

直江津港西海岸における海浜過程について

土屋 義人*・芝野 照夫**

1. 緒 言

近年、わが国では、河川からの流送土砂の変化あるいは海岸構造物による漂砂阻止によって海岸侵食が助長されてきているが、いまだその実態は十分に明らかにされていないのが現状である。この直江津港は、その修築がたびたび実施され、特に1956年以降では、関川と直江津港の分離計画による大改修とそれに伴う西防波堤の延長が行われてきた。そこで、本文では構造物の築造に伴う海岸変形を究明するための1つの事例として、直江津港西海岸の海浜過程を究明し、特にその海岸侵食の実態を明らかにしようとするものである。

2. 直江津港の変遷の概要

直江津港は、図-1に示すように富山と新潟のほぼ中

間に位置し、鎌倉時代には日本海沿岸の七湊の1つに数えられ、それ以後わが国各地の諸港と交易する要港として発展してきた。しかし、当時直江津港は

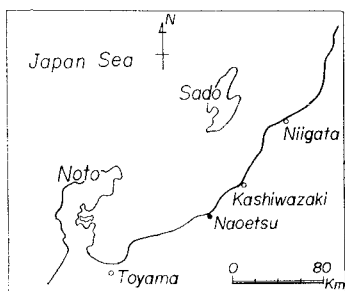


図-1 直江津港位置図

関川の河口港であったので、冬冬季節風時の高波浪による災害と河口閉塞を余儀なくされ、また、関川の洪水によってもたびたび被害を被ってきた。

関川は流域面積約1100km²の河川であるが、その水源は薬師岳に発し、地すべり地帯で有名な妙高山地をその流域としているので、流送土砂の多い河川となっていた。

直江津港の変遷¹⁾は図-2に示すとおりであるが、まず河口閉塞を防止するために1919年から河口右岸の導流堤および河口左岸の突堤工事を開始し、1938年にはその河口安定化工事が完了した。第2次大戦後1946年ころからは、再び改修工事が開始され、その後河港分離計画により1956年からその工事に着工し、1960年に完了した。

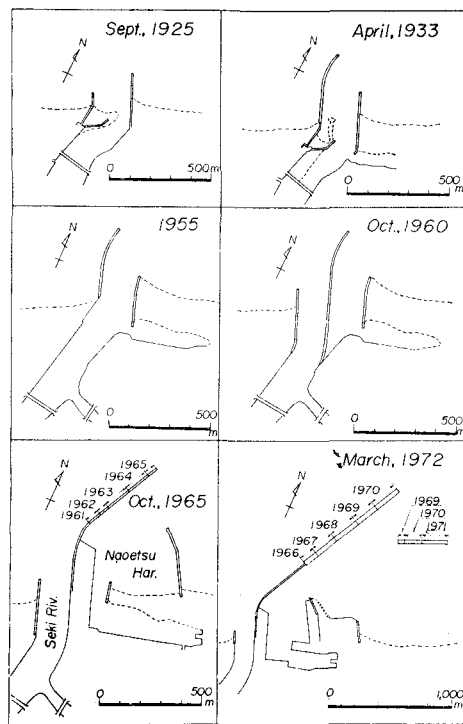


図-2 直江津港の変遷図

同時に、港湾機能の拡大に伴って、1960年より西防波堤の延長工事が開始され、本格的な近代港湾として大きく発展しつつある。

3. 来襲波浪の特性

海岸侵食をはじめとする海浜過程を究明するためには、その海岸へ来襲する波浪特性を見出す必要がある。幸いこの直江津港海岸では新潟県によって1964年12月より波浪観測が行われており、最近若干観測上の支障をきたしているが、その得測率は非常に高い。

この海岸へ来襲する波浪は冬冬季節風によるものがほとんどであり、その方向は低気圧の通過とともに一般にWからNE方向へと変化するが、海岸変形に影響を及ぼすと考えられる有義波高4m以上のものはその方向がNNWからNWにほぼ限られ、有義波周期は7sec~9secのものが全体の約60%を占めている。図-3は1964年より1972年までの月最大波高 H_{max} 、有義波高

