

高潮に伴う中津干潟三百間地区の砂州の急変形

Rapid Deformation of Sand Bar Caused by Storm Surges at Sanbyakken Area in Nakatsu Tidal Flat

宇多高明¹・清野聡子²・足利由紀子³・城野博之⁴

Takaaki UDA, Satoquo SEINO, Yukiko ASHIKAGA and Hironobu JYONO

A sand bar has developed in Sanbyakken Area of Nakatsu tidal flat due to the accumulation of the fluvial deposit of the Yamakuni River. This sand bar has been extended eastward with time. Recently, rapid deformation of this sand bar occurred, and landward sand transport was generated by wave overtopping over the sand bar, while filling and destroying the salt marsh area behind the bar. During storm surges associated with T0711 attacked on September 17 and 18 in 2006 and T0704 attacked on July 16 in 2007, it was found that cross-shore sand transport with the rate of 21m³/m and 11 m³/m, respectively, was generated by the overtopping waves.

1. まえがき

干潟の縁辺には、しばしば干潟面と明瞭な傾斜変換点を持って交差する砂浜が発達する。この砂浜は、過去に埋め立てや砂利採取の対象とされ、比較的早い時期に喪失した場所が多いが、周防灘に面した大分県中津市には、面積13.47km²を有する広大な干潟が良好な形で残されている。この干潟に流入する中津川の河口東側に位置する三百間地区には、過去に中津川から流入した土砂が集積して形成された長大な砂州が発達し、その背後には塩性湿地が形成され、多様な生物・植物の生息・生育場となっている(清野ら, 2007a)。この砂州は、緩やかな東向きの沿岸漂砂の作用のもと、数十年という時間スケールで変形してきた(清野ら, 2007b)。しかし、最近台風に伴う高潮時に急激な地形変化が観測された。これにより砂州形状が激変するとともに、従来砂州がバリアーとなってその背後に保たれていた塩性湿地に大量の砂が侵入し、良好な環境が失われる被害が生じている。本研究は、この原因を空中写真撮影や深淺測量などにより明らかにすることを目的とする。

2. 空中写真に基づく砂州変化の把握

まず、最近の三百間砂州の変化を空中写真の比較により調べた。図-1(a), (b)は、三百間砂州の2005年12月と2006年12月撮影の空中写真を示す。なお、2005年12月の

空中写真(図-1(a))には1947年3月の砂州形状を、また2006年12月の空中写真(図-1(b))には2005年12月の砂州形状を破線で示す。図によれば、海岸堤防と斜行して砂州が細長く伸びており、砂州は干潟面とは明瞭に区別される。2005年では、蛸瀬川河口を北側から囲むように砂嘴が伸び、その場合河口右岸の堤防との間に70mの開口部を残していた。しかし2006年では、砂嘴先端が約25m伸びた結果、砂嘴先端と海岸堤防との距離は45mにまで狭まり、蛸瀬川の流路が南側に押し込められた。また、いずれの時期にも砂嘴の付け根の点Aには、砂州汀線と鋭角状に交差するひげ状砂州が伸びている。しかし詳細に見ると2005年におけるA点付近が侵食され、2006年ではA点の位置が北側に約25m移動した。

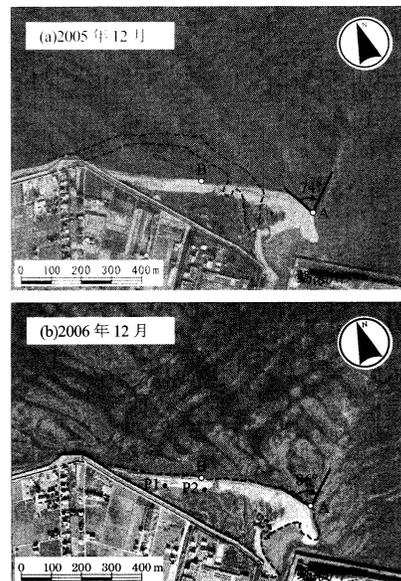


図-1 三百間砂州の空中写真

- | | |
|------------|--|
| 1 正 会 員 工博 | (財)土木研究センター理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科 |
| 2 正 会 員 工博 | 東京大学大学院総合文化研究科助教 |
| 3 | NPO 法人 水辺に遊ぶ会理事長 |
| 4 正 会 員 | (株)水域ネットワーク |

