

弓ヶ浜海岸におけるサンドリサイクルシステムの有用性

佐藤 慎司* ・ 古屋 隆男** ・ 坂根 博吉***
 山本 幸次**** ・ 田子 洋一***** ・ 牧野 一正*****

1. はじめに

弓ヶ浜海岸は、鳥取県西部の美保湾に望む弓ヶ浜半島の海岸の総称で延長約 16 km の砂浜海岸である。半島の基部には日野川があり、その左岸には皆生海岸が位置している (図-1)。皆生海岸は、日野川上流のカンナ流しによって供給された多量の土砂が、時計回りの沿岸流によって日野川河口から北西方向に運ばれ育成したものである。しかし、大正末期からカンナ流しの衰退による侵食が始まり、現在の護岸が出来るまでに最大約 300 m も汀線が後退したと言われている。

一方、弓ヶ浜半島は、日野川からの供給土砂が堆積して形成されたものであり、明治時代以来徐々に汀線が前進し続けている。



図-1 平面図

しかし近年では、日野川からの供給土砂量の減少とともに侵食は拡大する一方で、1960年に直轄工事区域に指定され、以来、離岸堤を始めとした侵食対策工事を進め、離岸堤による砂浜の復元としては全国を代表する保全施設となっている。また、1996年7月には当地域が“海と緑の健康地域づくり”の指定を受け、健康・保養・医療

に関する施策、多機能な海岸整備により、今後一層の海岸利用が望まれる。さらに近年、当海岸域が地域発展の拠点として位置づけられることから、環境に配慮した、自然にやさしい海岸保全としてサンドリサイクルによる保全事業を実施しているところである。本報告では、1995年から1998年に実施した現地実験のとりまとめと漂砂特性を反映した海浜変形モデルによりサンドリサイクルシステムの効果を明らかにし、同時に他工法との比較検討も行いサンドリサイクル事業の効果を示した。

2. 現地観測データによる波浪・流速特性

サンドリサイクル現地実験では図-2に示す水深 10 m 地点において波浪・流向流速観測を1年間実施した。このデータをもとに瞬間最大流速と流向、有義波高と波向について整理したものが図-3、4である。

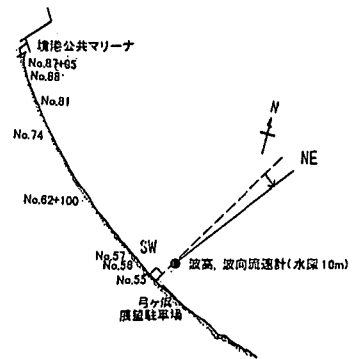


図-2 卓越波向・流向と地形条件の関係

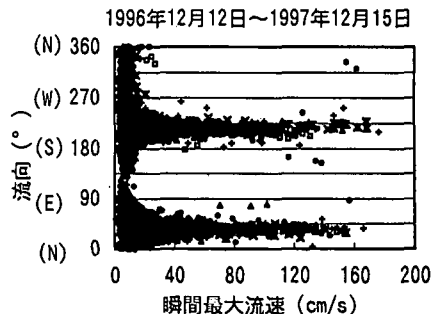


図-3 流向流速観測結果

* 正会員 工博 東京大学助教授 大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 (前建設省土木研究所 河川部海岸研究室長)
 ** 前建設省中国地方建設局日野川工事事務所 工務課長
 *** 前建設省中国地方建設局日野川工事事務所 工務課
 **** 正会員 建設省土木研究所 河川部海岸研究室
 ***** 正会員 工修 (株)建設技術研究所 海岸海洋開発室

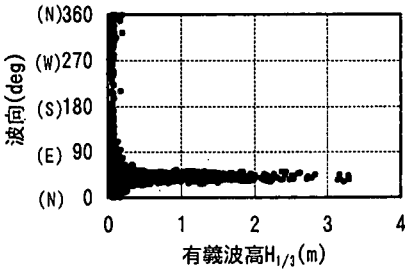


図-4 波浪観測結果

年間の瞬間最大流速の流向は流速が大きいほどSWとNEに集中している。また、波高が高い時の卓越波向はNEとなっている。

弓ヶ浜海岸の法線形状が日野川河口から境港にかけて徐々に西向きから北西向きに変化していることからすると、波高が高く、流速が速い時には海岸線に沿って西向きまたは北西向きの流れが発生していると考えられる。

