

静岡県竜洋海岸の海浜変形予測

Prediction of Beach Changes of Ryuyo Coast

宇多高明¹・長島郁夫²・横山卓司³・松浦吉洋³・古池 鋼⁴・石川仁憲⁵

Takaaki UDA, Ikuo NAGASHIMA, Takuji YOKOYAMA, Yoshihiro MATSU-URA,
Kou FURUIKE and Toshinori ISHIKAWA

Long-term beach changes of the Ryuyo coast facing the Pacific Ocean were investigated through the comparison of the aerial photographs. Beach erosion has been severe on this coast as well as the excess sand deposition at Fukude fishing port located downcoast. As a measure against excess sand deposition, sand-bypassing is planned at this fishing port. Under these conditions, three-dimensional beach changes were predicted using the contour-line-change model proposed by Serizawa et al. (2002), taking the coastline with a 17.5 km length between the mouth of the Tenryu River and that of the Benzaiten River as the example, and the impacts of the sand-bypassing and decrease in fluvial sediment supply to the surrounding coastline were investigated.

1. はじめに

天竜川からの大量の流出土砂によって河口デルタとして発達してきた遠州灘海岸では、主に天竜川上流でのダム群の建設により河川流出土砂量が激減し、河口両翼の海岸線が急速に後退してきた(長島ら, 2005)。宇多ら(2006;2007)は、上記地形変化を等深線変化モデルで再現した上で養浜の効果検討を行い、浜松海岸の維持には粒径について十分考慮した上で養浜を行う必要があることを明らかにした。一方、海岸侵食は河口デルタの西側海岸のみならず河口東側の竜洋海岸でも進んでいる(図-1参照)。竜洋海岸では1980年代以降侵食が進み、1993年には河口の東約3km付近で著しい侵食が起きた。このため1993年以降対策として離岸堤群が建設されたが、離岸堤群が東向きの沿岸漂砂を阻止した結果、背後にある保安林の土堤が破壊されるに至った。このために2007年までに離岸堤東端から東へ800m区間では堤防の整備が進められた。このような竜洋海岸での著しい侵食と同時に、その東側に位置する福田漁港では過剰な砂の堆積に悩まされ、対策としてサンドバイパスも予定されている。本研究では、こうした条件のもとで天竜川河口左岸から弁財天川河口付近までの延長17.5kmの海岸を対象として、芹沢ら(2002)による等深線変化モデルを用いて3次元かつ長期的な海浜変形予測を行い、沿岸全体の保全対策について検討する。

2. 侵食の実態

竜洋海岸の変遷を調べるために、図-2には1981, 1993, 2003年の空中写真を示す。1981年には幅約200mの前浜が沿岸方向に一樣に広がっていたが、1993年には急速な侵食が始まった。とくに中央部の試験走路の西端部付近が著しい侵食を受け、浜幅が50mにまで狭まった。2003年では5基の離岸堤が造られているが、西端では離岸堤と汀線が重なっているのに対し、東端では舌状砂州が離岸堤から離れ、汀線がフック状に大きく後退している。この結果保安林区域を守るために直立堤防が1.4km延ばされ、さらに堤防先端部では災害復旧による延長工事が行われつつあった。このような汀線変化は、離岸堤が東向きの沿岸漂砂を阻止した結果生じたものである。

離岸堤設置前後で区分した1962年基準での汀線変化を図-3に示す。1962～1981年では、天竜川河口隣接部を除いて汀線が全体的に前進傾向であったが、1993年までには河口隣接部で汀線後退が著しくなると同時に、X=8.6kmに福田漁港の防波堤が延ばされて沿岸漂砂が阻止された結果、福田漁港からX=12km付近までの区域では汀線が前進した。離岸堤建設後の変化では、離岸堤東隣でのフック状の汀線後退域が東側に急速に広がった。しかし福田漁港西側の汀線前進量は漁港隣接部を除き大きくない。このことは、この当時漁港防波堤による東向きの沿岸漂砂阻止能力が低下し、沿岸漂砂の一部が防波堤先端を迂回して下手側に流れたためと考えられる。

