

実例から見た河口砂州・砂礫浜の復元に 寄与する漂砂供給源についての考察

諏訪義雄 国立研究開発法人土木研究所河川総括研究監

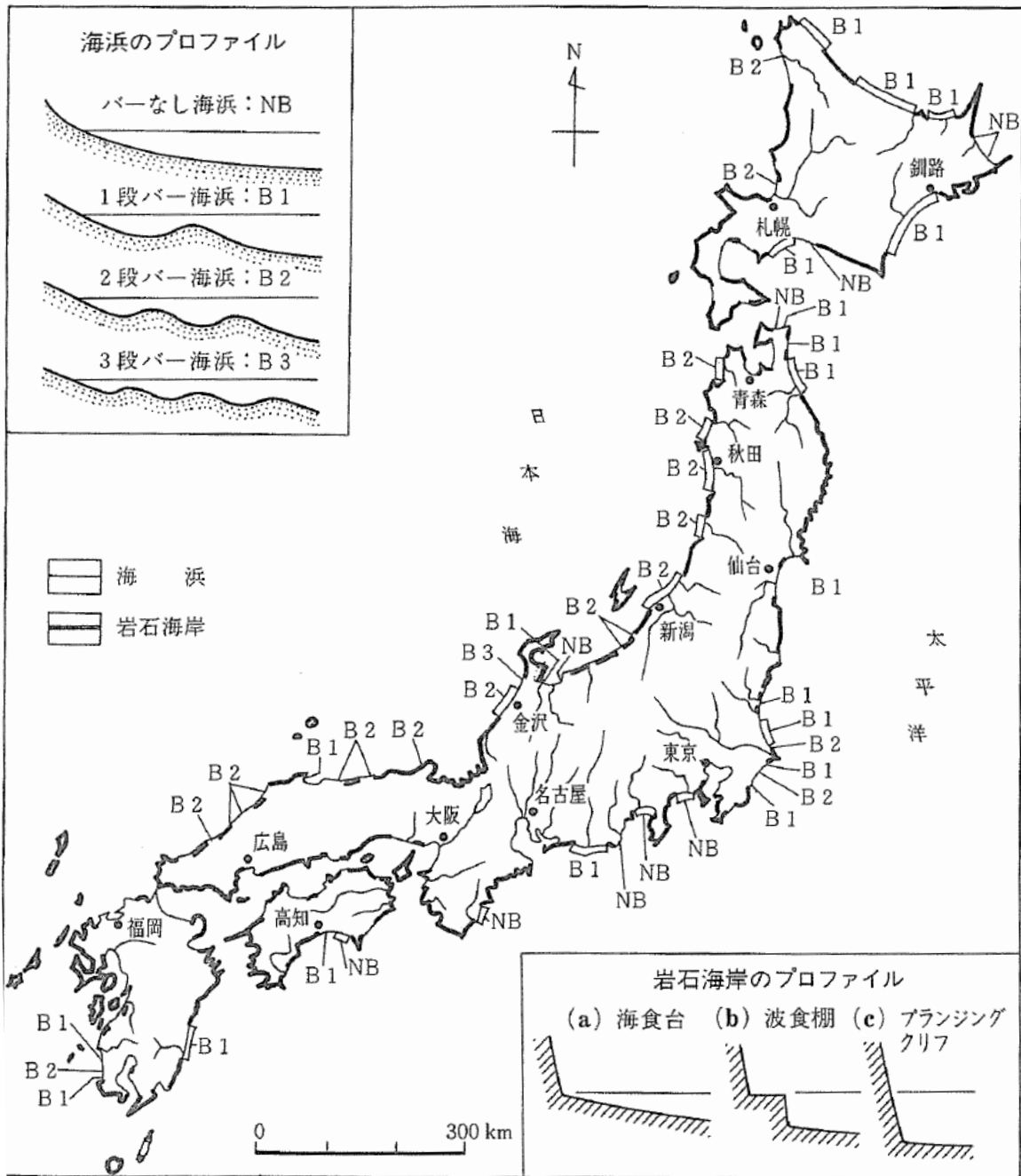


図 2.12.1 わが国における岩石海岸と海浜の分布¹⁾

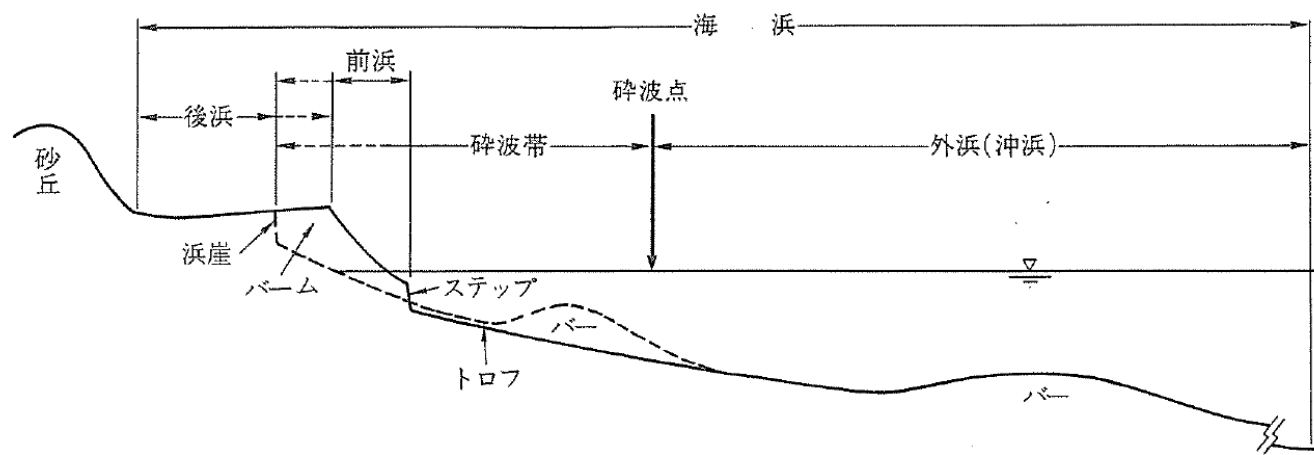


図 2.12.4 海浜プロファイル (実線は静穏時, 破線は暴浪時を示す): 区分と代表的な地形.

海浜流による堆積地形

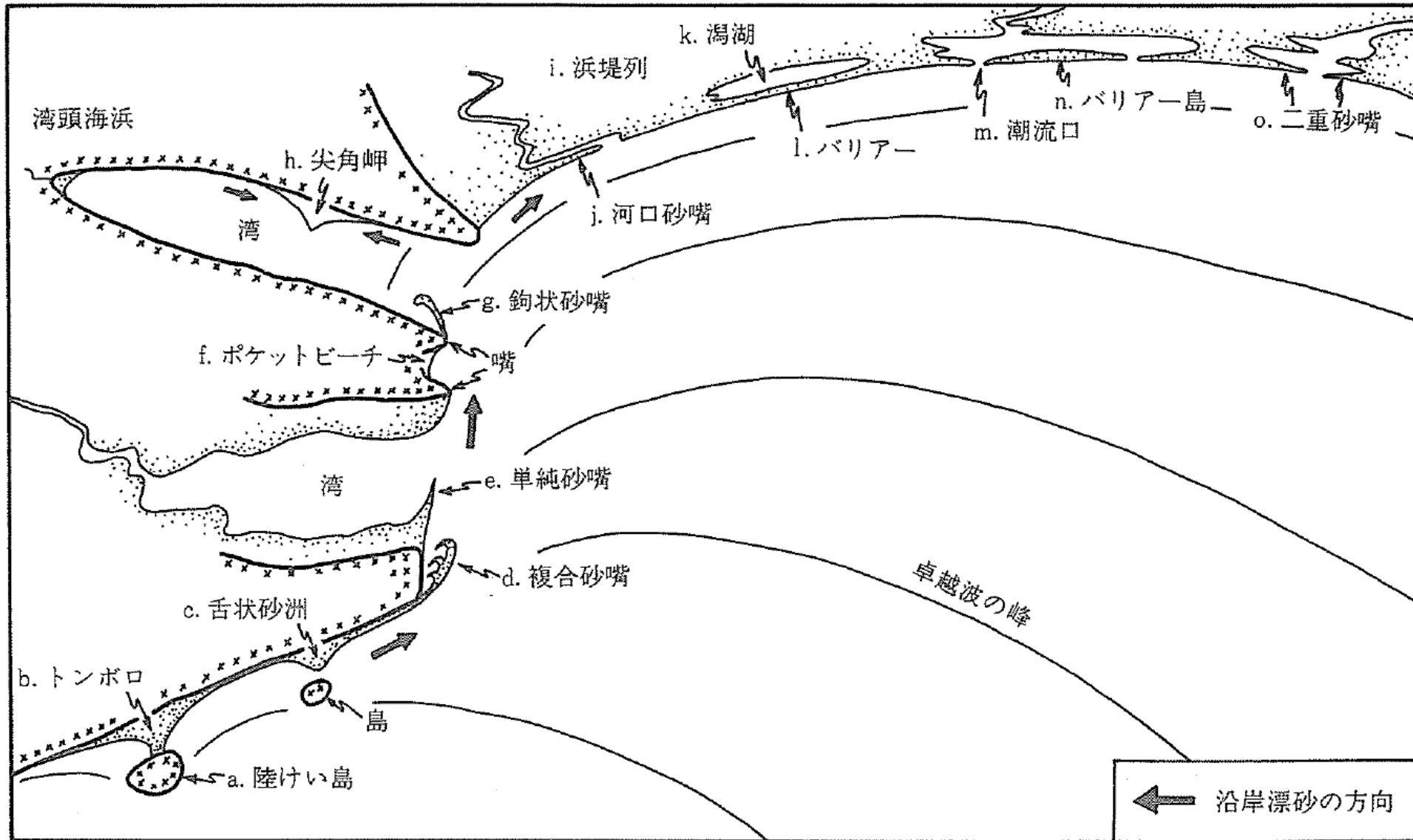
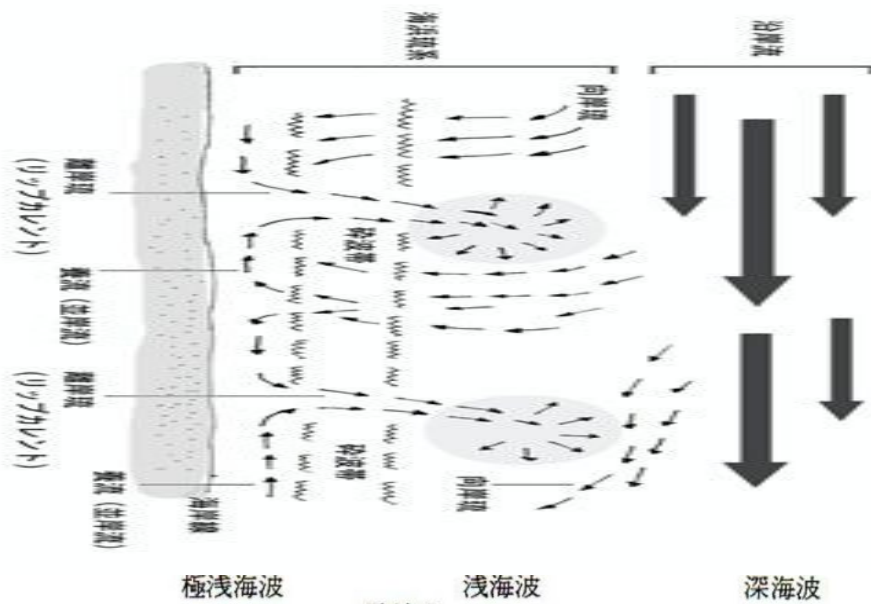


