

鹿島灘海岸の侵食の実態と変形予測

Beach Erosion of Kashimanada Coast and Prediction of Beach Changes

勝山 均¹・松浦健郎²・宇多高明³・熊田貴之⁴・長山英樹⁵・住谷廼夫⁶

Hitoshi KATSUYAMA, Takeo MATSU-URA, Takaaki UDA, Takayuki KUMADA
Hideki NAGAYAMA and Michio SUMIYA

On the Kashimanada coast, fine sand was selectively transported and deposited in the wave-shelter zone behind the offshore breakwater built on both ends of the coastline, whereas beach was eroded in the central part of the coastline. As a measure, artificial headlands have been constructed on this coast, but beach erosion is still severe. The contour-line-change model considering the effect of changes in grain size was applied to this coast, and the effect of the measure was evaluated. The differences between the total accreted and eroded volumes of sand in the condition with/without headlands became 7.4×10^6 and $8.1 \times 10^6 \text{ m}^3$. Thus, it was found that the movement of approximately $8.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ of sand was controlled by headlands.

1. はじめに

鹿島灘海岸は、茨城県の大洗港から波崎漁港までの延長約 71 km (大洗～鹿島港間は 39 km) の砂浜海岸であるが、1960 年代以降大洗・鹿島港と波崎漁港の建設に伴い、防波堤による波の遮蔽域外から内側へと向かう沿岸漂砂が生じ、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。このような底質粒径の変化は、海底に生息するハマグリ等の生存を大きく左右することも同時に報告されており、現在日本一の漁獲高を誇る鹿島灘の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。

住谷ら(2005)は、鹿島灘海岸南部の鹿嶋海岸を対象として、熊田ら(2005)の地形・粒径変化モデルを用いてその機構解明を進めるとともに、ヘッドランド(HL)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した。また、木村ら(2006)は同様のモデルを大洗・旭海岸に適用し、対策工(HL)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、最適対策案を提案した。しかしこれらの検討は局所的対策の評価に主眼があり、長い海岸線の一部を切り出した領域での計算であったために、境界条件の設定にあいまいさが残されていた。このことから、本研究では鹿島灘海岸全域を対象とし、海岸全域における土砂収支を把握した上で上述のあいまいな仮定を排除し、鹿島

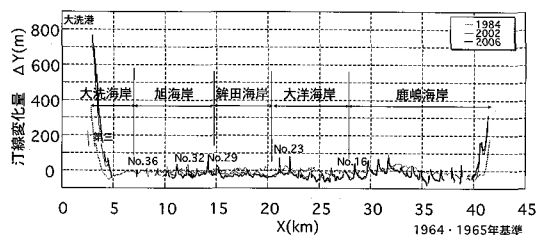


図-1 汀線変化 (1964～2006年)

灘海岸全域における HL 建設が海浜形状とともに底質粒径に及ぼす影響を及ぼしたかを定量的意味から評価する。

2. 海浜地形変化の実態

(1) 汀線変化

大洗港～鹿島港について空中写真より汀線位置を読み取り、それより汀線変化量の沿岸方向分布を算出した。同様な検討は木村ら(2006)でも行ったが、本研究では新たに 2006 年の空中写真データを加えた。1964～2006 年の汀線変化が図-1 である。図中のパルス状の変化は HL 設置に伴う汀線変化である。これによれば、まず大洗港防波堤による波の遮蔽域で汀線が大きく前進し、最大汀線前進量は約 700 m に達した。大洗港の東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、那珂川方面から漂着する砂は南側海浜に運び込まれることができない。従ってこの堆積に要した砂は南側海浜から運び込まれる以外方法がなく、これが大洗港南部の広い区域での侵食要因となった。2006 年の汀線変化は 2002 年までの変化がさらに強調されたものとなっている。鹿島港の北側隣接域でも大洗港とよく似た汀線変化が起き、隣接の平井浜では前浜が大きく広がったが北部は侵食傾向となった。

(2) 鹿島港周辺における土砂堆積状況

鹿島港では深浅測量データをもとに防波堤周辺におけ

1	茨城県土木部河川課 課長補佐
2	茨城県土木部河川課
3 正会員 工博	(財)土木研究センター理事なきさ総合研究室 長兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科
4 正会員 博(工)	(株)水圏科学コンサルタント
5 修(工)	(財)土木研究センター河川・海岸研究部
6	(財)土木研究センター専門調査役

