

大潟海岸の侵食機構に関する一考察

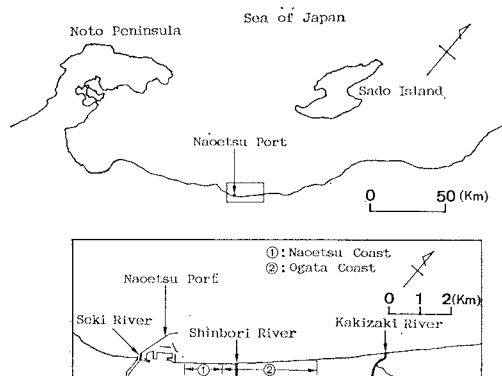
宇 多 高 明*・野 口 賢 二**

1. ま え が き

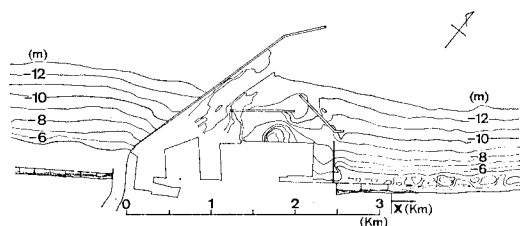
大潟海岸は、新潟県の上越市郷津から柏崎市米山に至る延長約 25 km の砂礫海岸である(図—1)。この海岸では直江津港の防波堤の建設工事以来海岸侵食が著しく、根本的な侵食対策が求められている。その対策工法の一つとして最近ヘッドランド工法が提案された(土屋ほか, 1988)。このような工法を実施するに際して最も重要なのは沿岸漂砂の動態、とくに漂砂の方向と量について十分理解することである。この海岸の漂砂特性に関してはすでに京都大学防災研究所による報告が多数あるので、それらについて検討したところ、2, 3 の疑問点が見出された。本報ではこれらの既存の資料に現地データを加えて多少の議論を進め、ヘッドランドを中心とする海岸侵食対策を進める際の参考とするものである。

2. 直江津港周辺の海浜変形

直江津港周辺において 1988 年 10 月に得られた深浅図を図—2 に示す。図にはいくつかの特徴が見られる。まず、全体的に見ると港の東側の海岸は急深であって、西海岸の方が同じ水深の等深線までの離岸距離が長い。また港を境に等深線形に著しい差異が見られ、東側では防波堤背後へ向かって、例えば -13 m の等深線はなだらかに弧を描き、最も長い離岸距離は防波堤の遮蔽域で見られる。これに対し、防波堤西側の等深線形は防波堤に沿って逆に岸側に接近しており、防波堤を境に等深線形が東西で明らかに非対称形を示す。また、-13 m の等深線形を東西で比較すると、防波堤の遮蔽領域内の等深線の方が沖に位置する。元々直江津港の建設される以前の等深線は沿岸方向に単調な形態を有していたと考えられる。その場合関川河口のある港の西側で等深線が沖に突出し、それが東方向へとなだらかに漸近する形態が考え易いが、図—2 の特徴はこれと明らかに異なる。防波堤が長く延ばされると、先端水深は次第に深くなり、関川からの流出土砂が東側海岸へと迂回することは困難とな



図—1 海岸の位置図



図—2 直江津港周辺の深浅図 (1988 年 10 月測量)

る。したがって河口部では土砂が堆積傾向となる。それにもかかわらず港の東側の等深線が西側のそれよりも突出することに対しては、他に理由を求める必要がある。この原因としては、防波堤の東側に形成される遮蔽域で発達する時計回りの方向の循環流による土砂輸送が考えられる。

図—2 に一部を示した深浅図をもとに、沿岸距離と沖向き距離のスケールを変えて等深線形の沿岸方向の変化を調べたのが図—3 である。この図によれば、例えば -13 m の等深線の位置が防波堤を挟んで大きくずれていることが良くわかる。また、直江津港の東側隣接区域では、防波堤背後で沖に突出していた等深線が凹形になっている。等深線が凹形形状を示す範囲は直江津港と大潟漁港の間であり、この区間は次に述べる汀線の著しい後退区域と良い一致を示す。港の建設以前からこのような

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室

凹形の地形が存在したとは考えにくいから、このような地形が形成されたのはこの区域より西向きに土砂が流出し、その土砂が防波堤の遮蔽域に堆積したためと考えられる。

Kawata (1989) は、大潟海岸の 1947 年から 1979 年の間の汀線変化を図-4 のようにまとめている。ただし、図の横軸は港湾区域との境界(図-2 参照)からの沿岸距離に変更してある。1971 年まででは $x \leq 2$ km の範囲で汀線の後退が著しかったが、時間経過とともに汀線の後退区域は新堀川河口 ($x=3.2$ km) 付近にまで到達した。1971 年当時の $x=0$ km 付近における海岸侵食状況