図 2.12.5 沿岸に発達する典型的な堆積地形¹⁸⁾

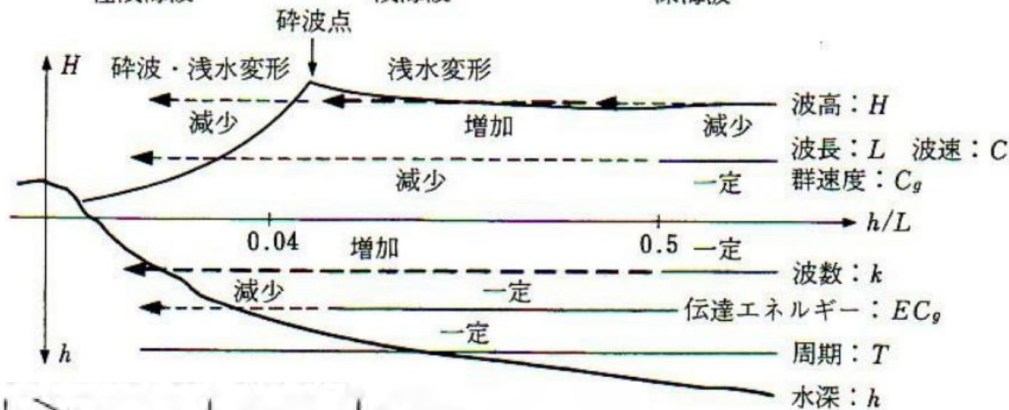
出典: 海岸施設設計便覧

https://www6.kaiho.mlit.go.jp/watersafety/cano/e/08_tenki/index.html



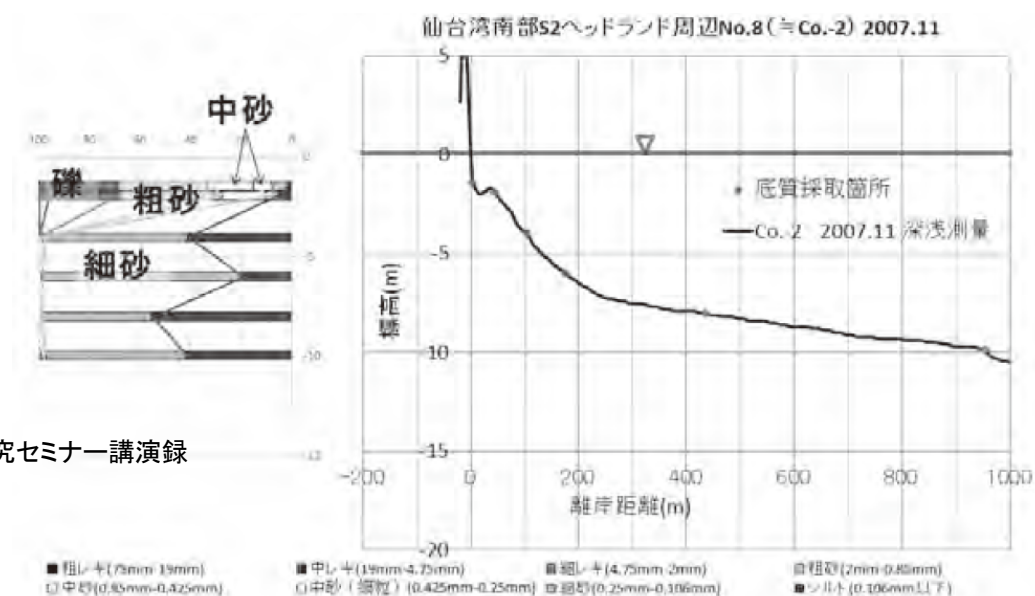
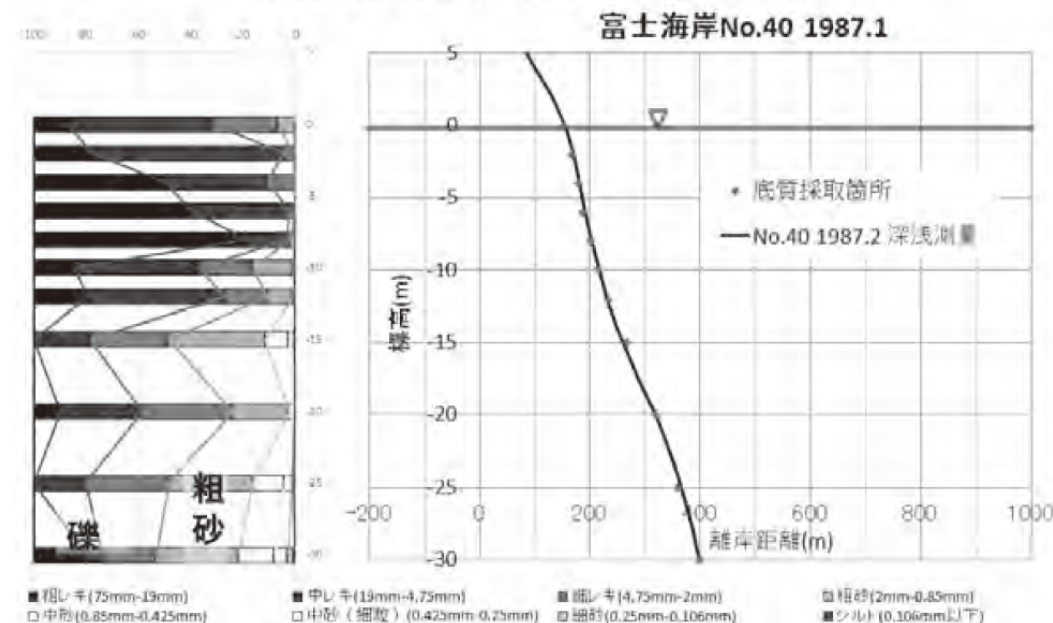
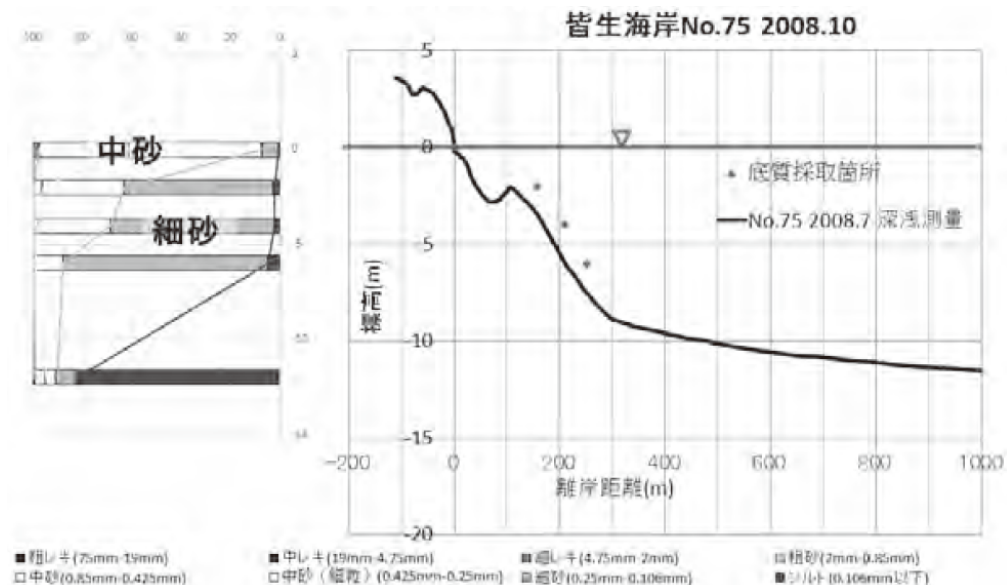
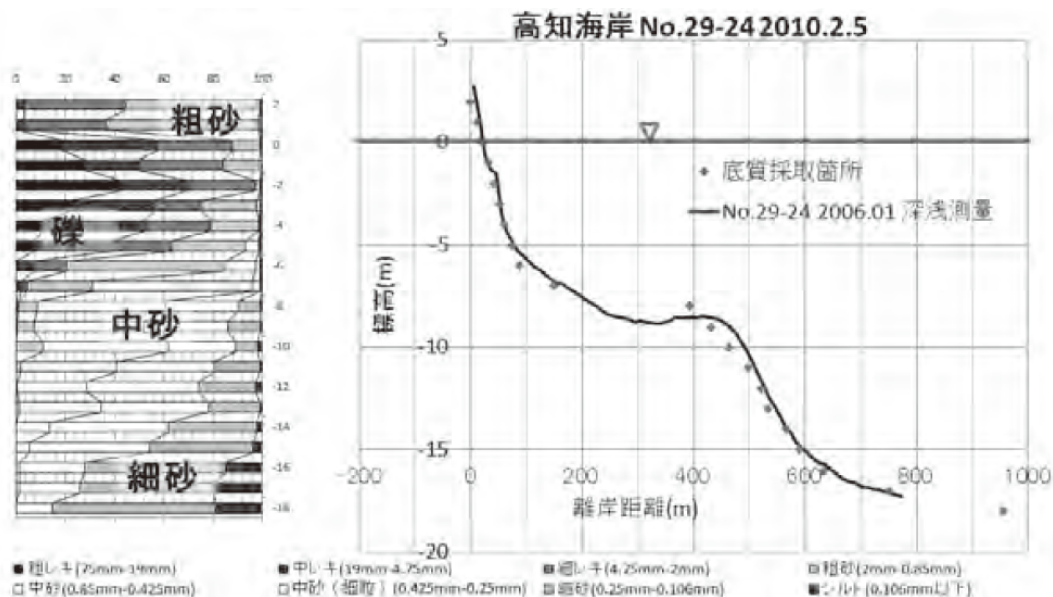
波→海浜流→地形変化