る堆砂量の変化が調べられている。図-2は国土交通省(2002)に示された結果をそのまま示したものである。原データでは、鹿島港の南防波堤の先端を境とし、それより南側が港外(南防波堤以南)と呼ばれている。また中央防波堤の先端と南防波堤を結ぶ線より内側が港内、その北側の平井防砂突堤までの区域が港外(南防波堤以北)と呼ばれている。これらの区域設定に関連し、南防波堤の先端水深は24 m(2004年当時)であり、当海岸における h_c 約8 mより十分深いので、南防波堤により沿岸漂砂は遮断される。一方、中央防波堤の先端水深は当初8 m(1984年当時)であったが、北側からの漂砂によって先端付近で堆砂が起きたため、漂砂を完全に阻止する長さとはなっていない。これらの点を考慮すれば、これら3区域のうち港内と港外(南防波堤以北)と、両者の和を調べることが鹿島港の北側海浜から南防波堤による波の遮蔽域への漂砂を調べる上で必要となる。図はこれらの土砂量の変化を示すが、毎年港内と港外(南防波堤以北)での堆積土砂量はよく似た量となっており、中央防波堤が現況の状態まで延ばされた1989年以前、堆積量は経年的に単調に増加した。その後航路浚渫が行われたため一時的な減少も見られたが、1996年からは再び土砂量が増加傾向となった。港内と港外を区別する線は便宜上定められたものであり、漂砂から見れば物理的意味はないので、両者の和を求めた結果、1981～1999年で約1,400万 m^3 の堆積が生じたことが分かった。

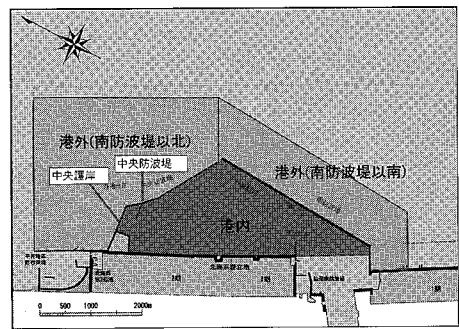
3. 地形・粒径変化モデルによる再現および予測計算

(1) 計算条件の設定

大洗～鹿島港間を対象とする海浜変形予測には熊田ら(2005)の等深線変化モデルを用いた。計算は4ケースからなる。ケース1では、港建設前の1964年を初期地形として、1984年(港建設後、HL建設前)の地形・粒径分布を再現した。汀線変化解析に基づく前浜面積の変化に漂砂の移動高を乗じると、この間対象区域で約500万 m^3 の土砂が侵食されて消失したが、この量は鹿島港内の堆砂量約600万 m^3 とほぼ対応していた。一方、大洗港内での堆積データは欠損しているが、浚渫量は年間5,000 m^3 以下と小さく、また汀線解析によれば大洗港から鉾田海岸付近まで土砂収支がほぼ取れていた。これに対して、鹿島港の影響を受ける鉾田・大洋海岸～鹿島港では土砂収支が負になることから、主な侵食域は鹿島灘海岸の中央部～鹿島港であり、侵食土砂は鹿島港内に主に堆積した可能性が高いと考えられる。そこで計算領域南端に標高3 m～水深8 mに等分布で土砂の吸い込み境界(25万 m^3 /yr)を設定した。

ケース2では、1984年を初期としてHLが鹿島灘海岸南部に建設されて12年が経過し、さらに鹿島港の防波堤も延伸された1996年の地形・粒径を再現した。こ

の10年間の汀線変化解析および港内堆砂量を調べると、港内での堆積量はほとんどなく対象海岸の土砂収支は取れていた。これは鹿島港中央防波堤の延伸により港内への土砂流入が一時的に阻止されたためと考えられる。そこで計算領域南端を横切る土砂量は0とした。ケース3では、1996年を初期地形(HLは全域で設置)として2002年の地形・粒径を再現した。この間では対象海岸北部にもHLが建設され、また大洗港の防波堤も延伸された。汀線変化解析によるとこの6年間に約600万 m^3 の土砂が消失しており、これは鹿島港内の堆砂量約700万 m^3 とほぼ対応を示す。そこで、計算領域の南端に水深6～8 mに等分布で土砂の吸い込み境界(95万 m^3



