

# 沿岸域での土砂移動に関連する 港湾・海岸における技術課題

中川 康之

[nakagawa@p.mpat.go.jp](mailto:nakagawa@p.mpat.go.jp)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

港湾空港技術研究所 沿岸環境研究領域

沿岸土砂管理研究グループ



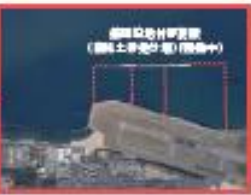
# 目次

1. はじめに
2. 沿岸域の土砂移動現象
3. 海岸・港湾の施設維持との関係
4. 新潟西港での土砂動態の研究事例
5. 土砂移動に関連する課題と解決策
6. おわりに

# 本講演におけるキーワード

- 沿岸域、浅海域、河口域、水域施設（航路・泊地）
- 輸送外力（潮汐流、波浪、海浜流、河川流ほか）
- 底質輸送、土砂移動、堆積物
- 浚渫、維持浚渫、埋没対策、侵食対策

# 情報誌PARIによる現場取材



Close Up 現場からの報告

## 新潟西海岸事業のその後と西港地区での航路整備

2012年に取材した新潟西海岸の整備事業のその後と、新潟西港で行われている航路浚渫事業を取材しました。



国土交通省 北陸地方整備局 新潟西港・西港整備事務所 港務課長 清水利浩さん  
 国土交通省 北陸地方整備局 新潟西港・西港整備事務所 工務課長 廣木智秀さん  
 新潟空港技術研究所 近隣環境対策部 建設・土木調整室グループ 中川康之 室長兼グループ長



新潟西海岸整備事業の航路

今回は港空研の中川康之泊岸環境研究領域長とともに新潟西港に訪れ、新潟西海岸の整備事業の現状を国土交通省北陸地方整備局 新潟西港・西港整備事務所の清水利浩港務課長に、また新潟西港の航路整備について同事務所 廣木智秀工務課長に、それぞれお話を伺いました。

### 面的防壁工法を導入した新潟西海岸の整備事業

新潟西海岸は、信濃川が運ぶ土砂が日本海に流出して堆積した砂浜海岸です。明治以降、上流から運ばれる土砂量が減少したことで汀線が徐々に後退し、測量を開始した1889年から最大350mもの後退を余儀なくされました。背後は数

育機関や文化施設、企業や官公庁などが立ち並ぶ新潟市の中心市街地で、周辺には住宅も密集しています。海抜ゼロメートル地帯のため、海岸の侵食が進むと高波が襲ったときに常に浸水してしまう危険があります。

このため1983年に「新潟西海岸整備財委会」が作られ、新しい優先対策として「面的防壁工法」を導入した整備事業が行われています。面的防壁工法とは、沖合の渾濁や安定などの構造物を複合的に配置し、砂浜を造成することで波のエネルギーを徐々に奪取させる方式です。海岸形状を安定的に維持することが可能で、広く穏やかな水域と砂浜が創れるので親水空間としての利用もできます。港空研は、この事業の開始当初から

「ただいでいます」（清水港務課長）  
 完成すれば延長約3.4kmの砂浜が広がる新たな親水空間として生まれ変わり、市民の安全を守るだけでなく憩いの場としても活躍することが期待されます。

### 新潟西港地区の航路浚渫事業

また、新潟西港の航路浚渫事業についてもお話を伺うことができました。  
 新潟西港地区は信濃川河口に位置する河川港で、長距離フェリーや離島航路が発着し、人や物流の拠点となっています。上流には二つの分水があり、大量の水を分水に流すことで新潟市を水害から守っていますが、信濃川上流から運ばれてきた土砂が分水を越じて新潟西港に運ば



大型浚渫機が回収した土砂「白山」

運した土砂は環境省の許可を得て

- 新潟西港および西海岸での整備事業を紹介
- 令和3年1月発刊予定（編集中）

1. はじめに

「海岸・港湾における施設の維持管理」



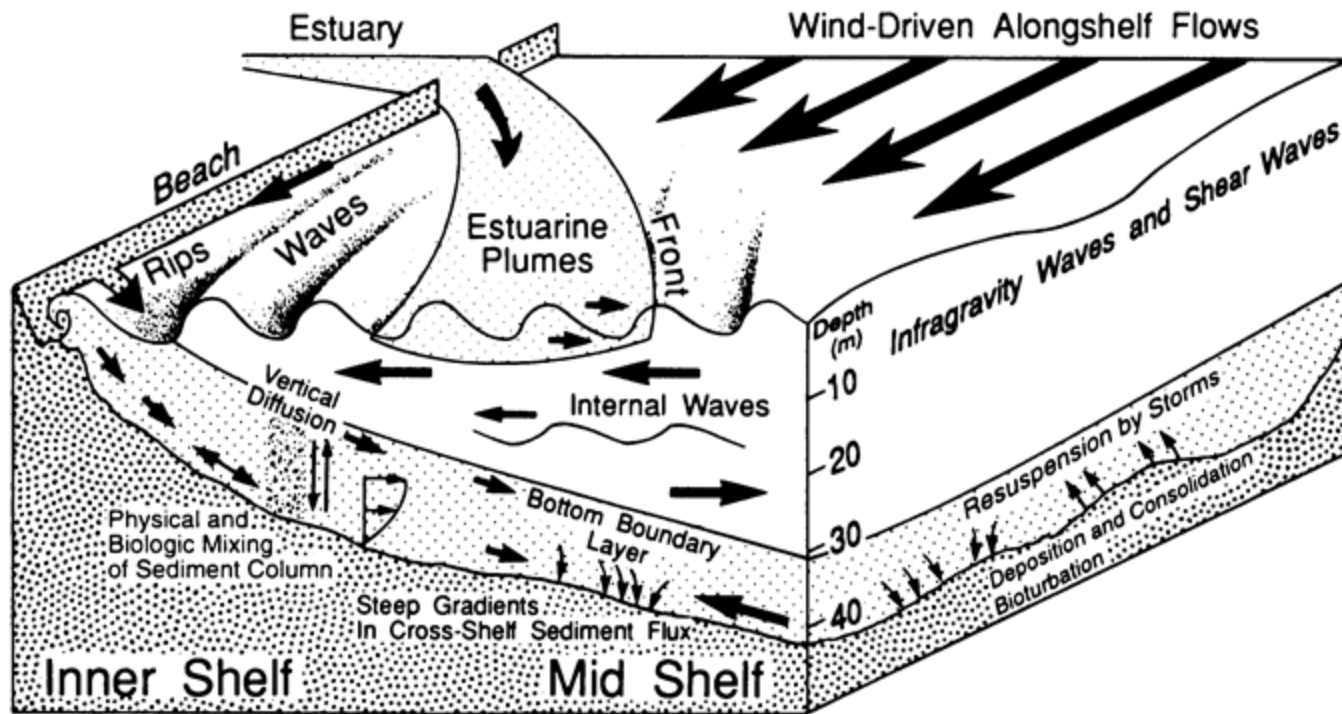
海岸保全施設や水域施設の維持管理  
自然外力にさらされつつ変化する面的  
な海底地形の管理



外力（波浪や流れなど）による地形変化  
の自然の仕組みの理解が重要

## 2. 沿岸域の土砂移動

# 沿岸域での土砂（底質）輸送



**FIGURE 24.** Conceptual diagram illustrating physical transport processes on the inner shelf. (From Nittrouer, C. A. and Wright, L. D., *Rev. Geophys.*, 32, 85, 1994. With permission.)

河川流下土砂、波浪、潮汐、底面せん断応力、再巻き上げ、沈降

## 2. 沿岸域の土砂移動

# 底質分布の形成に係る外力と堆積物の供給

対象外力	底質供給源
<ul style="list-style-type: none"><li>・ 潮汐流</li><li>・ 波浪・海浜流</li><li>・ 河川水流入</li><li>・ 吹送流</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 河川起源</li><li>・ 海成起源</li><li>・ 堆積物等の浸食</li></ul>

海域毎に異なる外力と供給の条件により底質分布等が決まる



## 2. 沿岸域の土砂移動

# 底質輸送を生じさせる外力（流れ）・・・潮汐流

## 潮位振幅の分布

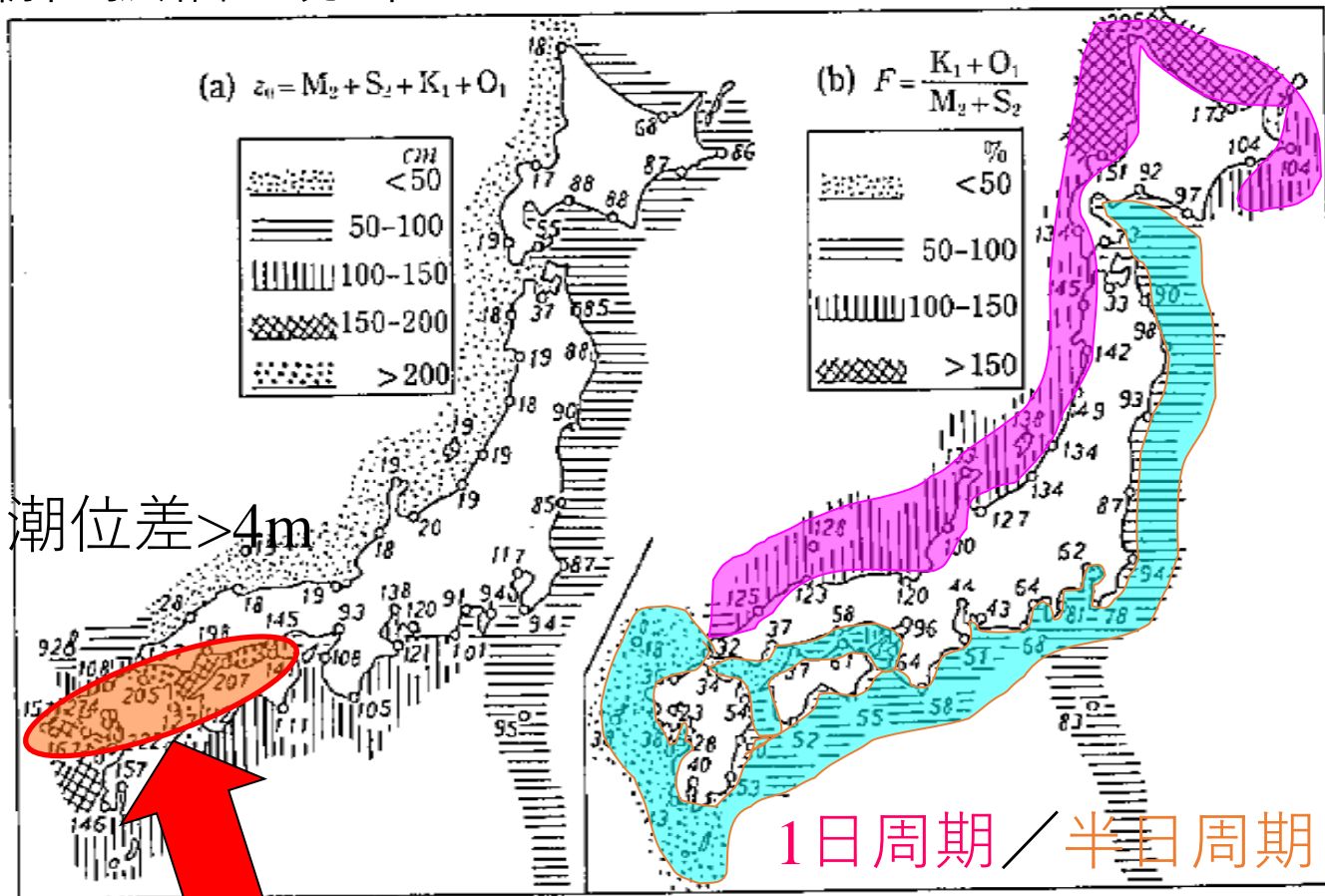


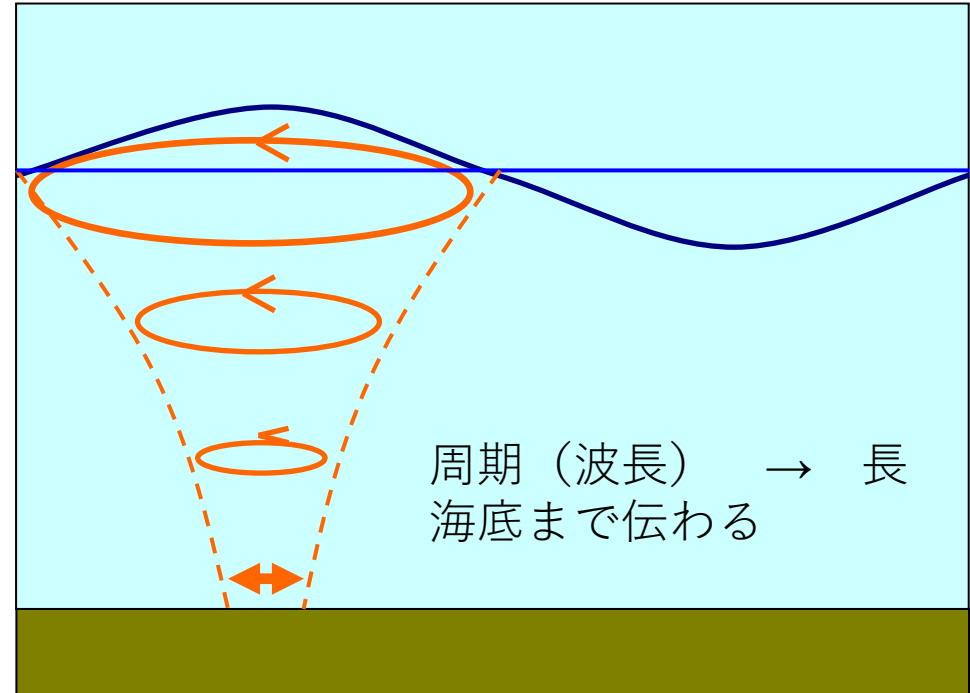
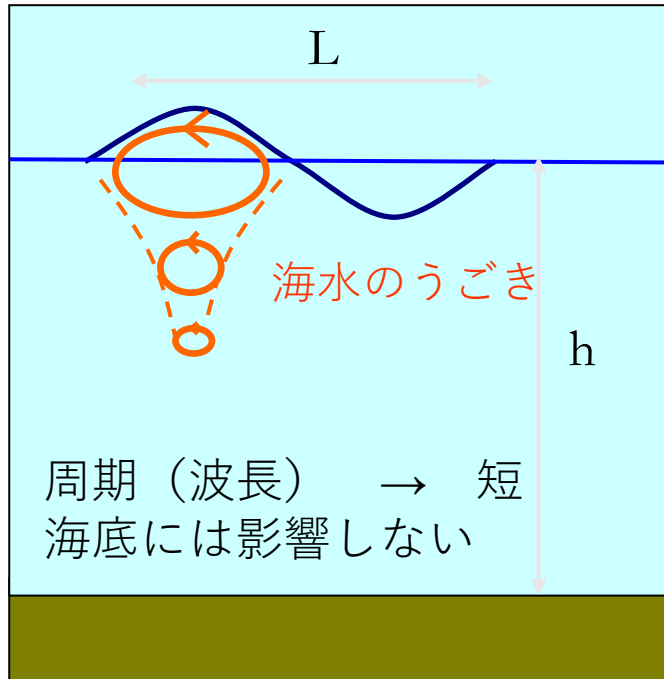
図 19 (a) 日本沿岸における主要4分潮の振幅和 ( $z_0$ , cm) と、  
(b) 日周潮と半日周潮の振幅比 ( $F$  %)

