

潮間帯干潟の底質輸送プロセスに及ぼす潮汐・波浪の影響

熊本大学 学生員 ○坂西由弘 白川雄一郎 正会員 外村隆臣・山田文彦

1. はじめに

内湾域に存在する潮間帯干潟のような、潮汐・波浪共存場における底質輸送プロセスを考える上で、底質輸送に及ぼす潮汐・波浪およびそれらの相関項の影響を解明することは、重要な研究課題である。しかし、潮間帯干潟は、砂浜に比べ研究例が少なく、長期間の観測例も少ない。そこで、本研究では、長期間の観測データに基づき、浮遊・掃流による底質輸送プロセスと潮汐・波浪の影響について検討を行った。

2. 現地観測

現地観測は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。観測場所の大潮平均潮位差は約 3.8m であり、平均有義波高は 20cm 以下である。底質輸送フラックス計測のため、水深 h ・流速 u ・濁度 c ・塩分 s の計測機器を岸側から沖約 400, 1,040, 1,520m の潮間帯干潟上に設置しているが、観測方法・実施期間の詳細は山田ら(2007)を参照されたい。

3. 浮遊移動による底質輸送

山田ら(2007)は、潮間帯上で計測される濁度変化の要因について、潮汐位相平均手法を用いて観測データの物理的解釈を試み、底質巻上げが顕著となる高波浪時を除けば、移流による影響が卓越することを示唆した。しかし、浮遊底質の移流や底質の巻上げの寄与の程度に関する理論的な検討は行っていない。そこで、以下では、式(1),(2)に示す移流拡散方程式を用いて巻き上げ・沈降過程を考慮した検討を行った。ここで、(1)式の左辺第 1 項は観測結果より求めることができるが、その他の項は以下の方法で算定した。右辺第 4 項の沈降フラックスは、濁度の観測値と Metha (1989)の濁度を考慮した沈降速度式より算定する。右辺第 3 項の巻き上げフラックスは、Kobayashi ら (2007) のモデルと観測値を組み合わせで評価する。これらの結果より、左辺第 2 項の移流拡散項を(5)式に基づき、各項の差分として推定する。

$$\frac{\partial(\bar{h}\bar{c})}{\partial t} + A_c = P - Q \quad (1)$$

$$A_c = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{h}\bar{c}\bar{u} - k_x \bar{h} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{h}\bar{c}\bar{v} - k_y \bar{h} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$P = \rho_s \frac{e_B D_B + e_f D_f}{\rho(s-1)\bar{h}} P_s \quad (3)$$

$$Q = w_s \bar{c} \quad (4)$$

$$A_c = P - Q - \frac{\partial(\bar{h}\bar{c})}{\partial t} \quad (5)$$

図-1 に 2005 年冬季の高波浪時の観測データを示す。(a)図より、水深は平常時と同様、満潮を中心に対称な時間変動を示し、最大で約 2.5m である。有義波高は上げ潮～満潮の水深増加とともに大きくなり、最大で約 1m となり、平常時より約 5 倍の大きさである。(b)図に濁度の時系列を示すが、最大値は平常時よりも 4 倍程度大きくなり、さらに、満潮時においてもこの高濁度が維持されることが平常時との大きな相違点である。(c)図は浮遊底質体積量 V_s について観測値と Kobayashi ら (2007) モデルとを比較した結果である。モデルでは(6)式より V_s を算定するが、パラメータを調整する事で、計算値は実測値をよく再現することが確認できた。

