

利根川からの土砂流入のある波崎漁港周辺の海浜変形の実態と予測

Beach Changes around Hazaki Fishing Port next to Tone River Mouth and Their Prediction

宇多高明¹・勝山 均²・松浦健郎³・熊田貴之⁴・長山英樹⁵・大木康弘⁶

Takaaki UDA, Hitoshi KATSUYAMA, Takeo MATSU-URA, Takayuki KUMADA
Hideki NAGAYAMA and Yasuhiro OKI

Beach changes on the Hazaki coast extending between Kashima Port and Hazaki fishing port were investigated. Numerical simulation of beach changes and grain size changes were carried out, using the contour-line-change model considering the change in grain size (Kumada *et al.*, 2005). In this area, fine sand is transported from outside to inside the wave shelter zone of the breakwater with the construction of Hazaki fishing port. Furthermore, $10.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ of sand has been supplied from the Tone River and part of fine sand deposited inside the port. The mechanism of deposition of fine sand in the fishing port was well explained by the present model.

1. はじめに

鹿島灘南部, 鹿島港から波崎漁港の間に広がる延長約 16 km の波崎海岸では, 近年かなり顕著な海浜変形が生じている。これには波崎漁港の防波堤建設に伴う地形変化に加え, 漁港に隣接して流入する利根川からの土砂流入も関与していると見られ, 最近でも漁港内では細砂の著しい堆積に悩まされている。一方で, 防波堤による波の遮蔽域外では侵食が発生し, それに伴う粗粒化も進んでいる。この波崎海岸について, 佐藤ら (2000) は, 汀線部での底質粒径の確率密度の沿岸分布を測定し, この分布において底質粒径が河口から離れるに従い増加することを示し, その原因を底質が北向きの沿岸漂砂により運ばれる際, 微細砂成分が沖合へと流出したためと推定した。しかしこの考え方にあてはめると, 波崎漁港の防波堤による波の遮蔽域形成が細砂の堆積に及ぼす効果は考慮されておらず, 結果として波崎海岸全体についての近年の侵食・堆積機構の究明は十分ではなく, 漂砂機構のモデル化を十分行うことができる水準には至っていない。このことから, 本研究では, まず深浅測量データをもとに波崎海岸の長期的海浜変形の実態を明らかにした上で, 熊田ら (2005) の地形・粒径変化モデルを適用して現況の地形と粒径変化の再現計算を試みた。とくに河川からの土砂流入が防波堤近傍にある場合に着目して異常堆砂の実態を明らかにするとともにその機構解明を進める。

2. 海浜変形の実態

(1) 汀線変化

図-1 は鹿島港～波崎漁港間約 16 km における 1984 ～ 2006 年の汀線変化である。1965 ～ 1984 年では, 鹿島港建設時における土砂投棄の影響が強く残されており, 自然現象としての波崎海岸の実態を表さないことから, 1984 年基準の汀線変化として整理した。対象区域の北端には鹿島港の埋立地が, また南端には波崎漁港の防波堤がある。また図中の番号はヘッドランド (HL) の位置を示す。図-1 によると, 漁港の遮蔽域内では著しい堆積が生じて汀線が大きく前進し, それと対照的に北側の 2 号～ 5 号 HL 周辺では侵食が進んでいる。このような汀線変化は防波堤建設によって波の遮蔽域が生じ, 遮蔽域の外側から内側へと沿岸漂砂が生じた場合の典型的な地形変化 (宇多, 2004) である。一方, 4.5 号 HL の北側隣接部では局所的に汀線の後退が進んでいる。なお, 波崎海岸では, 1962, 1984 および 1988 年に汀線に沿って前浜構成材料のサンプリング調査が行われ中央粒径 d_{50} が算出された。これによれば波崎海岸の d_{50} はほぼ 0.2 mm である。

(2) 沿岸漂砂量の沿岸分布

図-1 より鹿島港南端の護岸位置を基準として海浜面積の沿岸方向の累加面積を求め, 宇多 (1997) の推定した漂砂の移動高 (6.4 m) を乗じて土砂量に変換し, 経過年数で割ることにより沿岸漂砂量の沿岸方向分布を求めた。この場合, 鹿島港の埋立地南端の先端水深はほぼ 4 m であり, この点を漂砂は横切ることとは可能ではあるが, 鹿島港建設時における土砂投棄により, この付近の海浜がほぼ安定状態にあると考えられることから, その量は無視できるとして計算を行った。計算結果を図-2 に示す。

