清水海岸の砂嘴北端部でのサンドリサイクルの影響評価

Evaluation of Effect of Recycle Use of Sand at Northern End of Sand Spit on Shimizu Coast

宇多高明¹・宮原志帆²・芹沢真澄³・三波俊郎²・石川仁憲⁴ 平田邦夫⁵・大橋則和⁵・岩本仁志⁵

Takaaki UDA, Shiho MIYAHARA, Masumi SERIZAWA, Toshiro SAN-NAMI, Toshinori ISHIKAWA Kunio HIRATA, Norikazu OHASHI and Hitoshi IWAMOTO

At the northern end of the Shimizu coast, a steep slope and submarine canyon develop and approximately 6×10^4 m³/yr of sand has been discharged into the deep sea through the steep slope every year, resulting in the net loss of sand. To prevent sand from discharging into the offshore zone, the recycle use of sand at the north end of the coast was considered. The effect of sand excavation near the shoreline at the north end of the coast was investigated using the contour-line-change model. It was found that minimum volume of excavation was 2×10^4 m³/yr for the erosion not to expand to the surrounding coast under the condition that longshore sand transport is 6×10^4 m³/yr.

1. はじめに

清水海岸では,静岡海岸方面からの沿岸漂砂の減少に より侵食が進んだことから、2基の離岸堤を組み合わせ たヘッドランド(HL)が5箇所で,また三保松原地先で は景観保護のためにL字突堤が設置され、これに加えて 養浜を行うことによって漸く海岸保全が図られている (宇多ら, 2007). 一方, L字突堤の北側区域についてもL 字突堤の北側直近で侵食が進み始め、また三保松原砂嘴 の先端部では深海への土砂損失(宇多,1997)が起き, 大量の土砂が失われつつある. 深海へと落ち込む土砂は, 上手側から沿岸漂砂によって運ばれてきた土砂であり養 浜砂も含まれる. このためそれらの損失防止を図ること が必要とされている. 深海への土砂損失を防止するには, 砂嘴先端部の前浜から土砂を採取し、それをサンドリサ イクルの材料として用いればよいと考えられるが、その 場合には土砂採取が周辺海岸にいかなる影響を及ぼすか 予め検討する必要がある.このことから、宇多ら(2008) では砂嘴先端部の前浜で試験掘削を行い、掘削直後にレ ーザースキャナ測量によって掘削後の地形変化を調べ た. その結果バームの掘削を行うと急速な埋め戻しが起 こることが確認された.本研究はこれらを踏まえ、新た に等深線変化モデルにより砂嘴先端部の汀線付近での掘 削の影響が周辺に及ぼす影響の評価を行った.

1 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
2 3 正会員 4 正会員 5	工修	海岸研究室(有) 海岸研究室(有) (財)土木研究センターなぎさ総合研究室 静岡県静岡土木事務所

2. 計算方法

三保松原砂嘴の北端部の4号消波堤下手から真崎に至 る延長2.2km (測線No.17~No.-5) 区間を対象にサンド リサイクルのための土砂を汀線付近から採取した場合の 周辺地形に及ぼす影響を芹沢ら(2002)の等深線変化モ デルを用いて予測した.三保松原砂嘴の先端部では図-1 のように南側から伸びてきた汀線が三保飛行場付近でほ ぼ直角に曲がり真崎へと至る. このような複雑な形状を 有する海岸線において、海岸線の曲率半径と比べて砕波 帯幅が十分小さい場合、海岸線の任意点で引いた接線と それに直交する座標系により現象を近似できるという展 開座標(宇多ら, 1998)の考え方に従い,海岸線に沿っ て滑らかな軸を定めた. その上でモデル化した直線平行 等深線(海底勾配1/2)を考え,沿岸方向にX軸,これと 直角方向にY軸を定め、この座標系で地形変化予測を行 った. 波浪条件としては,清水海岸での出現頻度5%の 波 (H_o'=3m, T=9s) 相当の波浪とし, 砕波波高をH_b=3m, 波向を θ_w=20°とした.

