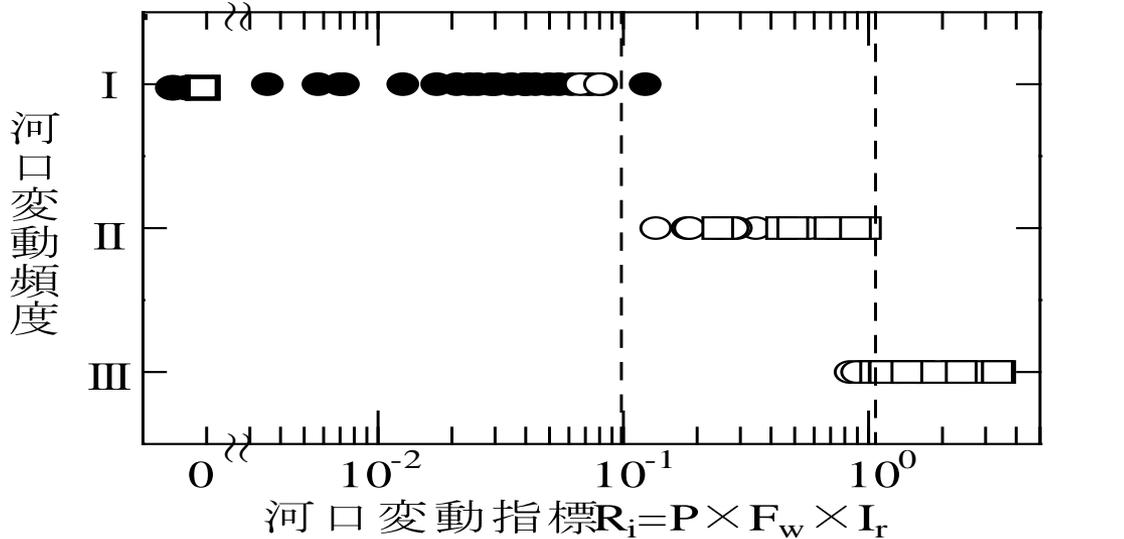
σ : 砂嘴変動幅, L_{sb} : 砂嘴長 W : 河口幅

$$\sigma_{(L_{sb}/w)} = \sqrt{\frac{1}{n} (L_{sb} - \overline{L_{sb}})^2 / W^2}$$

海岸始点, 終点の河川は河口処理効果が高い

海岸中央部の河川は河口処理効果が低い

河口処理効果と河口変動指標



I : 数年に一度 II : 一年に数度 III : 時化の度

- : 両岸整備されている河川 (P=0.1)
- : 片岸のみ整備されている河川 (P=1)
- : 自然状態の河川 (P=1)

河口波エネルギー: F_w

$$F_w = H^2 \theta_d / \pi$$

$$F_w = H^2 \theta_0 \theta_r / \pi^2$$

河口変動指標: R_i

$$R_i = F_w \times I_r \times P$$

H: 沖波波高

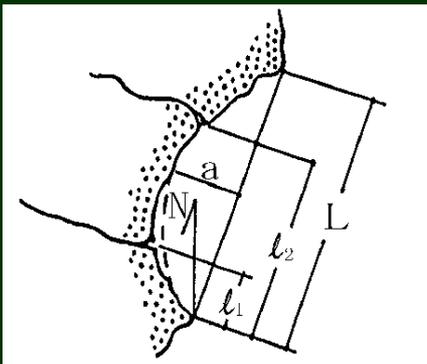
I_r : 河床勾配

P: 整備率

両岸が整備されている場合: P=0.1

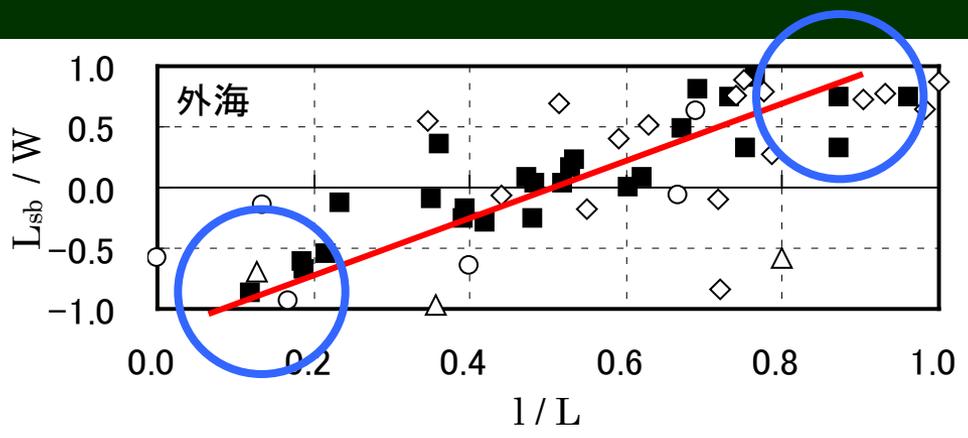
片岸のみ整備あるいは両岸とも未整備: P=1

河口変動指標と河口変動頻度
(河口変動指標: 修正後)

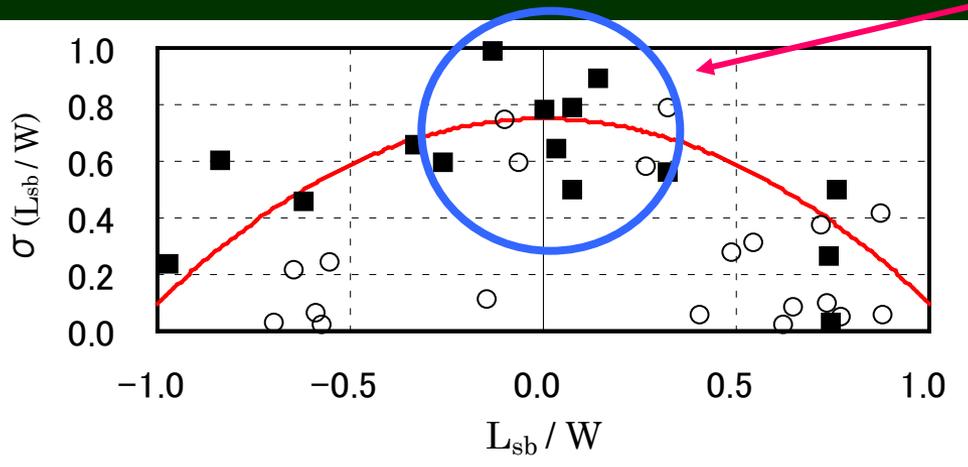


まとめ1

海岸の始点(南端)に位置する河川は左岸堆積が、
終点(北端)に位置する河川は右岸堆積が多い。



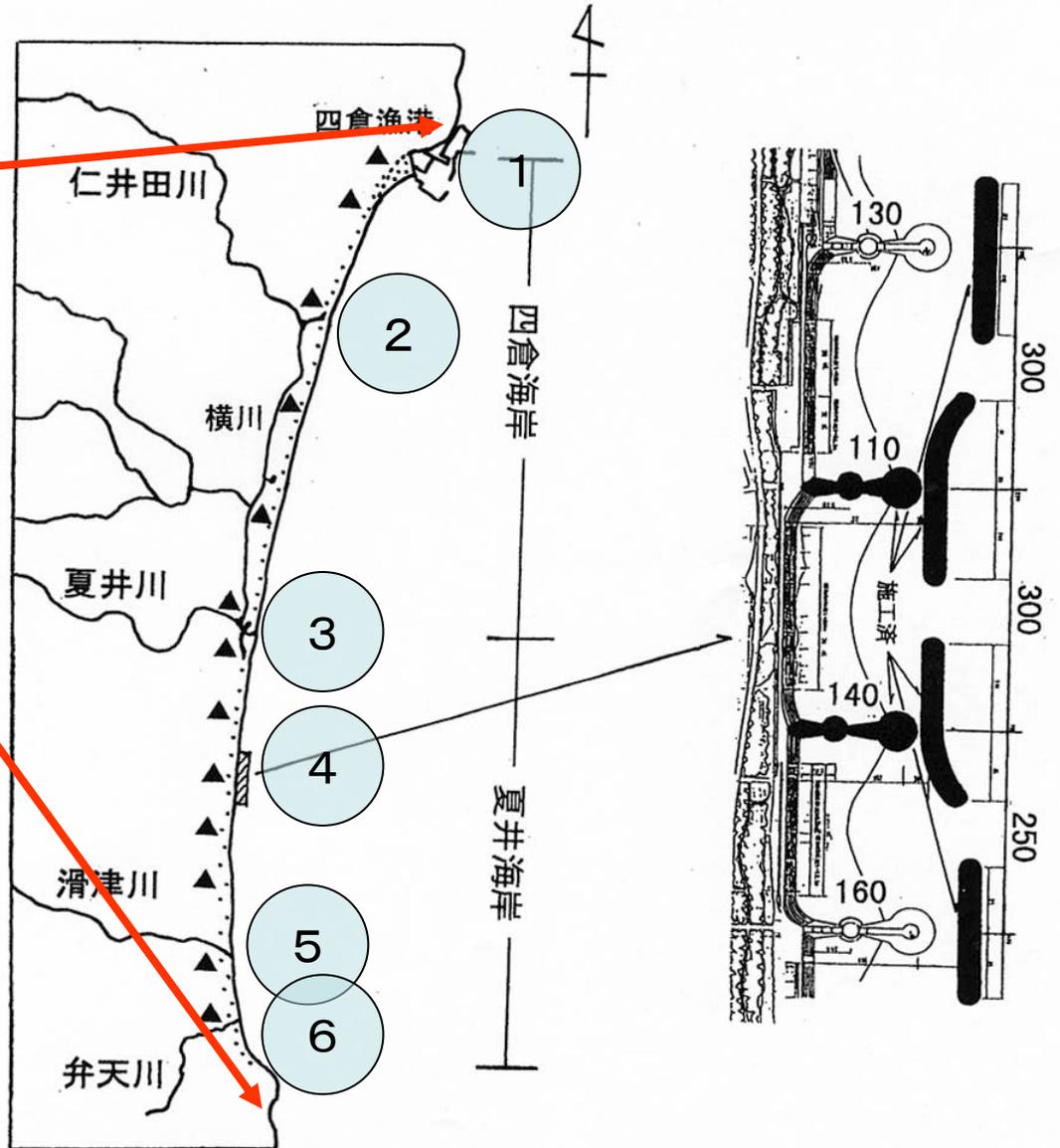
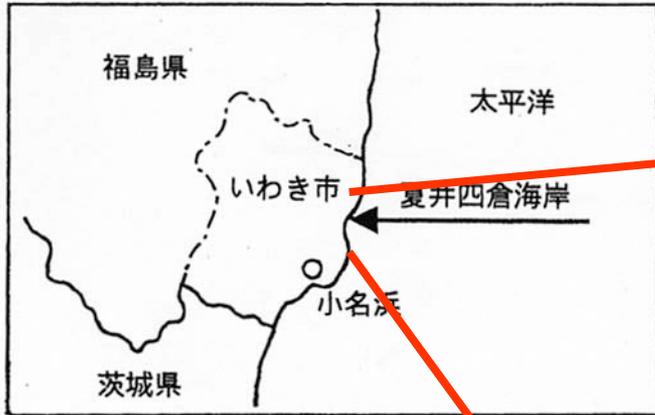
海岸始点と終点近くに位置する河川の砂嘴は安定、
構造物による河口処理効果が高い。



