

等深線変化モデルによる離岸堤・人工リーフ群周辺の海浜変形予測

山本正司*・山形浩一*・大森利幸*・宇多高明**
芹沢真澄***・高橋 功****

皆生海岸を対象として、その機能を落とさずに離岸堤を人工リーフ化し、景観の改善を行う方策を検討した。離岸堤群の人工リーフ化に際して、構造物群周辺の海浜地形変化を等深線変化モデルにより定量的見地から検討した。人工リーフを 1 基設置する場合や、複数基設置するとともに、沿岸漂砂の供給源である日野川からの流入土砂を現況と同程度、あるいはそれを 1/2, 2 倍に増加させた条件で海浜地形変化予測を行った。この結果、等深線変化モデルにより、離岸堤背後の舌状砂州の形成を含む海浜変形が良好に再現可能なことが確認され、複雑な条件を有する現地海岸への等深線変化モデルの適用性が高いことが分かった。

1. ま え が き

皆生海岸は、幅 4 km、長さ 20 km に及ぶわが国最大の砂州半島である弓ヶ浜半島に位置する。この海岸では、大正末期に砂鉄採取が衰微したあと日野川からの流送土砂が激減し著しい侵食が始まった。このため突堤や護岸などの対策が講じられたが、1950 年代には海岸線の後退量は 300 m にも達した。その後、1971 年からわが国で初めて離岸堤が設置され、現在 12 基の離岸堤群によって汀線維持が図られ、みごとなトンボロ地形が形成された。一方、離岸堤群の消波効果は高いものの、海岸線近傍に設置された巨大な異形ブロック群は背後の皆生温泉にとっては環境・景観を阻害していることも事実であり、新海岸法のもとでその改良方策が求められている。このことから、皆生海岸では離岸堤の機能を落とさずに人工リーフ化して景観の改良を行う方策が検討されてきた。本研究では、この検討のうち、離岸堤群を人工リーフ化する際の周辺の海浜地形変化を等深線変化モデルにより定量的に検討するものである。従来、等深線変化モデルでは現地海岸への適用性検討は十分でなかったことから、その再現性についても十分な検討を行った。

2. 皆生海岸の波浪・地形変化・底質特性

対象海岸は、図-1 (a) に示すように皆生海岸の皆生工区約 3 km の範囲を中心とした周辺海域である。皆生海岸への来襲波浪は、日吉津地先の 1992~2001 年の観測データより、次の値が得られる。これらの値は、佐藤ら (1999) の求めたエネルギー平均波と概ね一致している。エネルギー平均では周期が 7.5 s、波高が 1.0 m、波向が N 40°E である。また時化時の超過出現率 1% 波高が 3.05 m、周期が 11.0 s である。日吉津観測所のデータによれば、波向は NE から ENE まで高頻度で分布し、西向きの方角方向輸送エネルギーが卓越する。

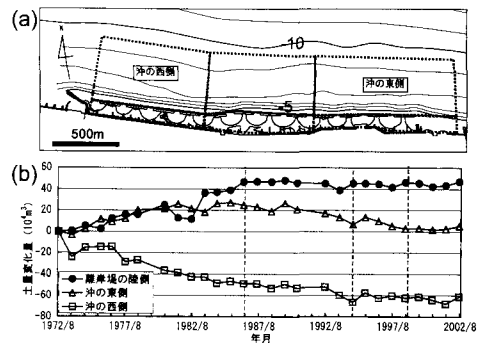
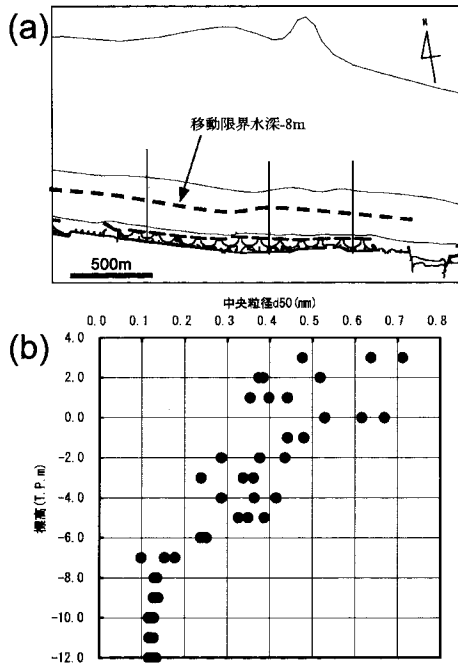


