

地形・粒径変化予測モデルによるヘッドランドの 漂砂制御効果の定量評価

木村 泉¹・佐田明義²・宇多高明³
高橋 功⁴・熊田貴之⁵・大木康弘⁶

大洗海岸から旭海岸にかけての区域では浸食が著しく、浜が消失し危険な状態となっている。対照的に港内では砂が過剰に堆積して航路埋没が生じている。これに連動して沿岸域底質粒径も大きく変化し、チョウセンハマグリなどの魚介類の生息量も激減している。そこで、海浜変形にとどまらず底質粒径の変化をも予測可能な熊田らのモデルを大洗・旭海岸に適用し、対策工が海浜形状とともに底質粒径変化に及ぼす影響を評価し、最適対策案について検討した。その結果、対策工上手の堆積効果、航路埋没防止効果、ハマグリ生息環境の維持効果、対策工下手の浸食影響などから No. 40 ヘッドランドを先端水深 6m まで延伸する案が最適なことが分かった。

1. はじめに

茨城県の大洗・旭・鉾田海岸では、1980 年代以降大洗港の防波堤建設に伴って波の遮蔽域外から遮蔽域内へと沿岸漂砂が生じ、港内では大量の砂が堆積する一方、遮蔽域外では浸食が生じた。特に浸食は大洗海岸から旭海岸にかけての区域で著しく、浜が消失し危険な状態となっている。対照的に港内では砂が過剰に堆積して航路埋没が生じている。こうした地形変化と連動して沿岸域底質粒径も大きく変化し、鹿島灘を代表するチョウセンハマグリなどの魚介類の生息量も激減している。こうしたことから、本研究では、上記の問題を解決するため、海浜変形にとどまらず底質粒径の変化をも予測可能な熊田ら (2005) のモデルを大洗・旭海岸に適用し、対策工 (ヘッドランド) が海浜形状とともに底質粒径変化に及ぼす影響を評価し、最適な対策案を選定する。

2. 対象海岸の漂砂特性

(1) 空中写真による汀線変化解析

大洗港周辺の海浜変形特性を把握するために、大洗港

から鹿島港までの鹿島灘海岸 (39 km) を対象に空中写真による汀線変化解析を行った。図-1 は 1964 年を基準とした大洗港～鹿島港の汀線変化である。2002 年の汀線変化に見えるパルス状の変化は、ヘッドランド設置に伴う汀線変化である。これによれば大洗港や鹿島港の防波堤による波の遮蔽域で汀線が大きく前進し、大洗港付近での汀線の最大前進量は約 700 m に達した。一方、海浜中央部の汀線は全体的に薄く削り取られて後退している。図-2 は、大洗港周辺の空中写真であるが、大洗港の北側には沖防波堤があり、これと南側海浜との間には水深の大きな航路が延びているため、那珂川方面から流れ着く砂は南側海浜に運び込まれることができない。したがって土砂量保存を考えれば、南側海浜の堆積に要した砂は南部海岸から運び込まれる以外方法がなく、これが大洗南部の広い区域での浸食要因となったと考えられる。図-2 によれば南部海岸では前浜が完全に消失した。鹿島港の北側隣接域でも大洗港とよく似たパターンの汀線変化が起き、隣接の平井浜では前浜が大きく広がる一方、北部は浸食傾向となった。すなわち、周辺海岸から防波堤による波の遮蔽域内へと沿岸漂砂が生じ、港内では汀線が前進し、中間の海浜では汀線が後退したと考えられる。

(2) 深浅図による地形変化解析

沖合の地形変化を把握するため、深浅図による地形変化解析を行った。図-3 は広域深浅データより作成した 1984 年から 2004 年までの地形変化量の平面分布である。海岸線両端部で大量の土砂が堆積し、対照的にそのほかの区域では浸食傾向にある。図-4 は大洗港 (A)・鉾田海岸 (B)・鹿島港 (C) における土砂量の経年変化図であるが、1984～2005 年の 20 年間で、大洗港付近で約 500 万 m^3 、鹿島港付近で約 300 万 m^3 砂が堆積し、鉾田海岸では若干の変動はあるものの約 100 万 m^3 の土砂が失われた。したがって、地形変化は陸上部のみではなく沖合部も含め港周辺では堆積傾向にあり、周辺海岸では浸食傾向にあることが分かった。

