

鹿島灘海岸北部における粗粒材養浜とサンドバイパスの効果検討

Investigation of Effectiveness of Beach Nourishment using Coarse Material and Sand Bypassing at Northern Kashimanada Coast

谷沢 肇¹・宇多高明²・松浦健郎³・菊池泉弥⁴・福本崇嗣⁵・熊田貴之⁶

Hajime YAZAWA, Takaaki UDA, Takeo MATSU-URA, Izumi KIKUCHI
Takashi FUKUMOTO and Takayuki KUMADA

As a long-term measure of the northern Kashimanada coast facing the Pacific Ocean, the effect of sand bypassing in which sand originally supplied from the Naka River, one of the main source to this coast, and deposited inside Oharai Port is transported to the southern beach, was investigated using the contour-line-change model considering changes in grain size proposed by Kumada et al. (2007). The effectiveness of beach nourishment using coarse material was also investigated. It was shown that sand bypassing is effective for not only the maintenance of navigation channel but also raising the offshore seabed. In addition, the effectiveness of beach nourishment using coarse sand is also shown.

1. はじめに

鹿島灘に面する大洗海岸では、1980年代以降大洗港防波堤の建設とともに波の遮蔽域へと向かう沿岸漂砂が生じ、港内では大量の砂が堆積する一方、37～40号ヘッドランド（以下HL）付近では侵食が著しく進み、護岸が直接波に曝される状態となった。このような海浜変形と同時に底質粒径も変化し、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環境にも影響が及んだ結果、近年では漁獲量の低下が著しい。こうした背景のもとで、木村ら（2006）は、上記問題を解決するため海浜地形・底質粒径変化の予測が可能な熊田ら（2005）のモデルを大洗港の南側海岸に適用し、HLの規模の相違が海浜地形と底質粒径の変化に及ぼす影響を評価し、40号HLを水深6mまで延伸することが有効なことを示した。しかしこの対策を行ったとしても、40号HLの南側直近では砂が堆積するものの、37, 38号HL付近では依然として侵食が続き、港内への砂の流入も時間経過とともに増大することが予測され、中・長期的な対策も必要なことが明らかになった。そこで本研究では、鹿島灘海岸北部における今後の中長期的対策として、粗粒材養浜と、大洗港南防波堤の東側における那珂川起源の堆積土砂を南側海岸へ運ぶサンドバイパスの効果について熊田ら（2007）の地形・粒径変化予測モデルを用いて評価した。

2. 計算条件

計算は鹿島灘海岸全域を対象とし、漂砂境界となる大洗港から鹿島港までの海岸全域における土砂収支を把握した上で、勝山ら（2007）と同じ計算座標・地形を採用し、勝山らによる再現地形・粒径をそのまま用いた。表-1には計算条件を示すが、全体で5ケースの計算を行った。ケース1は1996年を初期地形（平行等深線）とし、10年後の2006年の地形粒径分布を再現する。ケース1の計算モデル地形を図-1に示す。汀線変化解析によれば、1996～2006年における対象区域での平均侵食量は11.7万m³/yrである。この場合、大洗港での堆積データは欠測しているが、浚渫量は年間5000m³以下と小さく、また汀線変化解析によれば大洗港付近での堆積と、南側の銚田海岸付近までの侵食量はほぼ釣り合っている。これに対して、鹿島港による侵食影響を受ける銚田・大洋海岸から鹿島港にかけては土砂収支が負になることから、侵食土砂は鹿島港内に堆積した可能性が高いと考えられる。そこで計算領域の南端に土砂の吸い込み境界（11.7万m³/yr）を設定した。