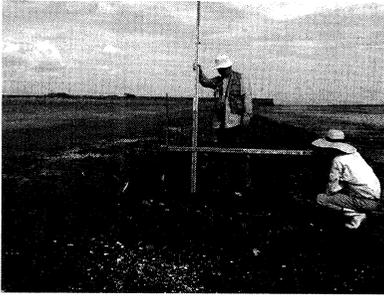


図-2 露出した粘性土層の状況(2006年7月16日)

なお砂州の上手側汀線とこのひげ状砂州との交差角は 74° (2005年) から 86° (2006年) まで増加している。2005年と2006年の間、砂嘴は安定的に存在し、砂嘴が洪水流によってフラッシュする現象は全く生じておらず、また蛸瀬川の流路は東向きに大きく蛇行し、A点とは無関係に流れていたことから、A点で砂州本体と接続していたひげ状砂州の発達には河川流の作用は無視できる。また2006年の空中写真によれば、ひげ状砂州は沖側から次第に明瞭となり、A点では砂州本体と結合していることから、このひげ状砂州の形成は波による岸向き漂砂の作用によって進んだと考えられる。

2005年には砂州中央部のB点付近において砂州汀線に15mの段差が見られ、段差西側の汀線が東側より沖にあったが、2006年になると段差は8mに縮小するとともに、段差位置が西側に約11mずれた。この段差は、図-1(a)に示すように1947年には砂州背後の干潟の中にあった。したがって、そこに有機物や干潟の潟土が緩やかに堆積して粘性土層が形成されたが、砂州が後退した結果粘性土層が露出したものと判断できる。図-2は、2006年7月16日における露出した粘性土層の状況を示す。この粘性土層は、ある程度まで侵食に対して抵抗力を有する。このため突出した粘性土層が突堤効果を発揮して東向きの沿岸漂砂を弱めたが、最終的に波蝕により侵食された結果粘性土層が後退し、それにあわせて上手側の砂が東向きに流出したと考えられる。

3. 砂州汀線の長期的変化と最近の変化の比較

清野ら(2007b)に示したように、三百間地区の砂州は1947年以降、長年月を経て変形してきている。したがって砂州の将来の姿を予測するには、短期的変形と長期的変形がいかなる関係にあるかを調べておくことが重要である。図-3は、清野ら(2007a)に2006年の空中写真から得られた砂州汀線を書き加えたものである。併せて2005年から2006年までの侵食・堆積の区別も付けている。砂州の北側汀線は2005年まで単調に後退してきたが、2005年から2006年まで変化も同様な状況が続いており、

西端の固定境界から砂嘴の付け根までの汀線が後退している。しかし砂嘴の付け根では特性が変わり、2005年では東向きに運ばれてきた砂が堆積して砂嘴の東方向への発達を促したが、2006年では砂嘴の付け根部分が侵食され、砂嘴の先端部の異常な発達をもたらした。以上のように、砂州北側側面の汀線変化は過去60年間に起きた変化を外挿する変化であったが、先端の砂嘴では従来とは異なり砂嘴の南側への急速な発達起きた。