- 砕波で激しい流れに変化する(海浜流)
- 斜めに入射してくると沿岸方向の卓越流れ・沿岸漂砂が発生。
- 堆積地形である砂礫浜は消波機能とダイナミズムを有している点が特徴
- 人工施設では消波機能を代替できても、ダイナミズムの代替はできない
- 河口砂州を含む砂礫浜は重要な「自然インフラ」



砂浜沿岸の地形(勸米良他1979等による)に加筆
http://www.hirahaku.jp/hakubutsukan_archive/tisitu/00000037/82.html

海浜では水深方向に分級している



平成26年度 河川研究セミナー講演録
 —総合土砂管理—

河口の分類

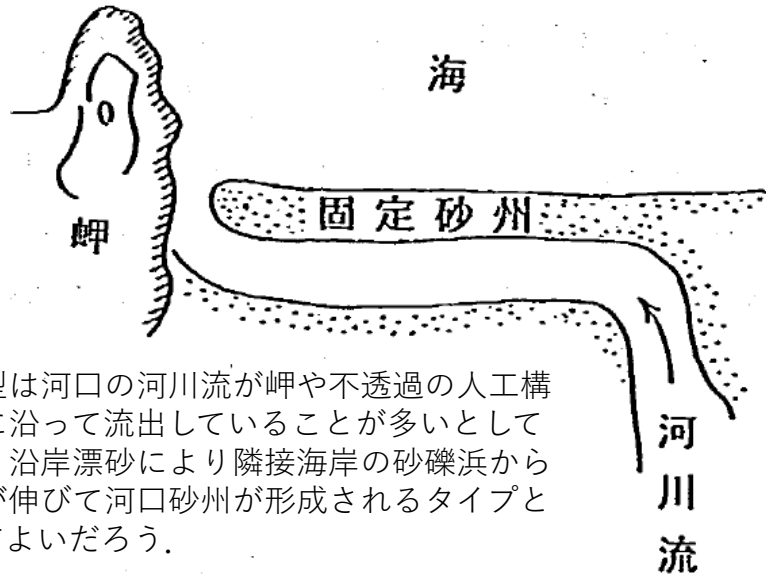
土木研究所河川研究室: 河口地形特性と河口処理の全国実態, 土木研究所資料, 第3281号, 1994.6

1)-1波浪・潮汐に基づく分類
日本海側
潮汐が0.1~0.3mと小さく波浪の影響が卓越
太平洋側
1mの潮汐水位差があり波浪とともに潮汐の影響もあると考えられる
内湾型
波高が小さい, 河口砂州はほとんど形成されない

1)-2作用外力による分類
河川流型
波よりも河川流の影響が卓越する河川であり, 内湾型河川に限られる
波動流型
海浜流により河口砂州が形成される河川
潮汐流型
河口の河積が潮汐流によって決まる河川であり, 潟湖に流入する河川に限られる

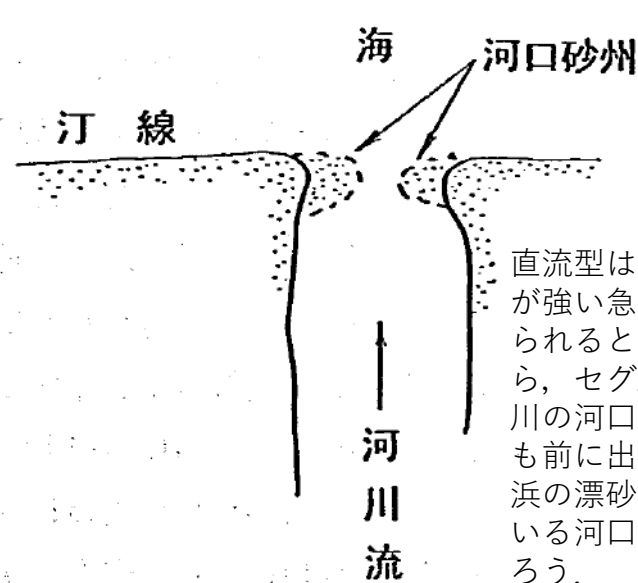
2)波浪・底質特性による分類
細砂を前浜に持つ河口
粒径0.2~0.3mm, 波高1~3mで $\sqrt{gH_0}/w_0 = 60\sim 200$ に達するので容易に浮遊 河口砂州は形成されても高さ1m以下
中砂・粗砂を前浜に持つ河口
粒径0.5~2mm, 前浜勾配1/5~1/15
礫を前浜に持つ河口
粒径5mm以上, 前浜勾配1/2~1/5
粒径5mm・波高3mでも $\sqrt{gH_0}/w_0 = 25$ であり前浜礫が浮遊されることはない

3)河口形状による分類



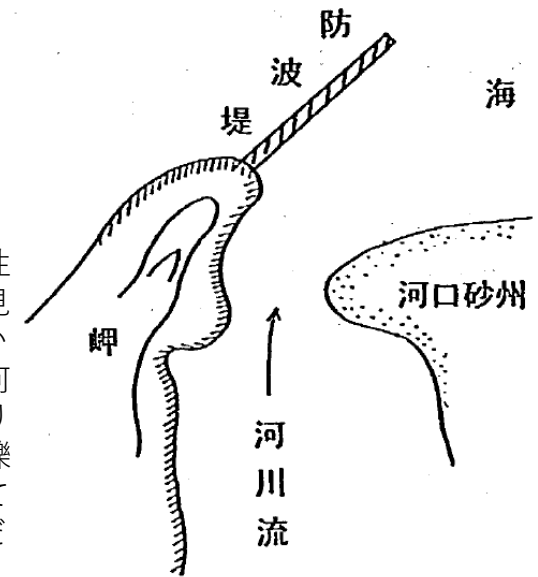
偏流型は河口の河川流が岬や不透過の人工構造物に沿って流出していることが多いとしている。沿岸漂砂により隣接海岸の砂礫浜から砂嘴が伸びて河口砂州が形成されるタイプと考えてよいだろう。

図-1.1 偏流型河口の模式図 (上森, 1963)



直流型は洪水流の直線性が強い急流河川で多く見られるとしていることから, セグメント1, 2-1河川の河口が周辺海岸よりも前に出ており両岸砂礫浜の漂砂供給源となっている河口と解してよいだろう。

図-1.2 直流型河口の模式図 (上森, 1963)



遮蔽型は岬や防波堤等による波浪の遮蔽の影響を受ける場所に河口があるタイプである。

図-1.3 遮蔽型河口の模式図 (上森, 1963)

