

高知海岸における汀線変動の予測

玉井佐一*

1. 緒 言

近年、わが国の多くの海岸において、海浜土砂収支の不均衡を主要因とする海岸侵食が進み、海岸保全の上から大いに憂慮される問題となってきた。したがって、これらの海岸に対する侵食防止対策が実施されるとともに、さらに一方では海岸の長期的変動、または海浜の人為的な改変に伴う隣接海岸の変動を事前に予測し、その保全に努めることの重要性が指摘されてきた。

海岸地形の変動予測法¹⁾としては、① 水理模型実験による予測法、② 数学的モデルによる予測法、③ 海岸地形の実測結果による予測法の三つが考えられる。このうち、① については従来より海岸侵食対策、海岸構造物築造による海浜変形または航路埋没に対する予察など多くの研究²⁾が行われてきた。また、② については最近特に多くの研究³⁾がなされており、海岸構造物周辺の海浜変形については実験結果と比較的対応した結果がえられるなどの研究成果がみられる。しかし、このような数学的モデルによる海浜変形の予測法においては、漂砂機構の解明など未解決の問題によって十分な予測はむずかしく、特にカスプなどの形成による広域の汀線の変動予測はなお多くの問題を残しているといえよう。したがって、以下では土佐湾中央部の高知海岸延長 30 Km の調査結果をもとに統計的な手法によって汀線変動の予測を行うとするものである。また、最近 Purpura⁴⁾ が提案した setback line についても若干の考察を進めた。

2. 実測結果による汀線変動の予測法

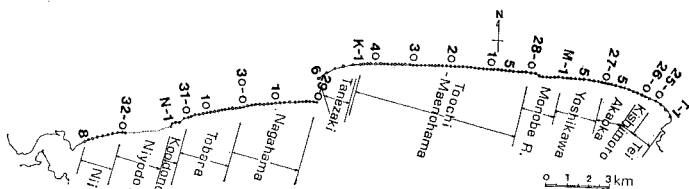
海浜変形については、荒天時の高波浪の来襲による短期的な海浜変化と季節的な波特性の変化に対応した海浜変化、さらにこのような短期的な海浜変化を繰返しながら経年的に海浜の侵食または堆積が生じ、長期的な海浜の変化が進行するものと考えられる。したがって、長期的な海浜変形の予測は、経年的な海浜変化、すなわち侵食または堆積のトレンド曲線によって推定

することができよう。一方、このような長期的な海浜変化の傾向とともに、それらの変動特性が地域的な海浜変化の特性を把握する上で重要な問題であろう。最近、Purpura⁴⁾は海岸保全にあたって、海浜における setback line の考えを提案しているが、海岸地形の実測資料に基づく土屋ら^{5), 6)}の汀線変動の予測手法、すなわち汀線の長期的変化曲線とさらにこの曲線と実際の変化との差である変動量を算出し、この変動量の確率分布を検討し、変動量の分布特性を知ることができれば、その return period を検討して変動量の予測を行うことができ、またこれによって setback line の設定も可能となるであろう。

このような実測資料による海浜変形の予測については、榎木⁷⁾による大阪府二色の浜海岸における汀線変化、また土屋⁸⁾による富山県下新川海岸における汀線の長期変化の分布特性に関する考察があり、それぞれ興味ある結果を示している。その中で土屋⁸⁾は、経年的な実測資料が必ずしも自然力の偶然性のみ依存するとは限らないことを指摘して、十分満足できるような統計解析を行うには、まず人為的な要因によるトレンドをなんらかの方法で究明し、独立事象としての統計量について考察しなければならないだろうと述べている。

3. 高知海岸における汀線変動の予測

著者⁷⁾は昨年⁸⁾の海岸工学講演会において、図—1 に示す高知海岸手結～新居間延長 30 Km の昭和 23 年からの砂浜海岸の変動の実態を明らかにし、特に汀線変動および漂砂量の変化について考察し、その特性を明らかにし



図一1 高知海岸調査区域

た。これによれば、高知海岸においてもわが国の他の多くの海岸と同じように、経年的な汀線の変化がみられる。

* 正会員 高知大学助教授 農学部農業工学科

しかし、実測資料が少なく、毎年の連続的な実測は最近に至ってからであり、また実測時期が必ずしも同じではない。したがって、汀線の変動に対して統計的処理を行う場合、これらの実測資料をもとに同一時期の連続した変動量を推算して検討することにした。