海岸中央に位置する河川は構造物による河口処理
効果が低い。

来襲する波エネルギーと
入射角からなる、河口変動指標を提案

2. 夏井・四倉海岸の海浜過程



● : 調査地点

夏井・四倉海岸において95年から2000年にかけて、海岸砂の粒径調査、河口砂嘴状況調査を実施

夏井・四倉海岸の河口，海浜



四倉海岸



仁井田川河口



夏井川河口



新舞子ビーチ



滑津川河口



弁天川河口

仁井田川河口



05/7/31



07/1/30



07/5/1



07/9/10



07/12/4

夏井川河口



05/6/26



07/2/10



06/5/1



07/9/6

05/6/26



滑津川

05/7/31



05/6/26

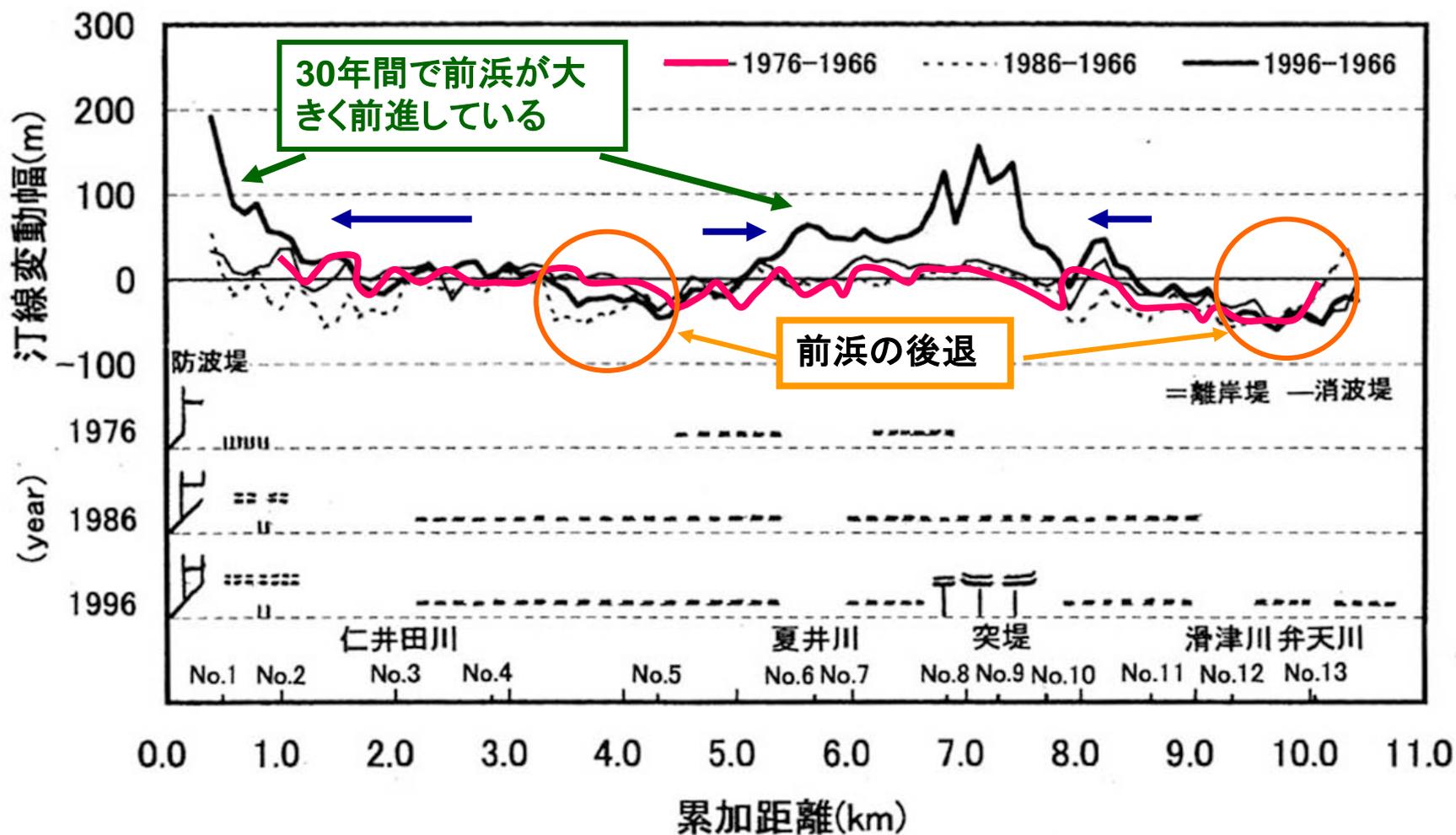


弁天川

05/7/31



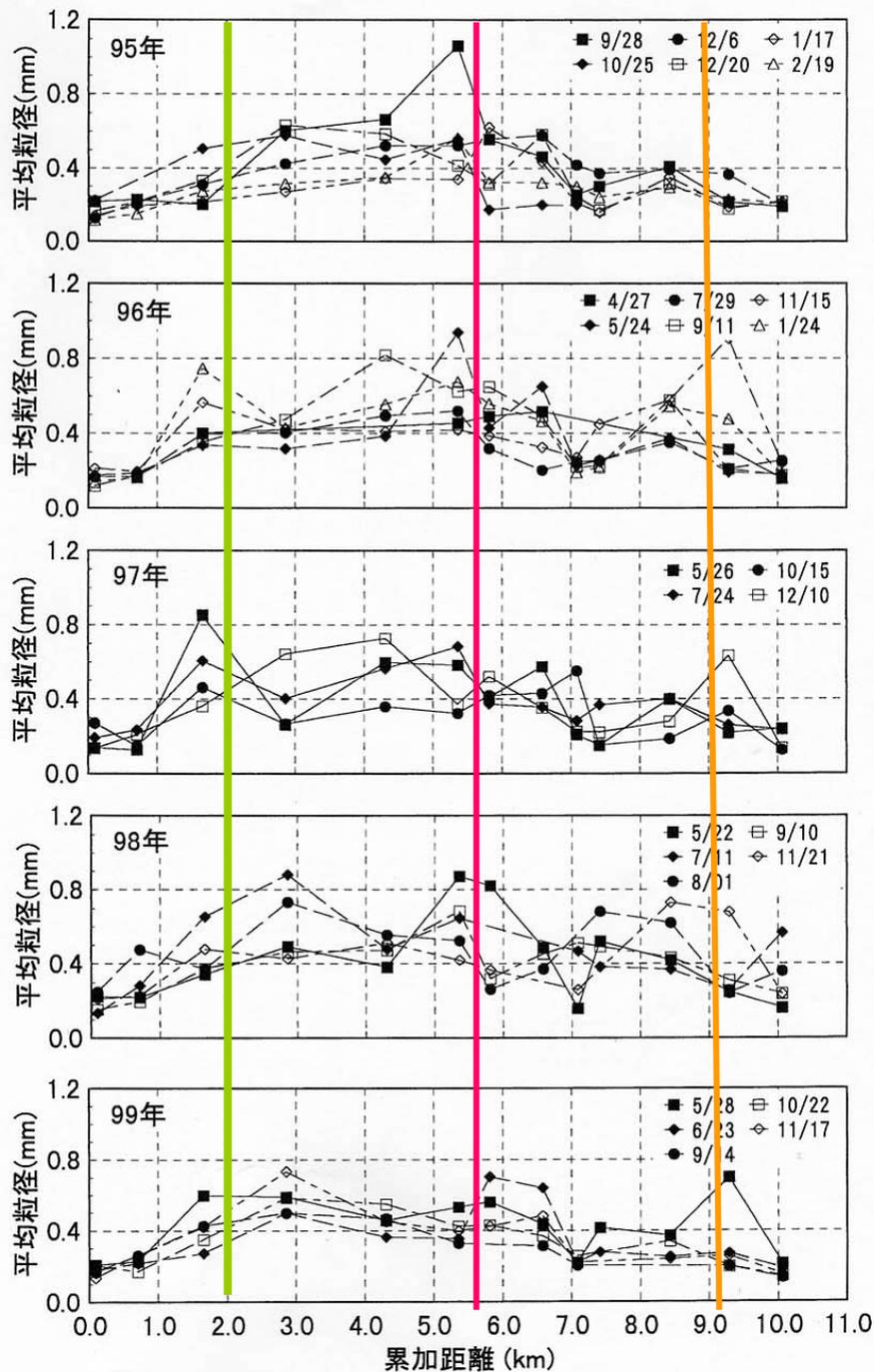
夏井・四倉海岸の汀線変動幅と海岸 構造物の関係



四倉漁港の構造物の展開 と汀線変化状況



海岸内の砂の平均粒径分布



夏井・四倉海岸における漂砂源は夏井川水系の掃流砂

— : 仁井田川
— : 夏井川
— : 滑津川

粒径の時系列変化から見た漂砂動向の検討

仁井田川河口

夏井川河口

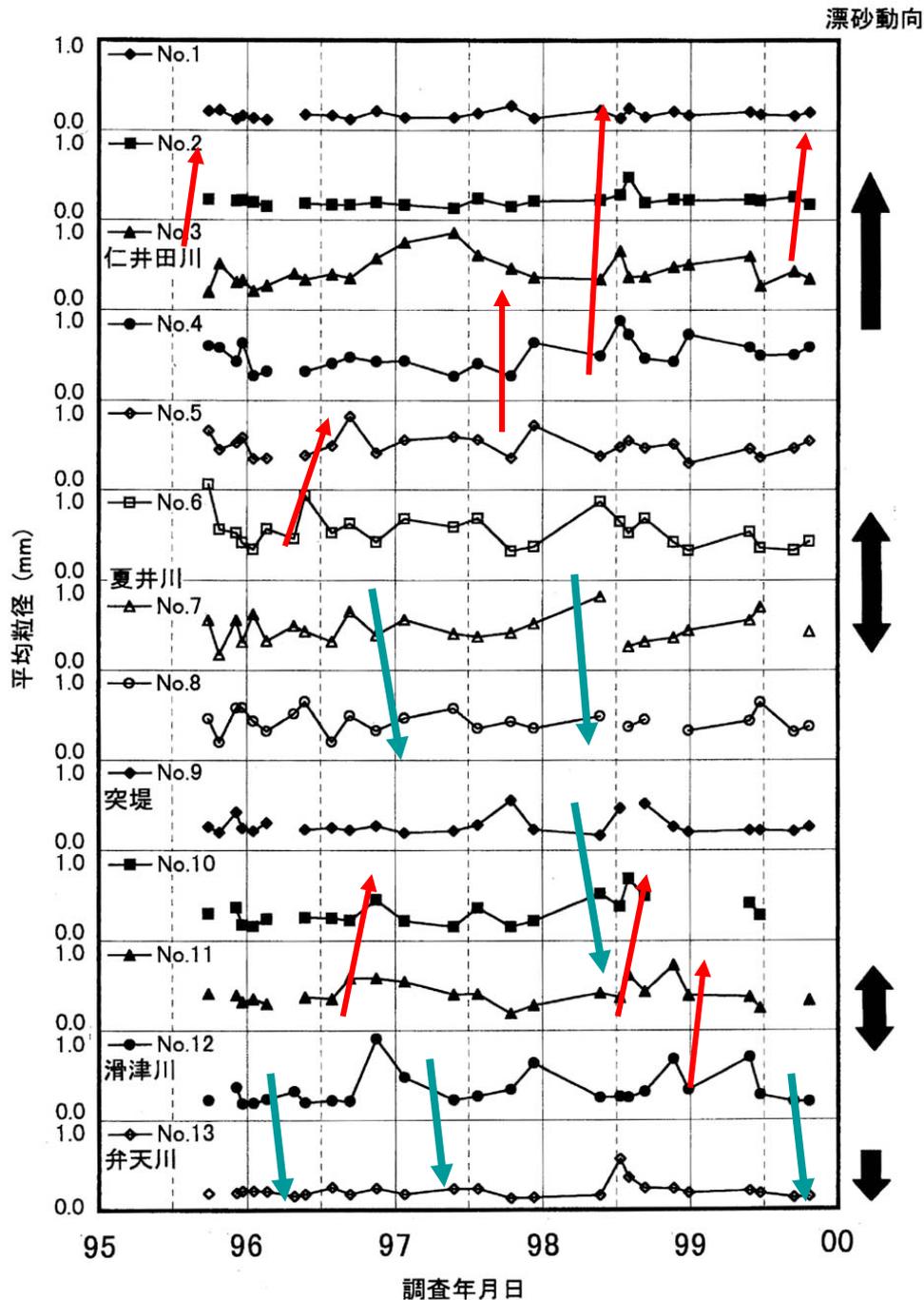
新舞子ビーチ

滑津川河口

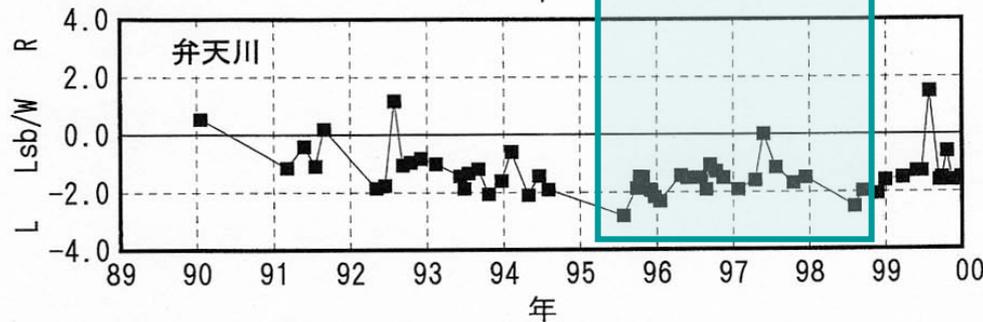
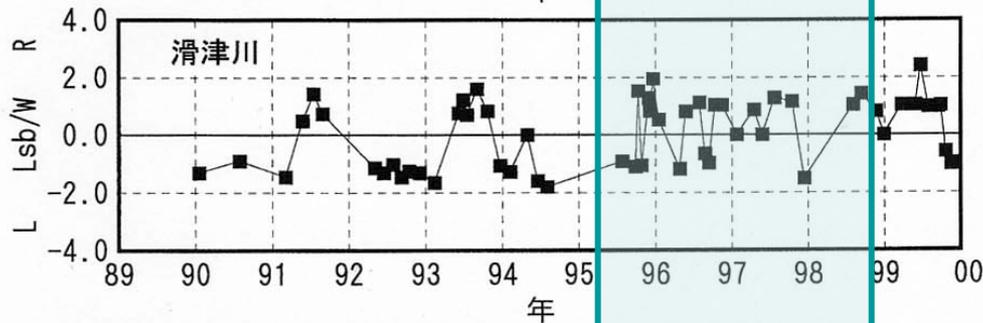
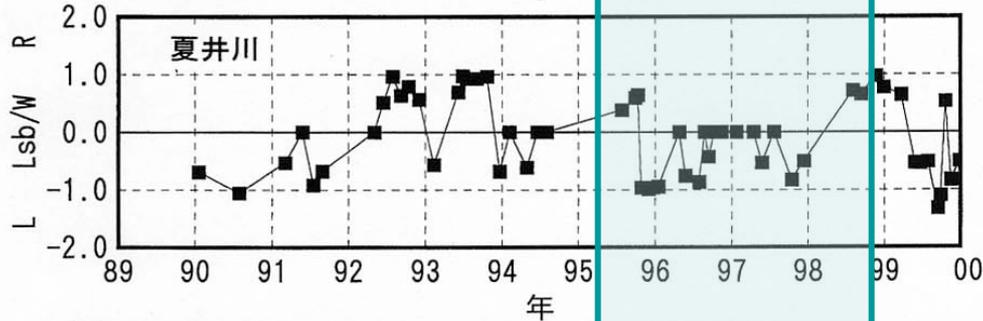
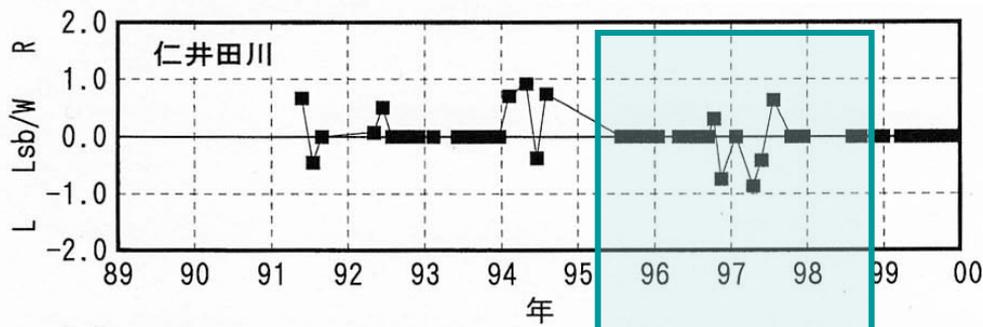
弁天川河口

