

# 中津干潟沖での覆砂の岸向き移動機構

## Shoreward Sand Transport after Offshore Sand Capping on Nakatsu Tidal Flat

足利由紀子<sup>1</sup>・清野聡子<sup>2</sup>・宇多高明<sup>3</sup>・畦津義彦<sup>4</sup>・菖蒲明久<sup>5</sup>  
三原博起<sup>6</sup>・小森信二<sup>7</sup>・渡辺誠治<sup>7</sup>・酒井和也<sup>8</sup>

Yukiko ASHIKAGA, Satoquo SEINO, Takaaki UDA, Yoshihiko AZETSU, Akihisa AYAME  
Hiroyuki MIHARA, Shinji KOMORI, Seiji WATANABE and Kazuya SAKAI

The movement of sand and gravel placed on the tidal mud flat under the wave action was investigated on Nakatsu tidal flat in Oita Prefecture. On December 12, 2009 sand was newly deposited in front of the seawall where there was no sandy beach in the past. The newly formed beach is composed of coarse sand different from mud composed of the tidal flat. Such sand was suddenly transported from offshore and deposited. The cause was investigated through the field observations and numerical analysis using the contour-line-change model.

### 1. はじめに

閉鎖性海域では底質環境の悪化や干潟の消失が進んできているが、これらは沿岸域におけるアサリ漁獲量減少の主要因となっている。このためアサリ資源の維持・回復に覆砂や人工干潟の造成が必要とされている(上田・山下, 1997)。すなわちアサリ資源の回復のためには、金原ら(2008)も述べているように、浮遊幼生が着底しやすい場を創出するとともに、着底後の稚貝の生育場も必要と考えられている。さらに柳橋(1992)や岩男(2003)の研究によれば、アサリ浮遊幼生の着底には粒径0.5~4mmの粗粒砂が好適とされている。一方、滝川ら(2008)は、熊本県北部の玉名横島海岸において干潟なぎさ線の回復を目指した実証実験として、堤防前面の押さえ盛土工前面のTP-1mの平坦面上の幅50m区間に石積み囲いを施し、そこに中央粒径約0.5mmの砂を盛ったところ、当初平坦であった盛砂は造成直後の台風0215号の波浪により沖側砂止め石積み部が約40cm侵食され、岸側の消波工側へと移動堆積したと述べている。このことは干潟面上に投入された中砂は波浪作用で岸向きに運ばれやすいことを示しているが、アサリ浮遊幼生の着底に適する粒径0.5~4mmの粗粒砂も含めて、中砂~礫に属する底質は波の作用を受けると岸向き移動が著しく、造成された覆砂域の波による変形が無視できないと考え

られる。しかしながら干潟面上に投入された中砂~礫の波の作用下での移動に着目した研究は皆無である。2009年12月12日、中津干潟三百間砂州のサンドリサイクルの実証実験のため海岸状況の観察を行ったが、その際、砂州西端を区切る直立護岸の前面に新たに砂が堆積しているのが見出された。従来直立護岸の前面には砂は堆積しておらず礫で覆われていた。また今回のサンドリサイクルにおいては養浜が行われたが、養浜直後に養浜砂は東向きの沿岸漂砂によって急速に運び去られ、礫床が露出した。干潟面の構成材料は潟土であるが、新たに形成された砂浜は主に粗砂で構成され、干潟を造る物質とは全く異なる。そのような物質が急激に海浜へと打ち上げられた。本研究では、まず現地状況を明らかにし、その上で粒径を考慮した等深線変化モデル(熊田ら, 2005)を用いて検討した。

### 2. 砂の上陸箇所周辺の地形的特長

2009年10月3日14:30の干潮時(潮位DL0.6m)撮影の空中写真を図-1に示す。三百間地区はほぼ三角形の堤防に囲まれており、その頂点Pから東西両方向に砂州が伸びる。東向きに約670m伸び、その先端部で蛸瀬川河口を囲むように伸びた砂嘴を有するのが三百間砂州である。この砂州の汀線に沿って東向きの沿岸漂砂が卓越している。三百間砂州は、過去に中津川の洪水によって干潟上へと運ばれた砂が波の作用下で岸向きに運ばれて長大な砂州として伸び、それ自体が変形しつつ現在の位置に達したものである(清野ら, 2007)。しかし現在では中津川の流下土砂はわずかであり、砂州は孤立した砂の塊として長らく存在していた。一方、頂点Pの西側にも狭い砂浜があるが、この砂浜と三百間砂州とは堤防頂点を境に不連続になっている。図-1の頂点P付近が砂の上陸が起きた場所である。この場所は三百間砂州の西端を区切

