

下新川海岸の海浜過程について

土屋 義人*・芝野 照夫**

1. 結 言

近年、河川流域や海岸地帯の開発利用に伴って、河川改修やダムの築造ならびに各種の海岸構造物が築造されてきた。このような環境変化に伴って漂砂源が変化し、わが国各地の海岸で海岸侵食が助長されつつあり、自然災害特別研究の主要なテーマの一つとして、土砂収支の立場からこの方面の調査研究が強力に推進されている。下新川海岸も地形性要因による海岸侵食のほか、かような環境変化に原因する海岸侵食が問題となっている。

この海岸は図-1 に示すように黒部川以東の富山県内の海岸であって、従来より海岸侵食が激しく、1952 年富山県¹⁾によって調査されて以来、1957 年以降建設省²⁾によってきわめて詳細な調査が行なわれ、また最近 1968 年には科学技術庁³⁾の特別研究として大規模な調査が実施された。1952 年ころよりこの海岸の東部にある宮崎漁港の改修が行なわれ、また流入諸河川の改修などの環境変化に伴って、漂砂源の変化を余儀なくされてきた。

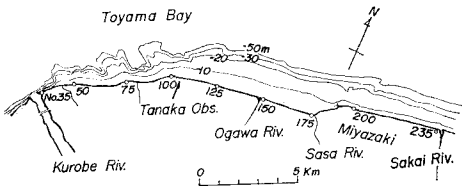


図-1 下新川海岸位置図

本研究は、こうした漂砂源の変化に伴うこの海岸の侵食の実態を究明するにあたり、まず建設省によって調査された結果をもとにして、この海岸の海浜過程を明らかにしようとするものである。すでに著者ら⁴⁾は科学技術庁の調査にさがかけて、1968 年より宮崎漁港の埋没の調査を実施して、かなりの成果をあげてきたが、特に宮崎漁港の東防波堤の延長に伴う漂砂源の変化に着目し、これが下新川海岸におよぼす影響を検討して沿岸漂砂量の推定を行なった。ここでは著者らの成果を再検討し、海浜地形の変化、沿岸漂砂量の分布や波浪の沿岸方向エネルギーフラックスの分布との関係などを中心とする海浜過程の特性を明らかにしようとするものである。

2. 波浪特性

この海岸では、建設省により測点 No. 100 付近の田中波浪観測所で 1958 年より波浪観測が行なわれ、波高と同時に汀線近くでの波向をも観測されている。ここでは、1964 年より 1968 年の 5 年間、1 日 2 回の観測によって得られた波高別の波向の観測結果をもとにして、波浪のエネルギー分布を求めた。それによると、この海岸における波の主方向は NW~NNW および NNE~NE であることが明らかとなった。ここに、この場合波向は屈折によって沖波の波向と相違しているはずであるので、各周期ごとに屈折図を描いて、観測された波向を補正し、エネルギーフラックスの方向分布として、各周期ごとに示したものが図-2 である。ここに、 θ は N 方向より反時計まわりに測った角度を表わし、また $E_0 C_G$ は沖波のエネルギーフラックスである。この図から、各周期ごとにエネルギーフラックスの集中状況が若干異なるが、NNE~NE 方向で示される主方向は、さらに E 方向に片寄ることがわかる。そして、比較的長周期の波浪がこの方向に集中することが見出されるが、このことは寄り