潮流による底質輸送が顕著  
→有明海（泥干潟），瀬戸内海（サンドウェーブ）



## 2. 沿岸域の土砂移動

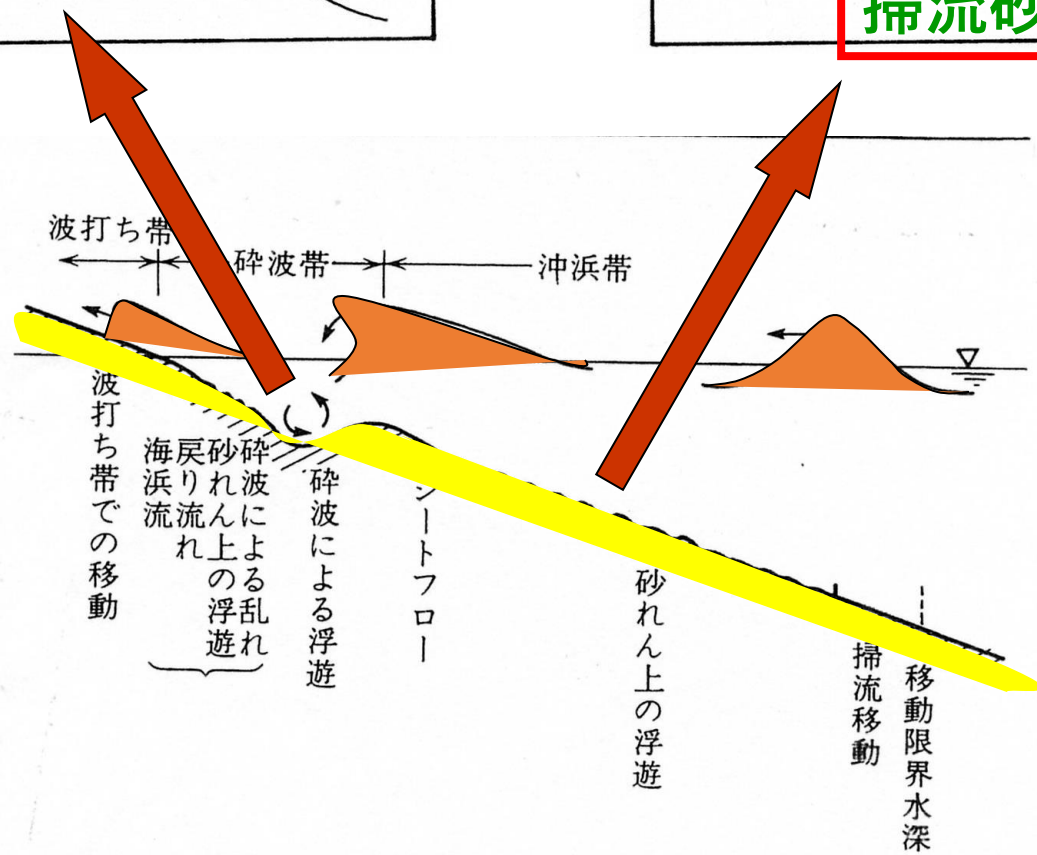
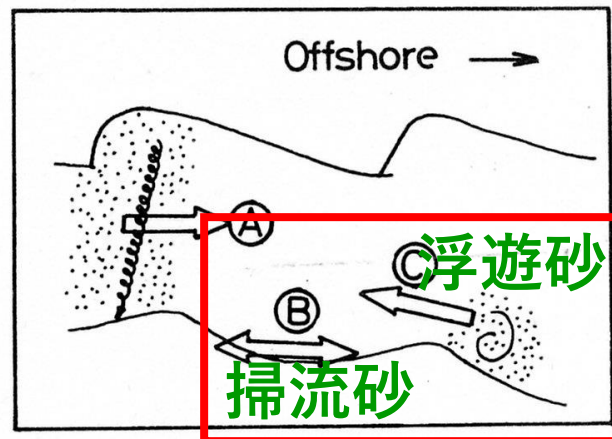
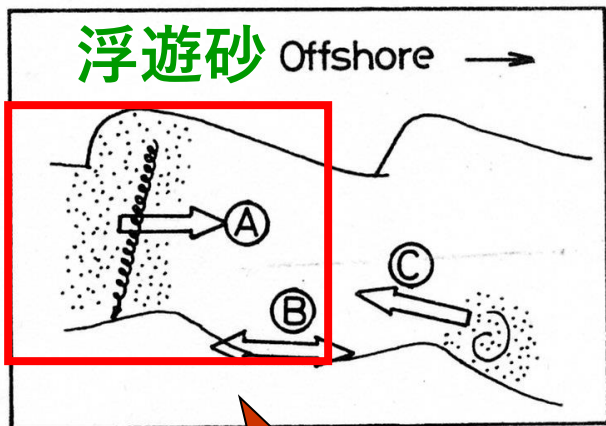
# 波浪の海底への影響



$h > L/2$  : 深海条件

周期3s (通常風波) → 水深7mより深いと底泥の動きには無関係  
たとえば水深25m → 周期が約6s以上にならないと波の影響は海底まで伝わらない

## 2. 沿岸域の土砂移動



## 2. 沿岸域の土砂移動

# 河口域での土砂堆積



阿賀野川河川事務所HPより



図28 昭和6年ごろの新潟港周辺 大日本帝国陸地測量部五万分一地形図「新潟」(昭和6年修正)から

©新潟港湾・空港整備事務所



大正6年「新潟港修築設計図」



## 2. 沿岸域の土砂移動

# 沿岸域の底質

開放性海岸  
(砂浜域)



閉鎖性海域  
(内湾域)



漂砂



泥 (シルト・粘土)



海岸侵食

航路・泊地埋没

水域環境管理

## 2. 沿岸域の土砂移動

# 底質の粒径区分

(地盤工学会基準)

0.005      0.074      2.0      75      (mm)

粘土	シルト	砂	礫	石
泥分		粗粒分		石分

◎粒径区分方法と粒径毎の呼び名については他にも基準あり

◎ $\phi$ 表示による粒径表示方法 ( $d = 1 / 2^\phi$ )

## 2. 沿岸域の土砂移動

# 流速と堆積物の移動との関係

シルト、粘土分については粒径以外の要素  
(粘着性、圧密など)が重要

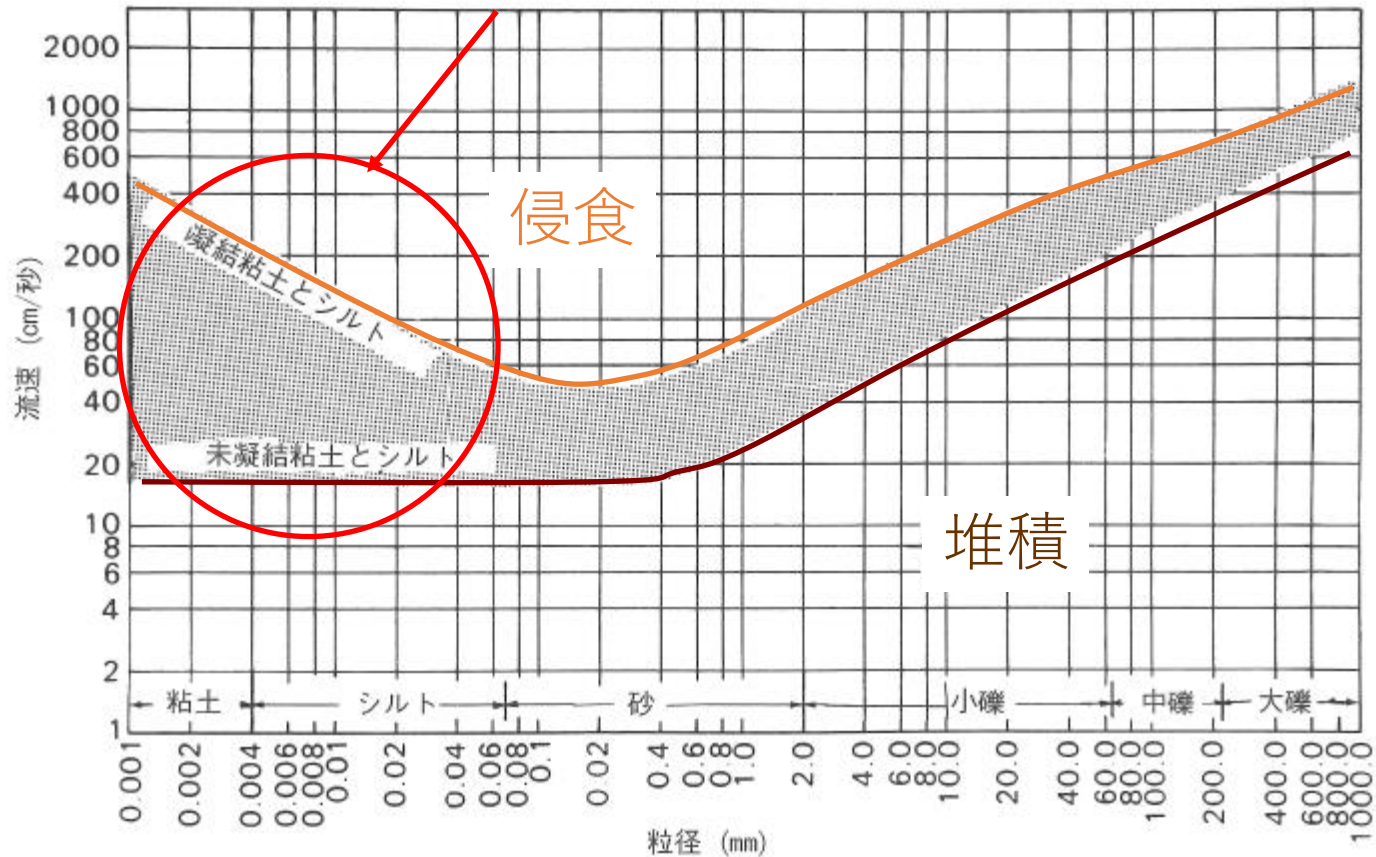
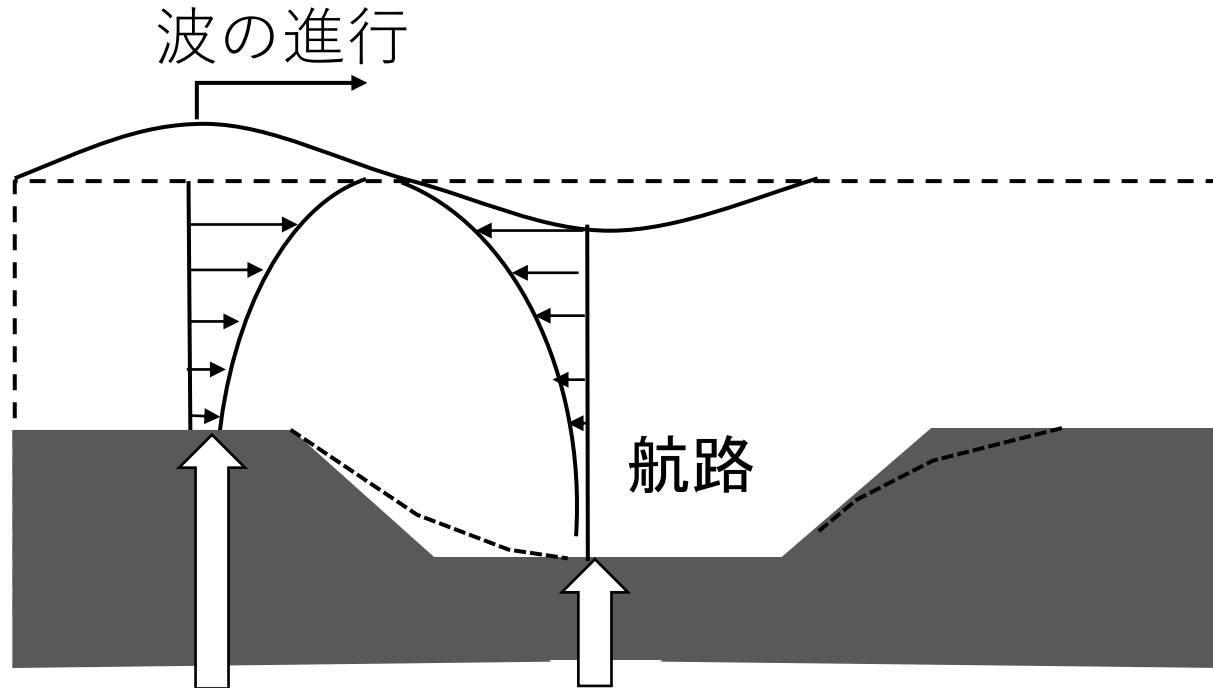


図 5.2 堆積物が運搬されるために必要な流速と堆積物の粒径との関係 (「Hjulstrom 曲線」). このグラフは粒径のそろった淘汰のよい堆積物にのみ適用できる. (J. Gilluly ら, 1968, "Principles of geology" W.H. Freeman 中の A. Sundborg, 1956, Geogr. Ann. 38:127 にもとづく)

### 3. 海岸・港湾の施設との関係性

## 航路（浚渫部）の埋没



$\tau_b(\text{航路外}) > \tau_b(\text{航路内})$ , ( $\tau_b$ : 底面せん断応力)