1 NPO法人 水辺に遊ぶ会  
2 正会員 工博 九州大学工学研究院環境都市部門准教授  
3 正会員 工博 (財)土木研究センター常務理事なぎ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  
4 大分県中津土木事務所長  
5 大分県中津土木事務所次長兼企画調査課長  
6 大分県中津土木事務所建設課長  
7 大分県中津土木事務所建設課  
8 正会員 修(工) (財)土木研究センター 河川・海岸研究部



図-1 中津干潟三百間地区の空中写真 (2009年10月3日)



写真-1 直立護岸前面の砂浜 (2009年12月12日)



写真-2 直立護岸前面の砂浜 (2010年1月10日)



写真-3 護岸斜路の基部の前浜 (2009年12月12日)



写真-4 護岸斜路の基部の前浜 (2010年1月10日)



写真-5 斜路中央部の砂浜幅の変化 (2009年12月12日)



写真-6 斜路中央部の砂浜幅の変化 (2010年1月10日)

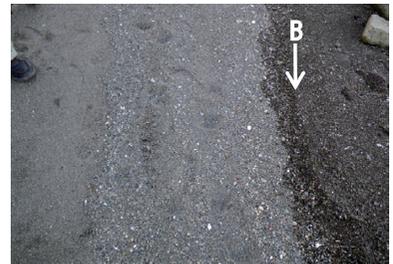


写真-7 細砂層の沖側に新たに堆積した礫層 (2009年1月23日)

り、沿岸漂砂の境界条件となっている。逆に頂点Pの西側では海岸線が中津川河口へと次第に後退している。

### 3. 現地写真の比較に基づく砂の上陸状況

三百間地区の西端にある直立護岸に沿ってほぼ西向きに2009年12月12日に撮影した海岸状況を写真-1に示す。護岸のり先の礫の堆積区域に三角形状の砂浜が形成されていた。砂浜の西端は護岸に接していることから、この砂浜は孤立した砂の塊であったと考えられる。同じ場所の2010年1月10日の状況を写真-2に示す。護岸のり面にある窪み(○印)を基準に護岸への垂線を引くと、礫浜を埋めて砂浜が大きく広がったことが分かる。また護岸斜路の基部では同じ期間に写真-3, 4の変化が見られた。12月12日には前浜勾配が1/12.5であったが、1月10日には砂浜が広がったものの前浜勾配は同一であった。

写真-5, 6は斜路中央部の砂浜幅の変化を示す。この場所では12月12日には浜幅が3.8mであったが、1月10日に

は5.7mと1.9m広がった。なお写真-5の点Aでは2009年12月12日に、また写真-6の点A'では2010年1月10日に砂をサンプリングし粒度分析を行った。さらに1月23日の調査ではそれ以前に堆積した砂の層の沖側には写真-7に示すように明らかに礫質を含む粒径の大きな土砂が重なるようにして堆積していた。これより写真-7の(矢印B)でも底質採取を行った。

写真-8, 9は、斜路の東側隣接部の状況変化を示す。12月12日には写真-8に示すように砂の堆積域の東端(矢印C)は、従来から海岸を覆っていた礫の上に載っていた。しかし1月10日には写真-9のように大量の砂が堆積し、礫床は砂で埋まった。

斜路上からはさらに長い期間の海浜状況の変化を調べた。写真-10は、2009年9月1日に蛸瀬川河口沖の砂嘴の堆積土砂を採取して西側へ運び、三百間砂州の西端で養浜を行うサンドリサイクル工事の開始直後の写真である。工事は8月末から開始され、護岸前面に帯状に養浜



写真-8 斜路の東側隣接部の状況変化 (2009年12月12日)



写真-9 斜路の東側隣接部の状況変化 (2010年1月10日)



写真-10 サンドリサイクル工事の開始直後の斜路先の海岸状況 (2009年9月1日)



写真-11 養浜で広がった砂浜の消失 (2009年10月31日)



写真-12 斜路隣接部での砂の再堆積 (2009年11月2日)



写真-13 大きく広がった砂浜 (2009年1月10日)