$$V_s = \frac{e_B D_B + e_f D_f}{\rho g(s-1)w_s} \quad (6)$$

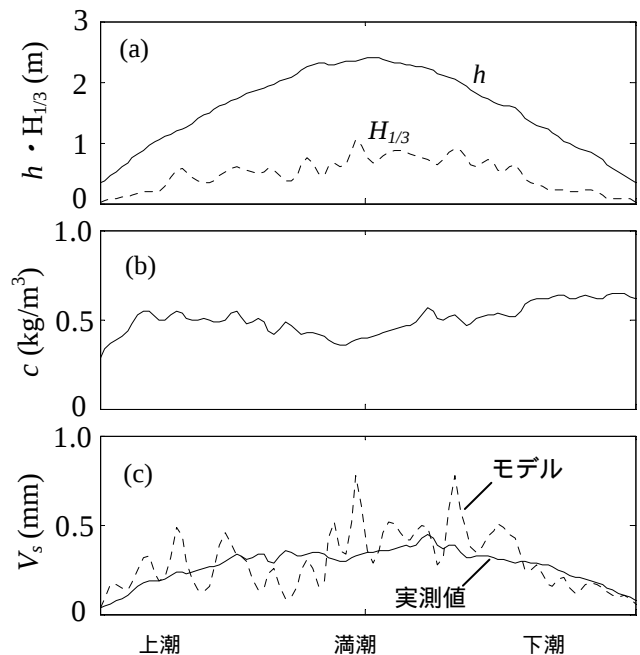


図-1 高波浪時の時系列および浮遊底質体積

図-2 は、平常時と高波浪時の巻き上げフラックス P 、移流拡散項 A_c の時系列を比較したものである。(a)図より、(3)式で算出した巻き上げフラックスは、高波浪時に平常の数倍～数十倍大きくなり、潮間帯干潟においても底質の巻き上げが顕著となることが確認できる。また(b)図より、(5)式で推定した移流拡散項は、平常時より高波浪時が大きい傾向となることは巻き上げフラ

ックスと同様であるが、特に重要な点は、両図を比較して、平常時・高波浪時ともに移流拡散項が巻き上げフラックスよりもそれぞれ 1 オーダ程度大きな値を示すことである。この結果は、平常時・高波浪ともに固定点での濁度の計測結果において移流拡散の影響が大きな割合を占める事を意味しており、今後の浮遊底質輸送プロセスの数値モデル化に際しては、移流拡散項の精度向上が重要となる。

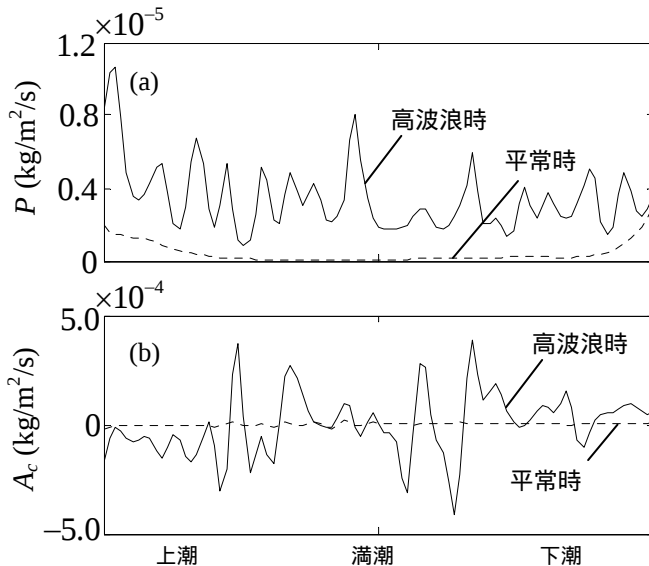


図-2 平常時と高波浪時の巻き上げ・移流の比較

4. 掃流移動による底質輸送

掃流移動による底質輸送能力の空間分布に関して、Russell・Huntley (1999) は岸沖方向 1 点での固定計測結果に潮汐変動を利用することで、流速の 3 次モーメントを用いた岸沖方向の無次元掃流力 (Shape function) を提案した。しかし、岸沖方向の効果を無次元碎波水深で評価しているため、実際の現地適用に際して問題が残る。また、掃流移動におよぼす潮汐・波浪およびそれらの相互作用の影響については検討されていない。本研究では、Russell・Huntley (1999) と同様に、岸沖流速 u は(7)式のように平均流 (潮汐) 成分 $\bar{u}$ 、短周期波成分 u_s 、長周期波成分 u_L の 3 つの項に分解できると仮定し、(8)式から 3 次モーメントの各成分を求めた。また、潮汐と波浪の相対的な影響度を検討するために、相対波高 $H_{1/3}/\bar{h}$ に対する流速 3 次モーメントの分布についてデータを整理した。

$$u = \bar{u} + u_s + u_L \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \langle u^3 \rangle = & \bar{u}^3 + \langle u_s^3 \rangle + \langle u_L^3 \rangle + 3\langle \bar{u}^2 u_s \rangle + \\ & 3\langle \bar{u}^2 u_L \rangle + 6\langle \bar{u} u_s u_L \rangle + 3\langle u_s^2 u_L \rangle + \\ & 3\langle u_L^2 u_s \rangle + 3\langle u_s \rangle \bar{u}^2 + 3\langle u_L \rangle \bar{u}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