北端は北向きの沿岸漂砂が卓越

海岸中央部は漂砂方向が変化する

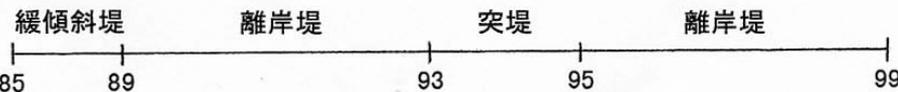


夏井・四倉海岸 における河口変動特性と構造物 建設の影響



新舞子ビーチにおける突堤建設期間の5年間程度、河口特性に影響が見られた。

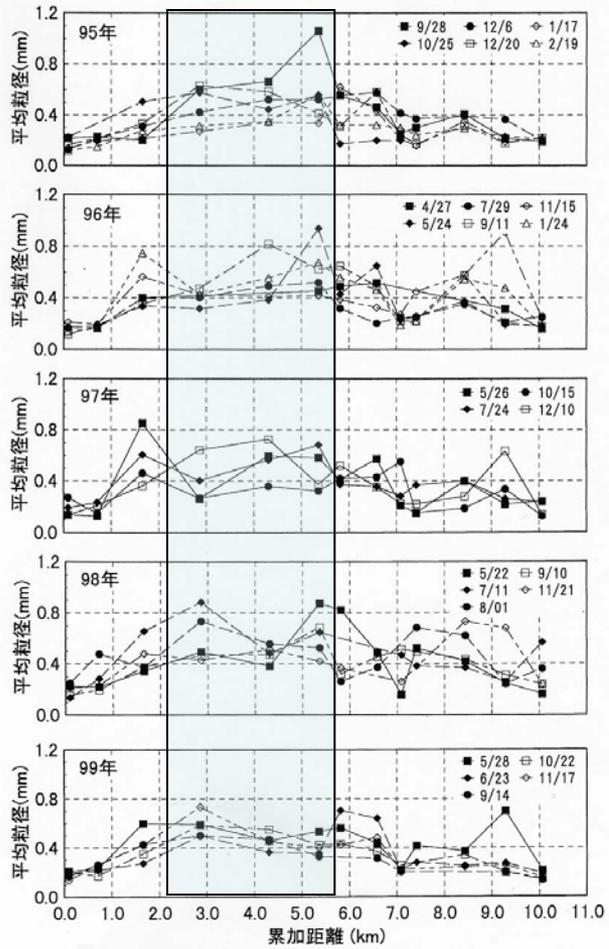
その後、河口特性が回復している。





2000年

まとめ2



夏井四倉海岸の沿岸漂砂の卓越方向は始点では南，終点では北向き

海岸の中央付近の沿岸漂砂の卓越方向は変化

夏井四倉海岸の漂砂源は夏井川，仁井田川

構造物建設による沿岸漂砂の影響回復には5年以上を要する

3. 夏井川の河口閉塞



2月6日 04年2月6日



2月8日

短期間の河口変動は何によって起こる？



沿岸漂砂？

2月17日 16:00

岸沖漂砂？

2月18日 8:00



2月23日 15:00

04年2月23日

内容

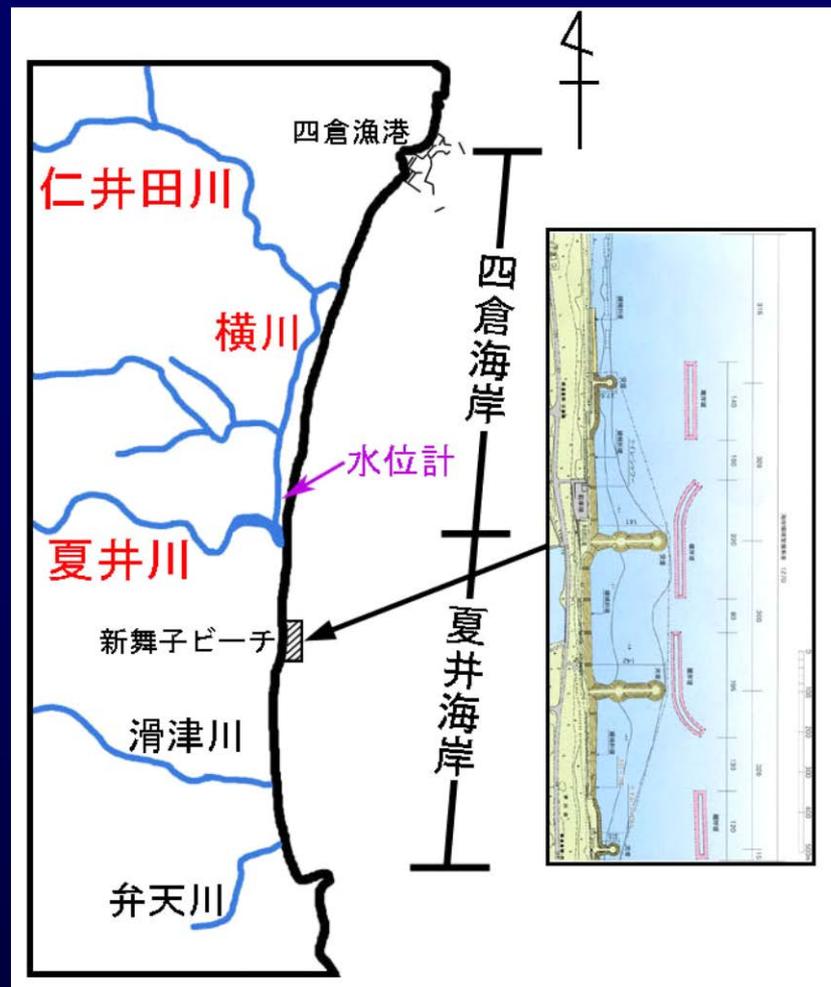
(1) 長期的河口変動特性(沿岸漂砂)

(2) 短期的河口変動(岸沖漂砂)

(3) Cパラメータと海岸地形

(4) 異常潮位と夏井河口の長期閉塞

流域概要



	仁井田川	夏井川	滑津川	弁天川
流域面積	106.8km ²	748.6km ²	36.5km ²	3.5km ²
流路延長	21.1km	67.1km	11.2km	1.8km

河口調査 概要

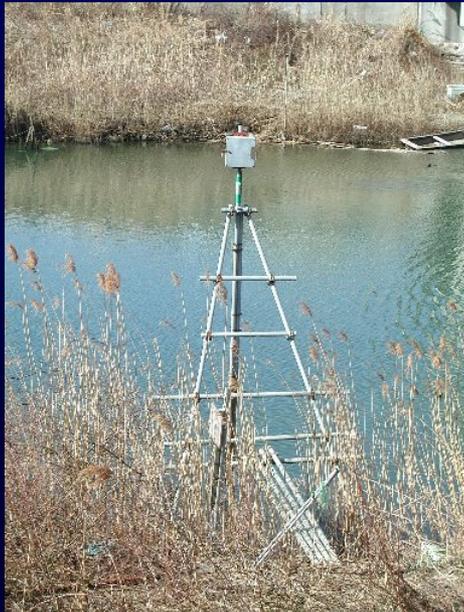
河口地形の測定:

ハンドヘルドGPS(不定期)

デジタルスチルカメラ(昼間1時間毎)

河口内水位: 自記水位計

海象データ: 小名浜港湾



水位計



監視カメラ



GPS

(1) 長期的河口變動特性(沿岸漂砂)



2003年5月24日



2003年7月12日



2003年9月9日



2003年11月1日



2003年11月21日



2004年1月27日



2004年2月6日



2004年7月5日



2004年8月6日



2004年9月28日



2004年11月16日



2005年1月21日



2005年4月30日



2005年6月7日



2005年6月27日



2005年8月1日



2005年9月14日



2005年10月11日



2006年1月21日



2006年5月2日



2006年6月3日



2006年7月26日



2006年9月22日



2006年9月26日



2006年11月23日



2007年5月1日



2007年5月30日



2007年7月27日



2007年9月7日



2007年9月10日

(2) 短期的変動(岸沖漂砂)