図-2 は高知海岸の汀線変動の沿岸方向分布の内、代表的な地点について、昭和23年を基準とした経年的な汀線の累加変化量を示したものである。図中の実線および点線は土屋ら⁹⁾と同様の取扱いにより、毎年6月の汀線変動量の実測または推算値に対して最小自乗法によ

って、三次および五次曲線をあてはめたものである。これによれば、図(a)では経年的な汀線の後退がみられ、(b)は一旦平衡の後、最近に至って急速に汀線の後退が目立ってきた地点である。また、(c)では50mの汀線の後退から昭和48年頃より汀線が回復しつつあることが予測される。なお、(a)の下方には来襲した著名な台風を記入した。これによれば、台風の来襲と汀線変化量との明確な関係を見出すことはできない。

以上のように、汀線の長期的な変化の予測については経年変化量に対する長期的なトレンドによって推定することができよう。この場合、長期的変化としてどのような変化曲線を仮定するかが問題となるが、ここでは土屋らと同様、最小自乗法により三次および五次曲線を挿入した。

さて、このような変化曲線と個々の変化との差、すなわち変動量を調べて図示したものが、図-3 である。これによれば汀線の変動量の分布は、ガウス分布にかなり近いようである。このような結果は、土屋ら⁹⁾による下新川海岸における10年間の汀線の経年変化に対する検討、榎木¹⁾による二色海岸の養浜後の汀線変化に対する考察においてもみられる。

さて、return period は $T=1/nW(x)$ で定義され、 n は x の年平均生起回数であり、年観測値の内、最大または最小値を考えた場合、 $n=1$ であるが、このときの return period は T 年に1回となる。また、 $W(x)$ は図-3の分布形より定められる。

いま、高知海岸の汀線変化について考えると、測定した汀線の変動量は必ずしも年間の最大または最小値を示すものではない。しかし、これらの測定値を代表値と考えれば汀線変動量を予測できよう。すなわち、図-3より10年確率についてみると測点 M-1で8m、測点 30-