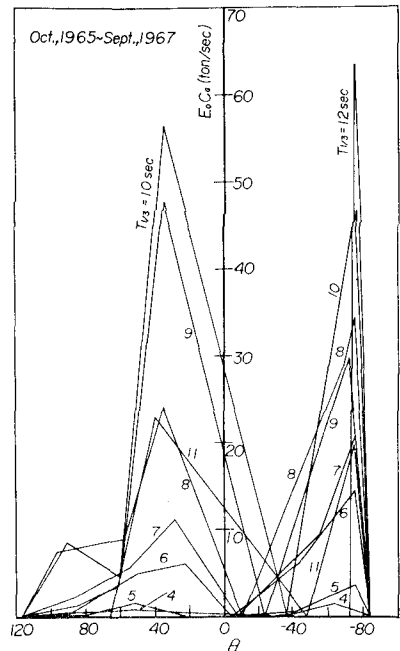


図-2 波浪のエネルギーフラックスの分布

* 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

廻り波として知られている富山湾沿岸の海岸侵食に大きく影響をおよぼしている波浪と対応するものと考えられる。

この海岸に来襲する波浪の経年変化を示したものが、図-3である。ただし、図中の○印は田中波浪観測所での記録が欠測のために、下新川海岸から約100kmはなれた直江津港における観測結果から推定したものである。なお、下新川海岸と直江津港の観測波浪を比較すると、これまでの調査から季節によって若干差異があるが、波高、周期ともかなりよい相関があることがわかったので、欠測の場合は直江津港の波浪資料から推定した。図-3では観測期間が比較的短いために十分ではないが、1965年から1966年にかけて大きな波浪が来襲したことを示し、それ以降の来襲波浪は比較的小さくなっている。

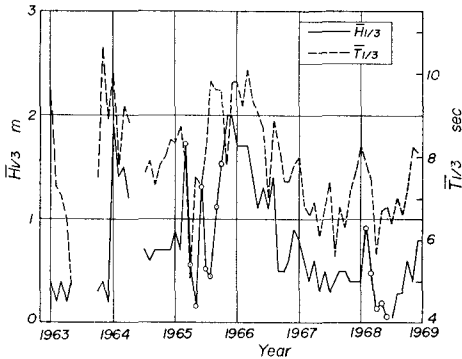


図-3 来襲波浪の経年変化

この海岸のうち海岸侵食の激しい範囲はその方向がほぼ東西方向に延び、N方向からWよりの1つの主方向をもつ波浪は汀線近くでその入射角が約70度となるが、もう1つの主方向であるN方向からEよりの波浪の場合、その入射角が45度以下になる。このように後者の波浪の沿岸方向エネルギーフラックスは前者に比べて大きいので、海岸侵食におよぼす影響も著しいといえる。

3. 海浜地形と汀線傾斜角の変化

(1) 汀線の変化

この海岸の侵食には宮崎漁港の東防波堤の延長が多かれ少なかれ影響していることが考えられるが、このことは豊島⁵⁾によってもすでに紹介され、海岸構造物の築造による海岸侵食の助長が指摘されている。図-4は東防波堤の延長に伴う汀線の経年変化を示したものであり、東防波堤の延長とその東海岸における汀線の前進は密接に関係し、また、笹川河口の東西両海岸の汀線の後退ともよく対応している。そして、河口東海岸の方が河口西海岸より汀線の後退が著しいが、これは漂砂の移動方向が全般的に東から西に向かっているためである。いま、

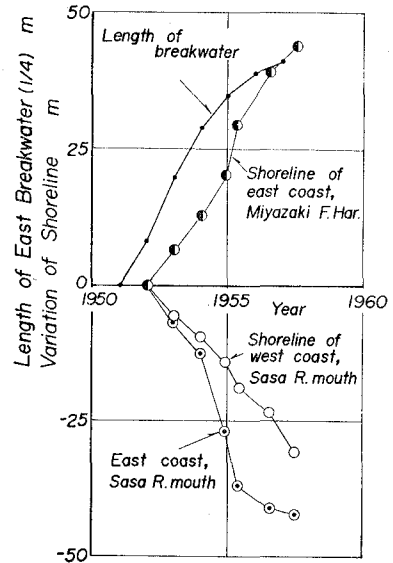


図-4 東防波堤の延長に伴う汀線の経年変化

笹川からの流出土砂がほとんどないと考えられるならば、河口東海岸の汀線後退量から河口西海岸のそれを差引いたものは、近似的に漂砂源の変化自身による汀線後退量をあらわすものと考えられよう。

この海岸に来襲する波浪のうち、海岸侵食に大きく影響を与えると考えられる比較的周期の長い寄り廻り波は、一般にNEよりさらにE方向から来襲するが、海岸侵食が進むにつれて汀線の傾斜角は波向に対して安定な直角方向になると考えられる。そこで、下新川海岸で比較的等深線が汀線と平行な測点 No.130 から No.176 に至る範囲での汀線の傾斜角を測量図および空中写真を利用して読み取りその経年変化を図-5に示す。ただし、 β_s はN方向からの汀線の角度であり、また、1970年近くの汀線はこの海岸全域にわたって海岸堤防で保全されており、ここでは海岸堤防法線の角度を示す。この図から汀線はしだいにN方向と直角になろうとする傾向にあり、後述する波の屈折特性と関係することはいうまでもないが、東防波堤の延長に伴って、下新川海岸への沿岸漂砂がほとんど阻止されたために、海岸土砂収支

