

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：平成18年度～平成20年度
 課題番号：18360232
 研究課題名（和文） 保全／修復を目的とした干潟地盤環境の評価と設計技術に関する研究
 研究課題名（英文） Geoenvironmental assessment and design for conservation and restoration of intertidal flats
 研究代表者
 渡部 要一（WATABE YOICHI）
 独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 チームリーダー
 研究者番号：00371758

研究成果の概要：

地球物理学的手法の一つとして採用した表面波探査は、地盤の硬軟に対応したせん断波速度によって干潟地盤堆積構造を効率的に把握することにおいてきわめて有効であった。探査や物理試験により定量化された干潟堆積構造（地盤の硬軟、間隙分布）は、波浪や潮汐流を通じて土砂が堆積した後、潮汐に伴う地下水位変動の影響を受け、これに起因したサクシオン動態に基づく土骨格の繰返し弾塑性変形の帰結として定量的に説明できることを明らかにした。

小型UAVを使った航空写真撮影を行い、時刻ごとの水際線の変化を捉えることによって、きわめて平坦な干潟地盤の微地形を効率的かつ精密に把握できた。高解像度画像により底生生物の巣穴やその密度等をも捉えることができた。微地形によって作り出される土砂環境に関連して、コメツキガニの巣穴住活動における適合場すなわち臨界・最適・限界状態は、間隙状態に応じてサクシオンによって誘起される土砂環境場（粘着力と硬さ）が支配していることを一連の室内地盤および生物実験を通じて明らかにした。さらに、干潟の代表的底生生物で水産有用種でもあるアサリにも着目し、その潜砂能力が土砂環境動態に強く依存していることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成18年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
平成19年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
平成20年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	12,000,000	3,600,000	15,600,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤環境・自然再生

1. 研究開始当初の背景

干潟は多様な生物相を育み、かつ、高い水質浄化能力があることから、豊かな沿岸環境のために不可欠な要素の一つである。しかし

ながら、干潟域は水深が浅く、埋立てに好都合であったことから、その多くは、都市の発展とともに埋め立てられ消失してしまった。残された数少ない干潟はその保全に向けて、

また、消失した場所では修復／創造といった環境創造事業の一環として人工干潟造成に向けて、様々な試みがなされている。

これまでの干潟の研究は、生態系や水質・水理環境に終始しており、干潟地形変動予測についても、水流に伴う土砂輸送を基にした海岸工学的アプローチがなされてきた。このため、土砂で構成された干潟地盤が対象であるにも拘わらず、地盤環境（地質学・土質力学）的視点に欠けていた。実際、沿岸各地で試みられつつある人工干潟の造成は、表層土砂の生物相が乏しいことや干潟土砂が不安定なことから失敗に終わるケースも多い。

環境保全／修復／創造に資するような干潟造成の実現は、航路や泊地といった港湾施設の維持に不可欠な浚渫事業から生じる浚渫土砂の処分・リサイクル利用の産業ニーズに的確に応えるものでもある。産業構造の変化から沿岸域の土地が余る今日、従来のような埋立地の造成だけでは産業ニーズに応え切れない。また、港湾施設は市民の立入が厳しく規制されているが、港湾施設周辺に干潟のような親水空間が整備されれば、人々が港湾施設に接する機会も増え、環境保全／修復／創造と同時に物流の重要な役割を担う港湾施設に対する理解も深まるものと思われる。一方で、都市機能創出・保護のために海岸の約45%が護岸で覆われている我が国特有の問題として、地球温暖化に伴う海面上昇が生じた場合でも護岸により海進は許されず、放置すれば自然干潟や人工干潟の一部または全体が消失してしまう可能性も少なくない。

干潟環境の変動を予測・評価するためには、生態系や水質・水理環境に関する従来からの研究（生態学および海岸工学）との協働の下に、地盤環境（干潟土砂環境）がどのようになっているか・どうなるのかを評価する地盤環境学からの観点・アプローチが必要不可欠である。干潟地盤環境の本質的な理解とこれに基づく現実的な干潟消失リスクの評価が、将来の干潟創生政策に大きく役立つと考える。

2. 研究の目的

干潟の保全／修復／創造に資することを目的とし、干潟地盤環境の評価・設計・施工技術を確立することを目標としている。これを実現するための新学術大系として、水際の土砂環境を対象とした従来の土質力学や流体力学（主に海岸工学）の枠にとどまらない新しい学際研究領域「水際地盤学」、干潟地盤の空間構造の理解に有効な「表面波探査（地球物理学の一分野）」ならびに過去の堆積環境復元（自然干潟の形成史の解明）に資する「シーケンス層序学（地質学の一分野）」が近年急速に発展してきている。一方、沿岸

