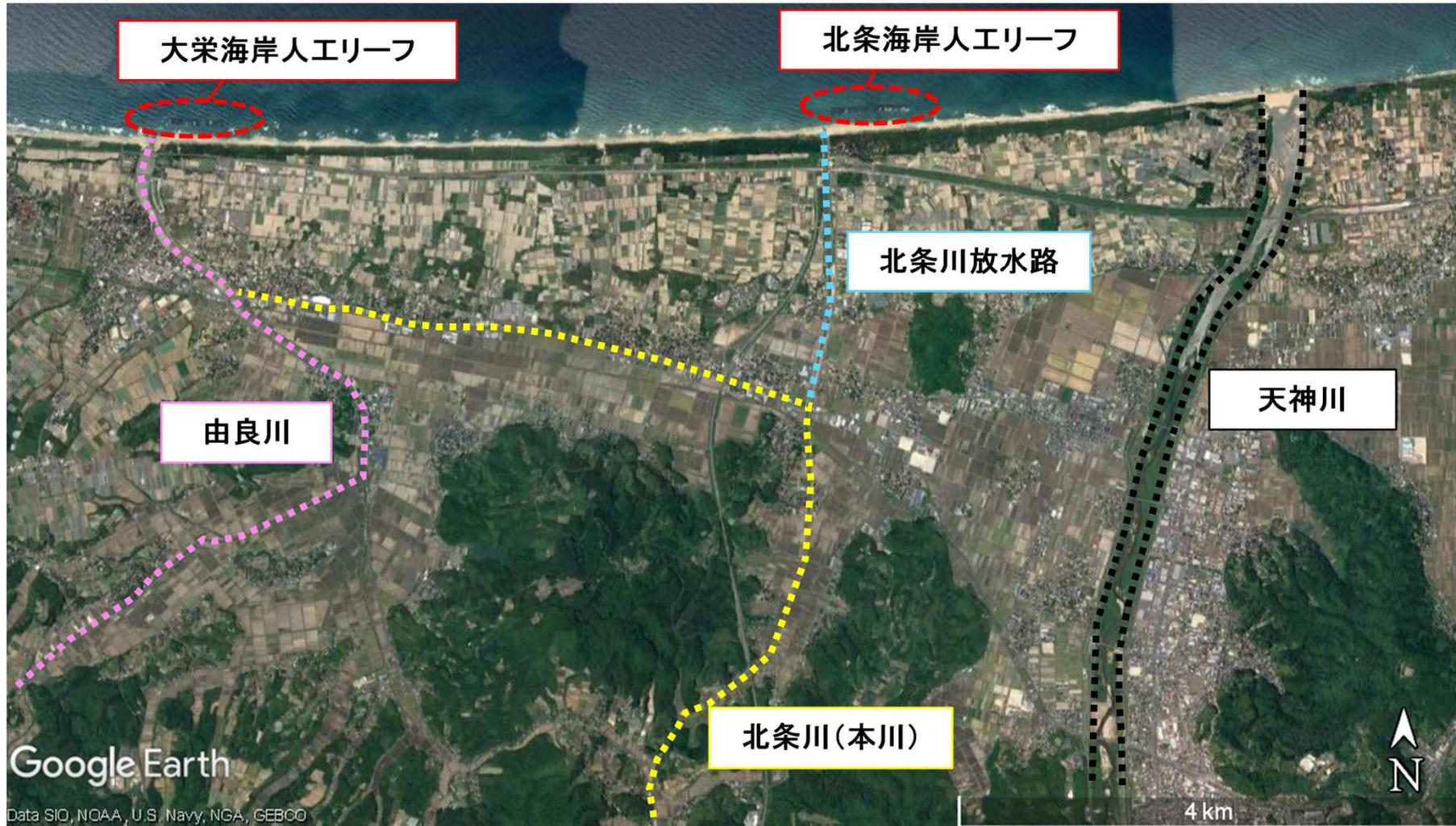


北条川放水路における河口閉塞対策検討状況(報告)



令和3年2月3日(水)

鳥取県 中部総合事務所 県土整備局 計画調査課

【名称】

- 北条川放水路改修工事「河口部治水対策(河口閉塞対策)検討業務委託(その1)」
- 同(その2)

【期間】

- (その1):平成30年10月29日～令和1年8月30日
- (その2):令和元年9月20日～令和2年11月30日

【目的】

- 北条川放水路の河口砂州の短期的および長期的な土砂動態を解析・把握するとともに、河口砂州の形成を管理・抑制するための効果的・効率的な河口閉塞対策を検討する数値解析モデルを構築し、河口閉塞対策を検討する。



河口砂州のフラッシュと再形成についての事象予測検討

- ① 対象となる波浪と河川流の検討
- ② 河口砂州のフラッシュと再形成の予測
- ③ 河口砂州の挙動特性の整理

砂州高抑制の対策工および周辺海岸等への影響検討

砂州高抑制の対策工の検討:

- ・ 人工リーフの新設・改良
- ・ 導流堤の改良

周辺海岸等への影響

砂州フラッシュの制御方法の検討

砂州フラッシュ流量の検討

分水堰操作・運用:

河川流量の調整による砂州フラッシュ

特殊エジェクター工法等:

砂州の一部開削による砂州フラッシュ

砂州開削の実施方針の検討

河口部治水対策の基本的な考え方

河口部治水対策の実施手順(案)および実施計画(案)の作成

北条川放水路に関連する構造物(分水堰・浜川水路橋・人工リーフ)

<人工リーフ(潜堤)>

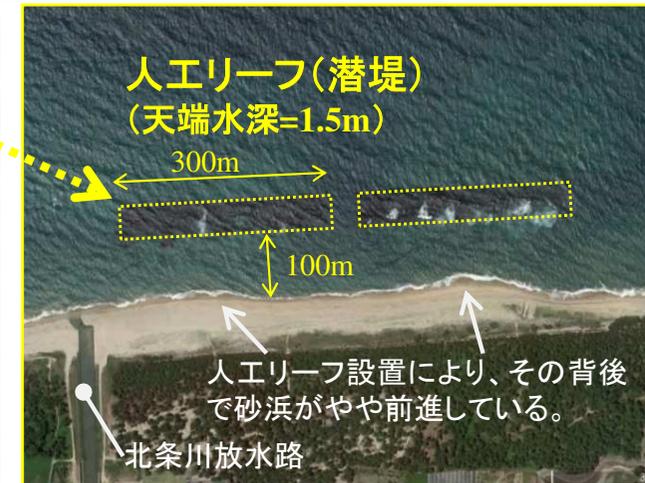
- 放水路河口の右岸側に設置済み。
- 波浪低減効果があり、人工リーフの背後で周辺より汀線が前進している。

<浜川水路橋>

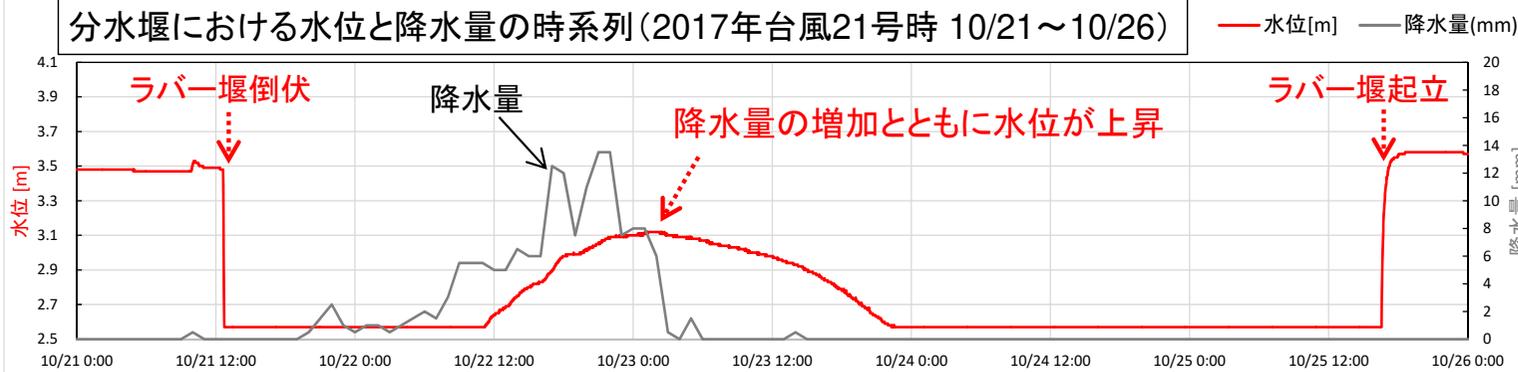
- 河口から1,550m付近(HWL=T.P.+3.64m)に設置済み。
- 水路橋は昇降式であり、桁下の高さは下降時にはT.P.+3.19m、上昇時はT.P.+4.24mである。桁下の高さは分水堰操作時の留意点となる。

<分水堰>

- 河川水流入量をコントロールする可動式のラバー堰(天端高=T.P.+3.77m)、倒伏開始水位=T.P.+3.87m。
- 台風等で大規模出水が予想される場合には、予め倒伏させる場合もある。



分水堰における水位と降水量の時系列(2017年台風21号時 10/21~10/26)

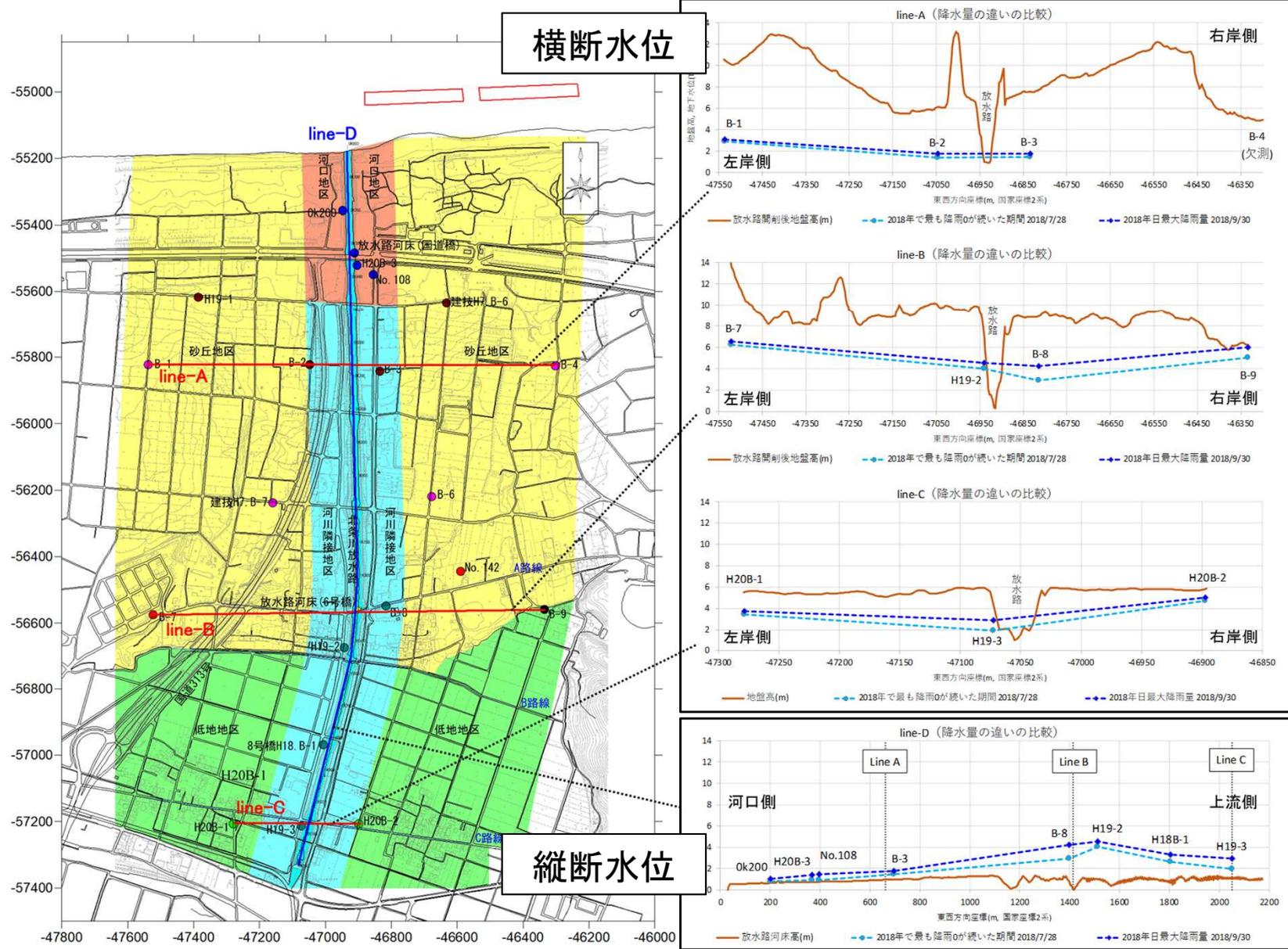


データの収集・整理：放水路周辺の地下水環境

各測線で地下水位の日平均値を比較

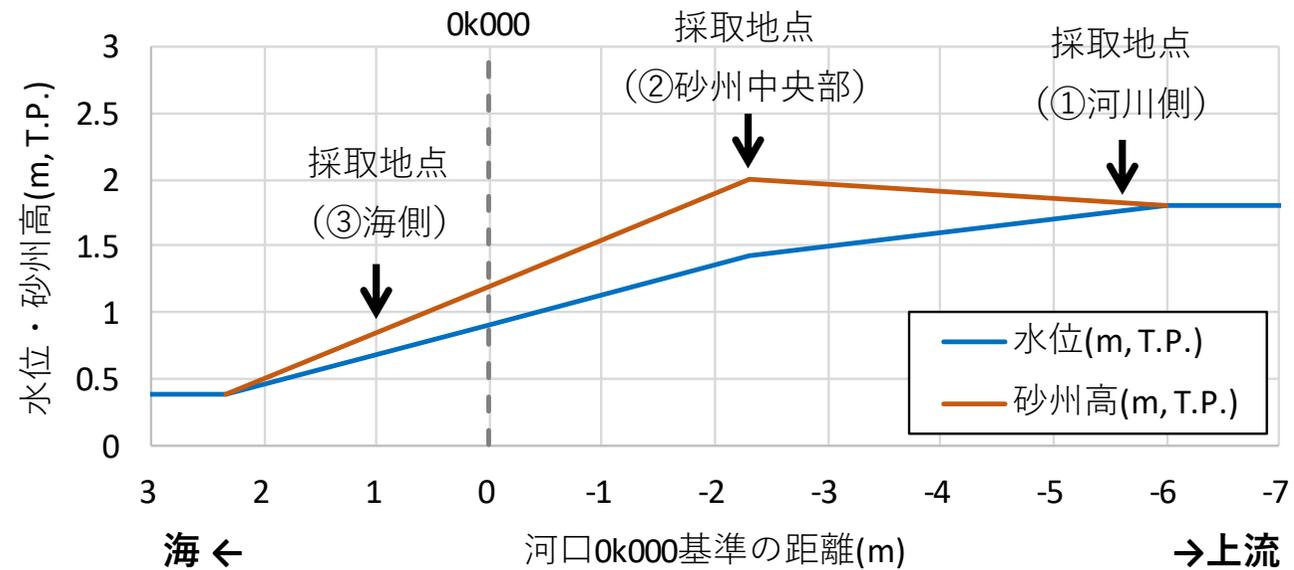
- 2018年で最も長く降雨が観測されなかった期間(11日間)の最終日(7月28日) (-●-)
- 2018年で最も降水量が多かった日(9月30日:1日当たり218mm) (-◆-)