いずれの区域でも全体的に南向きの沿岸漂砂が卓越しているが, 1990 年までの実績では沿岸漂砂は現況の 4 号 HL

1 正会員 工博 (財)土木研究センター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
2 茨城県土木部河川課 課長補佐
3 茨城県土木部河川課
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 (株)水圏科学コンサルタント

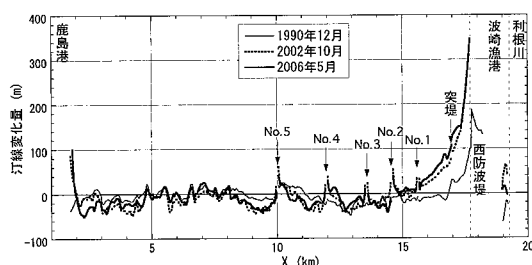


図-1 鹿島港～波崎漁港間の汀線変化 (1984年基準)

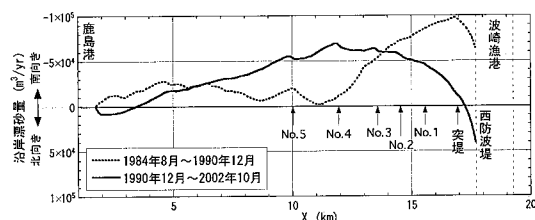


図-2 汀線変化量から推定した沿岸漂砂量の沿岸分布

より南側に集中しており、最大値は $X=17\text{ km}$ での $10\text{ 万 m}^3/\text{yr}$ であった。時間経過とともに最大沿岸漂砂量は減少したが、南向きの沿岸漂砂が生じる区域が北側に大きく広がった。2002年までの最大沿岸漂砂量は $X=12\text{ km}$ での $7\text{ 万 m}^3/\text{yr}$ となった。このように南向きの沿岸漂砂量の生じる区域が北側へと広がった点は、波崎漁港への砂移動区域が当初は漁港隣接部に留まっていたが、時間経過とともに影響域が北側へと広がったことを意味する。

(3) 波崎海岸全体の土砂収支

波崎海岸は利根川河口に隣接している。河口に隣接してその先端水深が約 8 m の防波堤があるものの、利根川はわが国第一の規模を有する大河川であるがゆえに、波崎漁港の防波堤沖を回り込んで波崎海岸に土砂が流入する可能性は否定できない。そこで、まず波崎海岸全体の土砂収支を調べるために、図-1の汀線変化をもとに波崎海岸全体のネットの海浜面積増加量に前述の移動高 6.4 m を乗じて海浜土砂総量の変化を求めた。結果を図-3に示す。この場合、1996年の空中写真によれば西防波堤の南東 500 m に位置する旧西防波堤の隣接部でも堆積が見られたことからその部分の海浜面積の増加量も考慮して土砂量を積算した。図-3によれば、海浜の総土砂量は19年間でほぼ一様に増加している。1984年以降においては、この区域における土砂量の増加要因は利根川からの土砂供給以外存在しない。よって汀線部に利根川から流入した土砂量は約 $5.6\text{ 万 m}^3/\text{yr}$ と推定できる。

(4) 波崎漁港における利根川起源の土砂の堆積

波崎海岸では、沿岸方向に約 1 km 間隔、沖方向には水深 20 m 付近までを包含する深淺測量が1984年以降毎年1回行われてきている。これらの深淺図の比較を行