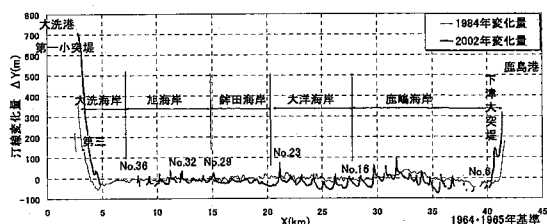


図-1 汀線変化量の沿岸分布 (1964 年基準)

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 | 茨城県水戸土木事務所河川整備課 課長 |
| 2 | 茨城県水戸土木事務所河川整備課 |
| 3 | 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 |
| 4 | (財)土木研究センター 研究開発一部 |
| 5 | 正会員 博(工) (株)水圏科学コンサルタント |
| 6 | (株)水圏科学コンサルタント |

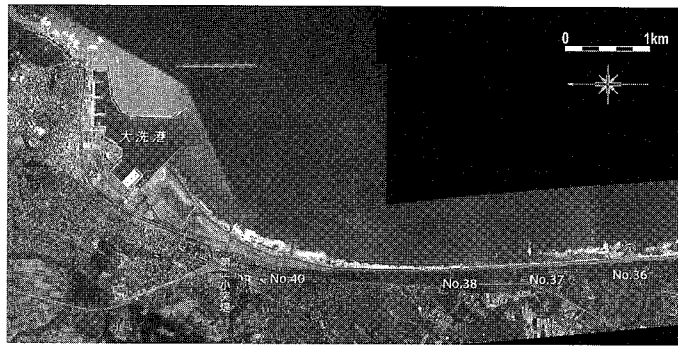


図-2 大洗港周辺の空中写真 (2002 年)

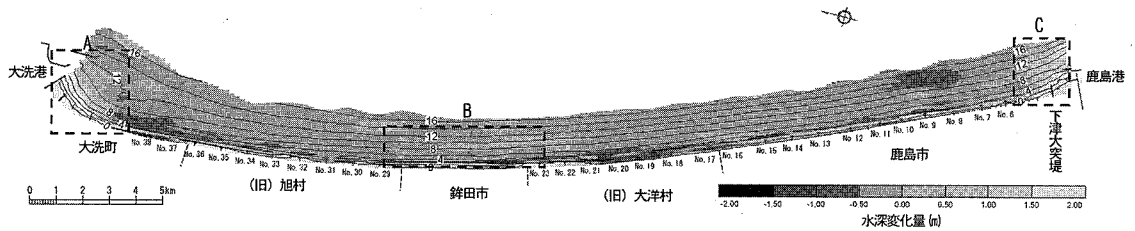


図-3 2004 年の深浅図と 1984 年基準の地形変化量

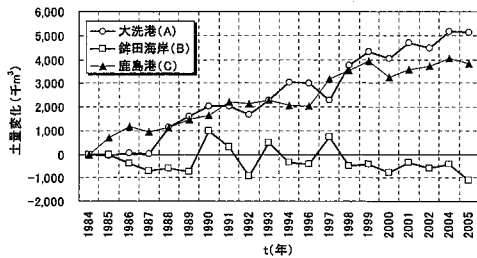


図-4 大洗港・鉾田海岸・鹿島港付近の土砂量の経年変化図 (1984 年基準)

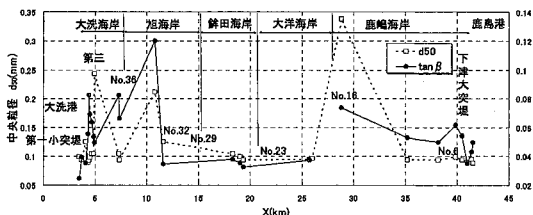


図-5 中央粒径と前浜勾配の沿岸分布 (2005 年)

(3) 底質粒径解析

2005 年 7 月, 大洗港～鹿島港区間で前浜粒径調査を行い, d_{50} の分布として図-5 を得た. 波の遮蔽域での堆積土砂は粒径 0.1 mm の細砂で構成され, 浸食域では粒径が大きい傾向にある (図-1 参照). 防波堤など波の遮蔽域の外から内へと沿岸漂砂が生じる際, 周辺海岸の細砂が選択的に港内へと運ばれ, それが堆積したため港内では粒径が細くなり周辺海岸では粗くなったと考えられる. したがって底質特性からも, 周辺海岸から港へ向かって沿岸漂砂が生じていることが推察される. こうし

た周辺海岸の底質の粗粒化は, $0.106 \sim 0.16 \text{ mm}$ 程度の細砂を好むチョウセンハマグリの生息環境も悪化させる要因になると推定される (日向野ら, 1993).