図-1 対象海岸および領域毎の土量変化

次に、経年深浅データをもとに断面変化量に測線幅を乗じ、領域毎の土量変化量を求めたのが図-1 (b) である。領域は、対象海域を沿岸方向に 3 分割、岸沖方向は離岸堤位置を境界に 2 分割し計 6 領域とした。1972 年を基準として 2002 年までの土量変化の累加を見ると、離岸堤内は約 50 万 m³ の堆積である。これに対し、離岸堤沖では東側ではわずかな堆積となっているのに対し、西側では約 60 万 m³ の侵食が生じている。また、離岸堤が完成したのは 1983 年であるから、離岸堤完成後、離岸堤沖で緩やかな侵食傾向を示すが、1998 年頃からはほぼ平衡状態に達した。これらは離岸堤の背後における堆砂効果と、離岸堤群による沿岸漂砂の阻止効果によって生じたものと考えられる。

底質データについては、2003 年 8 月に図-2 (a) に示す 3 測線において +3 m から -12 m まで 1 m 毎に底質採取し粒度分析を行った。この結果より、d₅₀ の水深分布を示したのが図-2 (b) である。前浜~浅海部では 0.3~0.8 mm の中粒砂が分布するが、-8 m 以深ではほぼ一定の 0.13 mm の細砂となる。また、縦断形比較によれば、波による地形変化の限界水深はほぼ -8 m であったが、これは粒径変化の限界点

図-2 底質の中央粒径 d_{50} の水深分布

3. 等深線変化モデル

3.1 計算方法

地形変化予測には、芹沢ら (2002) による縦断形の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデルを用いた。このモデルでは離岸堤等の各種施設が存在する場合の沿岸漂砂の阻止や、その背後 (岸側区域) を一部の沿岸漂砂が通過する現象などの再現が可能である。とくに海浜縦断形の安定化機構が組み込まれていることから、離岸堤や突堤の沖合を沿岸漂砂が回り込んで下手側へと運ばれる現象の再現も可能である。基礎式は式 (1)~(6) で与えられる。

$$q_x = \varepsilon_x(z) \cdot K_x \cdot (EC_g)_b \cos \alpha_b \cdot \left\{ \sin \alpha_b - \frac{1}{\tan \beta_c} \frac{K_2}{K_x} \frac{\partial H_b}{\partial x} \right\} \quad (1)$$

$$q_z = \varepsilon_z(z) \cdot K_z \cdot (EC_g)_b \cos^2 \alpha_b \sin \beta_c \cdot \left(\frac{\cot \beta}{\cot \beta_c} - 1 \right) \quad (2)$$

$$\cot \beta = -\frac{\partial Y}{\partial z} \quad (3)$$

$$\varepsilon_x(z) = \varepsilon_x(z) = \varepsilon(z) / \int_{-h_c}^{h_R} \varepsilon_x(z) dz \quad (4)$$

$$\varepsilon(z) = \begin{cases} -\frac{2}{h_c^3} \left(\frac{h_c}{2} - z \right) (z + h_c)^2 \dots (-h_c \leq z \leq h_R) \\ = 0 \dots (z < -h_c, h_R < z) \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_z}{\partial z} \quad (6)$$