開発によって失われた自然環境の回復／創造のために、安定した干潟地盤の設計技術が強く求められている。特に、多様な生物相（中でもアサリ等の水産有用種）が期待される細粒分を含む干潟造成に対する要請は高いが、細粒分を含む土自体の安定性に対する評価は大きな課題である。実際、沿岸各地で試みられつつある人工干潟の造成は、生物相が乏しく、干潟土砂の安定が得られず、潮間帯を失い、失敗に終わるケースが多い。

本研究は、多様な干潟地盤環境の体系的な動態観測・シミュレーション・模型実験・生物調査の協働を通じて、干潟地盤環境の評価・設計・施工技術を確立することを目指すものである。

3. 研究の方法

事前に行った予備調査結果に基づいて検討した研究手法に従って、本格的な干潟地盤の土砂環境動態調査に着手する。具体的な内容および手法は以下の通りである。

(1) 資料収集

生態学・環境化学ならびに水理学・海岸工学的なアプローチにより得られた知見から、地盤環境学的アプローチを採用する本研究に活用できる成果を整理する。また、人工干潟造成事例の収集と施工方法等の整理を行う。

(2) 調査対象干潟の選定

土砂の材質（砂質干潟、泥質干潟、砂泥二層干潟、サンゴ礫質干潟）や形成過程（自然干潟、人工干潟）など、さまざまな形質の干潟を調査対象として選定する。調査の実施に当たっては、本研究の研究分担者らにより、生態学、環境化学、ならびに水理学・海岸工学的なアプローチにより調査がなされ、かつ、土質力学、地盤工学、地質学的アプローチにより予備調査が行われた砂質干潟から始め、泥質干潟、浚渫土を埋め立てた後に覆砂を施した人工干潟、珊瑚礁の痕跡となっていてサンゴ礫が多い亜熱帯の干潟など、次第に調査対象を広げる。また、規模の大小にも着目し、広大な干潟から、ポケット的な小規模干潟まで、さまざまな干潟を調査対象として、データを蓄積する。

(3) 調査・研究内容

Part 1：干潟地盤の調査

- ① 面波探査で干潟土の三次元的な広がりを把握する。
- ② 室内試験で土質を評価する（干潟表層土を乱さないように採取し、粒度試験、土粒子密度、間隙比、干潟土の微視的構造等の評価を行う）。

Part 2：調査結果の取りまとめ

- ① 干潟土砂のゾーニングを行う（干潟地盤環境データベース構築の基本単位とする）。

- ② 地形形成史の復元と堆積構造の理解を試みる（地質・堆積相（シーケンス）層序学に基づく分析による）。

Part 3：干潟地盤のモニタリング

- ① 干潟地盤環境の動態観測を実施する。
 ・季節ごとの集中観測（短期連続観測，ゾーン内の分布）
 ・定点群における連続観測（長期連続観測，季節変動）

(4) 調査結果のとりまとめ

現地調査結果やモデル化，シミュレーション結果をとりまとめる。

4. 研究成果

地球物理学的手法の一つとして採用した表面波探査（多チャンネル型表面波探査：MASW）は，地盤の硬軟に対応したせん断波速度によって干潟地盤堆積構造を効率的に把握することにおいてきわめて有効であった。写真1は調査状況の一例である。



写真1 MASWの実施状況

探査や物理試験により定量化された干潟堆積構造（地盤の硬軟，間隙分布）は，波浪や潮汐流を通じて土砂が堆積した後，潮汐に伴う地下水位変動の影響を受け，これに起因したサクシオン動態に基づく土骨格の繰り返し弾塑性変形の帰結として定量的に説明できることを明らかにした。

MASWによる調査を多種多様な規模・土質の干潟において実施し，岸沖測線に沿ったせん断波速度構造ならびに地盤高データに対してスペクトル解析を行い，卓越波長に着目して干潟の特徴を定量的に評価した。多段バー・トラフが発達した干潟ではそれに対応した波長40～90mが卓越するのに対し，泥質干潟や広大・穏やかな干潟では卓越波長は見られない。亜熱帯干潟で地中の石灰岩が表層に突出している場合，卓越波長はその影響を強く受ける。