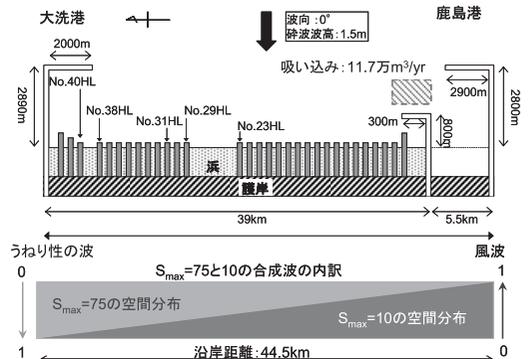


図-1 計算モデル地形、およびうねり性の波と風波の合成法

- | | | |
|---|-----|--|
| 1 | | 茨城県水戸土木事務所河川整備課 課長 |
| 2 | 正会員 | 工博 (財)土木研究センター常務理事なごさ 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 |
| 3 | | 茨城県高萩工事事務所河川整備課 主任 |
| 4 | | 茨城県常陸大宮土木事務所河川整備課 係長 |
| 5 | | 東京都庁港湾課 |
| 6 | 正会員 | 博(工) (株)水圏科学コンサルタント 技術部 |

入射波条件としては、1991～2003年の大洗・鹿島港沖での観測結果からエネルギー平均波をそれぞれ算定し、その平均値を代表波として碎波波高（合田の碎波式より算定）を $H_b=1.5m$ 、周期を8sとした。波向は展開座標を採用することから海岸線に対して直角方向とした。また、対象海岸では冬季・夏季にはそれぞれ北寄り・南寄りの波の作用が卓越し、大洗港周辺ではうねり性の波を強く受け、鹿島港付近以南では風波の作用が著しい。大洗から鹿島にかけての海岸線は大きく湾曲し、とくに鹿島灘においては、南からの波の作用は犬吠埼により大きく遮蔽

表-1 計算条件

数値計算手法	粒径を考慮した等深線変化モデル(熊田ら,2007)
計算対象	大洗海岸～鹿島海岸
計算ケース	1. 2006年地形の再現 2. 現況のまま放置 3. 粗粒材養浜 4. 40号HL南側から23～29号HLへのサンドリサイクル 5. 大洗港防波堤東側から29号HL南1kmおよび31～32号HLへのサンドバイパス
初期地形	1996年再現地形(ケース1) 2006年再現地形(ケース2～5)
初期粒径	1996年再現粒径(ケース1) 2006年再現粒径(ケース2～5)
養浜粒径	ケース3 5mm(100%) ケース4 40号HL堤南側の構成砂 ケース5 0.15mm(100%)
養浜材平衡勾配	ケース3 1/7(神向寺海岸の実測結果) ケース4 1/20(粗粒径集団) ケース5 1/65(細粒径集団)
交換層の幅	B=2.7m
入射波条件	・碎波波高 $H_b=1.5m$ (1991年～2003年のエネルギー平均波) ・碎波波高 $\alpha_b=0^\circ$ ・潮位条件 M.S.L. 0.0m ・うねり性の波 ($S_{max}=75$)から風波 ($S_{max}=10$)へと変化する合成波
地形変化の水深範囲	・地形変化の限界水深 $h_c=8m$ ・バーム高 $h_b=3m$
境界条件	・岸沖端境界:通過漂砂量0 ・南端境界(1996～2002年):11.7万 m^3/yr の吸い込み境界 ・南端境界(2002～2026年):10万 m^3/yr の吸い込み境界 ・構造物境界:防波堤,護岸,突堤・ヘッドランド
漂砂量係数	・漂砂量係数内のA=0.5 ・小笹ブランプン項の係数 $\xi=2.5$ ・岸沖漂砂量係数 $Kz/Kx=0.2$
漂砂量の水深分布	宇多・河野(1996)の3次式
土砂落ち込みの限界勾配	陸上:1/2, 水中:1/3
計算範囲	沿岸方向:38.8km 鉛直方向:z=5m～-15m
計算メッシュ	沿岸方向 $\Delta x=200m$, 鉛直方向 $\Delta z=1m$
計算時間間隔	$\Delta t=0.025hr$
計算ステップ数	13,333,334steps
数値計算方	陽解法による差分法
その他	波浪場の計算法:酒井ら(2003)の方向分散法