各等深線上の各点での沿岸漂砂量 q_x , 岸沖漂砂量 q_z を式 (1), (2) で与え, これを用いて x - z 空間の 2 次元の連続式 (6) を解くことで等深線変化量が計算される。ここに, x は沿岸座標, z は鉛直座標 (地盤高), t は時間, Y は等深線位置, $(EC_g)_b$ は砕波点のエネルギーフラックス, α_b は砕波波向と等深線のなす角, $\cot \beta$ は等深線間隔, $\varepsilon_x(z)$ および $\varepsilon_z(z)$ は沿岸および岸沖漂砂量の水深方向分布であり, 式 (5) は宇多・河野 (1996) の 3 次式で与える。さらに, K_x は沿岸漂砂量係数, K_z は岸沖漂砂量係数, K_2 は小笹・ブランプトン項の沿岸漂砂量係数, h_c は波による地形変化の限界水深, h_R はバーム高である。平衡勾配 $\tan \beta_c$ には初期地形勾配を与える。

3.2 計算条件

計算では, 宇多ら (1998) の展開座標を用い, 曲線状の汀線を直線の座標系に変換した。砕波点のエネルギー

表-1 海浜変形計算の条件

計算対象範囲	日野川河口 (測点 No. 0) ~ 皆生漁港 (測点 No. 28): 延長 3 km
計算ケース	再現 1: 離岸堤 4 基設置後の変化 (1969~1975 年) 再現 2: 離岸堤 12 基設置後の変化 (1969~2002 年) 1: No. 5 離岸堤→人工リーフ化 2: No. 5 離岸堤→人工リーフ化, 日野川流入土砂半減 3: No. 3, No. 5 離岸堤→人工リーフ化

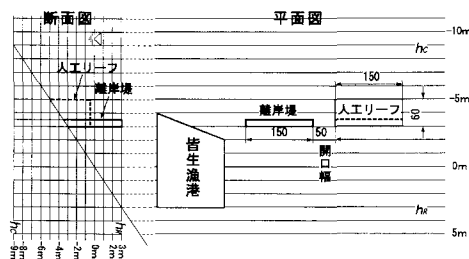


図-3 海浜変形計算における構造物の設置条件

フラックスの計算に用いる碎波波高 H_b と碎波角 θ_b は、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算の結果をもとに与えた。離岸堤および人工リーフ背後の扱いは鳥居ら (2003) と同様とし、方向分散法により回折係数 K_d と回折波向 θ_d を計算し、碎波波高 H_b は回折係数を乗じて低減し、碎波波向 θ_b には回折波向を与えた。回折計算での離岸堤および人工リーフの波高の透過率 K_t は佐藤ら (1998) より $K_t=0.6$ を用いた。離岸堤および人工リーフ背後の h_c , h_R は波高の低減率 (回折係数) に比例させて低減した。陸上の浜崖の形成や限界水深に深への重力による土砂の落ち込みの処理法および構造物周辺の境界の処理法は芹沢ら (2002) に従った。以上の計算条件を表-1 に、モデル地形を図-3 に示す。

各ケースにおいては離岸堤群が設置された現況に対して、その一部または全部を人工リーフ化するもの、さらには上手側の日野川からの供給土砂量を現況の 1/2 および 2 倍とする案を検討した。また比較のために離岸堤群を撤去した案も検討した。

4. 検証計算の結果

図-4 には離岸堤設置前の 1969 年の地形を展開座標によりモデル化した直線平行等深線地形 (海底勾配 1/30: 実地形の水深 0~9m の平均勾配) を与えて行った計算の結果を示す。4 基の離岸堤群が設置されたために、離岸堤群背後にそれぞれ舌状砂州が発達し、それらが西向きの沿岸漂砂移動を阻止した結果、離岸堤群の西端では等深線が後退した。図には実測の汀線変化も示す

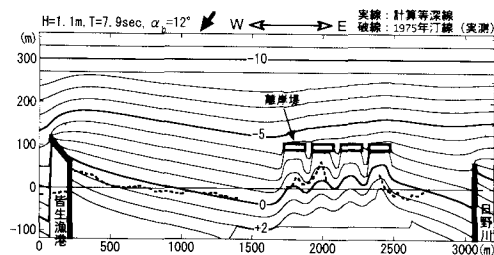


図-4 検証計算結果 (1975 年)

