

沖合大規模構造物による海浜変形

佐藤孝夫* ・ 八木橋 貢** ・ 黒木敬司***
片野明良*** ・ 栗山善昭****

1. はじめに

沿岸域における大規模な構造物の建設は、時に、周辺の海岸地形に変化をもたらす。この地形変化を把握しておくことは、将来、海上空港などの沖合大規模構造物が建設された場合の地形変化を予測する際の貴重な資料を提供することになると考える。

茨城県北部の砂浜海岸では、常陸那珂港が北関東地域における国際海上コンテナ輸送を担う中核港湾として、1989年より建設されている。水深約25m地点における総延長6.0kmの沖合防波堤(東防波堤)の建設と、その背後の大規模な埠頭埋立が計画されており、現在までに沖合防波堤約3.8kmが建設され、北埠頭埋立が進んでいる。

本研究では、深淺図を基に常陸那珂港周辺の地形変化の解析を行うとともに、その地形変化に対する港湾構造物の影響を検討する。さらに、沖合防波堤が今後延伸され、埠頭建設が進んでいったときの地形変化ならびに対策についても検討を行う。

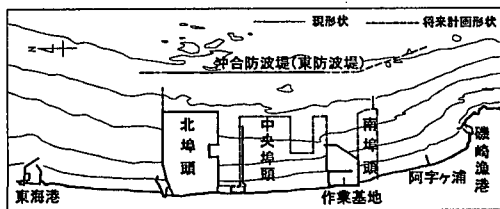


図-1 常陸那珂港の現況と計画形状

2. 深淺測量図解析

常陸那珂港周辺の沿岸方向9.5km、岸沖方向4kmの範囲で1988年から年2回得られている深淺データを用いて、経験的固有関数法により、地形変化をいくつかのモードに分割し、その時間変化と沖合防波堤の延長や波浪条件などの関係を調べた。

図-2はモード1(寄与率40%)の固有関数 e_1 と時間

* 正会員 工修 運輸省 第四港湾建設局
** 正会員 運輸省 第二港湾建設局
*** 正会員 株式会社エコー 環境水理部
**** 正会員 運輸省 港湾技術研究所

係数 e_1 の経時変化を示したものである。なお、時間係数の経時変化図には沖合防波堤延長も併せて示している。鉛直座標は下向きを正としているため、時間係数 e_1 が増加しているときに $e_1 > 0$ の領域で侵食が生じ、逆に $e_1 < 0$ の領域で堆積が生じていることになる。

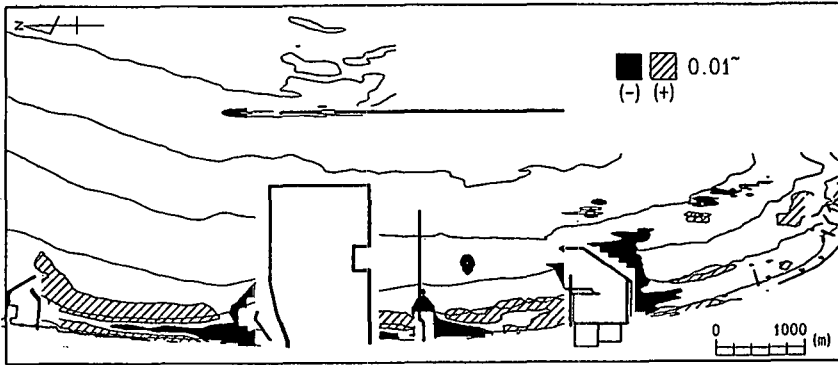
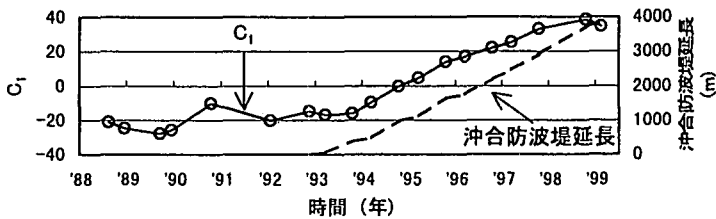
モード1では、作業基地の北側と南側において砂が南から北へ移動することによる地形変化が、北埠頭用地より北側においては逆に北から南に土砂が移動することによる地形変化が生じている。作業基地北側で生じた地形変化は、南から入射してくる沖合防波堤の回折波によって引き起こされたものであると考えられる。一方、作業基地南側の地形変化は、南からの波の入射時に北向きの沿岸漂砂が作業基地によって阻止されて生じた地形変化と、北からの波の入射時に沖合防波堤の遮蔽域に生じた循環流によって引き起こされた地形変化とが重なったものであり、北埠頭用地の北側の地形変化はその逆の地形変化であると考えられる。モード1の時間係数が1994年以降大きく変化していることから、この地形変化は1993年より現場建設が始まった沖合防波堤の影響が現れたものと推察される。1997年以降にモード1の時間係数の変化が小さくなったのは、沖合防波堤の南側への延伸が少ないことによって、地形変化が平衡状態に近づいたためと思われる。なお、解析対象期間の波浪のエネルギーフラックスは解析期間中ほぼ一定であり、地形変化との相関は認められなかった。