最初に現況再現計算を行い,実測汀線形状と汀線前進 速度が計算で再現されることを確認した上で,将来予測 計算を行った.10年間放置の計算をベースとして,砂嘴



図-1 三保松原砂嘴の北端部の空中写真

表-1	計算条件
衣-1	- 前昇采什

計算対象範囲4号消波堤下手~真崎,延長2.2km副第年の一次現況再現計算 将来予測計算 1 10年間放置 2~5 上手側掘削,掘削量1,2,3,4万m³/yr 6~9 下手側掘削,掘削量1,2,3,4万m³/yr予測期間10年初期地形・現況再現計算:展開座標でモデル化した 直線平行等深線(海底勾配1/2) ・将来予測計算:現況再現計算の結果入射波条件砕波波高H_s=3m,波向 $\theta_s=20^\circ$ ・出現頻度5%の波(H_s'=3m, T=9s)相当の波浪 潮位条件潮位条件M.S.L.=T.P.+0.0m限界水深・ バーム高がによる地形変化の限界水深 $h_c=12m$, バーム高 $h_a=3m$ 滞砂量係数沿岸漂砂量係数 $K_z=0.00168$ 漂砂量係数沿岸源砂量係数 $K_z=0.00168$ 漂砂量系数二人名 $h_a=3m$ ごまる地形変化の限界水深 $h_c=12m$, バーム高 $h_a=3m$ ア街勾配油泉=1/2社砂落ち込みの 限界勾配陸上: 1/2,水中: 1/2計算等深線範囲 $z=+3.5m\sim-30.5m$ 計算等際間間隔Δt $\Delta t=10hr$ 境界条件・右端(上手端): $Q_m=6万m^3/yr$ ・左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_c=0$ (漂砂の流出入なし)波高比分布×1100~100m水電(直線分布) X=800~150m: $K_d=0.5$ ×=100~50m次高比分布×=100~10 ×=100~50m波高比分布×=0.5 ×=0.50m水面15年表陽解法による差分法その他・掘削: 土砂の吸い込み ・現況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	数值計算手法	等深線変化モデル(芹沢ら,2002)
	計算対象範囲	4号消波堤下手~真崎,延長2.2km
予測期間10年初期地形・現況再現計算:展開座標でモデル化した 直線平行等深線(海底勾配1/2) ・将来予測計算:現況再現計算の結果入射波条件砕波波高H _s =3m, 波向 $\theta_w=20^\circ$ ・出現頻度5%の波(H _s '=3m, T=9s)相当の波浪 潮位条件潮位条件M.S.L.=T.P.+0.0m限界水深・ バーム高波による地形変化の限界水深 $h_c=12m$, バーム高パーム高パーム高 $h_a=3m$ 湿岸砂量係数沿岸漂砂量係数 $K_z=0.0168$ 浮砂量係数治岸漂砂量係数 $K_z=0.0168$ 厚沖漂砂 の水深分布一様分布平衡勾配 $\tan\beta_c=1/2$ 土砂落ち込みの 限界勾配陸上: 1/2, 水中: 1/2計算等深線範囲 計算等深線範囲 之=+3.5m~-30.5m(+3m等高線~-30m等深線)計算メッシュ沿岸方向 $\Delta X=50m$, 鉛直方向 $\Delta Z=1m$ 計算時間間隔 Δt $\Delta t=10hr$ 境界条件・右端(上手端): $Q_u=65\pim^3/yr$ ・左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_z=0$ (漂砂の流出入なし)波高比分布X=1700~1100m: $K_d=0.5$ X=1100~800m波高比分布X=1700~150m: $K_d=0.5$ X=150~50m波高比分布X=50~50m波高比分布X=50~50m波電計算法陽解法による差分法 、一4期1: 土砂の吸い込み ・現況地形形成計算の計算ステップ数 =10000 step (11.4年)	計算ケース	現況再現計算 将来予測計算 1 10年間放置 2~5 上手側掘削, 掘削量1, 2, 3, 4万m ³ /yr 6~9 下手側掘削, 掘削量1, 2, 3, 4万m ³ /yr