されるため波高が低下すると考えられる。そこで $S_{max}=75$ および $S_{max}=10$ の回折係数を方向分散法よりそれぞれ計算し、碎波波高を乗じて波高分布を算定し、大洗港から鹿島港へと $S_{max}=75\sim 10$ の波になるよう重み付けした合成波を作成した(図-1参照)。なお、 S_{max} は、実際の地形変化と合うよう試算を繰り返して値を決定した。地形変化の範囲は、実測の縦断形比較より、バーム高($h_b=3m$)から波による地形変化の限界水深($h_c=8m$)までとした。なお h_c は場所により若干変動し、大洗港周辺では9mであるが、銚田海岸や鹿島海岸までを含めるとほぼ8mとなる。そのほか漂砂量係数、漂砂量の水深分布、土砂落ち込みの限界勾配などはまとめて表-1に示す。初期粒径は、1996年に鹿島灘海岸全域で平面的に採取された底質粒径データをもとに設定した。勾配1/20の汀線付近と、勾配1/65である水深5mにおいて、それぞれ沿岸方向に平均した粒度組成を求め、これより含有率最大の粒径(0.15mm)と、それに続いて高い含有率の粒径(0.075, 0.3mm)を代表粒径として選んだ。また粒径ごとの含有率は、沿岸方向全域で一定とし、汀線近傍(-0.8m)での粒度組成は6%(0.075 mm), 62%(0.15mm), 32%(0.3mm)、水深5mでの粒度組成は34%, 60%, 6%とした。予測期間はいずれの場合も現況から20年後の2026年とする。

ケース2は、2006年の再現地形を初期地形とし、現況のまま20年間放置した場合の予測である。図-2には設定条件を示す。このケースでは40号HLと鹿島港の防波堤も延伸されている。予測期間である20年間、ケース1と同様南端には土砂の吸い込み境界(11.7万 m^3/yr)を設定した。ケース3では、神向寺海岸で用いられている粗粒材($d_{50}=5.0mm$)を38～31号HL間に2万 m^3/yr の割合で養浜し、将来地形・粒径を予測した。この場合、粗粒材の平衡勾配は神向寺海岸での実測結果(野川ら, 2008)より1/7とした。ケース4では、大洗港南防波堤の東側に堆積した土砂を6万 m^3/yr の割合で29～23号HL間の-5, -6, -7mにサンドリサイクルし、将来地形・粒径を予測した。その場合、粒径は1986年1月の実測結果より $d_{50}=0.15mm$ とした。土砂投入水深は、バージによる輸送が可能な水深と、チョウセンハマグリ(の生息水深を考慮して-5,-6,-7m区間とした。

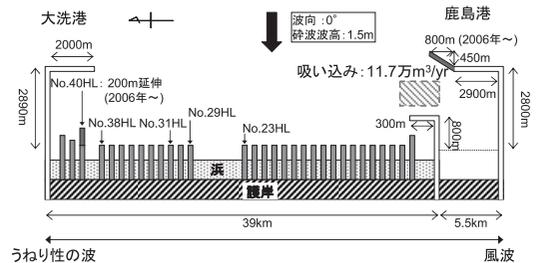


図-2 ケース2(2006年を初期地形として2026年の地形・粒径を予測)の設定条件

3. 計算結果

(1) 現況再現 (ケース1) と放置 (ケース2)

現況再現計算における初期地形 (1996年) を図-3に, また2006年の再現等深線と1964年基準での水深変化量を図-4に示す. 大洗・鹿島港の防波堤による波の遮蔽域外では地盤高の低下が続き, とくに鹿島港隣接部では土砂吸い込みによる地盤高の低下量大きい. これに対して大洗港防波堤による波の遮蔽域内では, 大量の砂が堆積して等深線が大きく前進している. 大洗港周辺での総堆積土砂量は, 1964年から2006年までで934万 m^3 , 堆積割合は22万 m^3/yr である. この値は, 実測の堆積割合25万 m^3/yr とほぼ一致している. 予測・実測汀線変化の比較では,

