

平均水面の季節変動が干潟地形に及ぼす影響

柿木 哲哉* ・木下栄一郎**・滝川 清***
山田 文彦****・外村隆臣*****

本研究は、白川河口干潟において平均水面の季節変動が地形の短期変動とこれに係る諸外力の変動特性に与える影響を調べることを目的とし、現地観測ならびに数値解析を行った。現地観測では干潟の地盤高測量を行い、干潟地形の季節変動特性を調べ、地盤高の季節変化と各種外力の季節変化の相関を調べた。数値解析では 2 次元浅海流方程式による潮流計算ならびに流れによる地形変化の計算を行った。その結果、河口両岸とも夏季は堆積環境であり、冬季は侵食環境であること、また、平均水面の季節変動パターンと干潟地形の季節変動パターンが一致していることが分かった。

1. はじめに

有明海の干潟は河川から流入する微細粒子が堆積したもので、地形は種々の外力により常に変化している。本研究の研究対象としている白川河口干潟の地形変化に関する既往の研究では、数年おきの深浅測量などにより干潟地形の経年変化については明らかにされている。しかしながら干潟が受ける外力の種類や時間スケールは数秒から数時間、数ヶ月に至るまで様々であり、これまでの著者らの研究の結果からも白川河口干潟は季節的な変動を繰り返していることが分かっている。そこで本研究は、白川河口干潟において地形の短期変動とこれに係る各種外力の変動特性の関係を調べることを目的とし、現地観測ならびに数値解析を行った。

2. 現地観測

(1) 地盤高測量概要

まず、有明海白川河口域干潟において、干潟地形変化のパターンや変動を定量的に把握する事を目的として、地盤高測量を行った。

図-1 は現地観測地点を表した図で、熊本市の白川河口干潟である。なお地盤高測量および底質採取は実際に干潟に入り作業を行うことから、干潟の干出時間及び範囲が最も大きくなる大潮時の干潮時を選び、集中的に行った。このように時間的にも空間的にも制約があり、白川河口干潟全域に渡り観測するのは物理的に困難であるため、図-1 に示すように観測範囲を白川河口の右岸側 (Line-R) 及び左岸側 (Line-L) の 2 測線に限定して行い、観測の頻度も約 1 ヶ月毎とした。

測線及び測定点の概要であるが、測線長 1500 m (岸沖方向) において、各々 50 m 間隔で 1 測線 30ヶ所の計 60ヶ所に 2000 年 10 月に測点杭 (長さ 2 m) を設置した。また、白川河口域の干潟は広大であり、盛替え点となるような

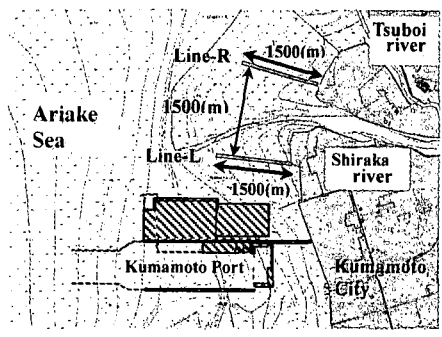


図-1 白川河口域における現地観測地点

適当な地点が見つかりにくい、通常より測量誤差が過大になりやすい傾向にある。そこで今回の測量では、レベルではなく、光波測距儀 (SOKKISHA, SET 3 A) を用いた地盤高測量を行った。また、測点杭の前面に反射ミラーを置き、水準測量を行うが、その際、杭の周囲には洗掘があったため、反射ミラーの置き方によっては誤差が生じる。このために反射ミラーと干潟地盤の間に木板 (厚さ 1.3 cm) を置くことで対処した。

(2) 地盤高測量結果

図-2 は 2001 年 2 月に行った地盤高測量の結果を表している。縦軸は地盤高 (T.P. 表示)、横軸は岸からの距離 (m) を表す。図中の実線は Line-R の結果を、シンボル付きの実線は Line-L の結果を示している。グラフは左から右にはほぼ一定の勾配で減少するが、これは岸から沖に向かって地盤高が減少することを表している。この結果より地形勾配を計算したところ、Line-R は勾配が 1/950、Line-L は勾配が 1/675 であり、この白川河口干潟は非常に緩慢な勾配を持ち、かつ平坦な地形であることがわかる。

