

海岸侵食の波動性について (2)

——下新川海岸の場合——

土 屋 義 人*

1. 緒 言

海岸侵食に伴う汀線変化は、従来、拡散現象として取り扱われてきたが、1987年、Inmanが侵食波としての伝播特性を論じてより、暫く経って1994年、宇多らが堆積土砂の移動速度を推定するまで、この問題はあまり注目されなかった。しかし、著者(1995)の最近の研究によれば、河口デルタ海岸における漂砂源の減少に伴う海岸侵食による汀線変化の現象は、拡散現象としての汀線変化に、波動現象としての変動が重畳していることがわかってきた。この場合には、漂砂源の減少によってデルタ地形が局所的に変形し、それが波動現象としての侵食波の初期条件を与えるようであるが、拡散現象としての汀線変化はさほど明確には現われていなかった。

しかし、沿岸漂砂が海岸構造物によって阻止されたような場合には、拡散現象としての汀線変化がよりはっきりと現われるであろう。一方、波動現象としての変動の存在には、沿岸漂砂の方向性との関係が重要となるであろう。では、2方向の主波浪が存在し、2方向の沿岸漂砂が卓越する場合にも同様に、拡散現象と波動現象とが重なった現象として汀線変化が現われるかどうか疑問である。本研究はそれに答えるべく、下新川海岸を対象として調べた結果について述べる。

2. 下新川海岸の侵食と資料解析

(1) 下新川海岸の侵食

まず、下新川海岸は図-1に示すように、NWおよびNまたはNNEからの2つの主波浪により、沿岸漂砂も西向きおよび東向きをとるが、年平均ではNまたはNNEからの波浪による沿岸漂砂が卓越する。したがって、約360年前に黒部川河口が付け替わったために河口デルタの縮小が起こったのである(Tsuchiya et al., 1988)が、近年では東端にある宮崎漁港の拡張により、沿岸漂砂が阻止されて海岸侵食が助長されてきた。その対策として、海岸堤防、離岸堤、緩傾斜堤などが施工されて海岸線の維持に当たってきたのである。

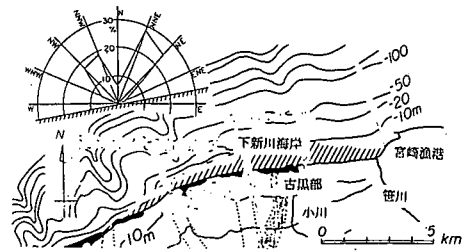


図-1 下新川海岸の位置図および主波浪

(2) 海岸侵食資料

ここで取り扱う海岸侵食の資料は建設省黒部工事事務所(1963)によって調査されたものである。本研究では、できるだけ構造物の影響のない時期のものを対象とするために、昭和33年以降において、急激な侵食が起こり始めた比較的初期の段階におけるものを取り扱う。その対象範囲は笹川河口より西側に約10 kmの比較的直線的な法線を持つ領域とする。

(3) 資料解析の方法

海岸侵食に伴う汀線変化の現象が果たして拡散および波動現象として理解できるかどうかを検討するために、まず基準年からの汀線変化量を適当な移動平均操作によって平均化して、海岸侵食に伴う汀線変化の空間的な動態、すなわち沿岸漂砂の阻止による汀線変化が果たして拡散現象として理解されるかどうかを確かめる。この場合、移動平均操作における測点数は汀線変化の空間スケールと前述した測点間隔(200 m)とを考慮して、7および9点とした。ただし、海岸侵食に伴う水深、浜勾配の変化についても、拡散現象としての考察においては同様な取り扱いをした。

通常、移動平均操作(smoothing)としては、2つの方法が用いられている。すなわち、Gaussian triangleにより weightingするものと、単純に移動平均する方法である。いうまでもなく、その一例を図-2に示すように、前者では変動の極値が強調されるが、後者では平滑化される。ただし、図中には5点および9点の移動平均した結果を示してある。拡散現象として理解されるような現象の場合には、むしろ現象を平滑化した方がよいと考えら

