音響測深記録を利用した地形と 底質粒径特性に関する観測

FIELD INVESTIGATION OF BATYMETRY AND SEDIMENT SIZE USING ECHO-SOUNDING DATA

石野芳夫¹・柳嶋慎一²・栗山善昭³

Yoshio ISHINO, Shin-ichi YANAGISHIMA and Yoshiaki KURIYAMA

¹国土交通省北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所 沿岸防災対策室 沿岸防災調査官 (元(独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部) (〒930-0856 富山市牛島新町11-3)

²正会員 (独法) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 主任研究官 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 博(工) (独法) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部長

Echo-sounding data obtained at 200 kHz for bathymetry survey was examined to measure the spatial variation of sediment size at the Hasaki Coast of Japan facing the Pacific Ocean. The comparison between the intensities of the sound waves reflected from the bottom and the median sediment diameters on the bottom surface at 12 points shows that the reflection intensity became large and exceeded a threshold value when the median sediment diameter was larger than 1 mm, and hence this method can be used to detect very coarse sand and gravel. The regions where the reflection intensity exceeded the threshold value and thereby the existence of very coarse sand or gravel was suggested were located at troughs, which result is consistent with a previous study's result.

Key Words : *Sediment size, echo sounding, coarse sand, gravel, bathymetry, nearshore*

1. はじめに

底質粒径は沿岸域の地形変化に大きな影響を及ぼす。底質が砂の場合、粒径の大きい砂の方が、粒径の小さい砂に比べて動きにくく安定しており、また、汀線近傍では、より急勾配の海浜を形成する。粒径が0.062mmよりも小さくなり、底質がシルトになると、その移動には、砂の移動にも影響を与える波や流れ以外に塩分濃度や含水比も影響を及ぼすようになり、砂とは異なった挙動を示す。

一方、底質粒径は生態系にも影響を与えており、ソコミジンコ目のある類は、種によってコロニーを形成する粒径の異なることが報告されている¹⁾。

このように、底質粒径は地形変化や生態系など沿岸域の環境に大きな影響を及ぼす因子であることから、沿岸域の現象のメカニズムを解明し将来を予測するためには、粒径に関する情報が必要不可欠である。

底質粒径を把握する方法の一つとして、底質を直接、海底から採取し、その粒度分布をふるいなどを用いて調べる方法がある。この方法では、採取した地点の粒径を確実に把握することができる反面、海底面より底質を採取する必要があるため採取地点が

限られてしまい、地盤高さなどの空間解像度に比べると粒径の空間解像度は低くなってしまう。

底質を直接採取せずに底質粒径を把握する方法としては、海底散乱音を用いて底質を区別する方法(例えば、日本海洋学会編²⁾)や音響の特性や波形形状などを利用する方法(例えば、Prestonら³⁾、岡田・古川⁴⁾)などがあるものの、その現地適用性が十分に検討されているわけではない。

そこで、本研究では、海底地形を測量するために用いられる音響測深記録を利用して底質粒径特性の平面分布を把握する方法の外海に面した砂浜海岸に対する適用性を検討するとともに、その方法を用いて地形と底質粒径特性との関係を検討した。

2. データの概要

本研究で使用したデータは、自律走行測量ボート(コデン(株)製、長さ約1m、幅約0.3m、重さ約15kg)に取り付けられている周波数200kHz、指向角24°の音響測深機によって取得された音波の反射データである。

図-1は、上記の音響測深機によって得られた音波

の反射信号の例を示したものである。反射信号は、反射強度に応じて0から7までの値で出力されており、数字が大きいほど反射強度が大きく、図では赤っぽい色で表されている。図の横軸は音響測深機を積載したボートの水平方向の移動距離を示しており、縦軸は、上から下に向けて、音波を発射してから受信するまでの時間（音速をかけると音響測深機からの距離）を示している。なお、信号送信の時間間隔は1/2s、信号受信の時間間隔は1/9375 sである。