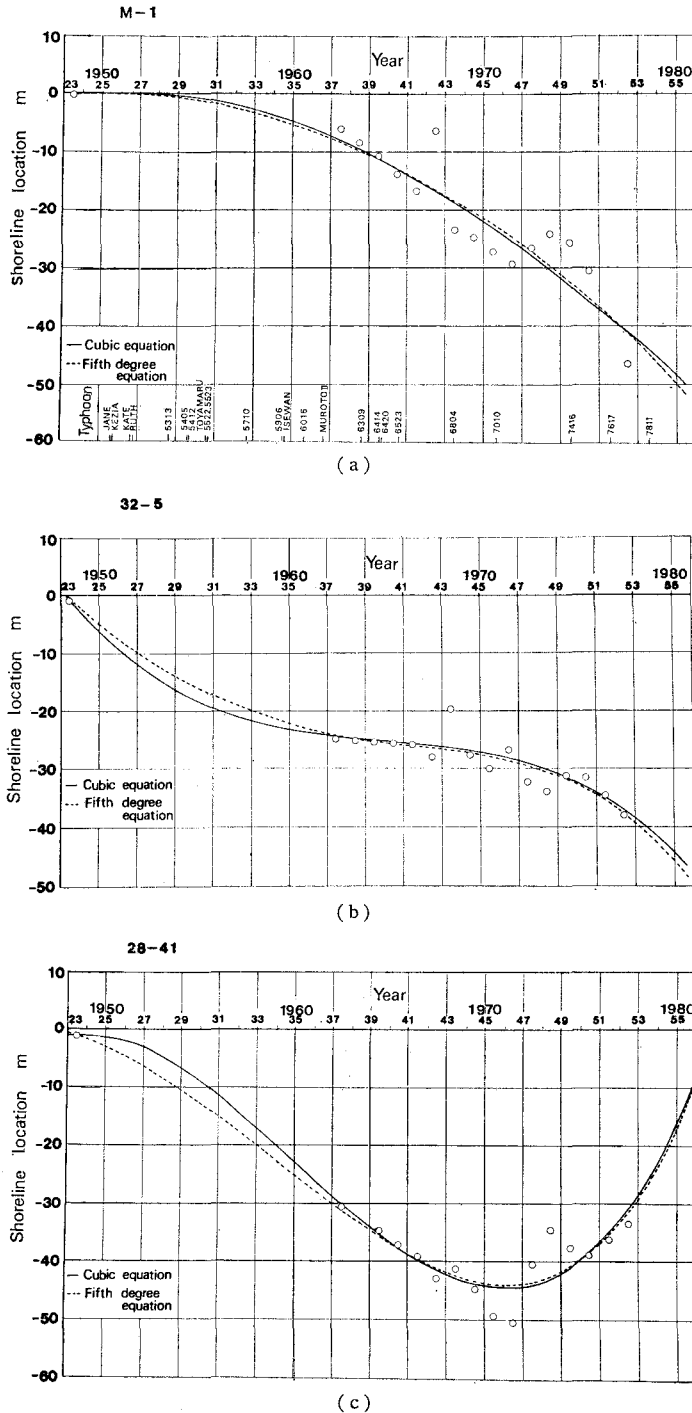


図-2 高知海岸の汀線の経年変化

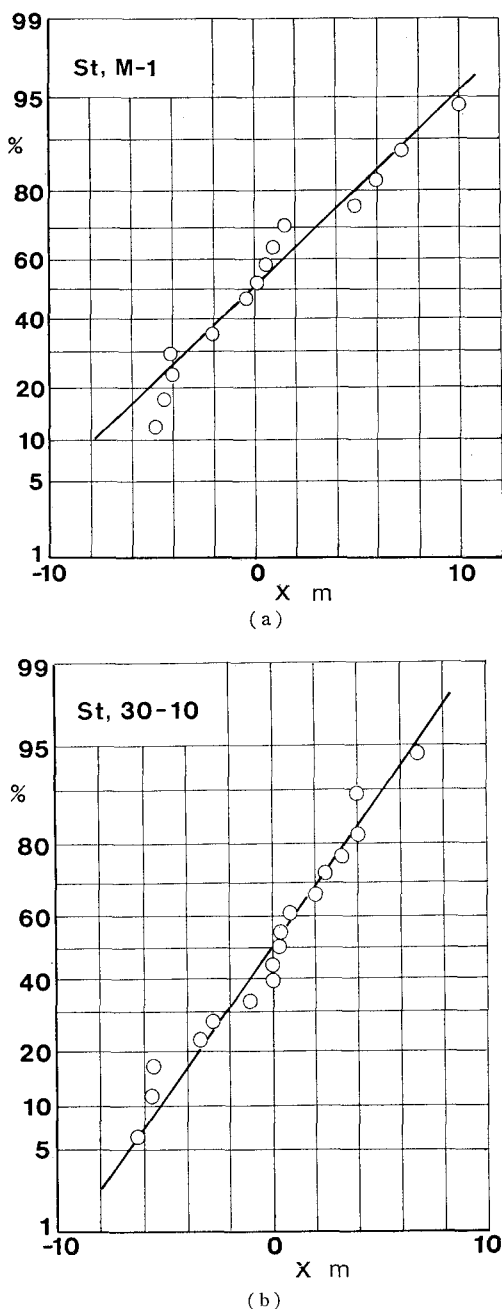


図-3 汀線変動の分布

10で5mの汀線変動量を予測することができる。以上のように、前述の長期的な汀線変化に加えて、さらにこのような汀線の変動量を統計的に予測することができよう。ただ、この場合は、1測点における汀線変動に着目し、その予測を進めたものである。今後、沿岸方向の汀線変動についてもその変動特性を把握し、さらに詳細な観測資料による的確な統計諸量によって汀線変動の予測を行うようにしなければならないであろう。