3. 漂砂特性

(1) トレーサー調査

図-5に1996年度に行った蛍光砂によるトレーサー調査結果を示す。蛍光砂の重心位置の移動を示したものである。蛍光砂の投入地点は図-5上段からNo.56, No.62+100, No.74, No.81の4地点(図-2)の汀線部である。

No.74地点のみ北東への大きな移動が見られるがその他の地点では概ね東から西への沿岸漂砂が卓越している。

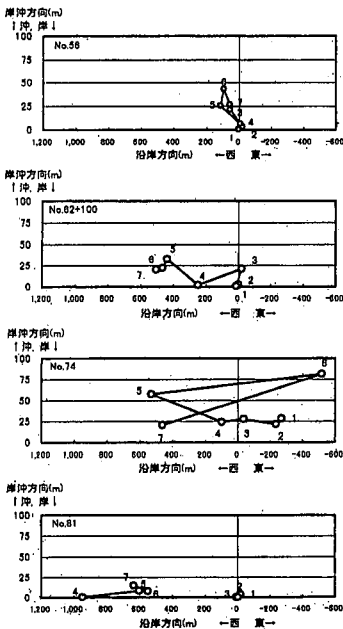


図-5 トレーサー調査結果

ことがわかる。

No.74のこの移動は、波浪規模が大きい時には波向がNNE寄りになることと海岸地形条件との関係により局部的にこのような流れが発生したものと推定できる。なお、図中の数字の順に重心が移動したことを意味している。

(2) 深淺測量結果

弓ヶ浜海岸では、東側の皆生海岸を含め1971年から深淺測量を実施している。サンドリサイクル実験開始直前までの結果(図-6)と実験開始後の1994年から1998年までの結果(図-7)では等深線位置の変化傾向が異なっている。前者は、皆生工区の離岸堤群による汀線位置の前進と水深5m以深での侵食が見られる。後者では、突堤設置の効果が上手側の水深2,3mまでみられ侵食がおさえられている。また、サンドリサイクル実験区間の水深2,3mで侵食が見られるが、これは1997年に来襲した暴浪により土砂が沖方向に移動したものである。

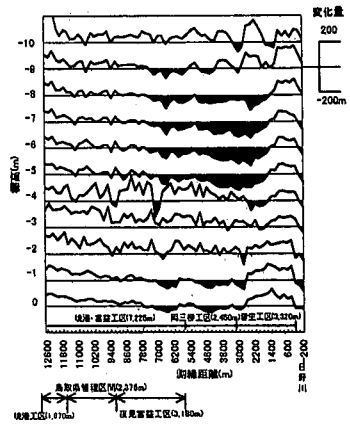


図-6 等深線位置変化量(1971-1993)

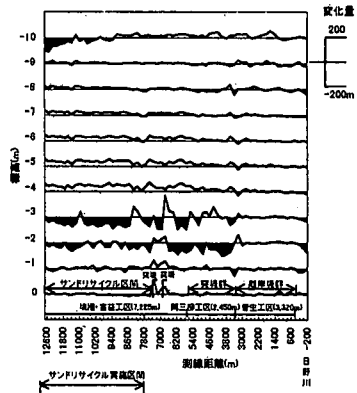


図-7 等深線位置変化量(1994-1998)

4. サンドリサイクル現地実験結果

(1) 汀線変化 (短期間)