観測地点のうちいくつかの地点を抜き出し、その点の地盤高の時系列を示したのが、図-3 及び図-4 である。図の縦軸は基準とする 2001 年 2 月からの地形変化量で線形トレンドを排除したものであり、正の値が堆積傾向、負の値が侵食傾向を示す。つまり、横軸よりも上にあれば堆積、下にあれば侵食を示している。また、横軸は時

* 正会員 博(工) 神戸市立工業高等専門学校講師都市工学科
** 正会員 修(工) 国土交通省下関港湾空港技術調査事務所
*** 正会員 工 博 熊本大学教授沿岸域環境科学教育研究センター
**** 正会員 博(工) 熊本大学助教授工学部環境システム工学科
***** 正会員 熊本大学工学部環境システム工学科

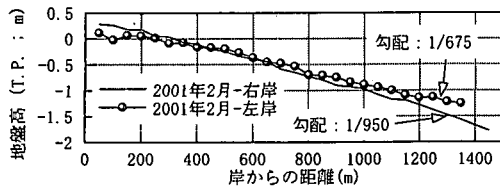


図-2 地盤高測量結果 (2001年1月)

間軸を表しており、図の左から右へ時間が経過する方向である。なお横軸の1メモリが1ヶ月に相当する。抜き出した地点は岸から200(m)～1200(m)までの200(m)ごとの地点で、また、図中の黒色の太線は全断面の平均値を示したものである。

まず、全体的な傾向として図-3における平均値のグラフをみることにすると、平均値は2001年2月から上昇し始め、2001年7月にピークを迎える。その後、地盤高は徐々に下がり始め、2001年11月には2001年2月の水準まで戻り、さらに2002年1月まで下がりつづける。その後3月に急激に上がるものの、5月あたりで2001年2月の水準まで戻ってきていることがわかる。その後横ばい状態が続くものの、7月から堆積傾向が強まり、8月にピークを迎える。その後は減少に転じ、2002年9月に基準まで戻り、10月まで下がりつづける。11月には一旦堆積側へ回復するが、すぐに減少傾向に転じ、12月には侵食側に落ち込んでいる。一方、図-4の左岸側では、右岸側とは異なり2001年10月まで緩やかに上昇し、堆積のピークを迎える。その後地盤高は急激に減少し、11月には基準まで戻り、2002年2月に最下点となる。右岸側が1月に最下点となったのに対し、左岸側では1ヶ月遅くなっている。最下点後の上昇の割合は左岸のほうが右岸よりも強く、2002年3月にはすでに基準まで戻っている。堆積のピークについても同様で、左岸側は2002年6月にピークを迎え、これは右岸側に比べ2ヶ月早くなっている。一旦2002年7月に落ち込むものの、翌月には落ち込む前の月である2002年6月の水準まで盛り返している。その後は緩やかに減少し、2002年11月まで減少を続ける。ここで、右岸側の2002年10月にみられたような急激な大きな侵食は見られなかった。

(3) 気象・海象観測データ解析の概要

前節において、地盤高変化についての各測線及び各測点の地盤高変動の局所的な相違が確認できた。その干潟地形が変化する要因として挙げられるのは、波浪や潮汐の影響、降雨量、風及び河川からの流入土砂量などであり、これらの外力の相互作用である。このことから、干潟の地形変化の外的要因である潮汐、有義波高、有義波周期、風向・風速と、干潟の地形変化との関連性について検討した。

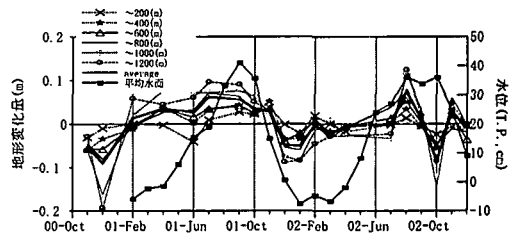


図-3 場所毎地盤高変化量の平均水面の時系列 (Line-R)