河口砂州の洪水流によるフラッシュと再生

洪水流による河口砂州フラッシュ・上流水位上昇（対策）検討	フラッシュ後の再形成検討
<p>平面流計算で河口砂州のフラッシュ・変形を組み入れた計算を行い，必要な流下能力を有しているか検討．例えば</p> <p>3) 兵藤ら：相模川河口砂州フラッシュ特性の分析と総合的な土砂管理の推進に向けた展望，土木学会論文集B1（水工学），Vol.76，No.2，I_1417-I_1422，2020</p> <p>4) 山本ら：熊野川における河口砂州の動態と維持管理方策に関する研究，河川技術論文集第26巻，pp591.-596，2020.6</p>	<p>現地観測結果に基づき河口砂州再生を再現する計算は行われている．例えば，宇多らが沿岸漂砂と岸沖漂砂の両方で復元することを示しているが，沿岸漂砂と岸沖漂砂の寄与度については明確に示されていない．</p> <p>6) 宇多ら：等深線変化モデルによるフラッシュ後の河口砂州の復元予測，海岸工学論文集第51巻，p541-545，2004</p>
<p>竹村らが，物部川河口砂州が粒径100mm以上の石礫を含む点に着目し，石礫が存在することによる非平衡性を考慮することで，従来の河床変動計算よりも河口砂州の変形をよく再現できることを提示</p> <p>5) 竹村ら：洪水流による物部川河口礫州の開口と変形機構に関する研究，河川技術論文集第26巻，pp.669-674，2020.6</p>	
<p>流下能力が足りない場合は，河川管理者が河口砂州のフラッシュを促進する事前掘削3)，導流施設配置の工夫4)を比較検討している．</p> <p>3) 兵藤ら：相模川河口砂州フラッシュ特性の分析と総合的な土砂管理の推進に向けた展望，土木学会論文集B1（水工学），Vol.76，No.2，I_1417-I_1422，2020</p> <p>4) 山本ら：熊野川における河口砂州の動態と維持管理方策に関する研究，河川技術論文集第26巻，pp591.-596，2020.6</p> <p>太平洋側の台風性洪水イベントでは，洪水の前に高波浪が来襲するので，フラッシュ促進対策のトレンチが埋まらないかの検討・確認が重要．その検討が可能となる河口砂州変形を予測できる波浪地形変化計算手法の確立，埋塞してしまう場合の対応方策の確立が課題</p>	
洪水流による河口砂州フラッシュの実態観測	高波浪による河口砂州変形の実態観測
<p>平台風来襲時の高波浪と洪水来襲のイベント期間中，台風通過後の1年間の中期的な地形と波浪・流況の観測も行われており7)，変動実態についての情報が蓄積されつつある．</p> <p>7)：佐々木ら：台風期の高波浪が河口の水理・地形変動に及ぼす影響，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.71，No.2，pp.I_625-I_630，2015</p>	<p>河口砂州を発達させる岸方向の漂砂量推定式が提示されている8)が，地形変化実績を用いたチューニングが必要となる．</p> <p>8) 高川ら：台風0918号時の高波浪による天竜川河口砂州周辺の土砂移動実態の解明，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.66，No.1，pp.601-605，2010</p>

河口テラスは沿岸漂砂の供給源

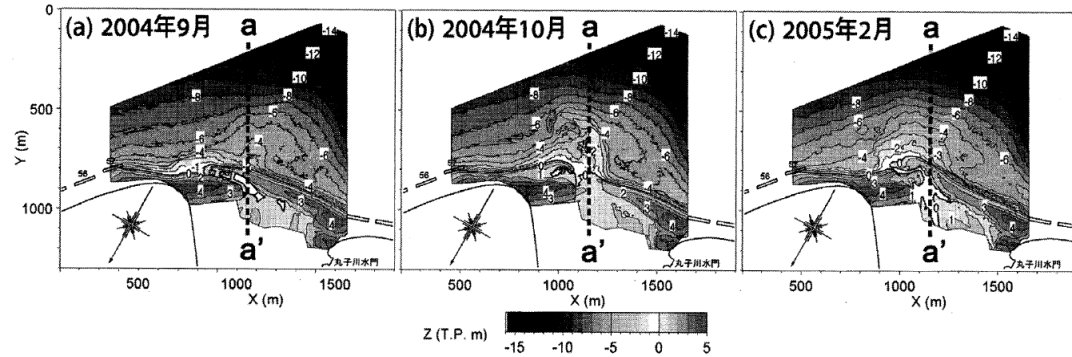
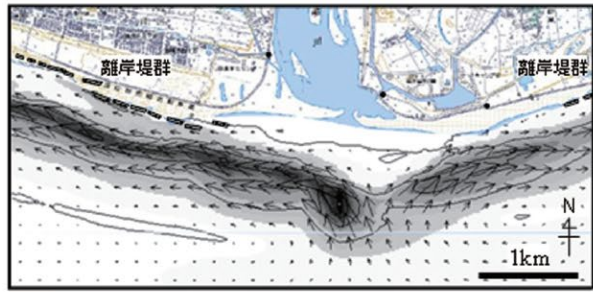
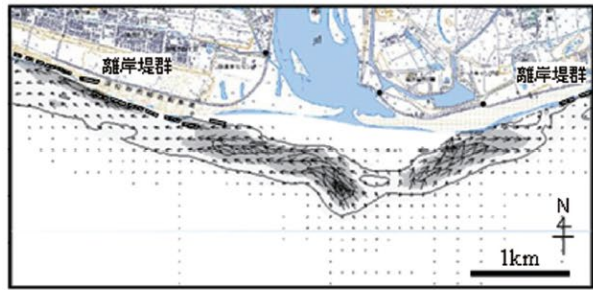


図-1 安倍川河口部の地形 (2004年9月, 10月, 2005年2月)

出典: 福濱ら, 粒径分級も考慮した河口テラスの形成・消失・砂州復元の予測モデル, 海岸工学論文集, 第55巻 (2008), 土木学会, p.496-500

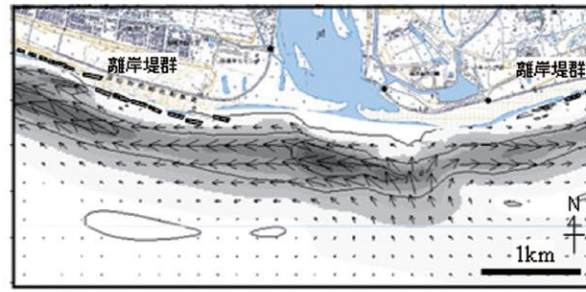


$1.2 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{yr}$
0 100 m^2/yr

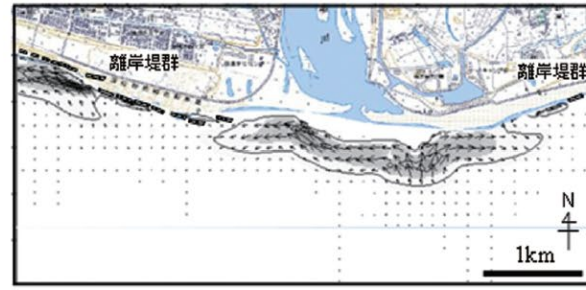


$7 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{yr}$
0 500 m^2/yr

図-7 1984年のテラス地形に対する局所漂砂量分布の算定結果 (上: 高波浪時 (E1), 下: 中波浪時 (E3))



$1.2 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{yr}$
0 100 m^2/yr



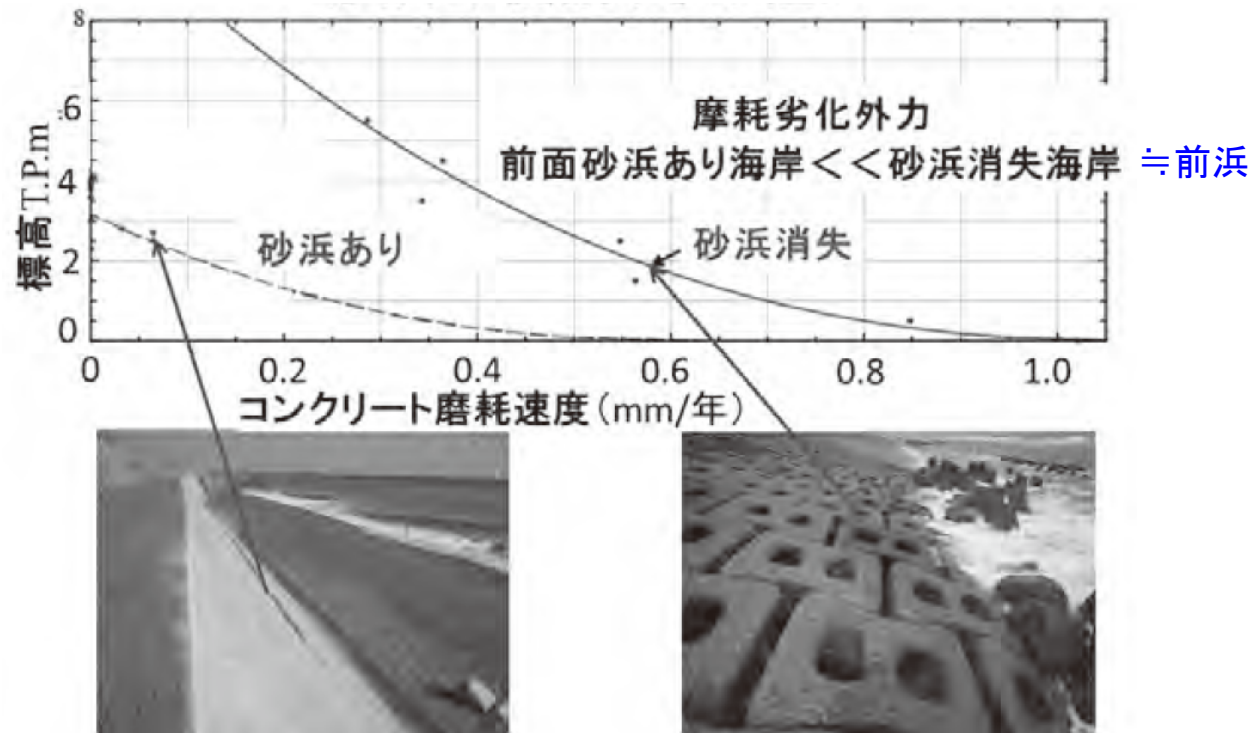
$7 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{yr}$
0 500 m^2/yr

図-8 2009年のテラス地形に対する局所漂砂量分布の算定結果 (上: 高波浪時 (E1), 下: 中波浪時 (E3))

出典: 和田ら, 天竜川河口テラス地形と沿岸域への土砂供給過程の長期変化, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.66, No.1, 2010, p.611-615

