

常陸那珂海岸における海岸地形変化の特性

三村 信男*・加藤 始**・永井 紀彦***・堀井 昭宏****

1. 研究の背景と目的

本研究の目的は、常陸那珂港の建設が計画されている茨城県北部東海村海岸の過去16年間に於ける海岸地形変化の特性を明らかにすることである。常陸那珂海岸（以後、東海村海岸をこう呼ぶ）は、ほぼ南北に延びた延長13 km の弧状の海岸で、南北にはそれぞれ那珂川と久慈川という大河川が流出している。この海岸は、これまでほぼ自然海岸として残されてきたが、昭和58年に常陸那珂港の港湾計画が策定され、平成元年には作業基地の建設が着工されている。図-1 に示すとおり、常陸那珂港は水深 20 数 m の地点に延長 6 km の防波堤を持つ大型港湾であり、周辺の海岸地形に対してもさまざまな形で影響が現れると懸念される。これに対して有効な対策を講じるためには、まず自然状態にある常陸那珂海岸の海浜変形過程の特性を把握することが不可欠である。本研究は、深浅測量と波浪観測のデータを解析し、港湾施設の建設に伴う影響を評価する上で土台となるこうした知見を得ようとするものである。

2. 解析の対象と方法

2.1 深浅測量データ

常陸那珂海岸では、相当古くから深浅測量が実施されてきている。本研究で用いたのは、昭和48年から平成元年までの16年間の6回の測量データである。測量の実施時期は表-1 に示すが、最近では1、2年間隔で測量が行われている一方、前半の3回は各々6年2ヵ月と4年5ヵ月間隔があいている。

今回解析した領域と測線の配置を図-2 に示す。この領域は、常陸那珂港の建設予定地をはさんで東海港から磯崎まで沿岸（南北）方向 9.4 km、岸沖（東西）方向

表-1 深浅測量の実施時間

No.	測量時期
1	昭和48年12月
2	昭和55年 2 月
3	昭和59年 7 月
4	昭和61年 7 月
5	昭和63年 8 月
6	平成元年 9 月

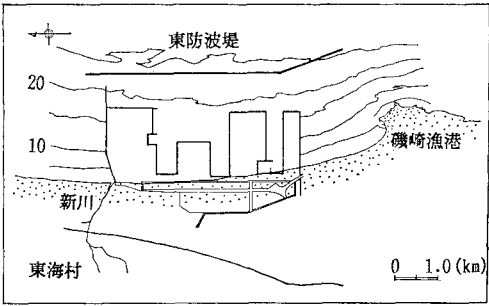


図-1 常陸那珂港の計画

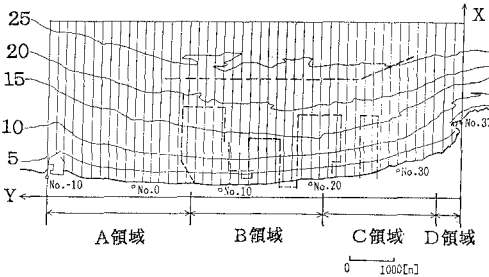


図-2 深浅測量の領域と測線

4 km をカバーしている。深浅測量のデータは各測線に沿って一部不等間隔で与えられている。これをコンピュータに入力し、沿岸方向 200 m、岸沖方向 10 m の規則的な格子点上のデータに直して解析に用いた。1回の測量に対する水深データの数は最大で19248個である。

海岸の地形変化の特性を把握するために解析した項目

* 正会員 工博 茨城大学助教授 工学部都市システム工学科
** 正会員 工博 茨城大学教授 工学部都市システム工学科
*** 正会員 前運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所次長
(運輸省港湾技術研究所海洋水理部 主任研究官)
**** 前運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所
調査課長
(運輸省第二港湾建設局鹿島港工事事務所 第一工
事課長)

は、土砂の侵食・堆積域の分布、底質の移動限界水深、全域及び小領域毎の土砂収支、そして沿岸漂砂量分布である。更に既往の調査研究の結果や隣接する大洗海岸のデータとも比較し、総合的に海岸地形変化の特性を明らかにしようとした。

2.2 入射波浪

常陸那珂海岸では、水深 29 m の地点に超音波式波高計と超音波式流速計が設置され、毎偶数時に定常的に入射波浪（水面波形と波向）が観測されている。本研究では、昭和55年から63年までの9年間のデータを解析し、入射波浪の特性を検討した。

測得されているデータのうち、本研究では有義波の波高、周期と波向を用いて、全期間、隔年、季節毎の波浪階級別の出現頻度分布、各項目間の結合分布等を求めた。本研究での四季は、冬、春、夏、秋をそれぞれ、前年12月と当該年の1, 2月, 3—5月, 6—8月, 9—11月としている。

