

多種多様な干潟で得られた干潟土砂堆積構造のスペクトル解析

Spectrum Analysis for Morphological Features in Intertidal Flats with Various Characteristics

渡部要一¹・佐々真志²・林 宏一³

Yoichi WATABE, Shinji SASSA and Koichi HAYASHI

In this study, shear wave velocity structures of sandy flats, muddy flats, and subtropical flats were evaluated by means of multi-channel analysis of surface waves (MASW). Spectrum analysis along the cross-shore direction was carried out in order to quantitatively characterize the dominant wavelength for the variations of both shear wave velocity and morphological structures of intertidal flats with various scales and soil types. In the intertidal flats with multi bar-trough structure, dominant wavelengths in a range of 40 to 90 m were obtained, while in the muddy flat or huge-scale homogeneous sandy flat, any dominant wavelength was not obtained. In subtropical intertidal flats, the dominant wavelength was strongly influenced by prominent lime rock rather than the morphological surface variation.

1. はじめに

干潟生態系の維持と再生は、沿岸域の環境保全にとって重要である。筆者らは、これまでの一連の研究（渡部・佐々，2006；渡部ら，2007；Watabe・Sassa，2008）により、干潟堆積土砂の空間的構造を多チャンネル型表面波探査MASW（Parkら，1999；Hayashi・Suzuki，2004）により明らかにしてきた。

本研究では、従来の調査結果に加えて、規模の大小や土質の違いといった多種多様な干潟において別途実施した調査結果も合わせて対象とし、せん断波速度分布に関するスペクトル解析を行って、岸沖方向におけるせん断波速度分布の卓越波長を評価する。これによって、それぞれの干潟での堆積土砂の空間的構造に見られる特徴を定量的かつ横断的に比較・評価することを試みる。また、水準測量を実施して地盤高情報が得られている干潟に関しては、岸沖方向における地形の卓越波長を評価し、せん断波速度の卓越波長と比較・検討する。

2. 調査対象干潟

検討対象とした干潟は、図-1に示す6箇所の多種多様な干潟である。砂質干潟として盤州干潟（木更津市）、豊前海干潟（宇佐市）、ロバーツバンク干潟（カナダ・バンクーバー市）、泥質干潟として不知火干潟（宇城市）、サンゴ礫混じりの亜熱帯干潟として泡瀬干潟（沖縄市）、那覇空港前面干潟（那覇市）である。フレーザー川河口に位置するロバーツバンク干潟は岸沖方向に4000m以上にも及ぶ広大な潮間帯を有する砂質干潟で、岸側の一部

表層は泥質になっている部分もある。これらのうち盤州干潟、豊前海干潟、不知火干潟は既報（渡部・佐々，2006；渡部ら，2007；Watabe・Sassa，2008）にて報告した調査結果であるが、他は本論文にて新たにとりまとめた調査結果である。

調査はいずれも春から夏にかけての大潮とその前後にかけての昼間の干出時間帯に実施した。具体的には、盤州干潟の調査日は2004年8月16～18日（潮位差約1.6m）、豊前海干潟の調査日は2006年8月9～11日（潮位差約3.3m）、ロバーツバンク干潟の調査日は2007年7月27～29日（潮位差約3.5m）、不知火干潟の調査日は、2005年8月18～20日（潮位差約4.0m）、泡瀬干潟の調査日は2005年3月9～11日（潮位差約1.7m）、那覇空港前面干潟の調査日は2008年6月2～6日（潮位差約2.3m）である。

3. 調査内容

図-1に示した岸沖方向の測線に沿って、ジオフォンと呼ばれる高感度地震計を1m間隔に24個設置し、端部のジオフォンから約0.5m離れた地盤表面をカケヤで鉛直に叩いてさまざまな周波数の表面波を発生させ、23mの区間を伝播する波形をジオフォンで記録した。この操作を測線に沿って砂質干潟では2m、泥質干潟で5m移動するごとに繰り返し実施した。計測された波形のパターンからフーリエ解析により分散曲線（周波数と位相速度の関係）を求め、逆解析によりせん断波速度分布を推定した（渡部・佐々，2006；Watabe・Sassa，2008）。