- 1 正 会 員 工 博 (財) 土木研究センター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
2 静岡県建設部河川海岸整備室長
3 静岡県建設部河川海岸整備室
4 海岸研究室(有)
5 正 会 員 工 修 (財) 土木研究センターなぎさ総合研究室主任研究員

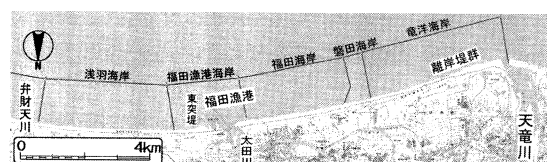


図-1 対象(竜洋)海岸の位置

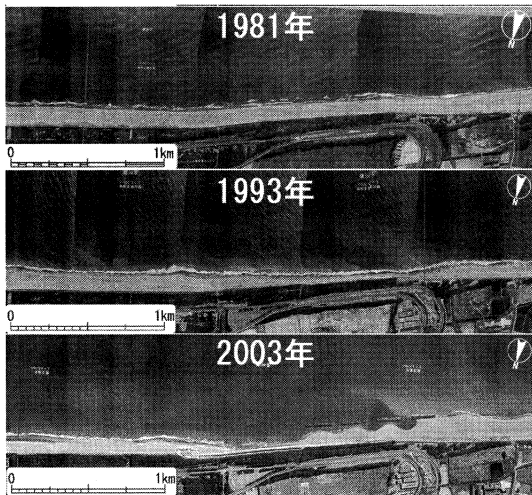


図-2 空中写真の比較 (1981, 1993, 2003年)

3. 海浜変形予測

(1) 計算条件

計算対象は、図-1に示す天竜川河口から弁財天川河口付近までの延長17.5kmの海岸線とし、弁財天川河口付近に原点 ($X=0\text{km}$) を設けた。初期地形の設定には展開座標 (宇多ら, 1998) を用い、曲線状の海岸線を有する海底地形を直線平行等深線地形にモデル化した。再現対象は1962~2007年の地形変化とし、将来予測期間は10, 20, 50年とした。上手 (右) 側からの流入土砂量については、大規模な地形改変前における天竜川からの流出土砂量が約 $60\text{m}^3/\text{yr}$ であり、それが河口両翼の海岸に1/2ずつ分けられると考えられている (宇多ら, 2006)。本論文もこの考え方に従い、著しい侵食が発生する前の1962年から1981年では天竜川の流出土砂量の1/2相当 ($30\text{m}^3/\text{yr}$) が竜洋海岸に流入すると仮定する。その後、流出土砂量が激減したことから1981~1993年では流入土砂量を0とおく。さらに1993~2007年の流出土砂量については、ダム再編事業にかかわる一次元河床変動計算で得られた $18\text{m}^3/\text{yr}$ (浜松河川国道事務所・(財)ダム技術センター, 2008) を与える。

下手 (左) 端からの沿岸漂砂の流出量は、右端部の流入漂砂量から対象区間での堆積量を減じた量として与えられる。一般に、前浜の変化面積にその海岸における漂砂の移動高を乗じると海浜土砂量の変化に換算することができるが、竜洋海岸における漂砂の移動高は宇多 (1997) によりほぼ10mと得られている。一方、対象区域が自然状態に近かった1980年代前半までの平均的な汀線前進量は図-3より約 $1.3\text{m}/\text{yr}$ であったことから、区域内の堆積量は延長×年間あたりの汀線前進量×移動高で

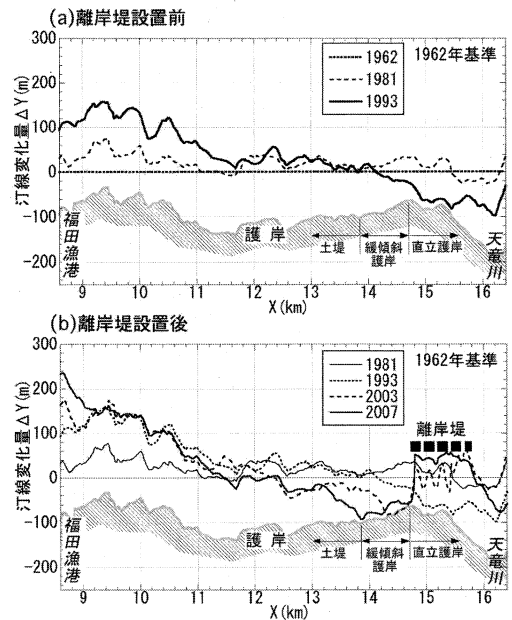


図-3 汀線変化量 (1962年基準)