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 正会員 京都大学助手 防災研究所

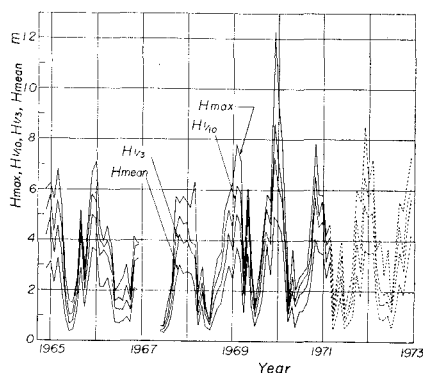


図-3 来襲波浪の経年変化

$H_{1/3}$ および平均波高 H_{mean} のそれぞれの経年変化を示したものである。ただし、1971年4月以降については直江津港での波浪記録が欠測のため、直江津港より約40km北の柏崎港において観測された結果を示している。この図から、冬季節風時には最大波高約7m~8mの波浪が毎年のように来襲し、特に1969年12月には約12mにも及ぶ高波浪が来襲している。著者ら²⁾が富山県下新川海岸で行ったと同様に、この波浪資料を用いて直江津港海岸に来襲する波浪エネルギーの経年変化を求めたものが図-4である。この波浪エネルギーの算定には、1日4回の波浪観測資料を用いることにしたが、夏期の6月から8月に至る期間には日本海側ではほとんど大きな

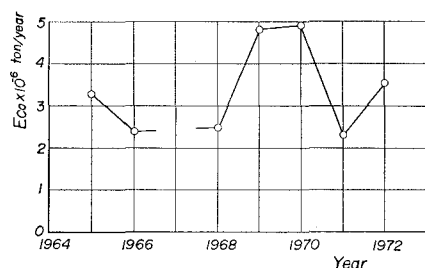


図-4 波浪エネルギーの経年変化

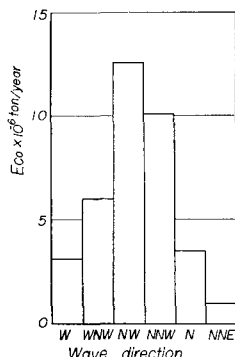


図-5 波向別の波浪エネルギーの頻度分布

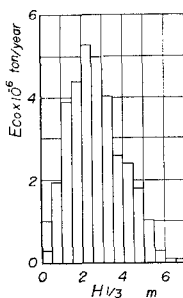


図-6 波高別の波浪エネルギーの頻度分布

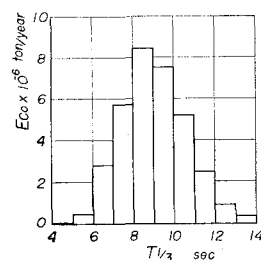


図-7 周期別の波浪エネルギーの頻度分布

波浪が来襲しないためその期間については省略した。また、1967年については1月から9月までの波浪記録が欠測となっていたため考察しなかった。この図-4からも1969年および1970年には非常に大きな波浪が来襲したことがわかる。1970年には1969年12月につづき、1月下旬から2月初旬にかけて高波浪が来襲したが、観測地点ですでに砕波していたといわれていることから、実際の沖波波高は図-3に示すものよりさらに大きかったものと推定される。

この直江津港における波浪観測では、波向観測の資料がほとんどなく、1964年12月から1965年4月に至る短期間の結果³⁾を用いて、1965年から1972年までその波向と同じ割合で波浪が来襲したものとして算出した来襲波浪の波向別波浪エネルギーの頻度分布を図-5に示す。これからはNNWとNW方向の割合が高くなっているが、実際は各年によって来襲波浪の波向もかなり異なっているはずであるから、波浪のエネルギーフラックスの沿岸方向分布は若干異なるであろう。また、図-6および7はそれぞれ波高別・周期別の同様の結果を示すものである。これから有義波高で約3m前後および有義波周期で約8sec~9secの波が波浪エネルギーに対して大きな割合を示していることがわかる。