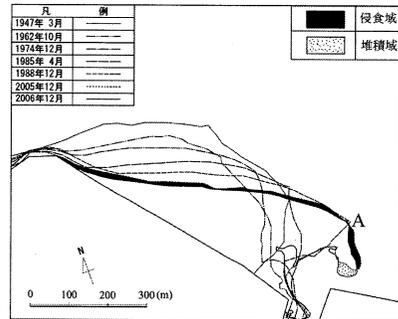


図-3 砂州の汀線形状

図-3に示したように、長期的に見ると砂州の北面が削られ、削り取られた砂が東向きに運ばれ、砂州先端部に砂嘴を形成している。この変化を土砂収支から見るために、清野ら(2007)は、1947年を基準とした侵食・堆積面積を算出し経年変化を調べた。これによると、1947年と1962年の間では、砂州で土砂採取が行われたことに起因して砂州の面積収支が著しいずれを生じていた。そこで本研究では、この人為的行為の影響を取り除くために初年度を1962年とし、それに漂砂の移動高2.8m(清野ら, 2007b)を乗じて土砂量に換算した。結果を図-4に示す。1962年から1985年での変化速度は、侵食・堆積両者がほぼ等しく、 $0.78 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ であったが、1985年以降においては近年ほど変化土砂量が増大し、とくに2005年から2006年での侵食割合は $1.6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ 、堆積割合は $0.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{yr}$ と、侵食割合のほうが大きい。

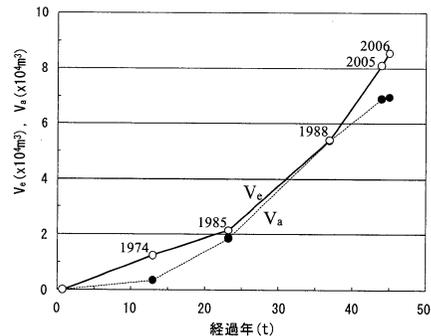


図-4 砂州の侵食・堆積土砂量の変化

1962年から1985年における侵食堆積土砂量はほぼバランスしているので、侵食・堆積の変化点を通する沿岸漂砂量を与えることとなる。一方、2005年から2006年の変化では両者がバランスしていないので、沿岸漂砂のみによる地形変化としては説明できない。

図-3の2005年12月から2006年12月までの変化において、ひげ状砂州が伸びる地点Aより東側では波の入射方向と砂州の汀線とがほぼ平行に伸びており、砂州へ沿い波が強く作用したと考えられる。そこでこの部分における砂の収支を調べるために、A点の南側での前浜面積の減少分と増加分を算出すると、それぞれ1,475m²、1,325m²となり、両者はほぼ釣り合っている。このことは先端部での海浜変形は沿岸漂砂の作用の結果起き、A点より西側の海浜が削られた砂はA点を越えて堆積域までほとんど運ばれておらず、A点より西側での海浜変形は主に岸向き漂砂により起きたことを示唆する。A点から砂州の西端までの区域での前浜面積の減少量は5,725m²であるが、これに移動高2.8mを乗じて変化土砂量に換算し、さらに海岸線長760mで割ると、海岸線単位長さ当たり21m³/mの岸向き漂砂量が得られる。対象期間内に岸向き漂砂を生じさせる高潮は2006年9月17日～18日に襲来した台風11号のみである。よってこの高潮時に上記岸向き漂砂が生じたと考えられる。

4. 深浅測量に基づく砂州の地形特性の把握

三百間地区の砂州の地形特性を明らかにするために、2007年12月初旬、砂州の地形測量を行った。測量は図-5に示すように、2006年12月の砂州形状を基本として、砂州の汀線とはほぼ直交する方向に測線を設け、汀線から約100 m 沖合の干潟上から砂州とその背後の干潟、および植生帯を横切って海岸堤防に至るまでの測線を定め、その測線に沿って縦断形を測定した。なお、砂州先端には砂嘴が形成されており、そこでは海岸線の方向が大きく変化するため、方向を大きく変えた測線も配置している。

図-5には平面深浅図を示す。砂州は西端で狭く、中央部では膨らみがあり、先端では南側に屈曲した砂嘴が形成されている。図-6には、砂州の北側汀線とはほぼ直交する測線 No.1から No.8に沿う縦断形を2組ずつ示す。砂州北面の前浜勾配は表-1に示すようにほぼ一定の1/8である。また表-1には併せてバーム頂の標高も示すが、バーム高の平均値はD.L.5.0mである。また中津干潟の平均水面はD.L.+1.95mなので、砂州高は平均海面上3.05mにある。またいずれの測線でも、干潟面はD.L.2.0mにあり非常にフラットである。

