

波崎海岸における浚渫土砂の養浜利用の有効性評価

Evaluation of Effectiveness of Beach Nourishment using Dredging Sediment on Hazaki Coast

宇多高明¹・野川康利²・松浦健郎³・阿部 良⁴・熊田貴之⁵・長山英樹⁶

Takaaki UDA, Yasutoshi NOGAWA, Takeo MATSU-URA, Ryo ABE,
Takayuki KUMADA and Hideki NAGAYAMA

Hazaki fishing port is located at the south end of the Hazaki coast with a 16 km length and facing the Pacific Ocean. A large amount of sand accumulated in the wave shelter zone of this fishing port after the extension of the breakwater, whereas beach erosion occurred at the beaches north of the fishing port. In this area, wave direction seasonally varies, while generating southward and northward longshore sand transport alternately. The effect of these changes in wave direction to beach changes was modeled using the contour-line-change model considering grain size changes. The effectiveness of beach nourishment using dredging material from the port was also investigated. The optimum location for effective beach nourishment was predicted under the wave condition with periodically changing wave directions.

1. はじめに

波崎海岸は南端を波崎漁港により、北端を鹿島港に挟まれた延長16kmの海浜である。海岸線南端に位置する波崎漁港では防波堤建設後、波の遮蔽域で堆砂が起こると同時に、利根川からの土砂流入もあり、漁港の維持管理に困難を来している。一方、波崎漁港の北側に隣接する豊ヶ浜では、砂が波崎漁港方面へと移動したため侵食傾向となり、このため侵食対策としてヘッドランド(HL)が5基建設された。これにより現在のところ侵食は小康状態にあるが、今後漁港を合理的に維持しつつ海岸保全をいかに図るのかについて課題が残されている。課題への対処法の一つとして、周辺海岸への影響を極小化しつつ漁港への堆砂を防ぐ手法として、漁港内の堆積土砂を浚渫し周辺海岸で養浜する手法が考えられている。この場合、漁港への砂の戻りをできる限り遅くし、侵食域に砂が長くどまる手法を考える必要がある。このような検討では、粒径を考慮した海浜変形モデルが必要となる。宇多ら(2007)(以下、前報と呼ぶ)では、熊田ら(2005)のモデルを用いて平均的な波向場を与えることにより波崎海岸の長期的地形変化予測を行ったが、同様なモデルを用いれば最適養浜手法の検討が可能であろう。ただし鹿島港沖での波浪観測によれば、当海域への入射波は季節的に顕著な波向変動を有する。従って実現象の再現性を高めるには、このような波向変動を計算に

取り込む必要がある。本研究ではこの点を考慮し、新たに熊田ら(2007)のモデルを用いて養浜の効果検討を進めた。

2. 計算方法と条件

計算対象は、鹿島港～波崎港間に延びる長さ16kmの波崎海岸である。この海岸における波崎漁港の防波堤とHL建設に伴う地形変化について、前報では海岸線に対して直角方向からの入射波を与え、熊田ら(2007)による粒径を考慮した等深線変化モデルを用いて利根川からの土砂流入がある条件下における長期的地形変化予測を行った。しかし、鹿島港沖の水深20mでの波向観測(ナウファスデータ)によると、波浪観測地点の水深20mの等深線に立てた法線を基準として1991～2003年の観測データをもとに四季別の最多波向頻度を求めると、図-1のように冬季の最多頻度はN45°E、夏季の最多頻度はN67.5°Eとなる。これらの方向は、観測点付近の水深20mの等深線への法線に対してそれぞれ15°、-7.5°の方向からの入射となる。-