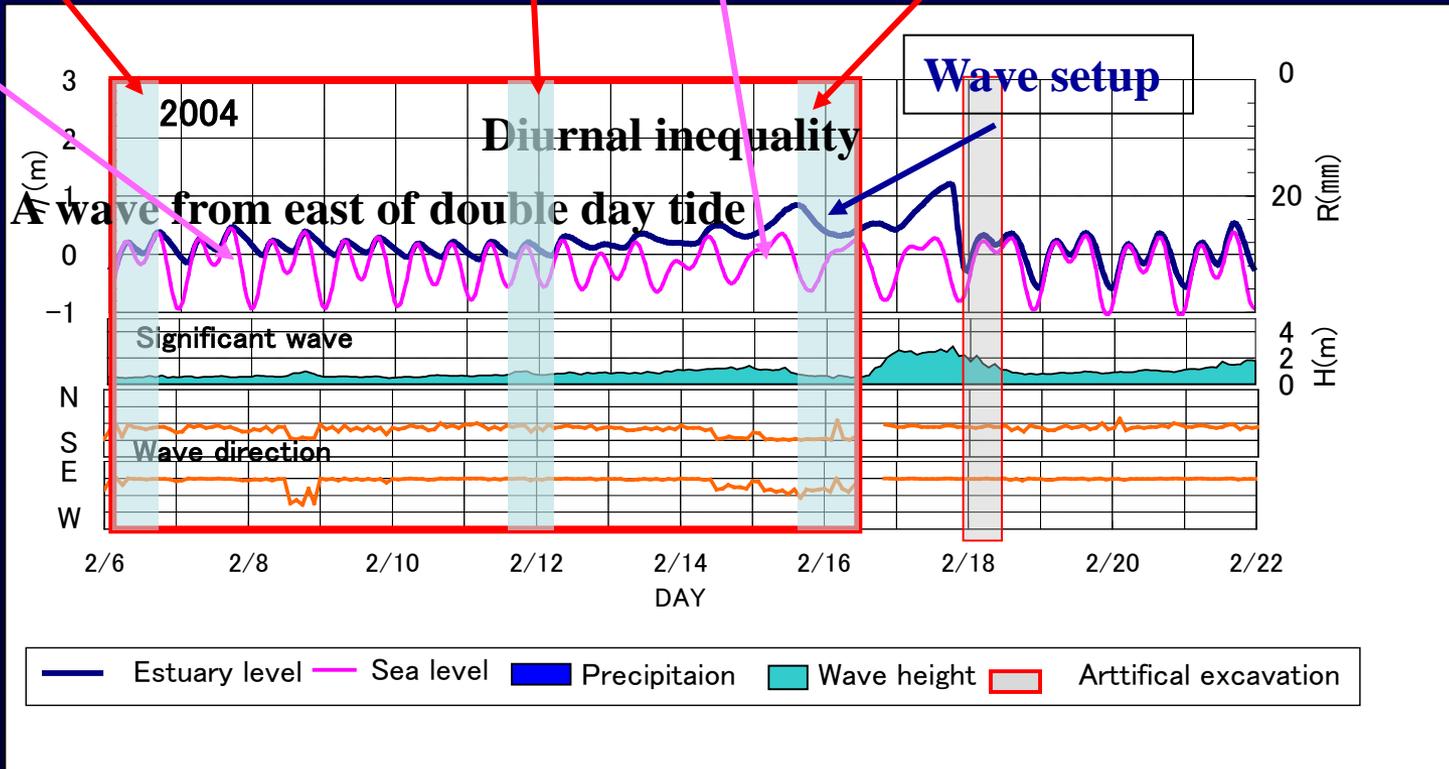
04年2月における短期的河口地形の変化

砂嘴地形と河口内水位，海象条件



1日1回潮

1日2回潮



砂嘴地形と河口内水位, 海象条件

04.2.17 16:00

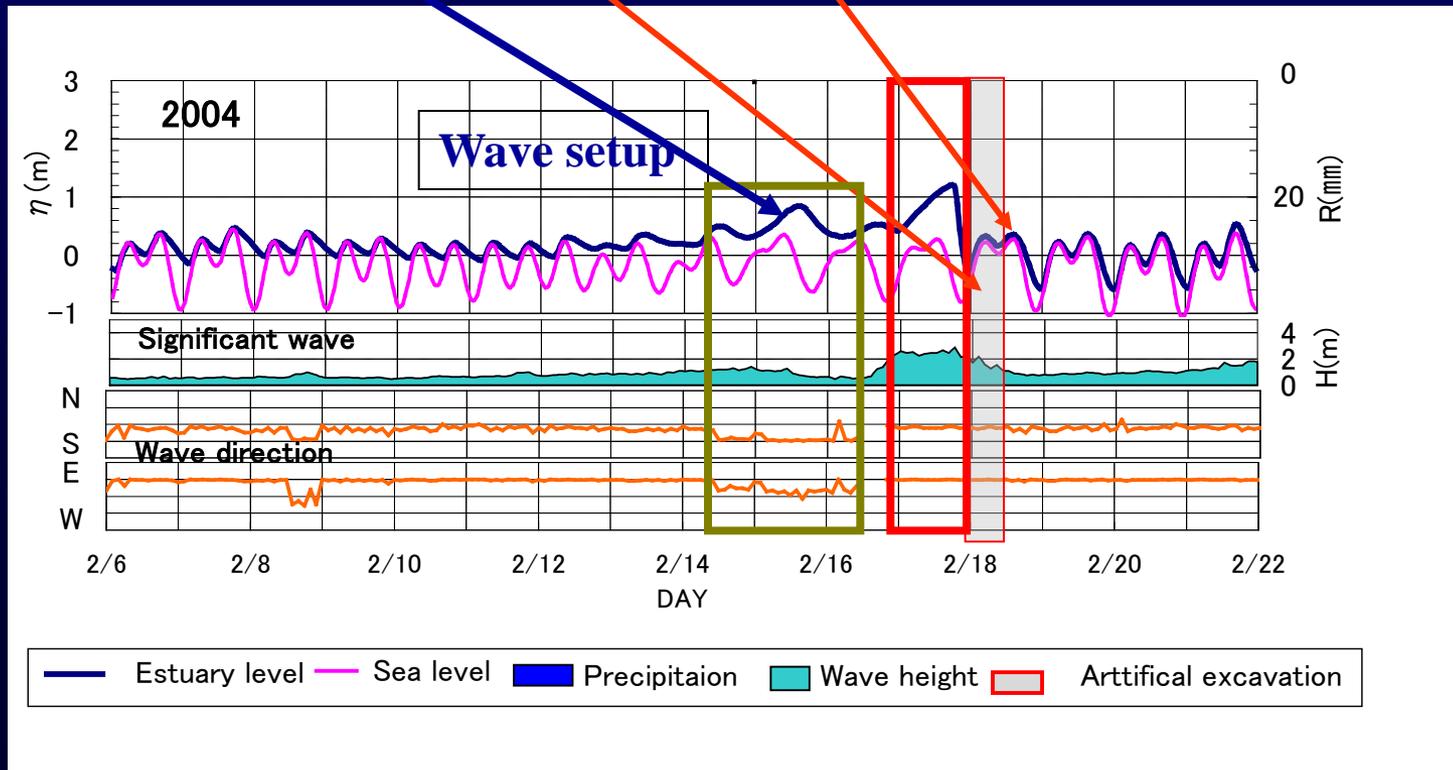
04.2.18 8:00

04.2.23 15:00

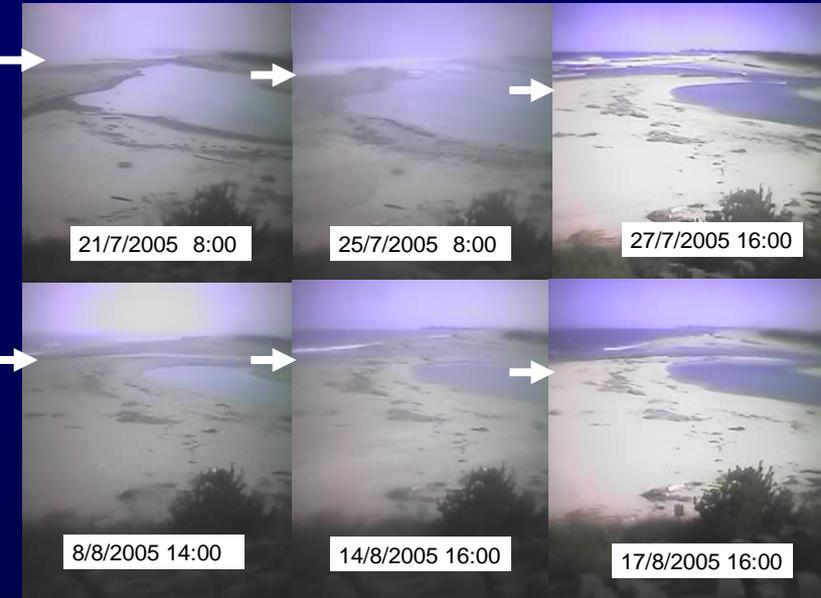
河口内水位上昇

高潮位, 海水遡上

開削工 開口



(3) Cパラメータと海岸地形

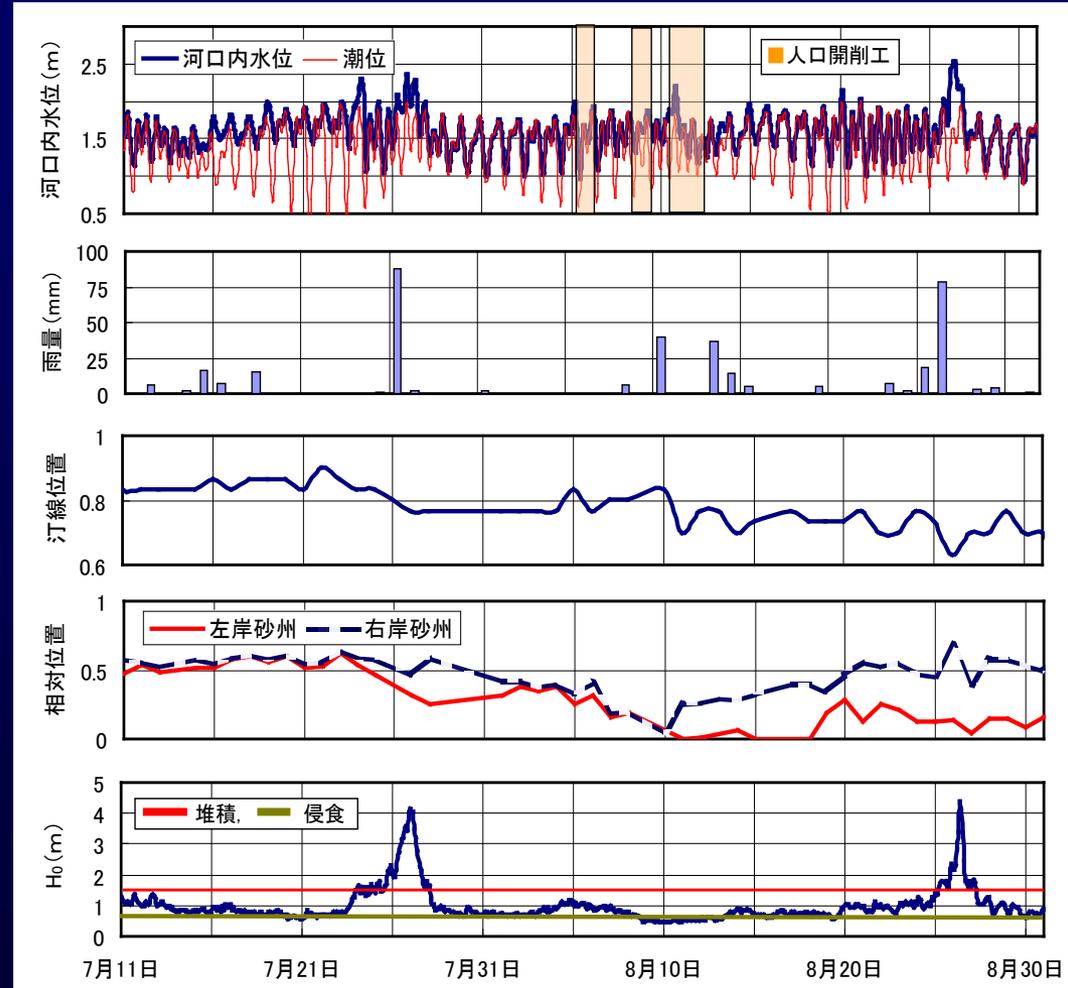


汀線位置と河口位置の推移

砂村・堀川のCパラメータ

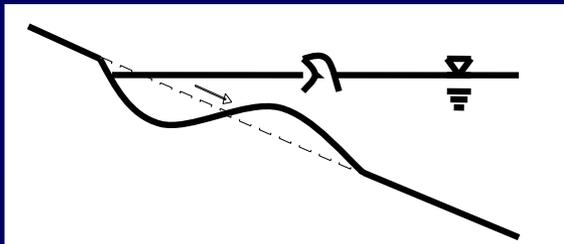
$$\frac{H_0}{L_0} = C(\tan \beta)^{-0.27} \left(\frac{d}{L_0} \right)^{0.67}$$

$D=0.11\text{cm}$, $\beta=6^\circ$, $\frac{H_0}{L_0}$: 波形勾配



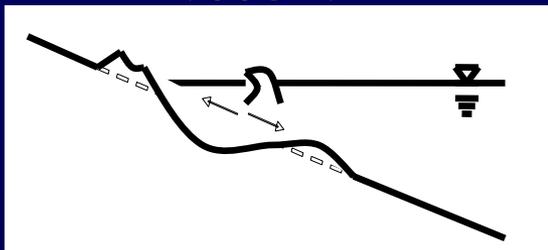
水理海象条件と汀線位置, 相対河口位置との関係

タイプ I (浸食型)



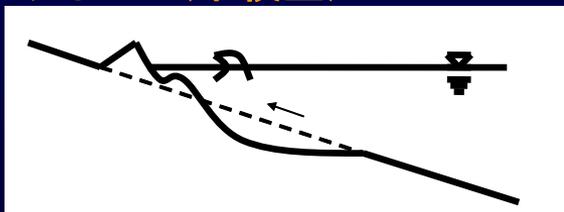
汀線が後退し砂が沖に砂が堆積する

タイプ II (中間型)

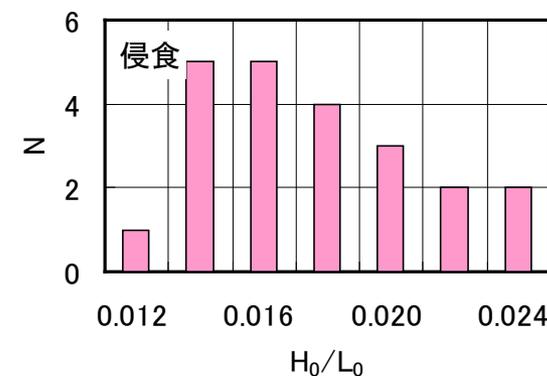
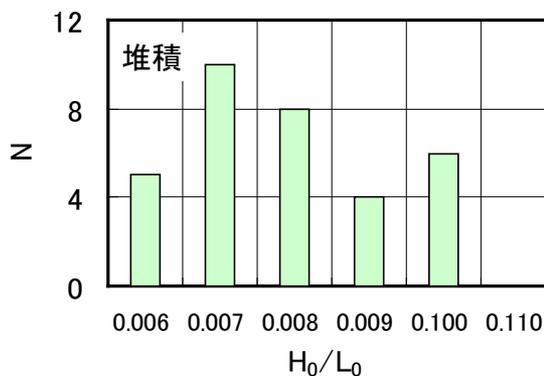
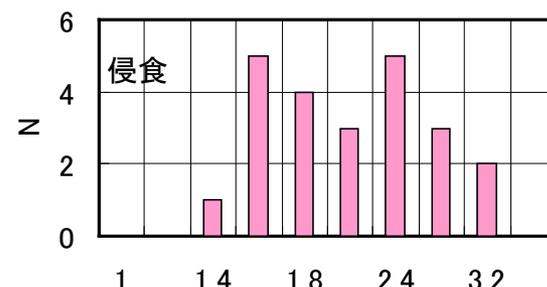
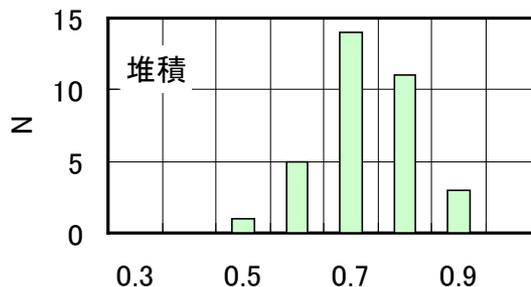


汀線位置は変化しないが汀線の岸側と沖側で堆積が生ずる

タイプ III (堆積型)



汀線は前進し、沖側での堆積はない



前浜の堆積, 浸食と海象条件

前浜への堆積(タイプ III)

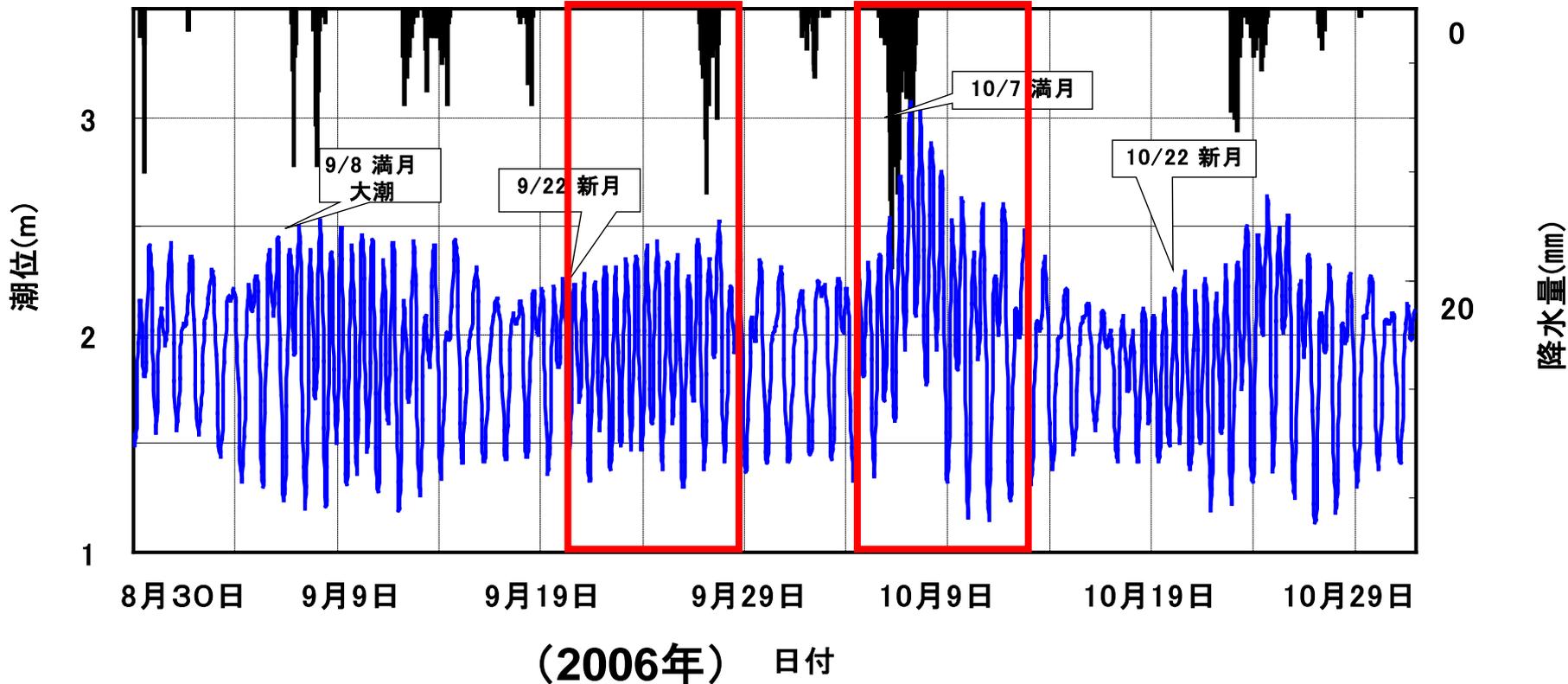
$$H_0=0.7\text{m}-0.8\text{m}, H_0/L_0=0.008$$

前浜の浸食(タイプ I)

$$H_0>1.6\text{m}, H_0/L_0>0.014$$

	室内実験	現地海浜
タイプ I	$C \geq 8$	$C > 18$
タイプ II	$8 > C \geq 4$	$18 > C > 9$
タイプ III	$4 > C$	$9 > C$

(4) 異常潮位と夏井河口の長期閉塞



9月から11月にかけて2.0mを超える高潮位が継続, 7月は最大1.8m程度であったが, 10月8日3.2mの潮位を記録

小名浜港の潮位記録

河口閉塞と水 理海象条件

一時的閉塞と開口

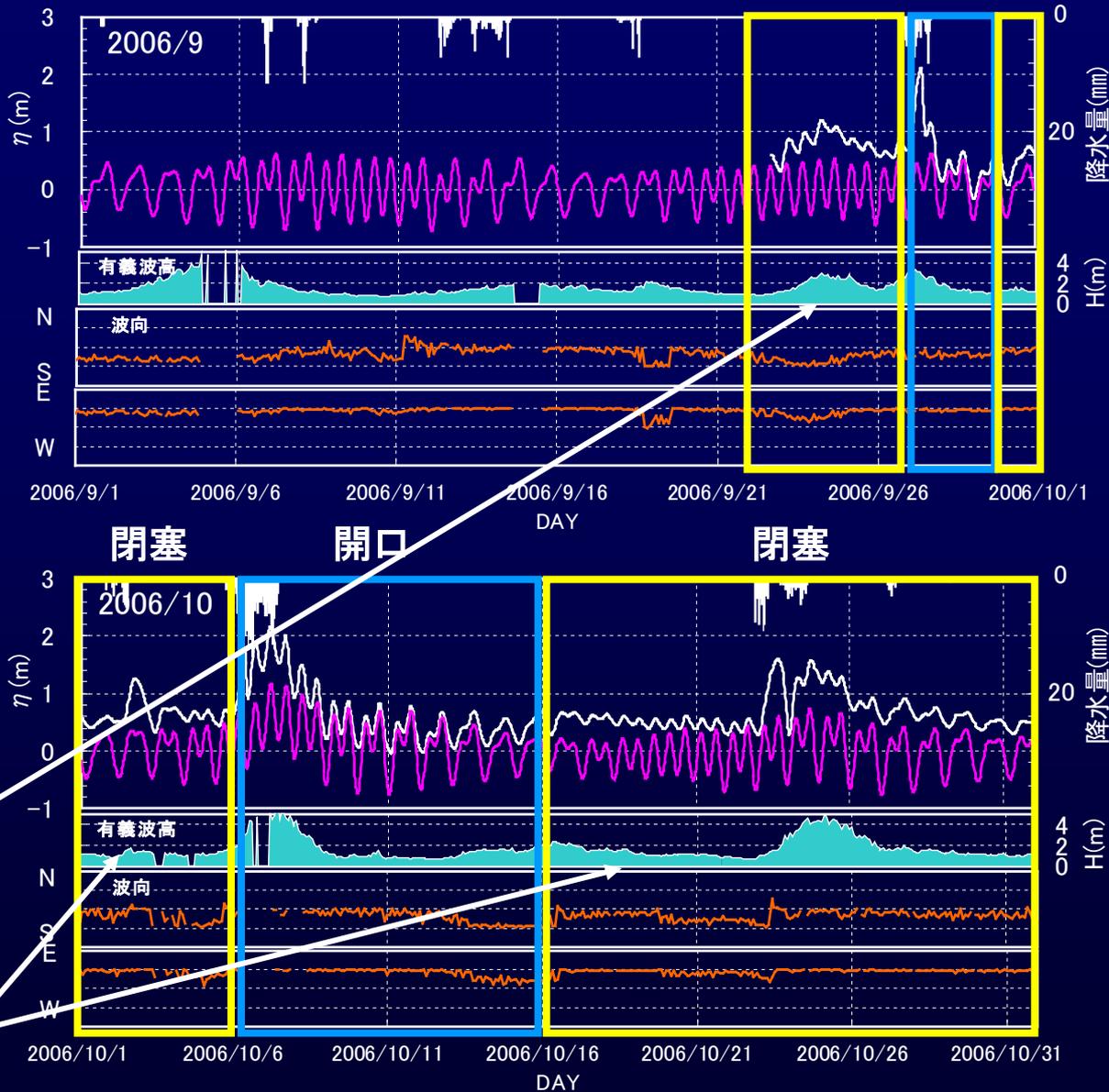
2006/9/26<現地写真>



2006年9月26日

高波浪によって浜崖
が形成(浸食型)

低波浪(堆積型)



