

粒度組成の平面変化を考慮した等深線変化モデルの鹿島灘海岸への適用

住谷 勉夫* ・ 松浦 健郎** ・ 宇多 高明*** ・ 高橋 功****
大木 康弘***** ・ 熊田 貴之***** ・ 芹沢 真澄*****

底質粒径の平面予測が可能な熊田ら (2004) の海浜変形モデルを鹿島灘海岸に適用し、ヘッドランド建設や養浜などの対策が海浜形状とともに底質粒径にどのように影響するかを評価した。その結果、ヘッドランドは、侵食域の拡大および底質の粗粒化の伝播速度を遅らせる効果があることが分かった。また、細砂による養浜は、前浜幅の確保は難しく効果は小さいと評価されてきたが、本計算によれば、沖合の細砂からなる底質環境の保全には大きく貢献することが分かった。

1. はじめに

鹿島灘海岸は太平洋に面した茨城県の大洗から波崎までの延長約 71 km (大洗～鹿島港は 39 km) の砂浜海岸である。この海岸南部の鹿島港に隣接する部分では、1960 年代以降の鹿島港の建設に伴い、防波堤による波の遮蔽域外から遮蔽域内へと沿岸漂砂が生じ、港内では砂が堆積する一方、遮蔽域外では侵食が生じた。その際、港内では選択的に細砂が堆積したのに対し、遮蔽域外では細砂の流出に伴い底質粒径の粗粒化が現れた (二平ら, 2004)。このような底質粒径変化は、海底に生息するチョウセンハマグリ等の貝類の生存を大きく左右することも同時に報告されており (日向野ら, 1993)、現在、わが国一の漁獲高を誇る鹿島灘のチョウセンハマグリ漁獲量の減少との関係が危惧される状況となっている (二平ら, 1998)。本研究はこのような問題に着目し、海浜変形にとどまらず、底質粒径の平面変化も予測可能な熊田らのモデル (2004) を適用して、その機構解明を進めるとともに、ヘッドランドの建設や養浜などの対策が海浜形状および底質粒径に及ぼす影響を評価することを目的とする。

2. 計算条件

計算手法は、熊田ら (2004) の等深線変化モデルである。表-1 には計算条件をまとめて示す。計算は全体で 5 ケースからなる。ケース①は、ヘッドランド建設前の 1984 年を初期地形 (平行等深線) とし、10 年後の 1994 年の地形・底質粒径を再現するものである。過去の空中写真に基づく汀線変化解析によれば、まず対象海浜の侵食面積は 36 万 m^2 となった。さらに海浜縦断面形の比較によれば波による地形変化の限界水深 (h_c) はほぼ 6 m と

読み取れ、また宇多 (1997) によれば漂砂の移動高はほぼ h_c に等しいことから、漂砂の移動高が 6 m と推定される。そこでこの値を侵食面積に乗じると、この 10 年間に対象海浜では約 200 万 m^3 の土砂損失となった。そこで、計算領域内での土砂収支を合わせるため計算領域南端に後述の浚渫境界と同じ、土砂の吸い込み境界 (20 万 m^3/yr) を設定した。

ケース②は、再現地形の 1994 年を初期地形 (ヘッドランド設置) として、ヘッドランド建設 10 年後の 2004 年 (現在) の地形・底質粒径を再現するケースである。この 10 年間では約 100 万 m^3 の土砂が侵食され、北海浜第二船溜において航路浚渫の履歴があることから、北海浜第二船溜で土砂を継続的に吸い取るという浚渫境界 (10 万 m^3/yr) を設定した。ケース③は、ケース②と同様、1994 年を初期地形としてヘッドランドを設置しない場合、10 年後の 2004 年の地形・底質分布を評価するケースである。浚渫境界はケース②と同様である。ヘッドランドの有無による差異はケース②、③の比較より評価できる。