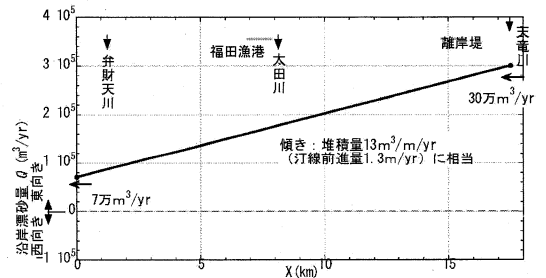


図-4 沿岸漂砂量の沿岸分布

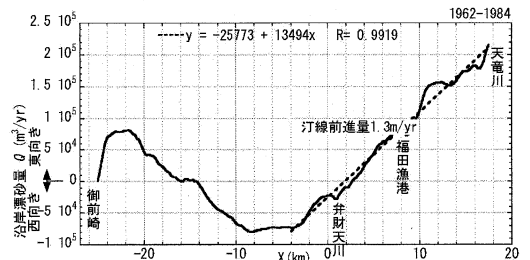


図-5 1962年と1984年の汀線形状から逆算した沿岸漂砂量分布

算出され、 $17.5\text{km} \times 1.3\text{m}/\text{yr} \times 10\text{m} = 23\text{m}^3/\text{yr}$ となる。したがって左端部の沿岸漂砂の流出量は差し引き演算より $7\text{m}^3/\text{yr}$ となる。また流入流出漂砂量の差 $23\text{m}^3/\text{yr}$ を海岸線延長 17.5km で割った値 $13\text{m}^3/\text{m}/\text{yr}$ は海岸線単位長さあたりの堆積土砂量に等しい。さらに、沿岸漂砂は河口からの距離とともに減少すると考えられるので、自然状態の沿岸漂砂量は沿岸方向に直線分布を持つと仮定する (図-4)。図-5は、御前崎での沿岸漂砂量を0と仮定し、汀線変化より西向きに土砂量変化を加算して求めた沿岸

漂砂量分布である。実際には御前崎で沿岸漂砂量は0とはならないので、御前崎近くでの分布は実際と異なるが、天竜川河口から弁財天川河口の東5km付近までは直線分布となり図-4の妥当性を裏付ける。

入射波にはエネルギー平均波を与え、 $H=1.6\text{m}$ 、 $T=7\text{s}$ の波浪を卓越波向Sから入射させた。また波による地形変化の限界水深 h_c は9m、バーム高 h_R は3mとした。沿岸・岸沖漂砂の水深方向分布には宇多・河野 (1996) の3次式を与え、平衡勾配は+3m～汀線を $\tan\beta_c=1/20$ 、 $-1\sim-9\text{m}$ を $\tan\beta_c=1/50$ とした。さらに現況と同様、河口から $X=14\text{km}$ までは護岸境界を設定した。離岸堤の波高伝達率は $K_r=0.3$ とし、離岸堤背後については方向分散法 (酒井ら, 2003) により回折係数 K_d と回折波向 θ_d を計算し、砕波波高 H_b は回折係数を乗じて低減し、砕波波向 θ_b には回折波向を与えた。また離岸堤背後の h_c 、 h_R は波高の低減率 (回折係数) に比例させて低減させた。

計算では、まず河口から $30\text{万m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂が流入する条件のもとで、1962年から1981年まで汀線が一定割合で前進する状態を再現した。その上でこの計算結果を初期条件として与え、福田漁港建設後の1993年当時の海浜形状を再現した。次に1993年の計算結果を初期条件として、竜洋海岸の離岸堤建設後14年が経過した2007年の海浜形状を再現した。なお、再現計算では定期的に行われていた浅羽海岸への福田漁港の浚渫土砂の投入を考慮した。予測計算は全体で6ケースからなる。計算条件を表-1に示す。表中の Q_m は河川流出土砂量を表す。

