

海浜断面変形に伴う底質表面の粒度分布と底質内部密度の時空間変動

熊本大学 学生会員○蒲原さやか, 池田有希; 正会員 山田文彦; 神戸高専 正会員 辻本 剛三

1. はじめに

養浜海岸は混合粒径の海浜となることが多く、海浜地形を予測する際に底質の移動方向や分級効果を考慮する必要がある。しかし、現状の数値モデルでは、波高・流速については予測精度の向上が見られるものの、底質輸送や地形変化に関しては十分であるとは言い難い。これは、分級効果や地形変化に伴う底質内部の密度構造などの情報が不足していることが一因である。そこで、本研究では室内移動床実験を行い、底質表面の粒子画像撮影から粒度分布の時空間変化を調べるとともに、X線CTスキャナーを用いて底質内部の密度構造について調べた。

2. 岸沖海浜断面変形の室内実験

長さ 18m, 高さ 0.8m, 幅 0.6m の 2 次元造波水槽を用いて初期勾配 1/15, 水深 0.4m で海浜変形実験を実施した。入射波は不規則波とし、地形変化が定常とみなせるまで波を作用させた。その作用時間は Case-A, B が 17 時間, Case-C, D は 19 時間である。実験条件の概要を表-1 に示す。

表-1 実験条件

Case	入射波高 (m)	周期 (s)	中央粒径 (mm)	C パラメータ	地形変化 の分類
A	0.133	1.23	0.50	7.8	中間型
B	0.140	1.43	0.50	7.5	侵食型
C	0.038	1.15	0.50	2.4	堆積型
D	0.038	1.15	0.38	2.8	堆積型

波高、流速、濁度の測定は、容量式波高計 7 台、電磁流速計 1 台、透過光式濁度計 1 台を用い、波高・濁度は 100Hz、流速は 200Hz で測定した。地形変化の時空間変化は数時間毎にレーザー距離計により 2cm 間隔で計測した。粒径分布の時空間変化は非接触手法である Rubin の画像計測手法¹⁾を用いて算出した。そのため、デジタルカメラを用いて底質表面を地形変化と同じ時間間隔で岸沖方向 (10cm 間隔) に撮影した。また、地形変化が定常状態に達した後、特徴的な地形変化が生じた場所 (図-2 中の ▲) でコアサンプリング (内径 4cm, 厚さ 3mm, 鉛直方向 30cm のアクリル製サンプラー) を行い、X線CTスキャナーを用いて底質内部の空隙や密度構造の相違を非破壊状態で表面から 5mm 間隔で撮影した。

図-1 は Case-B (侵食型) で定常に達するまでの海浜断面の時間変化 (上段) とその標準偏差 (σ) の岸沖分布 (下段) を示す。図中の赤丸 (○) はバー頂上を示し、波作用 2 時間後に $x=3.2\text{m}$ 付近に位置したバーは時間とともに沖側へ移動し、それに伴ってトラフも沖側に存在範囲を広げている。定常に達するまでの地形変化の標準偏差は、バーム、トラフ、バー付近で大きく、その大きさは 6cm 程度である。

図-2 に中央粒径 (D_{50}) の時空間変動特性 (実線: 中央粒径の平均値; 点線: 標準偏差 ($\pm \sigma_{D_{50}}$)) と定常状態の海浜断面とを重ねて示す。上段の侵食型 (Case-B) は波作用から 2, 4, 6, 9, 12, 17 時間後、下段の堆積方 (Case-D) は 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 17, 19 時間後の撮影画像から算出した中央粒径の平均値と標準偏差の岸沖分布である。中央粒径の岸沖分布を比較すると、侵食型ではバームやバー上で大きく、トラフで小さくなり、地形の起伏に応じた分布傾向が見られる。一方、堆積型ではバームから汀線にかけて一旦小さくなるが、トラフ終端付近や $x=3\text{m}$ より沖側で大きくなり、侵食型とは異なった傾向を示す。次に、中央粒径の標準偏差を岸沖方向に比較すると、侵食型ではバームから汀線にかけて一旦小さくなるが、その後 0.2mm 程度の変動幅で推移し、この傾向はトラフ終端まで見られる。トラフを過ぎるとバー上で最小の変動幅となりそれ以降も岸付近よりも小さい 0.1mm 程度の変動幅で推移する。一方、堆積型では、遡上端からバームにかけて 0.2mm 程度の変動幅で推移し、汀線付近で一旦小さくなる。その後は沖側まで 0.2mm 程度の変動幅で推移している。このように Rubin の画像計測手法を用いて侵食・堆積型における粒径分布の時空間変化を非接触で比較することで中央粒径の平均値と標準偏差の岸沖分布の相違が明らかとなった。