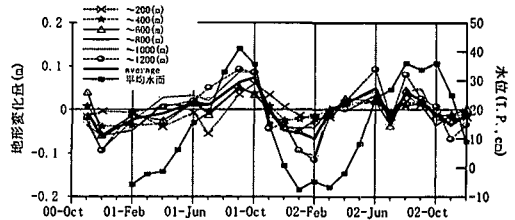


図-4 場所毎地盤高変化量の平均水面の時系列 (Line-L)

a) 潮汐と地形変化

白川河口付近は潮位差が4m前後あることから潮汐、潮流の影響が大きいと考えられる。そこでまず、この節では潮汐と地形それぞれの季節的変化の関係を調べる。熊本港検潮所で観測されている潮位(T.P.表示)を2001年2月から2002年12月までの期間を時系列で示したものが図-5である。黒の実線は平均水面を表す。ただし、平均水面は、毎時データを1潮汐間の最大潮位と最小潮位を平均し56潮汐(28日)で平均したものである。約1ヶ月に2回、大潮・小潮を繰り返す、潮位は変化している。また、2年間でみると平均水面は1年の周期的な変化がみられ地盤高変動の堆積・侵食傾向の季節変動と似た傾向であることが推測できる。

そこで、Line-Rの地形変化量(200m～1200m地点、200m毎)と平均水面を時系列で重ねて比較したものを図-3に示す。

まず、平均水面は8から9月にかけて高く、2月にかけて低い値となっており、最大値と最小値の差は約45cmであった。この平均水面の変化と全地点の平均地盤高の変化を比較すると、最大値の出現時期及び最低値の出現時期ともに大まかに一致している。2002年の10月に地盤高変化が局所的に落ち込んでいるが、2001年の10月は平均水面の変化に追随していることから、これは平均水面の推移とは別のところに原因があると考えられる。また、平均水面と各地点(200m～1200m地点、200m毎)の地盤高の推移を見ると、1000m地点の変動は、平均水面の変動と定性的に傾向が同じであり、変動量は800m地点より沖側で大きく、それよりも岸側では相対的に小さい。このことから沖側で潮汐の作用を受け変化

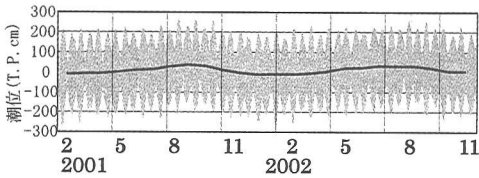


図-5 潮位と平均水面の時系列

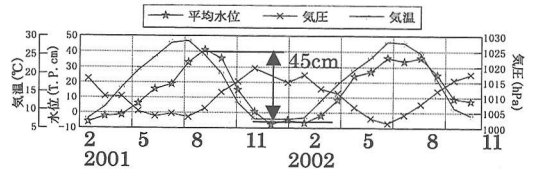


図-6 平均水面の気圧と気温

していると推測される。また、平均水面において、2002年の5月は10 cmとなっており、2001年の同月と比較すると、2002年は平均水面が上昇する月が早くなっていることがわかる。

次に、Line-Lの地形変化量(200 m~1200 m地点、200 m毎)と平均水面を時系列で重ねて比較したものを図-4に示す。全体的にはLine-Rと同様な傾向が見受けられるが、2001年10月のピークの立ち上がり方や2002年の7月の落ち込みなどが異なる点である。また、Line-LはLine-Rに比べ平均水面の変化の仕方により近くなっていることも分かる。このことからLine-Rはさらに別の要因が関係していると考えられる。