(2) 現況再現

図-6は1962年基準での1981年までの等深線変化量の計算値と実測汀線変化を示す。実測汀線では沿岸方向に変動が見られるが、計算でも海岸線全域での約20mの汀線前進の再現ができています。同様に1981年基準での1993年までの再現計算結果を図-7に示す。1993年まででは、1979年以降の福田漁港の防波堤建設に伴い防波堤上手 (西) 側では汀線が前進し、下手側では後退が始まった。また天竜川からの流出土砂量の減少に伴って河口部汀線が大きく後退し始めた。計算結果は、天竜川河口近傍で汀線後退量が過大なことや、福田漁港下手側の波の遮蔽域での汀線前進量が不足するなどいくつかの課題はあるものの、防波堤建設に伴う等深線変化、河口デルタの縮小、さらには福田漁港から弁財天川までの汀線前進など、全体的な地形変化傾向はほぼ再現できた。

図-8には1993年基準での2007年の等深線の再現計算結果と、1998、2003年の汀線変化を示す。1993年からは竜洋海岸で災害復旧工事による離岸堤の建設が始まった。また、漁港施設の拡張、東突堤の建設が行われた。計算結果によれば、竜洋海岸の離岸堤東側での汀線の後退状況と、それと同時に起きた福田漁港上手側での汀線前進

表-1 計算条件

計算手法	海浜変形：等深線変化モデル (芹沢ら, 2002) 回折計算：方向分散法 (酒井ら, 2003)
計算対象	天竜川河口～弁財天川河口 延長 17.5km
計算ケース	1: 河川流出土砂量の東側への寄与分 Q_m を $30\text{万m}^3/\text{yr}$ として1962→1981年間の河口テラスの縮小過程を再現 2: 漁港建設後から離岸堤設置直前まで (1981→1993年) を $Q_m=0\text{万m}^3/\text{yr}$ として再現 3: 現況再現 (1993→2007年), $Q_m=18\text{万m}^3/\text{yr}$ (50年後までの地形変化予測) 4: 放置 $Q_m=18\text{万m}^3/\text{yr}$ 5: 放置 $Q_m=9\text{万m}^3/\text{yr}$ 6: 放置 $Q_m=0\text{万m}^3/\text{yr}$ 7: 福田漁港でのサンドバイパス $8\text{万m}^3/\text{yr}$ ($Q_m=18\text{万m}^3/\text{yr}$) 8: 福田漁港でのサンドバイパス $8\text{万m}^3/\text{yr}$ ($Q_m=9\text{万m}^3/\text{yr}$) 9: 土堤を護岸で防護 ($Q_m=9\text{万m}^3/\text{yr}$)
初期地形	再現：直線平行等深線 将来：再現結果
入射波条件	エネルギー平均波 $H=1.6\text{m}$, $T=7\text{s}$, 波向S (1962年初期汀線への波の入射角 $\theta_w=20^\circ$)
潮位条件	M.S.L.=T.P.+0.0m
地形変化の水深範囲	波による地形変化の限界水深 $h_c=9\text{m}$, バーム高 $h_R=3\text{m}$
漂砂量係数	沿岸漂砂量係数 $K_a=0.0203$ 岸沖漂砂量係数 $K_s=0.05K_a$ 小笹・ブランプトン項の係数 $K_2=1.20K_a$
沿岸・岸沖漂砂の水深分布	宇多・河野 (1996) の3次式
平衡勾配	+3m～汀線 $\tan\beta_c=1/20$ -1m～-9m $\tan\beta_c=1/50$
土砂落ち込みの限界勾配	陸上：1/2 (安息勾配), 水中：1/3 (離岸堤背後の土砂落込勾配)
計算メッシュ	沿岸方向 $\Delta X=100\text{m}$, 鉛直方向 $\Delta Z=1\text{m}$
計算時間間隔	$\Delta t=87.6\text{hr}$
計算ステップ数	100steps/yr
境界条件	岸沖端： $q_s=0$ 右端部：漂砂量指定境界 $Q=0\sim30\text{万m}^3/\text{yr}$ 左端部：漂砂量指定境界 $Q=7\text{万m}^3/\text{yr}$
数値計算法	陽解法による差分法
波浪変形	方向分散法 $S_{max}=25$
その他	福田漁港の東側の浅羽海岸での浚渫土砂の置砂 1981→1993年 福田東 $X=6,600\sim7,100\text{m}$ $3.2\text{万m}^3/\text{yr}$ 1993→2007年 福田東 $X=6,600\sim7,100\text{m}$ $4.9\text{万m}^3/\text{yr}$ 浅羽海岸 $X=5,800\sim6,200\text{m}$ $2.0\text{万m}^3/\text{yr}$