— 河口内水位 — 潮位 — 降水量 — 波高

まとめ3

2006/9/26〈現地写真〉

〈GPS地図〉

右岸砂嘴は前浜が大きく安定，左岸堆積は前浜が狭く細く伸張する

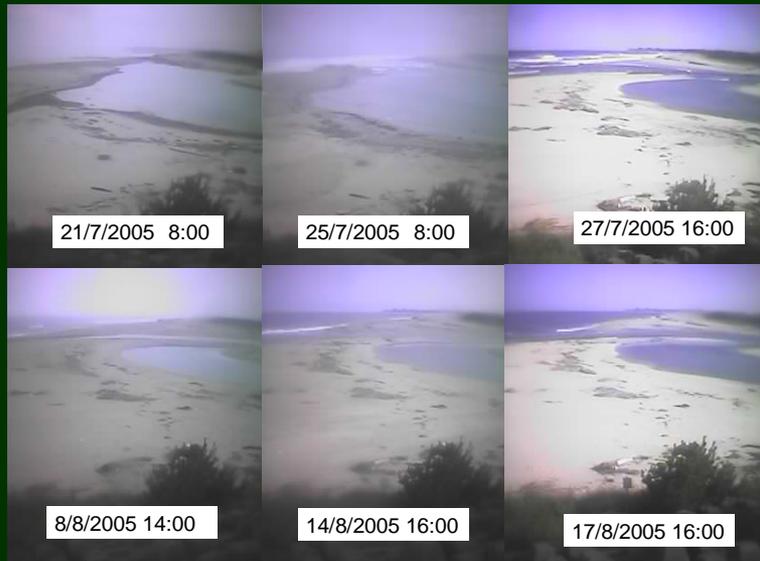
岸沖漂砂による短期的な河口変形を確認

Cパラメータによる前浜の浸食と堆積

前浜の堆積 $H_0=0.7\text{m}-0.8\text{m}$, $H_0/L_0=0.008$

前浜の浸食 $H_0>1.6\text{m}$, $H_0/L_0>0.014$

異常潮位による長期閉塞の要因は，潮位差が小さいため，波による前浜への高い砂丘堆が生じたことによる



4. 効果的な河口処理対策工の検討

(1) 開削工の事例検討

(2) 開削工の効果に関する現地観測

(3) 開削工の効果に関する実験的検討

(4) 導流壁の効果の検討

(1) 開削工の事例検討



10:30 開削状況



11:30 開通



14:30 開削終了



15:40 自然拡張

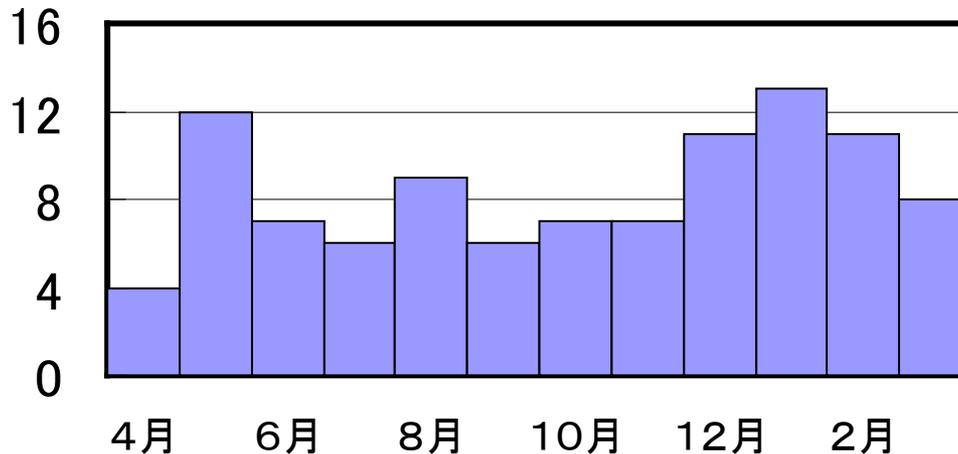
04年6月8日

開削工の頻度

開削年度	開削回数												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
平成11年度	1	0	0	1	1	0	2	1	1	1	2	0	10
平成12年度	0	1	1	0	2	0	1	1	1	0	0	2	9
平成13年度	0	0	0	0	0	3	0	0	4	2	4	2	15
平成14年度	1	2	3	2	2	2	2	3	3	5	0	1	26
平成15年度	0	6	0	0	0	0	0	0	1	3	2	3	15
平成16年度	1	1	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0	8
平成17年度	1	2	2	3	0	0	2	2	1	2	3	0	18
合計	4	12	7	6	9	6	7	7	11	13	11	8	101

夏井川河口開削月別実績(H11年度～H17年度)

開削回数

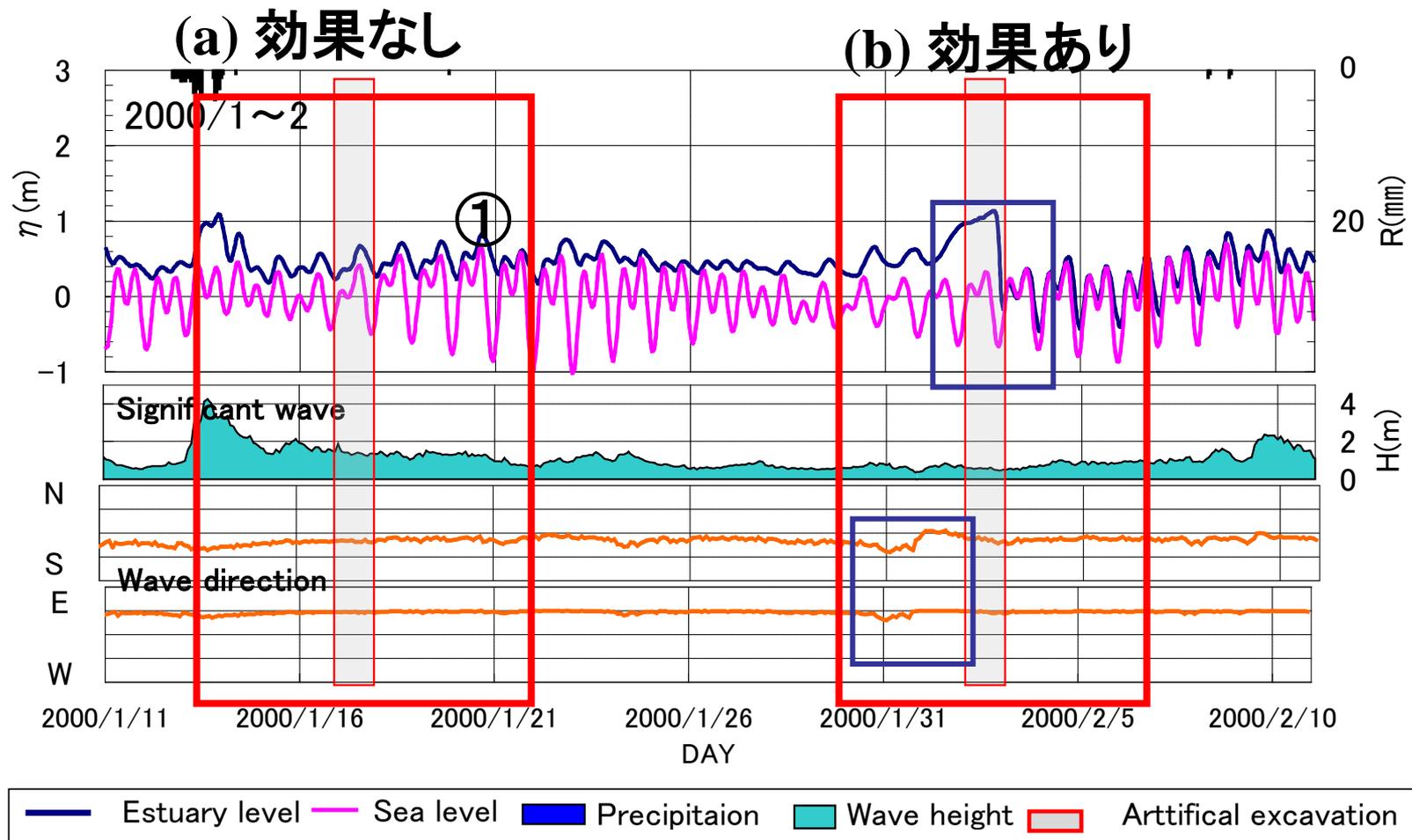


人工開削時期

冬季高波浪による閉塞時

5月、8月の降雨
出水時期に開削

(2) 開削工の効果に関する現地観測

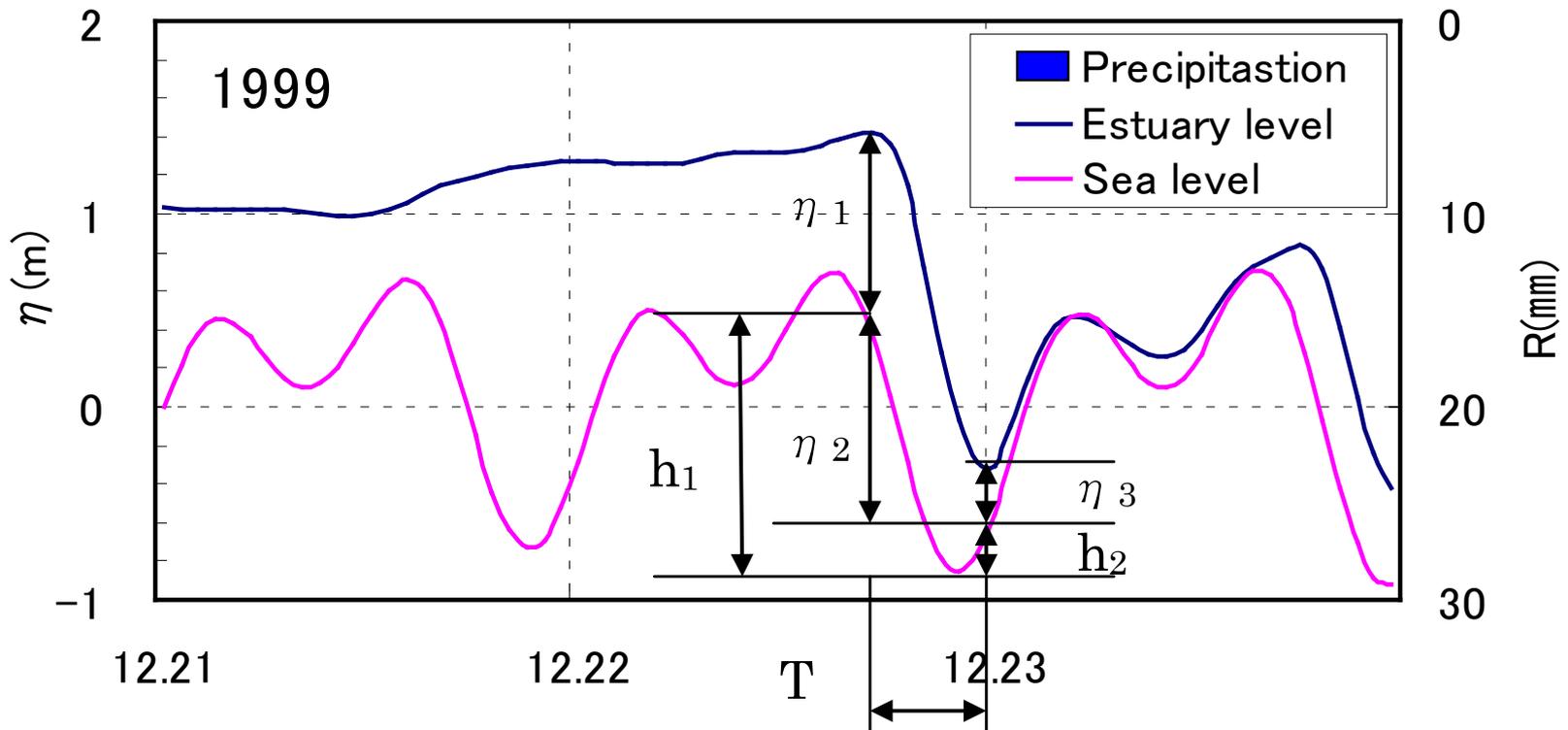


波高1m程度, 1日2回潮
の波で閉塞傾向

日潮不等で低潮位時
に河口内水位上昇

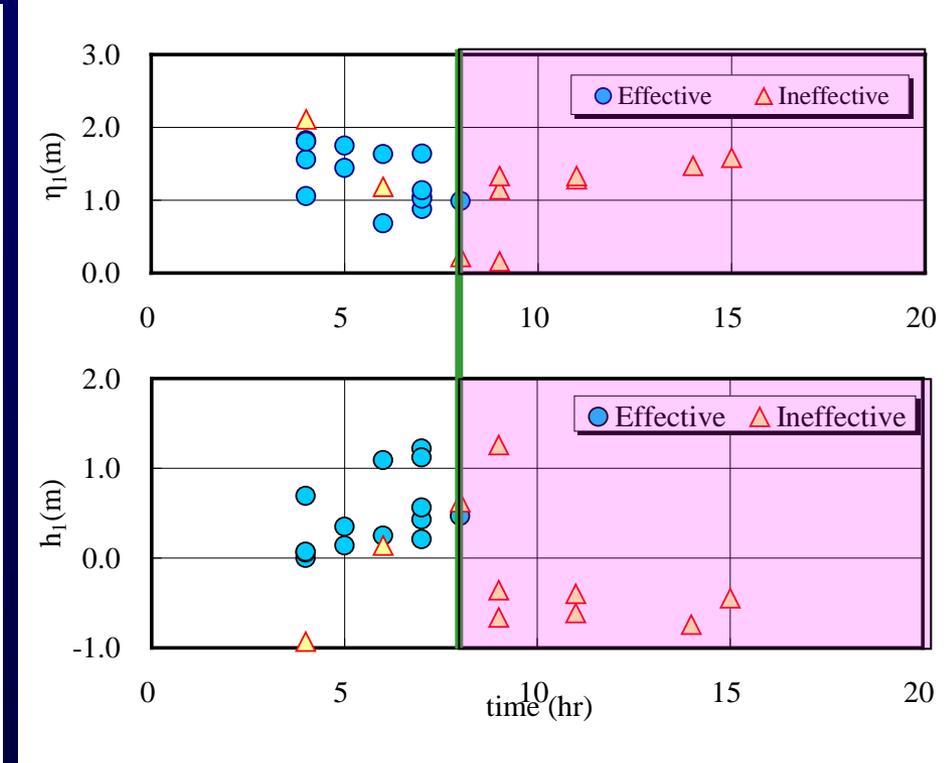
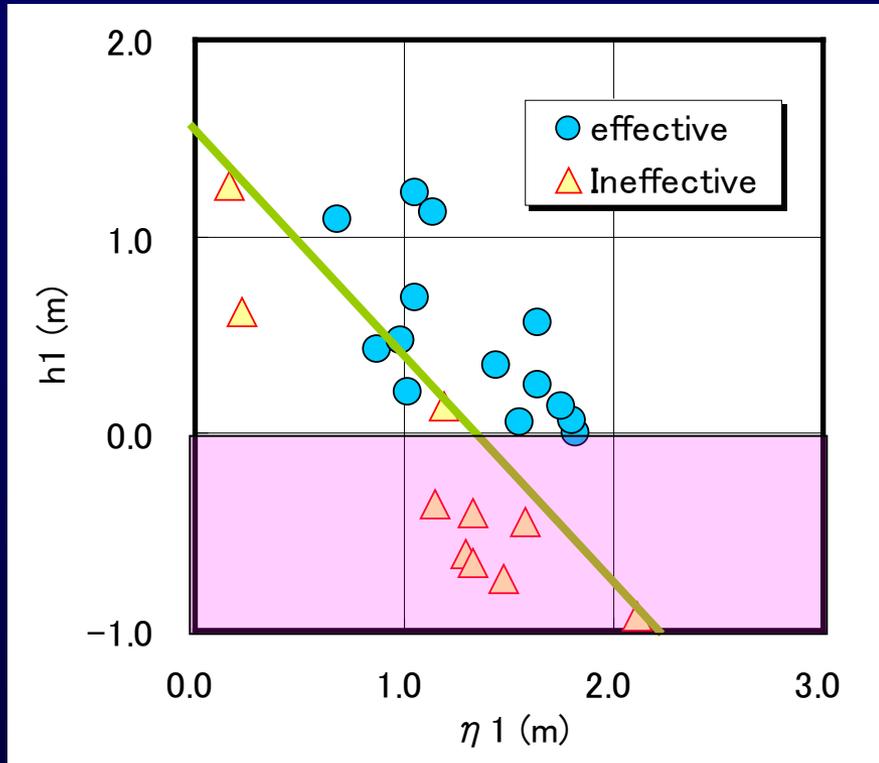
河口水位と潮位差大
のとき開削効果あり