初期地形 ・現況再現計算:展開座標でモデル化した 直線平行等深線(海底勾配1/2) ・将来予測計算:現況再現計算の結果 入射波条件 砕波波高 H_{c} =3m, 波向 θ_{c} =20° ・出現頻度5%の波(H_{c} =3m, T =9s)相当の波浪 潮位条件 M.S.L.=T.P.+0.0m 限界水深・ バーム高 波による地形変化の限界水深 h_{c} =12m, バーム高 h_{R} =3m 滞砂量係数 パーム高 h_{R} =3m 滞砂量係数 水=0.0168 岸沖漂砂量係数 水=0.1K _c 小笹・ブランプトン項の係数 K_{2} =1.62K _s 沿岸・岸沖漂砂 の水深分布 一様分布 マ衡勾配 tan β_{c} =1/2 土砂落ち込みの 限界勾配 陸上: 1/2, 水中: 1/2 計算等深線範囲 z = +3.5m ~ -30.5m (+3m等高線 ~ -30m等深線) 計算 メッシュ 沿岸方向 ΔX =50m, 鉛直方向 ΔZ =1m 計算時間間隔 Δt Δt =10hr 境界条件 ・右端(上手端): Q_{m} =6万m³/yr ・左端(下手端): 漂砂画過境界岸沖端: q_{c} =0 (漂砂の流出入なし) 波高比分布 X=1700~1100m: K_{d} =1.0 X=1100~800m (砂嘴 回鹿曲部): K_{d} =1.0→0.5 に低減(直線分布) 波高比分布 X=800~150m: K_{d} =0.5 X=150~-50m (防波堤遮蔽域): K_{d} =0.5→0.1に 低減(直線分布) X=50~-50m (防波堤遮蔽域): K_{d} =0.5→0.1に 低減(直線分布) ズの他 ・規況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	予測期間	10年
入射波条件 砕波波高 $H_b=3m$, 波向 $\theta_a=20^\circ$ ・出現頻度5%の波($H_a'=3m$, $T=9s$)相当の波浪 潮位条件 M.S.L.=T.P.+0.0m 限界水深・ バーム高 波による地形変化の限界水深 $h_c=12m$, バーム高 $h_a=3m$ 滞砂量係数 光定=0.1K_c 小性・ブランプトン項の係数 $K_z=1.62K_x$ 沿岸・岸沖漂砂 の水深分布 一様分布 平衡勾配 tan $\beta_c=1/2$ 土砂落ち込みの 限界勾配 陸上:1/2, 水中:1/2 計算等深線範囲 $z=+3.5m\sim-30.5m$ (+3m等高線~-30m等深線) 計算メッシュ 沿岸方向 $\Delta X=50m$, 鉛直方向 $\Delta Z=1m$ 計算時間間隔 Δt $\Delta t=10hr$ 境界条件 ・右端(上手端): $Q_a=6万m^3/yr$ 流端(下手端): 2m=6万m ³ /yr ・左端(下手端): $R_d=0.0$ 波高比分布 X=1700~1100m : $K_d=1.0$ X=1700~150m : $K_d=0.5$ X=1100~800m (θ 嘴の面曲部): $K_d=1.0 \rightarrow 0.5$ に低減(直線分布) X=50~-50m (Bi波堤遮蔽域): $K_d=0.5 \rightarrow 0.11c$ 数値計算法 陽解法による差分法 その他 ・規況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	初期地形	 ・現況再現計算:展開座標でモデル化した 直線平行等深線(海底勾配1/2) ・将来予測計算:現況再現計算の結果
潮位条件M.S.L.=T.P.+0.0m限界水深・ バーム高波による地形変化の限界水深 ルーム高 $h_e=12m$, バーム高アーム高パーム高 ルーム高 $h_e=3m$ 滞砂量係数沿岸漂砂量係数 $K_z=0.1K_x$ 小笹・ブランプトン項の係数 の水深分布一様分布平衡勾配tan $\beta_e=1/2$ 土砂落ち込みの 限界勾配陸上:1/2, 水中:1/2計算等深線範囲 記算時間間隔 Δt $\mathbf{Z}=+3.5m\sim-30.5m$ (+3m等高線~-30m等深線)計算時間間隔 Δt $\Delta t=10hr$ 境界条件・右端(上手端): $Q_{m}=6万m^{3}/yr$ ・左端(下手端):漂砂画塊塑界岸沖端: $q_{z}=0$ (漂砂の流出入なし)波高比分布X=1700~1100m : $K_d=1.0$ X=800~150m : $K_d=0.5$ X=150~50m (防波堤遮蔽域): $K_d=0.5 \rightarrow 0.1$ に 低減(直線分布) X=50~50m (防波堤遮蔽域): $K_d=0.5 \rightarrow 0.1$ に 低減(直線分布) X=50~500m : $K_d=0.1$ 数値計算法陽解法による差分法 ・規況地形形成計算の計算ステップ数 =10000 step (11.4年)	入射波条件	砕波波高H _b =3m, 波向 θ _w =20° ・出現頻度5%の波(H _o '=3m, T=9s)相当の波浪
