底質内部の密度構造の時空間変化を考慮した海浜変化予測モデルの適用性

熊本大学 学生会員 舟越善隆,末長清也 正会員 外村隆臣,辻本剛三,山田文彦

1. 序論

従来の地形変化予測モデルの多くは、漂砂量フラ ックスに対して、流速の時空間変動やその非対称性 に起因する加速度や水平圧力勾配の重要性に着目し た研究例が多い^{1,2}。しかし、現状の地形変化モデ ルの予測精度は必ずしも十分ではない。その要因の 一つとして、現在の地形変化予測モデルには、地形 変化に伴う底質内部の密度や空隙率の時空間変動が 十分に考慮されていないことがあげられる。

本研究では、砕波帯 ~ 遡上域における底質の撹乱 深さ(depth of disturbance)の時空間変動に着目する。 この深さは底質の表層付近で粒度組成が変化する層 厚を意味し、これを定量的に把握することは、漂砂 量算定や地形予測の精度向上に不可欠である。そこ で、波浪に伴う地形変化として侵食型・中間型・堆 積型の3ケースの室内移動床実験を行い、底質の撹 乱深さを密度構造の相違として検証するために、X 線CTスキャナの適用を行った。また、その計測結果 を漂砂量公式に反映する方法について検討し、撹乱 深さ内に存在する底質の水中比重の時空間変動を考 慮した地形変化計算を行い、実験結果と比較した。

2. 室内実験概要

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。実験は中間型、浸 食型、堆積型の各ケース行った。実験に用いた波高、 周期、中央粒径パラメータの条件を表-1に示す。 また、底質の撹乱深さを密度構造の相違としてX線 CTスキャナで計測するために、各ケースにおいて内 径4cm、厚さ3mm、長さ30cmのアクリル製サンプ ラーを用いて表層から深さ15cm 程度まで数時間毎 にコアサンプリングを行った。

Case	入射 波高	周期 (s)	中央粒径 (mm)	C パラメータ	
	(cm)				
А	13.3	1.23	0.5	7.8	中間型
В	14.0	1.43	0.5	7.5	侵食型
С	3.81	1.15	0.5	2.4	堆積型

表-1 室内実験条件

3. X線 CT による底質密度構造の計測

熊本大学 X-Earth センター所有の産業用 X 線 CT スキャナー(TOSCANER-23200)を用いて、底質の コアサンプルを非破壊状態で撮影し、底質内部の密 度構造の時空間変化を調べた。得られる CT 値は撮影 した物質の密度に比例するので、底質毎にキャリブ レーション試験を行い密度に変換した。 図-1はCase-Bの侵食型のトラフにおける湿潤密度 の鉛直分布の時間変化率を示したものである。図よ り、底質表面から 10cm 程度までは底質密度が±25% 程度変動していることが確認できる。また、密度の 鉛直分布の比較から、地形変化に伴い圧密過程や空 隙構造が変化し、特に、表層付近では見かけの密度 が低下する層が生じ、その層厚は時間経過とともに 変動する様子が観察された。このことから、X線CT を用いて推定した底質の撹乱深さは、Case-Bの侵食 型のトラフの場合最低 10 cm 程度であり、入射波高 の 70%程度に達することが確認された。



4. 地形変化の計算手法

波浪場の基礎方程式には、岸沖方向(1次元)の連続の式と拡張型ブージネスク方程式を用い、漂砂量の算出には以下のBailardの漂砂量公式を用いて地形変化モデルを構築した³⁾。

$$\vec{Q}(x,t) = \vec{Q}_b(x,t) + \vec{Q}_s(x,t) \tag{1}$$

$$\vec{Q}_{b}(x,t) = \frac{C_{f-b}}{sg \tan \phi} \left\| \vec{u}(x,t) \right\|^{2} \vec{u}(x,t) - \frac{\tan}{\tan \phi} \left| \vec{u}(x,t) \right|^{3} \vec{i}$$
(2)

$$\vec{Q}_{s}(x,t) = \frac{C_{f-s}}{sg_{-s}} \left[\left| \vec{u}(x,t) \right|^{3} \vec{u}(x,t) - \frac{s \tan}{s} \left| \vec{u}(x,t) \right|^{5} \vec{i} \right]$$
(3)