3. 汀線変化解析

汀線近傍の地形変化をより詳細に検討するために汀線変化の経緯を整理する。図-3は、作業基地が建設される以前の1988年12月から沖合防波堤が約3.8km建設された1998年10月までの代表的な時期の構造物形状と汀線変化を示したものである。次に、各時期の汀線変化の特徴を述べる。

(1) 1988年12月から1990年10月の汀線変化

作業基地の基部が建設されており、作業基地の両側で汀線が前進している。一方、東海港の南側では汀線が前進し、作業基地の北側では僅かに汀線が後退している。このことから対象期間では北向きの沿岸漂砂が卓越して

図-2(1) モード1の固有関数 e_1 の分布図-2(2) モード1の時間係数 c_1 の経時変化

いたものと思われる。

(2) 1990年10月から1994年10月の汀線変化

北埠頭用地の建設が開始されると、作業基地の場合と同様に、北埠頭用地の南北両側で汀線が前進している。東海港から北埠頭用地までの区間と作業基地から磯崎漁港までの区間では、それぞれ北側で汀線が後退、南側で汀線が前進していることから、対象期間では南向きの沿岸漂砂が卓越していたと思われる。なお、北埠頭用地から作業基地までの区間でほぼ全域で汀線が前進したのは北埠頭用地が建設される以前に南向き漂砂が作業基地により阻止され汀線が前進したのと考えられる。

(3) 1994年10月から1998年10月の汀線変化

この期間には沖合防波堤が作業基地付近まで延伸しており、北埠頭用地の南北両側で汀線が最大100m以上前進している。一方、沖防波堤が延伸するまでは前進傾向にあった作業基地北側で汀線が後退している。また、作業基地の南側で汀線が前進し、磯崎漁港周辺では汀線が後退している。これは、2.で述べたように南からの波の入射時に北向きの沿岸漂砂が作業基地によって阻止されて生じた地形変化と、北からの波の入射時に沖合防波堤の遮蔽域に生じた循環流によって引き起こされた地形変化とが重なったものと思われる。