沿岸漂砂量には、砕波点における波のエネルギーフラックスが強い相関を持っていることがよく知られている（たとえば、堀川, 1985）。そこで、有義波の波高と周期とを用いて波浪観測点におけるエネルギーフラックスを計算し、その方向分布、経年変化等を調べた。

3. 入射波浪の特性

3.1 波高、周期、エネルギーフラックス

海岸地形変化に対する最大の外力は入射波浪である。そこで、まず常陸那珂海岸における入射波浪の特性を明らかにする。波浪観測の全期間を通した解析から得られた全般的な特性は、次のようにまとめられる。

① 波高・周期（図-3）：もっとも出現頻度の高い波浪は、波高で0.5—1.0 m (43.4%), 周期で6—8秒(46.7%)のものであった。波高、周期の結合分布をとると、この領域にはいる波浪が23.3%を占めている。

② 波向の分布（図-4）：全期間を通してみると ESE, E方向の波が卓越しており、この両者で79.3%を占める。すなわち、常陸那珂海岸では海岸線に直角に近い入射波が大部分であるといえる。エネルギーフラックスの方向分布を見ると、出現数の分布に比べて全体的に北寄りにずれ、ピークもESEからEに変わっている。このことから、北寄りの波の方がやや勢力が強いことがわかる。

③ 季節変化（図-5）：入射波の波向には季節による変化がある。夏にはESE方向ピークがありS寄りになる一方、冬にはE方向にピークが移りN寄りに分布がシフトする。

3.2 入射波浪の経年変化

より詳細に入射波の特性を把握するため、経年変化を

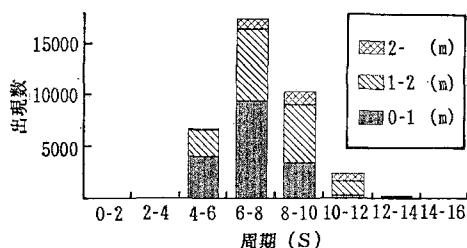


図-3 波向・周期の結合分布

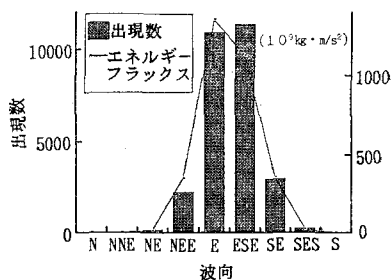


図-4 波向の分布

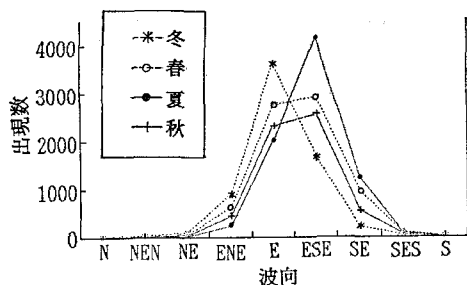


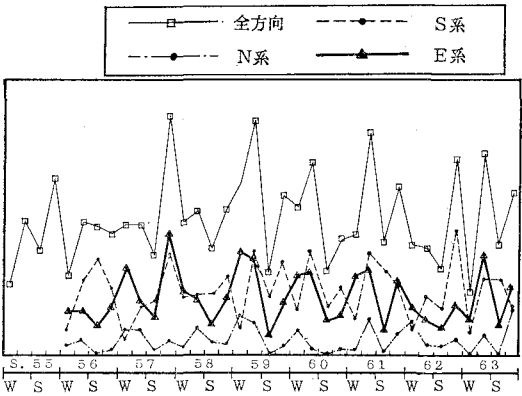
図-5 波向の季節変化

調べた。図-6には、エネルギーフラックスの経年変化を示す。図中で、N, E, S系は各々ENE以北, E, ESE以南の入射波の総和をとったものである。これらの検討結果から、更に次のような傾向が得られた。

① 時間変動：入射波は大きな時間スケールで変動している。一年間の入射エネルギーフラックスの総量も、各年におけるエネルギーフラックスの季節分布も相当大きな経年変動を示している。

② 方向分布：3.1で述べた通り、E, S系の寄与が大部分を占める。N系は最大で32%を占める時（昭和62年冬）があったが、通常は20%程度以下の寄与しかない。

③ 季節変化：入射波のエネルギーフラックスは、春と秋に極大を持ち、夏に極小を示す。春と秋どちらのピークが大きいかは年によって異なる。N系とE系は、ほぼ同様な季節変化を示す傾向にあり、両者とも夏には減少