さて、著者⁹⁾の実験によれば、多くの場合カスプは沖波波形勾配 $H_0/L_0 \leq 0.040 \sim 0.050$ において形成され、これより大きな波形勾配においては一般にカスプの形成はみられない。したがって、荒天時の侵食海岸においては、カスプは消滅することが考えられる。Johnson⁹⁾ または土佐林ら¹⁰⁾は、カスプ形状の変化は一般に汀線が後退過程にあることが推察できると述べており、平常時に形成されていたカスプが荒天時侵食に伴い消滅することを示唆している。著者⁹⁾の高知海岸における調査においても H_0/L_0 の比較的小さいときに beach cusp が形成され、高波浪の発生に伴ってカスプは消滅している。すなわち、このようなカスプの変動によって、平面的な汀線の前進および後退が生じていることが推察される。また一方、カスプの形成に伴う汀線の前進または後退についての実験¹¹⁾によれば、カスプの apex および bay の変動と波特性との関係は、 H_0/L_0 の小さい、いわゆる堆積海岸で apex 部の汀線は沖波波高 H_0 の $(3 \sim 10)H_0$ 、また bay 部の汀線も $(2 \sim 7)H_0$ のそれぞれ前進がある。一方、侵食海岸においては apex 部および bay 部とも約 $(1 \sim 3)H_0$ の後退がみられる。

以上のように、実験結果によってカスプが形成される場合の実際海岸の汀線変動量がある程度予測することができよう。

さて、高知海岸における昭和33年より昭和36年までの上森¹²⁾による波の観測結果によれば、年間の約半分は波高 $H \doteq 50$ cm, 周期 $T = 8$ sec 内外で、台風によるうねりは $H = 5$ m $\sim$ 7 m, $T = 12$ sec $\sim$ 14 sec 程度であり、年間数回 $H = 3$ m $\sim$ 4 m, $T = 10$ sec $\sim$ 12 sec の波が発生し、半日以上継続する。また、低気圧によるものは $H = 2$ m $\sim$ 3 m, $T = 7$ sec $\sim$ 9 sec のものが多いようである。一方、建設省高知工事事務所による高知住吉沖における昭和41年より昭和51年までの波の観測結果によれば各月の有義波高 $H_{1/3}$ は1m前後のものが多く、有義周期 $T_{1/3} \doteq 8$ sec $\sim$ 14 sec である。また、最大波高 $H_{max} = 4$ m $\sim$ 6 m が昭和41年 $\sim$ 昭和45年の間に7回発生している程度で、昭和46年以降昭和51年まではこのような波の発生はなく、この間は $H_{max} < 2$ m で、 $T = 8$ sec $\sim$ 15 sec である。また、高知海岸域における波高4m以上の波の発生を予測して気象台が発表する波浪注意報は年間平均40回前後であり、波高6m以上の発生を警報する波浪警報は数年に1回程度*のようである。しかし、必ずしも予報または警報通りの波の発生があるとは限らないようであるが、前述の調査結果ともあわせて考えると、一般に高知海岸では波高 $H = 3$ m $\sim$ 4 m で、周期 $T = 8$ sec $\sim$ 12 sec の波が年間数回発生することが推察されよう。したがって、このような波によるカスプ地形の汀線変動を前述の実験結果によって検討すると侵食海岸とし

* 昭和53年1月 $\sim$ 12月波浪注意報46回、警報なし。

て、 $(1\sim3)H_0 \approx (1\sim3)H$ とすれば、3m~12m の汀線の後退が起ると推察される。一方、年間発生する波の約半分を占める $H=50\text{ cm}$ の波では堆積海岸を示し、カスプの汀線変動を $(3\sim10)H_0 \approx (3\sim10)H$ とすれば 1.5m~5m の汀線の前進が起ると推察されよう。以上のように、カスプ地形においては、高波浪の発生による汀線の後退が、また平常時には汀線の回復、さらには前進が起ると考えられる。このことは波特性の変化に伴うカスプの消滅と形成の一連の過程の中で繰返される現象である。すなわち、このような変動の過程において、前述の高知海岸の調査結果にみられるような汀線の実質的な変化が生じることが予測される。

以上より、高知海岸の長期的な経年変化から予測される汀線変化は期間 10 年について考えると、最大約 20m 程度であり、また荒天時の急激な汀線変動は最大 8m である。一方、カスプ地形においては apex および bay 部の汀線変動は最大約 12m である。すなわち、短期的な汀線変動は約 8m~12m が予測される。これらより、高知海岸の全体的な汀線変動は約 28m~32m が予測されよう。