4. 海岸地形の経年変化

海岸地形の変化は、波浪や沿岸流などの直接的な外力と流入河川からの流送土砂の変化あるいは海岸構造物による漂砂の阻止などによって生じる。この直江津港西海岸においても関川からの流送土砂量の減少による漂砂源の変化によって海岸侵食が助長されてきたが、また一方、このことは構造物による漂砂阻止ならびに港湾構造物の築造に伴う波浪特性の長期的な変化にも大きく原因している。

(1) 汀線の変化

直江津港西海岸は古くから海岸侵食の傾向がみられ、

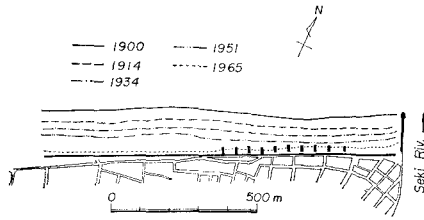


図-8 直江津港西海岸の汀線後退状況

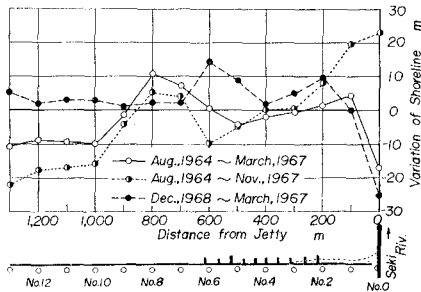


図-9 汀線の場所的变化

図-8に示すように1900年以来約70年間にほぼ150m, 年平均約2mの割合で汀線が後退していることがわかる。この汀線の後退のためにこの海岸ではかなり古くから侵食防止対策としての護岸工と根固あるいは突堤工が施こされており, それも関川河口に近いところでは1945年以前に施工されたが, その後護岸や突堤による侵食対策工が順次西側に実施されてきた。また, 図-9は各測量年月ごとに比較した汀線の場所的变化を示したものである。ただし, この西海岸では, 1967年夏期に測点No.1付近の沖合に約13万 m^3 の養浜が行われ, さらに1968年から現在まで測点No.13付近より関川河口に向かって離岸堤による侵食防止工が築造されてきている。この図から養浜前は測点No.1~No.2およびNo.6~No.8の範囲以外で, 汀線がかなり後退しており, 特にNo.9以西でその後退量が大きくなっている。また, 1967年11月の養浜直後においても置砂を行った測点No.0~No.4付近では汀線が若干前進しているが, 他の測点では養浜前と同様の傾向を示している。しかし, 1968年12月には測点No.9以西で養浜前に比べて汀線が約20m前進している。これは侵食防止工のうち離岸堤は測点No.13付近から施工されたものであり, 離岸堤による堆砂効果が現われているものと考えられる。また, 測点No.2~No.6の範囲では防波堤による西向きの沿岸流によって養浜土砂が移動し, その結果汀線が若干前進していることがわかる。

直江津港西海岸における海底地形は, 水深約5mまでの前浜付近では約1/40~1/50の勾配であるが, それで深では1/150と緩勾配となっている。また, 一般に水