航路内（深部）での輸送外力の低下



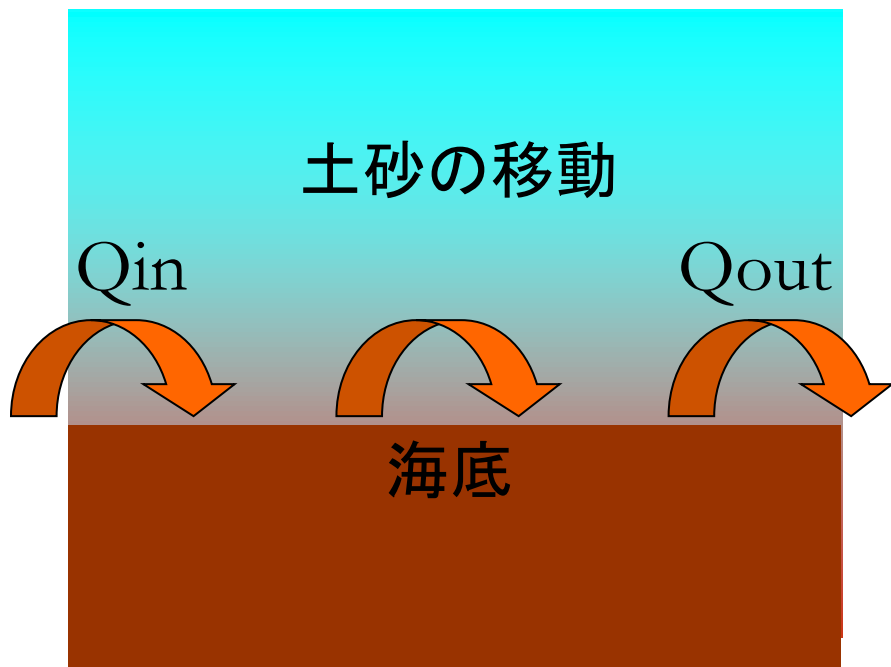
### 3. 海岸・港湾の施設との関係性

## 航路（浚渫部）の埋没

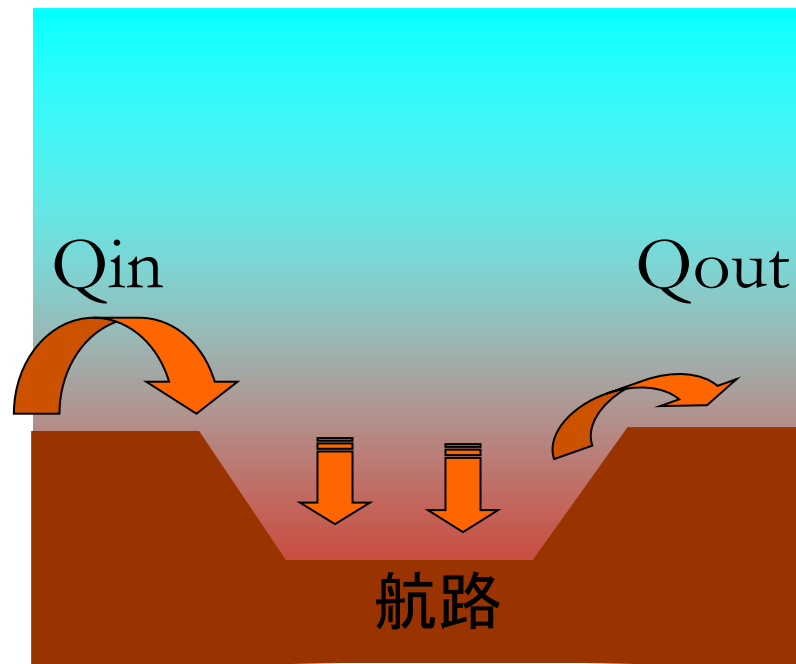
浚渫前

浚渫後

土砂の移動



$$Q_{in} = Q_{out}$$

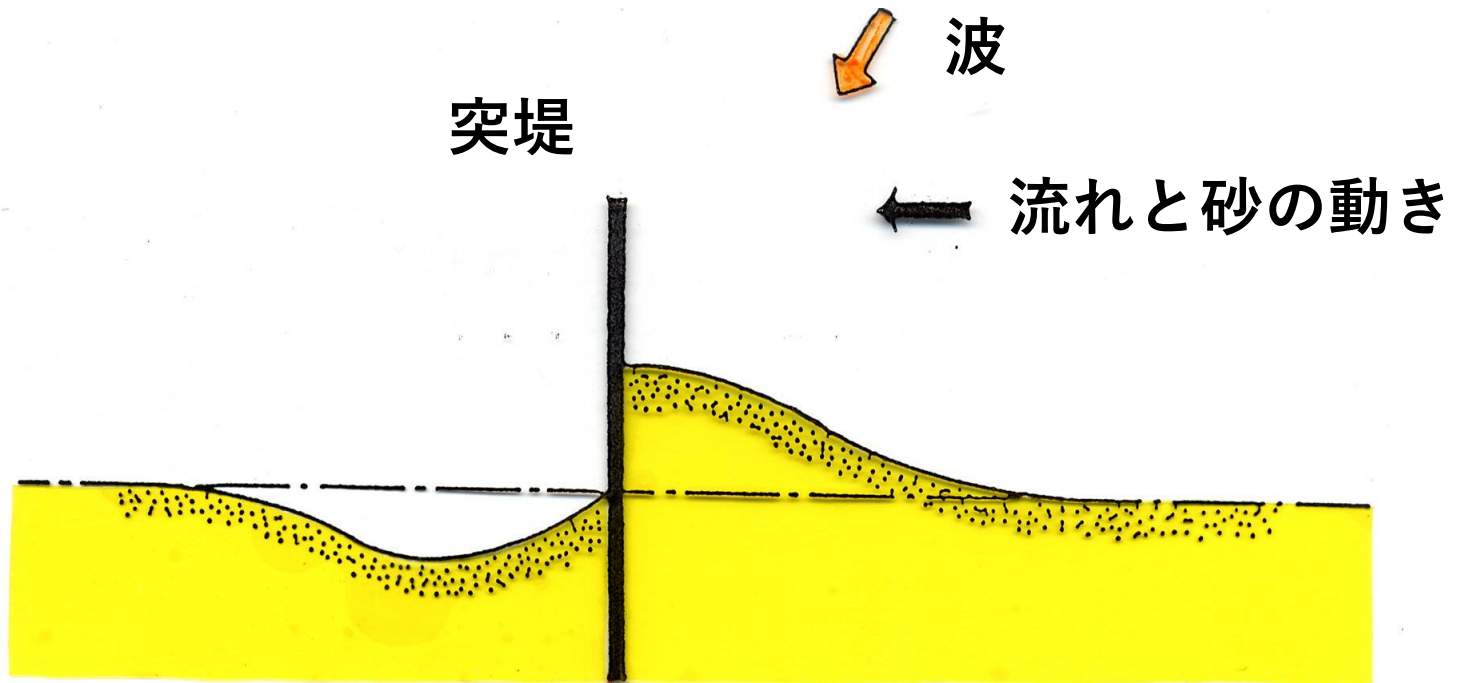


$$Q_{in} > Q_{out}$$

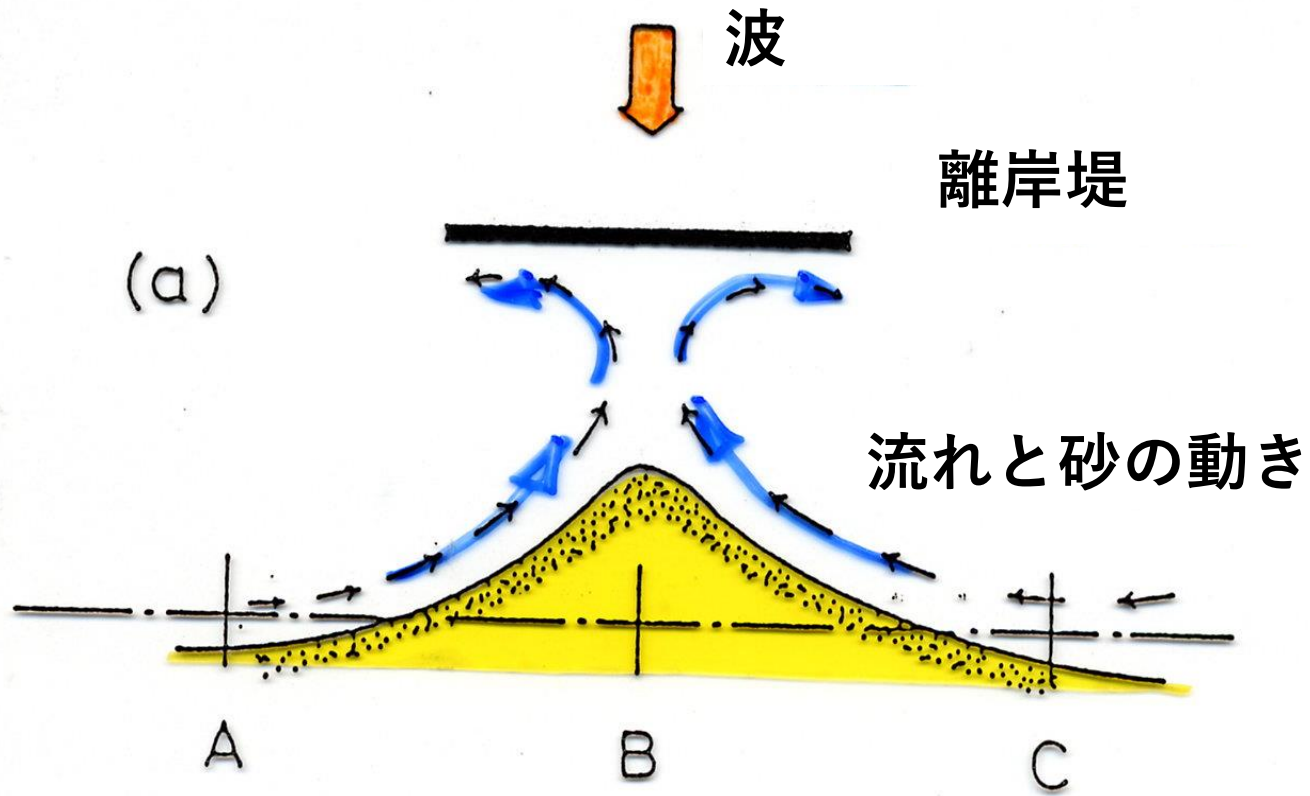
土砂の出入りがバランスして 土砂の出入りのバランスがいれば地形変化はおこらない  
浚渫による地形変化に伴う土砂収支バランスの変化  
崩れると地形変化が生じる

### 3. 海岸・港湾の施設との関係性

## 沿岸漂砂による地形変化

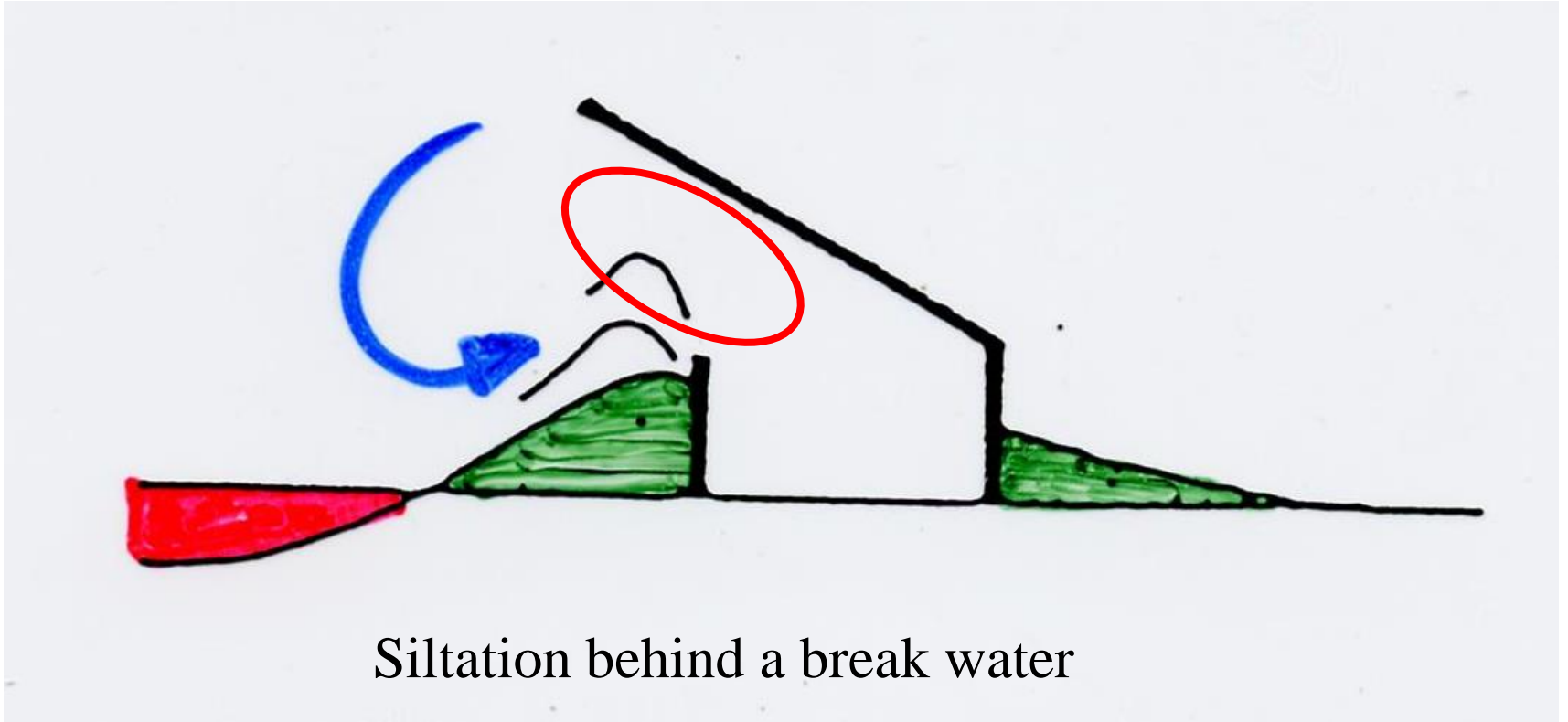


### 3. 海岸・港湾の施設との関係性



3. 海岸・港湾の施設との関係性

# 防波堤背後での埋没



## 埋没メカニズムのまとめ

- 自然外力による底質移動現象
- 防波堤や浚渫による土砂輸送バランスの変化
- 高波浪時（長周期化）の底質移動
- 出水時の底質移動
- イベント時の土砂移動

# 河口港での航路整備

- 日本国内の浚渫量  
年間約  $20 \times 10^6 \text{ m}^3$  (国土交通省)
- 土砂処分場の確保が難  
(特例を除き水域処分はできない)
- 浚渫土砂軽減も検討する必要あり
- 埋没現象 (きわめて間欠的) の情報不足



## 本研究の目的

堆積土砂軽減策の検討に資する河口域での土砂輸送と港湾内での堆積プロセスの解明

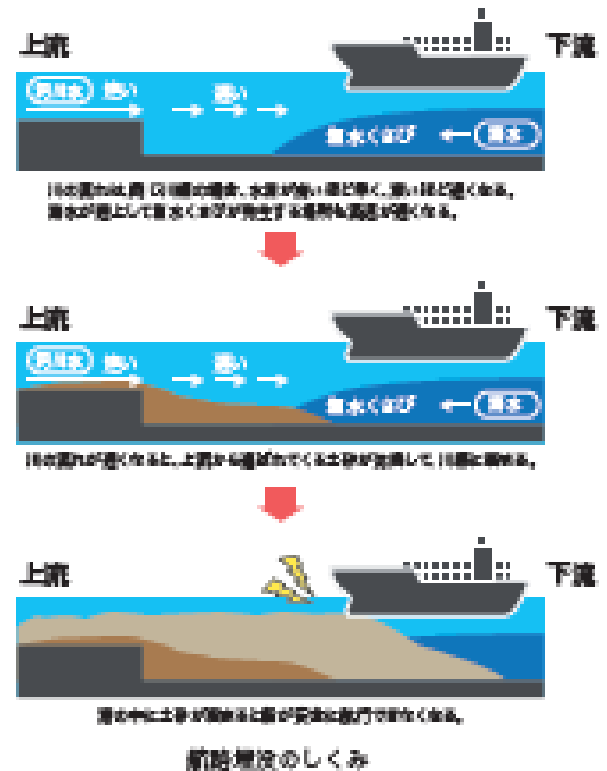
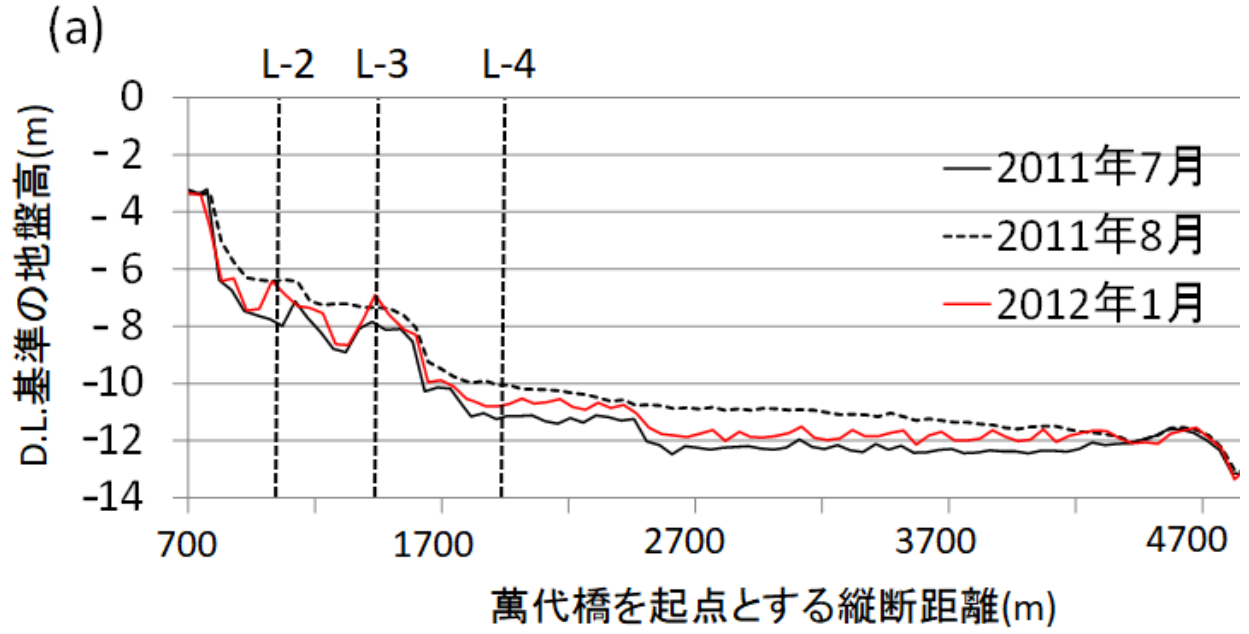
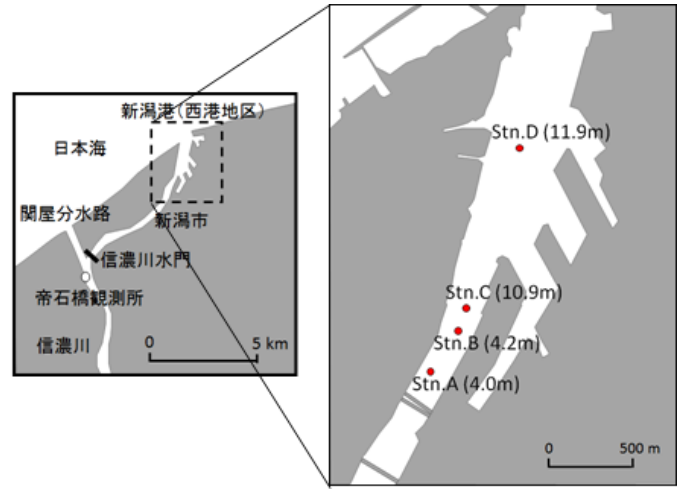


4. 新潟西港での研究事例

# 河口港湾の埋没の特徴

海講 (2015&2016)

