

千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について (3)

—航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第4報—

堀川清司*・砂村継夫**

1. はじめに

海蝕崖の侵蝕防止対策として築造されている構造物は不透水性構造のものと透過性構造のものに大別される。前者には波返しをもつ自立式¹⁾、鉄筋コンクリート擁壁式²⁾、コンクリート被覆の傾斜式³⁾、鋼矢板形式⁴⁾等のものがあり、後者については石張式のもの⁵⁾が従来施工されている。これらの構造物の侵蝕防止効果については定量的に調査された例がないようである。

平均約 1m/year の速度で後退している海蝕崖で構成される標題地域⁶⁾においては、その侵蝕を防止する目的で 1961 年頃から透過性構造の消波堤の工事が進められている。この消波堤の効果を定量的に検討することを以前試みた⁷⁾が、資料不足のためその効果を明らかにするまでには至らなかった。本稿では、1970 年に新たに撮影された航空写真と 1960 年および 1967 年に撮影された写真とを用いて、消波堤の効果を定量的に検討した。

2. 調査地域概観⁸⁾

調査地域は九十九里海岸の北端に接し、そこから東にほぼ直線状に伸びる崖海岸であり、海岸線の長さは約 9 km である (図-1)。崖の高度は 10~60 m で、崖の基部を構成する岩石は、大部分が第三系・鮮新統の泥岩層 (飯岡層) であり、東の名洗町付近においてわずかに鮮新統の凝灰質砂岩層 (名洗層) が露出する。これらの地層を第四系の成田層 (主に砂から成り、所により礫を含む) が被覆し、さらにその上に関東ローム層がのる。これらの地層はほぼ水平に堆積している。崖の基部には海浜はほとんど発達していないが、上部からの崩落物でおおわれている所が多い。

3. 使用した航空写真および図化について

波浪による崖の侵蝕現象を把握するためには、崖の基部におけるのり面の状態を正確に知る必要がある。従来撮影された航空写真にはこのような目的を持っていなかったために、崖の基部が写っていない写真があった。そこで、1970 年に写真撮影を行なうに当たっては、崖の基部をできるだけ正確に写すということに主眼を置いた。

調査地域のように崖ののり面勾配が大きな地域では、このような撮影を行うためにはどうしても海寄りの飛行が要求される。海面上に基準点を設けることは困難であるので、このような飛行によって撮影された写真を図化するためには、地上に多数の基準点を設置しなければならない。この場合、現地における基準点の実測日数、作業日数、経費等が莫大なものになる。そこで、以下に述べる二段撮影 (図-2) の方法を採用した。この方法とは、同じ地域を撮影高度を変えて 2 回撮影し、縮尺の小さい写真 (撮影高度の大きい方の写真) によって航空三角測量を行ない、大きい縮尺の写真 (撮影高度の小さい方の写真) の図化に必要な基準点を多数設ける方法である。すなわち、最小限必要な基準点の現地測量は別として、その他の基準点測量を現地で行なう代りに、航空写真測量を利用して室内で行なうものである。撮影高度は大きい方が 3 040 m、小さい方が 1 216 m で、写真縮尺は前者の高度で撮影したものが約 1/20 000、後者の場合が約 1/8 000 である。なお図化されるのは後者の縮尺で撮影された写真である。撮影は 1970 年 12 月 16 日に行なわれた。

これ以外に使用した写真は、1960 年 3 月 19 日および 1967 年 10 月 31 日に撮影されたもので、前者の撮影高度は約 1 800 m、後者のものは約 1 200 m である。写真縮尺は、前者が約 1/12 000、後者が 1/8 000 である。