4. 汀線変化予測とその対策の検討

常陸那珂港の沖合防波堤が延伸された場合の汀線変化

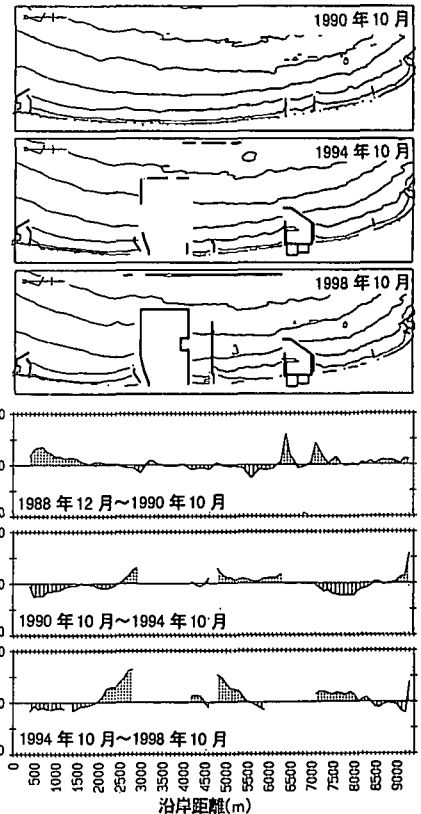


図-3 構造物の形状と汀線変化

を小笹・Brampton (1979) の one-line モデルを基に予測する。小笹・Brampton のモデルでは沿岸漂砂量 Q は次式で表される。

$$Q = (H^2 Cg)_B \left(K_1 \sin 2\alpha_{Bs} - K_2 \cos \alpha_{Bs} \frac{\partial H_B}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 H は波高、 Cg は波の群速度、 K_1, K_2 は無次元係数、 α_{Bs} は汀線に対する碎波点での波向角、添字 B は碎波点の諸元を示す。

将来の汀線変化を予測するにあたっては、まず、再現計算を行うことによって汀線変化計算に用いる波の条件や式 (1) の係数の妥当性を検討し、その後、それらの値を用いて将来計算を行う。

(1) 汀線変化の再現計算

計算範囲は、深淺測量が実施されている北端の東海港から南端の磯崎漁港までとした。東海港の北側には久慈川、磯崎漁港の南側には那珂川が流出していることから、両端の境界では土砂の流出入を考慮する必要がある。そこで、北埠頭により沿岸漂砂が遮断され始めた 1993 年以降の東海港より北埠頭までの区間、および北埠頭より磯崎漁港までの区間のそれぞれ水深 10 m 以浅の領域における土砂量の増減を計算した。その結果、東海港より北埠頭までの区間で $0.72 \text{ 万 m}^3/\text{yr}$ 増加 (東海港より北側から土砂が流入) し、北埠頭より磯崎漁港までの区間で $0.48 \text{ 万 m}^3/\text{yr}$ 減少 (磯崎漁港より南側に流出) していた。平均水深変化としては、東海港と北埠頭との間で水深が $0.35 \text{ cm}/\text{yr}$ 浅くなり、北埠頭と磯崎漁港との間では水深が $0.15 \text{ cm}/\text{yr}$ 深くなっている。深淺測量の精度が 10 cm 単位であることを考慮すると、中期的には境界での土砂の流出入が汀線変化に与える影響は少ないと判断される。そこで、両端の境界では漂砂の流出入はない ($Q=0$) ものとして計算を行った。

再現計算対象期間は、(1) 対象海岸が自然の性状を保っており、比較的海浜が安定していた 1984 年 7 月から 1988 年 12 月までの期間と、(2) 沖合防波堤が建設され始めた 1993 年 10 月から現在 (1999 年 2 月) までの期間とした。

汀線変化計算に用いる代表波浪として NE, ENE, E, ESE, SE の 5 波浪を選択した。これは現地海浜において沿岸漂砂が南北両方向発生することや沖合防波堤による遮蔽効果、北埠頭用地等による反射波による沿岸漂砂への影響等を考慮したためである。各波向毎のエネルギー平均波高、周期を 1980 年 1 月より 1997 年 11 月まで常陸那珂港沖で観測された波浪データを基に算出した。なお、この期間における 5 つの波向の出現率は 99% であった。

以上の計算条件を用いて、常陸那珂港が建設されるまでの比較的海浜が安定していたと考えられる 1984 年 7

表-1 汀線変化計算に適用する代表波浪一覧

波 向 (度)	波高 (m)	周期 (s)	入射日数					
			春	夏	秋	冬	通年	
NE	45.0	1.36	8.9	5.5	1.7	7.4	14.4	29.0
ENE	67.5	1.35	8.7	36.2	13.0	28.0	29.6	106.7
E	90.0	1.28	8.3	37.0	22.6	44.2	31.4	135.1
ESE	112.5	1.27	8.2	17.0	21.6	27.1	7.3	73.0
SE	135.0	1.38	7.6	3.9	2.9	2.5	0.5	9.9