限界水深・ バーム高 波による地形変化の限界水深 $h_c=12m$, バーム高 $h_a=3m$ 滞砂量係数 沿岸漂砂量係数 $K_z=0.00168$ 岸沖漂砂量係数 $K_z=0.1K_x$ 小笹・ブランプトン項の係数 $K_z=1.62K_x$ 沿岸・岸沖漂砂 の水深分布 一様分布 平衡勾配 tan $\beta_c=1/2$ 土砂落ち込みの 限界勾配 陸上:1/2,水中:1/2 計算等深線範囲 $z=+3.5m\sim-30.5m$ (+3m等高線 $\sim-30m$ 等深線) 計算專時間間隔 Δt $\Delta t=10hr$ 常原条件 ・右端(上手端): $Q_u=6万m^3/yr$ ・左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_c=0$ (漂砂の流出入なし) 波高比分布 X=1700~1100m: $K_d=1.0$ X=100~800m (砂嘴の屈曲部): $K_d=1.0 \rightarrow 0.5$ に低減(直線分布) X=800~150m: $K_d=0.5$ X=150~.50m (防波堤遮蔽域): $K_d=0.5 \rightarrow 0.11c$ 低減(直線分布) X=50~50m (防波堤遮蔽域): $K_d=0.5 \rightarrow 0.11c$ 低減(直線分布) X=50~500m: $K_d=0.1$ 数値計算法 陽解法による差分法 その他 ・規記北形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	潮位条件	M.S.L. \doteq T.P.+0.0m
漂砂量係数 沿岸漂砂量係数 K _z =0.0168 岸沖漂砂量係数 ボビ・岸沖漂砂 の水深分布 一様分布 一様分布 平衡勾配 tan $\beta_c=1/2$ 二砂落ち込みの 限界勾配 陸上: 1/2, 水中: 1/2 計算等深線範囲 z=+3.5m~-30.5m (+3m等高線~-30m等深線) 計算外ッシュ 沿岸方向 $\Delta X=50m$, 鉛直方向 $\Delta Z=1m$ 計算時間間隔 Δt 計算時間間隔 Δt $\Delta t=10hr$ ・ 右端(上手端): Qu=6万m³/yr 境界条件 ・右端(上手端): Qu=6万m³/yr ・右端(上手端): Qu=6万m³/yr ・ 左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: q_c=0 波高比分布 ×=1700~1100m: K_d=1.0 X=100~800m (砂嘴の屈曲部): K_d=1.0→0.5 に低減(直線分布) X=800~150m: K_d=0.5 ×=100~50m 波高比分布 ×=150~-50m (防波堤遮蔽域): K_d=0.5→0.1に 低減(直線分布) X=50~500m: K_d=0.1 数値計算法 陽解法による差分法 ・ 規削: 土砂の吸い込み その他 ・現況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	限界水深・ バーム高	波による地形変化の限界水深 h _c =12m, バーム高 h _R =3m
沿岸・岸沖漂砂 の水深分布 一様分布 平衡勾配 $\tan \beta_{\epsilon} = 1/2$ 土砂落ち込みの 限界勾配 陸上: 1/2, 水中: 1/2 計算等深線範囲 $z = +3.5m \sim -30.5m$ (+3m等高線 $\sim -30m$ 等深線) 計算、ッシュ 沿岸方向 $\Delta X = 50m$, 鉛直方向 $\Delta Z = 1m$ 計算時間間隔 Δt $\Delta t = 10hr$ 境界条件 · 右端(上手端): $Q_m = 6 \overline{fm}^3/yr$ · 左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_{\epsilon} = 0$ (漂砂の流出入なし) 凝晶比分布 X=1700 ~ 1100m : $K_d = 1.0$ 水=100 ~ 800m (砂嘴の屈曲部): $K_d = 1.0 \rightarrow 0.5$ i.c低減(直線分布) X=800 ~ 150m : $K_d = 0.5$ X=150 ~ -50m (防波堤遮蔽域): $K_d = 0.5 \rightarrow 0.1$ に 縦(直線分布) X=50 ~ -500m (K_d = 0.1) 数値計算法 陽解法による差分法 その他 · 規況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	漂砂量係数	沿岸漂砂量係数 K _x =0.00168 岸冲漂砂量係数 K _z =0.1K _x 小笹・ブランプトン項の係数 K ₂ =1.62K _x