- 信濃川河口
- 年間約70~80万m<sup>3</sup>の堆積土砂
- 出水条件に応じた非定常性

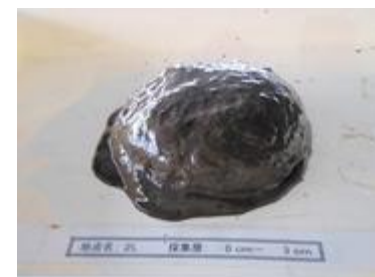


新潟港湾・空港整備事務所資料より



# 埋没現象把握のための現地観測

- 深浅測量（原則毎月一回，新潟港湾空港整備事務所）

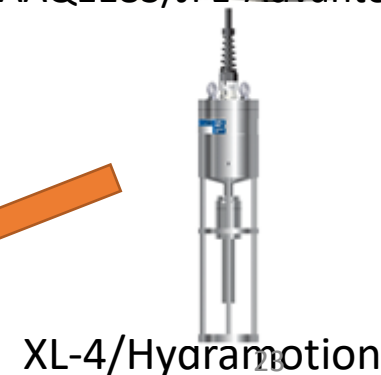


- 底質コアサンプル

- 水温・塩分・濁度（SS濃度）

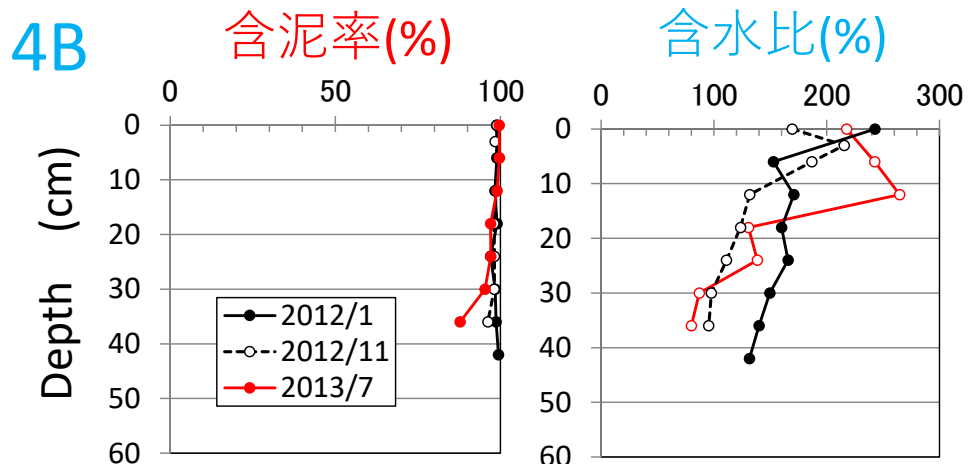
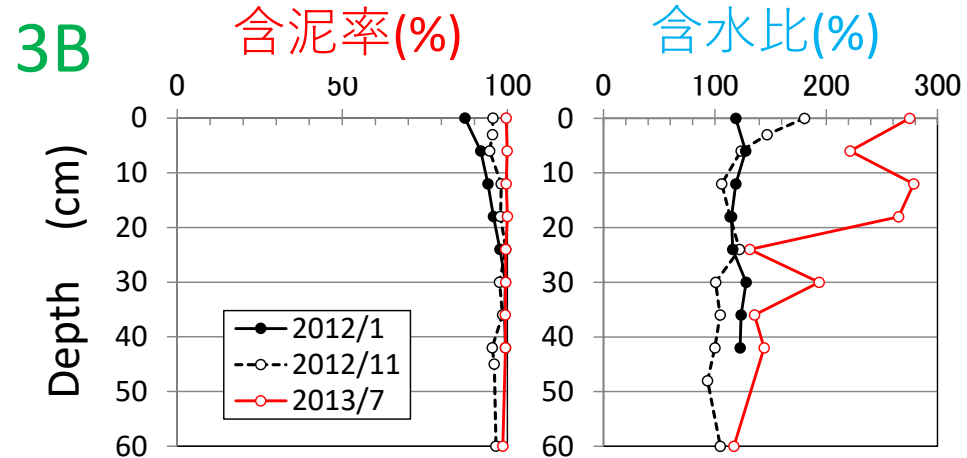
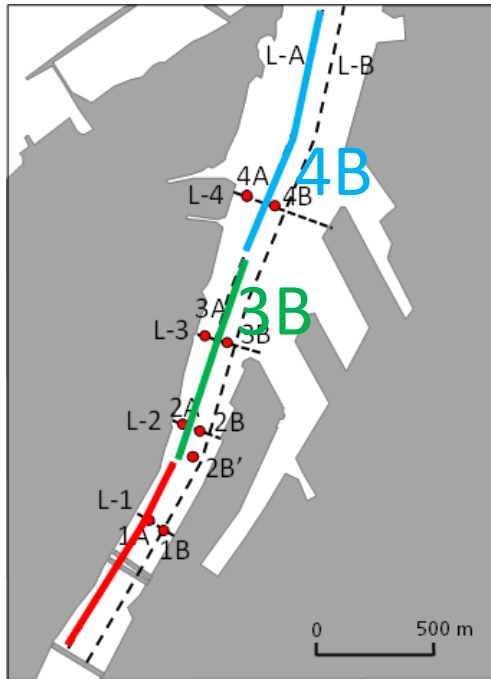


- 底泥湿潤密度（現場測定）



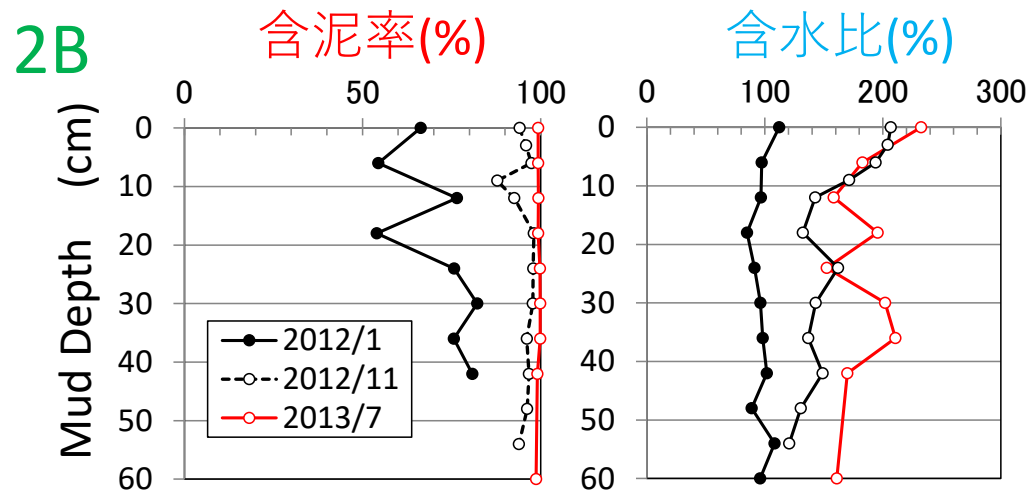
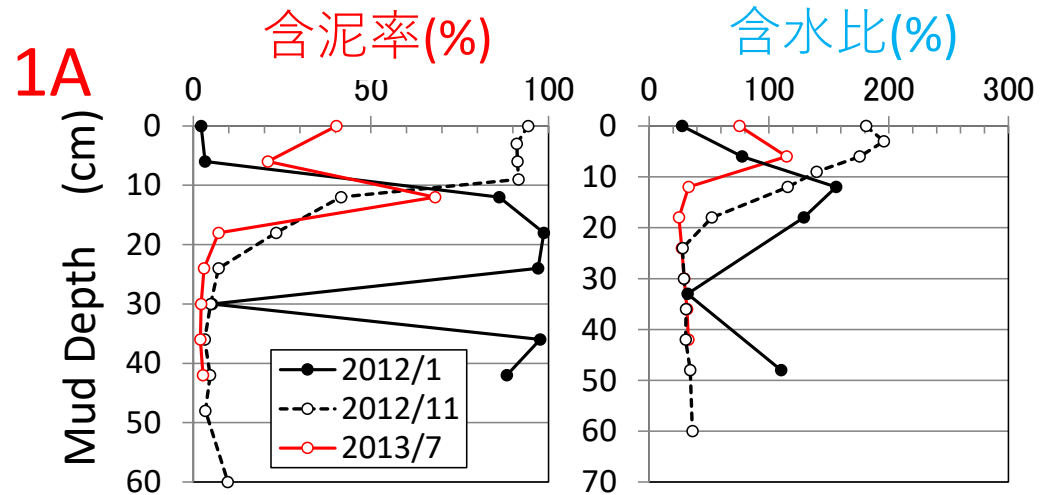
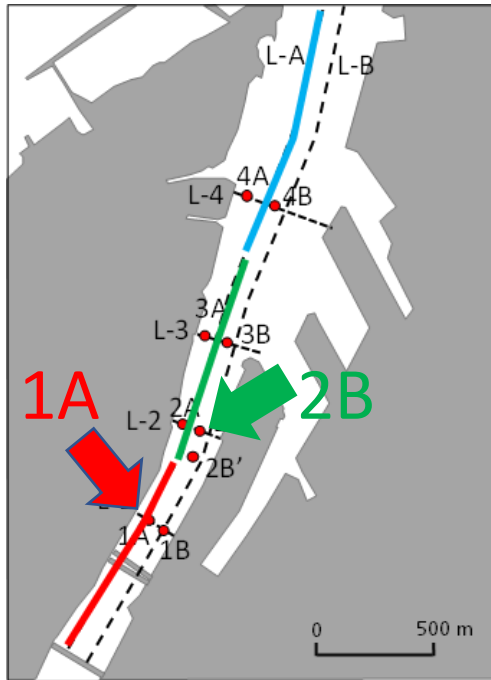
\*観測時期 :1) Jan. 2012, 2) Nov. 2012 & 3) Jul. & Aug. 2013

# 底質の経年変化（内港～外港）



- 含泥率はほぼ90%以上の泥質（粘土・シルト）が主体
- 2013年7月（夏期降雨時）に含水比が上昇

# 底質の経年変化（上流～内港）



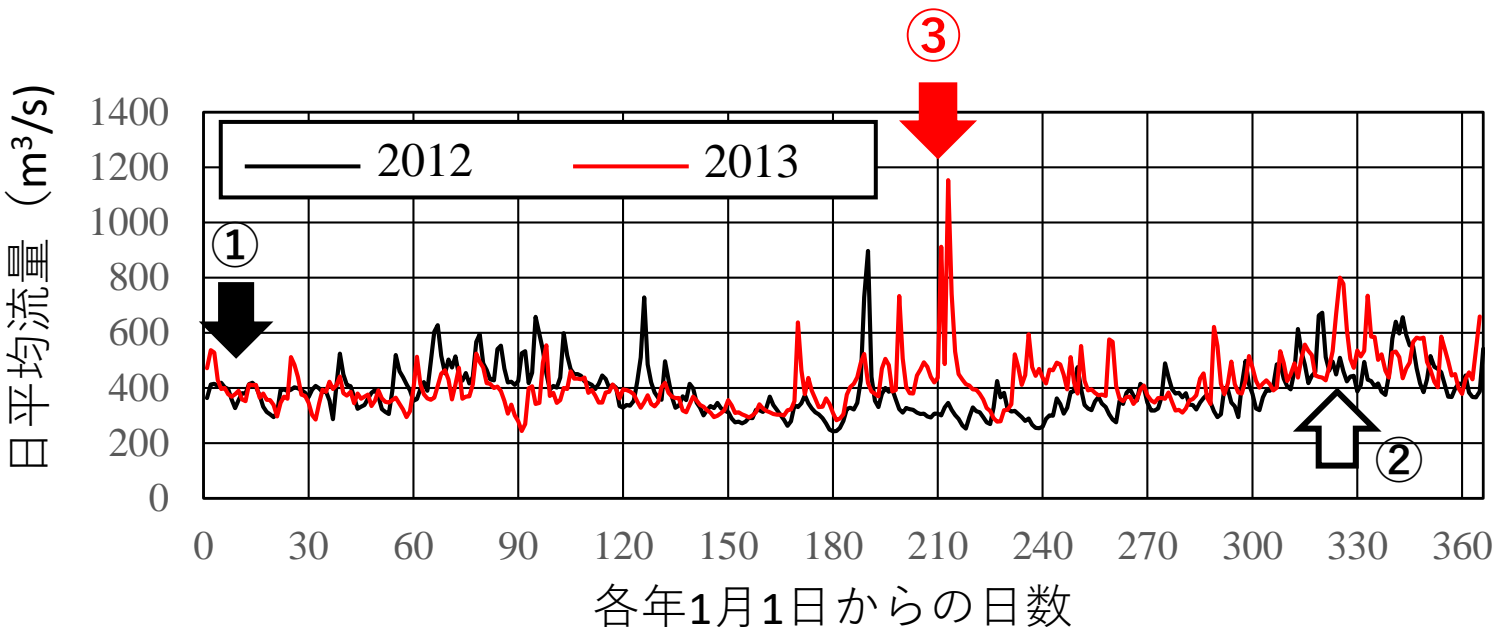
➤ 大規模出水（2011）の影響により底質中の砂分の割合が増大

4. 新潟西港での研究事例

# 観測実施時の信濃川流量

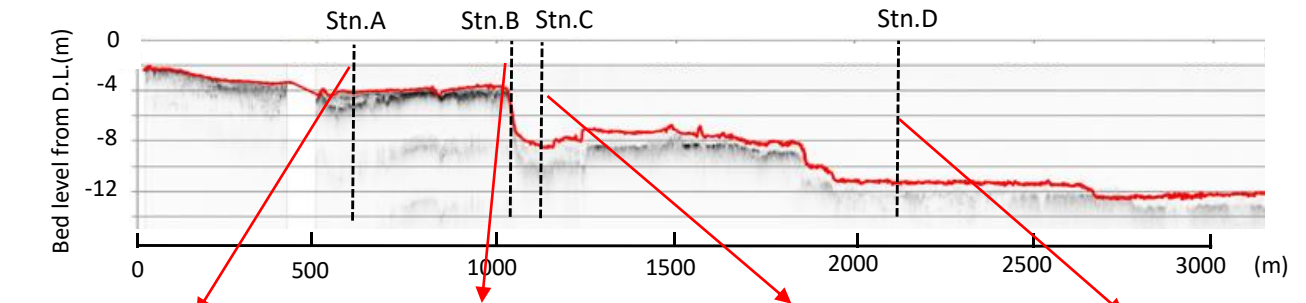
出典：国土交通省水文水質DB（帝石橋）

観測時期：① 2012年1月， ② 2012年11月， ③ 2013年7月-8月

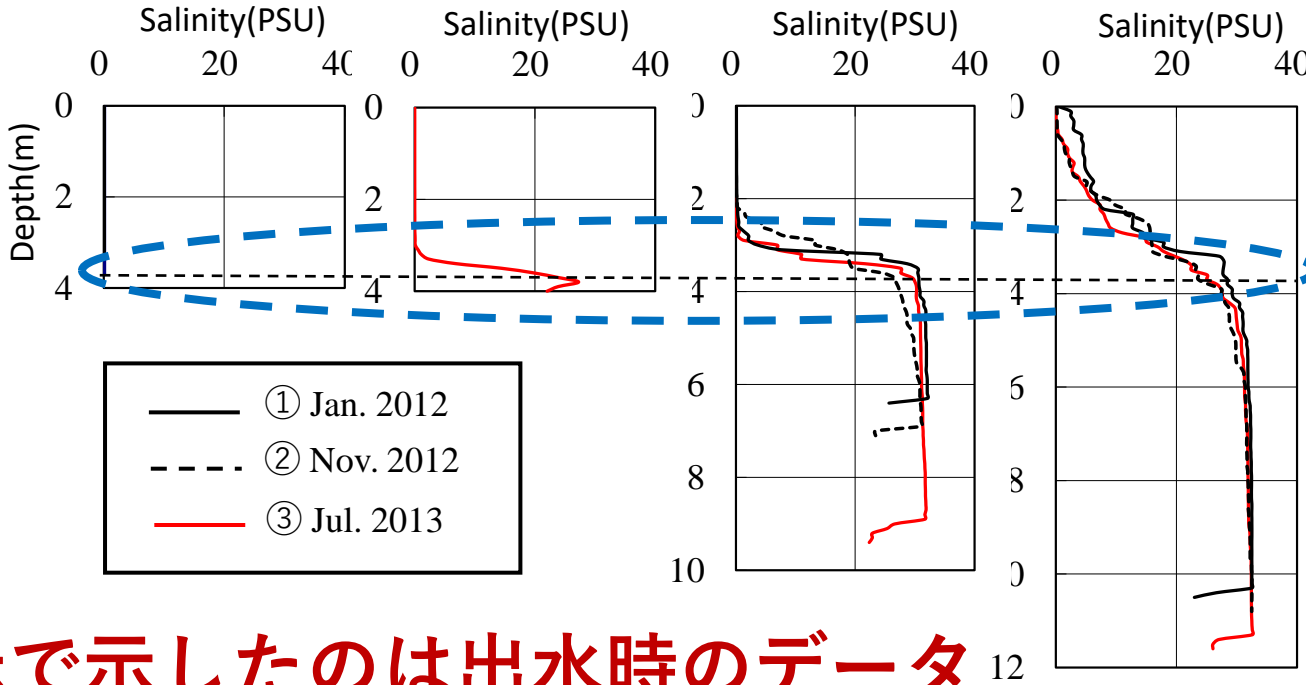


# 河口港湾の埋没の特徴 (塩分分布)

海講 (2015)



