

潮間帯干潟上の砂漣の時空間変動特性と 底質内部の保水領域の季節変動特性

Time-Space Distributions of Ripple Geometry and Seasonal Variations of Retention Water in Intertidal Flat

山田文彦¹・柴田康晴²・田端優憲³・玉置昭夫⁴

Fumihiko YAMADA, Yasuharu SHIBATA, Masanori TABATA and Akio TAMAKI

Three-dimensional Laser and X-ray Computed Tomography (CT) Scanners have been applied to investigate a time-space evolutions of wave-generated ripple geometry and vertical sediment structures of intertidal mudflat with non-destructive conditions at Shirakawa River mouth. Field observations were conducted in two places where there are many *Ruditapes philippinarum*s (clam-dominant area) or not (calm non-dominant area). Time-space evolutions of wave-generated ripple geometry at non-dominant area were found to be larger than those of calm-dominant area. Reconstructing three-dimensional images using CT value, retention water in the intertidal sediment at calm-dominant area existed up to 6cm below the sediment surface during dry cycle of tide motions.

1. はじめに

干潟ではアサリ等の二枚貝が漁業資源として利用されている。また、二枚貝を漁獲することで陸域から流入した有機物が除去され、干潟環境保全に重要な役割を果たしている。しかし、我が国のアサリ漁獲量は低迷して久しく、1980年代前半まで15万トン程度あった漁獲量がその後数万トンまで急減し、以後20年にもわたって目立った回復は見られていない。そのため干潟生産力の革新は、漁業資源としてだけでなく、沿岸域の環境保全・再生を実現する上でも重要な研究課題である(水産庁, 2008)。

Tamakiら(2008)の過去4年間の観測結果では、アサリ稚貝はおおむね干潟全域に生息しているにも係わらず、成貝はその生息域が低潮帯に限定されている。そのため、アサリ減少の要因を考える場合、稚貝の成長時期に応じた考え方が必要である。

まず着底期の稚貝に対しては、櫻井・瀬戸(1999)は波浪による稚貝の移動・分散を指摘している。これは、干潟面上に砂漣等の微地形が存在する場合により顕著であり、底面付近に発達した渦流や乱流境界層が、砂よりも比重・沈降速度が小さい稚貝の定着を阻害するものである(水産工学研究所, 2005)。つまり干潟表面の形状と流動との相互作用の理解が重要となるが、これまで室内実験では数多く検証されているものの、実際の干潟上では砂漣等の微地形の時空間変動を把握することが困難であり、研究例は非常に少ない。

次に着底後の稚貝に対しては、高波浪等により干潟面

が侵食される場合、干潟面の侵食速度よりも速くアサリが地中に潜り(潜砂行動)避難することができれば生残可能である。そこで、アサリの潜砂行動を助長するような底質内部での低密度領域(空隙・間隙水)の存在形式や堆積構造の把握が重要である。佐々・渡部(2006)およびSassa・Watanabe(2007)は干潟を生態系の住環境として捉え、土砂環境場の観点から特に干潟の保水機能の重要性を指摘している。しかし、実際の干潟上での底質環境場の情報は十分には把握されていないのが現状である。

以上のように、アサリ資源の減少要因・対策については、貝そのものの研究以上に、場や環境の特性を検討すべきとのコンセンサスが得られつつある。しかし、従来の研究は生物・水質・水理環境に主眼が置かれ、二枚貝の住家となる底質環境に関する視点が不足している。本研究は、短・中期的な物理的環境変動に対する二枚貝個体群と干潟地形の応答を検出し、地形変動場のなかでの二枚貝資源の保全と持続的利用の方策提言を目指すものである。そこで、対象干潟内でアサリ優占域と非優占域を選定し、2つの領域で底質環境特性の相違点を現地の状態で評価するために、最新の非破壊・非接触計測技術を駆使して比較検討を行う。

具体的には、稚貝着底期に関しては、砂漣を含む干潟上の微地形の時空間分布を非接触型の地上型3次元スキャナーで計測し、乱流境界層内の粗度の時空間変動特性と稚貝着底との相互作用を明らかにする。また、稚貝着底後に関しては、2つの対象地区での通年にわたる現地コアサンプリング資料をX線CTスキャナーによる非破壊状態で解析し、アサリの潜砂行動を助長する底質内部での低密度領域(空隙・間隙水)の存在様式を周年で明らかにする。