平衡勾配 $tan \beta_t = 1/2$ 土砂落ち込みの 限界勾配陸上: 1/2, 水中: 1/2計算等深線範囲 $z = +3.5m \sim -30.5m$ ($+3m$ 等高線 $\sim -30m$ 等深線)計算メッシュ沿岸方向 $\Delta X = 50m$, 鉛直方向 $\Delta Z = 1m$ 計算時間間隔 Δt $\Delta t = 10hr$ 境界条件· 右端(上手端): $Q_u = 6 \overline{Dm^3}/yr$ · 左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_t = 0$ (漂砂の流出入なし)波高比分布X=1700 ~ 1100m: $K_d = 1.0$ X=1100 ~ 800m ($\partial \phi m \phi$ 回曲部): $K_d = 1.0 \rightarrow 0.5$ に低減(直線分布) X=800 ~ 150m: $K_d = 0.5$ X=150 ~ .50m ($Bity J = m m m m m m m m m m m m m m m m m m$	沿岸・岸沖漂砂 の水深分布	一様分布
土砂落ち込みの 限界勾配 陸上: $1/2$, 水中: $1/2$ 計算等深線範囲 $z = +3.5m \sim -30.5m$ ($+3m$ 等高線 $\sim -30m$ 等深線) 計算、ッシュ 沿岸方向 $\Delta X = 50m$, 鉛直方向 $\Delta Z = 1m$ 計算時間間隔 Δt $\Delta t = 10hr$ 境界条件 · 右端 (上手端): $Q_{u} = 6 5m^{3}/yr$ · 左端 (下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_{z} = 0$ (漂砂の流出入なし) 減高比分布 $X = 1700 \sim 1100m$: $K_{d} = 1.0$ $X = 100 \sim 80m$ (ϕ 嘴のの屈曲部): $K_{d} = 1.0 \rightarrow 0.5$ に低減 (直線分布) $X = 800 \sim 150m$: $K_{d} = 0.5$ $X = 500 \sim -50m$ ($bitz$ 堤遮蔽域): $K_{d} = 0.5 \rightarrow 0.1ic$ (K_{ix} (ia 線分布) $X = 50 \sim -50m$ ($bitz$ 堤遮蔽域): $K_{d} = 0.5 \rightarrow 0.1ic$ (K_{ix} (ia 線分布) $X = 50 \sim -50m$ ($bitz$ 堤遮蔽域): $K_{d} = 0.5 \rightarrow 0.1ic$ (K_{ix} (ia 線分布) $X = 50 \sim -50m$ ($bitz$ 堤遮蔽域): $K_{d} = 0.5 \rightarrow 0.1ic$ (K_{ix} (ia 線分布) $X = 50 \sim -50m$ ($bitz$ 堤遮蔽域): $K_{d} = 0.5 \rightarrow 0.1ic$ (K_{ix} (ia 線分布) $X = 50 \sim -50m$ ($bitz$ 堤遮蔽域): $K_{d} = 0.5 \rightarrow 0.1ic$ (K_{ix} (ia 線分布) $X = 50 \sim -500m$ ($K_{d} = 0.1$ 数値計算法 陽解法による差分法 その他 · 掘削: 土砂の吸い込み · 現況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	平衡勾配	$\tan\beta_c = 1/2$
計算等深線範囲 $z = +3.5m \sim -30.5m$ (+3m等高線 $\sim -30m$ 等深線) 計算 沿岸方向 $\Delta X = 50m$, 鉛直方向 $\Delta Z = 1m$ 計算時間間隔 Δt $\Delta t = 10hr$ 境界条件 ・右端(上手端): $Q_{u} = 6 \overline{D}m^{3}/yr$ ・左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_{z} = 0$ (漂砂の流出入なし) 水=100~1100m: $K_{d} = 1.0$ X=1700~1100m: $K_{d} = 1.0$ X=100~800m (砂嘴の屈曲部): $K_{d} = 1.0 \rightarrow 0.5$ に低減(直線分布) X=800~150m: $K_{d} = 0.5$ X=50~-50m (防波堤遮蔽域): $K_{d} = 0.5 \rightarrow 0.1 kc$ 低減(直線分布) X=50~-50m (防波堤遮蔽域): $K_{d} = 0.5 \rightarrow 0.1 kc$ 低減(直線分布) X=50~-500m: $K_{d} = 0.1$ 数値計算法 陽解法による差分法 その他 ・規剤: 土砂の吸い込み ・現況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	土砂落ち込みの 限界勾配	陸上:1/2,水中:1/2