一方、波崎海岸南部の沖合地形は利根川の影響を強く

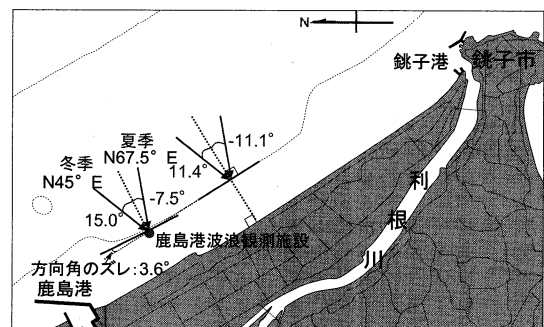


図-1 鹿島港における四季別の最多波向頻度

- 1 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
兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科
- 2 茨城県土木部潮来土木事務所道路河川整備二課課長
- 3 茨城県土木部河川課 主任
- 4 茨城県土木部潮来土木事務所道路河川整備二課
- 5 正会員 博(工)(株)水圏科学コンサルタント
- 6 修(工)(財)土木研究センター河川・海岸研究部

受けるので除き、波崎漁港と鹿島港のほぼ中央部において海岸線の向きを調べると、海岸線は波崎海岸中央より北側における水深20mの等深線とほぼ平行に伸びている。さらにこの等深線は鹿島港の波浪観測地点と比較して 3.6° 反時計回りの方向に傾いている。従ってこのずれを考慮すると波向変動は平均海岸線に立てた法線に対して、冬季は 11.4° 、夏季は -11.1° の方向から入射すると仮定できる。一方、波浪観測結果によると冬季・夏季のエネルギー平均波は、 $H_{1/3}=1.85\text{m}$ ($T_{1/3}=8.8\text{s}$)、 1.49m ($T_{1/3}=8\text{s}$) であって、冬季波浪のほうが夏季波浪よりエネルギーレベルが高い。この条件では、波向の非対称性と相まって南向きのエネルギーフラックスの卓越を招き、海岸北部で侵食が起こることとなる。しかし実際には、前報で述べたように、平均的に見て波崎海岸北部ではそのような汀線変化は起きていない。このことから本研究では、波高については通年の平均値（前報と同一）を用い、波向変動が海浜変形に及ぼす効果を明確化することとした。なお、波向と波高の強弱を連動させた条件での漂砂特性については、宇多ら（2008）を参照されたい。

地形変化予測計算では前報にない、実際には緩やかに曲がった汀線を直線状に引き伸ばした展開座標を用いた。計算に用いたモデル地形の平面形と縦断面形を図-2 (a), (b) に示す。海浜縦断面形は、波崎海岸全域の実測断面の重ね合わせをもとに水深毎に平均的な勾配を設定して定めたものであり、汀線より陸側の勾配は1/20、汀線から水深8mまでが1/65、水深8m以深は1/100である。また、この勾配は計算において設定すべき平衡勾配としても用いた。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、勾配1/20の汀線近傍と、勾配1/65の水深5m付近で、沿岸方向に平均した粒径値0.19mm、0.13mmを用いた。さらに前報で明らかにしたように、波崎海岸では利根川からの土砂供給によって経年的に土砂量が増加していることから、前浜への寄与分を $5\text{万m}^3/\text{yr}$ 、汀線から波による地形変化の限界水深 ($h_c=8\text{m}$) までの区域への寄与分を $5\text{万m}^3/\text{yr}$ とし、合計 $10\text{万m}^3/\text{yr}$ を防波堤先端部沖から流入させた。一方、波の入射角については、図-1に示す波向は水深20m地点での観測結果であるため冬季・夏季の波浪を与えて屈折計算を行い、砕波点における波浪緒元を求めると、砕波点では冬季・夏季の入射角はほぼ $\pm 4.6^\circ$ となるので、これらの波向を周期的（半年毎）に変化させた。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 ($h_R=3\text{m}$) から $h_c=8\text{m}$ 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、数値計算法などはまとめて表-1に示す。