砂州背面の縦断形を詳細に調べると、砂州の勾配が急変し、なだらかな勾配から急勾配に変わる場所が、測線 No.6を除く測線 No.3から No.8のいずれにおいても見ら

れる。この急勾配部分の勾配を求めると表-1のように、いずれも1/2となる。また砂州背後で狭い水路を経て繋がり、標高が相対的に高い砂州背後干潟を通る測線 No.3を除けば、いずれの測線においても勾配急変点の標高はほぼD.L.4.2mにある。このことは、砂州背後での勾配急変は、満潮時に砂州背後が海水で満たされた状態で砂州の越流によって汀線と直角方向に砂が運ばれ、安息勾配をなして砂が堆積した結果形成されたことを意味すると考えられる。このように三百間地区の砂州は現況では高潮時の越波による変形が重なっていると考えられる。

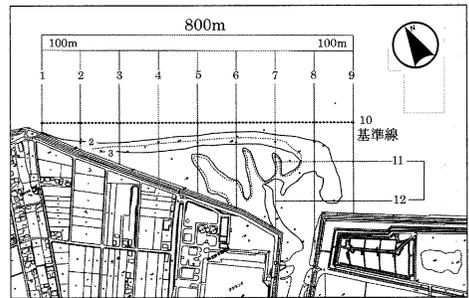


図-5 三百間地区の砂州周辺の平面深浅図

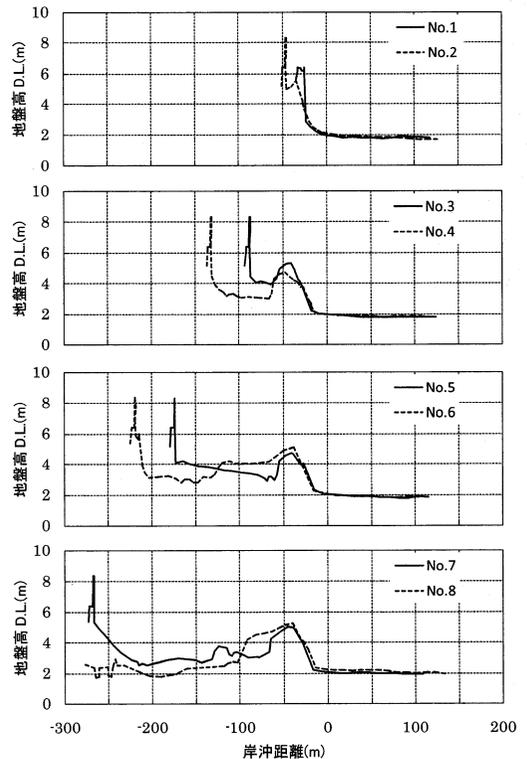


図-6 測線 No.1～No.8に沿う縦断形

表-1 バーム頂の標高, 砂州背面の勾配

	前浜勾配	バーム頂の標高 (D.L.m)	急勾配部分 の勾配
No.1			
No.2	1/7	5.49	
No.3	1/6	5.30	1/2
No.4	1/8	4.68	1/2
No.5	1/8	4.73	1/2
No.6	1/7	5.08	
No.7	1/8	5.04	1/2
No.8	1/10	5.25	1/2

5. 高潮時の砂州越流

2006年9月17日～18日, 台風11号が襲来した. 図-7は, 中津港における9月17日～18日の平均潮位と平均風速, 風向を示す. 9月17日21時には, 最高潮位が D.L.+3.85 m まで上昇した. 潮位と風速の関係を見ると, 9月17日の18時直前の潮位は D.L.3.6m で, その時の風速は約16 m/s, 風向は E から ENE であった. 中津干潟の三百間地区では, E 方向からの波は国東半島により遮蔽されるので, ENE 方向の吹送距離約80km を与えて SMB 法により波浪推算を行うと, 有義波高は1.92m, 周期は4.3s となる. さらに推算波高1.92m (周期4.3s) と平均前浜勾配1/8 を与えて砂州への打ち上げ高を Hunt の式で算定すると, 打ち上げ高は0.94m となり, これに潮位 D.L.+3.6m を加算すると, 波の打ち上げ高は D.L.+4.54m となる. 2007年8月当時の砂州高の詳細は不明であるが, 砂州先端の1測線で行われた縦断測量によれば砂州高は D.L.+4.78m であった (清野ら, 2007b). よって打ち上げ高は砂州高よりわずかに低いが, 推算波浪が有義波高であることを考慮すれば砂州の越流が起きてもよい.