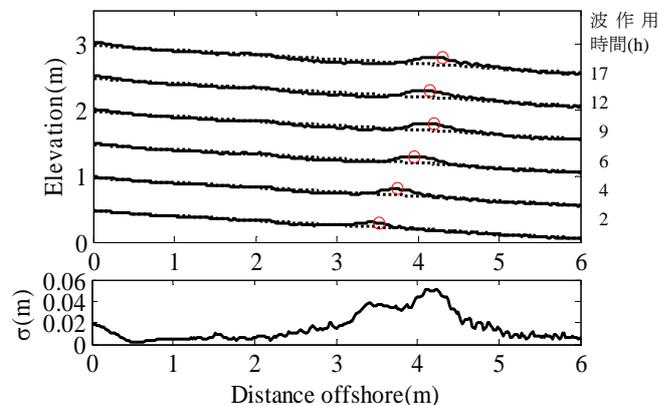


図-1 海浜断面の地形変動特性 Case-B (侵食型)

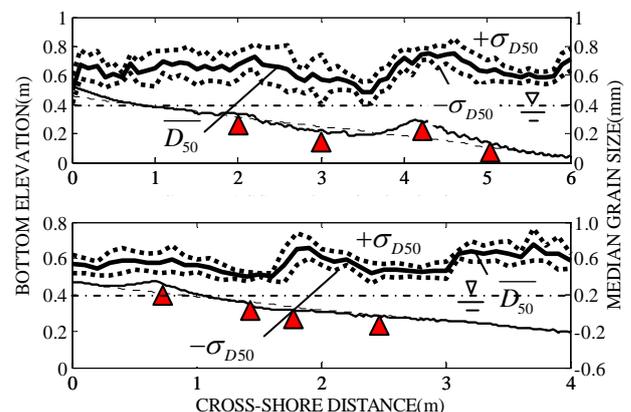


図-2 中央粒径の岸沖変動特性

次に、地形変化に伴う底質の内部構造について述べる。X線CTスキャナーでは、撮影した水平断面内のCT値が画素(水平方向0.073mm,鉛直方向1mm)毎に出力される。このCT値は撮影した物質の密度に比例するので、用いた底質毎に密度変換式を求めた。図-3は室内実験・現地において岸沖方向に採取したコア試料のかさ密度の鉛直分布を比較したものである。室内実験・現地ともにかさ密度の鉛直分布の平均値は沖側に向かって大きくなっていく。また、かさ密度の大きさは、ともに1.3~1.8g/cm³の間で分布しており、大きな差は見られない。これらの結果は、室内の移動床実験でも底質の密度変化を現地とほぼ同じスケールで評価できることを示唆している。また、侵食型ではトラフ・バー付近(x=3-4.3m)の表層2cm付近のかさ密度は、それ以深の底質よりも0.2g/cm³程度減少しているが、堆積型では汀線~トラフ付近(x=1.3-1.6m)では表層付近の密度は比較的一定である。つまり、地形変化の形態によって表層付近の底質の密度構造は変化する。

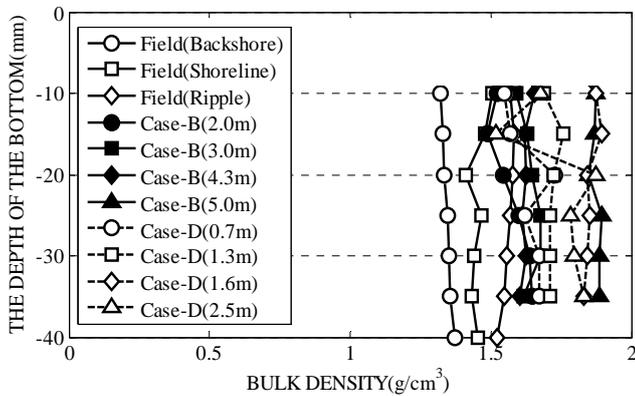


図-3 かさ密度の鉛直分布の岸沖変化 (実験・現地)