ケース④は、再現された 2004 年の地形を初期地形とし、浚渫をそのまま継続し 10 年後の 2014 年の地形・底質粒径を予測するケースである。ケース⑤は、ケース④と同様、2004 年を初期地形として浚渫を継続するが、港内に堆積した細砂を計算対象海浜の 2 地点に毎年 5 万 m^3 ずつ養浜利用したケースである。養浜はステップごとに、養浜位置から砂が湧き出すように設定した。

入射波条件としては年数回の来襲波を考え、碎波波高は $H_b = 4 \text{ m}$ 、周期を 9 s とした。また波は海岸線に対して直角入射させた。潮位条件は平均海面とした。地形変化の水深範囲は、深浅図の縦断面比較よりバーム高 ($h_R = 3 \text{ m}$) から波による地形変化の限界水深 ($h_c = 6 \text{ m}$) までとした。平衡勾配は、熊田ら (2005) を参考とし、対象海浜の平均的な海底勾配 1/100 を与えた。そのほか漂砂量係数、漂砂量の水深方向分布、土砂落ち込みの限界勾配、計算範囲、計算メッシュ、計算時間間隔、計算ステップ数、境界条件、数値計算法などはまとめて表-1 に示す。初期粒径は、2004 年 11 月に採取した地形変化の少ない No.15、16 間の粒度組成を水深方向に平均

* 正会員	茨城県土木部河川課長
** 正会員	茨城県土木部河川課
*** 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
**** 正会員	(財)土木研究センター研究開発一部
***** 正会員	(株)水圏科学コンサルタント 技術部
***** 正会員 博(工)	(株)水圏科学コンサルタント 技術部
***** 正会員	海岸研究室(有)

したものを用いて計算領域全域に使用した。細砂・シルト分 (0.075 mm)、中砂 (0.25 mm)、粗砂 (0.85 mm) は、53%、24%、23%とした。計算領域は、北海浜第二船溜から延長約30 km までの海岸を対象とし、表示領域はNo.16 ヘッドランドまでとした (図-1)。

3. 計算結果

(1) ヘッドランド建設前の1994年の地形・粒径の再現 (ケース①)

1984年の初期地形は、過去の浅深図を基本として、地形変化が生じる範囲の平均勾配が1/100であったため、1/100の平行等深線として設定した (図-2)。初期粒径は、前述したとおりである。計算領域右端部では、砂が鹿島港へ吸い込まれることを考慮するため、20万 m^3/yr の吸い込み境界を設定した。

図-2 には10年後の1994年の再現地形を示す。北海浜第二船溜の波の遮蔽域周辺では、砂が堆積し等深線は前進し、遮蔽域外では侵食し等深線は後退するという基本的な漂砂特性が再現できた。計算領域右端部では、20万 m^3/yr の割合で砂が吸い込まれているため、侵食域はほぼ計算領域全体に広がった。実測の汀線形状 (1993年) と計算結果を比較すると、波の遮蔽域内での最大汀線前進量は約300 m、遮蔽域外での汀線平均後退量は約30 m と、計算は実測をほぼ再現しており、計算結果はほぼ妥当と考えられる。

図-3 は図-2 に対応する平均粒径の平面分布を示す。波の遮蔽域周辺では細粒分が堆積し、遮蔽域外では粗粒化するという現地の粒径特性 (二平ら, 2004) は良く再現できている。図-4 には図-3 と初期粒径との差分を示す。破線は初期粒径と比較した細粒化領域を、実線は粗粒化領域を示す。図-4 によれば沿岸方向全域で粗粒化したことが分かる。

以上より、波の遮蔽域内での等深線の前進と遮蔽域外での後退、また等深線変化に伴う細粒化と粗粒化などの現地の基本特性が再現できることが明らかになった。

(2) ヘッドランド建設後の2004年の地形・粒径の再現 (ケース②)