4. 調査結果

各干潟の岸沖方向の測線で得られたせん断波速度構造を図-2に示す。盤州干潟、不知火干潟、泡瀬干潟では測線に沿った水準測量を実施していないので、縦軸は地盤表面からの深さとした。一方、豊前海干潟、ロバーツバ

1	正会員	博(工)	(独) 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 土質研究チーム リーダー
2	正会員	博(工)	(独) 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 土質研究チーム 主任研究官
3		博(工)	応用地質(株) 技術本部 技術研究所

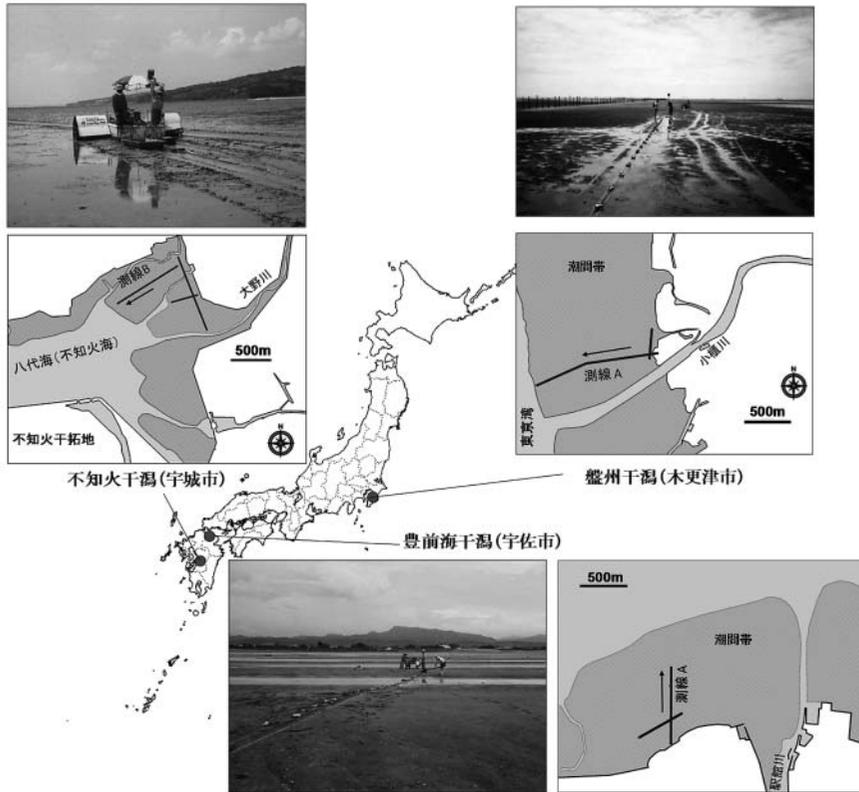


図-1 (a) 調査対象干潟の地図と測線の位置，および調査状況写真（盤州干潟，豊前海干潟，不知火干潟）

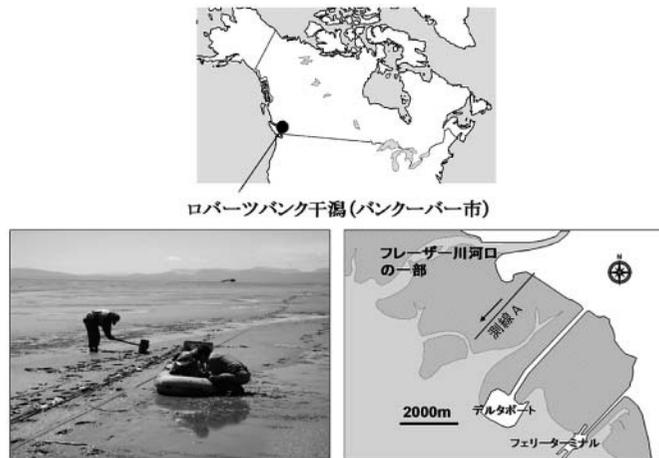


図-1 (b) 調査対象干潟の地図と測線の位置，および調査状況写真（ロバーツバンク干潟）

ンク干潟，那覇空港前面干潟では測線に沿った水準測量を実施しており，縦軸を相対標高として地盤高の情報をせん断波速度分布に反映させて描いてある。

岸沖1000m規模の盤州干潟や豊前海干潟では，地下水位が高く地表面とほぼ一致する岸側で地表面が軟らかく地下水位が下がる沖側では硬くなっているが，岸沖4000m規模の広大なロバーツバンク干潟では計測した約

3000mの全域で地表面が軟らかい状態が続いている。