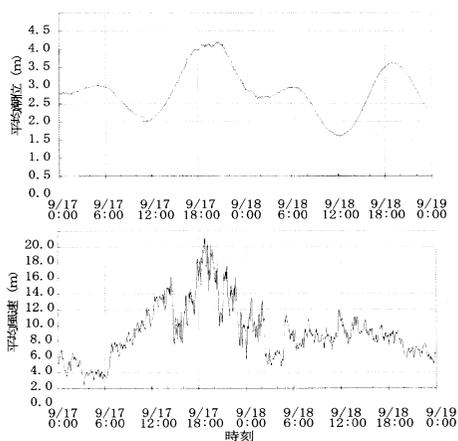


図-7 中津港における9月17日～18日の平均潮位と平均風速風向

図-8は2006年10月23日撮影の, 砂州中央部における越流による背後の干潟への砂の進入状況を示す. さらに,



図-8 砂州中央部における越流による背後の干潟への砂の進入状況 (2006年10月23日撮影)

2007年7月16日には台風4号が九州へ上陸し, 九州地方を横断した. これにより中津においても気圧低下と強風による高波が発生し, 三百間地区の砂州に大きな変化が現れた. 台風4号では海面が異常に高まったことにより波が砂州頂を超え, 砂州を横断する砂移動も生じた. 以下ではこの状況を8月28日の現地踏査により明らかにする. 図-9は, 図-1(b)に示す地点 P1 の砂州状況であり, 砂州背後のラグーンへの砂の侵入状況を示す. 標高差1m, 勾配1/2で砂が堆積している. 海側から射流状態で越流が起これ, ラグーン内のほぼ静止した水域に砂が落ち込んだため, 砂州背後に安息勾配の斜面ができた. この越流によってラグーンは狭まった. ラグーンの表面にはほとんど砂は堆積せず粘性土で覆われていることは, 左側から運び込まれた砂が急斜面を滑り落ちつつ堆積したことを意味する. 同様に図-10は, 図-1(b)の地点 P2 付近の状況を示すが, 砂州背後の水路を埋める一歩手前まで砂が運び込まれたことが分かる.



図-9 砂州背後のラグーンへの砂の侵入状況



図-10 砂州背後の水路を埋める一歩手前まで侵入した砂

図-11には, 中津港における7月14, 15日の潮位と風向風速を示す. 7月14日21時には, 最高潮位が D.L.+3.9m

まで上昇した。また風向はNWが卓越している。中津干潟三百間地区におけるNW方向の吹送距離は約22kmなので、SMB法による波浪推算を行うと、有義波高は1.54m、周期は4.3sとなる。上記推算波高1.54mと周期4.3s、および平均前浜勾配1/8を与えて砂州への打ち上げ高をHuntの式で算定すると、打ち上げ高は0.84mとなり、これに潮位D.L.+3.9mを加算すると打ち上げ高はD.L.+4.74mとなる。表-1によれば砂州高の最低値はD.L.4.68mであり、砂州への越流が十分起こる条件下にあった。よってこの越流によって岸向きに砂が運ばれた結果、図-9、10に見られた変形が起きたことが分かる。