以上により、現状の干潟底質の物性評価手法を開発す

1 正会員 博(工)熊本大学教授 大学院自然科学研究科
2 正会員 修(工)前田建設 名古屋支店
3 学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科
4 非会員 理博 長崎大学教授 水産学部

るとともに、“覆砂”等の対策法の機能評価および設計・管理指針の確立を目指すことを研究の最終目的として実施した。

2. 現地観測の概要

観測は図-1に示す有明海中央部に位置する熊本県白川河口域に広がる潮間帯干潟上で実施した。観測場所の詳細はYamada・Kobayashi (2004) に詳しいが、対象海域の大潮平均潮位差は約3.8m, 平均有義波高は20cm以下である。玉置ら (2007) の干潟生物量調査結果に基づき、アサリの多い領域(優占域)と少ない領域(非優占域)を区分けした。優占域内の観測場所は堤防から1520m(低潮間帯), 非優占域内の観測場所は堤防から1040m(中潮間帯)を中心として実施した。

写真-1は、非優占域と優占域での干潟表面の状況を示している。非優占域では砂漣が明瞭に形成されているが、優占域ではそれに比べて砂漣の発達が弱い。なお、非優占域での代表的な砂漣スケールを計測してみると波長約10cm, 波高約1cmであった(写真-2)。砂漣は、波が沖浜帯の底質移動限界水深に達した時、海底に振動流が発生し、底質が移動する事によって形成されるため、波向や周期・波高・底質の粒径などの影響を受けて様々な形に変化する。非優占域と優占域は岸沖方向に約500mしか離れていないにも関わらず、異なった干潟微地形が形成されており、局所的な流動場および底質粒径の違いが推測される。そこで優占域と非優占域の両地点で1年間の底面近傍流速(底面上10cm)の計測結果を比較したところ、流速が最大で20%程度、中潮間帯に位置する非優占域の方が低潮間帯に位置する優占域より大きい値であることがわかった。

また、図-2は非優占域と優占域における2005年11月から2006年10月までの計9回と現地干潟表面土の粒径加積曲線を重ねて表示したものである。この期間中、2006年7月に白川(設計流量3,000m³/s)の河川流量が1,000m³/sを越える出水が発生し、また8月13日には台風10号, 9月10日に台風13号と2度の台風直撃を受けている。このような外力変動の中で、多量のシルト・粘土分を含んだ土砂が潮間帯干潟上に流入した。しかし、中潮間帯に位置する非優占域においては、出水の約2ヵ月後には出水前と同様の粒径分布に戻っており活発な土砂移動や粒度交換が生じている。一方、低潮間帯に位置する優占域では、河川出水の影響は3ヶ月程度継続しており、出水前の粒径分布に戻るにはさらに長い時間が必要である。

このように、土砂移動の程度の違いが、表面の形状だけでなく、粒径加積曲線の時系列変化を比較する事でも推察可能である。

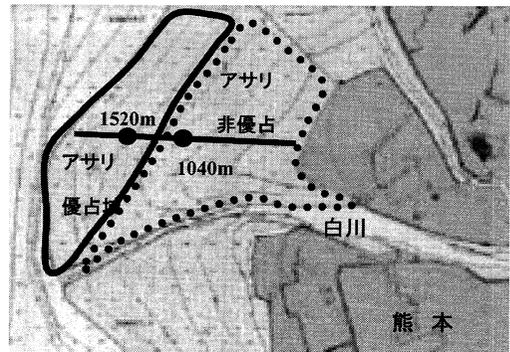
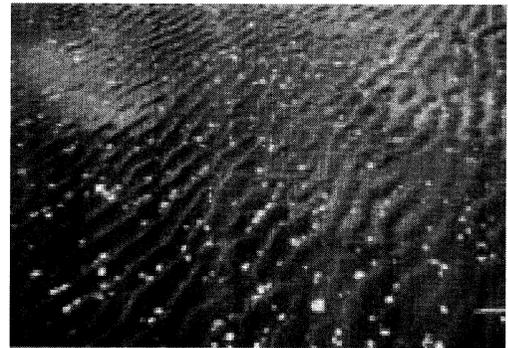
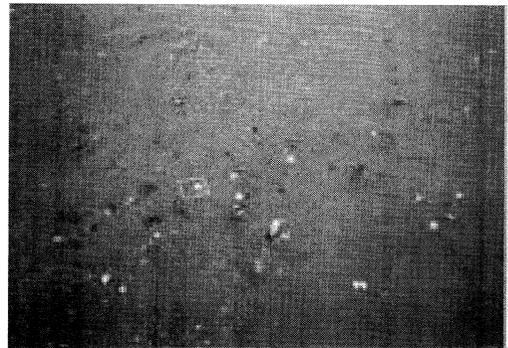