季節的な潮位変動は、Pattullo et al. (1955) により研究されているが外海を取り扱っている。また、Unoki (1983) は内湾の平均海面の年変動には、海水の密度と気圧と風が起因するとしている。九州は8月に低圧帯、1月に高圧帯の領域であり気圧変化している。そこで、平均水面と熊本地方気象台で観測されている月平均地上気圧と月平均気温を比較した。図-6に示すように、気温の上昇とともに潮位が上昇し、ピークは約1ヶ月のタイムラグがあることがわかる。また、気圧と潮位は、気圧の下降にともない潮位は上昇している。同様に、ピークは約1ヶ月のタイムラグがある。気圧変化が海面水位に与える影響は、気圧が1 hPa下がるとことにより約1 cmの水位が上昇することを考慮すると、平均水面の最大と最小の差は約45 cmあり、気圧は約18 hPaの差がある。約40%は気圧変化により平均水面の季節変動が起こっていると考えられる。

b) 風向・風速の特性

次に、外力として考えられるのが風と波であるが、観測期間中の熊本港の南西にある風向風速計(東経130度34分05秒、北緯32度45分00秒、標高7.8 m)の毎時データの風速と風向の時系列を図-7および図-8に示す。風向は16方位で表し、その方位からの風が吹き寄せするという定義である。主に、地盤高の浸食傾向が強かった冬季は、夏季に比べて強い風が吹いていることがわかる。風向は、冬季においては北よりの風が卓越し、夏季は南よりの風が卓越している傾向がみられる。さらに詳細に調べるために、3ヵ月ごとに期間を季節で区切り、そ

の期間での風速と風向の頻度分布を調べた。

まず、全観測期間の2001年2月から2002年12月までの風向風速頻度分布(各方向の個数/全体数)を図-9の(a)に示す。この図から、1時間毎の全データ(16776個)においては、ESE方向が約15%と最も多く、次にNNW、NW方向が約12%でN、WNW、SW、E、SEがその次に卓越する海域であることがわかる。

また、風速10 m/s以上(527個)の風向を頻度分布で表した。NNW、NW、WNWの合計で約57%を超え、これらの方向が卓越していることがわかる。また、南よりの風として、SSWが7%となっている。

c) 冬季の風・波浪と地形変化

浸食傾向であった冬季の2001年11月から2002年1月の風向風速頻度分布を図-9の(b)に示す。1時間毎の全データ(2208個)においては、ESE方向が約22%と最も多く、NNW、NW方向も約12%と多い。風速10 m/s以上(104個)は、NW方向が約50%を占め、NNW、WNWが約20%となっている。さらに、同時期である2001年11月から2002年1月までの潮位、有義波波高、風速、風向の時系列を比較すると(図-10)、10 m/sを超える風速とNW付近からの風向である時は、有義波波高0.6 mを超えているのに加え、水位も満潮位に高波高が出現していたことから、風、風向、波高、水位は

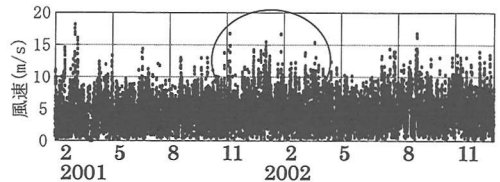


図-7 風速と時系列

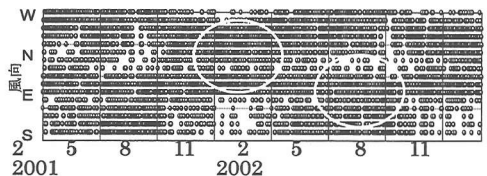


図-8 風向の時系列

対応していることがわかる。したがって冬季における浸食傾向の要因として大きな関係を示すと考えられる。ここには示していないが有義波周期は大きな変動がなく、約3秒前後の値である。

d) 夏季の風・波浪と地形変化

堆積傾向であった夏季の2002年5月から2002年7月までの風向風速頻度分布を図-9の(c)に示す。1時間毎の全データ(2208個)においては、SW, NW, ESE方向が約10%を超えているが、風速10 m/s以上(41個)においてはE方向が22%, SSW方向が約20%を占め卓越している。さらに、同時期である2002年5月から2002年7月までの潮位、有義波波高、風速、風向の時系列を比較すると(図-11)、冬季の10 m/sを超える数(104個)に比べ、夏季の数(41個)は少なく、SWやE方向からの風が多く、0.6 mを超えるような波浪がでていない。し