図—6 エネルギーフラックスの経年変化

する。一方、S系は春、秋に大きく、冬には減少する傾向を示す。後で述べるように、こうした入射波のエネルギーフラックスの量と方向の時間変動は、海岸地形変化に大きな影響を与えている。

4. 海岸地形変化の特性

4.1 土砂の侵食、堆積域の分布

常陸那珂海岸の地形変化の全体像を把握するため、測量期間毎の深浅測量データの差をとり、土砂の侵食・堆積域の平面的分布を描いた。その一例として、対象期間全体、すなわち昭和48年12月と平成元年9月との差をとった結果を 図—7 に示す。

常陸那珂海岸における地形変化は汀線に沿った帯状の漂砂帯に集中しており、最大で 3m を越える侵食、堆積が生じている。図—7 を見ると両端を除いて堆積域と侵食域とが汀線に平行に現れている。これは沿岸砂州の移動によるものであり、常陸那珂海岸では自然海岸としての海浜過程が進行していたことを示している。

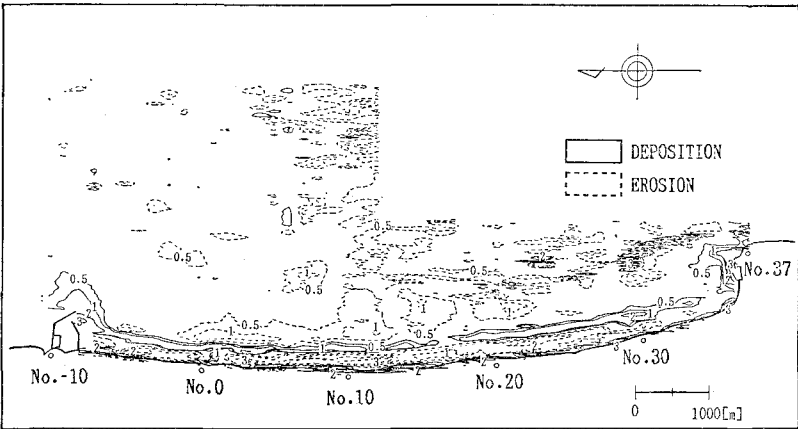
もう一つ特徴的なことは、調査領域の両端、東海港と磯崎の周辺で顕著な堆積が生じていることである。東海港周辺の堆積は今回の検討期間の前半に大きく発達している。これは、東海港の防波堤が昭和49年に完成したことに対応している。一方、磯崎周辺は対象期間以前から一貫して堆積傾向にあったことが知られている（運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所、1973）。これらの堆積は、いずれも明らかに沿岸漂砂が遮断されることによって生じたものである。

沖合にも地形変動がみられるが、これらは、磯の周辺で特に著しいことから、深浅測量における水深測量と位置測量の誤差の影響も大きいと考えられる。沖合の領域は面積が大きいため、土砂収支への寄与が大きい。しかし測量の誤差の分離ができないため、これから後の検討からはこの領域を除外し、岸近くの漂砂帯のみを対象とすることにした。

4.2 底質の移動限界水深

漂砂帯を分離するためにも、次に底質の移動限界水深の検討を行った。図—8 は、2回の深浅測量の間における水深変化量をその地点の水深に対してプロットしたものである。これを見ると、やや散らばりがあるものの、水深の変化量は水深 8m の地点で極小値をとっている。それより岸側には2つのピークがみられるが、水深 5m 付近でのピークは碎波点に、汀線付近のピークは swash zone に対応しており、活発な地形変化が生じることがうなずける。一方、8m より水深の大きい領域では磯の周辺で変化量がみかけ上大きく現われていると考えられる。

入射波浪、底質がほぼ同じ条件にある南隣の大洗海岸における移動限界水深も 8m と判断された（茨城県三浜港湾事務所他、1987）。以上のことから、常陸那珂海岸においても移動限界水深は 8m と考えてよい。これ



図—7 土砂の侵食・堆積域の分布（昭和48年12月—平成元年9月）

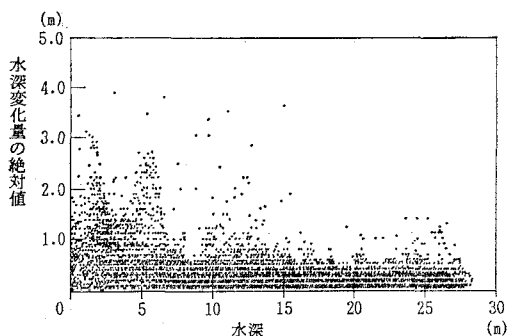


図-8 水深変化量の分布(昭和59年7月—平成元年9月)