出典：平成14年度 鹿島港内堆砂調査
国土交通省関東地方整備局 鹿島港内工事事務所

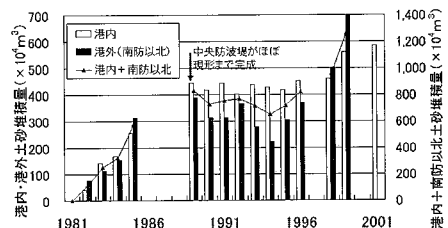
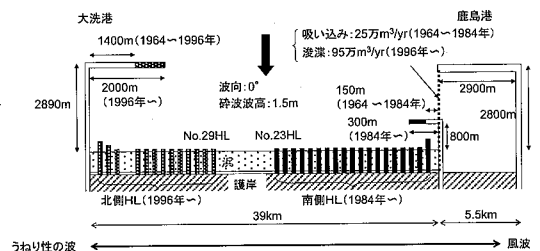


図-2 鹿島港港湾域における堆砂量の変化(1981年基準)



(a) 計算範囲

(b) 初期縦断面形

図-3 計算範囲と縦断面形

/yr)を設定した。ケース4は、1996年初期地形としてHLを設置しなかった場合の2002年の地形・底質分布を評価するケースである。

防波堤建設による地形・粒径変化を再現対象とするため、計算には展開座標を用いた。その際、大洗・鹿島港の防波堤による波の遮蔽域の影響が及ばない、十分離れた場所におけるほぼ安定的な海岸線を基準汀線と考え、この基準海岸線の延長線と直角方向、防波堤先端までの距離を離岸距離とする。計算モデル地形を図-3に示す。海浜縦断面については、まず鹿島灘海岸全域の実測断面の重ね合わせを行い、それをもとに水深毎に平均的な勾配を設定することとし、汀線より陸側は1/20、汀線から-8mまでが1/65、-8m以深は1/100とした。この勾配は、計算において設定すべき平衡勾配としても利用した。

入射波条件としては、1991～2003年に大洗港と鹿島港沖で観測された波のエネルギー平均波を算定しその平均値を代表波として、砕波波高を $H_b=1.5$ m、周期を8sとした。波向は展開座標を採用していることから海岸線に対して直角方向とした。また、対象海岸は冬季と夏季で北側・南側から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～波崎港側では風波の作用が著しい。そこで $S_{max}=75$ および $S_{max}=10$ の回折係数を方向分散法により計算し砕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 $S_{max}=75$ から $S_{max}=10$ の波となるよう重み付けした合成波を作成した。また潮位は平均海面とした。地形変化の範囲は、実測の縦断面比較よりバーム高($h_R=3$ m)から $h_c=8$ mまでとした。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、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した底質粒径データをもとに設定した。まず勾配1/20の汀線近傍と、勾配1/65である-5mで、それぞれ沿岸方向に平均した粒径分布を図-4に示すように求め、ピーク粒径(0.15mm)と、それに続いて含有率の高い粒径(JIS規格のふるい目:0.075mm, 0.3mm)を選定した。粒度組成は、平均化された汀線より陸側と沖側の粒径分布よりそれぞれ求め、沿岸方向全域で同一分布を仮定した。陸側と沖側での粒度組成は、それぞれ6%(0.075mm), 62%(0.15mm), 32%(0.3mm)、および同じ順に34%, 60%, 6%とした。

(2) 計算結果

a) 1984年の再現(ケース1)

防波堤建設前の1964年の初期地形は、平行等深線形状で与えた。計算領域の右端では、25万 m^3/yr の吸い込み境界を設定した。図-5には1984年までの水深変化量を示す。両端にある港湾の防波堤による波の遮蔽域内