計算メッシュ沿岸方向 ΔX =50m, 鉛直方向 ΔZ =1m計算時間間隔 Δt Δt =10hr境界条件・右端(上手端): Q_{ua} =6万m³/yr ・左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: q_z =0 (漂砂の流出入なし)減高比分布X=1700~1100m: K_d =1.0 X=1100~800m (砂嘴の屈曲部): K_d =1.0→0.5 に低減(直線分布) X=800~150m: K_d =0.5 X=150~-50m (防波堤遮蔽域): K_d =0.5→0.1に 低減(直線分布) X=50~-500m: K_d =0.1数値計算法陽解法による差分法 ・規氾地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	計算等深線範囲	z=+3.5m~-30.5m(+3m等高線~-30m等深線)
計算時間間隔 Δt $\Delta t = 10$ hr境界条件・右端(上手端): $Q_u = 6 \overline{fm}^3 / yr$ ・左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_c = 0$ (漂砂の流出入なし) 減高比分布X=1700~1100m: $K_d = 1.0$ X=1100~800m (砂唠の屈曲部): $K_d = 1.0 \rightarrow 0.5$ に低減(直線分布) X=800~150m: $K_d = 0.5$ X=150~-50m (防波堤遮蔽域): $K_d = 0.5 \rightarrow 0.1$ に 低減(直線分布) X=50~-500m: $K_d = 0.1$ 数値計算法陽解法による差分法 ・規制: 土砂の吸い込み ・現況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	計算メッシュ	沿岸方向⊿X=50m,鉛直方向⊿Z=1m
境界条件 ・右端(上手端): $Q_{u}=6 \mathcal{T}m^3/yr$ ・左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: $q_z=0$ (漂砂の流出入なし) X=1700~1100m: $K_d=1.0$ X=1100~800m (砂嘴の屈曲部): $K_d=1.0 \rightarrow 0.5$ に低減(直線分布) X=800~150m: $K_d=0.5$ X=150~-50m (防波堤遮蔽域): $K_d=0.5 \rightarrow 0.1$ に (運線分布) X=50~-500m: $K_d=0.1$ 数値計算法 陽解法による差分法 その他 ・規制: 土砂の吸い込み = 10000 step (11.4年)	計算時間間隔 △ t	$\Delta t = 10 \text{hr}$
X=1700~1100m: $K_d=1.0$ X=1100~800m (砂嘴の屈曲部): $K_d=1.0 \rightarrow 0.5$ に低減(直線分布) X=800~150m: $K_d=0.5$ X=150~-50m (防波堤遮蔽域): $K_d=0.5 \rightarrow 0.1$ に 低減(直線分布) X=50~-500m: $K_d=0.1$ 数値計算法 陽解法による差分法 その他 ・掘削: 土砂の吸い込み = 10000 step (11.4年)	境界条件	 ・ 右端(上手端): Q_m=6万m³/yr ・ 左端(下手端): 漂砂通過境界岸沖端: q_z=0 (漂砂の流出入なし)
数値計算法 陽解法による差分法 その他 ・掘削:土砂の吸い込み ・現況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年)	波高比分布	$X=1700 \sim 1100m$: $K_d=1.0$ $X=1100 \sim 800m$ (砂嘴の屈曲部): $K_d=1.0 \rightarrow 0.5$ に低減(直線分布) $X=800 \sim 150m$: $K_d=0.5$ $X=150 \sim -50m$ (防波堤遮蔽域): $K_d=0.5 \rightarrow 0.1$ に 低減(直線分布) $X=50 \sim -500m$: $K_d=0.1$
 ・掘削:土砂の吸い込み ・現況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step (11.4年) 	数値計算法	陽解法による差分法
	その他	 ・掘削:土砂の吸い込み ・現況地形形成計算の計算ステップ数 = 10000 step(11.4年)