を写真-1 に示す。高い浜崖が形成され、大量の土砂が急速に消失したことが見てとれる。また、この時点では侵食対策として護岸は設置されておらず、中空三角ブロックが設置されたもののそれらの大部分は砂浜の中に埋没している。この海岸ではその後数年のうちに護岸が設置されたが、激しい侵食を受けた時にはまだ護岸が設置されていなかった点は、護岸等からの反射波が侵食の直接原因とはなり得ないことを示している。

次に、この汀線変化図をもとに $0 \text{ km} \leq x \leq 4 \text{ km}$ の区間における 1947 年を基準とした 1979 年までの海浜面積の減少量を求めると、1971 年までで約 $6.2 \times 10^4 \text{ m}^2$ 、1979 年で約 $1.1 \times 10^5 \text{ m}^2$ となった。この海岸では漂砂の移動高は求められていないが、土屋ほか (1988, p. 100) が示した 1968 年より 1976 年の間における大潟海岸の海浜断面形の変化によれば、汀線の後退とともに平均海面上約 3 m より水深約 6 m の間の断面形はほぼ平行移動しつつ後退している。したがって漂砂の移動高は約 9 m である。この値を上記の海浜面積の減少量に乗ずると、1947 年～1971 年の土砂量の減少量は約 $5.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、1979 年までで約 $9.9 \times 10^5 \text{ m}^3$ となる。1971 年～1979 年の間では $5.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で土砂量が減少したことになる。

土屋ほか(1988)は、図-4 の汀線変化が直江津港によ

り東向きの沿岸漂砂が阻止されたため生じたと結論している。図に示した汀線の後退状況は確かに沿岸漂砂が阻止される場合の汀線変化に良く似ているが、侵食区域が東側へ広がる状況からただちに侵食原因が東向きの沿岸漂砂の阻止にあると判定するのはやや疑問である。その理由は以下のようである。

①土屋ほか(1988)によれば、東向きの沿岸漂砂量は新堀川河口付近で高々数年数千 m^3 と推定しているが、海岸侵食

状況から概算された漂砂量は $5.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ とはるかに大きく、短い年月の間に生じた激しい侵食を説明できない。

②図-2, 3 に示したように、直江津港付近では -13 m に至るまでの沖合の等深線が前進したと考えられる点を考慮すれば、海浜の土砂は港内方向へ移動したと考えるべきである。そうでなければ、港内堆砂の原因が説明できない。

③新堀川河口付近の 1980 年 3 月の状況(写真-2)によれば、河口の東側(左側)では汀線が前進し、またその沖に白い砕波帯が見える。これに対し、西側隣接域(右側)には前浜が存在せず消波工で守られた海岸になってい

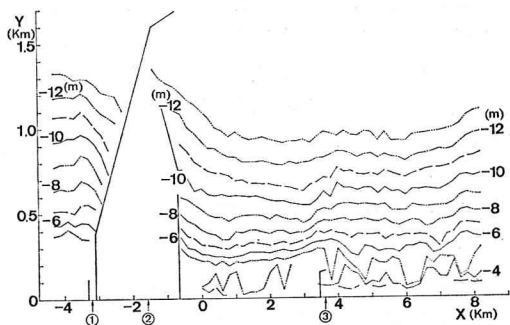


図-3 大潟海岸の等深線図 (①関川, ②直江津港, ③大潟漁港)

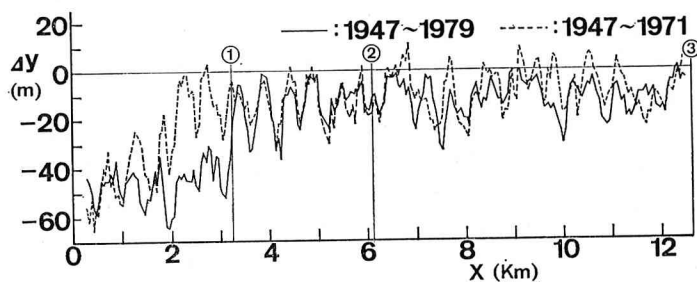


図-4 大潟海岸の汀線変化 (Kawata, 1989)
(①新堀川, ②棧橋, ③柿崎川)

