

潮位差の大きい潮間帯での線形波動理論の適用性に関する基礎的検討

熊本大学 学生員 ○西 敬浩、中道 誠 正会員 外村隆臣、山田文彦

1. はじめに

内湾干潟上の波浪特性に関しては線形波動理論を適用する場合¹⁾が多いが、現地データと比較した研究例は非常に少ない。Guza & Thornton (1980)²⁾は外洋に面した砂浜上で水位・流速の観測を行い、砕波帯内においても局所的な流速と水位との関係は線形波動理論で説明できることを示した。しかし、潮位差や潮汐流の影響が比較的小さい場合の検討結果であり、潮位差の大きい潮間帯干潟上における線形波動理論の適用性については不明な点が多い。

2. 現地観測の概要

2000年12月から約1ヶ月間隔で地盤高測量^{3), 4)}を継続して行っている熊本県白川河口域干潟の左岸観測線上において、岸から800mの地点で2003年7月14日～16日にかけて水位・流速を10Hz間隔で計測した(KYOWA DL-2)^{5), 6)}。圧力計(水位)は底面に設置し、電磁流速計は底面上40cmの位置に固定した。観測期間中の気象は非常に穏やかであり、流速は5m/s以下であった。

3. 観測データからの潮汐・波浪成分の抽出方法

水位・流速の観測データを約7分(データ長2¹²個)毎に分割し、データ毎に最小自乗法を用いた直線近似により潮汐成分(潮位にwave set-up, 潮汐流に戻流れが含まれる)を定義した。また、波浪成分は観測値から潮汐成分を差し引いた残差として定義した。

干潟上の観測潮位を約4km沖側に位置する熊本港での観測潮位と比較すると、干潟上の潮位が20cm程度高いが、位相差については顕著な相違は見られず、潮間帯での潮位は岸沖方向にほぼ一定で変動する。

観測期間中の有義波高・周期をゼロアップクロス法で求めると0.08～0.17 m、2.25～3.75 sであった。熊本港の同期間の波浪データは機器メンテナンスのため欠測であったが、過去4年間の平均値(有義波高0.2 m、有義波周期3.0 s)と比較しても妥当な値である。また波浪成分に関しては、波形勾配: 0.05以下、相対波高: 0.45以下、相対水深: 0.1～0.22、アーセル数: 0.3以下であり、線形波動理論の適用範囲(Madsen, 1971)⁷⁾であることを確認した。

4. 潮汐・波浪成分(流速)の精度検証

潮位は岸沖方向に一定で沿岸方向の流速は無視できると仮定すると、岸沖方向の平均流速 U_T は連続の式のみを用いて、(1)式のように導出される⁸⁾。

$$\left. \begin{aligned} U_T(x, t) &= \frac{1}{h} \cdot \frac{d\eta(t)}{dt} \cdot \{x - x_f(t)\} & \text{for } \eta(t) < c \\ U_T(x, t) &= \frac{1}{h} \cdot \frac{d\eta(t)}{dt} \cdot x & \text{for } \eta(t) \geq c \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで、 x は堤防から沖側への距離(m)、 t は時間(s)、 η は潮位(m)、 h は水深(m)、 x_f は堤防から測った汀線位置(m)、 c は $x=0$ での地盤高(m)を示す。

図-1は(1)式を用いた理論解と観測値から抽出した岸沖潮汐流成分とを比較した結果である。Friedrichs & Aubrey (1996)は式(1)が岸沖方向の潮汐流の近似解として定量的にも十分な精度を有することを示している。本解析でもピーク値に若干相違が見られるものの、抽出した潮汐流は理論解と良く一致しており、最小自乗法を用いた潮汐成分の抽出方法は妥当であることを確認した。

図-2は観測値から抽出した波浪流速成分と線形波動理論値とを比較した結果である。ここで、抽出した波浪流速成分としては波浪流速の絶対値の包絡線を用い、理論値は観測期間中の最大波高・周期を用いて線形波動理論より計算される軌道流速(底面上40cm)を用いた。図より両者の誤差は15%以下であり、波浪成分の抽出手法も妥当であると確認できた。

次に、前述のように本データ解析で求めた潮汐流には波浪に起因した戻流れも含まれるため、(2)式により不規則波を対象とした戻流れ U_r を求め、潮汐流との比較を行った。

$$U_r = -\frac{g\sigma_\eta^2}{hC_p} = -\frac{gm_0}{hC_p} \quad (2)$$

ここで σ_η は水位変動の標準偏差、 h は水深(m)、 C_p は波速(m/s)、 m_0 はスペクトルの0次モーメントを示す。本観測期間中の有義波高は20cm以下であるため、戻流れの大きさは1cm/s以下と非常に小さな値を取ることが分かった。よって、潮汐流と比較すると波に起因した戻流れは本検討の範囲では無視しても問題はないと考えられる。

5. 波浪成分の周波数スペクトル特性

抽出した波浪成分の水位と岸沖方向流速について、データ長毎に周波数スペクトルを計算した。図-3は上潮～下潮間（約6時間）の結果を重ねて表示（ランニングスペクトル）したものであり、a)が水位、b)が流速の結果である。両図より風波域のピーク周波数は上潮～下潮間で一定値ではなく、0.2～0.5Hzの範囲に分布している。さらに詳しく調べてみると、上潮～満潮間ではピーク周波数は低周波側に移動し、満潮～下潮間で高周波側に移動することがわかった。つまり、周波数スペクトルには潮汐流によるドップラー・シフトが生じていることを示しており、潮位差の大きい潮間帯での波浪場に線形波動理論を適用する場合には、周波数スペクトルに対するドップラー・シフトの影響を定量的に把握する必要がある。