たがって夏季は、冬季よりも波高が低く、相対的に浸食されにくいと考えられる。その結果、潮汐や河川流量の影響が支配的になると考えられる。

e) 河川流量と地形変化

図-12は白川から有明海に流入する浮遊土砂量の時系列で、月ごとの値で比較したものである。これは白川代継橋で観測されている実測値から算定される浮遊土砂量 Q_s と河川流量 Q との関係を表す式、

$$Q_s=10^{-7} \times Q^{2.7} \dots\dots\dots (1)$$

を用いて計算した。

これを見ると、2000年、2001年ともに河川からの流出土砂量は6月にピークを持つ。これは梅雨の大雨に伴った土砂の流出によるもので、図-3および図-4と比較すると地形の堆積傾向と相関があることがわかる。しかしながら、流出土砂量のピークが6月であるのに対し、地盤高のピークは7月から10月と若干ずれがある。

また、2002年の出水期(5月~7月)とその前後のLine-1における底質の泥含有率(シルトと粘土:0.074 mm以下)の分布を比較した(図-13)、出水期の6月の泥含有率分布が増加しており、シルト・粘土が堆積した

ことがわかる。4月と6月の最大の堆積厚は13 cmであった。また、出水期後の9月は出水期前の4月の状態に近づく傾向にあることがわかる。

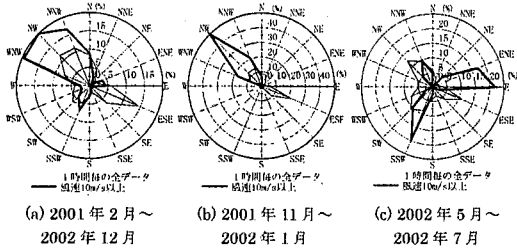


図-9 風向風速の頻度分布

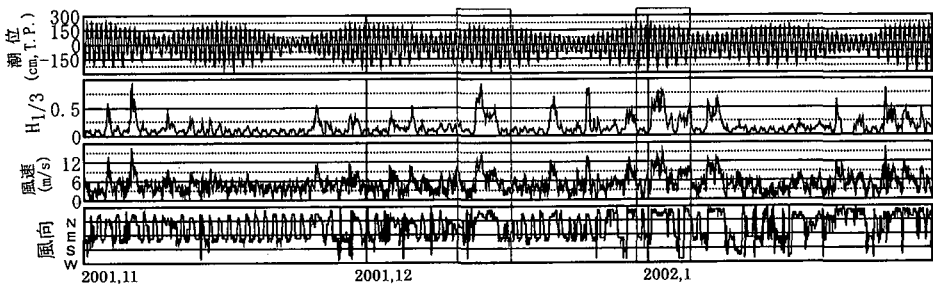


図-10 潮位、有義波高 $H_{1/3}$ 、風速、風向の時系列 (2001年11月~2002年1月)

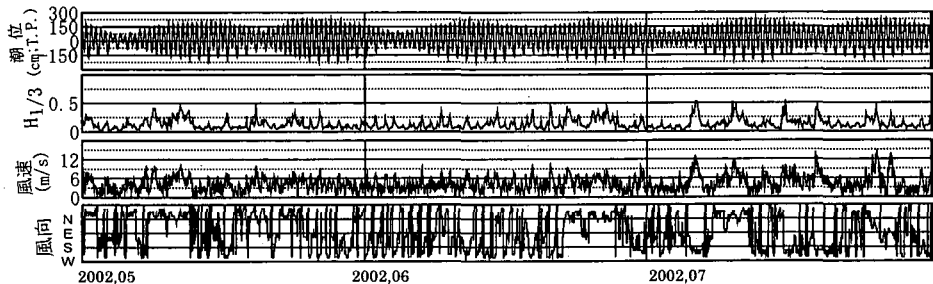


図-11 潮位、有義波高 $H_{1/3}$ 、風速、風向の時系列 (2002年5月~2002年7月)