計算では、まず現象の再現性を明らかにするとともに、

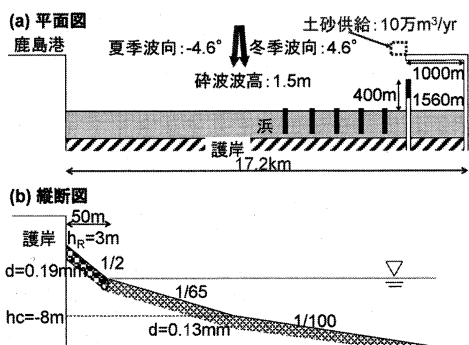


図-2 モデル地形の平面形と縦断面形

表-1 計算条件

計算ケース	1: 2002年の海浜地形の再現 2: 放置 (2002~2025年) 3: $d=0.13\text{mm}$ で養浜 (2006年夏~2008年冬: $53,000\text{m}^3/\text{yr}$, 2009年夏~2010年冬: $55,000\text{m}^3/\text{yr}$) 4: $d=0.19\text{mm}$ で養浜 (2006年夏~2008年冬: $53,000\text{m}^3/\text{yr}$, 2009年夏~2010年冬: $55,000\text{m}^3/\text{yr}$) 5: $d=0.13\text{mm}$, $54,000\text{m}^3/\text{yr}$ を侵食部に養浜 (理想ケース) 6: $d=0.19\text{mm}$, $54,000\text{m}^3/\text{yr}$ を侵食部に養浜 (理想ケース)
初期地形	ケース 1: 2000年 (HL完成年) を初期地形 (5m~0m: 縦断勾配 1/20, 0m~8m: 1/65, 8m~15m: 1/100) ケース 3~6: 2005年 (冬季波浪後) の再現地形を初期地形
初期粒径	0.13mm (0m以深) 0.19mm (標高0~5m)
平衡勾配	1/65 (0m以深, 0.13mm) (実測縦断面比較より) 1/20 (標高0~5m, 0.19mm)
交換層の幅	$B=2.7\text{m}$
入射波条件	・ 砕波波高 $H_b=1.5\text{m}$ (91年~03年のエネルギー平均波) ・ 砕波波向 $\alpha_b=4.6^\circ$ (夏季), $\alpha_b=4.6^\circ$ (冬季) ・ 潮位条件 M.S.L. 0.0m ・ 地形変化特性より風波 ($S_{\max}=10$) を採用
地形変化の水深範囲	・ 地形変化の限界水深 $h_c=8\text{m}$ ・ バーム高 $h_R=3\text{m}$
境界条件	・ 側方境界: 通過漂砂量 0 ・ 河川境界: $10\text{万m}^3/\text{yr}$ (上記の粗、細粒径砂を1:1とした混合砂) を湧き出し境界として設定 ・ 構造物境界: 防波堤、護岸、突堤・HL ・ 養浜境界 (2006年夏~2008年冬): $X=9.3\sim 15.1\text{km}$ に $5.3\text{万m}^3/\text{yr}$ の湧き出し境界設定 (ケース 3, 4) ・ 養浜境界 (2009年夏~2010年冬): $X=5.3\sim 9.3\text{km}$ に $5.5\text{万m}^3/\text{yr}$ の湧き出し境界設定 (ケース 3, 4) ・ 養浜境界 (2006年夏~2025年冬): $X=3.100\sim 3.500\text{km}$ に $5.4\text{万m}^3/\text{yr}$ の湧き出し境界設定 (ケース 5, 6のみ)
漂砂量係数	・ 漂砂量係数内の $A=0.5$ ・ 小径プランプト項の係数 $\zeta=2.5$ ・ 岸沖漂砂量係数 $K_b/K_c=0.2$
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: 17,200m 鉛直方向: $z=5\text{m}\sim 15\text{m}$
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	$\Delta t=0.05\text{hr}$

波の入射方向を一定の場合と波向変動を与えた場合の計算結果の差異を明らかにするための検討を行った。HLの建設が完了した2000年を初期地形として2002年地形の再現性を調べ、次に再現地形の2002年を初期地形として、そのまま放置した場合の2025年の地形を予測する。その際、波の入射方向を一定とした場合の計算結果との差を算出し、波向変動が波の遮蔽域における堆積にもたらす影響を評価した。