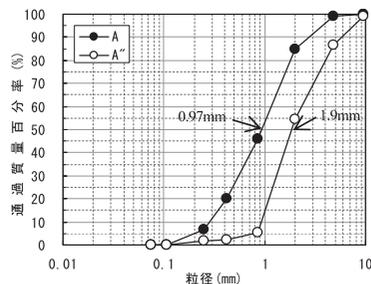


図-2 点A, A"の採取試料の粒度分析結果



写真-14 堤防頂点Pの西67mの地点D付近の海浜状況



写真-15 堤防頂点Pの西262mの地点E付近の海浜状況

されたために既に斜路海側の礫床を埋めて砂浜が広がっていた。しかし10月31日までは写真-11のように養浜で広がった砂浜はほぼ完全に消失した。また斜路の先には浜崖が形成されていることから、海浜変形は東向き漂砂に起因することが明らかである。しかし2日後の11月2日には斜路の隣接部で砂浜が広がり始め (写真-12)、2010年1月10日には砂浜が大きく広がり、当初から存在した三百間砂州と繋がるまで砂州が伸びた (写真-13)。このように従来礫床が現れていた場所で急激に砂浜が広がったことが特長である。

三百間地区での砂浜形成に関する現地写真のうち2009年12月12日撮影の写真-5の点Aと、1月10日撮影の写真-6の点A"で採取した海浜材料の粒度分析の結果を図-2に示す。点Aの堆積砂はよく淘汰が進んでおり、中砂・粗砂と礫からなる。中央粒径は0.97mmである。点A"の堆積砂は粗砂と礫からなり、中央粒径は1.90mmである。

#### 4. 堤防頂点P西側での砂浜の変形

3.で述べたように、三百間地区では2009年12月12日の観察以降継続的に汀線付近に堆積している砂の量が増加した。砂量の増加は堤防突出部頂点P付近で顕著に見られたが、砂量の増加は岸向き漂砂でなくとも、頂点Pの西側海浜が削られその砂が沿岸漂砂によって東側へ運ばれても起こる。このことから頂点Pの西側海浜状況を2010年1月23日に調べた。観察地点はP点の西67m, 262m, 378mに位置する3地点 (図-1の地点D, E, F)である。まず点Dの海浜状況を写真-14に示す。この付近では浜崖形成など侵食は全く起きておらず、前浜には砂が堆積していた。同様な砂の堆積はDの西195mの点Eでも起きており、前浜の礫を埋めて砂が堆積していることが確認できた (写真-15)。さらに写真-16, 17は、2007年10月19日と2010年1月23日における点Eの海浜状況の変化を示す。図中に矢印で示す2つの岩は同一のものであるが、



写真-16 堤防頂点Pの西378mの地点F付近の海浜状況 (2007年10月19日)



写真-17 堤防頂点Pの西378mの地点F付近の海浜状況 (2010年1月23日)



図-3 中津干潟の覆砂位置 (地図引用: Google map)

海岸で遊ぶ子供達の身の丈と比較すれば、20cm程度海浜地盤高が上昇したことが明らかである。以上より、頂点Pの西側の海浜でも砂量が増えたことが明らかであり、砂量の増加は頂点Pを西から東に沿岸漂砂によって砂が運ばれたことに起因したものではないと判断できる。対象区域では堤防が突出しており、西側からの砂の供給はないことから、従来安定していた海岸に突然砂が堆積した理由は沖合からの砂輸送に求めざるをえない。

## 5. 粒径を考慮した等深線変化モデルによる現象の再現

### (1) 計算方法

中津干潟では2009年には洪水もなかったことから、中津川や山国川から大量の土砂が干潟面へと運ばれた可能性は低い。したがって汀線での急速な砂の堆積には人為的要因が関与すると見るのが自然である。中津干潟では2009年に沖合で覆砂が行われたことから、これとの因果関係が考えられる。2009年4月～6月には中津川と山国川の合流点と山国川上流6km左岸恒久橋下の堆積土砂5200m<sup>3</sup>が、図-3に示す幅90m、長さ300mの矩形状区域に投入された。このときの覆砂量を面積で割ると平均19cmの覆砂が行われたことになる。また10、11月には山国川上流16km右岸の青洞門下親水公園に堆積した土砂150m<sup>3</sup>も追加投入された。覆砂域は、今回急速な砂の堆積が見られた場所からほぼ北西方向に2.0km離れている。中津干潟では北西風が卓越しているので、この波の作用で岸向きに移動し、三百間地区に上陸した可能性が考えられる。波による砂移動の原理としては、砂の粒径がほぼ1mmと粗く、平衡勾配が1/12.5と急なために干潟の平坦面では安定せずに岸向きに運ばれ、陸岸に到達して初めて安定化したことによると考えられる。