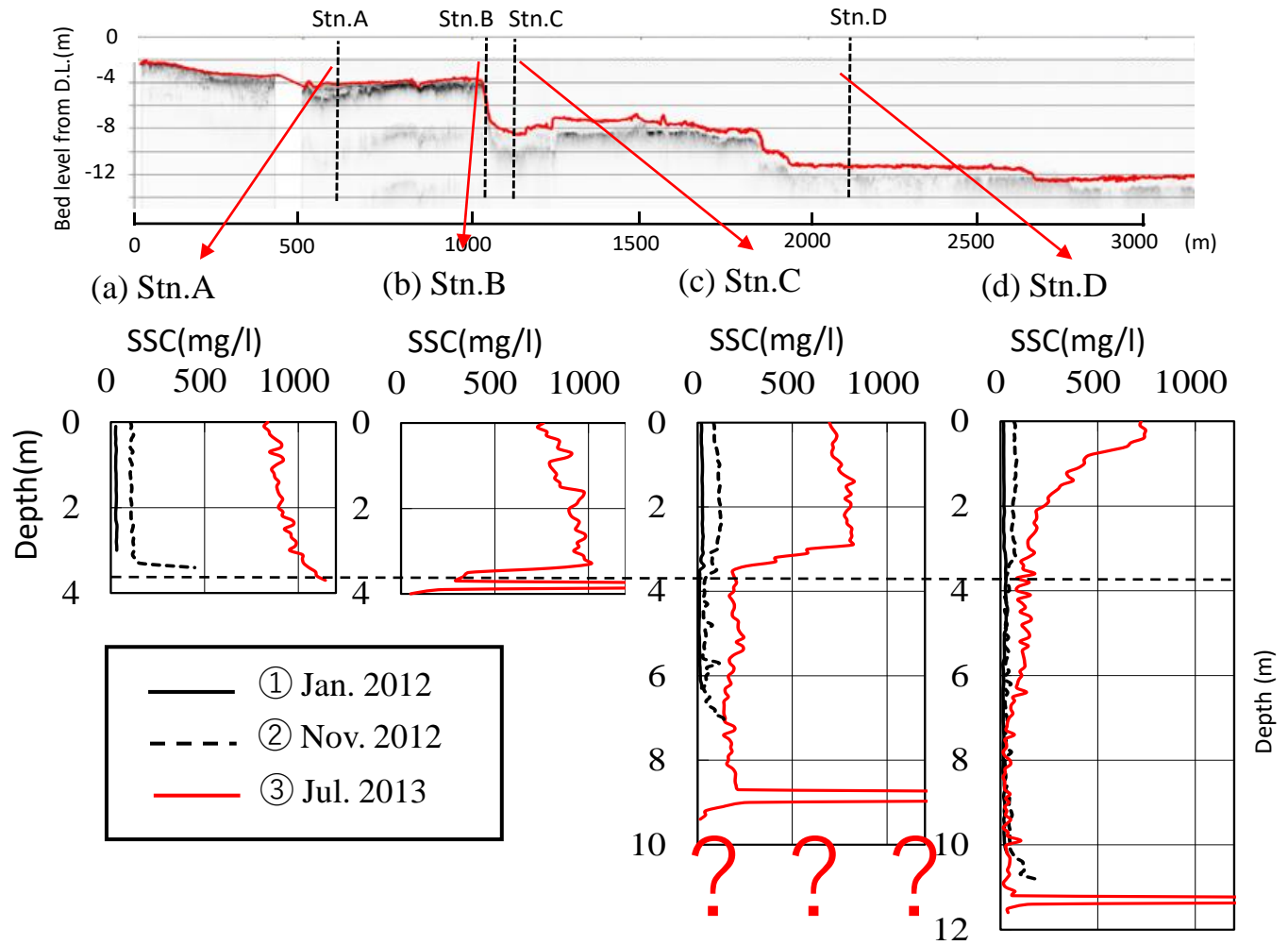
(a) Stn.A      (b) Stn.B      (c) Stn.C      (d) Stn.D



赤で示したのは出水時のデータ

# 河口港湾の埋没の特徴 (SS濃度分布)

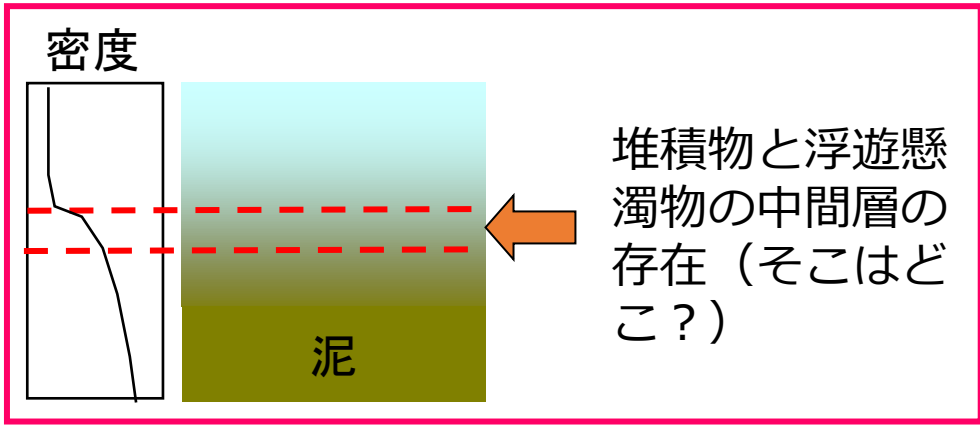
海講 (2015)



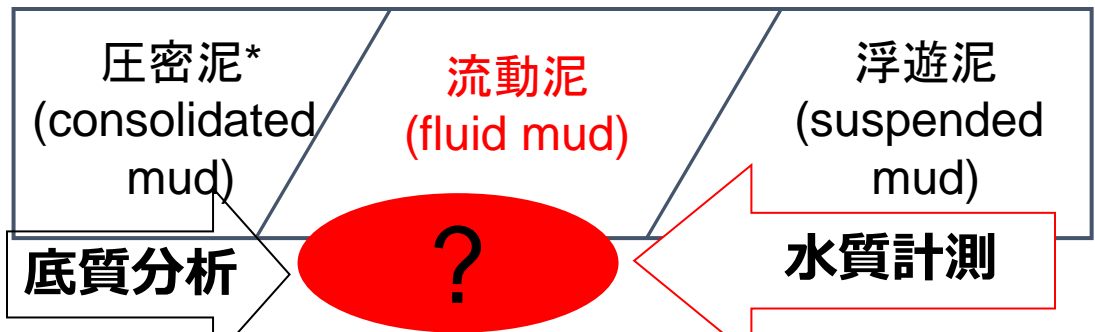
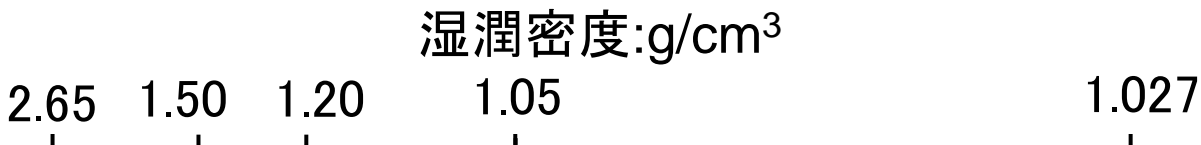
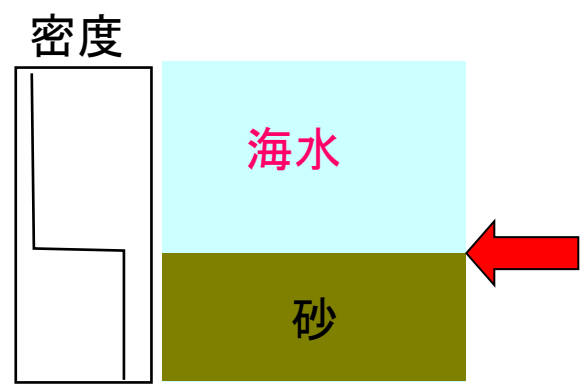
**赤で示したのは出水時のデータ**

# Fluid mudとは？

## 底泥の堆積構造の特徴



## 砂場の場合：明確な境界面



圧密泥\*：粒子同士が結束した締まった泥

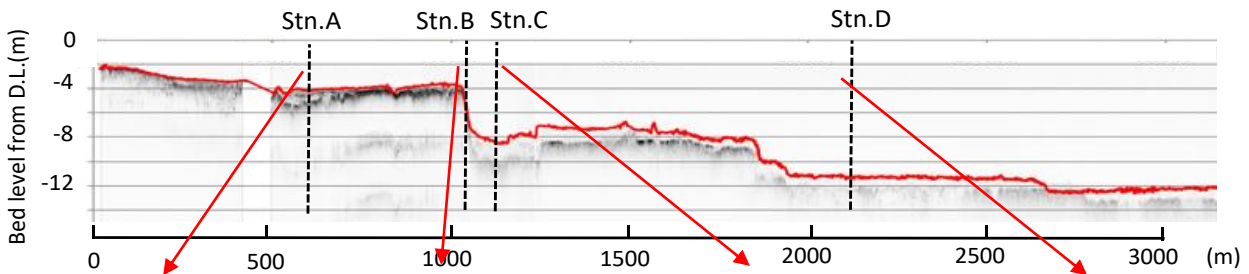


海水よりも重く密度流の挙動を示す

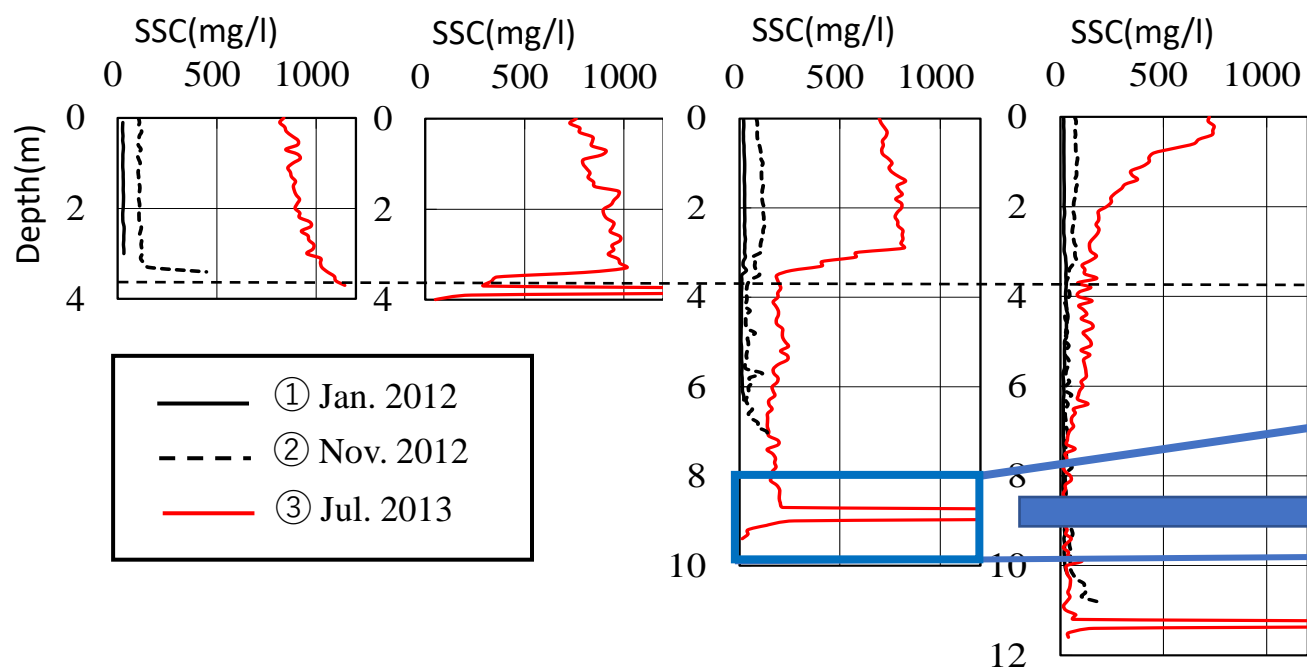


# 河口部でのFluidMudの集積

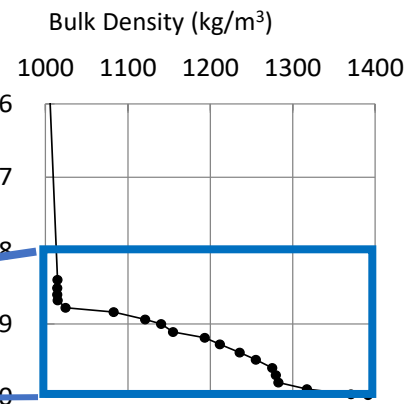
海講 (2015)