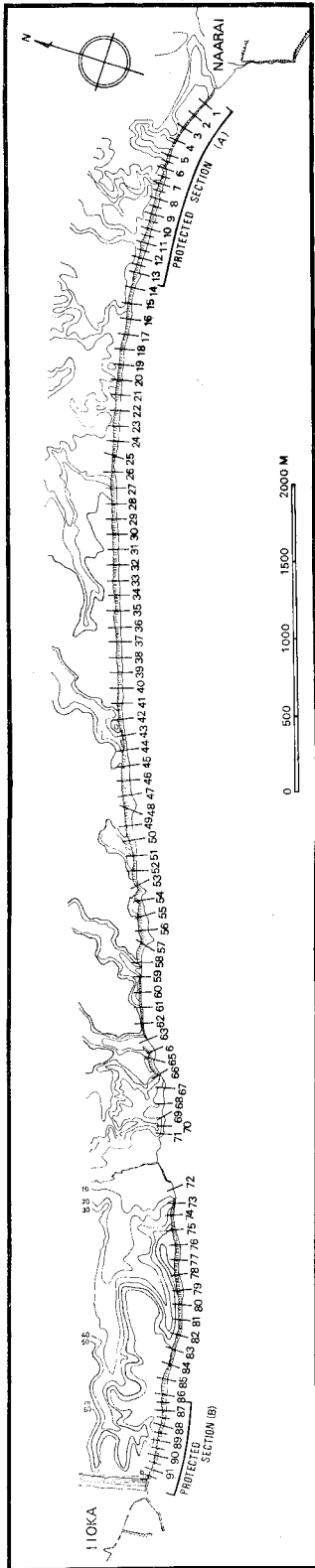
図化された地形図の縮尺はすべて 1/1 000 で、使用した図化機はオートグラフ A7 およびステレオプロッター A8 である。得られる精度は、高さについては撮影高度の 1/20 000、平面位置は測図縮尺で ± 0.2 mm 程度と考えられる¹⁰⁾ので、高さの精度は 1960 年の写真の場合が ± 0.9 cm、他のものは ± 6 cm、平面位置の精度はいずれの場合も ± 20 cm である。なお図化された地形図の等高線間隔は原則として 2 m であるが、崖ののり面が急な所では 4~10 m である。

4. 調査地域の消波堤について

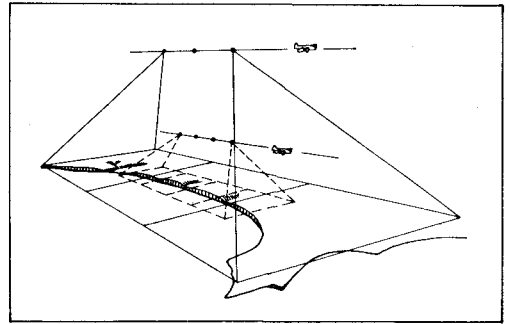
消波堤の工事は調査地域の両端部から中央部に向けて 1961 年頃から開始されている。1967 年 10 月の航空写真撮影時までは測点 1~13 および 87~91 の区間で、1970 年 12 月の写真撮影時までは測点 1~21 および 83~91 の区間で施工が完了している。したがって、これらの写

* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 東京大学助手 工学部土木工学科

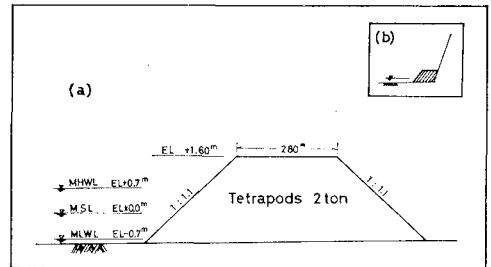


図一 調査地域および測点

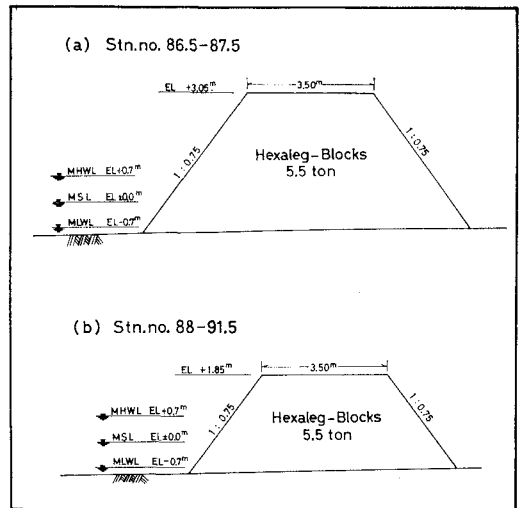


図二 二段撮影の模式図

真を比較することによって消波堤の効果を検討できる区間は測点1~13および87~91の二つの区間(図一)であるが、測点2~5の区間の崖のり面が1967年の写真に写っていないので、ここではこの区間を除いた区間を対象にした。測定対象区間においては、従来設けられた100m間隔の測点の中間に、新たに一測点を設置した(図一)。名洗町寄りの区間をA地区、飯岡町寄りの区間をB地区とよぶことにする。A・B両地区とも消波堤は消波ブロックを用いた透過性構造である。A地区における消波堤は測点1を除いて、図三(a)に示すような断面をもつ離岸堤形式のものである。測点1のものは同図