表-1 計算条件

初期地形	・実地標の1964年地形を再現した平行等深線(5m～0m:縦断勾配1/20, 0m～-8m:1/65, -8m～-15m:1/100, -15m～:水平床)
初期粒径	・細粒径集団($i=1$)0m以深 (0.075mm:34%, 0.15mm:60%, 0.3mm:6%) ・粗粒径集団($i=2$)標高0～5m (0.075mm:6%, 0.15mm:62%, 0.3mm:32%)
平衡勾配	・ $\tan \beta_c^{(1)}=1/65$ (細粒径集団)(実測縦断面比較より) ・ $\tan \beta_c^{(2)}=1/20$ (粗粒径集団)
交換層の幅	$B=2.7$ m
入射波条件	・砕波波高 $H_b=1.5$ m(91年～03年のエネルギー平均波) ・砕波波高 $\alpha_b=0^\circ$ ・地形特性より大洗港側から鹿島港側へうねり性の波($S_{max}=75$)から風波($S_{max}=10$)へと変化する合成波を採用
地形変化の水深範囲	・地形変化の限界水深 $h_c=8$ m・バーム高 $h_R=3$ m
境界条件	・岸沖端境界:通過漂砂量0 ・側方(南端)境界(1984年再現):25万 m^3/yr の吸い込み境界設定 ・側方(南端)境界(2002年再現):95万 m^3/yr の吸い込み境界設定(波深境界) ・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 $A=0.5$ ・小径プラントン項の係数 $\zeta=2.5$ ・岸沖漂砂量係数 $K_z/K_x=0.2$
土砂落ち込みの限界勾配	陸上:1/2, 水中:1/3
計算メッシュ	沿岸方向 $\Delta x=200$ m, 鉛直方向 $\Delta z=1$ m
計算時間間隔 Δt	$\Delta t=0.05$ hr
計算ステップ数	1,000,000 steps

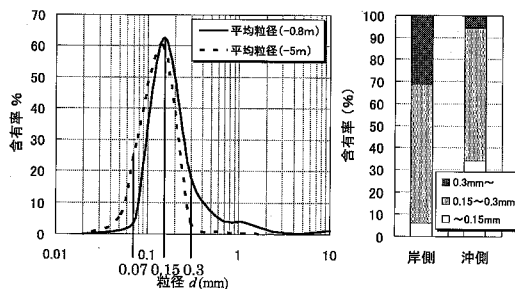


図-4 底質砂の粒径分布および含有率

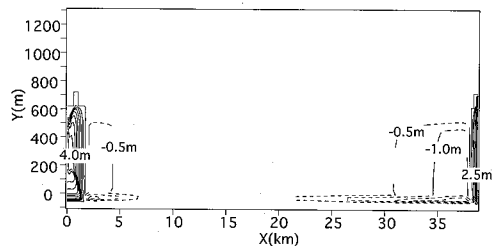


図-5 水深変化(ケース1:1964年 vs. 1984年)

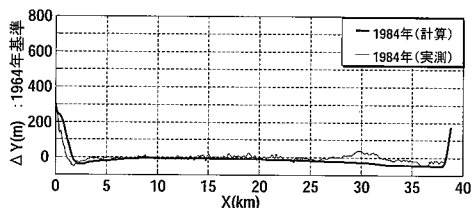


図-6 1984年の汀線変化比較

では砂が堆積し、遮蔽域外では侵食が起きている。とくに南端の25万 m^3/yr の吸い込みの影響により、鹿島港

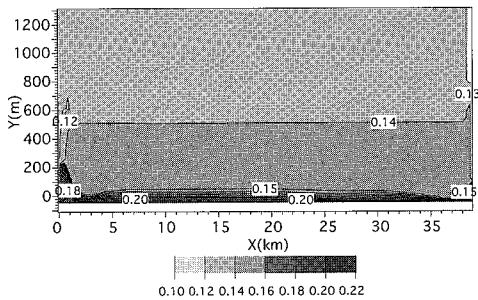


図-7 1984年の平均粒径分布

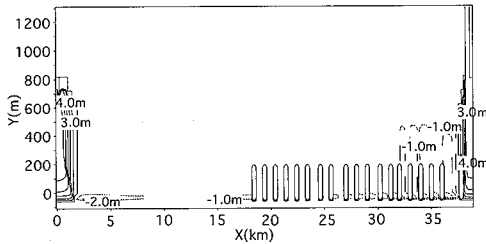


図-8 水深変化 (ケース2: 1964年 vs. 1996年)

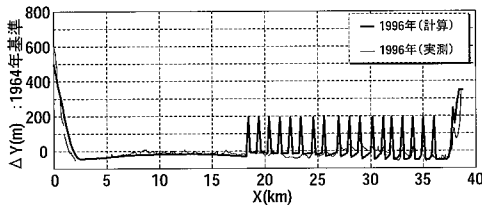


図-9 汀線変化比較

周辺の海岸では地盤高が大きく低下していることが分かる。実測の汀線形状と計算結果を比較したのが図-6であるが、大洗・鹿島港における最大汀線前進量はそれぞれ約 300 m, 200 m, 遮蔽域外での最大汀線後退量は約 50 m と、計算は実測をほぼ再現している。1984 年の平均粒径の予測結果を図-7 に示す。防波堤による波の遮蔽域内では細粒分が堆積し、周辺の遮蔽域外では粗粒化するという結果となった。

b) HL 建設後の 1996 年の再現 (ケース 2)