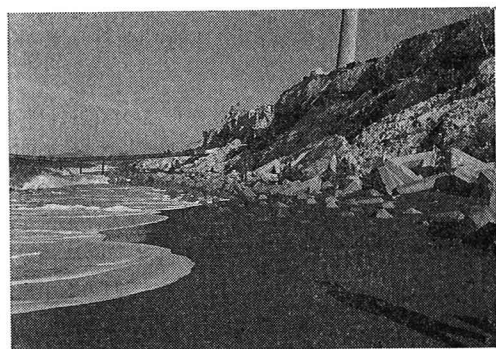


写真-1 $x=0$ km 付近における 1971 年当時の海岸侵食状況 (1971 年 6 月撮影)

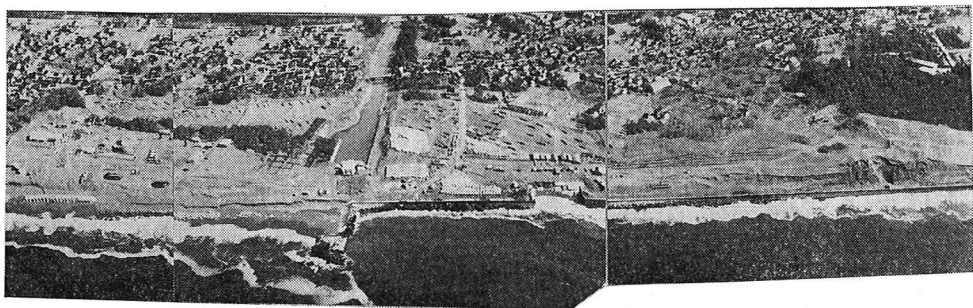


写真-2 新堀川河口周辺の海岸状況 (1980年3月撮影)

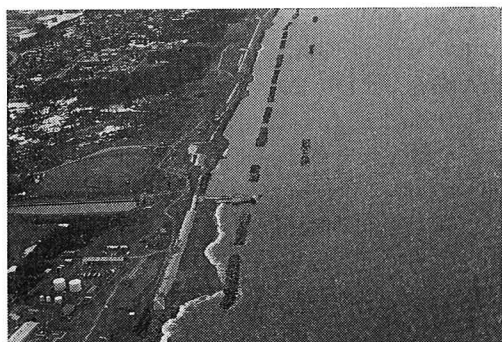


写真-3 新堀川河口周辺の海岸状況 (1984年3月撮影)

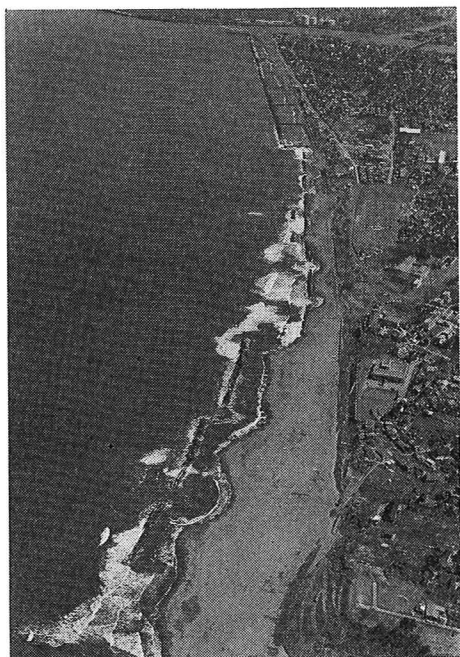


写真-4 関川河口西側の海浜状況年 (1980月3撮影)

在しない。離岸堤背後の堆積土砂は消波工により遮蔽されているから波向変化に応じてそれほど急激には動かないと考えられる。したがって上記の事実は西向きの卓越漂砂が河口の構造物によって阻止されていることを示していると考えられる。また、新堀川河口の排水口は西側に向いているが、それによって河道内への土砂堆積が生じていない点も上記の点を裏付ける。

④土屋・芝野 (1974) によれば関川の左岸側の海岸では西向きの沿岸漂砂が卓越するとされている。1980年3月に撮影した関川河口の西側の海浜状況 (写真-4) によれば、西側ほど大量の土砂が堆積している。このことは当地点の沿岸漂砂の卓越方向が確かに西向きであることを示している。河口部と大湊海岸とは海岸線の方向は現在ではそれほど大きく変わらず、ほぼ直線状である。すなわち、河口デルタ地形として汀線形が著しく突出している訳ではない。このことよりわずかに約3km離れた地点で沿岸漂砂の卓越方向が反転するとは考えにくい。