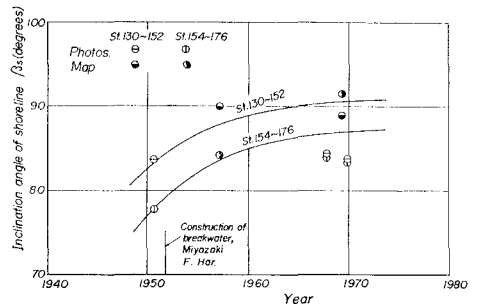
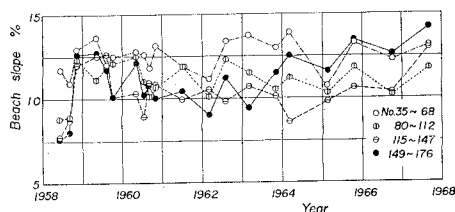


図-5 汀線の傾斜角の経年変化

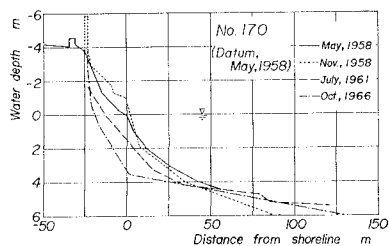
がくずれ、海岸侵食によって沿岸漂砂を供給しているわけである。

(2) 海浜断面の変化

沿岸方向の変化である汀線の変化と同時に海岸侵食は沖方向にも海浜の変化をもたらす。特に侵食の激しい海岸に海岸構造物が築造されると、その前面の海浜形状が変化し、高波浪時に構造物が破壊されることが最近目立っているようである。この海岸においても、災害ごとに海岸堤防が建設され、しかもその設置位置がしだいに後退している。図一6には汀線から40 m 沖合までの平均勾配で表わした海底勾配の経年変化を示す。この海岸で特に侵食の激しい測点 No. 140 付近から No. 176 の範囲では、1959 年から 1962 年と 1962 年から 1968 年の期間で逆の傾向を示しているが、前者では海岸堤防設置後、一応海浜が安定し、勾配がしだいに緩くなるが、一方海岸侵食が進むにつれて前面の砂浜がなくなるとその海底地形が変化し、その勾配が急になることを示している。図一7は測点 No. 170 における海底の断面形であり、これからの海底がしだいに急になっていることがわかるが、侵食および堆積を繰返すところでは必ずしもこのような傾向は示さないようである。



図一6 海底勾配の経年変化

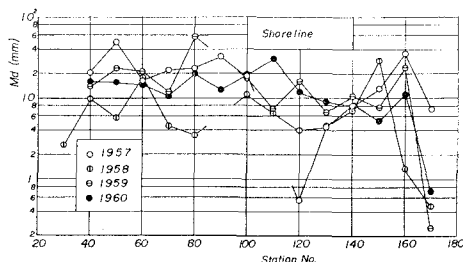


図一7 海底断面形の一例

(3) 底質特性の変化

海浜地形の変化に伴って、海浜の底質特性も変化する。この海岸の底質は粒径が比較的大きく、図一8のように M_d mm で示すその平均粒径は約 10 mm 以上にもおよぶ。このれきの移動による磨耗作用によって、堤防前面のテトラポットが磨耗されることは知られていることである。この海岸でも特に侵食の激しい測点 No. 140 付近から No. 176 の範囲では、測点 No. 170 から No. 140 に近づくほど底質粒径が小さくなり、また、1957 年に比

べて 1960 年にはその粒径が減少しているが、前者は漂砂の移動方向が全般的に東から西方向であることを表わし、後者は東防波堤による漂砂の阻止に原因し、また流入河川である笹川および小川からの流出土砂の変化によるものと考えられる。しかし、測点 No. 100 以西ではこのような明らかな傾向がなく、これはこの海域に発達する洋谷によって来襲波浪の沿岸方向分布が複雑になるためであろう。