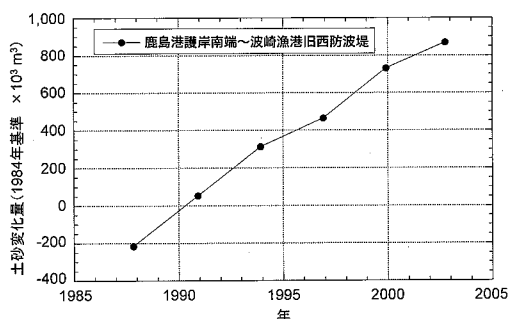


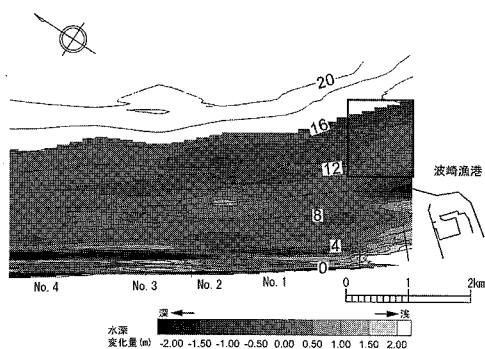
図-3 鹿島港～波崎漁港旧西防波堤間の総堆積土砂量の変化

ったところ、波崎漁港の東防波堤沖の $8\sim 14\text{ m}$ の水深帯で時間経過とともに土砂の堆積現象が見出された。土砂堆積が見られる場所は、波崎漁港の東防波堤の沖合で、防波堤による波の遮蔽域の外側であるから、防波堤による波の遮蔽効果によって沿岸漂砂によって遮蔽域の外側から内側へと砂が運ばれ堆積したものとは考えにくい。一方、この海域は利根川河口に隣接していることから、利根川からの供給土砂が防波堤の存在によって阻止され、その付近に堆積した可能性が高いと考えられる。

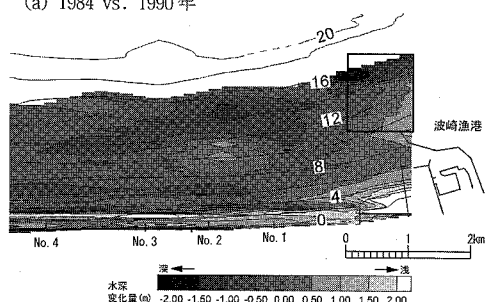
深淺測量は1984年以降毎年行われてきているが、顕著な特性が見られる時期の深淺図を以下に示す。図-4には1990, 1996, 2002, 2005年の海底地形に、1984年を基準とした地形変化量の平面分布を重ねて示す。西防波堤の西側隣接部の波の遮蔽域においては時間経過とともに堆積域が広がり、2005年までには1号HL付近まで堆積が進んだことが見て取れる。これらの特徴は既に示した汀線変化とよく対応しており、防波堤による波の遮蔽域での典型的な変化である。

注目されるのは、各図にその範囲を示す東防波堤沖の沿岸方向に 1 km 、沖方向に 1.2 km の矩形領域の地形変化である。1985～1990年では有意な変化は何も生じていない。しかし1996年では東防波堤沖の区域で、南側の利根川河口側から砂の堆積が起きている。1996年になると東防波堤の先端部が「く」の字形に約 70 m 伸ばされたが、その時期には防波堤のすぐ沖で北西方向に突出するような堆積域が形成された。2002年では防波堤沖の堆積が非常に顕著となり -13 m 付近までの堆積が起きた。最終的に2005年では一部測量範囲が狭くなったが、東防波堤沖での堆積が一層顕著となった。

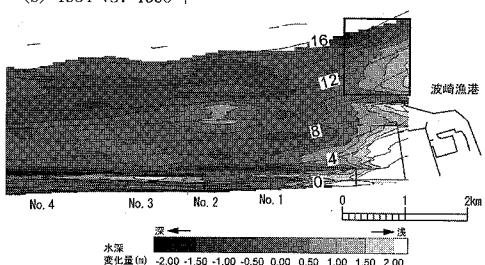
検査区域における1984年を基準とした堆積土砂量を算出したのが図-5である。平均で1992～2002年で約 50 万 m^3 の土砂量が増加した。堆積速度は約 $5\text{ 万 m}^3/\text{yr}$ である。この土砂はその堆積状況から判断して利根川からの流出土砂が堆積したもの判断できる。そして利根川の河床勾配がレベル $\sim 1/9,000$ (布川～河口間) と緩いこと、また上記