(a) Stn.A      (b) Stn.B      (c) Stn.C      (d) Stn.D

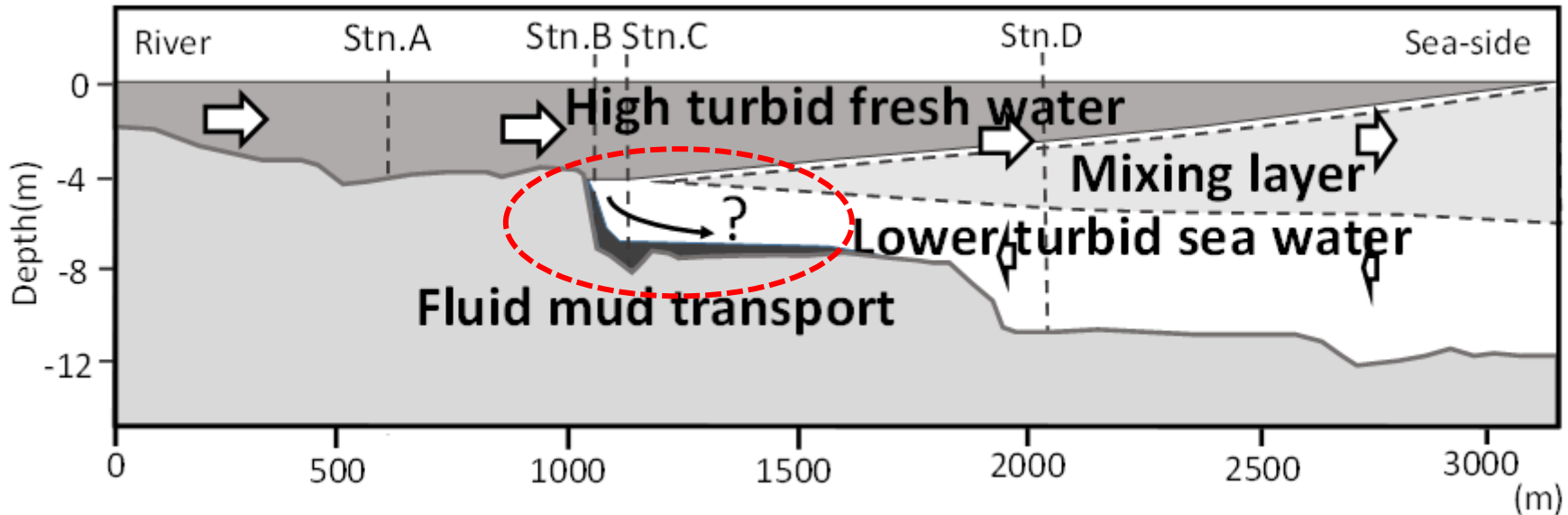


— ① Jan. 2012  
 - - - ② Nov. 2012  
 — ③ Jul. 2013



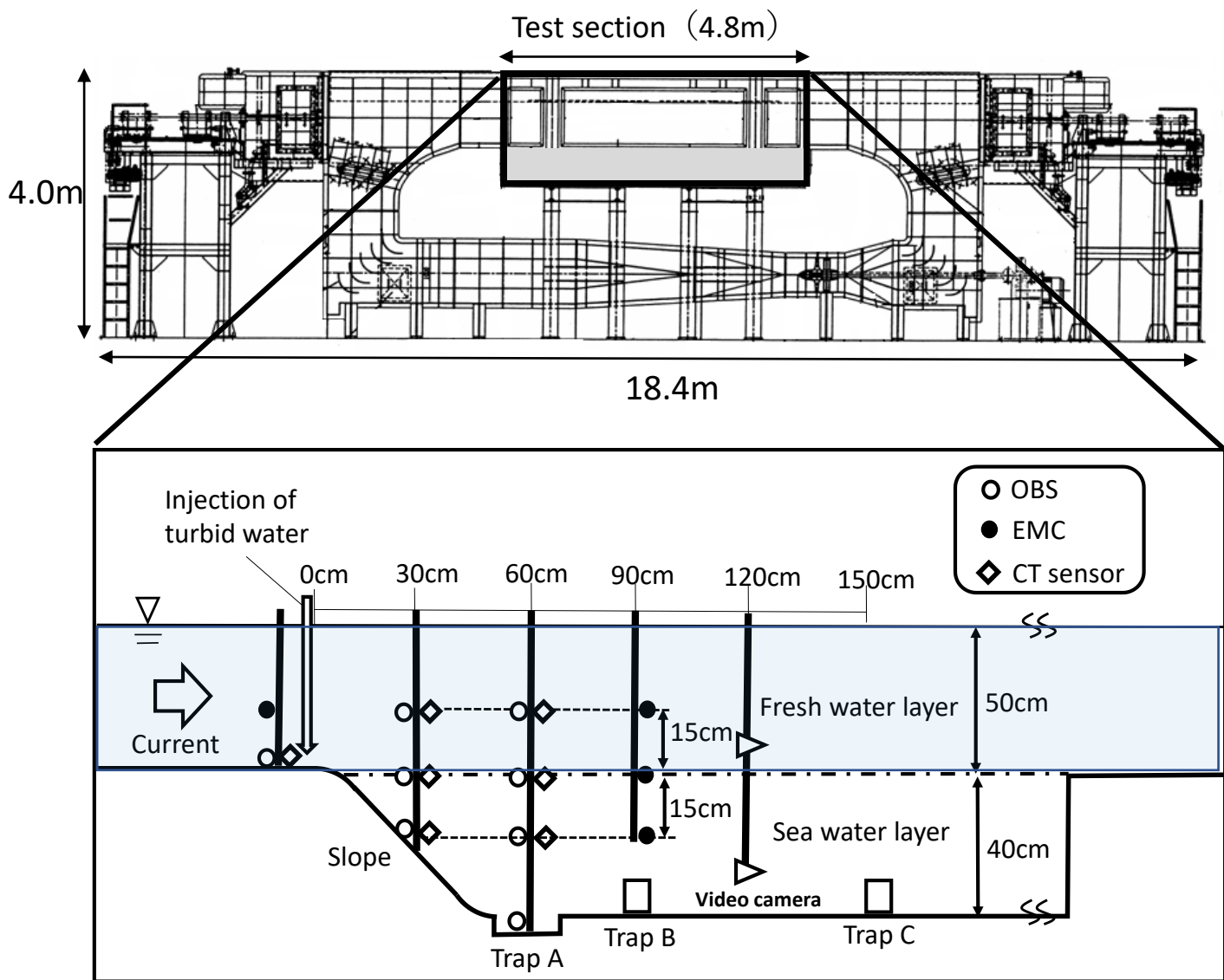
**約40cmのfluid mud層の確認 (出水直後)**

# 河口港湾での出水時における懸濁物輸送の特徴の模式図 海講 (2016)



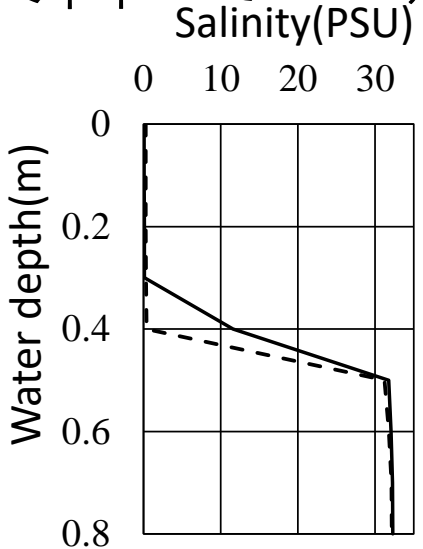
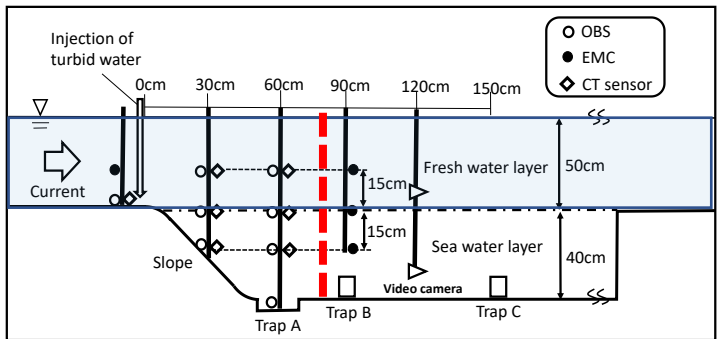
浚渫による水深急変部における高含水比泥 (Fluid mud) の集積を確認

# 塩分躍層を考慮した水槽実験

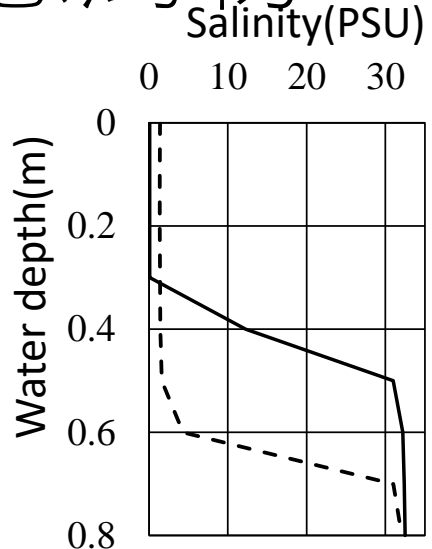


4. 新潟西港での研究事例

# 異なる流速条件での懸濁物の流下状況の違い



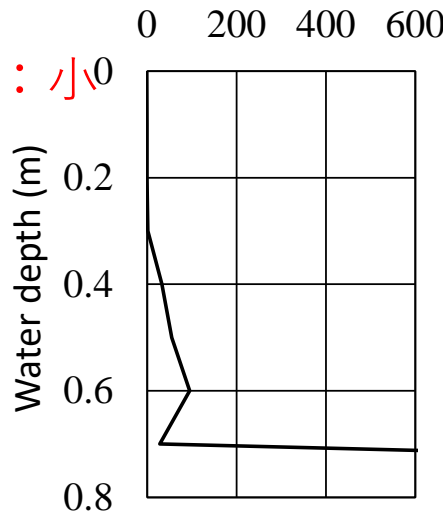
(a) Case A-1  
SSC (mg/l)



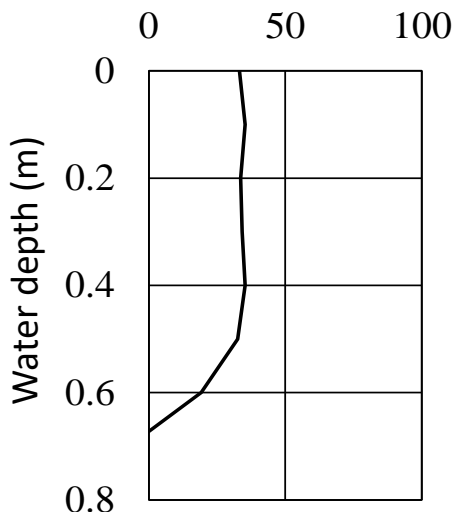
(b) Case A-2  
SSC (mg/l)

— Before Exp.  
- - - After Exp.

流速：小



(a) Case A-1



(b) Case A-2

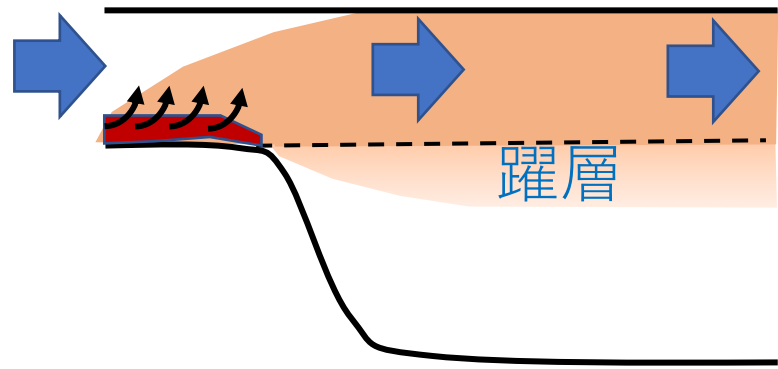
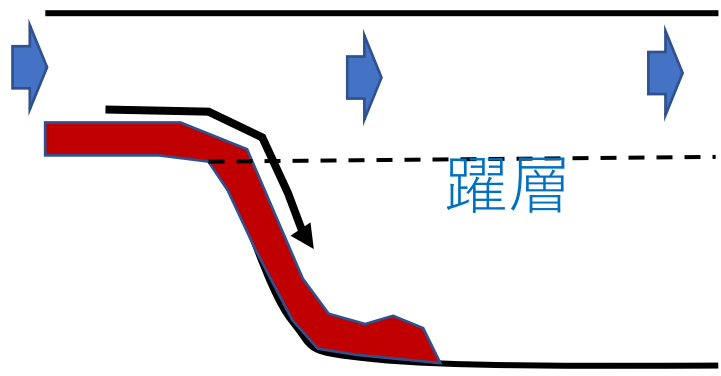
流速：大

流れ（乱れ）の条件に応じた下流域での鉛直分布の大きな変化

# 上流域の流れ（乱れ）の変化による Fluid mud 輸送への影響

流速（乱れ）：弱

流速（乱れ）：強



注) 水槽実験では, Fluid mudの挙動のみに注目 (上流からの浮遊懸濁水は無視)

## 5. 課題と解決策

# 航路・泊地の整備（浚渫）



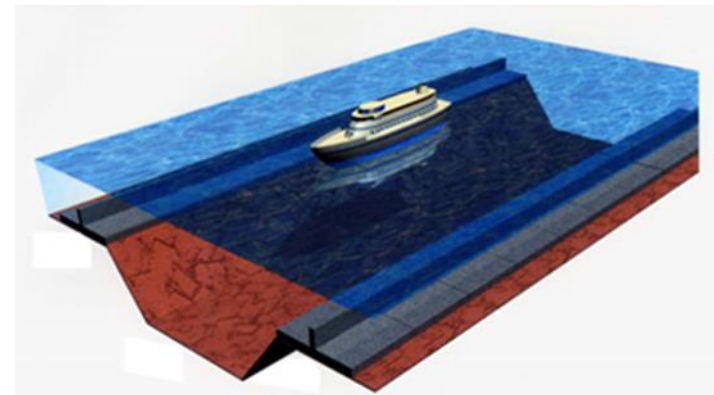
ドラグサクショ浚渫船  
(新潟港湾空港整備事務所HPより)