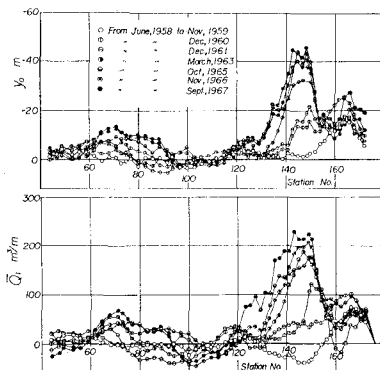


図一8 底質粒径の変化

4. 侵食量と沿岸漂砂量

(1) 侵食量および汀線移動量の経年変化

海岸侵食土砂量および汀線変化量は毎年各測点において測定されているが、各断面ごとに非常に散乱しているため、移動平均として沿岸方向における分布を示したものが図一9である。この結果には 1958 年 6 月よりの累加侵食土砂量 $\bar{Q}_1$ と同年を基準とした汀線の移動量 y_0 を示す。両者とも測点 No. 130 から No. 160 の間で急激に増大しているが、特に 1963 年 3 月にはその傾向は著しい。これは 1963 年 1 月に富山湾沿岸に多大な被害をもたらした低気圧による高波浪によるものである。また、侵食土砂量 $\bar{Q}_1$ のピークが測点 No. 170 付近より No. 140 へとしだいに西へ移り、侵食領域が移行していることがわかるが、このことは汀線の移動量 y_0 についても同様である。また最近では汀線の移動量およびその位置が一定となる傾向もみられるが、これはこの海岸全域にわたって



図一9 侵食土砂量、汀線移動量の沿岸方向分布

海岸堤防が建設されているので、その堤防前面まで侵食されていることを示すものであろう。以上のように侵食土砂量の分布の経年変化から、測点 No. 180 付近より西側では平均的には著しく侵食され、その範囲は次第に西側に移動していることがわかる。いま、この付近の海岸が比較的等深線のような海岸であることに着目して、この侵食範囲における全侵食量を求め、その経年変化を調べると、図-10 のようになる。これから、侵食量は平均的には直線的に増加するが、1958 年以後急激にこの侵食量が増加しており、東防波堤による漂砂阻止の影響がよく現われているといえよう。また、図中に示した直線的関係によって、年平均の侵食量を推定すると、約 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ となる。ただし、この付近には笹川および小川の 2 河川が流入しているが、これらからの流出土砂量はさほど大きくなく、建設省の推定によると後者で $1500 \text{ m}^3/\text{year}$ 程度であるので、ここではいずれも考慮しないことにした。なお、図-10 に示した侵食土砂量と汀線の移動量の関係を検討すると、平均的な漂砂の移動限界水深は約 5.5 m であることがわかった。

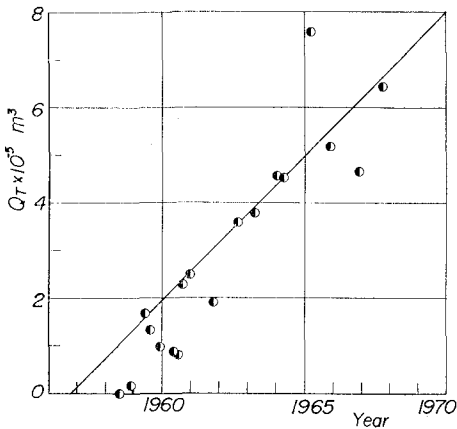


図-10 侵食土砂量の経年変化

(2) 沿岸漂砂量の分布

前述したように、この海岸の侵食量の分布は、1958 年以降宮崎漁港の改修に伴って、漂砂源としてのその東海岸よりの漂砂の供給はほとんど期待されないもので、ここではこの沿岸漂砂量が完全に阻止されているものとして、下新川海岸における沿岸漂砂量の推定を行なうことにする。いま、海浜に平行方向の漂砂の移動による海浜変形のみを考えることにして、沿岸方向に x とし、漂砂帯の幅を B 、漂砂帯全域における沿岸漂砂量を Q_x 、平均水深を $\bar{h}$ とすれば、海浜変形の連続方程式は次のように表わされる⁶⁾。

$$\begin{aligned} \partial y_0 / \partial t = & \partial \bar{h} / \partial t - (1 - \bar{h} / h_k) \partial h_k / \partial t \\ & - \{1 / (1 - \lambda) B\} \partial Q_x / \partial x \end{aligned} \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 h_k は漂砂の移動限界水深であり、また λ は