- ✓ 北条川放水路の横断面となるline-A～Cにおいて、降雨の状況によらず、放水路周辺が最も地下水位が低いことが確認できる。
- ✓ 放水路に沿う縦断面(line-D)では、河口から1,600mあたりの地点で地下水位が高いことが確認できる。これは放水上流側には地表付近に低透水の粘土層が存在し、下方に透水しにくいためだと考えられる。



データの収集・整理：河口砂州の透水試験

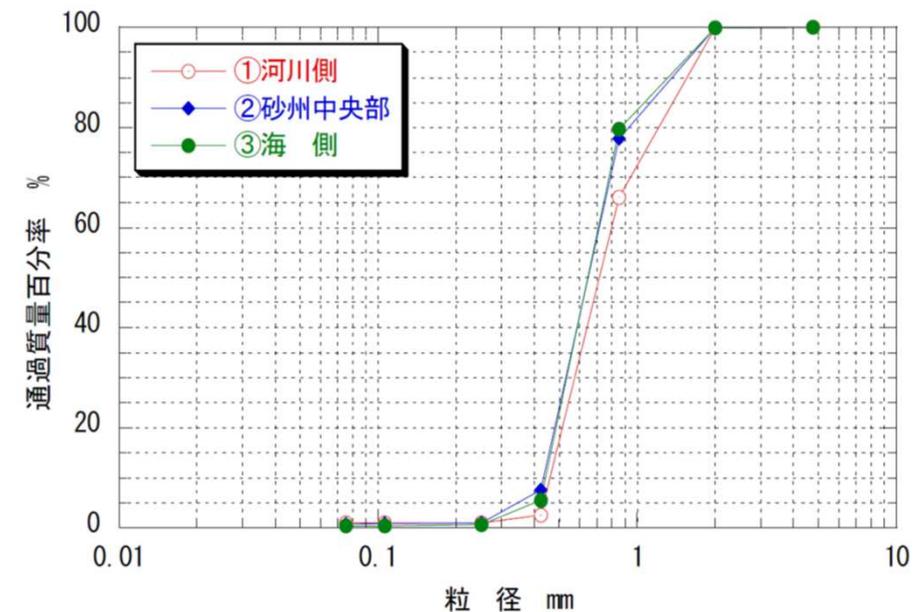
2020年7月13日(月)に放水路河口砂州の底質を3地点で採取し、透水試験と粒度試験を行った。試験の結果から、砂州の透水係数は 10^{-4} m/s (10^{-2} cm/s)のオーダーで、**透水性としては「中位」**を示す。
以降の検討では、この透水係数を用いる。



底質試験結果一覧

実施試験項目		試験箇所および資料番号		
		①河川側	②砂州中央部	③海側
土粒子の密度 (g/cm ³)		2.630	2.634	2.633
粒度組成	礫分 (%)	0.1	0.1	0.1
	砂分 (%)	99.0	99.2	99.5
	細粒分 (%)	0.9	0.7	0.4
	均等係数 U _c	1.26	1.54	1.35
	曲率係数 U' _c	1.20	1.35	1.33
	D50 (mm)	0.821	0.716	0.719
	D20 (mm)	0.777	0.618	0.670
D10 (mm)		0.661	0.475	0.535
透水係数 (m/s)		7.84E-04	6.81E-04	7.34E-04
クレーガーの透水係数 [※] (m/s)		1.98E-03	1.15E-03	1.39E-03

※クレーガーの透水係数推定式 $0.0036 \times D_{20}^{2.37}$



3試料の粒径加積曲線

検討で構築・使用した数値解析モデル(1/3)

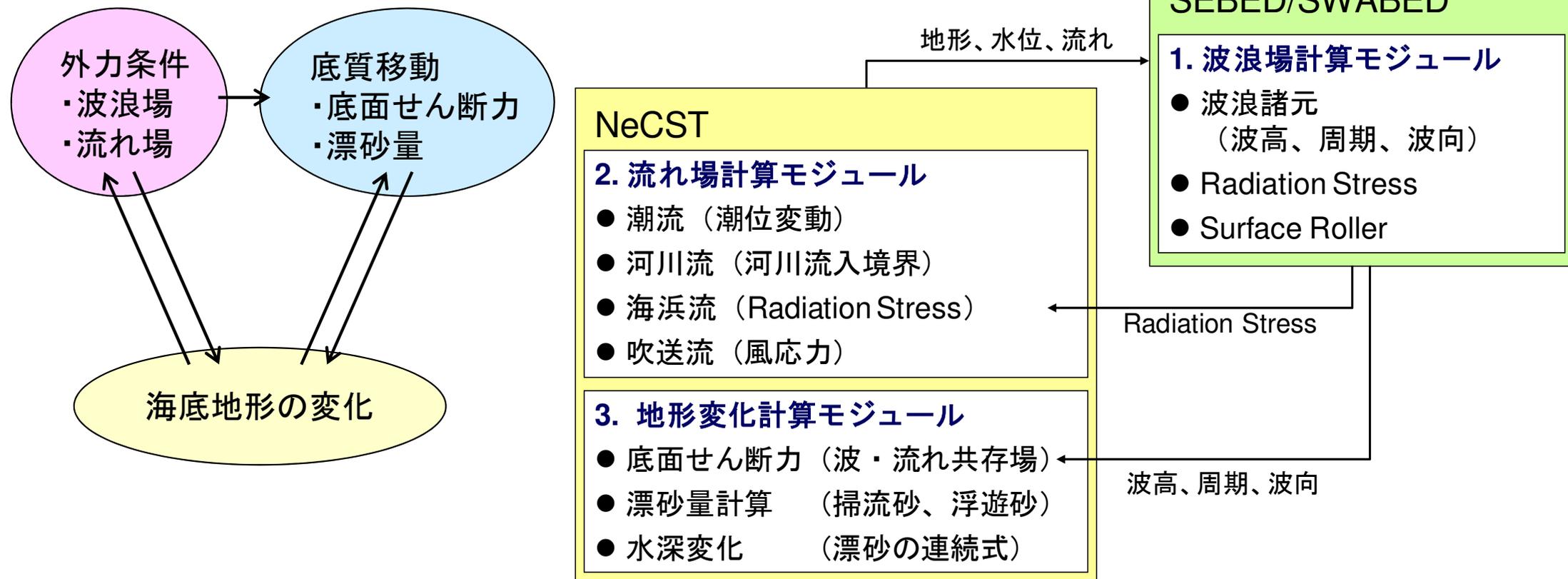
小野らが開発したNeCST (Nearshore Circulation and Sediment Transport: 沿岸の海浜流と土砂輸送) モデルをベースとしている。これは、外力場と地形変化の相互作用を評価しつつ、時間発展的な地形変化シミュレーションを可能とする数値モデルである。

(その2) 検討業務では、(その1) 検討業務に引き続き、NeCSTモデルを用いて河口砂州の挙動特性ならびに海浜の地形変化解析を行った。

なお、本検討に用いた数値モデルは、土木学会論文集B2(海岸工学)(2020年版)においてオーソライズしている。

安本善征, 松井俊樹, 小野信幸, 笠毛健生, 森伊佐男: 北条川放水路における河口閉塞対策検討のための地形変化モデルの構築, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 76, No.2, pp.I_505-I_510, 2020.

Steering/Stepping モジュール

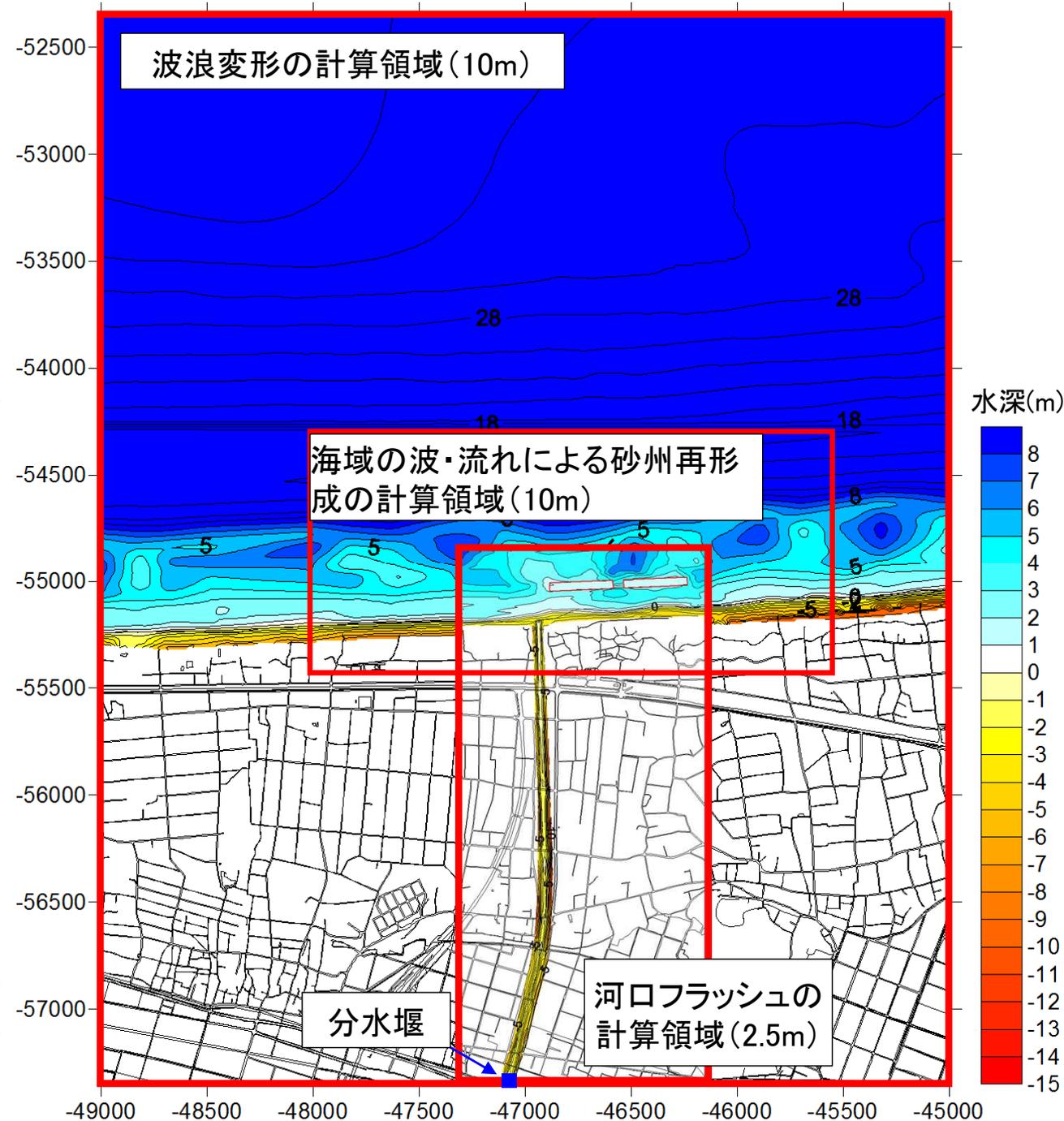


検討で構築・使用した数値解析モデル(2/3)

項目	砂州フラッシュの計算【河川域】	波浪による砂州回復の計算【海域】
モデル基礎式	流況・地形変化計算：NeCSTモデル 水深積分型連続式と運動方程式による平面2次元流動モデル	波浪変形計算：SEBEDモデル 回折項を含むエネルギー平衡方程式（間瀬ら, 1999） 流況・地形変化計算：NeCSTモデル 水深積分型連続式と運動方程式による平面2次元流動モデル
波浪	なし	夏季のEffective Wave Height： 波高2.8m、周期8.1 sec.、波向 NNW、N、NN etc.
潮位条件	上流（分水堰）：2018年台風24号時の堰倒伏後の水位変化（T.P.+2.9m～T.P.+3.5m） 海側：T.P.+0.16m（上記期間の平均潮位）	放水路：流入なし 海側：平均潮位（T.P.+0.11m）
パラメータ	底面摩擦係数（マニング）：n=0.030	底面摩擦係数（マニング）：n=0.030
	水平渦動粘性係数： 流れ $v_{tH,c} = \text{Smagorinski Model (Cs=0.15)}$	水平渦動粘性係数： 流れ $v_{tH,c} = \text{Smagorinski Model (Cs=0.15)}$ 波 $v_{tH,w} = \Lambda u_w H, \text{ Larson \& Kraus } (\Lambda = 0.5)$ $v_{tH} = \max(v_{tH,c}, v_{tH,w})$
地形変化計算	渡辺（1984）の漂砂量式に基づく水深変化 漂砂量係数：Ac=0.5, 海底勾配係数： $\epsilon=10.0$ 上流からの土砂供給量：なし	渡辺（1984）の漂砂量式に基づく水深変化 漂砂量係数：Ac=0.5, Aw=0.05 海底勾配係数： $\epsilon=10.0$ 沿岸漂砂量：2.5万 m^3/yr (1952-2016)
対象底質	中砂：粒径=0.78mm、密度=2650 kg/m^3	中砂：粒径=0.5mm、密度=2650 kg/m^3
計算地形	計算格子c) 5mメッシュ 初期地形：河口砂州あり（砂州の天端高=+2.4m）	計算格子広域 a)20mメッシュ（波浪変形計算） 小領域 b)10mメッシュ（流況・地形変化） 初期地形：砂州フラッシュ計算による流出地形
計算時間ステップ	計算時間ステップ：流況計算0.25 sec 地形変化計算 5sec	計算時間ステップ：流況計算0.5sec 地形変化計算 5 sec
地形変計算期間	24時間	24時間