1994年度から実施しているサンドリサイクル現地実験の汀線変化結果を図-8に示す。

1994年度は水深5mに1万m³, 1995, 1996年度は汀

線部に各2万m³, 1.8万m³の土砂投入を行った。投入測線は, 1994年度はNo.55, 1995, 1996年度はNo.57である。

1994(平成6)年度(図-8上段)では, 水深5mの沖に土砂投入したため, 汀線への寄与が少なく汀線部の顕著な前進が見られなかった。

1996(平成8)年度(図-8下段)では, 土砂投入前後の汀線変化を把握した。土砂投入により汀線部が一時的に前進したが, その後の暴浪により侵食が進んでいることがわかる。この実験結果より以下の点が明らかとなった。

- ・土砂投入は, 沖合部より汀線部に投入した方が汀線部に寄与する。
- ・投入土砂は, ある程度の波高がなければ移動しない。

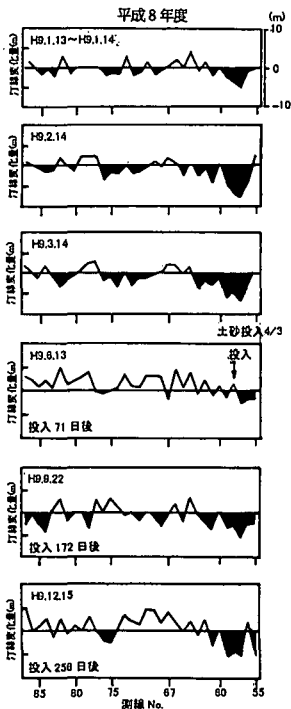
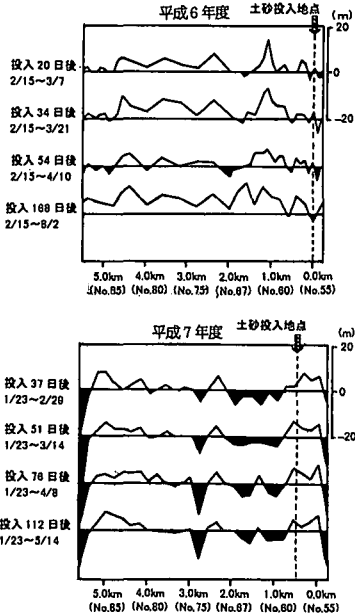


図-8 サンドリサイクル実験における汀線変化

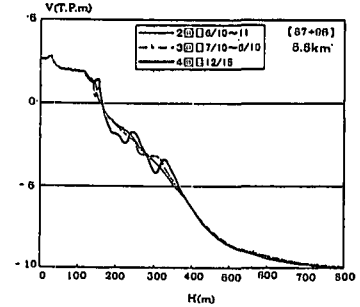


図-9 土砂採取断面の回復状況

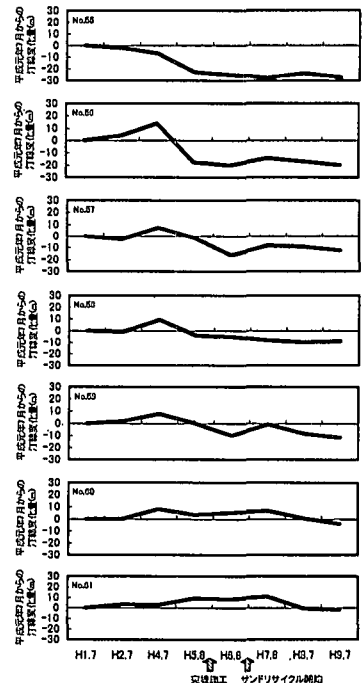


図-10 代表測線の汀線経年変化

(2) 海浜断面変化

1997年度の土砂採取地点の海浜断面の回復状況を図-9に示す。

土砂採取測線 No. 87+95 では標高 1.0 m 部では約 20 m 断面が回復している。土砂採取しても断面が回復することが確認できる。

(3) 代表測線の汀線変化(長期的)

図-10に代表測線の汀線経年変化を示す。

突堤施工後(No. 54), 突堤直下手側の No. 55~No. 59 では汀線が後退していたが, サンドリサイクルによる土砂投入後は, 汀線が前進しその効果が現れている。