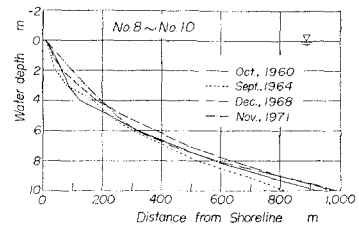


図-10 海底断面形の1例

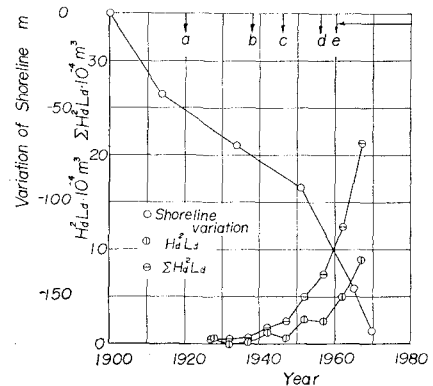
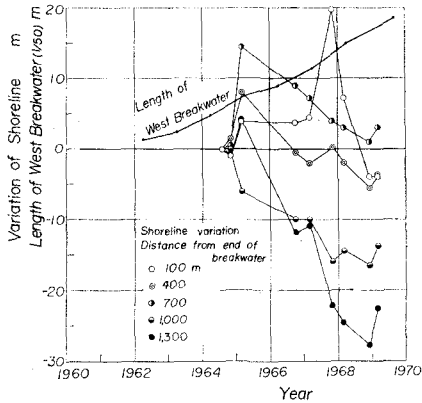


図-11 直江津港西海岸の汀線および関川の砂防ダム群の経年変化

深4m~5m程度のところに沿岸砂州が発達しているが, 冬期波浪の来襲による前浜での地形変化は複雑である。

図-10は海底断面の1例であって, 1960年から約11年間の変化を示す。ただし, これは測点No.8からNo.10までの範囲の平均海底である。この図からも前浜付近では約1mから2mにもわたる海底地形変化がみられるが, それ以深では明らかな傾向は見出せない。

図-11は西防波堤基部の関川河口左岸の突堤付近における汀線の経年変化を示したものである。ただし, 図中の記号aは河口右岸導流堤工事の着工, bは河口安定化工事の完了, cは第2次大戦後の修築工事の開始, dは河港分離工事の着工, eは河港分離工事の完了およびfは西防波堤延長工事の開始以降を示すものである。これから, 1955年の河港分離工事の開始以降侵食が急激に進行したことがわかる。それ以前の汀線後退は前述したように年平均2m程度であったが, それ以降は年平均4m程度にも及んでいる。また, 図中には関川からの漂砂源の変化を検討するために, 砂防ダム群について, その堤高 H_d および堤長 L_d から算出される堆砂量に關係する量 H_d^2/L_d を求め, またそれらの累加量 $\Sigma H_d^2/L_d$ の経年変化を示した。この砂防ダム群による貯砂がどの程度この汀線変化に寄与しているかは明確でないが, 関川の上流地域は地すべり地帯として有名で, かつては関川から多量の流送土砂が流出していたと考えられることか



図—12 西防波堤の延長と西海岸の汀線の経年変化

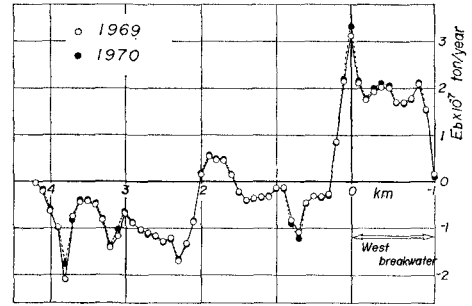
ら、直江津港海岸のかん養における関川からの流送土砂の寄与はかなり大きかったと想像される。

次に、西防波堤の延長に伴う汀線変化を示したものが図—12である。1967年12月の防波堤基部付近における汀線の前進傾向は、1967年夏期の養浜土砂によるものであり、また関川からの流送土砂量の減少の影響はわからないが、これから西防波堤の延長に伴って汀線が後退することが明らかにされよう。また、1969年3月にはこの西海岸全体にわたって汀線の回復のきざしが見られるが、これは離岸堤の侵食防止工の効果によるものと考えられる。