* 正会員 工博 名城大学教授 都市情報学部

れるので、ここでは後者によることとする。ただし、それからの変動成分については、その規模を考えて3点の移動平均で取り扱う。

3. 拡散現象としての汀線変化

(1) 汀線変化の時空間変化

昭和33年を基準年とし、笹川河口から西向きに沿岸方向に、汀線の空間的变化を図-3に示す。図中で、 y_0 とあるのは9点の移動平均操作によって求められたものであることを表わす。明らかに、移動平均された汀線変化の空間的形状とその時間発展は、拡散現象として理解できるように、東側から西向きに汀線変化の形状が移動し、侵食範囲が拡大していくこと、その過程で空間形状も若干変形していくことがわかる。これは汀線変化の one-line model で予測できる範疇であろう。その基礎方程式は、たとえば Work & Dean (1995) の表示によれば、次のようである。

$$\frac{\partial y}{\partial t} = G \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (1)$$

ここに、

$$G = \frac{KH_b^{5/2} \sqrt{g/k}}{8(\sigma/\rho - 1)(1 - \lambda)(h_k + B)} \quad (2)$$

は沿岸拡散係数 (longshore diffusivity) であり、 y は基準点からの汀線変化、 H_b は碎波波高、 $k = (H/h)_b$ 、 λ は空隙率、 h_k は沿岸漂砂の移動限界水深、 B はその漂砂帯の

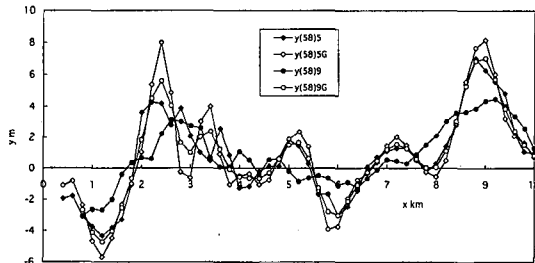


図-2 移動平均操作による汀線変化の取り扱い

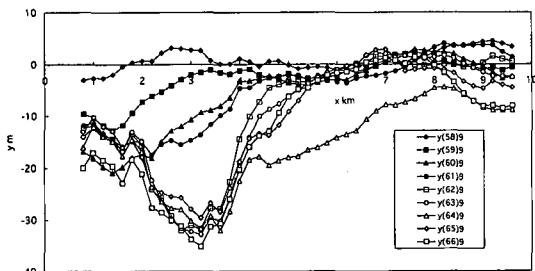


図-3 下新川海岸における拡散現象としての汀線の時空間変化

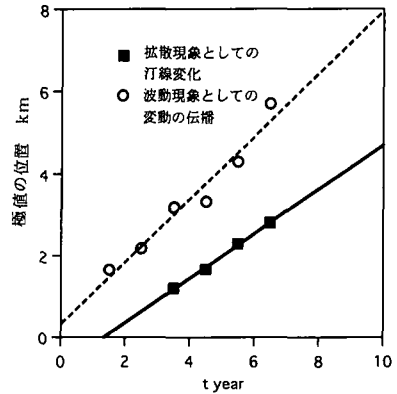


図-4 拡散現象としての汀線変化の極値の移動速度と変動の伝播速度

幅、 σ/ρ は底質の比重、 g は重力の加速度、および K は沿岸漂砂量係数である。実際には、境界条件として宮崎漁港による沿岸漂砂の遮断を導入するが、その他、この地先を中心とする岬状の地形による N または NNE からの代表波浪の回折・屈折効果を十分考慮しなければならない。そのような汀線変化の追算によれば、図-3 に示したように、汀線変化は最も汀線が後退する位置 (汀線変化における極値) が笹川付近より次第に西側に移行することになる。