前浜は摩耗外力も厳しい・波力も厳しい

- 砂礫浜の前浜の碎波帯・遡上域内は砂礫による摩耗外力が大きいので、河口堰や水門のようなハードな施設を置くことは困難である。



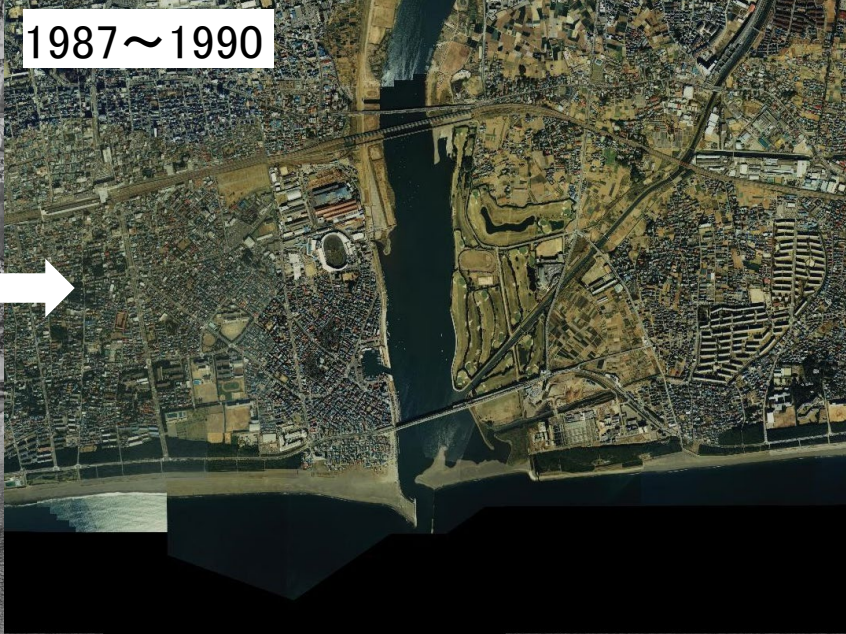
河口部地形の長期変形

- 河口部は、古くから港湾や漁港として利用され、沿川に市街地が開けている場合も多い。河口砂州は、洪水流の流下という観点から見ると、上流水位を堰上げて沿川を浸水させる懸念があり、流下能力のコントロールポイントとなる場所であり、治水計画上掘削を予定している場合もある。港湾や漁港に出入りする船の吃水深が大きくなると、航路の水深を大きくする必要が生じ、泊地が不足している場合には、掘り込んで泊地を拡大する必要が生じるので、利用面から河口部の河道を掘削する場合もある。また、波浪の影響で航路の利用がしにくい場合には、防波堤を築造する場合もある。港湾や漁港が発展すると、河口周辺の市街化・地域開発が進み、周辺海岸で高波浪対策や侵食対策が必要になる場合もある。
- これらの防災上・地域開発上の人為的働きかけ(流下能力増加目的の河道掘削・砂利採取による河道や河口テラスの掘削、河口部周辺海岸の消波ブロック防護、河口部の導流堤・防波堤の設置、航路浚渫、河口隣への港湾・漁港の新設)は、結果的に河川と波浪の平衡状態を変化させ、意図しない河口部の地形変化という応答として現れる場合がある。
- 意図しない河口部地形変化例は、河口砂州の河道内への後退と支川合流部や排水路の閉塞→内水被害の増大・維持浚渫の増大、開口部の縮小・後退砂州の拡大・発達→流下能力不足・砂州フラッシュタイミング遅れの懸念、周辺海岸の侵食→侵食対策・越波対策の増大、航路の埋没→維持浚渫の増大等がある。

1961~1969



1987~1990



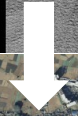
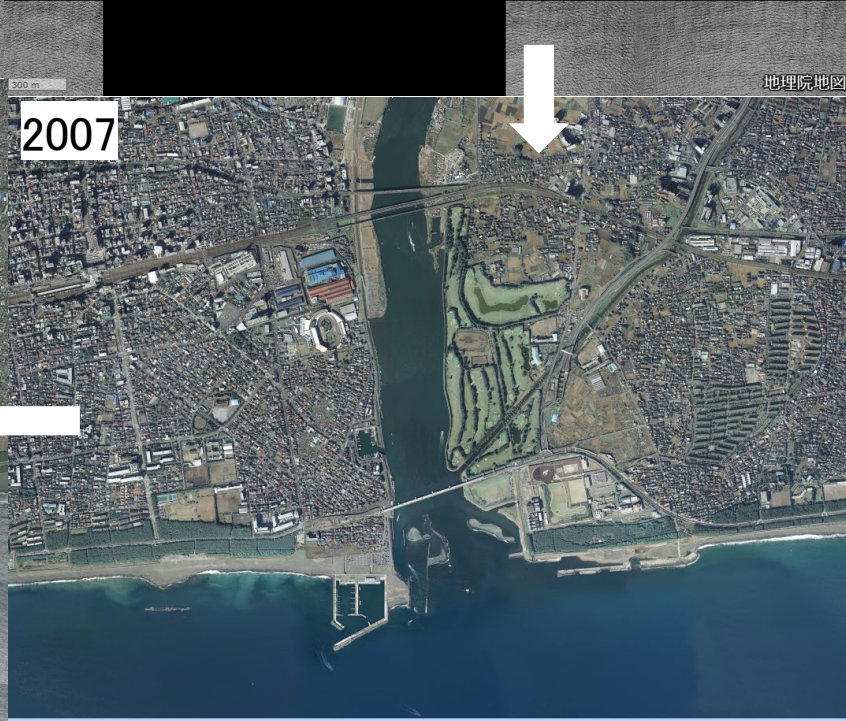
地理院地図

地理院地図

2019



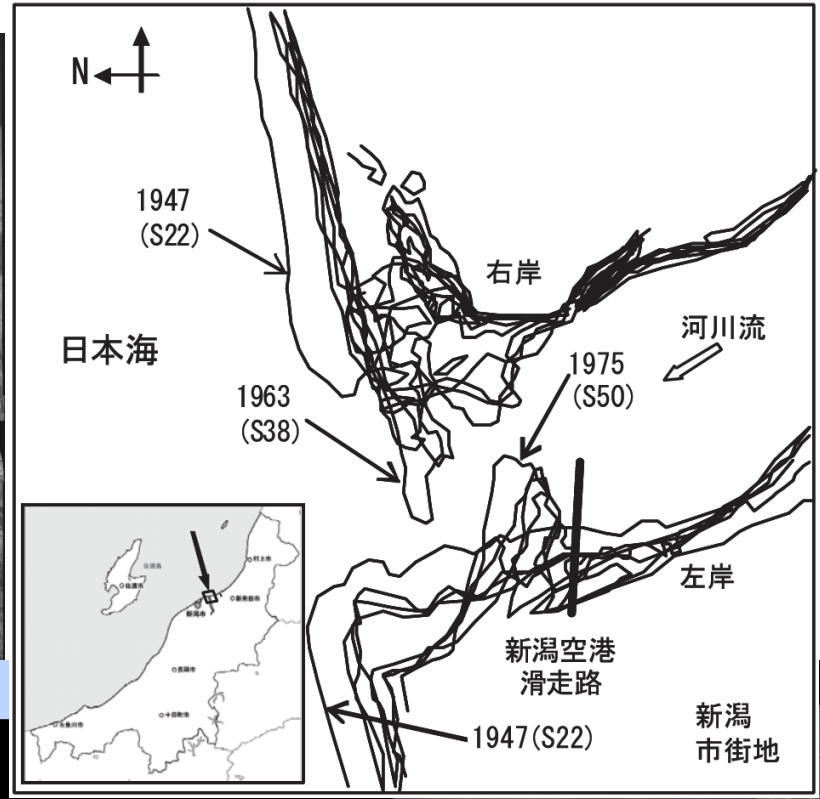
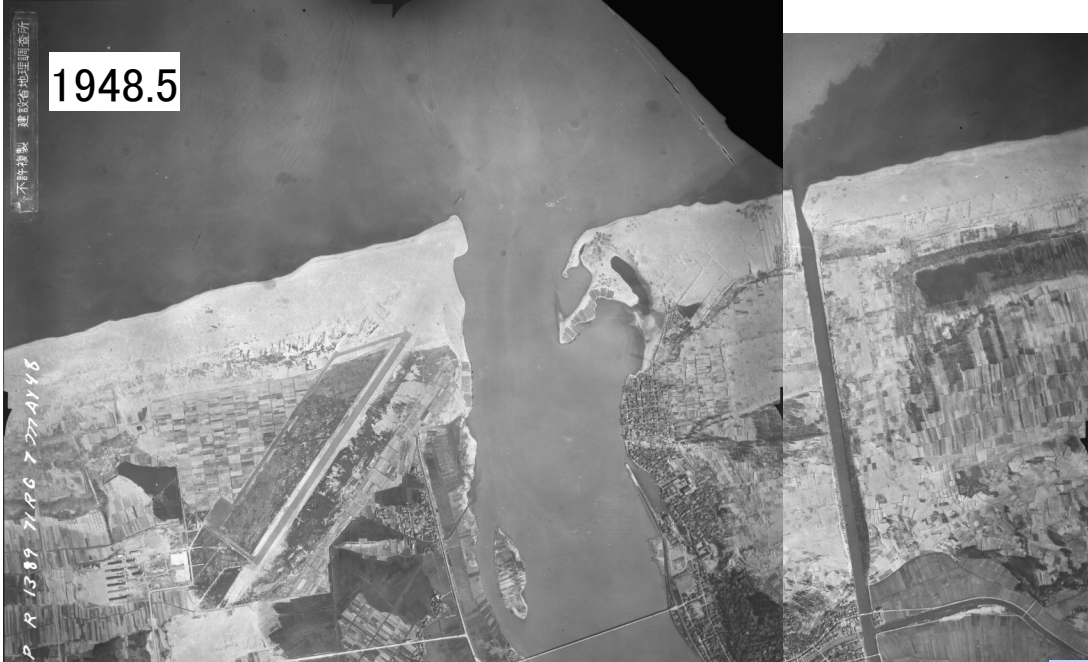
2007