3. 地形・粒径変化予測モデルによる予測

(1) 計算条件

以上の漂砂特性を踏まえ, 海浜変形および底質粒径の変化を予測可能な熊田ら (2005) のモデルを大洗・旭海岸に適用し, ヘッドランドなどの対策工が海浜形状とともに底質粒径変化に及ぼす影響を評価し, 最適対策案について検討した. 計算は図-6 に示すように, 防波堤による波の遮蔽域の影響範囲と推定される No.29 ヘッドランド (以下 HL) 以南の鉾田海岸付近までを対象とした. ここでは再現ケースと対策案 3 ケースの結果について述べる. ケース①は, 大洗港建設前の自然状態にあった 1964 年を初期地形とし, 40 年後の 2004 年 (現在) の地形を再現するケースである. 初期地形には, 直線平行等深線に大洗港建設前の自然の岬を波の遮蔽域として再現した地形を使用した. ケース②～④は, 再現された 2004 年の地形・粒径を初期値として, 対策工として延伸可能な No.40 HL の先端水深を 6, 7, 8 m まで延伸した場合における 2024 年の地形を予測するケースである. 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. また入射方向は, 通年で最も出現頻度の高い E 方向 (海岸線に対してほぼ直角方向) とした. 地形変化の水深範囲においては, バーム高 (h_R) は深浅図より 3 m とし, 地形変化の限界水深 (h_c) は, 三村ら (1991) より沖合のシルト・粘土分を多く含む細粒分によるわずかな

地形変動も考慮し12mまでとした。なお、南端の側方境界は絶えず南側より砂が供給されることを想定し、固定境界として扱った。過去の深浅図より、水深5m以浅では縦断勾配1/65、水深5m～12mでは1/100と、主に2断面ではほぼ変動なく安定していることから、それぞれを平衡勾配とした。水深5m以浅(縦断勾配1/65)の初期粒径は、2005年7月に採取した大洗海岸から銚田海岸まで前浜の砂の粒度組成を平均化した値を計算領域全域に使用した。水深5m以深(縦断勾配1/100)の初期粒径は、採取した砂をもとに野志ら(2004)の手法より粒度組成を推定した値を計算領域全域に使用した。水深5m以浅は、細砂・シルト分(0.075mm)、中砂(0.25mm)、粗砂(0.85mm)の含有率が59.4%、40.3%、0.3%とし、水深5m以深は85%、15%、0%とした。

(2) 計算結果

図-6(a), (b)は2004年(現在)の再現地形と水深変化量を示す。水深変化量は1964年を基準としている。大洗港の防波堤延伸とともに港近傍では堆積し、港より離れるにしたがい浸食されていく。これは、波の遮蔽域外から遮蔽域内へと沿岸漂砂が生じたための結果である。No.38～36HL($X=4\sim7$ km)付近では特に地盤高が低下し、浸食量が大きい現地の傾向を良く再現している

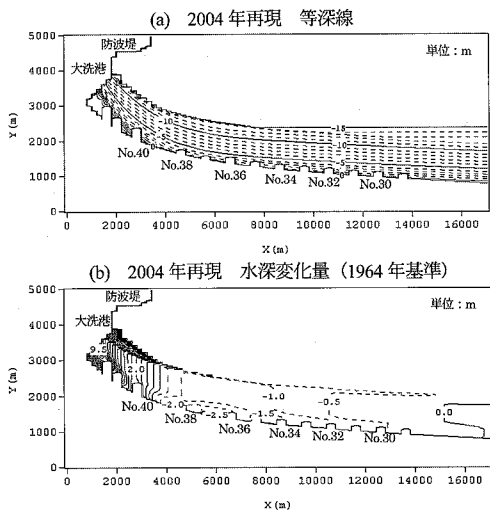


図-6 2004年再現 地形変化

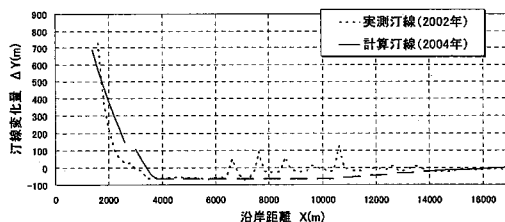


図-7 2004年の実測と計算の汀線変化量(1964年基準)