Grab式浚渫



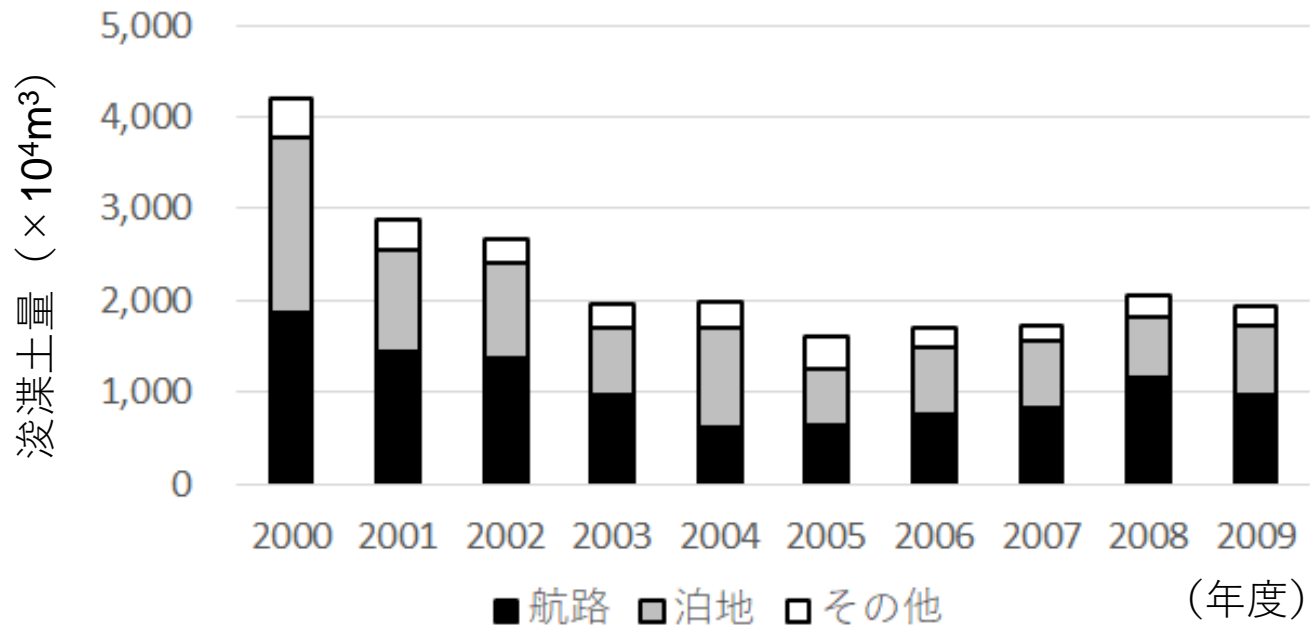
ポンプ浚渫（作業船協会HPより）



船舶航行に必要な航路・泊地の水深の確保（大型船に対しては約20m必要）

## 5. 課題と解決策

# 国内港湾での浚渫土砂量



港湾域（重要港湾及び開発保全航路）で発生する浚渫土砂量<sup>(1)</sup>

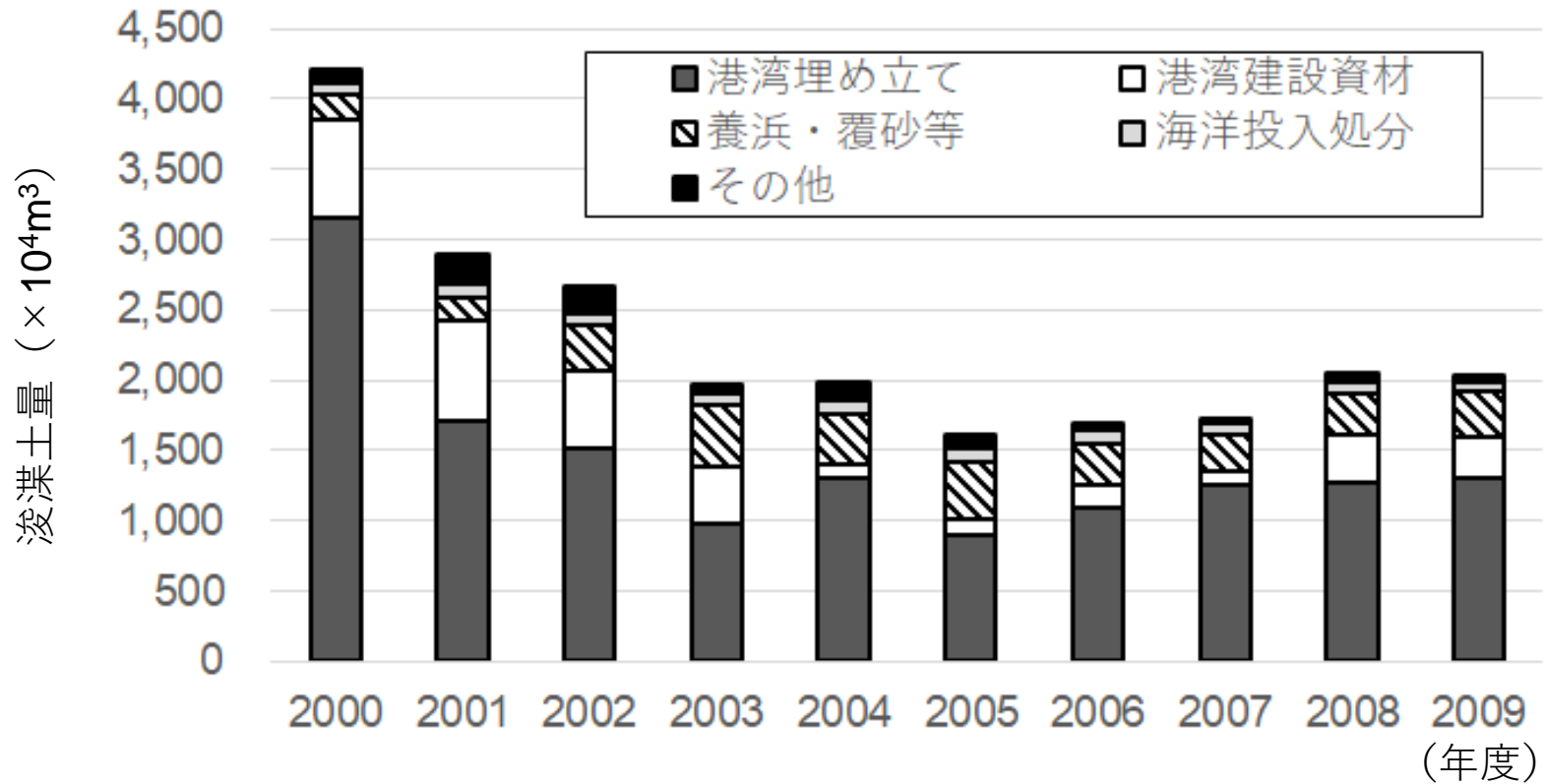
年間約2,000万m<sup>3</sup>の土砂

・・・東京ドーム（124万m<sup>3</sup>）16杯以上



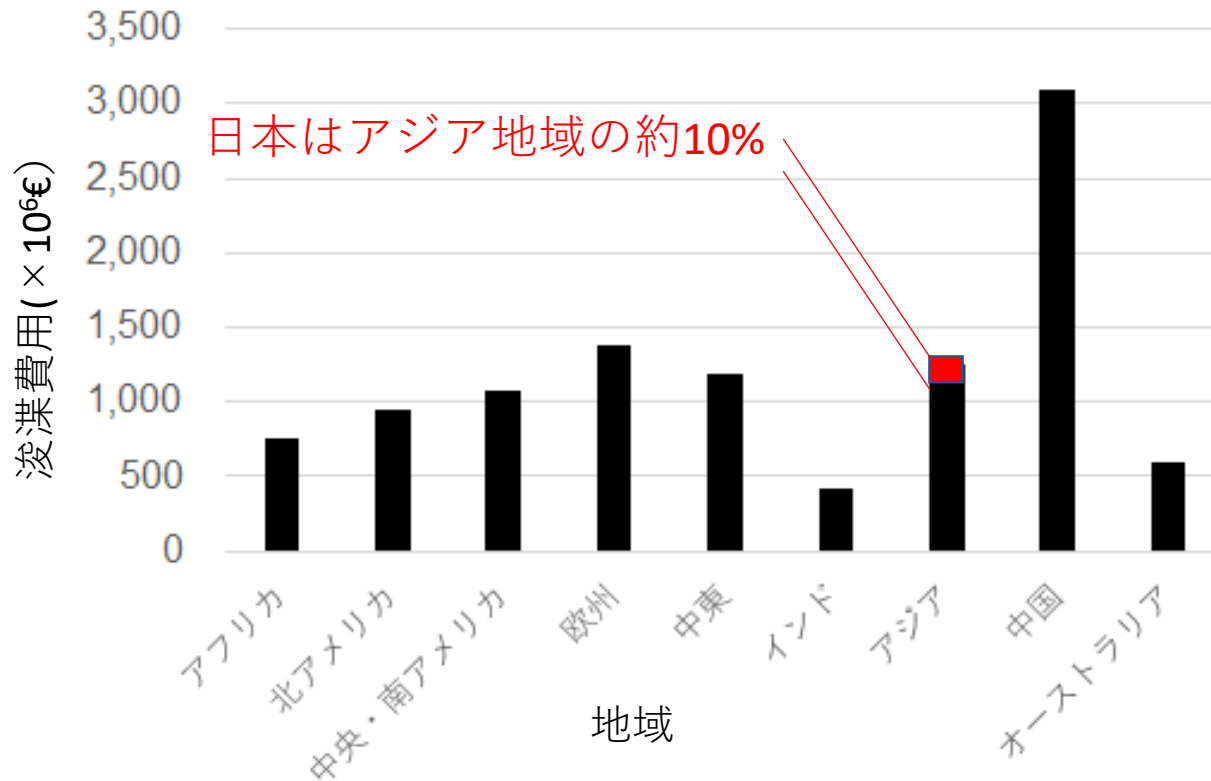
## 5. 課題と解決策

# 浚渫土砂の利用内訳



## 5. 課題と解決策

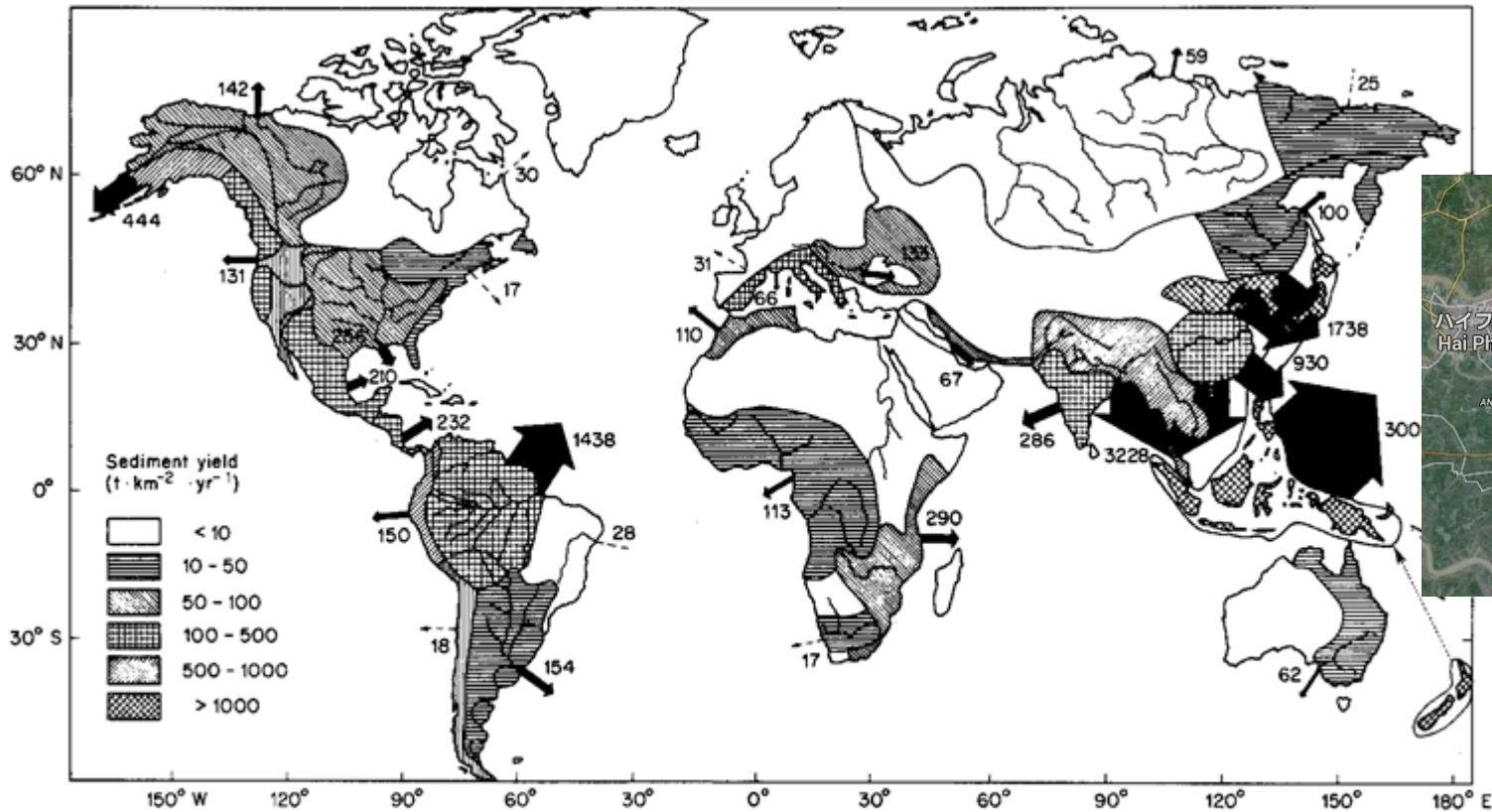
# 世界各地域での浚渫土砂量



International Association of Dredging Companies (2011)

5. 課題と解決策

# 海外での埋没港湾



陸域から供給される土砂生産量

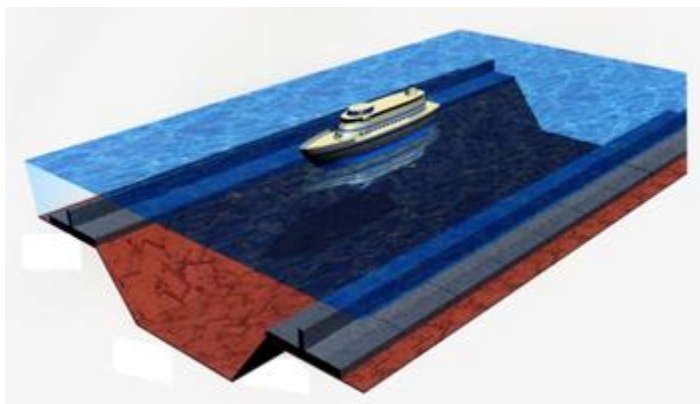
# 埋没量軽減化のための対策

- 維持浚渫量を削減するための基本的考え方  
PIANCレポート  
No.102(2008)
  - ① KSO(Keep Sediment Out)
  - ② KSM(Keep Sediment Moving)
  - ③ KSN(Keep Sediment Navigable)

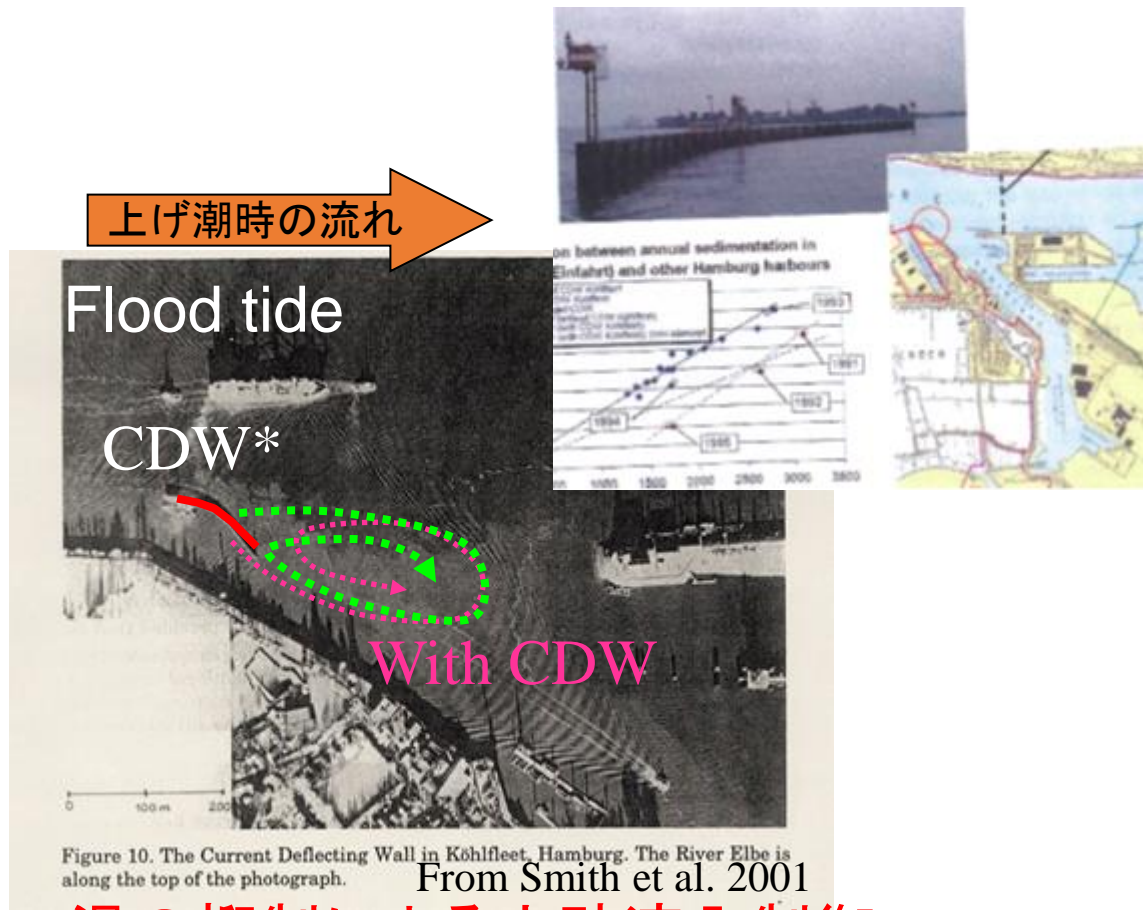
## 5. 課題と解決策

# KSO(Keep Sediment Out)

- 構造物等で土砂の侵入を防ぐ（ただし，エネルギーは使わない）
- 導流堤，潜堤など



潜堤(熊本港)



渦の抑制による土砂流入制御

## 5. 課題と解決策

# KSM(Keep Sediment Moving)

- 土砂を動かす・沈降させない（エネルギーを使う場合もある）
- 流況制御構造物，ジェットポンプ，など

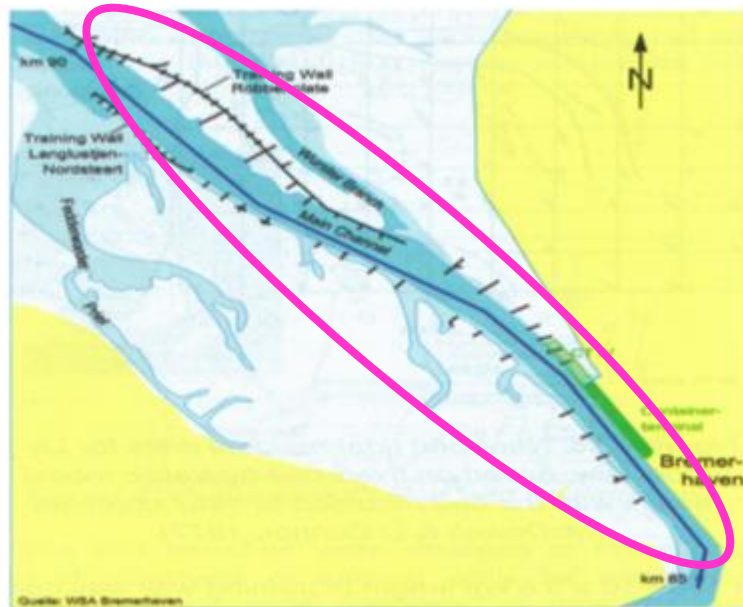
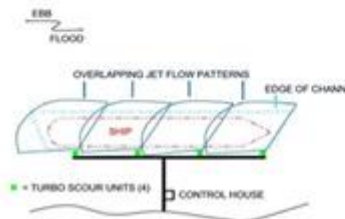


Figure 4.34: Training Walls in the Outer Weser

河川航路内の流速維持



EBB CYCLE



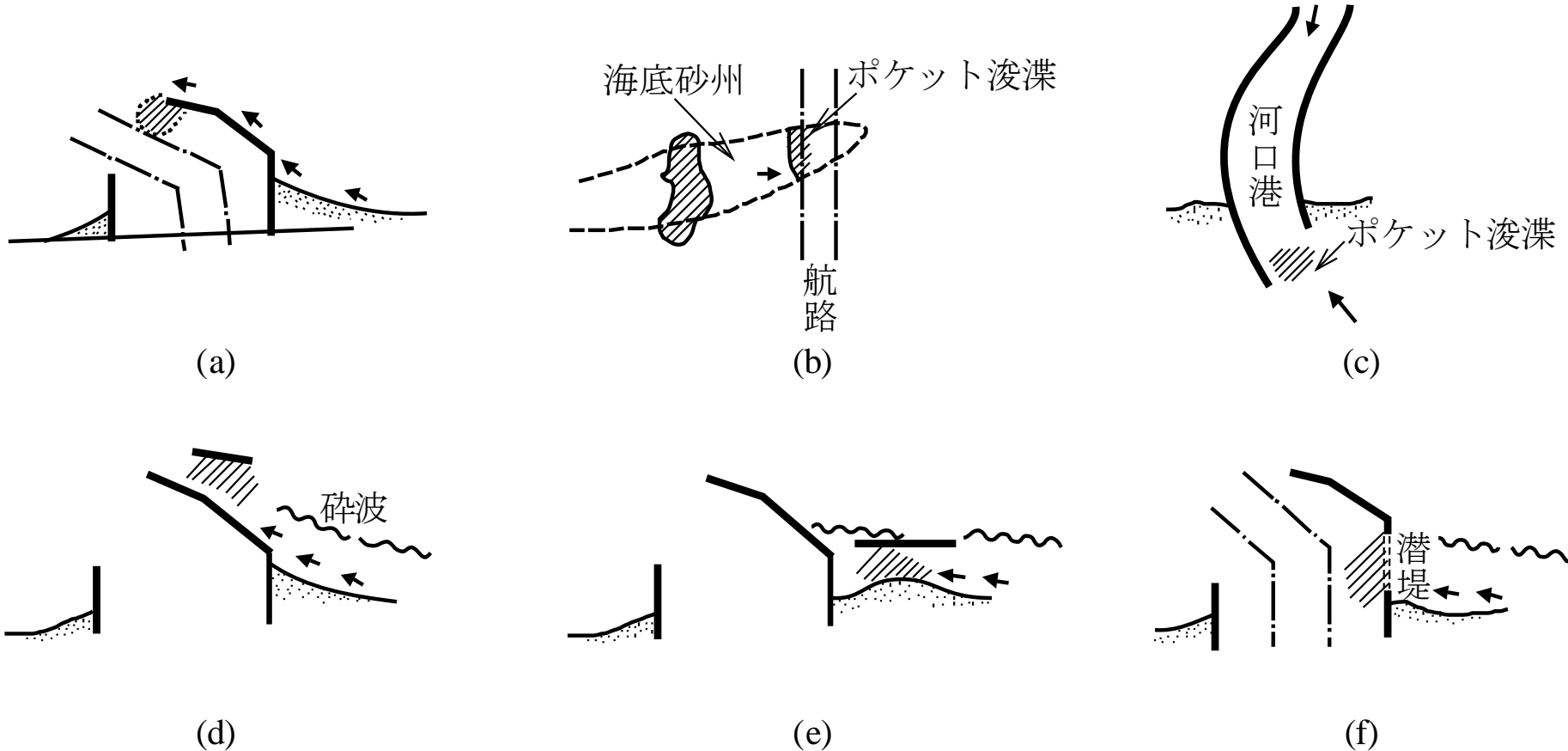
FLOOD CYCLE



Grays Harbor(米国)