図三 A地区における消波堤断面図



図四 B地区における消波堤断面図

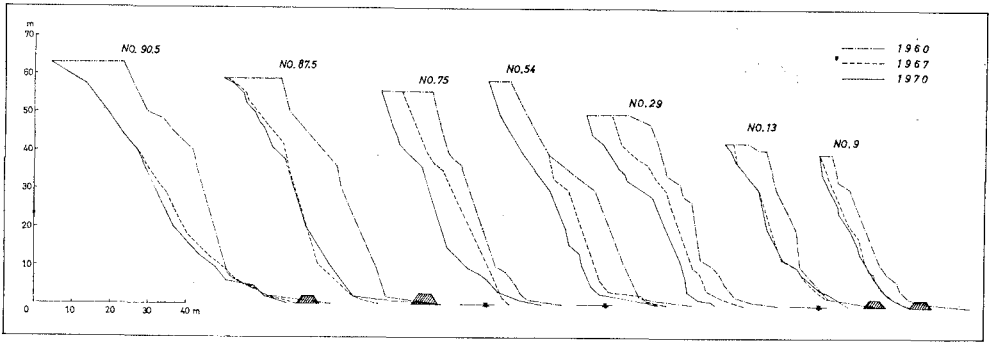


図-5 崖のプロファイルの変化 (一例)

(b) に掲げたような断面をもつ。B 地区の消波堤も離岸堤形式であり、測点 86.5~87.5 における断面は 図-4 (a), 測点 88~91.5 のものは 図-4 (b) に示されている。

5. 消波堤の効果について

上述の三種類の航空写真に基づいて図化された地形図より、各測点で崖のプロファイルを描いた (図-5 にその一例を示す)。これらのプロファイルの変化から、侵蝕距離を測定し、年平均侵蝕速度 (以下「侵蝕速度」と略す) を求めた。波浪による侵蝕の程度を表わす侵蝕速度としては、できる限り崖基部のものが望ましいが、基部は上部からの崩落物でおおわれていることが多いため、すべての測点において基部での値を求めることが難しい。ここでは、崩落物の影響がないと考えられる最も低い高度における侵蝕距離を求めて、それをもとに侵蝕速度を計算した。

まず、場所を固定してその場所での消波堤施工前後に

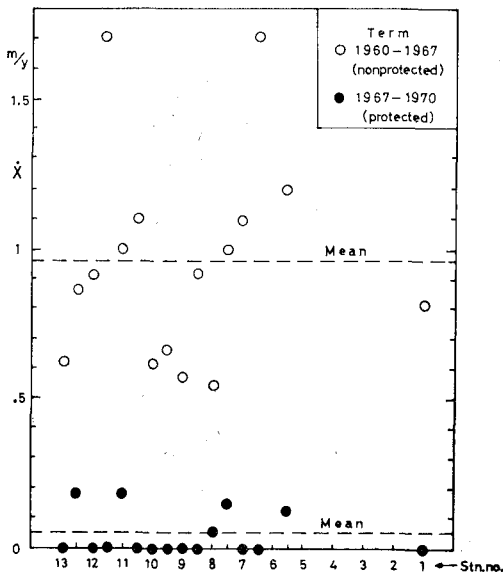


図-6 A地区における侵蝕速度

おける崖の侵蝕速度を調べた。図-6 および 図-7 は、それぞれAおよびB地区における結果を示す。これらの図中の白丸は 1960 年 3 月から 1967 年 10 月における侵蝕速度であり、消波堤のない状態、すなわち自然状態における侵蝕速度よりは小さく見積もられている。これは消波堤の施工完了時と写真撮影時との間に時間遅れがあるためであり、特に消波堤の施工がはやくから完了しているA地区の名洗町寄りの区間および