検討で構築・使用した数値解析モデル(3/3)

- 河川および海浜における波・流れ・地形変化を解析可能なモデル(**NeCST モデル**)により、河口砂州のフラッシュ計算と、波・流れによる砂州の再形成の計算をそれぞれ実施した。
- 砂州フラッシュ時の計算では、波浪を考慮しない計算である。なお、本来の河口閉塞状況は、波向や砂州高、波浪の大きさ等で変わってくるため、実務での砂州管理に適用する上では配慮が必要となる。
- 北条川放水路河口の砂州は、底質調査の結果から海由来の底質で形成されている。一方、河川からの流出土砂はほぼゼロである。したがって、海側の地形変化に適用性が高い渡辺先生の漂砂量式を用いて、砂州フラッシュと波浪による再形成の両方に適用した。



対象となる河川流・波浪の検討

北条川放水路河口における河口砂州のフラッシュと再形成の過程を検討するに当たって、対象となる河川流と波浪の条件を検討した。

河川流条件：計画高水流量、河川整備計画流量の他、北条川放水路の豊水、平水、低水、渇水流量などの値を基に、砂州フラッシュの挙動を検討した。

波浪条件：河口砂州形成の視点から、海域からの対象となる波浪を見極め、波浪による短期的および長期的な砂州の挙動を検討した。

北条川放水路の河川流条件 (河川整備計画参考資料を参考としたもので、確認が必要★)

	流量(m ³ /s)	備考
計画高水流量	110	完成断面
河川整備計画流量	50	暫定断面
豊水流量	2.655	1年を通じで95日はこれを下回らない流量
平水流量	1.646	1年を通じで185日はこれを下回らない流量
低水流量	0.877	1年を通じで275日はこれを下回らない流量
渇水流量	0.034	1年を通じで355日はこれを下回らない流量

短期の河口砂州再形成計算の波浪条件

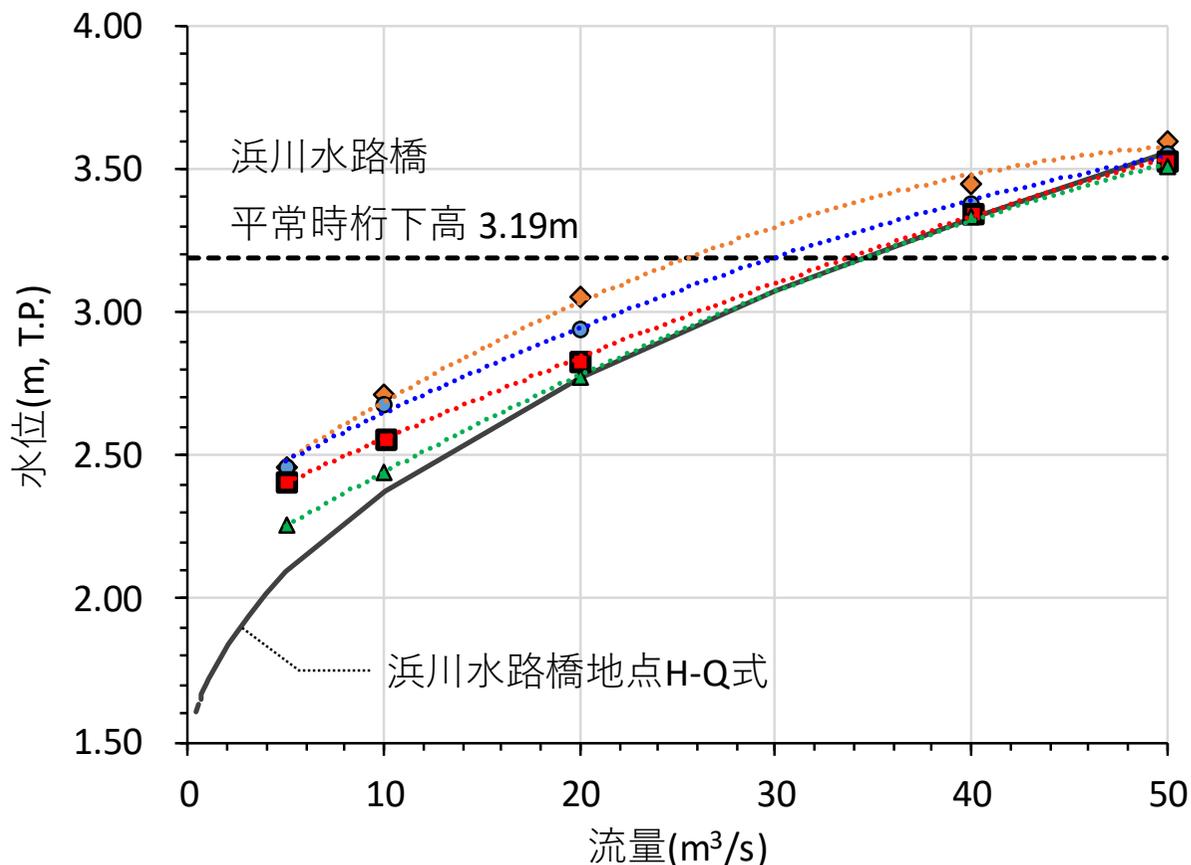
短期地形変化の波浪条件※	波高(m)	周期(s)	波向
2005年～2018年の冬季のEffective Wave	5.25	10.31	NNW, N, NNE
2005年～2018年の夏季のEffective Wave	2.84	8.12	NNW, N, NNE

※Effective wave heightは、1年間に数回程度(12時間/年、超過出現確率=0.137%)襲来する波の波高。

浜川水路橋における最大水位の整理

出水流量毎のシミュレーションによって抽出した浜川水路橋地点の最大水位(=砂州フラッシュ直前の水位)と、H-Q式より算定した水位とを比較した。

- 整備計画流量の $50 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合は計算結果の水位とH-Q式の結果はほぼ一致する。
- 一方、河口の砂州高が高く、流量が小さい程、計算結果の水位はH-Q式の推定値よりも高くなる。これは、河口部で砂州が河川流をせき止めるためと考えられる。
- **流量 $26.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (分水堰水位でT.P.+3.42m)**を超える流量を放水路へ流下させる場合、浜川水路橋(平常時桁下高T.P.+3.19m)の上昇操作を確実に行う必要がある。



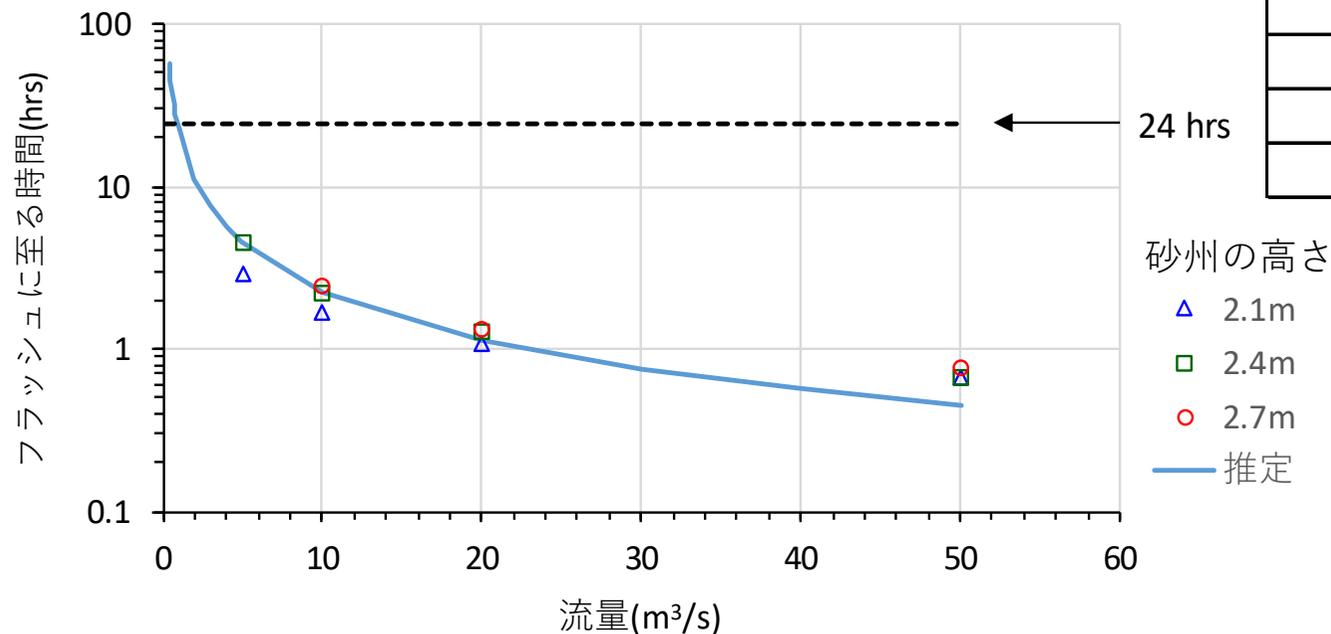
砂州天端高(m)	浜川水路橋平常時桁下高 限界流量(m^3/s)
2.95	26.4
2.7	30.5
2.4	34.6
2.1	35.9

※注: 浜川水路橋に影響しない砂州高の最大値はT.P.+2.95m

【参考】河口砂州のフラッシュに必要な最低流量(予備検討: 当たり計算)

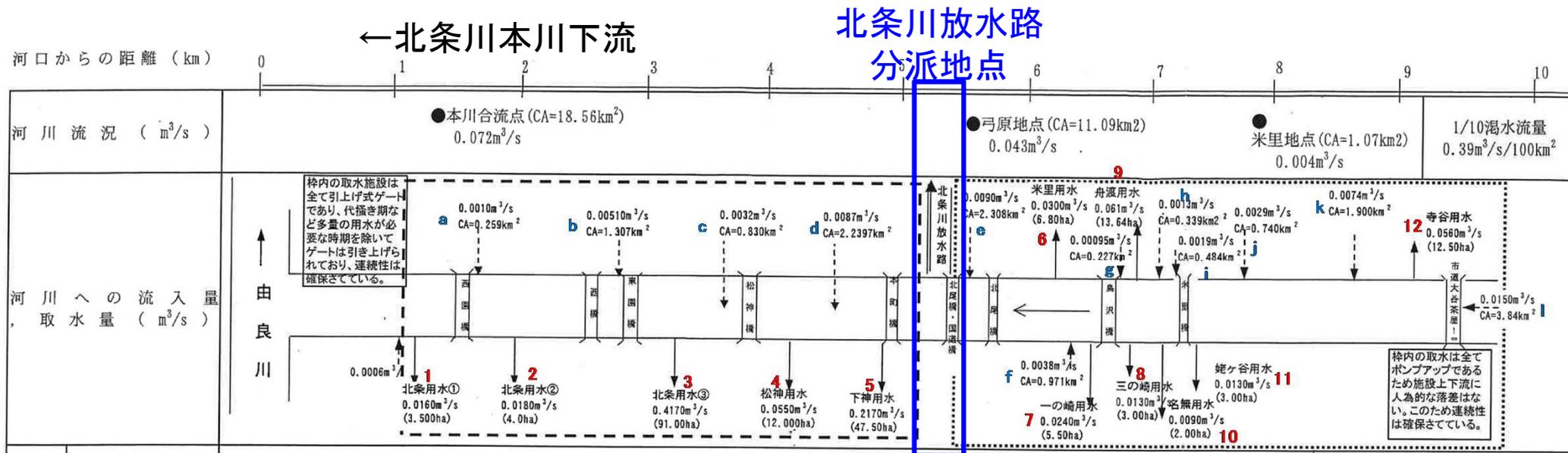
砂州高を2.4mと仮定し、距離2250m、平均河道幅25m、平均水深1.44mとすると、放水路内の貯留容量(空っぽにした状態)は81,000m³となる。この放水路の貯留容量を基に、流量で除算して満水となるまでの時間を計算した。

フラッシュ時間の算定結果より、砂州を1~2日程度でフラッシュさせるための流量として、最低でも0.4~0.9 m³/sが必要であると考えられる。【予備検討】



流量(m ³ /s)	分水堰水位(m)	フラッシュ開始時間(hr)
0.4	1.95	56.25
0.5	1.98	45.00
0.6	2.00	37.50
0.7	2.02	32.14
0.8	2.04	28.13
0.9	2.05	25.00
1	2.07	22.50
2	2.20	11.25
3	2.30	7.50
4	2.39	5.63
5	2.46	4.50
10	2.76	2.25
20	3.17	1.13
30	3.49	0.75
40	3.76	0.56
50	4.00	0.45

【参考】砂州フラッシュに利用できる流量の検討(北条川上流の水利用)