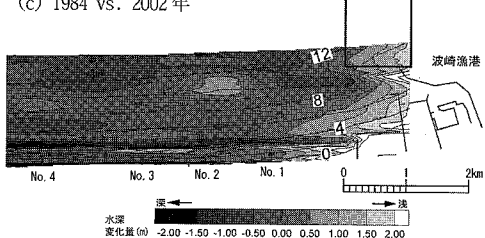
(a) 1984 vs. 1990年



(b) 1984 vs. 1996年



(c) 1984 vs. 2002年



(d) 1984 vs. 2005年

図-4 波崎漁港周辺の深浅図と海底地形変化

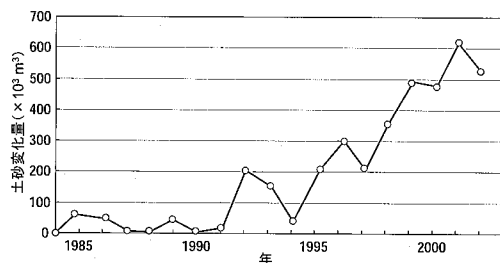


図-5 波崎漁港の東側防波堤沖の検査区域における堆積土砂量の変化

表-1 計算条件

初期粒径	・細粒径集団($i=1$):0 m 以浅 (0.075 mm: 34%, 0.15 mm: 60%, 0.3 mm: 6%) ・粗粒径集団($i=2$): 標高 0~5 m (0.075 mm: 6%, 0.15 mm: 62%, 0.3 mm: 32%)
平衡勾配	・ $\tan \beta_c^{(1)}=1/65$ (細粒径集団) ・ $\tan \beta_c^{(2)}=1/20$ (粗粒径集団)
交換層の幅	$B=2.7$ m
入射波条件	・砕波波高 $H_1=1.5$ m (91年~03年のエネルギー平均波) ・砕波波高 $\alpha_3=0^\circ$
地形変化の水深範囲	・ $h_2=3$ m, $h_c=8$ m
境界条件	・河川境界: 10 万 m^3/yr (粗, 細粒径集団を 1:1 とした混合砂) の湧き出し
漂砂量係数	・漂砂量係数 $A=0.5$ ・小値プラントソンの係数 $\zeta=2.5$ ・岸沖漂砂量係数 $K_z/K_x=0.2$
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	500,000 steps

形とした理由は、1964 年から 1984 年までの間に鹿島港建設の際に投棄した土砂の一部が対象海岸に流入し、著しい海浜変形が起きたためであり、汀線変化解析からその影響がほぼ収束したと見られる 1984 年を基準とした。港の防波堤は 1980 年代後半にはほぼ概成していたため、計算では港を 1984 年の計算当初から設置している。計算座標は展開座標を採用し、計算モデル地形は図-6 のようである。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 -8 m までは 1/65、-8 m 以深は 1/100 とした。初期粒径は、1996 年の鹿島灘海岸全域での平面底質粒径データをもとに設定した。まず局所勾配が 1/20 の汀線近傍と、局所勾配が 1/65 である -5 m 付近で、それぞれ沿岸方向に平均した粒径分布を図-7 に示すように求め、ピーク粒径 (0.15 mm) と、それに続いて含有率の高い粒径 (JIS 規格のふるい目: 0.075 mm, 0.3 mm) を選定した。粒度組成は、平均化された陸側と沖側の粒径分布よりそれぞれ求め、沿岸方向全域に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% (0.075 mm), 62% (0.15 mm), 32% (0.3 mm), および 34%, 60%, 6% とした。また、入射波条件として、砕波波高は $H_b=1.5$ m, 周期を 8 s とし、波向は海岸線に対して直角方向

土砂の堆積域が -8 ~ -13 m と沖合であることから、主として細粒の土砂が堆積したと推定できる。

3. 海浜変形予測

(1) 計算条件

海浜変形予測は、延長約 17 km の海岸線を対象として行った。表-1 には計算条件を示す。計算は全体で 3 ケースからなる。ケース 1 では、HL 建設前の 1984 年を初期地形として 1990 年の地形・粒径を再現した。1984 年を初期地

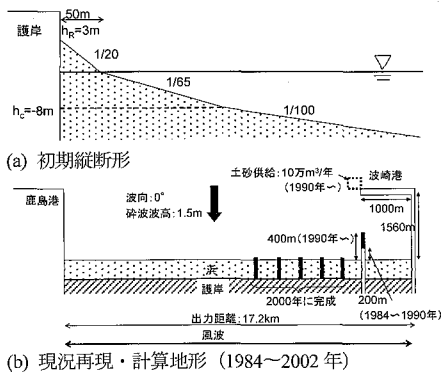


図-6 計算のためのモデル地形

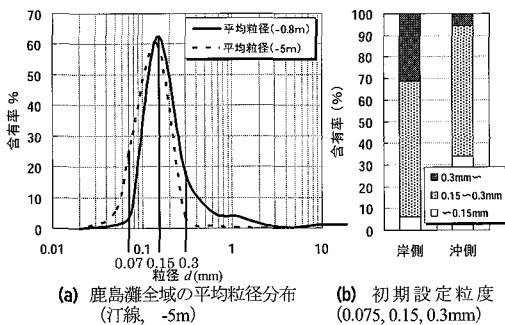


図-7 底質砂の粒径分布および含有率

とした。なお、過去の波浪データおよび地形変化より、鹿島港～波崎漁港側では風波性の波を受けることから $S_{max}=10$ の波を対象海岸全域に与えた。潮位は平均海面とした。