小型UAVを使った航空写真撮影を行い，時刻ごとの水際線の変化を捉えることによって，きわめて平坦な干潟地盤の微地形を効率的かつ精密に把握できた。高解像度画像に

より底生生物の巣穴やその密度等をも捉えることができた。写真2はUAVの離陸時のものである。



写真2 UAVの離陸状況

砂質干潟に見られる典型的な多段バー・トラフ地形について，バーにおいて干出時に発達するサクシオンを鍵とした安定機構を解明した。



写真3 砂質干潟の多段バー・トラフ構造

コメツキガニの巣穴住活動における適合場すなわち臨界・最適・限界状態は，間隙状態に応じてサクシオンによって誘起される土砂環境場（粘着力と硬さ）が支配していることを一連の室内地盤及び生物実験を通じて明らかにした。さらに，干潟の代表的底生生物で水産有用種でもあるアサリにも着目し，その潜砂能力が土砂環境動態に強く依存していることを示した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計17件）

- 1) Sassa, S. and Watabe, Y.: Persistent sand bars explained by geodynamic effects, *Geophysical Research Letters*, Vol.36, L01404, 2009. doi:10.1029/2008GL036230
- 2) Watabe, Y. and Sassa, S.: Application of MASW technology to identification of tidal flat stratigraphy and its geoenvironmental interpretation, *Marine Geology*, Vol.252,

- pp.79-88, 2008.
doi:10.1016/j.margeo.2008.03.007
- 3) Sassa, S. and Watabe, Y.: Threshold, optimum and critical geoenvironmental conditions for burrowing activity of sand bubbler crab *Scopimera globosa*, *Marine Ecology Progress Series*, Vol.354, pp.191-199, 2008. doi:10.3354/meps07236
 - 4) Kuwae, T., Beninger, P.G., Decottingnies, P., Mathot, K.J., Lund, D.R. and Elner, R.W.: Biofilm grazing in a higher vertebrate: the Western Sandpiper, *Calidris mauri*, *Ecology*, Vol.89, pp.599-606, 2008. doi:10.1890/07-1442.1
 - 5) Sassa, S. and Watabe, Y.: Role of suction dynamics in evolution of intertidal sandy flats: Field evidence, experiments, and theoretical model, *Journal of Geophysical Research*, 112, F01003, 2007. doi:10.1029/2006JF000575
 - 6) Kuwae, T.: Diurnal and nocturnal feeding rate in Kentish plovers *Charadrius alexandrinus* on an intertidal flat as recorded by telescopic video systems, *Marine Biology*, Vol.151, pp.663-673. doi:10.1007/s00227-006-0506-y
 - 7) 佐々真志, 渡部要一: 干潟バー地形の動的安定機構の解明: 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1176-1180, 2008.
 - 8) 佐々真志, 渡部要一, 桑江朝比呂: 鳥と地盤と底生生物の関係に果たす水際土砂環境の役割, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1171-1175, 2008.
 - 9) 渡部要一, 佐々真志: UAVを活用した干潟微地形の時空間評価の試み, 土木学会論文集B, Vol.64, No.1, pp.24-29, 2008. doi:10.2208/jscejb.64.24
 - 10) 渡部要一, 佐々真志, 河野健二: 岸沖・沿岸両方向に発達した干潟多段バー・トラフの堆積構造とその形成要因, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1166-1170, 2007.
 - 11) 佐々真志, 渡部要一: アサリの潜砂限界強度について, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1196-1200, 2007.
 - 12) 佐々真志, 渡部要一, 石井嘉一: 干潟と砂浜の保水動態機構と許容地下水位の解明, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1151-1155, 2007.
 - 13) 中川康之, 吉田秀樹, 田中克己, 大羽多昌志: 底泥の巻き上げと底面境界層内の乱れの現地観測, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.446-450, 2007.
 - 14) 関口秀雄, 東 良慶, クリヨ サンボド: 養浜砂浜海岸域における不圧地下水の動態観測とその意義, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.721-725, 2007.
 - 15) 佐々真志, 渡部要一, 川野泰広, 中島謙二郎, 吉田秀樹: 泥質干潟再生に向けた土砂環境動態評価手法の開発: 自然泥干潟および干潟実験施設への適用, 海洋開発論文集, 第23巻, pp.507-512, 2007.
 - 16) 渡部要一, 佐々真志: 干潟堆積構造の地球物理学的評価と形成要因—砂質・泥質・砂泥二層干潟—, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1236-1240, 2006.
 - 17) 佐々真志, 渡部要一: 干潟底生生物の住活動における臨界現象と適合土砂環境場の解明, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1061-1065, 2006.
- [学会発表] (計 15 件)
- 1) Watabe, Y. and Sassa, S.: Application of UAV aerial photography to temporospatial assessment of tidal flat geomorphology, *Proceedings of the 4th International Conference on Scour and Erosion*, pp.519-525, 2008.
 - 2) Sassa, S. and Watabe, Y.: Morphodynamics of intertidal sand bars: Feedback between sediment transport and suction dynamics effects, *Proceedings of the 4th International Conference on Scour and Erosion*, pp.567-573, 2008.
 - 3) Nakagawa, Y. and Kuwae, T.: Field observation of fine sediment transport processes and oxygen fluxes in estuarine bottom boundary layer, *International Conference on Physics of Estuarine and Coastal Seas (PECS08)*, pp.107-110, 2008.
 - 4) Nakagawa, Y. and Matsumoto, H.: Field measurement of fine sediment transport process around navigation channel, *Coastal Sediments '07, ASCE*, pp.1678-1689, 2007
 - 5) Watabe, Y. and Sassa, S.: Intertidal sedimentary structures and their formation mechanisms in sandy, muddy, and sand-mud layered flats, *Oceans '06, MTS/IEEE, Boston*, ISBN: 1-44244-0115-1, 6 pages, 2006.
 - 6) Sassa, S. and Watabe, Y.: Physical and theoretical modelling of the dynamics of tidal flat geo-environments with their morphological impacts, *Proceedings of the International Conference on Physical Modelling in Geotechnics*, Hong Kong, pp.1285-1290, 2006.
 - 7) 渡部要一, 佐々真志, 桑江朝比呂: カナダ・フレーザー川河口の広大な干潟の堆積環境, 第43回地盤工学研究発表会講演集, pp.2161-2162, 2008.
 - 8) 佐々真志, 渡部要一, 桑江朝比呂: 鳥と地盤と底生生物の関係における水際土砂環境の重要性, 第43回地盤工学研究発表会講演集, pp.2157-2158, 2008.

