

大洗における港湾構造物の建設に対する海岸地形の応答

三村 信男* ・ 加藤 始**・ 角田 義紀***
宮本 英明****・ 伊佐 治 進*****

1. はじめに

大洗港は鹿島灘海岸の北端に位置する。鹿島灘海岸は長さ約 70 km の長い弧状の砂浜で漂砂移動が活発であり、従来様々な視点から漂砂特性と海岸の地形変化について調査研究されてきた場所である（例えば、井島ら, 1961; 荒木田ら, 1978; 針見ら, 1981; Kraus ら, 1981; 堀川ら, 1983; Kraus et al., 1985）。現在の大洗港は、このように漂砂移動の活発な地点に、1961年漁港区の建設が始められたもので、1979年には大型フェリーを迎えるという計画の下に重要港湾に指定された。それ以降大規模な港湾施設と周辺の海岸の整備が進められてきた。

この間の港湾・海岸構造物の建設の経緯と構造物の配置とを 図-1, 2 に示す。外かく施設としてはフェリーの航路を確保するための沖防波堤が主たる施設であり、1980年に着工されて85年には延長 800 m が完成している。同時に、泊地への砂の侵入、堆積を防ぐため西防砂突堤の延長、第1、第2小突堤の建設が行なわれた。この他にも、港湾に隣接した南海岸では、1984年に 19万 m^3 の養浜が行なわれるなど、レクリエーションビーチ（サンビーチ）としての整備が進められた。

こうした大規模な構造物建設による周辺海岸への影響を調査するため、図-2 に示した領域で1979年以来年2回の広域深浅測量、年数回の汀線測量が実施されてきている。同時にこの海域に対しては、波浪、流況、底質に関するデータも整っている。1979年に開始された港湾整備は1986年には概成しているの、これらの観測は構造物の建設によって地形変化が生じた全期間をカバーしていると考えられる。本論文ではこれらのデータの解析を

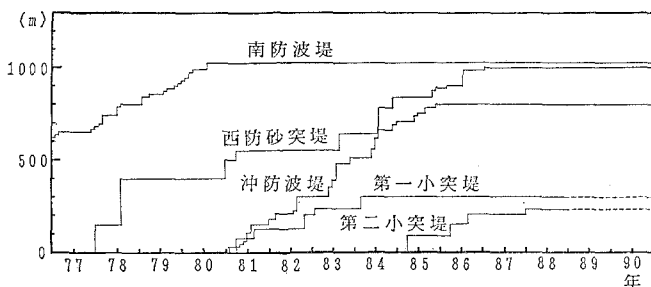


図-1 港湾・海岸構造物の建設の経緯

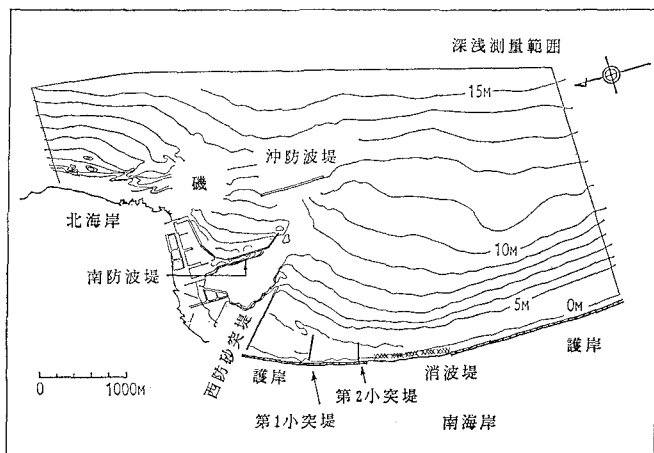


図-2 大洗海岸と測量範囲

通して、構造物建設に対する海岸地形の応答を総合的に把握することを試みた。著者らは、前報（三村・加藤, 1987）において1985年までの地形変化を解析したが、本論文では前報と対応させながら論旨をすすめ、1985年以降も含めた海岸地形変化の解析結果を示す。