表-2はコアと同時に採取した試料のふるい試験の結果であり、中央粒径(D_{50})、ふるい分け係数(S_0)と偏り度(S_k)を示す²⁾。侵食型の S_0 の値はいずれも $S_0 = 1.25$ 程度³⁾であり、底質は均一で分級された状態と判断できる。また、バー付近(x=4.3m)を除いて $S_k \approx 1$ となっており、粒度組成は中央粒径付近に集中している。一方、堆積型では汀線~トラフ付近(x=1.3-1.6m)で $S_0 > 1.25$ となり、粒径の均一性は低くなる。また、いずれの場所でも $S_k > 1$ となり、粒径分布は D_{50} よりも大きいほうに偏っている。今後、特に表層2cm付近までのCT撮影を1mm間隔程度で密に行い、地形変化の形態によるかさ密度の鉛直分布と底質の粒径分布との関係性について検討する必要がある。

表-2 砂粒子のふるい試験の結果

	侵食型 (Case-B)				堆積型 (Case-D)			
距離	2.0	3.0	4.3	5.0	0.7	1.3	1.6	2.5
D_{50}	0.50	0.50	0.50	0.46	0.35	0.41	0.39	0.38
S_0	1.29	1.24	1.33	1.28	1.26	1.43	1.51	1.30
S_k	1.01	0.99	1.19	0.95	1.30	1.09	1.31	1.13

3. 数値モデルによる地形変化の再現

流動・地形変化の数値モデルはKobayashiら(2007)のモデル(CSHOREW)を用いた。このモデルは時間平均・水深積分されたモデルで掃流輸送・浮遊輸送のモデル化に特徴がある。

図-4はCase-BとCase-Dの実験値と計算値の地形変化を示したものである。Case-Bの計算値では、バーの発達が見られず現状では地形の再現ができていない。Case-Dでは、バーの発達がみられ堆積型の地形変化は再現できている。Case-B, Case-Dともに岸向きに地形が動いているのは、沖向きの戻り流れの再現が弱いことなどが一因である。なお、実験結果より、地形は底質の粒径分布だけでなく密度構造にも依存する可能性が示唆されたため、現状のモデルに底質内部構造の影響も考慮してゆく予定である。

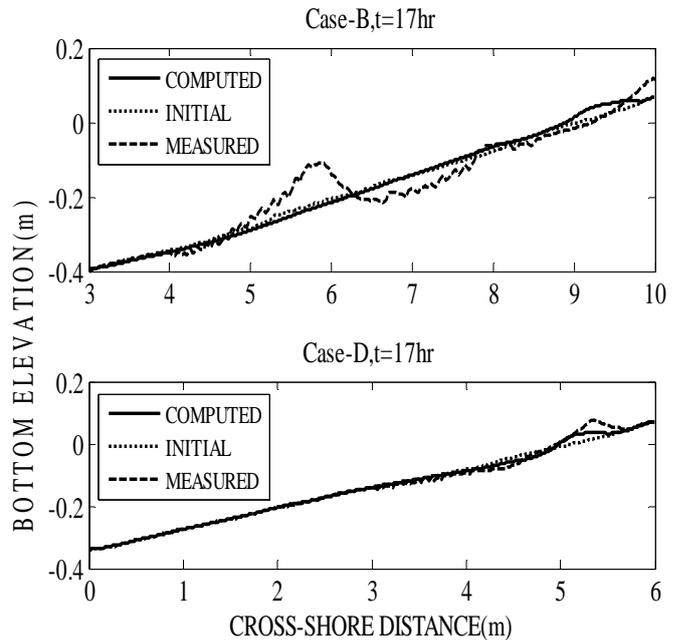


図-4 実験値と計算値の地形変化

4. おわりに

- (1)実験結果からRubinの画像計測手法やX線CTスキャナーは、現地や室内実験の底質表面の粒度分布や内部の密度構造の時空間変動を非破壊で短時間に把握できる有効な手法であることが示された。
- (2)侵食・堆積型の形態によって底質表層の中央粒径の平均値と標準偏差の岸沖分布は異なること、また表層付近の底質の密度構造に違いが存在することから、分級効果は底質の粒径と底質内部の密度と関連する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Rubin, D. M., J. of Sedimentary Research, 74 (1), pp.160-165, 2004.
- 2) 栗山善昭, 海浜変形, 技報堂出版, p.157, 2006.
- 3) 服部昌太郎, 海岸工学, コロナ社, p.230, 1987
- 4) Kobayashi, N., Agarwal, A. and Johnson, B. J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean. Engineering, 133(4), pp.296-304, 2007.