## 5. 課題と解決策

# 典型的な埋没対策構造物と土砂の堆積



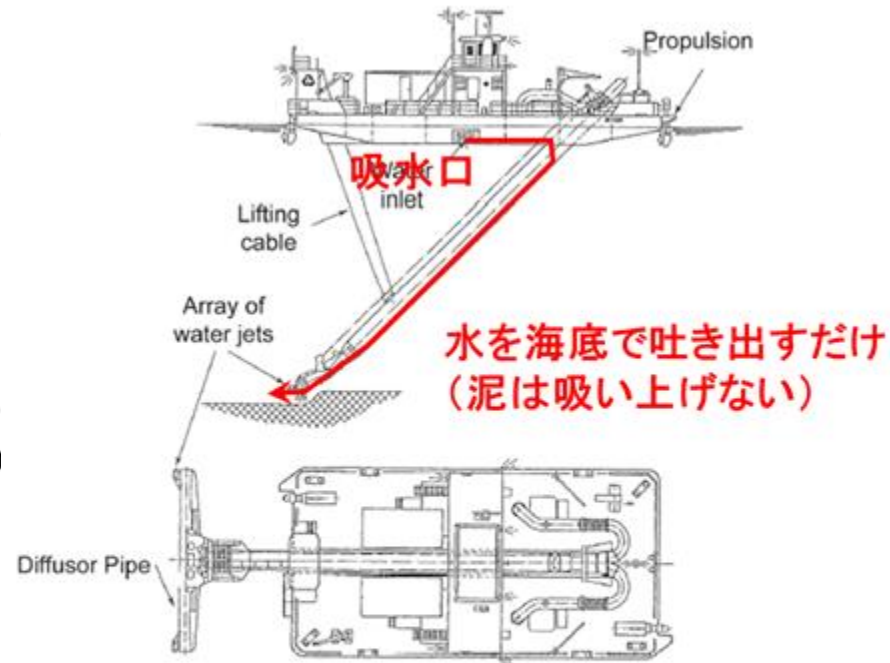
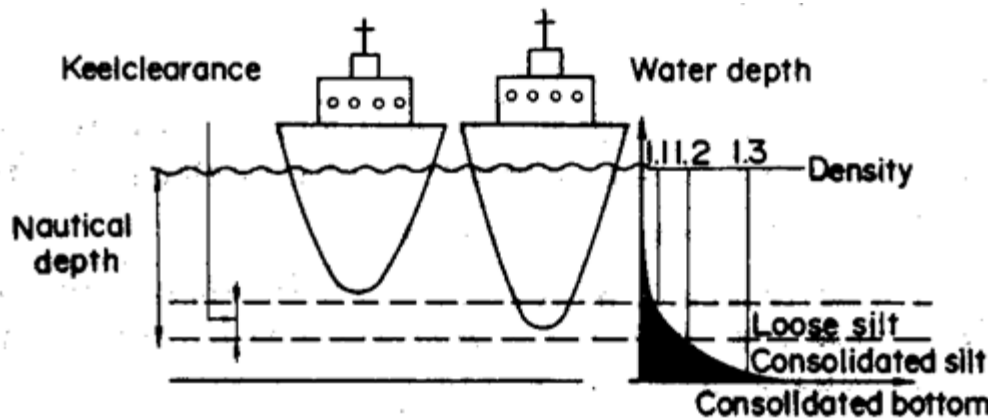
港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007)



## 5. 課題と解決策

# KSN (Keep Sediment Navigable)

- 船舶が港港できる程度の柔らかい泥
- 密度管理による水深評価, ウォータインジェクション, など

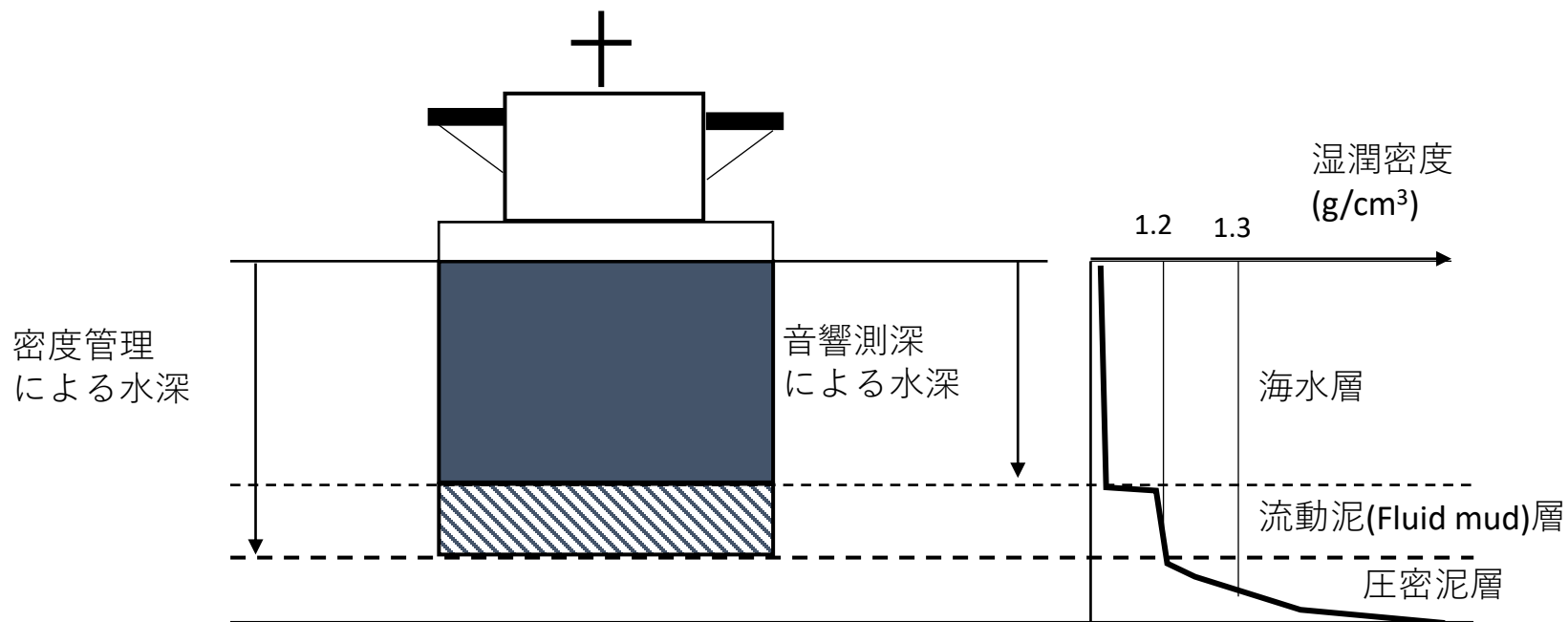


ロッテルダム, バンコク,  
Zeebrugge (ベルギー), エムデ  
ン(ドイツ)などで導入



## 5. 課題と解決策

# 可航水深の考え方



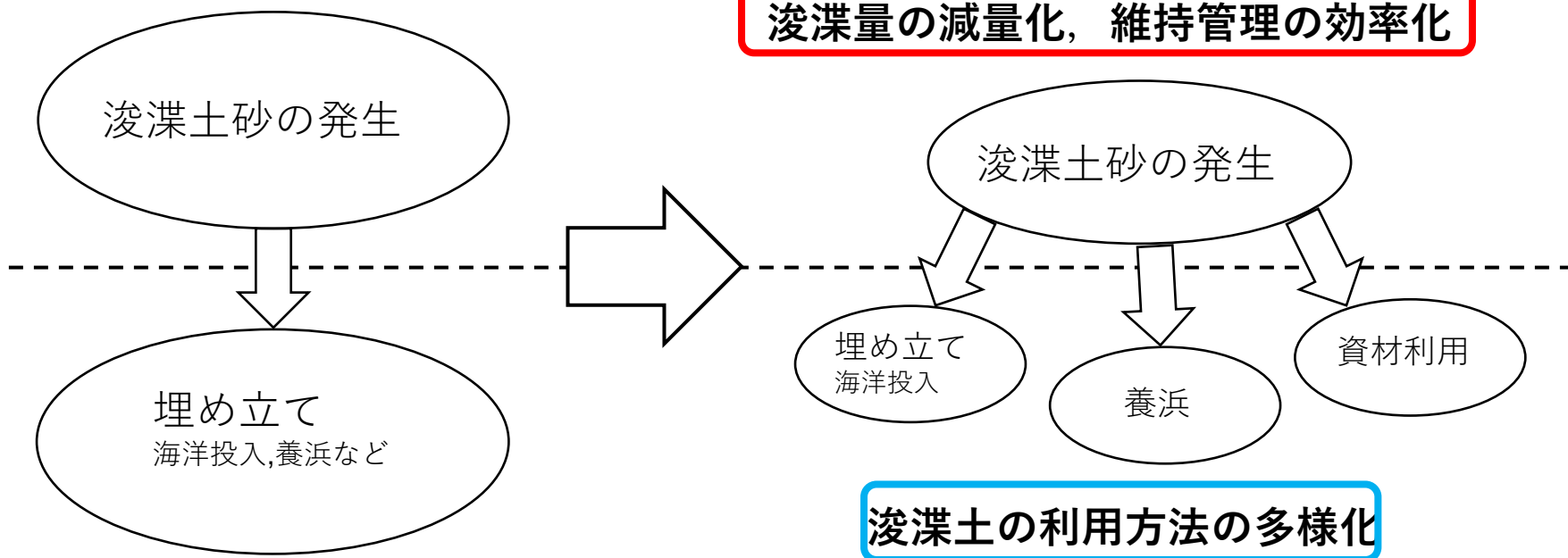
底泥の堆積環境を把握する必要がある。国内の港湾での状況は？

## 5. 課題と解決策

# 検討すべき解決手段

かつての対応

これからの対応に求められるもの



- 埋まる量を未然に軽減するにはどうするか？  
(海岸工学、土質力学的アプローチ)
- 埋まってしまった土砂をどうするか？ (海岸工学、土質力学、材料力学的アプローチ)

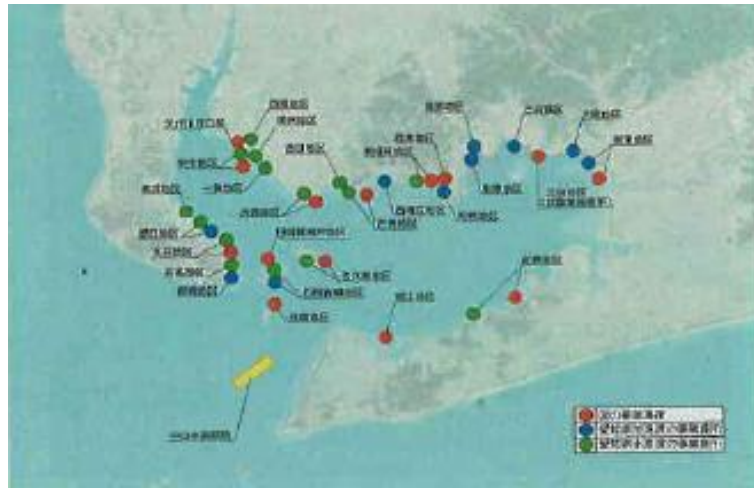
## 埋没土砂の有効利用と課題

- 海岸や干潟の修復・改善など、**底質材としての利用**  
→ 環境への安全性確保、生態系の回復、投入場の安定性. . .
- 防波堤や護岸ブロックなど、**構造体の材料としての利用**  
→ 強度の確保、環境への安全性確保。。。

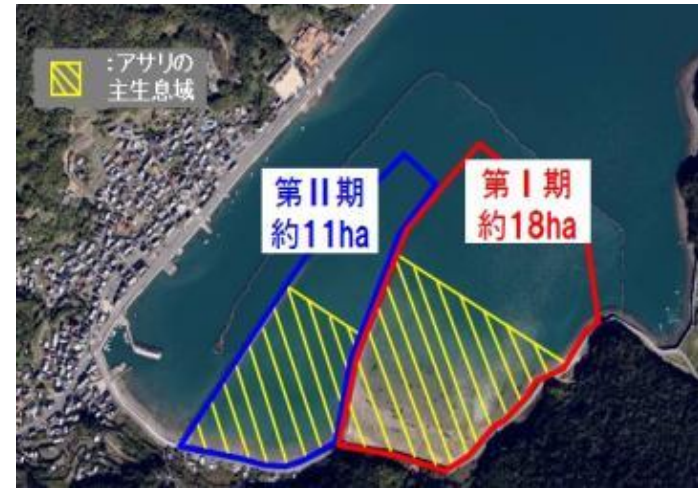
重要な資源としての視点を持つことは大事

## 5. 課題と解決策

# 浅場や干潟造成での利用例



三河湾



山口県（周南市HPより）



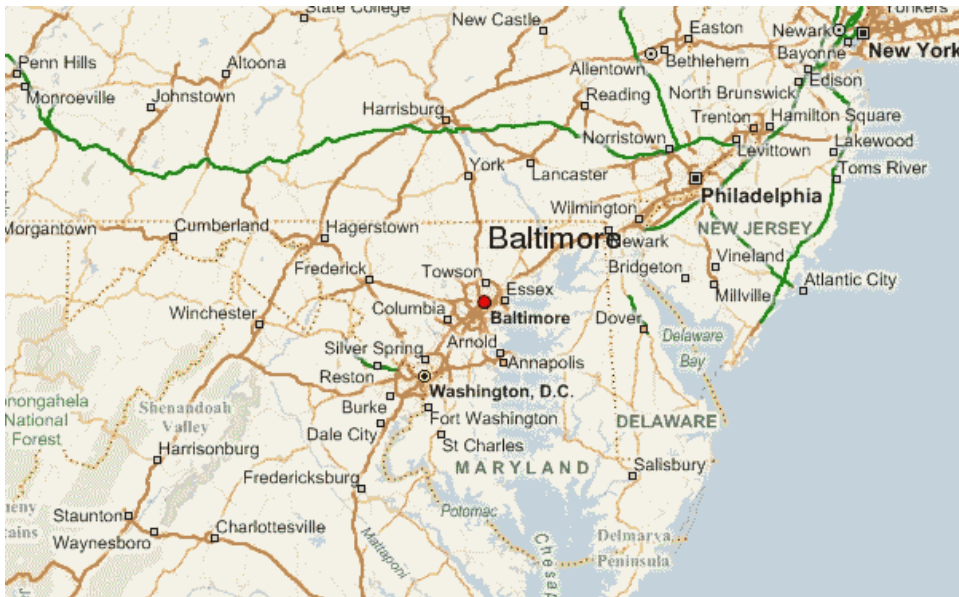
- 浅場・干潟造成への活用
- 粒径の制御に課題（泥土の場合にはアンコ材、表面は覆砂）

沿岸防災の観点

- 盛り土への活用・・・やはり泥土の場合には脱水の問題（施工時間の短縮化に課題あり）

## 5. 課題と解決策

# 侵食で消失した島の復元（米国 チェサピーク湾）



バルティモア港の出入港船舶の  
ための航路浚渫土砂の利用



米国チェサピーク湾内に浚渫土を  
利用して再生されたPoplar island

## 5. 課題と解決策

# 大規模養浜のモニタリングプロジェクト



図-28オランダにおける大規模養浜現地実験(Sand Motor Project<sup>(30)</sup>)



# まとめ

- 自然外力の条件に大きく依存した沿岸域の地形変化現象（周辺地形の変化の特徴の把握が重要）
- 予測シミュレーションを行う上でも対象域の現場の特徴（くせ）を知っておくことが重要。
- 土砂移動の仕組みを考慮した、土砂堆積の制御技術や生物・化学的過程にも配慮した土砂（特に泥）対策への挑戦。
- 浚渫土の分級の効率化、活用材料の高強度化など技術課題。