⑤土屋・芝野 (1974) は、直江津港西海岸の海岸過程について論じており、この中で直江津港の変遷図を示しているが、河口の導流堤が延ばされても構造物の東側の汀線はほとんど後退傾向を示さず、むしろ前進傾向である。仮に東向きの沿岸漂砂が卓越するとすればこのことを説明できない。また、西海岸の侵食は1955年の河港分離工事で降急激に進行した (土屋・芝野, 1974) が、長大な防波堤が建設される以前からの汀線の後退は、西向きの卓越漂砂が阻止されたためと考えれば説明は容易である。

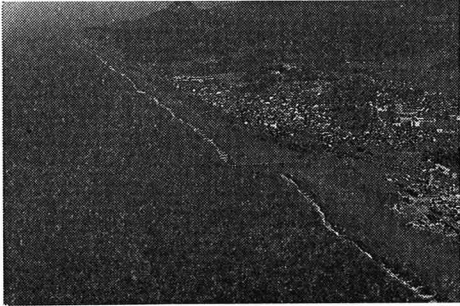
ところで、図-4に示した汀線変化図の東端には柿崎川河口が位置する。大湊海岸ではWNW~NNEの間で大きく波向が変化する (土屋ほか, 1988) が、これが事実とすれば、不透過構造物の周辺では顕著な地形変化が見られるはずである。そこで柿崎川河口にある導流堤周辺の海浜状況を調べたところ、1983年11月の空中写真 (写真-5) によれば、構造物の東側で汀線が突出し、西側で後退している状況が見られた。波向の変動があれば堆積、侵食状況は逆転するから、この写真1枚のみから

る。また4年後の1984年3月の状況 (写真-3) によれば、離岸堤等の構造物の建設が進んだものの、河口の東側では土砂が堆積し、河口の西側には前浜がほとんど存

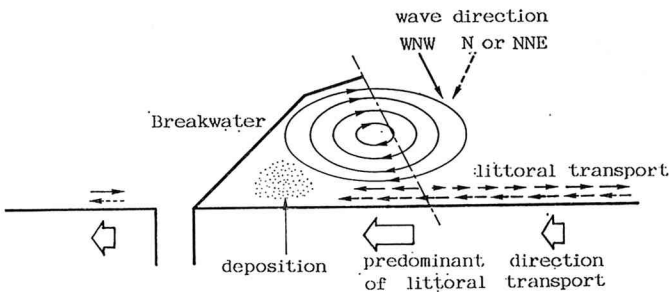
漂砂の卓越方向を判断することはできないが、少なくとも当地域では N または NNW 方向からの入射波に対応した西向きに漂砂が卓越する時期があることが分かる。またこのような漂砂方向は、新堀川河口で見られた漂砂の方向と良い一致を示す。

3. 試 案

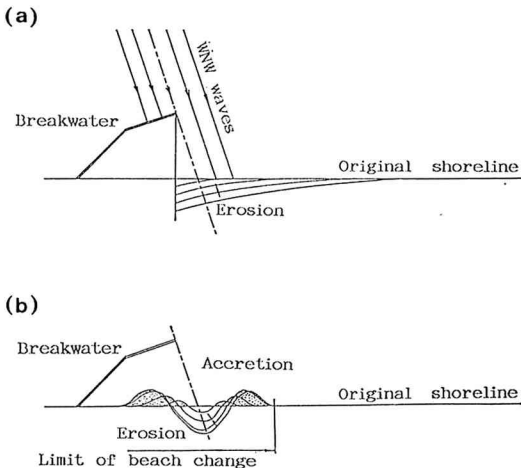
この海岸への入射波浪は、WNW と N または NNE



写真—5 柿崎川河口周辺の海岸状況 (1983 年 11 月撮影)



図—5 侵食原因の模式図

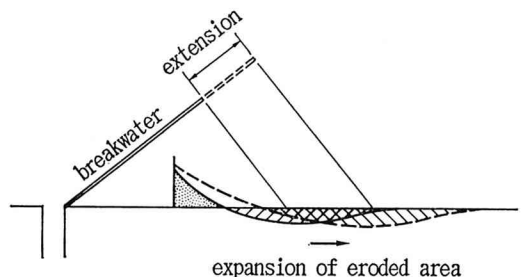


図—6 侵食原因の模式図 (土屋ほか, 1988)