北条川の取水

No.	水系名	河川名	施設名	灌漑面積 (ha)	代掻き期		灌漑期		取水方向	慣・許	
					期間	取水量 (m³/s)	期間	取水量 (m³/s)			
1	由良川	北条川	北条用水①	3.50	6/5 ~ 6/14	0.0160	6/15 ~ 9/25	0.0110	左	慣	
2	由良川	北条川	北条用水②	4.00	6/5 ~ 6/14	0.0180	6/15 ~ 9/25	0.0120	左	慣	
3	由良川	北条川	北条用水③	91.00	6/5 ~ 6/14	0.4170	6/15 ~ 9/25	0.2810	左	慣	
4	由良川	北条川	松神用水	12.00	6/5 ~ 6/14	0.0550	6/15 ~ 9/25	0.0370	左	慣	
5	由良川	北条川	下神用水	47.50	6/5 ~ 6/14	0.2170	6/15 ~ 9/25	0.1470	左	慣	
下流側合計					158.00	6/5 ~ 6/14	0.7230	6/15 ~ 9/25	0.4880		
6	由良川	北条川	米里用水	6.80	5/15 ~ 5/25	0.0300	5/26 ~ 9/15	0.0210	左	慣	
7	由良川	北条川	一の崎用水	5.50	5/15 ~ 5/25	0.0240	5/26 ~ 9/15	0.0170	左	慣	
8	由良川	北条川	三の崎用水	3.00	5/15 ~ 5/25	0.0130	5/26 ~ 9/15	0.0090	左	慣	
9	由良川	北条川	舟渡用水	13.64	5/15 ~ 5/25	0.0610	5/26 ~ 9/15	0.0420	右	慣	
10	由良川	北条川	名無用水	2.00	5/15 ~ 5/25	0.0090	5/26 ~ 9/15	0.0060	右	慣	
11	由良川	北条川	姥ヶ谷用水	3.00	5/15 ~ 5/25	0.0130	5/26 ~ 9/15	0.0090	左	慣	
12	由良川	北条川	寺谷用水	12.50	5/15 ~ 5/25	0.0560	5/26 ~ 9/15	0.0390	右	慣	
上流側合計					46.44	5/15 ~ 5/25	0.2060	5/26 ~ 9/15	0.1430		
全域合計					204.44		0.9290		0.6310		

北条川への流入

No.	水系名	河川名	集水面積 (km²)	取水量 (m³/s)
a	由良川	北条川	0.26	0.0010
b	由良川	北条川	1.31	0.0051
c	由良川	北条川	0.83	0.0032
d	由良川	北条川	2.24	0.0087
下流側合計			4.64	0.0180
e	由良川	北条川	2.31	0.0090
f	由良川	北条川	0.97	0.0038
g	由良川	北条川	0.23	0.0010
h	由良川	北条川	0.34	0.0013
i	由良川	北条川	0.48	0.0019
j	由良川	北条川	0.74	0.0029
k	由良川	北条川	1.90	0.0074
l	由良川	北条川	3.84	0.0150
上流側合計			10.81	0.0423
全域合計			15.44	0.0603

合計0.86m³/s

- 少なくとも5/15~9/25の期間において、最大で0.86m³/s(下流の代掻き期と上流の灌漑期の合計)の水が農業用水として北条川から取水されることとなる。
- 河川整備計画参考資料を参考としたもので、確認が必要である。★

【参考】分水堰倒伏状態での出水規模別砂州フラッシュ状況の検討

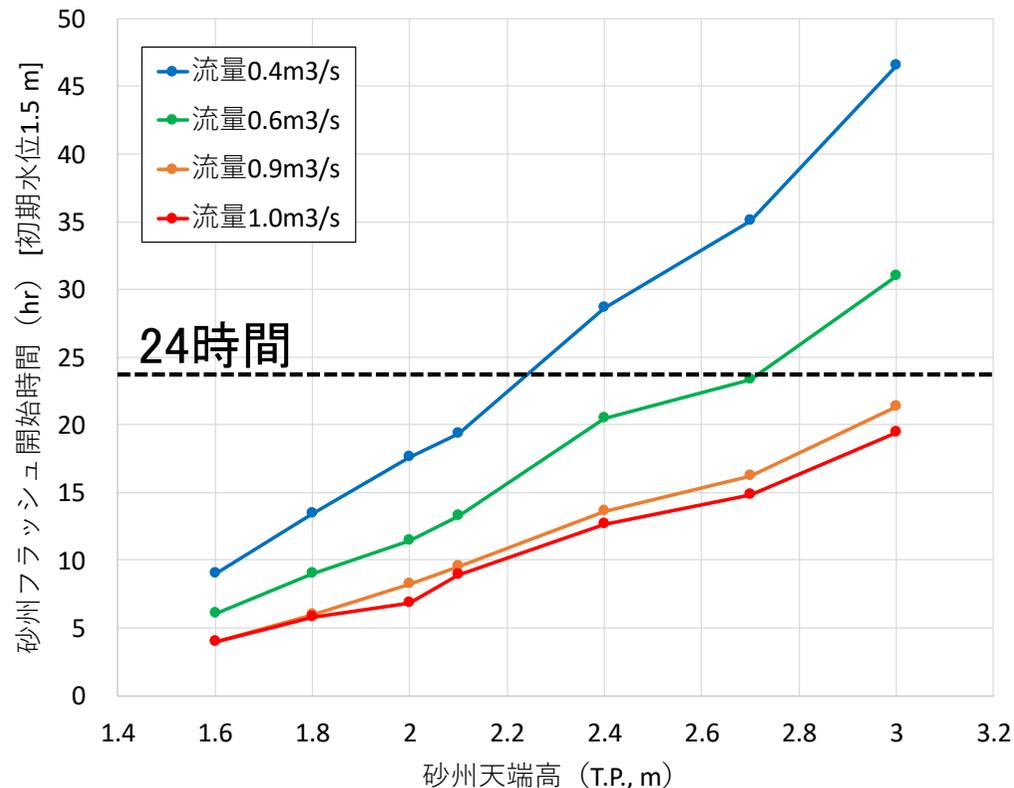
- 北条川の流域流量としては、平水流量で $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、低水流量で $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度である。
- CCTVの記録によると、分水堰が起立状態である場合、放水路内の水位はT.P.+1.0m～T.P.+2.0m程度であることが多い。

以上を踏まえ、以下の推定を行った。

- 放水路内水位T.P.+1.5mを初期状態と仮定
- 分水堰倒伏を想定し、 $0.2 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量を放水
- T.P.+1.6～T.P.+3.0mの砂州高に対し、分水堰倒伏後に河道内水位が上昇し、河口砂州がフラッシュするまでの時間を算定。

$0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量があれば、分水堰倒伏のみで、砂州天端高に関係なく24時間以内にフラッシュを生じさせることが可能。

流量 (m^3/s)	砂州フラッシュ開始時間 (hr) [初期水位1.5 m]						
	砂州天端高 T.P.+1.6 m	砂州天端高 T.P.+1.8 m	砂州天端高 T.P.+2.0 m	砂州天端高 T.P.+2.1 m	砂州天端高 T.P.+2.4 m	砂州天端高 T.P.+2.7 m	砂州天端高 T.P.+3.0 m
0.2						71.7	92.0
0.4	9.0	13.5	17.6	19.4	28.7	35.0	46.5
0.6	6.0	9.0	11.4	13.2	20.4	23.4	31.0
0.9	4.0	6.0	8.3	9.5	13.6	16.2	21.3
1	4.0	5.8	6.8	8.9	12.7	14.8	19.4



【参考】放水路内の貯留量回復時間

CCTV画像から砂州フラッシュ前後の河口水位を読み取り、その変化量から砂州再形成後にどの程度の時間をかけて放水路内の貯留量が回復するのかを検討した。

日時	推定河口水位(m)	水位上昇速度(m/s)	流入量(m ³ /s)
2020/7/3 7:59	2.10		
2020/7/3 13:59	0.56	8.55E-06	0.48
2020/7/4 15:59	1.36		

※放水路延長2250m、平均河道幅25mとして推定
 ※2020/7/3の夕方頃、3mm程度の降雨あり

河口砂州は1日で再形成しており、放水路内の水位は砂州天端に近い高さまで上昇している。

この時の水位上昇スピードから求めた推定の流入量は0.48m³/sであった。

放水路内の貯留水を砂州フラッシュに利用しても、河口閉塞が生じると放水路内の水位は直ちに上昇することが確認された。

砂州フラッシュ前 (2020/7/3 7:59:21)



砂州フラッシュ直後 (2020/7/3 13:59:21)



砂州の再形成後 (2020/7/4 15:59:21)



砂州開削の実施方針の検討(砂州天端高越流開始時間)

- 農業用水として利用されている最大流量程度の $0.9\text{m}^3/\text{s}$ を砂州フラッシュに利用できると仮定すると、分水堰倒伏によって10時間以内(放水路内の初期水位をT.P.+1.5mと仮定)に自然にフラッシュさせられる砂州天端高の限界は2.0m程度と推定した。
- 砂州高が2.0mを超える場合に分水堰を倒伏するには、砂州の人工開削が必要。

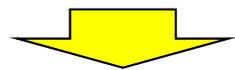
砂州天端高(m)	上流からの流量別河道内水が砂州天端を越流するまでの時間(hr) ※透水性未考慮									
	流入量(m^3/s)	0.2	0.4	0.6	0.9	1	5	10	20	40
3.0	121.88	60.94	40.63	27.08	24.38	4.88	2.44	1.22	0.61	0.49
2.95	117.97	58.98	39.32	26.22	23.59	4.72	2.36	1.18	0.59	0.47
2.9	114.06	57.03	38.02	25.35	22.81	4.56	2.28	1.14	0.57	0.46
2.8	106.25	53.13	35.42	23.61	21.25	4.25	2.13	1.06	0.53	0.43
2.7	98.44	49.22	32.81	21.88	19.69	3.94	1.97	0.98	0.49	0.39
2.6	90.63	45.31	30.21	20.14	18.13	3.63	1.81	0.91	0.45	0.36
2.5	82.81	41.41	27.60	18.40	16.56	3.31	1.66	0.83	0.41	0.33
2.4	75.00	37.50	25.00	16.67	15.00	3.00	1.50	0.75	0.38	0.30
2.3	67.19	33.59	22.40	14.93	13.44	2.69	1.34	0.67	0.34	0.27
2.2	59.38	29.69	19.79	13.19	11.88	2.38	1.19	0.59	0.30	0.24
2.1	51.56	25.78	17.19	11.46	10.31	2.06	1.03	0.52	0.26	0.21
2.0	43.75	21.88	14.58	9.72	8.75	1.75	0.87	0.44	0.22	0.18
1.9	35.94	17.97	11.98	7.99	7.19	1.44	0.72	0.36	0.18	0.14
1.8	28.13	14.06	9.37	6.25	5.62	1.13	0.56	0.28	0.14	0.11
1.7	20.31	10.16	6.77	4.51	4.06	0.81	0.41	0.20	0.10	0.08
1.6	12.50	6.25	4.17	2.78	2.50	0.50	0.25	0.12	0.06	0.05

※1 ピンクでハッチングした範囲はフラッシュに24時間以上かかる範囲、オレンジでハッチングした範囲はフラッシュに12時間以上かかる範囲を示す

※2 分水堰地点(2K200)の現況河床高はT.P.+2.03m

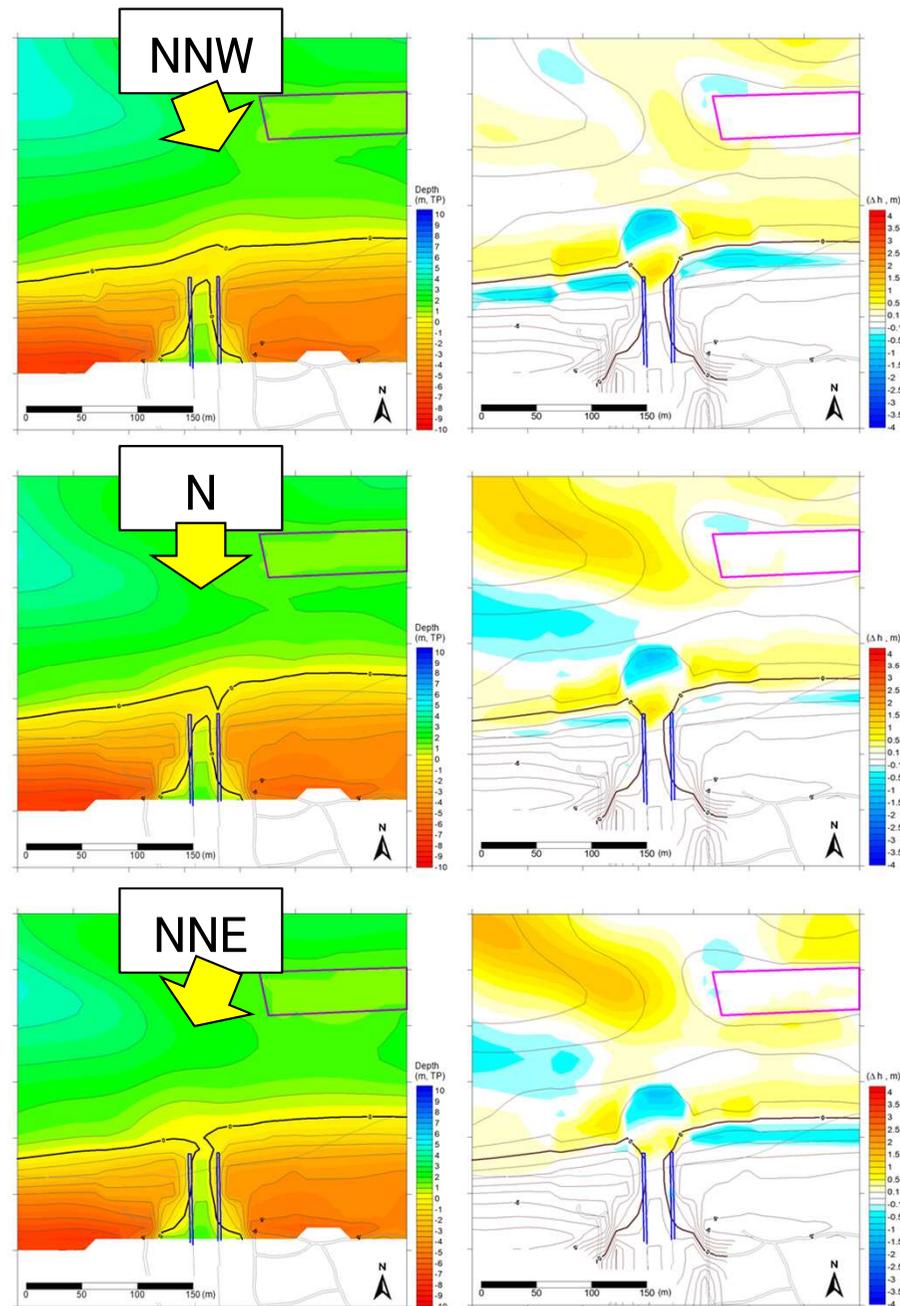
波浪による短期的な河口砂州再形成に係る整理

- 波向別では、NNWの波による砂州の形成速度が速く、次いでN、NNEの順となる。
- NNEの波向では、放水路右岸側の人工リーフによって波が低減されるため、砂州の形成も抑制される。
- NNWの波向では、波が低減されることなく放水路河口に作用するため、砂州の形成速度が速い。