2. 地形測量データと解析方法

本研究で用いた主たる資料は、深浅測量と汀線測量という2種類の地形測量データである。深浅測量の領域は、図-2 に示されているように南北 6 km, 東西 3.6 km の海域・海岸である。対象としたのは、1979年から1990年まで、夏冬2回ずつ実施された合計23回の深浅測量である。測量データは計算機に入力して解析したが、生データは必ずしも規則性のある地点で得られていな

* 正会員 茨城大学助教授 工学部都市システム工学科

** 正会員 茨城大学教授 工学部都市システム工学科

*** 茨城大学大学院 建設工学専攻

**** JR 東日本 長野支社

***** 茨城大学校官 工学部都市システム工学科

い。そこで、前報と同様まず南北方向には 50 m または 100 m, 東西方向には 25 m の規則的な格子点上の水深データに直した。

汀線測量は、大洗南海岸の西防砂堤以南 4.5 km の範囲で実施されており、1977 年 9 月から 1990 年 11 月まで合計 83 回の汀線位置の測量データが利用できた。

これらのデータを用いて、平面的な地形変化の分布、沿岸漂砂量、汀線の経年変化等を検討した。さらに、経験的固有関数による解析、入射波浪エネルギーフラックスと土砂移動の対応も検討し、構造物建設の進展に伴なう空間的、時間的な地形の応答を総合的に把握しようとした。

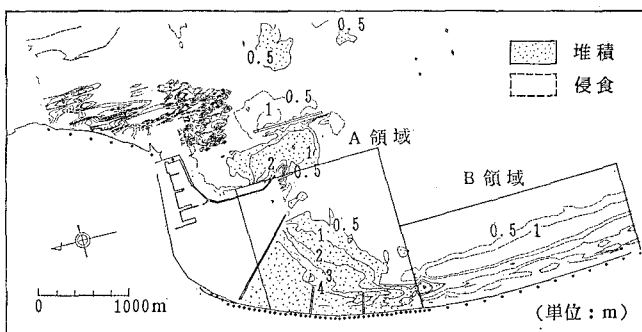
3. 平面的な地形変動

全般的な地形変化の傾向を把握するため、まず平面的な地形変動を検討した。そのために土砂の堆積・侵食域の分布を求めた結果を図-3 (a)~(d) に示す。(a) は 1979 年 6・7 月から 1990 年 6 月までの全対象期間のものであり、(b), (c), (d) は対象期間を 3 つに分割した前期、中期、後期に対するものである。これらの図中では、 ± 0.3 m ((a) だけは ± 0.5 m) の水深変化で侵食・堆積域の区別をしている。

図-3 (a) をみると、対象期間中に大洗港周辺で大規模な地形変化が生じたことがわかる。地形変化の特徴と原因は同一ではなく、原因の違いによって、大洗南海岸、沖防波堤周辺、北海岸の 3 つの領域に分けうることが前報で示されている。ここでは、前 2 者の領域の特徴をより詳しく見ることにする。

(1) 大洗南海岸

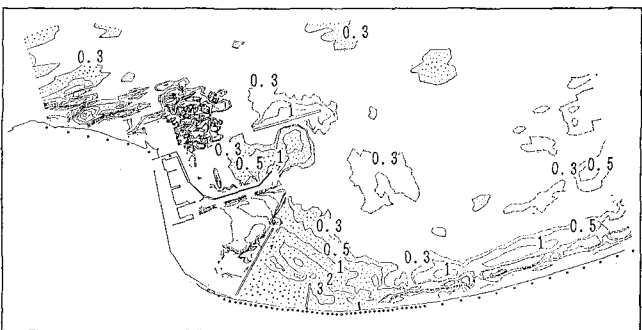
大洗南海岸は、西防砂突堤以南の砂浜である。図-3 (a) をみると対象期間中に西防砂突堤から約 2 km の区間で大規模な堆積が生じ、それより更に南側では侵食が生じたことがわかる。図-3 (b), (c), (d) を用いて経時的な変化をみると、西防砂堤が 400 m 程度しかなかった。1981 年以前は、土砂の堆積は南防波堤背後に限られ、防砂突堤の先端を越えて港口を塞ぐように堆積していた。1981 年以降 (中、後期) 堆積域は沖合にはり出し、かつ南側に伸びている。中期と後期では、堆積域はやや沖側に張り出しているものの余り変化していない。したがって、南海岸における堆積域と侵食域の顕著な拡大は