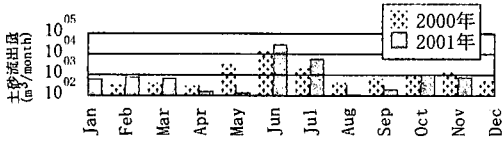


図-12 河川からの流出土砂量の時系列

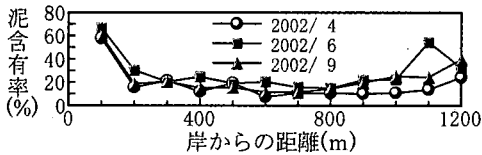


図-13 左岸における出水時前後の泥含有率

3. 数値解析

潮汐・潮流解析では2次元浅流方程式を用いた。また、地形変化計算には渡辺らの提案した底面高変化の式を用いた。解析領域は図-1に示す白川河口付近の南北方向7 km、東西方向7.5 kmの範囲とした。計算格子間隔は50 m、分割数150×140で計算を行った。計算は冬季、夏季を想定したケースの2ケースを行うが、まず冬季のケースとしては、平均水面が最も低かった2月を選び、夏季のケースとしては平均水面がほぼ最高値直前の8月を選んだ。潮位の境界条件は、熊本港において観測された実測潮位をもとに計算された潮位を図-1の3方の開境界で与えた。また、河川からの浮土土砂量の計算式については式(1)を用いた。

図-14は潮流による地形変化の計算結果を示す。シンボル付の実線は2001年2月、シンボルなしは2001年8月のものである。この図は初期地形からどの程度変動したのかを示しており、凡例の正の値は堆積傾向を示し、負の値は侵食傾向を示している。これを見ると、地形が変化している場所の分布はさほど違いが見られないが、2月の方が8月よりも地形変化の度合いが1.5~2倍程度大きく、冬季の方が干潟は強い変形を受けることが分かる。

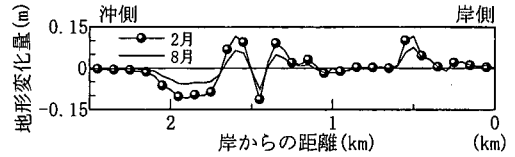


図-14 左岸各測上の地形変化量(m)

4. 結 論

本研究は、白川河口干潟において地形の短期変動とこれに係る各種外力の変動特性の関係を調べることを目的とし、現地観測を行った。その結果、得られた結論を要約すると以下のとおりである。

(1) 地盤高測量によると、河口両岸とも春から夏にかけて堆積傾向を示し、9、10月頃にピークを迎え、夏から秋にかけては転じて侵食傾向を示し、1~2月頃に最も侵食されることが分かった。また、これらの傾向はLine-Lの800 m以沖、Line-Rの950 m以沖において強くなる。

(2) 海象観測データにおいて平均水面の周年的変動を調べた結果、9月頃に最も高く、2月頃に最も低くなることが分かり、その差は45 cmであることが分かった。さらにこの変化パターンは地形変化のパターンと一致しており、平均水面の季節変動が干潟地形の季節変動に影響を与えていることが分かった。

参 考 文 献

- 加藤一正・田中則男・灘岡和夫 (1979): 干潟上の潮流計算および干潟変形予測の手法, 港湾技術研究所報告, 第18巻, 第4号, pp. 3-75.
- 渡辺 晃 (1981): 海浜流と海浜変形の数値シミュレーション, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 285-289.
- Pattullo, J. G., W. H. Munk, R. Revelle and E. Strong (1955): The Seasonal Oscillation in Sea Level, Journal of Marine Research, Vol. 14, No. 1, pp. 88-155.
- Unoki, S. (1983): Annual Variation of the Mean Sea Level and its Inclination in a Bay, Coastal Engineering in Japan, Vol. 26, pp. 219-234.