月から 1988 年 12 月までの汀線変化の再現を試みた。その結果、常陸那珂港で観測された 2 時間毎の波向をそれぞれ北へ 11 度修正して整理し直した 5 方向の代表波浪を用いると、図-4 に示すように 1984 年 7 月から 1988 年 12 月までの汀線変化を良好に再現できることが明らかとなった。そこで、以降の計算では波向を北へ 11 度修正して整理した代表波浪を適用することとした。

表-1 はこのようにして整理した各波向の代表波高、周期、季節別入射日数を示している。対象海岸の汀線に対して直角方向はほぼ E 方向 (90 度) であり、表-1 に示した代表波浪の中では汀線に対して直角方向である E 波向の入射日数が最も多く、次いで ENE, ESE, NE, SE の順になる。三村ら (1990) によれば、対象海域の地形変化の傾向は、数年程度の変動はあるものの長期的には南向き漂砂が卓越していると報告されており、波向を修正して算出した代表波浪はこれと符合するものとなっている。

次に、汀線変化の時間スケールに寄与する式 (1) の漂砂量係数 K_1 と、主に構造物周辺での汀線変化傾向に寄与する K_2 の組み合わせを常陸那珂港が建設され始めた 1993 年 10 月から 1999 年 2 月までの汀線変化を用いて検討した。その結果、漂砂量係数 $K_1=0.231, K_2=0.81$ の組み合わせを用いた計算の現地再現性が最も良好であった。図-5 は、その再現結果を示したものである。今回の予測精度は、汀線変化量の絶対値で最大 50 m 程度の差が生じており、計算値は実測値と比べ、作業基地南側海岸でやや大きくは出ているが、汀線変化の傾向はほぼ良く再現している。このことから先に示した 5 つの代表波浪と漂砂量係数 $K_1=0.231, K_2=0.81$ を用いて将来計算を行う。

(2) 将来予測

常陸那珂港の将来計画形状に対する汀線変化予測を行ったところ、沖合防波堤が計画通り 6000 m まで達すると、遮蔽領域に位置する作業基地南側の海岸では、漂砂が南から北に移動する結果となった。図-6 は、沖合防波堤 4500 m とし、南防波堤が先行整備されたとした場合の汀線変化予測結果を示したものであるが、この場合は沖合防波堤の遮蔽領域は少なくなるものの、作業基地南側で漂砂が南から北へ移動することによる汀線変化傾