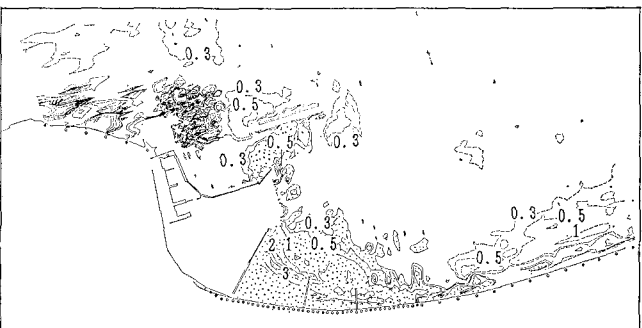
(a) 全期間 (1979 年 6・7 月~1990 年 6 月)



(b) 前期 (1979 年 6・7 月~1981 年 6 月)



(c) 中期 (1981 年 6 月~1985 年 6 月)



(d) 後期 (1985 年 6 月~1990 年 6 月)

図-3 土砂の侵食・堆積域の分布

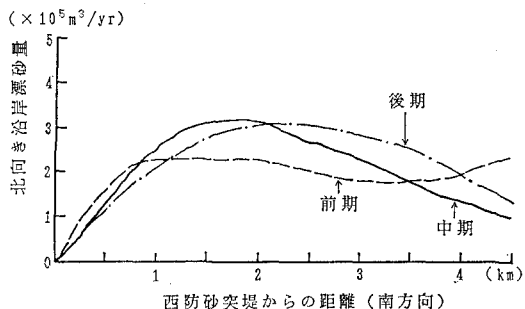


図-4 南海岸における沿岸漂砂量分布

1981年以降、すなわち、沖防波堤が建設され始めて以降生じたといえる。同時に、この時期には南海岸の南部全域が侵食傾向になっていることも特徴的である。

このような大洗南海岸の地形変化は、北向きの沿岸漂砂に起因するものである。前報でも示した通り、波の回折の結果、沖防波堤背後の遮へい域では沿岸方向に波高分布が生じ、南から北に向かう沿岸流が発生する。それによって北向きの沿岸漂砂が卓越し、大規模な堆積域が形成されたと結論づけられる。

図-4 は、南海岸の漂砂帯（水深 $-1.5\text{m} \sim -8.0\text{m}$ ）に漂砂の連続式を適用して求めた沿岸漂砂量の分布である。ここでは、西防砂突堤を越えて流出入する沿岸漂砂はないと仮定されている。漂砂量分布は、前、中、後期に分けて示されているが、前期には沿岸漂砂量の最大値は $24\text{万 m}^3/\text{年}$ で、西防砂突堤の南 800m から 1900m に平坦なピークをもっていた。一方、中、後期には漂砂量の最大値は $32\text{万 m}^3/\text{年}$ に増大し、かつ、位置が時間とともに南に移動している。このことは、沖防波堤の建設が、より強く大規模な北向き沿岸流を誘起することを通して、沿岸漂砂の分布と量の両面に影響を与えたことを明瞭に示している。

(2) 沖防波堤周辺

大洗港周辺におけるもう一つの特徴的な地形変化は、沖防波堤周辺で生じている。それは、沖防波堤の前面での侵食、背後での堆積である。

大洗海岸では漂砂移動の限界水深が 7m 程度であるにもかかわらず、水深が 6m から 12m の領域で堆積が生じている。したがって、沖防波堤背後の堆積は、明らかに海浜流による碎波帯付近の地形変化とは異なる。底質調査によって、沖防波堤背後では中央粒径が 0.1mm 程度と他と比べて細かく、また、この地点の底質には $30 \sim 40\%$ のシルト・粘土が含まれており、砂分のみを含む他地点の組成とは異なるという結果が得られている。さらに、1985年に実施された流況調査によって、沖防波堤背後には、陸側から防波堤に向かう定常流が存在することが確かめられた。

