鳥取砂丘海岸における土砂動態把握および サンドリサイクルの効果の検討

Examination of the Beach Nourishment Project at Tottori Sand Dune Coast

澁谷容子¹・松原雄平²・黒岩正光³・井出正志⁴

Yoko SHIBUTANI, Yuhei MATSUBARA, Masamitsu KUROIWA and Masashi IDE

At Tottori Sand Dune Coast, the coastal erosion has been serious problems, and the beach nourishment project has been carried out for against erosions since 2005. However the effects of the project are not clarified and the detailed examination is not performed. The purpose of this study is to investigate the mechanism of the movement of the injected sand and the effect of the beach nourishment using the bottom sounding data at Tottori Sand Dune Coast and Tottori Port. The bottom sounding data were interpolated 20m, and the sand volume were estimated respectively. It was found that before the project, the sand volume were decreased, but after the beach nourishment project, sediment transport rate were toward to increased. This result shows that beach nourishment project are effective against beach erosions.

1. はじめに

湯山福部海岸，通称鳥取砂丘海岸（以下鳥取砂丘海岸という）は，一級河川である千代川を土砂供給源とする東西約7kmの砂浜海岸である．鳥取砂丘海岸の東端には岩戸漁港および塩見川が，西側には千代川河口と鳥取港が位置している．また千代川河口より東側約3kmの地点には鳥取砂丘がある．昭和40年代より千代川河口の付け替え工事や鳥取港の拡張工事，防波堤や河口導流堤の建設などの社会基盤整備が行われた結果，周辺海域において著しい地形変化が生じた．特に，鳥取砂丘海岸前面においては，海岸侵食が深刻化している．しかし，その一方で，鳥取港や千代川河口付近においては堆砂問題が発生しており（安本ら，2006a, 2006b），土砂移動のバランスがとれない状況であった．このような状況から鳥取県

では平成17年度から総合的な土砂管理として，鳥取港および塩見川に堆積した土砂を鳥取砂丘海岸の沖合い投入および陸上貯留する，サンドリサイクルを行っている．毎年，鳥取港から数万 m^3 程度，岩戸漁港から数千 m^3 程度の土砂投入が行われており，これまでに行われた土砂投入量とその位置を図-1に示す．

平成17年度から平成23年度までに延べ約40万 m^3 もの土砂が投入されており，平成22年度から平成23年度にかけては，通常の浚渫土砂の投入の他に，国道9号駒馳山バイパスの工事掘削土砂が多量（約8万 m^3 ）に陸上貯留されている．このように平成17年度より毎年サンドリサイクルは行われているが，詳細な効果の検証はなされておらず，漂砂系全体の土砂移動の把握も行われていない．そこで，本研究では，鳥取砂丘海岸の現地深浅測量結果および鳥取港の深浅測量結果をもとに鳥取砂丘海岸

図-1 鳥取砂丘海岸の概要（鳥取県平成23年度 第2回鳥取県東部土砂管理協議会資料を基に作成）

1 正会員	博(工)	京都大学 防災研究所 特定研究員
2 正会員	工博	鳥取大学教授 大学院工学研究科社会基盤工学専攻
3 正会員	博(工)	鳥取大学准教授 大学院工学研究科社会基盤工学専攻
4 正会員	修(工)	国土交通省

の土砂動態の把握を試みる。

2. 鳥取砂丘海岸を取り巻く環境

鳥取港における平成13年から平成22年の波浪観測データ（ナウファス）より鳥取砂丘海岸は次のような季節変化を繰り返す傾向にある。鳥取砂丘海岸に襲撃する波浪を季節的に見ると、春季から夏季にかけては北北東方向の波浪が卓越し、有義波高2m以下の波浪がほとんどである。一方、秋季から冬季にかけては北から北北東の波浪が卓越し、波高3mを超える高波浪が頻来する。

このため、海浜地形もまた季節的な変化を繰り返している。しかし、秋季から冬季に襲撃する波浪エネルギーが大きいことから、この期間に海底地形は大きく変動すると考えられる。