5. 汀線変化モデルによるシミュレーション

4. に示したサンドリサイクル実験結果を踏まえ, 現地の漂砂機構を考慮した汀線変化モデルを構築した。このモデルを用いて将来における土砂投入規模等の検討を行った。

基本モデル

沿岸漂砂量は以下のサベージ式を用いた。

$$Q = f/8\rho g H_b^2 (C_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

$$= F_0 \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b$$

$$= F_0 \left(\tan \alpha_b - \frac{\partial y}{\partial x} \right)$$

f : 係数, ρ : 海水密度, g : 重力加速度,
 H_b : 砕波波高, $(C_g)_b$: 砕波点における群速度,
 α_b : 砕波点における入射角
 x 軸は沿岸方向, これと直角方向に y 軸をとる。また, 漂砂量の連続式は以下を用いた。

$$\frac{\partial y}{\partial x} + h \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

h : 移動高 (m)

(1) 計算条件

シミュレーションに用いた波浪条件は, 1997年度に観

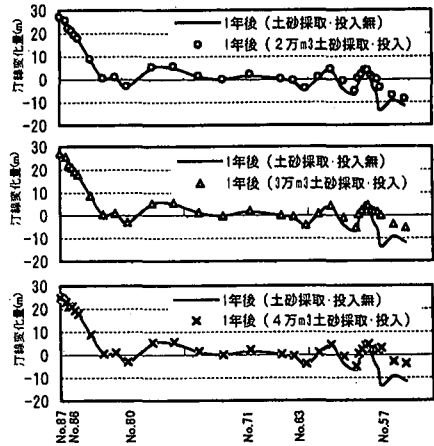


図-12 土砂投入規模による汀線変化予測計算結果

測した波浪データから算出した以下のエネルギー平均波諸元とした。

・波高: 1.12 m, 周期: 7.62 sec, 波向: NE

(2) シミュレーション結果

① 検証計算結果

図-11に検証計算結果を示す。なお, 検証計算は, サンドリサイクル現地実験を実施する前の1984(昭和59)年から1994(平成6)年までの10年間を対象に行った。5年後, 10年後の再現は概ね良好である。

② 土砂投入による汀線変化予測計算結果

①で確立したモデルを用いて測線 No. 57 に土砂投入, 測線 No. 86 付近で土砂採取した場合の1年後の汀線変化を図-12に示す。

この結果, 2万 m³の土砂投入量では測線 No. 57 の汀線は維持されていないが, 3万 m³では汀線が維持されている。4万 m³では投入土砂の一部が投入地点付近に残ってしまい投入土砂が下手方向に効果的に移動せず, 土砂採取地点の測線 No. 86 付近では採取に伴い後退した汀線が回復していない。

よって, 汀線の維持回復状況から判断すると, 土砂投入量は3万 m³が効果的であると言える。

6. 工種による事業費比較

サンドリサイクルは, 動的養浜として, 構造物とは違い長期的に実施していく保全対策である。

サンドリサイクルを事業として, 確立させるためには, 長期的な視点に立ったコスト比較が重要であり, 下記条件にしたがって離岸堤とサンドリサイクルのコスト比較を試案してみた。

(1) 計算条件の設定

汀線変化モデルによる予測計算の結果, サンドリサイクルを実施すれば1年目で汀線の安定が図られることが

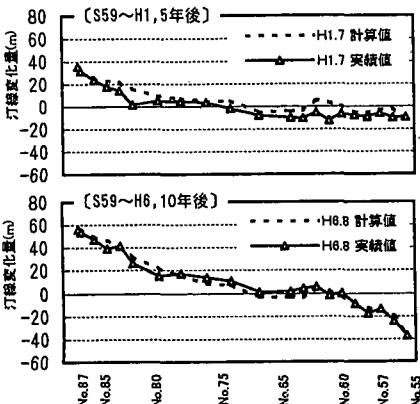


図-11 汀線変化モデル検証計算結果

判った。この結果を踏まえ、現在、サンドリサイクルを実施している区間（夜見・富益～境港）において構造物による代表的な保全施設である離岸堤を着手年にすべて完成すると仮定し、サンドリサイクル事業を100年継続した場合と比較することとした。