- 左岸側に人工リーフを設置してNNW方向からの波を低減すれば、河口砂州を抑制できる可能性が期待される。
- 併せて、人工リーフの開口部からの離岸流により河口前面で洗堀が生じ、河口砂州形成を抑制できる可能性もある。

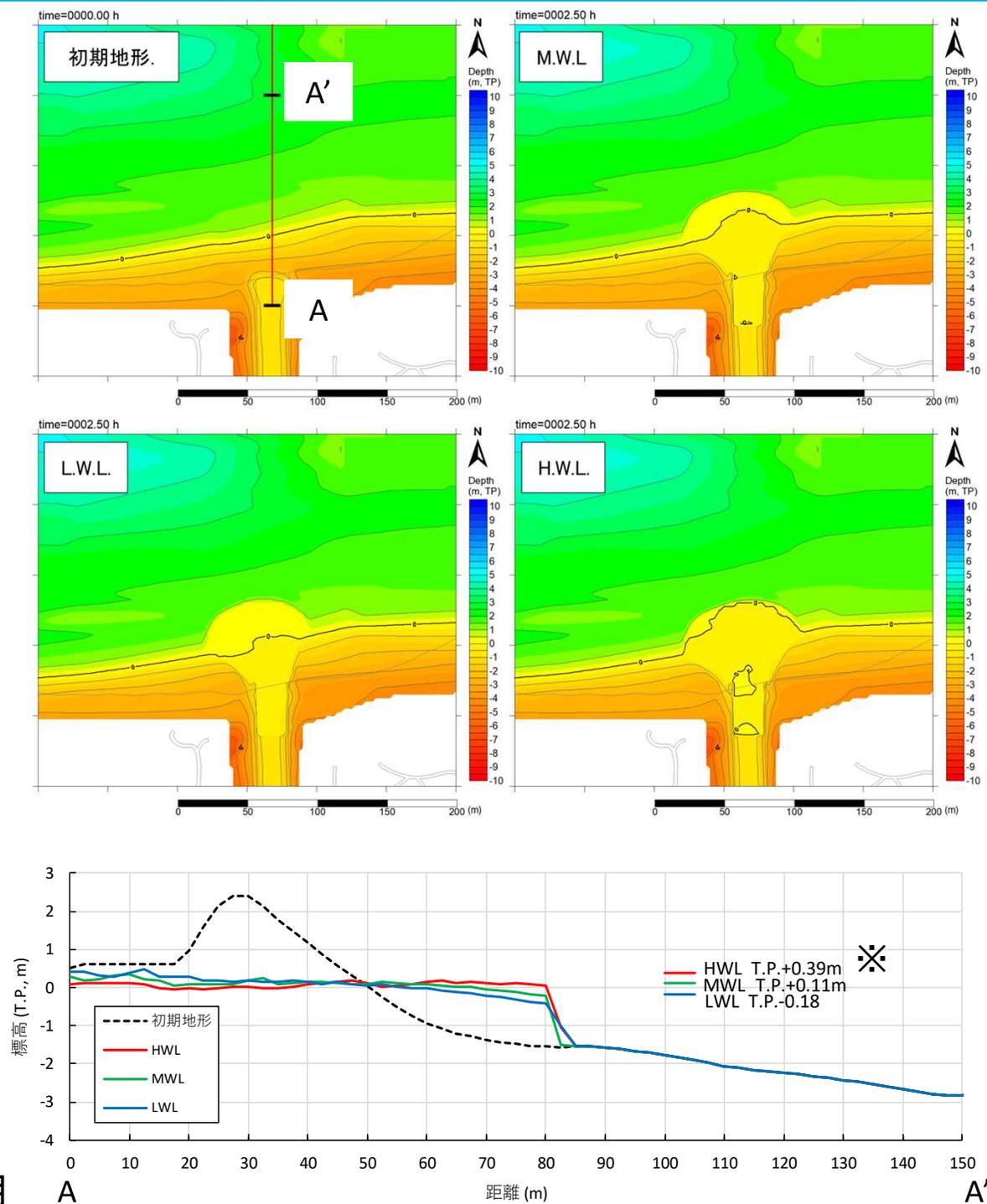
冬季Effective wave作用後
水深図 地形変化図



砂州フラッシュ後の河口テラスの形成特性

河口砂州がフラッシュする際の海側の潮位によって、形成される河口テラスに違いがあるかどうか、流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ 、砂州天端高T.P.+2.4mの計算条件における初期地形と出水開始2.5時間後の河口地形を潮位ごとに比較した。

- 特に0m等深線に着目すると、潮位が高いほど河口テラスは広く形成していることが確認できる。
- 岸沖断面においても、潮位が高いほど河口テラスの発達（水深が浅くなる傾向）が認められる。
- ただ、河口テラスの形状はほぼ同じであり、出水後の河口断面形状に対する潮位の影響は大きくないといえる。



※潮位条件は田後検潮所の潮位関係図から引用

人工リーフの新設・改良による砂州形成抑制効果の検討

- 北条川放水路河口周辺の地形に対する遡上波高と、形成する砂州の高さが概ね一致することを(その1)業務で確認している。
- 波浪変形計算により得られた、ケース0(現況)とケース6を比較した際の河口部における冬季Effective wave(波向NNW)の波高低減率は**0.81倍**であった。

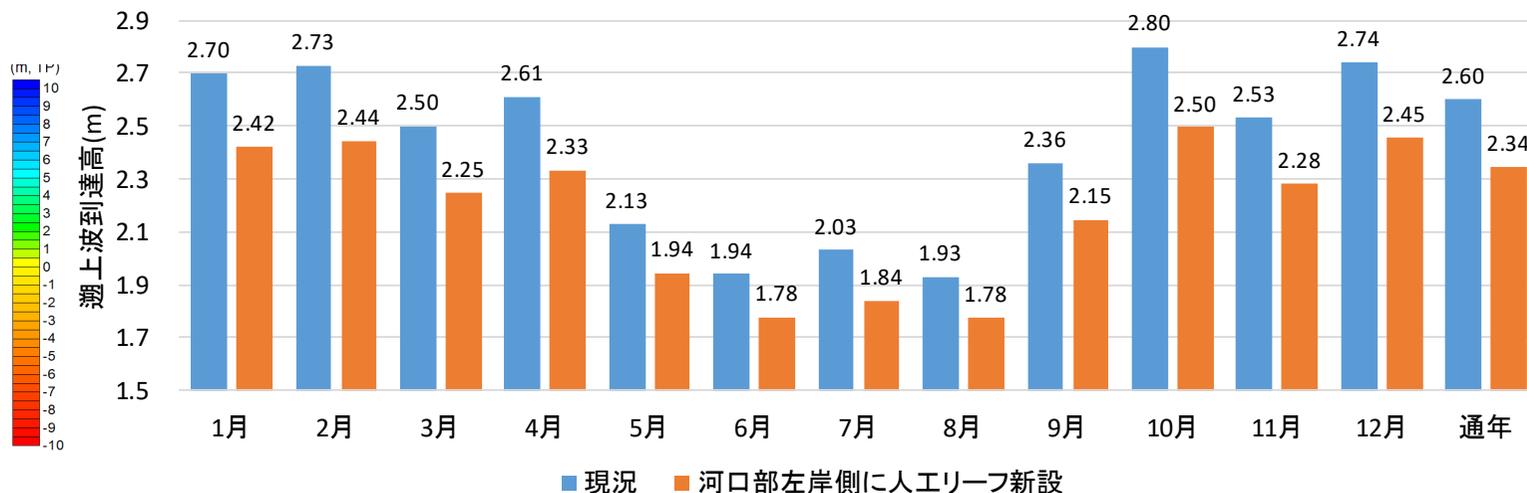
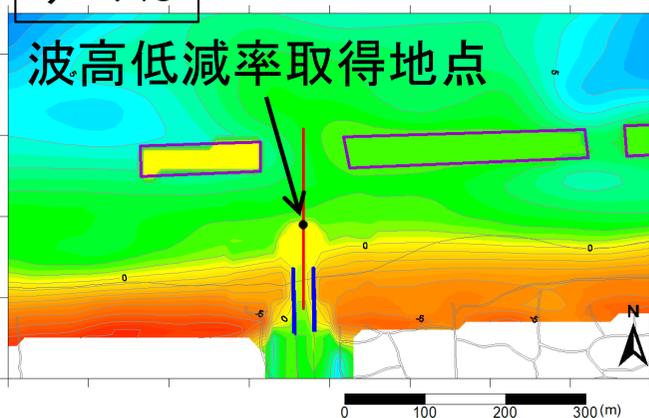
※Effective wave heightは、1年間に数回程度(12時間/年、超過出現確率=0.137%)襲来する波の波高。

上記の値により波高を補正し、形成する砂州天端高を推定した。

ケース6の配置では、平均して26cm程度砂州高を抑制することが期待される。

期間	現況 (河口部右岸側に既設の人工リーフ2基)				河口部左岸側に人工リーフ新設 (天端延長150m、天端幅30m、天端水深0.2m)				
	Effective Wave Height		波形勾配 H_0/L_0	遡上波到達高 [m]	Effective Wave Height		波形勾配 H_0/L_0	遡上波到達高 [m]	天端高の差 [m]
	波高 [m]	周期 [sec.]			波高 [m]	周期 [sec.]			
1月	5.17	10.24	0.032	2.70	4.16	10.24	0.025	2.42	-0.28
2月	5.21	10.60	0.030	2.73	4.20	10.60	0.024	2.44	-0.29
3月	4.45	10.17	0.028	2.50	3.59	10.17	0.022	2.25	-0.25
4月	4.80	10.48	0.028	2.61	3.87	10.48	0.023	2.33	-0.28
5月	3.46	7.95	0.035	2.13	2.79	7.95	0.028	1.94	-0.19
6月	2.68	9.24	0.020	1.94	2.16	9.24	0.016	1.78	-0.16
7月	3.00	8.46	0.027	2.03	2.42	8.46	0.022	1.84	-0.19
8月	2.80	7.67	0.030	1.93	2.25	7.67	0.025	1.78	-0.15
9月	4.17	8.97	0.033	2.36	3.36	8.97	0.027	2.15	-0.21
10月	5.45	10.53	0.032	2.80	4.39	10.53	0.025	2.50	-0.30
11月	4.66	9.67	0.032	2.53	3.76	9.67	0.026	2.28	-0.25
12月	5.33	10.19	0.033	2.74	4.30	10.19	0.027	2.45	-0.29
通年	4.87	10.01	0.031	2.60	3.93	10.01	0.031	2.34	-0.26