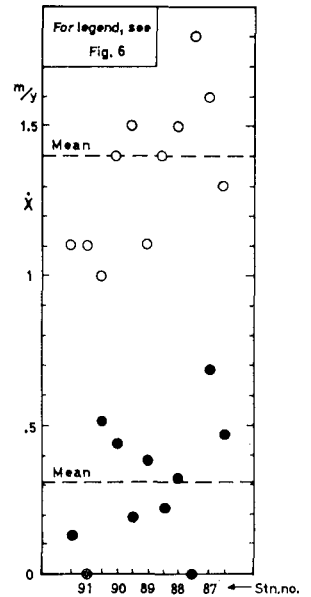


図-7 B地区における侵蝕速度

B地区の飯岡町寄りの区間ではこの傾向が強いと考えられる。一方、図中の黒丸は 1967 年 10 月から 1970 年 12 月における侵蝕速度であり、消波堤施工完了後の値である。これらの図は消波堤が有効に働いていることを暗示している。

しかし、短期間における崖の侵蝕速度は、その間の波浪の出現頻度と密接な関係がある¹¹⁾ので、厳密に消波堤の効果を検討するには、上記二期間における波浪の出現頻度を調べ、その影響も考慮しなければならない。波浪資料が不足しているため、ここではこの影響について調査することができなかった。

次に、時間を固定して侵蝕速度の場所的变化を調べてみよう。図-8 は 1967 年 10 月から 1970 年 12 月における結果をプロットしたものである。測点 22~82 の区間における侵蝕速度は消波堤の全くない、いわゆる自然状態における値を示している。この区間の両側に隣接する二つの区間、すなわち測点 14~21 および 83~86 におい