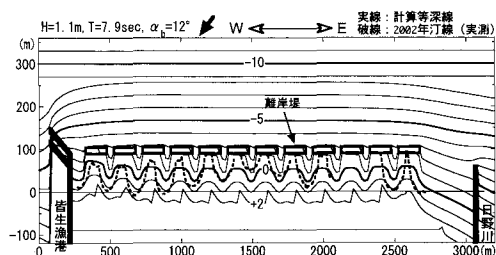


図-5 検証計算結果 (2002 年)

が、実線で示す計算結果は実測汀線とよい対応を示す。また離岸堤群沖での等深線の蛇行は、現象的にはそこを沿岸漂砂が通過していることを示す。

図-5 には、離岸堤群が設置され、それらの背後に安定した舌状砂州が形成された 2002 年当時の等深線形状を示す。合わせて実測の汀線変化も示す。離岸堤群の設置後西向きの沿岸漂砂が通過し、海浜形状が動的安定状態に達した。このモデルによりその場合の地形変化予測が可能となった。

5. 予測計算の結果

図-6 は、現況の離岸堤群をそのまま保持して 10 年が経過したケースである。現況の離岸堤と周辺地形は動的安定状態にあるため、全体としてほとんど変化は生じない。

図-7 は東端から 5 番目の離岸堤を人工リーフに変えた場合の周辺の海浜変形予測の結果である。ここに人工

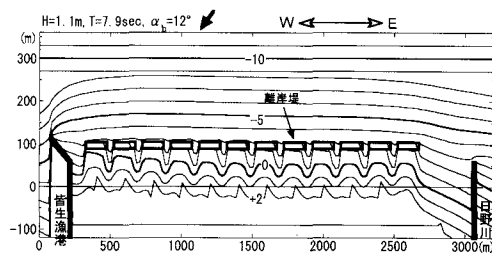
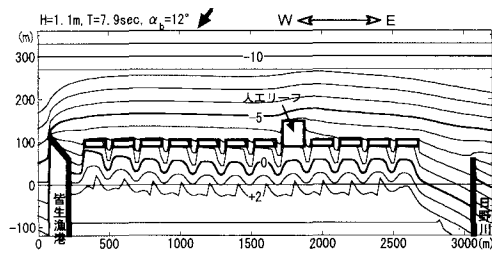


図-6 予測計算結果 (現況のまま放置: 10 年後)



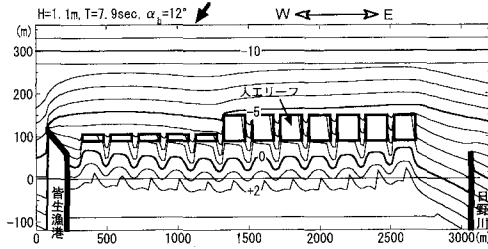


図-8 予測計算結果 (人工リーフ7基:10年後)

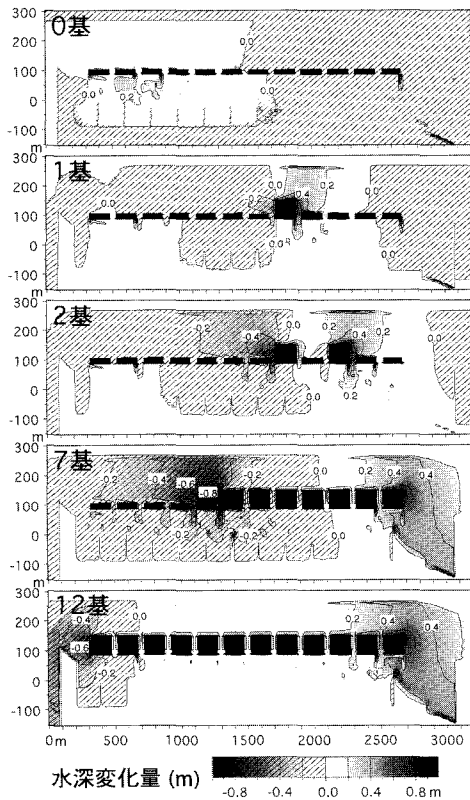


図-9 予測計算結果(人工リーフの基数・配置を変えた場合)