人工開削時の水理, 海象条件



η_1 : 開削時の河口水位と潮位との差, h_1 : 開削後の潮位低下量,
 T : 河口水位の低下時間

人工開削工の評価



人工開削工の効果の検討

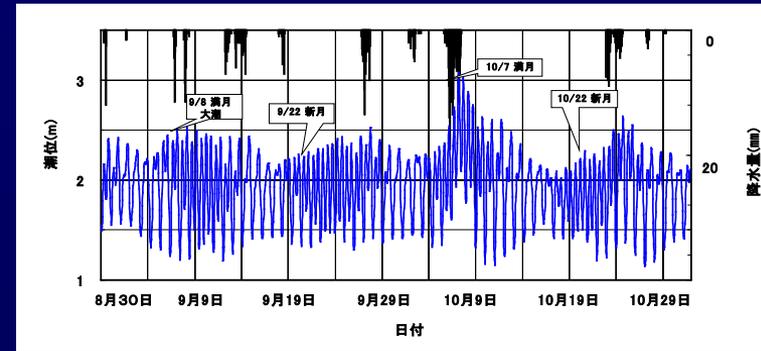
潮位差 ($\eta_1 + h_1$) が 1.4m 以上で開削する場合に良好

開削工の効果と開削時間の関係

開削が自然拡張を含めて 8 時間以内の場合に良好

河口閉塞の要因検討

- 1) 河川流による運搬土砂の堆積
- 2) 波による土砂の押し込み
- 3) 沿岸漂砂による砂州の形成



潮位, 波形勾配

野田英明1974.

河川水理条件

$f\left(\frac{h_r}{L_0}, \frac{x}{L_0}, \frac{h_r}{H_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{H_0}{d}, \frac{d\sqrt{gH_0}}{\gamma}, \frac{\sigma}{\rho}, i_0\right)$ 河口内水位, 潮位, 最狭河口断面, 河川流量

海象条件

波高, 波長, 沿岸漂砂, 岸沖票漂砂, タイダルプリズム

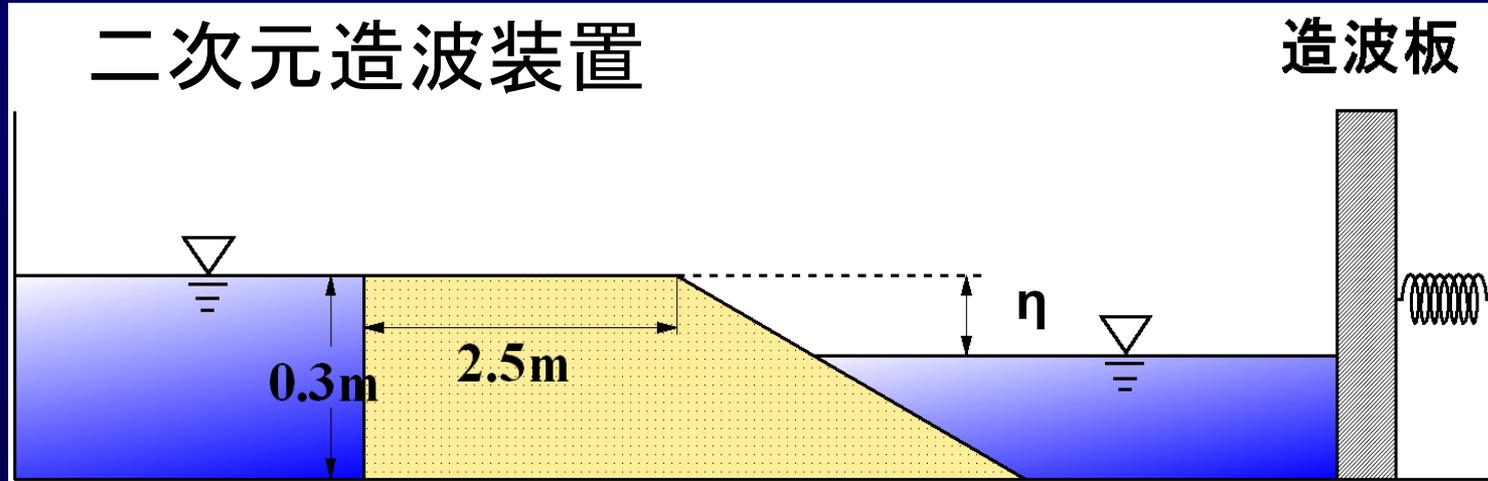
$$f\left(\frac{h_r}{L_0}, \frac{x}{L_0}, \frac{h_r}{H_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{H_0}{d}, \frac{d\sqrt{gH_0}}{\gamma}, \frac{\sigma}{\rho}, i_0\right) = 0$$

$$C = \frac{H_0 / L_0}{\tan \beta^{-0.27} (d / L_0)^{0.67}}$$

前浜の侵食, 堆積型

h_r : 河床水深, H_0 : 沖波波高, L_0 : 沖波波長, T : 波の周期, d : 底質粒径, σ : 底質密度, ρ : 水の密度, ν : 水の動粘性係数, i_0 : 河床勾配

(3) 開削工の効果に関する実験的検討



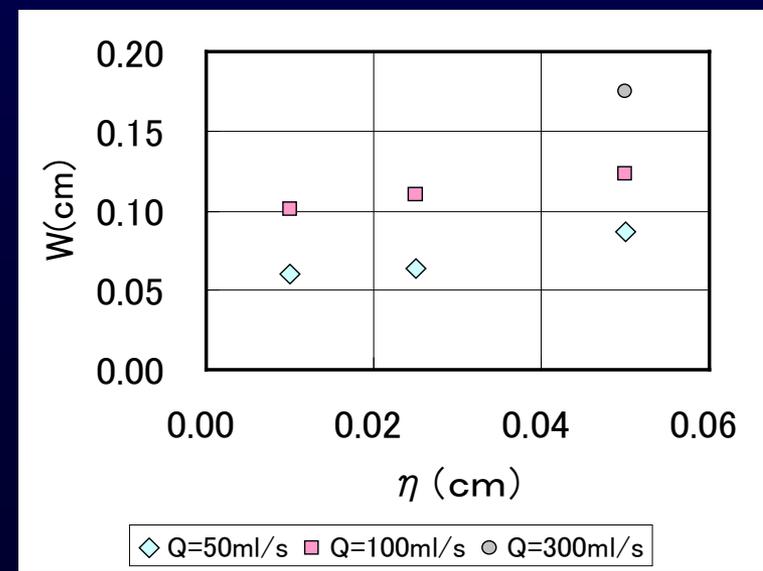
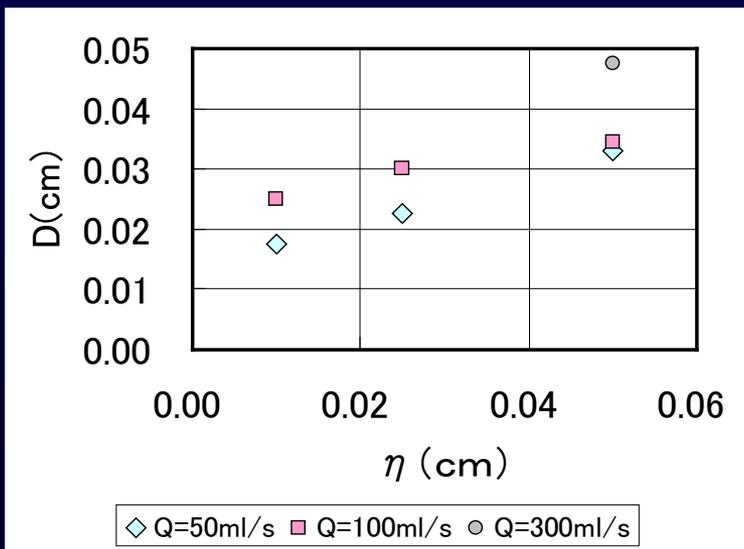
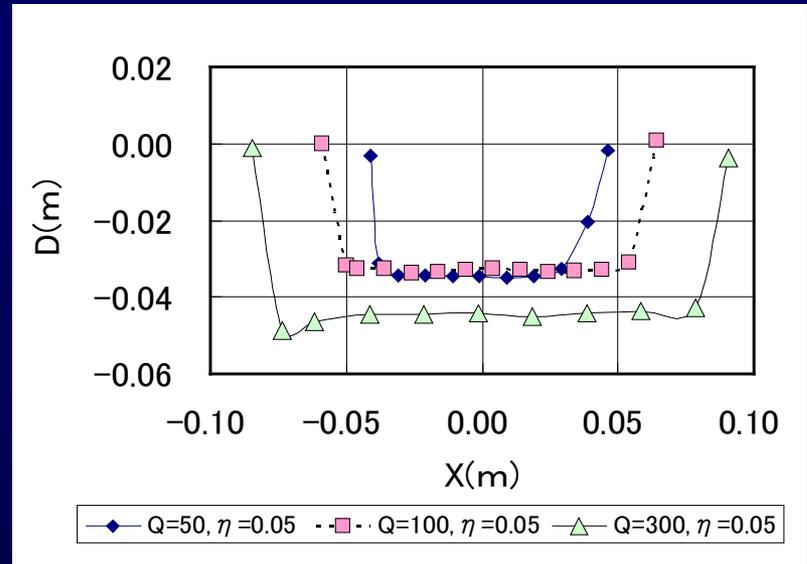
造波水路全景



開削水路初期状態

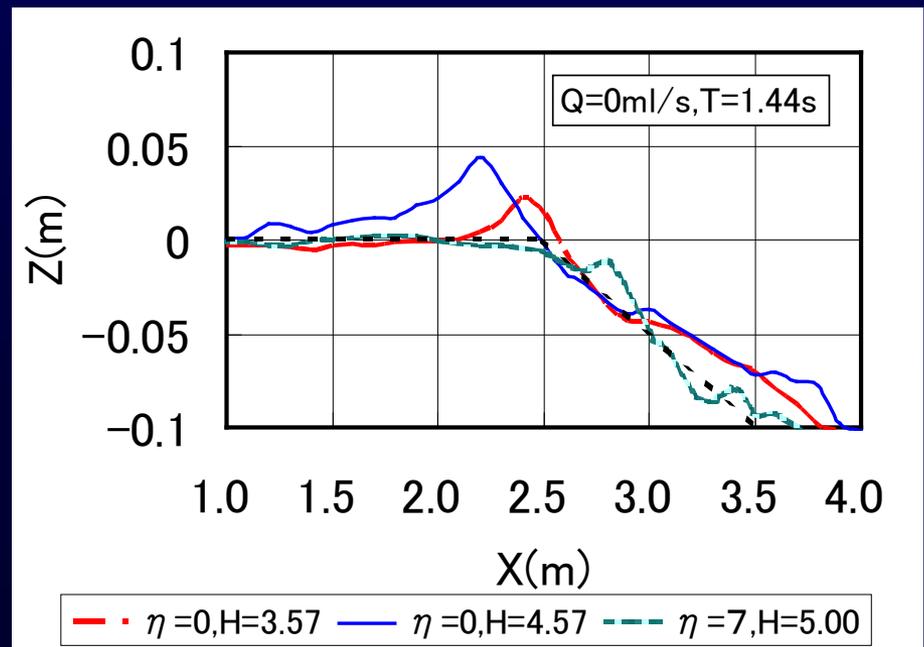
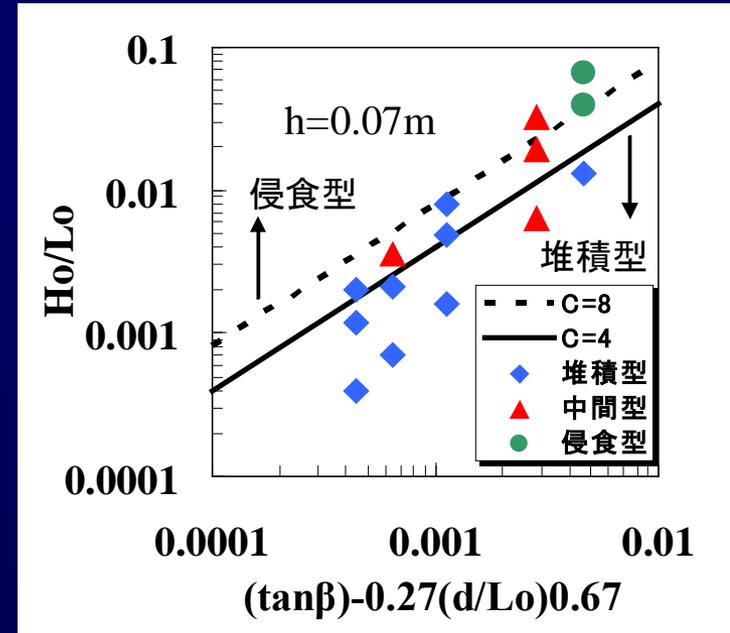
①開削水路の拡張実験

No.	Q(ml/s)	η (cm)	W(m)	D(m)
A1	50	0.010	0.060	0.018
A2	50	0.025	0.064	0.023
A3	50	0.050	0.087	0.033
A4	100	0.010	0.101	0.025
A5	100	0.025	0.110	0.030
A6	100	0.050	0.123	0.035
A7	300	0.050	0.175	0.048
A8	50	0.015	0.064	0.015
A9	50	0.035	0.115	0.018
A10	50	0.055	0.102	0.031
A11	100	0.015	0.180	0.014
A12	150	0.015	0.201	0.019
A13	150	0.055	0.168	0.026



②砂州堆積形状とCパラメータ

No.	波高 H(m)	周期 T (s)	C	タイプ
C1	0.01	0.7	2.84	Ⅲ
C2	0.03		8.51	I
C3	0.05		14.18	I
C4	0.01	1	2.27	Ⅲ
C5	0.03		6.80	Ⅱ
C6	0.05		11.33	I
C7	0.01	2	1.43	Ⅲ
C8	0.03		4.29	Ⅱ
C9	0.05		7.15	Ⅱ
C10	0.01	3	1.10	Ⅲ
C11	0.03		3.29	Ⅲ
C12	0.05		5.48	Ⅱ
C13	0.01	4	0.91	Ⅲ
C14	0.03		2.72	Ⅲ
C15	0.05		4.53	Ⅱ



③開削水路の開口・閉塞実験

(50%粒径 $d=97.24\mu\text{m}$)