(2) 拡散現象としての汀線変化速度

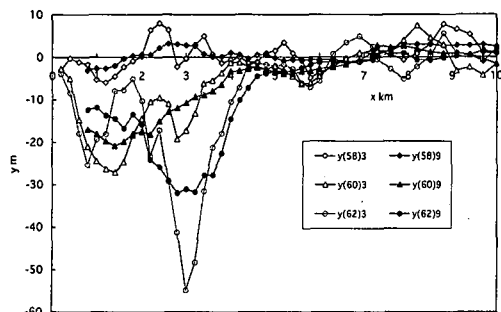
汀線変化の資料から、拡散現象として汀線変化を取り扱うときは、まず前述した沿岸拡散係数を評価すべきである。そのためには、通常、汀線変化の重心の移動速度を調べるであろうが、ここでは、便宜上、汀線変化の極値の伝播速度を求め、1959 年からの経時で図-4 に示す。この結果によれば、この移動速度はほぼ一定であり、540 m/yr 程度と推定される。ただし、1967 年以降になると、ここには図示していないが、離岸堤などの建設と相俟って、移動速度はかなり減少してきている。

さらに、Inman (1987) が示している調査結果を加えて、沿岸拡散係数がほぼ沿岸漂砂量に比例するようであるから、沿岸漂砂量との関係で移動速度を比較した結果によれば、わが国の海岸に比べて、アメリカ合衆国の海岸では、沿岸漂砂量が数倍以上に及び、移動速度も極めて大きいことがわかってきた。

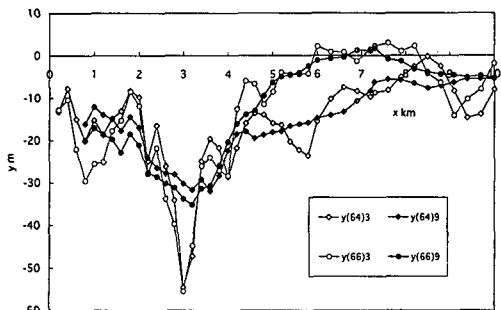
4. 波動現象としての汀線変動

(1) 汀線変動の伝播特性

ここでは、汀線変化における変動を対象とするために、9点移動平均による拡散現象としての汀線変化からの変動分の3点の移動平均を求めて図示した結果の数例を図-5(a) および (b) に示す。明らかに、汀線変化の現