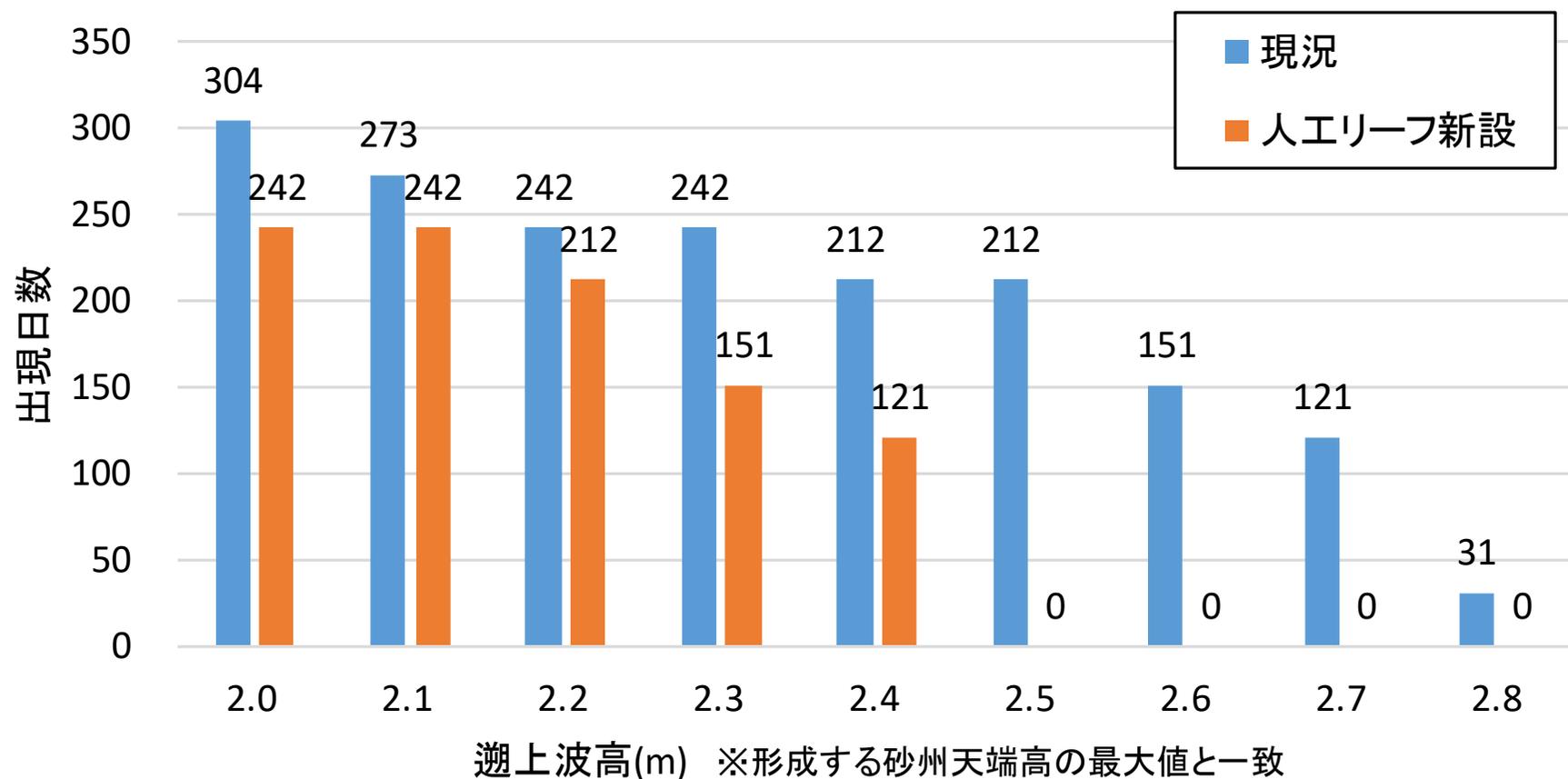
ケース6



人工リーフの新設・改良による砂州形成抑制効果の検討

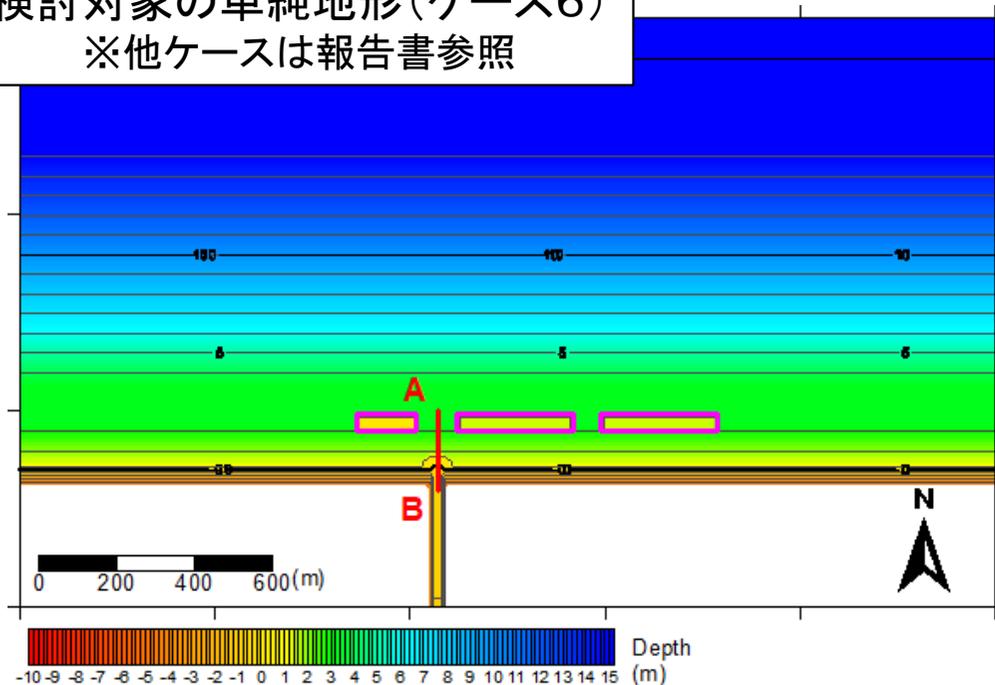
形成する砂州天端高について、2.0m～2.8mで段階的に管理値を変え、現況地形と人工リーフ新設後の地形でその出現日数を整理した。

結果として、人工リーフを設置することで、砂州天端高が2.5m以上となる出現日数は0日となり、特に規模の大きい(天端高の高い)砂州の形成を抑制する効果が認められた。



【参考】単純地形での戻り流れの確認

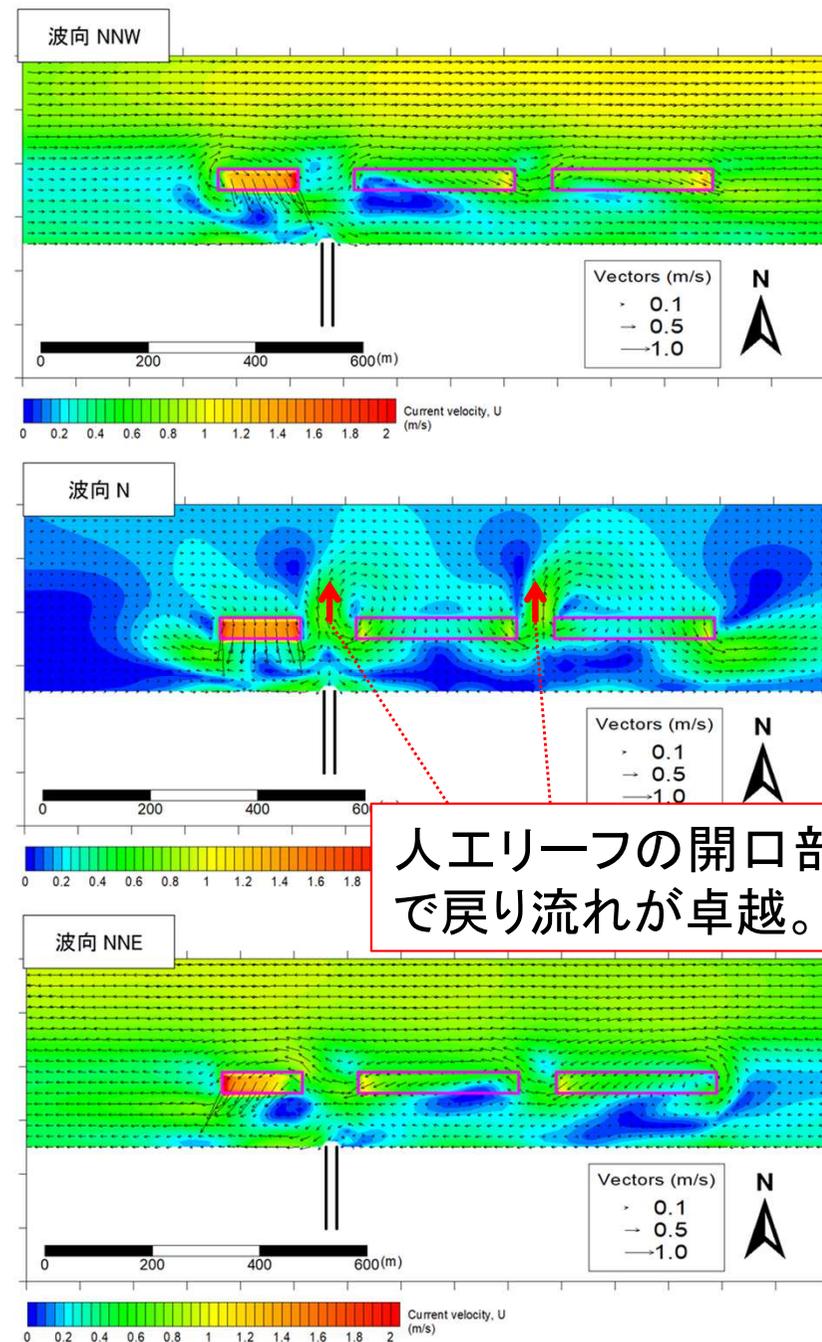
検討対象の単純地形(ケース6)
※他ケースは報告書参照



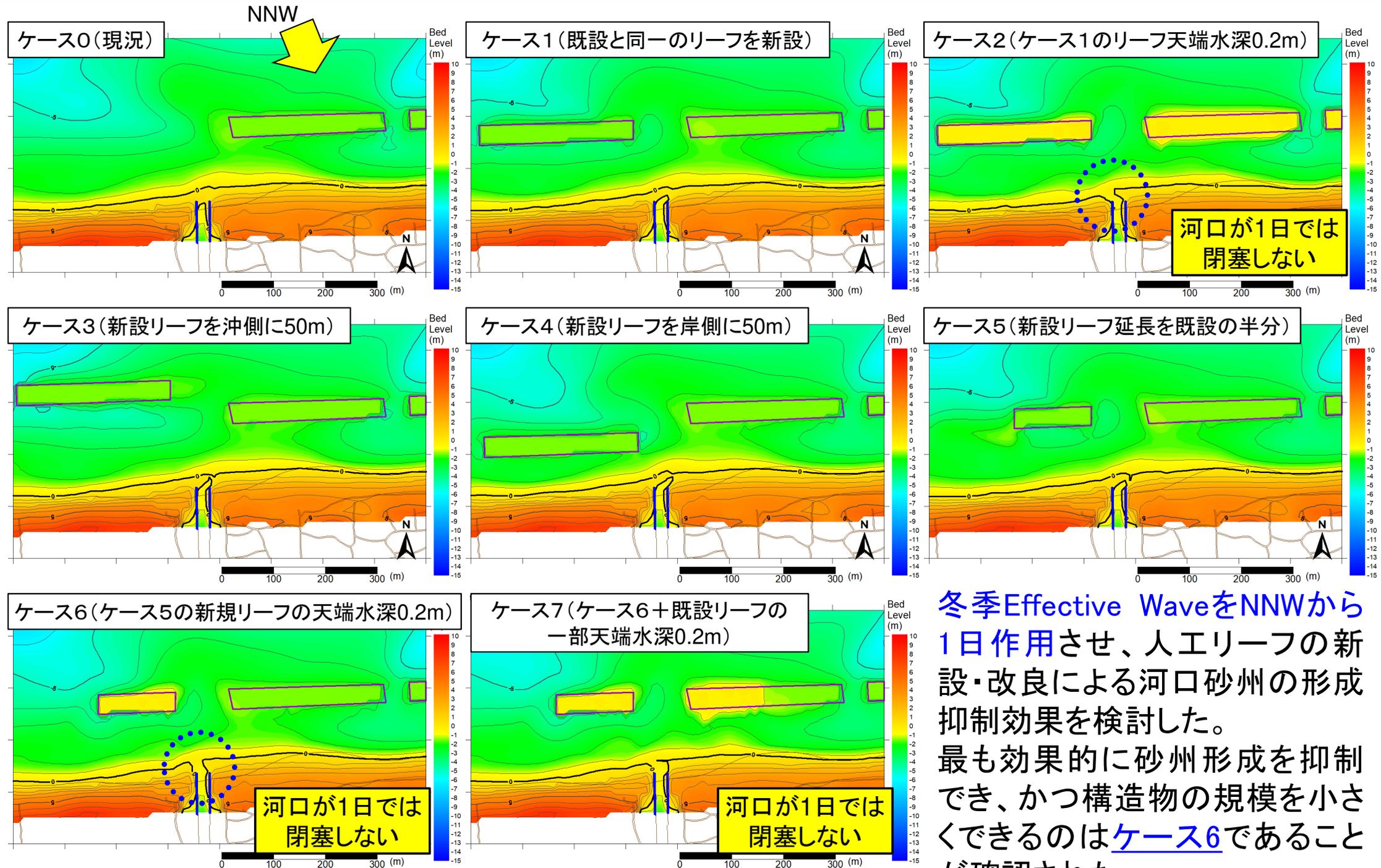
北条川放水路河口部周辺の海浜断面を基に単純地形を作成し、海浜流や地形変化の特長について確認を行った。

- 冬季Effective wave を作用させた際の海浜流分布を確認すると、特にNから入射する際に人工リーフの開口部で戻り流れが卓越する。

各波向の海浜流分布(冬季Effective wave)



人工リーフの新設・改良による砂州形成抑制効果の検討



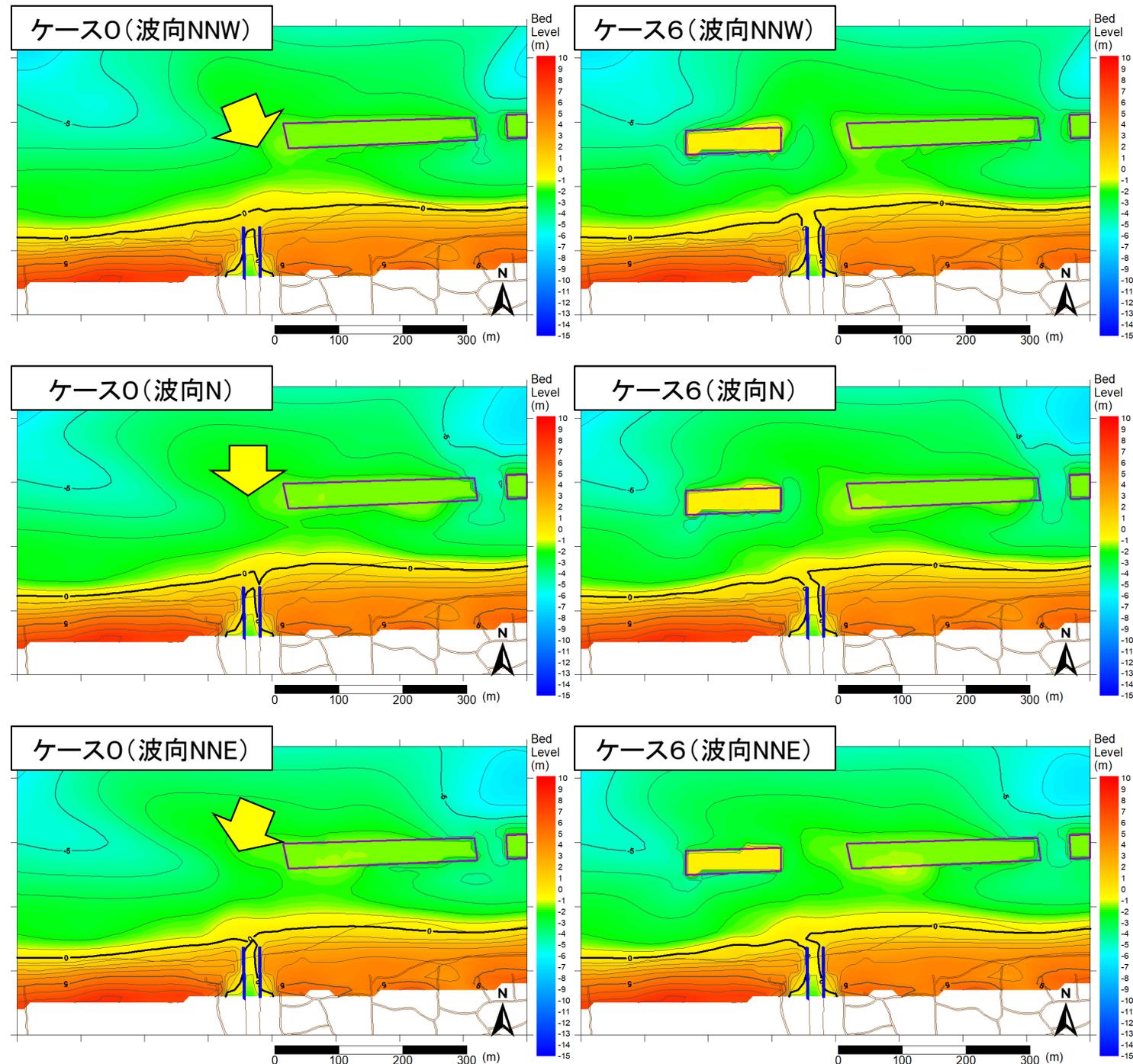
冬季Effective WaveをNNWから1日作用させ、人工リーフの新設・改良による河口砂州の形成抑制効果を検討した。最も効果的に砂州形成を抑制でき、かつ構造物の規模を小さくできるのは**ケース6**であることが確認された。