6. まとめ

潮位差の大きい潮間帯干潟上での水位・流速の観測データから潮汐・波浪成分を抽出する手法の妥当性を確認した。また、波浪成分の周波数スペクトルには潮汐流によるドップラー・シフトが生じていることを現地データより示した。今後はドップラー・シフトを考慮した線形波動理論を用い、流速から水位の周波数スペクトルを推定し、観測値との比較を行うことで、潮位差の大きい潮間帯での線形波動理論の適用性をより詳細に検討する予定である。

参考文献

- 1) Friedrichs, C. T., and Aubrey, D. G. (1996). Mixing in estuaries and coastal seas, AGU, pp. 405-429.
- 2) Guza, R. T. and Thornton, E. B. (1980). J. Geophysical Research, Vol. 85, No. C3, pp. 1524-1530.
- 3) Yamada, F. and N. Kobayashi (2004), J. Waterway, Port, Coastal and Offshore Eng., Vol. 130, pp.119-126.
- 4) 山田文彦, 小林信久, 柿木哲哉 (2003). 海岸工学論文集, 第50巻, pp.551-555.
- 5) 中道誠, 山田文彦, 外村隆臣(2004) 平成15年度土木学会西部支部研究発表会, -49
- 6) M. Nakamichi *et al.* (2005), ISOPE-2005 (査読中)
- 7) Madsen, O. S. (1971) J. Geophysical Research, Vol. 76, pp. 8672-8683.
- 8) Yamada, F. and N. Kobayashi. (2003), Res. Rep. No. CACR-03-02, Univ. of Delaware, p. 192

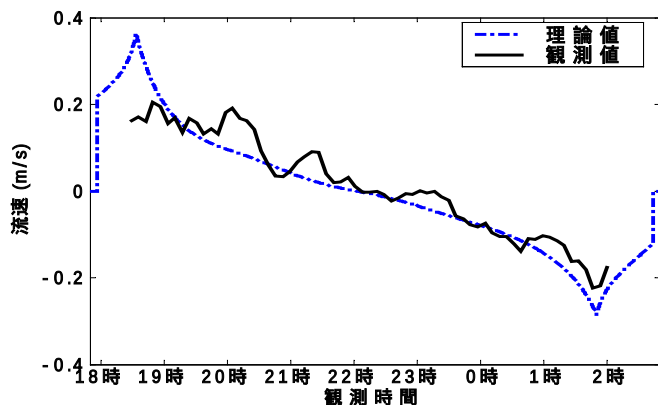


図-1 潮汐流の理論値と観測値

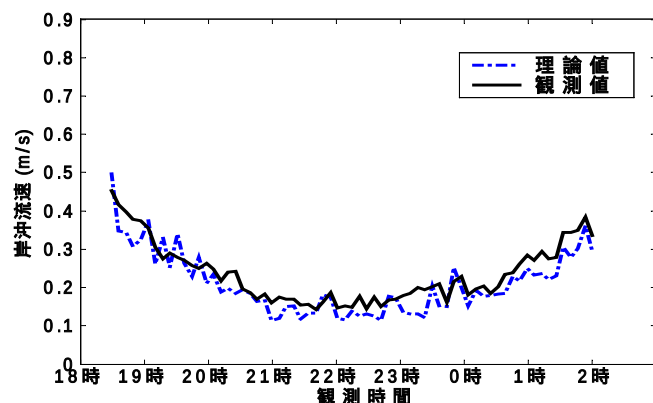
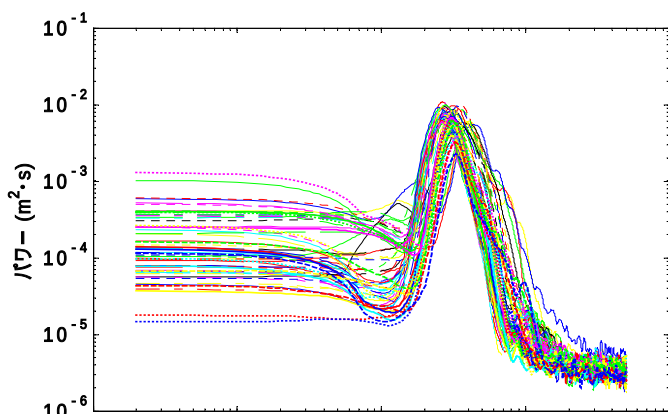
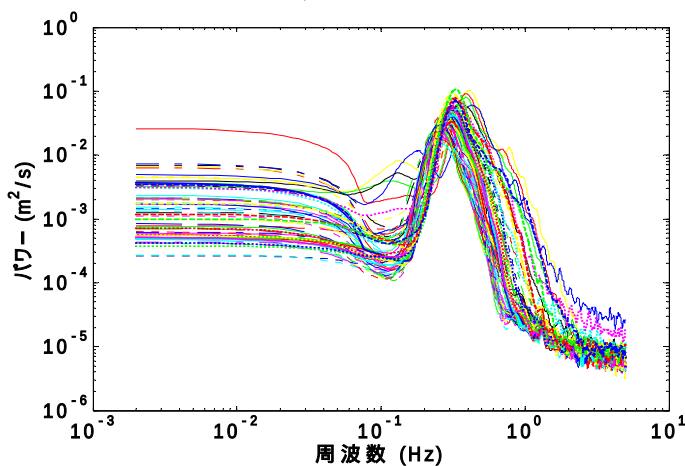


図-2 波浪の軌道流速の理論値と観測値



a) 水位のスペクトル



b) 流速のスペクトル

図-3 ランニングスペクトル