以上のことから、沖防波堤周辺には両端から遮へい域

にまわり込むような循環流が形成されており、防波堤背後の堆積はこの流れによって、細砂、シルト、粘土が運ばれて形成されたものと推定される（三村・加藤、1987）。

一方、沖防波堤近傍の侵食は、前面に形成される重複波や端部での局所洗掘によるものである。

4. 汀線の変化

大洗南海岸における1977年から1990年までの汀線の変化を図-5に示す。図中では、西防砂堤からの距離に応じて10地点を選んであるが、このうち、 400m と 900m の地点は各々第1及び第2小突堤のすぐ南側にあたる。図-5をみると、地形の平面的な変動がどのような形で汀線の変化に反映したかが理解できる。

まず、図-3にみられた西防砂堤の南側の堆積に対応して、南海岸北部の汀線は大きく前進している。 70m 地点では、平均して $50\text{m}/\text{年}$ 程度の速度で汀線が前進し

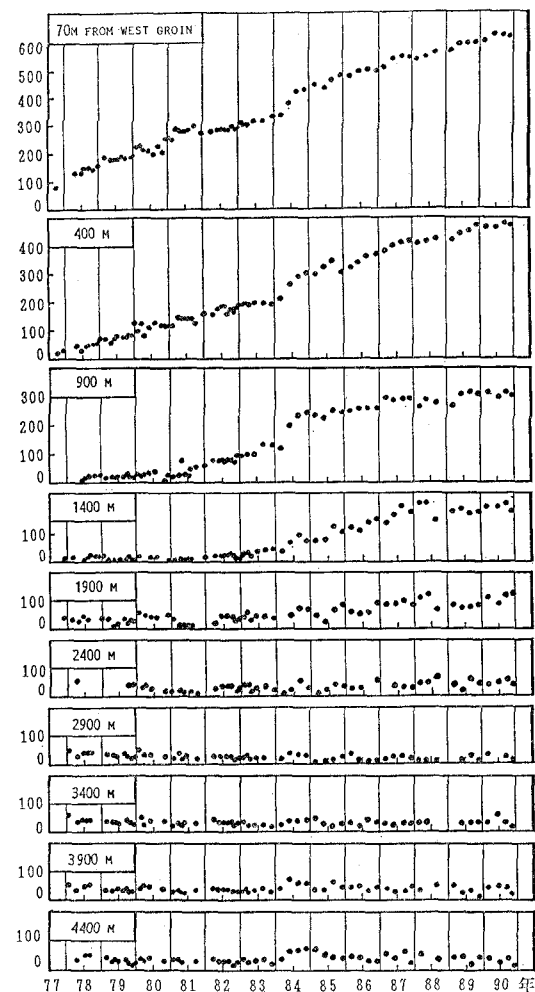


図-5 南海岸における汀線の位置の変化

た。400m 地点から 1900m 地点までの状況を見ると、汀線は、西防砂堤から離れるほど遅れて前進を始めているが、これは、3. で述べた堆積域の拡大・南進に対応している。さらに、1400m 地点や 1900m 地点における汀線の位置の経年変化をみると、かつて欠潰傾向にあったものがその後堆積傾向に転じており、この海岸では汀線の後退と前進とが対をなして南に伝わったことを示している。

更にその南、2900m 地点や 3400m 地点では、1981、82年頃から徐々に欠潰傾向が現われ、最近では汀線が護岸にきわめて近くなっている。測量範囲の南端 3900m、4400m 地点の汀線は測量期間を通じて安定していたが、近年後退の傾向を見せ始めている。

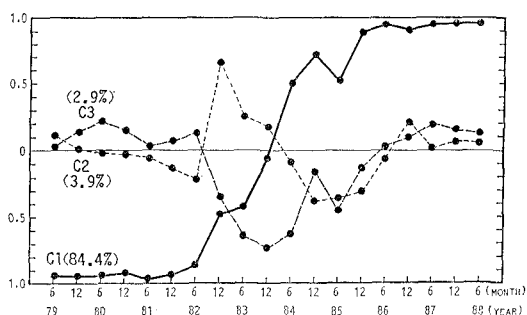
西防砂突堤に近い領域 (900m まで) の汀線の前進速度に注目すると、1982年から85年にかけて大きく、最近では徐々に鈍化しているようにみえる。これは、構造物の建設に対する汀線位置の急速な応答がこの期間に生じ、現在ではこの領域の地形変化が終息に向かいつつあることを示している。