図-1 観測場所(アサリの優占・非優占域)



a) アサリの少ない領域(非優占域)



b) アサリの多い領域(優占域)

写真-1 優占域と非優占域での干潟表面の状況

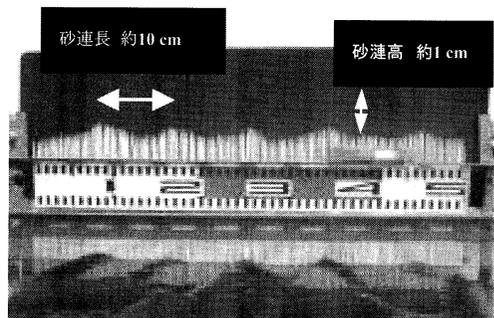


写真-2 非優占域での代表的な砂漣スケール

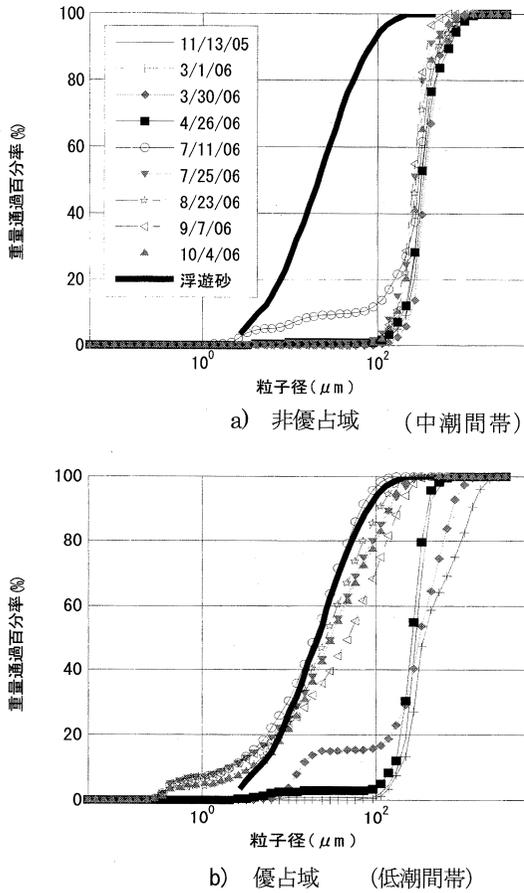


図-2 優占・非優占域における表層土の粒径加積曲線

干潟上の微地形(砂漣)の時空間変動を現地で詳細に把握する目的で、地上型3次元スキャナー(Cyrax 2500)を用いて、アサリ優占域(低潮帯)と非優占域(中潮帯)で現地計測を行った。また、この結果を用いて、微地形安定性と稚貝の生残率との関係についても調べた。観測時期は表-1に示すとおり周年で実施した。観測方法は山田ら(2007)に詳しいが、砂漣の峰線に対して垂直方向からレーザー光を当てると砂漣の峰の裏側付近でデータが欠測するため、砂漣の峰線に対して平行な方向から計測を行った。また、流動場については、水圧式波高計・電磁流速計・濁度計を用いて観測を行い、各機器はレーザ

表-1 地上型3次元スキャナーの観測日

回数	日付	回数	日付
1	2006年11月5日	7	2007年9月10日
2	2006年11月6日	8	2007年9月12日
3	2006年12月4日	9	2007年9月25日
4	2006年12月5日	10	2007年9月28日
5	2007年2月3日	11	2007年10月24日
6	2006年2月4日		