(図-6(b)). 図-7は、1964年基準の2004年の実測と計算の汀線変化量を示す。浸食・堆積エリアが若干広く予測されているものの、港付近の700m近い前進量と、浸食域での約65mの後退量は良く再現されている。なお、計算ではHLを突堤として扱っているため、HLによる波の遮蔽域形成は再現されていない。図-8は2004年の平均粒径の再現結果である。防波堤内では0.09mmと細粒化し、防波堤の外側すなわち遮蔽域外では沖で0.11mm、岸で0.16mmと防波堤内と比べて粗粒化している。特に浸食が著しい $X=3.5\sim8$ km付近では岸側沖側ともに粗くなっている。これは、波の遮蔽域外から遮蔽域内へと沿岸漂砂が生じる際、遮蔽域外では選択的に細粒分が流出した結果粗粒化し、遮蔽域内ではその細粒分が堆積したため細粒化したと考えられる。堆積域のA-A'、浸食域のB-B'、南端の固定境界のC-C'測線の汀線における計算と実測の粒度組成図を図-9に示す。A-A'では細砂が80%以上と高く分布し、一方B-B'では約50%となる実測傾向を計算は良く再現している。また、固定境界のC-C'でも、流入する粒度組成に大きな差はなく、計算の妥当性が評価できる。

図-10は、再現地形の2004年を初期地形として、No.40HLの先端水深を7mまで延伸した場合における2024年の地形の予測結果(水深変化量)である。水深変化量は2004年を基準としている。No.40HLの延伸に伴いそより南側での堆積が著しい。すなわちNo.40HLより北側

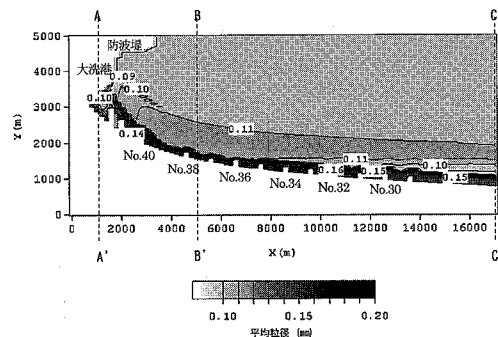


図-8 2004年再現 平均粒径

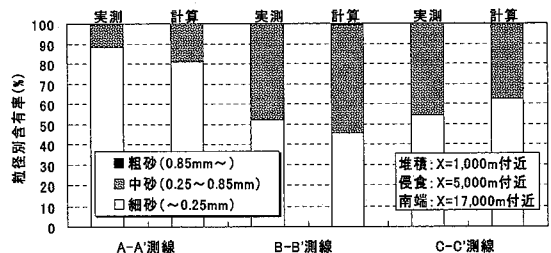


図-9 A-A'測線(堆積域)、B-B'測線(浸食域)、C-C'測線(南端の固定境界)の計算と実測の粒度組成図

への漂砂をトラップしていることになる。しかし、No. 40HL と第二小突堤の間では、No. 40HL が漂砂の遮断境界となったため新たに浸食され、対策に伴う新たな二次災害を引き起こす可能性を示唆している。また、旭海岸 ($X=6\sim 14$ km) では依然として浸食が進行する。図-11 は 2024 年の平均粒径の予測結果である。現況再現の図-8 と比較すると、No. 40HL より南側では堆積に伴い細粒化するものの、沖合部に比べると粗い。一方、No. 40HL より北側では陸側では浸食に伴い粗粒化が激しく、港近傍の汀線までに及ぶ。この辺りでは、ハマグリなどの稚貝が多く分布していることから、少なからずその生存に影響を及ぼすと考えられる。しかし、No. 40HL より北側の沖合部では、現況再現よりも細粒化エリアは拡大した。これは、No. 40HL 延伸により閉鎖性が強まり細粒分が多く堆積したためと考えられる。この辺りのハマグリは成貝が多く分布し、一見好環境を形成しているように見えるが、閉鎖域では泥分量を多く含むことが多いため、これもハマグリに厳しい環境となると考えられる。

図-12 は、No. 40HL の先端水深を 6 m まで延伸した場合における 20 年後の 2024 年の地形の予測結果(水深変化量)である。先端水深を 7 m まで延伸した図-10 のケースと比較すると、No. 40HL より南側での堆積量には変化がないが、北側では浸食されていないことが分かる。先端水深が 1 m 浅くなったためヘッドランド先端を砂が回り込み、北側への供給量が増加したため浸食されなかった

と考えられる。逆に言えば、南側でのトラップ効果が若干小さいと判断できる。すなわちトラップ効果と浸食影響の関係はトレードオフの関係にある。図-13 は、2024 年の平均粒径の予測結果である。先端水深を 7 m まで延伸した図-11 と比較すると、No. 40HL より北側の粗粒化は浸食が軽減されたため消失し、ハマグリ稚貝の生存に