さて、高知海岸における昭和 52 年 10 月の海岸堤防より汀線までの距離、すなわち海浜幅、海岸堤防前面の植生幅および後浜カスプの形成位置を示したものが図—4 である。汀線の経年的な変化についてはすでに示したが、この図よりわかるように、高知海岸においては侵食によって汀線が後退し、海浜幅は 30m~40m となっている個所がみられる。このような地点は最近に至って汀線の後退が特に著しくなったものであり、荒天時にはその上波が海岸堤防に達することが考えられる。したがって、海岸堤防前面の植生はみられない。図よりわかるよ

うに、植生は海浜幅が 70m 以上の個所にみられ、その幅は堤防前面約 20m が限度である。これから推定して荒天時その上波は汀線より 50m まで達すると考えられる。一方、後浜カスプの海浜上での形成位置をみると一般に海浜中央部での形成が顕著であることがわかるが、いま海岸堤防より後浜カスプの形成地点までの距離と海浜幅との比をとると、新居から長浜までは 0.27~0.65 で平均 0.48 となり、また種崎から久枝地区では 0.42~0.74、平均 0.54 の値を、そして、吉川から赤岡地区では 0.47~0.81 の範囲で平均 0.60 の値となり、西海岸地区に至るほど海岸堤防に近い位置、いいかえると汀線より離れたより上部の海浜にカスプが形成される傾向にあることがわかる。したがって、後浜カスプの形成に影響するようなその上波は高知海岸では汀線より海岸堤防までの海浜のほぼ中央からそれより上部 10m~12m まで達すると考えられよう。

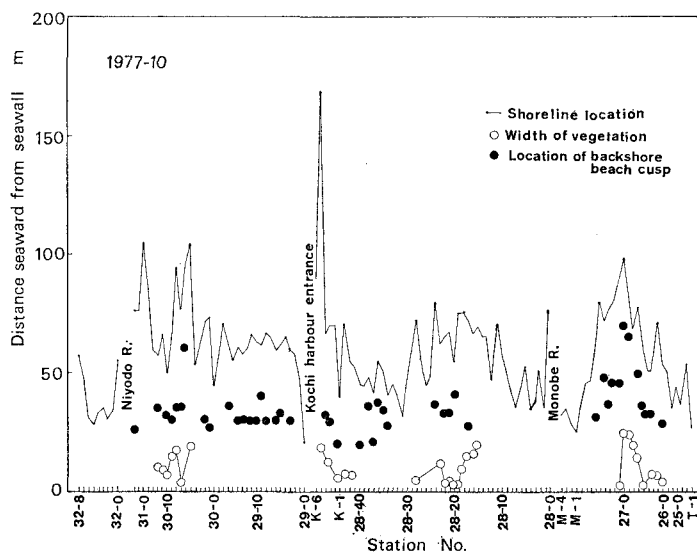
最近、Purpura⁴⁾ は海岸保全にあたって、海浜における setback line の考えを提案している。土屋¹³⁾はこのような setback line は、汀線の変動を考慮した自然海浜の機能から、その背後地を守り海岸侵食を防止するものであって、海浜断面や汀線の変動する海浜領域はその保全のために確保しなければならず海岸利用の対象外とすべきであるものと理解されると述べ、そして汀線の変動の統計解析によって背後地の経済的評価と併せて再現期間を考慮して推定されるであろうとも述べている。

いま、このような setback line について考えると、高知海岸では汀線変化から予測される setback line は前述の考察結果から、汀線より陸側へ約 28m~32m の位置を設定することが最小限必要であろう。勿論、setback line は汀線変動のみによって設定されるだけでなく、背後地の経済性または利用度などを考慮すべきことはいうまでもないが、さらに前述のように海岸保全の立場から海浜のその上波と海浜幅を考慮した十分な配慮が必要であろう。

4. 結 語

以上、高知海岸の実測資料をもとに、経年的な海浜変化を検討するとともに、統計的な手法によって、その予測を試み、次のような結果をえた。

① 経年的な汀線変動をトレンド曲線によって予測し、経年的に汀線が後退する地点、また一旦平衡の後、最近に至って急速に後退が目立ってきた地点および逆に汀線が回復してきている地点の三つに分けることができた。