図-5 は、20年後の2004年の地形の再現結果であり、

表-1 計算条件一覧

計算対象	北海浜第二船溜～No.16ヘッドランドまでの潮来管内
計算ケース	・ケース①：ヘッドランド建設前の1994年の地形・粒径再現 ・ケース②：ヘッドランド建設後の2004年の地形・粒径再現 ・ケース③：ヘッドランド建設しなかった場合の2004年の地形・粒径予測 ・ケース④：今後放置した場合の2014年の地形・粒径予測 ・ケース⑤：今後細砂を2地点で5万 m^3/yr 養浜した場合の2014年の地形・粒径予測
初期地形	・展開座標を使用し現地地形を直線平行等深線にモデル化 (縦断勾配1/100)
初期粒径	細砂・シルト分 (0.075 mm : 53%)、中砂 (0.25 mm : 24%)、粗砂 (0.85 mm : 23%)
平衡勾配	粒径毎の平衡勾配は、全て1/100として設定 (熊田ら, 2005)。
交換層の幅	$B=10.8\text{ m}$
入射波条件	・碎波波高 $H_0=4\text{ m}$ (年数回の荒天波 $H_0=3.5\text{ m}$, $T=9\text{ S}$) ・碎波波向 $\alpha_0=0^\circ$ ・潮位条件 M.S.L. 0.0 m
地形変化の水深範囲	・地形変化の限界水深 $h_c=6\text{ m}$ (宇多, 1997) ・バーム高 $h_R=3\text{ m}$
境界条件	・浚渫境界：20万 m^3/yr 、10万 m^3/yr の吸い込み境界設定 (南端)。 ・養浜境界：5万 m^3/yr (細砂) の湧き出し境界2地点設定。
漂砂量係数	・漂砂量係数内の $A=0.5$ 。 ・小笹プランクトン項の係数 $\zeta=0.4$ (熊田ら, 2005) ・岸沖・沿岸漂砂量係数比 $\gamma=0.2$
漂砂量の水深分布	宇多・河野 (1996) の3次式
土砂落ち込みの境界勾配	陸上：1/2、水中：1/3
計算範囲	沿岸方向：30,000 m 鉛直方向： $z=5\text{ m} \sim -10\text{ m}$
計算メッシュ	沿岸方向 $\Delta x=200\text{ m}$ 、鉛直方向 $\Delta z=1\text{ m}$
計算時間間隔 Δt	$\Delta t=0.1\text{ hr}$
計算ステップ数	100,000 steps
数値計算法	陽解法による差分法
その他	・波浪場の計算法：方向分散法

ヘッドランド建設後を対象とした計算結果である。等深線形状は1994年と変化がないように見えるが、図-6 に示す1994年からの水深変化量と比較すると、11号堤より右側では海底地盤が下がり等深線が全体的に後退していることが分かる。破線は1994年と比較して地盤が下がっていることを示す。これは、北海浜第二船溜での毎年10万 m^3 の浚渫が大きく影響している。実測汀線変化量と比較すると、実測値は若干の変動は含むものの、計算と同

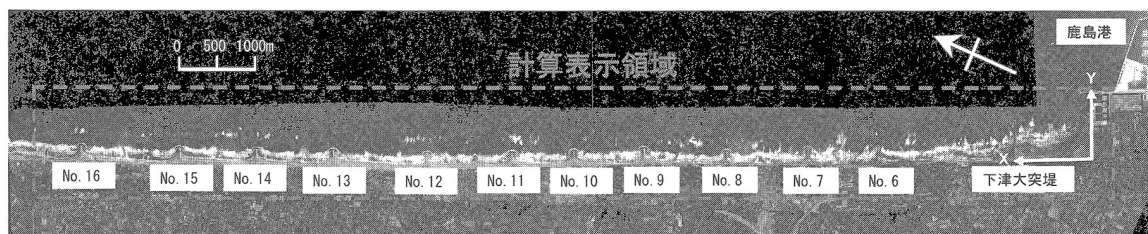


図-1 計算表示領域と座標 (2002年空中写真)