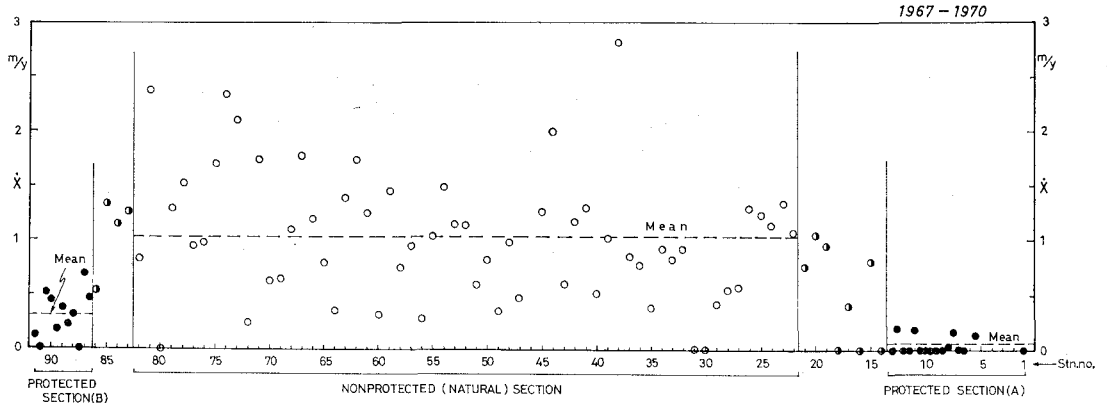


図-8 侵蝕速度 (1967—1970) の場所的変化

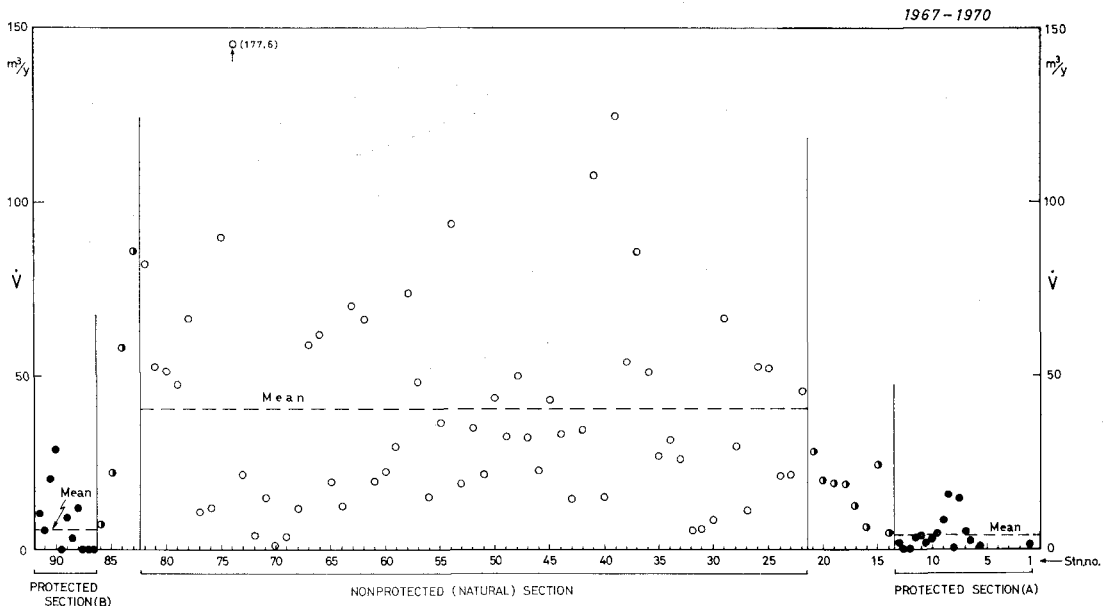


図-9 年平均放出土砂量 (1967—1970) の場所的変化

ては、1967年10月から1970年12月までの間に消波堤が作られたため、今回の調査では、これらの区間の消波堤の効果を検討することはできない。1967年10月までに消波堤の施工が完了しているA・B両地区と自然状態の測点22~82の区間における侵蝕速度を比較することにより、消波堤の効果が検討できる。この図よりわかるように、自然状態の区間においては著しいデータのばらつきがあるので、平均値を求めてみると、約1 m/yearとなる。一方、A・B両地区においてはばらつきの程度も小さく、平均値はA地区で0.05 m/year、B地区で0.3 m/yearでいずれも自然状態の区間と比べるとかなり小さい。この図より明らかなように、波浪侵蝕防止対策として施工された消波堤は有効であるといえる。なおB地区の侵蝕速度がA地区よりも大きい、この原因については現在のところ不明である。

次に、雨蝕の影響を含んだ侵蝕状況をみてみよう。1967年10月と1970年12月の崖のプロファイルの変化から、各測点における侵蝕断面積を求めて海岸線単位長さ(1m)当たりの年平均放出土砂量(m³/year)の場所的変化を図示したものが図-9である。この図から明らかなように、A・B両地区における放出土砂量は自然状態の区間に比して非常に小さいことがわかる。

6. おわりに

消波堤施工完了区間と自然状態の区間における崖の侵蝕状況を比較検討した結果、消波堤は有効に働いているといえよう。

ここで使用した1967年の航空写真から図化された地形図を、1970年の写真から得られた地形図と比較すると、図化精度の点では全く同じであるが、前者の写真は

崖の侵蝕状態を調査するという目的で撮影されたものでないため、崖ののり面における精度は、後者のものに比して落ちる。消波堤を設置すると崖の侵蝕現象そのものの大きさが小さくなるので、消波堤の効果を厳密に検討するためには、どうしても精度の高い写真撮影が要求される。このような写真を数年後に撮影し、1970年の写真と比較することにより、のり面の変化状態を今回の調査よりも高い精度で把えることが可能になる。

本稿をとりまとめるに当たり、千葉県土木部河港課の皆様および東京大学大学院生 佐々木氏雄氏、同研究員五十嵐元氏には大変お世話になった。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Wheeler, W.H.: The Sea-Coast, Longmans, London, p. 104, 1902.
- 2) 同上, p. 107.
- 3) Legget, R.F.: Geology and Engineering, McGraw-Hill, New York, p. 711, 1962.
- 4) Chieruzzi, R. and R.F. Baker: Investigation of Bluff Recession along Lake Erie, Jour. W. & H. Div., Proc. ASCE, pp. 109~132, 1959.
- 5) Sorensen, R.M.: Recession of Marine Terraces—With Special Reference to the Coastal Area, North of Santa Cruz, California, Proc. 11th Conf. on Coastal Eng., pp. 653~670, 1968.
- 6) 堀川清司・砂村継夫: 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について, 一航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第2報一, 第16回海岸工学講演会講演集, pp. 137~145, 1969.
- 7) 堀川清司・砂村継夫: 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について (2), 一航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第3報一, 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 289~296, 1970.
- 8) 前出 6).
- 9) 同上.
- 10) 丸安隆和: 測量学 (下), コロナ社, p. 132, 1966.
- 11) 前出 6).