3. 再現性検討

前報では、波崎海岸の平均的、長期的な海浜変形を海

岸線の法線方向から入射する波を与えて予測した。しかし実際には前述のように波向は季節的に変動している。

従って厳密には一方向の波の場を与えた計算の結果とは異なる。そこで本研究では、波向変動を考慮して2002年地形を求めて実測地形との比較を行い、さらに波向変動を与えずに求めた将来の予測地形と、波向が変動する条件下での予測結果がどのように相違するかを調べた。初期地形は、前報で海岸線の法線方向から入射する波を与えて再現した、HL建設が完了した2000年地形とした。図-3がこの初期地形である。この初期地形に対して波向を周期的に変動させた場合の、2002年の夏季と冬季の波浪作用後の海浜形状について、1984年を基準とした汀線変化量としてまとめたのが図-4である。ここに、1984年を基準にした理由は、長期的汀線変化に重なった汀線の変動量を見なかったことによる。計算結果は若干侵食が過大ではあるが実測傾向をかなりうまく再現している。実測汀線変化では、HLを境に南側の汀線が北側より前進しており、沿岸漂砂の方向が逆転しているように見えるが、これは宇多ら(2008)に示すように、エネルギーレベルの異なる波が2方向から斜め入射する場合、エネルギーレベルの高い波の入射方向と逆側に砂が堆積することによる。

そのまま放置した場合における2025年の夏季冬季地形の予測結果を図-5に示す。HL建設後の2000年を基準と

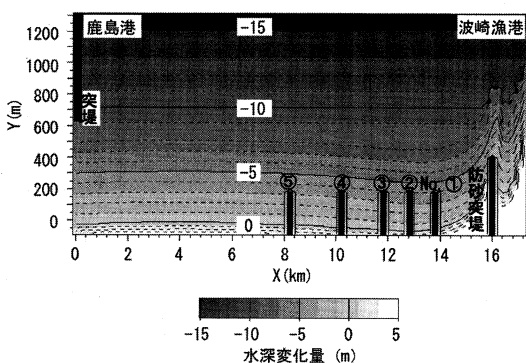


図-3 初期地形

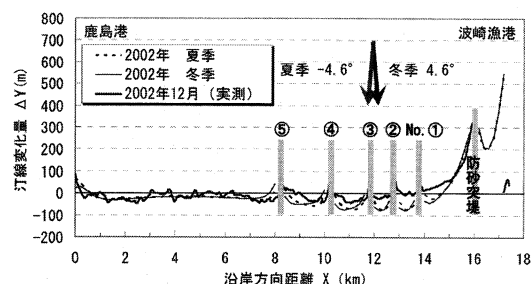


図-4 1984年を基準とした汀線変化量

した水深変化量である。1~3号HL付近と波崎漁港内では堆積傾向となる一方、鹿島港から3号HL間では侵食傾向となる。図-4に示したように、現在はHL周辺で侵食が著しいが、予測計算によると今後3号HL以南は堆積傾向へと変化し、鹿島港と3号HL間で侵食が進むという結果となる。これは波崎漁港の防波堤だけではなく、HLによっても沿岸漂砂のトラップ効果が向上するためと考えられる。季節変動については、夏季波浪の作用では不透透構造物の南側で堆積、冬季波浪では侵食が周期的に起こる。

図-6は2000年基準の汀線変化量を示す。5号HL付近より北側では汀線が最大32m後退し、南側では前進している。また不透透構造物の周辺ではいずれも波の遮蔽域に遮蔽域外から砂が運ばれて堆積するため、構造物間で弓状に汀線が後退するという結果となる。