先に述べたように鳥取砂丘海岸の土砂供給源は千代川であり、漂砂系の平均的な移動は、西側から東側であった。しかし、さまざまな整備事業が行われた結果、海岸の西側では、鳥取港防波堤の遮蔽域が形成され、漂砂の移動は基本的な流れとは逆の西向きに、防波堤の遮蔽域の影響を受けない鳥取砂丘前面あたりから東では、沿岸漂砂は東向きであると考えられている。このように鳥取砂丘前面で漂砂の移動が東西に分かれ、このままでは鳥取砂丘崩壊にもつながりかねない状況にあることからサンドリサイクルによる海岸保全がなされている。

3. サンドリサイクルの効果

(1) 土砂量変化からみたサンドリサイクル

平成14年度から平成23年度までの9年間に春季と秋季の年間2回実施された深浅測量データ（鳥取県東部総合事務所提供）を用いてそれぞれの期間の土砂量を算出し、サンドリサイクル前後での土砂量変化からその効果を検討する。具体的には、測線間隔200mの深浅測量データからCADデータを作成し、コンター処理ライブラリを用いて内挿し、10mピッチの格子データを作成後、土砂量を算出する。このとき、深浅測量の測量誤差を考え $\pm 0.25\text{m}$ 以下は除外し、また、宇多ら（1986）により鳥取砂丘海岸の移動限界水深は約11mとられていることから、水深0～11mの範囲で格子データを作成した。図-2は平成14年9月を基準とした平成23年3月までの土砂量の経年変化を示したものである。夏季をまたぐ期間に土砂量が増加し、冬季に減少する季節変化が認められる。図-3に平成16から平成23年までの鳥取港沖（平成20年7月28日から平成21年3月18日についてはデータ欠損のため兵庫県の柴山港沖の波浪データを使用）の日平均有義波高および有義波周期を示す。波浪データからも冬季に高波浪が来襲し、夏季には静穏な波浪が続くことが確認できる。土砂は夏季に堆積、冬季に侵食という傾向を繰

り返ししながらも、有義波高が4mを超える頻度が高い期間（平成16年9月-平成17年3月や平成20年3月-平成20年9月など）には土砂量の急減が認められる。また、サンドリサイクル実施前後の土砂量変化に着目すると、実施以前には季節変化を繰り返しながら、土砂は減少傾向にあるが、サンドリサイクル実施以降、季節変化を繰り返しながらも横ばいもしくは増加傾向にあり、事業の効果がみられる。また、高波浪により一時的に土砂が減少しても、その後の土砂量は回復していることがわかる。

さらに、各区間における土砂量の経年変化の一部を図-4に示す。分割区間は千代川河口右岸を0mとして、沿岸方向500-1000m、1000-2000m、2000-3000m、3000-5000m、

図-2 鳥取砂丘海岸における土砂量の経年変化

図-3 鳥取港沖および柴山港沖の波浪データ

図-4 各区間における土砂量の経年変化

5000-6000m, 6000-7000m, 7000-7300mであり, サンドリサイクル実施区間は他の領域よりも広く2000mとした。図より, サンドリサイクル実施区間(3000-5000m区間)において土砂量変化が激しいことがわかる。また, サンドリサイクル開始後の土砂量変化の平均的な勾配は右肩上がりであり, 投入土砂の効果であると考えられる。

(2) 侵食堆積図からみたサンドリサイクル

10mごとに内挿した深浅測量データより, 各期間における侵食堆積図を作成した。図-5は平成15年9月から平

成16年3月および平成16年3月から平成16年9月の期間の土砂の侵食堆積の様子を示したものである。図-5 (a)より冬季風浪をはさむ秋から春の期間では, 西側で侵食域が広がり東側で土砂が堆積している。この期間の沿岸方向のエネルギーフラックスは西側で-2.74N, 東側で0.014Nであり, 東側の土砂は殆ど移動せず, 西側の土砂が東へ移動していると考えられる。

一方, 春から秋の間では逆に東側で大きく侵食し, 西側で堆積が生じている(図-5 (b))。この期間におけるエネルギーフラックスは冬季とは逆で, 西側での土砂の移

図-5 土砂の侵食堆積の様子(季節変化)

図-6 特徴的な土砂の侵食堆積の様子

動はなく、東側の土砂が西側へ移動したことが推測される。平成15年9月から平成16年9月の期間以外でも、台風や冬季に暴浪が作用しない場合には概ねこのような季節変化の傾向がみられた。図-6に特徴的な変化が確認できた期間の侵食堆積図を示す。図-6(a)は、通常よりも大きな高波浪(暴浪)が作用した際に、バー形成位置で侵食し、その沖で堆積している様子である。