北端の舌状砂州の上手側(X=1100~1400m)と、下手側(X=900~1200m)での掘削を想定し,掘削量はそれぞれ1~4万m³/yrとした.また上手端での沿岸漂砂量は宇多ら(2008)をもとにQ_{in}=6万m³/yrとした.表-1には計算条件を示す.

3. 再現計算の結果

平行等深線で与えた初期地形は,対象区域では過去に 砂がほぼ安息勾配(1/2.3~1/1.7)を保って深海へと落ち 込むことにより縦断形が形成されてきたことから,初期 海底勾配は1/2とした.深海への土砂の落ち込みを考慮 するため,等深線は+3m~-30mの範囲を対象とする.こ



図-5 沿岸漂砂量分布 (予測と実測の比較)

の地形に波が右斜めから入射する条件を考え,砂嘴汀線 の突出部による波の遮蔽効果と清水港沖防波堤による波 の遮蔽効果を,図-2に示す波高比(回折係数K_d)分布で 表現した.この状態で上手側から6万m³/yrの沿岸漂砂 (宇多ら,2008)の流入があると,波高(K_d値)は漂砂の 流れる方向に1.0~0.5,さらには0.5~0.1と低下するた め砂輸送能力が急減し,そこで堆積が起こる.砂の堆積 はK_d値の場所的変化が大きい所ほど著しいので,これに 対応する場所では砂が深い部分へ落ち込み,等深線が突 出して舌状砂州が形成される.図-2に示す突起(舌状砂



図-6 10年間放置後の予測地形と地形変化量の分布



図-8 10年後の予測地形と地形変化量の分布 (上手側掘削:2万m³/yr)

州①②)はこのようにして計算されたもので、それぞれ 三保飛行場東側と清水港沖防波堤背後に形成された舌状 砂州に対応する(図-1参照).また舌状砂州①②の突出 度は時間経過とともに増大するが、図-2は10⁴ステップ (11.4年)後の計算結果を示す.





図-10 10年後の予測地形と地形変化量の分布 (上手側掘削:4万m³/yr)

図-3には初期から104ステップまでの汀線変化量と汀 線前進速度を示す.また図-4には、対応する実測値(字 多ら、2008) を示す. 2つの突起舌状砂州①②の形成位置 は対応しており、また1983~2006年(23年間)の汀線 速前進速度は三保飛行場前で3.9m/yr,清水港沖防波堤背 後で2.2m/yrに対して,再現計算ではそれぞれ3.3m/yrと 1.2m/yrと両者はほぼ一致する.また、図-5には沿岸漂砂 量分布(計算値)と、実態からの推定沿岸漂砂量(宇多 ら、2009) を示すが、飛行場前と清水港沖防波堤背後の2 カ所で漂砂量が低減するという特徴がうまく再現できて いる.これらより、本モデルにより砂嘴北端部の舌状砂 州の形成予測がほぼ可能になった.そこで現況地形(図-2) を初期地形として10年間放置した場合の予測地形と 地形変化量の平面分布を図-6に示す.舌状砂州の発達が 続き,舌状砂州①ではその頂点を中心に上手側側面に大 量の砂が堆積し最大堆積厚は10mに達する.同時に舌状 砂州②でも緩やかな堆積が起こる.



4. 汀線掘削の影響評価

(1) 舌状砂州①の上手側側面の汀線付近で掘削

上手側側面のX=1100~1400mの区域のZ=0~3mの範 囲で掘削を行うものとし、1,2,3,4万m³/yrの割合で土砂採 取が行われた場合の10年後の予測地形と地形変化量の分 布を図-7~図-10に示す.図-6に結果を示した放置の場合, 舌状砂州の上手・下手側側面で堆積が起きていたが、1 万m³/yrの掘削(図-7)では、主に舌状砂州の上手側側面 での堆積量が減少している.しかし頂部から下手では相 変わらず砂の堆積が起こる.2万m³/yrの掘削(図-8)で は、堆積域がさらに狭まる.3万m³/yrの掘削(図-9)で は、堆積域が狭まるだけでなく掘削区域で侵食が起こる. 4万m³/yrの掘削(図-10)では,掘削域で顕著な侵食が生 じる.しかし舌状砂州の上手側側面の掘削区域周辺で侵 食が生じたにもかかわらず舌状砂州の頂部から下手側側 面では依然として堆積が継続する.また舌状砂州②では 砂州①での掘削とは無関係に堆積が継続する.図-11は、 放置のケースを含んで、掘削量を1万~4万m³/yrと変え たケースの汀線変化比較である.放置と掘削量が1.2万 m³/yrの場合,汀線前進が続くが,3万m³/yrでは掘削域で 最大2.9m汀線が後退する. 掘削量が増大し4万m³/yrとな ると11.0mもの汀線後退が生じる.