ケース 2 では、再現地形の 1990 年を初期地形として 1996 年の地形・粒径を再現した。この間には防砂突堤が伸びた。また、1990 年以降汀線変化および深浅図の解析によると、前浜の土砂量は毎年 5.6 万 m^3 ずつ増加し、さらに沖合の波崎漁港防波堤付近でも 5 万 m^3 ずつ増加している。このような土砂供給を考慮し、前浜への寄与分を $5 \text{ 万 m}^3/\text{yr}$ 、汀線から h_c までの寄与分を $5 \text{ 万 m}^3/\text{yr}$ とし、合計 $10 \text{ 万 m}^3/\text{yr}$ を防波堤先端から流入させた。供給土砂の粒度組成は、供給先（実海岸を構成する粒度組成）と同様と仮定し、ケース 1 の初期値と同様のものを採用した。ケース 3 は、再現地形の 1996 年を初期地形として 2002 年の地形・粒径を再現した。この間では HL が 2000 年に完成している。HL の効果が出始めたのがヘッド部を設置した後であることから、計算では完成年度の 2000 年に全ての HL を設置した。また、利根川からは $10 \text{ 万 m}^3/\text{yr}$ を防波堤先端から流入させた。

(2) 計算結果

a) 1990 年の地形・粒径分布の再現 (ケース 1)

1984 年の初期地形を図-6 のように与えて 1990 年までの地形変化量を計算した結果を図-8 に示す。漁港による波

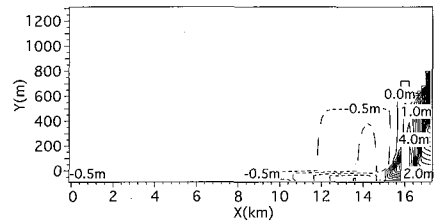


図-8 1984～1990 年の水深変化量

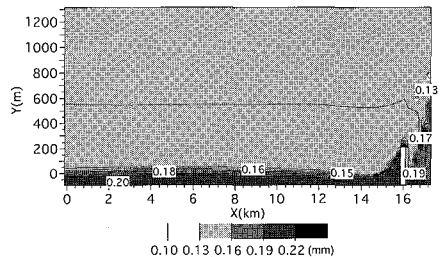


図-9 平均粒径の平面分布

の遮蔽域内と防砂突堤の北側で著しい堆砂が起り、遮蔽域外では侵食が進んでいる。地形変化に対応する 1990 年の平均粒径分布を図-9 に示す。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が進んでいる。これは波の遮蔽域周辺で見られる粒径変化の一般的特性である。

b) 河川からの土砂供給がある場合 (ケース 2)

利根川から $10 \text{ 万 m}^3/\text{yr}$ の土砂が供給された条件下での、1996 年までの水深変化量の計算結果を図-10 に示す。図-8 に示した土砂供給のない場合と比較すると、漁港内での堆積量が大きく増大している。同時に侵食・堆積域も沿岸方向に広がっている。実測汀線変化と比較したのが図-11 である。汀線の前進後退とも最大値は若干過大であるが、全体的な傾向は良く再現されている。対応する平均粒径の計算結果と、3 地点における汀線上の砂の含有率分布の実測と計算の比較結果を図-12 に示す。遮蔽域内への細粒土砂の堆積がさらに進行しているが、侵食域での粗粒分の分布と堆積域での細粒分が多いという傾向はかなりよく計算できた。

c) HL 建設後の地形・粒径分布の再現 (ケース 3)

HL を 2000 年に設置したときの 2002 年までの水深変化量の計算結果を図-13 に示す。利根川からの土砂流入により港内では大量に砂が堆積している。実測汀線変化量との比較が図-14 である。この場合も全体的に汀線変化はかなりうまく計算できている。また、防砂突堤付近の前進量もほぼ一致している。図-15 は平均粒径の計算結果である。侵食域にある測線 B およびそれより北側の測線 A では全体的に粗粒化し、港内は細粒化が続く点についてほぼ予測が可能となった。このような海浜変