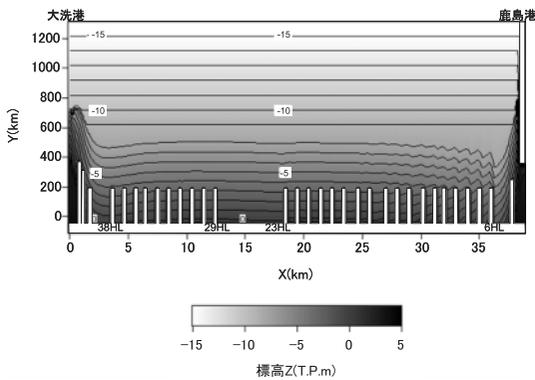


図-3 現況再現計算における初期地形 (1996年)

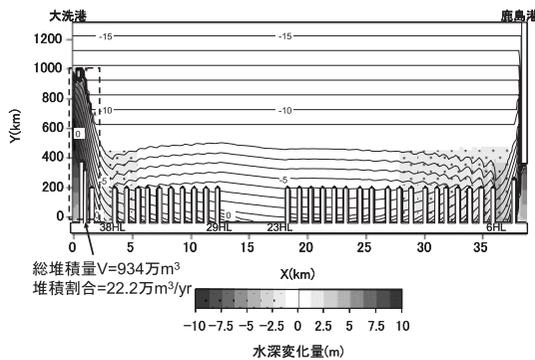


図-4 2006年の再現等深線と1964年基準での水深変化量

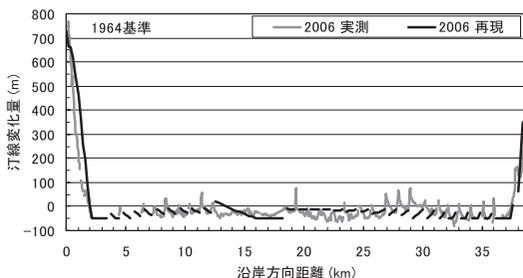


図-5 実測・予測汀線変化の比較

図-5のように両端部付近での汀線前進と, 中央部での汀線後退がほぼ再現できている.

図-6は, ケース2の予測等深線と1964年基準での水深変化量を示す. 鹿島港周辺ではさらに地盤高が低下する一方, 40号HLの南側直近では突堤延伸により堆砂が著しくなり, 突堤北側では突堤による沿岸漂砂の阻止効果が発揮されて侵食が進む.

(2) 粗粒材養浜 (ケース3)

38~31号HL間を対象として, 神向寺海岸で用いられたと同じ粗粒材を2万 m^3/yr の割合で養浜した場合の予測等深線と2006年基準での水深変化量を図-7に示す. 養浜区域の岸側には急勾配の前浜が形成される. ケース2, 3の水深変化量の差を図-8に示すが, 養浜区域では海浜地盤