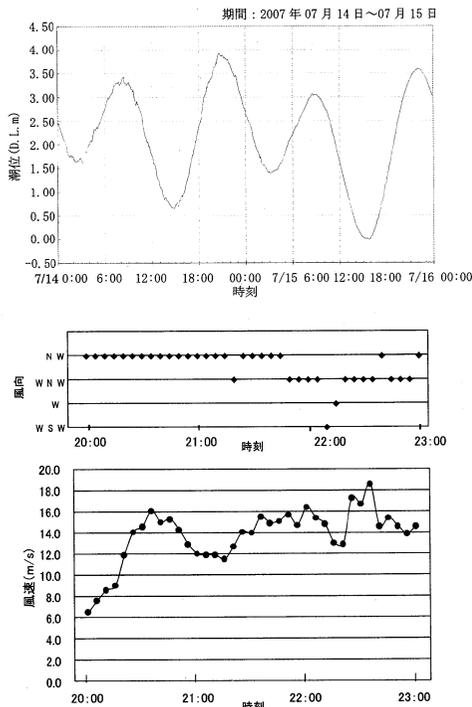


図-11 中津港における7月14、15日の潮位と風向風速

図-5に示したように測線No.2からNo.8までの7測線は砂州の北側側面に位置している。これらの測線では、2006年12月の砂州形状は図-3により、また2007年12月初旬の形状は図-5、6に示されている。空中写真から読み取った砂州形状は縦断面図ではD.L.2m付近の勾配急変点に相当すると考えられるので、各測線ごとに2時期の砂州位置のずれを測定し、その変化量に移動高2.8mを乗ずると断面積変化量が求められる。表-2はこの結果を示す。断面積変化量の平均値は11m³/mであり、砂州の汀線延長が約680mなので、砂州全体で7,480m³の前浜砂が岸向きに移動したことが分かる。対象期間での砂州の

表-2 断面積変化量

	汀線変化距離(m)	断面積変化量(m ³ /m)
No.2	-1.03	2.9
No.3	-5.13	14.4
No.4	-3.08	8.6
No.5	-5.42	15.2
No.6	-3.33	9.3
No.7	-4.95	13.9
No.8	-4.28	12.0
平均	-3.89	10.9

越流は2007年7月16日の台風4号に伴う高潮時のみ起きているので、上記の値は高潮時の越流起源の岸向き漂砂量を与えると考えられる。

図-3において、前浜侵食面積7,200m²に対して堆積面積が1,325m²と両者は均衡せず、侵食面積のほうが大きかった理由は、このような岸向き漂砂による地形変化が重なったためと考えられる。長期的な侵食堆積土砂量の変化を示す図-4において、近年堆積侵食土砂量の均衡が失われているのは、東向きの沿岸漂砂による緩やかな地形変化に加えて、上記の高潮位時の砂州越流による急激な岸向き漂砂による地形変化が重なったためと考えられる。

6. 結論

- ① 中津三百間地区の砂州は東向きの卓越沿岸漂砂の作用のもとで変形が続いてきたが、近年、台風時の高潮に重なった波浪の作用により砂州の越流が起こり、沿岸漂砂の作用に加えて急激な岸向き漂砂が重合して地形変化が起きた。このため砂州の平面変化で見ると砂の欠損が起きたように見える。
- ② 三百間砂州の中央部には過去には砂州の裏側の干潟上で堆積した粘性土層が露出し、これが一種の突堤の役割を果たしていたが、これが波蝕を受けて徐々に後退し、突堤効果が失われ、これより西側にあった砂が東向きに流出している。
- ③ 2006年9月17日～18日に襲来した台風11号と、2007年7月16日の台風4号に伴う高潮時には、それぞれ21m³/m、11m³/mの岸向き漂砂が生じた。

参考文献

- 清野聡子・宇多高明・足利由紀子・神田康嗣・和田太一・城野博之(2007a)：干潟縁辺部における砂州で囲まれた塩性湿地の生物環境条件，海岸工学論文集，第54巻，pp.1271-1275。
- 清野聡子・宇多高明・足利由紀子・神田康嗣・城野博之(2007b)：中津干潟三百間地区における砂州の大変形の機構，海岸工学論文集，第54巻，pp.566-570。