岸沖1000m規模の砂質干潟である盤州干潟，豊前海干潟では，内部は水平方向に均質でも，地表面付近ではせん断波速度の高い部分と低い部分が繰り返されている箇所がある。これらは多段パー・トラフ構造に対応し，パーでは干出時にサクシオンが発達して圧縮が生じ，これが潮汐により繰り返されて蓄積した結果，密詰めでせん

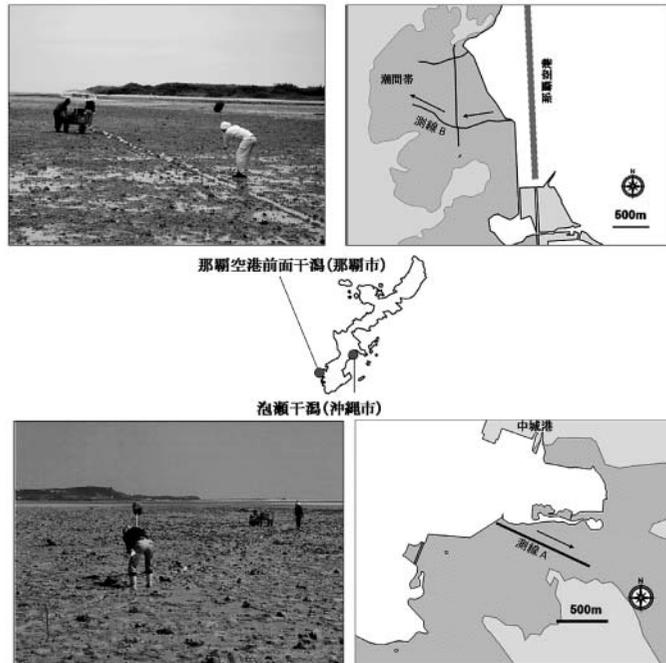


図-1 (c) 調査対象干潟の地図と測線の位置, および調査状況写真 (泡瀬干潟, 那覇空港前面干潟)

断波速度が高い状態になっていることが見いだされている (渡部・佐々, 2006; 渡部ら, 2007; Watabe・Sassa, 2008). 亜熱帯に位置する泡瀬干潟でも岸近くおよび沖側の砂質干潟の部分において同様の傾向があるが, 那覇空港前面干潟ではせん断波速度300m/sの石灰岩の突出箇所が散見される.

一方, 泥質干潟である不知火干潟は, 深度方向に対するせん断波速度増加が小さく, また, 水平方向に対してはきわめて均質である. 岸沖4000m規模の大規模な砂質干潟であるロバーツバンク干潟では, 砂質土であるために深さ方向にせん断波速度増加が大きいが, 水平方向にはきわめて均質である. なお, ロバーツバンクの距離700~900mでは, 表層2mまでの状態は周辺と差がないものの, それ以深では周辺よりも著しくせん断波速度が低く軟らかい. 対象とした干潟の規模は異なるものの, 渡部ら (2009) に示されたように内部まで軟らかい部分は滲筋の痕跡であると推察される.