地理院地図

地理院地図

1948.5

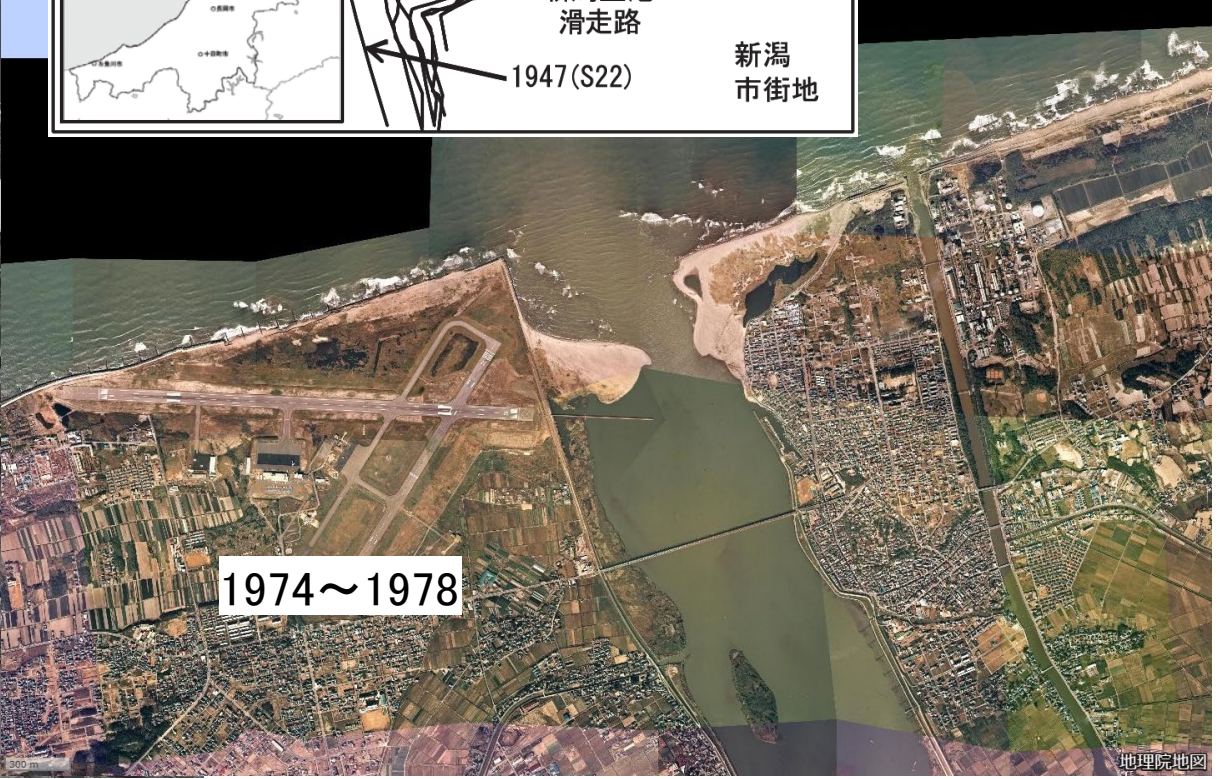


細山田ら: 数値計算による阿賀野川河口砂州地形の形成について, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I_561-I_565, 2011

1961~1969



1974~1978





2009.12.10取得

2011.3.11
東日本大震災津波

2011.3.13取得

← 約3週間 → 2011.4.6取得

2011.10.8取得
南側

← 約7ヶ月 →



2009年12月10日取得

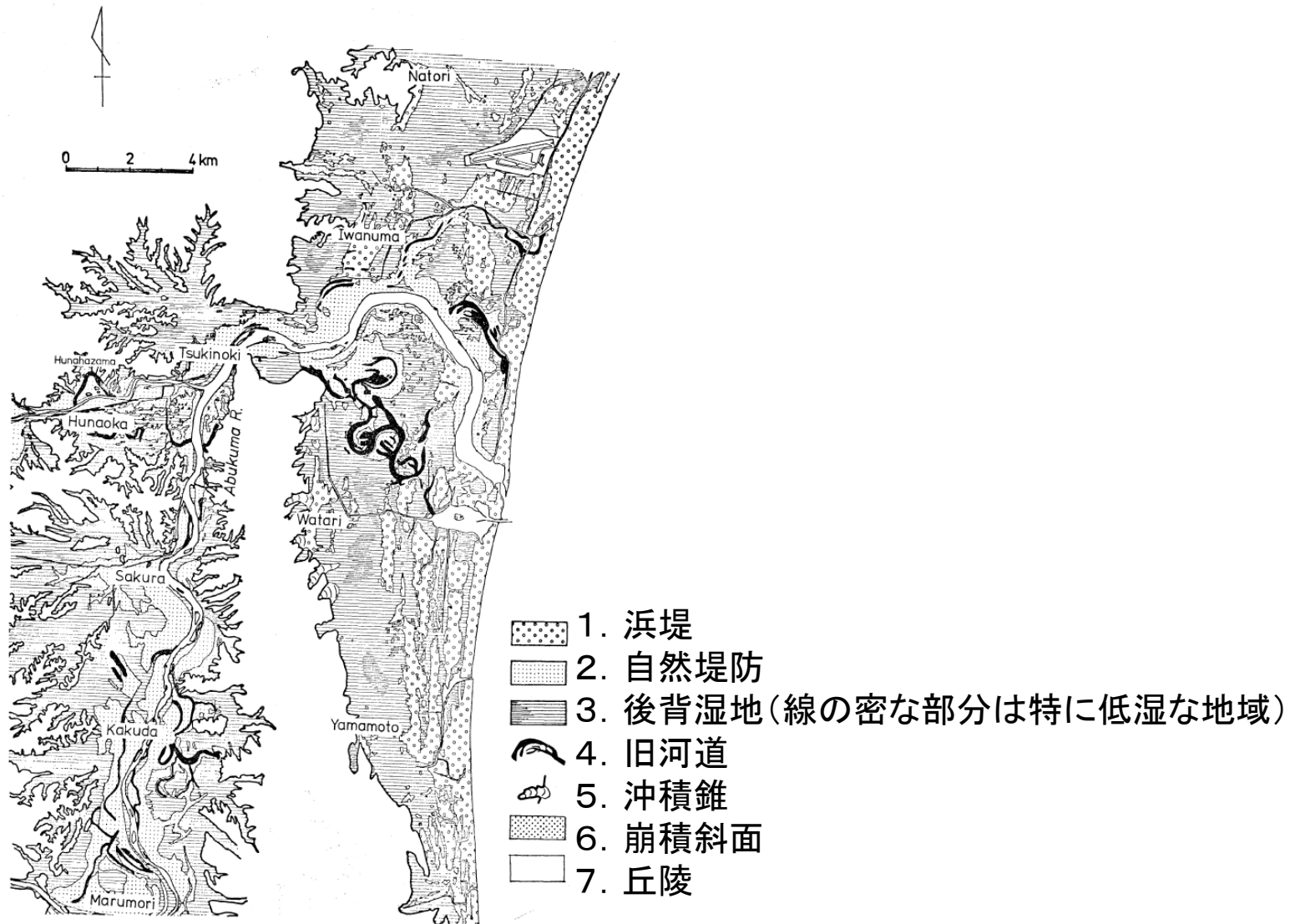
2011年3月13日取得

2011年4月6日10月8日取得

約3週間
開口部閉塞せず
津波湾・湾奥に砂浜形成

約7ヶ月
開口部閉塞せず
津波湾・湾奥に砂浜形成

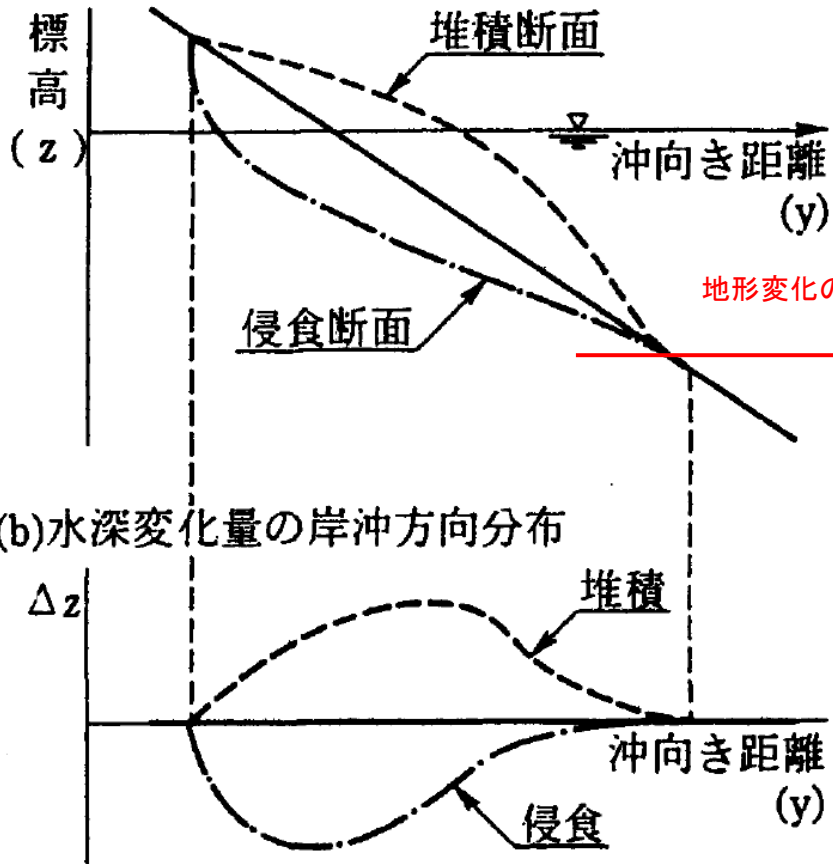
セットバックで砂浜形成期待できる浜堤列地形



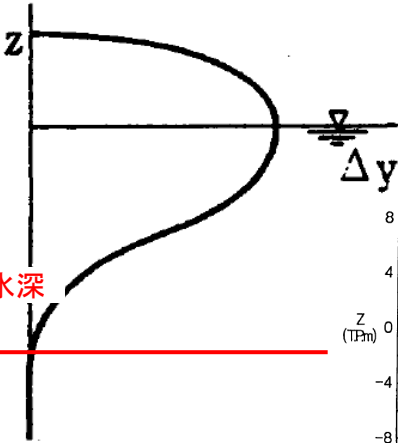
第2図(b) 仙台平野の微地形分布(南部)