図-1では反射強度の強い領域が中央と下の方に2箇所ある。上方（図の中央）の強反射領域は、海底面からの直接の反射（1次反射）によって生じたものであり、下方の強反射領域は海底面からの反射波が海面によって反射され、それが再び海底面で反射すること（2次反射）によって生じたものである。

本研究では、1次反射領域において、反射強度が最初に5以上になった位置を底面位置と定義した。ただし、測量ボートの波による上下動の影響を除去するために、上記の方法で求めた水深データに対して、前後のデータを加えた3個のデータによる移動平均（水深データが0.5s毎に取得されるため移動平均幅は1.5s、水平距離に直すと約1.5m）を施すとともに、移動平均した1s毎（水平距離約1m間隔）の値に対して、さらに、カットオフ周波数0.05Hzのローパスフィルター処理を行った。図-2は、水深データの生データと上記処理を行った値とを比較したものである。上記の処理によって、波による変動が除去されている。

図-1 反射信号の例

図-2 処理前の水深データ（黒実線）及び処理後のデータ（赤実線）

3. 底質粒径と1次反射量との関係

底面からの音響反射信号は、粒径が小さく底面が滑らかであると急速に減衰するのに対して、粒径が大きく底面の凹凸が大きいと音響測深機直下のみならず、その周辺からも反射信号が受信器に戻ってくるためにゆっくりと減衰する⁵⁾。

そこで、粒径が反射信号に及ぼす影響を検討するために、以下で定義される1次反射量と粒径との関係を検討した。

ここで定義する1次反射量とは、反射信号出力が1以上となる領域に含まれる反射信号データの個数であり、図-1の鉛直に伸びる線上の1次反射付近における出力1以上の領域の幅を示している（図-3）。

検討に用いたデータは、茨城県波崎海岸に位置する波崎海洋研究施設（以下、HORS；位置は図-4参照）周辺の水深約2m～9mの領域の12地点（図-5）で2009年12月8日と2010年1月14日に取得された底質の中央粒径と1次反射量である。

図-6は12地点における底質の粒径加積曲線を示したものである。3地点で中央粒径が1mmよりも大きく、7地点では中央粒径が0.3mmよりも小さい。

図-3 1次反射量のイメージ図

図-4 観測位置

図-5 底質採取位置. 地形は2009年12月14～18日に測量されたもの. 黒丸印は2009年12月8日の採取位置, 黒三角印は2010年1月14日の採取位置を示す.

図-6 12地点の粒径加積曲線

図-7 中央粒径と1次反射量との関係. 黒丸印は2009年12月8日のデータ, 黒三角印は2010年1月14日のデータを示す.

図-7は、1次反射量と中央粒径との関係を示したものである。中央粒径が1mmよりも大きくなると1次反射量が30よりも大きくなっている。このことから、本音響測深記録は、底面における極粗砂（中央粒径1～2mm）やれき（中央粒径2mm以上）の有無の判別に用いることができそうである。一方、水深が1次反射量に及ぼす影響に関しては、2009年12月のデータの方が2010年2月のデータに比べて水深が大きい位置で取得されているものの、両者の間で大きな差はなく、今回の検討では、1次反射量に対しては水深の影響は見られなかった（図-7）。

4. 地形と底質粒径特性との関係

(1) 地形と1次反射量との関係

上記の検討で1次反射量が粒径特性を示すパラメーターとして使えることが明らかになったことから、続いて、HORS周辺の沿岸方向約400m、岸沖方向約600mの範囲において、2009年12月と2010年2月に取得された音響測深データを用いて、1次反射量と地形との関係との関係を調べた。

図-8, 9は、1次反射量と地盤高さの平面分布を示したものである。沿岸方向の測量間隔は約40mであり、岸沖方向の測量間隔は約1mである。図より、周辺よりも深い領域で1次反射量が大きくなっていることがうかがえる。そこで、沿岸方向に平均した断面からの偏差と1次反射量との関係を検討した。