波向変動がある場合、図-5に示したように構造物周辺

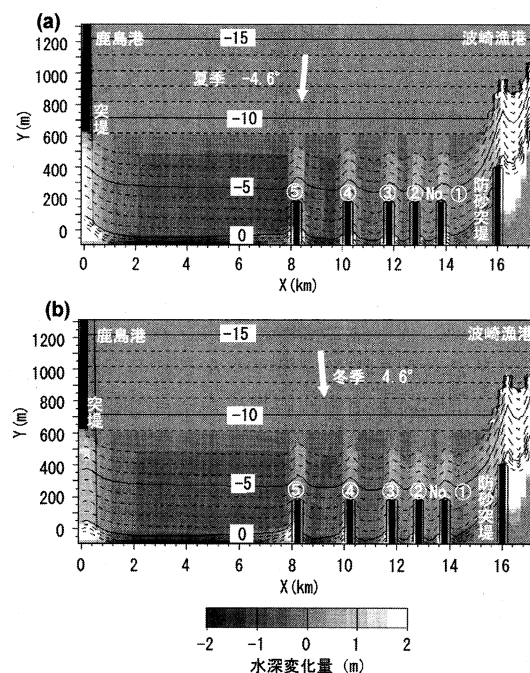


図-5 2025年夏季冬季地形の予測結果

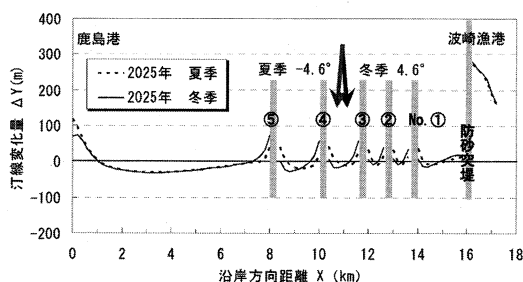


図-6 2000年基準の汀線変化量

で周期的な堆積・侵食が現れる。この場合海浜変形は時間的に単調に進むように思われる。しかし海浜変形は時間的に単調な変化とはならない。これを明らかにするために、波向変動を与えた場合の計算結果から波向を一定とした場合の計算結果の差を算出し、それらの経時変化を調べた。図-7は2005年から5年間隔で2025年までの冬季波浪作用後の計算結果をまとめたものである。

2005、2010年までは一方向の波向の場合よりも急速な応答が起り、波崎漁港内での堆砂が加速され、5号HLと鹿島港の間を中心として侵食が進む。しかし2015年には波崎漁港内での堆砂量の差異は小さくなり、同時に5号HLと鹿島港の間での侵食量にも大きな差がなくなる。2020年および2025年では波向が一定の場合との差異は益々小さくなる。波向一定の場合と比較して、波向変動を与えると初期に波の遮蔽域への堆砂が助長されるが、時間経過とともに波の遮蔽域内に十分な量の砂が堆積する結果、波向変動の影響を受けにくくなった。最終的に2025年では5号HLと鹿島港の間の前浜が侵食傾向となり、1号HL～5号HLの前浜は突堤北側が堆積する。これは、5号HLから鹿島港までが波の遮蔽域外となり、そこから遮蔽域へと砂が運び去られた結果である。

4. 養浜の効果検討

ケース①では、養浜を実施した場合における2010年の地形を予測した。波崎海岸では、漁港内の浚渫土砂を用いて1～5号HL付近において2006～2010年に合計27万 m^3 の養浜が計画されている。そこで養浜区域を二分し、図-8に示すように2006～2008年では南側区域において $5.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の養浜を行い、2009～2010年では北側区域において $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の養浜を行うこととする。養浜砂の粒径は港内の浚渫砂を想定し、細粒の0.13mm（平衡勾配1/65）を設定する。ケース②では、将来的に侵食が著しくなる鹿島港と5号HL間で $5.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の養浜（合計27万 m^3 ）を2025年まで続けた場合の計算を行う。その場合の粒径は0.13mmである。さらに汀線への歩留まりを向上させるために汀線砂と同じ0.19mm（平衡勾配1/20）の砂を上記と同じ割合で投入した場合がケース③である。

2006～2010年の地形変化予測の結果からそのまま放置したケースの差を算出したのが図-8である。養浜砂は粒径（平衡勾配）が小さいため、投入地点にはあまりとどまらず、放置したケースと大きな差異がない。

3.の検討によれば、今後長期的に見て侵食が著しくなるのは5号HLと鹿島港間である。そこでこの区域での集中的な養浜について検討した。2006年を初期地形とし、0.13mm（平衡勾配1/65）の砂を $5.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で投入した場合（ケース②）の2025年の予測結果を図-9に示