なお、ここでは構造物の耐用年数は50年とし、構造物建設後50年が経過すれば構造物を撤去し、新たに新設するものとした。

(2) 離岸堤の事業費

離岸堤が保全効果を発揮するためには約4kmの範囲に離岸堤を設置する必要がある。

したがって、事業費の算定には、以下のランニングコストを考慮した。

- C₁: 離岸堤 N=20 基の建設費
- C₂: 離岸堤沈下に対する嵩上げ補強費
(離岸堤完成後7年目より実績コストを加算)
- C₃: 沖合侵食対策としてのマウンド補強費
(沖合侵食の実態より30年経過後に加算)
- C₄: 離岸堤建設に掛かる漁業補償費
- C₅: 50年経過時における撤去・新設費

以上の各費用について総和を算出し、次式により将来価額を現在割引価額に換算し算出するものとする。ここで、社会的割引率は年4%とし、また、費用については過去の実績を参考に算出した。

$$\Sigma C_t = \Sigma \frac{(C_{1t} + C_{2t} + C_{3t} + C_{4t} + C_{5t})}{(1+i)^t}$$

なお、摩擦、塩害等によるブロックの劣化については、皆生海岸での劣化量を定量評価することが困難なため、コストには計上しないこととした。

(3) サンドリサイクルの事業費

一方のサンドリサイクルに要する費用は、境港工区西端部までの約6km区間を対象とし、年間3万m³のサンドリサイクル費用及び以下のランニングコストを考慮し推算した。

- C₁: 年間3万m³のサンドリサイクル費用
- C₂: 捕砂突堤建設費
- C₃: 捕砂突堤建設に掛かる漁業補償費
- C₄: 捕砂突堤50年経過後の撤去・建設費
- C₅: 捕砂突堤維持管理費

維持管理費・災害復旧費については実績がないことから、捕砂突堤建設費の0.5%を年間維持経費として計上する。

以上の各費用について総和を算出し、将来価額を現在

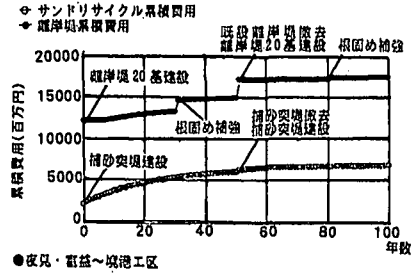


図-13 類型費用の経年変化図

割引価額に換算するが、計算は離岸堤による計算方法と同じとした。

(4) 経済評価

以上の条件で算定した100年間における累積コストを図-13に示す。

今回の試算では、離岸堤で対応した場合には初期コストは大きくランニングコストも小さくない。一方、サンドリサイクルで対応した場合には、ランニングコストは小さくないものの初期コストが小さく、離岸堤に比べて極めて経済的であることが確認された。

7. おわりに

1994年度からのサンドリサイクル実験結果を踏まえ、汀線変化モデルの構築を行い、サンドリサイクルによる汀線の維持回復状況から判断し、最適土砂投入規模は3万m³であることを示した。

今後はさらに投入土砂量の沖への損失量をどのように評価するのか、またどのような対策が可能なかな等を検討していく必要があると考える。

事業費検討では、サンドリサイクル費用をダンプ輸送として試算した結果であり、投入場所、投入時期等を適切に確定することに合わせ、土砂採取方法、土砂輸送の手段等さらに解決すべき問題もある。

サンドリサイクルを今後も展開していくためには、沖合消波施設の検討も含め総合土砂管理による供給土砂量を把握する必要がある。このためには、一つの流砂系として捉え、質的部分を考慮したモニタリングを実施するとともに、シミュレーション精度の向上を図っていく必要があると考える。

最後に、本検討を行うにあたり、貴重なご指導を頂きました鳥取大学工学部土木工学科の野田英明教授に対してここに記して謝意を表します。