など、実測傾向をほぼ再現できた。また離岸堤群上手側直近の少なくとも約1km区間での汀線の方角角は実測値と一致している。また $X=4\text{km}$ 付近から弁財天川までの汀線前進もよい一致を示す。

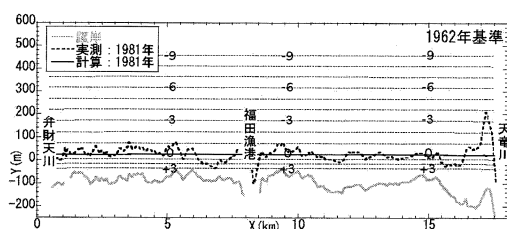


図-6 1962年基準での1981年までの等深線変化量の計算値と実測汀線変化

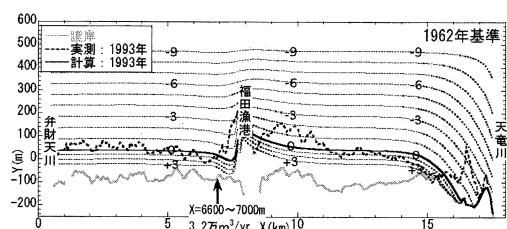


図-7 1981年基準での1993年までの等深線変化量の計算値と実測汀線変化

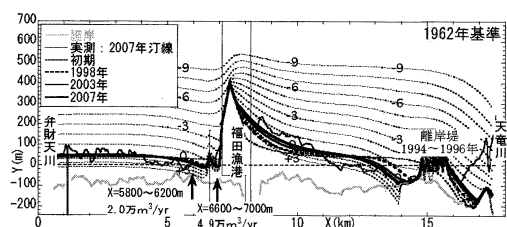


図-8 1993年基準での2007年の等深線の再現計算結果と1998, 2003年の汀線変化

(3) 天竜川の流出土砂量の変化と海浜変形

再現計算で得られた2007年の地形を初期地形として再現計算を行った。図-9にはケース4 ($Q_m=18\text{万m}^3/\text{yr}$) の等深線変化量と浜幅の変化を示す。天竜川から $18\text{万m}^3/\text{yr}$ の土砂流入量がある条件では、そのまま放置しても竜洋海岸の離岸堤上手側での汀線変化は小さい。しかし保安林区域の護岸東端 ($X=14\text{km}$) の下手側では侵食域が広がり、土堤の崩壊区域がさらに250m伸びる。対照的に福田漁港の上手側では汀線が前進し、50年後には前進量が100mにも達する。また汀線前進量が大きいのは初期に凹状となっていた部分である。漁港下手側では10年後に汀線が60m後退した後、50年では10年後より20m回復する。これは福田漁港の防波堤先端を沿岸漂砂が回り込むためである。さらに井財天川河口付近では50年後で30mの汀線が前進する。以上のように $Q_m=18\text{万m}^3/\text{yr}$ の場合は、懸念される離岸堤群下手側での侵食域の広がりは大きくない。