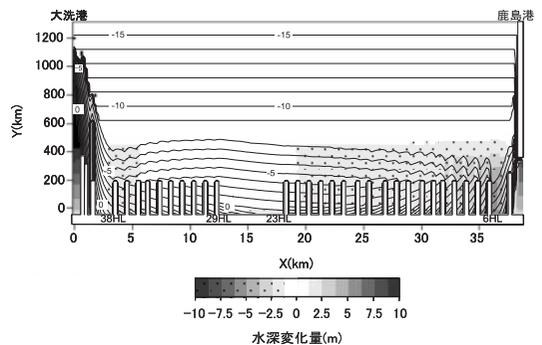


図-6 ケース2の予測等深線と1964年基準での水深変化量

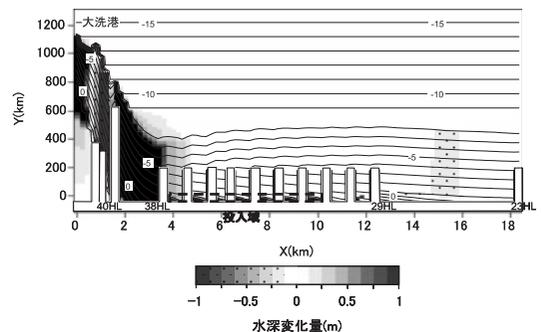


図-7 38~31号HL間に2万 m^3/yr の割合で粗粒材を養浜した場合の予測等深線と2006年基準での水深変化量

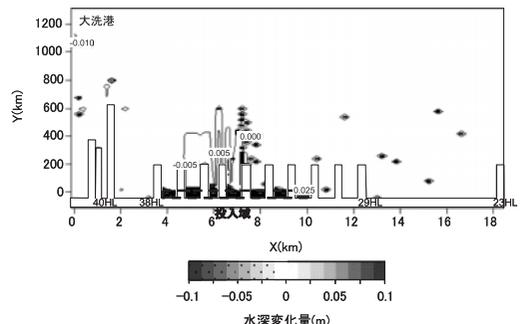


図-8 ケース2, 3の水深変化量の差

高が2m近く上昇している。以上のようにして粗粒材養浜を行うと、粗粒材はヘッドランド間に留まって突出地形が形成されることから、沖合での細砂の移動を部分的に抑制する可能性も考えられる。そこで粗粒材養浜を一部区間でのみ行い、周辺海岸の地形変化状況を調べた。

大洗港から離れた29～30号HL間、33～34号HL間および大洗港近傍の37～38号HL間において1年に5万m³の粗粒材養浜を行い、その後1年間養浜せずにそのまま放置して養浜砂の移動を許した。これより粗粒材養浜を開始した2006年から2年間で経過した時点での地形変化を求めた。比較の基準にはケース2の計算結果を用い両者の差を

求めた。図-9, 10, 11は上記3区域において粗粒材養浜を行った場合の水深変化量の差を示す。これによれば、大洗港から離れた区域で粗粒材養浜を行うほど、養浜区間の沖より南側のかなり広い区域での細砂の堆積量が増加する。また図-11に示すように、大洗港近傍での粗粒材養浜ではその南側の広い区域で堆砂を生じさせるのではなく、投入位置付近での集中的な堆積と、すぐ北側での著しい侵食を引き起こすことから、波の遮蔽域への砂の逆流防止にも一定の効果が認められる。

(3) サンドバイパス (ケース4) およびサンドリサイクル (ケース5)

大洗港南防波堤の東側の堆積土砂を6万m³/yrの割合で29～23号HL間の-5～-7m間にサンドバイパスした場合の予測等深線と2006年基準での水深変化量を図-12に示す。変化量を明瞭に示すためケース2との水深差を求めたのが図-13であるが、投入区域を中心として広範囲で10cm程度地盤高の上昇が起こる。しかし粒径が小さいことから前浜再生への寄与はほとんどない。一方、大洗港近傍での計算では地盤高が低下する。この理由として、養浜された粒径0.15mmの砂が沖の広い区域へ流出し、この結果沖合で地盤高が上昇し、結果として投入点より南側に堆積していたこれより細かい成分の砂が大洗港方面へと流れ