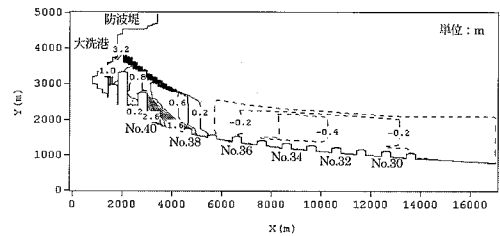


図-12 2024 年予測 水深変化量 (2004 年基準)
No.40HL 先端水深 6 m まで延伸

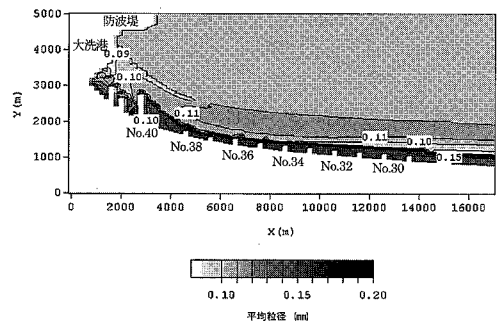


図-13 2024 年予測 平均粒径
No.40HL 先端水深 6 m まで延伸

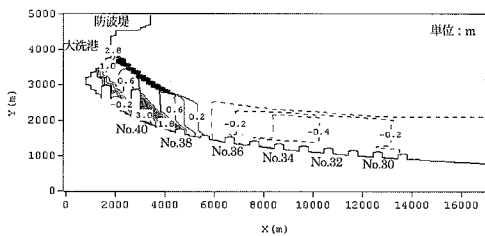


図-10 2024 年予測 水深変化量 (2004 年基準)
No.40HL 先端水深 7 m まで延伸

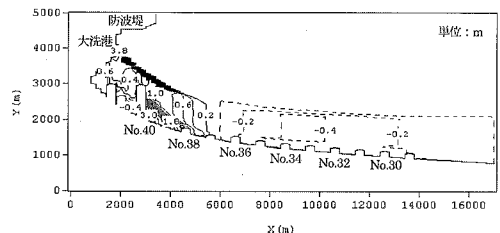


図-14 2024 年予測 水深変化量 (2004 年基準)
No.40HL 先端水深 8 m まで延伸

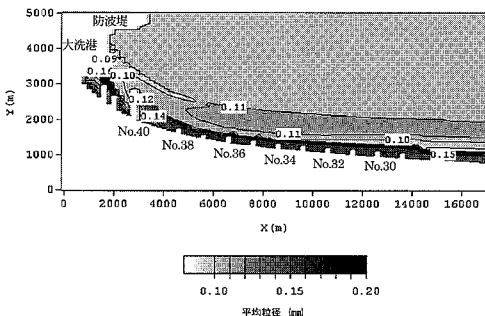


図-11 2024 年予測 平均粒径
No.40HL 先端水深 7 m まで延伸

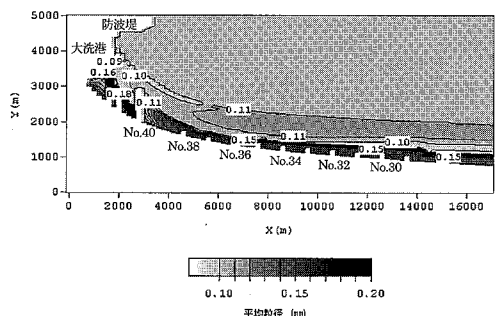


図-15 2024 年予測 平均粒径
No.40HL 先端水深 8 m まで延伸

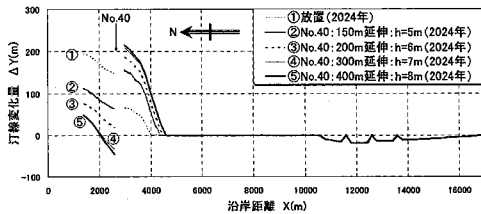


図-16 2024年の汀線変化量(2004年基準)
No.40HL 先端水深 6m, 7m, 8m 延伸

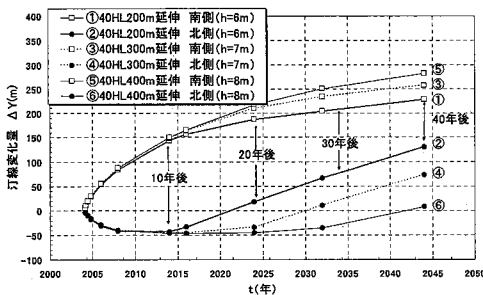


図-17 No.40HL 南側・北側の汀線変化量の経年変化
(2004年基準)