リーフの諸元として、天端幅が40m、天端水深がT.P.-0.6m、堤長が150m、先端水深が約T.P.-5mである。離岸堤の人工リーフ化により、人工リーフの東側では-3~-8mの等深線が前進している。とくに-5mの等深線は人工リーフの沖合で大きく先端部を囲い込むように伸びている。これと対照的に、人工リーフ西端では局所的に等深線の後退が見られる。しかし全体的に見れば人工リーフ化による著しい海浜変形はみられない。局所的に見て人工リーフ西側の沖側端部では局所洗掘が起こることが推定されるので人工リーフの安定性を確保するための対策について検討することが必要である。これと比較して、人工リーフの東側部分では相対的に浅くな

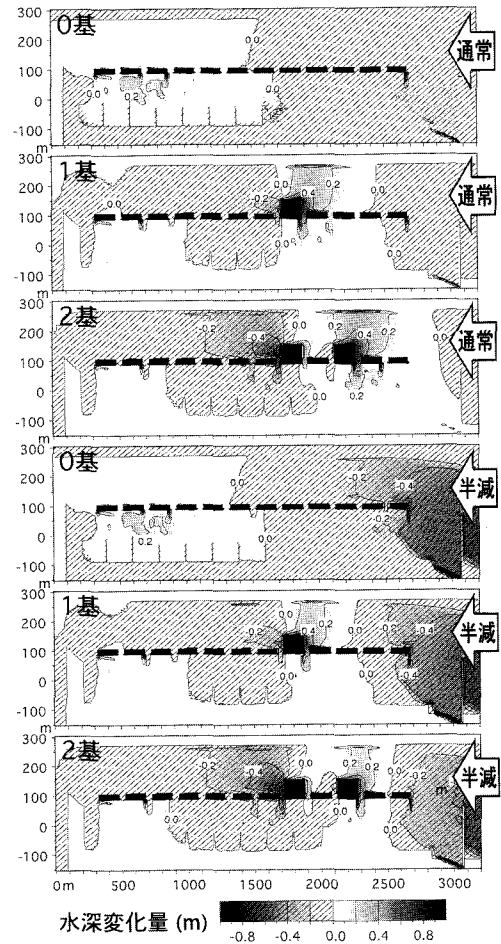


図-10 予測計算結果 (流入土砂量を半減させた場合)

ることから安定性は相対的に良好と判断できる。

図-8は、東側7基をリーフ化したケースである。-4~-5mの等深線を見ると、リーフ群の上手で堆積、下手で侵食されている。1基の場合に比べて、人工リーフ下手端部での水深の増加量は0.8m以上となり、侵食がやや大きくなった。リーフ群の上手の堆積も大きくなった。

10年後を対象に、人工リーフの基数と配置を変化させた場合の地形変化量の平面分布を示すのが図-9である。人工リーフの設置基数の増加とともに、沿岸漂砂の阻止効果が増大する結果、人工リーフ群の上手側での堆積と下手側での侵食が次第に顕著となることがわかる。これは人工リーフの堤体が離岸堤に比べて沖に突出しているため、突堤と同様に沿岸漂砂を阻止するためである。

図-10は人工リーフの基数が同じ場合に、日野川からの供給土砂量を半減させた場合の地形変化比較である。上手側の河口部から侵食が始まり、侵食域が時間の経過とともに下手に進むが、人工リーフの設置により侵食域