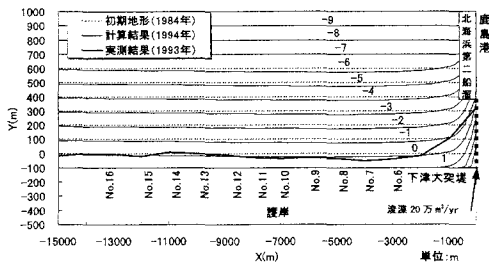


図-2 実測汀線と計算等深線 (1994年再現) の比較 (ケース①)

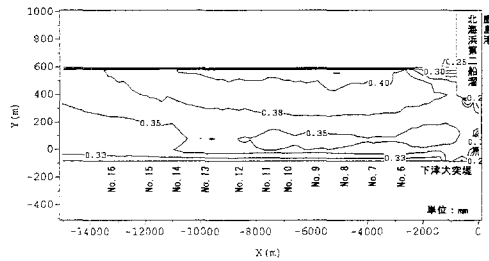


図-3 平均粒径 (1994年再現) (ケース①)

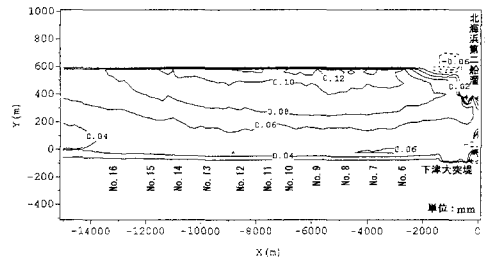


図-4 図-3と初期粒径との差分 (ケース①)

様のオーダーの汀線の前進後退が生じたことが確認できる。

図-7は2004年の平均粒径の計算結果である。浚渫の影響により、波の遮蔽域内外を問わずほぼ計算領域全域で粗粒化が起きたことが明らかである。図-8には図-7と初期粒径との差分を示すが、計算では浚渫に伴う粗粒化が顕著に出ており、全体にNo.13ヘッドランド付近より右側(南側)で粗粒化が目立つ。

(3) ヘッドランドを建設しなかった場合の2004年の地形・粒径の予測 (ケース③)

ヘッドランドが建設されずに、現在(2004年)に至った場合の等深線変化を図-9に、1994年からの水深変化量を図-10に示す。破線は1994年と比較して地盤が下がっていることを示し、実線は地盤上昇を示す。図-5, 6の現況再現と比較すると、侵食領域の位置が左(北)側へとシフトしていることが明らかである。

図-11, 12に、それぞれ図-9に対応する平均粒径と初期粒径との差分図を示す。図-7, 8の現況再現と比較す

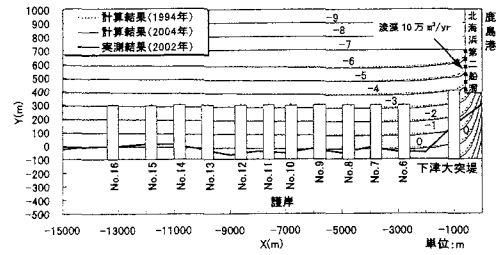


図-5 実測汀線と計算等深線 (2004年再現) の比較 (ケース②)

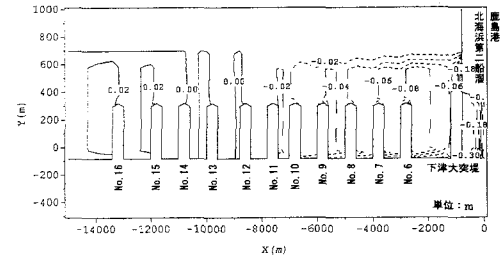


図-6 1994年を基準とした水深変化量 (2004年) (ケース②)