に基づいて、本研究では、漂砂移動の活発な漂砂帯は水深 8 m から -1.5 m までの領域とした。

4.3 土砂収支と地形変化の構造

上で定義した常陸那珂海岸の漂砂帯における16年間の土砂収支をとると 13.7 万 m^3 の侵食であった。これは、平均すれば 2 cm 程度の地形変化になり、常陸那珂海岸は中期的にみて安定した海岸であったといえる。

更に詳細に土砂収支を検討するため、漂砂帯を 図-2 に示すように、A (北部)、B (中央部)、C (南部)、D (磯崎周辺) の4つの領域に分けて、土砂の侵食・堆積量の時間変化を調べた。その結果を、昭和48年12月の砂面高を基準にしてプロットしたものが、図-9 である。

図-9 は、全体としては安定していた常陸那珂海岸で小領域に着目すれば各々異なった地形変化が進行していたことを明瞭に示している。すなわち、この16年間、中央部(B領域)では単調に侵食、磯崎周辺(D領域)では単調に堆積傾向にあり、北部(A領域)と南部(C領域)では侵食と堆積を繰り返している。しかも、北部が堆積傾向にあるときには南部は侵食、逆に北部が侵食傾向にあるときには南部は堆積というように、常陸那珂海岸の北部と南部とで侵食と堆積の位相が完全に逆転している。

こうした地形変動パターンの周期的な逆転と入射波のエネルギーフラックスの方向分布との関連を検討した。図-10 は連続した2回の深浅測量の期間における土砂の侵食・堆積量を、対応する期間のN系とS系のエネルギーフラックスの比に対してプロットしたものである。この図を見ると、入射波の波向の変化に対して、地形がきわめてよく追従していることがわかる。すなわち、N系のエネルギーフラックスの割合が多い期間には、北部(A領域)の侵食、南部(C領域)と磯崎周辺(D領域)の堆積が進み、逆にS系のエネルギーフラックスの割合が増加すると、北部で堆積、中央部と南部で侵食が現れるようになる。こうした南北方向の侵食・堆積域の移動

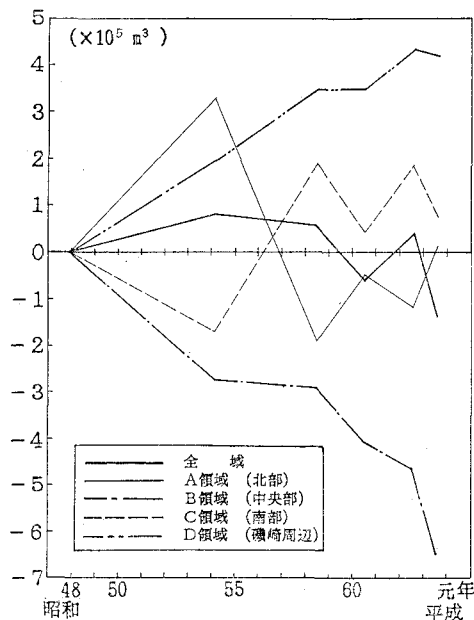


図-9 小領域毎の侵食・堆積土砂量の経年変化

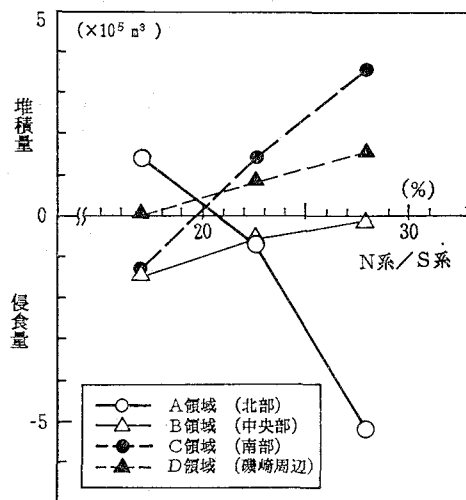


図-10 侵食・堆積土砂量とN系/S系のエネルギーフラックスの比

は、沿岸漂砂の卓越方向の逆転によって生じると結論づけられる。

以上の解析から、常陸那珂海岸には次のような地形変化の構造があることが導き出される。

- ① 入射波浪の変動によって沿岸漂砂の卓越方向が2—3年周期で南北逆転している。その結果侵食・堆積域が南北に移動する。
- ② その中で、中央部は常に侵食傾向にある。
- ③ 磯崎周辺では岬によるS系の入射波浪の遮蔽効果と北向き漂砂のトラップ効果とによって単調な堆積が生じる。