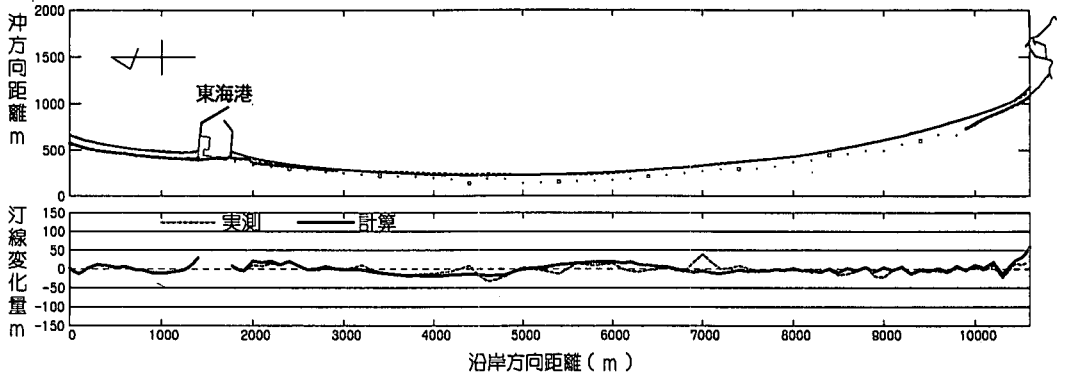


図-4 1984年7月から1988年12月までの汀線変化再現計算

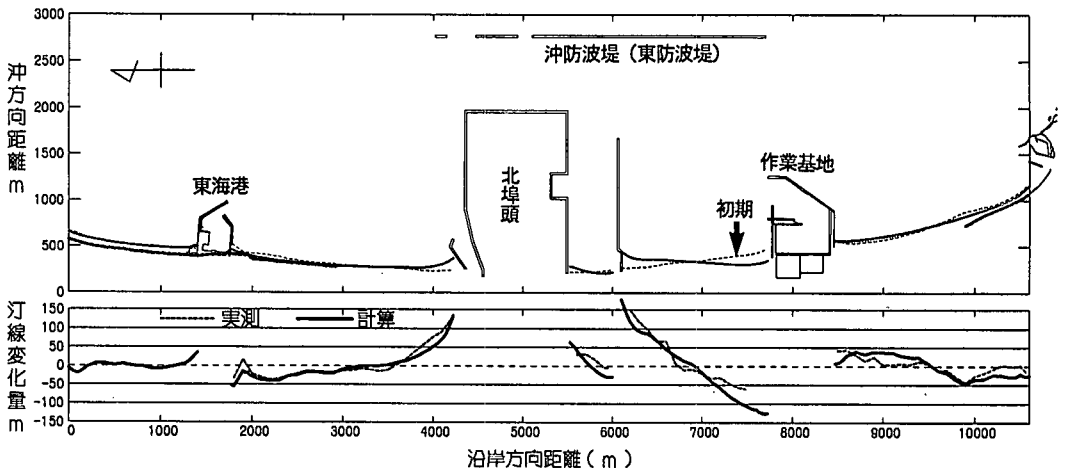


図-5 1993年10月から1999年2月までの汀線変化再現計算

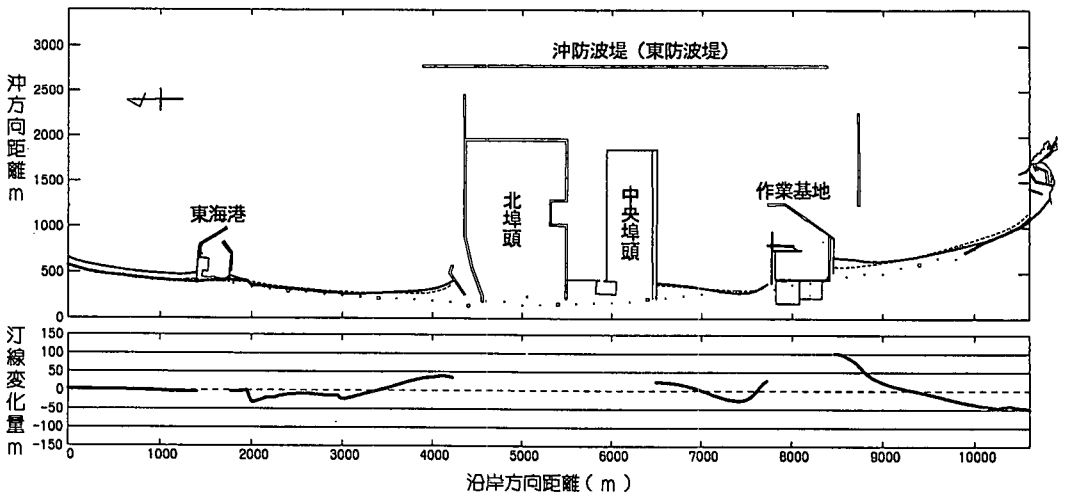


図-6 沖防波堤4500m延伸時点での汀線変化将来予測

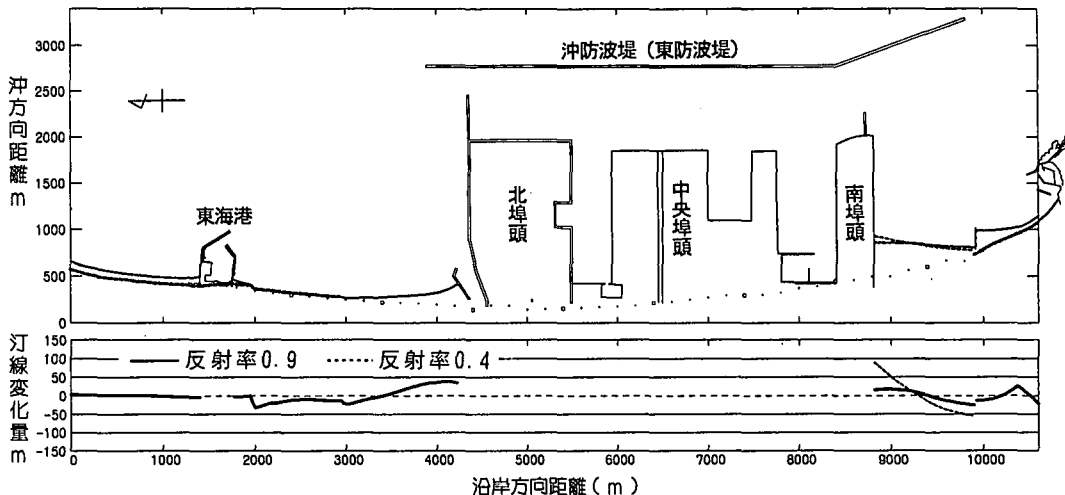


図-7 将来計画形状に対して養浜による対策を行った場合の予測

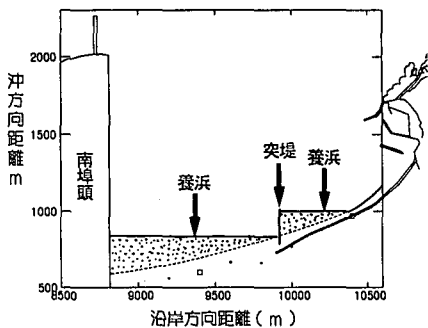


図-8 対策工の平面配置図

向は残ると予想される。

5. 対策案の検討

沖合防波堤を計画通り延伸させた場合に生じる地形変化への対応策としては、本港南側の阿字ヶ浦海岸が海水浴やサーフィンなどのレクリエーションに利用されていることを考慮すると、海岸部での対策としてはできるだけソフトな工法で対処する方が望ましいと言える。そこで、養浜を主体とし、一部突堤を用いた対策工法の有効性を検討する。図-7は図-8に示した対策工法を採用した場合の将来予測計算結果を示したものである。実線、1点鎖線は、それぞれ南埠頭護岸の反射率を0.9、0.4とした場合の予測結果を示している。両計算結果ともに汀線の変動量は小さく、養浜と突堤とを組み合わせた本対策工法が周辺海浜の安定化に有効であることが確認でき