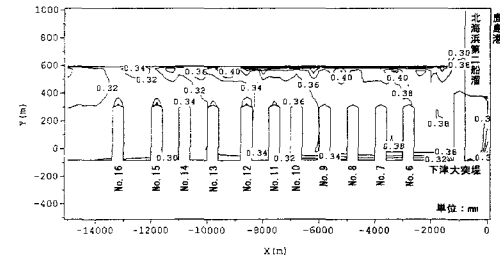


図-7 平均粒径 (2004年再現) (ケース②)

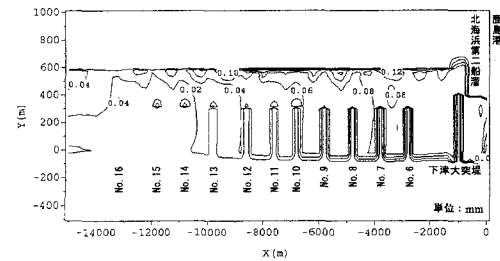


図-8 図-7と初期粒径との差分 (ケース②)

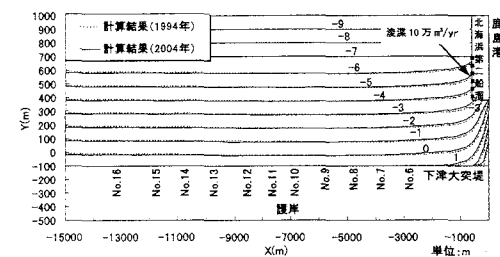


図-9 ヘッドランドの無い場合の等深線 (2004年) (ケース③)

ると、粗粒化領域が侵食域と同様、左（北）側へとシフトしつつ、広く分布する結果となった。以上の計算結果より、ヘッドランドの有無を比較すると、ヘッドランドは漂砂移動を制御し、侵食域の拡大とともに底質粒径の粗粒化の伝播速度を遅らせる効果があったことが分かる。ヘッドランドを建設していなければ、現在、さらに侵食域の拡大と底質の粗粒化が広がっていたと考えられる。

(4) 今後放置した場合の2014年の地形・粒径の予測 (ケース④)

図-13 に浚渫をこのまま継続した場合の、10年後の2014年の地形変化予測結果を、図-14 に2004年からの水深変化量を示す。現在と比較すると、海底地盤が全域で低下し、等深線が全体的に後退する結果となった。これも、北海浜第二船溜での浚渫が影響している。図-15、16 に、それぞれ2004年の平均粒径の予測結果と、初期粒径との差分図を示す。依然として粗粒化が全域で広がる傾向にある。

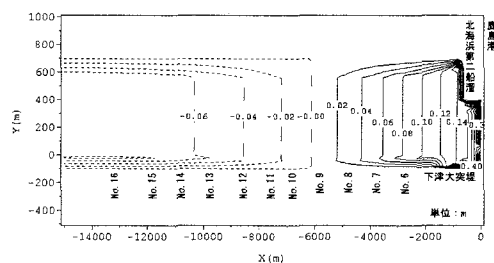


図-10 1994年を基準とした水深変化量 (2004年) (ケース③)

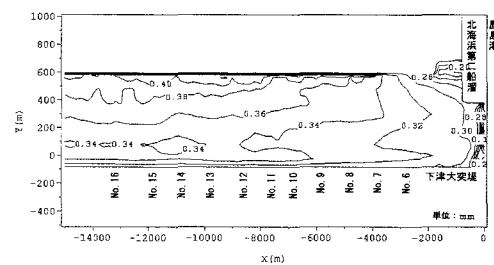


図-11 ヘッドランドの無い場合の平均粒径 (2004年) (ケース③)

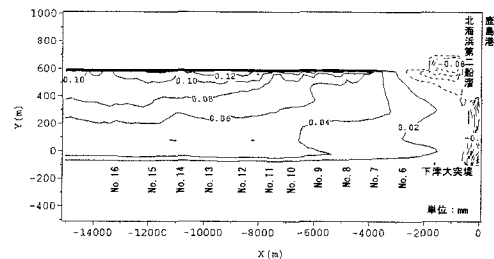


図-12 図-11と初期粒径との差分 (ケース③)