図-3からも平成20年2月に有義波高5m強の高波浪が作用していることが確認できる。この期間の岸沖方向のエネルギーフラックスは24.47N、沿岸方向のエネルギーフラックスは-3.4Nであり、高波浪が作用しない場合(岸沖方向15N、沿岸方向±1~3N)に比べて岸沖方向のエネルギーが著しく大きい。バー形成箇所でも侵食された土砂が沖で貯留されていることが考えられる。さらに、その後、平成21年9月から平成22年3月の期間には沖で侵食し、バー形成箇所でも堆積が確認できる。冬季の高波浪が作用したことで、沖に貯留されていた土砂が押し戻されたと考えられる。このような土砂の変化は他の期間でも確認でき、岸沖方向のエネルギーが卓越するような高波浪が作用した場合、バーを形成している土砂が侵食され沖へ運ばれ、その後の高波浪により再び土砂が押し戻され、バーを形成する傾向にある。また、これらの侵食堆積図から、土砂投入区間において一時的に堆積している様子は確認できたが、その後、土砂が長期にわたって滞留している様子は明確には確認できなかった。しかし、平成22年度から平成23度にかけて約8万 m^3 もの土砂が陸上から投入された期間では、土砂の堆積を確認することができる(図-6(c))。土砂投入区間である、4000-5000mを中心に沿岸および岸沖方向に土砂が堆積している(図-6(c)中の囲み部分)。このことから、陸上から投入された土砂は水深方向の土砂堆積にも貢献し、多量の陸上養浜の効果であると考えられる。

また、陸上養浜地点である4000-4500m付近を含む領域の土砂量はサンドリサイクル開始以降、増加傾向にあることが分かったが(図-4)、汀線は侵食が進む傾向にあった。そこで、平成16年9月を基準にした汀線の経年変化(沿岸方向4000m地点、4300m地点および4600m地点)を

図-7 陸上養浜付近の汀線の経年変化

図-7に示す。サンドリサイクル開始以降も侵食傾向にあった汀線が、多量の陸上養浜を実施後急激に回復していることがわかる。平成23年3月地点では土砂投入が行われている最中であり、今後の汀線変化を注視する必要がある。しかしながら、沖合いに数万 m^3 の土砂投入を行うよりも、陸上からの土砂投入が汀線の回復にはより効果的であることが確認できた。

(3) 鳥取港内(浚渫箇所)からみたサンドリサイクル

鳥取港内では土砂が堆積し、航路維持浚渫が毎年行われている。浚渫は波浪の穏やかな3月から8月にかけて実施されている。ここでは、千代川河口および鳥取港内の平成20年から平成22年の深浅測量データ(鳥取県県土整備部鳥取港湾事務所提供)をもとに海岸域と同様に鳥取港内の土砂量を算出し、浚渫量と埋没量の関係および港内の土砂動態の把握を試みる。図-8に千代川河口および鳥取港の概要と、土砂量算出時に区分した6つの領域を示す。領域①は千代川河口付近、領域②は土砂浚渫が行われている領域であり、また、領域⑥には湖山川が流入している。

図-8 千代川河口および鳥取港の概要と土砂量算出の領域

ここでは、特に地形変化が著しい領域①および領域②について詳しく述べるものとする。表-1に領域①および領域②の土砂変化量を示す。千代川河口にあたる領域①は平成20年9月から平成21年9月にかけて多量の土砂が流出しているが、図-9の侵食堆積図においても河口付近で土砂が減少していることが確認できる。これは、平成21年8月に来襲した台風により河口に堆積した土砂がフラッシュされた結果と考えられる。千代川の河口付近において、土砂の堆積とフラッシュを繰り返していることは、現地調査からも確認されている。また、領域②では土砂浚渫が行われているため、土砂量は毎年減少している。表-2に平成20年から平成23年までの浚渫土砂量を示す。毎年20,000 m^3 程度土砂浚渫が行われていることがわ