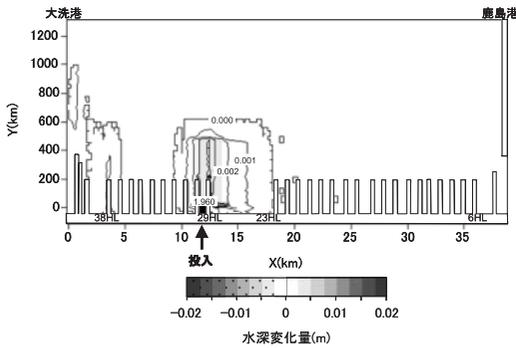


図-9 29～30号HL間で粗粒材養浜を行った場合とケース2(放置)の水深変化量の差

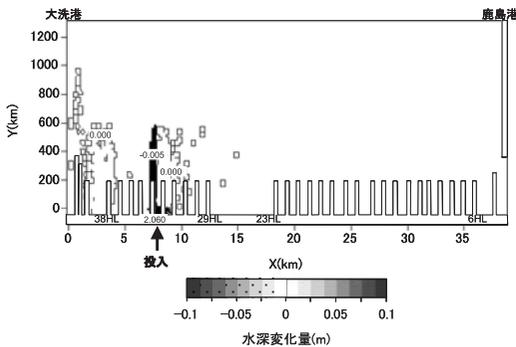


図-10 33～34号HL間で粗粒材養浜を行った場合とケース2(放置)の水深変化量の差

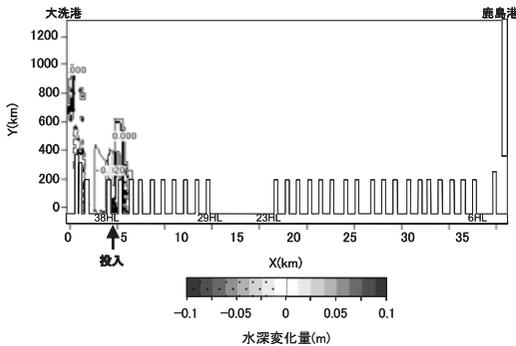


図-11 37～38号HL間で粗粒材養浜を行った場合とケース2(放置)の水深変化量の差

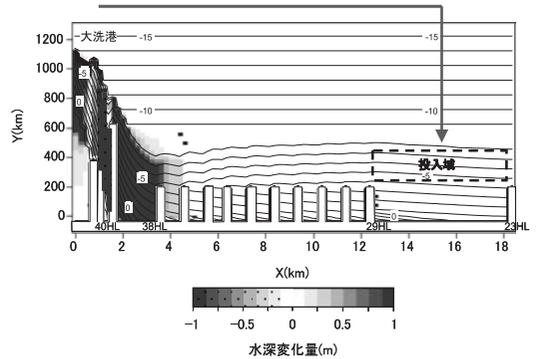


図-12 大洗港の堆積土砂を6万m³/yrの割合で29～23号HL間の沖にサンドバイパスした場合の予測等深線と2006年基準での水深変化量

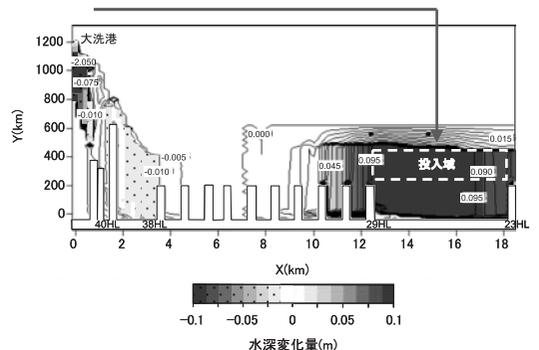


図-13 ケース2との水深差

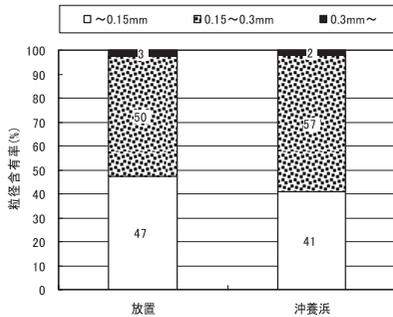


図-14 ケース2,4における大洗港付近 ($X=0\text{ km}$) の水深6 mでの粒度組成の比較

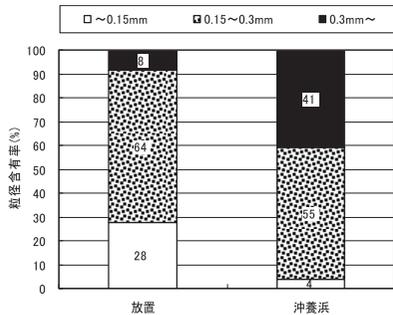


図-15 ケース2,4における38号HL北側 ($X=3.4\text{ km}$) の汀線での粒度組成の比較

ることができなくなったためと考えられる。図-14は、ケース2,4における大洗港付近 ($X=0\text{ km}$, $h=-6\text{ m}$) の粒度組成を比較したものである。0.15mm以下の成分が6%減少し、0.15~0.3mmの成分が増えている。また、38号HL北側 ($X=3.4\text{ km}$, $h=0\text{ m}$) でも同様な整理を行うと、図-15に示すように0.15mm以下の成分が20%以上減少しており、上記現象を裏付ける。次に、29号HLより南に1km区間と31~32号HL間でサンドリサイクルを行う場合の計算も行った。各ケースの地形変化量を図-16, 17に示す。養浜位置が北側へとずれるに従い、投入箇所とその南側での地盤高上昇区域が狭まっており、土砂の投入位置を南側としたほうが効果が大きいことが分かる。

4. 結論