(5) 細砂 (0.075 mm) を2地点で5万 m³/yr 養浜した場合の2014年の地形・粒径予測 (ケース⑤)

図-17 に、浚渫はこのままで、港内に堆積した細砂を対象海域2地点に毎年5万 m³ずつ養浜利用（サンドリサイクル）した場合の、2014年の地形変化予測結果を示す。本ケースでは、細粒砂を好むチョウセンハマグリのために底質の細粒化を促進するよう養浜位置を2地点と

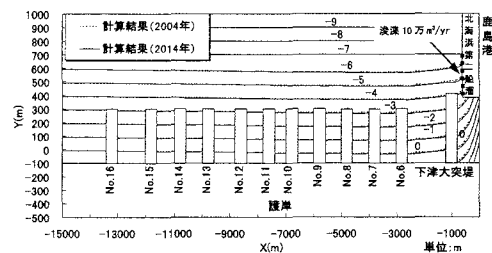


図-13 今後放置した場合の等深線 (2014年予測) (ケース④)

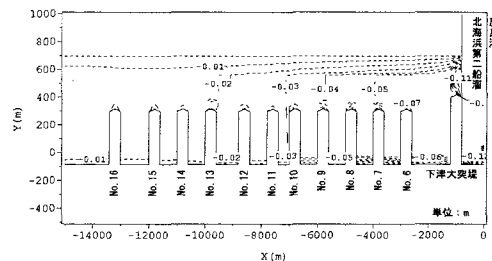


図-14 2004年を基準とした水深変化量 (2014年) (ケース④)

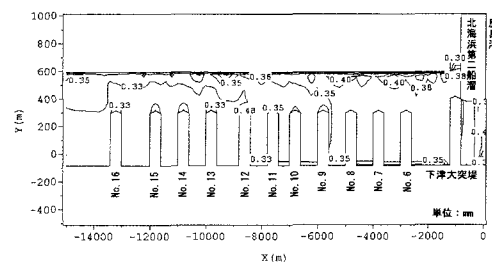


図-15 今後放置した場合の平均粒径 (2014年予測) (ケース④)

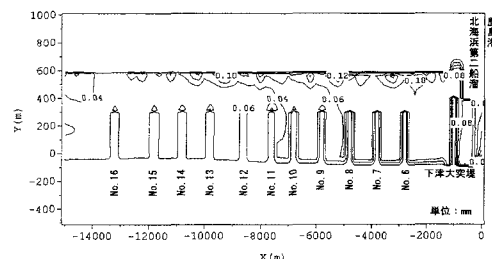


図-16 図-15と初期粒径との差分 (ケース④)

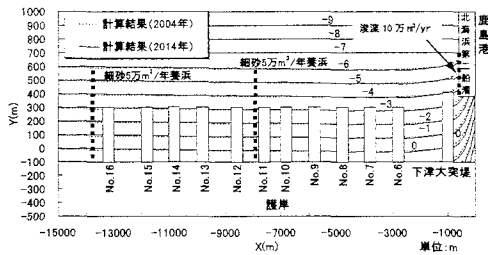


図-17 2ヶ所に細砂5万 m^3/yr 養浜した場合の等深線 (2014年予測) (ケース⑤)

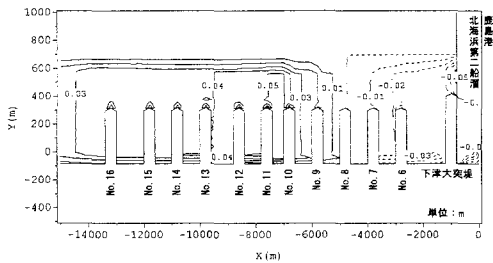


図-18 2004年を基準とした水深変化量 (2014年) (ケース⑤)