5. スペクトル解析

調査対象とした6箇所すべての干潟について, せん断波速度分布に関する卓越波長を見いだすために, 図-2から深さGL-0.5mとGL-2.5mのせん断波速度を測線に沿って抽出し, FFTによるフーリエ変換によってスペクトル解析を実施した. また, 測線に沿って水準測量を実施した3箇所の干潟については, 地形に関する卓越波長を見いだすために, 相対的な標高データに関しても同様に

FFTによるフーリエ変換を行った. なお, 盤州干潟ではMASWの測線Aより約100m南側で標高データが得られていたので, これについても同様にスペクトル解析を行った. なお, 標高データのスペクトル解析に当たっては, 岸から沖に向かって標高が下がっていくトレンド成分を差し引いたデータを用いた.

せん断波速度のスペクトル解析結果を図-3に, 地盤高のスペクトル解析結果を図-4に示す.

まず, 図-3 (a) の深さGL-0.5mのせん断波速度に関して考察する. 砂質干潟に着目すると, 盤州干潟では波長40m, 60m, 90m付近に明瞭なピークがあり, 特に40m付近のピークは顕著である. 豊前海干潟でも不明瞭ではあるが波長45~75mの範囲に幾つかの小さなピークがある. しかし, ロバーツバンク干潟では卓越波長はまったく見られない. 図-2から読み取れるように, 沖側で発達しているバー・トラフは波長40~60mで繰返し出現すること, 図-4の地盤高のスペクトル解析結果にも同様の傾向が見られることから, 卓越波長は多段バー・トラフ地形に対応した地表面凹凸の波長に対応している. 干出時に発達するサクシオンによって圧縮が生じ, これが潮汐によって繰り返されて蓄積した結果硬くなっている (せん断波速度が高くなっている) という筆者らの既往の知見 (佐々・渡部, 2005; 渡部・佐々, 2006; 渡部ら, 2007; Sassa・Watabe, 2007; Watabe・Sassa, 2008) とも整合している.