- 9) 渡部要一, 佐々真志: 生態地盤工学の展開 Part 1: 干潟微地形の時空間評価に向けて, 第42回地盤工学研究発表会講演集, pp.2163-2164, 2007.
- 10) 佐々真志, 渡部要一: 生態地盤工学の展開 Part 2: アサリの潜砂限界強度について, 第42回地盤工学研究発表会講演集, pp.2165-2166, 2007.
- 11) 桑江朝比呂: 干潟におけるシギ類の食物源—特に餌としての底生微生物について—, 平成19年度日本水産学会秋期大会講演要旨集, p.195.
- 12) 桑江朝比呂: シロチドリの採餌速度: 昼夜・岸沖・温度・風・干出時間の影響, 日本生態学会第54回大会講演要旨集, p.311.
- 13) 渡部要一, 佐々真志: 生態地盤環境の性能設計に向けて～Part1: 干潟地盤の堆積構造～, 第41回地盤工学研究発表会講演集, pp.2335-2336, 2006.
- 14) 佐々真志, 渡部要一: 生態地盤環境の性能設計に向けて～Part 2: 干潟底生生物の適合土砂環境場～, 第41回地盤工学研究発表会講演集, pp.2337-2338, 2006.
- 15) 石井嘉一, 佐々真志, 渡部要一, 斎藤邦夫: 超低サクション下における干潟土砂強度の変化と相対密度依存性, 第41回地盤工学研究発表会講演集, pp.859-860, 2006.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

「人工干潟およびその製造方法」: 渡部要一, 上野一彦, 上田正樹 (港湾空港技術研究所, 五洋建設), 特許申請 2006-154708 (2006年6月2日)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡部 要一 (WATABE YOICHI)

独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤・構造部 チームリーダー

研究者番号: 00371758

(2) 研究分担者

佐々 真志 (SASSA SHINJI)

独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤・構造部 主任研究官

研究者番号: 10392979

中川 康之 (NAKAGAWA YASUYUKI)

独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部 主任研究官

研究者番号: 30360762

桑江 朝比呂 (KUWAE TOMOHIRO)

独立行政法人港湾空港技術研究所 海洋・水工部 主任研究官

研究者番号: 40359229

関口 秀雄 (SEKIGUCHI HIDEO)

京都大学 防災研究所 教授

研究者番号: 20027296

(3) 連携研究者

熊谷 隆宏 (KUMAGAI TAKAHIRO)

五洋建設 技術研究所

関本 恒浩 (SEKIMOTO TSUNEHIRO)

五洋建設 技術研究所

山田 耕一 (YAMADA KOICHI)

五洋建設 技術研究所