ケース6はNNWから入射する波浪を低減する効果が大きいですが、他の波向においても、砂州の再形成をやや抑制できることが示唆される。

左岸側に人工リーフを配置することにより、形成する砂州の天端高をやや抑制するとともに、形成自体を遅らせる効果が期待できる。

ケース6で新設する人工リーフの諸元

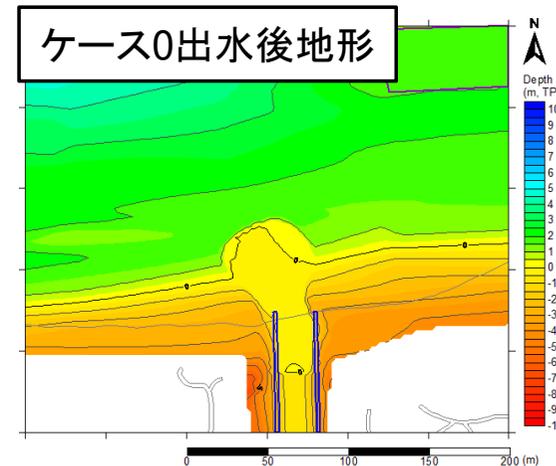
- 天端延長 $L=150\text{m}$
- 天端幅 $B=40\text{m}$
- 天端水深 $R=T.P.-0.2\text{m}$
- 概算工事費 $C=11.5\text{億円}$



定常 $20\text{m}^3/\text{s}$ の出水条件における各対策ケースの出水後地形を現況のケース0の場合と比較した。

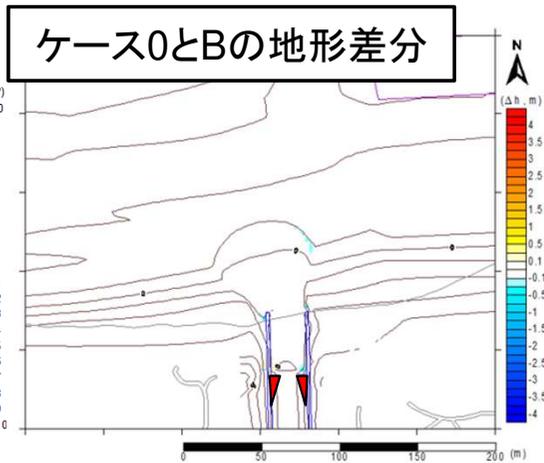
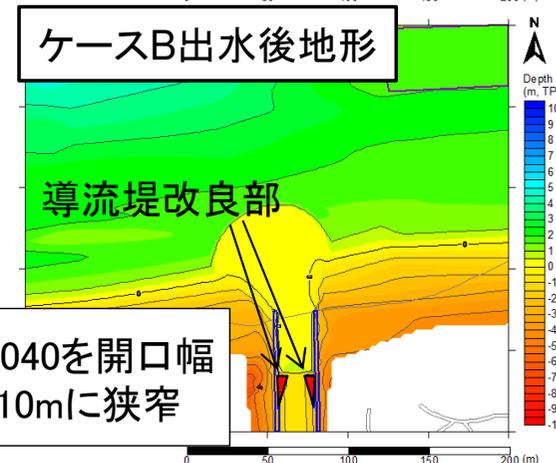
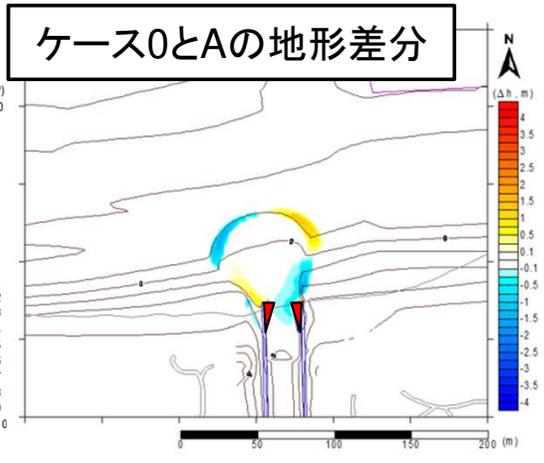
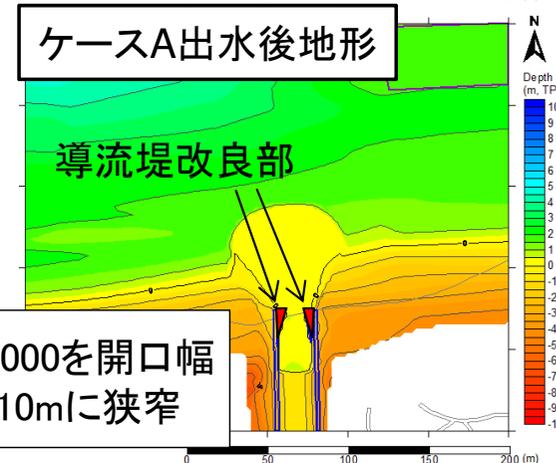
- ケースAは狭窄部から特に右岸側で侵食傾向が強い。
- ケースAの方がケース0より砂を若干沖側へ飛ばす効果がある。
- ケースBでは、狭窄部の設置位置が上流側過ぎるため、フラッシュ後地形は、ケース0とほとんど差がない。

以上より、河口部に設置するケースAが砂州を若干沖へ飛ばす効果がみられる。しかし、フラッシュ開始時間やフラッシュ後の地形には顕著な違いはなく、フラッシュ促進効果はほとんどない。

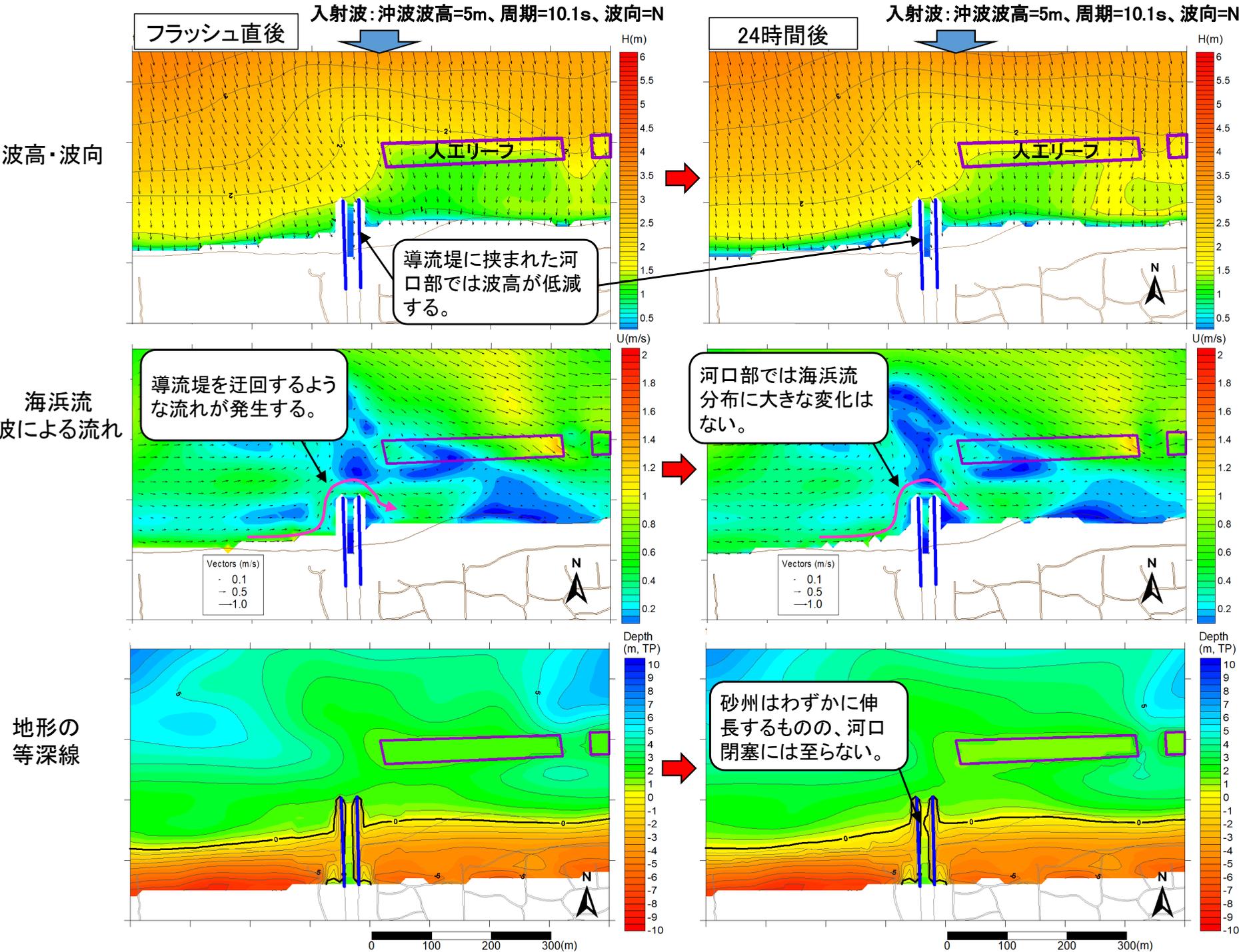


開口(河道)幅 $25\text{m} \rightarrow 10\text{m}$ に狭窄

導流堤改良部の天端高は
T.P.+2.1m(既設と同じ高さ)



導流堤の改良位置による砂州フラッシュ促進効果の検討(導流堤の延伸)



河川流を考慮せず、波浪による海浜流だけを考えた場合、導流堤の延伸によって河口部への漂砂の侵入を抑制することがわかった。



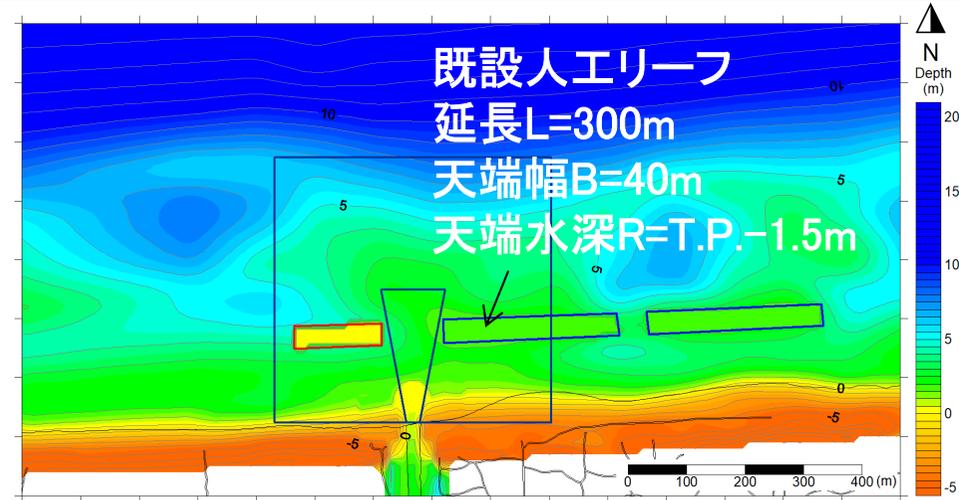
ただし、沿岸漂砂を阻害する可能性がある。

人工リーフの予備設計

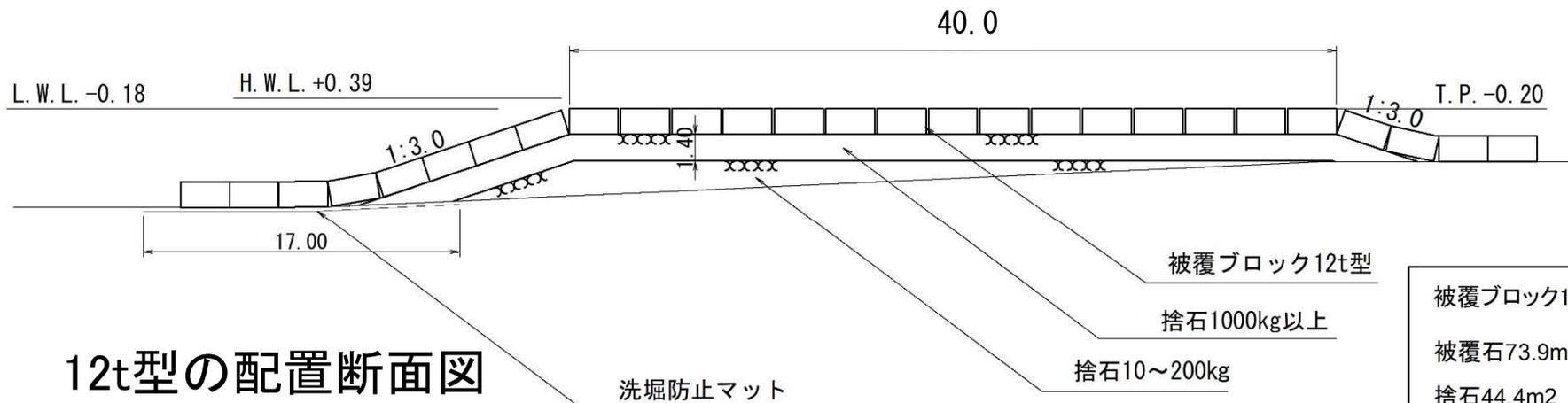
十分な河口閉塞対策効果を持ち、なるべく低コストとなるような形状として、放水路河口部右岸側の既設人工リーフの半分の延長で、天端水深をT.P.-0.2 mとしたものを左岸側に設置することを提案した。この人工リーフについて、予備設計と概算事業費を算出した。