泥質干潟については卓越周期が見られず, 広大でサク

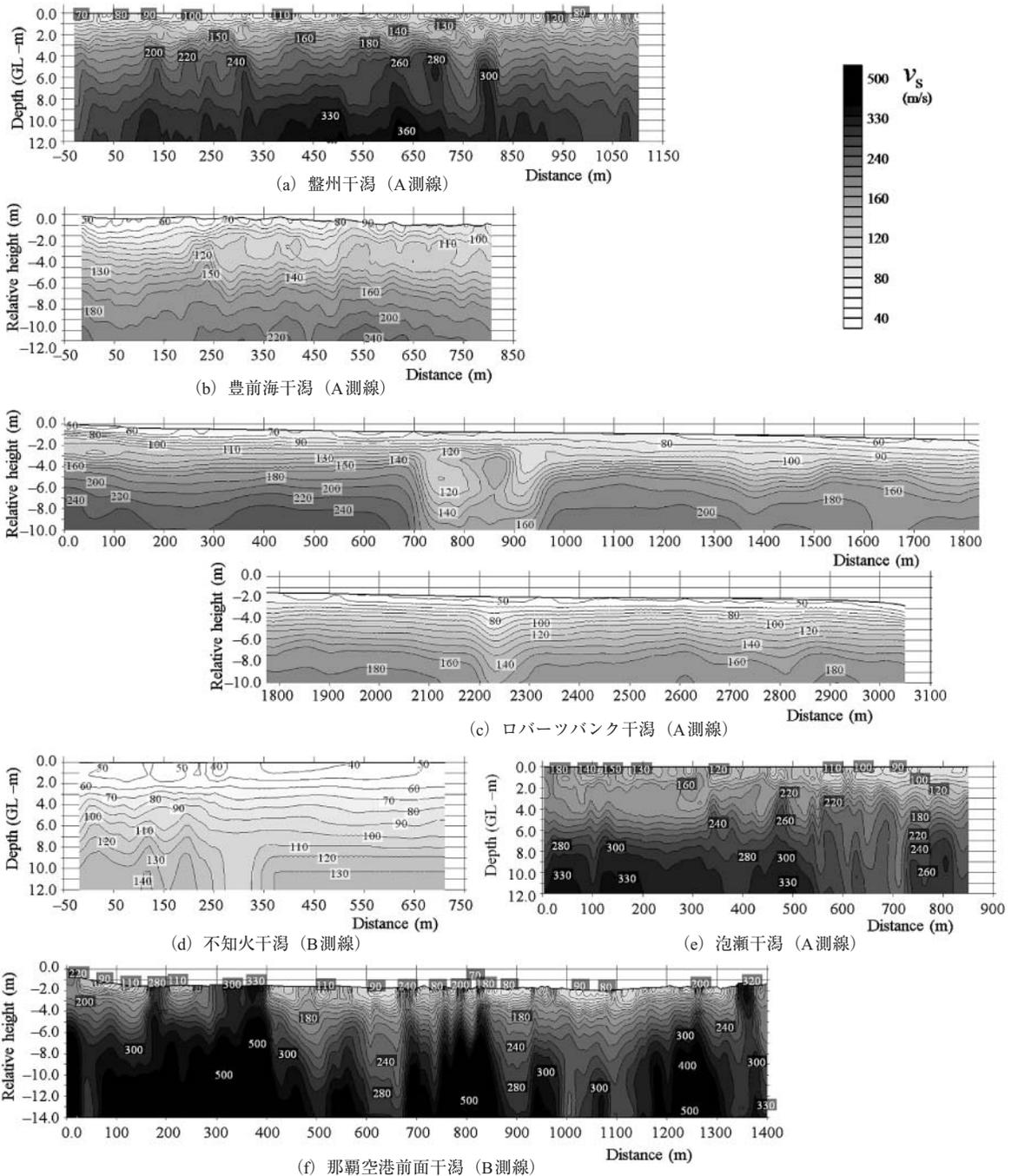
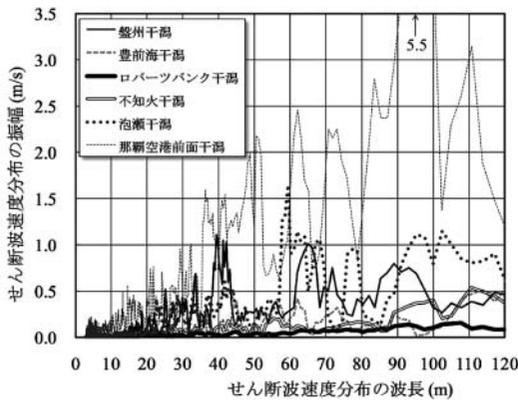


図-2 各干潟のせん断波速度構造

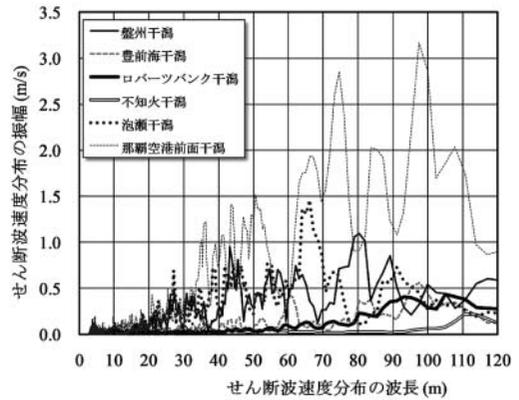
ションが発達しないロバーツバンク干潟とも似たスペクトルとなっていることは興味深い。パー・トラフのような干潟微地形の有無が堆積土砂のせん断波速度構造、すなわち硬軟の分布に大きく影響していることを示唆している。