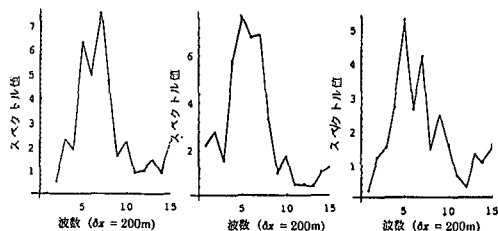


(a) 1958年, 1960年および1962年



(b) 1964年および1966年

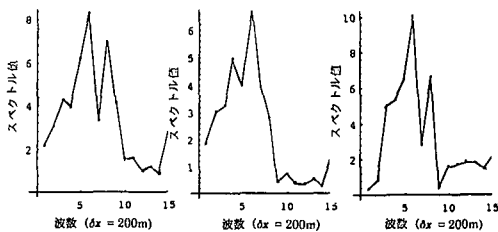
図-5 拡散現象としての汀線変化に重ねられた波動成分



(a) 1959年

(b) 1960年

(c) 1963年



(d) 1964年

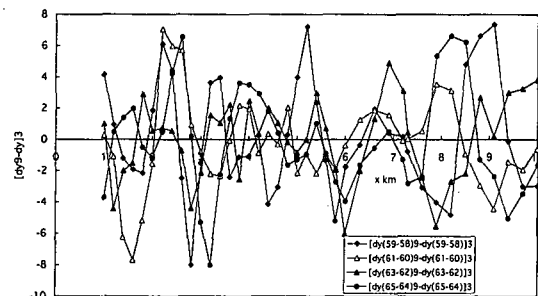
(e) 1965年

(f) 1966年

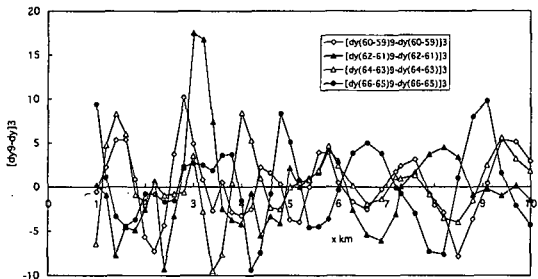
図-7 汀線変化の波動成分の波数スペクトル

平均では西向きが卓越している)に伝播していることがわかる。このことは変動だけを取り出して示した図-6を注意深くみれば、いくつかの特長ある変動が西向きに伝播していることがわかるであろう。

このように、波動のように伝播する現象を調べるには、通常スペクトル解析するが、約10 km程度の範囲を対象として200 m間隔で実施された測量結果に基づく変動を取り扱うわけであるので、当然データ数の厳しい制限が存在する。変動を適当な関数で表わしてから、適切な間隔による数値データに変換してスペクトル解析すればよいであろうが、ここではそのまま解析することにする。すなわち、データ数は40であるが、スペクトル解析上、データ数32としなければならなかったため、波数スペクトルの分解能は極めて低い。このことを念頭において解析した波数スペクトルの数例を図-7(a), (b), (c), (d), (e) および (f) に示す。1959年より1966年までの8年間にについて調べた図-7の結果によれば、いずれの場合も、そこには明らかに2つの波数ピークが存在するが、その他には有為と思われるものはない。波数分解能が低いので、ピーク波数値の推定はデータ数32に分割される程度であるが、これらの波数値を読み取って図示すると、図-8のようになる。ピーク波数値から求めた変動の波長は大きく変動し、平均的には150 mおよび230 m程度の波長となり、経年的に若干増加しているようであるが、その実態はわからない。このことは2つの波数に対応した侵食波の存在を示すものであるが、いずれが西向きで、どちらが東向きであるかはわからないが、年平均沿岸漂砂の卓越方向が西向きであることを考えれば、それに対応する侵食波はスペクトル値の大きい後者であろう。



(a) 1959年, 1961年, 1963年および1965年



(b) 1960年, 1962年, 1964年および1966年

図-6 汀線変化の波動成分の時空間変化

象は拡散現象としての汀線変化に変動が重なっていると理解される。詳細に調べると、その変動は沿岸漂砂の下手側(この海岸では西向き、および東向きであるが、年

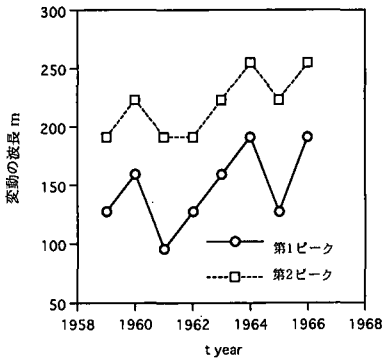


図-8 ピーク波数値に対応する変動の波長とその経年変化

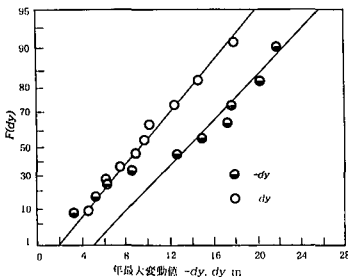


図-9 汀線変動の極値とその Gumbel 分布への適用性

つぎに、侵食波の速度について考える。データ数の限界から、ここでは簡単に図-6(a) および (b) に示した結果において、対象とできる侵食波の波峰の対応がわかるものについて、その走時を調べることにする。波峰が大きく比較的明確なものに限定して、その関係を読み取り、拡散現象としての関係との比較で表わすと、図-4 に示したようになる。ただし、このようにして伝播を調べた侵食波は波峰の大きなものであることから、多分第1ピーク波数として現われた西向き侵食波に対応しているであろう。この図によって、拡散現象として空間発展する汀線変化の速度に比べると、明らかに波動現象として伝播する汀線変化の変動は約 1.4 倍も速いといえる。したがって、この海岸における海岸侵食に伴う汀線変化は、N または NNE からの波浪により局所的な汀線変化を生じ、それが波動現象のように西向きに約 1.4 倍の速度で伝播し、沿岸漂砂の阻止による拡散現象としての汀線変化に重なりと理解される。