図-10にはケース5 ($Q_m=9\text{万m}^3/\text{yr}$) の計算結果を示す。この条件では、竜洋海岸の離岸堤上手の汀線が大きく後

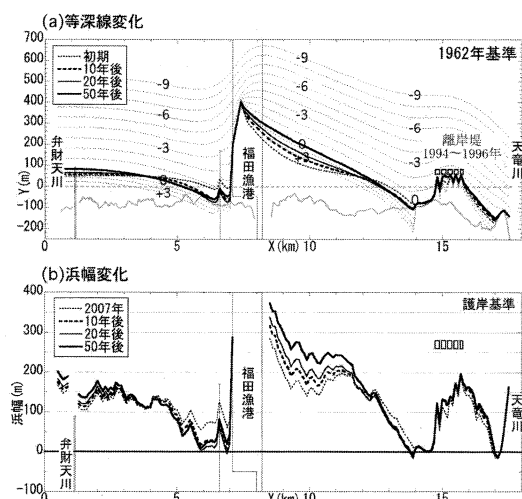


図-9 ケース4 ($Q_m=18\text{万m}^3/\text{yr}$) の等深線変化量と浜幅の変化

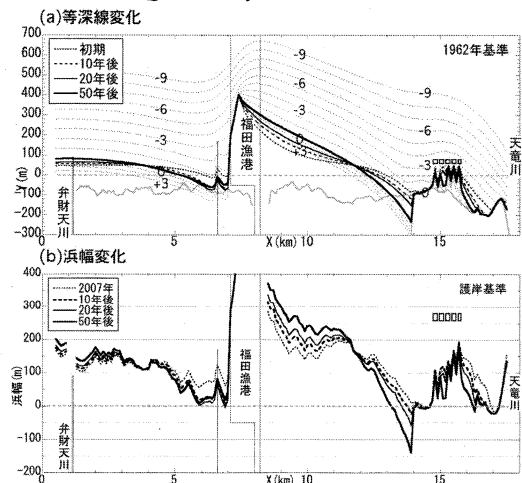


図-10 ケース5 ($Q_m=9\text{万m}^3/\text{yr}$) の計算結果

退し、保安林区域の護岸東端 ($X=1.4\text{km}$) では侵食域が下手側に2.2km広がり土堤の崩壊区域の延長も850mとなる。また汀線が楔状に陸側深く食い込むことになる。さらに、天竜川からの流出土砂が0まで激減した場合 (ケース6) の計算結果が図-11である。海岸への土砂供給が途絶えると、離岸堤群の上手側では汀線が後退して護岸の露出区間が延びる。また保安林区域の護岸東端 ($X=1.4\text{km}$) より下手側での侵食域が2.6kmも広がり、土堤の崩壊区域が最大1200mに達する。汀線の最大後退量は50年後に230mにもなる。一方、福田漁港の上手・下手側での汀線変化は他のケースとほぼ同様である。天竜川からの土砂供給が完全に枯渇した場合、離岸堤群上手側と下手側の保安林区域で集中的な侵食が起こり、離岸堤群が取り残される。これは浜松五島海岸の離岸堤群の場合と全く同様である (宇多ら, 2006)。以上のように、竜洋海岸の海岸保全にとって天竜川からの土砂流入は死