沿岸漂砂量，地形変化の限界水深

(a) 海浜縦断面形の変化



(c) 等深線の水平方向
変化量の水深方向分布



(b) 水深変化量の岸沖方向分布

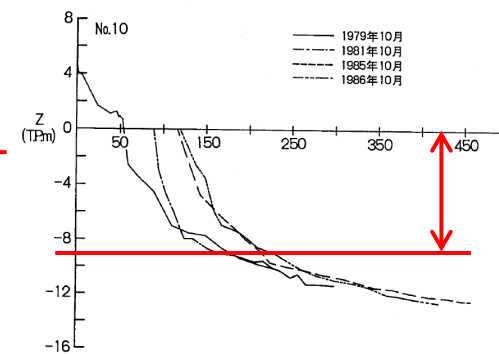
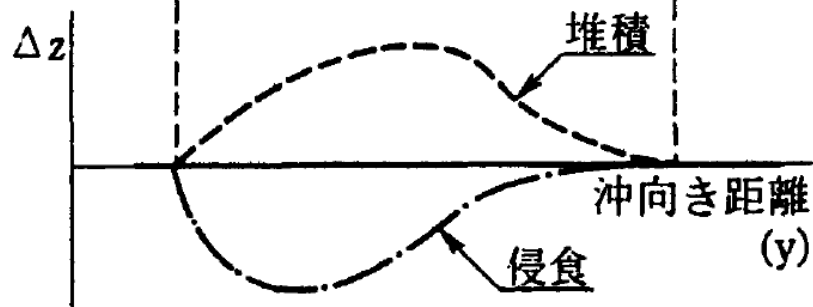


図-21 新潟県親不知海岸の断面変化

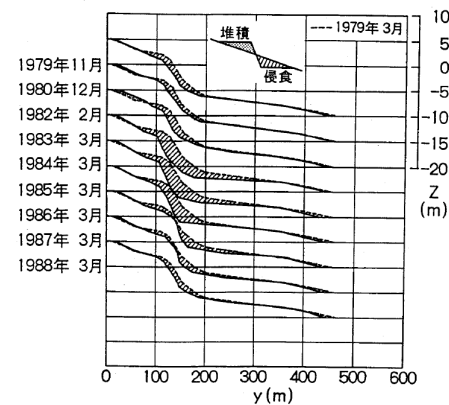


図-22 静岡清水海岸の断面変化

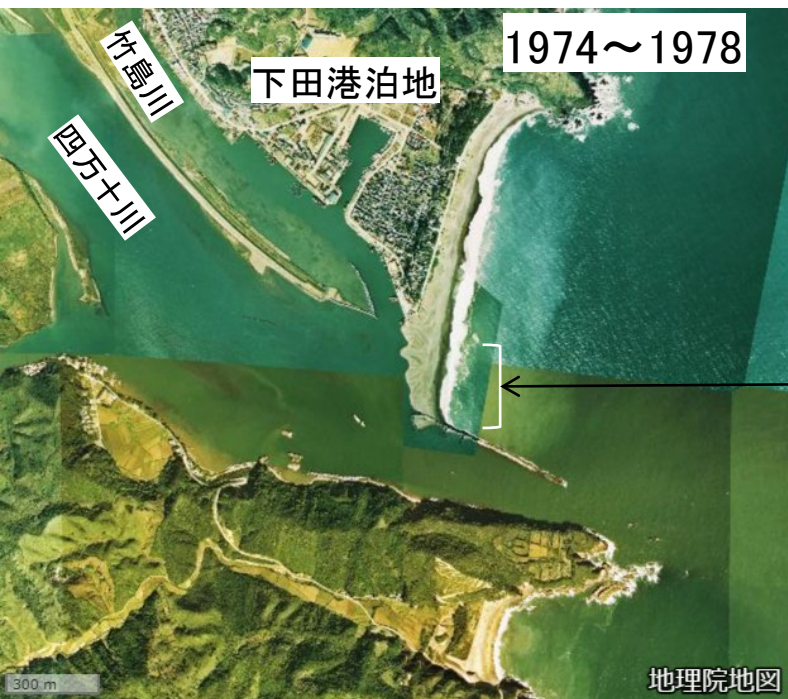
表-3 地形変化の限界水深

位置	所在県	海岸名	$h_c(m)$
外海	オホーツク海	北海道 標津	4
		太平洋 日高	6
	青森	三沢	10
		宮城 大曲	8
	茨城	阿武隈川河口	8
		神岡上	8
	神奈川	大洗	9
		西湘	5
	静岡	富士	12
		蒲原	10
		清水	8
		駿河	6
		遠州 (福田)	12
		遠州 (今切)	13
日本海	高知	高知	10
	鳥取	皆生	8
		新潟 境	8
	市振	10	
内海	東京湾	神奈川 金沢	1
		伊勢湾 三重 鈴鹿川河口	2.5
	瀬戸内海	兵庫 松帆	1.5
		舞子ヶ浜	2.5

図-3 沿岸漂砂量の岸沖分布と水深方向分布

宇多高明・河野茂樹: 海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発, 土木学会論文集, No.539/II-35, p.121-139, 1996.5 に加筆

宇多高明: 日本の海岸侵食, 1993夏期研修会資料, B-3, p.B-3-1~B-3-20, 1993 に加筆



1974~1978

下田港泊地

1982.8.27洪水で
フラッシュ
1982.8.28~9.13
約2週間で回復

地理院地図



2002.5.24撮影

下田港泊地



2006.8.15取得

下田港泊地

2005.9台風波浪で崩壊
2006.11回復

- 凡例
- ??? (blue diamond)
 - ??? (orange diamond)
 - ???? (green diamond)
 - ?????? (red diamond)
 - ???????? (purple diamond)
 - アイテム 1 (green diamond)
 - アイテム 2 (blue diamond)



2011.8.12取得

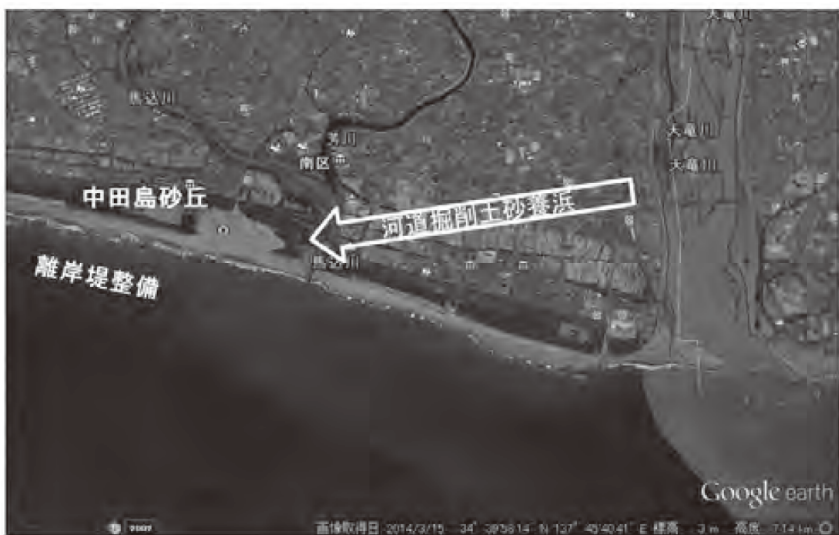
下田港泊地

砂嘴

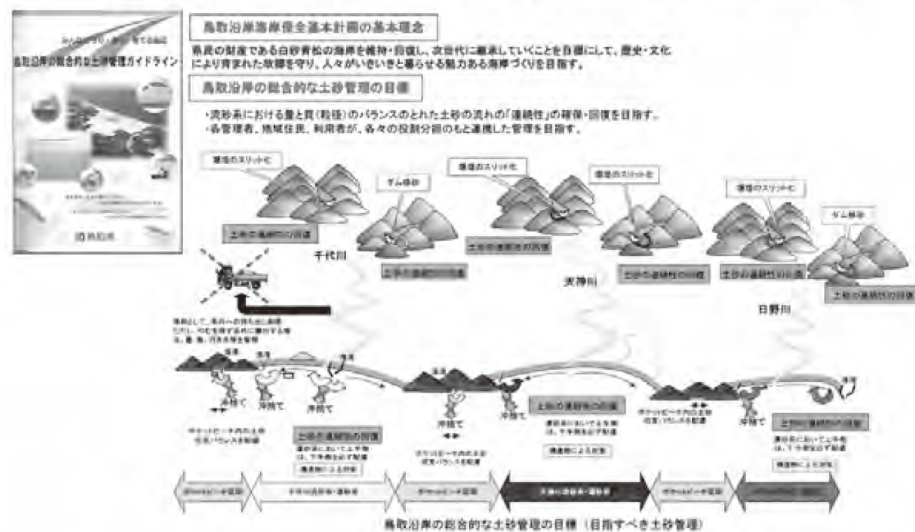
砂州は上流に移動・縮小
その後河口砂州回復見られない

- 凡例
- ??? (blue diamond)
 - ??? (orange diamond)
 - ???? (green diamond)
 - ?????? (red diamond)
 - ???????? (purple diamond)
 - アイテム 1 (green diamond)
 - アイテム 2 (blue diamond)