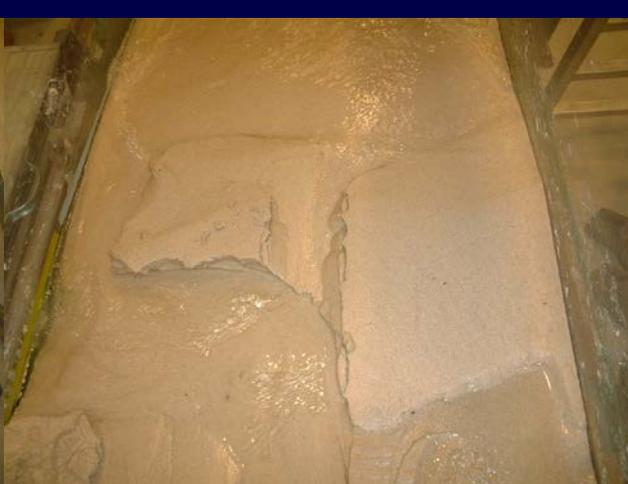
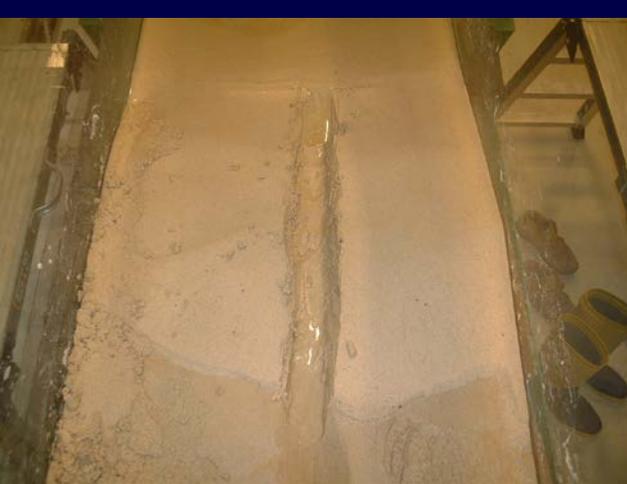
No.	水位差	波高	流量	周期	C	海岸	堆積	h (m)	l (m)	H_0/L_0
	η (m)	H (m)	Q(ml/s)	T (sec)						
E ₀	0.015	0.05	150	2	7.16	Ⅱ (中間)	閉塞			
E ₁		0.02			2.86	Ⅲ (堆積)	閉塞	0.012	0.40	0.003
E ₂		0.03			4.29	Ⅱ (中間)	閉塞	0.044	0.36	0.005
E ₃		0.04			5.73	Ⅱ (中間)	閉塞	0.053	0.30	0.006
E ₄		0.06			8.59	Ⅰ (浸食)	閉塞	0.071	0.13	0.010
E ₅	0.035	0.02			2.86	Ⅲ (堆積)	開口	-0.019	0.50	0.003
E ₆		0.03			4.29	Ⅱ (中間)	開口	-0.009	0.60	0.005
E ₇		0.04			5.73	Ⅱ (中間)	閉塞	0.032	0.50	0.006
E ₈		0.05			7.16	Ⅱ (中間)	閉塞	0.052	0.10	0.008
E ₉		0.06			8.59	Ⅰ (浸食)	閉塞	0.046	0.10	0.010
E ₁₀	0.055	0.02			2.86	Ⅲ (堆積)	開口	-0.070	1.10	0.003
E ₁₁		0.03			4.29	Ⅱ (中間)	開口	-0.016	0.70	0.005
E ₁₂		0.04			5.73	Ⅱ (中間)	開口	0.036	0.40	0.006
E ₁₃		0.05			7.16	Ⅱ (中間)	開口	0.049	0.35	0.008
E ₁₄		0.06			8.59	Ⅰ (浸食)	閉塞	0.012	0.43	0.010
E ₁₅	0.035	0.04	250		5.73	Ⅱ (中間)	開口	-0.037	0.70	0.006
E ₁₆		0.05			7.16	Ⅱ (中間)	閉塞	0.040	0.20	0.008
E ₁₇		0.06			8.59	Ⅰ (浸食)	閉塞	0.025	0.10	0.010
E ₁₈		0.02	100		2.86	Ⅲ (堆積)	開口	-0.052	0.70	0.003
E ₁₉		0.03		4.29	Ⅱ (中間)	開口	0.021	0.20	0.005	

流量一定,水位さ η と波高 H の効果の検討



開口

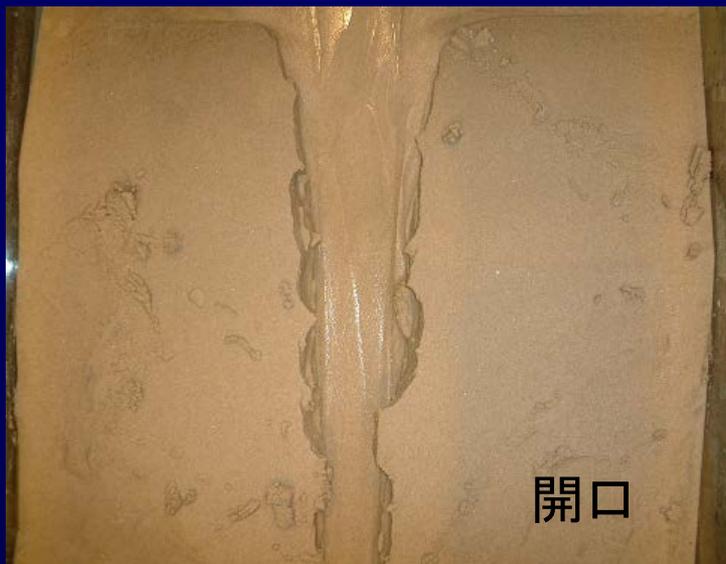
E10, 潮位差 $\eta=0.035\text{m}$, 波高 $H=0.02\text{m}$, 流量 $Q=150\text{ml/s}$, 周期 $T=2\text{sec}$



閉塞

E14, 潮位差 $\eta=0.055\text{m}$, 波高 $H=0.06\text{m}$, 流量 $Q=150\text{ml/s}$, 周期 $T=2\text{sec}$

河口地形に及ぼす潮位差 η , 波高 H_0 , 流量 Q の影響



$\eta=0.035\text{m}, H_0=0.02\text{m}, Q=100\text{ml/s}$



$\eta=0.035\text{m}, H_0=0.06\text{m}, Q=150\text{ml/s}$



$\eta=0.035\text{m}, H_0=0.03\text{m}, Q=100\text{ml/s}$

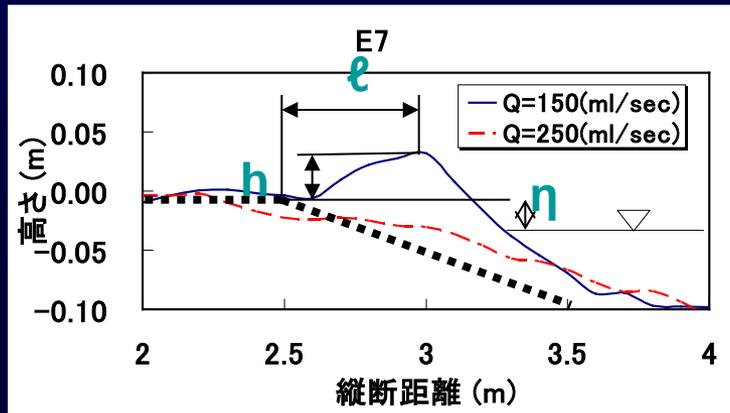


$\eta=0.035\text{m}, H_0=0.06\text{m}, Q=250\text{ml/s}$

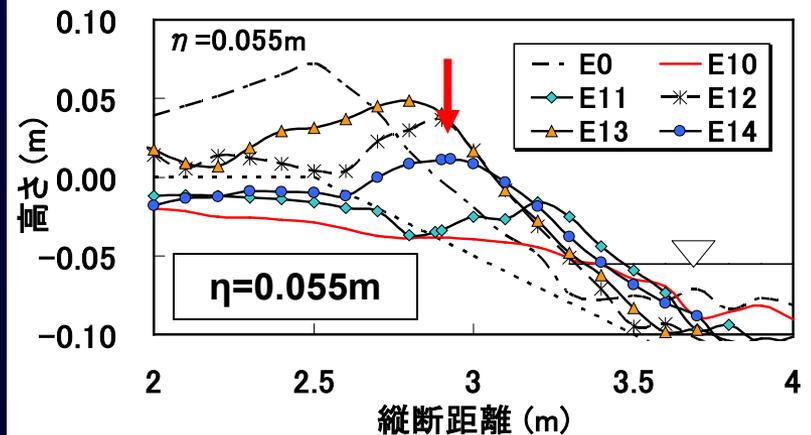
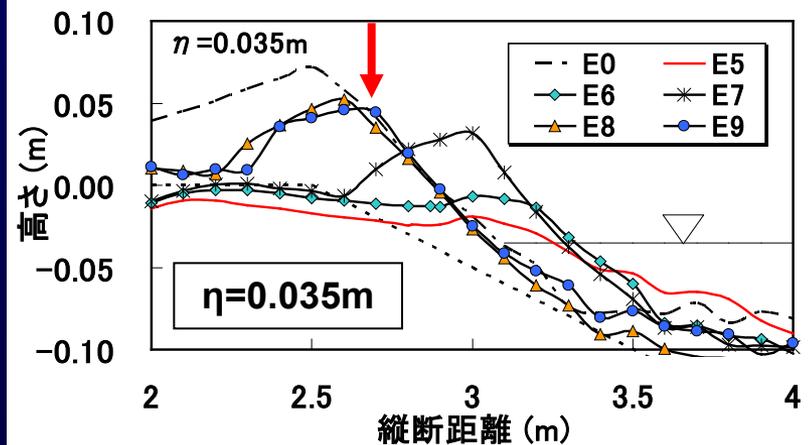
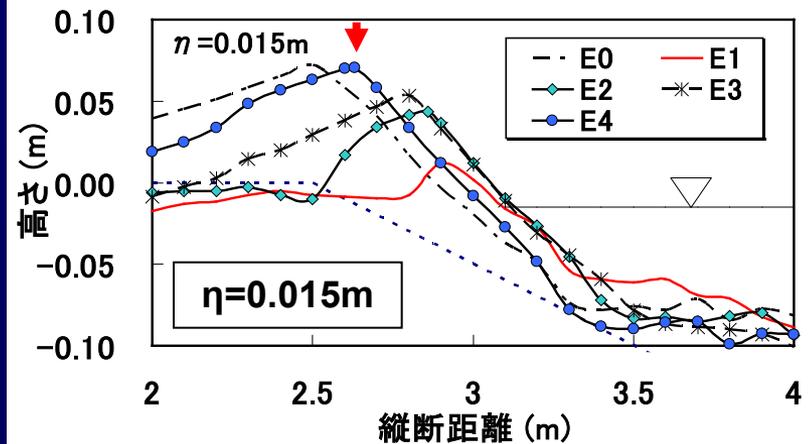
潮位差と波高, 流量による開削 水路の閉塞実験

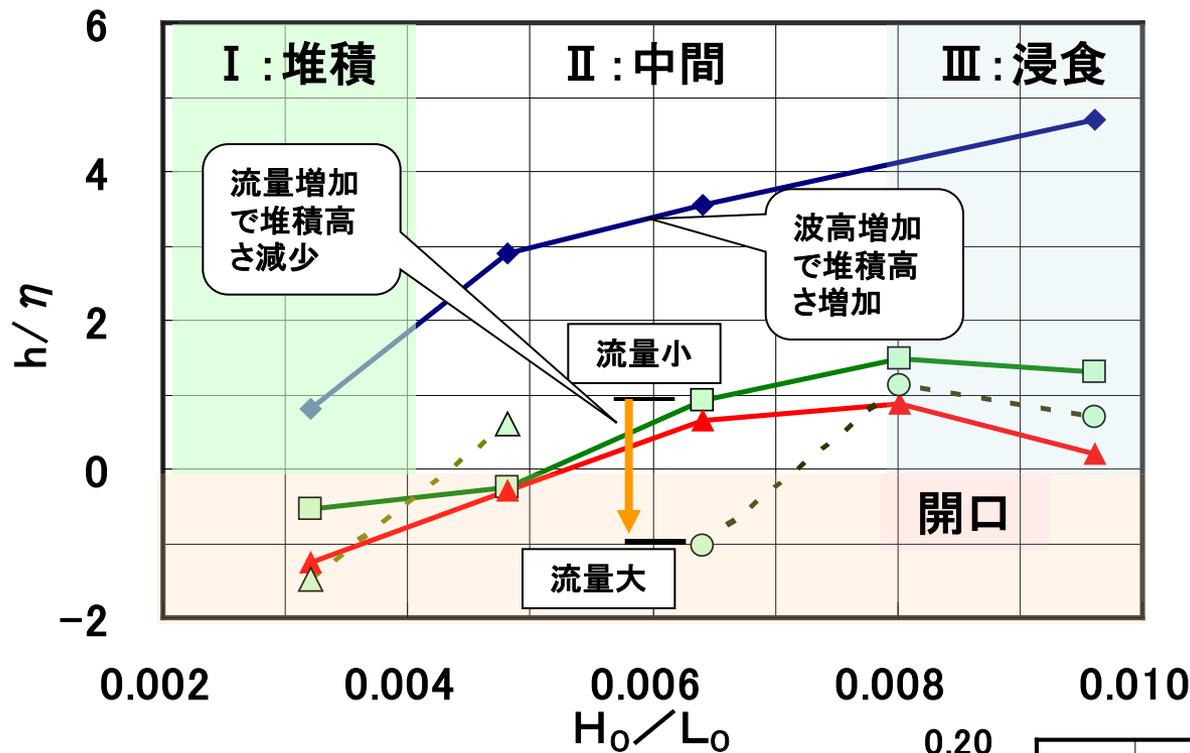
潮位差大: 砂丘堆を海側に形成する(河川掃流力増加)

波高大: 砂丘高さの増加



Q=150ml/s



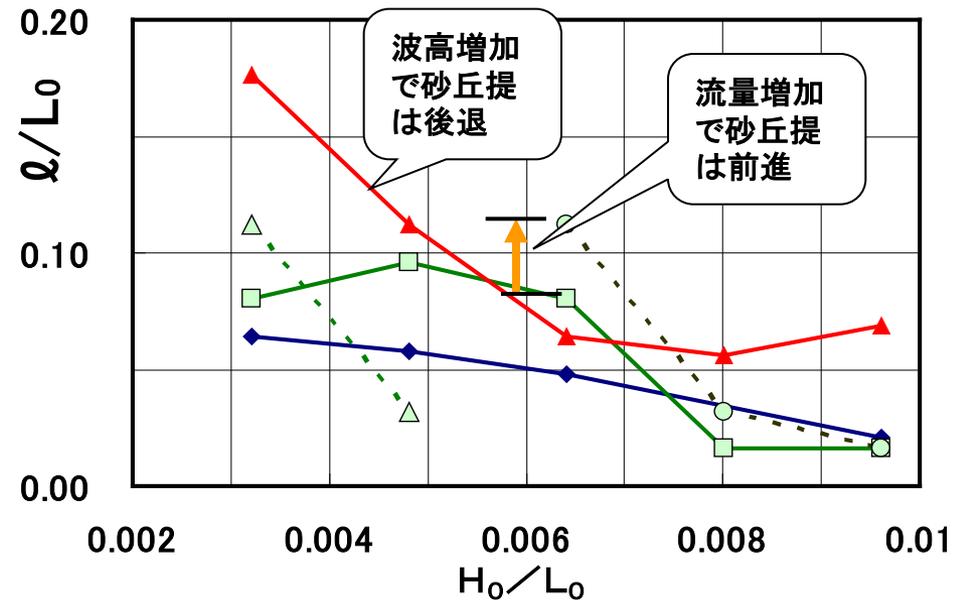


- ◆ $\eta = 0.015\text{m}, Q = 150\text{ml/s}$
- $\eta = 0.035\text{m}, Q = 150\text{ml/s}$
- ▲ $\eta = 0.055\text{m}, Q = 150\text{ml/s}$
- $\eta = 0.035\text{m}, Q = 250\text{ml/s}$
- △ $\eta = 0.035\text{m}, Q = 100\text{ml/s}$