空けき率を 100 で割った値である。さらに、適当な調査期間に対する時間的平均をとることにし、侵食土砂量 $\bar{Q}_1$ を導入し、さらに h_k および $\bar{h}$ が変化しないものとすれば、(1) 式は次式で表わされる。

$$\partial \bar{Q}_1 / \partial t = \{1 / (1 - \lambda)\} \partial \bar{Q}_x / \partial x \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに、 $\bar{Q}_x$ および $\partial \bar{Q}_1 / \partial t$ はそれらの時間的平均を表わす。したがって、基準点 $x=0$ において $\bar{Q}_x = \bar{Q}_0$ とすれば、

$$\bar{Q}_x = \bar{Q}_0 + \int_0^x (1 - \lambda) \partial \bar{Q}_1 / \partial t \, dx \quad \cdots \cdots (3)$$

となるので、この海岸のようにほとんど $\bar{Q}_0 \approx 0$ と考えられる場合には、各地点の年平均の侵食土砂量を積分して、沿岸漂砂量の分布を求めることができる。図-11 は(3)式によって図-9 から求めた沿岸漂砂量の分布を示したものである。図中には 1958 年より約 10 年間の平均沿岸漂砂量のほか、波浪観測が行なわれた年のものも示してある。これから、一般に測点 No. 180 付近より沿岸漂砂量は増加し、No. 100 付近ではほぼ一定となるが、それ以西では若干変動することがわかる。これに対して 1965 年より 1966 年の場合には NW 方向の波浪が卓越したものと考えられる。黒部川の東側ではいわゆる洋谷が発達しており、波浪の集中とともに、漂砂が必ずしも沿岸方向のみに移動しないために、沿岸漂砂量もかなり変動するものと考えられる。また、年平均沿岸漂砂量は測点 No. 100 付近にみられるように前述した全侵食土砂量とほぼ一致していることがわかるであろう。次に沿岸漂砂量と波浪のエネルギーフラックスの関係を求めるために、2. で述べたように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、碎波点での波浪特性を検

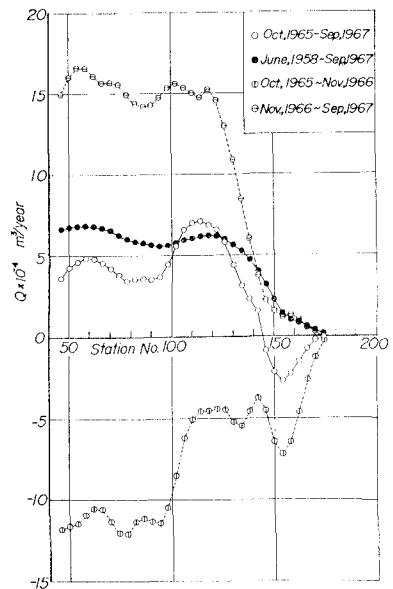


図-11 沿岸漂砂量の分布

討して、この海岸の沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスを求め、沿岸漂砂量との関係を検討することにする。まず屈折係数の沿岸方向分布と砕波点付近における波向と波浪の観測資料とを用い、年間平均の沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスを次式をもとにして算出した。

$$E_b = (\rho g / 8) H_0^2 C_{G0} (b_0 / b) \sin \alpha_b \cos \alpha_b \cdots \cdots (4)$$

ここに、 E_b は砕波点における 沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスであり、また H_0 は沖波波高を表わす。図—12 は一例として 1965 年より 1967 年の 2 年間にける沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスの分布を示すものであるが、図—11 に示した 沿岸漂砂の分布とかなりよく対応していることがわかる。測点 No. 180 付近を除いた No. 100 以東の海岸については、前述したようにかなり一様海岸に近いので、沿岸漂砂量と波浪のエネルギーフラックスとの関係を検討することができる。図—11 および 図—12 に示した結果から、 $\lambda=0.5$ として各地点の沿岸漂砂量と波浪のエネルギーフラックスとを対応させ、かつ従来の観測および実験の結果⁷⁾ と比較したものが 図—13 である。ただし、侵食または堆積個所でエネルギーフラックスの方向が局所的に相違している 2, 3 の地点があったので、図—13 には省略してある。これから、実測値にはかなりの散乱がみられるけれども、これまでの観測結果とかなりよく一致することがわかる。前述したように、この海岸の底質は玉石または礫