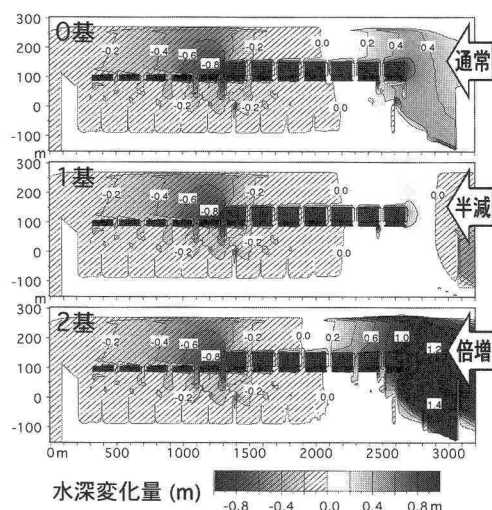


図-11 予測計算結果 (流入土砂を倍増させた場合)

の下手側への広がりがやや抑制される。しかし人工リーフのうち最も下手端に位置する人工リーフの下手側では侵食が助長される結果となる。

図-11は、離岸堤群のうち7基のみを人工リーフ化した場合について供給土砂量を現況、現況の1/2および2倍とした場合の地形変化比較である。供給土砂量が半減すると人工リーフ群西側での侵食傾向には大きな違いは見られないが、新たに日野川河口周辺で侵食傾向となる。逆に供給土砂量が倍増すると、河口部で集中的に堆砂が進む。

図-12は全ての離岸堤を撤去した場合の地形変化の比較である。離岸堤を現状維持に対し撤去した場合には激しい侵食・堆積が生じることが分かる。これは現況の離岸堤による保全効果が著しいことを明瞭に示しており、人工リーフ化にあたってはこの効果の低下を起さないようにしつつ環境改善を図る必要があることを示す。

6. 結 論

① 等深線変化モデルによれば、皆生海岸の離岸堤群設置後の海浜変形を定量的に再現可能である。さらに離岸堤の人工リーフ化検討に有効利用ができる。

② 離岸堤を現状のまま維持した場合、全体的に地形変化が少ないことが確認された。これに対し離岸堤を全部撤去した場合には大規模な侵食が起き、前浜が消失した。

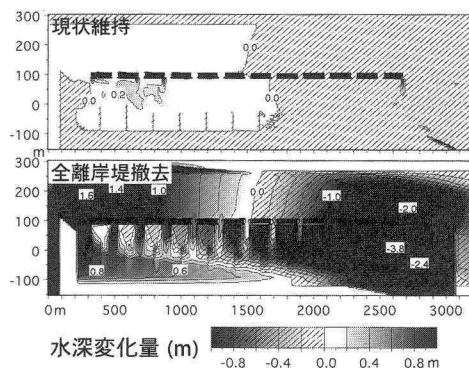


図-12 予測計算結果 (離岸堤を撤去した場合)

③ リーフを設置した場合、その上手(東)側で堆積、下手側で侵食が起きた。この変化は広範囲に影響を及ぼすものではなく、リーフ設置基数を2, 7, 12基と増やしても同様の傾向であった。リーフ下手の地盤低下は限定的で著しいものではないが、最大1m弱あり、局所洗掘対策を考慮する必要がある。

④ 日野川の供給土砂を半減した場合、河口に近い東側の侵食が徐々に増大し西に波及する。逆に供給土砂を倍増した場合、河口に近い東側から堆積が進む。すなわち、供給土砂の増減による河口付近から下手へ伝播する地形変化は、リーフ周辺の地形変化とは無関係に生じる。そして供給土砂の増加が海浜の維持・回復に有効である。

参 考 文 献

- 宇多高明・住谷勉夫・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趾鼻砂嘴の地形変化予測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 541-545.
- 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, II-35, pp. 121-139.
- 佐藤慎司・古屋隆男・坂根博吉・山本幸次・田子洋一・牧野一正 (1999): 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, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 686-690.
- 佐藤慎司・古屋隆男・見附敬三・谷口 丞 (1998): 日野川流域の土砂収支と海浜変形, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 626-630.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・熊田貴之 (2002): 海浜縦