は大きな影響はないと考えられる。しかし No. 40HL より北側の沖合部では依然として細粒化し、ハマグリ成貝の生存にとって厳しい環境には変わりがない。

図-14は、No. 40HLの先端水深を8mまで延伸した場合における2024年の地形の予測結果(水深変化量)である。先端水深を7mまで延伸した図-10のケースと比較すると、No. 40HLより南側での堆積量、北側での浸食量にはほとんど変化がなく、No. 40HLと第二小突堤の間は新たに浸食され、対策に伴う新たな二次災害を引き起こす可能性を示唆している。図-15は、2024年の平均粒径の予測結果である。図-11と比較するとNo. 40HLより北側の粗粒化はさらに激しくなっている。延伸に伴う漂砂遮断境界が大きく影響し、粗粒化が加速された。したがって、本ケースはハマグリ稚貝に最も厳しい環境を強いるケースになると考えられる。

図-16は、No. 40HLの先端水深を6, 7, 8mと延伸した場合の2004年を基準とした2024年の汀線変化量を示す。No. 40HLの延伸に従いヘッドランド南側では堆積し、先端水深7m, 8mでは約200m前進し堆積量が収束している。一方、北側では延伸に伴い汀線は後退し、先端水深7m, 8mでは約50m程度で浸食量に収束傾向がある。① No. 38HL～No. 40HL区間の浸食防止効果、② 航路埋没防止としてのNo. 40HLでの砂のトラップ効果、③ ハマグリ生息環境の維持、④ No. 40HLより北側の新たな浸食災害を考慮すると、先端水深7m, 8mは選定しにくいことが分かる。ただし、この結果は20年後の2024年のみで評価しており、地形はまだ安定形に至って

おらず動いている。そこでNo. 40HLの南側・北側の汀線変化を時系列で2044年まで表示したのが図-17である。図-16の結果は、図-17の20年後の姿を見ていたことになる。この図によれば、先端水深の増大とともにHL南側での堆積量(トラップ量)は大きくなるが、一方で北側での浸食量は2014年までは先端水深にかかわらず約50m後退し、その後堆積傾向に変化する。これは、ヘッドランド先端を砂が通過し、南側から北側へと砂が供給され、北側で堆積が始まったためと考えられる。先端水深が深くなればなるほど北側の浸食から堆積傾向へ転じる時期が先延ばしになることが注目される。突堤の延伸により漂砂阻止率は向上するが、50m程度の最大汀線後退量は変わらず、浸食を受ける時間が長くなる(先延ばし効果)。現在、No. 40HL基部の浜幅は100m近くあることから、50m程度の後退量を許容できれば、将来のいずれの時期で効果を判断するかが重要となる。現実的には工学的に見て20年程度が判断時期と考えられる。この場合、浸食を受ける期間を最短に抑えることのできる先端水深6mまでが適切と判断できる。その後先端を通過する漂砂は航路埋没を起こすので、HL南側区域内で砂を採取して南部海岸に戻すサンドリサイクルも検討の余地がある。なお50m程度の浜幅であれば、防災上は特に問題ないと判断されるが、一時的な浸食で粗粒化する可能性は否めない。したがって、ハマグリ生存の評価は今後も十分な議論が必要である。以上より、No. 40HLの先端水深は6mが最適なことが分かった。

4. おわりに

本研究では、海浜変形にとどまらず底質粒径の変化をも予測可能な熊田ら(2005)のモデルを大洗・旭海岸に適用し、対策工(ヘッドランド)が海浜形状とともに底質粒径変化に及ぼす影響を評価し、最適な対策案について検討した。その結果、対策工上手の堆積効果、航路埋没防止効果、ハマグリ生息環境の維持効果、対策工下手の浸食影響などからNo. 40HLを先端水深6mまで延伸する案が最適なことが分かった。

参考文献

- 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.
- 野志保仁・小林昭男・熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄(2004): 底質粒度構成に応じた局所縦断勾配の算定法, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 406-410.
- 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, 水工研報, pp. 65-87.
- 三村信男・加藤 始・角田義紀・宮本英明・伊佐治 進(1991): 大洗における港湾構造物の建設に対する海岸地形の応答, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 401-405.