かる。しかしながら、領域②の平成21年9月から平成22年9月には $6,700\text{m}^3$ の土砂の減少に留まっており、平成21年の浚渫土砂量が $31,000\text{m}^3$ を超えていることから、土砂浚渫後に高波浪などにより土砂が埋め戻され更なる浚渫が必要になったことがわかる。鳥取港内の経年データが少ないものの、鳥取港内には年間約 $20,000\text{m}^3$ の土砂が堆積傾向にあり、毎年行われている浚渫土砂量とほぼ一致することから、浚渫し海域に投入した土砂の一部は港内に戻っていることがうかがえる。

表-1 各領域における年間の土砂変化量

	領域①	領域②
平成20年9月-平成21年9月	-43,860 m^3	-27,700 m^3
平成21年9月-平成22年9月	18,600 m^3	-6,700 m^3
累計	-25,260 m^3	-34,400 m^3

図-9 領域①における土砂の侵食堆積の様子 (平成20年9月-平成21年9月)

表-2 鳥取港における浚渫土砂量

平成20年3月-平成20年7月	16,000 m^3
平成21年1月-平成21年8月	31,786 m^3
平成22年4月-平成22年9月	27,314 m^3
平成23年6月-平成23年8月	46,665 m^3

4. おわりに

本研究では鳥取砂丘海岸および鳥取港の深浅測量データをもとに、土砂量を算出し漂砂系の土砂動態の把握ならびに平成17年度より行われているサンドリサイクルの効果の検討を行った。

鳥取砂丘海岸の土砂量を算出した結果、波浪の季節変化によって冬季に土砂は減少し、夏季に増加する傾向にあることが確認された。季節変化を繰り返しながら全体的には減少傾向であった土砂量は、サンドリサイクル実施以降、増加傾向にあり、土砂投入地点における土砂量も若干の増加傾向にあり、浚渫土砂のリサイクルには一

定の効果があることがわかった。また、冬季には土砂が西側で侵食、東側で堆積し、夏季ではその逆の傾向にあることが侵食堆積図から明らかとなり、通常よりも高波浪が作用した際には土砂が一端沖へ流出するものの、その後の波浪により土砂が岸側に戻ってくることがわかった。

浚渫箇所付近である鳥取港および千代川河口付近の土砂量を算出した結果、次のような傾向にあることがわかった。千代川河口では、通常は土砂が堆積傾向にあるものの、大きな出水時にフラッシュされている。鳥取港では毎年2万 m^3 程度の土砂浚渫が行われているが浚渫箇所では土砂が堆積していることから、サンドリサイクルで投入した土砂の一部は港内にもどっていることが考えられる。また、浚渫および投入量が毎年異なるため、投入量と歩留りの比を検討し相対的評価を行う必要がある。

平成22年度および平成23年度には通常よりも多量の土砂の陸上養浜が行われており、これによりサンドリサイクル開始後も侵食傾向であった地点の汀線が前進している。平成24年度以降は従来のサンドリサイクル量に戻ることから、今後、これらの土砂がどの程度留まり、その効果を持続できるかを注視していく必要がある。また、サンドリサイクル開始以降、鳥取砂丘海岸域における土砂量は若干の増加傾向にあるが、現状を維持するには半永久的に現在の対策を行っていかねばならないことから、歩留まりを考えさらに効果的なサンドリサイクル方法を確立することが望まれる。今後も継続的に鳥取砂丘海岸および鳥取港の土砂移動を漂砂系全体で議論することが必要であり、本研究が今後の対策の一助となれば幸いである。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、鳥取県東部総合事務所県土整備局および鳥取県県土整備部鳥取港湾事務所から快くデータを提供していただき、また鳥取県県土整備部河川課の土砂管理協議会資料を参考にさせていただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 宇多高明・岡村 真・西村洋人 (1986)：鳥取海岸の沖合部に
おける地形変化，第33回海岸工学論文集，pp. 282-286.
- 鳥取県 (2005)：鳥取沿岸の総合的な土砂管理ガイドライン
- 鳥取県 (2011)：平成23年度 第2回 鳥取県東部土砂管理協議会資料
- 安本善征・宇多高明・松原雄平・佐藤慎司 (2006a)：鳥取沿岸
の総合的な土砂管理ガイドラインの策定と実施，海洋開発
論文集，第22巻，pp. 415-420.
- 安本善征・宇多高明・松原雄平 (2006b)：鳥取沿岸の侵食実態
と総合的な土砂管理の検討-千代川右岸流砂系の例-，海岸
工学論文集，第53巻，pp. 641-645.