であって、その粒径は非常に大きいにもかかわらず、比較的従来の結果に対応することはきわめて興味深いといわなければならない。なお、測点 No. 100 以西については、前述したように洋谷との関係を明らかにする必要がある。

5. 結 語

以上、漂砂源の変化に伴う海岸侵食の実態究明の第 1 歩として、下新川海岸の海浜過程を検討したが、要約すると次のようである。

(1) 下新川海岸の波浪は主として NW~NNW および NE~ENE 方向に集中するが、特に海岸侵食に大きく影響するものは寄り廻り波といわれる後者であることが、沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスの分布から明らかにされた。

(2) この海岸の底質は粒径約 10 mm 以上のれきから構成されており、笹川河口付近を除いて、隣接する侵食領域では E から W 方向に向かって粒径が減少し、全般的な沿岸漂砂の移動方向を示している。

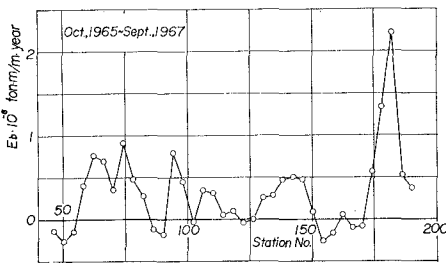
(3) 侵食土砂量および汀線移動の経年変化では、いずれもそれらのピークが漂砂の下手側に移動し、侵食領域における侵食土砂量は年平均約 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ と推定される。沿岸漂砂量と沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスとの関係は、この海岸の底質粒径が非常に大きいにもかかわらず、従来の観測値とかなりよく一致している。

(4) 宮崎漁港の改修、特に東防波堤の延長に伴って沿岸漂砂が阻止され、下新川海岸の侵食を助長していることが侵食土砂量や汀線移動量の経年変化などによって再確認された。

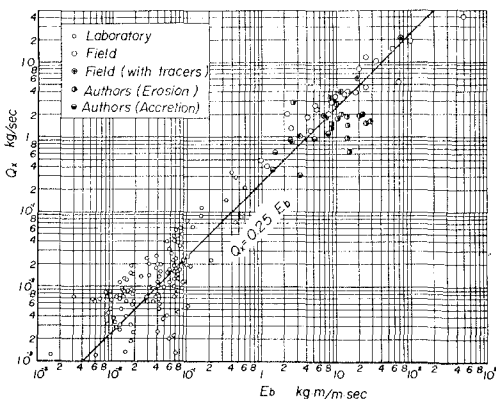
このような過程において、この海岸の汀線の方向は次第に E~W 方向に傾斜し、その侵食領域では平均海底勾配が次第に急になっている傾向を示し、このことは海岸堤防の設置などとも関連することがわかった。

以上、この海岸の海浜過程について興味ある若干の結果を得たが、今後黒部川河口付近などに発達している洋谷の影響やこの海岸の漂砂源の 1 つである境川からの流出土砂および底質特性の変化を考慮して、さらに検討していきたいと考えている。

最後に、この海岸の調査資料の収集に格別のご協力いただいた建設省黒部川工事事務所および富山県土木部の関係諸官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および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手に謝意を表明する次第である。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。



図—12 波浪エネルギーフラックスの沿岸方向分布



図—13 沿岸漂砂量と波浪エネルギーフラックスの関係

参 考 文 献

- 1) 富山県海岸対策協議会：富山湾海岸侵食調査報告書，1952，pp.303.
 - 2) 建設省黒部工事事務所：富山沿岸下新川海岸調査報告書（昭和32年度），1958，pp.193，（昭和32～36年度），1963，pp.195，（昭和37～42年度），1969 pp.203.
 - 3) 国立防災科学技術センター：富山湾海岸侵食に関する研究（第1報），防災科学技術総合研究報告，第25号，1971，pp.1～95.
 - 4) 富山県農業水産部：宮崎漁港の漂砂に関する調査研究，1973，pp.83.
 - 5) 豊島 修：防波堤と汀線変化との関係について，海岸，1967，pp.33～40.
 - 6) 岩垣雄一：海岸侵食論，1966年水工学に関する夏期講習会講義集，1966，pp.1～17.
 - 7) Komar, P.D. and D.L. Inman: Longshore transport on beaches, J. Geophys. Res., 75, 1970, pp.5914-5927.
-