本研究では、鹿島灘海岸を対象として、熊田ら (2007) のモデルを用いて粗粒材養浜の効果と、大洗港の南防波堤の東に堆積している砂を南部海岸へ運ぶサンドバイパスの効果について検討した。この検討により、以下が明らかになった。①38~31HL間での粗粒材養浜では、粗粒材は汀線付近に留まり海岸保全上の効果大きい。また汀線付近の地盤高上昇により沖に突出した地形を形成するために、沿岸漂砂による細砂の移動を部分的に抑制する効果が出る。②粗粒材養浜を、大洗港から離れた漂砂上手側の区域で行うほど、養浜区域の南側に形成される

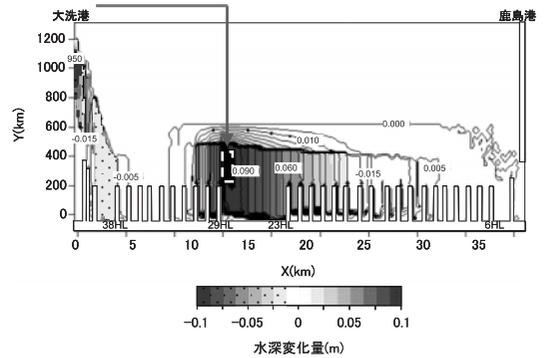


図-16 29号HLより南に1km区間でサンドリサイクルを行った場合の地形変化

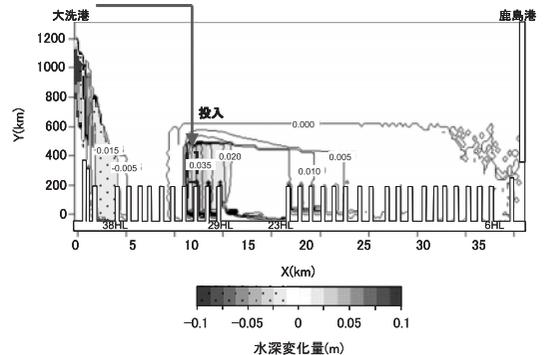


図-17 31~32号HL間でサンドリサイクルを行った場合の地形変化

堆積域が広がる。③大洗港南防波堤東側の堆積砂をサンドバイパスすれば、大洗港の航路埋没防止に加え、投入箇所沖の広域の海底地盤が上昇する効果が得られる。これは底質環境の維持にも貢献すると考えられる。

参考文献

- 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.
- 勝山 均・松浦健郎・宇多高明・熊田貴之・長山英樹・住谷勉夫 (2007) : 鹿島灘海岸の侵食の実態と変形予測, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.576-580.
- 木村 泉・佐田明義・宇多高明・高橋 功・熊田貴之・大木康弘 (2006) : 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, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.676-680.
- 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.
- 熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄 (2007) : 卓越粒径集団に応じた平衡勾配を考慮した等深線・粒径変化モデル, 土木学会論文集B, Vol.63, No.2, pp.154-167.
- 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.
- 野川康利・宇多高明・松浦健郎・阿部 良・長山英樹・大木康弘 (2008) : 神向寺海岸における礫養浜の歩留まり検討, 海岸工学論文集, 第55巻. (投稿中)