再現計算ではこのような条件を設定し、干潟沖での覆砂時の海浜変形予測を行った。まず干潟面は粘着性の大きな潟土でできており、その形態はほぼ平衡状態に近いと考えられることから干潟面を固定床と見なし、その上に載せられた砂礫が波の作用で移動すると考えた。海浜変形モデルとしては、熊田ら (2005) の粒径を考慮した

等深線変化モデルを用いた。干潟の勾配については、当地区の東3.5kmに位置する舞手川河口沖で2009年6月に行われた深浅測量の結果を参考とし1/750とした。覆砂箇所は三百間地区から沿岸方向に1230m離れた地点で、海岸線から1580m沖合にある。そこで干潟の縦断形は汀線から沖向きに1/750の斜面を考え、それを斜めに切った断面を考えた。覆砂では5200m<sup>3</sup>の砂が幅90m、長さ300mの矩形状区域に投入されたことから、覆砂量を面積で割って求めた平均19cm厚を初期形状として与えた。また砂の平衡勾配については、前浜勾配の実測値 $\tan\beta_c=1/12.5$ を与えた。波浪条件については、砕波波高0.4m、周期2.5sを与えた (清野ら2003)。中津干潟では潮位偏差が大きく、MWLはDL+2.0m、HWLはDL+3.5m、LWLはDL+0.6mにある。この計算では潮位変動に伴う水深変化

表-1 計算条件

計算手法	粒径を考慮した等深線変化モデル (熊田ら, 2005)
計算対象	中津川河口付近
初期地形	干潟部: 固定床, 勾配1/750 (舞手川河口での2009年6月測量結果を参考) 養浜砂: 護岸沖2000m, 盛土高0.19m
養浜砂粒径	ケース1 山国川採掘土 $d_{50}=0.97$ mm ケース2 礫 $d=5.0$ mm ケース3 混合粒径 0.97mm : 5 mm=1:1
入射波条件	砕波波高0.4m, 周期2.5s
平衡勾配	$\tan\beta_c = 1/12.5$
潮位	MWL=DL+2.0m, HWL=DL+3.5m, LWL=DL+0.6m, 計算基準面: HWL
波による地形変化の限界水深とバーム高	$h_L = -2.5$ m $h_R = 0.5$ m
境界条件	岸沖端: 通過漂砂量0
漂砂量係数	漂砂量係数A=0.5 岸沖漂砂量係数 $K_d/K_s = 1.0 \times 10^{-5}$
漂砂量的水深分布	宇多・河野 (1996) の3次式
土砂落ち込みの限界勾配	陸上1/2 水中1/3
計算範囲	鉛直方向z=1.0m～-4.0m
計算メッシュ	$\Delta z=0.1$ m
計算ステップ	2,000
数値計算法	陽解法による差分法