こうした地形変化の構造は、大規模な港湾構造物が建設された場合、③と同様な効果が生じ、構造物周辺で堆積、その遠方で侵食という方向に進む地形変化が生じる可能性があることを示している。また、全体の土砂収支がバランスしていたことや、①のような構造があることは、常陸那珂海岸が沿岸漂砂についてほぼ閉じた状態にあることを示しているようにみえる。しかし、実際には、常陸那珂海岸の南北にはふたつの河川が流出し大きな漂砂源となっていると考えられる。この点は、対象領域を更に広げて検討する必要がある。

4.4 沿岸漂砂量

常陸那珂海岸における地形変化を左右するのが沿岸漂砂量の分布であるのは上にみた通りである。そこで漂砂帯に土砂の連続式を適用し沿岸漂砂量を求めた。今回の算定では、対象領域の南側境界からの土砂の出入りが無いと仮定した。そのため得られた漂砂量分布は、南側境界上で実際には存在する漂砂量分だけバイアスのかかったものになっている。

図-11 に求められた沿岸漂砂量の分布を示す。図中では、対象期間を昭和55年2月と59年7月とで3つに区切り各々の期間に対する結果が示されている。この図を見ると、4つの期間で漂砂量分布のパターンがそれぞれ異なっていることがわかる。このうち昭和55年2月から59年7月まではN系のエネルギーフラックスの大きかった時期であり、全域で南向き漂砂が卓越している。一方、59年7月から平成元年9月までの期間は北向き漂砂が卓越しており、S系のエネルギーフラックスの寄与が大きかったものと考えられる。

常陸那珂海岸において従来実施されてきた調査結果の中から、長期的な汀線の変化を図-12 に示す。昭和22年から昭和44年までの22年間における汀線の変化は、今回の結果と異なり中央部から南側で堆積傾向にある。このような地形変化に対応する沿岸漂砂量は、図-11(b)と同様の分布形をしている。過去の研究と今回の研究の結果を総合すれば、常陸那珂海岸では、長期的には南向き漂砂が卓越しているが、2—3年の期間をとり出せば、北向き漂砂が卓越する時期もあるという二重構造になっていると考えられる。

5. 結 語

本研究では、16年間の深浅測量データ、9年間の波浪観測のデータを解析し、常陸那珂海岸の地形変化の実態と特性に検討を加えた。今回の解析を通して、常陸那珂

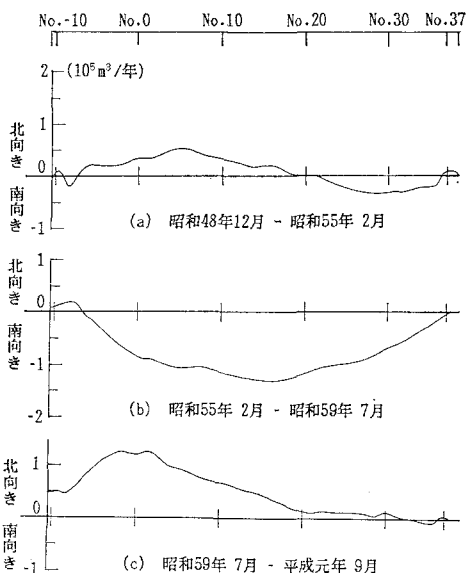


図-11 沿岸漂砂量の分布

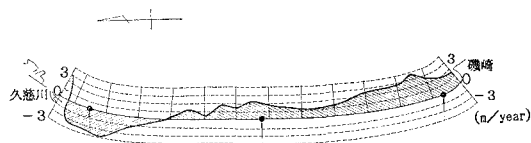


図-12 長期的な汀線の変化(昭和22年—昭和44年; 運輸省第二港湾建設局, 1973)

海岸の海岸地形が、入射波の波向の変動に対して敏感に反応して変化すること、その結果、全体的には安定しているように見える海岸が、小領域毎には相当大きな変動をくり返していること等の興味ある知見が得られた。こうした変動の周期は、2—3年程度と把握されたが、このような周期の変動が現地の地形変化を支配していることは、注目に値する。

本研究を進めるにあたり、データの処理には、小泉毅、柳田謙両君(当時、茨城大学学生)の、図面・論文の清書には茨城大学工学部伊佐治進技官の協力を受けた。ここに深甚な謝意を表する。

参 考 文 献

- 茨城県三浜港事務所・茨城大学工学部建設工学科 (1987): 大洗港海浜地形変化解析報告書, 100p.
- 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所 (1973): 首都圏流通港湾漂砂調査報告書, 100p.
- 堀川清司編 (1985): 海岸環境工学, 東京大学出版会, p. 181.