西防波堤の延長によってこの海岸侵食が助長される原因は次のように考えられる。3.で述べたように、来襲する波浪の主方向はNNWからNW方向であることから、冬季節風時の波浪が西防波堤によって反射し集中され、それに伴ってこの付近に西向き沿岸流が著しく発達して西防波堤基部付近の侵食が進行する。これに反して、この海岸の西端の郷津付近では、汀線の方向がNWからSE方向であり、この範囲では東向きの沿岸流が発生することになり、したがってこの付近の沿岸漂砂も東向きとなると考えられる。これら西防波堤の延長に伴う波浪特性の変化と海岸侵食との関係は、この海岸における波の屈折特性との関係から、さらに詳細に後述される。

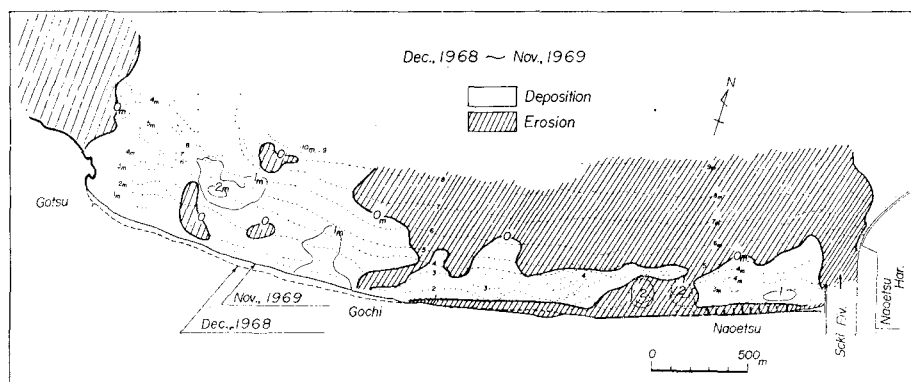
(2) 波浪エネルギーフラックスの沿岸方向分布と海底地形の変化との関係

前述の1964年から1972年に至る波浪資料に基づいて、各周期および波向ごとに電子計算機を用いて屈折図を描き、碎波点での波の入射角および屈折係数など波浪特性を検討して、この海岸の沿岸方向の波浪エネルギーフラックスを求めたもののうち、1969年および1970年の結果を図—13に示す。ただし、波向の算定にあたっては3.で述べたような仮定に基づいて、ここでは一応各年と