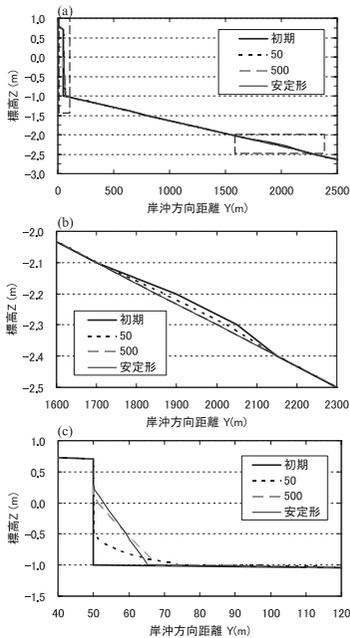


図-4 沖合で覆砂を行った場合の安定形に至るまでの地形変化

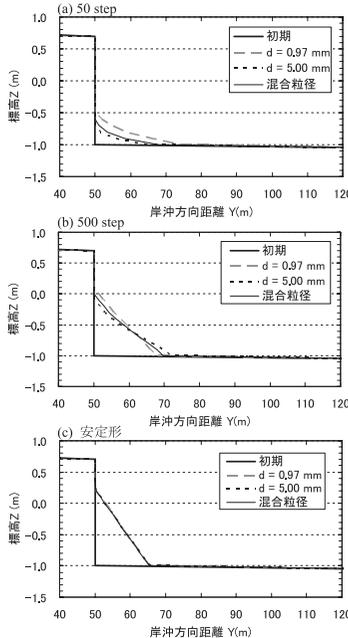


図-5 粒径を変えた場合の前浜形成速度の違い

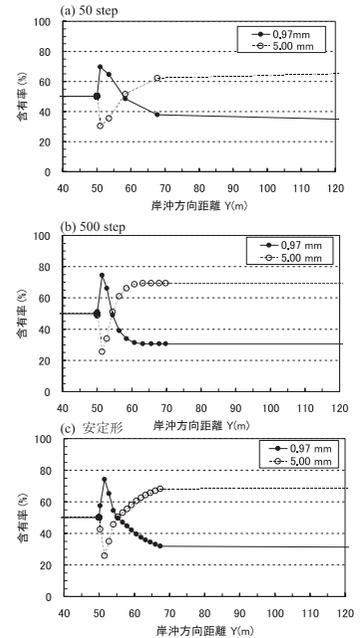


図-6 混合粒径材料を覆砂した場合の粒径含有率の岸沖分布

は考慮せず、平均場での波の作用を考えた。基準面をHWLに取ったとき、 $h_c$ を-2.5m、 $h_R$ を0.5mとして計算を行った。表-1には計算条件を示す。

(2) 計算結果

図-4 (a) は沖合のY=2000m付近に覆砂を行った場合の初期から2000ステップまでの地形変化を示す。海浜変形の起こる空間のスケールと比較して地形変化量は小さいので、沖合の覆砂域を拡大して示すのが図-4 (b) である。0.19m厚で台形状の置かれた砂は波の作用で削られ、突出高が減少していく。これと同期して汀線近傍の堆砂域では図-4 (c) のように護岸前面で堆積が進み、2000ステップには平衡勾配1/12.5に達して安定化する。図-5には平衡勾配を同一に保ったまま粒径を0.97mmから5mmと大きくし、粒径による違いを調べた結果も示すが、粒径が大きくなると移動速度が低下し、砂浜の形成が遅くなることが分かる。さらに粒径0.97mmと5mmの砂を1:1で混合した材料を覆砂に用いたケース3の結果も示すが、ケース3はケース1, 2の中間的な結果となっている。図-6は、混合粒径材料を覆砂した場合の粒径含有率の岸沖分布を示す。相対的に粒径が細かい成分が先に汀線へ到達し、その後粗な土砂が運ばれて堆積するため、岸側には細かい砂が堆積し、その沖に粗い土砂が堆積することが分かる。これは写真-7の観察結果をうまく説明している。

6. まとめ

中津干潟では沖合で覆砂が行われたが、土砂の投入後

護岸前面では堆積が進んだ。粒径を考慮した等深線変化モデルによる計算によれば、覆砂材料が粗砂および礫であり、これらの平衡勾配が大きいため、波の作用下で平坦な干潟面上で安定できず、岸向きに運ばれ、護岸前面に堆積することが分かった。三間地区での突然の砂の湧き出しはこの機構によることが分かった。

参考文献

岩男 昂 (2003) : アサリ漁場の環境特性, 大分県海洋水産研究センター, Vol. 4, pp. 57-63.  
 上田 拓・山下輝昌 (1997) : アサリ漁場の造成事例, 日本水産工学会講演論文集, Vol. 33, pp. 213-219.  
 金原想明・中井智司・西嶋 渉・岡田光正 (2008) : アサリの成育に適した海砂代替材の検索と着底に及ぼす代替材の特性評価, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1282-1285.  
 清野聡子・宇多高明・佐保哲康・安田英一・平野芳弘・足利由紀子 (2003) : 中津干潟大新田海岸の保全施設計画時における護岸端部の侵食と河口砂州変動モニタリング, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1156-1160.  
 清野聡子・宇多高明・足利由紀子・神田康嗣・城野博之 (2007) : 中津干潟三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.  
 滝川 清・増田龍哉・森本剣太郎・松本安弘・大久保貴仁 (2006) : 有明海における干潟海域環境の回復・維持へ向けた対策工法の実証試験, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1206-1210.  
 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・野志保仁 (2004) : 粒度組成の3次元変化を考慮した等深線変化モデル, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 441-445.  
 柳橋茂昭 (1992) : アサリ幼生の着底場選択性と三河湾における分布量, 水産工学, Vol. 29, pp. 55-59.