サンゴ礫混じりの亜熱帯干潟では、泡瀬干潟と那覇空

港前面干潟で著しく異なるスペクトルが得られた。泡瀬干潟のせん断波速度のスペクトルは波長60m付近に明瞭な卓越波長が現れ、盤州や豊前海の砂質干潟と同程度の波長となっている。これに対し、那覇空港前面干潟は幾つかのピークが見られるが、特に波長100m付近の波長が卓越している。さらに長波長まで計算してみると波長



(a) 深さGL-0.5m



(b) 深さGL-2.5m

図-3 セン断波速度のスペクトル解析結果

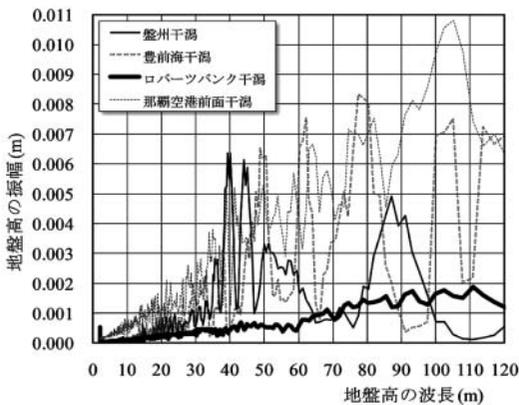


図-4 地形のスペクトル解析結果

200m付近の波長が著しく卓越していた。他の干潟より著しく長い卓越波長は、バー・トラフのような波浪によって形成された地形の影響ではなく、図-2に示したせん断波速度構造からもわかるように、珊瑚礁の痕跡として存在するせん断波速度300m/s以上の石灰岩がところどころで表層近くまで突出しており、これによる影響が強く表れた結果であると考えられる。

次に、図-3 (b) の深さGL-2.5mのせん断波速度に関してスペクトル解析結果を見ると、深さGL-0.5mの結果とある程度似た傾向は見いだせるものの、石灰岩の影響が著しい那覇空港前面干潟を除き、卓越周期は不明瞭になっている。このことは、バー・トラフ地形に関連したせん断波速度分布への影響範囲が表層1.7m程度までに限られること (Watabe・Sassa, 2008) と整合している。

6. まとめ

多種多様な規模・土質の干潟において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

それに対応して波長40~90mが卓越するのに対し、泥質干潟や広大かつ穏やかな砂質干潟では卓越波長は見られない。亜熱帯干潟で石灰岩層が表層まで突出している場合、卓越波長はその影響を強く受ける。

謝辞：本研究は科学研究費補助金（基盤研究（B）課題番号18360232）を受けた。調査実施に当たっては、国土交通省九州地方整備局、内閣府沖繩総合事務局、地元漁業関係者に御協力いただいた。また、（独）港湾空港技術研究所の桑江朝比呂氏にはカナダ・バンクーバーでの調査実施に当たって関係機関の調整を引き受けていただいた。ここに記し、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

佐々真志・渡部要一 (2005) : 砂質干潟の土砂環境場におけるサクシオン動態とその果たす役割, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 981-985.
 渡部要一・佐々真志 (2006) : 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.
 渡部要一・佐々真志・河野健二 (2007) : 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.
 渡部要一・佐々真志・林 宏一・小林耕一 (2009) : 濤沸湖における湖口周辺砂州の表面波探査を活用した堆積形成史の復元, 海岸工学論文集, 第56巻. (投稿中)
 Hayashi, K. and Suzuki, H. (2004) : CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data, Explor. Geophys. Vol. 35, pp. 7-13.
 Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J. (1999) : Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, Vol. 64, No. 3, pp. 800-808.
 Sassa, S. and Watabe, Y. (2007) : Role of suction dynamics in evolution of intertidal sandy flats: Field evidence, experiments, and theoretical model, Journal of Geophysical Research, 112, F01003, doi:10.1029/2006JF000575, 2007.
 Watabe, Y. and Sassa, S. (2008) : Application of MASW technology to identification of tidal flat stratigraphy and its geo-environmental interpretation, Marine Geology, Vol. 252, pp. 79-88.