1996 年までの地形変化量を図-8 に示す。このケースは、23 号 HL より南側全域に HL を建設した後の計算結果である。1984 年と比較すると全体に侵食が進み、同時に堆積量も増大している。実測汀線変化量との比較が図-9 である。若干の変動はあるものの実測と同程度の汀線の前進後退がほぼ再現された。HL 間の汀線形の再現はできていないが、マクロ的变化は再現可能である。図-10 は 1996 年の平均粒径の計算結果である。HL のある南側と HL のない北側区域を比較すると、HL 区域の方が前浜にある粗な粒径が多く歩留まっている。図-11 は、実測と計算の粒度組成の比較である。大洗港 (a) および鹿島港付近の堆積域 (e) では細粒分が多く、40

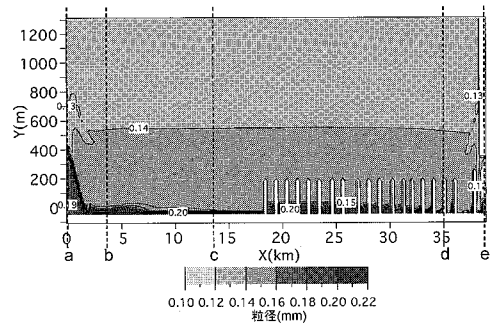


図-10 1996年の平均粒径分布

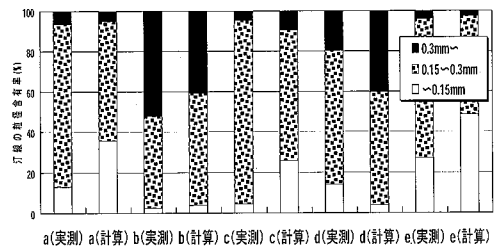


図-11 粒度組成の比較 (実測と計算)

号 HL (b) や神向寺海岸などの侵食域 (d) では粗粒分が多くなっており、実測の粒径分級特性を良く再現している。また、鹿島灘海岸では比較的侵食の少ない大竹海岸 (c) などの粒度組成もうまく再現できた。

c) 全域に HL 建設後の再現 (ケース 3)

2002 年までの地形変化量を図-12 に示す。水深変化量は、ケース 1, 2 と比較して全体的に侵食および堆積量が増大している。実測との汀線変化比較が図-13 である。計算は実測の汀線変化をかなり良く再現している。図-14 は平均粒径の計算結果である。HL の完成により HL 間の前浜に粗な粒径が多く留まるといった結果となった。図-15 は実測と計算の粒度組成の比較である。初期粒径の仮定が影響して再現結果にややばらつきはあるものの、大洗港および鹿島港付近の堆積域では細粒分が多く、40 号 HL や神向寺海岸の侵食域では粗粒分が多いことから、計算は実測値をかなりうまく再現している。

d) HL がなかった場合の予測 (ケース 4)

HL を建設しないで 2002 年に至った場合の地形変化

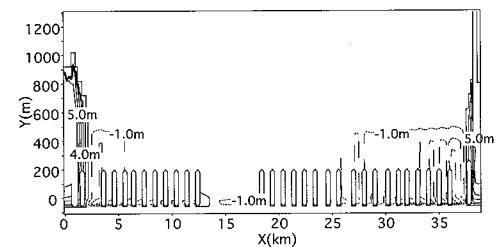


図-12 水深変化 (ケース3: 1964年 vs. 2002年)