砂丘堤の頂点位置

砂丘堤の堆積高さの検討

砂丘堤の堆積高，位置
と波形勾配から見た開
削工の効果の検討



(4) 導流壁の効果の検討

導流壁の有無による開削水路の相違

導流壁

波なし



導流壁を前浜の肩部まで設置

導流壁



前浜の方部より海側に砂丘堤が堆積するために閉塞

導流壁を前浜肩部前面まで設置

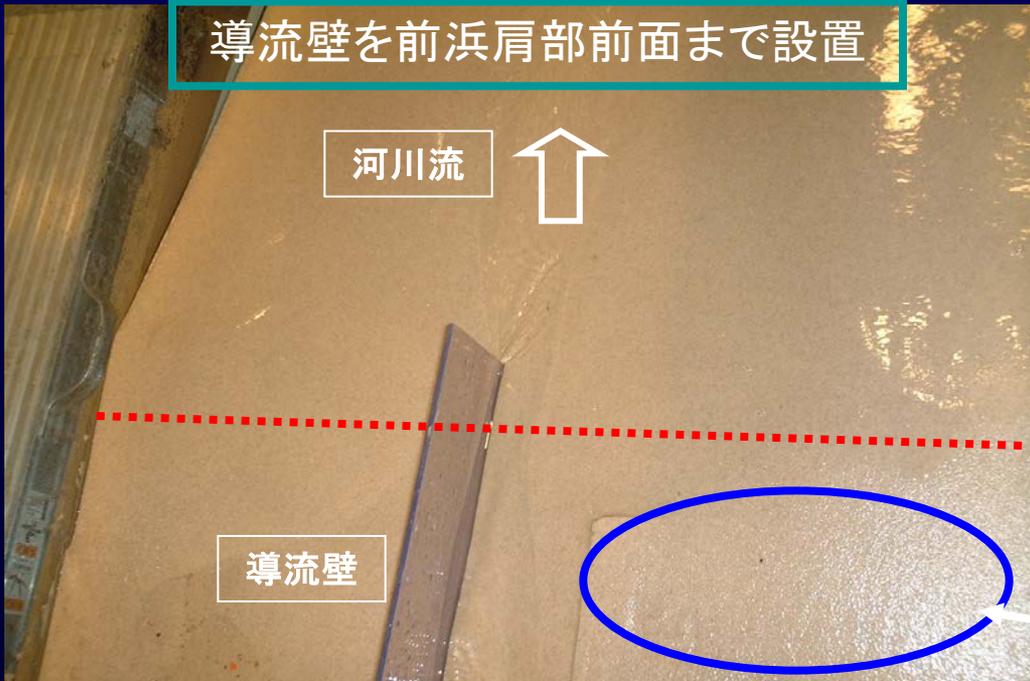
河川流



導流壁

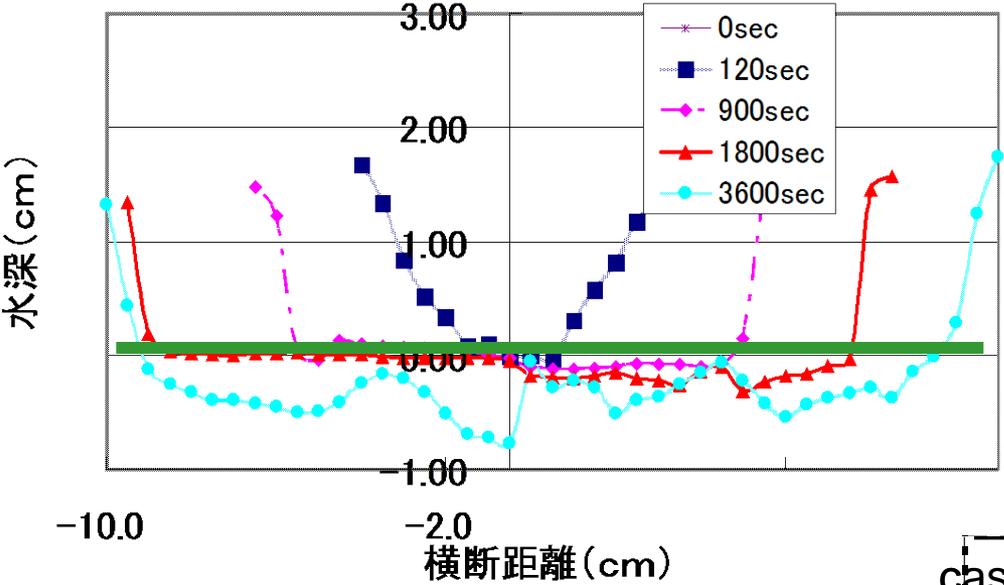
前浜の方部より海側に導流壁を設置したために開口

砂丘堤



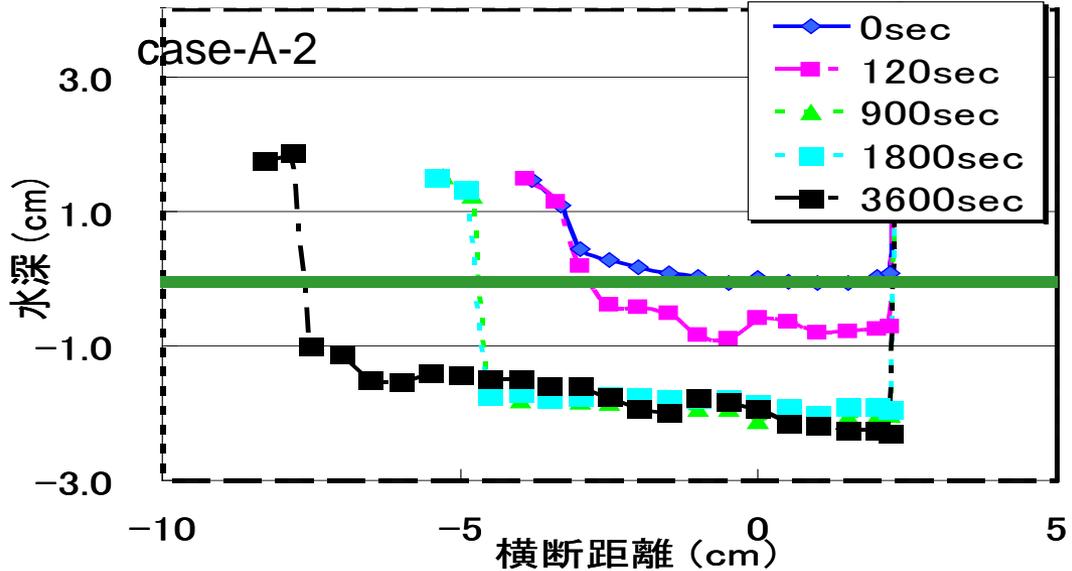
E7, 潮位差 $\eta = 0.035\text{m}$, 波高 $H = 0.04\text{m}$, 流量 $Q = 150\text{ml/s}$, 周期 $T = 2\text{sec}$

導流壁のない場合の開削水路の拡張状況



導流壁がある場合の開削水路の拡張状況

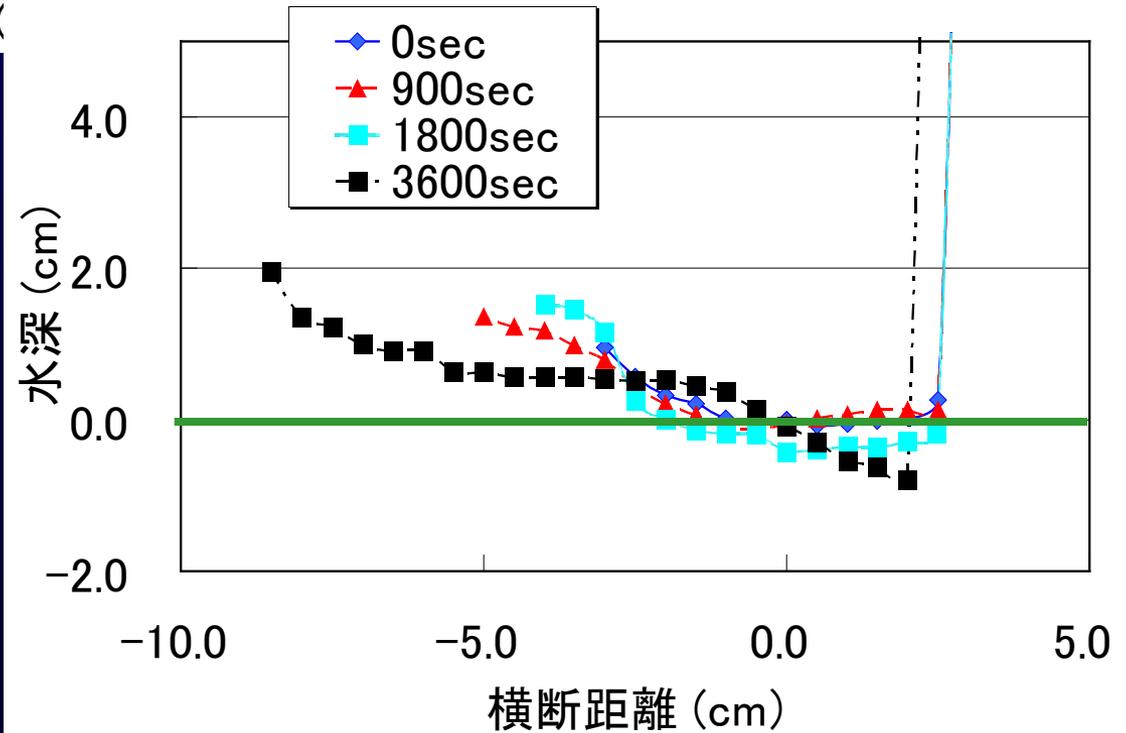
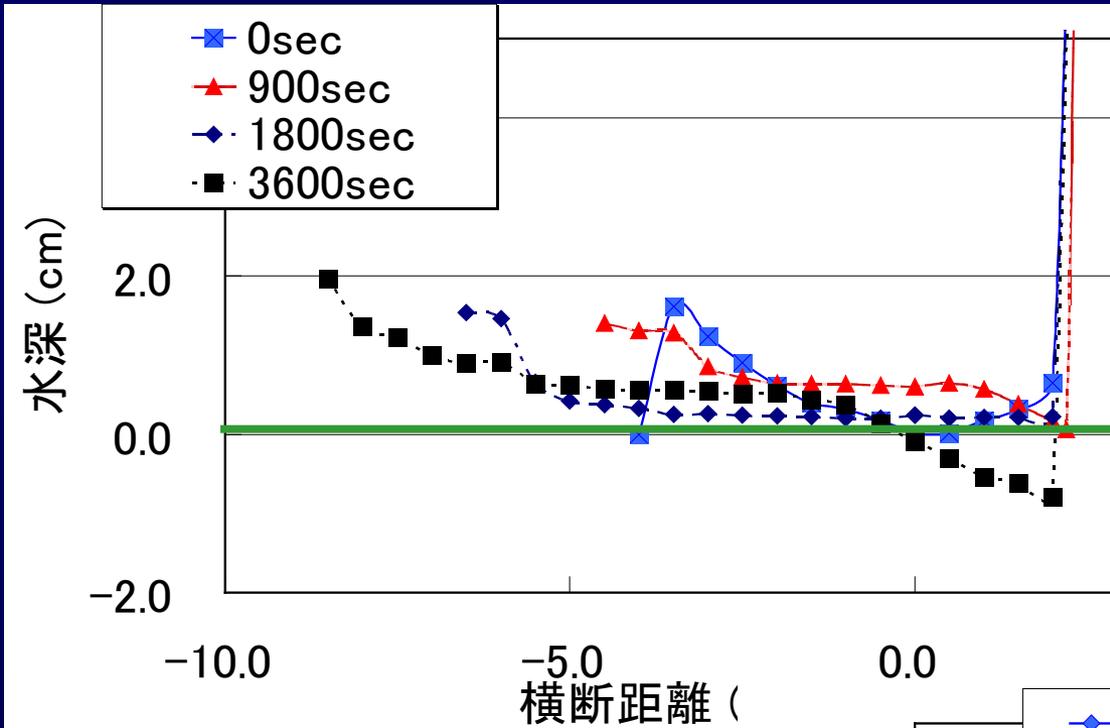
導流壁を設けると水路幅は狭くなり、最深河床が低下する(河川流の掃流力増加)



前浜先端部まで

導流壁の設置位置の検討

前浜先端部+0.05m



導流壁を海側まで伸ばしたものは最深河床が低下する



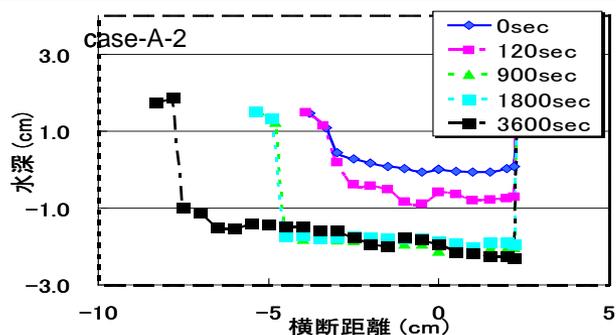
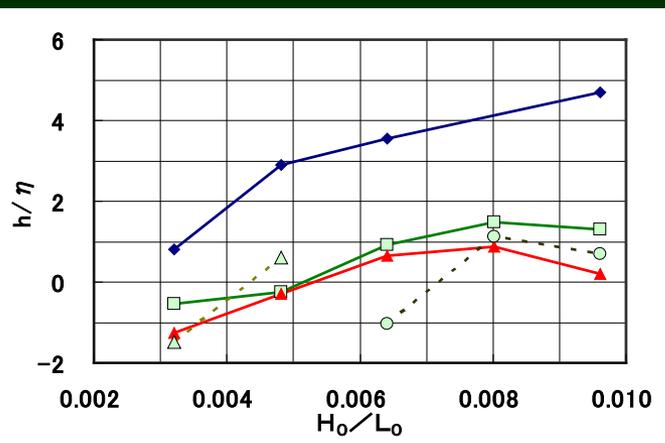
まとめ4

潮位差 η , 流量 Q の増加は砂丘堤を海側に形成する(河川掃流力増加)。波高 H_0 の増加は砂丘高さを増大する。

潮位差 η が大きく, より高波高 H_0 の場合, 浸食型となり砂丘堤は低下する。

導流壁は水路幅を抑制し, 最深河床を低下させる(掃流力の増加)。

導流壁の設置位置は, 砂丘堤防の高さと位置を考慮する必要がある。



おわりに

民産学官の輪による問題解決にあたる枠組み