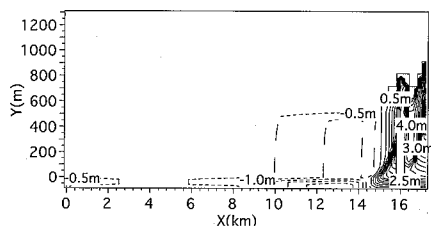


図-10 1984～1996年の水深変化量

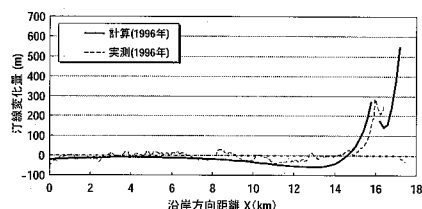
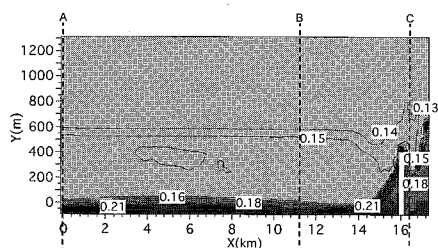
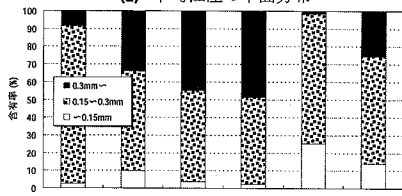


図-11 汀線変化の比較 (1984 vs. 1996 年)



(a) 平均粒径の平面分布



(b) 粒度組成の比較 (実験と計算)

図-12 粒径の計算結果 (1996 年)

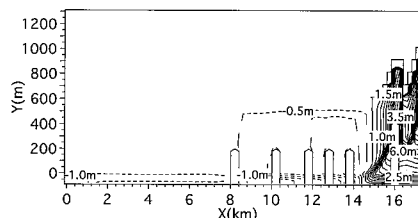


図-13 1984～2002年の水深変化量

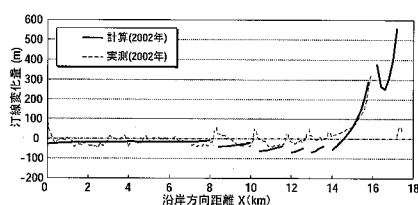
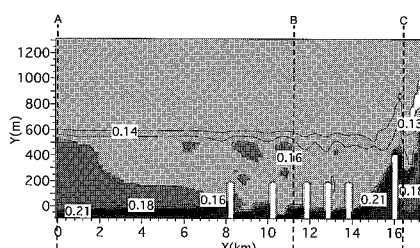
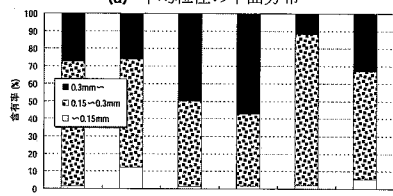


図-14 汀線変化の比較 (1984 vs. 2002 年)



(a) 平均粒径の平面分布



(b) 粒度組成の比較 (実験と計算)

図-15 粒径の計算結果 (2002 年)

形に対して HL 群の効果はかなり限られている。

4. ま と め

鹿島港南端から利根川河口に隣接する波崎漁港間の海浜変形の実態を明らかにし、この地区では波崎漁港の防波堤延伸にともない波の遮蔽域外から遮蔽域内へと細砂が沿岸漂砂によって運び込まれていること、また隣接する利根川からも汀線付近へと約 $5.6 \text{ m}^3/\text{yr}$ の土砂が、また東防波堤沖にも約 $5 \text{ m}^3/\text{yr}$ の細砂の流入があり、それらが防波堤を回り込んで漁港内へと堆積したことを実態データで明らかにした。その上で漁港内への細砂の堆積機構を熊田ら(2005)の粒径を考慮した等深線変化モデルにより予測した。この結果、堆積の実態をほぼ再現することができた。

現況でこの区域に5基のHLが建設されているが、これらの完成時期が2000年と遅かったためにその効果は限られたものであることも明らかになった。

参 考 文 献

- 宇多高明(1997):「日本の海岸侵食」, 山海堂, 442p.
- 宇多高明(2004):「海岸侵食の実態と解決策」, 山海堂, 304p.
- 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.
- 佐藤慎司・前田 亮・磯部雅彦・関本恒浩・笠井雅広・山本幸次(2000): 利根川河口部の漂砂機構と波崎海岸への土砂供給の実態, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 656-660.