計算では展開した各項をそれぞれ $\langle u^3 \rangle$ の最大値で除して無次元化した。 $\langle \rangle$ は時間平均を表す。

図-3(a)は相対波高に対する $\langle u^3 \rangle$ 、 $\bar{u}^3$ 、 $\langle u_s^3 \rangle$ 、および $\langle u_L^3 \rangle$ の無次元量の分布を示す。図より $\langle u^3 \rangle$ の変動は相対波高の増加とともに大きくなる傾向を示す。 $\langle u^3 \rangle$ の変動に占める $\bar{u}^3$ 、 $\langle u_s^3 \rangle$ 、 $\langle u_L^3 \rangle$ の割合を比較すると、短周期波成分 $\langle u_s^3 \rangle$ の影響が比較的大きいが、その一方で、この 3 成分のみでは、 $\langle u^3 \rangle$ の変動を十分には説明できないことが分かる。これは、相対波高の増加に伴い、潮汐と波浪成分間および短・長周期波成分間の相関項が大きくなることを示唆するものと考えられる。そこで、(8)式中の各項の影響度を調べた結果、図-3(b)に示すように $3\langle u_s^2 \bar{u} \rangle$ と $3\langle u_s^2 u_L \rangle$ の 2 つの項が潮間帯上の掃流輸送能力に対して重要な割合を占める事が分かった。

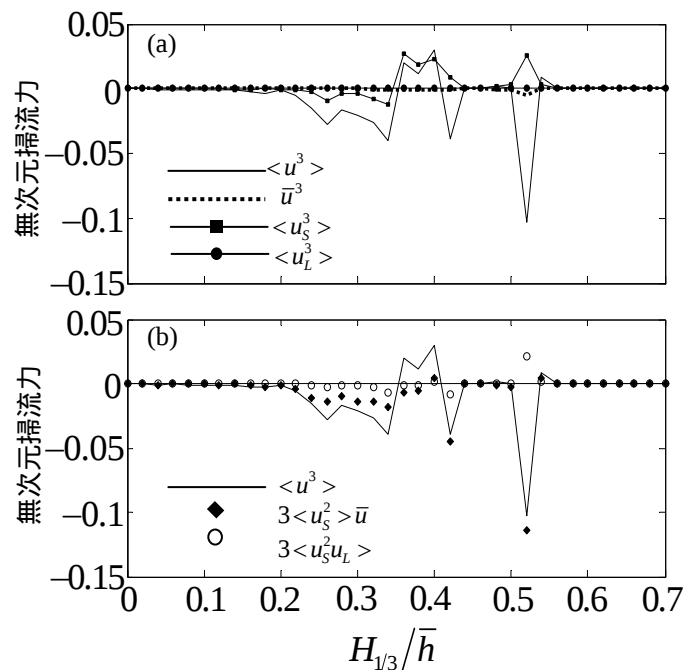


図-3 流速の 3 次モーメントと相対波高の関係

5. おわりに

潮間帯干潟において、3 年以上に渡る長期間の現地観測の結果から、浮遊および掃流による底質輸送プロセスおよび潮汐・波浪の影響などについて検討した。その結果、浮遊輸送においては、波浪による巻き上げのみではなく、潮汐流などに起因した移流拡散成分を精度良く評価することが重要となることを示した。また、掃流輸送においては、波浪の影響が大きくなると、潮汐・波浪間の相関項の影響が重要となることを示した。

参考文献

- 1) 山田ら (2007): 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.626-630.
- 2) Kobayashi ら (2007): J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, pp. 296-304.
- 3) Metha, A. J. (1989): J. of Geophysical Research, Vol. 94, No. C10, pp. 14303-14314.
- 4) Russell, P. E. and Huntley, D. A (1999): J. of Coastal Research, 15, pp.198-205.