た。この養浜砂をさらに安定化させるためには、透水層工法(加藤, 1996)と組み合わせることも有効であると考えられる。

6. おわりに

常陸那珂港周辺の深浅図を解析したところ、常陸那珂港周辺の主たる地形変化が沖合防波堤の建設開始後から顕著になり始めたものであることが明らかとなった。この地形変化は、沖合防波堤や護岸などの構造物背後の回折波や循環流によって生じたものと考えられる。

続いて、沖合防波堤が延長されたときの将来の汀線変化をone-lineモデルを用いて計算し、本港湾の南側で養浜を主体として一部突堤を用いる工法の有効性を検討したところ、汀線の安定に効果のあることが確認された。

今後は、透水層工法を考慮しつつ本対策工法をより詳細に検討するとともに、周辺海岸への影響度合いを最小限に食い止めるための沖合構造物の施工手順を含めて検討することも必要であると考えられる。

参考文献

小笹博昭・Brampton, A.H. (1978): 護岸のある海浜のてい線変化数値計算, 港研報告, 第18巻, 第4号, pp. 77-104.
 三村信男・加藤 始・永井紀彦・堀井昭宏 (1990): 常陸那珂海岸における海岸地形変化の特性, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 354-358.
 加藤一正 (1996): 漂砂の基礎から現地適用へー透水層埋設工法の開発一, 水工学シリーズ 96-B-7, 土木学会, pp. B-7-1-B-7-17.