計測場所から5m程度離して設置した。

3. 地上型3次元スキャナーによる干潟微地形の観測結果

図-3に2006年12月4日と12月5日の地上型3次元スキャナーによる優占域と非優占域の計測結果より1m四方の地盤高さの一部を取り出し、濃淡画像として表示したものである。砂漣形状の時空間変動を検討する際、砂漣峰線の卓越方向の抽出は非常に重要である。ここでは、Akal・Haven(1978)を参考に、空間の自己相関関数を用いて砂漣峰線の卓越方向を決定し、砂漣峰線の卓越方向に直交する方向に対して砂漣の断面形状を抽出した。

図-4にそれぞれの観測結果に対する空間の自己相関関数の分布を示す。図-5はその3次元表示である。これより砂漣が明瞭に存在する非優占域では、空間の自己相関関数の分布より、峰線の卓越方向を容易に決定できる。一方、3次元性の強い優占域では、空間の自己相関関数の分布より、複数の波長スケールを持った成分が、ランダムな方向に重なり合った地形として理解される。ここでは、空間の自己相関関数の中央部に見られる波長10

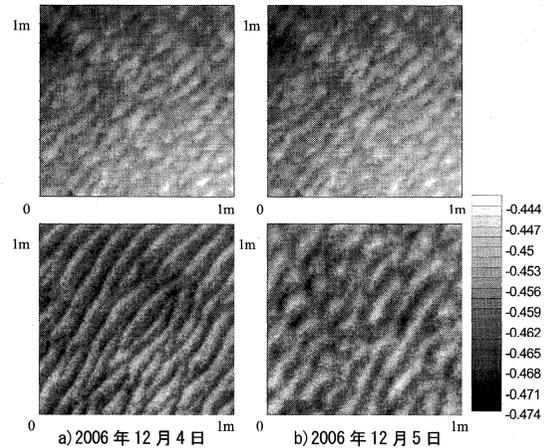


図-3 2006年12月の干潟微地形観測結果 (上段: 優占域 下段: 非優占域)

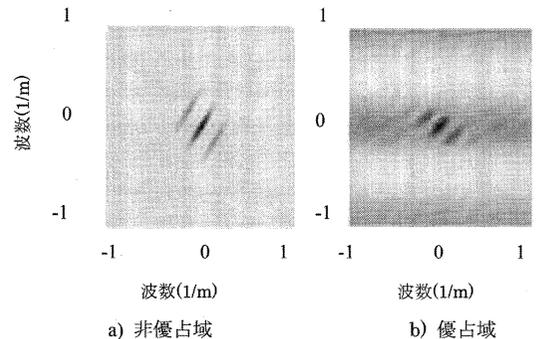


図-4 空間の自己相関関数の分布

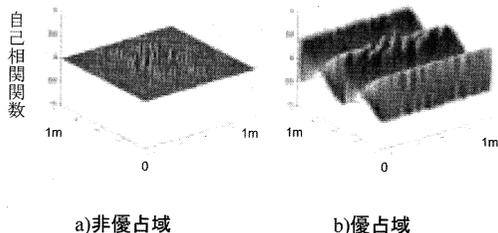


図-5 空間の自己相関関数の3次元表示

cm程度の成分の卓越方向から判断した。その後、この峰線の卓越方向に垂直する方向に砂漣の断面形状を抽出した。

図-6は、上記の手順により抽出した砂漣の断面形状の一例である。横軸は水平距離、縦軸は砂漣の波高で2006年12月4日と12月5日の砂漣の断面形状を表している。非優占域では優占域に比べて砂漣が明瞭に存在し、その発達が顕著である。また、断面形状の時空間変動が大きく、地形変化が大きいことが確認できる。