図—4 高知海岸の海浜幅、植生幅および後浜カスプの形成位置

② 汀線変動量とトレンド曲線との差をとり、その変動の確率分布を調べた結果、ガウス分布で近似できることが明らかとなり、再現期間によって、汀線変動の予測が可能であると考えられた。

③ 高知海岸の長期的な汀線変化は 10 年で最大約 20 m 程度であり、荒天時の短期的な変動は再現期間 10 年について最大約 8 m である。一方、カスプ地形における apex および bay 部の汀線変動が最大約 12 m となり、短期的な汀線変動は約 8 m~12 m と考えられた。

④ 高知海岸における全体的な汀線変動は約 28 m~32 m と予測される。

⑤ 高知海岸の海浜幅が 70 m 以上の地点では植生があり、その幅が 20 m までが限度であるので、荒天時の波は汀線より 50 m までそ上することが考えられる。

⑥ そ上波によって形成された後浜の beach cusp は海浜中央部、またはそれより 10 m~12 m 上部の砂浜に見出された。

⑦ 高知海岸の河口隣接地域では汀線の後退によって海浜幅は 30 m~40 m であり、荒天時にそ上波が海岸堤防まで達する。このような状況は高知海岸では、年間数回発生することが推察された。

⑧ 高知海岸の setback line は、以上の汀線変化から、少くとも現在の汀線より 28 m~32 m 陸側に設定することが必要であろう。

今後なお沿岸方向の汀線変動などについて年間定期的な調査を行い、変動予測のための統計諸量の充実を計り、詳細な検討を行うようにしなければならない。また、海岸の setback line の設定も海岸保全の立場から、海浜のそ上波と海浜幅の十分な配慮が必要であろう。

最後にこの研究を進めるにあたり、高知大学農学部上

森千秋教授および京都大学防災研究所土屋義人教授より御懇切なる御指導と御鞭撻を賜わった。また、建設省高知工事事務所よりは貴重な資料をいただいた。ここに記して深甚の謝意を表わす次第である。

参 考 文 献

- 1) 榎木 亨：海浜過程と予測，1977 年度水工学に関する夏期研修会講義集，pp. B-5-1~16, 1977.
- 2) 例えば，佐藤昭二・田中則男・入江 功・平原淳次：港湾埋没に関する移動床模型の再現性，港湾技研報告，第 9 巻，第 1 号，pp. 71~123, 1970.
- 3) 例えば，土屋義人：海岸侵食について，京大防災研究所年報，第 21 号 A，pp. 25~42, 1978.
- 4) Purpura, J. A.: Establishment of a coastal setback line in Florida, Proc. 13th Conf. Coastal Eng., pp. 1599~1613, 1972.
- 5) 土屋義人・芝野照夫：下新川海岸の海浜過程について，第 20 回海岸工学論文集，pp. 483~488, 1973.
- 6) 土屋義人・榎木 亨・尾崎 晃・堀川清司・砂村継夫・野田英明：土砂の流送・運搬に伴う自然環境変化に関する研究，文部省科研，自然災害特別研究成果（代表者，石原藤次郎），pp. 1~116, 1975.
- 7) 玉井佐一：高知海岸における海浜変形特性，第 26 回海岸工学論文集，pp. 243~247, 1979.
- 8) 玉井佐一：カスプの形成に関する研究，第 21 回海岸工学論文集，pp. 115~120, 1974.
- 9) Johnson, D. W.: Shore processes and shoreline development, John Wiley and Sons, N.Y., pp. 457~486, 1919.
- 10) 土佐林忠夫・藤田兼吉・小池富治：新潟海岸のカスプ（序報），科学，Vol. 19, No. 9, pp. 419~420, 1949.
- 11) 玉井佐一：カスプ形成による海浜変形特性，第 24 回海岸工学論文集，pp. 157~161, 1977.
- 12) 上森千秋：高知海岸の漂砂浜について，第 14 回海岸工学講演集，pp. 280~285, 1967.
- 13) 土屋義人：海岸線を守る技術とその考え方，主として海岸侵食対策について，土木学会誌，Vol. 65, pp. 2~8, 1980.