図-10は、岸沖方向の測線毎の断面と沿岸方向に平均化した断面とを重ね合わせたものであり、図-11は沿岸方向に平均した断面からの偏差（上方向が正）と1次反射量との関係を示したものである。

地形は、地盤高さ-5mよりも深い領域で沿岸方向の変動が大きくなっており（図-10）、1次反射量と地形との関係に関しては、平均断面よりも深い領域において1次反射量が大きくなっていた（図-11）。

図-8 地盤高さと1次反射量の平面分布（2009年12月）

図-9 地盤高さと1次反射量の平面分布（2010年2月）

本海岸における従来の粒径調査では、トラフ領域において粒径が大きくなることが示されており^{6),7)}、図-11に示される結果は従来の調査結果と矛盾していない。

図-10 断面図の重ね合わせ。赤の実線が平均断面。

図-11 平均断面からの偏差と1次反射量との関係

(2) 地形変化量と1次反射量の変化量との関係

続いて、2009年12月から2010年2月にかけての地形の変化量と1次反射量の変化量との関係を検討した。

図-12はその関係を示したものであり、横軸における正の値は堆積を表しており、縦軸における正の値は1次反射量が増加したことを表している。

底面に粒径1mm以上の粗い底質が存在していると考えられる領域は、地形変化に対応して変化しており、堆積が生ずると粗い底質は底面からは消え（図-12の第4象限，右下）、侵食が生ずるとそれが底面に露出する（図-12の第2象限，左上）傾向がうかがえた。

図-12 2009年12月から2010年2月にかけての地盤高さの変化量と1次反射量の変化量との関係

5. おわりに

本研究で明らかとなった主な結論は以下の通りである。

研究で検討した音響測深記録では、中央粒径が1mmよりも大きくなると1次反射量が30よりも大きくなることから、底面における粒径1mm以上の底質の有無の判別に本音響測深記録を用いることができそうである。

観測を行った波崎海岸では、平均断面よりも深い領域において1次反射量が大きくなっていた。本海岸における従来の粒径調査では、トラフ領域において粒径が大きくなることが示されており、上記の結果は従来の調査結果と矛盾していない。さらに、底面に極粗砂あるいは粗砂が存在していると考えられ

る領域は、地形変化に対応して変化しており、堆積が生ずるとそのような底質は底面から消え、逆に、侵食が生ずると底面に露出する傾向がうかがえた。

謝辞：本研究では、当所の沿岸土砂管理研究チームおよび波崎海洋研究施設の研究者、研究補助員に現地観測を手伝って頂くとともに、データ解析においても貴重なコメントを頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 須田有輔, 早川康博訳：砂浜海岸の生態学, 東海大学出版会, 427p., 2002, Ecology of Sandy Shores by Brown, A.C. and McLachlan, A., 1990, Academic Press.
- 2) 日本海洋学会編：沿岸環境調査マニュアル（底質・生物編）, 恒星社厚生閣, 266p., 1986.
- 3) Preston, J. M. and Collins, W. T.: Bottom classification in very shallow water by high-speed data acquisition, Oceans 2000 MTS/IEEE Conference Proceedings, pp.1277-1282, 2000.
- 4) 岡田知也, 古川恵太：東京湾沿岸域における音響装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 1431-1435, 2005.
- 5) Preston, J. M., Collins, W. T., Mosher, D. C., Poeckert, R. H. and Kuwahara, R. H.: The strength of correlations between geotechnical variables and acoustic classifications, Oceans 1999 MTS/IEEE Conference Proceedings, pp.1123-1128, 1999.
- 6) 加藤一正, 柳嶋慎一, 栗山善昭, 磯上知良, 村上裕幸, 藤田 誠：砕波帯内の底質粒度の変動特性 —波崎海洋研究施設における現地調査—, 港湾技術研究所報告, 第29巻, 第2号, pp.37-61, 1990.
- 7) 加藤一正, 藤田誠, 柳嶋慎一, 村上裕幸, 末次広児：バー・トラフ地形変化と底質特性の変動, 海岸工学論文集, Vol.35, pp.332-336, 1988.