(2) 汀線変動の極値

汀線変化に波動的な変動が重なりとした場合の変動の規模について考察する。取り扱った資料は 10 年間であるから、統計的には十分ではないが、図-6(a) および (b) に示した変動の沿岸分布において、拡散現象としての汀線変化からの正 (汀線変化を減じる) または負 (汀線変

化をさらに増加させる) の変動の最大値を取り上げ、その極値分布を調べる。

図-9 には、正 (dy) および負 ($-dy$) の変動の Gumbel 分布への適用性を示す。この結果によると、統計量が少ないにもかかわらず、ほぼ Gumbel 分布に適用できるようであり、図中に示した直線で表わせば、その標準偏差はほとんど同じであるが、変動値そのものは負の変動の方が大きい。たとえば、10 年の再現期間に対して、正および負の変動値はそれぞれ約 16 m および 24 m となる。言い換えれば、拡散現象としての汀線変化に、さらに、ところによっては 20 m 前後に及ぶ著しい変動が加わり、汀線の局所的な後退、すなわち決壊が起こることになると理解される。

5. 結 語

以上、沿岸漂砂の阻止による海岸侵食に伴う汀線変化を下新川海岸について調べたが、得られた主な研究成果は、次のように要約される。

1) 汀線変化は拡散現象と波動現象としての時空間発展として、前者のうえに後者の変動がより早い速度で移動する現象であると理解できる。すなわち、前者の伝播速度は約 540 m/yr であるが、後者は約 760 m/yr である。

2) 拡散現象としての汀線変化からの変動成分のスペクトル解析結果によると、2 つの波数ピークが明確に現われ、NW および N または NNE からの 2 つの主波浪の存在に深く関係するものと理解される。

3) さらに、この変動の年最大値の極値統計を調べた結果、統計数は十分でないけれども、Gumbel 分布によく適合し、たとえば再現期間 10 年程度でも 20 m 以上に及ぶ汀線の局所的な変動となることが示された。このことは従来、海岸侵食に伴って思わぬところが局所的に後退、または決壊することが指摘されていたことを裏付けられるものといえる。

本研究に利用させていただいた調査資料は、建設省黒部工事事務所須山洋所長時代に借用した資料であり、格別のご配慮いただいたことに対して厚く感謝するとともに、この研究は文部省科学研究費補助金基盤研究 (A) (No. 07555164) によって実施されたことを記して謝意を表明する。

参 考 文 献

- 建設省黒部工事事務所 (1963): 富山県沿岸下新川海岸調査報告書 (昭和 32-36 年度), 195 p.
- 土屋義人 (1995): 海岸侵食の波動性 (1) — 静岡海岸の場合 —, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 536-540.
- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本吉道・板橋直樹 (1994): 静岡海岸の沿岸漂砂量およびその分布形の評価, 海岸工学論文

- 集, 第41巻, pp. 536-540.
- Inman, D. (1987): Accretion and erosion waves on beaches, *Shore & Beach*, July-October, pp. 61-66.
- Tsuchiya, Y., T. Shibano, H. Suyama and T. Yoshimura (1988): Two timescales in beach erosion due to decrease in sediment sources with special reference to the formation and reduction of the delta of the Kurobe river flowing into the Japan sea, *Natural Hazards*, Vol. 1, pp. 45-65.
- Work, P. A. and R. G. Dean (1995): Assessment and prediction of beach-nourishment evolution, *J. Wtrwys. Port, Coastal & Ocean Engg.*, ASCE, Vol. 121, No. 3, pp. 182-189.
-