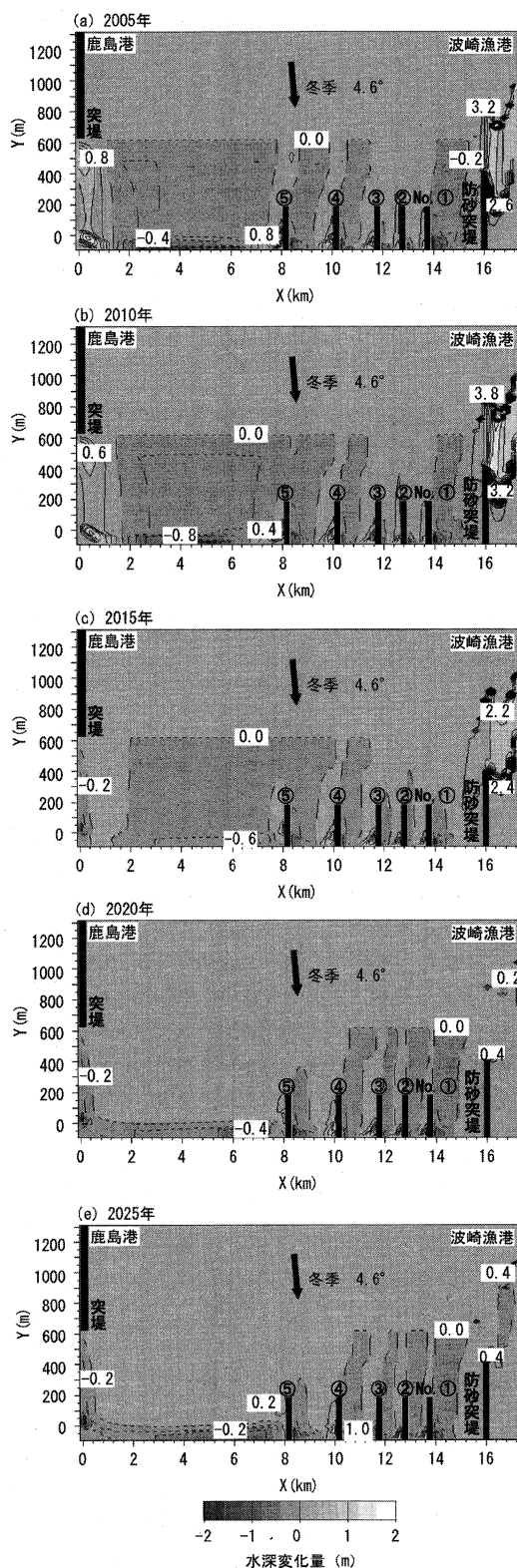


図-7 波向変動ありと波向一定の場合の計算結果の差

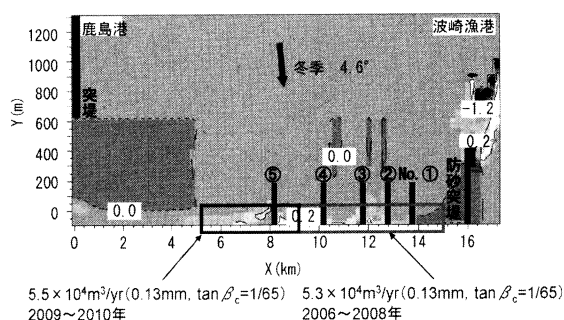


図-8 養浜区域の設定

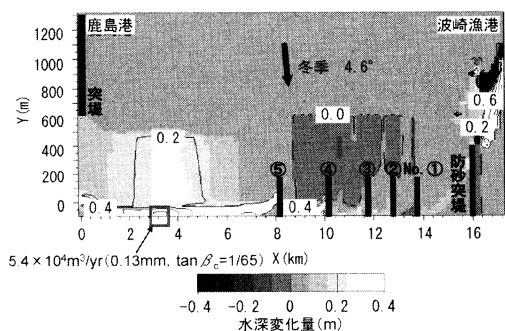


図-9 ケース②の2025年の予測結果

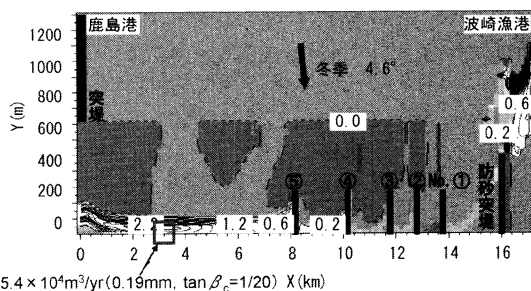


図-10 0.19mm(平衡勾配1/20)の砂を用いた養浜と放置の地形変化の差

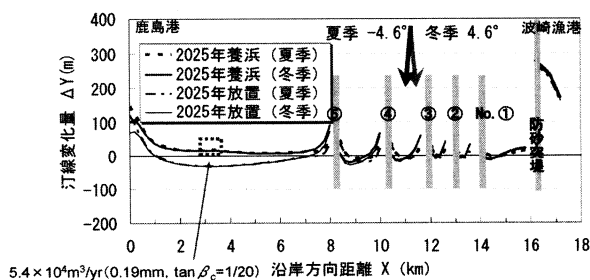


図-11 汀線変化比較

す。養浜砂は侵食域の沖合を含めて海底地盤を緩やかに上昇させる効果はあるものの、最終的に波崎漁港による波の遮蔽域へと緩やかに移動する。このように粒径の小さな材料しか養浜材料として入手できないままサンドリサイクルを行った場合、投入土砂は再び波の遮蔽域へと移動するが、それでもある程度の効果は見込める。

前浜への寄与率が高い粒径0.19mm (平衡勾配1/20)の砂を用いた養浜の場合、2006年を初期地形として同じく2025年までの地形変化を予測し、放置したケースとの差を求めたのが図-10である。相対的に粒径 (平衡勾配)が大きくなった結果、5号HLと鹿島港の間の汀線付近で養浜効果が著しく高まることが明らかである。図-11はこの場合の汀線変化比較であるが、養浜によって侵食域の汀線を前進させることができることが分かる。

5. まとめ