ここで、 $\hat{Q}(t)$ は漂砂量の瞬間値、 $\hat{Q}_{b}(t)$ は掃流砂量 $\hat{Q}_{s}(t)$ は浮遊砂量、 C_{f} は抵抗係数、 $_{b}$, , は無次元係 数、s は底質の水中比重、g は重力加速度、 $\tan \phi$ は底 質の内部摩擦角、 \tan_{i} は海底勾配、i は底質勾配方 向の単位ベクトル、u(x,t) は流速である。なお、今 回は(2), (3)式中の底質水中比重(s)を実験結果に基 づき砕波前後で初期値(1.65)から±25%程度変化させ、 地形変化計算結果にどのような変化を生じるかを調 べることを主目的としている、入射波の条件は規則 波として与えた。また、底質の移動限界流速は Soulsbyの式を用い、地盤高は底質の質量保存則から を求め、その際の空隙率は今回の計算では一定(0.4) としている。

図-2は、Case-Bの侵食型において底質の水中比重 を一定とした場合と砕波前後で変化させた場合の地 形再現性の比較結果を示す。なお、水中比重を変化 させた場合では、X線CTの結果より±25%の範囲で 水中比重を空間的に変化させる数種類のパターンで 数値実験を実施し、最も再現性のよかった計算例を 示している。具体的には、掃流移動での水中比重の 値は沖側からバー地点までは一定で、バー前面の 8m~9m 地点では+20%、バー後部は-10%とした。ま た、浮遊移動においては沖側からバー地点まで+ 25%、バー・トラフ部分である 8m~11m までは+25% から-20%と水中比重を線形的に減少させ、11mから 汀線までは+10%とした計算結果である。図より、バ ーの高さやトラフ付近での地形再現性が向上してい る。そこで、再現性精度を定量的に比較するために、 計算結果と実測地形との差分の絶対値の総和を比較 した。その結果、バー付近では水中比重の変動を考 慮することで 27.6%の地形再現性の向上が確認でき た。



図-2 侵食型地形変化計算結果

次に、底質の水中比重を変化させることで漂砂量 と流速にどのような変化が生じるかを検討した。図 -3 は実測地形でバーのクレスト部となる 9m 地点の 漂砂量、流速の時間変化を示したものである。この 図から、水中比重を変化させても流速に大きな変化 は確認できない。しかし、漂砂量に関しては流速の 変化に比べると時間が経過するに連れ水中比重一定 の場合と変化させた場合で変化が現れることが確認 できた。この傾向はバー開始地点の 8m と、トラフの 部分である 10m 地点においても同様の傾向にあるこ とが確認できた。





最後に、水中比重を変化させた場合でもトラフ付 近(x=10-11 m)の地形再現性には顕著な違いは見られ ない理由について検討する。図-4 は、実験と計算で の平均波高の岸沖分布を比較した結果である。図よ リ、バーのクレスト位置である9mよりも岸側で計算 による波高再現性が低いことがわかる。主な理由は、 実験では不規則波を用いており、波高により砕波点 が移動するが、計算では規則波を用いており、この 変動を厳密に表現できないことが挙げられる。また、 実験ではトラフ付近で sheet flow の発生が確認され ており、漂砂量の算定にあたっては速度や加速度の 非対称性を考慮する必要があるが、現状の漂砂量公 式では考慮されていない。今後、不規則波やsheet flow の影響を考慮した計算も行う予定である。



参考文献

- van der, A. D. B, Coastal Eng., 57, pp. 331-342, 2010.
 Hoefel, F. and Elgar, S., Science, 299, pp. 1885-1887, 2003.
- 3) 辻本ら, 海岸工学論文集, 55, pp. 746-750, 2008.
- 5) 近本9, 74/F王子調入来, 55, pp. 746-750, 1
- 4) Soulsby, R., Thomas Telford, p. 249, 1997.