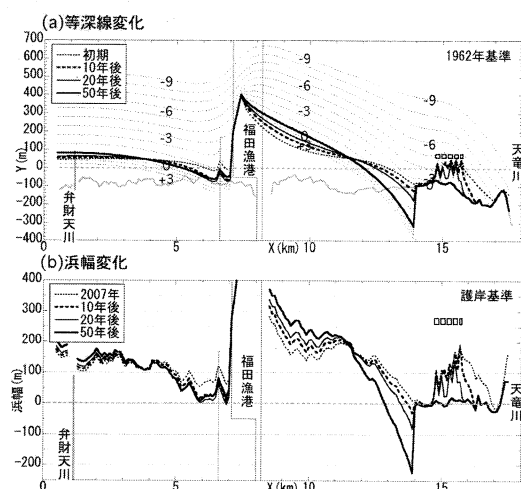


図-11 天竜川からの流出土砂が0まで激減した場合
(ケース6)の計算結果

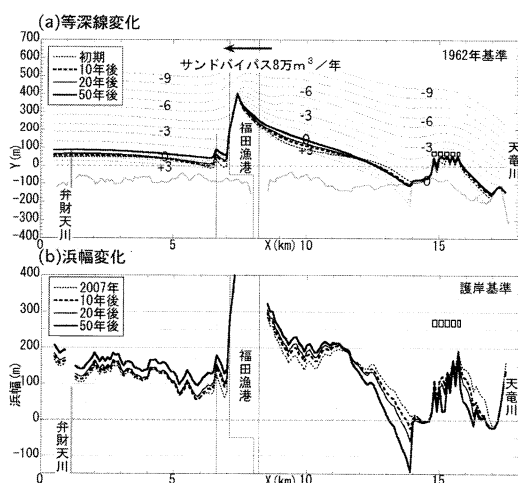


図-12 ケース8 ($Q_m=9$ 万 m^3/yr + サンドバイパス8万 m^3/yr)
の計算結果)

的に重要なことが分かる。

4) サンドバイパスの効果

図-12には、例えばケース8 ($Q_m=9$ 万 m^3/yr + サンドバイパス8万 m^3/yr)の計算結果を示す。浜幅の変化から見ると、天竜川からの流出土砂量が半減した状態でサンドバイパスを行うと、離岸堤群下手側での侵食が加速される。結局、計算結果より現況の $Q_m=18$ 万 m^3/yr の条件下でのサンドバイパスは有効であるが、天竜川からの流出土砂量が半減した状態では離岸堤群下手の侵食を加速する危険性が出る。このように天竜川からの流出土砂量が現状の

水準にあるならば有効であるが、天竜川の流出土砂量が減少した場合にはサンドバイパス量は上手側の侵食を助長しないよう量を減らすなどの措置が必要である。

4. まとめ

天竜川からの土砂供給量が現況と同様の $Q_m=18$ 万 m^3/yr では、竜洋海岸の離岸堤群下手側での侵食域の広がりは大きくない。しかし天竜川からの土砂供給が枯渇した場合、離岸堤群上手側と下手側の保安林区域で集中的な侵食が起こり、離岸堤群が取り残され、浜松五島海岸の離岸堤群の場合と同様となる。このように竜洋海岸の海岸保全にとって天竜川からの土砂流入は死活的に重要である。また $Q_m=18$ 万 m^3/yr + サンドバイパス8万 m^3/yr の条件では、 Q_m が同様でサンドバイパスを実施しない場合での計算結果と比較すると、福田漁港上手側での堆積量が大きく減少、下手側の浅羽海岸での汀線前進と、サンドバイパスの効果が明瞭に見られた。しかし、天竜川からの流出土砂量が半減した状態でのサンドバイパスは、離岸堤群下手の侵食を助長する危険性がある。このように天竜川からの流出土砂量が現状の水準にあるならばサンドバイパスは有効であるが、天竜川の流出土砂量が減少した場合には上手側の侵食を助長しないようサンドバイパス量を減らすなどの措置が必要である。さらに竜洋海岸の離岸堤の下手側での護岸設置によれば楔状の汀線後退は阻止できるものの、その分下手側へと侵食域が広がる結果を招くことが示された。

参考文献

- 宇多高明 (1997) : 「日本の海岸侵食」, 山海堂, pp.246-247.
- 宇多高明・河野茂樹 (1996) : 海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発, 土木学会論文集, No. 539/-35, pp.121-139.
- 宇多高明・石井 隆・内田光一・甲賀 肇・影山安秀・古池 鋼・石川仁憲 (2006) : 遠州灘海岸における長期的の海浜変形予測と養浜の効果検討, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.666-670.
- 宇多高明・吉添高兆・町井 靖・山本剛史・古池 鋼・芹沢真澄・石川仁憲 (2007) : 粒径を考慮した等深線変化モデルによる細砂・粗砂養浜の効果検討, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.641-645.
- 酒井和也・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之 (2003) : 波の遮蔽構造物を有する海岸における3次元静的安定海浜形状の簡易予測モデル, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.496-500.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・熊田貴之 (2002) : 海浜縦断面の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.496-500.
- 長島郁夫・岩崎伸昭・宇多高明・有村盾一 (2005) : 遠州灘海岸の天竜川河口以西の侵食実態, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.596-600.
- 浜松河川国道事務所・(財)ダム技術センター (2008) : 天竜川ダム再編事業技術工法検討委員会資料.