波崎海岸では利根川からの土砂供給により年間ほぼ10万m³の土砂流入があるため、波崎海岸の総土砂量は増加傾向にある。しかしながら、空間的に見ると堆積傾向を示すのは波崎漁港周辺であり、波崎漁港の防波堤による波の遮蔽域の外側では侵食傾向にある。予測計算によれば、将来的に侵食域は1～5号HL周辺域より、鹿島港と5号HLの間の区域へと移行する。当初計画では、漁港内の堆積土砂を過去に侵食が著しい1～5号HL間に投入

する予定であったが、長期的に見ると鹿島港と5号HL間に投入するほうが望ましく、今後、侵食が著しくなる鹿島港南側で養浜する計画へ変更する必要がある。一方、浚渫土砂は粒径が小さいので、汀線部に歩留まらせることは初めから考えず、沖合部を含めた広範囲の地盤上昇を期待するとよい。このような細粒土砂は底質粒径が0.106～0.16mmを好むチョウセンハマグリ¹⁾の生息環境を保つ上でも有効である(日向野ら, 1993)。一方で0.13mm程度の細砂では前浜の拡幅にあまり役立たないので、0.19mmと、より粒径の大きな砂と混合した材料を投入する手法について考えていく必要がある。

参考文献

- 宇多高明・勝山 均・松浦健郎・熊田貴之・長山英樹・大木康弘 (2007) : 利根川からの流入土砂のある波崎漁港周辺の海浜変形の実態と予測, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.586-590.
- 宇多高明・熊田貴之・芹沢真澄・長山英樹 (2008) : 波向変動場で生じる漂砂大循環の発生メカニズム, 海岸工学論文集, 第54巻, (印刷中)
- 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.
- 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.
- 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, 14, pp.65-87.