舌状砂州の上手側側面で掘削を行う場合において,図-7~図-10に示したように舌状砂州の頂部近傍(掘削域下 手)と掘削域中央を通るX=1000m断面と1250m断面を選 んで掘削量を変えた場合の縦断形変化を調べた.まず図-





4-15 10年後の予測地形と地形変化量の分布 (下手側掘削:2万m³/yr)

12に示す X=1000m断面では掘削量の増大とともに土砂の 落ち込み量が減少し,縦断形の平行前進量が減少してい る.一方,図-13に示す1250m断面では1,2万 m³/yrでは縦 断形の平行前進量が減少するのみであるが,3万 m³/yrに なると汀線は後退に転じ,4万 m³/yrでは h_c =12m以浅が大 きく削られ縦断形の後退が起こる.以上のことから,上 手側からの沿岸漂砂の供給量が6万 m³/yrの条件では,現 況海浜で侵食を起こさない限界の採取量は最大2万 m³/yr と考えられる.

(2) 舌状砂州①の下手側側面の汀線付近で掘削

下手側側面のX=900~1200mの区域のZ=0~3mの範囲 で掘削を行うものとし、1,2,3,4万m³/yrの割合で土砂採取 が行われた場合の10年後の予測地形と地形変化量の分布 を図-14~図-17に示す.放置の場合には、図-6に示した ように舌状砂州の上手・下手側側面で堆積が起きていた が、1万m³/yrの掘削(図-14)では、舌状砂州での堆積量 が全体的に減少している.2万m³/yrの掘削(図-15)では、 堆積量がさらに減少する.この場合掘削区域のみでなく



図-17 10年後の予測地形と地形変化量の分布 (下手側掘削:4万m³/yr)

上手側区域での堆積量も減少している.3万m³/yrの掘削 (図-16)では、堆積量の減少が起こるだけでなく、掘削 区域の汀線付近で侵食が起こる.4万m³/yrの掘削(図-17) では、掘削域で顕著な侵食が生じ、舌状砂州の縮小が起 こる.このように舌状砂州①では大きく変形が進むのに 対し、舌状砂州②では砂州①での掘削とは無関係に堆積 が継続する.

図-18は、放置のケースを含んで、掘削量を1~4万 m³/yrと変えたケースの汀線変化比較である。放置と掘削 量が1,2万m³/yrの場合汀線前進が続くが、3万m³/yrでは 掘削域で最大6.6m汀線が後退する。掘削量が増大し4万 m³/yrとなると17.4mもの汀線後退が生じ舌状砂州が大き く変形する。

舌状砂州の下手側側面で掘削を行う場合において,図-14~図-17に示したように掘削域下手と掘削域中央を通 るX=800m断面と1050m断面を選んで掘削量を変えた場 合の縦断形変化を調べた.まず図-19に示すX=800m断面 では,掘削量の増大とともに土砂の落ち込み量が減少し, 縦断形の平行前進量が減少している.一方,図-20に示



す1050m断面では1,2万m³/yrでは縦断形の平行前進量が 減少するのみであるが、3万m³/yrになると汀線は後退に 転じ、4万m³/yrでは h_c =12m以浅が大きく削られ縦断形の 後退が起こる.以上のことから、上手側からの沿岸漂砂 の供給量が6万m³/yrの条件では、現況海浜で侵食を起こ さない限界の採取量は最大2万m³/yrと考えられる.

5. 結論

三保松原砂嘴北端部に形成された舌状砂州の汀線付近 から砂礫を採取し,それをサンドリサイクルの土砂とし て有効利用した場合の周辺地形への影響について等深線 変化モデルを用いて検討した.この結果,上手側からの 沿岸漂砂の供給量が6万m³/yrの条件では,現況海浜で侵 食を起こさない限界の採取量は最大2万m³/yr程度となっ た.そして過剰な砂礫の採取を行うと,飛行場前面の汀 線が大きく後退することが分かった.

参考文献

- 宇多高明・住谷廸夫・矢澤 肇・大谷靖郎・厚坂祐次 (1998):展開座標を用いた汀線変化モデルによる親沢鼻砂 嘴の地形変化予測,海岸工学論文集,第45巻,pp.541-545.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・熊田貴之 (2002):海浜縦断形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.
- 宇多高明・西谷 誠・大橋則和・三波俊郎・石川仁憲 (2008):清水海岸北端部の土砂動態と前浜掘削後の埋め戻 し観測,海岸工学論文集,第55巻,pp.671-675.
- 宇多高明・大橋則和・芹沢真澄・三波俊郎・石川仁憲・宮原 志帆(2009):清水海岸北端部の侵食実態とその再現,海 岸工学論文集,第56巻,pp.641-645.