5. 地形変化の時間特性

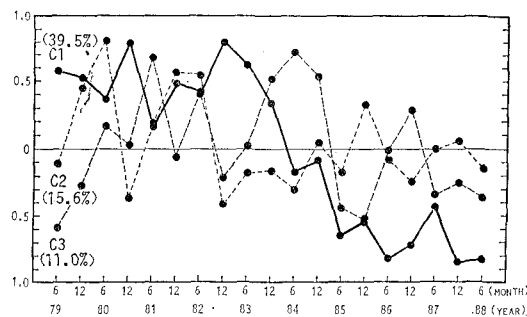
海岸地形変化の時間的・空間的分布、あるいは構造物の建設に対する地形の応答を把握するために、加藤ら (1984) の方法を用いて経験的固有関数 (EOF) による解析を行なった。ここでは南海岸を対象にした解析結果を示す。今回の解析は、図-3 (a) 中に示されているように南海岸の漂砂帯を堆積域 (A 領域) と侵食域 (B 領域) の2つに分けて、各々に対して行ったものである。

図-6 (a), (b) に A, B 領域に対して得られた時間関数 ($c_1 \sim c_3$) を示す。A 領域に対する固有関数では、第1成分の寄与率が 84.4% と圧倒的で、しかも、第1成分は単調な増加をしており、ほぼ一様に堆積が進んだことを示している。時間分布をみると、堆積が1982年から86年にかけて急激に生じている。この傾向は、汀線の変化の項でも見られたが、A 領域の時間関数を図-1に示されている構造物の建設の経緯と比べると沖防波堤の延長の経過ときわめて良く対応している。このことは、南海岸の堆積が沖防波堤による回折効果によって促進されたというメカニズムを改めて裏づけている。さらに、海岸地形が構造物建設に驚くほど良い追随性を示したことは注目に値する。

一方 図-6 (b) は B 領域に対する時間関数である。第1成分の寄与率は、39.5% であり、A 領域ほど大きくない。しかも、A 領域におけるほど明瞭な単調変化を示さず、増減をくり返ししながら減少しており、B 領域の侵食が跛行的に進んだことを示している。また、第1成分の変動の中には季節変化と考えられる 1 年周期の増減



(a) A 領域



(b) B 領域

図-6 経験的固有関数の時間関数

も認められる。これは、B 領域が大洗港の構造物の完全な影響下ではなく、入射波の変動など外力の影響も受けていることを示している。

6. 入射波浪と地形変化

最後に、地形変化と外力、すなわち入射波浪との関係について示す。入射波浪のデータは、隣接する常陸那珂沖で測得されたもので、観測期間は1985年1月から1990年10月である。

図-7 に全観測期間における波の出現数とエネルギーフラックスの方向分布を示す。この海域では、ESE 及び E 方向の波が圧倒的に卓越しており、出現数では 80%

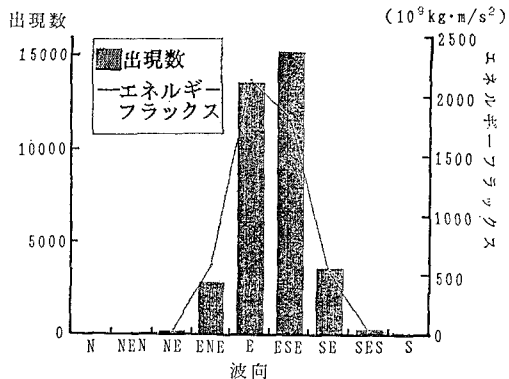


図-7 入射波の方向分布

近くを占めている。エネルギーフラックスの方向分布は、出現数の分布に比べて全体的に北寄りにずれていることから、北寄りの波の方が勢力が強いことがわかる。

図-8 は、エネルギーフラックスの経年変化を示したものである。入射波の年間総エネルギーフラックスは相当変動しており、年毎の方向分布にも変化がみられる。

つぎに、測量期間毎の入射エネルギーフラックスを求めて南海岸における土砂の堆積量との対応関係を調べた。その結果を示したのが図-9 である。この図をみると、ばらつきはあるものの南海岸における堆積量はエネルギーフラックスが増大するほど大きくなっている。これから、北向きの沿岸漂砂量もエネルギーフラックスに対応して増大するものと推定される。