方向からが卓越する (土屋ほか, 1988)。直江津港の防波堤が長く延ばされた結果, WNW 方向の入射波に対して防波堤の背後に広い遮蔽域が形成され, 港内方向へと循環流が生ずる。この流れにより隣接海岸の土砂が港内方向へと運ばれる。このような例は大洗港や大津港などでも見られた現象である (宇多ほか, 1986)。防波堤の背後へと運ばれた土砂は防波堤背後の広い静穏域で堆積する。この場合, 波の主方向が 1 方向のみであれば侵食域はある範囲に限定される。しかし, この海岸では N または NNE 方向の入射波により沿岸漂砂の方向が西向きとなる場合もある。これは柿崎川河口の空中写真より明らかである。とすれば港から離れた地区より隣接区域へと新たに土砂が運ばれ, 次に波の方向が WNW 方向となったとき再び港内方向へと移動してしまう。このようにして波向変動があれば侵食域は広がり示すことができる。更に, 新堀川河口の写真により議論したように, この海岸では西向きの沿岸漂砂の卓越も見られる。この場合, 再び侵食区域へと土砂が運ばれ, 結局それは港内方向へと移動することになる。以上の漂砂特性を模式図

としてまとめると図—5 となる。土屋ら (1988) は同じく大潟海岸の漂砂特性として図—6 を示し, この海岸の著しい侵食の主因は (a) の機構によるとした。図—5, 6 を比較すると, 図—6 の (b) を強調し, なおかつ (a) の卓越漂砂の方向を逆転させたのが本研究での提案である。ここでの提案をもとに, Kawata (1989) の指摘, すなわち図—4 において著しい侵食区域が 1971 年～1979 年の間に東側へ約 1.5 m 広がった点を再考すると, この間, 直江津港の防波堤は 1040 m 延ばされており, これによる遮蔽域の東側への拡大に対応して侵食域も東側へ広がったと解釈できる (図—7 参照)。

漂砂特性の把握には底質特性の面からの検討も有効である。実際, 大潟海岸の底質特性については, 白井・土屋 (1981) が調べており, これによると大潟海岸中央部では前浜の底質が粗粒であり, 東へ向かうにしたがい中



図—7 防波堤の延長に伴う侵食域の広がり模式図

中央粒径が小さくなっている。このことより、白井・土屋は漂砂の卓越方向が東向きであるとした。しかし、上述の機構により大量の土砂が港内方向へと移動するとき、細粒のものほど動き易いから、侵食域には粗砂が残されると考えればこのことも説明がつく。事実このような例は鹿島港の北側の大野・鹿島海岸で見られる現象である(住谷ほか, 1988)。

大潟海岸は現在前浜勾配が急になり、過去には dissipative beach であったが、近年は reflective beach へと変化した(土屋ほか, 1988)。これが事実なことは確かであるが、この原因について土屋らは構造物からの反射波の影響により沖向き漂砂が助長されたことをあげている。しかし、浅海域の土砂が沿岸漂砂によって運び去られれば結果として断面は急になること、また護岸などの構造物が造られる以前より急激に侵食が進んで急な断面形となったこと(写真-1 参照)から、この点についても再考の余地があるように思われる。

4. あとがき

本研究では大潟海岸の侵食原因について過去の資料をもとに 2, 3 の検討を試み、漂砂の卓越方向に関する解釈を加え、防波堤周辺における海浜変形のモデル化を行った。また、同じ海岸に関する土屋ほかのモデルとの比

較を試みた。当海岸の侵食は年々激化する一方であり、単に海岸線に沿って消波ブロックを設置するのみでなく、ヘッドランド等を用いて根本的な意味より海浜を安定化させる手法がとられるべきとの土屋ほかの提案については筆者も賛成したい。この意味より対策が成功するための一つの資料として本報が使われるよう期待するものである。

参 考 文 献

- 宇多高明・住谷勉夫・小林洋三(1986): 茨城県における海浜変形の実態, 地形, Vol. 7. pp. 141~163.
- 白井 享・土屋義人(1981): 大潟海岸の漂砂源について, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 251~255.
- 住谷勉夫・園部武正・宇多高明・伊藤 隆・猿田正則・横田喜一郎(1988): 鹿島灘沿岸におけるヘッドランドの建設による海浜の安定化, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 437~441.
- 土屋義人・芝野照夫(1974): 直江津港西海岸における海浜過程について, 第21回海岸工学講演会論文集, pp. 141~145.
- 土屋義人・河田恵昭・吉岡 洋・山下隆男・白井 享(1987): 大潟海岸の侵食制御に関する調査研究, (財)防災研究協会, 99 p.
- 土屋義人・河田恵昭・山下隆男(1988): 大潟海岸侵食防止対策模型実験, (財)防災研究協会, 116 p.
- Kawata, Y. (1989): Methodology of beach erosion control and its application, Coastal Eng. Japan, Vol. 32, No. 1, pp. 113~132.