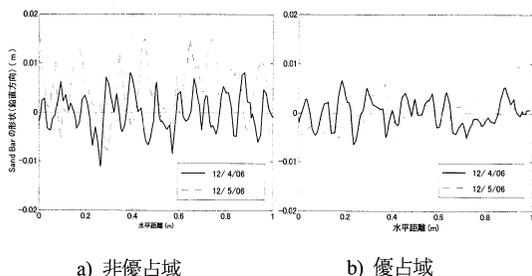


図-6 砂漣形状の日変化

次に、砂漣の断面形状の安定性に関して、1次元波数スペクトルを用いて検討した。図-7は優占域と非優占域での2006年12月4、5日の波数スペクトルの結果を重ねて表示したものである。優占域では砂漣ピーク波数が明確に存在しないのに対し、非優占域ではピーク波数は10 cycle/mの部分に存在することから、砂漣の卓越波長の大きさは10cm程度となり、砂漣の平均波長と同程度であった。Hino (1968), Briggsら (1989)は、安定状態にある地形の波数スペクトルは高波数領域(平衡状態)で波数の-3乗則が成立し、不安定状態では波数の-2乗則に近づく事を次元解析等で示し、現地データとの比較よりその妥当性を示している。そこで、潮間帯の砂漣形状の1次元波数スペクトルに対して、高波数領域の勾配を求めると、優占域では約-3乗、非優占域では約-2.5乗で減衰しており、優占域の砂漣形状は比較的安定しているのに対し、非優占域では形状が不安定であり、これがアサ

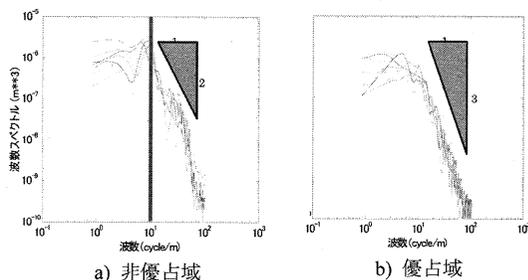


図-7 1次元波数スペクトルの比較

リ稚貝の着底に影響している事が示唆された。

4. X線CTを用いた干潟底質内部構造の可視化

熊本大学GeoXセンター所有のX線CT装置(TOSCANER-23200)を用いてアサリ優占域と非優占域での干潟底質のコアサンプル(内径10cm)を非破壊状態で底質内部の空隙や密度構造の相違などを調べた。X線CT装置の詳細は山田ら(2007)に詳しい。

図-13は冬期(2007年2月4日)と夏期(2007年9月12日)におけるアサリ優占域と非優占域におけるサンプルコア内の全CT値の頻度分布を示す。両者の相違は水分を表すCT値である-200~200の間で特に顕著であり、アサリ優占域では非優占域と比較して水分が多く保持されていることがわかる。これは夏期においては、日中の方が干出時間が長い為、土中の水分量が蒸発するためと考えられる。

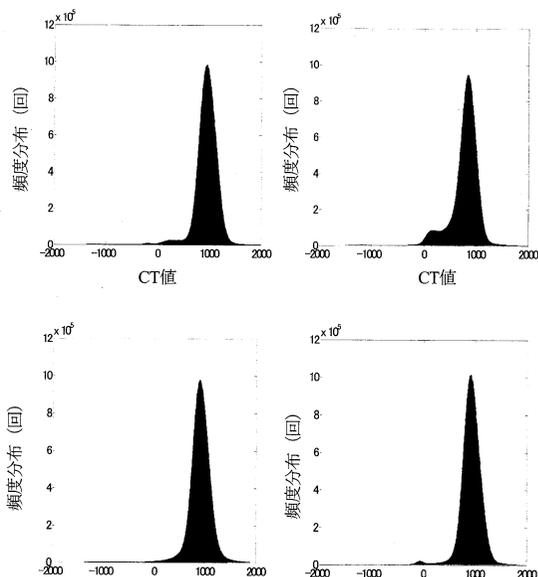


図-8 サンプルコア内の全CT値の頻度分布

次に、山田ら (2007) と同様のキャリブレーション試験を行い、周年のサンプルデータを用いて、本対象干潟の底質に関するCT数と湿潤密度の関係式を求めた。

$$\text{湿潤密度 (t/m}^3\text{)} = 1.16 \times \text{CT数} - 0.16 \quad (1)$$

図-9は、(1)式を用いて、優占域と非優占域における湿潤密度の鉛直分布の経年変化を求めたものである。図より、非優占域では湿潤密度が約1.8~2.0t/m³と年間を通して一定であるのに対して、優占域で比較的湿潤密度は低くなっており、特に冬期にはアサリの生息範囲である表層から6cmの間で湿潤密度が最大で1.2t/m³まで減少し、夏期は非優占域と同程度である約1.8~2.0t/m³となり、また冬期に減少するという、季節変動を繰り返す事が確認できた。これは、冬場においてサクシオンが有効に作用し、保水領域が保たれる事、またアサリの潜砂活動に伴う地層の攪乱によって生じる間隙水・空隙によるものであると推測でき、アサリの潜砂行動にはサクシオンの地下水位の引き上げによる保水域とアサリの潜砂により生じる新たな間隙・空隙によって得られる低密度域が重要である事が示唆された。