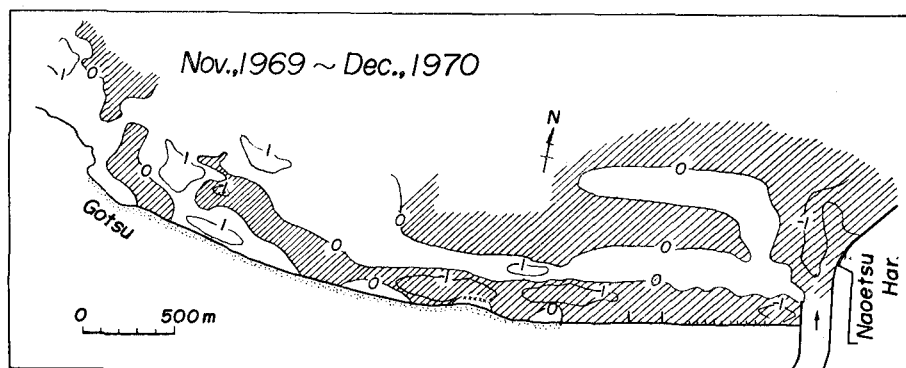


図—13 波浪エネルギーフラックスの沿岸方向分布

もほとんど変化しないと考えた。なお、この場合波浪のエネルギーフラックスは西向きを正とし、沿岸方向の座標の原点は関川河口左岸の導流堤基部にとった。この図から、西防波堤に沿ってかなり強い波浪のエネルギーフラックスの西向き成分がみられ、それが増加の傾向にある範囲ではこれと同じ方向の沿岸流の発達によって海底が侵食されることが考えられる。しかし、同様な考えからすると、西防波堤基部から約0.5kmの範囲では、波浪のエネルギーフラックスが減少する傾向にあるので、西防波堤に沿って移動してきた漂砂が堆積する傾向にあるものと推定される。さらに、約0.5kmから2kmの範囲では一定の傾向は見られないが、約2.5kmから4kmまででは西向きから東向き成分へと変化するところが見られると同時に、波浪のエネルギーフラックスの値もあまり大きくないが、全般的な傾向としては、波浪エネルギーフラックスの沿岸方向分布が場所的に変化している。すなわち、2kmから2.5km付近では減少しているので、これらの領域では東向きの漂砂が堆積する傾向にあるものと考えられる。また、約4km付近では、西防波堤付近とは逆に波浪のエネルギーフラックスは東向きで、その値も大きくなる傾向を示すことから、東向きの沿岸流が発達すると考えられる。以上のことから約2kmから4kmの範囲では、東・西両方向から移動する沿岸漂砂が堆積すると推定される。このような波浪エネルギーフラックスの沿岸方向分布から考えられるこの海岸の一般的な侵食堆積の傾向を実際と比較検討するために、測量年度の相違する深淺測量図を重ね合わせて、侵食および堆積領域の分布を示したものの1例が図—14(a)および(b)である。ただし、この図は図—13に示す期間とほぼ一致する測量図を用いた結果を示してある。図—13に基づいて考察した侵食・堆積の傾向が図—14に示すものとかんがえよく一致していることが明らかにされるが、各年度ごとに細部において若干相違しているのは、当然のことながら前述したように波向の資料の不備によるものであろう。



(a)



(b)

図—14 直江津港西海岸における侵食・堆積領域の分布

5. 結 語

以上、直江津港西海岸における海岸侵食について、特に港湾構造物の築造に伴う海岸地形の変化を検討したが、要約すると次のとおりである。

(1) この海岸へ来襲する波浪は冬季節風時のものがほとんどを占め、しかも波浪の主方向は NNW から NW 方向である。また、波浪エネルギーの分布からみれば、有義波高が 1.5m から 3.5m のものが全体の約 60% となり、有義波周期は 7sec から 9sec のものが約 60% を占めている。

(2) この海岸では、1900 年以来約 70 年間にほぼ 150m、年平均約 2m の割合で汀線が後退している。しかし、最近では、関川河口より約 0.9km から 1.3km の範囲では離岸堤の築造による堆砂効果が現われ、汀線は約 20m 前進している。

(3) 構造物の築造と汀線の経年変化には密接な関係があり、特に関川と直江津港の河港分離工事以降、急激に汀線が後退したことが明らかとなった。それと同時に、関川上流の砂防ダム群の築造によって、関川からの流送土砂量の減少もこれに関係していることが示唆されたが、両者の定量的な評価はさらに詳細な検討にまたね

ばならない。

(4) 直江津港西海岸の侵食は、西防波堤の延長に伴う来襲波浪の波向と西防波堤の延長方向との関係から西防波堤に沿う西向きの沿岸流が発生し、西防波堤基部付近では侵食され、また、郷津付近では反対に東向きの沿岸流の発達によって侵食される傾向を示している。しかし、その中間付近では上記の東・西両側からの沿岸漂砂が堆積し、汀線は前進する傾向にある。

最後に、この海岸の調査資料の収集にご協力いただいた新潟県港湾課および直江津港湾事務所ならびにこの調査研究の当初ご協力いただいた鳥取大学工学部野田英明教授に謝意を表明するとともに、電子計算機による屈折図の作製にご助力いただいた山口正隆助教授に感謝する次第である。なお、本研究は文部省科学研究費自然災害特別研究（研究代表者 石原藤次郎京大名誉教授）による研究の一部であることを明記する。

参 考 文 献

- 1) 鈴木 稔：直江津港変遷図及深浅図，1952. 10.
- 2) 土屋義人・芝野照夫：下新川海岸の海浜過程について，第 20 回海岸工学講演会論文集，pp. 483～488，1973.
- 3) 新潟県土木部：直江津港水理模型実験報告書，1966. 11.