ここで注目すべきは、図-9 における横軸が入射エネルギーフラックスの総和になっていることである。この他に方向別のエネルギーフラックスと堆積量との関係も調べたが、図-9 のように総エネルギーフラックスをと

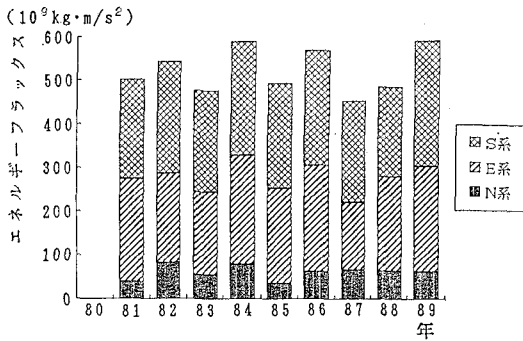


図-8 エネルギーフラックスの年変化

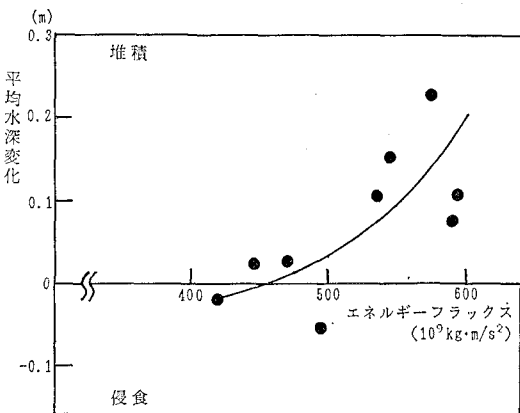


図-9 入射エネルギーフラックスと南海岸の堆積量

った時に最もよい対応関係が得られた。このことは、大洗海岸の堆積量、あるいは沿岸漂砂量の大きさは波の入射方向にはよらず、その勢力のみで決まるという構造があることを示している。これは、沖防波堤による波の回折の結果もたらされるものである。

7. 結 語

本論文では、1979年から1990年までの12年間の大洗港に周辺の海岸地形変化を解析した結果を示した。1979年開始された大洗港の拡張工事が1986年には概成したことから、今回の検討は大規模な港湾施設の建設に対する地形の応答の全体像を把握したものになっている。

大洗海岸の地形変化に対して最も大きな影響を及ぼしたのは、沖防波堤の建設であったといえる。沖防波堤による入射波の回折効果は大きく、その影響域では入射波の方向にかかわらず背後に堆積を生み出す構造をつくり出した。更に驚くべきことは、海岸地形が構造物の建設にきわめてよく追従して応答するという実態がとらえられたことである。

本研究は、茨城県三浜港湾事務所（現在、大洗港湾事務所）から測量データ他の提供を受けて実施した。同事務所の長年の御協力と御好意に対して心からの謝意を表す。

参 考 文 献

- 荒木田哲也・鶴川義郎・水村和正 (1978): 防波堤背後の流況と汀線変化 (1), 第25回海岸工学講演会論文集, pp. 199-203.
- 井島武士・佐藤昭二・青野 尚・鶴川義郎 (1961): 茨城県磯浜海岸の漂砂について, 第8回海岸工学講演会論文集, pp. 168-175.
- 加藤一正・吉松 晃 (1984): 三次元の経験的固有関数による深図解析法, 港研報告, 第13巻, 第2号, pp. 27-87.
- Nicholas C. Kraus・針貝聰一・久保田 進 (1981): 大洗海岸における汀線変化シミュレーションー防波堤背後の碎波と汀線変化ー, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 269-299.
- 針貝聰一・宇多高明・鶴川義郎 (1981): 大洗海岸における地形変化の観測, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 271-276.
- 堀川清司・宇多高明・針貝聰一・久保田 進 (1983): 構造物周辺の地形変化の観測, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 259-263.
- 三村信男・加藤 始 (1987): 大洗海岸における近年の地形変化と沿岸漂砂量, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 362-366.
- Kraus, N. C., H. Hansen and S. Harikai (1985): Shoreline change at Oarai Beach: past, present and future, Proc. 19th Coastal Eng. Conf., pp. 2107-2123.