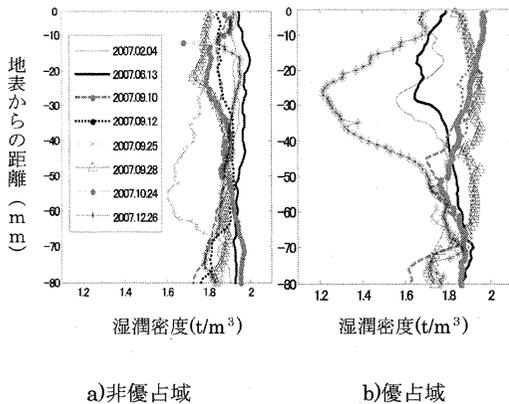


図-9 湿潤密度の経年変化

5. 結論

本研究では、アサリの多い領域(優占域)と少ない領域(非優占域)における潮間帯干潟上の微地形(砂漣)の安定性や底質の内部構造について比較検討を行った。

結論を要約すると以下のとおりである。

- (1) アサリ優占域と非優占域において、地上型3次元スキャナーにより砂漣の時空間分布の計測をした結果、非優占域の砂漣は優占域に比べて時空間変動が大き

く、底質輸送が行われやすく、地形が不安定であることが示された。

- (2) アサリ優占域と非優占域のサンプルコアに対し、非破壊状態でX線CT撮影を行い、CT値を用いて3次元画像を再構成した。その結果、冬期においてアサリ優占域では干出時においても表層から6cm間に保水領域が存在すること、また非優占域には見られないことが分かった。
- (3) 有明海白川河口干潟におけるCT値からの湿潤密度への変換式を求め、湿潤密度の空間分布を検討した結果、優占域の冬期に著しく湿潤密度が低下しており、冬期は昼間の干出時間が短く、地下水位があまり低下しないため、サクシオン(土中水分張力)が有効に作用している事やアサリの潜砂活動に伴い生じる新たな間隙水・空隙により保水領域が保持される事が示唆された。

参考文献

櫻井 泉, 瀬戸雅文 (1999): 海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性, 北水試研報, 54, pp.41-46.
 佐々真志, 渡部要一 (2006): 砂質干潟の生態土砂環境に果たすサクシオンの役割-巣穴住活動・保水場の性能評価・設計指針-, 港湾空港技術研究所報告, 第45巻, 4号, p.61-107.
 水産工学研究所 (2005): 二枚貝稚貝期における流動による輸送と生残, 平成17年度水産工学関係試験研究推進特別会 水産基盤整備分科会報告書, 34p.
 水産庁 (2008): 干潟生産力改善のためのガイドライン, 206p.
 山田文彦, 柴田康晴, 原田翔太, 外村隆臣, 玉置昭夫, 尾原祐三 (2007): 潮間帯干潟の土砂動態と底質環境調査への地上型3次元スキャナーとX線CTの適用, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1146-1150.
 Akal, T and Hovem, J (1978): Two-Dimensional Space Series Analysis for Sea-Floor Roughness, Marine Geotechnolgy, 3, p.171-182.
 Briggs, K.B. (1989): Micro topographical roughness of shallow-water continental shelves, IEEE J. Oceanic Engineering, Vol.14, pp.360-367.
 Hino, M. (1968): equilibrium-range spectra of sand waves formed by flowing water, J. of Fluid Mechanics, 34, pp.565-573.
 Sassa, S. and Y. Watanabe (2007): Role of suction dynamics in evolution of intertidal sandy flats: field evidence, experiments, and theoretical model, J. of Geophysical Research, 112, F01003, doi:10.1029/2006JF000575
 Tamaki, A., Nakaoka, A., Maekawa H., and Yamada, F. (2008): Spatial partitioning between species of the phytoplankton-feeding guild on an estuarine intertidal sandflat and its implication on habitat carrying capacity, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 78, pp.727-738.
 Yamada, F. and N. Kobayashi (2004): Annual tide level and mudflat profile, J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 130, pp.119-126.