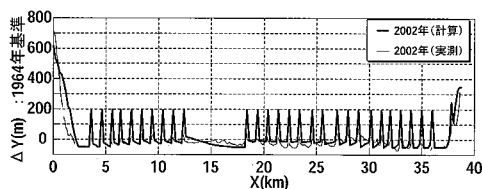


図-13 汀線変化比較

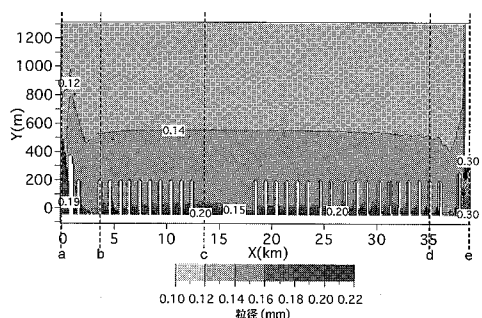


図-14 2002年の平均粒径分布

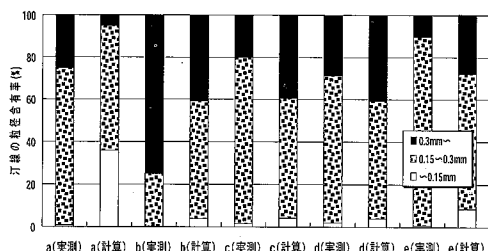


図-15 粒度組成の比較 (2002年:実測と計算)

量を図-16に、また現況再現結果からの水深変化量を図-17に示す。HLがなかった場合地盤高低下域が全域に広がり、沖合では0.5m、岸側では2mの地盤高の低下が起こる。一方、両端部では2～6mもの地盤高の上昇となった。HLが建設されていなければ沖合も含めて全域で侵食が進み、港付近の地盤高をさらに上昇させる結果となることが分かる。HLなしと現況で平均粒径の計算結果の差を求めたのが図-18である。現況と比較すると沖合での変化は小さいが、港近傍への集中的な土砂移動に伴い中央部海浜の汀線近傍では粗粒化が進んでいる。HLがない場合、現況と比較して侵食域の前浜部分全域で細粒化しており、堆積域では粗粒化するという結果となった。これは、HLがないと前浜部分を構成する粗粒材が歩留まることができず、港近傍に移動するため起こる変化であり、侵食により前浜部分が消失し、そこには水深の大きい海底地盤となったため細砂で覆われ、細粒化したと考えられる。

4. 結 論

2002年を対象として、HLがなかった場合とHLがある場合(現況)の計算結果から堆積・侵食量および汀線

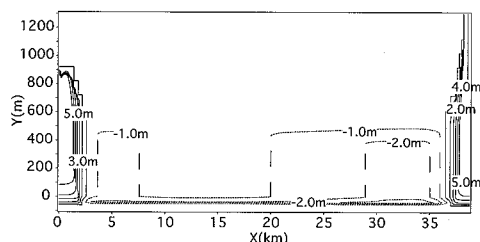


図-16 水深変化 (ケース4:1964年 vs. 2002年)

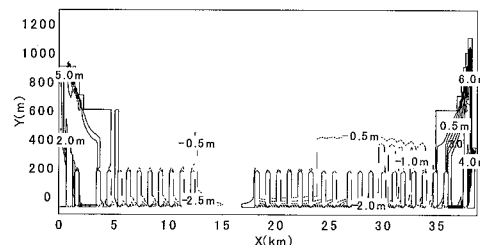


図-17 HLの有無による地形変化量の差

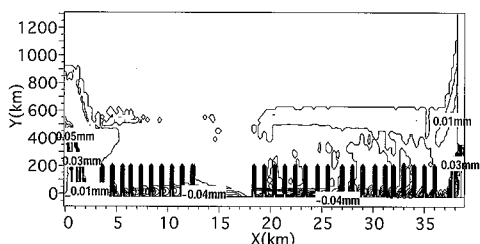


図-18 HLの有無による平均粒径の差

変化量の差違を算出した結果、総侵食・堆積量はそれぞれ約740万 m^3 、810万 m^3 であり、約800万 m^3 の土砂がHLによって移動制御され、侵食と港内堆砂を防止する結果となった。以上より、HLは漂砂を制御するとともに、侵食を軽減し、同時に港内堆砂を防止する効果があることが明らかである。現在までにHLを建設していなければ、侵食域の拡大と港内の航路埋没がさらに深刻化していたことになる。

参 考 文 献

- 宇多高明・住谷勉夫・小林洋三(1986):茨城県における海浜変形の実態, 地形, Vol. 7, pp. 141-163.
- 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.
- 国土交通省関東地方整備局鹿島港湾空港工事事務所(2002):平成14年度鹿島港港内現況調査報告書, p.22.
- 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(2005):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沿岸への適用, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 546-550.