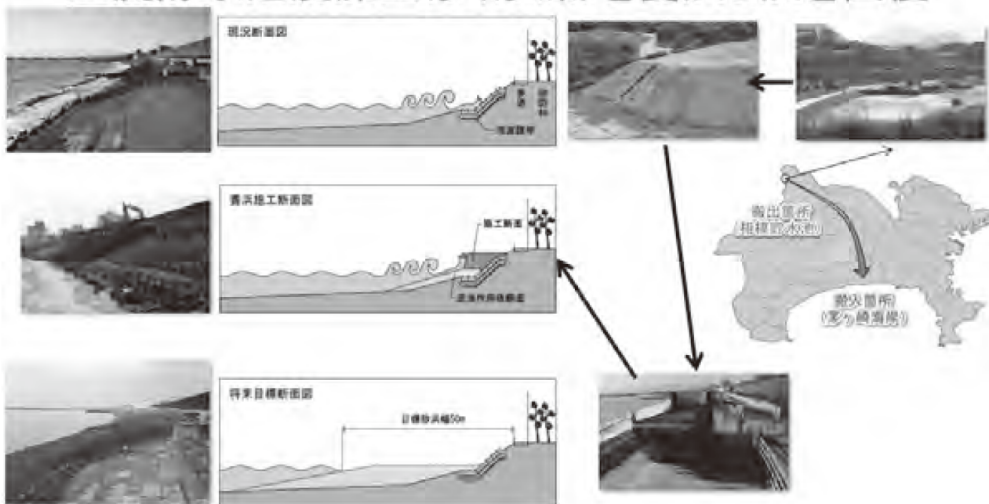
連携による侵食対策例等



平成26年度 河川研究セミナー講演録 —総合土砂管理—



平成26年度 河川研究セミナー講演録 —総合土砂管理—



出典: <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f4866/p14019.html>

平成26年度 河川研究セミナー講演録 —総合土砂管理—

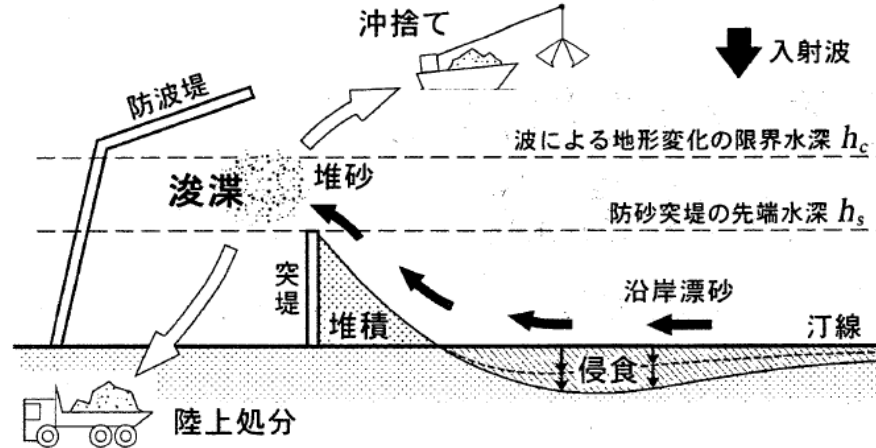
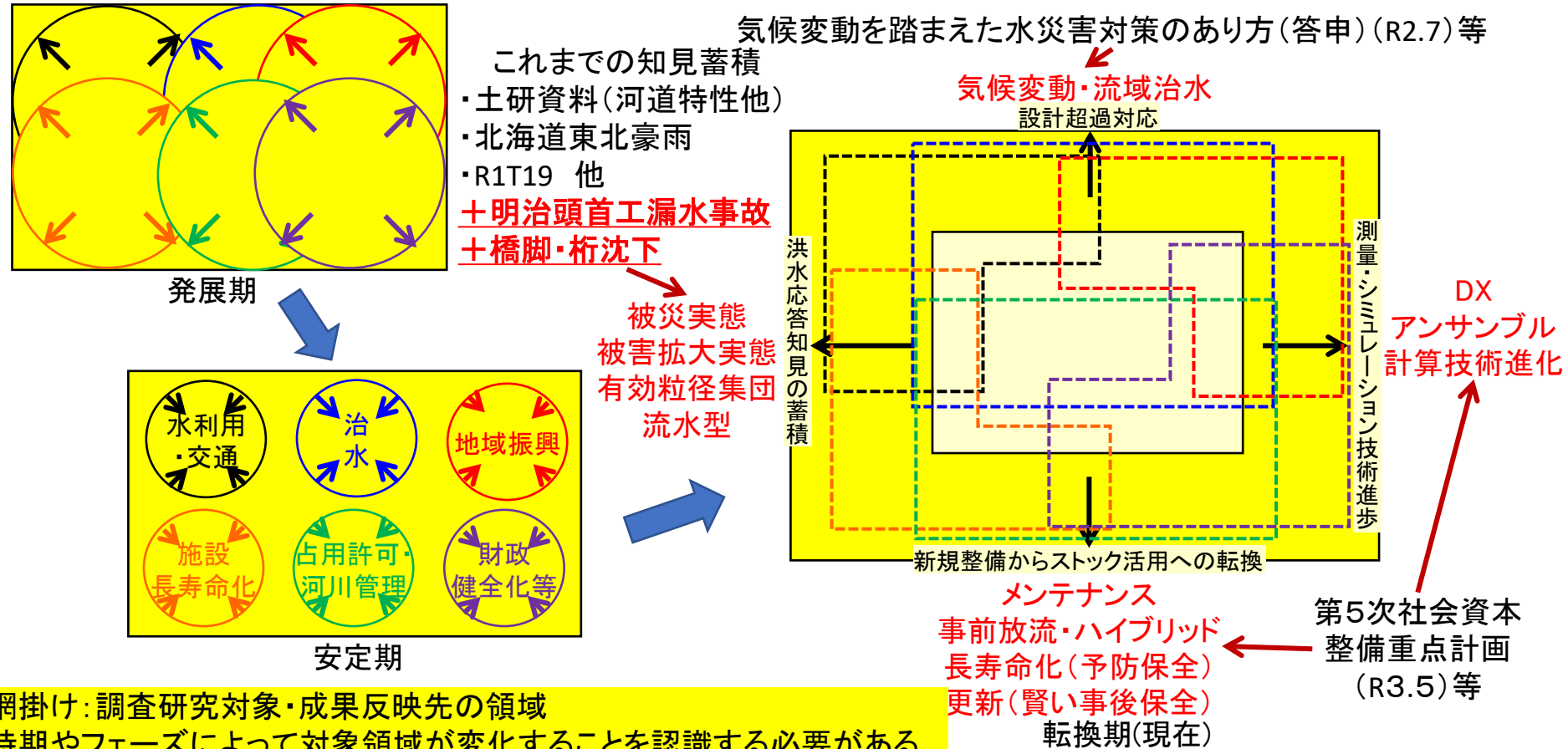


図-2 漁港・港湾における浚渫と土砂の再堆積

宇多高明: 漁港・港湾・河川の基準における浚渫の取り扱いと海岸侵食, 海洋開発論文集, 第21巻, pp.463-pp.467, 2005年7月

周辺状況が大きく転換する時期 気候変動(流域治水)・DX・メンテナンス・洪水応答知見蓄積



まとめ

■ 文献から整理した河口砂州既往知見

- 河口砂州は海浜流で形成される。波浪影響が卓越する外洋に面した河口で形成されやすい。
- 河口砂州の洪水流によるフラッシュと流下能力検討は、フラッシュ事例の観測を検証材料に、2次元・3次元の数値計算技術による検討が可能になった。
- 粒径の大きな礫で構成される河口砂州は、大礫の影響を考慮できる計算を行わないと河口砂州の変形が再現できないことが報告されている。
- 河口砂州の流下能力確保対策は、越流を促す事前掘削、砂州高が発達しにくい場所に導流施設を設ける等が検討されている。

■ 本原稿で新たに得た知見・保全再生の検討必要事項

- 河口砂州の形成は沿岸漂砂と岸沖漂砂の両方によって起こるものの、津波後の砂浜形成事例、四万十川の河口砂州復元事例から、隣接する砂礫浜からの沿岸漂砂の寄与が高いと推察された。
- 河口砂州の形成を促進する隣接砂礫浜と切り離さざるを得ない施設配置となる場合、隣接砂礫浜が消失した場合には、岸沖方向漂砂だけで河口砂州を再生することは難しいと推察された。
- 利便性を高める施設配置が必要・河口砂州と隣接砂礫浜からの沿岸漂砂供給が減少せざるを得ない(隣接砂礫浜と一体の河口砂州にできない)場合は、浚渫砂礫の養浜活用を促す持続的な連携が重要である。浚渫実施者と砂礫浜・河口砂州管理者の連携を促進する総合土砂管理計画作成が有効である。
- 隣接砂礫浜と一体性がない河口砂州は河道内に後退し、支川や排水口を埋塞する場合もある。周辺砂礫浜から沿岸漂砂が流れ込み河口砂州が上下流方向に太く、開口幅が小さくなるケースもみられる。
- 隣接砂礫浜と一体の河口砂州とするには、直流型・突出型の河口にすることが有効である。そのために大量養浜、セッバックが有効と考えられる。
- 河口砂州の高波浪による消失の観測データが十分でない。沿岸漂砂供給が期待できない条件で浅瀬から河口砂州形成に必要な条件が明確でない。州島形成メカニズムが参考になると考えられるが、州島形成の条件も解明途上である。