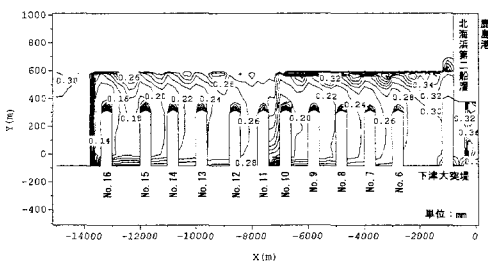


図-19 2ヶ所に細砂5万 m^3/yr 養浜した場合の平均粒径 (2014年予測) (ケース⑤)

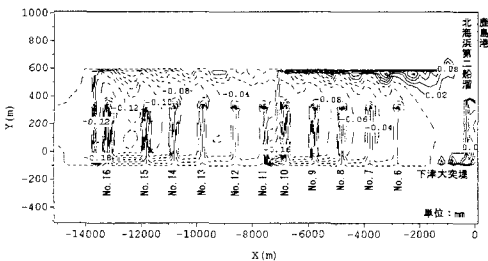


図-20 図-19と初期粒径との差分 (ケース⑤)

した。養浜位置は、右(南)方向の沿岸漂砂が生じているため、まず潮来管内の最北(左)端位置に、もう一点は潮来管内ほぼ中央(No.11, 12間)に設定した。養浜土砂は、宇多・河野(1996)の漂砂分布に従い配分し、

ステップごとに養浜位置から砂を湧き出すように設定した。図-18には、2004年からの水深変化量を示す。図-13, 14の放置のケースと比較すると、養浜位置では堆積し、侵食域は養浜によって狭小化していることが分かる。

図-19, 20に、それぞれ2014年の平均粒径の予測結果と初期粒径との差分図を示す。図-15, 16の放置のケースと比較すると、明らかに養浜位置から細粒径が拡散し、底質が広域で細粒化していることが分かる。

4. おわりに

本研究では、底質粒径の平面分布を予測可能な海浜変形モデルを鹿島灘海岸に適用し、ヘッドランド建設や養浜などの対策が海浜形状とともに底質粒径にどのように影響するかを評価した。その結果、次の結論が得られた。

- (1) 波の遮蔽域内では細粒化し、遮蔽域外では粗粒化するという現地海岸の傾向は、本計算より理論的に十分説明でき、対象海浜の粗粒化は主に港内への細粒径の集積と浚渫が大きく影響していることが明らかとなった。
- (2) 本計算より、ヘッドランドは、侵食域の拡大および底質の粗粒化の伝播速度を遅らせる効果があり、沖合部を含む広域におけるヘッドランド建設の具体的な効果が定量的に初めて評価できた。
- (3) 細砂による養浜は、海浜幅確保は難しく効果は小さいと評価されてきたが、本計算によれば、沖合の細砂からなる底質環境の保全には大きく貢献し、チョウセンハマグリ等の生息環境を良好に保つ意味では役立つものと考えられる。

参考文献

- 宇多高明(1997):日本の海岸侵食, 山海堂, 442p.
- 宇多高明・河野茂樹(1996):海浜変形予測のための等深線モデルの開発, 土木学会論文集, No. 539/II-35, pp. 121-139.
- 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・野志保仁(2004):粒度組成の3次元変化を考慮した等深線変化モデル, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 441-445.
- 熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄・三浦正寛(2005):波の遮蔽域形成に伴う3次元地形・粒径変化の予測法, 海洋開発論文集, 第21巻, pp. 1029-1034.
- 二平 章・青木雅志・児玉正碩・谷村俊明・安川隆広(1998):鹿島灘ハマグリが発生量変動量, 茨城県水産試験場研究報告, 第36号, pp. 15-21.
- 二平 章・安藤隆二・根本 考(2004):鹿島灘の貝類網漁業と海浜環境保全, 北日本漁業, 第32号, pp. 51-61.
- 日向野純也・木元克則・安永義暢(1993):潜砂行動と物理環境の関係からみたチョウセンハマグリとコタマガイの分布特性, 水工研研報, pp. 65-87.