被覆材の所用質量算定で比較したブロックのうち、中間の所要質量となる標準的な被覆ブロックについて、所要質量7.21tに直近の8t型とその2ランク上までの10t型、12t型の3ランクで経済性および施工性を勘案し断面を決定した。

被覆ブロックの質量ごとの概算工事費を比較すると、12t型が経済的に優れる。



種別	金額 (百万円/m)	概算工事費 (億円)
8t型	7.848	11.8
10t型	7.742	11.6
12t型	7.680	11.5



12t型の配置断面図

河口法線11° (河口幅B×10) 以内には河口部沖合構造物を設置しない(H2.6.22本省河川局治水課事務連絡)ここで、B=25mとする。

被覆ブロック12t型 27個/2.630m=10.3個/m
被覆石73.9m²
捨石44.4m²

特殊エジェクター工法を用いた河口砂州開削

北条川放水路における特殊エジェクター工法の適用については、以下のようなメリットがある。

- ① 簡易的な操作で頻繁に発生する河口閉塞を解消可能
- ② 固定式で誰でも操作可能
- ③ 夜間やゲリラ豪雨時等の緊急時においても確実に河口閉塞解消が期待できる



【特殊エジェクター工法に係る概算費用(2019年度試験施工モデルの場合※)】

イニシャルコスト

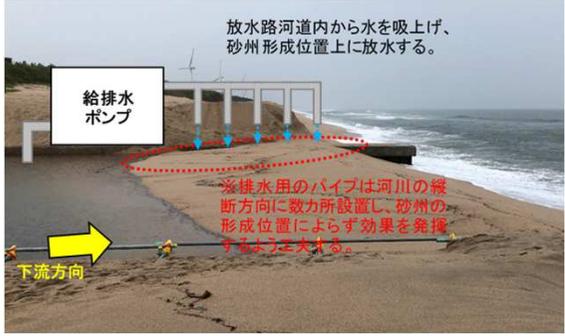
高圧ポンプ(新規作成): 2000万円
 管材(エジェクター含む): 250万円
 運搬・設置: 250万円

ランニングコスト

作業員: 2名/回
 燃料(軽油): 20l/回
 管材の交換: 250万円(2年に1回程度)

※ 試験施工実施会社((株)吉田組)よりヒアリング

砂州フラッシュ制御方法の評価(効率的な砂州開削手法の導入)

	従来開削方法 (人力、バックホウでの開削)	新規開削方法 (特殊エジェクター工法)	新規開削方法 (砂州形成位置での常時放流)
イメージ図等			
目的と効果	砂州規模が大きい際(T.P.+2.0m以上)や、出水が予想されるタイミングで、現地で人手で直接作業することで砂州を掘削し、河川水を流下させる。	砂州規模が大きい際(T.P.+2.0m以上)や出水が予想されるタイミングで、河口に設置した超高圧ポンプ等により砂州を開削し、河川水を流下させる。	放水路内の水、もしくは周辺道路から集水される雨水を利用して、放水路河口砂州の形成地点に一定量の放水を常時行うことで、砂州の形成抑制・砂州フラッシュの促進を期待する。
河口閉塞への対策効果	○ 現在実施されている河口閉塞対策である。ゲリラ豪雨による急な出水時には、人手での作業は危険であるため、改善が望まれている。	◎ 出水の直前であっても、最低限の人手で安全に河口開削が可能である。将来的には現地に行くことなく、河口開削が行える可能性があるため、ゲリラ豪雨等の急な出水にも対応しやすい。	○ 効果が想定通り発揮されれば、砂州形成を抑制することができ、常時河口を開放できる可能性もある。
対策効果が現れるまでの時間	◎ 開削後ただちに砂州はフラッシュする。	◎ 開削後ただちに砂州はフラッシュする。	◎ 常時砂州が形成しない状態が維持される(想定)。
経済性	◎ 砂州開削のたびにコストがかかるものの、他の対策と比較すると小さい。	△ 機材の種類にもよるが、超高圧ポンプ等の設置といったイニシャルコスト、稼働および排砂管の交換といったランニングコストが発生する。	△ 給排水用ポンプや排水パイプの設置にイニシャルコスト、稼働や機材交換にランニングコストの発生が想定される。
評価	○ 現状の主たる河口閉塞対策であり、実施も低コストであるが、急な出水に対応が困難である点や、多くの人手・経費が継続的に必要になる点、人手での作業には出水時に危険が伴う点といった課題がある。	○ 人手を減らし、急な出水にも安全に対応できる可能性が高い方法である。費用対効果次第で導入を検討する方法であると考える。	○ 砂州の形成を抑制し、河口閉塞が生じない状態とできる可能性がある。その効果や、どれほどの規模のポンプや機材が必要になるか、検討を行う必要がある。

砂州フラッシュ制御方法の評価(分水堰の運用見直し・部分改修)

	分水堰の運用見直し	分水堰の部分改修(維持流量調整)
イメージ図等		
目的と効果	一時的に分水堰のゴム体を倒伏し、河川流量を増加させることで砂州をフラッシュさせる。 砂州規模が小さい(T.P.+2.0m以下)場合に適用できる。	分水堰の横にある維持流量を通水するための樋門を拡張することで、維持流量を増やし、常時砂州が堆積しない流量を流し続ける。
河口閉塞への対策効果	砂州高抑制と合わせることで、砂州フラッシュを促進することが可能。周辺の利水を考慮し、降雨発生前のタイミングであれば、実施可能であると考えられる。 ただし、河道内の貯留量や形成した砂州天端高にその効果や実施の可否が制約される。	常に一定以上の流量を維持流量として流下させることで、砂州をフラッシュさせるとともに、砂州の形成を抑制する効果が期待される。 特に流量が多い出水期に有効だと考えられる。
対策効果が現れるまでの時間	○ 流量によっては1日程度の時間を要する。	◎ 流量によるが、一定以上の流量が流れることで、常に砂州をフラッシュさせ、形成を抑制する。
経済性	◎ 分水堰操作にかかる経費のみで実施可能。	○ 改修時のイニシャルコストのみで効果が期待できる。
評価	◎ 分水堰のゴム体を倒伏させるだけで砂州をフラッシュさせることが可能。 ただし、分水堰倒伏時には出水流量や放水路内の水位を管理し、堤内地へ浸水被害が生じないように配慮が必要である。	◎ 維持流量の調整のみで砂州フラッシュおよび砂州形成の抑制が期待される。 維持流量程度でこの効果が実際に確認されるか、現地での実証実験が必要である。

人工リーフの新設および導流堤の改良による砂州規模抑制の評価

	人工リーフの新設	導流堤の改良
イメージ図等		
目的と効果	<p>放水路河口部左岸側に新たに人工リーフを新設し、襲来波浪を抑制することで河口砂州の形成や規模の増大を抑制する。</p>	<p>河口部を狭窄することでせん断応力を大きくし、出水時の砂州フラッシュで砂を遠くへ飛ばす。 現況の導流堤を延長しない範囲で設置することで沿岸漂砂へ影響しない。</p>
砂州高抑制の対策効果	<p>○ 予測計算結果から、人工リーフの増設により北条川河口砂州の形成を抑制する効果が確認された。 砂州高を平均0.26m低減する。</p>	<p>× 河口部の導流堤を狭窄することで出水時に流出する砂が対策なしに比べてわずかに遠くへ飛ぶものの、流出土砂量は変わらない。 出水時に河口部の河積が減少することで、水位が上昇する可能性がある。</p>
経済性	<p>△ 概算施工費は11.5億円と想定される。</p>	<p>○ かごマットの設置であれば、安価。 かごの劣化等に対する維持管理費が発生することが想定される。</p>
周辺海岸への影響	<p>○ 新設人工リーフの天端水深を0.2mにした場合であっても、周辺海岸への影響は比較的軽微である。</p>	<p>○ 河道内での改良に留まるため、周辺海岸へは影響しないことが想定される。</p>
評価	<p>○ 既設の人工リーフのみでは、河口砂州の形成を抑制できないため、増設による波浪制御機能の強化が必要となる。人工リーフの増設により、放水路河口砂州の形成を遅らせ砂州高さを抑えられる。ただし、天端水深の浅い、波浪低減効果の大きい構造物とした場合、周辺海岸への影響が生じる可能性がある。</p>	<p>× 平常時の流量が小さく、定常的に河口砂州をフラッシュするせん断力が期待できないため、閉塞対策としての効果はほとんどない。</p>

河口部治水対策の基本的な考え方

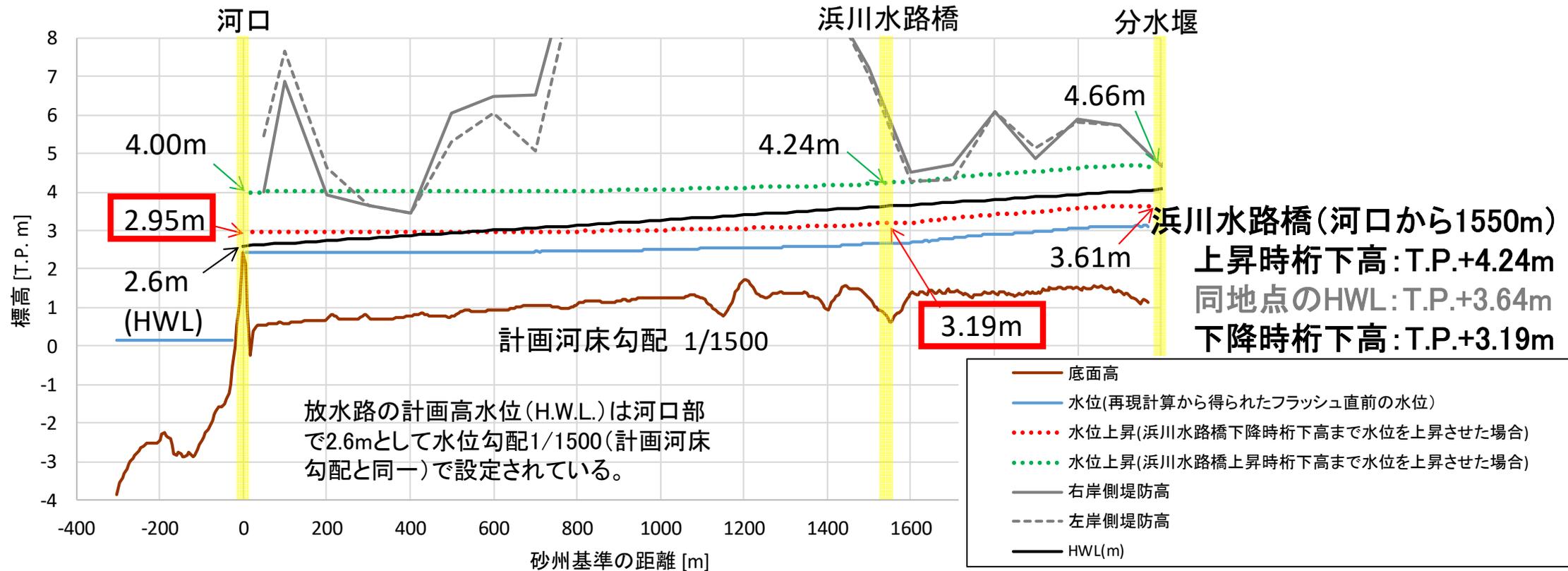
【河口砂州の管理上のポイント(管理基準)】

- ・浜川水路橋に影響しない砂州高の最大値はT.P.+2.95m。
- ・自然フラッシュに必要な流量は $0.9\text{m}^3/\text{s}$ 程度。
(12時間以内で砂州フラッシュが開始する流量)

※注: 砂州フラッシュまでの時間は、放水路内初期水位T.P.+1.5m、砂州高T.P.+ 2.0mでの数値

【砂州管理における目標(基本方針)】

- ・砂州をいつでも開削可能な高さに管理する。(←分水堰操作、人工開削)
- ・出水前の安全な分水堰操作。
- ・砂州の高さ・規模を制御可能な範囲に管理する。(←人工リーフ等による対策)



ここまでの検討内容を踏まえ、河口部治水対策の実施手順(案)を作成した。

【直ちに実行可能な対策】…ただし、砂州フラッシュに利用できる流量の確認が急務★

- 手動・バックホウによる砂州切欠きの設置(通年)
- 分水堰操作による流水を利用した砂州フラッシュ促進(夏季・出水期)

AI(人工知能)を活用した河川管理の高度化・効率化に向けた取り組み実施中

【砂州切欠き設置によるフラッシュ促進を重視した対策工】

- 特殊エジェクター工法の適用(通年)
 - 最終的には遠隔稼働可能なシステムを構築することで、急な降雨や出水にも対応可能(常時化)。
- 砂州形成箇所への常時放水
 - 付近の高速道路(建設中)の排水や放水路内の流水を利用して、砂州形成箇所に常時水を流し、砂州形成を抑制。

【砂州形成の抑制を重視した対策工】

- 河口部左岸側への新規人工リーフの設置
 - 河口部に襲来する波浪の低減により、平均26cm程度砂州高を抑制することが可能(砂州天端高2.5m以上となる出現日数が大幅に減少)。
 - 人工リーフだけで砂州形成を完全に抑制することは困難であるため、人工開削や分水堰操作を組み合わせることが前提となる。

※実施手順(案)をもとに、地元等との合意形成や各種実証実験のタイミング等をまとめた実施計画(案)を作成した。